

112-013-7D30
MOTC-IOT-111-H1CA001b

應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵 執行軌道巡查作業項目之探討



交通部運輸研究所
中華民國 112 年 3 月

112-013-7D30
MOTC-IOT-111-H1CA001b

應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵 執行軌道巡查作業項目之探討

著者：謝幼屏、鄭登鍵

交通部運輸研究所
中華民國 112 年 3 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業
項目之探討 / 謝幼屏, 鄭登鍵著.-- 初版.-- 臺北
市 : 交通部運輸研究所, 民 112.03

面 ; 公分

ISBN 978-986-531-465-1(平裝)

1.CST: 鐵軌 2.CST: 鐵路工程 3.CST: 影像分析
4.CST: 人工智慧

442.52

112000679

應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

著 者：謝幼屏、鄭登鍵

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：(04)2658-7200

出版年月：中華民國 112 年 3 月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 48 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：100 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)2349-6789

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

五南文化廣場：40042 臺中市區中山路 6 號•電話：(04)2226-03306

GPN：1011200125

ISBN：978-986-531-465-1(平裝)

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

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

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-531-465-1(平裝)	政府出版品統一編號 1011200125	運輸研究所出版品編號 112-013-7D30	計畫編號 MOTC-IOT-111-HICA001b
主辦單位：港灣技術研究中心 主管：蔡立宏 計畫主持人：謝幼屏 研究人員：鄭登鍵 參與人員：王培源 聯絡電話：(04)2658-7173 傳真號碼：(04)2656-4418			研究期間 自 111 年 01 月 至 111 年 12 月
關鍵詞：軌道路線巡查、人工智慧、自動檢測			
<p>摘要：</p> <p>本計畫透過深入研析目前臺鐵局路線巡查作業現況，探討本所軌道構件缺失辨識系統的後續擴大應用方向。首先，進行軌道巡查執行現況探討，綜整實務執行巡查作業的巡查人員、巡查頻率、各項問題檢查方法、維修處理方法；其次，分析各巡查項目的發生頻率、潛在危安態樣，以風險矩陣法評估各巡查項目的危安風險高低；而後就各巡查項目進行評估，探討以人工智慧影像辨識技術，替代人工目視巡查，輔助執行巡查作業的可能性；最後，研提擴大應用人工智慧辨識技術輔助巡查之方向。研究結果建議：後續可深化既有辨識項目，在螺栓鬆脫檢查上擴增辨識內容；在軌枕、道床、淨空、軌道上異物等檢查上，再深入評估有無大量、可辨識影像，以供建立高精度辨識模型；可研發人工智慧辨識技術結合振動檢查設備，以辨識軌道不整與接頭沈落問題；研發人工智慧辨識技術結合雷射或光達技術，以精進鋼軌損傷、斷裂之辨識精確度。</p> <p>研究成果效益：</p> <p>完成各類巡查項目採人工智慧辨識技術執行巡查作業之評估，研提後續人工智慧辨識技術在軌道巡查上擴大應用之方向。提供臺鐵局未來運用人工智慧辨識技術協助執行軌道巡查作業決策之應用，並做為本所後續辦理人工智慧辨識相關研究之先期計畫。</p> <p>提供應用情形：</p> <p>可提供臺鐵局工務處及各地區工務段、分駐所等軌道巡查管理單位實務應用，並可供本所後續辦理人工智慧辨識在軌道巡查研究之應用。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
112 年 3 月	182	100	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 Application of Artificial Intelligence Inspection Technology to Assist Taiwan Railway in Executing Track Inspection Projects			
ISBN (OR ISSN) 978-986-531-465-1 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011200125	IOT SERIAL NUMBER 112-013-7D30	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-111-HICA001b
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai PRINCIPAL INVESTIGATOR: Yu-Ping Hsieh RESEARCHER: Teng-Chien Cheng PROJECT TECHNICIAN: Pei-Yuan Wang PHONE: 04-2658-7173 FAX: 04-2656-4418			PROJECT PERIOD FROM January 2022 TO December 2022
KEY WORDS: Rail Track Inspection, Artificial Intelligence, Automatic Inspection			
<p>Abstract:</p> <p>This project explores the extended directions for applications of the Institute's faulty track components detection system by in-depth analysis of the track route inspection operations currently practiced by the Taiwan Railways Administration.</p> <p>We began with a discussion on the current exercise of track inspection, comprehensively organizing the inspectors, inspection frequency, inspection methods for problems, and maintenance and treatment methods during actual inspection operations. Then, we analyzed the frequencies of occurrence of each inspection and manner of potential dangers, evaluating the safety and security risks of each inspection item by the risk matrix method. We further evaluated each inspection item, and explored the possibility of using Artificial Intelligence image recognition technology to replace manual visual inspections and assist in the execution of inspection operations. Last, we proposed directions for extending the application of artificial intelligence identification technology in assisting inspections.</p> <p>Recommendations from the research results: In the future, existed recognitions can be furthered by expanding the details of recognition in inspection of loosened bolts; in the inspection of objects like sleepers, ballast beds, headroom, and foreign objects on the track, assessment can be further made on the availability of massive and recognizable images for creating high-precision recognition models; research can be done in developing a combination of Artificial Intelligence identification and vibration inspection equipment to detect uneven places of tracks and the problem of joint loosening; and attempt at developing Artificial Intelligence identification combining laser or LiDAR technology to improve the accuracy of identification of rail damage and fracture.</p> <p>Benefits and Applications:</p> <p>An assessment of performing inspection operations with artificial intelligence identification technology was done, and directions are proposed for expanding subsequent applications of artificial intelligence identification technology in track inspections. These are provided as reference for Taiwan Railways Administration in future decision-making in applying artificial intelligence identification technology to assist in the performance of track inspection operation, as well as a preliminary plan for the follow-up research by the Institute regarding artificial intelligence identification.</p> <p>Application Availability:</p> <p>The results hereof can be provided as practical application for the Construction Department of Taiwan Railways Administration and its track inspection management units such as divisions and sub-divisions in various regions, as well as for the Institute in future research of artificial intelligence identification applied in track inspection.</p>			
DATE OF PUBLICATION Mar. 2023		NUMBER OF PAGES 182	
		PRICE 100	
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
目錄	III
圖目錄	V
表目錄	VII
第一章 緒論	1-1
1.1 研究緣起與動機	1-1
1.2 研究目的	1-2
1.3 研究範圍、對象與利害關係人	1-2
1.4 研究內容與方法	1-3
第二章 臺鐵軌道巡查執行現況	2-1
2.1 軌道檢查	2-1
2.1.1 日常巡查	2-2
2.1.2 定期檢查	2-8
2.2 路線巡查作業	2-11
2.3 臺鐵軌道巡查特性	2-23
第三章 軌道巡查項目之危安態樣分析	3-1
3.1 軌道問題發生頻率分析	3-1

3.2 軌道問題之危安態樣.....	3-7
3.3 軌道問題之風險評估.....	3-20
第四章 運用人工智慧辨識技術輔助巡查評估.....	4-1
4.1 影像辨識理論與 Yolo 模型.....	4-1
4.1.1 影像辨識的理論.....	4-1
4.1.2 Yolo 模型.....	4-6
4.2 運用人工智慧輔助巡查之評估.....	4-10
第五章 擴大應用人工智慧輔助巡查之方向研提.....	5-1
第六章 結論與建議.....	6-1
6.1 結論.....	6-1
6.2 建議.....	6-4
6.3 研究成果之效益.....	6-5
6.4 提供政府單位應用情形.....	6-5
參考文獻.....	參-1
附錄一 交通部臺灣鐵路管理局路線巡查安全作業程序.....	附錄 1-1
附錄二 危安嚴重性問卷調查表.....	附錄 2-1
附錄三 專家學者座談會議紀錄.....	附錄 3-1
附錄四 第 1 次工作會議紀要.....	附錄 4-1
附錄五 第 2 次工作會議紀要.....	附錄 5-1
附錄六 第 3 次工作會議紀要.....	附錄 6-1
附錄七 期末審查意見及辦理情形說明表.....	附錄 7-1
附錄八 期末報告簡報資料.....	附錄 8-1

圖目錄

圖 1.1 研究流程圖	1-3
圖 2.1 鐵路路線構造	2-1
圖 2.2 臺鐵的軌道檢查作業	2-2
圖 2.3 臺鐵局的徒步(工程維修車)巡查記事簿	2-3
圖 2.4 臺鐵局的隨乘機(列)車巡查紀錄表	2-5
圖 2.5 臺鐵局的振動檢查儀	2-7
圖 2.6 徒步(機車)查道 26 項檢查項目歸納簡化為 10 個檢查主題...2-12	
圖 2.7 臺鐵的伸縮接頭	2-16
圖 2.8 以魚尾鉸接合的軌縫	2-17
圖 2.9 臺鐵的鋼軌絕緣接頭	2-17
圖 3.1 大甲分駐所 110 年度徒步(機車)查道之缺失數量統計圖	3-2
圖 3.2 大甲分駐所 110 年度主管乘車巡查之缺失數量統計圖	3-4
圖 3.3 鋼軌因寒冷導致焊點拉裂	3-12
圖 3.4 109 年 12 月 4 日臺鐵瑞芳—猴硐段邊坡滑落事故	3-18
圖 4.1 神經網路示意圖	4-1
圖 4.2 單一感知器	4-2
圖 4.3 單一感知器的線性分類示意圖	4-3
圖 4.4 單一感知器的線性分類圖形	4-3
圖 4.5 兩層感知器的線性分類示意圖	4-3
圖 4.6 兩層感知器的神經網路結構圖	4-4
圖 4.7 一個數字 0 的影像(像素值為 $10*10=100$)	4-4

圖 4.8 卷積運算.....	4-5
圖 4.9 池化運算.....	4-6
圖 4.10 兩階段學習法.....	4-7
圖 4.11 一階段學習法.....	4-7
圖 4.12 Yolo 物件偵測原理.....	4-9
圖 4.13 本所 110 年軌道構件缺失辨識系統之鋼軌辨識項目.....	4-13
圖 4.14 本所 110 年軌道構件缺失辨識系統之螺栓與扣件辨識項目.....	4-15
圖 4.15 臺鐵局魚尾鈹的螺栓定磅線.....	4-16
圖 4.16 本所 110 年軌道構件缺失辨識系統之鋼軌接頭辨識項目.....	4-17

表目錄

表 2-1 徒步(機車)查道的項目	2-4
表 2-2 主管乘車巡查與徒步(機車)查道項目之比較.....	2-6
表 2-3 臺鐵局日常巡查主要內容	2-8
表 2-4 軌道甲種檢查的項目、方式與頻率	2-9
表 2-5 軌道乙種檢查的項目、方式與頻率	2-10
表 2-6 臺鐵局軌道定期檢查的主要內容	2-11
表 2-7 臺鐵局徒步(機車)查道 10 個檢查主題的檢查與處理方法 ...	2-22
表 3-1 頻率分級表.....	3-2
表 3-2 大甲分駐所 110 年度徒步(機車)查道之問題發生頻率分析表.	3-3
表 3-3 大甲分駐所 110 年度主管乘車巡查之缺失發生頻率分析表 ...	3-5
表 3-4 徒步(機車)查道與主管乘車巡查之查到問題頻率比較表	3-6
表 3-5 軌道幾何不整容許標準	3-9
表 3-6 110 年臺鐵局大甲分駐所軌道幾何線形檢查統計表	3-10
表 3-7 鋼軌最大磨耗量表	3-10
表 3-8 鋼軌斷面積減少百分率表	3-11
表 3-9 110 年臺鐵局大甲分駐所軌道檢查統計表	3-11
表 3-10 110 年臺鐵局大甲分駐所螺栓與扣件檢查統計表	3-13
表 3-11 110 年臺鐵局大甲分駐所鋼軌接頭檢查統計表	3-14
表 3-12 110 年臺鐵局大甲分駐所軌枕檢查統計表	3-15
表 3-13 110 年臺鐵局大甲分駐所道床檢查統計表	3-16
表 3-14 110 年臺鐵局大甲分駐所軌道相關設施檢查統計表	3-17
表 3-15 110 年臺鐵局大甲分駐所淨空檢查統計表	3-18

表 3-16	110 年臺鐵局大甲分駐所軌道上異物檢查統計表	3-19
表 3-17	110 年臺鐵局大甲分駐所巡查配備、材料檢查與其他檢查統計表	3-20
表 3-18	軌道危安問題之風險矩陣表	3-21
表 3-19	徒步(機車)查道各檢查項目之危安風險評估表	3-22
表 4-1	Yolo 發展歷程	4-8
表 4-2	運用人工智慧辨識技術輔助巡查的分析評估結果	4-21

第一章 緒論

1.1 研究緣起與動機

依據交通部「2020 運輸政策白皮書-智慧運輸分冊」策略 11 推動智慧鐵道之行動方案 2:「探尋鐵道在安全監控、預警維修、列車巡檢、旅運服務可智慧化項目，並建置智慧化設施設備提升鐵路系統安全。」之政策目標爰辦理本計畫。

軌道巡查是捍衛鐵路運輸安全的第一線任務，目前臺灣鐵路管理局(以下簡稱臺鐵局)軌道巡查工作主要是道班工在夜間營運列車停駛後，以徒步或使用工程維修車，透過人工目視進行軌道巡查作業。此一作業方式除了費時、費力及危險外，目視巡查也受限於視察角度及夜間光線不足等問題，無法有效快速進行。

交通部運輸研究所(以下簡稱本所)於 108~110 年建置一套軌道構件缺失辨識系統，以攝影機搭配人工智慧(Artificial Intelligence，以下簡稱 AI)深度學習方法，進行鐵路軌道構件自動辨識分析，可自動辨識軌道扣件、道釘、鋼軌、魚尾鈑等構件是否有鬆脫、斷裂、裂縫等問題。此一軌道構件缺失辨識系統經現地實測，確能提升軌道構件之巡查效率，並有效改善目視巡查盲點及增進作業安全。

惟軌道巡查作業除巡查扣件、道釘、鋼軌、魚尾鈑等軌道構件外，亦同時巡查軌道線形、軌道上異物、路線淨空、道碴、道床、枕木等。本計畫擬透過深入研析目前臺鐵局路線巡查作業執行現況，探討人工智慧辨識技術除進行扣件、道釘、鋼軌、魚尾鈑等軌道構件巡查檢測外，可擴大應用在其他軌道巡查作業項目的方向，提供臺鐵局及本所後續辦理人工智慧辨識在軌道巡查研究之應用。

1.2 研究目的

本計畫的研究目的係透過深入研析目前臺鐵局路線巡查作業執行現況，分析各軌道巡查項目的危安態樣，進而分析人工智慧影像辨識技術在軌道巡查上之擴大應用方向。成果將提供臺鐵局做為未來運用人工智慧辨識技術協助執行軌道巡查作業決策之應用，以及本所後續辦理人工智慧辨識相關研究之應用。

具體研究目標包括：

1. 軌道巡查執行現況探討
2. 軌道巡查項目之危安態樣分析
3. 運用人工智慧辨識技術輔助巡查評估
4. 擴大應用人工智慧辨識技術輔助巡查之方向研提

1.3 研究範圍、對象與利害關係人

本計畫以探討本所軌道構件缺失辨識系統後續擴大應用方向為題，而該系統係供臺鐵局執行軌道巡查作業使用，爰本計畫以臺鐵局軌道巡查作業為研究對象，以軌道巡查的執行單位、作業人員、巡查項目、巡查與檢修方法等為研究範圍，將透過探討臺鐵局路線巡查作業執行現況，分析各類路線巡查項目發生頻率、危害程度，評估是否運用人工智慧辨識技術協助執行巡查作業。

成果將提供臺鐵局工務處及各地區工務段、分駐所等軌道巡查管理單位實務應用，並供本所後續研究應用。

1.4 研究內容與方法

本計畫的研究內容如圖 1.1 的流程圖所示。

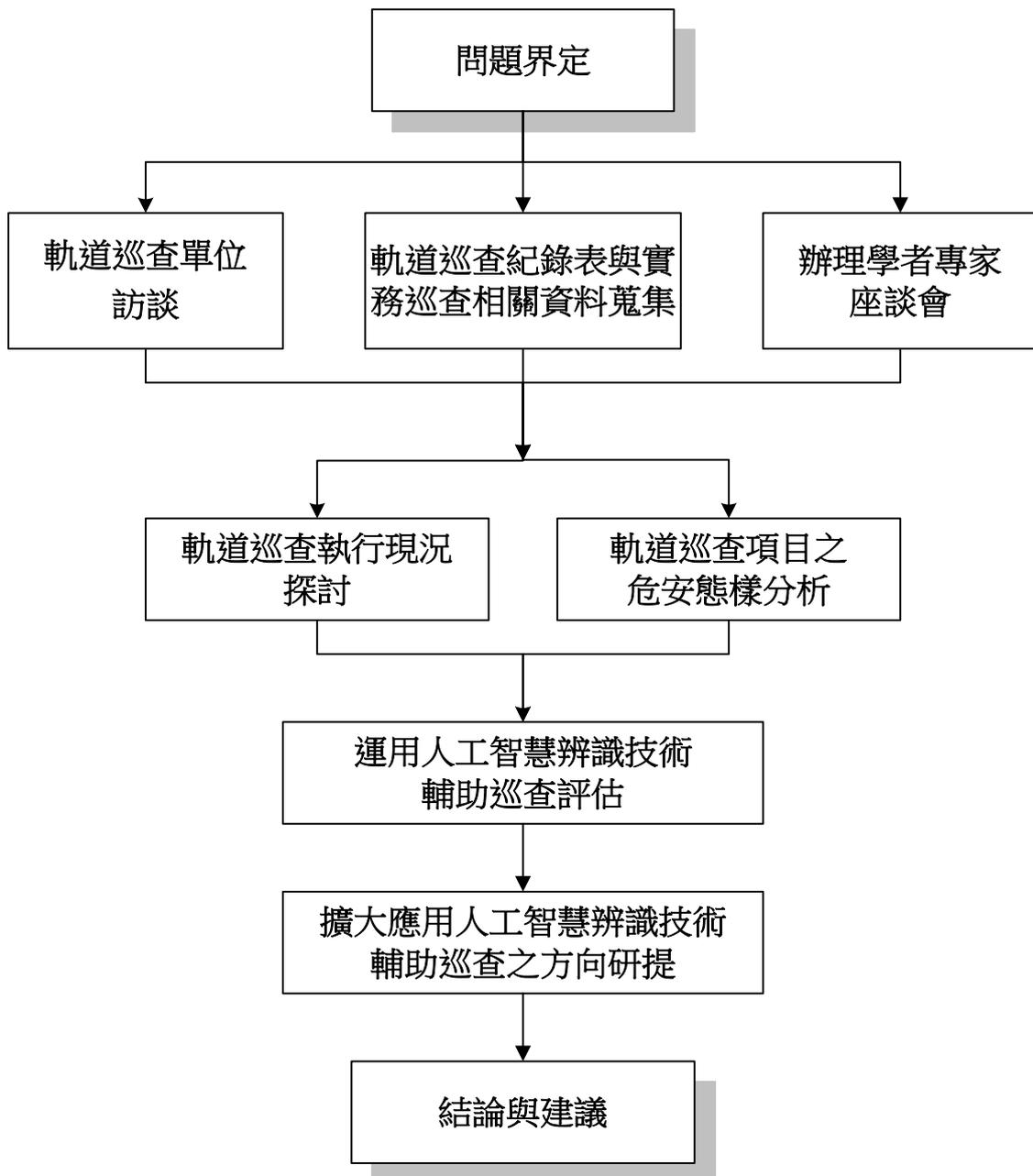


圖 1.1 研究流程圖

首先，在第一章進行問題的界定，說明研究動機、研究目的、研究內容與方法。

然後，在第二章進行軌道巡查執行現況探討。了解目前臺鐵路線巡查作業執行現況，綜整實務執行巡查作業的巡查人員、巡查頻率、各項問題檢查方法、維修處理方法等。

接下來，在第三章進行軌道巡查項目之危安態樣分析。檢視臺鐵路線巡查項目，統計各巡查項目發生頻率，分析各巡查項目的潛在危安態樣，並運用風險矩陣法，以危安問題發生頻率和嚴重性 2 項因子綜合評估各巡查項目的危安風險高低，以供評估運用人工智慧辨識技術協助執行巡查作業之應用。

在第四章評估是否可以運用人工智慧辨識技術輔助巡查。就軌道上雜草、動物屍體、樹木、他物入侵淨空、枕木腐朽、斷損、道床噴泥、道碴不足、路基異常、邊坡異常、橋梁異常、隧道異常、滲漏…等巡查項目進行評估，探討採用攝影機搭配人工智慧(AI)深度學習方法，進行影像自動辨識分析，替代人工目視巡查，輔助執行巡查作業的可能性。

在第五章研提擴大應用人工智慧辨識技術輔助巡查之方向。依據運用人工智慧辨識技術輔助巡查評估結果，研提後續人工智慧辨識技術在軌道巡查上擴大應用的方向。

最後，在第六章做一綜合整理之結論與建議。期能完成各類巡查項目採人工智慧辨識技術執行巡查作業之評估，提出後續人工智慧辨識技術在軌道巡查上擴大應用之方向。提供臺鐵局未來運用人工智慧辨識技術協助執行軌道巡查作業決策之應用，以及本所後續辦理人工智慧辨識相關研究之應用。

在研究方法上，關於軌道巡查執行現況探討，將透過蒐集相關資料、拜會臺鐵局軌道巡查單位，以及實際隨同巡查人員執行巡查任務，

以了解目前臺鐵路線巡查作業執行現況，並邀集專家學者及應用單位座談，聽取相關建議及需求，以供計畫後續執行與改善的參考。

關於軌道巡查項目之危安態樣分析，將透過蒐集臺鐵局軌道巡查紀錄表，以統計分析各軌道路線巡查項目的發生頻率；透過訪談軌道巡查管理單位、實際巡查人員，以及進行問卷調查以瞭解各巡查項目危安嚴重程度；並運用風險矩陣法評估各巡查項目的風險高低，供評估運用人工智慧辨識技術協助執行巡查作業之應用。

關於運用人工智慧辨識技術輔助巡查評估，將蒐集相關文獻資料，依目前人工智慧辨識技術水準，評估各巡查項目採用攝影機搭配人工智慧深度學習方法，進行影像自動辨識分析，替代人工目視巡查，輔助執行巡查作業的可能性。

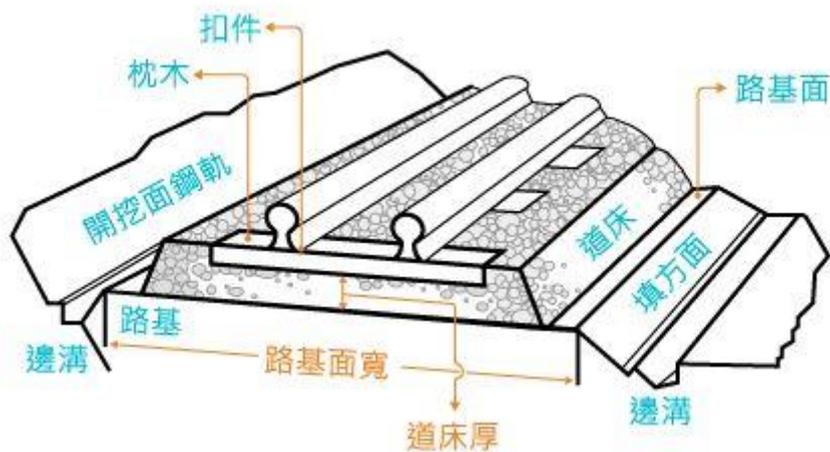
關於擴大應用人工智慧辨識技術輔助巡查之方向研提，將依據運用人工智慧辨識技術輔助巡查評估結果，以及專家學者、應用單位所提之建議及需求，研提後續人工智慧辨識技術在軌道巡查上擴大應用的方向，供臺鐵局與本所後續辦理人工智慧辨識相關研究之應用。

第二章 臺鐵軌道巡查執行現況

本章就臺鐵局的軌道巡查執行現況做探討。在 2.1 節先述明臺鐵局主要進行的軌道檢查作業；在 2.2 節就路線巡查作業做深入探討，綜整各檢查項目的檢查方式與維修處理方法；在 2.3 節說明臺鐵軌道巡查作業特性，比較臺鐵與高鐵、捷運軌道巡查的差異。

2.1 軌道檢查

依據臺鐵局所稱，鐵路路線為列車或車輛運轉所必需的通路，包括軌道(Track)及承載軌道的路基(Roadbed)與橋涵等構造物。一般的軌道係由道碴、軌枕、鋼軌及扣件所組成，供列車及車輛通行的構造物，路線斷面^[1]如圖 2.1 所示。

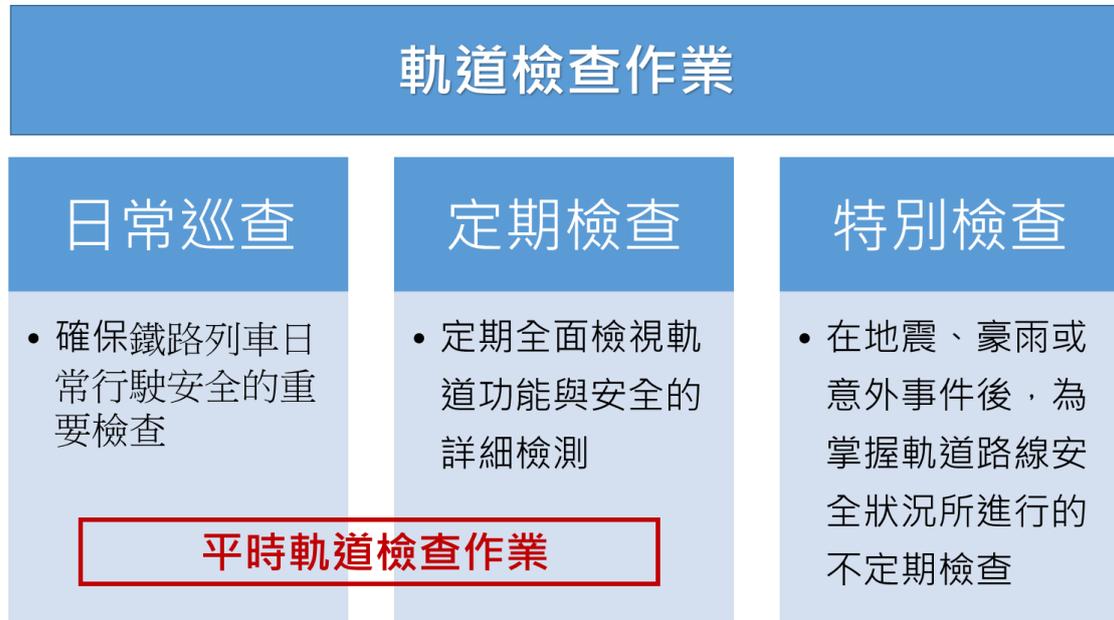


資料來源：臺鐵局網站^[1]。

圖 2.1 鐵路路線構造

臺鐵局目前進行的軌道檢查作業，主要分為日常巡查、定期檢查、特別檢查等 3 類。其中，日常巡查為確保鐵路列車日常行駛安全的重要檢查；定期檢查係定期全面檢視軌道功能與安全的詳細檢測；而特別檢查係在地震、豪雨或意外事件後，為掌握軌道路線安全狀況所進行的

不定期檢查。在平日無天然災害或意外事件時，軌道路線安全係由日常巡查、定期檢查 2 類檢查的互相配合以維護。(如圖 2.2)



註：本計畫整理。

圖 2.2 臺鐵的軌道檢查作業

以下分別說明日常巡查與定期檢查 2 類檢查的內容。

2.1.1 日常巡查

日常巡查的內容包括徒步(機車)查道、主管乘車巡查、振動檢查 3 項檢查，執行依據為臺鐵局特訂的「交通部臺灣鐵路管理局路線巡查安全作業程序」(詳如附錄一)。

1. 徒步(機車)查道

依據臺鐵局「交通部臺灣鐵路管理局路線巡查安全作業程序」第二條規定，可知臺鐵局的徒步(機車)查道為每週至少辦理 1 次，檢查人員為各道班人員，以徒步或使用工程維修車方式進行人力巡查。

本計畫於 111 年 1 月 18 日、1 月 25 日及 11 月 10 日拜會臺鐵局的軌道巡查單位—臺鐵局臺中工務段大甲分駐所(以下簡稱大甲分駐所)，向其請益路線巡查作業的執行現況。

據了解，徒步(機車)查道安排在夜間列車停駛後執行，徒步巡查時每 2 人為一組，巡查約 8 公里左右的路段；搭乘工程維修車巡查時，工程維修車時速可達 60 公里，但依規定以 20 公里以下時速進行巡查。目前實務上臺鐵局臺中工務段安排在 1 個月內 3 週為徒步查道，1 週為搭乘工程維修車查道，工務段轄下大甲、苗栗、彰化 3 個分駐所同時執行，由各道班輪派人員將轄區內所有路線全部巡查一次。

臺鐵局的徒步(工程維修車)巡查記事簿如圖 2.3 所示，由巡查記事簿所載的缺失代號，可知徒步(機車)查道的項目共計有 26 項，如表 2-1 所示。

工(安全文件)-007 111 年 8 月修正

交通部臺灣鐵路管理局工務處

工務段 道班 轄管線別 徒步(工程維修車)巡查記事簿 年 月 日

里程					缺失代號	路線狀況	評估 危 急 性	後續處置追蹤情形		
								改善方式/情形	預計改善日期	改善人員 簽章
公里	公尺	~	公里	公尺			改善完成日期			

一、缺失代號：1. 水平不整 2. 高低不整 3. 方向不整 4. 鋼軌磨耗(含壓、洩瀆) 5. 鋼軌損傷、斷裂 6. 螺絲鬆脫 7. 扣件鬆脫 8. 軌縫異常 9. 伸縮接頭異常
10. 枕木腐朽、斷損 11. 接頭沈陷 12. 道床噴泥 13. 道碴不足 14. 路基異常 15. 橋梁異常 16. 隧道異常、滲漏 17. 邊坡異常 18. 排水溝、箱涵淤塞
19. 平交道設備不整 20. 樹木、他物侵入淨空 21. 圍籬(蘇)異常、破洞 22. 軌道上雜草 23. 動物屍體 24. 勞安配備、鳴笛標、瞭望員
25. 機具材料放置安全及新舊材料收回情形 26. 其他(前述未列事項)。

二、評估危急性：(○)：請於 2 星期內改善完成；(△)：請於 1 星期內改善完成；(※)：請立即辦理改善。

三、巡查完後請交責任區督導人員填寫後續處置追蹤情形，於 3 日內交至工務段彙整。

四、巡查人員請簽名並加註時間。

巡查人員： 責任區督導人員： 直接主管： 單位主管：

資料來源：臺鐵局臺中工務段大甲分駐所。

圖 2.3 臺鐵局的徒步(工程維修車)巡查記事簿

表 2-1 徒步(機車)查道的項目

1	水平不整	14	路基異常
2	高低不整	15	橋梁異常
3	方向不整	16	隧道異常、滲漏
4	鋼軌磨耗(含壓、流潰)	17	邊坡異常
5	鋼軌損傷、斷裂	18	排水溝、箱涵淤塞
6	螺栓鬆脫	19	平交道設備不整
7	扣件鬆脫	20	樹木、他物侵入淨空
8	軌縫異常	21	圍牆(籬)異常、破洞
9	伸縮接頭異常	22	軌道上雜草
10	枕木腐朽、斷損	23	動物屍體
11	接頭沈落	24	勞安配備、鳴笛標、瞭望員
12	道床噴泥	25	機具材料放置安全及新舊材料收回情形
13	道碴不足	26	其他(前述未列事宜)

資料來源：本計畫整理。

2. 主管乘車巡查

依據臺鐵局「交通部臺灣鐵路管理局路線巡查安全作業程序」第二條規定，可知檢查人員為各工務段、分駐所主管人員，以搭乘列(機)車方式巡查轄區路線。巡查頻率為每週 6 天，其中 5 天由各分駐所的監工區督導人員、技術領班、技術副領班輪流搭乘列車巡查各分駐所轄區路線 1 次，其餘 1 天由各工務段養路主任、施工主任、產業主任、勞安主任、分駐所主任輪流搭乘列車巡查各工務段轄區路線 1 次。

臺鐵局的隨乘機(列)車巡查紀錄表，如圖 2.4 所示，由巡查紀錄表所載的缺失代號，可知主管乘車巡查的巡查項目共計有 18 項。與徒步(機車)查道的巡查項目 26 項相比，少了(機車)查道的第 4~10 項與第 25 項，包括：4.鋼軌磨耗(含壓、流潰)、5.鋼軌損傷、斷裂、6.

螺栓鬆脫、7.扣件鬆脫、8.軌縫異常、9.伸縮接頭異常、10.枕木腐朽、斷損、25.機具材料放置安全及新舊材料收回情形等 8 個項目，主管乘車巡查與徒步(機車)查道項目之比較，如表 2-2 所示。

由營運列車時速最高達 130 公里，巡查人員在列車上要判斷鋼軌、螺栓、扣件、軌縫等構件是否異常應屬不易，則主管乘車巡查較徒步(機車)查道的巡查項目少了 8 項係符合實際執行情況的。

據了解，在進行乘車巡查時，因列(機)車車速快，巡查人員主要透過感受列車振動情形，判斷路線有無水平不整、高低不整、方向不整、接頭沈落的問題，並以目視檢視軌道路線是否有道床噴泥、道碴不足、路基異常、橋梁異常...等問題。

工(安全文件)-007

111 年 8 月修正

交通部臺灣鐵路管理局工務處
工務段 線別 隨乘機(列)車路線巡查紀錄表 _____年____月

日期	車次	隨乘區間	線別	里程				缺失代號	路線狀況	評估危急 性	後續處置追蹤情形		
				公里	公尺	-	公里				公尺	改善方式/情形	預計改善日期 改善完成日期

註：
 一、缺失代號：1. 水平不整 2. 高低不整 3. 方向不整 4. 接頭沈落 5. 道床噴泥 6. 道碴不足 7. 路基異常 8. 橋梁異常 9. 隧道異常、滲漏 10. 邊坡異常
 11. 排水溝、箱涵淤塞 12. 平交道設備不整 13. 樹木、他物侵入淨空 14. 圍籬(籬)異常、破洞 15. 軌道上雜草 16. 動物屍體
 17. 勞安配備、鳴笛標、瞭望員 18. 其他(前述未列事項)。
 二、評估危急性：(○)：請於 2 星期內改善完成；(△)：請於 1 星期內改善完成；(※)：請立即辦理改善。
 三、巡查完後請交責任區督導人員填寫後續處置追蹤情形，於 3 日內交至工務段彙整。
 四、巡查人員請簽名並加註時間。
 巡查人員： _____ 責任區督導人員： _____ 直接主管： _____ 單位主管： _____

資料來源：臺鐵局臺中工務段大甲分駐所。

圖 2.4 臺鐵局的隨乘機(列)車巡查紀錄表

表 2-2 主管乘車巡查與徒步(機車)查道項目之比較

徒步(機車)查道項目 26 項		主管乘車巡查項目 18 項	
1	水平不整	1	水平不整
2	高低不整	2	高低不整
3	方向不整	3	方向不整
4	鋼軌磨耗(含壓、流潰)		
5	鋼軌損傷、斷裂		
6	螺栓鬆脫		
7	扣件鬆脫		
8	軌縫異常		
9	伸縮接頭異常		
10	枕木腐朽、斷損		
11	接頭沈落	4	接頭沈落
12	道床噴泥	5	道床噴泥
13	道碴不足	6	道碴不足
14	路基異常	7	路基異常
15	橋梁異常	8	橋梁異常
16	隧道異常、滲漏	9	隧道異常、滲漏
17	邊坡異常	10	邊坡異常
18	排水溝、箱涵淤塞	11	排水溝、箱涵淤塞
19	平交道設備不整	12	平交道設備不整
20	樹木、他物侵入淨空	13	樹木、他物侵入淨空
21	圍牆(籬)異常、破洞	14	圍牆(籬)異常、破洞
22	軌道上雜草	15	軌道上雜草
23	動物屍體	16	動物屍體
24	勞安配備、鳴笛標、瞭望員	17	勞安配備、鳴笛標、瞭望員
25	機具材料放置安全及新舊材料收回情形		
26	其他(前述未列事宜)	18	其他(前述未列事宜)

資料來源：本計畫整理。

3. 振動檢查

依臺鐵局「交通部臺灣鐵路管理局路線巡查安全作業程序」第八條規定，可知臺鐵局各工務段每月至少辦理 1 次轄區路線的振動檢查。

據了解，振動檢查主要由工務段的檢查人員攜帶振動檢查儀(如圖 2.5)搭乘列車，檢測列車行駛時的前後、上下、左右振動情形，評估軌道是否有水平不整、高低不整、方向不整等問題。



資料來源：臺鐵局臺中工務段大甲分駐所。

圖 2.5 臺鐵局的振動檢查儀

臺鐵局日常巡查的 3 項檢查主要內容，綜整如表 2-3 所示。

表 2-3 臺鐵局日常巡查主要內容

類別	檢查名稱	檢查頻率	檢查內容
日常巡查	徒步(機車)查道	每週1次以上	<ul style="list-style-type: none"> ● 檢查人員為各道班人員 ● 以徒步或使用工程維修車方式進行人力巡查 ● 檢查項目 26 項，包括水平不整、高低不整、方向不整...等，主要以目視檢視。
	主管乘車巡查	每週6次	<ul style="list-style-type: none"> ● 檢查人員為各工務段、分駐所主管人員 ● 以搭乘列(機)車方式巡查轄區路線 ● 檢查項目 18 項，主要透過感受列車振動，判斷路線有無軌道不整、接頭沈落問題，並以目視檢視軌道路線是否有道床噴泥、道碴不足、路基異常、橋梁異常...等問題。
	振動檢查	每月1次以上	<ul style="list-style-type: none"> ● 檢查人員為各工務段人員 ● 搭乘列車以振動檢查儀檢測 ● 檢測列車行駛時有無軌道不整問題。

資料來源：本計畫整理。

2.1.2 定期檢查

軌道的定期檢查包括甲種檢查、乙種檢查 2 項檢查，執行依據為交通部頒布的「1067mm 軌距軌道養護檢查規範」^[2]。此外，在日常巡查中有針對橋梁、隧道、軌道材料機具等項目做檢查，但其定期檢查另依據「鐵路橋梁檢查作業要點」、「鐵路隧道檢查作業要點」、「臺灣鐵路管理局路線、軌道材料及號誌保安檢查作業程序」執行。在此，僅說明

甲種檢查、乙種檢查等 2 項軌道定期檢查的內容。

1. 軌道甲種檢查

軌道甲種檢查每年檢查特甲級、甲級及乙級線主正線全線範圍。特甲級線每年 4 次(每季 1 次)以上，甲、乙級線每年 1 次以上。檢查項目 8 項，其中軌道軌距與路線的水平、高低、方向、平面性等 5 項使用軌道檢查車檢查；路線噴泥、景觀環境、路線標誌等 3 項由檢查人員乘車檢查，甲種檢查的項目、方式與頻率詳如表 2-4。

2-4 軌道甲種檢查的項目、方式與頻率

檢查項目	檢查方式	檢查頻率(次/年)
1.軌道軌距 2.軌道水平 3.軌道高低 4.軌道方向 5.軌道平面性	使用軌道檢查車檢查	特甲級線每年 4 次(每季 1 次)以上，甲、乙級線每年 1 次以上。
6.路線噴泥 7.景觀環境 8.路線標誌	檢查人員乘車檢查	

資料來源：交通部，「1067mm 軌距軌道養護檢查規範」^[2]。

關於臺鐵局的路線等級劃分規定，在「交通部臺灣鐵路管理局鐵路建設作業程序」^[3]第 7 條有明訂。臺鐵局的主要幹線，包括縱貫線、臺中線、宜蘭線、北迴線、臺東線、南迴線、屏東線等均屬於特甲級線，每年需檢查 4 次以上；其他如花蓮至花蓮港、北埔至花蓮港等支線才屬於甲、乙級線，每年檢查 1 次以上。

2. 軌道乙種檢查

軌道乙種檢查每年檢查轄區內全部路線 2 次，以人力檢查。檢查

項目 9 項，包括站內股道、道岔、站外路線、伸縮接頭、側溝及除草、平交道、鋼梁橋軌道、辦公室房舍、查道紀錄等，乙種檢查的項目、方式與頻率詳如表 2-5。

表 2-5 軌道乙種檢查的項目、方式與頻率

檢查項目	評點項目	檢查方式	檢查頻率(次/年)
1.站內股道	軌道幾何參數、鋼軌、扣件、軌枕、石碴。	人力檢查	轄區全部路線 2 次
2.道岔			
3.站外路線			
4.伸縮接頭			
5.側溝及除草	側溝清潔暢通，路肩內有無植生。		
6.平交道	鋼軌、防護設施、平交道版、路面、噴泥。		
7.鋼梁橋軌道	鋼軌、扣件、軌枕、鉤頭螺栓、護軌。		
8.辦公室房舍	環境整理。		
9.查道紀錄	查道及其紀錄。		

資料來源：交通部，「1067mm 軌距軌道養護檢查規範」^[2]。

臺鐵局軌道定期檢查的 2 項檢查主要內容，綜整如表 2-6 所示。

表 2-6 臺鐵路軌道定期檢查的主要內容

類別	檢查名稱	檢查頻率	檢查內容
定期檢查	甲種檢查	<ul style="list-style-type: none"> ● 特甲級線每年 4 次以上； ● 甲、乙級線每年 1 次以上 	<ul style="list-style-type: none"> ● 檢查人員使用軌道檢查車檢查軌道軌距與路線水平、高低、方向、平面性等； ● 乘車檢查路線噴泥、景觀環境、路線標誌。
	乙種檢查	<ul style="list-style-type: none"> ● 每年 2 次 	<ul style="list-style-type: none"> ● 檢查人員以人力檢查，檢查項目 9 項， ● 包括站內股道、道岔、站外路線、伸縮接頭、側溝及除草、平交道、鋼梁橋軌道、辦公室房舍、查道紀錄等。

資料來源：本計畫整理。

2.2 路線巡查作業

徒步(機車)查道由道班人員以徒步或使用工程維修車方式進行人力巡查，是所有軌道檢查作業中最基礎的例行性工作，也是本所以軌道構件缺失辨識系統協助自動辨識軌道扣件、道釘、鋼軌、魚尾銼缺失的對象，本計畫擬擴大應用人工智慧辨識技術的標的，即是徒步(機車)查道的內容，在此就其主要巡查內容與處理情形做較深入的探討。

徒步(機車)查道的項目共計 26 項，為利後續針對各個項目進行探討分析，本計畫將 26 項檢查項目依檢查標的歸納為 10 個檢查主題，如圖 2.6 所示。以下分別說明 10 個檢查主題的檢查內容、檢查方法與維修處理方法。

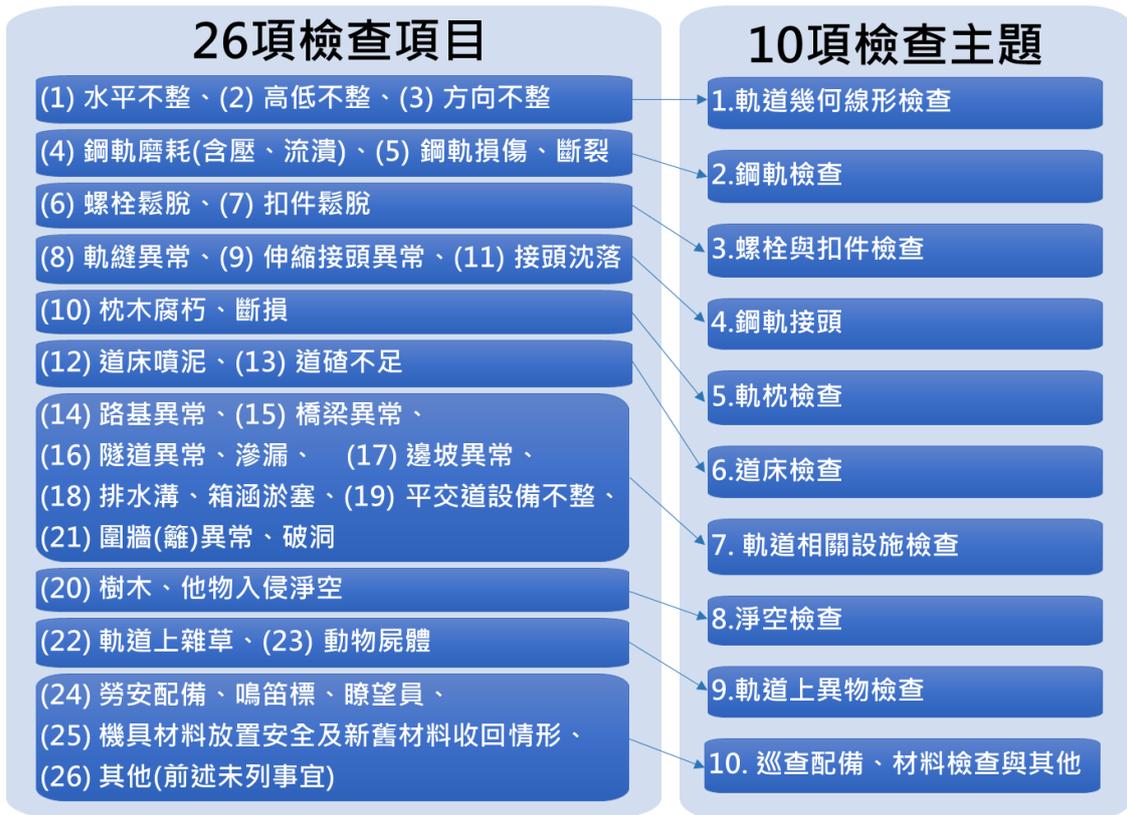


圖 2.6 徒步(機車)查道 26 項檢查項目歸納簡化為 10 個檢查主題

1. 軌道幾何線形檢查

軌道幾何線形檢查的檢查內容包括 1.水平不整、2.高低不整、3.方向不整等 3 項徒步(機車)查道項目。其中，水平不整是指左右鋼軌之高度差，高低不整是指鋼軌頂面縱方向之凹凸，方向不整是指鋼軌側面沿軌距線縱方向之彎曲。

道班人員在徒步(機車)查道時，若徒步巡查，則透過目視檢視軌道有無幾何不整問題，若搭乘工程維修車，則在目視檢視外，並透過車輛震動情形判斷軌道有無不整問題；不過，據了解工程維修車的震動較大，不易判斷，若搭乘避震效果較佳的營運列車，較易判斷出軌道有無不整問題。

當軌道有水平不整、高低不整問題時，道班人員一般以起道、人工局部砸道處理；若有方向不整問題，則在起道、人工局部砸道外，

再加上方向整正處理。

關於軌道幾何線形的檢查，在前述其他 4 項檢查均有針對軌道幾何線形做檢查。在日常巡查的主管乘車巡查時，會透過目視檢視與列車震動情形判斷軌道是否有異狀，在振動檢查時，以振動檢查儀檢測；在定期檢查的甲種檢查時，以軌道檢查車進行仔細檢測，在乙種檢查時，以小型手推式軌道檢查儀進行檢測。

2. 鋼軌檢查

鋼軌檢查的檢查內容包括 4.鋼軌磨耗(含壓、流潰)、5.鋼軌損傷、斷裂等 2 項徒步(機車)查道項目。

鋼軌磨耗係因鋼軌承受車輪輪軸的巨大壓力所產生，鋼軌只要有使用就會產生磨耗，在正常使用情況下，磨耗量會隨著輪軸重和通過總重的增加而增加。一般而言，在軌頭頂面會有垂直磨耗，可能出現壓潰、流潰或波形磨耗現象；在曲線路段的外側鋼軌，受離心力作用下則易發生鋼軌側面磨耗。

鋼軌損傷、斷裂是鋼軌在使用過程中發生折斷、裂紋等問題。陳純森技師指出：造成鋼軌斷裂的原因有很多，包括：車輛行駛時之撓曲應力、彎道行駛時法線方向離心質量之作用力、鋼軌銲接之殘留應力、氣候驟冷之軌道內應力及高頻率使用鋼軌之疲勞衰退等^[4]。

道班人員在徒步巡查路線時，係透過目視檢視鋼軌是否有壓潰、流潰等磨耗問題，或鋼軌損傷、斷裂問題。其中，長焊鋼軌的焊接處是軌道較易發生損傷、斷裂問題的地方，通常是巡查重點。

當巡查時發現鋼軌有損傷、斷裂或明顯磨耗問題時，巡查人員會加以檢視。若鋼軌磨耗達到換軌標準，會安排時間進行鋼軌抽換作業；若發現鋼軌的損傷、斷裂問題嚴重，會先以魚尾鉸加固，再儘速進行鋼軌抽換作業；若未至抽換程度、無立即危險，則會加以處理並持續觀察，例如以鋼軌研磨機修整壓潰、流潰處，在曲線上易於磨耗處塗布防磨劑等。

關於鋼軌磨耗與損傷、斷裂的檢查，目前在日常巡查上，主要仰賴徒步(機車)查道時的人工目視巡查，因在主管乘車巡查時不進行此項檢查；而在定期檢查時，在軌道乙種檢查時會以人力檢查方式，就站內股道、道岔、站外路線、伸縮接頭、平交道、鋼梁橋軌道等 6 項檢查項目，檢查鋼軌(詳見表 2-5)。

據了解臺鐵局目前正新購超音波探傷車與手持式超音波探傷儀，後續將參考台灣高速鐵路股份有限公司(以下簡稱高鐵公司)的做法，以超音波每年巡迴全線 3 次，若檢測出懷疑瑕疵，再由人工利用手持式超音波探傷儀進行複測。

另臺鐵局於去(110)年 12 月起，在列車上安裝「鋼軌裂縫快篩系統」協助進行鋼軌踏面裂縫檢查。該套系統可以在列車高速行駛時，探測車下鋼軌，如測出有裂縫，可自動紀錄、定位、並上傳資料給工務養護單位，即時進行修復。「鋼軌裂縫快篩系統」選定安裝在環島觀光列車上，每天順行、逆行各 1 列，就可以有 2,000 公里環島路網東西正線的最大涵蓋面，目前已完成第 1 輛列車的安裝，為 FPK 10502 的 Hello Kitty 餐車^[5]。

「鋼軌裂縫快篩系統」的開發單位高雄科技大學表示，超音波鋼軌探傷車常用的檢測行車速度為每小時 30~50 公里慢速行駛，而「鋼軌裂縫快篩系統」是採用高頻率掃描器，每秒提供 5,000 筆掃描，達到高速度行駛下依然可以提供高精度偵測資訊，遇鋼軌裂縫大於 3 mm 以上時即可檢查出異常^[6]。

此外，本所 110 年建置的軌道構件缺失辨識系統，透過 AI 影像辨識技術可檢視可目視之鋼軌正面的踏面損傷、斷裂或鋼軌側面斷裂。目前攝影機以 1920*1080 的解析度進行拍攝，拍攝範圍為 1m*0.5m，則 1 pixel (畫素，為影像顯示的基本單位)相當於 0.5mm² 的面積，可推估當鋼軌裂縫在 1cm 以上時就可被偵測出來^[7]。

3. 螺栓與扣件檢查

螺栓與扣件檢查的檢查內容包括 6.螺栓鬆脫、7.扣件鬆脫等 2 項

徒步(機車)查道項目。

螺栓的功能係將軌道相關配件固定在鋼軌或軌枕上，包括將魚尾鈹固定在鋼軌上，將扣件固定在軌枕上，或將護軌墊鈹、滑床鈹、軌撐等軌道相關配件固定在鋼軌或軌枕上。當受到列車行駛所產生的震動力時，有可能鬆脫。

扣件係將鋼軌固定於軌枕上，主要功能為提供鋼軌受垂直、縱向、側向等三向力時，有足夠之扣壓力，得以阻擋鋼軌因三向力所造成之三向變位不致過大，當在受到列車行駛所產生的震動力時，扣件有可能鬆脫。臺鐵使用的扣件大致可分為3類：數量最多的是將錨座預鑄在混凝土軌枕上的彈性扣件；此外，在板式軌道處，則以螺栓將扣件固定在混凝土基板上；而在傳統木枕處，則使用道釘將鋼軌固定在木枕上。

道班人員在徒步巡查路線時，係透過目視檢視扣件、螺栓與道釘是否有鬆脫、遺失問題，此2項目是徒步查道最常發現的問題。當巡查發現有扣件鬆脫問題時，即將扣件扣回，若有扣件斷裂或遺失，則補上新扣件；當巡查發現有螺栓、道釘鬆脫問題時，會立即將螺栓鎖緊、道釘釘回。

關於螺栓與扣件的檢查，目前在日常巡查上，主要仰賴徒步(機車)查道時的人工目視巡查，因在主管乘車巡查時不進行此項檢查；而在定期檢查時，在軌道乙種檢查時亦會以人力檢查方式，就檢查項目1~4與檢查項目7，檢查扣件、鉤頭螺栓(詳見表2-5)。可知無論在日常巡查或定期檢查，螺栓與扣件的檢查方法仍以人工目視檢查為主。

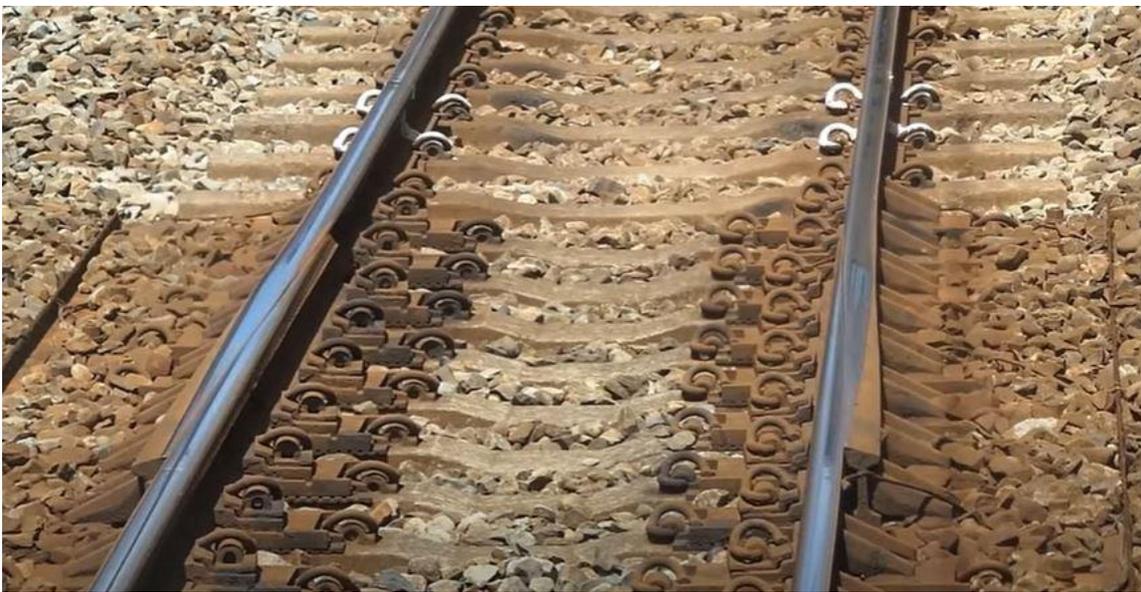
目前本所建置的軌道構件缺失辨識系統已可透過AI影像辨識技術，檢視出扣件、道釘、螺栓是否有鬆脫、遺失問題。

4. 鋼軌接頭檢查

鋼軌接頭檢查的檢查內容包括8.軌縫異常、9.伸縮接頭異常、11.接頭沈落等3項徒步(機車)查道項目。

鋼軌接頭的功能係在避免鋼軌因熱漲冷縮在軌溫上升時軌道挫屈，或在軌溫下降時軌道斷裂。傳統在軌道鋪設時，每隔一段距離會預留伸縮接縫，然後以魚尾鉸接合；較新的軌道鋪設方式則是採用長焊鋼軌，將多段鋼軌連續焊接而成，當連續焊接長度在 200m 以上時，能在軌道中央段產生不隨溫度變化而伸縮之不動區間，而僅在鋼軌兩端各約 100m 範圍內會發生伸縮現象，而後在長焊鋼軌兩端設置伸縮接頭，以吸收長焊鋼軌兩端伸縮區間隨溫度變化的伸縮情形。

臺鐵局的鋼軌鋪設主要採用連續焊接的長焊鋼軌，在長焊鋼軌中只有鋼軌焊接處而沒有軌縫，在長焊鋼軌兩端設置伸縮接頭(如圖 2.7 所示)；在不適合採用長焊鋼軌處才有軌縫，並以魚尾鉸連接(如圖 2.8 所示)，在站內股道有較多以魚尾鉸連接的軌縫。此外，基於軌道電路需求，部分鋼軌設置鋼軌絕緣接頭(如圖 2.9 所示)，絕緣接頭係一絕緣性之夾式接頭，藉由絕緣片、塑膠套管及絕緣膠作用使鋼材質部分不予接觸而絕緣，使軌道電路不連續而形成「閉塞區間」，一個閉塞區間大約 2~3 公里。



資料來源：臺灣交通鐵道影像網站^[8]。

圖 2.7 臺鐵的伸縮接頭



資料來源：Blair's 鐵道攝影網站^[9]。

圖 2.8 以魚尾鉸接合的軌縫



資料來源：Blair's 鐵道攝影網站^[10]。

圖 2.9 臺鐵的鋼軌絕緣接頭

基於鋼軌接頭的功能在解決鋼軌熱漲冷縮問題，鋼軌接頭處主要檢查軌縫寬度是否介於規定範圍，有無夏日高溫軌縫過窄、冬日低溫軌縫過寬的異常問題；伸縮接頭處要檢查伸縮接頭的滑動距離，有無過度伸縮的異常問題。

此外，鋼軌接頭處是軌道結構上較脆弱的部位，該處受行駛列車的輪軸重力衝擊，較易發生道床鬆弛、接頭下沉問題，亦可能會出現接頭處鋼軌有高低錯牙、左右錯牙、軌頭掉塊等接頭不平順問題，或接頭處魚尾鈹產生裂縫問題。

道班人員在徒步巡查路線時，係透過目視檢視鋼軌接頭處有無問題。軌縫異常、伸縮接頭異常的問題不常發生，發現時會視情況來進行軌縫寬度調整，或損壞配件更換；接頭沈落的問題較常發生，當發現有鋼軌接頭沈落問題時，會直接進行砸道處理。

關於軌縫異常、伸縮接頭異常的檢查，臺鐵局目前均以人力進行檢查。在日常巡查上，主要仰賴徒步(機車)查道時的人工目視巡查，因在主管乘車巡查時不進行此 2 項檢查；而在定期檢查的軌道乙種檢查時，會以人力檢查伸縮接頭。

關於接頭沈落的檢查，在日常巡查上，除了在徒步(機車)查道時以人工目視巡查外，在主管乘車巡查時亦會透過目視檢視與感受列車振動情形來判斷有無接頭沈落問題。

此外，目前本所建置的軌道構件缺失辨識系統已可透過 AI 影像辨識技術，檢視鋼軌接頭處的魚尾鈹是否有裂縫問題。

5. 軌枕檢查

軌枕檢查的檢查內容為徒步(機車)查道項目的第 10 項：枕木腐朽、斷損，係針對軌枕的腐朽、斷損問題做檢查。

軌枕位於鋼軌底部，功能在穩定鋼軌的位置，確保軌道的軌距不變，以防止鋼軌在列車駛過時移位引起危險，並將列車經過時所產生

的壓力，平均分佈在於道碴之上。軌枕長期承受列車行駛之壓力，會有斷損問題，若採用木枕還有木枕腐爛、裂開、蟲蛀等問題。

臺鐵局的軌枕原是採用木枕，目前已大部分更換為混凝土枕，近期內亦會將尚未更換的木枕型道岔全面更換為混凝土枕型道岔。混凝土枕的壽命較長、重量較重，可確保軌道能長時間維持在正確位置上，採用混凝土枕後，不會有木枕腐爛、裂開、蟲蛀等問題，但仍可能會有軌枕斷損問題，因此，更換木枕為混凝土枕之後，仍有軌枕檢查的需求。

在徒步(機車)查道時的軌枕檢查亦是透過目視巡查，當巡查發現有軌枕腐朽、斷損問題時，將安排時間抽換軌枕。

關於軌枕的檢查，目前在日常巡查上，主要仰賴徒步(機車)查道時的人工目視巡查，因在主管乘車巡查時不進行此項檢查；而在定期檢查的軌道乙種檢查時，亦會以人力方式檢查全部路線的軌枕；可知軌枕的檢查方法仍以人工目視檢查為主。

6. 道床檢查

道床檢查的檢查內容包括 12.道床噴泥、13.道碴不足等 2 項徒步(機車)查道項目。

臺鐵局大部分路線採用傳統道碴道床，少部分為混凝土道床。道碴道床係將碎石鋪設於路基之上、軌枕之下，主要作用在承受軌枕所傳下的壓力，並將其平均分布於下層面積較廣的路基上，並且固定軌枕之位置，以維持軌道之正確路線及坡度。道碴道床在列車荷重的反復壓力作用下，會產生道碴滑動、塌陷問題，或因道床排水不良而產生道床噴泥問題。

在徒步(機車)查道時的道床檢查是透過目視巡查。當發現有道床噴泥問題時，會視情況直接挖除泥沙，或再安排時間進行整碴、換碴作業；當發現有道碴不足問題時，會另外安排時間進行整碴作業。

關於道床檢查，目前均是以人力進行檢查。日常巡查時的徒步(機車)查道、主管乘車巡查係透過目視檢視道床是否有道床噴泥、道碴不足的問題；在定期檢查的軌道甲種檢查時，由檢查人員乘車檢查路線噴泥(檢查項目 6)，在軌道乙種檢查時，以人力檢查站內股道、道岔、站外路線、伸縮接頭的石碴(檢查項目 1~4)。

7. 軌道相關設施檢查

軌道相關設施檢查的檢查內容包括 14.路基異常、15.橋梁異常、16.隧道異常、滲漏、17.邊坡異常、18.排水溝、箱涵淤塞、19.平交道設備不整、21.圍牆(籬)異常、破洞等 7 項徒步(機車)查道項目。

巡查時檢視路基、橋梁、隧道、邊坡、排水溝是否異常，平交道是否設備不整，圍牆(籬)是否有破洞或異常，若發現有問題時若能處理則立即處理，否則就陳報後再安排時間處理。

關於軌道相關設施的檢查，目前均是以人力進行檢查。日常巡查的徒步(機車)查道與主管乘車巡查係透過目視檢視軌道相關設施有無異常；在定期檢查的軌道甲種檢查時，由檢查人員乘車檢查景觀環境(檢查項目 7)，在軌道乙種檢查時，以人力檢查側溝及除草、平交道、鋼梁橋軌道(檢查項目 5~7)；另在橋梁、隧道定期檢查時，臺鐵局另依據「鐵路橋梁檢查作業要點」、「鐵路隧道檢查作業要點」，每年 1 次由工務段養護人員或委託專業廠商以目視檢查方式為主，進行所轄橋梁、隧道全面功能性與安全性之檢查。

8. 淨空檢查

淨空檢查的檢查內容為徒步(機車)查道項目的第 20 項：樹木、他物入侵淨空。當巡查發現有樹木、他物侵入淨空時，會立即砍除。

關於淨空檢查，在日常巡查時，除在徒步(機車)查道中進行檢查外，在每日主管乘車巡查時亦會透過目視檢視；在定期檢查的軌道甲種檢查時，會由檢查人員乘車檢查景觀環境(檢查項目 7)。此外，臺鐵局有一台淨空檢查車(TRA Clearance Car)，由臺鐵局工務處定期進

行淨空檢查，可檢查軌道與軌道附近的裝置或建築物是否有足夠的空間，並事先能加以改善，以避免列車行駛造成擦撞等意外事故發生^[11]。

9. 軌道上異物檢查

軌道上異物檢查的檢查內容包括 22.軌道上雜草、23.動物屍體等 2 項徒步(機車)查道項目。

臺鐵局大部分路線採用道碴道床，在道碴道床上易有雜草生長，雖臺鐵局每 3 個月除草 1 次，但雜草生長快速，道班人員在巡查路線時若發現軌道上有雜草會立即清除。此外，臺鐵的軌道未與地面交通完全隔離，造成貓、狗或其他野生動物容易進入臺鐵路權範圍內，易發生撞擊問題，影響行車安全，則臺鐵巡查人員在軌道巡查時，時常會發現有貓、狗、烏、蛇、果子李等動物屍體，發現時會立即移除。

在日常巡查的徒步(機車)查道與主管乘車巡查均有進行軌道上雜草、動物屍體的檢查工作，目前均是以人工目視進行檢視。

10. 巡查配備、材料檢查與其他

巡查配備、材料檢查與其他的檢查內容，包括 24.勞安配備、鳴笛標、瞭望員、25.機具材料放置安全及新舊材料收回情形、26.其他(前述未列事宜)等 3 項徒步(機車)查道項目。

「24.勞安配備、鳴笛標、瞭望員」的巡查內容，據了解係要求巡查人員執行勤務時，須檢視有無配戴安全帽、穿反光背心等勞安配備，並確實遵循值勤時 2 人一組，其中 1 人巡查、1 人瞭望的勞安規定。此項檢查的內容係在維護巡查人員的安全。

「25.機具材料放置安全及新舊材料收回情形」的巡查內容，係要求巡查人員在巡查後，確認機具材料有無放置安全、新舊材料有無歸置與回收等。此項檢查的內容係在提醒巡查人員做好機具材料的安置。關於此項檢查，臺鐵局另訂有「路線、軌道材料及號誌養護檢查作業程序」，進行軌道機具材料的定期檢查。

「26.其他(前述未列事宜)」係就巡查路線上是否有未列入上述25項缺失之問題，若有則記錄下來並視情況處理。

前述臺鐵局徒步(機車)查道 10 個檢查主題的檢查與處理方式綜整如表 2-7 所示。

表 2-7 臺鐵局徒步(機車)查道 10 個檢查主題的檢查與處理方法

項次	檢查主題	檢查項目	檢查方法	處理方法
1	軌道幾何線形檢查	1.水平不整 2.高低不整 3.方向不整	<ul style="list-style-type: none"> ● 人工目視檢查； ● 乘車感受振動判斷； ● 使用軌道檢查車、檢查儀、振動檢查儀檢查。 	起道、人工局部砸道、方向整正。
2	鋼軌檢查	4.鋼軌磨耗(含壓、流潰) 5.鋼軌損傷、斷裂	<ul style="list-style-type: none"> ● 人工目視檢查； ● 新引入「鋼軌裂縫快篩系統」協助檢查鋼軌裂縫； ● 新引入「人工智慧影像辨識系統」協助檢查鋼軌損傷、斷裂。 ● 將新購超音波探傷車、手持式超音波探傷儀進行檢查。 	損傷嚴重則換軌，無危害則處理與觀察。
3	螺栓與扣件檢查	6.螺栓鬆脫 7.扣件鬆脫	<ul style="list-style-type: none"> ● 人工目視檢查； ● 新引入「人工智慧影像辨識系統」協助檢查。 	鎖緊螺栓，扣回扣件。
4	鋼軌接頭檢查	8.軌縫異常 9.伸縮接頭異常	● 人工目視檢查	視情況處理。
		11.接頭沈落	<ul style="list-style-type: none"> ● 人工目視檢查 ● 乘車感受振動判斷 	砸道處理。
5	軌枕檢查	10.枕木腐朽、斷損	● 人工目視檢查	抽換軌枕。
6	道床檢查	12.道床噴泥 13.道碴不足	● 人工目視檢查	挖除泥沙、整碴、換碴。
7	軌道相關設施檢查	14.路基異常 15.橋梁異常 16.隧道異常、滲漏	● 人工目視檢查	視情況處理。

		17.邊坡異常 18.排水溝、箱涵淤塞 19.平交道設備不整 21.圍牆(籬)異常、破洞		
8	淨空檢查	20.樹木、他物侵入淨空	● 人工目視檢查 ● 使用淨空檢查車檢查	砍除侵入淨空的樹木。
9	軌道上異物檢查	22.軌道上雜草 23.動物屍體	● 人工目視檢查	清除雜草與動物屍體。
10	巡查配備、材料檢查與其他	24.勞安配備、鳴笛標、瞭望員	● 檢視勞安配備、遵守巡查規定	確實遵守巡查規定，穿戴勞安配備。
		25.機具材料放置安全及新舊材料收回情形	● 巡查後將機具材料放置安全，並將新舊材料回收。	確實完成機具材料放置安全及新舊材料收回工作。
		26.其他(前述未列事宜)	● 整體巡查有無其他異常問題	視情況處理。

資料來源：本計畫整理。

2.3 臺鐵軌道巡查特性

臺鐵局的軌道檢查作業方式與高鐵公司、各市政府大眾捷運公司(以下簡稱捷運)的軌道檢查作業類似，均是由巡查人員分段進行徒步巡查，再利用軌道檢查車和超音波探傷車檢查軌道幾何線形不整與鋼軌損傷問題。惟各系統在進行軌道檢查時，會依各軌道系統的特性來執行。

檢視臺鐵與高鐵、捷運的軌道硬體設施、營運特性，本計畫觀察到臺鐵與高鐵、捷運在軌道檢查上的差異有以下幾項。

高鐵、捷運與臺鐵局軌道系統的差異主要有三項，分別是軌距不同、路權不同，以及主要使用的道床不同。

1. 臺鐵路線有小半徑曲線、陡坡路段，易造成鋼軌磨耗或軌道結構變形

臺鐵局軌道系統的軌距不同於高鐵、捷運，臺鐵局採用窄軌，軌

距為 1067mm，高鐵、捷運採用標準軌，軌距為 1435mm。

軌道軌距的寬、窄各有其優點，在「現代軌道運輸」^[12]中列出寬軌與窄軌的優點如下：

(1)寬軌的優點

- ①可以行駛高速列車。寬軌可以使用較大型的機車，馬力加大；又因車寬與軌距比例，車輛重心降低，高速運轉時翻覆的危險性減少。
- ②可增大鐵路運輸能力。因機車牽引力高，車長及車寬等車輛容積較大，在一定時間內能輸送較多的旅客及貨物，輸送效率明顯提高。
- ③增加列車穩定性。減少搖晃，旅客乘坐舒適，減少貨物損傷，所以國際長途列車採標準軌最多，日、法、德高鐵也使用標準軌。
- ④車輛寬度可以加寬。底盤設置機械上有空間，可供檢查、修理或裝置各式各樣容器使用。
- ⑤機車可用直徑較大動輪，以較少轉數，能行駛較長距離，故可以減輕車輛磨耗。

(2)窄軌的優點

- ①鋪設較為經濟。車輛寬度較窄，結構物均較小，軌條亦較輕，可節省用地成本及建設工程經費。所以各種產業輕便鐵道處處可見，即是顯著實例。
- ②於銳曲線軌道之處，曲線阻力較寬軌小，曲線半徑可以很小，適合於地勢險峻的山岳地區。
- ③車輛重量減輕，牽引噸數較小，可節省機車牽引動力，能源消耗也少，適合小型機車使用。

④路線的坡度可以加大。因軌距較小地形適應力較好。

由上述寬軌與窄軌的優點，可知不同軌距的車輛寬度不同、重量不同，窄軌軌道系統的路線線形在曲線路段的曲線半徑可以較小，在山岳、丘陵路段的路線坡度可以較大。一般而言，在曲線半徑愈小、路線坡度愈大的路段，軌道系統承受列車經過應力作用而產生鋼軌磨耗或結構變形的可能性愈高。爰交通部分別頒布「1067mm 軌距軌道養護檢查規範」^[2]、「一四三五公厘軌距鐵路長鉚鋼軌鋪設及養護規範」^[13]做為不同軌距軌道系統的軌道檢查養護依據。

2. 臺鐵不具專用路權，處理動物侵入問題的頻率較高

臺鐵的路權不同於高鐵、捷運，高鐵、捷運為專用路權(A 型路權)，與地面交通完全隔離；臺鐵局為隔離路權(B 型路權)，與地面交通部分隔離，有優先通行權。高鐵、捷運軌道與地面交通全隔離，動物侵入路權範圍的機率較低，而臺鐵軌道未與地面交通完全隔離，造成貓、狗或其他野生動物容易進入臺鐵路權範圍內，易發生撞擊問題，影響行車安全，則臺鐵巡查人員在軌道巡查時清除動物屍體是經常執行的工作。

3. 臺鐵路線多為道碴道床，所需養護維修頻率較高

臺鐵局大部分路線採用傳統道碴道床，少部分為混凝土道床；高鐵、捷運大部分路線為高架或地下路段，大多為混凝土道床。傳統道碴道床軌道較混凝土道床軌道的結構鬆散，會隨著通過列車軸重數的增加而逐漸劣化，所需的養護維修頻率高，反之，混凝土道床的建設成本高、結構強，所需的養護維修頻率較低。例如在「一四三五公厘軌距鐵路長鉚鋼軌鋪設及養護規範」^[13]中關於長鉚鋼軌軌道巡查頻率表中即規定：道碴軌道的巡查頻率為每週 1 次，而非道碴軌道的巡查頻率為 2 週 1 次。

在實務執行上，由表 2-7 徒步查道的檢查與處理方式，可知若有軌道不整、接頭沈落、道床噴泥、道碴不足等問題，均是透過砸道、

整碴、換碴來處理，可知因為道碴道床的結構較鬆散，巡查人員需花費較多時間在維持道床的穩定性。此外，巡查軌道上雜草問題，也是道碴道床較易發生且需處理的問題。

第三章 軌道巡查項目之危安態樣分析

本章檢視臺鐵軌道路線巡查項目，統計各巡查項目發生頻率，分析各巡查項目的潛在危安態樣，以供後續評估運用人工智慧辨識技術協助執行巡查作業之應用。在 3.1 節，以臺鐵局臺中工務段大甲分駐所 110 年資料為例，分析各軌道巡查項目發現問題的頻率；在 3.2 節，針對各軌道巡查項目，由軌道力學角度來分析潛在危安態樣，若有實際案例則以案例說明危安態樣；在 3.3 節，嘗試運用風險矩陣法，以危安問題發生頻率和嚴重性 2 項因子，綜合評估各巡查項目的危安風險高低。

3.1 軌道問題發生頻率分析

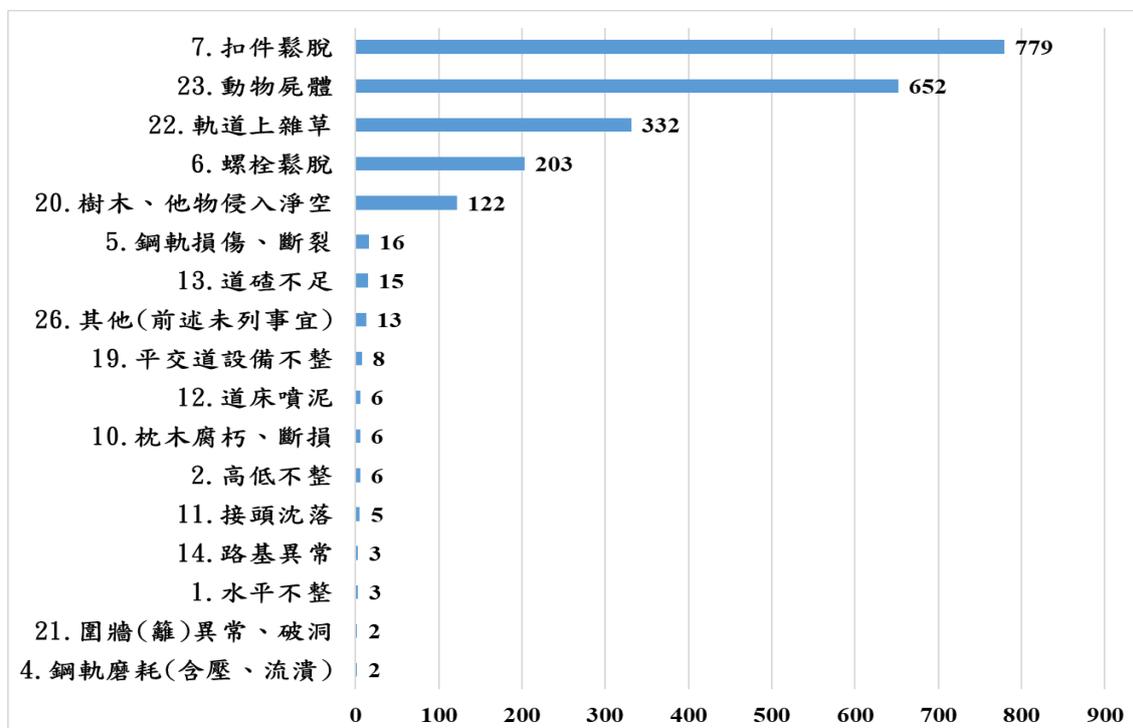
本計畫於今(111)年 1 月至臺鐵局臺中工務段大甲分駐(以下簡稱大甲分駐所)所借閱其 110 年 1~12 月的軌道巡查紀錄表，據以分析大甲分駐所在徒步(機車)查道、主管乘車巡查時主要檢查到的軌道問題，以及各項問題的發生頻率，並以大甲分駐所的巡查資料，初步推測臺鐵局日常巡查時可能發現問題的情況。

1. 徒步(機車)查道

在徒步(機車)查道方面，大甲分駐所 110 年度總共紀錄 2,173 筆問題，各巡查項目在 1 年內發生問題的次數，如圖 3.1 所示。資料顯示：發生頻率最高的是 7.扣件鬆脫 779 次/年，其次是 23.動物屍體 652 次/年，再來是 22.軌道上雜草 332 次/年、6.螺栓鬆脫 203 次/年、20.樹木、他物入侵淨空 112 次/年，其他各巡查項目的發生次數均在 20 次/年以下。

進一步將缺失問題依發生頻率由低至高分為 5 級，各等級頻率定義如表 3-1，分級後的資料如表 3-2 所示。資料顯示：平均發生頻率達每天 1 次以上的有 7.扣件鬆脫、23.動物屍體 2 項，平均發生頻率達每週 1 次以上的有 22.軌道上雜草、6.螺栓鬆脫、20.樹木他物侵入淨空 3 項，平均發生頻率達每月 1 次以上的有 5.鋼軌損傷斷裂、13.道碴不足、

26.其他 3 項，發生頻率在 1 年內有 1 次以上的有 19.平交道設備不整、12.道床噴泥、10.枕木腐朽斷損、2.高低不整、11.接頭沈落、14.路基異常、1.水平不整、21.圍牆(籬)異常破洞、4.鋼軌磨耗 9 項。



資料來源：本計畫依據大甲分駐所 110 年 1~12 月的軌道巡查紀錄整理。

圖 3.1 大甲分駐所 110 年度徒步(機車)查道之缺失數量統計圖

表 3-1 頻率分級表

發生頻率	等級	詳細描述
很低	1	問題發生頻率 1 年內在 1 次以下($0 \leq n < 1$)。
低	2	問題發生頻率 1 年內在 1 次以上，但未達平均每 月 1 次($1 \leq n < 12$)。
中等	3	問題發生頻率平均在每月 1 次以上，但未達每週 1 次($12 \leq n < 52$)。
高	4	問題發生頻率平均在每週 1 次以上，但未達每日 1 次($52 \leq n < 365$)。
很高	5	問題發生頻率平均在每天 1 次以上 ($n \geq 365$)。

註：n 表示問題發生頻率。

表 3-2 大甲分駐所 110 年度徒步(機車)查道之問題發生頻率分析表

等級	發生頻率 (n)	巡查項目
1	很低 (1 年內發生 1 次 以下， $0 \leq n < 1$)	9 項： 3.方向不整、8.軌縫異常、9.伸縮接頭異常、15.橋梁異常、16.隧道異常滲漏、17.邊坡異常、18.排水溝箱涵淤塞、24 勞安配備鳴笛標瞭望員問題、25.機具材料放置安全及新舊材料收回情形問題
2	低 (1 年內發生 1 次 以上，但未達平 均每月 1 次， $1 \leq n < 12$)	9 項： 19.平交道設備不整、12.道床噴泥、10.枕木腐朽斷損、2.高低不整、11.接頭沈落、14.路基異常、1.水平不整、21.圍牆(籬)異常破洞、4.鋼軌磨耗
3	中等 (平均每個月發生 1 次以上，但未 達每週 1 次， $12 \leq n < 52$)	3 項： 5.鋼軌損傷斷裂、13.道碴不足、26.其他
4	高 (平均每週發生 1 次以上，但未 達每日 1 次， $52 \leq n < 365$)	3 項： 22.軌道上雜草、6.螺栓鬆脫、20.樹木他物侵入淨空
5	很高 (平均每天發生 1 次以上， $n \geq 365$)	2 項： 7.扣件鬆脫、23.動物屍體

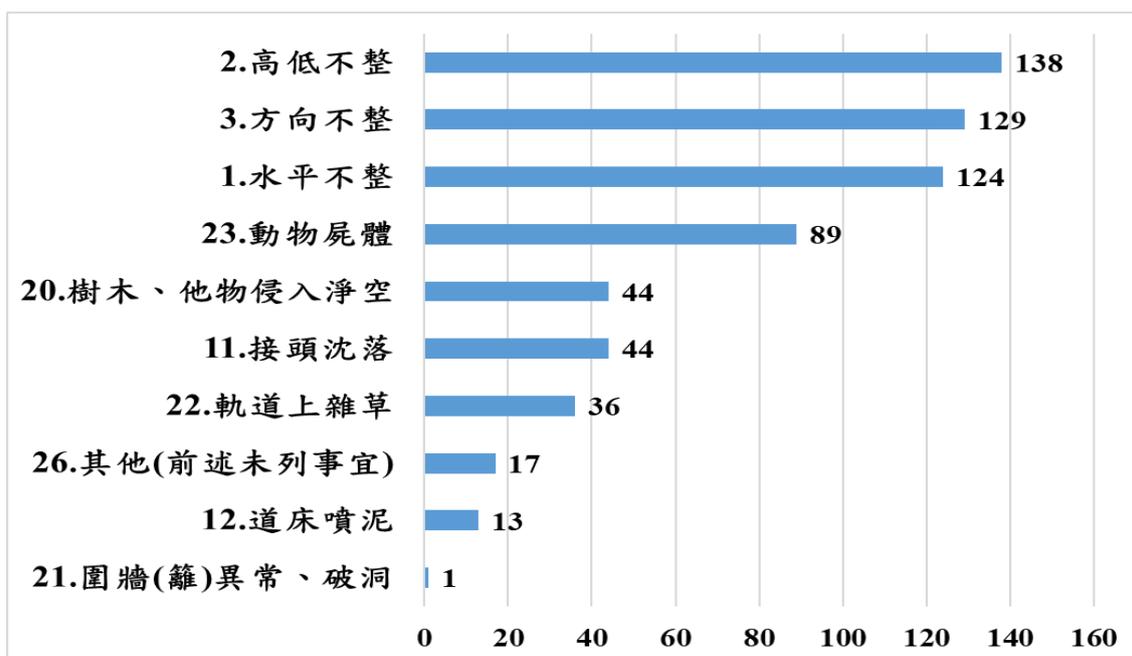
註：n 表示問題發生頻率。

資料來源：本計畫依據大甲分駐所 110 年 1~12 月的軌道巡查紀錄整理。

2. 主管乘車巡查

在主管乘車巡查方面，大甲分駐所 110 年度總共紀錄 635 筆缺失問題，各巡查項目的發生次數如圖 3.2 所示。其中，關於巡查項目的編號，因為主管乘車巡查的巡查項目為 18 項，較徒步(機車)查道 26 項少了 8 項，兩者巡查項目編號不同，本計畫為利進行比較分析，統一以徒步(機車)查道的編號表示。

資料顯示：發生頻率最高的前 3 項均是軌道不整問題，依序是 2.高低不整 138 次/年、3.方向不整 129 次/年、1.水平不整 124 次/年，再來是 23.動物屍體 89 次/年，而後是 20.樹木、他物入侵淨空 44 次/年，11.接頭沈落 44 次/年，22.軌道上雜草 36 次/年、26.其他 17 次/年、12.道床噴泥 13 次/年、21.圍牆(籬)異常破洞 1 次/年。



資料來源：本計畫依據大甲分駐所 110 年 1~12 月的軌道巡查紀錄整理。

圖 3.2 大甲分駐所 110 年度主管乘車巡查之缺失數量統計圖

同樣將缺失問題發生頻率依表 3-1 分為 5 級。則平均發生頻率達每週 1 次以上的有 2.高低不整、3.方向不整、1.水平不整 3 項，平均發生頻率達每月 1 次以上的有 23.動物屍體、20.樹木他物侵入淨空、11.接頭沈落、22.軌道上雜草、26.其他、12.道床噴泥 6 項，發生頻率在 1 年內 1 次以上的有 21.圍牆(籬)異常破洞 1 項，如表 3-3 所示。

表 3-3 大甲分駐所 110 年度主管乘車巡查之缺失發生頻率分析表

等級	發生頻率 (n)	巡查項目
1	很低 (1 年內發生 1 次 以下, $0 \leq n < 1$)	8 項： 13.道碴不足、14.路基異常、15.橋梁異常、16. 隧道異常滲漏、17.邊坡異常、18.排水溝箱涵 淤塞、19.平交道設備不整、24.勞安配備鳴笛 標瞭望員問題
2	低 (1 年內發生 1 次 以上, 但未達平 均每月 1 次, $1 \leq$ $n < 12$)	1 項： 21.圍牆(籬)異常破洞
3	中等 (平均每月發生 1 次以上, 但未 達每週 1 次, 12 $\leq n < 52$)	6 項： 23.動物屍體、20.樹木他物侵入淨空、11.接頭 沈落、22.軌道上雜草、26.其他、12.道床噴泥
4	高 (平均每週發生 1 次以上, 但未 達每日 1 次, 52 $\leq n < 365$)	3 項： 2.高低不整、3.方向不整、1.水平不整
5	很高 (平均每天發生 1 次以上, $n \geq$ 365)	0 項：

註：1. n 表示問題發生頻率。

2. 主管乘車巡查之巡查項目編號以徒步(機車)查道的編號表示。

資料來源：本計畫依據大甲分駐所 110 年 1~12 月的軌道巡查紀錄整理。

3. 兩種巡查方式比較

徒步(機車)查道與主管乘車巡查主要查到的軌道問題不太相同。以查到問題達每週 1 次以上的巡查項目做比較，可知：徒步(機車)查道主要查到扣件鬆脫、動物屍體、軌道上雜草、螺栓鬆脫、樹木他物侵入淨空等 5 項問題，主管乘車巡查主要查到高低不整、方向不整、水平不整等 3 項問題，如表 3-4 所示。

表 3-4 徒步(機車)查道與主管乘車巡查之查到問題頻率比較表

等級	發生頻率 (n)	徒步(機車)查道	主管乘車巡查
1	很低 (1 年內發生 1 次以下， $0 \leq n < 1$)	3. 方向不整、8. 軌縫異常、9. 伸縮接頭異常、15. 橋梁異常、16. 隧道異常滲漏、17. 邊坡異常、18. 排水溝箱涵淤塞、24 勞安配備鳴笛標瞭望員問題、25. 機具材料放置安全及新舊材料收回情形問題	13. 道碴不足、14. 路基異常、15. 橋梁異常、16. 隧道異常滲漏、17. 邊坡異常、18. 排水溝箱涵淤塞、19. 平交道設備不整、24. 勞安配備鳴笛標瞭望員問題
2	低 (1 年內發生 1 次以上，但未達平均每 1 次， $1 \leq n < 12$)	19. 平交道設備不整、12. 道床噴泥、10. 枕木腐朽斷損、2. 高低不整、11. 接頭沈落、14. 路基異常、1. 水平不整、21. 圍牆(籬)異常破洞、4. 鋼軌磨耗	21. 圍牆(籬)異常破洞
3	中等 (平均每 1 個月發生 1 次以上，但未達每週 1 次， $12 \leq n < 52$)	5. 鋼軌損傷斷裂、13. 道碴不足、26. 其他	23. 動物屍體、20. 樹木他物侵入淨空、11. 接頭沈落、22. 軌道上雜草、26. 其他、12. 道床噴泥
4	高 (平均每週發生 1 次以上，但未達每日 1 次， $52 \leq n < 365$)	22. 軌道上雜草、6. 螺栓鬆脫、20. 樹木他物侵入淨空	2. 高低不整、3. 方向不整、1. 水平不整
5	很高 (平均每天發生 1 次以上， $n \geq 365$)	7. 扣件鬆脫、23. 動物屍體	

資料來源：本計畫依據大甲分駐所 110 年 1~12 月的軌道巡查紀錄整理。

扣件鬆脫、螺栓鬆脫問題在徒步(機車)查道時經常查到，但在主管乘車巡查時不會查到，主要是因為主管搭乘列車的車速高達 80 公里以上，不進行扣件、螺栓鬆脫問題的巡查；高低不整、方向不整、水平不整等 3 項軌道不整問題在主管乘車巡查時經常查到，但在徒步(機車)查道時很少查到，主要是因為在主管乘車巡查時，可透過列車振動情形判斷路線有無軌道不整問題，但在徒步(機車)查道時，不易以目視檢視出來，亦不易透過搭乘避振效果不佳的工程維修車做判斷。

3.2 軌道問題之危安態樣

臺鐵的軌道系統由鋼軌、扣件、軌枕及道碴所組成，如第二章圖 2.1 所示。在構造上，軌道系統是在壓實處理過的路基上鋪設要求厚度的道碴，然後在道碴上設置規定間隔的軌枕，最後將 2 條鋼軌以扣件及道釘等設備固定於軌枕上。

在功能上，軌道運輸安全係由鋼軌、軌枕、扣件、道碴道床等軌道系統各項元素共同合作以達成。其中，鋼軌的主要作用在於保持軌距、提供列車行駛的表面，並將列車之輪重經由鋼軌傳遞至鋼軌以下的結構中；軌枕的功用為固定鋼軌保持軌距，並將鋼軌所傳下之載重分佈到道碴上；鋼軌扣件及道釘的主要功能在將鋼軌固定在軌枕上，以防止鋼軌位移，並消除列車行駛時軌道震動所產生的能量；道碴道床的功能主要是承載由上傳遞下來的載重，將枕木所傳替下來的力量均勻的分布到道床、增加軌道的彈性、吸收震動所產生的能量、減少材料受損與防止枕木產生位移。

軌道在承受車輛經過的重複載重作用下，結構將逐漸變形，造成軌道不整、鋼軌磨耗、損傷、斷裂、螺栓或扣件鬆脫、接頭沈落、軌枕斷損、道床噴泥、道碴不足等問題，當軌道相關問題超過容許範圍將危及行車安全。

軌道系統若發生危及行車安全的問題，通常是問題逐漸累積擴大而成。軌道巡查是確保鐵路列車日常行駛安全的重要檢查，無論是鋼軌檢查、軌枕檢查、扣件檢查或道床檢查，均極為重要，只要確實落

實軌道巡查作業，讓軌道相關問題不超過危及行車安全的容許範圍內，應可達到維護軌道安全的目標。

本計畫在第二章已將徒步(機車)查道的 26 項檢查項目，依檢查物件區分為 10 個檢查主題，在此，進一步分別探討各個檢查主題的風險肇因、潛在危安態樣，若有實際案例，則引用說明之。

1. 軌道幾何線形檢查

軌道幾何線形檢查的檢查內容包括 1.水平不整、2.高低不整、3.方向不整等 3 項徒步(機車)查道項目。

臺鐵局大部分路線採用傳統道碴道床，軌道幾何不整係因道碴道床在列車荷重的反復壓力作用下，產生道碴滑動、塌陷等結構變形問題，而以軌道水平不整、高低不整、方向不整等形式顯現。

列車鋼輪直接接觸鋼軌，若有軌道不整問題，將直接影響到列車行駛的穩定性。有水平不整與方向不整問題時，會引起車輛左右振動；有高低不整問題時，會引起車輛上下方向振動。輕微的軌道不整問題會讓列車行駛時左右、上下晃動，影響乘客搭車的舒適性；而嚴重的軌道不整問題，則可能因車輛往左、右側的側向力過大，而讓列車鋼輪脫離鋼軌，或因車輛上下方向振動過大，讓車輛鋼輪與鋼軌間離生空隙，而往鋼軌內側或外側脫離，危害到行車安全。

軌道幾何線形檢查的標準在「1067mm 軌距軌道養護檢查規範」^[2]中有說明，如表 3-5 所示。例如：特甲級線平時養護標準值，在水平、高低與方向的動態不整容許標準分別為 11mm、13mm、13mm，靜態不整容許標準均為 7mm。基本上，只要維持軌道幾何不整問題在容許標準內，應不會發生危安問題。

軌道幾何線形檢查在臺鐵局目前主要進行的 5 項軌道檢查作業中均有進行，分別運用不同儀器進行檢查。在每年 4 次甲種檢查時，以軌道檢查車進行軌道幾何線形檢測；在每年 2 次乙種檢查時，以小型手推式軌道檢查儀進行檢測；在每月 1 次振動檢查時，以振動檢查儀檢測；在每日主管乘車巡查時，則透過目視檢視與列車震動

情形判斷軌道是否有異狀；在每週徒步(機車)查道時，若採徒步查道，道班人員係透過目視檢視軌道路線；若乘工程維修車巡查，則透過目視檢視並依實務經驗透過車輛震動情形判斷軌道是否有異狀。由臺鐵局各項軌道檢查作業均針對軌道幾何線形問題做檢查，可知此項檢查對行車安全極為重要。

表 3-5 軌道幾何不整容許標準

單位：mm

標準值種別 路線等級 不整 之種別	平時養護標準值			緊急整修標準值			大修或更新後之標準值	
	特甲 級 甲線	乙 級 線	側 線	特甲 級 甲線	乙 級 線	側 線	各等級路線相同	
							一般區段	混凝土道 床路段
軌距	+10 (+7) -5 (-4)			直線及曲線半徑 600m 以上 20 (14) 600m > 曲線半徑 ≥ 200m 25 (19) 曲線半徑未滿 200m 20 (14)			(+1) (-3)	(0) (-3)
水平	11 (7)	12 (8)	13 (9)	依平面性之整修值為基準			(4)	(2)
高低	13 (7)	14 (8)	16 (9)	23 (15)	25 (17)	27 (19)	(4)	(2)
方向	13 (7)	14 (8)	16 (9)	23 (15)	25 (17)	27 (19)	(4)	(2)
平面性				23 (18) 包括超高遞減量			(4) (不包括超高遞減量)	

註：(1)表內數值係依高速軌道檢查車測出之動態不整，括弧內則表示靜態不整。

(2)高低、方向之不整以弦長 10 m 計。

(3)平面性係以每 5 m 之水平變化量為標準。

(4)軌距、水平、高低與方向之容許標準值不包括曲線地段之正規加寬度、超高度及正矢量(包括豎曲線)在內。

資料來源：「1067mm 軌距軌道養護檢查規範」^[2]。

此外，以大甲分駐所 110 年 3 項軌道幾何線形檢查的紀錄(如表 3-6)來看，水平不整、高低不整、方向不整問題的檢出頻率，分別是 127 次/年、144 次/年、129 次/年，平均發生頻率達每週 1 次以上，顯示軌道幾何線形問題的發生頻率頗高。

表 3-6 110 年臺鐵局大甲分駐所軌道幾何線形檢查統計表

單位：次/年

巡查項目	徒步(機車)查道			主管乘車巡查	合計
	徒步	機車	小計		
1.水平不整	0	3	3	124	127
2.高低不整	1	5	6	138	144
3.方向不整	0	0	0	129	129
合 計	1	8	9	391	400

資料來源：本計畫依據大甲分駐所 110 年 1~12 月的軌道巡查紀錄整理。

2. 鋼軌檢查

鋼軌檢查的檢查內容包括 4.鋼軌磨耗(含壓、流潰)、5.鋼軌損傷、斷裂等 2 項徒步(機車)查道項目。

關於鋼軌磨耗，鋼軌承受車輪輪軸的巨大壓力，只要有使用就會產生磨耗，鋼軌磨耗量會隨著輪軸重和通過總重的增加而增加。當鋼軌磨耗量達到一定程度後，將使鋼軌強度下降，無法承受來各方面的應力，進而造成鋼軌損傷而危害行車安全。

鋼軌磨耗的容許標準在「1067mm 軌距軌道養護檢查規範」^[2]中有說明，表 3-7 顯示鋼軌頭部可容許之最大磨耗量，表 3-8 顯示鋼軌斷面積可容許之減少百分率，依此規定，按時檢查鋼軌的磨耗情形，在磨耗量超過容許標準前換軌，應不致發生危安問題。

表 3-7 鋼軌最大磨耗量表

單位：mm

軌重 路線等級	37kg 鋼軌	45~50kg 鋼軌	60kg 鋼軌
特甲級線 甲級線	10	14	15
乙級線	12	15	16
側 線	15	16	17

資料來源：「1067mm 軌距軌道養護檢查規範」^[2]。

表 3-8 鋼軌斷面積減少百分率表

路線等級 \ 軌重	37kg 鋼軌	45~50kg 鋼軌	60kg 鋼軌
特甲級線	18%	20%	22%
甲級線	22%	24%	26%
乙級線	28%	30%	32%
側線			

資料來源：「1067mm 軌距軌道養護檢查規範」^[2]。

關於鋼軌損傷、斷裂，是鋼軌在使用過程中發生折斷、裂紋等問題。當發現鋼軌有折斷、裂紋時，表示鋼軌之鋼材受到破壞，強度下降，將危害行車安全，應儘快抽換。鋼軌直接承載列車軸重，最直接影響到列車行駛的穩定性，也最直接影響到列車的安全性，可知此項檢查對行車安全極為重要。

以大甲分駐所 110 年 2 項軌道檢查的紀錄(如表 3-9)來看，鋼軌磨耗(含壓、流潰)、鋼軌損傷斷裂問題的檢出頻率分別是 2 次/年與 16 次/年，顯示軌道問題中鋼軌磨耗(含壓、流潰)問題的發生頻率低，鋼軌損傷、斷裂的發生頻率較鋼軌磨耗問題高，達每月 1 次以上。

表 3-9 110 年臺鐵局大甲分駐所軌道檢查統計表

單位：次/年

巡查項目	徒步(機車)查道			主管乘車巡查	合計
	徒步	機車	小計		
4.鋼軌磨耗(含壓、流潰)	2	0	2	--	2
5.鋼軌損傷、斷裂	16	0	16	--	16
合計	18	0	18	--	18

註：「--」表示主管乘車巡查時不檢查此項。

資料來源：本計畫依據大甲分駐所 110 年 1~12 月的軌道巡查紀錄整理。

鋼軌裂縫的危安案例：在 110 年 1 月 9 日自由時報報導^[14]，疑似低溫造成臺鐵連續發生 3 起鋼軌裂縫。其中，在 1 月 9 日上午臺鐵在和平至漢本間東正線 K37+875 發現鋼軌有裂縫，立即通知調度總所及地區工務段，依標準作業程序先以異型魚尾鈹鎖固，再安排深夜斷電封鎖進行鋼軌抽換；在 1 月 8 日池上站也通知 K111+800 軌道電路落下，電務人員發現鋼軌斷裂約 0.8 公分，經研判亦為低溫造成焊點拉裂(如圖 3.3 所示)，先以魚尾鈹先行加固後 60 公里慢行，凌晨鋼軌抽換完成，路線恢復正常行駛；此外，在 1 月 7 日斗六至斗南間西正線 K269+330 附近也同樣發現鋼軌裂縫，這 3 起都是熱漲冷縮拉大間隙導致。



資料來源：自由時報 110 年 1 月 9 日記者鄭瑋奇、王錦義報導^[14]。

圖 3.3 鋼軌因寒冷導致焊點拉裂

3. 螺栓與扣件檢查

螺栓與扣件檢查的檢查內容包括 6.螺栓鬆脫、7.扣件鬆脫等 2 項徒步(機車)查道項目。

扣件係將鋼軌固定於軌枕上，當受到列車行駛所產生的震動力時，扣件有可能鬆脫；螺栓係將魚尾鈹固定在鋼軌上，將扣件固定在軌枕上，或將護軌墊鈹、滑床鈹、軌撐等軌道相關配件固定在鋼軌或軌枕上，當受到列車行駛所產生的震動力時，亦有可能鬆脫。

鋼軌係由很多扣件固定，若僅 1~2 個扣件鬆脫，在周遭其他扣件的協力維持下，應尚能阻擋鋼軌垂直、縱向、側向等三向變位不致過大，若連續多個扣件鬆脫，讓扣件無法正常發揮作用時，則可能造成列車因鋼軌穩定性不佳而出軌。

巡查人員常在路線巡查時發現扣件或螺栓鬆脫問題，以大甲分駐所 110 年的紀錄(如表 3-10)來看，螺栓鬆脫、扣件鬆脫問題的檢出頻率分別是 203 次/年與 779 次/年，顯示螺栓鬆脫、扣件鬆脫問題的發生頻率均很高，分別達到每週 1 次以上、每天 1 次以上。

雖然扣件鬆脫問題通常是單一扣件鬆脫問題，對危安影響不致過大，但因發生頻率高，且主要仰賴徒步查道以發現問題，是以此項檢查是徒步查道的重要工作之一。

表 3-10 110 年臺鐵局大甲分駐所螺栓與扣件檢查統計表

單位：次/年

巡查項目	徒步(機車)查道			主管乘車巡查	合計
	徒步	機車	小計		
6.螺栓鬆脫	202	1	203	--	203
7.扣件鬆脫	778	1	779	--	779
合計	980	2	982	--	982

註：「--」表示主管乘車巡查時不檢查此項。

資料來源：本計畫依據大甲分駐所 110 年 1~12 月的軌道巡查紀錄整理。

扣件鬆脫的危安案例：在 2004 年至 2006 年期間臺鐵南迴線總共發生 7 次鐵路破壞事件，其中在 2004 年 12 月 21 日曾發現在內獅車站往臺東方向的鐵路橋上方鐵軌的潘多爾(Pandrol)扣件遭到破壞，所幸當時未有列車通過而受影響^[15]。

4. 鋼軌接頭檢查

鋼軌接頭檢查的檢查內容包括 8.軌縫異常、9.伸縮接頭異常、11.接頭沈落等 3 項徒步(機車)查道項目。

鋼軌接頭是軌道最脆弱的部分，該處受行駛列車的輪軸重力衝擊，除易發生道床鬆弛、接頭下沉問題外，亦會發生高低錯牙、左

右錯牙、軌頭掉塊等接頭不平順的問題，或接頭處魚尾鈹產生裂縫問題。

如前所述，鋼軌直接承載列車鋼輪，則鋼軌接頭處的問題將直接影響到列車行駛的穩定性，輕則造成列車晃動過大、行駛不穩，重則有列車出軌風險。因此，鋼軌接頭處的檢查相當重要。

巡查人員在路線巡查時很少發現軌縫異常、伸縮接頭異常的問題，較常發現接頭沈落問題，而接頭沈落問題大多透過主管乘車巡查由列車振動情形來判斷。以大甲分駐所 110 年的紀錄(如表 3-11)來看，軌縫異常、伸縮接頭異常問題的檢出頻率均是 0 次/年，接頭沈落問題的檢出頻率較高，為 49 次/年，達到每月 1 次以上，其中的 44 次(90%)是由主管乘車巡查檢出。

表 3-11 110 年臺鐵局大甲分駐所鋼軌接頭檢查統計表

單位：次/年

巡查項目	徒步(機車)查道			主管乘車巡查	合計
	徒步	機車	小計		
8.軌縫異常	0	0	0	--	0
9.伸縮接頭異常	0	0	0	--	0
11.接頭沈落	3	2	5	44	49
合計	3	2	5	44	49

註：「--」表示主管乘車巡查時不檢查此項。

資料來源：本計畫依據大甲分駐所 110 年 1~12 月的軌道巡查紀錄整理。

5. 軌枕檢查

軌枕檢查的檢查內容為徒步(機車)查道項目的第 10 項：枕木腐朽、斷損，係針對軌枕的腐朽、斷損問題做檢查。

軌枕位於鋼軌底部，功能主要在穩定鋼軌的位置，確保軌道的軌距不變，若有腐朽、斷損問題，將無法穩定鋼軌位置，確保軌道的軌距不變，則在列車駛過問題軌枕時，可能因移位而引起危險。

軌枕問題發生頻率不高，以大甲分駐所 110 年的紀錄(如表 3-12)來看，軌枕問題的檢出頻率是 6 次/年，不到每月 1 次以上。

表 3-12 110 年臺鐵局大甲分駐所軌枕檢查統計表

單位：次/年

巡查項目	徒步(機車)查道			主管乘車巡查	合計
	徒步	機車	小計		
10.枕木腐朽、斷損	6	0	6	--	6

註：「--」表示主管乘車巡查時不檢查此項。

資料來源：本計畫依據大甲分駐所 110 年 1~12 月的軌道巡查紀錄整理。

關於軌枕腐朽、斷損的危安態樣，可以 106 年臺鐵三民站出軌事故來說明，在 106 年 10 月 24 日於花蓮三民站發生普悠馬號列車 5 節車箱出軌事故，經調查認為發生原因係受部分枕木因嚴重腐朽，使列車行經時造成軌距加大，以致列車出軌。(交通部^[16])

6. 道床檢查

道床檢查的檢查內容包括 12.道床噴泥、13.道碴不足等 2 項徒步(機車)查道項目。

道碴道床在列車荷重的反復壓力作用下，會產生道碴滑動、塌陷問題，或因道床排水不良而產生道床噴泥問題；另在鋼軌接頭處受到行駛列車的輪軸重力衝擊，易發生道床鬆弛、接頭下沉的問題，不過，關於接頭沈落的檢查，本計畫歸納到鋼軌接頭檢查中。

當道碴道床出現道床噴泥、道碴不足問題時，顯示該區道碴道床已有結構弱化狀況，造成其固定軌枕位置、維持軌道正確路線及坡度的功能下降，若未加以處置，持續惡化後將危害行車安全。

巡查人員在路線巡查時發現道床噴泥、道碴不足問題的頻率不高，以大甲分駐所 110 年的紀錄(如表 3-13)來看，道床噴泥、道碴不足問題的檢出頻率分別是 19 次/年、15 次/年，達到每月 1 次以上。

表 3-13 110 年臺鐵局大甲分駐所道床檢查統計表

單位：次/年

巡查項目	徒步(機車)查道			主管乘車巡查	合計
	徒步	機車	小計		
12.道床噴泥	6	0	6	13	19
13.道碴不足	15	0	15	0	15
合計	21	0	21	13	34

註：「--」表示主管乘車巡查時不檢查此項。

資料來源：本計畫依據大甲分駐所 110 年 1~12 月的軌道巡查紀錄整理。

關於道床問題的危安態樣，可以 105 年臺鐵莒光號列車出軌說明。在 105 年 6 月 4 日於花蓮富里—東竹站間發生莒光號列車出軌事故，經查後推判該路段在事故前已有道床噴泥、路基弱化狀態，之後施工擾動後未確實將道碴夯實，致道床穩定性不足、鋼軌挫屈，造成車輛出軌。(交通部^[17])

7. 軌道相關設施檢查

軌道相關設施檢查的檢查內容包括 14.路基異常、15.橋梁異常、16.隧道異常、滲漏、17.邊坡異常、18.排水溝、箱涵淤塞、19.平交道設備不整、21.圍牆(籬)異常、破洞等 7 項徒步(機車)查道項目。

若發生邊坡滑落、橋梁斷損等問題，會造成路線中斷、危害行車安全；若圍牆(籬)異常、破洞可能讓動物或人侵入路線範圍，提高發生車禍危害的可能性；若排水溝、箱涵淤塞可能造成路線積水，影響列車通行。

巡查人員在路線巡查時發現軌道相關設施問題的頻率均低，以大甲分駐所 110 年的紀錄(如表 3-14)來看，除路基異常、平交道設備不整、圍牆(籬)異常、破洞的檢出頻率分別為 3 次/年、8 次/年、2 次/年外，其他各項目的檢出頻率均為 0 次/年，檢出頻率均在每月 1 次以下。

表 3-14 110 年臺鐵局大甲分駐所軌道相關設施檢查統計表

單位：次/年

巡查項目	徒步(機車)查道			主管乘車巡查	合計
	徒步	機車	小計		
14.路基異常	3	0	3	0	3
15.橋梁異常	0	0	0	0	0
16.隧道異常、滲漏	0	0	0	0	0
17.邊坡異常	0	0	0	0	0
18.排水溝、箱涵淤塞	0	0	0	0	0
19.平交道設備不整	8	0	8	0	8
21.圍牆(籬)異常、破洞	2	0	2	1	3
合 計	13	0	13	1	14

資料來源：本計畫依據大甲分駐所 110 年 1~12 月的軌道巡查紀錄整理。

邊坡滑落的危害極為嚴重，例如在 109 年 11 月 30 日臺鐵宜蘭線瑞芳—猴硐間、八堵車站起 12 公里 233 公尺處路段因連續豪雨造成邊坡滑動，在全力搶修於 12 月 3 日清晨恢復雙線通車後，又於 12 月 4 日、5 日再次發生大規模邊坡滑動(如圖 3.4)，造成宜蘭線東西正線完全中斷，直至 12 月 14 日才恢復東正線單線通車。(維基百科 [15])



資料來源：中央通訊社網站^[19]。

圖 3.4 109 年 12 月 4 日臺鐵瑞芳—猴硐段邊坡滑落事故

8. 淨空檢查

淨空檢查的檢查內容為徒步(機車)查道項目的第 20 項：樹木、他物入侵淨空。樹木、他物入侵淨空的體積若較大，將有礙列車通行。

樹木、他物入侵淨空問題的發生頻率高，以大甲分駐所 110 年的紀錄(如表 3-15)來看，樹木、他物入侵淨空問題的檢出頻率是 166 次/年，達到每週 1 次以上。

表 3-15 110 年臺鐵局大甲分駐所淨空檢查統計表

單位：次/年

巡查項目	徒步(機車)查道			主管乘車巡查	合計
	徒步	機車	小計		
20.樹木、他物入侵淨空	116	6	122	44	166

資料來源：本計畫依據大甲分駐所 110 年 1~12 月的軌道巡查紀錄整理。

9. 軌道上異物檢查

軌道上異物檢查的檢查內容包括 22.軌道上雜草、23.動物屍體等 2 項徒步(機車)查道項目。

軌道上若有少數雜草，不致危害列車行車安全，但當雜草過多、過長至掩蓋過道碴、扣件、軌枕、軌道後，將妨礙軌道巡查人員的巡視作業，間接影響行車安全。動物屍體若體積較大，且位於鋼軌上，將有礙列車通行。

巡查人員在路線巡查時發現軌道上雜草、動物屍體問題的頻率很高，以大甲分駐所 110 年的紀錄(如表 3-16)來看，軌道上雜草、動物屍體問題的檢出頻率分別是 368 次/年、741 次/年，分別達到每週 1 次與每日 1 次以上。

表 3-16 110 年臺鐵局大甲分駐所軌道上異物檢查統計表

單位：次/年

巡查項目	徒步(機車)查道			主管乘車巡查	合計
	徒步	機車	小計		
22.軌道上雜草	331	1	332	36	368
23.動物屍體	631	21	652	89	741
合計	962	22	984	125	1109

資料來源：本計畫依據大甲分駐所 110 年 1~12 月的軌道巡查紀錄整理。

10. 巡查配備、材料檢查與其他

巡查配備、材料檢查與其他的檢查內容包括 24.勞安配備、鳴笛標、瞭望員、25.機具材料放置安全及新舊材料收回情形、26.其他(前述未列事宜)等 3 項徒步(機車)查道項目。

關於檢查勞安配備是否妥適，機具材料有無放置安全、新舊材料有無歸置與回收等查道項目，因檢查內容並非在軌道路線上進行目視巡查工作，對於列車安全較無直接關係。

關於檢查勞安配備是否妥適，機具材料有無放置安全、新舊材料有無歸置與回收等查道項目的問題的頻率很低，以大甲分駐所 110 年的紀錄(如表 3-17)來看，檢查項目第 24、25 項的檢出頻率均是 0 次/年，而第 26 項其他(前述未列事宜) 的檢出頻率則是 30 次/年，達到每月 1 次以上。

表 3-17 110 年臺鐵局大甲分駐所巡查配備、材料檢查與其他檢查統計表

單位：次/年

巡查項目	徒步(機車)查道			主管乘車巡查	合計
	徒步	機車	小計		
24.勞安配備、鳴笛標、瞭望員	0	0	0	0	0
25.機具材料放置安全及新舊材料收回情形	0	0	0	--	0
26.其他(前述未列事宜)	13	0	13	17	30
合計	13	0	13	17	30

註：「--」表示主管乘車巡查時不檢查此項。

資料來源：本計畫依據大甲分駐所 110 年 1~12 月的軌道巡查紀錄整理。

3.3 軌道問題之風險評估

為了解各軌道巡查項目未確實檢查可能產生的危安風險，在此嘗試運用風險矩陣法(Risk Matrix)，以危安問題發生頻率和嚴重性 2 項因子來綜合評估各巡查項目的危安風險高低。

其中，危安問題發生頻率以大甲分駐所 110 年實際檢查出問題的頻率來概估，並依發生頻率由低至高區分為 1~5 級，分別表示發生頻率「很低」、「低」、「中等」、「高」、「很高」，各等級發生頻率的定義如第 3.1 節表 3-1 所示。

至於危安問題的嚴重性，由於目前臺鐵局的路線巡查作業均依規定確實落實，除偶因軌道受熱漲冷縮而發生裂縫，或發生樹木傾倒入

侵問題外，少有因軌道路線問題而影響行車安全。故本計畫採用問卷調查方式，請臺鐵局軌道巡查實務專家協助判斷各巡查項目的危安問題嚴重性。

設計問卷調查表如附錄二所示，在問卷中將危安問題嚴重性由低到高區分為 1~5 級，分別表示危安嚴重性「很低」、「低」、「中等」、「高」、「很高」，請受訪者依其業務經驗觀點，就徒步(機車)查道 26 項巡查項目勾選若巡查未確實執行可能造成危安問題的嚴重程度。問卷調查在 111 年 11 月 10 日進行，回收得到 16 份問卷資料，經分析後得到的各巡查項目危安嚴重度，綜整在後續的危安風險評估結果表中。

本計畫定義此一問題的風險矩陣表，如表 3-18 所示，將問題的危安風險區分為 3 級：A(高風險)、B(中風險)、C(低風險)。A(高風險)：表示必需減緩該巡查問題的發生風險；B(中風險)：表示可再努力減緩該巡查問題的發生風險；C(低風險)：表示可以接受該巡查問題的發生風險。

表 3-18 軌道危安問題之風險矩陣表

風險矩陣		嚴重度				
		1	2	3	4	5
頻 率	5	B	B	A	A	A
	4	B	B	B	A	A
	3	C	B	B	B	A
	2	C	C	B	B	B
	1	C	C	C	C	B
A=高風險、B=中風險、C=低風險						

資料來源：本計畫整理。

經分析後得到 26 項巡查項目的危安風險評估結果，如表 3-19。各檢查主題的風險評估結果說明如下：

表 3-19 徒步(機車)查道各檢查項目之危安風險評估表

項次	檢查主題	檢查項目	頻率等級	嚴重度等級	危安風險評估
1	軌道幾何線形檢查	1.水平不整	4	4	A
		2.高低不整	4	4	A
		3.方向不整	4	4	A
2	鋼軌檢查	4.鋼軌磨耗(含壓、流潰)	2	3	B
		5.鋼軌損傷、斷裂	3	5	A
3	螺栓與扣件檢查	6.螺栓鬆脫	4	3	B
		7.扣件鬆脫	5	3	A
4	鋼軌接頭檢查	8.軌縫異常	1	3	C
		9.伸縮接頭異常	1	3	C
		11.接頭沈落	3	4	B
5	軌枕檢查	10.枕木腐朽、斷損	2	3	B
6	道床檢查	12.道床噴泥	3	3	B
		13.道碴不足	3	4	B
7	軌道相關設施檢查	14.路基異常	2	4	B
		15.橋梁異常	1	4	C
		16.隧道異常、滲漏	1	3	C
		17.邊坡異常	1	4	C
		18.排水溝、箱涵淤塞	1	2	C
		19.平交道設備不整	2	4	B
		21.圍牆(籬)異常、破洞	2	2	C
8	淨空檢查	20.樹木、他物侵入淨空	4	3	B
9	軌道上異物檢查	22.軌道上雜草	5	1	B
		23.動物屍體	5	1	B
10	巡查配備、材料檢查與其他	24.勞安配備、鳴笛標、瞭望員	1	4	C
		25.機具材料放置安全及新舊材料收回情形	1	3	C
		26.其他(前述未列事宜)	3	-	-

資料來源：本計畫整理。

註：「-」表示無資料。因問卷調查的填答者大多數未勾選巡查項目「26.其他(前述未列事宜)」的嚴重性等級，推測是因為巡查的內容不確定而風險性未知。

1.軌道幾何線形檢查

軌道幾何線形檢查中的3檢查項目，均是問題嚴重度高(4級)、發生頻率高(4級)的高風險項目(A級)。

2.鋼軌檢查

鋼軌檢查中的「5.鋼軌損傷、斷裂」項目是問題嚴重度很高(5級)、發生頻率中等(3級)的高風險項目(A級)；「4.鋼軌磨耗(含壓、流潰)」項目是問題嚴重度中等(3級)、發生頻率低(2級)的中風險項目(B級)

3.螺栓與扣件檢查

螺栓與扣件檢查中的「7.扣件鬆脫」項目是問題嚴重度中等(3級)，但發生頻率很高(5級)的高風險項目(A級)；「6.螺栓鬆脫」項目是問題嚴重度中等(3級)、發生頻率高(4級)的中風險項目(B級)。

4.鋼軌接頭檢查

鋼軌接頭檢查中的「11.接頭沈落」項目是問題嚴重度高(4級)、發生頻率中等(3級)的中風險項目(B級)；「8.軌縫異常」、「9.伸縮接頭異常」2項目均是問題嚴重度中等(3級)、發生頻率很低(1級)的低風險項目(C級)。

5.軌枕檢查

「10.枕木腐朽、斷損」項目是問題嚴重度中等(3級)、發生頻率中等(3級)的中風險項目(B級)。

6.道床檢查

道床檢查中的「13.道碴不足」項目是問題嚴重度高(4級)、發生頻率中等(3級)的中風險項目(B級)；「12.道床噴泥」項目是問題嚴重度中等(3級)、發生頻率中等(3級)的中風險項目(B級)。

7.軌道相關設施檢查

軌道相關設施檢查中，除「14.路基異常」、「19.平交道設備不整」是問題嚴重度高(4級)、發生頻率低(2級)的中風險項目(B級)，其他均是發生頻率低或很低的低風險項目(C級)。

8.淨空檢查

「20.樹木、他物侵入淨空」是問題嚴重度中等(3級)、發生頻率高(4級)的中風險項目(B級)。

9.軌道上異物檢查

軌道上異物檢查中的「22.軌道上雜草」、「23.動物屍體」2項檢查項目均是問題嚴重度很低(1級)，但發生頻率很高(5級)的中風險項目(B級)。

10.巡查配備、材料檢查與其他

「24.勞安配備、鳴笛標、瞭望員」、「25.機具材料放置安全及新舊材料收回情形」2項檢查項目均是發生頻率很低(1級)的低風險項目(C級)。

綜而言之，本計畫運用風險矩陣法，以問題發生頻率、嚴重性2因子綜合評估各巡查項目危安風險，分析得到高、中、低各風險等級的檢查項目，分析結果如下：

1.高風險(A)的檢查項目

共計5項：1.水平不整、2.高低不整、3.方向不整、5.鋼軌損傷、斷裂、7.扣件鬆脫。

2.中風險(B)的檢查項目

共計11項：4.鋼軌磨耗(含壓、流潰)、6.螺栓鬆脫、10.枕木腐朽、斷損、11.接頭沈落、12.道床噴泥、13.道碴不足、14.路基異常、19.平交道設備不整、20.樹木、他物侵入淨空、22.軌道上雜草、23.動物屍體。

3.低風險(C)的檢查項目

共計 9 項：8.軌縫異常、9.伸縮接頭異常、15.橋梁異常、16.隧道異常、滲漏、17.邊坡異常、18.排水溝、箱涵淤塞、21.圍牆(籬)異常、破洞、24.勞安配備、鳴笛標、瞭望員、25.機具材料放置安全及新舊材料收回情形。

為降低巡查人員目視巡查的工作負荷，後續在構思應用 AI 影像辨識技術輔助巡查時，可參考此一危安風險評估結果，優先處理列為高風險的檢查項目，包括 1.水平不整、2.高低不整、3.方向不整、5.鋼軌損傷、斷裂、7.扣件鬆脫等 5 項，而後再處理中、低風險的檢查項目。

第四章 運用人工智慧辨識技術輔助巡查評估

本章針對徒步(機車)查道的 26 項檢查項目進行評估，探討採用人工智慧(AI)深度學習方法，進行影像自動辨識分析，替代人工目視巡查，輔助執行巡查作業的可能性。在 4.1 節，先說明影像辨識理論，以及本所採用的深度學習模型 Yolo；在 4.2 節，評估運用人工智慧輔助巡查的可能性。

4.1 影像辨識理論與 Yolo 模型

本所建置的軌道構件缺失辨識系統，在 110 年採用的影像辨識深度學習模式是 Yolov4 與 Yolov4-tiny，在深度學習與整個系統的開發上是採用 Python 做為主題架構語言。在此先說明 AI 影像辨識技術的理論基礎，以及 Yolo 模型的特色，做為進行運用人工智慧辨識技術輔助巡查評估之基礎。

4.1.1 影像辨識的理論

神經網路是 AI 影像辨識的理論基礎，所謂神經網路是指建構一個數學模型，其運作方式類似人類神經細胞的傳道方式，故稱為神經網路。一個神經網路係由一個節點層組成，包含三層：一個輸入層、一個輸出層，以及在兩層之間的一個或多個隱藏層，如圖 4-1 所示。

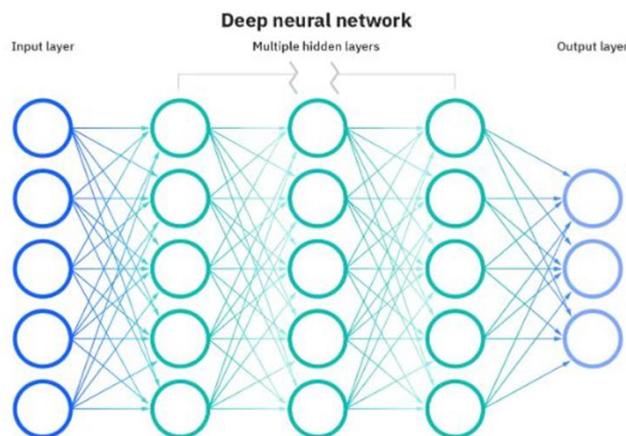


圖 4.1 神經網路示意圖

神經網路的運作方式，可以用一個單一感知器(Simple Perceptron)來說明。單一感知器就是一個只有輸入層和輸出層的神經網路，如圖 4.2 所示。

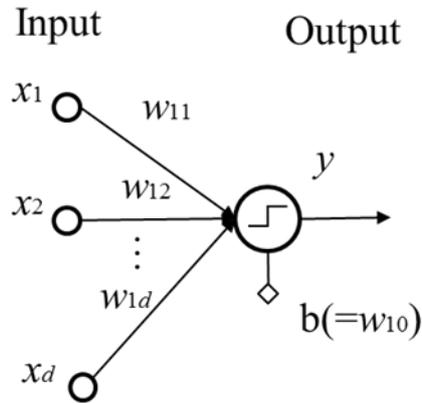


圖 4.2 單一感知器

寫成數學形式為：

$$y = f(w_{10} + w_{11}x_1 + w_{12}x_2 + \dots + w_{1d}x_d) = f(\mathbf{W}_1^T \mathbf{x} + w_{10})$$

$$f = \begin{cases} 1, & \mathbf{W}_1^T \mathbf{x} + w_{10} > 0 \\ 0, & \text{O.W.} \end{cases}$$

$$\mathbf{W}_1 = \begin{bmatrix} w_{11} \\ \vdots \\ w_{1d} \end{bmatrix}, \mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_d \end{bmatrix}$$

式中 \mathbf{x} 是輸入的資料， y 是輸出的資料， w 是要估算的權重， f 是激活函數。

在處理分類問題時，透過單一感知器可將資料進行線性分類。例：處理 4 個樣本，分成 A 與 B 兩類。如圖 4.3 所示。

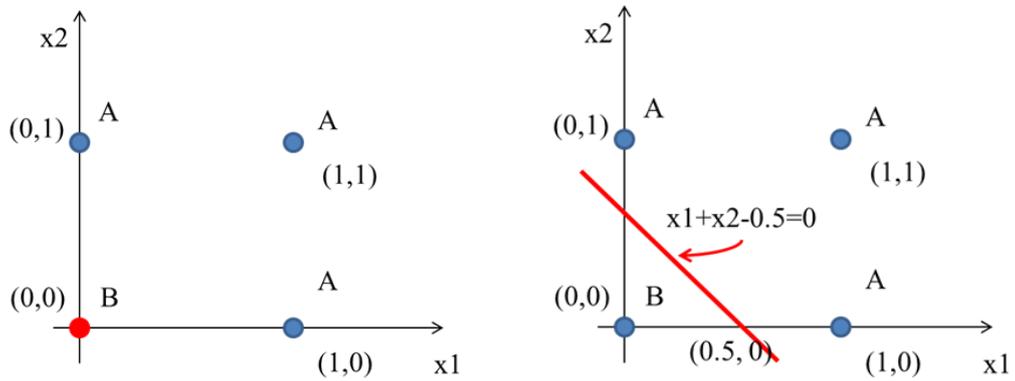


圖 4.3 單一感知器的線性分類示意圖

畫成單一感知器的圖形，如圖 4.4 所示。

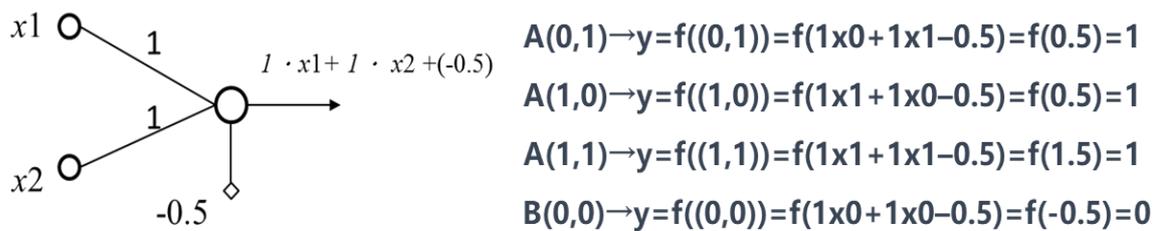


圖 4.4 單一感知器的線性分類圖形

當問題複雜度提高時，就用較多層的感知器來處理。圖 4.5 顯示一個在兩條線中間是一類，線之外是一類的案例，該案例可用兩層感知器進行線性分類，圖 4.6 為該案例的神經網路結構圖。

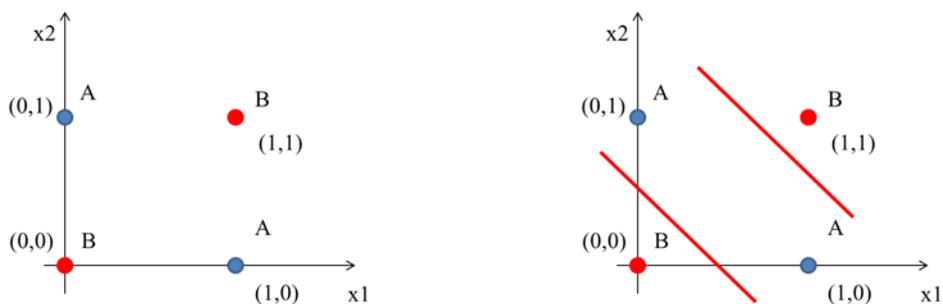


圖 4.5 兩層感知器的線性分類示意圖

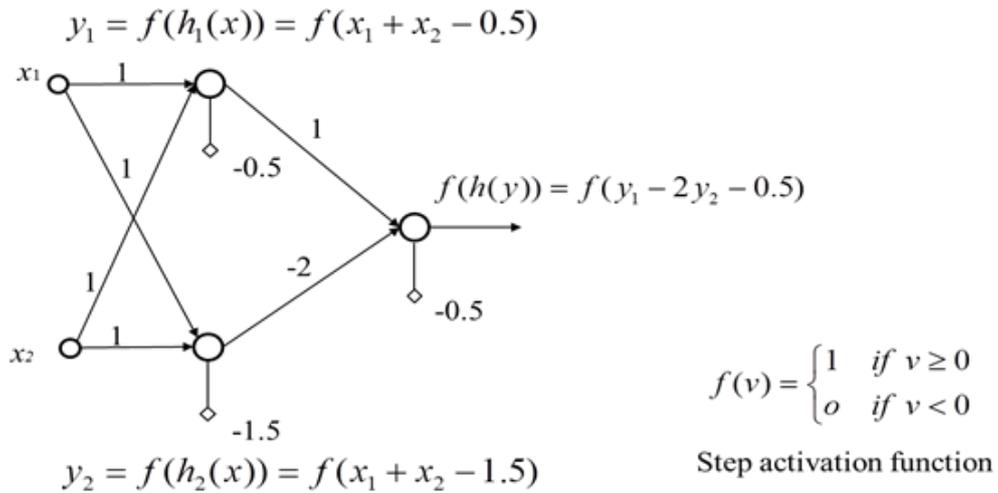


圖 4.6 兩層感知器的神經網路結構圖

當很多層的感知器組合起來，就是多層感知器 (Multilayer Perceptron, MLP)。多層感知器是深度神經網路 (Deep Neural Network, DNN) 的特例，深度神經網路在學習過程中多了一些手法和層數會更多更深。

數位影像是由很多的像素 (pixel) 在一起所組成，圖 4.7 顯示一個數字 0 的影像，左圖是人眼看到的影像，右圖是電腦看到的影像。

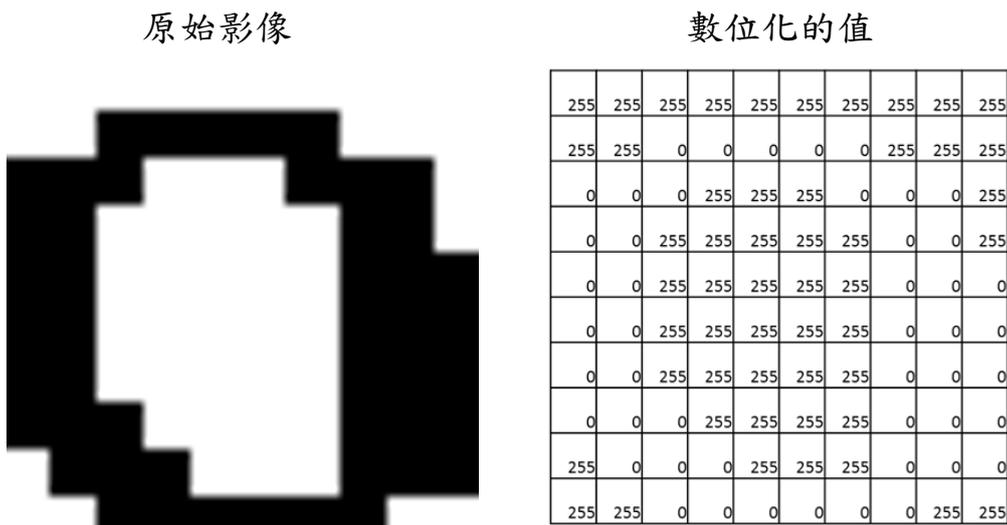


圖 4.7 一個數字 0 的影像 (像素值為 $10 \times 10 = 100$)

當進行影像辨識時，需要從每個像素中去取得這張圖的特徵，除了每個像素的值之外，還需要考慮像素和像素之間的關連。卷積神經網路(Convolutional neural network, CNN)即是用在影像辨識的模型上，透過針對像素進行卷積運算(Convolution)和池化運算(Pooling)來取得影像的特徵。卷積運算是將影像進行濾波(filter)，以萃取特徵的方法，如圖 4.8 所示；池化運算(Pooling)：是在將圖片資料量減少並保留重要資訊，例如圖 4.9 顯示進行一個取一個 2*2 最大池化法。

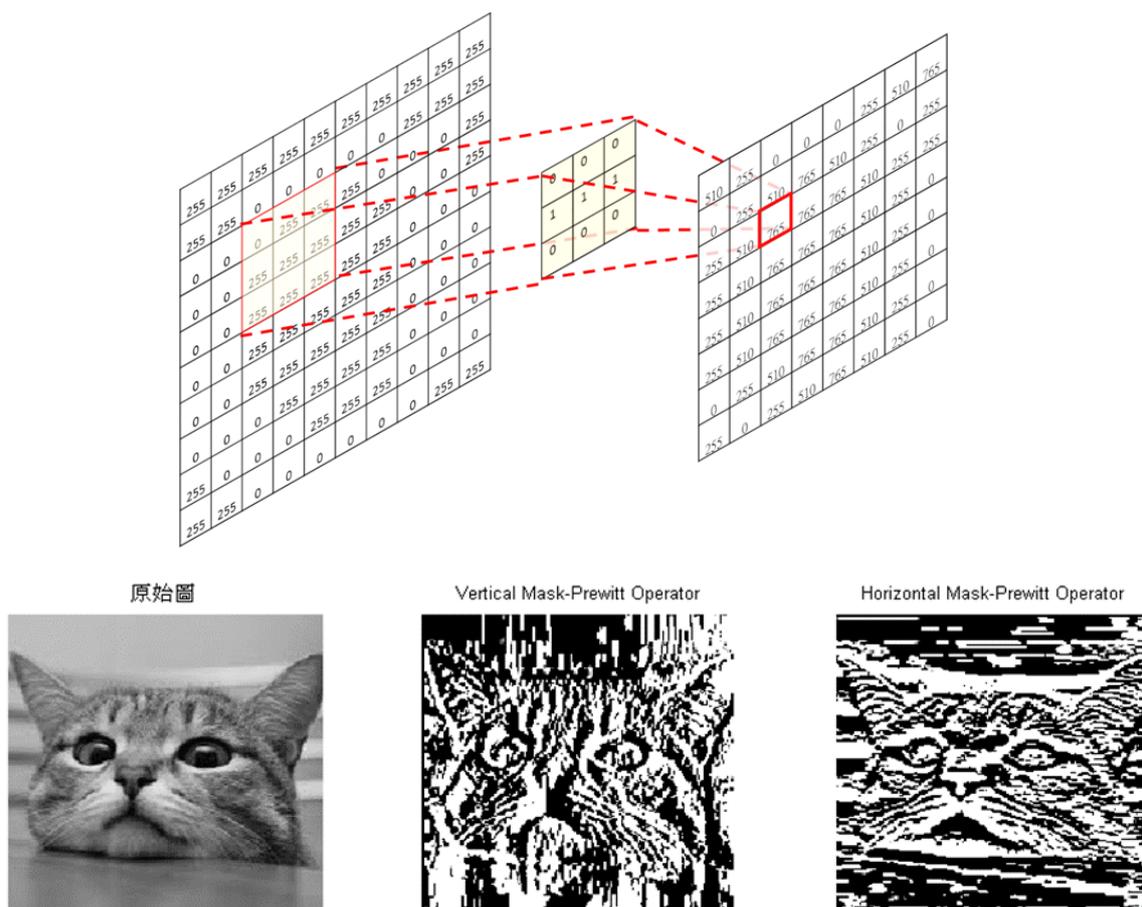


圖 4.8 卷積運算

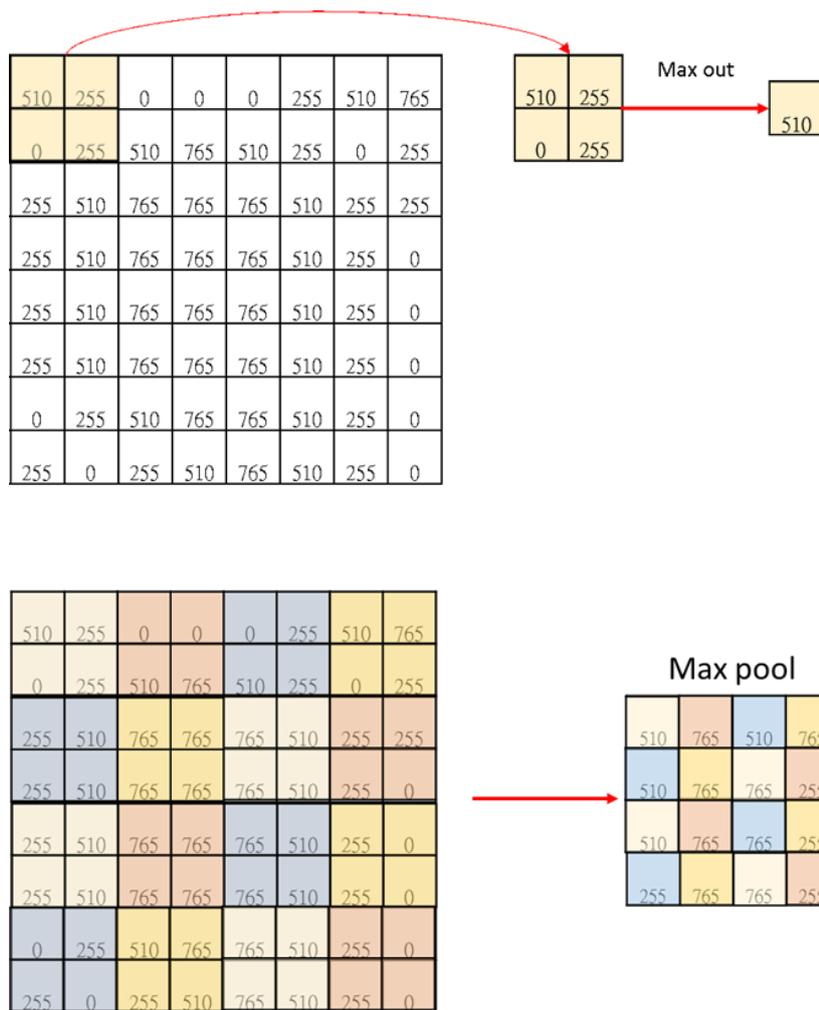


圖 4.9 池化運算

4.1.2 Yolo 模型

Yolo 是 You only look once 的縮寫，意思是這個物件偵測演算法只要掃描圖片一次，就能判斷照片或影像裡的物件類別與位置。在 Yolo 之前的物件偵測，多採用兩階段學習法(two stage learning)，先用特殊方法選出物件，然後針對選出的物件再進行物件辨識，如圖 4.10 所示。Yolo 採用 one stage learning，物件位置偵測和物件辨識一步到位，也就是一個神經網路能同時偵測物件位置，也可以辨識物件，因此物件偵測的速度大幅提升，如圖 4.11 所示。

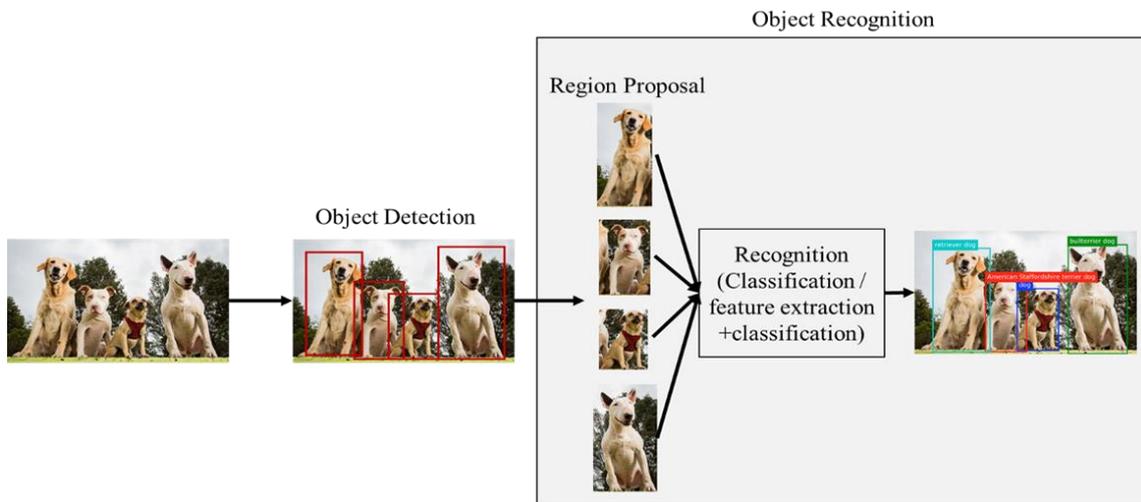


圖 4.10 兩階段學習法

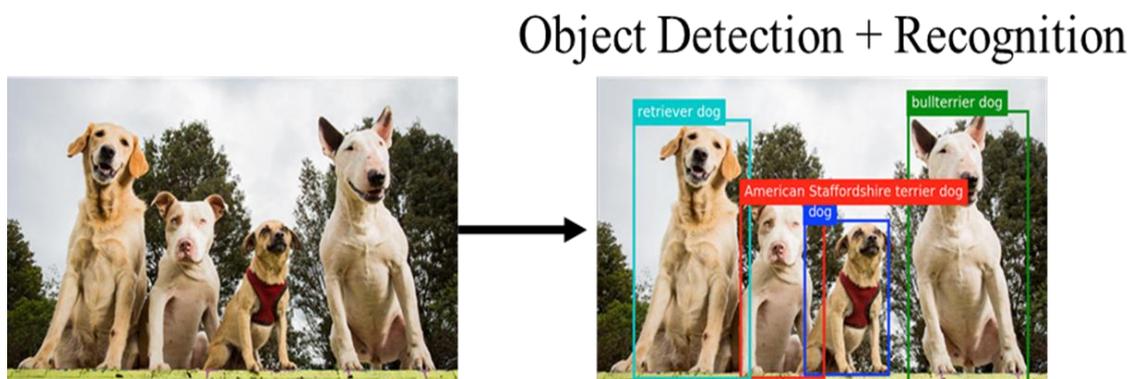


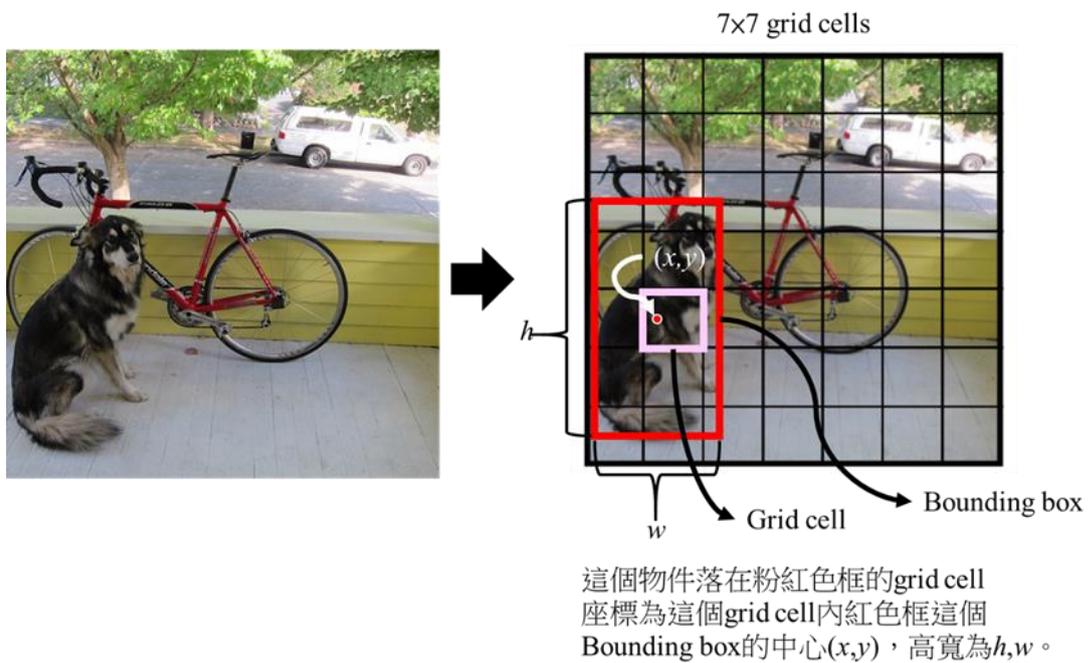
圖 4.11 一階段學習法

Yolo 發展歷程如表 4-1 所示。Yolo 會將 1 張圖片平均分成 $S \times S$ 格，每一格稱為 grid cell。然後在每個 grid cell 進行 N 個 bounding boxes 的預測和屬於哪一個類別的機率預測 (Yolov2, $N=2$; Yolov3, $N=5$)。每個 bounding box 帶有個 5 預測值 ($x, y, w, h, confidence$)， (x, y) 是某一物體在這個 grid cell 的中心座標， w, h 是這個物件相對應的寬、高， $confidence$ 表示這個物件是否為一物件的信心程度。每個 grid cell 還要預測屬於每個類別的條件機率，如圖 4.12(a) 所示。

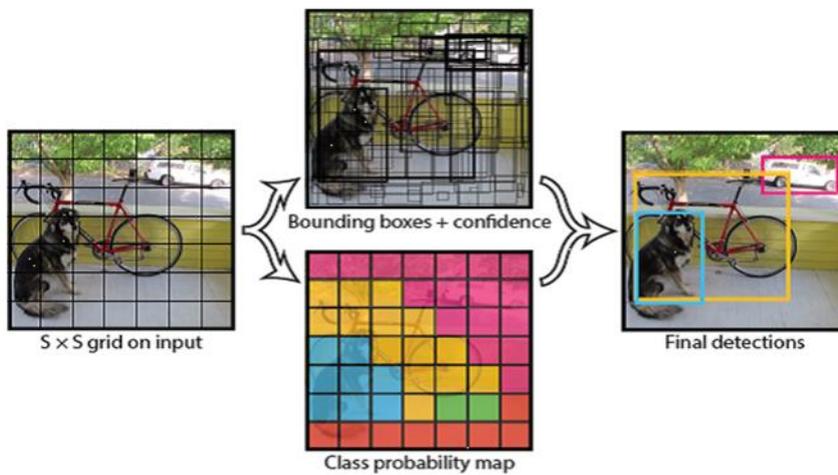
表 4-1 Yolo 發展歷程

模型名稱	說明
Yolov1	Yolo 是 Joseph Redmon 和 Ali Farhadi 等人於 2015 年提出的基於單個神經網路的物件偵測演算法，目前稱為 Yolov1。
Yolov2	Yolov2 在 2017 年問世，Yolov2 採用了 Darknet-19 神經網路，即有 19 層神經網路，將偵測物體的準確度提升很多，而依然保持了偵測物體的速度。
Yolov3	Yolov3 在 2018 年 4 月提出，基底網路為 Darknet-53，有 53 層神經網路，採用了一般類神經網路加深時常用的 ResNet 結構來解決梯度問題，大大提升了小物體的偵測能力，同時改善了偵測距離十分接近物體的能力。
Yolov4	2020 年 4 月 Alexey Bochkovskiy 與臺灣中研院王建堯、廖弘源共同改良了 Yolov3，並且得到了 Yolo 官方認可，產生了 Yolov4。Yolov4 再提升了 Yolov3 偵測物件的準確率，最大特點是使 GPU 及 VPU 的執行效率大幅提高。
之後	之後 Scaled-Yolov4、Yolov5 相繼出現，其中 Scaled-Yolov4 可以調整神經網路的大小以因應使用環境的計算能力做調整，其輕量級縮小版 Yolov4 tiny 的辨識速度為 Yolov4 的 4 倍以上；Yolov5 有 Yolov4 的準確性，模型大小卻小了好幾倍以上，但 Yolov5 的發表時間與 Yolov4 相差不到幾個月，其未經官方承認且被認為創新性不足，Yolov5 的名字具有爭議性。

最後用閾值和 NMS(Non-Maximum Suppression)法得到結果。找到物件的方法是根據所有 bounding boxes 的信心程度，先經由閾值刪除一些確定不是物件的 bounding box，然後用 NMS 法將重疊的 bounding box 消除。每一 grid cell 只偵測單一物件，如果一個 grid cell 中有多個物件的信心程度，則取信心程度最大者做為該 grid cell 的物件。如此重覆執行後，剩下來的 bounding box 就是選出來的物件。最後，結合選出的物體及對應 grid cell 的類別，即可判斷出物體所屬之類別，如圖 4.12(b)所示。



(a)



(b)

圖 4.12 Yolo 物件偵測原理

4.2 運用人工智慧輔助巡查之評估

本計畫第二章將徒步(機車)查道的 26 項檢查項目，依檢查物件區分為 10 個檢查主題，在此，針對各個檢查主題做進一步探討，分別評估各檢查主題是否運用人工智慧辨識技術來輔助巡查，評估適合度與執行可行性 2 個面向。

在適合度面向：人工智慧(Artificial Intelligence，以下簡稱 AI)影像辨識技術的功能在是替代人眼辨識，評估的標準在於檢查方法，若檢查方法是以人眼進行檢查，則適合以 AI 影像辨識來輔助，若檢查方法較適合以儀器設備進行量測，則採用 AI 影像辨識的適合度較低；在執行可行性面向：構思如何擴充既有系統，進行影像取像與辨識的執行面課題，評估以 AI 影像辨識技術來進行各項檢查的可行性。

1. 軌道幾何線形檢查

軌道幾何線形檢查的檢查內容包括 1.水平不整、2.高低不整、3.方向不整等 3 項徒步(機車)查道項目。

軌道幾何線形檢查在臺鐵局目前主要進行的 5 項軌道檢查作業中均有進行，分別運用不同儀器進行檢查。在每年 4 次甲種檢查時，以軌道檢查車進行軌道幾何線形檢測；在每年 2 次乙種檢查時，以小型手推式軌道檢查儀進行檢測；在每月 1 次振動檢查時，以振動檢查儀檢測；在每日主管乘車巡查時，則透過目視檢視與列車震動情形判斷軌道是否有異狀；在每週徒步(機車)查道時，若採徒步查道，道班人員係透過目視檢視軌道路線；若乘工程維修車巡查，則透過目視檢視並依實務經驗透過車輛震動情形判斷軌道是否有異狀。

軌道幾何線形檢查的標準，如第三章表 3-5 所示。由特甲級線平時養護標準值的靜態不容許標準均為 7mm 來看，採用軌道檢查車、軌道檢查儀或振動檢查儀等設備進行檢查，量測得到具體數值，是比較適當的檢測方法；在徒步查道時以目視檢查，很難目測出軌道有無超過 7mm 的不整問題，應是就軌道上可目測之明顯不整問題做檢視。

在主管乘車巡查、乘機車查道時，除了以目視檢視路線外，並透過車輛震動情形判斷軌道有無不整問題。據了解，當有水平不整與方向不整問題時會引起車輛左右振動，當有高低不整問題時會引起車輛上下方向振動，可據以判斷軌道不整問題，另因工程維修車震動較大，搭乘避震效果較佳的營運列車，較易做判斷。以目視加車輛震動檢查的成效比僅以目視巡查的徒步查道佳，檢查結果雖不似儀器檢查得到具體數據，但確能找出軌道不整問題所在，是日常巡查軌道幾何線形的主要方法。

以臺鐵局大甲分駐所 110 年的軌道巡查紀錄中有關軌道幾何線形檢查的紀錄為例，在軌道幾何線形的 3 項檢查上，主管乘車巡查紀錄 391 筆資料，而徒步(機車)查道僅紀錄 9 筆資料，且其中 8 筆資料為機車查道、1 筆資料為徒步查道(詳如第三章表 3-6)。可推論在日常的軌道幾何線形檢查上，主要仰賴主管乘車巡查，而非徒步(機車)查道。

綜而言之，臺鐵局除定期以軌道檢查車(每年 4 次)、軌道檢查儀(每年 2 次)、振動檢查儀(每月 1 次)等儀器設備進行精確的軌道幾何線形檢查外，日常則由主管乘車巡查(每日)、徒步(機車)查道(每週)透過目視與車輛震動情形檢查軌道不整問題，且透過車輛震動情形來查覺軌道不整問題比目視檢視路線的成效佳，日常的軌道幾何線形檢查主要仰賴主管乘車巡查。

AI 影像辨識技術主要係替代人眼的目視檢視，後續若發展出檢查軌道幾何線形問題的 AI 影像辨識系統，預估能達到如目視檢視水準，檢查出可目測之明顯不整問題。不過，由目前的日常檢查主要仰賴乘車透過感覺車輛震動情形來判斷軌道幾何線形問題，即使發展出檢查軌道幾何線形問題的 AI 影像辨識系統，其檢查效果預估不如震動檢查的效果。

AI 辨識技術目前除成功應用在影像辨識上，亦成功應用在音訊處理、自然語音處理等方面，後續若嘗試以 AI 辨識列車振動以判斷軌道不整問題，預期可以發展出較 AI 影像辨識佳的判斷模式。因此，

評估在軌道幾何線形檢查上發展 AI 影像辨識技術的適合度低，不建議納入後續 AI 影像辨識的項目。

2. 鋼軌檢查

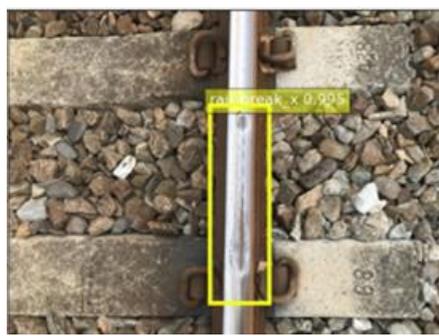
鋼軌檢查的檢查內容包括 4.鋼軌磨耗(含壓、流潰)、5.鋼軌損傷、斷裂等 2 項徒步(機車)查道項目。

目前臺鐵局在鋼軌檢查方面，日常巡查主要仰賴徒步(機車)查道時透過目視檢視鋼軌的磨耗，以及有無損傷、斷裂問題。此外，臺鐵局規劃新購置超音波探傷車，後續將每年進行 3 次檢查；臺鐵局並於去(110)年底引入「鋼軌裂縫快篩系統」，可進行裂縫快速檢測；另與本所合作研發建置的軌道構件缺失辨識系統，可運用人工智慧影像辨識技術檢視可目視之鋼軌正面損傷、斷裂或鋼軌側面斷裂^[7]。

在檢查方法上，在徒步(機車)查道時以目視檢查，係檢視鋼軌表面有無明顯可辨識的磨耗、損傷與斷裂，若是鋼軌有微小裂痕，在夜間光線不足情況下進行辨識，有一定難度；而使用超音波檢測設備，利用高頻振動的音波導入材料內部，可檢查鋼軌表面與內部缺陷，且能量測得到具體精確數值，是比較完整的檢測方法。

AI 影像辨識技術主要係替代人眼的目視檢視，在徒步(機車)查道時以目視檢查的項目，原則上應可以應用 AI 影像辨識技術來協助處理。目前在本所 110 年軌道構件缺失辨識系統，已可透過 AI 影像辨識技術檢視鋼軌損傷、斷裂問題，後續再將以目視檢視的鋼軌磨耗問題納入辨識項目，理論上應是可行。

目前本所 110 年軌道構件缺失辨識系統中鋼軌損傷、斷裂問題的可辨識項目分為 3 類，包括：「軌面輕微缺失(踏面損傷)」、「軌面嚴重缺失(鋼軌裂縫)」、「鋼軌軌腹裂痕」，如圖 4.13 所示。後續若要以 AI 影像辨識協助檢查鋼軌磨耗，可以考慮運用既有拍攝鋼軌影像的攝影機進行影像拍攝。



(a)軌面輕微缺失(踏面損傷) (b)軌面嚴重缺失(鋼軌裂縫)



(c)鋼軌軌腹裂痕

資料來源：軌道扣件缺失人工智慧辨識現地測試及精進研究(2022)^[7]。

圖 4.13 本所 110 年軌道構件缺失辨識系統之鋼軌辨識項目

至於鋼軌磨耗問題的辨識標的，基於鋼軌只要有使用就會產生磨耗，徒步查道的重點在檢視影響鋼軌運作功能的磨耗問題，如壓潰、流潰、波形磨耗、側面磨耗等，後續可蒐集各類型鋼軌磨耗影像供機器學習進行辨識。

此外，據了解臺鐵局引入的「鋼軌裂縫快篩系統」，可在列車高速行駛下，偵測出大於 3 mm 以上鋼軌裂縫^[6]，相較於運用 AI 影像辨識技術，該檢測採用雷射技術是精確度較高的檢測方法。因此，後續是否仍運用 AI 影像辨識技術進行鋼軌損傷、斷裂檢測，可配合臺鐵局使用該鋼軌裂縫快速檢測系統的使用成效做調整，抑或本所建置的軌道構件缺失辨識系統，後續可用 AI 影像辨識技術結合雷射技術、車載光達技術進行更精確的鋼軌檢查。

3. 螺栓與扣件檢查

螺栓與扣件檢查的檢查內容包括 6.螺栓鬆脫、7.扣件鬆脫等 2 項徒步(機車)查道項目。

在本所 110 年建置的軌道構件缺失辨識系統，已可透過 AI 影像辨識技術，檢視出魚尾鈹是否有螺栓脫落，扣件是否有鬆脫、遺失問題。因此，本項檢查已是本所 AI 影像辨識既有項目。

目前本所 110 年軌道構件缺失辨識系統中螺栓與扣件檢查的辨識項目分為 7 類，包括：「e 扣夾輕微缺失」、「e 扣夾嚴重缺失」、「道釘輕微缺失」、「道釘嚴重缺失」、「版式軌道 e 扣件輕微缺失」、「版式軌道 e 扣件嚴重缺失」、「魚尾鈹螺栓脫落」等，如圖 4.14 所示。

其中，在螺栓檢查上，目前臺鐵局為預防螺栓鬆脫影響行車安全，已在絕緣接頭處的魚尾鈹加繪定磅線，可以快速檢測是否有螺栓鬆動問題，建議後續可將此納入後續辨識項目，在螺栓鬆動時就發現問題而及早處理，而非等到螺栓完全脫落時才檢視到問題。

此外，護軌墊鈹、滑床鈹、軌撐等軌道相關配件亦是使用螺栓固定在鋼軌或軌枕上，亦可考慮將這些配件的螺栓鬆動、脫落問題納入考量，讓螺栓檢查的功能更趨完善。



(a) e 扣夾輕微缺失



(b) e 扣夾嚴重缺失



(c) 道釘輕微缺失



(d) 道釘嚴重缺失



(e) 版式軌道 e 扣件輕微缺失



(f) 版式軌道 e 扣件嚴重缺失



(g) 魚尾鉸螺栓脫落

資料來源：軌道扣件缺失人工智慧辨識現地測試及精進研究(2022)^[7]。

圖 4.14 本所 110 年軌道構件缺失辨識系統之螺栓與扣件辨識項目



資料來源：大甲分駐所。

圖 4.15 臺鐵局魚尾板的螺栓定磅線

4. 鋼軌接頭檢查

鋼軌接頭檢查的檢查內容包括 8.軌縫異常、9.伸縮接頭異常、11、接頭沈落等 3 項徒步(機車)查道項目。

鋼軌接頭是軌道最脆弱的部分，該處受行駛列車的輪軸重力衝擊，較易發生道床鬆弛、接頭下沉問題。關於鋼軌接頭的檢查方法主要仰賴巡查人員的目視檢查，當巡查到鋼軌接頭處會檢視是否有軌縫異常、伸縮接頭異常的問題。

AI 影像辨識技術主要係替代人眼的目視檢視，在徒步(機車)查道時以目視檢查的項目，原則上應可以應用 AI 影像辨識技術來協助處理。目前在本所 110 年軌道構件缺失辨識系統，已可透過 AI 影像辨識技術檢視魚尾板是否有螺栓鬆脫或斷裂、裂縫等軌縫異常問題，後續再將伸縮接頭異常問題納入辨識項目，應是可行。

目前本所 110 年軌道構件缺失辨識系統中軌縫異常問題的可辨識項目分為 2 類，包括：「魚尾板裂縫」、「魚尾板螺栓脫落」，如圖 4.16 所示。後續若要以 AI 影像辨識協助檢查伸縮接頭，可以考慮運用既有拍攝鋼軌影像的攝影機來進行影像拍攝。



(a) 魚尾板裂縫

(b) 魚尾板螺栓脫落

資料來源：軌道扣件缺失人工智慧辨識現地測試及精進研究(2022)^[7]。

圖 4.16 本所 110 年軌道構件缺失辨識系統之鋼軌接頭辨識項目

5. 軌枕檢查

軌枕檢查為徒步(機車)查道項目的第 10 項「枕木腐朽、斷損」，係針對軌枕的腐朽、斷損問題做檢查。

軌枕檢查的方法，在徒步(機車)查道時是透過目視巡查，在每年 2 次的軌道乙種檢查時亦是以目視檢視軌枕，因此，關於軌枕的檢查，可以考慮納入後續 AI 影像辨識的項目。

後續若要以 AI 影像辨識協助檢查軌枕，可以考慮運用既有拍攝鋼軌與軌道扣件的攝影機，在進行影像辨識時，增加軌枕 1 項辨識項目。

6. 道床檢查

道床檢查的檢查內容包括 12.道床噴泥、13.道碴不足等 2 項徒步(機車)查道項目。

關於針對軌道道床檢測有無道床噴泥、道碴不足的問題，目前的檢查方法主要仰賴巡查人員的目視檢查，當有道碴排水不良、道床噴泥問題時，應可檢視到石碴道床中冒出泥漿，當有道碴不足問題時，應可檢視到道碴出現滑動或塌陷的狀況，這些以目視檢視道碴的工作，原則上應可應用 AI 影像辨識來協助處理，因此，關於道床檢查，將納入後續 AI 影像辨識的項目。

後續若要以 AI 影像辨識協助檢查道床，可以考慮運用既有拍攝鋼軌與軌道扣件的攝影機，在進行影像辨識時，增加道床噴泥、道碴不足 2 項辨識項目，另可考慮增設 1 臺攝影機，安裝在車頭前方，拍攝車前的道床影像，據以判斷道床上有無道床噴泥、道碴不足問題。

7. 軌道相關設施檢查

軌道相關設施檢查的檢查內容包括 14.路基異常、15.橋梁異常、16.隧道異常、滲漏、17.邊坡異常、18.排水溝、箱涵淤塞、19.平交道設備不整、21.圍牆(籬)異常、破洞等 7 項徒步(機車)查道項目。

關於路基、橋梁、隧道、邊坡、排水溝、箱涵異常、平交道設備整、圍牆(籬)破洞或異常等相關設施的檢查，巡查人員在徒步查道時係以目視檢視各項設施有無異狀。

AI 影像辨識技術主要係替代人眼的目視檢視，在徒步(機車)查道時以目視檢查的項目，原則上應可以應用 AI 影像辨識技術來協助處理。不過，因為徒步(機車)查道依規定必須在夜間執行，若要以 AI 影像辨識輔助巡查，在夜間攝影時必須輔以足夠光度以獲得清楚影像，而邊坡、排水溝、圍牆、圍籬、平交道等相關設施是位於軌道兩側，拍攝時的強光可能會影響到平交道外停等的汽、機車，或圍籬外的民宅、住家，故若要進行 AI 影像辨識輔助巡查，將攝影機安裝在營運列車上於白天拍照是較適合的方式。

因此，關於軌道相關設施檢查，在目前以 AI 影像辨識輔助夜間徒步(機車)查道的階段下，不建議納入後續 AI 影像辨識的項目，俟未來將攝影機安裝在營運列車上並於白天拍照時，再納入考量。

8. 淨空檢查

淨空檢查的檢查內容為徒步(機車)查道項目的第 20 項：樹木、他物入侵淨空，係檢查是否有樹木或他物入侵淨空。

關於淨空檢查的方法，臺鐵局有一台淨空檢查車可檢查軌道與軌道附近的裝置或建築物是否有足夠的空間，執行淨空的定期檢查；

而日常巡查作業仍仰賴徒步(機車)查道以及主管乘車巡查時的目視檢視。

道班人員的目視巡查，可考慮應用 AI 影像辨識協助檢查淨空，將淨空檢查納入後續 AI 影像辨識的項目。後續若要以 AI 影像辨識協助檢查淨空，可考慮將攝影機安裝在車頂或車頭，拍攝車前影像以判斷是否有樹木或他物入侵淨空。

9. 軌道上異物檢查

軌道上異物檢查的內容包括 22.軌道上雜草、23.動物屍體等 2 項徒步(機車)查道項目。

關於軌道上異物檢查的方法，目前主要仍仰賴道班人員的目視巡查，可考慮應用 AI 影像辨識協助巡查軌道上的異物，將軌道上異物檢查納入後續 AI 影像辨識的項目。

若要以 AI 影像辨識協助檢查軌道上異物，可考慮將攝影機安裝在車頭前方，拍攝車前方的軌道影像，以判斷軌道上是否有雜草或動物屍體。

10. 巡查配備、材料檢查與其他

巡查配備、材料檢查與其他的檢查內容包括 24.勞安配備、鳴笛標、瞭望員、25.機具材料放置安全及新舊材料收回情形、26.其他(前述未列事宜)等 3 項徒步(機車)查道項目。

關於檢查勞安配備是否妥適，機具材料有無放置安全、新舊材料有無歸置與回收等查道項目，因檢查內容並非在軌道路線上進行目視巡查工作，不在本所發展 AI 影像辨識技術的應用範圍內，將不納入後續 AI 影像辨識的項目。

至於徒步(機車)查道項目的第 26 項：其他(前述未列事宜)，因巡查時可能遭遇各種問題，不一定採用目視檢視，亦無特定的 AI 影像辨識項目，故也不納入後續 AI 影像辨識的項目。

前述臺鐵局徒步(機車)查道 10 個檢查主題是否運用人工智慧辨識技術來輔助巡查的分析評估結果，綜整如表 4-2。

表 4-2 運用人工智慧辨識技術輔助巡查的分析評估結果

項次	檢查主題	檢查項目	應用 AI	評估說明
1	軌道幾何線形檢查	1.水平不整 2.高低不整 3.方向不整	×	● 幾何不整量小，目視檢視不易，平日巡查以車輛震動判斷，評估以 AI 影像辨識的效果不佳。
2	鋼軌檢查	4.鋼軌磨耗(含壓、流潰) 5.鋼軌損傷、斷裂	○	<ul style="list-style-type: none"> ● 已進行「鋼軌損傷、斷裂」辨識，可再將「鋼軌磨耗」納入後續辨識項目。 ● 「鋼軌裂縫快篩系統」的檢測較 AI 辨識精確，以 AI 辨識鋼軌缺失的定位可配合滾動檢討 ● 後續可發展 AI 辨識結合雷射、車載光達技術，進行更精確檢測。
3	螺栓與扣件檢查	6.螺栓鬆脫 7.扣件鬆脫	○	● 已進行「螺栓鬆脫」、「扣件鬆脫」辨識。
4	鋼軌接頭檢查	8.軌縫異常 9.伸縮接頭異常 11.接頭沈落	○	● 已進行「軌縫異常」辨識，可再將「伸縮接頭異常」納入後續辨識項目。
5	軌枕檢查	10.枕木腐朽、斷損	○	● 可納入後續辨識項目。
6	道床檢查	12.道床噴泥 13.道碴不足	○	● 可納入後續辨識項目。
7	軌道相關設施檢查	14.路基異常 15.橋梁異常 16.隧道異常、滲漏 17.邊坡異常 18.排水溝、箱涵淤塞 19.平交道設備不整 21.圍牆(籬)異常、破洞	×	● 軌道相關設施檢查位於軌道兩側，夜間拍攝的強光將影響到平交道外停等的汽、機車，或圍籬外的民宅、住家，不建議納入後續辨識項目。
8	淨空檢查	20.樹木、他物侵入淨空	○	● 可納入後續辨識項目。
9	軌道上異物檢查	22.軌道上雜草 23.動物屍體	○	● 可納入後續辨識項目。
10	巡查配備、材料檢查與其他	24.勞安配備、鳴笛標、瞭望員 25.機具材料放置安全及新舊材料收回情形 26.其他(前述未列事宜)	×	<ul style="list-style-type: none"> ● 「24.勞安配備、鳴笛標、瞭望員」、「25.機具材料放置安全及新舊材料收回情形」2 項的檢查內容非在軌道路線上，不建議納入後續辨識項目。 ● 「26.其他(前述未列事宜)」的檢查內容為非特定物件，不建議納入後續辨識項目。

資料來源：本計畫整理。

第五章 擴大應用人工智慧輔助巡查之方向研提

在前一章已就各巡查項目評估是否可以運用人工智慧辨識技術輔助巡查，本章將依據運用人工智慧辨識技術輔助巡查評估結果，研提後續人工智慧辨識技術在軌道巡查上擴大應用的方向。

初步研提的擴大應用方向如下：

1. 深化既有人工智慧(AI)影像辨識項目

螺栓檢查是本所軌道構件缺失辨識系統的主要辨識項目之一，惟主要針對魚尾鈹螺栓脫落做辨識。目前臺鐵局為預防魚尾鈹螺栓鬆脫而影響行車安全，已在絕緣接頭處的魚尾鈹加繪定磅線，可快速檢測是否有螺栓鬆動問題，故後續本所辨識系統可再增加螺栓定磅線辨識，在螺栓鬆動時就發現問題而及早處理，而非等到螺栓完全脫落時才檢視到問題。

此外，護軌墊鈹、滑床鈹、軌撐等軌道相關配件亦是使用螺栓固定在鋼軌或軌枕上，故後續本所辨識系統可再增加各類軌道配件的螺栓鬆動、脫落辨識，讓螺栓檢查的功能更趨完善。

目前在主管乘車巡查或振動檢查時不進行螺栓檢查，螺栓檢查的日常巡查主要仰賴徒步(機車)查道的人工目視巡查。雖然螺栓鬆脫發生問題的嚴重程度中等，但發生頻率高，故螺栓檢查是徒步(機車)查道的一項重點工作。

目前螺栓檢查已是本所軌道構件缺失辨識系統的主要辨識項目之一，再增加螺栓定磅線辨識，以及各類軌道配件的螺栓鬆動、脫落辨識，在執行上是執行效益高而困難度較低的工作，建議可以優先處理。

2. 深入評估可納為人工智慧(AI)影像辨識的巡查項目

在第四章考量到人工智慧(AI)影像辨識技術係以機器視覺來替代人眼的目視巡查，原則上徒步(機車)查道時以目視檢查的項目應可

以應用人工智慧(AI)影像辨識技術來輔助巡查。因此，初步評估後續可以考慮將軌枕檢查、道床檢查、淨空檢查、軌道上異物檢查納為後續的擴大應用方向。

惟人工智慧(AI)影像辨識，在技術上有其局限性，一是建立影像辨識模型需要大量的資料，通常資料量愈大則辨識模式的精確度愈高；二是人工智慧(AI)影像辨識是在二維平面上進行辨識，而人眼的目視巡查可從不同視度進行缺失檢視，可在三維立體空間上進行辨識，甚至在發現問題時可直接以輔助工作進行量測。

因此，後續可進行軌枕、道床、淨空、軌道上異物等檢查主題的缺失影像蒐集作業，進一步瞭解是否由二維平面的缺失影像可清楚辨識出缺失問題？是否能蒐集到足夠的缺失影像以建立辨識模型？再針對可進行人工智慧(AI)影像辨識的缺失項目，做缺失問題分類、進行深度學習、建立人工智慧(AI)影像辨識模型。透過深入評估，更進一步確認哪些巡查項目可納為人工智慧(AI)影像辨識的擴大應用方向。

3. 人工智慧(AI)辨識技術結合振動檢查設備輔助巡查

水平不整、高低不整、方向不整等3項軌道不整問題是徒步(機車)查道中問題嚴重度高且發生頻率高的高風險項目，對巡查人員而言是很重要的檢查工作。惟軌道不整的容許量僅為7mm，以目視檢視效果不佳，目前日常巡查主要透過列車震動情形來判斷。

基於軌道不整問題以目視檢視效果不佳，本計畫不建議採用人工智慧(AI)影像辨識技術來輔助進行此項檢查工作。但人工智慧(AI)辨識技術目前除成功應用在影像辨識上，亦成功應用在音訊處理、自然語音處理等方面，後續可嘗試以人工智慧(AI)辨識列車振動以判斷軌道不整問題；或嘗試將震動檢查儀或其他可量測列車上下、左右、前後等三向振動量的儀器設備與人工智慧(AI)影像辨識系統聯結，將量測設備測得的三方向振動量輸入人工智慧(AI)辨識系統，由系統協助判斷何處有軌道不整問題。

後續若將建立人工智慧(AI)振動辨識，初步規劃可蒐集大量的震動檢測資料，請臺鐵局的專家指導判讀震動檢測資料的方法，分別輸入水平不整、高低不整、方向不整與接頭沈落等問題的震動檢測資料，運用人工智慧(AI)影像辨識的深度學習法，建立人工智慧(AI)振動影像辨識模型，據以協助巡查單位判斷軌道是否有軌道不整、接頭沈落問題。

4. 人工智慧(AI)辨識技術結合雷射或光達技術輔助巡查

雷達(Radar)是在一面發射出無線電波的同時，一面接收被遠處物體反射回來的無線電波訊號，藉此得知物體的方位與距離；光達(Lidar)也是遵循此一原理，只不過發出去的「光」從無線電波換成了波長較短的雷射光，由於發出去的光變成能量較集中且波長比較短的雷射，因此光達有著比雷達有更好的解析度。

應用車載雷達或光達技術，能夠針對周圍環境進行多點掃瞄，得到 2 維或 3 維坐標系中的一系列點，稱之為「點雲」(point cloud)，由此一點雲所形成的高解析度 2 維或 3 維影像，結合人工智慧辨識技術，推測可以得到較佳的辨識結果。

鋼軌損傷、斷裂是徒步(機車)查道中問題嚴重度很高且發生頻率不低的高風險項目，對巡查人員而言，是很重要的檢查工作。目前鋼軌損傷、斷裂是本所軌道構件缺失辨識系統的既有辨識項目之一，據了解臺鐵局於 110 年 12 月引入的「鋼軌裂縫快篩系統」採用雷射技術，可在列車高速行駛下偵測出大於 3 mm 以上鋼軌裂縫；雷射或光達技術相較於人工智慧(AI)影像辨識技術，是精確度較高的檢測方法。後續本所的軌道構件缺失辨識系統可考慮用人工智慧(AI)影像辨識技術結合雷射技術、車載光達技術，進行更精確的鋼軌損傷、斷裂檢查。

第六章 結論與建議

本所建置一套軌道構件缺失辨識系統，以攝影機搭配人工智慧(AI)深度學習方法，進行鐵路軌道構件自動辨識分析，可自動辨識軌道扣件、道釘、鋼軌、魚尾鈹等構件是否有鬆脫、斷裂、裂縫等問題。惟軌道巡查作業除巡查扣件、道釘、鋼軌、魚尾鈹等軌道構件外，亦同時巡查軌道線形、軌道上異物、路線淨空、道碴、道床、枕木等。本計畫透過深入研析目前臺鐵局路線巡查作業執行現況，探討人工智慧辨識技術除進行扣件、道釘、鋼軌、魚尾鈹等軌道構件巡查檢測外，可擴大應用在其他軌道巡查作業項目的方向，提供臺鐵局及本所後續辦理人工智慧辨識在軌道巡查研究之應用。

本計畫的結論、建議、成果效益與應用情形說明如下：

6.1 結論

本計畫具體研究成果整理如下：

1. 臺鐵局目前進行的軌道檢查作業，主要分為日常巡查、定期檢查、特別檢查等 3 類。在平日無天然災害或意外事件時，軌道路線安全係由日常巡查、定期檢查 2 類檢查的互相配合以維護。
2. 日常巡查的內容包括徒步(機車)查道、主管乘車巡查、振動檢查 3 項檢查；定期檢查主要包括軌道甲種檢查、軌道乙種檢查 2 項檢查。在第二章 2.1 節中詳述各項檢查的檢查頻率、檢查內容。
3. 徒步(機車)查道是所有軌道檢查作業中最基礎的例行性工作，也是本所以軌道構件缺失辨識系統協助的對象。本計畫透過蒐集相關資料、拜會臺鐵局軌道巡查單位，以瞭解 26 項檢查項目的檢查內容、檢查方法與維修處理方法，整理後詳列於第二章 2.2 節中，並將 26 項檢查項目依檢查標的歸納為 10 個檢查主題，以利後續探討分析較易聚焦在重點項目。

4. 臺鐵局的軌道檢查作業方式與高鐵、捷運的軌道檢查作業類似，均是由巡查人員分段進行徒步巡查，再利用軌道檢查車和超音波探傷車檢查軌道幾何線形不整與鋼軌損傷問題；但臺鐵局與高鐵、捷運軌道系統的差異，造成臺鐵軌道巡查不同於高鐵、捷運的特性，本計畫歸納得到臺鐵軌道巡查有以下 3 項特性。
 - (1) 臺鐵採用 1067mm 軌距的窄軌系統，路線有較多的小半徑曲線、陡坡路段，較易造成鋼軌磨耗或軌道結構變形；
 - (2) 臺鐵不具專用路權，處理動物侵入問題的頻率較高；
 - (3) 臺鐵路線多為道碴道床，所需養護維修頻率較高。
5. 本計畫借閱大甲分駐所 110 年 1~12 月的軌道巡查紀錄表，據以分析大甲分駐所在徒步(機車)查道、主管乘車巡查時主要檢查到的軌道問題，及各問題發生頻率；並以大甲分駐所的巡查資料，推測臺鐵局日常巡查時的可能發現問題。分析結果如下：
 - (1) 在徒步(機車)查道方面：發生頻率最高的是 7.扣件鬆脫 779 次/年，其次是 23.動物屍體 652 次/年，再來是 22.軌道上雜草 332 次/年、6.螺栓鬆脫 203 次/年、20.樹木、他物入侵淨空 112 次/年，其他各巡查項目的發生次數均在 20 次/年以下。
 - (2) 在主管乘車巡查方面：發生頻率最高的前 3 項均是軌道不整問題，依序是 2.高低不整 138 次/年、3.方向不整 129 次/年、1.水平不整 124 次/年，再來是 23.動物屍體 89 次/年，而後是 20.樹木、他物入侵淨空 44 次/年，11.接頭沈落 44 次/年，22.軌道上雜草 36 次/年、26.其他 17 次/年、12.道床噴泥 13 次/年、21.圍牆(籬)異常破洞 1 次/年。
6. 軌道在承受車輛經過的重複載重作用下，結構將逐漸變形，造成相關問題，當軌道相關問題超過容許範圍將危及行車安全。當軌道相關問題發生時，輕則造成列車晃動過大、行駛不穩，重則有列車出軌風險，本計畫在第三章 3.2 節中，由軌道力學角度詳細分析各個檢查主題的潛在危安態樣。

7. 本計畫運用風險矩陣法(Risk Matrix)，以危安問題發生頻率和嚴重性 2 項因子來綜合評估各巡查項目的危安風險高低。其中，危安問題發生頻率以大甲分駐所 110 年實際檢查出問題的頻率來概估，而危安問題嚴重性，則採用問卷調查方式，請臺鐵局軌道巡查實務專家協助判斷。分析得到高、中、低各風險等級的檢查項目如下：

- (1) 高風險(A)的檢查項目 5 項：1.水平不整、2.高低不整、3.方向不整、5.鋼軌損傷、斷裂、7.扣件鬆脫。
- (2) 中風險(B)的檢查項目 11 項：4.鋼軌磨耗(含壓、流潰)、6.螺栓鬆脫、10.枕木腐朽、斷損、11.接頭沈落、12.道床噴泥、13.道碴不足、14.路基異常、19.平交道設備不整、20.樹木、他物侵入淨空、22.軌道上雜草、23.動物屍體。
- (3) 低風險(C)的檢查項目 9 項：8.軌縫異常、9.伸縮接頭異常、15.橋梁異常、16.隧道異常、滲漏、17.邊坡異常、18.排水溝、箱涵淤塞、21.圍牆(籬)異常、破洞、24.勞安配備、鳴笛標、瞭望員、25.機具材料放置安全及新舊材料收回情形。

為降低巡查人員目視巡查的工作負荷，後續在構思應用 AI 影像辨識技術輔助巡查時，可參考此一危安風險評估結果，優先處理列為高風險的檢查項目，而後再處理中、低風險的檢查項目。

8. 本計畫評估各巡查項目採用人工智慧影像自動辨識分析，替代人工目視巡查，輔助執行巡查作業的可能性。評估得到：

- (1) 部分項目已進行 AI 影像辨識，後續可再增加辨識項目的辨識主題 2 個：鋼軌檢查、螺栓與扣件檢查；
- (2) 後續可納入的辨識主題 5 個：鋼軌接頭檢查、軌枕檢查、道床檢查、淨空檢查、軌道上異物檢查；
- (3) 後續不建議納入的辨識主題 3 個：軌道幾何線形檢查、軌道相關設施檢查、巡查配備、材料檢查與其他。

此一評估結果可做為臺鐵局與本所後續應用人工智慧影像辨識輔助巡查之參考。

9. 最後，依依據運用人工智慧辨識技術輔助巡查評估結果，研提後續人工智慧辨識技術在軌道巡查上擴大應用的方向如下：

(1) 深化既有 AI 影像辨識項目：目前螺栓檢查已是本所軌道構件缺失辨識系統的主要辨識項目之一，再增加螺栓定磅線辨識，以及各類軌道配件的螺栓鬆動、脫落辨識，在執行上是執行效益高而困難度較低的工作，建議可以優先處理。

(2) 深入評估可納為 AI 影像辨識的巡查項目：AI 影像辨識在建立影像辨識模型需要大量的資料，後續可就軌枕、道床、淨空、軌道上異物等檢查主題進行缺失影像蒐集、缺失問題分類、深度學習、建立 AI 影像辨識模型，深入評估辨識成效。

(3) AI 辨識技術結合振動檢查設備輔助巡查：軌道不整問題與接頭沈落問題目前主要透過列車震動情形來判斷，後續可嘗試將振動檢查儀或其他儀器設備與 AI 影像辨識系統聯結，由 AI 辨識系統協助判斷。

(4) AI 辨識技術結合雷射或光達技術輔助巡查：後續可考慮將 AI 影像辨識技術結合雷射技術、車載光達技術來進行更精確的鋼軌損傷、斷裂檢查。

6.2 建議

1. 本計畫提出的擴大應用方向及未來可研究課題，除提供臺鐵局參考應用外，亦可提供其他軌道系統參考。
2. 本計畫研提出數項後續人工智慧辨識技術在軌道巡查上擴大應用的方向，建議後續逐步進行研發探討，並在研究時先回顧相關文獻以掌握最新進展。
3. 臺鐵局目前營運路線約 1,000 公里，其中傳統石碴道床約占 80%，混凝土道床約占 20%，未來隨著市區軌道路線高架化的增加，混

凝土道床的佔比將逐步提高。基於 2 種道床的軌道結構不同，發生問題或巡查重點不盡相同，後續可做進一步的探討分析。

4. 關於軌道問題風險評估之風險嚴重度等級區分，若將等級劃分方法由問卷調查法改成以危安事件之影響營運時間、責任死傷情況等定量資料來劃分，應可得到較客觀的分級結果。

6.3 研究成果之效益

1. 完成各類軌道巡查項目採人工智慧辨識技術執行巡查作業之評估。
2. 完成後續人工智慧辨識技術在軌道巡查上擴大應用方向之研提。
3. 可做為本所後續辦理人工智慧辨識相關研究之先期研究。

6.4 提供政府單位應用情形

1. 提供臺鐵局未來運用人工智慧辨識技術協助執行軌道巡查作業決策之應用。
2. 提供本所後續辦理人工智慧辨識相關研究之應用。

參考文獻

1. 交通部臺灣鐵路管理局，取自臺鐵局網站/關於臺鐵/認識臺鐵/臺灣鐵路路線建造史(<https://reurl.cc/589A67>)，查詢日期：2022 年 4 月 1 日。
2. 交通部，1067mm 軌距軌道養護檢查規範，民國 110 年 6 月 2 日頒布。取自交通部網站(<https://reurl.cc/WqK2ox>)，查詢日期：2022 年 4 月 11 日。
3. 交通部臺灣鐵路管理局，取自臺鐵局網站(<https://www.railway.gov.tw/>)，查詢日期：2022 年 11 月 14 日。
4. 陳純森，由臺鐵之斷軌事件探討鋼料之斷裂行為，2018 年 4 月 11 日，取自技師報網站(<https://reurl.cc/zrndx0>)，查詢日期：2022 年 9 月 13 日。
5. 蘋果新聞網，揪斷軌及時修復！臺鐵列車裝鋼軌快篩系統最適車輛是它，2021 年 12 月 1 日李姿慧臺北報導，取自 <https://tw.appledaily.com/life/20211201/AQ3A7E5RGFC2ZJ3JI4BFZFCJYU/>，查詢日期：2022 年 4 月 29 日。
6. 經濟日報網站，高科大開發鋼軌裂縫快篩系統，2022 年 3 月 30 日李福忠報導，取自 <https://reurl.cc/nZG8ke>，查詢日期：2022 年 4 月 29 日。
7. 謝禎岡、蔡立宏、賴瑞應、謝幼屏、黃維信、謝尚琳、鄭登鍵、徐侗雲、杜宇豪、賈漢文，“軌道扣件缺失人工智慧辨識現地測試及精進研究”，臺北市:交通部運輸研究所，民國 111 年 3 月。
8. 臺灣交通鐵道影像網站，2015.7.6 臺鐵百福車站鐵軌長焊鋼軌伸縮接頭，取自 <https://reurl.cc/33q2d9>，查詢日期：2022 年 9 月 30 日。
9. Blair's 鐵道攝影網站，臺鐵魚尾板 TRA Fishplate，取自 <https://reurl.cc/33q2d9>

- l.cc/85xgrj，查詢日期：2022年10月3日。
10. Blair's 鐵道攝影網站，臺鐵軌道絕緣接頭 TRA Insulated Rail Joint，取自 <https://reurl.cc/OEKO77>，查詢日期：2022年10月3日。
 11. Blair's 鐵道攝影網站，臺鐵淨空檢查車 TRA Clearance Car，取自 <https://reurl.cc/589mkV>，查詢日期：2022年5月13日。
 12. 張有恆、蘇昭旭，現代軌道運輸，臺北：人人出版有限公司，2002。
 13. 交通部，一四三五公厘軌距鐵路長銲鋼軌鋪設及養護規範，民國95年1月27日頒布。取自交通部網站(<https://reurl.cc/OEKOb7>)，查詢日期：2022年5月18日。
 14. 自由時報網站，「又因低溫造成？和平—漢本鋼軌今發現裂縫，臺鐵斷軌3天連3起」，110年1月9日記者鄭瑋奇、王錦義報導，取自 <https://reurl.cc/RO3Nde>，查詢日期：2022年10月14日。
 15. 維基百科網站，臺鐵南迴線連續破壞事件，取自 <https://zh.wikipedia.org/wiki/臺鐵南迴線連續破壞事件>，查詢日期：2022年10月14日。
 16. 交通部，1061024 臺鐵三民站正線出軌事故專案調查報告，取自政府資料開放平臺(<https://data.gov.tw/dataset/77790>)，查詢日期：2022年11月17日。
 17. 交通部，臺鐵0604 富里-東竹及0622 富源-光復正線出軌事故專案調查報告，取自政府資料開放平臺(<https://data.gov.tw/dataset/59650>)，查詢日期：2022年11月17日。
 18. 維基百科網站，2020年臺鐵瑞芳猴硐路段坍方事故，取自 <https://zh.wikipedia.org/wiki/2020年臺鐵瑞芳猴硐路段坍方事故>，查詢日期：2022年10月14日。
 19. 中央通訊社網站，臺鐵瑞芳猴硐路段邊坡滑落不穩定度升至列最高級，中央社記者汪淑芬2020年12月4日報導，取自 <https://reurl.cc/KX1Gky>，查詢日期：2022年10月14日。

附錄一

交通部臺灣鐵路管理局路線巡查安全作業程序

交通部臺灣鐵路管理局路線巡查安全作業程序

94年5月23日鐵工程字第0940010305號函修訂

97年9月3日鐵工程字第0970020597號函修訂

98年12月14日鐵工路字第0980033958號函修訂

- 一、交通部臺灣鐵路管理局（以下簡稱本局）為維護行車安全、環境景觀，預防沿線器材被竊、路產被占，及迅速處理颱風、豪雨、地震或其他不可抗力等災害，特訂本安全作業程序。
- 二、每週內，其中1天由各道班輪派人員徒步巡查各道班轄區路線至少1次，不得以任何理由停止巡查，其中每月至少由領班或副領班徒步巡查1次；另外5天每天由各分駐所監工區督導人員、技術領班、技術副領班輪流搭乘機（列）車巡查各分駐所轄區路線1次；其餘1天由各工務段養路主任、施工主任、產業主任、勞安主任、分駐所主任輪流搭乘機（列）車巡查各工務段轄區路線1次。
每週1次之徒步巡查，若遇雨天有影響工作安全時，得改以道班人員隨乘工程維修車、電搖車或機（列）車巡查路線。
前述人員未持有蓋有「准乘機車」戳章之公務乘車證者，於搭乘機（列）車巡查路線時，應攜帶巡查紀錄表及巡查路線排班表並主動向司機員表示身分。道班徒步巡查人員遇雨天改以隨乘機（列）車巡查時應主動出示巡查簿表明身分。
轄區路線有5公里（含）以上隧道之道班，每週1天之徒步巡查則得以使用電搖車或工程維修車於夜間封鎖路線辦理之。
前項路線巡查使用之電搖車或工程維修車應於車上裝設加強照明設備，於辦理路線巡查時，行車速度應以每小時20公里以下為原則。
- 三、道班人員巡查路線時，應注意查看路基軌道是否正常，橋隧有無損壞，及沿線器材有無被竊，所有巡查路線情形，應隨時報告道班長、監工區督導人員，並應扼要記入巡查簿。
- 四、道班人員巡查路線時，如發現器材被竊，應儘可能將竊犯扭送鐵路警務段、所或地方警察局、所，並即以電話報告工務段，如發現路線故障，其可能修整者，應立即處理，如情節重大，不能立即處理者，除速施以列車防護外，並應設法通知鄰近車站、報告道班長、監工區督導人員、及工務段，以上兩項情形如有發現時，均應扼要記於巡查簿上。
- 五、監工區督導人員、技術領班、技術副領班巡查路線時，應注意路基、軌道是否正常，巡查情形應扼要填寫巡查紀錄表，如有不良路況處

所應即通知所轄道班整修。

六、養路主任、分駐所主任、施工主任、產業主任、勞安主任巡查路線時，應將巡查情形扼要填寫巡查紀錄表，遇有不良路況及其他應加強改善事宜，應即通知工務段相關單位辦理改善。

七、道班人員巡查路線時，應攜帶下列物品：

(一) 巡查袋及巡查簿。

(二) 紅綠旗。

(三) 行車調度無線電話機。

夜間查道或有隧道者應攜帶號誌燈。

道班人員巡查路線時，攜帶之行車調度無線電話機除保持正常開機外，必須掛於可隨時接聽或發話之處，不可置放於背包內，以利監聽行車相關訊息。

八、工務段每月至少辦理一次列車振動檢查，檢測轄區路線。

九、道班人員巡查出發前，應持巡查簿到出發站向站長查詢當日行車準點及加班車情形並請證明出發時間，在到達站時亦同，巡查完畢後，應照常工作。

十、道班人員巡查路線時，應注意前後來車，尤應特別注意雙單線之行車，及有關行車號誌之顯示，並隨時有避讓來車之準備。

十一、道班人員巡查路線時，其服裝及裝備應整齊，並注意查看軌道之變形或材料、配件之缺失等。遇有必要整修時應先確認行車空間後，始可在軌道內工作。

十二、道班人員巡查路線，在通過橋梁或隧道時，應先確認列車時刻，再行走，遇有來車時應照規定儘速利用避車台或避車洞避讓列車，在視線不良地段，應耳目並用特別注意列車來往。

十三、避讓列車時，無論列車行駛於任何軌道均必須避讓於路肩、避車台或避車洞，不得滯留於軌道上，並應依照局頒勞工安全衛生工作守則之注意事項停止前進並注視列車，向列車司機員呼應，待列車通過後再繼續巡查。

十四、颱風豪雨之際或地震久雨或發生其他不可抗力災變之後，工務段應加派較高級人員及道班工不分日夜加強巡查路線。

十五、加強巡查次數及時間，應視實際情況，由工務段長決定，必要時，其特殊處所，應派工監守之。

十六、加強巡查時，除查看軌道情形外，並應注意路基排水狀況是否良好，路塹路堤是否可能坍塌，涵管是否暢通，橋梁橋墩是否傾斜，水位是否暴漲，及橋隧設備等是否正常。

十七、加強巡查路線時，亦應先填巡查簿，並請站長證明，其每一區間

查畢，除扼要記於巡查簿外，並應將路線情形，以電話報告監工區督導人員及工務段。

- 十八、加強巡查路線，如在上班時間以外，得依勞基法相關加班費規定斟酌核發加班費。
- 十九、道班巡查路線時，對防止器材被竊，或處理路線故障得宜，應即述明事實經過，報請主管處核獎。
- 二十、道班人員不按規定巡查路線，經查覺時，視其情節輕重，依交通事業人員獎懲辦法有關規定辦理。
- 二一、同一道班經查覺一個月內有不按規定巡查路線2次以上者，該管道班長申誡1次，4次以上者記過1次，6次以上者記大過1次。
- 二二、同一監工區內各道班經查覺一個月內有不按規定巡查路線4次以上者，該管監工區督導人員申誡1次，6次以上者記過1次，8次以上者記大過1次。
- 二三、同一工務段內各道班經查覺一個月內不按規定巡查路線次數達各該工務段管轄道班總數五分之一時，養路主任申誡1次，五分之二時養路主任記過1次，段長申誡1次。
- 二四、段長、養路主任及監工區督導人員應隨時抽查道班巡查路線情形，如發現不按規定巡查路線之道班人員，應依照本安全工作標準有關條文議處。
- 二五、段長、養路主任及監工區督導人員，抽查發現道班不按規定巡查路線議處後之次數可抵消本安全作業程序第二二、二三條各該員應受處分所依據之次數。
- 二六、領班、副領班、監工區督導人員及各主任不按規定搭乘機（列）車巡查路線，一經查覺時，應予申誡或記過處分。
- 二七、道班工、技術副領班、技術領班、監工區督導人員及各主任不按規定巡查路線致肇事故者，除依本標準規定辦理外，應照本局員工獎懲辦法之規定辦理。
- 二八、主管處得視實際需要指定特殊地段之道班專責巡查。前項專責巡查如有違反規定時，比照本安全作業程序有關條文予以懲處。
- 二九、本安全作業程序自公佈之日起實施。

附錄二

危安嚴重性問卷調查表

危安嚴重性問卷調查表

您好！本所刻正進行「應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討」的研究，欲瞭解在軌道路線巡查之 26 項巡查項目危安風險，希望能藉由您的寶貴意見，協助研究的進行。

此問卷調查所得資料，僅供研究之用，不做個別揭露，敬請安心填答。感謝您的協助與幫忙。敬祝

身體健康 順心如意

交通部運輸研究所 敬上

[填答說明]

以下各項問題，是想瞭解您對徒步(機車)查道各巡查項目若未確實執行，可能造成危安問題的嚴重程度。請依您的業務經驗觀點，分別在適當的 打「✓」。

巡 查 項 目	嚴重性				
	很高	高	中	低	很低
1.水平不整	<input type="checkbox"/>				
2.高低不整	<input type="checkbox"/>				
3.方向不整	<input type="checkbox"/>				
4.鋼軌磨耗(含壓、流潰)	<input type="checkbox"/>				
5.鋼軌損傷、斷裂	<input type="checkbox"/>				
6.螺栓鬆脫	<input type="checkbox"/>				
7.扣件鬆脫	<input type="checkbox"/>				
8.軌縫異常	<input type="checkbox"/>				
9.伸縮接頭異常	<input type="checkbox"/>				
10.枕木腐朽、斷損	<input type="checkbox"/>				
11.接頭沈落	<input type="checkbox"/>				

巡 查 項 目	嚴重性				
	很高	高	中	低	很低
12.道床噴泥	<input type="checkbox"/>				
13.道碴不足	<input type="checkbox"/>				
14.路基異常	<input type="checkbox"/>				
15.橋梁異常	<input type="checkbox"/>				
16.隧道異常、滲漏	<input type="checkbox"/>				
17.邊坡異常	<input type="checkbox"/>				
18.排水溝、箱涵淤塞	<input type="checkbox"/>				
19.平交道設備不整	<input type="checkbox"/>				
20.樹木、他物侵入淨空	<input type="checkbox"/>				
21.圍牆(籬)異常、破洞	<input type="checkbox"/>				
22.軌道上雜草	<input type="checkbox"/>				
23.動物屍體	<input type="checkbox"/>				
24.勞安配備、鳴笛標、瞭望員	<input type="checkbox"/>				
25.機具材料放置安全及新舊材料收回情形	<input type="checkbox"/>				
26.其他(前述未列事宜) 請列舉： _____	<input type="checkbox"/>				

問卷到此結束，由衷感謝您耐心的填答。

附錄三

專家學者座談會會議紀錄

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

壹、會議名稱：本所港灣技術研究中心第一科 111 年自行研究計畫專家學者座談會議

貳、時間：111 年 4 月 26 日(星期二) 上午 10 時

參、地點：本所港灣技術研究中心 5 樓第一會議室(視訊會議)

肆、主持人：蔡立宏主任 紀錄：鄭登鍵

伍、出單位及人員：如後附簽到表

陸、審查意見：

一、朱金元委員

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

1. 各年度甘梯圖之工作項目宜更精準。
2. 斷面試驗或現場橋址記錄河床變化、鼎型塊變位或流失情形，宜作三維之量化紀錄。
3. 斷面水槽試驗，建議每次試驗都能全程錄影，尤其在鼎型塊或地工織布即將變位或流失之過程，可於成果說明時清楚呈現。

(二) 應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

1. 在 110 年合作計畫結束即研究擴大應用範圍，是很棒的計畫。
2. 建議對於執行現況探討可就前期研究沒處理的部分深入即可。
3. 加強前期研究成果推廣應用之執行情形，並研究如何精進，畢竟科技發展很快。

(三) 多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

1. 相關 UAV 及山區道路崩塌研究，中心已有相當豐碩之前期研究成果，宜先探討其執行應用情形。
2. 本研究對象建議以山區道路或東部地區易崩塌路段為主，較能突顯成果。
3. 除後續應用於巡查作業外，建議未來能朝預警機制建立等賡續進行。

(四) 111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與關聯性研究

1. 本中心進行二十餘年持續性之腐蝕調查建置研究，支持繼續進行。
2. 原始資料紀錄越詳細越好。例如：樣本放置/收取/試驗時間，以作為後續分析使用。
3. 建議未來應用 AI 分析技術，作為後續不同地區金屬材料選用，構造物壽命評估及維護評估使用。

(五) 港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

1. 集中精力於相關新興科技應用案例，蒐集分析可行性應用評估，對於維護管理制度，檢查項目劣化標準等都有多年的探討，除非有必要才再花時間探討。
2. 檢測結果之自動辨識及判讀，後續維護之優先順序自動排序對於節省相關人力及提昇檢測精度可能更為重要。
3. 各項新興科技包括水下機器人都要在本計畫建置？從計畫經費概估表看不出來，如都用現成的東西，建議縮短期程。

(六) 港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

1. 在原有之地理資訊系統(GIS)已有各種評估方法或液化潛勢評估方法，該系統已技術轉移給港務公司，如果有新的鑽探資料，應由港務公司人員自行建置資料，進行評估。
2. 如有更新的建築技術規則，也許可以增加此評估方法或調整相關參數進行比較。

3. 建議期程縮短，評估方法建立後，示範 1 個地點即可，其餘技轉給港務公司，自行建置評估。

二、王錦榮委員

(一) 應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

P.19，本案在召開專家學者座談會，建議先找臺鐵員工巡查員座談，確認問題的癥結，及人工智慧辨識的重點，避免產生運用上之盲點。

(二) 111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與關聯性研究

1. 建議仿照前期(108-110 年)，以每 3 年為一個研究年期進行長期調查及研究，除可建立更完整的材料腐蝕環境，並可分析各類金屬材料腐蝕變化，並藉此建立環境變遷對應材料腐蝕之變化。
2. 臺灣各港口之水質、環境均有明顯差異，建立各港均應有試驗站，以利比對，分析水質、環境差異對腐蝕之影響性，建立影響因子。
3. 建議增加教育訓練之場次，以利港務公司更多同仁了解研究成果及後續因應作為。
4. 建議長期可以制定一套港灣金屬結構物(設施)全生命週期之防蝕、保養、維護管理手冊或規範。

(三) 港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

1. 本計畫對於未來港務公司執行各類港灣構造物之巡查檢測作業非常有助益，建議可否擴大研究規模，以縮短本研究計畫年期，例如:碼頭+防舷材，防波堤+海堤分兩年完成。
2. 港灣構造物巡查檢測項目與劣化判定標準，感謝運研所先前協助建立，建議 111 年可以重新檢視更新，並導入科技巡檢，以利更準確掌握構造物之現況。
3. 未來檢測巡查導入新興科技應用是必然的趨勢，建議加速推動，港公司全力支援與配合，包括由港公司編列經費來

擴大辦理。

(四) 港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

1. 臺中港近期正加速南填區之圍堤造地，建議一併納入評估，以做為後續工程設計之檢討參考。
2. 臺北港及高雄港，此兩港近期已有完成新填土地，建議此二港口之液化風險評估，可併在 112 年來辦理。

三、朱我帆委員

(一) 應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

1. 本案 2 週前與本局機務單位會議，申請調用復興號車箱一輛，做為今年研究案系統模組化安裝測試，車箱之外觀、尺寸已經研究單位現場勘查確認，調用之車箱預計 5 月上旬可運至大甲站。
2. 因車箱前、後構造不同，為考量日後維修車兩側牽引之採作便利，請研究單位應以輕巧、拆裝方便、穩固為主。若裝設於車底，則以易於調整設備角度及更換設備為重點。
3. 待設備安裝於車箱後，可先日間於大甲站側線測試，如成效良好則可改為夜間於正線測試，相關期程請研究單位再與本段確認。
4. 本案初期以時速 60 公里為測試目標，請研究單位評估最高測試車速，本局再予研究是否可連掛於日間列車運轉測試。
5. 前案因裂縫缺失態樣製作不易，辨識效果受限，本年度請研究單位可再提升此功能之成效。

(二) 111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與關聯性研究

金屬材料腐蝕環境調查，因本局車站、橋梁均有相關結構，希能將其納入貴所之研究。

四、饒書安委員

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值

水理分析模型建置

1. 第 1 年工作及後續年度規劃，請考量本分局大甲段實際於國道 3 號大甲溪橋之橋墩基保護工程，原預計定於 111 年汛期前施工，惟考量目前現地主河道水量較大之施工便道目前較難施工，且整體施工工期約兩個月(P22~P23 及 P25-26 各約 1 個月)，將調整於今年汛期後(111.11~111.12)辦理施工，以上期程提供貴中心參考調整研究期程。
2. 有關計畫 111 年預計辦理之二維或三維之數值模擬水槽分析模型，建議未來可多蒐集相關文獻模擬成果。
3. 另外有關 UAV 結合攝影量測技術，後續相關成果希望可洽取供本段養護管理參考，作為兩機關合作成果。
4. 未來若有到現地因涉及國道主線安全，進場請先洽本局承辦人，除考量安全外並可提供本段橋梁承辦人共同參予研討並提升本同仁專業能力。
5. 最後還是肯定港研中心規劃 4 年度研究案，對於國道 3 號大甲溪橋墩保護工程的持續深入模擬與現地相互驗證，對於產官學合作建立良好機制。
6. 有關橋基保護工程分析模擬之成果，建議可辦理教育訓練提供本分局橋梁維護人員及顧問公司學習參考，或由本分局共同協助辦理及經費負擔。

(二) 應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

1. 主要工作項目中，巡檢成效如何？前期成果中，人工智慧辨識成功率有多高？當前遇到的問題是辨識種類增加，還是準確率提高？
2. 各種入侵物的樣態中，如果沒有足夠訓練影像樣本，如何進行？

(三) 多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

本研究若有需要，高速公路局大甲段可全力配合，不過裸露

坍塌地國道目前較少，建議增納其他模式如局部滑移及改善比對等。

(四) 111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與關聯性研究

有關金屬材料腐蝕環境調查建議可將國道3號竹南路段或和美路段增列國道位置隔音牆設點納入長期觀測。

五、張志新委員

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

1. 有關保護成效觀測研究項目第一年到第四年的工作項目都是持續進行記錄周遭變化，鼎型塊流失情形。建議應多論述如何應用科研技術進行量化，量化頻率為何?量化範圍?並且在四年中有何進步的發展。
2. 第4年工作項目，本工法技術指引，該項工作沒有出現在第1~3年對應工作項目，若保護成效有限如何辦理技術指引與技術移轉?應經過如何的認證或是專利申請始可進行技術移轉?
3. 是不是僅限鼎型塊的應用?
4. UAV 對於水下紀錄如何克服?

(二) 多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

1. 本研究應釐清適用影像，若以計畫書相關需求建議以衛星影像為主較為合適。
2. 承上，衛星影像用於邊坡裸露判識已有前人研究之豐碩成果，建議應藉以此為基礎，再思考本案如何更強化及精準打擊。
3. 目前判識仍須結合現地地貌特徵，才能為崩塌地研判之可能，建議未來可思考如何解決及突破此問題。

(三) 港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

1. 前期成果為何？
2. 研究項目內容中 P.37 港灣構造物巡檢項目與劣化判定標準之彙整。從兩行的內容文字彙整既有巡檢項目、構件劣化標準。似乎是距離計畫執行還有很長的路要走？
3. 建議盡速釐清前述項目與標準，選擇適合的新興應用科技作為技術提升的研發。
4. 除目前提出的方法外 InSAR 合成孔徑雷達影像適合於小位移變形的偵測可以嘗試看看。

(四) 港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

1. 港區的液化風險不會有太大改變，會改變的是這些年新增設施，抗液化的風險或是易損性有不同，應朝向新增設備或設施抗液化風險評估及其對策研擬。
2. 經濟部中央地質調查所持續更新全臺液化潛勢，建議同樣是政府資源，可以採用中央地質調查所的系統新增鑽探資料，即可完成液化評估。

六、許書王委員

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

1. 橋基保護工法監測，應確保在需要監測時，相關設備均能使用。
2. 橋基周邊環境會隨降雨條件改變，此對於室內模擬或實驗是否應注意。

(二) 港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

P.37 新興科技應用於巡查檢測作業部分，由於港灣構造物其環境或有不同，對於研究時，建議針對不同環境最有利的科技產品應用，而不限於用單一科技應用於所有港灣構造物。

七、鄭志宏委員

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

地工織布之耐久性為何?建議納入評估。

(二) 應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

1. 建議可針對臺鐵的巡察需求，先檢討使用的設備，如小構件的巡查，以無人車巡查可能較符合需求，大範圍大面積巡查，可優先檢討無人機運用，它物入侵等緊急應變處理，可考慮以 CCTV 搭配電子圍籬。
2. AI 辨識技術仍需要持續學習改善正確率，建議可納為持續研究討論改善正確率的做法。

(三) 111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與關聯性研究：

1. 建議團隊可考慮港口條件的特性，將生物影響及海象外力的影響列為變因來探討。
2. 港口金屬防蝕之工法，現階段常用鍍鋅工法、塗漆、鋁陽極塊等，其使用有一定的壽齡，因此如何提升使用壽齡，建議可納入本案研究。

(四) 港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

1. 港灣構造物巡查檢測作業，以由運研所協助建置了線上使用系統，因此未來智慧化運用於巡查作業後，其巡查結果仍應納入該系統中管理，建議團隊研議如何讓系統互相結合，減少人為作業的程序。
2. 新興科技研究案例中，建議可將側掃聲納納入研究。本公司在研究水下 ROV 過程中，側掃聲納可在高濁度的環境下，取代高精攝影機的功能，傳回鋼板樁式碼頭及棧橋式碼頭的影像以供辨別。
3. 港口碼頭常附著生物蚌殼等，影響判別(版厚檢測需要先去除海生物才能執行)，建議可一併考慮如何解決。

(五) 港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

1. 臺中港、高雄港、臺北港等，近期都有填海造地行為，造地材料常用均質、粉質砂岩等，且填築完成初期尚未完成

壓密行為，容易發生液化及沉陷，建議此高風險區域可優先討論。

2. 查以前團隊報告，也一併調查及研究港口的沉陷情形，109年的報告，又以布袋港沉陷最高，建議可併本案持續研究。

柒、 結論：

感謝各位委員提供本所相當寶貴之專業建議，請案關業務同仁將委員意見納入參採，以符合實際應用面，並提升研究成果之廣度及實用性。

捌、散會：下午 12 時 10 分

會議簽到表

壹、會議名稱：本所港灣技術研究中心第一科 111 年自行研究計畫專家學者座談會議

貳、時間：111 年 4 月 26 日(星期二)上午 10 時

參、地點：本所港灣技術研究中心5樓第一會議室(視訊會議)

肆、主持人：蔡立宏主任 蔡立宏

伍、出席單位及人員：

出席單位	簽名
朱金元委員	
王錦榮委員	王錦榮(視訊)
朱我帆委員	朱我帆(視訊)
饒書安委員	饒書安(視訊)
張志新委員	張志新(視訊)
許書王委員	許書王(視訊)
鄭志宏委員	鄭志宏(視訊)

<p>本所港灣技術研究中心 柯正龍副主任</p>	<p>柯正龍</p>
<p>本所港灣技術研究中心 第一科</p>	<p>賴瑞康 張道光 謝幼屏 曾文傑 胡啓文 潘建明 黃子謙 鄭望鍵 莊凱迪</p>
<p>本所港灣技術研究中心 第二科</p>	<p>李怡穎</p>
<p>本所港灣技術研究中心 第三科</p>	<p>林雅雯</p>

附錄四

第 1 次工作會議紀要

111 年 6 月工作會議紀要

採購/自辦案件編號：

會議名稱：「本所港灣技術研究中心第一科 111 年自行研究計畫」第 1 次工作會議

時間：111 年 6 月 27 日(星期一)上午 9 時 30 分至 12 時 20 分

地點：視訊會議

主持人：賴瑞應科長

出席者：如後附簽到表

主/協辦單位：本所港灣技術研究中心第一科

紀錄：莊凱迪

壹、討論議題/計畫名稱

一、工作進度說明

(一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

1. 前期成果應用說明。
2. 二維數值水理分析模式比較及文獻蒐集。
3. 完成試驗區 UAV 觀測採購案。

(二)應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

1. 進行臺鐵局 5 項主要軌道檢查作業的檢查頻率、檢查內容探討。
2. 綜整軌道巡查作業各檢查項目之檢查方法與維修處理方法，探討臺鐵局在軌道檢查上不同於高鐵、捷運之特性。
3. 進行軌道巡查紀錄表分析，探討徒步(機車)查道、主管乘車

巡查時主要檢查到的軌道問題，以及各項問題的發生頻率。

(三)多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探
(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

1. 航測技術比較及相關空拍影像取得管道和成本蒐整。
2. 深度學習影像辨識技術探討。
3. 卷積神經網路(CNN)架構探討。

(四)111年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

1. 大氣腐蝕因子調查與金屬材料現地暴露試驗，於3月31日已進行全島111年第1季大氣腐蝕劣化因子調查取樣，4月8日已完成第1季金屬酸洗化學分析試驗，預計6月底完成第2季大氣腐蝕劣化因子調查取樣。
2. 5月15日完成2021年臺灣大氣腐蝕劣化因子調查年報。並提供中華民國防蝕工程學會產、官、學、研各界參用交流。
3. 111年5月27日完成投稿第23屆海洋與水下技術研討會，題目為「臺灣商港2年期水下金屬材料腐蝕調查研究」。

(五)港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

1. 整理與彙整港灣構造物維護管理機制。
2. 港灣構造物巡查檢測項目與劣化判定標準之彙整。
3. 持續蒐集國內外相關新興科技應用巡檢案例。

(六)港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

1. 蒐集彙整液化評估法相關文獻。
2. 5月函文臺灣港務公司，蒐集臺中港近10年新建工程所增加之地質鑽探資料；6月蒐集地調所臺中港地質鑽探資料。
3. 初步完成臺中港地質鑽探資料盤點。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

1. 本案執行 2 維數值水理分析、斷面渠槽沖刷試驗及 UAV 現場拍攝評估地工織布成效，工作項目相當充實，後續請補充前述三者之相關性。
2. 第三科有購置 MIKE-21 程式，可提供分析使用。
3. GoPro 之縮時攝影規劃因角度及流體混濁度可能影響拍攝成果，請思考因應對策。

(二) 應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

1. 本案建議先針對人工智慧影像辨識可執行之項目先做篩選，再擇與安全性相關性較高之項目做深入探討。
2. 在各項問題發生頻率分析之後，可將哪些項目對軌道安全影響較高、哪些較低整理出來，做為後續研究之方向。

(三) 多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

水土保持局建置之 BigGIS 巨量空間資訊系統蒐整邊坡衛星、航拍及 UAV 等空拍影像，建議了解該系統操作流程及圖資影像介接使用方式，以供後續研究之參用。

(四) 111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

1. 請補充公務單位高速公路局應用臺灣腐蝕環境分類資訊系統之應用實例。
2. 本所工業區試驗點及主要大氣腐蝕因子之關聯性討論。

(五) 港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

1. 維護管理機制、巡查檢測項目與劣化判定標準之討論。

2. 新興科技應用於巡查檢測作業，在港務公司目前應用的情形。

(六) 港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

1. 地質鑽探資料盤點、篩選討論。

2. 土壤液化評估相關方法討論。

3. 後續報告內容的加強與補充討論。

貳、重點紀要/主要結論

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水
理分析模型建置

試驗區 UAV 觀測採購案已完成採購，後續至現場進行拍攝時，請同仁注意相關安全防護工作。

(二) 應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

本案目的以 AI 輔助臺鐵局巡查，可考量 AI 特性、臺鐵局的巡查設備、巡查方式、巡查需求等因素，評估後，先將不適合 AI 執行項目排除，再就 AI 可輔助項目做深入探討。

(三) 多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探
(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

請依研究標的決定採用之影像，並瞭解相關影像取得的難易，若無法符合研究需求，亦可考量自行或委外拍攝，以取得研究所需的圖資。

(四) 111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

請彙整臺灣工業區金屬材料與腐蝕劣化因子及氣象因素等環境因子資料，並於第 2 次工作會議進行說明。

(五) 港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測
作業之探討

1. 後續請補充探討目前港務公司在新興科技應用於巡查檢測作

業之項目。

2. 在探討新興科技應用案例過程，請同步分析港務公司目前在巡檢之需求與執行上困難，以利後續精進巡查檢測作業。

(六)港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

針對今年新增的臺中港區的地質鑽探資料，請於第 2 次工作報告呈現新、舊資料的分佈區域，以利瞭解其分佈，並探討是否能滿足臺中港區液化評估的需求，若有區域鑽探資料不足之處，可再洽詢臺中港務分公司索取。

會議簽到表

壹、會議名稱：「本所港灣技術研究中心第一科 111 年自行研究計畫」第 1 次工作會議

貳、時間：111 年 6 月 27 日(星期一) 上午 9 時 30 分

參、地點：本所港灣技術研究中心 5 樓第一會議室(視訊會議)

肆、主持人：蔡立宏主任 賴瑞興代

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
港灣技術研究中心第一科	副科長 研究員 研究員 研究員 助理研究員 =	曾文輝 張凱迪 謝幼輝 張道光 胡哲文 莊凱迪 黃守謙 王培博
港灣技術研究中心第二科		請假
港灣技術研究中心第三科	科長	林雅雯

黃序博
顏麗香

附錄五

第 2 次工作會議紀要

111 年 8 月工作會議紀要

採購/自辦案件編號：

會議名稱：「本所港灣技術研究中心第一科 111 年自行研究計畫」第 2 次工作會議

時間：111 年 8 月 29 日(星期一)上午 9 時 0 分至 12 時 10 分

地點：視訊會議

主持人：賴瑞應科長

出席者：如後附簽到表

紀錄：鄭登鍵

壹、討論議題/計畫名稱

一、工作進度說明

(一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

1. 近期保護成效觀測說明。
2. 二維數值水理分析模式參數選用、模型建置及暑期工讀生協助與學習事項說明。
3. 階段性成果應用說明。
4. 後續研究項目說明。

(二)應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

1. 學習進行影像辨識的程式語言 Python，理解 AI 影像辨識程式實際執行與作業情形。
2. 學習 AI 影像辨識的理論基礎、Yolo 模式架設、應用限制，做為評估各巡查項目應用 AI 影像辨識可能性的依據。

(三)多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探
(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

1. 影像取得管道說明。
2. 深度學習網路模型探討。

(四)111年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

1. 8月8日至9月30日進行全島及離島111年第3季大氣腐蝕劣化因子調查取樣及水下金屬第5年取樣作業。
2. 彙整臺灣工業區金屬材料與腐蝕劣化因子及氣象因素等環境因子進行關聯性統計分析。

(五)港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

1. 既有的港灣構造物的巡查檢測的項目與各構件劣化的判定檢測標準之探討。
2. 新興科技應用港灣構造物巡查檢測之案例(UAV, ROV)之探討。

(六)港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

1. 建置臺中港地質鑽探資料，包括：港研中心地工資料庫 168 筆、港務公司鑽探報告 155 筆、地調所地質資料庫 21 筆，共計 344 筆，並盤點、篩選可用資料共 311 筆地質鑽探資料。
2. 完成不同地震情境下液化潛勢比較。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

1. 數值模式參數係延續先前計畫之試驗參數，相關文獻引用已有一段時間，可再持續蒐集比對更新。
2. 數值模式各項參數可將參數敏感性分析之探討納入規劃考量。

(二)應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

1. 今年研究重點在評估可擴大應用之軌道巡查項目，宜優先處理。
2. 本研究重點在提出後續研究方向，影像辨識部分交由合作研究團隊去執行。

(三)多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探

(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

辦理執行計畫過程仍應以交通部利害關係人如：公路邊坡相關轄管單位，為後續執行應用及預期效益為主要評估對象。

(四)111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

1. 工業區金屬腐蝕材料與環境因子關聯性統計分析討論(以彰濱工業區為例)。
2. 後續報告內容的加強與補充討論。

(五)港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

1. 維護管理設施之巡查檢測之構件劣化度判斷問題之討論。
2. 新興科技應用於港灣構造物巡檢之案例補充。

(六)港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

1. 土壤液化評估相關方法討論。
2. 後續報告內容的加強與補充討論。

貳、重點紀要/主要結論

一、鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

數值模式為避免有 GIGO(Garbage in, garbage out)的情形，若有需要可適時安排尋求相關專家學者進行訪談與指導。

二、應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

請依期程完成各主要工作項目(如擴大應用之軌道巡查項目)，影像辨識理論與程式可再慢慢精進。

三、多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

建議訪談公路邊坡管理單位或相關工程顧問公司等專家學者，以利了解相關應用需求和適合蒐集影像之場址。

四、111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

建議透過統計結果及相關顯著性分析，建立腐蝕預測關係式，也可探討是否可套用於其他試驗站之可行性，另外，數據品質也需加強。

五、港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

請探討新興科技應用於港灣設施巡檢作業之設施構件劣化度判定標準之適用性，並增加補充與比較新興科技之應用案例。

六、港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

請補充舊的地震液化風險評估模式與新的評估模式 NCEER 法與 HBF 法之比較，以利瞭解其評估模式精進之處。

會議簽到表

壹、會議名稱：「本所港灣技術研究中心第一科 111 年自行研究計畫」第 2 次工作會議

貳、時間：111 年 8 月 29 日(星期一) 上午 9 時

參、地點：視訊會議

肆、主持人：賴瑞應科長(視訊)

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
本所港灣技術研究中心本部	副主任	柯正龍
本所港灣技術研究中心第一科	研究員 研究員 副研究員 副研究員 即課研究員	謝幼屏 張道光 曹三偉 鄭金鍵 羅建明(視訊) 黃可瑞
本所港灣技術研究中心第二科		請假
本所港灣技術研究中心第三科		林雅雯

附錄六

第 3 次工作會議紀要

111 年 10 月工作會議紀要

採購/自辦案件編號：

會議名稱：「本所港灣技術研究中心第一科 111 年自行研究計畫」第 3 次工作會議

時間：111 年 10 月 25 日(星期二)上午 9 時 0 分至 12 時 10 分

地點：視訊會議

主持人：賴瑞應科長

出席者：如後附簽到表

紀錄：鄭登鍵

壹、討論議題/計畫名稱

一、工作進度說明

(一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

1. 近期保護成效觀測。
2. 二維數值水理分析模式參數選用及數值模式臨界流速(V_c)之探討。
3. 階段性成果應用。

(二)應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

1. 分析徒步查道各巡查項目之危安問題肇因、潛在危安態樣及危安案例。
2. 評估徒步查道各巡查項目採人工智慧辨識技術輔助巡查作業之可行性。

(三)多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討

1. 影像蒐集原則及資料庫建立。

2. 專家學者訪談內容說明。

(四)111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

1. 完成第 3 季大氣腐蝕氯鹽、二氧化硫化學分析及金屬酸洗試驗。

2. 完成臺北港、基隆港、蘇澳港、花蓮港等水下金屬試片銹層清除作業與金門料羅及水頭港水下金屬試驗片取樣作業。

3. 工業地區金屬材料與腐蝕劣化因子關聯性統計分析說明。

(五)港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

1. 新興科技應用港灣構造物巡查檢測之案例(UAV、ROV、AI、透地雷達)說明。

2. 港灣構造物巡查檢測作業精進案例說明。

(六)港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

1. 臺中港不同地震情境下液化潛勢分析。

2. 臺中港不同地震情境下地震沉陷潛勢分布。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置

1. 數值水理模式之斷面流量為均勻流或是穩定流，兩者流況不同，分析結果亦會不同。

2. 請補充說明數值模式分析工具之詳細介紹，並於期末報告中呈現。

3. 可嘗試分析探討於鋪設不織布下，對於臨界流速(V_c)之影響。

(二)應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

1. 危安態樣分析可進一步就各項目產生的問題依嚴重性、發生頻率做風險分析。
 2. 道床檢查、軌枕檢查，後續可考慮採用車載光達來輔助巡查。
- (三)多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)-影像蒐集及辨識演算法架構探討
- 後續可先找出易致災或高風險邊坡所在路段，再以該路段去蒐集其邊坡多期多尺度影像，以提升資料庫建立效率。
- (四)111年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究
- 工業區金屬材料與大氣腐蝕劣化因子之統計分析關聯性討論。
- (五)港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討
1. 新興科技應用水下港灣設施的檢測問題。
 2. 後續工作項目與報告內容。
- (六)港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進
1. 臺中港不同地震情境下地震沉陷潛勢。
 2. 後續報告內容的加強與補充。

貳、重點紀要/主要結論

- 一、鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(1/4)-數值水理分析模型建置
 - (一)應將甘特圖放入簡報中，以瞭解計畫執行進度，據以管控。
 - (二)建議製作研究過程相關成果影片，做為後續成果推廣、教育訓練、研討會…等活動展示使用。
- 二、應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵執行軌道巡查作業項目之探討

AI除進行影像辨識外，亦可進行聲音、振動辨識，建議後續年度可將影像辨識與聲音、振動辨識結合，以達到更佳辨識結果。

三、多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探(1/2)-
影像蒐集及辨識演算法架構探討

建議未來參照訪談專家學者之內容，結合多期邊坡地貌比對並納入氣象、地質因子及地面監測儀器資料等，進行邊坡崩落類型及預測可能土方量之加值應用。

四、111 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與工業區關聯性研究

請彙整分析工業區金屬材料與腐蝕劣化因子及氣象因素等環境因子資料，並於期末報告進行說明。

五、港灣構造物巡查檢測作業精進(1/4)-新興科技應用於巡查檢測作業之探討

請加強新興科技應用於港灣設施巡檢的運用與維護管理巡檢作業精進的說明，並請掌握時效撰寫研究成果報告。

六、港區地震液化風險評估模式精進(1/5)-臺中港模式精進

請依據門檻加速度及高潛勢區面積，推估臺中港區之分區震陷量，俾提供更新臺中港地震簡訊災況初評內容。

會議簽到表

壹、會議名稱：「本所港灣技術研究中心第一科 111 年自行研究計畫」第 3 次工作會議

貳、時間：111 年 10 月 25 日(星期二) 上午 9 時

參、地點：視訊會議

肆、主持人：賴瑞應科長 賴瑞應

伍、出席單位及人員：

出席單位	職稱	姓名
本所港灣技術研究中心本部	主任	蔡立宏
	副主任	柯正靜
本所港灣技術研究中心第一科	研習員	甘淑
	研習員	謝妙潔
	研習員	曾文傑
	研究員	張道光
	副研習員	張建明
	副研究員	鄭金鍊
	助理研究員	黃進謙 王瑞清 顏師香
本所港灣技術研究中心第二科	科長	李玲娟
本所港灣技術研究中心第三科		請假

附錄七

期末審查意見及辦理情形說明表

期末審查意見及辦理情形說明表

審查意見	處理情形
康熙宗委員	
1. 本計畫從風險角度，利用 AI 人工智慧辨識輔助系統用於鐵路軌道巡查，對於軌道安全維修具有應用價值，並可思考得否應用於捷運軌道巡查作業。	1. 感謝肯定與建議。
2. 圖 3.1 與圖 3.2 顯示，徒步(機車)與主管乘車巡查紀錄呈現不相同結果，若能於本文再補充其差異性、差異原因更佳。	2. 感謝建議，補充說明於 P.3-7。
3. 本研究提出風險矩陣觀念用於評估軌道危安問題，其中高風險、中風險及低風險之訂定依據，如能於文中補充更佳。	3. 感謝建議，補充說明於 P.3-21。
4. 無論採徒步或主管乘車巡查，多利用夜間檢查，目前 AI 辨識系統夜間影像辨識誤差多大？若能提供此方面誤差範圍則有助於 AI 系統辨識技術之應用與推廣。	4. 本所建置的軌道構件缺失辨識系統，可在夜間輔助臺鐵人員執行軌道巡查作業，110 年辨識模式的缺失檢出率 (Recall rate)達到 90% 以上。
5. 表 4-2 評估表提供 AI 系統可應用於檢查項目，此結果可作為臺灣鐵路管理局(以下簡稱臺鐵局)參考之用。	5. 遵照辦理，補充說明於 P.6-3。
6. 綜觀本研究成果，提出擴大 AI 應用未來方向及未來可研究課題，故本研究計畫內容可作為其他軌道系統作業之參考。	6. 感謝建議，列入 6.2 節的後續研究建議。
謝明志委員	
1. 本研究條理清晰、論述合理，從研究動機、目的開始，引述巡查執行現況，取用巡查資料，進行風險分析，介紹影像辨識理論並進行評估，再研提應用方向，做出結論，可稱是一本結構完整的報告。	1. 感謝肯定。

審查意見	處理情形
2. 4.2 節，提出 2 個評估原則，簡單、合理，而第五章，也針對 4.2 節的弱點提出改善建議，讓人知道目前的判讀弱點，也有彌補精進的方法。	2. 感謝肯定。
3. 摘要內，第 1 次出現 AI 簡稱時，建議先寫出專有名詞，即改為：人工智慧(AI)，英文摘要也是；而目錄及章節標題，建議 AI 直接寫為：人工智慧。	3. 遵照辦理。
4. P.3-9 表 3-6，2 種巡查資料，可否確認是否有重覆？如何分辨？建議可納入後續研究。	4. 依目前臺鐵局的巡查規定，每週 1 日進行徒步(機車)查道，另 6 日進行主管乘車巡查，2 種巡查不會在同日進行；但因巡查到的缺失有些可以立即處理，有些必須另外安排時間處理，故缺失有可能被重覆檢出，此問題可透過比對紀錄表中記載的缺失發生地點(里程)來分辨，可納入後續研究考量。
5. P.4-4，圖 4-7，請檢視是否需修正。	5. 遵照辦理，已修正。
朱我帆委員	
1. 簡報架構非常完整，章節循序漸進，並引進風險概念，考量周全。	1. 感謝肯定。
2. 道班每週 1 次徒步查道，其中每月 1 次維修車查道，可合併資料統計，但主管之機車查道，因搭乘營運列車，與徒步檢查速度差異極大，建議分開資料陳述與統計。	2. 感謝建議，在 3.1 節已將資料分開陳述與統計。

審查意見	處理情形
<p>3. 軌道問題發生頻率，採臺鐵局之工務分駐所 110 年統計資料，與實務結合，另風險評估係採問卷，由臺鐵人員意見統計，值得參考。但第 15、16、17 風險嚴重度等級可再區分或提升等級。</p>	<p>3. 關於第 15、16、17 風險嚴重度等級可再區分或提升等級之意見，若將風險嚴重度等級劃分法由問卷調查法改成以危安事件之影響營運時間、責任死傷情況(定量資料)來劃分，應可得到較客觀的分級結果。上述改進方法納入 6.2 節的後續研究建議。</p>
<p>4. 擴大應用 AI 方向，臺鐵局目前營運路線約 1,000 公里，傳統石碴道床約占 80%，省力化(混凝土)道床約占 20%，日後研究可將此二軌道結構區分。</p>	<p>4. 感謝建議，列入 6.2 節的後續研究建議。</p>
<p>賴瑞應委員</p>	
<p>1. 本計畫第三章藉由臺鐵局軌道巡查執行現況，探討軌道巡查項目、方式與頻率，並依過去巡查項目發生問題的頻率統計資料，進行危安態樣分析，探討各巡查項目的危安風險，提供臺鐵局參考，研究成果予以肯定。後續可針對相關風險的降低或轉移，研提改善建議。</p>	<p>1. 感謝建議，補充說明於 P.3-25。</p>
<p>2. 報告 P.3-6，針對徒步查道與主管乘車巡查所查到的問題與頻率做比較，建議後續可以進一步探討其主要差異的因素，因為發生問題的構件頻率應該會一致，不會因為巡查方式不同而有差異，統計資料會有差異，可能是巡查方式的侷限及頻率所致。</p>	<p>2. 感謝建議，補充說明於 P.3-7。</p>

審查意見	處理情形
3. 第四章介紹人工智慧影像辨識原理與評估可輔助臺鐵局軌道巡查的項目，評估結果具體，未來可提供臺鐵局及運輸研究所後續擴充 AI 辨識項目的參考。	3. 遵照辦理，補充說明於 P.6-3。
4. 報告 P.4-14，提到魚尾鉸定磅線，建議能補充相關照片，以利瞭解定磅線的狀況。	4. 遵照辦理，補充照片於 P.4-16。
5. 報告部分文字修訂，修訂於初稿報告，會後提供初稿報告供參。	5. 感謝提供，已修正。
李俊穎委員(書面意見)	
計畫內完成採人工智慧辨識技術輔助巡查作業之評估，結論具體可供後續計畫推動參考。	感謝肯定。
林雅雯委員(書面意見)	
1. 建議後續年度增加文獻探討。	1. 感謝建議，列入 6.2 節的後續研究建議。
2. P.6-3，建議加入項目未來研議優先順序排序及深入探討各項之可行性及技術。	2. 感謝建議，補充說明於 P.6-3。

附錄八

期末報告簡報資料



111年度一科自辦研究計畫

應用人工智慧辨識技術輔助臺鐵 執行軌道巡查作業項目之探討

111.12.15

期末報告審查會議



大綱

- 01 緒論
- 02 軌道巡查執行現況
- 03 軌道問題之危安態樣
- 04 運用AI輔助巡查評估
- 05 擴大應用AI之方向研提
- 06 結論與建議

2

01 緒論

3

01

1.1 研究緣起與目的

研究緣起
與目的
(WHY)

- 本所建置軌道構件缺失辨識系統，可自動辨識扣件、道釘、鋼軌、魚尾鉸等軌道構件是否有鬆脫、斷裂、裂縫等問題。
- 軌道巡查作業除巡查扣件、道釘、鋼軌、魚尾鉸等軌道構件外，亦同時巡查軌道線形、軌道上異物、路線淨空、道碴、道床、枕木等。
- 本計畫擬透過深入了解臺鐵局路線巡查作業執行現況、分析各巡查項目的危安態樣，進而探討人工智慧辨識技術可擴大應用在其他軌道巡查作業的項目，提供臺鐵局及本所後續辦理人工智慧辨識在軌道巡查研究之應用。



4

**研究項目
與內容
(WHAT)**

- ✓ **軌道巡查執行現況探討**
 - 了解臺鐵路線巡查作業執行現況，綜整實務執行巡查作業的**巡查人員、巡查頻率、各項問題的檢查方法、維修處理方法**等。
- ✓ **軌道巡查項目之危安態樣分析**
 - 檢視臺鐵路線巡查項目，統計各路線巡查項目**發生頻率、危害程度**，做為**後續評估基礎**。
- ✓ **運用人工智慧辨識技術輔助巡查評估**
 - 就軌道上雜草、動物屍體、樹木、他物入侵淨空、枕木腐朽、斷損、道床噴泥、道碴不足、路基異常...等**巡查項目進行評估**，
 - 探討採用人工智慧(AI)深度學習方法，**進行影像自動辨識分析，替代人工目視巡查**，輔助執行巡查作業的**可能性**。
- ✓ **擴大應用人工智慧辨識技術輔助巡查之方向研提**
 - 依據運用人工智慧辨識技術輔助巡查**評估結果**，研提後續人工智慧辨識技術在軌道巡查上**擴大應用的方向**。

5



02 軌道巡查執行現況

6

軌道檢查作業

日常巡查

- 確保鐵路列車日常行駛安全的重要檢查

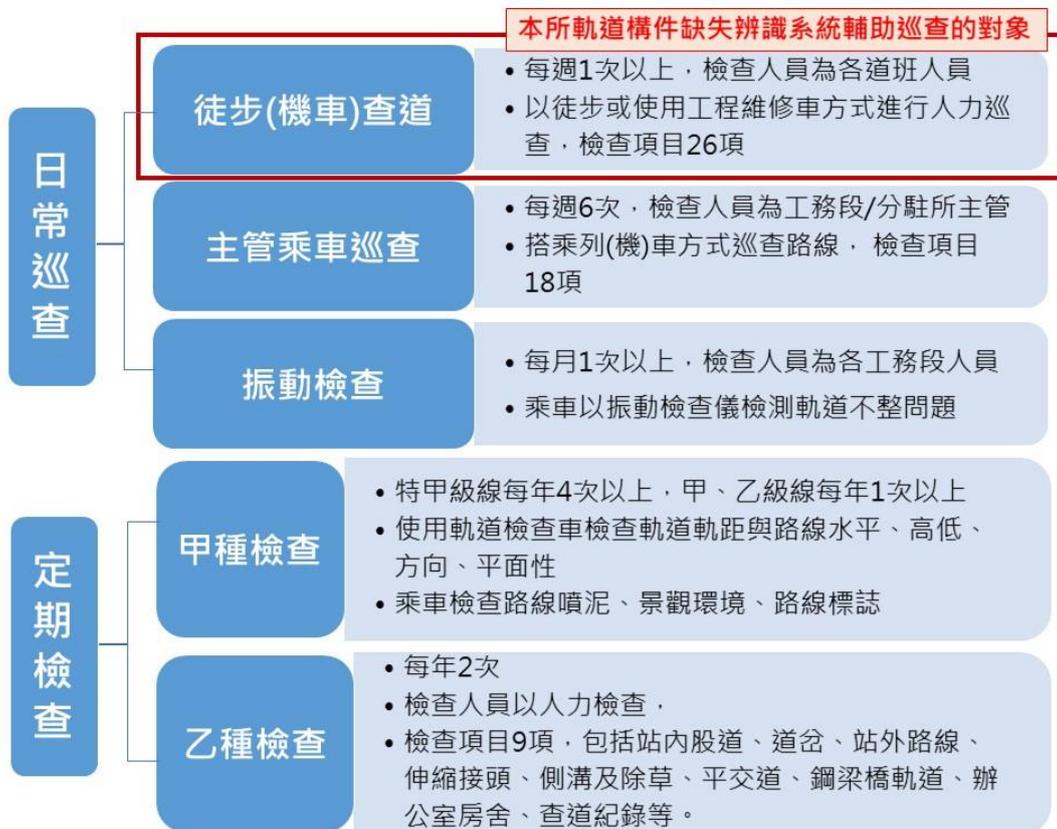
定期檢查

- 定期全面檢視軌道功能與安全的詳細檢測

特別檢查

- 在地震、豪雨或意外事件後，為掌握軌道路線安全狀況所進行的不定期檢查

← 平時軌道檢查作業 →





臺鐵局徒步(機車)查道10個檢查主題的檢查與處理方法

項次	檢查主題	檢查項目	檢查方法	使用儀器設備進行檢測
1	軌道幾何線形檢查	1.水平不整 2.高低不整 3.方向不整	<ul style="list-style-type: none"> ● 人工目視檢查 ● 乘車感受車輛振動情形判斷 ● 使用軌道檢查車、檢查儀、振動檢查儀檢查 	起道、人工局部砸道、方向整正。
2	鋼軌檢查	4.鋼軌磨耗(含壓、流漬) 5.鋼軌損傷、斷裂	<ul style="list-style-type: none"> ● 人工目視檢查； ● 新引入超音波探傷車、探傷儀檢查 ● 新引入「鋼軌快篩系統」檢測鋼軌裂縫 ● 新引入「本所AI影像辨識系統」輔助檢查鋼軌損傷、斷裂。 	損傷嚴重則換軌，無危害則處理與觀察。
3	螺栓與扣件檢查	6.螺栓鬆脫 7.扣件鬆脫	<ul style="list-style-type: none"> ● 人工目視檢查 ● 新引入「本所AI影像辨識系統」輔助巡查 	鎖緊螺栓，扣回扣件。
4	鋼軌接頭檢查	8.軌縫異常 9.伸縮接頭異常 11.接頭沈落	<ul style="list-style-type: none"> ● 人工目視檢查 	視情況處理。
5	軌枕檢查	10.枕木腐朽、斷損	<ul style="list-style-type: none"> ● 人工目視檢查 ● 乘車感受車輛振動情形判斷 	抽換軌枕。
6	道床檢查	12.道床噴泥 13.道碴不足	<ul style="list-style-type: none"> ● 人工目視檢查 	挖除泥沙、整碴、換碴。
7	軌道相關設施檢查	14.路基異常 15.橋梁異常 16.隧道異常、滲漏 17.邊坡異常 18.排水溝、箱涵淤塞 19.平交道設備不整 21.圍牆(籬)異常、破洞	<ul style="list-style-type: none"> ● 人工目視檢查 	視情況處理。
8	淨空檢查	20.樹木、他物侵入淨空	<ul style="list-style-type: none"> ● 人工目視檢查 ● 使用淨空檢查車檢查 	砍除侵入淨空的樹木。
9	軌道上異物檢查	22.軌道上雜草 23.動物屍體	<ul style="list-style-type: none"> ● 人工目視檢查 	清除雜草與動物屍體。
10	巡查配備、材料檢查與其他	24.勞安配備、鳴笛標、瞭望員 25.機具材料放置安全及新舊材料收回情形 26.其他(前述未列事宜)	<ul style="list-style-type: none"> ● 檢視勞安配備、遵守巡查規定 ● 巡查後將機具材料放置安全，並將新舊材料回收。 ● 人工目視檢查 	確實遵守巡查規定，穿戴勞安配備。 確實完成機具材料放置安全及新舊材料收回工作。 視情況處理。

臺鐵局徒步(機車)查道10個檢查主題的檢查與處理方法

項次	檢查主題	檢查項目	檢查方法	處理方法
1	軌道幾何線形檢查	1.水平不整 2.高低不整 3.方向不整	<ul style="list-style-type: none"> ● 人工目視檢查 ● 乘車感受車輛振動情形判斷 ● 使用軌道檢查車、檢查儀、振動檢查儀檢查 	乘車感受車輛振動情形判斷正。
2	鋼軌檢查	4.鋼軌磨耗(含壓、流潰) 5.鋼軌損傷、斷裂	<ul style="list-style-type: none"> ● 人工目視檢查 ● 新引入超音波探傷車、探傷儀檢查 ● 新引入「鋼軌快篩系統」檢測鋼軌裂縫 ● 新引入「本所AI影像辨識系統」輔助巡查鋼軌損傷、斷裂。 	損傷嚴重則換軌，無危害則處理與觀察。
3	螺栓與扣件檢查	6.螺栓鬆脫 7.扣件鬆脫	<ul style="list-style-type: none"> ● 人工目視檢查 ● 新引入「本所AI影像辨識系統」輔助巡查 	鎖緊螺栓，扣回扣件。
4	鋼軌接頭檢查	8.軌縫異常 9.伸縮接頭異常 11.接頭沈落	<ul style="list-style-type: none"> ● 人工目視檢查 ● 人工目視檢查 ● 乘車感受車輛振動情形判斷 	乘車感受車輛振動情形判斷 碰道處理。
5	軌枕檢查	10.枕木腐朽、斷損	<ul style="list-style-type: none"> ● 人工目視檢查 	抽換軌枕。
6	道床檢查	12.道床噴泥 13.道碴不足	<ul style="list-style-type: none"> ● 人工目視檢查 	挖除泥沙、整碴、換碴。
7	軌道相關設施檢查	14.路基異常 15.橋梁異常 16.隧道異常、滲漏 17.邊坡異常 18.排水溝、箱涵淤塞 19.平交道設備不整 21.圍牆(牆)異常、破洞	<ul style="list-style-type: none"> ● 人工目視檢查 	視情況處理。
8	淨空檢查	20.樹木、他物侵入淨空	<ul style="list-style-type: none"> ● 人工目視檢查 ● 使用淨空檢查車檢查 	砍除侵入淨空的樹木。
9	軌道上異物檢查	22.軌道上雜草 23.動物屍體	<ul style="list-style-type: none"> ● 人工目視檢查 	清除雜草與動物屍體。
10	巡查配備、材料檢查與其他	24.勞安配備、鳴笛標、瞭望員 25.機具材料放置安全及新舊材料收回情形 26.其他(前述未列事宜)	<ul style="list-style-type: none"> ● 檢視勞安配備、遵守巡查規定 ● 巡查後將機具材料放置安全，並將新舊材料回收。 ● 人工目視檢查 	確實遵守巡查規定，穿戴勞安配備。 確實完成機具材料放置安全及新舊材料收回工作。 視情況處理。

11

臺鐵局徒步(機車)查道10個檢查主題的檢查與處理方法

項次	檢查主題	檢查項目	檢查方法	處理方法
1	軌道幾何線形檢查	1.水平不整 2.高低不整 3.方向不整	<ul style="list-style-type: none"> ● 人工目視檢查 ● 乘車感受車輛振動情形判斷 ● 使用軌道檢查車、檢查儀、振動檢查儀檢查 	起道、人工局部碰道、方向整正。
2	鋼軌檢查	4.鋼軌磨耗(含壓、流潰) 5.鋼軌損傷、斷裂	<ul style="list-style-type: none"> ● 人工目視檢查 ● 新引入超音波探傷車、探傷儀檢查 ● 新引入「鋼軌快篩系統」檢測鋼軌裂縫 ● 新引入「本所AI影像辨識系統」輔助巡查鋼軌損傷、斷裂。 	本所AI影像辨識系統輔助巡查項目 損傷嚴重則換軌，無危害則處理與觀察。
3	螺栓與扣件檢查	6.螺栓鬆脫 7.扣件鬆脫	<ul style="list-style-type: none"> ● 人工目視檢查 ● 新引入「本所AI影像辨識系統」輔助巡查 	鎖緊螺栓，扣回扣件。
4	鋼軌接頭檢查	8.軌縫異常 9.伸縮接頭異常 11.接頭沈落	<ul style="list-style-type: none"> ● 人工目視檢查 ● 人工目視檢查 ● 乘車感受車輛振動情形判斷 	視情況處理。 碰道處理。
5	軌枕檢查	10.枕木腐朽、斷損	<ul style="list-style-type: none"> ● 人工目視檢查 	抽換軌枕。
6	道床檢查	12.道床噴泥 13.道碴不足	<ul style="list-style-type: none"> ● 人工目視檢查 	挖除泥沙、整碴、換碴。
7	軌道相關設施檢查	14.路基異常 15.橋梁異常 16.隧道異常、滲漏 17.邊坡異常 18.排水溝、箱涵淤塞 19.平交道設備不整 21.圍牆(牆)異常、破洞	<ul style="list-style-type: none"> ● 人工目視檢查 	視情況處理。
8	淨空檢查	20.樹木、他物侵入淨空	<ul style="list-style-type: none"> ● 人工目視檢查 ● 使用淨空檢查車檢查 	砍除侵入淨空的樹木。
9	軌道上異物檢查	22.軌道上雜草 23.動物屍體	<ul style="list-style-type: none"> ● 人工目視檢查 	清除雜草與動物屍體。
10	巡查配備、材料檢查與其他	24.勞安配備、鳴笛標、瞭望員 25.機具材料放置安全及新舊材料收回情形 26.其他(前述未列事宜)	<ul style="list-style-type: none"> ● 檢視勞安配備、遵守巡查規定 ● 巡查後將機具材料放置安全，並將新舊材料回收。 ● 人工目視檢查 	確實遵守巡查規定，穿戴勞安配備。 確實完成機具材料放置安全及新舊材料收回工作。 視情況處理。

12

臺鐵局徒步(機車)查道10個檢查主題的檢查與處理方法

項次	檢查主題	檢查項目	檢查方法	處理方法
1	軌道幾何線形檢查	1.水平不整 2.高低不整 3.方向不整	● 人工目視檢查 ● 乘車感受車輛振動情形判斷 ● 使用軌道檢查車、檢查儀、振動檢查儀檢查	起道、人工局部砸道、方向整正。
2	鋼軌檢查	4.鋼軌磨耗(含壓、流漬) 5.鋼軌損傷、斷裂	● 人工目視檢查； ● 新引入超音波探傷車、探傷儀檢查 ● 新引入「鋼軌快篩系統」檢測鋼軌裂縫 ● 新引入「本所AI影像辨識系統」輔助檢查鋼軌損傷、斷裂。	新引入「鋼軌快篩系統」損傷嚴重時，應加強處理與觀察。
3	螺絲與扣件檢查	6.螺絲鬆脫 7.扣件鬆脫	● 人工目視檢查 ● 新引入「本所AI影像辨識系統」輔助巡查	鎖緊螺絲，扣回扣件。
4	鋼軌接頭檢查	8.軌縫異常 9.伸縮接頭異常 11.接頭沈落	● 人工目視檢查	視情況處理。
5	軌枕檢查	10.枕木腐朽、斷損	● 人工目視檢查 ● 乘車感受車輛振動情形判斷	抽換軌枕。
6	道床檢查	12.道床噴泥 13.道碴不足	● 人工目視檢查	挖除泥沙、整碴、換碴。
7	軌道相關設施檢查	14.路基異常 15.橋梁異常 16.隧道異常、滲漏 17.邊坡異常 18.排水溝、箱涵淤塞 19.平交道設備不整 21.圍牆(牆)異常、破洞	● 人工目視檢查	視情況處理。
8	淨空檢查	20.樹木、他物侵入淨空	● 人工目視檢查 ● 使用淨空檢查車檢查	砍除侵入淨空的樹木。
9	軌道上異物檢查	22.軌道上雜草 23.動物屍體	● 人工目視檢查	清除雜草與動物屍體。
10	巡查配備、材料檢查與其他	24.勞安配備、鳴笛標、瞭望員 25.機具材料放置安全及新舊材料收回情形 26.其他(前述未列事宜)	● 檢視勞安配備、遵守巡查規定 ● 巡查後將機具材料放置安全，並將新舊材料回收。 ● 人工目視檢查	確實遵守巡查規定，穿戴勞安配備。 確實完成機具材料放置安全及新舊材料收回工作。 視情況處理。

13

03 軌道問題之危安態樣

1

4

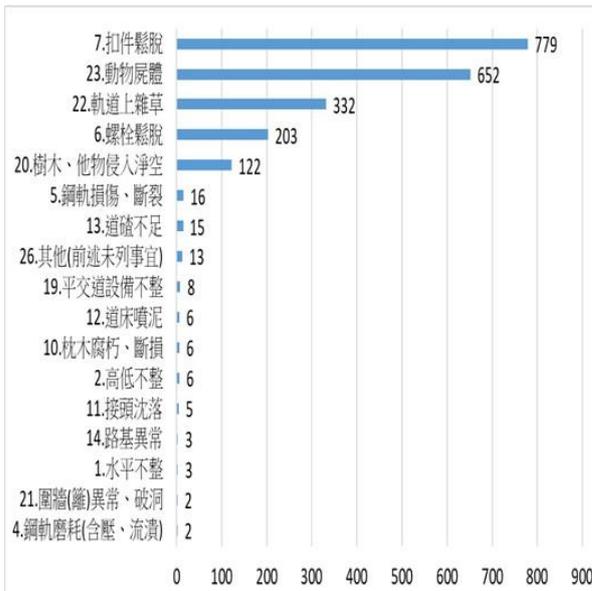
軌道問題
發生頻率分
析

- 1/18、1/25至臺鐵局臺中工務段大甲分駐所進行軌道巡查單位實地訪談，並借閱其110年1~12月的軌道巡查紀錄表，
- 依軌道巡查紀錄表分析結果，可大致了解在徒步(機車)查道、主管乘車巡查時主要檢查到的軌道問題，以及各項問題的發生頻率。

頻率分級表

發生頻率	等級	詳細描述
很低	1	問題發生頻率1年內在1次以下($0 \leq n < 1$)。
低	2	問題發生頻率1年內在1次以上，但未達平均每每月1次($1 \leq n < 12$)。
中等	3	問題發生頻率平均在每月1次以上，但未達每週1次($12 \leq n < 52$)。
高	4	問題發生頻率平均在每週1次以上，但未達每日1次($52 \leq n < 365$)。
很高	5	問題發生頻率平均在每天1次以上($n \geq 365$)。

15



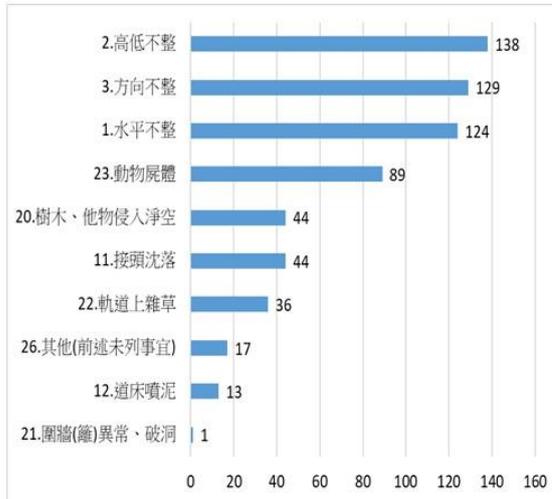
徒步(機車)查道之缺失數量統計

註：共計2,173 項缺失。

徒步(機車)查道之缺失發生頻率分析表

發生頻率	巡查項目
很低	3.方向不整、8.軌縫異常、9.伸縮接頭異常、15.橋梁異常、16.隧道異常滲漏、17.邊坡異常、18.排水溝箱涵淤塞、24.勞安配備鳴笛標瞭望員問題、25.機具材料放置安全及新舊材料收回情形問題
低	19.平交道設備不整、12.道床噴泥、10.枕木腐朽斷損、2.高低不整、11.接頭沈落、14.路基異常、1.水平不整、21.圍牆(籬)異常破洞、4.鋼軌磨耗
中等	5.鋼軌損傷斷裂、13.道碴不足、26.其他
高	22.軌道上雜草、6.螺栓鬆脫、20.樹木他物侵入淨空
很高	7.扣件鬆脫、23.動物屍體

16



主管乘車巡查之缺失數量統計圖

註：共計635項缺失。

主管乘車巡查之缺失發生頻率分析表

發生頻率	巡查項目
很低	13.道碴不足、14.路基異常、15.橋梁異常、16.隧道異常滲漏、17.邊坡異常、18.排水溝箱涵淤塞、19.平交道設備不整、24.勞安配備鳴笛標瞭望員問題
低	21.圍牆(籬)異常破洞
中等	23.動物屍體、20.樹木他物侵入淨空、11.接頭沈落、22.軌道上雜草、26.其他、12.道床噴泥
高	2.高低不整、3.方向不整、1.水平不整
很高	

徒步(機車)查道 VS 主管乘車巡查

發生頻率	徒步(機車)查道	主管乘車巡查
很低	3.方向不整、8.軌縫異常、9.伸縮接頭異常、15.橋梁異常、16.隧道異常滲漏、17.邊坡異常、18.排水溝箱涵淤塞、24.勞安配備鳴笛標瞭望員問題、25.機具材料放置安全及新舊材料收回情形問題	13.道碴不足、14.路基異常、15.橋梁異常、16.隧道異常滲漏、17.邊坡異常、18.排水溝箱涵淤塞、19.平交道設備不整、24.勞安配備鳴笛標瞭望員問題
低	19.平交道設備不整、12.道床噴泥、10.枕木腐朽斷損、2.高低不整、11.接頭沈落、14.路基異常、1.水平不整、21.圍牆(籬)異常破洞、4.鋼軌磨耗	21.圍牆(籬)異常破洞
中等	5.鋼軌損傷斷裂、13.道碴不足、26.其他	23.動物屍體、20.樹木他物侵入淨空、11.接頭沈落、22.軌道上雜草、26.其他、12.道床噴泥
高	22.軌道上雜草、6.螺栓鬆脫、20.樹木他物侵入淨空	2.高低不整、3.方向不整、1.水平不整
很高	7.扣件鬆脫、23.動物屍體	

軌道問題
之風險評估

- 本研究運用風險矩陣法(Risk Matrix), 以危安問題**發生頻率**和**嚴重性**來綜合評估**各巡查項目**的危安風險。
- **發生頻率**: 以大甲分駐所110年**實際檢查出問題**的頻率來概估。
- **嚴重性**: 採**問卷調查**, 請臺鐵局實務專家協助判斷。

軌道危安問題之風險矩陣表

風險矩陣		嚴重度				
		1	2	3	4	5
頻 率	5	B	B	A	A	A
	4	B	B	B	A	A
	3	C	B	B	B	A
	2	C	C	B	B	B
	1	C	C	C	C	B

A=高風險、B=中風險、C=低風險

各檢查項目之危安風險評估表

項次	檢查主題	檢查項目	頻率等級	嚴重度等級	危安風險評估
1	軌道幾何線形檢查	1.水平不整	4	4	A
		2.高低不整	4	4	A
		3.方向不整	4	4	A
2	鋼軌檢查	4.鋼軌磨耗(含壓、流漬)	2	3	B
		5.鋼軌損傷、斷裂	3	5	A
3	螺栓與扣件檢查	6.螺栓鬆脫	4	3	B
		7.扣件鬆脫	5	3	A
4	鋼軌接頭檢查	8.軌縫異常	1	3	C
		9.伸縮接頭異常	1	3	C
		11.接頭沈落	3	4	B
5	軌枕檢查	10.枕木腐朽、斷損	2	3	B
		12.道床噴泥	3	3	B
6	道床檢查	13.道碴不足	3	4	B
		14.路基異常	2	4	B
		15.橋梁異常	1	4	C
7	軌道相關設施檢查	16.隧道異常、滲漏	1	3	C
		17.邊坡異常	1	4	C
		18.排水溝、箱涵淤塞	1	2	C
8	淨空檢查	19.平交道設備不整	2	4	B
		21.圍牆(籬)異常、破洞	2	2	C
		20.樹木、他物侵入淨空	4	3	B
9	軌道上異物檢查	22.軌道上雜草	5	1	B
		23.動物屍體	5	1	B
10	巡查配備、材料檢查與其他	24.勞安配備、鳴笛標、瞭望員	1	4	C
		25.機具材料放置安全及新舊材料收回情形	1	3	C
		26.其他(前述未列事宜)	3	-	-

04 運用AI輔助巡查評估

21

1. 軌道幾何線形檢查

查道項目：(1) 水平不整、(2) 高低不整、
(3) 方向不整

檢查方法

- ✓ 日常巡查：
 - 徒步(機車)查道：
 - 徒步：目視檢視軌道路線。
 - 乘工程維修車：以目視檢視與車輛震動情形判斷。
(維修車避震差，較難判斷)
 - 主管乘車巡查：透過目視檢視與列車震動情形判斷。
 - 振動檢查：以振動檢查儀檢測。
- ✓ 定期檢查：
 - 甲種檢查：以軌道檢查車進行檢測。
 - 乙種檢查：以小型手推式軌道檢查儀進行檢測。

22

1. 軌道幾何線形檢查

查道項目：(1) 水平不整、(2) 高低不整、
(3) 方向不整

檢查方法
比較

軌道幾何不整容許標準

標準值種別 路線等級 不整 之種別	平時養護標準值			緊急整修標準值			大修或更新後之標準值	
	特甲 級 甲線	乙 級 線	側 線	特甲 級 甲線	乙 級 線	側 線	各等級路線相同	
							一般區段	混凝土道 床路段
軌距		+10 (+7) -5 (-4)		直線及曲線半徑600m以上20 (14) 600m>曲線半徑≥200m 25 (19) 曲線半徑未滿200m 20 (14)			(+1) (-3)	(0) (-3)
水平	11 (7)	12 (8)	13 (9)	依平面性之整修值為基準			(4)	(2)
高低	13 (7)	14 (8)	16 (9)	23 (15)	25 (17)	27 (19)	(4)	(2)
方向	13 (7)	14 (8)	16 (9)	23 (15)	25 (17)	27 (19)	(4)	(2)
平面性				23 (18) 包括超高遞減量			(4) (不包括超高遞減量)	

資料來源：「1067mm軌距軌道養護檢查規範」。

- 採用軌道檢查車、軌道檢查儀或振動檢查儀等設備進行檢查，量測得到具體數值，是比較適當的檢測方法；
- 在徒步查道時以目視檢查，若軌道不整問題僅稍微超過7mm，應不易判斷。

23

1. 軌道幾何線形檢查

查道項目：(1) 水平不整、(2) 高低不整、
(3) 方向不整

檢查方法
比較

110年臺鐵局大甲分駐所軌道幾何線形檢查統計表

巡查項目	徒步(機車)查道			主管乘車巡查
	徒步	機車	合計	
1. 水平不整	0	3	3	124
2. 高低不整	1	5	6	138
3. 方向不整	0	0	0	129
合計	1	8	9	391

- ✓ 日常巡查主要依列車震動情形判斷
 - 除每月 1 次振動檢查以振動檢查儀檢測外，
 - 主要仰整每週 6 次主管乘車巡查，透過列車震動情形判斷軌道異狀，
 - 而非徒步(機車)查道的人工目視巡查。

24

1. 軌道幾何線形檢查

查道項目：(1) 水平不整、(2) 高低不整、
(3) 方向不整

AI輔助評估

- ✓ 不建議納入後續AI影像辨識項目
 - AI影像辨識技術主要係**替代人眼**的目視檢視，由目前的日常檢查主要依**車輛震動**情形來判斷有無軌道不整。
 - 即使發展出檢查軌道不整問題的AI影像辨識系統，**檢查效果預估不如震動檢查**。
- ✓ 其他研發建議
 - 後續可研發以**AI辨識列車振動情形**判斷軌道不整問題。

25

2. 鋼軌檢查

查道項目：(4) 鋼軌磨耗(含壓、流潰)、
(5) 鋼軌損傷、斷裂

檢查方法

- ✓ 日常巡查：
 - 仰賴**徒步(機車)查道**的**目視檢視**軌道，主管乘車巡查不檢查此項。
- ✓ 新引入之檢查方法：
 - 使用**超音波檢測設備**
 - 以**超音波探傷車**每年進行3次檢查。若檢測出懷疑瑕疵，再由人工利用**手持式超音波探傷儀**進行複測。
 - **鋼軌裂縫快篩系統**
 - 已安裝在1輛環島觀光列車上，可在高速行駛下，以**雷射探頭**探測車下**鋼軌正面**有無**裂縫**。
 - **本所軌道構件缺失辨識系統**
 - 透過**AI影像辨識技術**可檢視可目視之**鋼軌正面**的**踏面損傷、斷裂或鋼軌側面裂縫**。

26

2.鋼軌檢查

查道項目：(4) 鋼軌磨耗(含壓、流潰)、
(5) 鋼軌損傷、斷裂

檢查方法 比較

- ✓ 使用超音波檢測設備：（定期檢查）
 - 以高頻振動音波導入材料內部，可檢查鋼軌**表面與內部缺陷**，量測得到**具體數值**，是比較完整的檢測方法。
- ✓ 目視檢查：（徒步(機車)查道）
 - 檢查鋼軌**表面缺陷**，無法檢測鋼軌內部問題；
 - 在夜間巡查光線不足情況下，係找出**明顯可目視辨識**的磨耗、損傷、斷裂。
- ✓ 鋼軌裂縫快篩系統 VS 本所AI辨識系統
 - 鋼軌快篩系統採用**雷射技術**，相較於運用**AI影像辨識**技術，是**精確度較高**的檢測方法。
 - **鋼軌裂縫快篩系統**檢測**鋼軌正面**裂縫，本所AI辨識系統可檢視可目視之**鋼軌正面或側面**的裂縫。

27

2.鋼軌檢查

查道項目：(4) 鋼軌磨耗(含壓、流潰)、
(5) 鋼軌損傷、斷裂

AI輔助評估

- ✓ 建議再將鋼軌磨耗問題納入後續AI影像辨識項目
 - **鋼軌損傷、斷裂**是本所AI影像辨識的既有辨識項目，
 - 後續再將**壓潰、流潰**等**鋼軌磨耗**問題納入辨識，應是可行。
- ✓ 其他研發建議
 - **雷射/光達技術**是精確度較高的檢測方法，
 - 研發將**AI影像辨識**結合**雷射/光達技術**來進行**更精確**的鋼軌損傷、斷裂檢查。



本所110年軌道構件缺失辨識系統之**鋼軌辨識**項目

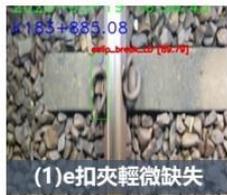
28

3. 螺栓與扣件檢查

查道項目：(6) 螺栓鬆脫、(7) 扣件鬆脫

AI輔助評估

- ✓ 本所AI影像辨識系統的**既有辨識項目**
- ✓ 其他研發建議
 - 日常巡查主要仰賴**徒步(機車)查道**的目視檢視，主管乘車巡查不檢查此項。
 - 巡查時發現問題的**頻率很高**，後續可再**持續精進**。



本所110年軌道構件缺失辨識系統之**螺栓與扣件辨識項目**

29

4. 鋼軌接頭檢查

查道項目：(8) 軌縫異常、(9) 伸縮接頭異常、
(11) 接頭沈落

AI辨識評估

- ✓ 建議納入後續AI影像辨識項目
 - **軌縫異常、伸縮接頭異常**問題：
 - 日常巡查主要仰賴**徒步(機車)查道**的目視檢查，原則上可應用AI影像辨識來協處理。
 - **接頭沈落**問題：
 - 目前由**目視**或**列車震動**情形判斷，建議後續先應用**AI影像辨識**來協助檢查，再研發**AI振動辨識**技術來判斷。

5. 軌枕檢查

查道項目：(10) 枕木腐朽、斷損

AI辨識評估

- ✓ 建議納入後續AI影像辨識項目
 - 軌枕檢查的方法，無論在**徒步(機車)查道**、**軌道乙種檢查**均以**目視檢視**軌枕，可以考慮納入後續AI影像辨識的項目。

30

6. 道床檢查

查道項目：(12) 道床噴泥、(13) 道碴不足

AI辨識
評估

✓ 建議納入後續AI影像辨識項目

- 日常巡查主要仰賴**徒步(機車)查道**、**主管乘車巡查時的目視檢視**，原則上可應用AI影像辨識來協助處理。
 - 有道碴排水不良、道床噴泥問題時，可檢視到石碴道床中冒出泥漿。
 - 有接頭沈落、道碴不足問題時，可檢視到道碴出現滑動或塌陷狀況。

31

7. 軌道相關設施檢查

查道項目：(14) 路基異常、(15) 橋梁異常、
(16) 隧道異常、滲漏、(17) 邊坡異常、
(18) 排水溝、箱涵淤塞、(19) 平交道設備不整、
(21) 圍牆(籬)異常、破洞

檢查方法

- 巡查人員在徒步查道時係以**目視檢視**各項設施有無異狀。

AI辨識
評估

✓ 不建議納入後續AI影像辨識的項目

- 相關設施均位於**軌道外圍**地區，安裝在車上的攝影機**不易取得影像**，進行辨識。

32

8. 淨空檢查

查道項目：(20) 樹木、他物入侵淨空

AI辨識
評估

- ✓ **建議納入後續AI影像辨識項目**
 - 日常巡查仰賴**目視檢視**，可考慮將**淨空檢查**納入後續AI影像辨識項目。
- ✓ **後續辦理方式**
 - 可將攝影機安裝在**車頂或車頭**，拍攝**車前影像**以判斷是否有樹木或他物入侵淨空。

9. 軌道上異物檢查

查道項目：(22) 軌道上雜草、(23) 動物屍體

AI辨識
評估

- ✓ **建議納入後續AI影像辨識項目**
 - 日常巡查仰賴**目視檢視**，可考慮將**軌道上異物檢查**納入後續AI影像辨識的項目。
- ✓ **後續辦理方式**
 - 可將攝影機安裝在**車頭前方**，拍攝**車前軌道影像**，以判斷軌道上是否有雜草或動物屍體。

33

10. 巡查配備、材料檢查與其他

查道項目：(24) 勞安配備、鳴笛標、瞭望員、
(25) 機具材料放置安全及新舊材料收回情形、
(26) 其他(前述未列事宜)

AI辨識
評估

- ✓ **不建議納入後續AI影像辨識項目**
 - 查道項目(24):
 - 檢視巡查人員、施工人員有配戴安全帽、反光背心等勞安配備，並依規定值勤時有瞭望員注意安全。
 - **非軌道路線上的特定巡查目標**，**不建議納入**後續AI影像辨識的項目。
 - 查道項目(25):
 - 在巡查後確認機具材料有**放置安全**、新舊材料有**歸置與回收**。
 - **非軌道路線上的目視巡查工作**，**不建議納入**後續AI影像辨識的項目。
 - 查道項目(26)**其他(前述未列事宜)**:
 - 巡查時可能遭遇各種問題，**無特定的AI影像辨識目標**，**不建議納入**後續AI影像辨識的項目。

34

05 擴大應用AI之方向研提

35

05

擴大應用AI之方向研提

1
深化既有
辨識項目

- ✓ **螺栓檢查**是本所影像辨識系統的**既有辨識項目**，主要針對**魚尾板螺栓脫落**做辨識。
- ✓ 臺鐵局已在魚尾板螺栓加繪**定磅線**
 - 後續可再增加**螺栓定磅線辨識**，在**螺栓鬆動**時就發現問題而及早處理。
- ✓ **護軌墊板、滑床板、軌撐**等軌道相關配件亦是**使用螺栓**固定在鋼軌或軌枕上
 - 後續可再增加**各類軌道配件的螺栓鬆動、脫落辨識**，讓螺栓檢查的功能更趨完善。

36

2
深入評估
後續可辨識
項目

- ✓ 徒步(機車)查道時以**目視檢查**的項目應可以應用AI影像辨識技術來輔助巡查。
 - 可考慮將**軌枕檢查、道床檢查、淨空檢查、軌道上異物檢查**納為本所辨識系統**後續新增項目**。
- ✓ AI影像辨識的**技術限制**
 1. 目視巡查可從**不同視角**在**3維立體空間**上進行檢視，但AI影像辨識是在**單一視角**的**2維平面**上進行辨識。
 2. 建立影像辨識模型需要**大量資料**，資料量愈大則模式精確度愈高。
- ✓ **深入評估**後續可辨識項目
 - 蒐集各類**缺失影像**，確認拍攝的平面影像**可辨識出缺失問題**，
 - 能蒐集到**大量缺失影像**，以建立**高精度辨識模型**。

3
AI辨識結合
振動檢查

- ✓ **水平不整、高低不整、方向不整**等3項軌道不整問題是徒步(機車)查道中問題嚴重度高且發生頻率高**的高風險項目**，對巡查人員而言是很重要的檢查工作。
- ✓ 惟軌道不整的容許量僅為7mm，以**目視檢視效果不佳**，目前**日常巡查**主要透過**列車震動**情形來判斷。
- ✓ AI辨識技術目前除成功應用在**影像辨識**上，亦成功應用在**音訊處理、自然語音處理**等方面，後續可嘗試以**AI辨識列車振動**以判斷軌道不整問題。
- ✓ 或嘗試將**振動檢查設備**與**AI影像辨識系統**聯結，將三方向振動量輸入AI辨識系統，由系統協助判斷何處有軌道不整問題。

4
AI辨識結合
雷射/光達
技術

- ✓ **鋼軌損傷、斷裂**是徒步(機車)查道中問題**嚴重度很高且發生頻率不低的高風險項目**。
- ✓ 目前鋼軌損傷、斷裂是本所影像辨識系統的**既有辨識項目**。
- ✓ 「鋼軌裂縫快篩系統」採用**雷射技術**，相較於AI影像辨識技術，是**精確度較高**的檢測方法。
- ✓ 後續本所影像辨識系統可考慮用**AI影像辨識技術結合雷射技術、車載光達技術**來進行更精確的鋼軌損傷、斷裂檢查。



06 結論與建議

結論

- ✓ 本計畫研析目前臺鐵局的**路線巡查作業現況**，探討**人工智慧辨識技術**除進行**扣件、道釘、鋼軌、魚尾鈹**等軌道構件巡檢外，可**擴大應用**在其他軌道巡查作業項目的方向。
- ✓ 評估得到以下 4 項**可擴大應用的方向**：
 1. **螺栓鬆脫檢查**，可**擴增辨識內容**，深化既有AI影像辨識項目。
 2. **軌枕、道床、淨空、軌道上異物**等檢查，可再深入評估有無**大量、可辨識影像**，以供建立高精度辨識模型。
 3. **軌道不整檢查**，可研發以**AI辨識技術**結合**振動檢查設備**來輔助巡查。
 4. **鋼軌損傷、斷裂檢查**，可研發以**AI辨識技術**結合**雷射或光達技術**來輔助巡查。
- ✓ 研提之擴大應用方向，可提供臺鐵局及本所後續辦理人工智慧辨識在軌道巡查研究之應用。

41

建議

- ✓ 本研究研提出數項後續人工智慧辨識技術在軌道巡查上**擴大應用的方向**，建議後續**逐步進行研發探討**。

42



THANK YOU

簡報完畢
敬請指教

