

出國報告（出國類別：進修）

參加「應用鐵道調查訓練課程（Applied Rail Investigation）」出國報告

服務機關：國家運輸安全調查委員會

姓名職稱：吳吉村/鐵道調查組次席調查官

薛雅之/鐵道調查組副調查官

派赴國家/地區：英國克蘭菲爾德大學

出國期間：民國 111 年 7 月 1 日至 7 月 24 日

報告日期：民國 111 年 10 月 24 日

關鍵詞：鐵道事故調查、證物蒐集、調查工作規劃、訪談技巧、人為因素調查方法

內容摘要：

國家運輸安全調查委員會，延續前身飛航安全調查委員會之基礎，派員至國外相關機構研習鐵道事故調查知識與技術。本次鐵道調查組派員前往英國克蘭菲爾德大學，參加為期 3 週之應用鐵道調查訓練課程。鐵道事故調查所需專業知識相當廣泛，研習學員將課程內容整理後，摘要鐵道基礎相關知識、現場調查工作規劃、證物蒐集及攝影技巧、訪談技巧、人為因素調查方法、調查報告寫作技巧及各國鐵道事故案例分析等進行介紹說明。最後建議持續派員出國研習，精進鐵道運輸事故調查能力，亦可與其它國家事故調查單位人員經驗交流。

# 目錄

目的 .....	1
過程 .....	2
參與人員.....	2
課程簡介.....	3
課程摘要與心得 .....	6
認識調查.....	6
照片拍攝技巧.....	10
事故現場管理及證物蒐集.....	13
訪談技巧.....	16
分析方法及實例.....	20
調查報告寫作.....	24
列車出軌事故調查.....	27
人為因素.....	43
輕軌系統事故調查.....	50
自動控制系統事故調查.....	61
事故調查模擬實作.....	76
建議 .....	78

## 圖目錄

圖 1 學員合照.....	2
圖 2 課程表及課程內容 .....	5
圖 3 物證導向安全調查 理論 VS.實務 .....	7
圖 4 英國鐵道安全調查依據 .....	9
圖 5 事故列車拍照蒐證練習 .....	12
圖 6 事故現場管理模擬訓練 .....	14
圖 7 SE3R 紀錄表 .....	17
圖 8 行為評估象限概念圖 .....	18
圖 9 調查階段進程.....	20
圖 10 AIBN 調查及分析過程.....	21
圖 11 擬訂寫作計畫工具.....	24
圖 12 ATSB 報告內用字代表之可能性解說圖.....	26
圖 13 列車車廂、彈簧和阻尼器 .....	27
圖 14 列車承受自由振動力量 .....	28
圖 15 列車承受外部振動力量 .....	28
圖 16 Bounce 作用力 .....	29
圖 17 Pitch 作用力 .....	29
圖 18 Roll 作用力.....	30
圖 19 輪軌接觸面.....	30

圖 20 曲線路段之應力_縱向分量 .....	31
圖 21 曲線路段之應力_橫向分量 .....	31
圖 22 輪對轉向產生的力量 .....	32
圖 23 車輛懸吊系統的力量 .....	32
圖 24 轉向架轉向的力量 .....	33
圖 25 車輪輪緣於鋼軌上之長標記 .....	33
圖 26 車輪輪緣於鋼軌上之短標記 .....	34
圖 27 車輪於鋼軌上的痕跡 .....	34
圖 28 軌道損壞情形之觀察 .....	35
圖 29 繪製現場地理位置 .....	35
圖 30 記錄車輛及車輪損壞情形 .....	36
圖 31 記錄車輛載重 .....	37
圖 32 記錄聯結器狀態 .....	37
圖 33 車載紀錄器資料 .....	38
圖 34 列車出軌點尋找 .....	38
圖 35 找尋出軌點並在軌枕上畫上標記 .....	40
圖 36 車輛、軌道及相關設施之紀錄 .....	41
圖 37 軌道狀況記錄 .....	41
圖 38 人為因素本質 .....	43
圖 39 人為因素分析 .....	44

圖 40 事故調查的三大因素 .....	45
圖 41 人為因素調查的要件 .....	46
圖 42 人為因素在調查過程中的不同型態 .....	46
圖 43 完整系統的調查 .....	47
圖 44 SUGER 模型 .....	48
圖 45 輕軌軌道與一般路面混合使用 .....	51
圖 46 槽式軌道設計 .....	52
圖 47 磁力煞車及磁軌 .....	53
圖 48 架空系統.....	54
圖 49 集電靴與隱藏式供電系統 .....	55
圖 50 輕軌電車於車站充電 .....	56
圖 51 輕軌車輛駕駛室操作面版 .....	57
圖 52 電車與道路車輛碰撞 .....	59
圖 53 電車與行人可能碰撞 .....	60
圖 54 各安全系統自動化等級 .....	61
圖 55 自動列車控制系統 .....	63
圖 56 列車運轉軌道與行人和道路交通分離 .....	64
圖 57 安全完整性等級 .....	65
圖 58 車輛控制裝置 .....	67
圖 59 軌道缺陷調查_直線段 .....	69

圖 60 軌道缺陷調查_道岔段 .....	70
圖 61 隧道通風系統控制箱 .....	72
圖 62 於車站疏散人員 .....	73
圖 63 封閉式月台門 .....	74
圖 64 模擬事故現場地理位置 .....	76
圖 65 學員於模擬現場調查 .....	76
圖 66 模擬現場汽車損壞情形 .....	77

## 表目錄

表 1 合作可能性.....	19
----------------	----

## 目的

飛航安全調查委員會於 108 年 8 月 1 日改制為「國家運輸安全調查委員會（以下簡稱本會）」，調查範圍由航空擴大至水路、鐵道與公路重大事故。配合機關改制增加不同專業之調查人員，本會延續飛航安全調查委員會時期之基礎，派員至國外相關機構進行事故調查研習。鐵道調查組負責鐵道事故調查工作，指派人員至英國學習鐵道調查專業知識，儲備鐵道事故調查能量。研習地點為英國克蘭菲爾德大學(Cranfield University)，是一所小型但專注於交通等領域的教學研究機構，只提供碩博士學位與專業短期課程。完成應用鐵道調查訓練後，將能夠掌握調查鐵道事故方面須考慮的部分；確保以適當的技術，蒐集事故現場資料有關的證據；並透過所蒐集之證據進行分析進而提出改善建議，以避免類似事故再發生。



## 過程

### 參與人員

本次參與短期課程之學員部分為英國籍人士，其餘來自科索沃、丹麥、奧地利、瑞典、義大利、土耳其、瑞士及我國。學員大多來自政府之事故調查單位，包含土耳其鐵道事故調查單位(Turkey Transport Safety Investigation Center)、丹麥鐵道事故調查單位(Accident Investigation Board Denmark)、瑞典事故調查單位(Swedish Accident Investigation)、奧地利事故調查單位(Austrian Safety Investigation Authority)、瑞士事故調查單位(Swiss Transportation Safety Investigation Board)、科索沃事故調查單位(Aeronautical and Railway Accident and Incident Investigation Commission)、等。也包括英國之鐵道公司 Network Rail、Northwestern Railway 及 Volker Rail 員工、國防事故調查局(DAIB)等，學員合照如圖 1。



圖 1 學員合照

## 課程簡介

本次課程為期 3 週，由運輸事故調查人員與各類領域資深人員講授、帶領討論及實作。課程目的在幫助可能參與事故調查的人員，於調查鐵道事故時具備全方位的調查能力。課程涵蓋的領域包括調查方法、人為因素與調查方法、組織安全文化、調查現場照相及攝影技巧、調查現場規劃及證據蒐集及實作、訪談技巧、調查分析方法實例與應用、SMS 調查、調查報告寫作技巧、輪軌基礎理論、出軌調查方法及案例分析、輪軌介面介紹、車輛耐撞性及存活性、鐵道事件人為因素調查、軟體失效調查、輕軌系統調查、無人駕駛系統調查、及現地模擬鐵道事故調查等。課程表如下頁圖 2。

**Applied Rail Accident Investigation Workshop Series**  
**Workshop 1 – Essential Rail Accident Investigation Skills 4 – 8 July 2022**

Mon 4 July	Tues 5 July *	Wed 6 July	Thurs 7 July	Fri 8 July
0900 <b>Introductions</b> <i>Janos Rozsa</i>	0900 Site investigation phase – management, H&S and evidence <i>Janos Rozsa</i>	0900 Interviewing Techniques: the basics (recap) and practical exercises <i>Mark Robinson</i>	0900 Applied Analysis Methods <i>Janos Rozsa</i>	0900 Investigating Safety Management Systems <i>Bart Accou (ERA)</i>
1000 Break			1000 Break	1000 Break
1015 Accident Investigation approach <i>Janos Rozsa</i>	Break as required	Break(s) as required	1015 Continues	1015 Continues
1115 Break	1115 Break		1115 Break	1115 Break
1130 Human factors and accident investigation <i>Janos Rozsa</i>	1130 Accident site management and evidence collection exercise <i>Janos Rozsa</i> <i>Carl Wilson</i> <i>John Smith</i>	1230 Lunch	1130 Analysis Methods Workshop <i>Janos Rozsa</i>	1130 Continues
1230 Lunch		1330 Managing information and practical exercises <i>Mark Robinson</i>	1230 Lunch	1230 Lunch
1330 Safety and organisational culture <i>Dr Colin Filbeam</i>	1230 Lunch & group photo		1330 Continues	1330 Report writing & formulating safety recommendations <i>Janos Rozsa</i>
1430 Break	1330 Continues		Break(s) as required	1430 Break
1445 Continues	Break(s) as required	Break(s) as required		1445 Continues
1545 Break	1545 Break		Workshop debriefing	1545 Break
1600 Photography techniques for accident investigation <i>John Smith</i>	1600 Exercise and photography debrief (all)			1600 Discussions and reflections
1700 Session ends	1700 Session ends	1700 Session ends	1700 Session ends	Workshop ends
EVE <b>Welcome Social</b>				

\* Sessions will take place at the Accident Investigation Lab, Cranfield University

Timetable ARAI 2022 v1.docx Last saved by Janos Rozsa 26/06/2022 18:40:00  
Please note: Whilst every effort will be made to avoid alterations, this timetable remains subject to change if circumstances demand it.

**Applied Rail Accident Investigation Workshop Series**

**Workshop 2 – Investigating Derailment Accidents 11 – 13 July 2022**  
**Workshop 3 – Investigating Railway Operations Accidents 13 – 15 July 2022**

Mon 11 July	Tues 12 July *	Wed 13 July	Thurs 14 July	Fri 15 July
0845 Introduction	0800 Bus to Northampton – Lamport Railway departs from Mitchell Hall	0845 Introduction to Workshop 3 attendees		
0900 Fundamental theory of vehicle steering <i>Mark Burstow (Network Rail)</i>	0930 Track Geometry Measurement – Practical Exercise <i>Network Rail</i>	0900 Investigating Crashworthiness and Survivability <i>Dominique Louis (UK RAIB)</i>	0900 Railway Operations Investigations – Part I <i>Janos Rozsa</i>	0900 Investigating Light Rail (Tram) Systems <i>Carl Wilson</i>
1000 Break			Break(s) as required	1015 Break
1015 Investigating derailment – approach and case studies <i>Nigel Shaw (UK RAIB)</i>	Break(s) as required	Break(s) as required	1130 Investigating Software failures <i>Richard Brown (UK RAIB)</i>	1030 Driverless Metro Systems <i>Carl Wilson</i>
Break(s) as required				1145 Break
1230 Lunch		1230 Lunch	1230 Lunch	1200 ERTMS Level 2 and Safety <i>Stephen Franklin (Network Rail)</i>
1330 Continues	1330 Lunch	1330 Investigating Human Factors in Railway Operations <i>Mark Young (UK RAIB)</i>	1330 Railway Operations Investigations – Part II (Workshops) <i>Janos Rozsa</i>	1300 Workshop ends Lunch
1430 Break	1430 Data processing, modelling and analysis <i>Network Rail</i>		Break(s) as required	1400 For Workshop 4 attendees only: Accident Investigation Simulation Briefing and Team Planning <i>Janos Rozsa</i> <i>Alan Parmenter</i>
1445 Wheel-rail interface <i>Mark Burstow (Network Rail)</i>		Break(s) as required	Break(s) as required	
1545 Break	Break(s) as required			1500 Ends
1600 Continues				
1700 Session ends	1700 Session ends Bus to Martell House, Cranfield University	1700 Workshop/Session ends	1700 Session ends	

\* Sessions will take place at and around Northampton & Lamport Railway (NN6 8BA)

Timetable ARAI 2022 v1.docx Last saved by Janos Rozsa 26/06/2022 18:40:00  
Please note: Whilst every effort will be made to avoid alterations, this timetable remains subject to change if circumstances demand it.

Applied Rail Accident Investigation Workshop Series

Workshop 4 – Accident Investigation Simulation Exercise 18 – 22 July 2022

Mon 18 July*	Tues 19 July	Wed 20 July	Thurs 21 July	Fri 22 July
0800 Accident Investigation Simulation Exercise Field phase (Separate timetable)  <i>Alan Parmenter Carl Wilson Janos Rozsa John Curran Marcus Taylor</i>	0900 Accident Investigation Simulation Exercise  Formal interviews  Press conferences  Analysis/Further Evidence Collection  (Separate timetable)  MARK ROBISON  Media debrief  <i>John Curran</i>	0900 Accident Investigation Simulation Exercise  Analysis/Report Writing Phase – Day 1    Lunch provided 12.30-13.30	0900 Accident Investigation Simulation Exercise  Analysis/Report Writing Phase – Day 2    Lunch provided 12.30-13.30	0900 Accident Investigation Simulation Exercise  Analysis/Report Writing Phase – Day 3
	1700 Session ends	1700 Session ends	1700 Session ends	1230 Submission of team accident report  Lunch 1330 Accident Investigation and New Railway Technology <i>Carl Wilson</i> 1430 Break 1445 Discussion – Safety Recommendations  Discussion – Reflection  <i>Carl Wilson Alan Parmenter Janos Rozsa</i>
	1900 Dinner – CMDC			1600 Workshop ends

\* Sessions will take place at Northampton & Lampport Railway (NNE 8BA)

Timetable ARAI 2022 v1.docx Last saved by Janos Rozsa 26/06/2022 18:40:00  
Please note: Whilst every effort will be made to avoid alterations, this timetable remains subject to change if circumstances demand it.

圖 2 課程表及課程內容

## 課程摘要與心得

課程開始時，班導師說明希望各學員遵守查塔姆原則(Chatham House Rule)，即學員可自由使用及分享在課堂中所獲得的資訊，但對參與其中之對象或身分去識別化，以增加討論之自由性及開放性。

### 認識調查

進行鐵道事故調查前，首先要對調查過程建立初步概念，各基礎概念分述如下：

#### 1. 界定關係者

一個事件事故可能牽扯到不同的關係者，而不同關係者對事件事故的調查目的、需求、觀點、利益關係等可能會有所不同，能提供的資源及調查優先順序也不盡相同，甚至可能相互衝突，因此界定可能的關係者是必要的。事故調查涉入的關係者可能有以下機關構或單位：

- 政府相關機關構：警察調查單位、安全調查單位、立法單位
- 營運單位：基礎設施提供者
- 製造商
- 維修單位
- 訓練單位
- 其他營運單位
- 其他安全調查單位
- 保險公司
- 媒體
- 緊急醫療服務提供者
- 旅客
- 第三方關係者
- 家屬

#### 2. 調查宗旨

調查事件事故時，我們要知道對於調查的初衷為何，是要找出犯錯的人？還是要找出為什麼安全屏障失效？是否可以避免類似事故再發生？

#### 3. 調查週期

每個事件事故的調查會因為特性不同，可能需因案制宜的調整調查內容，但不變的是調查的週期，通常事件事故的調查週期有以下特性：

- 通報
- 預先布署
- 現場調查
- 復舊
- 細節調查
- 調查報告撰寫
- 調查報告發布

#### 4. 證物導向調查之理論與實務

理想狀況下的物證導向安全調查是蒐集證據、分析證據、產出調查結果及結論、最後提出改善建議。但實際上的調查運作並沒有辦法一帆風順、一氣呵成的完成調查，而是在各階段不斷的進行動態調整。在調查之初提出假說並隨時檢視蒐集的證據是否足夠、是否足夠支持假說，待證據蒐集完全並進行分析確認符合假說後，便可得到強而有力的調查結果，並可從中匯集出安全改善建議。

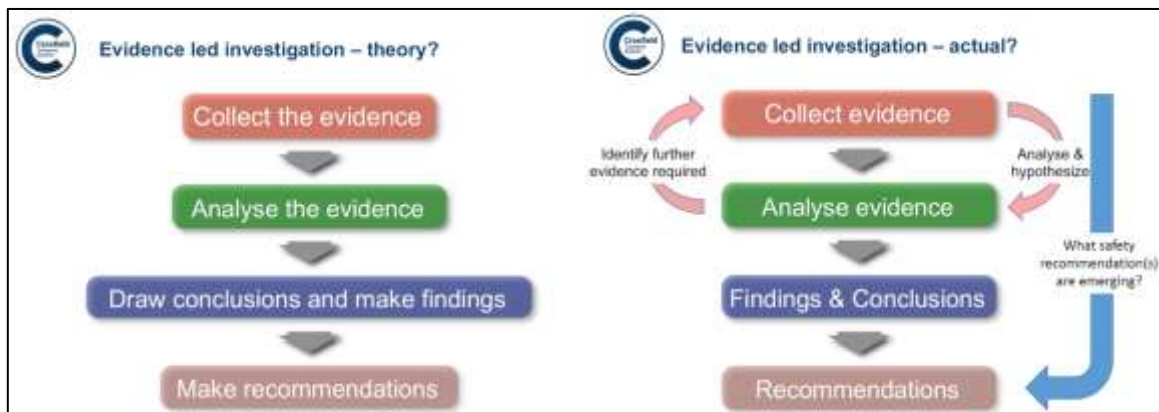


圖 3 物證導向安全調查 理論 VS.實務

#### 5. 證物/證據類別

##### (1) 事故現場

- 各設備、車廂相對位置
- 現場事故前、事故中、事故後之狀態，注意有何不同及變動
- 道岔開通位置
- 軌距
- 現場平面圖
- 空間位置
- 陽光或照明
- 緊急設備位置

- 現場痕跡
- 任何可能與現場環境有關之物理現象

(2) 重型機具及設備

(3) 人員

- 相關員工及操作者(直接及間接參與者)
- 受傷人員
- 目擊者
- 緊急服務提供者
- 維修人員
- 訓練監督人員
- 管理人員
- 包商

(4) 資料數據

- 車上資料紀錄
- 電子紀錄(稽核、訓練)
- CCTV 資料
- 數位照片

(5) 書面紀錄

- 訪談內容
- 初步調查報告
- 技術紀錄
- 班表
- 標準作業程序(SOP)
- 檢查表
- 訓練紀錄
- 藥檢紀錄

6. 現場調查紀錄方式

- 筆記
- 照片
- 影片
- 錄音
- 手繪紀錄

7. 調查認知陷阱
  - 集群錯覺
  - 可得性偏差
  - 刻板印象
  - 盲點
8. 調查依據

各國鐵道安全調查人員及調查單位之調查權限皆有其法源依據。以英國為例，階層最高的為歐洲聯盟準則，英國國內再依此準則制定鐵道及運輸安全法案，最後再依此法案訂定出鐵道規則。如圖 4。



圖 4 英國鐵道安全調查依據



## 照片拍攝技巧

事故現場照片拍攝為蒐集資訊非常重要的一環，未來的調查、分析、報告撰寫等將依靠於事故現場所拍攝的影像來呈現。

### 1. 照片拍攝核心概念及基礎

- 保存 **Preservation**

整體任務是要用影像來紀錄所看到的事物，且照片可能是唯一的永久記錄。

- 重建 **Reconstruction**

照片將被各方檢視，因此所拍攝的照片應可靠、清晰、明確。

- 紀錄 **Documentation**

照片應同時輔以文件記錄，做好檔案管理。

### 2. 基本原則

- 實事求是 **Veracity: “It is what I say it is”**

可視為文件製作的過程，製作時以「照片是否能傳達出所要表達的內容？」為主軸進行編製。

- 溯源 **Provenance: “I can demonstrate it”**

可視為文件管理的過程，製作時以「是否能追溯照片從哪裡來？」為主軸進行編製。

### 3. 有效的照片

#### (1) 由授權人員拍攝

- 應依標準作業程序拍攝
- 因特定需求及目的而拍攝
- 拍攝之照片應為清楚可辨視、可追蹤以下資訊：
  - 拍攝時間
  - 拍攝地點
  - 拍攝人
  - 拍攝所用之設備
  - 完整紀錄(速寫、註記、標記拍攝方位等)

#### (2) 照片儲存

應依標準作業程序儲存照片

重要檔案應避免以下狀況：

- 意外刪除毀損
- 非授權人員取得檔案

(3) 數據軌跡

- 為確認相片之真實性且完整性，照片原始紀錄資料應保留。

(4) 照片使用

- 應備份，若要對照片做進一步修改，應使用複製後之檔案進行修改調整
- 原始照片檔案不應進行任何更動
- 良好儲存環境及備份原始檔案

4. 拍照步驟

- 應有照片標題及比例尺
- 可使用輔助工具，如手寫板、鏡子、現場標記

5. 熟悉裝備特性

(1) 鏡頭

- 焦距
- 視角
- 景深

(2) 曝光

- 快門速度
- 光圈
- ISO 值

(3) 白平衡(Use Color Scale)

(4) 常用檔案格式有以下種類：

- JPEG
- TIFF
- RAW
- PSD
- HEIC

(5) 光源

- 相機本身光源
- 使用額外光源，照片呈現出之內容可能較好(如物品顏色、陰影等)

6. 實作

此次課程中，有提供一事故車廂，並保留其內部狀況，供學員進行拍照採證練習，其中講師會在一旁適時指導，讓學員於狹小、光源不足、悶熱之限制空間進行實作，模擬實際於事故現場可能會遇到之情形，並於拍攝練習完成後檢視拍照成果。



圖 5 事故列車拍照蒐證練習

## 事故現場管理及證物蒐集

事故現場之證物蒐集只有一次機會，因此在蒐集證物前需有充足的知識及良好的計畫以便進行有效率、精準且安全的作業。

### 1. 初步了解

#### (1) 確定現場狀況

- 是否為單純意外現場？或是有犯罪跡象？

#### (2) 現場聯絡對象

- 確定現場前進指揮所地點及現場指揮單位或人員
- 是否有討論會議及其頻率？
- 確認大型重型機具及消毒作業將進場之路線，將該區域列為優先現場調查區
- 確認警方/鑑識單位之調查及證物蒐集需求
- 確認集合地點及家屬抵達現場之時間
- 留意外界可能影響證據蒐集之因素，如政治力等

#### (3) 誰有優先權

- 救災/人優先，安全調查皆在將傷、亡者救出後才開始

#### (4) 蒐證策略

- 專注在蒐集自身調查需求所需的證物，必要時也可用其他調查單位所蒐集到且願意分享的證物

### 2. 事故現場規劃

#### (1) 區域規劃

可將事故現場分為數個區塊，若可以則利用現場地形作為天然屏障，除證物蒐集及調查區外應依事故特性適當配置檢傷區、遺體暫放區、人員訪談區、家屬休息區、工作人員補給區、會議討論區、證物暫存區等。

#### (2) 危害辨識及評估

開始調查前應先對現場進行危害辨識及風險評估

- 動態及靜態風險
- 對自身及他人之風險
- 是否可能有生物性感染風險
- 現場可能對調查人員身心狀況之衝擊

#### (3) 主任調查官(IIC)職責

- 以更宏觀、更前瞻的角度檢視計畫

- 有系統性的利用各種工具輔助及管理調查小組成員進行調查
  - 確保橫向溝通暢通
  - 滾動式調整工作計畫
- (4) 現場證據蒐集
- 確認有哪些證據需要蒐集
  - 現場端
  - 遠端
- (5) 採集證據的順序
- 易流失的證據應優先採集
- (6) 思考並規劃如何處理蒐集到的證據
- (7) 蒐集證據的同時也必須檢視證據並視情況調整調查策略

### 3. 搜索區規劃

可考慮按功能(如車廂、橋梁、軌道等)劃分搜索區域，或以當地地理及建物結構邊界進行區域劃分。每個搜索區域應重疊數公尺，若該搜索區域內涵蓋較少可蒐集的證物則可劃分較大面積於一搜索區內，反之則需縮小範圍，以免時間不足而影響調查完整性。若需重機具或照明設備協助證物蒐集，可優先將重機具欲使用之區域先行調查，調查完畢便可開放使用。確認特定劃分之搜索區域證物蒐集完畢後，便可分階段交給其他欲使用單位或交還營運公司進行調查或現場復原。



圖 6 事故現場管理模擬訓練

#### 4. 證據蒐集

##### (1) 以 6W 技巧來幫助紀錄細節

- What：這是什麼物品
- Where：哪裡取得的
- When：取得證物的日期及時間
- Who：證人的身分為何
- Why：證物/人與事件有什麼關係
- How：用什麼方法蒐集證據

#### 5. 證據包裝及保存

每個蒐集到的證物皆應使用最適合的方式包裝，以確保證物不會漏失或被汙染。如使用膠帶密封證物袋或盒子，勿使用訂書針裝訂。證物包裝好後應清楚標示採集者姓名與採集日期，並在封口處簽名封緘。

##### (1) DNA

- 採集事故現場 DNA 可協助鑑別或排除其他蒐集到的證據之資訊，或提供某人與某物是否有直接接觸等資訊。

##### (2) 血液

- 血液證據可協助耐撞性之調查及推斷該受傷或死亡人事故時是在車內或車外。

##### (3) 液體

- 如需取得液體樣本，如油箱的油。應使用幫浦直接抽吸最少 100 毫升，以利分析。

#### 6. 個人安全裝備

進入事故現場蒐集證據除風險危害辨識外，亦需個人安全保護裝備，常見的裝備有：高識別度之裝備，如反光背心、工作鞋、安全帽、照明設備、手套、護目鏡、拋棄式生物隔離裝備等。

## 訪談技巧

訪談是以對話的方式從某人身上獲取資料，但如何有效率且準確地由相互對話中獲得想要的資訊是件不容易的事。訪談不只是對話、聊天，而是包含了自我管理、掌握被訪談者及其他有關人員狀況(如其他調查員、家屬等)。另外亦必須顧慮訪談者及被訪談者各自之心理狀態。理想的訪談流程應該是先建立關係(Contact)，建立訪談者與被訪談者間的關係，並明確告知被訪談者該次訪談的目的。接下來是掌握訪談內容(Content)，透過適當的方式提出正確的問題進而有效地引出事實。再來是掌控訪談流程(Control)，確保訪談時順暢且不偏離主題。此次課程中介紹了英國常用的調查方法—SE3R。

### 1. SE3R 方法

SE3R 方法是由 Eric Shepherd 教授所提出之奠基於語言學及心理學的訪談技巧，也是個可「全面掌握細節並進行分析」的工具。SE3R 並非只是做筆記而已，而是透過語言學及心理學的技術去分析人們如何披露細節以及如何處理被披露的細節。SE3R 的基本組成如下：

#### (1) Survey

這是最基本的階段，快速的對事件事故或所獲得之證詞、證據、文件等做初步了解及閱讀，但盡量不要遺漏任何相關資訊。建立圖像化概念，注重細節、把握細節、並加強對細節的記憶，但要注意不要把未披露的事項自行加在圖像裡。

#### (2) Extract

透過重複閱讀、聆聽、觀察等方式將細節一一展開，並記錄下來。

- 背景知識(Background Knowledge)放入 Knowledge bins 裡
- 濃縮細節並將其整理成事件序
- 獲得結果，辨認出異常、不合邏輯之處、需要更多資訊之處、需要再調查及再確認之處

#### (3) Read

仔細閱讀並確認所有紀錄於圖表中細節的準確性

#### (4) Review

分析圖表中的細節並計畫下一步行動

#### (5) Respond

將計畫付諸實行

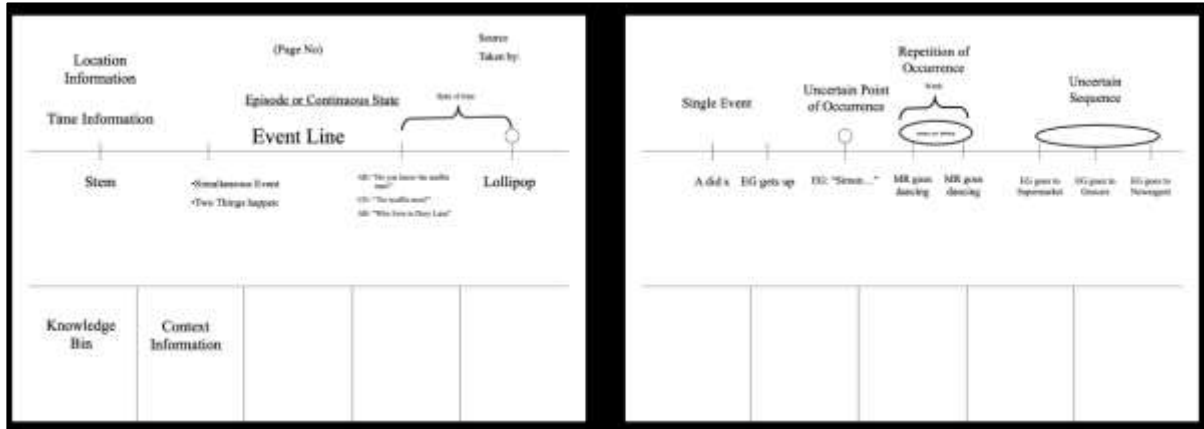


圖 7 SE3R 紀錄表

SE3R 是旨在：

在調查過程中協助調查人員整理被訪談者的陳述

- 擬定進一步之調查和訪談計畫
- 提供後續訪談計畫之利基
- 比對不同訪談者間的陳述
- 找出被訪談人陳述的缺口、矛盾等
- 評估訊息的有效性和可靠性
- 幫助調查人員傳達調查結果予其他調查單位或調查人員。

## 2. 行為評估(Assessing Behaviour)

實施訪談前，訪談者可以先評估自身特質，及在訪談時評估被訪談者之特質，以擬定訪談策略。

### (1) 接收方 Listening Dimension

自我中心 (Excluding) VS 富同情心 (Empathic)

- 自我中心的特質
  - 預設立場
  - 刻板印象
  - 對他人缺乏尊重、看法消極
  - 對於他人需求、情感及觀點不敏銳
- 富同情心的特質
  - 態度開放
  - 尊重他人



- 接受人是複雜而非單一化的
- 對他人的需求、情感、脆弱敏感且有回應

(2) 談話方 Talking Dimension

主導性強 (Dominant) VS 順從的 (Submissive)

- 主導性強的特質
  - 堅持主張、立場
  - 主導或領導他人
  - 影響他人的回應或行為
- 順從的特質
  - 想法或情感退縮
  - 影響力低
  - 服從的、聽話的

將不同的特質以圖表方式呈現，便可概略分析訪談者及被訪談者坐落的象限，了解其人格特質及找出訪談時可使用之應對方法。

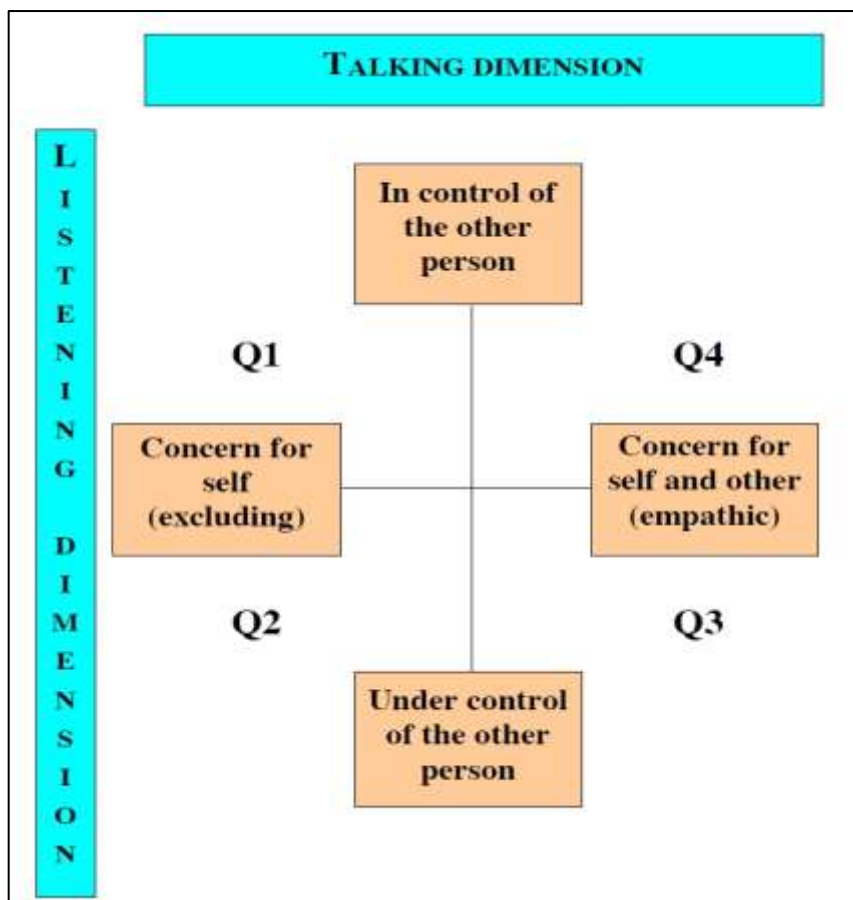


圖 8 行為評估象限概念圖

受訪者依其特質可概略分為四個象限，其特質分述如下：

- 第一象限(Q1)：咄咄逼人、主動、試圖取得控制權
- 第二象限(Q2)：可疑的、興趣缺缺、害怕被利用、盡可能少說話
- 第三象限(Q3)：健談的、膚淺的、過於包容的、努力尋找認同及渴望被接受
- 第四象限(Q4)：公事公辦、成本-效益型思考、協商立場

訪談者依其特質可概略分為四個象限，其特質分述如下：

- 第一象限(Q1)：傲慢、霸道、「結果」導向思考、試圖征服他人、遇困難時易失沉穩
- 第二象限(Q2)：自我保護的、缺乏生氣且疏離、斷言「事實」、愈困難較易放棄
- 第三象限(Q3)：低調、和藹可親但漫無目的、認為融洽關係很重要、難以聚焦在重要事情
- 第四象限(Q4)：顧問型、客觀分析、用心傾聽、適時發言

當不同特質之訪談者遇不同特質之受訪者，可分析出雙方合作之可能性，其可能性整理如表 1。

表 1 合作可能性

合作可能性		受訪者特質分類			
		Q1	Q2	Q3	Q4
訪談者特質分類	Q1	低	低	低	低
	Q2	低	中	低	低
	Q3	不可能	中	高	中
	Q4	高	高	高	高

由表可知，訪談者特質坐落於第四象限時所能獲得的訪談效益最高，不論被訪談者之特質坐落於哪個象限，皆有可能透過訪談取得利於調查之資訊。當訪談者特質坐落於第一象限時，不論被訪談者特質為何，皆難以透過訪談獲取必要資訊。當訪談者特質坐落於第三象限時，遇被訪談者之特質落於第一象限時，雙方無法有效合作，應避免。最理想之情形為訪談者及被訪談者之特質皆坐落於第四象限，雙方將可有良好且有效率之溝通及資訊交換。

## 分析方法及實例

資料蒐集與分析階段並非為各自獨立的調查階段，而是互有消長。在事件事故調查之初，蒐集各種有利於調查的資料為主要工作階段，當資料蒐集至一定程度後，調查重心便會進入分析階段，分析的同時也檢視蒐集的資料是否足夠、完整、是否有矛盾之處？若有不足之處，則將資料蒐集完整，再繼續進行相關分析。當分析工作到一定程度後，便可開始進行報告撰寫及提出改善建議，相關調查進程如圖 9 所示。



圖 9 調查階段進程

### 1. 選擇調查案之分析方法注意事項

- 分析方法可呈現事故的本質與發生原因
- 事故發生的原因是一直變動的，可能與先前經驗有所不同
- 複雜性高的案件可能需要應用較新的理論與分析方法

### 2. 調查分析方法類別

#### (1) 序列式分析(Sequential)

序列式調查法是假設事故發生的原因是由於一個（或多個）獨立的因果關係而造成。事故發生是因為某一未被預期的事件（根本原因）發生進而觸發一系列後續事件。若可識別出根本原因並將其消除的話，相同的事務便不會再發生。相關的分析方法有 5 Whys、STEP (Sequentially Timed Events Plotting)等。

#### (2) 流行病學式分析

事故的發生被視為系統內隱性因子與顯性因子同時失效，例如疾病的傳播。潛在條件，例如管理實踐或組織文化。就好比病原體，可能在一個系統內長期處於休眠狀態，一旦某些條件符合了，病原體就開始活躍了。相關的分析方法有瑞士起司理論、HFACTS、ATSB Model 等。

### (3) 系統性分析

事故的發生是因不同系統間之交互影響，為非預期且不可控的。事故發生的條件在小尺度的環境中合規，但卻無意中在尺度較大的系統內製造了不安全的條件。相關的分析方法有 STAMP、Accimap、FRAM 等。

### (4) 複合型分析—AIBN(Accident Investigation Board Norway)分析法

此分析方法是由挪威事故調查委員會所提出之方法，綜合了序列式分析及系統性分析於其中。AIBN 的調查過程分為七個階段。值得注意的是，分析過程是反覆的。這意味著在某一調查階段時依經驗或調查發現可以回到前一調查階段重新審視或修改該階段之調查結果。AIBN 的調查方法中在第 1 至 3 階段關注發生了什麼，第 4 至 5 階段關注事故發生的原因以及階段 6 至 7 關注如何預防事故的再發生。原則上，此調查過程應適用於所有安全調查，調查過程應視情況調整調查的深度及範圍。調查過程從調查開始起至調查結束時，應可辨識出需要改進的面相。調查作業重在依系統性地有序進行，重點是調查的目的及分析過程中的每個階段，確保最終能找到根本肇因並提出改善建議，避免類似事故再發生。

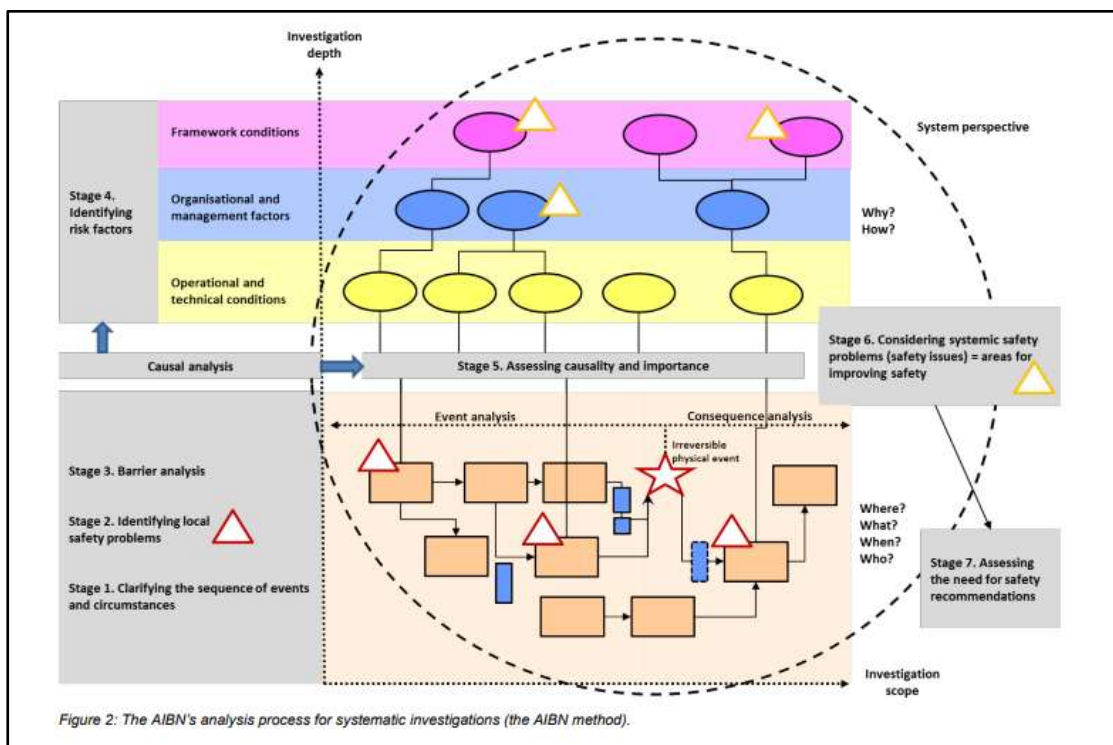


圖 10 AIBN 調查及分析過程

### 3. 第一階段 釐清事件和情況的順序

必須清楚說明事件的順序和事故周圍的情況，能夠理解和描述發生的事情、發生的地點和時間、發生的事件以及涉及的人員。這個階段也應該已經闡明了一個完善運轉程序或工作操作是如何進行的。任何不確定性和對事件順序的說明應該在此評估完成。此階段之分析建議使用序列式分析方法。

#### 4. 第二階段 識別存在的安全問題

應按事件順序識別局部安全問題，以便我們對「出了什麼問題」有一個清晰的想法和描述。然後，顯現的安全問題應成為後續調查範圍的基礎，再進行進一步詳細調查研究。這包括要蒐集哪些數據，使用哪些調查工具及方法以及進一步需要哪些資源以利調查的進行。這個階段的資料也可以作為準備初步報告的基礎，或期中安全通告發布的依據。

#### 5. 第三階段 防止事故發生的防禦措施分析

防禦措施可以是物理性的、程序性的、空間、時間、訓練或風險評估等。防禦措施的分析在調查的系統已建立，相關的防禦措施已確定，再進一步探討系統中可能已經設置的防禦措施，在防止或限制相關事故發生的功能是否發揮及是否已造成損害。技術方面、營運方面或組織方面所施行可避免事件發生或降低風險之措施都可視為防禦措施且應可防止不循規定之事發生、防止事故發生及防止設備損壞或人員受傷。防禦措施精進也可以作為在第 6 階段所要提出的改善建議。

#### 6. 第四階段 識別風險因素

在這個階段，要將風險因素識別，可能包含環境因素、風險管控因素、組織管理因素、整體架構因素等。

識別風險因素的用意是為了解釋並理解已識別的安全問題是如何以及為何在一系列事件中出現，並說明安全系統和防禦措施為何未如預期地防止事故發生。我們獲得相關和更深入不同層面的風險因素如何促成和影響事件的順序和存在的安全問題。調查的寬度和深度必須根據調查能力、安全價值和所花費的資源及時間進行評估。先完成局部調查，再將所有調查結果連接，以便我們有充分的依據確定事故的整體情況並準備製作最終事故影響圖表或因果圖表。

#### 7. 第五階段 評估因果關係和重要性

評估因果關係和重要性旨在確保調查和確定風險因素，根據於特定的事件序列，有助於使調查更精準及更能通過檢視。所有風險因素均應仔細的考量並列出，以解釋和理解識別出的因素對事件影響的程度及如何影響了事件的發生，並對沒有造成事故的因素進行檢視及釐清，在安全調查方面具有重要意義。

#### 8. 第六階段 考慮系統性安全問題

在此階段可思考事件的發生是否是因系統性問題而導致，系統性問題可視為具有潛在的不利因子，且會影響日後營運安全的因素。且該因子為組織或系統的特質，而非指特定人事物、環境或時間的特質。

調查中有關於安全最重要的發現通常是指出一組織內的風險控制問題，或其他問題可能影響框架條件進而對組織內之風險控制有效性產生影響。如果不改善，可能會增加日後事件事故發生的風險。

#### 9. 第七階段 評估安全建議的必要性

辨識出的系統性問題劍指了需要被改善的領域，但調查單位需不需要提出改善建議則需考慮以下因素：

- 系統性安全問題的重要性及其衝擊性。
- 調查期間組織已針對相關問題進行之改善及計畫。
- 考慮改善建議的可行性。
- 最終執行的效果。

## 調查報告寫作

### 1. 目的

報告是啟動安全改善的基石，報告內會詳細記錄事件發生的經過、事件如何發生、事件為何發生、報告發布的對象、哪些對象要改善等資訊。

寫作階段

#### (1) 寫作前

為增進報告寫作效率，於報告寫作前應先擬定寫作計畫，並將報告寫作之目的、閱讀對象、寫作脈絡等納入考量。此階段可視需要使用心智圖、計畫表格、樹狀圖等協助擬定計畫。

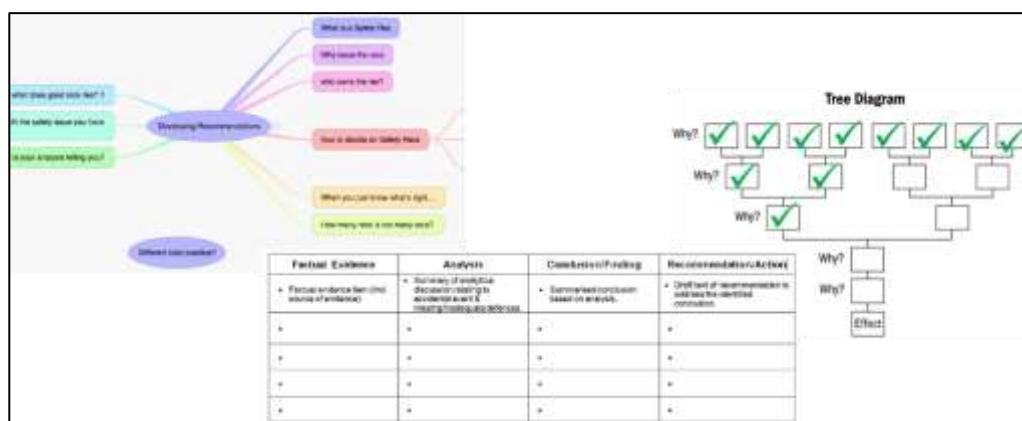


圖 11 擬訂寫作計畫工具

報告之寫作架構亦須於寫作前先行擬定，通常包含以下資訊：

- 報告標題
- 事件概述
- 事實資料
- 分析
- 調查發現
- 結論
- 改善建議
- 附錄

### 2. 報告寫作注意事項

#### (1) 摘要

摘要是報告的第一部分，通常被認為是最重要的，以不超過 2 頁為原則，應簡明扼要，通常是在整個報告定稿之後才撰寫的。摘要是簡要敘述整份報告之內容，而非事件本身的簡述。摘要應包含以下內容：

- 事件描述—明確描述發生了什麼事。

- 調查發現—包含調查出之重大安全缺失
- 安全措施—包含在報告發布前已採取的任何重大安全改善措施
- 結論—包含與安全建議間的關聯
- 安全建議

(2) 初步報告

事件的初步報告應依照 A、B、C、D、E 原則來撰寫。

- A (Accurate)：準確
- B (Brevity)：簡潔
- C (Clarity)：邏輯清晰
- D (Detail)：不遺漏細節
- E (Evidence)：根據證據撰寫

(3) 總結報告

事件之總結報告應符合以下原則：邏輯清晰、忠於事實、準確、易讀性高、內容充實等。

(4) 分析

此章節是整份報告中最重要的部分，分析是事實與結論和安全建議部分之間的橋樑，需依證據、客觀且合乎邏輯的撰寫。此章節中不可有新的事實資料，應著重於討論假設以及為什麼這些假設已不成立，區分哪些是已知的和哪些是推測的，說明任何相互矛盾的證據，識別出哪些問題以及可以採取哪些措施來解決問題。分析中可以識別責任歸屬，但不是在追究責任。

(5) 調查結果

為此次調查的最終結果，應敘述調查之發現，及可能造成事件之直接及間接原因。

(6) 改善建議

- 必要時才需發布改善建議
- 提出改善之方向，但不負責尋找技術或特定的解決方案
- 包含改善對象(組織)、改善建議之內容
- 改善建議之內容須來自調查結果
- 每項改善建議只對應一個安全問題
- 如果有不止一項建議，則將建議條列並編號
- 避免不必要或模稜兩可的用詞
- 使用清晰的措辭讓改善對象清楚理解



- 關注安全目標，而不是提供規範或具體的技術解決方案

(7) 其他注意事項

- 可能性用詞

在撰寫報告時，常會需要表達「可能性」的時候，但文字敘述之用字遣詞無法像數字般精準傳達撰寫者所想表達之可能性。因此在某些調查報告內，會先定義其報告內容所使用之詞彙所代表之可能性大約為何，以便讓讀者有較明確的認知。如澳洲運輸事故調查委員會 ATSB 所發布之報告內有向讀者解說其用詞所代表之可能性為何。如圖 12 所示。

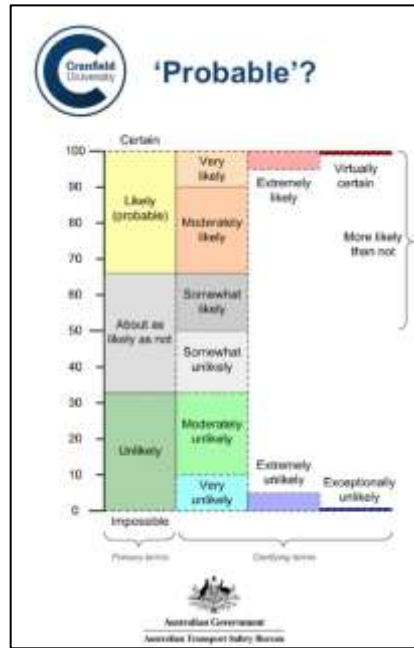


圖 12 ATSB 報告內用字代表之可能性解說圖

- 寫作風格
- 標題應該一目了然
- 段落長度簡短合理
- 嘗試使用段落的第一句陳述段落的要點，並用最後一句引導至下一段
- 語態一通常，使用主動語態會產生更清晰的句子
  - 主動：信號員指揮車輛…
  - 被動：車輛由信號員指揮…
- 報告內容不要提及人名
  - 如果可以在某組織內輕鬆識別該女性，請避免使用「她」來撰寫報告。

## 列車出軌事故調查

### 1. 鐵道車輛動力學概論

欲執行列車出軌事故之調查，首先必須先瞭解鐵道車輛如何在曲線路段運轉及曲線如何影響車輪及軌道之間的作用力。

曲線引導不足會導致車輪和鋼軌之間的側向力變大，增加車輪和軌道的快速磨損以及出軌的可能性。車輪及鋼軌間動態和靜態的不穩定性，包括軌道本身的異常和其他外力過度影響軌道幾何線形等因素，皆可能導致列車行駛過程中產生作用力不當導致列車出軌。

#### (1) 列車基本動力學介紹

鐵道車輛與力學變化有關的設備組成包括車廂、彈簧和阻尼器等。



圖 13 列車車廂、彈簧和阻尼器

列車承受自由振動力量時，利用簡單的车輛質量-彈簧-阻尼器模型可知，當振動偏離其平衡位置時，隨之而來的振盪運動會隨著時間的而衰減，而衰減率取決於阻尼器的特性，因此，若無阻尼系統，列車將永遠處於振盪的狀態，但過多的阻尼系統將使系統的反應變慢。

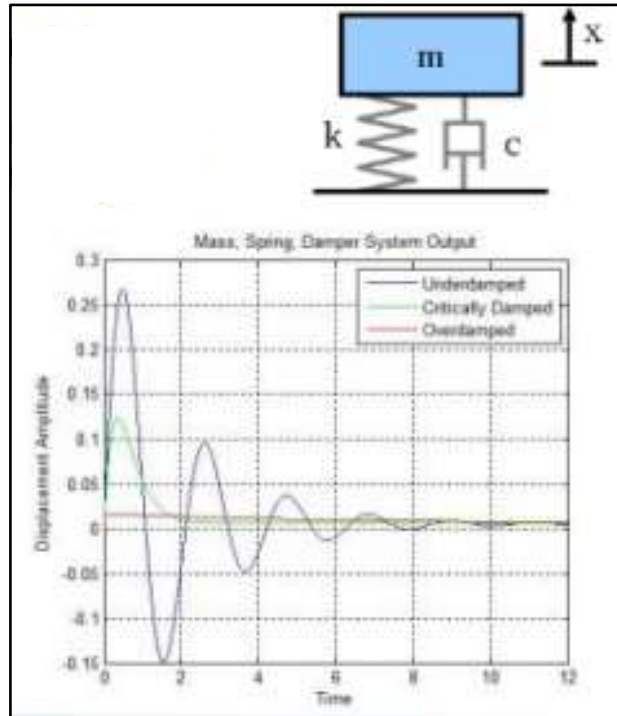


圖 14 列車承受自由振動力量

當列車承受由外部力量而強制振動所產生的偏移，會影響到列車輪緣與軌道的受力的變化及影響車輛的運轉速度，即會有臨界速度或頻率而促成列車出軌條件的形成。

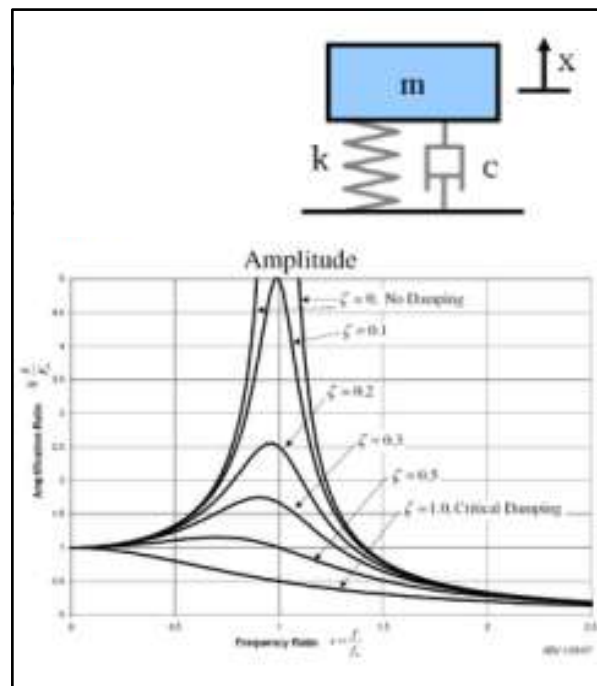


圖 15 列車承受外部振動力量

## 2. 影響列車偏移力量的類型

### (1) 「Bounce」

振動力量來自軌道形狀的變化，屬於不規則性的短波長，明顯的例子如鐵道線路的位置接頭或焊縫，在一定區間距離的鋼軌接頭會對經過的車輪產生一振動的作用力量。

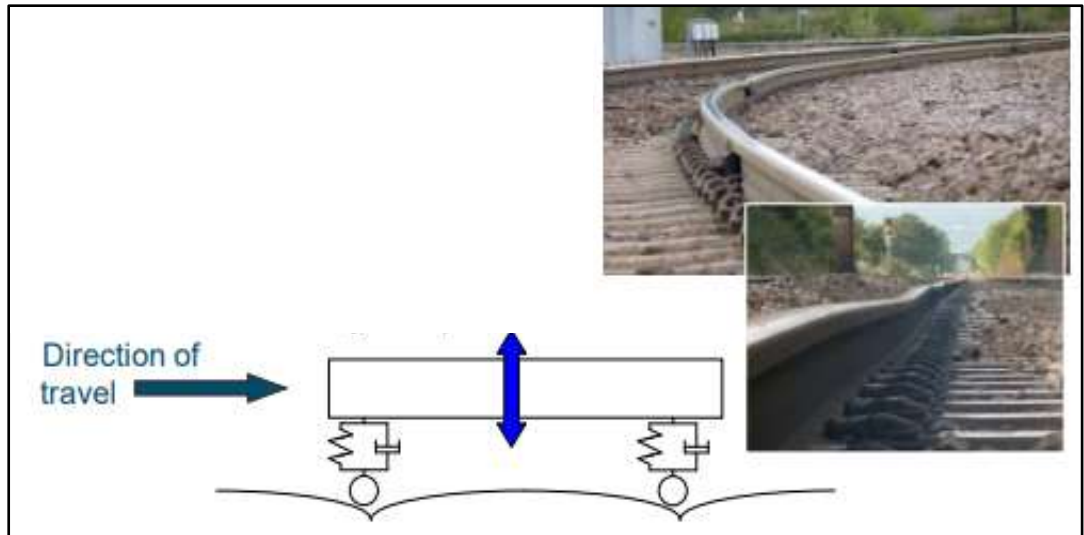


圖 16 Bounce 作用力

### (2) 「Pitch」

振動力量來自軌道形狀的變化，屬於一不規則性的短波長，例如在軌道接頭或焊縫的位置，當列車車輪經過一規則區間距離的軌道接頭時，亦會產生振動的作用力量。

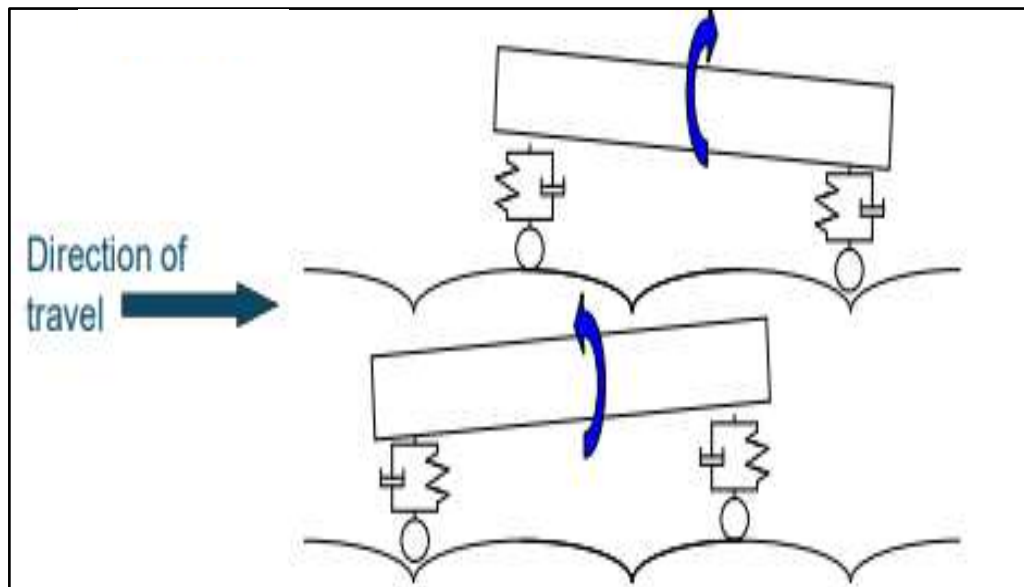


圖 17 Pitch 作用力

(3) 「Roll」

振動力量來自軌道形狀的變化，亦屬於一不規則性的短波長，主要的例子如軌道接頭或焊縫的位置，列車的車輪在經過此處時，交錯的軌道接頭會引發車輛的側傾，影響到軌道及輪緣的變化。

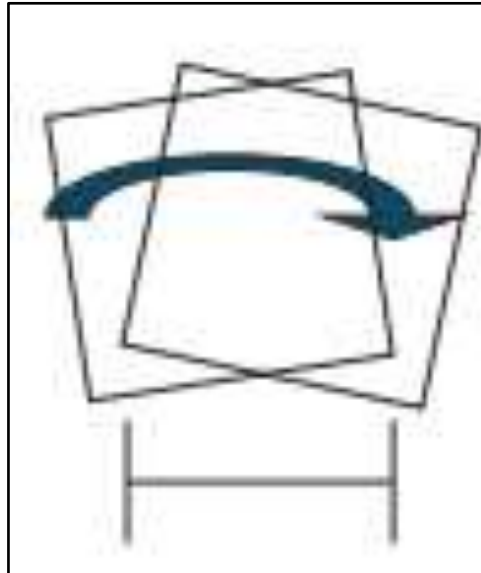


圖 18 Roll 作用力

車輪受力的變化會影響輪緣，是造成車輪爬升出軌的一個重要因素，尤其是車輪和軌道接觸面產生的縱向和橫向力。輪軌接觸面會傳遞所有受力，包括必要的支撐力和引導車輛前進。

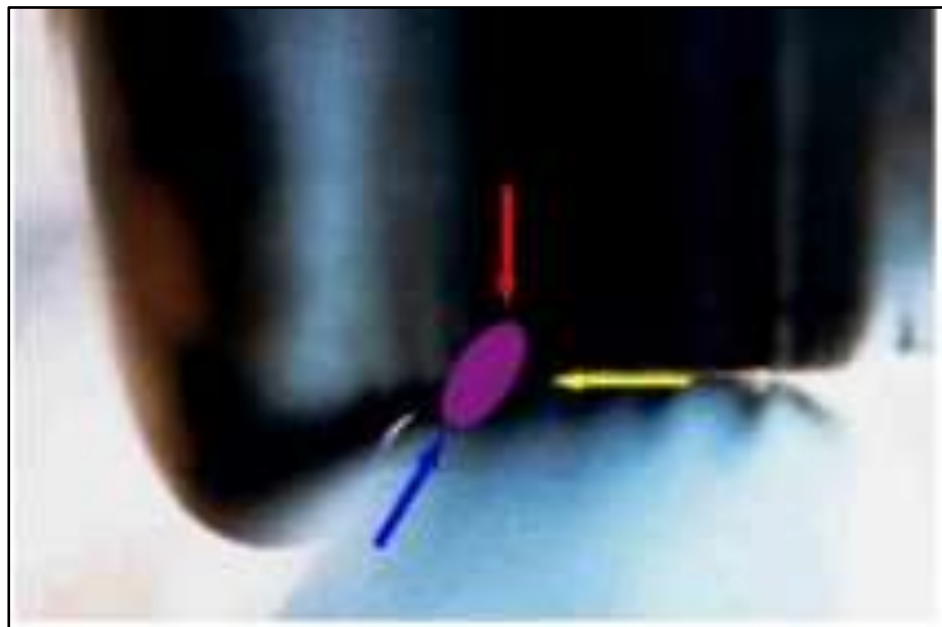


圖 19 輪軌接觸面

### 3. 曲線路段之應力\_縱向分量

因為外軌長度( $L_o$ )大於內軌長度( $L_i$ ),如果運行過程中,車軸移動到外軌,但因車輪錐度的因素,外輪半徑會大於內輪半徑,符合軌道長度的比例,此時不會產生縱向力。

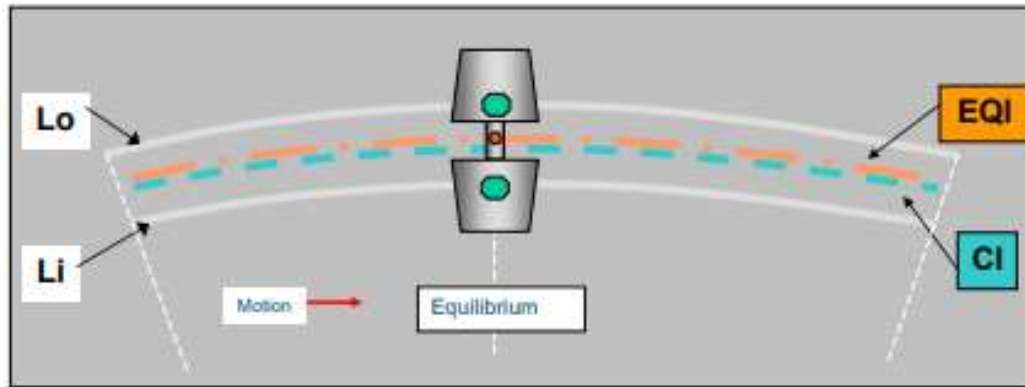


圖 20 曲線路段之應力\_縱向分量

#### (1) 曲線路段之應力\_橫向分量

列車運行的過程中,產生的偏移如果車軸與曲線中心的中心點劃線對齊(無產生偏移),然後沿軌道方向旋轉平順的移動,此時不產生橫向的側向力。

#### (2) 輪對轉向

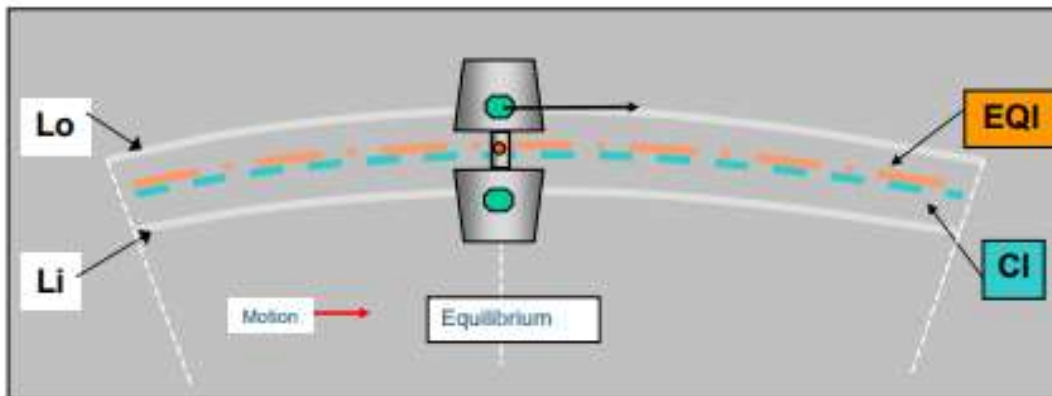


圖 21 曲線路段之應力\_橫向分量

當輪對遇到軌道位置變化時,因為軌道彎曲或存在短波長軌道不規則,因此車輪會從軌道的中心線偏移,此時將產生縱向和橫向力將其引導回軌道的中心。



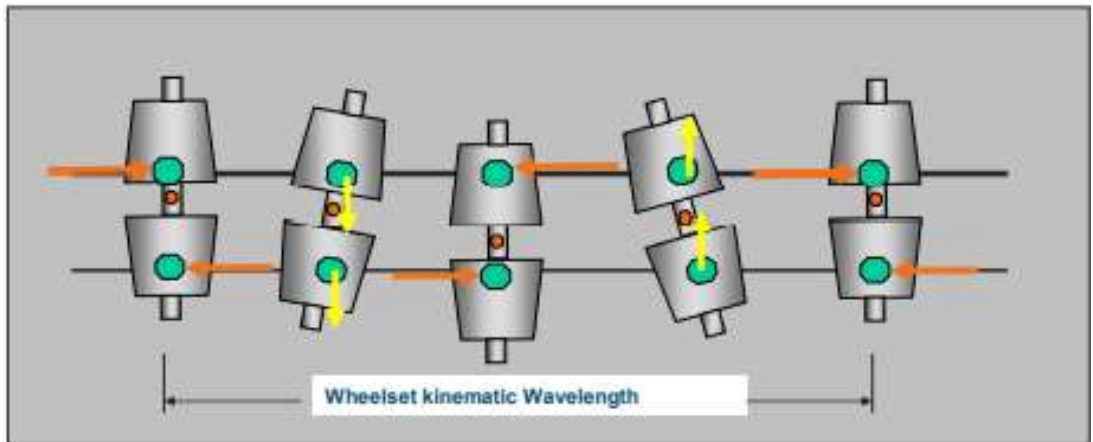


圖 22 輪對轉向產生的力量

(3) 車輛懸吊系統力量

輪對如何移動：為了使車輪組能夠順利通過曲線彎道，車輪組通常會透過一系列的彈簧組連接到車輛產生柔性連接。這些彈簧組能允許輪對旋轉以達到彎曲轉向的目的，但彈簧組需要足夠堅硬以保持車輪組的穩定，如果車輪組無法保持穩定即會開始產生「*hunting*」的情形。

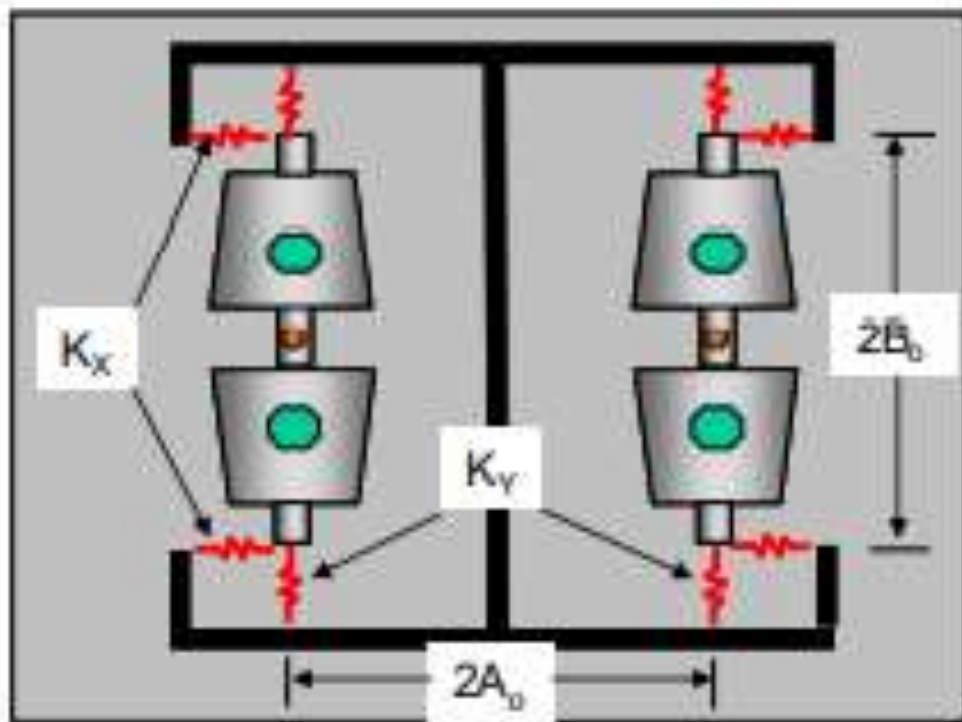


圖 23 車輛懸吊系統的力量

(4) 轉向架轉向的力量

列車運行的過程中，在經過曲線路段時每個軸都將移動，此時將產生一橫向移動的力量，及與導軌直角方向的旋轉力量。轉向架中的軸必須以彼此相反的方向旋轉以拉伸外軌懸架並壓縮內軌懸架產生的力量，以產生平衡力作用在車輪上，而此平衡力隨著曲線半徑變小而增加。

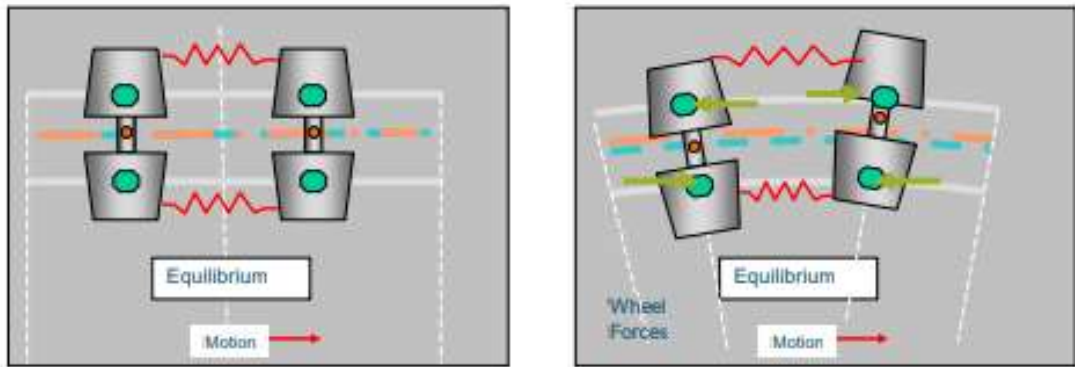


圖 24 轉向架轉向的力量

4. 出軌事故現場調查觀察重點

通常列車事故的調查過程中，需要先瞭解兩個關鍵問題，包括，列車發生了什麼事故及為什麼會發生。尤其在列車出軌事故的調查，我們更需要蒐集列車、軌道的相關數據，進一步利用這些數據進行檢查和分析，同時在車輛動力學模擬中使用這些數據，找出列車出軌的原因。

(1) 軌道表面的痕跡

首先必需瞭解車輪在軌道的痕跡所可能代表的意義。

- 車輪輪緣留在軌道上的長標記，代表列車在運行過程中車輪因為低側向力作用而使車輪爬升，其原因包括：垂直載荷的減少、軌道扭曲或車輛不平衡等因素。



圖 25 車輪輪緣於鋼軌上之長標記



- 車輪輪緣留在軌道上的短標記：代表列車在運行過程中，車輪承受非常大的側向力。



圖 26 車輪輪緣於鋼軌上之短標記

(2) 車輪表面的痕跡

若在現場調查的過程中，若發現車輪外側有尖銳的角時，代表車輪在爬軌過程中也一定在軌道的表面留下痕跡，此時亦需同時注意對向車輪在軌道上所留下的痕跡。



圖 27 車輪於鋼軌上的痕跡

(3) 對軌道所造成的損壞

在列車出軌事故的調查過程中，需特別注意軌道的損壞情形，尤其是軌道是否有斷裂等情況。



圖 28 軌道損壞情形之觀察

5. 出軌事故現場調查作業重點

(1) 繪製現場地理位置



圖 29 繪製現場地理位置

(2) 記錄車輛及車輪損壞情形



圖 30 記錄車輛及車輪損壞情形



(3) 記錄車輛載重



圖 31 記錄車輛載重

(4) 記錄聯結器狀態



圖 32 記錄聯結器狀態

(5) 蒐集車載紀錄器資料

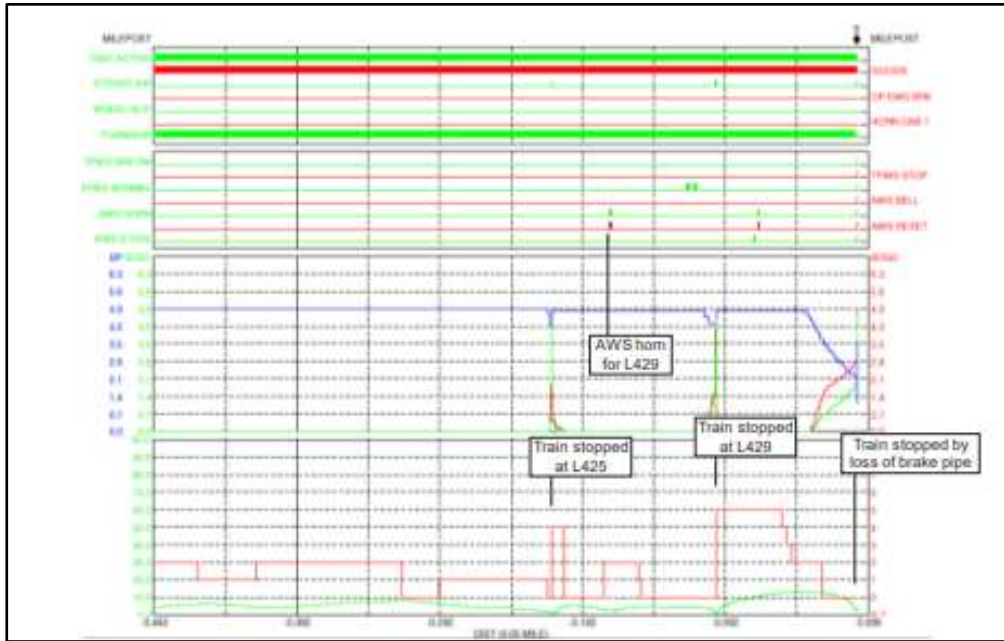


圖 33 車載紀錄器資料

(6) 尋找出軌點

透過在軌道上所找到的痕跡，找出可能的出軌起點並確定第一個出軌的輪對/車輛，後續利用計算確認列車正確の出軌點。

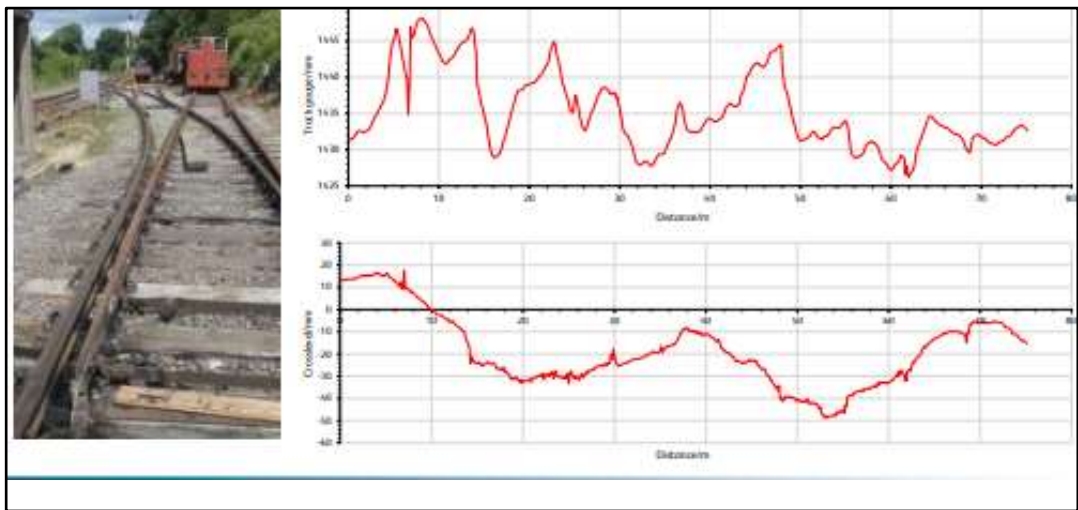


圖 34 列車出軌點尋找

6. 出軌事故現場調查作業程序

(1) 建立從最初出軌到火車停下的事件過程

需要記錄的內容包括現場列車及軌道位置草圖、出軌特徵和觀察結果，利用照片將其詳細紀錄。

(2) 現場調查及測量

- 軌枕間距和距離測量
- 平交道
- 軌道情形
- 軌距
- 軌道平整
- 曲率
- 排水情形
- 導軌線型
- 車輛數據
- 車輪輪廓
- 車輛是否有不符行駛情形
- 車輛負載條件

(3) 找尋出軌點

- 識別出軌的起始點
- 記錄車輪開始爬軌的地方，在該處的軌枕標記軌枕「0」
- 在行駛方向上，以「+」的方式標記，而反向的軌枕以「-」的方式記錄。  
在記錄的過程中，依現場狀況，包括車輛速度、軌道幾何形狀等，通常記錄 100 個軌枕的距離。要特別注意需要盡可能記錄每個車輪的出軌處以及它的出軌路徑，而不只是第一個出軌的車輪。



圖 35 找尋出軌點並在軌枕上畫上標記

(4) 資料紀錄注意事項

將所有筆記及紀錄註明日期和編號，以利瞭解是否有遺失任何資料。在現場記錄的內容，不僅是那些與出軌有關的資訊，其它具有助於定位的資料亦需詳細記錄，以利後續的綜合判斷。例如：

- 軌道接頭、IBJ
- 軌齡和截面，道板/枕木類型
- AWS 磁鐵和周圍設施、號誌設備
- 橋樑和其它設備結構



圖 36 車輛、軌道及相關設施之紀錄

(5) 軌道狀況記錄方式

在軌道上標記時以粉筆畫上標記，然後從兩個不同方向分別開始拍攝，沿途量測每個軌枕之間的距離並記錄細節，不建議使用 GPS 量測軌枕間的距離，因為 GPS 對於短距離的量測精準度仍有誤差。



圖 37 軌道狀況記錄

7. 出軌事故可能的成因

(1) 輪緣爬升

- 輪緣爬上軌頭，然後越過軌頭



- 相對於作用在軌道上的垂直力而言，側向力較高
  - 典型成因：曲率、軌道扭曲、嚴重的橫向不規則
- (2) 車輪舉升
- 外力使輪緣尖端提升到軌頭上方，然後越過軌頭
  - 典型成因：軌道障礙物
- (3) 軌道高低差
- 增加軌道之間的距離，使車輪下降
  - 典型成因：鐵道線路扣件故障
- (4) 路線故障
- 鐵道線路故障導致失去導向
  - 典型成因：軌頭斷裂
- (5) 道岔引起的事件
- 因道岔軌道位置或狀況不正確而脫軌
  - 典型成因：列車運行於岔心上、轉換軌道磨損和損壞
- (6) 輪組或懸吊故障
- 輪組或車輛懸吊故障導致失去引導
  - 典型成因：車軸故障、懸吊故障
- (7) 超速
- 水平曲線上產生的巨大側向力導致傾覆
  - 典型成因：超速、空氣動力

## 人為因素

人為因素的分析是應用人文科學以確保人們參與並融入的設計和運營符合安全的要素，這是一項利用強大的方法和學術聯繫，包括解剖學、生理學、生物力學、心理學以及工程科用的運用。人為因素的核心在於實踐系統安全符合人性的需求，以達到以人為本的設計進而促進高度關注人的福祉和社會福利。

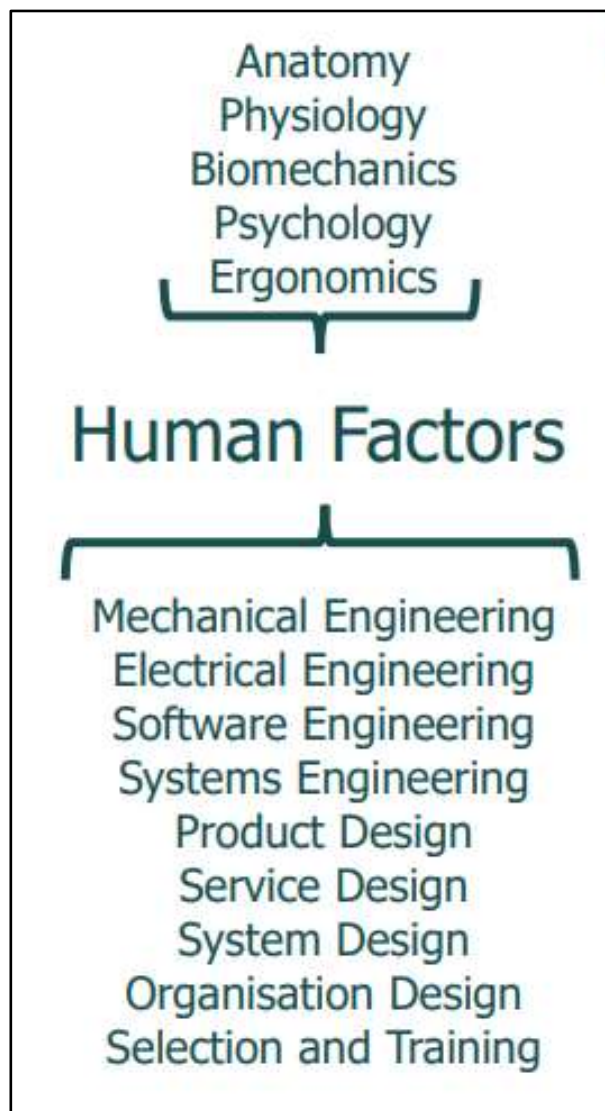


圖 38 人為因素本質

### 1. 人為因素調查的目的

- 確定參與事故的人員的表現或行為如何影響結果，並探究人們為何如此行事
- 將人為因素的理解、知識和科學基礎整合到調查範圍
- 整個系統中，分析人的積極貢獻
- 從人的角度理解為什麼會出現負面結果
- 關注會降低或阻止任何性能或對類似事件產生負面影響的行為

- 關心那些在第一線的人，以及會影響他們在系統操作的因素

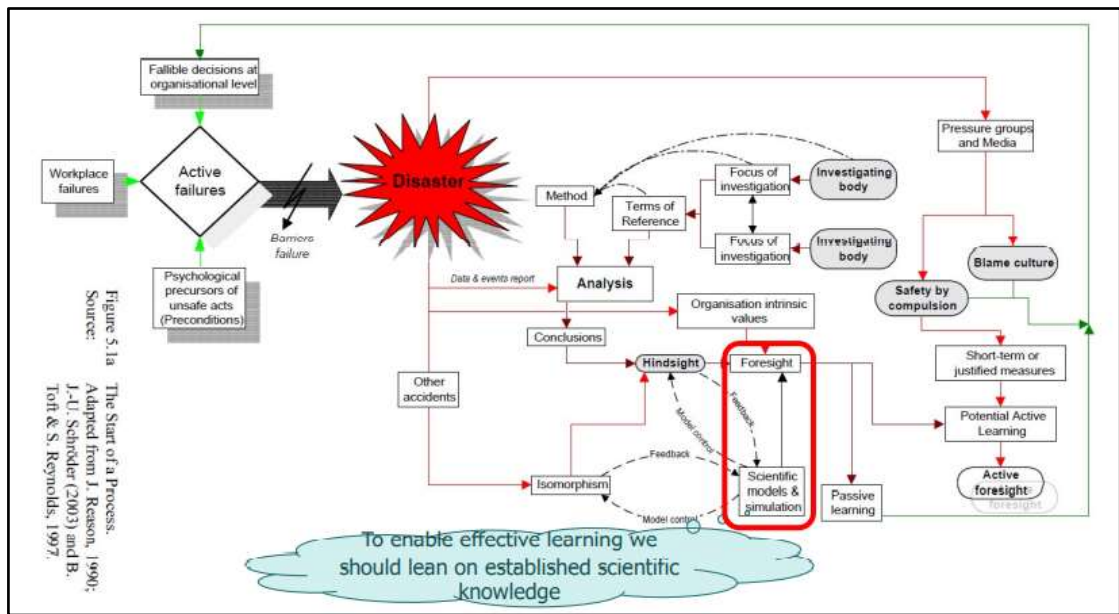


圖 39 人為因素分析

## 2. 執行安全調查可能遇到的障礙

- 組織是被動的，而不是積極主動的，因此可能面臨配合度不高的困難
- 調查過於專注在人員的究責，而非事故的根本肇因
- 不易調查出管理系統的錯誤
- 調查僅在重大事件，不易從小事件探究事故原因
- 組織內可能建議不實施調查
- 不合格的調查人員進入事故現場調查，無法有效蒐集證據
- 缺乏證人
- 未能即時展開調查程序
- 遵循非邏輯的調查步驟
- 依賴未經證實的假設
- 無法寫出完整的報告

## 3. 如何整合人為因素至調查

在從事調查的過程，必須注意三項重要因素，包括人員、工具及程序。

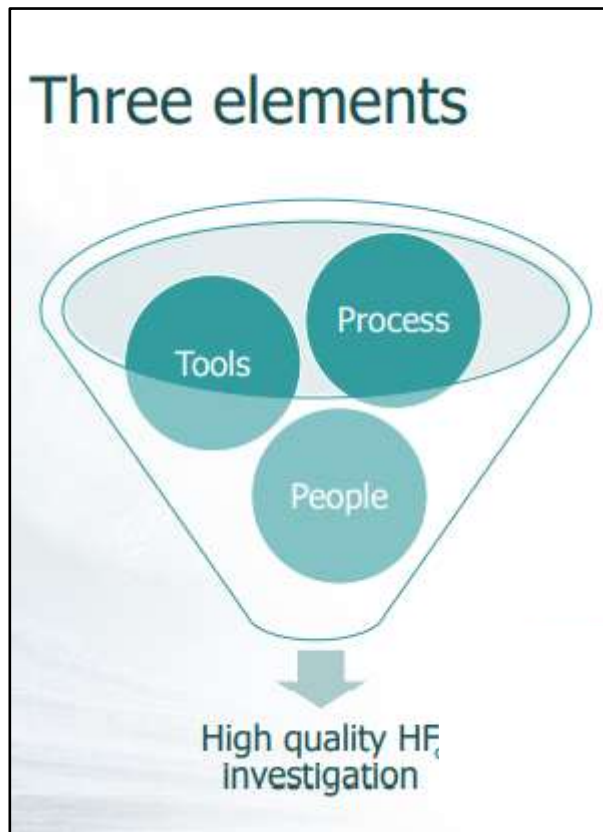


圖 40 事故調查的三大因素

- (1) 程序：為了達到某一目的而採取的一系列行動
  - 必須是有效的
  - 必須要有詳細的計畫
- (2) 工具：為調查提供框架
  - 支持的證據
  - 假設的問題及情境
  - 詳細的訪談計畫
  - 演繹和歸納推理的邏輯
  - 將安全科學和人為因素聯繫起來
  - 確保從證據、安全問題到有效的線索
- (3) 人員：執行調查人員的素質
  - 自己對人了解多少
  - 對自己了解多少
  - 確認自己真的了解「人」之全部本質及經驗

- 必須認知到人為因素是一個專門將人文科學轉化為應用的技術專業。

人為因素的調查是否能順利的進行，取決於調查人員對人為因素的理解，包括調查人員本身的技能、知識及經驗，因此，在從事人為因素的調查之前，必須先確認調查人員自身的資格，而人類一直在發展，從事人為因素調查的人員也應該要與時俱進。

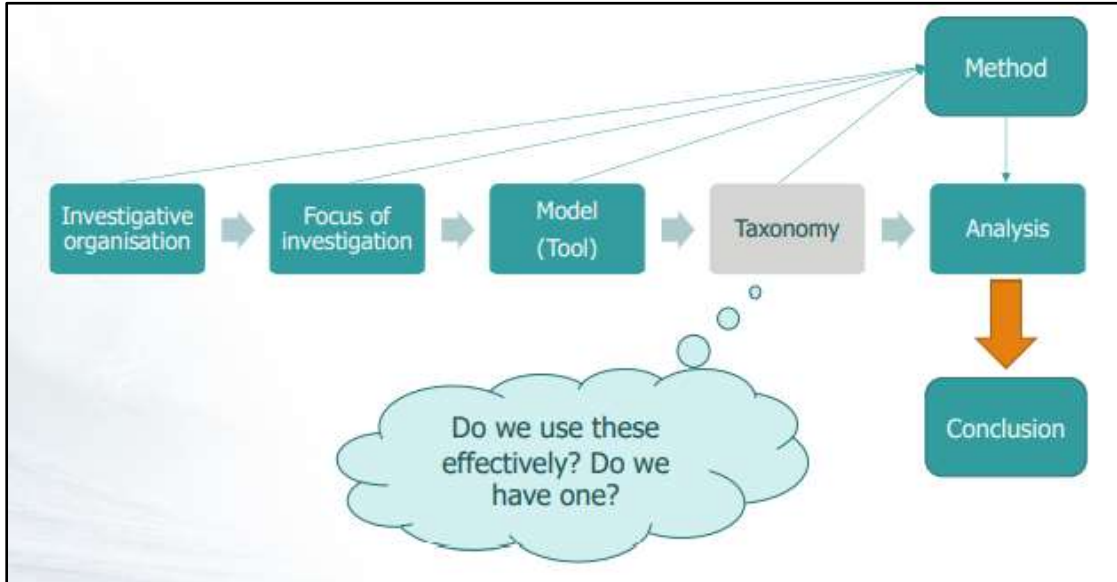


圖 41 人為因素調查的要件

#### 4. 調查中的人為因素的執行

調查員要能從初步的、口頭的和非正式的訪談及資料檢視，思考事故中可能的人為因素，進一步列出關於人為因素調查的大綱，並透過進一步科學研究及實證人為因素影響事故發生的存在性，最後整合調查結果，進入報告階段，包含事實和分析的撰寫。必要時，人為因素的分析若涉及過多專業領域，則需要由專業研究人員協助以利完成整個報告。

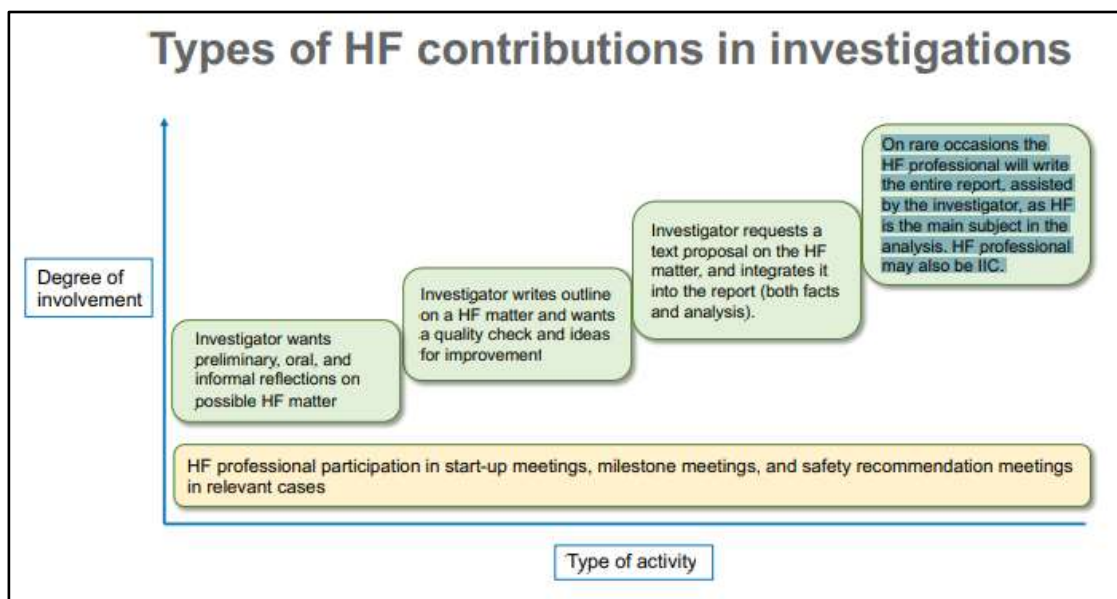


圖 42 人為因素在調查過程中的不同型態

## 5. 人為因素調查原則

如何完整調查事故中存在之人為因素，包括：

- 關注人類的「局部理性」，即人在此一事件中一般會如何處理
- 瞭解自身和他人的偏見
- 避免落入事後論，一昧想像「如果……，會不會……」
- 先確認正常的情況應該如何發展，再開始確認異常狀況的發生結果
- 安全調查主要在調查整個系統，而不是針對個人或是單一組織
- 要能考慮到在複雜系統中的監理及管理單位的角色



圖 43 完整系統的調查

### (1) SUGER 模型

在執行事故調查的過程中，為探討人為因素的存在，可以利用 SUGER 模型，協助調查人員進行人為因素的分析。



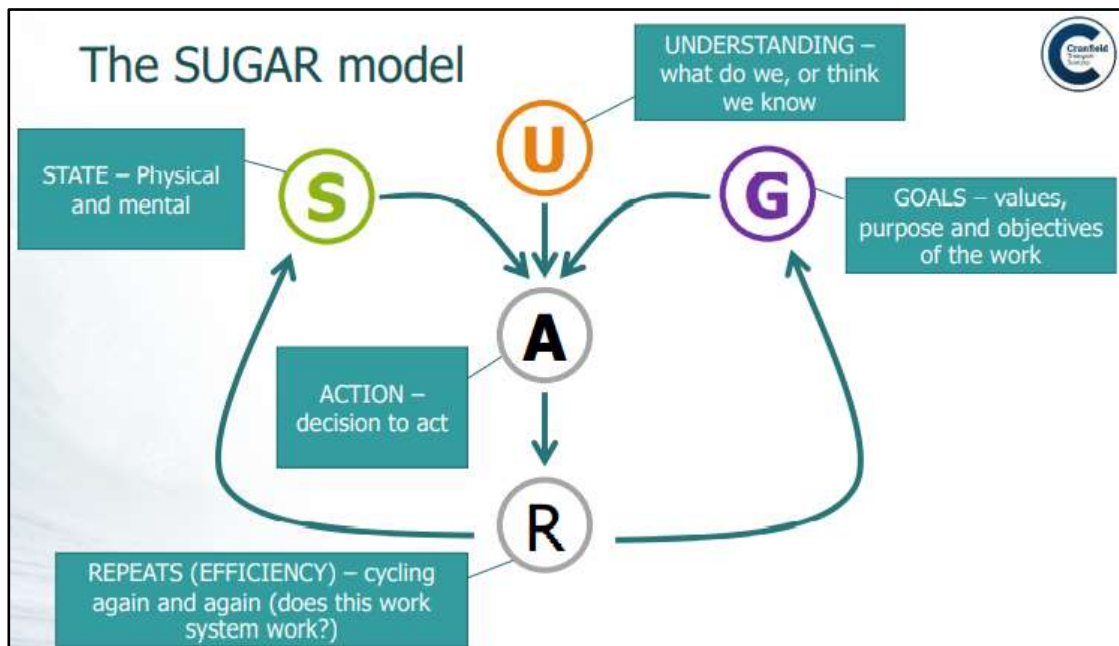


圖 44 SUGER 模型

## 6. 人為因素調查的注意事項

### (1) 瞭解人的理性

- 他們期待什麼
- 個人和團隊想要實現什麼
- 他們打算做什麼
- 他們當時知道什麼 / 面臨的情況

### (2) 利用科學背景

- 理性原則 (Popper 1963): 如果執行者知道其一項行動將導致其目標之一，那麼執行者將選擇該行動
- 情境分析 (紐厄爾 1982): 利用情境邏輯瞭解人類行為

### (3) 處理我們自己的偏見

- 偏見、啟發式和模式是行為的強大驅動力
- 瞭解自身的偏見
- 在實際的生活中保持反思的能力
- 自省自己在團隊合作中的偏見，如我們是否認為 x、因為我們是 y 及我們經歷過 z，所以結果一定是.....。
- 培養專業的超然態度

- 有效地使用流程和工具
- (4) 事故中調查及事後觀察
- 調查人員可能很容易地居於局外人的位置，採取一系列追溯性的調查，輕易導出事故必然的結果，並指出人們哪裡出錯了。這種究責為目的的調查可能無助於防止類似事故的再發生。
- (5) 在異常事故發生前的練習
- 異常事故很少見，一般工作在日常操作都進行的很順利
  - 瞭解任務有利於任務分析的技術
  - 執行者可能是一名專業操作員，但仍必須瞭解上一次工作是什麼時候，有沒有使用過這個特定的設備等。
  - 執行者是「按原樣工作」或是「按預期工作」，這些都是調查員需要瞭解的。
- (6) 建議跳脫原有思維
- 反思自身的行業
  - 瞭解組織的結構，例如監理指導的角色
  - 對人為因素理解的成熟度
  - 行業的性質，屬於非常線性或高度可變和互動的行業
  - 確認調查內容是以責備還是以學習為重點
  - 確定可用的人為因素資源
  - 看看你自己的學習—瞭解自身有什麼人為因素知識
  - 如何將人為因素整合到調查中



## 輕軌系統事故調查

輕軌是一種城市軌道交通系統，沿線使用電動軌道車，由地面、空中結構、隧道或偶爾在街道上的專有通行權。輕軌操作全部皆在信號的控制下，目前英國的輕軌系統有全自動列車保護。

顧名思義，「輕」一詞是指在不那麼嚴格的一組操作規定下進行的操作，以比重型鐵道使用的速度更低的速度運轉且使用更輕的設備。有軌電車系統運營公司提供的服務，通常是建在街道上，與其他運具共享道路，但可能包括專用路權，特別是在較新的輕軌系統。許多較舊的有軌電車系統沒有專用路權，因此可以與其他形式的運具和行人同時使用街道。

### 1. 輕軌列車典型特徵

- 駕駛員位置通常位於中央
- 駕駛室的能見度通常很好
- 非空間大及功能複雜的駕駛室
- 各種警告聲，如鈴、喇叭等
- 配有大燈
- 列車制動功能
- 兩端皆有駕駛室
- 車門通常由駕駛員控制
- 依駕駛目視操作
- 有道路交通和行人的街道
- 速度<100 公里/小時
- 配有車輛控制/監控系統（SVC）
- 配有車輛數據紀錄器/秒
- 配有車上閉路電視
- 站立乘客比例高
- 低車底設計
- 全車通道可連通

### 2. 傳統的輕軌系統-Manchester Metro Link 為例

Metrolink（也稱為曼徹斯特 Metrolink）是電車/輕軌，為英國大曼徹斯特的鐵道系統。該系統是大曼徹斯特交通局（TfGM）和 RATP Group 在共同營運和維護的輕軌系統，2015-16 年間，運量達 3430 萬人次。

該輕軌路網由七條線組成，從曼徹斯特市中心到 Altrincham、Ashton under-Lyne、Bury、East Didsbury、Eccles 及 Manchester 的終點站機場和羅奇代爾，Metrolink 有 93 個站，全長 57 英里（92 公里），採標準軌距軌道為英國最大的輕軌系統。

該輕軌系統與其他交通系統共享的街道軌道的混合組成，保留的軌道部分，與其他交通系統分開，為透過改建舊有的鐵道路線而成。

### 3. 軌道及車輪介面的特徵

- 採平底或凹槽導軌
- 採用板式或有碴軌道
- 採混凝土、鋼、木頭枕木
- 在街頭運轉沒有傾斜面
- 速度通常 < 100km/h
- 軌道也可包括路用道路



圖 45 輕軌軌道與一般路面混合使用

### 4. 車輪和軌道的介面

這種軌道被稱為槽式軌，槽內有軌頭一側和輔助導軌側壁另一邊。輔助導軌沒有重量，但可以作為檢查軌。

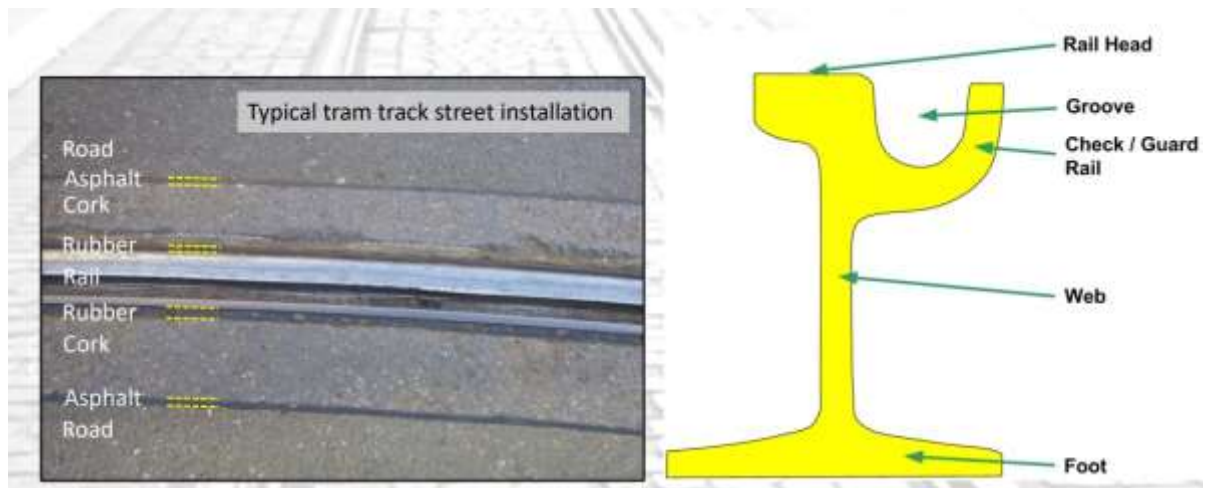


圖 46 槽式軌道設計

## 5. 軌道及車輪調查重點

### (1) 軌道和輪軌接口（槽軌）

- 槽內被易異物填滿，增加車輪爬出的風險
- 急彎增加彎角處軌道磨損，亦會增加車輪爬升風險
- 可能增加出軌後的運轉距離，因為出軌的列車仍可在道路上移動
- 行駛至道岔及橫渡線交會處之風險與一般鐵道線路相比無異

### (2) 平底輪緣

- 可能會騎上在軌道溝槽中的異物
- 因切割效應，出軌點可能更明顯
- 但軌頭上的後續標記可能不太明顯
- 車輪潤滑可能很關鍵—對軌頭取樣以獲取潤滑證據

## 6. 煞車系統調查重點

電車煞車的調查重點，首先需記載車載紀錄器數據，將紀錄器資料完整下載。

- 觀察接近事故/碰撞處時，列車的加速/減速情形
- 煞車把手放置的位置
- 煞車的時間和距離
- 採取何種煞車段位
- 考量煞車延遲效果
- 司機的操作情形

- 數據紀錄器校準和準確性
- 事後可採取煞車測試，模擬事故情況
- 數據紀錄器數據調查與事件的相關性
- 軌道/軌頭上的標記（應包括任何標記）
- 任何噴砂應用的情形
- 是否有曲度及超高的情形產生
- 若是使用磁力煞車，應調查磁軌的作用情形
- 具有高減速度的煞車可能會增加站立乘客的風險
- 電車的煞車性能不佳時，有產生追撞車的風險



圖 47 磁力煞車及磁軌

#### 7. 架空供電系統調查注意事項

- 懸吊線支架是否有定期檢查和評估強度
- 張力失效的電線，會對行人造成潛在危險
- 移位的電線可能仍然帶電，並對公眾和調查人員構成風險，在進行調查之前要先進行接地
- 集電弓可能勾住電線的錯誤一側

- 大風可能會影響電線的穩定性
- 冰可能會導致電氣接觸不良



圖 48 架空系統

#### 8. 集電靴供電系統調查注意事項

- 在調查開始前先將集電靴在檢測前脫下一段時間
- 集電靴的設計可能不良容易造成損壞頻率高
- 服務容易受到影響，直到恢復運轉、返回基地或側線才可解除
- 乘客可能不得不在軌道上疏散
- 集電靴完全脫開時容易增加出軌風險
- 如果集電靴高速脫落會對行人產生風險
- 集電靴脫離後，恢復電車運轉可能很困難
- 導致集電靴失效的軌道不規則性可能難以檢測
- 檢查集電靴是否有接觸或衝擊損壞
- 檢查電車路線是否有可能發生集電靴故障的跡象
- 將車載數據紀錄器下載，確認電源是否出現故障或變得不正常
- 確定機車車輛損壞的程度
- 檢查集電靴分離的故障模式
- 檢查集電靴組件的維護紀錄



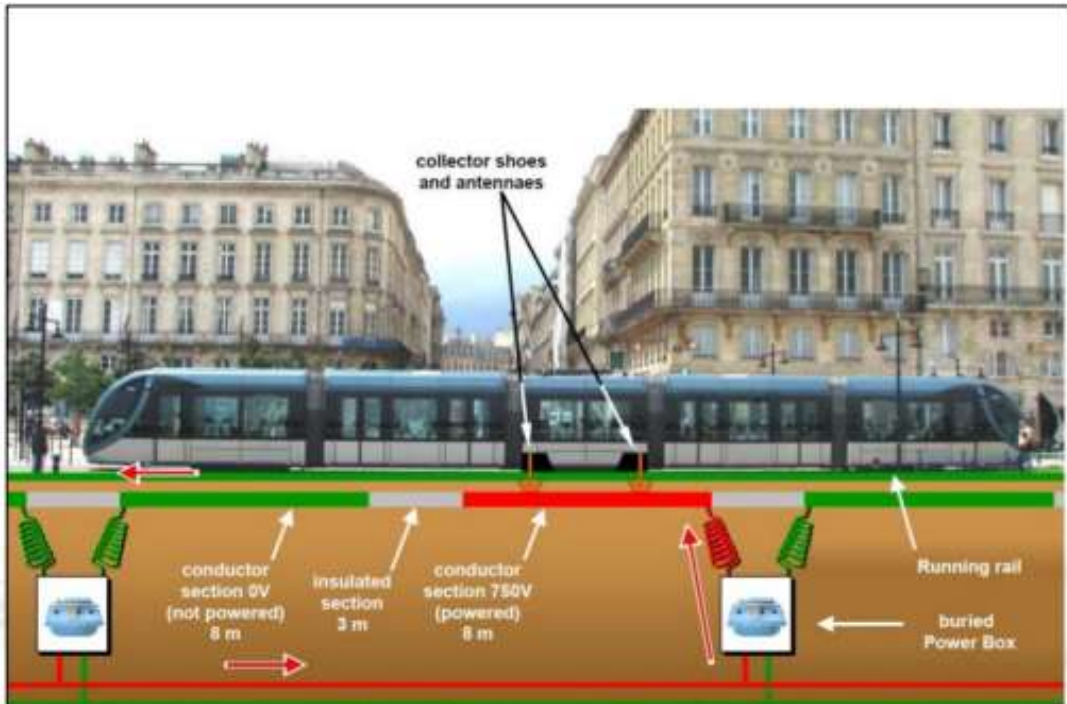


圖 49 集電靴與隱藏式供電系統

#### 9. 電力故障的調查注意事項

- 電氣風險問題
- 電池故障，容易有火災和爆炸風險
- 接地或損壞的電池，可能對調查人員及行人在緊急情況下產生風險
- 確保在詳細調查開始前隔離電源



圖 50 輕軌電車於車站充電

10. 冒進號誌的調查注意事項

- 駕駛是否有使用毒品和酒精
- 駕駛班表、疲勞指數和生活方式
- 駕駛能力和訓練紀錄，包括路線知識等
- 駕駛過往的運轉紀錄，包括之前是否也曾有冒進號誌情形等
- 駕駛室的設計是否容易使駕駛分心
- 冒進號誌的實際情況和背後的原因
- 車載數據紀錄器資料下載
- 通訊錄音紀錄下載
- 駕駛冒進號誌時的應變及處置
- 號誌回放紀錄
- 擋風玻璃清晰度
- 號誌顯示的準確性

11. 開錯車門的調查注意事項

- 駕駛員的訓練紀錄和操作能力

- 駕駛班表、疲勞指數和生活情形
- 任何接近車站可能使駕駛分心的因素
- 駕駛在車站的作業程序
- 車站位置的設置
- CCTV 影像下載
- 車載數據紀錄器資料下載
- 錯開車門的位置
- 確認車門開啟的可能性
- 駕駛室的布設是否符合人體工程學
- 其他有可能的設計因素

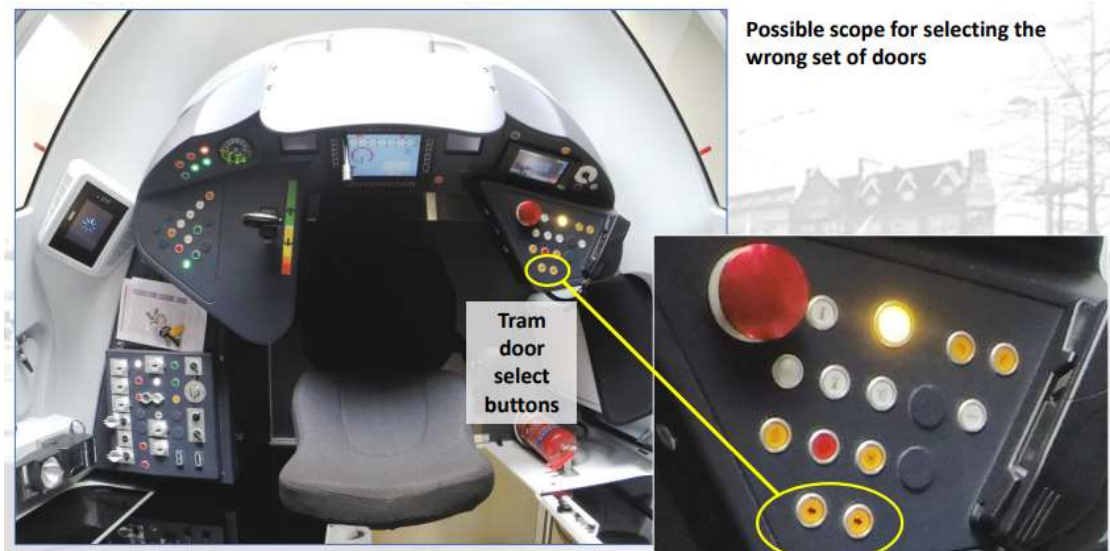


圖 51 輕軌車輛駕駛室操作面版

## 12. 乘客受困事件的調查注意事項

- 駕駛是否有使用毒品和酒精
- 駕駛員能力和訓練紀錄
- 駕駛班表、疲勞指數和生活方式
- 車站詳情和電車車輛停靠的位置
- 電車門關閉機制、系統的評估和運行
- 評估對乘客所造成的任何傷害
- 疏散乘客和後續的處理程序
- 車門障礙檢測機制，包括操作和功能



- 以前類似事件的紀錄
  - 乘客的傷害的程度
  - 乘客的姓名和詳細資料
  - 面談證人的詳細資料
  - 下載 CCTV 影像資料
13. 與道路車輛碰撞事故的調查注意事項
- 駕駛是否有使用毒品和酒精
  - 駕駛員能力和訓練紀錄
  - 駕駛班表、疲勞指數和生活方式
  - 事故發生的時間和地點
  - 車輛的相關位置
  - 軌道及平面道路的狀況
  - 天氣和能見度
  - 街道照明條件
  - 號誌及標示牌
  - 碰撞所產生的擦痕
  - 路面標記
  - 車輛碎片的位置
  - 交通/電車號誌狀態和可見性，包括顯示的順序
  - 監督車輛控制系統的運作
  - 評估電車損壞程度
  - 電車煞車性能
  - 電車擋風玻璃清晰度
  - 電車喇叭/鈴功能
  - 電車照明狀態
  - 電車乘客受傷情形
  - 對電車服務的影響
  - 下載電車車載數據紀錄器資料
  - CCTV 資料下載

- 評估道路車輛狀況
- 關於道路車輛駕駛的資料
- 證人姓名和詳細資料



圖 52 電車與道路車輛碰撞

#### 14. 與行人碰撞的調查注意事項

- 駕駛是否有使用毒品和酒精
- 駕駛員能力和訓練紀錄
- 駕駛班表、疲勞指數和生活方式
- 事故發生的時間和地點
- 天氣和能見度，是否有太陽強光
- 街道照明條件
- 電車駕駛和行人碰撞之目擊者
- 行人/電車號誌狀態和可見性，包括顯示的順序
- 評估電車損壞程度
- 電車擋風玻璃清晰度
- 電車喇叭/鈴功能是否正常
- 電車照明狀態

- 行人碰撞後之受傷情形
- 後續可能產生對行人傷害的風險
- 與道路設施布設的影響
- 行人對接近電車的能見度
- 對電車服務的影響
- 電車車載數據紀錄器下載
- CCTV 資料下載
- 行人詳細資料
- 證人姓名和詳細資料



圖 53 電車與行人可能碰撞

## 自動控制系統事故調查

### 1. 自動列車控制定義

#### (1) ATC 系統

自動列車控制（ATC）是一種集成信號系統，可確保列車的安全運行。ATC 集成了位於車載和道邊的各種子系統，除了完整的聯鎖系統，一個完整的 ATC 系統是由三個子系統組成：(i) ATP，(ii) ATO 和 (iii) ATS。

#### (2) ATO 系統

自動列車運轉（ATO）系統完全執行列車運轉功能，包括確保列車平穩加速到運行調速、調速，使列車平穩停在站台或站台前的適當位置停止信號，由無人駕駛系統的組成。此外，車載 ATO 子系統會隨時向行控中心報告車輛狀態。

#### (3) ATP

自動列車保護（ATP）是負責信號，使列車能安全運行的 ATC 子系統。它對列車控制速度限制，既要保持它們之間的安全運行距離，又要符合安全和速度要求。ATP 系統被設計為一個失效自趨安全的重要系統。

Grade of Automation	Train Operation	Setting train in motion	Driving and stopping train	Door closure	Operation in event of disruption
GoA 1	ATP with Driver	Driver	Driver	Driver	Driver
GoA 2	ATP and ATO with Driver	Driver / Automatic	Automatic	Driver	Driver
GoA 3	Driverless (DTO)	Automatic	Automatic	Attendant / Automatic	Attendant
GoA 4	Unattended (UTO)	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic

ATP: Automatic Train Protection  
ATO: Automatic Train Operation  
DTO: Driverless Train Operation  
UTO: Unattended Train Operation

圖 54 各安全系統自動化等級

### 2. 自動列車運行的主要特點

- 在基地可執行自動列車調度
- 列車系統與行人和道路交通設施有區隔
- 可執行自動列車控制
- 通常沒有駕駛或列車乘務員在車上進行列車控制

- 必要特，可採就地/手動列車控制能力
  - 用於乘客管理的車載公共廣播（PA）系統的設置
  - 月台門（PSD）的設置
  - 自動收費系統（AFC）的設置
  - 服務結束時可自動返回基地
3. 自動列車控制系統的優勢
- 可採用更短的班距
  - 更可靠的時間表
  - 降低人員成本
  - 可不需要駕駛室
  - 增加乘客乘載數量
  - 降低車輛的成本
  - 減少維護需求（如降低磨損）
  - 優化能源使用
  - 可採用可移動的閉塞區間
  - 可進行路徑自動設定
  - 完全受保護的雙向運轉
  - 最少的軌道道旁和路旁設備
4. 自動列車控制系統的挑戰
- 維修時間帶到運營時間帶的轉換可能更具挑戰性
  - 維修排程的安排需更精準
  - 某些列車運行可能仍需要列車駕駛或列車服務員
  - 不易保持列車駕駛及乘務員的能力
  - 不易修改和擴展鐵道基礎設施
  - 需要更依賴車載和基礎設施及閉路電視
  - 用於故障管理的車載和軌道旁數據記錄顯得更重要
  - 軟體版本的控制更顯重要
  - 更精細的乘客管理系統，包括面對運營時的緊急情況
  - 控制中心（OCC）和乘客通訊的建立需要更重視



- 控制中心（OCC）與車載人員的溝通更顯重要
- 乘客和員工安全
- 營運時間帶故障將使暫停營運的範圍擴大
- 軌道異常問題較難發現
- 對軌道基礎設施檢查和維護需要有更高的要求
- 需更複雜的車站基礎設施
- 通常要求在服務開始前進行巡軌等列車操作



圖 55 自動列車控制系統

5. 列車運轉軌道與行人和道路交通分離的優缺點
- 減少人員及異物侵入的可能性
  - 減少人為刻意的破壞行為
  - 減少與道路車輛碰撞的風險

- 能夠有更短的班距
- 可提升列車運行速度
- 可能需要高架或地下車站
- 高架和隧道部分成本高昂
- 可能會增加乘客疏散的風險



圖 56 列車運轉軌道與行人和道路交通分離

6. ATC 系統的可靠性與安全性等級

自動列車控制系統的某些（但不是全部）組件/功能系按照 SIL 4 等級的要求製造、安裝和運行。

SIL level	PFH	PFH (power)	RRF
1	0.00001-0.000001	$10^{-5} - 10^{-6}$	100,000–1,000,000
2	0.000001-0.0000001	$10^{-6} - 10^{-7}$	1,000,000–10,000,000
3	0.0000001-0.00000001	$10^{-7} - 10^{-8}$	10,000,000–100,000,000
4	0.00000001-0.000000001	$10^{-8} - 10^{-9}$	100,000,000–1,000,000,000

PFH – Probability of failure per. Hour of operation  
RRF – Risk reduction factor

圖 57 安全完整性等級

## 7. 失效模式影響和關鍵性分析 (Failure Modes Effects And Criticality Analysis, FMECA)

失誤模式效應與關鍵性分析法(FMECA)也叫故障模式、影響及嚴重性分析，是失誤模式與影響分析(FMEA)的延伸，是風險管理的先驅。失效模式與影響分析是一個由下往上的歸納法分析方式，可以分析機能或是零組件。FMECA 是在 FMEA 以外增加了關鍵性分析，將各失效模式的機率對應不同嚴重性的後果來列表，因此會突顯機率較高且有後果較嚴重的失效模式，因此讓失效模式的補救行動可以有最大的效果。

該分析模式創始於 1950 年代美國空軍。該模式本用來試驗戰鬥機駕駛員彈射裝置失效的機率與其主因，經由以負面風險思維反覆測試後，相當有效的提高美國空軍戰機的性能。

不同的 FMECA，其方法論會有細微的不同。根據 RAC CRTA-FMECA，FMECA 一般會包括以下的步驟：

- 系統定義
- 定義基本原則及假設條件，以便進行設計
- 建構系統方塊圖
- 識別失效模式（元件級或是機能級）
- 分析失誤影響/原因
- 將結果放入設計的程序中
- 依失效影響的嚴重度分類
- 進行關鍵性的計算
- 依失效模式的關鍵性排序
- 確認關係項目
- 將結果放入設計的程序中
- 找出失效偵測、隔離以及補救措施



- 進行可維護性分析
- 將分析作成文件，記錄無法修正的設計區域，找出為了減少失效風險需做的特別控制方式
- 提出建議方案
- 針對糾正措施是否實施以及其有效性再進行追蹤

FMECA 可以依機能或是零件來進行，依機能的 FMECA 考慮每個機能方塊失效時的影響，而依零件的 FMECA 考慮每個零件失效時的影響。依零件的 FMECA 所需要的人力較多，但比較可以知道失效出現的機率。相對而言，依機能的 FMECA 比較容易進行，可以有助於完整的風險評估，也比較可以看出其他減緩風險的可能性。

#### 8. 可靠性、可用性、可維護性研究

可靠性、可用性和可維護性研究，它是一種決策，通常用來預測產品、組件或系統的壽命。可靠性被定義為特定條件下，單位時間內成功執行所需之要求的機率。可用性被定義為在軟硬體兼備的情況下，該系統被賦予任務時可用狀態的機率。可維護性則是在特定使用條件下，於規定時間內，完成有效維修的機率。

#### 9. 系統斷電和重啟事件的調查

當系統發生斷電，無論是蓄意或是無意，在重新送電時，所有系統上的列車應該要能立即被系統識別並確認。

系統斷電和重啟時需注意調查事項：

- 事件發生的時間序
- 車載數據紀錄器和 CCTV 資料下載
- 在事故發生之前和之後，OCC 的作業內容
- OCC 內的運營條件及相關規範
- 審查記錄在案的斷送電紀錄和系統重啟的啟動程序
- 送電期間和之後的作業措施，例如巡軌、改派駕駛登車操作等
- 員工訓練紀錄和執行能力的確認
- 訪談關鍵證人
- 如果實施巡軌作業要確認巡軌作業的有效性
- 現有規章程序的有效性

#### 10. ATC 系統控制迴路故障事故的調查

ATC 控制迴路電纜容易受影響，包括：

- 物理性的損壞，尤其是在工程期間的作業造成對軌道的影響
- 外來電磁輻射的影響

- 人為的故意破壞
  - 無線電系統功能的增強可能會造成外部電磁干擾
- 調查注意事項包括：
- 是否所有列車都受此影響
  - OCC 系統運作的時間序
  - ATC 系統日誌 (Log) 的下載
  - 檢查受影響的迴路
  - 其它可能影響迴路運作的物理跡象
  - 過往曾在此區域發生的類似事件紀錄
  - 如果不是明顯的硬體問題，要考慮是否是間歇性的產生
  - EMC/EMI 的問題

#### 11. 車輛控制中心 (VCC) 故障事故的調查

車輛控制中心是關鍵的操作系統，它控制及維持列車運轉的安全，控制中心的電腦系統複雜，通常由三套處理器運轉處理，確保在此系統下，將系統失效的機率降至最小程度。控制中心的故障亦會影響系統覆蓋多個車站，因此，其運作的可靠度相當重要。



圖 58 車輛控制裝置

#### VCC 故障調查注意事項：

- 電源單點故障
  - 子系統機房環境條件
  - EMC 是否正確篩選
  - VCC 故障可能特別難以識別，特別是如果是間歇性的故障
  - 如果故障很嚴重服務可能受到影響
12. 證據可能會受到技術人員的不當嘗試而受影響
- 重新啟動或重置系統，可能會使證據受影響
  - 要下載完整的系統日誌（Log）
  - 近期相關 VCC 的故障事件
13. ATC 系統電氣/電子控制系統故障的調查  
繼電器容易受以下影響：
- 電子控制板可能容易受到電氣、振動、溫度或老化
  - 電子迴路失效
  - 電路板接觸表面污染
  - 灰塵、碎屑或濕氣進入電器設備
  - 可能需要獨立實驗室來進行故障詳細檢查
  - 查閱 FMECA 和 RAMS 的資料
14. 軌道缺陷的調查一直線路段  
調查注意事項包括：
- 軌道是否於焊接處破損
  - 軌道是否因收縮而斷裂
  - 軌道是否受膨脹而產生屈曲現象
  - 軌道波紋的觀察
  - 軌道是否有金屬疲勞現象
  - 維護計畫
  - 軌道溫度
  - 列車可能固定加速或煞車的地點容易產生斷裂現象卻不易被發現
  - 軌道缺陷判斷的準則
  - 軌道測試紀錄，例如超音波檢測紀錄

- 軌道維護紀錄，例如軌道研磨
- 軌道規格設計和材料
- 列車煞車和加速數據
- 應力集中的現象
- 軌頭溫度
- 軌頭輪廓設計值和實際量測值的差異
- 輪緣輪廓設計和實際量測值的差異
- 全軌跡測量，例如量規、傾斜度等
- 列車資料，例如車輪輪廓、轉向架資料及輪軌界面接觸等數據



圖 59 軌道缺陷調查\_直線段

#### 15. 軌道缺陷的調查—曲線路段

為適應城市的街道特性，可能存在緊湊曲線路段  
調查注意事項包括：

- 軌道各機構的完整性
- 軌道因滾動接觸造成的疲勞現象 Rolling Contact Fatigue (RCF)
- 軌道彎角處裂開的可能性 Gauge Corner Cracking (GCC)
- 軌道彎角處過度磨損的情形

- 軌道實際的斜面
  - 是否有設計錯誤的問題
  - 列車通過速度和列車通過頻率
  - 維護人員訓練及技術能力
  - 理論值和實際車輪在軌道上的負載值
16. 軌道缺陷的調查—道岔
- 調查注意事項包括：
- 事件發生的時序
  - 維護計畫中對於道岔保養的程序
  - 是否有駕駛曾回報道岔處異常
  - 人員操作和訓練的紀錄
  - 行控中心的工作日誌
  - 維護及列車通過的頻率



圖 60 軌道缺陷調查\_道岔段

17. 從高架橋上撤離和疏散乘客
- 調查注意事項包括：
- 事故發生的時序
  - 給乘客的訊息和指引是否完整
  - 行控中心的決策及作業程序

- 疏散過程列車和軌道防護的措施
  - 疏散乘客的作業及程序
  - 列車停止運轉/服務的原因
  - 實施疏散計畫
  - 保護故障列車和乘客的措施
  - 疏散人數
  - 老弱及殘障人士的疏散
  - 乘客需步行距離
  - 乘客廣播系統的有效性
  - 旅客疏散離開後的管理
  - 疏散沿線基礎設施對乘客造成的風險
  - 疏散完成後的後續作業
  - 恢復線路正常運轉的作業
  - 是否需要巡軌作業
18. 從隧道撤離和疏散乘客  
調查注意事項包括：
- 事故發生的時序
  - 給乘客的訊息和指引是否完整
  - 行控中心的決策及作業程序
  - 疏散過程列車和軌道防護措施
  - 疏散乘客的作業及程序
  - 列車停止運轉/服務的原因
  - 乘客必須步行到緊急出口樓梯或終點站的距離
  - 沿途指示乘客的標牌是否清楚
  - 隧道內兩側的人行道的空間大小
  - 是否有禁止乘客通行的路線及是否有告示
  - 疏散人數
  - 老弱及殘障人士的疏散
  - 乘客廣播系統的有效性

- 旅客疏散離開後的管理
- 疏散沿線基礎設施對乘客造成的風險
- 疏散完成後的後續作業
- 恢復線路正常運轉的作業
- 是否需要巡軌作業
- 疏散過程列車和軌道防護
- 隧道外部指示標誌是否清楚
- 最近的車站或出口樓梯的距離

#### 19. 隧道通風系統的調查

調查注意事項包括：

- 主電源故障時，是否有不斷電系統的電源備援
- 備用發電機供電
- 控制電路中的單點故障
- 是否可使用手動就地操作通風功能
- 風扇數量是否足夠
- 通風系統因受熱而非煙霧而觸發作動的情形



圖 61 隧道通風系統控制箱



## 20. 於車站疏散人員的調查

- 列車應在受影響的車站前停靠，最好不要於站間停車
- 所有自動閘門應打開
- 完整的緊急疏散程序
- 疏散所有應被疏散的人員
- 電梯應停在受控範圍內
- 自動手扶梯應停止或允許繼續運行，應視當時情況而定
- 管制措施完整確保車站乘客和工作人員的動線暢通無阻
- 車站疏散的原因是什麼
- 離開車站需要多長時間
- 是否有任何人受傷或疏散困難
- 是否疏散完所有應被疏散的人員
- 疏散是否按照規章規定進行
- 相關的車站疏散計畫
- 確認車站人員的能力和訓練紀錄
- 訪談相關車站工作人員



圖 62 於車站疏散人員

## 21. 車上廣播系統的調查

調查注意事項包括：

- 現場廣播在車輛滿載的情形下，人員是否仍可清楚聽到

- 預錄廣播內容的資訊是否完整容易理解
- 廣播系統的控制程序，確保預先錄製的訊息在必要的情形下可被更改
- 行控中心操作員的語音清晰度
- 是否考慮到不同語言的乘客

## 22. 月台門事故的調查

月台門係利用物理方式隔離移動的列車與乘客。

調查注意事項包括：

- 確保空調冷暖氣能保留在乘客區
- 月台門關閉和列車運轉是否有聯鎖作動
- 月台門關閉檢測系統是否正常運作
- 接地及雜散電流是潛在的重大安全問題
- 月台門和面板電氣連接的情形
- 是否有過壓保護裝置並連接至車站結構接地或軌道接地
- 是否有防止乘客觸電風險的措施
- 檢查電氣隔離情況如何橋接
- 檢查過電壓保護設備是否有作動



圖 63 封閉式月台門

## 23. 車站不斷電系統（UPS）事故的調查

調查注意事項包括：

- 注意系統使用壽命時間
- 充電能力可能隨使用時間增加而降低
- 如果養護狀況不佳，則存在重大火災的風險
- 人員可能面臨電解液洩漏的風險
- 如果不正確放置 UPS，其性能可能受影響
- 不當的維護程序和或人員不當的操作
- 電源完整性受到威脅時 UPS 需離線進行維護

## 事故調查模擬實作

本次課程的第三週為模擬實作，以一平交道事故，因列車撞及停於平交道的汽車，造成一人死亡一人受傷為情境，讓學員透過現場調查蒐集資料，安排相關人員訪談及分組進行調查報告撰寫，並提出安全改善建議，合力完成一份完整的調查報告。



圖 64 模擬事故現場地理位置



圖 65 學員於模擬現場調查



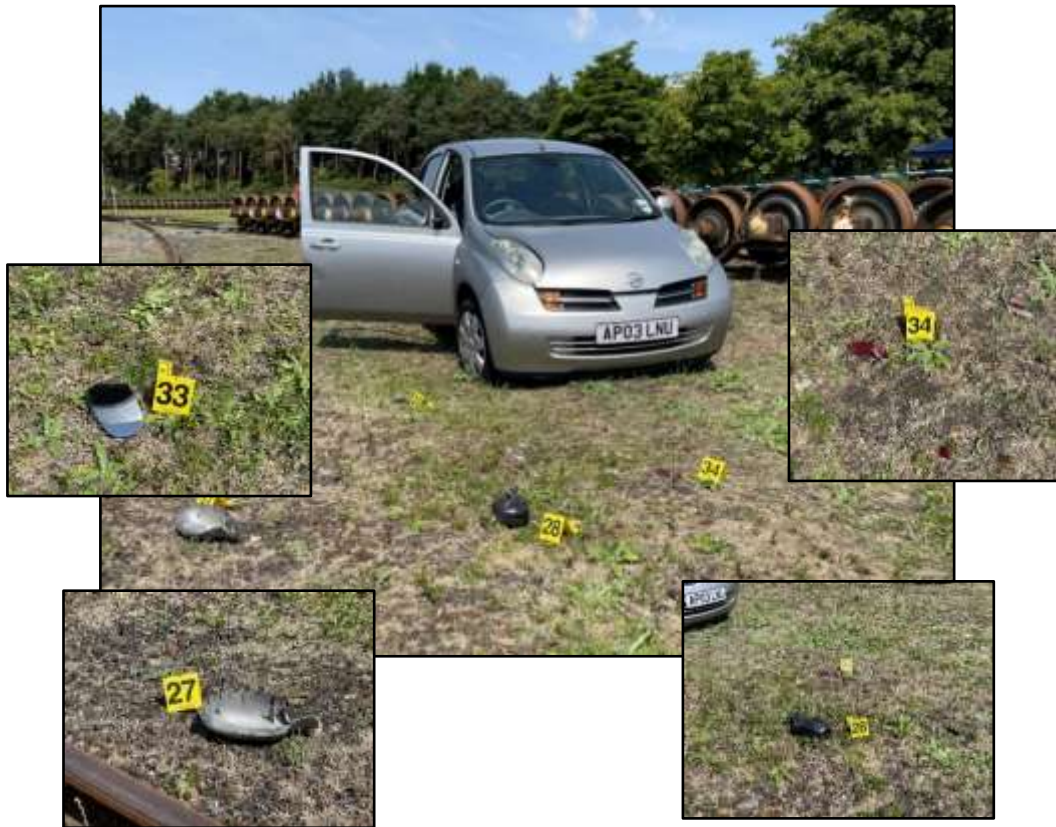


圖 66 模擬現場汽車損壞情形

## 建議

- 1、 配合改制運安會，本會調查業務擴展至鐵道模組，為精進調查同仁在鐵道模組之調查能量，建議日後持續派員參加國際鐵道訓練課程。透過訓練單有系統的訓練課程，可以吸取他國鐵道調查之技術。另於課程期間，參訓人員可和鐵道調查技術及經驗較豐富之其它國家調查員進行交流，可進一步瞭解鐵道調查及分析之重點和方向，對於國內培養鐵道安全調查專業知識之人才有極大幫助。
- 2、 可更積極透過國際交流等方式持續關注其他國家在鐵道事故調查技術、分析方法與工具的變革，瞭解新技術、新方法與新工具對於調查工作成果或效能提昇之助益，透過訓練課程及與其他國家調查員之交流研討，更可有助於調查人員研擬適合我國運用之鐵道事故調查技術、分析方法與工具等改進對策，以期精進、提升我國鐵道事故調查技術與能量。