

## 以先進設施改善鐵路平交道安全之可行性研究

### The Feasibility Analysis of Improving the Safety on Railway Crossing with Intelligent Traffic Safety Facilities

李克聰 Kurt Ker-Tsung Lee<sup>1</sup>

陳昱豪 Yu-Haw Chen<sup>2</sup>

#### 摘 要

最近發生多起重大之鐵路平交道事故，不但造成重大之人員傷亡與財產損失，對於交通安全有很大衝擊，而且使得鐵路營運效率受到很大影響，因此如何針對其肇事原因，規劃設計適當先進之交通安全設施，以防止或減輕其事故之嚴重性，是一個十分重要的研究課題。由先進國家之經驗，例如美國之鐵路平交道之肇事現況資料，分析發現其事故之嚴重性與不可避免性，其最新對策是先正視鐵路平交道之存在，再設法選擇適當先進之交通安全設施，以多元層次性之規劃設計，以達反覆提醒駕駛人並有安全防護之功能。本研究嘗試以此觀念針對鐵路平交道研擬八重之交通安全層次設計，並分別說明了每個交通安全設施之功能與其重要性，以提供政府相關單位之實施參考。

**關鍵詞：**先進設施、鐵路平交道、交通安全

#### Abstract

Recently, there were several serious traffic accidents that happened on the railway crossings. These accidents not only caused the people fatality and property

---

<sup>1</sup> 逢甲大學交通工程與管理系所副教授（聯絡住址：台中市文華路 100 號、聯絡電話：04-24517250-4660、傳真：04-24520678、E-mail：ktleee@fcu.edu.tw）

<sup>2</sup> 逢甲大學交通工程與管理研究所研究助理

loss but impacted the traffic safety and railway operations efficiency. Therefore, how to design the suitable advanced traffic safety facilities to improve the traffic safety on railway crossing are important research issues. According to the improving alternative on railway crossing in Unite state, the key concept is to select the proper traffic safety facilities and design them multiply. The objective is to repeat remind the driver how to avoid the traffic accident on railway crossing. This research first examines the traffic safety problems on railway crossing then applies the advanced concept to design the light-layer traffic safety facilities. The proposed design system is applicable to various combinations. It offers very promising opportunities to improve the traffic safety on railway crossing.

Keywords : *Advanced Facility, Railway Crossing, Traffic Safety*

## 壹、前言

近幾個月來，連續發生多起之鐵路平交道意外事故，如 7 月 20 日在鶯歌之文化路和中山一路路口之鐵路平交道，一輛載滿鋼筋之拖板車闖越與自強號火車相撞，造成重大事故，此事故除了重大之人員傷亡與財物損失外，並使西部幹線和北迴線 53 班列車停開、117 班延誤。此外，在 8 月 9 日由於肇事之貨櫃車硬闖台中站附近一座鐵道橋涵洞，當時貨櫃車比鐵道橋涵洞高出 10 公分，使橋上鐵軌撐到變型，造成後來經過之列車出軌，所幸那天出事之列車是回送列車，上面沒有搭載乘客，不過仍然造成五千多萬元之損失。而最近在 10 月 16 日之凌晨於桃園縣平鎮市 66 號平交道，莒光號列車撞擊一輛穿越平交道的軍車。後在中午時。自強號 1010 北上車次在楊梅埔心站附近，也撞擊一輛車尾滑入鐵軌間的板車。兩起車禍所幸無人傷亡，但均造成班次延宕，旅客飽受驚嚇。

檢討這一系列之鐵路平交道事故，不但造成重大之人員傷亡與財產損失，對交通安全有很大衝擊，而且使得鐵路營運受到很大影響，對於許多乘客之時間成本損失甚大。因此如何針對這些重大之鐵路平交道之肇事原因，規劃設計適當先進之交通安全設施，以防止或減少鐵路平交道之事故，是一個值得深入研究的課題。

## 貳、現況分析

由美國近年來針對其鐵路平交道之研究分析，可以得知每 110 分鐘就會發生一件鐵路平交道事故，而且將近一半之事故都是在有柵欄而且正常運作之平交道發生。因此這不是一個新問題，而是一個永遠都會存在的人為疏忽的問題，由奧勒崗州亞伯尼市之一處鐵路平交道的監控錄影機可以看出在一週內就有 370 件違規闖入平交道事件。這項觀察驗證了鐵路平交道事故之不可避免性，下列之表一為美國在 1990 年至 1999 年之間之鐵路平交道之相關肇事資料，可以看出其事故之頻與繁嚴重性。而由表二之民國 86 年至 90 年間的平交道事故原因亦可了解各種運具之歷年來的肇事原因，其中以搶越平交道為最主要原因。

檢討分析未來狀況，由於現在之火車速度愈來愈快，危險物品之運送愈來愈頻繁，駕駛人之愈來愈缺乏耐性之情形來看，鐵路平交道之問題會愈來愈嚴重。美國對於鐵路平交道事故之解決方案，首先是儘力消除鐵路平交道，換言之就是將其封閉或立體化，但其相對必須付出之成本相當高（封閉之使交通不便利成本或立體化之昂貴興建成本），因此這是贏一輸方案（Win-Lose Solution）。目前歐美相關之交通安全專家正在努力研擬鐵路平交道之贏一贏方案（Win-Win Solution），其主要觀念就是先正視鐵路平交道之存在，然後設法選擇適當的交通安全設施，以多元層次性之規劃設計，反覆提醒駕駛人闖越平交道之危險性，並針對萬一不幸闖越之車輛提供防護功能之設計以減輕事故之嚴重性。

表 1 美國鐵路平交道之事故傷亡資料

| 年度   | 事故數   | 死亡（人） | 受傷（人） |
|------|-------|-------|-------|
| 1999 | 3,420 | 399   | 1,360 |
| 1998 | 3,508 | 431   | 1,303 |
| 1997 | 3,865 | 461   | 1,540 |
| 1996 | 4,257 | 488   | 1,610 |
| 1995 | 4,633 | 579   | 1,894 |
| 1994 | 4,979 | 615   | 1,961 |
| 1993 | 4,892 | 626   | 1,837 |
| 1992 | 4,910 | 579   | 1,969 |
| 1991 | 5,386 | 608   | 2,094 |
| 1990 | 5,713 | 698   | 2,407 |

資料來源：美國聯邦鐵路管理局

表2 台灣地區歷年來平交道事故原因分析表

| 原因   |          | 86 年 | 87 年 | 88 年 | 89 年 | 90 年 | 合計  |
|------|----------|------|------|------|------|------|-----|
| 汽車   | 駕駛不慎     | 11   | 10   | 18   | 12   | 7    | 58  |
|      | 搶越       | 35   | 40   | 23   | 18   | 17   | 133 |
|      | 中途故障     | 10   | 7    | 5    | 7    | 10   | 39  |
|      | 軋機失效     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   |
|      | 中途停留或轉向  | 5    | 10   | 9    | 14   | 2    | 40  |
|      | 車輛陷入路線   | 4    | 1    | 0    | 0    | 0    | 5   |
|      | 裝貨逾高     | 2    | 0    | 0    | 3    | 0    | 5   |
|      | 小計       | 67   | 68   | 55   | 54   | 36   | 280 |
| 牛馬車  | 搶越       | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   |
|      | 駕駛不慎     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   |
|      | 通行遲緩     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   |
|      | 中途停留     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   |
|      | 裝貨逾限     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   |
|      | 故障       | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   |
|      | 車輛陷入路線   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   |
|      | 小計       | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   |
| 其他車輛 | 搶越       | 32   | 31   | 25   | 22   | 22   | 132 |
|      | 通行遲緩     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   |
|      | 軋機失慎     | 1    | 0    | 2    | 0    | 0    | 3   |
|      | 車輛陷入路線   | 1    | 0    | 0    | 1    | 1    | 3   |
|      | 裝貨逾限     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   |
|      | 中途停留     | 1    | 1    | 2    | 1    | 1    | 6   |
|      | 中途故障     | 0    | 2    | 1    | 1    | 0    | 4   |
|      | 裝貨崩塌     | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 1   |
|      | 小計       | 35   | 35   | 30   | 25   | 24   | 149 |
| 行人   | 穿越       | 11   | 12   | 12   | 8    | 15   | 58  |
|      | 孩童闖入     | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 1   |
|      | 自殺       | 0    | 1    | 2    | 0    | 0    | 3   |
|      | 其他       | 2    | 3    | 2    | 1    | 1    | 9   |
|      | 小計       | 13   | 16   | 17   | 9    | 16   | 71  |
| 看柵工  | 延降或未降遮斷機 | 6    | 5    | 9    | 1    | 0    | 21  |
|      | 顯示值勤號誌不當 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   |
|      | 誤降遮斷機    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   |
|      | 警報機失靈    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   |
|      | 防護失時     | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 1   |
|      | 其他       | 0    | 5    | 4    | 5    | 1    | 15  |
|      | 小計       | 6    | 5    | 10   | 1    | 0    | 22  |
| 平交道  | 第一種      | 12   | 12   | 13   | 7    | 3    | 47  |
|      | 第三甲種     | 101  | 104  | 85   | 72   | 68   | 430 |
|      | 第三乙種     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   |
|      | 第四種      | 8    | 13   | 18   | 15   | 6    | 60  |
| 合計   |          | 121  | 129  | 116  | 94   | 77   | 537 |

資料來源：交通部高速鐵路局

## 參、改善方案

### 3.1 適當之先進交通安全設施

目前適合使用在鐵路平交道之交通安全設施有以下八種，分別敘述其功能如下。

#### 3.1.1 減速設施 (Speed Ramp)

俗稱減速墊，其外型為圓弧凸面，主要目的為減緩車輛行經之車速，材質一般採用耐壓、耐磨損，不易老化龜裂之廢輪胎與塑料混合而製成，黃/黑相間，為增加夜間之反光性，於減速墊中央設有反光珠並鑲於減速墊內，面對行車方向為白反光珠，逆向則為紅色，每塊減速墊皆預留螺栓孔，以便於膨脹螺栓將減速墊固定於道路上。減速墊之高度可依車輛通行速度而加以調整之，如圖一所示，其設置成本大約為 1.5 萬元。



圖 1 減速設施裝設狀況

#### 3.1.2 分隔護欄 (Curb Dividers)

目前歐美各國皆普遍採用之安全設施，主要目的為分隔車道之用，分隔

護欄主體分為分隔基座與軟質反光板，分隔基座之材質一般採用廢輪胎與塑料回收之二次加工產品，軟質反光板則為類似橡膠材質之面板，表面黏貼高強度之反光貼紙，在夜間具有導引與防止眩光之功能，即使車輛不慎輾壓反光板，反光板輾壓後具備有自動回復能力，分隔護欄其優點在於施工簡便，拆裝容易，同時反光板之間距可因應環境之實際需求而調整，機動性高，如圖二所示、其設置成本大約為 15 萬元。



圖 2 分隔護欄裝設狀況

### 3.1.3 路面閃光警示燈 (Smartstuds)

原先用於航空站之跑道等路面導航之用，近年逐漸引用至道路安全警示設施，如行人穿越、出口匝道、調撥車道、隧道導引等，此系統之路面感應燈利用線圈迴路原理將電源線埋在路面下約 5 公分處，在從電源線傳送微電波至感應燈而啟動發光，路側之控制器可連接號誌之訊號，如火車駛進平交道時，警鈴會響，而電源線因連接警鈴之訊號而同時啟動，使感應燈閃滅或恆亮，以提醒駕駛人注意前方平交道將有火車通過，尤其在晨昏及夜間特別明顯，可有效減少意外發生，如圖三所示，其設置成本大約為 25 萬元。

### 3.1.4 太陽能標誌 (Solar Sign)

目前一般傳統之標誌表面粘紙反光紙，俗稱反光標誌，在夜間經由汽機

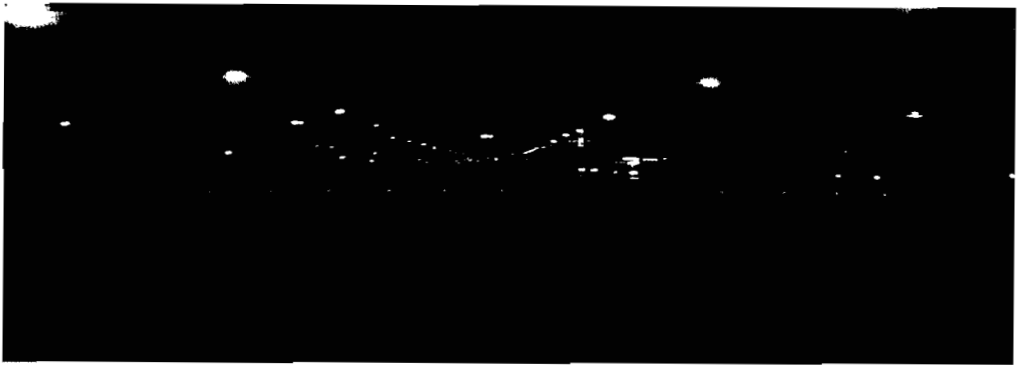


圖 3 路面閃光警示燈裝設狀況

車燈照射反光標誌而反射，使駕駛人易於辨視，此種方式必須藉由車燈反射，屬於被動式之作法，在一些高肇事之危險路段比較不恰當。太陽能標誌主體為太陽能吸光板、蓄電池、LED 發光體、鋁板以及反光貼紙；其功能為白天吸收光源，在黃昏後，光感應器會自動啟動 LED 發光體，於夜間不需車燈照射即可主動清楚辨視標誌之內容，產生主動導引與警示之功能，太陽能標誌仍可黏貼反光貼紙作為加強輔助之用，即使太陽能部分發生故障無法在夜間發亮時，則反光紙仍具有反光功能。此種太陽能標誌同時亦可與平交道之警鈴同時連動，即當火車駛進時，太陽能標誌立即與警鈴同步閃爍，以加強警告切勿闖入，其設施如圖四所示，其設置成本大約為 2 萬元。

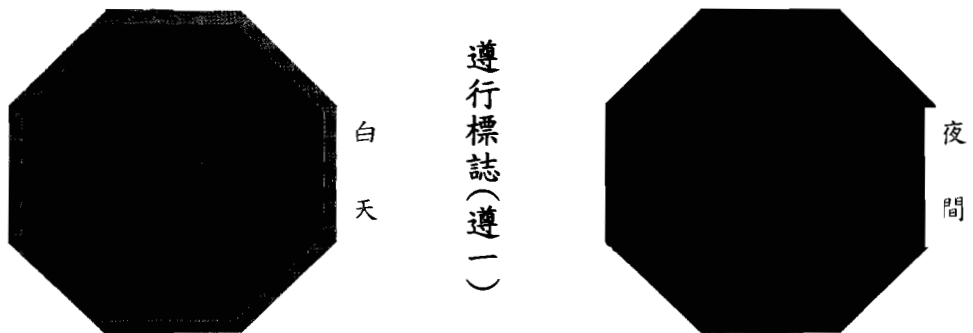


圖 4 太陽能標誌示意圖

### 3.1.5 防穿越安全柵欄 (Stop - Gate)

在美國平均每 110 分鐘就有一人喪生於平交道之意外，因此對於平交道

之安全防護相當重視，去年（2001 年）美國交通安全研究單位研發成功。此種防穿越安全柵欄，可有效防止時速 70 公里之貨車衝撞柵欄後完全停止，車輛不但無法穿越外，駕駛者之受壓力也在人體負荷內，符合美國道路設施之安全規定 NCHRP 350 之第二類型之要求。此種安全防護設施十分符合國內高肇事率之鐵路平交道，可完全有效防止穿越平交道之意外再次發生，如圖五所示，其設置成本大約為 500 萬元。



圖 5 防穿越安全柵欄裝設狀況

### 3.1.6 反光設施（Reflective Sheeting）

在國內平交道柵欄之反光材料品質要求較低，其反光強度，可視距離與材質壽命皆有相當重要之關係，在歐美各國近半年已發展出鑽石、晶鑽系列之反光材料，並符合 ASTM 第七類、八類與九類之國際標準，其反光強度高於傳統工程級 10 倍以上，其使用壽命亦提高至七年左右，因此目前在所有之鐵路平交道柵欄上應開始採用此三類之反光材料，以增加夜間平交道之反光清晰度，增加行經車輛之安全，如圖六所示，其設置成本大約為 5,000 元。

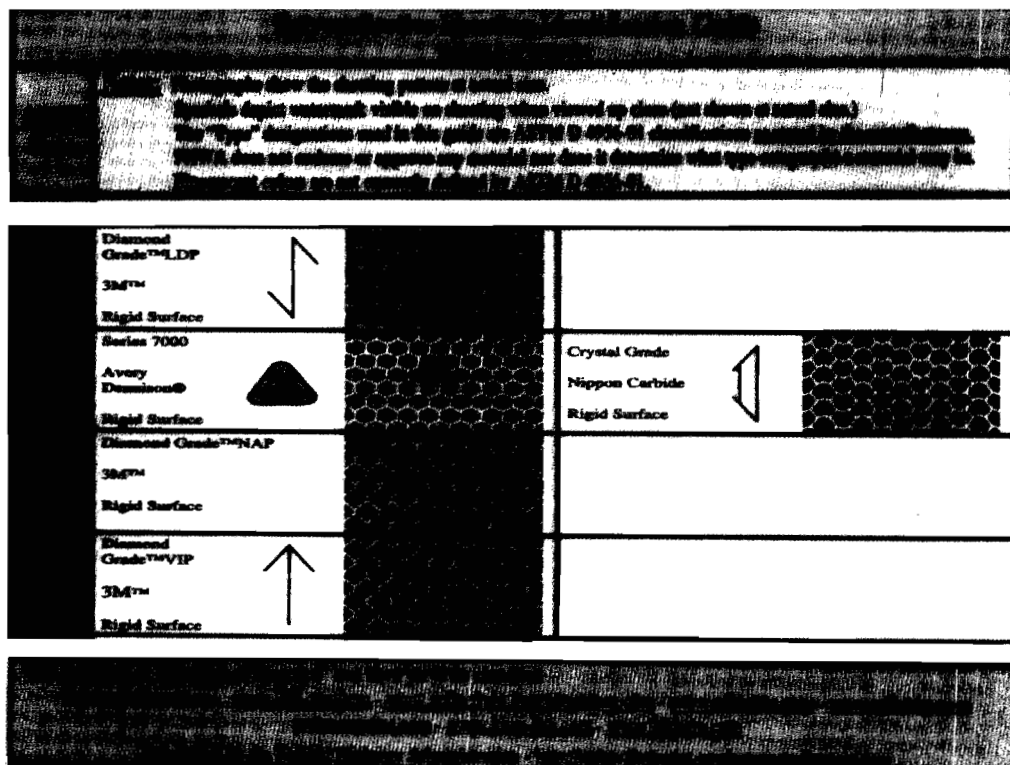


圖 6 美國 ASTM 之最新第七、八、九類反光紙標準說明

### 3.1.7 緩撞設施 (Crash Cushion)

在國內外鐵路平交道，仍有不少區分為二段，即平交道仍區分左右分向道，中央有水泥護墩，因水泥護墩為障礙物，因此在國外一般都會加裝安全防護之緩撞系統、依照設計之速率加以設計安裝，一般採用符合美國 NCHRP 350 時速 70 公里之防護設施較為普遍，而在國內環境應可搭配分隔護欄佈設，形成完整之分隔防護設計，即車輛不慎撞擊緩撞設施時，車輛在防護速率內，可有效停止車輛，駕駛者之受壓力也在人體負荷內，可防止或減輕車輛及人員之受傷情形，如圖七所示，其設置成本大約為 100 萬元。

### 3.1.8 限高偵測設施 (Height Detector System)

國內目前發生超高車輛卡在平交道而遭火車撞擊造成相當大的損失，在國外道路有許多限高之區域，近年來日本採用偵測高度之儀器架設在限高位置前方，當偵測器偵測到超高車輛駛入時立即以聲響、閃燈等方式加以制止

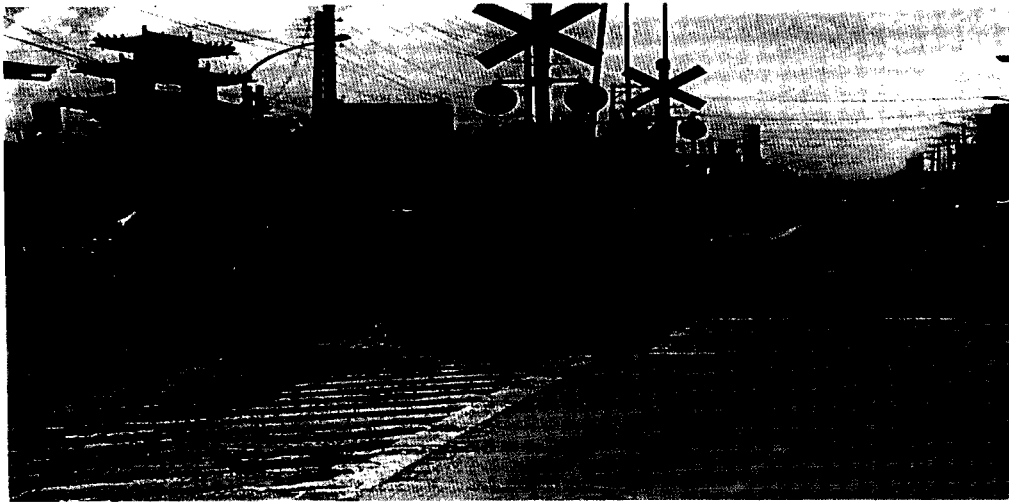


圖 7 緩撞設施裝設在鐵路平交道之情形

警告，以提醒駕駛人因超高限制不應進入，防止車輛硬闖鐵道橋涵洞之意外再次發生，如圖八所示，其設置成本大約為 5 萬元。

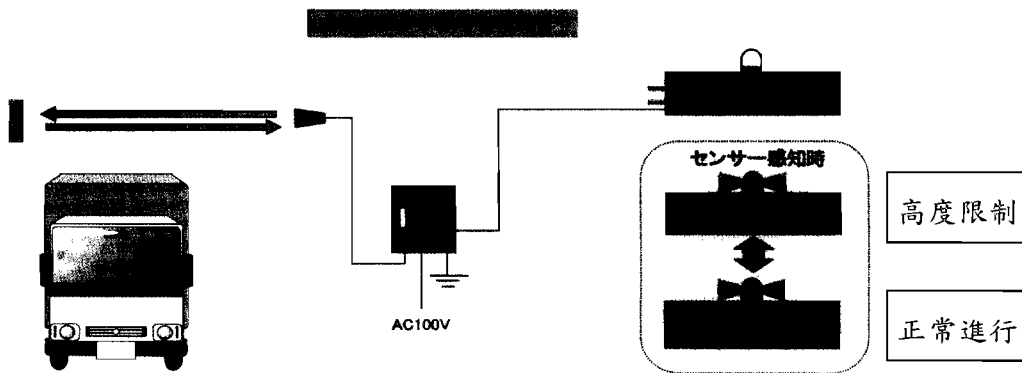


圖 8 限高偵測設施在日本地區之使用情形

### 3.2 鐵路平交道改善方案

平交道之主要問題對象為不經意或不小心之違規闖入平交道的駕駛，因此如何運用層次性之多元規劃設計，反覆提醒警告駕駛人，前為平交道必須減速注意停聽看，最後為防止仍有不小心之駕駛人闖入，也要有防護功能之

設計。圖九為鐵路平交道安全防護之設計圖，其中有八重之層次設計，由車輛向著鐵路平交道行駛方向之順序，分別說明如下：

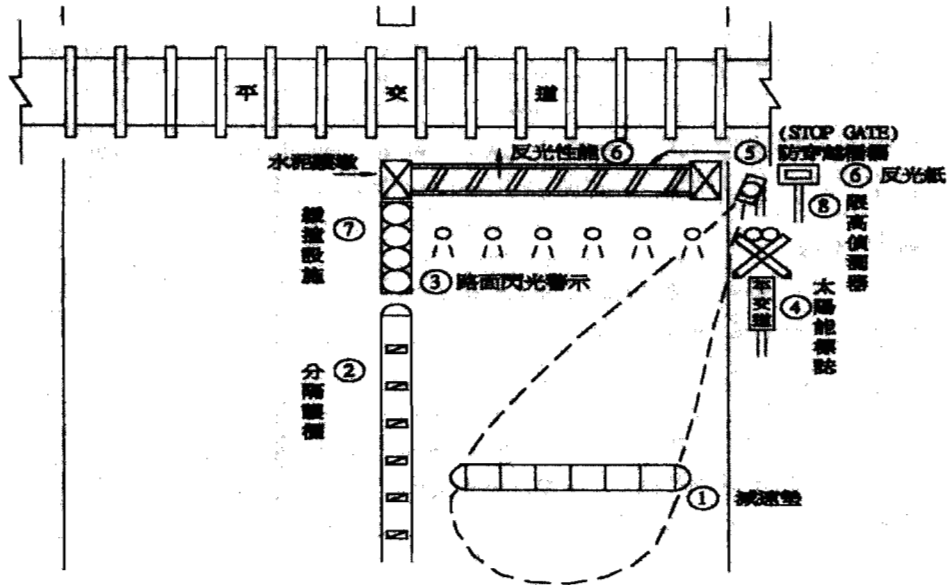


圖 9 鐵路平交道安全防護設計

#### 1. 減速墊

設計在平交道前方約 15 公尺處，其功能為強迫減速並提醒駕駛人注意。

#### 2. 分隔護欄

設計在接近平交道約 30 公尺處之分向位置，其功能為阻隔蓄意超車之駕駛者必須遵守循序漸進之規定，以避免發生對向衝撞之情況。在平交道處，則可防止駕駛人利用對面之柵欄空檔闖入平交道。

#### 3. 路面閃光警示

裝設計在平交道前約 10 公尺處與聲響連動，其功能為以路面閃光的方式提醒駕駛人平交道柵欄即將降下，切勿闖入以避免意外發生。

#### 4. 太陽能標誌

取代現有之平交道不明顯之靜態標誌，於白天吸收光源充電，夜間平交道標誌自然發光，可使駕駛者 300 公尺外即可辨識已接近平交道，以達預警功能；亦可連接平交道之警鈴，無論白天或夜晚，在火車駛近時警鈴可與閃光標誌同步。

#### 5. 防穿越安全柵欄

取代現有之傳統（無防護）柵欄，其功能為有效阻止不慎闖入平交道之車輛，經由此安全柵欄可完全阻擋，此為最後一道安全防護，可充分保護高速通過鐵路平交道之火車乘客與汽車駕駛人之安全。

#### 6. 反光設施

在柵欄上黏貼鑽石級或晶鑽級之反光貼紙，夜間可視距離超過 200 公尺以上，以提醒駕駛人已接近平交道，增加夜間安全。

#### 7. 緩撞設施

在平交道中水泥護墩前端設置緩撞設施，防護速率至少在 70 公里以上，以保護駕駛人在行經平交道時之安全。

#### 8. 限高偵測設施

以紅外線或微波偵測限高之位置，若行駛車輛超高，立即以聲響或閃燈告知駕駛人，以達警告目的，避免車輛因超高卡在平交道之事故發生。

在各項安全設施之組合上，可分成預警及防護二大部分。其中，預警部分包括減速墊、分隔護欄、路面閃光警示、太陽能標誌與反光設施等，其設置成本共約 45 萬元。此種組合式之交通安全設施為低成本之雙贏方案（Win-Win Solution），應全面設置在每一個鐵路平交道，以有效防止意外發生。至於防護部分，包括防穿越安全柵欄與緩撞設施等，其設置成本較貴，共約 600 萬元，應與預警之各項設施一併設置再高肇事率之鐵路平交道，此項方案之成本雖較高，但考量高肇事率地點之人員傷亡成本、車輛財物損失成本與鐵路營運損失成本等社會成本減少之效益，只要能有效減少一件平交道事故發生，其益本比分析結果將必顯示此方案可行。

## 肆、結論與建議

經過上述之檢討分析，本研究可得到下列之結論與建議。

### 4.1 結論

1. 鐵路平交道事故在於火車之速度愈快，駕駛人愈缺乏耐性之狀況下，是無法避免的。因此必須正視其存在性，努力研擬適合及先進之交通安全設施方案，以防止或減輕其事故之嚴重性。

2. 在鐵路平交道安全防護之規劃設計部份，本研究提出以多元層次化設計，先是反覆提醒駕駛人，然後針對不經意或不小心中間之車輛，加上防護功能之設計，此種先預警再防護之方案將可有效防止或減少鐵路平交道事故發生。
3. 在方案組合上，本研究研擬二個改善方案，一為低成本之預警方案為絕對雙贏方案，其應設置在每一個鐵路平交道。另一則為較高成本之預警加防護方案，此為相對雙贏方案，可設置在高肇事率之鐵路平交道，以有效改善鐵路平交道之安全問題。

#### 4.2 建議

1. 鐵路平交道事故是一個存在已久之嚴重問題，建議鐵路局應重視此問題，參考各先進國家之改善經驗，盡快實施適合台灣交通環境之改善方案，並進行事前事後評估分析以有效改善鐵路平交道之交通安全問題。
2. 鐵路局應針對全省所有之鐵路平交道過去發生之事故作一統計分析，並將分析結果做為訂定改善各平交道優先順序之參考依據。
3. 目前政府預算十分有限，因此如何在交通安全管理方面研擬低成本之有效方案，十分重要。而這部分必須依賴產、官、學之通力合作，因此，建議政府相關單位應先建立一個良性循環的機制，先由產業界提出各國已實施之先進交通安全設施的現況資料，學界可以進一步評估分析，並建議選擇迫切需要之肇事地點，試辦並進行事前事後分析，其評估結果可提供政府單位做為推廣應用之依據。

### 伍、參考文獻

1. Roadside Design Guide 2002, American Association of State Highway.
2. AS/NZS 3845 : 1999, Road Safety Barrier Systems, Australian/New Zealand Standard.
3. NCHRP 350 "Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features" 1994.
4. FHA, 「Part VI of the Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD)」, 2000.

5. 李克聰，「道路交通安全緩撞設施設之規劃研究」，交通部委託逢甲大學研究報告，87年6月。
6. 李克聰，「道路交通安全緩撞設施設置規範草案之研究」，交通部委託逢甲大學研究報告，89年9月。
7. 交通部，「道路交通標誌標線號誌設置規則」，88年1月。
8. 交通部，「交通工程手冊」，79年。
9. 日本道路公團，「設計要領第四級第12編」，1998。

(91/11/04 收稿，91/12/03 第一次修改，91/12/10 定稿)