

大眾運輸安全管理之成本效益與價值分析

呂志明¹、林利國²、程金龍³

¹ 台北捷運公司工安室副工程師，國立台北科技大學土木與防災研究所在職研究生

² 國立台北科技大學土木系暨土木與防災研究所副教授兼營繕組組長

³ 國立台北科技大學土木與防災研究所管理組研究生

摘要

旅客之安全乃為大眾運輸服務業的核心價值 (Core Value)，在營運策略上，除了應以顧客導向為目標，致力於提升系統之服務品質外，如何逐步推展系統化的風險管理制度，輔以科學化的方法來對營運安全之風險進行辨識、評估，以找出合理而經濟的最佳化執行方案，同時配合適切的稽核與監控制度，實為以追求永續經營且優異卓越的大眾運輸服務業所刻不容緩的議題。

本論文為探討大眾運輸安全管理之成本效益與價值分析，藉由台北捷運闖入軌道之事故分析，並以設置月台門之風險降低措施，進行成本效益及價值分析實例探討，以供大眾運輸服務業者在經營管理上之參考。

關鍵字：核心價值、風險管理、成本效益、價值分析

一、前言

目前世界各地約有 120 個都市建有捷運系統，同時亦有很多都市在陸續規劃或興建之中；至於國內都會區捷運系統之發展情況，除了台北都會區捷運系統初期路網、南港東延、新莊蘆洲線及高雄都會區捷運系統紅橘線路網刻正積極推動執行外[1]，尚有多項都會區捷運計畫正在規劃階段。如今，由於台北捷運已通車營運之雙十字型網路，不但有效改善都市交通、提昇大眾運輸服務品質，且對整體都市發展帶來新的風貌。

台北捷運系統自 1996 年 3 月第一條路線(木柵線)通車以來，大台北都會區往來民眾搭乘捷運之旅運量成長迅速，已成為市民日常必要之交通維生線，平均日運量超過 90 萬人次。經與世界其他城市的運量比較，比對各系統路網規模、載客人數後 (參考圖 1.1)，可以發現台北捷運的每公里載客人數 (每年總運量/路網長度) 為 5.04 百萬人次/年，較華盛頓 DC、倫敦、柏林、馬德里、新加坡、紐約等國際城市都要高[2]。

台北捷運系統目前營運中之高架中運量木柵線，採用月台門以配合列車行駛系統及車站之設計 (如圖 1.2)，此種設置，除可因應無人駕駛的自動控制系統外，亦可防範乘客意外墜軌事件，能有效確保行車及月台候車時之安全；然而台北捷運系統之所有車站除木柵線外，絕大多數為地下車站，故需有環控系統(Environment Control System；簡稱為 ECS)來維持站體內的環境品質，相對的需增加設備、機房空間等建造、維修及營運之成本。為節省上述捷運地下車站之空調設備建造成本與營運時所需空調運轉之費用，塑造車站月台成為具安全防護之乘車環境，後續路網之台北捷運將採用月台門系統 (Platform Screen Door System；簡稱為 PSD)，且納入號誌系統標中一併設計與施作，故此種月台門系統將成為後續路網車站設計之一大變革與特色[3]。

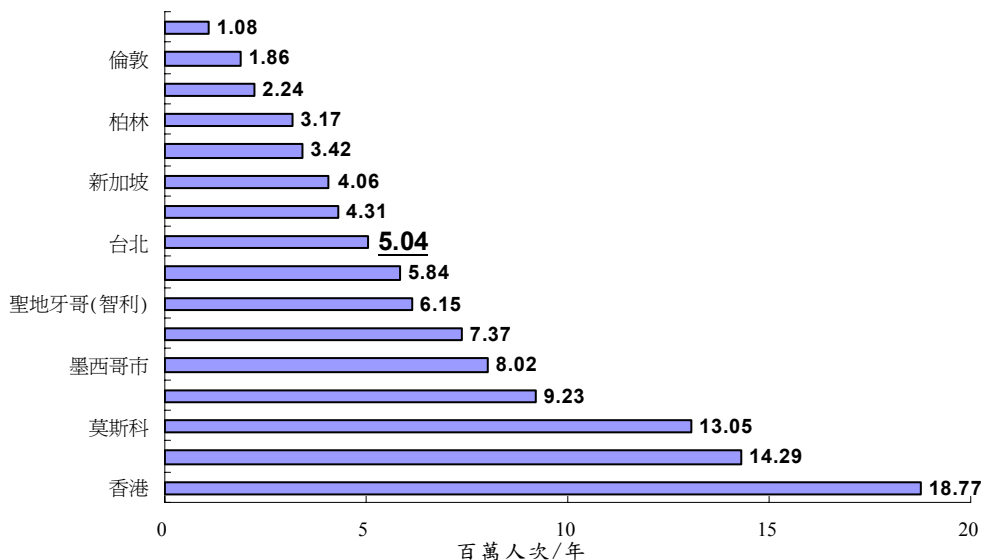


圖 1.1 各國捷運系統每公里年平均載客人數比較圖[2]

依據報報紙記載，1998 年香港地鐵月台墮軌個案共有 47 件，較 1997 年的 26 件增加了八成，故香港地鐵公司計畫在車站月台加裝幕門，1999 年下半年地鐵公司完成評估加裝月台門的研究，耗資 20 億港幣 (約新台幣 87 億元) 進行車站月台門工程 (參考圖 1.3、1.4)，在 30 個地下車站加裝月台門，共計涵蓋了 74 個月台，總共會有 2960 對幕門，總長度約為 13.5 公里，是全球規模最大的月台門系統。根據香港地鐵公司表示，月台門工程預計在 2006 年完成後，可節省一成冷氣電費，估計要 35 至 40 年始能收回工程成本，且月台門可有效防止旅客墮軌事故，並促使月台環境更舒適。



圖 1.2 台北捷運木柵線忠孝復興站月台門實景



圖 1.3 香港地鐵月台門施工狀況[4]

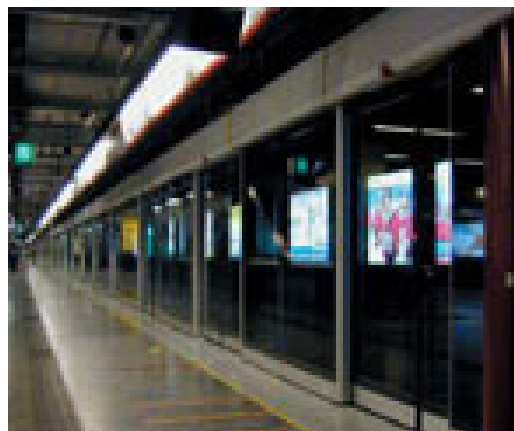


圖 1.4 香港地鐵月台門完工後之狀況[4]

二、營運安全之風險管理

2.1 運輸安全之風險理念

國內學者蔡明志博士，以英國鐵路為例將風險管理之觀念應用於大眾運輸安全管理之做法而介紹國外學者對於風險之定義分別如下[5]：

1. Wharton 指出風險乃：「事件發生次數 (frequency) 及事件規模 (consequences) 的組合乘積」[6]。
2. Gratt 指出風險為「事件發生的機率 (probability) 與事件發生後之後果的乘積」[7]。
3. Lowrance 指風險係為「有關負面影響的嚴重程度 (severity) 兩基本要素的組合」[8]。

在若干歐洲國家中，承認運輸系統具有安全風險並加以科學化管理，已漸漸成為主流做法；因此，大眾運輸之安全政策乃由傳統的「簡單安全宣示」而演變成為「面對風險」，並進而「管理風險」的積極做法。

傳統上，社會大眾對於運輸事故的認知及關注焦點，往往集中在最容易引起社會震撼的運轉事故；然而在事實上，就實際的風險分析顯示，非移動事故與移動事故反而是危及大眾運輸安全的主要元兇，惟因其災害多屬於個人事故型態，反而不若運轉事故為社會所重視。如依據 1984 年至 1990 年的統計資料顯示，全英國的軌道系統傷亡有 66% 與 12% 的比例是導源於移動事故與非移動事故，只有 22% 導源於列車事故[9]；其中，有關運轉災害、移動災害及非移動災害之群組類型如表 2-1 所示。而依據 1980 至 1989 年的十年統計資料顯示，法國國營鐵路公司 (SNCF) 亦只有 27% 來自列車事故，其餘 73% 則是來自移動與非移動事故[9]。

在量化安全風險管理的運作程序上，為能完整的將事故傷亡規模予以量化表示，在做法上常依傷亡的程序擬定相對的傷亡權數，以「等值死亡」(equivalent fatality) 作為安全風險的衡量單位，如 Evans 與 Morrison[10]；Oreilly 等[11]及英國健康安全部 (Health and Safety Executive) [12]分別提出：

1. 公路事故的等值死亡權數：「死亡」、「重傷」與「輕傷」分別為 1、0.11 及 0.088。
2. 鐵路事故的等值死亡權數：「死亡」、「重傷」與「輕傷」分別為 1、0.1 及 0.05。

鐵路受傷權數比公路權數稍低係因根據過去實際的傷亡紀錄研究顯示，鐵路的受傷程度多較公路用路人來得輕微。儘管如此，運具之等值死亡權數應實際參酌本國對於死傷的法定定義及各運具的相對傷亡情況，再加以研究訂定。

表 2-1、英國鐵路系統法定事故分類之主要災害項目[9]

災害類型	運轉災害	移動災害	非移動災害
主要項目	1. 列車撞車 2. 列車出軌 3. 衝撞軌道障礙物 4. 結構崩塌 5. 列車火災	1. 上下列車時 2. 摔落月台 3. 行駛中摔落車外 4. 跨越軌道 5. 車門事件	1. 上下樓梯電扶梯 2. 擁擠跌倒 3. 電擊 4. 電力失靈所引發災害 5. 被設施設備撞擊 6. 車站火災 7. 隧道火災 8. 暴力事件

2.2 營運安全管理之建立

相關研究藉由參考風險管理及國際安全評估系統方法指出，可藉由下列程序建立國內軌道安全管理制度[13]。

1. 建立軌道事故分類：確認所有軌道運輸可能產生的事故，作為建立資料庫基礎。
2. 評量軌道營運安全風險：利用風險評估方法，計算各大項分類事故對總風險的貢獻值，以顯示各事故的嚴重性。
3. 建立軌道營運安全風險評估架構及安全經濟分析方法：引用量化風險評估技術，制定軌道運輸的

安全風險指標。

4.回顧國外民營化軌道安全管理經驗，以供制定安全管理行政制度參考。

2.3 國內捷運系統安全指標探討

台北捷運公司系統服務指標中與「運輸安全」相關之規範及指標分別如下：

1.法源依據

(1) 大眾捷運法

- A.第二十八條規定：『大眾捷運系統營運機構於旅客運送，應訂定服務指標，保持安全、快速、舒適之服務水準，報請中央主管機關核備』。
- B.第三十四條規定：『大眾捷運系統之經營維護與安全應受主管機關監督；監督實施辦法由中央主管機關訂定之』。

(2) 『大眾捷運系統經營維護與安全監督實施辦法』

- A.第二條第七項大眾捷運系統受主管機關監督事項之服務水準。
- B.第三條：大眾捷運系統營運機構應於開始營運前，依下列項目訂定服務指標，報請地方主管機關核轉中央主管機關備查，變更時亦同。
- (A)安全：事故率、犯罪率、傷亡率。
- (B)快速：班距、速率、延滯時間、準點率。
- (C)舒適：加減速變化率、平均承載率、通風率、溫度、噪音。
- (D)其他：旅客申訴事件比率、儲值票與單程票失效比率。

2.系統安全指標

(1) 事故率

A.定義：每百萬車公里，系統內所發生行車事故件數。所謂行車事故包括重大行車事故與一般行車事故；重大行車事故係指列車衝撞、列車出軌或傾覆、停止運轉一個小時以上者；一般行車事故係指系統營運中斷二十分鐘以上至一個小時以內。

B.單位：件/百萬車公里

C.系統營運目標值：

重大行車事故率：0 件/百萬車公里

一般行車事故率：4 件/百萬車公里

D.計算式

AC (季行車事故率) = 季內發生合於定義之行車事故件數/百萬車公里。

(2) 犯罪率

A.定義：每百萬車公里，系統內所發生影響系統運作或旅客人身及財物安全經報案並作筆錄之刑事事件數。所謂刑事事件係指刑法分則內所規定之妨害風化、賭博、殺人、傷害、竊盜、搶奪強盜、恐嚇及擄人勒索、毀棄損壞等十二項刑事犯罪事件[14]。

B.單位：件/百萬延人公里

C.系統營運目標值：低於 0.1 件/百萬延人公里。

D.計算式

Gu (季犯罪率) = 季內發生合於定義之犯罪事件數/百萬延人公里。

(3) 傷亡率

A.定義：每百萬人旅次，系統內所發生之傷亡人數。所謂傷亡包括死亡、重傷與輕傷；死亡及重傷事件係指人員死亡與因系統責任而造成旅客受重傷者；輕傷事件係指因系統責任而造成旅客受輕傷者。此所謂重傷、輕傷者，依刑法第十條之認定標準[14]。

B.單位：人/百萬人旅次。

C.系統營運目標值

D.死亡及重傷率：0 人/百萬人旅次。

輕傷率：低於 1.5 人/百萬人旅次。

E. 計算式

A_c (季傷亡率) = 季內發生合於定義之傷亡人數/百萬人旅次。

2.4 風險管理之意涵

風險管理通常定義為下列五個主要大項：風險政策 (risk policy)、風險衡量 (risk measurement 或 risk estimation)、風險評估 (risk assessment 或 risk appraisal) 風險控制與理財 (risk control and financing) 及風險稽核 (risk audit) (參考圖 2-1) [15]；概略說明如下：

1. 風險政策：

風險政策乃在於探究營運組織對風險的態度，是風險管理的最高指導原則。風險政策必須衡量營運組織外部的社會風險文化、政府風險管制法令及內部的組織倫理及組織本身可運用的資源條件等而訂定。風險管理的內容是以風險政策為指導原則，對所欲達成的目標進行規劃、設計、執行及控制[15]。

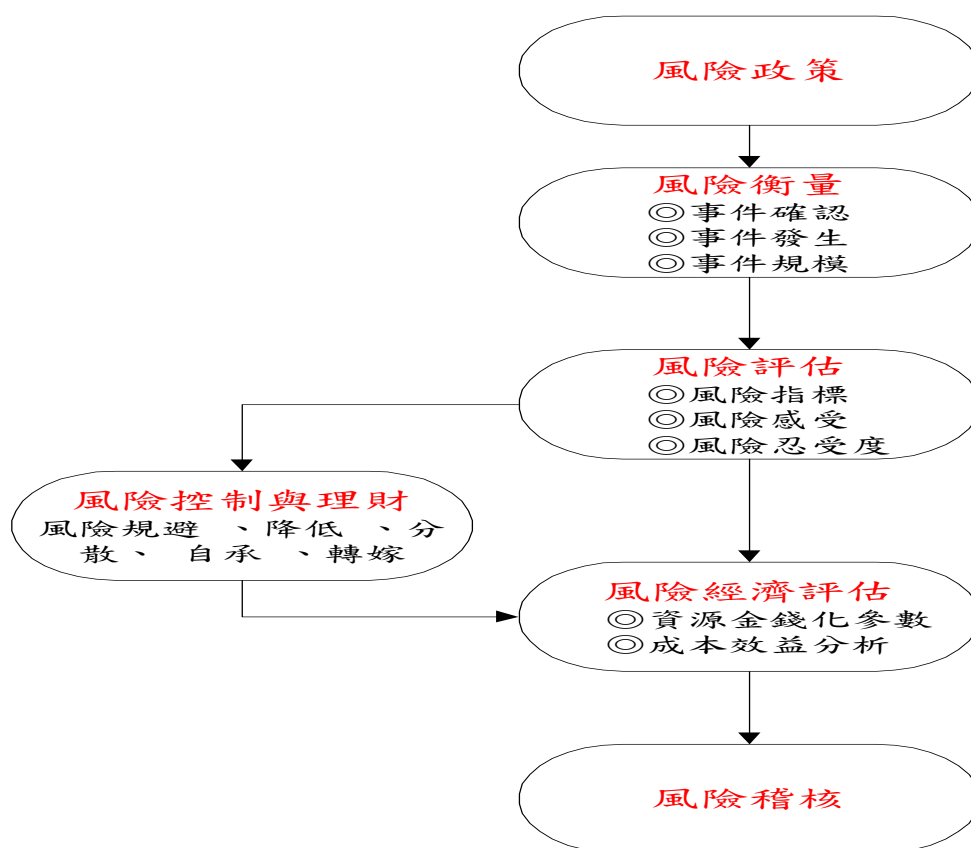


圖 2-1、風險管理之內容[15]

2. 風險衡量：

依風險管理須朝向數量化表示的趨勢，以利於風險的分析與控制作業。風險衡量始於對所有研究活動之所有可能發生的負面事件或危險事件 (hazard identifications) 的確認，及所謂「事件確認」 (event identifications) 或「危險確認」 (hazard identifications) 過程[15]。活動所產生的負面事件若未能完全確認，將使活動之潛在負面事件風險無法予以完整列計，而直接造成活動風險的低估。確認後的事件，則應分別衡量其事件發生次數 (或機率) 及事件規模。最後將各確認的事件風險進行加總，即可得出該活動的總預期風險。

3. 風險評估：

風險評估是依訂定的風險指標，對所衡量的風險進行主客觀的評估，以作為進行後續風險控制

的基礎。以財務風險或計畫風險管理為例，財務及計畫風險的衡量單位常以預期的財務損失表示，故其決策通常是以風險評估指標中能具有可忍受之財務損失風險且有最大財務利益之方案為抉擇；若以災害或環境風險為探討課題，則其風險評估單位主要為人身或環境的傷害程度或機率，風險管理則是以能滿足可忍受人身及環境最低傷害程度，及達成資源在提升安全及環境之有效運用為目標是風險受體對於客觀風險所產生的主觀感受[15]。而風險感受是風險評估作業的重要基礎，風險感受會因風險情況，如誰在接受風險、誰在評估風險，在何種狀況下接受風險？等而改變。根據主觀的風險感受，再考量主客觀之社會倫理、社會公平及整體社會之風險文化等觀點，可制訂風險忍受度 (risk tolerability) (參考圖 2-2)。風險忍受度是風險管理的中樞，其值常為風險管理的基本風險標的。風險忍受度的高低會直接影響風險的評估結果與後續的風險控制作業。

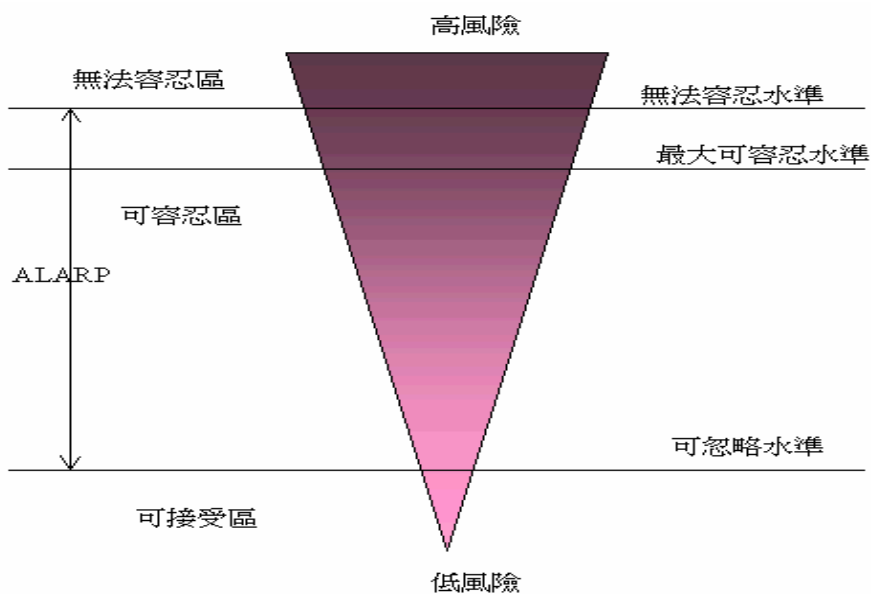


圖 2-2 風險評估三角形[16]

4. 經濟評估與風險控制：

經濟評估之目的乃在於探究降低風險方案的經濟效益，以避免風險管理所提出之行動決策方案不具足夠的效益。依據風險控制的理念而言，決策之行動方案所評估的風險若高於所能容許的風險忍受度，則應進行風險降低或規避風險的策略；反之，若低於風險忍受度，則應再謀求能進一步降低風險的方案，並進行經濟評估，以作為是否再進行風險降低、風險分散或自承行動的依據。一般而言，若再降低風險之行動方案具有經濟效益，則可採行該再降低風險之行動方案，以達到既可降低風險亦可增加經濟效益的營運目的；反之，若再降低風險之行動方案不具有經濟效益，則不可強行施行該方案，而應逕行風險分散 (risk sharing) 或風險自留 (risk retention)。風險控制後所殘餘的可忍受風險 (residual risk)，可考慮再進行「風險轉嫁」行動，例如透過保險的方式，以補償利益的損失。此外，經濟評估因在執行經濟性探討，故對與行動有關的成本及效益項目之參數，包括時間價值、生命價值與環境資產價值等，皆需進行金錢化 (monetary) 轉換。

5. 風險稽核：

風險稽核即為管理功能中之「控制」過程，除了前述的事前 (proactive) 風險控制行動外，風險稽核乃專注於執行即時 (reactive) 與事後的風險控制。風險的即時控制即為「危機管理」(crisis management)，係當危機發生時，如何進行危機的消除、轉換及降低等具體而有效的措施；事後控制則為一回饋的程序，主要係檢討過去風險管理的成敗與疏失經驗，以作為未來管理技術與理念再進步的參考。

三、闖入捷運軌道之事故分析

台北市大眾捷運系統自民國八十二年八月，第一條中運量之木柵線捷運系統完工通車以來，其運輸上快捷、便利的特性，已充分展現捷運系統在未來都會區高負荷旅客運量必將扮演最主要的角色；然而，此種逐漸重要的捷運運輸體系，卻在營運期間發生了許多人為或系統上的意外事故，以致令人對其安全

性存有相當的質疑。

由於捷運系統乃為一自動化程度相當高的交通運輸工具，整個營運系統的運作模式亦頗為複雜，各個操作環節間的整合與聯繫也極為繁瑣。而由國外相關文獻資料顯示，在國外所曾發生過的安全事故中，確有若干安全事故不該發生而發生，因此更需要從災害防制的角度來加以探討，以避免不幸的捷運安全事故一再的發生以下針對國內捷運系統在營運期間人員誤闖軌道造成營運中斷的事故統計作介紹與分析探討，希望藉由本論文之研討，能降低爾後相同事故的發生機率。依相關的研究以及國內捷運系統在實際營運中所發生之意外事故，而統合我國捷運系統在實際營運階段中較常發生的系統事故類型計有下列數種：

1.車門事故

捷運車廂之車門無論有無月台門之設計，皆採自動開關方式，在上下班等人潮擁擠之尖峰運輸時刻，非常容易發生車門夾擊事故，最常發生的情況有二種：

(1)車門夾擊事故

此類事故之發生主要是因自動門控制系統不夠靈敏所致，現今各國之大眾運輸系統的列車自動門控制系統，大致採「故障自趨安全設計」，即車門若未關閉，則列車無法啟動[17]。但車門關閉與否之認定若太寬，則在尖峰時段乘客十分擁擠時，列車自動門常會夾到乘客的腳踝，自動門控系統卻會認為已將門關妥，而讓列車正常運轉，此時被車門夾住的乘客即有可能會被拉離月台而摔至軌道上，進而造成人員傷亡。

(2)自動門控制系統失效事故

當列車行駛時，若車廂門之自動控制系統失效，則會造成車門突發性的打開或關閉，如乘客緊靠車門站立時，就會發生摔落的死傷意外事故[18]。

2.非法入侵軌道

係指人員誤闖或硬闖入捷運之軌道，進而被高速行駛的車體碰撞，故極易造成嚴重的人員死傷事故。

3.月台意外

(1)擠傷事故

捷運系統在尖峰時段時，常常會因為列車月台上或車廂內過度擁擠，而導致乘客擠傷或休克等事故。

(2)跌傷事故

因乘客不慎或車站內硬體設施規劃不良等因素，而發生乘客摔倒受傷等意外，而經統計，捷運車站內經常會發生跌傷的場所，計有樓梯邊、月台邊及電扶梯等處。

4.列車出軌事故

係指列車在行進當中脫離軌道之意外事件，經統計分析發現通常列車出軌並非僅只由於車輛、運轉、路線或裝置等單方面原因所造成，絕大多數是由於多種異常原因同時發生所造成的，根據調查，可能導致出軌事故的發生原因計有下列七種[18]：

(1)正線運轉時，因為軌道磨損、軌距走位或軌道斷裂而導致出軌事故之發生。

(2)輪緣磨損或煞車未完全放鬆，致使車輪太熱而龜裂，最後導致列車車輪脫離正常軌道，而發生出軌[7]。

(3)幾何線型設計不佳，如曲線半徑過小或超高等因素。

(4)列車交會時，因路基或軌道不平，導致列車搖晃過劇，進而發生擦撞，而導致出軌意外。

(5)彎道時，列車行車速度太快而導致出軌。

(6)地震造成鐵軌變形，進而導致列車出軌。

(7)調車廠內調移車輛，因人為因素致使轉轍器未落鎖或列車擠叉，導致列車出軌。

5.闖入軌道事故災害

如下表 3-1 及表 3-2 所示，分別為歷年來台北捷運中運量及高運量系統，所曾發生過的營運安全事故紀錄統計表，而表 3-3 則為本論文所整理之台北捷運歷年人員闖入軌道死傷事件之統計表，經由本研究之探討分析，台北捷運正式營運至今，就事故原因來看，無論中運量或是高運量捷運系

統，所占最大比例的意外事故均是列車故障及號誌故障事故，而非一般民眾所誤認為的「火燒車事故」，即捷運火災事故。另外亦發現到在高運量系統營運至目前截止的六年當中，已有七人的死亡案例發生，且絕大部分是因為人員誤闖捷運運輸軌道或自殺行為而侵入軌道，以致慘遭列車撞擊致死；相反的，從中運量木柵線營運以來，由意外事故之相關資料統計分析，卻可發現並未發生人員誤闖軌道造成死亡的意外事故發生，而由於台北捷運唯一的「中運量木柵線」均設有月台門裝置，故顯然車站月台門對於人員誤闖造成傷亡具有絕佳的防患效果；因此，捷運規劃及營運單位除考量於其他營運路線之各主要捷運車站，或人員進出量較大的車站裝設列車月台門外，亦將積極研討防範對策與相關罰責，以減少事故的發生頻率。

表 3-1、捷運中運量事故歷年統計表[19]

時間 種類	1996 年	1997 年	1998 年	1999 年	2000 年	2001 年	2002 年	總計
列車故障	9	8	1	0	3	0	2	23
號誌故障	4	0	1	0	1	0	0	6
天然事件	1	1	0	0	0	3	2	7
供電中斷	3	1	0	0	0	0	1	6
人為因素	0	0	1	1	0	0	0	2
火災事件	0	0	0	1	0	0	0	1
路線障礙	0	0	0	1	0	0	0	1
天然災害	0	0	0	1	1	0	0	2
軌道故障	0	0	1	1	0	0	0	2
非法入侵	0	0	0	0	1	0	0	1
其他事故	0	0	0	0	0	0	0	0
死傷人數	0	0	0	0	0	0	0	0
事故件數	17	10	4	5	6	3	5	51

表 3-2、捷運高運量事故歷年統計表[19]

時間 種類	1997 年	1998 年	1999 年	2000 年	2001 年	2002 年	總計
列車故障	1	1	1	2	2	2	11
號誌故障	1	1	2	0	1	0	5
天然事件	0	0	0	0	1	2	3
供電中斷	0	1	2	0	5	0	8
人為因素	0	0	0	0	0	0	0
火災事件	0	0	0	0	0	0	0
路線障礙	0	0	0	0	0	0	0
天然災害	0	2	0	1	1	0	4
軌道故障	0	0	0	0	0	0	0
非法入侵	0	0	2	1	3	0	6
其他事故	1	3	0	4	2	2	12
死傷人數	0	2	1	1	1	1	6
事故件數	3	8	7	8	15	6	49

表 3-3、台北捷運歷年人員闖入軌道死傷事件

發生時間	地點	事由	傷亡狀況	備註
1998/07/01	淡水線中山站	一名旅客(女性,約 40 歲左右)橫躺仰臥軌道遭電聯車撞擊	死亡	
1998/08/24	台北車站往淡水線中山站隧道內袋型軌與正線交叉處	一名男子非法侵入遭電聯車撞擊並碰觸集電靴	死亡	
1999/05/14	淡水線關渡站上行出隧道口附近	一名小孩找媽媽誤闖軌道遭電聯車撞擊	死亡	
2000/12/10	淡水線士林站	一名男性旅客(警官)跳落軌道遭電聯車撞擊	死亡	
2001/07/28	淡水線士林站	一名男性旅客闖入軌道遭列車撞擊	死亡	
2002/11/03	板南線忠孝復興站	一名男性旅客跳落軌道遭列車撞擊	死亡	
2003/10/13	中和線南勢角站	一名男性旅客跳落軌道遭列車撞擊	死亡	

四、風險降低措施之價值分析

依據台北捷運事故資料統計與分析顯示，高運量系統自 1997 年營運迄今之七年間，發生乘客不慎跌落軌道及擅自闖入軌道事故共計有 10 件，並造成 7 人死亡（參考表 3-3）。台北捷運後續路網為塑造車站月台成為具安全防護之乘車環境，將採用月台門系統（Platform Screen Door System；簡稱為 PSD）；此外，亦將考量設置月台門，以提昇乘客之安全性。

4.1 功能效益分析

月台門系統即沿月台側設電動滑門，當列車駛入並停靠在月台時，月台門會以滑動方式打開，並且與車門對齊，以隔離軌道之溼、熱空氣；隧道之換氣及空氣之冷卻係藉由列車行進的活塞效應（Piston Effect）、車站減壓通風口及月台下方的抽氣風扇（Vacuum Pneumatic Fan；簡稱為 UPE）來達成。目前此種 PSD 系統於新加坡之捷運已行之多年，經評估，其營運效益分別有下列數項[2]：

(1) 降低環控之需求

目前採用之隧道通風系統（Tunnel ventilator System；簡稱為 TVF），使得車站冷氣大部分是消耗在列車進站所帶來的外來熱源，而為有效降低此等損耗，加裝月台門即可有效改善。根據大略初估可知，加設月台門可減少月台層環控之能量需求約 300RT（冷凍噸），電力需求亦相對減少約 300KW[9]；此外，此一加設月台門設施對列車內冷氣效率雖有影響，但其影響並不大。

(2) 作為隧道與車站站體之隔離層

於緊急狀況發生時，所設之月台門對排煙、防火具有阻隔效果；此一設置非但不影響旅客逃生，相反的，因月台門之隔離可使旅客更具保障，且因電聯車駛入月台時之活塞作用不再發生，故可促使站體內之排煙系統發揮更優良的運作效果；另因有月台門之阻隔，故可避免逸散之塵土從隧道被吹入車站內，故可保持月台與車站之清潔。

(3) 提昇安全性

設置月台門可有效防止乘客不慎跌落軌道或擅自闖入軌道區，因而可縮減意外事故之發生頻率，以及因而造成所須付出的等待時間，因此可使車站行車區間之安排更趨緊密，故能促使營運之安全性增加，並有效改善乘客之候車時間。

(4) 減少噪音與風壓

若於月台加設月台門，可有效隔絕列車進出站時所產生之噪音及風壓，故可提升乘客候車之舒適性及車站環控系統之效能。

(5) 降低成本

根據分析，加設月台門可降低運轉時之空調電費約 50%，故可減小空調設備和空調機房之面積，如此即能有利於車站站體之長度與面積縮減；月台寬度亦可因設置月台門而縮減，進而降低了車站建造之土建成本，並可針對車站月台建築裝修進行適度美化。

4.2 價值與成本效益分析

根據相關研究指出，成本效益分析的基本應用原則分別如下[9]：

- (1) 成本效益分析結果不可取代常識判斷及專業判斷。
- (2) 成本效益分析不可作為取消現有標準安全設施或最好做法的理由。
- (3) 成本效益分析屬典型決策的一部分，在決定是否採取任何行動時，亦須考慮文化、技術、政治、顧客服務及公眾形象等其他因素。

當建議用風險降低措施來處理某危害事項的後果時，必須評估推行該等措施的成本，並與將會帶來的安全效益作比較。若花費成本被認為較所得效益高得到某一比例時，則通常此一降低措施將被視為不可行[22]。

透過價值與成本效益分析技術之應用，可以檢討各種建議的風險降低／消除措施（可以是一個設計方案或設計變更建議）的成本及效益估算，此種原則可確保額外成本不會與效益完全不成比例。通常，若計算所得的成本低於每個統計拯救人命成本（Cost per Statistical Life Saved；簡稱為 CpSLS），則推行建議的風險降低措施可認為合乎成本與價值效益。反之，若超過每個統計拯救人命成本，但並非完全不成比例，則仍應考慮推行建議的風險降低措施的價值。若成本與每個統計拯救人命成本完全不成比例，則此建議的風險降低措施，一般被認為不合乎成本與價值效益。

4.3 成本效益分析方法

通常風險降低措施所能達到的效益，可根據下列統計拯救人命成本計算而得[9]：

統計拯救人命成本 (CpSLS) = $C/(y*L)$

C = 使用周期成本

y = 系統使用壽命

L = 每年的統計拯救人命總數

式中每年的統計拯救人命總數以『等同死亡人數』來表達，包括傷亡風險。計算整體相等傷亡數字時，將輕微受傷及嚴重受傷轉換為等值死亡（Equivalent Fatality）的係數分別是 0.05 及 0.1。

等同死亡人數 = 死亡人數 + 0.1 * 嚴重受傷人數 + 0.05 * 輕微受傷人數

若該風險降低措施的 CpSLS 與 CpSLS 參考值並非完全成反比，即屬具成本效益。CpSLS 參考值可參考其他國家的運輸風險分析及台灣本地任何已知的個人保險索償紀錄而來訂定之。表 4.1 所列為本研究所整理而得之香港地鐵及部分英國機構所用的每個統計拯救人命成本數字。

表 4.1 統計拯救人命成本(CpSLS)參考值

機構	CpSLS (NT\$) (新台幣\$)	CpSLS (HK\$) (港幣\$)	CpSLS (GB£) (英鎊£)
香港地鐵 (2001)	6,240 萬	1,430 萬	----
Railtrack (2001)	6,450 – 18,070 萬	----	115 – 322 萬
倫敦地鐵 LUL (2001)	7,860 萬	----	140 萬
英國健康安全部 HSE (2001)	5,600 萬	----	100 萬

4.4 成本與價值分析案例探討

(1) 以香港地鐵增設月台門系統為例

估計月台門系統使用壽命：15 年

月台門系統安裝成本：200,000 萬港元

估計每年維修成本(以安裝成本 2.95%計算)：每年 5,900 萬港元

估計的等同死亡人數：每年 30 名

假定模數為 100% 成效

使用周期成本(C)：

$$= (200,000 \text{ 萬} + 5,900 \text{ 萬} * 14) \text{ 港元 (安裝首年毋需維修, 故為 14 年)}$$

$$= 282,600 \text{ 萬港元}$$

統計拯救人命成本(CpSLS)

$$= C/(y*L)$$

$$= 282,600 \text{ 萬港元} / (15 \text{ 年} * \text{每年 30 名})$$

$$= 628 \text{ 萬港元 (}<\text{CpSLS 參考值 } 1,430 \text{ 萬港元, 故表示具成本效益)}$$

(2) 以台北捷運增設月台門系統為例

估計月台門系統使用壽命：15 年

估計安裝成本：650,000 萬元

估計每年維修成本(以安裝成本 2.95%計算)：每年 19,175 萬元

現時估計的等同死亡人數：每年 1 名

假定模數為 100% 成效

使用周期成本(C)：

$$= (650,000 \text{ 萬} + 19,175 \text{ 萬} * 14) \text{ 元 (安裝首年毋需維修, 故為 14 年)}$$

$$= 918,450 \text{ 萬元}$$

統計拯救人命成本

$$= C/(y*L)$$

$$= 918,450 \text{ 萬元} / (15 \text{ 年} * \text{每年 1 名})$$

$$= 61,230 \text{ 萬元 (}>\text{CpSLS 參考值 } 5,600 \text{ 萬元, 顯示不具成本效益)}$$

對台灣地區之捷運系統而言，目前並沒有本土化的成本分析計算式，所以本研究是參考英國健康安全部 HSE 的數據來計算其成本效益分析，雖經計算所得的成本超過每個統計拯救人命成本參考值，顯示其並不具成本效益，但是誠所謂「人命無價」，只要能拯救生命，則需花費較大成本的設置月台門做法，以降低營運風險之措施仍屬可行。

五、結論

旅客之安全是大眾運輸系統最重要的服務核心價值，然如僅以簡單的安全宣示，單純地強調「安全第一」的理念，反而會減少合理及客觀評估安全風險課題的機會，捷運系統為提昇設施安全標準所需進行之風險降低措施，其投資金額往往相當龐大，且意外事故的發生仍難以杜絕。因此，承認運輸活動具有安全風險，並加以科學化管理，應是發揮災害防制管理最有效的做法之一，故是一種非常值得投入的防災研究課題。

本文藉由文獻回顧探討，將風險管理觀念應用於大眾運輸安全管理，並將台北捷運闖入軌道事故加以整理分析，以探討對捷運系統設置月台門之風險降低措施，並分別舉香港地鐵及台北捷運二個案例進行初步的功能效益分析及成本效益估算，其中台北捷運營運路段增設月台門案例，雖經計算所得的成本超過每個統計拯救人命成本，顯示其並不具成本效益；惟該項設置月台門之風險降低措施決策已形成，證實成本效益分析僅屬於典型決策的一部分，在形成決策前，亦須納入文化、技

術、政治、顧客服務及公眾形象等其他因素考量。

大眾運輸服務業面對企業追求永續經營及旅客安全之保障，如何因應投資金額龐大，但可能不符經濟效益的安全投資，實為現實的營運課題。依此，建立逐步推展系統化的營運安全風險管理制度，以科學化的方法來對營運安全之風險進行辨識、評估，並輔以成本效益與價值分析等基礎研究，以找出合理而經濟的最佳化方案，確屬必要。

參考文獻

- [1] 高雄市捷運工程局路網圖，<http://www.kcg.gov.tw/>。
- [2] 捷運服務白皮書－「台北捷運公司營運狀況與展望」。
- [3] 高玉瓏，「捷運後續路網車站配合月台門設置規畫簡介」，捷運技術第 22 期，台北市政府捷運工程局，2000 年。
- [4] <http://mtr.com.hk>。
- [5] 蔡明志，「風險管理在大眾運輸安全管理管制課題之發展」，1999 年風險管理與保險經營學術及實務研討會議論文集，1999 年。
- [6] Wharton, F., Risk Management: Basic Concepts and General Principle, Risk Analysis Assessment and Management, Wiley, English, 1992.
- [7] Gratt, L.B., Risk Analysis or Risk Assessment: A Proposal for Consistent Definition, Plenum Press, NY, USA, 1987.
- [8] Lowrance, W. W., Acceptable Risk, William Kaufmannm Los Altos, CA, USA, 1976.
- [9] Eurotunnel, The Channel Tunnel, Safety Case, Eurotunnel, Folkestone, England, 1994.
- [10] Evans, A.W. and Morrison, A, Incorporating “Accident Risk and Disruption in Economic Models of Public Transport”, Journal of Transport Economic and Policy, Vol.31, No.2,1997, pp.117-146.
- [11] O’Reilly, D. et al., “The Value of Road Safety : UK Research on the Valuation of Preventing Non-Fatal Injuries”, Journal of Transport Economic and Policy, 28(1), 1994,pp.45-59.
- [12] Health Safety Executive, Major Hazard Aspect of the Transport of Dangerous Substances, HMSO, London,1991.
- [13] 蔡明志著，「軌道運輸營運安全管理技術之研究」，2000 年。
- [14] 劉昌明著，「捷運系統安全考量之研究」，國立台灣科技大學營建系碩士論文，2000 年。
- [15] Williams, C.; Smith, M.; Young, P., Risk Management and Insurance, Irwin MacGraw-Hill, USA, 1998.
- [16] Health Safety Executive, The Tolerability of Risk from Nuclear Power Station, HMSO, London, 1991.
- [17] 張明坤，「捷運系統安全工程」，捷運技術半年刊，第 15 期，1996 年。
- [18] 沈大仁，「車門理論」，捷運技術第 5 期，1991 年。
- [19] 台北市政府交通局「捷運系統事故統計」。
- [20] 吳銘章，「淡水線電聯車煞車系統」，台北市政府捷運工程局技術報告，1995 年。
- [21] <http://www.hse.gov.uk/>。
- [22] 香港地鐵有限公司，「規劃及建立風險管理系統建議書」，台北捷運九十一年度風險管理及系統保證顧問，2002 年。