

出國報告（出國類別：考察）

鐵道事故調查員訓練考察

服務機關：交通部鐵道局

姓名職稱：林佳宜簡派正工程司、曾祥一主任檢查員

派赴國家/地區：澳大利亞/珀斯

出國期間：112年11月25日至12月2日

報告日期：113年2月5日

摘要

為強化鐵道事故調查之知識技能，偕同國家運輸安全調查委員會前往澳大利亞參加鐵路產業標準委員會 (RISSB) 辦理之「鐵道出軌調查分析訓練 (Undertake a Derailment Investigation)」，爰於 112 年 11 月 25 日至 12 月 2 日赴澳大利亞，針對列車出軌事故調查之內容，包括調查過程、出軌理論及因素探討等進行研討及交流，以作為我國鐵道事故調查執行之參考。

本次考察研討會地點位於澳大利亞西部的珀斯，學員來自 5 個營運機構及調查單位，包括 BHP(必和必拓礦業公司)、Rio Tinto(力拓集團)、AURIZON(澳大利亞貨運鐵路運輸公司)、TTSB(國家運輸安全調查委員會)及 Railway Bureau, MOTC(交通部鐵道局)。

出軌調查分析所涉及的範疇極為廣泛，從最起始的調查入門、出軌基本理論、調查程序(包括現場證據蒐集、現場勘查及實地訓練課程)、車輪與軌道之關鍵因素及車輛軌道互制，講師以循序漸進的方式，使參與訓練之學員蓄積出軌事故調查能量與本職學能，透過本次的交流，講師分享了很多出軌調查的經驗與實例，讓我們瞭解澳大利亞在出軌事故調查上之推動及實務經驗，並從中學習且思考適合國內鐵道監理推動的方向。

目錄

壹、目的.....	1
貳、考察行程.....	2
參、考察紀要.....	3
3.1 調查入門.....	3
3.1.1 調查目標與目的.....	4
3.1.2 調查計畫與流程.....	5
3.1.3 證據類型.....	7
3.2 出軌基本理論.....	8
3.2.1 什麼是出軌.....	8
3.2.2 出軌機制與典型直接原因.....	9
3.2.3 出軌的主要因素.....	9
3.2.4 輪緣爬升.....	10
3.3 調查程序.....	13
3.3.1 現場證據蒐集.....	13
3.3.2 現場勘查.....	19
3.3.3 實地訓練課程.....	23
3.4 車輛與軌道之關鍵因素.....	26
3.4.1 車輛.....	26
3.4.2 軌道.....	28
3.4.3 車輛軌道互制.....	31
肆、心得與建議.....	34
4.1 心得.....	34
4.2 建議.....	36

圖目錄

圖 1 學員與講師合照.....	4
圖 2 調查計畫比例.....	5
圖 3 調查流程.....	6
圖 4 車輪軌道介面.....	8
圖 5 與出軌發生相關的負荷力.....	10
圖 6 輪緣爬升的因素.....	11
圖 7 輪軌介面之力和因素的關係.....	11
圖 8 輪廓測量規及輪箍規.....	12
圖 9 不同摩擦係數下的軌道狀況.....	12
圖 10 現場草圖.....	14
圖 11 利用長鏡頭顯示軌道凹陷.....	15
圖 12 事故現場鳥瞰照片.....	16
圖 13 雷射掃描和 3D 成像.....	17
圖 14 檢查軌道道碴橫斷面並確認泥漿污染的程度污染情形.....	18
圖 15 出軌點前 60 公尺及脫軌後 20 公尺示意.....	18
圖 16 出軌點前 60 公尺及脫軌後 20 公尺量測.....	19
圖 17 較短的輪緣痕跡.....	21
圖 18 較長的輪緣痕跡.....	21
圖 19 道碴中運行造成輕微損壞及在扣件上運行輪緣嚴重受損.....	22
圖 20 枕木上車輪運行痕跡.....	22
圖 21 實地訓練課程照片 1.....	25
圖 22 實地訓練課程照片 2.....	25
圖 23 實地訓練課程照片 3.....	26
圖 24 車輪輪緣及踏面量測.....	27
圖 25 尖軌磨損.....	31
圖 26 維修工具設備擺設井井有條並落實 5S 政策.....	34
圖 27 利於工作環境現場管理並提升維修效率及效能.....	35
圖 28 服膺職業安全衛生文化深植公司 DNA.....	35
圖 29 自發性穿戴個人防護裝備且身教重於言教.....	36

表目錄

表 1 考察行程表.....	2
表 2 澳洲鐵路監理標準相關單位一覽表.....	3
表 3 出軌機制與典型直接原因表.....	9
表 4 出軌的主要因素表.....	10

壹、目的

鐵道系統乃目前國內交通施政關鍵項目，除建構更完善周延的環島鐵路網外，鐵道運輸更是攸關旅客生命安全，故提升鐵道系統的安全為國人所殷殷企盼，而鐵道安全監理正是政府督導鐵路機構確保行車安全的重中之重，透過鐵道事故調查、定期及不定期檢查等監理作為，以科學方法及嚴謹態度來發掘事故根本原因，並向鐵路機構提出具體之改善建議，以避免事故再次發生，進一步提升鐵道系統的安全水準。

鐵道事故調查原依據交通部「鐵路行車事故事件調查小組作業要點」，由交通部鐵道局(以下簡稱本局)擔任幕僚機關，辦理調查重大事故及其他經交通部認定應調查之行車事故事件發生經過及發生原因。111年6月22日鐵路法第4、56~6條修正，事故調查改由本局主責，並訂定「交通部鐵道局鐵路行車事故事件調查作業要點」。調查方式依循原來的作業模式，除審查營運單位提送之事故調查報告，並於必要時得針對個案辦理專案調查，由本局聘請鐵路土建、機電、營運之專家學者擔任委員，審查行車事故事件之調查結果及審議違失事項。

出軌事故調查之主要目的為瞭解發生的情況與原因，降低風險，提供資料進行統計比較與趨勢分析，並辨識安全管理系統(Safety Management System)可能不明確的領域。

本次考察澳大利亞「鐵道出軌調查分析訓練(Undertake a Derailment Investigation)」，針對列車出軌調查，包括調查過程、出軌理論及因素探討等內容進行研討及交流，以作為我國鐵道事故調查執行之參考，期望從不同角度汲取經驗，借鏡澳大利亞作法，作為強化我國對鐵路機構事故調查執行之參考，裨益於鐵路監理制度之推動。

貳、考察行程

本次考察自 112 年 11 月 25 日至 111 年 12 月 2 日(包含來回航程)，共計 8 天，主要課程由 RISSB 委託鐵路訓練機構 Centre of Excellence in Rail Training (CERT) 授課，課程包含調查入門、出軌基本理論、調查程序(包括現場證據蒐集、現場勘查)、機車及其他動力機車車輛、列車運行、編組及裝載、軌道施工、維護、零件與測量、車輛軌道互制及分組討論腦力激盪等，藉由考察澳大利亞對於鐵道事故調查之機制及實務經驗，以促進我國鐵道出軌事故調查發展、提升營運監督效率，本次考察行程表如表 1。

表 1 考察行程表

日期	地點	行程摘要
112.11.25	桃園-墨爾本	■ 去程(桃園-墨爾本)
112.11.26	墨爾本-珀斯	■ 去程(墨爾本-珀斯)
112.11.27	珀斯	■ 預備日 Spare Day
112.11.28	珀斯	■ 鐵道出軌調查分析訓練 (Undertake a Derailment Investigation)
112.11.29	珀斯	■ 鐵道出軌調查分析訓練 (Undertake a Derailment Investigation)
112.11.30	珀斯	■ 鐵道出軌調查分析訓練 (Undertake a Derailment Investigation)
112.12.01	珀斯-墨爾本	■ 回程(珀斯-墨爾本)
112.12.02	墨爾本-桃園	■ 回程(墨爾本-桃園)

參、考察紀要

3.1 調查入門

澳洲鐵路監理單位為國家鐵路安全監管機構辦公室 ONRSR(The Office of the National Rail Safety Regulator)，另有制定鐵路行業標準的組織—鐵路安全標準委員會 RISSB(Rail Industry Safety and Standards Board)及相關培訓機構—鐵路培訓中心 CERT(Center for Excellence in Rail Training)，各單位權責一覽表如表 2。

表 2 澳洲鐵路監理標準相關單位一覽表

鐵路監理標準相關單位	職責
 <p>The Office of the National Rail Safety Regulator 國家鐵路安全監管機構辦公室</p>	<ul style="list-style-type: none">● 監理機關，根據鐵路法 (Rail Safety National Law, RSNL)成立的獨立法人團體。● 對鐵路安全進行監管監督調查，以促進和改善國家鐵路安全。
 <p>RAIL INDUSTRY SAFETY AND STANDARDS BOARD 鐵路安全標準委員會</p>	<ul style="list-style-type: none">● 鐵路行業標準制定組織。● 提供鐵路組織所需的基本工具—良好實踐標準、業務守則、指南和規則。
 <p>鐵路培訓中心</p>	<ul style="list-style-type: none">● 培訓機構，為鐵路行業提供培訓方案。● 提供內容符合澳大利亞國家鐵路安全法規。

本次課程由 RISSB 委託鐵路訓練機構 Centre of Excellence in Rail Training (CERT) 授課並指派講師進行為期三天的訓練課程。學員與講師合照如圖 1。



圖 1 學員與講師合照

3.1.1 調查目標與目的

一、調查目標

主要是發現系統性的安全缺陷，而非將責任歸咎於任何個人或組織，調查人員也必須對照 SMS 進行檢視，確保營運機構能充分辨識(identified)及管理(Management)危害(hazards)及風險(risks)。

- (一) 現場調查期間應盡快找出出軌機制，和直接原因，例如鋼軌斷裂或車軸斷裂，應找到證據支持造成出軌的原因，而非羅列出軌結果。
- (二) 調查是為了確定所有的原因和影響因素，而非分配責任與究責。
- (三) 調查的重點是找出導致出軌事件發生的「上游」及「系統性」的因素。
- (四) 出軌機制 Mechanism of Derailment 是車輪離開軌道的方法或過程，而非出軌的原因。

二、調查目的

主要的調查目的有三：

- (一)瞭解發生的情況與原因，降低風險。
- (二)提供資料進行統計比較與趨勢分析。
- (三)辨識 SMS 可能不明確的領域。

次要的調查目的有二：

- (一)法律要求。
- (二)人道、環境、法律和財務原因。

三、出軌調查需確定：

- (一)發生的事實真相(facts)。
- (二)發生的結果(consequence)。
- (三)促成發生的因素(factors)。
- (四)發生的原因因素(causal facts)。

調查計畫最重要部分是進行分析研究與證據驗證，必須以結構化的方式進行調查，以確保蒐集和檢查所有可用的資訊，調查期間蒐集的數據對於識別類似出軌的共同特徵或原因也很有價值，調查人員應了解本身的侷限性，需要時應尋求科學、技術或專家協助，且在規劃階段就要確定上述事項。

3.1.2 調查計畫與流程

一般來說，現場調查僅占整個調查工作的一小部分（約 20%），大部分調查工作（約 70%）是證據的研究、分析及驗證，另外 10%則是撰寫報告，調查計畫比例圖如圖 2。

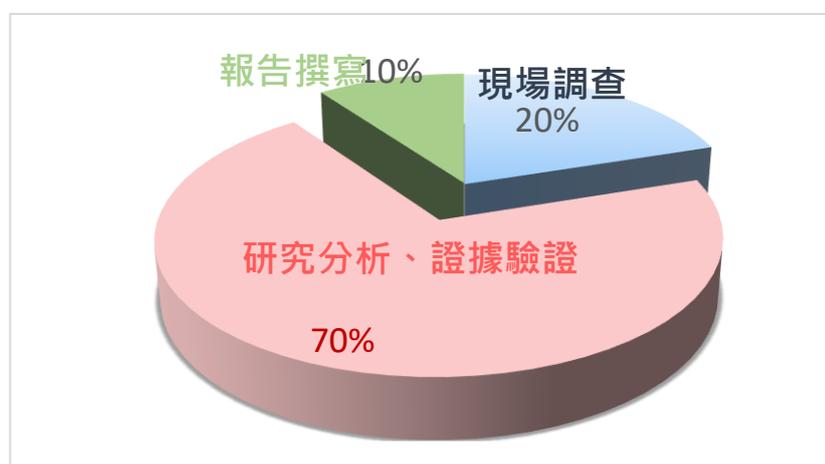


圖 2 調查計畫比例

調查流程可區分為六個階段，**第一階段**為規劃，此階段需整合資源，建立團隊，確認調查裝備及釐清角色責任，**第二階段**即赴現場檢查，並進行風險評估及控制，**第三階段**則為蒐集證據，並詳實紀錄、照相、量測訪談，**第四階段**進行證據分析，並排列事實與事件順序，釐清發生原因，**第五階段**透過討論及彙整得出結論，最後**第六階段**再統一撰寫報告，調查流程圖如圖 3。

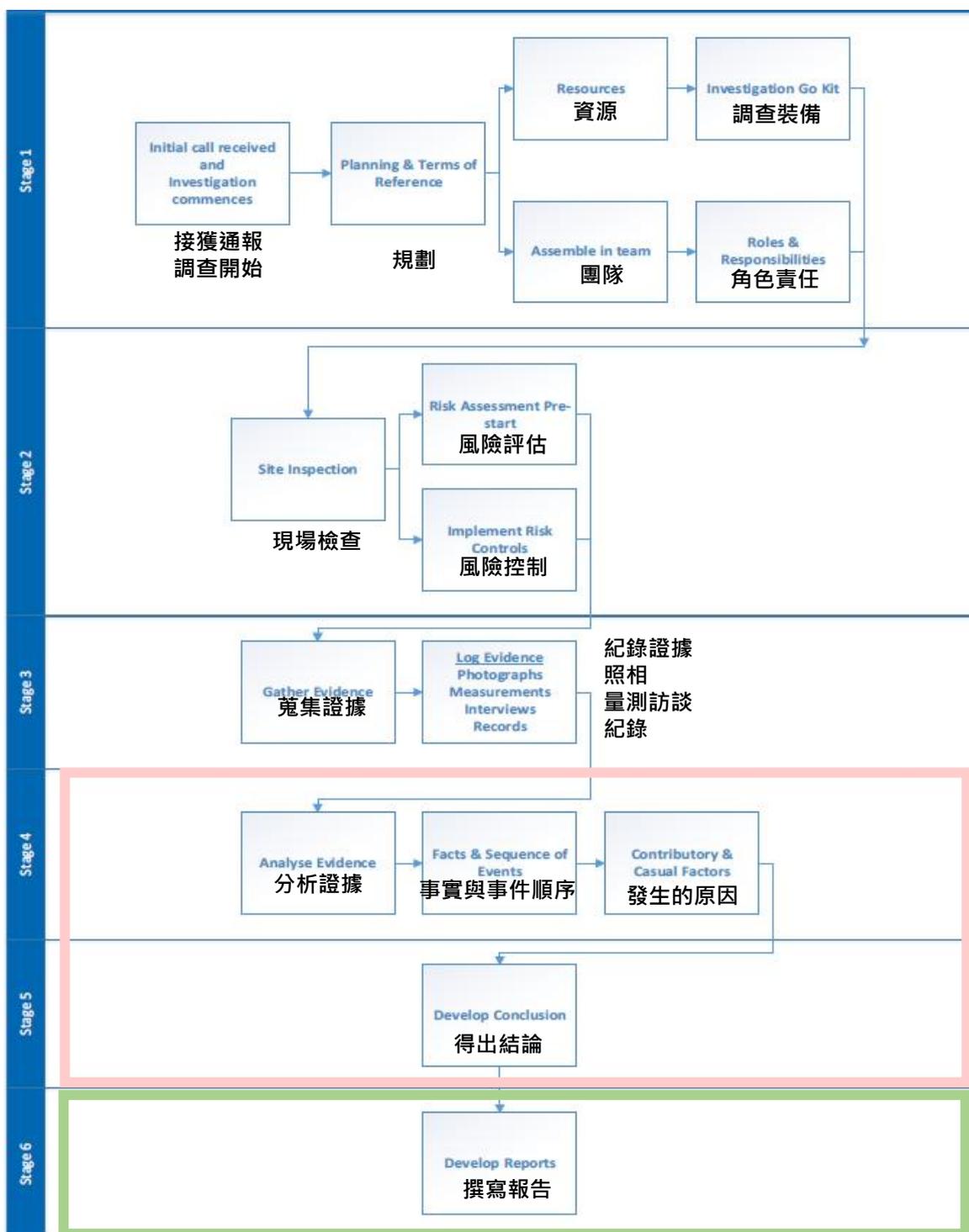


圖 3 調查流程

一、直接原因及根本原因

(一)直接原因(Immediate Causes)：

- 1、直接發生的事件、不正確的行為或條件，是觸發(trigger)或導致事件發生的直接因素。
- 2、它是事件發生最主要的原因，但它很少會是一個完整故事。但它通常是可以最快修正的因素。
- 3、有些事件直接原因不只一個，例如軌道嚴重扭曲且貨車超載，兩者都可能導致車輪負載失衡，並導致輪緣爬上軌道而出軌。

(二)根本原因(Basic Causes)

形成出軌條件的潛在人為或工作因素，如果不立即導正，可能導致再次出軌情形。

3.1.3 證據類型

一、事故調查需要識別證據，並將證據分為以下幾類：

(一)易消失 perishable-隨著時間推移、對條件反應、現場清理恢復 可能遺失的證據，例如：

- 1、修復受損基礎設施、拆除機車車輛和基礎設施部件。
- 2、軌道、車輪和煞車的溫度變化。
- 3、控制裝置和開關的位置、機車車輛駕駛室內環境的狀況、煞車壓力和儀表。
- 4、道岔的位置。
- 5、基礎設施、車輛或地面上的明顯標記。
- 6、記錄的資料損壞和覆蓋。

(二)可取回 retrieval-可在現場或其他地點找到可供以後檢查的證據，例如：

- 1、車輪、車軸。
- 2、軌道組件。
- 3、其他車輛、基礎設施等。
- 4、應記錄其狀態和位置，對物品進行標記/標記，並對恢復進行管理，以免在以後檢查之前損壞或改變證據。

(三)現有的 available-之後可取得證據，例如：

- 1、軌道基礎設施設計。
- 2、列車編組及維修紀錄。
- 3、軌道維護和檢查紀錄。
- 4、專家提供的訊息。

二、證據保存

(一)現場證據

- 1、證據保存與紀錄方式應確保證據效力(valid)。
- 2、證據必須使用經校正的設備進行量測。
- 3、獲得現場指揮官同意後才能移除。

(二)證據和紀錄應該

- 1、明確標識(標籤和日期)。
- 2、安全儲存。
- 3、與其他可能造成損壞或損失分開存放。

3.2 出軌基本理論

3.2.1 什麼是出軌

構成出軌的兩個主要部份：車輪（輪面）及軌道（面）的永久性分離與否決定是否出軌，車輪軌道介面如圖 4。



圖 4 車輪軌道介面

一、什麼是出軌

- (一)車輛意外脫離軌道的行為。
- (二)跑出或引起跑出軌道。
- (三)失去輪軌介面。

二、造成出軌的原因

- (一)可能是碰撞到軌道上的障礙物、車輛；
- (二)或基礎設施的安全關鍵部件故障；
- (三)或不符合要求的操作程序/操作。

三、出軌的重要工作

- (一)透過識別殘骸來確認出軌機制是一項密集且耗時工作。
- (二)蒐集現場證據來解釋事件的順序和出了什麼問題至關重要。
- (三)確認設備和操作是否正常運作也很重要。

3.2.2 出軌機制與典型直接原因

出軌可能是由於碰撞、軌道上的障礙物、車輛或基礎設施的安全關鍵部件故障或不合規定的操作程序及操作所造成的，出軌機制和典型直接原因如表 3。

表 3 出軌機制與典型直接原因表

出軌機制	典型直接原因(一般軌道、道岔、橫渡線)
1.車輪脫離軌道	列車搶斷(突然施加動力或收進列車緩衝器)、braking shocks、碰撞、車廂擠壓、軸頸斷裂、轉向架受阻、車輛部件衝突
2.車輪受阻	軌道、鋼軌及凸輪路徑上物品
3.車輪掉落在鐵軌之間	軌道擴張、車輪鬆動、鋼軌斷裂
4.車輪在軌道上旋轉(車廂翻倒)	彎道超速、氣旋風
5.輪緣爬升(輪緣爬升並越過軌道) (flange 輪緣/凸輪)	車輪、軌道幾何形狀、列車操縱等單一或綜合因素 導致輪重(V)大幅降低、側向力(L)升高

3.2.3 出軌的主要因素

出軌的主要因素包括車輪脫離軌道、車內巨大力量或衝撞對車輪或轉向架造成物理障礙、車輪在軌道間掉落及車輪在軌道上旋轉，出軌的主要因素如表 4，與出軌發生

相關的負荷力，計有垂直力、橫向力…等等，出軌發生的相關負荷力如圖 5。

表 4 出軌的主要因素表

01	02	03	04
車輪脫離軌道	車內巨大力量或衝擊對車輪或轉向架造成物理障礙	車輪在軌道間掉落	車輪在軌道上旋轉
	<ul style="list-style-type: none"> ● 車輪偏離軌道或轉向架被提升 	<ul style="list-style-type: none"> ● 鋼軌或鋼軌扣件或支撐物件故障 ● 車輪在車軸上移動 	<ul style="list-style-type: none"> ● 與車輛翻覆(側翻)最有關，最常見原因是彎道超速

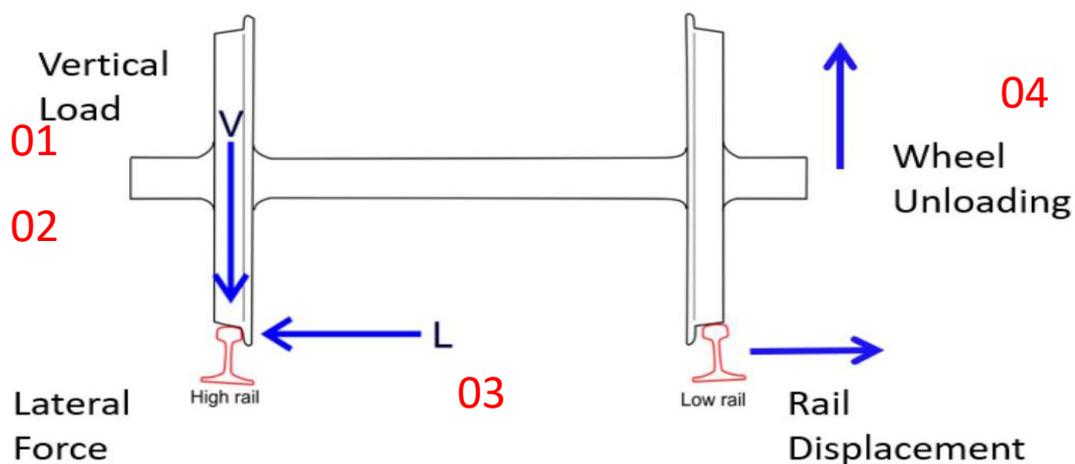


圖 5 與出軌發生相關的負荷力

3.2.4 輪緣爬升

一、輪緣爬升(Flange Climb)

車輛重量以及輪緣與鋼軌接觸點條件的變化，可能導致輪緣爬升並越過鋼軌，輪緣爬升的因素如圖 6。

二、納達爾理論(Nadal's Theory of Flange Climb)

(一) L/V 超出臨界值，則輪緣爬升的可能性很高，主要是車輪荷重減少或橫向力增加，輪軌介面之力和因素的關係如圖 7。

(二) 輪緣和鋼軌接觸角度(β)、該點摩擦係數(μ)是出軌的關鍵因素。

(三) 接觸角度(β)減少、摩擦係數(μ)增加，降低 L/V 臨界值，增加輪緣爬升的風險。

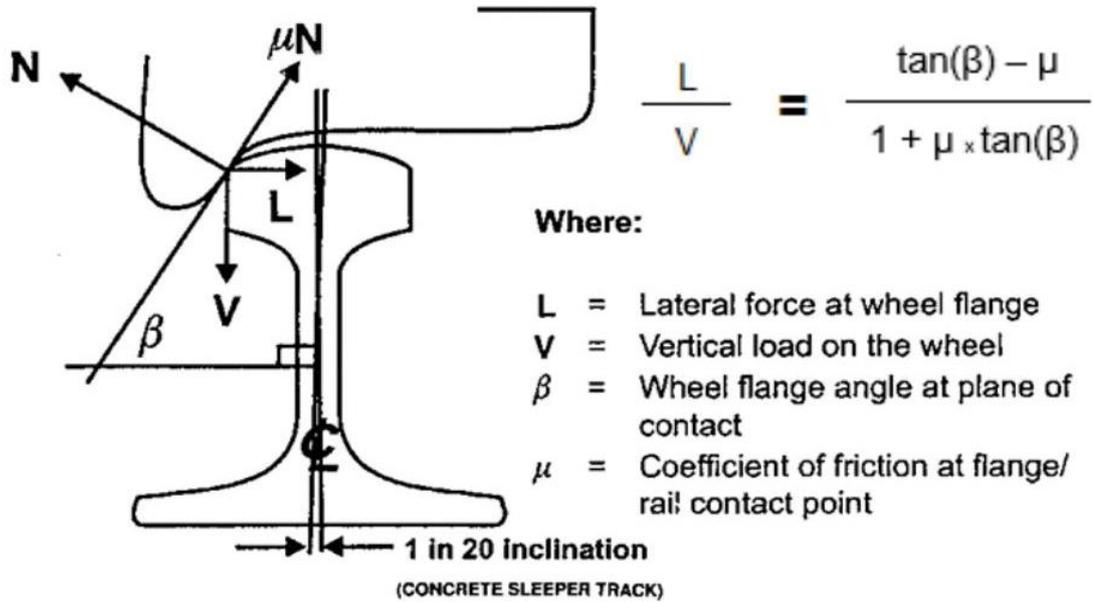


圖 6 輪緣爬升的因素

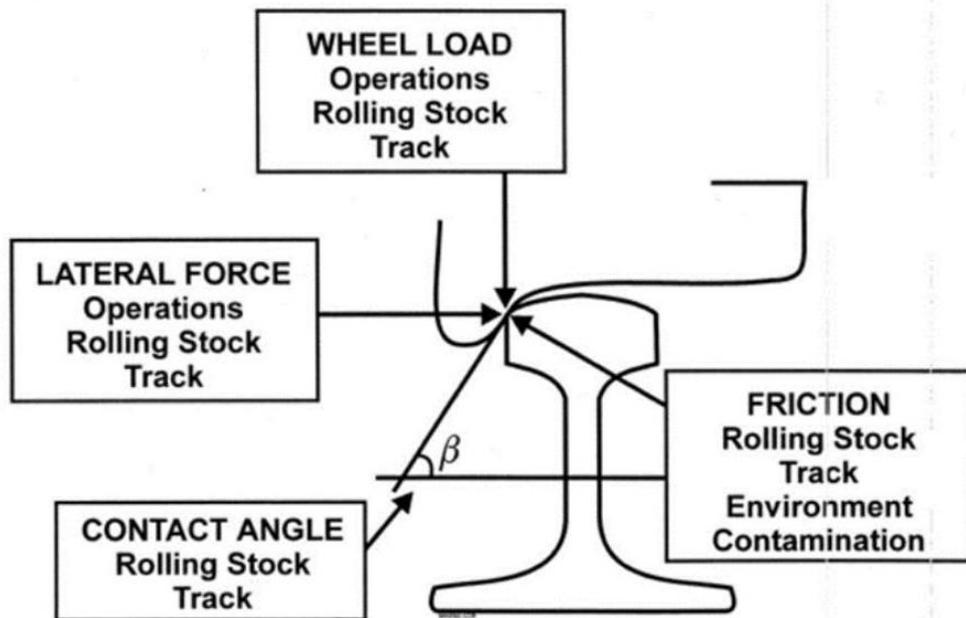


圖 7 輪軌介面之力和因素的關係

三、課堂上講師提供「輪廓測量規」及「輪箍規」，並說明可以利用「輪廓測量規」及「輪箍規」，紀錄車輪輪廓、軌頭輪廓及輪緣角度如圖 8。



圖 8 輪廓測量規及輪箍規

四、摩擦係數不太容易確定，即使在一小段軌道上，係數通常不斷變化，需要進行平均，不同摩擦係數下的軌道狀況如圖 9。

Coefficient of Friction μ	Rail Condition	
0.1	Lubricated	潤滑
0.05 - 0.15	Damp/rusty rail	潮濕/生鏽的鐵軌
0.2	Clean, wet rail	乾淨、濕潤的軌道
0.25 - 0.35	Clean, dry steel, smooth surface	鋼材清潔、乾燥、表面光滑
0.35 - 0.45	Clean, dry steel with rough surface.	清潔、乾燥、表面粗糙的鋼材。通常，硬磨損時會看到金屬屑
0.45 - 0.6	Laboratory controlled contact conditi	實驗室控制的接觸條件，通常不會出現在軌道上

圖 9 不同摩擦係數下的軌道狀況

3.3 調查程序

3.3.1 現場證據蒐集

一、調查人員安全與保護

(一) 避免調查過程使自己或他人陷入風險。

- 1、出軌現場屬於高風險地區，危害因素較多，調查人員須小心謹慎。
- 2、遵守鐵路機構安全規定。

(二) 調查人員進入現場必須：

- 1、取得現場負責人(通常是鐵路機構人員)的進入鐵道路廊的許可。
- 2、確認現場危害(hazards)並取得現場安全簡報。
- 3、閱讀並確認工作任務的任何安全工作方法聲明。
- 4、採取一切必要的人身安全預防措施。
- 5、穿戴所需的個人安全防護裝備。
- 6、攜帶必要的工作證明文件。
- 7、遵守通行規定、警告標誌和現場安全簡報指示。
- 8、如果現場無現場負責人，則必須配有一名保護人員。

二、調查人員注意事項

(一)現場調查人員

- 1、調查人員前往發生現場前，應收集盡可能多的證據，應有適當的安排，確保周邊地區任何基礎設施、機車車輛、數據和其他潛在證據的安全，防止證據受到干擾和遺失。
- 2、調查優先於恢復，收集證據並確定主要原因之前，調查優先於恢復，除非危及生命的情況。
- 3、首要任務是收集易消失的證據。

(二)初期調查人員要盡可能確認

- 1、出軌時間、地點。
- 2、導致出軌一系列事件。
- 3、事件發生後接下來發生事件順序。
- 4、出軌點。
- 5、出軌機制。

5、檢查車輛或基礎設施詳細特徵時，通常會製作有尺寸和註解的單獨草圖。

(二)筆記 Note

- 1、不要倚賴記憶。
- 2、調查期間編寫並記錄進度。
- 3、標註頁碼、日期並將原稿存檔。

(三)照片 Photographs

- 1、最有用的工具之一，如利用長鏡頭顯示軌道凹陷如圖 11。
- 2、可以記錄現有的情況或因移動或而改變的情況。
 - 永久記錄斷裂、凹痕、刮痕、儀器讀數和易消失證據(如標記)。
 - 用於比較前後、修正與不正確、損壞與未損壞情況。



圖 11 利用長鏡頭顯示軌道凹陷

3、無人機

- 可以拍攝事故現場鳥瞰照片如圖 12。
- 辨識地面上可能不明顯的證據。
- 更了解可能發生的事件。
- 加快瀏覽過程。
- 拍攝步行無法到達的區域。
- 紀錄設備位置。
- 強化手繪草圖資訊。

-但在有架空電氣設備區域、機場等禁航區域、夜間或惡劣天候等，則不適合使用無人機。

Ground Level View



Aerial View

圖 12 事故現場鳥瞰照片

4、雷射掃描和 3D 成像

可以獲得現場和現場條件完全準確的紀錄，優點如下：

- 快速準確繪製機車車輛、軌道和設備的地點和位置圖。
- 能之後進行分析，無需承擔現場恢復的壓力。
- 極為準確地量測距離。
- 能產生 3D 影像以供後續分析報告。

-但是雷射掃描和 3D 成像的成本很高且需要進行培訓，雷射掃描和 3D 成像如圖 13。

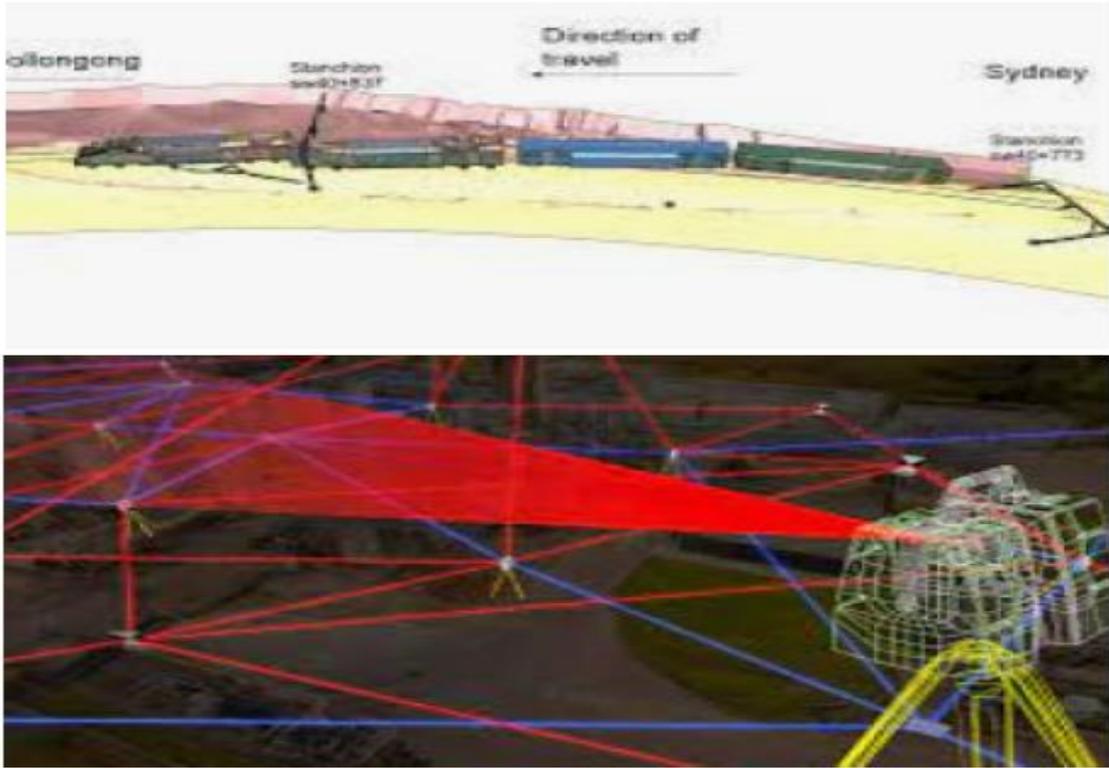


圖 13 雷射掃描和 3D 成像

(四)樣本採集 Sample Collection

- 1、某些情況可能需要蒐集適當的證據樣本，例如流體、潤滑劑、污染物行採樣供後續分析，例如檢查軌道道碴橫斷面，採集道碴剖面樣本，來確認泥漿污染的程度污染情形如圖 14。
- 2、這些樣本有法律上的證據力
 - 移動樣本前，應確認已記錄其原始位置。
 - 對樣本特性或危害有疑問，應尋求專家協助。
 - 採集樣本應穿戴適當個人防護裝備。
 - 採集代表性樣本(代表性樣本/對照樣本)
 - 使用適當容器。
 - 貼上標籤並標明日期、時間、收集者及內容。



圖 14 檢查軌道道碴橫斷面並確認泥漿污染的程度污染情形

四、軌道量測

(一)調查作業必須確定軌道形狀，需對軌道進行全面測量。

(二)量測範圍：出軌點前 60 公尺及脫軌後 20 公尺如圖 15 及圖 16，以 1 公尺間隔 進行測量。

- 1、軌道水平(cross level)。
- 2、軌距。
- 3、軌道垂直剖面(軌道頂部)。
- 4、軌道線型(track alignment)。
- 5、垂直或橫向位移的跡象，如枕木下空隙。
- 6、軌頭側面磨損情形。

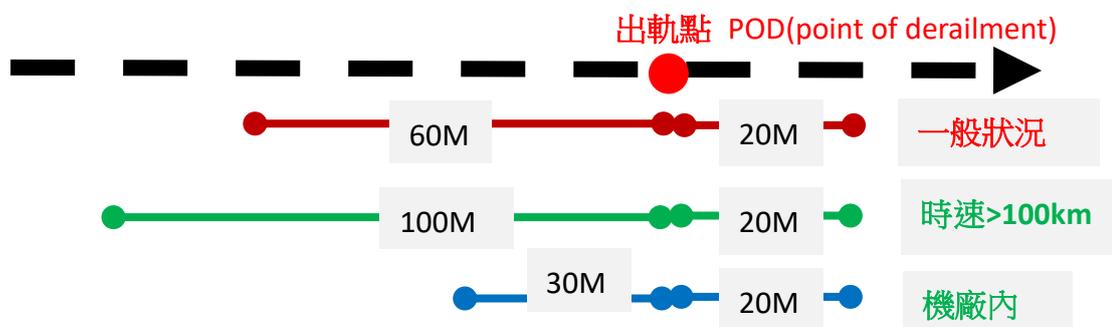


圖 15 出軌點前 60 公尺及脫軌後 20 公尺示意



圖 16 出軌點前 60 公尺及脫軌後 20 公尺量測

3.3.2 現場勘查

一、出軌點 POD(point of derailment)

(一)識別哪一個車輪出軌→識別出軌機制→識別直接原因

(二)尋找出軌原因取決於準確定位初始的 POD；執行程序如下：

1、從出軌車輛的位置開始：

- 檢查第一輛和第二輛車輛的車輪、軸承、連結器，尋找明顯的機械故障跡象。
- 評估車輪出軌運行損壞的類型和程度，是否顯示哪輛車先出軌。
- 注意車輪、轉向架和車體向左或向右位移。
- 注意鋼軌變形，有時原因很明顯，可以找出一個或多個可能原因供後續驗證。
- 感受車輪的潛熱，可發現那輛車曾經煞車，猛烈煞車或未煞車。

2、朝與列車出軌相反方向，檢查鋼軌、接頭、扣件、枕木、道碴是否有新痕跡，尋找：

- 沿鋼軌頂部的短或長輪痕。
- 鋼軌上固定間隔的標記(痕跡)。
- 鋼軌磨痕。
- 鋼軌內的輪痕。

- 鋼軌上不明原因的痕跡。
- 軌夾、道釘等位移或損壞。
- 車輛零件脫落或裝載物脫落。

3、依循鋼軌上標記(痕跡)，找到最遠的標記，判斷是否為出軌點(POD)。如果不是，往下一個標記進行類似評估，直到 POD 被識別出來。

二、第一個出軌的車輪 (First Wheel to Derail)

(一)如果第一輛出軌車輛的前轉向架或兩個轉向架都脫落，通常跟最初的出軌有關。

(二)調查人員應該：

- 1、檢查出軌車輛的車輪，尋找輪緣損壞最嚴重的車輪。
- 2、觀察輪緣、踏面或輪圈、轉向架側架等或軌道上任何部件的痕跡；出軌的車輪會出現嚴重擦傷、輪緣、道碴出現畫痕。
- 3、第一次檢查時，所有痕跡的嚴重程度應以 1-10 區分。
- 4、比較車輪、軸頸、軸承尺寸、製造標記，確保分離的車輪能和正確車輛配對。

(三)出軌車輪有時會在經過道岔時重新回到軌道。

輪緣上刻痕和磨損、轉向架和車體底面痕跡，可以揭示出軌的順序。

三、車輪痕跡(Wheel Marks)

(一)短輪緣痕跡 short flange marks

鋼軌頂部出現較短的輪緣痕跡如圖 17，顯示車輪出軌的側向力非常大。

- 1、短的輪緣痕跡通常是指小於 600mm。
- 2、此類出軌軌可能是因為：
 - 重度拋光。
 - 列車操縱不當造成的縱向力。
 - 急轉彎。
 - 載重突然轉移。
 - 連結器、輪緣或輪圈故障。
 - 轉向架無法正常扭轉。



圖 17 較短的輪緣痕跡

(二)長輪緣痕跡 long flange marks

鋼軌頂部出現較長的輪緣痕跡如圖 18，顯示出軌過程中車輪負載損失嚴重、側向力很小。

- 1、車輪脫離軌道前，輪緣痕跡可能延伸 8 公尺或更長。
- 2、車輪負載損失，可能原因：
 - 鋼軌頂部平行不規則。
 - 列車速度與曲率超高。
 - 負載/載重不平衡。
 - 懸吊部件不平衡。

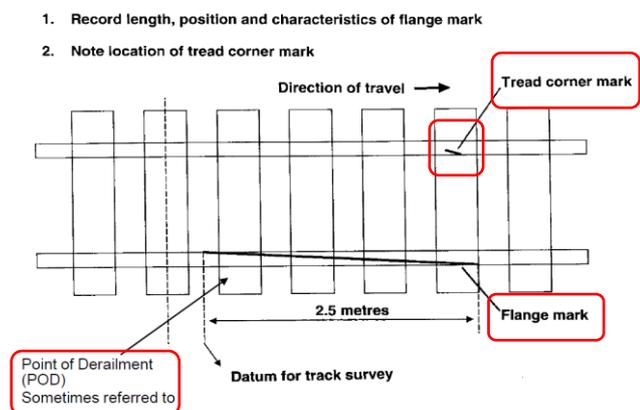


圖 18 較長的輪緣痕跡

四、出軌證據解釋

- (一)確定出軌的起始點後，調查人員需要紀錄出軌的運行證據，並解釋從最初出軌點(POD)到列車停止的事件順序。
- (二)如果不只一個轉向架或車輛出軌，車輪和基礎設施遭受的損壞，通常可以提供關於哪一個輪組最先出軌的證據。
- (三)當車輪在出軌狀態下運行，也會因軌道扣件、軌枕和道碴，而產生明顯的損壞與痕跡如圖 19 及圖 20。



圖 19 道碴中運行造成輕微損壞及在扣件上運行輪緣嚴重受損



圖 20 枕木上車輪運行痕跡

五、岔尖及岔心上的痕跡(對向運轉)

列車對向 (Facing) 進入道岔時，會有以下 3 種出軌型態：

(一)輪緣爬上

出軌痕跡通常出現於尖軌1公尺範圍內並沿著尖軌上方延伸，至輪緣落入尖軌及基本軌間，或直接穿越基本軌。尖軌的正反位都要檢視是否有壓痕、形變或金屬碎屑，而在爬上過程中鋼輪踏面會在與另一側鋼軌面上產生導角損傷。

(二)岔尖未密合

尖軌未和基本軌靠密，輪緣進入尖軌及基本軌間且車輪組跨兩活動軌運行，這可能會造成尖軌端點的損壞。車輪在逐漸分岔的基本軌上運行，最後因基本軌軌距大於輪距而出軌。在軌道扣件及左右鋼軌面上可見輪緣壓痕。

(三)通過時岔尖扳轉

此發生於車輛在通過道岔時，岔尖扳轉完全至另一位置，後續的輪組被導向另一方向，車輛因此向另一方向運行直至轉向架被拉離軌道。此類出軌的證據是岔尖位置和原進路方向不一致，且在岔心附近可見出軌痕跡，通常在岔尖沒有痕跡。

六、擠軌

擠軌發生於車輛背向 (Trailing) 進入設定與運行方向相反之道岔，這可能造成岔尖斷裂造成出軌，或岔尖與基本軌不靠密，使後續對向運行車輛出軌。出軌痕跡與岔尖、連桿及鎖錠裝置的損壞，都是此類出軌的證據。

七、在岔心出軌

是指車輛在岔心及其護軌出軌。護軌的作用為引導車輛順利通過岔心，常見的型態是輪緣進入錯誤的輪緣槽，另一邊的車輪必定會跨越護軌，護軌上方可見出軌痕跡。如果出軌痕跡出現在岔心之前，很可能是車輪進入錯誤輪緣槽後被拉過來的。如圖 21 及圖 22，輪組及護軌相對於岔心的尺寸量測是必要的，且要將護軌的磨耗及位移與部件未牢固所生的記號都列入考慮。如果出軌痕跡在岔心之後，可能是因列車操控造成推擠或拉伸的力，使車輪浮起。

3.3.3 實地訓練課程

澳洲為期 3 天的課程，講師安排至 GEMCO 公司，進行軌道量測實地訓練，量測

範圍為出軌點前 60 公尺及脫軌後 20 公尺，以 1 公尺間隔進行測量，包括軌道水平 (cross level)及軌距、軌道垂直剖面(軌道頂部)、軌道線型(track alignment)、垂直或橫向位移的跡象及軌頭側面磨損情形，實地訓練課程如圖 21、圖 22 及圖 23。



圖 21 實地訓練課程照片 1



圖 22 實地訓練課程照片 2

Cemco 2 Road

TWIST, TOP and LINE ASSESSMENTS IN-FRM-10

Track: 水平 Line: Short Twist Finish Kilometres: _____

Track Speed: Freight E.P. EP Passenger: _____ Assessed by: _____ Signature: _____ Date: _____

Twist Assessment												After Measurements											
Station	Super	Short twist	Station	Sup	Short twist	Long twist	Station	Super	Short twist	Long twist	Station	Super	Short twist	Long twist	Station	Super	Short twist	Long twist					
1	-3		8	-6	10	13	15				15				15								
2	0	3	9	+9	15	12	16				16				16								
3	+1	7	10	+10	1	0	17				17				17								
4	+3.5	2.5	11	+8	-2	4.5	18				18				18								
5	-8	11.5	12	0	-8	19.5	19				19				19								
6	+1	9	13	-5	-5	14	20				20				20								
7	+4	3	14				21				21				21								

Worst result recorded: _____

Short twist defect: Y/N _____ mm

Long twist defect: Y/N _____ mm Defect Category: _____

Superelevation defect: Y/N _____ mm Defect Category: _____

Design superelevation: mm _____ Defect Category: _____

Before						After					
Station	Mid Ord										
1	5	9	1	5	9	1	5	9	1	5	9
2	6	10	2	6	10	2	6	10	2	6	10
3	7	11	3	7	11	3	7	11	3	7	11
4	8	12	4	8	12	4	8	12	4	8	12

Top Defect: Y/N _____ mm Defect Category: _____

Line Defect: Y/N _____ mm Defect Category: _____

Defects Response: Is speed restriction required? Y/N Temp speed _____ km/hr From: _____ To: _____ Applied: Y/N _____

Notes: _____

1-1439 6-1442 12-1435
 2-1439 1440 7-1439 13-1443
 3-1440 8-1438 14-1438
 4-1440 9-1434
 5-1440 1442 10-1439
 11-1440

軌距

圖 23 實地訓練課程照片 3

3.4 車輛與軌道之關鍵因素

3.4.1 車輛

一、車輪及車軸

檢視第一個出軌車輪的輪緣及踏面狀態，並依不同輪徑之標準量測工具進行量測，如圖 24。若車輪踏面及輪緣有異狀時，可檢視下列項目：

- (一) 手煞車未完全釋放。
- (二) 煞車裝置故障。
- (三) 長時煞車，導致車輪高溫形變。
- (四) 軔缸行程調整不當。
- (五) 煞車未依空重車比例進行調整。
- (六) 單一軔缸作用過大。

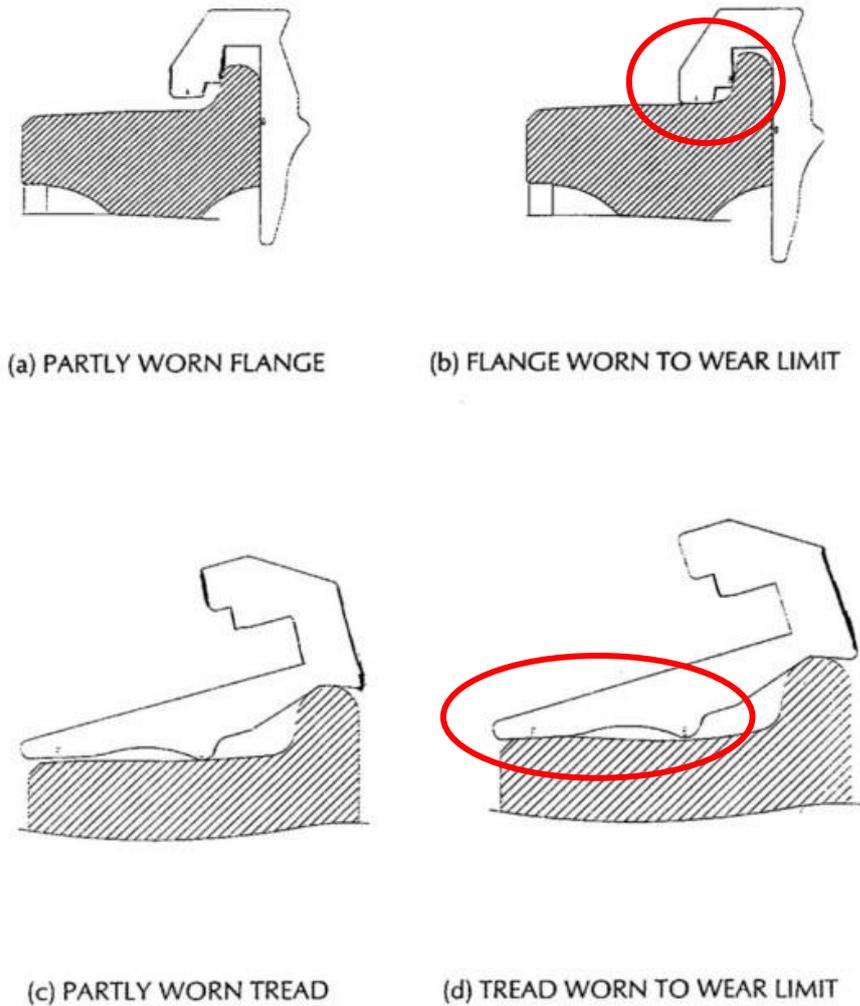


圖 24 車輪輪緣及踏面量測

車軸的不穩定也可能造成列車出軌，此原因大都是車軸過熱造成斷軸或列車行進中遭到異物撞擊導致，若出現車輪軸頸有異狀時，可考慮以下各項發生的可能：

- (一) 列車當時有無超速跡象。
- (二) 列車當時是否有超載的跡象。
- (三) 車軸軸承的類型是否得宜，安裝是否正確，並確認最近一次的保養紀錄。
- (四) 車軸軸承是否有過度磨損。
- (五) 列車行進間是否有急煞，導致車輪於軌道上滑行，使車軸負荷過大。
- (六) 列車有無撞擊痕跡。

二、連結器

連結器是維持車與車的連結，及吸收車輛間壓縮及拉伸的作用力，當連結器

故障時，可能因作用力超出原本機件的負荷，使連結器形變或斷裂，而掉入軌道上，被後續車輛撞擊而出軌。另一現象也可能發生在空重車交替編成之列車上，當列車慢速運轉時又遇列車緊急緊軔，此時重車因慣性撞擊及擠壓前方空車，導致連結器受損，增加出軌的風險。

三、煞車系統

列車的煞車系統故障可能引起出軌，可能有以下原因：

- (一)手軔機或停留軔機無作用，車輛可自由滑行。
- (二)鬆軔不良導致車輪過熱，可能使車輪破損-尋找車輪擦傷痕跡。
- (三)未鬆軔之空車車輪持續在軌道上滑行，車輪在載重後開始轉動，車輪失圓使車輛跳動及導致出軌。
- (四)閘瓦安裝錯誤，導致摩擦係數不同或與踏面的貼合度不佳，影響煞車效能。
- (五)閘瓦遺失或過度磨耗，或氣缸行程過長，影響煞車效能。

3.4.2 軌道

一、軌道設計及線型

軌道配合地型設置，會有直線、平曲線及豎曲線。軌距、平曲線及豎曲線的設計為使軌道部件所承受來自列車的重量在可接受的範圍，如果重量超出範圍，會加速軌道部件的老化，甚至導致部件損壞及列車出軌。

軌距會因橫向力的增加、軌枕的不良狀況、扣件及鋼軌磨耗而擴大。特別是在半徑小於 200 公尺的曲線段，持續的強大橫向力會逐漸地將軌道向外推。軌距變大會使轉向架旋轉 (Rotation) 及搖擺 (Yaw)，增加輪緣及鋼軌的攻角，進而增加橫向力及輪緣爬上的可能。平曲線段的軌道部件因列車運行之離心力而承受較多的力，此路段線型不整因曲率變小而產生更大的離心力。

事故發生前軌道檢查車所測得的數據是很有用。平衡超高的設計在平衡車輛上的力，使各車輪壓在鋼軌的重量相同。對於恆定的曲率，平衡超高隨著列車速度的增加而增加。列車以不同速度運行，有時會在曲線段停車，超高設計不可能符合所有的需求。

當列車在有超高的曲線出軌時，應評估以下因素：

- (一)列車是否超速。
- (二)列車起動、加速、減速及停止。

- (三)列車伸拉、擠壓及惰行。
- (四)設計超高。
- (五)超高量及一致性。
- (六)列車重心。
- (七)列車載重。
- (八)列車編組。

為校正軌道水平高差，軌道應定期抬升及夯實。在抬升後，軌道通常比原本高。在抬升及未抬升的交接點應銜接平順。

線路缺陷導致軌道上的動態力不平衡，這經常引起或放大水平高差的缺陷。同樣地，水平高差的缺陷會導致路線缺陷，因此線形缺陷會使原本的缺陷迅速惡化。在一地點同時有路線及表面缺陷的影響，會大於各別的因素的影響。豎曲線所在的結構如較為鬆散，會形成明顯的路線下陷，使列車加諸於軌道部件的荷重大增。

二、鋼軌位移

當所有扣件往相同方向移動相同的距離及螺栓孔的擴大，都是鋼軌移動的證據。移動痕跡的鮮明及生鏽程度，是發生時間的參考資訊。鋼軌移動會導致挫屈及使列車在道岔處出軌。

三、挫曲

在天熱時，出軌處如有軌道不整情形，調查員必須仔細調查出軌成因。不可直接認定挫屈就是出軌所致。列車緊急煞車會使原有軌道不整的情形加劇並導致出軌。列車出軌後儘快量測鋼軌溫度，確認鋼軌安裝及調整時的溫度，收集近期軌道維修紀錄及維修後列車通過數量。軌道維修後有列車運行，會使結構穩定。訪談列車組員，紀錄他們所感受及所觀察到列車通過該地點的情形。在機車通過後，常在後續車廂通過時出現挫曲。

(一)下列情形可能促成軌道挫屈：

1. 對軌道不適當的調整，特別是在天冷時安裝軌道。
2. 扣件不足或扣合力不足。
3. 道碴高度或路肩寬度不足。
4. 在天熱時進行軌道維修，包含夯實，整理線形及更換軌枕。
5. 線形缺陷。
6. 各種軌道不良情形的總合，如不良的道碴及軌枕。

7. 附近的平交道，或其它固定軌道的特徵。
8. 使用低扣壓力的軌道扣件，如道釘或 e 型扣件。
9. 坡度（會在列車煞車時致軌道爬行）。

(二)下列運轉狀況會促使軌道挫屈：

1. 惰行，特別在下陷處、近橋梁、平交道、菱形道岔路段。
2. 急煞。
3. 車廂蛇行動。
4. 全部或多數列車同方向運行。

四、道岔

因接觸點改變，車輪行經道岔時較易發生出軌。此處部件的失效或故障，通常是出軌的原因。道岔是軌道結構最脆弱點，軌距、線形及軌面應仔細維護。

(一)岔尖應維護至下列程度：

1. 無磨損致斜面形成。
2. 能和基本軌靠密。
3. 未因障礙物或潤滑不足影響尖軌切換。

(二)倘列車在手動岔尖出軌時，應檢查下列項目：

1. 列車進路及方向。
2. 尖軌位置及出軌後的脫開機制。
3. 輪緣狀態（變薄或變矩形）。
4. 列車惰行證據。
5. 尖軌靠密狀態。
6. 尖軌磨損（如圖 25）或有缺口。
7. 岔尖固定力。
8. 岔尖因軌道移動而位移。
9. 岔尖縱向移動。
10. 基本軌和尖軌間有無障礙物。
11. 基本軌固定確實。
12. 岔尖連桿狀況。
13. 所有連結用螺栓及插銷在正確位置。

14.岔尖連桿緊密固定在軌枕上。



圖 25 尖軌磨損

尖軌出軌主要發生在基地或相對低速路段，因靠密狀態突然改變而產生，但這是調查員無法辨識出的。有時岔尖會在前轉向架已通過但後轉向架未通過時扳至另一位置，這使後轉向架進入另一方向軌道並在岔心前爬上軌道。如是擠岔出軌，可觀察到車輪壓痕。

3.4.3 車輛軌道互制

往軌道橫向推力除以作用於軌道面垂直力的比例為 L/V 比， L/V 比上升，愈有出軌可能。當一輪之 L/V 比超過 1.0 且持續 2 公尺，如這時軌距側是乾燥的，輪緣有可能爬上軌道。剛車削後的車輪較已磨耗的車輪易爬上軌道。磨耗的軌道較新軌道易使車輪爬上軌道。

車輛以低於平衡速度行經曲線時，因有超高的設計，車輛會傾向低軌，在高軌的車輪會有較高 L/V 比，較易產生車輪爬上軌道或車輪浮起。載重突然向低軌傾靠會使車輪浮起，如輪緣落在軌道面上時，易產生出軌。 L/V 比是由實驗或理論得出，無法在車輛運轉時量出。 L/V 比是出軌的特徵，不是出軌的原因。

為找到出軌原因，調查員應確定：

- (一) 是否出軌輪有高 L/V 比。
- (二) 比例夠大且持續時間夠久。
- (三) 引起及支撐如此高的 L/V 比。
- (四) 其它可能造成高 L/V 比的因素
- (五) 軌道不整、扭轉、超高變化及超高不規則。
- (六) 當低於一般速度運轉時的超高過量。
- (七) 載重不平衡。
- (八) 過大推擠力。
- (九) 列車長短或輕重的混合編組，且行經道岔、橫渡線或小半徑曲線時有推擠力。
- (十) 車輪嚴重失圓或偏心。

當車輛通過單軌沈陷點時，車廂先會向沈陷點側傾，再回向另一側，振幅逐漸變小，最後停止。載重較大且重心較高的車廂側滾情形較空車明顯。

以下項目可用來確定重要事實：

出軌情形

- (一) 列車以 20-35 公里/時運行在有連續低點的軌道上？
- (二) 出軌的第 1 節車輛是載重較大且重心較高的車輛？
- (三) 第 1 節車輛往曲線外軌出軌？
- (四) 出軌發生在介曲線或半徑小於 400 公尺曲線？

車輛

- (一) 中心盤損壞？
- (二) 彈簧故障或遺失？
- (三) 減震器失效或遺失？
- (四) 載重有橫向偏移？

蛇行動不會是出軌的單一因素，但可能會顯著因素。當列車未超速及轉向架部件無顯著磨損時，蛇行動不是出軌肇因。當較高速出軌無明顯證據時，以下列幾點判斷是否蛇行動是出軌肇因或促進因素：

- (一)無載重或輕載車輛，無貨櫃之板車。
- (二)車速在 80 公里/時以上。
- (三)乾燥的軌道。
- (四)直線段或半徑大於 1,000 公尺曲線。
- (五)使用滾子軸承之轉向架。
- (六)通常為爬上出軌。
- (七)車輪有嚴重磨耗。
- (八)無蛇行動控制裝置。

載重不當分配會產生不平衡的力，如再加上車輛動態的力，會造成出軌。大部分不正確載重出軌會有橫向的不平衡，使車廂向重的一側傾斜及另一側車輪載重減少。貨物可能在會在運行中的車輛內移動，使載重不平衡，如再加上車輛動態的力及軌道超高變化，可能使車輪爬上軌道或浮起。載重不平衡的效果會因車種而異。

肆、心得與建議

4.1 心得

- 一、民國 107 年 10 月 21 日下午 16:49 時，交通部臺灣鐵路管理局 6432 次普悠瑪列車於宜蘭線的蘇澳鎮新馬車站過彎時，發生正線出軌事故，依日本國枝教授公式分析臨界速度，採用軌距值 1,132 公厘，第 8 車車廂中心之「開始傾覆點」落在里程 K89+223 至 K89+224 之間。依 Simpack 軟體之四節車廂模擬結果，第 8 車全部右輪及左側第一轉向架前車輪組之車輪於里程為 K89+251.172 脫離軌道，即該處為事故列車第 8 車之「傾覆點」，與行車影像紀錄器相符，此與課堂講師教授出軌側向力理論及最初出軌點(POD)判讀不謀而合，殊途同歸。
- 二、出軌事故調查的重點除在找出事故發生之真正原因外，本局基於監理機關之立場，仍須依鐵路法或鐵路機構內部之權責，檢討相關機構或人員疏失之行政責任，據此，出軌重大事故之調查，背後所隱藏的問題及真因分析之重要性自然不言而喻。
- 三、參訪澳洲 GEMCO Rail 公司過程中，發現該公司極度注重規範和細節管理，各項維修工具及設備擺設井井有條並落實 5S 政策如圖 26 及圖 27，包括整理 (SEIRI)、整頓 (SEITON)、清掃 (SEISO)、清潔 (SEIKETSU)、素養 (SHITSUKE)，除有利於工作環境現場管理，防止人為疏漏帶來的疏失，亦可大幅提升維修效率及效能，值得國內鐵道同業借鏡。



圖 26 維修工具設備擺設井井有條並落實 5S 政策



圖 27 利於工作環境現場管理並提升維修效率及效能

四、澳洲 GEMCO Rail 公司服膺職業安全衛生，身教重於言教，培訓員工自我管理意識，所屬員工皆自發性穿戴個人防護裝備(Personal Protective Equipment)，對於參訪者不吝提供護目鏡及耳塞，將職業安全衛生文化深植公司 DNA 如圖 28 及圖 29，足堪國內外鐵道同業先驅。



圖 28 服膺職業安全衛生文化深植公司 DNA



圖 29 自發性穿戴個人防護裝備且身教重於言教

五、針對事故調查結果或監理檢查發現之缺失事項、觀察事項及建議事項內容，可委託專業學術研究機構，針對某一特定主題(如虛驚或事故事件)作更進一步的整體趨勢走向或現象研究分析，並提出精進改善措施或設施/設備提升改良，以收鐵道監理之成效。

4.2 建議

- 一、課堂上講師提供「**輪廓測量規**」及「**輪箍規**」，並說明可以利用「輪廓測量規」及「輪箍規」，紀錄車輪輪廓、軌頭輪廓及輪緣角度，建議未來可採購適當調查用工具「輪廓測量規」及「輪箍規」或相關軟硬體設備，以提升事故調查佐證之精準度。
- 二、鐵路事故調查原依據交通部「鐵路行車事故事件調查小組作業要點」，由本局擔任幕僚機關，辦理調查重大事故及其他經交通部認定應調查之行車事故事件發生經過及發生原因。111年6月22日配合鐵路法第4條、第56~6條之修正，改由本局辦理，並訂定「交通部鐵道局鐵路行車事故事件調查作業要點」規範調查委員之組成及審議程序；另本局亦訂有『鐵道事故調查指引』，建議未來針對上述調查指引進行修訂時，可參考本次習得澳洲調查作業程序與注意事項，持續發展並精進調查作業標準作業程序，並就出軌事故的事證與可能原因進行整理，以為後續參考的索引。

- 三、為提升調查效率及專業，本局應建立及培養永續的鐵路事故調查人力資源庫 (Talent Pool)，透過定期或不定期專業領域之訓練，精進局內調查技術與方法，藉以增益其廣度與深度，提出有效可行之改善精進措施，期能降低整體鐵道事故發生之機率。
- 四、運輸事故調查法第 14 條，運安會為運輸事故調查之必要，得優先保管及處理運具、殘骸、紀錄器與該運輸事故有關之其他資料及物品；反思鐵路法目前則無保存證據之篇章，建議未來進行鐵路法修法時可納入保存證據之相關章節。
- 五、此次出國考察人均費用約新台幣 20 萬元，運安會派遣 3 名同仁，本局派遣 2 名同仁，考察費用合計約新台幣 100 萬元，所費不貲，未來或可研議商請外籍講師至國內授課，除可擷節預算費用，亦可讓更多國內軌道同業共同參訓。