

# 臺鐵平交道風險處理－以裝設障礙物 偵測器為例<sup>1</sup>

## RISK TREATMENT OF RAILROAD CROSSINGS FOR TAIWAN RAILWAYS ADMINISTRATION -A CASE STUDY ON OBSTACLE DETECTION SYSTEM

林杜寰 Tu-Huan Lin<sup>2</sup>  
孫千山 Chian-Shan Suen<sup>3</sup>  
鍾志成 Jyh-Cherng Jong<sup>4</sup>  
李治綱 Chi-Kang Lee<sup>5</sup>  
張開國 Kai-Kuo Chang<sup>6</sup>  
吳熙仁 Hsi-Jen Wu<sup>7</sup>

(102 年 1 月 3 日收稿，102 年 5 月 22 日第一次修改，  
102 年 10 月 15 日第二次修改，103 年 2 月 10 日定稿)

### 摘 要

風險管理已普遍被鐵道系統採用來提昇安全水準，其流程包括風險辨識、風險分析、風險評量與風險處理，本研究延續過去研究成果發展風險

- 
1. 本研究為交通部運輸研究所與財團法人中興工程顧問社合作研究計畫 (MOTC-IOT-101-SBB007 「風險管理應用於鐵路運輸安全之初探－以臺鐵風險處理、管理監督、管理改善為例」) 部分研究成果。
  2. 台灣德國萊因技術監護顧問股份有限公司資深工程師(聯絡地址：105 臺北市松山區八德路 4 段 758 號 11 樓；電話：02-21727000 Ext. 1073；E-mail：Rex.Lin@tuv.com)。
  3. 財團法人中興工程顧問社土木水利及軌道運輸研究中心正研究員。
  4. 財團法人中興工程顧問社土木水利及軌道運輸研究中心經理。
  5. 南台科技大學行銷與流通管理系所教授。
  6. 交通部運輸研究所運輸安全組組長。
  7. 交通部運輸研究所運輸安全組研究員。

處理的實務操作步驟，協助鐵道營運業者選擇最有效的改善措施以降低不可容忍危害之風險，並以「鐵公路車輛於平交道碰撞」危害為例，說明風險處理之步驟，再以裝設「障礙物偵測器」為例，說明實務上該如何評估改善措施之可行性、成本、效益及負效用。研究結果顯示：(1) 裝設障礙物偵測器的確能降低風險，屬於可行的改善措施之一；(2) 若於臺鐵所有三甲平交道均裝設障礙物偵測器，益本比僅達 5.82%；(3) 承上，全面裝設後仍無法容忍「鐵公路車輛於平交道碰撞」之風險，應搭配其他改善手段使其風險可被接受。

**關鍵詞：**鐵路平交道；風險處理；障礙物偵測器

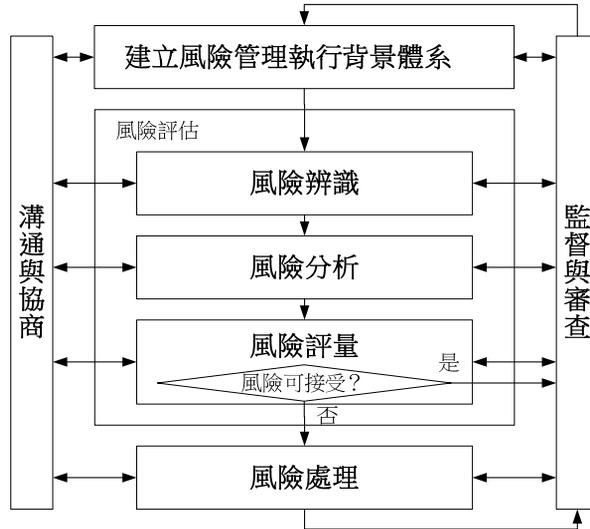
### ABSTRACT

*Risk management (RM) is generally adopted by railway operators to improve the degree of safety. The process of RM typically involves risk identification, analysis, evaluation, and treatment. The research follows previous studies to develop a practical procedure for risk treatment. Through the procedure, railway operators can apply adequate measures to decrease the risk of unacceptable hazards. The hazard, collision between trains and vehicles at railroad crossings, was selected to be a case study to explain the procedure of risk treatment in this study. The measure, installing obstacle detection systems (ODS), was also selected to demonstrate how to estimate its feasibility, cost, benefit, and negative utilities. The major findings are the followings: (1) The ODS is one of the feasible measures to decrease the risk of the hazard. (2) The B/C ratio of installing ODS at all type-III grade crossings is only 5.82% (3) As the above condition, the risk of collision between trains and vehicles at railroad crossings is still unacceptable. We suggest that railway operators should adopt additional strategies to decrease the risk until it becomes tolerable.*

**Key Words:** Railroad crossing; Risk treatment; Obstacle detecting system

## 一、前言

風險管理 (risk management) 在國際上已被廣泛應用在安全管理領域<sup>[1]</sup>，其中又以核能、化工、營建工程領域最為重視，其概念乃透過風險辨識 (risk identification) 找出系統潛在的危害，接著進行風險分析 (risk analysis) 瞭解危害的發生頻率與嚴重程度，並從風險評量 (risk evaluation) 的過程中評估該危害是否需要改善，針對欲改善的危害透過風險處理 (risk treatment) 來研擬改善對策，以降低、轉嫁或消弭該風險，有系統地持續監督並提昇安全，圖 1 乃我國行政院所屬各機關風險管理作業基準<sup>[2]</sup> 中的風險管理流程圖。



資料來源：行政院研考會 [2]。

圖 1 風險管理流程圖

由於鐵路列車載運大量旅客且具有高動能特性，一旦發生事故往往造成生命財產的重大損失，對社會也產生嚴重衝擊，故近年來先進國家鐵路系統均發展以風險管理為基礎的安全管理制度 [3]。例如歐盟電子技術標準委員會 (European Committee for Electrotechnical Standardization) 專門為鐵路運輸系統制定的 EN50126 規範 [4]，內容囊括鐵道系統從規劃設計、興建製造，一直到營運階段所應重視的安全議題；澳洲所制定的 AS4292 規範 [5]，則針對鐵路系統營運、設備、車輛、與其他運輸系統的介面等，探討維護鐵路安全所須建立的安全管理系統，並強調此安全管理系統須包括風險管理系統、程序與規章，以確保鐵路安全；美國 FTA 依據 CFR659 法案研擬了風險管理的施行細則，並補充說明鐵道營運業者與監理單位的作業細節 [6]。除了上述國家，日本、南韓等亞洲鐵道運輸發展較早的國家，近年同樣導入風險管理機制以提昇鐵道系統安全 [7]。

我國鐵道系統主要遵循歐盟之 EN50126 規範執行安全風險管理工作，例如高鐵、高捷等 [8]，然而該規範僅提供原則性之說明，實務上因國情、系統之差異，並未詳述操作細節，過去文獻上亦鮮少分享相關操作經驗供國內鐵道營運業者參考，尤其在評估改善方案優劣的風險處理作業部分，該如何系統化的考量改善措施之利弊，並提出客觀數據供決策者參考，是本研究欲探討之問題。

本研究延續過去研究成果 [9,10]，首先回顧過去國內外鐵道系統進行風險處理之文獻，歸納其中待精進之處，並根據風險處理的基本概念，從實務經驗歸納作業程序，接著說明障礙物偵測器 (obstacle detecting system, 以下簡稱 ODS) 的運作原理與相關設備元件，以三甲平交道裝設 ODS 為例，根據臺鐵歷史資料評估成本效益並進行敏感度分析，最後說

明施行此改善措施後的殘留風險，歸納結論並提出後續國內鐵道系統執行風險處理之建議。

## 二、風險處理相關文獻

回顧我國風險管理於鐵道運輸之應用情況可發現，近年完工通車的高速鐵路<sup>[11]</sup>、高雄捷運<sup>[12]</sup>，以及興建中的桃園捷運<sup>[13]</sup>，均於興建之初便導入風險管理概念，使後續營運過程中能根據風險管理文件了解各危害於營運階段的殘留風險，並據以規劃管理程序、作業流程，確保各危害風險處於可接受狀態；台北捷運興建時間點較早，雖然於興建之初並未有風險管理概念，但營運過程中亦逐步導入風險管理以精進系統安全<sup>[14]</sup>；至於我國鐵道路線規模最大的臺鐵系統，由於當初興建時也未有風險管理之概念，因此交通部運輸研究所<sup>[8]</sup>自98年起以臺鐵為例，陸續探討風險管理各步驟於鐵路運輸之實務作法，臺鐵於近年也導入風險管理概念提昇系統安全。根據交通部的交通統計月報資料<sup>[15]</sup>顯示，臺鐵每百萬動力車公里的死傷人數從民國96年的2.4人降至100年的1.0人，足見導入風險管理的確有效改善臺鐵安全，然而仍有些經風險評量後判斷為不可容忍之危害應立即改善<sup>[16]</sup>。其中，以平交道相關之危害最受到關注，過去研究亦確定「鐵公路車輛於平交道碰撞」危害的風險，無論對照國內外各個系統的風險矩陣標準，均落在不可容忍區<sup>[16]</sup>，因此，臺鐵近年來持續不斷增添設備，各方專家也提出許多改善建議，希望能降低平交道安全風險，然而改善措施究竟能發揮多少功效，一直以來未能有客觀的評估方法。

呂志明等人<sup>[17]</sup>評估捷運車站設置月台門的成效時，直接假設認定100%改善旅客侵入軌道；交通部高速鐵路工程局<sup>[18]</sup>過去曾評估高鐵於甲仙地震後所採取的改善措施之功效，則依靠專家經驗判斷改善比例，孫千山等人<sup>[19]</sup>回顧英國月台提昇案例、英國平交道增設接續列車告警裝置案例、德國平交道增設ODS案例後發現，國外鐵道系統風險處理案例在成本面多僅量化購置成本，效益面除了質化的旅客感受，量化部分主要以死傷成本與維修成本為主，至於關鍵的改善幅度評估方式，主要仰賴問卷調查，僅德國案例使用歷史資料較具客觀性，但亦缺乏負效用的分析，各案例內容整理如表1。

表1 國外風險處理案例比較

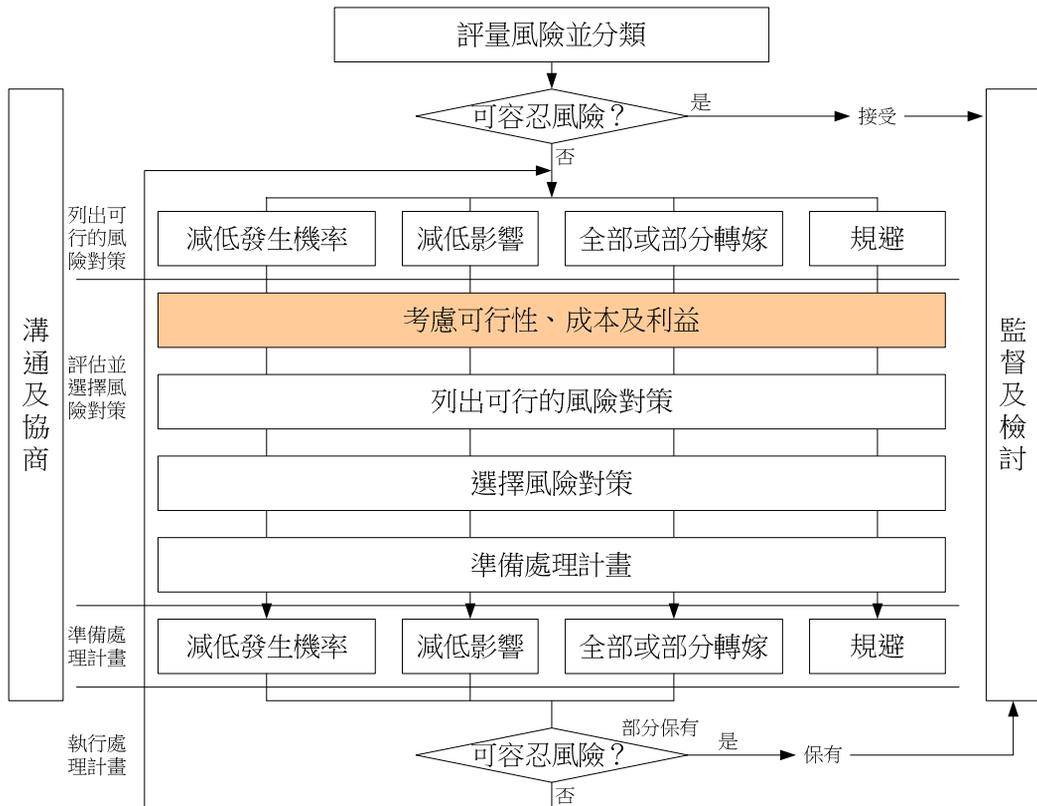
作業細節 \ 案例	英國月台升高	英國平交道增設接續列車告警裝置	德國平交道增設ODS
成本考量	購置成本	購置成本	購置成本
效益考量	旅客感受	死傷成本減少	死傷成本減少 維修成本減少
改善幅度評估方式	問卷調查	問卷調查	歷史資料
改善措施採行與否評估方式	專家判斷	益本比	益本比

資料來源：孫千山等人<sup>[19]</sup>。

因此，本研究以「鐵公路車輛於平交道碰撞」危害為例，歸納實務上進行風險處理時應執行的作業步驟，並以改善措施「裝設障礙物偵測器」為例，研擬評估改善措施功效之程序，包括探討風險改善的幅度、成本效益及負效用，期能提供決策者足夠且客觀之資訊，並預先了解改善措施潛在的負效用，在執行改善措施前預先研擬配套措施以防範未然。

### 三、風險處理重點工作

風險處理的主要工作包括研擬改善措施、評估改善措施的成本效益、評估實施後的負效用與殘留風險。行政院研考會制定之風險管理及危機處理作業手冊中<sup>[2]</sup>，將風險處理作業流程歸納如圖 2，其中以「考慮可行性、成本與利益」步驟最仰賴專家主觀判斷，本研究經實務操作後歸納其中關鍵作業程序，以下逐一說明。



資料來源：行政院研考會<sup>[2]</sup>。

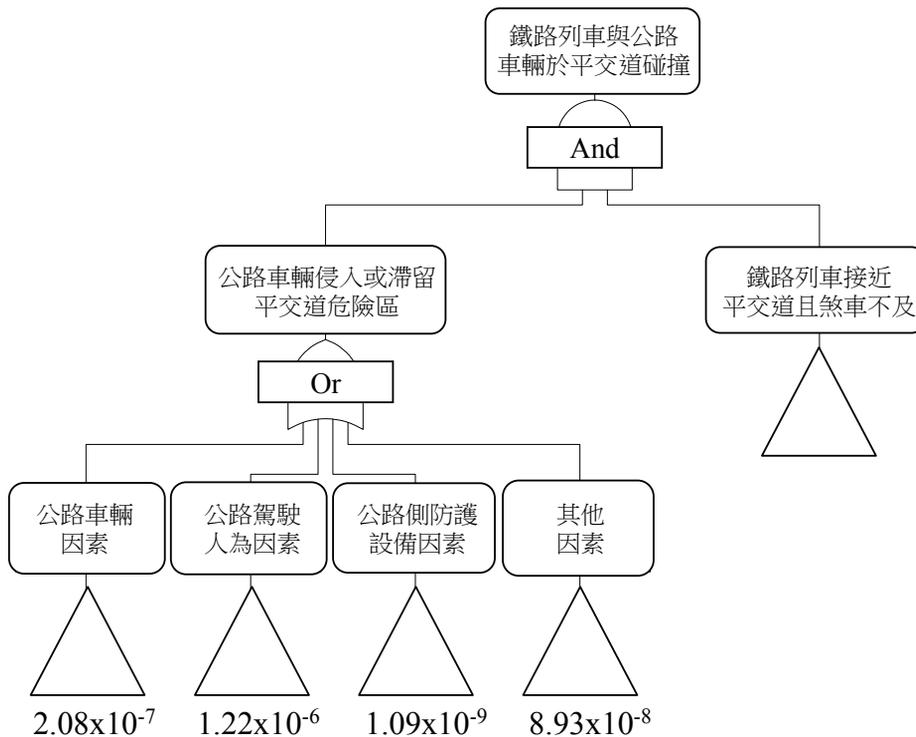
圖 2 風險處理作業流程

### 3.1 考慮改善措施之可行性

除了評估改善措施在技術面、執行面是否可行外，最主要應評估改善措施是否能有效降低危害風險，確保對症下藥，此乃風險處理最困難但也最關鍵的步驟。在資訊不足的情況下，一般慣用專家會議或專家問卷來評估改善措施對危害之影響，然而此兩種方式受主觀意識的影響較大，若沒有找齊相關領域的專家或有客觀的參考資料，很容易誤判改善措施之功效。故本研究建議在時間與資料充裕的情況下，應先採用以下方式進行初步評估再請專家討論，可減少專家主觀印象之影響：

#### 1. 根據風險分析模式評估改善措施是否能降低風險

風險分析階段所構建之模式是評估改善措施功效的重要參考依據，以「鐵公路車輛於平交道碰撞」危害為例，交通部運輸研究所<sup>[16]</sup>曾以失誤樹方法說明其發生機率的模式，圖3即為該失誤樹模型的主要架構，圖中數據為每通過平交道公路車輛發生該事件之機率。



資料來源：交通部運輸研究所<sup>[16]</sup>。

圖3 「鐵公路車輛於平交道碰撞」之失誤樹模式主要架構

舉例來說，其中公路車輛因素包括底盤過低、裝載過高、車輛拋錨，故評估「裝設限高門」這一改善措施的改善功效時，最多僅能避免裝載過高的因素，無法完全消弭公路車輛因素所導致的碰撞事故。至於改善比例，若能分析出圖 3 模式中各個底層事件的機率數值時，可直接供專家討論時參考，若無具體發生機率的數值時，Innis 與 Hammond<sup>[20]</sup> 認為也可用相對重要性的方式評估。須注意的是，針對某項危害研擬的改善措施，有時也可降低其他危害的風險，例如封閉平交道除了可以規避鐵路車輛碰撞的風險，也可以規避鐵路列車與行人碰撞的風險，評估改善措施功效時應一併納入。

## 2. 根據歷史資料事前事後分析來評估改善措施是否能降低風險

若欲採行的改善措施過去已有示範計畫經驗，或是能取得國內外類似系統資料，則建議採事前事後分析來評估改善措施之功效。然而，須注意事前事後評估應有足夠的樣本數，避免少數極端事件的干擾，且評估出的改善功效，應符合風險分析階段所構建的模式數據。舉例來說，若臺鐵過去曾於部分平交道裝設限高門，則可利用這些平交道裝設前後的事務資料來分析裝設限高門的改善功效，但歷史資料所分析出的改善功效若大於失誤樹模型中車輛裝載過高的發生機率，則應思考裝設限高門是否同時減少其他因素的發生機率，例如是否於裝設限高門後，讓駕駛更容易察覺平交道，進而減少公路駕駛人未察覺平交道而闖越之機率，否則應重新檢討失誤樹模式的正確性，或是檢視事前事後分析資料的樣本數是否不足，因而導致分析結果出現偏差。

## 3.2 考慮改善措施之成本

不同的改善措施所需要的成本不同，由於本研究探討的對象是臺鐵，考量臺鐵屬於交通部的事業機構，許多建設經費仍由政府補助，故建議應分析經濟面成本而非財務面成本，應分析項目說明如下：

### 1. 設置成本

包括設備採購、裝設，人員訓練所需要的成本都應該考量，須注意的是，若以過去資料評估時，也應適度考量物價上漲率。

### 2. 營運維護成本

營運維護成本往往是最容易被忽略的項目，尤其在評估新增硬體設備的成本時，20 年甚至 30 年的評估年期使營運維護成本所佔的比重相當可觀，評估時不可忽視。若過去曾有示範計畫的資料可供參考，則可直接採用並適度考量物價上漲率；若評估新的改善措施無歷史資料可供參考時，建議由設備保養維護部門評估所需的人力與設備耗損率來概略評估所需成本。

### 3. 社會成本

改善措施實施後應考量可能的社會成本，例如平交道裝設警鈴可能衍生的噪音，路線改良可能因列車慢行造成旅客延誤，平交道禁行大貨車則會增加大貨車繞行距離，因而衍生的空污成本與公路事故死傷成本也需考量。

#### 3.3 考慮改善措施之效益

鐵道系統安全改善措施應考量之經濟面效益建議包括：

##### 1. 減少生命損失的效益價值

安全改善措施最主要的目的便是減少人員死傷，根據交通部運輸研究所交通建設計畫經濟效益評估手冊<sup>[21]</sup>之建議，死亡的衍生價值介於 216 ~ 1,474 萬元，建議值為每人 790 萬元，至於鐵道系統須額外賠償旅客死傷或撫卹員工死傷的支出，屬於財務效益評估項目，經濟效益評估時不予考量。

##### 2. 減少財產損失的效益價值

財產損失屬於廣義的社會成本範疇，故進行經濟效益評估時要納入考量。須注意的是，評估改善措施所能減少的財產損失時，會根據危害類型不同而有很大的差異，例如「列車出軌」與「旅客遭受攻擊」兩項危害的財產損失就有很大的落差，本研究建議以過去 3 年該項危害平均造成的財產損失作為評估時的引用參數。

##### 3. 減少旅客延誤的效益價值

減少的旅客延誤、列車延誤效益在評估鐵道系統的改善措施時，是重要的經濟效益評估項目。本研究建議採交通部運輸研究所<sup>[21]</sup>之建議，城際與都會區旅客時間價值分別為 2.95 與 1.97 元/分，另因臺鐵城際與都會旅客數的比例約為 3：7，加權平均後建議臺鐵每旅客每分鐘延誤時間價值為 2.264 元。

##### 4. 減少溫室氣體排放的效益價值

若改善措施有助於減少貨運量與客運量時，可納入減少溫室氣體排放的經濟效益價值，相關參數同樣參考交通部運輸研究所<sup>[21]</sup>之建議，整理如表 2。

表 2 臺鐵 CO<sub>2</sub> 排放係數與貨幣價值

類型	CO <sub>2</sub> 排放係數	貨幣價值
臺鐵客運 (延人公里)	28.2915g	0.0011 元/g
臺鐵貨運 (延噸公里)	77.5481g	

資料來源：交通部運輸研究所<sup>[21]</sup>。

## 5. 節省營運成本的效益價值

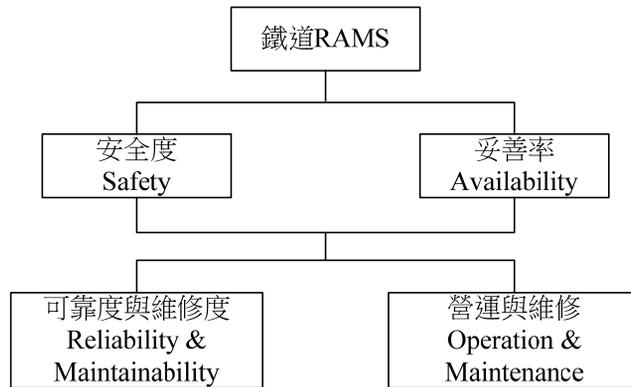
一般來說，減少的營運成本應該在成本項扣除，而非加在效益項，但因本研究重點在探討改善措施本身的成本效益，評估時不會把鐵道系統全部設備的營運維修成本都納入，成本項只會算到改善措施本身的設置與維修成本，不包含其他設備的營運成本。為了反應改善措施能減少其他設備的營運成本，故在效益項納入考量，包括節省的柴油與用電成本、人員作業時數等。

### 3.4 考慮改善措施的負效用

前述的成本與效益大多有標準程序與評估項目可供遵循，然而改善措施可能導致的負效用卻難有標準的思考程序，就算有試辦計畫的經驗，許多數據上難以觀察的負效用只能仰賴專家經驗判斷。本研究歸納 2 種主要的負效用類型，供後續評估改善措施負效用之參考。

#### 1. 對危害相關設備、人員之可靠度與維修度的負效用

如圖 4 所示，RAMS 的主要精神在於控管可靠度 (reliability)、維修度 (maintainability)，藉以來提昇安全 (safety) 與妥善率 (availability)。因此除了考量改善措施可以減少的安全風險外，也應考量改善措施是否降低相關設備、人員的可靠度與維修度，因可靠度與維修度一旦受到影響，將直接衝擊系統的安全<sup>[22]</sup>。



資料來源：Troels Winther<sup>[22]</sup>。

圖 4 鐵道系統 RAMS 架構示意圖

#### 2. 提高其他危害風險的負效用

針對某項危害所研擬的改善措施，除了應檢視是否影響該危害相關人員與設備的可靠度與維修度外，也應考量這些人員與設備是否同時影響其他危害。例如，取消平交道出口

端遮斷桿雖然可減少公路車輛受困平交道的機率，但卻可能使行人誤入平交道，亦即減少了「鐵公路車輛於平交道碰撞」危害的風險，但卻提昇「鐵路列車與行人於平交道碰撞」危害的風險。

#### 四、障礙物偵測器說明

本研究以臺鐵裝設 ODS 為例說明風險處理的重點工作，因此本節先扼要說明 ODS 的運作原理與設備元件。圖 5 為 ODS 的設置現況，運作原理則如圖 6 所示<sup>[23]</sup>。



圖 5 ODS 設置現況

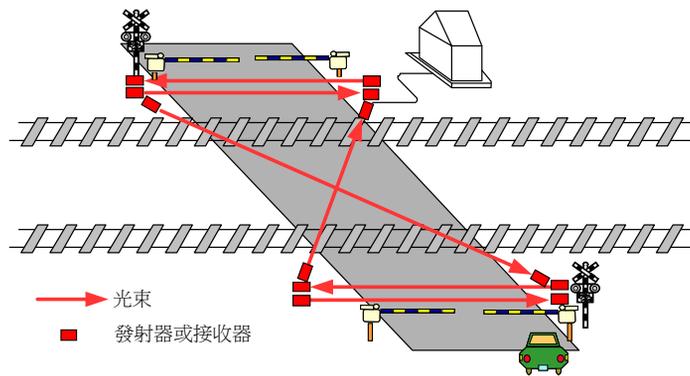


圖 6 ODS 運作原理

圖 6 說明了 ODS 由多組發射器與接收器組成，當平交道縱深越長時，需要越多組發射與接受器，避免障礙偵測的死角。當平交道警報開始時，ODS 會開始運作，此時若有障礙物停留在淨空區內，阻斷某一組發射器與接收器的光束，則 ODS 會開始發出警報。

ODS 的警報主要有兩個訊息，一個是透過有線的方式傳遞到鄰近平交道的五角告警

燈，上下行方向各有兩個，其中一個近端五角告警燈會設在平交道上游約 200 ~ 500 公尺處，另一個遠端五角告警燈則會設在平交道上游約 800 公尺處，當五角告警燈接受到訊號時，會顯示紅燈，並逆時針旋轉燈號提醒列車駕駛注意。另一個告警訊息則是透過無線的方式傳遞給鄰近平交道的列車，並透過車載告警系統發出警報，有關 ODS 的運作功能架構如圖 7 所示。

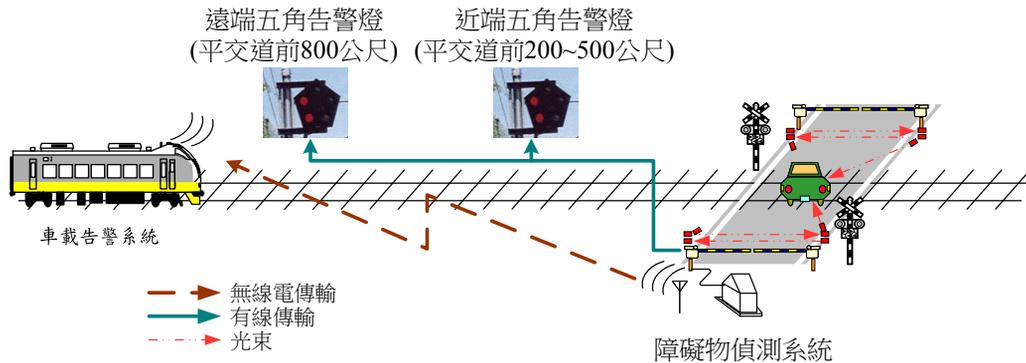


圖 7 ODS 運作功能架構

列車上的車載告警系統如圖 8 所示，主要接收 3 個告警訊息：

1. ODS 發現障礙物時的告警訊息；
2. 平交道緊急按鈕被按下時發送的緊急告警訊息；
3. 鄰近列車發出的緊急告警訊息。

其中，上述之第 1 與第 2 種訊息會在車載系統的來源顯示器上顯示平交道資訊，供列車駕駛判斷列車是否已通過該平交道不須理會，或即將通過該平交道而須減速並隨時準備煞停。第 3 種訊息則是在來源顯示器上顯示發佈警告之列車資訊，供列車司機員判斷相對位置來決定是否該減速。



圖 8 車載告警系統

## 五、裝設障礙物偵測器之可行性、成本與效益

本節以平交道裝設「障礙物偵測器」為例，針對三甲平交道，說明風險處理時如何評估改善措施的可行性、成本、效益與負效用。

### 5.1 可行性分析

由於臺鐵已於部分平交道裝設 ODS，工程與技術上已確定可行，故此步驟著重在探討改善措施是否能有效降低危害風險。本研究以歷史資料進行事前事後分析，並分別評估裝設 ODS 後對危害發生頻率以及對危害發生後嚴重度的影響，以下說明分析步驟：

#### 1. 資料統計

考量臺鐵過去裝設 ODS 的時間點差異甚大，為確保裝設前後各有 3 年的事故資料，故挑選其中 25 處於 2006 ~ 2008 年間裝設 ODS 的三甲平交道進行分析，並以「每通過平交道公路車輛數」作為危害發生機率的標準化依據，且因應臺鐵統計平交道交通量的分類方式，將公路車輛區分為機車、小型車、大型車，表 3 為這 25 處平交道的每日通過交通量總計，須特別說明的是，臺鐵自 2010 年後方開始定期統計平交道交通量資料，然而本研究需要 2003 ~ 2010 年資料方足以分析，若根據全國機動車輛登記數<sup>[15]</sup>，2003 年全國機動車總數約 1,800 餘萬輛，成長至 2010 年 2,100 餘萬輛，理論上通過平交道交通量應有所增加，但近年因鐵路高架化、平交道立體化後，原本應經由平交道方能跨越鐵路的交通量，亦有可能轉移至立體化後之公路，進而減少通過平交道的交通量，一增一減下很難推斷實際通過平交道之交通量變化趨勢。因此，本節暫以 2010 年的資料為主，假設 2003 年 ~ 2010 年的交通量均相同，在此前提下進行相關分析，後續將於 6.2 節透過敏感度分析探討交通量變化對改善措施益本比之影響。

表 3 臺鐵 25 處三甲平交道單日交通量總計資料

機車	小型車	大型車
243,331	154,430	13,688

資料來源：臺灣鐵路管理局提供。

表 4 則統計 25 處平交道於裝設前 3 年與後 3 年的事故資料，以及經過成對 T 檢定 (paired-sample T test) 後所得之 p-value，其中虛無假設  $H_0$  為事前事後事故發生次數不具差異，可發現僅小型車的 p-value 值拒絕該假設，亦即具有顯著的改善差異，故後續分析時僅考量小型車改善幅度所帶來之效益。

表 4 臺鐵 25 處三甲平交道裝設 ODS 前後 3 年事故統計

事故死傷統計	列車撞機車			列車撞小型車			列車撞大型車		
	次數	死	傷	次數	死	傷	次數	死	傷
裝設前 3 年	3	3	0	9	0	3	1	0	1
裝設後 3 年	2	2	1	2	1	0	0	0	0
p-value	0.3320			0.0027			0.1636		

資料來源：臺灣鐵路管理局提供與本研究分析。

## 2. 評估危害發生機率與嚴重度改善比例

將表 4 中裝設 ODS 前後小型車遭受列車撞擊的次數，除以表 3 中這 25 處平交道 3 年的小型車通過交通量，即可得出裝設前後 3 年間，小型車通過平交道遭碰撞的機率與嚴重度變化情形，如表 5 所示。

表 5 裝設 ODS 前後小型車於平交道遭受列車撞擊之頻率與嚴重度變化情形

	小型車	
	嚴重度	機率
裝設前 3 年	0.033	$5.322 \times 10^{-8}$
裝設後 3 年	0.500	$1.183 \times 10^{-8}$
改善比例	—	77.78%

註：1.由於觀測樣本數不足，故嚴重度變化均以「—」表示。

2.嚴重度單位為「等效死亡／每次碰撞」，機率單位為「碰撞次數／每通過車輛」。

## 3. 評估嚴重度改善比例之合理性

表 5 中嚴重度變化以「—」表示，主要因對照圖 9 交通部運輸研究所<sup>[16]</sup>過去構建的事件樹模式發現，小型車遭受撞擊的嚴重度與表 5 根據裝設前後 3 年所計算的的嚴重度(0.161 等效死亡／每次碰撞) 差異甚大，考量可能因樣本數不足導致偏差，故暫不考慮嚴重度的改善功效，後續評估效益時乃延用圖 9 中的嚴重程度參數，並假設裝設 ODS 前後的碰撞嚴重度相同，保守估計改善功效。

## 4. 評估發生機率改善比例之合理性

由於裝設 ODS 主要可降低的是列車煞車不及的機率，故判斷發生機率改善幅度是否合理時，應檢視其失誤樹模式。圖 10 為交通部運輸研究所<sup>[16]</sup>曾對「鐵路列車接近平交道且煞車不及」所發展的失誤樹模式，經與臺鐵專家討論後認為其中以列車司機員「太遲收

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	$8.35 \times 10^{-9}$ $2.23 \times 10^{-7}$ x	0.439	$3.67 \times 10^{-9}$ $9.80 \times 10^{-8}$
	小型車 49/84=0.583	$1.32 \times 10^{-8}$ $3.53 \times 10^{-7}$ x	0.161	$2.12 \times 10^{-9}$ $5.68 \times 10^{-8}$
	大型車 4/84=0.048	$1.08 \times 10^{-9}$ $2.90 \times 10^{-8}$ x	0.0125	$1.36 \times 10^{-11}$ $3.63 \times 10^{-10}$

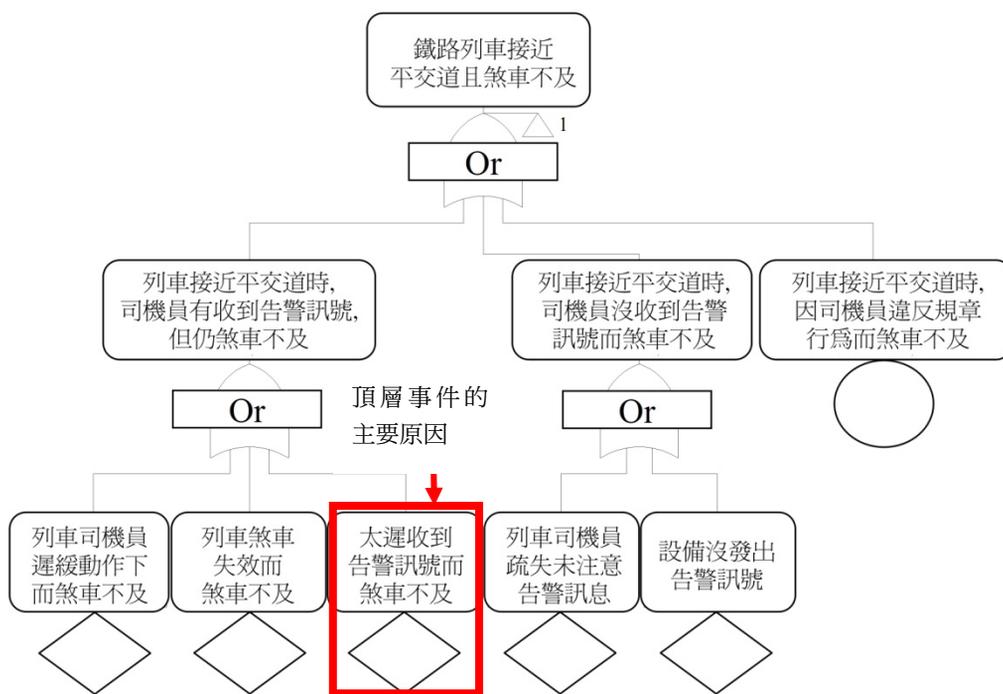
上排數值：依每通過平交道公路車輛計算

下排數值：依每列車公里計算

整體風險值 =  $5.80 \times 10^{-9}$   
 $1.55 \times 10^{-7}$

資料來源：交通部運輸研究所 [16]。

圖 9 「鐵公路車輛於平交道碰撞」之事件樹模式



資料來源：交通部運輸研究所 [16]。

圖 10 鐵路列車接近平交道且煞車不及之失誤樹

到告警信號而煞車不及」對頂端事件的影響最大，而 ODS 的主要目的就是減少此事件的發生機率，進而降低列車煞車不及的機率，加上列車煞車不及位於圖 3 頂層事件下方的第一層原因，且上方的邏輯閘為「AND」閘，因此若能減少列車煞車不及的機率對避免「鐵路車輛於平交道碰撞」有很大幫助。從上述分析可得知，單就模式中各因素之因果關係來看，裝設 ODS 對此危害之發生機率有相當大的改善可能，因此表 5 中小型車改善幅度雖高達 77.78%，經判斷應屬可接受範圍。

## 5. 推估改善措施功效

推估改善措施的功效前，須找出可實施改善措施的範圍，以三甲平交道裝設「ODS」為例，截至 2012 年 4 月底為止，尚未裝設 ODS 且有調查公路交通量資料者共計有 390 處三甲平交道，這些均可能是未來裝設 ODS 的對象，且有交通量資料可供分析改善功效。本研究針對這 390 處平交道在 2008 ~ 2010 年的事故資料，統計出小型車每年通過平交道會發生碰撞的機率，並根據表 5 的事前事後改善比例，推估這 390 處三甲平交道全面裝設後的碰撞機率，詳如表 6 所示。

表 6 裝設 ODS 前後小型車的碰撞機率

裝設前 A	改善比例 B	裝設後 $A \times (1-B)$
$3.9011 \times 10^{-8}$	77.78%	$8.6682 \times 10^{-9}$

表 6 的分析結果可再根據小型車每年通過這 390 處平交道的交通量，換算出全面裝設後 1 年減少的碰撞次數，若再乘上圖中小型車的碰撞嚴重度，即可得到減少的等效死亡數。總計此 390 處三甲平交道全面裝設 ODS 後，每年可減少 8.82 次碰撞，同時減少 1.42 個等效死亡，詳如表 7 所示。

表 7 臺鐵 390 處三甲平交道全面裝設 ODS 之改善功效

小型車年交通量 A	碰撞嚴重度 (等效死亡/次) B	每年改善措施功效	
		次數 C	等效死亡 $B \times C$
290,518,027	0.161	8.82	1.42

## 6. 評估改善措施是否可行

根據前述分析，可發現三甲平交道全面裝設 ODS 後，每年可避免 8.82 次碰撞，並減少 1.42 個等效死亡，具有明顯降低風險的功效，同時許多平交道已裝設多年且運作正常，證實臺鐵已有裝設與維修的技術及經驗，故初步評估「裝設 ODS」為可行的改善措施。

## 5.2 成本分析

根據臺鐵資料，於 1 處平交道新增 ODS，包括設備採購、裝設成本約 500 萬元，另根據 101 年 4 月底前的維修經費資料，現況 77 處 ODS 每年的維修費用共計 1,070 萬元，平均每處每年維修費用為 13.9 萬元。至於裝設時干擾鐵路車輛所造成的社會成本，本研究假設施工均在離峰時段不干擾使用者狀況進行，故忽略設置施工時的社會成本。

## 5.3 效益分析

### 1. 減少生命價值損失所帶來之效益

本研究採用 3.3 節建議之 790 萬元作為每 1 等效死亡的衍生成本，故於 390 處平交道全面裝設 ODS 後，每年可減少 1.42 等效死亡，相當於每年 1,121.8 萬元的效益。

### 2. 減少財產損失所帶來之效益

根據 2008~2010 年臺鐵資料，共記錄 38 件碰撞維修金額資料，總計花費 352 萬元，平均每次碰撞事故造成 9.26 萬元的財產損失，故於 390 處平交道全面裝設 ODS 後，每年可減少 8.82 次碰撞，約等同每年減少 81.67 萬元的維修費用。

### 3. 減少旅客延誤所帶來之效益

根據 2008~2010 年臺鐵資料，共記錄 398 次平交道各類型事故，總計影響 2,692 次列車，共造成 67,111 分列車延誤，平均每次平交道事故影響 6.76 次列車，每車延誤 24.93 分，總計 1 次事故造成 168.62 分列車延誤。另根據臺鐵統計資料，2008~2010 年間共行駛 132,578,425 列車公里，同期間共服務 26,103,049,647 旅客公里，可知平均每列車上約有 197 名旅客。根據上述分析結果，可得知於 390 處平交道全面裝設 ODS 後，每年可減少 8.82 次碰撞，共減少 1487.23 分鐘的列車延誤，亦即減少 292,984 分鐘的旅客延誤，根據 3.3 節臺鐵旅客每分鐘的貨幣價值為 2.264 元，故可得知減少的碰撞次數每年可帶來 66.33 萬元的價值。

### 4. 減少溫室氣體排放所帶來之效益

平交道事故發生時，有可能造成平交道暫時封閉，原本預計通過此平交道的公路車輛可能因此須繞道或等候事故排除後方得以通過平交道。然而，自 96 年起法務部已表示平交道事故發生後，只需警方蒐證完畢，列車不需等候檢察官到場即可放行，已大幅縮短處理時間，因此自 96 年起平交道事故大多於 60 分內處理完畢，考量因此影響之繞道車輛有限，故忽略此效益。

## 5. 節省營運成本所帶來之效益

碰撞事故對司機員容易造成心靈創傷 (trauma)，會導致司機員短期無法繼續執行任務，嚴重時甚至無法再駕駛列車。英國年度安全績效報告<sup>[24]</sup> 將心靈創傷視為 0.005 等效死亡，本研究假設每次碰撞事故均對司機員造成心靈創傷，套用 3.3 節建議之 790 萬元的死亡衍生價值標準，可將每次碰撞事故對司機員心靈創傷的價值視為 3.95 萬元，故於 390 處平交道全面裝設 ODS 後，每年可減少 8.82 次碰撞，約等同減少 34.84 萬元的司機員心靈創傷價值。

### 5.4 負效用分析

改善方案是否會帶來預期之外的負效用，是執行風險處理作業中的一項重要考慮因素。理想情況下，若能參考所有危害項目的風險分析模式，較能完整地探討可能的負效用，但實務上營運單位可能僅有重要危害項目的風險分析模式，多仍仰賴專家經驗探討可能的負效用。

根據先前研究<sup>[16]</sup> 所構建「鐵公路車輛於平交道碰撞」危害的風險分析模式，本研究經與臺鐵專家討論後評估全面裝設 ODS 可能潛藏的負效用包括有：(a) 影響司機員日常作業；(b) 誤訊號所導致的列車延誤；(c) 增加號誌維修人員的工作負擔。本研究以「影響司機員日常作業」為例，說明從司機員視覺、聽覺感受，探討 ODS 所產生之告警訊息可能對司機員造成之影響，並以系統化的層級任務分析法 (hierarchical task analysis, 以下簡稱 HTA) 分析司機員現有作業可能遭受之影響，分析結果概述如下：

#### 1. 車載系統顯示資訊與既有緊急按鈕警告訊息相同，不增加判讀難度

根據前述 ODS 的功能說明可知車載告警系統發出警鈴聲響時，會同時顯示平交道訊息或列車訊息供司機員判讀，由於目前大多數平交道都已裝設緊急按鈕，其對應的車載告警系統顯示介面原本就會出現平交道資訊，因此不會因為增設 ODS 而增加判別難度。

#### 2. 五角告警燈設置位置與既有號誌不同，不干擾司機員判讀

圖 11 為司機員駕駛列車時的前方視野，可發現閉塞號誌大多位於地上，五角告警燈則架在高處，故五角告警燈號一旦啟動亮紅燈時，不致干擾司機員判讀閉塞號誌。

#### 3. 司機員現行作業流程中，部分作業可能因辨識警鈴來源而延誤

圖 12 說明司機員於站間駕駛列車的 HTA 圖，可發現司機員辨識 ODS 的顯示訊息時，有可能同時發生以下作業需要處理：(a) 處理警醒裝置；(b) 調整車速；(c) 確認沿途號誌；(d) 確認路線狀況；(e) 確認行車標誌；(f) 會車關燈。根據目前臺鐵 ATP 保護裝置的啟動條件，上述狀況 (a)、(b)、(c) 就算因司機員為了確認警鈴來源而延後處理，ATP 系統也會自動啟動煞車確保安全。至於狀況 (d) 則可能因司機員判讀警鈴而無法在第一



圖 11 司機員駕駛列車之前方視野

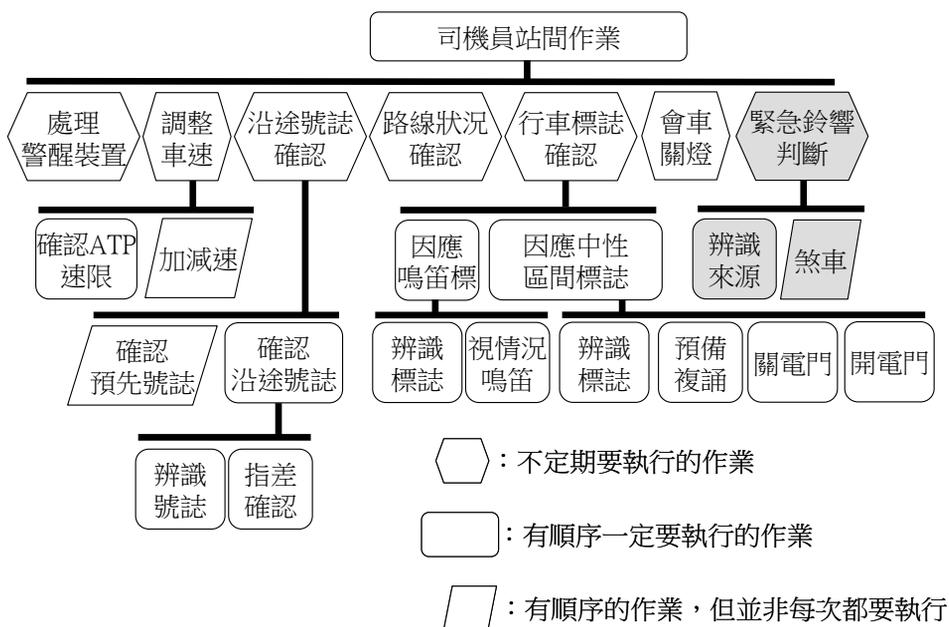


圖 12 列車司機員站間作業 HTA

時間察覺路線異常，狀況 (e) 則可能因處理警鈴而疏忽中性區間該關電門，狀況 (f) 則可能因未關燈影響對向列車司機員的視線，尤其在夜間時的干擾會較嚴重。

## 六、成本效益與敏感度分析

表 8、表 9 綜整前述分析結果，說明裝設 ODS 的量化與質化之成本及效益，其中，考量臺鐵號誌設備的汰換週期普遍為 15 年，故以此作為分析的評估年期，並依據交通部運輸研究所<sup>[25]</sup>之建議，採用折現率 5.35%及物價上漲率 1.18%評估 15 年間成本及效益的淨現值。考量不同參數對益本比可能造成之影響，本節將陸續說明調整死亡衍生價值、公路通過交通量、設置與維修成本、裝設處數後，量化成本與效益的變化情形。

表 8 於 390 處三甲平交道全面裝設 ODS 之量化成本效益分析

項目	貨幣價值
390 處平交道採購裝設費用	195,000 萬元
每年 390 處平交道的維修費用	5,417 萬元
15 年總成本淨現值	257,183 萬元
每年減少等效死亡的價值	1,122 萬元
每年減少的財產損失	82 萬元
每年減少的旅客延誤成本	66 萬元
每年節省的營運成本	35 萬元
15 年總效益淨現值	14,976 萬元
益本比	5.82%

註：折現率：5.35%，物價上漲率：1.18%，評估年期：15 年。

表 1 於 390 處三甲平交道全面裝設 ODS 之質化成本效益分析

成本	效益
1.耽誤列車司機員察覺路況	1.減少事故提昇形象
2.耽誤列車司機員反應行車標誌	2.減少事故延誤提昇顧客滿意度
3.耽誤列車司機員夜間會車關大燈	
4.誤訊號所導致的列車延誤	
5.增加電務人員的維修工作負擔	

### 6.1 調整死亡衍生價值

雖然交通建設計畫經濟效益評估手冊<sup>[21]</sup>建議死亡衍生貨幣價值可採 790 萬元來計算，但過去研究<sup>[25]</sup>亦發現相較於德國、英國、香港鐵路系統來說，790 萬元的貨幣價值明顯偏低，例如香港採用的死亡衍生價值折合新台幣後約為 5,000 萬元。考量各國物價指數不同，本節採用交通建設計畫經濟效益評估手冊所建議的死亡衍生成本上限值，亦即

1,474 萬元進行分析，則量化的成本效益分析結果修正如表 10 所示，益本比提升至 10.29%，後續 6.2 ~ 6.4 節同樣採用 1,474 萬元進行分析。

表 10 提高死亡衍生價值後之量化成本效益分析

項目	貨幣價值
390 處平交道採購裝設費用	195,000 萬元
每年 390 處平交道的維修費用	5,417 萬元
15 年總成本淨現值	257,183 萬元
每年減少等效死亡的價值	2093 萬元
每年減少的財產損失	82 萬元
每年減少的旅客延誤成本	66 萬元
每年節省的營運成本	65 萬元
15 年總效益淨現值	26,472 萬元
益本比	10.29%

註：折現率：5.35%，物價上漲率：1.18%，評估年期：15 年，死亡貨幣價值：1,474 萬元。

## 6.2 調整公路通過交通量

5.1 節曾提到受限於臺鐵缺乏 2003 ~ 2009 年的交通量資料，前述分析均假設 2003 ~ 2009 年交通量不變，本節試著調整通過平交道交通量，分析 2003 ~ 2009 年每年交通量在不同的增減比例下對益本比之影響。表 11 所示為交通量每年持續變化範圍-5% ~ +5%之結果，且死亡衍生成本已使用 1,474 萬元之上限值，可發現就算假設 2003 年後通過交通量逐年增加 5%，益本比亦僅達 12.62%，與假設相同交通量的 10.29%相差不大。

表 11 平交道每年通過交通量在不同變化比例下對益本比之影響

交通量變化量 (%)	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5
益本比 (%)	8.46	8.79	9.14	9.5	9.89	10.29	10.71	11.15	11.62	12.11	12.62

註：折現率：5.35%，物價上漲率：1.18%，評估年期：15 年，死亡貨幣價值：1,474 萬元。

## 6.3 調整設置與維修成本

考量大量佈設後每處平交道每年 ODS 的維修成本應能下降，且考量國內自主研发能降低 ODS 之成本，表 12 說明設置與維修成本降低後之益本比，例如若設置與維修成本均能降低 50%，則益本比可從原本的 10.29%提升到 20.59% (死亡衍生成本採用 1,474 萬元)。

表 12 設置與維修成本降低後之益本比

	維修成本減少比例											
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	
設置 成本 減少 比例	0%	10.29	10.55	10.82	11.10	11.39	11.71	12.04	12.39	12.76	13.16	13.58
	10%	11.14	11.44	11.75	12.09	12.44	12.81	13.21	13.63	14.09	14.57	15.08
	20%	12.13	12.49	12.87	13.27	13.69	14.15	14.64	15.16	15.72	16.32	16.97
	30%	13.32	13.75	14.21	14.70	15.23	15.80	16.40	17.06	17.77	18.55	19.39
	40%	14.77	15.30	15.88	16.49	17.15	17.88	18.66	19.51	20.45	21.48	22.63
	50%	16.58	17.25	17.98	18.77	19.64	20.59	21.63	22.79	24.08	25.52	27.15
	60%	18.88	19.76	20.72	21.78	22.96	24.27	25.73	27.39	29.27	31.43	33.94
	70%	21.93	23.13	24.45	25.95	27.63	29.55	31.75	34.31	37.32	40.90	45.25
	80%	26.16	27.88	29.83	32.08	34.69	37.77	41.44	45.91	51.46	58.54	67.88
	90%	32.41	35.08	38.23	42.00	46.60	52.32	59.66	69.38	82.89	102.93	135.75
	100%	42.57	47.30	53.21	60.82	70.95	85.14	106.43	141.90	212.85	425.71	-

註：折現率：5.35%，物價上漲率：1.18%，評估年期：15年，死亡貨幣價值：1,474萬元。  
 益本比單位：%

### 6.4 調整裝設處數

由於每個平交道之交通量、線型等因素均不同，因此風險程度亦不相同，如能優先針對高風險平交道裝設 ODS，則能獲得較高的效益。基於上述原因，本研究首先計算此 390 個三甲平交道單獨裝設 ODS 所能帶來的經濟效益，並排序其效益大小作為優先裝設的依據，分析不同裝設數量下，累積的經濟效益與成本之關係如圖 13 與圖 14。從圖中可知，若優先針對高風險平交道裝設 ODS，當裝設超過 10 處時經濟益本比會開始小於 1.0，但須

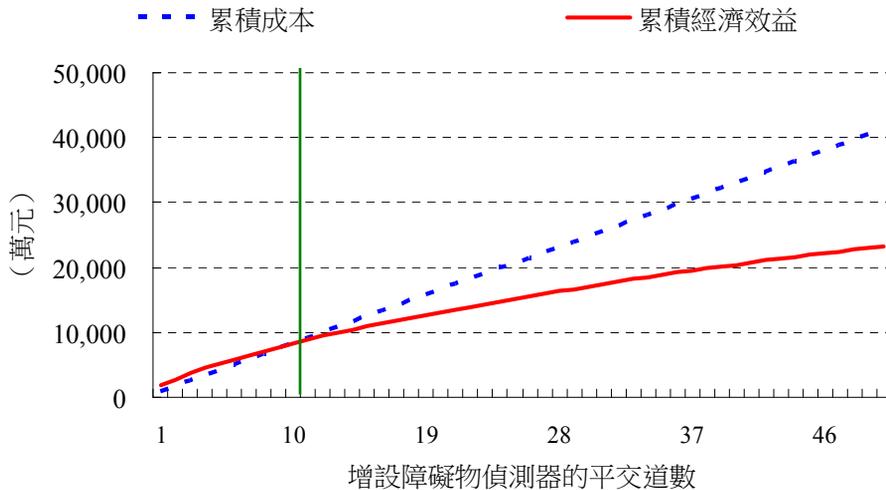


圖 13 增設 ODS 數量之累積成本與累積經濟效益關係

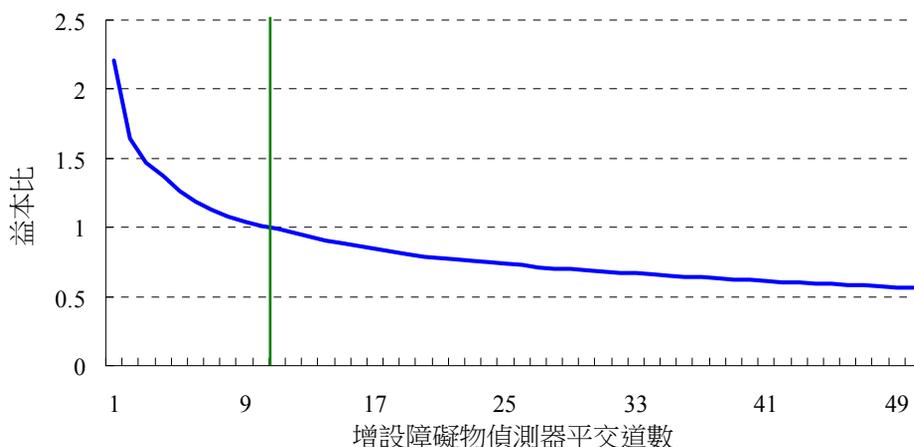


圖 14 增設 ODS 數量與經濟益本比關係

特別強調的是，圖 13 與圖 14 是假設平交道風險只與公路交通量有關所得之結果，實務上欲判斷高風險平交道時，應發展平交道的危害指標 (hazard index)，除了交通量外，也應綜合考量幾何線型、防護設備狀況、視線等因素，方能找出高風險平交道來優先改善。

## 七、評量殘留風險

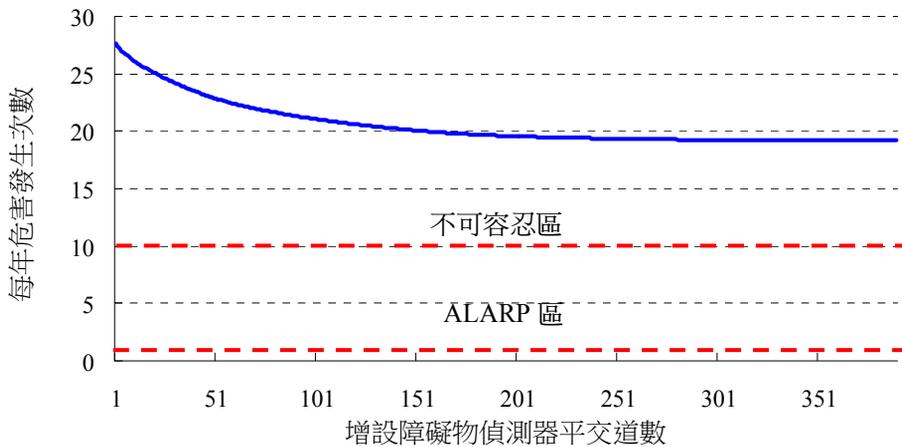
風險處理最主要的目的是評估改善措施能降低多少風險、執行改善措施後還有多少風險殘留、殘留風險水準是否可被營運單位接受，鐵道系統多用風險矩陣來評量殘留風險<sup>[8]</sup>。由於臺鐵目前並未擬定平交道危害之風險矩陣，因此本研究參考英國鐵路安全標準委員會<sup>[26]</sup>所公開之中國大陸平交道風險矩陣來進行後續分析，該風險矩陣如表 13 所示。

本研究依據交通部運輸研究所研究案成果<sup>[16]</sup>，得知臺鐵平均每年發生 28 次平交道公路車輛碰撞事故，且每次事故的嚴重程度為 0.256 等效死亡，對照於表 13 可知落點位於 A 的風險等級，亦即屬於無法容忍的風險必須儘速處理。若假設在裝設 ODS 後，可有效降低碰撞當下的列車速度，進而使每次碰撞的嚴重度從前期報告中之 0.256 降為 0.1 等效死亡。對照表 13 之落點位置，若想將風險從等級 A 降至等級 B，則每年鐵公路車輛於平交道發生碰撞次數必需在 1~10 次之內，圖 15 即是觀察裝設不同 ODS 數量時，每年碰撞次數的整體下降趨勢，由圖可知即使這 390 處三甲平交道全面裝設 ODS，亦無法使風險水準從現況的不可容忍區降到 ALARP 區，代表鐵公路車輛於平交道碰撞危害不能完全倚賴 ODS 來降低其風險值，須搭配其他有效的改善措施才有機會將風險降至不可容忍區以下。須特別說明的是，表 13 僅是一範例，實務上仍須根據營運單位對風險容忍程度來決定門檻。

表 13 中國大陸平交道安全風險矩陣

中國大陸平交道 安全風險矩陣				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	排序	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	年限內可能發生	1/10-1/100	F2	C	C	B	B	A
不可能	年限內不易發生	<1/100	F1	C	C	C	B	B	

註：A：不可容忍風險、B：ALARP、C：可接受風險，ALARP (as low as reasonably practicable) 意指落在此區的風險，在合理的情況下應將風險盡可能降低。



註：本圖風險等級的門檻是假設嚴重程度已能降低到 0.1 (等效死亡/次) 以下。

圖 15 改善幅度與風險可接受水準之對照

## 八、結論與建議

本節整理研究結論與後續臺鐵執行風險處理之建議。

### 8.1 結論

1. 從文獻中發現鐵道系統分析改善措施的成本效益時，成本面多僅考量設置成本，經由本研究實際以 ODS 為例進行分析後發現，維護成本其實佔總成本相當高的比例，分析時不可忽視。
2. 過去文獻分析鐵路系統改善措施之效益時，主要評估死傷所換算之貨幣價值，本研究額外納入減少的旅客延誤、財產損失等效益，能提供決策者更多的客觀資訊。
3. 雖然本研究盡可能將改善措施相關的成本與效益項目貨幣化，但仍有一些無法貨幣化的項目需要決策者額外考量，亦即表 9 之質化成本與效益。
4. 全面於三甲平交道裝設 ODS 的經濟益本比僅 5.82%，透過敏感度分析亦發現除非提高死亡貨幣價值，且大幅降低設置與維修費用，或僅於高風險平交道裝設 ODS，經濟益本比才有可能大於 1。
5. 若參考中國大陸平交道風險矩陣標準，就算臺鐵於 390 處平交道全面裝設 ODS，「鐵路車輛於平交道碰撞」危害的風險也無法從風險矩陣的不可容忍區降到 ALARP 區，應同步執行其他改善手段。
6. 本研究分析的 25 處平交道均為 2006 ~ 2008 年間裝設 ODS 的平交道，目的是為了讓裝設前後各有 3 年資料來分析，然而這些平交道在裝設前後 3 年仍進行了其他改善作業，例如其中有 16 處平交道於裝設 ODS 後 1 年內便加裝了錄影監視設備，若欲排除這些影響因素縮短觀察期間將導致無足夠樣本來分析事前事後差異，且實務上很難放任一平交道在 6 年期間沒有任何改善措施，尤其這些會裝設 ODS 的平交道又都是相對危險的平交道。因此，本研究評估益本比過程中暫時忽略其他改善措施之影響，換句話說，本研究一定程度高估了 ODS 的改善功效，在此假設下尚且得到全面裝設 ODS 乃不具成本效益之作法，遑論納入其他改善措施後，將進一步降低 ODS 之功效，導致益本比更低，可見此假設不致提供衝突之資訊讓決策者無法評估此改善措施是否可行。

### 8.2 建議

1. 本研究透過客觀的風險處理手段發現全面於三甲平交道裝設障礙物偵測器，不但不符合經濟效益，也不能將平交道事故風險降至可接受程度，亦即僅降低圖 3 中「鐵路列車接近平交道且煞車不及」事件之發生機率是不夠的，尚須搭配其他改善手段。從圖 3 中失誤樹左側的事件可發現，「公路駕駛人因素」是導致公路車輛滯留平交道危險區域的主因，後續相關單位思考平交道改善手段時，應優先減少此類事件的發生機率，例如提高平交道的自明性讓公路駕駛易於察覺，或於平交道前方設置閃燈、醒目之警告標誌等提前告知公路駕駛前方有平交道應減速，甚至透過影像辨識技術取締闖越平交道之公路駕駛，均是未來提昇平交道安全的改善方向。

2. 目前臺鐵所使用之 ODS 除了設置成本高之外，維修成本也很高，建議後續若要發展本土技術降低 ODS 的採購成本時，也應降低維修成本。
3. 目前鐵路車輛於平交道碰撞事故資料並未記錄列車速度，加上事故樣本數不足，因此目前並無法有效分析裝設後對危害嚴重度的改善程度。建議後續可記錄司機員察覺異常開始煞車時的列車速度，以及最後碰撞時的車速，方能構建完整的事件樹，進而評估嚴重度的改善幅度。
4. 列車司機員能否迅速正確的判斷車載告警系統訊息是裝設 ODS 後，效用能否發揮的重要關鍵，也可避免司機員因辨識訊息而疏於注意路況與路側標誌之危險。建議車載告警系統的設置位置不要離司機員座位太遠，且來源顯示器的螢幕字體應更大讓司機員易於辨識。
5. 本研究於敏感度分析時發現僅於高風險平交道裝設 ODS 的經濟益本比仍可大於 1，前提假設是僅從交通量資料判斷平交道危險性，實際上尚須考量諸如環境、線型等因素，因此，建議後續可發展平交道的危害指標 (hazard index)，藉以考量更多因素來評估各個平交道的風險水準，協助臺鐵挑選高風險平交道並優先改善。
6. 負效用的評估除了依靠專家本身的經驗外，若能構建所有危害的風險模式，找出不同危害間設備與人員的關係，方能有條理的思考所有可能的負效用。由於臺鐵目前尚未構建所有危害的風險模式，故本研究思考負效用時仍仰賴專家的經驗，建議後續應持續構建其他危害的風險模式，確保進行風險處理作業時能更周延且系統化地考量可能之負效用。
7. 若參考中國平交道風險矩陣標準，目前「鐵路車輛於平交道碰撞」危害的風險評量結果已屬於不可容忍之危害，相關單位應立即採取改善手段以降低風險。在這樣的情況下，益本比僅是輔助決策者挑選改善措施的眾多資訊之一，並非益本比小於 1 即不可行，以「裝設 ODS」為例，若經評估後發現此改善措施相較於其他手段來說更有效益，則儘管益本比小於 1 仍值得推動。

## 參考文獻

1. 蔡明志，「風險管理在大眾運輸安全管理管制課題之發展應用」，*運輸計劃季刊*，第 29 卷，第 1 期，民國 89 年，頁 181-212。
2. 行政院研考會，*風險管理及危機處理作業手冊*，民國 98 年。
3. 李治綱、鍾志成、林杜寰、張仕龍、張恩輔、陳一昌、張開國、吳熙仁，「公共運輸之安全績效：臺灣鐵路管理局之個案分析」，*運輸計劃季刊*，第 38 卷，第 4 期，民國 98 年，頁 381-406。
4. European Committee for Electrotechnical Standardization, *Railway Applications-The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) Part 1: Basic requirements and generic process, EN50126-1*, 1999.
5. Standards Australia, *AS 4292.1-2006 Railway Safety Management Part 1: General Requirements*, 2006.

6. Federal Transit Administration, *Implementation Guidelines for 49 CFR Part 659*, 2006.
7. 鍾志成、孫千山、李治綱、陳一昌、吳熙仁，「國外鐵路系統風險管理實務」，*中興工程季刊*，第 110 期，民國 100 年，頁 13-25。
8. 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。
9. 孫千山、鍾志成、李治綱、陳一昌、吳熙仁，「鐵路系統風險辨識方法之回顧」，*中華民國運輸學會第 25 屆學術論文研討會*，*中華民國運輸學會*，民國 99 年。
10. 孫千山、鍾志成、林杜寰、李治綱、張開國、吳熙仁，「鐵路安全風險分析方法之回顧與案例分析」，*中華民國運輸學會第 26 屆學術論文研討會*，*中華民國運輸學會*，民國 100 年。
11. 張煥光，「臺灣高速鐵路公司風險危害管理」，*軌道運輸系統經營管理研討會*，民國 99 年。
12. 李培德，「捷運系統安全管理探討」，*中華技術*，第 72 期，民國 97 年，頁 96-101。
13. 章艾霞、張文城、胡庭豪，「風險管理於桃園機場捷運潛盾施工之應用」，第 8 屆海峽兩岸隧道與地下工程學術與技術研討會，*中華民國隧道協會*，民國 98 年，頁 C13-1~C13-12。
14. 陳椿亮，「負責態度經營捷運—臺北捷運以風險管理手法增進安全與可靠性之例」，*Asset Management for Railways Conference*，*International Union of Railway*，民國 95 年。
15. 交通部，*交通統計月報*，民國 100 年。
16. 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 100 年。
17. 呂志明、林利國、程金龍，「大眾運輸安全管理之成本效益與價值分析」，*知識與價值管理學術研討會*，*臺北科技大學工業工程與管理系*，民國 92 年，頁 60-71。
18. 交通部高速鐵路工程局，*甲仙地震高鐵列車出軌及設備損壞案風險案例檢討報告*，民國 99 年。
19. 孫千山、林杜寰、李治綱、張開國、吳熙仁，「國內外鐵路系統風險處理案例」，*中興工程季刊*，第 118 卷，民國 102 年，頁 75-85。
20. Innis, C. L. and Hammond, T., "Predicting Mechanical Design Reliability Using Weighted Fault Tree", *Proceedings of the Failure Prevention and Reliability Conference*, ASME, 1977, pp.213-228.
21. 交通部運輸研究所，*交通建設計畫經濟效益評估手冊*，民國 101 年。
22. Troels Winther, *Quick guide to Safety Management based on EN50126*, 2010.
23. 孫千山、鍾志成、林杜寰、李治綱、張開國、吳熙仁，「應用 FaultTree+軟體於平交道防護設備失效之初探」，*電子計算機於土木水利工程應用研討會*，*中國土木水利工程學會*，民國 100 年。
24. Rail Safety and Standards Board, *Annual Safety Performance Report*, 2012.
25. 交通部運輸研究所，*風險管理應用於鐵路運輸安全之初探—以臺鐵風險處理、管理監督、管理改善為例*，民國 102 年。
26. Rail Safety and Standards Board, *D3 - Report on Risk Modelling Techniques for Level Crossing Risk and System Safety Evaluation, Safer European Level Crossing Appraisal and Technology*, 2008.