(三) 運輸系統安全風險評估

風險評估主要在進行風險認知，由制訂「風險忍受度」的方式進行風險評估，作為後續管理行動依據。軌道運輸的安全「風險忍受度」應綜合考量「倫理」(對生命的尊重)、「公平」及「經濟效率」的觀點，並由政府制定。

而風險評估作業主要是運用兩項「風險忍受度」的臨界值，來區分風險水準及其相關的作業內容。所謂「風險忍受度」的臨界值包括「不可忍受風險 (intolerability risk) 臨界值」及「可忽視風險 (negligible risk) 臨界值」。

兩臨界值將風險水準區分成三個區域：不可忍受風險區域、可忍受合理實際風險區域 (as low as reasonably practical; ALARP)，以及可忽視風險區域，如圖 6-11 所示。

以下說明此三種區域之定義 (Evans, 1994)：

1. 不可忍受風險區域

若系統（或活動）的風險落在此一區域中，表示該系統風險值為一般社會大眾所無法接受的事故規模，或已超過政府法定風險水準 (level of risk)，則營運者或個人須立即停止從事該項活動，或須採行可以降低風險之行為或措施，直至活動風險值降至不可忍受風險臨界值以下為止。

2. 可忍受合理實際風險區域（「ALARP」區域）

若系統（或活動）之風險屬於此區域時，則表示該作業系統必須採取合理的經濟手段降低事故規模。當然，依據個人風險之定義，所採行之改善措施尚須考慮經濟成本與可預期之效益間的相關程度，目前已有研究以成本效益分析 (cost-benefit analysis; CBA) 方法或生命價值 (value of statistical life; VOSL) 方式，來評估安全改善措施的效益，是否符合 ALARP 之條件。

3. 可忽視風險區域

當系統（或活動）之事故規模分配存在於此區域之中，則個人或營運者無須採取任何措施降低風險。

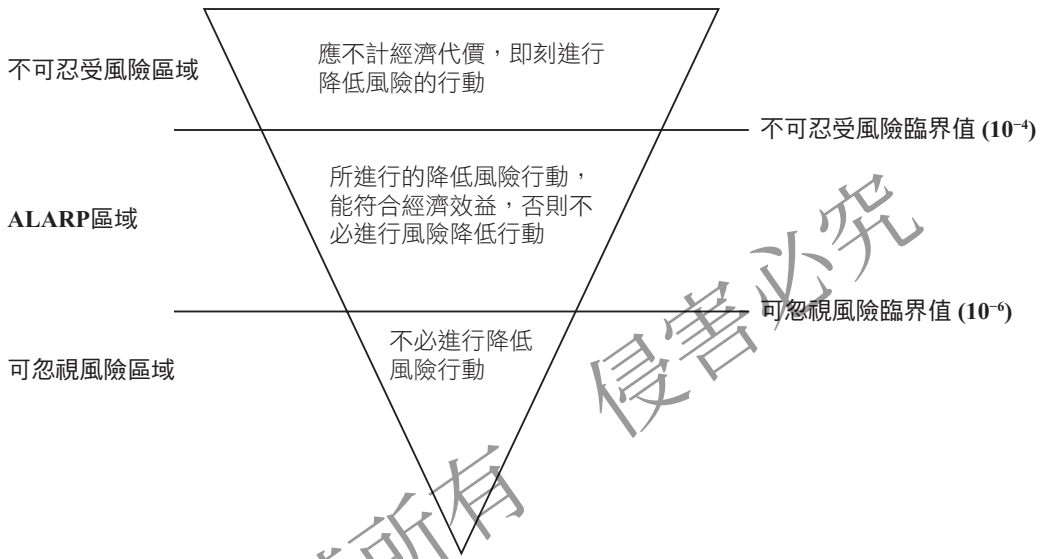
圖 6-11 即為在風險管理領域中極為著名的「風險評估三角形」(risk triangle)，以英國政府為例，英國以 10^{-4} 與 10^{-6} 作為鐵路乘客法定的個人「不可忍受風險」及「可忽視風險」臨界值，如每年某一特定乘客因鐵路活動而死亡的機率，如果超過 10^{-4} 時，則該鐵路系統應即刻停止營運，並以不計成本的方式降低風險，直到風險水準完全進入

著作權所有 侵害必究

華泰文化
HWA TAI PUBLISHING

ALARP 區域為止；如果機率判於 10^{-4} 和 10^{-6} 時，則該軌道運輸系統可「合理實際」的從事降低風險或實施保險策略，以進行自承風險或轉嫁風險的動作；如其機率低於 10^{-6} 時，則該系統可以不必採取任何降低安全風險的行動。

基本上，乘客不可忍受風險的臨界值訂得愈低，則軌道運輸系統就愈安全，然而對安全的投入與支出成本也就愈高。



註：ALARP (as low as reasonably practical).
資料來源：HMSO, 1989.

圖 6-11 風險評估三角形

著作權所有 侵害必究

(四) 運輸安全經濟的研究課題

目前在軌道運輸安全經濟 (transport safety economics) 的研究及應用領域，有三項主要的課題：(1) 將安全風險納入大眾運輸需求屬性，探究安全風險對乘客需求的影響；(2) 探討大眾運輸乘客、員工及第三人的生命價值 (value of life)，以作為整體經濟評估的依據；(3) 發展整體安全經濟評估方法。茲分別說明如下：

1. 安全風險評估

將安全風險納入運輸需求屬性，即調查乘客的風險感受、風險敏感度，以及評估運量受風險影響所產生之社會資源效率的變化等，以作為政府制定管制作業，及營運者訂定營運策略的參考。

華泰文化
HWA TAI PUBLISHING

2. 生命價值

生命價值與時間價值 (time value) 一樣，都是在衡量生命資源的經濟價值。生命價值 (value of statistical life; VOSL) 是安全經濟評估中重要的參數，若生命價值 (VOSL) 遠大於實施安全策略所產生之生命節省成本 (cost per lives saved; CPLS) 的經濟效益時，則安全策略較容易被採行。

3. 安全經濟評估方法

目前安全評估的研究重點仍多以政府的安全管制策略為主軸，主要探討內容大多在於軌道運輸重大安全投資的經濟性，例如鐵路公司是否應強制裝置自動列車保護 (ATP) 設備等議題。

安全經濟評估的主要使用工具為成本效益分析法 (CBA)，此方法的優點主要在對所開發的安全控制技術，或安全策略的成本與效益進行比較分析，以增加其在經濟上的說服力。

著作權所有 侵害必究

實例 1

設有一捷運公司，月台上的乘客從車輛間隙中掉落軌道。故該公司的安全部門提案安裝車輛間隙防護欄，其使用壽命為 15 年 (Y)，安裝費為 90 萬元，維修費用每年 2.66 萬元，該公司估計每年等價死亡人數約 0.03 人 (R)，而生命價值 (VOSL) 假設為 1,400 萬元。試問是否要安裝車輛間隙防護欄？

解答

減輕措施成本 (C) = 90 + 2.66·(14) = 127 萬

（因安裝第一年無需維修，其餘維護時間計 14 年）

$$\text{每年生命節省成本 (CPLS)} = \frac{C}{Y \cdot R} = \frac{127 \text{ 萬}}{15 \cdot (0.03)} = 282 \text{ 萬}$$

由於生命節省成本 282 萬，遠小於統計生命價值 1,400 萬元，故本案值得執行。

華泰文化
HWA TAI PUBLISHING

實例2

若有一條捷運鐵路，建置月台門系統的成本為 300 萬元，而該系統的生命週期為 10 年。經評估其實施效果，每年可將人員的傷亡率自 0.0095 降至 0.0001。經查其生命價值 (VOSL) 為 1,500 萬，試計算其每年生命節省成本 (CPLS)？從軌道運輸業者的觀點，請評估建置該安全設備方案之可行性；若不可行，則在何種情況，本安全計畫才值得做呢？

解答

$$\text{每年生命節省成本 (CPLS)} = \frac{300\text{ 萬}}{10\cdot(0.0095-0.0001)} = 3{,}191\text{ 萬／人}$$

從軌道運輸業者的觀點，由於生命節省成本 3,191 萬 (CPLS)，遠大於生命價值 1,500 萬元 (VOSL)，故本案不值得執行。

因從軌道運輸業者的觀點，業者只要付出 1,500 萬元的賠償金，即可解決問題。但從人道主義的觀點，生命卻是無價的！

實例3

某地鐵公司擬計算每年因車門未完全關閉和鎖定，導致乘客跌出車外而死亡的頻率。經蒐集資料如下：

1. 在 2 年內，發生 7 件車門環路驗證開關卡在未關閉位置的個案。
2. 若車門同步齒型皮帶折斷，列車行駛時，車門可能會自行打開。在 2 年內，發生 7 件車門同步齒型皮帶折斷的個案；又已知該公司營運需要有 15 輛列車，每一列車各有 60 道門。
3. 在尖峰時間，旅客人數較多時，才會有旅客接近車門附近。且每日營運 18 小時中，約有 4 小時屬尖峰時間。
4. 於行車期間，靠近車門的旅客，通常也有些人不會握住扶手杆，如此或許會跌出車外。
5. 根據 HSE 的鐵路安全報告，由 2011～2020 年間，列車行駛時，每年旅客跌出車外而死亡的機率是 0.3；假設某公司此項機率為其 2 倍。

請計算該公司每年發生乘客跌出車外死亡事件的機率。

著作權所有 侵害必究

華泰文化
HWA TAI PUBLISHING

解答

$$\text{死亡事件機率} = \left(\frac{7}{2}\right) \times \left(\frac{7}{2}\right) \times \left(\frac{1}{15 \times 60}\right) \times \left(\frac{4}{18}\right) \times \left(\frac{1}{2}\right) \times 0.3 \times 2 = 0.00091$$

(五) 先進安全控制技術

在先進安全控制技術方面，系統事件回報處理技術是先進大眾運輸安全控制系統的發展重點，包括對車站或列車火災、電力喪失、控制系統失靈等，系統潛在危險事件的安全控制技術開發。

例如，各鐵路系統皆有列車在運轉時，遭遇不明之號誌長時間顯示紅燈 (signal remaining at danger)，而導致不知如何進行運轉控制的問題。先進的安全控制技術可結合安全資訊系統及通訊技術之偵測與通報功能，以解決此一問題。

平交道的安全控制技術亦是智慧型運輸系統 (ITS) 所迫切發展的重點，先進的安全控制技術採用「定時警示」(constant warning time; CWT) 技術，來減少道路用路人因平交道警示時間變異，所衍生的人因錯誤風險，同時並在控制系統的運作設計上，以「適當」延長平交道警示時間的方式，由提高道路使用人的延滯，強制降低用路人闖越平交道的風險。

近十年來在國際上，尤其在大眾運輸系統發展較健全的歐洲國家，漸漸重視風險管理在大眾運輸安全課題方面的應用，然而國內對軌道運輸的安全管制方式，仍然停留在傳統的內部式、非明確式及簡單政策宣示式的管理管制方式。此外，為因應目前大眾運輸民營化及 BOT 政策的實施，國內運輸安全管理與管制的作法及觀念著實有檢討的必要。

故在此建議國內的軌道運輸業者應及早建立安全資料庫，以便於進行資料分析、並研擬合理的軌道運輸安全風險評估指標，以及建立具一致性的大眾運輸安全評估流程與架構，期因應民營化後運輸安全管制複雜化之問題。

目前國外安全管理的理念與作法，有朝向使風險透明化、數量化及安全管理目標導向的趨勢。且國際上愈來愈多國家致力於風險管理應用技術之相關課題，以因應其國內實質環境的改變，而近年來國內大眾運輸漸漸朝向多元化營運主體的趨勢，故建議政府可依據風險管理的技術，來制定大眾運輸安全管制的法制化規定，並積極發展智慧型運

著作權所有 侵害必究
華泰文化 HWA TAI PUBLISHING

輸系統、建立安全資料庫、研擬合理的大眾運輸安全風險評估指標、評估流程及架構，與因應民營化後之安全管制問題。

第五節 軌道運輸業安全管理系統介紹

本節將介紹國內外軌道運輸安全管理的作法與經驗，俾供軌道運輸業者參考。

一 軌道運輸安全背景

依照我國交通部《運輸政策白皮書．運輸安全分策》報告 (2020) 指出，「安全」是軌道運輸的首要目標，為達成此目標鐵道業者皆持續辦理安全改善工作。鑑往知來，回顧歷史上鐵道運輸安全改善之沿革，可瞭解其發展歷程：由反應式 (reactive) 及被動式改善安全方法階段，演變為主動式 (proactive) 及預防式 (predictive) 改善安全方法階段；例如，由早期符合法規要求 (compliance with laws) 及技術管理之反應式方法，轉變為近期安全管理系統 (system management system, SMS) 及重視安全文化 (safety culture) 之主動預防方法。

目前國際上除已發展諸多符合法規要求之標準、手冊等技術管理方法外，亦將管理系統中重要的安全風險管理方法，落實到鐵道運輸系統的規劃、設計、興建乃至於營運，也透過管理系統中核心觀念 PDCA（plan 計畫、do 執行、check 檢核、act 行動）的流程與機制，持續控管、監督、改善軌道運輸系統的安全水準。

然而，軌道業界也發現，儘管前述各項安全作為已落實、安全績效已改善，但仍有層出不窮的零星事件，甚至導致重大事故。意即，僅靠設備、程序來解決技術與人為因素已不足以確保安全，因大部分技術與人為因素背後的遠因都跟組織、文化有關，若不先消弭組織、文化中潛在的不當因素，就算有好的設備、完善的程序，也無法確保人為疏失不會發生，故改善組織、文化的問題逐漸成為近年安全改善的重點。

展望未來，國外鐵道業界已陸續發展鐵道運輸安全管理系統 (SMS)，並在 SMS 基礎上塑造安全文化。相關國際鐵道運輸安全管理系統實施概況、國際鐵道整體及平交道安全水準說明如後（參考交通部，《運輸政策白皮書．運輸安全分冊》，2020 年）：

著作權所有 侵害必究

華泰文化
HWA TAI PUBLISHING

(一) 國際鐵道運輸安全管理系統實施概況

歐盟、美國、澳洲、日本等國家，近年已發展鐵道運輸安全管理系統 (SMS)。例如歐盟鐵道運輸業透過構建 SMS 來達到安全，其中對 SMS 應具備內容的要求包括：

1. 管理者批准並讓所有員工周知的安全政策。
2. 維持並強化安全的量化與質化目標、為達到目標的計畫與流程。
3. 為達到法規、指令（例如歐盟鐵道互聯互通指令，Technical Specification for Interoperability; TSI）所要求的程序。
4. 當營運條件改變、導入新設備時的風險評估與控制程序。
5. 確保維持員工資質及訓練。
6. 確保在組織內提供充分且適當的資訊。
7. 具備將安全資訊文件化的程序與格式，以及具有型態管理能力。
8. 確保事故、事件、虛驚或任何危險狀況能被通報、調查並執行改善措施的程序。
9. 經相關單位核准的緊急計畫與通報方式。
10. 安全管理系統的內部稽核。

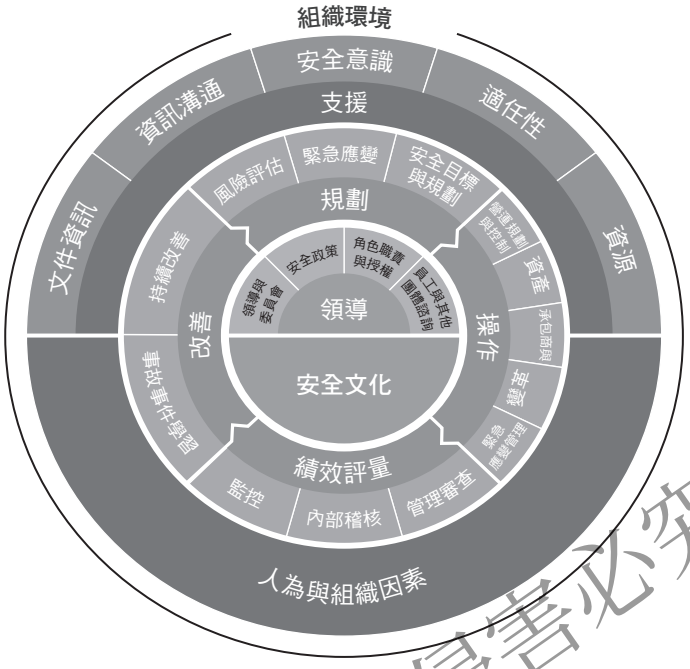
歐洲鐵道協會 (European Union Agency for Railways) 於 2018 年為了利於推廣 SMS，將原 SMS 架構的內容整合為 PDCA 的管理循環（即圖 6-12 中所示之「規劃、操作、績效評量、改善」），除了涵蓋原 SMS 架構中的各項程序，也補充了部分內容，使整體系統更為完整，同時強調內化到日常作業的重要性。

表 6-5 比較舊版 SMS 與 2018 年新版架構的項目內容差異，可發現 2018 年版更強調安全政策、安全意識、資源、變革管理、緊急應變管理等不同於舊版 SMS 架構強調的程序，扼要說明其內容如下：

1. **安全政策**：說明組織如何管理人員安全職責、風險管理方式等。
2. **安全意識**：包括組織內人員應瞭解安全政策、職務對安全的貢獻、相關的安全危害內容等。
3. **資源**：確保 SMS 的運作能有效控管安全風險所需的資源（含所需人力）。
4. **變革管理**：當有變革時（例如引進新設備）對安全風險的影響與因應。
5. **緊急應變管理**：當軌道運輸一旦發生重大意外事件，必須立即啟動緊急應變計畫，以協助組織從重大危機事件中，儘速恢復正常運作。

著作權所有 侵害必究

華泰文化
HWA TAI PUBLISHING



資料來源：European Union Agency for Railways 網站。

圖 6-12　歐洲鐵道協會 2018 年版 SMS 架構

表 6-5　歐盟鐵道新舊版 SMS 發展比較

	舊版 SMS 內容	2018 年新版 SMS 內容
領導、整體	設計與改善程序－領導 執行程序－架構與權責 執行程序－適任性管理 執行程序－資訊 執行程序－文件	**安全政策** 領導與委員會、角色職責與授權 文件資訊、資訊溝通、員工與其他團體諮詢 **安全意識**、適任性、**資源**
計畫 (Plan)	設計與改善程序－領導 設計與改善程序－風險評估	風險評估 安全目標與規劃
執行 (Do)	營運行為－營運規劃與程序 （應用指令的符合性、承包商／供應商管理、資產管理） 營運行為－緊急應變計畫	營運規劃與控制 資產管理 承包商與供應商 **變革管理** 緊急應變管理
檢核 (Check)	設計與改善程序－組織學習 設計與改善程序－監控	管理審查、內部稽核、監控
行動 (Act)	設計與改善程序－組織學習 設計與改善程序－監控	事故事件學習 持續改善
其他	於各要項中說明人為與組織因素	人為與組織因素、組織環境

註：標記粗體及底線項目，為 2018 年補充的項目。
資料來源：交通部，《運輸政策白皮書・運輸安全分冊》，2020 年。

版權所有 侵害必究
華泰文化 HWA TAI PUBLISHING

(二) PDCA 模式之探討

英國健康與安全執行局 (Health and Safety Executive; HSE) 為全世界最先設置之職業安全衛生監督機構，具有成熟政策、豐富經驗及專業技術能力。HSE 在 2013 年將 PDCA 模式制定在安全管理系統文件，並融入於組織安全管理的循環，普遍應用於各個行業，如圖 6-13 所示。

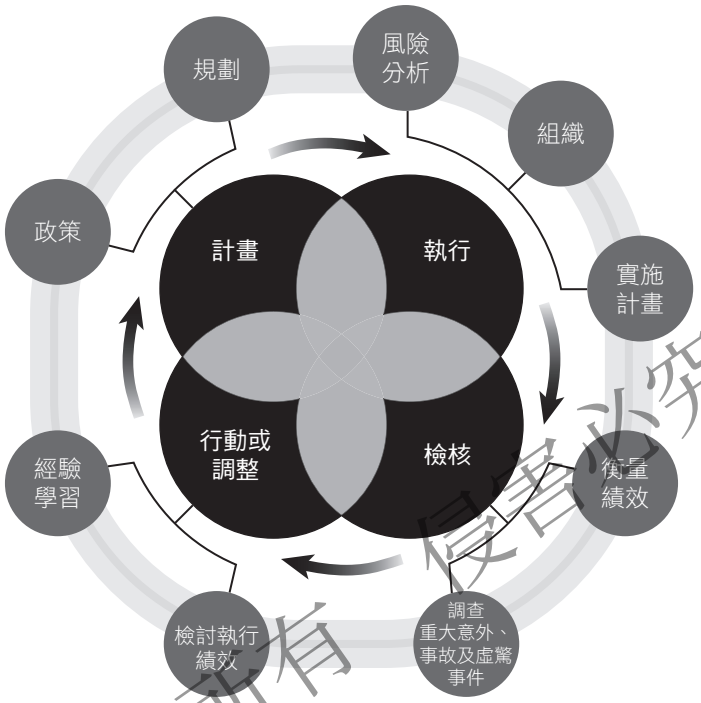
茲將其四個面向分別說明如下：

1. **計畫** (P)：包括兩項：
   (1) 規劃 (planning)：在計畫建置的階段，須思考問題及規劃如何執行關鍵的行動計畫 (key actions)，來達成最終目標。
   (2) 政策 (policy)：在分析問題的同時，除了參考先前事故經驗外，須提出主動式風險預防措施，以及緊急應變的協調工作，來制定安全管理政策 (policy)。
2. **執行** (D)：包括下面三項：
   (1) 風險分析 (risk profile)：確定組織最大的風險來源，分析及評估所有可能在工作環境產生的風險，並提出預防策略。
   (2) 組織 (organizing)：組織要讓員工有參與感，在執行計畫前，須加強與員工的溝通，提供足夠的資源與建議。
   (3) 實施計畫 (implanting your plan)：包含培訓、教育、監督，確保所有計畫落實執行。
3. **檢核** (C)：包括兩項工作：
   (1) 衡量績效 (measuring performance)：自我安全督察 (safety audit) 是此一階段重要的工作，同時確認計畫是否實施，並制定衡量績效標準，如關鍵衡量指標 (key performance indictors; KPI)。
   (2) 調查重大意外、事故及虛驚事件 (investigating accidents, incidents, and near misses)：一旦組織發生重大事件與事故，須徹底介入調查，找出根本原因 (root causes)，修正過去之疏忽 (omisions)。
4. **行動或調整** (A)；此一「行動」和前面的「執行」，主要的差別在於著重「改善」或「調整」計畫執行的方向。包括：
   (1) 檢討執行績效 (reviewing performance)：由於 PDCA 是一個循環，透過事件／事故調查及其他組織重大事故，重新檢討當前的計畫、安全政策或風險評估是否需要更新或改進。

著作權所有 侵害必究

華泰文化
HWA TAI PUBLISHING

(2) 經驗學習 (learning lessons and take actions)：學習事件或事故錯誤的經驗，採取主動式或預測式風險管理的行動。



資料來源：HSE, 2013.

圖 6-13 PDCA 循環應用於安全管理系統

二 國內軌道運輸安全管理系統介紹 —— 高雄捷運公司之作法

高雄捷運公司 (Kaohsiung Rapid Transit Corporation; KRTC) 的安全管理計畫 (safety management plan; SMP) 主要係說明整體安全要求，及各項積極性及預防性之安全管理過程，以確保旅客、工作人員及大眾的安全。

安全管理計畫為最上位的計畫，係規範高雄捷運系統整體安全的目標值 (safety target)、安全管理相關工作，以及初步安全計畫、設計系統安全計畫、施工安全計畫、工程安全驗證計畫、先期營運安全計畫、營運安全驗證計畫與營運安全計畫等，落實高雄都會區大眾捷運系統的安全規劃、設計、施工、驗收、營運及維修工作，以期在合理而可行的情況下把風險降至最低。

著作權所有 侵害必究

華泰文化
HWA TAI PUBLISHING