

# 應用 AHP 建立核心機電設備更新評選模式

## A Study of Core System Equipment Replacement Decision Model Using AHP

余銘忠<sup>1</sup>

國立高雄應用科技大學 企業管理系 副教授

yminchun@kuas.edu.tw

林忠寶<sup>2</sup>

國立高雄應用科技大學 企業管理系碩士在職專班 研究生

2104335120@gm.kuas.edu.tw

### 摘要

各核心機電設備之使用條件與環境條件不同，此外還包括設備使用次數、維修方式及維修品質等因素，另外各種設備各具不同的設計壽命、各設備之功能不同，且所擔任對於營運及安全的重要度亦有所不同。經過 14 年的運轉，營運相關之機電設備壽命將逐漸到來，故如何評選出不同設備不同的更新方案所考量的重要關鍵因素，以能在有限的財務成本下，進行設備更新，以維持高速鐵路安全及不間斷的營運。本研究蒐集及彙整相關文獻，藉以了解機電設備、鐵道業界設備所考量之關鍵因素，並透過與相關領域專家的深度訪談後，建立核心機電設備更新評選的評估準則。再者，利用分析層級程序法(AHP)進行評估準則分析並確立各準則的相對權重，以建立核心機電設備更新評選模式。由結果可知，在進行核心機電設備更新評選時最重要的關鍵為：人員危害風險、設備對系統安全性的影響、技術能力。冀望透過此完善且有系統化的評選模式，作為企業決策者的參考之依據。

**關鍵詞：**核心機電設備、設備更新、分析層級程序法

**Keywords：**Core System Equipment, Equipment Replacement, Analytic Hierarchy Process (AHP)

## 1. 緒論

### 1.1 研究背景

高速鐵路建設為政府有鑑於台灣西部走廊運輸服務品質日趨惡化，高速公路、台鐵等運輸南北交通容量漸趨飽和，為改善台灣西部走廊長途運輸服務水準，且期以效率、財務及引進外來先進技術等考量。交通部於 1996 年公告，經甄審、議約等程序，於 1998 年 07 月與台灣高速鐵路公司簽訂「台灣南北高速鐵路興建營運合約」等，推動民間投資參與之重大國家基礎建設(B.O.T)，行駛路線經台灣西部走廊共 11 縣市，總投資金額超過新台幣 5,000 億元。高鐵建設政府與民間之分工，如表 1-1 所示，高速鐵路建設計畫中政府辦理項目分別為用地取得、政府辦理工程、政府協助事項、政府監理事項，民間辦理項目分為土建工程、車站工程、軌道工程、基地工程及核心機電系統工程等項目。(交通部高速鐵路工程局，2007)

表 1-1 高速鐵路建設政府與民間之分工

政府辦理項目	預算經費	民間辦理項目	投資計畫預估經費
高速鐵路建設計畫 · 用地取得(719 億) · 政府辦理工程 (台北隧道共構段) · 政府協助事項 · 政府監理事項	1057 億元	高速鐵路建設計畫 · 土建工程 · 車站工程 · 軌道工程 · <b>核心機電工程</b> · 基地工程 高鐵計畫財務成本	3259 億元  816 億元
	1057 億元		4078 億元

資料來源：交通部高速鐵路工程局，台灣南北高速鐵路建設特刊—高速鐵路通車紀念特刊(2007)

台灣高速鐵路於 2000 年 12 月與台灣新幹線株式會社及台灣新幹線國際工程(股)公司簽訂「高鐵核心機電系統供應合約」及「高鐵核心機電系統整合安裝合約」,合約內容分別為核心機電設備設計與供應、核心機電系統安裝測試與整合測試。自 2003 年起於日本開始製造,2004 年於台灣進行安裝及測試,2006 年進行整合測試及試營運,2007 年台灣高速鐵路開始正式營運。

一般民眾皆知日常使用的一般電器設備皆會故障,價格便宜的電器會採故障後,直接另購買新品,若為高單價電器設備,可能需定期更換耗材、故障時會先進行送修,無維修價值或者有新功能電器則會另購買新品。陳憲聰(2011)指出任何一般機電設備的性能,都會隨時間增加而逐漸衰退,為了要使設備維持正常的功能,必須配合良好的維護作業。持續不斷的投入資源進行設備維護以達成維持高速鐵路安全及不中斷運行。核心機電設備是由機械及電氣設備組成,故機電設備有使用年限、設備會衰減、老化及故障,故在設備達到使用年限前,必須採取必要的措施,不致發生重大事故或長時間的延誤甚至發生停止營運。找出核心機電設備更新各方案之考量構面、因素,是本研究所要探討的。

## 1.2 研究動機

依交通部統計,台灣南北大眾運輸系統除高速公路、縣市公路系統、汽車運輸業外,主要南北縱貫鐵路運輸則由台鐵和台灣高速鐵路負責,由鐵路旅客人數及延人公里成長趨勢圖(圖 1-1),可知 2015 年鐵路運輸旅客人數(含台鐵及台灣高速鐵路)為 2.83 億人次,比 2014 年增加 0.1%。台灣高速鐵路近幾年運輸旅客每年約 5 千萬人次,受惠於快速、票價調整和 2016 年新增四站的貢獻,整體運量大增,以旅客人數-公里計,台灣高速鐵路逐年增加至 2016 年底為 104.9 億延人公里,已接近台鐵 109.7 億延人公里,顯示台灣高速鐵路運輸旅客量屢創新高,市占率攀升,成為台灣南北運輸極為重要之大眾運輸載具。高速鐵路運輸旅客除了車站服務、列車上服務、購票系統等旅客服務外,運轉所仰賴的即是核心機電系統設備。

台灣高速鐵路核心機電系統設備自 2003 年開始進行現場安裝,不同設備安裝位於不同地點,包含具空調機房、僅具通風功能的機房、無遮蔽物的開放空間(路堤、路塹、高架路段、山坡地、橋梁)及隧道內等地點,至 2016 年已歷經 13 年。

各核心機電設備之使用條件與環境條件不同,具體條件如負荷、溫度、濕度、振動、衝擊、環境污染、電磁場等,此外還包括設備使用次數、維修方式及維修品質等因素,另外各種設備各具不同的設計壽命、各設備之功能不同,且所擔任對於高速鐵路營運及安全的重要度亦有所不同。

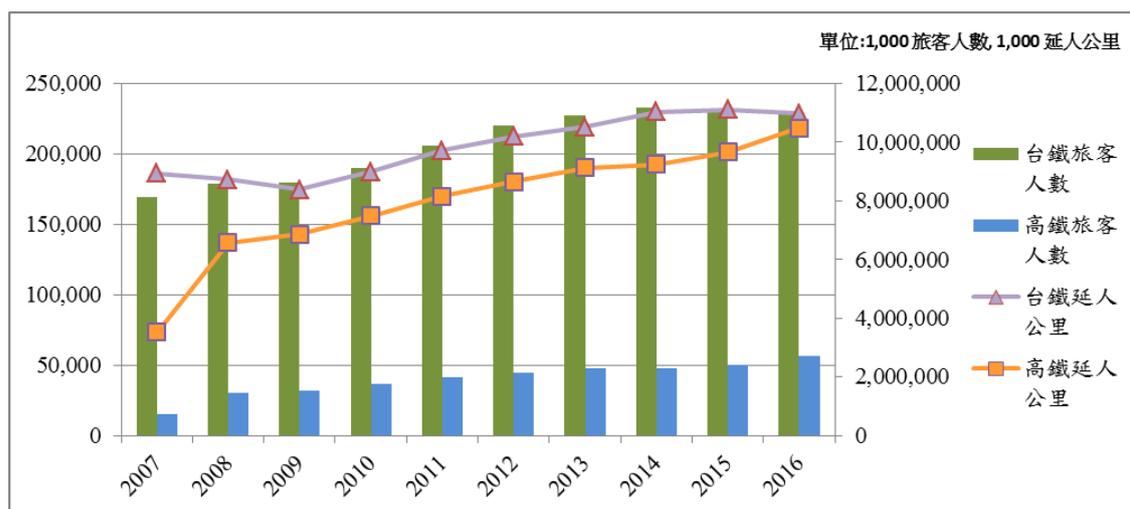


圖 1-1 台鐵及台灣高速鐵路旅客人數及延人公里成長趨勢圖

資料來源：交通部(2016)

部分非營運直接相關之機電設備（屬一般機電設備）業已進行故障後汰換、大修作為，經過 13 年的運轉，營運相關之機電設備壽命（其設計壽命較一般機電設備長）將逐漸到來，故應進行研究不同設備不同的更新方案：是否採既有設備繼續使用到故障後再更換，還是執行舊設備大修延壽繼續使用，或該採預防性更新；是否可使用（國產）替代品設備更新、或是採原廠設備進行更新等方案所考量的構面及因素，以能在有限的財務成本下，進行設備更新，以維持高速鐵路安全及不間斷的營運。探討的各構面及因素賦予權重，並依各種設備不同考量的因素，以期能正確選擇應執行的設備更新方案。

### 1.3 研究目的

由於目前核心機電系統設備面臨因環境因素、設計壽命、提高服務品質、可能因停產品之備品耗用完後，設備故障後無備品更換等因素，故高速鐵路公司應決定哪些設備採舊設備繼續使用到故障時更換、舊設備執行大修延壽後繼續使用、使用替代品設備進行更新或者使用原廠設備進行更新，藉由此研究達成下列目的：

- (一) 建立核心機電系統設備更新之目標層級架構，並應用分析層級程序法(AHP)計算出各項考量評估因素之權重，以找出策略關鍵因素。
- (二) 以關鍵因素的權重，進行評估以找出適合的設備更新策略，取得高速鐵路營運安全、可靠、不中斷營運與財務成本面間之平衡方案。
- (二) 本研究亦冀望透過對單一公司機電設備更新策略之研究，提供日後決策者在進行機電設備更新評估過程時之參考依據，並作為後續學者研究相關議題之參考。

## 2. 文獻探討

本章藉由政府法令法規、多方學者所製作的文獻、交通部文獻、機電相關產業分析及高速鐵路相關資料，進行分析與研究本研究之問題，共分為三個部分：第一節為高速鐵路核心機電設備簡介、第二節為設備更新方案之探討、最後，第三節為鐵路機構設備新設與維護之探討。

### 2.1 核心機電設備簡介

交通部高速鐵路工程局，「台灣南北高速鐵路機電系統工程概述」(2008)指出依台灣南北高速鐵路興建營運合約規定，核心機電設備包括五大機電系統及維修管理系統構成，五大機電系統包含車輛系統、電力系統（供電及電車線）、號誌系統、通訊系統及道旁機電系統。以五大系統作為旅客運輸載具—高速鐵路列車動力、行車控制的設備。

#### 一、車輛系統

台灣高速鐵路列車於興建整合測試期，行車最高測試速度為 315 公里／每小時，目前最高營運速度為 300 公里／每小時，將台北至左營 345 公里之行車時間縮短為 96 分鐘，並於 2016 年 7 月起，將路線向北延伸至台北南港 350 公里之營運距離。所使用 700T 高速列車主要為日本新幹線 700 系改良型，700T 列車有 989 席座位，高速鐵路路線之運能可達到每日 30 萬座位數。700T 列車之牽引動力型式為動力分散式列車(E.M.U)，每四節車為一單元，其中一節為無動力車廂，其餘三節為動力車廂，每 700T 列車包含 9 節動力車廂及 3 節無動力車廂，共 12 節車廂。每動力車廂各配置一組牽引變換裝置（3、7 與 10 車牽引變換裝置則配置在鄰車之 M2 車），每組牽引變換裝置內部配有 2 組變換器動力模組(Converter Power Module)。（中國工程師學會，2014）

#### 二、電力系統（供電及電車線系統）

高速鐵路全線採用電氣化運轉，電力系統功能像人體的心臟及血管，提供動力至所有列車。

- (一) 供電系統（牽引電力變電站及電力遙控系統 SCADA）：

高速鐵路全線採用電氣化運轉，供電系統提供牽引電力至所有列車。依高速鐵路線路之選定位置，路線共設立七座主變電站(BSS1~BSS7)。另外有兩座主變電站設置於維修基地內(BSS4-1、BSS7-1)，所有主變電站電力來源皆來自台灣電力公司三相 161kV 電壓 60Hz 頻率進相電源，經由主變電站內供電設備轉換至適當之電壓，並透過電力遙控系統由行控中心電力控制員進行電力遙控調配。另牽引電力變電站尚有六座饋電區分變電站 SP、六座輔助饋電區分變電站 SSP 及九座自耦變壓器區分變電站 ATP，共設置 30 座牽引電力變電站。（中國工程師學會，2014）

供電系統設備包含 161kV 氣體絕緣電力開關（以下簡稱 GIS）、72/36kV GIS、36kV 箱型氣體絕緣電力開關（以下簡稱 C-GIS）、161kV 主變壓器、自耦變壓器、操作變壓器、控制及保護電驛盤、主控制單元(MCU)、現場控制單元(LCU)、電力遙控系統遠端控制單元(SCADA RTU)、控制電源設備包括電池充電器、交直流配電盤等設備。

## （二）架空電車線系統(OCS)

是在軌道上方，架設輸送電力的各種纜線，以提供牽引電力給列車。由電車線（接觸線、主吊線、輔助主吊線、掛線、吊線、連接線）、電車線附屬設備（曲引裝置、區分裝置、終端裝置、橫渡線裝置）、支持物（電桿、橫檐、橫樑、支線、礙子）、隔離開關及比壓器等設備構成。（交通部高速鐵路工程局，2008）

## 三、號誌系統

為了能確保列車在高速行駛狀態下得到絕對的安全，號誌系統設備功能像人體的大腦中樞，控制台灣高速鐵路 700T 列車行車運轉，扮演極關鍵的角色，透過號誌系統的邏輯設計來達到安全運轉的目的(Fail Safe)。Fail Safe 是指，「當裝置產生錯誤動作的時候，會導向安全一方的機能」。當負責列車行駛安全確保的號誌裝置發生故障的時候，必須要總是能夠將這個裝置的動作導向安全的一方；指的是讓列車的速度變成停止，或者是朝向限速這樣的方向來動作。（交通部高速鐵路工程局，2008）

號誌系統設備包含行車控制系統、電子連鎖設備、自動列車控制系統、轉轍裝置、軌道電路、災害告警系統、遙測系統、軌道防護系統、電源供應裝置等機電設備。

## 四、通訊系統

高速鐵路營運距離長，具有大量的影像、聲音及資料，故須以現代最高速的光纖設備為骨幹進行傳輸。通訊系統功能像人體神經傳輸，提供全線列車運轉、安全監視、供電調度、行車號誌監控、旅客服務及設備維修等營運、維修、旅客及一般服務所需，傳遞高速鐵路全線訊息的媒介。通訊系統包含資料傳輸系統、有線電話系統、無線電系統、公共廣播系統、閉路電視系統、子母鐘系統、旅客列車資訊系統、設備監控系統及其他附屬設備等。（交通部高速鐵路工程局，2008）

## 五、道旁機電系統

道旁機電系統設備提供高速鐵路沿線設備高低壓電源、緊急逃生設備、高速鐵路沿線建築物內機電設施及監控系統；包含一般設備（標誌、照明）、配電系統（高壓電配電系統、低壓電配電系統、電源插座箱、電池和充電器）、建築物內設施（空調設備、通風設備、火災防護系統、入侵和警報系統、道旁建物設施遙控終端裝置 BS-RTU）、緊急設施（隧道緊急出口通風設備、隧道消防栓、隧道逃生出口昇降機、隧道電動排煙防火風門、緊急逃生梯入侵偵測系統、柴油引擎發電機）、道旁監控系統（道旁遙控裝置 Wayside RTU 和道旁副遙控裝置 Sub-RTU）等。（交通部高速鐵路工程局，2008）

## 2.2 設備更新方案

機電設備更新的緣由其一為依不同零件品質、特性、設計及安裝工程，在不同的環境下，有不同的使用壽命。在不同的運作模式及使用狀況下，故障設備對於運作系統有以下分類：可等待獨立設備故障修復期長、相關性較大的設備則等待修復期較短、無法容忍設備故障（設備故障後造成整個運作系統停止或者造成事故）。另一設備更新的緣由為科技技術的進步，生產出效率更高的先進設備以取代陳舊設備。

### 一、考量設備壽限的維修作為

在考量因壽限抵達前所採取的維修作為，如執行更換部分零件、執行設備大修、預防性更換整組設備或者使用該設備至故障無法使用後，再行更換。

Sheu and Chien (2004)指出一般故障模型包括兩種類型的故障。第一型（次要）小型故障可由更換一個小元件完修，而第二型的故障（重大故障）設備須被完全移除並修復（亦即更新）。成本結構包含：i) 第一個設備單元老化支出的費用、ii) 在使用壽限內發生的最小維修成本、iii) 由於設備運作過程中發生大型故障事件修復支出。

Toshio (1981)提出以最少的故障維修進行定期更換方式，設備更換方式類型共 3 種類型，5 種方式，彙整說明如表 2-1。

表 2-1 最少的故障維修進行定期更換方式

類型	設備更換方式	
一	隨機和元件耗損故障維修策略	
二	設計壽限前發生的隨機故障維修或更換新品	
三 1)	預防性維護模型	設備單元於預防性維護後具有與預防性維護前有相同的故障率
三 2)		設備單元經過預防性維護後，進而延長其壽限
三 3)		設備單元經過預防性檢修後，發現抵達壽限而進行更新

資料來源：Toshio (1981)

## 二、考量經濟效益的維修作為

隨著科技技術的進步，加上使用者需求，設備製造商設計生產出效率更高的先進設備以替換技術壽命將盡或不符合經濟的陳舊設備。

李新广與单士睿(2008)研究以技術經濟角度進行農機設備更新決策問題分析，以最低費用法可以衡量、較全面地考慮了影響農機設備更新的因素，採用統計與預測相結合的方法，作為設備更新策略重要的依據，同時須考量農機設備的可靠度、可維修性、環保性、成套性及適應性等，進行綜合評量以選擇最佳方案。

劉凱(2006)提出設備經濟壽命(表 2-2)，為進行設備更新的技術經濟分析過程中，會涉及到設備的壽命問題，從不同角度可將設備壽命劃分為物理壽命、使用壽命、技術壽命和經濟壽命。

表 2-2 設備壽命分類

設備壽命分類	說明
物理壽命	設備從全新狀態投入使用，直到其不再具有正常功能，無法繼續使用而必須報廢為止的整個時間過程
使用壽命	設備能提供有效服務所經歷的總時間
技術壽命	設備自使用之日起，因出現技術或性能更好的新設備或因其無法滿足現今或未來功能的要求，而被淘汰，全部所歷經的時間
經濟壽命	從經濟成本效益觀點出發，而確定的設備最佳使用周期

資料來源：劉凱(2006)

丁厚权(2001)指出中國大陸國內之設備維修基本上是以定期維修為主，隨著使用年增加，設備性能將逐漸劣化，經過預防維修可以恢復及保持設備性能。設備維修與更新最佳決策，設備分為兩類，第一類為設備的營運收入和設備本身的效率關係較大、另一類為設備的營運收入在其使用期間內固定，只是使用維護費用不斷增加。對於第一類可以以其收益的大小來確定維修策略及經濟壽命，而對後者可以以其成本的大小及年金成本法來確定其維修策略和經濟壽命。

楊元良(1997)指出設備更新涉及到設備之間的可替換性、設備維修或改造、資金來源、時間、相關法規和方案等因素的影響。實際案例中常用使用最佳更新期或經濟壽命來決定設備更新，由於可重複執行的設備使用方案往往不成立。

劉凱(2006)指出由於設備的磨損，使得維修費用及運作費用增加，隨使用時間增加而逐年增加費用。設備經濟壽命的模式分為不考慮資金時間價值的靜態模式及考慮資金時間價值的動態模式。企業採用技術經濟分析方法確定設備的經濟壽命，有助於確定設備的最佳使用周期、壽限、折舊年限、更新及報廢，以優化企業的成本管理。

## 三、替代性物料與型態變更

替代性物料係指為節省採購成本、確保維修物料來源、提升物料品質或增加維修效率考量，於不影響營運安全

之前提下，對於原物料或將來擬使用之物料，洽商特定國內、外製造商或公、私研究機構或學術單位，進行開發並確認可以取代原物料或可供未來使用之物料。

陳建財(2004)指出軌道運輸系統為了防範行車事故（如：列車脫軌、因列車事故造成人員傷亡、營運中斷等）發生，從設計、興建至營運階段，因系統、次系統、設備或零組件等項目之故障或失效，而導致行車事故，這些項目稱為「安全關鍵項目」。

「形態變更」係泛指高速鐵路系統有關之設施、設備及其相關附屬系統之作業軟、硬體組件或可替換單元，為因應作業之需，必須針對系統進行永久性之技術改裝或變更設計作業。形態變更分類為：第一類形態變更、第二類形態變更及第三類形態變更。（台灣高速鐵路公司，2016）

- （一）第一類形態變更：已選定納入「安全關鍵項目」清單之核心機電系統「營運正線」所屬之設施、設備及其相關附屬系統之作業軟、硬體組件或可替換單元，為因應作業之需，必須針對系統進行技術改裝或變更設計之作業。
- （二）第二類形態變更：已選定並納入「安全關鍵項目」清單非屬「營運正線」之系統設施、設備及其相關附屬系統之作業軟、硬體組件或可替換單元，為因應作業之需，必須針對系統進行技術改裝或變更設計之作業。
- （三）第三類形態變更：係泛指未選定納入「安全關鍵項目」清單之系統設施、設備及其相關附屬系統之作業軟、硬體組件或可替換單元，為因應作業之需，必須針對系統進行技術改裝或變更設計之作業。

#### 四、小結

由前述文獻探討中可得知各類型設備壽命分類，為進行設備更新的技術經濟分析過程，彙整為可供選擇的經濟性設備更新方案及其更新作為，如表 2-3 經濟性設備更新方案。究竟選擇哪一種方案，應評估設備的價值（殘值）、逐年維修費用、工作運作效率等相關資料，並考慮該設備設計壽命、計畫使用年數、資金的時間價值等因素，進行分析與計算各方案的費用現值，以最小的費用現值為最優方案。

表 2-3 經濟性設備更新方案

方案	經濟性設備更新作為	
一	舊設備繼續使用	考量經濟壽命，繼續使用舊設備
二	舊設備大修後繼續使用	大修所需費用很高，經過預防維修可以恢復設備性能，延長其壽命
三	舊設備現代化改裝	依據實際需要，進行設備功能提升改裝作業，如改裝後能達到生產要求的，可暫不更新
四	用高效率新設備替換	依據實際需要，進行設備功能提升，使用效率更高的設備以汰換陳舊落後的設備
五	用原型設備替換	原型設備功能符合所需，因增產或設備壽命等經濟因素，以原型設備進行增設或替換

資料來源：楊元良(1997)、丁厚叔(2001)、劉凱(2006)

依機電設備更新實績，將表 2-3 簡化如下四種設備更新方案：

- （一）方案 A：舊設備繼續使用；考量經濟壽命，直到設備故障且無法復原後，再進行設備更新。
- （二）方案 B：舊設備執行大修延壽使用；設備進行預防性更換部分零組件、預防維護保養後，恢復設備性能，以延長其使用壽命。
- （三）方案 C：以替代品或有多家供應商可進行設備更新；符合原設備功能或使用高效能新設備，可以其他廠牌型號設備替換或有多家供應商可供選商以進行設備更新。
- （四）方案 D：指定供應商進行設備更新（例如只能選擇使用原廠）；因受限於智財權、獨家技術限制或有其他經濟等因素考量，需使用原廠原型設備或下一世代設備替換。

### 2.3 鐵路機構設備新設與維護之探討

對於一般設備更新的文獻探討已彙整於第二節，而本研究主要探討對象為台灣高速鐵路，故本節再進行鐵路機

構設備研究相關文獻探討。

### 一、法令對於鐵路設備新建與養護之規定

鐵路修建養護規則(2014)第 5 條、第 6 條及第 164 條規定

「新建、改建或整修完畢之路線，鐵路機構非經檢查及試運轉，不得使用，但輕微之改建或整修，得省略試運轉。前項所稱輕微係指在現有路線上實施下列養護作業，並經完工檢查無行車安全之虞者。完工檢查應作成紀錄，備供主管機關查核。」

「鐵路機構應依規定經常檢查路線，如發現異狀，應即時修復或適時施以防止事變之措施。鐵路機構應建立養護檢查及稽核之單位與制度，以維護路線運轉及確保行車安全。」

「新設、改造、修復及經停用恢復使用之運轉保安裝置，鐵路機構非經檢查並確認其功能正常，不得使用。災害或行車事故而致運轉保安裝置有障礙時，亦同。前項檢查及確認，應經鐵路機構當值人員簽名作成紀錄，備供主管機關隨時查核。」

### 二、鐵路運輸之相關研究

郭承璋(2002)指出安全是運輸系統的首要條件，為了提升軌道運輸系統之設施安全標準，應進行投入龐大的建設投資金額，惟因內部或外部因素造成無法完全避免發生事故。所以運輸活動是有安全風險，必須加以系統化管理，以減少危害風險機率與嚴重度。

駱思斌(2002)指出鐵路運輸是陸上交通運輸系統之肇事率及死傷率(以平均延人公里數計算)最低的運輸系統，但當發生行車事故，其死傷事故之嚴重程度遠大於道路交通事故。故應探討影響鐵路行車安全的因素及事故嚴重性，並進行評估以及後續的改善，以期能減少事故發生的機率及減低危害影響程度。

陳火庸(2006)指出台灣軌道運輸業有最早發展的台鐵、阿里山鐵路、台糖鐵路，到現代化的台北捷運、高鐵、高雄捷運等鐵路業，以及擬議中的捷運系統等建設，台灣已逐步建構一個便捷的軌道運輸網絡，以改善大眾交通運輸系統，在發展建設軌道運輸同時，必須確保行車安全與準點。

台鐵發生多起重大事故案例，輕度事故造成列車抵達時間誤點、設施設備損失、台鐵的營收減少，重度事故則造成營運路線完全中斷，亦有多人死傷案例，台鐵形象受損、影響鐵路正常運行以及旅客權益甚鉅。

張璋麟(2015)指出台鐵西部幹線都會區轉型為鐵路捷運化，鐵路路線之容量近趨飽和，故當設備故障所造成之營運影響程度更大，而電車線系統設備之可靠度，直接影響行車安全，故提升電車線系統設備可靠度是極為重要的議題，因此進行電車線系統維修度及妥善率探討，包含可靠度、妥善率、可維修度、安全度(RAMS)等相互關聯性，並提出營運可靠度改善方案(採用較高可靠度、模組化易更換的零組件、改善維護工法等)，並投資人才、訓練維修人員，以養成技術經驗豐富的維修人才。

黃信評(2012)指出交通部臺灣鐵路管理局報告，台鐵號誌系統設備高故障率，且經常造成重大延誤及服務抱怨。雖然報告指出的故障相當多的案例是由於外部因素影響。軌道運輸系統導入可靠度、妥善率、可維修度(RAM)分析技術，作為台鐵號誌系統未來新建工程及改善作業之參考。

### 三、高速鐵路之相關研究

台灣高速鐵路公司網站(2016)「安全第一，是台灣高速鐵路公司所有作業的最高原則；服務優先，也是台灣高速鐵路公司所有作業的優先準則。在高速鐵路系統設計上，更是以『失效自趨安全』(Fail-Safe)的觀念，作為整體的根本，無論發生任何狀況，所有作為都以確保旅客與行車安全為最優先的考量。」

歐泰佑(2015)指出日本新幹線是最安全無發生死傷事故之高速鐵路號誌系統，台灣高速鐵路之號誌系統是採用日本新幹線技術，相當的安全可靠，而號誌系統所造成的列車延誤幾乎均是影響行車安全的轉轍器設備故障所造成，而如何改善設備故障率是維修人員現行應優先處置職務與績效目標。

范綱誠(2014)指出軌道運輸業因 BOT 建設，開始營運後，設備陸續使用到了維修保養期，必須進行耗材更換，但受限零件為獨家供應，商源因素短缺造成採購成本始終居高。為解決商源缺乏之窘境，積極進行替代性零件及設備開發作業，惟遴選供應商，委託予不適合的廠商進行開發零件及設備，而造成開發失敗，導致成本的損失。

萬國隆(2014)以台灣高速鐵路制定車輛維修策略之關鍵因素為研究對象，最重要考量之構面之為安全因素，其餘依其研究結果顯示權重依序為成本因素、人員因素及效率因素。如表 2-4 高速鐵路制定車輛維修策略關鍵項目，各構面因素權重最高為「安全行為之管理」，其餘依序為「維修使用設備之妥善率提升」、「維修規劃管理改進」及「專業技能提升」。各方案權重最高為「建立現場作業品管制度」，其餘依序為「推動外部驗證稽核認證」及「增加維修人員數量」。

表 2-4 台灣高速鐵路制定車輛維修策略關鍵項目

項次	主項目	子項目	項次	主項目	子項目
1	安全因素	安全文化之推行	3	人員因素	原廠技術轉移
		安全行為之管理			維修經驗傳承
		安全管理之落實			專業技能提升
2	成本因素	維修規劃管理改進	4	效率因素	維修使用設備之流程改善
		維修備品成本降低			維修使用設備之效能更新
		維修分析技術提升			維修使用設備之妥善率提升

資料來源：萬國隆(2014)

陳惠裕(2014)指出造成台灣高速鐵路營運組織低效能研究透過模糊語意偏好關係法調查並計算權重，列出關鍵因素，以重要度依序為「無法再投資設備、低意願開發國產化關鍵性物料和交貨期與採購成本無彈性考量機制」。公司經營的策略除了持續開發商源外，力求降低成本亦是為維持公司持續運轉必須推動的方針。由高速鐵路公司年報所列之營運費用，特別是修繕項目尚有改善空間包含零件開發技術、採購及物料管理的運作等能有所突破，則將不僅是提升組織運作效率，更是直接降低營運成本支出。

### 3. 研究方法

#### 3.1 研究架構

本研究針對核心機電設備更新評選文獻之內容以及進行專家訪談結果結合產業實務，進行分析研究，建立核心機電設備更新評選層級架構，依此層級架構以分析層級程序法(AHP)計算各項評估因素之權重，建立決策方案最合適的評估與選擇模式。

#### 3.2 專家訪談問卷

本研究以專家問卷方式進行專家意見之蒐集，訪談內容主要為核心機電設備更新評選需考慮之層級架構、構面及各層級因素之成對比較的相對重要性。兩階段問卷調查，預計發放問卷對象由作業相關主管、專員為主，第一階段之層級架構問卷，彙整出初級層級架構構面及因素，第二階段以第一階段所確認的層級架構，製成各屬性的成對比較問卷。

#### 3.3 分析層級程序法(AHP)

分析層級程序法(AHP)為匹茲堡大學教授 Thomas L. Saaty 於 1971 年提出，主要應用在不確定情況下及具有數個評估準則的決策問題，也是應用於確定情況下的多屬性決策分析，將複雜之問題予以系統化，利用兩兩相比較的方法及提供足夠的資訊，進行選擇，使得評估能更容易，減少決策風險。(簡禎富，2005)

##### 一、AHP 的評估尺度

AHP 評估尺度係採取九項，由基本劃分為五項：同等重要、稍微重要、頗為重要、極為重要、絕對重要，並賦予名目尺度之衡量值分別為 1、3、5、7、9；另有四項介於五個基本尺度間，並賦予 2、4、6、8 的衡量值，如表 3-1 所示。(Saaty, 1980)。

表 3-1 AHP 評估尺度意義及說明

評估尺度	定義	說明
1	同等重要	兩比較計劃的貢獻度具同等重要；等強。
3	稍重要	經驗與判斷稍微傾向喜好某一計劃；稍強。
5	頗重要	經驗與判斷強烈傾向喜好某一計劃；頗強。
7	極重要	實際顯示非常強烈傾向喜好某一計劃；極強。
9	絕對重要	有足夠證據肯定絕對喜好某一計劃；絕強。
2、4、6、8	相鄰尺度的中間值	需要折衷值時。

資料來源：Saaty (1980)

## 二、AHP 模式與使用步驟

利用 AHP 法評估問題時，主要有五項步驟(Saaty & Vargas, 1984)及一項方案衡量步驟：

- (1) 將複雜決策的問題系統化，列出相關的因素，以建立目標層級結構。
- (2) 建立評估屬性的成對比較矩陣。
- (3) 計算各評估因素間的相對權重。
- (4) 驗證一致性。
- (5) 建立個別屬性下之方案衡量，決定最佳方案。

### (一) 問題描述

複雜決策的問題，首先必須決定所得希望的目標，再進一步分析，以界定決策問題的範圍，有助於後續層級架構的建立及分析。

### (二) 建立層級結構

將複雜的問題系統化，蒐集專家或決策者之意見以進行建構層級目標。AHP 層級是由總目標、根本目標、屬性或因素而構成目標層級架構，如圖 3-3 所示，亦稱為部分關係的 AHP 層級（盧敏雄，2003）。

### (三) 計算各層級屬性間之權重

目標層級結構建構完成後，接下來依前述一、AHP 的評估尺度進行因素間成對比較，以建立成對比較矩陣。依據專家問卷調查的結果，建立成對矩陣：將問卷結果之因素衡量值置於成對比較矩陣 A 的上三角部分， $a_{12}$  代表因素 1 相對於因素 2 的相對重要性，而下三角部分的衡量值數值為上三角位置的倒數，亦即  $a_{21} = 1/a_{12}$ 。n 個屬性  $A_1, A_2, \dots, A_n$  成對比較矩陣 A，如式(3.1)所示。（簡禎富，2005）

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & a_{23} & a_{2n} \\ \vdots & 1/a_{23} & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

若被評估的因素有 n 個，則需要進行  $C_2^n$  次的成對比較，因此每一根本目標的因素總數 n 最好控制在 7 個以下，即不超過 21 組成對比較為原則。（簡禎富，2005）

### (四) 計算特徵值與特徵向量

求出成對矩陣後，使用數值分析中的特徵值解法，找出特徵值向量。根據數值分析理論，若 A 為一個  $n \times n$  的一致性矩陣時，A 的特徵向量 X 與特徵值  $\lambda$  和矩陣 A 的關係式如式(3.2)所示。（簡禎富，2005）

$$AX = \lambda X \quad (3.2)$$

經移項後，可得式(3.3)：

$$(A - \lambda I) X = 0 \quad (3.3)$$

式(3.4)中特徵向量 X 必須為非零向量，且  $\det(A - \lambda I) = 0$ 。將行列式解開後，即可求得矩陣 A 的 n 個特徵值  $\lambda$ ，其中最大特徵值標記為  $\lambda_{\max}$ 。如式(3.1)所示， $a_{ij}$  為屬性  $A_i$  對於屬性  $A_j$  之權重，並定義  $a_{ij} = w_i/w_j$ ，則成對矩陣可以改寫如式(3.4)。（簡禎富，2005）

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \cdots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \cdots & w_n/w_n \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

令  $W$  為  $n$  個屬性的權重向量，也就是  $W = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$ ，則成對比較矩陣  $A$  與權重向量  $W$  內積可得式(3.5)。(簡禎富，2005)

$$A \cdot W = \begin{bmatrix} w_1 & w_1 & \cdots & w_1 \\ w_2 & w_2 & \cdots & w_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n & w_n & \cdots & w_n \\ w_1 & w_2 & \cdots & w_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} nw_1 \\ nw_2 \\ \vdots \\ nw_n \end{bmatrix} = n \cdot w \quad (3.5)$$

依據式(3.2)對特徵值向量之定義，可發現式(3.5)中權重向量  $W$  恰為成對比較矩陣  $A$  之特徵向量，且  $n$  為特徵值之一，故式(3.5)可改寫為式(3.6)。(簡禎富，2005)

$$A \square W = \lambda_{\max} \square W \quad (3.6)$$

依據式(3.3)對特徵值向量之定義，可解出多個  $\lambda$  值，可找出最大的特徵值  $\lambda_{\max}$ ，如式(3.7)。(簡禎富，2005)

$$|A - \lambda I| = \begin{vmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & a_{23} & a_{2n} \\ \vdots & \frac{1}{a_{23}} & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \cdots & 1 \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} \lambda & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \lambda & 0 & 0 \\ \vdots & 0 & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \lambda \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \vdots & 0 & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 - \lambda & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 - \lambda & a_{23} & a_{2n} \\ \vdots & \frac{1}{a_{23}} & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \cdots & 1 - \lambda \end{vmatrix} = 0 \quad (3.7)$$

#### (五) 驗證一致性

決策者的偏好即成對比較結果必須滿足遞移性。舉例來說，若  $A : B = 4 : 1$  且  $B : C = 2 : 1$ ，則  $A : C = 8 : 1$ 。然而，人為主觀的判斷結果不易完全滿足遞移律，因此可容許遞移性稍微降低，但為了決策者偏好一致性的程度，即驗證成對比較矩陣的一致性，可使用一致性指標(Consistency index, C.I.)，如式(3.8)及一致性比率(Consistency ratio, C.R.)，如式(3.9)作為檢定依據。(簡禎富，2005)

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \begin{cases} = & 0 \text{ 表示前後判斷具完全一致性} \\ > & 0.1 \text{ 表示前後判斷有偏差不連貫} \\ \leq & 0.1 \text{ 表示前後雖不完全一致，但為可接受的偏誤} \end{cases} \quad (3.8)$$

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \quad (3.9)$$

R.I.值如 Saaty 所提出的隨機指數表 3-2 所示。以式(3.9)計算，當  $C.R. \leq 0.1$  時，則成對比較矩陣的一致性程度表示為可被接受。(簡禎富，2005)

表 3-2 隨機指數表

階數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
R.I.值	N.A.	N.A.	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.58

資料來源：Saaty (1990)

#### (六) 建立個別屬性下之方案衡量

建立問題目標各待選方案之個別屬性衡量表，進行方案衡量，說明如下。(簡禎富，2005)

- (1) 依前述 (三) 計算各層級屬性間之權重並完成驗證調整後之各評選因素權重。
- (2) 建立問題目標之各待選方案衡量表。
- (3) 加權模式與方案排序。

由專家進行問題目標各方案之各別屬性衡量項目評分，以數位專家各衡量項目之加權評分計算各方案之總分，即為各屬性的相對重要性權重\*專家算數平均分數之加總分數，逐層加權後的總和為該方案於問題目標之得分，亦

為所有方案的相對評估值。方案間再進行比較，求得相對於問題目標之各方案排序，可以決定各個方案的優劣，作為實際決策的參考。（簡禎富，2005）

#### 4. 研究結果分析

本章乃依據第三章研究方法探討所得內容及架構，應用 AHP 法進行分析探討。本章分為四個部分：第一節為核心機電設備更新評選項目內容分析、第二節為確認設備更新評選準則及其層級架構、第三節為依據專家問卷結果進行 AHP 權重分析、第四節為進行核心機電設備更新方案評選決策。

##### 4.1 核心機電設備更新評選項目內容分析

為瞭解核心機電設備更新進行評選時的重要評估項目，本研究彙整近年來鐵道相關文獻以及一般機電設備常用的因素項目共計 15 項。各項衡量評估準則為能易於瞭解並具有可量化之表示，調整部分因素項目如表 4-1 說明。

表 4-1 因素項目之調整說明

項次	原探討所得之因素項目	調整後因素項目
1	執行人員危害風險評估	人員危害風險
2	落實設備安全管理系統	廠牌設備安全紀錄
3	確認符合行車安全要求	設備對系統安全性的影響
4	設備停產或停止販售	設備零件供應率
5	工程實績	廠商工程實績
6	專用或一般通用性設備	設備使用實績

而在設備大修、更新採購等重大支出專案，應進行效益分析，包含可量化及不可量化預期效益等，以評估該專案可行性；故新增預期效益因素項目。

於討論設備可靠度除了原探討所得之因素項目-設備故障率(MTBF)外，亦常包含平均修復時間(MTTR)，就是從出現故障到恢復中間的這段時間。MTTR 越短表示易恢復性越好。故新增設備易修性(MTTR)因素項目。

本研究透過相關文獻彙整並配合核心機電設備更新的需求，將設備更新的評選準則歸納為四大構面，其內容如表 4-2 所示。並依該準則設計初期專家問卷，請專家協助挑選出適合之評估準則。

表 4-2 核心機電設備更新之評選準則

項次	影響構面	構面因素
1	安全性	人員危害風險
		廠牌設備安全紀錄
		設備對系統安全性的影響
2	可行性	設備零件供應率
		技術能力
		廠商工程實績
		設備使用實績
3	成本與效益	採購成本
		採購時效
		採購商源
		維修成本
		預期效益
4	可靠度及可維修性	設備故障率(MTBF)
		設備易修性(MTTR)
		可維修性(Maintainability)
		工程或設備可靠度
		品質管制能力

#### 4.2 確認設備更新評選準則及層級架構

彙整軌道業及一般機電設備相關文獻，透過專家問卷及訪談的調查方式，針對衡量構面及評選項目重要度分析，再依據專家問卷及訪談結果進行增減，減少問卷設計的錯誤並提升問卷信效度，以作為第二階段建立層級架構問卷之基礎。

##### 一、初期專家問卷回收狀況

本研究的問卷設計屬於專家問卷，問卷內容著重於核心機電設備更新評選準則的專業認知，故針對該特性共發放 10 份第一階段專家問卷，回收共計 10 份，回收率 100%，有效問卷計有 10 份，達 100%。

##### 二、受測對象專家選取

第一階段受測對象全部為男性 100%；學歷分佈狀況為：大專院校 60%、研究所以上 40%；職務分佈狀況為：單位主管 40%、副主管/駐地主管 30%、資深督導/工程師 30%；部門分佈狀況為：涵蓋車輛、電力、電車線、通訊號誌等核心機電系統單位，可分為技術及管理部門類別；相關工作年資分佈狀況為：20 年以上 100%。對本研究之議題來說，受測對象皆具有豐富的相關專業知識及認知，足以勝任為本研究之專家。

##### 三、確立核心機電設備更新評估準則

透過專家問卷之方式，採用李克特的五點尺度量表進行評量，分別以 1~5 分的得分方式作為選定核心機電設備更新評選準則。各項準則在平均 4 分以下者乃是屬於較不重要的評估準則，需透過專家訪談後結果，將同質性高的評估準則予以剔除或合併，避免重複衡量。

在「成本與效益」構面中，評估準則「維修成本」平均分數雖僅 3.9 分，但經專家訪談結果，考量逐年維修成本，為保持或恢復設備技術性能所支付的費用。當新增設備時，亦需考量新增備品、儀器、機具、技術人力培訓等維修能量成本。此評估準則保留。

在「可靠度及可維修性」構面中，評估準則「工程或設備可靠度」平均分數雖僅 3.9 分，但經專家訪談結果，考量於既定的時間內，在特定的環境條件下，完成新增設備工程或設備大修作業的成功機率，應屬需關注項目之一，故此評估準則保留。

在「可靠度及可維修性」構面中，另一評估準則「品質管制能力」平均分數雖僅 3.9 分，但經專家訪談結果，

考量設備品質會影響設備失效，包括 (1)故障(2)不穩定(3)功能減退等設備狀態。若是新設備，其設計壽命曲線、預估，應符合營運要求。製造商品質管制能力高低可從紀律和文件管控，來執行生產和品質管控流程，即品質管理程序。故此評估準則保留。

透過與專家訪談後之結果，本研究層級架構如圖 4-1。

### 4.3 應用 AHP 進行權重分析

本研究依據第一階段初期專家問卷調查之結果，彙整出 4 個構面及 17 項評估準則的衡量架構（如圖 4-1），並以此架構作為後續進行核心機電設備更新評選之衡量依據。第二階段正式專家問卷，乃是使用 AHP 進行權重計算，並提出本研究設備更新之評選準則。

#### 4.3.1 正式專家問卷回收狀況

本階段之專家問卷是應用 AHP 之層級架構，除了各核心機電系統維護單位，亦包含營運規劃、企劃及技術開發等單位專家，透過專家的專業之知識與相關工作經驗，得到評選設備更新的準則權重。本研究共發出 15 份問卷，回收 15 份問卷，回收率 100%，有效問卷 15 份，達 100%。

#### 4.3.2 受測對象基本資料分析

第二階段受測對象資料分析：男性佔 86.7%、女性 13.3%；學歷分佈狀況為：大專院校 53.3%、研究所以上 46.7%；職務分佈狀況為：單位主管 60%、副主管/駐地主管 20%、工程師/（高級）專員 20%；部門分佈狀況為：涵蓋車輛、電力、電車線、通訊號誌等核心機電系統業務部門以及營運規劃部門，可分為技術及管理部門類別；相關工作年資分佈狀況為：20 年以上 66.7%、11~20 年 33.3%對本研究之議題來說，受測對象皆具有豐富的相關專業知識及認知，足以勝任為本研究之專家。

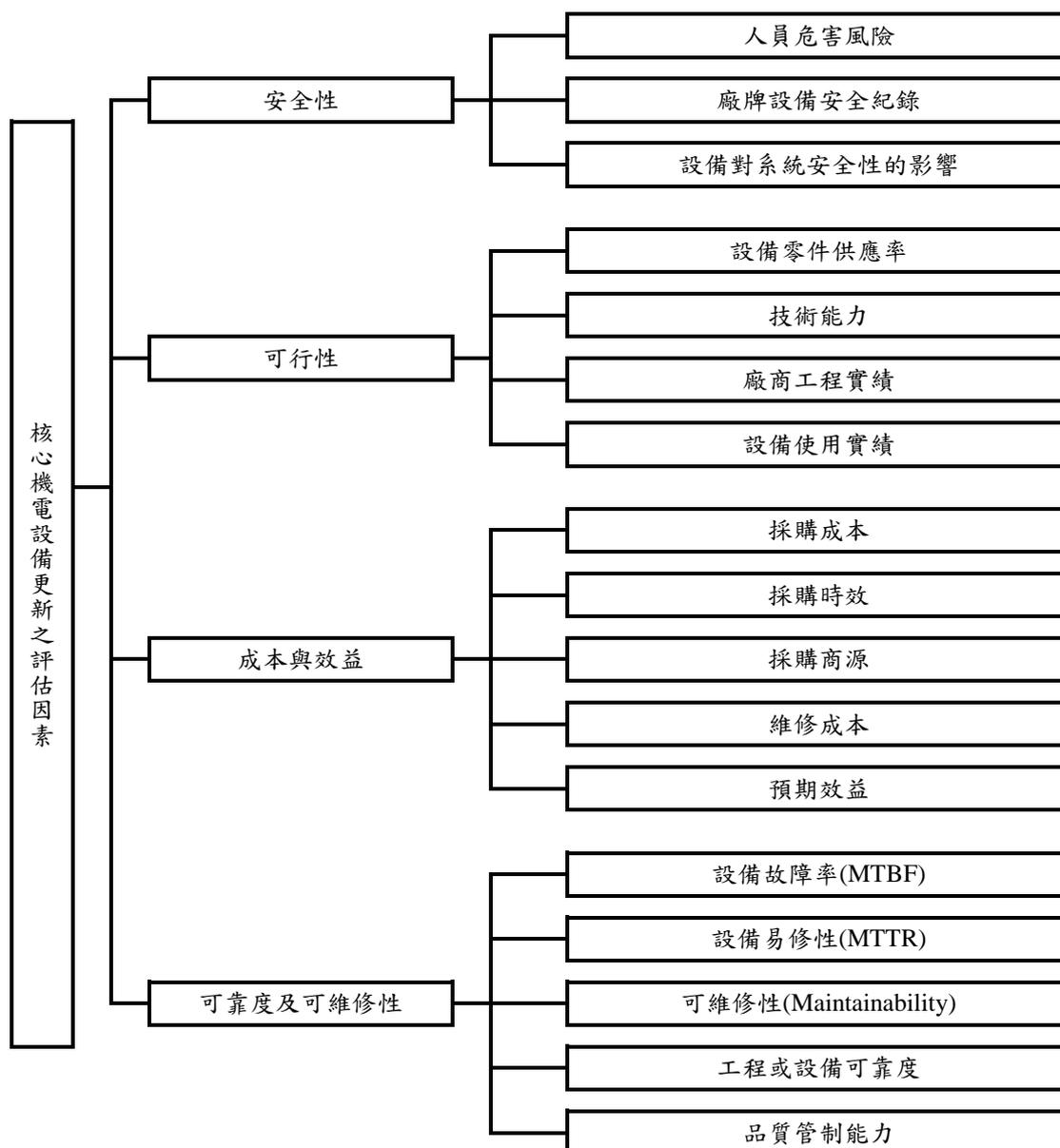


圖 4-1 核心機電設備更新評選架構圖

### 4.3.3 權重分析

本研究將以決策工具 Power Choice 進行核心機電設備更新評選及計算分析。

#### 一、核心機電設備更新評選構面衡量分析

本研究之核心機電設備更新評選可分為四個主要構面，經專家訪談，由專家進行兩兩比較給予適當分數，利用決策分析工具計算後，C.R 值均小於 0.1，表示符合一致性要求，計算之結果如表 4-3 所示。

表 4-3 核心機電設備更新評選構面權重及重要性排序

項次	影響構面	權重	重要性排序
1	安全性	0.413068	1
2	可行性	0.270081	2
3	成本與效益	0.178304	3
4	可靠度及可維修性	0.138546	4
$\lambda_{\max}=4.007507$ C.I.=0.002502    C.R.=0.002781			

由表 4-3 可得知，本研究之「核心機電設備更新策略關鍵因素之研究」目標層下之衡量構面，其權重依序為：安全性(0.413068) > 可行性(0.270081) > 成本與效益(0.178304) > 可靠度及可維修性(0.138546)。本構面層之一致

性 C.I.= 0.002502, C.R.= 0.002781, 兩者皆小於 0.1, 表示符合一致性程度要求。

接著依序針對安全性、可行性、成本與效益、可靠度及可維修性等構面的評估準則進行衡量分析。

(一) 「安全性」構面的評估準則衡量分析

由表 4-4 可得知, 在「安全性」構面層下之評估準則, 其重要性依序為: 人員危害風險(0.492133) > 設備對系統安全性的影響(0.379333) > 廠牌設備安全紀錄(0.128534)。顯示受訪專家認為「人員危害風險」是「安全性」構面下之最重要的評估準則。本層次架構的一致性 C.I.= 0.003782, C.R.= 0.006521, 兩者皆小於 0.1, 表示符合一致性程度要求。

表 4-4 安全性構面評估準則權重及重要性排序

項次	評估準則	局部權重	重要性排序
1	人員危害風險	0.492133	1
2	廠牌設備安全紀錄	0.128534	3
3	設備對系統安全性的影響	0.379333	2
$\lambda_{\max}=3.007565$ C.I.=0.003782    C.R.=0.006521			

(二) 「可行性」構面的評估準則衡量分析

由表 4-5 可得知, 在「可行性」構面層下之評估準則, 其重要性依序為: 技術能力(0.504859) > 設備使用實績(0.223777) > 設備零件供應率(0.15697) > 廠商工程實績(0.114394)。顯示受訪專家認為「技術能力」是「可行性」構面下之最重要的評估準則。本層次架構的一致性 C.I.= 0.002179, C.R.= 0.002422, 兩者皆小於 0.1, 表示符合一致性程度要求。

表 4-5 可行性構面評估準則權重及重要性排序

項次	評估準則	局部權重	重要性排序
1	設備零件供應率	0.15697	3
2	技術能力	0.504859	1
3	廠商工程實績	0.114394	4
4	設備使用實績	0.223777	2
$\lambda_{\max}=4.006538$ C.I.=0.002179    C.R.=0.002422			

(三) 「成本與效益」構面的評估準則衡量分析

由表 4-6 可得知, 在「成本與效益」構面層下之評估準則, 其重要性依序為: 採購成本(0.348417) > 維修成本(0.224929) > 預期效益(0.177017) > 採購商源(0.135751) > 採購時效(0.113887)。顯示受訪專家認為「採購成本」是「成本與效益」構面下之最重要的評估準則。本層次架構的一致性 C.I.= 0.004949, C.R.= 0.004419, 兩者皆小於 0.1, 表示符合一致性程度要求。

表 4-6 成本與效益構面評估準則權重及重要性排序

項次	評估準則	局部權重	重要性排序
1	採購成本	0.348417	1
2	採購時效	0.113887	5
3	採購商源	0.135751	4
4	維修成本	0.224929	2
5	預期效益	0.177017	3
$\lambda_{\max}=5.019797$ C.I.=0.004949    C.R.=0.004419			

(四) 「可靠度及可維修性」構面的評估準則衡量分析

由表 4-7 可得知, 在「可靠度及可維修性」構面層下之評估準則, 其重要性依序為: 工程或設備可靠度(0.26735) > 設備故障率(MTBF) (0.255869) > 可維修性(Maintainability) (0.232455) > 設備易修性(MTTR) (0.150683) > 品質管制能力(0.093643)。顯示受訪專家認為「工程或設備可靠度」是「可靠度及可維修性」構面下之最重要的評估準則。本層次架構的一致性 C.I.= 0.005382, C.R.= 0.004805, 兩者皆小於 0.1, 表示符合一致性程度要求。

表 4-7 可靠度及可維修性構面評估準則權重及重要性排序

項次	評估準則	局部權重	重要性排序
1	設備故障率(MTBF)	0.255869	2
2	設備易修性(MTTR)	0.150683	4
3	可維修性(Maintainability)	0.232455	3
4	工程或設備可靠度	0.26735	1
5	品質管制能力	0.093643	5
$\lambda_{\max}=5.021527$ C.I.=0.005382    C.R.=0.004805			

## 二、整體權重結果分析

本研究是針對核心機電設備更新策略之評估準則關鍵因素決策模式，透過專家協助產生專家問卷結果，並應用 AHP 及決策工具求得出不同評估準則之權重值。表 4-8 是針對本研究架構中所有的評估準則進行比較分析，藉以瞭解影響各個核心機電設備更新策略之評估準則的重要性。

表 4-8 核心機電設備更新之評估準則權重及重要性排序

項次	構面	評估準則	整體權重	重要性排序
1	安全性	人員危害風險	0.203285	1
2		廠牌設備安全紀錄	0.053093	6
3		設備對系統安全性的影響	0.15669	2
4	可行性	設備零件供應率	0.042395	7
5		技術能力	0.136353	3
6		廠商工程實績	0.030896	13
7		設備使用實績	0.060438	5
8	成本與效益	採購成本	0.062124	4
9		採購時效	0.020306	16
10		採購商源	0.024205	14
11		維修成本	0.040106	8
12		預期效益	0.031563	12
13	可靠度及可維修性	設備故障率(MTBF)	0.03545	10
14		設備易修性(MTTR)	0.020877	15
15		可維修性(Maintainability)	0.032206	11
16		工程或設備可靠度	0.03704	9
17		品質管制能力	0.012974	17

根據表 4-8 中評估準則整體權重分析之結果，於本研究架構 17 項評估準則中，人員危害風險於機電設備更新評選時，考量之最關鍵因素，其次為設備對系統安全性的影響，再者為技術能力。另外，在 17 項評估準則中，專家認為重要性較低的項目為採購商源、設備易修性(MTTR)、採購時效及品質管制能力，四者皆小於 0.03，表示專家認為在進行機電設備更新評選決策時，此四項評估準則所要考量之比例較其他評估準則來得低。

### 4.3.4 不同角色屬性之權重分析

為瞭解本研究之決策準則及不同單位屬性之專家的考量因素。本研究將專家所屬單位分為二個不同類型：技術單位及管理單位進行比較分析，藉此瞭解不同單位屬性在進行核心機電設備更新評選時之觀點，分析結果如下。

#### 一、核心機電設備更新評選構面衡量分析

在核心機電設備更新評選架構的主要四大構面，技術單位及管理單位兩個單位屬性不同之專家的選擇權重比較分析結果，並進行不影響營運列車運行之設備、影響營運列車運行之設備及不分類別設備比較分析。

不影響營運列車運行之設備在核心機電設備更新評選架構的主要四大構面，技術單位及管理單位兩個單位屬性

不同之專家的選擇權重比較分析結果，如表 4-9 所示。

表 4-9 核心機電設備更新評估主要構面：兩單位屬性專家比較

項次	構面	技術單位		管理單位	
		整體權重	排序	整體權重	排序
1	安全性	0.337761	2	0.497885	1
2	可行性	0.349654	1	0.192472	2
3	成本與效益	0.181743	3	0.167534	3
4	可靠度及可維修性	0.130842	4	0.14211	4

由上述分析結果可得知，技術單位與管理單位兩者之觀點有部分差異。技術單位之專家認為可行性的最重要性最高，安全性次之，其中可靠度與可維修性為重要性較低的構面。管理單位之專家認為安全性的重要最高，可行性次之，其中可靠度與可維修性為重要性較低的構面。

## 二、兩單位屬性專家之權重比較分析

彙整核心機電設備更新評選之所有評估準則的權重分析，透過分析之結果，藉以瞭解分屬兩種不同單位屬性之專家在面臨設備更新評選的決策問題時，對各個評估準則的重視程度，對於不影響營運列車運行之設備以及會影響營運列車運行之設備，分析結果如下。

表 4-10 核心機電設備更新評選準則：兩單位屬性專家比較

項次	構面	評估準則	技術單位		管理單位	
			整體權重	排序	整體權重	排序
1	安全性	人員危害風險	0.166906	1	0.243644	1
2		廠牌設備安全紀錄	0.045746	8	0.060317	5
3		設備對系統安全性的影響	0.125109	3	0.193924	2
4	可行性	設備零件供應率	0.067187	5	0.023807	10
5		技術能力	0.164221	2	0.104253	3
6		廠商工程實績	0.040245	11	0.021716	11
7		設備使用實績	0.078	4	0.042696	8
8	成本與效益	採購成本	0.050405	6	0.072916	4
9		採購時效	0.021236	16	0.017875	14
10		採購商源	0.026977	13	0.019833	13
11		維修成本	0.041415	10	0.035695	9
12		預期效益	0.041711	9	0.021215	12
13	可靠度及可維修性	設備故障率(MTBF)	0.022491	14	0.05073	6
14		設備易修性(MTTR)	0.022241	15	0.01656	16
15		可維修性(Maintainability)	0.047527	7	0.01755	15
16		工程或設備可靠度	0.028187	12	0.042977	7
17		品質管制能力	0.010396	17	0.014292	17

由表 4-10 中所有評估準則分析結果中，可得知不同單位屬性之專家所重視的準則略有不同。技術單位專家認為核心機電更新評選的評估準則，依重要性排序為：人員危害風險、技術能力、設備對系統安全性的影響等三者重要性較高。較不重要的評估準則為：設備易修性(MTTR)、採購時效、品質管制能力。技術單位首重人員危害風險，主要是設備在營運、維修、工程中，對人員之危害風險高低會影響營運及維修、工程進度，希望避免因人員事故導致影響公司社會責任，造成公司之損失，故，技術單位希望能夠落實清查、辨識其權責範圍內之職業安全衛生危害，藉以進一步實施風險評估及落實風險控制，令人員事故案件為零。

管理單位專家認為核心機電更新評選的評估準則，依重要性排序為：人員危害風險、設備對系統安全性的影響、

技術能力等三者重要性較高。較不重要的評估準則為：可維修性(Maintainability)、設備易修性(MTTR)、品質管制能力。管理單位與技術單位專家認知相同，首重人員危害風險。

#### 4.4 核心機電設備更新方案評選決策

於第三節透過專家訪談問卷並運用決策分析工具分析後，建立了核心機電設備更新評估準則架構及權重，本節將應用第三節之核心機電設備更新評選的權重，由專家對各項評估準則評分，進行設備更新方案評選，為個案公司之指定設備找出最適合之更新方案。

##### 一、核心機電設備更新方案

彙整第二章第二節設備更新方案，本研究採用四個方案，說明如下。

- (一) 方案 A：舊設備繼續使用；考量經濟壽命，直到設備故障且無法復原後，再進行設備更新。
- (二) 方案 B：舊設備執行大修延壽使用；設備進行預防性更換部分零組件、預防維護保養後，恢復設備性能，以延長其使用壽命。
- (三) 方案 C：以替代品或有多家供應商可進行設備更新；符合原設備功能或使用高效能新設備，可以其他廠牌型號設備替換或有多家供應商可供選商以進行設備更新。
- (四) 方案 D：指定供應商進行設備更新（例如只能選擇使用原廠）；因受限於智財權、獨家技術限制或有其他經濟等因素考量，需使用原廠原型設備或下一代設備替換。

##### 二、個案實證分析

本案例進行核心機電設備更新方案評選實證，由 X 設備相關的三位專家進行評分，評分人員為該設備之單位主管及副主管，應用第三節所得之評估準則權重並由專家對各項評估準則評分，為個案進行實證分析，找出最適合之設備更新方案，其步驟如下：

- (一) 應用第三節之核心機電設備更新評選的權重，建立出設備更新評選的關鍵評估準則及整體權重。
- (二) 本核心機電設備 X 設備更新進行評選建議執行方案。
- (三) 由專家對各項評估準則分別進行方案 A ~ 方案 D 評分作業。
- (四) 以 0 ~ 100 分的分數評分，越重要或成效越佳分數越高、重要度一致或方案可達成評估準則相同成效時，則得分相同。
- (五) 各方案分別計算加權後總分。

本階段專家們進行 X 設備更新各方案評估準則評分，各評選準則得分及總分如表 4-11，依評選結果，更新方案優先順序為方案 A > 方案 C > 方案 D > 方案 B，本案例 X 設備以方案 A：舊設備繼續使用（考量經濟壽命，直到設備故障且無法復原後，再進行設備更新）評選為最佳之方案。

表 4-11 個案 X 設備更新方案評選結果

項次	構面	權重	評估準則	權重	排序	方案 A	方案 B	方案 C	方案 D
1	安全性	0.413	人員危害風險	0.2033	1	86.67	73.33	82.33	81.67
2			廠牌設備安全紀錄	0.0531	6	81.67	75.00	80.00	81.67
3			設備對系統安全性的影響	0.1567	2	80.00	70.00	70.00	71.67
4	可行性	0.27	設備零件供應率	0.0424	7	64.33	63.33	77.33	71.67
5			技術能力	0.1364	3	89.33	83.33	86.67	86.67
6			廠商工程實績	0.0309	13	85.00	71.67	70.00	71.67
7			設備使用實績	0.0604	5	88.33	76.67	85.00	85.00
8	成本與效益	0.178	採購成本	0.0621	4	89.67	81.00	83.33	75.00
9			採購時效	0.0203	16	73.33	74.33	80.00	70.00
10			採購商源	0.0242	14	82.00	76.00	83.33	68.33
11			維修成本	0.0401	8	64.67	58.33	79.67	73.33
12			預期效益	0.0316	12	77.33	85.00	74.00	40.67
13	可靠度及可維修性	0.139	設備故障率(MTBF)	0.0355	10	56.67	71.67	82.33	85.00
14			設備易修性(MTTR)	0.0209	15	86.67	80.00	65.00	63.33
15			可維修性(Maintainability)	0.0322	11	83.33	80.00	65.00	58.33
16			工程或設備可靠度	0.037	9	63.33	73.33	81.00	86.67
17			品質管制能力	0.013	17	70.00	67.67	71.67	71.67
小計						81.20	74.54	79.00	76.69

## 5. 結論與建議

### 5.1 結論

高速鐵路建設之核心機電系統為自 2003 年起開始進行製造、安裝，截至目前 2017 年業已歷經 14 年。核心機電設備包含一般機電設備、工業用設備、高速鐵路專用設備及獨特智財權技術設備，其設計使用壽命均有不同。為維持高速鐵路安全及不中斷運行，必須持續不斷的投入資源進行設備維護，故在設備達到使用年限前，必須採取必要的措施，不致發生長時間的延誤、停止營運甚至發生重大事故。所以，核心機電設備即將進入更新汰換期，擬定更新策略之關鍵因素評選項目、權重及更新方案之評選尤為重要。

基於上述種種之因素，核心機電設備更新前應建立一套完善的評選決策模式供後續設備汰換決策問題時使用。本研究透過相關文獻的蒐集及彙整，藉以了解機電設備、鐵道業界設備所考量之關鍵因素，並透過與相關領域專家的深度訪談後，建立核心機電設備更新評選的評估準則，進而確立評選架構。再者，應用 AHP 法進行分析，藉此獲得各評估準則之局部權重、整體權重及其優先順序，建立核心機電設備更新評選模式後，由案例設備專家進行實證分析，以驗證其為可行且有效的評選模式，協助業者選出最合適之設備更新決策方案，總結如下：

- (一) 核心機電設備更新評選架構中的四個評估構面，依設備分類其重要性排序為安全性、可行性、成本與效益、可靠度及可維修性，而「安全性」為影響設備更新評選最重要之因素；「可靠度及可維修性」為影響設備更新評選較不重要之因素。
- (二) 核心機電設備更新評選架構中的十七個評估準則，其最重要五項依序為人員危害風險、設備對系統安全性的影響、技術能力、採購成本、設備使用實績。最不重要五項依序為廠商工程實績、採購商源、設備易修性(MTTR)、採購時效、品質管制能力。
- (三) 本研究透過與技術單位、管理單位兩個屬性之專家的訪談，分析出不同單位屬性之專家對設備更新評選項目的重要性，可作為 2 單位屬性專家可相互了解雙方之評估準則，作為評選設備更新時的依據。

- (四) 技術單位屬性之專家認為最重要與最不重要評估準則，其最重要五項依序為人員危害風險、技術能力、設備對系統安全性的影響、設備使用實績、設備零件供應率。最不重要五項依序為採購商源、設備故障率(MTBF)、設備易修性(MTTR)、採購時效、品質管制能力。
- (五) 管理單位屬性之專家認為最重要與最不重要評估準則，其最重要五項依序為人員危害風險、設備對系統安全性的影響、技術能力、採購成本、廠牌設備安全紀錄。最不重要五項依序為採購商源、採購時效、可維修性(Maintainability)、設備易修性(MTTR)、品質管制能力。
- (六) 不論是技術單位或是管理單位屬性之專家們，都認為核心機電設備更新評選最重要的三個項目為人員危害風險、設備對系統安全性的影響、技術能力，兩單位屬性專家均認為品質管制能力最不重要。由此可知，不論是技術單位或是管理單位屬性在進行核心機電設備更新評選決策時，人員危害風險、設備對系統安全性的影響及技術能力乃是最主要考量之關鍵。

## 5.2 管理意涵

核心機電設備依類別分類有一般機電設備、工業用設備、軌道專用設備，於設備流通性分類有市售品/流通性佳、有寡占品/特定數家販售、以及獨佔市場/特定廠家。部分非營運直接相關之機電設備(屬一般機電設備)業已進行故障後汰換、大修作為。而營運相關之機電設備等級屬工業級以上設備，其壽限較長，但其更新汰換期亦即將分別到來。故如何評選並決定該設備更新方案，值得業者去深思。本研究冀望透過一個完善且有系統化的評選模式，作為決策者的參考之依據。綜合所述，本研究管理意涵分述如下：

- (一) 業者過去在進行機電設備更新評選的考量因素，不外乎是考量可行且價格最低者，或是業者為了避免營運風險，往往購置與既有設備相同或新一代型號設備進行更新作業。因為未有完善的評選機制及模式，難免容易選擇非最佳方案的新設備。而本研究所建立的評選模式應用於實務個案上是可行的，可將此研究結果提供給業者之決策者參考運用。
- (二) 本研究所得的核心機電設備更新關鍵因素、架構及各項評估準則之權重，可轉換為設備採購審查標準表，定期進行檢討與改進，以達到最佳的設備更新策略。在維持營運安全與可靠度下，逐步開發國產替代品，設備及零件國產化，並持續提升服務品質、效率及顧客滿意度。

## 參考文獻

### 一、中文文獻

1. 丁厚权(2001)，「設備維修與更新最佳決策研究」，礦業快報，378，6-8。
2. 王天哲(2005)，「消失商源管理暨決策流程之研究」，國防管理學院碩士論文。
3. 王能斌(2005)，「工業配電系統可靠度分析及改善效益評估」，國立中山大學碩士論文。
4. 中國工程師學會(2014)，「工程\_台灣高鐵. 台灣的驕傲」，中國工程師學會會刊，87(2)，28-68。
5. 交通部高速鐵路工程局(2007)，「高鐵通車紀念特刊」，高速鐵路工程局出版品。
6. 交通部高速鐵路工程局(2008)，「台灣南北高速鐵路機電系統工程概述」，高速鐵路工程局出版品。
7. 交通部(2014)，「鐵路修建養護規則」，交通部中央法規。
8. 李坤享與包志強(2010)，「台灣高鐵號誌安全原則」，中華技術雜誌，86，100-116。
9. 李新廣與單士睿(2008)，「农机设备更新方法的动态研究」，农机化研究，1，68-70。
10. 林恒好(2013)，「應用層級分析法評選軍機商維外包廠商之研究」，樹德科技大學碩士論文。
11. 范綱誠(2014)，「以德菲法及層級分析法探討軌道運輸業之供應商評選研究-以T公司為例」，國立中央大學碩士論文。
12. 袁素萍(2003)，「企業轉型成功關鍵因素之研究」，國立成功大學碩士論文。
13. 郭承璋(2001)，「以系統安全管理方法檢核我國軌道運輸之安全-以台鐵站務系統為例」，國立交通大學碩士論文。
14. 陳建財(2004)，「獨立驗證與確認制度對我國軌道系統安全之影響」，國立臺灣科技大學碩士論文。

15. 陳惠裕(2014)，「台灣高鐵營運組織效能研究」，國立中山大學碩士論文。
16. 陳火庸(2006)，「台鐵行車事故肇事因子之研究」，國立成功大學碩士論文。
17. 陳國棟(2003)，「以平衡計分卡觀點探討台北捷運電聯車維修績效指標」，元智大學碩士論文。
18. 高紹慈(2015)，「捷運系統採統包模式對於契約執行之探討-以高雄環狀輕軌捷運建設(第一階段)為例」，國立高雄第一科技大學碩士論文。
19. 高為杰(2014)，「消失性商源對採購和生產作業影響及其因應策略之研究」，世新大學碩士論文。
20. 張景松(2010)，「IT 維修商之競合策略探討」，國立臺灣大學碩士論文。
21. 張璋麟(2015)，「傳統鐵路電車線系統可靠度之研究」，國立臺北科技大學碩士論文。
22. 黃信評(2012)，「可靠度分析運用於鐵路運輸系統-以臺灣鐵路號誌系統為例」，國立高雄第一科技大學碩士論文。
23. 黃義修(2002)，「提昇台灣電子製造業競爭力之研究-以電源供應器產業為例」，國立清華大學碩士論文。
24. 歐泰佑(2015)，「高速鐵路號誌系統及故障改善研究」，國立高雄第一科技大學碩士論文。
25. 駱思斌(2002)，「鐵路事故嚴重程度之研究」，國立成功大學碩士論文。
26. 萬國隆(2014)，「高鐵制定車輛維修策略之關鍵因素研究」，國立高雄第一科技大學碩士論文。
27. 楊元良(1997)，「設備更新的有向圖模型」，OPERATIONS RESEARCH AND MANAGEMENT SCIENCE，6(3)，86-91。
28. 楊志宏(2005)，「聯合承攬策略模式構成之研究-以台灣高速鐵路工程為例」，國立雲林科技大學碩士論文。
29. 劉凱(2006)，「設備經濟壽命及更新方案的技術經濟分析」，Journal of Filtration & Separation，16(2)，42-45。
30. 蕭建華(2005)，「零組件發生商源消失與短缺對武器系統影響之研究」，元智大學碩士論文。
31. 簡禎富(2005)，「決策分析與管理」，雙葉書廊，224-253。
32. 杜文綺(2015)，「專案工程分包商之評選決策模式-以鋼鐵廠統包商為例」，國立高雄應用科技大學碩士論文。
33. 鄧振源與曾國雄(1989)，「層級分析法(AHP)的內涵特性與應用(上)」，中國統計學報，27(6)，5-27。
34. 鄧振源與曾國雄(1989)，「層級分析法(AHP)的內涵特性與應用(下)」，中國統計學報，27(7)，1-20。
35. 盧敏雄(2003)，「結合層級分析法與德菲法建立航太企業投資評估模式」，國立成功大學碩士論文。

## 二、英文文獻

1. Saaty, T.L. (1980). The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resources allocation. New York: McGraw.
2. Saaty, T.L. (1986). Axiomatic foundation of analytic hierarchy process, Management Science, 32(7), 841-855.
3. Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (1984). The legitimacy of rank reversal. Omega, 12(5), 513-516.
4. Sheu, S. H., & Chien, Y. H. (2004). Minimizing cost-functions related to both burn-in and field-operation under a generalized model. IEEE Transactions on Reliability, 53(3), 435-439.
5. Nakagawa, T. (1981). A summary of periodic replacement with minimal repair at failure. Journal of the Operations Research Society of Japan, 24(3), 213-227.
6. Lee, C. (2006). Trainer Manual for Wayside E&M Module Wayside E&M System Overview Operation, TSC, Taiwan Shinkansen Corporation, Attachment 1.

## 三、網路部分

1. 台灣高速鐵路公司(無日期)。鐵路安全。民 105 年 9 月 28 日，取自：  
<http://www.thsrc.com.tw/tw/Article/ArticleContent/9780e036-5fdb-4c48-8732-1242beafafbd>
2. 交通部(106年4月)。交通部統計月報。民 106 年 4 月 15 日，取自：  
<http://www.motc.gov.tw/ch/home.jsp?id=578&parentpath=0,6>