

113-039-6219
IOT-112-TAA006

運輸部門導入 ISO 14090 氣候變遷調適 系列標準之初步探討及因應建議



交通部運輸研究所

中華民國 113 年 10 月

113-039-6219
IOT-112-TAA006

運輸部門導入 ISO 14090 氣候變遷調適 系列標準之初步探討及因應建議

著者：賴宜弘、朱珮芸、鄒德傳

交通部運輸研究所

中華民國 113 年 10 月

運輸部門導入 ISO 14090 氣候變遷調適系列標準之初步探討及因應建議

著 者：賴宜弘、朱珮芸、鄒德傳

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 113 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 6 冊

定 價：非賣品

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

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。

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：運輸部門導入 ISO 14090 氣候變遷調適系列標準之初步探討及因應建議			
國際標準書號（或叢刊號）	政府出版品統一編號	運輸研究所出版品編號 113-039-6219	計畫編號 112-TAA006
本所主辦單位：運輸能源及環境組 計畫主持人：朱珮芸 研究人員：賴宜弘、鄒德傳 聯絡電話：(02)23496872 傳真號碼：(02)27120223			
研究期間 自 112 年 3 月 至 112 年 12 月			
關鍵詞：氣候變遷因應法、氣候變遷調適、運輸系統、ISO 14090			
<p>摘要：</p> <p>由於工業革命開始以來排放的溫室氣體，氣候變遷正在以各種方式影響運輸系統，且其影響將延續數十年之久。未來氣候變遷的程度將取決於限制溫室氣體排放及管理其他因素努力的有效性。因此，需要氣候變遷調適來降低各種極端氣候帶給運輸系統的威脅。</p> <p>氣候變遷風險評估是其關鍵。藉由系統化且可複製的風險評估方法，快速提供必要步驟及尺度的調適措施，實有其重要性，而 ISO 14090 系列標準則提供了相應氣候變遷風險評估的指引。</p> <p>為瞭解 ISO 14090 系列標準是否可適用於運輸系統，進而提供運輸部門因應氣候變遷調適的應用，本計畫以鐵道系統之實際案例進行操作，藉以提升國內運輸系統之調適能力。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
113 年 10 月	178	非賣品	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。
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE: Discussion on the Introduction of ISO 14090 Climate Change Adaptation Series Standards in the Transportation Sector			
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER 113-039-6219	PROJECT NUMBER 112-TAA006
DIVISION: Transportation Energy and Environment Division DIVISION DIRECTOR: Pei-Yun Chu PRINCIPAL INVESTIGATOR: Pei-Yun Chu PROJECT STAFF: I-Hung Lai, Deh-Juan Wu PHONE: 886-2-23496872 FAX: 886-2-27120223			PROJECT PERIOD FROM March 2023 TO December 2023
KEY WORDS: Climate Change Response Act, climate change adaptation, transportation system, ISO 14090			
ABSTRACT: Climate change is impacting transportation system in various ways and will continue to do so for decades to come, owing to greenhouse gases emitted since the start of the Industrial Revolution. The extent of future climate change will depend on the effectiveness of efforts to limit further emissions of greenhouse gases and to manage other factors that impact radiative forcing. Therefore, climate change adaptation is required to reduce the threats presented to transportation system of all kinds by extreme climate.			
 Climate change risk assessment is key in this context. For responses to be delivered at the necessary pace and scale, it is important that risk assessment approaches are systematic and replicable, and the ISO 14090 series of standards provide guidelines on approaches to assess climate change-related risks.			
 In order to understand the content of the ISO 14090 series of standards and then provide the transportation sector with the applications of adapting to climate change, this project uses case studies to analyze the feasibility of the ISO series of standards to improve the adaptation capabilities of the transportation system.			
DATE OF PUBLICATION October 2024	NUMBER OF PAGES 178	PRICE Not for Sale	
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目錄

第一章 緒論	1-1
1.1 計畫緣起與目的	1-1
1.1.1 計畫緣起	1-1
1.1.2 計畫目的	1-2
1.2 計畫範圍與對象	1-3
1.2.1 計畫範圍	1-3
1.2.2 計畫探討對象	1-3
1.3 計畫內容與項目	1-4
1.4 計畫流程	1-6
1.5 名詞解釋與說明	1-7
第二章 因應氣候變遷調適發展趨勢研析	2-1
2.1 聯合國因應氣候變遷調適趨勢	2-1
2.1.1 COP 會議之重要調適路徑	2-1
2.1.2 聯合國永續發展目標	2-8
2.1.3 IPCC 揭示之調適重點	2-11
2.1.4 臺灣於 AR6 情境下之氣候影響	2-20
2.2 國際氣候變遷調適標準	2-23
2.3 我國因應氣候變遷調適之法規與政策	2-31
2.3.1 氣候變遷因應法	2-31
2.3.2 國家因應氣候變遷行動綱領	2-32
2.3.3 國家氣候變遷調適行動計畫	2-35
2.3.4 其他調適相關法規	2-38
第三章 運輸系統氣候變遷調適評估流程	3-1
3.1 先導規劃與前置準備	3-1
3.2 氣候變遷風險評估	3-11
3.2.1 篩選與辨識衝擊	3-11
3.2.2 研擬氣候衝擊鏈	3-13
3.2.3 風險評估辨識指標	3-15
3.2.4 資料取得及管理	3-17

3.2.5 指標彙整與風險組成評估	3-19
3.3 調適能力組成與評估	3-22
3.3.1 調適能力組成	3-22
3.3.2 調適能力評估	3-25
3.4 跨部門相互依賴性分析與獨立審查	3-31
3.5 風險評估結果之溝通	3-33
3.5.1 氣候變遷風險評估報告架構	3-33
3.5.2 氣候變遷風險評估結果之傳達與溝通	3-34
3.5.3 報告結果作為調適規劃基礎	3-35
第四章 案例研析	4-1
4.1 前置作業	4-1
4.2 氣候變遷風險評估作業	4-8
4.2.1 擬定氣候衝擊鏈	4-8
4.2.2 蒐集氣候風險資料	4-11
4.2.3 辨識與評估氣候風險	4-18
4.2.4 擬定調適策略與後續溝通	4-19
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	參-1

附錄 1 國家因應氣候變遷行動綱領

附錄 2 維生基礎設施領域氣候變遷調適行動方案（112-115 年）

表目錄

表 2.1-1 「巴黎協定」重要條文摘錄	2-3
表 2.3-1 國家因應氣候變遷行動綱領核定本與修正本內容比較表	2-34
表 2.3-2 運輸系統面臨潛在氣候衝擊綜理表	2-36
表 2.3-2 氣候變遷調適之相關法規彙整	2-40
表 3.1-1 脆弱性 (AR4)與風險概念(AR5)間之比較	3-7
表 3.2-1 山區公路系統衝擊篩選矩陣示意表	3-13
表 3.2-2 運輸系統風險評估指標範例	3-17
表 3.2-3 半定量可能性評級量示意表	3-20
表 3.2-4 半定量嚴重性評級量示意表	3-21
表 3.2-5 風險矩陣示意表	3-21
表 3.3-1 組織所需管理風險性質之目標能力水準	3-27
表 4.1-1 過往氣候與環境變異資料彙整表	4-7
表 4.2-1 計畫案例潛在氣候變遷風險說明表	4-19

圖目錄

圖 1.4-1 計畫流程圖	1-6
圖 2.1-1 1850~2022 年全球年平均氣溫（攝氏度）趨勢圖	2-11
圖 2.1-2 AR6 關於未來氣候、影響和減緩的綜合評估框架	2-15
圖 2.1-3 AR6 有關於風險之決定因素	2-16
圖 2.1-4 臺灣於各情境之日均溫趨勢圖	2-21
圖 2.1-5 臺灣於各情境之年總降雨量趨勢圖	2-22
圖 2.2-1 ISO14090 架構示意圖	2-25
圖 2.2-2 ISO14091 架構示意圖	2-27
圖 2.2-3 ISO14092 架構示意圖	2-29
圖 2.2-4 ISO14093 架構示意圖	2-30
圖 2.3-1 二階段調適框架及其操作步驟	2-38
圖 3.1-1 風險組成關係圖	3-5
圖 3.1-2 脆弱性核心概念架構示意圖(AR4)	3-7
圖 3.1-3 IPCC 之 AR5 風險核心概念架構示意圖(AR5)	3-8
圖 3.2-1 運輸部門衝擊鏈示意圖	3-15
圖 4.1-1 「宜蘭線龜山外澳間路線改善工程」地理位置圖	4-2
圖 4.2-1 鐵道系統溫度主要風險示意圖	4-9
圖 4.2-2 鐵道系統強風暴雨主要風險示意圖	4-10
圖 4.2-3 計畫案例衝擊鏈示意圖	4-11
圖 4.2-4 宜蘭測站 40 年間年雨量趨勢	4-12
圖 4.2-5 計畫案例目標年降雨量示意圖(RCP8.5)	4-12
圖 4.2-6 計畫案例行經潛勢區示意圖(RCP8.5)	4-13
圖 4.2-7 計畫案例路線周遭潛勢區示意圖(RCP8.5)	4-13
圖 4.2-8 宜蘭測站 40 年間溫度趨勢	4-14
圖 4.2-9 計畫案例目標年溫度趨勢示意圖(RCP8.5)	4-15
圖 4.2-10 計畫案例颱風海岸風速現況及目標年示意圖	4-16
圖 4.2-11 計畫案例颱風海岸浪高現況及目標年示意圖	4-17

第一章 緒論

1.1 計畫緣起與目的

1.1.1 計畫緣起

為因應全球氣候變遷，制定氣候變遷調適策略，降低與管理溫室氣體排放，並確保國家永續發展，行政院環境保護署(現為環境部)擬具「溫室氣體減量及管理法」修正草案，於 2023 年 1 月 10 日經立法院三讀通過修正為「氣候變遷因應法」，並於同年 2 月 15 日由總統公布施行。該次修法特別新增調適專章，除強化氣候變遷調適能力建構並與科研接軌(該法第 18 條第 1 項)¹、要求中央目的事業主管機關應就易受氣候變遷衝擊之權責領域，訂定 4 年為一期之該領域調適行動方案，每年透過編寫成果報告(該法第 19 條第 1 項)²以利外界瞭解之外，亦強調能力建構為氣候變遷調適工作之基礎，各級政府應推動調適相關能力建構事項，提升相關設施之氣候韌性(該法第 17 條第 1 項)³。

由於「氣候變遷因應法」於調適專章中，明訂要求中央目的事業主管機關除須訂定「權責領域調適行動方案」，並透過每年編寫成果報告，踐行資訊公開及公眾參與程序之外，亦強調中央目的事業主管機關應具備氣候變遷調適能力建構之工作基礎，而證明機關單位具有氣候變遷調適工作之建構能力，並爭取民意機關與外界的認同，取得國際標準的認證是最直接且有效的做法之一。

環顧國際於氣候變遷調適之相關標準，國際標準組織(International Organization for Standardization, ISO)前於 2019 年發布了全球第一項針對氣

¹ 「氣候變遷因應法」第 18 條第 1 項：「中央主管機關與中央科技主管機關應進行氣候變遷科學及衝擊調適研究發展，並與氣象主管機關共同研析及掌握氣候變遷趨勢，綜整氣候情境設定、氣候變遷科學及衝擊資訊，定期公開氣候變遷科學報告。」

² 「氣候變遷因應法」第 19 條第 1 項：「中央目的事業主管機關應就易受氣候變遷衝擊之權責領域，訂定四年為一期之該領域調適行動方案（以下簡稱調適行動方案），並依第五條第三項、第六條及第十七條訂定調適目標。」

³ 「氣候變遷因應法」第 17 條第 1 項第 2 款：「強化因應氣候變遷相關環境、災害、設施、能資源調適能力，提升氣候韌性。」

候變遷調適的標準：ISO 14090 氣候變遷調適-原則、規定與指導(Adaptation to climate change — Principles, requirements and guidelines)，此外亦同時研擬訂定 ISO 14091 氣候變遷調適-脆弱度、影響和風險評估指導(Adaptation to Climate Change — Guidelines on Vulnerability, Impacts and Risk Assessment)，以及 ISO 14092 氣候變遷調適-地方政府與組織的調適規劃要求和指導(Adaptation to Climate Change — Requirements and Guidance on Adaptation Planning for Local Governments and Communities)，以提供進一步指導。

由於 ISO 14000 環境管理體系之系列標準於 2015 年 9 月經國際標準組織(ISO)正式公告後，已逐漸為國際企業與機構所採用，尤其在京都議定書生效後，其他如 ISO 14064 等系列之國際標準(如 ISO 14064-1 組織層級溫室氣體排放與移除之量化及報告指引之規範；ISO 14064-2 計畫層級溫室氣體排放減量或移除增量之量化、監督及報告附指引之規範；ISO 14064-3 溫室氣體主張確證與查證附指引之規範)，已提供各國政府與產業界做為推動溫室氣體減量和排放交易等標準化規範與工具，並逐步獲得相關單位之參採使用。因此，有鑑於 ISO 14090 系列標準已於 2019 年公布，若能於此時讓國內運輸部門瞭解 ISO 14090 系列標準之內容，並針對氣候變遷調適標準在運輸部門之可能應用與效益，將有助於協助建構運輸部門建構因應氣候變遷調適之能力，若能再進一步導入 14090 氣候變遷調適認證，亦有助於民意機關與外界人士瞭解運輸部門在氣候變遷調適之努力成果。

1.1.2 研究目的

本計畫主要針對 ISO 14090 氣候變遷調適之系列標準，就其內容在我國運輸部門之可能應用進行瞭解，並對我國運輸系統或運輸主管單位在盤點計畫面臨之風險時，藉由導入 ISO 14090 認證所面臨之程序，協助機關辦理氣候風險評估時，進行氣候變遷調適風險評估之法定作業，以及依據 ISO 14090 氣候變遷調適標準作業程序辦理後續可能認證關聯性進行初步探討，其探討成果可做為國內運輸部門未來推動氣候變遷調適成果驗證之參據。

1.2 計畫範圍與對象

1.2.1 計畫範圍

本計畫主要係參酌「氣候變遷因應法」第 19 條規定，以與中央目的事業主管機關有關之運輸系統主責機關(構)，以及依其職權所辦理與氣候變遷調適之相關計畫為主要之研究範圍。

1.2.2 計畫探討對象

本計畫之探討對象，主要係依前揭研究範圍之利害關係人(含應用單位)包含環境部、交通部暨所屬機關(構)、地方政府，以及承辦公部門中長程計畫之民間工程顧問公司等。

1.3 計畫內容與項目

本計畫具體探討之議題與內容說明，謹說明如次：

一、分析國際氣候變遷調適策略趨勢

聯合國政府間氣候變遷專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, 簡稱 IPCC)於 2021 年 8 月發布第 6 次評估報告 (The 6th Assessment Report, 簡稱 AR6)，並於 2023 年 3 月發布第 6 次評估報告綜合報告 (Synthesis Report of the IPCC 6th Assessment Report, SYR)，該報告明確指出當前調適行動儘管取得了部分進展，但差距依然存在，部分部門和地區對於弱勢群體造成不成比例的影響，此外缺乏氣候知識和數據，也阻礙了調適的進展。

為瞭解國際間最新調適策略之趨勢，本計畫蒐集包含 IPCC 最新出版 AR6 綜合報告等資料，做為本計畫於在認證過程中有關於政策擬定與調適技術應用之依據。

二、蒐整 ISO 14090 系列之氣候變遷調適系列標準相關原則與規範

ISO 14090 是一項關於氣候變遷調適的國際標準，該標準提供了氣候變遷調適的原則、要求和指南，旨在說明組織在氣候變遷調適與減少其對氣候變遷的影響。該標準包括以下內容：

- 1.原則：包含可永續性、彈性、穩健性，以及責任義務等。
- 2.要求：包含辨識和評估風險、規劃和實施調適措施、監測和評估適應性和風險管理措施的有效性。
- 3.指引：包括如何進行風險評估、如何制定調適計畫、如何實施調適措施，以及如何監測和評估調適性和風險管理措施的有效性。

此外，ISO 14091 是一項關於氣候變化風險評估的國際標準，主要提供關於氣候變遷風險評估的指南，旨在說明組織評估氣候變遷對其業務和活動的潛在影響。該標準之架構與重點摘錄如下：

- 1.概述：包含氣候變化對人類和自然系統的影響，以及為什麼需要評估氣候變遷風險。

- 2.風險評估前置作業：包含界定評估前後之關聯性、辨識目標與期望成果、訂定範疇與評估方法、設定時間範疇等。
- 3.框架和執行方法：提供了一個框架，可以用來評估氣候變遷的脆弱度、影響及風險，並提供一些方法，包括衝擊鏈分析、風險評估，以及調適策略進行分析。
- 4.報告與交流：包含組織報告及回報結果以做為調適規劃基礎。

三、案例探討

本計畫以國營臺灣鐵路股份有限公司前身交通部臺灣鐵路管理局於112年期間辦理之「宜蘭線龜山~外澳間路線改善工程環境影響說明書」為例，探討於政府相關工程計畫辦理規劃期間，如何導入ISO 14090系列標準原則及規範進行操作及應用。

1.4 計畫流程

本計畫之章節，主要區分為緒論、因應氣候變遷調適發展趨勢研析、運輸系統氣候變遷調適評估流程、案例初探，以及結論與建議等步驟所進行之計畫流程。

有關本計畫之流程如圖 1.4-1 所示。

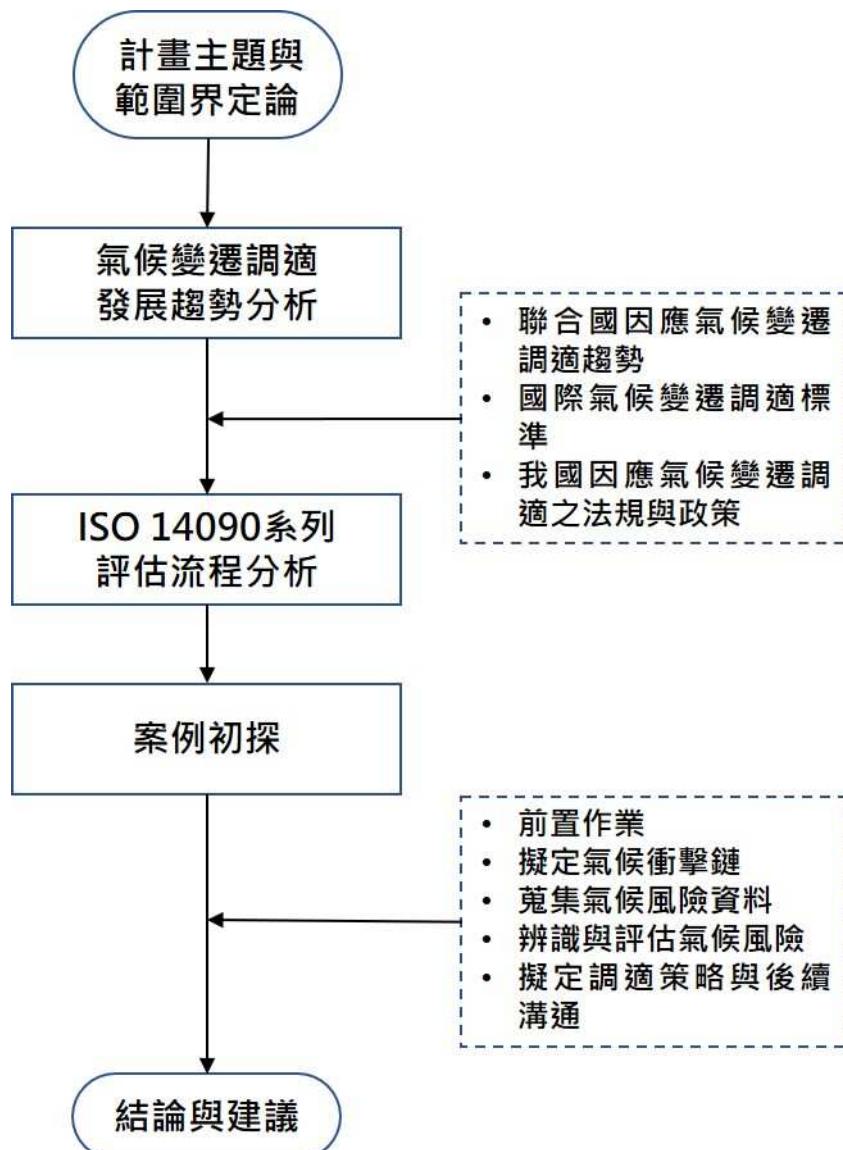


圖 1.4-1 計畫流程圖

1.5 名詞解釋與說明

為利本計畫內容之閱讀，以下謹針對 ISO 14090 以及 ISO 14091 所提及之重要名詞，並參酌「氣候變遷因應法」之名詞定義、環境部「氣候變遷-專有名詞手冊」⁴，以及本所「公路系統因應氣候變遷強化調適能力案例研析」⁵等有關名詞解釋，並進行該名詞之簡要說明。

一、調適能力(adaptive capacity)

指某個系統、組織、人類及其他生物針對潛在的損失、機會或後果進行調整、利用和應對的能力。例如，公路主管機關是否具有評估、氣候變遷治理、機制、人力、經費…等條件之程度。

二、氣候變遷調適(adaptation to climate change)

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之衝擊或損害，或利用其可能有利之情勢。

三、氣候變遷(climate change)

指氣候狀態的變化，透過平均變化或其屬性變異度來辨別，此變化會持續很長一段時間(通常是指幾十年或更長時間)。氣候變遷來自於自然內部過程或外部迫害(例如太陽週期變化、火山噴發等)或由人為持續干預大氣成分或土地利用所導致的變化。

四、氣候變遷風險(climate change risk)

指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、暴露度及脆弱度。例如，山區公路系統因受氣候變遷衍生之極端降雨(危害)，且公路因位於土石流潛勢區(脆弱度)，以及本公路是該區域之唯一聯外道路，使用該公路之交通量大(暴露度)導致公路面臨極高的氣候衝擊風險(危害、暴露度，以及脆弱度的交集)，而可能造成公路系統本身的毀損風險(直接)，以及區域經濟活動中

⁴ 環境部，氣候變遷-專有名詞手冊，頁 2~23，112 年 3 月。

⁵ 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(期末修正定稿報告)，頁 1-8~1-10，112 年 7 月。

斷的風險(間接)。

五、極端氣候(climate extreme)

天氣或氣候變化量超過一段時間的觀測門檻值。根據定義，當極端天氣持續存在一段時間，它可能被歸類為極端氣候事件。為求簡化，其端天氣事件和極端氣候事件統稱為「極端氣候」。

六、暴露度(exposure)

人員、生計、物種或生態系統、環境功能、服務，資源、基礎設施或經濟、社會或文化資產處在有可能受到不利影響之區域與狀態。

七、危害(hazard)

係指可能發生的自然或人為物理事件、趨勢或物理影響，並可造成生命損失、傷害或其它健康影響以及可能造成財產、基礎設施、生計、服務提供、生態系統及環境資源的損害和損失。例如，發生極端高溫、強降雨或強風等事件，可能造成山區土石崩塌、影響橋梁結構，或是航站、港口等結構受損之可能造成運輸系統損壞的情事。

八、衝擊鏈(impact chain)

一種分析方法，可以理解特定危害如何產生直接和間接的影響，並如何在風險系統中傳播。

九、利害關係方(interested party)

能夠影響決策或活動、受決策或活動影響或認為自己受決策或活動影響的個人或組織，例如客戶、社區、供應商、監管機構、非政府組織、投資者、員工和學術界。

十、韌性(resilience)

相互運動的社會、經濟與自然系統在面對外界危害、趨勢或擾動時，透過回應或重組的方式維持系統基本運作的因應能力。

十一、風險(risk)

風險通常用於指那些對於生命、生活、健康、生態系統和物種、經濟、社會和文化資產、服務(包括環境服務)和基礎設施有負面後果，且結果不

確定的可能性。

十二、敏感度(sensitivity)

系統或物種受氣候變異或變化影響的程度，無論是負面影響還是正面影響。這種影響可能是直接的(例如，由於溫度的平均值、範圍或變異性的變化而導致農作物產量的變化)或間接的(例如，海平面上升導致沿海洪水頻率增加而引起的損害)。

十三、永續性(sustainability)

全球體系的狀態，包括環境、社會和經濟方面，在這種狀態下，當代人的需求得到滿足，而又不損害子孫後代滿足其自身需求的能力。

十四、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。

第二章 因應氣候變遷調適發展趨勢研析

全球溫室氣體自工業革命開始以降，其排放量已逐漸對於全球氣候造成影響，全球各地在全球暖化的情況下，造成氣候系統諸多面向的改變，包括極端高溫、海洋熱浪、豪雨、乾旱等情事發生頻率與強度不斷增加之外，熱帶氣旋數量雖然減少，但強度比例卻也明顯增加。氣候暖化不僅造成水循環產生變異，也造成全球季風降雨、乾濕事件分配明顯失衡，除對農業生產造成衝擊之外，也對於運輸系統的維運產生極大的影響。

氣候變遷正在以各種方式衝擊基礎設施的正常運作，且其影響將延續數十年之久，未來氣候變遷的加重或減緩程度，則取決於限制溫室氣體進一步排放之管理措施有效性而定。爰此，為因應氣候變遷調適能力，運輸系統管理單位需要擬定與執行更適切的氣候變遷調適作為，以減少極端氣候對於維生基礎設施的威脅，並確保基礎設施在遭遇極端氣候下，將其損失減至最低。

本章節謹蒐整我國在面對氣候變遷調適之法制應處，以及國際上在氣候變遷調適方面之最新發展趨勢，並對於因應氣候變遷調適之國際標準作業程序進行初步研析。

2.1 聯合國因應氣候變遷調適趨勢

2.1.1 COP 會議之重要調適路徑

「聯合國氣候變化綱要公約」(The United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)是聯合國設立的「政府間氣候變化綱要公約談判委員會」，而締約方會議(Conference of the Parties, COP)是聯合國氣候變化綱要公約的最高決策機構，於 1995 年德國柏林召開第一次會議(COP1)之後，原則每年會由不同的國家主辦，討論重要的全球減碳議題。

早期 COP 會議著重於減少碳排放量的方式，包含產業轉型、能源來源改變、行為調整，以及相關科技應用等方法，直至第 21 屆會議 (COP21)

時，調適議題才開始備受各國重視⁶。

一、第 21 次締約方會議(COP21)

第 21 次締約方會議於 2015 年 11 月 30 日至 12 月 12 日在法國首都巴黎近郊勒布爾熱召開，當時考量「京都議定書」將於 2020 年到期，與會國家爰希望能通過具有法律效力的決議以取代「京都議定書」，因此於 2015 年 12 月 12 日，經聯合國氣候變化綱要公約 195 個締約國一致同意通過「巴黎協定」(Paris Agreement)。

在巴黎舉行的聯合國氣候變化大會(COP21)上，各國政府一致認為，迫切需要更強有力、更雄心勃勃的動員來推動氣候行動，以實現「巴黎協定」的目標。政府、城市、地區、企業和投資者必須採取行動。每個人都可以為有效落實「巴黎協定」來發揮作用。

有別於京都議定書，「巴黎協定」將減排義務擴及至中國大陸與印度，另外要求已開發國家需提供氣候變遷資金，來幫助開發中國家減少溫室氣體排放。因此，「巴黎協定」於 2016 年 11 月 4 日正式生效後，各方即啟動協定細部施行規範(巴黎協定規則書)之制定工作，歷經 2 年談判，於 2018 年 12 月在波蘭卡托維茲市召開之 COP24 會議通過「卡托維茲氣候包裹決議」(Katowice Climate Package)，完成並通過規則書大部分條文，並確立協定自 2020 年起開始實施，此後無論是已開發或開發中國家皆須落實所提「國家自定貢獻」(Nationally Determined Contributions, NDC)文件，並每 5 年提送一次更新報告，以達成於本世紀末限制全球氣溫升高幅度介於 1.5°C ~ 2°C 之目標⁷。

巴黎協定內容計有 29 條，主要目的是希望各締約方協議未來把全球平均氣溫升幅控制在工業化前水準以上低於 2°C 之內，並努力將氣溫升幅限制在工業化前水準以上 1.5°C 之內，同時認識到這將大大減少氣候變遷風險和影響(S2)，並確立提高調適能力、加強復原力和減少對氣候變化的脆弱度的全球 適應目標下，促進永續發展，並確保前揭所述之氣溫目標方面採取充分的調適對策(S7)。有關「巴黎協定」之重要條文如表 2.1.1 所述。

表 2.1-1 「巴黎協定」重要條文摘錄

⁶ 交通部運輸研究所，運輸系統因應氣候變遷調適之研究，頁 2-13，110 年 7 月。

⁷ 參見外交部網頁：<https://subsite.mofa.gov.tw/igo/cp.aspx?n=6034>, last visited August 9, 2023.

條文	內容
第 2 條	<p>一、本協定在加強全球在對氣候變遷威脅的應對，包括：</p> <p>(一)把全球平均氣溫升幅控制在工業化前水準以上低於 2°C 之內，並努力將氣溫升幅限制在工業化前水準以上 1.5°C 之內。</p> <p>(二)提高氣候變遷調適能力，並以不威脅糧食生產的方式增強氣候復原力和溫室氣體低排放發展。</p> <p>(三)使資金流動符合溫室氣體低排放和氣候調適型發展的路徑。</p>
第 4 條	<p>一、為實現第 2 條規定的長期氣溫目標，締約方應儘快達到溫室氣體排放的全球峰值，並體認開發中國家需更長的時間；此後利用現有最佳科學迅速減排，聯繫永續發展和消除貧困，在公平的基礎上，於本世紀下半葉實現溫室氣體盤查的平衡。</p> <p>三、各締約方的連續國家自主貢獻將比當前的國家自主貢獻有所進步，並反映其盡可能大的力度，同時考慮不同國情，體現其共同但有區別的責任和各自能力</p> <p>七、從締約方的調適行動和/或經濟多樣化計畫中獲得的減緩協同效益，促進本條下的減緩成果。</p> <p>九、各締約方應根據第 1/CP.21 號決定和作為本協定締約方會議的「公約」締約方會議的任何有關決定，並從第 14 條所述的全球盤點結果獲取資訊，並每 5 年通報一次國家自主貢獻。</p>
第 6 條	<p>八、締約方體認在永續發展和消除貧困方面，必須以協調和有效的方式向締約方提供綜合、整體和平衡的非市場方法，包括以減緩、調適、資金、技術轉讓和能力建設，協助執行它們的國家自主貢獻。這些方法應旨在：</p> <p>(一)提高減緩和適應力度；</p> <p>(二)加強公私部門參與執行國家自主貢獻；</p> <p>(三)創造各種手段和有關體制安排之間協調的機會。</p>
第 7 條	<p>一、締約方確立關於提高適應能力、加強復原力和減少對氣候變遷的脆弱度的調適目標，以促進永續發展，並確保在第 2 條所述氣溫目標方面採取充分的調適對策。</p> <p>四、締約方應體認當前的調適需要大，提高減緩水準能減少對額外調適努力的需要，並適時提高調適可能需要之成本。</p> <p>五、調適方案當視為一種國家機制、注重性別問題、參與型和充分透明的方法，同時考慮到脆弱群體、社區和生態系統，並應當基於和遵循現有的最佳科學，以及適當的傳統知識、原住民族的知識和地方知識系統，以期將調適酌情納入相關的社會經濟和環境政策以及行動中。</p> <p>七、締約方應當加強在調適行動方面的合作，同時考慮到「坎昆適應框架」⁸，包括：</p> <p>(一)交流資訊、良好做法、獲得的經驗和教訓，包括與適應行動方面</p>

⁸ 2010 年「聯合國氣候變化綱要公約」第 16 次締約方大會(COP16)通過「坎昆協議」，就「京都議定書」進一步承諾及長期合作行動達成共識，如全球 2050 年目標以控制增溫 2°C 為主，並將於 2015 年根據科學基礎考量強化未來限制增溫 1.5°C 之國際更具企圖心行動。

	<p>的科學、規劃、政策和執行等相關的資訊、做法、經驗和教訓；</p> <p>(三)加強關於氣候的科學知識，包括研究、對氣候系統的系統觀測和早期預警系統，以便為氣候服務提供參考及決策支援；</p> <p>(五)提高調適行動的有效性和持久性。</p> <p>九、各締約方應酌情開展調適規劃進程並採取各種行動，包括制訂或加強相關的計畫、政策和/或貢獻，其中可包括：</p> <ul style="list-style-type: none"> (一)落實適應行動、任務和/或努力； (二)關於制訂和執行國家適應計畫的進程； (三)評估氣候變遷影響和脆弱度，擬訂國家自主決定的優先行動，同時考慮到處於脆弱地位的人、地方和生態系統； (四)監測和評價適應計畫、政策、方案和行動並從中學習； (五)建設社會經濟和生態系統的復原力，包括通過經濟多樣化和自然資源的永續管理。 <p>十、各締約方應當酌情定期提交和更新一項調適資訊通報，其中包括其優先事項、執行和支助需要、計畫和行動，同時不對開發中國家締約方造成額外負擔。</p> <p>十四、第 14 條所述的全球盤點，除其他外應：</p> <ul style="list-style-type: none"> (一)承開發中國家締約方的適應努力； (二)加強開展調適行動，同時考慮本條第 10 款所述的適應資訊通報； (三)審評適應的充足性和有效性以及對調適提供的支助情況； (四)審評在實現本條第 1 款所述的全球適應目標方面所取得的總體進展。
第 8 條	<p>三、締約方應當在合作和提供便利的基礎上，包括通過華沙國際機制，在氣候變遷不利影響所涉損失和損害方面加強理解、行動和支持。</p> <p>四、據此，為加強理解、行動和支持而開展合作和提供便利的領域可包括以下方面：</p> <ul style="list-style-type: none"> (一)早期預警系統； (二)應急準備； (三)緩發事件； (四)可能涉及不可逆轉和永久性損失和損害的事件； (五)綜合性風險評估和管理； (六)風險保險機制，氣候風險分擔安排和其他保險方案； (七)非經濟損失； (八)社區、生計和生態系統的復原力。
第 10 條	<p>一、締約方共有一個長期願景，即必須充分落實技術開發和轉讓，以改善對氣候變遷的復原力和減少溫室氣體排放。</p> <p>二、注意到技術對於執行本協定下的減緩和調適行動的重要性，並認識到現有的技術部署和推廣工作，締約方應加強技術開發和轉讓方面的合作行動。</p>
第 11 條	一、本協定下的能力建構應加強開發中國家，特別是能力最弱的國

	<p>家，以及特別易受氣候變遷不利影響的國家，如小島嶼開發中國家等的能力，以便採取有效的氣候變遷行動，其中包括執行調適和減緩行動，並應當便利技術開發、推廣和部署、獲得氣候資金、教育、培訓和公共意識，以及透明、及時和準確的資訊通報。</p> <p>二、能力建構，尤其是針對開發中國家，應當由國家啟動，依據並回應國家需要，促進締約方的本國自主，包括在國家、次國家和地方層面。能力建構應當以獲得的經驗教訓為指導，包括從「公約」下能力建構中獲得經驗教訓，並應當是一個參與型、貫穿各領域和注重性別問題的有效和迭加的進程。</p> <p>五、應通過適當的體制安排，包括「公約」下為服務於本協定所建立的有關體制安排，加強能力建構，以支持對本協定的履行。</p>
第 12 條	締約方應酌情合作採取措施，加強氣候變遷教育、培訓、公共意識、公眾參與和公眾獲取資訊，同時認識到這些步驟對於加強本協定下的行動的重要性。
第 13 條	<p>七、各締約方應定期提供以下訊息：</p> <p>(一)利用政府間氣候變化專門委員會接受並由作為本協定締約方會議的「公約」締約方會議商定的良好做法而編寫的一份溫室氣體源盤查的國家清單報告；</p> <p>(二)跟蹤在根據第 4 條執行和實現國家自主貢獻方面取得的進展所必需的訊息。</p>
第 14 條	<p>一、作為本協定締約方會議的「公約」締約方會議應定期盤點本協定的履行情況，以評估實現本協定宗旨和長期目標的集體進展情況(稱為“全球盤點”)。盤點應以全面和促進性的方式開展，考慮減緩、調適以及執行手段和支助問題，並顧及公平和利用現有的最佳科學。</p>

資料來源：https://unfccc.int/sites/default/files/chinese_paris_agreement.pdf

二、第 26 次締約方會議(COP26)

第 26 屆聯合國氣候變遷大會(COP26)於 2021 年 11 月 1 日至 11 月 12 日在蘇格蘭格拉斯哥舉行，該次會議之重要議程，除回顧「巴黎協定」及評估各締約方的進展之外，並於 2021 年 11 月 13 日通過「格拉斯哥氣候協議」(Glasgow Climate Pact)。

該協議內容，主要包含支持開發中國家適應氣候變遷的影響並構建復原力，加強氣候變遷抵禦能力、遏制溫室氣體排放，以及必要資金的挹注。各締約方也重申有責任履行已開發國家每年向開發中國家提供 1,000 億美元的承諾，並致力縮小現有減排計畫與減排要求之間的差距，從而將全球平均氣溫上升幅度限制在 1.5°C 之內。此外，各締約方也首次被要求逐步

減少持續不斷對於煤、電以及化石燃料的低效補貼⁹。

而在 COP26 會議上，有關調適工作所提出的建議事項數端，要者簡述如下¹⁰：

1. 強調擴大行動及支持之急迫性，包含資金、能力建構及技術轉移，以加強韌性、減少脆弱度並提升調適能力，同時考量優先性及發展中之締約國需求。
2. 迄今所提交之調適資訊交流以及國家調適方案，有助於理解與執行調適行動計畫及其優先性。
3. 締約國須將調適觀念納入地方、國家以及區域性計畫。
4. 強調落實「巴黎協定」於全球調適目標達成之重要性。
5. 請政府間氣候變化專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)向 COP 提交 AR6 的成果，包含評估相關的調適需求。
6. 呼籲研究單位進一步探討氣候變遷對於全球、區域和地方之影響、因應對策和調適需求。

而在資金來源方面，有關調適計畫之財務亦進一步提出數項建議，包含¹¹：

1. 目前為氣候變遷調適所提供之資金，不足以應對開發中之締約方日益惡化之氣候變遷影響。
2. 為因應開發中締約方之需求，敦促已開發之締約方緊急且大幅增加氣候融資、技術轉讓和建構調適能力之支援，包括制定、實施國家調適計畫和調適交流。
3. 調適基金對於氣候變遷調適提供之專業支持極為重要，邀請已開發之締約方長期認捐。

⁹ 參見 UN 網頁：<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-glasgow-climate-pact-key-outcomes-from-cop26>, last visited August 10, 2023.

¹⁰ 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(期末修正定稿報告)，頁2-10~2-11，112年7月。

¹¹ 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(期末修正定稿報告)，頁2-11，112年7月。

4.為提供氣候變遷調適計畫所需資源，呼籲締約方多邊開發銀行、其他金融機構和私營部門加強融資，並鼓勵締約方為調適計畫持續發展創新方法及工具，以利從民間組織籌集調適資金。

三、第 27 次締約方會議(COP27)

第 27 屆聯合國氣候變遷大會(COP27)係由埃及主辦，於 2022 年 11 月 6 日至 11 月 18 日於沙姆沙伊赫(Sharm El-Sheikh)舉行，本次會議主要討論議題聚焦於減緩(Mitigation)、調適(Adaptation)，以及資金(Finance)¹²。

在減緩方面，於 2015 年通過並在 2016 年 11 月正式生效的「巴黎協定」，本應受各締約方遵循，並每 5 年更新一次國家自主貢獻的契機。然若按照目前締約方制訂之 2030 年減排目標，全球於世紀末氣溫升幅將難以控制升溫於 1.5°C 之內。雖然 COP27 最終文的多數決議，仍是延續 COP26 的內容，此意味將升溫控制在 1.5°C 以下的承諾仍得以保留¹³，惟仍期盼各締約方能提出更具野心的減緩承諾。

在調適方面，COP27 的目標是取得急迫的進展(urgent progress)，並敦促所有締約方表現出必要的政治意願，並在加強韌性以及援助最脆弱族群方面取得進展。而 COP27 針對調適工作提出建議事項，簡述如下¹⁴：

- 1.重申 COP26 所提的承諾，加強全球調適行動以確保 COP27 獲得進展。
- 2.各國政府就推進全球調適目標的方式達成了一致，該目標將在 COP28 上結束，並就第一次全球盤點提供訊息，從而提高最脆弱群體的韌性(resilience)。
- 3.首次通過設立損失和損害基金(“loss and damage” funding)，每年提供 1,000 億美元賠償氣候脆弱國家因氣候變遷造成的損失和損害。
- 4.公布「沙姆沙伊赫實施計畫」，強調每年預計向低碳經濟轉型至少 4-6 兆美元的投資。此類資金的提供係由政府、中央銀行、商業銀行、機構投資者和其他金融參與者參與其中，並期待於 2030 年前能加強在氣候最脆弱社區的抵禦能力。

¹² 參見 UN 網頁：<https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/more-events/un-climate-change-conference-2022-unfccc-cop-27>, last visited August 10, 2023.

¹³ 參見 UN 網頁：<https://unctad.org/news/blog-cop27-debrief-milestones-climate-resilient-development-sharm-el-sheikh>, last visited August 11, 2023.

¹⁴ 參見 UN 網頁：<https://unfccc.int/news/cop27-reaches-breakthrough-agreement-on-new-loss-and-damage-fund-for-vulnerable-countries>, last visited August 15, 2023.

在資金方面，過去工業國家為發展經濟而產生大量碳排放，並且加劇溫室氣體排放的風險，其危機卻是由開發中國家來承受極端氣候的惡果。面對氣候不正義，包含在「巴黎協定」中，規範以資金等方式提高開發中國家的減緩和適應力度，然而已開發國家所募集的資金與實際需求上，仍有很大的差距。

不過，目前資金似多以借貸而非撥款方式批出，且另一分配問題在於側重「減緩」而非「適應」，偏偏受災國家民眾當前最需要的，是在於保育海洋、強化基礎建設規劃與韌性、建立早期預警系統等措施，以及提升個人與群體置身氣候危機的調適能力，其融資是否有效回應氣候脆弱族群之所需¹⁵，則有待釐清。

2.1.2 聯合國永續發展目標

聯合國於 2015 年有 193 個會員國通過的「2030 年永續發展議程」(The 2030 Agenda for Sustainable Development)，為人類和地球提供現在與未來的共同藍圖。其核心包含 17 項永續發展目標(SDG)，迫切呼籲所有國家(無論是發達國家還是發展中國家)在全球夥伴關係中採取行動，包含意識結束貧困和剝奪必須與改善健康和教育同時併行、減少不平等應與促進經濟增長相結合，同時因應氣候變遷，努力保護我們的海洋和森林¹⁶。

前揭聯合國「2030 年永續發展議程」涵蓋 17 項永續發展目標(SDGs)，以及 169 項細項目標(Targets)，針對各項永續發展目標簡述如下¹⁷：

- SDG 1 終結貧窮：消除各地一切形式的貧窮。
- SDG 2 消除飢餓：消除飢餓，達成糧食安全，改善營養及促進永續農業
- SDG 3 健康與福祉：確保健康及促進各年齡層的福祉。
- SDG 4 優質教育：確保有教無類、公平以及高品質的教育，及提

¹⁵ 參見綠色和平網頁：

<https://www.greenpeace.org/taiwan/update/33095/cop27%E6%98%AF%E4%BB%80%E9%BA%BC%EE%BC%9F%E8%A7%A3%E6%9E%902022%E5%B9%B4%E8%81%AF%E5%90%88%E5%9C%8B%E6%B0%A3%E5%80%99%E8%AE%8A%E9%81%B7%E5%A4%A7%E6%9C%83%E7%84%A6%E9%BB%9E/>, last visited August 11, 2023.

¹⁶ 參見 UN 網頁：<https://sdgs.un.org/goals>, last visited August 8, 2023.

¹⁷ 參見網頁：<https://globalgoals.tw/>, last visited August 8, 2023.

倡終身學習。

- SDG 5 性別平權：實現性別平等，並賦予婦女權力。
- SDG 6 淨水及衛生：確保所有人都能享有水、衛生及其永續管理。
- SDG 7 可負擔的潔淨能源：確保所有的人都可取得負擔得起、可靠的、永續的，以及現代的能源
- SDG 8 合適的工作及經濟成長：促進包容且永續的經濟成長，達到全面且生產力的就業，讓每一個人都有一份好工作。
- SDG 9 工業化、創新及基礎建設：建立具有韌性的基礎建設，促進包容且永續的工業，並加速創新。
- SDG 10 減少不平等：減少國內及國家間的不平等。
- SDG 11 永續城鄉：促使城市與人類居住具包容、安全、韌性及永續性。
- SDG 12 責任消費及生產：確保永續的消費與生產模式。
- SDG 13 氣候行動：採取緊急措施以因應氣候變遷及其影響。
- SDG 14 保育海洋生態：保育及永續利用海洋與海洋資源，以確保永續發展。
- SDG 15 保育陸域生態：保護、維護及促進領地生態系統的永續使用，永續的管理森林，對抗沙漠化，終止及逆轉土地劣化，並遏止生物多樣性的喪失。
- SDG 16 和平、正義及健全制度：促進和平且包容的社會，以落實永續發展；提供司法管道給所有人；在所有階層建立有效的、負責的且包容的制度。
- SDG 17 多元夥伴關係：強化永續發展執行方法及活化永續發展全球夥伴關係。

聯合國於 2015 年通過之「2030 年永續發展議程」中，針對永續發展目標 13 氣候行動，其主要目的在於因應 2035 年可能升溫 1.5°C 的情況下，氣候變遷對整個文明世界而言，已是一個真實且不可否認的威脅，如果再不立即採取行動，將面臨災難性的危險。因此透過教育、創新和對於氣候變遷承諾的遵守，方能做出必要的改變來保護環境。而這些變化不僅對於基礎設施現代化提供機會，也可創造新的就業機會並促進全球更加繁

榮。

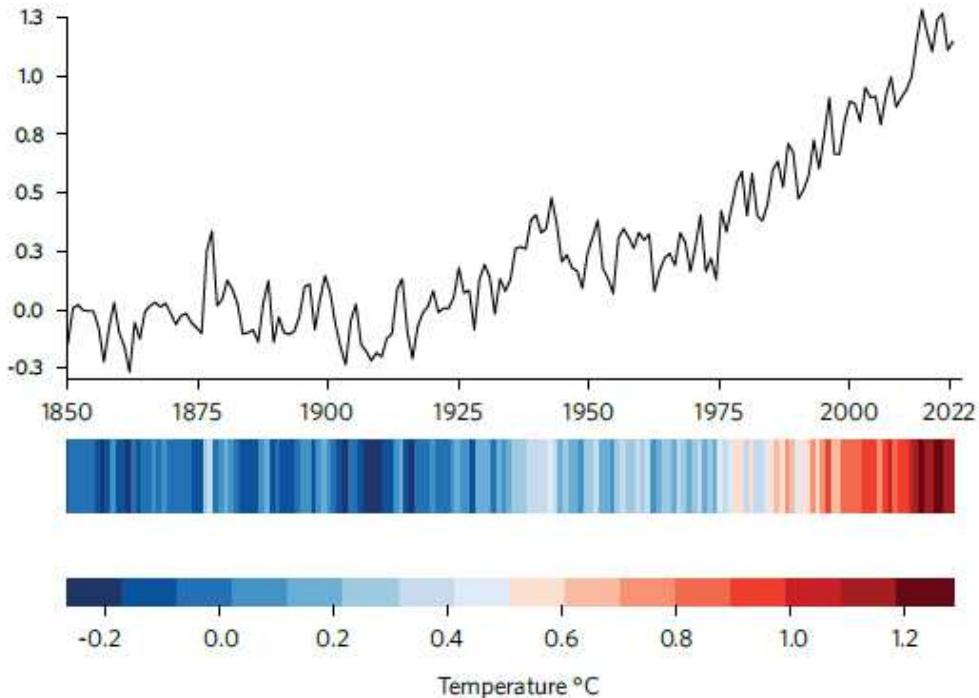
因此，聯合國針對永續發展目標 13 氣候行動提出了 5 項細項指標，而其主要意涵係聚焦於因應氣候變遷之國家政策擬定、強化面對極端氣候相關災害的調適能力，並且提升機關(構)的能力建構等方面。茲就永續發展目標 13 的氣候行動所屬細項指標概述如下：

- 13.1 強化所有國家應對氣候相關災害和自然災害的抵禦能力和調適能力。
- 13.2 將氣候變遷措施納入國家政策、策略與規劃之中。
- 13.3 改善氣候變遷減緩、適應、減少影響和預警方面的教育、提升意識，以及人力和機構能力。
- 13.a 履行「聯合國氣候變化框架公約」有關已開發國家締約國所作出之承諾，並於 2020 年以前，每年從各種來源聯合籌集 1,000 億美元，以滿足開發中國家在採取有意義的減緩行動和實施透明度方面的需求，並儘快將綠色氣候基金資本化全面投入運作。
- 13.b 提昇開發度最低國家中的有關機制，以提高能力而進行有效的氣候變遷規劃與管理，包括將焦點放在婦女、年輕人、地方社區與邊緣化社區。

然而，參酌聯合國 2023 年 7 月 10 日提出之「2023 年永續發展目標報告：特別版」(The Sustainable Development Goals Report 2023: Special Edition)指出，氣候危機、烏克蘭戰爭、全球經濟疲軟，以及新冠肺炎(COVID-19)大流行所揮之不去的影響，暴露了弱點並阻礙了目標的實現¹⁸。

該特別版報告指出，根據「聯合國氣候變化框架公約」最新的國家自主貢獻綜合報告發現，計由 193 個締約方依據「巴黎協定」規定所作的承諾，到 2030 年將年溫室氣體排放量與 2019 年水準相比，小幅降低 0.3%。然而，這遠遠低於聯合國政府間氣候變遷工作小組根據 1.5°C 升溫限幅所要求的 43% 的減排量，如果不加強跨部門政策合作，全球很可能在 2035 年之前即突破關鍵的 1.5°C 的臨界點，而到本世紀末，全球可能達到約 2.5°C 的潛在暖化程度。有關工業革命之後的全球年平均氣溫趨勢如圖 2.1-1 所示。

¹⁸ 參見 UN 網頁：<https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/>, last visited August 8, 2023.



資料來源：The Sustainable Development Goals Report 2023: Special Edition

圖 2.1-1 1850~2022 年全球年平均氣溫（攝氏度）趨勢圖

因此，為提高全球氣候抗禦力的發展行動，加速因應措施和減緩影響的措施，以及利用永續發展目標實施的協同作用是有其必要性。此外，該特別版報告亦點出全球氣候變遷教育至今未能滿足青年的需求、創紀錄的海平面上升對數億人構成了嚴重威脅，以及已開發國家承諾每年要提供 1,000 億美元的氣候融資目標尚未兌現等相關議題，仍有待解決¹⁹。

2.1.3 IPCC 揭示之調適重點

政府間氣候變遷專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 是附屬於聯合國之下的跨政府組織，於 1988 年由世界氣象組織、聯合國環境署合作成立，專責研究由人類活動所造成的氣候變遷。而 IPCC 轄下設有 3 個工作小組：第一工作組 (WG I) 主責氣候變遷的物理科學基礎評估，第二工作小組 (WG II) 係針對社會經濟及自然系統面對氣候變化的脆弱度、氣候變化的後果以及適應氣候變遷選項的評估，第三工作小組 (WG III) 則針對減緩氣候變化、減少溫室氣體排放以及

¹⁹ 聯合國，2023 可持續發展目標報告特別版，頁 38~39，2023.7.10。

減緩大氣層之溫室氣體方法進行評估工作。

IPCC 轄下工作小組陸續公布「第 6 次評估報告」(Sixth Assessment Report, AR6)之相關內容，其中第一工作小組於 2021 年 8 月 9 日公布「AR6：物理科學基礎報告」(Climate Change 2021: The Physical Science Basis)，指摘目前觀測到前所未有的氣候變遷程度，證據顯示極端天氣事件受暖化影響將更為劇烈。

第二工作小組並於 2022 年 2 月 28 日公布「AR6：衝擊、調適與脆弱度」(Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability)，強調氣候變遷的風險與衝擊將變得更為嚴峻、複雜，且更加難以管理。在諸多的極端氣候下，複合型的危害風險可能同時發生，進而導致整體風險，以及跨領域與跨區域的連動性致災風險，而妥適性的調適策略作為可降低其氣候風險。

第三工作小組續於 2022 年 4 月 4 日公布「AR6：減緩氣候變遷」(Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change)，提供對於氣候變遷減緩進展和承諾的最新全球評估，並審查了全球排放源。此外，該報告說明了減排和減緩努力的進展，評估國家氣候承諾對長期排放目標的影響²⁰。

而 IPCC 於 2023 年 3 月 20 日發布了「2023 年氣候變遷：綜合報告」(Climate Change 2023: Synthesis Report)，該報告主要彙整 3 份工作小組報告，以及 3 份特別報告。針對該綜合報告有關氣候變遷及調適所述之內容，摘略如下：

一、當前趨勢與狀況

1. 現況與趨勢

全球地表溫度於 2011 年至 2020 年較 1850 年至 1900 年相比，高出約 1.1°C (0.95°C ~ 1.20°C)，而陸域的增幅 (1.34°C ~ 1.83°C) 較海洋上的增幅(0.68°C ~ 1.01°C)更大。而自 1750 年以來，觀測到的溫室氣體濃度增加，明顯是由人類活動排放溫室氣體所引起的。至 2019 年，二氧化碳濃度達到 410 ppm，甲烷濃度達到 1866 ppb，氧化亞氮 (N_2O) 濃度達到 332 ppb²¹。依據統計，2019 年溫室氣體淨排放量，約 34% 來

²⁰ 參見 UN 網頁：<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-3/>, last visited August 8, 2023.

²¹ IPCC, Synthesis Report of the IPCC sixth Assessment Report (AR6) Longer Report, PP.6, (2023).

自能源部門，24%來自工業部門，15%來自運輸部門，6%來自住商部門。在 2010 年至 2019 年間的平均年溫室氣體排放量的增長有所放緩，但在運輸部門方面則大致維持每年 2%左右的成長²²。

人為因素所影響的氣候變遷已經造成全球部分地區的氣候極端事件，而觀測到歸因於人類影響的極端事件（如熱浪、強降水、乾旱和熱帶氣旋）的證據力，比 AR5 來的更強，幾乎可以肯定的是，自 1950 年代以來，大部分陸域的極端高溫（包括熱浪）變得更加頻繁和強烈，而極端低溫（包括寒潮）變得不那麼頻繁和嚴重，而人類是造成這些氣候變遷主要的驅動力，氣候變遷對陸地、淡水、冰凍圈、沿海和海洋生態系統造成重大破壞，且其損失已越來越不可逆，氣候變遷導致山區降雨的改變、海洋酸化，或是海平面上升等情況，也導致近 50%的沿海濕地消失²³。

2. 當前的調適行動

調適規劃和實施在許多地區均取得進展與效益，包含地方政府、中央政府，國際機構等均展現高度的野心之外，民眾與政府對於氣候變遷的風險意識也不斷在提升，目前至少已有 170 個以上的國家和城市將調適納入其氣候政策與規劃，並透過不同的政策支援工具和氣候服務在不同領域加以落實。而在城市的調適方面，大多數係透過創新的災害風險管理、社會安全網，以及綠色/藍色的基礎設施來加以實現²⁴。

自 AR5 公布以來，全球投入在調適的資金已呈現上升的趨勢，但其資金僅占投入氣候變遷相關資金總額的一小部分，而且在不同地區和部門的發展上也存在不平衡的差異性。調適的資金來源主要來自包含透過補助、優惠和非具優惠方式的措施，而就私部門而言，來自商業金融機構、機構投資者、其他私募股權、非金融公司以及社區和家庭等各種來源調適資金相對有限，尤其是在開發中國家²⁵。

以生態系統(Ecosystem-based)為基礎的調適方法，例如城市綠化、濕地恢復，以及上游森林生態系統的改善等，可以減少包括洪水風險、城市高溫等氣候變遷風險，並提供多重之協同效益。部分以土地使用為

²² IPCC, Synthesis Report of the IPCC sixth Assessment Report (AR6) Longer Report, PP.10, (2023).

²³ IPCC, Synthesis Report of the IPCC sixth Assessment Report (AR6) Longer Report, PP.15, (2023).

²⁴ IPCC, Synthesis Report of the IPCC sixth Assessment Report (AR6) Longer Report, PP.21~22, (2023).

²⁵ IPCC, Synthesis Report of the IPCC sixth Assessment Report (AR6) Longer Report, PP.22, (2023).

基礎之調適方案，例如濕地保存、牧場維持，以及紅樹林維護等，亦可提供立竿見影的效益，其他如造林、農林業的開墾等，則需要較長時間才能產生平衡的效果²⁶。

3. 調適規劃的差距及障礙

儘管全球在調適方面已取得部分進展，惟在當前調適規劃與應對影響，以及減少氣候風險所需的水平之間，仍存在著顯差距。例如部分地區基於某些考量，在強化防洪韌性上採取硬防洪方式，但此舉亦減少了調適轉型可能的機會²⁷。

部分調適作為紓解了一些氣候變遷的影響，但某些部門和地區已經達到了軟調適限制(Soft adaptation limits)和硬調適限制(Hard adaptation limits)²⁸。已達到硬調適極限的生態系統，例如溫水珊瑚礁、沿海濕地、雨林，以及極地和山區生態系統等部分區域，已逾越以硬保護(Hard protection)硬體設施及結構來保護之程度。而其他達到軟調適限制之區域，如澳大利亞與小島嶼低窪沿海地區的個人和家庭，以及中南美洲、非洲、歐洲和亞洲的小農等，由於受限於金融、治理、體制和政策等限制，而達到了軟極限（中等信度），惟未來仍可透過增量調適措施、變革性調適等作法，協助克服軟調適之限制²⁹。

二、未來氣候變遷、風險與長期應對

1. 未來氣候變遷

在考慮多種情境和建模路徑中，全球變暖在短期內仍將繼續加劇，預估在 2030 年代上半葉，全球暖化將達到 1.5°C 。除非在未來幾十年內大幅減少 CO₂ 和其他溫室氣體排放(於極低溫室氣體排放情境 SSP1-1.9 之下³⁰)，否則全球將在 21 世紀超過 2°C ³¹。

²⁶ IPCC, Synthesis Report of the IPCC sixth Assessment Report (AR6) Longer Report, PP.23, (2023).

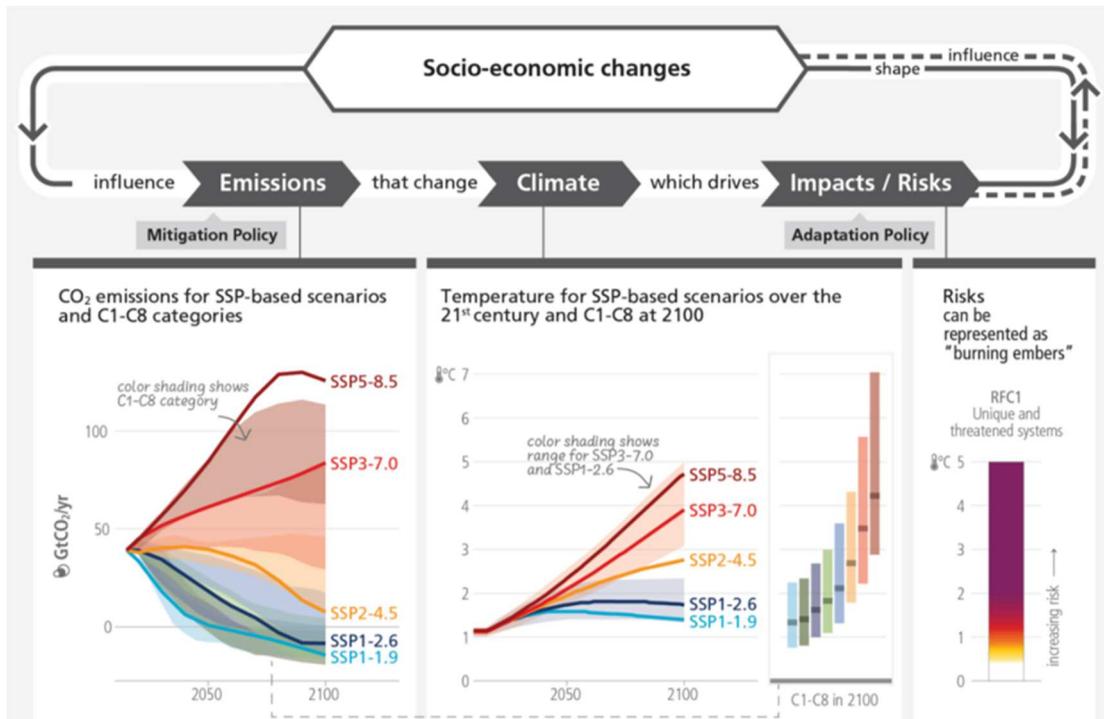
²⁷ IPCC, Synthesis Report of the IPCC sixth Assessment Report (AR6) Longer Report, PP.27, (2023).

²⁸ Adaptation limit: The point at which an actor's objectives (or system needs) cannot be secured from intolerable risks through adaptive actions. Hard adaptation limit - No adaptive actions are possible to avoid intolerable risks. Soft adaptation limit - Options are currently not available to avoid intolerable risks through adaptive action, 參見 IPCC, Synthesis Report of the IPCC sixth Assessment Report (AR6) Longer Report, PP.28, (2023).

²⁹ IPCC, Synthesis Report of the IPCC sixth Assessment Report (AR6) Longer Report, PP.28, (2023).

³⁰ 於 AR6 報告中，IPCC 使用 5 種不同的共享社會經濟路徑(Shared Socio-economic Pathway)，包含極低溫室氣體排放情境 SSP1-1.9、低度溫室氣體排放情境 SSP1-2.6、中度溫室氣體排放情境 SSP2-4.5、高度溫室氣體排放情境 SSP3-7.0、極高溫室氣體排放情境 SSP5-8.5。

³¹ IPCC, Synthesis Report of the IPCC sixth Assessment Report (AR6) Longer Report, PP.33, (2023).



資料來源： Synthesis Report of the IPCC sixth Assessment Report (AR6) Longer Report

圖 2.1-2 AR6 關於未來氣候、影響和減緩的綜合評估框架

在全球暖化進一步加劇的情境下，預估所有地區都將出現愈來愈多的極端氣候事件。全球暖化達 1.5 °C 時，預估強降水和洪水事件將在非洲、亞洲（高信度）、北美（中到高信度）和歐洲（中等信度）的大部分地區，且其強度將變得更加頻繁。在 2 °C 或以上時，這些變化會擴展到更多地區和/或變得更加顯著（高信度），並且預估歐洲、非洲、大洋洲以及北美洲、中美洲和南美洲將出現更頻繁和/或更嚴重的農業和生態乾旱（中等至高可信度）。其他預估的區域變化包括熱帶氣旋和/或溫帶風暴的增強（中等信度），以及乾旱和火災天氣的增加（中等至高信度）。複合熱浪和乾旱可能會變得更加頻繁，包括同時發生在多個地點（高信度）³²。

³² IPCC, Synthesis Report of the IPCC sixth Assessment Report (AR6) Longer Report, PP.34, (2023).

2. 影響及風險

有關於風險的決定因素，AR6 認為氣候相關的危害、受影響的人類社會、物種或生態系統的暴露和脆弱度之間的動態相互作用，導致了氣候變遷的風險，當氣候變遷減緩或調適措施未能實現其預期目標，或對其他社會目標造成不利影響時，也可能產生風險³³。



資料來源：Synthesis Report of the IPCC sixth Assessment Report (AR6) Longer Report

圖 2.1-3 AR6 有關於風險之決定因素

當全球暖化升溫至 1.5°C 時，預估在健康、生計、糧食安全、供水、人類安全和經濟成長相關的氣候風險將增加。在陸地生態系統中，預估約數萬種物種中有 3-14% 可能面臨非常高的滅絕風險、珊瑚礁將減少 70-90%（高信度），世界許多低海拔和小型冰川將在幾十年到幾個世紀內全數或大部分消失（高信度）。風險特別高的地區包括北極生態系統、旱地地區、小島嶼發展中國家和最不發達的國家³⁴。

當全球暖化升溫至 2°C ，與氣候相關的糧食供應和飲食質量變化之下，預計將增加與營養相關的疾病和營養不良之人數至數億人，特別是撒哈拉以南的非洲、南亞，以及中美洲低收入和中等收入國家的低收入家庭（高信度）。中長期而言，城市、住區和關鍵基礎設施面臨的氣候變

³³ IPCC, Synthesis Report of the IPCC sixth Assessment Report (AR6) Longer Report, PP.31, (2023).

³⁴ IPCC, Synthesis Report of the IPCC sixth Assessment Report (AR6) Longer Report, PP.36, (2023).

遷風險將急劇上升，特別是在已經暴露在高溫下、沿海地區或高度脆弱的地區(高信度)³⁵。

當全球暖化升溫至 3°C 時，許多部門和地區將導致許多前揭敘明的系統性影響、不可逆的變化，以及額外的調適限制。例如升溫從 1.5°C 上升到 3°C，生物多樣性熱點特有物種的極高滅絕風險將增加至少 10 倍，直接導致的洪水損失將增加 2.5~3.9 倍(中等信度)³⁶。

當全球暖化升溫超過 4°C 後，將對自然系統的影響，包括約 50% 的熱帶海洋物種局部滅絕（中信度），以及全球 35% 陸域面積的生物群落產生變化（中信度）。如果不採取額外的調適措施，將影響超過 21 億人（中信度），預計約 40 億人將面臨水資源短缺（中信度），全球火災面積將增加 50~70%，火災頻率亦將增加約 30%（中信度）³⁷。

3.長期調適方案的限制與選項

隨著全球暖化的加劇，調適方案將受到更多的限制，有效性也會跟著降低。例如農業領域最常見的調適措施-採用改良品種和農藝作法，於升溫至 2°C 以上，其效益將變得不那麼有效；大多數與水相關的調適方案，其有效性會隨著暖化的加劇而下降。基於生態系統的調適方案更容易受到全球暖化的加劇而下降。在全球範圍內，與農林業和林業相關的調適方案在 3°C 時有效性將會急劇下降，殘餘風險也將大幅增加³⁸。

綜合性、跨領域的多部門調適措施可提高有效性。例如，結合地方、次國家以及國家層級的長期規劃，再加上有效的監管和監測系統，以及財政、技術資源與能力的支持，可促進城鄉體系的轉型。一系列跨領域的調適方案，例如災害風險管理、預警系統、氣候服務以及風險分散和分擔，這些調適方案在各部門具有廣泛的適用性，若適時結合起來，可以為其他調適方案帶來更大的效益³⁹。

三、氣候變遷中的近期應對措施

1.氣候行動的時機和緊迫性

³⁵ IPCC, Synthesis Report of the IPCC sixth Assessment Report (AR6) Longer Report, PP.36, (2023).

³⁶ IPCC, Synthesis Report of the IPCC sixth Assessment Report (AR6) Longer Report, PP.37, (2023).

³⁷ IPCC, Synthesis Report of the IPCC sixth Assessment Report (AR6) Longer Report, PP.37, (2023).

³⁸ IPCC, Synthesis Report of the IPCC sixth Assessment Report (AR6) Longer Report, PP.44, (2023).

³⁹ IPCC, Synthesis Report of the IPCC sixth Assessment Report (AR6) Longer Report, PP.44, (2023).

深度、快速和持續的減緩以及加速實施調適措施可以降低氣候變遷帶給人類和生態系統帶來的風險。由於調適方案的實施期程往往較長，因此加速實施調適措施（特別是在這十年內）對於縮小調適差距更顯重要。此外，氣候變遷的幅度、速度以及風險，很大程度上取決於近期減緩和調適行動的執行成效，尤其許多調適方案在升溫 1.5°C 時，對於某些生態系統即已達到硬調適的限制，且隨著暖化的加劇，調適方案降低氣候風險的有效性也將下降。如果當前溫室氣體排放量不迅速下降，特別是全球暖化在短期內超過 1.5°C 時，調適發展的前景也將受到限制。倘若不採取緊急、有效和公平的調適和減緩行動，氣候變遷將日益威脅全球人民的健康和生計、生態系統健康和生物多樣性，對於當代和後代子孫也將帶來嚴重不利後果⁴⁰。

2. 加強近期行動的好處

將全球暖化限制在接近 1.5°C 的近期行動，將大大減少與氣候變遷在人類系統和生態系統的預計損失和損害，惟不能全然消除其損害。而創造近期行動的有利條件，將可減少或消弭障礙，並實現深入、快速的調適和減緩行動以及氣候調適型的發展機會。這些有利條件根據國家、區域和地方情況和地理位置以及能力而有所不同，包括：氣候行動的公平和包容性、部門和系統的快速和深遠的轉型、實現協同效應並減少與永續發展目標之間權衡的措施、治理和政策改進、融資渠道、改善國際合作和技術改進，以及跨部門、系統和地區的長期行動。若與延遲或不採取協調行動的調適方案相比，加強成本效益的近期行動，將可把全球暖化限制在 2°C 或更低，並降低系統轉型可行性的總體風險⁴¹。

3. 近期風險

全球暖化在短期內（2021-2040 年）預期仍將加劇，許多與氣候相關的自然與人類系統風險是取決於系統脆弱度和暴露程度的變化，而不是溫室氣體排放情境之間氣候危害的差異。預計近期（全球暖化升溫 1.5°C ）的主要危害和相關風險包括⁴²：

- 極端炎熱和危險的濕熱條件的強度和頻率增加，導致人類死亡率、

⁴⁰ IPCC, Synthesis Report of the IPCC sixth Assessment Report (AR6) Longer Report, PP.59-60, (2023).

⁴¹ IPCC, Synthesis Report of the IPCC sixth Assessment Report (AR6) Longer Report, PP.60, (2023).

⁴² IPCC, Synthesis Report of the IPCC sixth Assessment Report (AR6) Longer Report, PP.62-63, (2023)

- 發病率和勞動生產率損失增加（高信度）。
- 海洋熱浪頻率的增加將提高海洋生物多樣性喪失的風險，包括大規模死亡事件（高信度）。
- 森林生態系統（中等信度）、海帶和海草生態系統（高信度到極高信度）的生物多樣性喪失近期風險為中度到高度，北極海冰和陸地生態系統（高信度）和溫暖地區生物多樣性喪失的近期風險為高到極高。
- 包括沿海和其他低窪城市在內的許多地區出現更加強烈和頻繁的極端降雨和相關洪水（中到高信度），並且強烈熱帶氣旋的比例和中心風速的增加（高信度）。
- 旱地缺水、野火破壞和永凍土退化帶來的高風險（中等信度）。
- 海平面持續上升，極端海平面事件的頻率和強度不斷增加，侵蝕沿海人類住區並破壞沿海基礎設施（高信度），導致低窪沿海生態系統淹沒（中等信度）、土地鹽化範圍擴大（非常高信度），對生計、健康、福祉、文化價值觀、糧食和水安全帶來風險（高信度）。
- 從近期到長期來看，氣候變遷導致健康不良和過早死亡的案例將顯著增加（高信度）。若持續暖化對於氣候敏感的食源性疾病、水源性疾病和媒介傳播疾病的風險將增加（高信度），其他包括焦慮和壓力在內的心理健康挑戰亦同（非常高信度）。
- 與冰凍圈相關的洪水、山體滑坡和水資源供應變化，有可能給大多數山區的人民、基礎設施和經濟帶來嚴重後果（高信度）。
- 強降水頻率和強度的增加，預期將引發的局部洪水（中等信度）。

4. 氣候變遷行動的公平和包容

對於生活於貧困、基礎設施供給資源有限，以及對於氣候敏感較高的地區（例如小農、牧民、漁業社區），極易遭受氣候災害的影響，透過公平、包容、公正轉型，廣泛且有意義的參與各種調適行動的決策，除可更廣泛且深入地執行氣候行動之外，亦可以強化國家內部和區域間最弱勢群體的調適成果。而所謂公平與包容的調適行為，主要係將文化價值、地方歷史以及科學知識為基礎，進行有意義的調適行動參與及規劃，將有助於縮小及避免不當調適措施，並將氣候適應納入社會保護計畫，

包括現金轉移和公共工程等，特別是在得到基本服務和基礎設施支持的情況下，將有助於提升對氣候變遷的抵禦能力⁴³。

5. 治理與政策

有效的氣候行動需要政治承諾、協調一致的多層次治理、體制框架、法律、政策和戰略，其需要明確的目標、充足的金融和融資工具、跨多個政策領域的協調以及包容性的治理流程。許多減緩和調適政策工具已成功推動，如果根據國情擴大和廣泛應用，則可支持深度減排和氣候調適能力⁴⁴。

2.1.4 臺灣於 AR6 情境下之氣候影響

臺灣四周環海，多山且多雨，面對未來全球暖化的影響自不容忽視。參酌行政法人國家災害防救科技中心在 SSP1-2.6、SSP2-4.5、SSP3-7.0、SSP5-8.5 四個情境下的相關研究，以及臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台(TCCIP)之預測結果顯示，在平均氣溫、降雨等，均有顯著變化。相關氣候變化情形謹說明如下：

一、溫度變化

TCCIP 以 1995 年至 2014 年為基期，推估臺灣各地氣溫將持續上升。針對平均溫度部分，最劣情境(SSP5-8.5)下，21 世紀中、末之年平均氣溫可能上升超過 1.5°C 及 3.5°C ，即便在減碳情境(SSP1-2.6)的情況下，21 世紀中、末之年平均氣溫可能上升超過 1.2°C 及 1°C 。

另就夏季長度部分，推估未來臺灣的夏季長度將從目前約 130 天增長為 155-210 天，冬季長度則從目前約 70 天減少為 0-50 天。而在極端高溫事件部分，超過 36°C 日數會有所增加。在最劣情境(SSP5-8.5)下，21 世紀中、末臺灣可能增加幅度約 8.5 日、48.1 日，即便是在減碳情境(SSP1-2.6)下，在 21 世紀中、末，臺灣也可能增加幅度約 6.8 日及 6.6 日的天數⁴⁵。

有關臺灣日均溫於各情境之變化情形，詳圖 2.1-4 所示。

⁴³ IPCC, Synthesis Report of the IPCC sixth Assessment Report (AR6) Longer Report, PP.66-67, (2023)

⁴⁴ IPCC, Synthesis Report of the IPCC sixth Assessment Report (AR6) Longer Report, PP.78, (2023)

⁴⁵ 陳永明，「從 IPCC AR6 報告看氣候變遷衝擊與調適」簡報，頁 6~頁 8，111 年 3 月。



資料來源：臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台

圖 2.1-4 臺灣於各情境之日均溫趨勢圖

二、雨量變化

TCCIP 以 1995 年至 2014 年為基期，推估臺灣年總降雨量也有增加的趨勢。在最劣情境(SSP5-8.5)下，21 世紀中、末臺灣年總降雨量增加幅度約為 6.6%、20% 以上，其中在世紀末不確定性較大，在減碳情境(SSP1-2.6)的情況下，世紀末年總降雨量增加幅度僅為 6.9%。

而極端降雨與淹水發生機率未來變化趨勢部分，全臺極端降雨(最大 24 小時累積雨量 95 百分位數值)，除中部地區於世紀中略為減少，其他區域皆呈現增加趨勢。以臺北、宜蘭、臺南、高屏四分區淹水發生機率為例(以現有條件進行模擬)，世紀中較基期之淹水機率呈現持平或略為增加，世紀末增加幅度更為明顯；在山區極端降雨與坡地崩塌率未來變化趨勢方面，坡地重點集水區極端降雨(最大 24 小時累積雨量 95 百分位數值)，世紀中除中部山區外，其餘為增加趨勢；世紀末增加趨勢更為明顯。若以坡地崩塌潛勢模擬，以新店溪、曾文水庫集水區為例(以現有條件進行模擬)，世紀中較基期之崩塌率呈現持平或略為增加。至於年最大連續不降雨日數部分則有增加趨勢。在最劣情境(SSP5-8.5)下，21 世紀中、末臺灣增加幅度約為 5.5%、12.4%。在減碳情境(SSP1-2.6)下，21 世紀中、末臺灣增加幅度約為 1.7%、0.4%⁴⁶。

⁴⁶ 陳永明，「從 IPCC AR6 報告看氣候變遷衝擊與調適」簡報，頁 12~頁 16，111 年 3 月。

有關臺灣年總降雨量於各情境之變化情形，詳圖 2.1-5 所示。



資料來源：臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台

圖 2.1-5 臺灣於各情境之年總降雨量趨勢圖

2.2 國際氣候變遷調適標準

國際標準化組織（International Organization for Standardization, ISO）是一個國際性的標準制定機構，成立於 1947 年。ISO 總部位於瑞士日內瓦，由來自不同國家的標準制定機構所組成，其主要目標是透過制定和發布國際標準來促進國際貿易和合作。

國際標準化組織（ISO）在環境管理領域制定許多標準，該等標準協助政府與企業落實相關環境管理，減少對環境的不良影響，並提高環境永續性，其包含 ISO 14001：環境管理系統（Environmental Management Systems）、ISO 14004：環境管理系統實施指南與支援（Environmental Management Systems - General Guidelines on Implementation）、ISO 14006：環境管理系統和生態設計（Environmental Management Systems - Guidelines for Incorporating Ecodesign）。

而隨著氣候變遷所衍生的極端氣候，對於各區域之影響愈發嚴重，雖然氣候變遷的衝擊隨著各區域的不同而具有其特殊性，惟在辦理氣候變遷調適的過程中，仍存在著共通性可彙整作為標準作業程序的可能，因此國際標準組織（ISO）針對氣候變遷管理的溫室氣體減緩以及調適方面，分別公布 ISO 14080：溫室氣體的管理及相關活動-因應氣候行動之方法學框架和原則（Greenhouse gas management and related activities - Framework and principles for methodologies on climate actions），以及 ISO 14090：氣候變遷調適-原則、規定與指引（Adaptation to climate change - Principles, requirements and guidelines）。

針對溫室氣體減緩部分，ISO 14080 於 2018 年 6 月發布，此標準提供支持國家與其它利害關係方在選擇一致性、可比性、透明度方法，以及方法學提出、使用、修改和維護之框架指引。

而在調適方面，國際標準組織（ISO）於 2019 年 7 月發布 ISO 14090，此標準可以協助組織發展可供驗證之調適活動措施與報告方法，並陸續發布 ISO 14090 系列標準，其包含：「ISO 14090：氣候變遷調適-原則、規定與指引（Adaptation to climate change - Principles, requirements and guidelines）」、「ISO 14091：氣候變遷調適-脆弱度、衝擊及風險評估指引（Adaptation to climate change - Guidelines on vulnerability, impacts and

risk assessment)」、「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(Adaptation to climate change - Requirements and guidance on adaptation planning for local governments and communities)」，以及「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-要求和指引(Mechanism for financing local adaptation to climate change - Performance-based climate resilience grants - Requirements and guidelines)」。

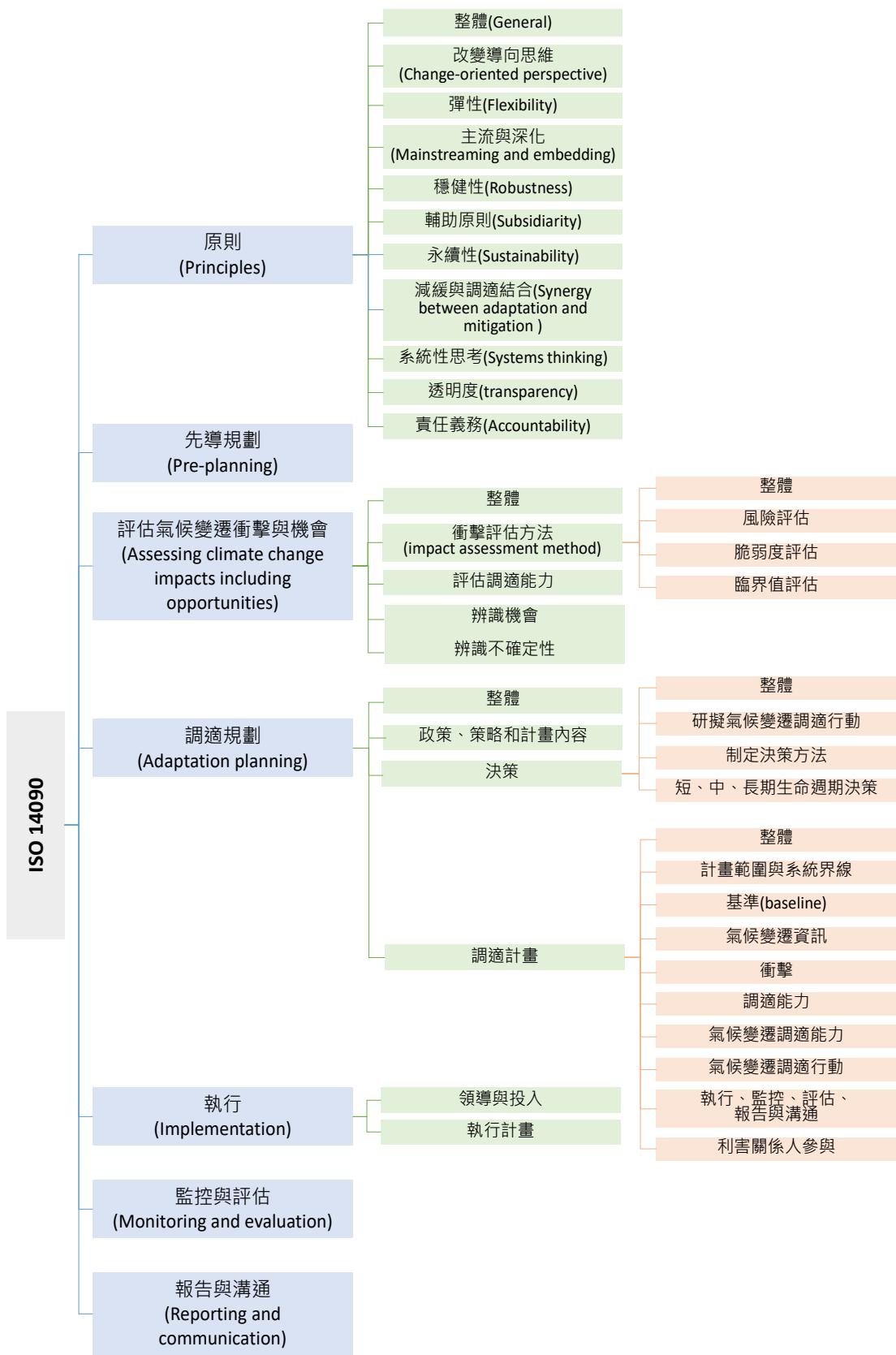
一、ISO 14090 氣候變遷調適—原則、規定與指引

18世紀工業革命開始以來排放的溫室氣體，正逐步影響世界的每個角落，為因應氣候變遷調適之所需，減少極端氣候所帶來的威脅並創造最大機會，ISO 組織於 2019 年公布「ISO 14090 氣候變遷調適-原則、規定與指引」，此為全球第一項針對氣候變遷調適所訂的標準，也是氣候變遷調適系列標準，說明如何將調適思維與措施導入組織及跨組織協作⁴⁷。

ISO 14090 共計十章，包含第一章：適用範圍、第二章：規範性引用文件、第三章：用語與定義、第四章：原則、第五章：預先規劃、第六章：評估氣候變遷影響、第七章：調適規劃、第八章：實施、第九章：監測與評估、第十章：報告與溝通。該標準最主要目的是建立一致化的架構與實際的執行方法架構圖如圖 2.2-1 所示，另主要要點，包含：

- 原則和框架： ISO 14090 提供的原則，包括永續性、減緩與調適結合、系統性思考、透明度、責任義務等。
- 調適規劃體系： 標準要求組織制定、實施和維護調適管理體系，以確保其能夠有效應對氣候變遷的影響。此包含風險評估、規劃和執行調適措施、監測和評估的過程。
- 監測和評估： ISO 14090 強調了適應性管理體系中的監測和評估的重要性，以確保適應性措施的有效性，並在必要時進行調整。
- 跨部門和跨組織合作： ISO 14090 鼓勵組織在氣候變遷調適方面進行跨部門和跨組織的合作，以共同應對氣候變遷帶來之挑戰。

⁴⁷ 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(期末修正定稿報告)，頁 2-15~2-23，112 年 7 月。



資料來源：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(期末修正定稿報告)

圖 2.2-1 ISO14090 架構示意圖

二、ISO 14091 脆弱度、衝擊與風險評估指引

氣候變遷正在以各種方式影響各區域及組織，且其極端氣候的衝擊預期也將持續影響至未來的各個領域，對於公、私部門而言，愈來愈需要瞭解氣候變遷風險、減輕以及後續管理策略的內涵。因此，於此時提供氣候變遷相關風險評估的作業準則似更顯關鍵。

為了以及時的速度與規模提供相對應的措施，將風險評估方法予以系統化並且可以複製，並且隨著新知識、技術與經驗的出現，可以在組織內部以及外部單位進行評估與學習，ISO 組織於 2021 年公布「ISO 14091 氣候變遷調適-脆弱度、衝擊與風險評估指引」，主要針對氣候風險的概念、氣候變遷風險評估前置作業，以及執行氣候變遷風險評估之方式進行一系列的說明。

ISO 14091 內文計有七章，包含第一章：適用範圍；第二章：規範性引用文件、第三章：用語與定義、第四章：氣候變遷風險評估、第五章：氣候風險評估準備、第六章：執行氣候風險評估、第七章：報告與溝通氣候風險評估結果，主要作為包含：

- 脆弱度評估： ISO 14091 提供有關如何評估系統、資源、生態系統、經濟和社會的脆弱度的指引。脆弱度評估有助於確定哪些部分係屬易受氣候變遷的不利影響。
- 風險評估： ISO 14091 強調了風險評估的重要性，以確定潛在的氣候變遷風險，並說明組織規劃調適策略之外，亦包含風險識別、風險評估、風險描述和風險估算等過程。
- 應對氣候變化： ISO 14091 提供關於如何選擇和實施調適措施之優先順序，除降低氣候變遷風險之外，亦有助於組織辨識及瞭解氣候變遷的影響，進而支援決策。

有關 ISO 14091 架構圖如圖 2.2-2 所示。



資料來源：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(期末修正稿報告)

圖 2.2-2 ISO14091 架構示意圖

三、ISO 14092 對地方和社區調適計畫之要求與指引

「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」係於 2020 年公布，其內容主要規範地方政府和社區在進行氣候變遷調適規劃的要求和指引。

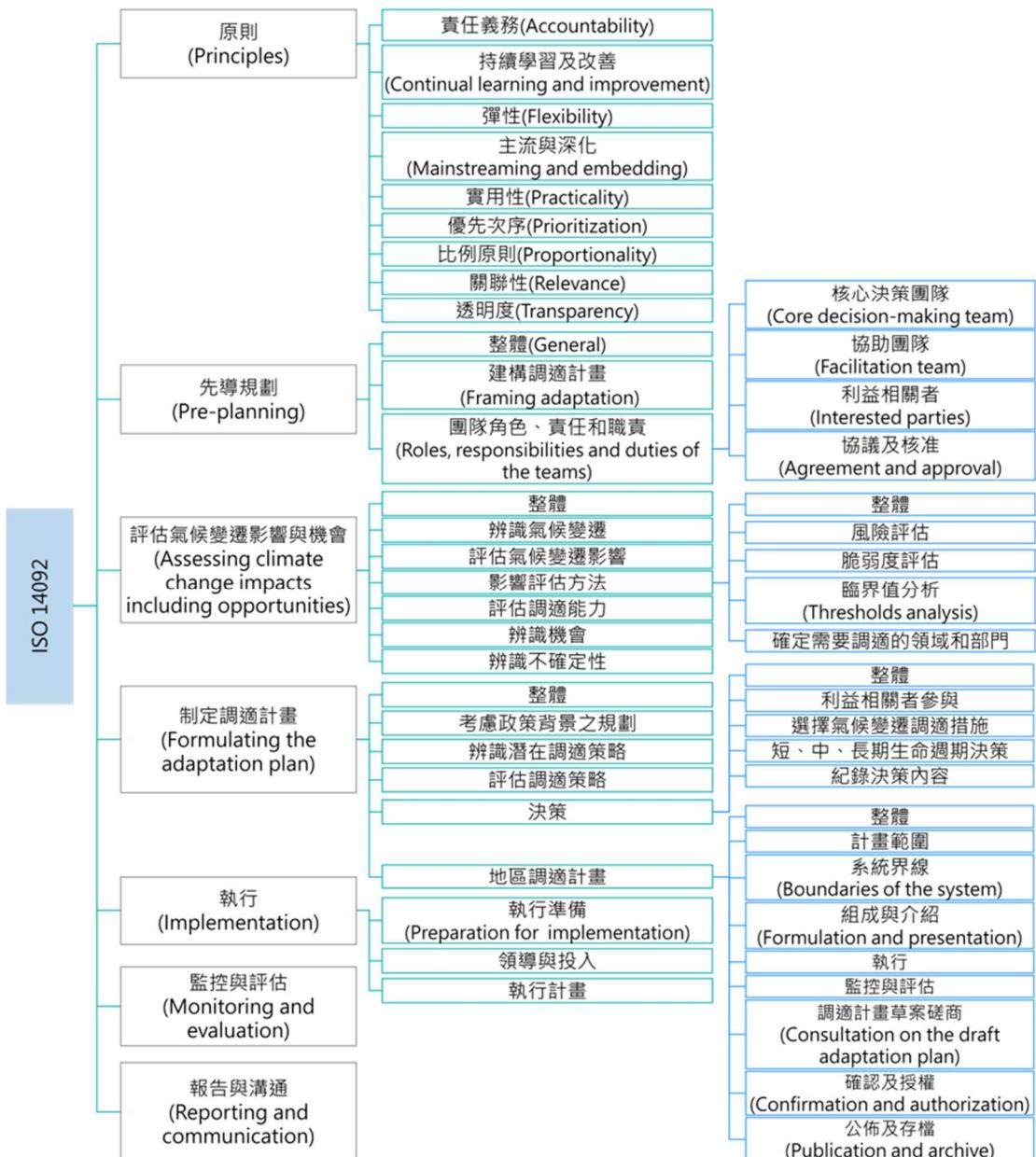
ISO 14092 主要係聚焦於地方政府和社區擬定調適計畫之相關內容，擬定內容涵蓋建立治理團隊之方法、調適計畫和執行過程之要件。調適計畫執行要件包括建立協助團隊、評估風險和制定有效計畫、監測調適執行

進度，並評估成果進而改善計畫，然為考量地區間氣候、環境和社會條件之差異，調適計畫執行過程可依據當地需求進行調整，此外，各地區所需調適計畫及行動，須隨時因應氣候變遷極端天氣事件改變進行調整，所以應持續學習、改善、關注並滾動檢討該調適計畫⁴⁸。

該標準提供地方政府和社區根據脆弱度、影響和風險評估來進行氣候變遷調適。在與相關利益方合作時，該標準還支援確定優先事項以及調適計畫的製定與後續更新。

有關 ISO 14092 架構圖如圖 2.2-3 所示。

⁴⁸ 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(期末修正定稿報告)，頁 2-20，112 年 7 月。



資料來源：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(期末修正稿報告)

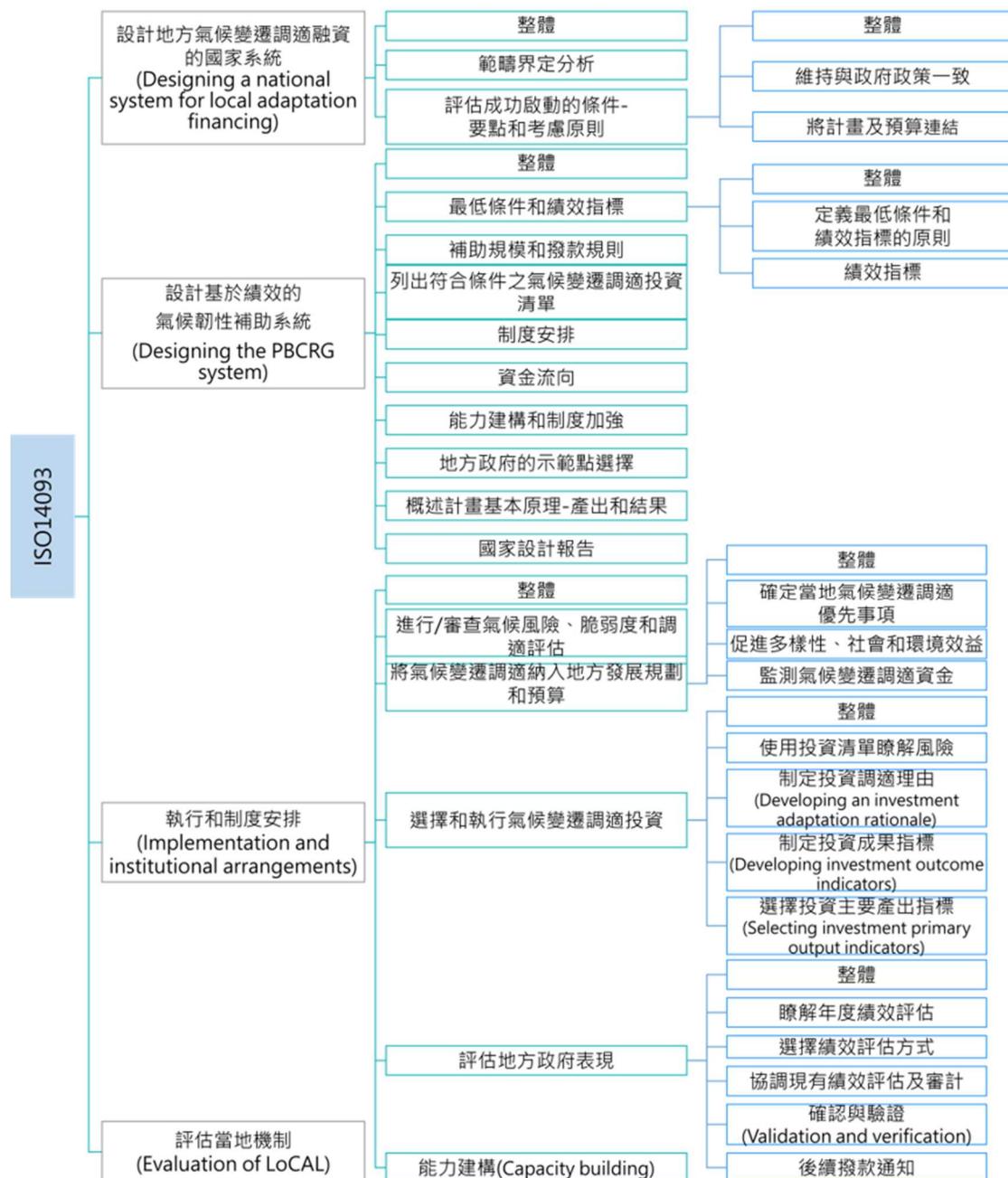
圖 2.2-3 ISO14092 架構示意圖

四、ISO 14093 氣候變遷地方調適計畫融資機制

「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-要求和指引」係於 2022 年公布，該標準確立了一種基於國家的機制的方針和方法，將氣候融資引導至國家以下各級當局，以支持氣候變遷調適並提高地方復原力，從而協助實現 2015 年「聯合國氣候變遷框架公約」巴黎協定的目標氣候變遷 (UNFCCC) 和聯合國永續發展目標 (SDG)。基

於國家的機制使用基於績效的氣候韌性補助（Performance-based climate resilience grants, PBCRG），確保地方政府在氣候變遷支出的規劃和核査，進而激勵地方政府採取具針對性之調適行動。

有關 ISO 140913 架構圖如圖 2.3-4 所示。



資料來源：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(期末修正定稿報告)

圖 2.2-4 ISO14093 架構示意圖

2.3 我國因應氣候變遷調適之法規與政策

2.3.1 氣候變遷因應法

呼應全球氣候變遷與淨零排放的浪潮下，行政院於 2022 年 4 月 21 日通過「溫室氣體減量及管理法」修正草案，並將其更名為「氣候變遷因應法」，除彰顯我國應對延緩全球暖化的思維，從早期對於溫室氣體排放的管理，轉型為針對氣候變遷議題的治理⁴⁹之外，亦新增調適專章，藉此凸顯「減緩」與「調適」並重的外觀。

「氣候變遷因應法」草案歷經立法院黨團多次協商後，於 2023 年 1 月 10 日經立法院三讀通過，同年 2 月 15 日經總統公布施行，除明定我國國家溫室氣體長期減量目標於 2050 年達到溫室氣體淨零排放(§4 I)，亦將我國各級政府之權責明確化。

綜觀本次「氣候變遷因應法」之修法內容，在減緩與調適部分，約略可綜理以下要點，茲簡述如下：

一、賦予政府與團體推動氣候變遷調適能力建構事項與責任

考量能力建構為氣候變遷調適工作之基礎，該法透過落實具整體性及綜效之作為，可有效提升國家整體因應氣候變遷基礎能力，爰於第 17 條第 1 項定明政府應推動氣候變遷調適能力建構事項；另考量氣候變遷調適之行動本於合作原則，爰於第 2 項明定國民、事業及團體應致力參與氣候變遷調適之責任。

二、明訂氣候變遷風險評估作業準則

中央主管機關(環境部)、中央科技主管機關(國家科學及技術委員會)及氣象主管機關依據「氣候變遷因應法」之規定，應配合聯合國政府間氣候變化專門委員會公布之氣候變遷推估資料、風險評估方法、報告，定期應公開本土性氣候變遷科學報告(§18)之外，亦規定中央主管機關應會商有關機關並訂定氣候變遷風險評估作業準則，以提供相關部會進行氣候變遷

⁴⁹ 黃亭好，氣候變遷因應法之初探及評析，月旦律評，頁 126，No.15，112 年 6 月。

風險評估之依據。

三、踐行民眾參與程序規定

納入易受氣候變遷衝擊領域之中央目的事業主管機關應擬訂該領域調適行動方案及訂定目標，而各領域之調適行動方案及調適目標於擬定時，應邀集中央及地方有關機關、學者、專家、民間團體經召開公聽會程序，以踐行民眾參與。此外，中央目的事業主管機關每年應編寫調適行動方案成果報告，送中央主管機關報請行政院核定後對外公開。

四、規範地方政府推動責任

該法於第 20 條規範直轄市、縣（市）主管機關應依國家因應氣候變遷行動綱領、國家調適計畫，以及調適行動方案訂修氣候變遷調適執行方案。直轄市、縣（市）主管機關增訂調適執行方案，應踐行公眾參與程序後送地方氣候變遷因應推動會及對外公開規定。

2.3.2 國家因應氣候變遷行動綱領

行政院環境保護署(現為環境部)於 2015 年依據當時公布施行之「溫室氣體減量及管理法」第 9 條第 1 項之規定⁵⁰，擬訂「國家因應氣候變遷行動綱領」，於 2017 年 2 月 23 日奉行政院核定後，配合「氣候變遷因應法」之修訂，作為全國溫室氣體減量及施政之總方針。

行政院 2017 年核定之「國家因應氣候變遷行動綱領」內容主要包含前言、願景及目標、基本原則、政策內涵，以及後續推動等 5 個主軸，期透過中央及地方政府、民間團體及全民共同合作，引導低碳永續生活行為改變，並考量跨世代衡平義務及弱勢族群權利，制定氣候變遷調適策略，降低與管理溫室氣體排放，落實環境正義，建立永續城市及全球夥伴關係，確保國家永續發展之終極目標。

「國家因應氣候變遷行動綱領」(核定版)明確擘劃我國推動溫室氣體減緩及氣候變遷調適政策總方針之外，於政策內涵方面，也針對氣候變遷

⁵⁰ 「溫室氣體減量及管理法」第 9 條第 1 項：「中央主管機關為推動國家溫室氣體減量政策，應依我國經濟、能源、環境狀況，參酌國際現況及前條第一項分工事宜，擬訂國家因應氣候變遷行動綱領（以下簡稱行動綱領）及溫室氣體減量推動方案（以下簡稱推動方案），會商中央目的事業主管機關，報請行政院核定後實施。」

調適部分，提出「加強災害風險評估與治理」、「提升維生基礎設施韌性」、「確保水資源供需平衡與效能」、「確保國土安全與、強化整合管理」、「防範海岸災害、確保永續海洋資源」、「提升能源供給及產業之調適能力」、確保農業生產及維護生物多樣性」，以及「強化醫療衛生及防疫系統、提升健康風險管理」等 8 項政策內涵，其中在「提升維生基礎設施韌性」部分，提出「強化能源及給水等供給系統之建設、風險評估與檢修應變力」，以及「提升運輸、通訊及資訊系統等設施因應氣候變遷之調適能力」2 項，明確將提升運輸系統設施之韌性，納入因應氣候變遷調適能力之政策。

此外，配合「溫室氣體減量及管理法」於 2023 年 1 月 10 日配合修正為「氣候變遷因應法」，原第 9 條第 1 項及第 2 項之規定亦同時配合修正⁵¹，參酌立法院之修正理由，包含：該法修正前著重於溫室氣體減量管理，該次修正係為全面建構因應氣候變遷體系，除酌作文字修正之外，另為落實政府資訊公開，以利民眾參與，增訂「國家因應氣候變遷行動綱領」應予以公開之規定。此外，考量「國家因應氣候變遷行動綱領」為氣候變遷調適及溫室氣體減量之重要施政方針，故將彈性檢討年限縮短為 4 年⁵²。

因此，於「氣候變遷因應法」修正與公布後，環境部於 2013 年亦提出「國家因應氣候變遷行動綱領」(草案)，內容維持包含前言、願景及目標、基本原則、政策內涵，以及後續推動等 5 個主軸，惟在政策內涵方面，修正為「提升維生基礎設施韌性」、「確保水資源供需平衡與效能」、「促進土地利用合理配置，提升國土韌性」、「防範海岸災害、確保永續海洋資源」、「提升能源供給及產業之調適能力」、「確保農業生產及維護生物多樣性」，以及「強化醫療衛生及防疫體系、提升健康風險管理」，其中在「提升維生基礎設施韌性」方面，調整為「整合國土防洪治水韌性調適能力，強化公共工程應變能力」以及「提升運輸、通訊及資訊系統等設施因應氣候變遷之調適能力」2 項，此亦首次將防汛期間之國土防洪治水以及在建公共工程納入氣候變遷調適範圍。環境部將該修正版本陳報行政院，經

⁵¹ 「氣候變遷因應法」第 9 條第 1 項：「中央主管機關應依我國經濟、能源、環境狀況、參酌國際現況及前條第一項分工事宜，擬訂國家因應氣候變遷行動綱領（以下簡稱行動綱領），會商中央目的事業主管機關，報請行政院核定後實施，並對外公開。」；第 2 項：「前項行動綱領，中央主管機關應參照聯合國氣候變化綱要公約與其協議或相關國際公約決議事項及國內情勢變化，至少每四年檢討一次。」

⁵² 參見立法院法律系統：

<https://lis.ly.gov.tw/lglawc/lawsingle?00670B313F61000000000000000032000000007000000^03717112011000^0003B001001>, last visited September 4, 2023.

行政院 112 年 11 月 3 日核示，所報修正後之「國家因應氣候變遷行動綱領」，准予依核定本辦理。

有關「國家因應氣候變遷行動綱領」2017 年版本與 2023 年版本比較如表 2.3-1 所述。

表 2.3-1 國家因應氣候變遷行動綱領核定本與修正本內容比較表

內容	國家因應氣候變遷行動綱領 (2017 核定本)	國家因應氣候變遷行動綱領 (2023 修正本)
願景與目標	願景：制定氣候變遷調適策略，降低與管理溫室氣體排放，建構能適應氣候風險之綠色低碳家園，確保國家永續發展。 目標：健全我國面對氣候變遷之調適能力，以降低脆弱度並強化韌性。	願景：制定氣候變遷調適策略及淨零排放路徑藍圖，建構能適應氣候風險之綠色低碳家園，確保國家永續發展。 目標：提升我國面對氣候變遷之調適能力，強化氣候變遷韌性及降低脆弱度
基本原則	2. 決策制定與落實公開透明，並考量各種環境議題的共同效益，在最低成本精神下，推動溫室氣體減量及氣候變遷調適策略。 6. 強化科學基礎，建構全面預警能力，提升因應氣候變遷之調適作為及建構韌性發展。	2. 考量符合公正轉型精神之原則，落實政策公開透明，推動重視以自然為本的解決方案，兼顧共同效益之調適與減緩策略。 6. 強化科學基礎，強化風險評估與預警能力，提升因應氣候變遷之調適作為及建構韌性發展。
政策內涵 (提升維生基礎設施韌性)	(二)提升維生基礎設施韌性 1. 強化能源及給水等供給系統之建設、風險評估與檢修應變力。 2. 提升運輸、通訊及資訊系統等設施因應氣候變遷之調適能力。	參酌國內外最新氣候變遷科學研究、分析及情境推估，納入因應氣候變遷風險因子，提高氣候變遷調適能力，降低脆弱度及強化韌性，落實氣候變遷風險評估，規劃早期預警機制及系統監測，確保國家永續發展。 (一)提升維生基礎設施韌性 1. 整合國土防洪治水韌性調適能力，強化公共工程應變能力。 2. 提升運輸、通訊及資訊系統等設施因應氣候變遷之調適能力。
後續推動	中央主管機關應會商中央目的	中央主管機關應依我國經濟、

內容	國家因應氣候變遷行動綱領 (2017 核定本)	國家因應氣候變遷行動綱領 (2023 修正本)
	事業主管機關，訂定每 5 年為一期之階段管制目標及研擬溫室氣體減量推動方案，報行政院核定並定期滾動式檢討。	能源、環境狀況及參酌國際現況，會商中央目的事業主管機關擬訂本行動綱領，每 4 年檢討一次。

資料來源：本計畫整理。

2.3.3 國家氣候變遷調適行動計畫

為健全我國於因應氣候變遷之調適能力，並建立國家氣候變遷調適推動機制，行政院經濟建設委員會(現為國家發展委員會)於 2010 年成立「規劃推動氣候變遷調適政策綱領及行動計畫」專案小組，並依據 2014 年核定之「國家氣候變遷調適行動計畫(102-106 年)」，區分 8 個調適領域，分由各主責部會共同推動國家氣候變遷調適行動⁵³。

行政院行政院環境保護署(現為環境部)於 2018 年與國家發展委員會等 16 個部會共同研擬「國家氣候變遷調適行動方案 (107-111 年)」，持續推動我國調適工作。此外，環境部配合「氣候變遷因應法」之修法意旨，包含增列調適專章、強化氣候變遷調適能力建構、科研接軌及各級政府推動架構等規定，同時參酌前期(107-111 年)之行動方案執行成果，與各部會共同研擬「國家氣候變遷調適行動計畫 (112-115 年)」(草案)後，納入固定暖化情境、調適框架設定、公眾參與及以自然為本的解決方案 (NbS) 等重要概念，透過藉由部會協作落實國家氣候變遷調適工作，輔以滾動修正原則，推動我國社會、經濟及環境之永續發展⁵⁴。

環境部於 112 年 7 月 14 日、17 日及 19 日分別於高雄、臺中、臺北辦理「易受氣候變遷衝擊領域調適行動方案公聽會」，並經各主責部會完成修正後，經環境部彙整「國家氣候變遷調適行動計畫 (112-115 年)」(修正版)奉行政院於 112 年 10 月 4 日核定。

參酌交通部彙整「維生基礎設施領域氣候變遷調適行動方案 (112-115 年)」，針對運輸系統所面臨之前在氣候衝擊綜理如表 2.3-2 所示。

⁵³ 環境部，國家氣候變遷調適行動方案(107-111 年)(核定本)，頁 1，108 年 8 月。

⁵⁴ 交通部，維生基礎設施領域氣候變遷調適行動方案 (112-115 年)，頁 1，112 年 8 月。

表 2.3-2 運輸系統面臨潛在氣候衝擊綜理表

運輸系統	系統組成	氣候壓力因素	對於系統直接衝擊
公路	路段結構（包含橋梁及隧道）	強降雨	土壤含水量過高影響道路邊坡、隧道口的結構強度
			強降雨沖刷橋梁基礎
		強風	強風影響橋梁結構
		暴潮/風浪	暴潮/風浪加劇橋墩的沖刷
	路段基礎/地表下	強降雨	路基受沖蝕掏空
		海平面上升	加劇路基的沖刷
	路段排水	強降雨	排水不良造成淹水
	路段橫斷面	強降雨	道路的橫斷面，面臨強風暴雨沖刷等影響
	路段材料	高溫	鋪面材料軟化與標線變形
	路廊周邊環境	強降雨	路廊因地表逕流溢淹，影響周邊排水系統與生態環境
		強風	路樹傾倒造成道路中斷
		高溫	引發邊坡野火
	路網替代道路	強降雨	替代道路數量低，強降雨時可能面臨運輸中斷
		暴潮/風浪	海浪越堤溢淹災害，海岸線退縮，淘刷公路底部基座
		海平面上升	替代道路被淹沒
	交通場站	強降雨	交通場站聯外道路淹水，造成運輸中斷
		暴潮/風浪	交通場站聯外道路淹水，造成運輸中斷
鐵路	軌道構造（包含橋梁、軌道、隧道）	強降雨	橋梁鋼鐵結構腐蝕
			橋梁及基樁沖刷
			橋面板變位或傾倒
			橋墩及橋面板結構破壞
			隧道排水系統設施阻塞沖蝕
			隧道路基流失
			鐵軌腐蝕
			軌道破壞或淤積
		高溫	軌道路基破壞及流失
			軌道彎曲變形
	車站或其聯外道路	強降雨	車站淹水，乘客無法進出車站
	調車場、維修設施、支援設備和其他	強降雨	列車無法正常行駛
		強風	列車無法正常行駛
			架空電車線受損
		高溫	架空電車線受損
		暴潮/風浪	臨海設施淹水或淹沒

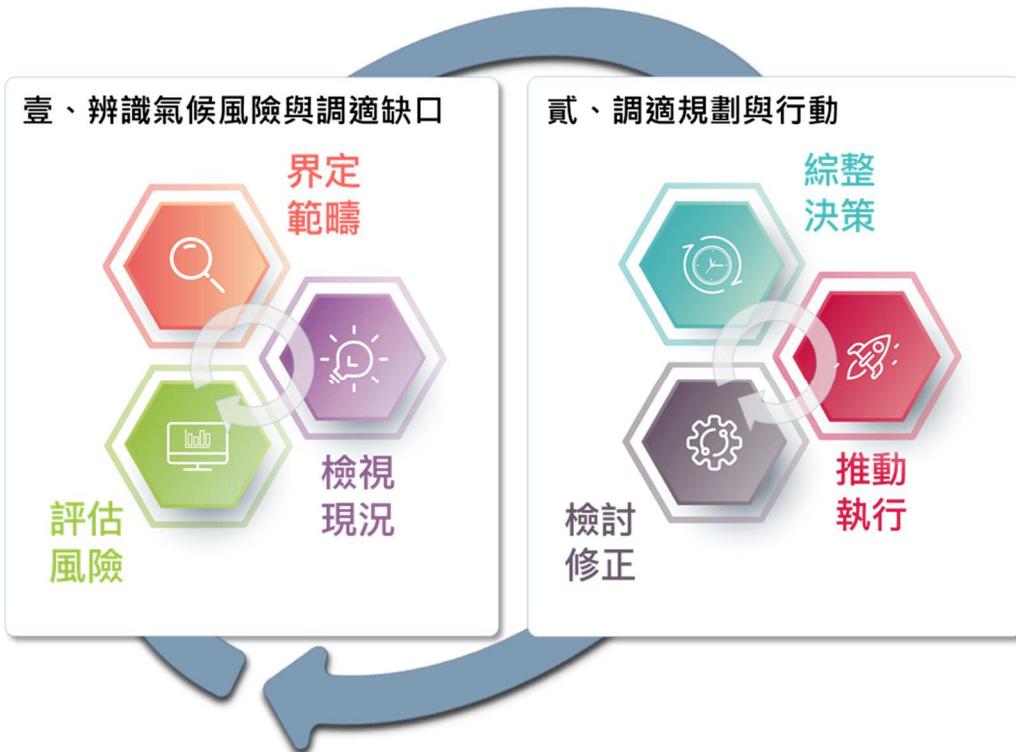
運輸系統	系統組成	氣候壓力因素	對於系統直接衝擊
		海平面上升	臨海設施淹水或淹沒
空運	空側設施	強降雨	鋪面結構的損壞和惡化
			鋪面表面毀損
			排水能力負荷
		高溫	電力照明系統負荷
		強風	
	航站 和陸側設施	強降雨	阻礙聯外運輸、流通、裝載和停車
			地面基礎破壞
			建築物和結構受損
		高溫	建築物和結構受損
海運	港口	強降雨	機場聯外道路因淹水或落石、坍方阻斷
			航機因強降雨、跑道積淹水而無法正常起降
		高溫	電氣系統故障或短缺
			火災風險增加
			導航和衛星信號失真
		強風	通信系統故障提高
		暴潮/風浪	臨海設施因暴潮/風浪沖刷及衝擊而受損
		強降雨	聯外道路淹水中斷營運
		強風	影響設備操作、航班停駛
		暴潮/風浪	碼頭與設備損壞
		海平面上升	船舶無法靠泊

資料來源：交通部，維生基礎設施領域氣候變遷調適行動方案(112-115 年)。

此外，該報告亦參酌國家科學及技術委員會所彙整之國內外調適推動方法與建議，並基於前期調適工作實務經驗檢討，爰將該期調適工作分為「辨識氣候風險與調適缺口」及「調適規劃與行動」等二階段。第一階段「辨識氣候風險與調適缺口」包括調適課題辨識、現況風險盤點、未來風險及調適缺口辨識等工作，第二階段「調適規劃與行動」則針對前述風險評估與調適缺口擬定具體目標，進行調適選項評估，逐步落實調適行動與監測，定期滾動檢討並公開成果說明國家調適進展，做為後續強化調適量能之溝通基礎⁵⁵。

有關二階段調適框架及其操作步驟如圖 2.3-1 所示。

⁵⁵ 交通部，維生基礎設施領域氣候變遷調適行動方案（112-115 年），頁 14，112 年 8 月。



資料來源：環境部「國家氣候變遷調適行動方案(112-115 年)」

圖 2.3-1 二階段調適框架及其操作步驟

2.3.4 其他調適相關法規

一、國土計畫法

「國土計畫法」全文共計 47 條，於 2015 年 12 月 18 日制定，2016 年 1 月 6 日公布，同年 5 月 1 日施行，期間曾於 2020 年 4 月 17 日曾就部分條文進行修正，並於該年 4 月 19 日公布。

「國土計畫法」開宗明義於第 1 條即敘明該法之立法目的係為因應氣候變遷，國土計畫法應重視國土之保安、保育、防災之功能⁵⁶。此外，在國土整合管理方面，為因應全球氣候變遷趨勢及國內特殊地理條件需要，針對整體國土空間所訂定因應天然災害之相關調適策略，爰要求全國國土計畫之內容，應載明國土防災策略及氣候變遷調適策略(§9I(7))，對於直轄市、縣（市）等地方政府亦同樣要求，對於國土計畫之內容應載明氣候變遷調

⁵⁶ 「國土計畫法」第 1 條：「為因應氣候變遷，確保國土安全，保育自然環境與人文資產，促進資源與產業合理配置，強化國土整合管理機制，並復育環境敏感與國土破壞地區，追求國家永續發展，特制定本法」。

適計畫(§10(8))。

二、水利法

「水利法」早於 1942 年 6 月 20 日即已制定，其立法目的係為水利行政之處理，以及水利事業之興辦。期間歷經多次條文修正，最新條文修正係於 2023 年 5 月 30 日通過，並於 2023 年 6 月 28 日公布。

「水利法」全文共計 99 條，其中涉及氣候變遷調適方面之規定，主要規範於逕流分擔與出流管制專章，針對因應氣候變遷及確保既有防洪設施功效，中央主管機關得視淹水潛勢、都市發展程度及重大建設，公告特定河川流域或區域排水集水區域為逕流分擔實施範圍，主管機關應於一定期限內擬訂逕流分擔計畫，報中央主管機關核定公告後實施(§83-2)，以及針對土地開發利用達一定規模以上，致增加逕流量者，義務人應申請出流管制計畫書，並說明應涵蓋的相關內容 (§83-7)。

三、濕地保育法

「濕地保育法」於 2013 年 6 月 18 日制定，同年 7 月 3 日公布，並於 2015 年 2 月 2 日施行，全文共計 8 個專章、42 條條文。

該法之立法目的主要係為確保濕地天然的滯洪等功能，並且維護生物多樣性，促進濕地生態保育及明智利用(§1)，雖然全文條文內容及立法目的未敘明配合氣候變遷應辦理之事務，惟氣候變遷除可能導致山區降雨的改變、海洋酸化，或是海平面上升等情況，也可能導致沿海濕地消失。因此對於以生態系統(Ecosystem-based)為基礎的調適方法，例如城市綠化、濕地恢復，以及上游森林生態系統的改善等，將可減少包括洪水風險、城市高溫等氣候變遷風險。因此，運輸系統之新建若涉及濕地之規劃、保育、復育、利用、經營管理等相關事務，仍應以該法之規定(§2)，訂定濕地保育利用計畫，以維運輸系統與周遭環境之永續。

四、海岸管理法

「海岸管理法」於 2015 年 1 月 20 日制定，同年 2 月 4 日公布，全文共計 5 個專章、46 條條文。

該法之立法宗旨，主要係考量海岸地區屬環境敏感地區，為維護自然海岸與促進海岸地區之永續發展，對於海岸之利用，需兼顧資源培育、環

境保護、災害防護之和諧與海岸地區各種自然及人文資源之保護，以追求海岸地區永續發展之外，針對現在自然海岸快速且大幅喪失的現況，亦於該法第1條明確揭示「確保自然海岸零損失」、「因應氣候變遷」等用語，對於未來海岸之保護、防護、利用、復育與管理，均應具體落實自然海岸零損失的立法目標。

針對氣候變遷之因應作為，主要入法於「海岸地區之規劃」專章，規範對於因應氣候變遷與海岸災害風險，易致災害之海岸地區，應採退縮建築或調適其土地使用(§7)之外，另為促進海岸地區永續發展以及維護海岸自然風貌所建立之整合性政策，並配合行政院核定之「永續海岸整體發展方案」，包括漁港、海岸公路、海堤、觀光遊憩、海埔地及海岸保安林等事項之發展策略及執行準則，要求中央主管機關應擬訂整體海岸管理計畫，納入「氣候變遷調適策略」及「整體海岸保護、防護及永續利用之議題、原則與對策」，以作為海岸地區各政府部門及其計畫實施之上位指導(§8)。

針對與氣候變遷調適之相關法規彙整如表 2.3-3 所示。

表 2.3-3 氣候變遷調適之相關法規彙整

法規名稱	法規任務	調適工作
國土計畫法	國土整合管理	調適納入全國國土計畫及縣市國土計畫
水利法	水資源管理	逕流分擔與出流管制
濕地保育法	濕地規劃、保育、復育、利用及經營管理	訂定濕地保育利用計畫
海岸管理法	海岸管理及保育	氣候變遷調適策略納入海岸管理計畫

資料來源：環境部同舟共濟網站，<https://adapt.moenv.gov.tw/TCCIP-1-D/TCCIP-1-D-10.html>。

第三章 運輸系統氣候變遷調適評估流程

運輸系統乃為國家重要的維生基礎設施，伴隨氣候變遷及極端氣候事件頻率增加，倘若運輸路網或節點因極端氣候影響而導致營運中斷，此將嚴重影響民眾的民生經濟。然而氣候變遷導致極端天氣事件發生的頻率增加以及因氣候變遷所產生複合式的天氣事件等，皆有可能影響運輸系統的營運並損壞設施。因此如何藉由科學機制分析與評估氣候變遷風險，進而妥適規劃調適方案，其乃為運輸系統因應氣候變遷之重要課題。

因應氣候變遷與極端氣候所帶給運輸系統之衝擊，必須仰賴有效的評估工具，以協助運輸部門瞭解可能遭遇之層面，並提出有效之氣候變遷調適因應策略，以提升運輸系統之韌性之影響。目前國際上已發展出相關評估工具，包含英國 UKCIP「調適精靈」(Adaptation Wizard) 以及 ISO 14091 等。

本章節主要參酌 ISO 14090 以及 ISO 14091 所公布之風險評估流程與內容，透過氣候風險評估概念，評估社會/經濟/環境影響，提高氣候風險認知、鑑別氣候風險，並辦理運輸系統調適行動監控與評估。

3.1 先導規劃與前置準備

先導規劃與前置準備，其主要目的係讓運輸系統主責單位做好調適規劃的準備，其主要內容是包含蒐集氣候變遷調適之相關資訊及其可使用之資源。

參酌 ISO 14090 第 5 章之內文規定針對運輸系統主責單位在進行氣候變遷調適前，應先就先導規劃之內容，包含資訊蒐集與相關資源進行準備，並針對踐行評估氣候變遷的影響、調適規劃、實施調適規劃、監測與評估，以及撰擬報告並與利害關係者溝通等等的能力進行評估：

- 決定運輸系統主責單位於氣候變遷調適過程所需的領導力和更廣泛的治理目標；
- 確認所需人力資源，包括所涉及任何項目團隊的人力資源；
- 確認運輸系統主責單位扮演的角色與職責；

- 確認運輸系統主責單位辦理氣候變遷調適財務資源的需求；
- 確認所需的專業知識與技術水準，以及相關資訊與資料來源；
- 確認運輸系統主責單位做出策略決策之時間點。。

此外，參酌 ISO 14091 第五章有關氣候變遷風險評估前置作業之相關規定，針對氣候變遷風險評估進行事前準備，主要內容包含背景建立、目標確定與預測成果、確認範圍與方法、設定時間尺度、蒐集風險評估相關資料、擬定實施計畫、透明度等。

一、背景建立

由於每項運輸系統在因應氣候變遷調適的風險評估均有一個獨特的背景，因此對於計畫於前置作業上，須針對其獨特背景需先決定計畫於氣候變遷調適的範圍、目標，以及計畫產出的結果（例如報告書等）。基此，運輸系統主責單位在進行風險評估時，應透過下列的考量因素來定義其風險評估的背景：

- 面臨風險的系統：提供運輸系統受氣候變遷影響的大致概述，包括對其敏感性、受暴露程度和調適能力的一般瞭解。
- 危害：辨識運輸系統可能遭受哪些種類之危害，選擇將哪些危害納入風險評估，並指定所需資訊的類型。
- 流程：辨識現有或計畫中與風險評估相關的流程和活動，例如供應鏈評估等。
- 知識：即運輸系統主責單位在辨識有關氣候變遷、影響與現有風險、現有影響評估方式，以及運輸系統主責單位內部對於調適能力可用的智能與人才。
- 利益關係者：在實際可行的範圍內辨識並將利益關係者納入流程中（例如，涉及由利害關係者提出的風險方面，如環境協會等，可以提供相關資訊以促進風險評估能被更廣泛的接受）。
- 評估所需資源：確定財務、人力和技術資源以及資訊/資料的可用性。
- 外部發展：辨識對於運輸系統周遭可能遭遇風險系統的外部因素與影響(例如，計畫範圍周遭的人口變化、土地利用變化、調適技術發展狀況、政治和制度背景變化、經濟市場變化、全球發展趨

勢等)。

- 法規義務，對他人的責任：辨識可能影響風險評估目標、流程或結果的法規或其他義務。

二、辨識目標及預期成果

運輸系統主責單位在因應氣候變遷調適之極端氣候，對於擬進行氣候變遷調適風險評估內容，首先須確認該單位「為何而戰」、「為誰而戰」。因此，運輸系統主責單位對於因應氣候變遷調適的目的，應先確認其目標，以及擬達成的成果。基此，在確認目標與預期成果的階段時，運輸系統主責單位應辦理以下事項：

- 確認風險評估的目標、預期結果，以及風險評估納入計畫的過程；
- 確認風險評估要解決之課題；
- 定義產生的知識及結果的後續應用(例如，投入正在進行的調適工作，或是規劃新的調適方案)；
- 確認風險評估的描述方式與結果(例如風險地圖、脆弱度排名、風險及其相關因素的敘述性分析)；
- 讓風險評估所需之專家、機構以及利害關係者能參與其中，並支持在調適決策中之評估結果；
- 於早期階段確定並告知利害關係者有關風險評估的過程以及預期結果。

三、確認範圍及方法

運輸系統主責單位於完成目標的確認以及預期需達成的成果之後，即需確認該計畫之範圍與方法。研究團隊與運輸系統主責單位協調並確認風險評估之範圍，在運輸系統方面，其應考量以下因素：

- 運輸系統可能面臨以及可承受的風險；
- 評估符合目標所需進行之詳細程度；
- 涉及的人口群體(例如農村社區、老年人、原生族群、女性/男性、勞動力的某些部分)；
- 風險評估所包括之災害範圍(例如強降雨、強風、暴潮/風浪、海平面上升、高溫)及其性質(例如極端氣候情境、氣候平均值的變化與

- 變異性)；
- 所評估的區域(例如國家、區域)，以及是否屬單一空間單位(例如單一地區)，或是係屬區域比較(例如兩個或更多區域)；
 - 評估的空間尺度；
 - 評估的使用方法(例如定量、定性或混合方法)；
 - 風險評估之可用資源(例如財務、人力等)。

四、設定風險評估之時間範圍

對於計畫之調適風險評估而言，究竟應以多長的時間尺度來進行運輸系統的風險評估方屬妥適，實務上雖應視運輸系統之屬性而定，且評估危害的時間範圍應至少為 30 年⁵⁷，然就氣候變遷調適的決策而言，以近期的未來(約 30 年)往往比遙遠的未來(約 100 年)更為重要。在超過 100 年以上的時間尺度，往往被視為風險評估在時間範圍上可能具有關聯性，例如在沿海城市或臨海之運輸系統、運輸節點可能因海平面上升而產生調適風險的情況下，可建議採 100 年之時間尺度進行風險評估。

在設定評估的時間範圍時，運輸系統主責單位應考慮：

- 運輸系統的生命週期；
- 氣候變遷影響達到運輸系統風險臨界值的時間尺度；
- 採取調適行動應對的準備時間。

此外，在時間範圍的選擇可能會受到以下方面的影響：

- 數據的可用性，包括氣候預測；
- 氣候變遷預測影響的長期不確定性；
- 在不同時間尺度內所發生的影響，其之間產生相互作用的可能性。

五、蒐集風險評估相關資料

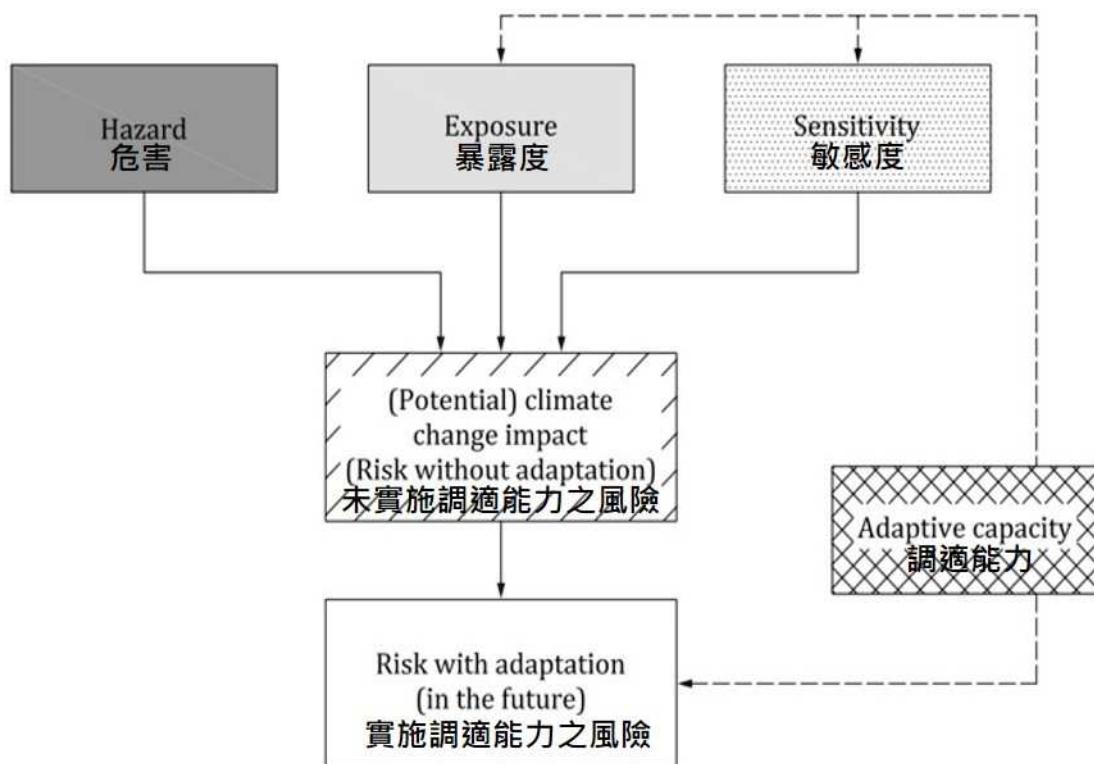
為利後續風險評估，運輸系統主責單位就運輸系統之特性，宜儘早蒐集與風險評估範圍內之相關資訊，包含危害度、敏感性、暴露度、氣候變遷影響，以及與系統相關的脆弱度、調適能力、現有風險評估，以及用於管理風險的工具策略等知識。惟隨時間更迭，IPCC 在蒐集風險評估的關鍵

⁵⁷ Trewin B.C. The role of climatological normals in a changing climate. World Meteorological Organization, Geneva, 2007.

資料上，評估資料會隨時間序列的延伸，而產生較大的不確定性，評估資料宜有滾動式的檢視與修正。

由於 IPCC 在 2007 年公布之 AR4，主要著重於系統在脆弱度的描述，所蒐集的概念框架主要亦以系統所面臨的暴露度、敏感性及其調適能力的函數。然 IPCC 在 2014 年公布之 AR5 因受「極端事件特別報告」(SREX) 的影響，因該報告指出氣候變遷適應宜與減少災害風險的方法聯繫起來，故在方法論框架中，最終評估的因素已不是「脆弱度」，而是改以氣候變遷影響的「風險」。

針對前揭各項氣候壓力之相關資料，原則上可依其危害、暴露度與敏感度擬定為風險組成如圖 3.1-1 所示，該概念主要係遵循 IPCC 的 AR5，對敏感性和調適能力的區分除可更加清晰表示之外，對於概念框架也儘可能避免使用「脆弱度」一詞。



資料來源：ISO 14091,2021

圖 3.1-1 風險組成關係圖

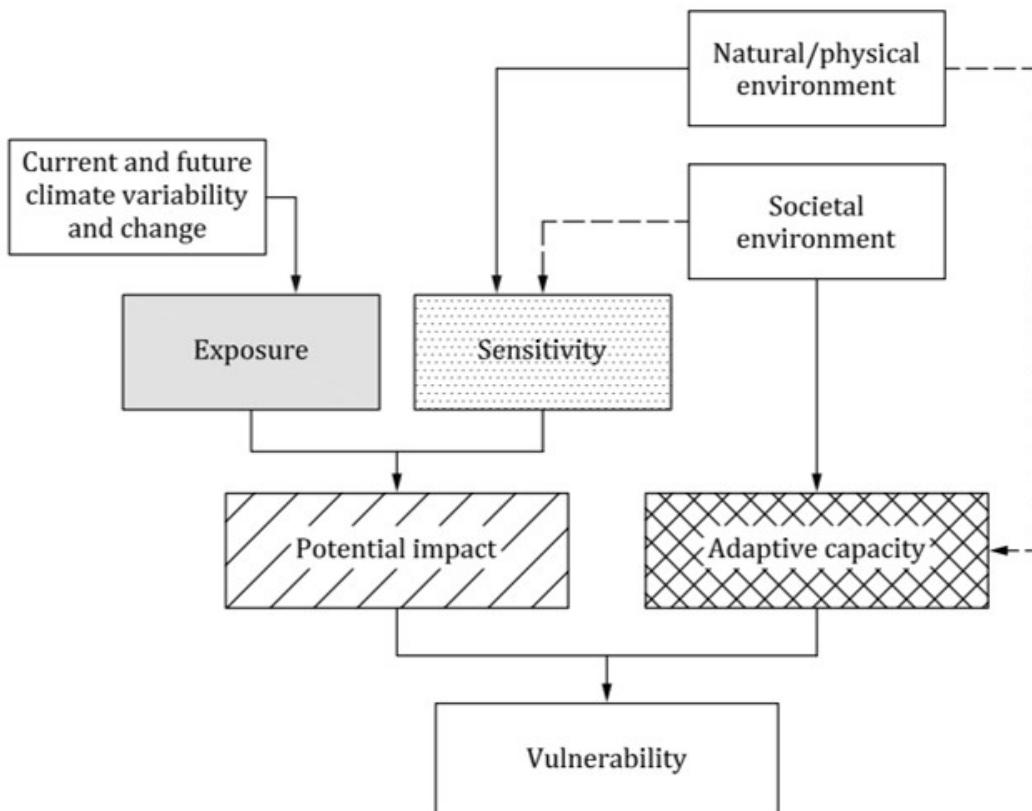
有關 IPCC 公布之脆弱度(AR4)以及風險概念(AR5)間之比較如表 3.1-1 所示。另有關於 AR4 的脆弱度核心概念圖示，以及 AR5 的風險核心概

念圖示，分別詳圖 3.1-2 及圖 3.1-3 所示。

表 3.1-1 脆弱度 (AR4)與風險概念(AR5)間之比較

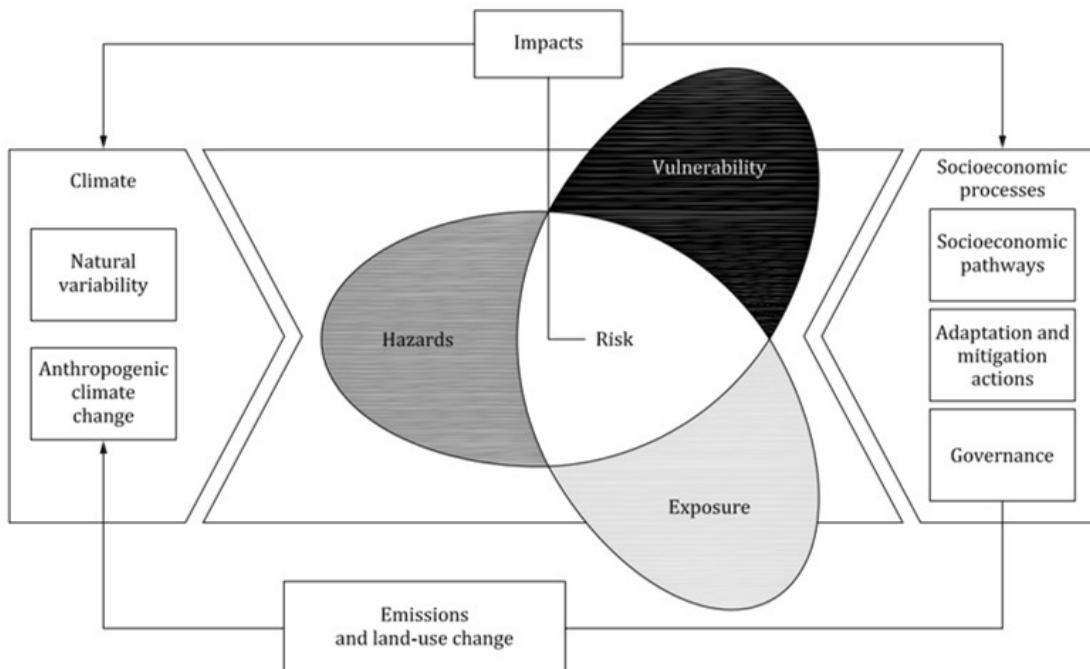
	(AR4)概念：脆弱度(V)	(AR5)概念：風險(R)
簡短定義	脆弱度是系統所面臨的氣候變異與變化的特徵、幅度和速率、敏感性及其調適能力的函數。	1.風險是脆弱度、暴露度和危險相互作用的結果。在 AR5 中，「風險」主要指氣候變化影響的風險。 2.脆弱度包括對傷害敏感或易受傷害、缺乏應對和調適的能力。
關鍵變數	暴露度(E)、敏感度(S)、調適能力(AC)	危害(H)、暴露度(E)、脆弱度(V)
函數	$V = f(E, S, AC)$	$R = f(H, E, V)$ $V = f(S, AC)$
概念差異	暴露度=氣候相關信號	暴露度=出現在可能受到不利影響的環境中（包括空間考慮）
	敏感度=系統受到氣候相關刺激的不利或有利影響的程度	敏感度與 AR4 相同
	調適能力=系統、機構、人類和其他物體適應潛在損害、利用機會或對後果做出反應的能力	調適能力與 AR4 相同

資料來源：ISO 14091,2021.



資料來源：ISO 14091,2021.

圖 3.1-2 脆弱度核心概念架構示意圖(AR4)



資料來源：ISO 14091,2021

圖 3.1-3 IPCC 之 AR5 風險核心概念架構示意圖(AR5)

六、擬定實施計畫

當運輸系統主責單位完成前揭主要步驟之內容後，即可擬定運輸系統風險評估之實施計畫。有關 ISO 14091 建議於實施計畫主要包括以下內容：

- 具體任務：需要做什麼？
- 責任：由誰來做這件事？
- 時間規劃：什麼時候要做這些事？

而在擬定實施計畫的同時，運輸系統主責單位應該認知：

- 可以讓感興趣的各方參與任務並負擔相關責任；
- 應該意識到，進行氣候變遷調適之風險評估是一個反覆過程。

七、透明度

有關進行氣候風險評估過程的透明程度，其乃屬整個風險評估的一部分，而且應該從起點開始到結果的呈現為止，其有助於實現理解，並確保產出具有實用性和相關性。ISO 14091 建議組織在進行透明度相關作法時，宜特別關注以下幾點：

- 方法論：該風險評估方法是否為所有參與者所熟知，並有充分至

作為文件，以便讓新加入者瞭解所採取的步驟和決策？

- 決策過程：如何進行決策以辨識衝擊，以利後續選擇、標準化、加權以及總體指標的建立？如何處理相關數據的可用性以及其他挑戰方面的問題？這些過程如何紀錄並傳達？
- 不確定性：如何儘可能減少不確定性？剩下的不確定因素將如何處理？這些是如何紀錄與傳達？
- 優勢和劣勢：是否確認該風險評估方法的優勢和劣勢？如何解釋這些內容才能確保可信度並可供實際應用？如何紀錄和傳達這些內容？

前揭有關不確定性的部分，在未來氣候或社會經濟因素的變化，以及它們對社會的影響，基本上是無法預測的。因此，對於氣候變遷影響以及脆弱度的評估上，均有其不確定性，主要原因包含：

- 氣候變遷的嚴重程度取決於未來溫室氣體排放量，由於氣候模型通常取決於不只一種的排放情境，因此通常會導出多種結果。在運輸系統方面，溫室氣體排放的管理，主要來自於運具電動化，包含機車、小汽車、市區公車，以及公務車電動化的推動進度而定。
- 相較於緩慢發生或長期趨勢而言，極端氣候事件通常與氣候變化影響評估中具有高度關聯性，惟其程度難以預測。極端事件(例如豪雨、風暴、冰雹)的頻率和嚴重性的預測特別容易受到不確定性的影響，也因此運輸系統面臨豪雨強風來襲時是否需進行預防性措施，因涉及基礎民生需求，故在決策上具有其困難性。
- 使用於衝擊評估的模型，例如評估農作物產量的變化即包含額外的不確定性。
- 對未來調適能力進行評估本身即具有挑戰性。

雖然不確定性的因素在氣候變遷調適上是無法避免的，惟可透過不同的方式來降低不確性的可能。其方式包含使用不同的氣候情境作為評估未來氣候變遷影響的基礎，並使用有調適情境與無調適情境之比較，瞭解其不同情境之差異性。

而透過專家諮詢方式進行比較與積極的專業知識交流亦是方法之一，

其藉由專家之間的專業看法的反饋，將有助於將不確定議題的聚焦。倘若專家意見紛歧，則需敘明各專家意見的分歧程度之外，亦須摘述各專家對於各自主張的重點與信心程度。

此外，倘若結合前揭之定量模型，並輔以專家諮詢評估的定性描述，亦有助於減少不確定性的發生。

3.2 氣候變遷風險評估

氣候變遷衝擊的評估(Assessing climate change impacts)主要係評估氣候變遷衝擊、脆弱度、風險(包含辨識機會)的一系列方法。為了進行風險評估，運輸系統主責單位應瞭解氣候變遷各項氣候壓力衝擊之因果關係，並據以研擬衝擊鏈。基此，機構需對於所面臨氣候變遷風險的運輸系統應有充分的瞭解並具備應有的專業知識。

機構可以邀集外部氣候變遷專家和其他瞭解運輸系統的專家(例如學者專家、協會代表、地方政府、工程顧問公司，以及受影響部門或社區的代表)的協助來確定相關衝擊並研擬衝擊鏈，並與感興趣的各方舉行參與各式工作坊、研討會或是其他形式之協商會議等。

3.2.1 篩選與辨識衝擊

運輸系統為國家重要的維生基礎設施，其支援國內重要的社會經濟、區域發展、醫療支援等活動之服務，隨著氣候變遷極端氣候事件發生頻率的增加，運輸系統面臨氣候風險與衝擊的機率也逐年升高。

參酌「國家氣候變遷調適政策綱領」有關交通系統衝擊的闡述，主要包含⁵⁸：

一、港口

隨著地球暖化造成水位上升，與變異度極端化造成颱風波浪增大，將會影響港灣構造物的結構安全，並增加港灣淤積，進而影響港埠營運作業，導致海運運輸中斷。

二、鐵路

鐵路系統因降雨與強風增強，平原低窪地區容易造成淹水，山區易受到邊坡滑動崩塌的威脅，而河谷沖蝕加劇也會危及鐵軌路基，造成鐵路系統中斷。

⁵⁸ 行政院經濟建設委員會，國家氣候變遷調適政策綱領，頁 17，101 年 10 月。

三、公路及橋梁

山區公路建設多沿河谷開鑿構築，在暴雨作用下，容易受到邊坡滑動崩塌的威脅；亦常因河谷沖蝕加劇而危及道路路基，造成公路系統中斷。若河川上游發生洪水、土石流等災害，則沖刷裸露基礎之橋梁，極容易因後續的地震而傾倒斷裂，下游橋梁的橋墩、橋面也易遭洪水、土石流沖毀或掩埋。

四、機場

在極端降雨的侵襲下，若是區域排水無法負荷暴雨量，將造成機場跑道淹水，影響班機起降。另外，在暴雨侵襲下，也會破壞機場設施，如場站、跑道等。

運輸系統主責單位在進行氣候風險評估時，首先應辨識並列出潛在的氣候變遷衝擊，並就運輸系統之特性，考量其風險組成與風險因素，即針對危害、暴露度和敏感度之可能外，並儘可能確定各項風險組成的一個或多個風險因素，而確認各項風險組成之風險因素，則可透過矩陣方式。

運輸系統主責單位對於每項風險因素背後所可能產生之後果，須針對可能的衝擊做出最佳的風險評估。基此，組織可以透過工作會議的召開或是專家工作坊的組成，透過專家學者、資深專業人士等針對各項風險因素，給予相應風險高低程度的分級，其表達方式可以數字、字母、文字等方式表達(如表 3.2-3 評級量表所示之危險等級)，完成後的表格即是篩選衝擊的初步結果，除可以為後續風險評估提供額外的資訊外，亦可作為後續調適規劃的基礎。

本計畫初步以山區公路系統為範例，並以相關風險因素進行衝擊篩選矩陣之初步評估結果如表 3.2-1 所述。

表 3.2-1 山區公路系統衝擊篩選矩陣示意表

○○山區公路 風險	實體風險					平均	最大	最小
	立即性		長期性					
風險因素	強降雨 嚴重度 增加	強風 嚴重度 增加	溫度 型態 改變	風向風力 型態改變	降雨 型態 改變			
公路主管反應	3	2	1	1	2	1.8	3	1
汽車客運業	3	1	1	1	1	1.4	3	1
汽車貨運業	3	2	2	1	2	2	3	1
路段結構(含橋 梁及隧道)	4	2	2	1	2	2.4	4	1
路段基礎	3	1	2	1	2	1.8	3	1
路段排水	3	1	1	1	2	1.8	4	1
路段橫斷面	3	1	1	1	2	1.6	3	1
路段材料	2	1	3	1	1	1.6	3	1
路廊周邊環境	3	2	2	2	2	2.2	3	2
路網替代道路	3	2	2	2	2	2.2	3	2
交通場站	3	2	1	1	1	1.6	3	1

資料來源：1. ISO 14091, 2021.

2. 本計畫整理。

依據前揭衝擊篩選矩陣之初步評估，可約略得知在面臨立即性的氣候風險或是長期性氣候因素之考量下，對於山區公路於規劃階段，宜就路段結構(含橋梁及隧道)、路段基礎、路段排水等工項加強著墨，並對於路廊周邊環境與路網替代道路能妥善規劃與維護之外，公路主管機關對於立即性之強降雨與強風可能對於運輸系統產生衝擊的即時反應與處理，亦應有所防備，以強化山區公路系統的韌性。

3.2.2 研擬氣候衝擊鏈

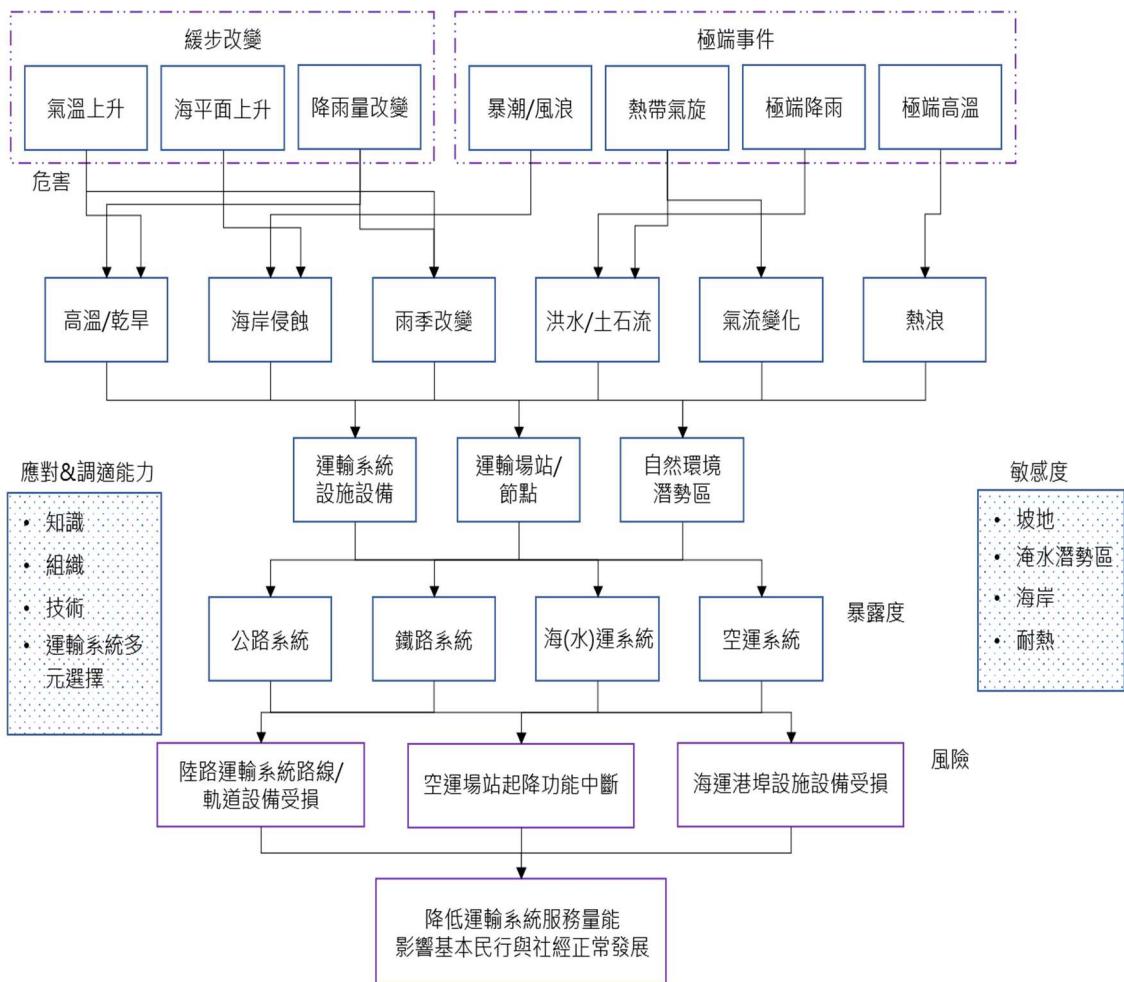
衝擊鏈做為整體風險評估的分析起點，主要在於衝擊鏈有助於視覺化、系統化，以及更容易理解和優先考量哪些可能導致系統風險的因素之外，也具體說明哪些危害可能是直接或間接的氣候變遷之影響。因此，做為風險評估的基本結構，衝擊鏈主要呈現哪些氣候和社會經濟、生物物理或其他參數是應該被討論，而藉由衝擊鏈之方式，將有助於確認後續的適應行動方案。

在研擬衝擊鏈過程中，運輸系統主責單位應廣泛瞭解氣候變遷對於運輸系統的衝擊，包含在辨識相關衝擊課題的過程中，宜就過去的氣候壓力如何影響運輸系統，以及觀察相關氣候事件在未來的變化趨勢。若在更複雜的情況下，運輸系統主責單位可就相關或相似之議題對於系統之影響進行整合以形成衝擊組。這些集群有助於確認關鍵衝擊/集群的優先順序，這些衝擊/集群將在評估中進行更深入的分析，以瞭解其對運輸系統之衝擊程度。

衝擊鏈可以服務多重目標，在脆弱度、風險評估，以及在氣候變遷調適規劃的過程領域中，衝擊鏈具有以下特徵：

- 一個有效的工具，有助於更好的理解和特定系統中的風險與脆弱度的因果關係。
- 透過確認指標和具體措施，提供調適規劃的基礎；
- 利用直接和間接之影響方式，描述潛在氣候變遷風險如何衝擊運輸系統。

本節初步針對公路、鐵路、海(水)運，及空運之整體運輸系統研擬衝擊鏈結果摘述如圖 3.2-1 所示。



資料來源：本計畫整理

圖 3.2-1 運輸部門衝擊鏈示意圖

3.2.3 風險評估辨識指標

指標是提供特定狀態或條件的資訊參數，當氣候壓力或條件無法直接測量時，則可使用替代性指標。在風險評估中所應用指標的目的是使用定量、半定量或定性指標，進行氣候變遷調適風險的影響評估。倘若不存在定量指標或未定義門檻值時，可藉由專家的判斷，以定性描述之資訊，作為指標評估的參考。

在可能的情況下，每個風險因素應如同表 3.2-2 所述內容至少選擇一項指標，指標值可以依據風險組成(例如危害、暴露度、敏感度，以及適應能力)進行相關定量、半定量或定性的評估，並且總和其結果建立綜合風險評分。

一、指標選擇

指標應具體，且在指標的選擇上應儘可能考量以下 5 個面向：

- 空間尺度；
- 時間尺度；
- 可重複性(用於後續重複的風險評估)；
- 代表性；
- 可行性。

指標的選擇可以是一個不斷回饋的過程，透過個別專家或與專家的研討會討論中，可以協助為每個風險因素選擇適切的指標。而在實踐過程中，資料的可用性和品質，或是機關資源的限制(例如時間及預算等)，也可能限制指標的數量。

二、擬具指標列表

針對潛在的指標，可將其指標內含之相關資訊紀錄於指標列表中，其包含：

- 潛在指標之簡要描述；
- 指標所代表的風險組成(例如危害)以及風險因素(例如降水量)；
- 簡要敘明選擇該指標的原因；
- 指標數據所需的空間尺度範圍；
- 指標數據所需的測量單位或解析度；
- 指標數據所需的時間尺度；
- 解釋分數之高低是否會降低或增加風險；
- 現有及潛在指標的資料來源。

參酌「ISO 14091 氣候變遷調適-脆弱度、衝擊與風險評估指引」針對前揭風險評估識別指標之建議事項，初擬運輸系統風險評估指標如表 3.2-2 所述。

表 3.2-2 運輸系統風險評估指標範例

風險組成	風險因子	指標範例	資料來源
危害	溫度	年均溫、最高溫、最低溫	氣象單位/災害防救科技中心
	強降雨	650mm/24hr 發生機率	氣象單位/災害防救科技中心
	強風	海岸風速	氣象單位/災害防救科技中心
暴露度	基礎設施位置	規劃新建的交通基礎設施在洪水易發地區之分布狀況	運輸系統規劃單位/地方政府
	基礎設施狀況	既有運輸系統通行之交通量、既有轉運站之乘客數量	運輸系統規劃單位
敏感度	地質狀況	土壤液化潛勢區、地層下陷潛勢區	氣象單位/災害防救科技中心
	水文狀況	淹水潛勢區、暴潮易淹潛勢區	氣象單位/災害防救科技中心
	弱勢族群	弱勢人口的百分比（例如年輕人或老年人）	主計/戶政單位
調適能力	財政能力	單位組織可投資於新基礎建設的經費百分比	主計單位
	技術能力	取得用於氣候變遷調適技術之可行性。	產業協會
	組織能力	評估應對氣候變遷調適的人力建構需求。	專家/管理者
		氣候變遷調適行動計畫之資源。	專家/管理者

資料來源：1.ISO 14091, 2021.

2.本計畫整理。

3.2.4 資料取得及管理

一、資料取得

為有效評估氣候風險評估，針對過去、現在，以及未來的危害、敏感度、暴露度，以及調適能力等相關數據進行資料的取得與管理是有其必要性。如何取得定量的環境資訊，可參考「ISO 14033 環境管理-定量環境資訊-指引與範例」⁵⁹之相關規範。

⁵⁹ ISO 14033: Environmental management- Quantitative environmental information- Guidelines and examples, 2019.

不同的方法可以來蒐集估計前揭之風險組成(包含危害、暴露度、敏感度，以及適應能力等)所需的資料，其包括：

- 專家判斷：專家專業知識、當地習慣與智能是所有風險評估的重要資訊來源，藉由專家的判斷，可用於定量資訊的輔助。
- 量測：針對空氣濕度、溪流水理高度、土壤濕度等指標進行物理性的測量。測量可以包括遙測方式，例如衛星資料分析等，據以蒐集風險組成之相關資料。
- 人口普查和調查：包含家庭收入、教育程度、交通旅次特性等資料，通常係藉由人口普查或調查蒐集而得。
- 模型建立：模型可用於風險評估，以評估當前與未來的危害(例如溫度或降水的變化)、敏感度、暴露風險因素，以及當前與未來氣候變遷的影響。

二、資料品質評估

對於運輸系統主責單位所蒐集的資料以及相關資料所呈現的結果，應對於資料的質量與品質進行檢視。對於定量資料而言，ISO 14091 建議應檢視之內容，包含：

- 資料的質量和格式，以及相關產出文件的可讀性；
- 空間和時間尺度；
- 缺漏資料數據；
- 資料的異常值及其來源(如果可能)。

此外，對於定性資料的檢視，應注意之項目，簡述如下：

- 利害關係人的觀點表述；
- 單詞或術語的正確解釋（可能因語言或地區而異）。

有關氣候風險資料的蒐集，無論是定量資料或是定性資料，均存在不確定性的課題，主要原因與推估氣候變遷所使用之模型與不同情境、數據，以及所選擇指標的性質有關。因此，對於每種不同氣候變遷之信賴度進行評估時，建議敘明其「低」、「中」、「高」之信賴度，並針對評估類別給予適當的定義。

三、資料管理

在蒐集風險評估之相關資料時，若對現有資料缺乏瞭解，或對現有數據的細節內容知識不足，可能導致在資料蒐集方面的事倍功半。因此，針對風險評估中使用的資料細節應當有相關文件予以紀錄。

運輸系統主責單位所蒐集的資料集應予以妥適儲存以避免遺失之外，亦應系統性的紀錄為詮釋資料(metadata)，包括資料集的內容描述、不同資料集的特性，以及解釋數據的相關指引，而相關國際標準如 ISO 19115-1 則提供詮釋資料作為地理資訊描述的指引。

3.2.5 指標彙整與風險組成評估

在針對運輸系統氣候變遷調適之風險評估中，多會使用多種指標並以多種定量或定性之方式來完成。而為利單一風險指標的呈現，可以透過指標彙整方式，以形成各項氣候變遷衝擊的單一風險系統的評估結果，或以定性形式產出一項總體評估結果。然在彙整風險評估指標之前，運輸系統主責單位宜考量彙整指標是否具有可行性、有用性，及其合理性。

對於指標定性或半定量的評估方式是在進行風險評估普遍也最單純的應用。藉由 1 項指標使用一至三等級，或是一至五等級所組成的評級量表(量表格式可針對每種不同情況而定)。評級量表的評級方式可依據運輸系統主責單位內部現有的知識(來自現有文獻、專家知識或其他可信賴的來源)之外，也可以使用此量表所蒐集的定性資訊(例如專家判斷)來進行量級的評比。評級量表所得結果可作為每項氣候變遷衝擊（而不是每個指標）的摘要的方法甚至更容易。如果彙整某項氣候變遷衝擊的指標過於困難，可選擇僅提供敘述性的摘要，或是附上風險地圖等方式來呈現。

若將潛在衝擊與適應能力納入一種風險組合，某些情況恐須特別注意，相關事項包含如下：

- 氣候變遷衝擊和適應能力的權重：適應能力高的指標某種程度有可能抵消衝擊高的指標。因此，儘管在某些有潛在衝擊的情況下，但整體風險評估結果可能呈現低風險。
- 氣候變遷衝擊和適應能力的視覺呈現：根據評估的重點，不一定總是需要一個綜合風險值。在某些情況下，僅僅以視覺方式呈現受氣候變遷影響大、適應能力低的區域（如熱點或危險訊號）即

可以滿足風險評估的目標。將氣候變遷衝擊和適應能力視覺化重疊至特定地理區域的地圖上是一種選項。

- 清晰呈現個別指標和風險組成：可採用透明套疊方法，顯示風險的底層因素如何影響整體風險。例如，可以使用圓形圖來說明單個指標對風險組成的衝擊。

以行經淹水潛勢區的公路系統為例，該公路系統之氣候壓力主要來自於強降雨，而強降雨於淹水潛勢區所產生之可能衝擊是造成該區域的淹水，並造成公路系統的服務功能中斷。因此在造成其氣候風險的評估指標，大致可以淹水深度(m)，以及該公路系統之交通量(PCU/小時)等 2 類為主。

淹水深度與交通量係屬 2 者不同類型的基礎指標，為利彙整此 2 種不同類型之指標，首先須建立五等級之評級量表，其內容包含可能性分級，以及嚴重性分級，相關表格內容如表 3.2-3、表 3.2-4 所述。而依據可能性與嚴重性之等級，藉由其數值相乘所得之風險矩陣如表 3.2-5 所述。

表 3.2-3 半定量可能性評級量表

半定量分級	可能性敘述	參考基準
		危害等級
1	幾乎不可能	1
2	不太可能	2
3	可能	3
4	極有可能	4
5	幾可確定	5

資料來源：勞動部職業安全署「營造工程風險評估技術指引」，110 年 2 月。

表 3.2-4 半定量嚴重性評級量示意表

半定量分級	嚴重性描述	參考基準	
		淹水深度(m)	交通量(PCU/小時)
1	可忽略的	0~0.3	0~200
2	較低	0.3~0.5	200~500
3	中等	0.5~1.0	500~1,000
4	重大	1.0~2.0	1,000~2,000
5	災難性的	2.0~	2,000 以上

資料來源：1.勞動部職業安全署「營造工程風險評估技術指引」，110 年 2 月。

2.本計畫整理。

表 3.2-5 風險矩陣示意表

風險等級	可能性分級				
	1	2	3	4	5
嚴重性分級	1	1	2	3	4
	2	2	4	6	8
	3	3	6	9	12
	4	4	8	12	16
	5	5	10	15	20

註：1~2 極低風險 3~4 低度風險 5~9 中度風險 10~16 高度風險 20~25 極高度風險⁶⁰。

如表 3.2-4 及表 3.2-5 所述，不同的風險可以進一步彙整為單一的總體風險，並藉由其單一指標涵蓋一個或多個不同層級的風險，惟此類彙整之總體風險值在呈現上，也存在著高度的風險。

此外，幾種氣候變遷衝擊的總結結果可以透過比較圖表或比較地圖，或是「熱點」的敘述性描述來呈現。為了更理解評估結果，最終報告宜包含個別的風險評估來呈現運輸系統所面臨之各種風險，而非僅僅呈現總結結果而已。

⁶⁰ 勞動部職業安全署，營造工程風險評估技術指引，110 年 2 月。

3.3 調適能力組成與評估

任何辦理氣候變遷調適之風險評估時，應考量運輸系統主責機關(構)之調適能力，倘若省略調適能力的評估，則其所得之結果，僅能稱為氣候變遷影響評估。而運輸系統主責單位宜就氣候變遷潛在衝擊的調適能力進行評估，可以更務實評估其面臨的氣候風險以及所應採取調適措施的必要性。此外，詳細的調適能力評估可以確認組織在降低氣候變遷衝擊脆弱度所處理的方式。

3.3.1 調適能力組成

機關(構)調適能力係由多面向因子所組成，所有面向因子均有助於降低調適風險，而調適能力的各個組成彼此相互依存，其組成主要可區分為組織能力、技術能力、財務能力，以及生態系統容量等。

一、組織能力

組織能力係指運輸系統主責單位在因應氣候變遷調適的決策過程中，有關於調適風險辨識、提出有意義的應對措施，以及後續的監測、更新與改進應對措施的程度。而組織於調適能力之良窳，主要係由許多相互關聯等因素所產生，其包含⁶¹：

- 人力資源(human resources)：組織內可調動人力資源的程度(包括專案團隊及其治理)；
- 認知(awareness)：單位能夠辨識氣候變遷可能對其目標產生影響的程度(包括歷史、當前和未來的決策)；
- 知識(knowledge)：運輸系統主責單位內部或外部支持推動氣候變遷調適現有的知識或專業智能。
- 相互依存性(interdependences)：運輸系統主責單位能夠理解並應對其能夠發揮的外部和內部相互作用的程度；
- 角色和責任(roles and responsibilities)：運輸系統主責單位是否已經明確界定其角色和責任的結構，並允許有效執行調適方案，同時

⁶¹ ISO, ISO 14091 Adaptation to climate change — Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment Annex G, PP.31~PP.32, (2021).

- 能夠靈活應對精進行動方案的機會；
- 領導力(leadership)：領導團隊有效的推動與應對氣候變遷調適的工作，與執行調適工作人員共同參與，並保持對產出資訊的瞭解；
 - 營運管理(operational management)：運輸系統主責單位能夠將應對氣候變遷的調適行動納入其現有的(或開發新)的管理系統以及其相關的工作計畫；
 - 學習(learning)：運輸系統主責單位能夠有效的從經驗(內部及外部經驗)中學習，並確保其經驗對調適行動的實施具有實質影響。
 - 動機(motivation)：運輸系統主責單位明確且持續承諾推動調應方案的程度；
 - 利害關係者(interested parties)：其他利益關係者(包括政治家、社區、運輸業者，以及社會)對於調適行動方案的支持程度；
 - 法律要求(legal requirements)：法規和契約對於啟動、維持和推動調適行動方案的法規依據。

二、技術能力

技術能力係指現有技術或新技術對於增進未來氣候變遷調適能力的貢獻程度。技術能力可以被視為組織能力的一個組成部分，但在某些情況下最好將其分開看待。技術能力是由多項因素所產生，其因素包括⁶²：

- 技術韌性(technological resilience)：技術(或技術組成)在其生命週期(實際壽命而非設計壽命)中能夠承受氣候變遷的程度；
- 相互依存性(interdependencies)：在界面接觸上與其他技術存在依存性的程度，這些技術可能會受到氣候變遷的影響；
- 可選擇性(available options)：應對的調適方案在未來是否具有可用性及可行性，是否能夠降低風險的程度。

參酌環境部依據「氣候變遷因應法」第 18 條第 3 項之規定，訂定「氣候變遷風險評估作業準則」(草案)，依據該作業準則第 13 條規定：「各級政府必要時得訂定所屬機關或單位之氣候變遷風險評估技術規範或操作指引。」，即各級政府依據權責業務屬性及評估目的之需求，可適當參考本

⁶² ISO, ISO 14091 Adaptation to climate change — Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment Annex G, PP.32, (2021).

準則另訂符合機關及單位使用的細部操作規劃或指引文件。

針對運輸系統部分，本所於 111 年辦理「公路系統規劃階段強化調適能力之探討(2/2)」，在辦理該計畫期間，完成公路系統強化調適能力作為與指引的擬訂。該指引主要係以三階段方式：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之氣候風險因素、第三階段：執行氣候變遷風險評估，給予公路系統管理機關、公路系統專案審查單位，以及公路系統實務從業人員辦理公路系統調適能力強化作業之技術參考。

三、財務能力

財務能力主要係指組織可以調動之財務資源，足以確保調適行動方案能夠隨著時間的延續而確認、實施，以及更新的程度。財務能力可以被視為組織能力的一個組成部分。財務能力係由多種不同因素所組成，其因素主要包括⁶³：

- 評估(evaluation)：運輸系統主責單位能夠對於調適行動方案的效益，並與成本相比較的程度；
- 資金的可用性(availability of funds)：運輸系統主責單位可以分配足夠經費用於調適行動方案的程度；
- 資金籌集(mobilization of funds)：運輸系統主責單位能夠在多大程度上確保使用足夠的資金來實施適應行動。

參酌環境部所擬「氣候變遷風險評估作業準則」(草案)第 6 條第 1 項之規定，為使各級政府現況檢視之內容以及氣候變遷風險評估成果可作為未來調適缺口或熱點辨識之比較基線，因此於執行檢視資源及現況氣候變遷風險時，應辨識可掌握之資源，其中一項即為財務能力，究其立法目的，主要係期盼各級政府能檢視相關資源的取得性，並採用質化、量化或綜合之方法或指標進行氣候變遷風險評估及調適缺口的辨識。

四、生態系統能量

生態系統能量係指自然和管理生態系統於氣候變遷調適所影響的能力，然人類的行為可以進一步增強或削弱生態系統能量。生態系統能量對

⁶³ ISO, ISO 14091 Adaptation to climate change — Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment Annex G, PP.32, (2021).

於參與自然資源管理的組織特別重要，例如農業、漁業、旅遊和林業等領域。生態系統能量影響了人類所依賴的主要生態系統的供給(例如乾淨的水、食物、乾淨的空氣、藥物等)。提升的生態系統量還可以減緩運輸系統主責單位面臨氣候變遷的風險，例如透過濕地的蓄水作用，可以作為減緩洪水侵襲的天然屏障。

生態系統能量取決於許多不同的因素，其包含⁶⁴：

- 生物特徵(biological characteristics)：生物對氣候變遷的回應能力取決於它們適應或行為的能力，及其生物遷移至更適宜環境的能力。
- 生態韌性(ecological resilience)：生態系統在面對氣候變遷時維持關鍵功能和過程的能力(例如物種多樣性)。
- 生態系統管理(ecosystem management)：可以透過管理干預來改善生態系統調適能力的特徵(例如農業生物多樣性)。

生態系統氣候變遷調適的能力受到臨界點的限制，當生態系統從一種狀態過渡到另一種狀態時，就會出現這些臨界點。這些變化可能是不可逆轉的，或者難以逆轉並且成本高昂。例如，健康的珊瑚能夠在溫度略微升高時存活，然而，溫度僅比長期平均溫度高幾度就會導致珊瑚白化。

3.3.2 調適能力評估

調適能力評估旨在針對系統、組織、人類及其他生物於面對氣候變遷所可能產生潛在的損失、機會或後果進行調整、利用和應對能力的審視，並對於相關屬性進行量測時，所給予之相關建議。對於運輸系統主責單位而言，所須審視與檢視的內容，主要包含：

- 評估單位需要的調適能力水準，以應對其氣候變遷之風險；
- 確定當前的調適能力水準並評估其是否與所需水準相匹配。

然而，並非所有組織都需要相同水準的調適能力，所需的調適能力水準取決於特定單位及其所面臨的與氣候相關的風險。由於開發應對氣候變遷所需的固有複雜性和資源之要求，較低的調適能力水準不太可能應對已確定的氣候變遷風險。為了提供關於所需能力水準的指導原則，ISO 14091

⁶⁴ ISO, ISO 14091 Adaptation to climate change — Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment Annex G, PP.32~PP.33, (2021).

標準使用三種不同等級的調適能力，包含中等調適能力、高調適能力，及非常高調適能力進行說明。

一、適應決策之時間範圍

氣候變遷影響在一項調適行動方案的壽命、能夠發生變化的程度，取決於該調適行動方案的執行成果可能有多久的效用。相關綜整結果簡述如下⁶⁵：

- 持續時間達 15 年以內的決策(相對短期的決策，例如辦公空間之利用)則會需要中等調適能力程度之專業知識，以利辨識和解決氣候變遷產生之影響。
- 15 到 30 年的決策(中期行動，例如道路路面之選擇)可能會需要高度調適能力之專業知識，以利辨識和實施有效應對措施的影響與不確定性。
- 持續時間超過 30 年以上的決策(長期行動，例如運輸系統選址與設計)可能需要具備處理顯著不確定性的能力，以及能夠發展複雜的治理水準來應對調適之相關課題。

二、複雜程度

當運輸系統主責單位面臨更為複雜性的調適課題時，需要更高層次的調適能力來應對。然而，單位在降低氣候變遷相關風險時，將面臨許多複雜性的因素，其中包含⁶⁶：

- 一個行動或決策在程度上是相互依存的產物（即運輸系統主責單位內部或外部與其他利害關係者之間的互動）。例如，擁有新建築物的組織在大樓新建的決策過程中，希望與金融機構、建築師、規劃單位、保險公司、工程師等間的相互依存關係。又或者例如捷運系統路線的決策取決於對電力供應、場站聯外道路進出、防洪措施等方面依賴。
- 與組織風險狀況相關的衝擊數量；
- 決策結果的持續時間以及其相應的不確定性。

⁶⁵ ISO, ISO 14091 Adaptation to climate change — Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment Annex G, PP.34~PP.35, (2021).

⁶⁶ ISO, ISO 14091 Adaptation to climate change — Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment Annex G, PP.35, (2021).

此外，ISO 14091 針對目的性的描述，亦將其複雜程度區分為以下 3 種不同類型⁶⁷：

- 單純(Simple)：行動的障礙或許存在，但透過良好專業的實踐即可簡單處理之層級。例如，灌溉系統組件的計畫更換週期，允許灌溉系統隨著氣候變遷的步調升級，因為灌溉系統具有較低的供應鏈依賴性。
- 複雜(Complicated:)：障礙很大(無論是外部決策環境，或是不確定性因素)，但透過適當的組織能力仍足以應對。例如，規劃海岸防洪措施，其需要大量的專業知識和組織能力，以及與利害關係者的互動，但在可預測的氣候變遷影響範圍內仍可實現(如，提高約 2 公尺高度的防洪措施)。
- 混亂(Complex)：外部障礙在規模及不確定性方面均顯複雜。不確定性可能源於決策環境的變動性以及組織於氣候變遷風險累積所產生的不確定性。例如，為因應海平面上升所設計之社區搬遷策略，然其中尚不清楚需要進行搬遷時間，新地點未知，且尚未制定社會正義之相關規則(所有規劃內容均可能隨著政治、經濟，以及環境的變化而有所改變)。

三、調適能力水準

為確認運輸系統主責單位需具備哪種類型之適應能力水準，前揭將風險的複雜度進行分類可能是有幫助的。以表 3.3-1 所列舉之範例，提供單位組織確認需有哪種調適能力水準來管理風險。

表 3.3-1 組織所需管理風險性質之目標能力水準

		選擇氣候變遷風險行動方案之期程（年）		
		0~15	15~30	30~100+
制定因應措施 之複雜程度	單純	中等調適能力	高調適能力	非常高調適能力
	複雜	高調適能力	高調適能力	非常高調適能力
	混亂	非常高調適能力	非常高調適能力	非常高調適能力

資料來源：ISO, ISO 14091, 2021.

運輸系統主責單位瞭解其在因應特定風險時所應具備的調適能力水

⁶⁷ ISO, ISO 14091 Adaptation to climate change — Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment Annex G, PP.35, (2021).

準，以及確認該組織應具有應有的調適能力，以及組織瞭解因應特定風險所需之調適能力水準，而後確認該組織確實具有應該擁有的調適能力，其兩者之間的差距(所應具備之調適能力，以及已具備適應能力水準之間的差距)，可做為運輸系統主責機關(構)後續可以改進的空間，並藉由調適能力的改善以減輕已確認的風險。

四、中等調適能力

當不存在有效實施決策的外部系統性障礙時，在未來 15 年內有效管理而產生影響的決策活動，主要包含⁶⁸：

- 組織與相關利害關係者的合作；
- 組織對其決策的技術限制以及氣候變遷對其決策的衝擊進行分析，包含在可能的情況下，更換週期如何將反應升級為更長的反應未來期限；
- 組織已對其決策的技術限制進行分析，以及氣候變遷在其決策的壽命內產生的衝擊，包括在可能的情況下，如何透過更換週期來因應未來更長期的氣候變遷調適課題；
- 組織優先考量提高技術彈性的行動方案；
- 進行成本/效益分析，以協助確認行動方案的優先順序；
- 預算與其他資源已分配予優先之行動方案；
- 組織領導者透過口頭和書面聲明促使在氣候變遷方面得採取符合性之行動方案；
- 組織決策者認為滿足利害關係者的要求以因應極端天氣和氣候變遷是有價值的；
- 本組織已賦予實施管理者執行氣候變遷行動方案的正式職責。

五、高調適能力

高調適能力主要係有效管理以下決策的行動方案：

- 未來 30 年，有效實施其不存在體制性障礙之相關措施；
- 未來 15 年，需要額外的調適能力來克服但遇到外部體制性障礙的

⁶⁸ ISO, ISO 14091 Adaptation to climate change — Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment Annex G, PP.36, (2021).

行動方案。

高調適能力除包含類似於中等調適能力的行動方案之外，亦包含以下措施：

- 透過分析，運輸系統部門已確認在其技術決策的整個生命週期內氣候變遷可能會對其產生衝擊的時機；
- 與內部和外部利益相關方合作，運輸系統部門已經確認提高運輸系統對於氣候變遷物理韌性之行動優先順序；
- 財務規劃(包含成本/效益分析)已經評估整個生命週期期間的財務衝擊之決策；
- 根據財務、社會、技術與環境優先事項確認行動方案之優先順序；
- 計畫中包含明確的改善目標；
- 領導人對組織於因應氣候變遷方面的立場發表明智的正式聲明；
- 在高層團隊、中階管理，以及執行階層等均有正式的角色來實施與更新計畫；
- 辨識並有效實施計畫所需的專業知識；
- 程序能夠有效辨識及實施必要的糾正措施；
- 訂定並實施培訓需求評估，以支援相關調適規劃並加以落實。

六、非常高調適能力

非常高調適能力的決策類型，主要包含以下 2 類：

- 未來 30 年之後，無論是否存在系統性障礙；
- 未來 20 年，存在有效實施決策且需要額外的適應能力來克服之外部系統性障礙。

非常高調適能力除包含類似於中等適應能力的行動方案之外，亦包含以下措施⁶⁹：

- 設計成具有調適性的技術干預措施(例如，當前的決策允許，或至少不排除未來隨著新資訊和技術的出現而進行升級)；
- 氣候變遷調適是一個明確的核心戰略目標，並得到運輸系統部門

⁶⁹ ISO, ISO 14091 Adaptation to climate change — Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment Annex G, PP.37, (2021).

高階管理團隊的策略聲明支持；

- 策略制訂以及實施過程中，確保氣候脆弱度和機會能被納入決策；
- 借鏡來自於外部領先的實務創新經驗；
- 藉由董事會持續跟蹤前揭創新經驗；
- 在整個決策過程中，規劃能夠有效保護不斷因應氣候變遷的優先事項；
- 在投資中的盡職調查中，納入管理氣候不確性的策略靈活性要求；
- 運輸系統部門積極建立合作夥伴關係，並克服對於調通行動方案的複雜限制。

3.4 跨部門相互依賴性分析與獨立審查

跨部門相互依賴性的分析，主要係要求運輸系統部門在考量氣候變遷可能對其相互依存性產生的直接和間接效應，其包括供應鏈中可能中斷、市場需求的波動，以及可能造成社會環境的變化等。透過該等分析，運輸系統部門能夠制定更具前瞻性的應對策略，以因應不同產業間的複雜相互依存關係。

獨立審查的主要目的是確保風險評估的過程和結果是合乎標準要求的，同時提供對評估方法和結論的專業評價。標準明確規定了獨立審查的程序和原則，包括選擇獨立審查者的標準，以及撰擬報告的要求。

一、評估結果說明

評估與解釋調查結果的目的是對於已辨識的風險進一步的闡釋，其有助於風險評估目標的展現。此外，氣候變遷衝擊情形於評估結果中應列為優先考量，並將調適需求視為最為迫切的領域。相關之優先順序宜由決策者予以確認，或由專案團隊與決策者共同進行，期間應考量包含可能的調適措施以及相關的責任。前開提議的優先順序可以在與利害關係者的會議上取得確認。

然而，前開所述潛在的氣候變遷衝擊大小並不等同於重要性。一般而言，倘若某氣候風險對於現階段氣候變遷衝擊是大的，在有效的掌握之下，仍可以輕鬆應對時，其大的氣候變遷衝擊未必是屬於重要而須特別重視的風險。然而針對某些特定情況下，微小的變化也可能具有重大的意義(例如，在特定區域內對交通流量的輕微干擾)。因此，若要突顯其特殊性，可以給予明確的門檻值定義(例如，若將增加 10% 之交通流量即視被認定有問題)，則變化的幅度即可表明其氣候變遷調適的重要性。

如果評估的目的是在比較不同活動領域的影響或風險程度，例如針對各部門或各地區的評估時，可採適當的綜合評價，既可以是定量評估呈現，也可以是定性評估說明。由於針對跨領域或跨部門的評估比較有時難以採用統一的定量評估標準(如標準化指標或貨幣價值)，因此採取定性綜合評估往往是得出比較結論的唯一可行方法。

二、部門相互依賴性分析

如同前節內文所述，對於跨部門或跨領域之評估，較難以統一的訂量標準與以描述或比較，較可行的方式是以定性的評估方式，例如以衝擊鏈的方式，辨識與分析各個部門的相互關係，或是在圖形的表達方式，在不同部門進行相互依賴性分析時，可透過以不同顏色的分配方式來呈現在各種不同活動區域(例如農業或林業)在氣候變遷的衝擊程度。

同樣地，在不同領域的情境下，針對跨部門進行相互依賴性的分析時，亦可利用相同方式來提供進一步的見解說明(例如運輸系統的干擾或是例如在氣候變遷的衝擊下對於產業生產線的沿線交通干擾或衝擊的相互依賴性)。

三、獨立審查

對於氣候變遷風險評估結果，採取第三者的專業人士進行獨立審查，對於評估結果的公正性是有其幫助。相關獨立審查作業之可能程序，主要包含：

- 由個別專家或由專家組成專案小組對於評估結果進行全面審查；
- 針對風險評估最顯著的風險特徵進行一系列的批判性評價；
- 邀集相關利害關係人舉辦專家研討會，並對外展示評估結果。

3.5 風險評估結果之溝通

3.5.1 氣候變遷風險評估報告架構

氣候變遷調適風險評估報告主要係呈現運輸系統在氣候風險下的衝擊影響，針對評估報告書之主要呈現內容項目，ISO 14091 建議主要應包含風險評估目標的描述、所採用的方法、主要發現、理解及解釋結果所需的背景資訊。而就報告書應包含之內容，茲簡述如下：

一、背景及目標

- 進行風險評估的背景；
- 風險評估的目標及方法；
- 相關機關(構)及利益關係者；
- 風險評估的範圍，包括所審查的系統和影響，以及地理範圍與時間框架。

二、方法和實施

- 評估所依據的假定因果關係，包括影響鏈；
- 選定的風險因素及其指標和使用的方法、任何數據差距及其處理方式；
- 相關利益方的選擇標準；
- 有關專家的信息，包括所代表的部門/地理區域或專業背景；
- 所使用的權重及確定權重的過程；
- 用於評估風險指標的彙整方法；
- 有關未來監測和評價評估中使用的資料來源和計算資訊。

三、評估結果

- 總體風險的定量評估資訊，以及危害、敏感性、暴露度、潛在影響與適應能力的個體和總體指標值的鏈結；
- 關於總體風險的相關定性評估資訊，以及與危害、敏感性、暴露度、潛在影響與適應能力的定性相關資訊；

- 風險評估於各階段遭遇的挑戰和機會；
- 結果的不確定性；
- 可汲取經驗；
- 有助於解釋研究結果的相關圖說(例如風險地圖、圖表等)。

四、結論和建議

- 有關風險評估目標的結論（例如氣候變遷衝擊的優先順序、區域風險熱點的辨識）；
- 正在進行或即將進行的政策的結論，例如進程的調適戰略；
- 調適規劃和監測評估的建議；
- 後續評估的建議，包含方法與內容。

3.5.2 氣候變遷風險評估結果之傳達與溝通

運輸系統部門於完成氣候變遷對於運輸系統之風險評估結果後之主要工作，即是將所完成之評估結果與調適策略對外界傳達，以踐行資訊公開與公眾參與程序。

氣候變遷風險評估的結果可以透過多種方式，例如以視頻、外展活動、網絡研討會、科學文章發表、海報演示、永續性報告等方式予以傳達。傳達方式宜選擇以最合適的溝通方式來向預期的受眾說明其調適風險評估結果，而其受眾可能包括不同的參與者群體，例如政府機關(構)、私營部門，或是一般民眾。

氣候變遷風險評估及調適規劃與行動之成果公開展覽與資料蒐集及彙整，原則如下：

各級政府需定期更新氣候變遷風險評估及調適規劃與行動之執行成果，並公開於指定網站或平台供各界檢視。

前款所稱執行成果，應至少包括危害及衝擊評估之圖資、風險評估結果、調適行動落實情形、投入資源及有關機關、學者、專家及民間團體之意見處理情形。

第一款有關資訊公開規定，各級政府得指定公開於中央主管機關設置之網站或平台

3.5.3 報告結果作為調適規劃基礎

風險評估報告除需對外界傳達並與特定受眾說明之外，整體報告之結果亦需回饋至運輸系統之規劃、設計、營運，甚至除役等全生命週期的個階段的調適策略與措施。

因此，風險評估所呈現的結果應該是具體的，除包含應有的結論和建議之外，亦應考慮以下因素：

- 明確性(Tangibility): 參與調適規劃的同仁即使沒有參與準備工作，也應該瞭解風險評估的結果。惟參與人員是否有能力追溯所為每個步驟所做的決策，正確解釋評估結果所呈現每個圖表背後所代表的意義，並確認研究結果的主要優勢與劣勢？
- 結論和建議(Conclusions and recommendations): 評估結果應該提供(或允許)對調適優先事項的第一印象。結論與建議是否提供有關如何填補已辨識的調適缺口、調適過程，以及調適規劃等方面的建議？

第四章 案例研析

為驗證國際標準組織針對氣候變遷調適之相關作業規範對於國內運輸系統之應用性與操作性，本計畫嘗試以國營臺灣鐵路股份有限公司前身之交通部臺灣鐵路管理局(以下簡稱臺鐵公司)「宜蘭線龜山~外澳間路線改善工程」為例，並以該計畫於 112 年 6 月之環境影響說明書(本文)之公開資訊，作為本計畫進行風險評估之主要資料來源。

4.1 前置作業

一、界定評估背景

臺鐵宜蘭線北起八堵，南至蘇澳，於 1917 年間動工興建，期間曾因經費不足暫緩施作，直至 1924 年 12 月宜蘭線方全線通車營運，故當時在線形設計與選擇，主要仍以較經濟之方式進行設計與施作。其中，營運中的宜蘭線於龜山~外澳間路線東側面海，西側臨山，因受地形環境影響，有 3 處路段之曲線半徑僅 600m，其中 1 處位於更新隧道及外澳隧道間約 1 公里之路段以路塹明挖方式興建，每逢連日大雨即可能造成軌道積水及土石崩落，而影響行車安全，甚至導致營運中斷。因此，為解決路基易淹水問題，採善高養護成本及路線妥善率的情形下，臺鐵公司計畫針對龜山~外澳間之路線提出改善計畫，藉以提升此區段運輸效能，並減少維護成本以及降低致災風險。

依據「宜蘭線龜山外澳間路線改善工程」內容，該計畫之改善路線規劃沿龜山車站往南至梗枋溪前為起點，規劃以新建橋梁方式銜接既有鐵道路線並跨過梗枋溪，往南進入改善路線新建隧道，新建隧道位於既有鐵道路線西側，隧道長度約 1.5 公里。路線於出隧道後於外澳站北端銜接回既有鐵道路線，全長約 2.35 公里。

有關臺鐵公司所提「宜蘭線龜山外澳間路線改善工程」之地理位置圖如圖 4.1-1 所示。



資料來源：內政部國土測繪中心，1/25,000 經建版地形圖(2020)

圖 4.1-1 「宜蘭線龜山外澳間路線改善工程」地理位置圖

二、訂定評估目標與預期成果

由於臺鐵宜蘭線於臺灣鐵道發展上，係屬較早期之路線，在當初鐵道路線選擇上難以避開地理環境等限制因素。因此，在路線營運上可能易受氣候壓力的影響。

面對前開氣候壓力可能產生之風險評估，本計畫初步針對該計畫「宜蘭線龜山外澳間路線改善工程」案，透過 ISO 14090 等系列標準進行檢視與氣候變遷風險評估，最後給予可能之調適策略建議。

而針對本計畫對於檢視該計畫於氣候變遷調適風險評估後，期待該計畫之效益成果，茲簡述如下：

- (一)降低宜蘭線龜山~外澳間沿線因氣候變遷影響而導致土石流、淹水、構造物崩塌等路線阻斷危害因素，並提出迴避或改善措施，提升路線安全設備。
- (二)透過調適措施，解決路基易淹水問題，降低養護成本，提高路線妥善率。
- (三)對於原路段改善期間所研析之調適措施，以及所累積之知識與當地環境氣候資料，可作為後續於其他路段推動改善之參據。

三、調適工作團隊建議

對於能夠影響本計畫決策或活動、受決策或活動影響或認為自己受決策或活動影響的個人或組織，均可建議納入本計畫案例之工作團隊。因此，針對本計畫案例之調適工作團隊成員，宜包含臺鐵組織內具有決策能力之單位外，並應涵蓋相關領域之專家、與本計畫案例之利害關係人等，以協助在擬訂調適措施相關計畫與目標，並於需要進行價值判斷時，能適時參與決策過程。

基此，針對本計畫案例之調適工作團隊成員，建議如下：

- 鐵道設施督導權責機關：交通部鐵道局
- 鐵道設施營運單位：國營臺灣鐵路股份有限公司設施群、分區營業群
- 環境資料提供機關(構)：農業部農業發展及水土保持署(水土保持)、經濟部水利署(河川治理)、國家災害防救科技中心(極端氣候資料)
- 地方權管機關：宜蘭縣政府
- 工程顧問團隊
- 當地居民代表

本計畫案例之主辦機關(構)可以聘請外部專家擔任工作團隊之顧問角色，對於各個工作團隊成員需明確說明應擔任角色與分工責任，並定期召開進行溝通。對於工作團隊討論議題感興趣或是利害關係人，亦可邀請至工作會議上共同討論，以利後續推動調適策略的順利進行。

四、確定評估範疇與評估方法

考量本計畫業已進入環評階段，因此本計畫亦將該案例以演示性質進行操作，而非將整體案例作為實務評估。

參酌本計畫案例「宜蘭線龜山外澳間路線改善工程(委託測量鑽探及綜合規劃)」內容，本計畫線形規劃自龜山火車站南側里程約 K49+850 往西側(山側)逐漸偏離，路線續往南進入山區並新建一座山岳隧道(約 1.5km)，路線往南出隧道於外澳站北端，里程 K52+200 為工程終點，並於外澳站北側接回既有路線⁷⁰，由於整體計畫工程界面，包含：

⁷⁰ 國營臺灣鐵路股份有限公司，宜蘭線龜山~外澳間路線改善工程環境影響說明書，頁 5-6，112 年 6 月。

(一)橋梁工程：該計畫橋梁工程主要係為跨越梗枋溪的梗枋川橋，其工程建議保留部分舊橋並與拓寬已更軌道切換，後續再銜接改善路段之新梗枋川橋。

(二)隧道工程：該計畫主隧道工程起訖點裡成為 K50+286~K52+787，全長 1.5km。此外包含避難聯絡通道，主要於隧道中段處，長約 0.25km，工火災發生時之人員緊急逃生出口。

(三)路堤工程：本計畫新建橋梁至隧道北洞口路店，以及隧道南洞口至既有路線路段將採路堤方式銜接。

考量該計畫之工程與地理環境氣候之特殊性，可將該鐵路系統關鍵組件分為路堤邊坡、隧道洞口，以及橋梁跨越之梗枋溪等面臨極端氣候壓力之調適能力進行評估。至於氣候變遷風險評估方法部分，考量國內尚缺乏氣候變遷風險評估相關實務操作經驗，且環境部依據「氣候變遷因應法」第 18 條第 3 項訂定之「氣候變遷風險評估作業準則」(草案)仍在草擬階段，爰本案例建議採半定量風險評估方法，以召開專家工作坊之方式，針對重要議題進行討論之外，亦可彌補在相關氣候資訊不足的情形之下，所進行本計畫的氣候變遷風險評估。

五、設定時間範疇

有關設定評估時間範疇部分，參酌歐盟、日本、中國大陸等都早已將重要設施之使用年限提升到 100 年或更久，英國橋梁規範自 1988 年起就是 120 年、歐洲地區重要橋梁隧道使用年限為 100 年等。此外，我國公共設施未來需面對人口老化、全球資源短缺與氣候變遷等 3 大挑戰，訂定公共設施設計使用年限，延長公共設施的使用壽命提供了一個可行的方向，一方面可以降低公共設施的壽年成本，同時也減緩了資源的耗用與對環境造成的衝擊，有助於環境永續目標的達成⁷¹。

另參酌台灣高速鐵路計畫係屬臺灣近年來最重大交通建設之一，亦屬民間投資興建-營運-移轉計畫(BOT Project)，依據合約規範，其設計年限係採用 100 年進行設計⁷²。

⁷¹ 行政院公共工程委員會 2013 年 12 月 24 日新聞稿，

https://www.pcc.gov.tw/News_Content.aspx?n=C61062639C0CD29F&sms=21EF9CF82726C1BB&s=D4EE6573B631E98，last visited December 12, 2023.

⁷² 鍾賢慶、陳逸宇、黃永和、莫若楫，台灣高速鐵路橋梁通過斷層 1978-2017 之設計考量，頁

此外，依據交通部「鐵路橋梁設計規範」有關耐久性設計之設計原則，敘明設計年限係指依據相關規範設計及施工，並在正常使用及維護狀態下之年限，除主管機關另定需求，設計年限不小於 100 年⁷³。

基於以上對於鐵道系統橋梁設計年限之見解，且考量該係計畫案例係屬臺鐵宜蘭線唯一行經之路線，在無可取代的路線前提下，建議該計畫案例之設定時間以 100 年作為設計年限之基準，爰以 2125 年作為該計畫之評估目標年期。

六、蒐集風險評估相關資料

為利後續風險評估，本計畫案例之工作團隊宜就本計畫路線之特性，包含危害度、敏感性、暴露度、氣候變遷影響，以及與系統相關的脆弱度、調適能力、現有風險評估，以及用於管理風險的工具策略等知識，儘早蒐集與風險評估範圍內之相關資訊。

參酌臺鐵公司「宜蘭線龜山~外澳間路線改善工程環境影響說明書」對於該區域 10 年間(2013~2022)氣象特性之主要敘述，夏季高溫多喚，冬季溫暖濕潤，另受季風及地形西高東低影響，全年有雨，雨量多集中於夏季颱風季易發生時期，加上臨海處無山嶺屏障，颱風登陸常造成重大生命財產之損失。相關氣候特性說明謹簡述如下⁷⁴：

(一)降雨量及降雨日數

宜蘭地區近 10 年平均總降雨量為 2,686.7mm，全年最高降雨月份在 10 月，平均降雨量達 434.0mm，而 4 月份則為全年最低，平均降雨量約為 105.9mm。此外，降雨量多集中在颱風及季風盛行期間的 9~12 月份，其降雨量約占全年降雨量的 53.4%。

(二)氣溫

宜蘭地區近 10 年的年平均氣溫為 23.1°C，歷年以 7 月份之月平均氣溫 29.2°C 最高，1 月份的月平均氣溫 16.9°C 為最低；歷年個月最高溫之年平均為 31.3°C，最低氣溫之年平均為 16.6°C。

(三)風向及風速

2，99 年。

⁷³ 交通部，鐵路橋梁設計規範，頁 41，101 年 12 月。

⁷⁴ 交通部臺灣鐵路管理局，宜蘭線龜山~外澳間路線改善工程環境影響說明書，頁 6~13-6~42，112 年 6 月。

宜蘭地區屬副熱帶性季風氣候，全年最多風向除 4~6 月偏東北東之外，其餘各月份以西風及東風為主，各月之平均風速介於 1.6~2.3m/sec，年平均風速為 1.9m/sec。

(四)颱風

參酌交通部氣象署於 1958~2022 年有關發布陸上颱風警報並且侵襲臺灣地區之 203 個颱風，其路徑可概略分為 10 大類，對於宜蘭地區較有影響之路徑有 2(包含路徑 2 及路徑 6)，該等路徑各占侵臺颱風比例約 15.3% 及 15.0%，推估各路徑平均每年會有約 0.48 及 0.50 次影響本計畫案例。

(五)水文

本計畫案例鄰近水體為梗枋溪，發源於石空北方的太和山(705 公尺)，主流河長 6,215 公尺，流域面積 12.4 平方公里。河川往北流至頭城農場後東轉，在牛寮會合牛寮溪繼續往東南流，行至鐵路嚼附近銜接已經會合三份坑溪的北勢坑溪(梗枋北溪)後，在梗枋漁港南側入海。

(六)地質敏感區

本計畫案例之山崩與地滑地質敏感區共計 2 處，分別位於宜蘭縣頭城鎮百合陵園東側約 300 公尺以及百合陵園往省道台 2 線方向之產業道路路邊。參酌該計畫案例之環境敏感區位調查結果，部分計畫路線與地質敏感區重疊。

考量本計畫案例之路線所行經包含臨山面海的地理環境條件，以及氣候特性，參酌氣候變遷對於運輸系統之氣候壓力，包含強降雨、暴潮/風浪、海平面上升、強風、高溫等資料進行蒐整，以利進行後續資料之比較分析。針對前開有關氣候環境變異之資料蒐集來源，可參考臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台、經濟部水利署水文資訊網、國家災害防救科技中心(NCDR)3D 災害潛勢地圖等。

有關過往氣候與環境變異等資料來源之相關尺度，以及資料來源茲說明如表 4.1-1。

表 4.1-1 過往氣候與環境變異資料彙整表

分類	資料名稱	位置	時間尺度	單位	資料來源
強降雨	年雨量	宜蘭測站	1971-2021	公釐	TCCIP
暴潮/風浪	颱風暴潮高度	宜蘭沿海	1978-2017	公尺	TCCIP
	颱風風浪高	宜蘭沿海	1978-2017	公尺	TCCIP/ 宜蘭縣二級海岸防護計畫
強風	海岸風速 1971-2021	全臺沿海	1978-2017	公尺/秒	TCCIP
高溫	年均溫	宜蘭測站	197-2021	攝氏	TCCIP
	高溫大於 35°C 日數	宜蘭測站	1971-2021	天	TCCIP
歷史災害	近5年歷史淹水災點	全臺	2018-2022	-	NCDR 災害潛勢地圖
災害潛勢	淹水潛勢圖 (350mm/24hr; 650mm/24hr)	宜蘭頭城	2015	公尺	NCDR 災害潛勢地圖

資料來源：本計畫彙整

七、擬定實施計畫

考量本計畫案例係以演示性質進行操作，針對部分難以蒐集最新科學數據，以及亟待透過討論過程確認操作方式等相關議題，建議可透過專家工作坊開放討論，以利後續實際進行氣候變遷風險評估。

針對所擬訂之實施計畫中，工作團隊可將擬欲達成氣候風險評估之目標納入實施計畫，主要議題可包含如下：

- (一)確認氣候變遷風險評估所欲蒐集資料與分析資訊的完備性。
- (二)辨識專案面臨之氣候壓力與衝擊，並指認相關氣候風險因素。
- (三)研訂適用於專案之風險評估指標、門檻值，以及權重。
- (四)執行氣候變遷風險評估作業等相關方法與程序。
- (五)擬訂中高風險區域之調適策略與措施。
- (六)風險評估與調適措施對外公布方式，以踐行資訊公開及公眾參與程序。

4.2 氣候變遷風險評估作業

4.2.1 擬定氣候衝擊鏈

運輸系統的氣候壓力主要來自於強降雨、暴潮/風浪、海平面上升、強風、高溫等因素。針對本計畫案例之氣候風險，初步以「緩步改變」(包含氣溫上升、海平面上升)以及「極端事件」(包含暴潮/風浪、熱帶氣旋、極端降雨、極端高溫)等危害因子擬定其氣候衝擊鏈。

參酌國外文獻，對於鐵道系統之氣候壓力的影響，主要包含溫度、強風與暴雨，其影響層面說明如下：

一、溫度

參酌英國鐵路於氣候變遷調適之溫度影響統計資料，自 2016 年至 2021 年間，低溫和高溫造成之營運成本達 7,100 萬英鎊(每年約 470 萬英鎊)，延誤列車行駛時間超過 110 萬分鐘。

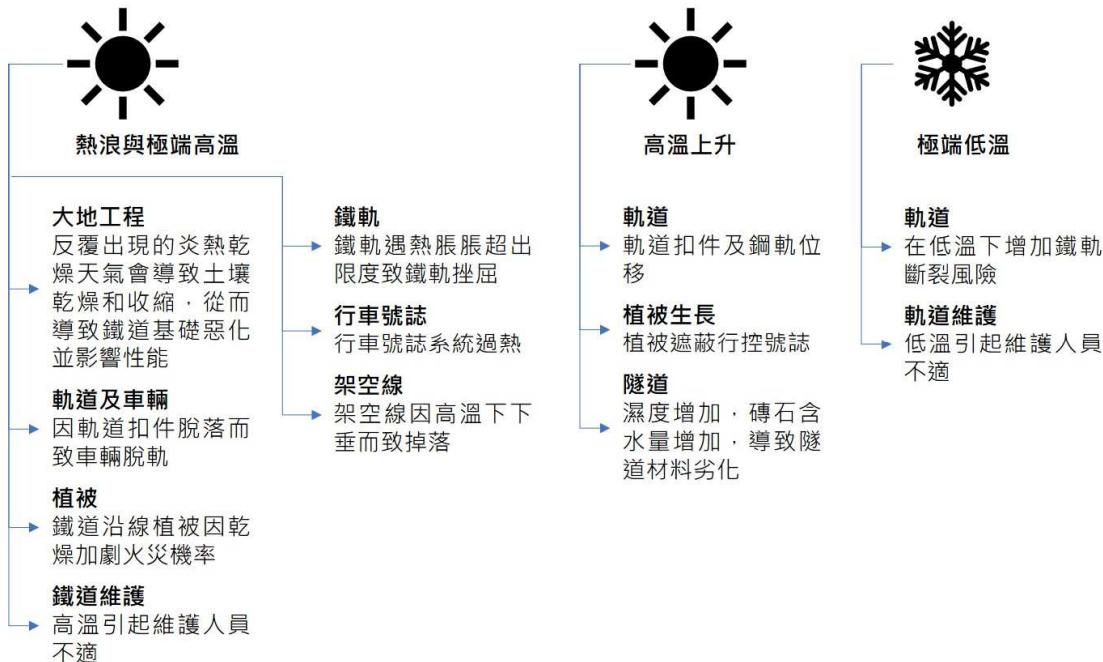
而在近年伴隨極端高溫的夏季讓人們注意到鐵道系統在高溫下的脆弱度，特別是在軌道、架空線，以及滯留在列車上的乘客福利。其他如來自於高溫環境導致鋼軌扣件可能導致的脫軌的安全事件、臨時應變工作需求增加而致承擔任務勞動能力的下降，以及服務中斷增加了乘客與工作人員壓力等，均為氣候變遷在環境因素對於鐵道系統服務所造成的影响⁷⁵。

在鐵道部分，由於鋼軌膨脹或收縮取決於其溫度，在陽光直射下，鋼軌溫度可能比空氣溫度高 20°C。如果鋼軌沒有允許膨脹的接頭，極可能在較高溫度的環境下導致鋼軌挫屈的風險。而在架空線方面，在極端炎熱的天氣下，架空電線可能因為膨脹超出維持其張力的承受能力而產生下垂的狀況。而下垂的電線可能會卡在將電力傳輸給火車的集電弓，而將架空線扯落，並導致列車延誤。而溫度對於植被的影響，特別是樹木而言，可能不太適合未來的氣候環境，在經歷一段時期的氣候壓力後，可能導致植被或樹木的損害，因此需要額外的維護管理。而部分物種可能需要逐漸從鐵道沿線中去移除，因為它們會帶來越來越大的風險，同時也可能會增加鐵道維護成本並增加勞動力。而在長時間的乾燥天氣中，鐵道路權路附近發

⁷⁵ Network Rail, Network Rail Third Adaptation Report, PP.74~75, (2021).

生火災的風險會增加，尤其在完全暴露陽光下的草地地區，因植被乾燥或死亡導致的風險應特別注意⁷⁶。

針對氣溫對於鐵道系統產生之主要風險如圖 4.2-1 所示。



資料來源：Network Rail Third Adaptation Report

圖 4.2-1 鐵道系統溫度主要風險示意圖

二、強風與暴雨

參酌英國鐵路統計報告所述，因應氣候因素導致英國鐵道系統平均每年約需付出約 0.5~1 億英鎊的成本，若考量額外的維修和社會經濟成本，其成本更高達 2~3 億英鎊⁷⁷，此外探究前揭額外成本於過去 15 年間超過 32 萬 2,000 起延誤事件、約 2,600 萬分鐘的延誤以及超過 10 億英鎊賠償金的統計結果顯示，英國國境內的鐵道服務面臨的兩個最大挑戰，主要係來自風災(Wind)和洪水(Flood)事故，分別造成 2.75 億英鎊和 2.23 億英鎊的損失，且部分事故未將事故原因歸咎於天氣，實際因氣候壓力造成的實際成本，可能要高得多⁷⁸。

在植被的影響方面，強風及暴雨會毀損鐵道沿線的樹木，並將折斷的樹木枝葉吹至鐵軌、架空線以及列車，且隨著氣候變遷極端氣候的發生機

⁷⁶ Network Rail, Network Rail Third Adaptation Report, PP.77~80, (2021).

⁷⁷ Network Rail, Network Rail Third Adaptation Report, PP.16, (2021).

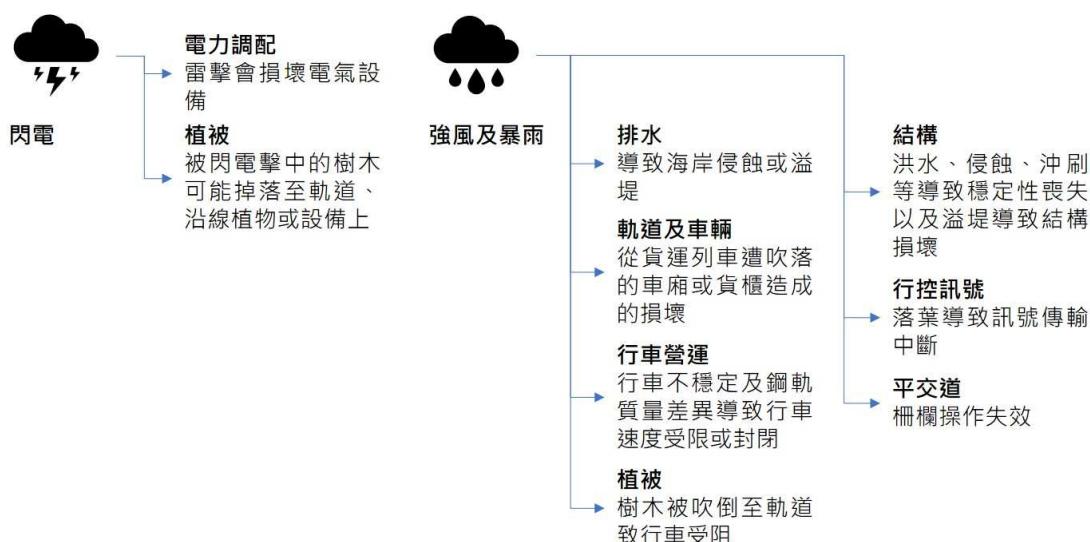
⁷⁸ Network Rail, Network Rail Third Adaptation Report, PP.14, (2021).

率與強度，其狀況與產生之風險勢必將有增無減。而落到鐵軌表面上的落葉會因火車行駛而遭受輾壓，其結果將降低鋼軌的附著力(火車車輪的抓地力)，並迫使駕駛員須採取額外的預防措施，例如降低速度或延長停車距離，以避免車輪打滑。此外，落葉亦可能對於鐵道周遭排水系統造成堵塞，需要加強或反應性維護⁷⁹。

此外，強風暴雨最直接影響鐵道系統的營運，當風速超過一定標準值時，列車會全面限制行車速率，主要是因為強風會對於鐵道周遭及車輛造成影響，其包含⁸⁰：

- 貨運列車上的貨櫃遭強風吹落；
- 軌道保護資產(例如圍欄)遭受損壞；
- 車站屋頂、月台簷篷和沿線設備)例如行車號誌)遭到損壞；
- 平交道護欄操作失效。

有關強風暴雨對於鐵道系統產生之主要風險如圖 4.2-2 所示



資料來源：Network Rail Third Adaptation Report

圖 4.2-2 鐵道系統強風暴雨主要風險示意圖

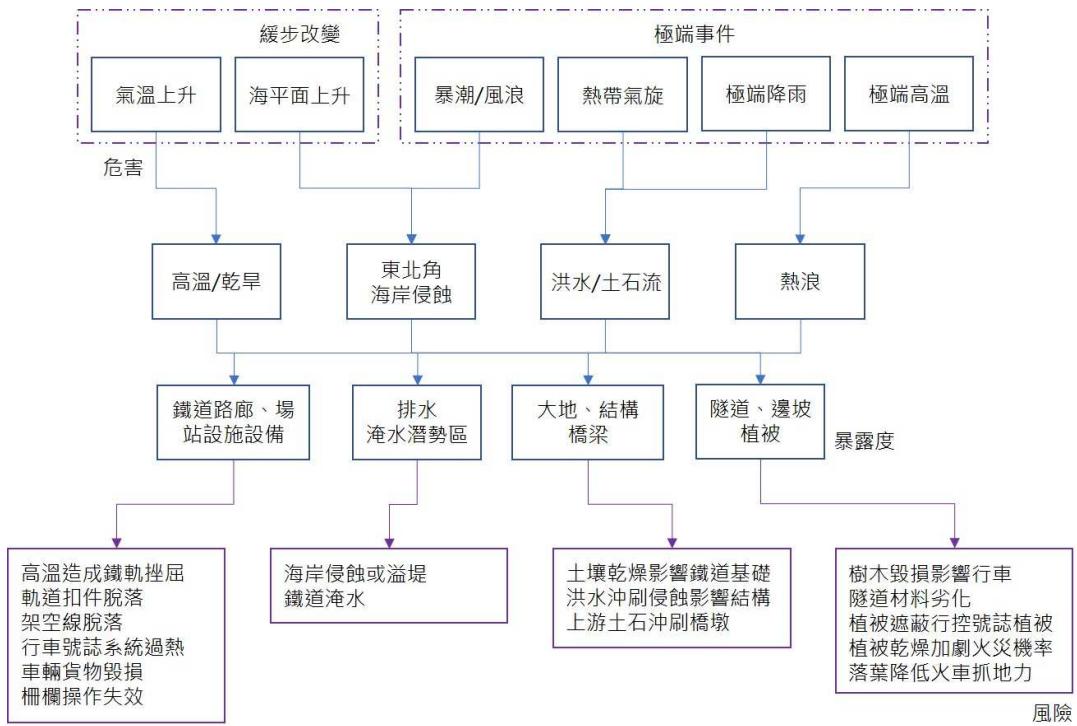
有關運輸系統之氣候壓力於行政院 112 年 10 月 4 日核定之「國家氣候變遷適行動方案（112-115 年）」，其中針對「維生基礎設施領域氣候變遷適行動方案（112-115 年）」所敘明，有關高溫、海平面上升、強降雨、

⁷⁹ Network Rail, Network Rail Third Adaptation Report, PP.82, (2021).

⁸⁰ Network Rail, Network Rail Third Adaptation Report, PP.83~84, (2021).

颱風氣旋等劇烈天氣現象發生頻率與強度的提高，將對鐵道系統營運帶來衝擊⁸¹。

基此，參酌前揭「維生基礎設施領域氣候變遷調適行動方案（112-115年）」所擬之5項氣候壓力、國外相關文獻，以及本計畫案例之氣候環境特性，初擬衝擊鏈描述如圖 4.2-3 所示。



資料來源：本計畫整理

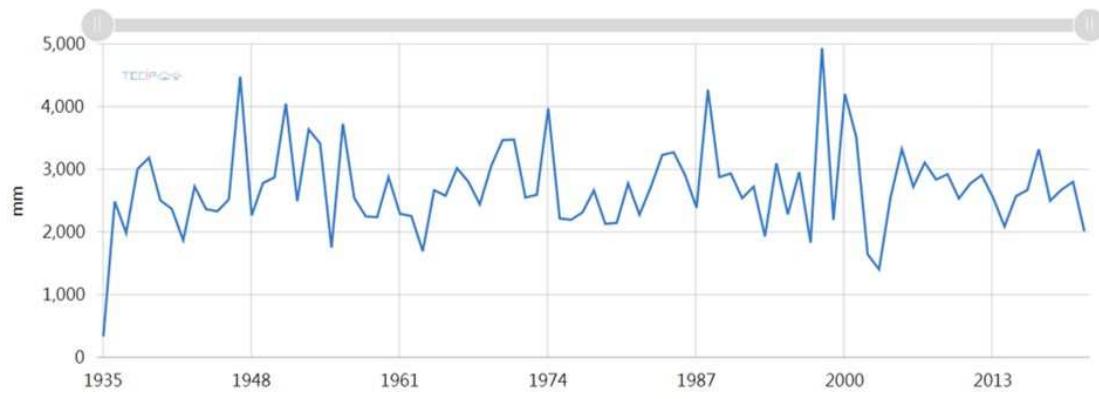
圖 4.2-3 計畫案例衝擊鏈示意圖

4.2.2 蒐集氣候風險資料

一、降雨

參考臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台(TCCIP)於 1981 年至 2021 年在宜蘭監測站之 40 年統計資料，於 1998 年降雨量最大(4,945.3mm)，1935 年降雨量最少(342.2mm)，該測站雨量觀測值年際變化氣候值為 2,837.6mm。近 10 年間的平均雨量雖略有起伏，然若以前 40 年間的年平均雨量觀測值相比較，則有 8 年之年雨量則是低於該平均值。有關宜蘭測站 40 年間年雨量趨勢如圖 4.2-4 所示。

⁸¹ 交通部，維生基礎設施領域氣候變遷調適行動方案（112-115 年），頁 9，112 年 8 月。



資料來源：TCCIP

圖 4.2-4 宜蘭測站 40 年間年雨量趨勢

若以世紀末(2100 年)升溫 4°C 的 RCP-8.5 極高排放情境，模擬本計畫案例之降雨結果顯示，每日平均降雨量約在 6.9mm/day~8.6mm/day 之間，顯示若以年平均降雨量做為氣候壓力之因素，對於本計畫案例之影響似仍在可接受之範圍。相關年雨量於 RC-P8.5 情境之分布狀況示意如圖 4.2-5 所示。

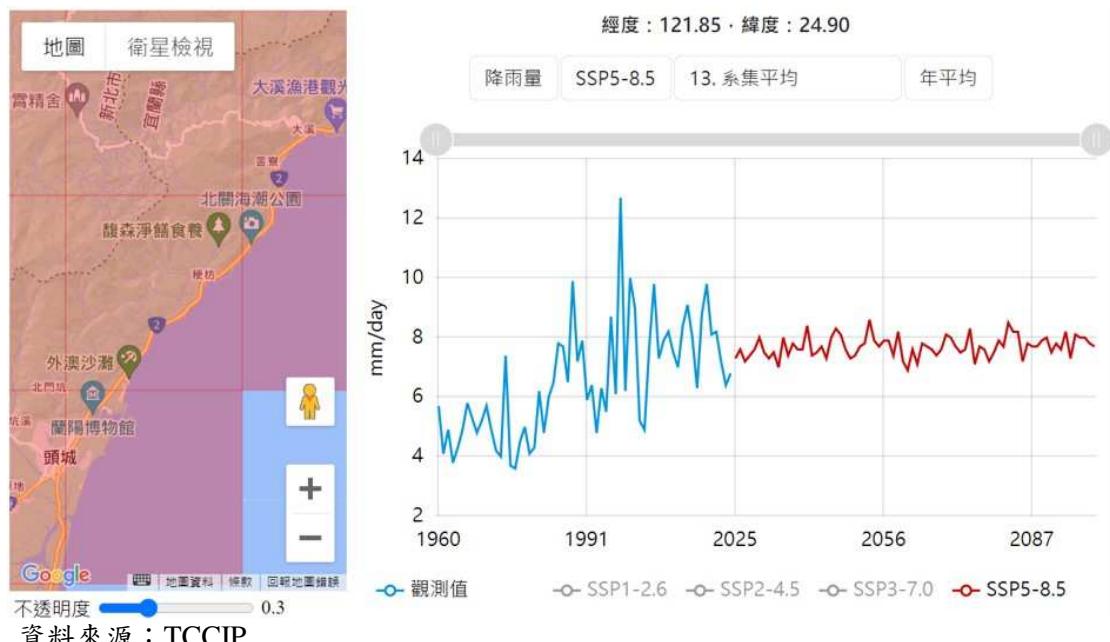


圖 4.2-5 計畫案例目標年降雨量示意圖(RCP8.5)

此外，針對強降雨部分，參酌極端降雨事件(650mm/24hr)的套圖結果，本計畫案例於改善路線沿線，於梗枋溪附近係屬淹水區域，基此，初步判

斷強降雨對於未來改善路線的影響仍應予重視。

有關極端降雨事件對於本計畫案例之危害程度如圖 4.2-6 所示。



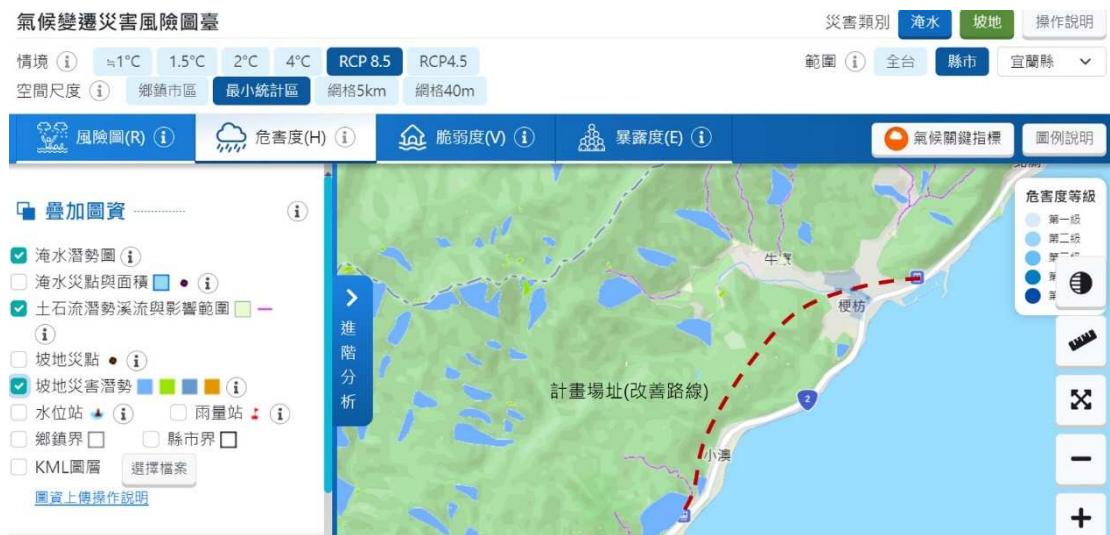
資料來源：Dr.A

圖 4.2-6 計畫案例行經潛勢區示意圖(RCP8.5)

二、淹水潛勢區

參酌臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台(Dr.A)之資料庫，本計畫案例之計畫場址(改善路線)於梗枋溪周遭有淹水潛勢區，而在外澳車站鄰近範圍則存在有坡地災害潛勢區，對於計畫行經之基礎建設、排水系統，以及大地工程等，需予妥善處理。

有關本計畫案例改善路線行經之潛勢區示意如圖 4.2-7 所示。



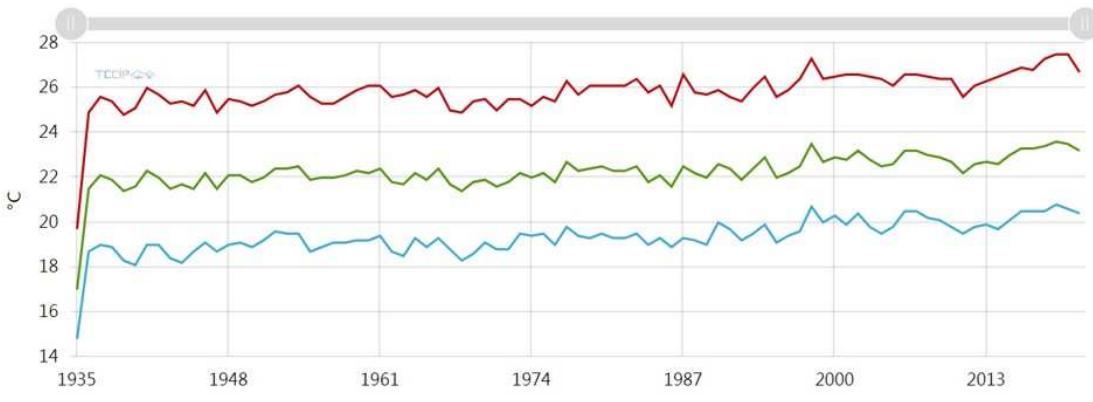
資料來源：Dr.A

圖 4.2-7 計畫案例路線周遭潛勢區示意圖(RCP8.5)

三、高溫

參考臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台(TCCIP)有關宜蘭測站於1981年至2021年間之40年統計資料顯示，該測站溫度觀測值年際變化氣候值最高溫 26.2°C ，平均溫 22.5°C ，最低溫 19.7°C ，然以近10年之最高溫觀測值比較，除2011年(25.6°C)及2012年(26.1°C)低於平均值之外，其餘8年均高於平均值，最高溫度為2020年的 27.5°C ，顯示近年的最高溫度似有持續上升的趨勢。

有關宜蘭測站40年間年溫度趨勢如圖4.2-8所示。

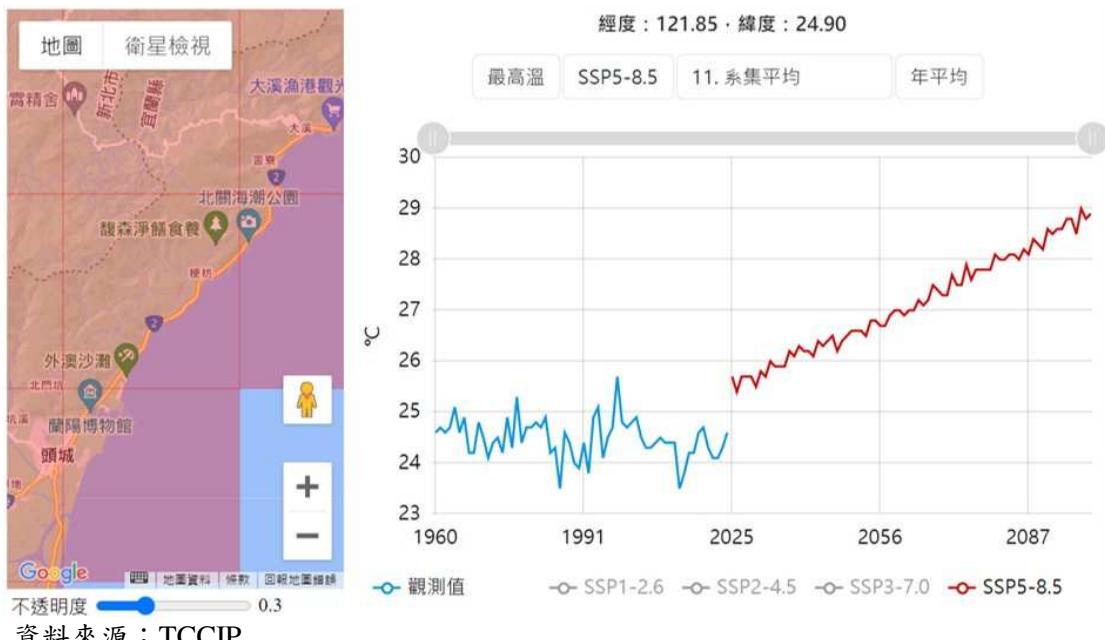


資料來源：TCCIP

圖 4.2-8 宜蘭測站 40 年間溫度趨勢

若以AR6的RCP-8.5極高排放情境下檢視本計畫案例之氣溫上升趨勢顯示，未來每年平均最高溫之趨勢是明顯持續上升，至世紀末(2100年)的預測值最高將達 29.0°C (2098年)，與該區域範圍近期最高平均溫度 25.7°C (1998)相比，其溫度約高了 3.2°C ，顯見高溫的趨勢將是本計畫案例應該特別注意的氣候壓力。

有關本計畫案例目標年溫度趨勢狀況(RCP8.5)如圖4.2-9所示。



資料來源：TCCIP

圖 4.2-9 計畫案例目標年溫度趨勢示意圖(RCP8.5)

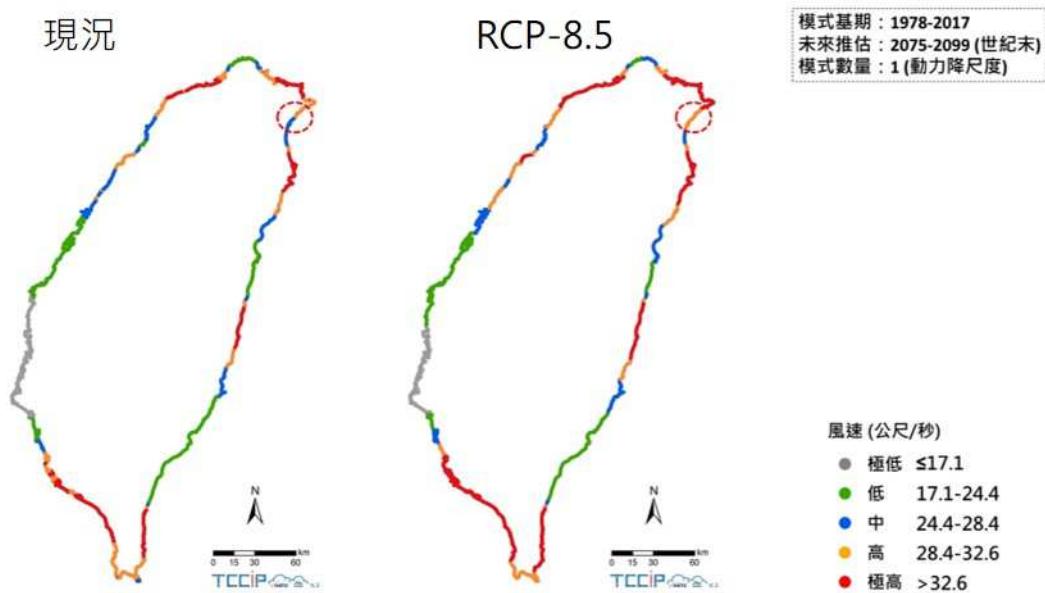
四、颱風海岸風速、浪高

有關颱風於海岸風速部分，參酌 TCCIP 針對 1978~2017 年間共 125 場颱風模擬結果之臺灣海岸最大風速危害圖，並參考蒲福風級分為 5 個級距，包含：極低， ≤ 17.1 公尺/秒；低，17.1-24.4 公尺/秒；中，24.4-28.4 公尺/秒；高，28.4-32.6 公尺/秒；極高， > 32.6 公尺/秒等，顯示本計畫案例之海岸風速約介於中與高的級距之間，風速約在 24.4-28.4 公尺/秒以及 28.4-32.6 公尺之間。在 RCP- 8.5 的情境下⁸²，有關本世紀末臺灣海岸最大風速危害主要集中在東北角、桃園市、宜蘭縣、花蓮縣南端、高雄市、屏東縣等沿岸，該等區域有較高的風速危害。

而在本計畫案例之主要範圍內，絕大部分落在高的級距內，風速均在 28.4-32.6 公尺/秒，在相關基礎設施的設計與預防上，仍須提防因颱風所造成的損害。

有關颱風期間之海面風速現況與 RCP- 8.5 情境之比較結果如圖 4.2-10 所示。

⁸² TCCIP 所提供之 RCP 8.5 暖化情境，在颱風路徑與現況相同條件下，以平均颱風風速提高 8% 作為模擬條件。



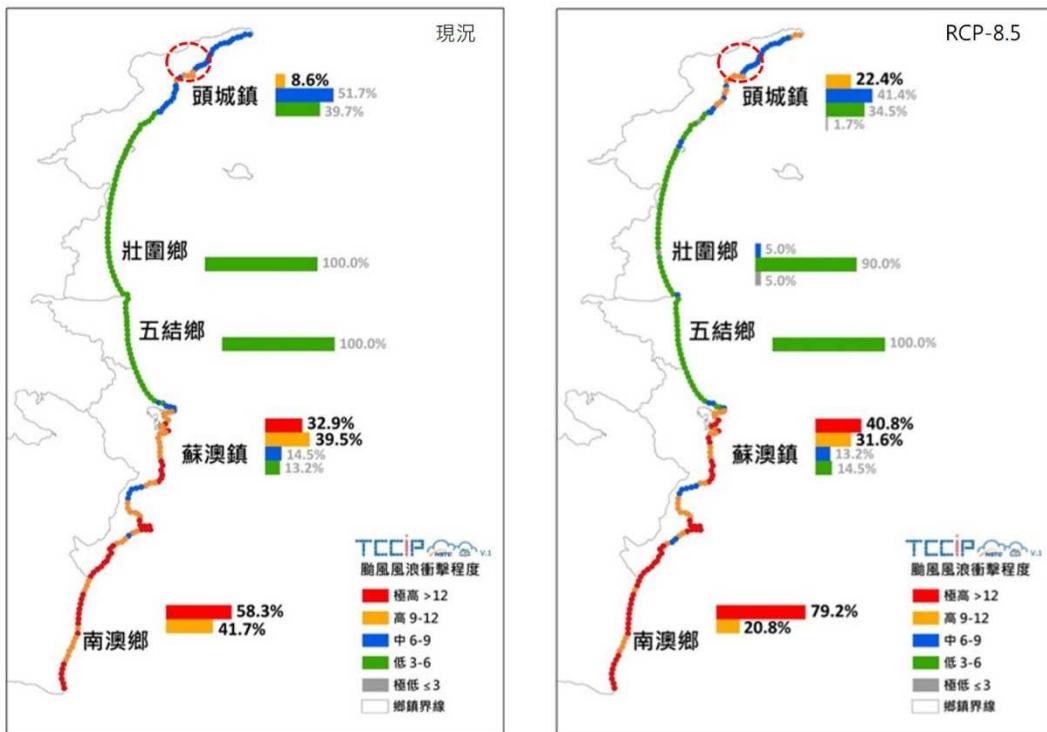
資料來源：TCCIP

圖 4.2-10 計畫案例颱風海岸風速現況及目標年示意圖

在颱風浪高部分，參酌 TCCIP 針對海岸宜蘭縣沿海鄉鎮現況情境颱風風浪高在 1978-2017 年共 125 場颱風模擬結果，宜蘭縣沿海鄉鎮最大颱風風浪衝擊圖。蘇澳鎮與南澳鄉呈現較高的颱風風浪衝擊，多數海岸處於高到極高程度的颱風風浪衝擊。而在 RCP 8.5 情境下，世紀末宜蘭縣沿海鄉鎮最大颱風風浪衝擊圖，蘇澳鎮與南澳鄉的颱風風浪衝擊可達高至極高程度。在 RCP 8.5 情境下，整體未來衝擊較現況增加，尤以蘇澳鎮、南澳鄉增加幅度最為顯著。蘇澳鎮、南澳鄉的極高衝擊程度(>12 公尺)分別增加 7.9 及 20.9%。

考量本計畫案例之規劃路線銜接龜山車站及外澳車站，距離海岸線仍有數十至數百公尺之遙，且龜山車站前仍有梗枋漁港抵禦，雖颱風之風浪對於本計畫案例之路線影響應不至過大，惟考量在極端氣候下之風浪衝擊程度已有顯著提升(由現況 8.6% 之高級距，提升至 22.4% 之高級距)，在規劃設計階段仍宜有相關應處措施為妥。

有關颱風期間之面高現況與 RCP- 8.5 情境之比較結果如圖 4.2-11 所示。



資料來源：TCCIP

圖 4.2-11 計畫案例颱風海岸浪高現況及目標年示意圖

五、海平面上升

參酌國家災害防救科技中心(NCDR)於 2022 年 3 月的簡報資料⁸³，依據 IPCC AR6 之升溫 2°C 情境，將導致臺灣周邊海域海平面上升 0.5 公尺，升溫 4°C 情境，將導致海平面上升 1.2 公尺。在臺灣西南沿海部分(以臺南地區為例)，海平面上升可能導致地勢較低窪地區有溢淹情形，溢淹較深區域以沿海養殖魚塭、濕地及沙洲較為顯著。而在大臺北地區因海平面上升造成的溢淹，主要發生在淡水河出海口一帶。在現有堤防保 護下，都市區域影響相對較小。

由於本計畫案例之計畫路線沿線工程，主要係以路堤、橋梁及隧道等方式進行改善，其工區範圍距離海岸線較遠之外，其高程對於海平面上升之氣候壓力影響相對較小。故對於海平面上升之議題在改善路線的規劃設計上，應可暫不列入最優先應考慮的項目。

⁸³ 行政法人國家災害防救科技中心，從 IPCC AR6 報告 看氣候變遷衝擊與調適，參見網頁：
<https://www.ncdr.nat.gov.tw/2022/PDF/%E6%B0%A3%E8%AE%8A%E7%B5%84-%E5%BE%9EIPCC%20AR6%E5%A0%B1%E5%91%8A%E7%9C%8B%E6%B0%A3%E5%80%99%E8%AE%8A%E9%81%B7%E8%A1%9D%E6%93%8A%E8%88%87%E8%AA%BF%E9%81%A9.pdf>, last visited December 29, 2023.

4.2.3 辨識與評估氣候風險

參酌 IPCC 於 AR6 有關於風險的決定因素，主要係取決於氣候相關的危害、受影響的人類社會、物種或生態系統的暴露和脆弱度之間的動態相互作用。因此，有關本計畫案例之危害、暴露度、脆弱度等 3 項因素進行說明：

一、危害因素：與氣候變遷有關之情況、事件或趨勢，可能對於鐵道系統造成衝擊。依據前節有關氣候風險資料之蒐集結果分析，本案例主要仍以高溫、強降雨，以及強風等 3 項氣候壓力係為危害因素。

二、暴露度：規劃新建之鐵道系統位於易衝擊地區的範圍與程度。以本案例計畫之暴露度而言，其包含規劃新建之鐵道路廊設施設備、未來場站設施設備、既有乘客人數，以及未來營運期間之維運人員。

三、脆弱度：鐵道系統除係屬維生基礎設施之外，亦屬關鍵基礎設施，與民生作息息相關，一旦失去輸運功能，將嚴重影響地區經濟發展與社會交流。本案例係以改善路線所行經之易淹水潛勢區、土石流潛勢區、河川流域、大地工程、橋梁、隧道、邊坡、植被等敏感地區。由於改善之路線、路堤、橋台與橋墩，以及隧道口是較容易受氣候壓力而影響行車順暢與安全。倘該路線一旦中斷，勢必影響北迴線、花東線往北銜接西部縱貫線的輸運功能。

考量該案例於本計畫係以演示方式呈現，而非國營臺灣鐵路股份有限公司之實務操作完整案例，爰後續結果係模擬已召開專家工作坊方式進行半定量的潛在氣候風險進行初步評估，透過可能性與嚴重性進行風險評估，並選擇代表性指標作為代表。

依據前開氣候風險資料蒐集結果，並以演示方式模擬召開專家工作坊，針對前開可能性及嚴重性進行風險評級評估，其演示結果如表 4.2-1 所示。

經由演示之評估結果，並參酌表 3.2-5 風險矩陣示意圖所示有關勞動部職業安全衛生署於 110 年 2 月 17 日修正公布之「營造工程風險評估技術指引」⁸⁴針對風險之 5 等分級結果，列為高度風險之項目計有高溫對於鐵道路廊設施設備之風險，以及強降雨對於鐵道路廊設施設備、易淹水潛

⁸⁴ 勞動部職業安全衛生署，「營造工程風險評估技術指引」，頁 40，110 年 2 月

勢區、土石流潛勢區、邊坡之影響。

表 4.2-1 計畫案例潛在氣候變遷風險說明表

危害因素	脆弱度	暴露度	可能性 (5 級)	嚴重性 (5 級)	風險評級
高溫	鐵道路廊設施設備	1.銜接西部縱貫線及東部北迴線與花東線之城際軌道運輸重要路廊。 2.改善路線之運輸乘客數量遠非台 2 線(雙向雙車道)之公路客運所能替代。	3.5	3.5	12.25
	大地工程		2	2	4
	隧道		1	3	3
	營運期間維運人員		2	2	4
	強降雨		3.5	3.5	12.25
	易淹水潛勢區		3	4	12
	土石流潛勢區		3	4	12
	河川流域		2	2	4
	橋梁		1	3	3
	邊坡		3	4	12
強風	植被		2	2	4
	鐵道路廊設施設備		3	2	6
	場站設施設備		2	3	6
	車輛		2	2	4
	植被		3	2	6

資料來源：本計畫彙整

4.2.4 擬定調適策略與後續溝通

針對前節有關風險評估之結果顯示，高溫對於鐵道路廊設施設備之風險，以及強降雨對於鐵道路廊設施設備、易淹水潛勢區、土石流潛勢區、邊坡之影響，存在有高度之風險。至於強風對於鐵道路廊設施設備、場站設施設備，以及植被等之影響，則屬中度風險。

一、擬定調適策略

因應高度氣候風險及中度氣候風險可能導致之影響，其調適策略可以擬訂之方向與內容，主要可針對暴露度及脆弱度的改善著手。茲建議之調適策略簡述如下：

- 在降低脆弱度方面，可就規劃之改善路線，針對相關基礎設施提高沿線之排水標準，並加強場站、路基、橋基、邊坡之結構與保

護工程之外，於橋梁新建工程部分亦儘量減少橋梁落墩數量之設計。

- 在降低暴露度方面，因應可能之氣候壓力，可規劃相關因應策略，如降低行駛速率、取消列車營運、規劃相關接駁之替代方案，以因應鐵道系統於遭遇氣候因素可能導致運輸服務臨時中斷情況。
- 鐵道系統係屬永續運輸系統之一，對於鐵道系統所具有之特性，應儘量對外宣導與說明，並與受新建工程影響之當地脆弱族群進行溝通，並提供必要之協助，以利獲得公眾對於基礎設施的投資與支持。
- 於鐵道沿線之土地，評估以自然為本的解決方案(NbS)選擇適合當地植生之植被，除於高溫期間能適度降低軌道的溫度之外，亦能創造鐵道沿線景觀，提升乘客在運送過程之愉悅性。

二、調適能力組成與評估

為使現況檢視內容及氣候變遷風險評估成果可作為未來調適缺口或熱點辨識之比較基線，主辦機關臺鐵公司於執行檢視資源及現況氣候變遷風險時，包括下列項目：

- 為檢視可掌握之資源，臺鐵公司應盤點氣候變遷調適領域之知識、技術、科學研究團隊或人力、財務能力、氣候變遷風險評估及調適計畫投入與管理機制情形等調適資源。
- 評估現況氣候變遷風險，運用歷史氣候觀測相關資訊進行現況衝擊與脆弱度之量化或質化評估，包含經濟、社會、健康、環境、生態、文化、脆弱族群及部門等之衝擊程度與風險空間分佈情形。

另考量本計畫案例係採用 100 年進行設計，爰主辦機關臺鐵公司應具備非常高之調適能力，將氣候變遷調適視為一個明確的核心戰略目標，並得到組織高階管理團隊的策略聲明支持，並積極從已歷經氣候變遷調適經驗之其他領域(例如電力、能源領域)學習經驗並建立跨領域合作夥伴關係，以提高因應未來氣候條件的準備。

三、對外溝通風險評估結果

主辦機關臺鐵公司於完成本計畫案例之氣候變遷風險評估，以及研提

調適策略後，宜就其成果與資料蒐集成果對外公開展覽與說明，以踐行資訊公開及公眾參與程序。

建議臺鐵公司就本案之對外公開展示原則簡述如下：

- 臺鐵公司能定期更新氣候變遷風險評估及調適策略之執行成果，並公開於官方網站供各界檢視。
- 前揭所述執行成果，宜包括危害及衝擊評估之圖資、風險評估結果、調適行動落實情形、投入資源，以及有關機關(構)、學者、專家及民間團體之意見處理情形。

第五章 結論與建議

5.1 結論

一、參酌 IPCC 於 2023 年 3 月發布第 6 次評估報告綜合報告(Synthesis Report of the IPCC 6th Assessment Report, SYR)，人為因素所影響的氣候變遷已經造成全球部分地區的氣候極端事件，而觀測到歸因於人類影響的極端事件（如熱浪、強降水、乾旱和熱帶氣旋）的證據力，比 AR5 來的更強，幾乎可以肯定的是，自 1950 年代以來大部分陸域的極端高溫（包括熱浪）變得更加頻繁和強烈，而極端低溫（包括寒潮）變得不那麼頻繁和嚴重，而人類是造成這些氣候變遷主要的驅動力，氣候變遷對陸地、淡水、冰凍圈、沿海和海洋生態系統造成重大破壞，且其損失已越來越不可逆。

二、氣候變遷在臺灣的影響方面，依據 TCCIP 推估臺灣各地氣溫將持續上升，在最劣情境(SSP5-8.5)下，21 世紀中、末之年平均氣溫可能上升超過 1.5°C 及 3.5°C 。另就夏季長度部分，未來臺灣的夏季長度將從目前約 130 天增長為 155-210 天，而在極端高溫事件部分，超過 36°C 日數會有所增加，在最劣情境(SSP5-8.5)下，21 世紀中、末臺灣可能增加幅度約 8.5 日、48.1 日。在雨量變化方面，在最劣情境(SSP5-8.5)下，21 世紀中、末臺灣年總降雨量增加幅度約為 6.6%、20% 以上。而極端降雨與淹水發生機率未來變化趨勢部分，全臺極端降雨(最大 24 小時累積雨量 95 百分位數值)，除中部地區於世紀中略為減少，其他區域皆呈現增加趨勢。

三、國際標準組織(ISO)於 2019 年 7 月起發布 ISO 14090 系列標準，其包含：「ISO 14090：氣候變遷調適-原則、規定與指引(Adaptation to climate change - Principles, requirements and guidelines)」、「ISO 14091：氣候變遷調適-脆弱度、衝擊及風險評估指引 (Adaptation to climate change - Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment)」、「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 (Adaptation to climate change - Requirements and guidance on adaptation

planning for local governments and communities)」，以及「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-要求和指引 (Mechanism for financing local adaptation to climate change - Performance-based climate resilience grants - Requirements and guidelines)」。其中涉及中央政府機關權管的 ISO 14090 主要包含適用範圍、規範性引用文件、用語與定義、原則、預先規劃、評估氣候變遷影響、調適規劃、實施、監測與評估、報告與溝通，提供組織建立一致化的架構與實際執行方法與架構。另外 ISO 14091 內文包含適用範圍、規範性引用文件、用語與定義、氣候變遷風險評估、氣候風險評估準備、執行氣候風險評估、報告與溝通氣候風險評估結果，提供組織進行氣候風險評估之步驟與指引。

四、本計畫參酌前開 ISO 14090 氣候變遷調適系列標準之架構與方式，並以國營臺灣鐵路股份有限公司辦理之「宜蘭線龜山~外澳間路線改善工程」為例，進行初步探討及相關因應之建議。而參酌 ISO 14090 氣候變遷調適系列標準與步驟進行該計畫之風險評估結果顯示，高溫對於鐵道路廊設施設備之風險，以及強降雨對於鐵道路廊設施設備、易淹水潛勢區、土石流潛勢區、邊坡之影響，存在有高度之風險。至於強風對於鐵道路廊設施設備、場站設施設備，以及植被等之影響，則屬中度風險。因此該計畫在後續設計階段及營運階段，宜就高溫對於鐵道廊帶之相關設備、以及強降雨對於邊坡、排水設施等，宜有妥善規劃與設計，以維臺鐵宜蘭線之鐵道系統韌性。

五、參酌 ISO 14090 氣候變遷調適系列標準之內涵，在風險評估方面的工作，主要包含氣候變遷風險評估前置作業、執行氣候變遷風險評估，以及回報與溝通氣候變遷風險評估成果等，惟囿於本計畫主要係探究運輸部門導入 ISO 14090 系列標準進行風險評估及盤點調適缺口的可行性，爰有關 ISO 系列標準之相關工項，包含前置作業階段的透明度與參與機制、執行氣候變遷風險階段有關組織調適能力評估、跨部門依賴性探討、報告與溝通氣候變遷風險評估結果，以及回報與溝通氣候變遷風險評估成果等，未於本計畫進行深入探討。

5.2 建議

考量氣候變遷對於全球的影響已是不可逆的趨勢，而臺灣的運輸系統在多山、面海，或是位處缺乏良善排水系統的低窪區域，每逢極端高溫、強降雨，以及颱風季節的氣候壓力下，提升其調適能力以及韌性實有其需要。

綜理本計畫辦理過程中的觀察與發現，包含參酌行政院 112 年核定之「國家因應氣候變遷行動綱領」、「國家氣候變遷行動計畫(112-115 年)」，以及 ISO 14090 氣候變遷調適系列標準之規定，提出運輸系統調適工作之後續推動建議，分項說明如下：

一、進行風險評估應參採最新科學數據

行政院 112 年 11 月核定之「國家因應氣候變遷行動綱領」，明確揭示強化科學基礎，建立風險評估與預警能力，提升因應氣候變遷之調適作為及建構韌性發展，係國家因應氣候變遷之基本原則。此外，「氣候變遷因應法」第 17 條第 1 項亦揭載，政府因應氣候變遷，應以科學為基礎，檢視現有資料、推估未來可能之氣候變遷，並評估氣候變遷風險，藉以強化風險治理及氣候變遷調適能力。爰此，運輸系統主管機關關於辦理氣候變遷調適風險評估時，應參採氣候變遷之最新科學數據進行所管運輸系統風險評估以及盤點調適缺口，以作為後續調適策略之研議與執行以臻完善。

針對氣候變遷最新之科學數據，除可參考聯合國 IPCC AR6 之全球推估成果及氣候變遷趨勢之外，於國內可參酌「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台」或「Dr.A 氣候變遷災害風險調適平台」，藉以蒐整所需之氣候變遷資料。

然在缺乏最新科學之氣象資料時，運輸系統主管機關宜邀請工程、氣候變遷等跨領域之學者專家，並結合民間工程顧問公司的實務經驗，透過工作坊之形式，整合相關資訊俾提供運輸系統主管機關參考，以彌補缺乏最新科學數據之縫隙。

二、主責機關(構)主管要擁有執行氣候變遷之決心與意志

有效的氣候變遷調適行動方案需要政策上的承諾、協調一致的多層次治理、體制框架、法律、政策和戰略等多方的配合，並在組織上訂定明確

的調適目標，組織內部在充足的金融和融資工具、跨多個政策領域的協調以及包容性的治理流程上提供行政與資源上的協助，方能在氣候變遷調適策略上具體落實。因此，為利前開條件的落實，主責機關(構)主管在運輸系統面臨氣候變遷調適若能高度表現其執行的決心與意志，對於調適策略方案後續推動具有舉足輕重的意義。

三、必要時可取得 ISO 機構認證以爭取外界認同

參酌「氣候變遷因應法」第 19 條第 2 項之規定，交通部擬訂調適行動方案及調適目標時，應邀集中央及地方有關機關、學者、專家、民間團體經召開公聽會程序後訂修維生基礎設施領域調適行動方案，並依「氣候變遷因應法」第 19 條第 4 項之規定，每年應編寫調適行動方案成果報告，送環境部報請行政院核定後對外公開。交通部所屬機關(構)如在所提送之調適行動方案係已完成 ISO 機構之認證，或是刻依 ISO 系列規定辦理風險評估，將有助於運輸系統主管機關(構)取得民眾之理解，進而取得外界對於推動運輸系統規劃的支持與認同。

參考文獻

1. 氣候變遷因應法，民國 112 年 2 月 15 日總統華總一義字第 11200010681 號令修正公布名稱及全文 63 條，
<https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?PCODE=O0020098> (2024 年 1 月 19 日)。
2. 環境部，氣候變遷-專有名詞手冊，112 年 3 月。
3. 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(期末修正定稿報告)，112 年 7 月。
4. 交通部運輸研究所，運輸系統因應氣候變遷調適之研究，110 年 7 月。
5. 聯合國，2023 可持續發展目標報告特別版，2023。
6. IPCC, Synthesis Report of the IPCC sixth Assessment Report (AR6) Longer Report, 2023
7. 黃亭妤，氣候變遷因應法之初探及評析，月旦律評，No.15，112 年 6 月。
8. 環境部，國家氣候變遷調適行動方案(107-111 年)(核定本)，108 年 8 月。
9. 交通部，維生基礎設施領域氣候變遷調適行動方案 (112-115 年)，112 年 8 月。
10. 環境部，國家因應氣候變遷行動綱領，112 年 11 月。
11. 國土計畫法，民國 105 年 1 月 6 日總統華總一義字第 10400154511 號令制訂公布，全文 47 條。
12. 水利法，民國 31 年 7 月 7 日國民政府制定公布全文 71 條，期間經多次修正，民國 112 年 11 月 29 日總統華總一經字第 11200103471 號令修正、刪除部分條文後，目前全文 99 條。
13. 濕地保育法，民國 102 年 7 月 3 日總統華總一義字第 10200127201 號令制訂公布，全文 42 條。
14. 海岸管理法，民國 104 年 2 月 4 日總統華總一義字第 10400012591 號令制訂公布，全文 46 條。

15. Trewin B.C. The role of climatological normals in a changing climate. World Meteorological Organization, Geneva, 2007
16. 行政院經濟建設委員會，國家氣候變遷調適政策綱領，101 年 10 月。
17. International Organization for Standardization, ISO 14090 Adaptation to climate change — Principles, requirements and guidelines, 2019
18. International Organization for Standardization, ISO 14091 Adaptation to climate change - Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment, 2021
19. International Organization for Standardization, ISO 14092 Adaptation to climate change - Requirements and guidance on adaptation planning for local governments and communities, 2020
20. International Organization for Standardization, ISO 14093 Mechanism for financing local adaptation to climate change - Performance-based climate resilience grants - Requirements and guidelines, 2022
21. International Organization for Standardization, ISO 14033 Environmental management- Quantitative environmental information - Guidelines and examples, 2019
22. 勞動部職業安全署，營造工程風險評估技術指引，110 年 2 月
23. 國營臺灣鐵路股份有限公司，宜蘭線龜山~外澳間路線改善工程環境影響說明書，112 年 6 月。
24. 鍾賢慶、陳逸宇、黃永和、莫若楫，台灣高速鐵路橋梁通過斷層 1978-2017 之設計考量，99 年。
25. 交通部，鐵路橋梁設計規範，101 年 12 月。
26. Network Rail, Network Rail Third Adaptation Report, 2021

附錄 1

國家因應氣候變遷行動綱領

(核定本)

國家因應氣候變遷行動綱領

(核定本)

環境部

中華民國 112 年 11 月

目錄

壹、 前言

貳、 願景及目標

參、 基本原則

肆、 政策內涵

伍、 後續推動

壹、前言

人類活動排放的溫室氣體造成氣候變遷，促使全球平均氣溫屢創新高，對人類生存及生態環境造成重大衝擊，對年輕世代的影響更為直接且長遠。預估我國未來高溫天數、極端強降雨之颱風個數及劇烈降雨發生頻率可能會明顯增加，而豐枯水期降雨愈趨極端化，將同時嚴重影響水資源、國土安全、海岸及海洋資源、糧食安全、健康醫療及生物多樣性等面向。

因應氣候緊急的全球挑戰，國際碳管制逐步加嚴，以及面對供應鏈的減碳壓力，2050 淨零轉型是全世界的目標，也是臺灣的目標。在我們這個世代追求當下的富足時，應並行思考維護未來世代的生存權益。面臨此一跨世代、跨領域、跨國際之艱鉅轉型工程，政府將建構科技研發及氣候法制等兩大面向之治理基礎，推動能源、產業、生活及社會等四大轉型策略，輔以十二項關鍵戰略行動計畫，藉由促進國際合作，掌握淨零科技研發應用，擴大公眾對話社會溝通，滾動檢討淨零路徑以符合未來發展需求。

未來全球氣候變遷的挑戰相當嚴峻，儘管能源及產業結構調整不易，我國仍將依循「巴黎協定」及聯合國「永續發展目標」，貢獻最大努力減少溫室氣體排放及強化因應氣候變遷韌性。中央主管機關（即環境部）依據 112 年修正公布施行之「氣候變遷因應法」第 9 條規定，修訂國家因應氣候變遷行動綱領（以下簡稱本行動綱領），作為全國溫室氣體減量管理及氣候變遷調適施政之總方針。

期透過各級政府、國民、事業及團體共同合作，引導低碳永續生活行為改變，建立永續城市及全球夥伴關係，並重視永續發展的跨世代正義及跨領域治理思維，共同營造面對衝擊全球一體的韌性，化氣候風險為綠色轉型契機，確保國家永續發展之終極目標。

貳、願景及目標

一、願景

制定氣候變遷調適策略及淨零排放路徑藍圖，建構能適應氣候風險之低碳家園，確保國家永續發展。

二、目標

- (一) 提升我國面對氣候變遷之調適能力，強化氣候變遷韌性及降低脆弱度。
- (二) 國家溫室氣體長期減量目標為 139 年溫室氣體淨零排放。

參、基本原則

- 一、 遵循「巴黎協定」，促進減緩溫室氣體排放，並依「蒙特婁議定書」吉佳利修正案，凍結及減少高溫暖化潛勢溫室氣體氫氟碳化物之使用。
- 二、 落實世代正義、環境正義及公正轉型，強化資訊公開及公民參與，考量以自然為本的解決方案，兼顧共同效益之調適與減緩策略。
- 三、 推動綠色金融及碳定價機制，優先實施碳費徵收、評估推動溫室氣體總量管制與排放交易等制度，運用經濟誘因機制，加速溫室氣體減量、協助產業轉型及提升國家競爭力，促進社會公益。
- 四、 依據非核家園目標，不以新增核能發電作為因應氣候變遷措施，逐步降低化石燃料依賴，訂定再生能源發展目標。
- 五、 政府政策與個案開發行為，應將氣候變遷調適及減緩策略納入環境影響評估考量。
- 六、 強化科學基礎，建立風險評估與預警能力，提升因應氣候變遷之調適作為及建構韌性發展。
- 七、 提高資源與能源使用效率，促進資源循環使用，確保國家能

源安全及資源永續利用。

- 八、建立中央及地方政府夥伴關係、公私部門協力關係及溝通平臺，具體推動在地化之調適及減緩工作。
- 九、促進國際合作及交流，秉持互利互惠原則，推動有意義之參與及實質貢獻，維護產業發展之國際競爭力。
- 十、提升全民氣候變遷認知及技能，並積極協助民間團體推展相關活動及事項。

肆、政策內涵

一、氣候變遷調適

參酌國內外最新氣候變遷科學研究、分析及情境推估，納入因應氣候變遷風險因子，提高氣候變遷調適能力，降低脆弱度及強化韌性，落實氣候變遷風險評估，規劃早期預警機制及系統監測，確保國家永續發展。

(一) 提升維生基礎設施韌性

1. 整合國土防洪治水韌性調適能力，強化公共工程應變能力。
2. 提升運輸、通訊及資訊系統等設施因應氣候變遷之調適能力。

(二) 確保水資源供需平衡與效能

1. 強化推動多元水資源發展，建立節水、循環用水型社會，合理調配用水標的使用量，落實水資源永續。
2. 強化水資源系統因應氣候變化之彈性，以因應極端降雨與豐枯差異變遷之衝擊。

(三) 促進土地利用合理配置，提升國土韌性

1. 因應極端降雨趨勢，城鄉地區導入多元調適策略。
2. 提升水資源儲蓄能力，降低乾旱衝擊。
3. 因應極端高溫趨勢，提升建成環境調適能力。

4. 強化自然生態系統調適。
5. 因應部門計畫強化氣候變遷能力需求，檢討空間規劃或土地使用管制。

(四) 防範海岸災害、確保永續海洋資源

1. 建構適宜預防設施或機制，減低海岸災害。
2. 保護海岸生物棲地與海洋資源，以自然為本，促進碳匯功能及生態永續發展。
3. 提升海岸災害及海洋環境變遷之監測及預警機制。

(五) 提升能源供給及產業之調適能力

1. 高溫供電需求遽升前瞻調控，確保能源設施安全及系統穩定供應。
2. 建構氣候風險降低及調適能力增強之經營環境。
3. 提升產業之氣候風險控管及機會辨識能力，以完善產業氣候風險管理，並發展具氣候韌性考量之產品與服務。

(六) 確保農業生產及維護生物多樣性

1. 增進生態系統因應氣候變遷衝擊之量能，穩固農業生產基礎與生態韌性。
2. 提升農業氣候風險管理能力，強化調控農產業氣候財務風險。
3. 發掘氣候變遷下之多元農產業機會，優化農產品經濟韌性。

(七) 強化醫療衛生及防疫體系、提升健康風險管理

1. 強化因應極端氣候之緊急醫療救護與防疫等健康調適能力。
2. 增進醫療及照護系統因應氣候變遷衝擊之量能，強化健康促進能力及脆弱族群調適韌性。
3. 提升健康風險監測、衝擊評估及預防之管理能力，進而降低氣候變遷健康成本。

二、溫室氣體減量

(一) 建構零碳能源系統，提升供電網絡穩定韌性

1. 調整能源結構，發展太陽光電、離岸風電等成熟再生能源及地熱、生質能及海洋能等前瞻能源應用，建構零碳燃料供應系統。
2. 改善能源生產、使用及輸配效率及推廣節約能源。
3. 提升能源系統韌性，確保供電穩定並兼顧環境品質及地區發展需求。
4. 建構氢能供需體系，穩固氢能供應與儲運基礎設施，並強化氢能技術發展與應用。

(二) 促進產業綠色轉型，以循環經濟導向的永續生產模式

1. 輔導產業淨零轉型，發展綠能產業生態系，以提升產品國際競爭力。
2. 加速產業製程與設備能源效率提升，建置智慧化能源管理系統。
3. 建立完善溫室氣體減量誘因，加強推動產業執行溫室氣體排放減量之措施。
4. 推動產業循環經濟轉型，發展循環新材料技術。

(三) 發展智慧綠運輸，推動運輸淨零轉型

1. 推動運具電動化及無碳化，提升運輸系統及運具能源使用效率。
2. 建構完善公共運輸，加強運輸需求管理。
3. 打造人本及共享運輸環境。

(四) 建構永續淨零建築與推動低碳轉型

1. 強化建築節能法規，提升建築能源效率，導入新建築節能減碳新工法，推動新舊建築減碳措施。
2. 推動建築效能分級評估及既有公有建築能效改善。

3. 提升家電設備能源效率。

(五) 促進永續農業經營，完善生態系統管理

1. 推動友善環境農業，建立穩定且低碳之農業生產系統，輔導農業資源循環利用，強化再生能源使用機制，並確保農業永續發展。

2. 健全自然環境資源管理，厚植森林、土壤及海洋等相關資源，並提高我國碳匯量，提升碳吸存及生態系統服務之共效益。

(六) 減輕環境負荷，建立能資源循環利用社會

1. 政府政策及個案開發行為實施環境影響評估時，應考量韌性建構及溫室氣體排放減緩具體行動，並考量環境議題共同效益。

2. 落實能資源循環利用及開創共享經濟社會，提升區域能資源再利用。

3. 推動生質能循環再利用，減少廢棄物及廢（污）水處理過程之溫室氣體排放。

4. 推動源頭減量及強化資源循環再利用，減少廢棄物之產生。

三、政策配套

(一) 推動綠色金融，活絡民間資金運用，提升金融業與產業之氣候韌性，透過金融業資金的導引，促成產業追求綠色及永續發展之良性循環，引導經濟邁向淨零排放。

(二) 檢討與改善再生能源、能源管理、運輸及住宅等法令，以完善氣候法制基礎。

(三) 落實溫室氣體排放外部成本內部化，推動徵收碳費、實施碳交易等碳定價制度。

(四) 結合科技與人文社會科學，推動「永續及前瞻能源」、「低（減）碳」、「負碳」、「循環」與「人文社會科學」等五大淨零科技領域。

- (五)發展氣候變遷科學及衝擊調適研究，掌握我國氣候變遷趨勢，綜整氣候情境設定、氣候變遷科學及衝擊資訊，定期公開氣候變遷科學報告，規劃早期預警機制及系統監測。
- (六)建立多元氣候變遷資訊管道，促進全民行為改變、氣候變遷認知與共識，落實兼具調適及減緩共同效益之淨零生活。
- (七)推廣氣候變遷環境教育，培育因應氣候變遷人才，提升全民認知及技能，轉化低碳生活行動力。
- (八)強化社會溝通，落實公正轉型與公民參與的「社會與制度支持體系」，建立公正轉型委員會，廣納各界意見。

伍、後續推動

為達成淨零轉型，秉持減緩與調適並重原則，中央主管機關應依我國經濟、能源、環境狀況及參酌國際現況，會商中央目的事業主管機關擬訂本行動綱領，每四年檢討一次；中央目的事業主管機關應依本行動綱領，研擬所屬部門溫室氣體減量行動方案及氣候衝擊之權責領域調適行動方案，送中央主管機關報請行政院核定並定期滾動式檢討，輔以地方政府制訂溫室氣體減量執行方案及氣候變遷調適執行方案，透過橫向及縱向整合溝通機制，跨領域推動溫室氣體減緩與氣候變遷調適能力建構，創造社會、經濟、環境永續發展及維護全民健康的共同效益

附錄 2

維生基礎設施領域氣候變遷
調適行動方案
(112-115 年)

維生基礎設施領域氣候變遷調 適行動方案（112-115 年）

主辦機關：交通部
協辦機關：工程會
 內政部
 經濟部
 國科會
 農業部

112 年 8 月

目錄

第一章 領域範疇及現況分析	3
第二章 氣候變遷衝擊情形	4
第三章 未來氣候變遷情境設定及風險評估	15
第四章 調適目標	24
第五章 推動期程及經費編列	26
第六章 推動策略及措施	31
第七章 我國國家永續發展目標關聯性	32
第八章 預期效益及管考機制	34
附件 維生基礎設施領域氣候變遷調適行動計畫列表	錯誤! 尚未定義書籤。

第一章 領域範疇及現況分析

1.1 領域範疇

行政院環境保護署（以下簡稱環保署）依據「溫室氣體減量及管理法」（以下簡稱溫管法）規定，於 106 年報請行政院核定「國家因應氣候變遷行動綱領（以下簡稱行動綱領）」，明確擘劃我國推動溫室氣體減緩及氣候變遷調適政策總方針；107 年與國家發展委員會等 16 個部會共同研擬「國家氣候變遷調適行動方案（107-111 年）」，持續推動我國調適工作；110 年推動溫管法修正，增列調適專章，強化氣候變遷調適能力建構、科研接軌及各級政府推動架構；111 年依溫管法修正方向為基礎並順應國際趨勢，同時參酌前期行動方案執行成果及問題檢討，與各部會共同研擬本期「國家氣候變遷調適行動方案（112-115 年）」，納入固定暖化情境、調適框架設定、公眾參與及以自然為本的解決方案（NbS）等重要概念，透過藉由部會協作落實國家氣候變遷調適工作，輔以滾動修正原則，推動我國社會、經濟及環境之永續發展。

維生基礎設施領域的調適目標，主要係以強化維生基礎設施建設能力，以及提升維生基礎設施因應氣候變遷之調適能力為主。因此，為提升維生基礎設施及系統韌性，應強化運輸系統之建設、風險評估與檢修應變力；此外，為維持各聯絡系統遭遇極端氣候時能正常運行，提升運輸等設施因應氣候變遷之調適能力亦是當務之急。

1.2 現況分析

維生基礎設施領域主要目的為加強綜合風險評估能力以及公共工程、運輸系統之調適能力，執行面向涵蓋增強公共工程應變能力、強化運輸系統及設施應對極端氣候的調適能力等。

於運輸系統方面，交通部已針對高風險的交通設施展開分析評估，並辦理中沙大橋防洪能力改善、公路防避災改善、台 20 線與台 29 線長期穩定性評估等多項計畫；於公共工程層面，行政院公共工程委員會推動高風險區域在建工程加強防汛整備作業。

第二章 氣候變遷衝擊情形

2.1 整體氣候變遷趨勢及衝擊

一、全球氣候變遷趨勢

依據聯合國政府間氣候變遷專門委員會（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）2021年8月公布之氣候變遷第六次評估報告（IPCC AR6）第一工作小組報告「氣候變遷物理科學」顯示：人類對大氣、海洋及陸地暖化的影響乃無庸置疑。大氣、海洋、冰雪圈與生物圈已發生廣泛且快速的變遷，且近期的地球氣候系統與其各面向的變遷程度是過去數世紀至數千年來前所未有的，人為氣候變遷已影響世界各地許多極端天氣與氣候事件（如熱浪、豪雨、乾旱、熱帶氣旋），相關觀測及其受人為影響的證據更加顯著。

依據 IPCC 評估，無論何種排放與社會經濟發展情境的假設，各國氣候模式模擬推估結果顯示，即使幾十年內大幅減少溫室氣體排放或增加碳吸收，全球朝向 2050 淨零目標邁進，全球溫度亦將持續增溫至少到本世紀中，和工業革命時期相比全球將增溫 1.5°C ，甚至到 2.0°C 。唯有全球在 2050 年確實達到淨零排放，全球暖化程度才有機會於 21 世紀末降回 1.5°C （和工業革命時期相比）。

全球暖化下將造成氣候系統諸多面向的變遷，包括極端高溫、海洋熱浪、豪雨、區域農業與生態乾旱的發生頻率與強度增加；熱帶氣旋（颱風）減少但強烈熱帶氣旋比例增加、以及北極海冰、雪蓋與永凍土的減少等。暖化將進一步改變全球水循環，其中包括水循環變異度、全球季風降雨、乾濕事件的嚴重程度，且會導致其他的現象的變遷，尤其是海洋、冰層以及全球海平面等，在未來數世紀至數千年皆為不可逆轉過程。伴隨著全球暖化加劇，各區域預計將更頻繁面臨複數氣候衝擊驅動因子及複合性變遷。且不能排除冰層崩解、海洋環流劇變、複合性極端事件之可能性及影響。

IPCC 報告亦提供各區域的關鍵氣候資訊，針對亞洲地區的氣候變遷未來變遷趨勢評估摘錄如下：

- 溫度：極端高溫事件將會增加、冷事件減少
- 降水：極端降水、平均降水、洪水事件將會增加
- 風場：地面風速下降；熱帶氣旋的數量減少但強度增加
- 海岸與海洋：推估海平面上升造成沿岸地區洪水增加、海岸線倒

退；海洋熱浪增加

二、臺灣氣候變遷趨勢及衝擊

國家科學委員會氣候變遷科研團隊依據 IPCC AR6 報告與國內最新資料進行之臺灣氣候變遷變遷趨勢與本地氣候變遷衝擊評估情形 (https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/ipcc_ar6.aspx)，摘錄重點如下：

根據中央氣象局觀測資料分析顯示，臺灣年平均氣溫於過去 110 年（1911-2020 年）上升約 1.6°C ，近 50 年及近 30 年增溫呈現加速趨勢（如圖 2-1）。在四季分布方面，21 世紀初夏季長度已增加至約 120-150 天，冬季長度則縮短約 70 天，且近年來冬季甚至縮短至約 20-40 天（如圖 2-2）。

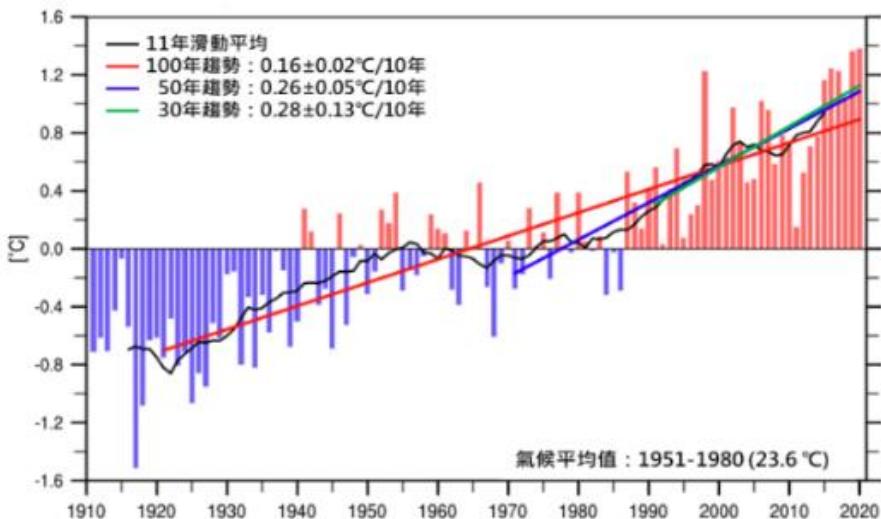


圖 2-1、臺灣年平均氣溫變化趨勢

(a) 夏季長度變化

(b) 冬季長度變化

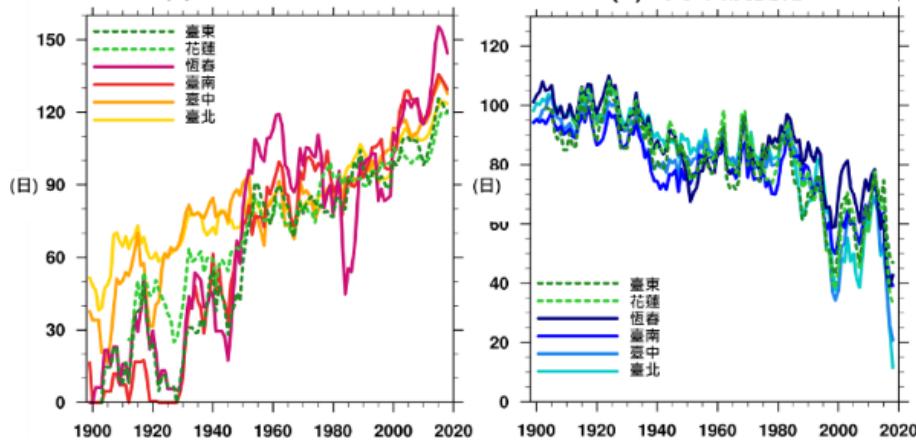


圖 2-2、臺灣冬夏兩季長期變遷趨勢

在降雨方面，年總降雨量趨勢變化不明顯，但 1961-2020 年間少雨年發生次數明顯比 1960 年前時期增加，其中年最大 1 日暴雨強度在 1990-2015 年間，強度與頻率均呈現明顯增加趨勢（如圖 2-3）；另與乾旱有關之年最大連續不降雨日數趨勢變化明顯，過去 110 年增加約 5.3 日最大連續不降雨日數（如圖 2-4）。

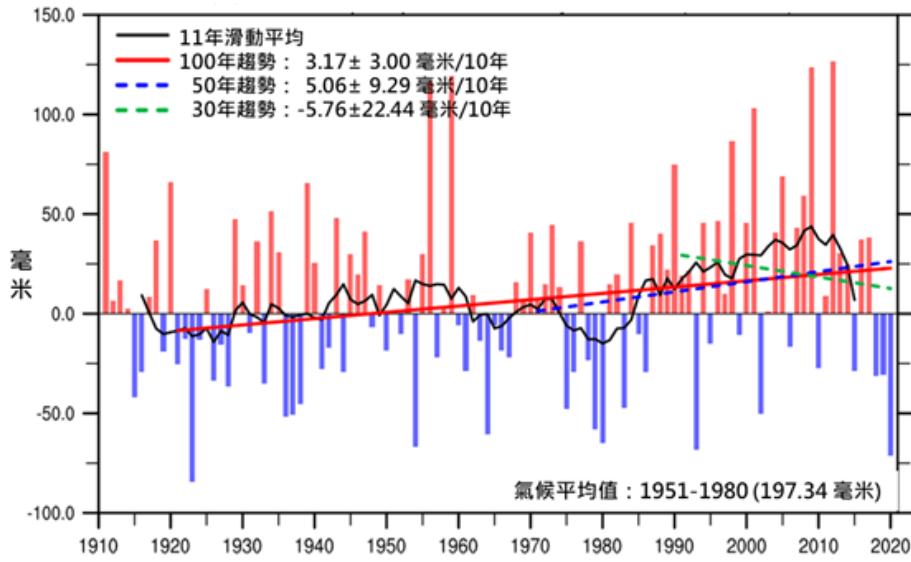


圖 2-3、臺灣年最大 1 日暴雨變化趨勢

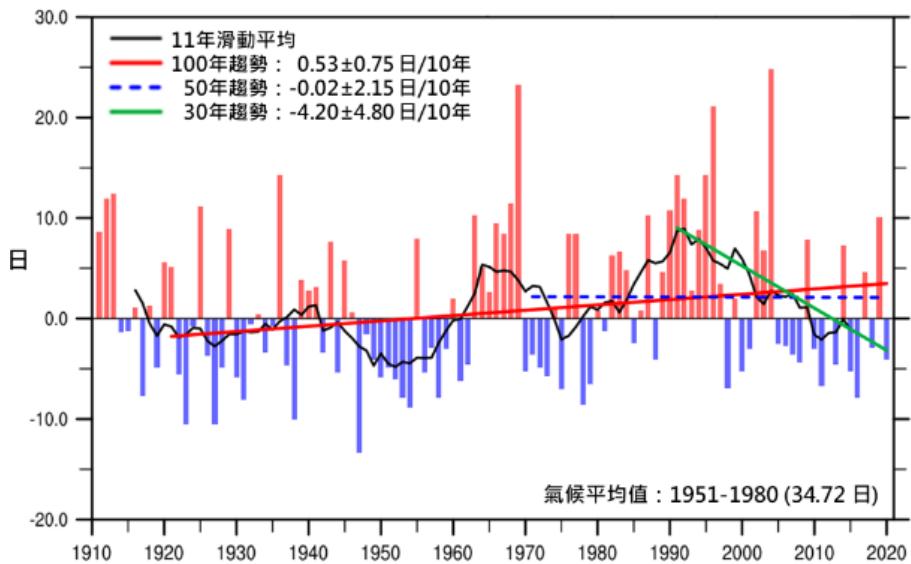


圖 2-4、臺灣年最大連續不降雨日數變化趨勢

依據本土氣候變遷模擬與未來推估分析，依據 IPCC AR6 的最新資料顯示，全球高度排放溫室氣體的最劣暖化情境（SSP5-8.5）與理想減緩情境（SSP1-2.6）相比較，前者對我國衝擊程度將明顯大於後者。

在氣溫方面，最劣情境下，於本世紀末高溫達36°C以上日數將較基期增加約48天；理想減緩情境下，增加天數降為6.6天（如圖2-5）；於四季分布方面，夏季長度從約130天增長至155-210天，冬季長度從約70天減少至0-50天，變遷趨勢於最劣暖化情境下顯著，理想減緩情境下則相對緩和（如圖2-6）；

與災害衝擊有關之「年最大1日暴雨強度」方面，在最劣情境下之21世紀末強度增加約41.3%，理想減緩情境下，暴雨強度增加幅度約為15.3%（如圖2-7）。最劣情境（AR5 RCP8.5暖化情境）下於本世紀中及本世紀末，影響臺灣地區颱風個數將減少約15%、55%，但強颱比例將增加100%、50%，颱風降雨改變率將增加約20%、35%，（如圖2-8）。未來最劣暖化情境（AR5 RCP8.5暖化情境）下，本世紀末颱風風速約增強2%~12%，平均增強8%。因其先天地理環境，臺灣沿岸地區颱風風浪衝擊以東北及東南部海岸衝擊較大，颱風暴潮衝擊則以北部、東北部及中部海岸衝擊較大，故於升溫情境下，其衝擊皆高於其他地區。據IPCC AR6升溫2°C情境顯示，臺灣周邊海域海平面上升約0.5公尺，於升溫4°C情境將導致海平面上升1.2公尺。

與乾旱水資源有關的部分，年最大連續不降雨日數各地有增加的趨勢，最劣情境（SSP5-8.5）下，21世紀中、末平均增加幅度約為5.5%、12.4%；理想減緩情境（SSP1-2.6）下，21世紀中、末減少幅度約為1.8%、0.4%。（如圖2-9）

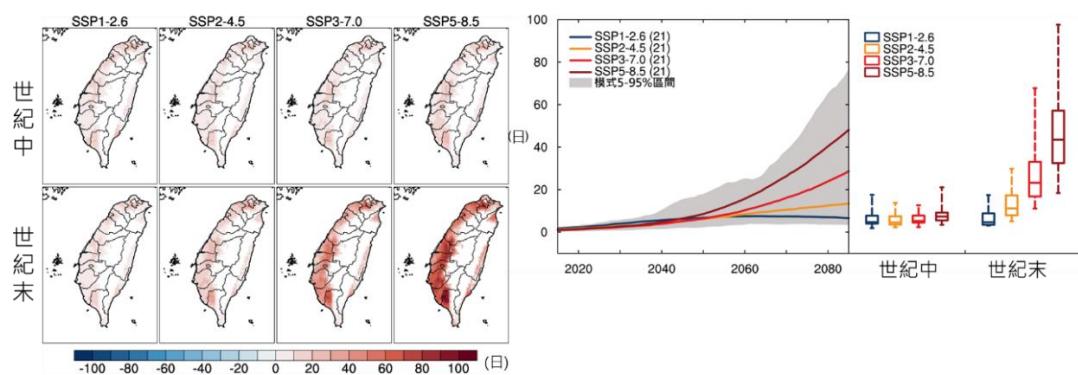


圖 2-5、臺灣未來高溫超過36°C空間分布與年高溫日數推估

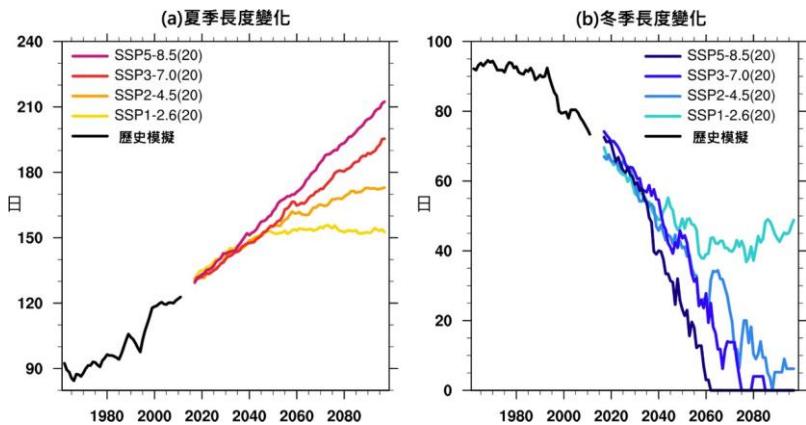


圖 2-6、臺灣未來季節長度推估

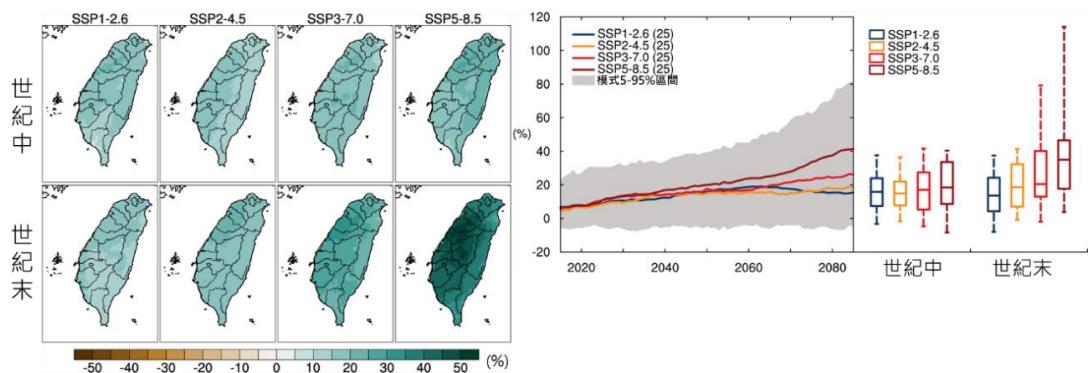


圖 2-7、臺灣未來年最大 1 日暴雨空間分布與強度推估

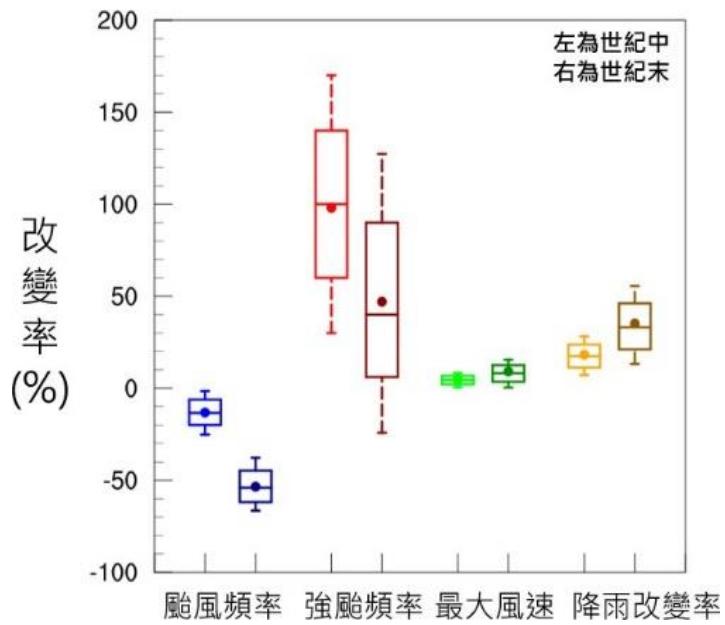


圖 2-8、臺灣未來颱風特性變化趨勢推估

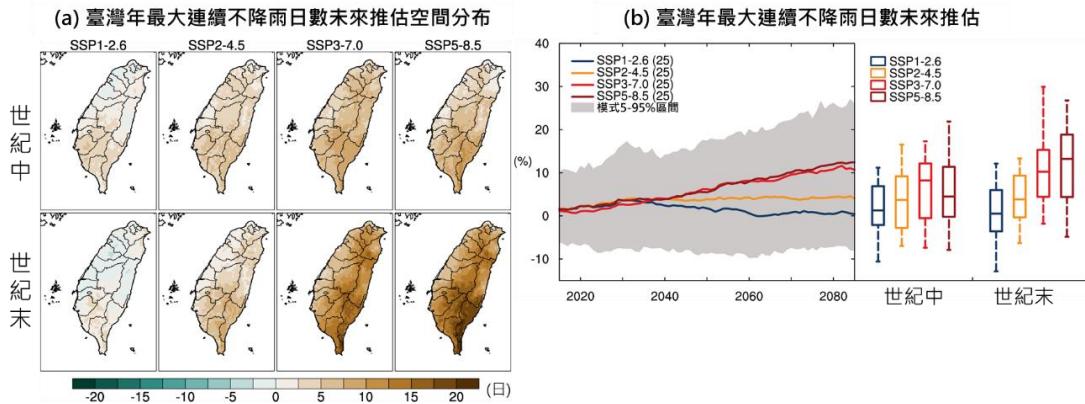


圖 2-9、臺灣未來連續不降雨變化趨勢推估

2.2 本領域之氣候變遷衝擊

極端天氣事件往往伴隨維生基礎設施之系統服務功能失靈的風險，近年來的科學研究證明，全球暖化的全面衝擊正在持續發生，在氣候變遷的環境下，極端天氣事件發生的頻率更頻繁，事件的時間可能拉長、縮短與驟變，強度也可能增加或加速，如強降雨、強風與高溫的強度增加以及海平面上升的速度加快。氣候條件的變化導致基礎設施及系統面臨更複雜且嚴峻的氣候風險，如何掌握氣候變遷風險，進一步妥適調適因應氣候衝擊，已成為當前及未來基礎設施規劃、設計、營運、維護以及管理的重要議題。

本領域屬維生基礎設施領域，易受高溫、極端降雨及海平面上升之氣候衝擊因子(同氣候壓力因素)影響。依據交通部運輸研究所 111 年《公路系統規劃階段強化調適能力之探討》期末報告，針對國內運輸系統的氣候變遷衝擊資訊，分為公路、鐵路、空運和海運四個子系統，列舉說明如下：

● 公路系統

依據《國家氣候變遷調適政策綱領》，國內較易受氣候變遷影響之山區公路建設多沿河谷開鑿構築，在暴雨作用下，容易受到邊坡滑動崩塌的威脅；亦常因河谷沖蝕加劇而危及道路路基，中斷公路系統；若河川上游發生洪水、土石流等，則沖刷裸露基礎之橋梁；下游橋梁之橋墩、橋面也易遭洪水、土石流沖毀或掩埋；如降雨量超過排水設計，則會面臨道路淹水的問題；而高溫引發的熱空氣與高水溫除容易腐蝕橋墩，也造成公路鋪面軟化與損壞，如圖 2-10 所示。

以下將公路系統區分為路段、路廊及路網 3 種不同的尺度，分別說明其在氣候變遷環境下面臨的潛在氣候衝擊，參見表 2-1。

表 2-1 公路系統面臨的潛在氣候衝擊綜理表

公路系統尺度	公路系統組成	氣候壓力因素	對於公路系統的直接衝擊
路段	結構（包含橋梁及隧道）	強降雨	土壤含水量過高影響道路邊坡、隧道口的結構強度
			強降雨沖刷橋梁基礎
		強風	強風影響橋梁結構
		暴潮/風浪	暴潮/風浪加劇橋墩的沖刷
	基礎/地表下	強降雨	路基受沖蝕掏空
		海平面上升	加劇路基的沖刷
	排水	強降雨	排水不良造成淹水
	橫斷面	強降雨	道路的橫斷面，面臨強風暴雨沖刷等影響
	材料	高溫	鋪面材料軟化與標線變形
	周邊環境	強降雨	路廊因地表逕流溢淹，影響周邊排水系統與生態環境
		強風	路樹傾倒造成道路中斷
		高溫	引發邊坡野火
路網	替代道路	強降雨	替代道路數量低，強降雨時可能面臨運輸中斷
		暴潮/風浪	海浪越堤溢淹災害，海岸線退縮，淘刷公路底部基座
		海平面上升	替代道路被淹沒
	交通場站	強降雨	交通場站聯外道路淹水，造成運輸中斷
		暴潮/風浪	交通場站聯外道路淹水，造成運輸中斷

參考資料：公路系統規劃階段強化調適能力之探討，交通部運輸研究所，110 年、本計畫彙整。



資料來源：交通部公路總局、蘋果新聞網。最後檢視日期：2022.11.01。

圖 2-10 氣候變遷對公路系統的衝擊

● 鐵路系統

高溫、海平面上升、強降雨、颱風氣旋等劇烈天氣現象發生頻率與強度的提高，將對鐵路系統營運帶來衝擊。

以鐵路系統而言，氣候變遷將可能造成下列影響：(1)溫度上升、熱脹效應致軌道擠壓變形、挫屈，影響列車行車安全、(2)強降雨引發的坡地災害、淹水潛勢與風險增加、(3)強降雨造成軌道或隧道淹水、(4)強降雨造成邊坡或隧道落石、坍方、(5)路基、橋梁因地表逕流沖蝕、洪水沖刷受損、(6)車站或其聯外道路因強降雨淹水或受坡災衝擊、(7)架空電車線因高溫、強風受損、(8)列車因強降雨、強風而無法正常行駛、(9)臨海設施因暴潮/風浪或海平面上升而淹水或淹沒，如圖 2-11 所示。

高速鐵路系統則可能面臨：(1)強降雨引發的坡地災害、淹水潛勢與風險增加、(2)路基、橋梁因地表逕流沖蝕、洪水沖刷受損、(3)車站或其聯外道路因強降雨淹水或受坡災衝擊、(4)架空電車線因高溫、強風受損、(5)列車因強降雨、強風而無法正常行駛。

以下摘錄前期計畫之研究成果，將鐵路系統組成概分為軌道構造（包含橋梁、軌道、隧道）、場站及設施等分別說明，參見表 2-2。

表 2-2 鐵路系統面臨的潛在氣候衝擊綜理表

鐵路系統組成	氣候壓力因素	對於鐵路系統的直接衝擊
軌道構造（包含橋梁、軌道、隧道）	強降雨	橋梁鋼鐵結構腐蝕
		橋梁及基樁沖刷
		橋面板變位或傾倒
		橋墩及橋面板結構破壞
		隧道排水系統設施阻塞沖蝕
		隧道路基流失

鐵路系統組成	氣候壓力因素	對於鐵路系統的直接衝擊
車站或其聯外道路	高溫	鐵軌腐蝕
		軌道破壞或淤積
		軌道路基破壞及流失
		軌道彎曲變形
車站或其聯外道路	強降雨	車站淹水，乘客無法進出車站
調車場、維修設施、支援設備和其他	強降雨	列車無法正常行駛
	強風	列車無法正常行駛
		架空電車線受損
	高溫	架空電車線受損
	暴潮/風浪	臨海設施淹水或淹沒
	海平面上升	臨海設施淹水或淹沒

資料來源：重大鐵公路建設氣候變遷調適策略與脆弱度評估指標之研究，交通部運輸研究所，102年、本計畫彙整。



資料來源：ETtoday 新聞雲、今日新聞。最後檢視日期：2022.03.30。

圖 2-11 氣候變遷對鐵路系統的衝擊

● 空運系統

氣候變遷對空運系統可能造成的影響包括：(1) 陸側設施及客貨運業務因淹水、強風、雨水或暴潮/風浪沖刷及衝擊而受損或無法作業、(2) 空側設施因淹水、強風、雨水、暴潮/風浪沖刷及衝擊、高溫等而受損或無法作業、(3) 航機因強降雨、跑道積淹水、強風、高溫而無法正常起降、(4) 航機因強降雨、強風而損壞、(5) 機場聯外道路因強降雨淹水或落石、坍方、(6) 臨海設施因暴潮/風浪沖刷及衝擊而受損，如圖 2-12 所示。

根據《臺灣氣候變遷科學報告 2017》及《IPCC 氣候變遷第六次評估報告 (AR6) 之科學重點摘錄與臺灣氣候變遷評析更新報告》，全球暖化可能導致 21 世紀末颱風侵臺比例約增 50%，且發展為強烈颱風的機率增加，降雨強度亦呈現增加的趨勢（在最劣排放情境下，豪

雨強度約增 41.3%)，高溫超過 36°C 日數約增 48.1 日，上述變化意味著空運系統將受到更強烈的衝擊。

以下將航空系統組成分為空側設施、航站和陸側設施、支援設備和其他分別說明，請參見表 2-3。

表 2-3 空運系統面臨的潛在氣候衝擊綜理表

航空系統組成	氣候壓力因素	對於航空系統的直接衝擊
空側設施	強降雨	鋪面結構的損壞和惡化
		鋪面表面毀損
		排水能力負荷
	高溫	電力照明系統負荷
航站 和陸側設施	強風	
	強降雨	阻礙聯外運輸、流通、裝載和停車
		地面基礎破壞
		建築物和結構受損
	高溫	建築物和結構受損
支援設備 和其他	強降雨	機場聯外道路因淹水或落石、坍方阻斷
		航機因強降雨、跑道積淹水而無法正常起降
	高溫	電氣系統故障或短缺
		火災風險增加
	高溫	導航和衛星信號失真
	強風	通信系統故障提高
備註：「空側」泛指機場內供航空器起飛、降落及地面活動區域，相較於供旅客使用區域「陸側」而言。		

資料來源：公路系統規劃階段強化調適能力之探討，交通部運輸研究所，111 年、本計畫彙整。



資料來源：中時新聞網、ETtoday 新聞雲。最後檢視日期：2022.03.30。

圖 2-12 氣候變遷對空運系統的影響

● 海運系統

氣候變遷對海運系統產生的衝擊包含多種面向，強降雨會導致聯外功能受損，造成交通受阻；強風則影響設備操作、航班停駛、設施設備損壞；海平面上升或暴潮/風浪會導致港區設備損毀淹沒、碼頭受損、船舶無法靠泊作業等影響，如圖 2-13 所示。

由歷史天氣事件顯示，我國港口主要常因颱風來襲，造成暴潮/風浪、強風、強降雨等情形，迫使航班停駛及造成碼頭與設備損壞及聯外道路淹水中斷營運，請參見表 2-4。

表 2-4 海運系統面臨的潛在氣候衝擊綜理表

海運系統組成	氣候壓力因素	對於海運系統的直接衝擊
港口	強降雨	聯外道路淹水中斷營運
	強風	影響設備操作、航班停駛
	暴潮/風浪	碼頭與設備損壞
	海平面上升	船舶無法靠泊

資料來源：公路系統規劃階段強化調適能力之探討，交通部運輸研究所，111 年、本計畫彙整。



資料來源：中時新聞網、蘋果即時。最後檢視日期：2022.03.30。

圖 2-13 氣候變遷對海運系統的衝擊

第三章 未來氣候變遷情境設定及風險評估

3.1 國家調適應用情境設定

氣候情境為風險評估之依據，IPCC AR6 本次報告同時呈現排放情境（社會經濟共享情境，SSP）與固定增溫情境（Global Warming Level，GWL）。綜整 IPCC AR6 各情境推估與科學模擬依據，並考量前期行動計畫推動經驗檢討與操作之可行性，本期調適行動方案/計畫優先採「固定暖化情境設定」作為「國家調適應用情境」，以作為各部門進行風險評估與辨別調適缺口之共同參考情境。

國家調適應用情境原則，相關情境說明如圖 3-1 所示：

1. 0°C ：工業革命時期（1850-1900），為全球暖化的起始點，作為固定暖化情境的參考基準。
2. 1°C ：現階段氣候基期（1995-2014），可作為現有風險評估及其未來缺口的參考基準。
3. 1.5°C ：近期（near term, 2021-2040）的增溫情境。
4. 2°C ：中期（mid-term, 2041-2060）的增溫情境。
5. $3^{\circ}\text{C}\sim 4^{\circ}\text{C}$ ：考量 21 世紀末減碳失敗的增溫情境，將增溫 $3^{\circ}\text{C}\sim 4^{\circ}\text{C}$ (long term, 2081-2100) 之極端情境。

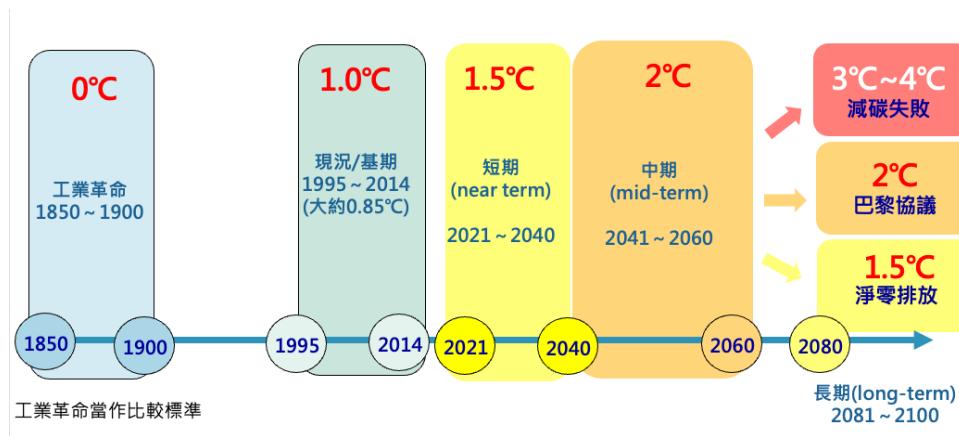


圖 3-1 固定暖化情境之參考基準、基期與增溫情境與時程

本期調適行動計畫之「國家調適應用情境」原則優先採「西元 2021-2040 年升溫 1.5°C 、西元 2041-2060 年升溫 2°C 」，以兼顧施政期程規劃與目標設定，做為各部門進行風險評估與辨別調

適缺口之共同參考基本情境，可強化國家整體風險評估之一致性，也助於跨部門風險評估應用與整合。

3.2 風險評估與調適框架說明

為有效整合各領域調適策略與行動計畫，促進跨領域與跨層級溝通交流及經驗分享，環保署參考國科會所彙整之國內外調適推動方法與建議，並基於前期調適工作實務經驗檢討，將本期所提調適工作分為「辨識氣候風險與調適缺口」及「調適規劃與行動」等二階段，第壹階段「辨識氣候風險與調適缺口」包括調適課題辨識、現況風險盤點、未來風險及調適缺口辨識等工作，第貳階段「調適規劃與行動」則針對前述風險評估與調適缺口擬定具體目標，進行調適選項評估，逐步落實調適行動與監測，定期滾動檢討並公開成果說明國家調適進展，做為後續強化調適量能之溝通基礎（如圖 3-2）。

囿於各調適領域或行動計畫執行進度、科研基礎、評估因子複雜度有所不同，若尚無法直接進行調適行動規劃或落實調適行動之機關，需著重新於第壹階段壹之盤點現行基礎量能、評估氣候風險與缺口辨識，做為後續第貳階段擬定調適策略之依據。若前期已進行現況盤點與氣候變遷風險之機關，則針對風險與調適缺口於第貳階段進一步研擬調適策略與計畫，並訂定追蹤指標定期監測，以利於計畫結束後檢討執行效益，並持續滾動修正。

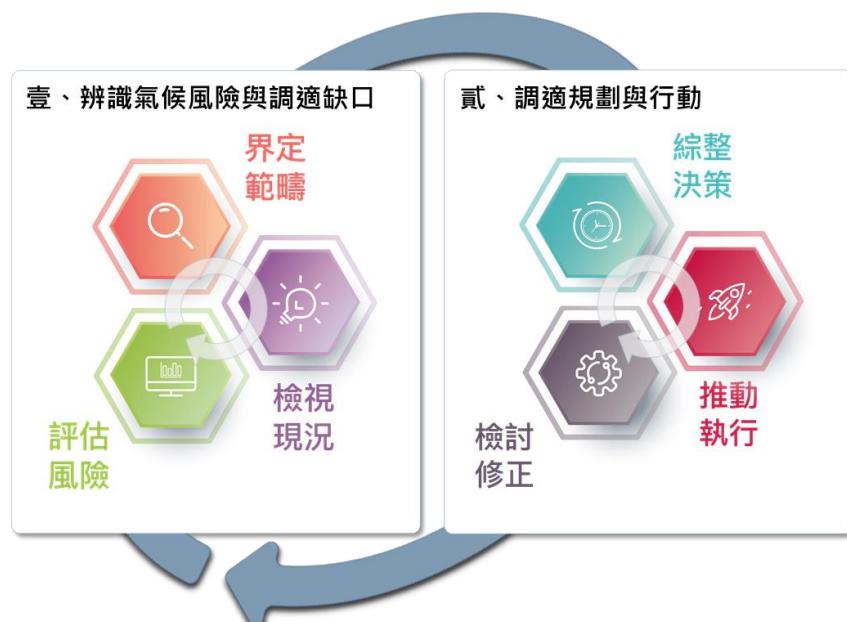


圖3-2 氣候變遷調適框架

以下說明維生基礎設施之調適目標、策略、措施所對應之調適框架及行動計畫，參見表 3-1：

表 3-1 維生基礎設施對應調適框架

目標	策略	措施	對應調適框架	行動計畫
強化維生基礎設施建設能力	整合國土防洪治水韌性調適能力	落實國土防洪治水韌性之整合作業指引	<input type="checkbox"/> 氣候風險與調適缺口辨識(可複選) <input type="checkbox"/> 界定範疇(調適問題、議題關聯、歷史背景) <input type="checkbox"/> 檢視現況(現行措施、現有資訊、調適能力) <input type="checkbox"/> 評估風險(氣候危害、領域衝擊、未來風險) <input checked="" type="checkbox"/> 調適規劃與行動(可複選) <input type="checkbox"/> 綜整決策(調適選項、評估選項、研擬計畫) <input checked="" type="checkbox"/> 推動執行(測試選項、調適行動、追蹤監測) <input type="checkbox"/> 檢討修正(檢視進度、評估改善、調整修正)	落實國土防洪治水韌性工作
強化維生基礎設施建設能力	強化公共工程應變能力	督導辦理公共工程防汛整備作業	<input type="checkbox"/> 氣候風險與調適缺口辨識(可複選) <input type="checkbox"/> 界定範疇(調適問題、議題關聯、歷史背景) <input type="checkbox"/> 檢視現況(現行措施、現有資訊、調適能力) <input type="checkbox"/> 評估風險(氣候危害、領域衝擊、未來風險) <input checked="" type="checkbox"/> 調適規劃與行動(可複選) <input type="checkbox"/> 綜整決策(調適選項、評估選項、研擬計畫) <input checked="" type="checkbox"/> 推動執行(測試選項、調適行動、追蹤監測) <input type="checkbox"/> 檢討修正(檢視進度、評估改善、調整修正)	加強公共工程防汛整備工作

目標	策略	措施	對應調適框架	行動計畫
提升維生基礎設施因應氣候變遷之調適能力	強化運輸系統調適能力	強化運輸系統預警應變力	<ul style="list-style-type: none"> ■ 氣候風險與調適缺口辨識(可複選) <ul style="list-style-type: none"> ■ 界定範疇(調適問題、議題關聯、歷史背景) <input type="checkbox"/> 檢視現況(現行措施、現有資訊、調適能力) ■ 評估風險(氣候危害、領域衝擊、未來風險) <input type="checkbox"/> 調適規劃與行動(可複選) <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 綜整決策(調適選項、評估選項、研擬計畫) <input type="checkbox"/> 推動執行(測試選項、調適行動、追蹤監測) <input type="checkbox"/> 檢討修正(檢視進度、評估改善、調整修正) 	高鐵延伸屏東計畫氣候風險評估
提升維生基礎設施因應氣候變遷之調適能力	強化運輸系統調適能力	強化運輸系統預警應變力	<ul style="list-style-type: none"> ■ 氣候風險與調適缺口辨識(可複選) <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 界定範疇(調適問題、議題關聯、歷史背景) ■ 檢視現況(現行措施、現有資訊、調適能力) <input type="checkbox"/> 評估風險(氣候危害、領域衝擊、未來風險) ■ 調適規劃與行動(可複選) <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 綜整決策(調適選項、評估選項、研擬計畫) <input type="checkbox"/> 推動執行(測試選項、調適行動、追蹤監測) ■ 檢討修正(檢視進度、評估改善、調整修正) 	更新及升級邊坡安全監測系統
提升維生基礎設施因應氣候變遷之調適能力	強化運輸系統調適能力	提升運輸系統耐受力/回復力	<ul style="list-style-type: none"> ■ 氣候風險與調適缺口辨識(可複選) <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 界定範疇(調適問題、議題關聯、歷史背景) ■ 檢視現況(現行措施、現有資訊、調適能力) <input type="checkbox"/> 評估風險(氣候危害、 	高鐵河川橋沖刷風險評估及防護設計

目標	策略	措施	對應調適框架	行動計畫
			<p>領域衝擊、未來風險)</p> <p>■ 調適規劃與行動(可複選)</p> <p>■ 綜整決策(調適選項、評估選項、研擬計畫)</p> <p>□ 推動執行(測試選項、調適行動、追蹤監測)</p> <p>□ 檢討修正(檢視進度、評估改善、調整修正)</p>	
提升維生基礎設施因應氣候變遷之調適能力	強化運輸系統調適能力	提升運輸系統耐受力/回復力	<p>■ 氣候風險與調適缺口辨識(可複選)</p> <p>□ 界定範疇(調適問題、議題關聯、歷史背景)</p> <p>■ 檢視現況(現行措施、現有資訊、調適能力)</p> <p>□ 評估風險(氣候危害、領域衝擊、未來風險)</p> <p>□ 調適規劃與行動(可複選)</p> <p>□ 綜整決策(調適選項、評估選項、研擬計畫)</p> <p>■ 推動執行(測試選項、調適行動、追蹤監測)</p> <p>□ 檢討修正(檢視進度、評估改善、調整修正)</p>	強化沿線隧道洞口及高陡植生邊坡之防護工程
提升維生基礎設施因應氣候變遷之調適能力	強化運輸系統調適能力	提升運輸系統耐受力/回復力	<p>■ 氣候風險與調適缺口辨識(可複選)</p> <p>□ 界定範疇(調適問題、議題關聯、歷史背景)</p> <p>□ 檢視現況(現行措施、現有資訊、調適能力)</p> <p>■ 評估風險(氣候危害、領域衝擊、未來風險)</p> <p>■ 調適規劃與行動(可複選)</p> <p>□ 綜整決策(調適選項、評估選項、研擬計畫)</p> <p>■ 推動執行(測試選項、調適行動、追蹤監測)</p>	省道改善計畫-公路防避災改善

目標	策略	措施	對應調適框架	行動計畫
			<input type="checkbox"/> 檢討修正(檢視進度、評估改善、調整修正)	
提升維生基礎設施因應氣候變遷之調適能力	強化運輸系統調適能力	提升運輸系統耐受力/回復力	<input type="checkbox"/> 氣候風險與調適缺口辨識(可複選) <input type="checkbox"/> 界定範疇(調適問題、議題關聯、歷史背景) <input type="checkbox"/> 檢視現況(現行措施、現有資訊、調適能力) <input type="checkbox"/> 評估風險(氣候危害、領域衝擊、未來風險) <input checked="" type="checkbox"/> 調適規劃與行動(可複選) <input type="checkbox"/> 綜整決策(調適選項、評估選項、研擬計畫) <input checked="" type="checkbox"/> 推動執行(測試選項、調適行動、追蹤監測) <input type="checkbox"/> 檢討修正(檢視進度、評估改善、調整修正)	西濱快速公路曾文溪橋段新建工程
提升維生基礎設施因應氣候變遷之調適能力	強化運輸系統調適能力	提升運輸系統耐受力/回復力	<input checked="" type="checkbox"/> 氣候風險與調適缺口辨識(可複選) <input checked="" type="checkbox"/> 界定範疇(調適問題、議題關聯、歷史背景) <input checked="" type="checkbox"/> 檢視現況(現行措施、現有資訊、調適能力) <input checked="" type="checkbox"/> 評估風險(氣候危害、領域衝擊、未來風險) <input checked="" type="checkbox"/> 調適規劃與行動(可複選) <input type="checkbox"/> 綜整決策(調適選項、評估選項、研擬計畫) <input checked="" type="checkbox"/> 推動執行(測試選項、調適行動、追蹤監測) <input checked="" type="checkbox"/> 檢討修正(檢視進度、評估改善、調整修正)	台7線英士橋(左、右)及台7甲線敦厚橋、碧水橋、則前橋(左)改建可行性評估暨台7線85k+500~102k+000、台7甲線0k~10k下邊坡安全維護工程
提升維生基礎設施因應氣候變遷之調適能力	強化運輸系統調適能力	增進運輸系統決策支援力	<input checked="" type="checkbox"/> 氣候風險與調適缺口辨識(可複選) <input checked="" type="checkbox"/> 界定範疇(調適問題、議題關聯、歷史背景)	民用航空局所屬航空站氣候變遷調

目標	策略	措施	對應調適框架	行動計畫
			<ul style="list-style-type: none"> ■ 檢視現況(現行措施、現有資訊、調適能力) ■ 評估風險(氣候危害、領域衝擊、未來風險) <input type="checkbox"/> 調適規劃與行動(可複選) <input type="checkbox"/> 綜整決策(調適選項、評估選項、研擬計畫) <input type="checkbox"/> 推動執行(測試選項、調適行動、追蹤監測) <input type="checkbox"/> 檢討修正(檢視進度、評估改善、調整修正) 	適能力推動計畫
提升維生基礎設施因應氣候變遷之調適能力	強化運輸系統調適能力	增進運輸系統決策支援力	<ul style="list-style-type: none"> ■ 氣候風險與調適缺口辨識(可複選) ■ 界定範疇(調適問題、議題關聯、歷史背景) ■ 檢視現況(現行措施、現有資訊、調適能力) ■ 評估風險(氣候危害、領域衝擊、未來風險) ■ 調適規劃與行動(可複選) <input type="checkbox"/> 綜整決策(調適選項、評估選項、研擬計畫) <input checked="" type="checkbox"/> 推動執行(測試選項、調適行動、追蹤監測) <input type="checkbox"/> 檢討修正(檢視進度、評估改善、調整修正) 	依據 ISO 氣候變遷調適指引，推動桃園機場園區氣候變遷調適作業，並取得認證資格
提升維生基礎設施因應氣候變遷之調適能力	強化運輸系統調適能力	增進運輸系統決策支援力	<ul style="list-style-type: none"> ■ 氣候風險與調適缺口辨識(可複選) ■ 界定範疇(調適問題、議題關聯、歷史背景) ■ 檢視現況(現行措施、現有資訊、調適能力) <input type="checkbox"/> 評估風險(氣候危害、領域衝擊、未來風險) ■ 調適規劃與行動(可複選) 	研析鐵道系統強化調適能力指引

目標	策略	措施	對應調適框架	行動計畫
			<p><input checked="" type="checkbox"/> 綜整決策(調適選項、評估選項、研擬計畫)</p> <p><input type="checkbox"/> 推動執行(測試選項、調適行動、追蹤監測)</p> <p><input type="checkbox"/> 檢討修正(檢視進度、評估改善、調整修正)</p>	

3.3 未來風險評估

1.第一階段：辨識氣候風險與調適缺口

近年交通部相關機關(構)都在密切推動運輸系統氣候變遷風險評估，如交通部運輸研究所於 102 至 108 年期間產製並持續維護鐵公路淹水及坡災風險地圖，該風險地圖採用現況年（1980~1999 年）及未來年（2020 年~2039 年）氣候變遷情境設定，其中未來年（2020~2039 年）氣候推估情境背景採用未來能源供需平衡之 AR4-A1B 溫室氣體排放情境，並參考 NCDR 執行之 TCCIP 計畫現況年（1980~1999 年）與未來年（2020 年~2039 年）統計降雨尺度，搭配不同頻率分析氣候變遷重現年期，最後透過危害度及脆弱度指標產出風險矩陣，提供國內鐵路及公路機關做為氣候變遷風險評估之參考依據。

本期計畫交通部鐵道局推動「高鐵延伸屏東計畫氣候風險評估（113 年）」、桃園機場公司「依據 ISO 氣候變遷調適指引，推動桃園機場園區氣候變遷調適作業，並取得認證資格（112-114 年）」，藉此辨識機場未來氣候風險；而台灣高速鐵路股份有限公司推動「高鐵河川橋沖刷風險評估及防護設計（112-115 年）」，透過預先識別及降低風險，以確保高鐵設施之營運安全。

2.第二階段：調適規劃與行動

針對調適規劃及行動方面，除既有之延續性調適計畫外，本期計畫公共工程委員會將於 112 至 115 推動落實《國土防洪治水

韌性之整合作業指引》，擬追蹤機關於開發建設階段是否有落實國土防洪治水韌性之執行情形，以利檢討更新該指引。

此外，為增加運輸系統耐受力及恢復力，台灣高速鐵路股份有限公司將持續推動「強化沿線隧道洞口及高陡植生邊坡之防護工程」，降低暴雨影響邊坡坍滑而影響服務中斷之情形，而交通部公路總局則提出本期新興計畫包含「西濱快速公路曾文溪橋段新建工程」、「台7線英士橋(左、右)及台7甲線敦厚橋、碧水橋、則前橋(左)改建可行性評估暨台7線85k+500~102k+000、台7甲線邊坡安全維護工程」等調適規劃與行動，以積極地調適作為來提升氣候變遷調適能力，達到降低脆弱度及強化公路韌性。

第四章 調適目標

針對「氣候變遷因應法」之相關條文，維生基礎設施領域條擬定之調適目標，其對應情形請參見表 4-1 所示。

表 4-1 調適目標對應氣候變遷因應法

本領域調適目標	對應氣候變遷因應法
目標一： 強化維生基礎設施建設能力	第 5 條第 3 項第 7 款： 納入因應氣候變遷風險因子，提高氣候變遷調適能力，降低脆弱度及強化韌性，確保國家永續發展。 第 17 條第 1 項第 2 款： 強化因應氣候變遷相關環境、災害、設施、能資源調適能力，提升氣候韌性。
目標二： 提升維生基礎設施因應氣候變遷之調適能力	第 5 條第 3 項第 7 款： 納入因應氣候變遷風險因子，提高氣候變遷調適能力，降低脆弱度及強化韌性，確保國家永續發展。 第 6 條第 3 項： 積極採取預防措施，進行預測、避免或減少引起氣候變遷之肇因，以緩解其不利影響，並協助公正轉型。 第 17 條第 1 項第 1 款： 以科學為基礎，檢視現有資料、推估未來可能之氣候變遷，並評估氣候變遷風險，藉以強化風險治理及氣候變遷調適能力。

而就維生基礎設施所擬具之策略以及措施，對應於「氣候變遷因應法」之條文以及內容請參見表 4-2 所示。

表 4-2 調適策略對應氣候變遷因應法之條文

策略一：整合國土防洪治水韌性調適能力	<p>第 5 條第 3 項第 7 款： 納入因應氣候變遷風險因子，提高氣候變遷調適能力，降低脆弱度及強化韌性，確保國家永續發展。</p> <p>第 17 條第 1 項第 2 款： 強化因應氣候變遷相關環境、災害、設施、能資源調適能力，提升氣候韌性。</p>
策略二：強化公共工程應變能力	<p>第 5 條第 3 項第 7 款： 納入因應氣候變遷風險因子，提高氣候變遷調適能力，降低脆弱度及強化韌性，確保國家永續發展。</p> <p>第 17 條第 1 項第 2 款： 強化因應氣候變遷相關環境、災害、設施、能資源調適能力，提升氣候韌性。</p>
策略三：強化運輸系統調適能力	<p>第 5 條第 3 項第 7 款： 納入因應氣候變遷風險因子，提高氣候變遷調適能力，降低脆弱度及強化韌性，確保國家永續發展。</p> <p>第 17 條第 1 項第 2 款： 強化因應氣候變遷相關環境、災害、設施、能資源調適能力，提升氣候韌性。</p> <p>第 17 條第 2 項： 國民、事業、團體應致力參與氣候變遷調適能力建構事項。</p>

第五章 推動期程及經費編列

本期方案係延續前期（107-111 年）階段成果據以滾動修正，參酌其推動期程，將國際發展趨勢納入考量，以 4 年（112-115 年）為一期推動本期方案，依氣候變遷因應法規定，每年定期追蹤執行成果函報行政院。

本期方案各項延續型行動計畫經費，皆由各中央目的事業主管機關編列預算支應，或透過前瞻基礎建設計畫等整合推動，新興計畫則依據「行政院所屬各機關中長程個案計畫編審要點」及預算籌編相關規定辦理。各項計畫循程序報奉核定後據以推動。

維生基礎設施領域各計畫內容說明如下，摘要表列於附件。

（一）落實國土防洪治水韌性工作（112-115 年）

1. 推動期程：112-115 年

2. 經費編列：無經費需求。

3. 調適工作項目：

（1）請相關機關就現行法令或相關規定有增修部分提供建議，

以利檢討更新本指引。

（2）追蹤機關於地用計畫及開發建設階段落實國土防洪治水

韌性執行情形。

（二）加強公共工程防汛整備工作（112-115 年）

1. 推動期程：112-115 年

2. 經費編列：無經費需求。

3. 調適工作項目：針對高風險區域之在建工程，督促各工

程主管及主辦機關於汛期及颱風豪雨來襲前進行抽查，

加強工區防颱防汛準備措施，以避免造成災害及防汛缺口。

(三) 高鐵延伸屏東計畫氣候風險評估（113 年）

1. 推動期程：113 年
2. 經費編列：2,000 千元
3. 調適工作項目：於高鐵延伸屏東計畫綜規環評階段界定氣候風險及制定因應作為。

(四) 更新及升級邊坡安全監測系統（112-115 年）

1. 推動期程：112-115 年
2. 經費編列：50,000 千元
3. 調適工作項目：辦理邊坡自動化監測系統更新與升級，持續系統驗證及修訂警戒管理值

(五) 高鐵河川橋沖刷風險評估及防護設計（112-115 年）

1. 推動期程：112-115 年
2. 經費編列：30,000 千元
3. 調適工作項目：預先識別並適時降低沖刷風險，確保高鐵設施及營運安全。

(六) 強化沿線隧道洞口及高陡植生邊坡之防護工程（112-115 年）

1. 推動期程：112-115 年

2. 經費編列：500,000 千元
3. 調適工作項目：降低受暴雨影響而發生邊坡坍滑觸動災害
告警系統，避免營運中斷。

(七) 省道改善計畫-公路防避災改善（112-113 年）

1. 推動期程：112-113 年
2. 經費編列：1,251,000 千元
3. 調適工作項目：對於山區道路，在所處環境因素無法改變
情形下，研擬相關防避災工程，並輔以相關管理措施（地
滑監測及預警）、智慧化技術之應用，藉以提升省道公路
抗災能力。

(八) 西濱快速公路曾文溪橋段新建工程（112-115 年）

1. 推動期程：112-115 年
2. 經費編列：5,636,200 千元
3. 調適工作項目：橋梁採長跨距配置以減少河中立墩，以避
免因強降雨沖刷河床造成橋梁基礎裸露。

(九) 台 7 線英士橋(左、右)及台 7 甲線敦厚橋、碧水橋、則前橋
(左)改建可行性評估暨台 7 線 85k+500 ~102k+000、台 7 甲線
0k~10k 下邊坡安全維護工程（112-115 年）

1. 推動期程：112-115 年

2. 經費編列：871,000 千元

(1) 本案 4 座橋梁改建可行性評估總工程概估經費 7 億 4,400 萬元。

(2) 下邊坡安全維護總工程概估經費 1 億 2,700 萬元。

3. 調適工作項目：

(1) 橋梁改建可行性評估及沿蘭陽溪公路下邊坡沖刷之潛勢判斷、相關安全管理與維修對策之研提。

(2) 除沖刷歷史資料建立亦對不同時期之沖刷災害成因、或未來之沖刷潛勢予以進一步的分析探討。

(十) 民用航空局所屬航空站氣候變遷調適能力推動計畫（112-115 年）

1. 推動期程：112-115 年

2. 經費編列：2,000 千元

3. 調適工作項目：

(1) 蒐集極端航空氣象資訊，掌握天然災害發生情形。

(2) 檢視航空站設施因應極端氣候（至少包括強降雨及高溫）之耐受力，如排水系統。

(3) 盤點航空站相關設施設計工程規範、維運程序及規範。

(4) 建立風險辨識計畫。

(5)評估是否加強風險預警作業。

(十一) 依據 ISO 氣候變遷調適指引，推動桃園機場園區氣候變

遷調適作業，並取得認證資格（112-114 年）

1. 推動期程：112-114 年

2. 經費編列：1,050 千元

3. 調適工作項目：

(1)與航空公司、免稅店、航警局、移民署及其他機場夥伴，

共同鑑別機場未來氣候風險。

(2)依氣候風險鑑別結果，針對高風險項目訂定調適策略及

計畫，並具體執行推動。

(十二) 研析鐵道系統強化調適能力指引（113-115 年）

1. 推動期程：113-115 年

2. 經費編列：20,100 千元

3. 調適工作項目：

(1)探討鐵道系統規劃階段影響韌性強度因素。

(2)研析鐵道系統規劃階段強化調適能力之機制、方法與作

為並研訂強化調適能力指引。

(3)辦理運輸系統氣候變遷專業知識推廣教育訓練。

第六章 推動策略及措施

維生基礎設施調適領域在永續發展目標下，為強化調適與減緩兼顧之氣候行動，落實科學研發應用於調適目標的策略與措施，爰擬定「強化維生基礎設施建設能力」及「提升維生基礎設施因應氣候變遷之調適能力」兩大目標。

針對目標一「強化維生基礎設施建設能力」研擬「整合國土防洪治水韌性調適能力」及「強化公共工程應變能力」2項策略，並分別就該策略提出「落實國土防洪治水韌性之整合作業指引」及「督導辦理公共工程防汛整備作業」及2項具體措施。

針對目標二「提升維生基礎設施因應氣候變遷之調適能力」，研擬「強化運輸系統調適能力」策略，並提出「強化運輸系統預警應變力」、「提升運輸系統耐受力/回復力」及「增進運輸系統決策支援力」3項措施。

有關調適目標、策略與措施之架構請參見表 6-1。

表 6-1 調適目標、策略及措施

調適目標	策略	措施
強化維生基礎設施建設能力	整合國土防洪治水韌性調適能力	落實國土防洪治水韌性之整合作業指引
	強化公共工程應變能力	督導辦理公共工程防汛整備作業
提升維生基礎設施因應氣候變遷之調適能力	強化運輸系統調適能力	強化運輸系統預警應變力
		提升運輸系統耐受力/回復力
		增進運輸系統決策支援力

第七章 我國國家永續發展目標關聯性

維生基礎設施領域調適行動方案（112-115 年）所提調適目標包含「強化維生基礎設施建設能力」及「提升維生基礎設施因應氣候變遷之調適能力」兩大目標，兩大目標皆可對應我國國家永續發展核心目標 13：「完備減緩調適行動以因應氣候變遷及其影響」，其具體目標為「13.1 增進氣候變遷調適能力、強化韌性並降低脆弱度」、對應指標為「13.1.1 盤點氣候風險，訂定調適行動計畫據以施行」。

維生基礎設施領域調適行動方案（112-115 年）之領域各目標對應我國國家永續發展核心目標、具體目標及指標請參見表 7-1：

表 7-1 調適目標與國家永續發展目標關聯性

維生基礎設施領域行動方案			臺灣永續發展目標 SDGs		
調適目標	調適策略	具體措施/行動計畫	核心目標	具體目標	對應指標
強化維生基礎設施建設能力	整合國土防洪治水韌性調適能力	落實國土防洪治水韌性之整合作業指引/落實國土防洪治水韌性工作	完備減緩調適行動以因應氣候變遷及其影響。	增進氣候變遷調適能力、強化韌性並降低脆弱度。	盤點氣候風險，訂定調適行動計畫據以施行。
	強化公共工程應變能力	督導辦理公共工程防汛整備作業/加強公共工程防汛整備工作			
提升維生基礎設施因應氣候變遷之調適能力	強化運輸系統調適能力	強化運輸系統預警應變力/高鐵延伸屏東計畫氣候風險評估	完備減緩調適行動以因應氣候變遷及其影響。	增進氣候變遷調適能力、強化韌性並降低脆弱度。	盤點氣候風險，訂定調適行動計畫據以施行。
		強化運輸系統預警應變力/更新及升級邊坡安全監測系統			
		提升運輸系統耐受力/回復力/高鐵河川橋沖刷風險評估及防護設計	完備減緩調適行動以	增進氣候變遷調適能	盤點氣候風險，訂

維生基礎設施領域行動方案			臺灣永續發展目標 SDGs		
調適目標	調適策略	具體措施/行動計畫	核心目標	具體目標	對應指標
		提升運輸系統耐受力/回復力/強化沿線隧道洞口及高陡植生邊坡之防護工程	因應氣候變遷及其影響。	力、強化韌性並降低脆弱度。	定調適行動計畫據以施行。
		提升運輸系統耐受力/回復力/省道改善計畫-公路防避災改善			
		提升運輸系統耐受力/回復力/西濱快速公路曾文溪橋段新建工程			
		提升運輸系統耐受力/回復力/台7線英士橋(左、右)及台7甲線敦厚橋、碧水橋、則前橋(左)改建可行性評估暨台7線85k+500~102k+000、台7甲線0k~10k下邊坡安全維護工程			
		增進運輸系統決策支援力/民用航空局所屬航空站氣候變遷調適能力推動計畫			
		增進運輸系統決策支援力/依據 ISO 氣候變遷調適指引，推動桃園機場園區氣候變遷調適作業，並取得認證資格			
		增進運輸系統決策支援力/研析鐵道系統強化調適能力指引			

第八章 預期效益及管考機制

8.1 維生基礎設施領域預期效益

本期維生基礎設施調適計畫共計 12 項計畫，包含「落實國土防洪治水韌性工作」、「加強公共工程防汛整備工作」、「高鐵延伸屏東計畫氣候風險評估」、「更新及升級邊坡安全監測系統」、「高鐵河川橋沖刷風險評估及防護設計」、「強化沿線隧道洞口及高陡植生邊坡之防護工程」、「省道改善計畫-公路防避災改善」、「西濱快速公路曾文溪橋段新建工程」、「台 7 線英士橋(左、右)及台 7 甲線敦厚橋、碧水橋、則前橋(左)改建可行性評估暨台 7 線 85k+500 ~102k+000、台 7 甲線 0k~10k 下邊坡安全維護工程」、「民用航空局所屬航空站氣候變遷調適能力推動計畫」、「依據 ISO 氣候變遷調適指引，推動桃園機場園區氣候變遷調適作業，並取得認證資格」、「研析鐵道系統強化調適能力指引」等。

其中，本期優先計畫共計 6 項，包含「更新及升級邊坡安全監測系統」、「省道改善計畫-公路防避災改善」、「高鐵河川橋沖刷風險評估及防護設計」、「強化沿線隧道洞口及高陡植生邊坡之防護工程」、「民用航空局所屬航空站氣候變遷調適能力推動計畫」及「依據 ISO 氣候變遷調適指引，推動桃園機場園區氣候變遷調適作業，並取得認證資格」。前述 4 項計畫著重在先辨識氣候風險調適缺口，再研擬調適規劃與行動，相較於過去常見僅就受損設施之補強外，更強調面臨氣候變遷下考量未來情境應採取因應之調適策略。

以交通部公路總局提出之「省道改善計畫-公路防避災改善」計畫為例，該計畫係以交通部運輸研究所於 102 至 108 年期間產製維護鐵公路淹水及坡災風險地圖做為參考，考量省道公路受強降雨產生之地表逕流沖刷與入滲，常導致地下水位上升，造成邊坡滑動崩塌，破壞擋土及排水設施，沖刷路基造成交通中斷，危及用路人行車安全，在此前提下公路設施實需提升其在氣候變遷下的調適能力，以維持應有之運作功能，減少對社會之衝擊。該計畫分年辦理改善後，預計可逐步提升公路行車安全度及可靠度，減少天然災害造成損壞，並維持公路通行之任務，保障用路人及居民生命財產安全，且將提高省道服務水準及公路運輸之暢通，連結區域間行車及提昇經濟活動效益，另增進公路網之運作效率，提升民眾對於政府的信賴度。

另外，高鐵公司提出之「高鐵河川橋沖刷風險評估及防護設計」及「強化沿線隧道洞口及高陡植生邊坡之防護工程」，則將重新訂定風險管理計畫，或將氣候風險整合到既有的計畫中，採用策略評估方式將氣候風險評估融入於計畫內，如透過「脆弱性評估」來瞭解氣候變遷對邊坡設施影響最鉅之處，或者是透過「情境分析」設想不同情境對邊坡設施的潛在威脅，預期可提升危害發生時之抵抗力並降低危害發生機率或程度。

8.2 維生基礎設施領域管考機制

依據氣候變遷法第十九條第4項，易受氣候變遷衝擊權責領域之中央目的事業主管機關應每年編寫調適行動方案成果報告，送中央主管機關報請行政院核定後對外公開。

交通部為易受氣候變遷衝擊之維生基礎設施領域之主辦機關。爰此，維生基礎設施領域調適行動方案之各協辦機關，每年將提交優先行動計畫成果或進度報告予以交通部統一彙整為領域成果報告，於法定期限前函送主管機關（環保署），環保署則將綜整維生基礎設施領域及其他領域成果撰擬國家調適計畫年度成果報告，循程序審核後公布並提報至永續會進行管考。

維生基礎設施領域行動方案各協辦機關皆需持續追蹤各別調適行動計畫執行情形，執行完成計畫辦理退場，並通盤檢視機關調適策略推動重點與方向，增減或修正提列之優先行動計畫，併同上述領域成果報告定期提交，並由中央主管機關（環保署）每半年召開跨部會協商，針對關鍵議題進行討論凝聚共識，研提有效作法，據以落實調適策略監測與評估機制，以符滾動修正原則。

附件 維生基礎設施領域氣候變遷調適行動計畫列表

調適目標	調適策略	行動計畫名稱	調適工作項目	主辦機關/ 協辦機關	計畫經費 (千元)	起迄(年)	計畫 類型	優先 計畫
1. 整合國土防洪治水能力	落實國土防洪治水韌性之整合性調適性	1-1-1-1 落實國土防洪治水韌性工作	1. 請相關機關就現行法令或相關規定有增修部分提供建議，以利檢討更新本指引。 2. 追蹤機關關於用地計畫及開發建設階段落實國土防洪治水韌性執行情形。	行政院公工程委員會/內政部、經濟部、交通部、國家科學及技術委員會、農業部	無經費需求	112-115年	新興	否
1. 強化維生基礎設施設能力	督導辦理公共工程防汎整備作業	1-1-2-1 加強公共工程防汛整備工作	針對高風險區域之在建工程，督促各工程主管機關於汛期及豪雨來襲前進行抽查，加強工區防颱防汛準備	行政院公工程委員會/內政部、經濟部、交通部、農業部	無經費需求	112-115年	延續	否

調適目標	調適策略	行動計畫名稱	調適工作項目	主辦機關/ 協辦機關	計畫經費 (千元)	起迄(年)	計畫 類型	優先 計畫
			措施，以避免造成災害及防汛缺口。	與各直轄市及縣市政府				
1. 強化運輸系統預警反應能力	強化運輸系統預警反應能力	1-2-1-1 高鐵延伸屏東計畫氣候風險評估	於高鐵延伸屏東計畫綜規環評階段界定氣候風險及制定因應作為。	交通部鐵道局	2,000	113 年	新興	否
2. 提升維生基礎設施因應氣候變遷之調適能力	提升運輸系統耐受力/回復力	1-2-1-2 更新及升級邊坡安全監測系統	辦理邊坡自動化監測系統更新與升級，持續系統驗證及修訂警戒管理值。	台灣高速鐵路股份有限公司	50,000	112-115 年	延續	是
		1-2-2-1 高鐵河川橋沖刷風險評估及防護設計	預先識別並適時降低沖刷風險，確保高鐵設施及營運安全。	台灣高速鐵路股份有限公司	30,000	112-115 年	延續	是

調適目標	調適策略	行動計畫名稱	調適工作項目	主辦機關/ 協辦機關	計畫經費 (千元)	起迄(年)	計畫 類型	優先 計畫
		1-2-2-2 強化沿線隧道洞口及高陡植生邊坡之防護工程	降低受暴雨影響而發生邊坡坍滑觸動災害警報系統，避免營運中斷。	台灣高速鐵路股份有限公司	500,000	112-115 年	延續	是
1-2-2-3 省道改善計畫-公路防避災改善			對於山區道路，在所處環境因素無法改變情形下，研擬相關防避災工程，並輔以相關管理措施（地滑監測及預警）、智慧化技術之應用，藉以提升省道公路抗災能力。	交通部公路總局	1,251,000	112-113 年	延續	是
1-2-2-4 西濱快速公路曾文溪橋段新建设工程			橋梁採長跨距配置以減少河中立墩，以避免因強降雨沖刷	交通部公路總局	5,636,200	112-115 年	新興	否

調適目標	調適策略	行動計畫名稱	調適工作項目	主辦機關/ 協辦機關	計畫經費 (千元)	起迄(年)	計畫 類型	優先 計畫
		1-2-2-5 台 7 線 英 士 橋 (左、右)及台 7 甲 線 敦 厚 橋、碧 水 橋、則 前 橋 (左) 改 建 可 行 性 評 估 暨 台 7 線 85k+500 ~102k+000 、 台 7 甲 線 0k~10k 下邊 坡 安 全 維 護 工 程	1.橋梁改建可行性評估及沿蘭陽溪公路下邊坡沖刷之潛勢判斷、相關安全管理與維修對策之研提。 2.除沖刷歷史資料建立亦對不同時期之沖刷災害成因、或未來之沖刷潛勢予以進一步的分析探討。	交通部 公路總局	871,000	112-115 年	新興	否
		1-2-2-6 民用 航空局所屬	1.蒐集極端航空氣象資訊，掌握天	交通部	2,000	112-115 年	新興	是

調適目標	調適策略	行動計畫名稱	調適工作項目	主辦機關/ 協辦機關	計畫經費 (千元)	起迄(年)	計畫 類型	優先 計畫
		航空站氣候變遷調適能力推動計畫	然災害發生情形。 2.檢視航空站設施因應極端氣候（至少包括強降雨及高溫）之耐受力，如排水系統。 3.盤點航空站相關設施設計工程規範、維運程序及規範。 4.建立風險辨識計畫。 5.評估是否加強風險預警作業。	民用航空局/交通部民用航空局所屬航空站				

調適目標	調適策略	行動計畫名稱	調適工作項目	主辦機關/ 協辦機關	計畫經費 (千元)	起迄(年)	計畫 類型	優先 計畫
		1-2-2-7 依據 ISO 氣候變遷調適指引，推動桃園機場園區氣候變遷調作業，並取得認證資格	1.與航空公司、免稅店、航警局、移民署及其他機場夥伴，共同鑑別機場未來氣候風險。 2.依氣候風險鑑別結果，針對高風險項目訂定調適策略及計畫，並具體執行推動。	桃園國際機場股份有限公司	1,050	112-114 年	新興	是
		1-2-2-8 研析鐵道系統強化調適能力指引	1.探討鐵道系統規劃階段影響韌性強度因素。 2.研析鐵道系統規劃階段強化調適能力之機制、方	交通部運輸研究所	20,100	113-115 年	新興	否

調適目標	調適策略	行動計畫稱 謂適措	調適工作項目	主辦機關/ 協辦機關	計畫經費 (千元)	起迄(年)	計畫 類型	優先 計畫
			法與作為並研訂 強化調適能力指 引。 3.辦理運輸系統氣 候變遷專業知識 推廣教育訓練。					

非賣品