

壹、 出國考察依據及目的

一、 出國依據

應英國貿易文化代表處邀請，經交通部98.7.29交人字第0980007005號函暨臺灣鐵路管理局98.8.3鐵人二字第0980020666號函同意「赴英國考察鐵路營運管理系統與軌道相關產業發展現況」。

二、 考察目的

臺鐵潛在面臨來自國道、高鐵及捷運等運輸市場的激烈競爭。值此獨占優勢不再、客貨運能逐漸下滑之際，臺鐵正試圖運用環島路網及站區立位之優勢，逐步釐出最適切的市場定位與區隔，並著手研訂營運績效指標，併同環島安全效能提升計畫之推展，整合既有資源，以期提升整體運作可靠度，提供更優質的服務品質、強化競爭力，為臺鐵未來轉型找尋出路。

英國鐵路民營化後，同樣面臨營運績效與服務品質不佳的難題。尤其民營公司為節省成本、精簡人力，長期忽略基礎建設與設備投資的結果，引發大眾對安全的不信任。雖說現代鐵路已因科技發展而日益安全，但英國政府基於鐵路只要開門營運安全問題就會存在的認知，於2005年鐵路法規定，每五年為一期，運輸大臣必須逐期擬定未來的改善計畫，並於2007年發表鐵路白皮書，以永續發展為核心策略，明訂傷亡率降低3%、可靠度提升25%、容量增加22.5%的具體改善指標，顯示英國政府對鐵路持續改善的堅持與決心。

近年來臺鐵引進了先進的行車保安設施，整體安全性已有更深一層的保障。然而除此之外，鐵路系統的另類關鍵指標就是可靠度與運輸能量，從旅客的觀點來說，就是「準點率」與「便捷率」。長期而言，大眾對「準點」與「便捷」的感受更甚於「安全」，且要求的標準只會與日俱增。參考國外經驗，欲達成鐵路系統等值等量提升的目標，須借助監控能力與應變機制，才能隨機適時調整至最佳化之定位；毫無疑問，這顯然須仰賴科技化的即時訊息傳遞與自動化電腦的資訊管理來實現。因此，此行考察目的即鎖定英國鐵路營運管理與行車控制系統應用科技化、電腦化及網路化等相關技術與管理經驗的作法，希望能轉化為臺鐵更進一步提升整體效能的有效策略。

貳、 考察成員及行程

一、 考察成員：

范植谷 交通部臺灣鐵路管理局 局 長
 傅義鴻 交通部臺灣鐵路管理局電務處號誌科 科 長
 陳文淇 交通部臺灣鐵路管理局運務處綜合調度所 副所長

二、 考察行程：

出國行程說明	日期	地點	行程概述
	8/1(六)	台北-倫敦	去程
	8/2(日)	倫敦	行程安排與準備
	8/3(一)	倫敦	1. 軌道工業協會(RIA)簡介英國軌道發展現況與政策導向。 2. Network Rail(NR)研討營運管理及預防性維修制度。 3. Balfour Beatty(BB)研討軌道狀態監視尖端技術。 4. Bombardier(BBD)研討 ERTMS 及 CBTC 等號誌控制系統。
	8/4(二)	倫敦 -Chippenham	1. Brecknell Willis(BW)介紹高速集電弓技術。 2. SPX Hydraulic Technologies 介紹各式轉轍器與工業量測技術。 3. Lloyd's Register Rail(LR)研討鐵路安全管理與驗證系統。 4. Westinghouse Rail Systems Ltd 研討 ERTMS 及 CBTC 等現代化列車控制技術。
	8/5(三)	倫敦-Derby	1. Interfleet 介紹觀光列車更新設計及委託打造經驗。 2. Delta Rail 研討遠端狀態監視及自動進路設定系統。 3. East Midlands Trains 介紹車輛維修制度。 4. LPA Group 研討節能減碳策略

8/6(四)	倫敦-York	<ol style="list-style-type: none"> 1. Funkwerk Information Technologies 研討整體電腦化排點系統。 2. Network Rail Integrated Control Centre 參訪。 3. Network Rail National Delivery Service 介紹線上物流與資產管理系統。 4. RTS Solutions 簡報事故管理系統。 5. National Railway Museum 參觀歐洲最大鐵博物館。
8/7(五)	York-倫敦	<ol style="list-style-type: none"> 1. York-Kings Cross Station 搭乘駕駛室參訪路線號誌與車載設施。 2. Pancras International Station 參訪旅運設施。
8/8(六)	倫敦	資料整理
8/9(日)	倫敦~台北	回程

參、 英國鐵路營運管理考察

一、 英國鐵路組織與發展

(一) 英國鐵路現況

英國是世界鐵路的發祥地，1814年史蒂芬森發明了蒸汽機車，1825年英國開創了世界鐵路運輸的先河。在180多年的發展歷程中，英國鐵路創造過輝煌的歷史，也經歷過慘痛的教訓。在鐵路公司私有、國有、再私有的發展過程中，英國政府為確保鐵路安全工作進行了一系列改造工作，並提出了完善設施、加強監管和善後處理等三大措施，旨在將鐵路打造成一種更便捷、更高效及更安全的交通運輸工具。因此，英國為改善經營效率，從1993年英國國會通過鐵路改革法案後，自1994年起將國鐵拆分為多家私營企業，其中包括：1個全國性的路網公司、20家客運公司、8家貨運公司、3家機車、車輛租賃公司以及多家的設備製造、維修服務公司等。

(二) 英國鐵路組織：

1、鐵路路網公司(Network Rail，簡稱 NR)：

(1) 鐵路路網公司現況：

路網公司是英國鐵路網惟一的基礎設施維運公司，目前擁有營業里程超過34,000公里，其中30%為電氣化區間，建設2,500個車站，每年超過12億人次搭乘，其中65%乘客的旅程以倫敦開始或結束，員工人數約180,000人。主要幹線營運速度為200 km/hr，其他路線為110~160km/hr，英法海底隧道鐵路則為300km/hr。

(2) 鐵路路網公司的任務：

鐵路路網公司亦屬鐵路營運商之一，必須向鐵路監理辦公室申請營運許可證，它雖然擁有鐵路路線及車站，但並不擁有列車及其他資產。其主要收入是營運公司支付的路線使用費及政府的補貼。鐵路路網公司其主要任務有：

- 規劃和管理鐵路基礎設施。
- 編製全國鐵路時刻表。
- 負責整個鐵路運輸的規劃。
- 基礎設施的養護、更新及建造。
- 編製全國列車運行圖，負責列車調度指揮。
- 提供營運公司營運路線並收取路線使用費。
- 協助政府進行長期預測及規劃。

2、鐵路營運公司 (Train Operating Companies 簡稱 TOCs)：

鐵路營運公司含括客運公司、貨運公司，皆以競標的方式向路網公司取得路線的經營權，負責經營客貨運業務。客貨運公司除向路網公司取得路線經營權(一般經營權為7年1期)外，尚需向鐵路監理辦公室申請經營許可證，才可以正式營運。鐵路營運公司可以保留營運收入及獎勵再擴大市場(Grow Market)、降低成本(Keep costs down)及彌補逃票(prevent fare evasion)等費用。

3、鐵路監理辦公室 (Office of Rail Regulator，簡稱 ORR)：

鐵路監理辦公室是根據1993年的國會議會法案所成立的。它是一個獨立

的機構，對議會負責。主要責任是：保護用路者的利益並促進客貨運的發展；盡力促進路網公司之發展及營運公司之競爭，以提高效率；公布政府的運輸規劃(運輸能力、準點率及安全等)；監督路網公司的維護投入；路線使用權管理、許可證發放；核定路線使用費標準；公布政府提供資金的數目；發放補貼給營運公司。另外，自2006年開始承擔對鐵路營運公司的安全監督責任。

4、交通部長：(Secretary of State for Transport，簡稱 SofS)

交通部主要負責一般的決策、特許權的批准和制定、規劃長期發展策略，與政府其他部門合作調整國家鐵路產業策略；管理鐵路營運特許權；督促路網公司及營運公司控制成本、提高績效；確保整個鐵路運輸業的責任、義務清晰、透明度及國家整體運輸政策的順利執行。

由此可見英國鐵路組織基本上是採所有權與經營權分開，換句話說就是路線、車站及號誌等基礎設施與機車、車輛等營運設施隸屬不同公司的制度，也就是所謂的「車路分離」制。鐵路相關單位之組織結構關係如附圖1。

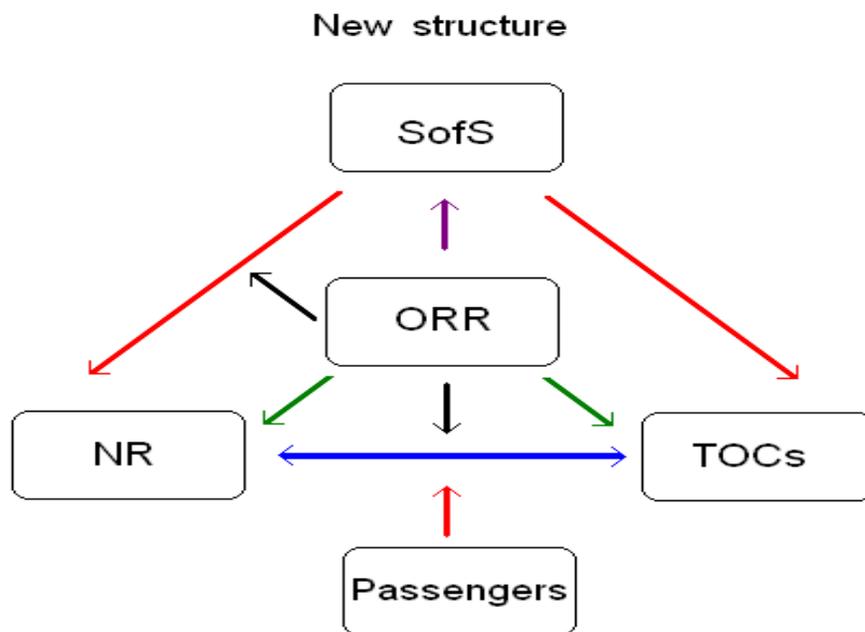


圖1. 英國鐵路機構組織圖

二、 英國鐵路永續發展策略

英國與臺灣在鐵路發展方面，具有許多相似性，兩者皆在繁忙的島嶼內，提供安全、可靠且舒適的鐵路運輸系統。在未來也進行多項投資計畫，臺灣方面有台北桃園機場捷運線，在英國也進行倫敦地鐵升級計畫及鐵路路網公司的基礎建設及電氣化更新工程等。在2007年英國政府頒布30年的運輸策略白皮書－鐵路的永續發展，預計在未來5年內編列200億英鎊，改善英國的鐵路運輸網。在英國政府設定明確的溫室氣體減量目標，英國鐵路產業與政府合作，定義一個以節能減碳為目標的自願性協議，全面性開發和應用最新的永續科技與技術，包括高運量的低碳列車、智慧型控制、低成本之鐵路運輸、及改善顧客服務等。其中

(一) 安全部分

提出完善設施、加強監理和善後處理等三大措施：

1、完善設施：

是確保鐵路安全的重要途徑：由於歷史悠久，英國不少鐵路設施比較陳舊。另外，時代的進步，公路和航空運輸迅猛發展，鐵路運輸的功能有所下滑，對鐵路的改造也就相對落後。但鐵路在英國整個運輸行業中仍佔有很重要的地位。依統計資料顯示：英國鐵路2006年載客量超過10億人次，佔各種運輸工具載客總量的7%。為了進一步加強鐵路的功能，英國政府目前正在實行一項耗資100億英鎊的計畫，著手對全國鐵路網進行全面改造。

2、加強監理：

是英國保證鐵路安全的重要手段：近年來，英國政府加強了鐵路的安全監理，收到了良好效果。目前負責英國鐵路安全的主要有四個監管機構：

- (1) 鐵路監理辦公室(ORR)：是鐵路行業的一個獨立的監理機構，主要負責管理和執行各項鐵路安全法規。
- (2) 鐵路安全與標準委員會(Rail Safety Standard Board，簡稱 RSSB)：這是鐵路部門組織的專業機構，負責改進鐵路設施，並執行一係列安全措施。

(3) 交通部鐵路事故調查局(Ministry of Transportation Rail Accident Investigation Bureau)：可對任何鐵路事故進行調查的權利。

(4) 交通警察局(Transportation Police Bureau)：負責調查恐怖事件和惡意破壞案件。

一旦發生事故，首先介入調查的是交通部事故調查局，如果確定為恐怖事件或是惡意破壞案件，那就是刑事案件，由交通警察局負責調查，有時還會考慮是否請求城市警察局提供協助。

3、善後處理

是多管道承擔理賠責任：鐵路每天都要運行，出現事故在所難免。重要的是如何避免和減少事故。發生事故，要妥善處理。英國鐵路發生事故之後，首先是進行全面詳細的調查，其中一項不可或缺的內容是查明事故責任。如果是鐵路號誌失靈造成的事故，就應由鐵路網線公司負責賠償；如果是由於司機失誤造成的事故，則由列車經營公司進行賠償。另外，由於鐵路有關公司都購買了保險，英國人大多數也購買旅行保險，因此，一旦事故發生，尤其是造成人員傷亡的事故，善後的費用多由保險公司承擔。這樣，無論是鐵路公司、受害者家庭，還是政府有關部門，都大大減輕了負擔。英國鐵路事故善後處理少有無人負責或爭執不下的情況，如有難以決斷的案例，最後還可以由法院作裁定責任之歸屬。

(二) 節能減碳部分

英國計劃轉變成為一個低碳的永續經濟體，推出「低碳轉型計畫」(Low Carbon Transition Plan)，這是一個全國性的經濟策略，此計畫將把英國帶入低碳生活，並同時享有經濟利益。為此日前英國政府批准了一項耗資11億英鎊的計劃(約新台幣594億元)，準備在未來10年裡將該國最繁忙鐵路中約300英哩的路段建設電氣化工程。英國與歐洲其它國家相比，英國火車電氣化的速度嚴重落後(約30%)，目前瑞士的火車已全面電力化，瑞典達77%，荷蘭73%，義大利69%，德國和西班牙都有56%的火車電氣化。除此之外，亦計劃在未來8年中，從倫敦到斯旺西(Swansea)的大西部鐵路(GreatWestern)耗資10

億英鎊實施電氣化改造；同時，政府還將斥資1億英鎊，將利物浦和曼徹斯特之間的鐵路電氣化，工程約耗時4年。因鐵路電氣化不僅可以減少二氧化碳排放量，將使英國鐵路更符合21世紀的發展需求，而且能為數百萬乘客提供更快捷、更可靠、更寧靜及更高效能的服務。

(三) 興建高速鐵路

英國鐵路Network Rail公司日前公布一項耗資340億鎊的高速鐵路興建計劃，該鐵路將連接倫敦和格拉斯哥，使兩地旅乘時間縮短為2小時16分。該鐵路預計2030年以前可投入營運，沿途行經城市將包括伯明罕、利物浦、曼徹斯特和愛丁堡。目前從倫敦坐火車到格拉斯哥則需要4個多小時，高速鐵路將使英格蘭和蘇格蘭之間的鐵路交通時間減半。該計畫鐵路介於倫敦與伯明罕之間的首段鐵路，可望於2020年完成。建設完成後的該條鐵路，將成為繼倫敦St Pancras發出的歐洲之星以外，英國的第二條高速鐵路。這條時速高達200英哩的鐵路，將為沿線城市帶來更大的商業機會。

(四) 鐵路專業人才之培訓

鐵路專業人才缺乏、斷層與員工老化等問題，亦為英國當今面臨之嚴重課題。因此，英國鐵路除著手將營運、建設、規劃及調度等系統予以全面電腦化(e化)、系統化外，已著手規劃辦理鐵路專門學院，長期培養與訓練鐵路專業人才，以保證人才之延續與鐵路永續經營。在此次參訪中，RIA協會理事長也提出與臺灣軌道業合作交流模式，屆時亦可派遣相關人員至英國接受長短期訓練之構想與建議。

三、 營運管理與時刻表規劃

(一) 營運設施管理

1、線上物流 (Network Rail Online Logistics 簡稱NROL)：

NROL是Network Rail的關鍵性商業系統，用來訂購、規劃、控制及基礎建設機具的績效管理，所管理規劃之機具包含工程列車、客車、敞車機群(4,500輛、其中自己擁有2,500輛；其他協力廠商2,000輛)、軌道機具、磨削機具、基礎架構監控機具等，其客戶群約有1,350家，外部供應商遍及Network Rail各個營運據點。

Network Rail為何要使用NROL？

- (1) 訂購重型材料與管理基礎架構監控機具：變更控制及材料、敞車與機器的規劃。
- (2) 控制：可通過 24 小時的監測控制及提供及時的營運資訊給使用者。
- (3) 復審：可覆查列車/機器的性能及提供管理(關鍵績效指標)資訊給所有使用者。
- (4) 商業上的安排：發貨單支援的資訊、內部成本的資訊及提供準確共通的平台。

至於線上物流的優勢為何？

- (1) 獨立系統。
- (2) 能夠準確地計畫與預測。
- (3) 詳細的資訊提供給所有使用者。
- (4) 關鍵績效指標報告。
- (5) 審計控制。
- (6) 系統開發的用戶體驗。
- (7) 一個資源計畫提供給系統管理者的可見度。
- (8) 使用者/供應商的獨立資源計畫。

Network Rail線上物流雖然建置使用不到2年，但針對第2代系統之缺陷，已規劃發展NROL3來彌補，因此第3代線上物流具有下列功能：

- (1) 強化軌道機具的維修與管理。

- (2) 季節性維修活動。
- (3) 道路/鐵路車輛整合。
- (4) 舊廢料的收集與處理。
- (5) 公路運輸轉運之整合。
- (6) 與 Network Rail 其他關鍵系統的接合：例如機具資產管理系統及 TOPS 等。
- (7) 改進使用者介面。

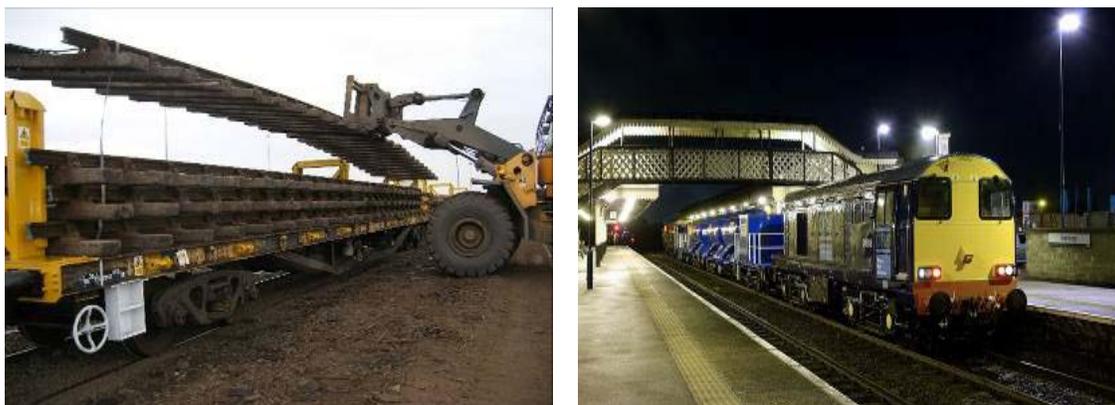


圖2& 3. 線上物流(NROL)的作業模式

2、車隊資產管理系統 (Fleet Asset Management System 簡稱FAMS)：

Network Rail公司亦針對維修車隊設備發展一套FAMS，為何會發展FAMS呢？最主要基於下列因素：

- (1) 網絡鐵路公司目前擁有超過 2500 鐵路車輛及相關模組的重置，價值超過 7.5 億英磅。
- (2) 承包商代表網絡鐵路公司承攬大多數維修，徹底檢修及補修。
- (3) 承建商握有車輛記錄;維修與失敗之歷史紀錄，狀態監測及其他需要的訊息來管理資產的可靠性和性能。

至於發展FAMS的商業利益有下列幾項：

- (1) 可進一步提高機具性能和降低成本。
- (2) 管理材料備件和機具庫存。
- (3) 所有機具管理能有一致的訊息：
 - A. 生產力最大化的同時，所有機具之生命週期費用最低。

B. 網絡鐵路公司工程品質能夠符合工程標準。

(4) 在盡量減少停機時間和最大限度下提高可用性之維修規劃。

(5) 所有鐵路車輛遵守一定之法規標準。綜合上述 FAMS 之優點如下表：

表 1. FAMS 優點列表

綜合優勢	項 目
降低機具維修保養的單位成本	降低庫存管理成本
	降低每車輛種類的年度單位成本
	每 2 年可減少 1 個項目的計劃維護
	減少重複的維修活動



圖4&5. 車隊資產管理系統(FAMS)的設備零件管理倉庫

(二) 事故管理系統(FMS)

RTS Solutions公司是一家運輸軟體工程公司，提供最先進的WEB網路式即時安全關鍵應用程式。他們利用軟體技術優化鐵路、地鐵和公路網基礎建設，並提供一系列應用程式，以滿足鐵公路運輸網在載運量及可利用性方面日益升高的要求。他們透過專業團隊致力於提供整合式解決方案，使得鐵公路營運與養護計劃能夠發揮最大的運作效能；透過PC和行動電腦的平台提供解決方案，以使用簡易之網路視覺化方式，提供事故與故障管理、作業場管理和追縱端點至端點過程管理。尤其是針對鐵道業發展數套管理系統，分別

敘述如下：

1、故障管理系統(Fault Management System，FMS)：

是一種為鐵路產業特別開發的即時故障和事件管理系統。

2、軌道規劃系統(On Track Planning System，OTPS)：

提供軌道鐵路產業，針對規劃性，有順序及資源性網絡基礎功能。

3、資源管理系統(Resource Management System，RMS)：

是一種以Web為基礎的工具，能預先確認方案執行的方法。

4、軌道車輛管理系統(Rail Vehicle Management System，RVMS)：

是一個多元化Web的工具，能夠提供組織在公路/鐵路車輛和資源上建立一個查詢/訂購之功能。

5、工作基礎設施管理系統(Work Infrastructure Management system，WIMS)：

提供特殊工作團隊配置維修的工作且運用公司共同作業的性質來確保關鍵績效指標/商業報告的一致性。

6、企業資產管理(Enterprise Asset Management，EAM)：

企業資產管理是整合性資產管理系列中的核心。

其中故障管理系統 (FMS)早在西元2000年以來，一直成功支援英國鐵路基礎設施管理、調查和解決所有的基礎設施故障和整個鐵路路網公司(NR)發生事故的決策。FMS為確保一個迅速和安全的恢復服務的功能，提供一系列的資訊和所有教育訓練，其中包括軌道設施、號誌、電車線、電力和軌道的工程。FMS亦支援管理及維修的一個的地理區域內的基礎設施資產，確保鐵路路網公司團隊能即時藉由故障資料中的資訊來分析優化基礎設施性能和改善鐵路網路的效率的所有資產。RTS Solutions在路網鐵路的环境下，透過瞭解運作和作業過程中，開發並傳遞一個即時的基礎網路介面系統。他們的系統提供支援端點到端點過程中的資料，並結合通信和移動式平臺。它提供了所有必要的檢查機制和標準的報告，它有助於鐵路路網公司達到目標，全面審核以確保所有的變化可被追蹤並由標準化程序導致分析進程通過確定關鍵

的功能。FMS 目前使用於鐵路路網公司12個整合控制中心內，遍及英國所有故障事件資料，均藉由中央處理器傳輸報告、監測和分析。目前每月每區超過 5000筆故障和事故的交易報告。FMS是一套模組化的產品，其中一部分能夠作為一個獨立的模組來工作或連結到其他RTS解決方案如：RMS、WIMS和EAMS。

此次參訪，RTS Solutions針對做FMS比較詳細之介紹且實際運用於Network Rail之營運上，至於故障管理系統之主要特色如下：

- 詳細記錄和查看故障的類型，狀態，缺陷症狀，風險和重點。
- 在特定的位置分派不同監督小組。
- 豐富的報告工具。
- 自動配置訊息的工具。
- 自動警告管理人員和主要工作人員。
- 全面審核以確保所有的變化可被追蹤。
- 完整結合至資產管理系統。
- 智慧財產和狀態監測系統之授權。
- 趨勢的分析，歷程和企業業績的報告。
- 支援列車延誤時分之管理。



圖 6. 資訊直接集結至控制中心

另外運用故障管理系統在營運上效益如下：

- 單一窗口。

- 透過無線通訊自動傳遞。
- 訊息明確。
- 重覆事故之經驗運用。
- 資產電腦化。
- 事故資料紀錄 8 年。
- 自動重複故障管理。
- 支持新標準。
- 持有資產登記。
- 保留歷史的資料。
- 管理通報透明化。
- 執行情況報告（結合事故/延誤資料）。
- 增加易用性，將改進故障解決時間。
- 快速培訓運轉人員使用該系統
- 24 小時即時通報

FAULT MANAGEMENT SYSTEM(FMS)

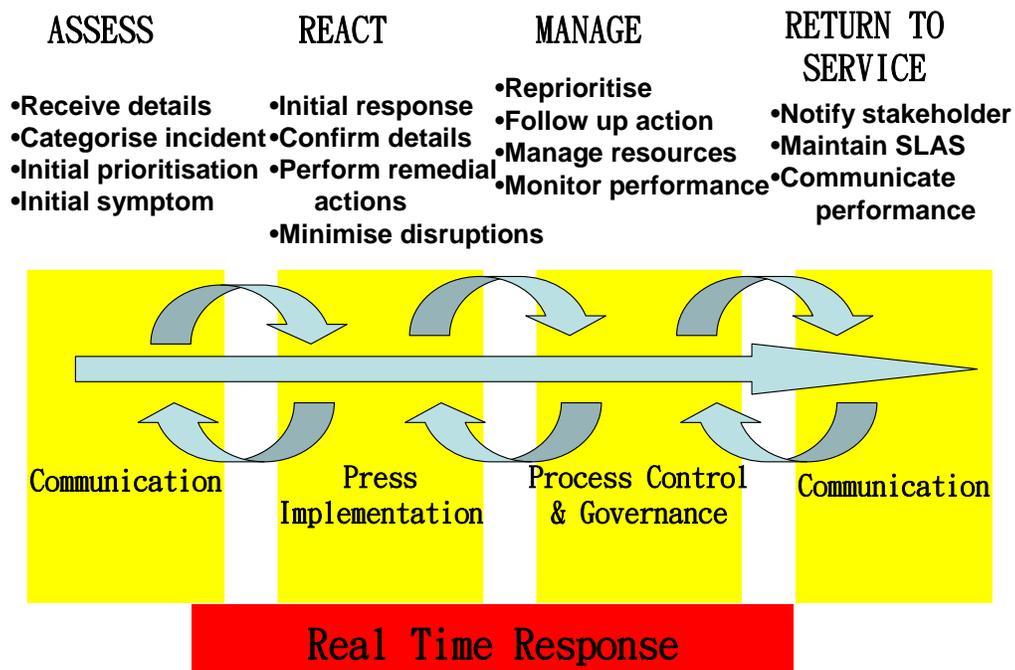


圖 7. RTS Solution 公司故障管理系統架構

另國內財團法人中興顧問社業已針對『臺灣地區大眾捷運安全管理系統』緊急應變及視訊監控子系統作研究，該系統針對臺灣地區捷運系統安全管理之需求，整合最新資訊技術，研發資訊解決方案，提供營運災害發生時，資訊整合查詢與決策支援功能。該系統主要功能如下：

1、應變組織管理：

緊急應變任務編組組織、權責、編組成員、成員資料等之查詢與管理。

2、防災資源管理：

防救災資源資料、位置、資源分配作業、資料與紀錄保存、查詢與管理。

3、工作日誌：

提供應變組織執勤人員於系統上直接紀錄工作日誌。

4、系統管理：

提供系統管理員系統程式及資料庫管理、備份與資料整補。

5、事故處理支援：

事故發生時，依據標準作業程序輔助值班人員緊急事故處理作業。

6、異常事件管理：

緊急事故或異常事件資料、紀錄、與檢討會議資料之保存、查詢與管理。

7、展示作業：

提供指揮官事故現況展示、事故處理進度展示、應變實際值勤人數展示。

8、視訊監控：

監督與控制與車站環控有關之感應器與控制器，藉由視訊了解災害概況。

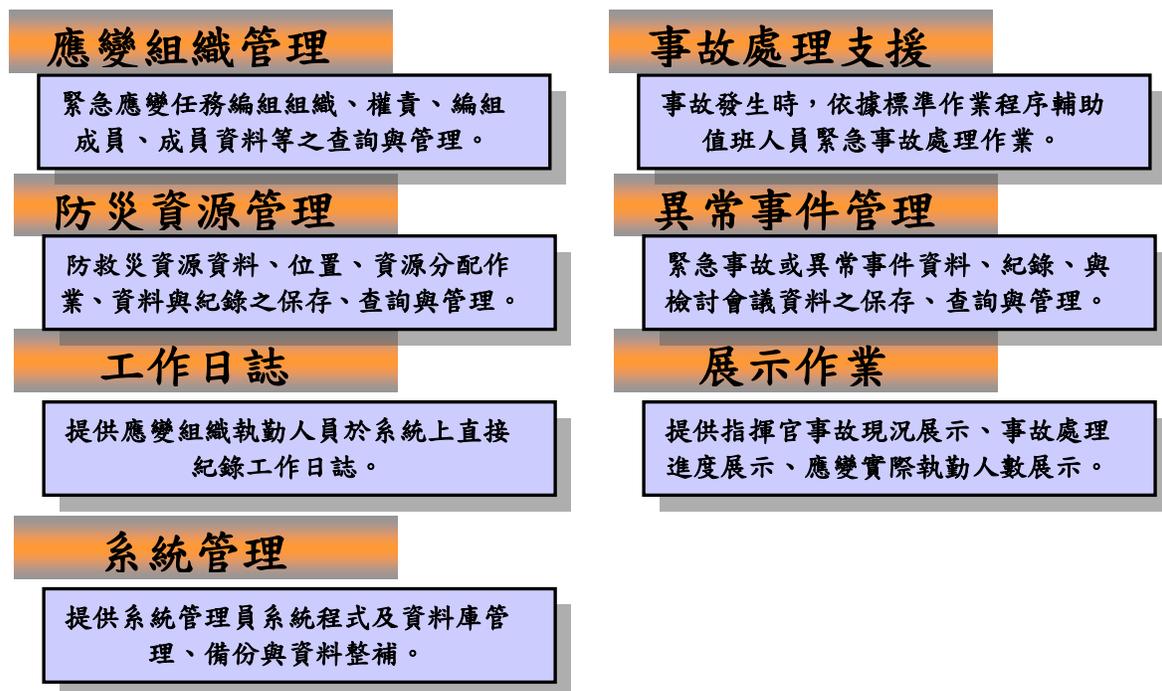


圖8. 緊急應變及視訊監控子系統架構(中興顧問)

再由中國生產力中心張總經理寶誠針對八八水災所發表『救災行動專案管理』提到下列觀點：

- 1、救災不能只靠熱情來支撐，必須有規劃，有方法，而且是專業的方法，明確建立指揮體系，進行迅速、集中指導，整合救災部隊。
- 2、在救災系統的運作上，各單位內部都需要有管理系統，體系內的救災中心與每個單位的運作體系都要加以連結，並維持資訊管道暢通，否則展現出來的成效既缺乏整合且無效率。
- 3、除了救災外，各方物資、善款的分配及運用，皆需擬定周全的計畫，將資源最適化配置。
- 4、高度執行力的背後，仰賴完善的專案管理，此時，借重具救災與災後重建專案管理經驗的專案管理人才，有助於提升救災與重建效率。

因此，救災需以系統化方式整理與傳遞專案管理的知識，制定專案管理知識體系指南，內涵包括啟動、規劃、執行、監控、結案五大流程；以及整

合管理、範圍管理、時間管理、成本管理、品質管理、人力資源管理、溝通管理、採購管理等專業領域；再加上社會責任，建構專案管理專業的基石。

(三) 電腦化自動排點

Funkwerk 資訊科技公司是一間具有專業通訊和管理系統解決方案的強大集團，能提供營運流程最佳化的領先技術解決方案的供應者，也是一家上市公司，2007年時全球銷售2億9千多萬歐元，超過1600名員工。其中科技部門專門提供營運規劃、專家諮詢、營運資訊系統、培訓系統、號誌技術、營運控制技術等專業能力。

為能針對鐵路營運作有效規劃及資源做最佳化利用，其中在規劃系統方面：

1、規劃和管理工具全公司的基礎設施營運商和鐵路營運公司

- 發展基礎設施
- 時間架構表
- 規劃和資源管理

2、從長期規劃來完成每天的營運計畫

3、經營者的利益

- 透過資源規劃讓鐵路營運合理化
- 透過電腦運算規劃和模擬來降低鐵路營運成本

另外在人員培訓規劃及車輛調度上之規劃包含：

1、資源(車輛)調度

2、資源(全體人員)調度

3、培訓時機和路徑

4、網路能力和限制

5、車站活動和工作人員調度

6、追蹤維持營運調度

上述這些規劃不僅只產出一個時刻表，所有的活動都是相互關聯的，沒

有一件事是獨立的。

Funkwerk藉由四大構面來區隔城際列車及都會區(地鐵)運輸能力(生產力)平衡--瞭解軌道容量議題：

- 火車班次行駛數量或頻率 (Number of trains or frequency)
- 平均速度 (Average speed)
- 差異性(混合速度) (Heterogeneity)
- 穩定度或健全度 (Stability or Robustness)

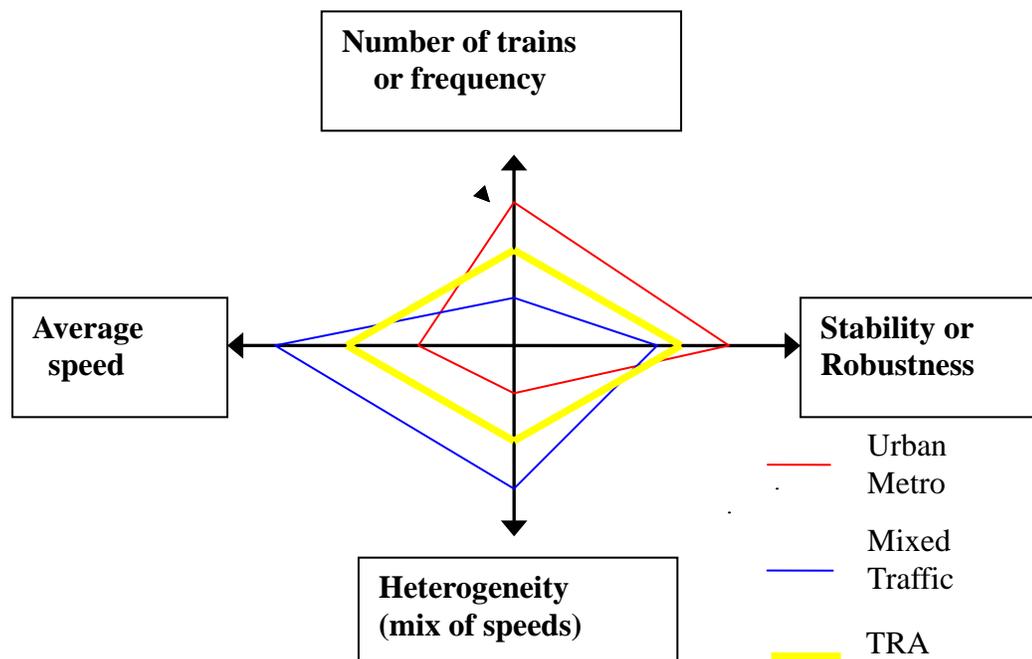


圖 9. Funkwerk understands track capacity issues

相較於臺鐵局均介於各項指標中間，須顧及都會區通勤(學)需求，又須兼顧城際運輸需求，常因尖峰時間帶無法取得平衡，而造成長短程旅次上之衝突。

Funkwerk營運班表規劃流程及臺鐵局之營運班表規劃流程如下：

Funkwerk 公司The right tools for planning processes (原文)

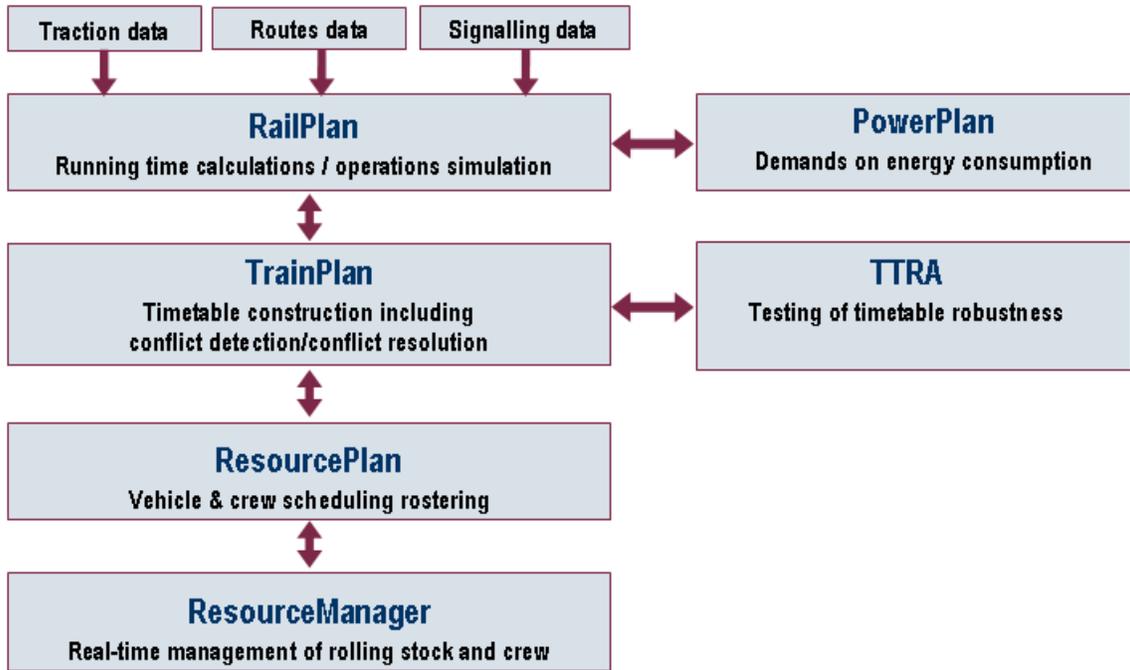


圖10. Funkwerk 公司The right tools for planning processes

Funkwerk 公司營運班表規劃流程 (中文)

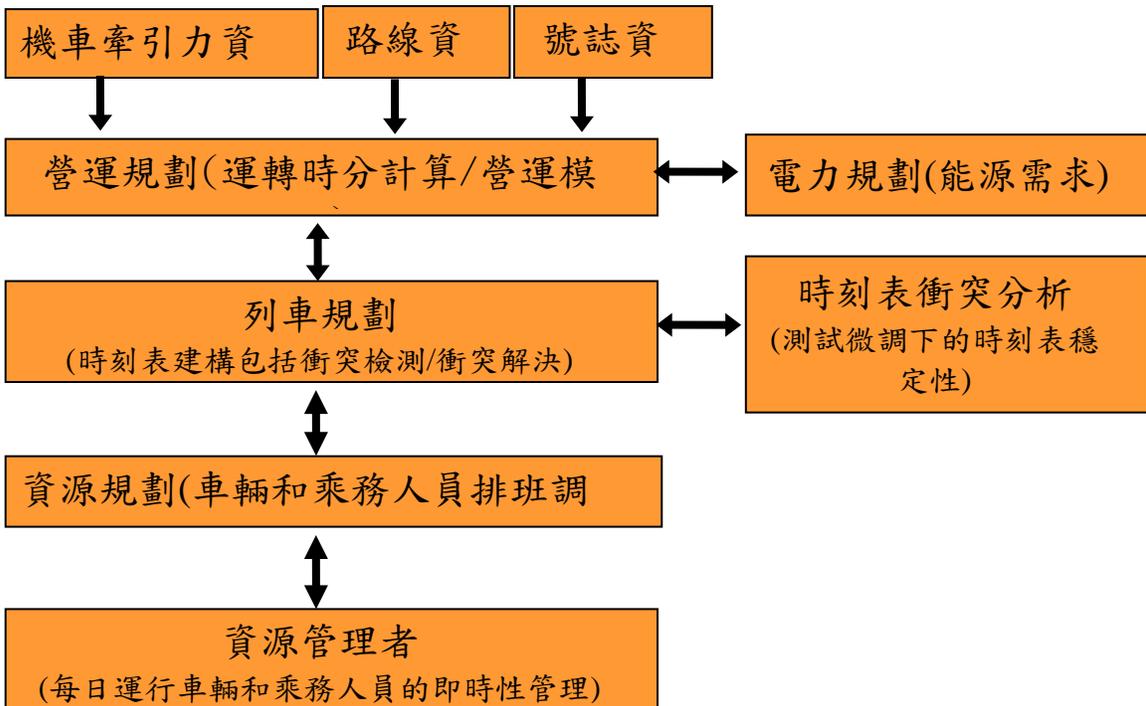


圖11. Funkwerk公司營運班表規劃流程

(四) 臺鐵局營運班表規劃流程

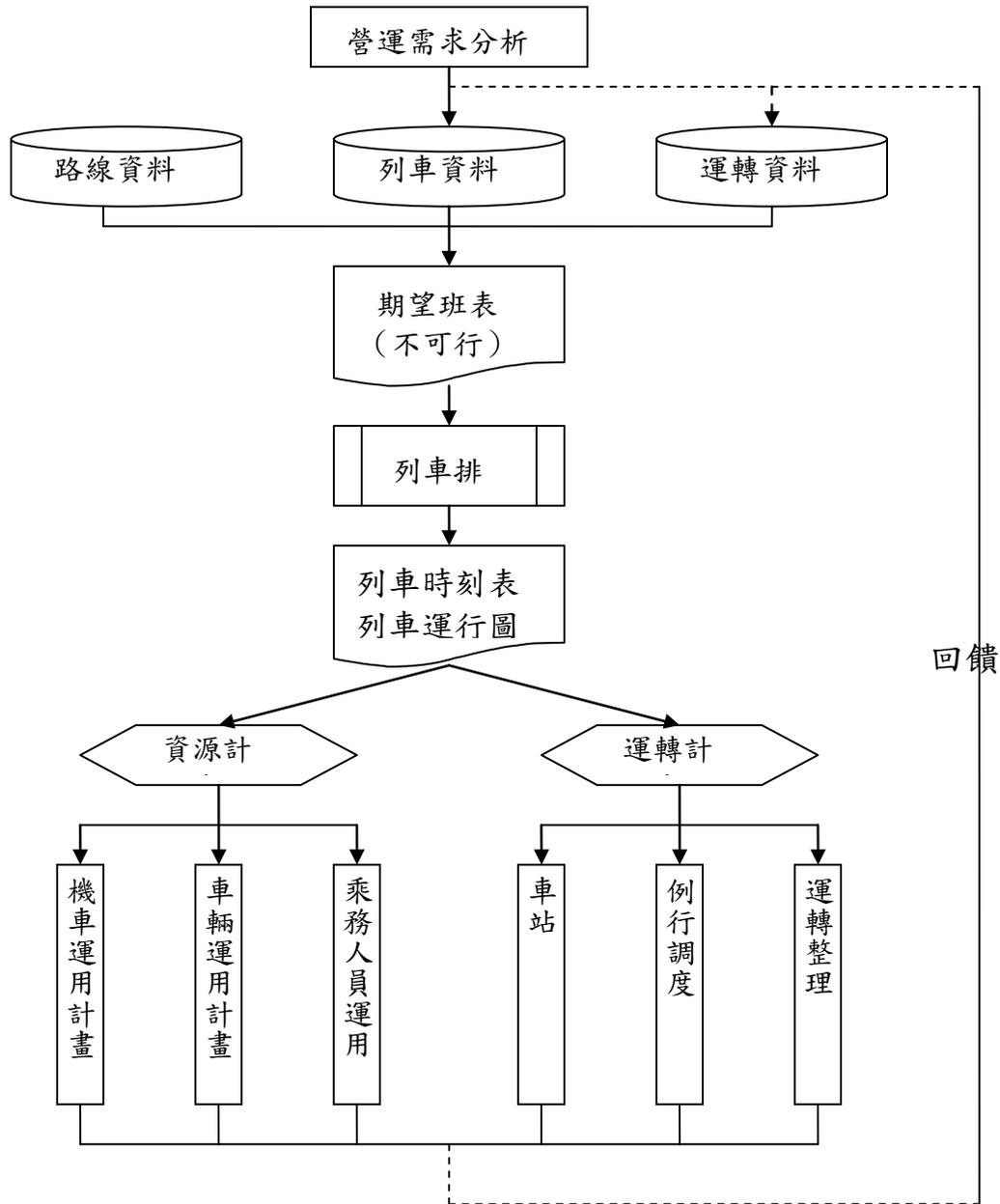


圖12. 臺鐵營運班表規劃流程

臺鐵局與Funkwerk營運班表規劃流程大致相同，惟差異性較大乃Funkwerk規劃過程隨時有回饋機制且採用電腦化之機制來檢視班表之合理性。反觀臺鐵局作業模式大多仍停留在人工作業模式，且在班表實施之後再檢討合理性，以致班表常與實際執行面及社會期待有些許落差。

除此之外，Funkwerk發展一套策略性預測、營運排班及提供服務與管理

IT，從人、車、路之觀點規劃長、中、短期各階段之作業系統，最後甚至利用「績效分析」來衡量該公司之營運績效。就如同交通部目前督促臺鐵局建立「關鍵性績效管理指標（KPI）之部門指標、行動方案及目標值設定表」及目前研究規劃之行車營運管理系統之結合。

Our coverage of railway processes

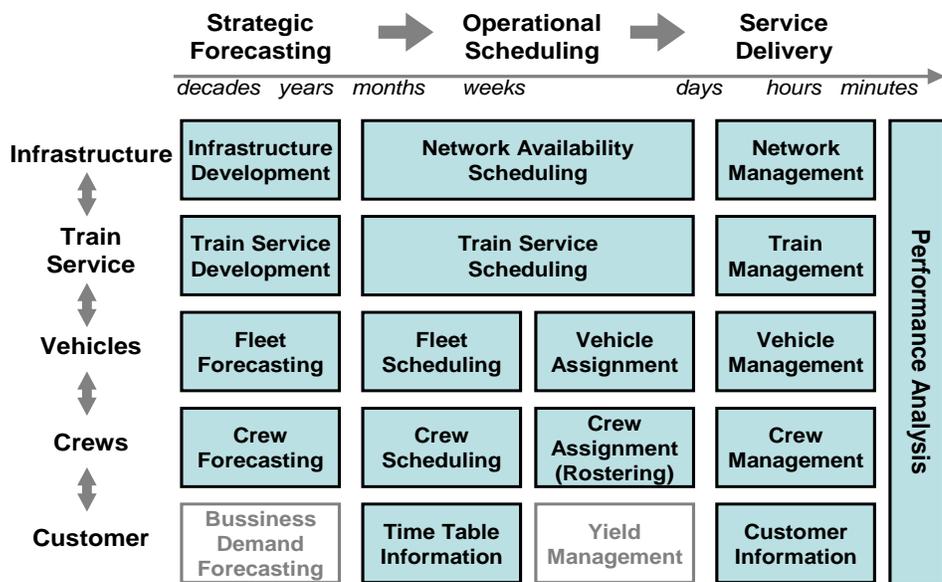


圖13. Funkwerk行車營運管理系統架構

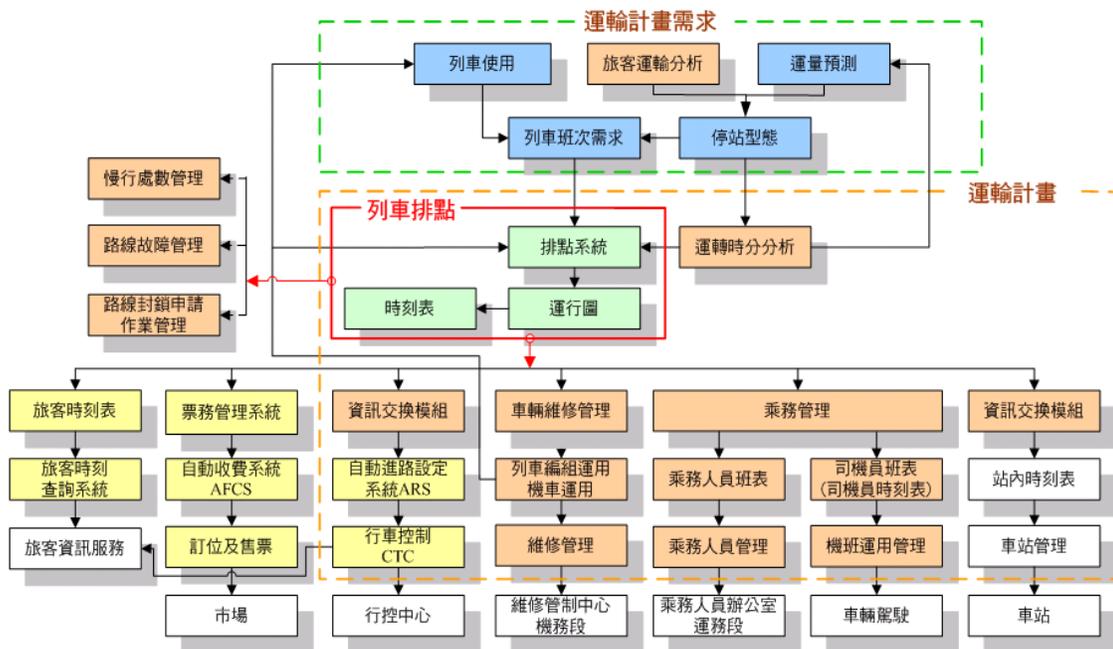


圖14. 臺鐵局行車營運管理系統介面關係

四、 狀態監視與維修管理

對系統運作而言，事先預防勝於事後處理，這就是預防性維修(Preventive Maintenance, PM)的真諦。傳統對故障的觀點，認為故障率隨著年齡而增加(如附圖15)。但據專家統計，故障率與年齡相關的比率約小於20%(如附圖16之A、B、C曲線)，隨機發生的比率則大於80%(如附圖16之D、E、F曲線)。因此，如何控制隨機發生之故障，是十分重要的關鍵。

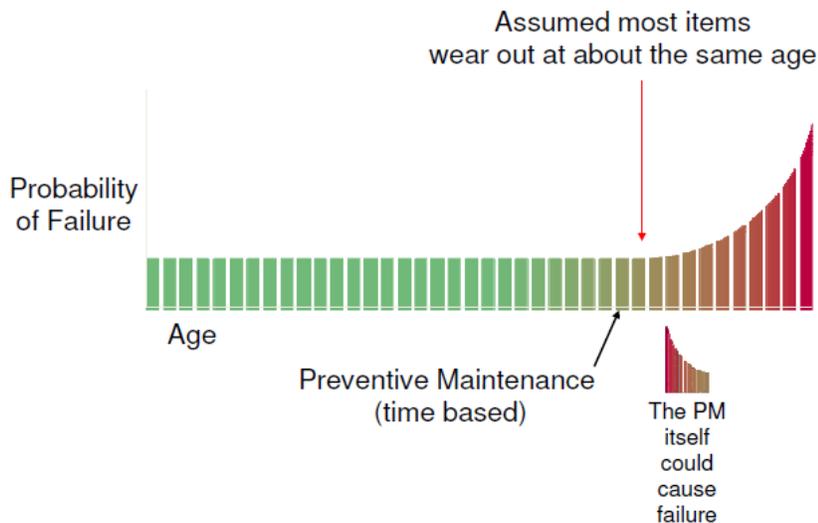


圖15. 傳統對故障的觀點曲線圖(資料來源：IBM)

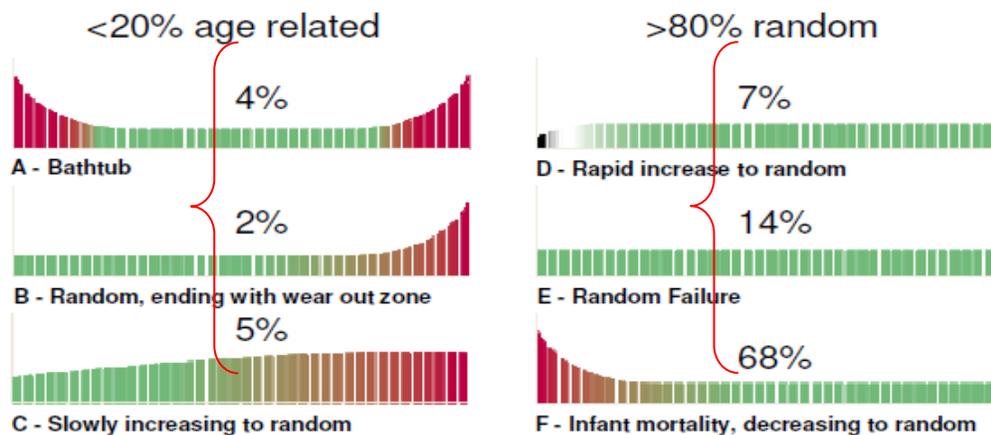


圖16. 專家統計故障率與年齡相關比(資料來源：IBM)

從維護管理的觀點，設施維護有兩個環節要持續進行，一是保養，一是改善。保養與改善的目的都是在確保設備保持原設計功能的狀態，也確保系

統運作的穩定、可靠，避免人力與成本浪費。也就是說，故障率雖會隨著年齡而增加，但如何掌握維修週期與時間點(Cycle & Timing)，讓隨機發生的故障率降至最低，更為關鍵。所以，對於攸關安全與效率的鐵路系統而言，規劃出最適當之預防維修計畫是非常必要的。此次參訪與Network Rail、Delta Rail、Balfour Beatty及RTS Solutions等知名鐵路科技公司研討中，獲得一致的看法，欲做好預防性維修的前提，必須要有科技化的狀態監視設備與電腦化的維修管理方法。見聞英國鐵路的相關對策與作法，將一一報告。

(一) 遠端狀態監視系統(RCMS)

遠端狀態監視系統(Remote Condition Monitoring System, RCMS)已隨著網路及資訊技術的快速發展，展現高效能的監控能力，足以應用於各種惡劣環境。相較於早期以故障通報為主的監控設備，現代化的遠端狀態監視系以更優異的智慧型功能呈現。例如透過網路連結，維修人員可以利用網路，線上即時了解遠端設備的狀態，甚至可以利用網路控制器進行遠端控制；亦可進一步整合故障與維修歷史資料、維修排程管理，以狀態監視為手段，達到預防維修最佳化的目標。現代化狀態監視系統必須具備以下的特性：

- 1、智慧型軟體(Intelligent Software)、圖控系統(Image Control System)，。
- 2、遠端即時監視(Remote & Real Time Monitoring)，可隨時隨地進行遠端存取(Remote Access)、控制(Control)及監視(Monitoring)。
- 3、異常警示(Abnormality Alarm)、預防維修(Preventive Maintenance)、事件追蹤(Event Traces)，便於維護管理。
- 4、統計分析(Statistic Analysis)及資料搜尋(Data Search)，透過網路連結，可簡易整合至其他系統或應用層面。
- 5、模組化(Modular)、隨插即用(Plug & Play)、易於擴充性(Fully expandable)。
- 6、高可靠度(Highly Reliable)、低度保養(Maintenance Free)、故障自我診斷(Self-Diagnosis)。
- 7、以網路為基礎(Web Based)的監視方案。

英國CDS Rail公司(Control & Display Systems)憑藉其20多年遠端狀態監

控經驗，在鐵路基礎設施狀況監控系統之鐵道專用設計、開發與建置方面，研發出許多監控系列產品。其中遠距監控系統AssetWatch，是一套可擴充升級的監視對策，能擷取鐵路道旁資產的狀態數據資訊提供予中央監視中心，其系統架構(如附圖17所示)，左邊為各偵測點，狀態資訊可以透過網路、電子郵件和簡訊(Short Message Service，SMS)將立即信息傳遞或尋求資產、物料與技術支援。

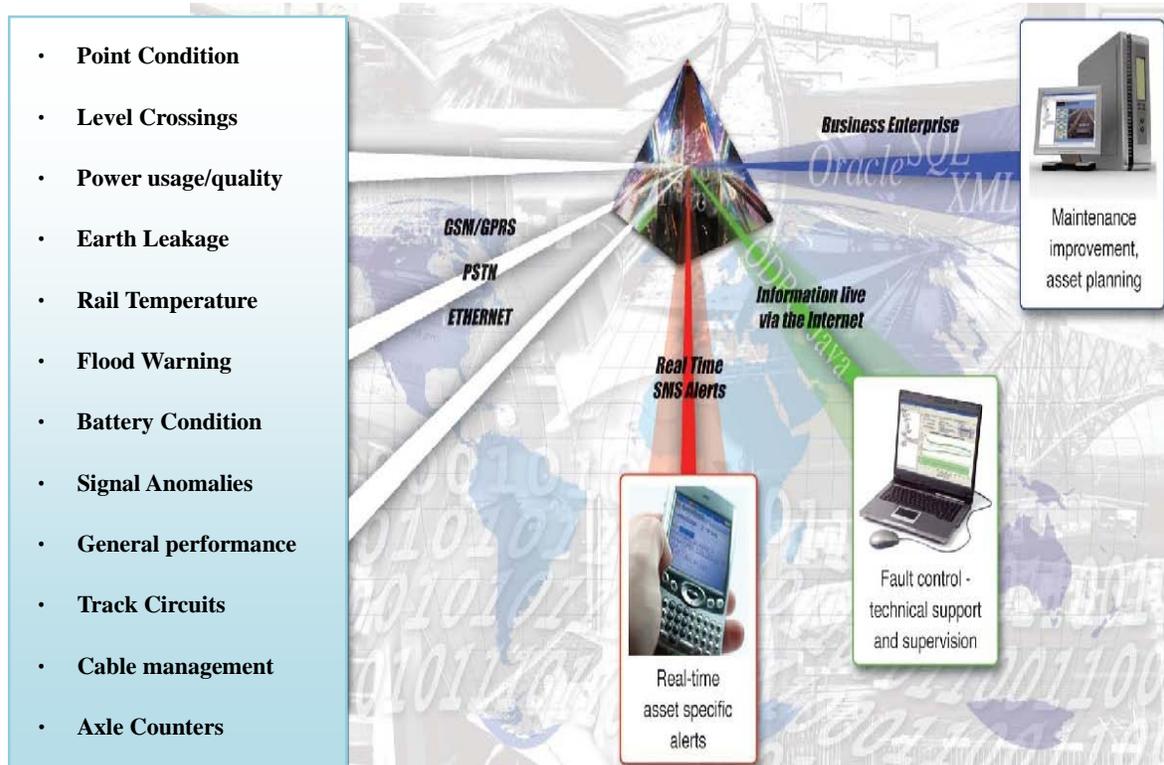


圖17. AssetWatch智慧型監控架構圖(From CDSRail)

AssetWatch定點狀況監控具有下列特點：

- 1、透過單一瀏覽器(Single Navigator)，易於掌握所有資產狀態資訊。
- 2、直覺式界面(Intuitive Interface)，簡單明瞭的信號顯示與故障控制。
- 3、快速確認和資訊瀏覽，提早掌握故障模式(Failure Mode)。
- 4、安全界面(Secure Interface)提供全組態(Fully configurable)的使用者層級擷取。
- 5、可組態演算法(Configurable algorithms)和自調式警示，可應環境溫度變化，

自動調整溫差補償。

6、提供循序和覆蓋(Sequential and Overlay)比對之類比追蹤(Analogue Traces)，
覆蓋比對可以顯示出傳統式無法比對出的細微差異(如附圖18&19)。

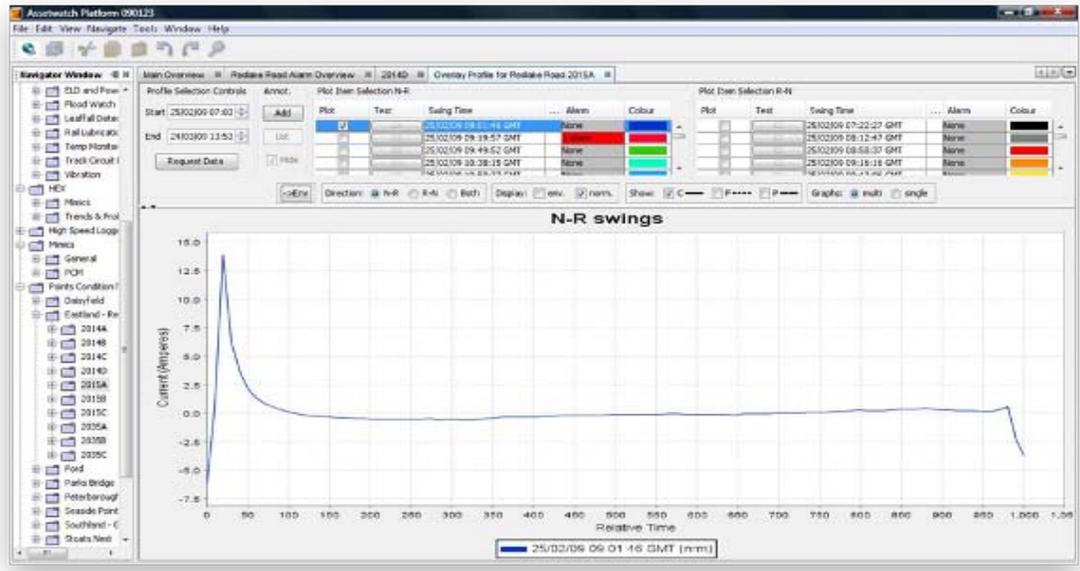


圖18. 循序和重疊比對之類比故障追蹤-1

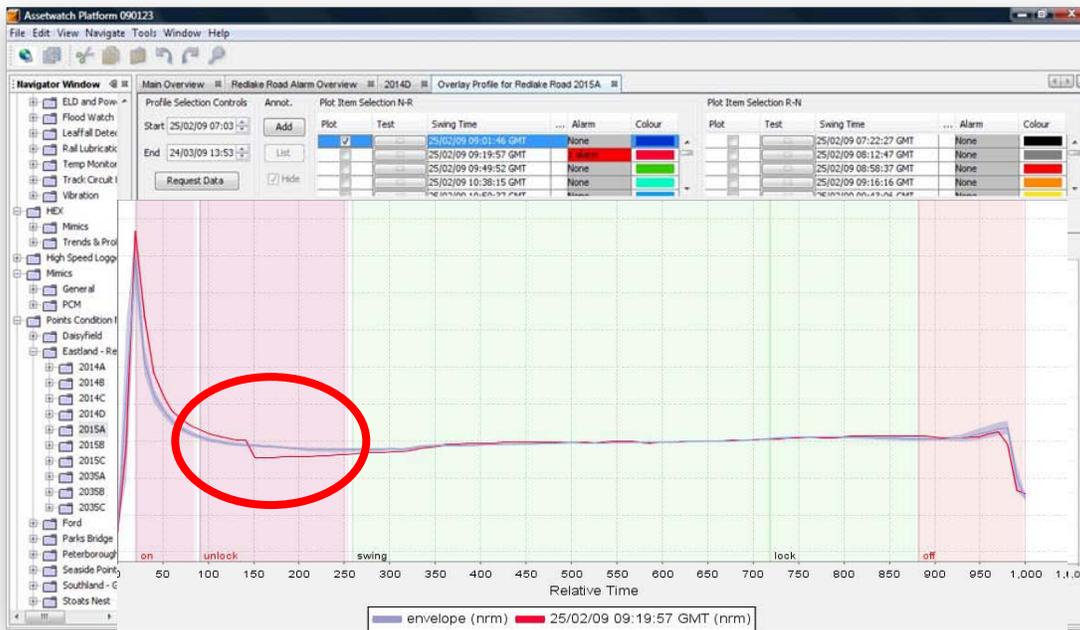


圖19. 循序和重疊比對之類比故障追蹤-2

- 7、智慧型軟體工具(Intelligent software tools)，可精確靠地掌握並顯示異常狀。
- 8、自調式演算法(Self tuning algorithms)，能夠找出簡單門檻式無法發覺的故障。
- 9、故障模式學習(Learning of Failure Modes)，使用者可組態編輯故障及維修歷史資料庫。
- 10、智慧型分析(Intelligent analysis) =學習(learning)。

原則適用於任何類比型的遠端狀態監視(Remote Condition Monitoring，RCM)。應用AssetWatch定點狀況監控實例於DC軌道電路(Track Circuit)狀態追蹤(如附圖20)；應用於轉轍器(Point Machine)狀態追蹤(如附圖21)，多重可組態警示(Multiple, configurable alarm)設計，於列車通過時識別重要故障模式。



圖20. 應用AssetWatch定點狀況監控DC軌道電路追蹤畫面

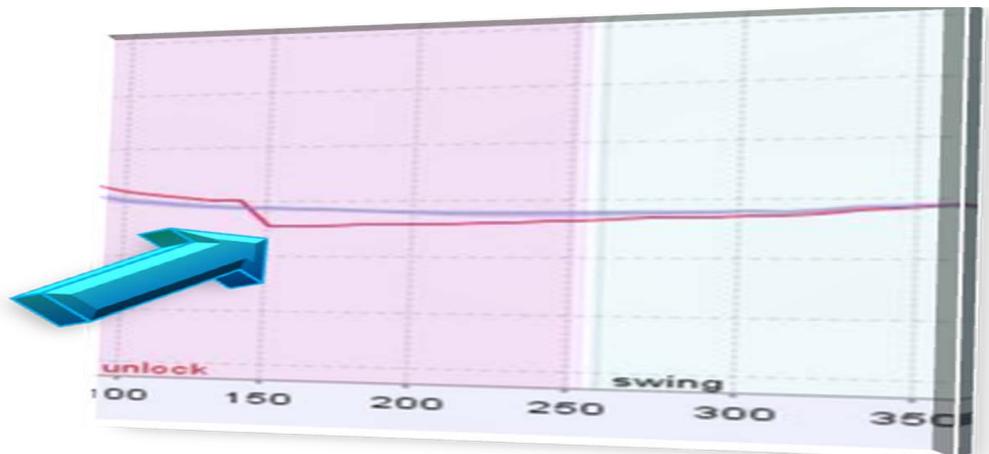


圖21. 應用AssetWatch監控轉轍器狀況追蹤畫面

(二) 電動轉轍器狀態監視(SMCM)

轉轍器(Switch Machine)在英國較常稱為Point Machine，為道岔(Turnout)轉換的動力源，是道岔的核心元件。在英國依照動力不同，轉轍器區分為電動、氣壓與油壓等型式，但以電動轉轍器較為普遍，臺灣皆採用電動式。轉轍器由於安裝於軌道上，易受震動環境影響；特別是傳統鐵路係安裝於石碴道床，較新興鐵路的版式軌道更容易產生位移故障。此次考察也特別注意英國鐵路對於電動轉轍器狀態監視(Switch Machine Condition Monitoring，SMCM)的相關解決對策。

轉轍器與軌道電路同為自動化號誌最為重要的基礎設施，共同左右號誌穩定與可靠度的關鍵設備，也是號誌障礙中較難掌控的一環。因此，必須即時掌握更精確的維修點，才能在故障之前加以調整、矯正。而電動轉轍器具有轉換、鎖錠、查核與顯示的4種機能，故障最常發生於電氣轉換與機械鎖錠兩個過程。因此，對於電動轉轍器狀態監測即以該兩部分為重點。本報告將其區分為電氣物理量監視與機械偏移量監視兩種，亦可兩種複合監視。經向CDSRail查詢，在英國約90%皆採電氣物理量監視，少數採兩種複合監視。

1. 轉轍器電氣物理量狀態監視

電動轉轍器以馬達作為道岔轉換動力，在正常情況下，應有足夠強大的推拉力以帶動尖軌做定反位的移動。電動轉轍器電氣物理量狀態監視原理係依據電動機推拉力矩(Torque, T)公式 $T=KI\phi$ ，即力矩(T)由電流(I)與磁通量(ϕ)決定，而磁通量(ϕ)又由電流(I)決定。又馬達作功的功率(Power, P)公式 $P=VI$ ，即功率P由電壓(Voltage, V)與電流(Current, I)決定。所以只要在尖軌移動過程中監測(V)、(I)兩個電氣參數即可。據英國CDSRail表示，此一監視基本上已可以檢測出轉換過程中大部份的異常現象。CDSRail轉轍器監控系統示意(如附圖22&23)，在轉轍電路的控制端末(可以在Relay House進行)裝設感測器同步監測電壓、電流及轉換時間，取得的參數傳回維修監控中心(Maintenance Monitoring Center)，由監控終端電腦比對及計算出包括電壓、電流、力矩及轉換時間各類數據之異常(如附圖24&25)，通報維修人員及早處理。

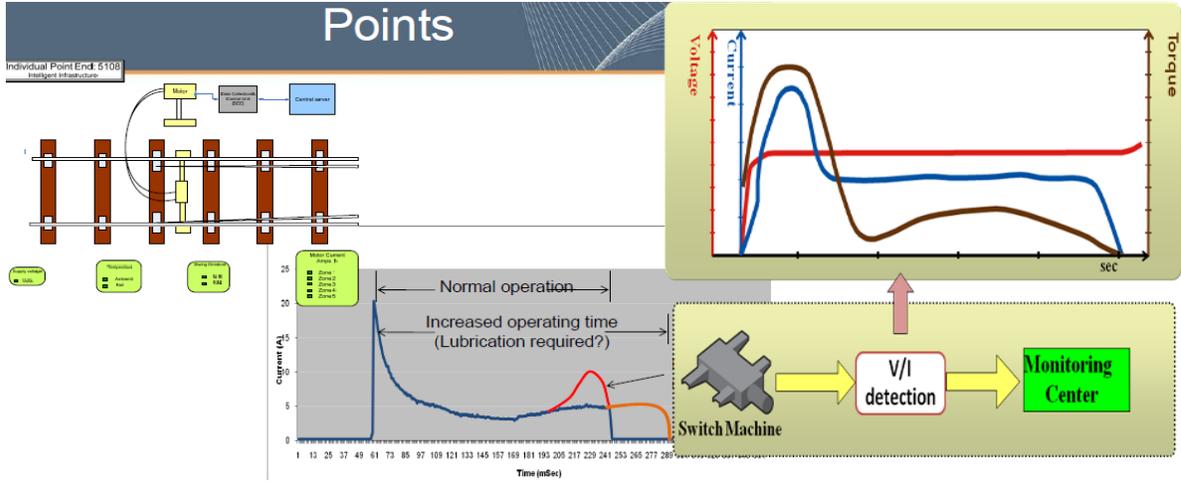


圖22. 轉轍器監視導覽圖(From Network Rail)

圖23. 轉轍器狀態監測示意圖

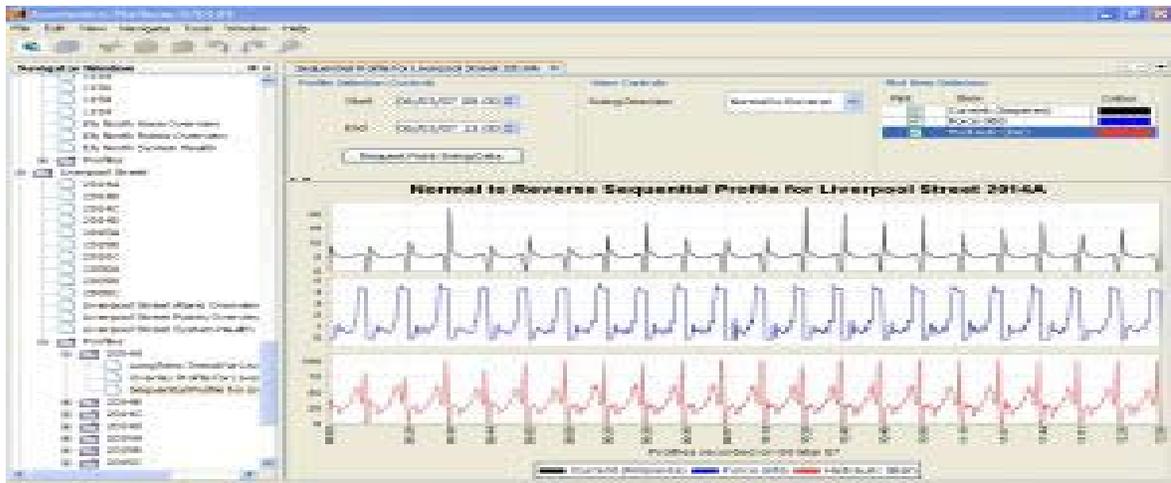


圖24. 轉轍器監控異常畫面



圖25. 轉轍器監控數據

2. 轉轍器機械偏移量狀態監視

電動轉轍器的鎖錠(Lock)，為避免電磁干擾造成不當解鎖，大都採用機械鎖錠(Mechanical Lock)，具有較高的安全性。在正常情況下，轉轍器本身有查核尖軌靠密狀況的機能；一旦「未落鎖(Unlock)」，即發出不安全狀態的信號，限制行車速度。此一「該落鎖有落鎖」與「不該落鎖未落鎖」是轉轍器正常的安全查核機制。然而很多時候，轉轍器的故障是，尖軌密著與機械作用看起來皆很正常，但卻是「該落鎖未落鎖」的故障。未落鎖(Unlock)故障的原因除了前述電氣轉換問題或外力因素外，從機械的觀點探討，造成未落鎖的原因通常有兩種可能，一是鎖錠桿位移，一是鋼軌或轉轍枕木位移。正常的轉轍器本體與鋼軌或轉轍器與枕木間，保有一固定的距離與角度，一旦其中任何一者偏移，改變了原始的相對位置，且超出落鎖的容許誤差時，就會造成「未落鎖」之故障。該類故障目視檢出不易，且往往與維修人員的經驗及環境有關；因而借助狀態監視系統，達到故障預防之目的，似乎特別需要。英國Invensys轉轍器狀態監視系統Westwatch應用大量的感測器(Sensors)於各部元件，以監視監測點的狀態。感測器陣列(array of sensor)(如附圖26 所示)

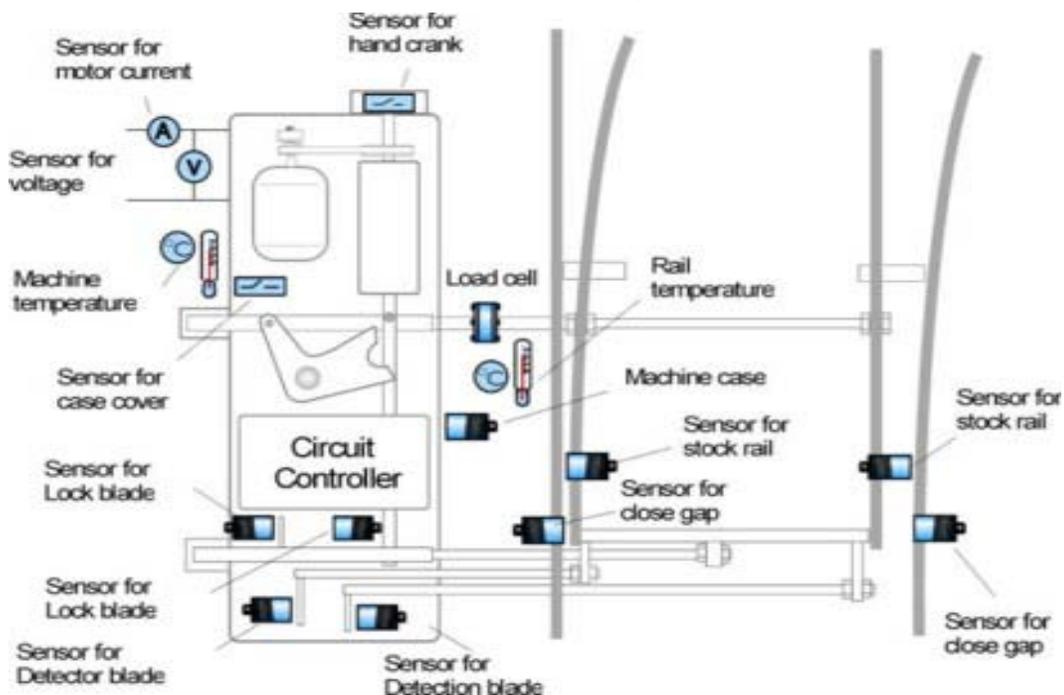


圖26. 轉轍器感測器陣列示意圖(From Invensys)

Westwatch電動轉轍器監視實體圖(如附圖27)，系統提供連續監測，擷取監測點參數，作為定期檢修參考；同時當系統偵測出相對位置或角度偏移時，偏移訊號傳回監視中心，在未落鎖故障尚未發生之前，即通知維修人員事先調修。維修人員亦可透過網路獲得精確的量測數據與指引支援，例如異常位置的指引；維護操作支援，如調整機械部位的對齊方式。(如附圖28)



圖27. 轉轍器感測器陣列監控實體圖



圖28. 轉轍器感測線上量測數據指引圖

(三) 整合電子控制中心與固態聯鎖監視

整合電子控制中心(Integrated Electronic Control Centre, IECC)為英國鐵路研究部門在1980年代所開發的，它提供一個安全、可靠、能控制大範圍的鐵路網路監控系統。每個號誌控制中心有幾個IECC工作站(workstations)，如附圖29及30所示。工作站有一系列的VDU/LCD(Visual Display Unit/Liquid Crystal Display)提供狀態監視信號予監控人員，控制區域的行車可使用自動進路設定(Automatic Route Setting, ARS)。英國鐵路網建立很多大規模控制中心，包括東海岸和大西城際幹線及倫敦、里茲、利物浦及愛丁堡等地。



圖29. IECC工作站(From Delta Rail)

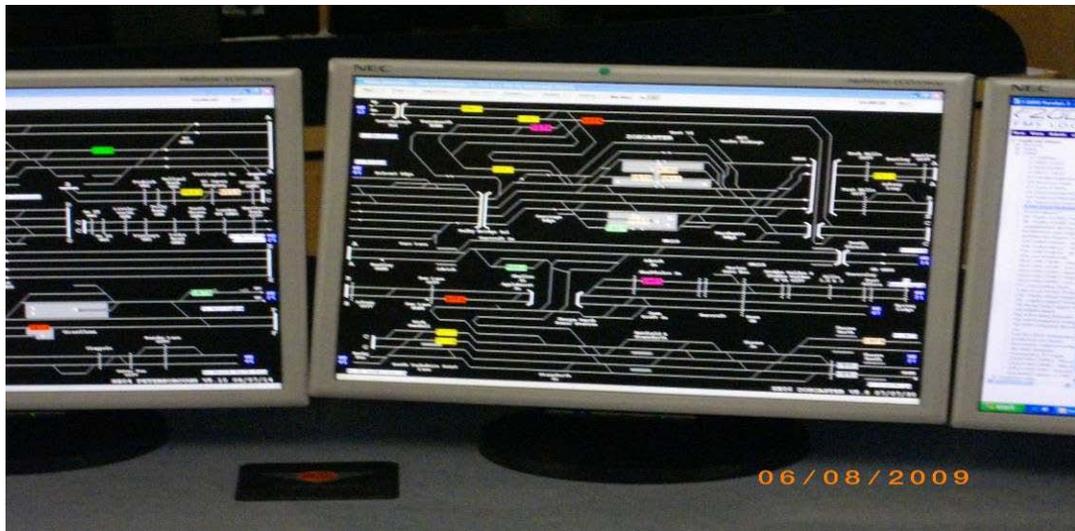


圖30. VDU/LCD(2009/08/06拍攝於York控制中心)

2009年8月日6日參訪位於York的號誌控制中心，由Network Rail人員介紹中央監視設施(如附圖31及32)。York整合控制中心使用Delta Rail的號誌控制系統，可控制252站，為英國最大。據Delta Rail表示，公司開發了優化舊資產使用的工作站應用程式，可以低成本的硬體平臺提供相同的功能。基本上，IECC的機能與CTC類似，但它不使用大型顯示盤面(Indication Panel)。



圖31&32. Network Rail人員介紹York整合控制中心

IECC的系統架構(如附圖33)，主要由號誌網路(Signalling Network)與資訊網路(Information Network)兩大網路組成。

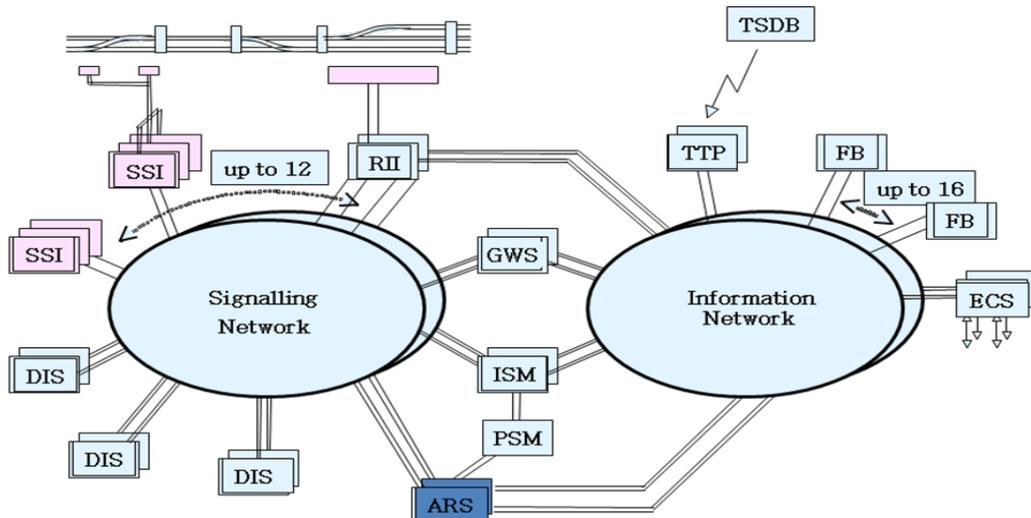


圖33. IECC系統架構(From Delta Rail)

兩大網路間連結以通訊閘門系統(Gateway System, GWS)、整合安全監視

(Integrated Safety Monitoring, ISM)、冒進號誌監視器(PC SPAD Monitor)的訊息，以執行ARS的功能。號誌網路都採用較先進的固態聯鎖(Solid State Interlocking, SSI)或是由繼電聯鎖介面(Relay Interlocking Interface, RII)、駕駛資訊系統(Driver Information System)等提供信號。資訊網路則以時刻表處理器(Timetable Processor, TTP)、列車服務資料庫(Train Service Database, TSDB)、全緩衝器(Fully Buffer, FB)、環境控制系統(Environmental Control System, ECS)等組成。英國IECC的控制中心系統都採用SSI的聯鎖系統(如附圖34)，SSI是1980年代第一代處理器架構，由當時British Rail、GEC-General Signal)和Westinghouse Signals所開發。SSI採3取2冗餘架構(redundancy architecture)，由道旁功能模組(Trackside functional modules, TFM)與中央處理器(Central Processor)組成。設備模組化、易拆換、擴充及監視是最大特色。Delta Rail的SSI監視系統TFM模組係同時監控Data Links A和B。(如附圖35&36)

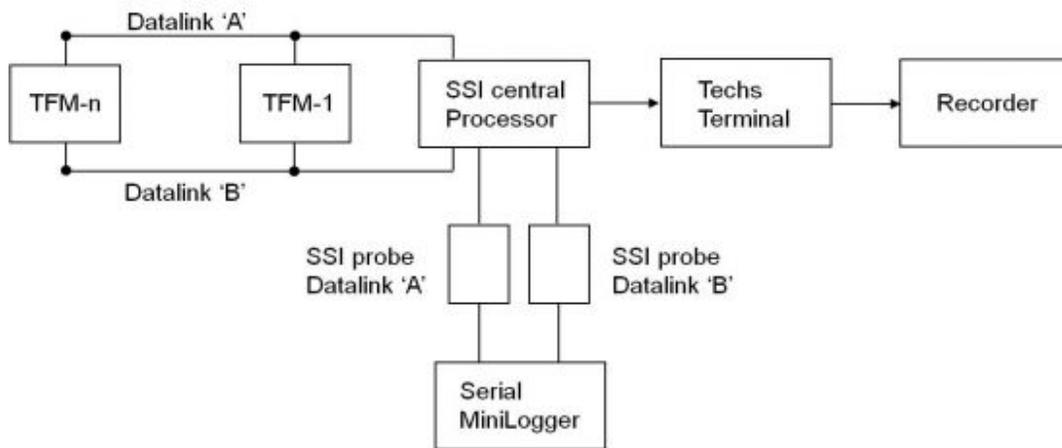


圖34. SSI系統架構(From Delta Rail)



圖35. TFM轉轍器模組&號誌模組



圖36. 一對資料連結模組(From Delta Rail)

(四) 車輛狀態監視(Vehicle Condition Monitoring)

1、VIEW Condition Monitoring

Delta Rail的VIEW是一套車底零件自動檢查裝置(Automatic inspection of under-vehicle components)，如附圖37&38所示。係在車輛的進出口軌道上(trackside)設置包括影像及紅外線等偵測設備(一般設置在機廠段)，當車輛經過時，即將個別車輛底部元件狀況數據資料提供給車輛維修管理者。



圖37&38. VIEW車輛底部狀況檢查(From DeltaRail)

2、Roundchex Condition Monitoring

Delta Rail公司的Roundchex是一套車輪狀態監視(Wheel Condition Monitoring)裝置，如附圖39&40所示。係在軌道邊緣裝設偵測器，當車輪滾過一系列的偵測器時，藉由量測車輪踏面和輪緣頂端(輪緣高度)之間的垂直高度差，來監視判斷車輪的磨耗狀況。

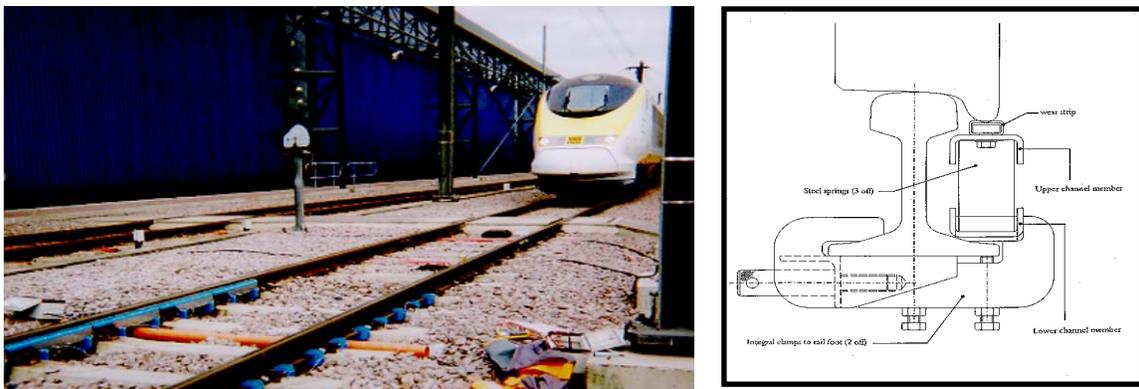


圖39&40. Roundchex車輪狀態監視(From DeltaRail)

VIEW/RoundChex組合(如附圖41所示), 可以將車輛底部、車輪和煞車元件等所檢知的資訊透過維修管理電腦, 以簡單明瞭的電腦表報出示予維修人員(如附圖42), 使維修人員對列車組件狀態能徹底掌握, 以改進安全性, 將列車性能監控在最佳的等級(Best in Class)。



圖41. VIEW/RoundChex組合檢查(From Delta Rail)

Train No.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Arrived	14 50	14 55	14 58	15 01	15 04	15 07	15 10	15 13	15 16	15 19	15 22	15 25	15 28	15 31	15 34	15 37	15 40	15 43	15 46	15 49	15 52	15 55	15 58	16 01	16 04	16 07	16 10	16 13	16 16	16 19	16 22	16 25	16 28	16 31	16 34	16 37	16 40	16 43	16 46	16 49	16 52	16 55	16 58	17 01	17 04	17 07	17 10	17 13	17 16	17 19	17 22	17 25	17 28	17 31	17 34	17 37	17 40	17 43	17 46	17 49	17 52	17 55	17 58	18 01	18 04	18 07	18 10	18 13	18 16	18 19	18 22	18 25	18 28	18 31	18 34	18 37	18 40	18 43	18 46	18 49	18 52	18 55	18 58	19 01	19 04	19 07	19 10	19 13	19 16	19 19	19 22	19 25	19 28	19 31	19 34	19 37	19 40	19 43	19 46	19 49	19 52	19 55	19 58	20 01	20 04	20 07	20 10	20 13	20 16	20 19	20 22	20 25	20 28	20 31	20 34	20 37	20 40	20 43	20 46	20 49	20 52	20 55	20 58	21 01	21 04	21 07	21 10	21 13	21 16	21 19	21 22	21 25	21 28	21 31	21 34	21 37	21 40	21 43	21 46	21 49	21 52	21 55	21 58	22 01	22 04	22 07	22 10	22 13	22 16	22 19	22 22	22 25	22 28	22 31	22 34	22 37	22 40	22 43	22 46	22 49	22 52	22 55	22 58	23 01	23 04	23 07	23 10	23 13	23 16	23 19	23 22	23 25	23 28	23 31	23 34	23 37	23 40	23 43	23 46	23 49	23 52	23 55	23 58	24 01	24 04	24 07	24 10	24 13	24 16	24 19	24 22	24 25	24 28	24 31	24 34	24 37	24 40	24 43	24 46	24 49	24 52	24 55	24 58	25 01	25 04	25 07	25 10	25 13	25 16	25 19	25 22	25 25	25 28	25 31	25 34	25 37	25 40	25 43	25 46	25 49	25 52	25 55	25 58	26 01	26 04	26 07	26 10	26 13	26 16	26 19	26 22	26 25	26 28	26 31	26 34	26 37	26 40	26 43	26 46	26 49	26 52	26 55	26 58	27 01	27 04	27 07	27 10	27 13	27 16	27 19	27 22	27 25	27 28	27 31	27 34	27 37	27 40	27 43	27 46	27 49	27 52	27 55	27 58	28 01	28 04	28 07	28 10	28 13	28 16	28 19	28 22	28 25	28 28	28 31	28 34	28 37	28 40	28 43	28 46	28 49	28 52	28 55	28 58	29 01	29 04	29 07	29 10	29 13	29 16	29 19	29 22	29 25	29 28	29 31	29 34	29 37	29 40	29 43	29 46	29 49	29 52	29 55	29 58	30 01	30 04	30 07	30 10	30 13	30 16	30 19	30 22	30 25	30 28	30 31	30 34	30 37	30 40	30 43	30 46	30 49	30 52	30 55	30 58	31 01	31 04	31 07	31 10	31 13	31 16	31 19	31 22	31 25	31 28	31 31	31 34	31 37	31 40	31 43	31 46	31 49	31 52	31 55	31 58	32 01	32 04	32 07	32 10	32 13	32 16	32 19	32 22	32 25	32 28	32 31	32 34	32 37	32 40	32 43	32 46	32 49	32 52	32 55	32 58	33 01	33 04	33 07	33 10	33 13	33 16	33 19	33 22	33 25	33 28	33 31	33 34	33 37	33 40	33 43	33 46	33 49	33 52	33 55	33 58	34 01	34 04	34 07	34 10	34 13	34 16	34 19	34 22	34 25	34 28	34 31	34 34	34 37	34 40	34 43	34 46	34 49	34 52	34 55	34 58	35 01	35 04	35 07	35 10	35 13	35 16	35 19	35 22	35 25	35 28	35 31	35 34	35 37	35 40	35 43	35 46	35 49	35 52	35 55	35 58	36 01	36 04	36 07	36 10	36 13	36 16	36 19	36 22	36 25	36 28	36 31	36 34	36 37	36 40	36 43	36 46	36 49	36 52	36 55	36 58	37 01	37 04	37 07	37 10	37 13	37 16	37 19	37 22	37 25	37 28	37 31	37 34	37 37	37 40	37 43	37 46	37 49	37 52	37 55	37 58	38 01	38 04	38 07	38 10	38 13	38 16	38 19	38 22	38 25	38 28	38 31	38 34	38 37	38 40	38 43	38 46	38 49	38 52	38 55	38 58	39 01	39 04	39 07	39 10	39 13	39 16	39 19	39 22	39 25	39 28	39 31	39 34	39 37	39 40	39 43	39 46	39 49	39 52	39 55	39 58	40 01	40 04	40 07	40 10	40 13	40 16	40 19	40 22	40 25	40 28	40 31	40 34	40 37	40 40	40 43	40 46	40 49	40 52	40 55	40 58	41 01	41 04	41 07	41 10	41 13	41 16	41 19	41 22	41 25	41 28	41 31	41 34	41 37	41 40	41 43	41 46	41 49	41 52	41 55	41 58	42 01	42 04	42 07	42 10	42 13	42 16	42 19	42 22	42 25	42 28	42 31	42 34	42 37	42 40	42 43	42 46	42 49	42 52	42 55	42 58	43 01	43 04	43 07	43 10	43 13	43 16	43 19	43 22	43 25	43 28	43 31	43 34	43 37	43 40	43 43	43 46	43 49	43 52	43 55	43 58	44 01	44 04	44 07	44 10	44 13	44 16	44 19	44 22	44 25	44 28	44 31	44 34	44 37	44 40	44 43	44 46	44 49	44 52	44 55	44 58	45 01	45 04	45 07	45 10	45 13	45 16	45 19	45 22	45 25	45 28	45 31	45 34	45 37	45 40	45 43	45 46	45 49	45 52	45 55	45 58	46 01	46 04	46 07	46 10	46 13	46 16	46 19	46 22	46 25	46 28	46 31	46 34	46 37	46 40	46 43	46 46	46 49	46 52	46 55	46 58	47 01	47 04	47 07	47 10	47 13	47 16	47 19	47 22	47 25	47 28	47 31	47 34	47 37	47 40	47 43	47 46	47 49	47 52	47 55	47 58	48 01	48 04	48 07	48 10	48 13	48 16	48 19	48 22	48 25	48 28	48 31	48 34	48 37	48 40	48 43	48 46	48 49	48 52	48 55	48 58	49 01	49 04	49 07	49 10	49 13	49 16	49 19	49 22	49 25	49 28	49 31	49 34	49 37	49 40	49 43	49 46	49 49	49 52	49 55	49 58	50 01	50 04	50 07	50 10	50 13	50 16	50 19	50 22	50 25	50 28	50 31	50 34	50 37	50 40	50 43	50 46	50 49	50 52	50 55	50 58	51 01	51 04	51 07	51 10	51 13	51 16	51 19	51 22	51 25	51 28	51 31	51 34	51 37	51 40	51 43	51 46	51 49	51 52	51 55	51 58	52 01	52 04	52 07	52 10	52 13	52 16	52 19	52 22	52 25	52 28	52 31	52 34	52 37	52 40	52 43	52 46	52 49	52 52	52 55	52 58	53 01	53 04	53 07	53 10	53 13	53 16	53 19	53 22	53 25	53 28	53 31	53 34	53 37	53 40	53 43	53 46	53 49	53 52	53 55	53 58	54 01	54 04	54 07	54 10	54 13	54 16	54 19	54 22	54 25	54 28	54 31	54 34	54 37	54 40	54 43	54 46	54 49	54 52	54 55	54 58	55 01	55 04	55 07	55 10	55 13	55 16	55 19	55 22	55 25	55 28	55 31	55 34	55 37	55 40	55 43	55 46	55 49	55 52	55 55	55 58	56 01	56 04	56 07	56 10	56 13	56 16	56 19	56 22	56 25	56 28	56 31	56 34	56 37	56 40	56 43	56 46	56 49	56 52	56 55	56 58	57 01	57 04	57 07	57 10	57 13	57 16	57 19	57 22	57 25	57 28	57 31	57 34	57 37	57 40	57 43	57 46	57 49	57 52	57 55	57 58	58 01	58 04	58 07	58 10	58 13	58 16	58 19	58 22	58 25	58 28	58 31	58 34	58 37	58 40	58 43	58 46	58 49	58 52	58 55	58 58	59 01	59 04	59 07	59 10	59 13	59 16	59 19	59 22	59 25	59 28	59 31	59 34	59 37	59 40	59 43	59 46	59 49	59 52	59 55	59 58	60 01	60 04	60 07	60 10	60 13	60 16	60 19	60 22	60 25	60 28	60 31	60 34	60 37	60 40	60 43	60 46	60 49	60 52	60 55	60 58	61 01	61 04	61 07	61 10	61 13	61 16	61 19	61 22	61 25	61 28	61 31	61 34	61 37	61 40	61 43	61 46	61 49	61 52	61 55	61 58	62 01	62 04	62 07	62 10	62 13	62 16	62 19	62 22	62 25	62 28	62 31	62 34	62 37	62 40	62 43	62 46	62 49	62 52	62 55	62 58	63 01	63 04	63 07	63 10	63 13	63 16	63 19	63 22	63 25	63 28	63 31	63 34	63 37	63 40	63 43	63 46	63 49	63 52	63 55	63 58	64 01	64 04	64 07	64 10	64 13	64 16	64 19	64 22	64 25	64 28	64 31	64 34	64 37	64 40	64 43	64 46	64 49	64 52	64 55	64 58	65 01	65 04	65 07	65 10	65 13	65 16	65 19	65 22	65 25	65 28	65 31	65 34	65 37	65 40	65 43	65 46	65 49	65 52	65 55



圖43&44. TrackLine Two檢查(From Delta Rail)

圖45. TrackLine Two檢查紀錄(From Delta Rail)

4、TrackMaster

TrackMaster是Delta Rail公司運用具鐵路背景經驗的專業人員所研發的軌道維修規劃軟體(Track Maintenance Planning)，如附圖46所示。係針對軌道養護規劃需求，利用基礎網路資源，即時監測機器狀態或事件，記錄每台機器的運作能力、可用性與特性，以提高維修機器的利用率。並追蹤管理每一機器作業和維修的全部歷程，所配置通訊工具可以靈活地自動報告、警示管理人員或工作人員，全面檢核以確保達成最佳化維修(Optimise Maintenance)。

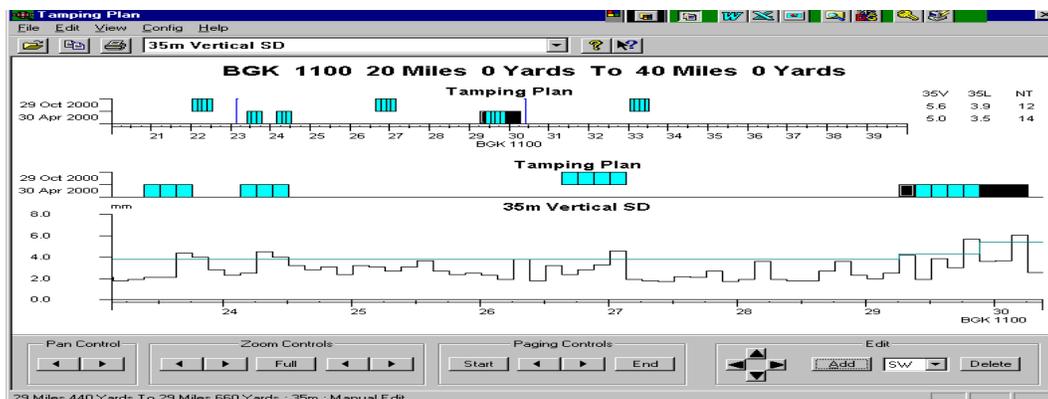


圖46. TrackMaster軌道維修規劃軟體(From Delta Rail)

(五) 維修管理資訊系統(MMIS)

維修管理資訊系統(Maintenance Management Information System, MMIS), 係整合資訊應用電腦於維修管理的系統, IBM Maximo稱之為電腦化維修管理系統(Computerized Maintenance Management System, CMMS)。

1、RCM

RCM被稱為以可靠性為中心的維修(Reliability Centered Maintenance), 定義為用於「確保設施在其運作環境下維修需求的一種方法」。較完整的定義應為用於「確保設施在現行使用環境下, 實現原設計功能狀態所必須的活動的一種方法」。實施RCM的目的是透過有效的維修策略來提高設備運作的可靠度, 降低設備發生過早失效的可能性, 從而減輕失效的影響, 也就是本報告前面提到的預防性維修(Preventive Maintenance, PM)。CMMS係以實踐RCM的維修策略, 達成維修預防之目標。CMMS的導引範圍非常廣大, 包含資產、物料、員工、維修等管理程序等等都是。(如附圖47所示)

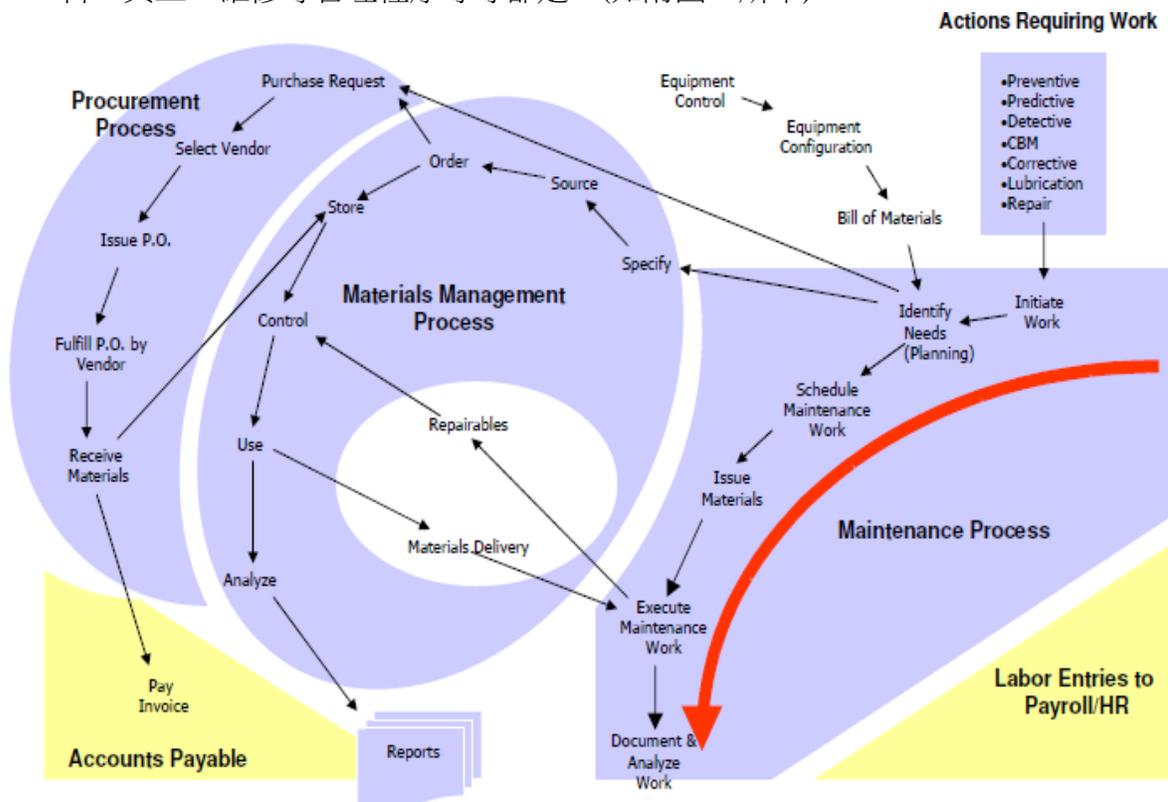


圖47. CMMS的導引範圍(From IBM Maximo)

2、Network Rail資產管理

在參訪英國Network Rail的整合控制中心(Network Rail Integrated Control Centre)及NDS(National Delivery Service)的簡報中，也都提到Network Rail公司龐大的鐵路資產，係藉由IBM Maximo的電腦化管理，Network Rail整體資產管理計畫(Asset Management Planning)，如附圖48所示。

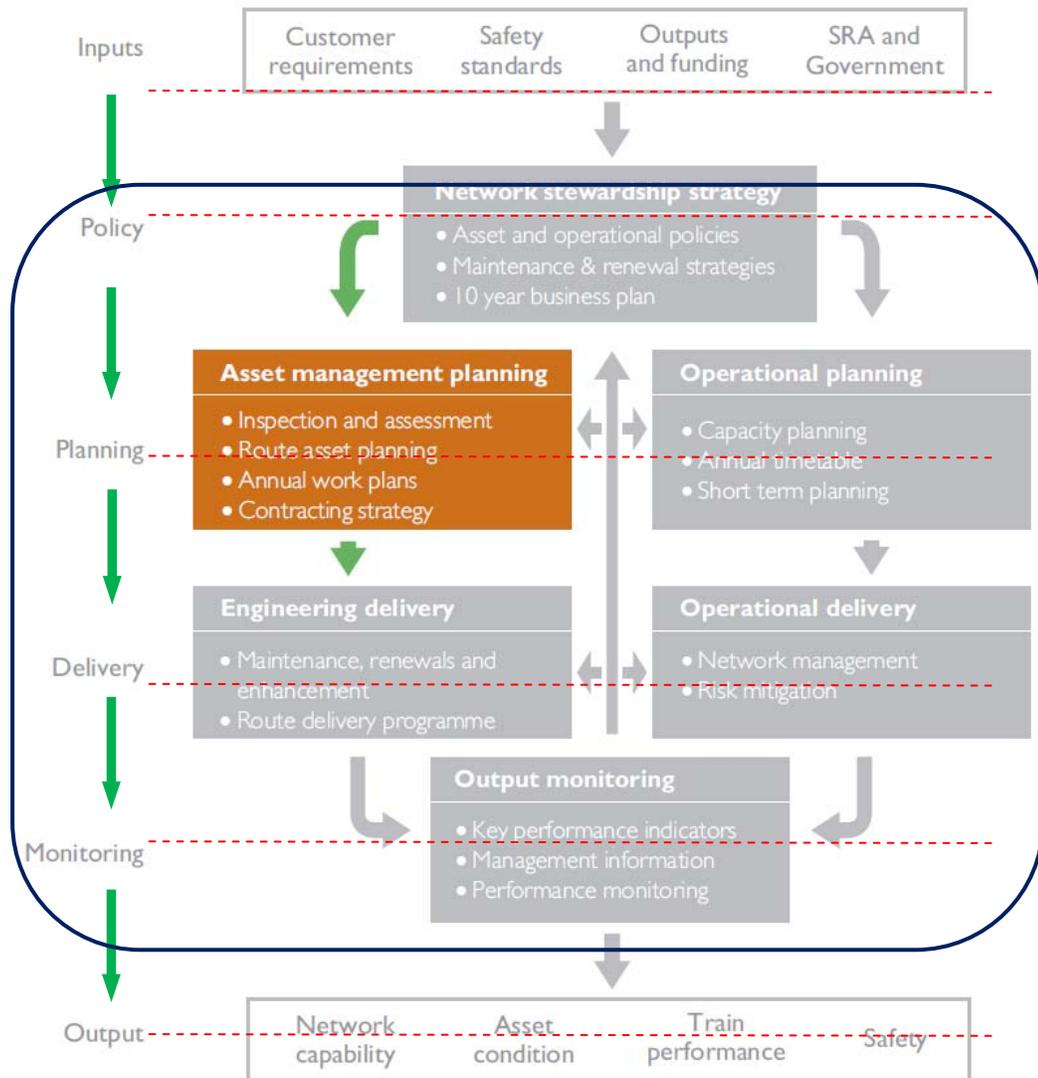


圖48. Network Rail資產管理計畫

管理計畫中顯示，從顧客需求、安全標準確認，到政策、計畫擬定，然後交付執行與狀態監視，一直到整體容量、資產狀況、營運績效、安全性等階段各個面向評估，維修管理是其中很重要的一部分。

3、MMIS

臺灣高鐵公司與Network Rail同樣採用IBM Maximo資產管理模組，所建置的MMIS登錄了臺灣高鐵公司所有資產，例如：通訊系統、駕駛模擬、車輛、軌道系統、號誌等，總計超過三十萬個項目。IBM Maximo 標準模組，包括資產管理、工單管理、計畫管理、庫存管理、資源管理、採購管理與應用程式介接可因應業務需求擴充應用的深度及廣度，可見以電腦輔助維修是現代化管理的一個趨勢。臺鐵為了一致的維修標準，正規劃中的號誌系統MMIS，係以號誌分駐所為管理核心，從號誌設備分散的特性所建構的功能方塊(如附圖49)。預期MMIS帶來的效益，包括整體效率的提升、維修資料的整合，以及單一的知識資料庫。

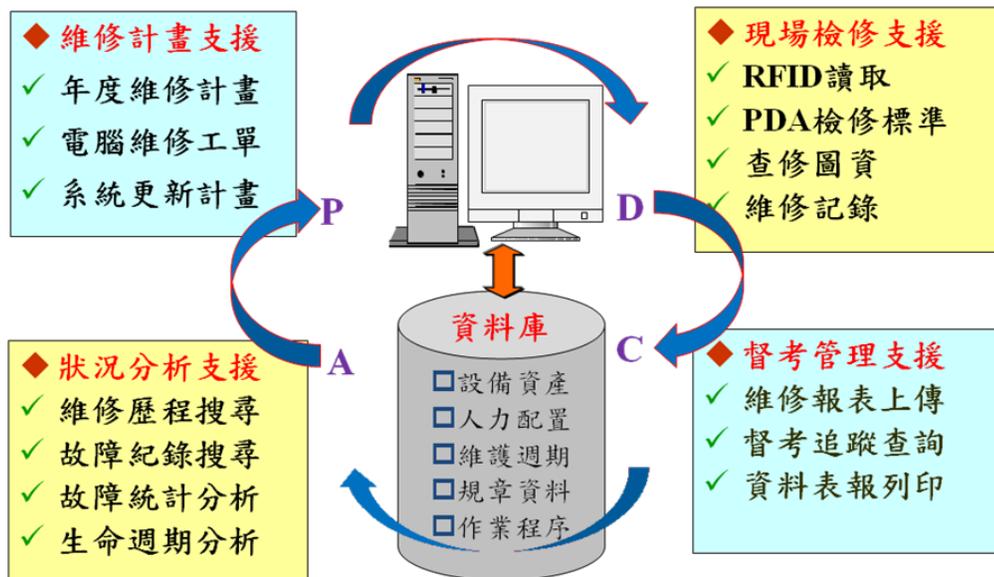


圖49. MMIS功能方塊圖

1、MMIS建置過程：

(1) 資產清單(Asset Lists)：

首先必須完整列出資產清單，鉅細靡遺的登錄所有設備資產資料於資料庫(Database)。

(2) 設備建檔：

一一鍵入號誌各系統名稱、型式、廠牌、規格、系統布置及電路圖、建置日期；各單元設備名稱、編號、耐候性、啟用或更新日期、設置地點、備品數量；各細部元件名稱、編號、尺寸及材質、電氣或機械特性、出廠或更新日期、備品數量等。

(3) 維護程序標準

將維護週期、程序、標準、注意事項與配置人力等鍵入系統，如能將地理環境及天候等變異性參數輸入更佳，採取設備與地點一對一對應關係模式來登載相關參數，越詳細越好。

(4) 故障與維修歷程

盡可能將歷史故障與檢修資料一一輸入，建立類似病歷表的資產病歷。

3、MMIS四大支援：

過去設備維護標準、改善與更新時機，過於依賴維修者和管理者的記憶、經驗來決定的作業模式，無形中加重了人員的負擔，也易漏失。因此，以電腦為主、人工為輔的維修管理新思維值得推展，預期MMIS可提供四大支援：

(1) 維修計畫支援

應用MMIS於日常、年度維修及系統更新計畫，舉凡年檢、半年檢、月檢等週期性維修工單及維修項目皆可由電腦產生提供，特殊需要時，人工可以適時介入調整，將改變以往人工派班之作法。

(2) 現場檢修支援

號誌系統須巡檢之設備項目分散各地，維修人員應填寫之保養卡與點檢項目繁多，維修標準與程序因無法一一列舉於維修工單及保養卡，導致維修成果因人因能力而異，差距甚大。應用MMIS期能提供維修標準提示、查修電路的電子圖資搜尋，電腦自動完成維修紀錄，達成一致性的維修水平。

(3) 督考管理支援

以往主管人員無法確實掌握維修人員是否已一一完成交付的工作項目，

點檢後之設備是否處於最佳的狀態，亦無法有一全面性的掌握，導致錯失調整或更新時機。而應用MMIS能提供維修紀錄上傳，由上而下透過網路不定期督導考核與特定事項追蹤。

(4) 狀況分析支援

利用原先建置的資料庫，啟動類似Google查詢功能，管理或維修人員可以隨時查詢設備故障與維修歷程、檢修記錄等，利於故障查修與狀況判斷；使用者可以很容易地搜索檢視歷史資料；或依程序依權限修改或編輯資料。系統也可以提供各種資料統計分析功能，月報、年報隨需要自動產生。

3、MMIS九大機能：

(1) 系統管理：

提供系統使用人員權限控管及認證機制，並記錄各使用者進出系統作業之相關操作資料及系統維護的異動、修改之歷程追蹤，凡走過必留下痕跡。

(2) 資料維護：

提供各系統設備(含可維修元件)、物料規格清單、使用工具儀器等基本資料與故障原因、維修等級、權責單位、執行人員及其關聯表的新增、修改、刪除等編輯維護功能。

(3) 排程管理

由建置的資料庫提供所有各類設備的預防維修排程，管理者可以非常簡易地執行各項維修排程表編製作業，並於排程確定後直接依該排程表自動結合派工管理模組進行派工單開立。後續如須重新排程，亦可直接於該排程表上操作修訂調整。

(4) 工單管理

各類設備的實際檢修工單作業由電腦提供，如定期巡檢、故障檢修、預防維修及改善矯正等工單。系統可依據維修單位人員組合、能力分級、天候狀況提出不同的派工模式供選擇，可包括一般工單、子母工單及延伸工單。

(5) 維修管理

建置所有各類設備的維修作業，包括已處置的簡易維修、進階維修及需進一部維修或尚未維修事項，交給電腦自動提示、持續追蹤，直至完成為止。並可將完成的檢修案件自動傳送，轉入歷史維修資料檔案區供搜尋。

(6) 狀況管理

建置各設備可維修元件狀態特性之背景資料，以記錄及管理各設備單元或組件之維修、更換及其履歷查詢，並提供以設備單元或組件為主要查詢對象的更換紀錄查閱與比對功能。

(7) 現場檢修管理

維修人員所配備的PDA或UMPC，除了可以於連線狀態下執行各項的檢修功能之外，亦可以在實際檢修工作時攜出，於離線狀態下進行各項維修作業標準表單資料的輸入工作、內建或外掛圖資查詢。

(8) 材料管理

提供庫存材料管理功能，包含領料、用料、庫存等相關管理功能。可與維修管理系統結合，當檢修工單成立時，系統自動將檢修項目所對應的工具及材料關聯資料帶入點檢表中，維修人員再依據實際用料填列，並將取用材料傳送予庫存材料管理功能介面。備用安全存量不足時，系統自動提醒。

(9) 統計分析管理

建置各種資料查詢功能，包括：設備維修履歷查詢、報修紀錄查詢、派工紀錄查詢、排程表查詢等，使用者可以非常簡便地調閱及管理。也可依據各種統計分析資料以及檢修表中的項目檢測值資料，建置維修單位所需要的各項統計及分析。

4、MMIS整合：

應用MMIS執行維修作業，除了能更有效落實PDCA循環，使維修品質與管理更加精進外，電腦資訊化方式亦更易於與其它系統的連結、資源共享。

例如結合事故管理系統(Fault Management System, FMS), 如附圖50所示。約克(York)控制中心整合資產、狀態、事故等資訊(如附圖51), 可以外部網路(Extranet)相互支援地方的得比(Derby)、史溫登(Swindon)等地的鐵路資訊。

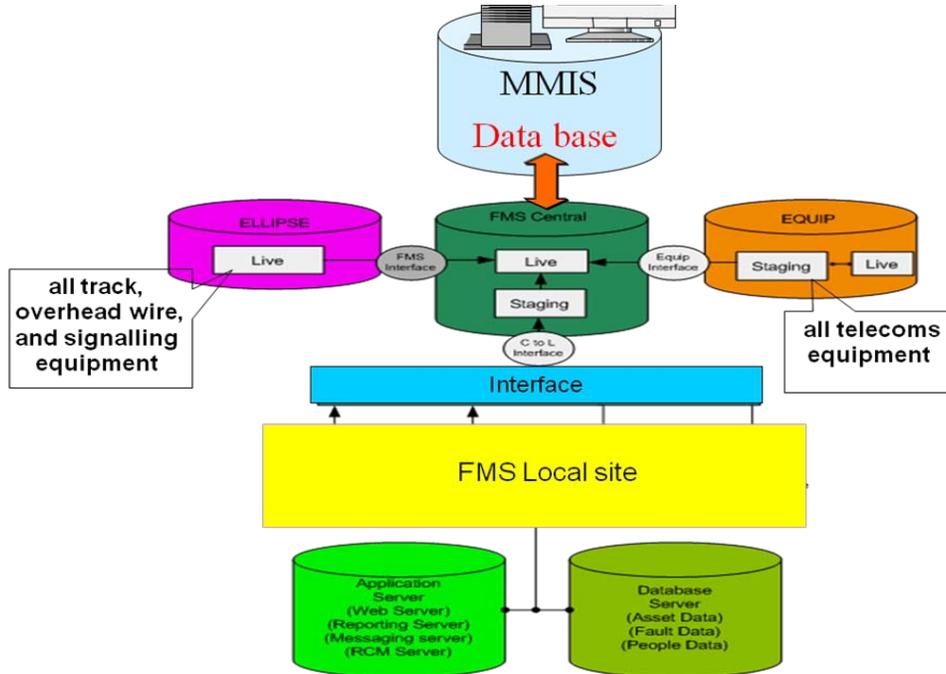


圖50. 整合MMIS與FMS架構

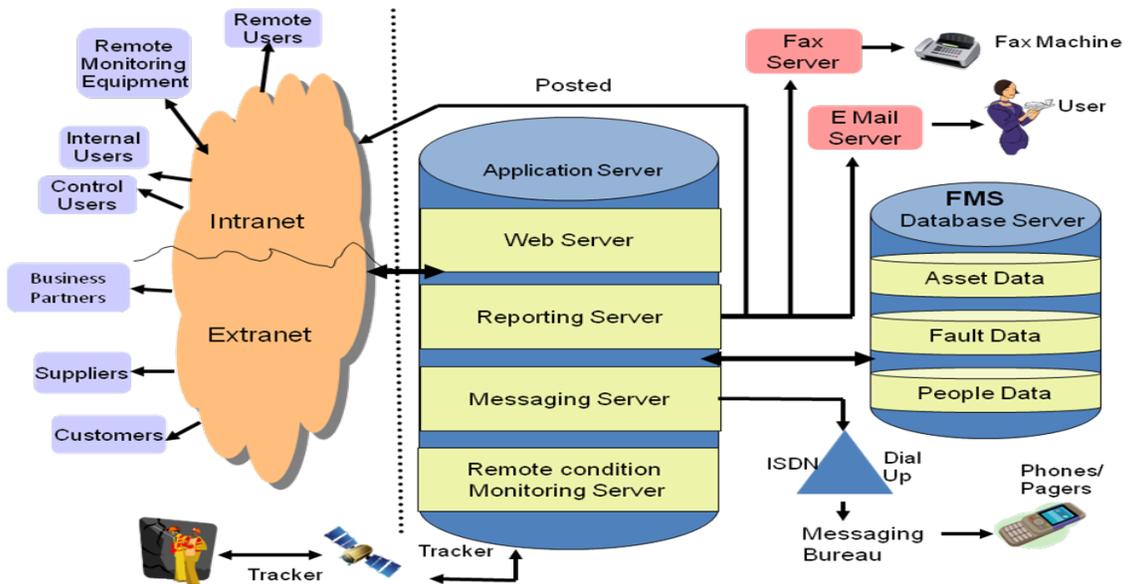


圖51. MMIS整合資產、狀態監視與故障資訊架構

肆、 鐵路現代化行車控制系統考察

近幾年來，英國鐵路在節能減碳(Saving energy & Reducing carbon)與「鐵路永續發展之實現」(Delivering a Sustainable Railway)的綠能政策下，運輸發展皆以軌道運輸為優先選項，而在軌道運輸擴展的同時，為兼顧鐵路系統安全、運輸能量與效率之提升，透過科技研發與技術突破，促使行車控制、號誌聯鎖、行車調度等已日趨現代化，以期滿足旅客安全、舒適、準點與便利之行車需求，達成鐵路永續經營之目標。

為達成上述包含安全性之各種行車需求，從英國的經驗與策略來看，就是藉由現代化之電腦通訊來達成。由於微電腦、通訊系統及相關軟體之蓬勃發展，超強的傳輸與演算能力，使得新一代行車控制已超越傳統思維與藩籬。例如採用無線通訊、車上號誌、移動閉塞等新觀念與作法，對提升軌道運輸之安全、運量與效率等產生重大變革，得以擺脫過去的限制。此次在英國考察行程中進一步了解GSM-R與CBTC等現代化行車控制技術之發展，有逐漸取代傳統軌號誌之趨勢，漸漸成為新興鐵路發展的主流。以下為行車控制系統現代化的發展方向與特徵，值得國內鐵路系統發展之參考。

❖ 現代化行車發展方向：

- 1、道旁設備精簡化，低建置與維修成本。
- 2、系統結構講究高可靠度與低故障率。
- 3、最佳化的行車間隔與高軌道容量設計。
- 4、連續訊息傳輸，確保列車安全間隔。
- 5、車上號誌、移動式閉塞。

❖ 現代化控制發展特徵：

- 1、標準化(Standardization)、模組化(Modularization)。
- 2、資訊化(Informatization)、無線網路化(Wireless & Networking)。

一、 歐洲鐵路行車管理系統(ERTMS)

歐洲鐵路行車管理系統(European Rail Traffic Management System，簡稱ERTMS)，係源於早期歐洲鐵路網，各國各自使用不同的號誌控制、行車管理與運轉方式，在歐洲列車運行控制系統多達二十餘種之多(如附圖52所示)。由於缺乏一致的行車號誌與控制標準，各國列車控制系統各異，例如英國現仍大量存在的TWPS系列與法國的TVM系列並不相容，結果造成跨國營運的列車必須在抵達另一個國家之前先更換機車，要不然就是一個機車要搭載數個不同的控制系統，才能進入他國營運，既不方便、又不安全。基於此一原因，於是產生了號誌和列車控制系統介面標準化的需求。

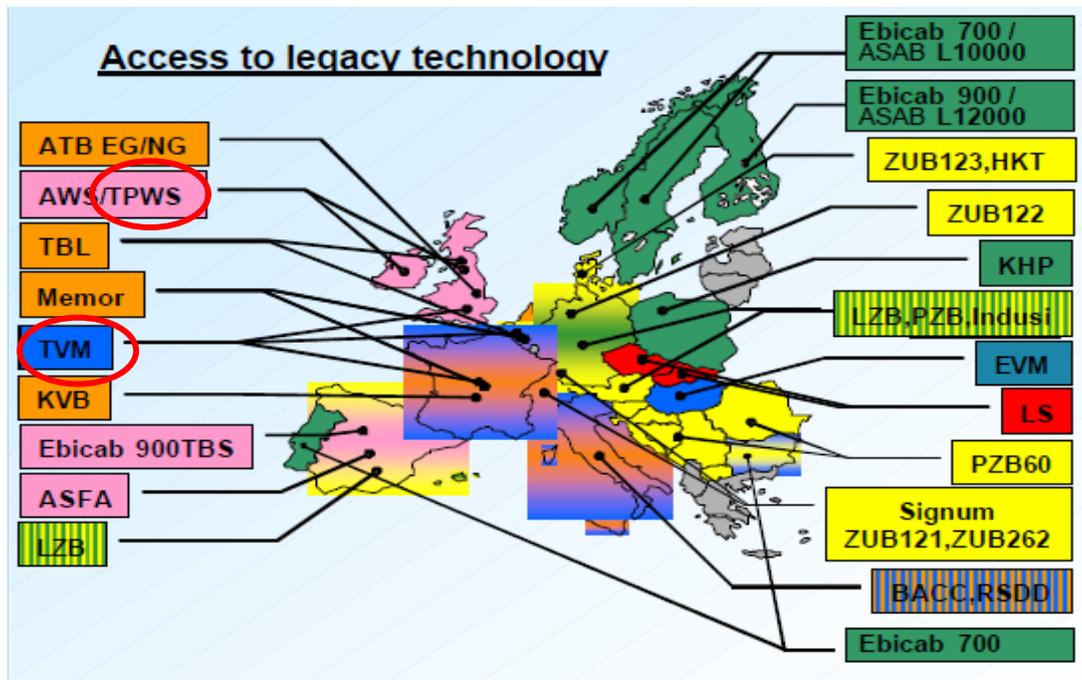


圖52. ERTMS分布圖(From UIC ERTMS Conference 2006)

1996年終於在歐盟(European Union，EU)和國際鐵路聯盟(International Union of Railways，UIC)的支持下，聯合當時歐洲7大鐵路號誌公司，包括法國Alstom、瑞典Adtranz、德國Siemens、法國Alcatel、義大利Ansaldo、英國Westinghouse，以及Invensys等公司，共同為行車號誌控制系統的通訊格式制定了統一的標準，這就是整合歐洲鐵路所制定同一行車控制標準的歐洲鐵路行車管理系統(ERTMS)。其後陸續製造了ERTMS標準的相關產品，實際安裝

於歐洲鐵路網運行，從而改善了過去行車號誌互不相容的問題，也促使各國的列車得以在歐洲鐵路網內互通運營，提高運輸效率。

當前在歐洲，所謂現代化的行車控制系統指的就是建置符合ERTMS標準的系統。ERTMS系統係從號誌控制、通訊傳輸與管理層來共同規範各國行車號誌與列車控制、通訊與管理標準的一致化。所制定的ERTMS標準包括歐洲列車控制系統(European Train Control System, ETCS)、列車與地面的移動式鐵路雙向無線通信系統(Global System for Mobile Communications-Railway, GSM-R)和歐洲行車管理階層(European Traffic Management Layer, ETML)等三大子系統(如附圖53所示)。其中ETML將定義鐵路經營管理，優化列車時刻表及運轉數據資料的智慧化，目前尚未有相關規範，因而現階段所謂ERTMS指的是ETCS與GSM-R。

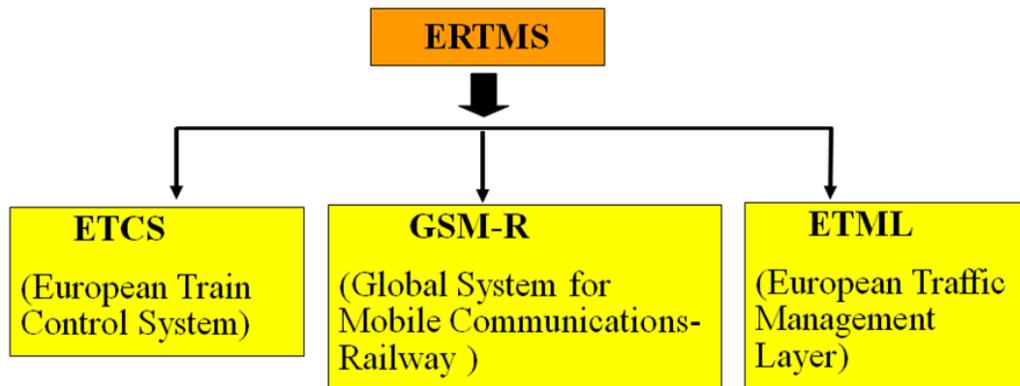


圖53. ERTMS三個子系統

(一) 歐洲列車控制系統(ETCS)

歐洲列車控制系統(European Train Control System, 簡稱ETCS)定義了歐洲列車控制與號誌系統的相關要素，包括列車偵測(Train Detections)、列車移動授權(Movement Authorities)、列車防護(Train Protections)、號誌聯鎖介面(Interlocking Interface)及地對車資訊傳遞方式等之標準一致化。所以ETCS為專注於列車控制和號誌方面所制定的行車技術規範，定義所有的號誌控制、顯示與防護一體化的技術標準，在ERTMS下的列車控制技術部分表示為“ERTMS/ETCS”。

1、ETCS的結構特徵

- ✓ 單元模組化(Unit Modularization)：便於維護、更換。
- ✓ 連接埠標準化(Port Standardization)：系統升級方便，不同等級可以互通。
- ✓ 顯示介面、操作方法一致化(Uniformity)：不同供應商設備的操作方式、顯示介面一致，利於不同等級應用。
- ✓ 製造與維護程序化(Procedure)：設備研製與生產依據相同安全設計規範。

2、ETCS的技術特性

- ✓ 系統開放性(Disclosure)：

是指對相關標準的一致與公開，強調彼此的共識。一個開放的系統可與世界上任何地方相同標準的其他設備或系統連接。共同的通信協定(Transmission Control Protocol /Internet Protocol，TCP/IP)，使不同供應商的設備之間可實現資訊交換。ETCS技術規範是得到歐洲聯盟(EU)和國際鐵路聯盟(UIC)承認的標準，而且該標準是公開的，所有ETCS的設備供應商都可以按照標準生產ETCS設備。

- ✓ 系統互換性(Changeability)：

指實現互連設備間、系統間的資訊傳送與溝通，不同供應商生產的性能相似的設備可實現相互替換。由於所有的ETCS的設備供應商均按照統一的ETCS技術規範來製造，不同供應商的ETCS設備可以任意組合、互換使用。

- ✓ 系統兼容性(Compatibility)：

ERTMS/ETCS的各個應用等級的機車儘管其設備的車載設備不同，但機車可以在不同等級的線路上互通運營。

- ✓ 系統升級(Upgrade)：

ERTMS/ETCS低等級系統在原有設備的基礎上，增加一些新的設備就能功能升級，原有車載設備的列車仍可運行控制在較高等級的系統中繼續行駛。

因此，只要安裝了符合ERTMS/ETCS控制系統技術規範的列車，基本上列車的安全等級已達到一定的水準，同時具備與他國溝通的能力，即允許在歐洲境內跨國營運於ETCS的路線上，沒有任何限制。由於有ERTMS/ETCS控制系統技術規範的統一制定，所以今日的歐洲之星(Eurostar)才能夠自英國倫敦聖潘可勒斯車站(St Pancras station)出發穿越英吉利海峽進入法國與比利時，在比、法境內連接與法國巴黎(北站)、里爾以及比利時布魯塞爾(南站)的高速鐵路服務。附圖54~57為此行拍攝於St Pancras station的照片。



圖54&55. Eurostar TGV 373000系列(2009/8/2攝於St Pancras station)



圖56&57. St Pancras station

(二) 移動式鐵路無線通信系統(Global System for Mobiles-Railways, GSM-R)

1、GSM與GSM-R

ERTMS的另一重要子系統GSM-R，GSM-R全名為鐵路專用的移動無線雙向通信系統(Global System for Mobiles-Railways，簡稱GSM-R)。大家熟悉的

全球行動通訊系統(Global System for Mobile Communications, GSM), 是應用最為廣泛的行動通訊系統。目前全球超過200個國家和地區、超過10億人在使用GSM電話。GSM系統可以在多個不同頻段工作, 最初的GSM標準定義了900MHz、1800MHz和1900MHz頻段, 後來又增加了850MHz和450MHz, 以適合部分地區的需求。世界大部分地區採用900M和1800M頻段(包括臺灣在內), 美洲部分使用850M和1900M頻段, 400~450M頻段則僅局限於北歐國家。GSM上下行訊號為分頻雙工, 上下行採用不同的頻率, 但不同的頻段, 上下行頻率之間保持固定的間隔, 各頻段的具體頻率範圍和頻道編號如附表2:

表2. GSM頻道編號表

頻段	名稱	上行 (MHz)	下行 (MHz)	備註
GSM 850	GSM 850	824 - 849	869- 894	美國、南美和亞洲部分國家。
GSM 900	P-GSM 900	890 - 915	935 - 960	最先實現的頻段, 也是使用最廣的頻段。
	E-GSM 900	880 - 890	925 - 935	900M 擴展頻段
	R-GSM 900	876 - 880	921 - 925	歐洲鐵路規劃的鐵路專用頻段。
GSM1800	GSM 1800	1710 - 1785	1805 - 1880	用於通道容量需求大的市場, 應用範圍僅次於
GSM1900	GSM 1900	1850 - 1910	1930 - 1990	主要用於美洲, 由於頻率重疊, 與 1800 不兼容。

如上表所示, 歐盟(EU)和國際鐵路聯盟(UIC)基於鐵路通訊需求, 在既有GSM系統的通訊基礎下, 特別為鐵路制定的GSM-R系統, 它的工作頻率仍然是在900MHz頻段, 而ERTMS下的無線通信技術表示為“ERTMS/GSM-R”。歐洲鐵路為GSM-R定義了包含地面控制基地台與列車間的語音(Voice)通訊網路及ETCS數據(Data)傳輸路徑的無線通訊標準, 目前已成為當今歐洲鐵路系

統升級的指標性配備，用於規範鐵路的無線通訊。。

2、GSM-R在歐洲鐵路的應用範圍

(1) 列車控制器與駕駛通訊(Train Controller&Driver Communications)

支援包括列車控制器、行車控制器、電力供應控制器、維修控制器與車站控制器對駕駛之間的無線通訊。

(2) 自動列車控制/歐洲列車控制系統(Automatic Train Control/European Train Control System，ATC/ETC)：

列車移動授權信息(Movement Authority Messages)由行車控制中心(CTC)經GSM-R傳送至列車。列車的位置資訊也經由GSM-R傳送回行控中心。

(3) 遠端控制(Remote Control)：

通訊數據支援遠端管理，如剎車測試、機車調車、道岔或平交道支援。

(4) 緊急區域廣播(Emergency Area Broadcast)：

特殊區域緊急狀態廣播。

(5) 調車(Shunting)

支援調車準備時的低優先群組呼叫，調車移動時的高優先群組呼叫、確認信號、緊急呼叫。

(6) 道旁維修通訊(Trackside Maintenance Communication)

支援道旁維修人員之間的語音通訊聯繫。

(7) 列車通訊支援(Train Support Communication)：

車上服務人員用於支援旅客服務，如訂位與時刻表資訊。

(8) 區域通訊(Local Communication)：

支援列車駕駛與車站人員或機廠段管理人員間的通訊。

(9) 廣域通訊(Wide Area Communication)：

4、GSM-R的通訊模式

近年來歐洲鐵路發展以GSM-R為基礎的列車控制系統，以及與ETCS相關的移動閉塞技術(Moving Block)，對號誌聯鎖技術進行標準化和簡化，在ETCS架構上把進路設定及移動授權從地面轉移到車上，並從列車增添更多的智慧功能，因而精簡了大量的地面設備。而裝載了GSM-R標準的列車，就可以從一個國家(Country A)到另一個國家(Country B)與其它GSM-R基地台溝通(如附圖60)，車與地間(Train-Track Side)通訊架構(如附圖61)。

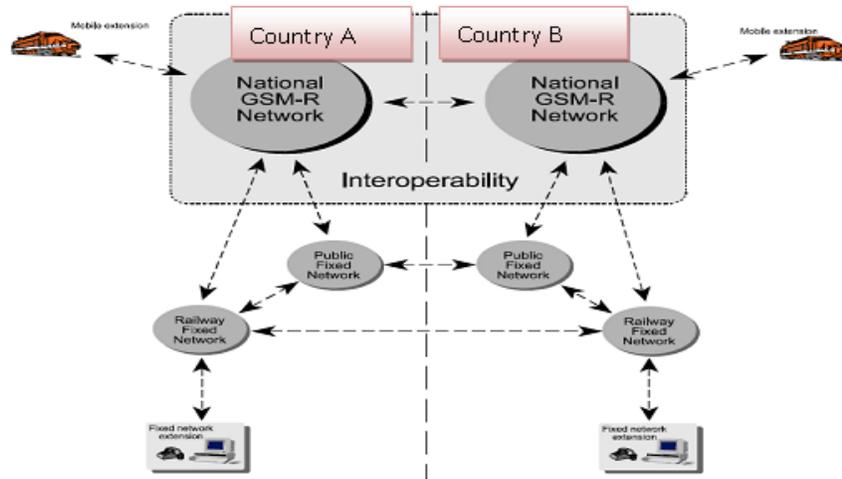


圖60. GSM-R跨國通訊圖(From NORTEL)

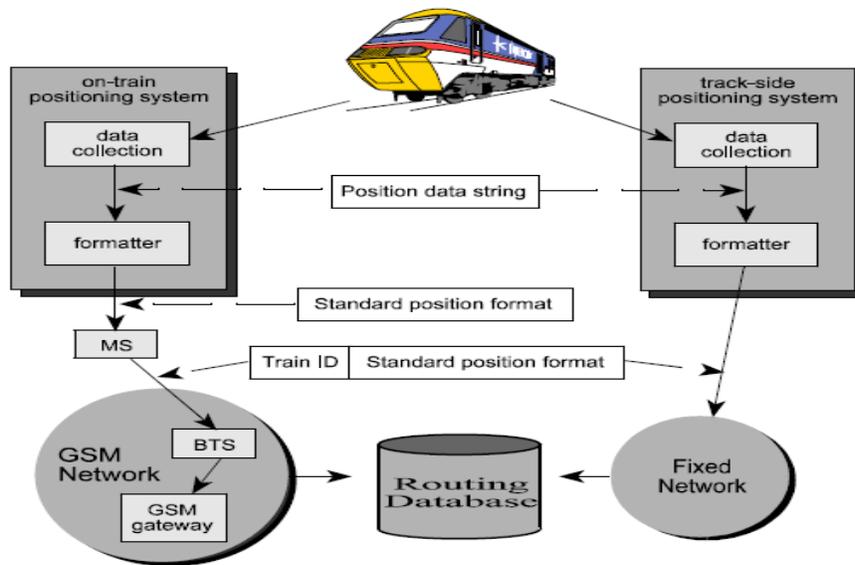


圖61. GSM-R地對車通訊圖(From NORTEL)

5、GSM-R的行車控制架構

GSM-R最早是由ETSI/MORANE(European Telecommunications Standards Institute /MOBILE radio for RAILWAY Networks in Europe)提供歐洲鐵路的進階語音呼叫服務(Advanced Speech Call Items, ASCI),並提供鐵路特有的調度業務,將現有的鐵路通信應用融合到單一網路平臺中,並以此為資訊化平臺,使鐵路部門用戶可以在此資訊平臺上開發各種鐵路應用。GSM-R不但提供無線列車調度、編組與調車通信、緊急通信、養護維修組通信等語音通信功能,甚至已發展至行車控制的應用(如附圖62)。根據測試評估,GSM-R能滿足列車運行速度在0-500km/h的無線通信需求,且安全性已獲得驗證,實務上,GSM-R已應用於號誌及列車控制系統的傳輸,現代化的歐洲列車控制都是將GSM-R作為傳輸平臺。

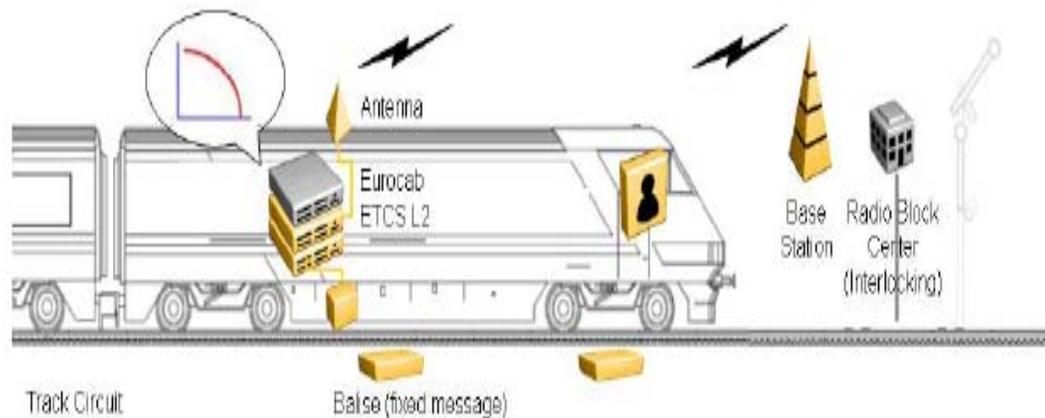


圖62. GSM-R行車控制應用(From NORTEL)

(三) 歐洲行車管理控制系統升級

歐洲鐵路行車控制系統的規範,考慮到階段性逐步升級(Upgrade)或優化(Optimization)需求,將ERTMS/ETCS制定了5個應用等級(以下簡稱為ERTMS Level),各級分別為ERTMS Level 0、Level STM、Level 1、Level 2、Level 3,安全性皆符合EN50129和EN50128標準,優化升級過程中的系統設備可以適應擴充與相容性。

1、ERTMS Level 0

ERTMS Level 0中，裝載了ERTMS/ETCS車上設備的列車可以在沒有裝載ERTMS/ETCS地面設備或者無本國號誌系統的路線上行駛。由於線路上沒有ETCS號誌系統，列車只可以使用當地的號誌，且ETCS車載設備只會確保駕駛員不超出設計的允許最高速度。

2、ERTMS Level STM

ERTMS Level STM 中，裝備了 ERTMS/ETCS的列車在裝備了本國號誌系統的線路上運行時，為了能夠識別本國地面號誌，車載設備還需要另外增加特殊的傳輸模組(Specific Transmission Module，STM)。STM把接收到的本國號誌信號編譯成標準的ETCS電碼格式，然後傳送給ETCS車載設備(如附圖63所示)，目前英格蘭地區大都屬此一等級。

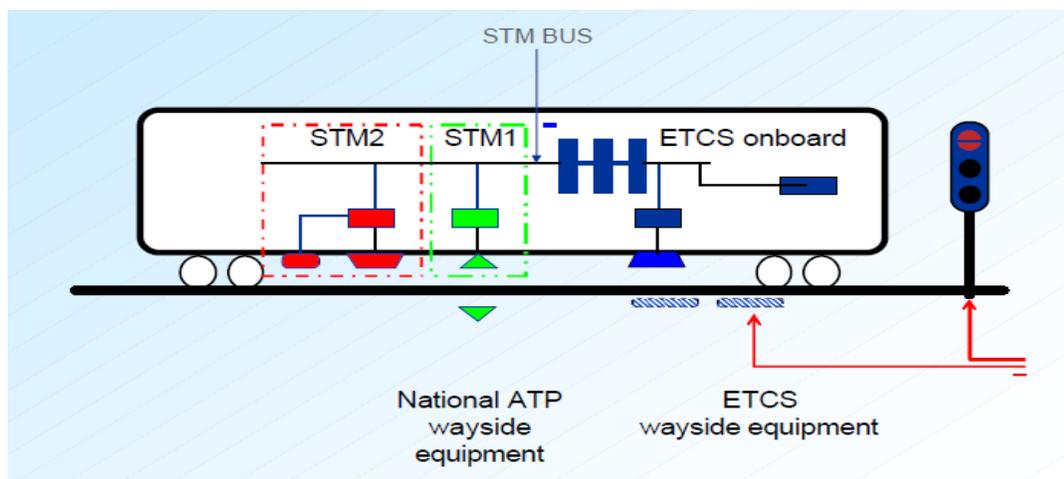


圖63. ERTMS Level STM架構(From：UIC ERTMS Conference 2006)

2009年8月7日考察行程中，在Network Rail人員的安排下，由York回到倫敦Kings Cross站的旅程中搭乘駕駛室，特別注意車載設施為TPWS(Train Protection & Warning System)系列，即屬於Level STM等級。其防護功能約略介於臺鐵前期的ATW/ATS(Automatic Train Warning/Automatic Train Stop)與現在的ATP(Automatic Train Protection)之間。附圖64所示為拍攝於駕駛室的MMI(Man Machine Interface)速度表，當時允許速度125mile/h，實際運行速度

115mile/h；附圖65所示的TPWS車載設備為THALES公司產品。附圖66所示為提示列車最高行駛速度限制為125mph。附圖67所示為前方車外拍攝的道旁號誌，當時顯示綠燈。據Network Rail人員表示，目前進行中的英國西海鐵路線 (West Coast Main Line)全長650公里的現代化提速計畫，除了將路線行車速度提升至200公里供390型傾斜式列車運行外，也將電車線與通訊號誌系統一併改善，其中第一階段號誌系統即由ERTMS Level STM升級至Level 1。



圖64&65. 車上MMI速度表&TPWS車載設備實體圖



圖66&67. 駕駛室最大速限提示&道旁號誌顯示

在歐洲ERTMS Level 0與Level STM已稱不上是現代化的等級，而當前歐洲所謂現代化的行車控制系統指的是：ERTMS Level 1、Level 2及Level 3。以下將Level 1~3各等級的系統架構與特徵機能特別加以說明。

3、ERTMS Level 1

傳統的行車號誌控制系統，駕駛員須目視道旁號誌(Trackside Signal or Wayside Signal)，按指示燈號行駛，號誌的變化由軌道電路(Track Circuit)偵測列車位置來決定，列車安全防護由所經過的地上感應器，如信標(Beacon)、應答器(Transponder)等提供資訊。而早期的地上感應器因無統一的通訊標準，並不能實現跨國營運的夢想，直到Eurobalise問世才得以實現。

(1) ERTMS Level1的定義：

ERTMS Level1定義：車上裝載了ERTMS/ETCS標準的設備，同樣的也在地上也設置了歐洲地上感應器(Eurobalise)。因此在傳統號誌系統中增加ATP Eurobalise是界定提升Level 0至Level 1的判別指標。

(2) ERTMS Level1的架構

ERTMS Level 1的系統示意圖(如附圖68)，列車位置偵測由軌道電路區間(Track circuit section)提供；列車允許前進距離(Allowed distance to go)的信息由Eurobalise提供。在ERTMS Level1中，Eurobalise提供兩個功能，一為固定資訊碼(Fixed Code)，一為位置偵測(Position Detection)，功能示意(如附圖69)。

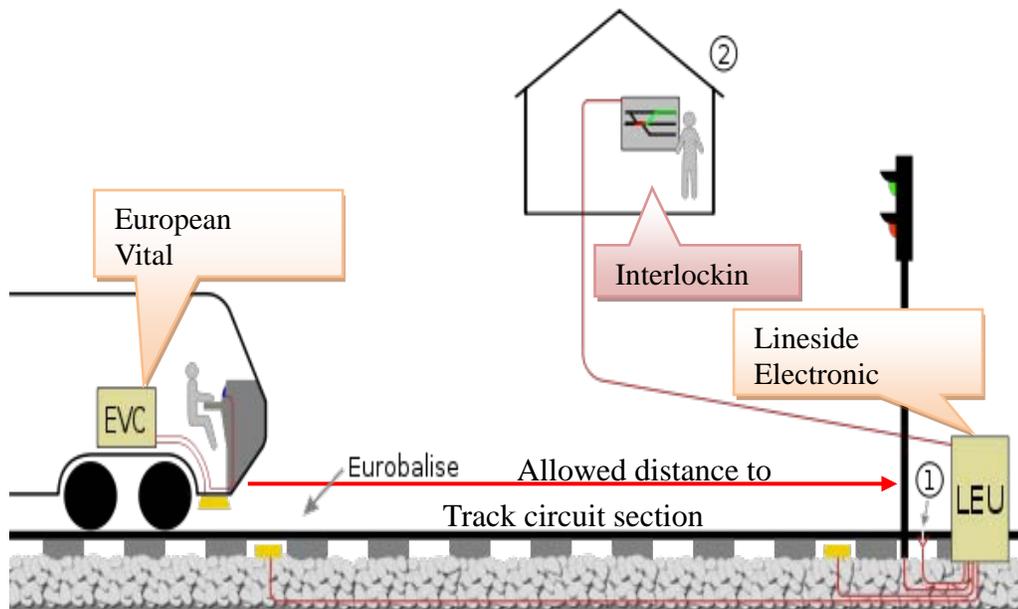


圖68. ERTMS Level1的示意圖(圖片來源：維基百科)

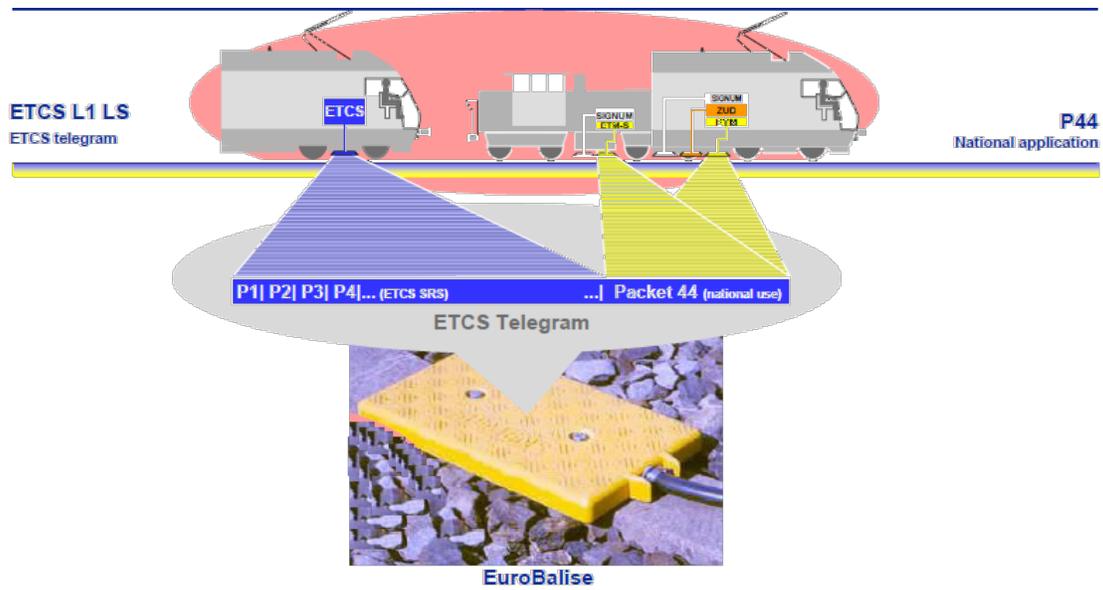


圖69. ERTMS Level1 Eurobalise功能示意圖

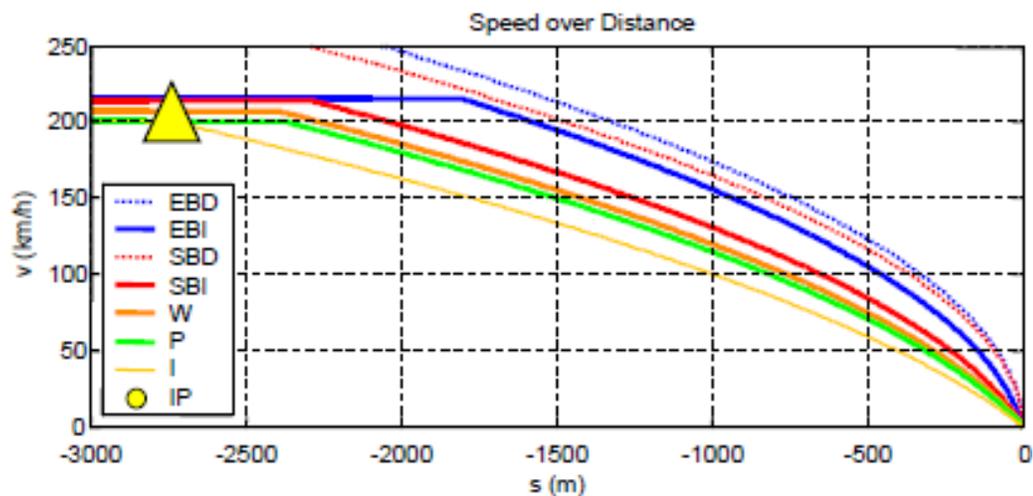
(3)ERTMS Level1的主要特徵：

- ✓ 列車位置偵測(Train Position Detections)依賴軌道電路(Track circuit)或計軸器(Axle Counter)偵測。
- ✓ 設有道旁號誌(Wayside Signals)，提供固定閉塞號誌系統(Fixed Blok Signalling System)。
- ✓ 列車移動權(Movement Authority)取得或允許移動距離(Allowed distance to go)的管道有二。其一來自道旁號誌顯示的資訊(例如：號誌綠燈、黃燈、紅燈，分別允許不同的移動距離)；其二來自駕駛員顯視器人機介面(MMI)的允許速度(Permitted Speeds)，有點類似車上號誌(Similar Cab Signals)。
- ✓ 地上與車上訊息傳遞路徑中，Balise是重要且關鍵的元件，號誌資訊就是經由道旁電子單元(Lineside Electronic Unit，LEU)加以編碼，再透過地上感應器(Balise)傳輸至車上，顯示允許速度於駕駛員顯視器。

(4)ERTMS Level1的安全要求：

- ✓ 列車行駛速度必須規範在系統產生的允許速度曲線內操作(如附圖70)。
- ✓ 列車運轉不得比允許速度快，要保證列車在紅燈號誌前完全停住。

- ✓ 速度監督 (Speed Supervision) 須基於最大速限監控 (Ceiling Speed Monitoring) 所給的靜態速度曲線 (Static Speed Profile, SSP) 及目標速度監控 (Target Speed Monitoring) 所提供的制車曲線 (braking curves) 減速。



EBD : Emergency Brake Deceleration Curve

EBI : Emergency Brake Intervention Curve

SBD : Service Brake Deceleration Curve

SBI : Service Brake Intervention Curve

W : Warning Curve

P : Permitted Speed

I / IP : Indication Curve / Indication Point

△ : Driver has to apply the brakes

圖70. E RTMS Level1速度曲線(SBB 2009/02/12)

(5) ERTMS Level1 的發展現況：

截至2009年止，全世界符合ERTMS Level 1標準的鐵路國家計有34個(如附表3所示)，大都分布於歐洲，在歐洲境外則僅有亞洲的臺灣、中國、印度、南韓及美洲的墨西哥等5個國家的鐵路具備ERTMS Level 1標準。

表3. ERTMS Level 1的鐵路國家統計(整理自2009 - copyright UIC)

1. Algeria	2. China	3. France	4. Germany	5. Poland
6. Australia	7. Croatia	8. Greece	9. Hungary	10. Portugal
11. Austria	12. Czech	13. India	14. Italy	15. Romania
16. Belgium	17. Denmark	18. Lithuania	19. Luxembourg	20. Saudi Arabia
21. Bulgaria	22. Finland	23. Mexico	24. Norway	25. Slovakia
26. Slovenia	27. Spain	28. Korea	29. Sweden	30. Switzerland
31. Taiwan	32. Netherlands	33. Turkey	34. U K	

(5) ERTMS Eurobalise的型式：

在歐洲Eurobalise分屬多家公司，產品型式多達十幾種(如附圖71)，臺鐵使用ATPbalise為圖中北歐的EBICAB型，已具備ERTMS Level 1的標準。

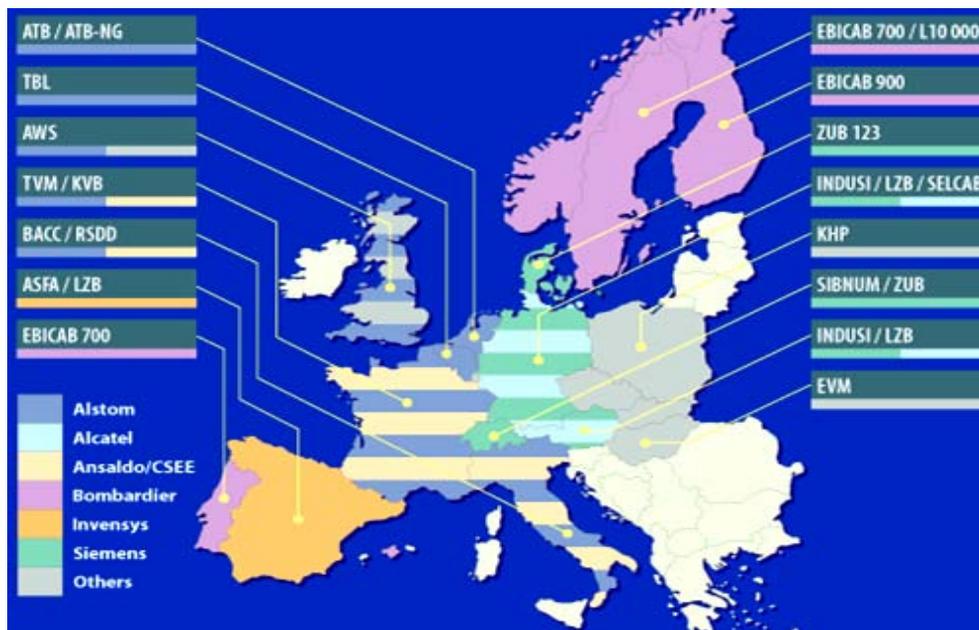


圖71. Eurobalise型式分布圖(From UIC)

4、ERTMS Level 2

(1) ERTMS Level 2的定義：

ERTMS Level 2定義：車上裝載了ERTMS/GSM-R標準的設備，在地上裝設同樣標準的無線基地台。不需要道旁號誌，Eurobalise僅作為列車位置偵測定位。GSM-R是界定Level 2的指標設備。

(2) ERTMS Level 2的架構：

ERTMS Level 2的示意(如附圖72所示)。在ERTMS Level 2中，列車移動權(Movement Authority)或允許移動距離(Allowed distance to go)的途徑，不再是道旁號誌顯示的資訊，而是來自無線閉塞中心(Radio Block Center, RBC)。RBC連接至號誌聯鎖(Signal Interlocking)，將號誌資訊經由無線基地台，以大氣為傳輸媒介，傳送至車上的人機介面(MMI)，顯示 允許速度(Permitted Speed)，實現車上號誌(Cab Signal)的機能。

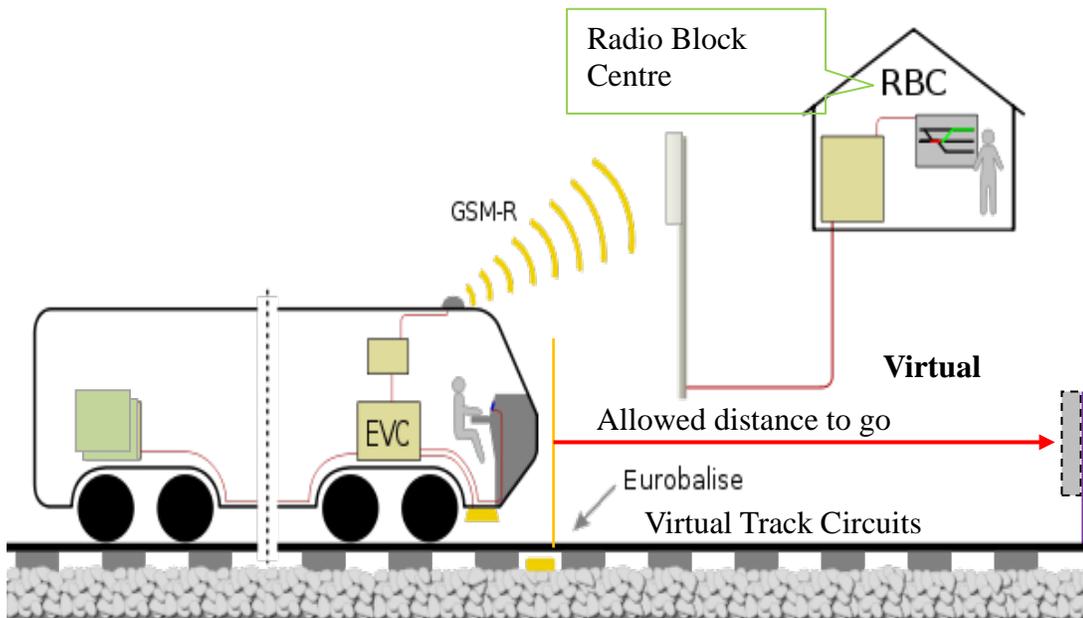


圖72. ERTMS Level 2示意圖(圖片來源：維基百科)

Level 2地上與車上訊息傳遞路徑，Eurobalise不再傳遞號誌訊息，而GSM-R才是重要的號誌訊息傳輸元件，它除了將號誌資訊無線傳輸至車上引導行車外；由Eurobalise偵測出列車位置識別碼(Position ID)，同樣透過GSM-R

傳送回RBC的電腦解碼與計算。列車裝載了ERTMS/GSM-R的設備，就可以在由無線閉塞中心控制的基地台與裝備了Eurobalise的線路上運行。由於列車與地面之間的雙向資訊通訊傳輸通道由GSM-R提供，列車定位資訊則由Eurobalise提供。因此，ERTMS Level 2就不需要道旁號誌燈的顯示，可完全依靠車上號誌運作；同時不需要軌道電路來偵測列車的位置。傳統道旁號誌&ERTMS Level 2的車上號誌差異比較(如附圖73&74所示)，Level 2的車上號誌訊息不受地形環境的干擾，可以取得即時的連續訊號。



圖73&74. 傳統道旁號誌與Level 2車上號誌比較(From BLS AG)

(3)ERTMS Level 2的特徵：

- ✓ 軌道電路區間虛擬化(Virtual Track circuits)。
- ✓ 號誌閉塞區間虛擬化(Virtual Block Signals)。
- ✓ 由地上號誌(Wayside Signals)升級至車上號誌(Cab Signals)。
- ✓ 地上感應器(Eurobalise)不提供移動權，僅做為列車位置識別，balise無線化。
- ✓ 道旁電子單元(Lineside Electronic Unit，LEU)可移除。
- ✓ GSM-R是必要的關鍵設備。
- ✓ 信號傳輸無線化(Wireless)
- ✓ 即時訊息(Real Time Message)。

(4)ERTMS Level 2 的發展現況：

目前ERTMS Level 2發展現況(如附表4所示)，全世界計有11個國家的部分鐵路達到此一等級，大多數為歐洲國家，歐洲以外的只有中國鐵路。不分建構中或營運中，就車輛數統計以西班牙、德國、瑞士最多；就路徑長度統計以中國、西班牙、義大利分居前三名。

表4. ERTMS Level 2發展現況(統計自ERTMS website)

Countries	Total vehicles	Route length (km)	Status
China	210	1,575	Under construction ; Commercial service
Belgium	141	80	Under construction
Czech Republic	11	22	Under construction ; Commercial service
France	157	300	Under construction
Germany	568	290	Under construction ; Commercial service
Italy	168	642	//
Netherlands	298	315	//
Spain	618	1,292	//
Sweden	207	340	//
Switzerland	556	178	//
Turkey	0	212	Under construction
Total	2,934	5,246	

5、ERTMS Level 1 & Level 2並存階段

列車控制系統在由ERTMS Level 1升級至Level 2的過程中，首先必須建置符合Level 2的地面設備，使與原有的Level 1地上設備兩套並存。新購或修改車輛裝載Level 2的車載設備後，即可運作於Level 2路線；而尚未升級的車輛仍可以運作於Level 1。Level 1 & Level 2並存示意圖(如附圖75所示)。

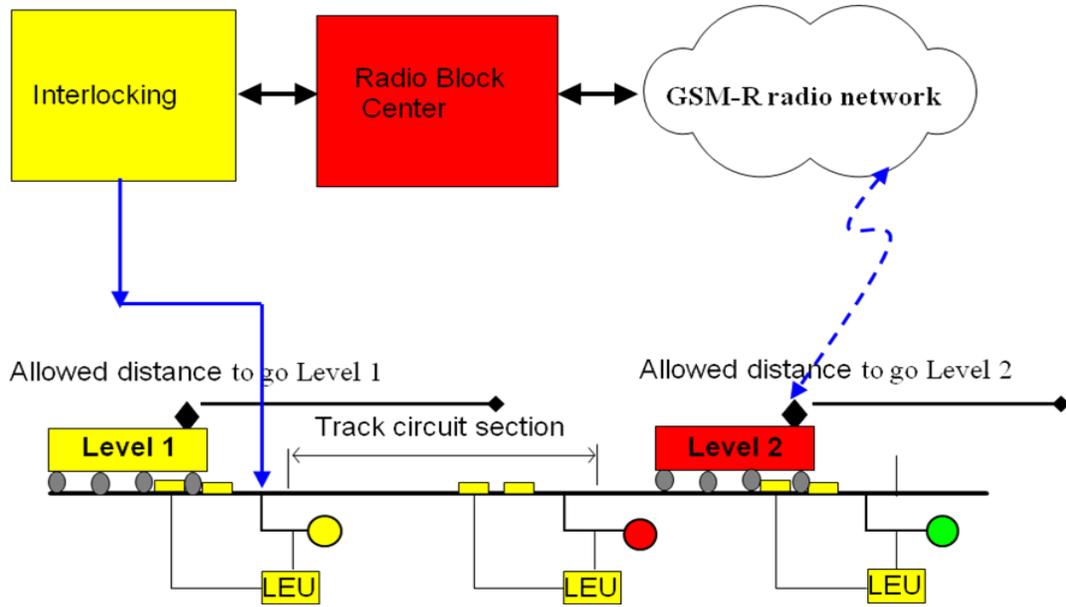


圖75. Level 1 & Level 2並存示意圖

前面提過，在歐洲跨國營運時，列車為因應不同國家鐵路不同等級的地上設備，可能需要在車上裝載可適用於多種地上設備的複合型車載模組。圖76所示為適用Level 1 & 2並存階段的ETCS車載模組，左上Port為地上Balise輸入至車上BTM(Balise Transmission Module)，適用於Level 1。左中Port為迴路線圈(Loop)輸入至LTM(Loop Transmission Module)，適用於Level 2；左下Port為無線(Radio)輸入至RTM(Radio Transmission Module)，亦適用於Level 2。

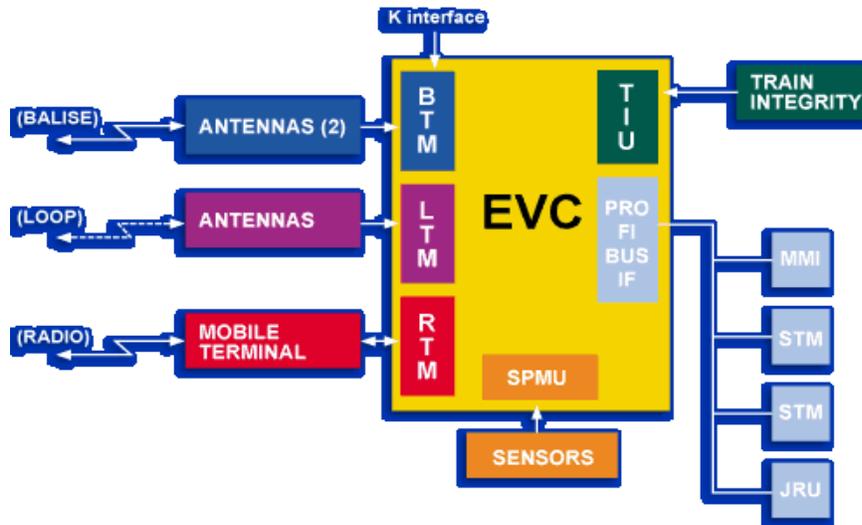


圖76. ETCS複合型車載模組

6、ERTMS Level 3

(1) ERTMS Level3的定義：

ERTMS Level 3將定義：車上仍須裝載了RTMS/GSM-R標準的設備，在地上裝設同樣標準的無線基地台，沒有軌道電路或計軸器，列車位置完全由車上定位(On Board Train Location)，可以實現移動閉塞(Moving Block)的理想。

(2) ERTMS Level 3的架構：

與Level 2一樣，GSM-R仍是Level 3的指標性設備，ERTMS Level 3的架構示意(如附圖77所示)。在ERTMS Level 3中，裝備了ERTMS/GSM-R標準的列車在設置有無線閉塞中心(RBC)及裝設Eurobalise的路線上運行時，車與地之間的雙向資訊通信(Uplink & Downlink)全由GSM-R提供傳輸路徑。而Eurobalise在Level 3中僅提供路線限速等固定資訊(Fixed Code)或作為位置校正，至於列車定位和列車偵測全由車載設備與RBC的電腦來執行。因此，ERTMS Level 3是在沒有軌道電路、計軸器及道旁號誌機、固定閉塞的環境中運行，界定Level 3的功能指標就是移動閉塞(Moving Block)。(如圖78所示)

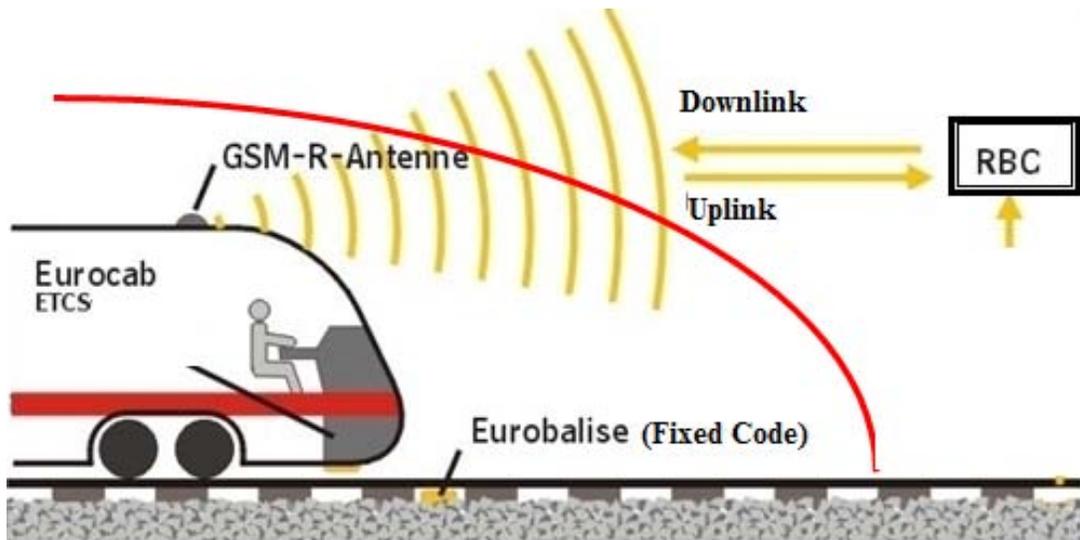


圖77. ERTMS Level 3 GSM-R示意圖

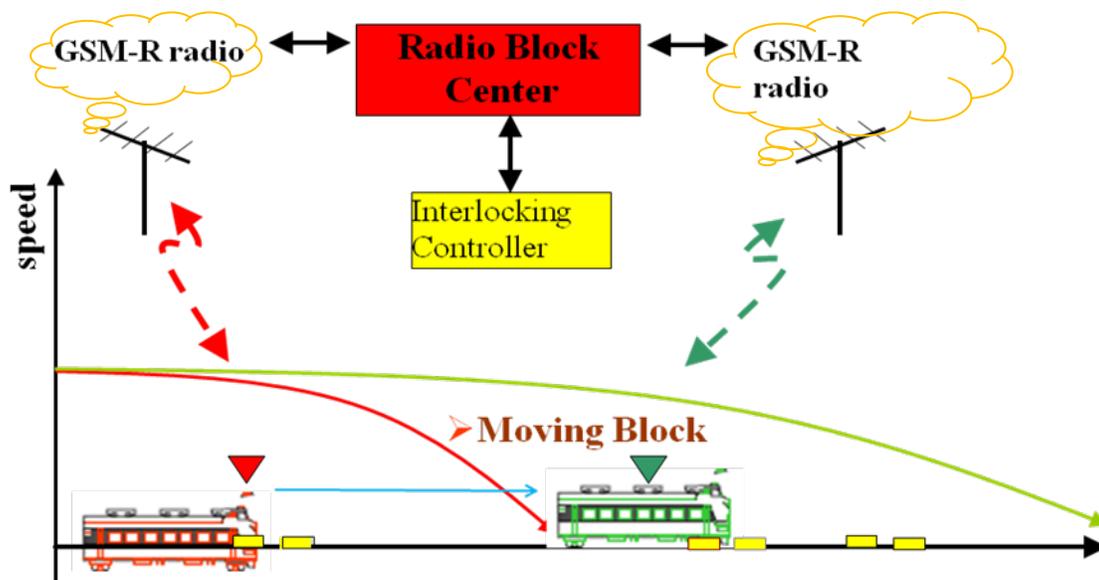


圖78. ERTMS Level 3移動閉塞示意圖

(3)ERTMS Level 3的主要特點：

- ✓ 連續式列車速度監控與定位更新。
- ✓ 訊息傳輸以採用無線通訊為主。
- ✓ 取消固定閉塞、號誌機與軌道電路區間，僅保留站端轉轍區的軌道電路，做為聯鎖之用，實現以目標距離為基礎的列車間隔控制，即移動閉塞。
- ✓ 列車具有自行定位的功能，Eurobalise用於列車定位校正與固定資訊提供。
- ✓ 列車所在位置由列車傳至區間內的無線閉塞中心(RBC)並由RBC傳至後續列車。
- ✓ 設有完善的數位式車上號誌與運行記錄裝置。
- ✓ 設有列車完整檢測(Train Integrity Check)裝置。

(4)ERTMS Level 3的安全防護：

ERTMS Level 3為Level 2的升級，硬體架構和Level 2一樣，都是由GSM-R上傳或下載本身列車位置和前方列車位置的距離及前方閉塞佔用情況，但必須防範列車分離(Train Separation)問題。所以Level 3的車載電腦必須有偵測前

後端列車分離的訊號，假使偵測迴路中斷，資訊會顯示於Level 3的車載MMI，(如附圖79&80)。以歐洲之星(EuroStar)列車為例，前後兩個機車和中間十八個車廂，車載電腦事先已記錄了列車編組之長度，如果行車途中偵測迴路偵測到車廂間信號中斷，車載電腦就會即時啟動緊急緊軔，防範列車分離後，繼續行走發生意外。也因此ERTMS Level 3已不需要用軌道電路或計軸器來偵測列車位置。同時，ERTMS Level 3已升級至移動閉塞，前車位置都是經過GSM-R下載傳遞至車載電腦計算出允許速度(Permitted Speed)和剎車曲線(Break Curves)。除了捷運線外，目前ERTMS Level 3在歐洲傳統鐵路並未正式使用，據英國Bombardier公司表示Level 3標準規範預估可在2013年定案。



圖79&80. ERTMS Level 3車載MMI&車上號誌

(四) ERTMS Level 1~3差異比較

1、系統地面架構比較：

ERTMS Level 1~3地面架構差異比較(如附圖81)，Eurobalise是各等級共同且必要的元件。Level 1是在傳統既有號誌系統加裝ATP Eurobalise升級而成，列車移動權(Movement Authority, MA)經由balise提供；列車位置與完整性則由軌道電路(Track Circuit)偵測。升級Level 2的必要條件是GSM-R，道旁號誌(Trackside Signal)不再是必須的設備，道旁僅設置無線閉塞中心(Radio Block Center, RBC)，列車移動權不再經由balise，而是經由GSM-R提供，balise的功能轉變為偵測列車位置。升級Level 3的地面硬體架構與Level 2並無太大差

異，關鍵在於Level 3的車上電腦有能力偵測出列車的位置與完整性，計算出前後車的距離，達到移動閉塞(Moving Block)的境界。

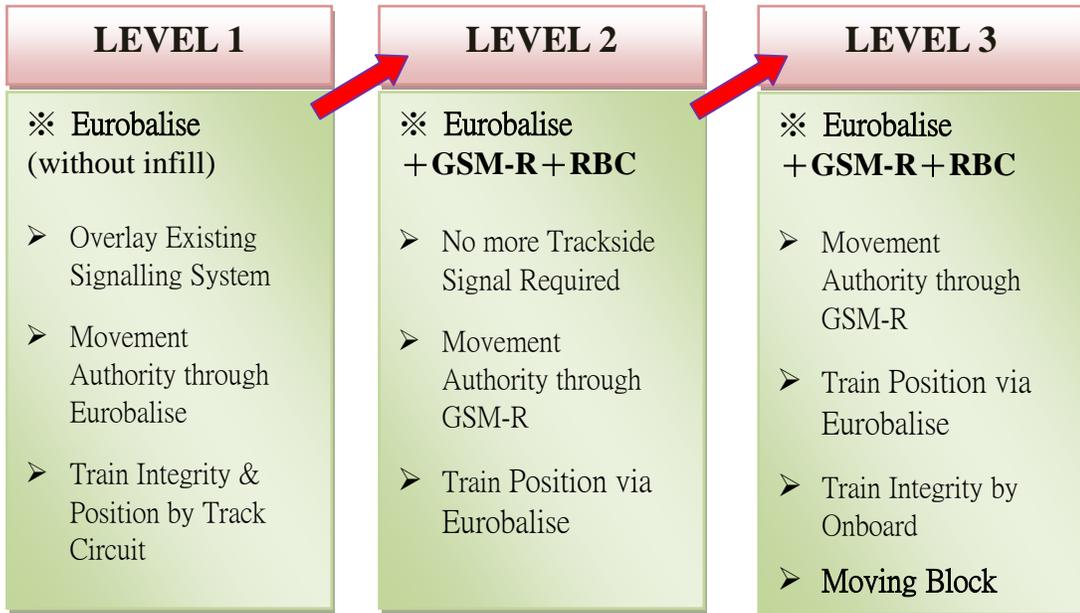


圖81. ERTMS Level 1~3地面架構差異

不同於Level 1的道旁號誌，ERTMS Level 2與Level 3最顯著的地面設備僅為無線閉塞中心(Radio Block Center，RBC)，它接收來自聯鎖(Interlocking)或行車控制中心(Traffic control Center)的指令，經加密(Encryption device)後，由GSM-R無線網路(Radio Network)傳送至列車。RBC架構(如附圖82所示)。

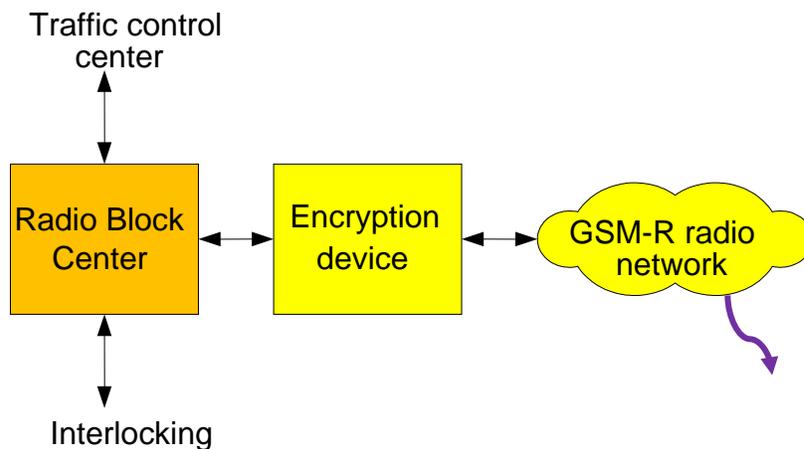


圖82. ERTMS Level 2&3的RBC架構

2、ERTMS Level 1~3車載模組比較

(1) ERTMS Level 1的車載模組：

ERTMS Level 1的車載模組(如附圖83所示)，包括車上天線(Antenna)、Balise傳輸模組(Balise Transmission Module，BTM)與邏輯單元(Logic Unit)。

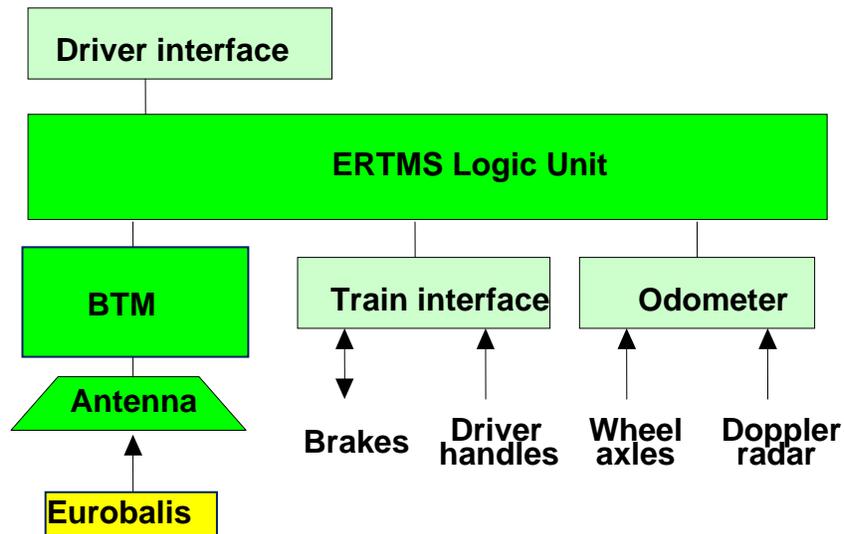


圖83. ERTMS Level 1車載模組(From Bombardier)

(2) ERTMS Level 2&3的車載模組：

ERTMS Level 2&3的車載模組(如附圖84所示)，除了與Level 1共有的車上天線、Balise傳輸模組與邏輯單元外，尚須加入無線GSM-R與加密裝置(Encryption device)等車上設備。

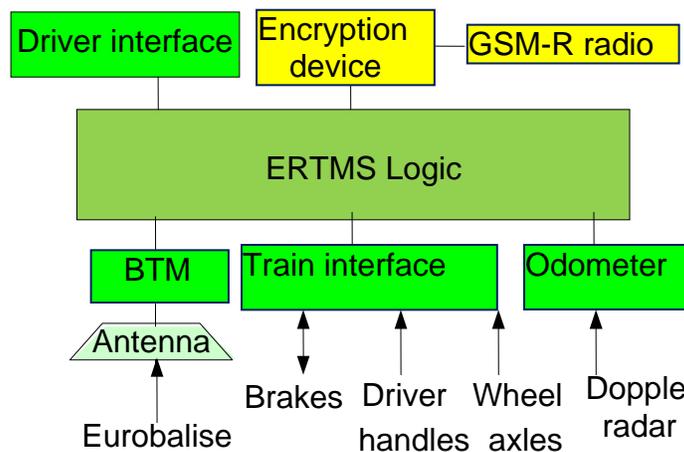


圖84. ERTMS Level 2&3車載模組(From Bombardier)

(3) ERTMS Level 1~3複合車載模組：

ERTMS Level 1~3車載複合模組差異(如附圖85所示)，圈選之列車界面模組(Train Interface Module)、Balise或Loop通訊模組及Train/RBC通訊模組會因等級不同、道旁設備不同而有所差異。

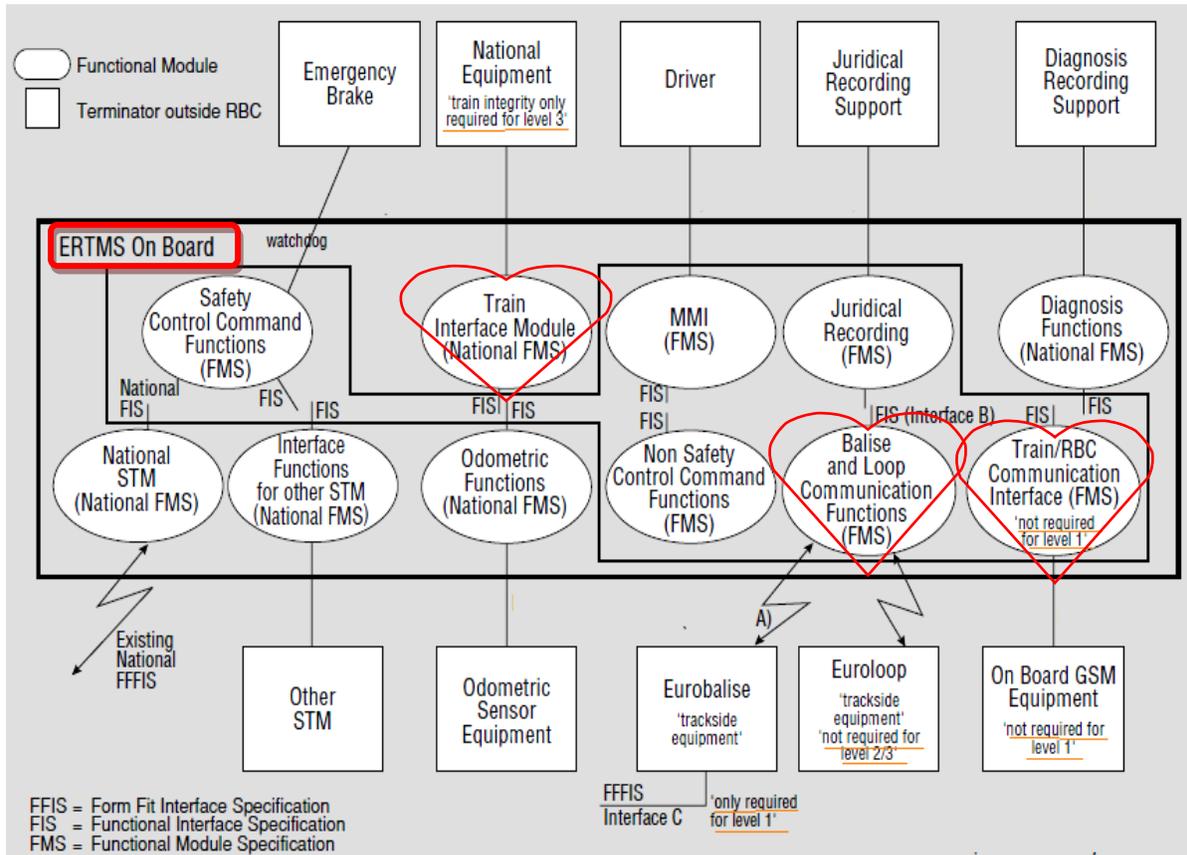


圖85. ERTMS車載複合模組方塊圖(Source: European Commission)

3、ERTMS Level 1~3傳輸架構比較

ERTMS Level 1~3傳輸架構比較(如附圖86所示)。Level 1地對車資訊傳遞路徑，自聯鎖介面(Interlocking Interface)→編碼器(Encoder)→地上感應器(Balise)，該段路徑的訊號係以實體電纜(Cables)傳送，只有在地上感應器(Balise)→列車(Train)間不到1公尺之短距離以無線傳輸(Wireless Transmission)。有別於Level 1的實體電纜傳輸，Level 2 & 3地對車資訊傳遞路徑，都為長距離無線傳輸，以空氣作為媒介，只有在聯鎖至RBC(Radio Block Center)間之短距離以實體電纜傳輸，因而可以大幅減少佈線與維護成本。

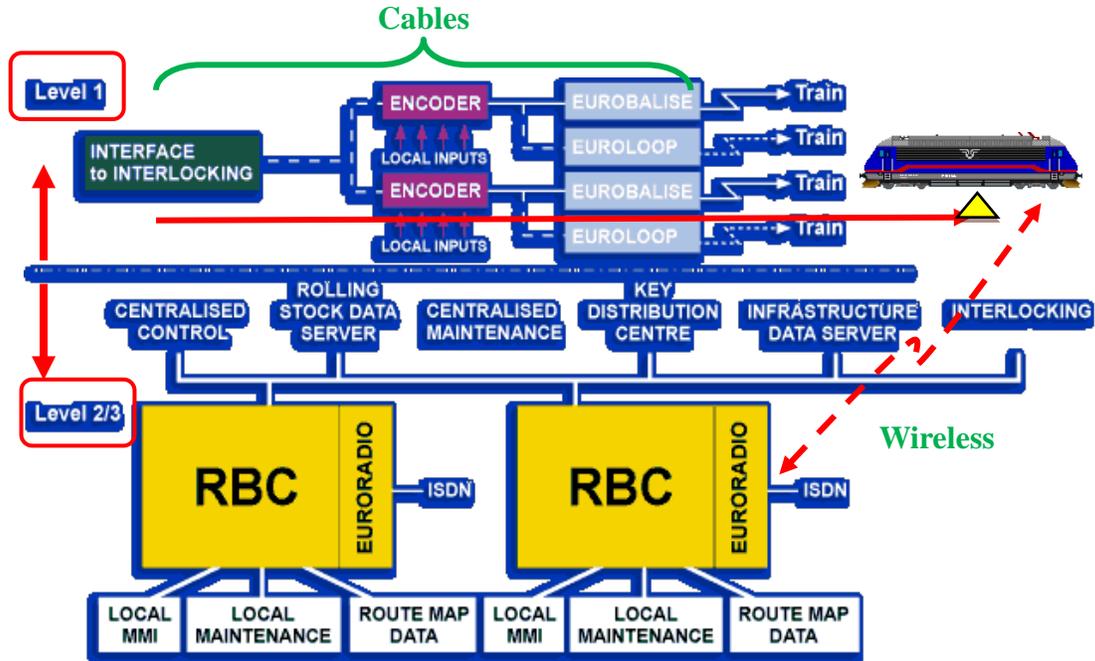


圖86. ERTMS Level 1~3傳輸架構比較

4、ERTMS Level 1~3系統機能比較：

ERTMS Level 1~3系統機能差異(如附表5)。

(1)列車位置偵測(Train detection)差異：

ERTMS Level 1係以軌道電路(Track Circuit)或計軸器(Axle Counter)偵測列車位置；Level 2以地上感應器(Balise)搭配里程計(Odometer)來偵測，Level 3則以車載電腦定位。

(2)號誌系統(Signalling System)差異：

ERTMS Level 1為道旁號誌(Trackside Signal)；Level 2&3則為車上號誌(Cab Signal)。

(3)閉塞方式(blocks)差異：

ERTMS Level 1為傳統固定閉塞(Fixed Block System)；Level 2為虛擬閉塞(Virtual Block)；Level 3為先進的移動閉塞(Moving Block System)。

(4)效能(performance)差異：

由設備簡化、電腦化、無線網路化程度比較，ERTMS Level 1至Level 3的系統效能呈指數提升。

表5. ERTMS Level 1~3系統機能比較

	detection	signals	blocks	transmission	performance
Level 1	Track Circuits、 Axle Counters	Lineside Signals	Fixed Block	Balise	★
Level 2	Balise	Cab Signal	Virtual Block	Radio(GSM-R)	★★
Level 3	Balise、 Odometer	Cab Signal	Moving Block	Radio(GSM-R、 TETRA、 ISM Band)	★★★

5、ERTMS Level 1~3 閉塞比較

延續本報告前一章節，對於ERTMS各等級傳輸架構的差異分析，Level 1的列車移動權(Movement Authority, MA)係經由Eurobalise提供，但基於成本考量，balise不可能毫無限制的設置，所以資訊並非連續更新(Update)，可能在當前balise與下一balise間出現一段低效率的行駛區間，顯然balise設置的位置關係著列車運轉效率。然而基於安全因素，設計過程balise位置的決定會遷就於剎車性能(Braking Parameters Performances)最差的列車，如此才能獲得安全上的保證，但卻因而犧牲了剎車性能較佳列車的行車效率，此種影響對傳統鐵路快慢、新舊混合行車(Mixed traffic)區間特別明顯。

至Level 2的列車移動權已不再經由balise傳遞，而是經由GSM-R。GSM-R提供的信息是連續的，列車只要進入無線閉塞中心(RBC)訊號涵蓋範圍內，號誌信息即可以適時更新傳遞至列車上，所以有高於Level 1的行車效率。

根據上述，參考ERTMS Level 1與Level 2的閉塞模式(如附圖87&88)所示。由下圖Level 1與Level 2的閉塞時間模式(Blocking Time Model)比較，假定兩模式係在相同的限速(Limit Speed)、相同的停車目標(Stopping Target)下，Level 1在balise處的指示點(Indication Point)取得停車信號，生成的剎車曲線(Brake Curve)較平緩；Level 2則接收自GSM-R取得連續停車信號，生成的剎車曲線較陡，接近時間較短，因而可以縮短列車間隔(headway)。

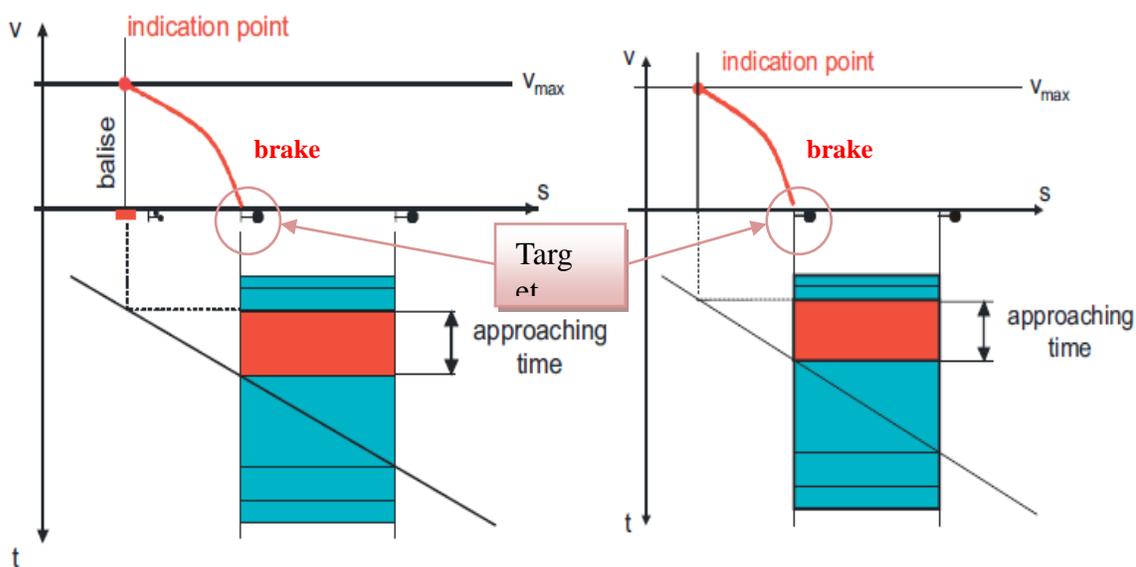


圖87. level 1閉塞時間模式

圖88. level 2閉塞時間模式(圖片來源：UIC)

ERTMS Level 3就像一個移動閉塞的號誌系統，所以在正常運轉情況下總是提供最短的列車時間間隔，形成很密集的閉塞間隔。(如附圖89&90所示)

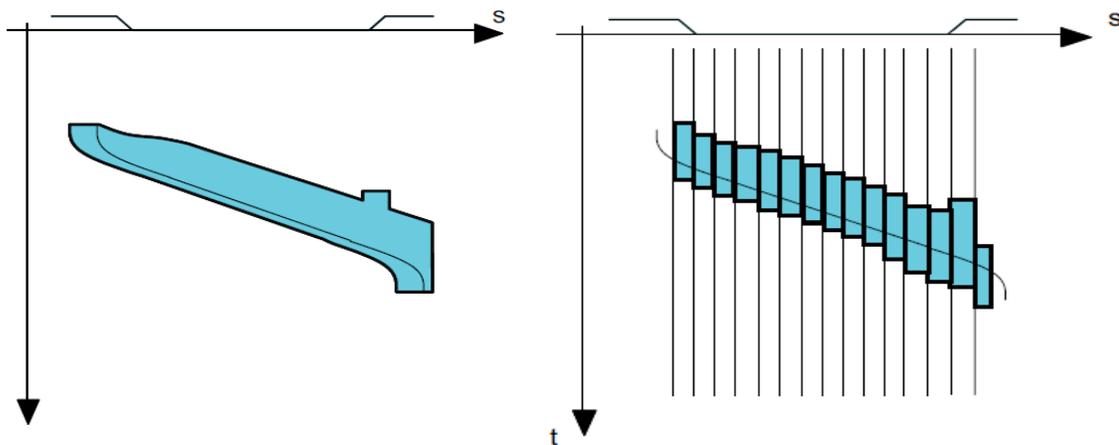


圖89&90. level 3閉塞時間模式(圖片來源：UIC)

6、ERTMS Level 1~3 行車容量比較

圖91所示為ERTMS Level 1將兩站間9,000公尺(ASig~ESig)距離，原來以3,000公尺為一個閉塞區間(Block Section)，假使改以最小閉塞區間1,000公尺長度，可切割成8個閉塞區間(Block Sections)。

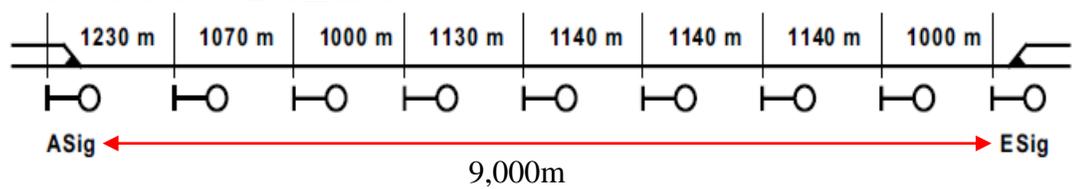


圖91. ERTMS Level 1最小閉塞區間長度1,000公尺

圖92所示為Level 2將兩站間(ASig~ESig)以最小閉塞區間400公尺長度，切割成14個閉塞區間。

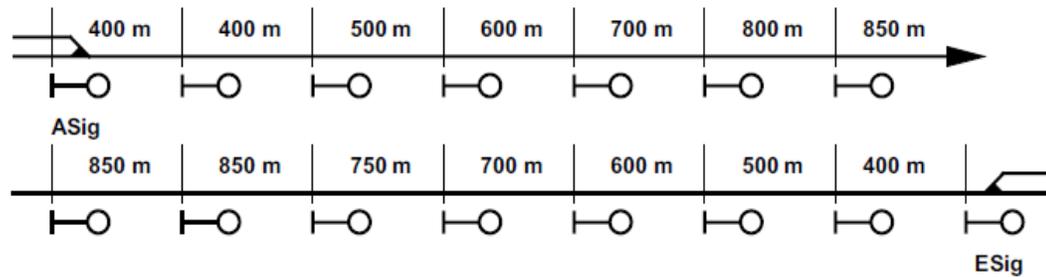


圖92. ERTMS Level 2最小閉塞區間長度400公尺

圖93所示為ERTMS Level 2將兩站間(ASig~ESig)以最小閉塞區間50公尺長度，切割成20個閉塞區間。

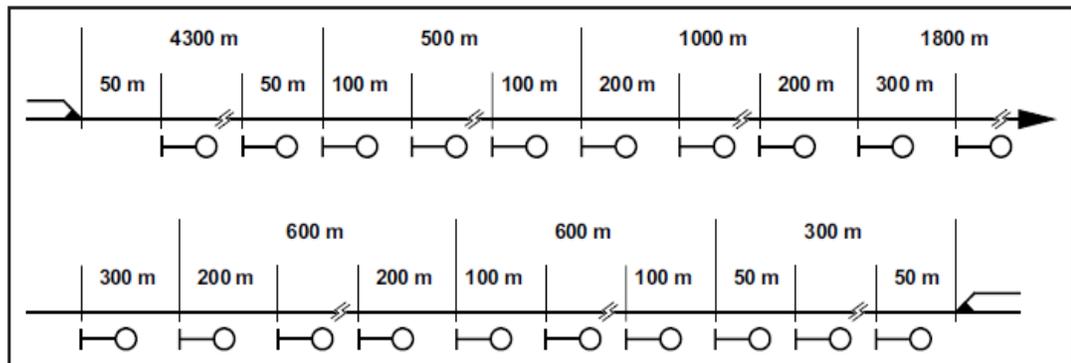


圖93. ERTMS Level 2最小閉塞區間長度50公尺

ERTMS Level 1與Level 2中，理論上，似乎將閉塞區間切割越小，行車容

量愈大，但實務上，必須考量安全剎車距離，將區間長度切割最適化，才能獲致最佳的列車間隔與行車效率。

UIC針對ERTMS不同等級的行車容量統計分析結果，在高速鐵路路線 (high-speed line)、傳統主線路(conventional main line)及區域線路(regional line) 分別在Level 1~3等級下的路線行車運轉容量差異比較如下：

(1) 高速鐵路線(High-speed Line)：

ERTMS Level 1~3等級下的高速路線容量比較(如附圖94所示)。假設 Level 1的容量定義為100%，若同樣在Level 1下，於主號誌機前400公尺處再增加一組地上感應器(Infill Balise)，運轉容量微升至103.3%。若升級至Level 2則路線容量提升至115.5%；同在Level 2下，若將閉塞區間縮短至400公尺，則大幅度提升至150.6%。若升級至Level 3則更大幅度提升至158.1%。

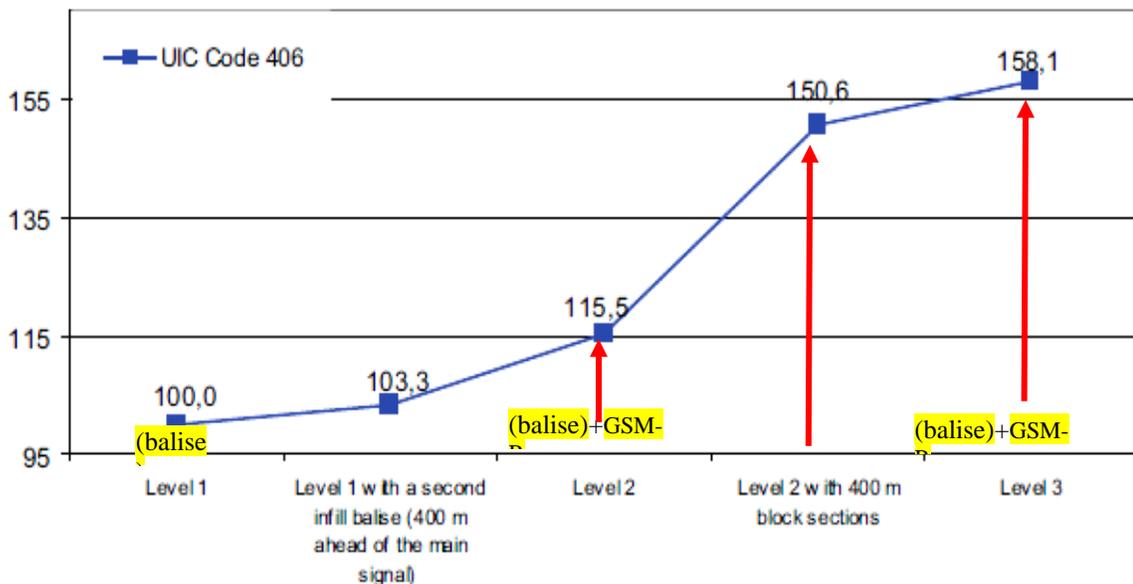


圖94. Level 1~3等級下的高速路線容量比較(UIC)

(2) 傳統主要鐵路線(Conventional Main Line)：

ERTMS Level 1~3在傳統路線的運轉容量(如附圖95所示)，Level 1的容量仍定義為100%。若升級至Level 2並將閉塞區間縮短至400公尺，則大幅度提升至137.7%。若升級至Level 3則再提升至139.6%。特別指出Level 1中，即使

在主號誌機前400m處增加第二組Infill Balise，容量僅提升至101.6%。

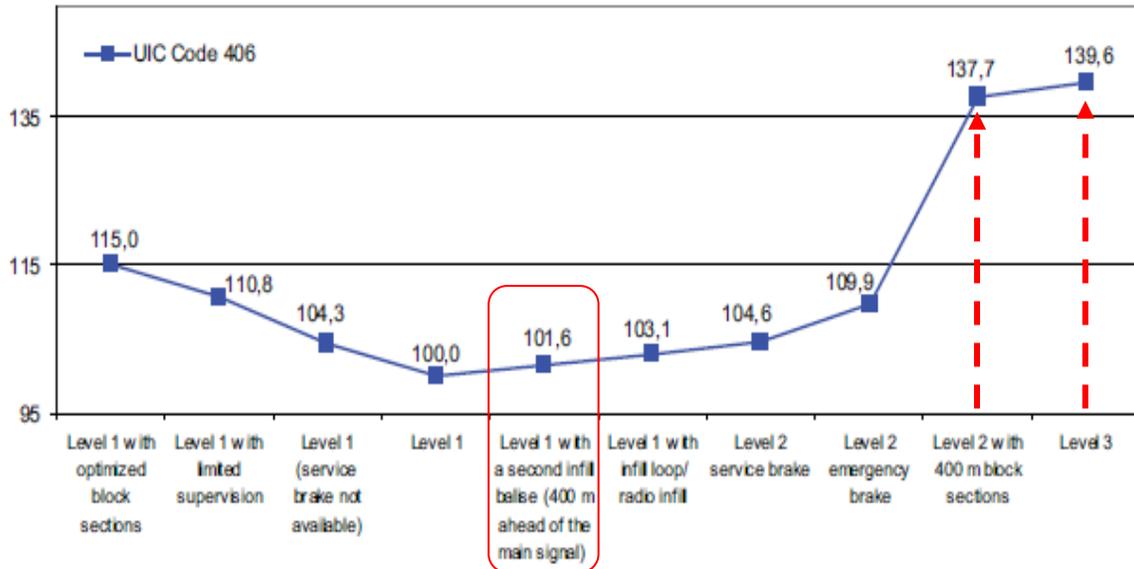


圖95. Level 1~3等級下的傳統路線容量比較(UIC)

(3)區域路線(Regional Line)：

Level 1~3在區域線路的路線運轉容量(如附圖96所示)。Level 1的容量仍定義為100%。若升級至Level 2僅僅提升至101.1%。若升級至Level 3則大幅提升至170.9%。

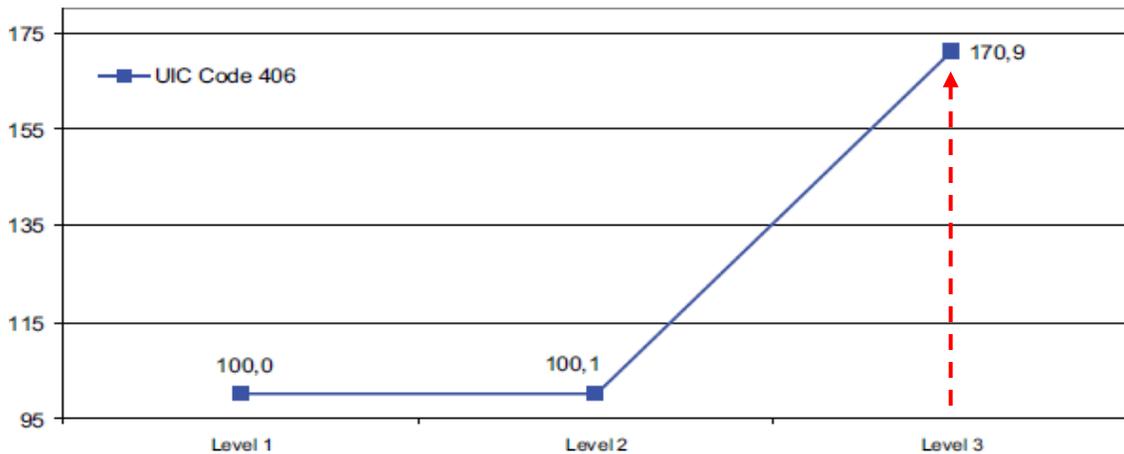


圖96. Level 1~3等級下的區域路線容量比較(UIC)

(五) 通訊式列車控制系統(CBTC)

1、 固定閉塞基本概念

列車在軌道運行，首重安全，次為效率。早期的人工閉塞(Manual Block)，站與站之間僅容許一列列車存在，安全性雖然很高，但行車效率卻很低。因此，列車與列車間保持固定之列車間隔(Headway)，能兼顧安全與效率求取平衡點是必要的。如附圖93所示，係在Station A與Station B間將軌道切割成3個軌道電路區間(Track Circuit Sections)，分別為1T、2T、3T，每一區間又稱為閉塞區間(Block Section)容許一列車佔用(Occupancy)；且每一區間入口皆有一號誌機(signal1&signal2)來防護，與人工閉塞相較，得以兼顧安全與效率，這就是固定閉塞(Fixed Block)的基本概念。(如附圖97)

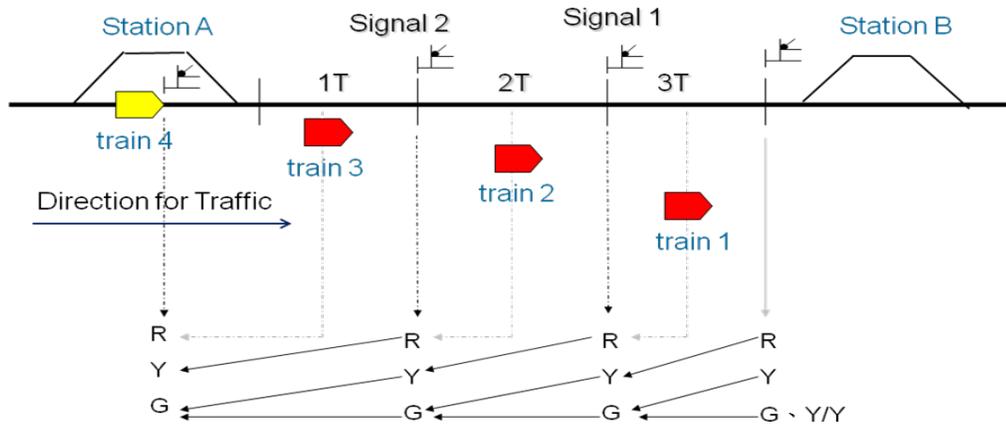


圖97. 固定閉塞基本概念圖

2、 移動閉塞基本理念

目前的固定閉塞皆採用空間隔地法(Space Interval)，軌道運轉容量視容許的列車間隔大小而定。但列車間隔取決於閉塞區間長度，區間長度又因列車之安全緊軔距離(Safe Braking Distance)而定。因此，理論上只要隨機控制足以保證安全緊軔距離，即可縮短列車間隔，提高軌道運行容量。此一思維，好比在高速公路行車時，正常情況下，只要參考行車速度與前車保持足夠的安全距離就足以避免追撞前車，則一輛接一輛，順暢有效率，此即移動閉塞(Moving Block)的基本理念。(如附圖98所示)

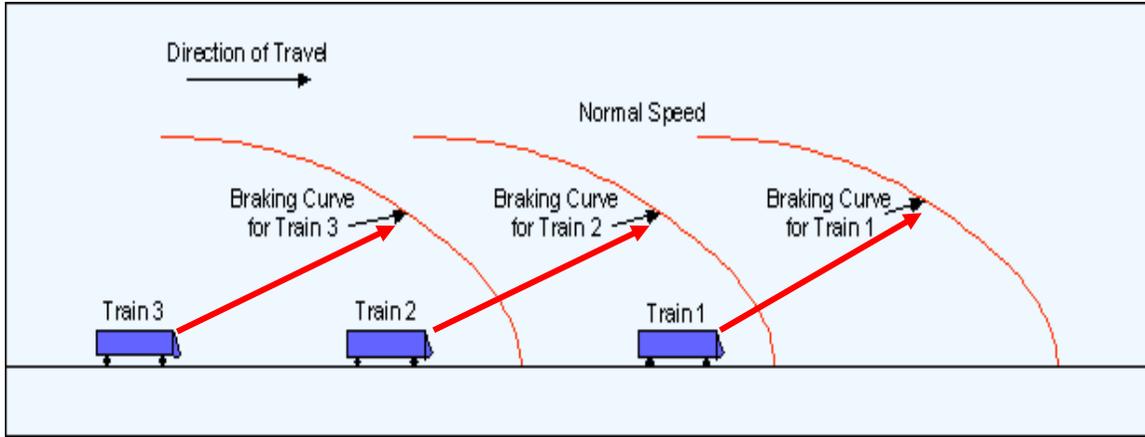


圖98. Moving Block基本概念圖(Railway Technical Web Pages)

傳統軌道電路、計軸器或Eurobalise皆受限於信號傳輸結構，致使在車與車之間的距離資訊無法達到連續性更新(Update)，因而不可能實現移動閉塞的理念。近年來隨著鐵路號誌通訊技術發展，行車閉塞系統更新都試著超越傳統固定閉塞(Fixed Blocks)限制，新閉塞觀念的切入點不再侷限於計較閉塞區間的長短，而是著眼於列車速度與距離(Speed&Distance)資訊的即時掌握與適時更新。更關鍵的是，依照列車實際速度(Actual Speed)和彼此間的相對速度(Relative Speed)讓閉塞區間成為可變、非固定的，讓閉塞資訊點(Information Point)變為浮動的，更具彈性。毫無疑問地，Moving Block的靈活度(flexibility)顯然優於Fixed Block。以目前的科技發展，優異的閉塞靈活度須借助無線傳輸(Radio Transmission)來實現。當前國內外移動閉塞系統現況(如附表6)

表6. 國內外移動閉塞系統現況(Transportation Planning Journal 2009)

MAS	列車定位及測速	訊息傳輸方式
北美、加拿大 ATCS	軌道應答器、無線電數據傳輸系統	900MHz 實現車—地訊息傳輸
日本新幹線 ARAT 與 ATACS	感應線圈、應答器、車載計軸器、電腦軟體計算修正	400MHz 之空間波和 LCX，未來擬採用準微波或毫米波
歐洲 ETCS	軌道應答器、車載設備、無線通訊系統	GSM-R
法國 ASTREÉ	都普勒雷達、車載電腦、應答器	450MHz 之空間波
德國 FZB	軌間電纜、應答器	軌間電纜、GSM
瑞典 FFB	軌道應答器、車載設備、無線通訊系統	GSM-R
中國 CTCS	點式設備、車載裝置、無線通訊系統	GSM-R
臺灣 CITYFLO	信標點及列車鑑別系統	漏波線路、無線電通訊網路

3、CBTC基本架構

再回顧前述ERTMS Level 3中，由於列車裝載了ERTMS/GSM-R標準設備，可與地面無線閉塞中心(RBC)的GSM-R保持連續雙向的通訊，原來的軌道電路與閉塞區間可以不存在，列車的移動權取得也不再是由固定的資訊點提供，所以ERTMS Level 3的功能定義基本上就是移動閉塞(Moving Block)。

另依據IEEE1474標準對CBTC(Communication-Based Train Control)之定義：列車的位置、速度及行駛方向訊息，藉由車輛與道旁電腦間連續的雙向通訊連結相互傳遞，且不需要使用軌道電路作為列車偵測。從定義來看，CBTC就是一個連續性、高容量、雙向數據通訊的列車控制系統，所以CBTC的功能定義也就是移動閉塞(Moving Block)。CBTC基本架構(如附圖99)。

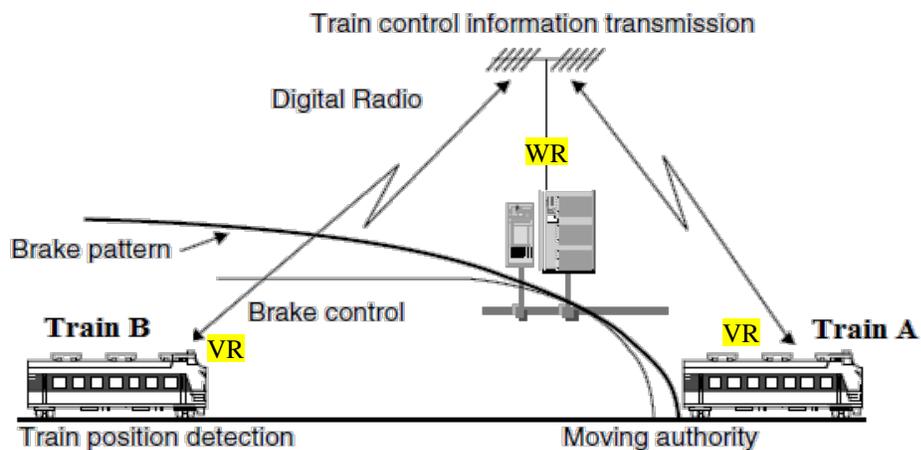


圖99. CBTC基本架構(Japan Railway & Transport Review)

4、CBTC控制概念

從架構圖看CBTC系統，列車上裝載車上基地台(Vehicle Radio Station，VRS)，地面建置了無線基地台(Wayside Radio Station，WRS)，除此之外，幾乎沒有其它地面設備。道旁設備極其精簡，沒有軌道電路、沒有地上感應器，沒有號誌機。那麼列車位置偵測(Train Position Detection)純粹藉由無線通訊傳輸來達成。位置偵測原理係由VRS及WRS量測無線傳播時間(Time of Arrival：TOA)，再經WRS轉換成2無線台之間的距離資料送往區域控制中心。區域控制新將列車VRS的位置對應到軌道地圖上，而續行列車(Train B)與先行列車

(Train A)之間的距離控制(如附圖100)，則經由無線通訊方式將列車位置、速度及列車性能等資訊傳送給區域控制中心；區域控制中心會持續追蹤列車並利用無線傳輸方式對列車發送允許移動的權限。

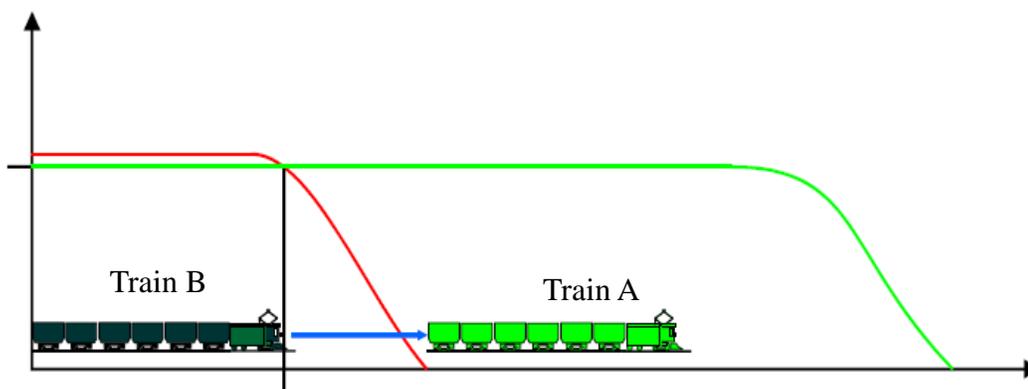


圖100. 續行列車與先行列車距離控制示意圖

5、CBTC系統需求

- (1) 低生命週期費用。
- (2) 高運轉容量。
- (3) 不同性能列車，給予最佳化控制。
- (4) 容易切換、變更。
- (5) 高安全性、可靠性。
- (6) 高精度連續測出列車位置。
- (7) 地上與車上間能夠傳輸大量資訊。
- (8) 路線內的機器及沿線電纜很少。
- (9) 機器的設置及故障時能簡單快速更換。

6、CBTC的型式

目前CBTC系統依照通訊傳輸方式的不同，存在兩種型式：

- (1) 感應線圈型(Inductive Loop-CBTC，IL-CBTC)：

地上與車上間的連續訊號透過軌道上布置的感應線圈來傳遞。實體設備照片(如附圖101&102所示)，是一種短距離無線傳輸，由於大量布放線圈於路線上，成本高、易受施工損壞、維護不易，已逐漸少用。

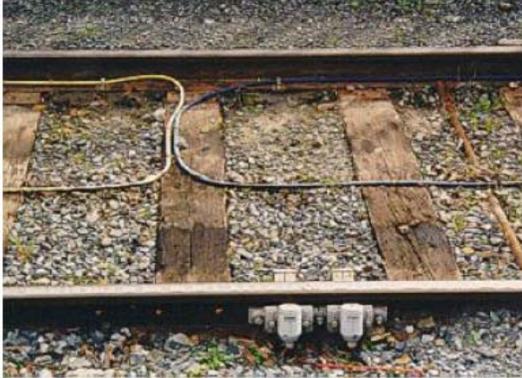


圖101. IL-CBTC感應線圈



圖102.IL-CBTC傳送接收器(GRS)

(2) 無線頻率型RF-CBTC (Radio Frequency-CBTC)：

地上與車上間的連續訊號透過基地台與車載無線電接收機傳遞(如附圖103所示)，跨區自動交握鏈結(Area Handover Link)，為長距離無線傳輸，地面電纜因而大幅減少、成本低、基地台易於維護。

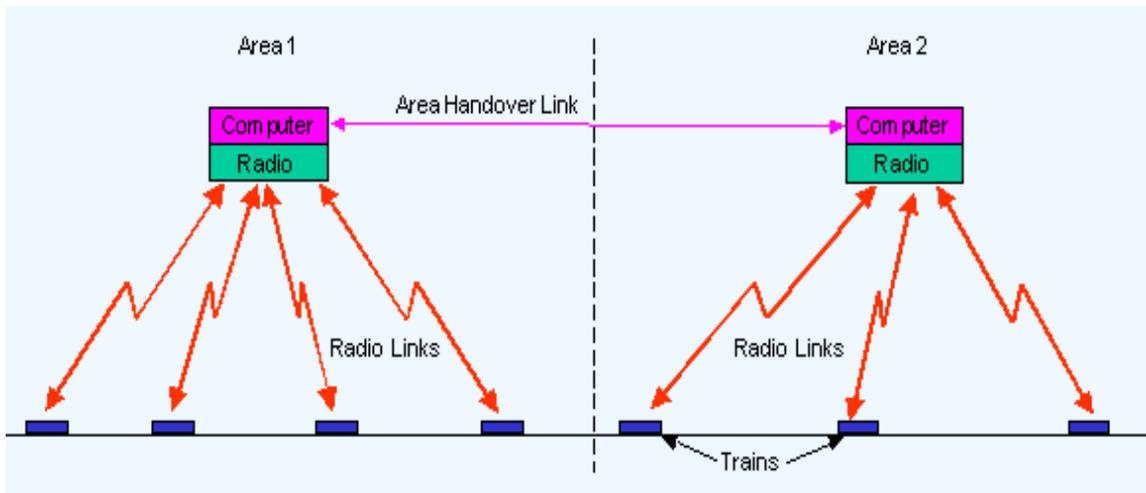


圖103. RF-CBTC示意圖

7、CBTC發展現況

CBTC突破傳統列車控制的限制，已成為現在暨未來行車控制的主流。附表7為目前CBTC的發展概況，包含美洲、歐洲、亞洲計有十幾個國家，四十

幾條路線營運或建置中，特別是亞洲國家對CBTC新系統的接受度頗高，尤其是中國大陸持續有新路線在規劃中。目前CBTC皆運作於都會捷運路線，臺灣營運中的台北內湖捷運線(Neihu Line)及建置中的桃園機場捷運線，分別採用Bombardier與Westinghouse系統；而全世界傳統鐵路尚無CBTC運作實績。

表7. CBTC發展概況表

USA & North America	NYC Transit Canarsie Line(RF)	JFK Airport (IL)	Long Island Railroad	SF Muni Light Rail (IL)	SF BART (RF)	SFO Airport (RF)
	Detroit APM(IL)	Vancouver SkyTrain(IL)	Las Vegas Monorail(RF)	Philadelphia Surface (RF)	Dallas Ft.-Worth	Airport (RF)
	Seattle Airport(RF)、Washington APMDulles(RF)、West Virginia Morgantown(IL)			Toronto Scarborough (IL)		
UK	London Docklands(IL)、Jubilee & Northern (IL)、Heathrow Airport					
Euro	Lyon Line D	Paris Line 13/14 (RF/IL)	Paris Line 3/4/9/10/12	Barcelona (RF)	Madrid	Budapest Lausane
ASIA	Malaysia Kuala Lumpur	Hong Kong West Rail(IL)、Ma On Shan (IL)、Penny's Bay (RF)		Singapore NE (RF)	Taipei Neihu (RF)	
	China Wuhan Mainland (IL)、Guangzhou、Shanghai 8(RF)	Korea Bundang (RF)		Ankara ARTS(IL)		

8、CBTC技術供應

附表8為目前CBTC的技術供應概況，分由歐美包括Alcatel、Alstom、Bombardier、GE、Safetran、Siemens、Westinghouse、Wabtec等七家廠商供應。地與車的資訊傳遞以RF-CBTC為主，IL-CBTC較少。由通訊協定(Protocol)看來，使用ISM(Industrial, Scientific, Medical)無線公用(免付費)頻段(2.4GHz)，符合IEEE 802.11標準的RF-CBTC將會是未來市場的主流。而台北捷運內湖線

採用的加拿大龐巴迪(Bombardier)的Cityflo 650即為802.11標準的無線系統。

表8. CBTC技術供應概況表

Firm	Products	Train-Wayside Protocol	Absolute Position Determination
Alcatel	Seltrac	RF: IEEE 802.11	Loop Crossover
Alstom	URBALIS 300	RF: Microwave	Eurobalise
Bombardier	CITYFLO* 650	RF: IEEE 802.11	Commercial off the Shelf AAR Industry Standard Tag
GE	CBTC 、 ITCS 、 AATC	RF: EPLRS	CBTC & AATC: Radio Ranging using EPLRS ITCS: GPS & Tacho
Safetran	TBS100 、 GEO	RF: S3/Link Ethernet Radio	
Siemens	Meteor SACEM LZB 80 ETCS	IL: LZB 80、 SACEM、 Meteor RF: GSM(open)	IL: Loop crossover RF: NYCT RF-ID Tag、 Eurobalise、Optical (Meteor RF): OSMES
Westinghouse	TBS100		
Wabtec	CBTM、 PTC - IDOT	RF: IEEE 802.11	

肆、考察心得與建議

一、考察心得

(一) 營運管理與緊急應變

針對RTS Solutions所發展之管理系統、中興顧問社研發大眾捷運安全管理系統--緊急應變及視訊監控子系統及中國生產力中心張總經理所提及的，均強調專案管理系統的重要，需透過資訊技術之技巧與工具，詳盡規劃、徹底執行、嚴密掌控，以統籌全局、組織協調、綜合監控、分工協作、系統整合，提昇運作效率，達致最佳效益。因此，對路局而言，較為急迫性須建置之系統為故障管理系統(FMS)，因路局目前遇到之災害可分為「天然災害」及「人為災害」，而災害事故通報仍維沿襲舊有之方式，雖各單位均建立各類事故處理之標準作業程序(SOP)，但均利用電話聯繫或詢問之方式得知災害之狀況、搶修進度及復原狀況，惟利用故障管理系統從事件發生後之評估、反應、管理及重新投入營運等一連串之過程，採取電腦化作業模式(e化)，各單位透過單一窗口詳細記錄和查看故障的類型，讓上級長官僅需利用網路系統，無論在家裡、辦公室或任何可上網之地方，隨時可掌握事故處理概況及進展，以利決策者下達決策。故障管理系統(FMS)與本局之通報系統大致上有相通之處，惟通報流程均藉由人工方式連繫非電腦化自動模式通報，且事故資訊無保留分析作為下次類似事故之參考或提供可行性之解決方案，以致被外界批評「臺鐵故障、反應較慢」之印象。

(二) 列車排點

列車排點至少需滿足下列條件：

- 1、避免列車衝突。
- 2、滿足場站月台及軌道使用限制。
- 3、使各列車順暢運轉，不致延誤且具備合理的停站時間。
- 4、滿足旅運需求。

除了上述條件之外，尚須綜合考量機車運用計畫、車輛運用計畫、司機

員調度、站場作業計畫、車輛養護維護、路線維修等，使得整個鐵路系統運作順暢且有效率。但應如何利用系統化電腦技術來克服臺鐵局目前之困境，是值得深入研究之課題。當然Funkwerk IT公司已有先進之資訊技術可參考，不僅是電腦化之排點，該公司甚至針對整體鐵路公共建設、列車服務、人員、車輛規劃，甚至顧客服務面等均能長期性之策略規劃、中期性之經營計畫、到短期性之服務傳遞建置一套完善流程，並針對各階段性內容設定「關鍵性績效管理指標(KPI)」來衡量績效，是值得臺鐵局借鏡參考的地方。

(三) 狀態監視與預防維修

事先預防、適時且適度的預防維修是系統運作穩定可靠的保證。對許多系統而言，掌握維修週期與調整時間點，是做好預防性維修的關鍵。隨著資訊科技發展，相較於早期故障通報系統，現代化監視講究的是智慧型與即時性的功能，維修人員可透過網際網路連結，於線上遠端即時監視設備運作狀態，出現異常，立即預防矯正，降低對營運的影響。英國Network Rail應用智慧型遠端狀態監視設備於鐵路環境監控已非常普遍，參訪York的整合控制中心擁有健全的網路監控機制，值得臺鐵學習。

(四) 電腦化維修與資訊管理

目前臺鐵設備的維護與更新，由於電腦化不足，過度依賴管理者的記憶、經驗或書面紀錄來決定的作業模式，加重了管理者的負擔，也容易出錯，維修程度也因人而異，標準不一致。在英國看到的是以電腦為主、人工為輔的維修管理模式。據英國Network Rail公司表示於3、4年前啟用一套IBM第二代Online資產管理系統，目前正規劃更新為第三代，而臺灣高鐵也有類似的系統。這些新的管理思維與作法值得臺鐵積極推展，預期應用維修管理資訊系統於維修計畫、現場檢修、督導考核及狀況分析等支援，以達到資產管理系統化、維修工單電腦化、作業程序標準化、紀錄查詢網路化的現代化管理目標。

(五) 現代化技術與永續發展

對英國鐵路的整體感覺是，設備不新，但思維很新。最大特色是都會路網綿密、四通八達，技術不斷創新，居世界的領先地位。尤其是，鐵路業界長期以來對於新的行車控制技術研發未曾間斷，剛好搭配英國政府對鐵路經營環境的重視與近年發表的白皮書所擬訂的30年長期改善計畫契合，為英國鐵路的永續發展訂下長遠的策略目標，逐漸重拾旅客大眾對鐵路的信任與信心，是少數乘載率逆勢成長的鐵路國家。臺鐵同樣面臨其他運輸業的競爭，借鏡英國鐵路的經驗與決心，安全、準點與便利同樣是提高民眾搭乘意願的關鍵指標，運用現代化技術與管理方法，創造經營策略與服務品質等量提升，同樣可以為臺鐵的未來立下願景。

(六) 人才培育與教育訓練

英國鐵路對於人才培育的方式，與日本的JR極為相似。據Network Rail的管理階層表示，英國鐵路對於新進人員施以一系列紮實的訓練課程，由基礎開始、進階，以至專業技術等訓練，盡可能從專業的角度吸引新進人員對鐵路專業的關注與興趣。例如對新進駕駛先施以模擬駕駛訓練6個月、規章規則訓練3個月、路線熟悉訓練3個月、指導駕駛200小時，通過一系列的考核後，才會實際上路駕駛。臺鐵長期以來一直有技術人員離職率高、人力斷層的問題，如何提高專技人員願意投入心力、奉獻鐵路，除了透過訓練激發興趣外，提升整體形象、效能、待遇與營造有願景的大環境，才能吸引人才。

(七) 節能減碳議題

「英國城市，是昔日工業革命的引航者；今日，則將以推動低碳經濟的機會，再度揚帆...」。這是英國氣候變遷大臣Joan Ruddock，2008年11月在英國核心城市首長會議時，為英國推動低碳城市方案(Low Carbon Cities Programme, LCCP)所發表的節能宣言。英國在鐵路綠能的議題上，提出包括鐵路電氣化、無人駕駛列車、LED照明與號誌燈、減輕車體重量、改善剎車性能、降低噪音等多方面節能減碳策略。這些策略中，現階段臺鐵可以由LED

照明與號誌燈、改善剎車性能、降低噪音等方面優先著手。

二、 建議事項

(一) 規劃緊急應變管理系統

臺鐵能在事故發生後，從事件發生後之評估、反應、管理及重新投入營運等一連串之過程，均透過資訊化技術工具來協助，即建置一套緊急應變管理系統，採取電腦化作業即時反應之模式，建立各類事故之標準作業程序，並提供資料維護、紀錄保存及後續追蹤管考等功能，替代現今以電話聯繫或詢問之方式及憑經驗處理事故之舊有思維，亦可讓上級長官僅需利用網路系統，無論在家裡、辦公室或任何可上網之地方，隨時可掌握事故最新處理概況及進展，以利決策者下達決策。

(二) 推動行車營運管理系統

「電腦排點系統」是「行車營運管理系統」核心，建構「資料平臺及資料庫」，係整合「運務行車營運管理系統」、「機務行車營運管理系統」、「工、電務行車營運管理系統」等系統，當系統建置完成後，對本局「列車運轉整理與緊急應變決策」能力的提昇，是有絕對的助益，為使建置案能達預期目標及降低建置風險，除可廣泛蒐集國內外相關文獻作為參酌，亦可委託交通部運輸研究所就系統架構進行可行性分析(已納入運研所民國100年研究案)，並列入本局「臺鐵中長期發展綱要」研究課題，以提高臺鐵局營運競爭力。

(三) 覓地興建鐵路訓練中心

英國政府刻正規劃興建鐵路學院，計畫長期培育鐵路專業人才。反觀臺鐵目前的員工訓練中心設施老舊、e化不足，且面臨遷移還地市府在即，地點尚無著落。建請中央協助覓地、籌措經費，及早規劃興建一座具現代化的鐵路訓練中心，甚至可以容納臺灣三鐵員工教育訓練所需，提升服務品質；並兼辦國際軌道研習會議，促進技術交流，強化臺鐵競爭力。

(四) 興建臺灣鐵路博物館

位於約克的大英鐵路博物館，號稱世界最大，參訪遊客最多，典藏涵蓋19、20世紀科學、工業與鐵路發展史，以數百車輛為主，亦收集了大量的鐵路文物、紀錄和相片，甚至鐵路圖書，設有資料閱讀查詢室；較特別的有早期的號誌器材、電路原理模擬、維修工法等等，堪為鐵路活教材，足以媲美日本大宮鐵道博物館。博物館的規劃是長遠的事，成果無法立即呈現，但總要有一個開始，建議成立國家級鐵道博物館，將目前分散各處之鐵路文物有計畫蒐集保存，讓世代子孫能共同擁有與珍惜鐵路文化資產。

(五) 推展維修管理電腦化

英國鐵路整體設施並未比臺鐵先進，但在資訊科技發達的英國，利用功能強大的電腦資訊系統協助鐵路改變現有的管理模式，針對內部及外部資源的管理做最佳的規劃管理。同時在資訊系統導入的同時，也可以使管理階層針對既有的作業流程進行改革，提升整體效率。反觀臺鐵電腦化不足，設施的維護管理大多仍停留在管理層級單線的運作模式，全憑維修者和管理者的記憶、經驗或紀錄資料來決定，無法與既有資訊整合。因此，現階段臺鐵對於維修管理電腦化應積極推動，透過資訊平臺的整合功能，才能將傳統的被動檢修轉變為積極主動的預防性維修，並結合相關的資料分析統計，落實預防保養工作。

伍、參考資料(References)

1. 林國顯、蘇振維等8人，「英國鐵路永續發展之實現」研析報告，交通部運輸研究所，2008.01.
2. 陶冶中、劉嵩瀚，固定與移動自動閉塞區間制下多車種列車運行之模擬模式研究，運輸計劃季刊，第37卷，第3期，2008.09.
3. 江國銘、藍敏鈿，無線通訊式列車控制(RF-CBTC)系統在臺灣之發展，中興工程季刊，第104期，2009.07.
4. 陳正忠、石豐銘、蔡明儒、周文陽、周頌安，臺灣地區大眾捷運安全管理系統之建立，中興工程季刊，第104期，2009.07.
5. DeltaRail presentation，2009.08.05.
6. Funkwerk presentation，2009.08.06.
7. Balfour Beatty presentation，2009.08.03.
8. Bombardier presentation，2009.08.03.
9. Brecknell Willis presentation，2009.08.03.
10. Westinghouse Rail Signal presentation，2009.08.04.
11. SBB. Dr. Peter Eichenberger，I-ST-ZB，2009.02.
12. Peter Winter，Influence of ETCS On Line Capacity Generic study，UIC，Copyright - Paris, 2008.
13. Ferdinando Camurri，Interfacing ETCS with legacy CC-systems onboard，UIC ERTMS Conference，2006.04.
14. AF Neele STG Wootton，GSM-R System Procurement Guide，2007.07.
15. NORTEL，GSM for Railways GSM-R Solutions Architect，2009.09.
16. Wikimedia/<http://commons.wikimedia.org/wiki/Category:EuropeanTrainControlSystem>.

17. C&S Buyer's Guide , CBTC Radio-What to Do? Which Way to Go , Railway Age's 2005.
18. ERTMS White Paper , GSM-R Core Marketing Document , 2005.08.
19. ERTMS Implementation maps worldwide status , UIC , 2009–Copyright.
20. Peter Winter , Influence of ETCS on line capacity , 2008.03.
21. Bernard Guillelmon , Challenges and solutions of BLS traffic management , 2009.02.
22. Masayuki Matsumoto , From Past Railway Accidents Progress of Train Control , 2006.03.
23. C&S Buyer's Guide , Version of Article published in Railway Age's 2005.
24. <http://www.nortel.com>.
25. CDS Rail/<http://www.cdsrail.com>.
26. Delta Rail / <http://www.deltarail.com>.
27. <http://www.wikipedia.org/>
28. BLS AG/<http://www.bls.ch/e/homepage/index.php>.