

出國報告（出國類別：進修\_線上學習課程）

# 德國鐵路學院軌道組件設置與維護 訓練課程

服務機關：國家運輸安全調查委員會

姓名職務：林彥亨/鐵道調查組調查官、  
林釗傑/鐵道調查組副調查官

派赴國家：台灣，中華民國

出國期間：民國 110 年 06 月 07 日至 06 月 10 日

報告日期：民國 110 年 09 月 10 日

公務出國報告提要 系統識別號

出國報告名稱：參加「德國鐵路學院軌道組件設置與維護訓練課程」出國報告

頁數：12 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：汪可欣

電話：(02) 7727-6228

出國人員姓名：林彥亨、林釗傑

服務機關：國家運輸安全調查委員會

單位：鐵路調查組

職稱：調查官、副調查官

電話：(02) 7727-6257

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 視察 6 訪問 7 開會 8 談判  
9 其他

出國期間：民國 110 年 06 月 07 日至 06 月 10 日

出國地區：台灣，中華民國

報告日期：民國 110 年 09 月 10 日

分類號/目

關鍵詞：軌道養護、軌道組件

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，派員參加國外相關機構開辦課程，研習鐵路調查專業知識與技術。本次鐵道調查組派員參加德國鐵路學院為期 4 日，每日 3 小時之線上學習課程，項目包含軌道維修策略、軌道基礎設施常見缺陷之處理、特殊軌結構、特殊型式道岔及補充資料，以提升鐵路軌道組件設置及養護之專業知識。

# 目次

壹、目的.....	1
貳、過程.....	2
參、課程摘要與心得 .....	3
肆、建議.....	11

## 壹、目的

我國於 107 年發生普悠瑪列車出軌事故造成嚴重傷亡，因此政府決議由飛航安全調查委員會改制成立「國家運輸安全調查委員會（以下簡稱本會）」，調查範圍從航空擴大至水路、鐵道與公路重大事故，並於 108 年 8 月 1 日起開始運作。配合機關改制增加聘用人員，本會延續飛航安全調查委員會時期之基礎，派員參加國外相關機構開辦課程，研習鐵路調查知識與技術。鐵道調查組為負責與鐵路及捷運等相關營運機關（構）之重大事故調查工作，為提升運輸事故軌道系統調查能量，故指派人員參加德國鐵路學院開設之線上學習課程，提升軌道組件設置及養護之專業知識。

德國鐵路學院（DB Rail Academy），是一家提供全方位服務的培訓機構，以德國鐵路公司 180 多年的鐵路經驗為基礎，以高質量、全面性的培訓方法為全球鐵路和運輸部門提供訓練服務。完成本次軌道組件設置及維護課程訓練後，將能夠了解維修策略對基礎設施可用度之影響；軌道缺陷發生原因與處理有效性；提升如何分析基礎設施維護需要及執行計畫的能力，改善操作品質及維修步驟。

## 貳、過程

本次訓練課程採網路視訊方式辦理，每日上課 3 小時，上課日期為民國 110 年 06 月 07 日至 06 月 10 日，共計 4 日，課程名稱詳如表 1。

表 1、課程表

日期	時間	課程說明
第 1 天 (06/07)	1500 時至 1800 時	軌道維護策略
第 2 天 (06/08)		軌道基礎設施常見缺陷之處理
第 3 天 (06/09)		特殊軌道結構
第 4 天 (06/10)		特殊型式道岔設置及補充教材

## 參、課程摘要與心得

### 一、第 1 天課程\_軌道維護策略

#### (一)鐵路基礎設施和維護

##### 1. 維護策略簡介

以 1 個採購新車為實例推演鐵路維護策略：一個小康家庭、一對退休老夫妻及一位富有年輕人，同時有個購買新車計畫構想，由於購車預算多寡、車輛維護時間長短，及是否有預防維護措施與規避風險作為…等因素不同，造成不同的維護策略。鐵路維護策略可分為：修復性維護、預防性維護及預測性維護等三大類，其特徵為修復性維護：出現故障後才進行維護、預防性維護：進行定期性維護、預測性維護：機動適時安排進行維護。

##### 2. 影響鐵路效率的因素

鐵路兩個主要功能：基礎設施（軌道及其他相關資產）及營運（列車及相關功能），對於每個功能其成本（初始即運行成本）和收入（從市場和政府）是可分開的。

驅動主要成本和收入因素：成本（含車輛投資、人力資源及資產投資與維護…等等、收入（票價、公共補貼…等等）。

##### 3. 高效率的鐵路系統：

為將收入最大化，將成本最小化，並同時提供所需服務水平之鐵路系統。鐵路系統之成本收入及公共補貼間關係如下圖 1，

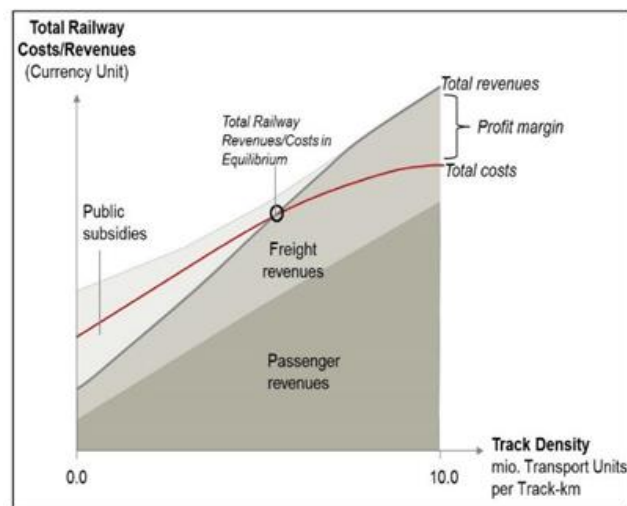


Figure 1: Costs, revenues and subsidies in railway systems  
Source: Swier, Jan

圖 1、鐵路系統之成本收入及公共補貼關係

上圖之縱座標為鐵路總收入及成本(資金)，橫坐標為運能運量，由於鐵路基礎設施之初期建設成本需要龐大經費，故初期需要大量公共補貼經費挹注，後續客貨運量增大後公共補貼就可適時退場，上圖中紅色曲線為總成本，黑色曲線為總收入，兩線交岔處為收支平衡處。

## (二)生命週期管理

1. 生命週期管理：性能和成本之間的權衡，尋求最佳化選擇的決策過程。
2. 鐵路系統之成本包含初始成本、維護費用，及營運成本。
3. 績效包括產品或系統在整個生命週期中產生的所有收入。
4. 量化性能和成本的方法：含生命週期成本法（LCC）及軌道運輸系統保證作業法（RAMS 可靠性、可用性、可維護性及安全性）2 種。
5. RAMS 法，軌道運輸系統的安全要素（可靠性、可用性、可維護性及安全性）。系統保證作業：歐盟針對軌道運輸系統制定安全管理規範如 EN50126、EN50128、EN50129 與 IEC61508 等，其中 RAMS 法即為歐盟軌道規範 EN50126，而臺鐵局的第 1 批 6 輛柴液型車輛調動機之採購，就將 RAMS 法（歐盟軌道規範 EN50126）納入採購契約中。

## (三)維護策略

1. 修復性維護：軌道檢查發現故障立即進行維護至恢復運行狀態、不採用防止故障措施、不做故障預測。適用路線：利用率低、非主要營運路線、複雜性低（較少道岔、橋樑、隧道…等）之路線、故障發生率低之路線。不適用路線：需要高可靠性即可用性之路線、客運路線（發生故障對旅客滿意度會有負面影響）、運量大且為主要路線、複雜性高路線。
2. 預防性維護：依據經驗等排定定期維護，提高該鐵路系統的可靠性。適用路線：定期發生且可預測故障之路線、故障時影響較大之路線、運量較大之路線。不適用路線：故障率低或隨機發生故障之路線、運量低且非主要營運的路線。
3. 預測性維護：也稱為「智能維護」，依據軌道檢查及維護經驗，或設有自動化偵測儀器路線，及可預測故障發生的路線所採用之最佳化維護策略。適用路線：故障發生影響較大之路線、高運量路線、需要高可靠性及可用性之路線、客運路線（發生故障對旅客滿意度會有負面影響）、複雜性高路線。不適用於未裝置自動化偵測故障儀器，且亦沒有預算來裝置上揭自動化偵測故障儀器之路線。
4. 主要國家鐵路基礎設施組織的維護策略：

### (1)德國鐵路主要維護策略：

高運量路線採用預防性維護、非主要營運路線進行修復性維護、道岔等高複雜性路線採用預測性維護。原因：預防性維護雖可提高軌道可用性，但相對也提高維護成本；策略性將部分路線維護修改為修復性維護，雖可降低維護成本，但其亦會降低旅客的滿意度；所以上述的組合性維護策略，以上維修策略是被德國鐵路公司證明為最有效的維護方法。

### (2)美國鐵路主要維護策略：

以修復性維護為主，其主要原因為美國鐵路中貨運量遠大於客運量，及鐵路運輸並非擔負其主力交通運能。

### (3)亞洲鐵路(如日本鐵路等)主要維護策略

採預測性及預防性維護，其原因為其鐵路客運為其主要（力）交通運能，故需要採用此種維護策略。

## 5. 大量投資維護策略

在建制新的鐵路系統時，除應考慮符合 RAMS 法要求外，還應同時考量以 LCC 方式規劃該系統之全生命週期成本；長遠看大量投資（含維護費用成本）是有助於降低營運成本的；最佳化之維護策略取決於該鐵路系統之特定需求而定；一般情況下建議對於運量低，和故障率低的路線採用修復性維護，高運量、高複雜性之路線採用預防性維護是有益的，但未來趨勢是採用預測性維護，因為維護策略是以最佳化方法及手段，將收入最大化和將成本最小化，並同時提供所需的服務水平。

## 二、第 2 天課程\_軌道基礎設施常見缺陷之處理

### (一)道碴管理

在軌道結構安全管理中，必須確保軌道的輪廓完全充實填滿。

1. 道碴之功能：承受軌枕之壓力並分佈於路基，固定軌枕位置、排除軌枕下之雨水、增加軌道彈力及減少灰塵及雜草生長等。
2. 道碴施工時之工作溫度限制 3°C 至 35°C 間。
3. 德國軌道工程施工大量採用機械化作業方式進行，其目的除可減少並有效利用人力資源外，且可大量、更有效率及精確完成施工項目。
4. 道碴機械施工作業車輛（含道碴裝載、運送、卸載、鋪設、砸道、整碴（如圖 2）…等功能）。



圖 2、整碴車

5. 鋼軌運送（如圖 3）、更換、鋪設機械施工作業車輛。





圖 3、運送鋼軌車輛

(二)預力混凝土軌枕（簡稱 PC 枕）缺陷

1. 故障代碼 FS1、FS2、FS3、soF

- (1) FS1：此類之 PC 枕缺陷必須於 12 周內更換完成，此類缺陷 PC 枕間隔至少 3 支良好 PC 枕，及連續此類缺陷之 PC 枕最多不得超過 2 支，如圖 4。

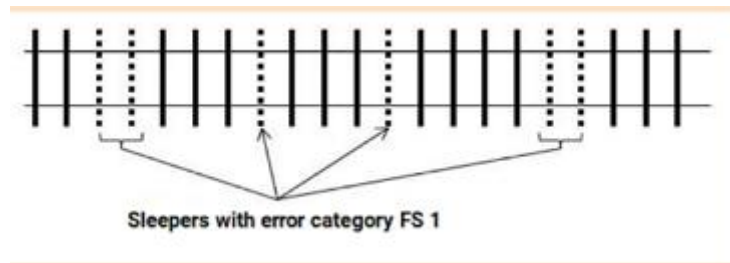


圖 4、故障代碼 FS1\_缺陷 PC 枕分布情形

- (2) FS2：此類缺陷之 PC 枕仍可使用，但會影響該 PC 枕之使用壽命，改善措施：FS2 類缺陷之 PC 枕必須在 24 個月內更換，並於更換前加強檢查和監控其缺陷變化。

- (3) FS3：此類缺陷係屬小的缺陷，長期會影響其使用壽命，但尚無須立即採用更換作為。

- (4) soF：此類缺陷僅屬存在可能影響該 PC 枕使用壽命(潛在輕微缺陷)。

2. PC 枕缺陷種類：

- (1) 縱向裂紋：平行於 PC 枕軸線的裂紋，其造成原因為螺絲位置錯誤、螺栓孔中有顆粒、螺栓變形，改善措施為更換固定扣件、持續裂紋監控。

- (2) 固定螺栓旁裂紋：從固定螺栓孔引起的裂紋，其造成原因為張力過大、螺栓孔中有顆粒、螺栓變形，改善措施為加強裂紋監控。
- (3) 橫向裂紋：與 PC 枕軸線成 90° 角的裂紋，其造成原因為 PC 枕下方支撐不足、作用力造成過大應力，改善措施為持續裂紋監控、檢查 PC 枕下方支撐區域、檢查相鄰 PC 枕。
- (4) 垂直裂紋：PC 枕縱向垂直面的裂紋，其造成原因為預力鋼索間擾動、製造 PC 枕施預力時，混凝土抗壓強度不足，改善措施為持續裂紋監控、檢查 PC 枕下方支撐區域、檢查相鄰 PC 枕。
- (5) 軌枕端部裂紋：裂紋位於 PC 枕端部及施預力位置，其造成原因為製造 PC 枕施預力過程的不當，改善措施為持續裂紋監控、檢查相鄰 PC 枕。
- (6) 網狀裂紋：裂紋呈網狀，其造成原因為 PC 枕製造過程混凝土成分錯誤，改善措施為持續裂紋監控、利用敲擊聲音評估混凝土狀況。

(三)PC 枕更換：

- 1. 建議缺陷 PC 枕更換 5 支以下可由人工進行更換，大量缺陷 PC 枕更換施工建議使用專用機械施工，更換 PC 枕後需配合進行補碴及夯實整碴作業。
- 2. 軌枕更換機械施工作業車輛，軌枕更換工具如圖 5 及圖 6。



圖 5、軌枕更換機械施工作業車輛



圖 6、軌枕更換專用工具

### 三、第 3 天課程\_特殊軌道結構

主要介紹包含防脫護軌、導引軌、支撐軌及補強軌等四種特殊軌樣式。

#### (一)功能摘要

防脫護軌為防止列車在橋樑上脫軌。導引軌為利用承載元件去防止列車脫軌。支撐軌被用來降低外軌橫向力及磨耗。補強軌被選擇用來增加抗扭力或在平交道上。

##### 1. 防脫護軌

目的主要為確保列車車輪能保持在鋼軌接觸面上。一般防脫護軌與鋼軌間隙維持在 80 公厘，並使用在列車運行幾何線形或橋樑結構上。

##### 2. 導引軌

目的為利用在鋼軌軌距側加裝護軌，確保列車運行方向之正確性。

##### 3. 支撐軌

通常設置在曲率半徑小於 300 公尺之軌道線形上，且用來減少曲線段外側鋼軌的磨耗，並藉由支撐軌與車輪的接觸來進行導引列車方向。支撐軌一般與鋼軌設計間隙為 60 公厘。

##### 4. 補強軌

為增加軌道的結構強度，通常被安裝在分離式軌枕、平交道、有碴式及無碴式道床傳遞區間、轉轍器及軌道橋樑銜接處，其額外的功能為緊固道碴，但其缺點道床兩鋼軌間使用空間變小，不易整碴。

#### (二)道岔結構設備

德國鐵路公司在道岔結構使用單一樣式軌枕，軌枕間隔需大於 500 公厘，以滿足整碴機械設備的使用，轉轍器定位須具備高可靠度，道岔使用軌枕不允許有軌枕交錯放置的方式。

### 四、第 4 天課程\_特殊型式道岔及補充資料

克羅梭道岔，為新的道岔結構型式，主要可以提高列車通行的速度，其曲線段增加線性長度，並減少列車變換運行路線時的顛簸。

#### (一)道岔型式

德國鐵路公司將道岔編號項目分為道岔樣式、使用之鋼軌類型、分岔線曲率半徑、岔心角度、岔心型式、左/右開道岔、轉轍器型式及軌枕，其中轉轍器可分為撓性鋼軌、撓性彈簧及可動式岔心轉轍器型式，軌枕材質有混凝土、枕木、無碴式及鋼枕。曲率半徑分佈由 190 公尺至 7000 公尺，允許車速範圍由 40 公里/時至 200 公里/時。

針對軌道結構可分為道岔、岔心及岔尖等三個部分，道岔包含直線式及曲線式兩種。

##### 1. 岔心結構

有提供三線運轉的單交叉道岔，及提供四線運轉的雙交叉道岔，主要

藉由尖軌的變換，調整列車運行的方向。針對高速鐵路，道岔區岔心採用連續性鋼軌型式，使列車轉向架車輪貼合鋼軌以降低磨耗及提高車速。

## 2. 道岔防爬裝置

目的為防止道岔尖軌因輪軌接觸行為或環境溫度升高造成鋼軌移位，德國鐵路公司設計縱向防爬裝置與鋼軌間隙 7 公厘。

## 3. 道岔組件施工

德國鐵路公司對於道岔組件安裝方法，是先將道岔本體及混凝土軌枕在工廠組立後，利用工程車放置模組化道岔，並且將運送平台以斜撐方式放置，避免因軌枕長度過大侵入動態包絡線內，如圖 7。另外轉轍器設置位置因考量軌道砸道車施作便利性，而採取中空式軌枕設計以容納轉轍器連桿機構。



Source: Matisa

圖 7、道岔模組化運送工程車

## 4. 特殊道岔結構

德國鐵路公司為了改善列車行駛因為車廂橫向慣性所造成的偏搖現象，減少車輪與尖軌的磨耗，同時提升乘客舒適性，而採用在道岔岔尖前軌距加寬 15 公厘的方式進行設計。

## 5. 伸縮接頭

其功能為吸收鋼軌縱向伸長量，結構由鋼軌和可縱向移動的軌道組成，長度變化主要由熱膨脹或橋上動態重量引起(如列車加減速)，德鐵公司規定伸縮接頭須安裝在混凝土橋樑、組合橋樑大於 90 公尺及鋼橋大於 60 公尺。

## 6. 維修作業

德國鐵路公司規劃軌道維修作業，採用微軟專案軟體 Project 進行作業排程管理，將作業項目與時間排程進行結合，以管控實際作業是否符合預期進度，並且會進行成本計算，包含出動人力、機具設備及材料費用，維修方式採中斷營運及路線封鎖方式執行，確保施工安全，人員採雙班制輪班進行作業，以現行捷運換軌方式，需考量營運不中斷前提下，利用非營運時間 3 小時進行維修作業，這與臺灣的維修方式有所不同。



## 7. 改進式軌枕

德國鐵路公司為了改善有碴式道床軌枕震動問題，在混凝土枕下方膠合減震墊，以吸收車輪運行的震動量，改善不同道床結構接續問題，且可降低維護成本，使用壽命提升 30%，如圖 8。



圖 8、改進式軌枕樣式說明

### (二)補充資料

#### 1. 道岔尖軌缺陷成因及改善方式

德鐵公司對於道岔尖軌，利用斷面規檢核尖軌磨損情形，不符規範的位置採取手工研磨方式整修。

#### 2. 尖軌缺陷成因

尖軌或基本軌磨耗、尖軌損壞，修復道岔脫軌危害因子包括減少尖軌磨損痕跡、確保輪軌接觸角 $>65^\circ$ 、移除岔尖銳角及岔尖或基本軌剝落現象。

## 肆、建議

本次參與德國鐵路學院軌道基礎課程\_軌道組件設置與維護，內容充實且獲益良多。課程內容介紹包含軌道維修策略定義及世界各國維修現況、軌道組件包含道岔、鋼軌及軌枕缺陷態樣及判定方式，及軌道養護自動化設備介紹，建議可提供作為國內營運機關軌道養護作業及缺陷判定之比較及參考。

## 參加「德國鐵路學院\_軌道組件設置與維護訓練課程」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：林彥亨/林釗傑

出 國 地 區：台灣，中華民國

出 國 期 間：民國 110 年 06 月 07 日至 06 月 10 日

報 告 日 期：民國 110 年 09 月 10 日

### 建議事項：

	建議項目	處理
1	課程內容介紹包含軌道維修策略定義及世界各國維修現況、軌道組件包含道岔、鋼軌及軌枕缺陷樣態及判定方式及軌道養護自動化設備介紹，建議可提供作為國內營運機關軌道養護作業及缺陷判定之比較及參考。於 110 年 7 月 9 日舉行本課程之心得分享簡報，並邀請交通部鐵道局、臺鐵局及會內同仁參加。	<input checked="" type="checkbox"/> 已採行 <input type="checkbox"/> 研議中 <input type="checkbox"/> 未採行