

雪山隧道之風險管理分析

李克聰¹、高憲順²、吳素華、劉荃銘

摘 要

雪山隧道之安全設施包括機電設施、交通監控設施及緊急逃生設施等，除了以上基本之安全設施除外，如何進一步提升雪山隧道安全並合理控制安全設施的建置成本，是決策者面臨的重要課題。本研究基於管理者的角度，透過風險管理的方法，利用經濟效益做為分析基礎，評估分析出較佳的方案，如此便能在有量化客觀依據的前提之下執行相關降低風險方案之建置。本研究針對以下三項課題進行研究，首先確認雪山隧道之潛在風險，估計各潛在風險之發生頻率，其次估算各潛在風險發生後所可能產生之衍生損失成本，最後提出降低風險之方案，並評估方案之可行性。

本研究所研擬方案包括了正在建置之自動化科技執法建置案，另外，提出作為未來降低雪山隧道行車風險之評估方案，主動式影像監視與兩端設置專屬警消單位等，工程經濟之益本比分析的結果顯示個別執行自動化科技執法系統之方案為最佳，同時執行自動科技執法系統及主動式影像監視系統為次佳方案。

關鍵詞：雪山隧道；風險管理；益本比分析

¹逢甲大學交通工程與管理學系副教授。

²逢甲大學交通工程與管理學系研究助理。

第一章 緒論

本章首先論述雪山隧道之風險管理分析之研究緣起，並衍生出本研究之目的，然礙於此一研究課題牽涉範圍龐大，故亦對研究範圍進行設定，最後提出本研究進行之流程及研究方法之架構圖，茲依序分述如后。

1.1 研究動機

國道五號之雪山隧道全長約 12.9 公里，為亞洲第一、全世界第五長的公路隧道，公路隧道呈現密閉化、地下化等特性，另外公路隧道在各種潛在災害的預防與緊急事故的應變救援上，具有變因多、對外聯絡困難及災害情況掌握困難等問題。

雪山隧道之安全設施包括：機電設施、交通監控設施及緊急逃生設施，除了以上基本之安全設施除外，如何進一步提升雪山隧道安全並合理控制安全設施的建置成本，是決策者面臨的重要課題。本研究基於管理者的角度，透過風險管理的方法，利用經濟效益做為分析基礎，評估分析較佳的方案，如此便能在有量化客觀依據的前提之下執行相關降低風險方案之建置。本研究未來將針對以下三項課題進行研究：1. 確認雪山隧道之潛在風險，估計各潛在風險之發生頻率；2. 估算各潛在風險發生後所可能產生之衍生損失成本；3. 提出降低風險之方案，並評估方案之可行性。

1.2 研究目的與研究內容

本研究目的為探討雪山隧道內基本安全設施外，是否有其它設施能提高雪山隧道內行車安全，能在交通事故發生前降低發生頻率，並在交通意外事故發生後能有效的降低傷害，避免因不能即時救援而衍生出的二度傷害。

在此目的之前提下，本研究將針對以下三項課題進行研究：

- 一、確認雪山隧道之潛在風險，估計各風險之發生頻率。
- 二、估算各風險發生後所產生之衍生損失成本。
- 三、提出降低風險之方案，並應用工程經濟方法評估方案之可行性。

1.4 研究方法

本研究之研究方法是利用：

- a. 風險管理分析方法。
- b. 工程經濟分析方法。

第二章 文獻回顧

本研究首先對風險管理之觀念與應用進行瞭解，繼而對雪山隧道安全之研究文獻、道路交通事故特殊偵測方法、成本效益分析方法進行回顧，茲依序說明如后。

2.1 風險管理之觀念與應用

本節目的在於探討風險定義、風險衡量、風險評估、風險管理之意義、風險

管理之架構及步驟，並就風險管理相關文獻做一回顧，茲分述如后。

2.1.1 風險定義

Ulrich Hauptmanns 等【25】之定義，風險是遭受危害之機率(不論將來是否真的遭遇到)，只要人存在的處所就有風險。

徐文華等【10】指出風險本身為一極抽象與模糊的概念，並無一完善周嚴的定義適用於所有領域，作者歸納相關文獻，將風險定義區分為主觀說與客觀說兩大類，主觀說強調不確定性與損失，而客觀說則強調風險是指損失之可能性。

彭松能【14】所定義的風險是由不確定性、有損失的發生及發生時間為未來，三者同時存在方可稱為風險。

蔡明志【20】指出風險的特性在強調未來、可能性及未發生事故等之不確定性，如果不具有不確定性則無險的存在。

2.1.2 風險衡量

鄧家駒【19】指出風險管理常用「損失(loss)」作為風險衡量的基礎，風險衡量的分為兩個層面，一是損失頻率(loss frequency)，二是損失嚴重性(loss severity)。

2.1.3 風險評估

Ulrich Hauptmanns 等【25】指出評估風險之前必須清楚定義及描述風險評估對像，如個人風險或群體風險、評估風險的時間範圍等。

張新立等人【15】指出風險評估目的即是使公眾了解某事故所應付出的主會成本或個人風險後做出主觀的取捨，並提出一評估運輸系統之安全風險之量化方程式，如下所示：
$$\text{風險(損失量/單位時間)} = \text{發生率(事故/單位時間)} \times \text{後果(損失量/事故)}。$$

2.1.4 風險管理之意義

鄧家駒【19】認為風險管理是一種應用科學，其基本理念是在於調整「對於未來不確的各種結果」，以及「為確定未來結果所而支付的代價大小」。而其基本理念就在於希能在介於「結果」與「代價」之間取得一個平衡點，一方面可以降低風險的大小，另一方面在發生時可減少非預期結果的發生。

2.1.5 風險管理的架構

Guðni I. Pálsson【27】提出風險管理架構包括：風險分析、風險估計及風險減少及控制三個步驟，主要架構圖如圖2.1所示。

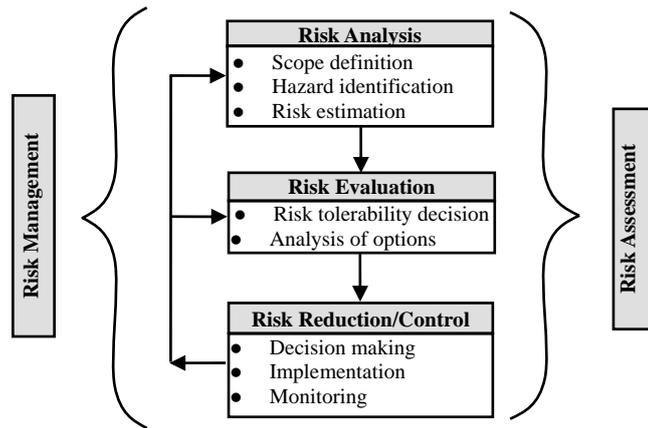


圖 2.1 風險管理架構圖

資料來源：Pálsson【27】。

2.1.6 風險管理相關文獻回顧

蔡明志【20】探討風險管理各主要子題，指出大眾運輸安全被視為運輸營運的首要條件，然而強大的安全理念壓力也減少合理探究風險課題的機會，近年來為因應政策的需要，大眾運輸安全管理觀念有著實的改變，使得安全管理的理念與作法有朝向使風險透明化、數量化及安全管理目標導向的趨勢，政府的安全政策並由傳統的「簡單安全宣示」演變至「承擔風險」並進而「風險管理」。

鍾啟椿【22】以風險管理為架構，模糊理論為基礎，結合總損失分配法，依特許年限有無包含建設期，構建兩套風險衡量模式，分別探討分析 BOT 計畫中因土地取得延遲或政府政策改變造成運量減少而導致之投資成本增加之風險及營運收入減少之風險。

張新立【15】提出運輸業者在其營運過程中不時面臨營運風險之考驗，運輸業者能否屹立不搖並永續經營除有賴周詳之經營策略規劃外，善加運用風險管理之方法亦屬絕對的必要。

2.2 雪山隧道安全之研究文獻

劉鈺文【17】依逃生指引標誌指示進入最近之人或車行橫坑之疏散原則，在火災發生時，用供需之概念將橫坑視為供給，而疏散人員到達橫坑視為需求下，以供需分析及模擬方法運用巨觀與微觀的觀點來建立疏散評估模式。研究模擬顯示，需視火災發生時之情況而定，以逆向行車方向逃生並非絕對為最佳。

郭富森【12】研究中指出隧道通風系統必須與交通控制系統同步控制，通風系統必須與交通控制系統整合為一連動系統。並指出在隧道需求流量大於隧道容量即隧道發生交通擁塞時，進行流量控制可獲得良好效果，除可降低隧道內廢氣濃度亦可減少用路人旅行時間。

俞裕中【9】研究以安全為主使用安全評估方法評量公路隧道，並以雪山隧道為例，考量所有與隧道安全相關之設施、措施與其設置位置，藉客觀的數值與評分方法為雪山隧道進行安全等級評判，並應用評估結果研擬安全改善手法。

2.3 道路交通事故特殊偵測方法

康志福等人【13】研究中鑑於隧道自動交通環境偵測需求，高速公路局首先試辦利用既有設備，進行自動偵測試辦計劃，此項全國道創計畫除引進法國 Citilog 公司系統進行隧道事故自動偵測外，測試不同偵測系統軟體在事故偵測、車流量蒐集等隧道交通環境資訊獲得之限制及成效，初步試辦成果針對雲台式閉路攝影機之事故偵測正確率超過 98%；車流量、車速偵測正確率亦媲美傳統環路線圈式車輛偵測器，此項測試結果可為高、快速公路隧道交通控系統之設計參考。

2.4 成本效益分析方法

工程經濟學【1】中指出成本效益分析即是透過改善方案成本與改善成效之益本比高低比較，選擇有效合理之改善方式以達到較高之效益。益本比法 (Benefit-Cost Ratio; B/C) 是利用其效益與成本之比值的一種分析方法。通常，其比值的結果必須大於 1 (有時要求較嚴苛需看資金來源所示)，其中效益與成本，可化成現值或年值來比較，通常會以年值計算之。

2.4.1 成本及效益之估算

益本比分析最基本的工作是先界定成本與效益項目，當項目確定後在以經濟價值表示，以下就此加以說明【11】。

一、成本之認定

- (一) 直接成本 (財務性成本)：指為建立、維護、經營以及為提供使用或銷售目的，所必須實際支付的財貨和勞務價值。
- (二) 社會成本：為經濟學上之外部不經濟，係指公共建設之經濟行為引起有形或無形之資源損耗，但其成本係由社會全體所負擔，因此造成外部不經濟。

二、效益認定

- (一) 直接效益：係指在投入直接成本後，所產生對投資者直接影響之財務與勞務價值，此經濟效益之可依是否可用貨幣衡量區分為可計值及不可計值效益。
- (二) 間接效益：係指計畫源生或衍生活動結果，產生間接影響投資使用者及可加直接效益之價值，公共建設計畫所產生之經濟效益，有一部屬可量化、一部分屬不可量化，而不可量化的效益，則可利用非市場評估方法，予以貨幣化。

2.4.2 成本效益分析實例研究

林幸如【6】本文係應用傳統的「益本分析法」以探討降低車輛排放物策略的可行性。以『民眾為改善空氣品質之願付金額 (條件價值法)』及『受空氣污染影響之罹病費用 (損害函數法)』建立估算效益之預測式。根據益本分析結果，益本比遠大於 1；顯示此兩項改善策略之效果甚佳，可供政府擬定改善空氣品質策略的參考。

賴錫樟【21】路面養護一般以路面損壞對道路交通之影響，由益本比或改善效益之大小來決定其應否養護或養護之優先順序。發現立即路面養護之經濟效益

非常高，因此路面損壞時應立即予與養護。本研究所得結果可用以決定其養護之優先順序，使路面損壞造成之損失減至最小。

林志成【7】指出台北市停車問題已嚴重影響台北市之交通，以市場用地多目標使用方式附建停車場，期以略紓解台北市之停車問題並促進市場用地之闢建，並依經濟效益分析方法探討市場附建停車場之可行性。

李克聰、陳昱豪【2】選擇相關地點並裝置適合之廢輪胎橡膠安全設施，進行成本效益分析。研究中並將廢輪胎橡膠安全設施與其他緩衝設施(圓筒重複使用型、日本充水型)在同一事故上進行假設性分析，發現益本比之比值都將高於其他緩衝設施。

李克聰、莊詠凱、劉曉瑾、沈芸荻君【3】對於碰撞緩衝設施歸納整理檢核評估程序之流程，並進行現地測試之事前與事後效益分析，其研究結果對國內實施之狀況也提出許多相關建議。

熊啟中【18】在其「LED可行性與推行方式初步研究」中評估將台灣之交通號誌燈全面更換為LED燈之可行性，分析結果認為是具有效益並值得推廣。

李克聰、陳忠平【4】研究中使用成本效益分析方法，分析碰撞緩衝設施實際裝設之事前事後成本與效益分析與其他陸續設置緩衝設施後的分析發現即使設施的設置成本可能高達數百萬元，但與人民生命的無價相較下，益本比分析的結果均支持設置緩衝設施。

第三章 雪山隧道之風險管理

本章依序分章節探討雪山隧道之風險、風險改善方案之決策過程等，茲分述如后。

3.1 雪山隧道之風險分析

風險分析主要是對風險評估範圍，以及推估風險發生之頻率，並估算其發生之後果，最後計算各風險類型所造成之總損失成本，茲分述如后。

3.1.1 風險評估範圍定義

本研究只討論雪山隧道內之交通安全議題，非健康或環境之相關議題。

3.1.2 風險確認

國內公路隧道事故回顧及肇事原因分析，主要因素則為人為因素所引起，事故原因多為駕駛行車速度過快、未保持行車安全距離及未注意前方行車狀況所導致事故。民國 85 年至 94 年高速公路之肇事原因為「人為因素」有：酒後駕車 12.3%、未保持行車安全距離 17.8%、超速 9.4%及駕駛不當 23.8%等因素。

國外公路隧道重大事故回顧及肇事原因分析隧道內重大交通事故是指「火災」或危險品意外。火災肇因為：碰撞所導致之火災、貨車自燃及危險品意外。PIARC【30】提出火災主要由電路缺陷、煞車過熱及其它車輛缺所造成。極少頻率是由碰撞、隧道設備火災事故或維護工作的技術缺陷所造成。

公路隧道之潛在危險【28】有以下等六項：

- 一、碰撞（未失火）。
- 二、火災。
- 三、危險品意外。
- 四、健康風險。
- 五、自然災害。
- 六、社會風險。

隧道內火災事故發生之主要原因為電路缺陷、煞車過熱等，極少數是碰撞所引起，由國外公路隧道重大事故回顧及肇事原因分析可知，公路隧道內之嚴重交通事故，除了貨車自燃所引起之火災外，均由於車輛碰撞所導致之火災。因此本研究將雪山隧道之風險因子為下列兩大類型：

- 一、碰撞(未失火)事故。
- 二、火災：(1)碰撞火災事故：因碰撞事故引起之火災，可能導致嚴重傷亡之火災事故。
(2)車輛自燃火災事故：因車輛缺陷、煞車過熱及其它車輛缺陷所引起之火災，涉入車輛數為1部，不會造成任何傷亡。

3.1.3 風險發生頻率之估計

民國 96 年 7 月至 97 年 3 月雪山隧道之交通量為推估基準，因此雪山隧道年延車公里為 174 MVK，雪山隧道風險頻率推估茲分述如。

一、火災事件頻率

(一)車輛自燃火災事故

雪山隧道通車至今一年共發生 2 起，發生頻率為 1.15 件／100MVK。

(二)碰撞火災事故

法國 Fréjus 隧道與雪山隧道約同為 12.9 公里，Fréjus 隧道發生因碰撞導致之災難性火災發生頻率為 0.23 件／100 MVK。

(三)碰撞(未失火)事件頻率

假設雪山隧道內碰撞事故與高速公路之碰撞事故發生頻率相同，為 0.78 件／100MVK。碰撞事故發生頻率 0.78 件／100MVK 減去碰撞火災事故發生頻率 0.23 件／100MVK，得到碰撞(未失火)發生頻率為 0.55 件／100MVK。以高速公路碰撞事故平均死亡人數 0.9 人／件、受傷人數 1.27 人／件，作為雪山隧道碰撞(未失火)事故死傷人數。

3.1.4 損失成本推估之依據

未來本研究推估交通事故成本之依據來源分述如下：

一、延滯成本

延滯成本又分為：(一)人之延滯成本；(二)車之延滯成本，成本之推估如下：

(一)人之延滯成本

延滯成本之估算是將事故所產生之總延滯值乘上每人之單位時間成本，本研究以交通部統計處於民國 85 年之調查值 1.36 元/分為估算之基礎，以利

率 5% 做修正至分析年度 96 年，得到時間成本為 2.33 元/分，乘載率以小型車 1.8 人/車計算。

(二) 車之延滯成本

小客車之怠速油耗約為 1 公升/小時，96 年之九五無鉛汽油約 28 元/公升為推估基礎，則每小時油耗為 28 元/小時。

二、行政處理成本

曾平毅君等人【17】引用挪威 Elvik 於 1991 年之研究資料，每件事務行政處理成本（新台幣）以利率 5% 修訂至本研究年度，則交通事故行政處理成本為：

- (一) 死亡事故為 39 萬元；
- (二) 非常嚴重受傷為 59 萬元；
- (三) 嚴重受傷為 31 萬元；
- (四) 輕微受傷為 15 萬元。

本研究假定死亡及受傷嚴重程度之發生機率相同，則每件交通事故之平均行政處理成本為 36 萬元。

三、死亡成本及受傷成本

交通事故之相關傷亡成本【2】，以利率 5% 修正至本研究年度，每人之數值如下：

- (一) 死亡為 382 萬元。
- (二) 嚴重受傷為 127 萬元。
- (三) 中度受傷為 64 萬元。
- (四) 輕微受傷為 6 萬元。

交通事故每人平均死亡成本為 382 萬元，而平均受傷成本為 66 萬元。

四、當事者的財產損失成本

交通事故之相關財產損失【2】，以利率 5% 修正至本研究年度，每輛之數值如下：

- (一) 嚴重財損為 26 萬元。
- (二) 中度財損為 8 萬元。
- (三) 輕微財損為 1 萬元。

本研究假定財損程度發生機率相同，故每件交通事故之平均財損為 12 萬元。

五、公共設施的財損成本

交通事故發生於隧道內，由於隧道儀器設備均設置於隧道上方與兩側車輛高度以上的部份，故除了碰撞火災事故外，本研究均假設公共設施的財損為 0 元。

3.1.5 風險發生衍生損失成本之推估

一、碰撞(未失火)事故

假設人工通報時間 5 分，聯絡相關救援單位為 3 分，依發生地點警察單位抵達時間靠近隧道北口為 15.7 分，靠近隧道南口為 18.7 分，假設警察單位行

駛速率 60 公里／小時。本研究保守估計碰撞事故處理時間 A1 類 60 分、A2 類 30 分及 A3 類 10 分。假設每次碰撞涉入車輛為 2 輛。如表 4.16 所示，每件碰撞(未失火)事故衍生損失成本為 495(萬元／件)，發生頻率為 0.96 件／年，則年損失成本為 475 萬元／年。

表 4.1 碰撞(未失火)事故衍生成本一覽表

成本項目		本研究估算結果 (萬元／件)
延滯成本	人之時間成本	6.3
	車之油耗成本	0.7
行政處理成本		36
死亡成本及受傷衍生成本		428
當事者的財產損失成本		24
公共設施財損成本		0
總和		495

二、車輛自燃火災事故

假設自動偵測時間為 5 分。依發生地點消防單位抵達時間靠近隧道北口為 14.2 分，靠近隧道南口為 17.8 分。假設消防單位行駛速率：50 公里／小時。事故處理時間以 96 年 5 月發生休旅車自燃事故的處理時間 40 分為準。碰撞火災事故之衍生成本為 532,834 萬元／件，如表 4.24 所示，碰撞火災事故之發生頻率為 0.40 件／年，因此碰撞火災事故所產生年損失成本為 213,134 萬元／年。

表 4.2 重大災災事故衍生成本一覽表

成本項目		本研究估算結果 (萬元／件)
延滯成本	人之時間成本	128,000
	車之油耗成本	14,000
隧道修復成本		382,500
死亡成本及受傷衍生成本		7,818
當事者的財產損失成本		480
行政處理成本		36
總和		532,834

三、碰撞火災事故

公路長隧道內因碰撞而導致火災事故之發生，由於牽涉其中之車輛數難以估計，因此死傷情況及隧道內之設備之損壞也將難以估計，故本研究以 1999 年 Tauern 隧道內發生因碰撞所導致之火災為推估之基準【28】，事故原因起自於 2 小客車與 1 貨車碰撞，造成 12 人死、49 人傷及 24 輛小客車、16 輛貨車毀損，並造成隧道內設備之損壞，封閉 3 個月，修復成本為歐元 85 百萬元。碰撞火災事故之衍生成本為 532,834 萬元／件，如表 4.24 所示，碰撞火災事故之發生頻率為 0.40 件／年，因此碰撞火災事故所產生年損失成本為 213,134 萬元／年。

表 4.3 重大災災事故衍生成本一覽表

成本項目		本研究估算結果 (萬元/件)
延滯成本	人之時間成本	128,000
	車之油耗成本	14,000
隧道修復成本		382,500
死亡成本及受傷衍生成本		7,818
當事者的財產損失成本		480
行政處理成本		36
總和		532,834

3.2 雪山隧道之風險估算

風險估算主要是訂定風險忍受力及降低風險方案之分析，茲分述如后。

3.2.1 風險忍受力訂定

本研究提出降低風險方案在先，所以並不存在訂定風險忍受力之必要，而以方案是否滿足經濟效益作為執行之依據。

3.2.2 方案執行內容及成本

一、雪山隧道自動化科技執法系統

專案目的為防制隧道內之交通事故發生，降低事故發生機率。建置經費 11,869 萬元。執行成效本研究假設可減少隧道內肇事發生頻率 30%。

二、雪山隧道主動式影像監視系統

專案目的為減少交通事故發生後之偵測及通報時間。建置經費 9,000 萬元。執行成效為能減少碰撞(未失火)事故人工通報事故發生所需時間 5 分，減少火災事故自動偵測事故通報所需時間 2 分。

三、雪山隧道專屬警／消單位

專案目的為減少救援單位抵達事故現場之時間所需，增加救援之時效性。建置經費 18,000 萬元。執行成效為隧道內發生任何交通事故，平均需要 2.6 分即可抵達事故現場進行事故處理及救援。

3.2.3 方案執行之益本比分析

本研究假設評估年限為 20 年、利率 5%。「雪山隧道自動化科技執法系統」及「雪山隧道主動式影像監視系統」建置完成後前 5 年由廠商保固，第 6 年起維護成本為建置成本的 2%。「雪山隧道專屬警／消單位」每年消防器材保養維護為建購買成本的 2%，廳舍殘值 1,000 萬元，消防器材殘值 0 元。

本研究提出降低風險方案有三：A.「雪山隧道自動化科技執法系統」；B.「主動式影像監視系統」；C.「雪山隧道專屬警／消單位」。由此三方案可重組為以下七個方案：

- 一、方案 A。
- 二、方案 B。
- 三、方案 C。
- 四、方案 A+方案 B。

五、方案 A+方案 C。

六、方案 B+方案 C。

七、方案 A+方案 B+方案 C。

接下來針對以上七個方案執行之益本比進行估算，將方案之中益本比最高者，作為未來最終降低風險之決策方案。

重組的七個方案中之益本比大於 1 之可行方案，將其執行成本、效益及益本比做一歸納，如表 4.27 所示。個別執行「方案 A」之益本比 95 與同時執行「方案 B」及「方案 C」之益本比 95 相近，個別執行「方案 C」之益本比 82 為第三高。

表 4.4 方案組合之執行益本彙整表

方案組合	執行成本	執行效益	益本比
方案 A	13,796	1,281,780	93
方案 C	20,798	1,705,072	14
方案 A+方案 B	24,260	1,282,400	53
方案 A+方案 C	34,594	2,472,360	18
方案 B+方案 C	31,262	2,983,900	22
方案 A+方案 B+方案 C	45,058	3,371,100	23

3.2.4 敏感性分析

由 4.2.4 節可得到個別執行「方案 A」之益本比為最高，同時執行「方案 A」及「方案 B」之益比本為次高，由表 4.25 可得知「碰撞火災事故」佔所有本研究評估風險之損失的 99.7%，故對估算「碰撞火災事故」損失成本估算時使用之變數數值較大者進行敏感性分析，觀察隨著變數的數值的變化，「方案 A」與同時執行「方案 A」及「方案 B」之益本比的變化。欲進行敏感性分析之變數包括：1. 死亡成本；2. 碰撞(未失火)事故頻率；3. 碰撞火災事故修復成本；4. 碰撞火災事故死亡人數，計算結果如表 4.28 所示。

「碰撞火災事故頻率」及「碰撞火災事故之修復成本」兩變數對兩方案組合之益本比有顯著的影響，但仍是以個別執行方案 A 益本比為最高。

表 4.5 風險評估變數敏感性分析彙整表

變數名稱	變數值	變動百分比	方案 A 之益本比	方案 A、方案 B 組合之益本比
死亡成本	229	-40%	93	53
	306	-20%	93	53
	382	-----	93	53
	458	+20%	93	53
	535	+40%	93	53
碰撞火災事故 頻率	0.24	-40%	56	32
	0.32	-20%	74	42
	0.40	-----	93	53
	0.48	+20%	111	63
	0.56	+40%	130	74
碰撞火災事故 之修復成本	229,500	-40%	66	35
	306,000	-20%	80	45
	382,500	-----	93	53
	459,000	+20%	106	60
	535,500	+40%	120	68

碰撞火災事故 之死亡人數	7.2	-40%	93	53
	9.6	-20%	93	53
	12	-----	93	53
	14.4	+20%	93	53
	16.8	+40%	93	53

3.2.5 方案選擇

由章節 4.3.3 敏感性分析觀察可得個別執行「雪山隧自動化科技執法系統」之益本比為高，依據益本比之高低則最佳方案為個別執行「雪山隧道自動化科技執法系統」，次佳為同時執行「雪山隧道自動化科技執法系統」及「雪山隧道主式影像監視系統」。

最佳方案之性質為阻止事故的發生，降低交通事故發生的頻率，因此可知事先的預防之效益為最大，而交通事故發生後之即時通報及快速抵達事故現場處理，通常此時損失已造成，僅能降低損失之程度。

第四章 結論與建議

本研究針對雪山隧道進行風險管理分析，並提出降低雪山隧道行車風險之方案，經由各項風險類型發生頻率的推估，以及風險衍生之成本損失之估算，進而將各成本以現值法呈現，繼而利用工程經濟之益本比分析法，判斷方案是否為可行之方案，具體得到以下的結論與建議。

4.1 結論

- 一、依據公路隧道長度不同，交控系統及機電系統設施配置各有不同的需求，雪山隧道現有消防設備及逃生相關設施之建置，已符合世界各國對公路隧道內相關設施建置要求之標準。但是除了以上基本之安全設施除外，如何進一步提升雪山隧道安全並合理控制安全設施的建置成本，是決策者面臨的重要課題。
- 二、本研究探討雪山隧道之潛在風險，並將雪山隧道之風險類型歸納為：「碰撞(未失火)事故」、「車輛自燃火災事故」及「碰撞火災事故」，其中造成雪山隧道主要損失之風險為「碰撞火災事故」，損失成本高達總損失成本之99.7%。
- 三、本研究提出降低風險方案包括：「雪山隧道自動化科技執法系統」、「雪山隧道主動式影像監視系統」、「雪山隧道專屬警／消單位」，各自功能為：
 - (一)「雪山隧道自動化科技執法系統」：降低雪山隧道內交通事故的發生頻率。
 - (二)「雪山隧道主動式影像監視系統」：交通事故發生後能即時被行控中心掌握情況，繼而進行接下來的救援程序。
 - (三)「雪山隧道專屬警／消單位」：警消單位在接獲事故救援通知之後，能以最快速度抵達雪山隧道內之交通事故現場，進行相關救援之動作。
- 四、本國政府正在建置的「雪山隧道自動化科技執法系統」，經本研究分析結果為

最佳方案，次佳方案為同時執行同時執行「雪山隧道自動化科技執法系統」及「雪山隧道主動式影像監視系統」。此結果顯示出事前的預防之效益大於事後的補救措施。

- 五、本研究是基於風險管理者的角度進行風險管理分析，「雪山隧道自動化科技執法系統」已經確定建置，未來若欲再進行雪山隧道行車安全之加強，建議建置「雪山隧道主動式影像監視系統」，再者為「雪山隧鄉道主動式影像監視系統」。

4.2 建議

- 一、當國家要有重大公共建設時，應於規劃之初即執行風險管理分析，如此才能以廣泛的瞭解是否有其建置之必要性，或者是能事先做好完善的規劃及相關的配套措施。
- 二、本研究推估雪山隧道之風險發生頻率，主要是根據我國高速公路之肇事資料，結合國外公路隧道之交通事故經驗，推估雪山隧道之風險發生頻率，建議可使用行車模擬軟體等先進設備進行模擬分析，進一步得到更貼近事實之數據。
- 三、未來政府管理單位針對雪山隧道進行任何降低風險之方案，應定期檢視降低風險方案並予以成效考核，以求能適度的調整方案實施內容，增加隧道內行車安全。
- 四、未來政府階段性開放大客車通行雪山隧道，到時雪山隧道內之行車安全之潛在風險也會不同，故建議開放新車種進入雪山隧道之前應進行風險管理分析，因應的配套措施一定要完善，才不會造成無法預期之後果。

參考文獻

- 【1】李克聰，工程經濟學，二版，華泰文化事業公司，民國92年。
- 【2】李克聰、陳昱豪，「廢輪胎橡膠材料應用於道路交通安全設施之評估分析」，91年道路交通安全與執法研討會論文集，民國91年，PP.185-197。
- 【3】李克聰、莊詠凱、劉曉瑾、沈芸荻，「交通工程碰撞緩衝設施安全設施之規畫」，中華民國第四屆運輸安全研討會論文集，民國86年，頁277-286。
- 【4】李克聰、陳忠平，「廢輪胎橡膠材料應用於道路交通安全設施之評估分析」，九十一年道路交通安全與執法研討會，民國91年。
- 【5】何國榮，「先進交通執法技術與違規取締實務」，92年度交通工程人才培訓課程，民國92年。
- 【6】林幸如，「降低車輛排放物之益本分析—以台北市為例」國立交通大學交通運輸工程研究所，民國76年。
- 【7】林志成，「台北市市場附建停車場之經濟可行性研究」，國立交通大學交通運輸工程研究所，民國73年。
- 【8】林良泰、李季森，「交通事故對交通績效之影響評估」，交通事故與交通違規之社會成本推估研討會，民國89年1月，頁119-131。
- 【9】俞裕中，「公路隧道安全評估方與應用—以雪山隧道為例」，國立中央大學土木工程學系碩士論文，民國95年6月。
- 【10】徐文華、呂錦山、曾文瑞、楊雅玲，「海上貨物運輸風險因素分析與對策」，中華民國第七屆運輸安全研討會論文集，民國89年11月，頁271~279。
- 【11】徐鳳儀，「國立海洋科技博物館興建之潛在益本比評估」，國立海洋大學應用經濟研究所碩士學位論文，民國92年。
- 【12】郭富森，「公路隧道通風與交通控制整合研究」，國立中央大學土木工程學系碩士論文，民國87年6月。
- 【13】康志福、黃金輝、李綱，「隧道影像式交通環境偵測技術」，95年道路交通安全與執法研討會論文集，民國95年。
- 【14】彭松能，「如何由風險管理、防災應變及保險，達成捷運乘客運輸安全」，中華民國第八屆運輸安全研討會論文集，民國90年10月，頁110~115。
- 【15】張新立、陳家緯，「城際運輸系統之可忍受風險與可接受風險水準量測之研究，以國內航線為例」，中華民國運輸學會第15屆學術研討會，民國89年12月，頁569~578。
- 【16】曾平毅、黃健星，「交通肇事逃逸案件之警察行政成本分析」，交通事故與交通違規之社會成本推估研討會，民國89年1月，頁357-374。
- 【17】劉鈺文，「長公路隧道火災事故用路人疏散方案績效評估-以雪山隧道為例」，國立中央大學土木工程學系碩士論文，民國94年6月。
- 【18】熊啟中，「LED交通號誌可行性與推行方式之初步研究」，國立交通大學運輸

- 研究所碩士論文，民國88年。
- 【19】鄧家駒，風險管理，四版，華泰文化事業公司，民國94年。
 - 【20】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，第二十九卷，第一期，民國89年3月，頁181~212。
 - 【21】賴錫樟，「路面損壞對道路交通影響及其在養護應用上之研究」國立交通大學交通運輸工程研究所，民國73年。
 - 【22】鍾啟椿，「交通建設BOT案政府對民間造成之風險分析-以中正捷運線為例」，國立交通大學運輸研究所碩士論文，民國85年。
 - 【23】簡賢文，「長公路隧道安全管理白皮書」，行政院，民國92年。
 - 【24】內政部警政署國道公路警察局，雪山隧道自動化科技執法系統建置案需求規範與規格書，95年12月。
 - 【25】交通部統計處編印，「台灣地區旅運時間價值調查報告」，85年。
 - 【25】Eric Toffin, Gregory Pernot and Salah Buzar，交通技術雜誌200年九月。
 - 【26】Ulrich Hauptmanns&Wolfgang Werner, "Engineering Risks Evaluation and Valuation" 1990。
 - 【27】Sigbjörnsson, R., Einarsson, P., Erlingsson, S., Þráinsson, H.. Earthquake hazard and crustal movements in the Hvalfjörður area. Verkfræðistofnun Háskóla Íslands. Reykjavík, Iceland. 1994.
 - 【28】Guðni I. Pálsson, Risk Management in Hvalfjörður Tunnel, Department of Fire Safety Engineering Lund University, Sweden, 2004。
 - 【29】Königinstrasse, Risk Management for Tunnel, Munich Rein- surance Company,2003.
 - 【30】PiarC Committee on Road Tunnels (C5). Fire and Smoke Control in Road Tunnels. PIARC World Road Association, France, 1999.

