

# 探討可靠度集中維護方法於軌道維護策略之應用

## —以台北捷運高運量電聯車系統為例

研究生：林忠漢

指導教授：張新立

國立交通大學運輸科技與管理學系碩士班

### 摘要

隨著各縣市捷運之陸續興建與即將完工通車之高速鐵路，軌道運輸在我國整體運輸網路之功能日形重要，與民眾的關係也將更加密切。大眾運輸系統之使用首重安全，唯有在安全性確保的情況下，民眾方能安心地搭乘，軌道運輸也才能發揮其運量大、速度快、低污染的優勢。維護是影響軌道系統安全的主要因素，好的維護管理不但可以增進營運生產力，更可讓維護資源有效運用，減少軌道營運者之成本。目前國內軌道系統維護之作法仍採取傳統的預防性維修(Preventive Maintenance)，該作法在維護資源的運用上缺乏效率。這對於未來國內軌道事業邁入民營化之後，額外的維護成本將會導致缺乏競爭力，不利於軌道事業的經營。

因此，本研究引進可靠度集中維護(Reliability-Centered maintenance, RCM)於軌道系統維護管理中。RCM起源於航空業，是兼顧成本與安全考量的維修方式。本研究運用參照單位分析(Ridit)、錯誤樹分析(FTA)和失效模式、影響與嚴重度分析(FMECA)找出台北捷運電聯車系統的維修關鍵項目(Maintenance Significant Item, MSI)，並依據嚴重度矩陣(Criticality Matrix)決定維修工作的執行優先順序，最後建構維修流程的派翠網路(Petri Net)進行模擬，決定出合適之維修策略，以作為我國未來軌道系統維護管理之參考。

研究結果顯示，捷運電聯車系統應優先處理的關鍵維護項目共有五項：煞車夾持器、煞車制動器、空壓機、主懸吊彈簧、固定座。本研究基於人力與時間上的限制，以及維護參數搜集上的困難，僅對其中四者(固定座除外)進行維護策略模擬。模擬結果顯示，就更換間隔而言，四者均有再向上提升的空間；就檢修間隔而言，除致動器應加以提升外，其餘三者均應加以縮短。此外，模擬結果亦指出針對關鍵維護項目制定維護策略，的確能有效降低電聯車系統風險以符合安全上的要求，顯示出可靠度集中維護方法適用於軌道系統安全分析，且有助於提升未來國內的軌道系統維護觀念。

**關鍵字：**可靠度集中維護、軌道維護管理、參照單位分析、錯誤樹分析、失效模式和影響與嚴重度分析、派翠網路

# **Applying Reliability-Centered Maintenance (RCM) for Railway System Maintenance in Taiwan -- An Example of Electric Multiple Unit System of TRTC**

Student : Chung-Han Lin

Advisor : Hsin-Li Chang

Department of Transportation Technology and Management  
National Chiao Tung University

## **ABSTRACT**

Maintenance determines not only the safety performance but also the operation cost for railway transportation. Traditionally, the facility maintenance has been considered for preventive purpose for the railway industry in Taiwan. Preventive maintenance is thought to be an ineffective strategy in the viewpoint of resource management.

This research tries to study the potential of applying the concept of Reliability-Centered Maintenance (RCM) to maintain the facilities of railway system. For empirical study purpose, Redit analysis, the fault tree analysis (FTA) and the failure modes, effects and criticality analysis (FMECA) are conducted to find out the maintenance significant item (MSI) of the Electric Multiple Unit (EMU) system of Taipei Rapid Transit Company. It is expected to help determining the maintenance priority among items through the criticality matrix. Finally, the Petri Net simulation is conducted to develop appropriate maintenance strategy of EMU system. The results of this study will provide valuable reference for the maintenance management of railway system in Taiwan.

Our study shows that there are five MSIs with higher priority in EMU system : Brake Caliper, Brake Activator, Air Supply Equipment, Conical Rubber Axle Spring, Anchorage (This MSI doesn't conduct simulation). The simulation result of the maintenance strategy shows that the replace interval of these MSIs should increase; the checking interval of Brake Activator should increase but that of the others should decrease. Finally, this study points out that RCM is applicable in analyzing the railway system safety and it can lower the risk effectively to satisfy the safety requirement of railway system. This will help to upgrade the maintenance concept of railway system in the future.

**Keywords:** Reliability-Centered Maintenance (RCM), fault tree analysis (FTA), failure modes, effects and criticality analysis (FMECA), Petri net, maintenance management.

## 誌 謝

本論文得以順利完成，首要感謝恩師 張新立教授的諄諄教誨與指導。兩年來的研究所生涯，從老師身上學到許多寶貴的人生經驗。不論是在求學問或待人處世，老師認真執著的精神總是令人敬佩，也是我一直在學習的榜樣。在論文研究進行期間，老師一針見血的意見，每每總是令我警醒自身在思考過程中的不嚴謹與不完備，也因此得到成長。而老師的鼓勵與大力支持，也使我更有動力繼續此論文研究。能在老師門下受教，一同構築追求學問和真理的夢，我深感榮幸。

論文口試期間，承蒙台北捷運公司董事長陳椿亮教授、台北交通運輸研究所黃台生教授與高雄第一科技大學鄭永祥教授撥允審閱，並惠賜寶貴的意見與指教，使本論文疏漏謬誤之處得以斧正。亦感謝黃台生教授與系上吳宗修教授在論文審查時提供寶貴意見。特此深表謝意。

研究所兩年時光匆匆飛逝，在實驗室裡與大家度過許多愉快的時光。學長姐百晉、依潔、韻璇、惠玉、起豪帶我認識 Lab 甘苦的點點滴滴。同門長志、威志、高文在論文奮戰時同甘共苦的情誼；與學弟黃山、維崧、育豪、俊彬、大舜一起趕計劃報告或玩樂聊天；每兩週的博士班 Meeting 與學長姐純志、馨文、舜丞、祖宏、晉光、賓權、來順、政樺的知性互動，使我獲益良多。尤其是晉光學長，與我分享了許多在軌道安全研究方面的經驗。這一切，都將化為我對 SonyLab 的情感與回憶。

感謝許多好友一直在我身旁支持與鼓勵我，陪我走過在工作、課業與感情上所面對的低潮。于彰、政愷、學穎、敬庭、文魁、宜伶與你們在口琴社一同打拼時的所培養出的信任與友誼，上研究所之後仍然緊緊地維繫住，希望大家畢業後還能常保持連絡；感謝香綾、文卿妳們在我沮喪失落時總是願意聆聽，平復我紊亂的心緒；英閣你不僅在琴藝上啟蒙了我，在人生經驗的分享上亦惠我良多。還有許多曾經關心過我的人，很感謝你們在我需要時助我一臂之力。

感謝台北捷運公司的徐源本先生與簡文勇先生。兩位在百忙之中仍撥空出來與我討論，令我對於捷運維修實務有更進一步的理解。在資料搜集與問卷調查方面也多虧了兩位的大力協助與幫忙。若沒有你們，就沒有這本論文的產生。在此獻上誠摯衷心的謝意與敬意，真的是非常地感謝你們二位。

最後，僅以此論文獻給關心支持我的父母與家人。感謝你們多年來的辛苦養育與教養。謹以此小小的成果、人生階段的一個里程碑，與你們一同分享。

忠漢 謹誌

中華民國九十四年七月  
于風城交大 SonyGroup

# 目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
誌謝.....	III
目錄.....	IV
圖目錄.....	VI
表目錄.....	VIII
<b>第一章 緒論 .....</b>	<b>1</b>
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究對象與範圍.....	2
1.3 研究目的與內容.....	4
1.4 研究方法.....	4
1.5 研究流程.....	6
<b>第二章 現況分析與文獻回顧 .....</b>	<b>7</b>
2.1 台北捷運維修工作之現況.....	7
2.2 RCM 方法之相關文獻.....	8
2.2.1 RCM 方法的延伸與改進.....	8
2.2.2 關鍵維修項目之判斷與決定.....	9
2.2.3 維修工作的選定與最適維修工作排程的探討.....	10
2.2.4 維修績效之評估.....	10
2.2.5 RCM 在軌道系統方面之應用.....	10
2.2.6 其他與 RCM 相關之研究.....	11
2.3 派翠網路(Petri Net)之相關文獻.....	11
2.4 文獻評析.....	12
<b>第三章 電聯車系統分析與研究步驟 .....</b>	<b>13</b>
3.1 電聯車系統分析.....	13
3.2 研究方法說明.....	15
3.2.1 RCM 方法之執行步驟.....	16
3.2.2 參照單位分析(Ridit Analysis).....	19
3.2.3 錯誤樹分析(Fault Tree Analysis , FTA) .....	20
3.2.4 失效模式、影響與嚴重度分析(Failure Modes ,Effects and Criticality Analysis , FMECA) .....	25
3.2.5 派翠網路(Petri Net) .....	28
3.3 研究步驟.....	33
<b>第四章 問卷設計與調查分析結果 .....</b>	<b>38</b>
4.1 問卷內容設計.....	38
4.1.1 問項內容.....	38

4.1.2 問卷初測與分析.....	44
4.1.3 風險評估設計.....	52
4.2 問卷分析結果.....	53
4.2.1 樣本說明與分佈情形.....	53
4.2.2 信度分析.....	55
4.2.3 參照單位分析結果.....	55
<b>第五章 錯誤樹分析(FTA)與失效模式、影響與嚴重度分析(FMECA).....</b>	<b>64</b>
5.1 建構系統功能失效之錯誤樹.....	64
5.2 維護關鍵項目之選取.....	83
5.2.1 各錯誤樹之定性分析.....	83
5.2.2 各錯誤樹之定量分析.....	85
5.3 維護關鍵項目之失效模式、影響與嚴重度分析(FMECA).....	96
5.4 維護工作項目之選擇與探討.....	100
<b>第六章 電聯車系統維護策略之擬定與績效評估 .....</b>	<b>101</b>
6.1 建構電聯車系統維護之派翠網路模式.....	101
6.2 電聯車系統維護績效之衡量指標.....	103
6.3 電聯車系統維護混合策略之研擬.....	103
6.4 電聯車系統維護策略之評估結果.....	114
<b>第七章 結論與建議 .....</b>	<b>116</b>
7.1 研究結論.....	116
7.2 後續研究建議.....	117
<b>參考文獻.....</b>	<b>118</b>
<b>附錄</b>	
附錄一 第一階段問卷(內容效度評估).....	123
附錄二 第二階段問卷(電聯車系統功能失效風險評估).....	130



## 圖目錄

圖 1-1 軌道系統五大設施 .....	2
圖 1-2 軌道車輛系統的安全議題 .....	3
圖 1-3 研究流程圖 .....	6
圖 3-1 電聯車子系統 .....	13
圖 3-2 飛機維修的簡單 RCM 邏輯 .....	19
圖 3-3 FTA 之長方形符號 .....	21
圖 3-4 FTA 之圓形符號 .....	21
圖 3-5 FTA 之菱形符號 .....	21
圖 3-6 FTA 之鐘罩形符號 .....	22
圖 3-7 FTA 之盞形符號 .....	22
圖 3-8 FTA 之橢圓形符號 .....	22
圖 3-9 FTA 之三角形符號 (一) transfer-in triangle .....	22
圖 3-10 FTA 之三角形符號 (二) transfer-out triangle .....	22
圖 3-11 錯誤樹定性分析範例 .....	23
圖 3-12 錯誤樹定性分析範例之簡化 .....	24
圖 3-13 錯誤樹定量分析範例之一 .....	24
圖 3-14 錯誤樹定量分析範例之二 .....	25
圖 3-15 典型派翠網路模組 .....	29
圖 3-16 派翠網路基本模組一 .....	29
圖 3-17 派翠網路基本模組二 .....	29
圖 3-18 派翠網路基本模組三 .....	30
圖 3-19 派翠網路基本模組四 .....	30
圖 3-20 派翠網路基本模組五 .....	30
圖 3-21 具有禁止線段之派翠網路 .....	31
圖 3-22 連續事件派翠網路 .....	31
圖 3-23 衝突、選擇或決策之派翠網路 .....	31
圖 3-24 共時執行之派翠網路 .....	31
圖 3-25 同步之派翠網路 .....	32
圖 3-26 使用派翠網路構建模型及分析系統之步驟圖 .....	32
圖 3-27 派翠網路應用於軌道系統維護工作之簡例 .....	33
圖 5-1 「安全迴路失效，導致列車在車門未關閉的情況下行駛」之功能 區塊圖 .....	67
圖 5-2 「一般煞車功能失效」之功能區塊圖 .....	68
圖 5-3 「緊急煞車功能失效」之功能區塊圖 .....	69
圖 5-4 「列車行駛中，聯結器自動解聯」之功能區塊圖 .....	70
圖 5-5 「主懸吊系統故障崩塌，造成車廂傾斜」之功能區塊圖 .....	71

圖 5-6 「推進與煞車之同步連鎖功能失效,列車在缺乏足夠煞車力下行駛」 之功能區塊圖.....	71
圖 5-7 「安全迴路失效，導致列車在車門未關閉的情況下行駛」錯誤樹.....	72
圖 5-8 「一般煞車功能失效」之錯誤樹.....	74
圖 5-9 「緊急煞車功能失效」之錯誤樹.....	76
圖 5-10 「列車行駛中，聯結器自動解聯」之錯誤樹.....	77
圖 5-11 「主懸吊系統故障崩塌，造成車廂傾斜」之錯誤樹.....	78
圖 5-12 「推進與煞車之同步連鎖功能失效,列車在缺乏足夠煞車力下行駛」 之錯誤樹.....	82
圖 6-1 元件維修工作之派翠網路.....	102
圖 6-2 夾持器模擬結果.....	105
圖 6-3 致動器模擬結果.....	107
圖 6-4 空壓機模擬結果.....	109
圖 6-5 主懸吊彈簧模擬結果.....	111



## 表目錄

表 1-1 台北捷運高運量行車事故統計表 .....	3
表 3-1 高運量電聯車規格 .....	14
表 3-2 故障型式及影響分析單(FMEA)範例 .....	26
表 3-3 嚴重度分析單(CA)範例 .....	27
表 3-4 嚴重度(風險)矩陣.....	27
表 3-5 風險評估基準 .....	28
表 3-6 各階段之工作內容、預期遭遇之問題與解決方法及時程規劃 .....	35
表 4-1 電聯車功能一覽表 .....	38
表 4-2 電聯車子系統功能一覽表 .....	39
表 4-3 初擬電聯車系統功能失效項目一覽表 .....	42
表 4-4 填答專家人數與 CVR 最小接受門檻值對照表 .....	45
表 4-5 各問項之 CVR 值及判斷是否刪除一覽表 .....	47
表 4-6 發失頻率構面評估等級之定義 .....	52
表 4-7 影響程度四構面評估等級之定義 .....	52
表 4-8 樣本分佈情形 .....	54
表 4-9 信度分析結果 .....	55
表 4-10 各構面權重值 .....	56
表 4-11 各問項在影響程度四構面下的 Redit 值 .....	57
表 4-12 各問項的影響程度、發生頻率 Redit 值與風險 .....	60
表 4-13 Kruskal-Wallis 檢定結果 .....	63
表 5-1 導致六項重大系統功能失效發生的故障元件 .....	65
表 5-2 各元件故障率資料 .....	85
表 5-3 電聯車各子系統之平均失效時間(MTBF).....	87
表 5-4 各項事件機率 .....	88
表 5-5 「安全迴路失效，導致列車在車門未關閉的情況下行駛」錯誤樹 定量分析結果.....	90
表 5-6 「一般煞車功能失效」之錯誤樹定量分析結果 .....	91
表 5-7 「緊急煞車功能失效」之錯誤樹定量分析結果 .....	93
表 5-8 「列車行駛中，聯結器自動解聯」之錯誤樹定量分析結果 .....	94
表 5-9 「主懸吊系統故障崩塌，造成車廂傾斜」之錯誤樹定量分析結果 .....	95
表 5-10 「推進與煞車之同步連鎖功能失效,列車在缺乏足夠煞車力下行駛」 之錯誤樹定量分析結果.....	95
表 5-11 十元件之危害、影響及嚴重度分析表 .....	97
表 5-12 風險矩陣/關鍵性分析 .....	100
表 6-1 模擬參數設定 .....	104
表 6-2 目前現有策略模擬結果 .....	104



表 6-3 混合策略模擬結果 .....115

