

第二章 文獻回顧

針對前述之目的與課題，本研究擬回顧國內外有關風險管理相關課題，包括風險管理之意義、風險衡量、風險管理在大眾運輸業之應用、錯誤樹與事件樹、國內外軌道運輸事業之安全風險標準、量化之風險準則、台鐵之安全風險、風險經濟評估等相關研究。

2.1 風險管理之意義

鄧家駒〔13〕對於風險管理(Risk Management)做了一個簡明的介紹，他認為風險管理是一種應用科學，其基本理念是在於調整「對於未來不確定的各種結果」，以及「為確定未來結果所需支付的代價大小」。而其基本理念就在於希望能在介於「結果」與「代價」之間取得一個平衡點，一方面可以降低風險的大小，另一方面在風險發生時可減少非預期結果的發生。

風險管理在「結果」與「代價」之間，存在著一種極其微妙的關係，就是「若為了絕對的安全，就必須投入無限大的代價」，與「若不願意做任何的預防，就必須能忍受無窮大的後果」。也就是說，當決策者選擇走兩極的偏鋒，不是必須支付無盡的避險代價，就是要能忍受完全不支付代價的無限風險，然而只要遠離這兩個極端，都是可以將成本降低的。

面對這樣一個抽象的概念，我們可以想像一個山谷，左右兩邊是兩座需要支付極高代價或後果的山峰，而在這兩個極端中央的低窪地帶，存在著一個「以最合理的成本換取適量的風險」的經濟位置。這就是介於「結果」與「代價」之間的一個平衡點。實際上風險管理的全部重心，就是要在變幻莫測的環境中，設法找尋並維持在這一個平衡點上。在這平衡點上的特質是：我們所投入的代價並非最低，面對的風險也不是最小，但就整體而言，兩者的組合卻是個最經濟有效的風險管理策略位置。

2.2 風險衡量

鄧家駒〔13〕針對風險衡量方面提到，風險管理常用「損失(Loss)」來作為風險衡量的基礎，一般而言有兩種層面，一是損失頻率(Loss Frequency)，二是損失嚴重性(Loss Severity)。損失頻率只考慮到危險發生的次數多寡，而不考慮損失的大小，衡量的方式是依據平均數或機率。不過這有無法比較的缺點，因為其所提供的是絕對數值，無法讓人了解這樣的頻率是高是低、是危險還是安全。因此若單以損失頻率來表示風險時，通常不以數字表示，而是將危險分級，例如：1.幾乎不會發生(almost never)、2.很少發生(slight)、3.與一般情況一樣(moderate)、4.絕對會發生(definite)。而損失嚴重性則考慮到危險發生時造成損失的可能大小，衡量損失嚴重性的論點與方法雖然相當多，不過其衡量方式不外是以平均每一意外事件的損失大小而定。

因此目前常以事件「發生」及發生後事件的「後果」之組合乘積作為風險衡量的基礎。衡量單位可依管理的設定為某特定期間或者為某特定活動之潛在後果，因此事件「發生」的單位可為每單位期間內發生某事件之次數或機率；事件「後果」單位則為每事件發生時之總後果(如死傷、財物損失等規模數量)。

2.3 風險管理在大眾運輸業之應用

運輸風險管理一般定義為對運輸行為所產生的風險之管理。蔡明志〔11〕認為依照目前運輸政策及型態的潮流發展，在國際上運輸風險管理的主要應用領域有：(1)運輸活動中對乘客、員工、及第三人的安全管理；及(2)運輸投資計劃的風險管理，如民營化、BOT 計劃等之計劃風險管理。在風險型態上，運輸安全課題屬於純粹風險，而運輸計劃風險為計劃風險(project risk)，其屬性為投機風險。

大眾運輸的安全關注對象(subject)除包括大眾運輸的乘客外，在勞工意識逐漸抬頭的今天，勞力密集的大眾運輸產業(如台鐵)，其產業員工的安全也是目前大眾運輸安全課題所關注的焦點。此外，如同道路安全事故(road safety)對事故第三人的關注一般，大眾運輸事故第三人(即營運者、乘客之外與運輸系統營運無關之第三人)，如鐵路平交道道路使用者及機場鄰近住戶等，也是安全課題討論的焦點。

以林恒卉〔6〕的研究為例，就是針對機場鄰近地區之第三人計算安全風險值，並以松山機場為例，利用事故次數因子、區位因子、事故規模因子分別獲得事故發生次數、各區位事故風險、個人風險，然後參酌英國對於機場鄰近地區風險之估算方法，建立風險估算模式。

而陳家緯〔7〕的研究則針對城際間大眾運輸系統進行安全風險評估。其利用自行設計之風險認知問卷所獲得之結果，以 F-N curve 分析技術評估各運輸系統之安全風險，並透過風險評估架構與模糊三角函數，建立旅運者之社會感認風險水準值，以評估城際間大眾運具整體之安全風險程度。

2.4 錯誤樹與事件樹

蔡明志與張新立〔12〕指出軌道事故風險的衡量，可以以統計模式或可靠度模式或以兩者混合的方式來進行。一般而言，如果事故樣本與相關資料能具有統計分析模式的顯著性時，宜以統計模式為主，使衡量的風險能較具有客觀性，否則可靠度模式便因此被使用來建立風險模式。其中「錯誤樹(Fault Tree)」與「事件樹(Event Tree)」便常被引用來分別建立「事故發生」與「事故規模」模式。「錯誤樹」是結合軌道各可能之事故導因，如人為、機件、環境等，將所確認的軌道事故置為首項條件(Top event)，採用後推的邏輯(Backward logic)，由各導因事件的串聯，推估事件發生機率或次

數的方法。「錯誤樹」除可衡量事故的發生情況，亦有助於探究各事故導因對事故發生的貢獻程度，使決策者能掌握事故的主要導因，提昇安全管理的效率。另一方面，「事件樹」則是採用前推邏輯(Forward logic)，以結合所有影響「事故規模」的原因，來推估事故發生時之預期事故傷亡規模的方法。

國外以事故樹及錯誤樹建立鐵路安全模式的首推英國的 Railway Safety [19]，這個組織將所有英國鐵路營運事業發生的危害事件(Hazardous Event)區分為運轉事故(Train Accident)、移動事故(Movement Accident)以及非移動事故(Non-movement Accident)三類，然後利用事故樹與錯誤樹建立了英國鐵路事業的「安全風險模式(Safety Risk Model)」，並發展出共計 110 種危害事件的「風險總覽(Risk Profile)」，用以呈現這些危害事件的個別風險值。

目前國內尚無以此方法進行鐵路安全風險分析，不過在郭承璋 [9] 的研究中，其利用焦點團體法進行危害因子之蒐集，建立台鐵站務系統安全管理檢核問卷，以問卷結果利用系統安全分析方法之 FMECA(Failure Mode, Effect and Critical Analysis)法，針對各危險因子進行事故失效模式、影響及嚴重度分析，最後針對風險指數較高的危險因子進行事故原因定性分析，並藉由定性分析繪製出五項事故之錯誤樹與事件樹。

2.5 國內外軌道運輸事業之安全風險標準

目前國內主要的軌道運輸事業有交通部台灣鐵路管理局與台北捷運公司，不過交通部並未針對軌道運輸事業或所有大眾運輸事業訂定統一的安全風險標準。根據張應輝 [10] 研究中之整理，台鐵係由所屬之運務處針對營運單位，自行訂定各運務段、車站及車班組之行車責任管制件數標準及獎懲制度，其規定每年行車責任管制件數，在考慮轄下各單位之運量不

同等狀況後訂定花蓮運務段 6 件、宜蘭運務段 4 件、台北運務段 9 件、台中運務段 5 件、高雄運務段 8 件，以上共計 32 件。由此可知，台鐵僅針對責任事故件數進行安全風險的管制，而沒有考量其他方面的影響。

而捷運系統則根據「大眾捷運系統經營維護與安全監督實施辦法」之第三條訂定服務指標，其中安全指標的部分包括事故率、犯罪率及傷亡率。交通部統計處對於捷運責任的事故率定義是「每百萬車公里，系統內所發生行車事故件數」，此處所指之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、列車出軌或翻覆，造成停止運轉一個小時以上者；一般行車事故則是指造成系統營運中斷 20 分鐘以上至一個小時以內者〔21〕。根據張應輝〔10〕研究中之整理，台北捷運公司係根據上述規定訂定其系統營運目標值為重大行車事故率：0 件/百萬車公里；一般行車事故率：4 件/百萬車公里。

在國外方面，與台灣鄰近且軌道運輸相當發達之日本亦無訂定整體鐵路運輸之安全風險標準，僅有個別的鐵路營運公司針對其需要訂定之，例如東日本旅客鐵道有限公司(East Japan Railway Company；JR East)在所提出的「安全計劃 21」〔20〕中，即希望達成旅客死傷事故與員工(包含相關事業的員工)之死亡事故為 0 的目標，此可視為該公司對於本身營運之安全風險標準的要求。

歐洲的英國、法國、德國〔16〕及瑞士〔8〕四個國家則各自採用不同的準則決定其國內鐵路之營運風險標準，分別為：

2.5.1 合理實際降低(As Low As Reasonably Practical；ALARP)準則

此準則為英國所採用〔16〕，其利用兩項「風險忍受度」的臨界值以區分風險水準及其相關作業內容，而風險忍受度臨界值包括「不可忍

受風險(Intolerable Risk)臨界值」與「可忽視(Negligible Risk)風險臨界值」，這兩個臨界值將風險水準分為三個區域，如圖 2.1 所示：

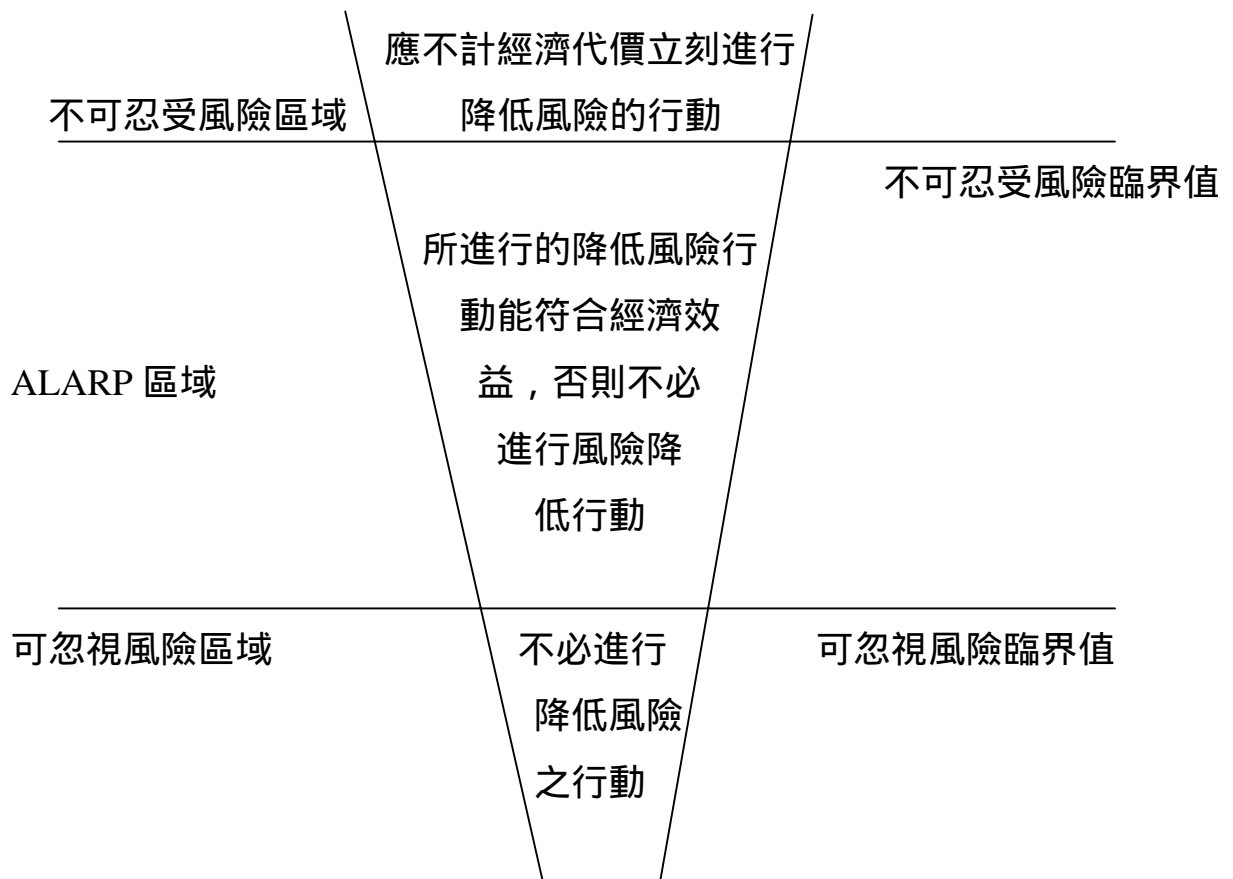


圖 2-1、英國實施之風險評估三角形

(一)不可忍受風險區域

所評估的風險大於不可忍受風險的臨界值，必須不計成本將風險降低至臨界值以下。

(二)ALARP 區域

在兩臨界值之間內的風險水準屬於可忍受的範圍，此時繼續降低風險的措施必須在「合理實際」的原則下進行，亦即若要降低在此區域的風險水準，則必須考量改善成本與所獲得的效益。

(三)可忽視風險區域

當所評估的風險低於可忽視風險的臨界值時，此時就不必考慮任何繼續降低風險的活動。

2.5.2 Globalement Au Moins Aussi Bon (GAMAB)準則

此準則為法國所應用〔16〕，概念是「所有新的軌道運輸系統所提供的整體風險等級，至少要和現存相當的系統所提供之整體風險等級一樣好」。其數學模式是根據前一年度列車相撞的死傷人數計算每位乘客實際所看到的列車相撞次數(col)，並考量單位載運量、發車頻率、平均載客係數所得之運送量(D_m)後，要求新建或取代現有的運輸系統時其風險必須小於上述兩者之乘積。

2.5.3 最小內部死亡率(Minimum Endogenous Mortality ; MEM)準則

德國所採用之最小內部死亡率〔16〕其意義為：民眾有一一般性之死亡率，其中包含自然死亡、因病死亡及因「技術上的因素(technological facts)」(如運動娛樂、工作機械、交通工具等)而死亡，鐵路運輸之死亡率應不大於前述之內部死亡率。而在應用上其死亡率包含死亡事故、重傷事故與輕傷事故三種不同風險值。

此外對於事故之嚴重程度，德國亦引進「差別的風險嫌惡(Differential Risk Aversion , DRA)」觀念，將嚴重程度較高事故之機率作更嚴格的控制，即如圖 2.2 中負斜率直線所表達之意義。

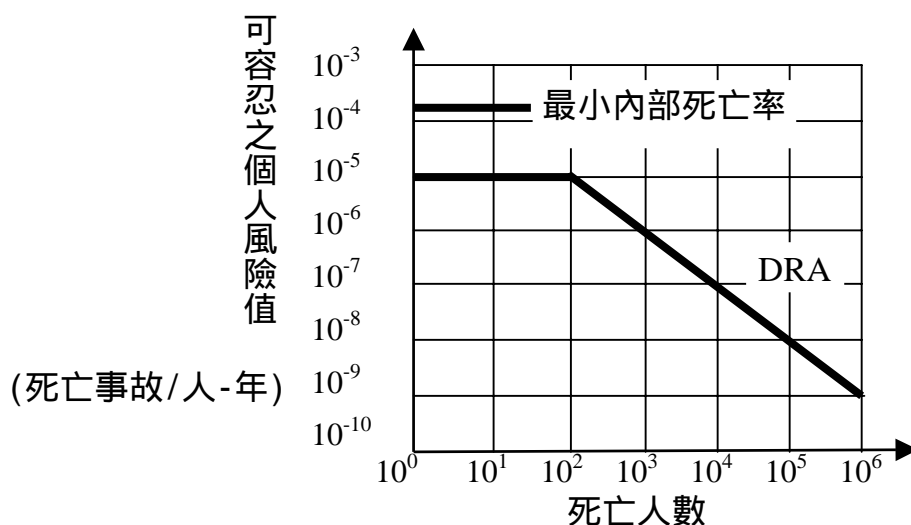


圖 2-2、德國實施之最小內部死亡率與大型事故之 DRA

2.5.4 安全風險分析準則

瑞士聯邦鐵路局(SBB)之列車安全風險分析是以群體風險為基礎〔8〕，採用統計分析與數學模式以衡量風險大小。SBB 考量了地點特性、列車密度、超速與發生危險狀況之頻率、不希望某些類型之事件發生之加權值等因素，並令每一風險單位(RE)等於 1000 瑞士法郎，使之便於比較某一安全措施的成本效益。因此成本效益的判定為：該措施之成本[RE/年]/該措施之風險減少量[RE/年]必須小於 1，使風險等級在 5RE 到 50RE 之間的路段可以應用此成本效益關係找出改善的優先順序。

2.6 量化之風險準則

大多數對於風險準則的研究並未歸納出普遍且明確的結論，而是依不同的學者、研究團體或營運組織的觀點，自行訂定可接受風險之臨界值，亦即定量或定性的標準。

2.6.1 定量準則

目前常見的四種量化概念的風險準則，皆以最小內部死亡率(Minimum Endogenous Mortality；MEM)為基本標準〔8〕：

1. 作業條件之風險等級

作業條件之風險等級是用來衡量人們在某種具有潛在危險環境中作業的風險大小，它是由與系統危險率有關的三種因素乘積值來表示系統人員傷亡風險的大小，並將所得作業條件風險數值與規定的作業條件風險等級進行比較，據以確定作業條件的危險程度。作業條件的風險大小 D ，取決於發生事故的可能性大小 L 、人體暴露在這種危險環境中的頻繁程度 E 以及一旦發生事故可能會造成的損失後果 C 三個因素。然而，若要獲得此三個因素的準確數據，

必須經過繁複的處理過程。為簡化起見，一般採取半量化的計算方式，將三種因素的不同等級分別賦予不同的分值，然後再以三個分值得乘積 D 表示作業條件的風險大小，即：

$$D = L \times E \times C$$

D 值越大表示該系統風險越大，即應該加強安全措施，減少事故發生的可能性或降低人體暴露的頻繁程度或減輕事故損失，直到可允許的範圍為止。三種因素的不同等級取值標準與風險大小的等級可參照下表 2-1、表 2-2、表 2-3、表 2-4。對於任何有人作業的具體系統，皆可按實際狀況選取三種因素的分數值，計算出 D 值的大小，來判定系統的風險等級。

表 2-1、事故發生的可能性(L)

分數	事故發生之可能性
10	完全可以預料
6	相當可能
3	可能但不經常
1	可能性小，完全意外
0.5	很不可能
0.2	極不可能
0.1	實際上不可能

表 2-2、暴露於危險環境的頻繁程度(E)

分數	暴露於危險環境的頻繁程度
10	連續暴露
6	每天工作時間內暴露
3	每週一次或偶然暴露
2	每月一次暴露
1	每年幾次暴露
0.5	非常罕見的暴露

表 2-3、發生事故可能造成的損失後果(C)

分數	發生事故可能造成的損失後果
100	大災難，許多人死亡
40	災難，數人死亡
15	非常嚴重，一人死亡
7	嚴重，身體殘障
6	重大，手足傷殘
3	較大，受傷較重
1	較小，輕傷

表 2-4、風險等級(D)

分數	風險程度
> 320	極其危險，系統停止
160-320	高度危險，立即改善
70-160	顯著危險，及時改善
20-70	一般危險，需要觀察
< 20	稍有危險，注意防止

2. 單位時間之死亡率

根據「風險等於事故發生機率與事故嚴重程度之乘積」的觀念，風險可定義為單位時間內之死亡人數，事故發生機率可為單位時間內之事故發生次數，事故嚴重程度則為事故發生次數所造成的死亡人數。目前國際上經常採用單位時間之死亡率作為風險估計的準則，其原因是生命為最高價值，一旦喪失便永遠無法挽回，而且死亡的統計數據非常可靠，又根據 Heinrich 的理論，系統發生事故的比例基本上遵循下列規律：

$$\text{死亡或重傷} : \text{輕傷} : \text{無傷害} = 1 : 29 : 300$$

因此根據死亡率數據可大致推估死亡、重傷、輕傷以及無傷害的事故發生情況。

3. 單位時間之損失工作日數

根據「風險等於事故發生機率與事故嚴重程度之乘積」的觀念，風險在此可定義為單位時間內之損失工作日數，事故發生機率為單位時間內之事故發生次數，事故嚴重程度則為事故發生次數所造成之損失工作日數。事故除了可能造成人員死亡之外，多數是受傷，而有關受傷的統計，可根據統計理論計算各行業受傷風險之期望值，一般係以每接觸小時損失工作日數作為計算單位。

然而受傷有輕重之分，如經過治療、休養後而能完全恢復工作能力，則損失工作日數按實際停工天數計算；但有因重傷而殘廢，無法恢復工作能力，甚至發生死亡事故者，為便於計算，可將受傷、致殘、死亡折算成相對應之損失工作日數。

4. 單位時間之經濟損失價值

根據「風險等於事故發生機率與事故嚴重程度之乘積」的觀念，風險可定義為單位時間內之經濟損失價值，事故機率為單位時間內所發生之事故次數，事故嚴重程度則為事故發生次數造成之經濟損失價值。這種定量準則既考慮了事故發生後可能造成的經濟損失，同時又將人員傷亡損失折算成經濟價值而總計為事故的總損失。一般係先計算系統發生事故的機率，進而取得單位時間內的經濟損失金額作為風險值，以此來衡量系統的安全性。若事故的經濟損失越大，其允許發生的機率越小；事故的經濟損失越小，其允許發生的機率則越大，此允許範圍即為安全範圍。基本上，事故經濟損失與其發生機率之關係並非呈直線關係，這主要是人們對於損失嚴重的事故，抱持恐慌的心理。

2.6.2 定性準則

一般可見於各國鐵路運轉規章或相關鐵路法規，以德國為例〔8〕，其可接受風險準則的定義為：

1. 任何鐵路設施及車輛，必須符合認可之技術條件、規範，以滿足安全的要求。
2. 若發生與所認可之技術規範有差異之情形時，至少仍應具有符合安全標準之憑證。
3. 鐵路事業經營者有義務提供安全的車輛、軌道基礎設施及營運服務，並能發展及引進較新之安全技術。

2.7 台鐵之安全風險

張應輝〔10〕的研究係利用「安全風險等於事故發生機率與事故嚴重程度之乘積」觀念，進行台鐵營運安全風險之分析。其將民國 85 年至 89 年之台鐵事故區分為「死傷事故」與「故障事故」兩大類，分別進行事故嚴重程度之量化與安全風險值之計算。其使用之機率單位為「次/百萬人旅次」，而事故嚴重程度則是利用台鐵發給各受害人之撫恤金、賠償金或醫藥補助費的資料進行平均而獲得。最後得到主要類型事故之風險貢獻度，如下表 2-5、表 2-6。

表 2-5、張應輝所得之台鐵 85~89 年主要死傷事故及其風險貢獻度

主要死傷事故	風險貢獻度(%)	累積風險貢獻度(%)
列車未停妥跳車	37	37
行車事故	23	60
自車廂摔落	20	80
行走軌道路線	9	89
強過平交道	8	97
跨越軌道路線	3	100

表 2-6、張應輝所得之台鐵 85~89 年主要故障事故及其風險貢獻度

主要故障事故	風險貢獻度(%)	累積風險貢獻度(%)
號誌故障	35	35
動力車故障	25	60
電車線設備故障	17	77
列車妨礙(障礙)	14	91
列車延誤	7	98
客車故障	2	100

而林永昌〔5〕的研究仍採用「安全風險等於事故發生機率與事故嚴重程度之乘積」觀念，不過在計算事故機率時則改採「次/百萬車公里(MVK)」為單位，而事故嚴重程度則改以「等值死亡人數」的概念，將受傷人數依固定比例(死：傷 = 1：0.678)換算成等值死亡人數。同時將事故資料改分為四大類(設施類、設備類、管理類、其他類)，最後計算出四類肇因之安全風險值與風險貢獻度，如下表 2-7、表 2-8。

表 2-7、林永昌所得之 86~90 年台鐵各類肇因之安全風險值
(單位：人/百萬行車公里)

	設施	設備	管理	其他	總計
86 年	4.06	1.91	1.11	0.20	7.28
87 年	4.44	1.58	0.52	1.21	7.75
88 年	2.95	1.41	0.84	0.70	5.90
89 年	2.11	2.17	0.00	0.28	4.56
90 年	1.40	3.05	0.00	0.00	4.45
總計	14.96	10.12	2.47	2.39	29.94

表 2-8、林永昌所得之 86~90 年台鐵各類肇因之風險貢獻度(%)

	設施	設備	管理	其他	總計
86 年	55.8	26.2	15.2	2.7	100.0
87 年	57.3	20.4	6.7	15.6	100.0
88 年	50.0	23.9	14.2	11.9	100.0
89 年	46.3	47.6	0.0	6.1	100.0
90 年	31.5	68.5	0.0	0.0	100.0

此外郭承璋〔9〕的研究則採用焦點團體法進行危害因子之蒐集，建立台鐵站務系統安全管理檢核問卷。透過問卷得到事故嚴重程度、發生機率及暴露頻繁程度，利用作業條件之風險等級衡量準則(風險 $D = \text{事故發生可能性 } L \times \text{暴露頻繁程度 } E \times \text{損失後果 } C$)得到各危害因子之危險等級。然後利用系統安全分析方法之 FMECA(Failure Mode, Effect and Critical Analysis)法，針對各危害因子進行事故失效模式、影響及嚴重度分析，最後針對風險指數較高的危險因子進行事故原因定性分析，並藉由定性分析繪製出五項台鐵事故之錯誤樹與事件樹。

2.8 風險經濟評估

蔡明志〔11〕對於風險經濟評估的定義是「在探究降低風險方案的經濟效益，避免風險管理所提出之方案不具有經濟效益」。按照風險控制的邏輯：方案所評估的風險若高於風險忍受度，應立刻進行降低風險或規避風險之工作；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，並進行風險經濟評估，以作為是否再進行風險降低、風險分散或風險自承行動之依據。此外，經濟評估因在執行經濟性的探討，故對與行動方案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，都需要進行貨幣化(monetary)之轉換。

對於風險經濟評估方案之選擇，Niels Peter Høj 與 Wolfgang Kröger〔17〕指出可經由貝氏決策程序(Bayesian decision-making process)選出具有最高期望效用的方案。不過在進行不同系統間比較時，必須注意風險之定義與比較之方法是否相似，且在比較各種方案的過程中，常會因為已發生的事故、不同的分析方法、不同模式的假設、對於不確定事物的不同包含方法等因素而導致偏誤的結果。但是以互相比較的方式訂定風險上限仍是廣泛可接受的。