

出國報告（出國類別：進修）

## 參加「出軌分析研討會（Derailment and Analysis Workshop）」出國報告

服務機關：國家運輸安全調查委員會

姓名職稱：陳建州 / 鐵道調查組調查官

陳重光 / 鐵道調查組調查官

劉晉宏 / 鐵道調查組副調查官

派赴國家/地區：澳大利亞

出國期間：民國 111 年 10 月 22 日至 10 月 29 日

報告日期：民國 112 年 01 月 12 日

公務出國報告提要 系統識別號

出國報告名稱：參加「出軌分析研討會（Derailment and Analysis Workshop）」

頁數：33 頁 含附件：否

出國計畫主辦機關：國家運輸安全調查委員會

聯絡人：郭芷桢

電話：(02) 7727-6228

出國人員姓名：陳建州、陳重光、劉晉宏

服務機關：國家運輸安全調查委員會

單位：鐵道調查組

職稱：調查官、副調查官

電話：02-7727-6262

出國類別： 考察  進修 研究 實習 視察 訪問 開會 談判 其他\_\_

出國期間：民國 111 年 10 月 22 日至 10 月 29 日

出國地區：澳大利亞塔斯馬尼亞州 Launceston

報告日期：民國 112 年 01 月 12 日

分類號/目

關鍵詞：RISSB、出軌、現場調查、出軌基本理論、證據紀錄及保存、車輛結構、軌道結構

內容摘要：

國家運輸安全調查委員會派員至澳大利亞，參加 Rail Industry Safety And Standards Board (RISSB) 所舉辦為期 3 天之「出軌分析研討會」(Derailment and Analysis Workshop)，學習鐵道出軌事故調查知識與技術，研討會地點位於塔斯馬尼亞州 (Tasmania) 之 Launceston，學員來自 7 個營運機構及調查單位。出軌分析所涉及的層面極廣，從最初的現場調查準備、出軌原因分析，現場調查、出軌基本理論、證據紀錄及保存、事故現場繪圖、軌道結構及車輛結構，到由不同出軌痕跡的判斷分析及人員訪談技等，以循序漸進的方式，使參與訓練之同仁增加調查能量。

## 目次

目的 .....	1
課程簡介 .....	2
課程摘要與心得.....	4
現場調查準備.....	4
出軌基本理論.....	5
證據紀錄及保存 .....	8
現場調查 .....	10
車輛結構、檢查與測試.....	15
車輛運轉 .....	18
軌道結構、維護及測量 .....	19
車軌互制 .....	25
授課方式 .....	26
建議 .....	28

## 表目錄

表 1 出軌機制和典型直接原因.....	5
----------------------	---

---

## 圖目錄

圖 1 學員與講師合照 .....	2
圖 2 研討會議程.....	3
圖 3 輪軌介面.....	6
圖 4 輪緣爬上因素.....	7
圖 5 輪軌介面之力和因素的關係.....	7
圖 6 列車出軌痕跡繪圖 .....	12
圖 7 列車輪緣及踏面損傷 .....	12
圖 8 岔心及護軌出軌位置相對位置 .....	13
圖 9 磨損岔心旁之護軌出軌痕跡.....	14
圖 10 車輪輪緣及踏面量測 .....	17
圖 11 尖軌磨損.....	23

## 目的

國家運輸安全調查委員會（以下簡稱本會）主要職責為調查國內重大運輸事故外，同時也針對不同運具所衍生出之事故提出後續改善及追蹤建議，最主要之目的為避免類似事故再發生，建立更安全的運輸環境。為進一步瞭解出軌機制及可能肇因，鐵道調查組派員赴澳洲參加 Rail Industry Safety And Standards Board（以下稱 RISSB）所舉辦「出軌分析研討會」（Derailment and Analysis Workshop）。

出軌事故調查之主要目的：

1. 了解事故發生的起因及將再次發生的風險降至最低。
2. 提供事故統計分析之數據，以便未來進行趨勢監控與分析。
3. 識別安全管理系統（Safety Management System, SMS）中在風險管理方面可能不夠足之處。

如未來發生事故時，依據現場蒐集之資訊及證據進行系統性分析，以釐清事故肇因，並提出適切的改善建議，建立更安全的運輸環境。

## 課程簡介

本次訓練由澳洲 RISSB 主辦，除我國外，學員來自澳洲及紐西蘭，包含澳大利亞塔斯馬尼亞鐵道(TasRail)、澳大利亞鐵路公司 (Australian Rail Track Corporation, ARTC)、澳大利亞的貨運鐵路運輸公司 (Aurizon)、紐西蘭運輸事故調查委員會 (Transport Accident Investigation Commission, TAIC)、墨爾本路面電車 (Yarra Trams) 及阿特金斯 (Atkins Global) 工程顧問公司，學員與講師合照如圖 1。



圖 1 學員與講師合照

此次課程，RISSB 委託鐵道訓練機構 Centre of Excellence in Rail Training (CERT) 上課，課程包含出軌基本理論、現場採證及證據保存、現場調查、車輛結構、檢查與測試、檢查機車及其他動力車、軌道結構、維護及測量、車軌關係 (車軌互制作用) 及小組討論等，研討會議程如圖 2。

<b>Day 1</b>	
Meet and Greet Inductions and requirements Introduction and contents	0900-1000
Site Investigations Phase Activity 1	1015-1130
Basic Theory of Derailment Activity 2	1145-1300
Lunch	1300-1345
Techniques for Recording and the Preservation of Evidence	1345-1500
Recap and review	1515-1530
Activity 3 Assessment	1530-1630
*Please note that these timings may vary*	
<b>Day 2</b>	
Recap and Review Site investigation Activity 4	0800-0900
Site Investigation (cont) Activity 5 Rollingstock Construction, Inspection and Testing	0915-1030
Rollingstock Construction, Inspection and Testing (cont)	1045-1200
Lunch	1200-1245
Inspecting Locomotives and other Powered Rollingstock Operations Train Dynamics, Marshalling and Loading	1245-1400
Recap and review	1415-1430
Activity 6 Assessment	1430-1530
*Please note that these timings may vary*	
<b>Day 3</b>	
Recap and Review Track Construction, Maintenance, Components and Measurements	0800-0900
Track Construction, Maintenance, Components and Measurements (cont) Activity 7	0915-1030
Vehicle / Track Interaction	1045-1200
Lunch	1200-1245
Vehicle / Track Interaction (cont) Activity 8	1245-1400
Recap and review	1415-1430
Assessment Report component explanation	1430-1530
*Please note that these timings may vary*	

圖 2 研討會議程



# 課程摘要與心得

## 現場調查準備

### 1. 角色及其職責

調查員的選派係根據出軌的情況及其嚴重程度來決定。在無法確定出軌直接原因的情況下，調查員應請求其它專家的協助。在出軌現場，調查員應向事故指揮官報告。

### 2. 出軌事故現場的防護與安全

出軌事故地點是高危險地區，調查員必須謹慎行事且遵守鐵路通行規定。調查人必須：

- 擁有進入鐵道路廊和安全衛生能力
- 自事故指揮官處獲得進入事故地點的許可
- 查明現場危險並接受安全簡報
- 閱讀並確認工作任務及安全工作方法聲明
- 採取必要的人身安全預防措施
- 穿戴必要的個人防護裝備
- 攜帶必要的身份證明
- 遵守進出條件、警告標誌和工地安全簡報指示

### 3. 調查計劃

主任調查員應與調查小組一起商定調查時程。一般來說，現場調查佔整個調查工作的一小部分（約 20%）。大部分調查工作（約 70%）將是證據的研究、分析及驗證。另外 10%是寫報告。確保調查計劃依據時程進行是重要的，調查員可與主任調查員就進展、延誤和所需時間的延長進行討論。

為了有效利用時間，主任調查員可以根據調查地點（需求）給予調查小組成員任務指示。大多數調查案件可能只有 1 位調查員，其必須執行所有任務或尋求其他人員的支持。管理層應提供調查員提供足夠的資源，以能有效率地進行出軌事故調查。

### 4. 證據種類

調查員需要識別證據，並將其分為以下幾類：

- 易流失（Perishable）證據：在調查過程中，訊息和證據可能會隨著時間、對外在條件的反應、干擾以及現場復原而流失。易流失證據在現場調查時應當優先記錄及保存。
- 可取回（Retrievable）證據：可以從事故地點或任何其他地點取回以供日後檢查的證據。應記錄其狀態和位置，對物品進行標記及管理，以免證據在日後檢查之前損壞或變化。
- 可獲得（Available）證據：可在以後獲得的證據，諸如列車編組和維修記錄、軌道維護和檢查記錄等。此種可獲得證據的記錄和保存優先等級最低。

## 5. 現場證據—記錄、保存和帶離現場

現場證據只能在事故現場指揮官的允准下帶離現場。應以有效的方式記錄和保留證據。若無索賠或訴訟等其它需求，應保留證據至調查結束。在適當且可行的情況下，應使用校準過的設備進行測量及請人見證，確保測量結果準確且未被篡改。一般來說，證據和紀錄應該：

- 清楚地識別、標記和註明日期
- 安全存放
- 與可能造成損壞或損失的其他證據分開

## 出軌基本理論

### 1. 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 1。

表 1 出軌機制和典型直接原因

出軌機制	典型直接原因
車輪浮起	列車瞬動（突然施加動力或連結緩衝裝置的緊縮）、煞車衝擊、碰撞、車輛被擠壓、軸頸剪斷或轉向架受阻等。
車輪受阻	物體在鋼軌、軌道或輪緣槽上。
車輪落在兩軌間	軌距擴增、軸上的車輪鬆動、鋼軌斷裂。

車輪在軌道上旋轉（車輛傾覆）	彎道超速、氣旋風。
輪緣爬上並越過軌道	車輪荷重(V)的大幅降低、高的橫向力(L)來自個別因素或多重因素組合，其涉及車輛、軌道線形、列車操縱等。

## 2. 何謂出軌

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。輪軌介面如圖 3。出軌痕跡等現場證據，連同出軌情況，一般可以為出軌機制和直接原因提供有力的證據或線索。



圖 3 輪軌介面

與出軌有關因素：

- 車輛
- 軌道基礎設施
- 車輛和軌道基礎設施的組合
- 其他因素的結果，例如碰撞

蓄意出軌（Intentional Derailment）。車輛可能在用來防止車輛從側線和其他位置未經授權移動的保護裝置（如脫軌器）安裝處出軌。

輪緣爬上（Flange Climbing）。在輪緣與鋼軌接觸點處列車的力及條件的變化，可能導致輪緣爬上並越過鋼軌。

### 3. 爬軌理論

Nadal 公式為輪緣爬上提供了一個極限值，並以 L/V 比呈現，輪緣爬上因素如圖 4。

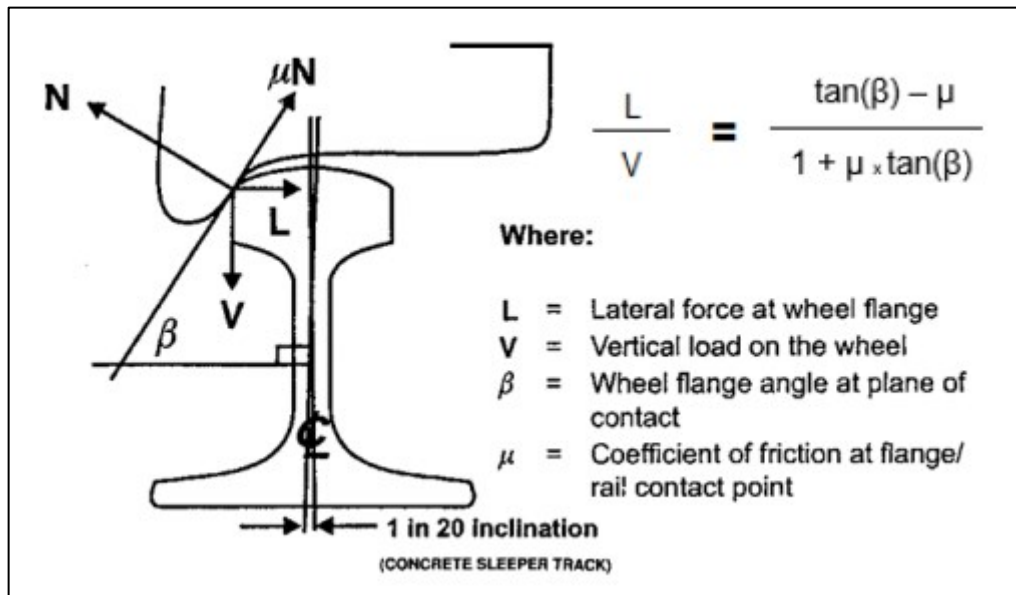


圖 4 輪緣爬上因素

如果實際情況超過 L/V 臨界值，輪緣爬上的可能性很大，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 5。

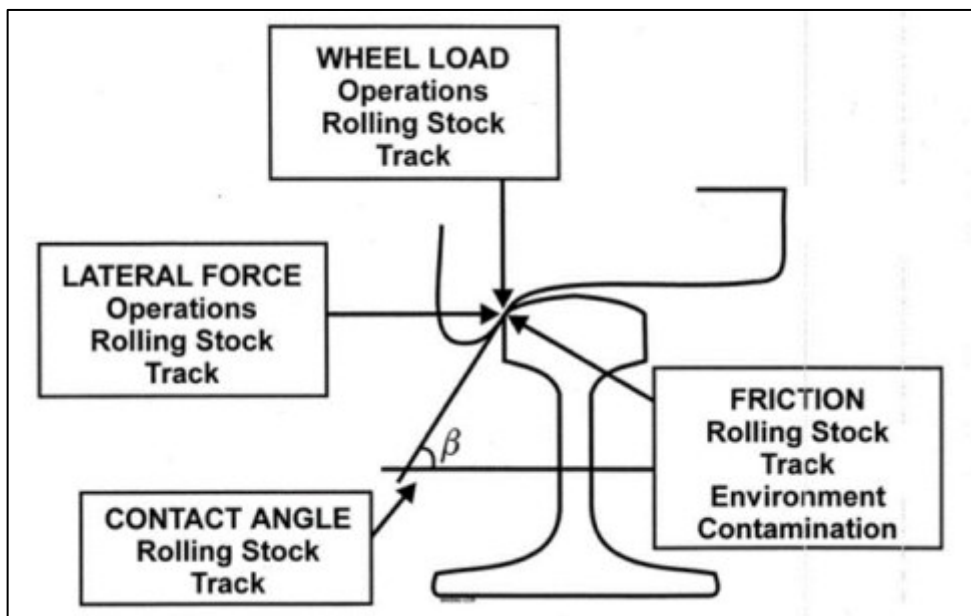


圖 5 輪軌介面之力和因素的關係

與鋼軌接觸點的輪緣角以及作用於該點的摩擦係數是增加或減少出軌風險的關鍵因素，摩擦力的增加或輪緣角度的減小，將降低 L/V 值並增加輪緣爬軌的風險。

#### 4. 抗扭勁度

車輪上的負載均勻分佈是車輛的重要安全特徵。這通常可以透過轉向架懸吊的目視檢查和測量來初步評估。測量車輪在超高處的載重變化，並繪製測試結果，是為抗扭勁度（Torsional Stiffness）測試。此測試通常僅用於確定車輛在各種維護條件下或實施改裝（如改變材料或尺寸）時的特性。

#### 5. 轉向架轉動阻力

當轉向架進入彎道時，由於軌道路形變化導致轉向架轉動，在前導輪輪緣處產生橫向力。該力取決於轉向架轉動時的抗力矩。許多鐵道業使用以下計算來產生無因次因子 X：

$$X = \frac{\text{Resisting torque (kNm)}}{\text{Axle load (kN)} \times \text{bogies wheelbase (m)}}$$

如果有足夠的車輛資料，可以計算出可能的 X 因子。在車庫對重組裝車輛的檢查應確定轉向架的正常旋轉是否有任何障礙，以及中心銷和其他接觸區域是否表現出正常的磨耗。

無因次 X 因子也可以通過實驗求得。進行轉向架轉動阻力測試，以評估不同中心鉢襯墊材料和恆定接觸側承類型的影響。

### 證據紀錄及保存

#### 1. 記錄「發現時」情況

證據的記錄方式應能在受質疑時驗證其準確性，例如在進行測量時由另一人證實。口述證據或對事件的解釋最好有其他證據支持，例如計算、目擊或重演。記錄證據的基本規則為：

- 觀察並記錄第一時間狀態
- 在不會對其他設備產生影響或導致其他證據消失之前，不要進行測試或移動

## 物體

記錄或保存證據的目的是為後續的調查所用，並且是在調查或法庭上的必要證據。

## 2. 現場繪圖

現場繪圖讓調查員記錄事故地點的重要細節（尤其是易流失證據），以便在現場恢復後進行回顧，可用適當的註釋和測量繪製的圖或圖表。一到事故現場應盡快進行現場繪圖。

現場繪圖對於在採訪或與證人討論期間收集證據也很有用，因為它有助於他們回憶。要求證人繪圖是另一種獲取證據的方法，可以幫助他們對事件順序的回憶。

調查員在繪圖時可能遇到的一個常見問題是什麼要包括，什麼不包括。如果有疑問，最好將看起來不重要的項目也包含進去。

現場繪圖只是簡單繪成，不是完美結果，除非做好筆記並在以後重新繪製。通常，好的做法是在網格紙上繪出基本平面圖，包含場景的俯視圖以及與參考固定點的相關證據，有時路線圖也有幫助。固定點的準確測量至關重要，有助於以後進行的調查。調查員應在圖上標記清楚並註明日期。

## 3. 筆記

應在調查期間依要求編寫，並記錄調查進展。不要依賴記憶，為筆記編號、標註日期並將原件存檔。

## 4. 攝影

攝影是調查員最有用的工具之一。它可以記錄當時的情況，或在移動或拆卸過程的變化。使用空中偵察無人機可以拍攝事發地點的鳥瞰圖。空中無人偵察機並不總是可用或實用，例如在有架空電氣化設備的區域、機場和建築區附近的禁飛區、夜間或惡劣天氣以及它們可能因碰撞造成傷害和損壞的區域。

此外，還可以使用雷射掃描和 3D 成像來獲得現場準確的記錄。雷射掃描和 3D 成像並不是對所有事件調查可用或實用，使用前需要對人員使用進行培訓而且使用成本可能很高，尤其是在請外部公司協助的情況下。

## 5. 樣本採集

除了證據收集時的記錄和移除外，有可能或有必要採集適當的證據樣本。例如，液體和潤滑劑、污染物、代表性零件以及代表整體的配置、區域或零件的測量值 可以取樣供以後分析。在為日後分析所用樣本完成測量、拍照和記錄後，可以將代表性樣本從現場移除以進行分析或留在原地。

樣品視為鑑定證據，調查員必須遵循以下指引：

- 移動樣本之前—確保它已被記錄在其原始位置並聲明您有權移除證據。
- 如有任何疑問—對於樣品的特性或危害，請尋求專家協助。
- 預防和保護—採集樣品時應佩戴適當的個人防護裝備。
- 合適的容器—使用與樣本相容的合適容器。
- 代表性樣本和對照樣本—始終嘗試獲取代表性樣本。
- 標記和識別—用日期、時間、收集者和標識名標記樣本。
- 監管鏈/證據的連續性—保存樣本收集者、日期、時間和轉換目的的記錄。

## 6. 測試、調查及檢查

在發生出軌事件後，對車輛、號誌和軌道進行特別測試，以確認設備的運作情況，識別故障，並建立與公差和標準。如有必要確定軌道形狀，應對軌道進行全面調查。

在調查的早期階段，重要的是調查員要瞭解本身的極限以及何時應該尋求專家幫助，並在規劃階段即確定。

### 現場調查

#### 1. 出軌點

調查出軌肇因可分為四個階段，先辨識列車最初的出軌點（Point Of Derailment, POD）、辨識出軌的車輪、出軌機制，最後是判定出軌的原因。最初出軌點之辨識可由列車之出軌車輪上的跡象進行調查，再依出軌機制、事件序之邏輯，研判可能之出軌原因。建議依下列程序進行：

- 依序檢視事故列車車輪、軸箱及連結器受損情形。

- 依據損害程度判別最先出軌之車輛。
- 依據列車車輪、轉向架及車體出軌位移之位置進行判別。
- 依據軌道構件受損狀況，判別出軌之原因。
- 依據各車車輪踏面熱殘留狀況（如果可行），判別事故時煞車作用之情形，進而推斷出列車是因為軋管分離產生緊急煞車還是常用煞車作用。

朝事故列車運行之反方向檢視軌道各部組件受損之情形，例如軌面、鋼軌接頭、軌枕及道碴等，以下為檢視建議：

- 將事故現場鋼軌進行分段標記檢視。
- 鋼軌面上車輪所留下痕跡。
- 道岔上痕跡。
- 鋼軌內側痕跡。
- 軌枕上痕跡。
- 自車輛掉落的零件。
- 損壞的扣件或道釘。
- 無法解釋的軌道損傷。

觀察車輪痕跡所在及變化、受損程度及列車向左或向右偏離軌道中心線的距離，標記出軌的位置及出軌過程。

## 2. 判斷最初出軌的車輪

在出軌事故的現場，依照運行方向先找出出軌列車的轉向架，再依各個出軌轉向架之輪緣及踏面進行檢視。有列車會自行復軌，因此車輪輪緣及踏面的損傷為調查重點，調查員可以依下列調查邏輯進行檢視：

- 檢查出軌車輛的車輪及輪緣，尋找那些顯示出最嚴重的輪緣衝擊或磨損損壞的車輪進行標記，並依受損嚴重程度進行 1~10 級分類。
- 如果列車轉向架與車輪分離，可依車輪和軸頸尺寸、軸頸軸承類型和製造標識進行重新匹配，藉此標示出原先完整的匹配位置。

可依據以上調查方向，檢視車輪輪緣及踏面的損傷情況來判別出軌的型態。舉例來說，如果出軌車輪踏面的損傷位置接近或在輪緣損傷之前，通常是軌距擴增所造成的；如果列車在行進間出軌後又自行復軌，則軌面上會留有輪緣行走的痕跡。由上述跡證可以找出出軌及復軌的位置及原因，如圖 6 及圖 7。



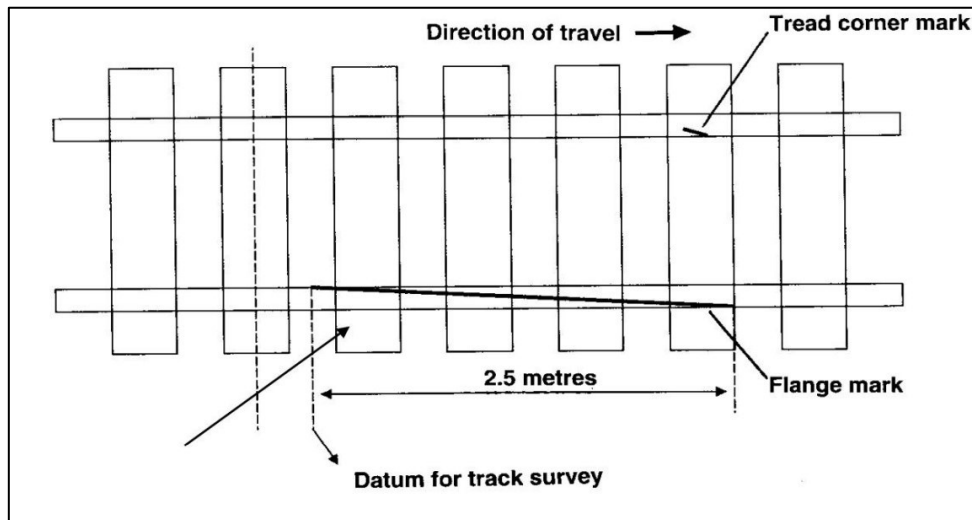


圖 6 列車出軌痕跡繪圖

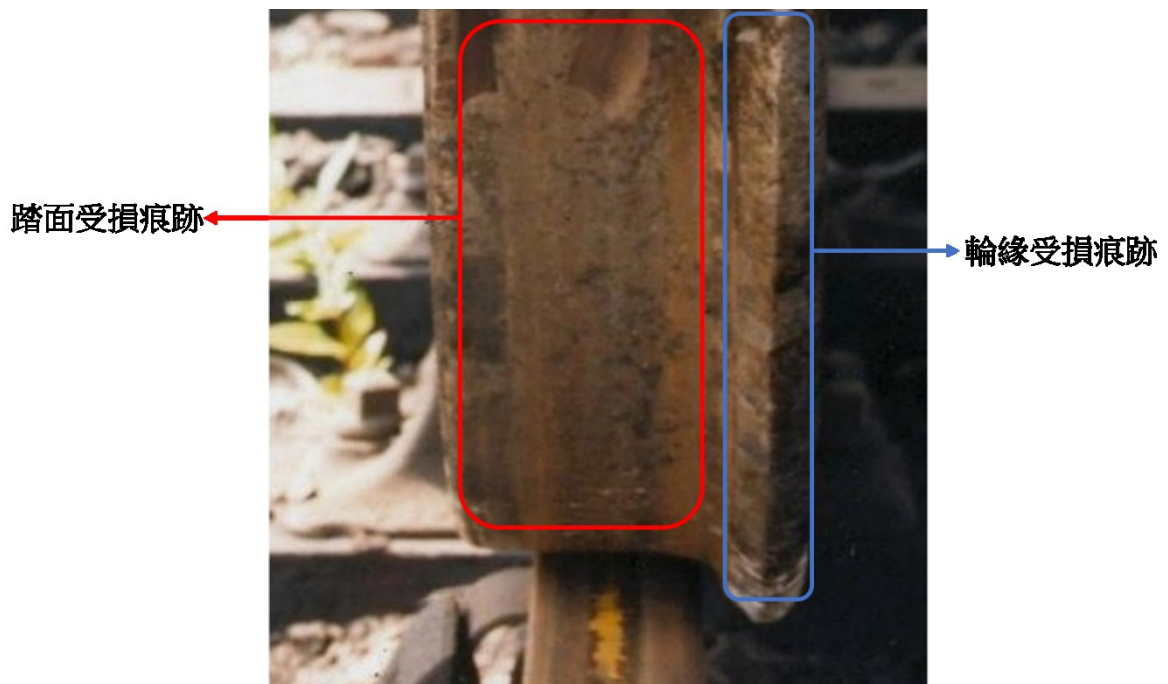


圖 7 列車輪緣及踏面損傷

### 3. 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：

#### 3.1 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。

### 3.2 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。

### 3.3 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。

## 4. 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。

## 5. 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 8 及圖 9。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。

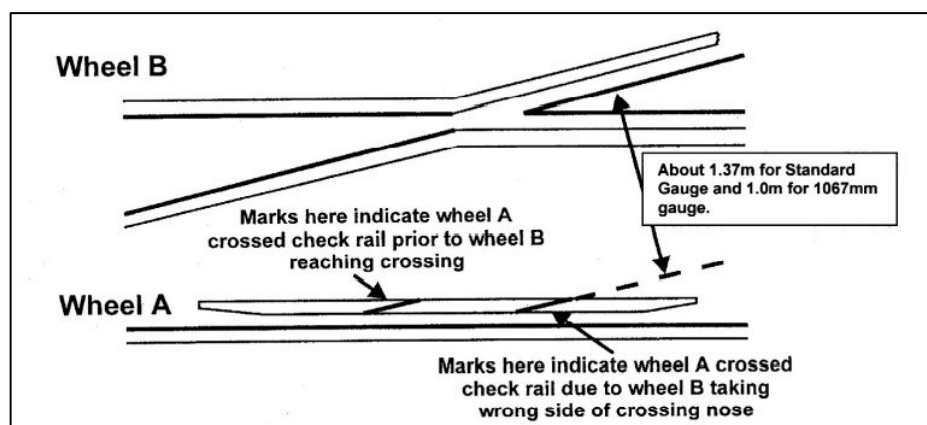


圖 8 岔心及護軌出軌位置相對位置



圖 9 磨損岔心旁之護軌出軌痕跡

## 6. 出軌潛在因素

以下列出輪緣爬上、岔尖未密合、通過時岔尖扳轉及在岔心出軌四類出軌的潛在因素。

### 4.1 輪緣爬上

- 尖軌磨損或損壞
- 基本軌磨損或形變
- 尖軌尖銳且硬度高（可能刺入輪緣）
- 軌道嚴重扭曲
- 車輪輪緣缺陷
- 車輛懸吊系統異常
- 載重不平衡
- 車輛運行時垂直及橫向作用相互干涉
- 超速

### 4.2 岔尖未密合

- 尖軌與基本軌間有異物
- 滑板潤滑不足致尖軌未密合
- 基本軌側面嚴重磨損

- 尖軌定位不完全
- 車輪輪緣厚度低於標準值或有其他缺陷
- 轉向架轉向不順
- 軌道彎曲
- 基本軌鬆動

#### 4.3 通過時岔尖扳轉

- 手動操作道岔時機不當
- 人員於列車行進間扳轉道岔
- 連鎖系統異常
- 轉向架轉向不順
- 岔尖閘柄受外力而扳動
- 號誌控制錯誤或異常
- 降級運轉時人員操作錯誤

#### 4.4 在岔心出軌

- 岔尖中途扳轉
- 護軌鬆動
- 岔心組裝不良
- 輪組裝不正確、輪組缺陷
- 列車橫向作用劇烈（如劇烈加減速）
- 軌道上之障礙物
- 列車各部件擠壓或摩擦

由上述可知，列車出軌調查與車輪輪緣、踏面及軌道各部構件損傷之位置有密切的關聯，對於未來事故調查提供務實的指引。

### 車輛結構、檢查與測試

在出軌事故現場，除了檢視出軌車輛外，也應該同時檢視前後兩輛車之車輛狀況，例如減震裝置、煞車系統及軸箱等是否有故障、損毀或磨損的狀況，並確定前後車輛是否分離，來判斷是否為造成出軌的原因。可對車體與走行性能（Tracking Ability）、車輪及車軸、轉向架、連結器及煞車裝置進行檢視。

## 1. 走行性能

列車行駛於不同線型時，轉向架會經歷垂直、水平、傾斜或複合式的多方向力矩，以維持列車之行駛穩定性。舉例來說，轉向架的各種姿態是由轉向架本體剛性、中心盤、側托架等裝置來維持行駛穩定性。因此事故發生時，如果懷疑走行性能為肇事主因，可以檢視下列部件：

- 轉向架中心盤墊片、耐磨環等等可能造成轉向架轉動限制的部件
- 轉向架是否至於中心位置，有無任何異常磨擦或金屬疲勞狀況
- 轉向架框架是否有彎曲或斷裂
- 轉向架上方耐磨板有無損壞、過度磨損或遺失，導致側支座間隙過大
- 轉向架各部固定裝置是否有鬆脫，導致強度不足或產生多餘之阻力
- 車體有無任何物件脫落，導致轉向架運作異常
- 列車有無超載之情況
- 列車有無撞擊異物的痕跡

## 2. 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 10。若車輪踏面及輪緣有異狀時，可檢視下列項目：

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

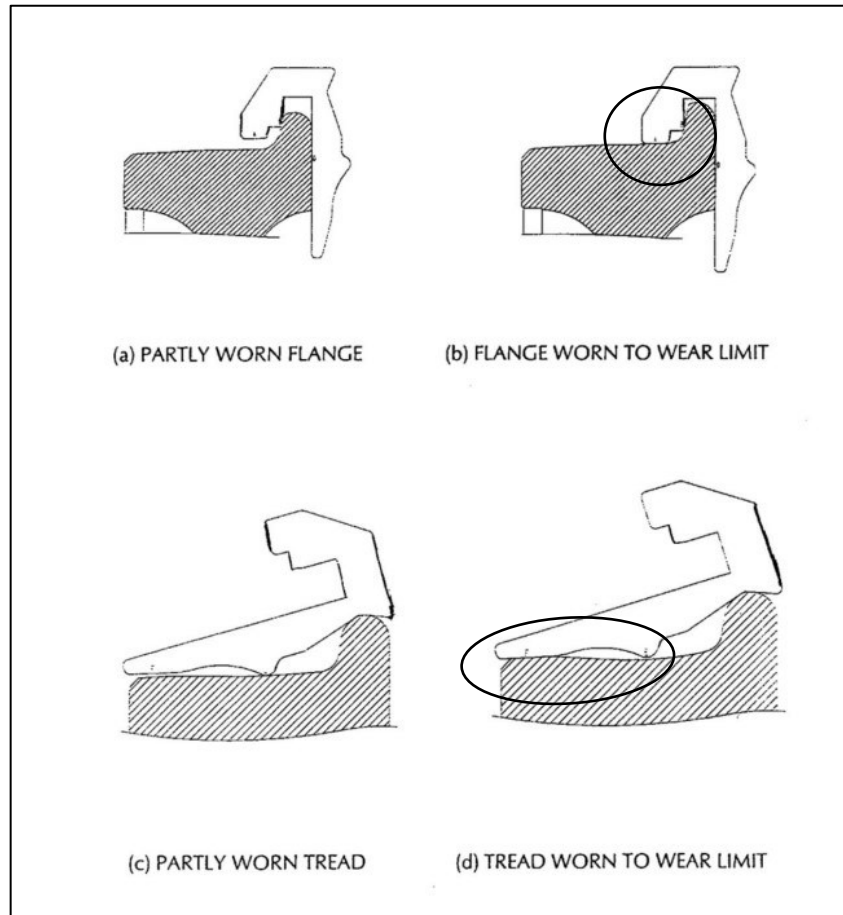


圖 10 車輪輪緣及踏面量測

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：

- 列車當時有無超速跡象
- 列車當時是否有超載的跡象
- 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
- 車軸軸承是否有過度磨損
- 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
- 列車有無撞擊痕跡

### 3. 轉向架承梁

轉向架承梁失效與所產生的缺陷大都是車輛載重過重、載重不平均、金屬缺陷疲勞及垂直減震彈簧故障所造成，大部分發生在側邊耐磨板及中心盤兩部份。這類的裝置失效可由轉向架承梁上因摩擦而產生的損傷進行判斷。

#### 4. 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。

#### 5. 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：

- 手軔機或停留軔機無作用，車輛可自由滑行。
- 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。
- 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。
- 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。
- 閘瓦遺失或過度磨耗，或氣缸行程過長，影響煞車效能。

### 車輛運轉

#### 1. 列車資料收集：

收集事故列車運行速度、列車控制及管理系統、車前影像系統及近期保修及檢查紀錄等資料，還原事故時列車運轉狀況及列車駕駛所面臨的情況，再與其他事證比對及分析，以釐清事故發生原因。

#### 2. 人員訪談

調查員可對事故相關人員例如駕駛員或控制員等進行訪談，以瞭解事故發生的經過。透過訪談可收集以下資訊：

- 受訪者認為的出軌原因
- 運轉中有無任何異狀
- 事故發生前列車的狀態

- 列車運轉前是否進行煞車測試？
- 列車運轉前是否進行檢查？
- 列車出軌前做了那些操作、大略的行駛位置及速度
- 最後一次列車的保養及維修項目

### 3. 列車動態模擬

利用軟體進行模擬事故發生經過，作為事故調查的參考。其模擬參數由列車的組成及該路段的運轉限制資訊當作基礎資料，搭配事故列車紀錄器的運轉速度、列車設備狀態及操作方式等，以科學方式還原事故經過。需下列資料：

- 列車型號、數量、組成及載重
- 列車運行位置及方向
- 出軌位置及車廂數
- 出軌前的車速及時間
- 歷史運轉資料
- 出軌前的煞車及動力等操作狀態
- 出軌前軌道缺陷資料

## 軌道結構、維護及測量

列車能安全及有效率的運行，有賴於軌道結構及路基的支撐。隨各部件的老化、天氣及列車重量、速度及運行密度的影響，軌道結構及線形會逐漸變化。由軌道引起的出軌多來自零件故障或線形不整。

### 1. 軌道部件

軌道部件(鋼軌、接頭、枕木、扣件及道碴等)引導列車運行並將重量分散至地面。任何部件的缺陷會增加其它部件之承重並加速其老化，使軌道部件缺陷使列車出軌。

鋼軌缺陷會使鋼軌斷裂，這些缺陷常因製造過程中有雜質摻入，這無法以肉眼看見，可使用超音波檢測得知。



依接頭兩端和鋼軌及枕木結合強度及軌道末端相對移動程度的不同，魚尾鈹的斷裂不一定會於引起列車出軌；如是因魚尾鈹斷裂引起的出軌，在鋼軌末端可見凹陷；如焊接缺陷引起出軌，可見金屬疲勞所致的氧化處，或是斷點之新相互磨擦痕。

軌距會因木頭軌枕上的釘孔變大而改變。軌枕上的新磨擦痕及木頭纖維捲曲，都是扣合不良的證據。過多的道碴會妨礙排水及軌道檢查。不足的道碴，特別是外軌，是軌道挫曲的主因。

## 2. 軌道設計及線形

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：

- 列車是否超速
- 列車起動、加速、減速及停止
- 列車伸拉、擠壓及惰行
- 設計超高
- 超高量及一致性
- 列車重心
- 列車載重
- 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。

### 3. 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。

### 4. 曲線

介曲線是軌道線形重要特徵。和在直線段比較，車廂在介曲線上至少有 3 種不同的運動形式，轉向架會旋轉，車廂會側傾（Roll）及搖擺。車廂進入介曲線的反應和出介線的反應不同，出軌的類形亦不同。在曲線段找到精確的出軌點，有助於對出軌真正原因。

### 5. 挫屈

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。

下列情形可能促成軌道挫屈：

- 對軌道不適當的調整，特別是在天冷時安裝軌道
- 扣件不足或扣合力不足
- 道碴高度或路肩寬度不足

- 在天熱時進行軌道維修，包含夯實，整理線形及更換軌枕
- 線形缺陷
- 各種軌道不良情形的總合，如不良的道碴及軌枕
- 附近的平交道，或其它固定軌道的特徵
- 使用低扣壓力的軌道扣件，如道釘或 e 型扣件
- 坡度（會在列車煞車時致軌道爬行）

下列運轉狀況會促使軌道挫屈

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

## 6. 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。

岔尖應維護至

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

列車在手動岔尖出軌時，檢查下列項目

- 列車進路及方向
- 尖軌位置及出軌後的脫開機制
- 輪緣狀態（變薄？變矩形？）
- 列車惰行證據
- 尖軌靠密狀態
- 尖軌磨損（如圖 11）或有缺口
- 岔尖固定力
- 岔尖因軌道移動而位移

- 岔尖縱向移動
- 基本軌和尖軌間有無障礙物
- 基本軌固定確實
- 岔尖連桿狀況
- 所有連結用螺栓及插銷在正確位置
- 岔尖連桿緊密固定在軌枕上



圖 11 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。

## 7. 岔心

如果固定岔心的護軌鬆動或嚴重磨損，可能使輪緣進入錯誤的方向，此類出軌可由護軌上的輪痕看出。同樣的，列車被推入曲線分岔側也會發生此類出軌。

## 8. 軌道缺陷

軌道缺陷會導致出軌，車輪易爬上磨損側鋼軌。鋼軌接合處的不平齊，會導致爬上出軌。斷軌會造成出軌，亦可能為出軌之結果。如因斷軌造成出軌，其它車廂可能以多點及不規則形態出軌，調查時必須檢查斷軌端之缺陷、鏽蝕及撞擊痕，鏽蝕表示該處是舊的斷裂。如果懷疑斷軌造成出軌，需檢視超音波檢查紀錄。現場如可見新生成的裂

痕，這可能是出軌的結果，而不是出軌的原因。

## 9. 軌道量測

在主線進行事故後軌道量測時，測點間隔為 1 公尺，應包含：

- 超高
- 軌距
- 縱向高差
- 正矢
- 軌道垂直及水平偏移量，如軌枕下方的間隙

在側線或基地進行事故後軌道量測時，出軌段量測 20 公尺，接近出軌段 30 公尺，測點間隔為 1 公尺，包含：

- 超高
- 軌距
- 縱向高差
- 正矢
- 軌道垂直及水平偏移量，如軌枕下方的間隙
- 岔尖及基本軌線形

選定出軌點為量測起點。如現場無出軌點，以最遠的軌道損害為量測起點。車速 100 公里/時以下的路段，點間隔為 1 公尺，往回量測 60 公尺；車速 100 公里/時以上的路段，往回量測 100 公尺，調查員可依現場實際狀況及車速適當調整量測範圍。如要量測超高，須使用校正過的軌距尺進行量測。

## 10. 軌道線形

當有下列情形時，須量測軌道線形，且兩側軌道均須量測。

- 當在一般路段發生爬上出軌，且軌道條件是潛在因素時
- 當軌距擴大出軌，且須找出輪軌關係時
- 當在尖軌發生爬上出軌時

## 車軌互制

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。

為找到出軌原因，調查員應確定

- 是否出軌輪有高 L/V 比
- 比例夠大且持續時間夠久
- 引起及支撐如此高的 L/V 比
- 其它可能造成高 L/V 比的因素
- 軌道不整、扭轉、超高變化及超高不規則
- 當低於一般速度運轉時的超高過量
- 載重不平衡
- 過大推擠力
- 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
- 車輪嚴重失圓或偏心

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。

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

- 列車以 20-35 公里/時運行在有連續低點的軌道上？
- 出軌的第 1 節車輛是載重較大且重心較高的車輛？

- 第 1 節車輛往曲線外軌出軌？
- 出軌發生在介曲線或半徑小於 400 公尺曲線？

#### 車輛

- 中心盤損壞？
- 彈簧故障或遺失？
- 減震器失效或遺失？
- 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：

- 無載重或輕載車輛，無貨櫃之板車
- 車速在 80 公里/時以上
- 乾燥的軌道
- 直線段或半徑大於 1,000 公尺曲線
- 使用滾子軸承之轉向架
- 通常為爬上出軌
- 車輪有嚴重磨耗
- 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。

#### 授課方式

講師依研討會的各段落主題引導學員進行分組討論，讓不同國家的營運或調查單位人員交換意見，並吸取不同的事故調查經驗及分析方式，拓展彼此的視野。此次研討會無現場模擬練習，課程內容著重在現場證據的收集及由收集到的證據去找到出軌的

可能肇因，和以前曾交流的國外調查單位以理論為調查切入點的方法不同，這提供本會不同的思考及調查方向。

講師表示，教材內容不是一成不變，要與時俱進，可將過往發生的案例，搭配理論與調查經驗，融入授課教材內。這提供本會未來在準備訓練課程及教材的務實指引。

經過此次研討會，對列車出軌調查的專業知識及技巧有更深的認識。在日後面對類似調查案時，能更從容不迫的準備相關事項、進行調查及分析事故肇因，提出適切的改善建議，提昇國內的鐵道運輸安全。



## 建議

運安會雖調查過數起鐵道出軌事故，但自認經驗尚淺，仍須向各方學習，持續吸取鐵道新知及事故調查與經驗。

然國內尚無專門研究出軌事故調查的機構或團體，建議可以積極地與國外鐵道訓練或調查機構多方交流，吸收他們之調查技巧及分析方法，融合自身的調查經驗及研究單位的專業知識，持續精進本會的專業調查能力，擴大本會的調查能量及深度。

## 參加「出軌分析研討會 (Derailment and Analysis Workshop)」出國報告

服 務 機 關：國家運輸安全調查委員會

出 國 人 職 稱：鐵道調查組調查官/副調查官

姓 名：陳建州/陳重光/劉晉宏

出 國 地 區：澳大利亞

出 國 期 間：民國 111 年 10 月 22 日至 10 月 29 日

報 告 日 期：民國 112 年 01 月 12 日

### 建議事項：

	建議項目	處理
1	國內尚無專門研究出軌事故調查的機構或團體，建議可以積極地與國外鐵道訓練或調查機構多方交流，吸收他們之調查技巧及分析方法，融合自身的調查經驗及研究單位的專業知識，持續精進本會的專業調查能力，擴大本會的調查能量及深度。	<input checked="" type="checkbox"/> 已採行 <input type="checkbox"/> 研議中 <input type="checkbox"/> 未採行