

公共運輸之安全績效：臺灣鐵路管理局 之個案分析

A STUDY ON THE SAFETY PERFORMANCE OF TRA

李治綱 Chi-Kang Lee¹
鍾志成 Jyh-Cherng Jong²
林杜寰 Tu-Huan Lin³
張仕龍 Sloan Chang³
張恩輔 En-Fu Chang³
陳一昌 I-Chang Chen⁴
張開國 Kai-Kuo Chang⁵
吳熙仁 Hsi-Jen Wu⁶

(98 年 3 月 31 日收稿，98 年 7 月 7 日第一次修改，98 年 12 月 16 日定稿)

摘 要

本文探討公共運輸之安全管理，以臺灣鐵路管理局為分析案例，期望從千頭萬緒的可能危害中，藉著安全績效分析，篩選出關鍵的不安全因素，作為安全管理的重點。本研究利用臺鐵近三年全面性的安全實務資料進行實證分析，回答與討論社會關注之下列課題：臺鐵是否安全？臺鐵系統安

-
1. 南台科技大學行銷與流通系教授，Leeck@mail.stut.edu.tw。
 2. 中興工程顧問社土木及水利研究中心組長。
 3. 中興工程顧問社土木及水利研究中心研究員。
 4. 交通部運輸研究所運輸安全組組長。
 5. 交通部運輸研究所運輸安全組副組長。
 6. 交通部運輸研究所運輸安全組研究員。

全之關鍵因素、區位、與原因為何？臺鐵旅客安全之關鍵因素為何？臺灣的平交道是否安全？平交道安全之關鍵因素為何？本研究問題導向地發展與利用安全指標進行分析，主要研究結果顯示：臺鐵之安全水準尚可，系統安全之前三大關鍵因素是：侵入軌道、闖越平交道、與站內滑倒，臺灣平交道不安全，平交道安全之關鍵因素在公路側。

關鍵詞：安全績效；風險管理；臺灣鐵路管理局

ABSTRACT

Taiwan Railway Administrator (TRA) is one of the most important passenger transportation operator in Taiwan. The paper attempts to investigate TRA's safety level, risk profile, and safety problem of level crossing, by an empirical analysis. The major findings are the followings. TRA's safety level is fair. The first three hazardous events are "trespasser struck while crossing track", "train collision with road vehicle on level crossing", and "passenger slips, trips, and falls at station". The safety problem of railway level crossings in Taiwan is serious. The causes of most hazardous events at level crossing are safety factors on the highway side.

Key Words: *Safety performance; Risk management; Taiwan Railway Administration (TRA)*

一、前言

1.1 臺鐵系統安全問題

臺灣鐵路管理局（以下簡稱臺鐵）是國內歷史最悠久的鐵路營運單位，其路線範圍遍及全島長達千餘公里兼營客貨運輸，目前客運每日服務約 46 萬旅次，每逢年節例假日更肩負全島疏運的重任^[1]。近年來，臺鐵發生數起嚴重事故，94 年七堵號誌故障事故、95 年花蓮崇德撞擊道班工事故、96 年大里邊撞事故、96 年七堵號誌故障事故等，引起很大的社會衝激，連續幾任局長也因此辭職以示負責。為了避免事故重複發生與提升系統安全水準，臺鐵、交通部、與行政院都在事故發生後，立即因應並努力地作各項體檢與安全改善措施。可是，仍然有人質疑，亡羊補牢的安全改善足夠嗎？是否會有新的事故型態發生？臺鐵系統的安全水準可以接受嗎？針對上述社會關注的綜合性安全課題，本研究不擬討論個別事故，而是全面、有系統地分析與審視臺鐵各種可能的危害 (hazard)，探討關鍵的風險因子，提供審視「臺鐵系統安全」的一個觀察角度。

由英文字典中可以發現「安全 (safety)」的定義是：免於危險的狀態 (freedom from danger)，其意義較抽象且難以直接衡量。不過，「風險 (risk)」則沒有衡量之困擾，字典

上的定義是：發生損害之機會 (chance of loss or harm)，可以由「機率」與「損害」兩個具體的構面來衡量風險水準^[2-4]。安全管理實務上將「安全」界定為「在可接受風險水準之狀態」，使得安全問題便於衡量、討論、分析、與處理^[2,5]。例如，高雄捷運公司將旅客安全的「可接受風險水準」訂為：旅客使用高捷一年，「致命」之「機率」需低於 10^{-5} ，此標準比倫敦地鐵等國際上知名的鐵路業者還高，與相當嚴謹的香港地鐵相同^[6]。因此，本研究將以風險分析的觀點與技術探討「臺鐵系統安全」，亦即同時分析各種臺鐵系統安全危害之「機率」與「損害」。

1.2 研究目標、範圍、與論文組織

本研究之目標在說明臺鐵的系統安全狀況，具體的研究課題包括：臺鐵是否安全？臺鐵系統安全之關鍵因素、區位、與原因為何？臺鐵旅客安全之關鍵因素為何？臺灣的平交道是否安全？以及平交道安全之關鍵因素為何？這是一項實務導向之研究，研究的有效性 (validity) 最重要，亦即研究成果必須能夠反映實務意義。這也是臺鐵安全管理的一項基礎研究，期望從千頭萬緒的可能危害中，藉著安全績效分析，篩選出關鍵的不安全因素，作為進一步深入探討的方向，將來才能在「對的地方」找到「有效的答案」。

如圖 1 所示，安全改善措施可以提升系統硬體或軟體的品質，系統品質可以促進營運過程順暢進行，而營運過程不順利則容易發生事故，一旦發生重大事故則會造成社會衝擊。安全績效分析之內容，依據研究目的，可以是前述的任一個階段或某一些階段，分析的形式可以是安全指標 (safety indicators) 或其他方法。每一個階段都可以建立安全指標，事故頻率與事故嚴重性等指標是鐵路系統營運之結果指標 (outcome indicators)，其前方階段之安全指標是系統營運績效之領先指標 (leading indicators)。例如，軌道系統採用自動列車防護 (automatic train protection, ATP) 之里程與列車數增加，可以讓列車冒進號誌事件數減少，進而使得營運事故頻率與事故嚴重性下降。本研究旨在探討臺鐵系統安全之綜合性課題，研究範圍只包括系統營運績效階段；亦即，本研究僅探討臺鐵事故所反映的系統風險。

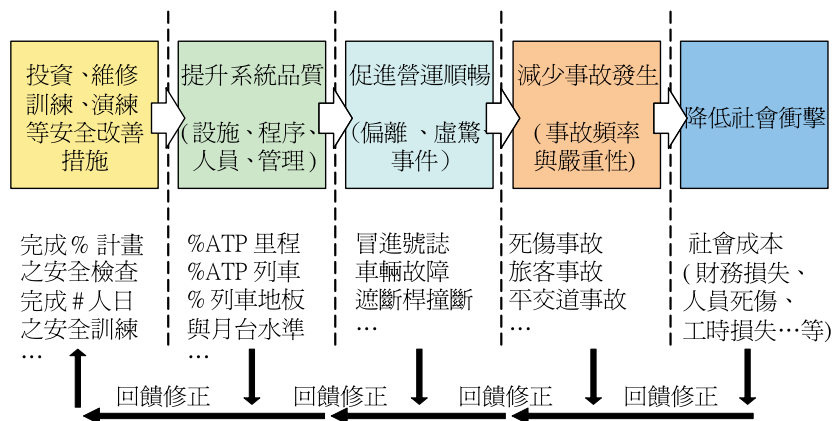


圖 1 探討安全課題之層次

本文之組織結構說明如下：第二節陳述鐵路安全管理與安全績效分析之相關概念；第三節說明臺鐵安全實務資料現況，與本研究所發展與使用之安全指標；第四節條列與說明各個安全課題的分析過程與分析結果，亦即回答研究目的中所陳述之研究課題；最後，第五節進行臺鐵安全問題之綜合討論，並提出本研究之結論與建議。

二、文獻回顧

2.1 鐵路安全管理

鐵路事故影響之民眾眾多，鐵路安全無法藉市場機制達成，且不能依賴鐵路業者之道德自我規範。先進國家建立安全監理制度，介入「鐵路系統或服務之規劃、設計、與營運」之某些活動，對於潛在有害人民生命與健康之事件予以控制或避免其發生，對於風險降低或安全提升之事件予以鼓勵並促成其推動^[2,7]。如美國與英國之鐵路安全監理制度，都具體的要求：安全管理系統 (safety management system)，系統安全認證 (safety certification)，安全關鍵 (safety critical) 人員之管理，風險管理 (risk management) 或危害管理 (hazard management) 機制，以及安全資料之蒐集、整理分析、與通報等^[7-10]。其中，分析與報導鐵路業者之安全績效是定期必要的工作^[11,12]。

鐵路業者正式、有組織、有系統地針對安全去設想、分析、推動、與檢討的體系，稱為安全管理系統。有安全管理系統概念的業者，系統安全績效可能提升 5 倍，所以安全管理成為業者必須努力的方向^[13]。安全管理的焦點不是安全課題，而是不安全課題；所謂的風險管理 (risk management) 或危害管理 (hazard management) 旨於有系統地排除不安全問題，其程序是：有系統地找尋與界定可能的危害，進行風險評估，針對危害作原因與後果之風險分析，決定接受、控制、或排除該危害，研擬、分析與執行排除或降低危害之手段，紀錄、追蹤這些危害並作安全績效考核^[14, 15]。根據國外經驗顯示，運用風險管理方法處理安全問題時，系統安全績效可能再提升 2 倍，所以風險管理成為業者積極學習與使用之工具^[13]。先進國家鐵路業者之安全管理，都建立於「風險管理 (risk management)」或「危害管理 (hazard management)」之基礎上^[7,15]；如英國國家鐵路 (National Rail) 之黃皮書^[16]，或美國鐵路業者之危害管理手冊^[17]。

2.2 鐵路安全績效分析

鐵路安全績效分析可以分為兩類，一為政府安全監理單位之觀點，另一為鐵路業者之觀點^[18]。安全監理單位定期分析鐵路安全績效，了解鐵路安全問題現況，報導予大眾周知，作為獎懲與管理業者安全業務之依據，並據以研擬全國之鐵路安全策略或政策^[19]。實務上，安全監理單位所規定需要呈報之安全指標，均記載於鐵路業者定期繳交之安全報告^[11,12]；例如，歐盟 2004 年公布之鐵路安全監理指導綱領，要求業者提報五類安全指標：

建立平交道事故風險模式以預測、分析、或改善各平交道之危險性^[33,34]。

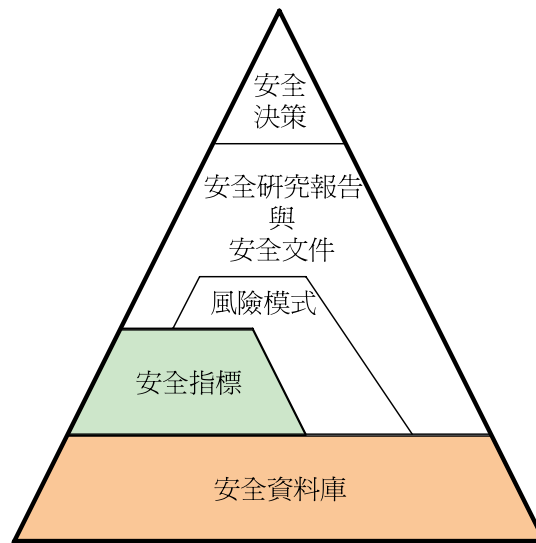


圖 3 安全資料與安全績效分析

三、方法

3.1 臺鐵安全資料

如果臺鐵有適合本研究的安全實務紀錄資料，妥善利用此反映事實的紀錄資料進行分析，可以確保研究結果之有效性。如果臺鐵沒有適合本研究的安全實務紀錄資料，則需要採取調查的方法去觀察臺鐵系統安全問題。但是，鐵路事故發生的頻率非常小，不可能由短期觀察去分析系統安全；所以，需要藉助臺鐵專家的長期觀察經驗，對專家做深入的意見調查，再做嚴謹之分析^[35]，以研判臺鐵系統安全。不過，臺鐵系統規模龐大，個別專家之經驗多是短期間、局部性、與片斷性的感覺，縱使做了意見調查與嚴謹的分析，研究的有效性或研究結果的實務意義，仍然難以掌握。

臺鐵是歷史悠久的公家單位，營運過程與重要事件都有制度化的紀錄，包括本研究所需之安全資料^[36]。例如：臺鐵運務處運轉科有行車事故紀錄資料，彙整了每一行車事故各相關單位之報告；臺鐵運務處營業科有全線車站事故紀錄資料，彙整全線各車站所發生的事故報告；臺鐵局本部勞安室有全局勞安事故紀錄資料，彙整局內各單位發生的勞安事故報告；鐵路警察局有平交道事故紀錄資料，彙整全線各平交道的事務調查報告。本研究取得臺鐵近 3 年的上述各項安全資料，進行彙整、處理、分類、與分析。

3.2 安全指標分析

本研究採取安全指標分析的方法：依據研究課題發展指標，再據之分類、整理、與分析資料，藉著指標顯示的數值與比較，說明研究課題的答案。首先，關於「臺鐵系統安全之水準」，本研究採用國際上安全管理慣用的指標，估計 1 位臺鐵旅客 1 年內致命的機率；至於大眾等觀點之指標，因現況資料不足尚難以估算。第二，關於「臺鐵系統安全之關鍵因素」，本研究參考先進國家鐵路事故與事件分類的方式，以每一種危害事件型態的頻率（次／3 年）與嚴重性（等效死亡／次）為安全指標。第三，關於「臺鐵系統安全之關鍵因素」，亦將事故資料作事故地點的分析與事故原因的分析，找出關鍵的事故地點與關鍵的事故原因。第四，關於「臺鐵旅客安全之關鍵因素」，本研究採用與第二項課題相同之指標，只是統計上作特定族群之分析。第五，關於「臺鐵系統安全之綜合性課題」，採用與第二項課題相同之指標，只是統計上綜合前兩項之觀點。此外，分析比較有無排除違規旅客與大眾造成死傷之風險水準，以反映臺鐵營運上可控制的風險分析結果。第六，關於「臺灣平交道安全之水準」，採用平交道文獻上慣用之指標，包括事故頻率（1 年內百平交道事故次數）與事故死亡率（1 年內百平交道死亡人數）。第七，關於「平交道安全之關鍵因素」，本研究參考先進國家平交道事故與事件分類的方式，以各類型危害事件的頻率（次／3 年）與嚴重性（等效死亡／次）為安全指標進行比較分析。

利用指標分析關鍵因素時，本研究使用的方法是：重點管理、柏拉圖原理（Pareto principle）、或 80-20 原則（80-20 rule）。在千頭萬緒的可能危害中，找出造成大部分問題的少數關鍵因素。對一個安全課題實證分析時，將所對應之安全指標依照數值或等級做排序，求得風險順序（risk profile）與關鍵的風險因素。因為風險分析中，將事故指標分為事故頻率指標與事故嚴重性指標，兩者的意義不同，反映的問題與對應的改善措施也不相同。所以，經常以事故頻率與事故嚴重性為縱軸與橫軸，利用風險矩陣（risk matrix）進行分析與討論。其中，臺鐵事故嚴重性資料只有死亡與受傷人數，沒有財損資料，受傷資料沒有輕重傷的分別；所以，事故嚴重性指標就是一個兩維的問題：死亡與受傷。為了簡化事故嚴重性指標，參考風險分析的慣例，藉由等效死亡係數將事故嚴重性簡化為一個量化指標；亦即，事故嚴重性之計算公式如式（1）。其中，本研究採用交通部運輸研究所分析公路安全水準時慣用之等效死亡係數 0.368。

$$\text{事故嚴重性} = \text{每次事故死亡人數} + \text{每次事故受傷人數} \times \text{等效死亡係數} \quad (1)$$

風險分析的兩個具體構面：「事故頻率」與「事故嚴重性」，分析時必須利用風險矩陣，探討各種事故類型綜合「頻率」與「嚴重性」下之風險。本研究之事故頻率（次／3 年）與事故嚴重性（等效死亡／次）都是量化的安全指標；所以，事故風險可以定義為兩者之乘積，也成為一個量化的安全指標；亦即，事故風險之計算公式為：

$$\text{事故風險（等效死亡／3 年）} = \text{事故頻率（次／3 年）} \times \text{事故嚴重性（等效死亡／次）} \quad (2)$$

因此，除了風險矩陣之分析外，也可以直接利用事故風險的量化指標作風險排序。

本研究將臺鐵行車事故紀錄、車站事故紀錄、與員工勞安事故紀錄等進行彙整、處理、分類、與分析。由於死亡或受傷不適合作為事故型態，本研究將臺鐵規章事故類型中的最大宗「死傷事故」，根據事故紀錄資料重新分配^[37]；臺鐵規章中之其他事故型態，也參考先進國家鐵路風險分析之經驗修改。一般言之，鐵路事故或事件型態常用的有 100 多種，大致上包括 3 大類：因行車系統問題招致之「行車事故」(train accidents)，與非行車系統原因但事故發生與列車行進有關之「移動事故」(moving accidents)，以及非行車系統原因也與列車移動無關之「非移動事故」(non-moving accidents)^[28]。例如，列車冒進號誌是行車事故，民眾侵入軌道遭列車撞擊是移動事故，旅客電扶梯跌倒是非移動事故。

四、結 果

4.1 臺鐵系統安全之水準

對於臺鐵系統安全水準，本研究採用國際上慣用的安全指標，亦即：1 位臺鐵旅客 1 年內因使用臺鐵服務而致命的機率。英國等先進國家多以 10^{-4} 為基本可接受之安全水準，以 10^{-6} 為安全水準之理想值^[7]。如圖 4 所示，以臺鐵民國 96 年資料計算，臺鐵短途通勤旅客之風險為 0.29×10^{-4} ，中長途城際旅客之風險為 0.60×10^{-5} ，兩者均小於基本可接受之安全水準，離安全水準之理想值仍有努力空間，安全水準尚可。因為計算過程中是否考慮自殺、違規、與身體不適者等，以及等效死亡係數之選取，對結果可能有影響，表 1 條列各種條件下之計算結果。上述旅客的風險數字，已經排除自殺、違規、與身體不適者等不應歸咎臺鐵的因素。其中，違規項目包含「車上跳車」、「站內跨越軌道」、「站內月臺邊側」等旅客行為。使用臺鐵服務時身體不適者，事故資料難以判斷原因，有可能是旅客宿疾病發。此外，計算事故嚴重性過程中，採用交通部運輸研究所分析公路安全水準時，慣用之等效死亡係數 0.368。

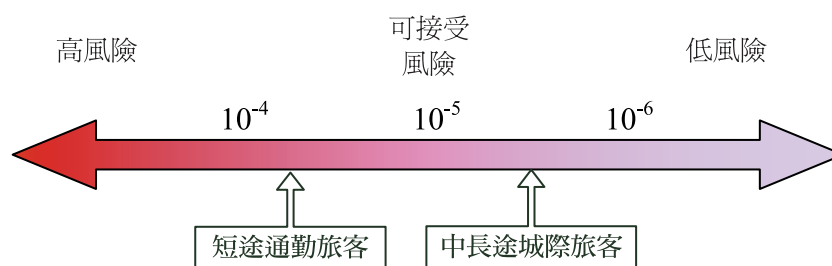


圖 4 臺鐵系統安全水準

表 1 臺鐵系統安全水準

等效死亡係數	旅客類別	全部事故死傷	排除自殺與違規之死傷
0.368	短途通勤	0.41×10^{-4}	0.29×10^{-4}
	中長途城際	0.84×10^{-5}	0.60×10^{-5}
0.1	短途通勤	0.19×10^{-4}	0.12×10^{-4}
	中長途城際	0.40×10^{-5}	0.24×10^{-5}
0.05	短途通勤	0.15×10^{-4}	0.86×10^{-5}
	中長途城際	0.31×10^{-5}	0.18×10^{-5}

1 位臺鐵旅客 1 年內致命的機率，可以分解為下列 3 個因子之乘積：平均每延人公里之致命機率、1 位旅客 1 年平均搭乘臺鐵列車之次數，與平均每個旅次之公里數。臺鐵旅客因旅次型態不同，旅次頻率與旅次長度都相差很大。臺鐵習慣上將旅客分為兩類：短途通勤旅客與中長途城際旅客。一般言之，短途通勤旅客與中長途城際旅客的數量比例為 7：3，短途通勤旅客與中長途城際旅客的營收比例為 3：7。根據臺鐵 96 年客運統計資料，全年總客運人數為 169,692,371 人，全年營運總延人公里數為 8,937,387,171 人公里^[38]。中長途旅客之旅次長度平均約 123 公里，1 年約使用臺鐵 8 次^[39]；短途通勤旅客之旅次長度約 23 公里，1 年約使用臺鐵 208 次（假設 1 年 52 週，1 週搭乘 5 次，再考慮調整因子為 80%）。96 年事故資料顯示，共計 21 名旅客死亡與 150 名旅客受傷，若等效死亡係數以 0.368 計算，96 年因事故造成之旅客等效死亡人數為 76.2 人。然而，上述臺鐵死亡與受傷人數中，亦包括自殺者、違規者、與身體不適等非營運單位所能控制之風險，評估臺鐵安全水準不盡公允。因此，排除自殺、違規、與身體不適者後，96 年因事故造成之旅客傷亡數字下修為 10 人死亡與 120 人受傷。此外，由於等效死亡係數各國不盡相同，例如，英國鐵路安全報告中的等效係數採用死亡 (1)、重傷 (0.1)、輕傷 (0.005)；另參考國內最新完成之經濟評估作業程序的研究，若以研究中建議之事故成本比例為依據，等效死亡係數可視為：死亡 (1)、受傷 (0.1)^[40]。綜合上述文獻，表 1 中等效死亡係數，包括交通部運輸研究所慣用之 0.368，臺灣經濟研究院與交通部運輸研究所最新建議之規劃參數值 0.1，以及更重視死亡衝擊之數值 0.05。

4.2 臺鐵系統安全之關鍵因素

臺鐵事故型態指標可從 3 方面探討：事故頻率（次／3 年）、事故嚴重性（等效死亡／次）、與事故風險（等效死亡／3 年）。事故頻率反映事故是否容易發生，事故嚴重性反映事故發生的結果，事故風險則為兩者之綜合性指標，如式 (2) 所示。圖 5 顯示臺鐵近 3 年之事故頻率的排序，圖 6 顯示臺鐵近 3 年之事故嚴重性的排序。比較圖 5 與圖 6 可以發現：容易發生的事故型態不一定嚴重性高，例如，侵入軌道發生頻率最高，平均每次發生之嚴重性只排名第四。所以，安全分析必須將兩者一同討論，亦即如圖 7 風險矩陣所示，越遠

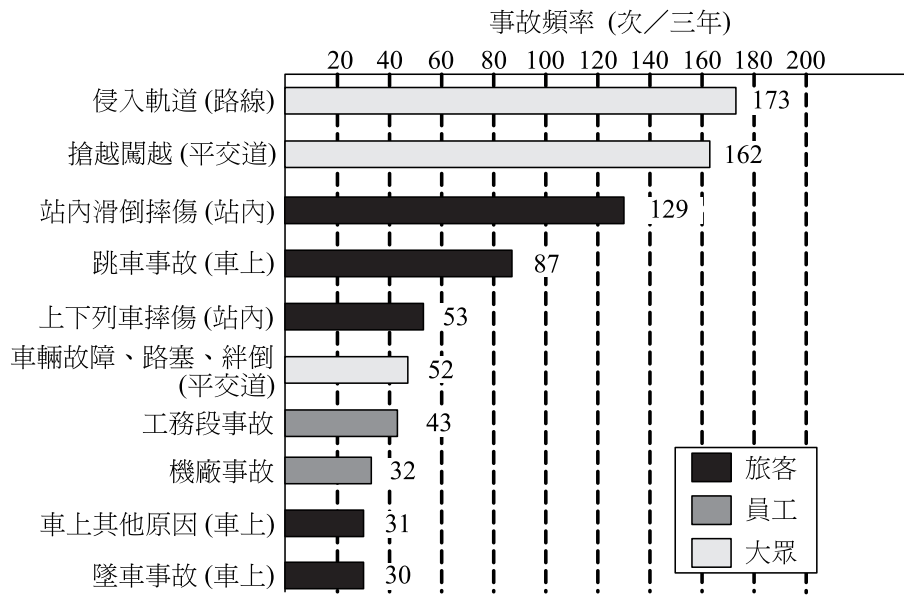


圖 5 臺鐵系統安全之事故頻率排序

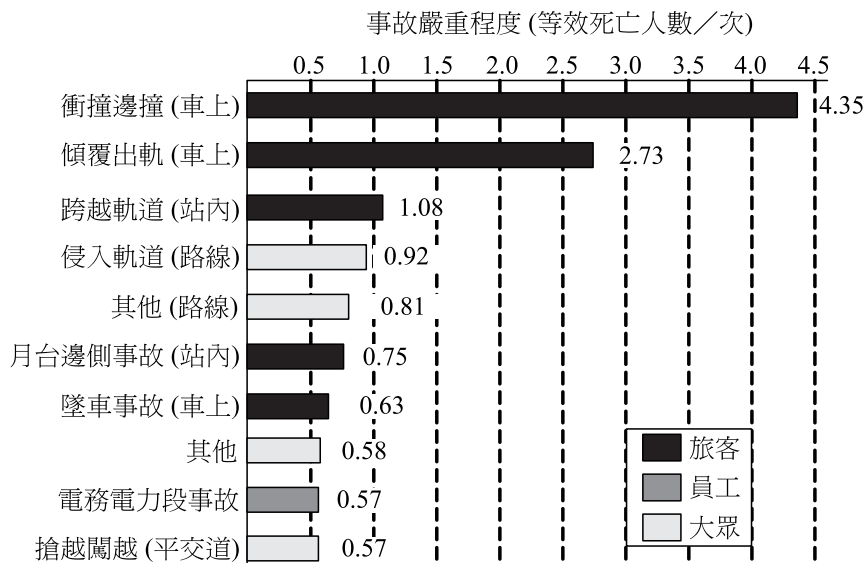


圖 6 臺鐵系統安全之事故嚴重性排序

離原點的右上方事故越危險，表示發生機會大且事故嚴重性高。因為事故頻率與事故嚴重性都為量化指標，風險矩陣上可以繪製等風險曲線；例如，圖 7 中曲線的等效死亡數值為 30，在其右上方的事故類型風險高於 30 (等效死亡／3 年)，在其左下方的事故類型風險低

於 30 (等效死亡／3 年)。對於發生機會大的事故，改善的重點經常是探討發生原因，再對症下藥，以降低發生機會。對於嚴重性高的事故，改善的重點通常是探討發生後可能的事件關聯，再對症下藥，以降低事故後果的嚴重性。綜合事故頻率與事故嚴重性之事故風險指標，如圖 8 所示，事故風險前 10 名的事故，占了全體系統事故風險之 79%，風險排序

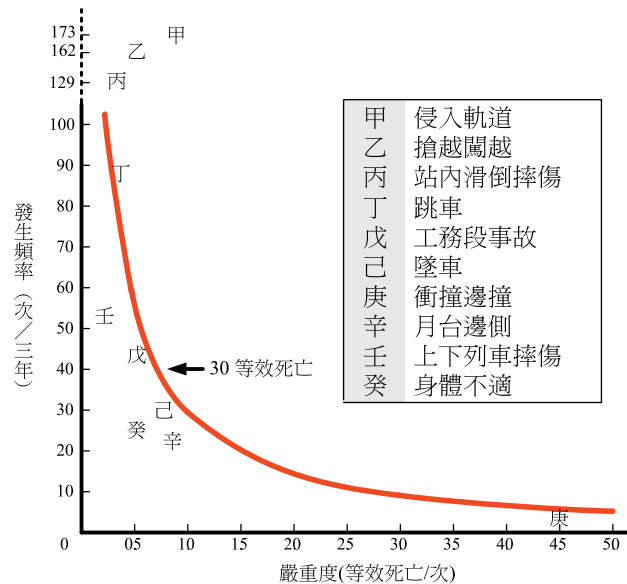


圖 7 臺鐵系統安全之事故之風險矩陣

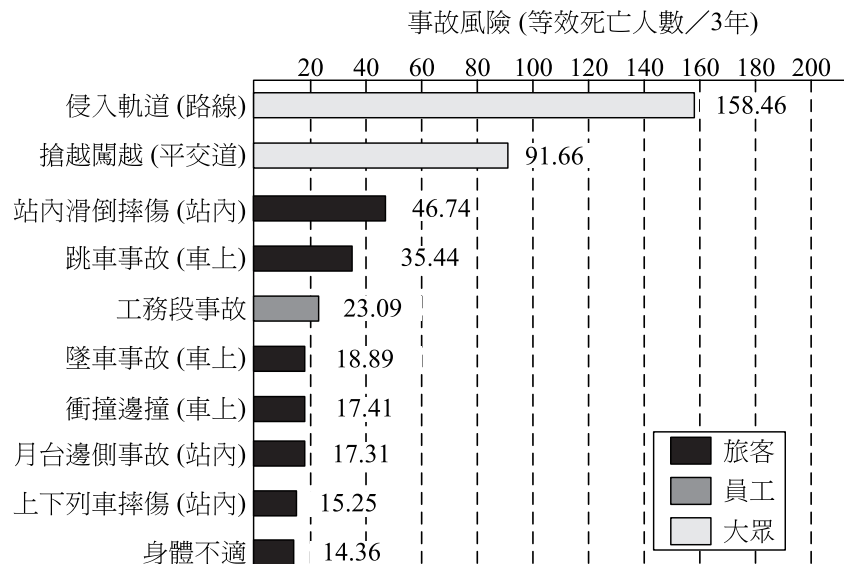


圖 8 臺鐵系統安全之事故風險排序

之前 3 名依序是：侵入軌道、闖越平交道、與站內滑倒。此外，需要特別說明的是第 10 名：「身體不適」。若有足夠資訊，「身體不適」事故應作更適當之分類。例如，尖峰時段車廂過於悶熱與擁擠造成之旅客不適，有宿疾的旅客乘車過程中病發不適，列車行進中緊急煞車造成旅客不適，平日健康的旅客突發性不適等。事件發生原因是否歸咎臺鐵，事件發生臺鐵因應措施都不一樣。在無法取得更詳細之資料下，本研究在不刪除任何原始資料之原則下，暫時將這些死傷事故歸類於「身體不適」。因為「旅客不適」發生死傷之事故占有相當數量，建議將來有必要分別歸類、統計、與分析。

4.3 臺鐵事故之區位分析

將事故地點分為車站、路線、與工作環境，其中車站再分為月臺側與站內其他（如樓梯），路線再分為列車上、正線上、或平交道上，工作環境再分為機廠與其他（如調車場）後，如圖 9 所示。可發現事故風險最高的地點為正線上（如穿越軌道之事故型態），其次是列車上（如墜車之事故型態），第三是平交道（如闖越平交道）。

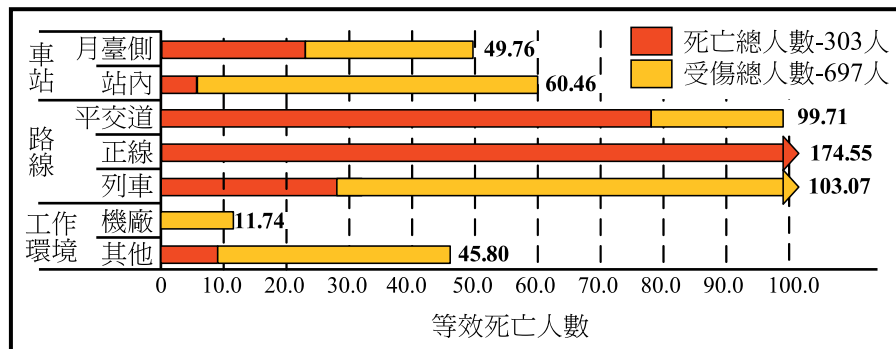


圖 9 臺鐵事故之區位分析

4.4 臺鐵事故之原因分析

將事故原因，分為發生於臺鐵系統內部的因素，與臺鐵系統外部的因素兩類，其中內部因素再分為系統（或設施）因素以及人為因素，外部因素再分為天候或環境因素以及人為因素，系統內部的人為因素，又可依照施工人員、駕駛人員、站內旅客、車上旅客等人員類型分類。如表 2 中各種原因之事故頻率所示，在臺鐵實務上缺少號誌故障等不作紀錄之設施事件下，臺鐵系統設施的事故頻率幾乎占了一半（47%）事故原因。不過，臺鐵系統設施事故之嚴重性通常不高，也就是造成列車延滯而沒有造成死傷；所以，如表 3 中各種原因之事故風險所示，臺鐵系統設施的事故風險幾乎是 0。事故所造成的列車延滯，乃系統可靠度與準點性之課題，因詳細之準點資料龐大複雜，本研究暫時不納入討論。安全性事故風險的原因分析顯示：鐵路系統外部大眾的行為（43%），與鐵路系統內部旅客的行

為 (39%)，占了全部風險之八成。因此，除了作好鐵路輸運工作之外，臺鐵必須深入了解旅客與大眾行為，才可能因應旅客行為的特性，作好鐵路設施改善，或作好鐵路營運作業管理，以提升系統安全。

表 2 臺鐵事故頻率之原因分析 (事故頻率)

初步肇因分類	進階肇因分類	細部肇因分類	事故數	
內部因素 73.51%	鐵路系統因素 47.11%	軌道結構	2.74%	27
		動力&電力系統	29.85%	294
		號誌系統	0.81%	8
		軛機系統	5.18%	51
		列車其他系統	7.92%	78
		通訊系統	0.41%	4
		其他	0.20%	2
	人為因素 26.40%	施工人員	5.69%	56
		列車駕駛	2.44%	24
		轉轍調度人員	1.42%	14
		站內旅客	8.73%	86
		車上旅客	7.51%	74
		其他人員	0.61%	6
外部因素 24.97%		天候環境因素 5.58%	天候	3.55%
	環境		1.73%	17
	其他		0.30%	3
	大眾的因素 19.39%	路線上違規大眾	7.11%	70
		平交道違規大眾	6.29%	62
		軌道異物	3.76%	37
		蓄意破壞	1.22%	12
		其他	1.02%	0
1.52%		無法認定的肇因	15	
100%	100%	加總：		985

4.5 臺鐵旅客安全之關鍵因素

如圖 10 所示，旅客安全之風險矩陣顯示各種旅客相關事故型態，在事故頻率（縱軸）與事故嚴重性（橫軸）上之安全績效。以衝撞邊撞事故與站內滑倒摔傷事故為例，兩者於 3 年間均造成超過 15 人之等效死亡，屬於高風險事故。其中，衝撞邊撞事故發生次數極少，但是每次事故的嚴重性很高。反之，站內滑倒摔傷事故之次數很多，但是每次事故的嚴重性很低。因為事故頻率與事故嚴重性都為量化指標，風險矩陣上可以繪製等風險曲線；例如，圖 10 中兩條曲線之等效死亡數值分別為 5 與 15。在 15 等效死亡曲線右上方的事故類型風險高於 15（等效死亡／3 年），如月臺邊側事故 (F)；在 5 等效死亡曲線左下方的事故類型風險低於 5（等效死亡／3 年），如路線發現事故 (ㄣ)；介於兩曲線之間的事務類型風險於 5 與 15（等效死亡／3 年）之間，如列車門夾傷 (C)。臺鐵旅客安全之事故風險排序，

表 3 臺鐵事故風險之原因分析 (事故風險)

初步肇因分類	進階肇因分類	細部肇因分類	事故數	
內部因素 54.58%	鐵路系統因素 0%	軌道結構 動力&電力系統 號誌系統 軔機系統 列車其他系統 通訊系統 其他	0% 0% 0% 0% 0% 0% 0%	0 0 0 0 0 0 0
	人為因素 54.58%	施工人員 列車駕駛 轉轍調度人員 站內旅客 車上旅客 其他人員	7.96% 7.24% 0% 20.06% 18.90% 0.43%	13.62 12.392 0 34.326 32.344 0.736
外部因素 43.08%	天候環境因素 0.22%	天候 環境 其他	0.22% 0% 0%	0.368 0 0
	大眾的因素 42.86%	路線上違規大眾 平交道違規大眾 軌道異物 蓄意破壞 其他	24.75% 17.10% 0% 0% 1.02%	42.36 29.26 0 0 1.74
		2.34% 無法認定的肇因	4	
100%	100%	加總：		171.146

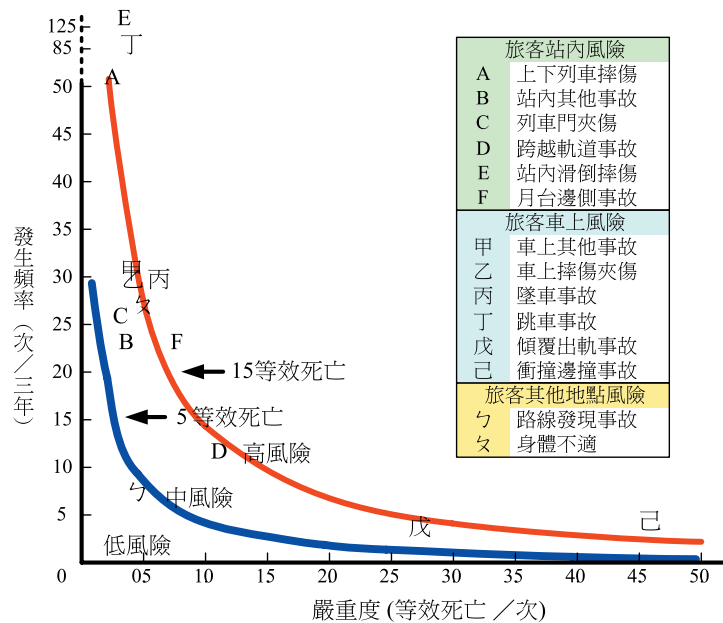


圖 10 臺鐵旅客安全之風險矩陣

如圖 11 所示，排名前 5 項事故型態就占全體旅客風險之 65%，依次是：站內滑倒摔傷、跳車、墜車、衝撞邊撞與月臺邊側事故。若再深究站內滑倒摔傷之地點，如圖 12 所示，電扶梯占 42%，月臺占 16%，樓梯占 15%，地下道占 15%，天橋占 3%，其他 9%。其中，路線發現事故是資料不全下，一項暫時性分類，若能釐清路邊發現受傷旅客之原因，就可以清楚歸類或刪除。

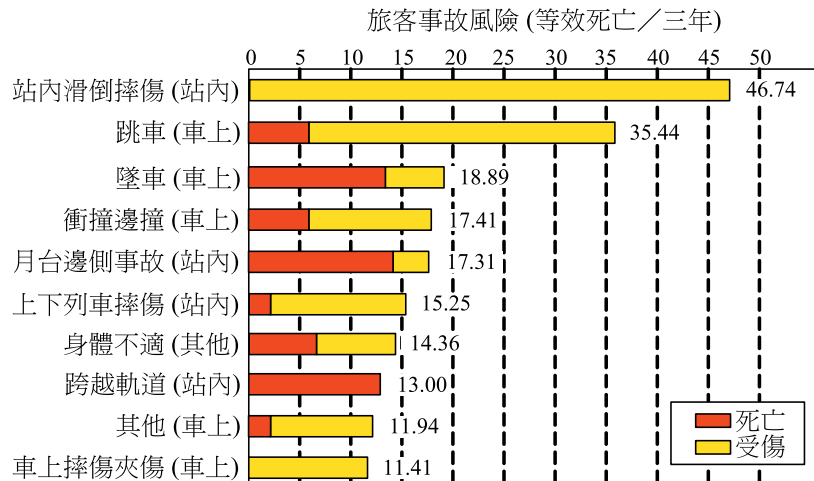


圖 11 臺鐵旅客安全之風險排序

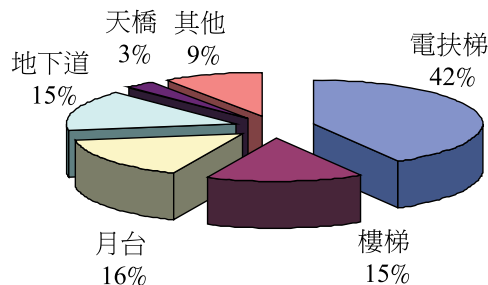


圖 12 臺鐵旅客站內滑倒摔傷

4.6 臺鐵大眾安全之關鍵因素

與大眾有關之事故風險排序，如圖 13 所示，侵入軌道與搶越平交道是最大宗。臺鐵沿線多為平面路段，有一些地區僅靠柵欄籬笆阻絕大眾侵入，一旦發生民眾跨越路線等行為，對營運安全將造成極大的影響。此外，平交道也是風險極高的區域，若公路用路人闖越平交道，一旦發生事故都將造成重大的傷亡。關於侵入軌道，臺鐵 94~96 年間縱貫線

共發生 128 起侵入軌道事故，平均每 10 公里即發生 2.6 起事故，共造成 99 死 6 傷。若進一步作地點分析，如圖 14 所示，臺鐵西部幹線各地區侵入軌道之頻率相差很大，可以找出少數的危險區域，作為深入分析改善的重點。

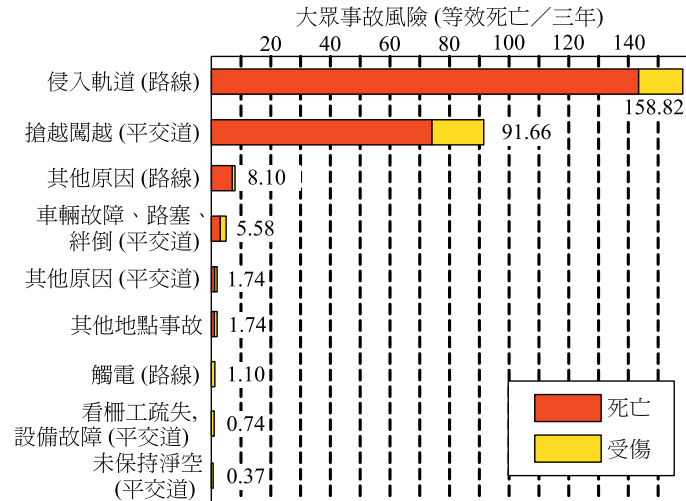


圖 13 臺鐵大眾事故風險排序

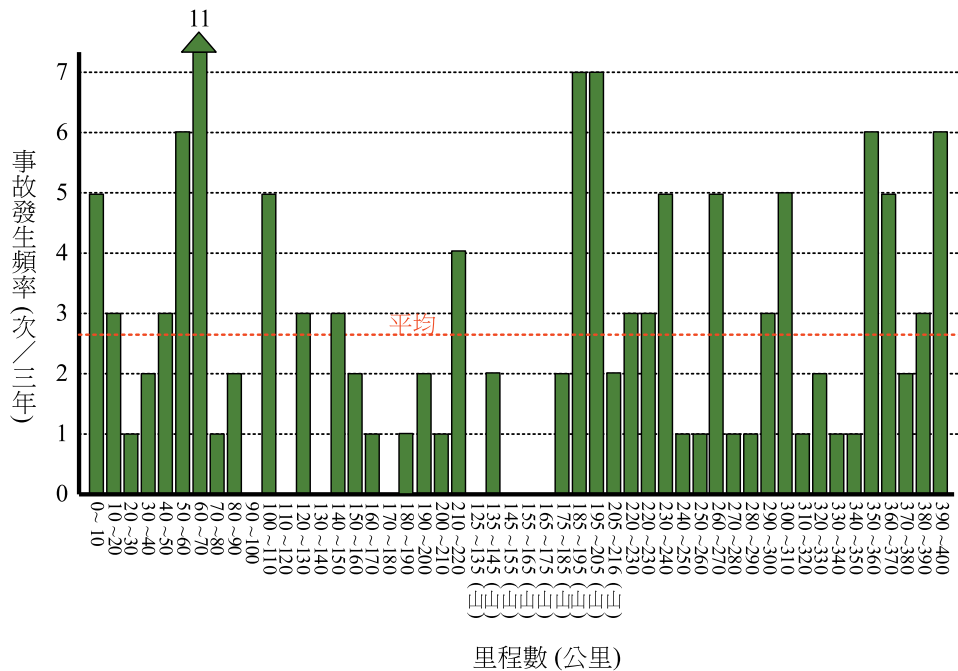


圖 14 臺鐵西部幹線侵入軌道事故之地點分析

4.7 臺鐵系統安全之綜合性課題

綜合前述各種臺鐵安全課題的討論，人員依據旅客、員工、大眾分三種，旅客安全再分為車上與站內兩類，員工安全依據工作性質分類，大眾安全分為路線與平交道兩類。如圖 15 所示，臺鐵系統安全之大眾風險與旅客風險，遠遠大於員工風險。亦即，臺鐵系統安全之重點不是勞安問題，而是輸送安全問題。不過，如 4.4 節事故原因分析中所言，許多事故肇因於違規的大眾與旅客，如跳車、站內跨越軌道、搶越平交道、行走路線侵入軌道、旅客身體不適、路線發現的受傷旅客等，非直接因臺鐵設施或人員可以控制因素所造成的問題。因此，將這些違規大眾與旅客的死傷予以排除後，如圖 16 所示，違規大眾的風險最高。不過，站內之旅客 (92 等效死亡) 與車上之旅客 (85.8 等效死亡) 仍是高風險項目，值得進一步深入分析探討。

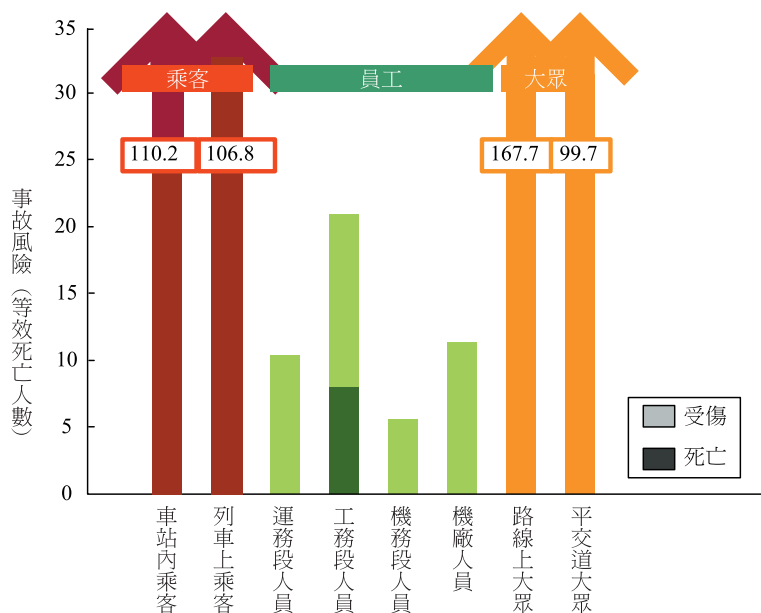


圖 15 臺鐵系統之安全課題 (1)

4.8 臺灣平交道安全之水準

平交道是鐵公路平面交叉的區域。因交通特性之差異，平交道上易發生交通衝突^[41-43]。因此，先進國家很早就開始重視平交道安全問題，積極致力於降低平交道之事故頻率與事故嚴重性；例如：日本 1960 年代開始推動踏切改良促進法、英國每年公布平交道安全績效報告，深入檢討平交道安全等^[27,44]。近年來，臺鐵在交通部之支持下，也努力改善平交道保安設施。然而，如表 4 所示，不論是平交道事故頻率 (次／年－一百平交道) 或平交道事故死亡人數 (死亡／年－一百平交道)，臺灣平交道之危險性遠遠高於先進國家。不

過，表 4 無法顯示各國平交道在鐵公路交通環境與人文因素上之差異，無法深入比較與討論^[41]。

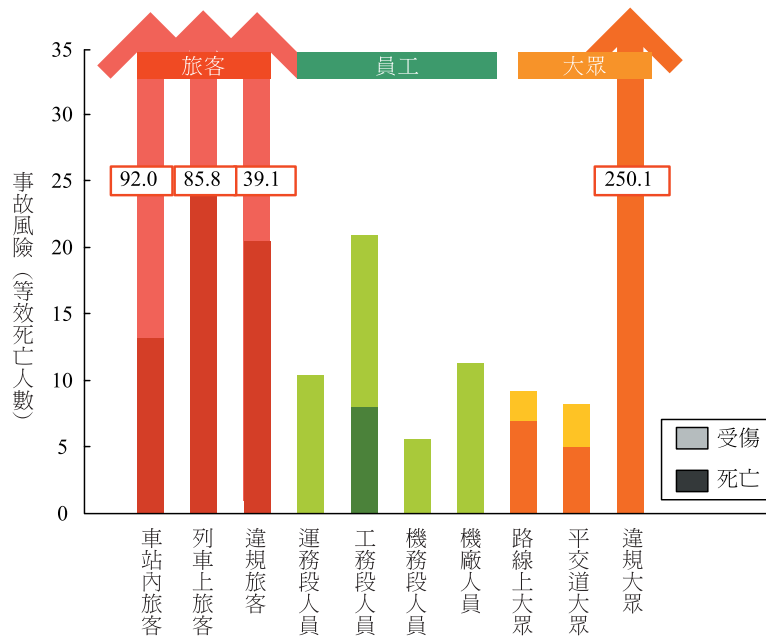


圖 16 臺鐵系統之安全課題 (2)

表 4 各國平交道之安全績效

項目	臺灣	英國	德國	法國	西班牙	日本
資料年期	2005	2006	2007	2006	2007	2006
平交道數量 (個)	649	7,211	19,011	16,804	2,811	34,952
平交道事故頻率	12.79	0.12	0.52	0.83	0.68	1.06
平交道事故嚴重性	4.01	0.07	0.35	0.24	0.68	0.35

如果探討平交道事故的鐵路觀點與公路觀點，如表 5 所示，96 年中發生 164,000 件道路交通事故與 976 件臺鐵事故，其中 55 件發生於鐵公路交界之平交道。以事故相對頻率而言，平交道事故只占道路交通事故之 0.03%，比例很小，不過，平交道事故卻占臺鐵事故之 6%，比例不小。事故死亡方面，平交道事故死亡只占道路交通事故死亡之 1%，比例不大；然而，平交道事故死亡卻占臺鐵事故死亡之 35%，比例很大。所以，平交道事故並非道路交通事故的大宗，不容易受到公路單位重視。不過，平交道事故卻是臺鐵事故與死亡事故的重點。此外，若以事故死亡率為安全指標，平交道事故死亡率 (0.51)，遠遠高於臺鐵事故的平均死亡率 (0.081)，或道路交通事故的平均死亡率 (0.016)。所以，依據事故

死亡之嚴重性，平交道事故比一般道路交通事故危險 32 倍，平交道事故比一般臺鐵事故危險 6 倍；也就是，平交道應該是鐵公路安全改善之焦點或重點。

表 5 臺灣平交道事故、道路交通事故、及臺鐵事故之關係

民國 96 年	道路交通事故	平交道事故	臺鐵事故
事故頻率 (次)	164000	55	976
死亡 (人)	2573	28	79
死亡率	0.016	0.51	0.081

4.9 平交道安全之關鍵因素

以平交道事故頻率觀察，如圖 17 所示，旅客列車與公路車輛於平交道相撞，每年約發生 45 次排名第一；以平交道事故嚴重性觀察，如圖 18 所示，行人於平交道遭列車撞擊最為慘重，平均每發生 1 次事故等效死亡人數接近 0.9 人；以平交道事故風險觀察，如圖 19 所示，旅客列車與公路車輛於平交道相撞，占整體風險之 56%，加上非旅客列車與公路車輛於平交道相撞，共占平交道整體風險之 64%。若探討平交道事故原因，如表 6 所示，公路側的原因占 96%，絕大部分是公路用路人的行為因素 (85%)。不過，在公路側資料缺乏狀況下，無法進一步探討是哪些因素造成平交道上公路側之不當行為；例如，用路人不熟悉平交道相關標誌、在平交道前來不及將車輛煞停、或蓄意的違規行為等。

4.10 等效死亡係數之敏感度分析

本研究事故嚴重性中之死亡與受傷，以等效死亡係數簡化為一維的安全指標，計算公式如式 (1)。根據事故風險計算公式 (2)，事故風險是事故頻率與事故嚴重性之乘積。因此，以事故風險指標進行排序時，等效死亡係數值之選取，會影響排序結果，亦即會影響排序

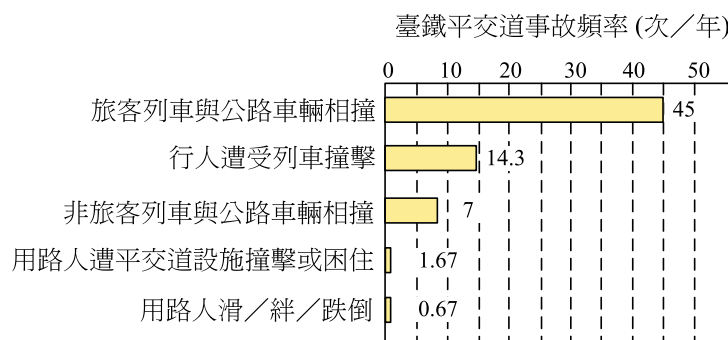


圖 17 平交道事故頻率

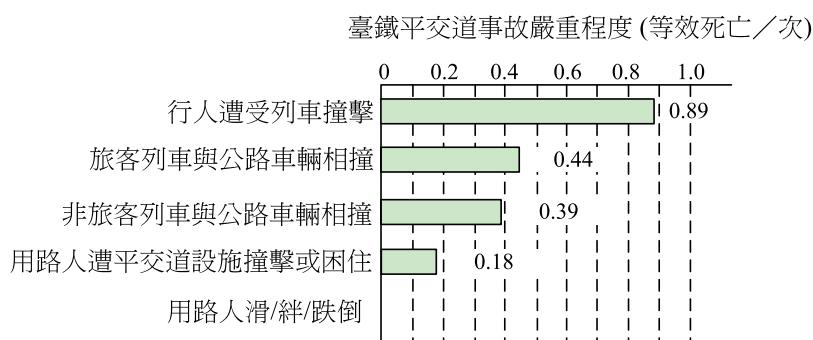


圖 18 平交道事故嚴重性

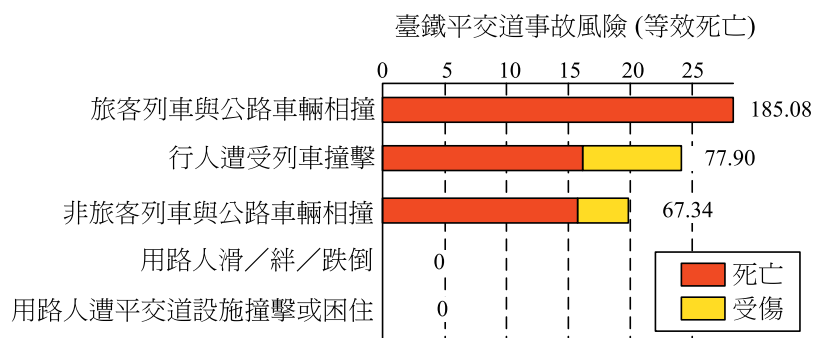


圖 19 平交道事故風險

表 6 平交道事故原因分析

初步分類	進階肇因分類	細部肇因分類	事故數	
內部因素 2.56%	鐵路系統因素 0.64%	沒偵測到列車接近	0.00%	0
		警告號誌或遮斷機失效	0.64%	1
	人為因素 1.92%	看柵工失誤	1.92%	3
		列車冒進平交道	0.00%	0
		列車駕駛失誤	0.00%	0
		列車超速	0.00%	0
外部因素 96.15%	機械與環境因素 10.90%	車輛陷入/困於平交道	8.97%	14
		天候或其他環境因素	1.92%	3
	人為因素 85.26%	車輛駕駛失誤	17.95%	28
		車輛駕駛蓄意違規行為	67.31%	105
		蓄意破壞行為	0.00%	0
原因不明			1.28%	2
加總			100.00%	156

得到之關鍵風險因子。由於等效死亡係數在國內仍缺乏深入研究之支持，本研究特別進行等效死亡係數對前述安全課題之敏感性分析，嘗試之數值包括：0.368、0.2、0.1、與 0.05。圖 20 顯示等效死亡係數為 0.05 時，臺鐵「整體」系統安全之事故風險排序，圖 21 顯示等效死亡係數為 0.05 時，臺鐵「旅客」之事故風險排序。比較圖 8（等效死亡係數=0.368）與圖 20（等效死亡係數=0.05），前 10 名臺鐵整體系統之關鍵風險因子中 9 個相同，排序略有改變；站內滑倒摔傷事故，多只是受傷，等效死亡係數=0.05 時，些微差距掉落 10 名之外。比較圖 11（等效死亡係數=0.368）與圖 21（等效死亡係數=0.05），前 10 名臺鐵旅客之關鍵風險因子中 9 個相同，排序略有改變；車上摔傷夾傷事故，多只是受傷，等效死亡係數=0.05 時，些微差距掉落 10 名之外。此外，對於大眾事故風險與平交道事故風險等安全課題，等效死亡係數之敏感性更不顯著，對關鍵風險因子幾乎沒有影響。綜合言之，等效死亡係數，對本研究篩選關鍵性危害之研究目的，影響十分有限，不會造成研究結果的重大改變。

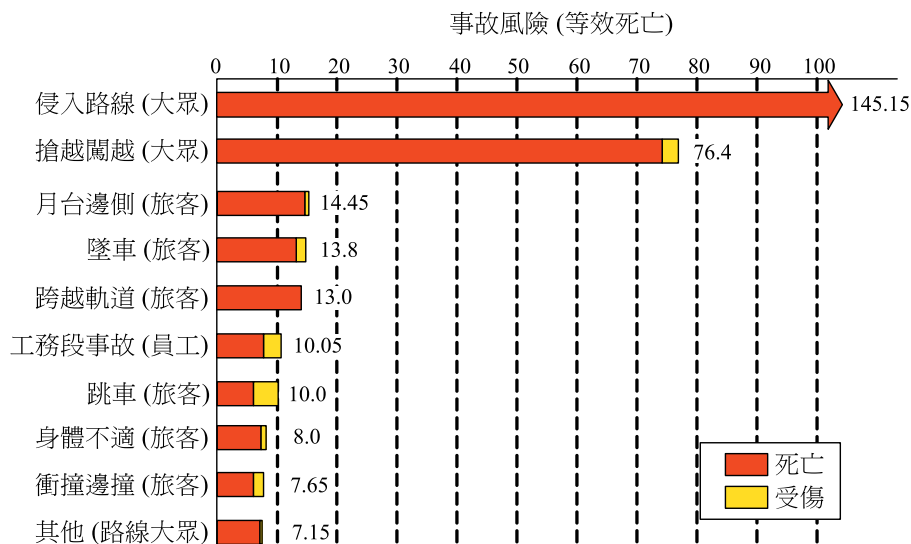


圖 20 臺鐵系統安全之事故風險排序（等效死亡係數 = 0.05）

五、結論與建議

5.1 結論

本研究利用臺灣鐵路局全面性的安全實務紀錄資料，進行安全分析，嘗試回答下列課題：臺鐵是否安全？臺鐵系統安全之關鍵因素為何？臺鐵旅客、或大眾安全之關鍵因素為何？臺灣的平交道是否安全？平交道安全之關鍵因素為何等。研究之主要結果顯示：(1)

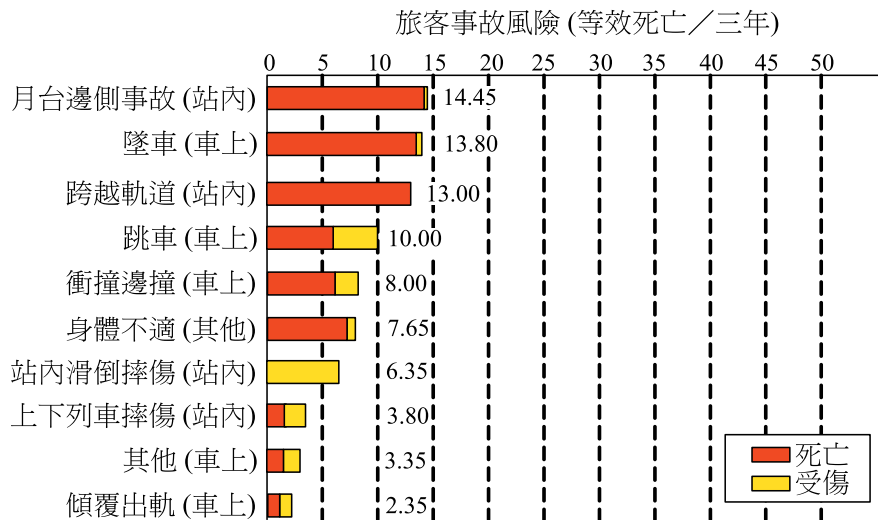


圖 21 臺鐵旅客之事故風險排序 (等效死亡係數=0.05)

以單一旅客 1 年使用臺鐵旅運服務而致命之風險為指標，臺鐵民國 96 年短途通勤旅客之風險為 0.29×10^{-4} ，中長途城際旅客之風險為 0.60×10^{-5} ，小於英國等先進國家 10^{-4} 之基本可接受水準，未達 10^{-6} 安全水準之理想值，亦即臺鐵之安全水準尚可。(2) 以事故風險 (等效死亡／3 年) 作為安全指標，發現臺鐵系統關鍵事故類型是侵入軌道、搶越闖越平交道、工務段事故、站內滑倒摔傷、上下列車摔傷、跳車事故、列車衝撞邊撞事故、月臺邊側事故、旅客墜車事故、機廠事故，合計約占臺鐵系統總風險之 77%。(3) 以事故風險 (等效死亡／3 年) 作安全指標，臺鐵旅客的關鍵事故類型是站內滑倒摔傷、跳車、墜車事故，合計約占旅客總風險 47%。(4) 以事故風險 (等效死亡／3 年) 作安全指標，臺鐵沿線大眾關鍵事故類型是侵入軌道、搶越闖越平交道事故，合計約占沿線大眾總風險 93%。(5) 按照歐盟使用之平交道風險指標，臺灣的平交道風險比歐洲與日本之數據高出非常多，亦即相當危險。(6) 平交道事故頻率只占道路交通事故之 0.03%，卻占臺鐵事故之 6%；平交道事故死亡之嚴重性，只占道路交通事故之 1%，卻占臺鐵事故之 35%。所以，平交道事故可能不容易受到公路單位重視。不過，依據事故死亡之嚴重性，平交道事故比一般道路交通事故危險 32 倍，平交道事故比一般臺鐵事故危險 6 倍；也就是，平交道應該是鐵公路安全改善之焦點或重點。(7) 平交道安全指標分析發現，列車與汽車相撞之風險占 64%，是最嚴重之事故類型。進一步探討原因，發現絕大部分是公路側的人為因素。

5.2 建議

針對本研究之主要發現，建議從事下列 6 項後續研究：(1) 本研究只做到關鍵課題之篩選，建議對於關鍵課題必須從事原因分析 (cause analysis) 與後果分析 (consequence analysis)，再根據原因分析結果探討安全預防措施以避免危害發生，以及根據後果分析結

果探討安全補救措施，以避免危害造成重大損失。(2) 本研究只做到事故指標或落後指標之探討，僅是亡羊補牢之基礎，建議逐步擴充安全指標之範圍，納入同時指標或領先指標之應用，以預防事故的發生。(3) 平交道事故之主要原因是公路用路人闖越平交道，建議進一步對闖越行為的原因做深入調查、分析與探討，是認知不足、一時分心、或冒險違規等；對平交道事故之肇因有了確切的了解後，才能對症下藥以研擬預防措施。(4) 建議臺鐵建立安全資料之蒐集、彙整、分類、分析體系，排除本研究因資料不全而使用之暫時性的危害類型，並將財物損失資料納入事故嚴重性指標，定期地、自動地與精確地進行安全自我體檢。(5) 為了簡化事故嚴重性指標之計算或等級劃分，本研究以等效死亡係數結合死亡人數與受傷人數，成為死亡人數當量。然而，事故嚴重性包括死亡、重傷、輕傷、財損等，臺鐵事故嚴重性各構面應如何結合比較適當，值得進一步探討。(6) 本研究依據安全事故紀錄從事安全績效分析，因隨機因素，短期的事故資料不足以精確地反映系統安全水準，理想的安全分析仍需要建立風險模式，並據之估算風險水準與分析各種改善的效果。

在研究過程中發現下述可以研發之活動：(1) 類似行政院勞委會 2007 年底推動臺灣勞工衛生與安全管理系統 (TOHSMS)，與英國 1900 年代開始之勞工衛生安全管理系統 (OHSAS18001)，有相同風險機制；政府可以更新國內鐵路安全監理制度，修改「地方營、民營及專用鐵路監督實施辦法」與「大眾捷運系統經營維護與安全監督實施辦法」，增進風險管理機制^[45,46]。(2) 「準點」、「安全」、「服務」是臺鐵長期的經營宗旨，本研究展示之概念與分析方法，除了探討安全課題之外，也可以探討準點或服務可靠度等服務性指標，建議臺鐵盡速掌握準點之關鍵因素。(3) 類似澳洲政府訂定之 ON-S1 與 ON-S2 標準^[47,48]，界定鐵路事件相關名詞與指標，並建立鐵路安全資料庫，可以避免各鐵路業者名詞之定義差異，政府無法比較呈報安全資料之意義，也可以根據鐵路安全實務資料，研擬政府之長期鐵路安全政策與短期鐵路安全改善措施。

參考文獻

1. 臺灣鐵路管理局，「臺灣鐵路管理局首頁」，<http://www.railway.gov.tw>，民國 98 年。
2. 蔡明志，「風險管理在大眾運輸安全管理管制課題之發展應用」，**運輸計劃季刊**，第二十九卷，第一期，民國八十九年，頁 181-212。
3. Ayyub, B. M., *Risk Analysis in Engineering and Economics*, Chapman & Hall/CRC, USA, 2003.
4. Stephans, R. A., *System Safety for the 21st Century*, Wiley, USA, 2004.
5. Slovic, R., *The Perception of Risk*, Earthscan Publication Ltd., U.K., 2000.
6. 高雄捷運公司，**安全管理計畫**，民國 92 年。
7. 王清涓等，「鐵路安全監理制度之回顧」，臺灣世曦顧問公司研究報告，民國 96 年。
8. European Union, "Directive 2004/49/EC of the European Parliament and the Council of 29 April 2004, Office Journal of the European Union", 2004.

9. Federal Transit Administration (FTA), "49CFR659:Rail Fixed Guideway System:State Safety Oversight", 2005.
10. Office of Rail Regulation (ORR), "The Railways and Other Guided Transport Systems (Safety) Regulations 2006", U.K., 2006.
11. Healthy and Safety Executive (HSE), "Guidance for Railways, Tramways, Trolley Vehicle Systems and Other Guided Transport Systems on the Reporting of Injuries, Diseases and Dangerous Occurrences Regulations 1995", U.K., 1996.
12. Rail Safety and Standards Board (RSSB), "Guidance on the production of Annual Safety Reports under ROGS", U.K., 2007.
13. 臺灣鐵路管理局, 「風險管理培訓課程教材」, 民國 97 年。
14. 行政院研究考核委員會, 風險管理及危機處理作業手冊, 民國 98 年。
15. European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC), Railway Applications-The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS), EN50126, 1998.
16. Network Rail (NR), "Engineering Safety Management", 2000.
17. Federal Transit Administration (FTA), "Hazard Analysis Guidelines for Transit Projects", 2000.
18. ATKINS, "Position Paper on Common Safety Indicators", SAMRAIL Consortium, 2004.
19. Rail Safety and Standards Board (RSSB), "The Railway Strategic Safety Plan 2007-2009", U.K., 2007.
20. European Transport Safety Council (ETSC), "Transport Safety Performance Indicators", 2001.
21. Healthy and Safety Executive (HSE), "A Guide to Measuring Health & Safety performance", U.K., 2001.
22. Ahren, T., "A Study of Maintenance Performance Indicators for the Swedish Railroad System, Department of Civil and Environmental Engineering", Lulea University of Technology, 2005.
23. Hoboken, N. J., Key Performance Indicators : Developing, Implementing, and Using Winning KPIs, John Wiley & Sons, USA, 2007.
24. International Union of Railways (UIC), "A Methodology for Accident Analysis", 2004.
25. International Union of Railways (UIC), "Safety Database Activity Report", 2007.
26. Rail Safety and Standards Board (RSSB), "Annual Safety Performance Report", U.K., 2006.
27. Rail Safety and Standards Board (RSSB), "Level Crossing Safety Performance Report June 2006", U.K., 2006.
28. Muttram, R. I., "Railway Safety's Safety Risk Model", *Journal of Rail and Rapid Transit*, Vol. 216, No 2, 2002, pp. 71-79.
29. Rail Safety and Standards Board (RSSB), "Use of Risk Models and Risk Assessments for Level Crossing by Other Railways", U.K., 2007.
30. Evans, A.W., "Fatal Train Accidents on Britain's Main Line Railways: End of 2005 Analysis", Department of Civil and Environmental Engineering, Imperial College London, 2006.

31. Healthy and Safety Executive (HSE), “Quantified Risk Assessment: Its Input to Decision Making”, London, 1989.
32. Tsai, M. C., “Delay and Risk at Automatic Level Crossing in Britain”, *Journal of Traffic Engineering and Control*, Vol. 39, No. 9, 1998, pp. 492-498.
33. Lee, C. K. and Hu, S. R., “Accident Risk at a Railway Level Crossing”, *Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.7, 2007, pp. 53-61.
34. Hu, S. R., Li, C. S., and Lee, C. K., “Investigation of Key Factors for Accident Severity at Railroad Grade Crossings Using a Logit Model”, *Safety Science*, Vol. 48, No. 2, 2010, pp.186-194.
35. 交通部運輸研究所，建立鐵路監理暨研究單位可行性之研究，民國 94 年。
36. 張應輝，「臺鐵營運安全風險之研究」，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國 90 年。
37. 交通部臺灣鐵路管理局，**規章（運轉）（下）**，民國 91 年。
38. 交通部統計處，**交通統計月報**，民國 97 年。
39. 交通部運輸研究所，運輸系統容量分析暨應用研究－軌道系統（2/4），民國 97 年。
40. 交通部運輸研究所，**交通建設計畫經濟效益評估作業之研究**，民國 98 年。
41. 古碧源，「平交道事故人因分析與預測導向對策研究工作」，交通部臺灣鐵路管理局研究報告，民國 95 年。
42. 范植谷、曾建民，「赴歐洲考察鐵路平交道安全及車站開發業務」，行政院及所屬各機關出國報告，民國 95 年。
43. 湯坤仁等人，「赴日本考察平交道設施及技術」，行政院及所屬各機關出國報告，民國 96 年。
44. 日本總務省法規資料庫系統，「踏切道改良促進法」，<http://law.e-gov.go.jp>，民國 95 年。
45. 法務部全國法規資料庫，「大眾捷運系統經營維護與安全監督實施辦法」，<http://law.moj.gov.tw>，民國 88 年。
46. 法務部全國法規資料庫，「地方營民營及專用鐵路監督實施辦法」，<http://law.moj.gov.tw>，民國 95 年。
47. Australian Transport Council (ATC), “Standard ON-S1: Occurrence Categories and Definitions”, 2004.
48. Australian Transport Council (ATC), “Standard ON-S2: Performance Normalizing Data”, 2004.

