115-052-6229
IOT-114-TC002

鐵道系統強化調適能力之探討(2/3)
-作為與指引(高鐵與臺鐵)

著者：孫千山、鍾志成、魏健宏、林陳佑
張恩輔、陳怡蓁、林杜寰、黃邵琪
黃致鈞、朱珮芸、賴宜弘、鄔德傳
楊家銘、蕭為元

交通部運輸研究所

中華民國 115 年 10 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

題名/著者: 鐵道系統強化調適能力之探討. (2/3)：作為與指引(高鐵與臺鐵) / 孫千山, 鍾志成, 魏健宏, 林陳佑, 張恩輔, 陳怡蓁, 林杜寰, 黃邵琪, 黃致鈞, 朱珮芸, 賴宜弘, 鄔德傳, 楊家銘, 蕭為元著

版本: 初版

出版: 臺北市：交通部運輸研究所, 民 115.10

識別碼: ISBN 978-986-531-796-6 (平裝) | CIP 115015318

主題詞: LCSTT: 鐵路管理 | LCSTT: 運輸系統 | LCSTT: 氣候變遷

分類號: 557.23

鐵道系統強化調適能力之探討(2/3)-作為與指引(高鐵與臺鐵)

著　　者：孫千山、鍾志成、魏健宏、林陳佑、張恩輔、陳怡蓁、林杜寰、黃邵琪、黃致鈞、朱珮芸、賴宜弘、鄔德傳、楊家銘、蕭為元

出版機關：交通部運輸研究所

地　　址：105004 臺北市松山區敦化北路 240 號

網　　址：www.iot.gov.tw (中文版＞數位典藏＞本所出版品)

電　　話：(02)2349-6789

出版年月：中華民國 115 年 10 月

印 刷 者：全凱數位資訊有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 53 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定　　價：360 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸科技及資訊組・電話：(02)2349-6789

國家書店松江門市：104472 臺北市中山區松江路 209 號•電話：(02)2518-0207

五南文化廣場：403 臺中市西區臺灣大道 2 段 85 號•電話：(04)2226-0330

GPN：1011501368　　ISBN： 978-986-531-796-6 (平裝)

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

<table>
<tr><td colspan="4">出版品名稱：鐵道系統強化調適能力之探討(2/3)- 作為與指引(高鐵與臺鐵)</td></tr>
<tr><td>國際標準書號（或叢刊號）
ISBN 978-986-531-796-6 (平裝)</td><td>政府出版品統一編號
1011501368</td><td>運輸研究所出版品編號
115-052-6229</td><td>計畫編號
114-TC002</td></tr>
<tr><td>本所主辦單位：運輸能源及環境組
主管：朱珮芸
計畫主持人：朱珮芸
研究人員：賴宜弘、鄔德傳、楊家銘、蕭為元
聯絡電話：02-2349-6872
傳真號碼：02-2712-0223</td><td colspan="2">合作研究單位：財團法人中興工程顧問社
計畫主持人：孫千山
研究人員：鍾志成、魏健宏、林陳佑、張恩輔、陳怡蓁、林杜寰、黃邵琪、黃致鈞
地址：114065 臺北市內湖區新湖 2 路 280 號
聯絡電話：(02)8791-9198
傳真號碼：(02)8791-2198</td><td>研究期間
自 114 年 4 月
至 114 年 12 月</td></tr>
<tr><td colspan="4">關鍵詞：鐵道系統、氣候變遷、調適能力、架構指引</td></tr>
<tr><td colspan="4">摘要：

鐵道系統為我國重要資產之一，其特性為高沉沒成本、完工後不易大幅調整路線，需要以長期及永續角度進行整體性規劃與維運，在面對氣候變遷極端氣候的壓力下，鐵路系統的挑戰不僅是要在正常天候中維持正常營運，更要在面對極端氣候的條件下增加其韌性，使其在受異常天氣衝擊後，能儘速恢復並提供安全、可靠且有效率的服務。
本計畫於 114 年度賡續蒐整重要基礎建設與鐵道系統之氣候變遷調適指引架構，研擬我國鐵道系統調適指引架構，並優先發展臺鐵與高鐵指引內容，同時對臺鐵與高鐵進一步研析包含強化調適能力作為、調適應用案例，以及針對跨系統介面衝擊影響提出溝通協調機制建議。</td></tr>
<tr><td>出版日期</td><td>頁數</td><td>定價</td><td>本出版品取得方式</td></tr>
<tr><td>115 年 10 月</td><td>306</td><td>360</td><td>凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。</td></tr>
<tr><td colspan="4">備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。</td></tr>
</table>

PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS

INSTITUTE OF TRANSPORTATION

MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE: A Study of Enhancing the Adaptive Capacity of Railway Systems (2/3) – Action and Guideline (Taiwan High Speed Rail and Taiwan Railway)

ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
ISBN 978-986-531-796-6 (pbk.)	1011501368	115-052-6229	114-TC002

DIVISION: Transportation Energy and Environment Division
DIVISION DIRECTOR: Pei-Yun Chu
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Pei-Yun Chu
PROJECT STAFF: I-Hung Lai, Deh-Juan Wu, Chia-Ming Yang, Wei-Yuan Hsiao
PHONE: 886-2-23496872
FAX: 886-2-27120223

PROJECT PERIOD

FROM April 2025
TO December 2025

RESEARCH AGENCY: Sinotech Engineering Consultants, Inc.
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chian-Shan Suen
PROJECT STAFF: Jyh-Cherng Jong, Chien-Hung Wei, Chen-Yu Lin, En-Fu Chang, Yi-Chen Chen, Tu-Huan Lin, Shao-Chi Huang, Chih-Chun Huang
ADDRESS: No.280, Xinhu 2nd Rd., Neihu Dist., Taipei City 114, Taiwan (R.O.C.)
PHONE: 886-2-87919198
FAX: 886-2-87912198

KEY WORDS: Railway System, Climate Change、Adaptive Capacity, Guideline and Framework.

ABSTRACT:

The railway system is a critical infrastructure in our country. It is characterized by high sunk costs and less flexibility in adjusting its routes after completion. Thus, it requires comprehensive planning, operation, and maintenance from a long-term and sustainable perspective. Under climate change pressure, the railway system must not only maintain operations under normal conditions but also increase resilience to extreme weather so it can recover quickly and provide safe, reliable, and efficient services.

This year's (2025) study primarily examines the climate change adaptation framework for major infrastructure and railway systems, develops an adaptation guideline framework for Taiwan's railway systems, and prioritizes the formulation of adaptation guidelines for Taiwan High-Speed Rail (THSR) and Taiwan Railway (TR). It also conducts a comprehensive analysis of TR and THSR, including strategies to strengthen adaptive capabilities and case studies on adaptation applications. Finally, it proposes communication and coordination mechanisms to mitigate the impacts on the cross-system interface.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE
October 2026	306	360

The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.

目　錄

頁 次

目　錄 ..... **Ⅲ**
圖　目　錄 ..... **Ⅴ**
表　目　錄 ..... **Ⅷ**
第一章 緒論 **1-1**
1.1 計畫緣起 1-1
1.2 全程計畫概要 1-3
1.3 計畫範圍與對象 1-4
1.4 計畫目標 1-5
1.5 計畫流程與步驟 1-6
1.6 氣候變遷調適相關名詞定義 1-7
第二章 鐵道系統調適作法與趨勢 **2-1**
2.1 前期計畫回顧 2-1
2.2 我國調適指引架構 2-5
2.2.1 氣候變遷風險評估作業準則 2-5
2.2.2 CCA6Steps 氣候調適 6 步驟 2-8
2.2.3 公路系統規劃階段調適指引 2-15
2.2.4 能源產業調適指引 2-24
2.3 國際標準與倡議 2-33
2.3.1 ISO 14090 系列標準調適架構 2-33
2.3.2 氣候相關財務揭露(TCFD)國際倡議 2-38
2.3.3 UIC-鐵道調適架構 2-40
2.4 標竿機構調適指引架構及其內容 2-43
2.4.1 加拿大-電力調適指引 2-44
2.4.2 加拿大-礦業調適指引 2-54
2.4.3 美國-水務公用事業調適指引 2-62
2.4.4 美國-地質災害韌性手冊 2-69
2.4.5 UIC-RERA 強降雨調適指引 2-76
2.4.6 UIC-RERA 高溫調適指引 2-90
2.5 小結 2-97
第三章 鐵道系統跨界面衝擊與協調機制 **3-1**

3.1 我國高鐵與臺鐵調適現況.....3-1
3.1.1 台灣高鐵公司調適現況.....3-1
3.1.2 國營臺鐵公司調適現況.....3-7
3.2 國際鐵路標竿機構調適現況.....3-10
3.2.1 美國-麻薩諸塞灣交通局調適現況.....3-10
3.2.2 英國-2 號高速鐵路.....3-16
3.3 鐵道系統跨系統界面衝擊影響.....3-21
3.3.1 跨系統界面衝擊與調適概述.....3-21
3.3.2 跨系統界面衝擊與調適實務案例.....3-24
3.3.3 我國跨系統界面調適現況.....3-30
3.3.4 跨系統溝通協調機制建議.....3-33
3.4 小結.....3-34
第四章 鐵道系統調適指引架構.....4-1
4.1 鐵道調適架構精進.....4-1
4.2 鐵道系統調適指引架構.....4-3
4.2.1 「壹、導讀」.....4-4
4.2.2 「貳、界定範疇」.....4-4
4.2.3 「參、檢視氣候衝擊現況」.....4-6
4.2.4 「肆、評估未來氣候變遷風險」.....4-7
4.2.5 「伍、調適選項規劃與綜整決策」.....4-8
4.2.6 「陸、推動調適選項」.....4-9
4.2.7 「柒、檢討或修正調適選項」.....4-10
4.2.8 「柒、檢討或修正調適選項」.....4-11
第五章 結論與建議.....5-1
5.1 結論.....5-1
5.2 建議.....5-3
參考文獻.....R-1
附錄一 計畫摘要.....附 1-1
附錄二 審查意見辦理情形.....附 2-1
附錄三 成果海報.....附 3-1
附錄四 計畫簡報.....附 4-1
附錄五 縮寫對照表.....附 5-1

圖　目　錄

頁 次

圖 1.1-1　氣候變遷之風險管理流程圖 1-1
圖 1.1-2　鐵道系統氣候變遷調適概要示意圖 1-3
圖 1.2-1　全程計畫概要示意圖 1-4
圖 1.5-1　計畫流程圖 1-6
圖 2.1-1　鐵道系統全生命週期納入調適概念示意圖 2-2
圖 2.1-2　氣候變遷風險模型示意圖 2-3
圖 2.1-3　CID 類型及類別示意圖 2-3
圖 2.1-4　國家氣候變遷調適應用情境設定示意圖 2-3
圖 2.2-1　氣候變遷風險評估架構對照圖 2-6
圖 2.2-2　CCA6Steps 氣候調適 6 步驟示意圖 2-10
圖 2.2-3　公路系統調適指引-應用索引架構圖 2-15
圖 2.2-4　公路系統調適指引-規劃作業融入調適流程示意圖 2-16
圖 2.3-1　ISO 14090 調適架構圖 2-34
圖 2.3-2　ISO 14091 風險組成要素示意圖 2-34
圖 2.3-3　ISO 14091 農業衝擊鏈示意圖 2-35
圖 2.3-4　在地氣候調適生活機制架構圖 2-36
圖 2.3-5　ISO 14097 執行流程圖 2-37
圖 2.3-6　ISO Guide 84-生命週期納入氣候變遷考量示意圖 2-38
圖 2.3-7　TCFD-資訊揭露核心要素示意圖 2-39
圖 2.3-8　TCFD-氣候相關風險及機會示意圖 2-40
圖 2.3-9　UIC-鐵道系統架構圖 2-41
圖 2.4-1　加拿大 CEA-調適指引步驟示意圖 2-44
圖 2.4-2　加拿大 CEA-成本曲線示意圖 2-47
圖 2.4-3　加拿大 CEA-評估矩陣示意圖 2-48
圖 2.4-4　加拿大 MAC-調適指引步驟示意圖 2-55
圖 2.4-5　加拿大 MAC-決策分析流程示意圖 2-56
圖 2.4-6　加拿大 MAC-決策分析流程示意圖 2-62
圖 2.4-7　美國 EPA-VSAT 操作流程示意圖 2-63
圖 2.4-8　美國 EPA-調適策略指引使用流程圖 2-65
圖 2.4-9　美國 EPA-乾旱情境調適選項檢核案例示意圖 2-65
圖 2.4-10　美國 EPA-CREAT 操作應用流程圖 2-66

圖 2.4-11　美國 EPA-CREAT 畫面截圖 2-66
圖 2.4-12　美國 EPA-CREAT 畫面截圖 2-69
圖 2.4-13　美國 FHWA-脆弱度評估與調適框架示意圖 2-70
圖 2.4-14　美國 FHWA-Hazus 沿海淹水風險範例截圖 2-71
圖 2.4-15　美國 FHWA-ADAP 調適決策評估程序 2-72
圖 2.4-16　美國 FHWA-GAM-風險立方體模型案例 2-73
圖 2.4-17　UIC-強降雨調適指引步驟示意圖 2-76
圖 2.4-18　UIC-強降雨對歐洲鐵道衝擊事件分布示意圖 2-77
圖 2.4-19　UIC-強降雨之根本原因、衝擊與結果關係圖 2-78
圖 2.4-20　UIC-強降雨事件之鐵道脆弱度評估與指標架構圖 2-82
圖 2.4-21　UIC-強降雨事件之鐵道脆弱度矩陣與級距範例圖 2-83
圖 2.4-22　UIC-強降雨事件之鐵道風險評估架構圖 2-83
圖 2.4-23　UIC-強降雨事件之鐵道脆弱度矩陣與級距範例圖 2-84
圖 2.4-24　UIC-強降雨事件之鐵道設施關鍵性評估架構圖 2-85
圖 2.4-25　UIC-強降雨事件之鐵道調適選項評估架構操作範例圖 2-88
圖 2.4-26　UIC-高溫調適指引步驟示意圖 2-91
圖 2.4-27　UIC-長焊鋼軌管理操作流程圖 2-91
圖 2.4-28　UIC-植被管理工具 IVEG 操作示意圖 2-95
圖 2.4-29　UIC-植被管理工具 SIGMA 操作示意圖 2-95
圖 3.1-1　台灣高鐵-DWS 系統示意圖 3-2
圖 3.1-2　台灣高鐵-邊坡自動化監測系統組成圖 3-3
圖 3.1-3　台灣高鐵-降雨警戒指標圖 3-4
圖 3.2-1　美國 MBTA-芬威站防洪工程防洪隔艙施作照片 3-12
圖 3.2-2　美國 MTBA-水族館站防洪工程防洪閘門照片 3-13
圖 3.2-3　美國 MBTA-VAST 工具操作流程圖 3-14
圖 3.2-4　美國 MBTA-MAC-FBM 模型海平面上升預測情境圖 3-15
圖 3.2-5　美國 MBTA-調適措施評估矩陣示意圖 3-16
圖 3.2-6　英國 HS2-奇爾特恩隧道橫向聯絡通道斷面 3D 模型圖 3-16
圖 3.2-7　英國 HS2-柯爾河之河道與景觀重塑工程區域範圍圖 3-18
圖 3.2-8　英國 HS2-高架橋、滯洪池與河川改道工程位置示意圖 3-19
圖 3.2-9　英國 HS2-滯洪池與鐵道橋梁之生態設計示意圖 3-19
圖 3.2-10　英國 HS2-Align 與 MetSwift 佈設氣象站位置圖 3-20
圖 3.2-11　STF 數位預測平台實際操作畫面示意圖 3-21
圖 3.3-1　英國 NR-氣候變遷利害關係分析圖 3-25

圖 3.3-2　英國 NR-聯合運河潰堤破壞鐵路設施照片 3-26
圖 3.3-3　英國 HS2-相互依存系統類別 3-30
圖 4.1-1　鐵道系統調適架構圖 4-1
圖 4.2-1　鐵道系統調適指引架構圖 4-3

表 目 錄

頁 次

表 1.6-1 氣候變遷調適相關名詞定義彙整表 1-7
表 2.1-1 鐵道系統-極端高溫調適選項表 2-4
表 2.2-1 氣候變遷風險評估作業準則彙整表 2-7
表 2.2-2 CCA6Steps 氣候調適 6 步驟評估流程彙整表 2-10
表 2.2-3 公路計畫-氣候變遷資料蒐集分析資訊綜理表 2-17
表 2.2-4 公路計畫-路廊錢在氣候變遷風險說明表 2-18
表 2.2-5 公路計畫-氣候變遷風險評估表 2-19
表 2.2-6 公路計畫-調適指引流程彙整表 2-19
表 2.2-7 能源產業-氣候變遷風險評估流程彙整表 2-25
表 2.2-8 能源產業-氣候變遷風險調適策略規劃流程彙整表 2-30
表 2.3-1 ISO 14090 系列、TCFD 及 Rail Adapt 彙整表 2-42
表 2.4-1 加拿大 CEA-氣候風險關鍵參數彙整表 2-45
表 2.4-2 加拿大 CEA-文件化資訊內容彙整表 2-48
表 2.4-3 加拿大 CEA-調適評估流程彙整表 2-49
表 2.4-4 加拿大 MAC-調適評估流程彙整表 2-57
表 2.4-5 美國 EPA-VSAT 工具流程彙整 2-63
表 2.4-6 美國 EPA-CREAT 模組輸入及產出彙整表 2-67
表 2.4-7 美國 EPA-調適評估流程彙整表 2-68
表 2.4-8 美國 FHWA-調適評估流程彙整表 2-73
表 2.4-9 UIC-氣候模型之優勢與局限比較表 2-79
表 2.4-10 UIC-強降雨事件之鐵道脆弱度指標分級範例表 2-82
表 2.4-11 UIC-強降雨鐵道調適評估流程彙整表 2-88
表 2.4-12 UIC-長焊鋼軌管理操作流程彙整表 2-92
表 2.4-13 UIC-高溫鐵道調適評估流程彙整表 2-96
表 3.1-1 台灣高鐵-邊坡風險等級應對表 3-5
表 3.1-2 台灣高鐵-土石運移風險分級矩陣圖表 3-6
表 3.1-3 臺鐵公司-邊坡風險等級應對表 3-8
表 3.2-1 美國 MBTA-VAST 工具操作流程彙整表 3-14
表 3.3-1 英國倫敦交通局-系統圖譜方法流程彙整表 3-27
表 3.3-2 英國倫敦交通局-關鍵組織相互影響說明摘錄表 3-28
表 3.3-3 英國倫敦交通局-危害與組織間介面說明摘錄表 3-29

表 3.3-4　我國鐵道系統關鍵組織相互影響彙整表..... 3-31
表 3.3-5　國內鐵道系統營運機構跨界面溝通現況彙整表 3-33
表 4.1-1　我國鐵道系統調適 vs 其他規範-架構對照表..... 4-2

第一章 緒論

1.1 計畫緣起

鐵道系統係屬我國重要的維生基礎設施之一，且與民眾日常生活息息相關，由於鐵道系統具有高度沉沒成本，於完工後不易大幅調整路線等特性，故在規劃、設計與維運階段，需以長期且永續角度進行整體性的看待，尤其在未來氣候變遷(Climate Change)與極端天氣(Extreme Weather)的氣候情境與壓力下，其所面臨的挑戰不僅僅於平時維持正常營運之外，更期待在極端氣候侵襲下仍展現系統的韌性，使其在遭受異常氣候下，仍可能維持及提供安全、可靠的必要服務。

國外鐵道標竿國家已普遍採取系統性方法在氣候變遷風險之下強化鐵道系統韌性，透過氣候風險評估找出極端氣候對鐵路系統的主要危害、潛在衝擊與因應對策，以風險評估與調適策略等方法確認調適方案之優先順序，進而執行適宜之調適策略與行動方案來獲得良好的成效，如圖 1.1-1 所示。

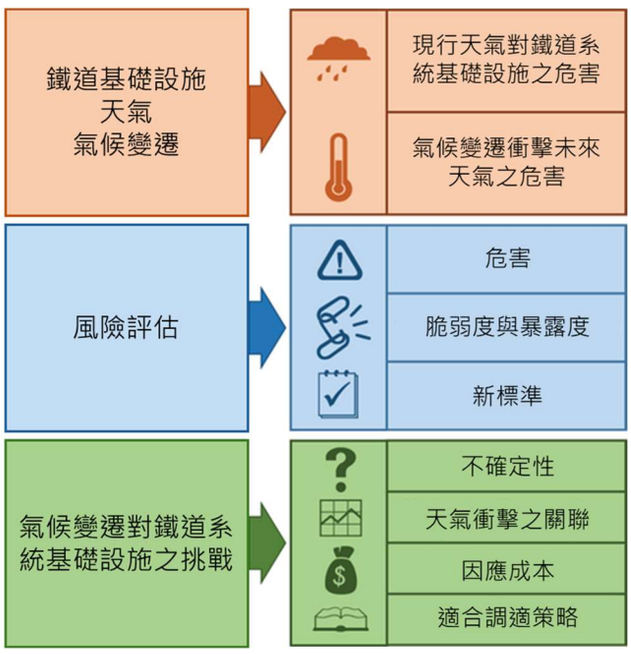


圖 1.1-1 氣候變遷之風險管理流程圖

資料來源：[47]及本計畫整理

前揭鐵道標竿國家普遍參酌聯合國政府間氣候變遷專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)之評估報告(Assessment Report, AR)與國際標準化組織(International Organization for Standardization, ISO)於 ISO 14091 氣候變遷調適－脆弱度、衝擊與風險評估等系列指引，做為氣候變遷調適之依據。於此同時，聯合國永續發展目標(Sustainable Development Goals, SDGs)於 2015 年通過 2030 永續發展議程，其中「SDGs 目標 13-氣候行動」即係加強國家對氣候變遷危害的復原力和調適能力。國際金融穩定委員會(Financial Stability Board, FSB)亦於 2017 年發布了「氣候相關財務揭露」(Task Force on Climate-related Financial Disclosures, TCFD)，目前已有許多鐵道系統參採以上規範進行氣候調適，如英國 Network Rail、台灣高鐵公司等。此外，國際鐵路聯盟 Union Internationale des Chemins de Fer, UIC)也在 2017 年 11 月出版「鐵路調適(Rail Adapt)」指南，期待透過導入鐵路調適架構，協助鐵路營運機構靈活面對極端氣候所帶來之挑戰。

鐵道系統受氣候變遷與極端天氣之衝擊範圍包括基礎設施、車輛等，爰強化鐵道系統韌性之調適策略將會與資產管理及安全管理系統息息相關。爰參酌國際文獻[119, 123,198]與相關實際案例可知，鐵道系統因應氣候變遷的調適作為中，透過風險導向的資產管理來充分掌握資產狀態，實施以資產為本的風險管控以有效監控營運安全風險，並建構整體的氣候變遷調適策略來提升系統韌性。

綜觀鐵道系統調適主要內涵，包括調適政策規劃、科研數據蒐整、基礎設施韌性風險評估與強化調適策略、營運機構內部作業程序標準化、跨系統介面整合，以及技術升級等，旨在應對氣候變遷所帶來的氣候衝擊，達成保護資產、保障乘客及戶外工作者安全，以及落實推動永續發展的目標。

再者，有關鐵道系統調適的時間尺度規劃，參酌資產之設計年限可涵蓋短期(2020-2040 年)、中期(2040-2060 年)及長期(世紀末)，並聚焦於易受強降雨、極端溫度、強風，甚至鄰近海岸之暴潮、海平面上升等受氣候危害影響之高危險區域。實施過程需要整合政府部門、監理機關、營運機構、民間工程顧問公司、民間團體，以及鄰近社區與弱勢族群等利害關係者的溝通與參與，透過辨識危害、進行風險評估、擬定調適策略及持續執行與回饋的方式，有效減少氣候風險，提升系統韌性，如圖 1.1-2 所示。

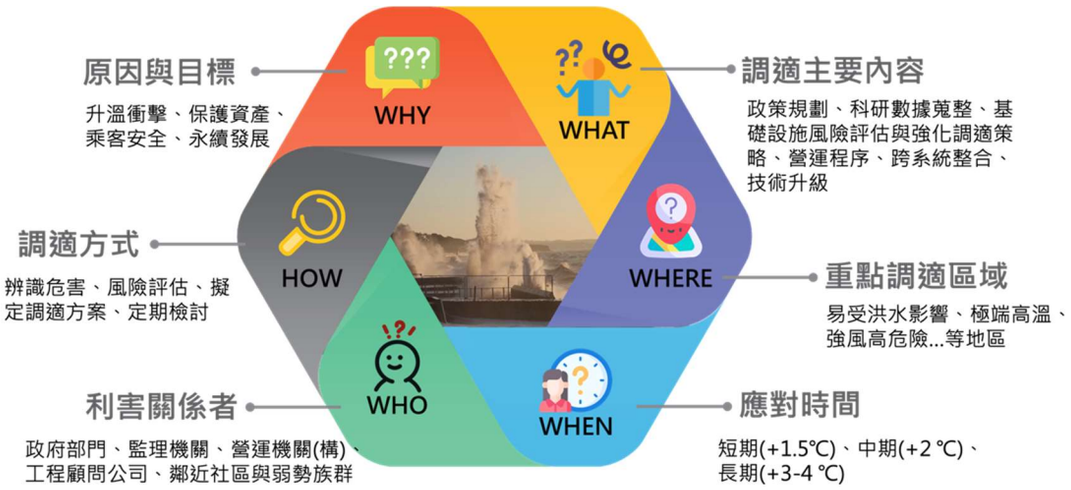


圖 1.1-2 鐵道系統氣候變遷調適概要示意圖

對於全球淨零碳排的努力，國內因貢獻度較低，即便此時國內已達到淨零排碳之目標，全球氣候暖化仍將逐年升高，對於各地所面臨極端氣候的可能性也日益增加。故為及早強化國內鐵道系統之韌性與抗災能量，並協助國內鐵道系統之調適能力，本計畫參酌國際 ISO 14090 氣候變遷調適系列標準要求、IPCC 氣候風險模型、國際鐵路聯盟 UIC 之調適架構、國外營運機構調適機制方法，以及《氣候變遷風險評估作業準則》所揭櫫之氣候變遷風險評估之基本原則，以及研擬推動氣候變遷調適方案之程序，做為強化我國鐵道系統調適能力之主要參據，並提出相關推動機制與方法之建議。

1.2 全程計畫概要

本計畫就「鐵道系統強化調適能力之探討」為三年期之研究計畫，全程計畫概要詳圖 1.2-1 所示，全程計畫謹說明如下：

1. 第一年期(2024 年)主要回顧國外針對鐵道系統之氣候變遷調適文獻，包含發展趨勢、強化調適能力方式、新科技應用與相關實務案例等，同時盤點我國鐵道系統(包含高鐵系統、臺鐵系統、捷運系統、輕軌系統)目前及未來面臨氣候變遷的氣候風險因子，進而研擬鐵道系統因應氣候變遷風險評估與強化調適能力的機制與方法。

2. 第二年期(2025 年)以第一年回顧成果為基礎，研擬鐵道系統調適指引架

構與內容(臺鐵與高鐵)，並針對鐵路系統(臺鐵與高鐵)進一步研析包含強化調適能力作為、調適應用案例，以及針對跨系統介面衝擊影響提出溝通協調機制建議。

3. 第三年期(2026 年)則持續針對捷運與輕軌系統研析其強化調適能力之作為、進行案例解析及針對跨系統界面衝擊影響進行探討，並持續研擬鐵道系統調適指引內容，以完善整體鐵道系統調適指引。此外，該年度計畫亦將依據國外最新調適策略發展趨勢，滾動檢討我國整體運輸系統之調適策略。

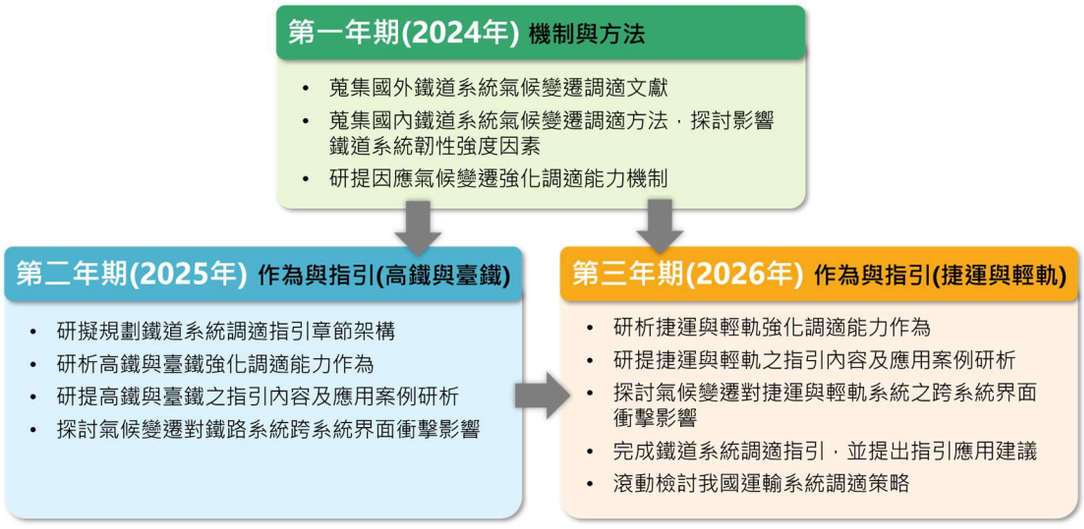


圖 1.2-1 全程計畫概要示意圖

1.3 計畫範圍與對象

依據前節所揭櫫之計畫概要，本計畫於第一年(2024 年)之探討範圍，主要係聚焦於研擬強化鐵道系統調適能力的機制與方法，探討對象則包括國內的鐵路系統、捷運及輕軌運輸系統。本計畫透過回顧文獻與國際標竿機構實踐案例，彙整適用我國鐵道系統之調適機制與方法，以強化我國鐵道系統之韌性，並提供鐵道相關單位發展其全生命週期各階段調適策略參考應用。

1.4 計畫目標

本計畫年度預期達成目標，謹說明如下：

1. 預期成果

(1) 完成鐵道系統(含高鐵、臺鐵、捷運、輕軌)調適指引章節架構規劃。

(2) 完成高鐵與臺鐵調適指引內容及應用案例研析。

(3) 完成 2024 年運輸系統因應氣候變遷調適成果彙整及檢討。

2. 預期效益

(1) 瞭解氣候變遷對國內鐵道系統之影響，提供交通部鐵道局、國營臺灣鐵路股份有限公司、台灣高速鐵路股份有限公司、地方政府捷運局、捷運公司參考及應用，俾利調整規劃設計營運之相關法規或規範。

(2) 掌握國際運輸系統調適案例，提供交通部鐵道局、國營臺灣鐵路股份有限公司、台灣高速鐵路股份有限公司、地方政府所屬捷運局、捷運公司參考應用，俾利其滾動檢討調適行動(執行)方案。

3. 預期應用、推動與執行

(1) 鐵道系統全生命週期強化調適能力之研析成果可提供交通部鐵道局、國營臺灣鐵路股份有限公司、台灣高速鐵路股份有限公司、地方政府捷運局、捷運公司等設施權責機關做為檢視既有規劃、設計、營運等相關規範之參考。

(2) 運輸系統氣候變遷調適資訊提供交通部鐵道局、國營臺灣鐵路股份有限公司、台灣高速鐵路股份有限公司、地方政府捷運局、捷運公司等設施權責機關辦理調適相關業務之參考應用。

1.5 計畫流程與步驟

2025 年之計畫流程如圖 1.5-1 所示，主要工作項目說明如下：

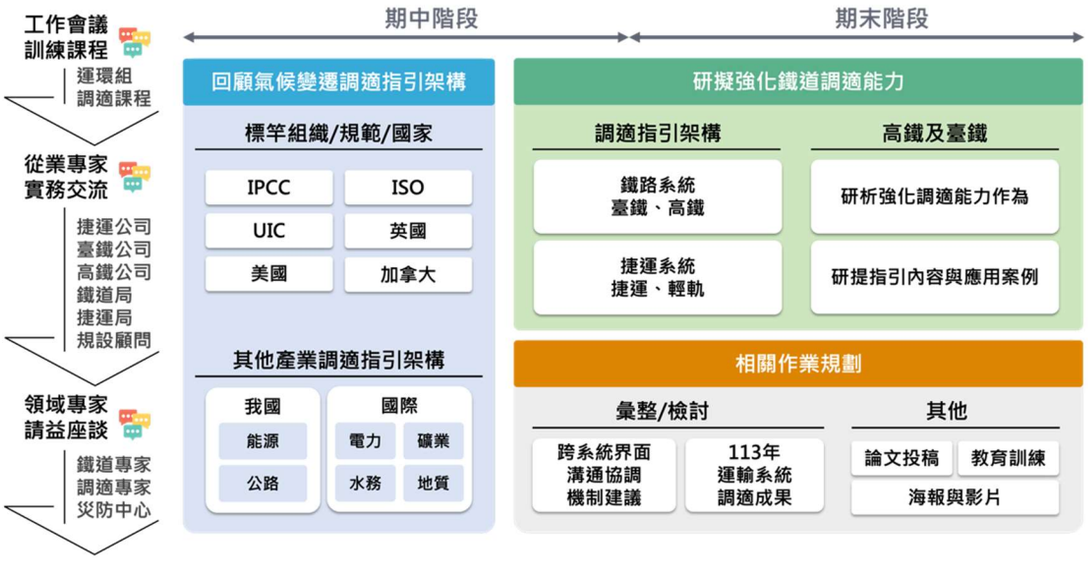


圖 1.5-1 計畫流程圖

1. 回顧國內外鐵道系統氣候變遷調適文獻

國際上在氣候變遷調適發展數十年，國際標準化組織亦於 2019 年發布 ISO14090 等系列之氣候變遷調適標準與指引。本計畫回顧國際標竿系統於鐵道調適指引相關文獻，並彙整相關實踐案例，同時一併參考其他重要基礎設施系統之調適指引，供後續規劃我國鐵道系統調適能力指引架構與發展指引內容時參採。

2. 研擬鐵道系統調適指引架構

本計畫針對國內鐵路與捷運系統之調適現況進行盤點，並於鐵道系統全生命週期階段中，研擬適用我國鐵道系統之調適指引架構，成果詳第四章。

3. 研提高鐵與臺鐵調適指引內容與案例研析

針對高鐵與臺鐵之調適指引內容與案例研析，研究團隊首先依據高鐵與臺鐵之系統特性與調適作為，研提適用於鐵路系統之調適指引內容，並透過應用案例展示調適指引各步驟的操作過程。

4. 彙整與檢討運輸系統調適成果

本計畫依據《氣候變遷因應法》第 19 條之規定，協助交通部彙整與檢討 2024 年「維生基礎設施」領域調適成果報告，並於過程中探討運輸系統調適策略之方向與建議。

5. 營運機構訪談

考量前述工作項目 2 與項目 3 須仰賴國內鐵道營運機構協助，於 2025 年度計畫辦理過程透過定期或不定期的工作交流會議，邀請營運機構從業專家參與交流，蒐集營運機構在氣候變遷衝擊下所面臨之課題，以及應處之作法與經驗訊。

6. 專家學者座談會

本計畫於 2025 年 9 月 19 日召開 1 場次專家學者座談會，邀請國內鐵道系統權管機關(構)之同仁，並於會中說明我國鐵道系統之調適指引架構、高鐵與臺鐵系統之調適作為與指引內容，徵詢領域專家意見，並做為調整修正本計畫內容之參考依據。

1.6 氣候變遷調適相關名詞定義

參酌我國《氣候變遷因應法》、《氣候變遷風險評估作業準則》、《氣候變遷專有名詞手冊》，以及聯合國 IPCC 評估報告、英國 NR WRCCA 等對於氣候變遷調適相關名詞之定義，綜整本計畫所採用氣候變遷調適相關名詞之定義彙整如表 1.6-1 所述：

表 1.6-1 氣候變遷調適相關名詞定義彙整表

中文名詞	英文名詞	定義
氣候變遷調適	Climate Change Adaptation	人類與自然系統為回應實際、預期氣候變遷風險或其影響之調整過程，透過建構氣候變遷調適能力並提升韌性，緩和因氣候變遷所造成之衝擊或損害，或利用其可能有利之情勢。

中文名詞	英文名詞	定義
氣候變遷風險	Climate Change Risk	氣候變遷衝擊對自然生態及人類社會系統造成的可能損害程度。氣候變遷風險的組成因子為氣候變遷危害度、暴露度及脆弱度。
危害	Hazard	可能發生的自然或人為的危害事件或趨勢，其可能導致生命損失、傷害或其他人類健康影響，以及財產、基礎設施、生計、服務提供、生態系統和環境資源之毀壞和損失。
暴露度	Exposure	指存在於可能受不利影響的地方和環境中的人群、生計、物種或生態系統、環境功能、服務和資源、基礎設施，或經濟、社會或文化資產。
脆弱度	Vulnerability	指受到不利影響的傾向或導向。脆弱度包括各種概念和要素，包括對傷害的敏感性或易感性以及缺乏應對和應對的能力調適。
敏感度	Sensitivity	指某個系統或物種受氣候變異或變化影響的容易程度，包含不利和有利的影響，影響可能是直接或間接的。
調適能力	Adaptive capacity	系統、機制、人類和其他生物調適以應對潛在損害、利用機會或應對後果的能力。
韌性	Resilience	系統面臨危害的衝擊下持續提供服務的能力，由抵禦能力、可靠度、備援能力、反應與恢復能力四要素組成。
抵禦能力	Resistance	透過提高系統的耐受度，防止系統損壞或服務中斷。
可靠度	Reliability	確保基礎設施在設計上能夠應對各種情況，以降低災害造成的損害或損失。
備援能力	Redundancy	透過備援設施或是備用的運輸容量，使其能夠持續提供服務。

中文名詞	英文名詞	定義
反應與恢復能力	Response & Recovery	透過事先規劃、準備和演練，使其面對衝擊時，能夠做出快速有效的應對措施及恢復服務。

資料來源：[83,85,160]及本計畫整理

第二章 鐵道系統調適作法與趨勢

本章首先摘錄前期成果，再依序探究環境部《氣候變遷風險評估作業準則》、國際標準、鐵道系統標竿機構之調適指引架構及其內容，俾供本年度研擬鐵道系統調適指引架構及其內容之參據。另有鑒於鐵道系統調適機制之相關文獻相對較少，爰本計畫蒐整調適策略相關文獻蒐整過程中，瞭解國外針對其他重要基礎設施的調適做法與內涵，例如：水務公用事業、電力公司及能源產業等，透過其他事業對於調適業務推動架構、內容及相關應用工具的瞭解，以臻本計畫研擬鐵道系統調適指引架構與內容之完善。

2.1 前期計畫回顧

本計畫於 2024 年已回顧鐵道標竿機構於氣候變遷之調適相關文獻，包括：鐵道系統調適發展方向及趨勢、強化系統調適能力、新科技應用及相關案例等；過程中亦邀集鐵道營運機構、規劃建設單位及監理機關等專家向其請益，蒐集國內鐵道系統(含台灣高鐵、臺鐵、捷運及輕軌)調適方法，以掌握我國鐵道系統調適現況；此外，本計畫亦邀請領域專家對於整體研究成果進行座談，最終研訂出強化我國鐵道系統韌性之機制方法以及架構，同時搭配研擬案例展示整體作業流程。

前述適用我國鐵道系統環境之調適架構包含有：界定範疇、現況與未來風險評估、研擬調適策略、調適選項評估、推動執行及檢討修正等流程步驟，強調過程中應邀集利害關係者共同參與、透過風險導向與資產管理互相扣合，於鐵道系統在全生命週期的各個階段內，均能納入氣候變遷調適概念之相關作業，相關概念示意流程如圖 2.1-1 所示。

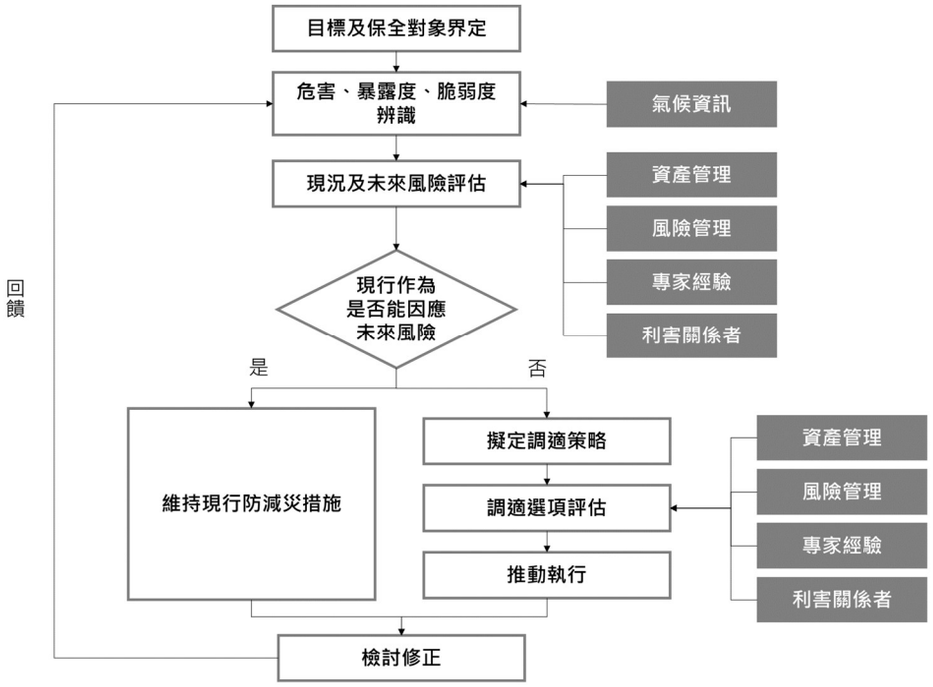


圖 2.1-1 鐵道系統全生命週期納入調適概念示意圖

另有關氣候變遷調適及氣候風險因子之定義，本計畫主要係以我國《氣候變遷因應法》第 3 條第 2 款所揭氣候變遷調適及其組成因子，包含氣候變遷調適係指人類與自然系統為回應實際、預期氣候變遷風險或其影響之調整適應過程，透過建構氣候變遷調適能力並提升韌性，緩和因氣候變遷所造成衝擊、損害、可能有利之情勢，以及同條第 3 款所敘明氣候變遷風險係氣候變遷衝擊對自然生態及人類社會系統造成的可能損害程度，以及氣候變遷風險組成因子為氣候變遷危害、暴露度及脆弱度等定義外，同時參酌聯合國 IPCC 在 AR6 之 WG2 所採行有關風險係「危害、暴露度及脆弱度」之交集，其風險模型架構如圖 2.1-2 所示。



圖 2.1-2 氣候變遷風險模型示意圖

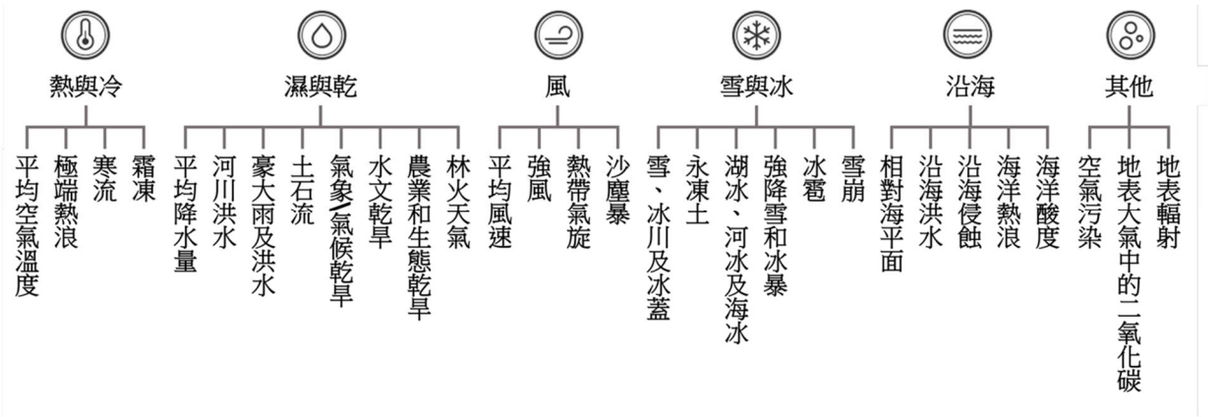


圖 2.1-3 CID 類型及類別示意圖

資料來源：[107]與本計畫整理

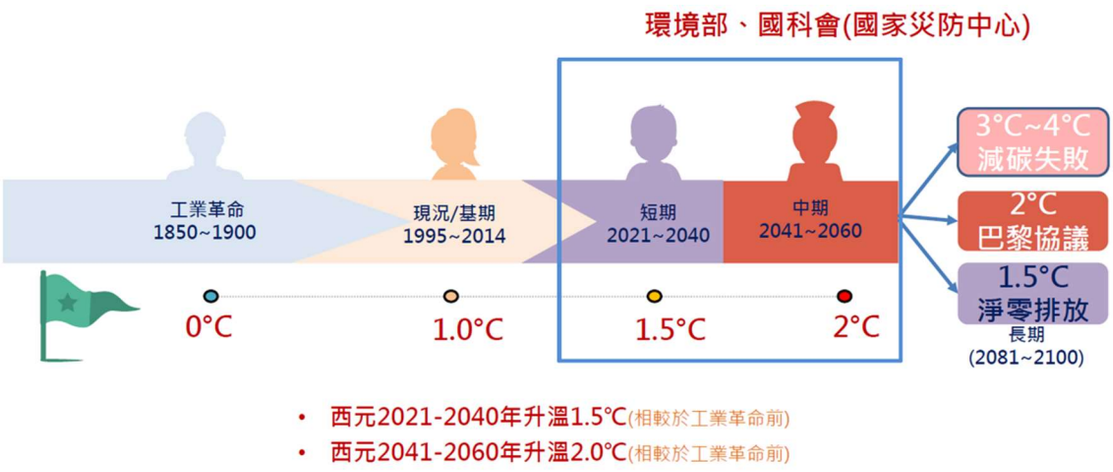


圖 2.1-4 國家氣候變遷調適應用情境設定示意圖

資料來源：[312]

前期計畫成果中，根據氣候危害與鐵道系統全生命週期不同階段之調適選項進行系統分類與彙整，以利相關單位依據其特性與需求查找相應案例，做為擬訂與研提調適選項之參考。以極端高溫為例，摘錄其對於鐵道系統之衝擊如表 2.1-1 摘錄。

表 2.1-1 鐵道系統-極端高溫調適選項表

危害 (CID 類別)	對鐵道系統之衝擊	生命週期	
		規劃設計階段	營運維護階段
極端高溫	鋼軌挫屈	• 在鋼軌安裝(額外的)膨脹接頭 • 調整容許軌溫之設計標準	• 增加遮蔽以減少熱暴露 • 夏季來臨前，針對高風險路段進行鋼軌應力解除，以預留更多伸縮空間 • 更換軌道元件和鋼軌，使用更耐高溫的材料 • 限制列車載荷以避免鋼軌挫屈 • 提高維護作業頻率，如清洗與更換道碴 • 開發或精進檢測鋼軌挫屈的方法 • 將鋼軌塗成白色減少熱量吸收與膨脹 • 設置軌道溫度計量測軌溫 • 設置自動灑水系統
	基礎設施結構熱脹、老化	• 使用更耐用材料建造橋面，包括鋼筋混凝土 • 使用能依據溫度變化自動調整的張力的電車線設備	• 提高巡檢和維護作業頻率 • 更換橋梁伸縮縫 • 建立監測和自動灑水系統
	電車線斷裂、掉落	• 使用能依據溫度變化自動調整的張力的電車線設備	• 提高巡檢和維護作業頻率
	號誌/電力/電子設備過熱故障	• 提升變電站、號誌機房和電氣箱的通風和冷卻系統 • 使用能承受更高溫度的電車線設備	• 更換為能承受更高溫度的設備 • 提高巡檢和維護作業頻率 • 建立監測系統

資料來源：本計畫整理

2.2 我國調適指引架構

為建構我國鐵道系統適用之調適架構並發展其指引內容，本節回顧我國與調適相關的架構及指引，包括《氣候變遷因應法》及其施行細則，以及依據前法所授權訂定之《氣候變遷風險評估作業準則》之相關法定工作，另就本所過去如「公路系統規劃階段調適指引」等研究成果，透過比較與探討方式，提供本計畫賡續研擬鐵道系統調適指引架構及內容，以及與國家調適架構及其他領域互相對照。

2.2.1 氣候變遷風險評估作業準則

面對氣候變遷對國內各易受衝擊領域的影響及因應，我國於 2023 年 2 月將《溫室氣體減量及管理法》修正為《氣候變遷因應法》並新增調適專章，除要求各級政應參酌國內外最新氣候變遷科學研究、分析及情境推估進行相關法律及政策之規劃管理外，並於同法第 18 條第 3 項之授權，於 2025 年 7 月發布施行《氣候變遷風險評估作業準則》，提供各級政府機關(構)執行調適作業之參考依據。

根據前揭作業準則第 4 條與第 8 條所揭，氣候變遷調適作業可分為「氣候變遷風險評估」及「研擬、推動氣候變遷調適之方案及策略」二大階段，其中在「氣候變遷風險評估」階段主要包含「界定範疇」、「檢視資源及氣候衝擊現況」及「評估未來氣候變遷風險」等三項調適構面；至於「研擬、推動氣候變遷調適之方案及策略」階段，主要包含「調適選項規劃及綜整決策」、「推動或執行調適選項」及「檢討或修正調適選項」等三項調適構面，該準則之架構如圖 2.2-1 所示。

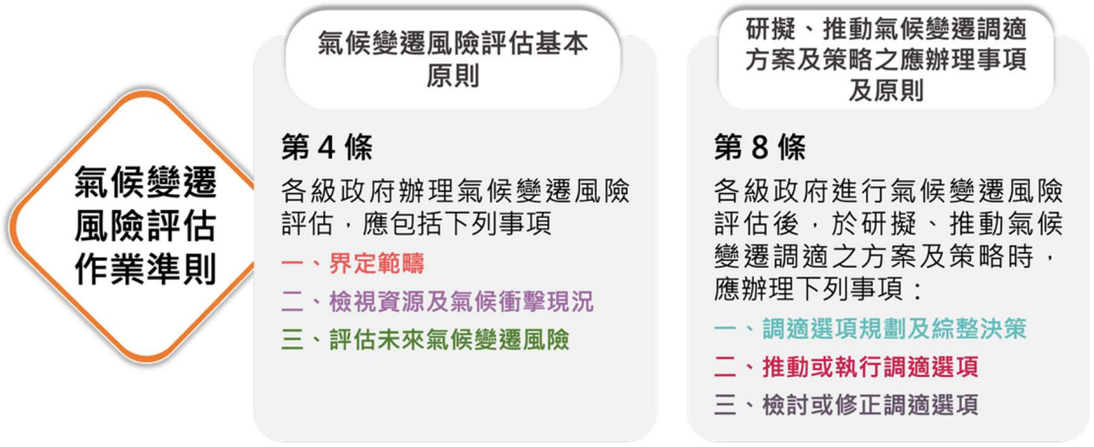


圖 2.2-1 氣候變遷風險評估架構對照圖

資料來源：[394,427]及本計畫整理

茲就《氣候變遷風險評估作業準則》之重點摘整如下，內容及對應條文、辦理事項等彙整如表 2.2-1 所述。

1. 界定範疇：包含確立保全對象、辨識影響保全對象之氣候危害類型及其暴露之時空範圍，並邀集有關機關、學者及民間團體界定評估範疇，以掌握各利害關係者關注議題，取得共識，並有助於在實施調適策略時獲得更大的支持和合作。

2. 檢視資源及氣候衝擊現況：包含檢視可掌握資源及現況氣候風險評估，其中，現況氣候風險評估係透過歷史氣候觀測相關資訊，針對現況衝擊與脆弱度進行量化、半定量，或質化方式評估。

3. 評估未來氣候變遷風險：與現況風險相異，未來風險關注長時間氣候變遷因子所造成之風險，透過科學推估資料，設定調適應用情境，以評估未來氣候變遷下，未來危害度與脆弱度對保全對象之衝擊與風險。

4. 調適選項規劃及綜整決策：進行辨識、評估及選擇調適選項，以因應現況及未來氣候變遷風險。

5. 推動或執行調適選項：掌握調適執行進度的同時，藉由建立成效評估指標，或是透過訪談、焦點團體、專家諮詢等方式，幫助組織檢視調適選項之執行成效。

6. 檢討或修正調適選項：藉由循環機制過程，參採最新氣候變遷科學報告

及相關科研建議，滾動進行氣候變遷風險評估，並檢討調適策略及方案之適切性，做為未來調適方案及改善方向之參考。

表 2.2-1 氣候變遷風險評估作業準則彙整表

階段	構面	應辦理事項或原則	參考文獻與研究方法
氣候變遷風險評估(第 4 條)	界定範疇(第 5 條)	• 確認易受氣候變遷影響對象、對應之業務範疇及權責機關 • 評估易受氣候變遷影響對象之氣候危害類型、可能受影響之時間、空間尺度及範圍 • 邀集有關機關、學者、專家、民間團體，共同界定評估範疇	• 法規及標準 ▫《氣候變遷因應法》第 19 條 ▫AA1000 利害關係者議合標準 2015 年版(Stakeholder Engagement Standard, AA1000 SES 2015)
	檢視資源及氣候衝擊現況(第 6 條)	• 盤點權責機關及易受氣候變遷影響對象之可掌握資源 • 評估氣候衝擊現況 • 規劃衝擊評估方法	• 研究方法 ▫案例研究和比較分析法 ▫情境分析法 ▫敏感度分析法 ▫訊息共享方法 ▫關鍵物種監測法 ▫專家問卷調查法
	評估未來氣候變遷風險(第 7 條)	• 採用最新氣候變遷科學報告，並參考國內外科學研究機構及政府單位之相關研究與建議 • 依調適應用情境，評估易受氣候變遷影響對象及其業務範疇之未來衝擊與風險 • 依據現況風險之評估結果及衝擊評估方法，進行未來氣候變遷風險評估 • 辨識調適差距或指認高風險地區 • 邀集相關機關、學者、專家及民間團體，共同檢視調適差距或高風險地區之合理性	• 參考指引 ▫經濟部水利署「水利署氣候變遷調適參考指引」 ▫本所「公路系統規劃階段強化調適指引」 ▫經濟部能源署「能源部門因應氣候變遷風險評估指引」
研擬、推動氣候變遷	調適選項規劃及綜整決策	• 以降低調適差距為目標，擬訂調適選項及推動期程	• 研究方法 ▫動態調適路徑

階段	構面	應辦理事項或原則	參考文獻與研究方法
調適之方案及策略(第 8 條)	(第 9 條)	• 評估調適選項之有效性、可行性、可能之負面影響、附加效益 • 評估優先執行之調適選項 • 參考有關機關、學者、專家及民間團體之意見，做為調適選項規劃及綜整決策依據	▫ 系統動力學 ▫ 成本效益分析 ▫ 多準則分析 ▫ 未來環境變遷模擬調適情境效力評估
	推動或執行調適選項(第 10 條)	• 調適選項推動期程之符合程度 • 建立量化評估指標，或透過訪談相關團體、諮詢專家等方式，評估調適選項或計畫之執行成效	• 執行方式 ▫ 透過訪談、焦點團體、專家諮詢等建立指標 ▫ 採德爾菲(Delphi)法進行調適效益評估
	檢討或修正調適選項(第 11 條)	• 降低調適差距之執行情形 • 針對易受氣候變遷衝擊之跨領域調適策略、政策或計畫實施內容，評估潛在之正、負面影響 • 彙整執行調適選項與行動過程之調適障礙，並提出未來解決方案 • 最新氣候變遷科學報告，並參考國內外科學研究機構及政府單位之相關研究與建議，滾動進行風險評估及修正調適選項	• 執行方式 ▫ 建立指標性評估架構

資料來源：[314, 427]及本計畫整理

2.2.2 CCA6Steps 氣候調適 6 步驟

氣候調適演算法(Climate Adaptation Algorithm)為 TCFD 知識庫(TCFD Knowledge Hub)認可之方法學之一，係從跨層級、跨領域因應氣候變遷的角度建立[257]。該演算法是由氣候調適 6 步驟(Climate Adaptation 6 Steps, CCA6Steps)組成，CCA6Steps 由氣候實體風險模板(Climate Risk Template)及氣候韌性調適路徑(Climate Resilient Adaption Pathway)組成，前者為風險定性分析工具，並便於治理組織劃分其權責；後者則做為實施調適選項之評估工具，各步驟重點摘錄如下：

1. 界定問題和目標：包括成立調適委員會、界定關鍵議題、進行跨領域分析以及設定目標。其中，調適委員會係由利害關係者組成，類似共同願景計畫(Shared Vision Planning, SVP)概念，除能確保調適策略及方案的可行性外，亦可提升公信力。

2. 評估現況氣候風險：透過回顧相關研究及氣候事件資料，分析氣候風險的成因及熱點區域。

3. 評估未來氣候風險：納入未來氣候變遷和社會經濟情境進行分析，其情境可選擇適當之全球環流模式(Global Circulation Models, GCMs)及代表濃度路徑(Representative Concentration Pathways, RCPs)來決定。藉由現況與未來情境之分析比較結果，評估未來氣候風險差距，做為後續擬定調適策略之參考。

4. 界定氣候調適選項：根據現況及未來氣候風險評估結果，並綜合考量風險成因，研擬適切之適選項。

5. 規劃氣候調適路徑：依據調適選項進行調適路徑規劃，調適路徑需綜合評估不同情境中的調適選項成本、效益及臨界點，以便應對多變化的未來氣候。其中有關調適選項之優先順序，係由調適委員會所決定，俟確認調適選項優先順序後，再確認調適路徑之轉換時機與條件。

6. 監測與修正氣候調適路徑：依據調適路徑規劃結果進行後續執行之監測及滾動調整，其中，調適委員會應確認監測氣候風險之關鍵因素，以及評估調適計畫是否具備有效性。

CCA6Steps 氣候調適 6 步驟皆屬 PDCA 循環中的計畫(Plan)階段，如圖 2.2-2 所示，而各步驟涵蓋之調適工作所需資料、工具及產出，彙整如表 2.2-2 所述。

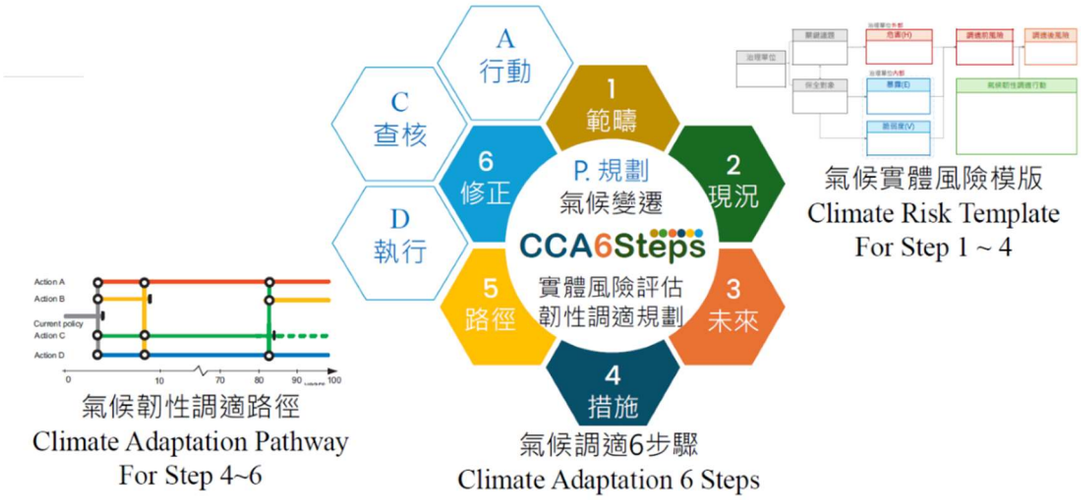


圖 2.2-2 CCA6Steps 氣候調適 6 步驟示意圖

資料來源：[382,387]

表 2.2-2 CCA6Steps 氣候調適 6 步驟評估流程彙整表

步驟	工作項目	所需資料	工具或程序	產出
1. 界定問題與設定目標				
氣候變遷調適專門委員會之組成	確立主政部門與承辦人	主政部門建議表	啟動會議	專門委員會總召集人 主政部門與承辦人
	組成負責之專業團隊	專業團隊資料庫	委託程序	專業執行團隊人員名單
	組成參與的利害關係者	• 內部利害關係者資料庫 • 外部利害關係者資料庫	啟動會議	• 內部利害關係者名單 • 外部利害關係者(含專家諮詢委員)名單
	確立專門委員會之運作方式	• 專門委員會總召集人 • 主政部門與承辦人 • 專業團隊人員名單 • 內部利害關係者名單 • 外部利害關係者(含專家諮詢委員)名單	調適專門委員會	專門委員會之合作與分工方式
關鍵議題之界定	蒐集國內外氣候變遷關鍵議題	• 國內外氣候變遷相關文獻資料庫 • 規劃對象或領域之原有規劃報告	各資料庫提供之搜尋引擎	規劃對象或領域之氣候變遷關鍵議題原有規劃報告

步驟	工作項目	所需資料	工具或程序	產出
				之關鍵議題、調適方案與設定目標
	在地問題分析	歷史極端氣象與災害事件資料庫	• 調適工作坊 • 訪談會議	在地關注議題
	界定擬解決的關鍵議題及系統範圍	規劃對象或領域之氣候變遷關鍵議題與在地關注議題、調適方案與設定目標	• 調適工作坊 • 工作會議	• 關鍵議題與系統範圍 • 關鍵議題之狀態與驅動力因子
跨領域關聯分析	界定關鍵議題之跨領域影響範圍	• 關鍵議題與系統範圍 • 關鍵議題之狀態與驅動力因子	跨領域評估工具(關聯分析)	• 關鍵議題跨領域影響領域及因子 • 專門委員會之建議修正名單
	檢討調適專門委員會之組成	• 關鍵議題跨領域影響領域與因子 • 專門委員會之建議修正名單	調適專門委員會	• 修正後之專業團隊名單 • 修正後之內部利害關係者名單 • 修正後之外部利害關係者名單
目標之設定	分析及檢討與關鍵議題相關之原有策略目標	規劃對象或領域之氣候變遷關鍵議題與在地關注議題、調適方案與設定目標	工作會議	關鍵議題與策略目標之建議方案
	建立策略目標之評估項目	關鍵議題與策略目標之建議方案	工作會議	策略目標之建議評估項目與系統範圍
	確定目標	策略目標之建議評估項目與系統範圍	調適專門委員會	• 調適目標、評估項目、目標年 • 調適計畫之執行期程
2. 評估與分析現況風險				
歷史事件之風險分析	蒐集關鍵議題相關之歷史事件風險評估結果	歷史極端氣候與災害事件資料庫	搜尋引擎	• 歷史極端氣候災害事件之描述 • 災害事件之空間分布或影響範圍
	鑑別風險成因	• 歷史極端氣候災害事件之描述 • 災害事件之空間分布或影響範圍	風險成因分類程序	由歷史事件鑑別之熱點及風險成因(區別危害、暴露或脆弱度)

步驟	工作項目	所需資料	工具或程序	產出
評估模擬模式之驗證	模式檢定	模式檢定所需之資料(輸入、輸出、參數)	• 模式所需資料之品質評估 • 各領域評估模式	• 檢定模式結果與資料品質說明 • 已檢定之模式參數
	模式驗證	• 模式驗證所需之資料 • 已檢定之模式參數	各領域評估模式	模式檢定驗證結果說明(含已驗證之參數)
利用現況氣象資料進行風險模擬	定義評估指標	• 策略目標之建議評估項目與系統範圍 • 建議之評估指標	工作會議	• 評估指標之定義與評估方法 • 可接受之風險
	輸入歷史資料進行模擬與分析	• 模式輸入之歷史觀測資料 • 已驗證之模式參數	• 各領域評估模式 • 評估指標之定義與評估方法	現況風險指標之量化結果
	鑑別熱點及風險成因	• 由歷史事件鑑別之熱點及風險成因 • 現況風險指標之量化結果	風險成因分類程序	• 現況分析之風險成因 • 說明模式合理性與不確定性
3. 評估與分析未來風險				
情境設定	設定氣候情境	• GCM 模式輸出結果 • 參考氣象站資訊與歷史氣象觀測資料	• GCM 分析與挑選工具 • 簡易降尺度方法	• 選定之 GCM • 基期氣候情境 • 未來氣候情境
	設定社會經濟情境	• 訂定社會經濟情境所需之相關資料 • 社會經濟之建議情境	• 工作會議 • 調適工作坊	• 模式所需基期社會經濟情境 • 模式所需未來社會經濟情境
評估基期風險	合成基期氣象資料	基期氣候情境與氣象合成模式所需之參數	氣象合成模式	基期之合成氣象資料
	進行基期風險模擬與分析	• 已驗證之模式參數 • 基期之合成氣象資料 • 基期社會經濟情境	• 各領域評估模式 • 評估指標之定義與評估方法	基期風險指標之量化結果

步驟	工作項目	所需資料	工具或程序	產出
評估未來風險	合成未來氣象資料	• 基期統計氣候特性 • 未來氣候情境	氣象合成模式	未來氣象合成資料
	進行未來風險模擬與分析	• 已驗證之模式參數 • 未來氣象合成資料 • 未來社會經濟情境	• 各領域評估模式 • 評估指標之定義與評估方法	未來風險指標之量化結果
比較基期與未來之風險差異	鑑別基期與未來風險差異與成因	• 基期風險指標之量化結果 • 未來風險指標之量化結果 • 可接受之風險	風險差異分析程序	風險評估報告說明未來缺口差異，與未來風險成因（危害、暴露或脆弱度）
4. 界定與評估調適選項				
界定調適選項	針對風險來源蒐集可能的調適選項	• 可行調適選項 • 風險評估報告	風險鑑別分析程序	對應風險成因之調適選項列表
	蒐集當地智慧調適選項	• 歷史極端氣象災害事件之描述 • 災害事件之空間分布或影響範圍	調適工作坊	對應風險成因之當地智慧調適選項列表
	彙整調適選項	• 對應風險成因之調適選項列表 • 對應風險成因之當地智慧調適選項列表	調適工作坊	彙整之調適選項
評估調適選項	擬訂調適選項評估準則	建議之準則，可參考英國氣候衝擊評估計畫 UKCIP[1] 或 TaiCATS[2]	工作會議	調適選項之評估準則
	決定評估準則之權重	調適選項評估準則	調適工作坊	調適選項評估準則之權重
	依據各準則評估調適選項或組合	• 彙整之調適選項 • 調適選項之評估準則 • 調適選項評估準則之權重 • 調適目標缺口	多準則排序評估法、層級分析法或其他決策方法	優選之調適選項或組合

步驟	工作項目	所需資料	工具或程序	產出
	產出策略行動計畫	優選之調適選項或組合	專門委員會會議	策略行動計畫
5. 規劃與執行調適路徑				
規劃調適路徑	制定調適路徑圖	策略或行動計畫	調適路徑建構程序	• 調適路徑圖 • 可行調適路徑選項與多準則評估結果
	制定調適路徑	• 調適路徑圖 • 可行調適路徑選項與多準則評估結果	調適工作坊	調適路徑
制定調適執行計畫	確定分工與執行單位	調適路徑	• 工作會議(提出初步建議) • 專門委員會議	調適執行計畫(分工與權責名單)
6. 監測與修正調適路徑				
制定環境監測計畫	決定監測項目	• 現況分析之熱點與風險成因 • 評估指標之定義與評估方法	• 工作會議 • 各領域之評估模式 • 環境監測計畫建構程序說明	環境監測計畫之建議案(包含項目與分工)
	決定環境監測計畫	• 環境監測計畫之建議案(包含項目與分工) • 調適計畫分工與權責名單 • 利害關係者名單(說明中強調利害關係者參與)	調適專門委員會議	環境監測計畫
制定調適路徑執行檢覈計畫	決定檢覈指標	調適執行計畫(分工與權責名單)	工作會議	• 程序指標 • 成效指標
	決定檢覈方式	• 程序指標 • 成效指標 • 調適執行計畫(分工與權責名單)	• 調適工作坊 • 調適專門委員會議	調適路徑執行檢覈計畫
制定調適路徑修正計畫	制定修正計畫	• 監測指標 • 檢覈指標 • 調適執行計畫	• 調適路徑修正機制建構程序 • 調適專門委員會議	調適路徑修正計畫

附註 1:英國氣候衝擊評估計畫(UK Climate Impacts Programme)，簡稱 UKCIP。

附註 2:臺灣氣候變遷調適科技整合研究計畫(Taiwan integrated research program on Climate Change Adaptation Technology, TaiCCAT)。

資料來源：[376]與本計畫整理

2.2.3 公路系統規劃階段調適指引

為提升公路系統因應氣候變遷之調適能力，本所於 110-111 年「公路系統因應氣候變遷強化調適能力之探討」計畫，完成撰擬《公路系統規劃階段氣候變遷調適指引》[336]，提供公路系統權管機關(構)參考，隨後配合《氣候變遷風險評估作業準則》之步驟，於 115 年將氣候變遷調適之應處作為，應用在「可行性研究」及「綜合規劃」等階段，並透過國內外實際案例，協助公路系統專案有效執行氣候風險評估及相應的調適策略。

該指引依作業內容細分為「資料蒐集分析、方案研擬評估、工程研究評估、通車營運」四個子階段，並融入「前置作業、氣候變遷情境與相關資料蒐集分析、評估影響調適能力的氣候風險因素、氣候變遷風險評估、檢討及修正」五項作業。茲將公路系統調適指引應用索引與導入程序呈現如圖 2.2-3 及圖 2.2-4 所示，相關融入各項作業說明如下。



圖 2.2-3 公路系統調適指引-應用索引架構圖

資料來源：[336]

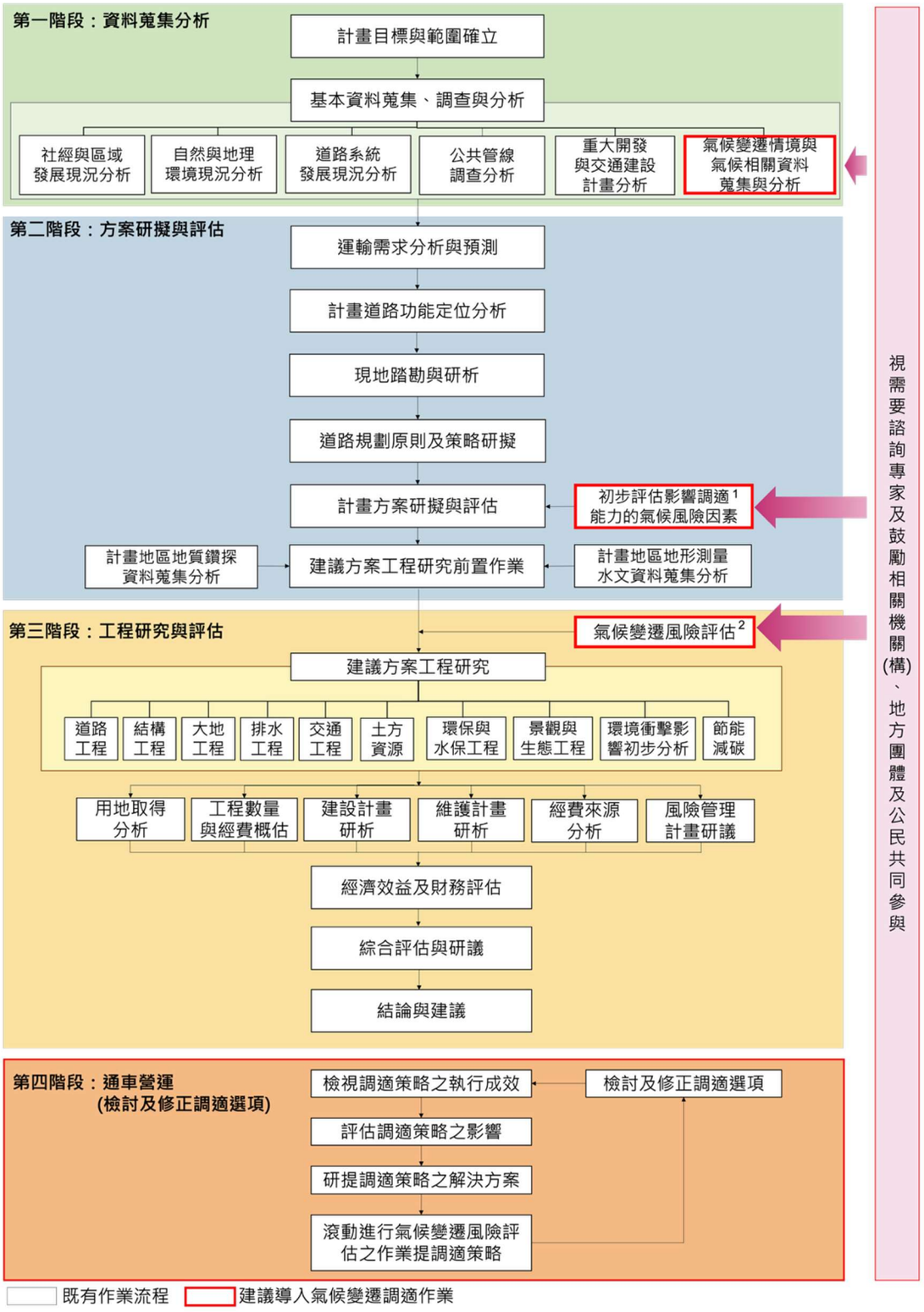


圖 2.2-4 公路系統調適指引-規劃作業融入調適流程示意圖

資料來源：[336]

1. 前置作業

考量工作涉及層面廣泛，公路調適指引中建議規劃專案進行「氣候變遷風險評估」時一併參考 ISO 14091 規範內容，同時在氣候變遷風險評估前先完成以下前置作業：

(1) 界定評估背景、訂定目標與預期成果。

(2) 組成氣候變遷調適工作小組。

(3) 確定評估範疇與方法、設定時間範疇。

(4) 蒐集氣候變遷相關資料並確定分析方法。

(5) 其他相關程序(制定執行計畫、確保評估過程的透明度、設計完善的參與機制)。

2. 子階段 1：資料蒐集分析

公路調適指引建議此階段新增「氣候變遷情境與氣候相關資料蒐集分析」作業，內容包括回顧過往氣候型態、設定未來氣候變遷情境、蒐集與分析氣候相關資料，並透過以下五個評估項目彙整資訊至「公路計畫氣候變遷資料蒐集分析資訊綜理表」，如表 2.2-3 所示。

(1) 未來專案及周邊地區將面臨那些氣候壓力？

(2) 這些氣候壓力對於專案及周邊地區可能的影響是甚麼？那些區位、範圍相對易受影響？

(3) 對於專案可能的風險是甚麼？

(4) 可能的影響程度為何？

(5) 有哪些潛在因應對策可運用？

表 2.2-3 公路計畫-氣候變遷資料蒐集分析資訊綜理表

氣候壓力	可能的衝擊	易受衝擊區位、範圍	風險研判	影響程度	潛在因應對策
強降雨	強降雨造成淹水衝擊公路設施	○○區南側○○溪兩岸	因強降雨造成平面道路淹水，	嚴重	加強道路排水

			導致道路阻斷，居民無法進出		

資料來源：[336]及本計畫整理

3. 子階段 2：方案研擬與評估

公路調適指引建議此階段增設「初步評估影響調適能力的氣候風險因素」作業，其內容包含指認氣候風險之危害因素、暴露因素及脆弱因素，並建立氣候衝擊鏈，初步評估影響調適能力的氣候風險因素。若於「可行性評估」階段，報告中須對「路網及路廊尺度」進行分析，並彙整至「路廊潛在氣候變遷風險說明表」，如表 2.2-4 所述。

表 2.2-4 公路計畫-路廊錢在氣候變遷風險說明表

區位	危害因素	暴露因素	脆弱因素	潛在衝擊說明	危害度(5 級)	暴露度(5 級)	脆弱度(5 級)	風險評級	因應策略
OO 鄉東側	強降雨	聯外道路、交通量	土石流潛勢區	連續強降雨造成土石流中斷道路服務，影響居民生活	3	3	3	中	可快速修復的道路設計方式
OO 鄉南側	強降雨	電廠維修道路	土石流潛勢區	連續強降雨造成土石流中斷道路服務，影響電廠維運	4	4	4	中高	強化電廠維運配套措施
…									

資料來源：[336]及本計畫整理

4. 子階段 3：工程研究與評估

公路調適指引建議此階段增設「氣候變遷風險評估」作業，內容包含執行氣候變遷風險評估及回報評估結果。若於「綜合規劃」階段，報告中須對「路段尺度」進階分析，篩出可行性研究「中度風險」以上區位重新進行風險評估、確認關鍵組件、提出調適策略或措施，並彙整至「公路計畫氣候變遷風險評估表」，如表 2.2-5 所述。

表 2.2-5 公路計畫-氣候變遷風險評估表

區位	關鍵組件	危害因素	暴露因素	脆弱因素	潛在衝擊說明	危害度	暴露度	脆弱度	風險評級	調適策略
○○鄉東側	橋梁	強降雨	聯外道路、交通量	土石流潛勢區	橋梁因連續強降雨造成土石流，橋樑結構毀損	4	4	4	中高	(工程措施）導入可快速修復的橋梁設計
○○鄉南側	隧道	強降雨	電廠維修道路	土石流潛勢區	連續強降雨造成土石阻斷隧道出口	2	2	2	中低	(管理措施)採半日單向通行，導入交通管理措施，利用時間排除土石

資料來源：[336]及本計畫整理

5. 子階段 4：通車營運(檢討及修正調適選項)

有鑑於未來氣候變遷的不確定性，規劃期間擬訂之氣候變遷調適計畫及調適選項，於通車營運期間應透過機制進行相應之檢討與修正。雖然該指引主要係就規劃階段提出風險評估與調適策略之相關建議，惟在營運期間仍建議定期檢視調適計畫並進行氣候風險評估，驗證已實施的措施是否已達預期效果，倘未達預期，建議需採取相應措施。

茲將此指引各步驟涵蓋之調適工作所需資料、工具及產出，彙整如表 2.2-6 所述。

表 2.2-6 公路計畫-調適指引流程彙整表

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法	產出
1. 前置作業				
界定評估背景、訂定目標與預期成果	定義風險	• 現有或計畫流程和活動 • 現有機構風險、氣候變遷評估方式及人才 • 相關法規	• 定義運輸系統面臨風險、危害、流程、調適相關知識、利害關係者、外在因素、法規義務	• 風險定義及特性

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法	產出
	確認目標與預期成果	• 基礎資料(如組織文獻、風險紀錄等) • 評估資料(利害關係者資訊、專家意見等)	• 確認前期規劃 • 設計執行作業 • 制定後續追蹤	• 預期目標與成果
組成調適工作小組	風險評估與分析	• 機關組織與公路系統面臨之風險資料 • 運輸系統面臨風險的環境資料 • 運輸系統面臨氣候變遷及其一般可能之影響資料	• 蒐集分析各類風險資料 • 評估風險程度與影響範圍	• 風險評估
	行動計畫制定	• 機關(構)內具有決策能力的人員資料 • 擬定行動計畫、目標設定所需資料	• 邀請專家參與 • 擬定行動計畫及確定目標	• 行動計畫書
	溝通協調與執行追蹤	• 定期會議資料 • 評估過程與結果資料	• 定期召開溝通會議 • 蒐集各方意見 • 進行評估驗證	• 會議紀錄 • 意見彙整和評估報告
確定評估範疇與方法、設定時間範疇	確認風險評估範疇	• 公路系統風險特性資料 • 影響族群資料 • 環境與地理範圍資料 • 評估方法資料 • 可用資源資料	• 確認評估系統範圍 • 界定影響對象與區域 • 選定評估方法與尺度 • 盤點資源配置	• 風險評估範疇
	設定時間範疇	• 運輸系統風險生命週期 • 風險傳遞時間尺度 • 調適策略準備時間	• 評估數據可用性 • 分析時間影響與不確定性 • 規劃評估時程	• 時程規劃 • 影響評估時序分析
蒐集氣候變遷相關資料與分析方法	氣候變遷情境設定	• 公路設施設計年限及推估資料 • 國家氣候變遷調適行動計畫	• 確認推估資料符合專案需求 • 以固定暖化情境進行評估	• 風險評估與辨別調適差距之參考情境
	研判資料蒐集項目及需求	• 歷史觀測及現況調查資料 • 未來氣候變遷推估資料	• 盤點公路系統氣候衝擊項目 • 確認五大氣候因素(強降雨、強風、高	• 氣候風險影響評估結果

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法	產出
			溫、暴雨/風浪)影響程度	
	資料不足之處理方式	• 直接推估資料 • 加值推估資料	• 判斷資料是否為直接推估或加值推估 • 自 TCCIP 等取得直接推估資料 • 自 NCDR 等取得加值推估資料 • 確認資料時空解析度是否滿足需求 • 利用內插、外推、降尺度等方式處理不足的資料 • 諮詢相關領域主管機關	• 符合需求的推估資料
其他相關程序	制定執行計畫	• 前述作業	• 研擬執行風險評估的計畫 • 執行計畫應包含工作項目、負責人員與期程規劃等	• 執行計畫書
	確保評估過程的透明	• 前述作業	• 評估過程需公開透明，包含方法論、決策流程及不確定性的處理	• 確保結果的可信度與公信力
2. 子階段 1：資料蒐集分析				
增納調適工作項目	增納調適工作項目	• 公路系統規劃書	• 增納「氣候變遷情境與氣候相關資料蒐集與分析」工作項目	• 第一階段調適工作項目
氣候變遷情境與氣候相關資料蒐集與分析	回顧過往氣候形態	• 過往氣候資訊 • 相關養護紀錄 • 歷史監測資料 • 歷史災害紀錄	• 評估區域特性 • 瞭解過往氣候條件對專案可能產生的影響 • 瞭解過往氣候條件對專案可能產生的影響	• 辨識氣候壓力因素
	未來氣候變遷情境設定	• 評估年期氣候變遷情境設定	• 參考中央主管機關建議 • 特殊情境諮詢中央主管機關	• 確立氣候變遷情境設定

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法	產出
	氣候相關資料蒐集與分析	• 環境區位特徵 • 設施性質及功能、設計使用年限 • 氣候壓力因素	• 研判所需蒐集之未來氣候推估資訊及相關環境變異資料 • 與過往氣候形態氣候比較	• 公路計畫氣候變遷資料蒐集分析資訊綜理表
3. 子階段 2：方案研擬與評估				
增納調適工作項目	增納調適工作項目	• 公路系統規劃書	• 增納「初步評估影響調適能力的氣候風險因素」工作項目	• 第二階段調適工作項目
初步評估影響調適能力的氣候風險因素	指認氣候風險因素	• 氣候數據 • 地理環境圖資 • 交通系統資料	• 分析潛在危害 • 檢視暴露程度 • 評估脆弱程度 • 進行氣候衝擊鍊分析	• 危害、暴露度和脆弱度評估報告
	初步評估影響調適能力之氣候風險因素	• 前期案例資料 • 專家、利害關係者清單 • 公路系統資產清單 • 災害潛勢推估資料 • 綜合規劃報告之交通量預測數據	• 檢視前例與可靠資料 • 調適工作小組討論：辨識氣候衝擊影響、辨識風險區位等級 • 研擬因應策略	• 路廊潛在氣候變遷風險說明表 • 中、高度風險區位圖 • 因應策略建議
4. 子階段 3：工程研究與評估				
增納調適工作項目	增納調適工作項目	• 公路系統規劃書	• 增納「氣候變遷風險評估」工作項目	• 第三階段調適工作項目
氣候變遷風險評估	執行氣候變遷風險評估	• 相關專案資料	• 確立目標 • 選擇氣候變遷風險分析方法 • 選擇公路基礎設施關鍵組件 • 選擇及確定特定氣候參數 • 指認並描述公路基礎設施與氣候參數之間的交互影響 • 確立氣候風險	• 公路計畫氣候變遷風險評估表

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法	產出
	回報評估結果	• 公路計畫氣候變遷風險評估表	• 溝通氣候變遷風險評估結果 • 回報結果做為調適規劃基礎 • 依據評估結果視需要研擬調適選項	• 評估結果納入風險管理計畫
5. 子階段 4：通車營運				
增納調適工作項目	增納調適工作項目	• 公路系統規劃書	• 增納「檢討及修正調適選項」工作項目	• 第四階段調適工作項目
檢討及修正調適選項	檢視調適策略之執行成效	• 相關專案資料	• 確認原訂定之調適目標 • 檢視調適措施後之實施績效 • 確認調適措施是否符合預期目標，以及瞭解調適策略在降低調適差距之執行情形	• 危害、暴露度和脆弱度評估報告
	評估調適策略之影響	• 前期案例資料 • 專家、利害關係者清單 • 公路系統資產清單 • 災害潛勢推估資料	• 蒐整調適策略執行過程造成之正、負面影響 • 針對易受氣候變遷衝擊之跨領域調適策略、政策或計劃實施內容，評估潛在之正、負面影響	• 公路計畫氣候變遷風險評估表
	研提調適策略之解決方案	• 公路計畫氣候變遷風險評估表	• 彙整執行調適選項與行動過程之調適障礙 • 研提未來解決方案	• 調適策略及調適路徑
	滾動進行氣候變遷風險評估之作業	• 前期案例資料 • 當期氣候變遷科學報告、相關政府單位科學資訊與知識相關報告	• 蒐集與使用當期氣候變遷科學報告、相關政府單位科學資訊與知識相關報告 • 滾動進行氣候變遷風險評估作業，做為調適選項修正之依據	• 評估結果納入風險管理計畫

資料來源：[336]及本計畫整理

2.2.4 能源產業調適指引

工業技術研究院協助經濟部能源署於 2023 及 2024 年分別發布能源產業之「風險評估指引」[315]及「調適策略規劃指引」[316]，以協助我國能源產業建構氣候變遷調適能力及強化氣候韌性，兩份指引亦分別與我國「國家氣候變遷調適架構」之「辨識氣候風險及調適差距」與「調適規劃與行動」兩階段互相呼應。再者，能源指引在調適選項評估方式中，建議將調適選項的直接/間接成本與效益採貨幣化方式進行成本效益評估，有關其調適成本與調適效益定義如下：

1. 調適成本

成本效益分析以年為基本單位攤提計算，因此納入設施剩餘年限、調適選項使用年限與折現概念。投資成本採等額成本法，定義為每年攤提之均化設備成本，之後再轉換未來調適成本至現值，公式如式(1.1)與式(1.2)所示。

$$\textbf{投資成本} = \text{調適選項設備成本} \times \frac{\text{折現率} \times (1+\text{折現率})^{\text{使用年限}}}{(1+\text{折現率})^{\text{使用年限}} - 1} \tag{1.1}$$

$$\textbf{調適成本} = \frac{\text{投資成本} + \text{維護成本} + \text{新增人事成本}}{(1+\text{折現率})^{(\text{完工年}-\text{基準年})}} \tag{1.2}$$

2. 調適效益

(1) 直接效益：為氣候風險衝擊發生時，目標風險資產將損壞且無法修復，必須更換新購設施之情境，可視為投入調適成本後避免的資產損失，採等額年值法計算其均化效益。調適效益加入機率與期望值的概念，為調適效益現值乘以原設施剩餘年限災害發生機率，該機率代表在原設施剩餘年限之內發生災害的情境，如式(1.3)~式(1.5)所示。

(2) 間接效益：指避免氣候衝擊造成社會成本、環境成本等，可藉由蒐集過去類似事件處理報告、環境影響評估報告等資料，以量化調適間接效益，其計算公式與式(1.3)概念相同。倘若未能蒐集到有效可靠

之數據資料，建議可先以前述調適成本及調適直接效益結果進行成本效益分析，以本益比或淨現值評估各項調適選項。

$$\textbf{調適直接效益現值} = \text{新購設施成本} \times \frac{\text{折現率} \times (1+\text{折現率})^{\text{使用年限}}}{(1+\text{折現率})^{\text{使用年限}} - 1} \quad (1.3)$$

$$\textbf{避免設施損失之調適效益期望值} = \text{調適直接效益現值} \times \text{原設施剩餘年限災害發生機率} \quad (1.4)$$

$$\textbf{原設施剩餘年限災害發生機率} = 1 - (1 - \text{災害發生機率})^{\text{設施剩餘年限}} \quad (1.5)$$

茲將兩份指引各步驟涵蓋之調適工作所需資料、工具及產出，分別彙整如表 2.2-7 及表 2.2-8 所示。

表 2.2-7 能源產業-氣候變遷風險評估流程彙整表

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法	產出
1. 確定氣候變遷風險評估動機				
氣候變遷風險治理情形之說明	說明目前與氣候變遷風險有關之治理情形	• 營運內部目標、風險管理政策、年度預算、監督與獎勵制度和執行情況	• 蒐集相關內部文件並說明其所考量之氣候相關議題，或根據氣候治理原則檢視及回應董事會管理階層之職責角色	• 氣候變遷風險治理情形之描述
氣候變遷風險評估之動機與目的之說明	說明氣候變遷風險評估動機	• 可能會影響公司決策之歷史事件、事故及天然災害 • 利害關係者（包含監管單位、投資者、社區等）關注議題 • 影響風險評估之報告、數據、工具或其他資源	• 廣泛考慮評估風險所有因素，訂定氣候變遷風險評估目標及範圍	• 氣候變遷風險評估目標及範圍
	說明氣候變遷風險評估目的	• 氣候變遷風險評估目標及範圍	根據氣候變遷風險評估目標及範圍，訂定評估目的，其建議考量方向包含：	• 氣候變遷風險評估目的

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法	產出
			• 鑑別未知的氣候危害、潛在影響和相關脆弱度 • 表徵和量化氣候脆弱度相關發生機率、衝擊程度與風險 • 優先考量脆弱度以即時因應 • 鑑別互連公用事業、上游供應商和下游消費者相關風險	
2. 氣候變遷風險評估準備作業				
利害關係者鑑別和參與	鑑別利害關係者	• 內部利害關係者資料 • 外部利害關係者資料	• AA1000 利害關係者議合標準 2015 年版 (AA1000 Stakeholder Engagement Standard 2015, AA1000 SES 2015)	• 利害關係者清單
	蒐集利害關係者關注議題	• 利害關係者清單	• 多元溝通管道(包含電話、Email、會議、問卷和網站等)	• 利害關係者關注議題
	蒐集氣候變遷衝擊相關議題	• IPCC 官網 • 極端氣候衝擊相關文獻資料庫	• 搜尋引擎	• IPCC 評估報告 • 極端氣候衝擊事件
	促進利害關係者參與風險評估過程	• IPCC 評估報告 • 極端氣候衝擊事件 • 利害關係者關注議題	透過以下策略增進與利害關係者溝通，並於後續提供氣候變遷風險評估結果讓利害關係者了解，以獲得支持及促成合作契機 • 強調氣候變遷規劃對於顧客與公用事業為有利的商業行為 • 說明氣候如何影響關鍵資產設施與服務	• 增進與利害關係者的溝通

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法	產出
			• 強調減少氣候風險可能的解決方案	
風險管理組織之建立	建立專責風險管理政策組織	• 能源廠(處)營運規模大小 • 面臨風險嚴重程度和複雜性 • 管理階層重視程度 • 相關政策法令	• 內部會議	• 風險管理組織名單
	明確制定風險管理組織內各人員職責	• 本指引風險管理組織職責分工參考規劃表 • 能源廠(處)營運現況和需求	• 參考相關資料擬定職責分工方式，並經風險管理組織高層主管同意後實施	• 風險管理組織成員職責
歷史或潛在氣候衝擊事件資料之建立	蒐集歷史或潛在氣候衝擊事件資料	• 設備、財務或營運曾遭受氣候和極端天氣衝擊之紀錄 • 評估範疇之地理環境歷史天然災害損失事件	• 內部文件 • 內部人員訪談會議	• 歷史氣候衝擊事件之描述
3. 實施氣候變遷風險評估				
氣候變遷風險評估範疇之界定	鑑別易受氣候相關衝擊資產設施	• 公司營運目標 • 國內外資產設施盤點表	• 風險管理組織與公司高階管理人員溝通商議	• 易受氣候相關衝擊資產設施之描述
	建立評估範疇清單	• 易受氣候相關衝擊資產設施之描述	• 根據易受氣候相關衝擊資產設施之描述建立評估範疇清單	• 評估範疇清單
氣候變遷衝擊事件類型之鑑別	蒐集氣候衝擊對能源設施之潛在影響案例	• 國內外氣候變遷衝擊類型與潛在影響相關文獻資料庫	• 搜尋引擎	• 國內外氣候衝擊類型與潛在影響案例
	篩選可能會對資產設備造成影響之	• 歷史氣候衝擊事件之描述 • 國內外氣候衝擊類型與潛在影響案例	• 風險管理組織	• 氣候衝擊類型與潛在影響清單

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法	產出
	氣候衝擊	• 政府公開災害潛勢圖資		
氣候指標與氣候門檻值之建立	分析資產設備屬性	• 氣候物理量測量資料 • 災害潛勢地圖資料 • 資產因天然災害造成損壞的歷史事件或事後報告 • 資產與氣候相關設計參數或設計規範 • 資產或設施可量化物理特徵	• 歷史事件、設計參數、物理特徵、氣候壓力測試及脆弱曲線等方法	• 資產設備屬性及其與氣候物理量間之關係描述
	確定造成氣候變遷衝擊之氣候指標及其氣候門檻值	• 資產設備屬性及其與氣候物理量間之關係描述	• 邀集利害關係者進行討論溝通	• 氣候指標及其氣候門檻值
氣候變遷資料設定	設定氣候變遷情境及推估時期	• IPCC 評估報告中對氣候變遷情境之描述（包含RCPs、SSP、GWL情境） • 我國「國家調適應用情境」 • 國內外相關應用案例 • 組織風險評估需求及對未來可接受風險之認定	透過風險管理組織及外部協作資源等，依照能源廠（處）營運情形進行挑選，挑選原則包含： • 時期挑選建議符合設施年限，不宜過長或過短 • 若設施數量過多且年限不一，得分類相近年限之設施合併評估 • 另選時期評估者，應於報告敘明原因	• 氣候變遷情境及推估時期
	篩選合適氣候變遷資料與圖資	• 氣候衝擊類型 • 氣候指標 • 氣候門檻值	根據以下建議選擇合適之氣候變遷資料與圖資： • 資料可得性(是否為公開資料) • 資料涵蓋範圍(是否包含研究區)	• 合適氣候變遷資料與圖資

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法		產出
			• 資料現況與未來情境及推估時期(是否符合需求) • 資料之產製與使用限制(資料不確定性等)		
4. 氣候變遷風險評估評量					
氣候變遷風險組成因子分級	界定危害分級	• 天氣或氣候危害事件的規模大小、強度、頻率等資料	• 歷史危害分級：藉由歷史紀錄、專家判斷評估 • 未來危害分級：取決於是否有可用的預測資料，評估未來可能發生的機率	• 通常分成等五級即可達到分級效果，不須建立必要之類別，避免風險複雜化 • 須於風險評估過程中說明其定義與分級(定性或定量)的描述	• 危害各等級之定義與說明
	界定暴露度分級	• 資產設備地理區位	• 評估暴露氣候變遷衝擊下之程度，其程度與地理區位相關		• 暴露度各等級之定義與說明
	界定脆弱度分級	• 資產設備的敏感度及調適能力資訊 • 系統營運(操作性)、安全性、財務及環境目標	• 考量能源產業在系統的營運(操作性)、安全性、財務及環境目標上造成的影響		• 脆弱度各等級之定義與說明

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法	產出
風險評估	建立風險矩陣	• 風險組成因子分級說明 • 風險組成因子之風險評估結果	• 藉由不同顏色呈現風險等級 • 美國能源局建議至少分為四個象限，以便呈現風險結果差異	• 風險矩陣之描述
	確定風險優先順序	• 風險矩陣之描述	• 根據風險矩陣結果，比較各風險之優先級	• 風險優先順序排名
5. 氣候變遷風險評估不確定性				
資料來源不確定性評估	鑑別不確定性原因、假設條件	• 氣候變遷圖資 • 氣候情境預測資料 • 其他形式數據(包含非氣候相關數據)	• 定性不確定性分析(QLUA)	• 資料來源不確定性原因、假設條件之描述
	量化不確定性	• 資料來源不確定性原因、假設條件之描述	• 透過結構化專家判斷，以公認權重做為評分基準	• 資料來源不確定性量化結果

資料來源：[315]及本計畫整理

表 2.2-8 能源產業-氣候變遷風險調適策略規劃流程彙整表

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法	產出
1. 事前準備作業				
氣候變遷調適動機與目標定義	確立氣候變遷調適動機與目標	• 政府法規、政策 • 組織政策方針	• 美國能源局(DOE)「執行調適策略規劃關鍵動機與目標參考表」	• 氣候變遷調適動機與目標
氣候變遷調適專責單位	建立氣候變遷調適專責單位	• 內部利害關係者資料 • 外部利害關係者資料 • 組織部門組成及業務資料	• 內部會議 • 委託外部專家處理	• 氣候變遷調適小組名單
	明確訂定調適小組各級成員職責	• 氣候變遷調適小組名單 • 組織部門組成及業務資料	• 可參考風險管理組織進行權責劃分	• 氣候變遷調適小組成員職責

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法	產出
調適策略規劃範疇	定義調適策略規劃範疇	• 風險評估結果 • 公司營運政策 • 資產重要程度	• 調適小組與利害關係者共同商議	• 資產位置與服務地理範圍 • 風險資產與建物清單 • 氣候情境資訊 • 氣候風險因子與衝擊類型 • 調適策略時程規劃、目標年設定
利害關係者鑑別與溝通	鑑別利害關係者	• 內部利害關係者資料 • 外部利害關係者資料	• AA1000 利害關係者議合標準 2015 年版	• 利害關係者清單
	建立利害關係者溝通管道	• 利害關係者清單	• 工作會議、公聽會、建立網站平台發布資訊等	• 利害關係者關注議題及參與調適行動的動力
2. 調適優先性評估				
高風險資產定義	明確定義高風險資產	• 風險評估結果	• 調適小組與利害關係者共同商議	• 高風險資產清單
調適優先性評估準則訂定	定義資產重要程度	• 高風險資產清單 • 資產重要程度衡量標準	• 調適小組與利害關係者共同商議	• 高風險資產之重要程度描述
	定性或定量分級調適優先性	• 高風險資產之重要程度描述 • 國內外能源業者案例	• 調適小組與利害關係者共同商議	• 調適優先性分級標準
優先調適資產清單建立	建立優先調適資產清單	• 高風險資產清單 • 調適優先性分級標準 • 產業相關政策 • 組織營運情形	• 依據分級標準等相關資料評估資產，篩選相對高風險且重要程度高者	• 優先調適資產清單
3. 氣候變遷調適選項蒐研彙整				

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法	產出
調適選項蒐集彙整	基於現有防災措施發想調適選項	• 優先調適資產清單 • 既有防災措施資料	• 現況調查	• 調適選項清單(含執行所需時間、效用持續時間、執行/維護成本、以及調適效益等)
	基於降低氣候風險發想調適選項	• 優先調適資產清單 • 資產暴露度、脆弱度資料	• 邀集利害關係者進行腦力激盪	
	參考國內外調適案例發想調適選項	• 優先調適資產清單 • 資產氣候風險成因、產業特性資料 • 調適或防災技術與知識學術文獻 • 國內外調適案例	• 文獻回顧、案例分析	
	邀集外部專家或委外研擬調適選項	• 優先調適資產清單 • 外部專家學者、專業領域顧問團隊資料	• 邀集外部專家學者、專業領域顧問團隊共同研擬 • 委外執行研究專案	
調適選項彙總表製作	製作調適選項彙總表	• 優先調適資產清單 • 調適選項清單	• 合併優先調適資產清單及調適選項清單，並將優先調適的風險設施標註於彙總表中	• 調適選項彙總表
4. 氣候變遷調適選項評估與確立規劃				
調適選項評估準則訂定	訂定調適選項評估項目	• 組織營運政策、對氣候衝擊的承受度、對調適選項的標準 • 國內外研究案例(如 TaiCATS、英國 UKCIP 等)	• 調適小組與利害關係者共同商議	• 調適選項評估項目(至少應包含有效性、時效性、成本效益)
	訂定評估項目之權重分配及權重標準說明	• 調適選項評估項目	• 多準則決策分析、層級分析法(AHP)、網路分析法(ANP)、德爾菲法等決策方法 • 調適小組與利害關係者共同商議	• 調適選項評估項目之權重分配及權重標準說明
	評估調適選	• 調適選項彙總表	• 成本效益分析(CBA)、成本效果分	• 優選調適選項

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法	產出
	項	• 調適選項評估項目、權重分配及權重標準說明	析(CEA)、多準則決策分析(MCDA)、實物期權分析(Real Options Analysis)、調適路徑、SWOT分析或其他評估方法	
調適策略規劃確立	制定明確可追蹤的調適計畫	• 優選調適選項 • 風險資產的剩餘年限 • 組織營運政策、預算規劃	• 調適小組與利害關係者共同商議	• 氣候變遷調適策略規劃報告初稿
	檢視氣候變遷調適策略規劃報告的完整性	• 氣候變遷調適策略規劃報告初稿	• 氣候變遷調適策略規劃報告自評表	• 氣候變遷調適策略規劃報告

資料來源：[316]及本計畫整理

2.3 國際標準與倡議

本節分別對 ISO14090 系列標準調適架構、氣候相關財務揭露(TCFD)國際倡議及 UIC 鐵道調適架構進行回顧。

2.3.1 ISO 14090 系列標準調適架構

為協助各類型組織有系統的因應氣候變遷衝擊，ISO 14090 提供一套結構化流程，協助組織辨識氣候風險與機會，擬定並實施調適策略與行動計畫，其後，ISO 14091 專注於脆弱度、衝擊與風險的辨識與分析、ISO 14092 針對地方政府與社區提出實務導向的調適計畫制訂指南、ISO 14093 聚焦於地方氣候調適行動的財務可行性、ISO 14097 強化投資決策的透明度與一致性、Guide 84 提供氣候變遷考量納入標準制定的指引，茲將重點摘錄如下：

1. ISO 14090 氣候變遷調適-原則、規定與指引

ISO 14090 提出之調適架構包含：先期規劃、評估氣候變遷衝擊與機會、調適規劃、推動執行、監測與評估、報告與交流共六大構面，如圖 2.3-1 所

示。其中，先期規劃亦即界定範疇，包含評估組織是否有執行後續步驟之能力，以及確立與利害關係者間的互動關係。

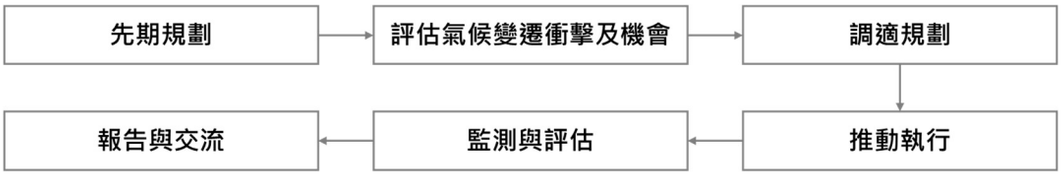


圖 2.3-1 ISO 14090 調適架構圖

資料來源：[112]及本計畫整理

2. ISO 14091 氣候變遷調適-脆弱度、衝擊及風險評估指引

有關於候變遷衝擊與機會之評估，ISO 14091 提供使用者分析氣候變遷風險之方法與工具，針對未來可能面臨之氣候風險，透過降低暴露度及敏感度等可控之調適策略，降低調適差距，有關危害度、暴露度、敏感度，以及調適能力與調適後風險等風險組成關係如圖 2.3-2 所示；此外，ISO 14091 亦提供衝擊鏈的方式來說明氣候危害對系統造成之影響，用以掌握其因果關係，如圖 2.3-3 所示。

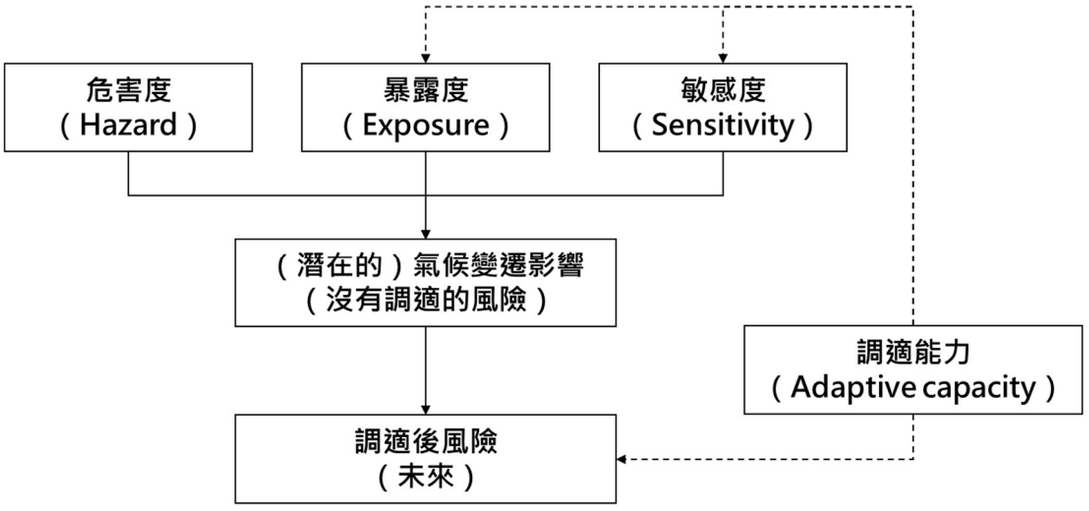


圖 2.3-2 ISO 14091 風險組成要素示意圖

資料來源：[113]及本計畫整理

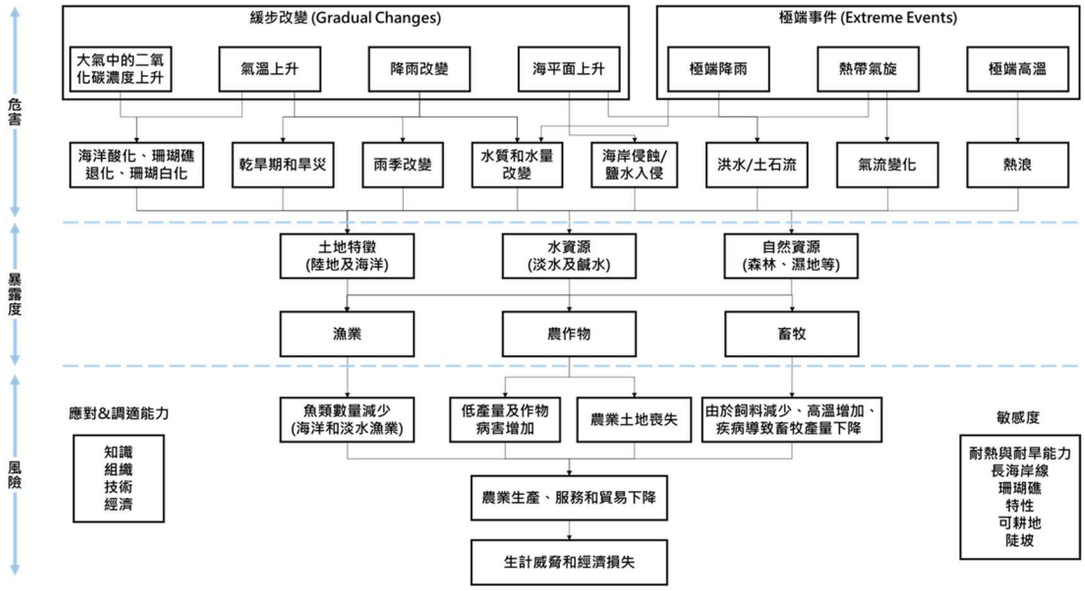


圖 2.3-3 ISO 14091 農業衝擊鏈示意圖

資料來源：[113]及本計畫整理

3. ISO 14092 氣候變遷調適-對地方政府和社區調適計畫之要求事項和指引

為協助地方政府和社區擬定調適計畫，以因應氣候變遷所帶來之挑戰，ISO 14092 說明如何建立一個適當、架構良好且具合作性的治理結構，以及調適計畫和實施過程的要素，包含建立協調小組、評估風險並制定有效計畫、監測調適措施的實施狀況、評估調適措施實施成效。此外，ISO 14092 提供相關工具給地方政府擬定調適計畫時參考，例如：歐盟氣候調適(Climate-ADAPT)平台之調適支援工具(Adaptation Support Tool)、歐盟氣候調適基礎設施和城市(Climate Resilient Infrastructures and Cities，簡稱 RESIN)研究計畫之決策架構，以及英國氣候變遷衝擊計畫(UK Climate Impacts Programme, UKCIP)之調適嚮導及邏輯架構(Logical Framework)。

4. ISO 14093 氣候變遷地方調適計畫融資機制-基於績效之氣候韌性補助-要求事項與指引

地方政府機構(Subnational Authorities，含州、地區當局或社群等單位)理應能提出最適合地方的氣候調適方案，卻常缺乏資源執行計畫，因此 ISO 14093 基於聯合國資本發展基金(United Nations Capital Development Fund, UNCDF)的在地氣候調適生活機制(Local Climate Adaptive Living, LoCAL)，擬定績效式氣候韌性補助金(Performance-Based Climate Resilience Grant,

PBCRG)，提供資金支持垂直整合制度，協助各國將國家層級氣候政策落實至地方層級，並採用最低條件要求及監督機制，確保資金有效運用，如圖 2.3-4 所示。

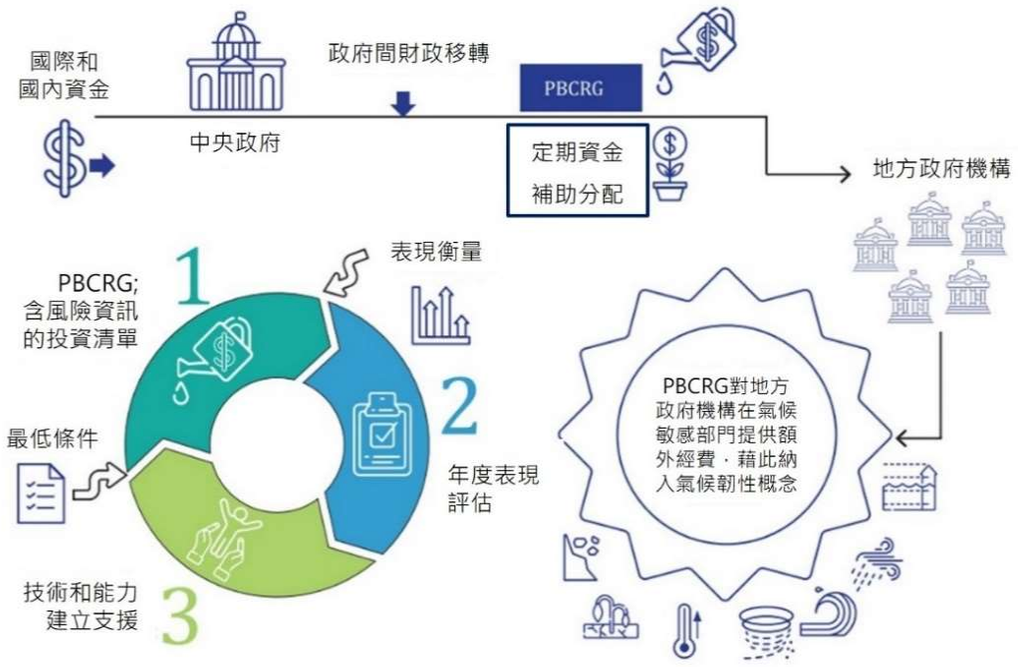


圖 2.3-4 在地氣候調適生活機制架構圖

資料來源：[115]及本計畫整理

5. ISO 14097 溫室氣體管理與相關活動-評估與報導氣候變遷相關投資與融資活動之原則及要求

ISO 14097 提供投資人(Financier)一套原則與指引框架，藉此評估、監測和報告其所執行與氣候變遷有關的措施及貢獻。ISO 14097 也提出每項投資策略都可能與氣候變遷產生正面及負面影響，即「雙重實質性(Double Materiality)」。投資人需評估投資對象的氣候風險與機會，確認達成巴黎協議目標的意願與能力，若投資人有意願訂定氣候目標，則進階制定氣候政策、執行監控計畫並紀錄成果，比較實際排放與科學緩解目標(Science-Based Mitigation Target)的差異，並於報告中分析氣候行動的影響；另未訂定氣候目標之投資人，則採每年報告投資組合的溫室氣體變化情形，分析重大變動原因，並說明未來訂定氣候目標的規劃時程，其執行流程如圖 2.3-5 所示。

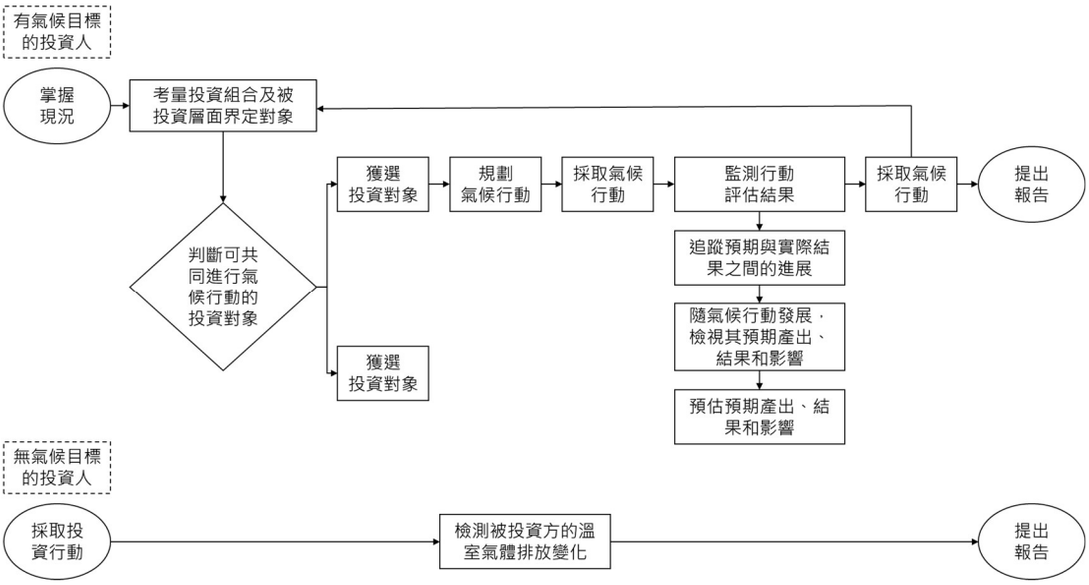
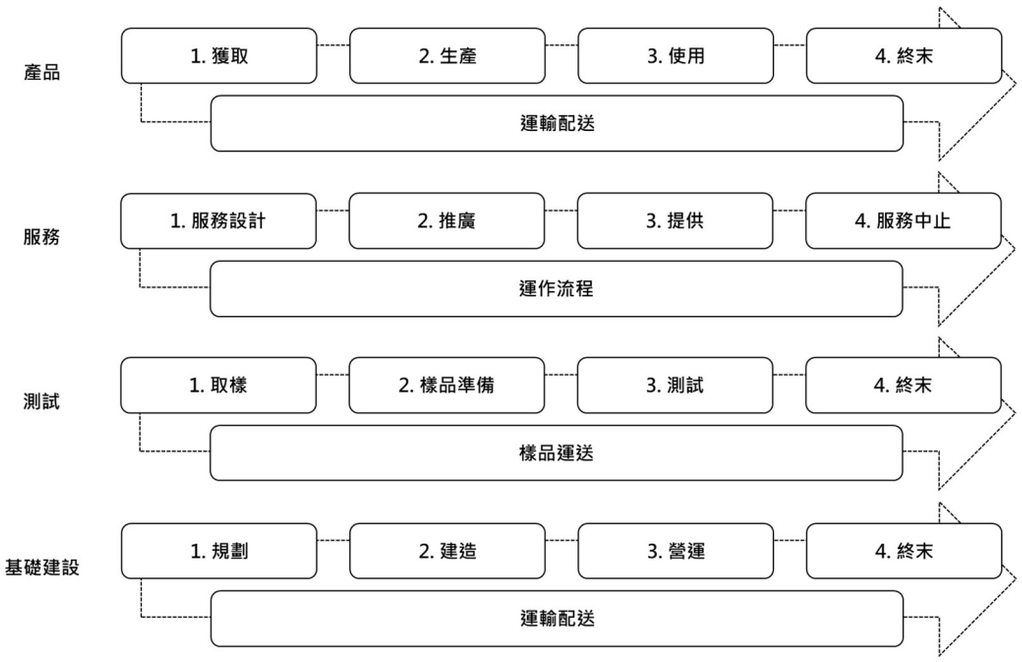


圖 2.3-5 ISO 14097 執行流程圖

資料來源：[116]及本計畫整理

6. ISO Guide 84

ISO Guide 84(ISO Guide 84: 2020- Guidelines for addressing climate change in standards)提供一套系統性方法，提供了跨標的、跨流程的結構化檢視工具，使氣候變遷調適的思維在各個階段均能推動氣候調適的制度化與標準化，如圖 2.3-6 所示。該圖顯示不同對象(產品、服務、測試、基礎建設)在其生命週期或流程中，如何系統性的辨識氣候相關風險與機會、鼓勵全面性與一致性的標準制定，以及強調跨階段關聯性。



氣候驅動因子	次要效應/氣候相關因子	氣候變遷影響
年度/季度/每月	. 海平面上升 (含在地陸地變動) . 海/水溫 . 可用水源 . 暴風雨(路徑/強度)及風暴潮 . 洪水 . 海洋酸鹼度 . 塵暴 . 海岸侵蝕 . 土壤侵蝕 . 土壤鹽分 . 野火 . 空氣品質 . 地面不穩定/地滑/雪崩 . 城市熱島效應 . 生長季長度 . 冰冷條件/地面結霜 . 永凍土融化	. 物理變化 . 失去資源 . 行為改變 . 健康影響 . 社會變化
. 平均氣溫 . 極端氣溫 (頻率/規模) . 平均降水量 . 極端降水量 (頻率/規模)		
風速		
. 平均風速 . 最大風速		
濕度		
太陽輻射		

考量目標	影響結果	生命週期			
		1	2	3	4
物質/產品	價格和投入可用性	X	X		
服務		X	X		
測試		X			
建築和設施		X	X	X	X
物質/產品	原物料供應中斷	X	X		
服務		X			
測試		X	X		
建築和設施		X	X	X	
物質/產品	需求改變	X	X	X	X
服務			X	X	
測試				X	
建築和設施		X	X	X	X
物質/產品	使用者要求改變	X	X	X	X
服務		X	X	X	
測試		X	X	X	
建築和設施		X	X		
物質/產品	對品質/性能影響	X	X	X	X
服務		X		X	
測試				X	
建築和設施		X	X	X	

圖 2.3-6 ISO Guide 84-生命週期納入氣候變遷考量示意圖

資料來源：[118]及本計畫整理

2.3.2 氣候相關財務揭露(TCFD)國際倡議

國際金融穩定委員會(Financial Stability Board, FSB)於 2015 年成立 TCFD 工作小組，其任務為擬定明確、可比較與一致性的氣候相關財務資訊揭露建議，協助企業鑑別氣候變遷之風險及機會。

TCFD 係由治理(Governance)、策略(Strategy)、風險管理(Risk Management)、指標和目標(Metrics and Targets)共四大核心要素組成，如圖 2.3-7 所示，多數國際標竿鐵道機構已參照「氣候相關財務揭露(TCFD)」國際倡議架構進行四大主題之揭露。

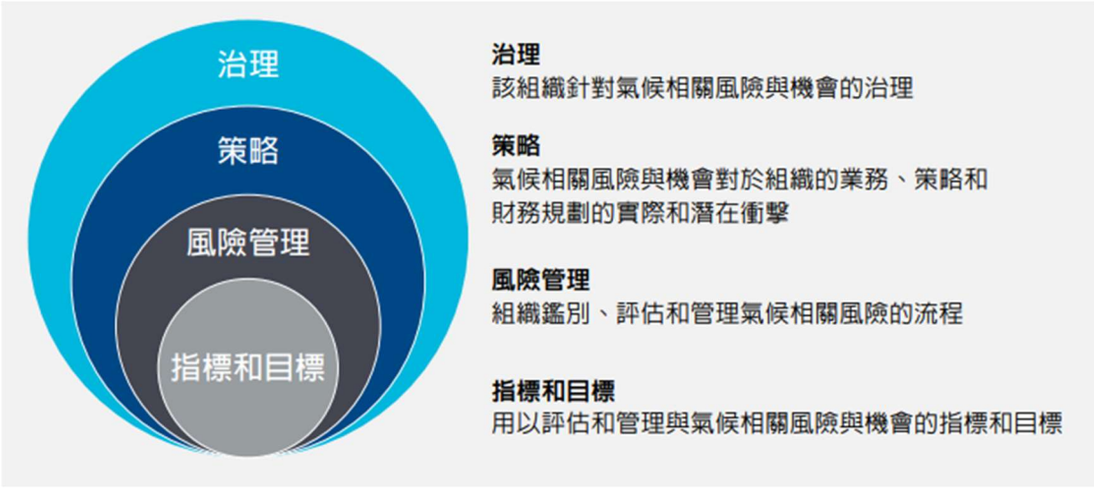


圖 2.3-7 TCFD-資訊揭露核心要素示意圖

資料來源：[374]及本計畫整理

此外，TCFD 工作小組定義了「氣候相關風險」與「氣候相關機會」分析框架，如圖 2.3-8 所示，內涵如下：

1. 氣候相關風險

可概分為「轉型風險」及「實體風險」兩類

(1) 轉型風險：係指組織轉型為低碳經濟時，伴隨之不同程度的財務和名譽風險，可進一步細分為政策和法規風險、技術風險、市場風險及名譽風險。

(2) 實體風險：係指氣候變遷對組織造成的財務衝擊，如資產災損或服務中斷等，而依氣候模式特性可將實體風險細分為「立即性風險」與「長期性風險」，包含：

- 立即性風險：係指日趨嚴重的單一極端天候事件，如颱風、強降雨等。
- 長期性風險：係指氣候模式的長期變化，如連日高溫所造成的熱浪。

2. 氣候相關機會

氣候相關機會係指組織為了減緩與調適氣候變遷所採取的行動同時，這些行動也將替組織創造機會，TCFD 工作小組將韌性視為氣候機會，由於組織為了因應轉型風險及實體風險之挑戰，從而改變其服務方法、提升效率或開發新產品等，使得組織獲得面對氣候變遷的調適能力。

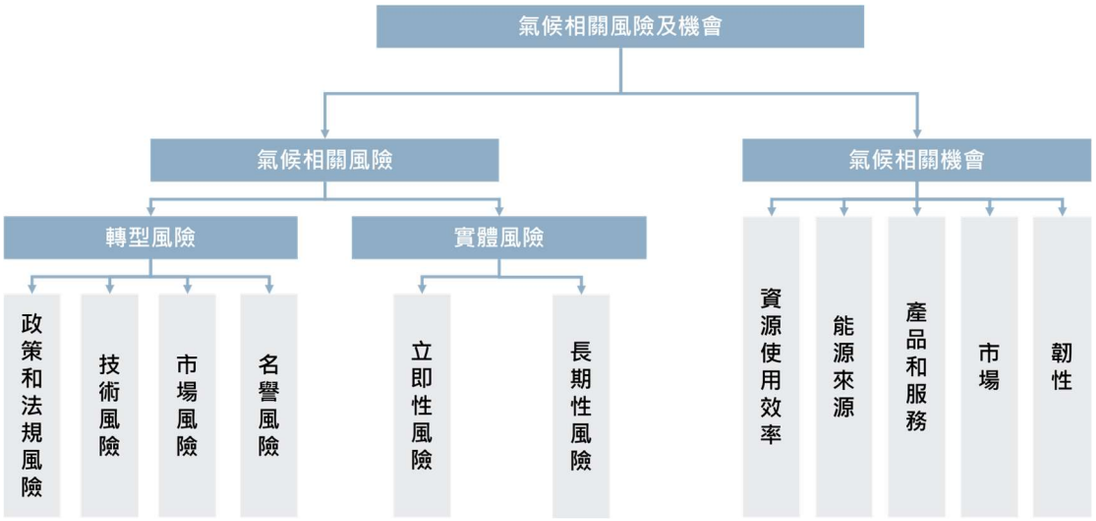


圖 2.3-8 TCFD-氣候相關風險及機會示意圖

資料來源：[374]及本計畫整理

2.3.3 UIC-鐵道調適架構

國際鐵路聯盟（UIC）於 2017 年出版「鐵道調適（RAIL ADAPT）[123]」指南，分享鐵道營運機構面對極端氣候所帶來之挑戰及其調適方法，指南中說明鐵道調適即是增強鐵道系統韌性的手段之一，透過基礎設施改善、組織改革等方式，使鐵道服務可以更具彈性，能靈活因應各種不確定性與挑戰，並從中吸取經驗及教訓。值得注意的是，UIC 強調鐵道調適並非是一個特殊專案或是新業務，而是得將調適融入至日常業務當中。

為達鐵道調適願景，UIC 參酌瑞典交通署(Swedish Transport Administration, Trafikverket)、芬蘭交通局(Finnish Transport Agency, FTA)，以及世界水運基礎設施協會(World Association for Waterborne Transport Infrastructure, PIANC)等經驗，建立鐵道調適架構，其架構可分為「風險評估&調適策略」及「行動方案&監測評估」兩部分，如圖 2.3-9 所示，說明如下：

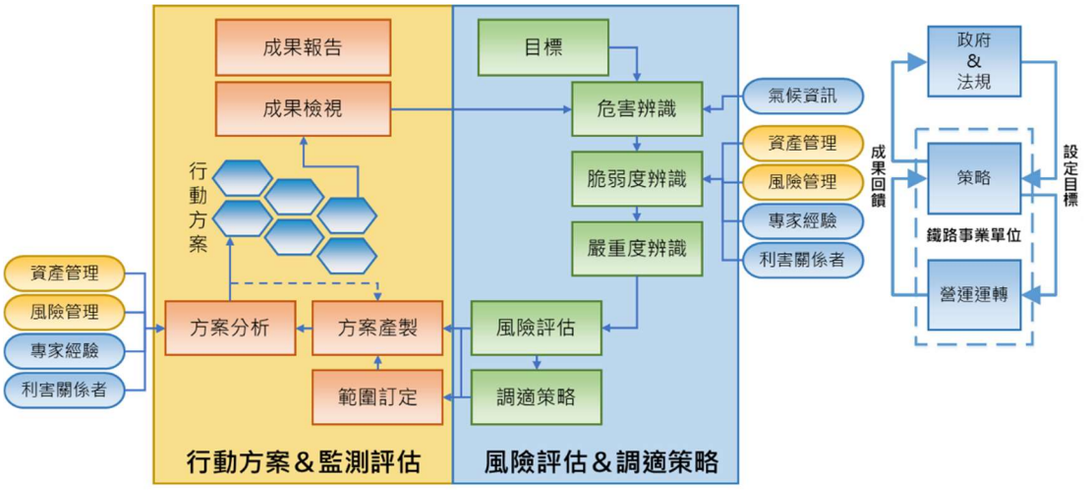


圖 2.3-9 UIC-鐵道系統架構圖

資料來源：[123]及本計畫整理

1. 循環動態調整調適架構

UIC 於鐵道調適架構流程中，強調與資產管理及安全管理相互扣合的重要性，包含由上而下的有效執行方式，由政府先建立制度，並搭配鐵道機構擬定執行方案及執行，其內涵與資產管理國際標準 ISO 55000 相關標準及 PIANC 調適架構一致。

2. 風險評估&調適策略

考量未來可能面臨之氣候變遷情況以及對應之長時間氣候影響和短時間極端天氣等情境，鐵道機構需結合鐵道資產管理、不同鐵道路線之獨特性、風險管理、過往經驗等面向進行風險辨識以及風險評估，並提出必要之調適策略，其中危害、脆弱度及嚴重度之定義說明如下。

(1) 危害：須從歷史經驗開始辨識危害，以指出重點關注之事件類型。然而，未來氣候存在高度不確定性，事件類型和頻率可能會隨著氣候變遷而改變，故探討其他潛在的未來危害至關重要，以制定相應之因應措施。

(2) 脆弱度：脆弱度分析涉及理解氣候和天氣危害對組織資產、運營、服務和乘客的影響。由於鐵道中斷可能由多種因素引起，故需考量特定危害或組合事件的脆弱性。

(3) 嚴重度：在確定氣候危害和脆弱性後，需考慮系統中斷的潛在後果並予以量化，包含對組織內外部的影響。除財務損失外，難以用金錢量化之系統中斷對環境和社會之影響也應納入考量。

3. 行動方案&監測評估

根據調適策略所訂定之具體調適方案，並同樣從鐵道資產管理、風險管理、過往經驗等面向進行評估，選出適當之調適方案後制定行動計畫，並追蹤調適後鐵道系統營運情況，以決定是否需要進一步調整。

茲將前述 ISO 14090 系列規範、TCFD 及 UIC-Rail Adapt 之出版年份、範疇、主要內容、指引類型與步驟等相關內容彙整如表 2.3-1 所示。

表 2.3-1 ISO 14090 系列、TCFD 及 Rail Adapt 彙整表

文件	發佈年份	範疇與主要內容	指引類型	執行步驟
ISO 14090	2019	提供氣候變遷調適的框架，幫助組織和政府提高對氣候風險的應對能力	基礎通用指引	1. 先期規劃 2. 評估氣候變遷衝擊及機會 3. 調適規劃 4. 推動執行 5. 監測與評估 6. 報告與交流
ISO 14091	2021	提供如何進行氣候變遷脆弱性、影響和風險評估，幫助組織辨識和評估風險，分析可能的氣候影響	實施框架指引	1. 準備氣候變遷風險評估 2. 執行氣候變遷風險評估 3. 回報與研析氣候變遷風險評估結果
ISO 14092	2020	指導協助地方政府和社區進行氣候變遷調適規劃，提供具體的實施框架		1. 先期規劃 2. 氣候變遷影響及機會評估 3. 規劃調適策略 4. 執行策略
ISO 14093	2022	聚焦如何運用國家層級機制來引導氣候融資，支持地方政府機構進行氣候變遷調適		1. 設計提供地方政府調適融資的國家體系制度 2. 設計 PBCRG 系統 3. 執行及規劃體制
ISO 14097	2021	設計支持低碳發展、調適與減排的金融機制，聚焦於如何引導金融機構投資支持氣候行動	金融機構專用指引	1. 評估投資標的氣候相關風險與機會 2. 確認實現巴黎協議目標的意願與能力 3. 根據氣候目標意願採取行動：

文件	發佈年份	範疇與主要內容	指引類型	執行步驟
				A. 有意願投資者：制定政策、執行監控、記錄成果 B. 無意願投資者：年度追蹤溫室氣體變化並分析變動 4. 製作分析報告並訂定未來目標時程
ISO Guide 84	2020	協助組織的標準制定單位將氣候變遷考量整合入各類標準，確保標準的氣候韌性	基礎通用指引	1. 理解及應對氣候變遷 2. 在標準之中因應氣候變遷 3. 規劃策略 4. 規劃計畫 5. 解決氣候變遷問題
TCFD	2017	提供框架指導金融機構和資產管理單位如何評估、管理和披露與氣候相關的財務風險與機會，並將這些資訊納入財務報告	金融機構或資產管理單位專用指引	1. 確認揭露範疇 2. 建立氣候相關治理架構 3. 研析氣候風險及機會 4. 進行氣候情境分析 5. 整合氣候風險管理流程 6. 制定指標和目標 7. 定期檢討與更新
UIC Rail Adapt	2017	提供鐵道系統如何通過調整和適應來應對氣候變化的影響，包含框架、案例研究和工具，幫助鐵道機構實現更具彈性的服務	鐵道機構專用指引	1. 建立調適策略 2. 執行調適計畫 3. 管理及支援調適流程

資料來源：本計畫整理

2.4 標竿機構調適指引架構及其內容

鑒於國際上直接論述鐵道系統調適指引架構文獻有限，本節先回顧及分析其他領域如電力、礦業、水務、地質等重要基礎設施調適指引架構，俾提供我國後續發展鐵道系統調適指引架構之參採。

2.4.1 加拿大-電力調適指引

加拿大電力協會(Canadian Electricity Association, CEA)是加拿大電力產業的代表性組織，成員包含電力公司、發電廠及其他與電力能源相關的業者，CEA 於 2020 年編撰加拿大電力產業的調適指引[30]，透過蒐集成員的實務案例，詳述步驟以協助產業構建調適計畫，其調適架構可分為四階段八步驟，如圖 2.4-1 所示。

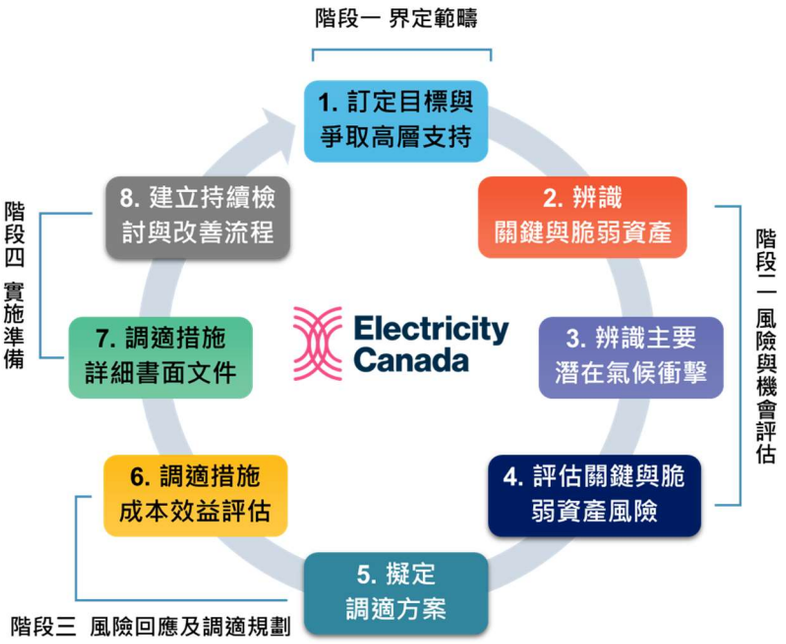


圖 2.4-1 加拿大 CEA-調適指引步驟示意圖

資料來源：[30]及本計畫整理

該指引中強調氣候變遷調適應由高階管理階層，由上而下進行整體性的調適管理與評估，為取得管理階層對調適計畫的支持與重視，建議可蒐集「整體經濟層面的調適商業案例」、「氣候變遷對企業帶來的風險」相關資料，做為組織推動調適及將氣候變遷納入企業風險的支持論點。

為確保風險分析的準確性及適用性，風險來源辨識係依據 IPCC 架構來定義關鍵參數，包含：基期、未來情境及解析度等參數，各參數說明及公司所需決策彙整如表 2.4-1 所述；另在風險評估操作則依 ISO 31000 的風險模型，採「嚴重程度(Consequence)」與「發生機率(Probability)」之函數，將兩因子採半定量五等級方式，並透過風險矩陣確定風險等級之優先順序。

表 2.4-1 加拿大 CEA-氣候風險關鍵參數彙整表

關鍵參數	說明	所需決策
基期	做為未來氣候變遷模擬結果的比較基準	• 基期長度應足夠長，以平滑極端事件；同時也要支援短期，以捕捉急速變化的環境 • 基期通常為 30 年，最短可為 10 年
未來情境	「近期」指現在至 2040 年； 「中期」指 2040-2070 年；「長期」指 2070-2100 年	• 應選擇與重要基礎設施風險最相關的時間範圍，同時考慮設備的使用壽年、設計變更及設備更換的可能性
空間解析度	應考慮地方氣候影響因子、極端天氣，以及關鍵且易受影響的設備是否需要針對特定場址條件進行詳細評估	• 空間解析度越高，模型可為特定區域產生的氣候資訊越具體，但成本也越高 • 在地形複雜的地區，需要更高的空間解析度
時間解析度	指時間步長的大小	• 相較溫度等其他參數，由於暴雨和雷暴等極端天氣事件的持續時間通常較短，需要更短的時間間隔
納入關鍵潛在氣候衝擊	選擇與公司資產和營運相關的特定氣候變數和事件	• 選擇分析關鍵脆弱資產及營運相關的潛在氣候衝擊

資料來源：[30]及本計畫整理

指引中引述加拿大 2012 年環境與經濟圓桌會議(National Round Table on the Environment and the Economy)的評估結果，說明視經濟成長和氣候變遷情境的不同，每投入 1 美元於調適措施，未來可能避免 9 至 38 美元的損失，除了強調調適之可能效益外，亦指出效益因子係以調適投資能減少或降低災害的損失。

為評估調適選項的經濟效益來進行投資決策，指引建議透過成本效益評估進行量化，確定調適選項的可行性，並優先考慮最具效益之調適選項。在進行評估時，應先明確定義各考量因素的邊界條件及評估標準，其考量因素包含評估指標、時間範圍、折現率及非財務評估指標，分述如下：

1. 評估方法：最佳評估方法視組織特性及風險而異，其中成本效益分析的常見評估指標包含淨現值(Net Present Value, NPV)、投資報酬率(Return On Investment, ROI)、投資回收期(Payback Period, PBP)及效益成本比(Benefit-Cost Ratio, BCR)。

2. 時間範圍：由於氣候變遷的趨勢和調適選項的效益多屬長週期，故應謹慎評估所選調適措施是否在資產的生命週期內充分發揮效益，避免在資產生命週期結束後，仍未實現調適功能。因此，在設置時間範圍標準時，應將資產之生命週期納入考量，俾便選擇與時間週期相符的調適選項。

3. 折現率：在淨現值分析中，公司通常依既定標準定義折現率，但面對長期及關鍵風險時，採用較低折現率較為適宜，符合 IPCC 報告等科學共識。然而，公司決定是否完全採用低折現率時，建議可徵詢政府及監管機構等利害關係者的意見。

4. 非財務評估指標：除了財務面向外，還應評估調適選項在非財務層面的影響，如聲譽風險與效益、實施難易度、實施所需時間、前期投資、地理分布以及與整體系統技術契合度等。

於進行成本效益評估後，應依據效益最大化原則，優先投資報酬較高、風險降低效果較佳(可避免氣候衝擊損失較大者)之調適選項，指引中提供規劃人員可考慮使用下述四種工具，確定調適選項的優先順序。

1. 成本曲線：透過資料視覺化，比較不同調適選項的相對成本與效益，以便直觀了解各調適選項的相對排序，呈現如圖 2.4-2 所示，其中長條圖寬度係代表該調適選項可減少之「預期損失」潛力，寬度越寬表示該選項可避免的災損愈多(佳)；長條圖的高度則代表成本/效益比(Cost/Benefit, C/B)，越低表示該選項效益相對較高(佳)、成本較低。

   (1) 圖 2.4-2 為美國 Entergy 公司運用成本曲線法，分析墨西哥灣沿岸在 2010 年至 2030 年期間電力韌性風險穩定之調適措施，圖中顯示 2030 年的年平均損失會高達 215 億美元，相較 2010 年之年平均損失高出 73 億美元。

(2) 考量氣候調適具有社會外部效益，如維持供電穩定、防止致命停電等，屬於保險性支出，由圖中可知調適的成本/效益比設定在C/B<2(B/C>0.5)即可列為「準可行方案」，尤其是對「高關鍵性、高風險」區位的資產。

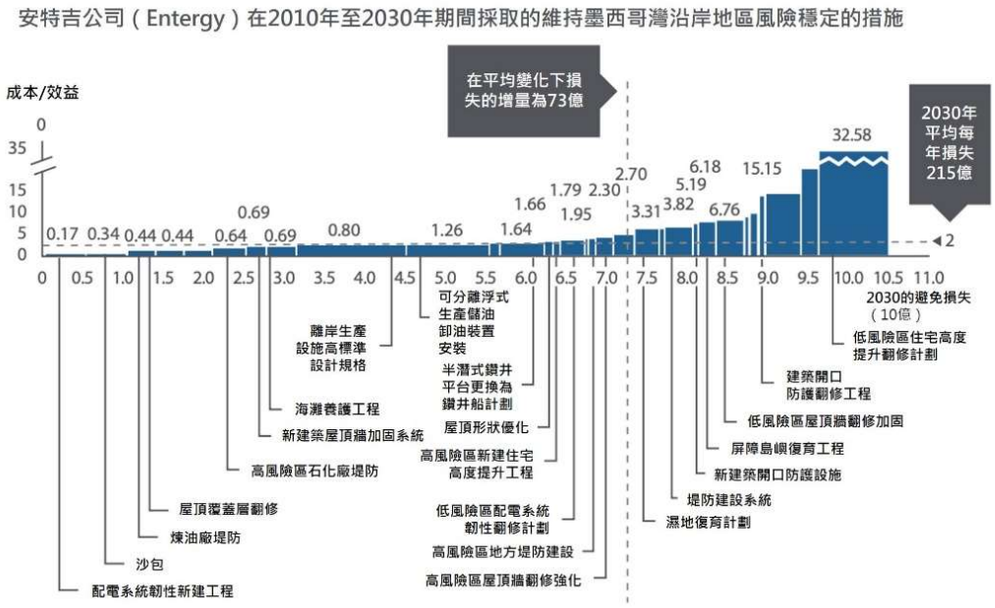


圖 2.4-2 加拿大 CEA-成本曲線示意圖

資料來源：[30]及本計畫整理

2. 評估矩陣：有別於僅依賴單一評估指標(例如 NPV)的評估方式，評估矩陣為綜合考量多個評估指標，例如資本密集度與NPV、聲譽風險與NPV，如圖 2.4-3 所示。圖中的每個資料點代表一個調適選項，以資本密集度與淨現值該圖為例，底色區塊即為 NPV 相對較大、且前期投資相對較低，代表該選項屬於無悔措施。

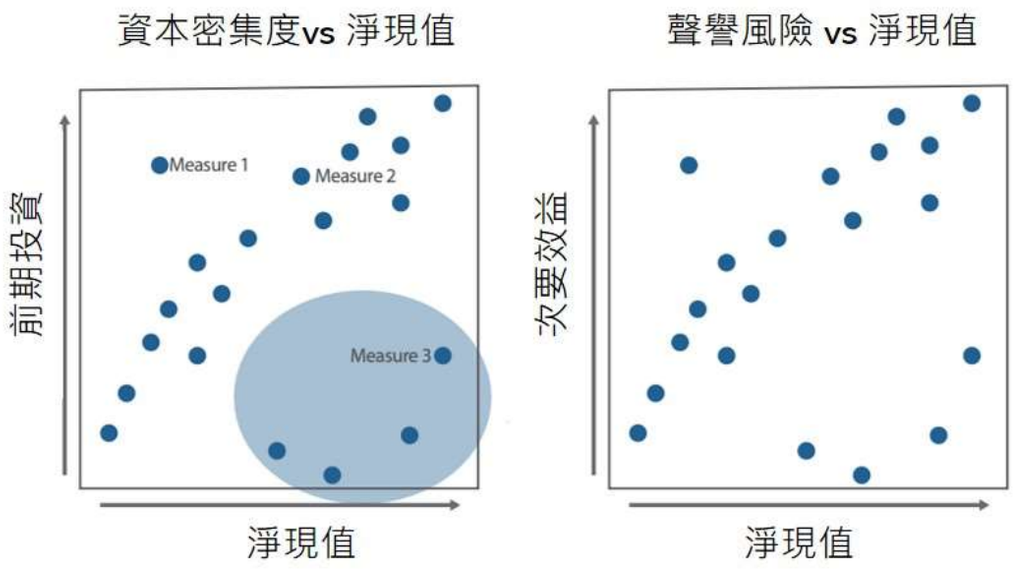


圖 2.4-3 加拿大 CEA-評估矩陣示意圖

資料來源：[30]及本計畫整理

3. 敏感度分析：觀察單一變數(如 CO_2 價格、資本成本等)變動時，對各種調適選項所造成的影響，以及更悲觀或更樂觀等不同情境下的結果。

4. 極值分析(Extreme Value Analysis)：由於自然災害常屬於低機率、高衝擊(Low-Probability/High-Consequence)事件，傳統的風險管理框架可能無法充分捕捉其不確定性。對此，CEA 部分會員採用極值分析，以更精準地量化及評估電網韌性。

最後，為展現氣候變遷風險已被組織管理，並確保符合內外部利害關係者的需求，宜將氣候變遷調適過程予以文件化，以利追蹤調適計畫後續實施情形及相關管理審查，文件化資訊建議包含：路線圖、風險分類流程、調適選項排序等內容，彙整如表 2.4-2 所述。

表 2.4-2 加拿大 CEA-文件化資訊內容彙整表

關鍵議題	說明
路線圖	整合潛在衝擊與風險、關鍵資產與營運作業，以及預定的調適措施，不僅有助於理清調適全貌，也能有效向高階管理階層傳達整體規劃範疇與策略方向
風險分類	為辨識和分類風險的過程，包含分析並界定哪些風險屬於企業級風險(優先風險)、現有控管措施是否足

	以有效管理與監控部分風險，以及需要哪些額外控管措施，確保風險可降至可接受之水平
優先調適選項	建議之調適選項及其詳細的商業案例分析
與現有風險管理系統和治理的整合程度	檢視調適選項能否融入現有的風險管理系統與治理文件，如需針對系統或治理文件進行調整，應清楚標示並說明
專案管理	規劃調適執行的各個工作細項，包括：調適成本估算、執行時間表、資源需求、權責分工等
鑑別評估、報告與對外揭露的關鍵指標	確保在適當的組織層級，以適當的頻率，衡量、監測和報告正確的事項，特別是關鍵的企業風險及其應對措施，以供高階管理階層進行決策

資料來源：[30]及本計畫整理

茲將此指引各步驟涵蓋之調適工作所需資料、工具及產出，彙整如表 2.4-3 所述。

表 2.4-3 加拿大 CEA-調適評估流程彙整表

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法	產出
1. 訂定目標與爭取高層支持				
目標訂定	確立目標	• 組織核心使命 • 氣候變遷風險相關議題	• 與領導階層、高階管理人員討論訂定	• 調適總體目標 • 調適子目標(如行動實施日、公司內部氣候風險與調適知識水準目標、預算上限、過程目標、提升韌性的具體意義)
取得領導階層的承諾與支持	分析整體經濟的調適商	• 世界經濟論壇的全球風險報告	• 蒐集並分析相關資料	• 組織內部推動調適的支持論點

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法	產出
	業案例	• 氣候變遷導致經濟損失的統計資料 • 調適成本效益分析報告		
	將氣候變遷納入企業風險	• 各電力公司或相關單位發布之氣候變遷風險相關報告 • CEA 針對調適議題的調查結果	• 蒐集並分析相關資料	• 氣候變遷納入企業風險的支持論點
2. 鑑別關鍵和脆弱資產及營運管理				
鑑別關鍵和脆弱資產及營運作業	鑑別對公司核心任務及使命之關鍵與脆弱資產和營運作業	• 調適總體目標 • 公司資產、作業流程、商品、服務相關資料	• 依據調適總體目標鑑別關鍵和脆弱資產及營運作業	• 關鍵和脆弱資產、作業流程、商品、服務清單
	確定易受極端天氣與氣候影響之關鍵資產與營運作業	• 關鍵和脆弱資產、作業流程、商品、服務相關資料	• 分析關鍵資產與營運是否易受極端天氣與氣候影響	• 易受天氣與氣候影響之關鍵資產、作業流程、商品、服務清單
鑑別關鍵潛在氣候衝擊	建立相關潛在衝擊清單	• 本指引提供之潛在氣候衝擊表 • 易受天氣與氣候影響之關鍵資產、作業流程、商品、服務清單	• 依據潛在氣候衝及表，鑑別極端天氣與氣候事件對關鍵資產與營運作業之直接、間接及綜合衝擊	• 初步潛在衝擊清單
	定義分析所需參數	• 初步潛在衝擊清單 • 資產的耐用年限 • 公司的風險承受能力 • 資料可用性和可靠性	• 分析潛在衝擊評估時所需的相關資訊	• 基期時間範圍 • 未來情境時間範圍 • 時空解析度 • 氣候變數 • 危害平均/極端值/重現期

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法	產出
	蒐集潛在衝擊之既有資訊及資料	• 基期時間範圍、未來情境時間範圍、時空解析度、氣候變數、危害平均/極端值/重現期 • 公司內部既有的資料(例如，歷史天氣資料、資產維護記錄、營運資料) • 利害關係者的資料	• 公開資料庫搜尋 • 內部資料審查 • 諮詢利害關係者	• 既有資訊和資料
	鑑別所需資料的缺口	• 基期時間範圍、未來情境時間範圍、時空解析度、氣候變數、危害平均/極端值/重現期 • 既有資訊和資料	• 評估公司是否擁有足夠的資訊評估潛在的氣候風險	• 資料缺口清單
	蒐集外部來源資料	• 基期時間範圍、未來情境時間範圍、時空解析度、氣候變數、危害平均/極端值/重現期 • 資料缺口清單	• 公開資料庫搜尋 • 若公開可用的資料不足，可考慮委託第三方提供客製化資料	• 填補資料缺口之外部資料
	確立關鍵潛在衝擊	• 潛在衝擊清單 • 既有資訊和資料 • 外部資料	• 依據前述步驟所蒐集之資料，鑑別對公司核心任務、關鍵資產和營運作業可能造成重大風險的關鍵潛在衝擊	• 關鍵潛在衝擊清單
評估關鍵和脆弱資產及營運風險	鑑別各風險的發生機率及嚴重程度	• 易受天氣與氣候影響之關鍵資產、作業流程、商品、服務清單 • 關鍵潛在衝擊清單 • 定性/定量量表	• 透過定性/定量量表評估各風險的發生機率及嚴重程度，理想情況下，針對各風險應評估其控制風險及殘餘風險	• 各風險的發生機率及嚴重程度之描述
	分析關鍵資產和營運作業的風險組合	• 各風險的發生機率及嚴重程度之描述 • 跨部門的相互依賴性 • 資產的相互依賴性	• 評估關鍵資產與營運作業面臨的整體風險，同時考量各風險間的綜合效應、乘數效應及連鎖效應	• 風險組合分析結果

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法	產出
	總結關鍵資產和營運的重大風險	• 風險組合分析結果 • 公司的風險承受能力	• 風險矩陣	• 風險優先順序清單
3. 風險回應及調適規劃				
鑑別潛在調適選項	研擬調適選項構想清單	• 風險優先順序清單 • 關鍵及脆弱資產和營運作業資訊 • 跨部門的相互依賴性 • 資產的相互依賴性	• 邀集利害關係者，透過腦力激盪廣泛列舉調適選項	• 調適選項構想清單
	分類調適選項構想	• 調適選項構想清單 • 組織資源(如財務、人力、技術等)資訊 • 組織內部各部門資訊	• 邀集利害關係者，透過會議討論將調適選項進行分類	• 調適選項構想分類整理結果
調適選項成本效益評估	界定調適選項評估標準	• 資產的耐用年限 • 公司財務目標及風險承受能力 • 公司現行政策及程序 • 利害關係者意見 • 非財務資訊	• 評估指標：成本效益分析法、實質選擇權評價法、極端值分析法 • 時間範圍：採用一致的時間框架，並以資產的耐用年限做為基準進行評估 • 折現率：邀集利害關係者共同討論，同時考量公司內部資源及財務壓力等 • 非財務因素：評估調適選項時需將非財務因素一併納入考量，包含聲譽風險、實施難易度、實施時間、技術可行性等	• 調適選項邊界條件和標準
	調適選項成本效益分析	• 調適選項構想清單 • 調適選項邊界條件和標準	• 成本效益分析	• 調適選項成本效益分析結果

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法	產出
		• 損失成本歷史資料		
	排列調適選項優先順序	• 調適選項邊界條件和標準 • 調適選項成本效益分析結果	• 成本曲線、矩陣、敏感度分析、多重準則決策分析方法	• 調適選項優先順序清單
	根據調適選項間的潛在交互作用進行調整	• 調適選項優先順序清單 • 調適選項相關資訊 • 跨部門的相互依賴性	• 根據調適選項間的協助作用(Synergism)或重疊處(Overlap)調整調適選項	• 調整後之調適選項清單
4. 實施準備				
調適行動細節與文件導入	建立路線圖	• 易受天氣與氣候影響之關鍵資產、作業流程、商品、服務清單 • 關鍵潛在衝擊清單 • 風險優先順序清單 • 調適選項清單	• 路線圖(Road map)	• 氣候變遷調適路線圖
	整合調適選項至現有風險管理系統與治理文件	• 現有風險管理系統及治理文件 • 調適選項清單	• 將調適選項整合至現有風險管理系統與治理文件，並強調調整之處	• 現有風險管理系統及治理文件調整說明
	鑑別組織變革及投資增額	• 調適選項清單 • 調適選項成本效益分析結果 • 組織資源	• 專案管理工具	• 調適選項執行時程及轉捩點 • 調適選項預算、責任歸屬、所需資源
	確定調適監測和成效評估指標	• 調適總體目標、子目標 • 調適選項清單 • 組織既有績效指標	• 監測和評估框架(M&E)	• 調適監測和成效評估指標
	確定內/外部報告需求	• 法規要求 • 利害關係者期望	• 利害關係者對資訊揭露的需求及法規要求分析	• 內/外部調適報告需求之描述

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法	產出
		• 自願性報告框架(如 TCFD)		
建立審查及改善計畫流程	確立調適計畫的專案管理需求	• 調適計畫 • 調適監測和成效評估指標	• 專案管理方法	• 調適計畫專案管理需求之描述
	建立調適計畫監測流程	• 調適計畫 • 利害關係者回饋 • 調適監測和成效評估指標	• 監測與評估框架	• 調適計畫監測和評估流程
	修正調適計畫	• 調適計畫監測和評估報告	• 高級管理階層會議	• 修正後之調適計畫、治理文件

資料來源：[30]及本計畫整理

2.4.2 加拿大-礦業調適指引

加拿大礦業協會(The Mining Association of Canada, MAC)係為加拿大礦業的代表性組織，成員包括開採礦公司、加工冶煉廠及礦業相關設備製造商等，致力於推廣礦業相關產品至國際視野中，並滿足成員在政策、環境、技術及市場等需求。為協助礦業產業應對氣候變遷對能源產業帶來的影響，MAC 與其利益共同體討論並蒐集成員實務案例，於 2021 年編撰礦業之調適指引[159]，協助辨識氣候變遷的衝擊與風險、提出氣候調適策略與管理步驟並強化產業的韌性與永續性，加拿大礦業指引中將調適規劃過程分為三階段、六步驟，如圖 2.4-4 所示，相關內涵說明如下：



圖 2.4-4 加拿大 MAC-調適指引步驟示意圖

資料來源：[159]及本計畫整理

1. 階段一：氣候風險評估

旨在幫助礦業公司全面了解現有氣候條件與未來氣候變化的影響，並評估相關的風險與機會。此階段強調以科學方法建立氣候基期、預測未來氣候條件、辨識脆弱度、分析風險及機會，為後續調適措施如無悔調適、關鍵調適等的設計與路徑實施奠定基礎。

2. 階段二：發展調適路徑

基於應對氣候風險的目標逐步發展調適措施，考量調適措施的成本效益評估與導入時機，組成調適路徑清單，再透過成本效益評估的工具來篩選最適合的調適路徑，評估工具可利用如：多準則分析、成本效益分析或成本效果分析，挑選出最具成本效益的選項，接著進行敏感度分析，檢驗各種假設、權重和情境對決策結果的影響，確保調適路徑在多種可能情境下均有效，同時評估未採取行動的潛在影響，最後根據全面分析結果選擇最佳調適路徑，並將整個流程文件化供內外部利害關係者參考，決策分析流程如圖 2.4-5 所示，案例說明如下：

(1) 調適措施 1 係維持現況，其代價為未來恐遭遇極大的氣候風險衝擊。

(2) 調適措施 2 為依據中期、長期各重新評估當下最適合的方案，採逐步精進調適措施。

(3) 調適措施 3 係直接建構最大韌性的基礎建設，恐需耗費大量的資源才能達成。

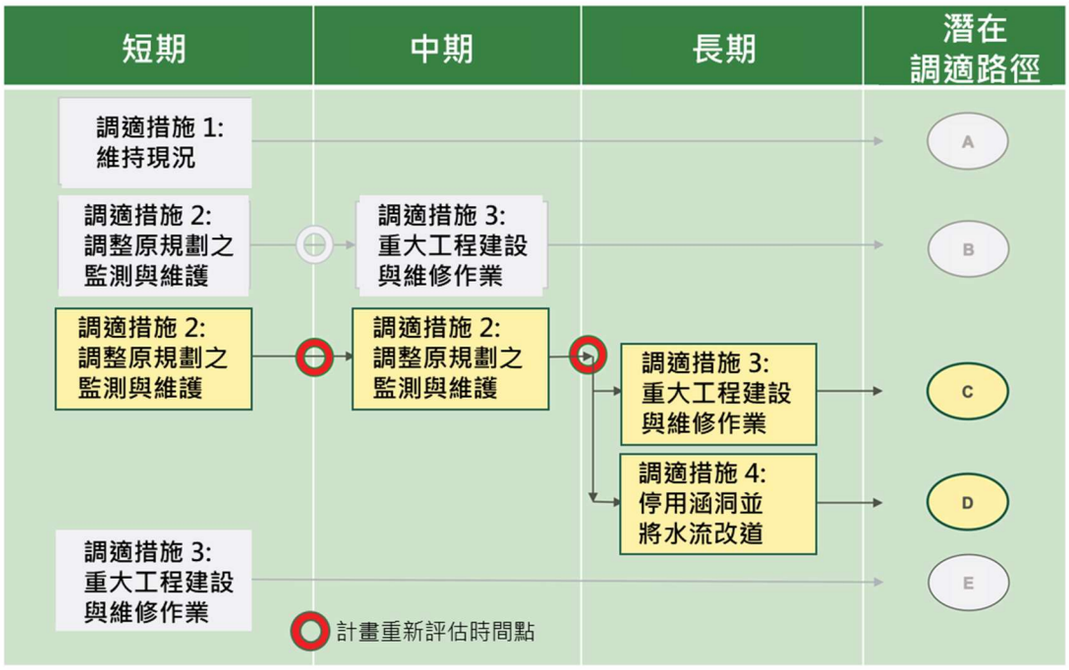


圖 2.4-5 加拿大 MAC-決策分析流程示意圖

資料來源：[159]

3. 階段三：導入調適路徑

依調適路徑進一步設計設施，同時對延遲行動的調適措施，結合氣候變化影響與調適導入的進度進行持續監測，並根據監測結果制定循環式的修正行動，透過不斷調整與改進，確保調適路徑能持續優化，最終達到氣候變遷調適的目標。

茲將此指引各步驟涵蓋之調適工作所需資料、工具及產出，彙整如表 2.4-4 所示。

表 2.4-4 加拿大 MAC-調適評估流程彙整表

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法	產出
1. 氣候風險評估—理解現在與未來氣候趨勢				
建立氣候基期	• 選擇參考的氣候資料庫 • 量化氣候基期	• 多個氣象站長期觀測資料	• 風險評估團隊會議 • 估計極端氣候的強度和重現期	• 完整歷史及現在的氣候條件
預測未來氣候條件	• 選擇未來氣候預測情境 • 理解不確定性 • 預測未來氣候	• 現有氣候預測和資料集 • 多個未來氣候情境	• 風險評估團隊會議	• 未來礦業相關氣候指標預測
2. 氣候風險評估—辨識脆弱度與風險評估				
辨識氣候變遷潛在影響和機會	• 辨識潛在影響 • 辨識機會	• 基礎設施清單 • 氣候變遷對內外部影響 • 第三方風險評估案例	• 風險評估團隊會議	• 受氣候變遷影響之基礎設施及營運等清單
風險評估框架	• 確立風險評估範圍 • 蒐集相關資訊 • 辨識脆弱度和機會 • 發展風險評級系統 • 評估脆弱度的風險	• 現有氣候預測和資料集 • 未來礦業相關氣候指標預測值 • 受氣候變遷影響之基礎設施及營運等清單	• 風險評估團隊會議 • 利益共同體(Community of Interest, COI)參與、監測和審查、紀錄和報告 • 風險矩陣	• 風險排序
3. 發展調適路徑—估算氣候影響與調適價值				
確定目標與界定範圍	• 考量需管理的風險與機會	• 氣候變遷風險評估結果 • 評估企業的地理資訊	• 地理資訊系統 • 調適團隊會議	• 調適步驟的框架

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法	產出
	• 設定調適規劃的績效指標 • 界定調適功能所發揮的範圍 • 組織調適發展的規劃團隊	• 調適團隊所需多領域專家名單		• 調適具體目標與範圍
調適選項發展	• 與第三方合作發展調適選項 • 制定調適選項清單 • 檢視調適選項的相互關係	• 調適具體目標與範圍 • 氣候變遷風險評估文件 • 調適選項的功能列表	• 調適團隊會議	• 調適選項清單
調適選項分類與預篩選	• 將選項依據特性分類 • 設定調適最低規範 • 根據規範進行預篩選	• 氣候變遷風險評估文件 • 調適選項的成本、時間與功能	• 調適團隊會議 • 動態決策模型	• 篩選過後的調適清單 • 選項的優先排序依據
發展調適路徑	• 確認現有調適措施有效性的時間 • 選擇各應對風險所需調適措施	• 預測的未來氣候條件 • 氣候變遷風險評估的結果 • 現有調適措施的實施狀況 • 辨識的潛在調適措施及其分類	• 調適團隊會議 • 動態決策模型	• 潛在的調適路徑

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法	產出
	• 調適選項導入時間設定 • 延遲行動設定門檻值與觸發值 • 發展潛在的調適路徑			
4. 發展調適路徑—決策分析與調適措施選擇				
評估調適路徑(決策分析)	• 量化調適路徑的效益與成本 • 估算未實施調適路徑的影響與責任 • 選擇適合成本效益分析工具 • 挑選最具成本效益的調適路徑	• 預測的未來氣候條件 • 氣候變遷風險評估的結果 • 現有調適措施的實施狀況 • 辨識的潛在調適措施及其分類 • 成本效益工具指引	• 調適團隊會議 • 動態決策模型 • 成本效益分析工具	• 調適路徑的優先排序
敏感度分析	• 挑選敏感度分析的變數 • 檢驗變數敏感程度 • 評估決策分析的穩健性	• 調適路徑的優先排序 • 調適路徑的變數表	• 調適團隊會議 • 敏感度分析工具	• 調適路徑選擇穩健性

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法	產出
選擇最佳調適路徑	• 辨識決策分析未考量的要素 • 評估未考量要素對調適路徑的影響 • 基於決策、敏感度分析與未納入考量要素選擇最佳調適路徑 • 調適路徑文化	• 辨識的潛在調適措施及其分類 • 調適路徑選擇的穩健性	• 調適團隊會議	• 最佳調適路徑 • 調適發展完整文件
5. 導入調適路徑—調適路徑的設計與實施				
調適措施設計	• 確認調適措施短中期的項目 • 現存基礎設施改建實施 • 新基礎設施的實行 • 訂定或修改營運、維護與監測的文件	• 調適路徑文件 • 公司標準作業流程	• 調適團隊會議 • 動態決策模型	• 調適措施設計
訂定進度追蹤指標與辨識風險	• 完工的實際條件 • 偏離原先設計的情境	• 調適路徑文件	• 調適團隊會議	• 進度追蹤指標 • 偏離設計之情境

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法	產出
6. 導入調適路徑—監督與適應性管理				
監督流程建立	• 確定監督的觀測項目與其指標 • 評估調適措施有效性 • 衡量是否在重新進行第一或第二階段的作業	• 氣候變遷風險評估的結果 • 現有調適措施的實施狀況 • 當前氣候資訊 • 導入調適措施的有效性指標	• 調適團隊會議 • 量化分析工具	• 調適措施有效性 • 已導入調適措施修改需求 • 重新執行第一或第二階段的必要性
發展適應性管理	• 前述步驟於PDCA循環中的定位 • 訂定Check階段的衡量指標 • 確認Act中修改調適措施的方案	• 調適路徑文件 • 調適措施的有效性指標	• 調適團隊會議 • PDCA模型	• 調適措施有效性 • 調適措施修改建議

資料來源：[159]及本計畫整理

2.4.3 美國-水務公用事業調適指引

美國環境保護署(U.S. Environmental Protection Agency, EPA)為聯邦政府獨立機構，權責範圍包括有水資源、空氣污染、有毒物管理與氣候調適等。EPA 為協助水務機構了解氣候危害與衝擊，於 2015 年編撰水務設施調適指引[260]，協助機構評估脆弱度與風險，提供調適策略與調適選項，整體調適架構分為五個步驟，如圖 2.4-6 所示。



圖 2.4-6 加拿大 MAC-決策分析流程示意圖

資料來源：[260]

美國環境保護署在氣候脆弱度辨識、調適策略選擇與效益分析，開發了不同階段適用的工具供機構來操作使用，說明如下。

1. 自我脆弱度評估工具(Vulnerability Self-Assessment Tool，以下簡稱 VSAT)[264,265]

自我脆弱度評估工具 VSAT 為 EPA 開發網頁界面之脆弱度評估工具，旨在協助水務公用事業辨識關鍵營運作業影響最大之風險，並尋找最具成本效益的調適選項以降低其風險，其流程與步驟彙整如表 2.4-5 所述，整體操作均透過網頁方式點選選項或輸入數值，圖 2.4-7 呈現最後一步風險評估結果報告之網頁畫面截圖。

表 2.4-5 美國 EPA-VSAT 工具流程彙整表

步驟	說明
公用事業基本資料	• 依據水務公用事業類型，並輸入基本資訊
公用事業韌性指數評估	• 根據各項公用事業韌性指數(Utility Resilience Index, URI)，選擇最符合現況之描述，共有 12 項指數。
定性風險評估	• 確定關鍵資產類別 • 選擇可能對重要資產及其營運構成高風險之威脅類型 • 描述對關鍵資產的潛在影響，或說明未選擇威脅類型之原因
定量風險評估 (選填)	• 輸入實際的資產以及可能遭受的威脅類型(包含惡意威脅、自然災害等) • 評估資產脆弱度、威脅發生的可能性及其後果 • 描述對關鍵資產的潛在影響，或說明未選擇威脅類型之原因
對策分析(選填)	• 選擇潛在調適選項 • 評估在實施調適選項後，資產脆弱度、威脅發生的可能性及其後果 • 此工具會根據使用者所輸入之潛在調適選項的資本成本、營運及維護成本，以 4%融資利率，計算按 10 年攤提的年資本成本
風險評估結果報告	• 風險評估結果報告將呈現最脆弱或高風險的資產，以利使用者掌握各個資產面對氣候變遷的脆弱度

資料來源：[264,265]及本計畫整理



圖 2.4-7 美國 EPA-VSAT 操作流程示意圖

資料來源：[264,265]及本計畫整理

2. 調適指引流程及檢核表工具(Check List)

EPA 提供四種資料庫引導使用者了解所在位置之氣候資訊、可能遭受的衝擊，及因應每個氣候衝擊之調適選項，其後應用指引所提供之調適計

畫工作表工具，能產製調適計畫供後續追蹤檢討使用，其使用流程如圖 2.4-8 所示，說明如下：

(1) 氣候分區簡介：概述美國整體九大氣候分區，同一區域內各地在未來可能面臨相似的氣候衝擊，並提供與該區域公用事業相關之氣候衝擊表。

(2) 氣候衝擊簡介：針對氣候變遷所造成之衝擊，本指引將其劃分為為五個類別，分別為：乾旱、水質惡化/污染、洪水、生態系變化、服務/需求與使用變化，簡介各氣候衝擊類別對飲用水或汙水的影響及其調適選項，並提供調適選項相對成本的彙總清單。

(3) 策略簡介：針對各氣候衝擊對飲用水和汙水所造成之影響，提供相應之調適選項及其相對成本資訊。

(4) 永續發展簡介：概述永續發展與調適規劃之結合使用，包含綠色基礎設施、能源管理與水需求管理等三項策略。

(5) 調適計畫工作表：待使用者了解氣候變遷調適相關資訊後，可藉由調適計畫工作表彙編其所需之資訊，並依據其用途自訂內容，俾利使用者確定將面臨之氣候衝擊、風險及其調適選項。

此外，EPA 亦依水務設施於規劃、營運、重置之生命週期，提供不同階段可選用之調適選項，同時搭配三種半定量成本「$」符號，提供決策時參考，如圖 2.4-9 所述。

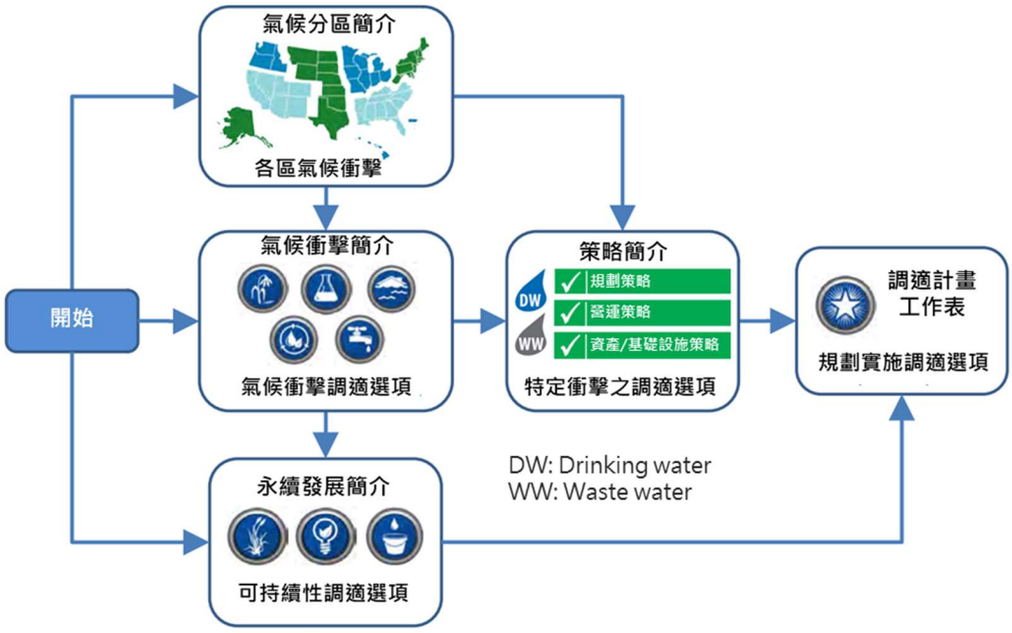


圖 2.4-8 美國 EPA-調適策略指引使用流程圖

資料來源：[260]及本計畫整理

規劃階段

✓	PLANNING (continued)	COST
✓	Use hydrologic models to project runoff and incorporate model results during water supply planning.	$
	Conduct climate change impacts and adaptation training for personnel.	$
	Participate in community planning and regional collaborations related to climate change adaptation.	$-$$

營運階段

✓	OPERATIONAL STRATEGIES	COST
✓	Monitor current weather conditions, including precipitation and temperature.	$
	Monitor surface water conditions, including river discharge and snowmelt.	$
✓	Finance and facilitate systems to recycle water, including use of greywater in homes and businesses.	$$-$$$
	Practice conjunctive use (i.e., optimal use of surface water and groundwater).	$$-$$$
	Reduce agricultural and irrigation water demand by working with irrigators to install advanced equipment (e.g., drip or other micro-irrigation systems with weather-linked controls).	$$-$$$
✓	Practice demand management through communication to public on water conservation actions.	$
✓	Practice water conservation and demand management through water metering, leak detection and water loss monitoring, rebates for water conserving appliances/toilets and/or rainwater harvesting tanks.	$-$$

初期建設長期重置階段

✓	CAPITAL/INFRASTRUCTURE STRATEGIES	COST
	Acquire and manage ecosystems, such as forested watersheds, vegetation strips and wetlands, to regulate runoff.	$$$
	Build infrastructure needed for aquifer storage and recovery, either for seasonal storage or longer-term water banking, (e.g., recharge canals, recovery wells).	$$$
	Diversify options to complement current water supply, including recycled water, desalination, conjunctive use and stormwater capture.	$$$
✓	Expand current resources by developing regional water connections to allow for water trading in times of service disruption or shortage.	$$-$$$
✓	Increase water storage capacity, including silt removal to expand capacity at existing reservoirs and construction of new reservoirs and/or dams.	$$-$$$
✓	Increase or modify treatment capabilities to address treatment needs of marginal water quality in new sources.	$$$

圖 2.4-9 美國 EPA-乾旱情境調適選項檢核案例示意圖

資料來源：[260]及本計畫整理

3. 氣候韌性及認知評估工具(Climate Resilience Evaluation and Awareness Tool, CREAT)[261,262]

氣候韌性及認知評估CREAT為EPA開發之單機應用程式，可結合GIS、氣候、財務進行情境分析、成本效益評估，透過不同的模擬氣候情境與調適策略對風險值與財務影響，進行決策排序，其操作應用流程及畫面截圖如圖 2.4-10、圖 2.4-11 所示。

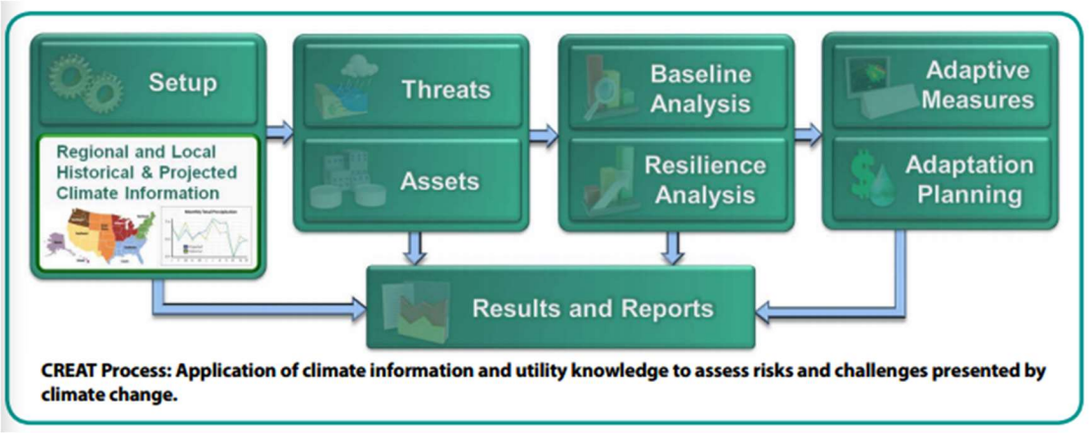


圖 2.4-10 美國 EPA-CREAT 操作應用流程圖

資料來源：[2]及本計畫整理

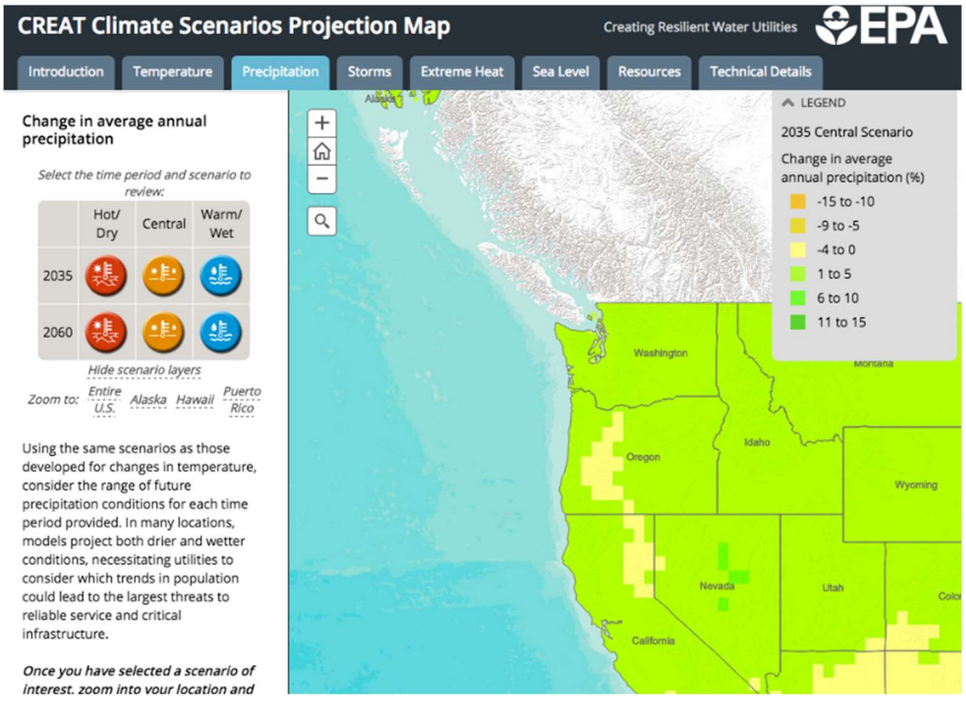


圖 2.4-11 美國 EPA-CREAT 畫面截圖

資料來源：[2]及本計畫整理

CREAT 系統有五個模組，包含：氣候認知、氣候情境、氣候衝擊及資產評估、調適策略及風險評估模組，可用於評估短期和長期風險，有關 CREAT 各模組輸入及產出彙整如表 2.4-6。

表 2.4-6 美國 EPA-CREAT 模組輸入及產出彙整表

模組	輸入	產出
氣候認知模組	• 公用事業的地理位置 • 公用事業基本資訊（如服務人口數、財務狀況等） • 公用事業提供的服務類型（如飲用水、汙水等） • 目前關注議題	• 潛在氣候衝擊對公用事業及當地社區影響之描述
氣候情境模組	• CREAT 提供之歷史及未來氣候數據 • 使用者自訂數據（如人口趨勢、降雨門檻值等） • 評估時間範圍 • 目前關注議題	• 各個情境及其相關衝擊清單
氣候衝擊及資產評估模組	• 關鍵資產及其潛在風險 • CREAT 提供或使用者自訂之氣候衝擊對資產造成的財務影響分級 • CREAT 提供或使用者自訂之服務中斷對服務區域的經濟影響分級 • CREAT 提供或使用者自訂之服務中斷對公共衛生的影響分級	• 氣候衝擊對資產造成的財務影響矩陣 • 資產清單 • 服務區域經濟和公共衛生後果矩陣
調適策略模組	• CREAT 提供或使用者自訂之現有及潛在調適選項 • 調適選項成本資訊 • 調適選項與氣候衝擊的相關性	• 各項調適計畫及其包含的調適選項之成本資訊
風險評估模組	• 每個情境及其在評估中定義的相關衝擊清單 • 氣候衝擊對資產造成的財務影響矩陣 • 服務區域經濟和公共衛生後果矩陣 • 各項調適計畫及其包含的調適選項之成本資訊	• 風險評估結果

資料來源：[261,262]及本計畫整理

茲將 EPA 水務公用事業調適策略指引各步驟涵蓋之調適工作所需資料、工具及產出，彙整如表 2.4-7 所述。

表 2.4-7 美國 EPA-調適評估流程彙整表

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法	產出
了解氣候變遷衝擊及挑戰	確定資產所在之氣候區域	• 資產地理位置資訊 • 氣候分區簡介	• 依據資產的地理位置資訊，確定其所在之氣候區域	• 資產所在之氣候區域
	了解區域氣候變遷趨勢與衝擊	• 資產所在之氣候區域 • 氣候分區簡介	• 依據資產所在之氣候區域，查找該區域的氣候變遷趨勢與衝擊資訊	• 資產所在之氣候區域的未來氣候變遷趨勢及衝擊描述
鑑別故障或損壞門檻值	盤點關鍵資產、營運要素及公用事業系統	• 設施資產清單 • 營運作業流程資訊	• 蒐集相關內部文件進行盤點	• 關鍵資產及營運要素清單
	界定故障或損壞門檻值	• 關鍵資產及營運要素清單 • 歷史事件和性能數據 • 資產規格和設計標準	• 歷史數據分析、現場檢查、系統建模	• 關鍵資產及營運要素之故障或損壞門檻值
風險評估	評估關鍵資產及營運的潛在風險	• 資產所在之氣候區域的未來氣候變遷趨勢及衝擊描述 • 關鍵資產及營運要素之故障或損壞門檻值	• 基於情境或由上而下的方法、決策尺度或基於門檻值的方法、穩健決策方法等評估方法 • 氣候韌性評估及認知工具(CREAT)	• 風險評估結果
確定調適選項	界定調適選項	• 風險評估結果 • 現有資產改善計畫和優先事項 • 現有和預計的可用資源 • 氣候衝擊簡介、永續發展簡介、策略簡介	• 根據風險評估結果及相關資料，挑選適合的調適選項	• 調適選項清單
	擬定調適計畫	• 組織基本資料 • 資產所在之氣候區域的未來氣候	• 調適計畫工作表	• 調適計畫

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法	產出
		變遷趨勢及衝擊描述 • 調適選項清單 • 調適實施規劃資訊		
實施及監測	實施調適計畫	• 調適計畫	• 依照調適計畫實施調適選項	• 調適計畫實施結果
	監測調適計畫	• 調適計畫 • 調適計畫實施結果 • 新的氣候資訊和工具	• 根據監測指標，比較調適計畫的預期成果與實際實施結果，並在獲取新資訊後，適時重新評估風險與調適選項	• 調適計畫監測結果

資料來源：[260 及本計畫整理

2.4.4 美國-地質災害韌性手冊

美國聯邦公路總署(Federal Highway Administration, FHWA)為因應極端氣候與天氣，於 2023 年編撰地質災害韌性手冊[67]，提出「考量氣候變遷之運輸工程調適方法」(Transportation Engineering Approaches to Climate Resiliency, TEACR)，致力協助州交通局及相關單位制定或改善地質災害管理計畫，並將氣候變遷風險納入考量，以具成本效益的方式管理與降低風險，建立具韌性的交通系統，其地質災害管理計畫共包含七個步驟，如圖 2.4-12 所示。



圖 2.4-12 美國 EPA-CREAT 畫面截圖

資料來源：[67]及本計畫整理

手冊中建議機構於制定計畫時，可參考 FHWA 編撰之脆弱度評估與調適框架[66](Vulnerability Assessment and Adaptation Framework)，結合風險與資產管理，進行脆弱度評估、調適方案分析並整合結果至決策，其框架如圖 2.4-13 所示。



圖 2.4-13 美國 FHWA-脆弱度評估與調適框架示意圖

資料來源：[66]及本計畫整理

FHWA 之地質災害韌性手冊中，亦對氣候風險脆弱度與調適評估作業提供了適用的分析工具，說明如下。

1. Hazus 災害脆弱度評估工具[64]

Hazus 災害脆弱度評估工具為美國聯邦緊急事務管理署(Federal Emergency Management Agency, FEMA)開發之模型，結合了科學建模與空間資訊，可用來模擬與量化不同災害對社區與基礎設施的潛在影響，模擬的災害類型包括有：地震、颶風、洪水與海嘯。在氣候調適與基礎建設應用上，可協助辨識高風險地區與脆弱資產(如橋梁、鐵道、學校)、評估調適方

案的效益(例如提防工程、地基補強)、支援地方政府與機構制定減災投資計畫與資金申請、及為資產管理、韌性標準制定提供數據依據。

以洪水為例，圖 2.4-14 呈現對美國南卡羅萊納州 Charleston 之案例分析，流程中依需求建立了分析區域的地形高程、風暴潮模擬與沿岸特性資料等災害場景，整合數據進脆弱度評估，分析 Charleston 沿岸地區在模擬風暴事件下可能的淹水範圍與深度。

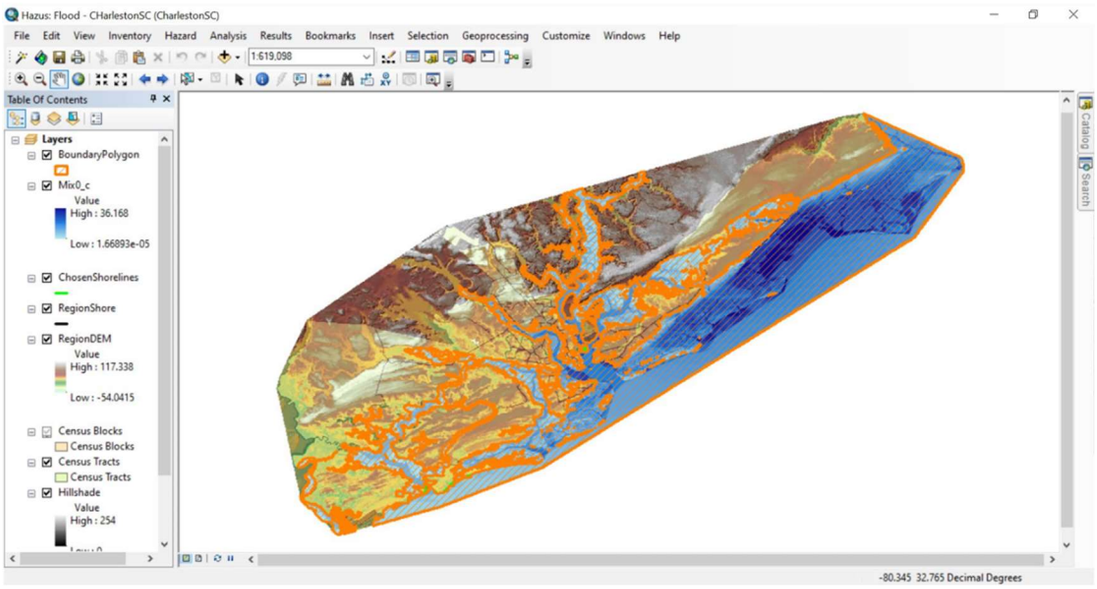


圖 2.4-14 美國 FHWA-Hazus 沿海淹水風險範例截圖

資料來源：[64]及本計畫整理

2. 調適決策評估程序(Adaptation Decision-Making Assessment Process, ADAP)[65]

調適決策評估程序 ADAP 為美國 FHWA 依風險為本所制定的系統性評估機制，用以協助交通與基礎設施機構有效應對氣候變遷風險，此程序可協助道路、橋梁、鐵道等機構在面對氣候衝擊時，有條理的辨識問題、篩選調適選項並評估效益，進而採取具成本效益且具韌性的決策。

ADAP 程序共有 11 個步驟，範圍涵蓋風險辨識、氣候情境開發、既有設施風險評估、調適選項設計評估、經濟分析與決策行動，如圖 2.4-15 所示。

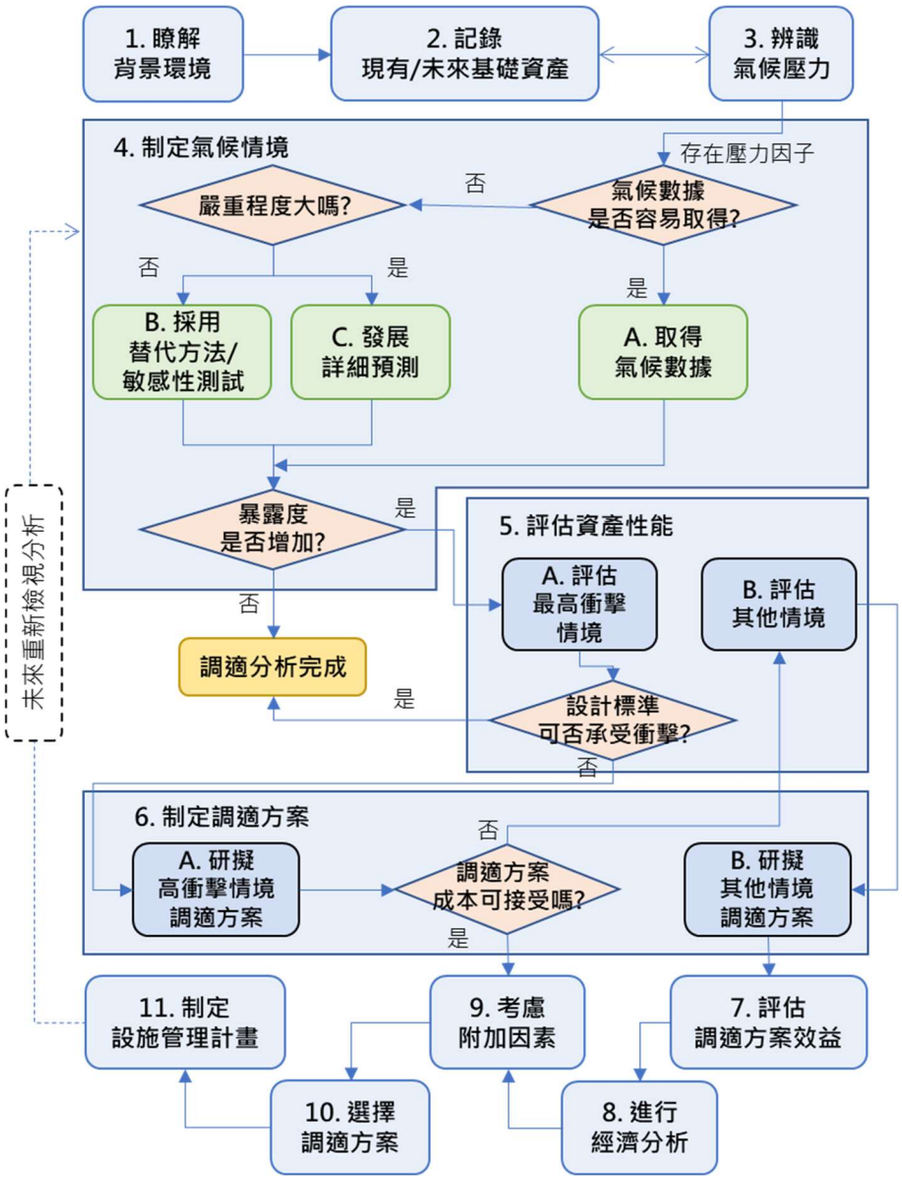


圖 2.4-15 美國 FHWA-ADAP 調適決策評估程序

資料來源：[65]及本計畫整理

3. 大地資產管理系統（Geotechnical Asset Management, GAM）[67]

大地資產管理系統 GAM 是地質基礎相關設施的管理框架，透過系統性的方法管理和維護地質基礎設施資產。在氣候調適與地質基礎設施應用上，可協助將氣候變遷因素納入資產風險評估，優先排序高風險資產進行調適，同時整合 GIS、監測技術與風險評估工具，進行系統性與持續性的資產管理機制。

美國科羅拉多州交通局開發的風險立方體模型，為 GAM 框架下的資產風險分類與決策工具，其三個維度中包括有資產類別(Asset Type)、危害

來源(Hazard Source)與績效目標(Performance Goal)，可分析在特定氣候風險下，哪些資產無法達成特定績效目標，進而排定優先順序進行調適工程或監測佈設，例如「邊坡×豪雨×安全」這一組合落在高風險區，表示在豪雨事件下，邊坡可能無法保障結構安全，因此需進行補強或監測。

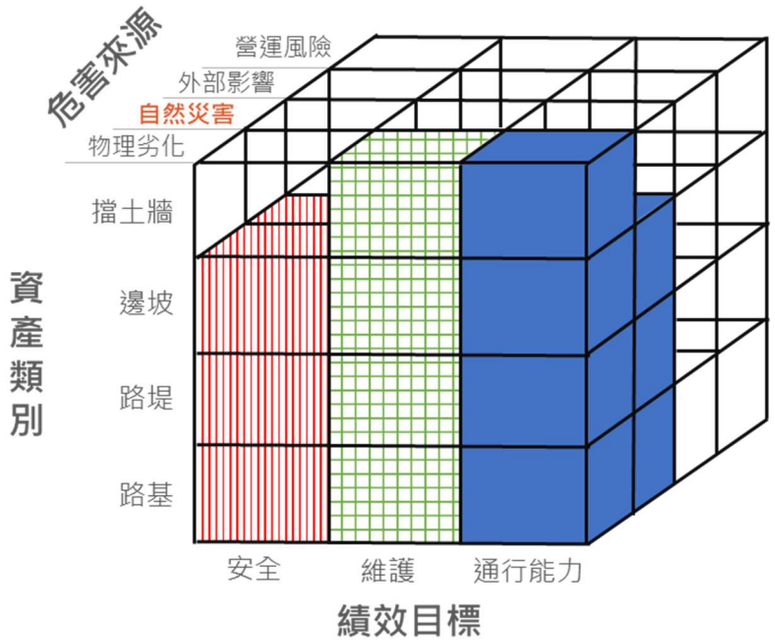


圖 2.4-16 美國 FHWA-GAM-風險立方體模型案例

資料來源：[67]及本計畫整理

茲將 FHWA 地質災害韌性手冊各步驟涵蓋之調適工作所需資料、工具及產出，彙整如表 2.4-8 所示。

表 2.4-8 美國 FHWA-調適評估流程彙整表

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法	產出
1. 地質災害辨識				
建立地質災害資料庫	開發數位化地質災害事件資料庫	• 歷史地質災害紀錄 • 地點資訊 • 事件後果 • 機構成本	• GIS 系統 • 資料庫管理軟體	• 地質災害資料庫 • 災害圖資
與地質機構合作	與州地質調查機構聯繫取得專業知識	• 地質機構聯絡資訊 • 現有地質資料	• 機構間合作會議	• 合作備忘錄 • 共享資料協議

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法	產出
訓練維護人員	發展地質災害辨識訓練計畫	• 地質災害辨識指引 • 實地案例	• 訓練課程 • 現場示範	• 訓練手冊 • 通報程序 • 具備相關知識的維護人員
2. 氣候變遷影響評估				
收集氣候變遷資料	獲取相關的氣候變遷預測數據	• 氣候預測資料(降雨量、溫度、海平面上升等)	• 本手冊 • TEACR 綜合報告 • DCHP 資料庫 • CMIP 工具 • 美國 NCA 報告 • 其他氣候報告研究	• 地區特定氣候預測數據
分析氣候壓力與地質災害關係	確定氣候因素如何影響地質災害頻率和嚴重性	• 氣候指標與地質災害相關性研究	• 統計分析 • 案例研究	• 氣候壓力與地質災害關係分析報告
發展氣候情境	多種排放情境開發氣候預測	• RCP 情境數據	• 降尺度氣候模型	• 多種氣候情境下的未來預測報告
3. 系統脆弱度評估				
評估運輸系統脆弱性	使用風險矩陣評估不同地質災害對運輸系統的影響	• 交通設施資料 • 運輸系統結構 • 流量數據	• FEMA 之 Hazus 工具 • 專家意見	• 脆弱性地圖 • 風險矩陣
開發優先順序評分系統	建立地質災害評分系統	• 危害分數 • 維護效益成本 • 公路分級資料	• 危害評分方法(如 RHRS)	• 優先處理項目清單
4. 資產調適評估				
實施 ADAP 流程	針對個別資產設施使用 FHWA 的調適決策評估流程	• 資產設施資料 • 社區環境資料	• ADAP 評估流程	• 調適分析報告

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法	產出
開發調適選項	確定針對不同地質災害的可能調適策略	• 調適技術資料 • 案例研究	• 地質技術解決方案數據庫	• 調適選項清單及其效果分析
經濟分析	評估各項調適選項的成本效益	• 建設成本 • 維護成本 • 社會經濟影響	• 成本效益分析 • 淨現值分析	• 經濟分析報告 • 調適決策建議
5. 資產管理系統				
制定地質技術資產管理(GAM)框架	開發管理地質技術資產的系統	• 地質技術資產清單 • 分類資料	• 資產管理系統	• GAM 框架文件
資產狀況評估	收集資產狀況資料	• 視覺觀察 • 位移測量資料 • 維護記錄	• 檢測技術 • 遙感技術	• 資產狀況資料庫
6. 績效評估				
建立績效指標	開發評估地質災害管理計畫的指標	• 走廊評級 • 使用者成本 • 維護成本	• 績效評估框架	• 績效指標清單
監測與追蹤	建立監測系統追蹤績效	• 事件數據 • 措施效果	• 事件定期追蹤	• 績效監測報告
7. 公眾傳播與溝通				
開發溝通策略	設計與公眾溝通地質災害風險的方法	• 社會經濟資料 • 受影響社區資訊	• 社會經濟調查問卷	• 溝通策略文件
創建公眾資訊工具	開發公眾可訪問的地質災害資訊平台	• 地質災害地圖 • 風險評估數據	• 網頁 GIS 工具 • 互動式地圖平台	• 公眾資訊網站

資料來源：[67]及本計畫整理

2.4.5 UIC-RERA 強降雨調適指引

因應氣候變遷造成強降雨事件對鐵道系統之衝擊日益嚴重，國際鐵路聯盟(UIC)於 2025 年結合歐洲多個基礎設施的管理機構，共同執行《面對強降雨的韌性鐵道》計畫(Resilient Railways facing Heavy Rains, RERA-Rain)[268]。

此報告書分為兩部分，第一部份針對強降雨衝擊做根本原因分析，第二部分則提出一套適用於評估鐵道系統對強降雨危害之調適架構指引，其架構共分為三階段、五步驟，如圖 2.4-17 所示。



圖 2.4-17 UIC-強降雨調適指引步驟示意圖

資料來源：[268]及本計畫整理

一、強降雨衝擊之根本原因分析

UIC 韌性鐵道工作小組彙整與分析近年之歐洲鐵道受強降雨衝擊事件(計畫中共彙整 18 件，如圖 2.4-18 所述)，透過事件分析結果顯示，強降雨主要係以四種形式對軌道產生衝擊，分別為山崩與土石流(47%)、軌道積水(40%)、軌道路基沉陷(13%)以及橋梁毀損(7%)等。



圖 2.4-18 UIC-強降雨對歐洲鐵道衝擊事件分布示意圖

資料來源：[268]及本計畫整理

工作小組針對強降雨事件對鐵道系統造成之衝擊進行深入分析，歸納其根本成因可分為外部與內部因素兩大面向，以及其相對應之衝擊與後果，如圖 2.4-19 所示，內容謹說明如下：

1. 外部因素：氣候變遷導致極端降雨事件之頻率與強度顯著提升，已超出既有設計標準所能承受之範疇，傳統基礎設施設計與管理經驗難以有效因應此類變化。此外，氣象預報與實際降雨情形間存在預測誤差，亦可能造成管理單位在預警發布與應變準備上的延誤或誤判，進一步加劇災害風險。

2. 內部因素：鐵道設施老化與維護不足為主要內部風險來源之一。多數鐵道系統尚未建立完整且系統化之氣候風險辨識與管理機制，導致部分關鍵路段未能及時辨識其高風險特性，在災害發生時缺乏有效應對能力。排水系統設計容量不足、維護作業不周，以及緊急應變計畫未能落實，亦為強降雨事件頻繁導致重大事故之關鍵內部因素。

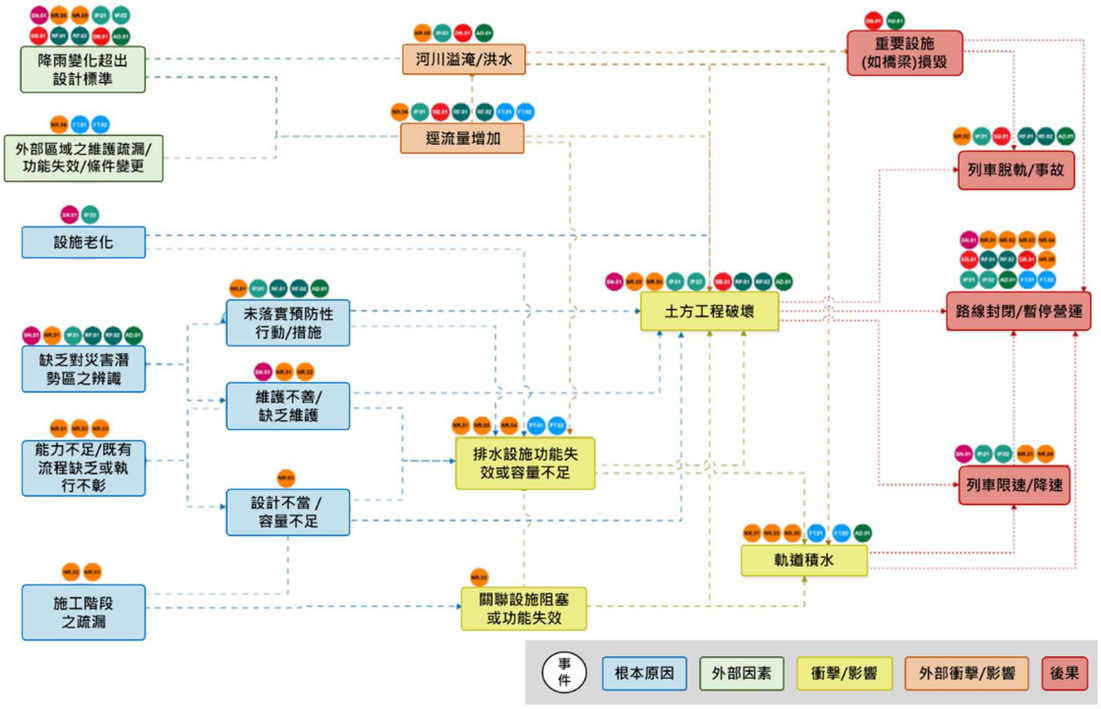


圖 2.4-19 UIC-強降雨之根本原因、衝擊與結果關係圖

資料來源：[268]及本計畫整理

二、RERA 強降雨鐵道系統調適架構

為有效應對上述衝擊與災害後果，UIC 開發具靈活性、擴展性與跨系統性的調適架構，適用於不同層級與規模的鐵道資產管理需求，並同時協助鐵道相關管理人員更加了解降雨模式的變化，各階段相關內涵說明如下：、

1. 階段一：氣候衝擊分析

本階段核心目標為運用系統性與量化方法，預測氣候變遷下特定地區未來強降雨事件之變化特性，包括降雨頻率、強度、持續時間與空間分布，做為後續脆弱度、風險與關鍵性評估之重要輸入資訊，協助鐵道機構掌握潛在風險並制定調適策略。

(1) 氣候變遷情境與時間範圍

指引中的氣候情境設定採用 IPCC 提出之代表性濃度路徑(RCPs)與共享社會經濟路徑(SSPs)，涵蓋低至高排放趨勢。此外，預測之氣溫與降雨強度會隨時間及氣候變遷情境而有所差異，評估作業通常劃分為三個時期：短期、中期與長期(時間尺度之範圍並未標準化，可依機構需求採用不同區間設定)。

上述模擬資料之來源包含全球氣候模型(GCMs)、區域氣候模型(RCMs)與隨機天氣變化模型(Weather Generators)，為引導機構選擇適用之氣候模型，指引將三種模型進行優缺點比較，如表 2.4-9 所示。

表 2.4-9 UIC-氣候模型之優勢與局限比較表

模組	輸入	產出
氣候認知模組	• 公用事業的地理位置 • 公用事業基本資訊（如服務人口數、財務狀況等） • 公用事業提供的服務類型（如飲用水、汙水等） • 目前關注議題	• 潛在氣候衝擊對公用事業及當地社區影響之描述
氣候情境模組	• CREAT 提供之歷史及未來氣候數據 • 使用者自訂數據（如人口趨勢、降雨門檻值等） • • 評估時間範圍 • 目前關注議題	• 各個情境及其相關衝擊清單
氣候衝擊及資產評估模組	• 關鍵資產及其潛在風險 • CREAT 提供或使用者自訂之氣候衝擊對資產造成的財務影響分級 • CREAT 提供或使用者自訂之服務中斷對服務區域的經濟影響分級 • CREAT 提供或使用者自訂之服務中斷對公共衛生的影響分級	• 氣候衝擊對資產造成的財務影響矩陣 • 資產清單 • 服務區域經濟和公共衛生後果矩陣

資料來源：[268]及本計畫整

(2) 未來降雨量分析

鐵道機構於掌握氣候變遷資料並訂定時間範圍後，可依循以下步驟之引導，進行不同氣候情境下的降雨量預測，各步驟謹說明如下：

I. 蒐集與推估降雨資料：降雨的頻率、持續時間與強度，可依據具體之評估面向，由降雨（量）指標、雨量百分位值、重現期降雨量以及降雨週期等四類指標中選取特定指標，以進行雨量預測。

- 檢索降雨資料：為取得準確且可靠之資料，進行評估時常須採用國家公開資源，或整合地方氣象數據以及氣候變遷模型，

以獲得特定區域或計畫適用之資料。

- 「降尺度」以納入氣候變遷影響：降雨資料依據發布機構或資料庫不同，部份資料僅記錄歷史降雨量，並未結合氣候變遷模擬數據。因此，UIC 提出兩種將氣候變遷資料納入降雨預測之方法，分別為「降尺度法[172]」以及「克勞修斯-克拉佩龍方程法（Clausius-Clapeyron relationship）[97]」。

II. 分析氣候變遷對降雨資料的影響：當已取得納入氣候變遷影響考量之降雨資料，即需進行分析，以理解其對降雨型態所造成的影響；UIC 建議採用氣候模型之模擬資料，並依步驟(3)與步驟(4)，計算「未來降雨量與歷史降雨量之比值」，以量化氣候變遷對降雨量的潛在影響。

III. 制定數據清單：為推算降雨量比值，UIC 建議清單中宜包含下列資料。

- 氣象站觀測之降雨量數據。
- 氣候模型模擬之歷史降雨量數據。
- 氣候模型模擬之未來降雨量數據。

IV. 計算未來與歷史降雨量之比值。

V. 更新觀測數據：利用推算出之降雨量比值，可將實際觀測數據，以氣候模型模擬出的未來降雨相關數據(如重現期雨量)進行更新或比較，用以分析不同氣候變遷情境下的降雨趨勢變化。

VI. 預先計算脆弱度與風險評估之參數：UIC 建議可於此步驟先推算脆弱度與風險評估時須使用之重要參數，並提供計算指引，包含以下數據。

- 洪峰流量：常用的洪峰流量估計方法包含合理化公式(Rational Method)、SCS 逕流曲線指數法(SCS Curve Number Method)、半分佈式模型(Semi-distributed Models)、洪水頻率分析法(Flood Frequency Analysis, FFA)及區域化公式法(Regional Formulas)等。另，尖峰流量係根據特定重現期之降雨強度進行推估，而降雨強度可透過「強度－持續時間－重現期(IDF)

曲線」進行計算與解釋。

- 水流速度與洪水位高度：針對特定資產進行水流流速與水位進行推估時，需執行詳細的水理分析，通常涉及數值模擬作業，建議諮詢專家或參閱相關分析文獻。

VII.擇定評估事件：選擇適當且具代表性之降雨事件以進行階段二分析，有助於界定潛在衝擊的範疇、模擬真實且可能性高的風險，亦可釐清須深入研析或立即介入之鐵道區段；因此，UIC 提供兩項選擇方法，協助機構挑選適切之分析對象。

- 門檻值基準法(Thresholds-based approach)：此方法以現有設施之設計標準為基準，評估未來氣候條件下設計門檻值遭逾越、設施失效或損壞的頻率變化。此方法首先須選取或設定臨界值(如排水容量、軌道容許降雨量等)，再分析氣候模擬資料中超過門檻的事件強度與頻率。若未來情境中此類事件顯著增加，則表示風險升高，需啟動調適規劃。
- 情境基準法(Scenario-based Approach)：此方法透過設定不同等級之危害情境，並模擬其於未來氣候條件下的變化，以涵蓋不同程度的災損、潛在後果與發生機率；危害等級包含常態危害級(危害低於設計標準，重現期約 1~2 年)、設計危害級(危害符合設計標準，重現期約 50 年)、極端危害級(危害超越設計標準，重現期約 200 年)。

2. 階段二：脆弱度評估

脆弱度評估之目標為辨識現況與未來情境下，鐵道系統中容易受到強降雨事件衝擊的設施、區段或系統。UIC 採用之脆弱度定義與 IPCC AR4 相同，認為脆弱度取決於暴露度與敏感度之交互影響，其詳細評估公式與指標如圖 2.4-20 所示。

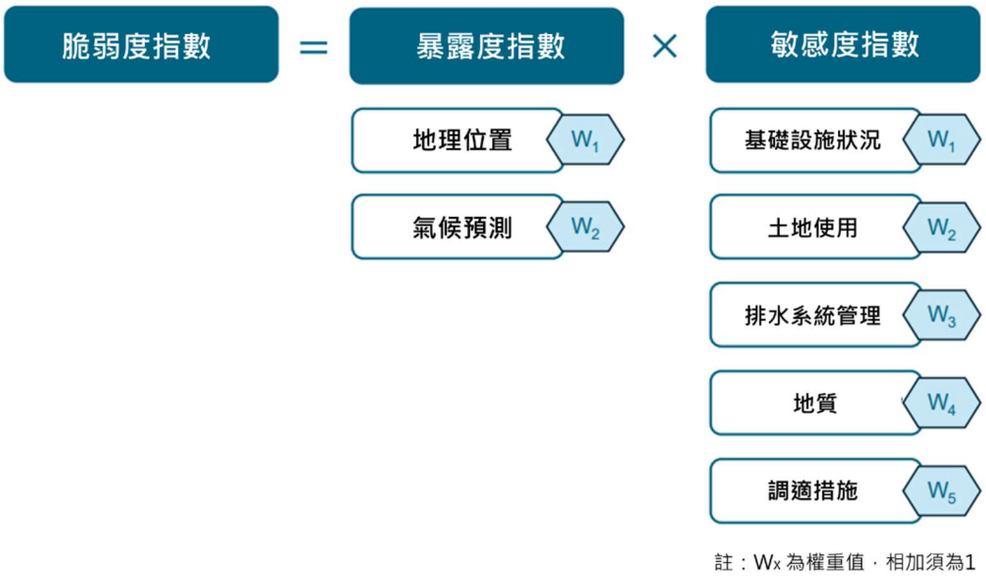


圖 2.4-20 UIC-強降雨事件之鐵道脆弱度評估與指標架構圖

資料來源：[268]及本計畫整理

前揭圖 2.4-20 中的暴露度與敏感度各項指標皆係以半定量方法進行評估，依據其程度由「極低」至「極高」分別給予 1~5 之等級分數，如表 2.4-10 範例所示。故為將評估結果呈現良好的視覺化分級效果，UIC 建議以 5×5 的暴露度－敏感度矩陣來對鐵道資產進行脆弱度分級，如圖 2.4-21 所示。

表 2.4-10 UIC-強降雨事件之鐵道脆弱度指標分級範例表

等級	定義	描述
1	極低	位於海拔高、地形穩定、天然排水佳之區域，且無洪水歷史事件
2	低	位於中等海拔、坡度平緩區域，遠離洪水好發地區且洪水歷史事件少
3	中等	位於中等海拔、坡度適中區域，具有局部淹水風險且歷史中偶有洪水事件
4	高	位於低窪地區，鄰近河川或氾濫平原且坡度較陡，常見輕度洪水
5	極高	位於低海拔地區，常有嚴重洪水歷史事件，排水不良且坡度陡峭

資料來源：[268]及本計畫整

		敏感度指數				
		極低 (1)	低(2)	中等(3)	高 (4)	極高 (5)
暴露度指數	極低 (1)	1	2	3	4	5
	低(2)	2	4	6	8	10
	中等(3)	3	6	9	12	15
	高 (4)	4	8	12	16	20
	極高 (5)	5	10	15	20	25

脆弱度指數	極低	低	中等	高	極高
	≦3	4 - 6	7 - 11	12 - 16	> 16

圖 2.4-21 UIC-強降雨事件之鐵道脆弱度矩陣與級距範例圖

資料來源：[268]及本計畫整理

3. 階段二：風險評估

本步驟為脆弱度評估之延續，故風險評估之目標為針對脆弱度較高之資產，進一步分析強降雨或洪水事件對鐵道系統造成衝擊的嚴重程度與發生機率。風險評估之架構與脆弱度評估相似，係由兩項指標(嚴重度與發生機率)之交互作用進行評量，如圖 2.4-22 所示。

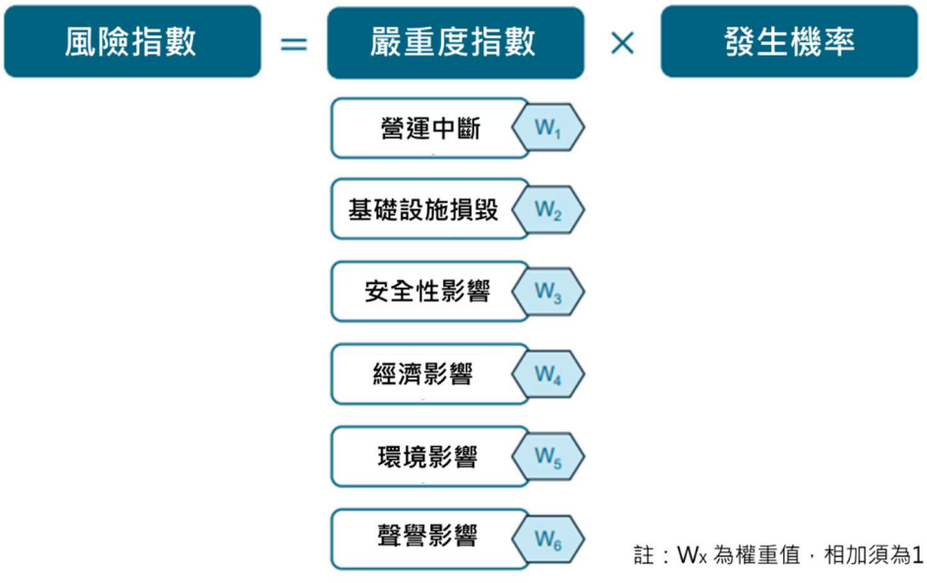


圖 2.4-22 UIC-強降雨事件之鐵道風險評估架構圖

資料來源：[268]及本計畫整理

有關圖 2.4-22 中的嚴重度指標與發生機率皆係以半定量方法進行評估，分級方式與脆弱度評估相似，依據其程度由「極小/極低」至「災難性/極高」，分別給予 1~5 之等級分數。因此，UIC 建議以 5×5 的嚴重度－發生可能性矩陣來對鐵道資產進行風險分級，以將評估結果作視覺化呈現，惟此處僅將風險分為四個等級，如圖 2.4-23 所示。

		嚴重度指數				
		極小 (1)	輕微(2)	中等(3)	重大 (4)	災難性 (5)
發生機率	極低 (1)	1	2	3	4	5
	低(2)	2	4	6	8	10
	中等(3)	3	6	9	12	15
	高 (4)	4	8	12	16	20
	極高 (5)	5	10	15	20	25

風險指數	輕微	中等	重大	嚴重
	≦3	4 - 9	10 - 16	> 16

圖 2.4-23 UIC-強降雨事件之鐵道脆弱度矩陣與級距範例圖

資料來源：[268]及本計畫整理

4. 階段二：關鍵性評估

關鍵性評估之目標為分析鐵道設施或系統的關鍵程度，以判斷其中斷或失效對整體營運、社會經濟與公共服務所造成的影響程度，且設施關鍵度將決定其可容忍之風險值。UIC 建議將關鍵性評估置於評估流程之末項，可確保脆弱度高但低關鍵性的區段不會被忽略。關鍵性評估之架構由六項指標構成，分別說明如下，並如圖 2.4-24 所示。

(1) 營運與經濟重要性：此項指標衡量鐵道設施或路線在支援日常營運及促進地方、區域或國家經濟方面的重要性，涵蓋其於客運與貨運運輸中的角色，以及整體財務收益之重要性。

(2) 軌道等級與功能類別：此項指標評估鐵路軌道的等級，包括其支援高速行駛與貨運業務之能力，以及整體基礎設施品質與其所適用之設計標準。

(3) 替代路線存在與可行性：此項指標評估在主要鐵道路線中斷時，替代路線的可用性與運行效率，涵蓋其運輸容量、行程時間及可靠度等面向。

(4) 客運與貨運量：此項指標衡量使用該路線的乘客量，以反映其在公共運輸、日常通勤與城際旅行中的重要性；或衡量透過該路線運輸的貨物量，以顯示其在支援貿易、產業與供應鏈方面的關鍵性。

(5) 結與樞紐性：此項指標評估該設施或路線與整體路網之整合程度，包括其做為多條路線交會樞紐的功能，以及促進鐵道服務順暢運行的能力。

(6) 緊急應變與策略重要性：此項指標衡量該鐵道設施或路線在國家與區域安全、緊急應變與戰略運輸中的角色，包括其在軍事後勤與災害管理方面的重要性。

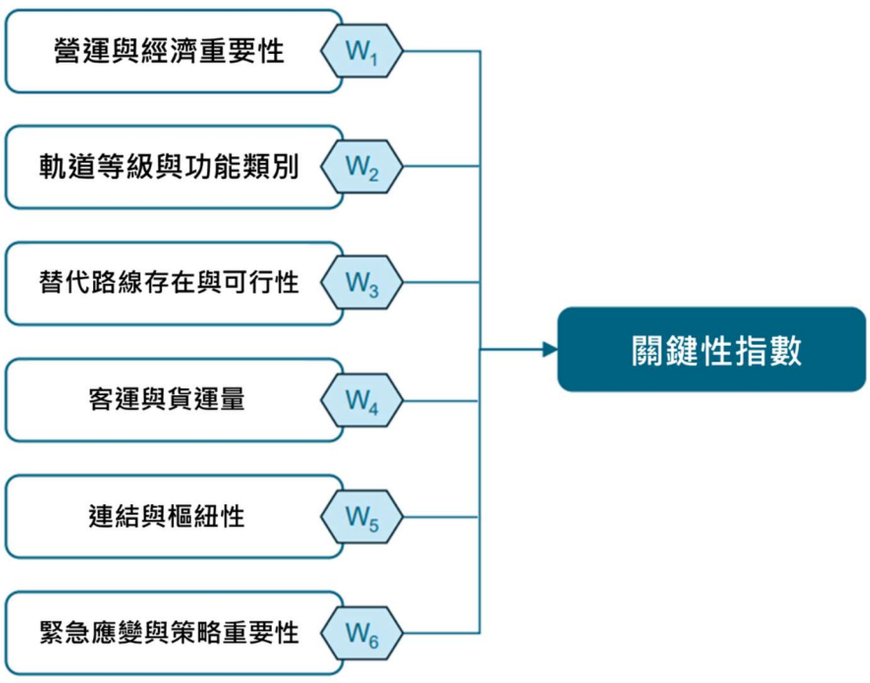


圖 2.4-24 UIC-強降雨事件之鐵道設施關鍵性評估架構圖

資料來源：[268]及本計畫整理

5. 階段三：制定調適計畫

在完成氣候衝擊分析以及脆弱度、風險與關鍵性評估之後，第三階段的核心目標在於將前述成果轉化為具體的調適選項，並形成一套系統化的

策略，以提升鐵道系統面對強降雨的整體韌性。因此，UIC 為指引及協助鐵道機構進行調適決策，提供一套調適選項分類架構，包含四項分類準則，分別為調適選項類型、應用範疇、韌性階段以及韌性原則，依序說明如下。

(1) 調適選項類型：本項準則針對降低風險與強化韌性所採取的策略與行動，依其在基礎設施系統中的焦點與應用分為七個子類別，說明如下：

- 設計策略：採用高於現行規範標準之新設計方案，導入具韌性的材料或功能以因應潛在災害。
- 韌性建設：特定施工技術與工法，旨在降低極端天氣事件的衝擊。
- 緊急應變管理：透過協調計畫、資源與應變機制，管理災害發生時的營運中斷情況。
- 監測措施：持續監測與分析基礎設施系統，以早期偵測潛在問題並維持最佳運作。
- 維護與管理措施：確保資產維持良好運作狀態，以支撐其持續功能與韌性之措施。
- 法規與政策：推動韌性基礎設施發展、施工與管理的法律架構與政策。
- 研究與學習：促進創新與知識累積，以提升基礎設施韌性。

(2) 應用範疇：本項準則針對措施所適用的鐵道系統位置，分為三個類別，說明如下：

- 硬體措施：實體系統或土木工程結構，如排水系統或路堤之建置與加固。
- 軟性措施：非針對實體或結構性之介入，如政策方針、規劃與風險教育推廣。
- 營運措施：針對營運程序、規範與應變計畫等實務之修正，以降低風險並強化韌性。

(3) 韌性階段：本項準則針對措施所對應系統在災害前、中、後期的運行歷程，分為四個韌性發展階段，內容謹說明如下：

- 預防階段：透過日常或事前之規劃與行動，以提升風險準備度並降低脆弱度(如定期維護、監測系統、演練等)。
- 準備階段：事件發生前的預防與準備行動，針對根本原因或可能之致災因素進行處置(如臨時檢查、防護設施部署、預防性限速或停駛等)。
- 應變階段：事件發生期間實施之措施，旨在減輕即時衝擊並保護設施、生命與環境(如抽水、緊急修復、通訊、停運、限速等)。
- 復原階段：事件後實施之措施，聚焦於恢復系統正常運作，包含重建受損設施與恢復列車運行等。

(4) 韌性原則：本項準則針對措施所強化的韌性面向，分為四項核心概念，說明如下：

- 耐受能力：強化系統於災害期間可持續運作的能力。
- 資源調度與即時應變能力：強化系統在災害期間及災後即時應變的能力。
- 迅速復原能力：提升系統於災後迅速恢復至原狀的能力。
- 調適與學習能力：強化系統吸收新觀念、調整程序與採用新技術的能力。

上述四項準則構成 UIC RERA 強降雨調適策略之分類與評估框架，機構可透過此架構依據資產類型評估調適選項，並依所須強化之韌性階段或原則進行選擇，評估系統之操作範例如圖 2.4-25 所示。

調適選項清單（範例）					韌性階段				韌性原則			
編號	調適選項	選項類型	應用範疇	相關資產	預防	準備	應變	復原	耐受力	資源調度	迅速復原	調適與學習
M1	強化排水系統，防止積水	韌性建設	硬體	軌道	■				●	●	●	●
M2	加高軌道設計，防止積水	設計策略	硬體	軌道	■				●	●	●	●
M3	採用耐腐蝕材料，避免侵蝕	設計策略	硬體	軌道	■				●	●	●	●
M4	定期檢查並執行預防性維護，以辨識與處理脆弱度	維護&管理	軟性	軌道		■			●	●	●	●
M5	對關鍵車輛部件進行防水處理	韌性建設	硬體	車輛	■				●	●	●	●

●=對該原則貢獻度高
●=對該原則貢獻度中等
●=對該原則貢獻度低

圖 2.4-25 UIC-強降雨事件之鐵道調適選項評估架構操作範例圖

資料來源：[268]及本計畫整理

茲將 UIC RERA 強降雨調適指引各步驟涵蓋之調適工作所需資料、工具及產出，彙整如表 2.4-11 所示。

表 2.4-11 UIC-強降雨鐵道調適評估流程彙整表

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法	產出
1. 氣候衝擊分析				
氣候變遷情境與時間範圍設定	• 掌握氣候模型資料 • 設定評估時間尺度	• 氣候情境資料 • 氣候模型資料	• IPCC AR6 報告 • ESGF 平台 • 本指引	• 適用於特定評估區域之氣候變遷模型與資料
未來降雨量分析	• 蒐集與推估降雨資料 • 分析氣候變遷對降雨量的影響 • 更新觀測數據	• 降雨量相關指標 • 氣象站觀測雨量數據 • 模擬歷史雨量數據 • 模擬未來雨量數據	• 本指引 • 國家級或地區型氣候資料庫 • 降尺度計算法	• 納入氣候變遷考量之未來降雨量數據表(用於更新觀測數據) • 評估參數推算結果 • 降雨事件之情境數據比較表(用於擇定事件)
	• 預先計算部份脆弱度與風險		• 洪峰流量估算法 • 門檻值基準法 • 情境基準法	

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法	產出
	評估參數 • 擇定評估事件			
2. 脆弱度評估				
暴露度評估	• 彙整指標資料 • 計算暴露度指數	• 地理位置資料 • 氣候預測資料	• 半定量評估量表 • GIS 地圖 • 地形測繪與高程資料、洪氾區地圖 • 氣象資料庫 • IPCC 報告、國家級氣候評估報告 • 區域氣候預測模型	• 暴露度評估指數
敏感度評估	• 彙整指標資料 • 計算敏感度指數	• 基礎設施資料 • 土地使用資料 • 排水系統資料 • 地質資料 • 調適措施資料	• 半定量評估量表 • 工程與維護紀錄文件：日常維護紀錄、工程報告、歷史運作資料、施工紀錄、監測系統、現場勘查、專家意見 • 空間與環境資料：土地使用地圖、衛星影像圖、土壤/水文/地質調查、GIS 系統 • 設計與策略文件：設計規劃紀錄、雨水管理報告、調適策略報告、設施升級報告、環評報告、緊急應變計畫	• 敏感度評估指數
脆弱度評估	• 計算脆弱度指數	• 暴露度指數 • 敏感度指數	• 脆弱度評估矩陣	• 脆弱度評估指數 • 脆弱度等級
3. 風險評估				
嚴重度評估	• 彙整指標資料 • 計算嚴重度指數	• 營運中斷資料 • 基礎設施損毀資料 • 安全性影響資料 • 經濟影響資料 • 環境影響資料	• 半定量評估量表 • 本指引之指標準則與範例（機構可自行選取與新增）	• 嚴重度評估指數

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法	產出
		• 聲譽影響資料		
發生可能性評估	• 評估強降雨災害事件發生可能性	• 氣候模擬結果 • 歷史天氣紀錄 • 脆弱度評估結果	• 半定量評估量表	• 發生可能性評估指數
風險評估	• 計算風險指數	• 嚴重度指數 • 發生可能性指數	• 風險矩陣	• 風險評估指數 • 風險等級
4. 關鍵性評估				
關鍵性評估	• 彙整指標資料 • 計算關鍵性指數	• 營運與經濟重要性資料 • 軌道等級與功能類別資料 • 替代路線資料 • 客、貨運量資料 • 樞紐重要性資料 • 策略重要性資料	• 半定量評估量表	• 關鍵性評估指數 • 關鍵性等級
5. 制定調適計畫				
選擇調適選項	• 依據四項準則評估調適策略	• 調適選項清單	• 調適選項評估架構	• 調適選項評估表

資料來源：[268]及本計畫整理

2.4.6 UIC-RERA 高溫調適指引

氣候變遷導致極端高溫發生之頻率與強度皆持續上升，對鐵道系統造成極大挑戰，故國際鐵路聯盟(UIC)於 2025 年發布《面對高溫的韌性鐵道》報告(Resilient Railways facing High Temperatures, RERA-TEMP) [269]。

該報告提供高溫風險評估與調適指引，適用於系統規劃、設計、施工、營運與維護等階段，協助系統營運與管理者、維修團隊、工程師、政策制定與規劃人員皆可理解高溫風險，並進行調適規劃。UIC 高溫調適指引將調適規劃過程共分為三階段、七步驟，如圖 2.4.26 所示。



圖 2.4-26 UIC-高溫調適指引步驟示意圖

資料來源：[269]及本計畫整理

該報告除提供高溫指引架構外，亦對長焊鋼軌管理及植被管理提供調適流程指引與相關工具，內容分述如下：

1, 長焊鋼軌管理指引

UIC 對長焊鋼軌提出之高溫調適管理方法，係具系統性之架構式指引，目的為使機構可依循正確流程處理高溫相關問題，但各鐵道機構可依經驗、資源、系統特性與自身需求進行流程簡化與調整，其流程如圖 2.4-27 所示，而流程中各步驟彙整如表 2.4-13 所述。

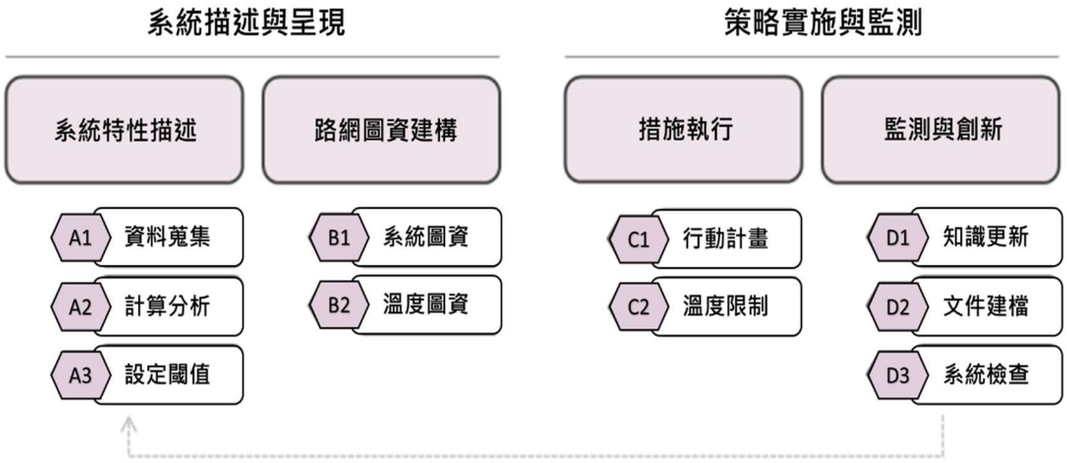


圖 2.4-27 UIC-長焊鋼軌管理操作流程圖

資料來源：[269]及本計畫整理

表 2.4-12 UIC-長焊鋼軌管理操作流程彙整表

流程	步驟	作業事項/說明
系統描述與呈現	系統特性描述	**資料蒐集（A1）** • 軌道配置：盤點軌道配置，如軌枕、扣件類型、道碴斷面、軌道線形、幾何品質等。 • - 枕木－道碴橫向阻力測試，評估橫向穩定性（參考 IRS 71720）。 • 無應力軌溫量測（檢測設備資訊參考 IRS 71720）。 **計算分析（A2）** • 穩定性建模：選擇適用的軌道穩定性模型，考量其可用性、準確性與輸出結果（參考 IRS 71720）。 • 挫屈臨界溫度計算：整合前述參數（曲線半徑、橫向偏移、軌道配置與 LRSB、溫度）進行計算，以求得軌道挫屈臨界溫度。 **設定門檻值（A3）** • 安全門檻值設定：依模型結果、圖資、設計與維護規範及經驗設定安全門檻值；常為分級式管理，以對應特定行動，並用於啟動巡檢與修復作業。
	路網圖資建構	將鐵道系統與氣候相關資訊以圖像方式呈現，有助於資料的清晰整理與應用。 **系統圖資（B1）** • 路網分段：依模型結果與軌道配置將路網劃分為不同區段。 • 型態分類：依基礎設施管理單位對路線的分類，區分主/支線、客/貨運、噸位等 • 維護狀況：標示維護不良路段、老舊路等 • 軌道曲線配置：標示小半徑曲線，如半徑低於 1000 公尺、400 公尺或更小者 • 歷史資料補充：納入過往軌道挫屈紀錄等歷史資訊 **溫度圖資（B2）** • 天氣資料：溫度分布圖，包含最低、平均與最高溫度 • 中性溫度：設計時用於扣件安裝的軌道中性溫度，不同區域可能採用不同溫度值 • 無應力軌溫：用於比對中性溫度與無應力溫度的一致性，以辨識偏差 • 溫度差值（ΔT）：用於表示最大、最小溫度與中性溫度之差值，並推導軌溫
策	措施執行	依據系統盤點與圖資繪製之綜合結果，針對優先改善區域採用可行之對應策略

流程	步驟	作業事項/說明
略 實 施 與 監 測		**行動計畫策略（C1）** • 行動計畫為一種具時間框架的結構化策略，利用圖資協助辨識、排序與處理風險，旨在優先處理高脆弱度與關鍵之路段 **溫度限制策略（C2）** • 溫度監測警示：屬於依安全標準觸發之即時反應機制，而為使警示系統與溫度資訊一致，網路應導入高溫事件預測工具、遠端感測器進行即時監測
	監測與創新	**知識更新（D1）** • 更新指引與訓練資源：使預防與應變策略能反映最新技術與實務 • 更新圖資與規範：依據最新發現，修訂地圖、營運程序與維護計畫 **文件建檔（D2）** • 集中紀錄與回饋分析：將已實施的措施、感測器資料、現場觀察與修復作業集中記錄於報告文件中，據此改良預測模型、安全標準與作業程序 **系統檢查（D3）** • 定期巡檢：更新系統特性與路網圖資，例行檢查項目包括軌道幾何品質、道碴床與斷面狀況、軌枕與扣件的完整性。有時亦需量測無應力溫度，以更新軌道管理資訊 • 檢查殘餘應力與損傷：針對受極端高溫影響的軌道區段，檢查是否有殘餘應力、偏移或損壞情形 此外，可運用無人機、衛星影像或即時溫度警示系統協助監測軌道，及早發現挫屈徵兆

資料來源：[269]及本計畫整理

2. 植被管理指引

極端高溫與乾旱情境，對鐵道沿線之植被生長與分布造成衝擊，間接影響鐵道系統之營運安全與設施狀態，故 UIC 提出植被管理之主動調適策略與相關工具。

(1) 植被管理之主動調適策略

- 鐵道路段、叢林周邊區段應加強防火設計、規範與措施實施。
- 面對乾旱危害，應改為栽種耐熱與耐旱植物，並建置雨水回收與儲存設施。

- 加強對有害生物與入侵植物種的監測與控制。
- 針對生長期延長或快速生長的植物種類，調整修剪頻率、排程或擴大清除區域。
- 評估植被與其他層級設施間（如道床穩定、排水設施）的交互作用，進行整合性管理。

(2) 植被管理相關工具

該指引提供兩項鐵道植被管理工具，使鐵道機構可精確且有效的對鐵道沿線植被進行監測、評估與管控，同時降低維護成本並提升安全性。

- 鐵道植被管理工具(Railway Vegetation Management Tool, IVEG)：IVEG 為一套以 GIS 技術為基礎的數位化管理系統，其主要功能包含 GIS 整合與遠端感測、植被分析(生長狀況與空間分布)、成本管理(財務追蹤)、整合環境保護標準、數位化流程管控等；其操作畫面如圖 2.4-28 所示。
- 鐵道植被管理專用地理資訊系統(Geographic Information System dedicated to vegetation control tool, SIGMA)：SIGMA 係以 GIS 技術基礎的系統，並以衛星影像做為主要資料源，其主要功能包含相關法規統整與管理、機械與化學作業追蹤、維護作業規劃支援、高風險樹木偵測、利害相關者溝通以及優先區域排序；其操作畫面如圖 2.4-29 所示。。



圖 2.4-28 UIC-植被管理工具 IVEG 操作示意圖

資料來源：[269]及本計畫整理



圖 2.4-29 UIC-植被管理工具 SIGMA 操作示意圖

資料來源：[269]及本計畫整理

茲將 UIC RERA 高溫調適指引各步驟涵蓋之調適工作所需資料、工具及產出，彙整如表 2.4-13 所述：

表 2.4-13 UIC-高溫鐵道調適評估流程彙整表

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法	產出
1. 資料準備與分析				
界定評估範圍	• 界定地理範圍 • 界定時間範圍	• 資產地理位置圖 • 氣候情境資料 • 氣候模型資料	• IPCC AR6 報告 • 依據評估計畫性質與規模，界定地理與時間範疇	• 計畫執行位置圖 • 風險評估年期範圍
製作溫度地圖	• 蒐集與推估氣溫資料 • 分析氣候變遷對氣溫的影響 • 更新觀測數據	• 氣溫相關指標 • 氣象站觀測氣溫數據 • 模擬歷史雨氣溫數據 • 模擬未來氣溫數據	• 本指引 • 國家級或地區型氣候資料庫 • 研究機構公開資料庫 • 降尺度計算法	• 各類氣溫指標之圖資
2. 脆弱度與風險評估				
脆弱度評估	• 暴露度評估	• 各類氣溫指標之圖資 • 人口密度資料 • 關鍵基礎設施資料 • 易受溫差影響之生態系統資料	• 單一指標排序法 • 加權指標排序法	• 暴露度綜合排序圖資 • 敏感度指標門檻值表 • 脆弱度辨識圖資 • 脆弱度排序圖資
	• 敏感度評估		• 指標門檻值評估法（機構依資產與地區特性自行訂定門檻值）	
風險評估	• 嚴重度評估	• 嚴重度評估指標與相關資料	• 半定量評估量表 • 最高分法 • 加權總合法	• 資產風險評估分數與等級
3. 調適策略實施與監測				
調適策略排序	• 篩選適用之調適措施	• 調適措施清單	• 成本效益分析法(納入環境、社會倫理、技術可行性與急迫性等因素)	• 調適措施優先排序清單
調適策略實施	• 擬定規範、技術與對應實施方案 • 資源與資金配置	• 依機構與調適措施之性質、需求	• 無特定方法或程序	• 調適措施執行方案

步驟	工作項目	所需資料	工具/程序/方法	產出
	• 訓練人員並建立跨部門協調應變機制			
監測與追蹤	• 執行動態監測與滾動修正 • 執行彈性管理，調整成效不彰之措施	• 指標監測資料 • 遙測、實地調查與使用者回饋數據	• 指標追蹤 • 資料蒐集與回饋機制	• 調適成效與修正報告

資料來源：[269]及本計畫整理

2.5 小結

本章初步回顧國內外調適指引架構及相關內容，茲將重點彙整如下：

1. 我國氣候變遷風險評估作業準則明訂之應辦理事項與原則，與國際調適指引架構流程相似，主要由「界定範疇」、「檢視資源及氣候衝擊現況」、「評估未來氣候變遷風險」、「調適選項規劃及綜整決策」、「推動或執行調適選項」及「檢討或修正調適選項」六構面組成。

   (1) 界定範疇(對應作業準則第 5 條)：確認保全對象及調適目標，同時鑑別利害關係者，並依據其關注議題調整調適範疇。

   (2) 檢視資源及氣候衝擊現況(對應作業準則第 6 條)：藉由歷史或現況氣象資料進行風險評估，其評估結果做為風險比較的基準。

   (3) 評估未來氣候變遷風險(對應作業準則第 7 條)：藉由科學推估資料，模擬未來氣候變遷情境下之風險，以研析未來氣候變遷與現況間之差距。

   (4) 調適選項規劃及綜整決策(對應作業準則第 9 條)：研擬適合組織自身的調適選項，並制定調適策略及計畫。

(5) 推動或執行調適選項(對應作業準則第 10 條)：根據調適策略及計畫執行調適行動，並定期評估調適的執行成效。

(6) 檢討或修正調適選項(對應作業準則第 11 條)：檢討調適執行結果與目標的符合程度，做為調適策略及行動計畫的精進修正依據，促成正向循環。

(7) 依據 Guide 84 的概念，調適融入鐵道系統全生命週期各階段的作業步驟，藉此提升鐵道系統的整體韌性。

2. 標竿機構調適指引提供相關評估工具或方法，協助組織進行調適選項評估。

(1) 我國能源產業調適指引建議透過成本效益分析，評估調適選項之直接與間接成本與效益。

(2) 加拿大電力協會 CEA 建議使用淨現值、投資報酬率及投資回收期等財務指標評估經濟效益，並透過成本曲線、評估矩陣、敏感度分析或極值分析等方法進行調適選項優先排序。

(3) 加拿大礦業協會 MAC 建議評估工具可利用如：多準則分析、成本效益分析或成本效果分析，挑選出最具成本效益的選項。

(4) 美國環保署 EPA 提供有脆弱度評估工具 VSAT、調適選項資料庫以及檢核表、氣候韌性及認知評估工具 CREAT，協助組織綜合評估財務和非財務影響。

(5) 美國 FHWA 提供有脆弱度評估與調適框架以及調適決策評估程序，建議結合風險與資產管理，進行脆弱度評估、調適方案分析並整合結果至決策。

(6) UIC 採用 IPCC AR4 定義進行脆弱度評估，並對高脆弱度的資產，再依 ISO 31000 方法進行風險評估。其中，強降雨指引還透過關鍵度評估，分析鐵道系統中斷或失效對營運與社會經濟之影響。

(7) 成本效益分析方法中，調適效益採用定義係考量調適方案選項投資能減少或降低的損失金額。

3. 綜合上述，國內外標竿機關(構)之調適指引架構方向大致一致，雖然對風

險的定義有所差異，但核心目標皆為辨識高風險項目，以做為後續研擬調適選項之依據，其相關經驗可做為指引內容撰寫之參考。惟考量環境部《氣候變遷風險評估作業準則》係屬《氣候變遷因應法》之授權子法，國內相關機關(構)於辦理氣候變遷調適與相關政策規劃時，仍有遵循之義務。基此，本計畫係以環境部《氣候變遷風險評估作業準則》為核心，將國家主要政策、方法學融入鐵道系統調適指引，同時參酌標竿機關(構)所採用的方法與工具納入指引的案例說明，俾利提供鐵道系統機關(構)實務操作時之參考依據。

第三章 鐵道系統跨界面衝擊與協調機制

考量氣候變遷造成之極端氣候日漸頻仍且影響範圍廣泛，不同氣候類型或自然災害間之疊加影響，可能對於運輸系統造成復合性災害。例如 2024 年 4 月 3 日花蓮地震後，台 9 線公路側上邊坡落石及土石流，侵入臺鐵路線並造成災害發生。基此，本章先回顧我國鐵道系統(含台灣高鐵、臺鐵)、國際鐵道標竿機構調適現況，並探討鐵道系統跨界面衝擊，最後提出溝通協調機制之建議，提供我國鐵道系統機關(構)參考。

3.1 我國高鐵與臺鐵調適現況

本節延續前期(2024 年)計畫成果，賡續回顧並更新台灣高鐵公司及國營臺鐵公司在氣候變遷調適策略及其因應措施，分別說明如下。

3.1.1 台灣高鐵公司調適現況

為因應氣候變遷所帶來之衝擊，台灣高鐵公司針對極端氣候盤檢防災應變機制，包含設置營運安全與環境風險相關工作小組、建構營運應變支援與決策輔助系統、邊坡安全管理與預警應變機制、發展行動化應變資訊平台、及檢視並落實基本 SOP 之安全作業。

除上述因應措施外，亦導入新科技以強化災害耐受度與預警能力，包含強化既有設施結構物的韌性與耐候性、引進人工智慧與物聯網技術、以及透過遙測及無人載具提升觀測效能，以下將分別說明台灣高鐵對邊坡管理因應行動、河川橋梁管理措施，及其氣候變遷領導權責單位與上位政策。

一、天然災害告警系統（DWS）

為便於駕駛及行控中心即時及精確掌握災害資訊，台灣高鐵天然災害告警系統(Disaster Warning System，以下簡稱 DWS)透過在沿線設置偵測器，設置三級告警門檻，將各級告警傳送至行控中心、異常情形亦會傳送給駕駛，若與安全直接相關的危險訊號，如邊坡滑動、地震、落石與異物入侵，將透過自動列車控制系統(Automatic Train Control System, ATC)發布指令停

駛列車[324]，如圖 3.1-1 所示。有關雨量、風速、洪水與異物/落石入侵偵測器設置方式[327]概況如下：

1. 降雨偵測器：降雨偵測器主要設置於主線山區、丘陵地等迎風面，約每 20 公里設置一處。

2. 風速偵測器：風速偵測器主要設置於主線之河川橋梁上方、路塹區間之短高架段等，約每 20 公里設置一處。

3. 洪水偵測器：洪水偵測器設置於主線跨越 21 條主要河川之橋梁(百年洪水位往下 3m)、排水箱涵。

4. 異物/落石偵測器：異物入侵偵測器設置於跨越正線上方或鄰近正線旁之平面道路；落石偵測器設置於隧道口上方。

5. 軌溫偵測器：軌溫偵測器設置於正線指定道岔，並訂定有四種等級之運轉因應機制。

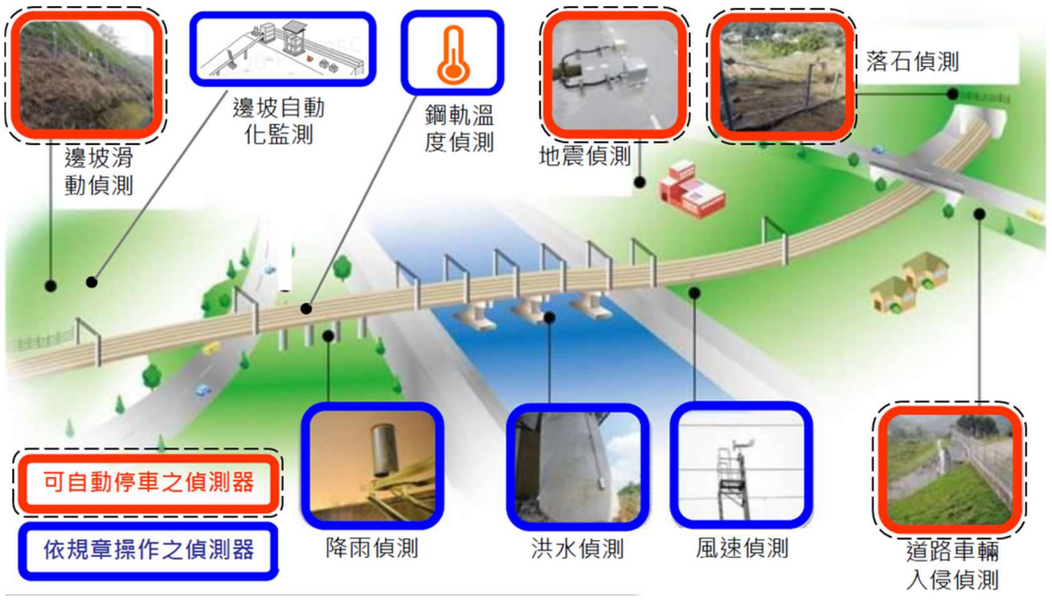


圖 3.1-1 台灣高鐵-DWS 系統示意圖

資料來源：[327]

二、邊坡管理

台灣高鐵公司於邊坡安全管理之具體措施可分為三個層次：首先，結合專業巡檢、監測，以及預防性維護工程等方式避免災害之發生；再者，結

合 DWS 在災害發生時啟動緊急停車，避免對營運安全造成影響；最終，建置管理與預警系統，即時瞭解強降雨發生狀況，掌握邊坡發生坍滑的可能性。有關台灣高鐵公司針對邊坡相關應處作為彙整如下：

1. 邊坡自動化監測站

高鐵全線共有 389 單元邊坡，於 2015 年開始進行強化作業，並於 2022 年完成 389 處總體檢與改善工程[321]，並依對營運安全影響之嚴重程度，由高而低共分 A、B、C、D 四個風險分級，其邊坡自動化監測系統組成如圖 3.1-2 所示。

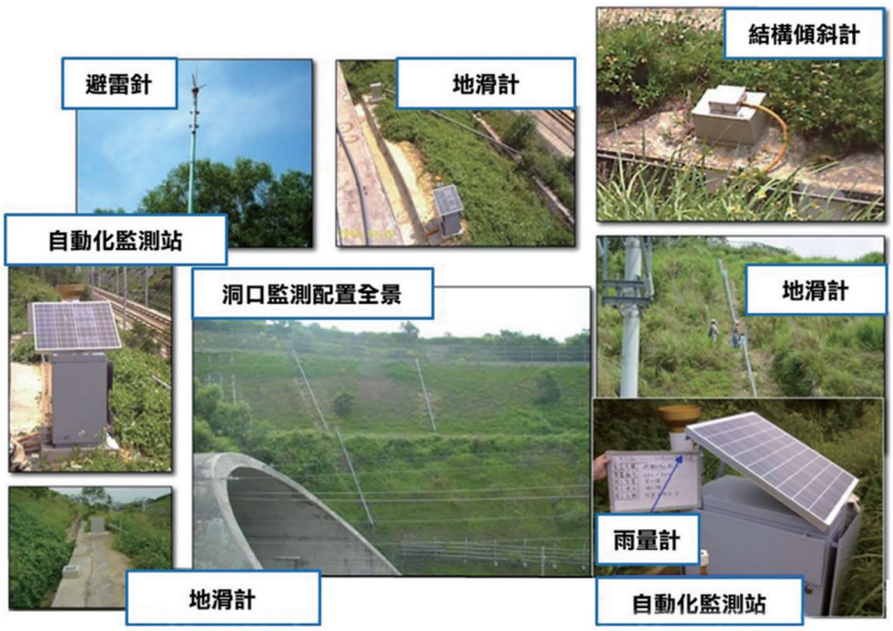


圖 3.1-2 台灣高鐵-邊坡自動化監測系統組成圖

資料來源：[405]

前揭有關高風險邊坡設置「自動化監測系統」[327]，主要係以地滑計、地下水位計與 IoT 監測站(傾斜監測桿、土壤濕度計)監測邊坡位移數據，並以邊坡監測站之雨量計與交通部中央氣象署發布之降雨資訊做為暴雨預警依據，同時搭配具夜視功能 CCTV 遠端監視、介接內政部國土測繪圖資服務，以及連結交通部中央氣象署 Open Data 蒐集降雨、颱風、地震等氣象資訊，再輔以人工監測量測等方式進行作業。

有關預警管理值主要係綜合國內外工程實務，如日本地滑對策技術協會、中華水土保持學會等建議，若邊坡監測值超過預警管理值，將由工程師判斷邊坡穩定性，並視需要進行現場檢查及評估維護或工程改善之必要性，

另針對風險較低之邊坡，則派遣大地專業工程人員，以目視及步巡方式辦理邊坡檢查。

2. 邊坡安全與暴雨預警系統

（1） 台灣高鐵公司於「國家氣候變遷調適行動方案(107-111 年)」[358]中提報建置此系統，目的為即時評估在強降雨下，邊坡發生坍滑的可能性，以及坍滑發生後由土石運移的範圍研判是否會入侵軌道，以減少極端氣候對高鐵安全造成的威脅。

（2）台灣高鐵公司彙整過去暴雨導致之淺層坍滑事件與相關雨場分析，並參酌沿線所經過地區的地質特性，以及周圍具代表性雨量測站的數據，建置完成高鐵沿線邊坡暴雨預警系統，其預警機制可較 DWS 更早發出預警[405]。

(3) 暴雨預警系統之降雨警戒指標，係採 I_3(3 小時降雨強度)做為短期降雨指標、R_{24}(24 小時累積雨量)做為長期降雨指標，彙整為降雨警戒指標組合，如圖 3.1-3 所示。其降雨警戒值以歷史災害涵蓋百分比 50%做為黃色燈號警戒，歷史災害涵蓋百分比 75%做為紅色燈號警戒。當降雨量達到黃色燈號警戒值，表示降雨量增加已有一定趨勢，邊坡已接近不穩定狀態；當降雨量達到紅色燈號警戒值，表示降雨量持續增加，邊坡可能有崩滑之虞。

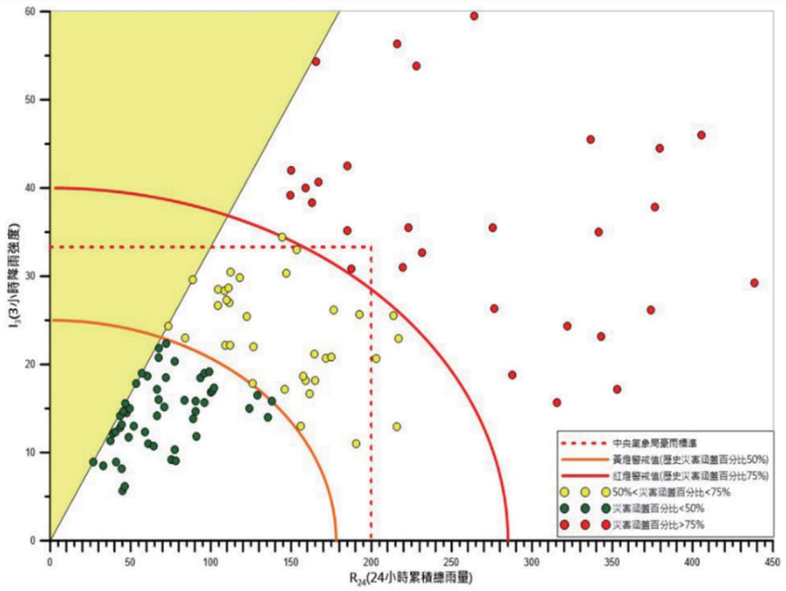


圖 3.1-3 台灣高鐵-降雨警戒指標圖

資料來源：[336]

(4) 台灣高鐵公司利用三大行動預防邊坡坍滑，包括：

- 行動一：將邊坡分級，以及相應的應對行動，如表 3.1-1 所述。
- 行動二，擬定定期流程，進行檢查、維護與檢視，排除潛在危險因子。
- 行動三，發生 4 級以上地震、中度以上颱風、累積雨量超過 130mm/24hr，以及邊坡自動化監測系統發出告警訊號等 4 種特殊災害狀況時，立即啟動不定期邊坡檢查。

表 3.1-1 台灣高鐵-邊坡風險等級應對表

風險等級	邊坡狀況	營運安全	應對行為
A	輕微不穩定	有影響	進行整治
B	疑似不穩定	可能有影響	加強監測 必要時整治
C		不造成影響	定期監測
D	穩定		例行維護即可

資料來源：[326]及本計畫整理

3. 高陡植生邊坡坍滑後土石運移風險評估

（1） 台灣高鐵於 2020 年，針對多處坡度較陡且風險較高之植生保護邊坡，辦理坍滑後土石運移分析與風險評估。運用顆粒流程序(Particle Flow Code, PFC)，以個別元素法模擬分析材料運移軌跡及堆積之程式，可以將坡度、坡高、崩坍土石量及地層等因素納入分析，並據以評估淺層崩坍後土石運移範圍與高鐵軌道之相關性。

(2) 邊坡坍滑後土石是否入侵軌道區之評估，須綜合考慮安全係數與崩坍後土石運移範圍；安全係數範圍暫訂為暴雨狀況地層弱化時為 1.0-1.2，土石運移範圍用坡趾與軌道區欄杆做為分界標準。將安全係數、崩坍後土石運移範圍等因素列為矩陣，將營運安全以風險分級矩陣呈現，針對風險分級高的邊坡，優先考慮啟動預防性維護工程，如表 3.1-2 所示。

表 3.1-2 台灣高鐵-土石運移風險分級矩陣圖表

安全係數 土石運遺	I <1.05	II 1.05~1.1	III 1.1~1.2	IV >1.2
i 超越欄杆	高	高	中	低
ii 欄杆與坡趾間	高	中	中	低
iii 未達坡趾	中	中	低	低

資料來源：[405]及本計畫整理

4. 強化隧道洞口邊坡之防護工程

（1） 台灣高鐵公司於 2022 年完成強化路段之邊坡檢查、安全監測等資料評估，並將此工程計畫提報「國家氣候變遷調適行動方案(107-111 年)」。該計畫共辦理新竹路段 2 處隧道洞口邊坡之預防性維護工程(寶山一甲隧道南、北洞口)，以減少受暴雨影響而發生邊坡坍滑觸動災害告警系統之情況，避免營運中斷。

（2）台灣高鐵公司於後續計畫「國家氣候變遷調適行動計畫(112-115 年)」[429]中，提報「強化沿線隧道洞口及高陡植生邊坡之防護工程」調適行動計畫，持續監測、專業邊坡巡檢等資料評估有風險需加固之邊坡路段，針對高風險之邊坡地段進行防護工程持續施作。

三、河川橋梁管理

高鐵河川橋於設計階段即已考慮極端洪水影響，其重現期遠高於特許期之重現期距，營運後則以「年度評估-年度防護」之機制辦理沖刷防護工作，使河床之動態變化維持在原設計考量範圍內，並在資產重置階段持續進行。

台灣高鐵公司已於 2022 年完成筏子溪橋、八掌溪橋、北港溪橋沖刷風險評估、防護建議與設計，透過預先辨識並適時降低沖刷風險，確保高鐵設施及營運安全，以利維修單位辦理年度維護工作，並於「國家氣候變遷調適行動計畫(112-115 年)[429]」中延續此計畫，其主要目的係面對極端氣候所帶

來之暴雨、強雨、洪水與其他災害，期透過計畫持續在每年之汛期前，進行高鐵河川橋沖刷風險評估，據以採行或研擬未來之相關因應作為。

四、調適領導權責單位與上位政策

台灣高鐵公司於 2022 年起參照 TCFD 揭露要求，於官網自主揭露氣候變遷因應策略，透過借鏡國際鐵路同業的揭露實務及跨部門討論，以通盤考量氣候變遷對台灣高鐵的風險與機會，同時透過質化方法評估氣候變遷所造成的營運及財務損益，於 2024 年台灣高鐵永續報告書[323]中揭示，「因應環境變化、減低災害風險」為該公司永續策略藍圖之一。

在治理部分，台灣高鐵公司董事會設有「永續發展暨提名委員會」，經理部門設有總經理擔任主席之「永續發展推動委員會」，透過委員會持續推動相關議題並於每年向董事會報告推動執行情形及其成效。此外，台灣高鐵公司訂有「風險管理政策」並涵蓋全公司的營運範疇，而風險管理推動與執行單位每年須向董事會進行報告，做為氣候變遷風險因應作法及成效檢討之參考。

3.1.2 國營臺鐵公司調適現況

臺鐵大部分路線皆為早期興建，部分支線於興建初期亦非以載客為考量，鑒於早期臺鐵安全標準較低，故整體系統韌性均有強化的需求。因此，隨著氣候變遷所帶來的影響逐漸加劇，臺鐵公司已逐步擬定相關應變措施，並委託國內研究單位進行氣候相關資料預測，以因應天然災變對臺鐵之衝擊。以下蒐整「國家氣候變遷調適行動計畫(102-106 年)」[385]與臺鐵因應極端氣候之處置作為[389]，說明臺鐵公司於極端氣候之邊坡管理、鐵道橋梁、因應措施與調適政策現況。

一、邊坡管理

臺鐵公司於 2013 至 2017 年間完成鐵路邊坡管理系統之建置，包括靜態之「基本資料庫」、動態之「監測資料庫」及「巡查與維護資料庫」等三大模組，並以電腦系統化管理，同時完成系統推廣與教育訓練。

2022 年執行的鐵路行車安全改善六年計畫中，針對邊坡規劃「鐵路邊坡全生命週期維護管理系統」，使用 WebGIS 圖台，紀錄邊坡巡檢養護紀錄、CCTV、地滑儀與水量計等監控資料、可進行即時資訊的疊合，做為養護決

策的依據，並於發生異常狀況時能進行自動通報。

2023 年完成「鐵路邊坡養護手冊」核定，將邊坡分為 A、B、C、D 四個風等級列管共 5,237 處邊坡，如表 3.1-3 所述。除委託專業廠商辦理巡察、監測及檢測作業外，並以廣域 InSAR 資料配合高精度數值地形，進行熱區篩選與近域觀測，全面掌握地表環境變化資訊。

表 3.1-3 臺鐵公司-邊坡風險等級應對表

風險等級	邊坡狀況	營運安全	應對行為	列管邊坡
A	明顯不穩定	可能有影響	採要緊急處理 密切巡查監測	0
B	疑似不穩定	可能有影響	採必要措施 加強巡查監測	3
C	無明顯不穩定	不造成影響	巡查或例行維護 視需要監測	1,807
D	穩定狀態	不造成影響	巡察	3,427

資料來源：[389]及本計畫整理

二、鐵路橋梁工程

交通部鐵道局於 2018 至 2019 年間，完成萬里溪鐵路橋梁延長工程與枋野一號鐵道橋安全檢測、評估及補強工程，此二項工程皆針對既有之工程基礎設施進行補強或延長。

三、極端氣候因應措施

為防範極端氣候所帶來的衝擊，臺鐵公司與交通部中央氣象署合作設置新一代「QPE Plus 劇烈天氣監測系統」，除可對於重點監控路段與橋樑提供雨量燈號以及落雷警示功能，並每三個月對災害潛勢路段及警戒表進行檢討。此外，亦委託臺大氣象團隊整合交通部中央氣象署與臺鐵公司氣象資訊，進行包含氣候相關資料預測(15 天/7 天/1 天/即時)，有效輔助鐵路營運決策。

茲將臺鐵公司針對各極端氣候之因應措施分述如下：

1. 高溫

(1) 交通部鐵道局於 2021 至 2022 年間，頒布「酷暑時期防範鋼軌挫屈須知與斷軌應變處置標準作業程序」,其目的為因應極端氣候帶來之酷暑與高溫，明訂在酷暑期間應避免擾動道床，並加強軌溫監測、記錄及因應、對於相關特殊處所應特別檢視。

(2) 臺鐵公司 2020 年訂定「斷軌應變處置標準作業程序」,明定鋼軌斷裂搶修使用斷軌處置器時，應視軌道條件限制列車慢行通過，並應於當晚辦理路線封鎖，進行抽換鋼軌及焊接作業。

(3) 臺鐵公司共設置 19 處電子溫度計測量鋼軌溫度，約每 15 分鐘取得鋼軌溫度資訊以供警戒分析，溫度計警戒值與處理方式為：攝氏 50˚C(注意)、攝氏 55˚C(派員現場巡查)、攝氏 60˚C(降速至 30 km/h 亦可能停駛)。

(4) 臺鐵公司在列車自動保護系統(Automatic Train Protection, ATP)的感應子上加蓋防曬，避免在高溫環境下導致故障。

2. 強降雨

(1) 臺鐵公司工務處監控臺對雨量進行 24 小時監控，設置警戒燈號，包括預警黃燈-注意路況監控雨量、警戒橙燈-遠端/現場監控、行動紅燈-緩駛或停駛。

(2) 臺鐵公司災害防救科技中心開發的災害防範網路資訊，包括「落雨小幫手」提供的兩小時雨量預測，將被整合至臺鐵公司的自動告警系統，做為重要的參考標準[383]。

3. 洪水

臺鐵公司在北部及高雄等地之地下化路段設置有防水閘門，每月定期檢查、每年定期演練，並於防汛期進行預防性檢查。

4. 強風

臺鐵公司於南迴鐵路沿線 46 處設置風速計，目前係採預警式措施，當可能致災時，機務單位會預先將列車進行疏散。

5. 落雷

臺鐵公司與台大氣象團隊合作，透過即時通訊群組提供雷雨包與雨量圖資疊合之預報資訊。另亦與國家災害防救科技中心(NCDR)簽署合作備忘錄，可由落雷小幫手 APP 取得落雷監測資訊。

6. 落石/異物告警系統

臺鐵公司於落石告警路段處每 25m 裝設槍型攝影機，另於部份陡峭邊坡路段無法設置傳統攝影機處，則委託開發有 AI 辨識系統，資訊可提供至告警路段前後 400m 及 800m 之置告警燈以及調度所行控室。

四、調適領導權責單位與上位政策

臺鐵公司於 ESG 相關議題處於內部討論階段，尚未對外公布相關報告，未來會朝永續經營及 TCFD 財務揭露之趨勢邁進，而氣候變遷相關議題已廣義地納入臺鐵安全憲章中。另外，臺鐵公司與國家災害防救科技中心於 2025 年建立策略夥伴關係，共同簽署合作備忘錄建置智慧雲平台，一起推進鐵路安全與韌性，以提升臺鐵公司因應極端天氣的能力。

3.2 國際鐵路標竿機構調適現況

在前期(2024 年)研究中，已回顧多個鐵道標竿機構的調適現況，本年度研究亦持續蒐整相關資料，以延續並深化既有研究成果。本節將分別對美國麻薩諸塞灣交通局(Massachusetts Bay Transportation Authority, MBTA)、英國 2 號高速鐵路(High Speed 2, HS2)之氣候變遷調適策略及其因應措施進行回顧。

3.2.1 美國-麻薩諸塞灣交通局調適現況

麻薩諸塞灣交通局(Massachusetts Bay Transportation Authority, MBTA)為美國麻薩諸塞州交通廳(Massachusetts Department of Transportation, MassDOT)的分支機構，負責營運與提供大波士頓都會區之公共運輸服務，包含通勤鐵路與捷運系統。有關 MBTA 針對氣候變遷推動之調適措施、調適方法及工具應用，分別說明如下：

1. 氣候變遷調適措施

為因應氣候變遷之衝擊，MBTA 針對極端氣候推動三類措施[242]，說明如下：

(1) 脆弱度評估：目的為了解 MBTA 系統相關的氣候危害、評估資產之脆弱度並排序、提出調適建議方向，以及開發適用於都會公共運輸系統之評估流程與工具；評估範圍包含有整體系統、捷運、公車與通勤鐵路等四個系統，分別於 2022 年起陸續提出評估報告，並同時推動韌性工程。

(2) 制定融入韌性觀點之評估與設計標準：為確保可於各項計畫之最初設計階段，即將氣候變遷影響納入考量，MBTA 提出 4 項標準，說明如下：

- 資本需求評估納入脆弱度評分：在 3 至 4 年進行一次之資本需求評估中將脆弱度評分納入考量，有助於評估資產狀態、年限及成本，並於更換或修復時可優先考量具韌性之項目，達到降低脆弱度目的。
- 五年資本投資計畫納入韌性評分：在評估五年資本投資計畫所提項目時，有助於機構聚焦於其氣候韌性。
- 更新設計標準：針對防洪、雨水管理與其他可能衝擊基礎設施之因素，與相關專業工程師共同制定新設計標準。
- 工程設計與建造中強制納入氣候相關風險考量：要求新建工程計畫於設計與建造時，需採用納入氣候風險之永續性評等標準或機制，如美國永續基礎設施研究所(Institute of Sustainable Infrastructure)與哈佛大學共同開發之 Envision 標準，其五大成效標準即包含「氣候與韌性」[318]。

(3) 韌性工程計畫

- 捷運綠線 D 支線之芬威站防洪工程：根據捷運綠線之脆弱度評估結果顯示，芬威站為路網中脆弱度排名第五之車站，該站因防洪系統不足，使其在極端氣候條件下的營運可靠性較低，洪水風險較高；故 MBTA 於車站隧道入口處加裝大型防

洪隔艙與水密門，並對抽水站以及監測設備進行升級，如圖 3.2-1 所示。

- 捷運藍線水族館站防洪工程：由於此站鄰近波士頓港，未來可能面臨暴潮與洪水風險，於該站入口周邊加裝防洪閘門，如圖 3.2-2 所示。
- 查爾斯頓車庫周邊海堤重建工程：為因應未來可能增強之海岸侵蝕與海平面上升風險，重建該車庫附近之海堤，提高對於危害的抵禦能力。
- 查爾斯頓車庫周邊海堤重建工程：為因應未來可能增強之海岸侵蝕與海平面上升風險，重建該車庫附近之海堤，提高對於危害的抵禦能力。

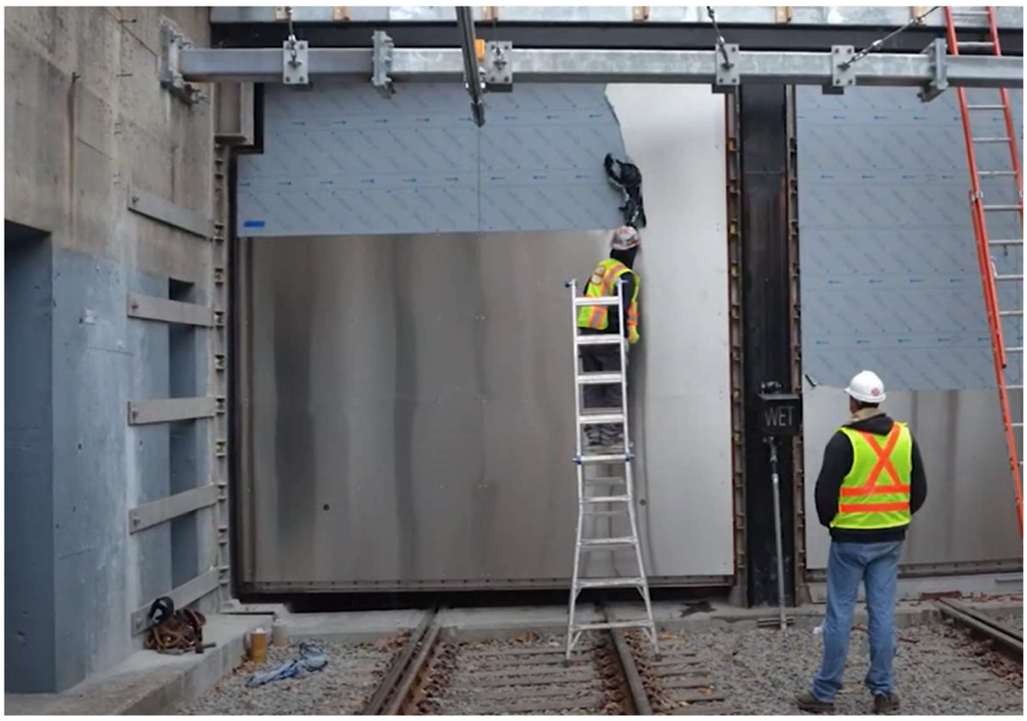


圖 3.2-1 美國 MBTA-芬威站防洪工程防洪隔艙施作照片

資料來源：[154]

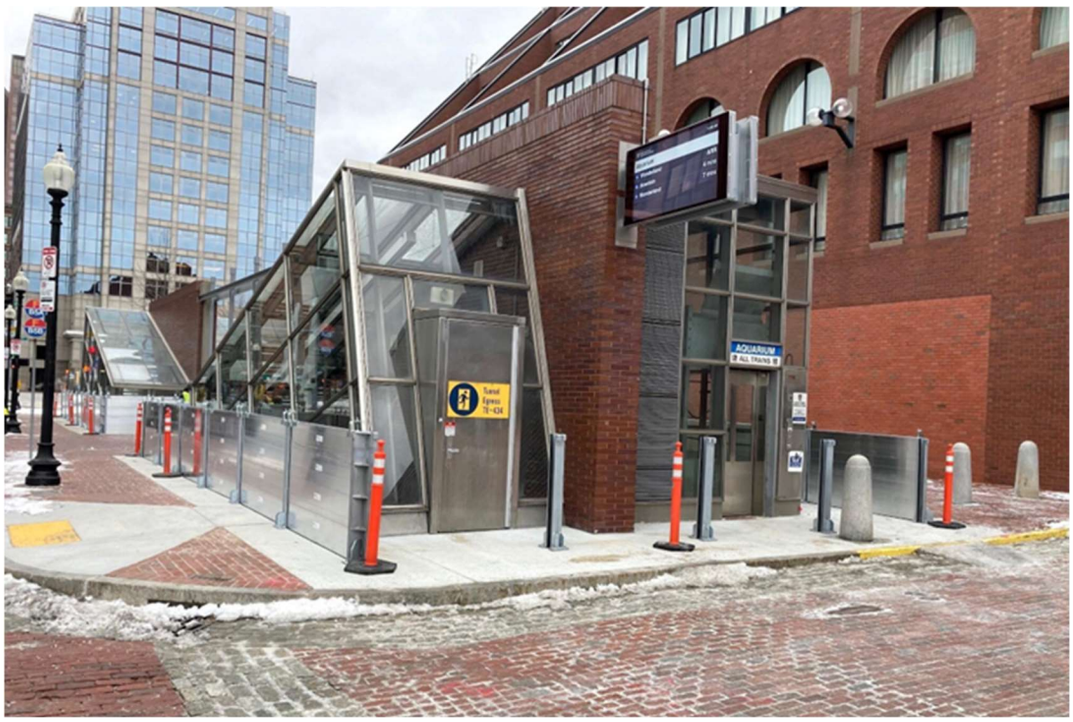


圖 3.2-2 美國 MTBA-水族館站防洪工程防洪閘門照片

資料來源：[155]

2. 調適方法及應用工具

MBTA 為執行上述脆弱度評估、選擇並推動調適措施與工程，開發相關方法與實務應用工具，謹說明如下：

(1) 脆弱度評估評分工具(Vulnerability Assessment Scoring Tool，以下簡稱 VAST)[150]

MBTA 所發布之脆弱度評估報告中所使用的評分工具，為參考聯邦公路總署(FHWA)所開發之 VAST 工具，並自行依據 MBTA 擁有之資產類行與需求，開發類似界面之 Excel 工具檔與參考指標資料集，使其更符合都市公共運輸系統的基礎設施管理需求。此工具之流程共有六項步驟，圖 3.2-3 為其流程圖以及評估指標選擇畫面截圖，而各步驟之說明彙整如表 3.2-1 所述，整體操作均透過 Excel 檔案方式點選選項或輸入數值。



圖 3.2-3 美國 MBTA-VAST 工具操作流程圖

資料來源：[150]

表 3.2-1 美國 MBTA-VAST 工具操作流程彙整表

步驟	說明
選擇氣候危害與資產類別	・設定氣候危害之類別與數量，最多選擇五項 ・設定資產之類別與數量，最多選擇六項
輸入具體/特定資產	・針對每一種類別，輸入特定資產，不限數量 ・將納入評估的資產進行編號
瀏覽與選擇指標	・參考指標資料庫，了解每項指標範疇與建議之資料來源 ・設定評估指標(下拉選單或自行輸入) ・每種危害與資產類別，皆僅能選擇最多 10 項指標
蒐集資產/氣候資料	・依據挑選之指標，產生資料蒐集範本 ・填入氣候變遷與危害情境數據、暴露度數據 ・填入每個資產對應評估指標之數據
設定半定量門檻值與權重	・將指標數據轉換為對應的半定量分數 ・若指標適用於多項資產，但採用之數據因資產而異，於此步驟進行分數門檻值調整 ・設定各指標的評估權重值
合成完整評估結果	・調整暴露度、敏感度與調適能力之權重（非必要） ・新增成本或其他比較資料（選填） ・查看脆弱度評估結果

資料來源：[150]及本計畫整理

(2) 洪水風險模型[150,151]

波士頓都會區屬於沿海港灣城市區域，因此氣候變遷下海平面上升、風暴潮、極端降雨皆將會導致洪水風險提高，故 MBTA 使用 MassDOT 開發之麻薩諸塞州沿海洪水風險模型(Massachusetts Coastal Flood Risk

Model, MC-FRM)、波士頓港灣洪水風險模型(Boston Harbor Flood Risk Model, BH-FRM)，以及聯邦緊急事務管理署(Federal Emergency Management Agency, FEMA)之洪水潛勢地圖，做為資產暴露度評估以及洪水風險評估依據，圖 3.2-4 呈現使用 MC-FBM 模型預測之海平面上升情境。

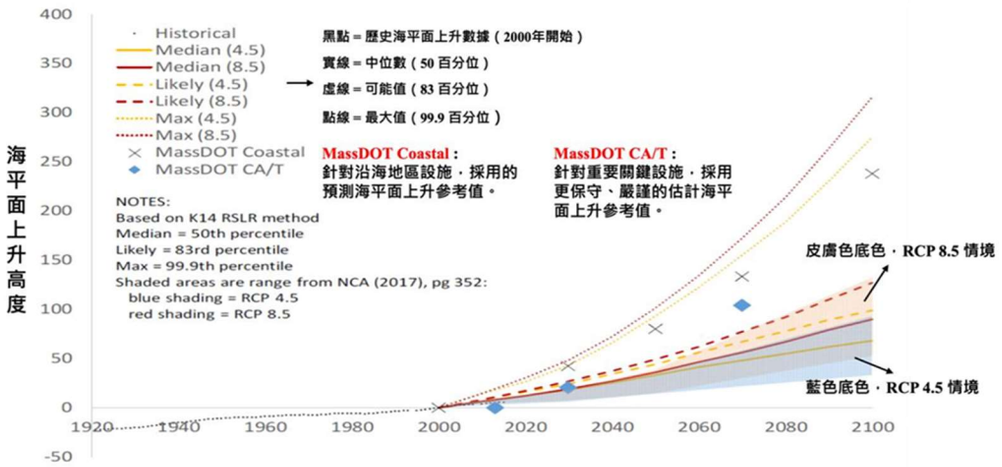


圖 3.2-4 美國 MBTA-MAC-FBM 模型海平面上升預測情境圖

資料來源：[150]

(3) 調適措施評估矩陣[151]

為協助計畫決策者便於挑選調適策與措施，MBTA 將調適策略分為三大主類別，包含：「設計與基礎設施」、「營運與維護管理」、「政策方針」等，其下又分為多個針對特定資產或具體方案之子類別。有關 MBTA 開發評估矩陣進行措施的選擇，如圖 3.2-5 所示，相關評估之面向說明如下：

- 危害相關性：該措施有多少個相關的氣候風險因子。
- 韌性影響：該措施對於資產、設施的影響(如防護規模、程度)為何。
- 投入程度：採用該措施需要投入之資源、人力與財務程度(成本)為何。
- 關鍵性：該措施是否直接針對目前脆弱度最迫切之問題進行處理。
- 生效時間：投資施作該設施，直至其功能生效之所需時長。

調適措施	評選準則/條件								
描述	危害相關性					韌性影響	投入程度	關鍵性	生效時間
	高溫	降雨	海平面上升	強風	冬季嚴寒				
跨部門協作調適行動	●	●	●	●	●	中等	高	低	中等
對地下車站與隧道做洪水風險評估		●	●			高	高	中	快
使脆弱度評分與最新氣候科學保持同步更新	●	●	●	●	●	中等	低	低	慢
對地下車站和隧道進行詳細的極端高溫風險評估	●					中等	高	高	快

註：● 代表措施與危害有關連

圖 3.2-5 美國 MBTA-調適措施評估矩陣示意圖

資料來源：[151]

3.2.2 英國-2 號高速鐵路

英國 2 號高速鐵路(High Speed 2, HS2)為英國近期重大之鐵道建設計畫，依據英國《2008 年氣候變遷法案》要求於 2024 年發表之第四版調適報告能力書(Adaptation Reporting Power Fourth, ARP4)中，彙整多項考量氣候變遷影響之調適設計與工程案例，說明如下：

1. 奇爾特恩(Chiltern)隧道之設計案例

奇爾特恩隧道總長度約 16 公里，為 HS2 路線中最長的隧道， HS2 於隧道中規劃設置 40 座橫向連絡通道做為緊急疏散之逃生出口，其中共 38 座採用暗挖工法，圖 3.2-6 為此隧道之斷面模型。

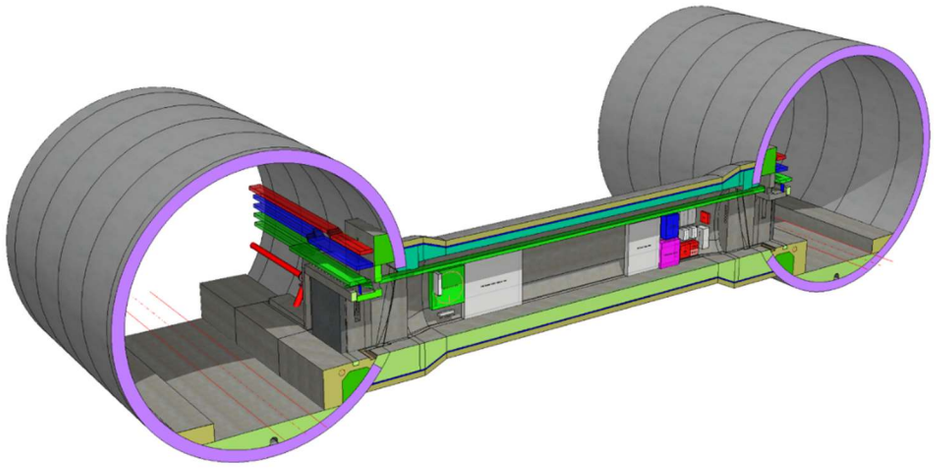


圖 3.2-6 英國 HS2-奇爾特恩隧道橫向聯絡通道斷面 3D 模型圖

資料來源：[26]

由於奇爾特恩隧道設計壽命長達 120 年，故 HS2 針對未來氣候變遷危害納入三項韌性措施，分別說明如下：

(1) 防滲漏與腐蝕之設計：多數連絡通道位置現今已低於地下水位，因此納入多種水位變化情境，並以預期 120 年設計壽命內最高的地下水位(含氣候變遷影響)做為防滲漏設計之依據；此外，為防止地下水位之變化、水中的碳氫化合物影響通道結構的耐久性，故 HS2 於原先依標準設計之鋼筋混凝土最小保護層外，額外增加 5 毫米之防護層，以降低鋼筋腐蝕風險。

(2) 防混凝土碳化評估：考量未來二氧化碳濃度、夏季與冬季之溫度、濕度變化，可能加速混凝土碳化，導致通道結構受損，因此 HS2 於設計初期即針對未來二氧化碳濃度與溫、濕度變化，對通道耐久性的影響進行評估；最終結果顯示於計畫之生命周期內，上述變化將不會對橫向通道造成結構破壞。

(3) 跨領域協作與溝通：HS2 為使設計於進行防滲漏與腐蝕之設計時，可考量正確且全面之資訊，於計畫初期即要求水文地質團隊需於評估地下水位、地質建模與化學分析時，考量氣候變遷影響以了解相關參數；另針對隧道內溫度、濕度以及二氧化碳濃度控制方面，為使上述因子於計畫生命週期內不會對建物結構產生衝擊，因此結構設計與隧道通風設計團隊共同協作，預測未來隧道運作溫度與濕度之變化範圍參數。

2. 承包廠商之氣候變遷調適與韌性報告

HS2 要求所有設計單位與建造承包廠商皆需提交氣候變遷調適與韌性報告(Climate Change Adaptation and Resilience Report, CCARR)，該報告須證明其設計於合理之可行範圍內，已達氣候韌性與調適能力最大化，並儘可能降低因氣候變遷對跨系統界面造成衝擊。此報告於設計與建造過程仍具有約束力，且要求廠商應隨設計進展或變更而進行報告更新。

目前 HS2 已完成承包商在土建工程、車站工程與軌道系統提交 10 份 CCARR 報告之審查，並於 2022 年成立「HS2 承包商氣候韌性協作小組」，透過訓練與指引協助承包廠商針對計畫範圍內之風險，導入氣候韌性設計與調適措施。

3. 柯爾河之河道與景觀重塑案例

HS2 計畫中與科爾河(River Cole)相關的基礎設施和改善工程，包括兩座大型高架橋、堤岸以及河道改道，係整體工程之關鍵設計部份，擁有專責之獨立設計小組，其工程範圍如圖 3.2-7 所示。

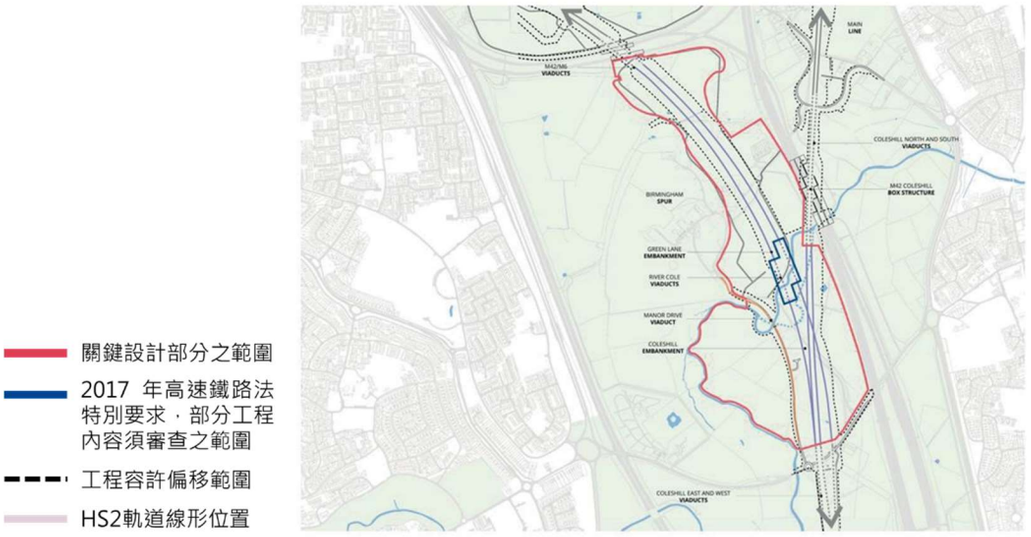


圖 3.2-7 英國 HS2-柯爾河之河道與景觀重塑工程區域範圍圖

資料來源：[27]

在柯爾河重塑工程中，因涉及建設鐵路橋樑與景觀區域改造，其中與氣候韌性相關之項目說明如下：

(1) 橋梁韌性設計：HS2 採用高架橋和路堤方式跨越河川區域，因此在設計時已將氣候變遷與河川改道所造成的影響納入考量，所有建物與設施皆依據百年重現期之洪水流量進行設計(包含氣候變遷情境下導致的水流增量)，而橋梁主體工程已於 2025 年 9 月竣工。

(2) 河川改道設計：HS2 工程新增高架橋之數量與位置導致河川須改道，故透過河道容量模擬規劃生態滯洪池，最大限度減少改道工程對上、下游洪水風險的影響，圖 3.2-8 為新增高架橋梁、替代滯洪池與河川改道之相對位置模擬圖。



圖 3.2-8 英國 HS2-高架橋、滯洪池與河川改道工程位置示意圖

資料來源：[27]

(3) 滯洪池規劃：由於高架橋之橋墩與周邊堤岸將侵入原有之滯洪區域，因此 HS2 規劃透過兩處替代滯洪池，預期可安全吸收暴雨造成之溢流量，未來將透過生態設計方式使滯洪區域與鐵路橋梁融入溼地景觀樣貌，模擬改道前之河道景觀，如圖 3.2-9 所示。



圖 3.2-9 英國 HS2-滯洪池與鐵道橋梁之生態設計示意圖

資料來源：[27]

4. 創新型氣象預測工具

為避免極端與季節性天氣事件衝擊工程規劃，影響成本、進度、品質與安全，如前述柯爾河高架橋之吊掛作業即易受天氣影響。因此，為降低施工

期間之風險，HS2 之主要土建工程承包廠商 Align(Align JV)與氣象科技公司 MetSwift(MetSwift Limited)合作，在奇爾特恩隧道與柯爾河沿線導入六個 Davis 氣象儀器觀測站，用於收集施工現場各個關鍵位置的即時氣象資料，圖 3.2-10 為氣象站佈設位置。

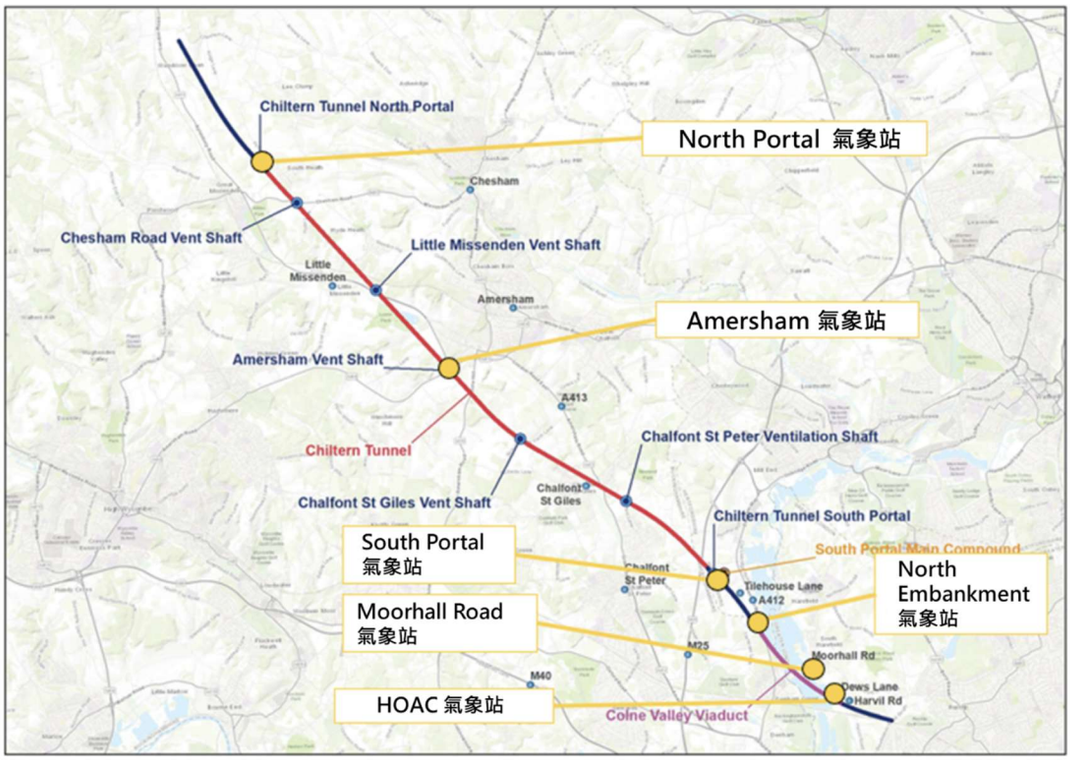


圖 3.2-10 英國 HS2-Align 與 MetSwift 佈設氣象站位置圖

資料來源：[28]

以現場氣象站數據以及歷史氣候資料為資料庫，MetSwift 與 Align 採用類神經網路基礎之機器學習技術，開發人工智慧(AI)氣象預測工具－STF 數位預測平台，圖 3.2-11 為其實際操作畫面；STF 平台可依據現場負責人針對其特定作業設定之天氣條件限制，產生具施工場址特性之預測結果以及未來一週之預測摘要報告，協助提升規劃施工排程之精確度，強化工程安全性並減少延誤時間。

Align 為評估 STF 平台之預測準確性，將 STF 預測模型、美國國家氣象局(United States' National Weather Service)所提供的傳統數值預報模型(Global Forecast System, GFS)以及天氣應用程式 XC Weather(XCW)三者所預測之結果與前述六個氣象站點之實際數據進行比較，結果證明 STF 為準確度最高之預測模型。



圖 3.2-11 STF 數位預測平台實際操作畫面示意圖

資料來源：[28]

3.3 鐵道系統跨系統界面衝擊影響

鐵道系統之設計及運作，與其他基礎設施間具有相互依存性，氣候衝擊不僅會直接影響鐵道系統本身，亦會透過連鎖效應導致跨系統界面衍伸風險與影響。倘若是缺乏外部組織的合作關係，則鐵道系統無法獨立有效管控所有風險以及推動適切的調適行動，故本節分別對鐵道與其他系統之間可能的跨界面衝擊，以及實際案例進行回顧。

3.3.1 跨系統界面衝擊與調適概述

本計畫從鐵道與公路、機場、港口、捷運之跨系統界面，探討界面間可能的衝擊影響與調適策略，謹說明如下：

1. 鐵道與公路界面

鐵道與公路界面主要在平交道，有可能因強降雨/洪水、強風或結冰而受衝擊，影響鐵道列車與公路車輛安全；此外，公路運輸受阻亦可能影響鐵道維修人員與緊急應變的調度。以下說明此界面可能之衝擊與調適策略：

(1) 可能衝擊

- 強降雨及洪水：強降雨可能導致鐵道與公路交會處積水，影

響鐵道列車與公路車輛通行；此外，若排水設施不完善，洪水可能沖毀鐵道橋梁基礎或公路橋墩，造成運輸癱瘓。

- 強風：強風可能導致公路上的大型車輛翻覆至平交道，也可能掀翻鐵道架空線電纜或通訊設備，導致設備故障。
- 結冰：2016 年 1 月「霸王級」寒流席捲北半球，臺灣亦在其受影響區域內，嚴寒氣溫下有可能導致鐵道與公路交會處附近之軌面與路面結冰，除影響鐵道列車與公路車運行及煞車性能外，亦可能導致平交道之衝撞事故。

(2) 調適策略

- 智慧平交道系統：透過物聯網(IoT)與即時監測設備，預測強降雨、強風影響，並將平交道遮斷與公路側交通號誌進行連線整合，以減少衝突風險。
- 自動應變通報系統：建立鐵公路資訊共享平台，確保鐵道營運機構、公路單位、應變單位均能即時獲取極端天氣資訊，提高應變效率。
- 強化排水與防凍機制：在低窪地區的鐵道與公路交會處設置防洪閘門與強化排水系統，並備妥防結冰作業機制，減少結冰風險。

2. 鐵道與機場、港口界面

鐵道於機場、港口會有客貨運之轉運需求，例如機場捷運、鐵道貨運接駁碼頭可能因洪水、強風或暴潮而停運；港口的貨櫃運輸時間可能因鐵道時刻異動而受影響，導致整體物流延誤，以下說明此界面可能之衝擊與調適策略：

(1) 可能衝擊

- 洪水、強風或暴潮影響港口與機場連接鐵道：沿海地區的港口車站可能因強風或暴潮導致基礎設施受損，影響貨物與旅客運輸；機場捷運可能因強降雨或強風影響，導致捷運系統停擺。
- 天候影響航班與船期，進而影響鐵道物流：若惡劣天氣導致

航班取消或港口封閉，可能導致大量貨櫃滯留港口，亦影響鐵道貨運輸運。

- 溫度變化影響鐵道貨運之品質：極端高溫可能影響冷鏈運輸，如生鮮食品、藥品等貨物在鐵道貨運途中因冷卻系統失效而變質腐壞。

(2) 調適策略

- 氣候調適型基礎建設：針對沿海港口車站設置防洪屏障，提高站體與軌道高程，以減少強風或暴潮影響。
- 動態貨運調度系統：利用 AI 與大數據技術，建立機場、港口、鐵道貨運的動態調度系統，根據天氣預測即時調整貨運安排，避免極端天氣影響物流鏈。
- 智慧冷鏈與貨運監控：在鐵道貨運車廂安裝溫度監測設備，並結合 IoT 技術，確保冷鏈運輸貨物在極端天氣下仍能保持適當儲存環境。

3. 鐵道與城市大眾運輸(捷運、輕軌、公車系統)

極端天氣可能導致地下隧道淹水、或地面電力系統受損，影響跨運輸系統的接駁與轉乘；與鐵道系統車站銜接的運輸系統，如捷運、公車、計程車等，亦可能因惡劣天氣受阻而影響旅客，以下說明此界面可能之衝擊與調適策略。

(1) 可能衝擊

- 地下隧道淹水：強降雨可能導致地鐵隧道淹水，影響列車運行與旅客安全，特別是在低窪地區的車站更易發生淹水問題。
- 地面與高架路段受強風影響：颱風、強風可能使地面或高架段路線因軌道異物(如樹枝、招牌)受阻，或是電力系統遭受異物飛入砸毀故障。
- 公車與計程車接駁受阻：鄰近鐵道系統車站的公車與計程車進出路線可能因道路積水而受影響，使旅客無法順利轉乘，進一步造成旅客滯留。

(2) 調適策略

- 智慧防洪系統：在易淹水的車站設置智慧排水閥與自動抽水系統，並利用 AI 分析即時監測數據，提前預警可能發生的淹水事件。
- 強化電力與備援供應：沿線設計備援電力轉供系統，車站內設置有儲能設備，以降低因強降雨或強風導致的斷電風險。
- 即時交通資訊平台：建立智慧大眾運輸應變平台，提供旅客所需之即時資訊，例如列車班次變動、公車接駁、計程車載客等服務，以減少極端氣候對旅客的影響。

3.3.2 跨系統界面衝擊與調適實務案例

本計畫以英國鐵道系統標竿案例，說明其應對跨系統界面風險與衝擊時，辨識組織間界面與風險之方法，說明如下：

一、英國鐵路公司案例

英國鐵路公司(Network Rail, NR)於 2021 年發布之第三版調適報告書(Third Adaptation Report[199])中提出，在其日常營運與資產管理方面存在許多具相互依存關係之組織或部門(利害關係者)，而辨識這些組織並進行合作，有助於管理跨領域氣候風險並落實調適行動。以下摘錄 NR 辨識利害關係者之方法、成果，以及跨系統界面衝擊實際案例。

1. 組織間利害關係分析方法與成果

(1) 英國 NR 辨識利害關係者的方法係透過諮詢各業務部門，並利用現有和過去與基礎設施部門的合作經驗列出潛在的利害關係，並研析若服務減少或中斷可能對彼此構成的風險。

(2) NR 利用各組織與其自身之業務關聯與流程，將利害關係者分為「依賴 NR 的組織」、「NR 依賴的組織」、及「與 NR 有相互依賴關係的組織」三類，並根據天氣事件引起的服務減少或中斷對雙方的影響程度，將各類別進行等級排序，如圖 3.3-1 中方向箭頭代表依賴的方式，線條粗細則代表依賴的程度多寡，同時也代表著服務減少或中斷後之風險高低。

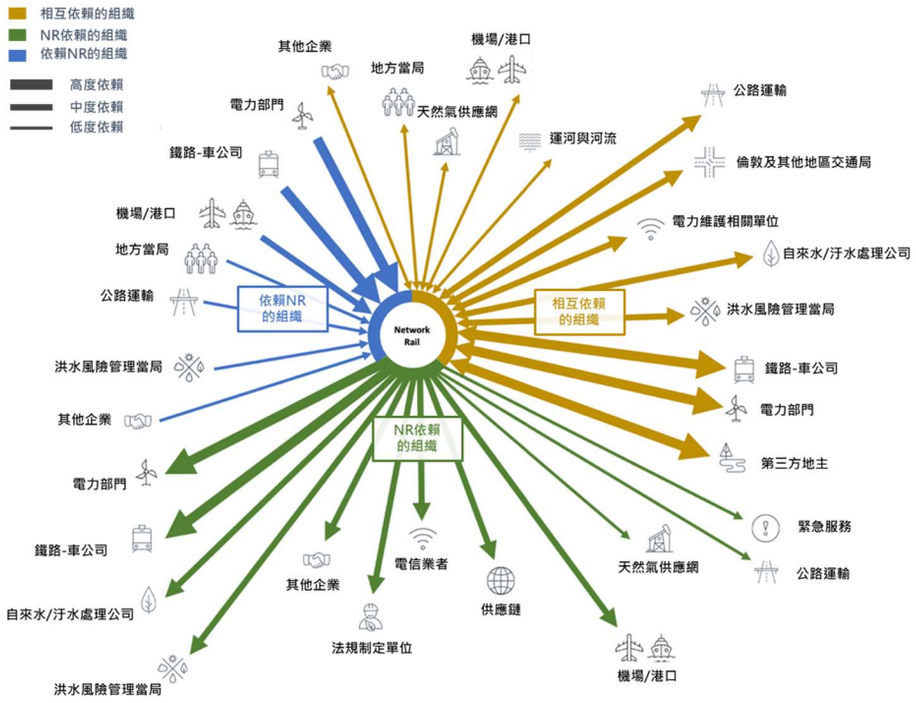


圖 3.3-1 英國 NR-氣候變遷利害關係分析圖

資料來源：[199]

2. 跨系統界面衝擊實例

(1) 界面-洪水風險管理資產

英國蘇格蘭之 Lithgow 地區於 2020 年時，曾發生一次強烈的大雷雨事件，導致聯合運河(Union Canal)有約 30 公尺之堤防潰堤，溢出河水沖毀 NR 位於愛丁堡與格拉斯哥之間的重要鐵道系統，對大段路基、軌道、架空電力設備以及堤岸造成破壞，如圖 3.3-2 所示。此次災害導致該條鐵路路線封閉約 5 週以進行修繕，而因此路線為蘇格蘭重要且運量較高之鐵道系統之一，故對旅客造成極大不便，且最終修復之成本高達 625 萬英鎊。

NR 認為在極端降雨下欲建構韌性系統，僅對資產與事故應變進行投資已不足以應對氣候變遷衝擊，應透過跨部門(河岸、洪水管理相關部門)合作，共同擬定有效之調適方案。



圖 3.3-2 英國 NR-聯合運河潰堤破壞鐵路設施照片

資料來源：[199]

(2) 界面-電網設施

英國英格蘭地區於 2019 年 8 月間，曾因多地發生雷擊而導致電網供電中斷，造成電車與車站皆因失去電力而停止營運，隨後雖供電迅速恢復，但因許多列車無法自動重啟，故須派遣工程師至現場手動重啟系統。本此事件導致大量旅客受困於列車與車站，且因列車調度受限，更使得當日與當週末的列車時刻表受到嚴重延誤。

此事件顯示鐵道系統高度依賴電力供應系統與其他基礎設施，因此不僅需要改善列車斷電後無法自動重啟之問題，更應與電網資產管理者共同建構調適與韌性策略。

二、英國倫敦交通局案例

2023 年，英國倫敦交通局(Transport for London, TfL)與中央政府、高速鐵路、公路、鐵路公司 NR 等相關單位合作，推動「倫敦陸地運輸之氣候變遷與相互依存風險」(Climate Change and Interdependency Risks for London's Land-Based Transport Sector)[254,255]計畫，該計畫採用系統圖譜方法，結合相關部門氣候變遷情境，進行利害關係者間界面與氣候相互依存風險辨識；本計畫摘錄此案例採用之系統圖譜方法以及成果說明如下：

1. 參與式系統圖譜方法(Participatory Systems Mapping, PSM)

PSM 係組織透過與利害關係者共同學習的過程，來建立「質性視覺化表達方式(如圖譜或模型)」，此法可描繪系統構成要素與要素間因果關係如何影響系統，透過 PSM 可以促進利害關係者間共同協作且深化應對風險之共識，進一步使各組織皆支持後續調適行動。此計畫採用之 PSM 步驟，摘錄如表 3.3-1 所述。

表 3.3-1 英國倫敦交通局-系統圖譜方法流程彙整表

系統圖譜與利害關係者議合	工作階段	重要程序	產出	
1. 建立系統圖譜				• 專案報告 • 調適計畫報告內容
建立初步因果循環系統圖譜	檢視現有文件以建立系統架構	• 檢視並摘要現有文件 • 建立對系統與架構的理解 • 辨識利害關係者	系統圖譜	
建立整合式系統圖譜	相互依存關係的彙整與分析	• 彙整相互依存關係 • 工作坊一：相互依存性與組織間界面分析		
2. 風險評估				
評估氣候風險	評估跨界面氣候風險	• 工作坊二：氣候風險分析 • 上游相互依存性之氣候風險評估(自身受其他組織影響的風險)	• 相互依存性風險評估彙整表 • 關鍵風險視覺化資訊圖 • 關鍵行動視覺化資訊圖	
辨識應對行動與利害關係者	擬定風險減低與因應行動	• 擬定風險因應行動清單(現今、2050 、2080 年) • 工作坊三：確認關鍵風險、行動與重要利害關係參與者		
辨識優先事項與潛在負面影響	建立行動之分類與優先排序	• 多準則優先排序架構訂出優先行動清單 • 成果驗證回饋報告		

資料來源：[254]

2. 利害關係組織間界面與相互依存風險辨識結果

TfL 於此計畫中共辨識出 114 個氣候相互依存風險，而這些風險源自 10 個關鍵組織之間的相互影響，摘錄如表 3.3-2 所述。

表 3.3-2 英國倫敦交通局-關鍵組織相互影響說明摘錄表

組織間介面	介面類型	描述與包含的資產	資產擁有者
電網韌性	基礎設施	電網整體容量及韌性，以應對需求變化	國家電網公司
電網-線型基礎設施	基礎設施	主要在輸電網內的線型資產（如架空電力線和電塔）韌性	國家電網公司
電網-變電站與電纜	基礎設施	配電與輸電網路中之變電站資產與地下電纜的韌性	國家電網公司、英國能源網路公司
電信、通訊網路	基礎設施	通訊資產（如基地台、電纜、路邊機櫃、交換中心與資料中心）之韌性	外部通訊服務提供者
土木工程結構	基礎設施	鄰近陸上運輸系統資產的土木結構物完整性（如橋梁與隧道）	地方政府、其他私人土地所有者
管線破裂	基礎設施	鄰近陸上運輸系統資產的自來水管線韌性	泰晤士水務公司、Affinity Water
都市排水系統和連結網路	基礎設施	都市排水系統和其他土地所有者維護所連結網路的容量	所有排水系統資產的所有者，包括：自治行政區、泰晤士水務公司、私人土地所有者
植被與綠色基礎設施	環境	管理鄰近陸地運輸系統資產的山坡和道旁植被	任何負責維護綠色基礎設施的土地所有者：自治行政區、大倫敦地區、私人土地所有者、環境署
路堤與邊坡	環境	鄰近鐵道或道路基礎設施之其他土地所有者所維護土地之管理狀態	環境署、私人土地所有者

組織間介面	介面類型	描述與包含的資產	資產擁有者
洪水風險管理資產	基礎設施	泰晤士河防洪閘和上游防洪設施等洪水風險管理資產的韌性	環境署

資料來源：[206,254]及本計畫整理

其中，機構間之介面涵蓋電力、排水、防洪管理、電信、結構資產(如橋梁)、植被和邊坡等，其面臨之風險包含高溫、海平面上升及強降雨等所導致之氣候危害，茲將相關內容摘錄如表 3.3-3 所述。

表 3.3-3 英國倫敦交通局-危害與組織間介面說明摘錄表

危害	說明	組織間介面
地表淹水	由極端降雨/風暴事件和不堪負荷的都市排水系統引起	• 都市排水系統和連結網路 • 電信網路 • 電網–變電站資產和電纜 • 土木工程結構
極端高溫	對電網容量及電力資產(如變電站與電纜)造成壓力	• 電網韌性 • 電網–變電站資產和電纜 • 電網–線型基礎設施 • 電信網路
暴風雨	直接衝擊電力系統設備，進而對鐵公路所需的電力供應造成連鎖影響	• 電網–線型基礎設施 • 電信網路 • 植被與綠色基礎設施
河川洪水	由強降雨引起，對鐵公路資產、土木建築、電信資產等造成衝擊	• 洪水風險管理資產 • 電信網路 • 土木工程結構 • 電網–變電站資產和電纜
潮汐洪水	由風暴潮/極端潮汐、海平面上升以及泰晤士河防洪閘洪水溢出所引起，對鐵公路資產造成衝擊	• 洪水風險管理資產 • 電網–變電站資產和電纜 • 土木工程結構
山崩與土石流	強降雨或乾旱影響土地所有者所管理的河岸與斜坡，進而對鐵道與公路資產造成連鎖影響	• 河岸和邊坡 • 電網–變電站資產和電纜 • 管線破裂
乾旱與野火	乾旱導致植被死亡並提高野火風險，對植被及綠色基礎設施造成直接衝擊，同時亦間接影	• 植被與綠色基礎設施 • 城市排水系統和連結網路 • 電網–變電站資產和電纜

危害	說明	組織間介面
	響都市排水系統與變電站等資產	

資料來源：[206,254]

3. 英國 2 號高速鐵路 PSM 應用實例[99]

英國 2 號高速鐵路（High Speed 2, HS2）與 TfL 進行合作，以系統圖譜方法，辨識 HS2 自身與其他各基礎設施系統間的依存路徑與互動關係。而其上游相互依存性之氣候風險評估顯示，電網系統、都市排水系統以及通訊系統為影響最大且最關鍵的組織間界面，且隨著未來鐵路電氣化趨勢與淨零碳排的推動趨勢，這些界面的問題會更加顯著。HS2 認為其利害關係者中，與其設計、營運相互依存系統可以分為四類，分別為物理性、地理性、資通訊性及系統性，如圖 3.3-3 所示。



圖 3.3-3 英國 HS2-相互依存系統類別

資料來源：[99]及本計畫整理

3.3.3 我國跨系統界面調適現況

本計畫參酌英國交通局之研析方式，以我國鐵道系統為主體，將其跨系統界面包含(但不限於)之關鍵組織間的相互影響關係彙整如表 3.3-4 所述。

表 3.3-4 我國鐵道系統關鍵組織相互影響彙整表

組織間介面	介面類型	描述與包含的資產	資產擁有者
鐵道與電力系統	基礎設施	包含供電系統(變電站、饋電線路)與列車運行供電設備(架空線、第三軌)	台電公司、鐵道營運機構、地方政府
鐵道系統與區域及都市排水系統	基礎設施	涉及鐵道路廊內或鄰近區域之排水設施、涵管與滯洪池等，影響車站、軌道路段淹水風險	水利署或地方水利局/處、鐵道營運機構
鐵道系統與河川治理	基礎設施	穿越河川之橋梁設施與相關護岸、河川疏濬、河道整治設施，涉及洪水調適與河道變遷風險	經濟部水利署及所屬各河川分署負責、地方政府水利局/處、農業部農村發展及水土保持署/林業及自然保育署、交通部鐵道局、鐵道營運機構
鐵道系統與資通訊系統	資訊/通訊	包括基地台、列車行控號誌等設備與系統整合	鐵道營運機構、電信公司
鐵道系統與中央災防系統	數據/指揮	包含 IoT 感測器、豪雨預警、邊坡滑動監測、CCTV 聯防影像串流、國家災害防救科技中心 NCDR 即時數據串接	國家災害防救科技中心 NCDR、氣象署、鐵道營運機構
鐵道系統與坡地保育/綠色基礎設施	環境	涉及鐵道路廊坡面之綠覆設施、防災植生、邊坡穩定設施（如噴漿護坡、植生網或集水設施）	中央或地方政府、鐵道營運機構

組織間介面	介面類型	描述與包含的資產	資產擁有者
鐵道系統與道路交叉	基礎設施	涉及平交道自動化、感測設備、防護設備與道路排水銜接影響行車安全與停等時間	鐵道營運機構、公路總局、地方道路主管機關
鐵道系統與環境主管機關	規範/政策	環評制度中對於土木設施之災害風險應變能力、水土保持、植生復原、滯洪池設置等相關規範或行政指導事項	環境部、地方環保局、農業部
鐵道系統與土地使用/都市計畫	規劃與土地	涉及鐵道沿線土地開發、再生利用、都市排水標準與容積分區調適，以及周邊建築活動可能造成坡地不穩定風險	內政部國土署、地方都市發展局、交通部、地政機關、民間開發單位
鐵道系統與都市大眾運輸	基礎設施	涉及鐵道系統車站銜接之都市運輸系統，如捷運、輕軌、公車、計程車等，亦可能因極端天氣導致設施、設備受損，影響跨運輸系統的接駁與轉乘	鐵道營運機構、都市大眾運輸系統營運機構、計程車車隊/車隊平台/駕駛人

資料來源：本計畫整理

經與國內鐵道系統營運機構訪談，瞭解我國鐵道系統營運機構在跨系統界面之衝擊與調適尚在起步階段，目前與相關單位建立較多項的合作機制係屬於跨組織之防減災作業，以確保面對災害衝擊時，能夠做出快速有效的應變措施、並儘速恢復系統服務，茲將鐵道系統跨組織溝通現況彙整如表 3.3-5 所述。

表 3.3-5 國內鐵道系統營運機構跨界面溝通現況彙整表

項目	現況
建立聯合防災中心	• 「臺北車站特定區聯合防災中心」整合臺鐵、高鐵、捷運及警消單位，建立通報機制，定期演練及協調會議 • 臺鐵西部三座特等站不僅為國家重要基礎建設，亦為國家層級韌性發展之關鍵設施，均設有跨單位通報與聯合防災機制 • 鐵道局未來規劃於板橋、南港等重要共構車站設立聯合防災中心
監測與資訊共享	• 臺鐵與公路局、水保署建立聯防機制，共享降雨、水位等監測資訊
替代運輸協調合作	• 臺鐵與客運業者合作替代運輸，必要時請監理單位協助調度車輛 • 高鐵突發事件(運轉中斷、末班車延後)時，行控中心主動聯繫臺鐵、捷運等協調延後營運，並啟動緊急接駁運輸服務契約安排旅客轉乘

資料來源：本計畫整理

3.3.4 跨系統溝通協調機制建議

鑒於上述各跨系統界面在極端氣候事件中可能之衝擊影響，需建立有完善的溝通協調機制，使其能透過合作框架與通報流程，消弭資訊隔閡，形成預警迅速、反應靈活的整合網路，以下說明跨系統間可能之溝通機制與建議。

1. 整合指揮與資訊平台

(1) 跨單位應變機制：透過跨單位行政機制，確保統一調度與決策，平時實施情境演練，強化極端氣候下的協調能力。其中，鑒於鐵道系統為跨區域型運輸系統，建議由中央層級領導行政機制。

(2) 即時資訊交換系統:建立整合資訊平台，匯集氣象、水文與交通資訊，並制定單一通報流程，確保各運輸系統間訊息即時流通。

2. 協同應變與資源調度機制

(1) 聯合應變計畫：建立跨系統協同應變計畫與資源支援機制，整合政府、運輸系統及民間私人力量，確保極端氣候下關鍵資源靈活調度。

(2) 智慧決策支援系統：利用數位孿生技術與 AI 分析，提供風險預警與衝擊評估，強化預防性決策能力。

3. 檢討修正災害潛勢區劃設相關法規

(1) 鐵道系統跨界面涉及多個主管機關，然因各主管機關之任務與法源依據不同，而對保全對象之認定與劃設標準有所差異。以農業部農村發展及水土保持署為例，其依《農業部農村發展及水土保持署土石流潛勢溪流及大規模崩塌潛勢區劃設作業要點》劃設土石流災害潛勢區，保全對象係以住戶為主；相較之下，鐵道營運機構保全對象則著重於乘客、列車及車站。

(2) 基於上述，考量各機關（構）對保全對象之定義與風險評估基礎上存在差異，使災害潛勢區之認定與管理重點不盡相同，爰建議檢討修正相關法規，以強化跨系統溝通協調機制。

3.4 小結

本章基於前期研究成果，持續回顧國內外鐵道系統調適現況，並進一步探討鐵道系統跨界面衝擊影響，以及提出溝通協調機制建議，茲將彙整重點如下：

1. 高鐵與臺鐵普遍聚焦於防減災，調適方面處於剛起步階段。

(1) 我國鐵道系統多著重於洪災之防減災應對措施，如高溫、強降雨、強風、雷擊、邊坡監測、落石告警等系統，以做為列車慢行或停駛之依據，確保營運安全。

(2) 在組織與政策方面，台灣高鐵設有專責委員會，並參照 TCFD 揭露氣候變遷因應策略；臺鐵公司則將氣候議題納入安全憲章，並與外部單位(如國家災害防救科技中心、中央氣象署)建立合作關係。

2. 國際鐵道機構案例皆以依據氣候變遷情境與系統風險評估之結果，於設計、建造與營運中考量極端氣候衝擊。

(1) 美國 MBTA 開發適用於都市公共運輸系統之脆弱度評估工具以及洪水風險模型，並依據評估結果優先施作高風險地點之韌性工程；此外，亦開發調適策略評估矩陣，協助決策者選擇適當之調適措施。

(2) 英國 HS2 要求工程承包廠商皆須提交韌性報告，以證明其設計將調適能力最大化；在計畫初期針對氣候危害的科學研究與評估中，納入氣候變遷考量，並依據評估成果調整工程設計；對於施工期間的極端天氣影響，推動科技設備導入、開發預測工具，以適當之彈性施工規劃，達到提升安全性並降低期程延誤之目標。

3. 我國鐵道系統營運機構於跨系統界面之氣候衝擊與調適方面，尚待與相關單位共同發展可協作之調適架構。

(1) 鐵道系統會因其服務範圍與型態，與多種不同層級組織產生跨系統界面，在氣候災害發生時可能產生系統性共因失效風險與協作失能的情況。

(2) 國際鐵路標竿機構(如 NR、HS2)皆已針對跨系統界面進行盤點與風險分析，依據系統型態與相依程度的不同，將利害關係者進行分類，並提出應共同調適之方向。

(3) 我國鐵道系統營運機構目前已與相關單位建立多項跨組織防減災之通報、聯繫與應變協調機制(如台鐵與公路局、水保署共享監測資訊)，但仍尚待發展跨單位、跨系統之前瞻性協同機制與調適架構，且針對鐵道系統高度依賴者(如電網、市區排水)，更具優先與急迫性。

第四章 鐵道系統調適指引架構

為協助國內鐵道系統轄管機關(構)執行氣候變遷調適作業，本計畫以2024年有關鐵道調適機制與方法之發展基礎，賡續辦理鐵道調適指引架構並以全生命週期方式撰擬鐵路系統氣候變遷調適指引。

4.1 鐵道調適架構精進

本計畫前於2024年參酌臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台(TCCIP)之國家氣候變遷調適架構、UIC Rail Adapt鐵道調適指南等標竿機構的作法，研提適用我國鐵道系統之調適機制，另為符合環境部《氣候變遷風險評估作業準則》之步驟，本計畫精進鐵道系統調適架構之相關構面名稱及呈現表述方式，如圖4.1-1所示。

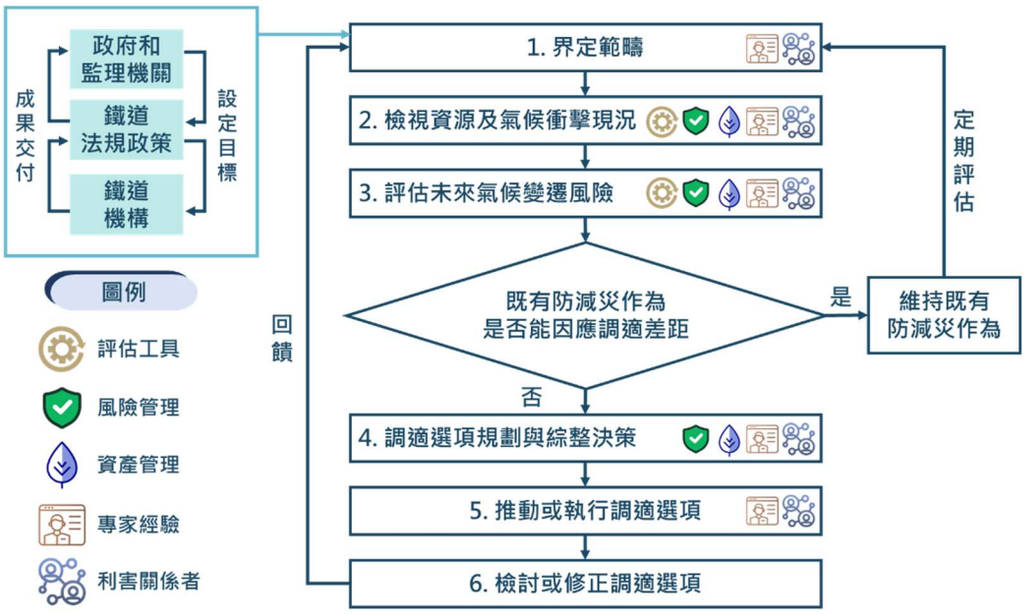


圖 4.1-1 鐵道系統調適架構圖

資料來源：本計畫整理

鐵道系統調適雖以循環方式呈現整體架構，惟鐵道系統機關(構)仍可視實務需求及作業環境特性，在其PDCA循環式品質管理程序中，適度納入政府單位、鐵道機構、外部支援等相關利害關係人參與時機與方式，謹說明

如下：

1. 政府單位：負責法規政策框架的建立，為整體調適工作提供制度性支持，同時監理單位亦須定期檢視與追蹤鐵道機構之調適作為。

2. 鐵道機構：依據法規、政策要求，提供符合要求的規劃設計，並由營運機構接續啟動調適行動機制，將執行現況回饋給政府單位。此外，營運機構在執行風險評估與調適選項研擬的過程中，亦可一併納入風險管理與資產管理機制。

3. 外部支援：藉由氣象資訊分享與評估工具技術輔助，並借重領域專家及利害關係者之經驗與建議，有助於執行風險評估作業與調適選項之研擬及推動。

茲將前述精進之鐵道系統調適架構與我國公路系統調適指引、ISO 國際標準、UIC 鐵路調適指南及英國 NR 的鐵路調適策略框架(Weather Resilience and Climate Change Adaptation, WRCCA)進行對照比較，彙整如表 4.1-1 所述。

表 4.1-1 我國鐵道系統調適 vs 其他規範-架構對照表

鐵道系統 調適架構	公路系統規劃 階段調適指引	ISO 14090	UIC Rail Adapt	NR WRCCA
1. 界定範疇	• 前置作業	• 先期規劃	• 目標 • 辨識危害/脆弱度/嚴重度	• 界定範疇 • 辨識脆弱度與機會
2. 檢視資源及氣候衝擊現況	• 第一階段：蒐集與分析氣候變遷相關資料 • 第二階段：初步評估影響調適能力的氣候風險因素	• 評估氣候變遷衝擊及機會	• 風險評估	• 建立風險
3. 評估未來氣候變遷風險	• 第三階段：執行氣候變遷風險評估			
4. 調適選項規劃與綜整決策		• 調適規劃	• 調適策略 • 範圍訂定	• 設定要求 • 發展選項

鐵道系統調適架構	公路系統規劃階段調適指引	ISO 14090	UIC Rail Adapt	NR WRCCA
			• 方案產製 • 方案分析	• 計畫設計
5. 推動或執行調適選項	• 第四階段：檢討及修正調適選項	• 推動執行	• 行動方案	• 設計執行
6. 檢討或修正調適選項		• 監測與評估 • 報告與交流	• 成果檢視 • 成果報告	• 營運監控審查

資料來源：[112,123,198,336]及本計畫整理

4.2 鐵道系統調適指引架構

本計畫依據前揭 4.1 節所揭示之「鐵道系統調適架構」及《氣候變遷風險評估作業準則》，同時參酌 ISO 14090、ISO 14091、UIC Rail Adapt 鐵路調適指南、本所公路系統規劃階段調適指引等國內外相關文獻綜理而得，有關該指引架構如圖 4.2-1 所示。

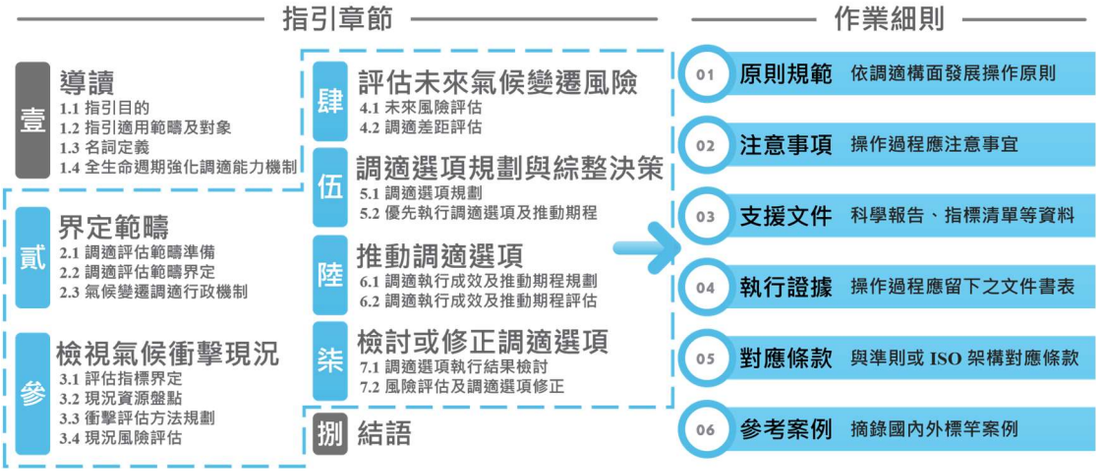


圖 4.2-1 鐵道系統調適指引架構圖

資料來源：本計畫整理

在調適指引架構安排上，先以「壹、導讀」敘明氣候變遷調適之內涵與重要性，再依環境部《氣候變遷風險評估作業準則》之六大調適構面等步驟，分別敘明於「貳、界定範疇」、「參、檢視資源及氣候衝擊現況」、「肆、評估未來氣候變遷風險」、「伍、調適選項規劃與綜整決策」、「陸、推動或執行調適選項」、「柒、檢討或修正調適選項」，最終再以「捌、結語」綜理與

提供調適相關工具與資源。此外，為提高該指引之易讀性與可操作性，於各章節收錄國內外相關案例，並透過演示案例呈現主要步驟之操作情形，以利提供鐵道系統機關(構)在執行調適作業時之參考應用。茲將調適指引各章節規劃說明如下各小節。

4.2.1 「壹、導讀」

本章節係為鐵道系統機關(構)及其使用者快速掌握氣候變遷調適之相關基本知識與背景，以奠定後續章節的閱讀基礎，其指引內容主要包含：

1. 「1.1 指引目的」

本指引以鐵道系統全生命週期角度來發展通用性指導方針，目的係協助鐵道系統機關(構)於規劃設計、施工興建及營運維護階段推動氣候變遷調適策略與方案，以提升鐵道系統面對氣候變遷衝擊之韌性。

2. 「1.2 指引適用範疇及對象」

本指引為通用性的指導原則，鐵道系統機關(構)可依據自身需求彈性調整，並發展適用之模型、資料庫等工具。適用範疇涵蓋規劃設計、施工興建及營運維護各階段之調適工作。

3. 「1.3 名詞定義」

綜整本指引中常見或具關鍵意涵之名詞，例如「危害」、「暴露度」及「脆弱度」等，便於閱讀與避免誤解。

4. 「1.4 全生命週期強化調適能力機制」

鐵道系統具備高沉沒成本之特性，完工後不易大幅調整路線，爰期鐵道系統權管機關(構)從長期及永續的角度進行整體性規劃與維運，以提升鐵道系統面對氣候變遷衝擊下之韌性。

4.2.2 「貳、界定範疇」

在進行氣候變遷風險評估前，明確界定調適評估範疇可避免評估過程方向模糊、資源投入無法聚焦，同時也助於凝聚共識，確保利害關係者對調適範圍的理解一致。

1. 「2.1 調適評估範疇準備」

在邀集相關利害關係者共同界定調適評估範疇前，鐵道系統權管機關(構)應先盤點 內、外部環境，初步界定易受氣候變遷影響對象、氣候危害類型及其 可能受影響之時空範圍等，做為後續與利害關係者討論之參考資料。

有關調適評估範疇準備應遵循之原則規範，包含：

- 鐵道系統權管機關(構)應盤點內、外部環境，包含組織歷史氣候危害事件、國內外氣候變遷相關議題；
- 鐵道系統權管機關(構)應確認易受氣候變遷影響對象、對應之業務範疇及權責機關；
- 鐵道系統權管機關(構)應評估易受氣候變遷影響對象之氣候危害類型、可能受影響之時間、空間尺度及範圍。

2. 「2.2 調適評估範疇界定」

利害關係者的參與有助於凝聚共識，並提升其對後續風險評估及調適計畫執行之投入意願。基此，組織可依據前述所界定之易受氣候變遷影響對象，針對其暴露於氣候危害下之熱點時空範圍，辨識可能受影響之利害關係者，並了解其期望與要求。

其中，利害關係者可區分為內部及外部兩類，建議先依組織內部實務人員之意見，嗣經組織內部確認主要議題後，再邀集外部專家等外部利害關係者進行討論，並確認衝擊鏈、適宜之評估指標與方法。

有關調適評估範疇界定應遵循之原則規範，包含：

- 鐵道系統權管機關(構)應辨識易受氣候變遷影響對象暴露於氣候危害下之熱點時空範圍內，可能受影響之利害關係者；
- 鐵道系統權管機關(構)應邀集內部實務人員、有關機關、學者、專家、民間團體，共同界定評估範疇。

3. 「2.3 氣候變遷調適行政機制」

為利於後續風險評估及調適選項之研擬與推動，鐵道系統權管機關(構)應參酌已辨識之利害關係者清單，建立氣候變遷調適行政機制，納入具關

鍵專業知識、執行權責及實務經驗之內外部單位。透過定期召開會議或相關機制，整合不同面向的觀點，強化決策過程的透明性與共識凝聚，促進調適工作的推動與持續精進。

有關建立氣候變遷調適行政機制應遵循之原則規範，包含：

- 氣候變遷調適行政機制宜由具決策權之人員領導；
- 鐵道系統權管機關(構)應邀集內部實務單位、鐵道系統跨界面之相關單位、外部專家學者及其他相關利害關係者，設立氣候變遷調適行政機制。

4.2.3 「參、檢視氣候衝擊現況」

在評估現況風險時，鐵道系統權管機關(構)應先盤點組織能力建構情形，以及相關可投入之調適管理機制之資源，並運用歷史及現況資料，進行現況風險評估，做為比較基礎。

1. 「3.1 評估指標界定」

在進行風險評估前，鐵道系統權管機關(構)應明確定義評估所採用之指標，做為後續分析的依據，包含《氣候變遷因應法》所揭危害、暴露度及脆弱度等氣候風險因子所界定之評估指標。

有關評估指標界定應遵循之原則規範，包含：

- 鐵道系統權管機關(構)應根據調適評估範疇界定風險評估指標，包含危害度、暴露度及脆弱度指標；
- 鐵道系統權管機關(構)所界定之評估指標，應同時可適用於現況及未來風險評估。

2. 「3.2 現況資源盤點」

為避免調適資源重複投入，鐵道系統權管機關(構)應盤點並辨識既有之能力建構情形與可投入於調適管理機制之相關資源。此外，為確保後續風險評估順利執行，建議依據前述所訂定之評估指標需求，盤點並整合內、外部可取得之資料與資源，確認分析所需資源及資料可取得性。

有關現況資源盤點應遵循之原則規範，包含：

- 鐵道系統權管機關(構)應盤點並辨識組織之知識、技術、人力、財務等能力建構情形，以及相關可投入之調適管理機制之資源；
- 鐵道系統權管機關(構)應善用可取得之內、外部資源與資料，蒐集評估指標所需資料；
- 鐵道系統權管機關(構)應評估資料品質及其不確定性。

3. 「3.3 衝擊評估方法規劃」

為奠定後續現況與未來風險評估結果之比較基礎，鐵道系統權管機關(構)應考量現況及未來危害資料之可取得性與不確定性，規劃合適之衝擊評估方法。

有關發展衝擊評估方法應遵循之原則規範，包含：

- 鐵道系統權管機關(構)應依危害資料的可取得性及不確定性，規劃合適之質化、量化或綜合衝擊評估方法；
- 鐵道系統權管機關(構)規劃之衝擊評估方法，應同時適用於現況及未來風險評估。

4. 「3.4 現況風險評估」

為瞭解氣候變遷對易受氣候變遷影響對象之衝擊，鐵道系統權管機關(構)應先進行現況風險評估，做為後續與未來風險比較之基礎。

有關現況風險評估應遵循之原則規範，包含：

- 鐵道系統權管機關(構)應依前述評估指標及衝擊評估方法，評估現況風險；
- 現況風險評估結果應含易受氣候變遷影響對象之影響程度或其空間分布情形

4.2.4 「肆、評估未來氣候變遷風險」

氣候變遷調適與防減災之關鍵差異在於氣候變遷調適主要是考量未來氣候變遷之情境，透過最新科學數據推估資料進行未來風險評估，進而瞭解不同空間尺度下的調適差距。

1. 「4.1 未來風險評估」

未來風險係基於氣候模型與推估資料，評估不同氣候情境下之風險，以便鐵道系統權管機關(構)瞭解氣候變遷對鐵道系統可能帶來的中長期衝擊。

有關未來風險評估應遵循之原則規範，包含：

- 鐵道系統權管機關(構)應蒐集當期氣候變遷科學報告，以及最新國內外相關科研報告與建議；
- 鐵道系統權管機關(構)應設定調適應用情境；
- 鐵道系統權管機關(構)應依前述評估指標及衝擊評估方法，評估調適應用情境下之未來風險。

2. 「4.2 調適差距評估」

鐵道系統權管機關(構)應依據調適差距評估結果及可接受之風險水準，決定是否須進一步研擬與推動相應之調適選項。倘未來風險落在可接受範圍，鐵道系統權管機關(構)即可維持既有機制並定期檢討與評估。

有關調適差距評估應遵循之原則規範，包含：

- 鐵道系統權管機關(構)應指認現況風險評估與未來風險評估結果之差距；
- 鐵道系統權管機關(構)應評估既有作為是否能因應調適差距；
- 鐵道系統權管機關(構)應邀集相關利害關係者共同評估調適差距，或指認高風險地區之合理性。

4.2.5 「伍、調適選項規劃與綜整決策」

當鐵道權管機關(構)評估既有機制與方法無法因應未來氣候危害之衝擊時，則需進行下一階段包含研擬適當之調適選項，以提升鐵路系統韌性之相關調適措施。

1. 「5.1 調適選項規劃」

為確保研擬之調適選項能降低調適差距，鐵道系統權管機關(構)應先設定欲降低之目標，並從「降低暴露度」及「降低脆弱度」之角度，廣泛蒐集

並研擬可行之調適選項，做為後續調適選項評估之參考資料。

有關調適選項規劃應遵循之原則規範，包含：

- 鐵道系統權管機關(構)應設定欲降低調適差距之目標；
- 鐵道系統權管機關(構)應依前述降低調適差距目標，研擬調適選項。

2.「5.2 優先執行調適選項及推動期程」

鐵道系統權管機關(構)於研擬多項調適選項時，應研擬條是選項評估準則，並依據該準則確定優先執行調適選項及其推動期程，再將決策結果編製為氣候變遷調適計畫，做為後續推動或執行調適選項時之參考。

有關優先執行調適選項及推動期程應遵循之原則規範，包含：

- 鐵道系統權管機關(構)應訂定調適選項評估項目及其評分標準，評估項目包含有效性、 可行性、可能之負面影響及其附加效益；
- 鐵道系統權管機關(構)應依調適選項評估準則，評估優先執行之調 適選項及其推動期程；
- 鐵道系統權管機關(構)應參考有關機關、學者、專家及民間團體之意見，做為調適選 項規劃及綜整決策依據。

4.2.6「陸、推動調適選項」

在推動或執行調適選項的過程中，鐵道系統權管機關(構)除依其推動期程進行管理外，亦須建立成效評估指標，以便後續評估調適執行成果。

1.「6.1 調適執行成效及推動期程規劃」

為確保氣候變遷調適計畫得以順利落實，鐵道系統權管機關(構)應進一步擬定執行計畫，以使執行單位有所依循之外，亦可做為評估調適實施進展是否符合規劃期程之依據，以便掌握調適執行進度。

有關調適執行成效及推動期程規劃應遵循之原則規範，包含：

- 鐵道系統權管機關(構)應制定明確可追蹤的調適執行計畫；
- 鐵道系統權管機關(構)應建立量化評估指標；

- 若無法建立量化評估指標，鐵道系統權管機關(構)應透過訪談相關團體、諮詢專家等方式，協助檢視調適執行成效。

2. 「6.2 調適執行成效及推動期程評估」

在執行調適計畫過程中，鐵道系統權管機關(構)應定期檢視調適執行成效及其推動期程，確保調適選項有確實且如期執行，包含：定期評估調適選項執行成效，以及定期評估調適選項推動期程之符合程度等原則。

有關調適執行成效及推動期程評估應遵循之原則規範，包含：

- 鐵道系統權管機關(構)應定期評估調適選項執行成效；
- 鐵道系統權管機關(構)應定期評估調適選項推動期程之符合程度。

4.2.7 「柒、檢討或修正調適選項」

鑒於未來氣候變遷的不確定性，鐵道系統權管機關(構)應就氣候變遷調適計畫進行滾動檢討與修正等機制，以確保其有效性。

1. 「7.1 調適選項執行結果檢討」

為確保氣候變遷調適措施能有效達成既定目標，鐵道系統權管機關(構)應定期檢視調適執行成果，藉以確認調適差距是否縮減、評估調適後帶來的正負面影響，並釐清調適過程中的主要障礙。

有關調適選項執行結果檢討應遵循之原則規範，包含：

- 鐵道系統權管機關(構)應檢視調適選項執行結果是否達到設定之調適差距目標；
- 鐵道系統權管機關(構)應評估調適選項實施後，其潛在正負面影響及執行過程所遭遇之調適障礙；
- 鐵道系統權管機關(構)應依所遭遇之調適障礙，提出未來解決方案。

2. 「7.2 風險評估及調適選項修正」

為確保調適計畫的有效性及考量未來氣候變遷的不確定性，鐵道系統權管機關(構)應依調適計畫成效評估結果及最新氣候變遷科研資料，評估是

否有必要進一步修正氣候變遷風險評估結果及其調適選項。

有關風險評估及調適選項修正應遵循之原則規範，包含：

- 鐵道系統權管機關(構)應蒐集當期氣候變遷科學報告，以及最新國內外相關科研報告與建議。
- 鐵道系統權管機關(構)應定期檢視是否須重新評估氣候變遷風險及修正調適選項。

4.2.8 「捌、結語」

針對氣候變遷調適議題，世界各國關注度持續升高，相關理論研究及實務應用亦不斷精進與深化，本指引援引《氣候變遷風險評估作業準則》之風險評估與調適策略研擬等步驟，研提鐵道系統權管機關(構)於辦理氣候變遷調適業務所需之方法與工具，並蒐整國內外氣候變遷調適相關參考資料及資源，藉以提供鐵道系統機關(構)執行調適作業時之參考應用。

第五章 結論與建議

本期計畫主要成果包含蒐整國內外氣候變遷相關領域之調適指引、盤點我國高鐵與臺鐵調適執行現況、研提跨系統溝通協調機制與建議，以及研擬我國鐵道系統調適指引架構與撰擬鐵道系統(高鐵與臺鐵)調適指引(初稿)內容，並透過演示案例進行調適指引架構之操作演練。以下謹就本年度計畫之整體結論與後續建議進行說明。

5.1 結論

1. 蒐整國外標竿案例之氣候變遷調適指引架構

本計畫蒐整 ISO 14090 系列標準以及國外機構使用之氣候變遷調適指引，其架構多涵蓋界定範疇、現況風險、未來風險、綜整決策、推動執行及檢討修正等六大步驟，其與國內《氣候變遷風險評估作業準則》所規範之方向大致相同。惟在氣候變遷風險的組成上，部分國際機構係以可能性(Likehood)與後果(Consequence)的組合做為定義，其與我國《氣候變遷因應法》對於氣候變遷風險的組合係「危害」、「暴露度」及「脆弱度」的定義仍有所差異。

2. 研提與跨系統間之溝通協調機制

(1) 我國鐵道系統預警機制，普遍仍聚焦於防減災之相關應用，其範疇包含引進人工智慧與物聯網技術、透過遙測與無人載具提升觀測效能外，並針對邊坡管理因應行動、河川橋梁管理措施等機制上，強化預警與即時應變能力與決策支援力，藉以確保營運安全；另在運用科學推估資料進行未來風險評估方面，則仍處於起步階段。

(2) 在探討鐵道系統跨界面衝擊影響方面，鑒於氣候變遷影響涉及多個部門及治理層級，再加上鐵道系統多屬跨區域型之運輸系統，爰建議鐵道系統權管機關(構)於平時即應建立跨單位、跨層級之行政聯絡

機制，俾利未來遭遇氣候事件時，能即刻啟動預警迅速、反應靈活的跨域協調機制。

(3) 我國鐵道系統中，臺鐵與高鐵因屬跨城際系統，相較於地方捷運系統，跨域權責問題與風險評估因素更為複雜，其韌性及調適作為與中央機關及各地方政府區域治理之關聯性較大，故建議由鐵道機關(構)統籌跨界面問題，釐清各單位之責任歸屬，並適時於中央層級之會議上充分討論，以利掌握複合、連動式風險，全盤了解多機構、多重災害間的交互關聯性。

3. 研擬我國鐵道系統調適指引架構

(1) 指引(初稿)之章節係以《氣候變遷風險評估作業準則》為基礎，並分別納入導讀、界定範疇、檢視氣候衝擊現況、評估未來氣候變遷風險、調適選項規劃與綜整決策、推動調適選項、檢討或修正調適選項等章節。

(2) 為使調適指引具可操作性及易讀性，指引(初稿)將援引實際案例納入指引內容，並透過演示案例說明氣候變遷風險評估、調適選項研擬推動之作業流程，俾利鐵道系統權管機關(構)參考應用。

4. 研擬鐵道系統調適指引內容及案例演練

(1) 指引(初稿)以鐵道系統全生命週期為範疇，發展導入氣候變遷調適作為的通用性指引，其內容係依據環境部《氣候變遷風險評估作業準則》、ISO 14090 等系列標準進行研擬，俾利鐵道系統調適指引能互相對應、滿足我國法規及國際標準之要求。

(2) 為便於鐵道系統機關(構)實務運用，本計畫透過臺鐵及高鐵案例演練，具體展示指引的操作流程，並將風險評估指標、調適選項參考案例收錄於指引(初稿)，以供鐵道系統機關(構)執行氣候變遷調適相關作業時參考。

5.2 建議

1. 持續蒐整鐵道系統調適實務操作問題及需求

本計畫已研擬鐵道系統(含高鐵、臺鐵、捷運及輕軌)調適指引章節架構，並發展鐵道系統(含高鐵、臺鐵)調適指引，後續亦將發展捷運系統(含捷運、輕軌)調適指引內容。為提升計畫成果落地應用之機會，本計畫將持續蒐整實務操作問題及需求，以供回饋至調適指引內容，俾利回應相關機關(構)實際執行調適作業之需要。

2. 建議檢討修正鐵道系統及災害潛勢區劃設之相關法規

為利鐵道系統機關(構)於執行調適作業時有所依循，並進一步強化跨系統溝通協調機制，本計畫提出以下建議：

(1) 現行《鐵路平交道與環境改善建設及周邊土地開發計畫審查作業要點》之既有條文與程序圖中，僅明定須進行財務風險分析；可行性研究檢核表第(十二)項「風險分析專章」亦未要求評估氣候變遷風險。因此，本計畫建議於「可行性研究報告書」與「綜合規劃報告書」中納入氣候變遷風險與調適議題進行考量，並在後續之基本設計階段銜接相應之規劃需求，藉由國內工程顧問公司之專業能力，協助律定下階段工程施作與未來營運時，應對氣候變遷極端氣候之具體內容。

(2) 英國於 2008 年訂定氣候變遷法，並要求基礎設施與公共工程的機構定期編制報告說明其在氣候變遷的調適進展與成效。為使鐵道系統機關(構)執行調適作業時能有所依循，且配合國家發展委員會「氣候變遷調適政策與行動之轉型發展與整合協調」之相關計畫，建議可參考英國採由上而下的推動模式，即由國家推動法規、制度之修訂後，再由機關(構)依據相關規範之要求，研提氣候風險評估與調適作業的報告。

(3) 鑒於跨系統機關(構)對保全對象之認定與劃設標準有所差異，使災害潛勢區之認定與管理重點不盡相同，故建議檢討修正相關法規，以強化跨系統溝通協調機制。

3. 建議未來紀錄極端天氣與氣候事件所造成之損失，並進一步發展氣候變遷調適相關工具

為協助鐵道系統機關(構)瞭解氣候危害之種類，進而評估氣候危害所造成之衝擊程度，以及研擬後續據以執行之各項調適作業，爰提出以下建議：

(1) 本計畫係從鐵道系統全生命週期角度出發，旨在提供調適基本架構與原則，惟該指引僅屬於行政指導之法律位階，爰建議鐵道系統機關(構)依據自身需求，研提適合各鐵道系統機關(構)特性與內部作業細節訂定程序之氣候變遷調適作業手冊。

(2) 為推動指引落地操作實施，可賡續發展適用之模型、資料庫與平台等相關操作工具，茲將研發之建議方向說明如下：

- 資料庫：為能進一步量化氣候危害對鐵道系統之衝擊(如營運損失等)，建議鐵道系統權管機關(構)建置氣候危害資料庫，蒐集危害事件發生當下之天氣條件、事故紀錄及各項損失資料，做為風險評估及調適選項研擬之參考依據。
- 模型工具：為降低調適執行人員的作業負擔，建議研發相關輔助工具，以提升調適作業效率。例如建立風險評級工具，讓執行單位透過自動產製簡易的風險評級結果，做為後續決策之參考。

4. 氣候變遷調適科研缺口建議

就國科會與環境部《國家氣候變遷科學報告 2024：現象、衝擊與調適》所揭示之科研缺口，提出以下建議：

(1) 目前可取得之未來氣候推估資料以溫度與降雨為主，惟鐵道系統仍可能受到雷擊、強風等氣候危害衝擊，建議鐵道系統權管機關(構)與政府部門合作進行基礎科學研究，透過客製化之科研產出，提供鐵道系統機關(構)之應用。

(2) 鑒於 AI 應用逐漸普及，鐵道系統權管機關構可思索氣象資訊結合 AI 在智慧交通之應用，提升判讀氣候資料之能力，進而強化鐵道系統權管機關(構)之決策支援能力。

參考文獻

[英文文獻]

1. Adamg. (2021, September 12), MBTA Talks up New Arborway Garage for Larger Fleet of Battery-Operated Buses; Plans Call for Eight Acres to Be Used for Housing., Universal Hub., Retrieved from: https://www.universalhub.com/2021/mbta-talks-new-arborway-bus-depot-battery-operated
2. Adaptation Clearinghouse, Retrieved from: https://www.adaptationclearinghouse.org/resources/climate-resilience-evaluation-and-awareness-tool-creat-3-0.html
3. Adaptation of Railway Infrastructure to Climate Change (ARISCC), Retrieved from: https://www.ariscc.org/
4. Adaptation of Railway Infrastructure to Climate Change (ARISCC), Good Practice Risk Management & Assessment, Retrieved from: https://ariscc.org/index1398-2.html?id=87
5. ADEME, Act Adaptation Methodology, 2023.
6. ADEME, Act Adaptation Road Test Anonymised Report - Road Test process and anonymised results of the participating companies, 2023.
7. ADEME, How to embark your company upon its climate change adaptation journey? - 30 French companies who are already taking action, 2024.
8. AECOM Australia, Adaptation of Melbourne's Metropolitan Rail Network in Response to Climate Change, 2011.
9. AECOM Australia, Economic framework for analysis of climate change adaptation options, 2012.
10. AECOM, MBTA Red Line Climate Change Vulnerability Assessment Summary Presentation, 2022.
11. AECOM, MBTA Green Line Climate Change Vulnerability Assessment Summary Presentation, 2022.

12. Ahmad Kasraei, Amir Garmabaki, Reliability Analysis of Railway Assets Considering the Impact of Geographical and Climatic Properties, International Journal of Systems Assurance Engineering and Management, 2024.
13. ARC Advisory Group, Remote Condition Monitoring: A Boost for Rail Asset Management, 2017.
14. Ateliers de l'Adaptation au Changement Climatique, Retrieved from: https://ateliers-adaptationclimat.fr/
15. Baker, C., Chapman, L., Quinn, A., and Dobney, K., Climate Change and the Railway Industry: a Review. Journal of Mechanical Engineering Science. 224, 519-528, 2010.
16. Baskin, A., Nature Based Solutions (NBS) in the Transport Sector. Report for the Transformative Urban Mobility Initiative (TUMI), 2023.
17. Bat-ADAPT, Resilience For Real Estate, Retrieved from: https://r4re.resilience-for-real-estate.com/resilience/analysis
18. Blackwood, L., A framework for the successful application of nature-based solutions for climate change adaptation on rail infrastructure developed through the examination of two case studies. Nature-Based Solutions, 5, 100126., 2024
19. Blackwood, L., and Renaud, F.G., Barriers and tools for implementing Nature-based solutions for rail climate change adaptation. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 113: 103529, 2022.
20. Blackwood, L., Renaud, F.G., and Gillespie, S., Nature-based Solutions as Climate Change Adaptation Measures for Rail Infrastructure. Nature-Based Solutions, Vol. 2, 100013, 2022.
21. Blackwood, L., Renaud, F.G., and Gillespie, S., Rail Industry Knowledge, Experience and Perceptions on the Use of Nature-Based Solutions as Climate Change Adaptation Measures in Australia and the United Kingdom. Environmental Research Infrastructure and

Sustainability, Vol. 3, 045011. DOI: 10.1088/2634-4505/ad14ef, 2023.

22. Boqing Feng, et al, Detection of Man-Made Objects along the High-Speed Railway Based on High Resolution Remote Sensing Images. Journal of Physics: Conference Series, Volume 1486, 2019 4th International Seminar on Computer Technology, Mechanical and Electrical Engineering (ISCME 2019) 13-15 December 2019, Chengdu, China.
23. Brumercikova, E., Hofer, W., Brumercik, F., Bukova, B., & Zitricky, V., Research on the Use of Reflective Thermal Insulation Coating on Railway Tracks and Wagons in Slovak Republic. Applied Sciences, 14(15), 6569, 2024.
24. BSI Standards Publication, EN 50126-1, Railway Applications - The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS), 2017.
25. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMU), Das Klimaanpassungsgesetz (KAnG), Retrieved from: https://www.bmuv.de/themen/klimaanpassung/das-klimaanpassungsgesetz-kang
26. High Speed Two (HS2), Chiltern Tunnel cross passage durability design – response to challenges, Retrieved from: https://learninglegacy.hs2.org.uk/document/chiltern-tunnel-cross-passage-durability-design-response-to-challenges/
27. High Speed Two (HS2), Resilient river landscapes – River Cole realignment: mitigating climate change through landscape design, Retrieved from: https://learninglegacy.hs2.org.uk/document/resilient-river-landscapes-river-cole-realignment-mitigating-climate-change-through-landscape-design/
28. High Speed Two (HS2), A Weather Resilient Approach to Construction – Lessons from Align Joint Venture on HS2, Retrieved

from:
https://learninglegacy.hs2.org.uk/document/a-weather-resilient-approach-to-construction-lessons-from-align-joint-venture-on-hs2/

29. Carbone 4, OCARA Analysis framework of corporate cliamtice resilience - Methodological guide, 2023.
30. Canada Electricity Associate, Climate Change & Extreme Weather - A Guide to Adaptation Planning for Electricity Companies in Canada, 2020.
31. Cantalloube, H. M., Nouvel, J. F., Azarian, S., Cheraly, A., Roques, S., and Oriot, H., Rail-borne SAR interferometry for Disaster Prevention. In Proceedings of EUSAR 2016: 11th European Conference on Synthetic Aperture Radar (pp. 1-5). VDE, 2016.
32. Carole Escolan (UIC), Climate Change Adaptation for International Transport: Preparing for the Future, 2019.
33. Cerema, National Climate Change Adaptation Plan: Transportation Infrastructures and Systems, Action 1, 2015.
34. Chang, L., Sakpal, N. P., Elberink, S. O., Wang, H., Railway Infrastructure Classification and Instability Identification Using Sentinel-1 SAR and Laser Scanning data. Sensors, 20(24), 7108, 2020.
35. Chen-Yu Lin, et al, International Benchmarking of Railroad Safety Data Systems and Performance–a Cross-Continental Case Study. Journal of Rail Transport Planning & Management, 26: 100384, 2023.
36. Chinowsky, P., Helman, J., Gulati, S., Neumann, J., & Martinich, Impacts of climate change on operation of the US rail network. Transport Policy, 75, 183-191.
37. Climate Change Platform, Climate Adaptation Strategies in Germany, 2023.
38. Climate Risk and Resilience Portal (ClimRR), Retrieved from: https://climrr.anl.gov/
39. Climate Sense Ltd and Birmingham Centre for Railway Research & Education (BCRRE), University of Birmingham, Review of Network

Rail's Weather Resilience and Climate Change Adaptation Plans, 2021.

40. Community of Metros Benchmarking Group, Research: Preparing for Extreme Weather and Climate Change, Retrieved from: https://communityofmetros.org/research-preparing-for-extreme-weather-and-climate-change/

41. Cousins, J. J., Justice in nature-based solutions: Research and pathways. Ecological economics, 180, 106874, 2021

42. Czuchlewski, K. R., Weissel, J. K., and Kim, Y., Polarimetric synthetic aperture radar study of the Tsaoling landslide generated by the 1999 Chi-Chi earthquake, Taiwan. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 108(F1), 2003.

43. Das, S., Ghosh, A., Hazra, S., Ghosh, T., de Campos, R. S., and Samanta, S., Linking IPCC AR4 & AR5 Frameworks for Assessing Vulnerability and Risk to Climate Change in the Indian Bengal Delta, Progress in Disaster Science, 7, 100110, 2020.

44. Department for Environment, Food & Rural Affairs (Defra), UK Climate Change Risk Assessment: Government Report 2012 (PB13698), 2012.

45. Department for Environment, Food & Rural Affairs (Defra), Understanding Climate Adaptation and the Third National Adaptation Programme (NAP3), 2024.

46. Department of Agriculture, Water and the Environment (DAWE), National Climate Resilience and Adaptation Strategy 2021 - 2025, 2021.

47. Department of Climate Change, Energy, The Environment and Water (DCCEEW), Assessing and adapting to Australia's climate risks, Retrieved from: https://www.dcceew.gov.au/climate-change/policy/adaptation/ncra

48. Department of Climate Change, Energy, The Environment and Water (DCCEEW), National Climate Risk Assessment First pass assessment report, 2024.

49. Department of Climate Change, Energy, The Environment and Water (DCCEEW), Powering Australia, Retrieved from: https://www.dcceew.gov.au/energy/strategies-and-frameworks/powering-australia

50. Dépoues, V., From Scientific Information on Climate Change to Economic Analysis for Adaptation of Infrastructure: The Case Study of SNCF, Doctoral Dissertation, Université Paris Saclay (COmUE), 2019.

51. Deutsche Bahn, Deutsche Bahn 2021 Integrated Report, 2021.

52. Deutsche Bahn, Deutsche Bahn 2023 Integrated Report, 2023.

53. Deutsche Bahn, Implementing Strong Rail, 2024.

54. Deutsche Bahn, Retrieved from: https://www.bahn.de/

55. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), Risk Supplement to the Vulnerability Sourcebook, 2017.

56. Di Martino, G., Esposito, M., Festa, B., Iodice, A., Mancini, L., Poreh, D., Riccio, D., and Ruello, G., Railway Bridge Monitoring with Sar: A Case Study. In IGARSS 2018-2018 IEEE International GEOSCIENCE and Remote Sensing Symposium (pp. 2952-2955). IEEE, 2018.

57. Dong, Q., Chen, X., Jiang, L., Wang, L., Chen, J., and Zhao, Y., Semantic Segmentation of Remote Sensing Images Depicting Environmental Hazards in High-Speed Rail Network Based on Large-Model Pre-Classification. Sensors, 24: 1876, 2024.

58. Doogie Black and Nick Pyatt of Climate Sense, Adapting Urban Transport to Climate Change, 2021.

59. Electricity Sector Climate Information (ESCI), ESCI Climate Risk Assessment Framework User Guide, 2021.

60. Electricity Sector Climate Information (ESCI), ESCI, Retrieved from: https://www.climatechangeinaustralia.gov.au/en/projects/esci/

61. Erika J. Palin, Irina Stipanovic Oslakovic, Kenneth Gavin, and Andrew Quinn, Implications of Climate Change for Railway

Infrastructure, Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, Volume 12, Issue 5, 1-41, 2021.

62. European Committee for Electrotechnical Standardization, Railway Applications – The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) Part 1: Basic Requirements and Generic Process, EN50126-1, 1999.
63. Fang-Chu Chen, Wireless Slope Monitoring System, 1st UIC Conference on Natural Disaster Management of Railway Systems, 2014.
64. Federal Emergency Management Agency (FEMA)., Hazus Flood Model Technical Manual (Hazus 6.1)., 2024.
65. Federal Highway Administration (FHWA), TEACR Engineering Assessment: Adaptation Decision-Making Assessment Process (ADAP), 2016.
66. Federal Highway Administration (FHWA), Vulnerability assessment and adaptation framework (No. DOT-VNTSC-FHWA-18-04), 2017.
67. Federal Highway Administration (FWHA), Geohazards, Extreme Weather Events and Climate Change Resilience Manual (No. FHWA-HIF-23-008), 2023.
68. Federal Railroad Administration (FRA), FRA's Climate and Sustainability Program, Retrieved from: https://railroads.dot.gov/rail-network-development/environment/fras-climate-and-sustainability-program
69. Federal Railroad Administration (FRA), FRA's Climate and Sustainability: Rail Resiliency, 2024.
70. Federal Register, Executive Order 14008: Tackling the Climate Crisis at Home and Abroad, 2021.
71. Federal Transit Administration (FTA), 2027 Climate Adaptation Plan, 2024.

72. Federal Transit Administration (FTA), A Vulnerability and Risk Assessment of Southeastern Pennsylvania Transportation Authority (SEPTA) Regional Rail, 2013.

73. Federal Transit Administration (FTA), An Integrated Approach to Climate Adaptation at the Chicago Transit Authority, 2013.

74. Federal Transit Administration (FTA), FTA's Climate Action Plan, 2021.

75. Federal Transit Administration (FTA), Gulf Coast Climate Change Adaptation Pilot Study, 2013.

76. Federal Transit Administration (FTA), Los Angeles County Metropolitan Transportation Authority Climate Change Adaptation Pilot Project Report, 2013.

77. Federal Transit Administration (FTA), San Francisco Bay Area Rapid Transit District (BART) Climate Change Adaptation Assessment Pilot, 2013.

78. Federal Transit Administration (FTA), Sound Transit Climate Risk Reduction Project, 2013.

79. Federal Transit Administration (FTA), Transit and Climate Change Adaptation: Synthesis of FTA - Funded Pilot Projects, 2014.

80. Federal Transit Administration (FTA), Transit Climate Change Adaptation Assessment/Asset Management Pilot for the Metropolitan Atlanta Rapid Transit Authority, 2013.

81. Federal Transit Administration (FTA), Transit Resilience Guidebook, 2023.

82. Ferranti, E., Chapman, L., Lee, S., Jaroszweski, D., Lowe, C., McCulloch, S., and Quinn, A., The hottest July day on the railway network: insights and thoughts for the future. Meteorol. Appl. 25, 195-208, 2018.

83. Ferranti, E., Chapman, L., Lowe, C., McCulloch, S., Jaroszweski, D., and Quinn, A., Heat Related Failures On Southeast England’s

Railway Network: Insights and Implications for Heat Risk Management. Weather Clim. Soc. 8, 177-191, 2016.

84. Fisher, R., Quantifying the Vulnerability of GB Rail to Temperature and Precipitation in Order to Improve Resilience, Doctoral Dissertation for the University of Birmingham, Birmingham, United Kingdom, 2021.

85. Fisher, Rachel, et al, Climate Change Resilience Beyond The Mainline Railway: a Review, Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Civil Engineering, 2023.

86. Flickr, The White Rails of the Rhaetian Railway, Retrieved from: https://www.flickr.com/photos/kecko/29844675158/in/photostream/

87. German Environment Agency, Climate Impact and Risk Assessment 2021 for Germany, 2021.

88. Government of the Republic of Korea, Korea's Adaptation Strategy to Climate Change, 2011.

89. Greenham, S., Ferranti, E., Powell, R., Drayson, K., and Quinn, A., The impact of heat on London Underground Infrastructure in a Changing Climate. Weather 78, 170 175, 2023.

90. Greenham, S., Ferranti, E., Quinn, A., and Drayson, K., The Impact of High Temperatures and Extreme Heat to Delays on the London Underground Rail Network: An Empirical Study. Meteorol. Appl. 27, e1910, 2020.

91. Greenham, S., Jones, S., and Ferranti, E., Developing a Climate Risk and Vulnerability Assessment for Birmingham, 2023.

92. Greenham, S., Jones, S., Ferranti, E., Zhong, J., Acton, J., MacKenzie, R., and Grayson, N., Mapping Climate Risk and Vulnerability with Publicly Available Data, 2023.

93. Guillaume GACH, FRMCS and 5G for Rail Status and Challenges, RailTech Europe 2022, 2022.

94. Haasnoot, M., Kwakkel, J. H., Walker, W. E., and Ter Maat, J., Dynamic adaptive policy pathways: A method for crafting robust

decisions for a deeply uncertain world. Global environmental change, 23(2), 485-498, 2013.

95. Hanson, H. I., Wickenberg, B., and Olsson, J. A., Working on the boundaries—How do science use and interpret the nature-based solution concept?. Land use policy, 90, 104302., 2020.
96. He, P., Guo, Z., Chen, H., Shi, P., Zhou, X., and Wang, G., Research and Application of Early Identification of Geological Hazards Technology in Railway Disaster Prevention and Control: A Case Study of Southeastern Gansu, China. Sustainability, 15(24), 16705, 2023.
97. Held, I. M., & Soden, B. J., Robust responses of the hydrological cycle to global warming. Journal of climate, 19(21), 5686-5699, 2023.
98. High Speed Two (HS2) Limited, Climate Change Adaptation and Resilience Adaptation Reporting Power (ARP) Report, 2021.
99. High Speed Two (HS2) Limited, Climate Change Adaptation and Resilience Adaptation Reporting Power Fourth Round, 2024
100. Hu, F., Leijen, F. J. V., Chang, L., Wu, J., and Hanssen, R. F., Monitoring Deformation along Railway Systems Combining Multi-Temporal InSAR and LiDAR data. Remote Sensing, 11(19), 2298, 2019.
101. Hyun Ki Kim, Safety Management System using Measuring Data, 1st UIC Conference on Natural Disaster Management of Railway Systems, 2014.
102. Information and Communication Technologies for Enhanced Emergency Management, 1st UIC Conference on Natural Disaster Management for Railway Systems, 2014.
103. Inoyatov, K., Abdullaev, B., and Rakhmatov, K., Impact of Solar Radiation on the Climate of a Passenger Car. In E3S Web of Conferences,Vol. 460, EDP Sciences, 2023.
104. Inside Track, How America's Top Railroad Learns to Fly, Retrieved from:

https://www.up.com/aboutup/community/inside_track/railroad-learns-to-fly.htm

105. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, 2007.
106. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, 2014.
107. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Climate Change 2021: The Physical Science Basis, 2021.
108. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability, 2022.
109. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Climate Change 2023 Synthesis Report, 2023.
110. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Climate Change 2013: The Physical Science Basis, 2013
111. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Global Warming of 1.5ºC, 2018.
112. International Organization for Standardization (ISO), ISO 14090:2019 - Adaptation to Climate Change- Principles, Requirements And Guidelines, 2019.
113. International Organization for Standardization (ISO), ISO 14091:2021 - Adaptation to Climate Change- Guidelines on Vulnerability, Impacts and Risk Assessment, 2021.
114. International Organization for Standardization (ISO), ISO 14092: 2020 -Adaptation to Climate Change- Requirements and Guidance on Adaptation Planning for Local Governments and Communities, 2020.
115. International Organization for Standardization (ISO), ISO 14093: 2022 - Mechanism for financing local adaptation to climate change - Performance-based climate resilience grants - Requirements and guidelines, 2022.
116. International Organization for Standardization (ISO), ISO 14097: 2021 - Greenhouse Gas Management and Related Activities-

Framework Including Principles and Requirements for Assessing and Reporting Investments and Financing Activities Related to Climate Change, 2021.

117. International Organization for Standardization (ISO), ISO 55001:2014 Asset Management Systems, 2014.
118. International Organization for Standardization (ISO), ISO Guide 84:2020 - Guidelines for addressing climate change in standards, 2020.
119. International Transportation Forum, Retrieved from: https://www.itf-oecd.org/
120. International Union of Railways (UIC), Adapting to Climate Change, 2015, Retrieved from: https://uic.org/sustainability/article/adapting-to-climate-changes
121. International Union of Railways (UIC), Ecosystem Valuation for Railways, 2024, Retrieved from: https://uic.org/projects/article/ecov4r#Project-description
122. International Union of Railways (UIC), High Speed and Intercity Natural Risks, 2012
123. International Union of Railways (UIC), RAIL ADAPT - Adapting the railway for the future, 2017.
124. International Union of Railways (UIC), RERA-RAIN, Retrieved from: https://uic.org/projects/article/rera-rain
125. James E. Neumann, et al. Climate effects on US infrastructure: the economics of adaptation for rail, roads, and coastal development. Climatic change, 167.3-4: 44, 2021.
126. Jenkins, K., Gilbey, M., Hall, J., Glenis, V., and Kilsby, C., Implications of Climate Change for Thermal Discomfort on Underground Railways. Transp. Res. Part Transp. Environ. 30, 1-9, 2014.

127. Japan International Cooperation Agency, JICA Climate-FIT Guidance on Climate Risk Assessment and Adaptation measures consideration Version 5.0, 2024.

128. Johnston, I., Murphy, W., and Holden, J., A review of Floodwater Impacts on the Stability of Transportation Embankments. Earth-Science Reviews, 215, 103553, 2021.

129. Karl Wang, Natural Disaster Management of Taiwan High Speed Rail Civil Infrastructure, 1st UIC Conference on Natural Disaster Management of Railway Systems, 2014.

130. KiwiRail, KiwiRail Integrated Report 2023, 2023.

131. KiwiRail, RAIL NETWORK INVESTMENT PROGRAMME, 2021.

132. Klimat-och näringslivsdepartementet, Nationell Strategi Och Regeringens Handlingsplan för Klimatanpassning (in Swedish), 2023.

133. Korea Environment Institute (KEI), Supportive Tools for Climate Change Adaptation Policies in Korea, 2019.

134. Kwon, Y. H., Climate Change Adaptation Policy and Future Direction in Korea, Korea Adaptation Center For Climate Change (KACCC) at Korea Environment Institute (KEI), 2013.

135. LA Metro, Metro Climate Action and Adaptation Plan 2019, 2019.

136. Lee, D., Shin, J., Song, Y., Chang, H., Cho, H., Park, J., and Hong, J., The development process and significance of the 3rd National Climate Change Adaptation Plan (2021–2025) of the Republic of Korea. Science of the Total Environment, 818, 151728, 2022.

137. Lee, M., Korea's Policies on Climate Change, Kyung Hee University, 2018.

138. Legislation.gov.uk, Climate Change Act 2008, Retrieved from: https://www.legislation.gov.uk/ukpga/2008/27/contents

139. Lindgren, J., Jonsson, D. K., and Carlsson-Kanyama, A., Climate Adaptation of Railways: Lessons from Sweden, European Journal of Transport and Infrastructure Research, 9(2), 2009.

140. Long, N., Independent review into the future security of the national electricity market: Blueprint for the future, 2017.

141. MailOnline, Network Rail blames 'climate change' for problems on Britain's railways, Retrieved from: https://www.dailymail.co.uk/news/article-12995687/network-rail-climate-change-railway-problems-storm-isha-impact.html

142. Malaymail, Deutsche Bahn fights heatwaves with white rails, Retrieved from: https://www.malaymail.com/news/life/2019/09/26/deutsche-bahn-fights-heatwaves-with-white-rails/1794311

143. Manabu Nishii, Natural Disaster Management by JR-West, 1st UIC Conference on Natural Disaster Management of Railway Systems, 2014.

144. Marcelo Blumenfeld, et al., Towards Measuring National Railways' Safety through a Benchmarking Framework of Transparency and Published Data. Safety Science, 164: 106188, 2023.

145. Martello, Michael V., et al., Evaluation of climate change resilience for Boston's rail rapid transit network. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 97, 102908., 2021

146. Massachusetts Bay Transportation Authority (MBTA), Bus Facility Modernization., Retrieved from: https://www.mbta.com/projects/bus-facility-modernization

147. Massachusetts Bay Transportation Authority (MBTA), Climate Change Coastal Flood Vulnerability Summary of MBTA Bus Facilities, 2020

148. Massachusetts Bay Transportation Authority (MBTA), Climate Change Coastal Flood Vulnerability Summary of MBTA Commuter Rail Facilities and Parking Lots, 2022

149. Massachusetts Bay Transportation Authority (MBTA), Massachusetts Bay Transportation Authority (MBTA) Vulnerability Assessment Report, 2018

150. Massachusetts Bay Transportation Authority (MBTA), MBTA Red Line Climate Change Vulnerability Assessment, 2022.

151. Massachusetts Bay Transportation Authority (MBTA), MBTA Green Line Climate Change Vulnerability Assessment, 2022.

152. Massachusetts Bay Transportation Authority (MBTA), MBTA Red Line Climate Change Vulnerability Assessment Storympas, Retrieved from: https://storymaps.arcgis.com/stories/0e8ee0c8457240a99ef7657b73ac08d7

153. Massachusetts Bay Transportation Authority (MBTA), Quincy Bus Maintenance Facility Construction Update | Spring 2024, Retrieved from: https://www.mbta.com/projects/bus-facility-modernization/update/quincy-bus-maintenance-facility-construction-update

154. Massachusetts Bay Transportation Authority (MBTA), Fenway Portal Flood Protection Project, Retrieved from: https://www.mbta.com/projects/fenway-portal-flood-protection-project

155. Massachusetts Bay Transportation Authority (MBTA), Aquarium Station Floodproofing, Retrieved from: https://www.mbta.com/projects/aquarium-station-floodproofing

156. McGlade, J., et al., Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2019, 2019.

157. Metronet, Sustainability - Climate Change, 2024.

158. Metronet, Sustainability - Transport Infrastructure and Station Precinct Resilience, 2024.

159. Mining Association of Canada's, Guide on Climate Change Adaptation for the Mining Sector, 2021.

160. Ministry for the Environment, Adapt and thrive: Building a climate-resilient New Zealand – New Zealand's first national adaptation plan, 2022.

161. Ministry for the Environment, Adapt and thrive: Building a climate-resilient New Zealand, 2024.

162. Ministry for the Environment, National Climate Change Risk Assessment for New Zealand Main Report, 2022.

163. Ministry for the Environment, National Climate Change Risk Assessment for New Zealand Method Report, 2022.

164. Ministry for the Environment, National Climate Change Risk Assessment for New Zealand Technical Report, 2022.

165. Ministry of Ecological Transition and Territorial Coordination, France's Adaptation to Climate Change, 2018.

166. Ministry of Environment (South Korea), Korean Climate Change Assessment Report, 2020.

167. Ministry of Environment of the Slovak Republic, Adaptation Strategy of the Slovak Republic on Adverse Impacts of Climate Change, 2014.

168. Ministry of Government Legislation Korean Law Information Center, Enforcement Decree of the Framework Act on Carbon Neutrality and Green Growth for Coping with Climate Crisis, 2022, Retrieved from: https://www.law.go.kr/LSW/eng/engLsSc.do?menuId=2&section=lawNm&query=Climate&x=13&y=25#liBgcolor1

169. Ministry of Government Legislation Korean Law Information Center, Framework Act on Carbon Neutrality and Green Growth for Coping with Climate Crisis, 2022, Retrieved from: https://www.law.go.kr/LSW/eng/engLsSc.do?menuId=2&section=lawNm&query=Climate&x=13&y=25#EJP1:0

170. Ministry of the Environment and Water Resources (MEWR) and Ministry of National Development (MND), Singapore's Climate Action Plan: A Climate-Resilient Singapore, For a Sustainable Future, 2016.

171. Ministry of the Environment Government of Japan, Climate Change Adaptation Plan, 2021.

172. Morris, M., Kushner, P. J., & Smith, K. L., The University of Toronto climate downscaling workflow: tools and resources for climate change impact analysis. Journal of Open Source Education, 7(78), 243, 2024.

173. MOWE-IT., Guidelines and Recommendations for Reducing the Impact of Weather on Rail Operations, 2014.

174. Mr. IVANENKO Alexander, Modern Natural Disaster Emergency Response System of the JSC “Russian Railways” Infrastructure, 1st UIC Conference on Natural Disaster Management of Railway Systems, 2014.

175. MTR Corporation Limited, Climate Change 2022, 2022.

176. Murciatoday, Railway Ice Paint Against Extreme Heat Being Tested on a Line to Cartagena, Retrieved from: https://murciatoday.com/railway-ice-paint-against-extreme-heat-being-tested-on-a-line-to-cartagena_1613006-a.html

177. National Cancer Centre Singapore (NCCS), Adaptation Efforts, Retrieved from: https://www.nccs.gov.sg/singapores-climate-action/overview/adaptation-overview/

178. National Cancer Centre Singapore (NCCS), Climate Action Plan : Take Action Today, for a Sustainable Future, Retrieved from: https://www.nccs.gov.sg/media/publications/climate-plan-take-action-today-for-a-sustainable-future/

179. Network Rail, A National Nature Network - Sustainable Land Use Strategic Framework, 2022.

180. Network Rail, A Review of Earthworks Management, 2021.

181. Network Rail, Anglia Route CP6 Weather Resilience and Climate Change Adaptation Plan, 2020.

182. Network Rail, Buckled Rail and Summer Heat, Retrieved from: https://www.networkrail.co.uk/running-the-railway/looking-after-the-railway/delays-explained/buckled-rail-and-summer-heat/

183. Network Rail, Climate Change Adaptation Report (2015), 2015.

184. Network Rail, Environmental Sustainability Strategy, 2020.

185. Network Rail, Global Spec.-NR/L2/CIV/005, Drainage Systems Manual, 2018, Retrieved from: https://standards.globalspec.com/std/10382679/nr-l2-civ-005

186. Network Rail, Global Spec.-NR/L2/ENV/015, Environment and Social Minimum Requirements for Projects, 2019, Retrieved from: https://standards.globalspec.com/std/13207548/nr-l2-env-015

187. Network Rail, Global Spec.-NR/L2/RSE/0005, Product Design for Reliability, 2020, Retrieved from: https://standards.globalspec.com/std/14343319/nr-l2-rse-0005

188. Network Rail, Guidance Note-Environment-Aspects and Impacts, 2018.

189. Network Rail, Guidance Note-Environment-Being a Caring Neighbour, 2018.

190. Network Rail, Guidance Note-Environment-Climate Change Projections, 2018.

191. Network Rail, Guidance Note-Environment-Environment & Social Minimum Requirements - Deliverables, 2018.

192. Network Rail, Guidance Note-Environment-Planning and Managing Biodiversity, 2018.

193. Network Rail, Guidance Note-Weather Resilience and Climate Change Adaptation-Weather Resilience & Climate Change Impact Assessment, 2018.

194. Network Rail, Guidance Note-Weather Resilience and Climate Change Adaptation-Climate Change Projections, 2018.

195. Network Rail, Level 1 Contract Requirements Environment, 2017.

196. Network Rail, Level 2 Contract Requirements Environment, 2011.

197. Network Rail, London North East and East Midlands Route CP6 Weather Resilience and Climate Change Adaptation Plan, 2020.

198. Network Rail, Network Rail Asset Management: Weather Resilience and Climate Change Adaptation Plan (WRCCA), 2021.

199. Network Rail, Network Rail Third Adaptation Report, 2021.

200. Network Rail, New Sustainable Weather Stations, 2022.

201. Network Rail, NW&C Route CP6 Weather Resilience and Climate Change Adaptation Plan, 2019.

202. Network Rail, Route Weather Resilience and Climate Change Adaptation Plans 2019 – 2024 (South East), 2020.

203. Network Rail, Scotland's Railway Route CP6 Weather Resilience and Climate Change Adaptation Plan, 2020.

204. Network Rail, South East Route CP6 Weather Resilience and Climate Change Adaptation Plan, 2019.

205. Network Rail, The Third Adaptation Report (ARP3), 2021.

206. Network Rail, The Fourth Adaptation Report (ARP4), 2024.

207. Network Rail, Wales Route CP6 Weather Resilience and Climate Change Adaptation Plan, 2019.

208. Network Rail, Weather Resilience and Climate Change Policy, 2017.

209. Network Rail, Wessex Route CP6 Weather Resilience and Climate Change Adaptation Plan, 2020.

210. Network Rail, Western Route CP6 Weather Resilience and Climate Change Adaptation Plan, 2019.

211. Network Rail, WRCCA Decision Making Tool, 2018.

212. Newsweek, It's So Hot in Europe's Heat Wave, Countries are Painting Railroad Tracks White So They Don't Melt, Retrieved from: https://www.newsweek.com/its-so-hot-europes-heat-wave-countries-are-painting-railroad-tracks-white-so-they-dont-melt-1451317

213. Ochsner, M., Ivina, D., & Palmqvist, C. W., Weather-Related Railway Infrastructure Failures in Sweden: An Exploratory Study. In The 10th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis (ICROMA), 2023.

214. Olivier Marteaux, Knowledge Analysis Manager, RSSB, Tomorrow's Railway and Climate Change Adaptation: Executive Report, 2016.

215. Onody, A. S., Bah, F., Boum, M. A., Duval, G., Use of Satellite Imagery to Categorize Vegetation on the French Railway Network (SNCF Réseau). Transportation Research Procedia, Volume 72: 1451-1458, 2023.

216. Otto et al., Risk reduction partnerships in railway transport infrastructure in an alpine environment, International Journal of Disaster Risk Reduction, Volume 33, 385-393, 2019.

217. Pan, X., Yang, L., Sun, X., Yao, J., and Guo, J., Research on the Extraction of Hazard Sources along High-Speed Railways from High-Resolution Remote Sensing Images Based on TE-ResUNet. Sensors, 22: 3784, 2022.

218. PARLIAMENT of AUSTRALIA, Climate Change Bill 2022 [and] Climate Change (Consequential Amendments) Bill 2022, Retrieved from: https://www.aph.gov.au/Parliamentary_Business/Bills_Legislation/bd/bd2223a/Climate_Change_Bill_2022_and_Climate_Change_Consequential_Amendments_Bill_2022

219. Prospects and Challenges of Natural Disaster Management For High Speed Railways, 1st UIC Conference on Natural Disaster Management of Railway Systems, 2014.

220. Quinn, A.D., Ferranti, E.J.S., Hodgkinson, S.P., Jack, A.C.R., Beckford, J., and Dora, J.M., Adaptation Becoming Business as Usual: A Framework for Climate Change Ready Transport Infrastructure. Infrastructures 3, 10, 2018.

221. Rail Baltica, Design guidelines-Adaptation to Climate Change, 2019.

222. RailTech Digital Magazine, Climate Change Adaptation of Rail, 2022.

223. Railway Safety and Standards Board (RSSB), Common Hazards for the Management of Industry Safety, 2023.

224. Railway Safety and Standards Board (RSSB), Retrieved from: https://www.rssb.co.uk/

225. Railway Technology, Cool Runnings: Is White Paint the Perfect Solution to Overheated Tracks, Retrieved from: https://www.railway-technology.com/features/solution-to-overheated-rail-tracks/

226. Railway Technology, ÖBB to Use Drones to Check Track Safety, Retrieved from: https://www.railway-technology.com/news/obb-to-use-drones-to-check-track-safety/

227. Railway.Supply, Retrieved from: https://www.railway.supply/

228. Reddit, It's Rail Painting Season in Italy! Painting the Rails White Can Reduce Their Temperature Up to a FEW DEGREES CELSIUS, DECREASING the Effects of Thermal Expansion and Deformation on Long Sections, Retrieved from: https://www.reddit.com/r/trains/comments/gk9q5r/its_rail_painting_season_in_italy_painting_the/?rdt=55639

229. Ritter and Al-Nazer, Coatings to Control Solar Heat Gain on Rails, AREMA 2014 Conference , 2014.

230. Rogers, A., and Ingalls, R., Venus: Mapping the surface reflectivity by radar interferometry. Science, 165(3895), 797-799, 1969.

231. Roland Nolte, IZT Berlin, ARISCC - Adaptation of Railway Infrastructure to Climate Change [Workshop], UIC Project ARISCC, Paris, 2010.

232. Ruane, A. C., Vautard, R., Ranasinghe,R., Sillmann, J., Coppola, E., Arnell, N., et al., The Climatic Impact-Driver Framework for Assessment of Risk-Relevant Climate Information. Earth's Future, 10(11), 2022.

233. Russian Railways, Asset Management and Climatic Risks, 2024.

234. Sanderson, M.G., Hanlon, H.M., Palin, E.J., Quinn, A.D., and Clark, R.T. Analogues for the railway network of Great Britain. Meteorological Applications, 23(4), 731-741, 2016.

235. Sarah Reeves, Mike Winter, Dominic Leal and Alison Hewitt (TRL), An Industry Guide to Enhancing Resilience-Rail, 2019.

236. Seddon, N., Harnessing the potential of nature-based solutions for mitigating and adapting to climate change. Science, 376(6600), 1410-1416., 2022.

237. Shi, M., Chen, B., Gong, H., Li, X., Chen, W., Gao, M., Zhou, C., and Lei, K., Monitoring Differential Subsidence along the Beijing–Tianjin Intercity Railway with Multiband SAR data. International Journal of Environmental Research and Public Health, 16(22), 4453, 2019.

238. Shi, X., Jiang, L., Jiang, H., Wang, X., and Xu, J., Geohazards Analysis of the Litang–Batang Section of Sichuan–Tibet Railway Using SAR Interferometry. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 14, 11998-12006, 2021.

239. SNCF, SNCF Group Annual Financial Report, 2023.

240. Soleimani-Chamkhorami, K., Karbalaie, A., Kasraei, A., Haghighi, E., Famurewa, S. M., and Garmabaki, A. H. S., Identifying Climate-Related Failures in Railway Infrastructure Using Machine Learning, 2024.

241. State Emergency Management Committee Western Australia, Emergency Preparedness Report 2012, 2012.

242. Sustainability and Resilience at the MBTA, Retrieved from: https://www.mbta.com/sustainability/climate-change-resiliency

243. Swedish Environmental Protection Agency, Nationally Important Adaptation Work, 2021.

244. Swissinfo, Swiss Railway Tracks Buckle Under the Heat, Retrieved from:

https://www.swissinfo.ch/eng/society/track-record_swiss-railway-tracks-buckle-under-the-heat/45120350

245. Takaaki FUKUHARA, Methods of Appropriately Installing Anemometers to Observe Strong Winds for Train Operation Control, 1st UIC Conference on Natural Disaster Management of Railway Systems, 2014.
246. Tang, K. H. D., Urban Solutions to Climate Change: an Overview of the Latest Progress. Vol. 1, no. 2, Academia Environmental Sciences and Sustainability, 2024
247. The European Climate Adaptation Platform (Climate-ADAPT), Tomorrow's Railway and Climate Change Adaptation (TRACCA), 2010.
248. Theautopian, How White Paint Is Saving Railways From Climate Change, Retrieved from: https://www.theautopian.com/how-painting-train-rails-helps-keep-them-straight/
249. Tianni Wang et al, Impact Analysis of Climate Change on Rail Systems for Adaptation Planning: A UK case. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 83: 102324, 2020.
250. Tommy Jen, Information and Communication Technologies for Enhanced Emergency Management, 1st UIC Conference on Natural Disaster Management of Railway Systems, 2014.
251. Transport Canada, Enabling Adaptation and Resilience in the Rail Sector, 2022.
252. Transport Canada, Enabling Decarbonization, Adaptation, and Resilience in the Rail Sector, 2023.
253. Transport Canada, Enabling Decarbonization, Adaptation, and Resilience in the Rail Sector, 2023.
254. Transport For London, Climate change and interdependency risks for London's land based transport sector, 2024.

255. Transport For London, TfL Adaptation Reporting Power Submission , 2024.

256. Tsuyoshi Takayanagi, Risk Assessment Method of Debris Flow Occurrence Utilizing Digital Terrain Model, 1st UIC Conference on Natural Disaster Management of Railway Systems, 2014.

257. Tung, C. P., Tsao, J. H., Tien, Y. C., Lin, C. Y., and Jhong, B. C., Development of a novel climate adaptation algorithm for climate risk assessment. Water, 11(3), 497, 2019.

258. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, Nature-Based Solutions for Coastal Highway Resilience: An Implementation Guide, 2019.

259. U.S. Department of Transportation, Definitions, Retrieved from: https://www.transportation.gov/priorities/climate-and-sustainability/definitions

260. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Adaptation Strategies Guide for Water Utilities, 2015.

261. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Climate Resilience Evaluation and Awareness Tool - Version 3.1 Methodology Guide, 2021.

262. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Climate Resilience Evaluation and Awareness Tool Web, Retrieved from: https://www.epa.gov/crwu/climate-resilience-evaluation-and-awareness-tool

263. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Resilient Strategies Guide for Water Utilities Web, Retrieved from: https://www.epa.gov/crwu/resilient-strategies-guide-water-utilities#/?region=101&utilityType=4&utilitySize=1315&assets=&priorities=&strategies=&fundingSources=

264. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), VSAT Web Data Entry Guide.

265. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Vulnerability Self-Assessment Tool Web, Retrieved from: https://www.epa.gov/waterresilience/vulnerability-self-assessment-tool-conduct-drinking-water-or-wastewater-utility

266. U.S. Federal Highway Administration, Definitions, Retrieved from: https://highways.dot.gov/research/infrastructure/resilient-pavements/definitions

267. UIC, Resilient Railways facing Climate Change (RERA) Wind, 2024. Retrieved from: https://uic.org/projects-99/article/rera-wind

268. UIC, Resilient Railways facing Heavy Rains, 2025.

269. UIC, Resilient Railways facing High Temperatures, 2025.

270. UN Global Pulse Asia Pacific, Haze Gazer: A Crisis Analysis Tool, Retrieved from: https://medium.com/pulse-lab-jakarta/haze-gazer-a-crisis-analysis-tool-23d7333c657a

271. United Nation Environment Programme (UNEP), The Fifth Session of the United Nations Environment Assembly (resumed session) (UNEA-5.2), 2022, Retrieved from: https://www.unep.org/events/unep-event/unea-52

272. United Nations Development Programme (UNDP), UNDP Guidance Notes on the Social and Environmental Standards, 2016.

273. University of Birmingham, Case study: West Midlands Transport Climate Risk and Vulnerability Assessment (CRVA), 2024.

274. Wang, C., Mao, X., and Wang, Q., Landslide Displacement Monitoring by a Fully Polarimetric SAR Offset Tracking Method. Remote Sensing, 8(8), 624, 2016.

275. Wieczorek, G. F., and Snyder, J. B., Monitoring Slope Movements. Geol. Monit, 245-271, 2009.

276. Zhang, J., Zhu, W., Cheng, Y., and Li, Z., Landslide Detection in the Linzhi-Ya'an Section along the Sichuan-Tibet Railway Based on

InSAR and Hot Spot Analysis Methods. Remote Sensing, 13(18), 3566, 2021.

[日文文獻]

277. NHK，JR 鹿児島本線 温度上昇で線路にゆがみ 運転は再開 宇城，檢自：https://www3.nhk.or.jp/lnews/kumamoto/20240801/5000022895.html

278. リスク対策.com，羽越本線列車転覆事故 12 月の気象災害，檢自：https://www.risktaisaku.com/articles/-/86397

279. 九州旅客鉄道株式会社，2017 年豪雨等による災害，檢自：https://www.jrkyushu.co.jp/company/esg/safety/pdf/2018_anzen06.pdf

280. 三村信男，気候変動影響予測・適応評価の総合的研究，檢自：https://s-18ccap.jp/

281. 内閣府，トピックス関西国際空港連絡橋へのタンカー衝突事故を踏まえた再発防止の取組，檢自：https://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/r01kou_haku/zenbun/genkyo/topics/topic_17.html

282. 日経クロステック，JR 九州が 345 カ所で被害、落橋のあった路線は復旧の見通し立たず，檢自：https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/01360/00026/

283. 古川敦，気象災害に備える鉄道技術，第 36 回 鉄道総研講演会，2023 年 10 月。

284. 西日本旅客鉄道株式会社，各地の被災直後の状況，檢自：https://www.westjr.co.jp/info/gouu_2018/

285. 西日本旅客鉄道株式会社，鉄道施設の浸水対策，2020 年 8 月。

286. 加藤博和、徐非凡、田島治希，気候変動による鉄道ネットワークの水害リスク変化の評価に関する，2022 年。

287. 地球環境部気候変動対策室(JICA)，気候リスク評価・適応策検討のガイダンス，2019 年。

288. 国土交通省，鉄道の防災・減災対策，2019 年 3 月。

289. 国土交通省大臣官房運輸安全監理官室 ,運輸防災マネジメント指針，2020 年 2 月。

290. 国土交通省鉄道局技術企画課施設課 ,新幹線における車両及び重要施設に関する浸水対策について，2019 年 12 月。

291. 国立環境研究所，組織紹介-気候変動適応センター，検自：https://www.nies.go.jp/sosiki/tekiou.html#tab1

292. 東日本旅客鉄道株式会社，JR 東日本グループレポート，2023 年 9 月。

293. 東日本旅客鉄道株式会社 ,在来線におけるレーダ雨量を活用した新たな運転規制の導入について，2023 年 6 月。

294. 東日本旅客鉄道株式会社，防災業務計画，2022 年 10 月。

295. 東日本旅客鉄道株式会社 ,異常気象に備えた新幹線に対する降雨防災の取り組みについて，2021 年 6 月。

296. 東日本旅客鉄道株式会社，鉄道施設等の浸水対策について，2020 年 5 月。

297. 東日本旅客鉄道株式会社，次世代車両制御システム（INTEROS）の開発，検自：https://www.jreast.co.jp/development/theme/ict/ict01.html

298. 浦川文寛 & 渡辺勉，地理・気象データを使用した鉄道用レール温度予測法. 土木学会論文集 A2 (応用力学)，76(2)，I_553-I_564，2020 年

299. 浦川文寛 & 渡辺勉，GIS データを使用した夜間の鉄道用レール温度予測法の開発. AI・データサイエンス論文集，4(3)， 425-434，2023 年

300. 浦川文寛 & 渡辺勉， GIS データを用いた鉄道線路の広域 2 次元 FEM によるふく進と軌道座屈の発生予測法. AI・データサイエンス論文集， 5(3), 84-94，2024 年

301. 朝日新聞，磐越西線が 8 カ月ぶりに全線再開 昨夏の豪雨で橋崩落，検自：

https://www.asahi.com/articles/ASR417JFFR41UGTB001.html?msockid=27c433a7cdf76c300cc82187cc636d14

302. 朝日新聞，浸水した北陸新幹線、10 編成すべて廃車へ 台風 19 号，檢自：https://www.asahi.com/articles/ASMC654G8MC6UTIL034.html

303. 植村昌一等，気候変動による降水量の変化に伴う鉄道輸送の安定性影響評価，土木学会論文集 B1 (水工学)，2020 年

304. 植村昌一等，気候変動による降水変化に伴う鉄道輸送の安定性への影響評価—複数の路線を対象とした解析—，土木学会論文集 B1 (水工学)，77(2)，I_13-I_18，2021 年

305. 植村昌一等，気候変動による鉄道沿線の土砂崩壊の将来変化—複数の路線を対象とした解析—，土木学会論文集，2024 年

306. 環境省，民間企業の気候変動適応ガイド-気候リスクに備え、勝ち残るために，2022 年 3 月。

307. 環境省，地域気候変動適応計画策定マニュアル－手順編－，2023 年。

308. 環境省，気候変動適応法，檢自：https://www.env.go.jp/earth/earth/tekiou/page_00608.html

[韓文文獻]

309. 부산교통공사, 기후위기 적응대책 요약 보고서 2023-2027, 2023.

310. 대구교통공사, 기후위기 적응대책 요약보고서 2024-2028, 2023.

311. 한국철도공사, 기후위기 적응대책 요약본, 2024.

[中文文獻]

312. Dr. A 氣候變遷災害風險調適平臺，檢自：https://dra.ncdr.nat.gov.tw/

313. ShareCourse 學聯網，什麼是物聯網，2017 年 12 月，檢自：https://medium.com/

314. TCCIP 臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台，檢自：https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/index.aspx

315. 工業技術研究院，能源產業因應氣候變遷風險評估指引，2023 年 10 月。

316. 工業技術研究院，能源產業因應氣候變遷調適策略規劃指引，2024 年 10 月。

317. 方仲欣，工程邊坡的健康管理，科學發展 571 期，2020 年。

318. 王祥騮，永續基礎設施系列報導（七）永續性評等機制，營建知訊 484 期，頁 83-94，2023 年 5 月。

319. 台北捷運，運用大數據技術增進台北捷運維修效能，大數據在軌道運輸系統之應用論壇，2018 年。

320. 台灣高鐵，112 年度安全管理報告，2023 年 6 月。

321. 台灣高鐵，2022 年台灣高鐵永續報告書，2022 年。

322. 台灣高鐵，2023 年台灣高鐵永續報告書，2023 年。

323. 台灣高鐵，2024 年台灣高鐵永續報告書，2024 年。

324. 台灣高鐵，DWS 功能，檢自：https://www.thsrc.com.tw/ArticleContent/c690cfa7-597a-4f27-917e-00ca68de01e7

325. 台灣高鐵，台灣高鐵苗栗-台中路段 8/20 起恢復雙線雙向運轉，新聞稿，2021 年 8 月 19 日。

326. 台灣高鐵，災害預防-邊坡安全篇，檢自：https://www.thsrc.com.tw/ArticleContent/c690cfa7-597a-4f27-917e-00ca68de01e7#topic4

327. 台灣高鐵，極端氣候下之天然災變預警機制，2024 運輸安全資訊交流研討會，2024 年 11 月。

328. 永續發展平台，檢自：https://globalgoals.tw/

329. 交通部，111 年度能力建構成果摘要（初稿），2023 年 5 月。

330. 交通部，5G 智慧交通 AI 創新科技巡檢整合研發計畫，檢自：https://5gsmart-trans.org.tw/index.php/article/readfull/2/73

331. 交通部，大眾捷運系統建設及周邊土地開發計畫申請與審查作業流程，修正日期：2018 年。

332. 交通部，維生基礎設施領域 111 年度行動計畫成果報告(初稿)，2023 年 5 月。

333. 交通部，鐵路平交道與環境改善建設及周邊土地開發計畫審查作業要點，修正日期：2018 年。

334. 交通部，鐵路行車規則，修正日期：2023 年。

335. 交通部運輸研究所，ISO55001 國際標準導入鐵道資產管理實務之研究(3/3)-制度架構實做（期中報告初稿），2023 年。

336. 交通部運輸研究所，公路系統規劃階段氣候變遷調適指引，2026 年 5 月。

337. 交通部運輸研究所，公路系統因應氣候變遷強化調適能力案例研析，2023 年。

338. 交通部運輸研究所，公路系統規劃階段強化調適能力之探討(1/2)，2022 年 3 月。

339. 交通部運輸研究所，公路系統規劃階段強化調適能力之探討(2/2)，2022 年 12 月。

340. 交通部運輸研究所，公路貨運服務碳足跡公用係數建置計畫(1/2)，2016 年 9 月。

341. 交通部運輸研究所，公路貨運服務碳足跡公用係數建置計畫(2/2)，2017 年 7 月。

342. 交通部運輸研究所，因應氣候變遷調適系列課程資料，2024 年。

343. 交通部運輸研究所，重大鐵公路系統氣候變遷調適策略與脆弱度評估指標之研究，2015 年 5 月。

344. 交通部運輸研究所，重大鐵公路建設氣候變遷風險評估機制與調適資訊平台之研究(1/2)，2016 年 3 月。

345. 交通部運輸研究所，重大鐵公路建設氣候變遷風險評估機制與調適資訊平台之研究(2/2)，2016 年 10 月。

346. 交通部運輸研究所，氣候變遷運輸系統風險評估案例分析，2017 年 2 月。

347. 交通部運輸研究所，氣候變遷運輸設施風險評估暨風險資訊進階服務計畫，2018 年 5 月。

348. 交通部運輸研究所，無人機搭配 AI 影像辨識應用於橋梁檢測之研究(1/2)-橋梁劣化構件 AI 影像辨識之技術開發，2022 年 12 月。

349. 交通部運輸研究所，運輸系統因應氣候變遷調適之研究，2021 年 7 月。

350. 交通部運輸研究所，鐵公路氣候變遷調適行動方案之研究，2018 年 12 月。

351. 交通部運輸研究所，鐵路運輸安全管理系統（SMS）制度化策略之研擬，2018 年

352. 交通部鐵道局，智慧鐵道發展架構及策略研訂，2020 年 2 月。

353. 同舟共濟-臺灣氣候變遷調適平臺(Taiwan Adaptation Platform, TAP)，檢自：https://adapt.moenv.gov.tw/TCCIP-1-C/TCCIP-1-C-5-5.html

354. 行政院經濟建設委員會，國家氣候變遷調適政策綱領，2012 年 10 月。

355. 行政院農業部，農地資源空間風險評估架構與應用，2019 年 11 月。

356. 行政院環境保護署，2022 年國家氣候變遷調適行動方案年度成果報告摘要，2022 年 11 月。

357. 行政院環境保護署，國家因應氣候變遷行動綱領，2017 年 2 月。

358. 行政院環境保護署，國家氣候變遷調適行動方案（107-111 年），2019 年 8 月。

359. 行政院環境保護署，國家氣候變遷調適行動計畫（112-115 年），2023 年 10 月。

360. 何玉華，捷運系統防洪 3 道關卡擋水患，自由時報新聞網，2021 年 7 月 22 日。

361. 何錦亮，出國考察報告，第四屆兩岸四地智能軌道交通發展論壇。

362. 李仕勤、朱珮芸、曾佩如、任雅婷、戴子純、吳清如，鐵公路氣候變遷調適行動方案之研究，運輸計劃季刊第四十七卷第四期，2018 年 12 月。

363. 汪淑芬，台鐵瑞芳猴硐路段邊坡滑落 不穩定度升至列最高級，中央通訊社新聞網，2020 年 12 月 4 日。

364. 林穎東、張國楨、楊啟見，利用物件式導向進行崩塌地種類判釋、復育追蹤-以高雄市寶來地區為例，中華水土保持學報，49（2）：98-109，2018。

365. 阿里山林業鐵路及文化資產管理處，110 年度安全管理報告，2021 年 5 月。

366. 阿里山林業鐵路及文化資產管理處，111 年度安全管理報告，2022 年 5 月。

367. 阿里山林業鐵路及文化資產管理處，112 年度安全管理報告，2023 年 8 月。

368. 阿里山林業鐵路及文化資產管理處，歷史介紹，檢自：https://afrch.forest.gov.tw/0000052

369. 香港特別行政區政府，香港氣候行動藍圖 2030+，2017 年 1 月。

370. 香港特別行政區政府，香港氣候行動藍圖 2050，2021 年 10 月。

371. 香港鐵路有限公司，2022 年可持續發展報告，2022 年。

372. 香港鐵路有限公司，2023 年可持續發展報告，2023 年。

373. 桃園大眾捷運股份有限公司，山陀兒颱風逼近 桃園捷運公司備戰啟動防颱 SOP，2024 年 9 月 30 日，檢自：https://www.tymetro.com.tw/tymetro-new/tw/_pages/news/show-2028-1.html

374. 氣候相關財務揭露工作組織（TCFD），氣候相關財務揭露建議，2017 年 6 月。

375. 氣候變遷教學資訊平台，檢自：https://climatechange.tw/

376. 氣候變遷調適科技整合研究計畫（TaiCCAT），跨領域脆弱度評估與回復力建構科技發展計畫（III），2016 年 5 月。

377. 財團法人全國認證基金會，溫室氣體確證與查證機構認證服務計畫，2015 年 5 月。

378. 高雄市政府捷運工程局，中颱「杜蘇芮」進逼，高雄輕軌做好準備，提醒民眾注意安全，綜合規劃科新聞稿，2023 年 7 月 26 日。

379. 高雄捷運股份有限公司，高雄捷運在颱風天時仍然有照常營運嗎旅客要如何得知相關颱風天之營運訊息，2024 年 10 月 22 日，檢自：https://www.krtc.com.tw/Service/faq_more?id=6df02bb1dafd461fa49a6d67eb787c23

380. 高雄捷運股份有限公司，高雄輕軌營運狀況說明，新聞稿，2024 年 10 月 5 日。

381. 商業周刊廣編企劃，台塑網 Smart 巡檢系統智慧化行動整合平台，與臺北捷運一同守護行的安全，商業週刊，2022 年 3 月 28 日。

382. 國立臺灣大學永續發展研究室官網，檢自：https://sdl.bse.ntu.edu.tw/

383. 國家災害防救科技中心，台鐵與災防中心合作 提升鐵路面對極端天氣韌性，新聞稿，檢自：https://www.ncdr.nat.gov.tw/Message/MessageView?itemid=6045&mid=12

384. 國家發展委員會，地方氣候變遷調適計畫規劃作業指引，2018 年 4 月。

385. 國家發展委員會，國家氣候變遷調適行動計畫（102-106 年），2013 年。

386. 國家發展委員會行政院環境保護署、經濟部、科技部、交通部、內政部、行政院農業委員會、金融監督管理委員會，臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明，2022 年 3 月。

387. 國家環境研究院官網，檢自：https://www.nera.gov.tw/zh-tw.html

388. 國營臺灣鐵路股份有限公司（前交通部臺鐵局），臺鐵智慧鐵道資訊整合平台委託規劃與監督審驗服務案，2022 年 1 月。

389. 國營臺灣鐵路股份有限公司，極端氣候天然災變臺鐵之預警機制及處置作為，2024 運輸安全資訊交流研討會，2024 年 11 月。

390. 國營臺灣鐵路股份有限公司，臺鐵公司完成康芮颱風災後復原全線通車 第 10 發，最新消息，2024 年 11 月 1 日。

391. 張茗喧，颱風尼伯特發威 台東站 3 輛貨車被吹倒，中央通訊社新聞網，2016 年 7 月 8 日。

392. 教育部委辦-氣候變遷調適專業融入補充教材-維生基礎設施（交通系統）領域（2023 版），2023 年 12 月。

393. 教育部委辦-氣候變遷調適專業融入實作教材-維生基礎設施（交通系統）領域（2023 版），2023 年 12 月。

394. 許晃雄、王嘉琪、陳正達、李明旭、詹士樑，國家氣候變遷科學報告 2024：現象、衝擊與調適。國家科學及技術委員會與環境部聯合出版，2024 年。

395. 陳佩棻、陳其華、張贊育，國際鐵道運輸發展議題與政策之探討—以數位轉型發展為例，運輸研究專輯，2022 年。

396. 陳映融、繆紹綱、徐于軒、林映丞，利用深度學習神經網路進行衛星影像的崩塌地辨識，中華水土保持學報，第 53 卷第 1 期，第 25-34 頁，2022 年。

397. 勞動部，營造工程風險評估技術指引，修訂日期：2021 年。

398. 馮安華，尼伯特颱風離台 公路 5 路段仍無法通行 陸空交通大致恢復，風傳媒新聞網，2016 年 7 月 9 日。

399. 黃立翔，蘇迪勒過境 台鐵各路線傳零星災情，自由時報新聞網，2015 年 8 月 8 日。

400. 黃韋凱、林銘郎、陳良健、林彥享、蕭震洋，物件導向分析方法應用於遙測影像之分區及崩塌地與人工設施分類，航測及遙測學刊，第 15 卷，第 1 期，第 29-49 頁，2010。

401. 黃意涵，防軌道熱歪 捷運溫度計備戰，中國時報新聞網，2016 年 6 月 9 日。

402. 新北大眾捷運股份有限公司，山陀兒颱風宣佈停班停課 新北捷運調整營運班距 宣佈停運標準，2024 年 10 月 1 日，檢自：https://www.ntmetro.com.tw/basic/?mode=detail&node=741

403. 新北市政府捷運工程局，邊坡穩定監測系統-土中傾度管，新北市政府捷運工程局官網，2024 年 3 月 25 日。

404. 楊孟學、林明璋、劉進金，結合衛星影像與地形指標於山崩自動分類之研究，航測及遙測學刊，第 14 卷，第 1 期，第 11-23 頁，2009 年。

405. 楊恒偉、吳思毅，高鐵邊坡安全管理、監測與告警系統，地質季刊，第 40 卷第 3-4 期，2021 年。

406. 國家發展委員會，臺灣 2050 淨零轉型「公正轉型」關鍵戰略行動計畫(核定本)，2023 年 4 月。

407. 農業部，臺灣 2050 淨零轉型「自然碳匯」關鍵戰略行動計畫(核定本)，2023 年 4 月。

408. 經濟部，臺灣 2050 淨零轉型「前瞻能源」關鍵戰略行動計畫(核定本)，2023 年 4 月。

409. 經濟部，臺灣 2050 淨零轉型「風電/光電」關鍵戰略行動計畫(核定本)，2023 年 4 月。

410. 經濟部，臺灣 2050 淨零轉型「氫能」關鍵戰略行動計畫(核定本)，2023 年 4 月。

411. 環境部，臺灣 2050 淨零轉型「淨零綠生活」關鍵戰略行動計畫(核定本)，2023 年 4 月。

412. 經濟部，臺灣 2050 淨零轉型「節能」關鍵戰略行動計畫(核定本)，2023 年 4 月。

413. 環境部，臺灣 2050 淨零轉型「資源循環零廢棄」關鍵戰略行動計畫(核定本)，2023 年 4 月。

414. 交通部，臺灣 2050 淨零轉型「運具電動化及無碳化」關鍵戰略行動計畫(核定本)，2023 年 4 月。

415. 經濟部，臺灣 2050 淨零轉型「電力系統與儲能」關鍵戰略行動計畫(核定本)，2023 年 4 月。

416. 國家科學及技術委員會、經濟部、環境部，臺灣 2050 淨零轉型「碳捕捉利用及封存」關鍵戰略行動計畫(核定本)，2023 年 4 月。

417. 金融監督管理委員會，臺灣 2050 淨零轉型「綠色金融」關鍵戰略行動計畫(核定本)，2023 年 4 月。

418. 農業部林業及自然保育署，大阿里山軸帶百年躍升建設計畫，2023 年 9 月。

419. 農業部林業及自然保育署，前瞻基礎建設-軌道建設 阿里山林業鐵路設施設備安全提升計畫（108-113 年），2022 年 2 月。

420. 臺北大眾捷運股份有限公司，2022 年年報，臺北大眾捷運股份有限公司官網，2023 年。

421. 臺北大眾捷運股份有限公司，2023 年永續報告書，2024 年。

422. 臺北大眾捷運股份有限公司，大事紀，檢自：https://www.metro.taipei/cp.aspx?n=B27E7BC8CBBCDA61

423. 臺北大眾捷運股份有限公司，出席東日本鐵路公司多雲基礎建設與多雲環境應用國際交流會議提要表及簡報，臺北市資料大平台，2023 年 8 月 7 日。

424. 臺北大眾捷運股份有限公司，臺北捷運裝置「軌道溫度計」每日量「體溫」確保營運安全，臺北大眾捷運股份有限公司官網新聞，2023 年 7 月 7 日。

425. 臺北大眾捷運股份有限公司，颱風來襲時捷運系統之預防與應變措施，113 年 9 月 5 日，檢自：https://www.metro.taipei/News_Content.aspx?n=566DA580861CEE77&sms=87415A8B9CE81B16&s=5B788CE0DCBB4FF6

426. 蕭文康，緯創數技發展 5G AI 智慧巡檢服務 無人機檢測捷運隧道與橋樑，ETtoday 新聞雲，2024 年 3 月 18 日。

427. 環境部，氣候變遷風險評估作業準則，修正日期：2025 年。

428. 環境部，氣候變遷風險評估作業準則草案總說明，2025 年 4 月。

429. 環境部，國家氣候變遷調適行動計畫（112-115 年），2023 年 9 月。

430. 簡惠茹，八八風災重創 林鐵全線迄未通，自由時報新聞網，2019 年 7 月 28 日。

431. 蘇木春，颱風山陀兒影響 中捷綠線調整班距為 15 分鐘，中央通訊社新聞網，2024 年 10 月 2 日。

附錄一　計畫摘要

一、計畫緣起與目的

1. 計畫緣起

鐵道系統為我國的關鍵基礎設施之一，其特性為具高沉沒成本、完工後不易大幅調整路線，需要以長期及永續角度進行整體性規劃與維運，尤其在面對氣候變遷(Climate Change)與極端天氣(Extreme Weather)的壓力下，與民眾日常生活息息相關的鐵道系統，其面臨的挑戰不僅是要在正常天候中維持正常營運，更要在面對極端氣候的條件下強化其韌性，使其在受異常天氣衝擊後，能儘速恢復並提供安全、可靠且有效率的服務。

鐵道系統受氣候變遷與極端天氣之衝擊範圍包括基礎設施與車輛，故強化鐵道系統韌性之調適策略會與資產管理及安全管理系統息息相關。參酌國際文獻與實踐案例可知，鐵道系統因應氣候變遷的調適作為中，係透過風險導向的資產管理來充分掌握資產狀態，實施以資產為本的風險管控以有效監控營運安全風險，並建構整體的氣候變遷調適策略來提升系統韌性。

由於氣候暖化逐年升高，所面臨極端氣候的可能性也日益增加。為及早強化國內鐵道系統之韌性與抗災能量，並協助國內鐵道系統之調適能力，本計畫參酌國際 ISO 14090 氣候變遷調適系列標準要求、IPCC 氣候風險模型、國際鐵路聯盟 UIC 之調適架構、國外營運機構調適機制方法，以及我國「國家氣候變遷調適行動計畫(112-115 年)」中所揭櫫之二階段六構面，做為強化我國鐵道系統調適能力之主要參據，並提出相關推動機制與方法之建議。

2. 計畫目的

有關本計畫之主要目的，摘述如下：

(1) 瞭解氣候變遷對國內鐵道系統之危害與衝擊，提供交通部鐵道局、國營臺灣鐵路股份有限公司、台灣高速鐵路股份有限公司、地方政府捷運局、捷運公司參考及應用，俾利調整規劃設計營運之相關法規或規範。

(2) 掌握國際運輸系統調適案例，提供交通部鐵道局、國營臺灣鐵路股份有限公司、台灣高速鐵路股份有限公司、地方政府所屬捷運局、捷運公司參考應用，俾利其滾動檢討調適行動(執行)方案。

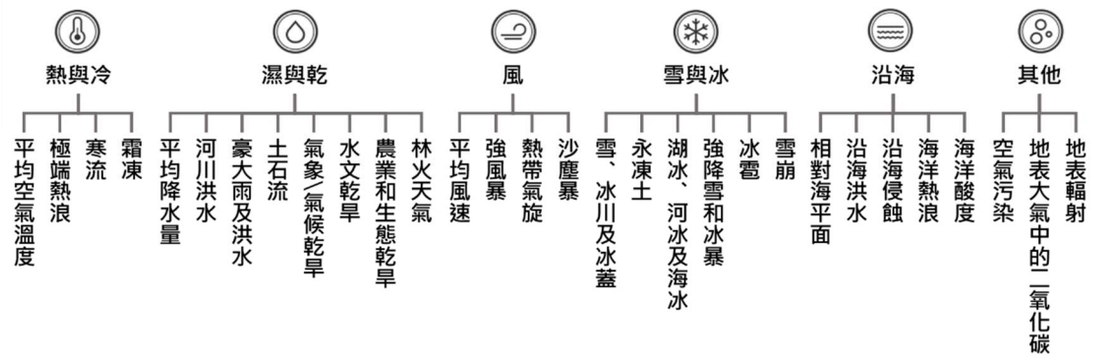
(3) 透過鐵道系統全生命週期強化調適能力之研析成果，提供予交通部鐵道局、國營臺灣鐵路股份有限公司、台灣高速鐵路股份有限公司、地方政府捷運局、捷運公司等設施權責機關做為檢視既有規劃、設計、營運等相關規範之參考。

二、重要工作成果

1. 國外調適架構與案例

氣候變遷對於鐵道系統之衝擊，主要包含基礎設施毀損、運輸安全性下降、運輸效率降低及環境衝擊增加等。本計畫參考 IPCC AR6 中氣候風險因子(Climatic Impact-Driver，CID)進行分類，CID 係指直接影響社會或生態系統的自然氣候條件，包含平均值、事件及極值等，其中陸地相關的 CID 細分為冷與熱、濕與乾、風、雪與冰、沿海及其他等六大類型。有關類型與類別詳附圖 1-1 所示。

基此，隨者氣候變遷加劇，國外先進國家與機構紛紛依據國際標準與倡議頒定氣候變遷相關法規，針對前揭氣候風險因子研提相關調適架構，以期在氣候變遷情境下能有相應之調適措施。有關本計畫蒐整可適用於鐵道系統之調適標準與架構重點摘述如下。

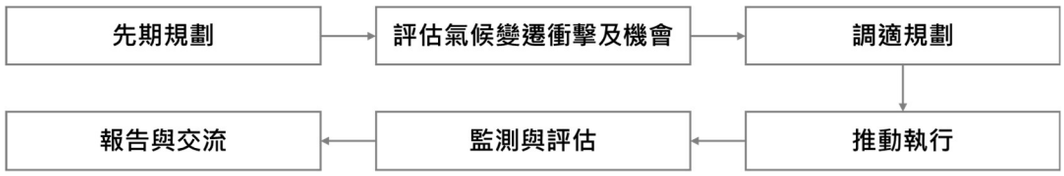


附圖 1-1 CID 類型及類別示意圖

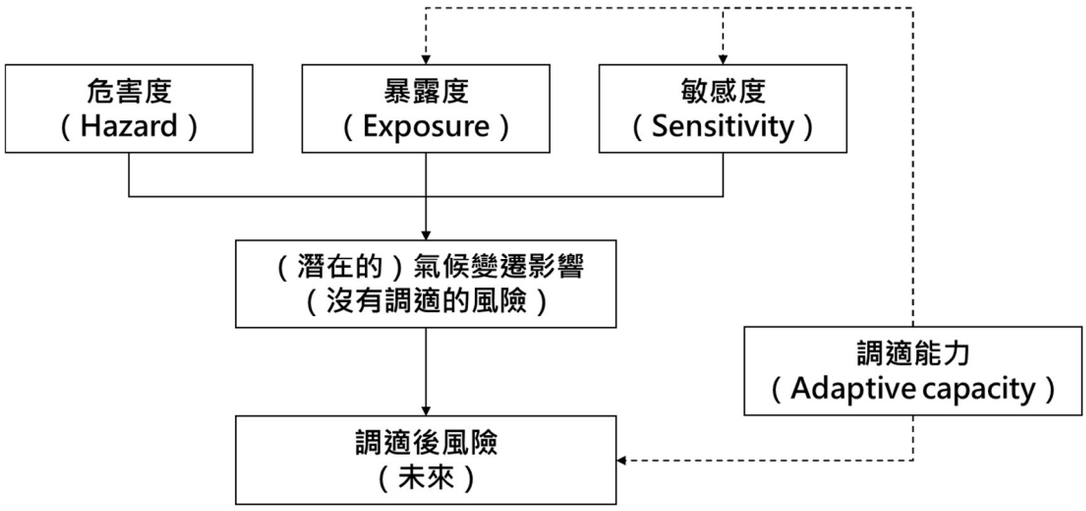
(1) ISO 14090 系列標準調適架構

為協助各類型組織有系統的因應氣候變遷衝擊，ISO 14090 提供一套結構化流程，協助組織辨識氣候風險與機會，擬定並實施調適策略與行動計畫，其後，ISO 14091 專注於脆弱度、衝擊與風險的辨識與分析。有關 ISO 14090 系列之調適架構重點摘錄如下。

- ISO 14090 提出之調適架構包含：先期規劃、評估氣候變遷衝擊與機會、調適規劃、推動執行、監測與評估、報告與交流共 6 大構面，如附圖 1-2 所示。其中，先期規劃亦即界定範疇，包含評估組織是否有執行後續步驟之能力，以及確立與利害關係者間的互動關係。
- ISO 14091 提供使用者分析氣候變遷風險之方法與工具，針對未來可能面臨之氣候風險，透過降低暴露度及敏感度等可控之調適策略，降低調適差距，有關危害度、暴露度、敏感度，以及調適能力與調適後風險等風險組成關係如附圖 1-3 所示；此外，ISO 14091 亦提供衝擊鏈的方式來說明氣候危害對系統造成之影響，用以掌握其因果關係。



附圖 1-2 ISO 14090 調適架構圖



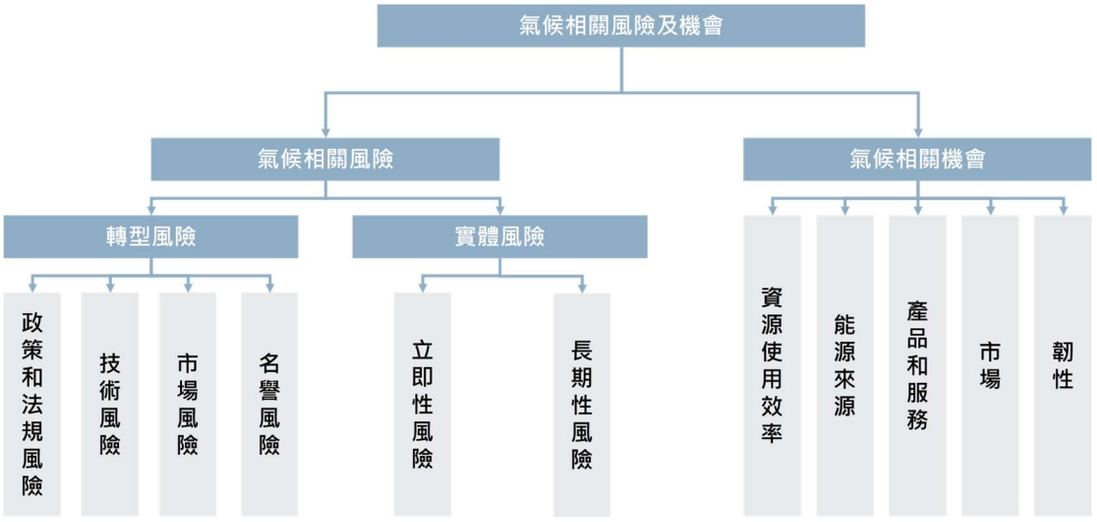
附圖 1-3 ISO 14091 風險組成要素示意圖

(2) 氣候相關財務揭露(TCFD)國際倡議

國際金融穩定委員會(Financial Stability Board, FSB)於 2015 年成立氣候相關財務揭露工作小組（Task Force on Climate-related Financial

Disclosures, TCFD），TCFD 工作小組定義了「氣候相關風險」與「氣候相關機會」分析框架，其架構如附圖 1-4 所示，內容簡述如下。

- 氣候相關風險：可概分為「轉型風險」及「實體風險」兩類。「轉型風險」係組織轉型為低碳經濟時，伴隨之不同程度的財務和名譽風險，可進一步細分為政策和法規風險、技術風險、市場風險及名譽風險；「實體風險」係指氣候變遷對組織造成的財務衝擊，如資產災損或服務中斷等風險。
- 氣候相關機會：氣候相關機會係指組織為了減緩與調適氣候變遷所採取的行動同時，這些行動也將替組織創造機會，TCFD 工作小組將韌性視為氣候機會，由於組織為了因應轉型風險及實體風險之挑戰，從而改變其服務方法、提升效率或開發新產品等，使得組織獲得面對氣候變遷的調適能力



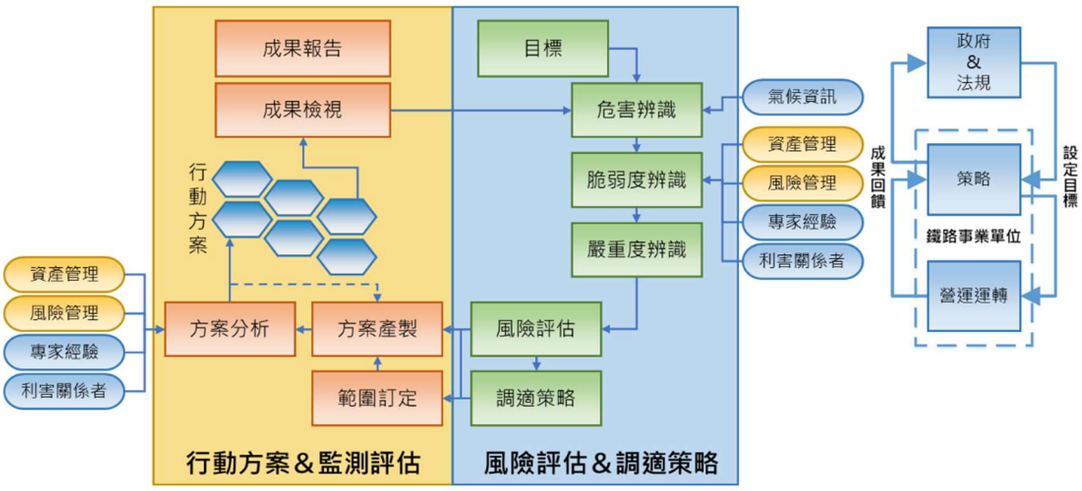
附圖 1-4 ISO TCFD-氣候相關風險及機會示意圖

(3) UIC-鐵道調適架構

國際鐵路聯盟（UIC）參酌瑞典交通署、芬蘭交通局，以及世界水運基礎設施協會等經驗而建立鐵道調適架構，該架構可分為「風險評估&調適策略」及「行動方案&監測評估」兩部分，架構詳附圖 1-5 所示。

- 風險評估&調適策略：考量未來可能面臨之氣候變遷情況以及對應之長時間氣候影響和短時間極端天氣等情境，鐵道機構需結合鐵道資產管理、不同鐵道路線之獨特性、風險管理、過往經驗等面向進行風險辨識以及風險評估，並提出必要之調適策略。

- 行動方案&監測評估：根據調適策略所訂定之具體調適方案，並從鐵道資產管理、風險管理、過往經驗等面向進行評估，選出適當之調適方案後制定行動計畫，並追蹤調適後鐵道系統營運情況，以決定是否需要進一步調整。



附圖 1-5 UIC-鐵道系統架構圖

茲將前述 ISO 14090 系列規範、TCFD 及 UIC-Rail Adapt 之出版年份、範疇、主要內容、指引類型與步驟等相關內容彙整如附表 1-1 所述。

附表 1-1 ISO 14090 系列、TCFD 及 Rail Adapt 彙整表

文件	發佈年份	範疇與主要內容	指引類型	執行步驟
ISO 14090	2019	提供氣候變遷調適的框架，幫助組織和政府提高對氣候風險的應對能力	基礎通用指引	1. 先期規劃 2. 評估氣候變遷衝擊及機會 3. 調適規劃 4. 推動執行 5. 監測與評估 6. 報告與交流
ISO 14091	2021	提供如何進行氣候變遷脆弱性、影響和風險評估，幫助組織辨識和評估風險，分析可能的氣候影響	實施框架指引	1. 準備氣候變遷風險評估 2. 執行氣候變遷風險評估 3. 回報與研析氣候變遷風險評估結果
TCFD	2017	提供框架指導金融機構和資產管理單位如何評估、管理和披露與氣候相關的財務風險與機會，並將這些資訊納入財務報告	金融機構或資產管理單位專用指引	1. 確認揭露範疇 2. 建立氣候相關治理架構 3. 研析氣候風險及機會 4. 進行氣候情境分析 5. 整合氣候風險管理流程 6. 制定指標和目標 7. 定期檢討與更新

文件	發佈年份	範疇與主要內容	指引類型	執行步驟
UIC Rail Adapt	2017	提供鐵道系統如何通過調整和適應來應對氣候變化的影響，包含框架、案例研究和工具，幫助鐵道機構實現更具彈性的服務	鐵道機構專用指引	1. 建立調適策略 2. 執行調適計畫 3. 管理及支援調適流程

2. 我國調適指引架構

(1) 環境部《氣候變遷風險評估作業準則》

環境部依據《氣候變遷因應法》第 18 條第 3 項之授權，於 2025 年 7 月發布施行《氣候變遷風險評估作業準則》，揭示各級政府機關(構)執行調適相關作業之依據。

茲就《氣候變遷風險評估作業準則》之步驟及重點摘整如下。

- 界定範疇：包含確立保全對象、辨識影響保全對象之氣候危害類型及其暴露之時空範圍，並邀集有關機關、學者及民間團體界定評估範疇，以掌握各利害關係者關注議題，取得共識，並有助於在實施調適策略時獲得更大的支持和合作。
- 檢視資源及氣候衝擊現況：包含檢視可掌握資源及現況氣候風險評估，其中，現況氣候風險評估係透過歷史氣候觀測相關資訊，針對現況衝擊與脆弱度進行量化、半定量，或質化方式評估。
- 評估未來氣候變遷風險：與現況風險相異，未來風險關注長時間氣候變遷因子所造成之風險，透過科學推估資料，設定調適應用情境，以評估未來氣候變遷下，未來危害度與脆弱度對保全對象之衝擊與風險。
- 調適選項規劃及綜整決策：進行辨識、評估及選擇調適選項，以因應現況及未來氣候變遷風險。
- 推動或執行調適選項：掌握調適執行進度的同時，藉由建立成效評估指標，或是透過訪談、焦點團體、專家諮詢等方式，幫助組織檢視調適選項之執行成效。

- 檢討或修正調適選項：藉由循環機制過程，參採最新氣候變遷科學報告及相關科研建議，滾動進行氣候變遷風險評估，並檢討調適策略及方案之適切性，做為未來調適方案及改善方向之參考。

(2) 本所《公路系統規劃階段氣候變遷調適指引》

本所於 2021-2022 年期間，依據「公路系統因應氣候變遷強化調適能力之探討」計畫，完成撰擬《公路系統規劃階段氣候變遷調適指引》，隨後配合《氣候變遷風險評估作業準則》之步驟，隨即 2026 年完成修正，將氣候變遷調適之應處作為，應用在「可行性研究」及「綜合規劃」等階段。該指引依作業內容細分為「資料蒐集分析、方案研擬評估、工程研究評估、通車營運」四個子階段，並融入「前置作業、氣候變遷情境與相關資料蒐集分析、評估影響調適能力的氣候風險因素、氣候變遷風險評估、檢討及修正」五項作業。茲將公路系統調適指引應用索引與導入程序呈現如附圖 1-6 所示。



附圖 1-6 公路系統調適指引-應用索引架構圖

3. 鐵道系統跨系統界面衝擊影響

鐵道系統之設計及運作，與其他基礎設施間具有相互依存性，氣候衝擊不僅會直接影響鐵道系統本身，亦會透過連鎖效應導致跨系統界面衍伸風險與影響。倘若是缺乏外部組織的合作關係，則鐵道系統無法獨立有效管控所有風險以及推動適切的調適行動。本計畫從鐵道與公路、機場、港口、捷運之跨系統界面，探討界面間可能的衝擊影響與調適策略，說明如下。

(1) 鐵道與公路界面

鐵道與公路界面主要在平交道，有可能因強降雨/洪水、強風或結冰而受衝擊，影響鐵道列車與公路車輛安全；此外，公路運輸受阻亦可能影響鐵道維修人員與緊急應變的調度。可能之調適策略，包含：

- 智慧平交道系統：透過物聯網(IoT)與即時監測設備，預測強降雨、強風影響，並將平交道遮斷與公路側交通號誌進行連線整合，以減少衝突風險。
- 自動應變通報系統：建立鐵公路資訊共享平台，確保鐵道營運機構、公路單位、應變單位均能即時獲取極端天氣資訊，提高應變效率。
- 強化排水與防凍機制：在低窪地區的鐵道與公路交會處設置防洪閘門與強化排水系統，並備妥防結冰作業機制，減少結冰風險。

(2) 鐵道與機場、港口界面

鐵道於機場、港口會有客貨運之轉運需求，例如機場捷運、鐵道貨運接駁碼頭可能因洪水、強風或暴潮而停運；港口的貨櫃運輸時間可能因鐵道時刻異動而受影響，導致整體物流延誤。可能之調適策略，包含：

- 氣候調適型基礎建設：針對沿海港口車站設置防洪屏障，提高站體與軌道高程，以減少強風或暴潮影響。
- 動態貨運調度系統：利用 AI 與大數據技術，建立機場、港口、鐵道貨運的動態調度系統，根據天氣預測即時調整貨運安排，避免極端天氣影響物流鏈。

- 智慧冷鏈與貨運監控：在鐵道貨運車廂安裝溫度監測設備，並結合 IoT 技術，確保冷鏈運輸貨物在極端天氣下仍能保持適當儲存環境。

(3) 鐵道與城市大眾運輸(捷運、輕軌、公車系統)

極端天氣可能導致地下隧道淹水、或地面電力系統受損，影響跨運輸系統的接駁與轉乘；與鐵道系統車站銜接的運輸系統，如捷運、公車、計程車等，亦可能因惡劣天氣受阻而影響旅客。可能之調適策略，包含：

- 智慧防洪系統：在易淹水的車站設置智慧排水閥與自動抽水系統，並利用 AI 分析即時監測數據，提前預警可能發生的淹水事件。
- 強化電力與備援供應：沿線設計備援電力轉供系統，車站內設置有儲能設備，以降低因強降雨或強風導致的斷電風險。
- 即時交通資訊平台：建立智慧大眾運輸應變平台，提供旅客所需之即時資訊，例如列車班次變動、公車接駁、計程車載客等服務，以減少極端氣候對旅客的影響。

(4) 跨系統溝通協調機制建議

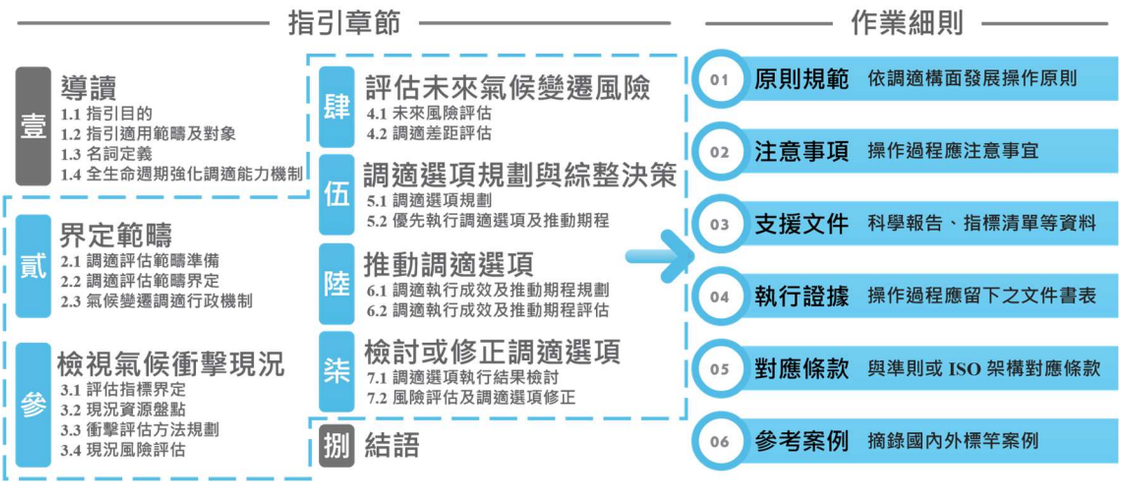
鑒於上述各跨系統界面在極端氣候事件中可能之衝擊影響，需建立有完善的溝通協調機制，使其能透過合作框架與通報流程，消弭資訊隔閡，形成預警迅速、反應靈活的整合網路，以下謹說明跨系統間可能之溝通機制與建議，包含：

- 整合指揮與資訊平台：建立跨單位應變機制，如透過跨單位行政機制，確保統一調度與決策，平時實施情境演練，強化極端氣候下的協調能力。其中，鑒於鐵道系統為跨區域型運輸系統；建立即時資訊交換系統，包含建立整合資訊平台，匯集氣象、水文與交通資訊，並制定單一通報流程，確保各運輸系統間訊息即時流通。
- 協同應變與資源調度機制：研擬聯合應變計畫，建立跨系統協同應變計畫與資源支援機制，整合政府、運輸系統及民間私人力量，確保極端氣候下關鍵資源靈活調度；智慧決策支援系統，如利用數位孿生技術與 AI 分析，提供風險預警與衝擊評估，強化預防性決策能力。

- 檢討修正災害潛勢區劃設相關法規：鐵道系統跨界面涉及多個主管機關，然因各主管機關之任務與法源依據不同，而對保全對象之認定與劃設標準有所差異，也使災害潛勢區之認定與管理重點不盡相同，爰建議檢討修正相關法規，以強化跨系統溝通協調機制。

4. 鐵道系統調適指引架構

本計畫所擬之鐵道系統調適指引架構，係依據《氣候變遷風險評估作業準則》，並參酌 ISO 14090、ISO 14091、UIC Rail Adapt 鐵路調適指南，以及本所公路系統規劃階段調適指等國內外文獻所綜理而得。該指引架構如附圖 1-7 所示，各章節內容摘述如下。



附圖 1-7 鐵道系統調適指引架構圖

(1) 「壹、導讀」

本章節係為鐵道系統機關(構)及其使用者快速掌握氣候變遷調適之相關基本知識與背景，以奠定後續章節的閱讀基礎，其指引內容主要包含：

- 1.1 指引目的：指引係以鐵道系統全生命週期角度來發展通用性指導方針，目的為協助鐵道系統機關(構)於規劃設計、施工興建及營運維護階段推動氣候變遷調適策略與方案，以提升鐵道系統面對氣候變遷衝擊之韌性。
- 1.2 指引適用範疇及對象：指引為通用性的指導原則，鐵道系統機關(構)可依據自身需求彈性調整，並發展適用之模型、資料庫

等工具。適用範疇涵蓋規劃設計、施工興建及營運維護各階段之調適工作。

- 1.3 名詞定義：綜整指引中常見或具關鍵意涵之名詞，例如「危害」、「暴露度」及「脆弱度」等，便於閱讀與避免誤解。
- 1.4 全生命週期強化調適能力機制：鐵道系統具備高沉沒成本之特性，完工後不易大幅調整路線，爰期鐵道系統權管機關(構)從長期及永續的角度進行整體性規劃與維運，以提升鐵道系統面對氣候變遷衝擊下之韌性。

(2) 「貳、界定範疇」

在進行氣候變遷風險評估前，明確界定調適評估範疇可避免評估過程方向模糊、資源投入無法聚焦，同時也助於凝聚共識，確保利害關係者對調適範圍的理解一致。

- 2.1 調適評估範疇準備：在邀集相關利害關係者共同界定調適評估範疇前，鐵道系統權管機關(構)應先盤點 內、外部環境，初步界定易受氣候變遷影響對象、氣候危害類型及其 可能受影響之時空範圍等，做為後續與利害關係者討論之參考資料。
- 2.2 調適評估範疇界定：利害關係者的參與有助於凝聚共識，並提升其對後續風險評估及調適計畫執行之投入意願。基此，組織可依據前述所界定之易受氣候變遷影響對象，針對其暴露於氣候危害下之熱點時空範圍，辨識可能受影響之利害關係者，並了解其期望與要求。
- 2.3 氣候變遷調適行政機制：為利於後續風險評估及調適選項之研擬與推動，鐵道系統權管機關(構)應參酌已辨識之利害關係者清單，建立氣候變遷調適行政機制，納入具關鍵專業知識、執行權責及實務經驗之內外部單位。透過定期召開會議或相關機制，整合不同面向的觀點，強化決策過程的透明性與共識凝聚，促進調適工作的推動與持續精進。

(3) 「參、檢視氣候衝擊現況」

在評估現況風險時，鐵道系統權管機關(構)應先盤點組織能力建構情形，以及相關可投入之調適管理機制之資源，並運用歷史及現況資料，進行現況風險評估，做為比較基礎。

- 3.1 評估指標界定：在進行風險評估前，鐵道系統權管機關(構)應明確定義評估所採用之指標，做為後續分析的依據，包含《氣候變遷因應法》所揭危害、暴露度及脆弱度等氣候風險因子所界定之評估指標。
- 3.2 現況資源盤點：為避免調適資源重複投入，鐵道系統權管機關(構)應盤點並辨識既有之能力建構情形與可投入於調適管理機制之相關資源。此外，為確保後續風險評估順利執行，建議依據前述所訂定之評估指標需求，盤點並整合內、外 部可取得之資料與資源，確認分析所需資源及資料可取得性。
- 3.3 衝擊評估方法規劃：為奠定後續現況與未來風險評估結果之比較基礎，鐵道系統權管機關(構)應考量現況及未來危害資料之可取得性與不確定性，規劃合適之衝擊評估方法。
- 3.4 現況風險評估：為瞭解氣候變遷對易受氣候變遷影響對象之衝擊，鐵道系統權管機關(構)應先進行現況風險評估，做為後續與未來風險比較之基礎。

(4) 「肆、評估未來氣候變遷風險」

氣候變遷調適與防減災之關鍵差異在於氣候變遷調適主要是考量未來氣候變遷之情境，透過最新科學數據推估資料進行未來風險評估，進而瞭解不同空間尺度下的調適差距。

- 4.1 未來風險評估：未來風險係基於氣候模型與推估資料，評估不同氣候情境下之風險，以便鐵道系統權管機關(構)瞭解氣候變遷對鐵道系統可能帶來的中長期衝擊。
- 4.2 調適差距評估：鐵道系統權管機關(構)應依據調適差距評估結果及可接受之風險水準，決定是否須進一步研擬與推動相應之調適選項。倘未來風險落在可接受範圍，鐵道系統權管機關(構)即可維持既有機制並定期檢討與評估。

(5) 「伍、調適選項規劃與綜整決策」

當鐵道權管機關(構)評估既有機制與方法無法因應未來氣候危害之衝擊時，則需進行下一階段包含研擬適當之調適選項，以提升鐵路系統韌性之相關調適措施。

- 5.1 調適選項規劃：為確保研擬之調適選項能降低調適差距，鐵道系統權管機關(構)應先設定欲降低之目標，並從「降低暴露度」及「降低脆弱度」之角度，廣泛蒐集並研擬可行之調適選項，做為後續調適選項評估之參考資料。
- 5.2 優先執行調適選項及推動期程：鐵道系統權管機關(構)於研擬多項調適選項時，應研擬條是選項評估準則，並依據該準則確定優先執行調適選項及其推動期程，再將決策結果編製為氣候變遷調適計畫，做為後續推動或執行調適選項時之參考。

(6) 「陸、推動調適選項」

在推動或執行調適選項的過程中，鐵道系統權管機關(構)除依其推動期程進行管理外，亦須建立成效評估指標，以便後續評估調適執行成果。

- 6.1 調適執行成效及推動期程規劃：為確保氣候變遷調適計畫得以順利落實，鐵道系統權管機關(構)應進一步擬定執行計畫，以使執行單位有所依循之外，亦可做為評估調適實施進展是否符合規劃期程之依據，以便掌握調適執行進度。
- 6.2 調適執行成效及推動期程評估：在執行調適計畫過程中，鐵道系統權管機關(構)應定期檢視調適執行成效及其推動期程，確保調適選項有確實且如期執行，包含：定期評估調適選項執行成效，以及定期評估調適選項推動期程之符合程度等原則。

(7) 「柒、檢討或修正調適選項」

鑒於未來氣候變遷的不確定性，鐵道系統權管機關(構)應就氣候變遷調適計畫進行滾動檢討與修正等機制，以確保其有效性。

- 7.1 調適選項執行結果檢討：為確保氣候變遷調適措施能有效達成既定目標，鐵道系統權管機關(構)應定期檢視調適執行成果，藉以確認調適差距是否縮減、評估調適後帶來的正負面影響，並釐清調適過程中的主要障礙。

- 7.2 風險評估及調適選項修正：為確保調適計畫的有效性及考量未來氣候變遷的不確定性，鐵道系統權管機關(構)應依調適計畫成效評估結果及最新氣候變遷科研資料，評估是否有必要進一步修正氣候變遷風險評估結果及其調適選項。

(8) 「捌、結語」

針對氣候變遷調適議題，世界各國關注度持續升高，相關理論研究及實務應用亦不斷精進與深化，指引援引《氣候變遷風險評估作業準則》之風險評估與調適策略研擬等步驟，研提鐵道系統權管機關(構)於辦理氣候變遷調適業務所需之方法與工具，並蒐整國內外氣候變遷調適相關參考資料及資源，藉以提供鐵道系統機關(構)執行調適作業時之參考應用。

三、結論與建議

1. 結論

(1) 蒐整國外標竿案例之氣候變遷調適指引架構

本計畫蒐整有關ISO 14090系列標準以及國外機構使用之氣候變遷調適指引，其架溝多與國內《氣候變遷風險評估作業準則》所規範之方向大致相同。惟在氣候變遷風險組成上，部分國際機構係以可能性(Likehood)與後果(Consequence)的組合做為定義，其與我國《氣候變遷因應法》對於氣候變遷風險的組合為危害、暴露度及脆弱度的定義上仍有所差異。

(2) 研提與跨系統間之溝通協調機制

- 我國鐵道系統預警機制，普遍仍聚焦於防減災之相關應用，其範疇包含引進人工智慧與物聯網技術、透過遙測與無人載具提升觀測效能外，並針對邊坡管理因應行動、河川橋梁管理措施等機制上；另在運用科學推估資料進行未來風險評估方面，則仍處於起步階段。
- 在探討鐵道系統跨界面衝擊影響方面，鑒於氣候變遷影響涉及多個部門及治理層級，爰建議鐵道系統權管機關(構)於平時即應建立跨單位、跨層級之行政聯絡機制，俾利未來遭遇氣候事件時，能即刻啟動預警迅速、反應靈活的跨域協調機制。

- 我國臺鐵與高鐵因屬跨城際系統，跨域權責問題與風險評估因素複雜，建議由鐵道機關(構)統籌跨界面問題，釐清各單位之責任歸屬，並適時於中央層級之會議上充分討論，以利掌握複合、連動式風險的交互關聯性。

(3) 研擬我國鐵道系統調適指引架構

- 指引(初稿)章節係以《氣候變遷風險評估作業準則》為基礎，並分別納入導讀、界定範疇、檢視氣候衝擊現況、評估未來氣候變遷風險、調適選項規劃與綜整決策、推動調適選項、檢討或修正調適選項等章節。
- 為使調適指引具可操作性及易讀性，指引(初稿)將援引實際案例納入指引內容，並透過演示案例說明氣候變遷風險評估、調適選項研擬推動之作業流程，俾利鐵道系統權管機關(構)參考應用。

(4) 研擬鐵道系統調適指引內容及案例演練

- 指引(初稿)以鐵道系統全生命週期為範疇，發展導入氣候變遷調適作為的通用性指引，其內容係依據環境部《氣候變遷風險評估作業準則》、ISO 14090 等系列標準進行研擬，俾利鐵道系統調適指引能互相對應、滿足我國法規及國際標準之要求。
- 為便於鐵道系統機關(構)實務運用，本計畫透過臺鐵及高鐵案例演練，具體展示指引的操作流程，並將風險評估指標、調適選項參考案例收錄於本指引(初稿)，以供鐵道系統機關(構)執行氣候變遷調適相關作業時參考。

2. 建議

(1) 持續蒐整鐵道系統調適實務操作問題及需求

為提升計畫成果落地應用機會，本計畫將持續蒐整實務操作問題及需求，以供回饋至調適指引內容，俾利回應相關機關(構)實際執行調適作業之需要。

(2) 建議檢討修正鐵道系統及災害潛勢區劃設之相關法規

為利鐵道系統機關(構)於執行調適作業時有所依循，並進一步強化跨系統溝通協調機制，本計畫提出以下建議：

- 本計畫建議於「可行性研究報告書」與「綜合規劃報告書」中納入氣候變遷風險與調適議題進行考量，並在後續之基本設計階段銜接相應之規劃需求，藉由國內工程顧問公司之專業能力，協助律定下階段工程施作與未來營運時，應對氣候變遷極端氣候之具體內容。
- 英國於 2008 年訂定氣候變遷法，並要求基礎設施與公共工程的機構定期編制報告說明其在氣候變遷的調適進展與成效。建議可參考英國採由上而下的推動模式，即由國家推動法規、制度之修訂後，再由機關(構)依據相關規範之要求，研提氣候風險評估與調適作業的報告。
- 鑒於跨系統機關(構)對保全對象之認定與劃設標準有所差異，使災害潛勢區之認定與管理重點不盡相同，故建議檢討修正相關法規，以強化跨系統溝通協調機制。

(3) 建議未來紀錄極端天氣與氣候事件所造成之損失，並進一步發展氣候變遷調適相關工具

為協助鐵道系統機關(構)瞭解氣候危害之種類，進而評估氣候危害所造成之衝擊程度，以及研擬後續據以執行之各項調適作業，爰提出以下建議：

- 本計畫係以鐵道系統全生命週期角度出發，旨在提供調適基本架構與原則，惟該指引僅屬於行政指導之法律位階，爰建議鐵道系統機關(構)依據自身需求，研提適合各鐵道系統機關(構)特性與內部作業細節訂定程序之氣候變遷調適作業手冊。
- 為推動指引落地操作實施，可賡續發展適用之模型、資料庫與平台等相關操作工具，並建立風險評級工具，讓執行單位透過自動產製簡易的風險評級結果，做為後續決策之參考。

(4) 氣候變遷調適科研缺口建議

就國科會與環境部《國家氣候變遷科學報告 2024：現象、衝擊與調適》所揭示之科研缺口，提出以下建議：

- 目前可取得之未來氣候推估資料以溫度與降雨為主，惟鐵道系統仍可能受到雷擊、強風等氣候危害衝擊，建議鐵道系統權管機關

(構)與政府部門合作進行基礎科學研究，透過客製化之科研產出，提供鐵道系統機關(構)之應用。

- 鑒於 AI 應用逐漸普及，鐵道系統權管機關構可思索氣象資訊結合 AI 在智慧交通之應用，提升判讀氣候資料之能力，進而強化鐵道系統權管機關(構)之決策支援能力。

附錄二　審查意見辦理情形

交通部運輸研究所合作研究計畫

■期中□期末報告處理情形

計畫名稱：鐵道系統強化調適能力之探討(2/3)-作為與指引(高鐵與臺鐵)

執行廠商：財團法人中興工程顧問社

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
國立成功大學交通管理科學系暨電信管理研究所鄭永祥教授		
1.報告書圖 5.8、圖 5.16 之分級示意圖不是很清楚，請研究團隊於期末報告時再予修正。	研究團隊擬調整圖片呈現方式，增加報告易讀性。	同意。
2.有關報告書圖 5.11 提及「指認調適差距」及「評估既有防災減災作為是否能有效因應調適差距」，請研究團隊補充說明此部分應如何進行。	調適差距主要係檢視升溫情境下，機構之設施設備能否有足夠韌性抵抗異常天氣帶來之衝擊，藉以盤點可強化精進之作為，例如本研究案例中盤點出高溫鋼軌可能挫屈之風險，經盤點現況若無軌溫監測設備即有缺口出現，後續則應建置智慧軌溫監測預警系統及維運機制來補足其缺口之方式辦理。擬於期末報告中繼續發展執行要素 3-2「調適差距評估」，以強化整體調適指引之可作性。	同意。
3.有關報告書 5.3.2 節提及「為評估是否有需要研擬相應之調適選項，提升易受氣候變遷對象之韌性，應比較現況風險與未來風險評估結果之差距」，請研究團隊補充說明差距達到何種程度時，則須進行後續調適選項的研擬及推動。	調適差距可來來自：缺乏制度化管理機制、缺少跨部門協作機制、資訊不足（如氣候資料、氣候風險分析）、資金或技術門檻過高、法規尚未完備…等，啟動的機制與國家法規之要求、機構內外部可動用資源與可承受衝擊等相關，擬於期末報告中依據 IPCC AR6 Working Group II:2022、ISO 14090:2019、我國《氣候變遷風險評估作業準則》等內容精進論述說明。	同意。
4.有關目前所蒐集之國內外文獻中，針對調適策略評估工具之相關內容，請研究團隊再予補充說	已規劃於期末報告內彙整國內外文獻於調適之評估工具，以供實務單位參考運用。	同意。將於工作會議持續蒐

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
明。		整。
5.請研究團隊補充說明選擇鋼軌挫屈，而非其他氣候變遷相關事件（如車站淹水）做為研究案例的原因。	1.依災防中心 NCDR 於環球氣候模型降尺度之科學資料，掌握度較大者為高溫及強降雨，故研究團隊依此方向出發，對本期研究對象之臺鐵與高鐵找尋適合案例。 2.臺鐵案例依訪談與新聞蒐整，知悉臺鐵花東縱谷地形地勢關係，「玉里=富里」段夏季高溫曾傳鋼軌異常情形；另高鐵案例初步規劃採強降雨危害下高鐵延伸宜蘭之選址研析，兩案例將於期末報告中精進內容。	同意。
6.在進行研究案例時，若遇到資料不足或地形網格數值限制的情況，請研究團隊補充說明通常會如何考量及處理。	參照國際上文獻方法，資料不足情況下，可採相似地區或鄰近測站資料予以推估、或以模擬方式生成；地形網格數值限制時，可採內插法方式處理，整體來說建議採保守假設方式進行評估。	同意。相關資料推估，將透過統計檢定確認其可信度。
7.請研究團隊補充說明研究案例之脆弱度推估是基於哪些假設條件，以及如何透過這些假設得出推估結果。	脆弱度可依敏感度與調適能力來表達，期中報告係以鋼軌養護情形作為調適能力之評估指標，鑑於期中階段尚未取得其資訊，故先以假設數值展示演練過程，期末階段擬另採實際道床型式作為調適能力評估指標。	同意。將於工作會議持續探討。
8.目前研究案例是以臺鐵為對象，期末階段是否會一併納入高鐵案例，請研究團隊再予補充說明。	研究團隊已初步規劃期末報告納入高鐵北延宜蘭之強降雨車站選址案例演練。	同意。相關案例將持續與鐵道局討論。
9.有關研究案例之空間尺度採用 100 公尺解析度之原因，請研究團隊再予補充說明。	1.本研究參考英國伯明罕大學「氣候風險與脆弱度評估工具研究方法（簡稱 CRVA）」之網格尺度採 100 公尺，又災防中心 NCDR 提供有內插工具，可將 5 公里降尺	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
	度至 100 公尺，故期中採 100 公尺網格進行研析，惟須犧牲部份資料品質，輸出僅能以月為單位，無法至日單位資料。 2.鑑於 NCDR 已精進提供 1 公里尺度之網格，同時案例之危害度擬另採極端高溫之天數資料來分析，擬於期末報告中予以精進調整。	
逢甲大學運輸與物流學系劉霈教授		
1.本報告架構及相關內容已非常完整，感謝團隊的努力。	謝謝委員的肯定。	同意。
2.報告書第 2 章整理許多國外不同機構之氣候變遷風險評估及調適評估流程，均具相當參考價值。然因各文獻所針對的對象與軌道系統不盡相關，建議於 2.6 節進一步評析及彙整所整理文獻內容於軌道系統之可適用性。	擬於報告書 2.6 節精進文獻於可適用性之評析彙整。	同意。
3.報告書 P.4-11 提及「建議由統籌單位（如企劃部門、安全部門）彙整各單位氣候危害及其易受衝擊之對象」，惟軌道系統運工機電各單位之間的專業相當不同，且互通性較低，建議再具體說明如何落實，例如由副總級以上人員帶領之組織統籌。另針對 4.3 節所提及之「組織」，請研究團隊補充說明其所指為臺鐵公司或各分區營業處，並建議敘明可能且可行的界定。	1.4.3 節提及「組織」可對應於執行要素 1-3 欲成立之「氣候變遷調適工作小組」，該小組可由營運機構視需求與資源，採任務編組或專責編制。 2.擬依委員建議於期末報告精進說明應提升其層級，並由營運機構高階治理層級來統籌帶領。	同意。
4.報告書 P.4-16 提及氣候危害類型界定可能受影響之時空尺度及範圍，不同氣候危害類型之影響尺度範疇不盡相同。鑒於軌道系統為帶狀系統，其規設及管理	空間評估尺度的劃定與國家科學資料相關，國家災害防救科技中心 NCDR 近期已將 5km 尺度精進至 1km，研究團隊擬於期末報告同步調整尺度進行研析，後續風險評估	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
組織多為分段設置，故在風險評估時，除針對氣候危害類型評估外，是否應界定行政管轄範圍之評估尺度範圍？例如在洪水風險評估中，軌道 2 系統沿線的淹水潛勢不盡相同。因此，建議可嘗試探討如何合理劃定空間評估尺度，例如目前各分區營業處的轄管範圍與風險評估尺度間的關係。	之成果，可由營運機構依其組織架來研擬適合之調適方案予以執行、監測並回饋至下一階段之調適作業。	
5.針對報告書 P.4-16 中倒數第二行「條是選項」，應為「調適選項」誤繕。	擬於期末報告修正誤植。	同意。
6.針對報告書 P.4-23 所述「若危害屬氣候變動因子，進一步辨識以下項目」之文字，與圖 4.12 之文字略有出入，建議改以相同文字呈現。	擬將論述調整與圖 4.12 呈現內容一致。	同意。
7.有關報告書 P.5-5 之表 5-1，請研究團隊補充說明危害度採夏季每日最高溫度的平均值是否合宜、是否是採用前 10%或 20%最高溫度資料，及其是否能充分代表潛在危害度。此外，也請補充說明溫度觀測值涵蓋範圍，是否在 5 公里範圍內僅有單一觀測點？若然，危害度、暴露度及脆弱度皆會一樣；若網格內溫度均屬推估，則請進一步敘明數據的可靠程度，俾利讀者判別。	1.參照 AECOME 協助澳洲鐵路之高溫調適案例與委員建議方向同，研究團隊擬將案例危害度調整為「極端高溫天數」進行分析。 2.研究案例之尺度會於期末報告中依災防中心 NCDR 最新科學數值將尺度精進為 1km，該尺度下同一網格僅有一個代表溫度數值。 3.期末報告於研究案例擬將暴露度調整為旅客曝光量、脆弱度調整為道床型式，屆時將可明顯區別出其氣候風險差異。	同意。另有關 NCDR 之 1km 降尺度，主要區分為統計降尺度以及動力降尺度方式進行，相關數值並經過統計檢定。後續使用機關得依需求擇定統計降尺度，抑或

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
		動力降尺度進行風險評估。
國立高雄科技大學土木工程系蘇助理教授育民		
1.報告書圖 1.3 提及第二年期工作規劃係作為跟指引，特別為高鐵與臺鐵的部分，而捷運與輕軌部分屬於第三年期的工作。然而在報告書 1.4 節中的預期成果以及預期效益中，仍然提到捷運與輕軌的調適與作為，建議限縮在第二年的高鐵及臺鐵工作項目即可。	1.「鐵道」系統包括有「鐵路」與「捷運」兩系統，本計畫研擬之「鐵道調適指引架構」，其適用範圍包含整體之「鐵路」與「捷運」系統。 2.承上，本計畫今年優先發展「鐵道調適指引架構」之「鐵路」系統調適指引內容，並以城際鐵路之「高鐵與臺鐵」為對象範圍進行研析。 3.擬依據委員建議，重新檢視報告 1.3 節~1.4 節，調整適合之說明方式，使調適架構範疇包括鐵路與捷運，另指引內容應用主要以鐵路為主。	同意。
2.目前的研究架構，仍未見到將鐵道系統中的「運、工、機、電」四大層面在面臨氣候變遷時的調適指引，進行分類以及討論，建議必須將這鐵道四大層面分開討論其所可能受到的衝擊，以及未來調適評估工具。	1.研究團隊於研擬調適指引時，建立共通的上位框架與原則，能滿足不同部門的獨特需求與特性，提出相應的差異化策略，使鐵路機構進行有效的整體協調與管理。 2.面對氣候變遷，鐵道系統的運、工、機、電部門各自受到不同影響，需要採取不同的應對措施，例如鐵路調適指引執行要素 1-1「調適評估範疇準備」中，即將不同部門受影響對象納入評估範疇中。	同意。
3.建議在實務訪談以及專家座談中，希望將「運、工、機、電」四大層面納入結構化的討論以及座談，瞭解第一線曾經面對的問題、當時的解決方案、以及反應到未來做為氣候調適指引，以及調適選項可能為何。	研究團隊已分別向臺鐵與高鐵公司請益，與會專家如委員建議方式，有來自運、工、機、電等不同單位主管同仁，藉請益過程中與不同層級主管及第一線同仁交流，俾利鐵道調適指引臻於完善。	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
國家災害防救科技中心陳永明組長		
1.氣候變遷風險評估作業建議可建構於鐵道機關（構）既有風險管理架構上，並進一步納入氣候變遷影響之考量，以評估其調適缺口。值得注意的是，並非都會產生調適缺口，應視個案實際狀況進行判斷。	擬依委員建議補述於期末報告中。	同意。
2.氣候變遷調適對象應涵蓋既有及新建設施，參考 TCCIP 兩階段六構面之國家氣候變遷調適架構，針對既有設施，建議從「調適規劃與行動」回頭檢視「辨識氣候風險與調適缺口」階段，瞭解現有計畫的氣候韌性；而對新建設施，則可從「辨識氣候風險與調適缺口」開始，並進一步至「調適規劃與行動」階段，以評估潛在氣候風險並納入調適策略。	鐵道調適指引架構與 TCCIP 之兩階段六構面互相扣合，報告 3.1 節中亦有說明可視實務需求與作業特性來調整其順序，擬於期末報告中依委員建議強化既有與新建設施之應用特性。	同意。
3.針對界定範疇之目的，建議應與專家和業務主管機關等利害關係者共同討論，以釐清各項議題的重要性及其優先順序，並做為後續選定評估指標及分級方式之參考依據。	研究團隊於鐵道調適指引執行要素 1-2「調適評估範疇界定」中，已納入利害關係者共同討論之原則規範，實務案例演練過程亦將持續調整，朝委員建議評估方向精進。	同意。
4.在進行未來風險評估時，建議釐清氣候危害係針對「平均變化」還是「極端事件」進行評估。此外，有關案例演練所採用之評估指標，建議可考慮「極端高溫天數」等更具代表性的指標。	1.委員建議方向已納入調適執行要素 1-1「調適評估範疇準備」中，與研究報告圖 4.12 中之極端單一事件或平均事件相符合。 2.AECOME 協助澳洲鐵路之高溫調適案例與委員建議方向同，研究團隊擬將案例危害度調整為「極端高溫天數」進行分析。	同意。
5.TCCIP 平臺提供之網格內插工具，原係針對林業等特定領域需	本計畫期中報告採災防中心 NCDR 提供內插工具，將 5 公里網格降尺	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
求所開發，惟本案研究案例所採用之空間尺度，是否亦須達到100公尺解析度，建議研究團隊可再進一步評估其適用性。	度至100公尺進行研析，惟輸出須犧牲部份資料品質，僅能以月為單位，無法至日單位資料。鑑於NCDR已精進提供 1 公里尺度之網格資料，又危害度擬另採極端高溫之日資料來分析，擬於期末報告中精進調整。	
6.鑒於各界在氣候變遷調適實際操作仍處於學習階段，建議未來調適指引不應視為一套標準答案，而是持續累積知識並不斷精進的過程。而指引目的則在於分享執行風險評估過程中的實務經驗、應注意重點及面臨的挑戰限制，以協助鐵道機關（構）理解執行細節及實務應用方式。	擬將委員建議納入期末報告後續建議章節。	同意。
交通部鐵道局謝金玫簡派正工程司		
1.報告書4.2節提及本指引以鐵道系統全生命週期角度來發展通用性指導方針，將調適工作從規劃設計階段及早納入，從源頭降低氣候風險，提升系統韌性。目前有關可研「潛在氣候變遷風險說明表」、綜規「氣候變遷風險及調適選項評估表」僅有初步的界定，其評估屬性為定性或定量分析、或均有？未來如何參考運用及審議（如手冊、審查要點之附表…）。另鐵道計畫之提報，除了地方政府為都市發展及平交道事故等考量研提之立體化計畫，有審查要點適用外，尚有交通部辦理之臺鐵基礎設施改善計畫（如雙軌化、電氣化）、高鐵延伸計畫等中長程計畫，如何參考運用前述二表，建議研究團隊一併	1.本計畫參考國內外文獻，同時依循運研所發布公路系統規劃階段調適指引，一併導入「潛在氣候變遷風險說明表」及「氣候變遷風險及調適選項評估表」，使運研所之調適架構有共同脈落可循。 2.參考國內外之應用，初期評估多採定性方式為主，並建議後續逐漸朝半定量與定量方式精進方向邁進。 3.於鐵道計畫之運用方式上，建議於可行性研究階段將初步評估結果彙整成「潛在氣候變遷風險說明表」，並於綜合規劃階段，對中高等級風險再次進階評析檢討，並對有調適缺口者研擬調適方案，相關分析結果一併納入「氣候變遷風險及調適選項評估表」，以供基本設計依調適選項納入設計	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
補充。	內容，並進一步律定後續細部設計工程執行所需之具體內容，相關內容呈現於期中報告 4.2.2 節，後續將持續滾動精進。	
2.綜規「氣候變遷風險及調適選項評估表」中，有關提出調適選項其類型可能涉及需考量技術可行、經濟效益、環境影響等綜整決策，建議能更具體地補充說明。又調適選項與既有鐵道設計相關規範標準將如何整合?請研究團隊補充說明。	1.本計畫將持續蒐集國內外標竿機構於調適作業之技術可行、經濟效益、環境影響等綜整決策文獻彙整至期末報告供參採。 2.調適選項檢視氣候風險對系統的衝擊，參照英國第二高鐵 HS2 案例可知，當調適納入規劃設計考量後，相關規範與標準均有顯著提升，如報告附錄五中調適選項彙整表可供參採。	同意。
3.有關報告書 5.2 節案例演練，針對「資料不確定性」評估為「高」的脆弱度資料，建議研究團隊補充說明如何處理這種不確定性對風險評估結果的影響。	回顧國際文獻於「資料不確定性」之調適評估作業中，可採用方式包括：以相似地區或鄰近測站資料予以推估、採模擬方式生成、利用內插工具處理等方式，整體來說係以保守方式進行評估，確保風險不被低估而忽略可能的嚴重衝擊，擬依委員建議將前述處理方式補述於期末報告中。	同意。
4.鐵道系統包括高鐵、臺鐵、專用鐵路及森鐵系統，本案研究範圍未涵蓋專用鐵路或森鐵系統，惟調適能力之作為與指引應可互通參考運用，建議研究團隊後續可補充對於專用鐵路或森鐵之參採運用處理說明。	1.本年度計畫聚焦於台灣高鐵與臺鐵城際鐵路系統，暫未將專用鐵路之林鐵與糖鐵納入研究範圍。 2.計畫所發展的氣候調適策略與指引具通用性，未來若氣候變遷調適入法時，仍可通盤考量林業、糖業等專用鐵路系統的特殊需求與應用情境，提供進行氣候風險評估與調適方案擬定，擬依委員建議將前述處理方式補述於期末報告中。	同意。
臺中捷運股份有限公司朱來順總經理		
1.本計畫為「鐵道系統調適指引」，	1.調適指引核心共有 6 個構面，期	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
建議可聚焦在調適選項的研擬與推動，並請研究團隊補充說明調適指引與全生命週期導入調適機制之關聯性、如何導入，以及是否有需要在本研究中探討全生命週期相關議題。	中階段優先發展前 3 構面以風險評估為主，委員建議之調適選項研擬推動屬後 3 個構面，擬於期末階段陸續發展完成。 2.有關全生命週期階段與導入調適機制之關聯性，期中報告內初步呈現於 4.2.2 節~4.2.4 節中，待整體調適指引發展完成後，將收錄至附冊指引內第三章供參考。	
2.報告書 5.2 節之評估指標包含危害度、暴露度及脆弱度，請研究團隊補充說明鋼軌養護情形與脆弱度間的關聯性及其如何量度，同時說明鋼軌長度與暴露度間之關聯性。另外，風險值係上述三個變數相乘，惟脆弱度與風險為反向關係（養護次數越多風險越低），請研究團隊再補充說明其標準值如何界定。	1.脆弱度可依敏感度與調適能力來表達，期中報告係以鋼軌養護情形作為調適能力之評估指標，鑑於期中階段尚未取得其資訊，故先以假設數值展示演練過程，養護情形與脆弱度呈反向關係，故養護情形越差者、脆弱度等級越高(差)；期末階段已規劃採實際之道床型式作為調適能力評估指標。 2.暴露度採鋼軌於網格中佔據之長度予以分級，網格內鋼軌長度越長者、暴露等級越高。 3.上，當危害度、暴露度、脆弱度相乘，即可得出 1~25 之風險數值，數值約高者風險越大。	同意。
3.目前評估指標分級採 1 至 5 級，請研究團隊補充說明各級的數值如何界定。另考量分級方式在未來應用中可能產生認定上的差異與爭議，建議要有更明確且具指標性的評估標準。	為避免應用時產生認定差異，本計畫參照 NCDR 均等分級方式，於各評估指標採五等級均分方式處理。	同意。分級方式將於期末報告再予清楚說明。
4.針對研究案例，建議優先以臺鐵較常面臨之氣候危害，進行示範操作。	1.依災防中心 NCDR 於環球氣候模型降尺度之科學資料，掌握度較大者為高溫及強降雨，故研究團隊依此方向出發，對本期研究對象之臺鐵與高鐵找尋適合案例。	同意。相關案例將持續與鐵道局討論。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
	2.臺鐵案例依訪談與新聞蒐整，知悉臺鐵花東縱谷地形地勢關係，「玉里=富里」段夏季高溫曾傳鋼軌異常情形，故採高溫鋼軌挫屈案例予以研析，將於期末報告中精進內容。	
5.鑒於氣候變遷調適涉及多個面向的複雜議題，建議可適度提升專案小組的層級，以利整合及協調相關工作。	鐵道調適指引執行要素 1-3 欲成立之「氣候變遷調適工作小組」即為委員建議之專案小組，擬依委員建議於期末報告精進說明應提升其層級，並由營運機構高階治理層級來統籌帶領。	同意。國外文獻均建議專案小組須具有決策之成員參與為妥。
臺灣省土木技師公會拱祥生理事		
1.為能更直觀理解其與氣候變遷的關聯，建議研究團隊考慮將「氣候變遷」直接納入主題標題中。	研究標題係依契約內容訂定，修改標題涉及契約變更課題，尚祈委員理解包涵。	同意。
2.為提升閱讀便利性，建議研究團隊於文獻回顧內文中，加註文獻發表年份。	擬依委員建議，於文獻回顧內文適當加註年份，增加易讀性。	同意。
3.報告書 P.2-11 之圖 2.6 較為模糊，請研究團隊於期末報告時再予修正。	期末報告將重製圖 2.6。	同意。
4.報告書 P.2-48 之 TCFD 翻譯，建議研究團隊完整引述原文，並以「氣候變遷財務揭露」取代「氣候相關財務揭露」。	TCFD(Task Force on Climate-related Financial Disclosures）全文於報告 P.1-2 內呈現，有關其翻譯名詞係依循政府機關（如環境部、經濟部、金管會、國科會）、鐵道營運與一般企業機構（如台灣高鐵、台積電）之用法，尚祈委員理解包涵。	同意。
5.請研究團隊補充說明氣候影響驅動因素（CID）類別的分類方式，並建議關注高頻率氣候危害及收集各鐵道營運機構之歷史氣候事件統計資料，做為分類及	報告 P.2-2 內呈現有 IPCC AR6 之陸地相關 CID 分類，同時亦於鐵道營運機構請益時，向其洽詢受氣候衝擊最嚴重的危害項目，另亦將國內外受衝擊之調適選項彙整於附錄五	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
調適參考依據。	內供參考。	
6.針對簡報 P.4，建議以「邊坡滑動」取代「滑坡」。	擬依委員建議於期末簡報中調整為台灣使用之專業用語。	同意。
7.為避免混淆，請研究團隊說明「鐵道系統」的涵蓋範疇，及其是否包含捷運系統。	1.「鐵道」系統包括有「鐵路」與「捷運」兩系統，本研究研擬之「鐵道調適指引架構」，其適用範圍包含整體之「鐵路」與「捷運」系統。 2.承上，本計畫今年優先發展「鐵道調適指引架構」之「鐵路」系統調適指引內容，並以城際鐵路之「高鐵與臺鐵」為對象範圍進行研析。	同意。
交通部綜合規劃司		
1.鑒於公路系統調適指引係於環境部《氣候變遷風險評估作業準則》發布前公布，其內容是否能對應作業準則？倘若有需調整或補強之處，未來是否有機會進行修正？請研究團隊補充說明。	1.「公路系統調適指引」聚焦於規劃階段，依 ISO 14090 與 ISO 14091 規範架構發展，概念仍可符合作業準則 6 大核心構面。 2.本計畫「鐵道系統調適指引」採全生命週期發展，與公路調適指引研析團隊屬不同契約範疇，惟仍可於後續發展整體運輸系統調適指引時予以精進與融合。	同意。
2.考量許多議題具有跨領域特性，請研究團隊補充說明其調適及協作建議。	研究團隊已規劃於期末報告彙整跨領域調適課題之探討。	同意。
3.有關報告書 6.2 後續工作規劃，提及期末階段會針對「國家氣候變遷調適行動計畫（116-119 年）」提出維生基礎設施領域調適行動計畫之發展建議，請研究團隊協助研議其建議，俾利後續計畫推動之參考。	遵照辦理，已規劃於期末階段研議相關發展建議供參考。	同意。
本所運輸能源及環境組		
1.針對報告書 P.2-2 之圖 2.1 及 P.3-4 之圖 3.2，建議研究團隊參酌 ISO 14090 系列標準，納入「先導規劃」之步驟，其工作內容包	本計畫於研擬鐵道系統調適指引架構時，已將委員建議前置作業納入構面 1「界定範疇」步驟中，三個執行要素分別為「1-1 調適評估範疇準	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
含界定保全對象、訂定目標、成立工作小組、設定時間範疇、確認利害關係者等前置作業，俾利指引使用者後續調適工作之推動。	備、1-2 調適評估範疇界定、1-3 氣候變遷調適工作小組等執行要素」，已涵蓋委員建議之先導規劃內容。	
2.報告書 P.2-2 已敘明至少需評估 1.5°C 及 2°C 之升溫情境，建議研究團隊再補充「倘需採用升溫超過 2°C 之高衝擊情境，建議可採用 3°C 或 4°C 之氣候推估情境，考量其發生機率，可優先參考 3°C 情境」之敘述。	遵照辦理，研究團隊透過運研所辦理之氣候調適系列課程與講師群交換意見，綜整共識為避免低估氣候衝擊，常採保守方式來評估，擬於期末階段改採 GWL 3°C 或 4°C 之氣候情境進行評估。	同意。
3.有關研究團隊初步研擬鐵道系統調適指引之章節架構，其架構尚屬合理，惟考量本年度計畫係針對高鐵與臺鐵所擬之調適指引架構，建議研究團隊再深入探討其與其他運輸系統之差異性。	將依委員建議，嘗試於期末階段比較鐵道與公路系統之調適指引架構之差異性。	同意。
4.考量環境部《氣候變遷風險評估作業準則》已於 114 年 7 月 16 日正式發布，針對報告書中仍於其名稱後標註「(草案)」之處，請研究團隊於期末報告時再予修正。	遵照辦理。	同意。
5.有關報告書第四章「鐵道系統調適指引研擬」之內容，建議說明如下： (1)根據 P.4-1 之表 4-1 所述，本計畫指引內容僅及於鐵道系統氣候變遷風險評估，對於後續調適策略研擬及調適策略之選擇，於期中報告似未著墨，期待團隊於期末報告時再予補述。 (2)有關 P.4-3~4-5 之名詞及定義，建議可參酌《氣候變遷因應	1.遵照辦理，期末階段將繼續發展完成。 2.遵照辦理。	同意。相關議題將於工作會議持續討論。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
法》、環境部「氣候變遷專有名詞手冊」等名詞定義，並輔以簡短易懂的案例說明，俾利基層人員更易瞭解本指引內容。		
(3)報告書 P.4-17 之表 4-3 所揭示界定範疇之工作包含：調適評估範疇準備、調適評估範疇界定、氣候變遷調適工作小組等。惟考量各調適計畫對於可容忍衝擊之定位不同，建議在界定範疇前，可先由調適機構訂定風險評估之目標與預期成果，以確認調適計畫可容忍的衝擊程度後，再進行後續範疇界定等相關工作。	3.研究團隊擬嘗試探討在「執行要素 1-1 調適評估範疇準備」前，由調適機構訂定風險評估目標與預期成果之可行性，待確認可忍受衝擊程度後再進行範疇界定。	
(4)有關報告書 P.4-19 敘明之保全對象，考量鐵道系統路線包含平面、地下及高架等不同型態，其遭遇之氣候驅動因子可能有所不同，爰建議可再進一步區分路線型態，俾利後續研擬相應之調適策略。	4.研究團隊擬嘗試區分平面、地下及高架等不同路線型態，並說明各型態面臨的氣候驅動因子差異，以利後續研擬相應的調適策略。	
(5)報告書 P.4-20 之圖 4.11、表 4-6 已敘明鐵道系統常遭遇之氣候驅動因子，惟其後續該注意之現況與未來推估指標似未著墨。因此，建議研究團隊可評估敘明相關評估指標，例如針對熱浪、寒流之類型，其後續蒐整之評估指標包含年平均溫度、月平均溫度、發生時間點/持續時間/規模等，俾利使用者可因地制宜選擇適合之指標進行風險評估。	5.遵照辦理，擬於期末報告補述委員建議。	
(6)考量本年度最主要之成果係	6.本計畫參考日本 JICA 於鐵道系	

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
撰擬鐵道調適指引(高鐵與臺鐵)，為利後續指引之落地應用，請研究團隊就「暴露度」及「脆弱度」之評估指標與評級方式能儘量多元且明確，俾利未來使用機構能因地制宜選擇合適指標及方便操作。	統之氣候變遷風險評估指標，已彙整於附錄四供鐵道機構能依自身系統特性與需求參採。	
6.針對報告書第五章研究案例之風險評估方式，係以疊圖方式盤點調適差距，惟使用方式係透過再處理後之資訊呈現。為利於未來使用者實際操作，請研究團隊於期末報告中補充說明相關再處理技術。	將於期末報告補充疊圖方法操作說明。	同意。
7.有關報告書部分敘明「危害」，部分則敘明「危害度」之情形，考量《氣候變遷因應法》已於第3條第3款明揭「危害」一詞，爰建議團隊能統一用語，以「危害」取代「危害度」。	研究團隊向災防中心NCDR請益後了解《氣候變遷因應法》採用「危害」及《氣候變遷風險評估作業準則》採用「危害度」之用法，兩者可依使用目的來區分與並存，分別為：欲表達氣候驅動因子時採「危害」一詞，若欲表達前述危害之程度，則採用「危害度」，擬將此區別補述於期末報告中。	同意。
8.報告書內容部分誤植部分，例如P.3-8 的表 3-之表名等，請研究團隊再審視並予修正。	遵照辦理。	同意。
主席結論		
1.對於研究團隊的努力表達肯定，為利後續調適指引的可操作性與易讀性，請團隊針對「暴露度」與「脆弱度」提出容易瞭解之案例輔助說明外，對於如何客觀的量化或半量化「暴露度」與「脆弱度」，以及多元呈現評估指標，俾利未來鐵道系統機關（構）能因地制宜的選擇及使用，再請團	1.謝謝主席肯定。 2.研究團隊將致力提供易於理解「暴露度」與「脆弱度」的案例說明，並補充量化或半量化的評估方法。 3.本研究於附錄四彙整日本 JICA 氣候變遷風險評估指標，供鐵道機構能依自身系統特性與需求參採。	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
隊努力。		
2.有關本案研究案例，建議洽鐵道局是否將高鐵延伸宜蘭或高鐵延伸屏東，納入調適指引演練對象。	考量定線資料成熟度，研究團隊規劃期末報告於高鐵之案例擬採北延宜蘭之計畫，並以強降雨為氣候危害因子進行案例演練。	同意。
3.經濟效益評估手冊已將工程減碳效益納入考量，惟調適效益是否亦可納入評估範疇，再請研究團隊提出相關建議。	調適之時間範疇同常採世紀中或世紀末進行評估，同時效益值係實施調適方案能避免氣候衝擊造成的損失，與傳統經濟效益採每單位投資可得到的貨幣效益值不同，擬將前述觀點反映於期末報告未來建議章節中提出說明。	同意。
4.本計畫經徵詢審查委員意見，期中審查原則通過，請研究團隊依據委員及單位代表意見列表回應，並納入報告之修正。	遵照辦理。	同意。
5.後續請研究團隊依本所出版品印製相關規定撰寫報告，於期中報告後納入每月工作會議查核事項。	遵照辦理。	同意。

交通部運輸研究所合作研究計畫

□期中■期末報告處理情形

計畫名稱：鐵道系統強化調適能力之探討(2/3)-作為與指引(高鐵與臺鐵)

執行廠商：財團法人中興工程顧問社

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
國立成功大學交通管理科學系暨電信管理研究所鄭永祥教授		
1.臺鐵調適案例演練中，衝擊評估方法是參考英國伯明罕大學CRVA半定量的操作流程，可否說明以半定量方法進行風險評估的優勢以及可能的限制？請補充說明。	英國伯明罕大學CRVA半定量操作流程之優勢係於資料數值未明確時，仍可進行評估並協助調適選項之擬定，而其限制為評估精確度不及定量方法，且結果易受專家意見影響。	同意。
2.高鐵調適案例演練現況風險評估中，由於資料空間尺度的限制，在5公里網格下宜蘭站僅落於一個網格範圍內，所以本案例未將暴露度進行等級劃分，請說明這樣子的資料限 制對於風險判讀可能會哪些 偏誤的情況？請補充說明。	本計畫參考日本JICA的操作方式，僅針對危害度與脆弱度進行分析，評估暴露對象在此危害脆弱度下的風險變化。由於未將暴露度進行等級劃分，無法呈現暴露程度的細部差異，可能導致相對高暴露或相對低暴露區域的風險判讀不夠精確。	同意。
3.高鐵調適案演練綜整決策裡面的調適選項：只有強調聯外道路的排水設計，是否有其他具體的調適選項說明？請補充說明。	1.為便於說明及考量指引篇幅，本案例僅擇一調適選項作為示範說明。在實務操作上，建議先行彙整潛在調適選項，並邀集利害關係者共同討論，以辨識並篩選出最合適的調適選項。 2.針對強降雨造成之淹水危害，本研究已將可參考之調適選項彙整於「鐵路系統調適指引（附冊）」之「附錄C 氣候變遷調適選項彙整表」，提供相關機關（構）參採。	同意。
4.本計畫結論建議提出跨系統 的溝通協調機制，因為氣候變 遷影響多部門與跨中央及地 方政府層級，鐵路系統又具有跨區的	1.研究團隊擬依審查當日各位委員之建議與共識，將「跨單位工作小組」改為「跨單位行政機制」。 2.針對鐵路系統跨域權責問題，建	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
特性,是否可具體建 議:如何由中央及地方不同機 關產生跨單位的工作小組來 建立快速預警及反應的跨域 協調機制？請補充說明。	議由鐵道機構提報潛在問題及需協助事項至中央層級討論，再由主責單位統籌,以掌握複合、連動式風險,全盤了解多機構、多重災害間的交互關聯性。	
5.本計畫建議鐵路系統機關（構）可以本身需求彈性調整指引內容,發展自己本身的適用的模型及資料庫,可否初步就臺鐵跟高鐵的個案進行資料庫、氣候變遷調適模型工具的具體建議？請補充說明。	研究團隊擬於報告書 5.2 節補充說明： 1.資料庫：為能進一步量化氣候危害對鐵路系統之衝擊（如營運損失等），建議建置氣候危害資料庫，蒐集危害事件發生當下之天氣條件、事故紀錄及各項損失資料，做為風險評估及調適選項研擬之參考。 2.模型工具：為降低調適執行人員的作業負擔，建議研發相關輔助工具,以提升調適作業效率。例如建立網頁化之風險評估工具，讓執行單位透過勾選項目與輸入必要資訊,即 可自動產製簡易的風險評估結果，做為後續決策之參考。	同意。有關模型及資料庫等推動方式，請團隊於下一期計畫持續蒐整。
逢甲大學運輸與物流學系劉霈教授		
1.本次報告無論在各項議題均確實考量，並於報告中詳實說明，整體而言報告相當完整,個人敬表認同之意。	謝謝委員的肯定。	同意。
2.報告中引用大量國際文獻並頻繁使用縮寫,報告中首次出現時已提供全名,並於後續採縮寫呈現，對不熟悉議題讀者 可能造成理解困難，須回溯前文查找。建議在適當位置重申縮寫原意,提升文本清晰度與可讀性。	本計畫於「附錄一 縮寫對照表」彙整各名詞之中英文縮寫及其縮寫原意，提供讀者對照報告書內文。	同意。
3.圖表說明建議用全稱或中文名稱以利閱讀，如表 2-9「各 CID	遵照辦理，依委員建議調整表 2-9 標題為「各氣候衝擊驅動因子對鐵	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
對鐵道系統之衝擊彙整表」建議以「各氣候衝擊驅動因子對鐵道系統之衝擊彙整表」，或加註呈現全稱便於讀者閱讀。	道系統之衝擊彙整表」。	
4.附錄八 P.3-6 圖 3-5 所示流程建基在假設可行性研究階段成果穩定且不變，惟各階段執行單位不同，執行年期亦可能存在落差，若僅依此假設，後續規劃恐有風險。建議自綜合規劃階段起，各階段均納入「前期氣候變遷風險評估檢核」，重新檢核氣候風險與調適策略是否需調整，以確保流程能及時調整並維持一致性。	本計畫參考運研所「公路系統規劃階段氣候變遷調適指引」，該指引建議於可行性研究階段，初步評估潛在氣候變遷風險；綜合規劃階段，則針對可研評估結果之中度風險以上者，進行氣候變遷風險評估。為使鐵路系統調適指引能與先前研究架構及方向一致，本計畫建議維持原案，尚祈委 員諒察。	同意。本計畫原則以《氣候變遷風險評估作業準則》進行相關風險評級，倘因執行單位、執行年期不同而有殘餘風險，將依委員意見檢核流程合理性，或於營運期間透過替代方案降低調式差距。
5.附錄八第五章之內容旁徵博引並提供案例，惟整體偏原則性論述，較難確保軌道主管機關同仁能明確理解具體操作方向。建議重新檢視內容安排與論述方式，並考慮增設一章撰寫範例，以提升指引性與實務可操作性。	1.依委員建議精簡「鐵路系統調適指引（附冊）」之各章節內容，另研究團隊已與運研所確認，後續本研究報告書與指引將分別刊印成冊，俾利鐵路機關（構）閱讀與使用。 2.本計畫於「鐵路系統調適指引（附冊）」之「附錄 A 鐵路系統調適案例演練」中，透過臺高鐵案例演練，示範調適構面操作方法及流	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
	程，提供未來鐵路機關（構）執行時參考。	
6.高鐵與臺鐵為跨城際系統，與捷運相比，其韌性及調適作為與中央機關及各地方政府區域治理之關聯性較大，跨界面情形亦更為複雜，在風險評估時要考量之因素更複雜，建議可略作著墨討論。	遵照辦理，擬於報告書第三章之表 3-8 補充城際鐵路與都市捷運之組織界面；報告書 5.1 節補充臺鐵、高鐵跨界面之複雜性。	同意。
國家災害防救科技中心陳永明組長		
1.研究團隊於風險評估操作已 具完整性，且邏輯清晰。	謝謝委員的肯定。	同意。
2.考量《氣候變遷風險評估作業準則》係由《氣候變遷因應法》授權訂定，具有法律位階，爰 團隊針對風險評估之相關步 驟，仍請以該準則為主，後續 報告亦應以國家頒布之正式 文件為重要參考資料。	本計畫係依《氣候變遷風險評估作業準則》為核心，發展鐵路系統調適指引研究團隊於報告 2.2.1 節補充《氣候變遷風險評估作業準則》相關內容，以強化鐵路系統調適指引與作業準則之關聯性。	同意。本計畫之鐵道系統調適指引將以《氣候變遷風險評估作業準則》為核心，納入風險評估及調適指引之參據。
3.建議報告書第 2 章，可於結語處呈現我國整體調適架構與 軌道專業指引整合，以國家主 要政策、方法學，融入軌道專 業倡議或指引後，研擬後續細 部操作內容，以做為本報告指 引架構之參考依據。	遵照辦理。	同意。
4.有關指引「界定範疇」，過去多以參考外部專家意見為優先，惟《氣候變遷風險評估作業準則》強調業務機構內部實務人員之	本計畫於「鐵路系統調適指引（附冊）」之 4.1 節中，補充鐵路系統機關（構）應邀集利害關係者，共同界定調適範疇。研究團隊依委員建	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
意見，嗣經機構內部確認主要議題後，再將相關議題點透過外部專家協助轉換為衝擊鏈、適宜之評估指標與方法，建議團隊可將此項納入指引。	議於前述章節中進一步強調內部意見在界定範疇之重要性。	
5.執行風險評估時，危害、暴露度與脆弱度並非必須以空間圖方式呈現，若資料為均值或無空間差異時，凸顯現況與未來之數值改變以呈現調適差距即可；承上，若資料有空間差異（如某段路線的疏散方式較特殊），則可採空間風險圖說的方式呈現則較妥適。	研究團隊擬於「鐵道系統調 適指引（附冊）」之 4.2 及 4.3 節，補充說明空間風險圖之應用情境，以供鐵路系統機關（構）參考。	同意。
6.有關高鐵案例，DR.A 平台所提供之模擬尺度較大，若關注之面向為單一站體或聯外道路範圍，則可使用更細部之淹水模擬，以凸顯現況與未來風 險差異。	遵照辦理，擬改採 DR.A 平台提供之網格 40m 資料，以呈現更細緻的分析結果。	同意。
交通部路政及道安司魏瑜專門委員		
1.本計畫蒐集國外標竿機構案例，並提出鐵道系統調適指 引，報告可謂相當完整。	謝謝委員的肯定。	同意。
2.報告書 P.3-36 第 3.3.4 節說明鐵路系統為跨區域型運輸系統，建議由中央層級領導工作小組，惟目前已有鐵公路聯防機制（包含臺鐵公司、公路局、農業部水保署、經濟部水利署與地方政府等），監測資料共享及通報機制，所提之建議與 目前作法具一致性；建議報告書中可改為建議補強行政機制方面之不足，以增強此面向之能力。	本計畫依審查當日各位委員之建議與共識，將「跨單位工作小組」改為「跨單位行政機制」，並調整相關建議內容。	同意。
3.本計畫提出鐵道全生命週期調適指引架構，建議後續朝易 操	本計畫旨在發展通用性指導方針，建議後續可依鐵路系統機關（構）	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
作方式精進，俾利鐵道局、臺鐵公司、高鐵公司等相關單位參考。	之特性及內部作業細節等，另案發展相關調適程序文件與手冊，作為各單位執行調適之參考依據。	
4.報告書 P.3-34 表 3-8 提及國內鐵道跨系統介面的關鍵組織，於河川治理方面，我國中央管河川由經濟部水利署及所屬各河川分署負責，縣市管河川由各縣市政府負責，若河川上游為野溪則治理權責會有所不同，如農業部水保署或林務局，爰此，請團隊酌修資產擁有者欄位。	遵照辦理，擬依委員建議修訂表 3-8 之資產擁有者欄位。	同意。
5.報告書 P.3-35，鐵路系統與都市大眾運輸（如捷運或輕軌）亦會因極端氣候導致地下隧道淹水或地面電力受損，如納莉風災導致洪水淹沒臺北車站之地下月台與軌道，並損壞部分隧道，同時癱瘓臺鐵與臺北捷運，爰表 3-8 中請增列鐵路系統與都市捷運。	遵照辦理。	同意。
6.鐵路系統與地方捷運均已建立通報與防災機制，不僅限於臺北車站，其他地區（如高雄車站）亦均有此機制，爰表 3-9 請補充相關內容。	遵照辦理。	同意。
7.報告書 P.3-36，鐵道營運機構與農村水保單位，對於災害保全對象恐有不同，鐵道營運機構保全對象是乘客、列車及車站，而農村水保單位依《農業部農村發展及水土保持署土石流潛勢溪流及大規模崩塌潛勢區畫設作業要點》，保全對象係住戶，所以劃設土石流災害潛勢區，權責單位看法似有不同，爰建議跨系統溝	遵照辦理，擬依委員建議於報告書 3.3.4 節補充法規檢討建議事項。	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
通協調機制建議事項，宜增列相關法規檢討。		
8.附錄八 P.3-5，《鐵路平交道與環境改善建設及周邊土地開發計畫審查作業要點》流程圖中未含風險專章；其附件檢核表有財務分析專章之確認（非氣候變遷風險），建議該段語意可斟酌調整。	遵照辦理。	同意。
9.研究團隊若建議於「潛在氣候變遷風險說明表」中納入氣候變遷項目，建議明確敘明須因地制宜考量之因素及評估內容與項目有哪些，以避免未來各個計畫提報風險評估內容均相同而難以審查之情形。	遵照辦理，擬於「鐵路系統調適指引（附冊）」3.2 節，補充「潛在氣候變遷風險說明表」與「氣候變遷風險及調適選項評估表」之內容與項目。	同意。
交通部鐵道局謝金玫簡派正工程司		
1.本計畫蒐集回顧國際鐵道標竿機構案例，亦包含國內鐵路系統調適現況機制，並系統性地將這些經驗與國際標準做整合，具計畫深度及整體性。除本計畫相關之研究建議外，建議能發展可直接適用的程序文件。	1.謝謝委員的肯定。 2.本計畫旨在發展鐵道系統之調適指引，建議後續鐵路系統機關（構）可依其特性及內部作業細節等，另案發展相關調適程序文件與手冊，做為各單位執行調適之參考依據。	同意。
2.成本與效益分析方面，除加拿大電力領域案例外，建議多蒐集鐵道系統調適選項執行之 效益推估參考案例。有關高鐵 調適案例演練，簡報 P.37、38 評估未來風險為第 5 級，調適 選項為強化聯外道路排水設 計，經調適處理後是否就將風 險降為現況 2 級，案例分析建 議再強化。	1.前期研究已回顧 AECOM 協助澳洲墨爾本城市鐵路，評估高溫事件下各調適方法之成本效益，相關內容已於「鐵路系統調適指引（附冊）」5.1.2 節的參考案例中介紹。鑒於多數鐵路標竿文獻僅展示最終結果，未說明調適選項效益評估方法及過程，後續將持續蒐集可取得之公開文獻，納入指引參考案例。 2.因應外在環境不斷變化，在評估調適選項執行成效時，建議透過基線風險評估及循環性風險評估	同意。請團隊於下一期計畫持續蒐整。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
	方法，滾動檢討調適差距的變化情形。由於本案例旨在示範操作流程，未實際執行調適選項，故難以具體呈現調適選項的實際成效。本計畫係透過人為假設方式，示範調適選項成效評估過程，作為未來相關機關(構)推動實務作業時之參考。	
3.建議可再補充調適能力提升後之效益推估，比較 before vs. after。簡報 P.12 加拿大電力協會案例，其成本/效益門檻標準只需大於 0.5，恐不適用鐵道系統，建議補充英國 HS2 案例。	1.參考環境部調適交流會之建議，調適執行成效可藉由基線風險評估及循環性風險評估方法，滾動檢討調適差距變化，以掌握調適執行前後之差異。 2.北美案例係將社會保險概念納入調適之成本效益，惟我國法規要求公共工程成本效益比須大於 1，倘若欲於國內導入其概念，則須配合相關法規來調整。 3.在英國 HS2 氣候變遷調適的公開資料中，尚未看到明確的成本效益評估結果，研究團隊後續將持續蒐集可取得之公開文獻，納入指引參考案例。	同意。
4.鐵道調適指引架構係將全生命週期導入，報告書未見可研及綜規階段之「潛在氣候變遷風險說明表」、「氣候變遷風險及調適選項評估表」二表單，建議可請相關單位先行檢視該二表單內容之妥適性並獲有共識後，可以納入鐵路平交道審議作業要點要求遵循。	1.為使鐵路系統調適指引能與先前研究架構及方向一致，本計畫參考運研所「公路系統規劃階段氣候變遷調適指引」之建議，發展「潛在氣候變遷風險說明表」與「氣候變遷風險及調適選項評估表」。 2.擬依委員建議於「鐵路系統調適指引(附冊)」3.2 節補充兩表之內容與項目。	同意。
5.設計階段依 HS2 案例，要求所有設計單位與建造承包廠商皆須提交變遷調適與韌性報告，建	英國於 2008 年訂定《氣候變遷法》，並要求基礎設施與公共工程的機構，要定期編制報告說明其在氣候	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
議補充說明該機制是否適用我國鐵道工程。	變遷的調適進展與成效。若未來我國欲效法落實，建議宜採由上而下的推動模式，即由國家推動法規之修訂後，再由機關（構）則依規範推動氣候風險評估與調適作業的報告。	
6.報告書 P.3-19 提及 HS2 要求所有設計單位與建造承包廠商，皆需提交氣候變遷調適與韌性報告之作法，請團隊評估並補充說明是否可納入指引內，若此作為於我國亦可行，建議納入報告中作為未來可落實至工程中要求設計、建造單位提出相關報告之依據。	英國要求基礎設施與公共工程相關機構提交調適報告的作法，係基於英國氣候變遷法之權力，本研究擬於報告書 5.2 節提出相關說明，建議透過上位法規之修訂，由上而下的方式，使鐵道機關（構）得依法規要求設計、建造單位提交相關報告。	同意。
7.指引內容，基於全生命週期各階段規劃精細度不同、辦理機關（單位）亦不同，要能落實 運用，建議就各階段所涉作業 細則依 3W1H（Who、When、What、How）再細緻化，若有 各階段之工作小組機制，亦請 就該階段之工作重點、組成等（或可採既有機制）補充。另 就指引內容架構，建議將參考 案例另附於指引條文後，俾便 閱讀及運用。	1.擬依委員建議，嘗試於「鐵路系統調適指引（附冊）」第參章，透過 3W1H 方式描述各階段所涉及之作業內容及調適機制。 2.參考國內外調適指引的撰寫方式，多數會將指引條文搭配相關參考案例，提供讀者參考。本研擬強化指引條文及參考案例間之描述，俾利閱讀與使用。	同意。
8.附錄 A 鐵路系統調適案例演練中，考量危害脆弱影響範圍除路線段外，也可能發生在車站，車站受暴露影響者將不只列車上旅客量，恐亦包含車站進出量，建議「暴露度」採旅客通過量之文字酌作調整。	依據環境部調適交流會與專家訪談之建議，氣候風險評估宜針對所分析之問題點，選用合適之評估指標。以臺鐵案例而言，係以路段鋼軌挫屈做為分析主軸，受影響對象為通過該路線段之旅客，故選用旅客通過量作為暴露度指標。	同意。
臺中捷運股份有限公司朱來順總經理		
1.本計畫之目的係撰擬鐵道調適	報告書第四章係說明調適指引各章	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
指引，建議於報告 P.4-4「4.2 鐵道系統調適指引架構」增加鐵道系統調適選項研擬的實質內容。	節規劃，有關調適選項研擬之內容，本研究已於「鐵路系統調適指引（附冊）」之「伍、鐵路系統調適選項研擬與推動」中說明。	
2.指引附錄 A 之 P.A-34，實際影響軌道強度之因素眾多，計畫中評估指標單以無碴道床與道碴道床區分，同時未來風險亦不會單純僅受旅客量影響，評估指標仍有待討論的空間，請團隊再予補充說明。	1.營運機構實務執行時，宜依委員建議納入各項可能影響風險之因素，同時亦可參考英國伯明罕大學提出 CRVA 之半定量操作方式，將多項指標彙整為綜合指標，以呈現整體風險評估結果。 2.本案例旨在示範整體操作流程，為使案例清楚易懂，分析內容有適度簡化，未全面納入所有可能的影響因素，尚祈委員諒察。	同意。本案例係屬演示案例，相關評估指標具多元性，將於未來指引內容予以呈現。
3.目前鐵道機構間皆有相互支援機制，請補充說明報告書 5.1 結論之中央指導跨單位工作小組，處理之重點為何（如應如何組建）。	本計畫依審查當日各位委員之建議與共識，將「跨單位工作小組」改為「跨單位行政機制」，並調整相關建議內容。	同意。
4.指引內容廣泛且不易閱讀，請研究團隊研議改善，期待本指引可讓使用者快速理解應如何執行，對調適選項研擬、判斷與執行應可快速掌握。	研究團隊擬精簡「鐵路系統調適指引（附冊）」之各章節內容，另已與運研所確認，後續本研究報告書與指引將分別刊印成冊，俾利鐵路機關（構）閱讀與使用。	同意。
5.建議指引中可包含類似美國 VSAT 之平台與檢核表工具，使操作者更清楚理解應如何執行。	本計畫於報告書 5.2 節提出相關建議，後續運研所可另案建議方向推動調適工具研發。	同意。
交通部鐵道局		
1.指引附冊第參章之圖 3.5 中，規劃團隊似乎須承擔較大責任與工作，惟高鐵延伸宜蘭案中調適重點係於設計與施工階段執行，且營運維護階段中定義之統籌單位定義尚不明確，建議針對各階段工作說明應由何種專業背景之人員做引導，增加實務之可	1.本計畫參考國際標竿調適案例，多建議於規劃設計階段優先評估氣候變遷風險，並依評估結果研擬調適選項。為使本指引能與國際調適發展方向一致，本計畫擬維持原案規劃，尚祈委員諒察。 2.遵照辦理，擬於「鐵路系統調適指引（附冊）」第參章補充說明各階	同意。鐵道系統調適指引將以《氣候變遷風險評估作業準則》為核心，進

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
依循性。	段調適工作應具哪些專業背景之人員引導。	行風險評估、調適策略研擬與推動。
2.請團隊補充說明國際是否有減碳指引與調適指引合併之案例。	本計畫綜觀國際標竿機構之減碳與調適指引與案例，發現兩者雖有部分重疊,但仍屬不同領域各自發展。倘若欲加以整合，建議可於設計方案中同時考慮減碳及調適議題，能有助於提升鐵路系統之韌性，亦可實現減碳目標。	同意。
3.高鐵延伸宜蘭案之調適作業仍進行中，建議本計畫於辦理 115 年期計畫時,可持續納入高鐵進行探討，不限於捷運與輕軌，使計畫成果更加完整。	研究團隊擬依本計畫各階段的研究規劃，於 115 年期計畫中彙編鐵道系統調適指引，並滾動調整臺鐵、高鐵案例內容，使其更易落地操作與理解。	同意。
國營臺灣鐵路股份有限公司		
1.對臺鐵公司而言，風險評估因素較為複雜，建議指引內容有關風險因素可更明確且具體，使操作上更易理解。	本計畫於「鐵路系統調適 指引（附冊）」之「附錄 B 氣 候變遷風險評估指標彙整 表」中，彙整氣候變遷風險組 成因子之評估指標,作為研擬評估指標時之參考。	同意。
2.成本效益方面，建議對於調適可減少損失之效益，明確訂出數值，俾利操作時可清楚呈現評估成果。	1.考量地區特性、環境條件及執行時間等多重因素，即便採用相同調適選項，其實際效益仍可能因條件差異而有所不同，故難以訂定明確數值，尚祈委員諒察。 2.本計畫於「鐵路系統調適指引（附冊）」5.1.2 節之參考案例，補充說明《能源產業因應氣候變遷調適策略規劃指引》針對調適效益之評估方式，提供鐵路系統機關（構）參考。	同意。
台灣高速鐵路股份有限公司		
1.建議指引宜精簡化,使相關單位於執行時可更易著手，明確理解	遵照辦理，擬精簡「鐵路系統調適指引（附冊）」各章節內容。另研究	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
應執行之事項。	團隊已與運研所確認，報告書與指引將分別刊印成冊，俾利鐵路系統機關（構）閱讀與使用。	
2.報告書第三章 P.3-7 及附錄八 P.2-28 有關治理之內容，台灣高鐵董事會設有「公司治理暨提名委員會」，經理部門設有總經理擔任主席之「公司治理推動委員會」…；台灣高鐵業於 2024 年將「公司治理暨提名委員會」更名為「永續發展暨提名委員會」，原「公司治理暨提名委員會」轄下之「公司治理推動委員會」更名為「永續發展推動委員會」，請團隊參考並調整報告內容。	遵照辦理。	同意。
3.附錄八 P.3-8 鐵路系統調適指引中，營運維護階段之調適作業建議氣候變遷調適應融入鐵路安全管理、資產管理，應於圖 3.7 中哪個階段融入，使鐵路系統在安全管理及資產管理可進行調適作為，請團隊補充說明。	氣候危害對鐵路系統之衝擊可歸納為人員死傷、財損及環境破壞三大類，其中人員死傷主要涉及安全管理，而財損則與資產管理密切相關。基此，建議在安全管理、資產管理之風險評估階段中，納入氣候變遷調適思維，評估未來氣候變遷情境下人員死傷風險與資產毀損程度，進而擬定相應之調適策略，以強化整體鐵路韌性。	同意。
本所運輸能源及環境組		
1.第三年期雖著重於捷運與輕軌，但將會綜整過去二年期之成果，彙編為鐵道系統之調適指引，故明年度仍可延續討論高鐵案例，惟方向係調整現有案例使其更易落地操作與理解。	研究團隊依本計畫期程規劃，將持續滾動檢討調適指引，俾利鐵道系統機關（構）理解及應用。	同意。
2.操作手冊之編纂，應為各機關構對其內部細項考量後自行建立，因此本計畫仍為指引範疇，惟目前報告書形式較似研究報告，並	1.遵照辦理，擬於報告書 5.2 節中，建議後續可依鐵路系統機關（構）之特性及內部作業細節等，另案發展相關調適程序文件與手冊。	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
非易閱讀之指引形式，請研究團隊研議整理與改善，建議國際案例或文獻篇幅可縮減，優先呈現指引步驟。	2.遵照辦理，擬依委員建議精簡「鐵路系統調適指引（附冊）」第壹章及第貳章之內容。	
3.報告書 5.2 節有關團隊建議未來發展氣候變遷調適模型、資料庫及工具部分，因尚缺乏後續推動之內容與建置資料庫之效益，請團隊再予補充敘明。	為便於鐵路系統機關（構）能量化氣候危害所造成之衝擊，建議透過建置氣候危害資料庫，蒐整事件發生當下之天氣條件、事故紀錄及各項損失資料，作為風險評估及調適選項研擬之參考，相關內容擬補充說明於報告書 5.2 節。	同意。
4.附錄 A 鐵路系統調適案例演練，一、臺鐵案例，5-2 調適執行成效及推動期程評估內容，建議補充說明執行調適選項前後，調適差距與可容忍風險 比較敘述。	在評估調適差距時，建議透過基線風險評估及循環性風險評估方法，滾動檢討調適差距的變化情形。由於本案例旨在示範操作流程，未實際執行調適選項，故本計畫係透過人為假設，示範調適差距與可容忍風險評估過程，作為未來相關機關（構）推動實務作業時之參考。	同意。
5.附錄 A 鐵路系統調適案例演練，二、高鐵案例，建議補充說明規劃階段之 5.推動或執行調適選項與 6.檢討或修正調適選項相關內容。	根據鐵路系統興建工程的全生命週期規劃，規劃階段聚焦氣候變遷風險評估及研擬相應調適選項（即調適構面 1~4）；其後由施工興建廠商落實設計內容（即對應「5.推動或執行調適選項」）；最後，由營運維護單位將可改進之方向回饋給規劃設計單位，做為未來設計與決策的參考依據（即對應「6.檢討或修正調適選項」）。	同意。
6.附錄八有關調適指引，其內容陳述之體例似較偏向於研究報告之形式，與期待以技術指引之呈現方式有別。請研究團隊參酌本所公路系統調適指引之體例酌予修正，除提升指引之可讀性與可操作性之外，亦利提供鐵道系	遵照辦理，本計畫參考運研所「公路系統規劃階段氣候變遷調適指引」，精簡及強化本計畫發展之鐵路系統調適指引內容。	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
統權責機關（構)及民間工程顧問公司之參採應用。		
7.對於附錄八調適指引各章節所摘錄之案例，主要係要輔佐說明該步驟如何操作，惟團隊目前所摘錄之案例與該步驟之連結度似乎不高，例如 P.4- 20 係以澳洲-AECOM 為高溫指標案例，並呈現該案例之流程圖，惟該案例最終將換算淨現值，與本計畫指引之內容有別。爰請團隊再檢視所選之案例是否具妥適性，且與本指引之步驟相呼應。	為協助鐵路系統機關（構）了解如何透過門檻值建立評估指標，本研究引用 AECOM 高溫案例進行說明，為完整呈現其操作程序，故保留原案例之完整分析流程圖。本計畫於「鐵路系統調適指引（附冊)」4.2.1 節中，強化說明選用此案例之目的及其可供參考之內容，以利讀者閱讀及避免誤解。	同意。
8.依據附錄八 P.4-6 所陳鐵道系統之 CID 包含六類型，惟在附錄 A 之評估指標界定（P.附 A-14）僅將高溫挫屈、水淹軌面做為評估指標，其中似遺漏其他 CID 風險評估過程。請團隊以定量或半定量方式補充敘明其他 CID 之風險評估結果。	鑒於現行可掌握之未來危害資料僅限於溫度及降雨，對於其他 CID，本研究擬採質性分析方式，初步界定其對保全對象可能之衝擊，而詳細風險評估過程仍以高溫挫屈、水淹軌面為主，尚祈委員諒察。	同意，有關風險評估之先期作業，將依《氣候變遷風險評估作業準則》之規定，先由機關構之內部人員組成工作小組，透過半定量方式擇選中高風險驅動因子後，再賡續辦理後續風險評估事宜。。
9.附錄八之推動或執行調適選項	遵照辦理，擬依委員建議於「鐵路	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
（P.5-15），請團隊研議將調適計畫涉及性平、環境正義等議題，納入執行成效之評估選項。	系統調適指引（附冊）」5.1.2 節及 5.3.1 節，補充說明調適選項研擬及執行成果檢討時，宜將性平、環境正義等議題納入考量。	
10.報告書部分內容似有誤植，如附 1-1 縮寫對照表 CCVT 應為 CCTV、附錄八鐵路系統調適 指引 P.2-12 英國鐵路網公司應 為英國鐵路公司，建議團隊審視是否有誤植之處。	1.遵照辦理，擬將「CCVT」修正為「CCTV」。 2.鑒於歐洲鐵道系統普遍採車路分離管理，有分為路網公司與車公司，另英國亦有前國營鐵路公司 British Rail 中文即譯為英國鐵路公司。為避免名詞混淆，本計畫維持原案，將 Network Rail 譯為英國鐵路網公司，尚祈委員諒察。	同意。
主席結論		
1.附錄八之調適指引內容仍較偏向研究報告，請研究團隊依據委員意見，並參考本所發布之公路調適指引，將形式與內容再予修正，俾利後續有關單位可實際應用。	1.研究團隊擬參考運研所「公路系統規劃階段氣候變遷調適指引」，精簡及強化本研究發展之鐵路系統調適指引內容。 2.研究團隊已與運研所確認，後續報告書與指引將分別刊印成冊，俾利鐵路系統機關（構）閱讀與使用。	同意。
2.請團隊就指引所援引之案例，再予檢視與指引所揭步驟是否扣合，並儘量強化與指引所列步驟之關聯性。	遵照辦理，研究團隊擬強化相關論述，俾利讀者閱讀及避免誤解。	同意。
3.有關委員所提中央層級領導工作小組之建議，請研究團隊再就文字敘述研議調整，便於後續操作。	遵照辦理，擬依委員建議將「工作小組」修改為「行政機制」，並調整報告書之對應內容。	同意。
4.鐵路審查要點目前未有氣候風險專章與說明表之課題，對於後續建議可於本計畫中提出。	遵照辦理，擬於報告書 5.2 節提出鐵路審查要點納入氣候變遷調適之建議。	同意。
5.計畫經徵詢審查委員意見，期末審查原則通過。請研究團隊就本日與會專家與單位之發言及書	遵照辦理。	同意。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位回覆及處理情形	主辦單位審查意見
面意見，依本所「審查意見處理情形表」格式逐項填報說明回應辦理情形，並納入報告修正，於114年12月23日（二）前提送期末報告修正定稿。		

附錄三 成果海報

鐵道系統強化調適能力之探討(2/3)—作為與指引(高鐵與臺鐵)

財團法人中興工程顧問社　交通部運輸研究所

緣起

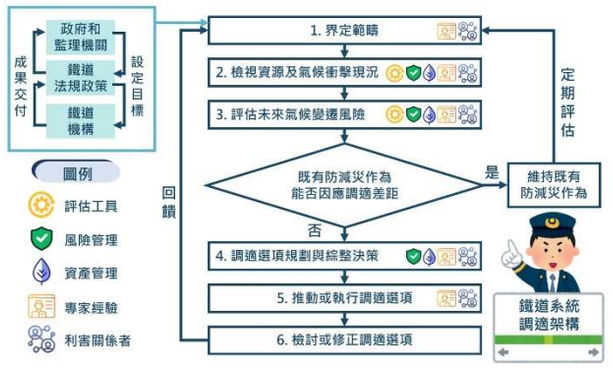
鐵道系統為我國的關鍵基礎設施之一，其特性為具高沉沒成本、完工後不易大幅調整路線，需要以長期及永續角度進行整體性規劃與維運，面對極端天氣與氣候事件的壓力下，鐵道系統不僅要在正常天候中維持正常營運，更要提升其韌性，使其在受異常天氣衝擊後，能儘速恢復並提供安全、可靠且有效率的服務。

本計畫為三年期計畫，本年度(2025年)研究延續前期(2024年)研究成果，除發展**鐵道系統(含高鐵、臺鐵、捷運及輕軌)調適架構**，並進一步**研擬鐵路系統(含高鐵、臺鐵)調適指引及提出跨系統溝通協調機制建議**，未來(2026年)亦發展捷運系統(含捷運、輕軌)調適指引，以協助鐵道系統機關(構)落地執行調適作業，提升鐵道系統整體韌性。

鐵道系統調適指引章節架構

前期研究成果



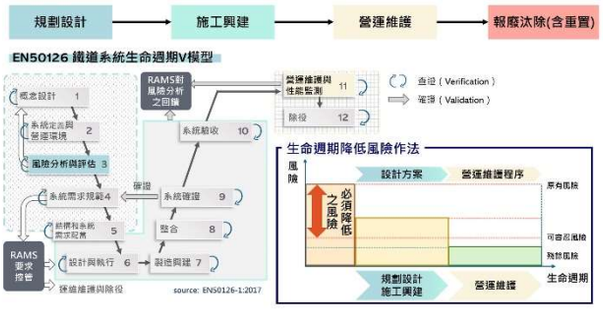


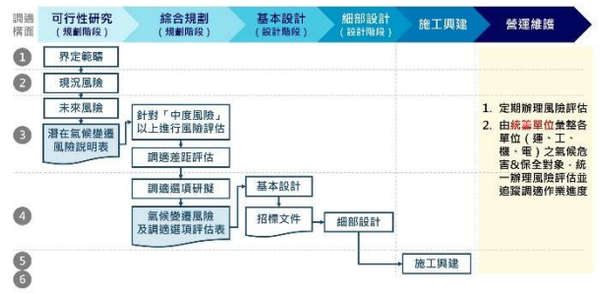
鐵道系統調適指引架構



鐵路系統調適指引&案例演練

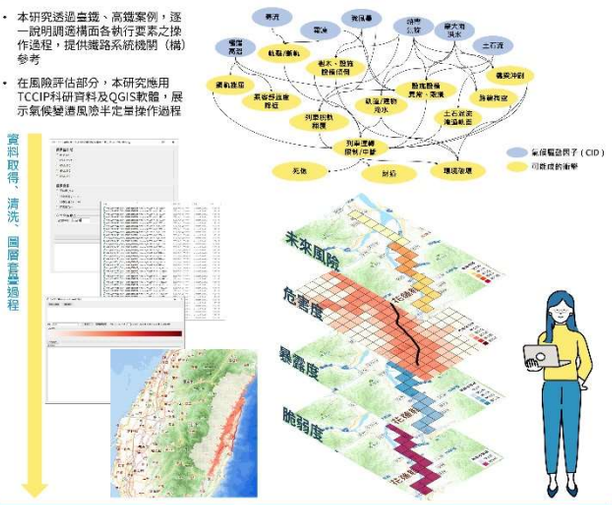
考量鐵路系統全生命週期，發展通用型調適指引





透過案例演練，具體呈現調適指引操作步驟

- 本研究透過臺鐵、高鐵案例，逐一說明調適構面各執行要素之操作過程，提供鐵路系統機關（構）參考
- 在風險評估部分，本研究應用TCCIP科研資料及QGIS軟體，展示氣候變遷風險半定量操作過程



結論與建議



調適指引提供基本架構與原則 機關(構)可彈性調整

透過臺高鐵案例演練 提供操作方向參考

建議未來發展調適模型、資料庫等工具

附錄四 計畫簡報


交通部運輸研究所
Institute of Transportation, MOTC
鐵道系統
強化調適能力之探討-作為與指引(高鐵與臺鐵)
成果簡報
財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.


簡報大綱
壹 氣候調適內涵
貳 鐵道系統調適架構
參 標竿機構調適指引初探
肆 鐵道系統調適指引概要
伍 氣候變遷風險評估指引及案例演練
陸 調適選項研擬與推動指引及案例演練
2



Part1
氣候調適內涵

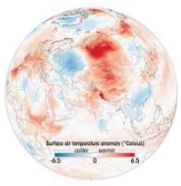
1-1 調適內涵
1-2 研究期程

3

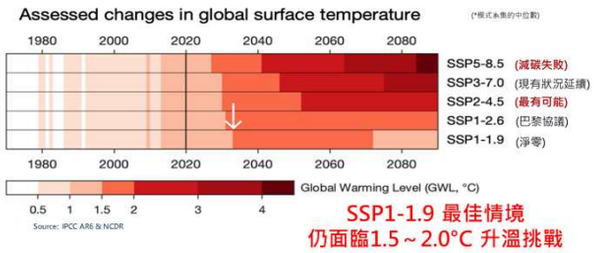
1-1 調適內涵-全球暖化趨勢



▼氣候變遷







SSP1-1.9 最佳情境
仍面臨1.5～2.0°C 升溫挑戰

▼ 鐵道系統衝擊案例









4

1-1 調適內涵-六何思維5W1H



Adaptation

Transportation * Rail



原因與目標

升溫衝擊、保護資產、
乘客安全、永續發展

調適主要內容

政策規劃、基礎設施、
營運程序、技術升級

調適方式

辨識危害、風險評估、
擬定方案、執行回饋

重點調適區域

易受洪水影響、極端高溫、
強風高危險…等地區

利害關係者

政府部門、監理機關、營運機構、社會大眾

應對時間

短期、世紀中、世紀末

1-2 研究期程-進展概要



第一年期 (2024)

- 蒐集鐵道標竿系統氣候變遷調適文獻
- 探討影響鐵道系統韌性強度因素
- 研提強化調適能力機制與方法

第二年期 (2025)

- 研擬鐵道系統調適指引架構
- 研析高鐵與臺鐵強化調適能力作為 & 指引內容
- 探討鐵路跨系統界面衝擊影響

第三年期 (2026)

- 研析捷運與輕軌強化調適能力作為 & 指引內容
- 探討捷運跨系統界面衝擊影響
- 完成鐵道系統調適指引 & 檢討運輸系統調適策略



Part2
鐵道系統調適架構

2-1 氣候變遷調適法規
2-2 UIC Rail Adapt
2-3 ISO14090系列標準
2-4 鐵道系統調適架構

2-1 氣候變遷調適法規



氣候變遷因應法

- 簡稱「氣候法」
- 2023年1月10日三讀通過，同年2月15日正式生效
- 明定氣候變遷調適、氣候變遷風險定義，其中，**氣候變遷風險**由「**危害、暴露度、脆弱度**」組成

氣候變遷風險評估作業準則

- 於2025年7月16日發布
- 明訂**氣候變遷風險評估**原則與方法，並以風險評估結果，作為**研擬、推動調適方案及策略**之依據
- 可視實務需求及作業環境特性，**彈性調整**六大調適構面之**執行順序**



source: 氣候變遷風險評估作業準則

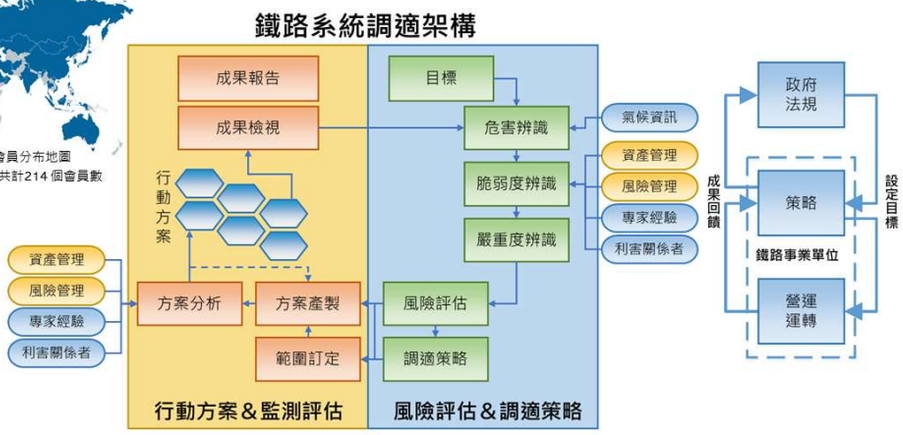
2-2 UIC Rail Adapt-鐵路調適指南







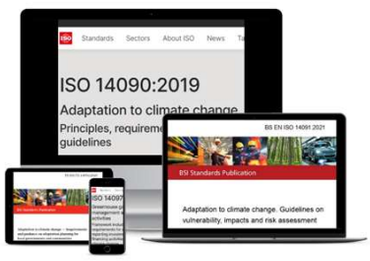
source: UIC, 2017



2-3 ISO14090系列標準-調適規範



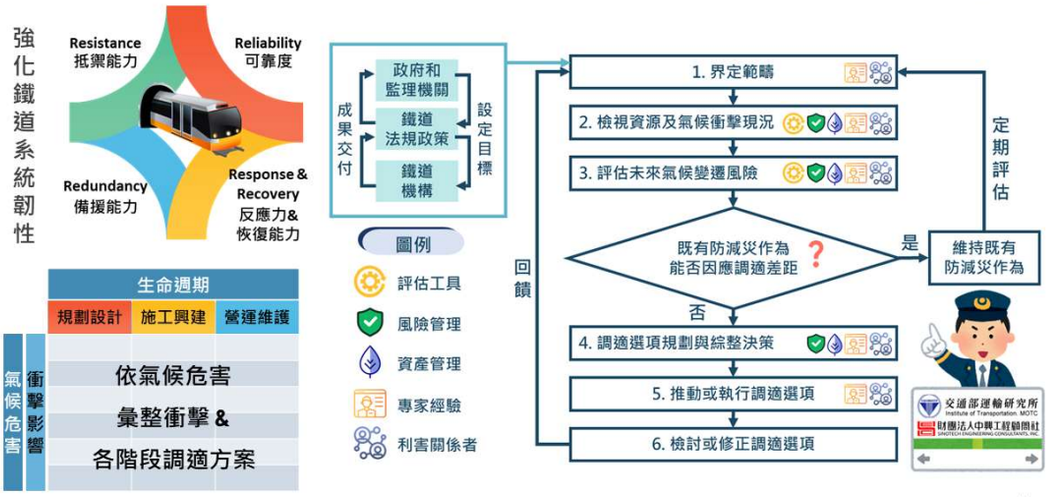






2-4 鐵道系統調適架構





11



Part3
標竿機構調適指引初探

3-1 我國公路&能源調適指引
3-2 國際電力&水務調適指引
3-3 系統跨界面衝擊與協調機制

12

3-1 我國公路&能源調適指引-公路系統



- 公路系統聚焦於規劃階段

公路規劃	氣候變遷調適作業 前置作業	作業程序及方法 參考 ISO 14091相關作業	作業成果
資料蒐集分析 子階段一	氣候變遷情境與氣候相關資料蒐集與分析	回顧過往氣候型態 → 未來氣候變遷情境設定 → 氣候相關資料蒐集與分析	依五項問題彙整產出「資料蒐集分析資訊綜理表」
方案研擬與評估 子階段二	初步評估影響調適能力的氣候風險因素	指認氣候風險因素 → 初步評估影響調適能力氣候風險因素	可研報告 產出「潛在氣候變遷風險說明表」 基本要求： • 分析尺度：路網/路廊 • 結構化方式進行風險評估與因應策略
工程研究與評估 子階段三	氣候變遷風險評估	執行氣候變遷風險評估 → 回報評估結果	綜規報告 產出「氣候變遷風險評估表」 基本要求： • 分析尺度：路段 • 前階段中度風險以上區位，進行關鍵組件風險評估，提出調適策略/措施



Source:
TW 交通部運研所, 2024

3-1 我國公路&能源調適指引-能源產業



- 能源產業關注全生命週期
  - 與國家氣候變遷調適架構-兩階段六構面相呼應
- 成本效益分析
  - 採等額年值法
  - 效益項：可視投入調適投資避免的資產損失



調適效益現值（等額年值）

$$= \text{新購設施成本} \times \frac{\text{折現率} \times (1+\text{折現率})^{\text{使用年限}}}{(1+\text{折現率})^{\text{使用年限}} - 1}$$

避免設施損失之調適效益期望值

=調適效益現值×原設施剩餘年限災害發生機率

經濟部能源署
Energy Administration,
Ministry of Economic Affairs



Source: TW 經濟部能源署, 2023



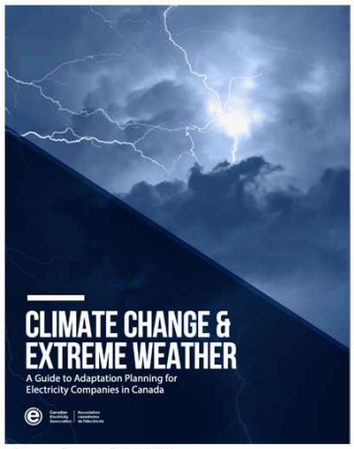
Source: TW 經濟部能源署, 2024

3-2 國際電力&水務調適指引-加拿大電力協會

（Canadian Electricity Association, CEA）

- 電力指引
  - 蒐集成員實務案例，編撰調適指引，透過8步驟，協助構建調適計畫
- 氣候風險模型-結合 **IPCC & ISO**
  - 先依據 **IPCC** 架構辨識風險來源
  - 再採用 **ISO31000** 方法進行風險評估
- 成本效益分析
  - 效益項目：直接/間接衝擊損失的減少、成本節省、韌性提升

Canadian Electricity Association | Association canadienne de l'électricité



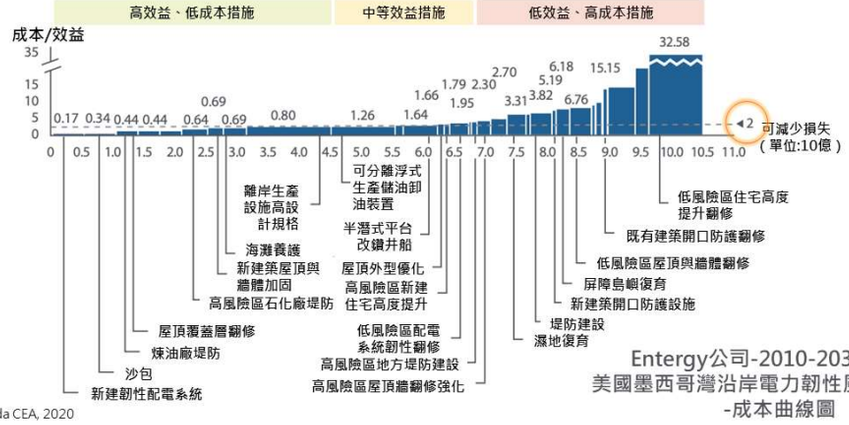
Source: Canada CEA, 2020

3-2 國際電力&水務調適指引-加拿大電力協會

（Canadian Electricity Association, CEA）

- 調適選項評估方式-成本曲線法

Canadian Electricity Association | Association canadienne de l'électricité



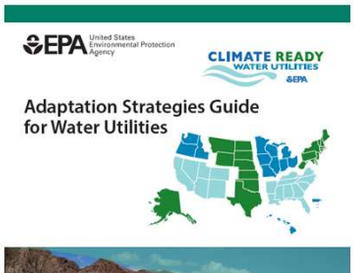
Entergy公司-2010-2030年期間
美國墨西哥灣沿岸電力韌性風險穩定措施
-成本曲線圖

Source: Canada CEA, 2020

3-2 國際電力&水務調適指引-美國環保署水務設施

（Environment Protection Agency, EPA）

- 水務事業指引
  - 協助了解氣候危害與衝擊
    - 乾旱/水污染/洪水/生態變化/需求變化
  - 5步驟評估氣候風險與調適選項
- 氣候風險模型
  - 採 **IPCC AR5** 氣候風險定義
    - **風險 = 危害 × 暴露度 × 脆弱度**
- 提供操作支援工具
  - 脆弱度評估、調適選項表、成本效益評估





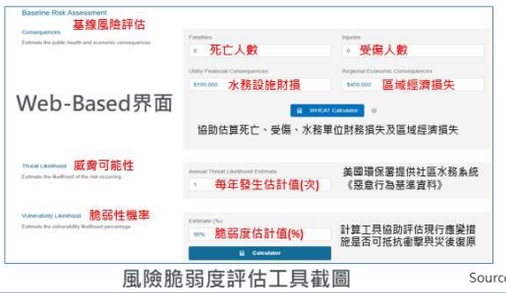
Source: US EPA, 2015

3-2 國際電力&水務調適指引-美國環保署水務設施

（Environment Protection Agency, EPA）

- 工具-脆弱度評估 & 檢核表
  - 辨識與篩選關鍵水務設施弱點與威脅 、提供調適選項





風險脆弱度評估工具截圖

Checklist 乾旱情境調適選項檢核表

規劃階段

✓	PLANNING (continued)	COST
✓	Use hydrologic models to project runoff and incorporate model results during water supply planning.	$
	Conduct climate change impacts and adaptation training for personnel.	$
	Participate in community planning and regional collaborations related to climate change adaptation.	$-$$

營運階段

✓	OPERATIONAL STRATEGIES	COST
✓	Monitor current weather conditions, including precipitation and temperature.	$
	Monitor surface water conditions, including river discharge and snowmelt.	$
✓	Finance and facilitate systems to recycle water, including use of greywater in homes and businesses.	$$-$$$
	Practice conjunctive use (i.e., optimal use of surface water and groundwater).	$$-$$$
	Reduce agricultural and irrigation water demand by working with irrigators to install advanced equipment (e.g., drip or other micro-irrigation systems with weather-linked controls).	$$-$$$
✓	Practice demand management through communication to public on water conservation actions.	$
✓	Practice water conservation and demand management through water metering, leak detection and water loss monitoring, rebates for water conserving appliances/toilets and/or rainwater harvesting tanks.	$-$$

初期建設長期重置階段

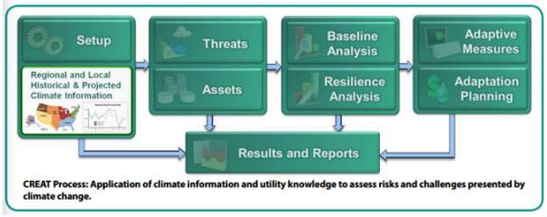
✓	CAPITAL/INFRASTRUCTURE STRATEGIES	COST
	Acquire and manage ecosystems, such as forested watersheds, vegetation strips and wetlands, to regulate runoff.	$$$
	Build infrastructure needed for aquifer storage and recovery, either for seasonal storage or longer-term water banking, (e.g., recharge canals, recovery wells).	$$$
	Diversify options to complement current water supply, including recycled water, desalination, conjunctive use and stormwater capture.	$$$
✓	Expand current resources by developing regional water connections to allow for water trading in times of service disruption or shortage.	$$-$$$
✓	Increase water storage capacity, including silt removal to expand capacity at existing reservoirs and construction of new reservoirs and/or dams.	$$-$$$
	Increase or modify treatment capabilities to address treatment needs of marginal water quality in new sources.	$$$

Source: US EPA, 2015

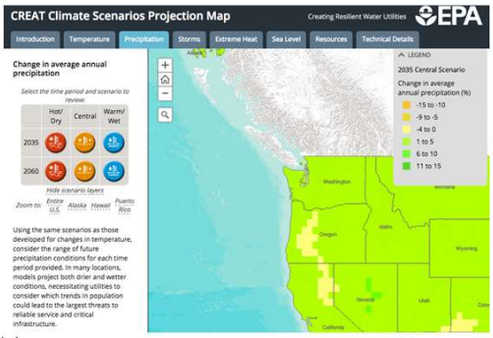
3-2 國際電力&水務調適指引-美國環保署水務設施（Environment Protection Agency, EPA）

- 工具-氣候韌性及認知評估
  - 結合GIS/氣候/財務資料，模擬氣候情境&調適策略對風險值與財務影響，可透過成本效益協助決策排序

Climate Resilience Evaluation and Awareness Tool, CREAT



氣候韌性評估及認知工具-CREAT操作流程



Source: US Adaptation Clearinghouse Website

CREAT-操作界面截圖

3-3 系統跨界面衝擊與協調機制

- 英國倫敦交通局（Transport for London, TfL）
  - 推動「倫敦陸地運輸之氣候變遷與相互依存風險」計畫，辨識與氣候相依存之風險

危害	說明	組織間介面
地表淹水	由極端降雨/風暴事件和不堪負荷的都市排水系統引起	都市排水系統和連結網路、電信網絡、電網-變電站資產和電纜、土木工程結構
極端高溫	對電網容量及電力資產（如變電站與電纜）造成壓力	電網韌性、電網-變電站資產和電纜、電網-線型基礎設施、電信網路
暴風雨	直接衝擊電力系統設備，進而對鐵公路所需的電力供應造成連鎖影響	電網-線型基礎設施、電信網路、植被與綠色基礎設施
河川洪水	由強降雨引起，對鐵公路資產、土木建築、電信資產等造成衝擊	洪水風險管理資產、電信網路、土木工程結構、電網-變電站資產和電纜
潮汐洪水	由風暴潮/極端潮汐、海平面上升以及泰晤士河防洪閘洪水溢出所引起，對鐵公路資產造成衝擊	洪水風險管理資產、電網-變電站資產和電纜、土木工程結構
山崩土石流	強降雨或乾旱影響土地所有者所管理的河岸與斜坡，進而對鐵路與公路資產造成連鎖影響	河岸和邊坡
乾旱與野火	乾旱導致植被死亡並提高野火風險，對植被及綠色基礎設施造成直接衝擊，同時亦間接影響都市排水系統與變電站等資產	植被與綠色基礎設施、城市排水系統和連結網路電網-變電站資產和電纜

source: UK, Transport for London, TfL, 2023

3-3 系統跨界面衝擊與協調機制



- 英國HS2-跨領域/界面依存風險
  - 參與倫敦交通局的跨機構風險專案
    - 辨識與其他基礎設施之關鍵相依性
    - 外部風險可能引發連鎖效應
  - 影響最大、最關鍵的相依性來源
    - 電力、都市排水、通訊
  - 強化跨領域/界面之協同平台
    - 導入跨領域氣候變遷演練
    - 強化跨系統應變機制

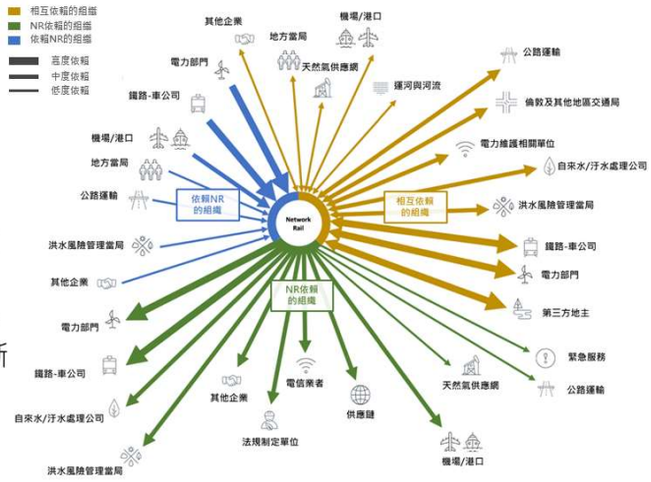


source: UK HS2 ARP4, 2024

3-3 系統跨界面衝擊與協調機制



- 英國 Network Rail
  - 找出潛在利害關係
    - 分為三類
      - 依賴NR的組織
      - NR依賴的組織
      - 與NR有相互依賴的組織
    - 研析若服務減少或中斷可能對彼此構成的風險
    - 線條粗細代表依賴程度多寡，亦代表服務減少/中斷之風險高低



source: UK NR, 2021



Part4
鐵道系統調適指引概要

4-1 調適指引發展藍圖
4-2 生命週期導入方式

23

4-1 調適指引發展藍圖



鐵道系統調適指引架構

指引章節

- 壹 導讀
  - 1.1 指引目的
  - 1.2 指引適用範疇及對象
  - 1.3 名詞定義
  - 1.4 全生命週期強化調適能力機制
- 貳 界定範疇
  - 2.1 調適評估範疇準備
  - 2.2 調適評估範疇界定
  - 2.3 氣候變遷調適行政機制
- 參 檢視氣候衝擊現況
  - 3.1 評估指標界定
  - 3.2 現況資源盤點
  - 3.3 衝擊評估方法規劃
  - 3.4 現況風險評估
- 肆 評估未來氣候變遷風險
  - 4.1 未來風險評估
  - 4.2 調適差距評估
- 伍 調適選項規劃與綜整決策
  - 5.1 調適選項規劃
  - 5.2 優先執行調適選項及推動期程
- 陸 推動調適選項
  - 6.1 調適執行成效及推動期程規劃
  - 6.2 調適執行成效及推動期程評估
- 柒 檢討或修正調適選項
  - 7.1 調適選項執行結果檢討
  - 7.2 風險評估及調適選項修正
- 捌 結語

作業細則

- 01 原則規範 依調適構面發展操作原則
- 02 注意事項 操作過程應注意事宜
- 03 支援文件 科學報告、指標清單等資料
- 04 執行證據 操作過程應留下之文件書表
- 05 對應條款 與準則或 ISO 架構對應條款
- 06 參考案例 摘錄國內外標竿案例

24

4-1 調適指引發展藍圖



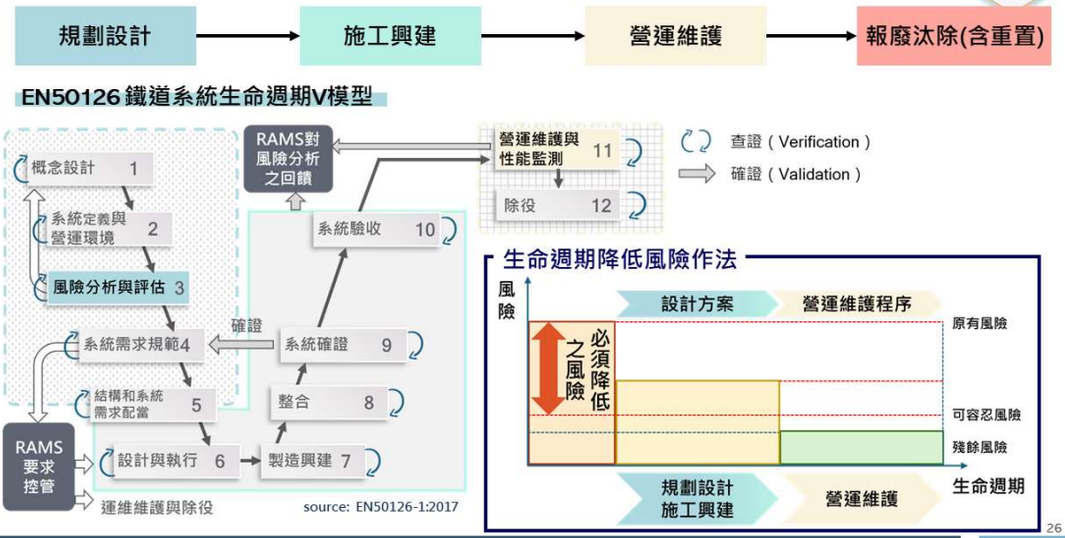
- 作業細則

鐵道系統調適指引**提供調適基本架構與原則**，機關（構）
可**依據自身需求彈性調整**，並發展適用之模型、資料庫等工具



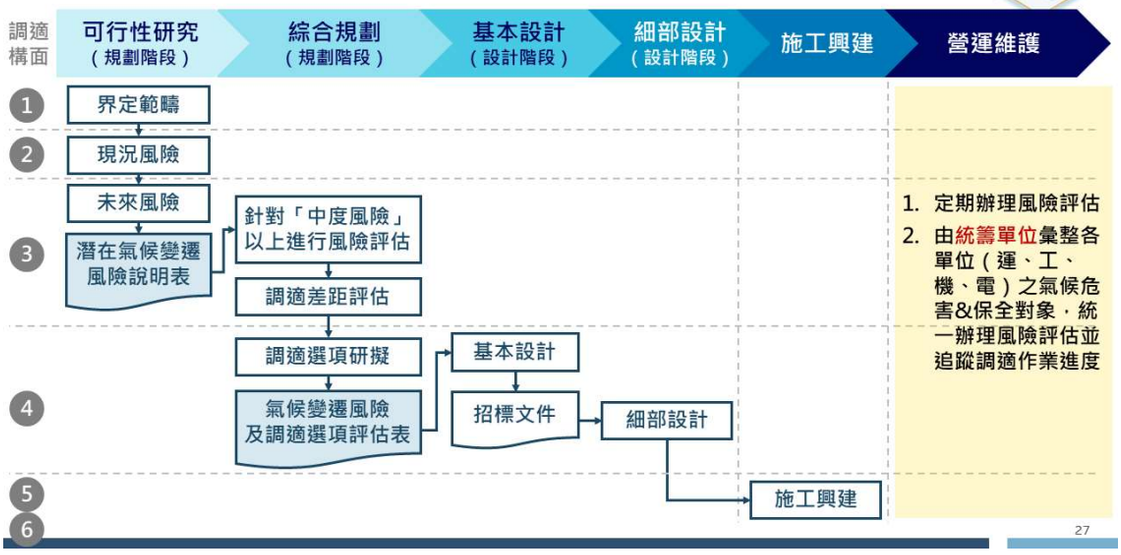
4-2 生命週期導入方式





4-2 生命週期導入方式





27



Part5
氣候變遷風險評估指引及案例演練

調適構面1-界定範疇
調適構面2-檢視資源及氣候衝擊現況
調適構面3-評估未來氣候變遷風險

28

調適構面 1 界定範疇



構面 | 執行要素 | 作業細則—原則規範

1. 界定範疇

1-1 調適評估範疇準備

- 1-1-1 組織得盤點**內、外部環境**，包含組織歷史氣候危害事件、國內外氣候變遷相關議題等
- 1-1-2 組織應確認**易受氣候變遷影響對象**、對應之業務範疇及權責機關
- 1-1-3 組織應評估易受氣候變遷影響對象之**氣候危害類型**、可能受影響之**時間、空間尺度及範圍**

1-2 調適評估範疇界定

- 1-2-1 組織得辨識易受氣候變遷影響對象暴露於氣候危害下之熱點時空範圍內，**可能受影響之利害關係者**
- 1-2-2 組織應**邀集內部實務人員、有關機關、學者、專家、民間團體**，共同界定評估範疇

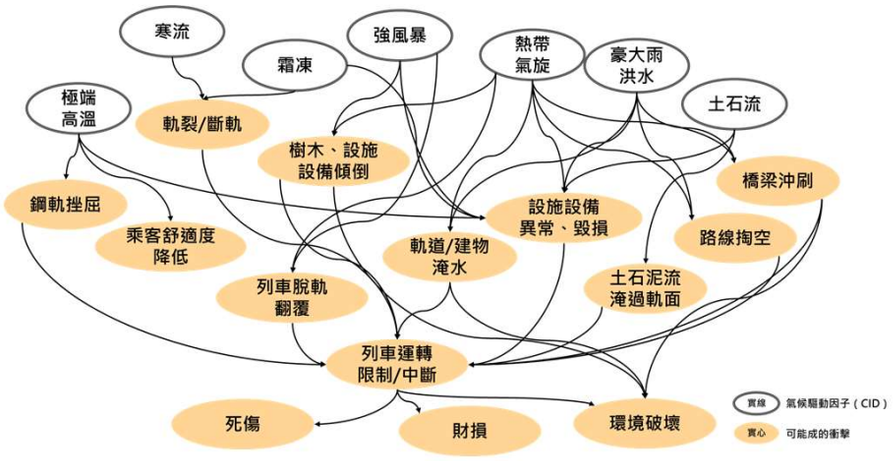
1-3 氣候變遷調適行政機制

- 1-3-1 氣候變遷調適行政機制宜由具**決策權**之人員領導
- 1-3-2 組織宜邀集**內部實務單位、鐵路系統跨界面之相關單位、外部專家學者**及**其他相關利害關係者**，設立氣候變遷調適行政機制
- 1-3-3 組織宜界定氣候變遷調適行政機制各單位之**權責**

調適構面 1 調適評估範疇準備



- 易受氣候變遷影響對象、對應之業務範疇及權責機關



調適構面 1 調適評估範疇準備



- 易受氣候變遷影響對象、對應之業務範疇及權責機關



調適構面 1 調適評估範疇界定



- 以高溫衝擊為例

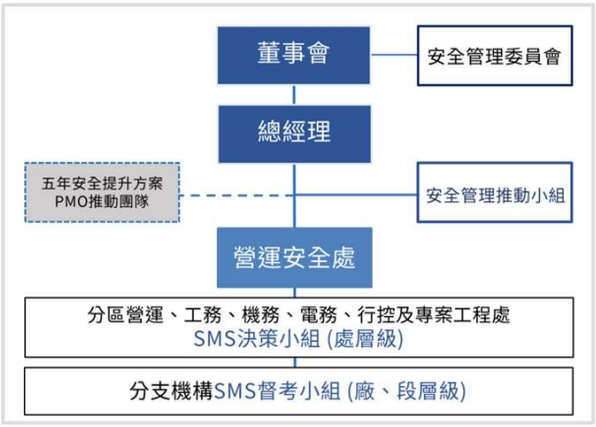


調適構面 1 氣候變遷調適行政機制



- 將調適議題融入現行安全管理組織為例
  - 由具決策權之領導者（例如副總級以上人員）帶領工作小組
  - 工作小組成員應具備：
    - 鐵路系統專業
    - 了解氣候變遷與其產生之氣候衝擊相關知識
- 建議可與安全管理、TCFD組織架構互相整合

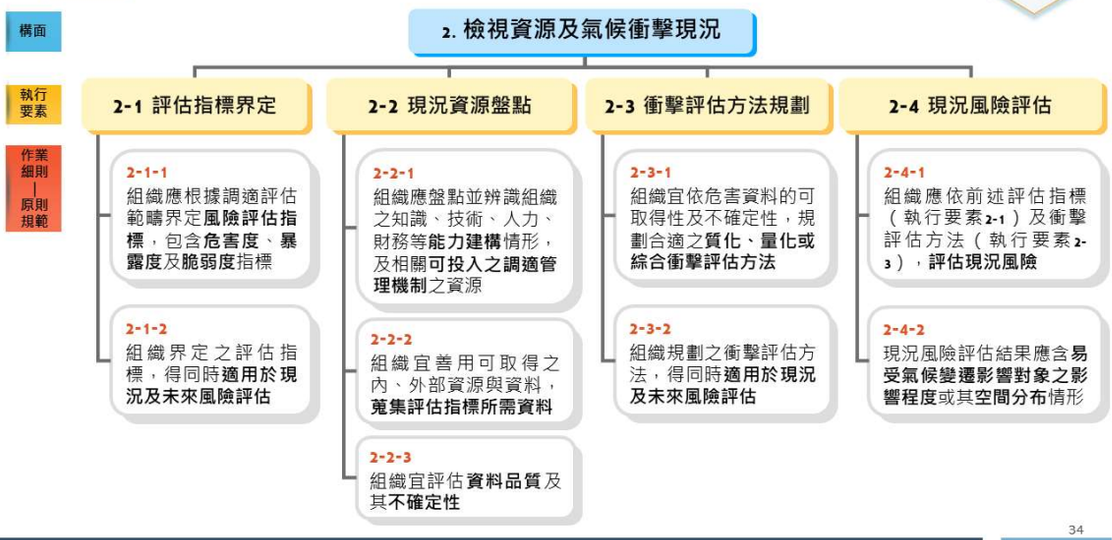
臺鐵公司安全管理組織架構



source: 臺鐵公司, 安全管理報告

調適構面 2 檢視資源及氣候衝擊現況





調適構面2 評估指標界定



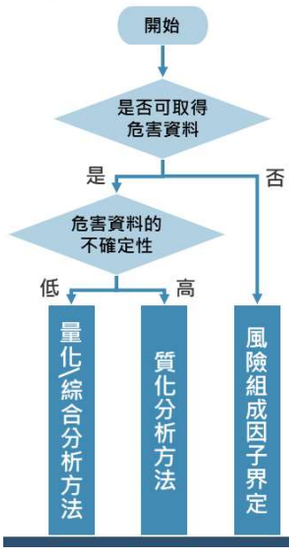
- 將氣候衝擊鏈轉換為評估指標

風險組成因子	評估指標	說明	時間尺度	空間尺度	現有及潛在資料來源
危害度	日最高溫超過36℃之總日數	由於軌溫約為氣溫的1.5~2倍，並考量曾發生**氣溫達36℃**而**軌溫升至63℃**之列車出軌事故，故採「36℃」作為門檻值	年	**玉里=富里 1km*1km**	TCCIP平臺
暴露度	旅客通過量	災害發生時，旅客通過量越多，表示潛在受影響人數及範圍越大			臺鐵運量資料
脆弱度（敏感程度）	道床型式	相較無碴道床，道碴軌道較容易發生挫屈			臺鐵道床現況資料

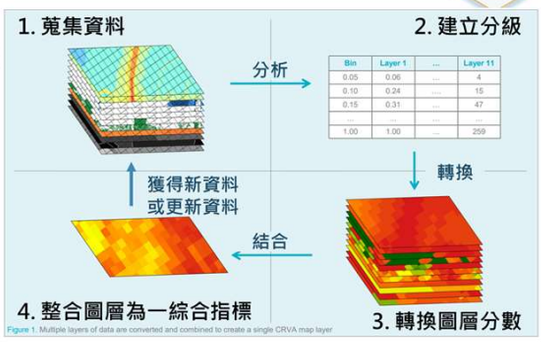
35

調適構面2 衝擊評估方法規劃





- 英國伯明罕大學-CRVA半定量操作流程



- 本案例處理作業流程

01 圖層網格劃分 1km×1km

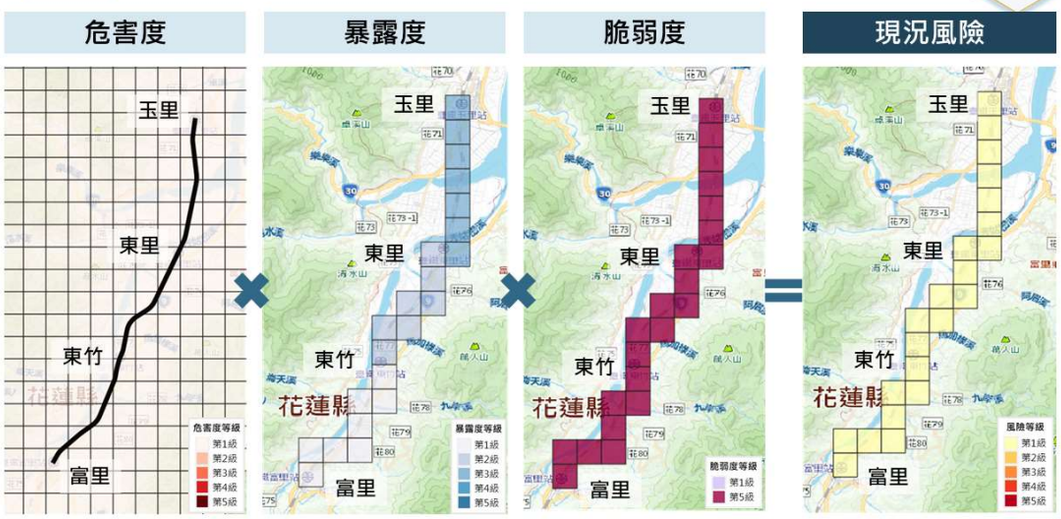
02 等距分級 最小1~最大5

03 各因子同權重 風險值=危害度×暴露度×脆弱度

36

調適構面2 現況風險評估





調適構面3 評估未來氣候變遷風險



構面

執行要素

作業細則—原則規範

3. 評估未來氣候變遷風險

3-1 未來風險評估

3-1-1
組織應蒐集**當期氣候變遷科學報告**，以及**最新國內外相關科研報告與建議**

3-1-2
組織應設定**調適應用情境**

3-1-3
組織應依前述評估指標（執行要素2-1）及衝擊評估方法（執行要素2-3），評估調適應用情境（原則規範3-1-2）下之**未來風險**

3-2 調適差距評估

3-2-1
組織應指認現況風險評估（執行要素2-4）與未來風險評估（執行要素3-1）結果之**差距**

3-2-2
組織得評估**既有防減災作為**是否能因應調適差距

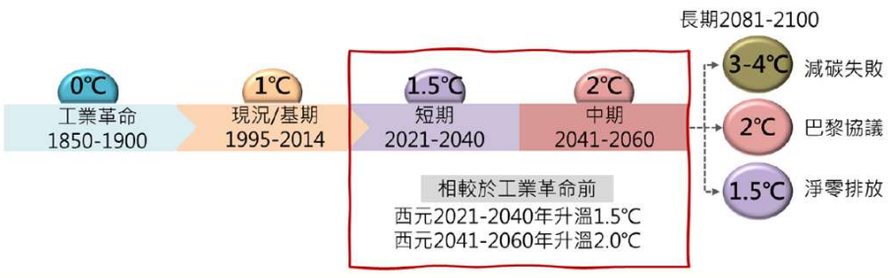
3-2-3
組織應**邀集相關利害關係者**共同評估調適差距，或指認高風險地區之合理性

調適構面3 未來風險評估



- 調適應用情境
  - 優先採GWL 1.5℃及GWL 2℃情境。
  - 若評估高衝擊情境，建議採用GWL 3℃或GWL 4℃情境。

調適科研平台建議: 第四期調適氣候情境維持本期設定

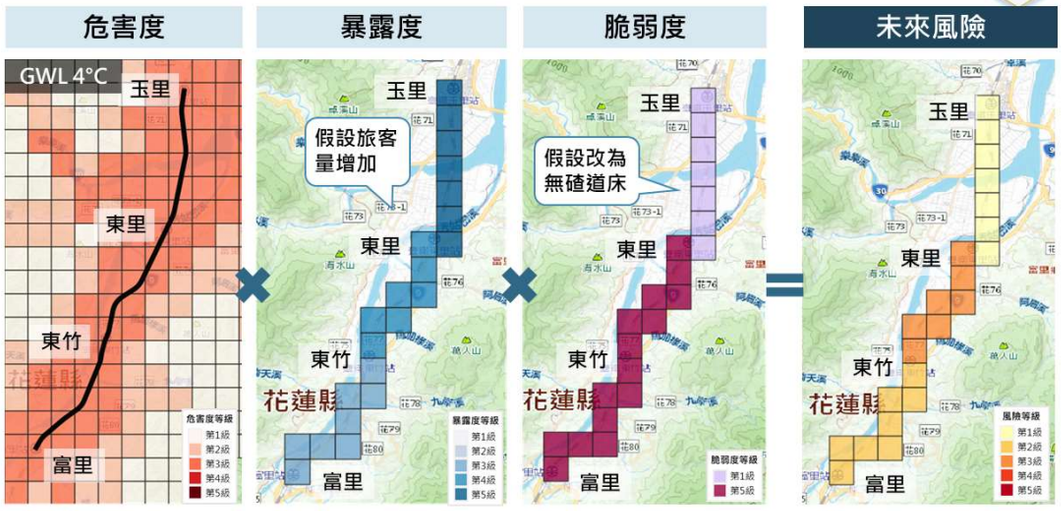


source: NCDR, 氣候變遷風險評估分享交流會簡報

39

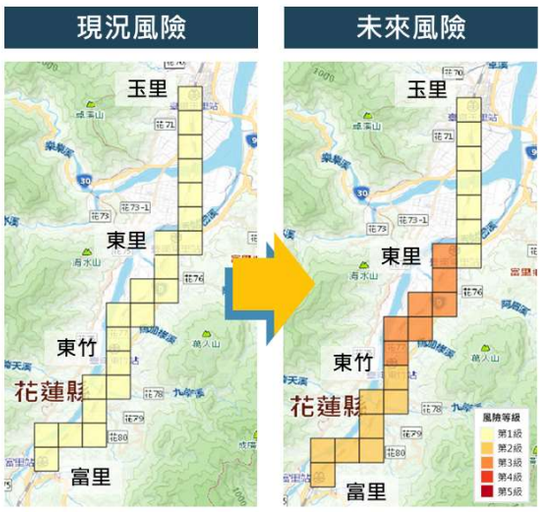
調適構面3 未來風險評估

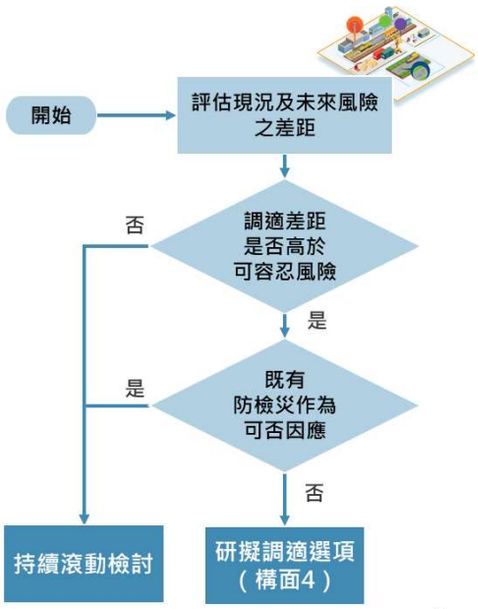




40

調適構面3 調適差距評估







Part6
調適選項研擬與推動指引及案例演練

調適構面4調適選項規劃與綜整決策
調適構面5-推動或執行調適選項
調適構面6-檢討或修正調適選項

調適構面4 調適選項規劃與綜整決策



構面

執行要素

作業細則｜原則規範

4. 調適選項規劃與綜整決策

4-1 調適選項規劃

4-1-1
組織得設定欲**降低調適差距之目標**

4-1-2
組織得依前述降低調適差距目標（原則規範**4-1-1**），**研擬調適選項**

4-2 優先執行調適選項及推動期程

4-2-1
組織得訂定調適選項評估項目及其評分標準，評估項目包含**有效性**、**可行性**、**可能之負面影響**及其**附加效益**

4-2-2
組織得依調適選項評估準則（原則規範**4-2-1**），評估**優先執行之調適選項及其推動期程**

4-2-3
組織得**參考有關機關**、**學者**、**專家及民間團體之意見**，作為調適選項規劃及綜整決策依據

調適構面4 調適選項規劃



未來風險



- 從暴露度、脆弱度指標發展調適選項
- 可透過文獻回顧、基於既有防減災措施、訪談等方式，列舉潛在調適選項

風險組成因子	評估指標	潛在調適選項
危害度	日最高溫超過36℃之年總日數	屬減緩範疇，故暫不探討相關減緩選項
暴露度	旅客通過量	提供替代運具服務、強化人員培訓與演練（以便迅速協助旅客疏散等）
脆弱度（敏感程度）	道床型式	改用無碴道床

調適構面4 優先執行調適選項及推動期程

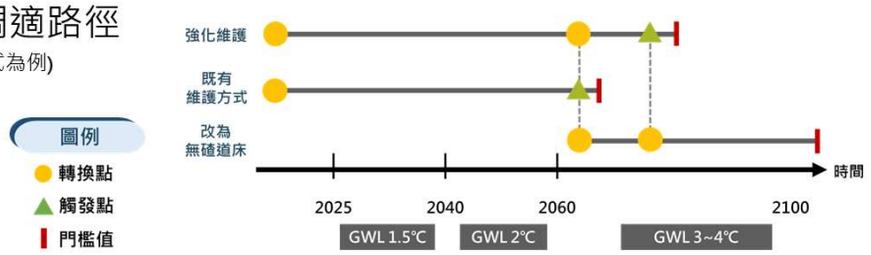


- 訂定調適選項評估項目及其評分標準

潛在調適選項	有效性	可行性	可能之負面影響	附加效益	綜合評分
改用無碴道床	高(3)	低(1)	中(2)	高(3)	2.25
強化替代運具服務	中(2)	高(3)	低(3)	高(3)	2.75
強化人員培訓與演練	中(2)	高(3)	低(3)	高(3)	2.75

- 制定調適路徑

(以道床型式為例)



調適構面5 推動或執行調適選項



構面 / 執行要素 / 作業細則｜原則規範

5. 推動或執行調適選項

5-1 調適執行成效及推動期程規劃

- **5-1-1** 組織得制定**明確可追蹤**的**調適計畫**
- **5-1-2** 組織得建立**量化評估指標**
- **5-1-3** 若無法建立量化評估指標（原則規範**5-1-2**），組織得透過**訪談相關團體**、**諮詢專家**等方式，協助檢視調適執行成效

5-2 調適執行成效及推動期程評估

- **5-2-1** 組織得定期評估調適選項**執行成效**
- **5-2-2** 組織得定期評估調適選項**推動期程**之**符合程度**

調適構面5 推動或執行調適選項



- 建立量化成效評估指標，或透過訪談等方式評估
- 文件化資訊紀錄紀錄**執行成效評估結果&推動期程監測結果**





執行成效指標

確定調適選項**已被實施**

推動期程指標

確定調適選項**按照規劃時程**推進

47

調適構面6 檢討或修正調適選項



構面

執行要素

作業細則—原則規範

6. 檢討或修正調適選項

6-1 調適選項執行結果檢討

- **6-1-1** 組織得檢視調適選項執行結果是否達到設定之**調適差距目標**
- **6-1-2** 組織得評估調適選項實施後，其潛在**正負面影響**及執行過程所遭遇之**調適障礙**
- **6-1-3** 組織得依所遭遇之調適障礙（原則規範6-1-2），提出**未來解決方案**

6-2 風險評估及調適選項修正

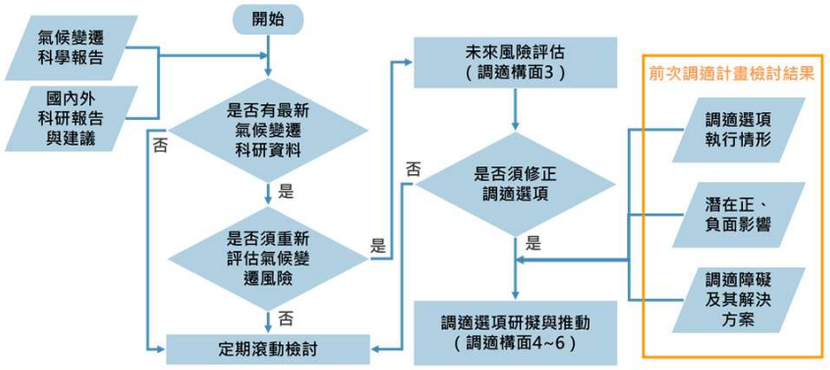
- **6-2-1** 組織得蒐集當期氣候變遷**科學報告**，以及最新國內外相關**科研報告與建議**
- **6-2-2** 組織得定期檢視是否須**重新評估氣候變遷風險**及**修正調適選項**

48

調適構面6 檢討或修正調適選項



- 定期評估調適差距降低情形
- 評估調適執行後之正負面影響、調適障礙
- 蒐集最新科研資料，滾動檢討評估結果



交通部運輸研究所
Institute of Transportation, MOTC

簡報結束
誠摯感謝

財團法人 中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

附錄五　縮寫對照表

中英文縮寫	說明
ADAP	Adaptation Decision-Making Assessment Process，調適決策評估程序
AECOM	AECOM Australia，澳洲 AECOM 公司
AMS	Asset Management System，資產管理系統
AR	Assessment Report，聯合國政府間氣候變遷專門委員會之評估報告
AR4	Fourth Assessment Report，聯合國政府間氣候變遷專門委員會第四次評估報告
AR5	Fifth Assessment Report，聯合國政府間氣候變遷專門委員會第五次評估報告
AR6	Sixth Assessment Report，聯合國政府間氣候變遷專門委員會第六次評估報告
ARISCC	Adaptation of Railway Infrastructure to Climate Change，鐵路基礎設施適應氣候變遷
ARP	Adaptation Reporting Power，調適報告能力書
ATC	Automatic Train Control System，自動列車控制系統
ATP	Automatic Train Protection，列車自動保護系統
BCM	Business Continuity Management，營運持續管理
BH-FRM	Boston Harbor Flood Risk Model，波士頓港灣洪水風險模型
CCA6Steps	Climate Adaptation 6 Steps，氣候調適演算法之氣候調適 6 步驟
CCARR	Climate Change Adaptation and Resilience Report，氣候變遷調適與韌性報告
CCTV	Closed-Circuit Television，閉路電視
CEA	Canadian Electricity Association，加拿大電力協會
CID	Climatic Impact-Driver，氣候影響驅動因子
CP	Control Period，英國 Network Rail 控制週期
CREAT	Climate Resilience Evaluation and Awareness Tool，美國國家環境保護局氣候韌性評估與認知工具
CSR	Corporate Social Responsibility，企業社會責任
DB	Deutsche Bahn，德國鐵路公司

中英文縮寫	說明
DRMS	Damage Report Management System，土木結構檢查和損壞報告管理系統
DWS	Disaster Warning Information System，天然災害告警系統
EPA	Environmental Protection Agency，美國國家環境保護局
ERM	Enterprise Risk Management，企業風險管理
ESG	Environmental, Social, Governance，環境保護、社會責任與公司治理
FAR	First Assessment Report，聯合國政府間氣候變遷專門委員會第一次評估報告
FBR	Fuzzy Bayesian Reasoning，模糊貝氏推論法
FHWA	Federal Highway Administration，美國聯邦公路總署
FRMCS	Future Railway Mobile Communication System，未來鐵路移動通信系統
FSB	Financial Stability Board，國際金融穩定委員會
FTA	Finnish Transport Agency，芬蘭交通局 Federal Transit Administration，美國聯邦大眾運輸署
G20	Group of Twenty，二十大工業國經濟合作論壇
GAM	Geotechnical Asset Management，大地資產管理系統
GCMs	Global Circulation Models，全球環流模式
GE	General Electric Company，美國奇異公司
GIS	Geographic Information System，地理資訊系統
GSM-R	Global System for Mobile Communications – Railway，鐵路通訊無線標準
GWL	Global Warming Level，全球暖化程度
HATTER	Harmonic Approach to Technological Transactions for Emergency Response，災害預防技術交易的諧波架構
HLS	High Level Structure，為國際標準組織（ISO）管理系統標準之高階架構要求
HS2	High Speed 2，英國 2 號高速鐵路
InSAR	Interferometric Synthetic Aperture Radar，干涉合成孔徑雷達成像
INTEROS	Integrated Train Communication Networks for Evolvable Railway Operation System，次世代列車控制系統

中英文縮寫	說明
IOT	Internet of Things，物聯網
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change，聯合國政府間氣候變遷專門委員會
ISO	International Organization for Standardization，國際標準化組織
ISO 14090	氣候變遷調適－相關原則、需求與指引
ISO 14091	氣候變遷調適－脆弱度、衝擊及風險評估指引
ISO 14092	針對地方政府及社區的調適工作提出規範及指引
ISO 14097	溫室氣體管理與相關活動－評估與報導氣候變遷相關投融資活動之原則及要求
ISO 31000	風險管理－原理及指導綱要
ISO 31010	風險管理－風險評估技術標準條文
ISO 55000	資產管理－概述、原則和術語
ISO 55001	資產管理－管理系統－要求
ISO 9001	品質管理系統－要求
JICA	Japan International Cooperation Agency，日本獨立行政法人國際協力機構
KRRI	Korea Railroad Research Institute，韓國鐵道研究院
LA Metro	Los Angeles County Metropolitan Transportation Authority，洛杉磯都會交通局
LTE-R	Long Term Evolution-Railway，鐵路寬頻移動通信系統
LUCRFR	London Underground Comprehensive Review of Flood Risk，倫敦地鐵洪水風險研究
MassDOT	Massachusetts Department of Transportation，美國麻薩諸塞州交通廳
MBTA	Massachusetts Bay Transportation Authority，麻薩諸塞灣交通局
MC-FRM	Massachusetts Coastal Flood Risk Model，麻薩諸塞州沿海洪水風險模型
MnDOT	Minnesota Department of Transportation，明尼蘇達州交通廳
NbS	Nature-based Solutions，自然為本的解決方案
NCDR	國家災害防救科技中心
NIC	National Infrastructure Commission，英國基礎設施委員會

中英文縮寫	說明
NR	Network Rail，英國鐵路公司
ÖBB	Österreichischen Bundesbahnen，奧地利聯邦鐵路
PBCRG	Performance-Based Climate Resilience Grant，績效式氣候韌性補助金
PdM	Predictive Maintenance，預測檢修
PFC	Particle Flow Code，顆粒流程序
PIANC	Permanent International Association of Navigation Congresses，世界水運基礎設施協會
PSM	Participatory Systems Mapping，參與式系統圖譜方法
PWDM	Passenger Weighted Delayed Minutes，旅客加權延誤分鐘數
RAMS	Reliability, Availability, Maintainability and Safety，可靠度、可用度、可維護度及安全性
RCP	Representative Concentration Pathway，代表濃度路徑
RERA	Resilient Railways，韌性鐵路
RSSB	Railway Safety and Standards Board，英國鐵路安全及標準委員會
RTRI	Railway Technical Research Institute，日本鐵道綜合技術研究所
SAMP	Strategy Asset Management Plan，策略性資產管理計畫
SAR	Second Assessment Report，聯合國政府間氣候變遷專門委員會第二次評估報告
SDG	Sustainable Development Goals，聯合國永續發展目標
SMS	Safety Management System，安全管理系統
SSP	Shared Socioeconomic Pathway，共享社會經濟路徑
SVP	Shared Vision Planning，共同願景計畫
TaiCCAT	Taiwan integrated research program on Climate Change Adaptation Technology，臺灣氣候變遷調適科技整合研究計畫
TAR	Third Assessment Report，聯合國政府間氣候變遷專門委員會第三次評估報告
TCCIP	Taiwan Climate Change Projection and Information Platform，國家科學及技術委員會成立臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台

中英文縮寫	說明
TCFD	Task Force on Climate Related Financial Disclosures，氣候相關財務揭露
TRaCCA	Tomorrow's Railway and Climate Change Adaptation，英國鐵路氣候變遷調適計畫
TSIS	Train Supervision Information System，台北捷運列車監督資訊系統
UIC	Union Internationale des Chemins de Fer（International Union of Railways），國際鐵路聯盟
UKCIP	UK Climate Impacts Programme，英國氣候變遷衝擊計畫
UNCDF	United Nations Capital Development Fund，聯合國資本發展基金
UNP	Union Pacific Corp，美國聯合太平洋公司貨運公司
URI	Utility Resilience Index，公用事業韌性指數
USGCRP	U.S. Global Change Research Program，美國全球變遷研究計畫
VAST	Vulnerability Assessment Scoring Tool，脆弱度評估評分工具
VSAT	Vulnerability Self-Assessment Tool，自我脆弱度評估工具
WI-FI	Wireless Fidelity，無線相容認證
WRCCA	Weather Resilience and Climate Change Adaptation，英國 Network Rail 天氣韌性與氣候變遷調適策略
台北捷運	臺北大眾捷運股份有限公司
台灣高鐵	台灣高速鐵路股份有限公司
氣候法	氣候變遷因應法
港鐵公司	香港鐵路有限公司
運研所	交通部運輸研究所