

考量公路駕駛人行為之平交道失誤樹構建

DEVELOPMENT OF THE FAULT TREE FOR LEVEL CROSSING CRASHES BY ACCOUNTING FOR HIGHWAY USERS' BEHAVIORS

徐任宏 Ren-Hong Xu¹
孫千山 Chian-Shan Suen²
胡守任 Shou-Ren Hu³
林杜寰 Tu-Huan Lin⁴
蔡佩珊 Pei-Shan Tsai⁵
葛宇婷 Yu-Ting Ko⁶
張開國 Kai-Kuo Chang⁷
喻世祥 Shih-Hsiang Yu⁸

(108 年 9 月 2 日收稿，109 年 1 月 6 日第一次修改，109 年 3 月 3 日第二次修改，
109 年 12 月 14 日定稿)

摘 要

平交道安全績效改善一直是臺灣鐵路管理局持續努力的方向，相關做法早期多從鐵路側防護設備功能精進著手，近期則是從公路側駕駛人的行為模式加以探索，以找出如何有效遏止公路駕駛人違規闖越之方法。本研

-
1. 財團法人中興工程顧問社軌道運輸組研究員（聯絡地址：11494 台北市內湖區新湖二路 280 號，電話：02-87919198#435，E-mail：rhxu@sinotech.org.tw）。
 2. 財團法人中興工程顧問社軌道運輸組組長。
 3. 國立交通大學運輸與物流管理學系教授。
 4. 財團法人中興工程顧問社軌道運輸組研究員。
 5. 國立成功大學交通管理科學系研究助理。
 6. 國立成功大學交通管理科學系研究生。
 7. 交通部運輸研究所運輸安全組組長。
 8. 交通部運輸研究所運輸安全組研究員。

究首先回顧駕駛人通過平交道之行為模式，同時參考過去以鐵路側為主的平交道事故失誤樹之相關成果，研析並綜整公路駕駛人行為模式之後，據以構建完整的平交道交通事故失誤樹模型。依據本研究研擬之失誤樹成果，可以有效確認危害平交道在公路側方面的主因，同時相關研究成果亦可提供平交道主管機關未來擬定相關改善策略與行動方案之參考。

關鍵詞： 平交道；失誤樹；公路駕駛人；行為模式

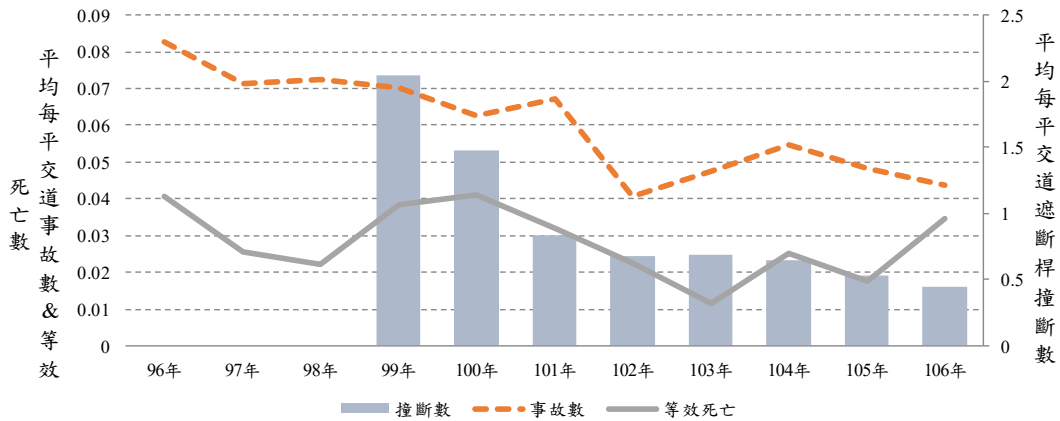
ABSTRACT

Improving the safety of level crossings has always been the direction that Taiwan Railways Administration strives for. In the past, the goal was achieved by improving railway-side protective devices; currently, drivers' behaviors of highway users are studied to discover ways to keep illegal trespassing to be the minimum. This study first reviewed past researches about behavior patterns of highway users and fault tree analysis of railway-side protective devices; then, the study developed an integrated fault tree for level crossing crashes in consideration of highway users' behavior patterns. Based on the proposed fault tree, highway-side primary hazard causes at level crossings can be effectively identified. Besides, this study also proposes corresponding improvement strategies and action plans to improve the safety levels of level crossings.

Key Words: Level crossing; Fault tree; Highway driver; Behavior pattern

一、前言

截至 2019 年 7 月止，臺灣鐵路管理局 (以下簡稱：臺鐵局) 共有 421 處平交道，多數均設有警報裝置及自動遮斷裝置的第三種甲平交道 (以下簡稱：三甲)，雖終極目標為透過立體化方式將平交道消弭，但只要有任何一處平交道存在就會有潛在的威脅，為值得深入探討的議題。圖 1 為本研究整理近年臺鐵局平均每處平交道之安全績效指標，包括：平均每平交道之事故件數與等效死亡數趨勢，從圖中可發現過去 10 年來臺鐵局投注於平交道硬體設施的安全改善已有具體成效，惟安全績效指標至一定程度後似乎已達瓶頸並出現不穩定震盪，實有必要進階了解其背後原因，以探尋有效的改善策略。本研究參考運研所^[1]之研究成果，將 2015~2017 年平交道車輛事故原因分類呈現如圖 2 所示，該圖中顯示平交道事故中近 8 成肇因源自公路駕駛人違規 (違反道路交通管理處罰條例第 54 條第一項：駕駛人駕車在鐵路平交道上，不遵守看守人員之指示，或警鈴已響、閃光號誌已顯示，或遮斷器開始放下，仍強行闖越)，其中，誤判短時間無車而侵入、未保持安全距離、太慢剎車等可能為蓄意 (瞭解自己的行為會產生違規的結果) 的違規行為因素，其占比更高達 73%，顯見公路駕駛人的違規行為是平交道安全的重點改善項目之一，實有必要深入瞭解、進階研析駕駛人行為模式。



註：本圖中等效死亡參數統一採 0.1，亦即 1 受傷等同 0.1 等效死亡。

圖 1 臺鐵局—平均每處平交道安全績效

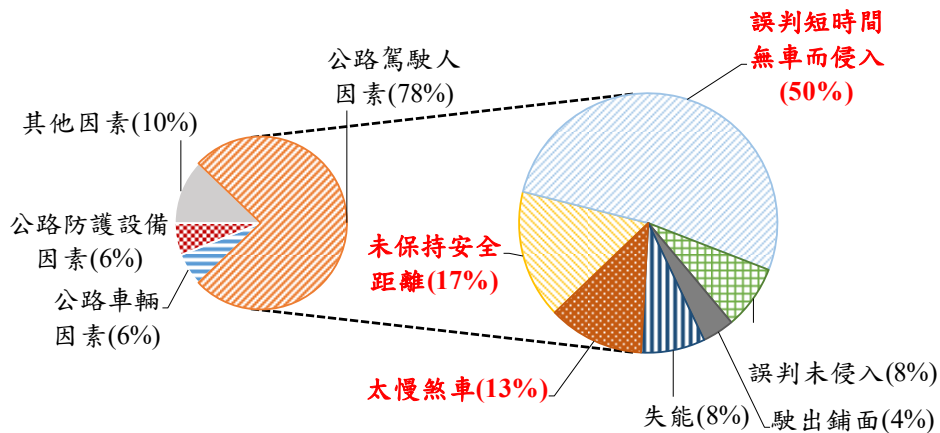


圖 2 臺鐵局—2015-2017 平交道車輛事故原因分析

承上所述，為能剖析公路駕駛人蓄意違規的行為，本研究採用風險分析 (Risk Analysis) 中常用之失誤樹分析 (Fault Tree Analysis, FTA) 來探討其原因，並據以找出對應之改善策略與行動方案，茲將失誤樹分析方法的特性及採用之原因說明如下^[2,3]。

1. 失誤樹分析適用於具有多重子系統 (因素) 的議題研析，例如：運輸系統、鐵路系統、複雜人員等。以本研究為例，可透過失誤樹將平交道議題切分為駕駛因素 (人為錯誤)、車輛因素、軌道因素等，藉由釐清各因素分界以深入研析事故根本原因。
2. 可透過演繹方式，了解系統、子系統或元件的異常事件與人為錯誤之間的失效邏輯關係及造成失效的優先順序。以本研究為例，平交道事故原因有時間序關係，例如要駕駛蓄意闖入、車輛拋錨先後發生才會造成平交道事故，可透過失誤樹研析。

3. 可定性分析事件(危害)發生的最小分割集合，除可展現系統的危險特性外，亦可掌握事故發生最直接的可能途徑。
4. 後續可依據失誤樹架構，取得相關數據、指標以進行定量分析。

爰此，本研究在第二節首先回顧駕駛人行為模式與失誤樹相關文獻，並於第三節綜整公路駕駛人行為模式後，構建平交道交通事故的失誤樹模型，第四節則透過該模型成果進行平交道事故的案例剖析與因應對策，最後則一併提出本研究的結論與建議。

二、駕駛人行為模式與失誤樹概述

以下回顧過去與駕駛人通過平交道之行為模式及失誤樹相關文獻，據以做為後續建構失誤樹的基礎。

2.1 平交道駕駛人行為模式

平交道駕駛人行為模式即駕駛人通過平交道時，受平交道防護設備、自身判斷或失誤影響所展現出來的駕駛行為，故與平交道告警設備的運作方式、駕駛人為錯誤等因素息息相關，以下分別進行臺鐵局平交道運作方式回顧及人為錯誤研析。

2.1.1 臺鐵局平交道運作方式

依「道路交通標誌標線號誌設置規則」規定，平交道路權的轉移係由平交道號誌(警燈)所決定，其重要程度不言而喻；警鈴可透過聽覺方式避免駕駛人未注意到平交道號誌；列車方向指示器除顯示列車方向外，也具備類似警燈之功能；遮斷裝置則是最明顯的實體阻隔，可遏止行人、車輛搶越或闖越平交道，是平交道安全的防線之一，本研究參考臺鐵局規章^[4]，逐一說明上述設備的運作方式。

1. 警鈴警燈(包含列車方向指示器)：此設備包含警示燈桿上的警鈴、平交道號誌、及安裝於平交道門型架或警示燈桿上的列車方向指示器。當接近列車於平交道上游觸發啟動點時，警鈴警燈會隨即啟動告警，直到列車完全離開平交道方結束告警。
2. 遮斷桿(即遮斷裝置)：遮斷桿與平交道上下游的軌道電路互相連鎖，一旦列車接近控制區間的軌道電路 6~8 秒後，遮斷桿會開始下降，再經 4~10 秒時間則可達完全關閉狀態。而當列車完全通過平交道後，警鈴警燈停止、遮斷桿於 12 秒內會上升至定位。此外，若遮斷桿在上升至垂直位置的過程中，若有其他交會或續行列車隨即進入警報區間，則警鈴警燈會再度啟動，遮斷桿在完全升起至垂直待 6 至 8 秒後會再降下。

承上所述，在防護設備均正常的情况下，平交道動作可依時序將列車通過平交道分為三種狀態，如圖 3 所示，說明如下：

1. 低度警戒：先行列車完全離開平交道後，無續行列車抵達平交道上游啟動點，在設備正常的情况下警鈴警燈無動作、遮斷桿亦不放下。

2. 中度警戒：從列車剛觸發平交道上游啟動點起算，至遮斷桿完全放下前的期間。此時列車正在接近平交道，在設備正常的情况下系統警鈴警燈會動作，但遮斷桿尚未完全放下。
3. 高度警戒：從列車觸發平交道上游啟動點 10~18 秒後遮斷桿完全放下起算，至列車完全離開平交道、遮斷桿完全升起前止。列車會在此階段通過平交道，在設備正常的情况下系統警鈴警燈會動作，遮斷桿亦處於放下狀態。

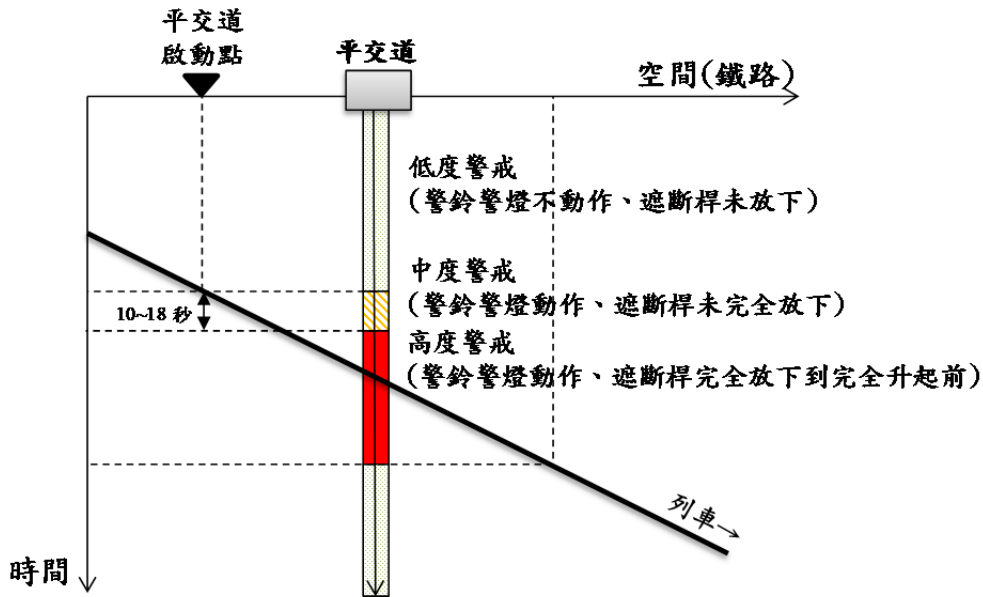


圖 3 平交道警戒三狀態

2.1.2 人為錯誤研析

1. 人為錯誤 (Human Error) 的研究起因於美國三哩島核電廠事件中一連串的人為錯誤，專家學者開始探討「人」的行為模式並思考可能發生錯誤的原因。Rasmussen^[5] 將人的行為反應區分為三個層級：
 - (1) 技術反應層級 (Skill-Based Level)
指例行性、設備提供資訊不需要複雜思考的情況，例如列車司機員接收到 ATP 警告後煞車減速，自動化的程度最高，最不易出錯。
 - (2) 規則反應層級 (Rule-Based Level)
指例行性、規章制定標準流程可供遵循的情況，例如道班工人按標準作業流程巡檢路線，自動化的程度中等。
 - (3) 知識反應層級 (Knowledge-Based Level)
指突發狀況或無標準程序時的情況，例如洪水淹沒軌道後，行車調度員第一時間的緊急處理，完全仰賴經驗與知識，最容易出錯。

- 2 除了將情境予以分類外，人為錯誤的分類也有不少研究，其中 Swain & Guttman^[6] 將人為錯誤區分為四類：
 - (1) 遺漏的錯誤 (Errors of Omission)：忘了執行某步驟。
 - (2) 執行的錯誤 (Errors of Commission)：不正確的動作。
 - (3) 程序的錯誤 (Sequence Errors)：搞混步驟。
 - (4) 時機的錯誤 (Timing Errors)：太快、太慢、太早、太晚執行。
- 3 Reason^[7] 則更深入的思考人為錯誤背後的原因，將其分為三類：
 - (1) 失誤與疏失 (Slip/Lapse)：認知正確，但因操作錯誤或疏忽導致錯誤。
 - (2) 犯錯 (Mistake)：認知錯誤，儘管正確操作仍發生錯誤。
 - (3) 違反 (Violation)：蓄意的違規行為 (參考我國民法上的「故意」，將蓄意違規定義為：瞭解自己的行為會產生違規的結果)。
- 4 Norman^[8] 將人從察覺到外在環境的資訊後直到真正開始動作的過程區分為七個步驟，分別為：感知、理解、評估、目標、動機、行為步驟、執行。
5. 若將 Norman 的七步驟對應到 Rasmussen 人為反應三層級與 Reason 對人為錯誤的三類，可綜合彙整如圖 4 所示，從圖中可以發現，在理解、評估到產生動機的過程中，可能發生「犯錯」或「違反」的人為錯誤，構思行為步驟時則可能發生「失誤」，最後於執行時可能發生「疏失」。因此，為了避免從感知到反應的過程中可能發生的人為錯誤，可透過設備的輔助，於感知到外在環境時提供資訊讓操作者直接反射性的執行動作，屬於技術反應層級；或透過規章的制定，讓操作者理解外在環境後按照標準作業程序想到正確的行為步驟，亦即規則反應層級。舉例來說，公路駕駛看到紅燈立即減速，屬於技術反應層級；發現平交道便思考到「停看聽」，則屬於規則反應層級。

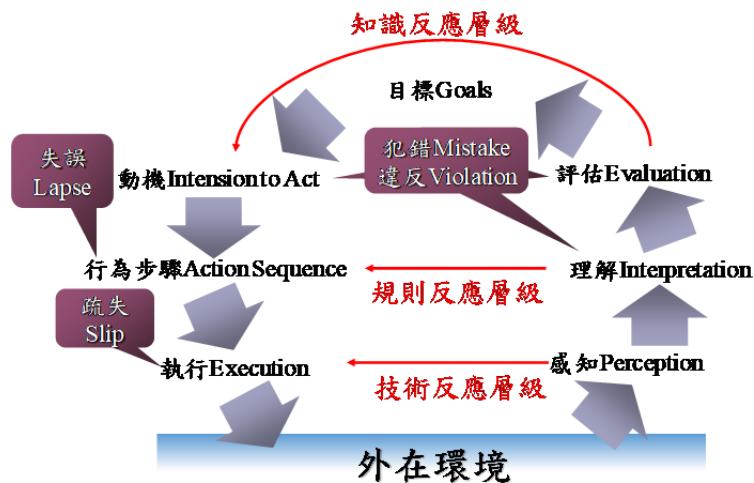
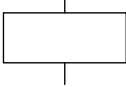
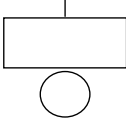
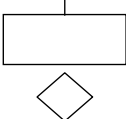


圖 4 感知反應行為與人為錯誤之關係

2.2 失誤樹分析

「失誤樹分析 (Fault Tree Analysis, FTA) 是一種逆向推論的方法，以頂端事件演繹的方式，逐步找出導致該事件發生的原因，並透過表 1 之邏輯閘 (Gate) 有系統的表達彼此關係，進而繪製成樹狀圖形呈現。失誤樹一般多用於分析具有高度風險性、或具有一定複雜度的災難事件，在定性分析方面，可透過式 (1) 之布林代數運算彙整出最小分割集合，用以確認所有可能導致頂端事件的路徑有多少個，如圖 5 所示，圖中顯示原始失誤樹透過布林運算後，分別得出一階分割與二階分割集合，一般來說階數愈低、需同時滿足的事件數量愈少、透過該路徑發生頂端事件的機率愈高，惟仍以量化為準^[2,9]。

表 1 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。

$$\begin{aligned}
 T &= A_1 + A_2 = (X_1 + X_2 X_3) + X_1 X_3 \\
 &= X_1 (1 + X_3) + X_2 X_3 = X_1 + X_2 X_3 = X_1 + C_1
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

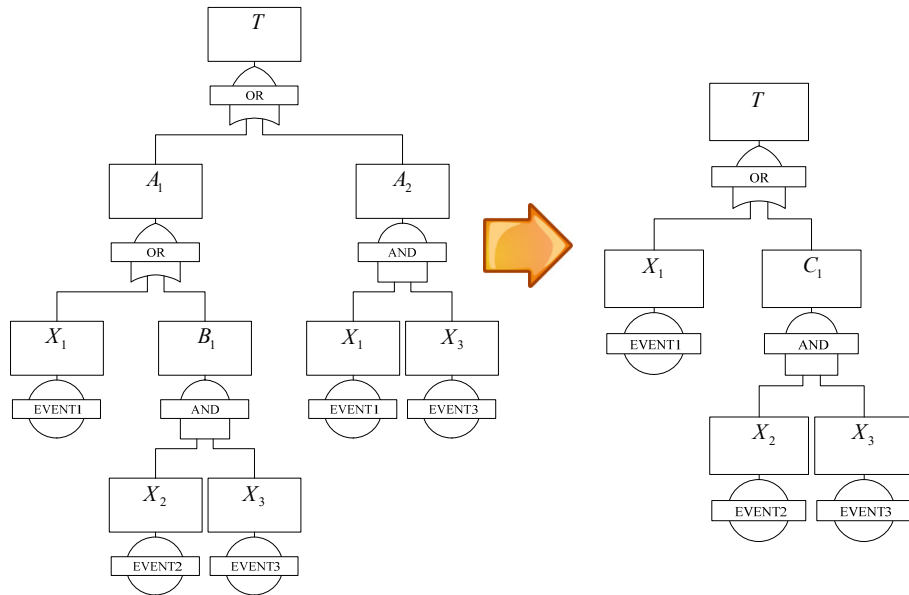


圖 5 失誤樹與其最小分割集合等效圖

2.2.1 平交道失誤樹初探

1. RAILTRACK^[10] 針對英國自動半遮斷桿式 (AHB) 平交道進行失誤樹的建構與危害辨識，並且藉由本身資料庫、維修紀錄與失效記錄，並對系統進行系統保證 RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Safety) 的分析。此研究以探討平交道防護設備之電子電機系統為主，大致可為警鈴、公路號誌、計時系統、就地控制、號誌燈箱、未預期意外等因素。
2. 施伯杰^[11] 對國內平交道進行風險分析，將駕駛人依駕駛性格、旅次特性與精神狀態分為十種屬性（保守／急迫／專注、保守／急迫／分心、保守／非急迫／專注、保守／非急迫／分心、積極／急迫／專注／非侵略、積極／急迫／專注／侵略、積極／急迫／分心／非侵略、積極／急迫／分心／侵略、積極／非急迫／專注、積極／非急迫／分心）。而後假設各屬性駕駛人於固定距離前遭遇各項設備的反應，據以解析若平交道在 50 公尺或 100 公尺前動作時各屬性駕駛人的反應（參考圖 6，並建構對應之失誤樹與事件樹以分析平交道之風險。
3. 交通部運輸研究所^[12] 曾探討「鐵路列車與公路車輛於平交道碰撞」之失誤樹，並分為「人為」、「設備」、「環境」、「車輛」四個因素來探討說明可能導致危害發生的各種失效事件。其中針對人為因素說明如下：

(1) 公路側駕駛人因素

違規行駛禁止大型車輛通過之平交道導致受困、未保持安全間距而因塞車而受困平交道、駛出平交道鋪面區域而受困平交道、誤認已離開危險區但實際上仍有部分車

體侵入危險區、公路駕駛人失能 (包括酒醉、吸毒、疲勞等)、認定列車短時間內不會抵達而侵入危險區、誤判無後續列車而提早侵入危險區、接近平交道時煞車不及而侵入危險區、發生事故而受困平交道 (含擦撞、摔倒、自殺) 等。

(2) 鐵路側司機因素

司機員收到警告訊息後因動作遲緩而煞車不及、司機員因疏忽而沒接受到警告訊息、因超速或未遵循規章要求而導致煞車不及等。

4. 英國運輸研究實驗室 (Transport Research Laboratory^[12]) 曾替歐洲鐵路局 (European Railway Agency, ERA) 針對常見的列車事故進行失誤樹分析。並尋找其中重要但未被監控的因子 (探討事故前兆), 藉此改善鐵路營運安全。此研究將平交道事故區分為公路車輛、環境因素、設備因素及駕駛人為因素四項, 大致與運研所的研究相同。茲將駕駛人因素說明如下。

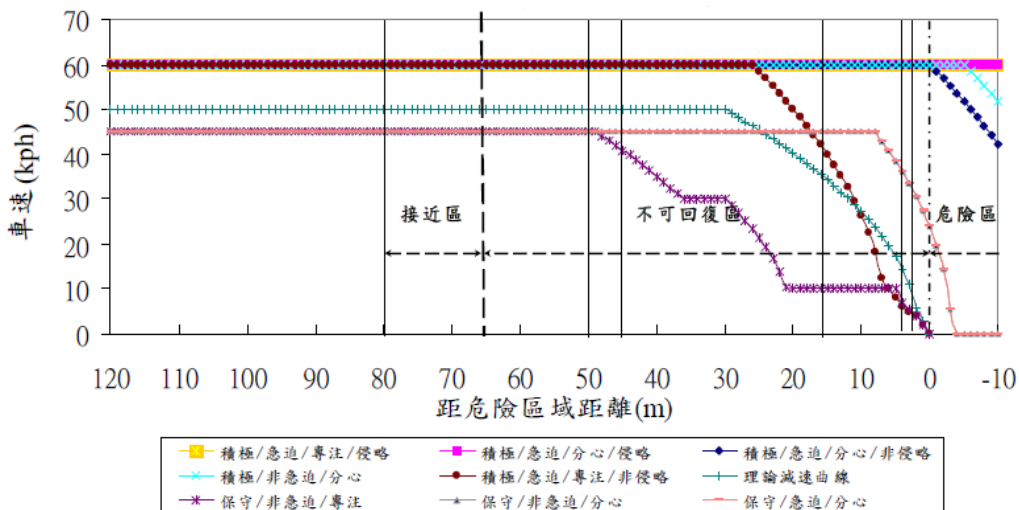
(1) 蓄意行為

駕駛人停在危險區上自殺、駕駛人蓄意將車輛停在危險區上破壞鐵路營運及設備、駕駛人忽視平交道警報。其他蓄意行為。

(2) 意外或人為錯誤

煞車不及、未注意平交道或平交道警報、誤駛入鐵路路線、未注意到有續行或交會列車、因交通阻塞而受困在危險區。

(3) 其他難以分類失效。



註 1：該研究分析顯示保守/急迫/專注、積極/非急迫/專注之駕駛人不會侵入平交道，故未繪製於圖中。

註 2：此處危險區係參考美國鐵公路平交道手冊，定義為公路兩側停止線 (或遮斷桿) 間的範圍。

圖 6 平交道在駕駛行經上游 50 公尺處動作時可能侵入平交道車輛之速度—距離圖

2.2.2 公路號誌化路口失誤樹初探

考量平交道即為鐵路與公路之交叉口，因此若能仔細探究一般公路路口之失誤樹，應能參考與擷取其成果至平交道，構建更完善的平交道事故失誤樹分析，茲將過去的研究發現摘述如下：

1. Joshua & Garber^[13] 將貨車事故的肇因分成三種：駕駛人因素、車輛因素以及環境因素，也就是說三個事件之間具有「OR」閘的關係。其中，駕駛人因素大致有十種可能的最小分割集合，而最普遍的狀況是駕駛人錯估與其他車輛距離，並且無法成功規避碰撞。
2. Kuzminski 等人^[14] 進一步探討一般公路事故的失誤樹，將頂端事件分為五項中間事件，分別進行探討。依序為：其他車輛(或行人、自行車)不當闖入車輛路徑、隨機物體闖入車輛路徑、車輛偏離道路、車輛撞擊路側不動物體、車輛撞擊路側移動物體，之後再以蒙地卡羅法(Monte Carlo Method)模擬，將量化分析結果作為系統設計考量。
3. Jiao 等人^[15] 為改善駕駛輔助系統，進行路口之風險辨識與失誤樹構建。值得一提的是，此篇研究將外在因素分為環境、道路及車輛，並探討這些因素對於駕駛人的影響。
4. Chen 等人^[16] 以失誤樹進行路口車輛碰撞的因素分析，在考量駕駛是否遵守道路交通法規後，分成四項中間事件討論：

(1) 遵守法規，決策失誤

- 「駕駛人決策失誤」與「有物體在車輛的路徑上」必須同時發生，亦即以「AND」閘相接，前者包含「人為決策失誤」中間事件。
- 人為決策失誤包含六項基本事件(因道路幾何條件導致視線被遮蔽、因天氣不良導致視線被遮蔽、視線被其他車輛遮蔽、視線被路側物體遮蔽、街道照明不良、目視確認不確實)及一項未發展事件(誤判車速、車間距)。

(2) 遵守法規，操作失誤

- 「駕駛人操作失誤」與「有物體在車輛的路徑上」必須同時發生，亦即以「AND」閘相接，前者包含「人為操作失誤」中間事件。
- 人為操作失誤包含六項基本事件(包括：惡劣天氣、經驗不足、鋪面不平、道路設計不良、號誌設計或操作不良、速限設計不良)及一項未發展事件(即車輛操作行為不當)。

(3) 不遵守法規，心理因素

- 「駕駛人行為失誤」與「有物體在車輛的路徑上」必須同時發生，亦即以「AND」閘相接，前者包含十項基本事件，分別為：超速、未保持適當間距、未遵守號誌、使用手機分心、資訊娛樂系統分心、乘客因素分心、其他車輛造成分心、行人造成分心、路側物體造成分心、心不在焉。

(4) 不遵守法規，生理因素

- 「物理狀態不正常」與「有物體在車輛的路徑上」必須同時發生，亦即以「AND」

閘相接。前者包含五項基本事件，分別為：酒醉、疲勞駕駛、生病、違法藥物、永久性殘疾。

2.3 小結

綜整 2.1~2.2 節回顧成果，本研究彙整初步結果如下：

1. 平交道運作有三階段 (低度警戒、中度警戒、高度警戒)，不同階段時駕駛人的行為、所應遵守的規範皆有所差異，研析失誤樹時必須詳加考慮。
2. 參考 Reason^[7] 與 Norman^[8] 的研究，行為人察覺外在環境到做出反應之間有多個步驟，步驟間有 4 種人為錯誤可能 (失誤、疏失、犯錯、違反)，應納入失誤樹中探討。
3. 過去研擬的平交道失誤樹多著重在責任的歸屬 (交通部運輸研究所^[2,9]、英國運輸研究實驗室^[12]) 或設備的風險管理 (RAILTRACK^[10])，較少根據行為歷程建構失誤樹。
4. 施伯杰^[11] 係依行為歷程建構平交道失誤樹，並透過解析方式評估不同屬性駕駛人於固定距離前察覺平交道動作時的反應。其主要用途在評估平交道改善措施的效益，故有較為強烈的假設，同時有部份人為錯誤尚未納入討論。
5. 公路號誌化路口失誤樹狀況與平交道失誤樹類似，部分文獻 (Chen 等人^[16]) 有較深入探究人為錯誤的影響，值得參考。

三、鐵路列車與公路車輛碰撞失誤樹分析

以下依據第二章回顧成果進行鐵路列車與公路車輛碰撞失誤樹分析，包括：3.1 節定義失誤樹的頂端事件及分析範圍、3.2 節明確定義失誤樹中名詞以避免混淆或誤用、3.3 節則呈現最後的構建成果。

3.1 頂端事件與分析範圍定義

本研究以公路駕駛人的角度深入檢視平交道議題，定義頂端事件、界定分析範圍以確保失誤樹的完備性以及參考性，說明如下。

1. 平交道車輛事故 (鐵路列車與公路車輛碰撞) 有三種可能，分別為：公路車輛衝撞通過列車、公路車輛通過平交道時遭列車碰撞、公路車輛停在平交道上而遭列車碰撞。本研究蒐集 2015~2017 年平交道車輛事故數據，發現其中有 73% (25 件) 為車輛停在平交道上而遭列車碰撞，車輛中又以汽車及機車佔大多數，故優先分析「公路車輛停在平交道上而遭列車碰撞」的情況，如圖 7 所示。
2. 承上所述，「公路車輛停在平交道上而遭列車碰撞」項目亦可根據行為歷程拆分為「進入平交道」以及「滯留平交道」，較容易系統性分析公路駕駛人通過平交道相關行為、違規之關聯性以及通過平交道危險特性；「進入平交道」一項之分析結果亦可同時協助

瞭解「公路車輛衝撞通過列車」及「公路車輛通過平交道時遭列車碰撞」的決策與行為歷程。

3. 公路駕駛人之行為分析須建立在防護設備均正常、公路駕駛人未被錯誤訊息引導的情況下方能進行，在防護設備異常的情況下難以系統性分析公路駕駛人之決策依據及過程。此外依運研所的研究成果可知，平交道事故僅約 3% 肇因於防護設備因素^[9]，因此上述「防護設備異常」不納入失誤樹中探討。
4. 駕駛人在警鈴警燈無動作、遮斷桿未放下時進入並未違規且危險性低，若發生事故亦有充裕時間按壓緊急按鈕，故不予探討。
5. 本研究以公路駕駛人於何種情形下會有「防護設備正常情況下，公路駕駛人意識清晰搶入(或闖入)平交道後停在危險區上而遭列車碰撞」作為探討重點發展失誤樹；同時為避免失誤樹流於紙上作業，本研究亦在 108/1~108/4 前往全臺 13 處監理所／站進行違規者問卷訪談(30 份)及一般駕駛問卷調查(330 份)，藉由實地調查探究駕駛人可能違規或陷於危險狀態的因素，據以發展失誤樹的中間事件及底層事件。

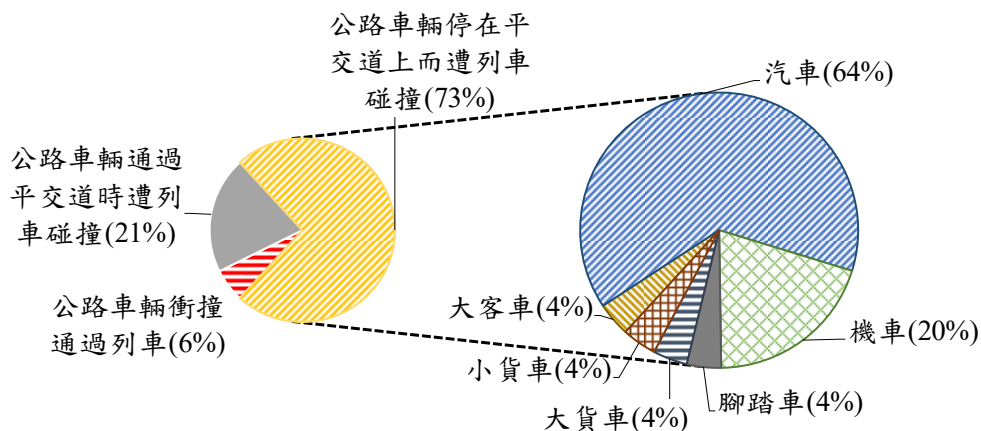


圖 7 臺鐵局－2015－2017 年平交道車輛事故運具及碰撞類型分析

3.2 失誤樹名詞定義

以下說明本研究在構建失誤樹模型過程中，所使用之相關名詞定義。

1. 平交道警戒狀態

分為「低度警戒狀態」、「中度警戒狀態」及「高度警戒狀態」，詳 2.1.1 節。

2. 進入、離開、通過與滯留

(1) 「進入平交道」係指公路車輛車頭甫落入平交道危險區之垂直投影面上的瞬間動作。其中平交道危險區係參考施伯杰^[11]，定義為平交道遮斷桿間的範圍。

(2) 「離開平交道」係指公路車輛完全脫離平交道危險區之垂直投影面。

(3)「通過平交道」即依序完成「進入平交道」及「離開平交道」。

(4)「滯留平交道」係指公路駕駛無法離開平交道。

3. 穿入、搶入與闖入

為探討公路駕駛人「進入平交道」且「滯留平交道」的可能，本研究依據公路駕駛人進入平交道當下平交道警戒之狀態，將進入平交道之行為定義為「穿入」、「搶入」與「闖入」三類事件，說明如下。

(1)穿入：在低度警戒狀態時，公路駕駛進入平交道。

(2)搶入：在中度警戒狀態時，公路駕駛不守法規逕行進入平交道。

(3)闖入：在高度警戒狀態時，公路駕駛不守法規逕行進入平交道。

4. 駕駛違規行為

本研究依據公路駕駛人違規行為意圖的高低，將駕駛人面對平交道的行為分為四類，彼此之間為互斥的關係，且其聯集即為所有駕駛人，如圖 8 所示。其中後三類為可能發生違規行為的駕駛人，說明如下。

(1)取巧行為

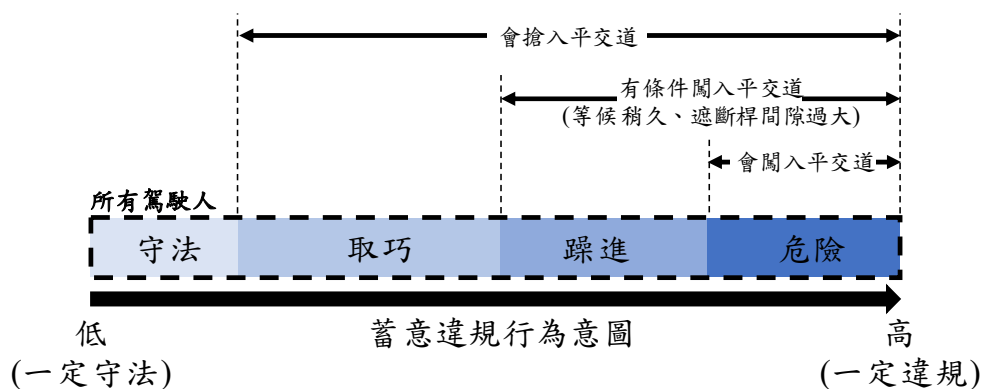
謂以狡詐巧妙的手段達到目的，本研究定義為：

- 公路駕駛人會蓄意搶入平交道 (此時為中度警戒狀態)，為 Reason 理論中的「違反」。
- 公路駕駛人不會蓄意闖入平交道 (高度警戒狀態下不違規)。

(2)躁進行為

急於求進，本研究定義為：

- 公路駕駛人會蓄意搶入平交道 (此時為中度警戒狀態)，為 Reason 理論中的「違反」。



註：圖中的行為意圖程度為示意說明。

圖 8 公路駕駛分類示意圖

- 公路駕駛人僅有在等候時間太長且遮斷桿間隙過大時，會蓄意闖入平交道 (此時為高度警戒狀態)，為 Reason 理論中的「違反」。

(3) 危險行為

可能對其他用路人造成危險，本研究定義為：

- 公路駕駛人會蓄意搶入平交道 (此時為中度警戒狀態)，為 Reason 理論中的「違反」。
- 公路駕駛人會蓄意闖入平交道 (此時為高度警戒狀態)，為 Reason 理論中的「違反」。

3.3 失誤樹構建結果

本研究在不同的平交道警戒狀態，分別以「防護設備正常情況下，公路駕駛人意識清晰搶入平交道後停在危險區上而遭列車碰撞」及「防護設備正常情況下，公路駕駛人意識清晰闖入平交道後停在危險區上而遭列車碰撞」作為失誤樹頂端事件。前者指「搶入平交道」、「滯留平交道」且「鐵路列車煞車不及 (有車搶入)」三者同時發生，為「AND」開的關係；後者則為「闖入平交道」、「滯留平交道」且「鐵路列車煞車不及 (有車闖入)」三者同時發生，亦為「AND」開的關係。其中「鐵路列車煞車不及」屬於鐵路營運業者之課題，與本研究欲著重之公路側駕駛人行為分析不同，故不繼續探究，並於失誤樹中將其標記為未發展事件；「搶入 (或闖入) 平交道」及「滯留平交道」則包含公路車輛因素及公路駕駛人因素 (不含失能)，依運研所的研究成果可知，平交道事故近八成肇因於此^[9]，故本研究除考量進入平交道時的警戒狀態以外，也深入探究以下項目：

1. 公路駕駛人之搶入或闖入行為是否蓄意

參考人為錯誤理論 (Reason^[7])，可將搶入或闖入之公路駕駛人依心態分為蓄意 (Reason 理論中的「違規」) 或者非蓄意 (Reason 理論中的「錯誤」及「疏忽」)，由於兩者均屬危險狀態，因此需在失誤樹中將「蓄意、非蓄意」納入探討。

2. 公路駕駛人之蓄意行為原因

公路駕駛人的蓄意行為會受駕駛人態度、風險感知、主觀規範等因素影響，惟考量上述因素間的交互作用複雜，故本研究依違規行為意圖程度將駕駛人分為四類。以下分別說明蓄意搶入與蓄意闖入包含的項目，事件與人為錯誤種類對應如表 2 所示。

(1) 蓄意搶入

- 蓄意搶入來自於「取巧駕駛行為」、「躁進駕駛行為」或「危險駕駛行為」三類，彼此間為「OR」開的關係。

(2) 蓄意闖入

- 來自於「機踏車輛因不耐久候而趁隙闖入」或「危險駕駛行為」兩類，彼此間為「OR」開的關係。
- 其中「機踏車輛因不耐久候而趁隙闖入」指躁進機踏車輛駕駛因不耐久候 (遮斷

桿放下時間太長) 且遮斷桿之間恰好有縫隙可供穿越 (遮斷桿放下時水平或縱向間隙過大)，故而逕行進入平交道危險區，本研究將其成立條件設為「躁進駕駛行為」、「遮斷桿放下時間太長」及「遮斷桿放下時水平或縱向間隙過大」同時成立，彼此間為「AND」開的關係。

3. 公路駕駛人之非蓄意行為種類

公路駕駛人的非蓄意行為涵蓋各種「錯誤」、「失誤」與「疏失」，惟考量失誤樹之事件應盡量明確，故此處明確定義各項「非蓄意行為種類」，並藉此進行深入探討。其中，事件與人為錯誤種類對應如表 2 所示，茲將非蓄意搶入與蓄非意闖入包含的項目說明如下。

(1) 非蓄意搶入

- 來自於「駕駛未注意警燈警鈴動作」、「警鈴警燈動作時駕駛煞車不及或失靈」、「駕駛不知道警鈴警燈動作時須停下」、「警鈴警燈動作時後車跟車過近」或「平交道警報解除後短時間內再度作動」五類，彼此間為「OR」開的關係。
- 「駕駛未注意警燈警鈴動作」指公路駕駛在接近平交道時未注意到防護設備已動作 (此時遮斷桿尚未完全放下)，直接進入平交道。
- 「警鈴警燈動作時駕駛煞車不及或失靈」指公路駕駛人雖知悉相關法規，且在接近平交道時有注意到警鈴警燈，然因速度較快煞車不及或煞車失靈，最後進入平交道。
- 「駕駛不知道警鈴警燈動作時須停下」指公路駕駛人對平交道防護設備認知不足，雖注意到警鈴警燈已動作 (此時遮斷桿尚未完全放下)，但不知道當下即須停車而逕行進入平交道。
- 「警鈴警燈動作時後車跟車過近」指公路駕駛人因後車距離較近，為避免減速時遭後車追撞，雖注意到警鈴警燈已動作仍進入平交道。
- 「平交道警報解除後短時間內再度作動」指因鐵路側列車通過頻繁的緣故，遮斷桿升起 (平交道警報解除) 後短時間內警鈴警燈又再度動作，使得公路車輛誤進入平交道。

(2) 非蓄意闖入

- 來自於「駕駛未注意警燈警鈴動作、遮斷桿已放下」、「遮斷桿放下時駕駛煞車不及或失靈」或「遮斷桿放下時後車跟車過近」三類，彼此間為「OR」開的關係。
- 「駕駛未注意警燈警鈴動作、遮斷桿已放下」指公路駕駛在平交道時未注意到防護設備均已動作，直接進入平交道危險區。
- 「遮斷桿放下時駕駛煞車不及或失靈」指公路駕駛人雖知悉相關法規，且在接近平交道時有注意到遮斷桿放下，然因速度較快煞車不及或煞車失靈，最後進入平交道。

- 「遮斷桿放下時後車跟車過近」指公路駕駛人因後車距離較近，為避免減速時遭後車追撞，雖注意到遮斷桿已放下仍進入平交道。

4. 公路駕駛人停留的原因

一旦公路駕駛人進入平交道後，若因故停留便會陷入危險，其停留的原因可能源於公路駕駛因素、車輛及軌道因素說明如下。

(1) 駕駛行為因素

- 屬違規行為，指因駕駛行為因素而滯留於平交道中，包含：「跟車過近而受困」、「行駛出公路鋪面而受困」、「決意自戕」、「駕駛誤判未侵入」、「駕駛受遮斷桿等阻擋而受困」五類，彼此間為「OR」閘的關係。
- 其中，「駕駛跟車過近而受困」指公路駕駛人於進入平交道後，因跟車過近且受限於下游道路設計限制而滯留於平交道上，本研究將「駕駛跟車過近而受困」成立條件設為「駕駛未等候前車完全通過平交道」且「平交道下游路口壅塞」，彼此間為「AND」閘的關係。
- 涵蓋各種人為錯誤，可對應如表 2 所示。

表 2 失誤樹事件與人為錯誤對應

事 件	人為錯誤種類
取巧駕駛行為	違反
躁進駕駛行為	違反
危險駕駛行為	違反
駕駛未注意警燈警鈴動作	疏失
警鈴警燈動作時駕駛煞車不及或失靈	失誤
遮斷桿放下時駕駛煞車不及或失靈	失誤
駕駛不知道警鈴警燈動作時須停下	犯錯 – 知識反應層面
警鈴警燈動作時後車跟車過近	犯錯 – 知識反應層面
遮斷桿放下時後車跟車過近	犯錯 – 知識反應層面
平交道警報解除後短時間內再度作動	犯錯 – 規則反應層面
駕駛未注意警燈警鈴動作、遮斷桿已放下	疏失
跟車過近而受困	違反
行駛出公路鋪面而受困	失誤
決意自戕	違反
駕駛誤判未侵入	失誤
駕駛受遮斷桿等阻擋而受困	犯錯

(2) 車輛／軌道因素

- 屬違規行為，指因公路車輛或軌道行為因素而滯留平交道中，包含：「車輛裝載過高」、「車輛底盤過低」、「車輛拋錨」、「鋼軌或平交道面版毀損」及「機踏車輛滑倒」五類，彼此間為「OR」閘的關係。

承上各項研析說明，本研究在設定完成失誤樹頂端事件及考量平交道警戒狀態後，依「搶入或闖入行為是否蓄意」、「蓄意行為原因」、「非蓄意行為種類」、「停留的原因」之因素，構建出考量公路駕駛人行為模式之鐵公路車輛於平交道碰撞失誤樹模型，其中，基本事件代表原因已明確探討，另未發展事件則代表因資料有限或已超出分析範圍無法繼續深入分析者，其成果如圖 9 與圖 10 所示。

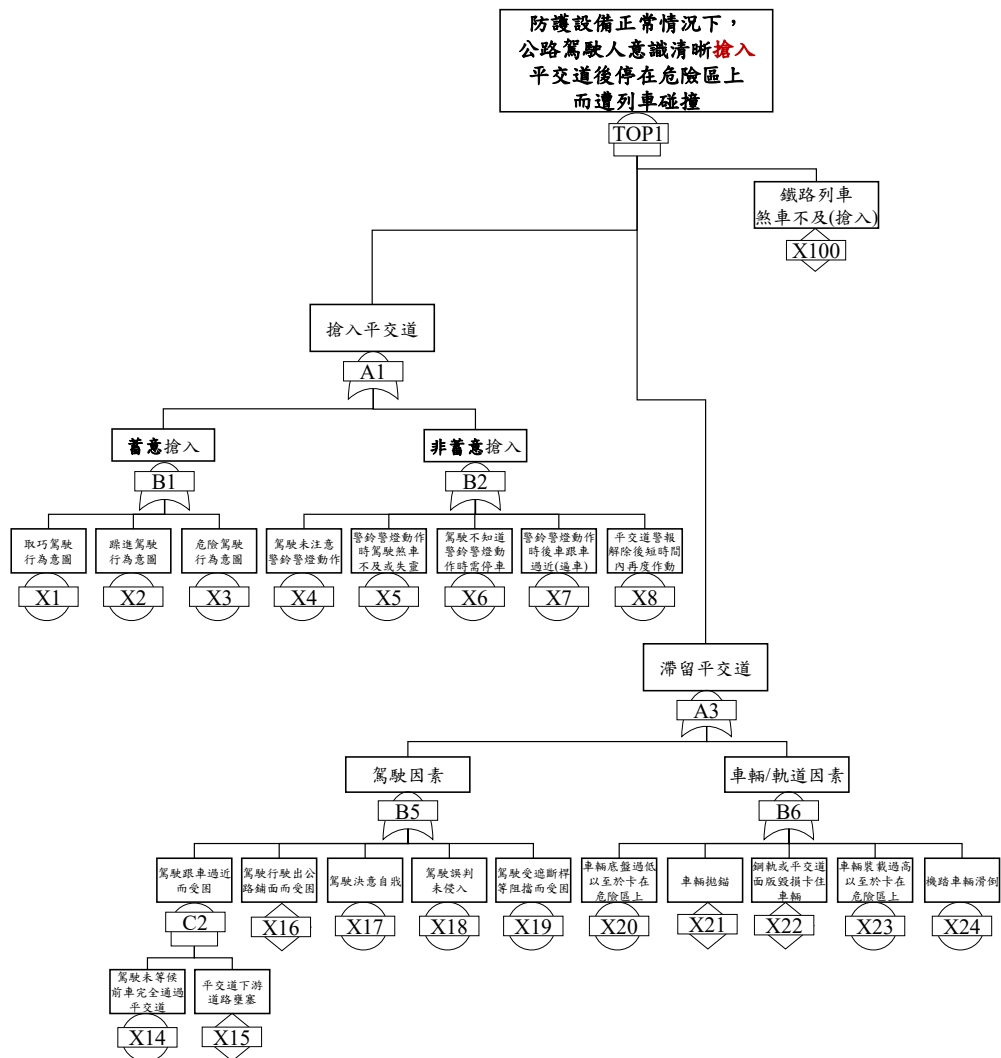


圖 9 失誤樹構建成果—TOP1 搶入平交道遭列車碰撞危害

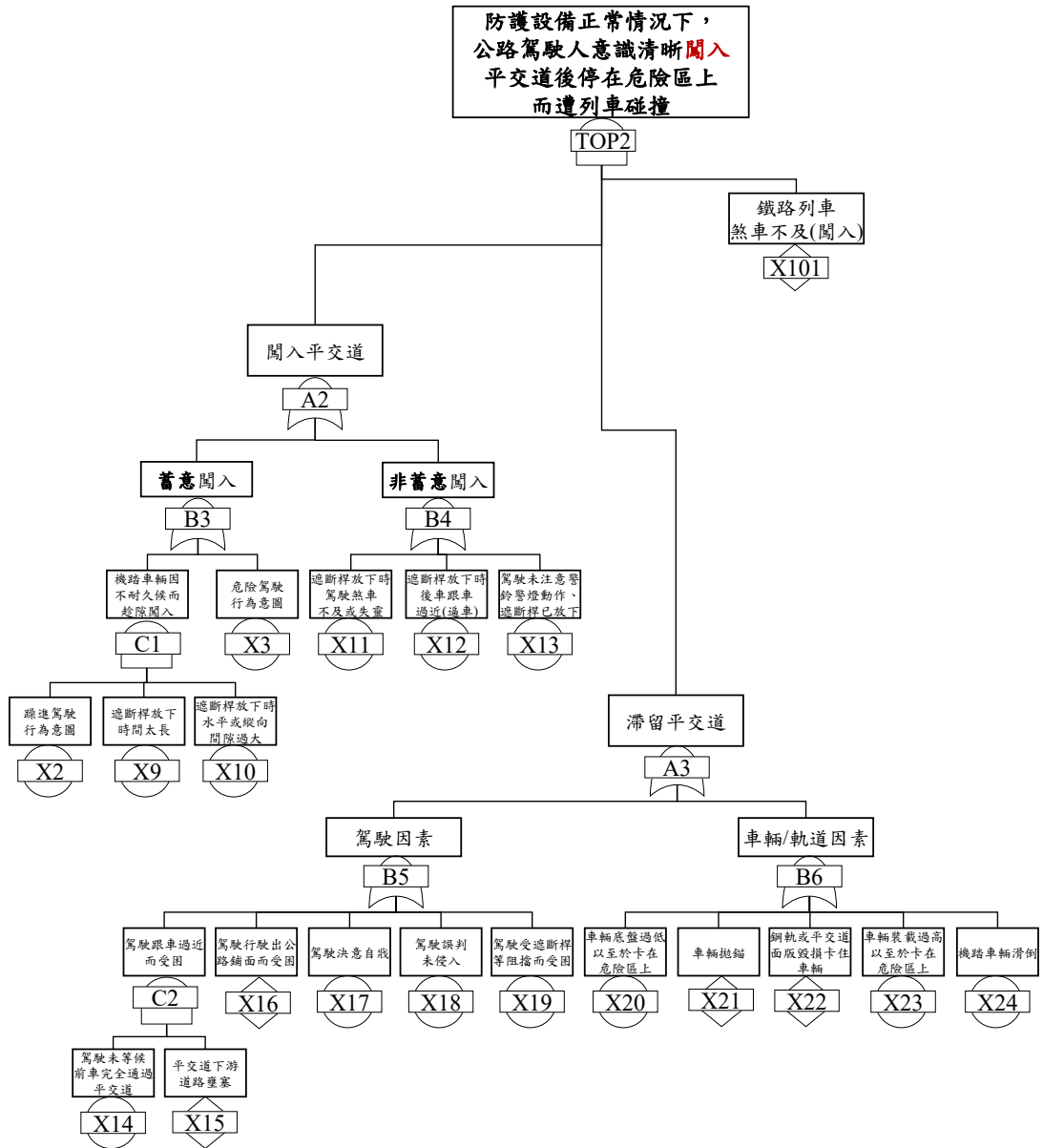


圖 10 失誤樹構建成果－TOP2 闖入平交道遭列車碰撞危害

四、案例分析

本章節分別以 TOP1 搶入平交道、TOP2 闖入平交道遭列車碰撞危害為案例，蒐集臺鐵局 2008~2016 年違規行為錄影資料，並分析失誤樹中間事件、基本事件、未發展事件的

大致發生比例；之後透過最小分割集合分析其中的事故資料，據以查明發生危害(頂端事件)的主要原因；最後分析比較在不同的時間點下，平交道違規行為的原因差異，並針對違規行為主因研擬適當之行動方案供鐵路主管單位參考。其中，為求錄影資料與失誤樹互相對應並降低判別難度，本研究已先行剔除錄影畫面不清楚、難以判定駕駛行為、未在失誤樹涵蓋範圍(例如：設備失效、車輛於低度警戒狀態時即停在危險區上並遭列車碰撞、車輛衝撞通過中列車、行人違規遭碰撞等)的錄影資料。

為方便說明，本章節定義名詞如下。

1. 搶入行為：搶入平交道的所有可能違規行為。
2. 闖入行為：闖入平交道的所有可能違規行為。
3. 搶入滯留行為：搶入平交道、之後滯留平交道的所有可能違規行為。
4. 闖入滯留行為：闖入平交道、之後滯留平交道的所有可能違規行為。
5. 搶入滯留事故：即 TOP1 頂端事件，滿足搶入平交道，滯留平交道、鐵路列車煞車不及(搶入)之條件。
6. 闖入滯留事故：即 TOP2 頂端事件，滿足闖入平交道，滯留平交道、鐵路列車煞車不及(闖入)之條件。

4.1 搶入平交道遭列車碰撞

本節依據圖 9「TOP1-防護設備正常情況下，公路駕駛人意識清晰搶入平交道後停在危險區上而遭列車碰撞」，分析「搶入行為」、「搶入滯留行為」及「搶入滯留事故」的原因及比例。其中，因錄影資料難以分析公路駕駛人之守法、躁進或危險行為意圖，故僅分析至上層「蓄意搶入」事件。

4.1.1 搶入行為及搶入滯留行為分析

2008~2016 年共有 36 件搶入行為錄影資料，致使搶入平交道、滯留平交道發生的事件種類及數目如圖 11 所示。此一數量雖不具抽樣代表性，但仍可大致說明平交道違規行為的發生比例，說明如下。

1. 在錄影資料中所觀察到的搶入平交道原因有蓄意違規(29 件，80.6%)、平交道警報解除後短時間內再度動作(6 件，16.7%)以及煞車不及或失靈(1 件，2.7%)。
2. 在上述 36 件搶入行為中，有 25 件駕駛會因故滯留平交道上，比例約 69.4%；錄影資料中觀察到的滯留原因包含跟車過近而受困(13 件，52.0%)、駕駛受遮斷桿等阻擋而受困(9 件，36.0%)、駕駛決意自戕(1 件，4.0%)、車輛底盤過低以致於卡在危險區上(1 件，4.0%)、機踏車輛滑倒(1 件，4.0%)。
3. 在上述 25 件搶入滯留行為中，有 20 件會與列車發生碰撞，比例高達 80%，係屬列車駕駛視距及煞車距離限制。

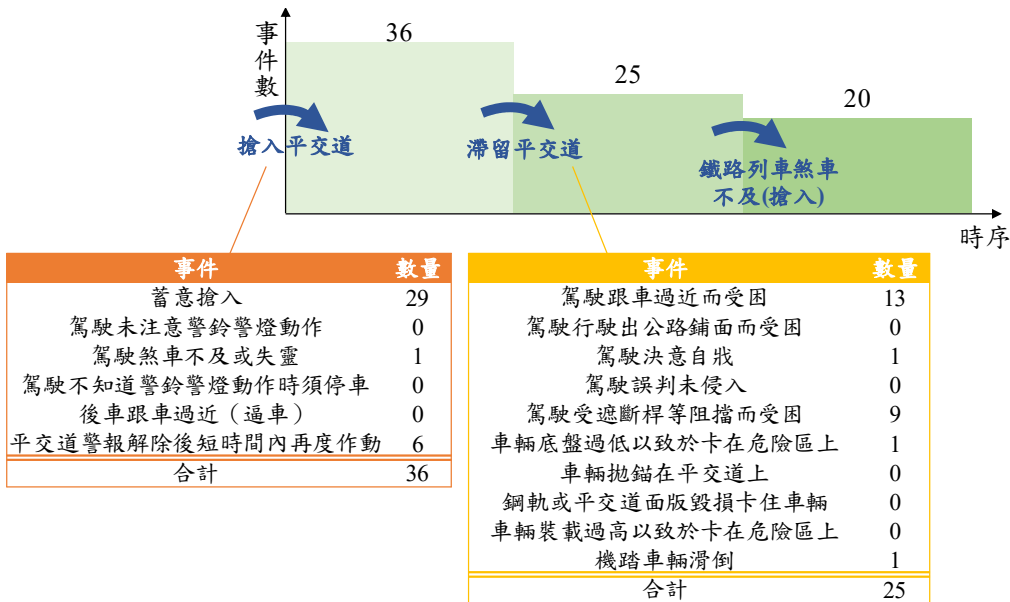


圖 11 TOP1—造成中間事件發生之事件種類及數目

4.1.2 搶入滯留事故分析

4.1.1 節分析成果已說明造成駕駛搶入平交道、滯留平交道的事件及比例，本節則進一步研析危害（頂端事件）可能來發生的路徑為何，爰此，本研究依據圖 9 求取該失誤樹之最小分割集合，同時透過「搶入滯留事故」錄影資料，來分析造成頂端事件發生的可能原因。

最小分割集合推導之布林運算過程如式 (2)~式 (4) 所示。

$$TOP_1 = A_1 A_3 X_{100} \quad (2)$$

$$TOP_1 = (B_1 + B_2) \cdot (B_5 + B_6) X_{100} \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
 TOP_1 &= (X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8) \cdot X_{100} \cdot \\
 &\quad (X_{14} X_{15} + X_{16} + X_{17} + X_{18} + X_{19} + X_{20} + X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24}) \\
 &= X_1 X_{14} X_{15} X_{100} + X_2 X_{14} X_{15} X_{100} + X_3 X_{14} X_{15} X_{100} \\
 &\quad + \dots + X_8 X_{24} X_{100}
 \end{aligned} \quad (4)$$

根據以上推導結果可發現，「防護設備正常、公路駕駛人意識清晰、搶入平交道後停在危險區上而遭列車碰撞」之 TOP1 事件共有 80 組 ($8 \times 10 \times 1$) 最小分割集合，其中有 8 組 ($8 \times 1 \times 1$) 為四階分割集合，表示該集合內四個事件同時發生，可導致頂端事件發生；另外有 72 組 ($8 \times 9 \times 1$) 則是三階分割集合。

式 (4) 之最小分割集合顯示有 80 組路徑可能導致頂端事件發生，顯示若公路駕駛人稍有不慎，在任一個路徑內之事件同時都發生，則會導致平交道事故。另經本研究分析 20

件「搶入滯留事故」錄影資料後，得出事故發生的路徑主要來自於 4 種情境，如圖 12 所示，包含有：

1. 駕駛因跟車過近而搶入平交道，之後因下游道路壅塞而停在平交道危險區上，佔 65%。鐵路列車此時已來不及煞停，並於數秒後與公路車輛發生碰撞。
2. 駕駛趁中度警戒狀態時蓄意搶入平交道，惟此時遮斷桿降下阻擋車輛通行，使駕駛停在平交道危險區上，佔 20%。鐵路列車此時已來不及煞停，並於數秒後與公路車輛發生碰撞。
3. 平交道有 6 至 8 秒的遮斷桿連續動作間隔時間 (仍為中度警戒狀態)，使駕駛人誤進入平交道，又駕駛有跟車過近的習慣，之後因下游道路壅塞而停在平交道危險區上，佔 10%。鐵路列車此時已來不及煞停，並於數秒後與公路車輛發生碰撞。
4. 駕駛趁中度警戒狀態時蓄意搶平交道，之後因車輛底盤較低而卡在平交道危險區上，佔 5%。鐵路列車此時已來不及煞停，並於數秒後與公路車輛發生碰撞。

上述數值比例係從既有違規錄影資料中研析，就嚴謹角度檢視無法切確代表真實比例，但廣義上若能消弭上述危險情境，將可大幅降低搶入平交道發生碰撞事故發生的機率。

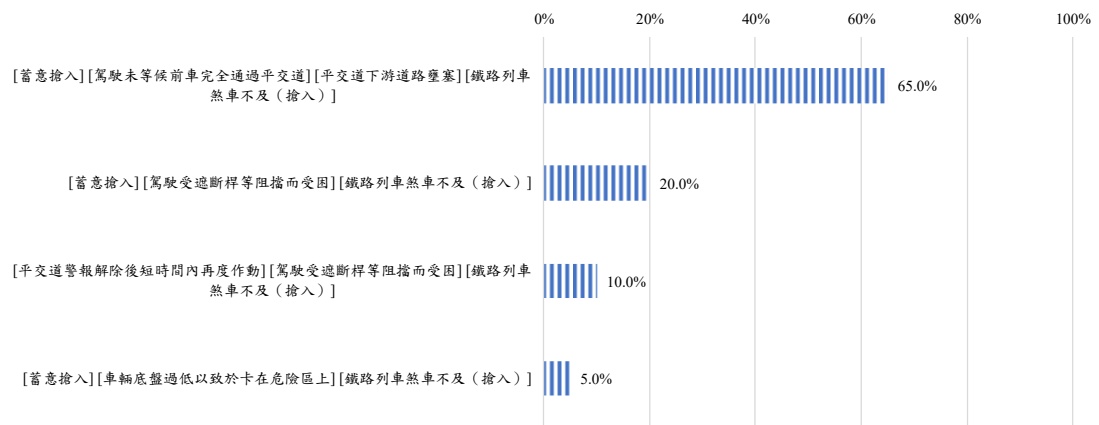


圖 12 觀察搶入滯留事故發生之 4 種情境比例

4.2 闖入平交道遭列車碰撞

本節依據圖 10「TOP2-防護設備正常情況下，公路駕駛人意識清晰闖入平交道後停在危險區上而遭列車碰撞」，分析「闖入行為」、「闖入滯留行為」及「闖入滯留事故」的原因及比例。

4.2.1 闖入行為及闖入滯留行為分析

2008~2016 年共有 17 筆闖入行為錄影資料，致使闖入平交道、滯留平交道發生的事件種類及數目如圖 13 所示，此一數量雖不具抽樣代表性，但仍可大致說明平交道違規行為

的發生比例，說明如下。

1. 在錄影資料中所觀察到的闖入平交道原因有危險駕駛行為意圖 (16 件, 94.1%) 以及機踏車輛不耐久候而趁隙闖入 (1 件, 5.9%)。
2. 在上述 17 件闖入行為中，有 15 件駕駛會因故滯留平交道上，比例高達 88.2%；錄影資料中觀察到的滯留原因包含駕駛決意自戕 (12 件, 80.0%)、機踏車輛滑倒 (2 件, 13.3%) 以及駕駛跟車過近而受困 (1 件, 6.7%)。
3. 在上述 15 件闖入滯留行為中，有 14 件會與列車發生碰撞，比例高達 93.3%，係屬列車駕駛視距及煞車距離限制。

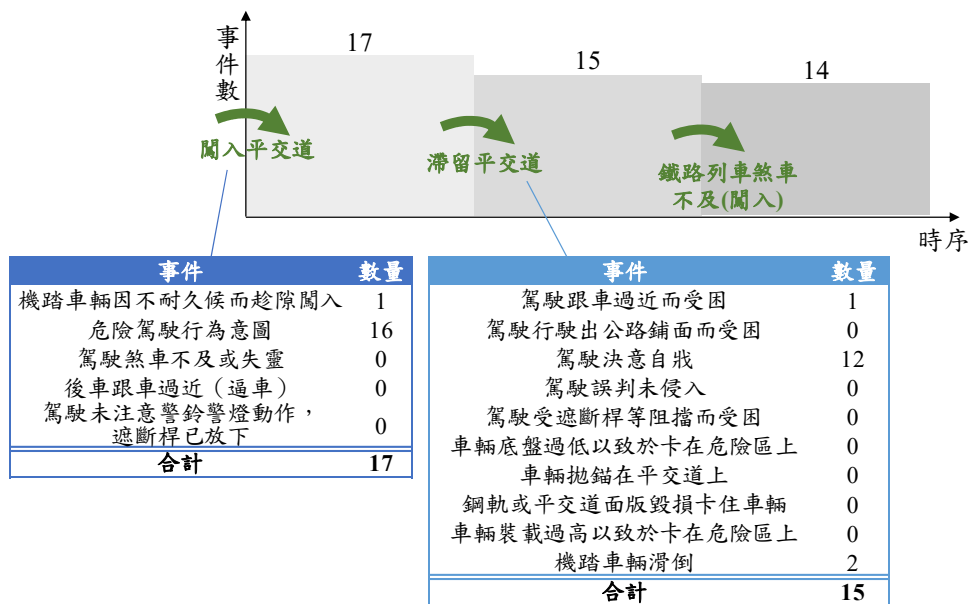


圖 13 TOP2—造成中間事件發生之事件種類及數目

4.2.2 闖入滯留事故分析

4.2.1 節分析成果已說明造成駕駛闖入平交道、滯留平交道的事件及比例，本節則進一步研析危害(頂端事件)可能來發生的路徑為何。以下則依據圖 10 求取頂端事件之最小分割集合，同時透過「闖入滯留事故」錄影資料，來分析造成頂端事件發生的可能原因。

最小分割集合推導之布林運算過程如式 (5)~式 (7) 所示。

$$TOP_2 = A_2 A_3 X_{101} \quad (5)$$

$$TOP_2 = (B_3 + B_4) \cdot (B_5 + B_6) X_{101} \quad (6)$$

$$TOP_2 = (X_2 X_9 X_{10} + X_3 + X_{11} + X_{12} + X_{13}) \cdot X_{101} \cdot (X_{14} X_{15} + X_{16} + X_{17} + X_{18} + X_{19} + X_{20} + X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24})$$

$$= X_2X_9X_{10}X_{14}X_{15}X_{10I}+X_3X_{14}X_{15}X_{10I}+X_4X_{14}X_{15}X_{10I} \\ +\dots\dots+X_{13}X_{24}X_{10I} \quad (7)$$

根據以上推導結果可發現，「防護設備正常、公路駕駛人意識清晰、闖入平交道後停在危險區上而遭列車碰撞」之 TOP2 事件共有 50 組 ($5 \times 10 \times 1$) 最小分割集合，其中有 1 組 ($1 \times 1 \times 1$) 為六階分割集合、9 組 ($1 \times 9 \times 1$) 為五階分割集合、4 組 ($4 \times 1 \times 1$) 為四階分割集合、36 組 ($4 \times 9 \times 1$) 為三階分割集合。

式 (7) 之最小分割集合顯示有 50 組路徑可能導致頂端事件發生，顯示若公路駕駛人稍有不慎，在任一個路徑內之事件同時都發生，則會導致平交道事故。另經本研究分析 14 件「闖入滯留事故」錄影資料後，得出事故發生的路徑主要來自於 2 種情境，如圖 14 所示，包含有：

1. 駕駛趁高度警戒狀態時進入平交道自殺，佔 85.7%。鐵路列車此時已來不及煞停，並於數秒後與公路車輛發生碰撞。
2. 駕駛在高度警戒狀態時蓄意闖入平交道，然在進出平交道時因受遮斷桿或鋪面影響而滑倒、摔倒，並與鐵路列車發生碰撞，此情境佔 14.3%。

上述數值比例係從既有違規錄影資料中研析，就嚴謹角度檢視無法切確代表真實比例，但廣義上若能消弭上述危險情境，將可大幅降低闖入平交道之碰撞事故發生的機率。

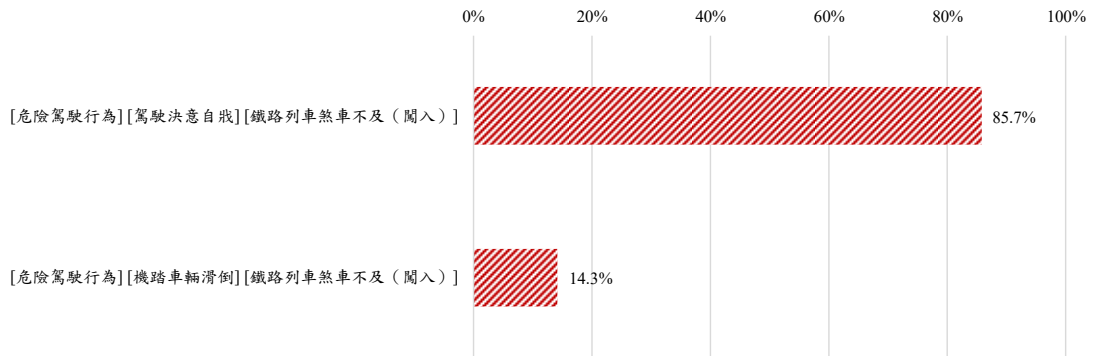


圖 14 觀察闖入滯留事故發生之 2 種情境比例

4.3 差異分析

本節延續 4.1 節、4.2 節分析成果，進一步透過如圖 15 與圖 16 比較在不同時間點 (搶入、闖入) 下，違規行為及事故發生原因的差異，說明如下。

1. 搶入／闖入行為的原因均以蓄意違規為主，其中高度警戒狀態下的闖入行為更是 100% 為駕駛人蓄意之舉動。
2. 搶入滯留行為／闖入滯留行為的原因雖皆以駕駛因素為主，但仍有差異，說明如下。

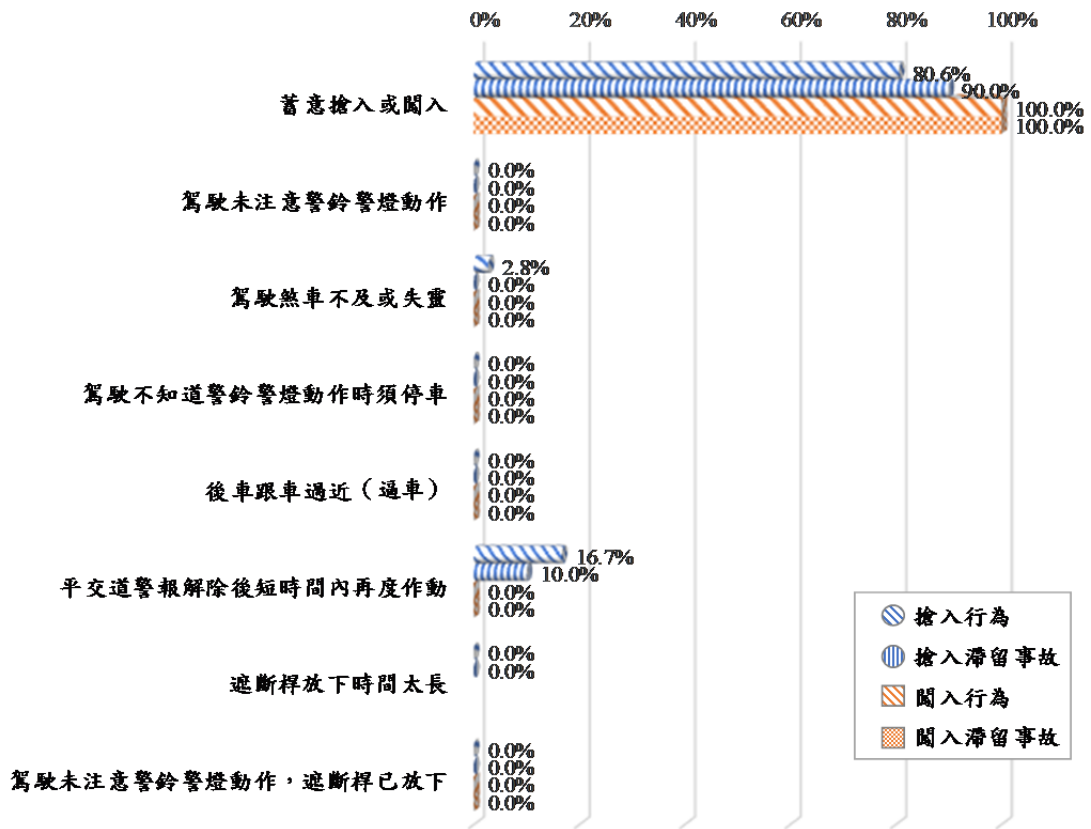


圖 15 平交道違規行為及事故－搶入／闖入平交道原因比較

(1) 搶入滯留行為：以駕駛跟車過近、通過時受遮斷桿等阻擋而受困為主。駕駛雖無意使自身陷入危險，但卻輕忽搶入帶來的風險而逕行進入平交道。

(2) 闖入滯留行為：以決意自戕為主，駕駛有意使自身陷入危險狀態。

3. 「搶入平交道」成因分析

茲將「搶入行為」及後續發生「搶入滯留事故」兩者比例說明如下。

(1) 兩者因「蓄意」的比例分別佔 80.6%及 90%，顯示通過平交道的教育與執法工作仍須再加強。

(2) 兩者因「平交道警報解除後短時間內再度作動」的比例分別佔 16.7%及 10%，顯示設備告警之設計有不符合駕駛人反應之處。

4. 「闖入平交道」成因分析

茲將「闖入行為」及後續發生「闖入滯留事故」兩者比例說明如下。

(1) 兩者因「蓄意」的比例皆佔 100%，包含「危險駕駛行為」以及「機踏車輛不耐久候而趁隙闖入」，顯示通過平交道教育與執法仍須再加強。

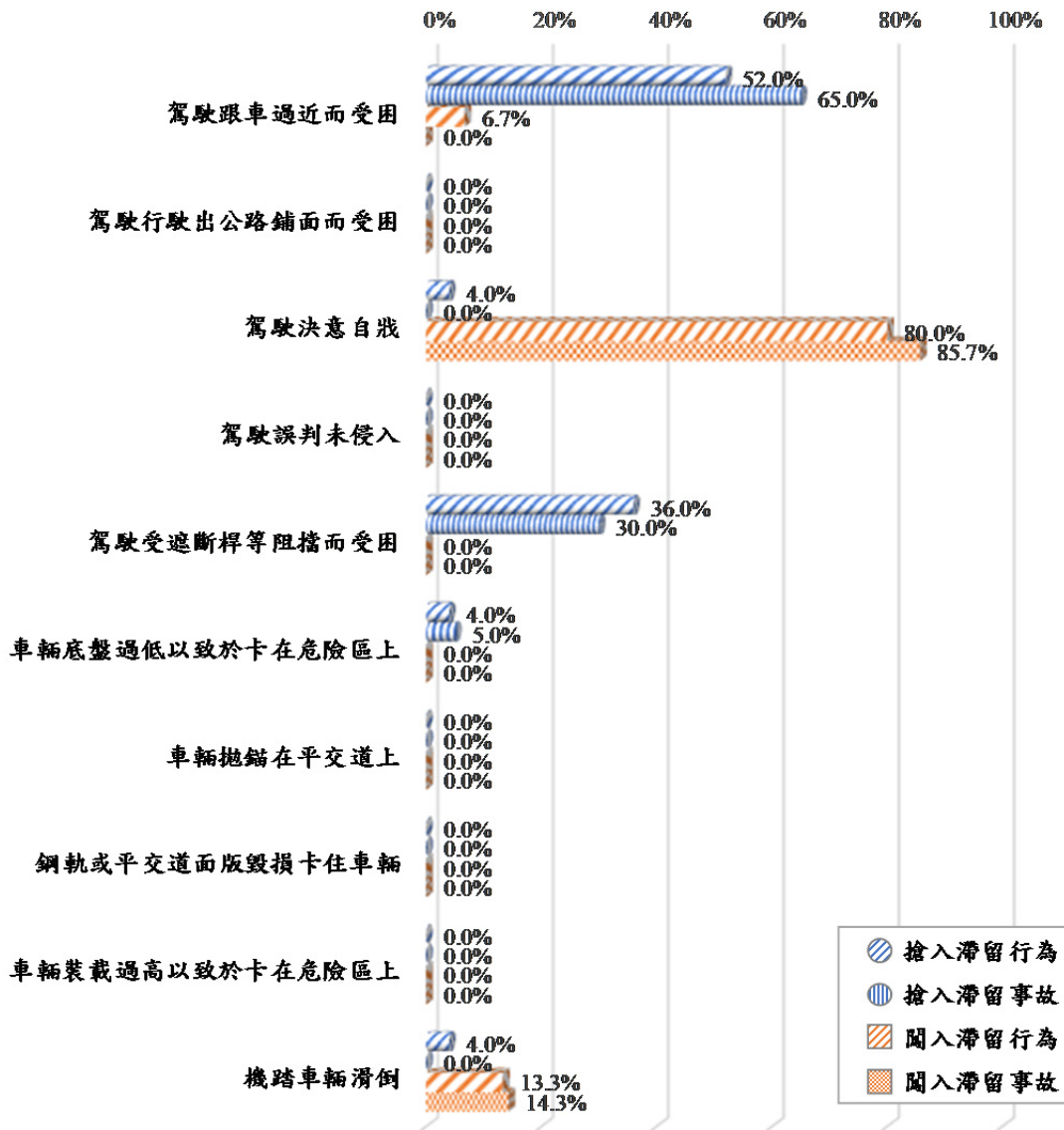


圖 16 平交道違規行為及事故—滯留平交道原因比較

5. 「滯留平交道（搶入）」成因分析

茲將「搶入滯留行為」及後續發生「搶入滯留事故」兩者比例說明如下。

- (1) 兩者因「跟車過近而受困」的比例分別佔 52%及 65.0%，顯示應以教育及執法方式改善跟車過近可能性。
- (2) 兩者因「駕駛受遮斷桿等阻擋而受困」的比例分別佔 36.0%及 30%，顯示應加強平交道逃脫方式宣導。

6. 「滯留平交道（闖入）」成因分析

茲將「闖入滯留行為」及後續發生「闖入滯留事故」兩者比例說明如下。

- (1) 兩者因「駕駛決意自戕」的比例分別佔 80.0%及 85.7%，顯示自殺防治的輔導及預防仍須持續努力。
- (2) 兩者因「機踏車輛滑倒」的比例分別佔 13.3%及 14.3%，顯示平交道逃脫方式教育、平交道幾何條件仍有可加強之處。

4.4 行動方案研議

針對前述議題，本研究研擬出九項行動方案，各項方案與違規行為原因對應如表 3 所示，說明如下。

表 3 違規行為原因與改善方案對應表

TOP 事件	中間事件	原因(佔違規行為比例>10%者)	行動方案
TOP1 搶入平交道 遭列車碰撞	搶入平交道	蓄意搶入(80.6%)	1. 應用科技執法取締平交道違規 2. 持續增設平交道闖越照相 3. 加強駕駛人教育
		平交道警報解除後短時間內再度動作(16.7%)	4. 設置智慧平交道
	滯留平交道	駕駛跟車過近而受困(52.0%)	5. 提升鐵路號誌聯鎖比例 6. 宣導平交道緊急處置
		駕駛受遮斷桿等阻擋而受困(36.0%)	6. 宣導平交道緊急處置
TOP2 闖入平交道 遭列車碰撞	闖入平交道	蓄意闖入(100%)	7. 消弭遮斷桿間隙 1. 應用科技執法取締平交道違規 2. 持續增設平交道闖越照相 3. 加強駕駛人教育
	滯留平交道	駕駛決意自戕(80.0%)	8. 加強自殺防治工程與教育
		機踏車輛滑倒(13.3%)	6. 宣導平交道緊急處置 9. 改善公路幾何條件

1. 應用科技執法取締平交道違規 (鐵路側臺鐵局設備)

- (1) 監視攝影設備可警示駕駛，降低蓄意違規的機率，惟臺鐵局目前 363 處平交道 24 小時錄影設備以監控遮斷桿撞損為主，且無自動舉發機制。
- (2) 若可透過影像辨識辨認違規車輛車牌、逕送鐵警局舉發，定可減少舉發人力、提高舉發成功率及阻卻違規能力。

- (3) 可綜整評估市面上車輛辨識系統之效益，而後於優先於遮斷桿撞損數較高之平交道進行試辦。

2. 持續增設平交道闖越照相 (公路側縣市政府設備)

- (1) 闖越照相與紅燈照相類似，皆可警示駕駛並降低違規機率；事實上據警政署資料顯示單一平交道一年至多可舉發一百件以上違規，顯見其警示之成效良好。
- (2) 建議地方政府應考量平交道風險，優先於危險平交道設置闖越照相。

3. 加強駕駛人教育

- (1) 各單位應加強駕駛人通過平交道行為之教育宣導等工作，提升其平交道風險感知與認知能力，以降低蓄意違規的機率。
- (2) 教育內容包含：通過平交道的安全行為 (例如：保持安全距離、打開車窗並且不大聲播放音樂、減速通過)、平交道法規及違規危險性等。
- (3) 具體執行方式：將交通安全教育融入國民教育中、與大專院校合作辦理教育宣導、與職業工會或業者等合作辦理教育宣導或訓練、駕照筆試及路考中增列平交道相關項目。

4. 設置智慧平交道

- (1) 智慧型平交道可具備障礙物偵測、影像傳輸、定時警報及延時警報四項功能，其監視系統畫面如圖 17 所示^[18]，其延時警報功能可避免平交道警報解除後短時間內再度動作造成駕駛滯留平交道上。
- (2) 延時警報功能的動作方式為：藉由在既設平交道啟動點上游佈設 10 組對照式紅外線偵測器偵測列車通過時間，進而計算列車速度與加速度、估算列車通過平交道可能時間，並依此判斷是否需延長警報時間^[18]。
- (3) 臺鐵局目前已完成該系統之研發，惟鐵路號誌系統有安全完整性 SIL4 等級要求，故目前係以搭接臺鐵局訊號並採模擬方式驗證系統可靠度；建議臺鐵局可考慮選定幾處有保全駐守之平交道進行試辦，在驗證系統當下同時以人工方式雙層確保平交道安全。

5. 提升鐵公路號誌聯鎖比例

- (1) 透過鐵公路號誌聯鎖機制降低「駕駛跟車過近而受困」發生機率。
- (2) 鐵公路號誌聯鎖內容應包含：鐵路觸動聯鎖時制 (鐵路端訊號 ON) 的時相數、各時相的時比與轉向等設置。
- (3) 具體提升方式：透過中央主管單位在經費及人力上支援地方政府，協助盤點鄰近平交道路口之車道配置、轉向交通量、既有號誌時制計畫、交通號誌燈配置、線路配設，通過平交道之交通量及鐵路列車次數等；而後透過增設號誌燈或配線、增加轉向車道 (並塗銷停車格、劃設禁停紅線或縮減分隔島) 等工程方式提升鐵公路號誌聯鎖比例。

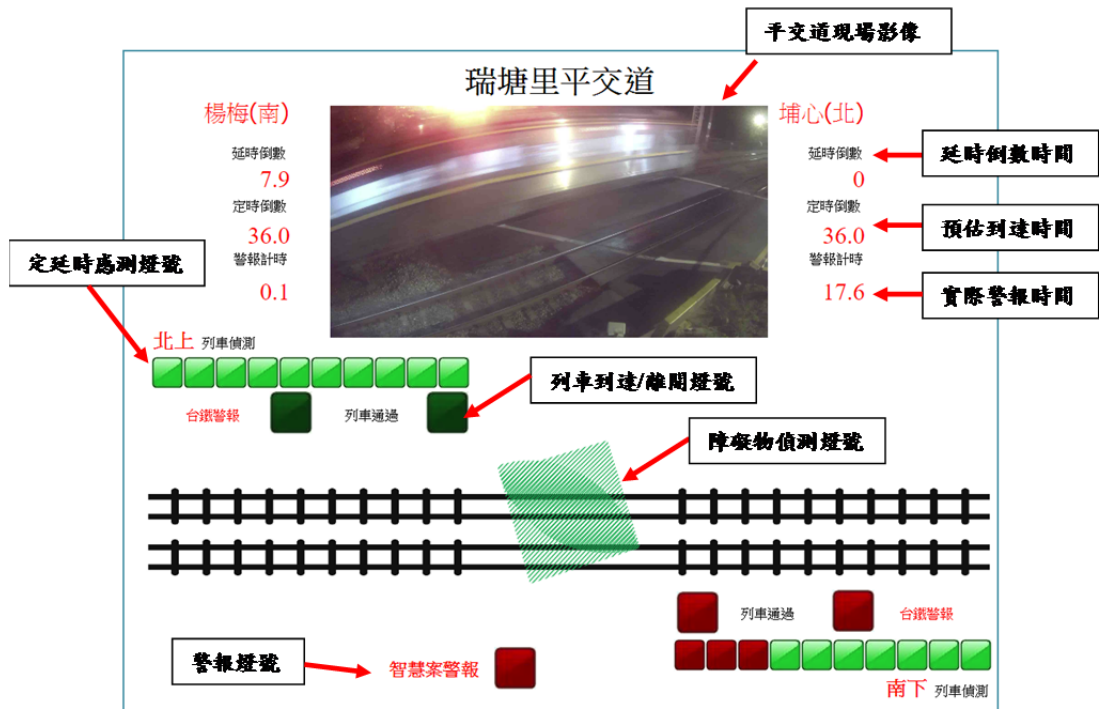


圖 17 臺鐵局－智慧平交道監控畫面說明圖

6. 宣導平交道緊急處置

- (1) 若能提升駕駛人受阻的緊急處置能力，則可大幅降低「駕駛受遮斷桿等阻擋而受困」、「駕駛跟車過近而受困」、「機踏車輛滑倒」的發生機率。
- (2) 過去臺鐵局針對緊急情況，均宣導「按、推、跑」，並於危險區內側設置可撞斷的標示，但仍常見到駕駛人受困後不知所措，在公路車輛正常下停車按壓緊急按鈕，反而造成更大的危險。
- (3) 考量平交道風險與遮斷桿撞損間的權衡，建議應宣導「受困時撞、按、推、跑」口號，宣導駕駛人受困平交道時應先考慮撞開遮斷桿，若公路車輛移動有困難才考慮既有宣導之按、推、跑程序，同時亦須強調此為兩權相害取其輕的處置方式，且仍須擔負遮斷桿復原費用以避免遭濫用。

7. 消弭遮斷桿間隙

- (1) 建議臺鐵局規章^[4]應納入間隙要求(遮斷道路全部寬度)。
- (2) 在修改規範後，建議電務段應依規定建立定期檢查表，定期確保遮斷桿保持水平、檢核遮斷桿水平及縱向間隙並消弭之，以降低機踏車駕駛不耐久候而蓄意闖入平交道的機率。



圖 18 JR 西日本平交道藍光 LED 燈

8. 加強自殺防治工程與教育

- (1) 可透過工程與教育方式降低「駕駛決意自戕」的發生機率。
- (2) 在教育方面，應使醫療專業人員具備辨識、關懷、通報自殺高風險群的自殺防治知能，建立整合性與持續性之自殺高風險防治照護網^[19]。
- (3) 在工程方面，國外有引入藍光 LED 的案例，例如：JR 西日本於 2006 年前後引入並裝設於平交道及車站月台上，結果顯示自殺率顯著下降^[20]，有研究認為這是因為藍色有令人沉靜的作用，轉移了犯罪者或欲自殺者的注意力^[21]，然須注意的是此為對行人的效果，對通過平交道之駕駛人則仍待確認。建議臺鐵局及公路主管單位可協調嘗試試辦，並追蹤研析其防治駕駛滯留平交道自殺之功效。

9. 改善公路幾何條件

- (1) 可透過工程方式改善公路線型、縱坡度(高低不平)、寬度等，以降低「機踏車輛滑倒」的發生機率。
- (2) 建議臺鐵局及公路主管單位應透過安全績效指標評估、平交道會勘等方式全面檢視平交道道路使用情況，並努力爭取經費以改善平交道幾何條件。

本研究進階將上述行動方案的執行期程、方式、執行與督導單位等整理如表 4 所示，一方面供鐵公路主管單位參閱，同時也確定各方案之主辦／協辦／監管單位等利害關係人，便於後續落實與推動時，有明確的專責單位負責。

表 4 行動方案執行與督導說明一覽表

行動方案	執行期程	執行方式	執行單位	督導單位
1. 應用科技執法取締平交道違規	中長期	研究或試辦	臺鐵局、 鐵警局	交通部
2. 持續增設平交道闖越照相	短期	爭取建置	縣市政府	警政署
3. 加強駕駛人教育				
(1)將交通安全教育融入國民教育中	短期	日常作為	縣市政府	交通部、 教育部
(2)與大專院校合作，辦理教育宣導	短期	日常作為	臺鐵局、 縣市政府、 大專院校	交通部、 教育部
(3)與職業工會、物流倉儲業、重工業業者合作辦理教育宣導或教育訓練	短期	日常作為	臺鐵局、 縣市政府、 公路總局	交通部
(4)駕照筆試及路考中增列平交道相關項目	中長期	日常作為	公路總局	交通部
4. 設置智慧平交道	中長期	規範修正	臺鐵局	鐵道局
		研究或試辦	臺鐵局	鐵道局
5. 提升鐵公路號誌聯鎖比例	中長期	爭取建置	縣市政府、 公路總局	交通部、 營建署、 臺鐵局
6. 宣導平交道緊急處置	短期	日常作為	臺鐵局、 縣市政府、 公路總局	交通部
7. 消弭遮斷桿間隙	短期	規範修正	臺鐵局	鐵道局
		日常作為	臺鐵局	鐵道局
8. 加強自殺防治工程與教育				
(1)教育醫療人員自殺防治知能	短期	日常作為	縣市政府、 醫療院所	交通部、 衛福部
(2)使用藍光 LED 平交道照明	中長期	爭取建置	臺鐵局、 縣市政府、 公路總局	交通部、 營建署
9 改善公路幾何條件	中長期	爭取建置	縣市政府、 公路總局	交通部、 營建署

五、結論與建議

5.1 結論

考量公路駕駛人的蓄意違規行為仍是平交道安全的改善重點，本研究首先彙整比較平

交道駕駛人行為模式文獻、國內外平交道及公路號誌化路口的失誤樹分析文獻。回顧中發現平交道運作分三階段，不同階段的駕駛人行為規範皆有所不同；行為中的人為錯誤包含失誤、疏失、犯錯、違反等四種可能性，均應納入失誤樹中探討，惟過去文獻中較少考慮此一行為歷程及人為錯誤因素。

本研究綜整上述議題，建構考量平交道運作方式及人為錯誤的平交道碰撞失誤樹，頂端事件為：「防護設備正常情況下，公路駕駛人意識清晰搶入(或闖入)平交道後停在危險區上而遭列車碰撞」；並將上述頂端事件成因拆分為「搶入(或闖入)平交道」、「滯留平交道」、「鐵路列車煞車不及」，且深入研析前二項之原因。

本研究以上述失誤樹為案例，藉由錄影實務資料萃取平交道違規行為的大致發生原因及比例：搶入的主要因為蓄意搶入或平交道警報解除後短時間內再度動作；搶入滯留的主要因為駕駛跟車過近而受困或駕駛受遮斷桿等阻擋而受困；闖入的主要因為蓄意闖入；闖入滯留的主要因為駕駛決意自戕或機踏車輛滑倒。

本研究亦透過布林運算分析失誤樹之最小分割集合、並以既有平交道事故資料確認危害(頂端事件)的最可能路徑原因，分析得到搶入滯留事故的主要情境為：駕駛有跟車過近的習慣，並且趁中度警戒狀態時進入平交道，之後因下游道路壅塞而停在平交道危險區上；闖入滯留事故的主要情境為：駕駛趁高度警戒狀態時進入平交道自殺。

本研究亦針對其發生原因研擬九項行動方案，包含：應用科技執法取締平交道違規、持續增設平交道闖越照相、加強駕駛人教育、設置智慧平交道、提升鐵公路號誌聯鎖比例、宣導平交道緊急處置、消弭遮斷桿間隙、加強自殺防治工程與教育、改善公路幾何條件等。後續可供鐵公路主管單位參考，同時便於後續落實推動時，能參考短中長期推動策略，據以改善平交道安全。

5.2 建議

本研究之失誤樹分析主要以定性分析為主，茲將未來可行之建議說明如下。

1. 本研究雖有案例分析之原始資料，惟其案例數量仍不足以作為風險評估使用，建議臺鐵局可協助蒐集失誤樹模型中各項底層事件的發生機率，將有助於後續進行實務的定量分析與評估。
2. 建議臺鐵局或鐵道局可參考英國構建量化之平交道風險模型 (All Level Crossing Risk Model, ALCRM)，透過失誤樹及事件樹分析「發生頻率(Frequency)」和「危害嚴重性(Consequence)」，得到每處平交道之安全風險績效值(風險分數或每年死亡人數)、經濟風險等，藉由資訊反饋供主管單位研議改善策略及改善優先順序。
3. 部分縱深較大之平交道，除本研究提出之行動方案外，應強化現場會勘因地制宜找出適合改善策略，甚至封閉平交道或禁行車輛，以降低或直接避免碰撞事故之發生。

參考文獻

1. 交通部運輸研究所，**建立臺鐵安全績效指標之研究**，民國 98 年。
2. 交通部運輸研究所，**風險管理應用於鐵路運輸安全之初探－以臺鐵風險分析與評量為例**，民國 101 年。
3. International Electrotechnical Commission, IEC 61025-Fault Tree Analysis (FTA) Edition 2.0, 2006.
4. 交通部臺灣鐵路管理局，**號誌裝置養護檢查作業程序**，交通部臺灣鐵路管理局，民國 99 年。
5. Rasmussen, J., "Skills, Rules, and Knowledge; Signals, Signs, and Symbols, and Other Distinctions in Human Performance Models," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol.13, Iss.3, 1983, pp. 257-266.
6. Swain, A. D., & Guttman, H. E., Handbook of Human-Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications, Final Report (No. NUREG/CR--1278). Sandia National Labs, 1983.
7. Reason, J., Human Error, Cambridge University Press, 1990.
8. Norman, D.A. , The Design of Everyday Things 4th Edition, MIT Press, USA, 2001.
9. 交通部運輸研究所，**風險管理應用於鐵路運輸安全之初探－以臺鐵風險辨識為例**，民國 100 年。
10. RAILTRACK, Infrastructure Risk Modeling Automatic Level Crossing Automatic Half Barrier Type, EE&CS Report, 1997.
11. 施伯杰，**以故障樹與事件樹分析法探討平交道事故風險**，國立成功大學交通管理科學系碩士論文，民國 96 年。
12. Fowler, C., Tong, S., Fernandez-Medina, K., Thompson, K., Scoons, J., Lawton, B., Prospective Study into Harmonised Train Accident Precursors Analysis and Management, *Transport Research Laboratory* Final Report, 2013.
13. Joshua, S. C., & Garber, N. J., "A Causal Analysis of Large Vehicle Accidents Through Fault-Tree Analysis," Risk Analysis, Vol.12, No.2, 1992, pp. 173-188.
14. Kuzminski, P., Eisele, J. S., Garber, N., Schwing, R., Haimes, Y. Y., Li, D., & Chowdhury, M., "Improvement of Highway Safety I: Identification of Causal Factors Through Fault-Tree Modeling," *Risk analysis*, Vol.15, No.3, 1995, pp. 293-312.
15. Jiao, C., Jiang, G., Liu, X., & Ding, T., "Dangerous Situation Recognition Method of Driver Assistance System," IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety, 2006, pp. 169-173.
16. Chen, H., Cao, L., & Logan, D. B., "An Innovative Method for Categorising the Contributing Factors to Intersection Crashes Using Fault Tree Modelling," *International Journal of Crashworthiness*, Vol.17, No.2, 2012, pp. 125-139.
17. 吳宗修、郭明仁，**影響駕駛者搶越平交道之因素**，中華民國運輸學會第二十四屆學術論文研討會論文集，民國 98 年，頁 1761-1780。

18. 交通部臺灣鐵路管理局，鐵路智慧平交道安全控制系統與偵測器研發，民國 103 年。
19. 陳俊鶯，自殺防治：珍愛生命同心協力，醫策會機構教育訓練課程，民國 107 年。
20. JR 西日本，列車がお客様と接触した場合，https://www.westjr.co.jp/company/action/service/safety_transport/accident/，民國 108 年。
21. Matsubayashi, T., Sawada, Y. and Ueda, M., “Does the Installation of Blue Lights on Train Platforms Prevent Suicide? A Before-and-After Observational Study from Japan,” Journal of Affective Disorders, Vol. 147, No.1-3, 2013, pp. 385-388.

