



台鐵風險分析與評量

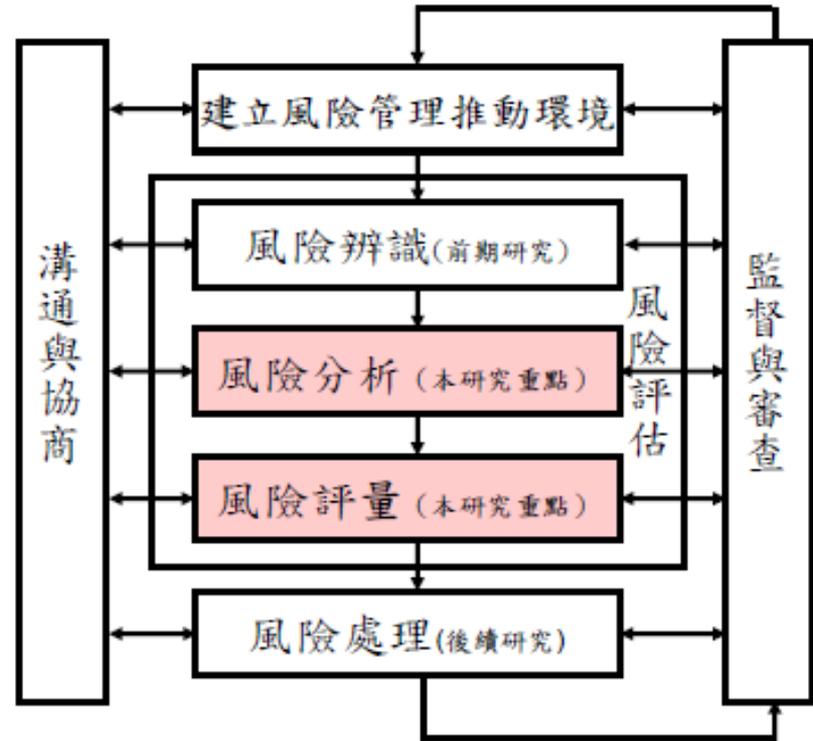
開南大學運科管系

陳一昌

風險管理

架構及程序

1. 風險辨識(Risk Identification)
2. 風險分析(Risk Analysis)
3. 風險評量(Risk Evaluation)
4. 風險處理(Risk Treatment)
5. 風險管理與監督
(Monitoring Risk Management)



[134]及本研究繪製

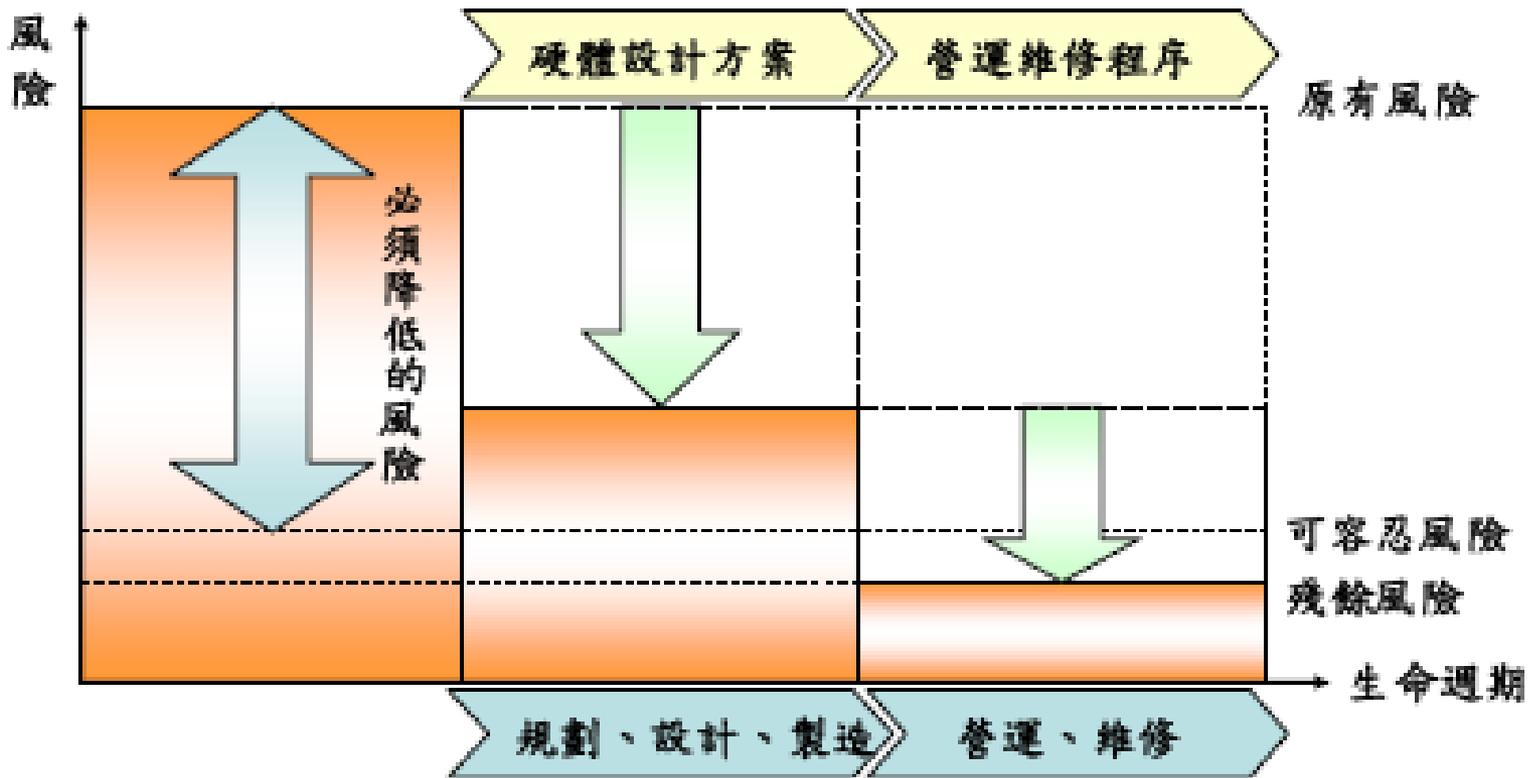
圖1-1 風險管理架構及程序

案例：*Improving Medication Safety*



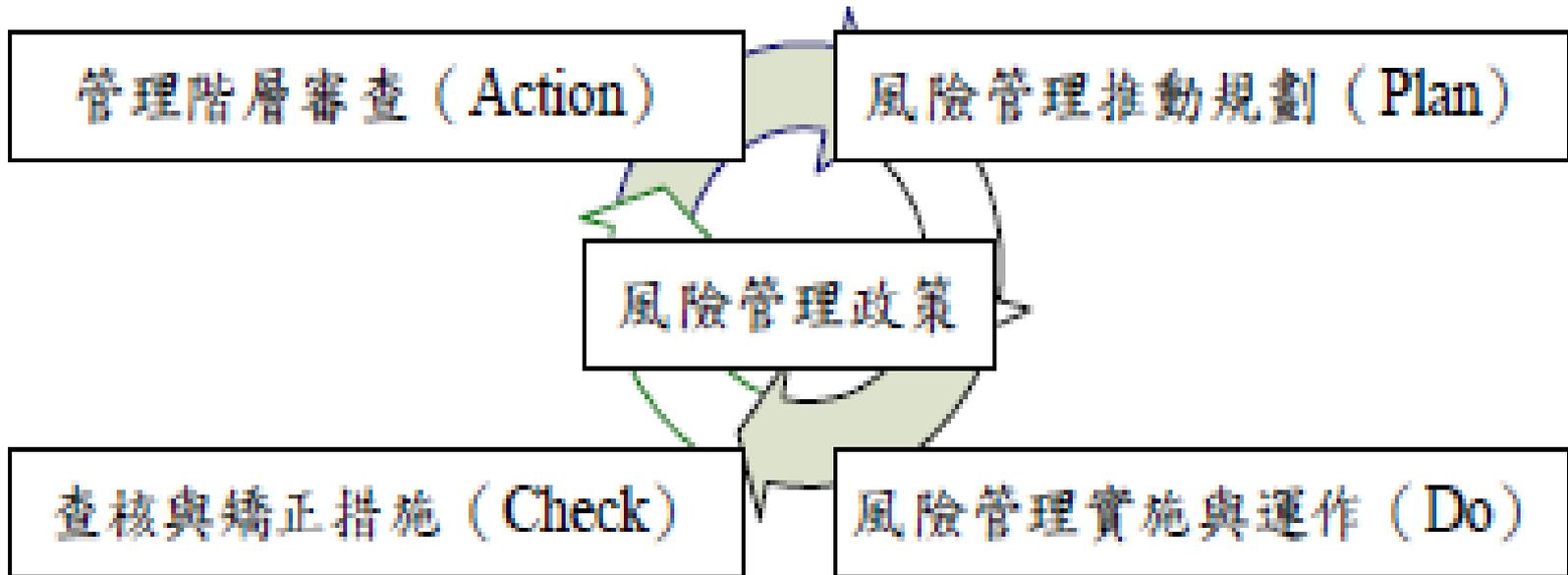
風險辨識回顧

- 降低系統風險的手段(硬體設計/營運維修)



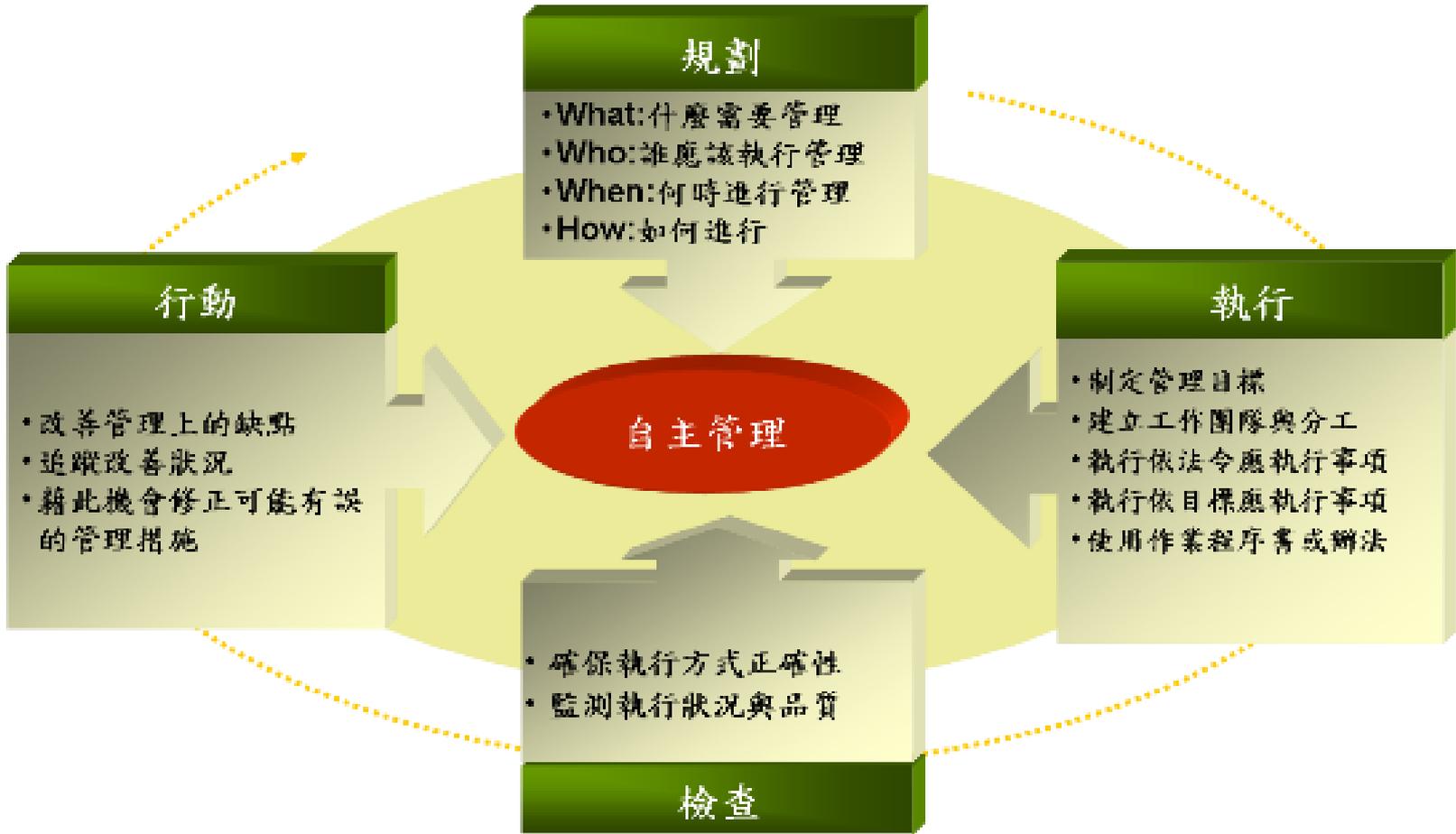
PDCA

- 整合性風險管理 (ISO 31000品質循環改善)



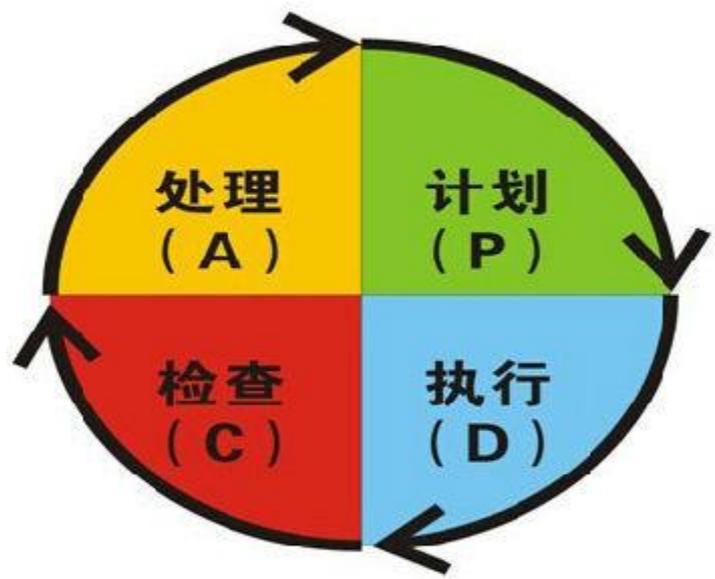
PDCA

PDCA流程內容示意

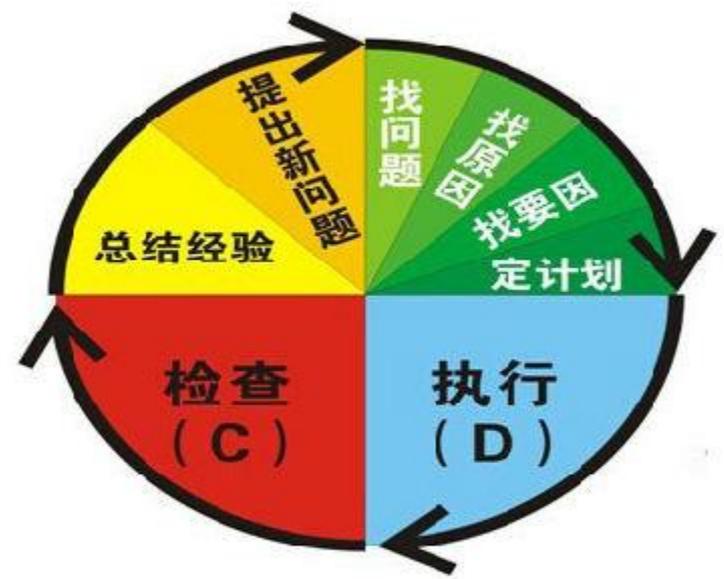


PDCA

工作方法:

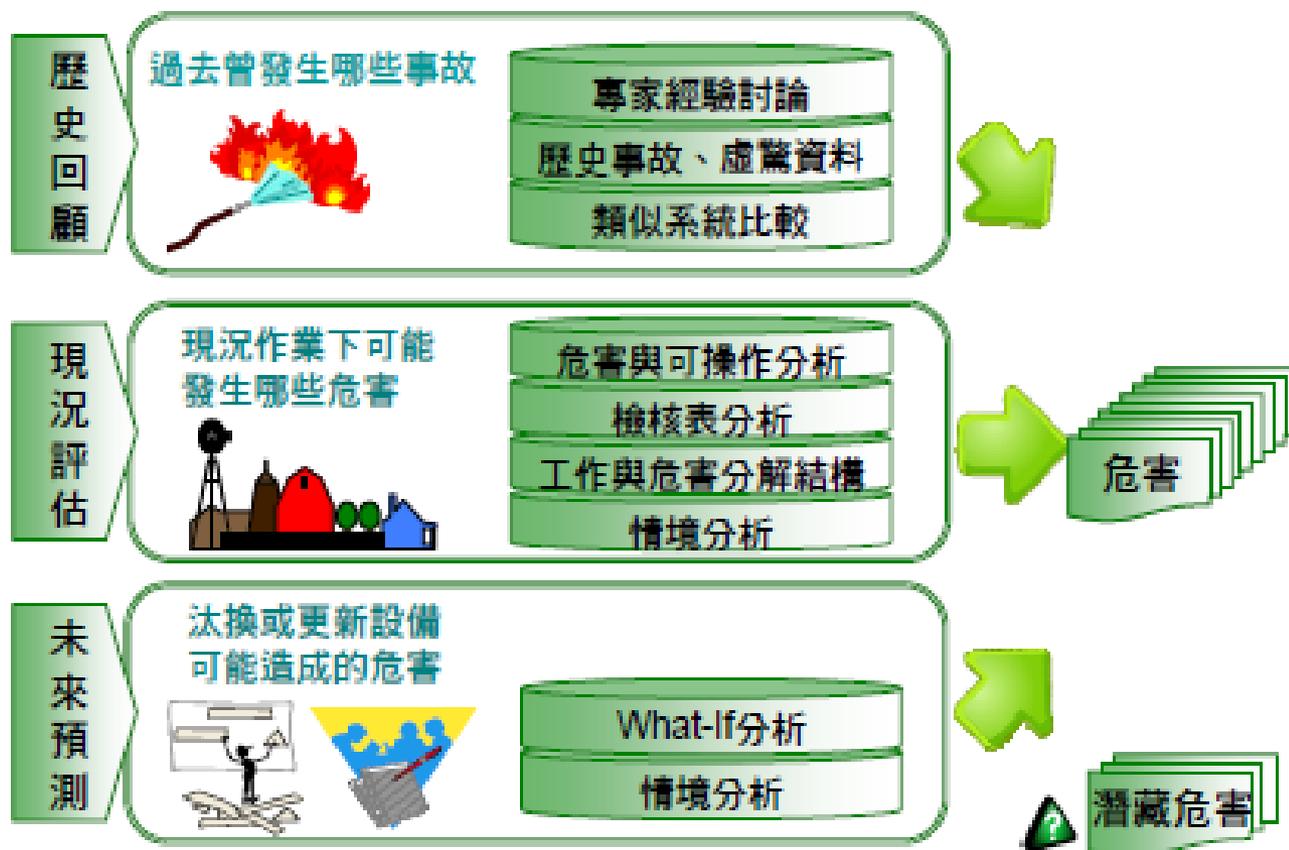


PDCA循环的四个阶段



PDCA循环的八个步骤

• 危害辨識方法



台鐵119項危害項目

列車危害	出軌	車站內載客列車出軌
		車站內-非載客列車出軌
		車站間-載客列車出軌
		車站間-非載客列車出軌
		機廠(段)內-鐵路車輛出軌
		平交道-載客列車出軌
	平交道-非載客列車出軌	
	碰撞	車站內-載客列車碰撞
		車站內-非載客列車碰撞
		車站內-載客列車與止衝檔碰撞
		車站內-非載客列車與止衝檔碰撞
		車站內-載客列車與障礙物碰撞
		車站內-非載客列車與障礙物碰撞
		車站間-載客列車碰撞
		車站間-非載客列車碰撞
		車站間-載客列車與障礙物碰撞
		車站間-非載客列車與障礙物碰撞
		機廠(段)內-鐵路車輛碰撞
		機廠(段)內-
		鐵路車輛與與公路車輛碰撞
機廠(段)內-鐵路車輛與止衝檔碰撞		
機廠(段)內-鐵路車輛與障礙物碰撞		
平交道-載客列車與公路車輛碰撞		
平交道-非載客列車與公路車輛碰撞		
平交道-載客列車與障礙物碰撞		
平交道-非載客列車與障礙物碰撞		
火災	車站內-載客列車火災	
	車站內-非載客列車火災	
	車站間-載客列車火災	
	車站間-非載客列車火災	
爆炸	機廠(段)內-鐵路車輛火災	
	載客列車爆炸 非載客列車爆炸	
移動危害	撞擊(含自殺)	
	車站內-撞擊旅客	
	車站內-撞擊員工	
	車站內-撞擊大眾	
	車站間-撞擊旅客	
	車站間-撞擊員工	
	車站間-撞擊大眾	
	機廠(段)內-撞擊員工	
	機廠(段)內-撞擊大眾	
	平交道-撞擊員工	
	平交道-撞擊大眾	
	滑倒/跌倒/摔倒	
	旅客滑倒/跌倒/摔倒	
	員工滑倒/跌倒/摔倒	
大眾滑倒/跌倒/摔倒		
摔入軌道		
旅客摔入軌道		
員工摔入軌道		
大眾摔入軌道		
攻擊		
旅客遭受攻擊		
員工遭受攻擊		
大眾遭受攻擊		
窒息		
觸電		
旅客觸電		
員工觸電		
大眾觸電		
非列車、車輛之撞擊		
旅客跳車		
刮傷、擦傷		

移動危害	物體墜落
	上下車摔倒
	夾傷
	遭列車門夾傷
	遭其他物體夾傷
	有害氣體/液體
	電磁波/輻射
	噪音
	溫度異常
	灼傷
非移動危害	火災
	車站(地下段)火災
	車站(平面段)火災
	車站(高架段)火災
	站間(地下段)火災
	站間(平面段)火災
	站間(高架段)火災
	機廠火災
	行控中心火災
	爆炸
車站爆炸	
站間爆炸	
機廠爆炸	
滑倒/跌倒/摔倒	
天橋-滑倒/跌倒/摔倒	
月台-滑倒/跌倒/摔倒	
地下道-滑倒/跌倒/摔倒	
電扶梯-滑倒/跌倒/摔倒	
樓梯-滑倒/跌倒/摔倒	
平交道-滑倒/跌倒/摔倒	
廁所-滑倒/跌倒/摔倒	
其他地點-滑倒/跌倒/摔倒	
摔入軌道	
攻擊	
旅客遭受攻擊	
員工遭受攻擊	
大眾遭受攻擊	
窒息	
旅客觸電(牽引電力系統)	
旅客觸電(非牽引電力系統)	
員工觸電(牽引電力系統)	
員工觸電(非牽引電力系統)	
大眾觸電(牽引電力系統)	
大眾觸電(非牽引電力系統)	
物體墜落	
夾傷	
非列車、車輛之撞擊	
有害氣體/液體	
電磁波/輻射	
噪音	
溫度異常	
灼傷	
溺斃	
刮傷、擦傷	
扭傷、拉傷	
地震	
自然危害	洪水
	車站(地下段)洪水
	車站(平面段)洪水
	站間(地下段)洪水
	站間(平面段)洪水
	機廠內洪水
強風	
山崩	
土石流	
雷擊	

軌道風險分析方法



表3.14 失效模式與效應分析表範例

系統 子系統	失效 模式	失效 效應	失效 原因	現況						建議	控制結果			
				現行 方式	檢測方式	嚴 重 性	發 生 率	檢 測 率	R.P.N.		建議措施	嚴 重 性	發 生 率	檢 測 率
列車 空調系統	濾網設備	異常阻塞	未定期 更換濾網	定期更換	目視	2	3	3	18	增設更換濾網提醒 濾網阻塞偵測設備	2	2	2	8
車站 飲水機	生飲系統	水質異常	施工不當 造成細菌 滋長	施工後 消毒	水質定期檢查	5	3	3	45	消毒記錄搭配水質檢驗 膜管出廠證明	5	2	2	20
			膜管品質 不良											
車廂 滅火器	滅火設備	乾粉 無法噴出	壓力不足	每3年 更換設備	目視	6	3	1	18	每月定期檢視壓力表	6	1	1	6
...

資料來源：[143]

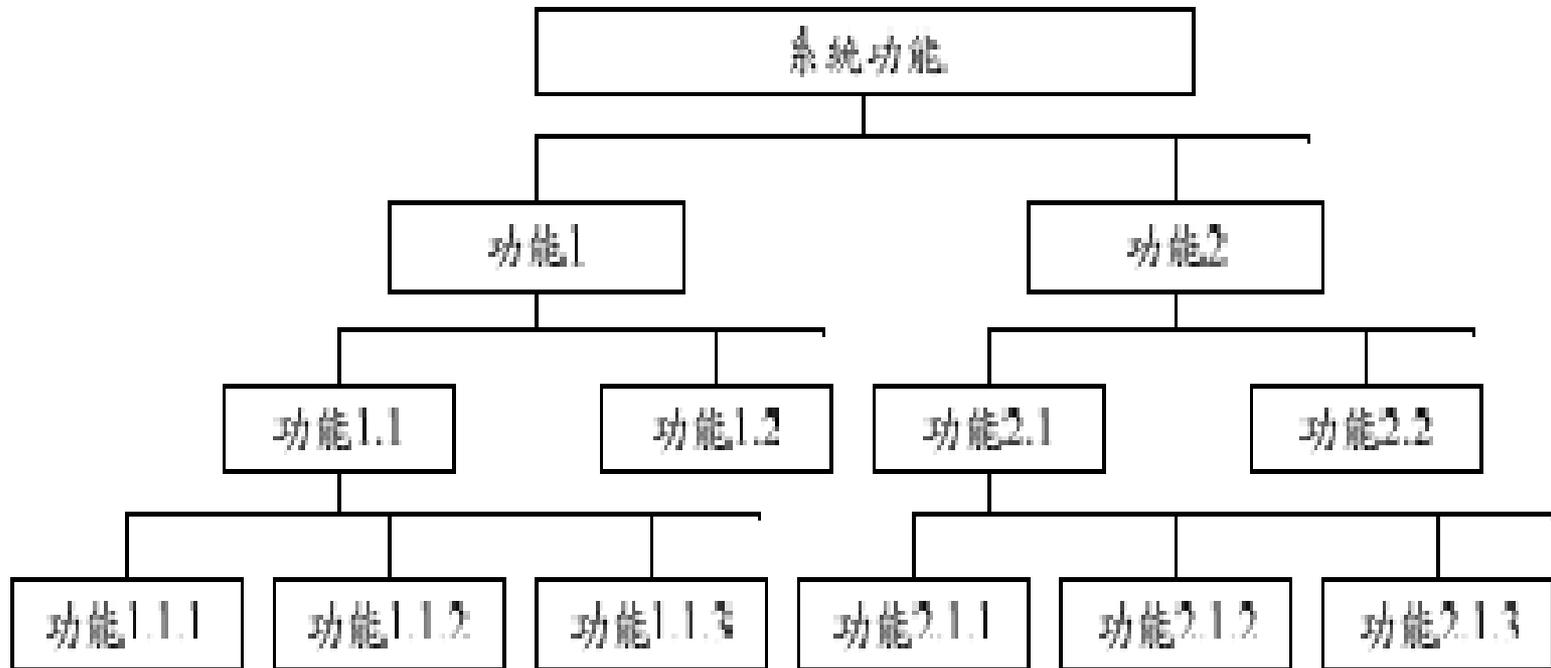
表3.15 關鍵性分析表範例

單元 編號	功能 規格	失效 模式	失效 原因	嚴重 等級	失效率 λ	失效效應 機率 β	失效模式 比例 α	操作 時間 t	失效模式 關鍵性值 C_m	單元 關鍵性值 C_r
E1	當控制電壓過高時， LED 發出光亮	開路	固有 失效	II	0.8×10^{-9}	1.0	0.51	8	3.264×10^{-9}	$C_{rI} = 0$
		短路	固有 失效	II	0.3×10^{-9}	1.0	0.37	8	0.888×10^{-9}	$C_{rII} = 4.152 \times 10^{-9}$
		飄移	磨耗	III	0.2×10^{-9}	0.01	0.12	8	0.00192×10^{-9}	$C_{rIII} \approx 0.002 \times 10^{-9}$
E2	薄膜式電阻限制集電 器電流	開路	固有 失效	II	0.5×10^{-9}	1.0	0.59	8	2.36×10^{-9}	$C_{rIV} = 0$
		短路	固有 失效	II	≈ 0	1.0	0.36	8	≈ 0	$C_{rII} = 2.360 \times 10^{-9}$
		飄移	磨耗	IV	≈ 0	0	0.63	8	≈ 0	$C_{rIII} = 0$
									$C_{rIV} = 0$	

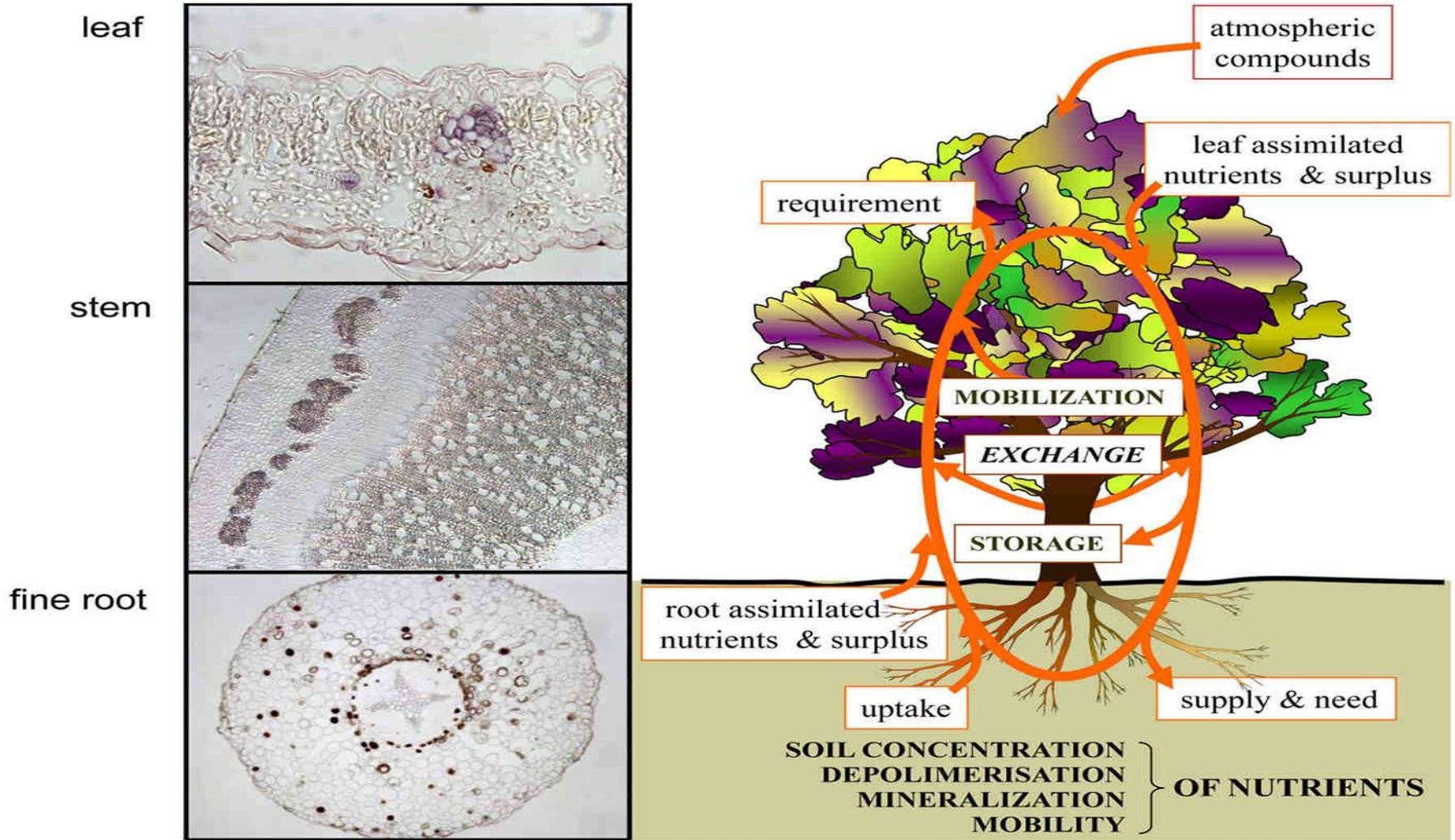
資料來源：[143]

● 功能樹

- 功能項目：必要、輔助、保護、資訊、介面.....

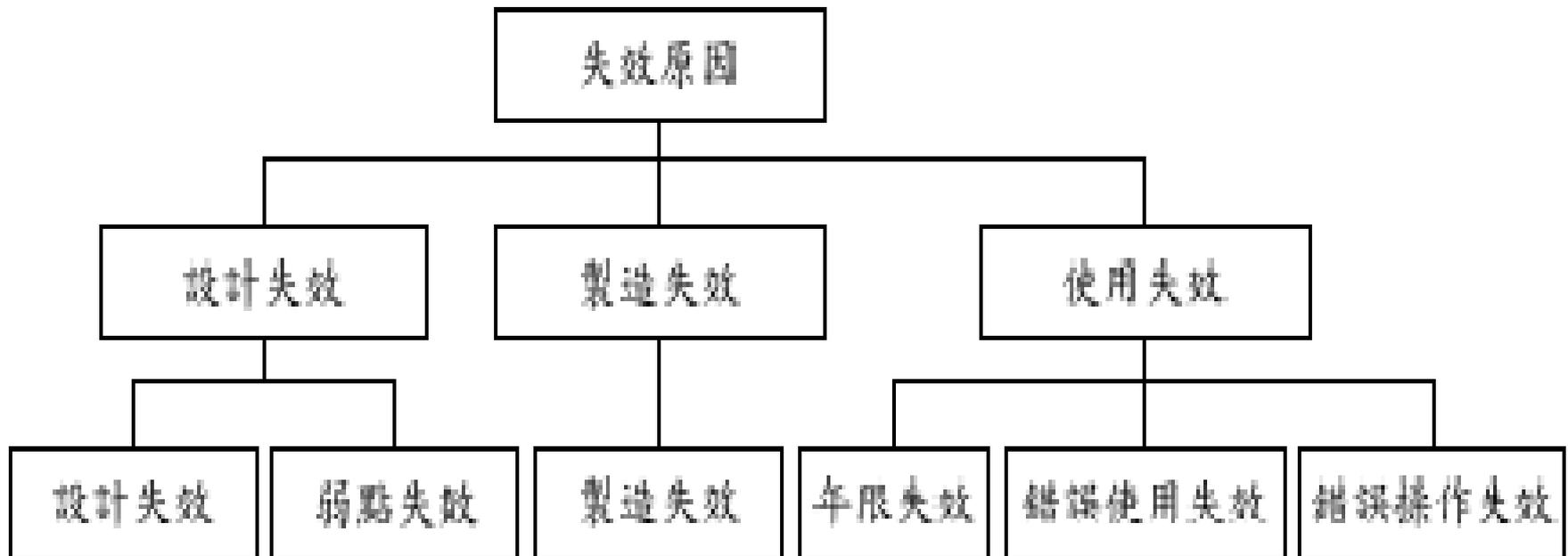


功能樹



● 失效模式

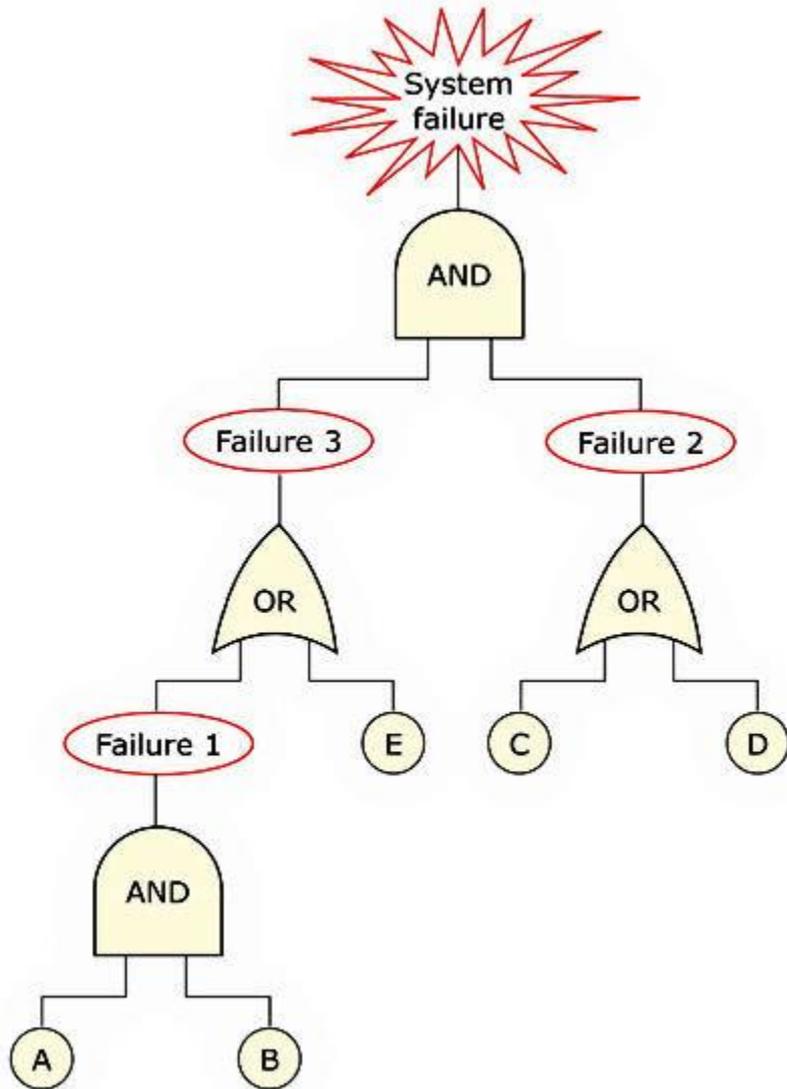
- 分類：人為、設備、環境、軟體.....



1. 設計失效 (Design Failure)：因不適當的功能設計所導致的失效。
2. 弱點失效 (Weakness Failure)：在功能能力範圍內，因遭受內部或外來的壓力所導致的失效。
3. 製造失效 (Manufacturing Failure)：設備在製造時未符合標準所導致的失效。
4. 使用失效 (Use Failure)：因使用所衍生的失效。
5. 年限失效 (Ageing Failure)：隨使用時間越久發生機率越高的失效。
6. 不當使用失效 (Misuse Failure)：因不當使用超出功能能力範圍時所造成的失效。
7. 錯誤操作失效 (Mishandling Failure)：在功能能力範圍內，但因不正確的操作所導致的失效。

● 失誤樹分析(Fault Tree Analysis, FTA)

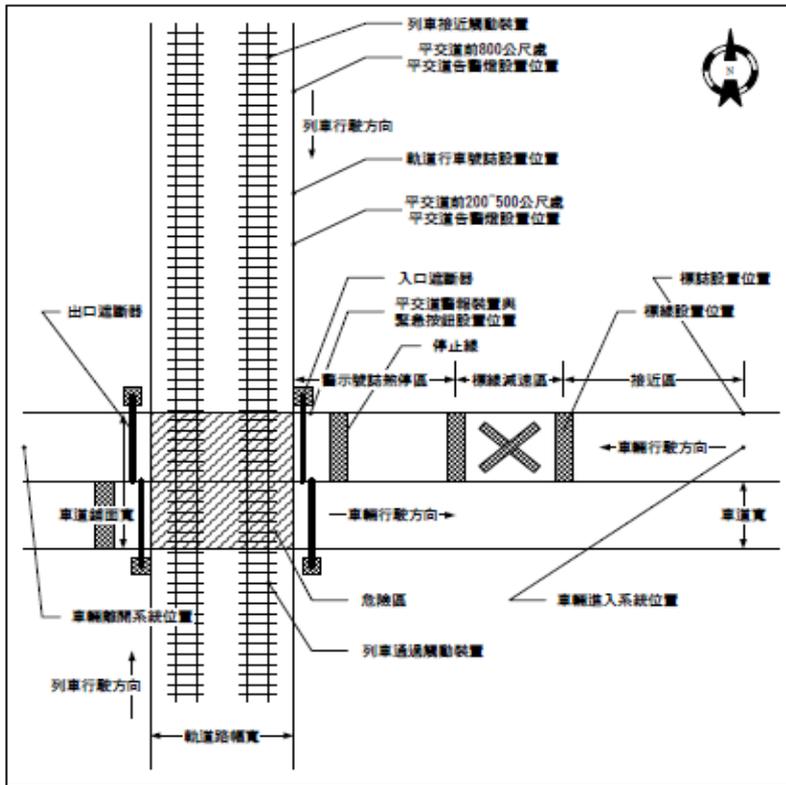
FTA 係 1960 年美國開發洲際彈道飛彈時，美國國防部得到貝爾 (Bell) 電話研究所技術支援而開發的一種方法，當時的應用案例中，儘針對三項不期望發生的危害（飛彈不慎發射、彈藥意外點火、不正常發射）進行分析，再對飛彈發射管制系統進行安全評估，即可分析此複雜的系統並予以控制。由於對人員安全的要求與日漸增，因此這項技術便被廣泛的應用到人造衛星開發、汽車工業各階段之開發與設計、化學工廠工業系統、核能發電廠、營建工程、軌道系統等有重大安全顧慮的系統上，以防止重大災害發生。



The method used to analyze the causes of defects.

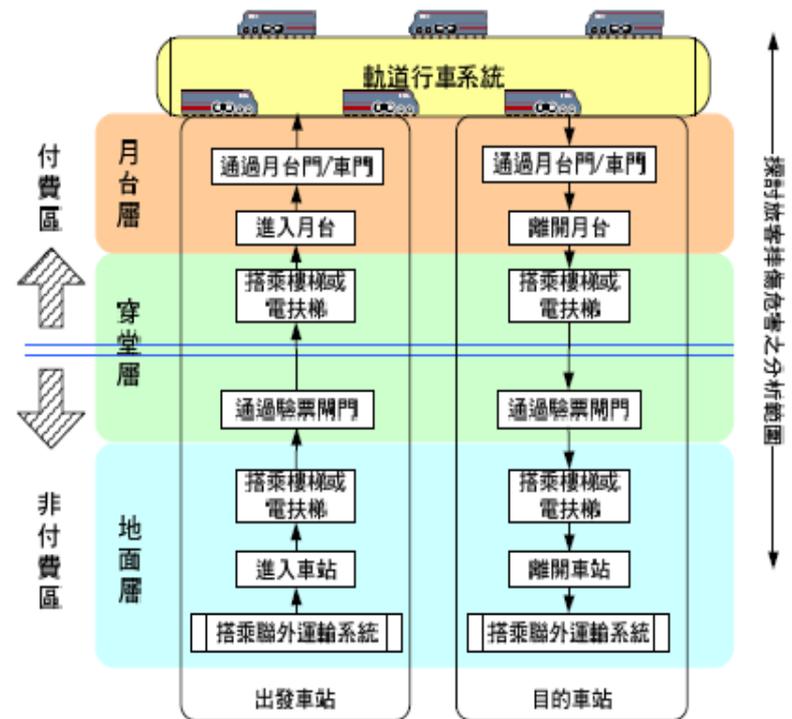
作業程序

1. 選擇頂端事件(top event)
2. 界定範圍(空間或流程)



資料來源：[125, 149]及本研究繪製

圖3-6 以「空間」界定分析範圍示意圖



資料來源：[118, 127]及本研究繪製

圖3-7 以「流程」界定分析範圍示意圖

3. 釐清設備與關係者

- ✓ 防止危害發生之設備與人員
- ✓ 故障或失效後可能導致危害發生之設備與人員

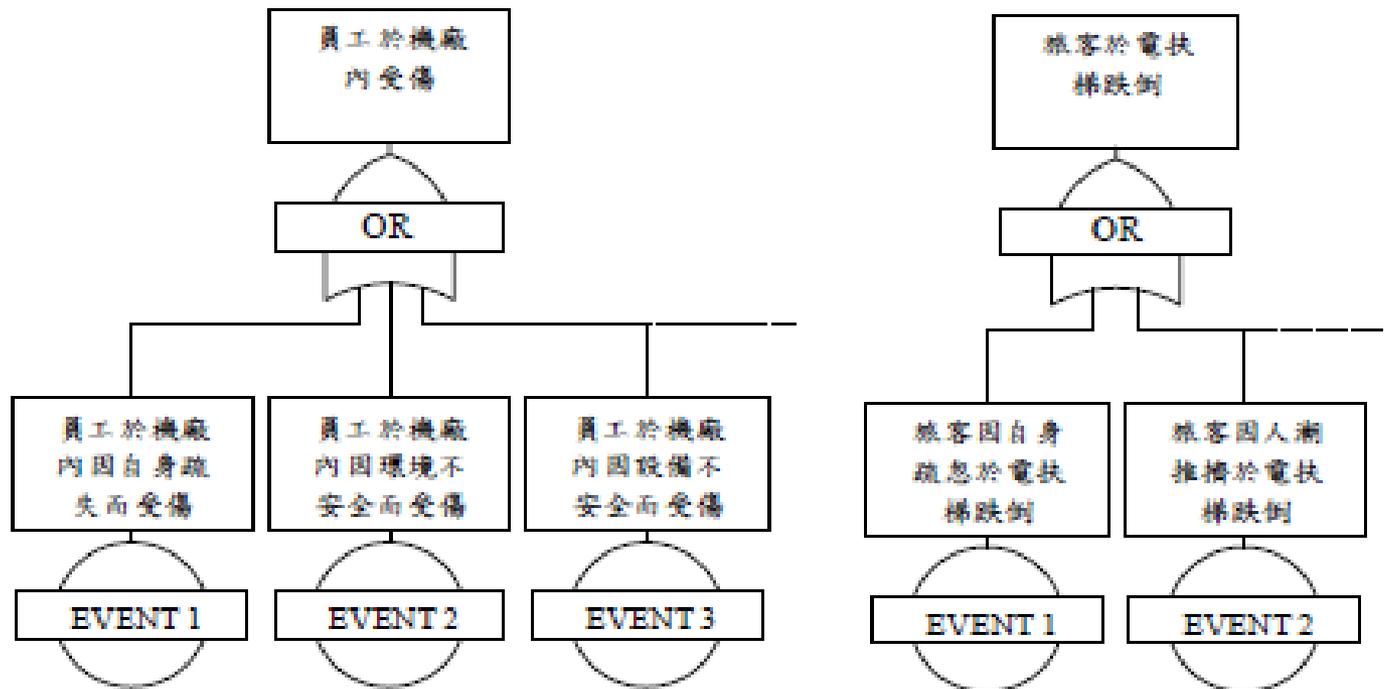
4. 思考可能的失效情形



資料來源：[127]

圖3-8 用路人通過平交道行為

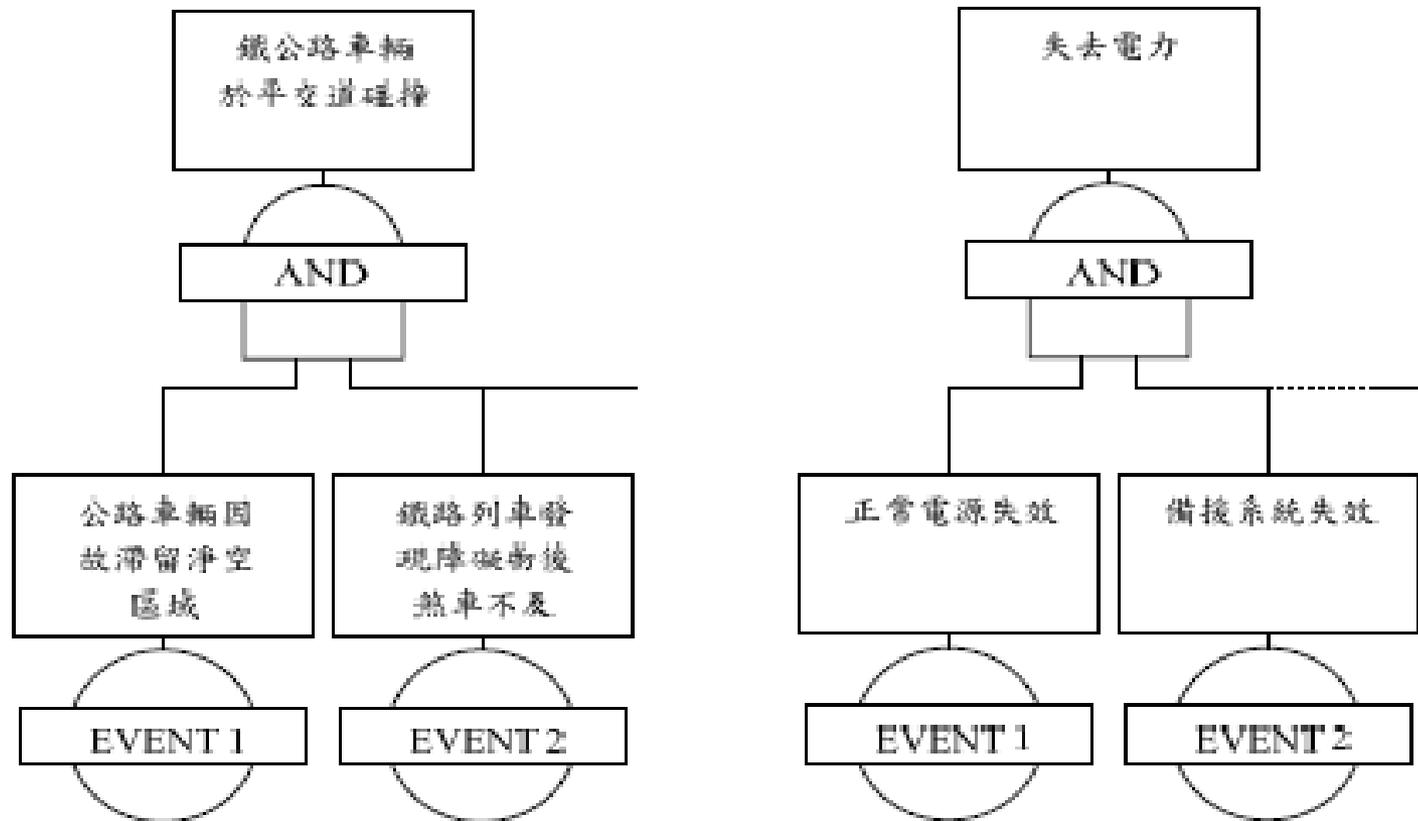
5. 分析失效或危害情境與原因



註：本圖僅供輔助說明，並非完整失誤樹。

資料來源：[127]

圖3-9 任一情境即可造成危害發生之範例



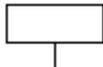
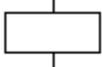
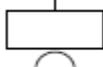
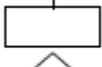
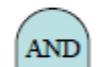
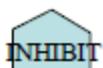
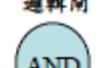
註：本圖僅供輔助說明，並非完整失誤樹。

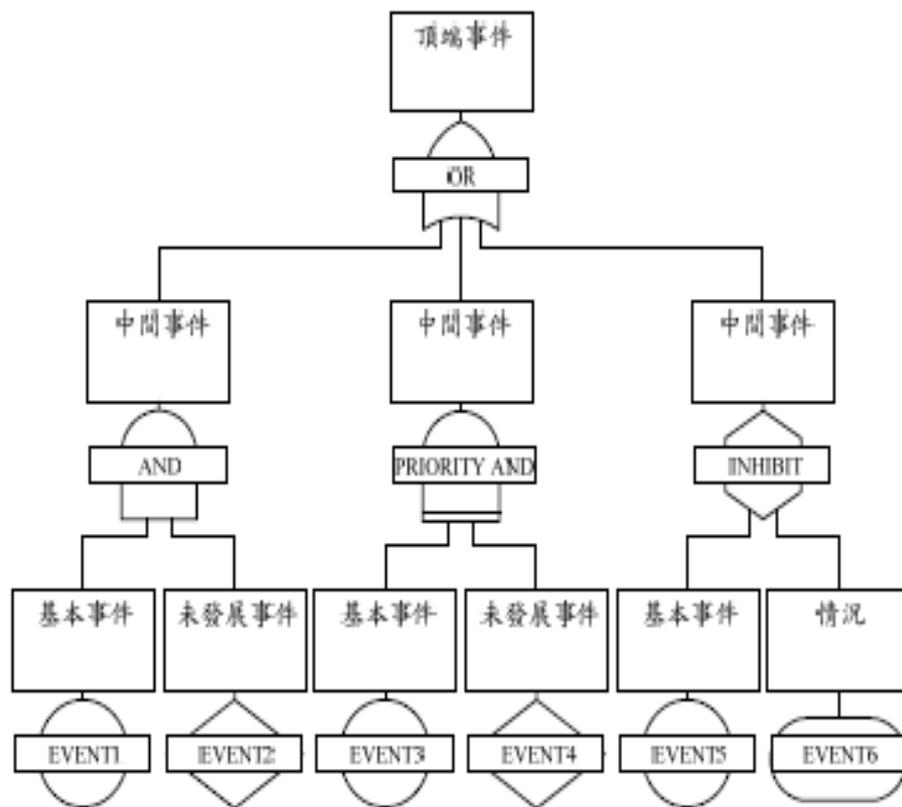
資料來源：[127]

圖3-10 同時滿足條件方可造成危害發生之範例

6. 建構失誤樹

表3.19 失誤樹常用分析符號一覽表

頂端事件 	代表「危害項目」，是失誤樹分析的起點。	中間事件 	通常代表「失效」，為分析過程中的事件
基本事件 	分析的末端，通常是設備、元件故障，或人為失效，可用圓形表示	未發展事件 	有時因資料有限或超出分析範圍時，用來表示無法深入分析之事件，可用菱形表示
「或」邏輯閘 	只要其中一種「下層失效」發生，就會導致「上層失效」。	「且」邏輯閘 	當所有「下層失效」都發生，才會導致「上層失效」發生。
條件邏輯閘 	描述下層事件只有在某一種「情況」下才會導致上層事件發生。	順序的「且」邏輯閘 	當所有「下層失效」都按照順序發生（通常由左至右），才會導致「上層失效」發生。



資料來源：[127]

圖3-11 失誤樹圖示範例

7. 驗證失誤樹

- ✓ 從歷史事故資料驗證
- ✓ 從專家經驗驗證

由於許多虛驚事件或潛在危害無法從歷史資料中發現，且實務上營運可能遭逢的問題還是有賴營運單位內部專家提供建議，此外考量非營運單位的專家學者因不具備刻板印象，有時較容易發現系統既有人員一直忽視的安全問題，因此構建的失誤樹務必經由系統內部專家與外部學者共同審視，反覆討論並修改確認後才算完成。

失誤樹方法優點與限制

失誤樹分析的優點包括有：

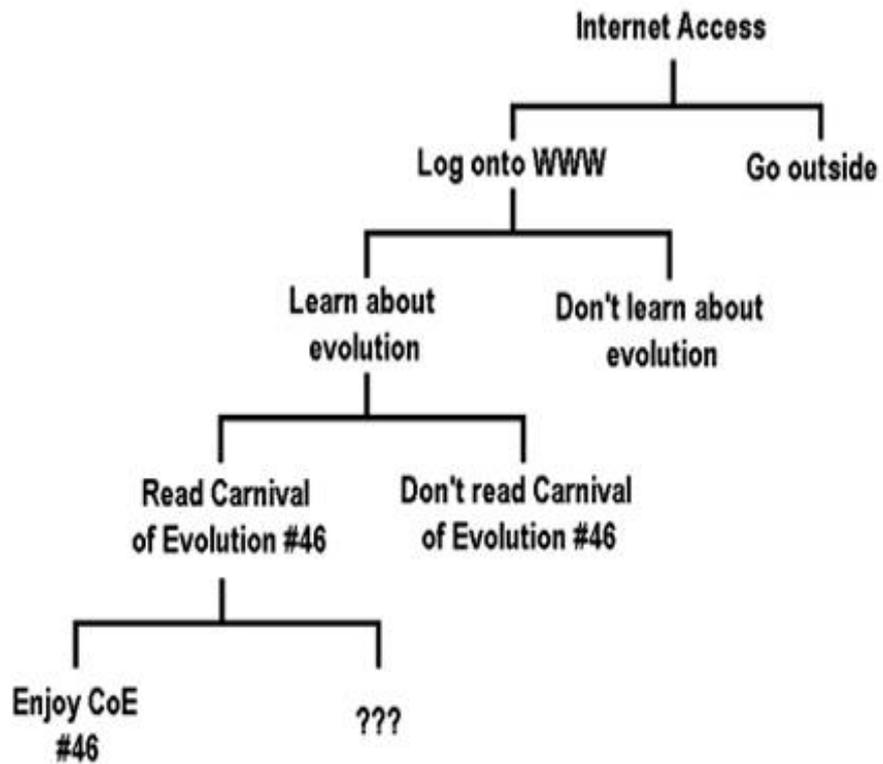
1. 分析範圍廣，包括人為、設備、環境之失誤。
2. 因果關係明確，對事故發生的各種原因及邏輯關係能做出明確地描述，從而使相關人員瞭解和掌握安全控制的要點和措施。
3. 可根據基本事件發生失效的機率，確定各基本事件對頂端事件的影響程度與重要性。
4. 透過重要性分析，可確定對各基本事件進行安全控制所應採取措施的優先順序。

失誤樹分析的限制包括有：

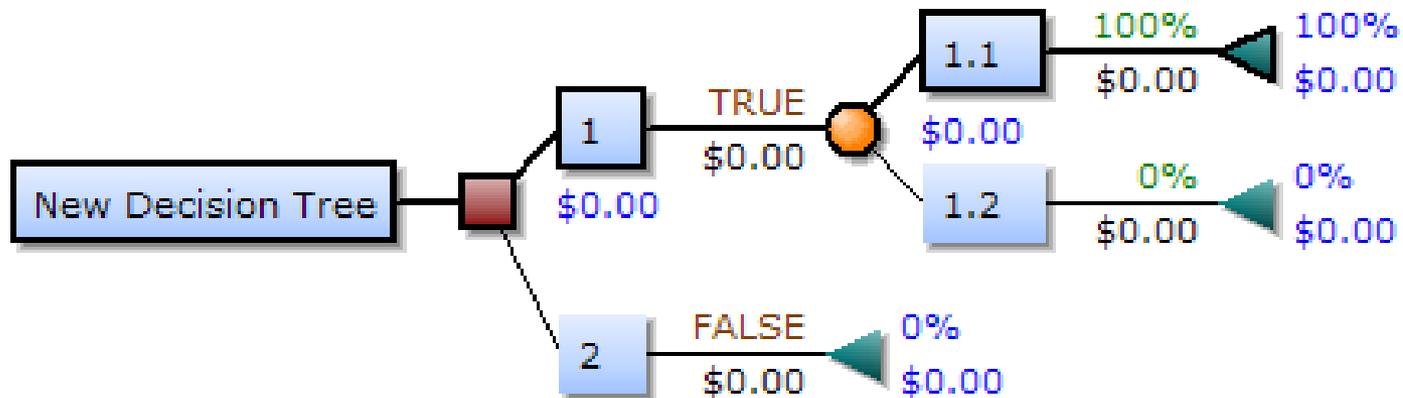
1. 分析人員必須非常熟悉所分析的對象系統，否則分析結果會與實際情況不符。
2. 對於複雜系統，失誤樹模型會較龐大且計算也較為複雜，增加定性、定量分析之困難度。

● 決策樹分析

- 決策樹分析(Decision Tree Analysis, DTA)：機器學習中，決策樹是一個預測模型；他代表的是對象屬性與對象值之間的一種映射關係。樹中每個節點表示某個對象，每個分叉路徑則代表的某個可能的屬性值，每個葉結點則對應 從根節點到該葉節點所經歷的路徑所表示的對象的值。決策樹僅有單一輸出，若欲有複數輸出，可以建立獨立的決策樹以處理不同輸出。資料探勘(data mining)中決策樹是一種經常要用到的技術，可以用於分析數據，同樣也可以用來作預測。



- 一個決策樹包含三種類型的節點：
 - ✓ 1. 決策節點——通常用矩形框來表式
 - ✓ 2. 機會節點——通常用圓圈來表式
 - ✓ 3. 終結點——通常用三角形來表示



決策樹應用例

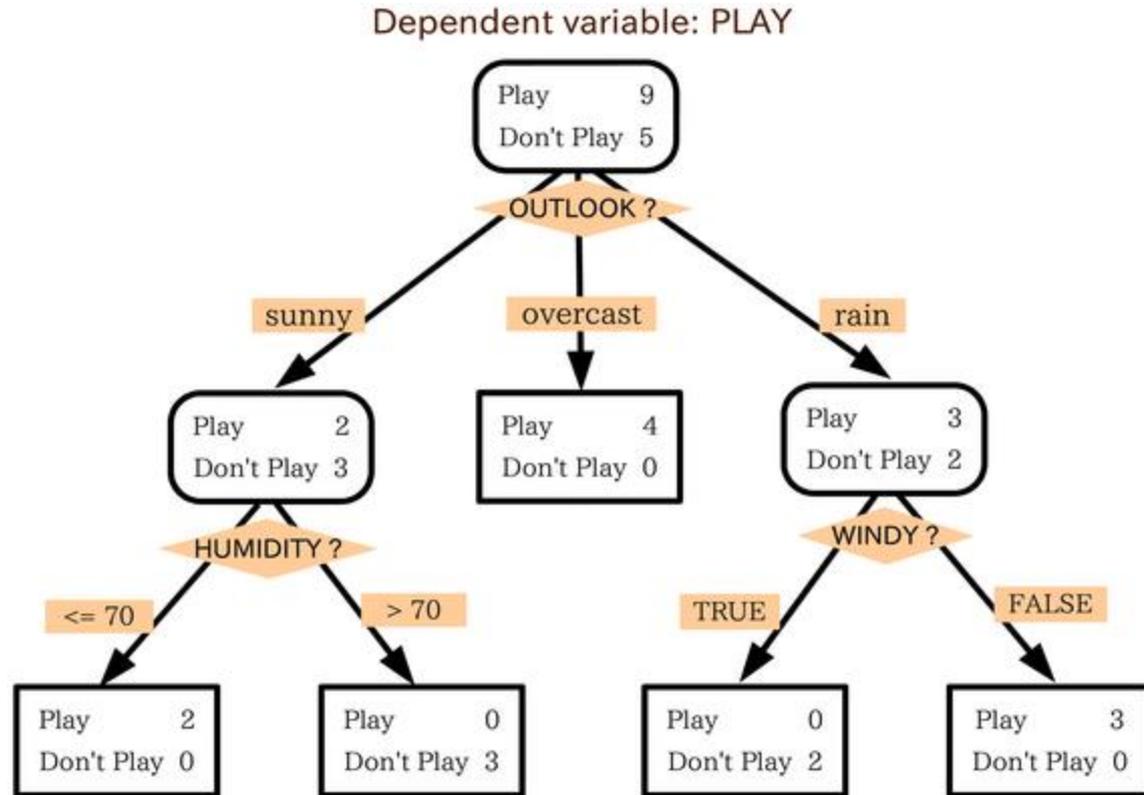
- 情境：小王是一家著名高爾夫俱樂部經理。小王的目的是通過下週天氣預報尋找什麼時候人們會打高爾夫，以適時調整僱員數量。
- 在2周時間內我們得到以下記錄：
- 天氣狀況有晴，雲和雨；氣溫用華氏溫度表示；相對濕度用百分比；還有有無風。當然還有顧客是是。在這些日子光顧俱樂部。最終他得到了14行5列的數據表格。

Play golf dataset

Independent variables				Dep. var
OUTLOOK	TEMPERATURE	HUMIDITY	WINDY	PLAY
sunny	85	85	FALSE	Don't Play
sunny	80	90	TRUE	Don't Play
overcast	83	78	FALSE	Play
rain	70	96	FALSE	Play
rain	68	80	FALSE	Play
rain	65	70	TRUE	Don't Play
overcast	64	65	TRUE	Play
sunny	72	95	FALSE	Don't Play
sunny	69	70	FALSE	Play
rain	75	80	FALSE	Play
sunny	75	70	TRUE	Play
overcast	72	90	TRUE	Play
overcast	81	75	FALSE	Play
rain	71	80	TRUE	Don't Play

決策樹模型

- 分類樹演算法可以通過變數 outlook，找出最好地解釋非獨立變數 play（打高爾夫的人）的方法。變數 outlook 的範疇被劃分為以下三個組：**晴天**，**多雲天**和**雨天**。
- 結論：(1)如果天氣是**多雲**，人們總是選擇玩高爾夫，而只有少數很著迷的甚至在雨天也會玩。
- (2)把**晴天**組的分為兩部分，發現顧客不喜歡濕度高於70%的天氣。
- (3)如果**雨天**還有風的話，就不會有人打了。
- 解決方案。小王（老闆）在晴天，潮濕的天氣或者颶風的雨天解僱了大部分員工，因為這種天氣不會有人打高爾夫。而其他的天氣會有很多人打高爾夫，因此可以僱用一些臨時員工來工作。

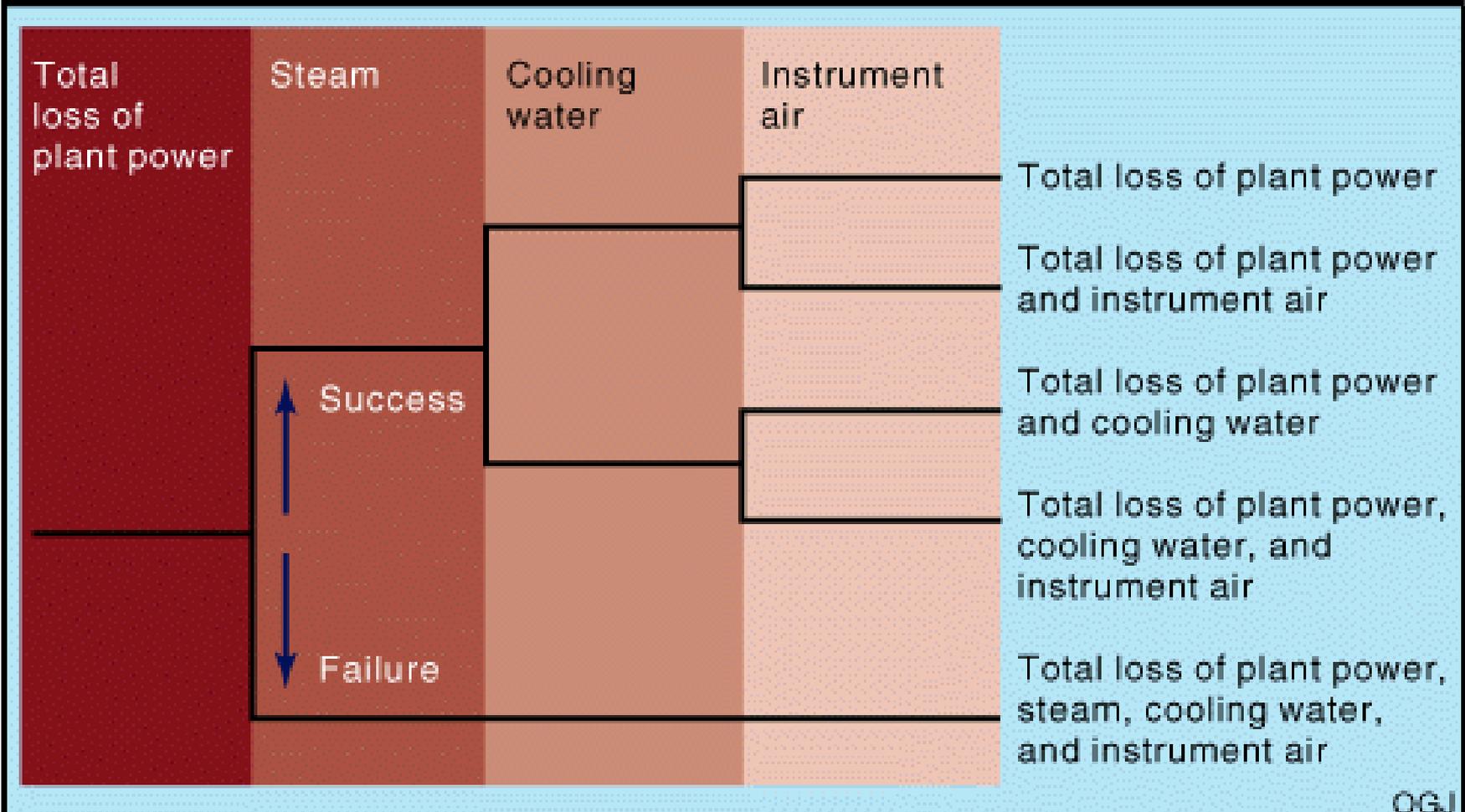


● 事件樹(Event Tree Analysis, ETA)

ETA 起源於決策樹分析(Decision Tree Analysis, DTA)，約在 1970 年代初期，先自核能電廠的危害分析開始，如美國政府於 1975 年對商業用核電廠的安全評估報告(WASH-1400)^[73]，後續再應用於石化工業或煉油業，如英國政府於 1978 年對泰晤士河口石化工業區實施的風險評估(CANVEY)^[43]。

- 按事故發展的時間順序，由初始事件開始，推論各類防護層或情境之成功或失敗後，可能之後果，並可將其發生機率加以量化，適合應用於分析可能引發出不同情境的基本事件，貨逾億襪後作為鑑定結果之工具，主要目的為探討影響危害嚴重度之關鍵。

SAMPLE EVENT TREE FOR PLANT POWER FAILURE



事件樹分析

- 作業程序
- 1. 選定嚴重性指標

表3.21 歷史事故資料嚴重性統計範例

指標 情境	等效死亡					財產損失				環境影響			
	0	1~2	3~5	6~20	>20	無	低	中	高	無	低	中	高
情境 A		✓				✓				✓			
情境 B			✓				✓				✓		
...													

註：本表僅舉例說明，表中財產損失與環境影響若有合適量化範圍亦可採用。

2. 分析關鍵事件：平交道撞擊 (公路駕駛人行為、公路機動車輛種類、列車速度、列車載重、公路車輛是否起火.....)
3. 釐清各關鍵事件的因果關係：韓國大邱地鐵2003縱火案 (是否成功偵測到列車火災、火災是否成功抑制、司機員有否通報行控中心並協助旅客逃生、旅客有否逃脫該列車、旅客有否經逃生通道離開現場、旅客是否抵達安全區域)

4. 構建事件樹

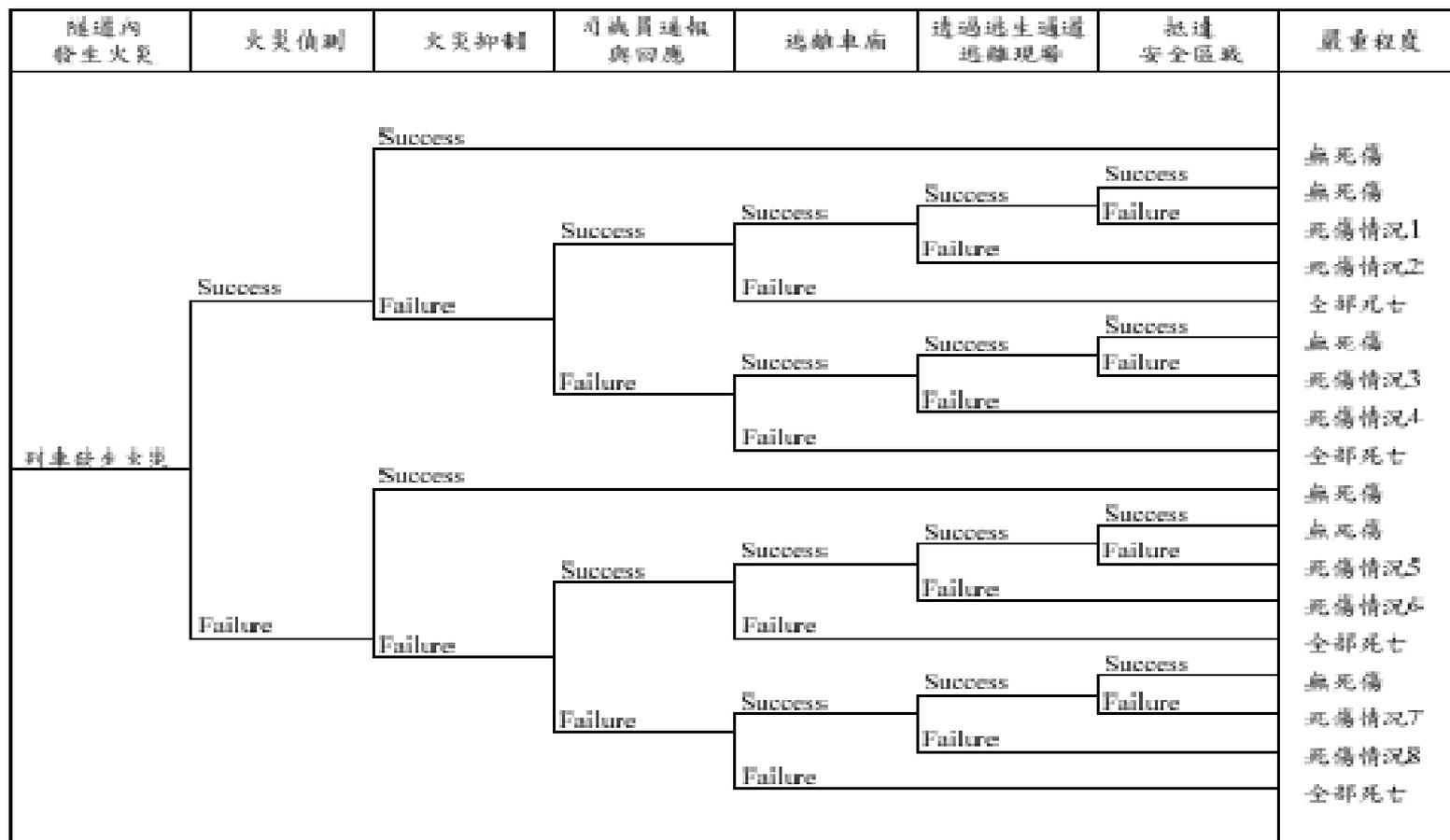


圖3-18 事件樹圖示範例

5. 驗證事件樹：檢視每一個關鍵事件是否於是發後都能被觀測並紀錄，確保後續量化分析的可行性。

事件樹分析的優點包括有：

1. 層次清楚直觀，便於了解嚴重事故的發展過程，應用於重大問題的決策。
2. 方便計算每一個節點的機率，有利定量分析。

事件樹分析的限制為：

1. 事件樹成長非常快，為了保持合理的規模，有時可能分析的不太細緻，且保留的分支關鍵受分析人員的主觀影響。
2. 若沒有明顯影響嚴重度的關鍵事件時不適用。

• 事件樹優點與限制

事件樹分析的優點包括有：

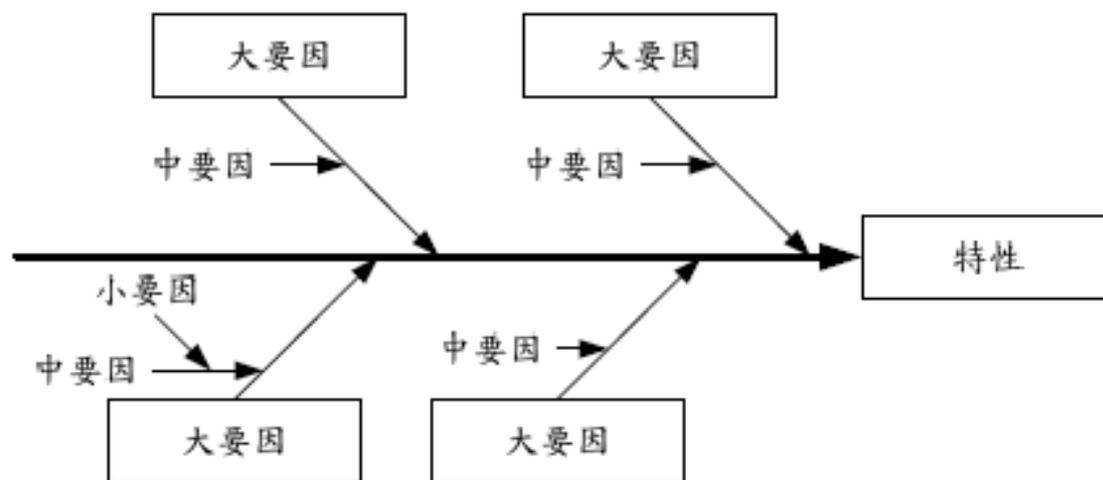
1. 層次清楚直觀，便於了解嚴重事故的發展過程，應用於重大問題的決策。
2. 方便計算每一個節點的機率，有利定量分析。

事件樹分析的限制為：

1. 事件樹成長非常快，為了保持合理的規模，有時可能分析的不太細緻，且保留的分支關鍵受分析人員的主觀影響。
2. 若沒有明顯影響嚴重度的關鍵事件時不適用。

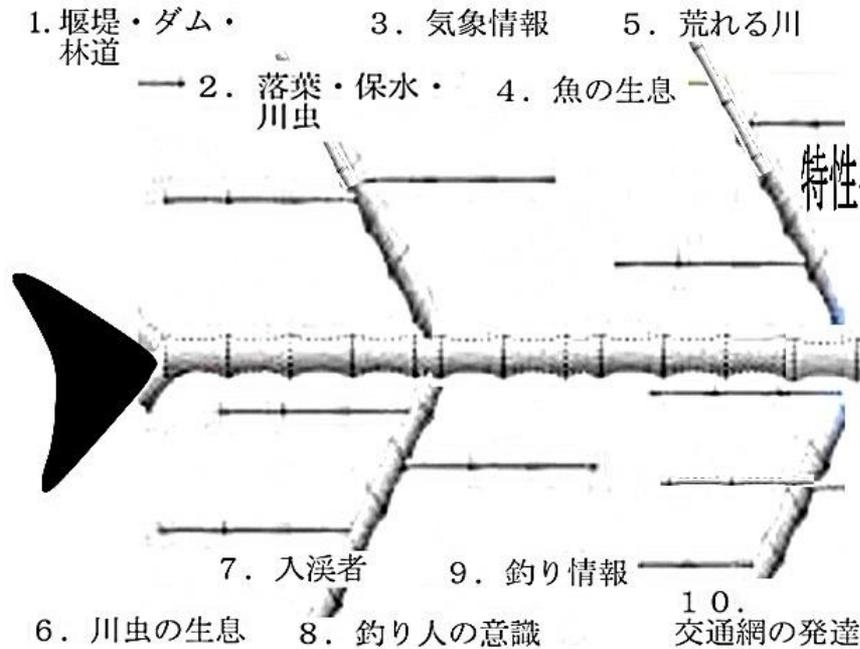
● 特性要因圖(CED)

如圖 3-24所示，當一個問題的特性（或結果）受到一些要因（原因）影響時，將這些要因加以整理，成為有相互關係且有條理的圖形，這個圖形稱為特性要因圖（CED），由於這方法最早於 1943 年由日本品管大師石川馨（Kaoru Ishikawa）所創，因此也有人稱之為石川圖（Ishikawa Diagram）。此外，該圖形類似魚骨之關係，因此常被稱為「魚骨圖」（Fish-Bone Diagram），以下亦使用魚骨圖之名稱來說明。



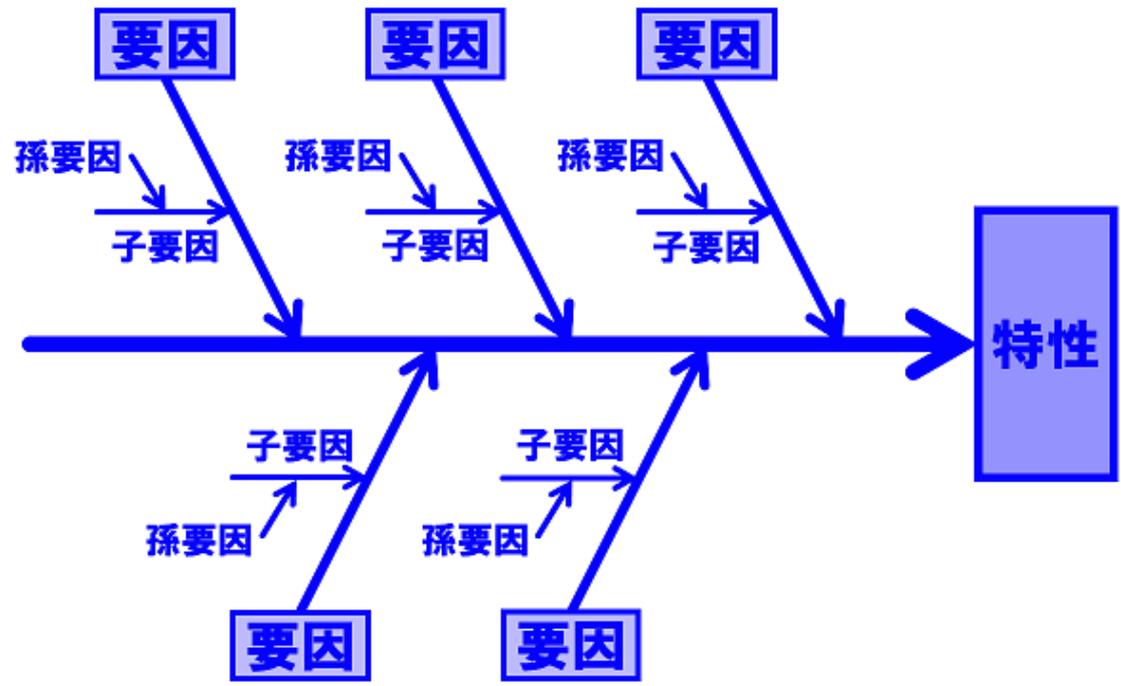
資料來源：[61]

圖3-24 特性要因圖（魚骨圖）範例



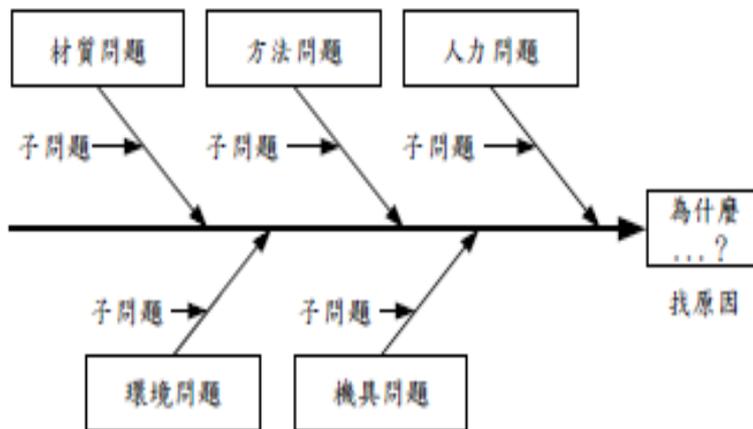
特性要因図：魚の骨

私は(魚)何故釣れなくなったのか？



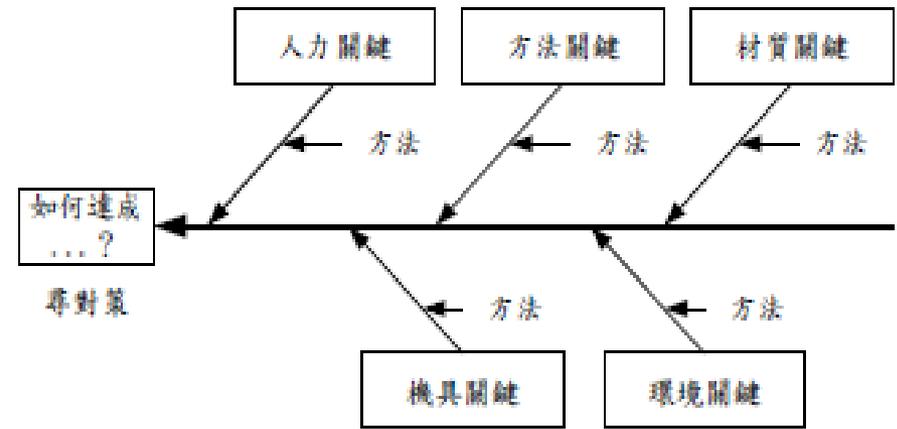
特性要因圖	原因型	對策型
魚頭方向	向右	向左
箭頭所指	問題	目的
魚身(要因)	原因	對策或手段
如何發問	Why	How

資料來源：[61]



資料來源：[61]

圖3-25 原因型特性要因圖



：[61]

圖3-26 對策型特性要因圖

5M思考：人力(Manpower)、方法(Methods)、材質(Materials)、機具(Machinery)、環境(Milieu)

● 人為錯誤危害與可操作性分析 (Human Error Hazard and Operability Study, HAZOP)

HAZOP 最早應用在化學產業製程的安全管理上，主要透過整合各個領域專家的經驗，逐一檢核製程中各個階段可能發生的異常，進一步探討造成異常的原因與後果以謀求改善之道，屬於創造性、系統性與腦力激盪的一種方法，最大的特色乃藉由「關鍵字」引導分析人員的思考方向，藉以挖掘容易被忽視的安全問題^[21, 119]，此方法後來被進一步發展為探討人為錯誤的 1 種分析方法^[41]，藉由開放性思考的優點探討潛在的人為錯誤。

Nanofunktionalisierte Textilien
Chance oder Risiko?



HAZOP作業程序

1. 組成專家團隊
2. 思考分析任務，包含所有子任務
3. 透過關鍵字思考每個子任務可能的錯誤

表3.24 Human Error HAZOP 關鍵字

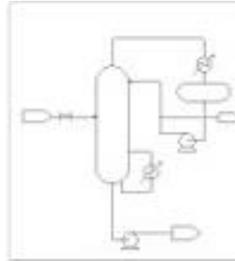
沒做 (not done)	重複 (repeated)
太多 (more than)	太快 (sooner than)
太少 (less than)	太慢 (later than)
和...一樣 (as well as)	弄錯順序 (mis-ordered)
除了 (other than)	部分 (part of)

資料來源：[101]

4. 思考錯誤導致的後果
5. 思考錯誤的可能原因
6. 分析錯誤是否有機會被改正
7. 思考改善方法



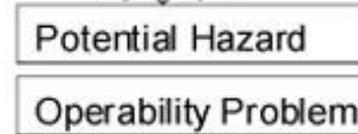
HAZOP分析中心



HAZOP ID	HAZOP	DESCRIPTION	INITIALS	STATUS	COMMENTS	DATE
01-001	Distillation Column	Control of pressure	01-001, 01-002	Open	To be checked	01-001
01-002	Distillation Column	Control of temperature	01-001, 01-002	Open	To be checked	01-001
01-003	Distillation Column	Control of level	01-001, 01-002	Open	To be checked	01-001
01-004	Distillation Column	Control of flow	01-001, 01-002	Open	To be checked	01-001
01-005	Distillation Column	Control of composition	01-001, 01-002	Open	To be checked	01-001



Notice



HAZOP

HAZID



FMEA

WHAT IF...

• HAZOP優點與限制

Human Error HAZOP 的優點包括有：

1. 有機會發掘原本料想不到的問題。
2. 實務上已有很多領域採用且都有不錯的效果。
3. 相較於其他由單一分析者適用的方法，結合團隊經驗與智慧可以避免疏漏與偏執。
4. 操作程序簡單。

Human Error HAZOP 的限制包括有：

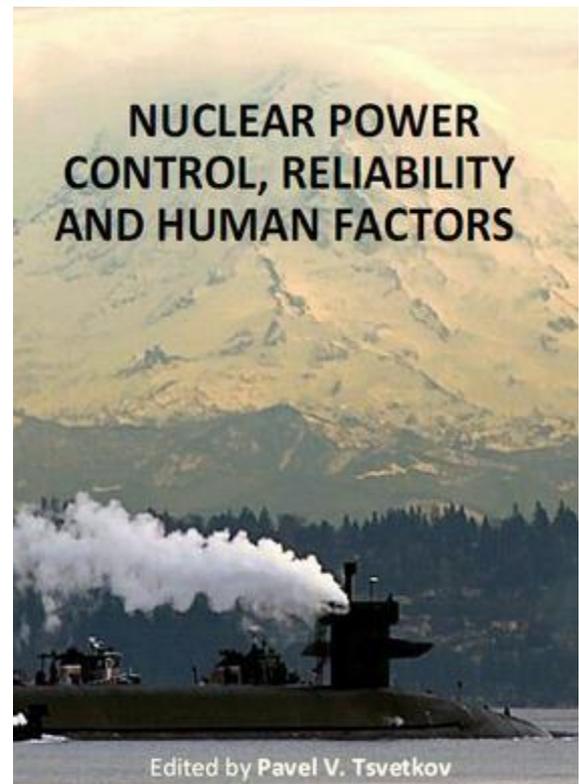
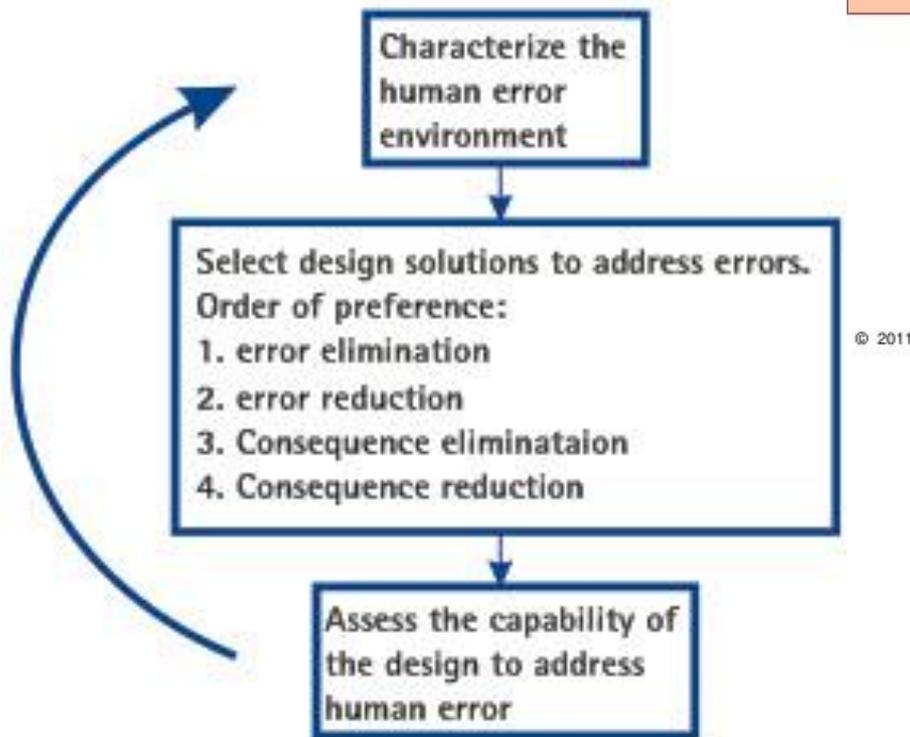
1. 所需時間長。
2. 若不能找齊組織內不同部門的成員一同參與，則分析結果很可能有疏漏，但實務上不同部門的人員要找到同時有空的時間相當困難。
3. 執行過程中會產生很多過程文件需要思考與分析。
4. 團隊中若有意見強烈者會造成困擾。

● 人為錯誤評估及降低技術 (Human Error Assessment and Reduction Technique, HEART)

HEART 之方法係 J.C. Williams^[113]於 1985 年首度於研討會中提出，並於 1986~1988 年陸續發展成完整的人為可靠度評估技術(Human Reliability Assessment, HRA)，發展理念是期望可以快速簡便的估算人為失誤率，已被廣泛應用於核能、化學、飛航、醫療、鐵路等工業中，且被更廣泛開發成其他特定系統的 HRA 技術，如：專為飛航安全設計的 CARA (Controller Action Reliability Assessment)、專為核能安全設計 NARA (Nuclear Action Reliability Assessment)。在軌道系統的應用上，英國於 2004 進行鐵路司機員駕駛行為可靠度分析時^[94]，其量化分析的架構即是以 HEART 為基礎，重新檢討各種司機員失誤經驗的機率值、影響因數及影響比率，以成為軌道系統司機員專用的人為錯誤分析技術 (Rail-specific HEART)。

What are Human Errors?

“An inappropriate action or response by a person resulting in an undesired outcome”



Some reports describe straightforward human errors, such as setting the wrong altitude, but others reveal human pilots reacting to automation that is ...

WHEN PILOTING AND AUTOMATION GO WRONG

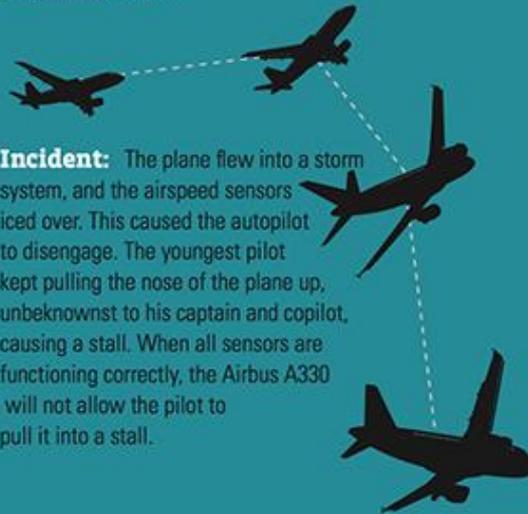
Flight: Asiana Airlines 214
Date: 6 July 2013
Route: Seoul, South Korea
to San Francisco, USA
Plane: Boeing 777-200ER
Fatalities: 3

Incident: Just about to land at San Francisco International, the pilots did not realize that the automatic speed control was disabled earlier in the descent. The plane slowed too quickly, and the low airspeed warning sounded just 11 seconds before impact. When the plane hit a seawall just before the runway, the tail section broke off.



Flight: Air France 447
Date: 1 June 2009
Route: Rio de Janeiro, Brazil to
Paris, France
Plane: Airbus A330
Fatalities: 228

Incident: The plane flew into a storm system, and the airspeed sensors iced over. This caused the autopilot to disengage. The youngest pilot kept pulling the nose of the plane up, unbeknownst to his captain and copilot, causing a stall. When all sensors are functioning correctly, the Airbus A330 will not allow the pilot to pull it into a stall.

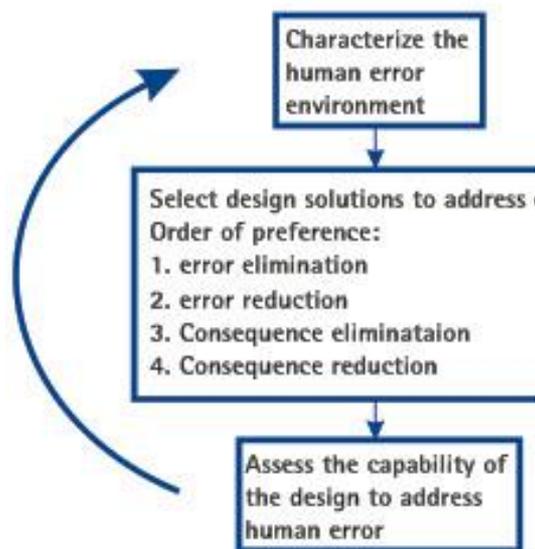
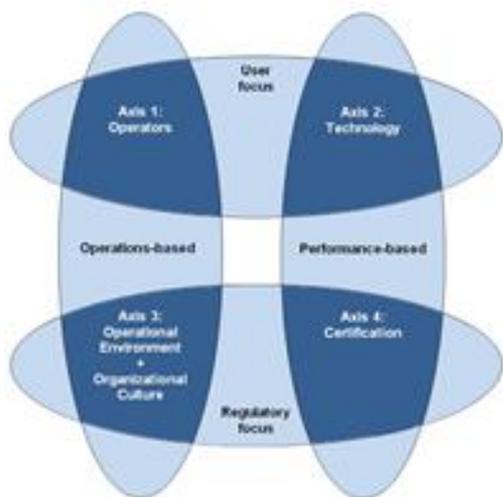


Flight: Colgan Air 3407
Date: 12 February 2009
Route: Newark, New Jersey to Buffalo,
New York
Plane: Bombardier Dash-8 Q400
Fatalities: 50

Incident: Incident: While approaching to land at Buffalo Niagara International, the plane lost airspeed too quickly, likely due to icing. When the autopilot disengaged, the pilot pulled the nose of the plane up. As the plane approached a stall, the automation tried to correct by pushing the nose back down, but the pilot overrode the maneuver. Ultimately, the plane crashed into a house.



HEART分析流程



來源：[103]

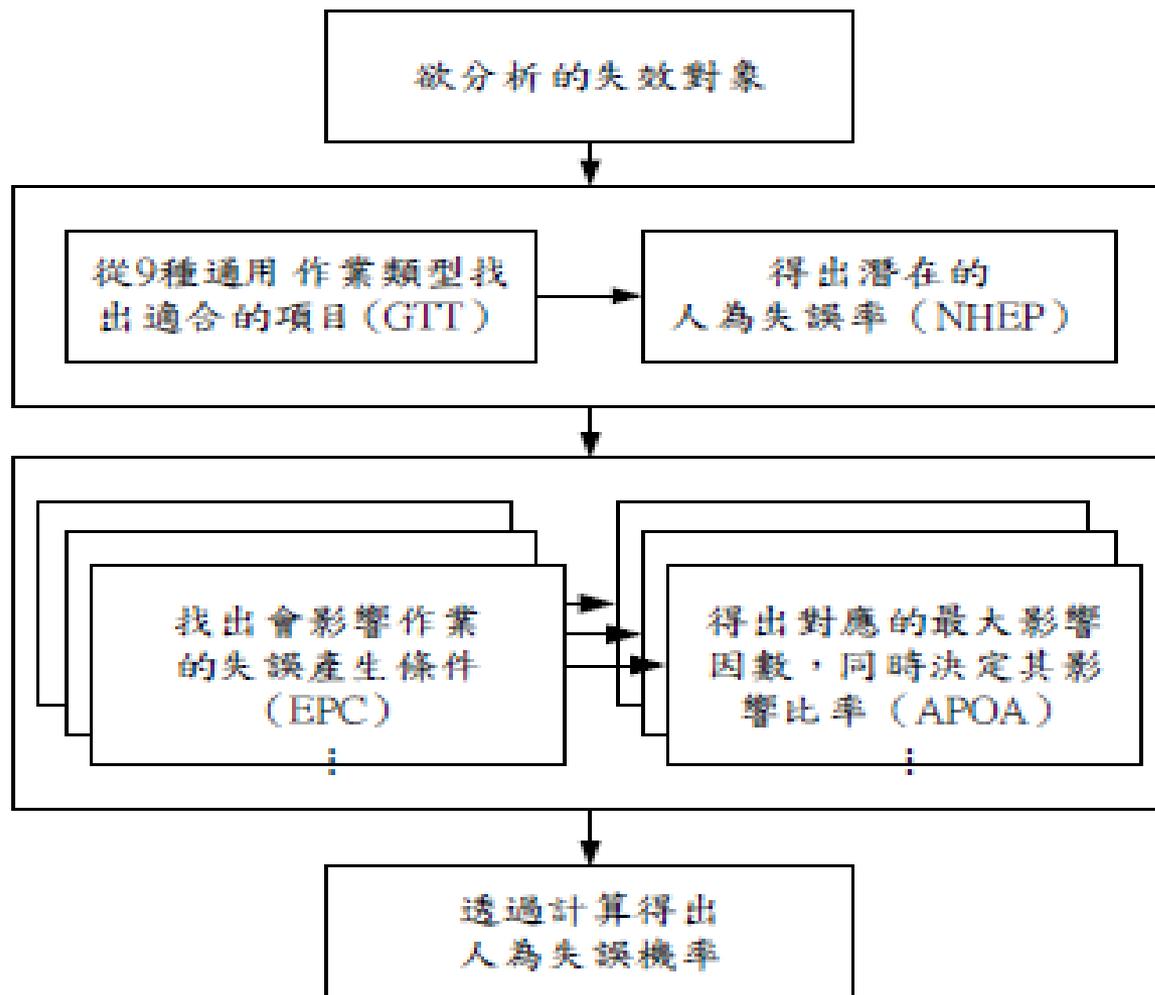


圖3-30 HEART 分析流程圖

減少「不確定性」的方法

TABLE 2. Methods for Reducing Uncertainty

Level of Uncertainty	Uncertainty about Object	Uncertainty about Class	Uncertainty about Scheme
Low	<ul style="list-style-type: none"> • Have complete access to the object. • Ensure Domain expert interprets for consultation. 	<ul style="list-style-type: none"> • Class is fully elaborated – all values and properties are explicitly available of properties and values. • Classifier can fully access and understand class definition. 	<ul style="list-style-type: none"> • All classes in the classification scheme are fully elaborated in terms • Classes are up-to-date and reflect current understanding of the domain.
Moderate	<ul style="list-style-type: none"> • Have a summary, abstract or critical review to represent the object. • Classifier has no domain knowledge 	<ul style="list-style-type: none"> • General description of class properties and sample values are available in form of official or classifier created scope notes, subclasses, or associated subject headings. 	<ul style="list-style-type: none"> • Classification scheme is an incomplete representation of the domain. • Scheme may reflect preferences or may simply not be current with the domain.
High	<ul style="list-style-type: none"> • Have no access to the object. • Classification is inherited from a third party source. 	<ul style="list-style-type: none"> • No class definition is available – only a class label. • Individual classification decisions are based on historical practice as as interpreted by classifiers. 	<ul style="list-style-type: none"> • Classification scheme is constructed from a subset of the universe. • There is no validation of alignment with the domain.

案例：列車長未確實檢查車門是否關妥

表3.27 HEART 定量分析案例

G T T	G.每小時都要做好幾次的例行公事，操作者非常熟悉也需要盡量以高標準進行的工作，就算做錯也還有時間即時修正，但對操作者來說沒有明顯助益的工作			潛在人為失效率
				0.0004
項目	失誤產生條件 EPC	最大影響因數	影響比率 APOA	因數評估值
	02.有時間壓力無法進行錯誤的檢查或修正的情況	11	0.3	$(11-1) \times 0.3 + 1 = 4$
	29.高度情緒壓力	1.3	0.2	$(1.3-1) \times 0.2 + 1 = 1.06$
	33.不良或不友善的環境	1.15	0.2	$(1.15-1) \times 0.2 + 1 = 1.03$
	35.睡眠週期被打斷的工作	1.1	0.1	$(1.1-1) \times 0.1 + 1 = 1.01$
	37.任務在基本人力需求外，有多餘的人力同時執行工作的情況	1.03	0.1	$(1.03-1) \times 0.1 + 1 = 1.003$
<p>列車長未確實檢查車門是否關妥之失誤機率</p> <p>$= 0.0004 \times 4 \times 1.06 \times 1.03 \times 1.01 \times 1.003 = 0.00177$</p>				

註：本表探討之內容為假設情境下之案例。

1/0.00177=每執行565次
列車關門任務即可能發生
1次車門未關妥事件

HEART優點與限制

HEART 的優點包括有：

1. 快速簡單的計算方法。
2. 可用相對有限的資料來進行評估。

HEART 的限制^[43]包括有：

1. 通用任務類型（GTT）與失誤產生條件（EPC）的確認須更明確的說明，以幫助使用者區別相關作業與失誤產生條件。
2. 由於部分失誤產生條件（EPC）隱含於各項作業的描述中，所以可能存在重覆計算的問題，若清楚切割各個 EPC 與 GTT 的關係，則又必須假設各因素間彼此獨立，恐於實際情形不符。
3. 影響比率（APOA）取決於分析者的主觀認定。
4. 通用任務類型（GTT）的失效率與失誤產生條件（EPC）的最大影響因數值，應用到不同領域時缺乏驗證。

□ 各種風險分析方法比較

表3.28 風險分析方法比較表

內容 方法	主要精神	適用時機	方法優點	方法限制
PHA	透過歷史經驗找系統內可能潛藏之重大危害	營運初期歷史資料尚不充足，或欲全盤檢視所有危害，挑選高風險者進行深入分析時。	省時快速的檢視所有危害。	可能高估或低估危害風險，可能忽略意料之外的危害。
FMECA	分析各失效模式對系統產生的影響	有較充分資料，且欲對所有危害進行全盤檢視時。	清楚條列所有危害的可能原因與可能後果，以及現況或預計採行的防護手段。	所需時間較 PHA 長，且多個失效同時發生時的後果不易評估。
FTA	分析造成頂端事件之各種原因彼此間的關係	僅分析危害發生機率，適合高風險危害，且該危害牽涉複雜人員、設備、環境時。	清楚表示各種危害原因之間的關係，方便研擬改善對策	所需時間長，危害原因沒有必然因果關係時不適用。
ETA	分析危害發生後，接續發生的關鍵事件對危害嚴重度的影響	僅分析危害嚴重度，特別適用於當系統已有防護措施，但欲了解其失效的影響時。	釐清影響危害嚴重度的關鍵，方便評估各種情境下的結果。	影響危害後果的關鍵不明顯時不適用。
RBD	為系統結構網路，利用成功導向的方式來描述系統功能	適合分析元件與設備的失效關係，僅分析發生機率。	分析結果較直覺，方便後續量化分析。	危害原因複雜時不易構建。
CED	透過觀察與腦力激盪，綜合思考可能原因	適用於危害發生原因沒有一定的因果關係，或分析者尚未釐清分析對象的運作邏輯時。	簡單好操作，危害原因考量較周詳。	不易釐清關鍵原因，容易納入不重要的影響因素。
Human Error HAZOP	透過引導字，輔助專家團隊找出系統潛在錯誤	適合分析人為疏失為主因的危害，且能邀集各領域專家參與，有較長時間可充分分析危害時。	開放性思考，易發現意料之外的問題。	所需時間長，需要多元的成員參與，但實務上跨部門的成員不易有共同時間。
HEART	分析人為錯誤的失效機率。	適合分析人為錯誤為主因的危害，且欲估計錯誤發生機率時。	適用性高，相對簡單的人為錯誤量化分析方法。	受分析者的主觀認定影響大，失誤率的適用性不易驗證。

● 軌道系統評量

- 風險矩陣為各軌道系統風險評量常使用之工具。
- 用於輔助決策者瓶量各種危害的風險等級，排出風險處理的優先次序。

表4.1 風險矩陣表範例

風險矩陣		嚴重等級			
		輕微	不嚴重	嚴重	災難
發生 機率 等級	經常				
	有可能				
	偶然				
	甚少				
	不大可能				
	不可能				

風險矩陣

LEGEND		 <p><i>Identify the hazards or risks of the work.</i> <i>Assess the likelihood and consequences from the hazards or risks.</i> <i>Control the hazards or risks using the Control Options.</i></p>	CONSEQUENCE				
			Insignificant No Injury 0 - Low \$ Loss	Minor First Aid Injury Low - Medium \$ Loss	Moderate Medical Treatment Medium - High \$ Loss	Major Serious Injuries Major \$ Loss	Catastrophic Death Huge \$ Loss
E	Extreme risk, immediate action required	LIKELIHOOD Almost Certain is expected to occur at most times 1 in 10	H - 40	H - 48	E - 72	E - 84	E - 100
		Likely will probably occur at most times 1 in 100	M - 24	H - 44	H - 56	E - 80	E - 96
H	High risk, prioritised action required	Possible might occur at some time 1 in 1,000	L - 12	M - 28	H - 52	E - 76	E - 92
		Unlikely could occur at some time 1 in 10,000	L - 8	L - 20	M - 36	H - 64	E - 88
M	Moderate risk, planned action required	Rare May occur in rare circumstances 1 in 100,000	L - 4	L - 16	M - 32	H - 60	H - 68
L	Low risk, actioned by routine procedures						

- 評量方法
 - 落點法

此法可直接利用發生機率與嚴重程度之定性描述，在風險矩陣中找到落點位置，或者先將發生機率與嚴重程度以某門檻值做半定量之分類後，再依據半定量等級採落點方式得出危害在矩陣內的位置。經比對其落點區塊屬於預設高風險、中風險或低風險來進行分析，惟此法無法判別落於同一區塊內之不同危害間的優先等級。

簡易推估落點法					
採計國英 數乙史地	305 ↑ -37	265~305 -42	208~265 -42	154~208 -39	154 ↓ -31
採計國英 數甲物化	305 ↑ ± 0	255~305 - 5	186~255 -11	132~186 -17	132 ↓ -16
採計國英 數甲物化生	376 ↑ ± 0	314~376 - 6	226~314 -11	161~226 -16	161 ↓ -16
採計國英 數乙	207 ↑ -32	180~207 -36	138~180 -33	99~138 -28	99 ↓ -22

此表用法：以採計國、英、數乙、史、地5科（文法商）為例，今年5科總和考220分的考生，屬於「208~265」， $220-42=178$ ，對照去年178分可上的校系，就是今年推估落點。

資料提供／補教業者

製表／李名揚

2. 相加法

此法通常搭配半定量之發生機率與嚴重程度來使用，是將發生機率與嚴重程度之半定量維度值相加而得風險值。相較於落點法，相加法對於落在相同風險區域內之危害有更進階的資訊可找出風險處理的優先順序。

12歲(含)以上成人 氣喘控制測驗 ACT™

第1題	在過去四週中，您的氣喘會讓您無法完成一般的工作、課業或家事嗎？				
	1 總是如此	2 經常如此	3 有時如此	4 很少如此	5 不曾如此
第2題	在過去四週中，您多常發生呼吸急促的問題？				
	1 一天超過1次	2 一天1次	3 一週3至6次	4 一週1至2次	5 完全沒有發生過
第3題	在過去四週中，您多常因氣喘症狀（喘鳴、咳嗽、呼吸急促、胸悶或胸痛）而讓您半夜醒來或是提早醒來？				
	1 一週4次或4次以上	2 一週2至3次	3 一週1次	4 1或2次	5 完全沒有發生過
第4題	在過去四週中，您多常使用急救型藥物或噴霧型藥物（例如：Albuterol*（舒坦寧*）、Ventolin*（泛得林*）、Berotec*（備勞喘*）或Bricanyl*（撲可喘*）等氣喘藥物）？				
	1 一天3次或3次以上	2 一天1或2次	3 一週2或3次	4 一週1次或更少	5 完全沒有使用過
第5題	在過去四週中，您自認為氣喘控制程度如何？				
	1 完全沒有受到控制	2 控制不好	3 稍微受到控制	4 控制良好	5 完全受到控制
總分25分 全面受到控制			總分20至24分 控制良好		總分低於20分 未受到控制

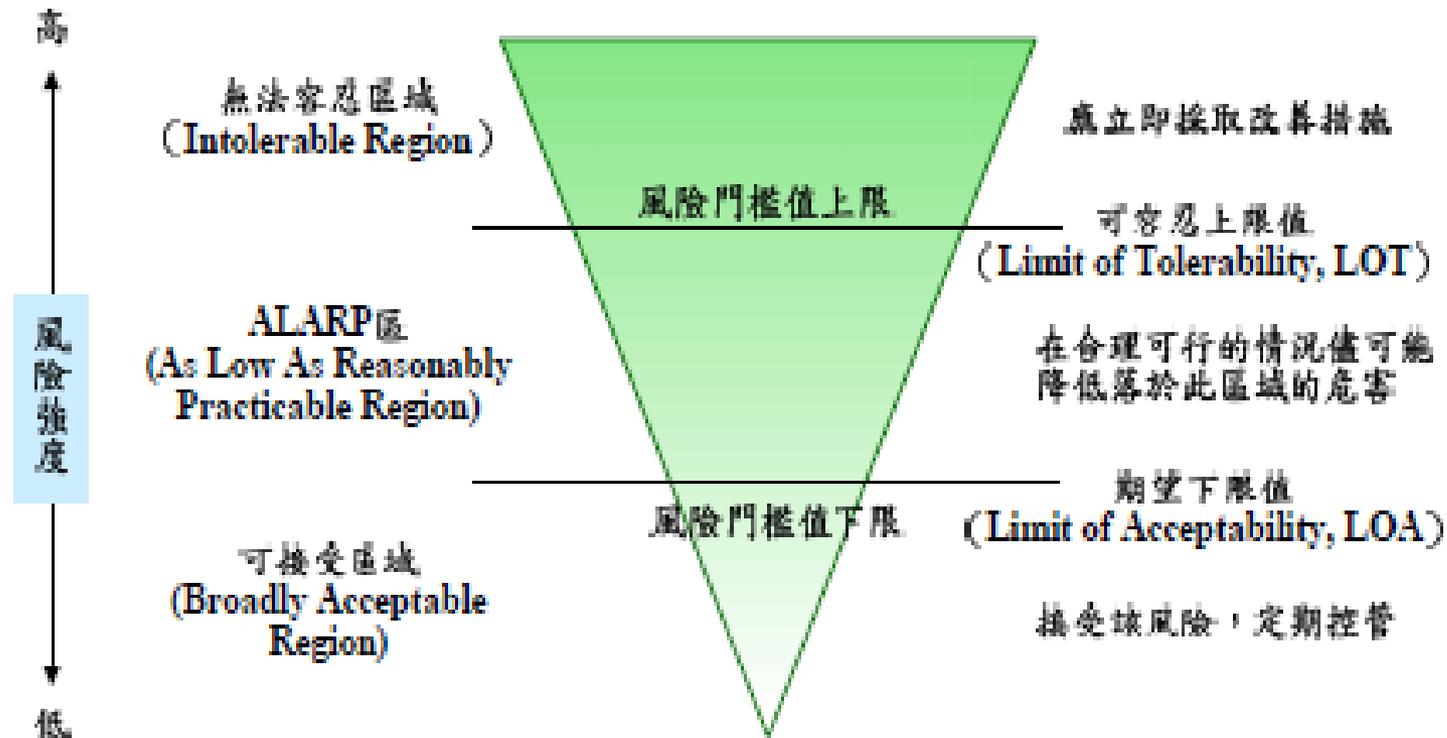
3. 相乘法

若危害的嚴重性與發生機率是不經排序或分類所計算出來的原始資料，則適合用相乘的方式得出風險值。由於此法需要有完整的嚴重等級與發生機率之初始資料，因此需要更多的時間、人力與經費來進行調查與執行。

		風險影響性分析				風險優先順序	
		災難	重大	嚴重	輕微		
風險 機 率 分 析	幾乎肯定	E	E	H	M	E	極端優先
	很有可能	E	H	H	M	H	高優先
	不太可能	H	M	M	L	M	中度優先
	基本沒有	M	M	L	L	L	低優先

● 風險接受原則(EN 50126)

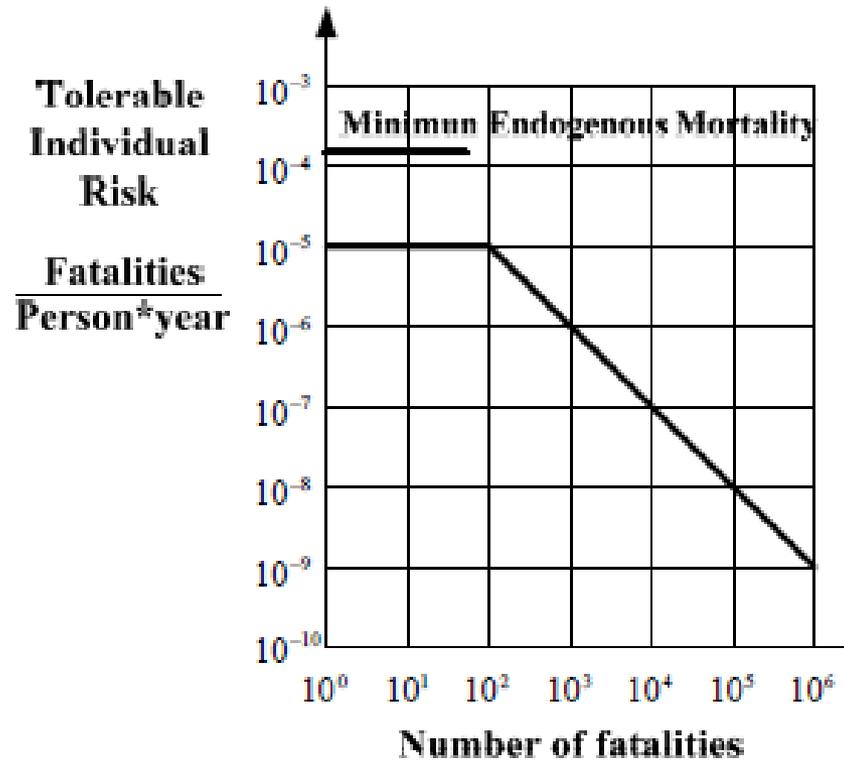
● 英國ALARP



資料來源：[21, 127]及本研究繪製

圖4-1 英國風險管理 ALARP 概念

• 德國MEM



新設軌道系統之風險值規定

- (1) 死亡率 $\leq 10^{-5}$ /人年
- (2) 重傷率 $\leq 10^{-4}$ /人年
- (3) 輕傷率 $\leq 10^{-3}$ /人年

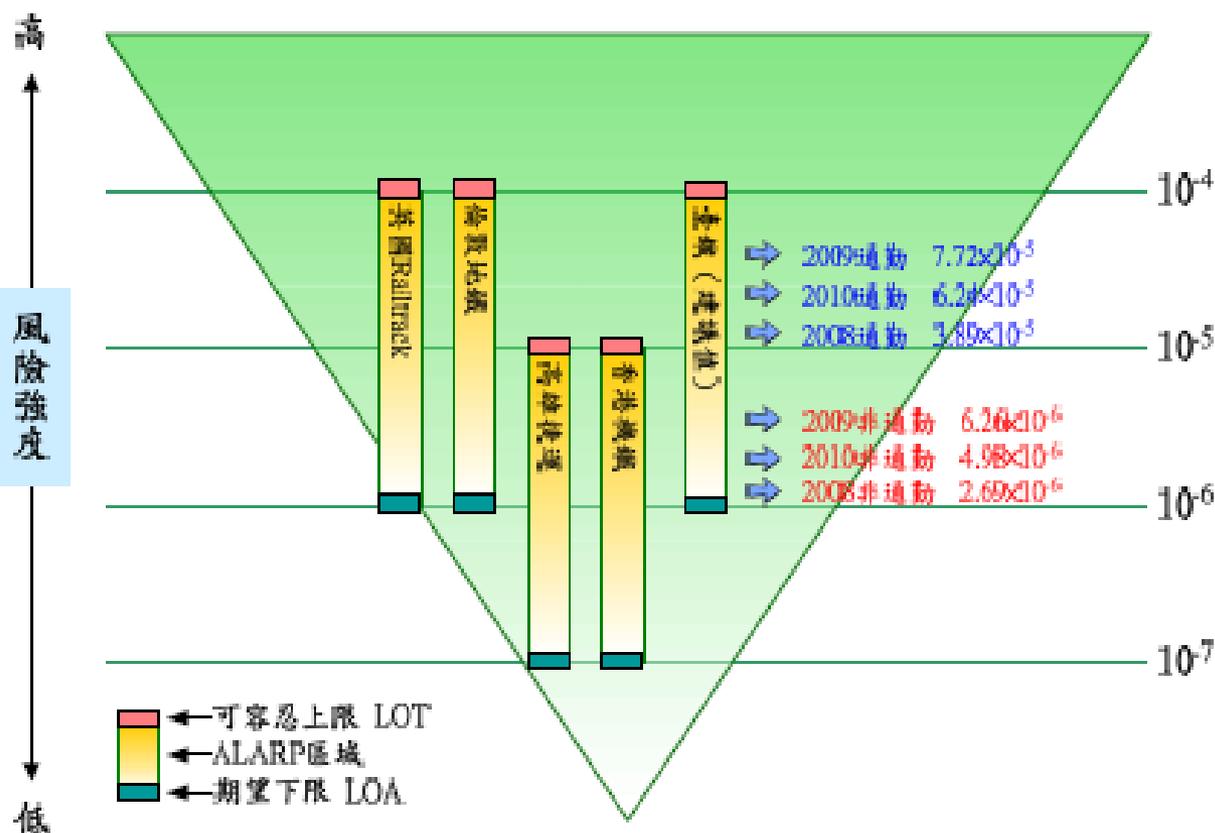
資料來源：[21]及本研究繪製

圖4-2 德國最低可接受死亡風險圖

表4.4 臺鐵單一旅客一年致命風險

年度	通勤旅客	非通勤旅客	LOT 建議值	LOA 建議值
2008	3.89×10^{-5}	2.69×10^{-6}	10^{-4}	10^{-6}
2009	7.72×10^{-5}	6.26×10^{-6}		
2010	4.98×10^{-6}	6.24×10^{-5}		

台鐵



通勤旅客一年搭乘 320 次（一年 200 工作天，早晚各 1 次，調整）

非通勤旅客一年搭乘 8 次^[128]。

圖4-3 臺鐵旅客安全風險門檻建議值

建立門檻值

表4.2 個別風險可容忍上限值一覽表

國家	應用	可容忍上限值 (LOT)	可忽略的風險水準	備註
荷蘭	既有工廠	10^{-5}	不適用	
	新設工廠	10^{-6}	不適用	
英國	有危險的產業	10^{-4}	廣義目標為 10^{-6}	可被忽略者為 10^{-7}
	有危險的貨品運送	10^{-4}	10^{-6}	
	工廠旁的新建築	10^{-5}	10^{-6}	
捷克	既有設施	10^{-5}	—	一定要執行風險處理
	新建設施	10^{-6}	—	
匈牙利	危險設備	10^{-5}	3×10^{-6}	
香港	新設工廠	10^{-5}	無	
澳洲-新南威爾斯州	新設工廠與新蓋房屋	10^{-5}	無	
澳洲-維多利亞州	既有設施	10^{-5}	目標為 10^{-7}	
美國加州	新設工廠	10^{-5}	10^{-6}	
德國	交通建設	10^{-5}	—	

註：單位為等效死亡/每年

表4.3 可參考之系統安全風險標準

風險標準	單一人員致命風險（每年）									
	可接受值（LOT）					目標值（LOA）				
	Rail-track	倫敦地鐵	香港機鐵	高雄捷運	台灣高鐵	Rail-track	倫敦地鐵	香港機鐵	高雄捷運	台灣高鐵
旅客風險	10^{-4}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-10}	10^{-6}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-7}	整體風險為「0」等效死亡
大眾風險	10^{-4}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-5}	3.0×10^{-5}	10^{-6}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-7}	
員工風險	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	2×10^{-4}	3.5×10^{-4}	10^{-6}	10^{-6}	10^{-6}	10^{-6}	

註：除台灣高鐵之旅客風險為「等效死亡/旅次」，其餘之單位均為「等效死亡/人年」。

● 風險目標之配當

整體安全風險標的可透過風險配當方式，將其分攤到各子系統內，以成為各系統之安全風險目標（例如：電扶梯、號誌、供電...等），而營運單位則可採用系統化的安全管理程序，確保達成風險目標，以

1. 依歷史經驗比例推估

表4.5 依歷史經驗比例配當風險

子系統 \ 安全風險	單一旅客的致命風險目標 (每旅次)	
	配當百分比	A 軌道系統風險目標
電聯車	29.7 %	0.594×10^{-9}
號誌	5.1 %	0.102×10^{-9}
軌道設備	56.4 %	1.128×10^{-9}
電扶梯	7.3 %	0.146×10^{-9}
供電	0.5 %	0.01×10^{-9}
月台門	1.0 %	0.02×10^{-9}
整體風險		2×10^{-9}

2. 參考其他軌道系統經驗

表4.6 採其他系統推估風險標準範例

安全風險 子系統	單一旅客的致命風險（每旅次）				
	倫敦地鐵 風險目標	比例	香港機場快鐵 風險目標	比例	B 軌道系統 風險目標
電聯車	6.67×10^{-9}	30%	3.80×10^{-10}	70%	2.27×10^{-9}
號誌	$1.02 \times 10^{-8(a)}$	40%	1.00×10^{-10}	60%	4.14×10^{-9}
軌道設備	2.40×10^{-9}	10%	1.10×10^{-9}	90%	1.23×10^{-9}
電扶梯	9.00×10^{-10}	30%	4.00×10^{-11}	70%	2.98×10^{-10}
供電	3.70×10^{-10}	100%	0 ^(b)	0%	3.70×10^{-10}
月台門	不適用 ^(c)	0%	2.00×10^{-11}	100%	2.00×10^{-11}

註：(a)無 ATP 保護、(b)使用架空線，封閉系統無平交道下，不致造成旅客危害、

(c)無月台門。

資料來源：倫敦地鐵、香港地鐵

國內外案例

1. 歐洲MODURBAN計畫

MODURBAN (Modular Urban Guided Rail System) ^[65, 66] 是一個從 2005 年 1 月開始為期 4 年，由歐盟出資 50% 邀集歐洲許多都會捷運業者與城際軌道業者共同進行的研究計畫，主要目的是設計發展出新一代通用的軌道系統核心介面標準，提供給所有軌道營運業者與系統開發商參考，其中亦有部分內容建議安全風險的評量方式。

表5.1 MODURBAN-嚴重程度分級表

等級	嚴重程度	
1	輕微 Minor	3 天內修養的輕傷，或導致 0~15 分鐘延誤
2	稍嚴重 Marginal	須修養 3 天以上的輕傷，或導致 15~60 分鐘延誤
3	嚴重 Major	重傷導致住院 24 小時以上，或者延誤 1 小時以上
4	很嚴重 Critical	1 人死亡，或小於 8 小時內之停止營運，或延誤超過 3 小時
5	非常嚴重 Catastrophic	多人死亡，或超過 8 小時以上之停止營運，或延誤超過 4 小時

表5.2 MODURBAN-發生機率分級表

評分	發生機率	
1	不大可能 Improbable	每 1 百年發生 1 次以上
2	甚少 Remote	每 10 年發生 1 次以上
3	偶然 Occasional	每 1 年發生 1 次以上
4	有可能 Probable	每月發生 1 次以上
5	經常 Frequent	每周發生 1 次以上

表5.3 MODURBAN 安全風險矩陣表

風險矩陣		嚴重程度				
		輕微 Minor	稍嚴重 Marginal	嚴重 Major	很嚴重 Critical	非常嚴重 Catastrophic
發生 機率	經常 Frequent	Amber	Red	Red	Red	Red
	有可能 Probable	Amber	Amber	Red	Red	Red
	偶然 Occasional	Green	Amber	Amber	Red	Red
	甚少 Remote	Green	Green	Amber	Amber	Red
	不大可能 Improbable	Green	Green	Green	Amber	Red

資料來源：[66]及本研究整理

等級	意義	因應措施說明
Green	低風險	可接受或忽略之風險
Amber	中風險	依據 ALARP 原則採適當的處理方式
Red	高風險	必須立即降低該風險值

2. 倫敦地鐵

表5.5 英國倫敦地鐵-嚴重程度分級表

評分	嚴重程度	
15	非常嚴重	Fatal
14	很嚴重	Severe
11	嚴重	Major
8	稍嚴重	Serious
4	輕微	Minor

表5.6 英國倫敦地鐵-發生機率分級表

評分	發生機率	
13	每天	Every day
12	每週	Every week
10	每月	Every month
9	每六個月	Every six months
8	每年	Every year
6	每三年	Every three years
5	每十年	Every ten years
1	小於每十年	Less frequent than every ten years

表5.7 英國倫敦地鐵-安全風險矩陣表

風險矩陣		發生機率							
		每天	每週	每月	每六個月	每年	每三年	每十年	小於每十年
嚴重程度	非常嚴重	28	27	25	24	23	21	20	16
	很嚴重	27	26	24	23	22	20	19	15
	嚴重	24	23	21	20	19	17	16	12
	稍嚴重	21	20	18	17	16	14	13	9
	輕微	17	16	14	13	12	10	9	5

資料來源：[107]及本研究整理

表5.8 英國倫敦地鐵-安全風險等級一覽表

風險值	等級	說明
≥ 19	高	無法忍受之風險，必須立即改善
15~18	中	中度風險，屬於 ALARP 之區域內，應以符合成本效益的方式來降低風險
≤ 14	低	可接受風險

資料來源：[107]及本研究整理

3. 澳洲Tasmania洲際鐵路

表5.9 澳洲塔斯馬尼亞州-嚴重程度分級表

評分	死傷程度	財務損失或者認知
6	超過 4 位死亡	每年損失超過 1 億美元以上 或者系統需關閉
5	2~3 位死亡	每年損失在 1 千萬~1 億美元之間
4	1 人死亡 或多人重傷	每年損失在 1 百萬~1 千萬美元之間
3	嚴重受傷	每年損失在 10 萬~1 百萬美元之間
2	需醫療照顧	每年損失在 1 萬~10 萬美元之間
1	無災害或不需處理	每年損失小於 1 萬美元

資料來源：[17, 127]及本研究整理

表5.10 澳洲塔斯馬尼亞州-發生機率分級表

評分	發生機率
6	每年發生超過 10 次
5	每年發生超過 1 次
4	每 1~10 年發生 1 次
3	每 10~100 年發生 1 次
2	每 100~1000 年發生 1 次
1	每 1000 年小於 1 次

資料來源：[17, 127]及本研究整理

表5.11 澳洲塔斯馬尼亞州-安全風險矩陣表

風險矩陣		嚴重程度					
		1	2	3	4	5	6
發生機 率	6	7	8	9	10	11	12
	5	6	7	8	9	10	11
	4	5	6	7	8	9	10
	3	4	5	6	7	8	9
	2	3	4	5	6	7	8
	1	2	3	4	5	6	7

資料來源：[17, 127]及本研究整理

表5.12 澳洲塔斯馬尼亞州-安全風險等級一覽表

風險值	風險等級與說明	
11~12	無法忍受之風險，必須停止營運立即改善	
8~10	高度風險	此兩者落於 ALARP 概念的管控範圍，應盡可能採取防範措施降低風險強度
5~7	中度風險	
2~4	可接受風險	

資料來源：[17, 127]及本研究整理

4. 美國軌道系統

System Safety Program Requirements-MIL-STD 882D軍規

表5.15 美國 MIL-STD-822D-嚴重程度分級表

等級	項目	死傷、財損與環境破壞之認知
I	非常嚴重 Catastrophic	人員死亡，財損超過1百萬美元，或造成不可恢復之嚴重環境破壞
II	很嚴重 Critical	3人以上受傷住院，財損超介於20萬~100萬美元間，或造成可恢復之嚴重環境破壞
III	嚴重 Marginal	人員受傷需休息1~數日，財損超介於1萬~20萬美元間，或輕微之環境破壞可復原
IV	輕微 Negligible	人員受傷但無需休息，財損超介於2千~1萬美元間，或環境破壞幾乎無影響

資料來源：[111]及本研究整理

表5.16 美國 MIL-STD-822D-發生機率分級表

等級	項目	說明
A	經常 Frequent	連續的發生
B	可能 Probabl	常會發生
C	偶爾 Occasional	發生數次
D	很少 Remote	不太可能發生，但合理的期望會發生
E	不太可能 Improbable	幾乎不會發生，但是不排除發生可能

資料來源：[111]及本研究整理

表5.17 美國 MIL-STD-822D-安全風險矩陣表

風險矩陣		嚴重性			
		I	II	III	IV
發生 機率	A	1	3	7	13
	B	2	5	9	16
	C	4	6	11	18
	D	8	10	14	19
	E	12	15	17	20

資料來源：[111]及本研究整理

表5.18 美國 MIL-STD-822D-安全風險等級一覽表

風險值	等級	說明
1~5	高	無法忍受風險，須將風險降低
6~9	嚴重	依據授權將風險值降低
10~17	中	
18~20	低	可接受風險

資料來源：[111]及本研究整理

5. 香港地鐵

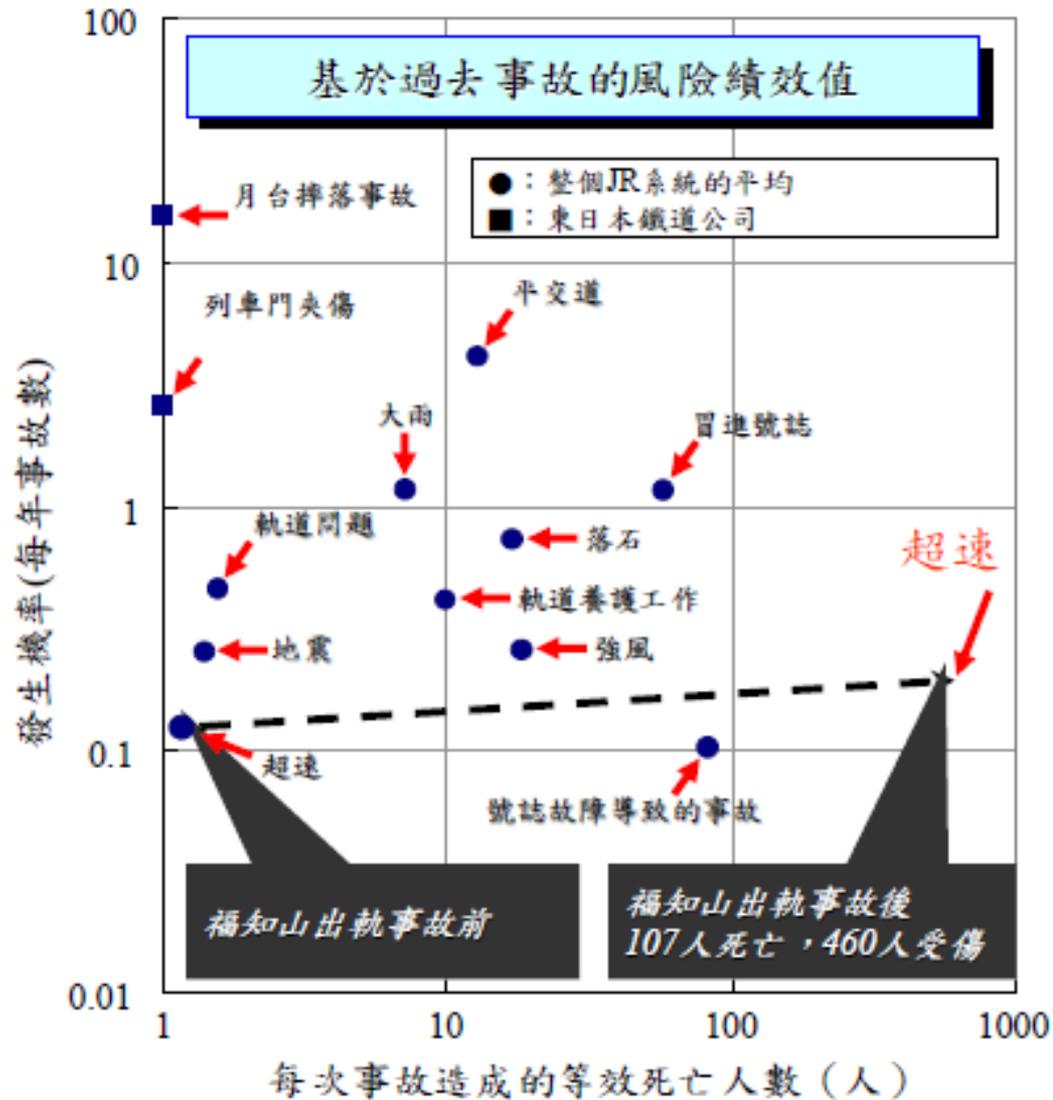
表5.20 香港地鐵-安全風險矩陣表

Double Click The Item For Selecting			CONSEQUENCE							
			7	6	5	4	3	2	1	
			Trivial	Negligible	Marginal	Serious	Critical	Catastrophic	Disastrous	
Staff/Contractor Safety	Fatality						<5	5 or more		
	Major Injury					<5	5 or more			
	Minor Injury	with >=3 days sick leave			<5	5 or more				
		with < 3 days sick leave		<5	5 or more					
Passenger / Public Safety	Fatality						<5	5-50	51-500	
	Major Injury					<5	5-50	51-500	501-5000	
	Minor Injury				<5	5-50	51-500	501-5000	>5000	
Service	System Disruption				<20 min	1 hour	1 day	1 week	1 month	
	Line Disruption				few hours	1 day	1 week	1 month	few months	
	Station Disruption		< 20 min	20-60 min	few hours	1 day	1 week	1 month	few months	
FREQUENCY	A	Few times per week or more	>=100/year	R3	R1	R1	R1	R1	R1	R1
	B	Few times per month	>=10 - < 100/year	R4	R2	R1	R1	R1	R1	R1
	C	Few times per year	>=1 - <10/year	R4	R2	R2	R1	R1	R1	R1
	D	Few times in 10 years	>=0.1 - <1/year	R4	R3	R2	R1	R1	R1	R1
	E	Once since operation	>=1E-2 - <1E-1/year	R4	R3	R3	R2	R1	R1	R1
	F	Unlikely to occur	>=1E-3 - <1E-2/year	R4	R4	R3	R3	R2	R1	R1
	G	Very unlikely to occur	>=1E-4 - <1E-3/year	R4	R4	R4	R3	R3	R2	R1
	H	Remote	>=1E-5 - <1E-4/year	R4	R4	R4	R4	R3	R3	R2
	I	Improbable	>=1E-6 - <1E-5/year	R4	R4	R4	R4	R4	R3	R3
	J	Incredible	< 1E-6/year	R4	R4	R4	R4	R4	R4	R3

資料來源：[137]

風險值	說明	
R1	風險必須降低	
R2	風險在切實可行的情況下必須降低	其中 R2 及 R3 界定為可容許區域，並需符合可行的最低風險程度 (ALARP) 原則
R3	風險可以忍受，但當符合成本效益時，應進一步降低	
R4	風險是可接受的	

6. 東日本鐵道公司



資料來源：[109, 139]及本研究繪製

圖5-3 東日本鐵道公司安全風險矩陣圖

7. 中國城際鐵路

表5.21 中國平交道-安全風險等級一覽表

風險等級	處理原則
A	不可忍受之風險，必須立即處理
B	該風險須依據 ALARP 來進行處理
C	該風險是可被接受或者忽略者

資料來源：[92]及本研究整理

表5.22 中國平交道-安全風險矩陣表

中國平交道 安全風險矩陣表				嚴重程度					
				死亡	0	0	1-2	3-9	>10
				重傷	0	1	2-9	10-49	50-99
				輕傷	1-19	20-199	>200	0	0
發生機率	等級	描述	數值門檻	Ranking	C1	C2	C3	C4	C5
					輕微	重大	嚴重	悲慘	災難
	經常	每月數次	10-100	F5	B	A	A	A	A
	可能	每年數次	1-10	F4	B	B	A	A	A
	偶爾	十年數次	1-1/10	F3	C	B	B	A	A
	罕見	設計年限內 可能發生	1/10-1/100	F2	C	C	B	B	A
不可能	設計年限內 不易發生	<1/100	F1	C	C	C	B	B	

資料來源：[92]及本研究整理

8. 台鐵局

表5.24 臺鐵局行車類風險-發生機率分級表

可能性分類	等級	發生機率狀況
幾乎不可能	1	10年從未發生
	2	10年發生件數1次
不太可能	3	10年發生件數2次
	4	10年發生件數3次
可能	5	10年發生件數4~10次
	6	10年發生件數11~20次
非常可能	7	10年發生件數21~30次
	8	10年發生件數31~49次
幾乎確定	9	10年發生件數數50~99次
	10	10年發生件數100次以上

資料來源：臺鐵局及本研究整理

表5.30 臺鐵局-風險等級一覽表

風險值	說明	處置方式
A	不可忍受	必須消除該類風險
B	勉強忍受	沒有可行風險解決方法時方可接受
C	不理想	在一般情形下必須降低風險
D	可忍受	需要有適當控制措施減輕其風險
E	可忽略	可接受

表5.29 臺鐵局-安全風險矩陣表

非常嚴重 5	C	B	B	A	A
相當嚴重 4	D	C	B	B	A
嚴重 3	D	D	C	B	B
輕微 2	E	D	D	C	B
極輕微 1	E	E	E	D	C
臺鐵局 風險矩陣	幾乎不可能 1	不太可能 2	可能 3	非常可能 4	幾乎確定 5

資料來源：臺鐵局及本研究整理

• A、運務處嚴重度分級

表5.25 臺鐵局行車類風險-運務處嚴重程度分級表

嚴重等級		列車延誤 時分(分)	財務損失 搶修費用	平交道及跨越軌道		形象
				旅客死傷	民眾死傷	
非常 嚴重	10	241 以上	501 萬以上	死亡 10 人以上	死亡 10 人以上	國際性報導
	9	181~240	101~500 萬	死亡 6~9 人	死亡 8~9 人	國際性報導
相當 嚴重	8	151~180	81~100 萬	死亡 4~5 人	死亡 6~7 人	全國性電子媒 體頭版報導
	7	121~150	51~80 萬	死亡 2~3 人	死亡 4~5 人	全國性電子媒 體頭版報導
嚴重	6	61~120	21~50 萬	死亡 1 人	死亡 2~3 人或 受傷 4 人以上	全國性報導
	5	46~60	11~20 萬	受傷 3 人以上	死亡 1 人或受 傷 3 人	地方平面及電 子媒體報導
輕微	4	31~45	6~10 萬	受傷 2 人	受傷 2 人	電子媒體報導
	3	21~30	1~5 萬	受傷 1 人	受傷 1 人	地方平面報導
極 輕微	2	11~20	1 萬元以下	0	撞到不明物體	無
	1	10 以內	5 千元以下	0	0	無

資料來源：臺鐵局及本研究整理

• B、工務處嚴重度分級

表5.26 臺鐵局行車類風險-工務處嚴重程度分級表

嚴重等級		颱風、豪雨災害 列車延誤時分（分）	路線故障 列車延誤時分（分）	施工事故 列車延誤時分（分）
非常 嚴重	10	停駛	停駛	停駛
	9	1001 以上	301 以上	2001 以上
相當 嚴重	8	751~1000	251~300	1501~2000
	7	601~750	201~250	1001~1500
嚴重	6	501~600	151~200	501~1000
	5	401~500	101~150	301~500
輕微	4	301~400	51~100	151~300
	3	201~300	31~50	101~150
極 輕微	2	101~200	11~30	51~100
	1	0~100	0~10	0~50

資料來源：臺鐵局及本研究整理

- C、機務處嚴重度分級

表5.27 臺鐵局行車類風險-機務處嚴重程度分級表

嚴重等級		車輛故障 列車延誤時分 (分)
非常嚴重	10	停駛
	9	91 以上
相當嚴重	8	81~90
	7	71~80
嚴重	6	61~70
	5	51~60
輕微	4	41~50
	3	31~40
極輕微	2	21~30
	1	10~20

資料來源：臺鐵局及本研究整理

• D、電務處嚴重度分級

表5.28 臺鐵局行車類風險-電務處嚴重程度分級表

嚴重等級		號誌搶修時間 (分)	電力搶修時間 (分)	通訊系統中斷時間
非常嚴重	10	601 以上	1081 以上	5 天以上
	9	361~600	841~1080	3~5 天
相當嚴重	8	241~360	601~840	1~3 天
	7	181~240	421~600	12~24 小時
嚴重	6	121~180	241~420	6~12 小時
	5	91~120	121~240	3~6 小時
輕微	4	61~90	61~120	1~3 小時
	3	41~60	31~60	30 分~1 小時
極輕微	2	21~40	0~30	0~30 分
	1	0~20	不影響營運	不影響營運

資料來源：臺鐵局及本研究整理

● 台鐵路行車類風險危害比較

表5.31 臺鐵路近年行車類危害風險比較表

危害項目	2008 年			2009 年			變化趨勢
	機率等級	影響程度等級	風險值	機率等級	影響程度等級	風險值	
列車衝撞	3.5	1.5	5.0	3.0	7.4	10.4	↑
列車出軌	5.0	4.9	9.9	6.0	6.0	12.0	↑
火災	0	0	0	0	0	0	—
車輛故障	9.2	4.9	14.1	9.1	5.7	14.8	↑
路線故障	8.6	3.0	11.6	9.5	3.1	12.6	↑
電車線設備故障	8.4	4.6	13.0	9.1	4.2	13.2	↑
號誌設備故障	5.2	4.3	9.5	5.6	4.3	9.9	↑
列車障礙	8.6	3.0	11.7	8.4	2.7	11.1	↓
列車延遲	7.7	3.3	10.9	7.9	4.4	12.3	↑
死傷事故	2.1	1.1	3.2	1.7	0.7	2.0	↓

註：此表之風險值係基於過去事故的風險績效值

資料來源：臺鐵路及本研究整理

● 台鐵局非行車類風險危害比較

表5.32 臺鐵局非行車類－發生機率分級表

發生機率	等級	詳細的描述
幾乎不可能	1	只會在特殊的情況下發生
不太可能	2	在少數情形下會發生
可能	3	在有些情形下會發生
非常可能	4	在許多情形下會發生
幾乎確定	5	在絕大多數的情況下會發生

資料來源：臺鐵局及本研究整理

表5.33 臺鐵局非行車類－嚴重程度分級表

等級	形象影響	人員死傷	民眾抗爭	財務損失
非常嚴重	國際媒體持續負面報導	死亡 3 人以上	持續大規模抗爭	1 億以上
相當嚴重	國際媒體負面報導	死亡 1~2 人	至院級機關抗爭	0.5~1.0 億
嚴重	全國媒體負面報導	重傷 1 人以上	至中央部會抗爭	1000~5000 萬
輕微	區域媒體負面報導	輕傷 1 人以上	少數電話抱怨	200~1000 萬
極輕微	些許媒體負面報導	無人員傷亡	極少數電話抱怨	200 萬以下

資料來源：臺鐵局及本研究整理

表5.34 臺鐵局近年非行車類危害風險比較表

危害項目	2008 年			2009 年			變化趨勢
	機率等級	影響程度等級	風效值	機率等級	影響程度等級	風險值	
訂票系統故障	1	2	3	1	2	3	—
機務維修零件不足	2	1	3	1	1	2	↓
勞安事故	3	2	5	2	1	3	↓
工安事故	3	3	6	2	2	4	↓
庫存材料管理	2	1	3	1	1	2	↓
司機身心健康	4	2	6	3	2	5	↓
天然災害	3	5	8	1	5	6	↓

註：此表之風險值係基於過去事故的風險績效值

資料來源：臺鐵局及本研究整理

表5.35 臺鐵局台北車站三鐵共構危害風險值比較表

危害項目	2008 年		2009 年		變化趨勢
	機率等級	影響程度等級	機率等級	影響程度等級	
火災	4	4	3	2	↓
水災	3	3	2	2	↓
震災	3	3	2	2	↓
群眾抗議	3	3	2	2	↓
毒化物攻擊	2	4	2	2	↓
爆裂物攻擊	2	3	2	2	↓

註：此表係評估各項控管措施實施前後的危害機率與影響程度之變化

資料來源：臺鐵局及本研究整理

9. 台北捷運

6 台北捷運-安全風險矩陣表

風險等級	說明
R1	無法容忍之風險。須取得主管機關同意或相關委員會特准方可豁免，否則不得營運且必須執行風險降等措施
R2	不可以容忍之風險。如果有合理可行降低風險措施，必須執行風險降等措施。
R3	可以容忍之風險。但如果風險降措施符合成本效益，則應執行風險降等措施。
R4	可以接受之風險。不需要再採行任何風險降等措施。

		事故規模							
		7 機不足運	6 可以忽略	5 輕微	4 嚴重	3 重大	2 災難	1 大災難	
職工/ 承包商安全	死亡					<5	≥5		
	重傷				<5	≥5			
	輕傷	≥3 日病假			<5	≥5			
		<3 日病假		<5	≥5				
旅客/ 大眾安全	死亡					<5	5-50	51-500	
	重傷				<5	5-50	51-500	501-5000	
	輕傷			<5	5-50	51-500	501-5000	>5000	
營運服務	系統中斷			<20 分	1 小時	1 天	1 週	1 個月	
	路線中斷		20-60 分	幾小時	1 天	1 週	1 個月	數個月	
	車站關閉	<20 分	幾小時	1 天	1 週	1 月	數個月	1 年	
發生 機 率	A ≥每週數次	≥100/年	R3	R1	R1	R1	R1	R1	R1
	B 每月數次	10 - 100/年	R4	R1	R1	R1	R1	R1	R1
	C 每年數次	1 - 10/年	R4	R2	R1	R1	R1	R1	R1
	D 每十年數次	0.1 - 1/年	R4	R3	R2	R1	R1	R1	R1
	E 不常發生	10 ⁻² - 10 ⁻¹ /年	R4	R3	R3	R2	R1	R1	R1
	F 不大可能發生	10 ⁻³ - 10 ⁻² /年	R4	R4	R3	R3	R2	R1	R1
	G 非常不大可能發生	10 ⁻⁴ - 10 ⁻³ /年	R4	R4	R4	R3	R3	R2	R1
	H 絕少發生	10 ⁻⁵ - <10 ⁻⁴ /年	R4	R4	R4	R4	R3	R3	R2
	I 未必會發生	10 ⁻⁶ - <10 ⁻⁵ /年	R4	R4	R4	R4	R4	R3	R3
	J 難以置信會發生	<10 ⁻⁶ /年	R4	R4	R4	R4	R4	R4	R3

資料來源：台北捷運公司及本研究整理

10. 高雄捷運

表5.40 高雄捷運-安全風險矩陣表

		嚴重等級			
		輕微	不嚴重	嚴重	災難
服務		系統輕微損壞	系統嚴重損壞	主要系統不能運作	列車服務中斷
影響安全/環境		可能有人輕傷	有人輕傷及/或對環境有相當程度的威脅	一人死亡及/或重傷及/或對環境造成相當程度的損壞	多人死亡及/或重傷及/或對環境造成嚴重損壞
發生機率 (每年)	經常	≥100 次	R2	R1	R1
	有可能	1~100 次	R3	R2	R1
	偶然	10 ⁻² ~1 次	R3	R2	R2
	甚少	10 ⁻⁴ ~10 ⁻² 次	R4	R3	R2
	不太可能	10 ⁻⁶ ~10 ⁻⁴ 次	R4	R4	R3
	不可能	每年<10 ⁻⁶ 次	R4	R4	R4

資料來源：[153]及本研究整理

11. 機場捷運

表5.49 機場捷運-安全風險矩陣表

嚴重性		嚴重程度					
		輕微	不嚴重	嚴重	重大	災難	大災難
發生機率							
發生 機 率	經常	R4	R3	R2	R1	R1	R1
	有可能	R4	R3	R2	R2	R1	R1
	偶爾	R4	R3	R3	R2	R1	R1
	絕少	R4	R4	R3	R2	R2	R1
	不太可能	R4	R4	R3	R3	R2	R1
	不可能	R4	R4	R4	R3	R2	R1

資料來源：臺灣桃園國際機場聯外捷運系統及本研究整理

表5.50 機場捷運-安全風險矩陣值一覽表

風險等級 Risk Level		
R4	次要的	Minor
R3	非常嚴重	Very Serious
R2	災難	Disaster
R1	大災難	Catastrophic

資料來源：臺灣桃園國際機場聯外捷運系統及本研究整理

12. 台灣高鐵

表5.44 台灣高鐵-安全風險矩陣表

嚴重性 發生機率	無足 輕重	可忽 略	輕微	嚴重	重大	悲慘	災難 性
A 持續發生	Ar	Un	Un	Un	Un	Un	Un
B 經常發生	Ac	Un	Un	Un	Un	Un	Un
C 有時發生	Ac	Ud	Un	Un	Un	Un	Un
D 可能發生	Ac	Ar	Ud	Un	Un	Un	Un
E 偶爾發生	Ac	Ar	Ar	Ud	Un	Un	Un
F 不常發生	Ac	Ac	Ar	Ar	Ud	Un	Un
G 不太可能發生	Ac	Ac	Ac	Ar	Ar	Ud	Un
H 罕見	Ac	Ac	Ac	Ac	Ar	Ar	Ud
I 不可能發生	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ar	Ar
J 竟然發生	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ar

風險等級	處理原則
Un	不允許存在之風險，必須盡力將風險降低
Ud	不願見到之風險，必須依據 ALARP 原則，優先降低其風險。若必須勉予接受，必須經危害審查小組(Hazard Review Group, HRG)/資深危害審查小組(Senior Hazard Review Group, SHRG)之審核
Ar	雖可接受，但須經 HRG 技術審查同意；同時仍應依 ALARP 原則，持續降低其風險，但其優先順序低於 Ud
Ac	可接受之風險

各系統風險分析與評量作法比較

表5.59 國內外各軌道系統風險分析與評量作法比較

系統	風險分析與評量標的	風險評量方法	風險值評估方式
臺鐵	行車類與非行車類危害	風險矩陣	半定量搭配相加法
歐洲 MODURBAN	危害項目 (包括列車、車站、機廠、行控中心、維修等)	風險矩陣	半定量搭配落點法
倫敦地鐵	危害項目 針對個別人員與子系統訂定風險標準	風險矩陣 風險目標	半定量搭配相加法
澳洲糖鐵	危害項目 (列車、路線、作業項目)	風險矩陣	定性搭配落點法
澳洲塔斯馬尼亞州際鐵路	危害項目	風險矩陣	半定量搭配相加法
香港地鐵	危害項目 針對個別人員與子系統訂定風險標準	風險矩陣 風險目標	半定量搭配落點法
台北捷運	危害項目	風險矩陣	半定量搭配落點法
高雄捷運	危害項目 針對個別人員與子系統訂定風險標準	風險矩陣 風險目標	半定量搭配落點法
台灣高鐵	危害項目 針對個別人員訂定風險標準	風險矩陣 風險目標	半定量搭配落點法
桃園捷運	危害項目 針對子系統訂定風險標準	風險矩陣	半定量搭配落點法

註：桃園國際機場聯外捷運系統未來將由桃園捷運公司負責營運，另部分軌道系統因資料取得不完整，故未納入比較。

● 台鐵安全危害項目選定

■ 考慮原則

1. 該危害是否屬於高風險？
2. 該危害是否受到民眾或輿論高度關注？
3. 現況研擬該危害之改善是否有困難？
4. 該危害相關統計數據是否完備？

■ 考量因素

1. 台鐵近3年之高風險危害項目(2008~2010)

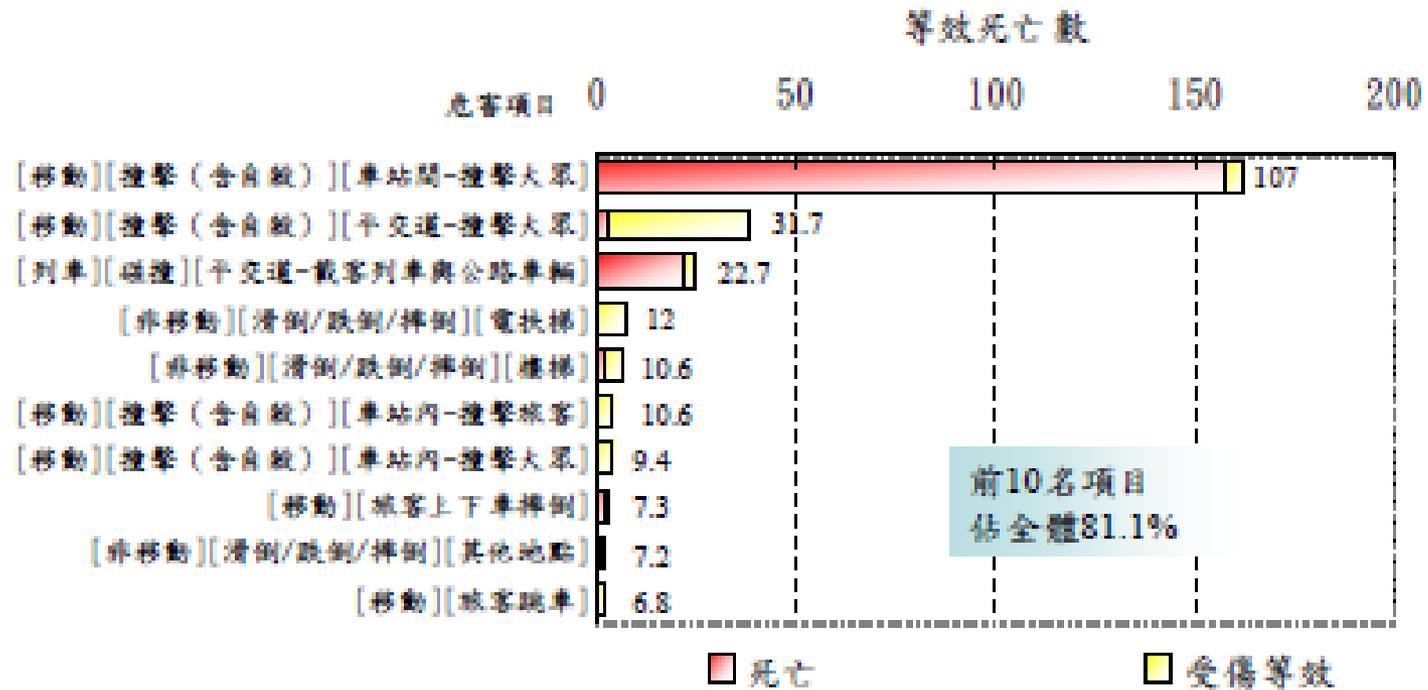


圖6-1 臺鐵 2008-2010 年安全風險排序圖 (前 10 序位)

表6.1 臺鐵 2008-2010 年安全風險排序表 (前 20 序位)

序位	危害項目	件數	死亡	受傷	等效 死亡
1	[移動危害][撞擊(含自殺)][車站間-撞擊大眾]	123	105	20	107.0
2	[移動危害][撞擊(含自殺)][平交道-撞擊大眾]	37	31	7	31.7
3	[列車危害][碰撞][平交道-載客列車與公路車輛碰撞]	42	20	27	22.7
4	[非移動危害][滑倒/跌倒/摔倒][電扶梯-滑倒/跌倒/摔倒]	105	1	110	12
5	[非移動危害][滑倒/跌倒/摔倒][樓梯-滑倒/跌倒/摔倒]	96	1	96	10.6
5	[移動危害][撞擊(含自殺)][車站內-撞擊旅客]	16	10	6	10.6
7	[移動危害][撞擊(含自殺)][車站內-撞擊大眾]	13	9	4	9.4
8	[移動危害][旅客上下車摔倒]	73	0	73	7.3
9	[非移動危害][滑倒/跌倒/摔倒][其他地點-滑倒/跌倒/摔倒]	69	0	72	7.2
10	[移動危害][旅客跳車]	50	2	48	6.8
11	[非移動危害][滑倒/跌倒/摔倒][月台-滑倒/跌倒/摔倒]	43	1	42	5.2
12	[移動危害][夾傷][遭列車門/通道門/廁所門夾傷]	41	0	42	4.2
13	[移動危害][滑倒/跌倒/摔倒][旅客滑倒/跌倒/摔倒]	36	0	36	3.6
14	[移動危害][摔入軌道][旅客摔入軌道]	7	2	5	2.5
15	[非移動危害][摔入軌道]	15	1	14	2.4
16	[非移動危害][非列車、車輛之撞擊]	22	0	22	2.2
17	[移動危害][撞擊(含自殺)][車站間-撞擊員工]	2	2	0	2
18	[移動危害][攻擊][旅客遭受攻擊]	8	1	7	1.7
19	[非移動危害][滑倒/跌倒/摔倒][廁所-滑倒/跌倒/摔倒]	14	0	15	1.5
20	[非移動危害][夾傷]	14	0	14	1.4

註：本表格資料僅統計有造成人員死傷的事故資料

2. 台鐵現行風險管理方式：行車類、非行車類

➤ 進行方式：由量化風險矩陣尋求評量項目。

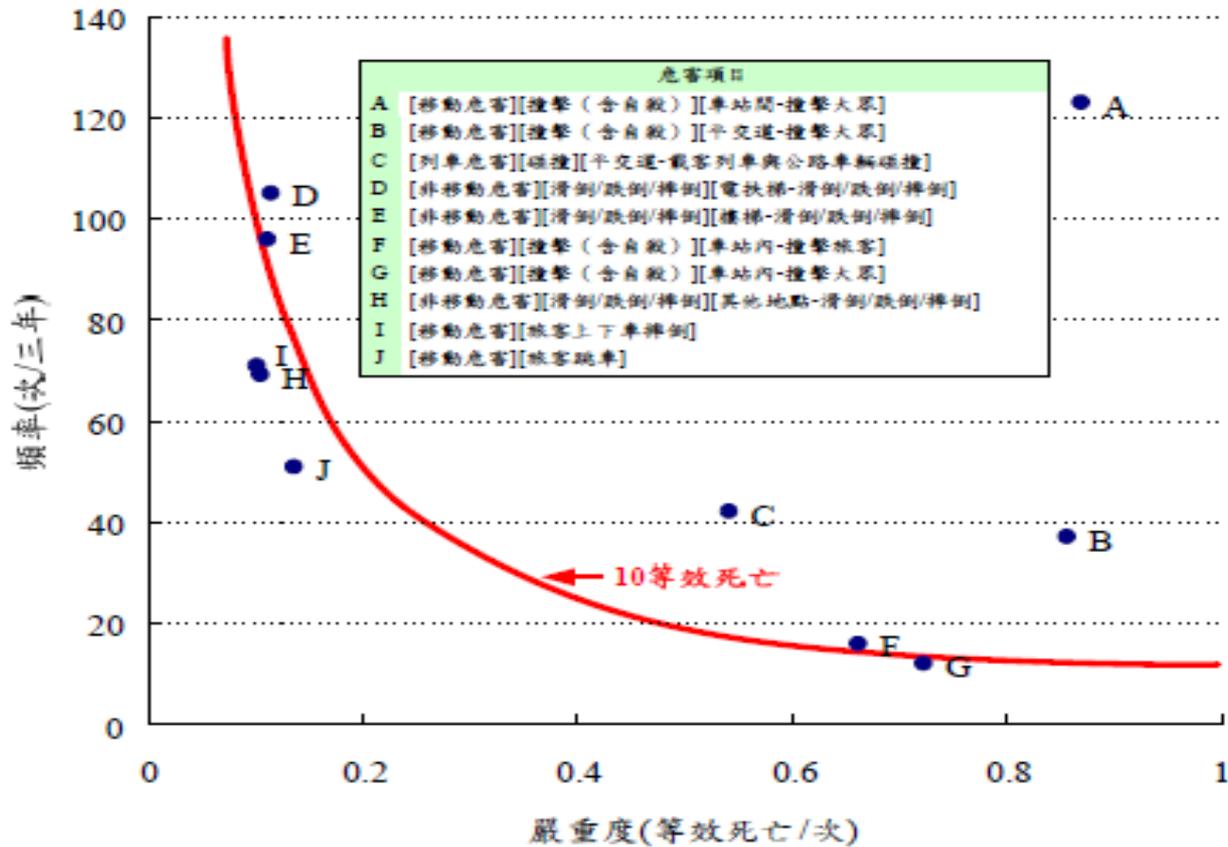


圖6-2 臺鐵 2008-2010 年量化風險矩陣圖 (前 10 順位)

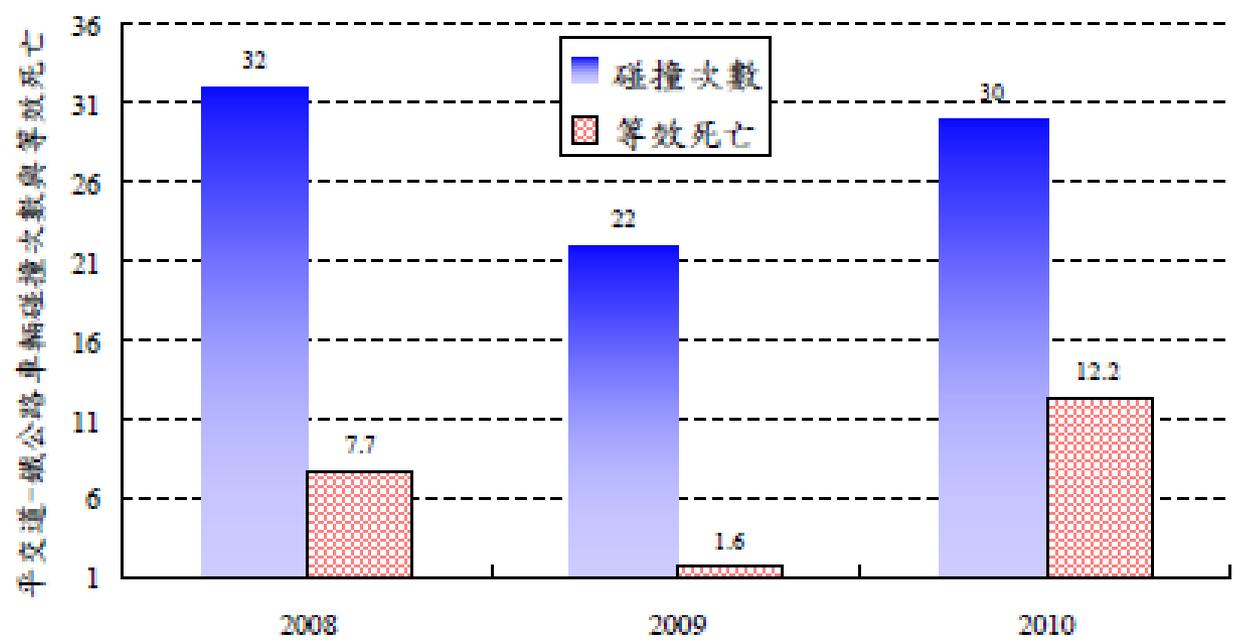
A. 行車類危害(圖6.1)

- 序位1：[移動危害][撞擊(含自殺)][車站間撞擊大眾]
- 序位2：[移動危害][撞擊(含自殺)][平交道~撞擊大眾]
- 序位3：[列車危害][碰撞][平交道~載客列車與公路車輛撞擊]

B. 非行車類危害

- 序位4、序位5、序位9、序位11
- 序位8：[移動危害][旅客上下車摔倒]
- 序位10：[移動危害][旅客跳車]
- 序位12：[移動危害][夾傷][遭列車門/通道門/廁所門夾傷]

● 7.1 平交道碰撞危害



註：本資料納入未造成人員死傷的事件資料，與表 6.1 僅考量造成死傷的統計數值不同。

圖7-1 近 3 年鐵公路車輛於平交道碰撞事故統計

1受傷 = 0.1等效死亡

1 平交道風險分析

- 背景

- 1) 臺鐵已陸續將平交道高架化或地下化
- 2) 仍有**500**個以上平交道(**1097**公里營運路線)2010年，平均不到**2**公里間距就有**1**個平交道

- 風險分析步驟

- 1) 確定分析範圍
- 2) 原始失誤樹分枝的簡化合併
- 3) 原始失誤樹事件的簡化合併
- 4) 各事件發生次數統計
- 5) 機率標準化基礎確定
- 6) 事件發生機率計算
- 7) 布林代數演算與量化分析
- 8) 重要性分析

A.發生機率分析

1.

確定分析範圍

- 「公路車輛型態範圍」：僅考慮機車、小客車、大型車；未納入腳踏車。
- 平交道類型：台鐵3甲平交道
- 碰撞類型：同時考量「鐵路列車撞公路車輛」及「公路車輛撞鐵路列車」。

2. 分枝簡化合併

失誤樹分枝簡化(1/5)

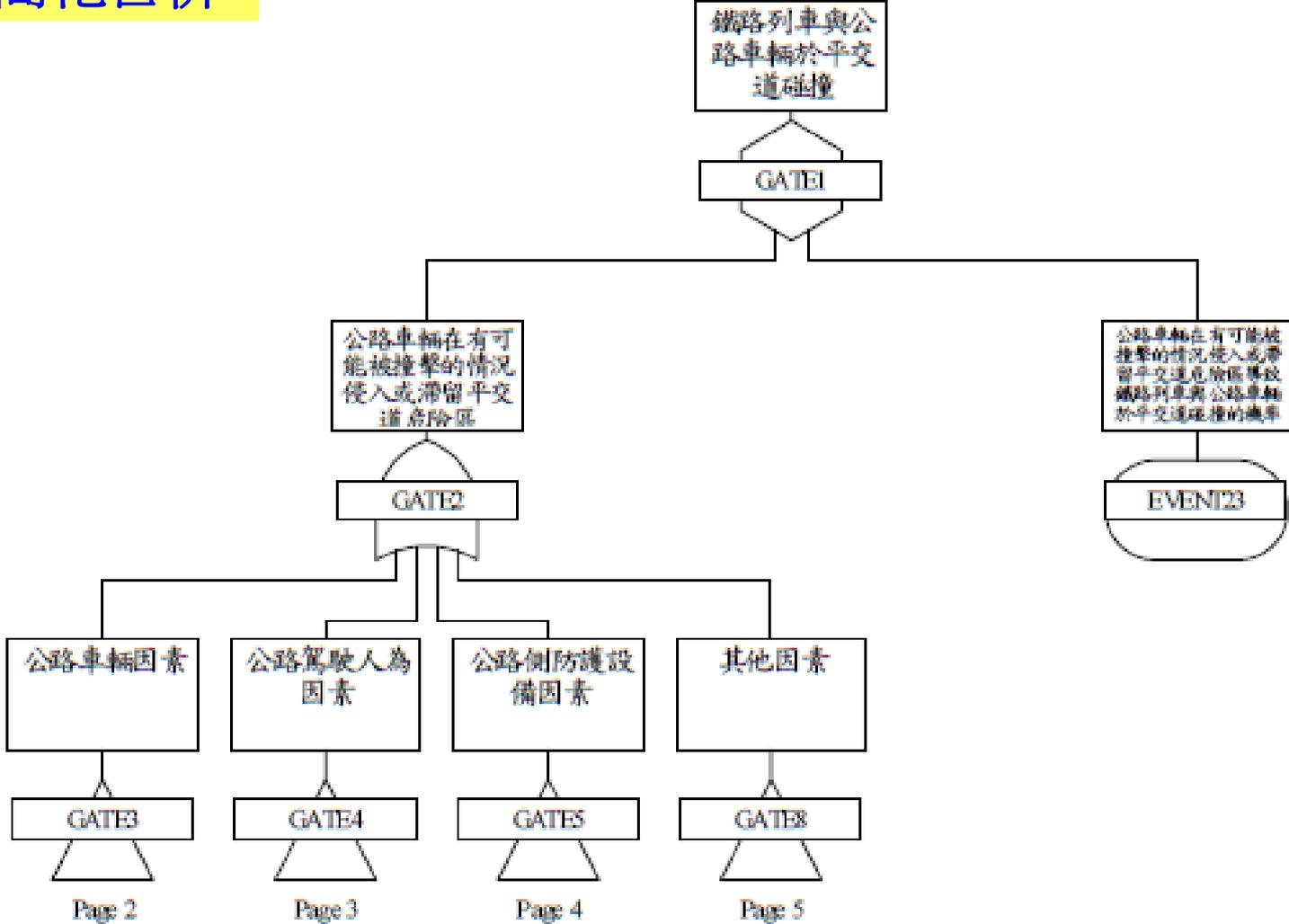


圖7-3 鐵公路車輛於平交道碰撞失誤樹-簡化後第 1 頁

失誤樹分枝簡化(2/5)

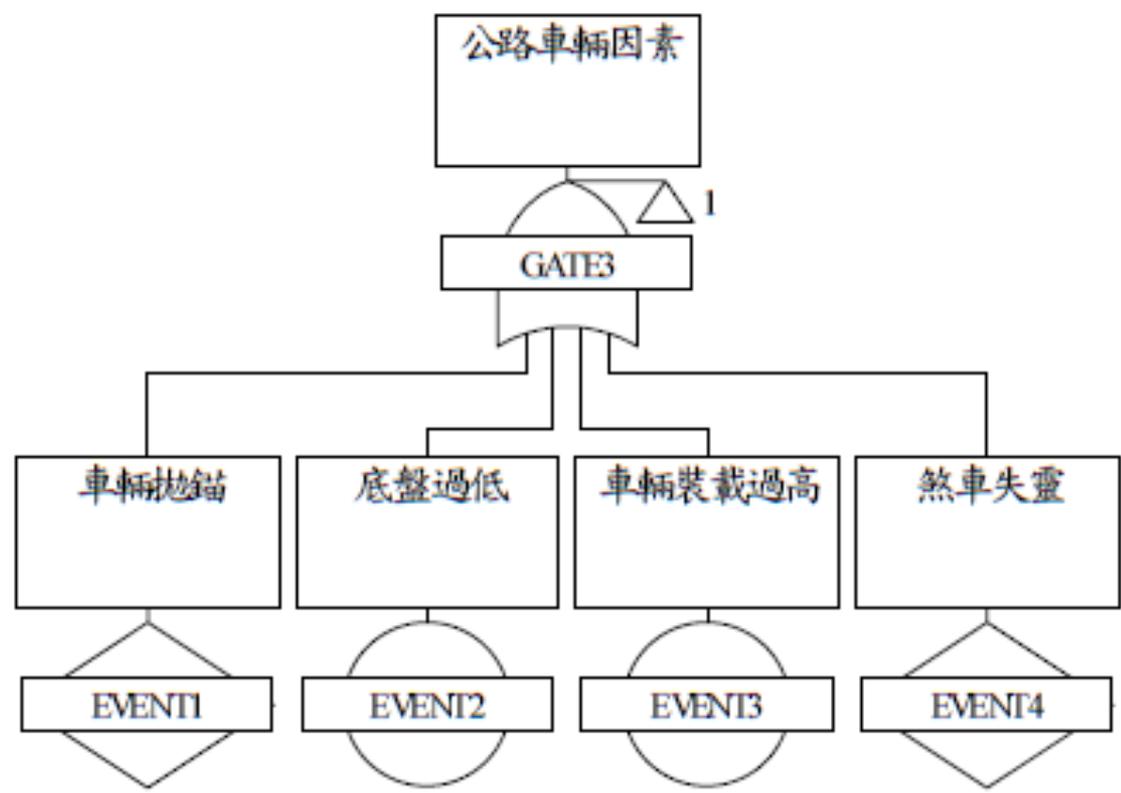


圖 7-3 鐵公路車輛於平交道碰撞失誤樹-簡化後第 2 頁

失誤樹分枝簡化(3/5)

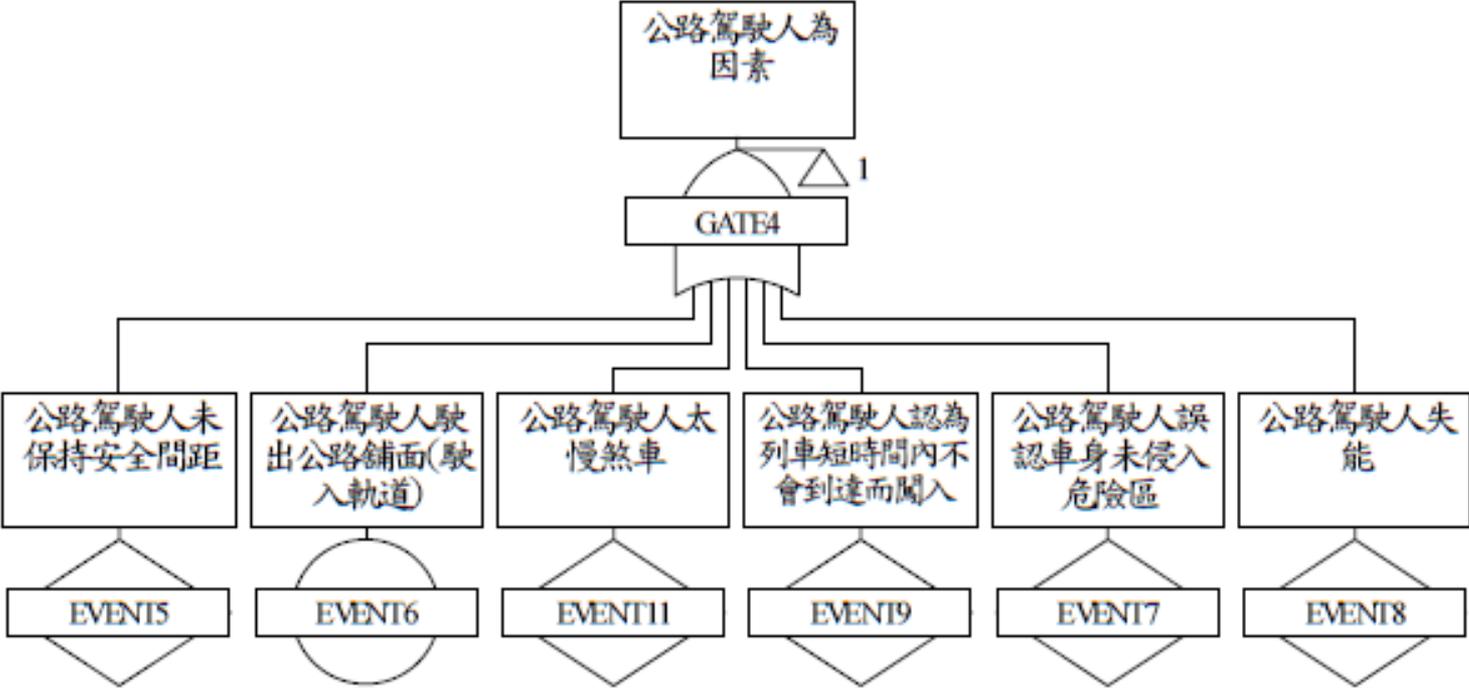


圖 7-3 鐵公路車輛於平交道碰撞失誤樹-簡化後第 3 頁

失誤樹分枝簡化(4/5)

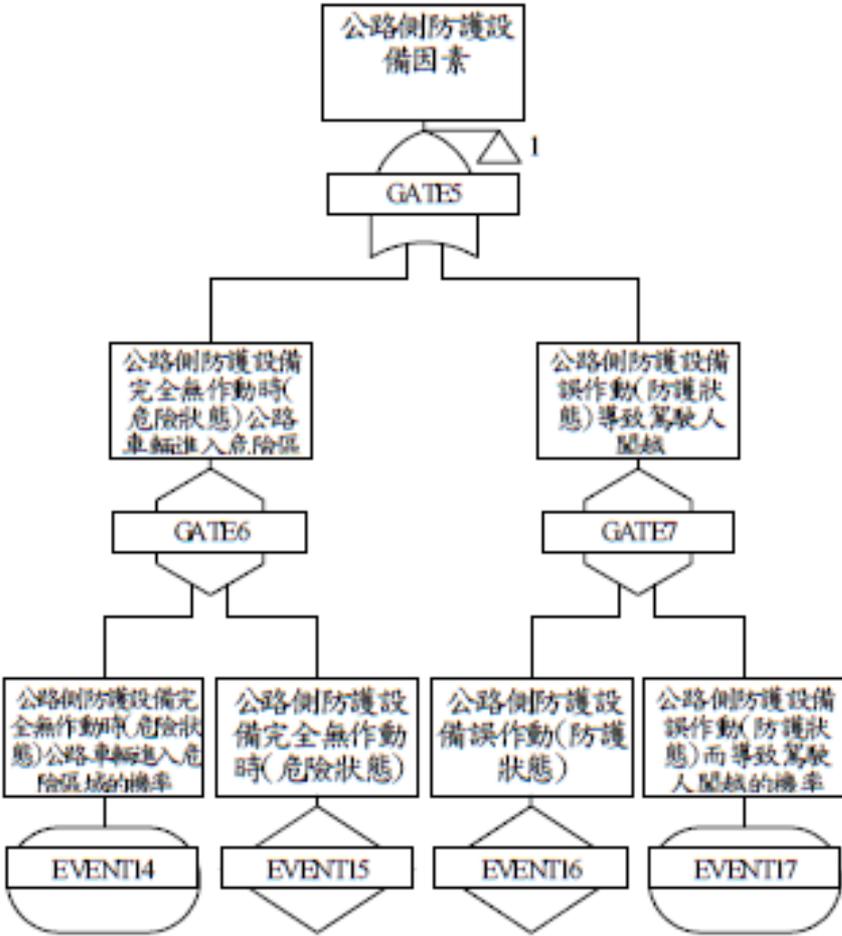


圖 7-3 鐵公路車輛於平交道碰撞失誤樹-簡化後第 4 頁

失誤樹分枝簡化(5/5)

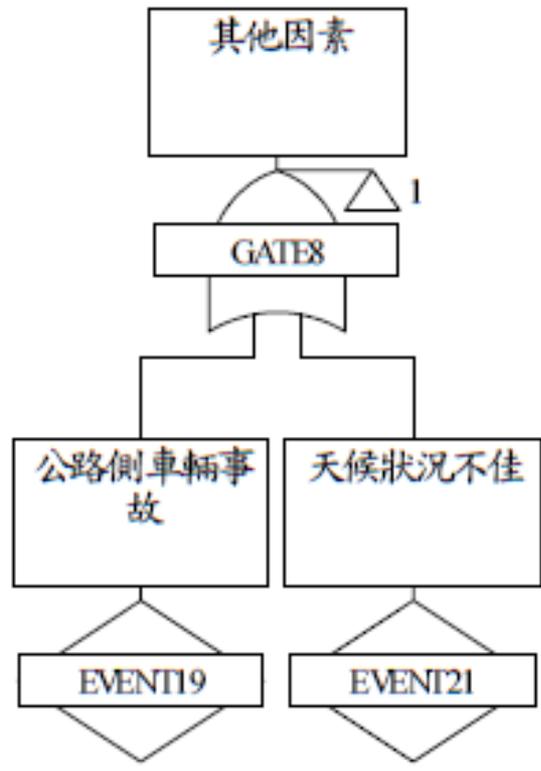


圖 7-3 鐵公路車輛於平交道碰撞失誤樹-簡化後第 5 頁

3.

事件簡化合併

- (1) 第I類事件：只要發生該類事件都視為可能被撞擊。
- (2) 第II類事件：該類事件要伴隨警報開始後才視為可能被撞擊。
- (3) 第III類事件：該類事件要伴隨列車接近才視為可能被撞擊。

表7.1 可能被鐵路列車撞擊的情境說明

分類	有可能被撞擊的定義	事件	
I	因此類事件造成公路側車輛的滯留時間較長，故無論何時發生都視為有可能被撞擊	公路車輛車輛拋錨	
		公路車輛底盤卡住	
		公路車輛裝載過高	
		公路車輛駛出鋪面	
		公路車輛事故	
II	公路側車輛於警報開始後發生此類事件，才有被撞擊的可能	公路車輛煞車失靈	
		公路車輛駕駛太慢煞車	
		公路車輛駕駛失能（酒醉）	
		公路車輛駕駛未保持安全間距（路塞）	
		公路車輛駕駛誤判短時間無車	
		公路車輛駕駛誤認未侵入淨空區域	
		天候不佳	
III	只有當公路側車輛於列車接近時進入平交道，才有被撞擊的可能	防護設備因素	無動作時公路車輛未注意
			誤動作時公路車輛闖越

4. 次數統計

表7.2 失誤樹分析基本事件次數統計一覽表

基本事件	碰撞次數	2008~2010年 記錄次數	2008~2010年 推估次數
公路車輛車輛拋錨	3	7	336
公路車輛底盤卡住	2	4	192
公路車輛裝載過高	0	2	96
公路車輛煞車失靈	0	1	48
公路車輛駕駛太慢煞車	3	3	144
公路車輛駕駛失能(酒醉)	5	8	384
公路車輛駕駛 未保持安全間距(路塞)	12	13	624
公路駕駛誤判短時間無車	41	44	2112
公路駕駛誤認未侵入淨空區域	7	8	384
公路車輛駛出鋪面	1	6	288
公路車輛事故	1	4	192
天候不佳	1	2	96
原因不明	8	15	720
公路防護設備無動作 ^(a)	-	3	-
無動作時公路車輛未注意 ^(a)	0	3	-
公路防護設備誤動作 ^(b)	-	45(僅2010)	138
誤動作時公路車輛闖越 ^(c)	0	0	0.5
總計	84	120	5619.5

註：(a)臺鐵實際統計數值，不須用48倍推估、(b)臺鐵實際統計2010年發生45次，再根據各年度三甲平交道數量等比例推估2008~2010發生138次(c)觀測期間內發生為0次，實務上作法上會以兩倍的時間點發生1次來推估，亦即觀測期間內發生0.5次。

5. 機率標準化

表7.3 通過平交道公路車輛數統計一覽表

年期	三甲平交道數 (年初年底平均)	三甲平交道每日 總通過車輛數	備註
2010年	473.5	2,897,209	實際調查
2009年	480.5	2,940,040	等比估計
2008年	490	2,998,168	
總計		8,835,417	

註：2010年平交道通過車輛數為實際調查數值，2009與2008年係利用三甲平交道數量等比推估。

表7.4 列車公里統計一覽表

年期	臺鐵每年 營運列車行駛公里數	備註
2010年	40,455,979	臺鐵 統計資料
2009年	40,530,635	
2008年	39,682,682	
總計	120,669,296	

6.

事件發生機率計算

基本事件	2008~2010 年推估次數	每通過平交 道車輛發生 機率	每列車公里 發生機率
公路車輛車輛拋錨	336	1.04×10^{-7}	2.78×10^{-6}
公路車輛底盤卡住	192	5.95×10^{-8}	1.59×10^{-6}
公路車輛裝載過高	96	2.98×10^{-8}	7.96×10^{-7}
公路車輛煞車失靈	48	1.49×10^{-8}	3.98×10^{-7}
公路車輛駕駛太慢煞車	144	4.47×10^{-8}	1.19×10^{-6}
公路車輛駕駛失能（酒醉）	384	1.19×10^{-7}	3.18×10^{-6}
公路車輛駕駛 未保持安全間距（路塞）	624	1.93×10^{-7}	5.17×10^{-6}
公路車輛駕駛誤判短時間無車	2112	6.55×10^{-7}	1.75×10^{-5}
公路車輛駕駛 誤認未侵入淨空區域	384	1.19×10^{-7}	3.18×10^{-6}
公路車輛駛出鋪面	288	8.93×10^{-8}	2.39×10^{-6}
公路車輛事故	192	5.95×10^{-8}	1.59×10^{-6}
天候不佳	96	2.98×10^{-8}	7.96×10^{-7}
原因不明	720	2.23×10^{-7}	5.97×10^{-6}
防護設備無動作	3	9.30×10^{-10}	2.49×10^{-8}
防護設備誤動作	138	4.28×10^{-8}	1.14×10^{-6}

7. 布林代數演算， 量化分析

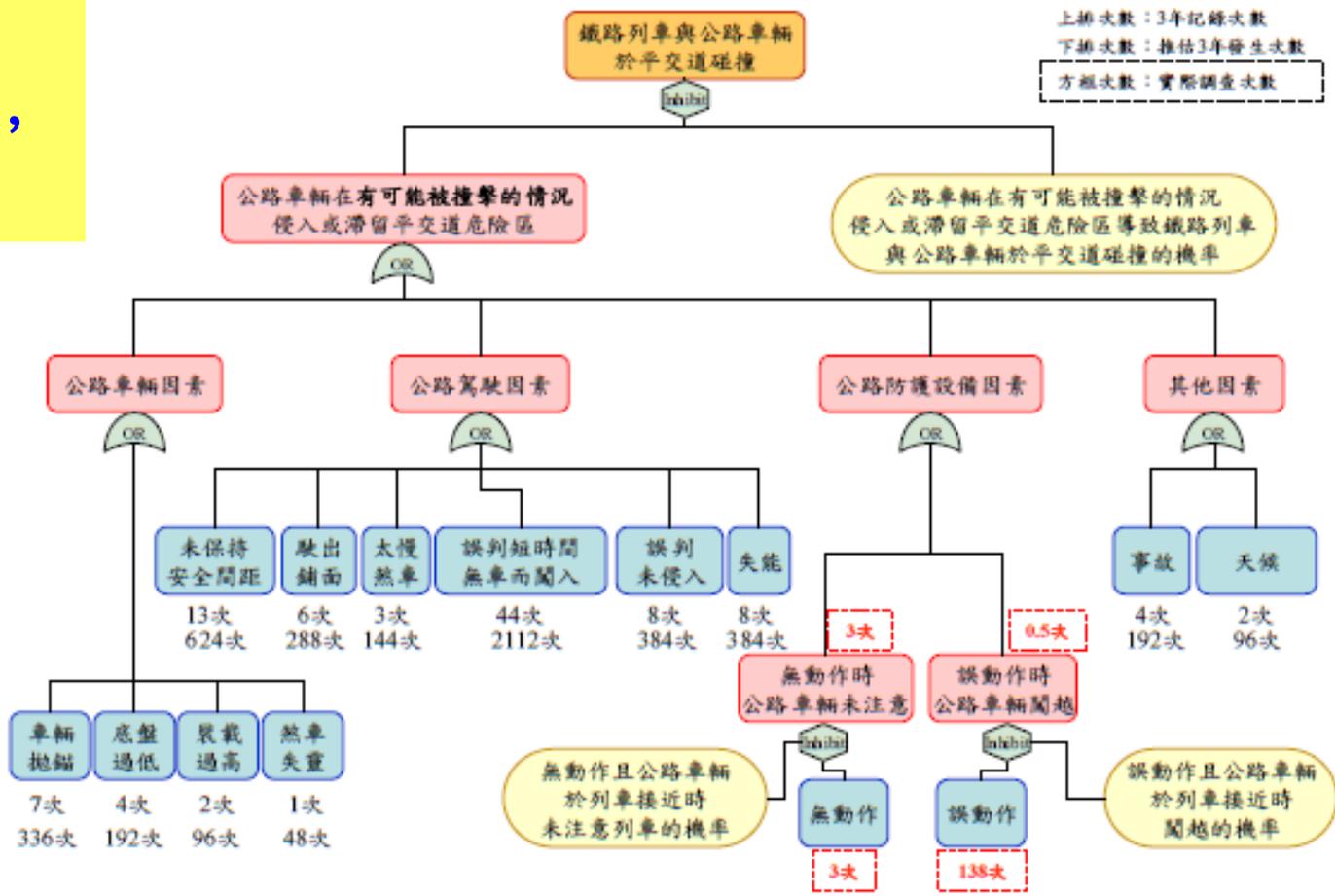


圖7-4 鐵公路車輛於平交道碰撞失誤樹次數統計

7. 布林代數演算，
量化分析

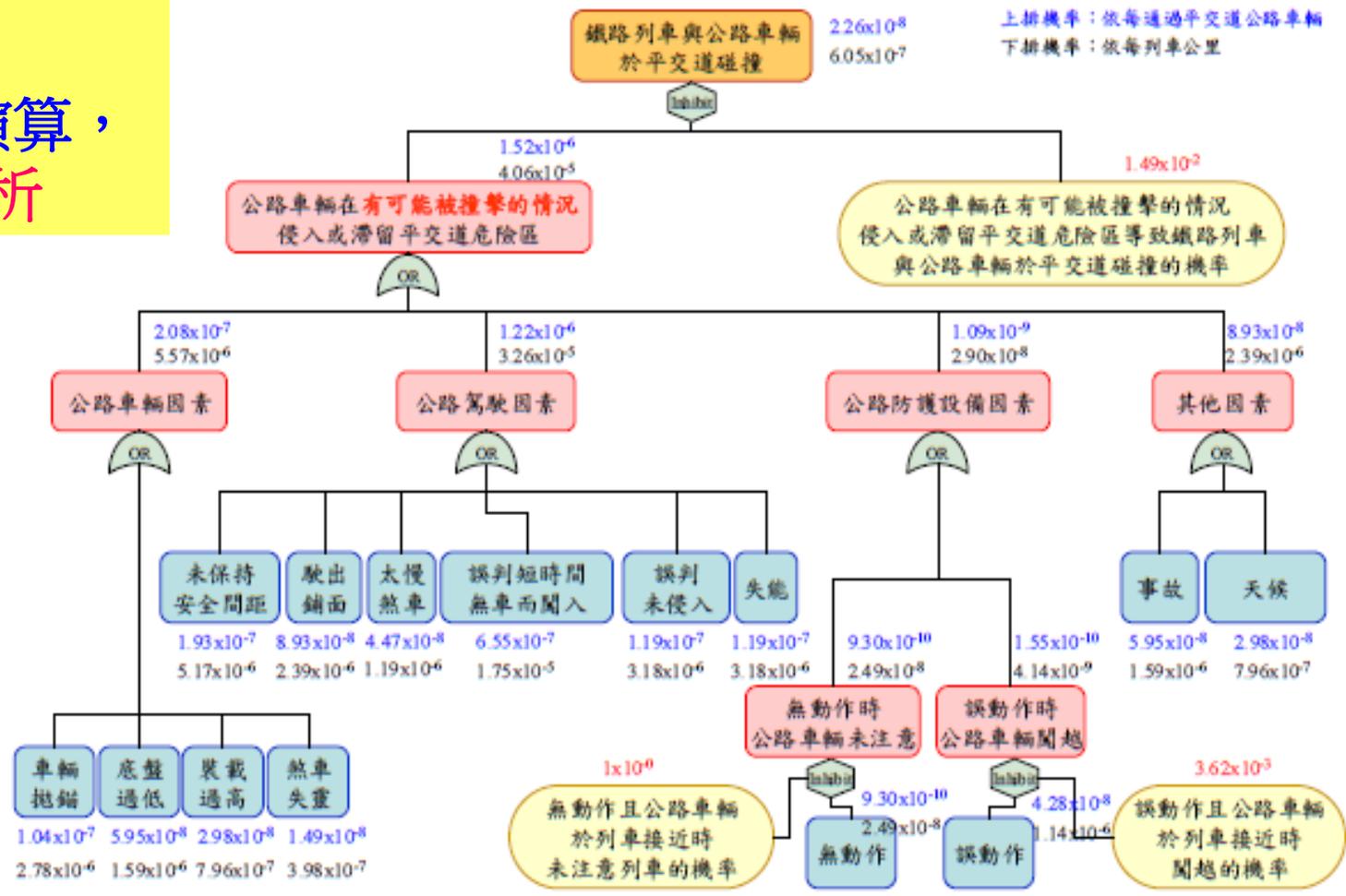


圖7-5 鐵路車輛於平交道碰撞失誤樹量化分析

8.

重要性分析

- 平交道碰撞主要原因：公路車輛駕駛人違規
- ✓ 誤判短時間無列車而闖越
- ✓ 公路車輛未保持安全間距
- ✓ 誤判公路車身未侵入

B. 嚴重程度分析

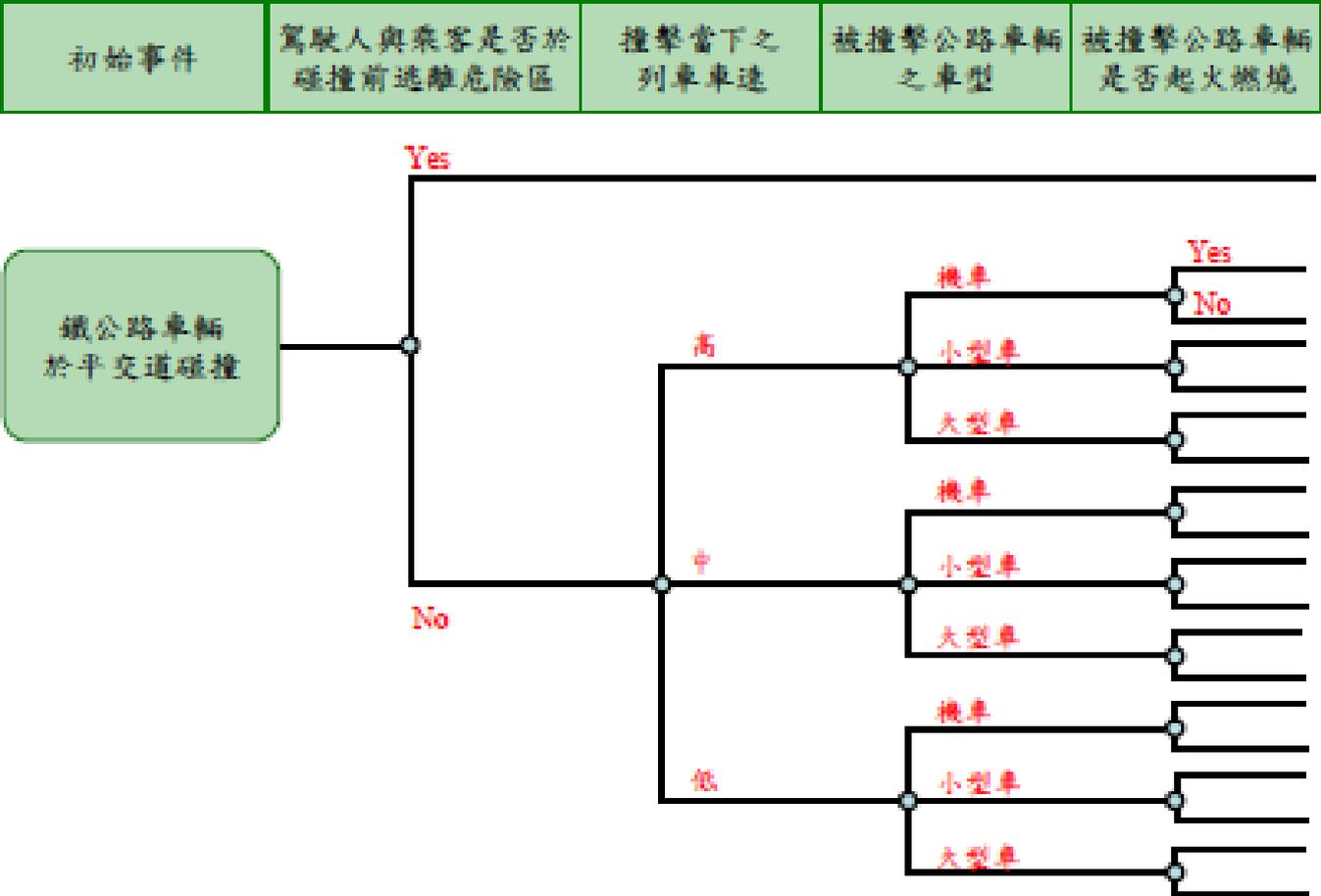


圖7-6 鐵公路車輛於平交道碰撞事件樹分析-原始圖

1. 情境確認

- (1) 駕駛人與乘客是否於碰撞前逃離危險區：此部份資料不完整，無法提供分析。
- (2) 撞擊當下之列車速度：目前無此記錄資料。
- (3) 被撞擊公路車輛之車型：可從事故記錄內判讀出資料。
- (4) 被撞擊公路車輛是否起火燃燒：目前無此記錄資料。

2. 資料彙整

- (1) 機車：發生 31 次碰撞事故，佔整體事故發生次數之 36.9%，造成大眾 12 死 16 傷，等值於 0.439 等效死亡/次。
- (2) 小型車（小客車、小貨車）：發生 49 次碰撞事故，佔整體事故發生次數之 58.3%，造成大眾 7 死 9 傷，等值於 0.161 等效死亡/次。
- (3) 大型車（大貨車、聯結車、特種車）：發生 4 次碰撞事故，佔整體事故發生次數之 4.5%，但 4 事故均未造成死傷，考量實際上大型車被碰撞仍有死傷可能，參考實務上之作法假設發生 8 次會造成一人受傷，等值於 0.0125 等效死亡/次。

整體而言，共有 84 次碰撞事故，共造成 19 死 25.5 傷，平均每次碰撞所造成的嚴重程度為 0.257 等效死亡（都是大眾）。

C.風險值評估

初始事件	被撞擊公路車輛之車型	發生機率	嚴重程度	風險值	
鐵公路車輛 於平交道碰撞	機車	31/84=0.369	8.35×10 ⁻⁹	x 0.439	3.67×10 ⁻⁹
			2.23×10 ⁻⁷		9.80×10 ⁻⁸
	小型車	49/84=0.583	1.32×10 ⁻⁸	x 0.161	2.12×10 ⁻⁹
			3.53×10 ⁻⁷		5.68×10 ⁻⁸
	大型車	4/84=0.048	1.08×10 ⁻⁹	x 0.0125	1.36×10 ⁻¹¹
			2.90×10 ⁻⁸		3.63×10 ⁻¹⁰

上排數值：依每通過平交道公路車輛計算
 下排數值：依每列車公里計算

整體風險值 = 5.80×10⁻⁹
 1.55×10⁻⁷

圖7-7 鐵公路車輛於平交道碰撞事件樹分析-簡化後

表7.6 事件樹分析結果

車型	等效死亡/每通過平交道公路車輛	等效死亡/每列車公里
機車風險值	3.67×10^{-9}	9.80×10^{-8}
小型車風險值	2.12×10^{-9}	5.68×10^{-8}
大型車風險值	1.36×10^{-11}	3.63×10^{-10}
整體風險值	5.80×10^{-9}	1.55×10^{-7}

7.2 風險評量

台鐵資料(2008~2010)：

1. 鐵公路車輛於平交道發生碰撞事故__ 84次
2. 發生率__28次/年
3. 嚴重程度__0.257等效死亡

非常嚴重	C	B	B	A	A
相當嚴重	D	C	B	B	A
嚴重	D	D	C	B	B ← 平交道
輕微	E	D	D	C	B
極輕微	E	E	E	D	C
	幾乎不可能	不太可能	可能	非常可能	幾乎確定

圖7-8 鐵公路車輛於平交道碰撞風險評量（臺鐵標準）

其他單位相對風險評量結果

表7.7 鐵公路車輛於平交道碰撞風險評量（其他標準）

其他標準	風險等級	代表意義
台灣高鐵	Un (落點)	不允許存在必須降低
台北捷運	R1 (落點)	必須降低
高雄捷運	R1 (落點)	必須降低
倫敦地鐵	高 (相加)	不可忍受
澳洲 Tasmania	9分 (相加)	依據 ALARP 原則儘量降低
澳洲糖鐵	3分 (落點)	必須降低
香港地鐵	R1 (落點)	必須降低
中國城際鐵路	A (落點)	必須降低
美國	高 (落點)	必須降低
MODURBAN	紅 (落點)	必須降低

* 無法忍受

7.3 改善建議

表7.8 降低鐵公路車輛於平交道碰撞風險的改善手段

基本事件	積極措施	消極措施
誤判短時間無車而闖越	<ol style="list-style-type: none"> 1. 公路側提前警示 2. 考量降低入口端公路車輛車速之工程手段 3. 加強教育宣導 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 違規攝影照相 2. 加重罰則金額
未保持安全間距	<ol style="list-style-type: none"> 1. 鐵公路號誌連鎖 2. 重新檢討進出口遮斷桿秒差 3. 加強教育宣導 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 違規攝影照相 2. 加重罰則金額
誤判未侵入	<ol style="list-style-type: none"> 1. 公路側提前警示 2. 加強教育宣導 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 違規攝影照相

8. 旅客上下車摔倒危害

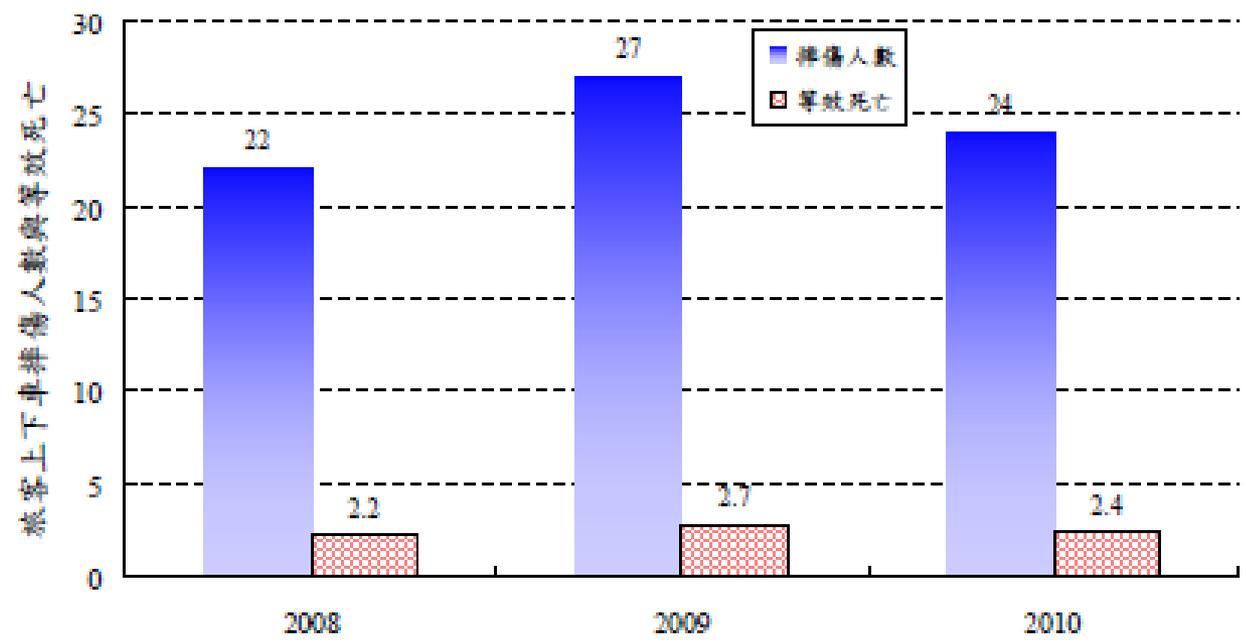


圖8-1 近3年臺鐵旅客上下車摔傷人數

8.1 風險分析

表8.1 人為錯誤分析技術使用名詞對照表

HEART (Williams 提出)	Rail-Specific HEART (RSSB 修正後之方法)
通用任務類型 Generic Task Types, GTT	通用錯誤類型 Generic Error Type, GET
潛在人為失誤率 Nominal Human Error Potential, NHEP	潛在錯誤失誤率 Nominal Generic Error Probabilities, Nominal GEP
失誤產生條件 Error Producing Conditions, EPC	績效影響因子 Performance Factor, PF
影響比率 Assessed Proportion of Affect, APOA	影響比率 Assessed Proportion of Effect, APOE

A. 發生機率分析

1. 分析範圍

(1) 「對象」範圍

- 旅客種類：一般旅客、老年與幼年旅客、身障旅客、視障與聽障旅客。
- 車門種類：自動車門、手動車門。

(2) 「時間」範圍

本研究僅分析列車完全停妥後發生的旅客上下車摔倒事件，主要因列車尚未停妥時，旅客自行開啟手動車門下車屬於臺鐵 119 項危害中[移動危害][跳車]危害的範圍，並不在[移動危害][旅客上下車摔倒]的討論範疇內。

(3) 「空間」範圍

雖然絕大多數情況列車都停靠在月台邊，但有時因列車長度過長，會發生部分車廂不臨月台的情況，此外臺鐵近年大力推廣的「遊輪式列車」亦在沒有月台的景點，由臺鐵員工協助旅客藉由移動式階梯直接在沒有月台處上下車（例如：南迴線的枋野號誌站），故不臨月台面的上下車情況亦納入探討範圍。

2. 完整涵蓋所有子任務

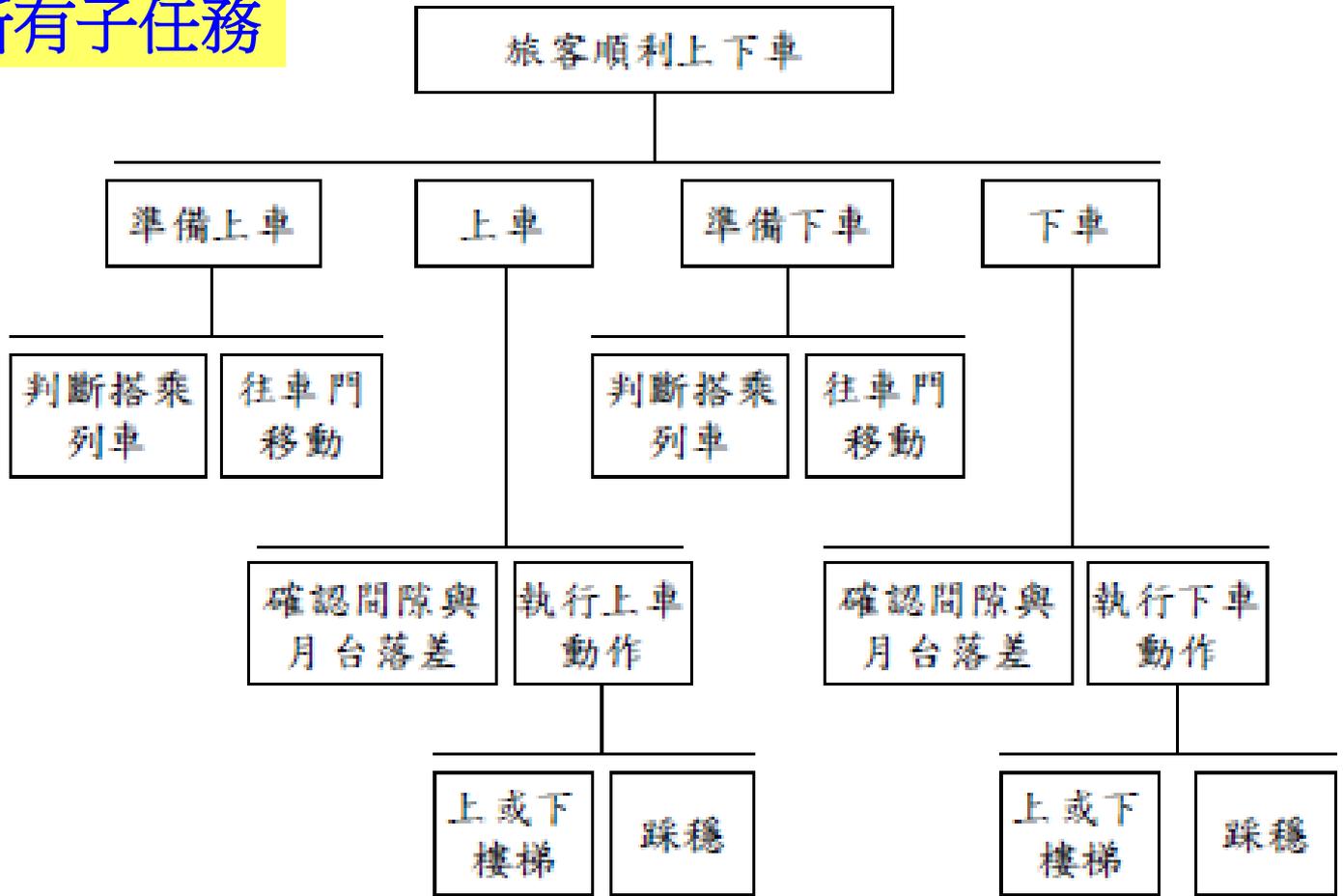


圖8-2 旅客順利上下車的層級任務分析圖

3.

探討可能的錯誤

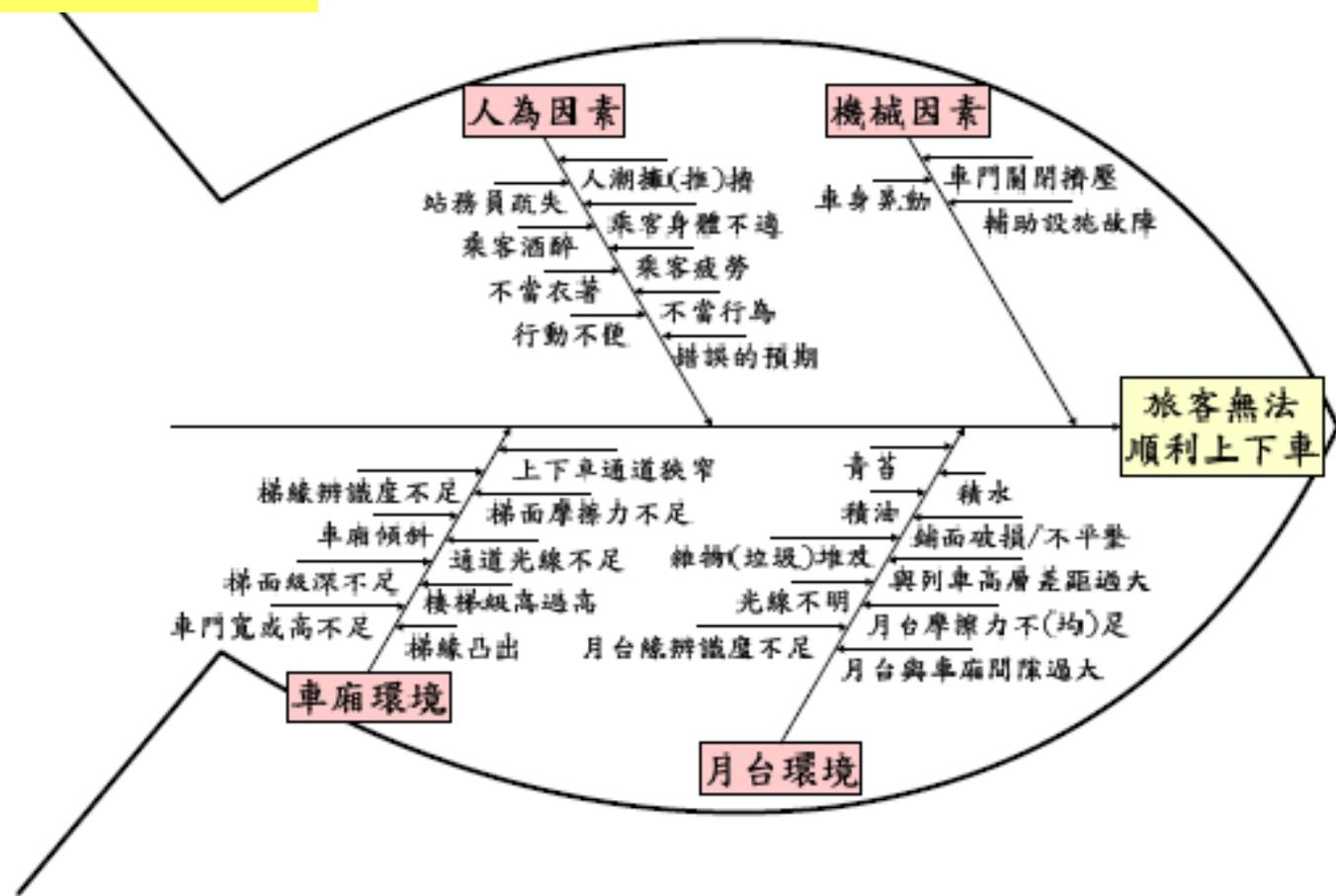


圖8-3 臺鐵旅客無法順利上下車之特性要因圖

4.

思考可能發生通用錯誤類型

表8.2 通用錯誤類型與失誤率參考值

通用 錯誤類型 GET	潛在錯誤失誤率 Nominal GEP	失誤率上限 Upper value	失誤率下限 Lower value
偵測失效 Detection Failure	1.1×10^{-4}	1.7×10^{-4}	4.51×10^{-5}
感知失效 Perception Failure	2.05×10^{-5}	4.43×10^{-5}	5.32×10^{-6}
理解失效 Interpretation Failure	1.57×10^{-2}	2.65×10^{-2}	6.24×10^{-3}
決策失效 Decision Failure	3.68×10^{-5}	6.4×10^{-5}	1.65×10^{-6}
記憶失效 Memory Failure	4.71×10^{-4}	1.18×10^{-3}	3.82×10^{-5}
疏忽 Omission	6.88×10^{-5}	1.10×10^{-4}	7.61×10^{-5}
操作失效 Manual Failure	4.4×10^{-2}	1.31×10^{-1}	3.93×10^{-4}

資料來源：[94]及本研究繪製

- (1) 偵測失效：在時間限制內，無法偵測預期或非預期目標的情況。
- (2) 感知失效：未能順利的接收視覺或聽覺的訊息，或接收到錯誤的訊息（不包括理解）。
- (3) 理解失效：誤會或不了解接收訊息的意義（不包括無法順利接收）。
- (4) 決策失效：作了一個錯誤的判斷或決定（當可提供判斷或決定的資訊都是正確的）。
- (5) 記憶失效：忘記或弄錯曾接收的視覺或聽覺的訊息。
- (6) 疏忽：因分心而忽略或忘記應該執行的步驟。
- (7) 操作失效：操作不正確。

表8.3 旅客上下車過程可能發生的錯誤類型與失誤率

通用錯誤類型 (GET)	潛在錯誤失誤率 (Nominal GEP)
感知失效 Perception Failure	5.32×10^{-6}
決策失效 Decision Failure	1.65×10^{-6}
疏忽 Omission	7.61×10^{-5}

5.

影響績效因子PF

項次	績效影響因子 (PF)	定義	影響因數
1	不熟悉	對執行的任務「完全」不熟悉	17
2	時間壓力	卻乏足夠時間完成任務	11
3	感知能力	受外在環境影響視覺與聽覺的接收能力	10
4	准許忽略徵兆	警告訊息可以被忽視並非強制遵循	9
5	位置與設計	設備的位置或使用方式與直覺不符，可能混淆使用者	5
6	負擔過重	同時有多項任務被要求一起執行	6
7	技巧學習的衝突	新的技術或知識與舊有的發生衝突	6
8	程序理解的問題	執行者不清楚任務正確的執程序	5
9	風險認知	因過度自信而輕忽可能的危險性	4
10	不好的回饋	反應給執行者的資訊不適當	4
11	延遲或不完整的回饋	反應給執行者的資訊有延遲或不完整（並非「不適當」而是「不完整」）	4
12	經驗不足	對執行的任務「部分」不熟悉	8
13	資訊品質與可接收性	傳遞給執行者的資訊不夠清楚（並非「反應」的資訊）	3
14	目標衝突	長期目標與當下的短期目標有衝突	3
15	單一資訊來源	執行者只有一個管道能獲取資訊	2.5
16	教育與訓練問題	執行者受的訓練或應具備的知識不足	2
17	資訊不可信	執行者不信任資訊的正確性	1.6
18	沒釐清職責	執行者不清楚負責的範圍	1.6
19	體能狀況	執行者本身的身體狀況不適合執行任務	1.4
20	情緒壓力	執行者內心遭遇壓力（包含私人因素）	2
21	健康	執行者本身有疾病或生理上的不舒服	2
22	士氣	與公司或長官的關係不好	2
23	資訊不一致	多個資訊來源傳遞不一樣的訊息	1.2
24	環境	執行任務的環境不良	8
25	不專注	因任務大多時候較單調，導致執行者不專注的情形	3
26	疲勞	因工作上或私人因素導致疲勞	1.1
27	分心	被周遭的人事物吸引而分心	1.03
28	團隊關係	與同事的關係不好	1
29	無標準流程	沒有好的方法或標準程序供執行者遵循	1.4

表8.5 通用錯誤類型與對應之績效影響因子及影響因數

通用錯誤類型 (GET)	績效影響因子 (PF)	影響因數 (Multiplier)
感知失效	3.感知能力	10
決策失效	2.時間壓力	11
	9.風險認知	4
	19.體能狀況	1.4
	24.環境	8
疏忽	6.負擔過重	6
	12.經驗不足	8
	27.分心	1.03

6. PF的影響比率 (APOE)

績效影響因子 (PF)	影響情境說明
時間壓力	<ol style="list-style-type: none"> 1. 於警鈴響起時匆促上車 2. 不清楚列車的停靠位置，導致列車進站後須儘速移動至車門位置 3. 不清楚停靠站訊息，未能提早準備下車
感知能力	<ol style="list-style-type: none"> 1. 因月台光線不足而分不清楚樓梯而與車廂月台間隙 2. 因月台邊側與車廂樓梯面的顏色不易區分而看不清楚車廂月台間隙
負擔過重	<ol style="list-style-type: none"> 1. 手提大件行李上下車 2. 自行開啟車門上下車
風險認知	<ol style="list-style-type: none"> 1. 忽視安全，嬉笑打鬧、奔跑或採跳躍的方式上下車 2. 無視列車門開關中強行上下車
經驗不足	<ol style="list-style-type: none"> 1. 不熟悉於不臨月台面下車 2. 對起迄站的上下車環境不熟悉
體能狀況	<ol style="list-style-type: none"> 1. 老年人、幼童、身障者無力上下車 2. 旅客因健康因素身體不適而無力上下車
環境	<ol style="list-style-type: none"> 1. 月台邊側破損、凹凸不平或止滑效果不佳 2. 車廂樓梯「級高」太高或與月台落差太大 3. 車廂樓梯「級深」不足 4. 車站或車廂人潮擁擠 5. 車廂與月台之間間隙過大
分心	<ol style="list-style-type: none"> 1. 講手機、操作手持電子設備而分心 2. 尋找車站或轉乘資訊而分心

表8.7 臺鐵整體旅客績效影響因子影響比率

績效影響因子 (PF)	通勤旅客 影響比率 (APOE)	非通勤旅客 影響比率 (APOE)	整體旅客 影響比率 (APOE)
時間壓力	0.1	0.2	0.124
感知能力	0.05	0.05	0.05
負擔過重	0.05	0.3	0.11
風險認知	0.05	0.05	0.05
經驗不足	0.05	0.1	0.062
體能狀況	0.05	0.05	0.05
環境	0.5	0.3	0.452
分心	0.1	0.3	0.148

7. 評估失誤機率

表8.8 旅客上下車發生感知失效的失誤率分析

感知失效			潛在錯誤失誤率
			5.32×10^{-6}
績效影響因子 PF	影響因數 Multiplier	影響比率 APOE	因數評估值 Assessed Affect
3.感知能力	10	0.05	$(10-1) \times 0.05 + 1 = 1.45$
旅客因感知失效無法順利上下車機率 $= (5.32 \times 10^{-6}) \times 1.45 = 7.71 \times 10^{-6}$			

表8.9 旅客上下車發生決策失效的失誤率分析

決策失效			潛在錯誤失誤率
			1.65×10^{-6}
績效影響因子 PF	影響因數 Multiplier	影響比率 APOE	因數評估值 Assessed Affect
2.時間壓力	11	0.124	$(11-1) \times 0.124 + 1 = 2.24$
9.風險認知	4	0.05	$(4-1) \times 0.05 + 1 = 1.15$
19.體能狀況	1.4	0.05	$(1.4-1) \times 0.05 + 1 = 1.02$
24.環境	8	0.452	$(8-1) \times 0.452 + 1 = 4.164$
旅客因決策失效無法順利上下車機率 $= (1.65 \times 10^{-6}) \times 2.24 \times 1.15 \times 1.02 \times 4.164 = 1.81 \times 10^{-5}$			

表8.10 旅客上下車發生疏忽的失誤率分析

疏忽			潛在錯誤失誤率
			7.61×10^{-5}
績效影響因子 PF	影響因數 Multiplier	影響比率 APOE	因數評估值 Assessed Affect
6.負擔過重	6	0.11	$(6-1) \times 0.11 + 1 = 1.55$
12.經驗不足	8	0.062	$(8-1) \times 0.062 + 1 = 1.434$
27.分心	1.03	0.148	$(1.03-1) \times 0.148 + 1 = 1.004$
旅客因疏忽無法順利上下車機率 $= (7.61 \times 10^{-5}) \times 1.55 \times 1.434 \times 1.004 = 1.70 \times 10^{-4}$			

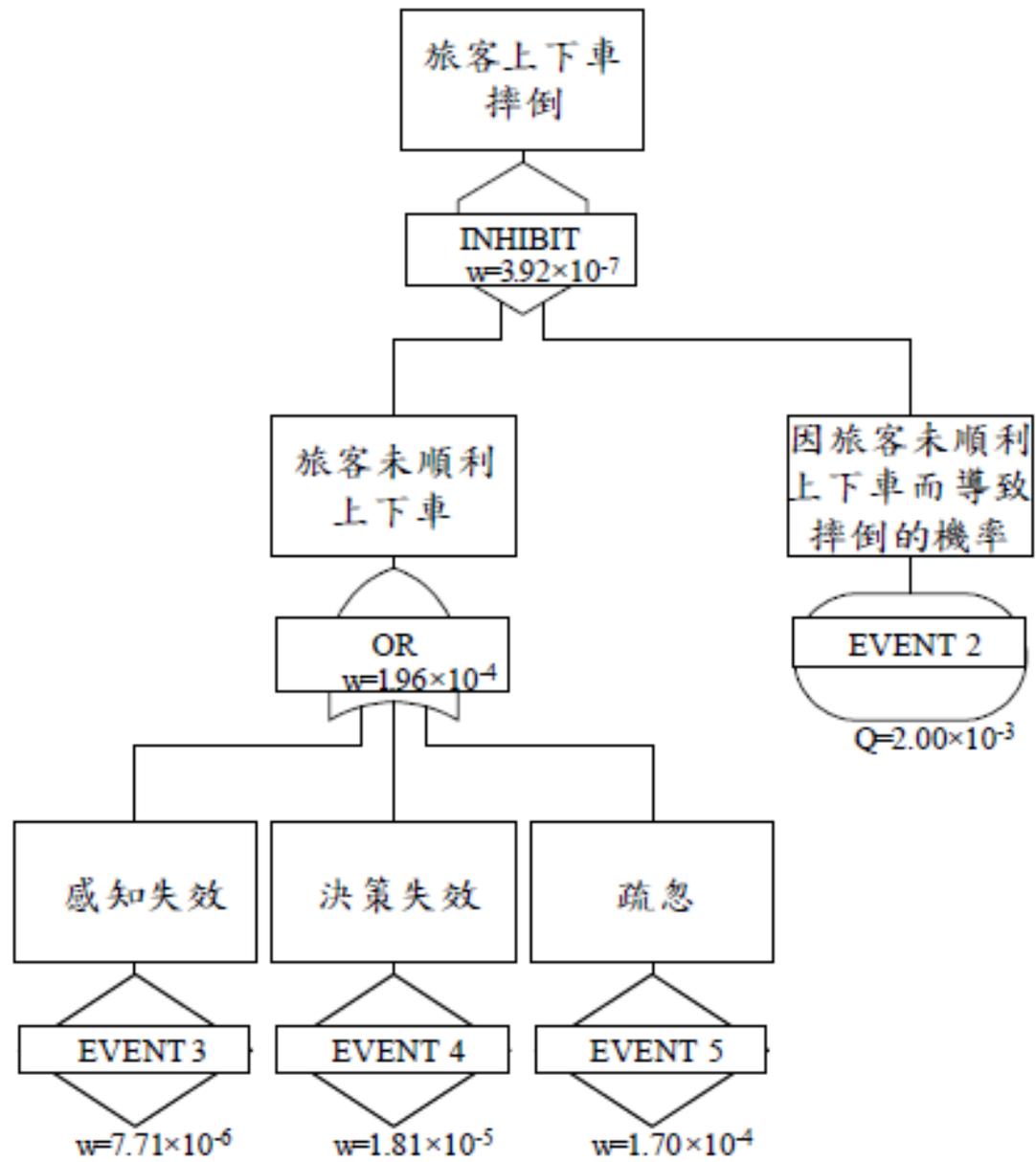


圖8-4 旅客未順利上下車與實際摔倒的關係示意圖

B. 嚴重程度推估

- 摔倒機率：
 3.92×10^{-7}
- 摔傷機率：
 1.33×10^{-7}
- 平均每3次摔倒事件中會有1人受傷
- 受傷與等效死亡率採0.1
- 嚴重程度為0.033等效死亡

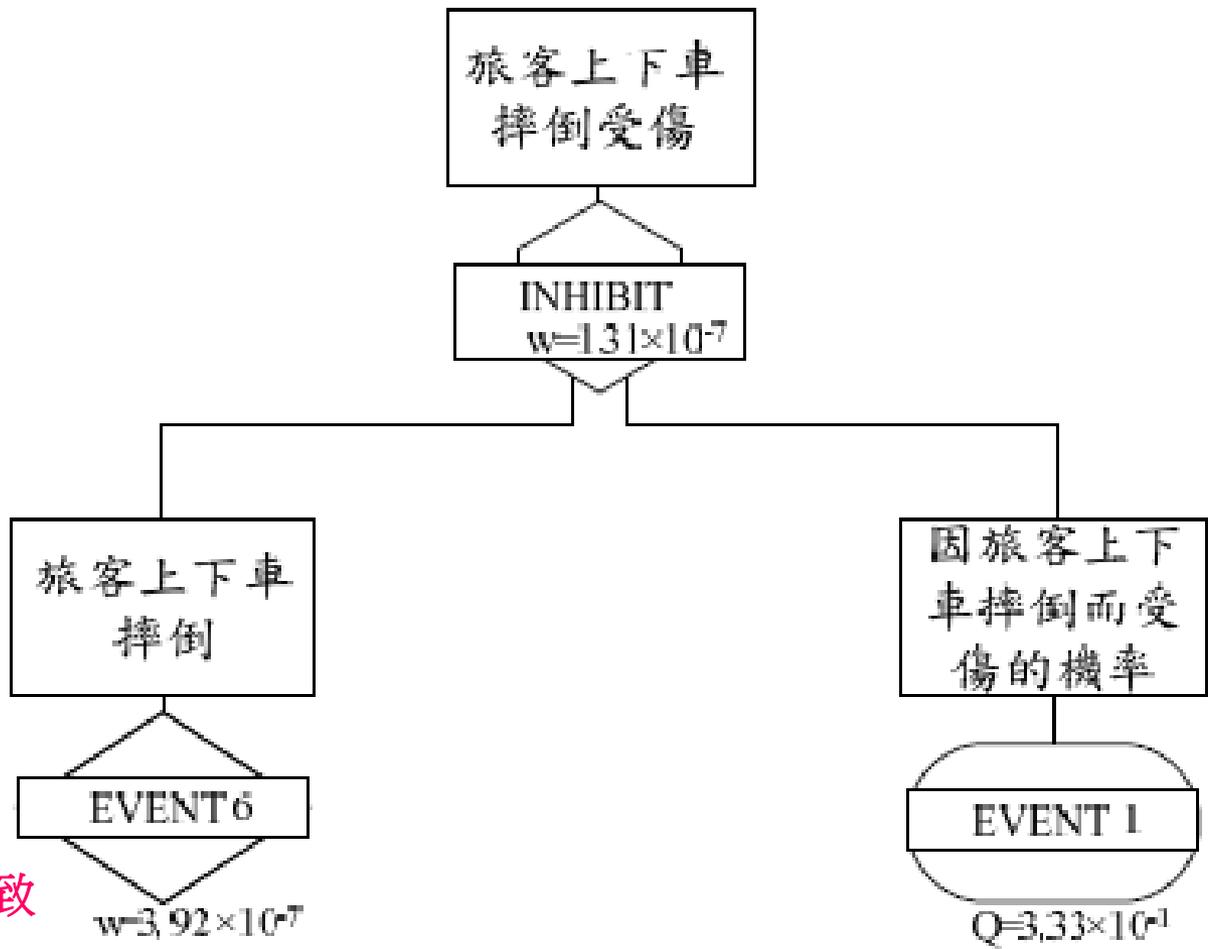


圖8-5 旅客上下車摔倒與實際受傷的關係示意圖

每旅次因上下車摔倒而致死的風險值：
 $[3.92 \times 10^{-7}] \times [0.033] =$
 1.29×10^{-8}

8.2 風險評量

台鐵資料(2008~2010)：

1. 年平均旅客量__ 182,597,581人
2. 旅客摔倒發生機率__ 3.92×10^{-7}
3. 旅客摔倒事件__23.8次
4. 嚴重程度__0.033等效死亡

非常嚴重	C	B	B	A	A
相當嚴重	D	C	B	B	A
嚴重	D	D	C	B	B
輕微	E	D	D	C	B
極輕微	E	E	E	D	C
	幾乎不可能	不太可能	可能	非常可能	幾乎確定

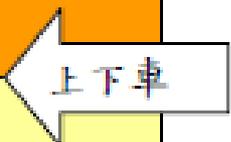


圖8-6 臺鐵旅客上下車摔倒風險評量 (臺鐵標準)

其他單位相對風險評量結果

表8.11 臺鐵旅客上下車摔倒風險評量（其他標準）

其他標準	風險等級	代表意義
台灣高鐵	Un（落點）	不允許存在必須降低
台北捷運	R2（落點）	可行情況下必須降低
高雄捷運	R2（落點）	可行情況下必須降低
倫敦地鐵	中（相加）	依據 ALARP 原則儘量降低
澳洲 Tasmania	8 分（相加）	依據 ALARP 原則儘量降低
澳洲糖鐵	4 分（落點）	須儘速改善
香港地鐵	R2（落點）	可行情況下必須降低
中國城際鐵路	B（落點）	依據 ALARP 原則儘量降低
美國	中（落點）	要管控
MODURBAN	黃褐（落點）	須適當處理

多屬ARLARP範圍，與台鐵局評量結果相符

8.2 改善建議

績效影響因子 PF	降低績效影響因子 (PF) 之影響比率 (APOE) 的改善手段
時間壓力	<ol style="list-style-type: none"> 1. 於旅客視線易受遮蔽處 (月台建物旁、天橋下)，標註各級列車停靠位置減少旅客匆忙上下車機率 2. 車上通道與廁所應加裝廣播設備或提高廣播音量，確保旅客能接收到站訊息。
感知能力	<ol style="list-style-type: none"> 1. 車廂樓梯緣與月台邊側材質避免使用黑色，讓視覺上與月台間隙產生區隔 2. 確認各月台光線充足，同時避免因過高的月台花園、建物陰影影響旅客視線
負擔過重	<ol style="list-style-type: none"> 1. 逐步汰換手動式列車門，避免旅客上下車過程還須自行開門增加危險性 2. 車門寬度應足夠，減少提大件行李旅客上下車的危險性
風險認知	<ol style="list-style-type: none"> 1. 持續勸導採危險行為上下車旅客
經驗不足	<ol style="list-style-type: none"> 1. 避免列車於不臨月台面停靠導致旅客須跳下軌道 2. 未來採購列車應朝統一月台高度、車門位置、車門寬度、車門高度、級高、級深，使旅客上下車感覺一致
體能狀況	<ol style="list-style-type: none"> 1. 避免車廂樓梯級高過高造成行動不便者負擔 2. 避免車廂月台間隙過大，應避免於路線曲率半徑過小處新設車站
環境	<ol style="list-style-type: none"> 1. 老舊月台應儘速改建 2. 尖峰時段勸導旅客分散搭車位置 3. 進行月台整建工程時，應妥善規劃旅客動線，避免雜物堆放影響旅客上下車安全。



END

台鐵風險分析與評量