

中華郵政臺字第1776號登記第一類新聞紙類
行政院新聞局出版事業登記局版臺字第1081號

ISSN 1011-6850
交通部臺灣鐵路管理局
TAIWAN RAILWAYS ADMINISTRATION MOTC

臺灣鐵路

2009 98年臺鐵資料

TAIWAN Railway Journal



季刊
Quarterly
第337期
NO:337

臺鐵資料季刊 第三三七期

TAIWAN RAILWAY JOURNAL NO 337

中華民國98年3月出版

ISSN : 1011-6850



GPN : 2005200020
定價：新台幣200元

中華民國98年3月出版
March 2009

臺鐵資料季刊

發行人：范植谷

發行所：交通部臺灣鐵路管理局

編輯者：臺鐵資料編輯委員會

主任委員：范植谷

委員：徐亦南 黃民仁 張應輝 陳世昌
陳明海 高明鏊 鹿潔身 魏炎明
陳憲頂 黃運傑 黃茂禎 吳世瑛
黃振聲 李傑松 陳瑞良 蔣東安
湯坤仁 賴秋金

總幹事：陳世昌

幹事：賴威舟 李忻瓊

總編輯：許文鑫 電話：23815226 轉 2302
電子信箱：tr393352@msa.tra.gov.tw

編輯：王宜達 電話：23815226 轉 3338
電子信箱：tr754604@msa.tra.gov.tw

地址：臺北市 10041 北平西路 3 號 5 樓



DR2500 型客車

目錄 CONTENTS

- 1** 財會十號新公報對存貨的「新」思維與因應措施 沈玉美
“New” Inventory Thinking and Response Measures after the Statement of Financial Accounting Standards No.10 New Bulletin
- 7** 鐵路橋梁設計載重及其應用 陳鴻麟
Railway Bridge Design Load and Application
- 46** 專案成功度動態預測-應用演化式支持向量機推論模式 (ESIM) 吳慶芳、鄭明淵
Dynamic Prediction of Project Success-- Applying the Evolutionary Support Vector Machines Inference Model(ESIM)
- 75** 砸道車電源電路板之研製 (二) 張進財
Track Maintenance Vehicle Power Source Circuit Board Research and Production (2)
- 93** 功率半導體各種冷卻方法之比較 許調泰
Comparison of Power Semiconductor Cooling Methods
- 106** 臺北捷運系統「標竿學習」－機務同仁「檢修」及「乘務」見學 劉景釗
Taipei Rapid Corporation Benchmarking- TRA Rolling Stock Department Staff “Maintenance” and “Operation” training
- 135** 編後語
- 136** 徵稿須知

財會十號新公報對存貨的「新」思維與因應措施 “New” Inventory Thinking and Response Measures after the Statement of Financial Accounting Standards No.10 New Bulletin

沈玉美¹
Shen Yu-mei¹

地址：臺北市北平西路3號5樓
Address: 4F, No.3, Beiping West Road, Taipei City

電話：02-23815226 轉 2543
Tel. : 02-23815226 ext 2543

電子信箱：tr066172@msa.tra.gov.tw
E-mail:tr066172@msa.tra.gov.tw

摘要

爲因應我國財務會計準則與國際會計準則接軌之路，我國會計研究發展基金會於96年11月29日發佈財務會計準則公報第十號「存貨之會計處理準則」（以下簡稱10號新公報），配合國際財務會計準則公報第二號，20年來作第一次之修訂，並決議於今年（98年）1月1日起正式適用。

本次財會十號公報修訂之五項主要重點歸納如后：

- 1、改採成本與淨變現價值孰低衡量存貨(取代以往存貨續後衡量採用成本與市價孰低法)。
- 2、禁止採後進先出法計算存貨成本。
- 3、比較存貨成本與淨變現價值孰低時不得以全體項目比較(若企業欲以分類項目比較，須同時符合符合以下三要件：屬於相同產品線，且其目的或最終用途類似；於同一地區生產及銷售；實務上無法與該產品線之其他項目分離評價)。
- 4、新增勞務存貨相關規定。
- 5、存貨跌價損失及迴轉利益應調整銷貨成本，以忠實表達完整營業狀況與績效。

十號公報的修訂，使企業對整個存貨系統需轉變成更細膩的管理，應整體考量如何依照公報之修訂與企業營運和存貨特性，規劃未來存貨分類與盤點方式。

關鍵詞：財務會計準則、存貨、緩動料。

1.本局材料處專員

Abstract

To allow Taiwan's financial accounting standards to be brought into line with international standards, the Accounting Research and Development Foundation announced the Financial Accounting Standards No. 10 Bulletin "Inventory Financial Accounting Standards" (No 10 new bulletin below) and completed the first revision (of the standards) in 20 years, according to International Financial Report Standards' No 2 bulletin. The standards formally came into effect on January 1, 2009.

The main points of the revision of No. 10 bulletin are:

- 1、The lower-of-cost-and-net-realizable-value rule is used to measure inventories, replacing the lower-of-cost-or-market price rule that was used for measuring inventory in the past.
- 2、Prohibiting the use of "last in first out" method to calculate inventory costs.
- 3、To find out which one is lower between cost and net realizable value, items cannot be compared as a whole. (If an enterprise wants to make comparison using category items, three requirements must be met—inventory be the same product line and the aim of the product line and ultimate use should be similar, inventory must be produced and sold in the same region and there is no practical way to assess this product line and its other items separately.)
- 4、The labor inventory related regulations are added.
- 5、Loss due to fall in inventory price and turnaround profit must be used to adjust sales costs to faithfully reflect the complete operating situation and results.

The revision of No. 10 bulletin will require that enterprises management of the entire inventory system is more detailed. Enterprises should consider how to plan future inventory classification and inventory taking methods in accordance with the bulletin revisions and characteristics of their operations and inventory.

Key words : Financial Accounting Standards, Inventory, Deferred Material

一、本局存貨內容分析

本局資產負債表流動資產項下所列之存貨項目，計分有未分配運什費、製成品、在修品、物料及燃料等 5 項，茲以本局 97 年度存貨項目金額及比例分析數據為例（詳如表一），本局存貨項目係以物料為主約佔存貨總額之 90%強，所幸目前我國公報規定無需認列原物料之跌價損失，且國際準則公報也未對製成品有減損，但原物料市價並未下跌之情況予以明確解釋，惟規範準則可能會依國際經濟情勢及產業發展狀況需要適時調整修定，故基於未雨綢繆積極應變原則，本文乃就存貨項下之物料管理及盤點業務，針對財會 10 號新公報所定原則予以剖析及提列因應對策。

二、舊 10 號公報時代本局之存貨評價

舊 10 號公報規定存貨採「成本與市價孰低」評價，所謂市價係指「重置（製）成

表 1 交通部臺灣鐵路管理局資產負債表（存貨部份） 單位：元

	97 年 12 月止	百分比
存貨	4,542,390,737.27	100.000%
未分配運什費	340,297,921.92	7.491%
製成品	14,671,758.34	0.323%
在修品	4,108,732,343.94	90.453%
物料	78,571,813.07	1.730%
燃料	4,542,390,737.27	100.000%

本」或「淨變現價值」，公司得自行選擇，修正後新 10 號公報規定，公司均應以成本與「淨變現價值」孰低來衡量存貨，自成本沖減至「淨變現價值」之金額則認列為銷貨成本，本局歷年來存貨評價調查所列項目僅列燃料和物料 2 項，燃料係以牌價再洽商議減後決標之價格，故其成本（帳列單價）均較市價為低；至於存貨物料部份，則以大部份物料為原廠牌配件需由國外進口之訂製品為由，認定無客觀市價可供評定，且非以出售為目的，故亦無法評估淨變現價值，因此均以成本為評價基礎，換言之，本局事實上未曾提列過備抵存貨跌價損失。

三、因應 10 新號公報本局存貨管理應有之因應措施

關於 10 號新公報存貨改按成本與淨變現價值孰低衡量原則，前揭所述「本局存貨物料非以出售為目的，故亦無法評估淨變現價值」，其理由在新公報規定「比較存貨成本與淨變現價值孰低時不得以全體項目比較」之原則下，若仍主張無法評估其淨變現價值，對於已失去用途之閒置資產所屬庫存材料配件而言，已不合時宜，經查本局緩動料清查作業已持續進行達 3 年以上，卻因後續材料列呆報廢鑑定作業條件之僵固化，致已完成清查之緩動料仍以原料價購入平均成本滯存帳上，迭遭審計單位誤解為清理成效欠佳，按本局材料項目雖達 6 萬餘項，惟已明確分類（00 至 99 類）並編號（10 碼）管理，經由清查後並記錄所屬主體名稱及主體是否已報廢，業已符合 10 號新公報「以分類項目比較」之要件原則。

本局材料管理資訊系統之材料單價係以移動平均法計算之，尚符合財會 10 號新公報「禁止採用後進先出法計算存貨」之原則，惟迄目前為止，關於本局存貨之評價向以成本為基礎，故未編列「備抵存貨跌價損失」會計科目。

未來倘依規定必須落實財會 10 號新公報，存貨評價改按成本與淨變現價值孰低衡量，則庫存中所屬主體已失去用途之材料配件，比比皆是、不勝枚舉，例如 ATW/ATS 車上設備配件，工務用 37 公斤及 100 磅道岔配件，電務用舊 CTC 號誌系統配件，大量停用之貨車、待報廢之普通客車等專屬維修庫存配件，以及日後俟新車購入後即將停用或報廢之莒光號、復興號客車等，均屬已失去或即將失去用途之營運車輛設備。

以上所述已汰換之舊系統或機車車輛，其所屬庫存維修配件金額合計達數億元，雖

透過緩動料清查作業已篩選並鎖定項目與數量，惟因有於本局材料管理須知規定，必須俟最後一套主體設備或相同車種之最後一輛報廢之後，方可將其餘配件一併列呆報廢，以至於高達數億元已失去用途的材料滯存於帳上，僅能靜候未來列呆報廢條件成就之後，以廢料殘值計價列帳，倘能依照 10 號新公報，得以該批經確認為已失去原用途之緩動料逕按其淨變現價值列帳（即日後調為廢料出售可回收之金額），一則可避免存貨高估，二則亦不影響其後續推動領用、調撥、併修、拆零利用、贈與、交換等處理方法，再透過材料盤點措施，以確認庫存材料數量、材質、體積、重量等資訊，力求實物與料帳一致，查核物料呆存績效，獲得正確之存料成本，並可預防呆廢料的發生及防止倉管人員監守自盜之弊端。

在不影響用料的需求下合理降低庫存值，是本局材料管理改善永續的目標，本文係因應財會 10 號新公報所提出的降低庫存值建議措施，至於存貨跌價損失及迴轉利益應調整銷貨成本乙節，因本局庫存係應軌道、號誌、電車線設備、通訊系統設備及機車車輛設備維修之備用料，因此其存貨跌價損失及迴轉利益應調整維修成本，以忠實表達完整運、工、機、電等各處營運設備之維修狀況與績效，甚至進而將未用的人力及資金也列入存貨考量，既符合 10 號新公報的真義，亦能提高整體經營績效，如此作法雖將影響本局短期經營績效，惟長期以來，本局庫存材料因甚少作去蕪存菁式的管理，庫存值一路攀升居高不下，迭遭立法機關、主管機關、審計機關及媒體單位抨擊，謂本局存料管理不當、嚴重積壓營運資金、浪費公帑等負面評價不斷，甚至因此招致年度預算被大幅刪減的情形，至於本局向來將列呆報廢的庫存損失以營業外費用－資產報廢損失列帳之作法，雖無可厚非，惟因本局歷年來資產設備報廢時程嚴重落後，且在最後一套設備未完成報廢前，所屬專用庫存材料配件一律不得列呆報廢的前題條件下，庫存緩動料往往要滯存十年以上，尚不得列為呆廢料，故在財務報表允當表達並與國際接軌的會計則下，本局實應審慎考量將 10 號新公報的觀念導入存貨管理，期能提高整體經營績效。

四、針對 10 號新公報原則盤點業務應有之改善建議

依據本局庫存材料盤點要點規定，本局庫存材料實施永續盤存制並配合實施定期實地盤點及不定期盤點，其中盤點實務重點為查核實存數量與「存料卡」、材料帳冊是否相符，並應注意登記、計算、材料編號、放置、原裝等是否有差誤，查看材料現品之保養是否有無鏽蝕、蛀爛、變質、廢損等情況，以及查核久未動用材料是否推動利用及呆廢料是否依規定處理，定期盤點結果之處理，除點虧材料如為自然耗損或不可抗力之情形，得陳准報損外，如屬人為疏失則應報材料處核辦，並按實物賠償或以料價加 18%計價賠償。

財會 10 號新公報實施之後，企業存貨不得再採「總額法」，亦即不可以用市價高於成本的項目隱藏成本高於市價的損失，而應改採「逐項比較法」或「分類比較法」，有跌價的項目就要提列損失，無所逃避，因此，企業勢必要認列存貨跌價損失，本局經由材料管理資訊系統篩選出之緩動材料（詳如附表 2），其中 10 年以上未曾領用之材料計有 1 億 4,885 萬餘元，泰皆屬於已停用或老舊之機車車輛、客車及貨車之專用配件，如能藉由定期實地盤點作業，按照電腦庫存分類緩動料清單，由盤點人員及監盤人員共同確認核對實際庫存情形，再移由本局呆廢料審查鑑定小組成員，依據本局呆料處理要點規定覈實辦理，鑑定結果，如屬主體已報廢之料配件，即予列呆後報廢；如屬主體已停用但尚未報廢之料配件，則應參酌財會 10 號新公報規定，按照該批材料之淨變現價值，即出售後可回收之金額計價列帳，並認列存貨跌價損失。

表 2 交通部臺灣鐵路管理局 97 年 12 月底維修緩動料存值分析表

1-3 年未動用	3-5 年緩動料	5-10 年緩動料	10 年以上緩動料	合計金額
196,217,715	108,336,202	236,769,792	148,855,415	690,179,124

盤點作業一般分成盤點前的準備、盤點中及盤點後處理三個階段，未來年度盤點前的準備，除原有之例行性盤點作業及行前規劃、人員組訓及任務分派外，每年擬針對已達報廢年限且已陸續分批辦理報廢之車輛設備，進行其專屬材料配件之全面盤點作業，並將該部份之盤點結果回饋至材料管理資訊系統，以切斷或縮減該即將報廢車輛專用配件之續購，降低人為疏失請購、誤購之情形，並要求盤點人員於盤點作業中，明確告知各存料單位，前揭類別之材料即將隨主體列呆報廢，建議其加強推動領用或設法發現或改造為替代品，另於盤點作業結束後，將各盤點人員之盤點結果、改進意見及各存料單位建議事項彙整，關於特定專屬材料配件部份之盤點結果並應列案追蹤，並提供本局呆廢料鑑定小組人員日後辦理鑑定作業之重要參考資料。

五、結論與建議

存貨成本之計算及評價是影響企業財物報表允當表達之重要因素，估計淨變現價值時，應考慮存貨持有之目的，本局業務以運輸為主，持有維修存貨的目的，係為應車輛、軌道、行車號誌、通訊設備等維修所需，故當主體設備已停用或已汰換，其所屬專用維修配件之淨變現價值應以出售價值減除必要費用後為基礎。

與國際接軌不是一種口號而已，能依循法令規章，從管理制度面規劃因應配套措施，落入執行才是積極應變之道，庫存管理模式的選擇，攸關物料管理績效的顯現，面對未來模組化的車輛維修趨勢，以組件更換之維修作業方式，雖可明顯縮短車輛在廠修車日期及提升檢修品質，惟未來維修零組件備品的種類和數量勢必日益龐大，導致平均存貨金額居高不下，應積極設法提高物料周轉率，以避免積壓資金及影響財務調度，落實與國際接軌的存貨評價制度，目的不僅止於反應庫存的合理評價，如何透過系統化的庫存管理，指標化的盤點作業，避免不當的庫存項目徒增，削減無利用價值、無用途之庫存，並力求存貨跌價損失最小化，才是引用財會 10 號新公報提升資產評價品質的最佳意旨。

參考文獻

1. 財團法人中華民國會計研究發展基金會，財務會計準則公報第十號「存貨之會計處理準則」。
2. 廖健寧，財物會計準則公報第10號「存貨之會計處理準則」修正簡介，證券暨期貨月刊（第26卷第3期）。
3. 邱妍馨，『存貨「新」思維，您準備好了嗎？』，安永會計師事務所、資誠會計師事務所、安侯建業會計師事務所、勤業會計師事務所等資深會計師群共同探討意見，會計研究月刊編輯，會計研究月刊（第277期）。
4. 鍾慧貞（2004），我國財務會計處理及資訊揭露邁向國際接軌，當代會計，第5卷第1

期（P121-137）。

5. 黃惠民、謝志光、楊伯中（2006），物料管理與供應鏈導論，二版，臺中：滄海書局。
6. 交通部臺灣鐵路管理局會計制度(材料會計事務處理)。
7. 交通部臺灣鐵路管理局資產負債表，中華民國97年12月31日。
8. 交通部臺灣鐵路管理局材料管理須知第四次修訂版及行政院交通部94年12月1日同意備查。
9. 幸世間審定、林蕙真著，中級會計學新論（P416-417），二版，証業出版股份有限公司。
10. 傅和彥（2008），現代務料管理，物料管理績效評核（P428-446），前程出版社。

鐵路橋梁設計載重及其應用

Railway Bridge Design Load and Application

陳鴻麟¹
Chen Hong-ling¹

地址：臺北市北平西路3號4樓
Address: 5F, No.3, Beiping West Road, Taipei City

電話：02-23815226 轉 3706
Tel：02-23815226 ext 3706

電子信箱：tr403371@msl.tra.gov.tw
E-mail: tr403371@msl.tra.gov.tw

摘要

介紹結構設計基本原理，鐵路橋梁等結構物之設計載重，導入查表方法以減少繁複的計算過程，並利用計算實例做解說，末段則簡介橋梁耐震設計規範的靜力分析方法及其各項係數參照表。

關鍵詞：結構強度、折減因數、可靠度、回歸期。

Abstract

This paper introduces basic structural design principles, the design load of railway bridges and other structures and the process of introducing the checking table method to reduce repeated calculation, providing an explanation using calculation examples. At the end there is a brief discussion of static analysis methods for railway bridge earthquake resistance design standards and a reference table of various coefficients.

Key words : Structural strength, Reduction Factor, Reliability, Return Period

一、結構設計概念

設計鐵路橋梁等結構物之前，需將施工中及設計使用年限內作用於結構物之載重詳細調查、並將各項載重予以妥適組合以進行設計。

使用年限內的載重有永久載重、變動載重、偶突發載重等三種。所謂永久載重是指其變化小到可以忽視而持續作用之載重，如靜載重、施預力、混凝土乾縮及潛變等皆可

1. 本局專案工程處處長

視爲永久載重。變動載重則指頻繁且持續作用、其變動量爲不可忽視之載重、如列車載重、衝擊載重、離心力、車輛橫載重、車輪橫壓、剎車、啓動載重、長軌縱向力、溫度變化影響、風壓等。偶突發載重爲在使用年限內作用頻率雖小、但一旦作用其影響非常大的載重、如地震力、碰撞力、洪水壓力等。

結構設計可簡單的定義爲工程師針對所欲設計的結構物預估其可能的載重，選定合適的材料，安排結構元件的位置、大小，以設計能符合其功能需求的結構物。工程師進行結構設計時必須考慮甚多的影響因素，這些因素可歸類爲下列三大類：

- 1、安全性(Safety)
- 2、使用性(Serviceability)
- 3、經濟性(Economy)

當然對一個結構工程師而言，結構之安全爲最高原則，但在此原則下亦應同時考慮其使用性，否則縱使安全無慮，但若因變形過大，或振動過大等問題

而致影響結構之正常使用，或讓使用者感到不便都不是一個正確或良好的設計。在考慮結構物之安全性與使用性後亦應注意到經濟性的要求，不可有任何無謂的資源浪費，也唯有具良好的經濟性方能有競爭的條件，而一個良好的結構工程師除了應注意上述之三項基本要求外，對於施工性的瞭解及將來使用、管理維護的考慮亦是不可缺少的。

廣義的結構物可能爲機械、車輛、船舶、飛機或橋梁、建築等，以土木工程師而言，其所設計之結構主要爲建築物或橋梁。當然在進行這些結構設計時工程師須依據結構力學原理，及相關之規範來選擇結構系統及斷面尺寸大小。但也因結構物型態的不同，致工程師所須扮演的角色也可能有所不同，如對於建築物之設計，結構工程師須與建築師配合，而通常屬於建築物的內部空間規劃、或外部造型等的決定爲建築師的職責，而其內部骨架之決定則屬於結構工程師的工作。但對於橋梁工程而言，結構工程師的作品則涵蓋了其外型與內部骨架，事實上很多重大橋梁造型優美，早已成爲都市景觀之一，甚或成爲代表都市的地標，如舊金山金門大橋，已成爲舊金山的地標。

二、結構設計規範之演進

2.1 設計上的不確定因素^[1]

從事設計工作必須以一標準規範爲依據，而這些規範不外規定一些在設計過程中所必須遵守的基本事項，諸如載重的計算方法，構材強度(或容許強度)的計算等，希望能經由這些規範的訂定與遵循而設計、建造一些合於安全與經濟的結構物。但一個結構物在設計、施工，甚至使用的過程中可能包含甚多的不確定因素(uncertainties)足以影響結構物的安全性，這些因素包括以下幾類：

- 1、分析及設計上所作的近似假設。例如假設完全無摩擦力的鉸接，或以平面構架模擬實際結構的三度空間行爲等。
- 2、材料性質之變化。例如設計時採用之鋼材標稱降伏應力爲 $2.5t/cm^2$ ，而實際上使用之鋼材降伏應力可能高達 $3.3t/cm^2$ 等。

- 3、實際施工尺寸與設計尺寸之誤差。
- 4、施工品質之控制。
- 5、預估載重之準確性。如國內橋梁常有超載之問題，而風力、地震力等更是難以準確的預估。
- 6、應力集中效應。如鋼板切割、鑽孔等常引致極大的局部應力集中效應。
- 7、殘餘應力的影響。如熱軋型鋼不均勻冷卻、或因銲接、整型等引致殘餘內應力的存在。
- 8、設計上之用途與實際使用之差異。如住宅大樓被改為辦公大樓或作為商業用途等。

上述這些不確定因素又可歸納為屬於結構分析，屬於結構強度及屬於載重預估等三大類，而如何使用安全係數來涵蓋這些不確定因素所造成的影響乃代表著不同的設計理念，而事實上對於規範的演進也可視為對安全係數詮釋的改變。當然所有的規範都是以安全及經濟為著眼點，但對其所隱含的不同設計理念實有必要瞭解，更可由此明白設計規範的精神。

由於工程技術的不斷進步，各種學理的日益精進，對於一些過去不確定的因素也逐漸能夠瞭解，因此無須再使用較大的安全係數來涵蓋這些不確定因素，新的規範其安全係數乃逐漸降低。而這也說明由於過去對於結構行為的瞭解不夠，因此在結構設計上必須採用較大的安全係數，但隨著工程知識的進步，對於甚多過去不甚清楚的問題已經能夠掌握的較為精確，也因此能夠在設計上改採較小的安全係數，所設計的結構也因此變得更為經濟，而這也就是工程的進步。而一般規範的改變除了上述的情形外，另外亦常因知識的進步，發現過去的設計不夠保守或甚至是錯誤的，新的規範加以修正後，設計則變得較為安全但可能較為昂貴。惟就整體而言，規範的演進乃朝向更為安全、合理，及經濟的方向在發展。

2.2 容許應力設計法^[1]

在結構的設計上，為因應功能的需求而有相對應的載重（Load，以 Q 表示），而為承擔這些載重必須設計足夠的結構強度（Resistance，以 R 表示），如圖 1 所示。也因此載重與強度是設計上主要的兩個考慮因素，當整體結構或其部份構件在受力狀態下，未能滿足原設計之目的與功能時，此結構可能已進入其極限狀態（limit state）。一般結構之極限狀態可分為：（一）強度極限狀態（strength limit state），如結構元件或整體結構受外力作用或其它原因而未能保持原設計之承載能力。（二）使用性極限狀態（serviceability limit state），如變形、撓度或振動太大以致影響其使用性。而結構設計之主要目標亦在於防止結構物在預估使用期限內產生上述之極限狀態。但結構物之設計、施工至使用過程中有甚多之不確定因素皆可能影響其強度極限或使用性極限。針對這些可能導致結構物進入極限狀態之因素，一般設計規範均以安全係數來加以防範，而過去常用的設計理念，乃以折減材料之強度來作為設計之安全係數，此即為容許應力設計法（Allowable Stress Design，ASD），亦有將工作載重乘上一載重係數（安全係數）以涵蓋設計上之不確定因素者，如塑性設計法（Plastic Design，PD）。

結構強度的定義可利用廣義的極限狀態來代表，極限狀態可能是彈性極限，也可

能是塑性極限，更可以是穩定極限，疲勞強度，斷裂強度，變形過大，振動劇烈等極限，在這些極限狀態裏，除了變形，振動是屬於規範所規定的服務品質（servicesability，或稱使用性）外，其餘諸項皆可歸類為破壞極限，而一個成功的設計工作即是設計一結構物的抵抗強度大於將來可能加諸於結構上的載重，而對於一個結構物的破壞極限由於定義上的不同而致有許多不同的設計理念，在容許應力設計法（ASD）中是以容許應力作為設計標準，亦即容許應力為極限強度除以安全係數，此種設計理念是把所有的不確定因素以折減容許應力（強度）來代表之，亦即是以折減材料的強度來達成設計上安全的保障，唯此種設計方法一則未能真實的考慮載重及分析上的不確定因素，而且以彈性極限為破壞極限也低估了結構體在部份達到降伏後因應力重分配後所具有的極限強度，因此此種設計理念也逐漸的被淘汰，目前工業化國家中之鋼結構設計僅剩日本以 ASD 為主，美國已逐漸轉換為 LRFD，而歐洲、加拿大等亦早已改為極限設計法。

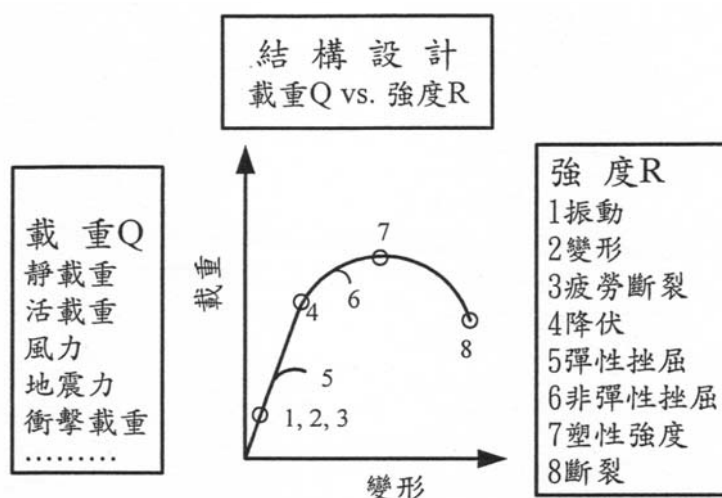


圖 1 結構設計中之載重與強度關係【1】

2.3 極限設計法^[1]

影響結構安全的因素甚多，較主要者為材料強度及載重預估，前述容許應力設計法或塑性設計法常以折減材料強度或放大載重作為設計之安全係數，對結構安全的掌握可能並非是最佳的方法。因為此種方法不論是載重或強度，皆僅考慮其標稱之特定值，但實際上載重及強度皆非為明確的特定值，而是某一分佈曲線，如圖 2 所示，當然強度的分佈圖應在載重分佈圖之右側，唯在某些特殊狀況下可能由於強度偏低而載重偏高，致使強度在載重的左側，如圖 2 的斜線部份，而此部分也代表結構失敗的情形。圖 2 顯示結構失敗的可能性受強度及載重分佈的特性所影響，因此近年來，設計方法逐漸傾向採取以可靠度理論為基礎之極限設計法，此法以機率模式，將材料強度之變異性與載重之變異性當作決定強度折減係數與載重係數的依據，使結構物整體的安全性，較能達到一致之水準。此種方法可以下式來說明：

$$\phi R \geq \sum \gamma Q_i$$

其中 ϕ_i 為構材的強度折減係數， $\phi < 1.0$ ； R_i 為標稱強度； γ_i 為載重放大係數， $\gamma > 1.0$ ； Q_i 則為標稱載重；而 ϕ_i 及 γ_i 皆以可靠度分析之方法決定之。

由於此法同時考慮載重與強度的變異性，在美國又稱為載重與強度係數設計法（Load and Resistance Factor Design，簡稱 LRFD），唯因其考慮到各種極限狀態，如強度極限狀態及使用性極限狀態，因此在其他國家一般稱之為極限設計法。以可靠度分析為基礎之極限設計法可在不同的設計情況下，如張力構件，壓力構件等，或不同的載重組合時，保持預先設定的安全性或可靠度。此法亦可由設定之可靠度來反應預期的破壞型式，例如設定梁構材比柱構材先達降伏，可提供預警作用。而設計者經由可靠度設計的步驟，能更了解功能需求和結構行為的相互關係。

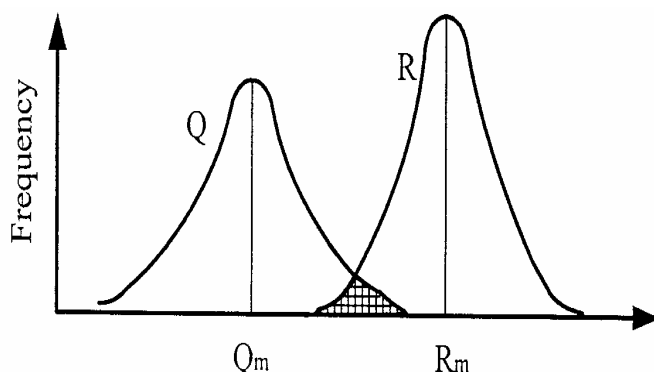


圖 2 極限設計法之強度與載重分布圖【1】

2.4 可靠度分析^[1]

在極限設計法中，結構物的安全是由該結構物破壞的或然率推導得到的，也就是說沒有絕對安全或不會破壞的結構物，工程師只能設計出相對條件下不會崩毀，或者失敗機率低於某一可接受程度，而被社會大眾所接受的安全結構物。

若以 Q 、 R 分別代表作用於工程系統的外力及來自系統本身材料強度的抵抗力。則系統失敗的機率 P_f 可表示為

$$P_f = P(Q > R)$$

$$= \int_0^{\infty} F_R(x) F_Q(x) dx$$

其中 $F_Q(x)$ 為隨機變數 Q 的或然率密度函數。

$F_R(x)$ 為隨機變數 R 的累積或然率分佈函數。

若假設 Q 與 R 皆為統計學上獨立且連續事件，則 Q 及 R 皆可視為常態分佈，故

$$P_f = \phi \left[-\frac{R_m - Q_m}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_Q^2}} \right] = \phi(-\beta)$$

其中 R_m 、 Q_m 分別為 R 及 Q 之平均值。

σ_R 、 σ_Q 分別為 R 及 Q 之標準偏差。

ϕ 函數則為標準常態或然率分佈函數；

函數則稱為安全指標(safety index)或可靠度指標(reliability index)。

在上式中，安全指標與失敗機率 P_f 有關。

表 1 為目前規範常用的 β 值與 P_f 對應表。但欲求得安全指標則必須先求得 R 及 Q 的分佈資料，若無法得到 R 及 Q 之分佈變異情形則無法得到失敗機率的大小。而在設計上若將整體結構系統及 桿件之安全指標 β 設定為某一定值，則此結構之系統及桿件將可維持其相同的破壞機率，而與載重或桿件型態無關，因其變異性已在安全指標 β 之設定時即已考慮在內。對一個結構物內的不同桿件亦可設定不同的安全指標，以強制破壞發生的模式，如在耐震設計時可設定柱具較高之安全指標，以達成強柱弱梁的破壞機制，或設定接合位置的安全指標 β 較連接構件為高，以避免接合提早破壞。如目前 AISC-LRFD 對接合之安全指標 β 設定為 4.5，而一般桿件則為 3.0[5~7]。對於不同功能的結構物亦可設定不同的安全指標，如一般建築物 β 可設定為 3.0，重要的建築物 β 可設定為 4.0，而臨時結構物 β 則可設定為 2.5。

表 1 規範常用之 β 與 P_f 對應表【2】

安全指標 β	破壞機率 P_f
5	2.9×10^{-6}
4	3.2×10^{-5}
3	1.4×10^{-3}
2	2.3×10^{-2}

2.5 強度折減因數^[2]

在設計上有關強度的不確定因素包括材料強度的變異性，施工製造上的變異性，以及理論強度與實際強度之變異性等三部分。規範針對不同構件所處位置，依其在結構系統中之重要程度訂定不同的安全指標（ β 值），並據以計算出強度折減因數（Resistance Factor 或稱折減係數、材料強度折減因數等），在鋼結構方面，我國之材料製造與施工規範較接近美國，故設計時可參照美國 AISC-LRFD 所定之值(如表 2 所示)。

表 2 AISC-LRFD 規範之強度折減因數

桿 件	極限狀態	ϕ
張力構材	降伏極限狀態	0.9
	撕裂極限狀態	0.75
壓力構材		0.85
撓曲構材		0.9
螺栓接合	張力強度	0.75
	承壓型剪力強度	0.75

	工作載重下摩阻型剪力強度	1.0 或 0.85
銲接接合	依銲接方式及受力狀態而定	0.75 0.8 0.9
剪力撕裂	塊狀剪力撕裂	0.75
腹板或翼板 承受集中載重	翼板局部彎曲	0.9
	腹板局部降伏	1.0
	腹板壓皺	0.75
	腹板承壓挫屈	0.9
	腹板側移挫屈	0.85
梁柱腹板交會區	降伏極限狀態	0.9

而鋼筋混凝土結構方面，在以前採用工作應用設計法時最為常用之材料強度折減因數是混凝土用 0.45，鋼筋用 0.5，有時甚至更低。近年來，我國也漸以極限強度設計法為主，其強度折減因數如表 3 所示。

表 3 ACI 規範之強度折減因數

構件受力條件	ϕ
● 僅受撓曲、軸向拉力或受有軸向拉力與撓曲聯合作用者：	$\phi=0.90$
● 受剪力及扭力作用者	$\phi=0.85$
● 混凝土承壓者：	$\phi=0.70$
● 純混凝土及具最少鋼筋比為 $200/f_y$ 的混凝土受撓曲時：	$\phi=0.65$
● 僅受軸向壓力，或受軸向壓力與撓曲聯合作用者：	
具螺旋箍筋之鋼筋混凝土構件	$\phi=0.75$
具非螺旋箍筋之鋼筋混凝土構件	$\phi=0.70$

2.6 載重係數^[2]

載重 (loads 或稱荷重)，為與已知結構物成平衡狀態之外力，通常可區分為靜載重與活載重。

靜載重 (dead load) 包括結構本身的重量與置於結構上的所有永久性材料的重

量，如：磚瓦、牆壁、軌道路基上之石渣、枕木、鋼軌等。

活載重 (live load) 則是指靜載重以外，一切加諸結構物的外力，可包括：

- 人類、傢俱、貨物之堆置重量
- 靜止或移動的交通工具重量
- 風作用與溫度改變所引起之力
- 移動載重 (衝擊) 或地震所引起的動態力
- 擋土結構中之液體或土壤的壓力。
- 爆炸所引起之力。

由於上述各種載重作用力穩含諸多不確定因素，所以，規範是以放大因子 (Load Factor 或稱放大係數、載重係數、荷重因數等) 來確保其安全。在鋼結構方面，AISC-LRFD 規範取靜載重之載重係數 1.2，而活載重之載重係數 1.6；而在 RC 結構方面，ACI 規範對靜載重採用 1.4 為載重係數，活載重則採用 1.7 為其載重係數。

三、載重組合

現行的鐵路橋梁設計規範之標準載重，為適應國內通行之美制設計理論體系及分析計算方式等實際作業環境，採美國 AREMA 之規定。

橋樑結構物之每一構件及其基礎均應能承受本節所述之各類不同載重之組合^[3]。

各類載重之符號定義如下：

D： 靜載重	LF： 煞車力及起動力
L： 活載重	F： 活動支承之縱向摩擦力
I： 衝擊力	
CF： 離心力	SF： 水壓力
E： 土壓力	OF： 車輛側向力及車輪橫壓力
B： 浮力	鋼軌縱向力
	其他載重
W1： 無列車行駛之風力	EQ： 地震力
W2： 有列車行駛之風力	

至於各種載重之計算方式，則於下一節中詳述。

3.1 容許應力設計法

容許應力設計法之載重組合如下表所示：

		容許應力 可提高百分比
Group I	$D+L+I+CF+E+B+SF$	-
Group II	$D+E+B+SF+W1$	25%
Group III	$Group\ I+W2+LF+F$	25%
Group IV	$Group\ I+OF$	25%
Group V	$Group\ II+OF$	40%
Group VI	$Group\ III+OF$	40%

3.2 強度設計法

強度設計法之載重組合如下表所示：

Group I	$1.4(D+1.7(L+I)+CF+E+B+SF)$
Group IA	$1.8(D+L+I+CF+E+B+SF)$
Group II	$1.4(D+E+B+SF+W1)$
Group III	$1.4(D+L+I+CF+E+B+SF+W2+LF+F)$
Group IV	$1.4(D+L+I+CF+E+B+SF +OF)$
Group V	$Group\ II+1.4OF$
Group VI	$Group\ III+1.4OF$

3.3 變形檢核之載重組合

對於橋梁撓度與變位量之檢核，列車活載重取單股道之活載重，但高速鐵路須列入衝擊力。

對於三股道以上之鐵路橋梁，其列車活載重之組合應考量其實際狀況決定之。

檢核橋梁受列車活載重之撓度限制時，僅考慮列車活載重。

Group I $L+[I]$

檢核承載列車之構造體在鋼軌面之容許變位時，在一般情況之水平方向之變位

量檢核，應考慮離心力、車輛側向力及車輪橫壓力與風力之作用。

$$\text{Group II} \quad L+[I]+CF+NE+W2$$

NE：車輛側向力及車輪橫壓力

[I]:高速鐵路須列入載重組合之衝擊載重。

四、軌道上的設計載重^[4]

4.1 靜載重

靜載重應包括結構構材之重量，以及軌道、道碴、道版與其他上載物等之重量，原則上依材料之實際重量計算，但預期將來會有重量之變化時，應考慮此變化之情況。

計算材料實際重量時可採用材料之單位重量及依據設計圖說之尺寸加以計算。所採用材料之單位重量，除在特殊情況下存在特別之條件或材質外，一般應以下表之值為標準（表 4）。但對於軌道版重量等有明確實際重量者，原則上使用該值。

表 4 材料單位重量

材 料	單位重量	
	公制 kgf/m ³	SI 制 kN/m ³
水泥砂漿	2150	21.0
鋼筋混凝土	2400	23.5
預力混凝土	2500	24.5
輕質鋼筋混凝土 (骨材全為輕質)	1850	18.0
鋼·鑄鋼·鍛鋼	7850	77.0
鑄鐵	7250	71.0
鋁	2800	27.5
道碴	1900	19.0
瀝青材料	1100	11.0
木材	800	8.0

4.2 列車活載重

一般鐵路依路線等級採用不同之設計列車活載重如下。

1、特甲級線：KS-18（動輪軸重 $Q = 18\text{tf}$ ）

2、甲級線：KS-16（動輪軸重 Q = 16tf）

3、乙級線：KS-15（動輪軸重 Q = 15tf）

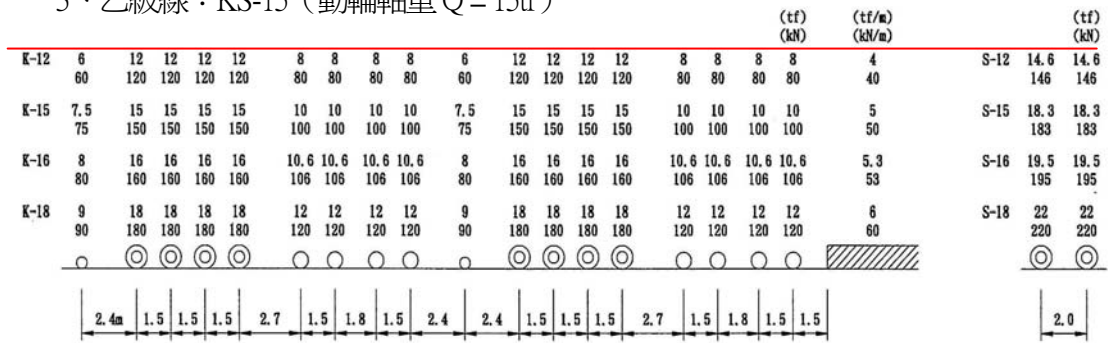


圖 3 KS 活載重

4.2.1 多股道之活載重折減

2 股道或 2 股道以上之活載重同時荷載下，計算作用於結構物之最大活載重時，原則上可依下列方式考慮。

2 股道：全載活載重。

3 股道：兩股道全載活載重，第三股道一半活載重。

4 股道：兩股道全載活載重，第三股道一半活載重，第四股道四分之一活載重。

上述全載活載重股道之選擇，應為能使結構物產生最不利受力之情況者。

4.2.2 列車活載重之分布

橋梁結構之構材設計應考慮列車活載重在不同載重長度及不同載重位置下之最不利影響。作用於橋梁結構物上之列車活載重，可假設均勻分布於一矩形面積上。在縱向，其軸重可假設均勻分布於縱向有效分布長度內，該長度為 0.9 公尺加二分之一道碴厚度（或兩倍道版厚度）及兩倍橋面版有效深度，但不需大於輪軸之間距。在橫向，其軸重可假設均勻分布於橫向有效分布寬度內，該寬度為軌枕長加二分之一道碴厚度（或兩倍道版厚度）。

4.3 衝擊力

衝擊力取為列車活載重乘以設計衝擊係數所得之值，為作用於軌頂之垂直載重，其分布方式與標準列車活載重之分布方式相同。

4.3.1 一般鐵路與高速鐵路設計衝擊係數

1、承載單股道之鋼構造及鋼與混凝土合成構造鐵路橋梁

承載單股道之鋼構造及鋼與混凝土合成構造鐵路橋梁，各構材所用之設計衝擊係數可採用。

$$I_0 = \frac{K_a \cdot V}{500 \cdot L_l^{0.2}} + \frac{10}{65 + L_l} \leq 0.7$$

但對於採用分散式動力之一般鐵路及高速鐵路，橋梁之變形須在滿足下列之條件下，上式方能採用。

$$\sqrt{\frac{31.5}{d}} > \frac{100}{L_l}$$

式中 I_0 ：設計衝擊係數

K_a ：依列車活載重類別等條件訂定之係數（一般鐵路 $K_a=2.0$ ，高速鐵路 $K_a=1.0$ ）

V ：橋梁設計之最高行車速度（km/h）

L_l ：原則上為引起構材產生最大活載重斷面力之同符號影響線之長度。對桁架結構之腹材，可取跨距長度之 75%，惟下承式桁架之垂直受拉構材、上承式桁架之垂直受壓構材及桁架格間內之斜向構材仍應以影響線之長度計算。（m）

d ：橋梁跨距內，靜載重產生之撓曲最大變形量（cm）

2、混凝土鐵路橋

承載單股道之混凝土鐵路橋梁，其主梁所用之設計衝擊係數可採用

$$I_0 = K_a \cdot \alpha + \frac{10}{65 + L_l} \leq 0.6$$

式中 I_0 ：設計衝擊係數

K_a ：依列車活載重類別等條件訂定之係數，如表 5 所示

：速度參數 $\alpha = \frac{V}{7.2n \cdot L_l}$

V ：橋梁設計之最高行車速度（km/h）

n ：結構之基本自然振動頻率（Hz）

L_l ：(1)簡支梁之跨距；(2)連續梁、多跨剛構架，其最小跨距為最大跨距之 70%以上時，採用各跨距之平均值；否則採用該跨距。（m）

表 5 係數 K_a

列車活載重類別		最高速度或最高速度參數	其他適用條件	K_a
一般鐵路及捷運系統	動力集中式	$V \leq 130$ km/h	$L_l \geq 10$ m	1.0
			$L_l < 10$ m 且 ≤ 0.1	1.0
	$L_l < 10$ m 且 > 0.1	1.5		
	動力分散式	$V \leq 160$ km/h	—	1.0
高速鐵路		≤ 0.33	—	1.0

註：不在本表範圍者，須另行檢討。

4.3.2 設計衝擊係數之折減

1、雙股道之折減

承載雙股道之鐵路橋梁所用之設計衝擊係數，可採用承載單股道主梁之設計衝擊係數，乘以下列所示之折減係數。

$$\beta = \begin{cases} 1 - L_l / 200 & L_l \leq 80 \text{ m} \\ 0.6 & L_l > 80 \text{ m} \end{cases}$$

L_l ：依上一節之規定

2、下部結構之折減

橋梁之下部結構及基礎所用之設計衝擊係數可依下式計算。

$$I = I_0 \cdot \left(1 - \frac{D_s}{LL + D_u + D_s} \right)$$

式中 I ：下部結構之設計衝擊係數

I_0 ：上部結構之設計衝擊係數

LL ：列車活載重傳遞至下部結構之載重

D_u ：上部結構傳遞至下部結構之載重

D_s ：至設計斷面為止之下部構造物之靜載重

但當 $\frac{D_s}{LL + D_u + D_s} \geq 0.9$ 時，可取 $I=0$ 。

【解說】 結構物因列車之行駛而產生動態之反應，衝擊係數定義為動態之應力或變形相對於靜態反應之增加幅度。衝擊係數可以如下之公式來表示：

$$i = \frac{f_d - f_s}{f_s}$$

式中 i ：衝擊係數

f_d ：動態之應力或變形之最大值

f_s ：靜態之應力或變形之最大值

進行結構物之設計時，一般藉由列車活載重乘以設計衝擊係數，將動態反應置換為靜態載重之作用。

4.4 離心力

離心力之作用位置及高度為列車或車輛之重心位置。一般客車之重心高度可採為軌面上 1.5 公尺處，貨車之重心高度可採為軌面上 1.8 公尺處。

離心力之標準值取為列車活載重乘以下列所示之離心力係數 α_c 所得之值。

$$\alpha_c = \frac{V^2}{127R} \quad \alpha_c: \text{離心力係數}$$

V : 列車或車輛於曲線上之最高速度 (km/h)

R : 曲線半徑 (m)

4.5 車輛側向力及車輪橫壓力

鐵路之車輛側向力及車輪橫壓力之作用高度為軌道面，作用方向為垂直於軌道方向之水平向。多股道鐵路橋梁之設計，兩作用力應同時施加於某一股道上，但對於單股道鐵路橋梁之設計，車輪橫壓力或車輛側向力僅考慮兩者之一即可。

車輛側向力之標準值如下所示：

1、一般鐵路

車輛側向力之作用位置取為 KS 活載重之動輪輪軸位置，其標準值取為 KS 活載重動輪軸重之 15 %。

2、高速鐵路

車輛側向力之作用位置取為相鄰車輛之連結器前後兩座臺車之車輪位置，其標準值取為列車標準活載重之輪軸重之 20 %。

車輪橫壓力之標準值如下所示：

1、一般鐵路及捷運系統

在路線設計速度超過 110km/h 之橋梁，其車輪橫壓力之標準值為 6tf 60kN。

2、高速鐵路

車輪橫壓力之標準值為 7tf 70kN。

4.6 煞車力及啓動力

煞車力及起動力之作用高度取為列車或車輛之重心位置，水平作用於軌道方向。

4.6.1 一般鐵路

每一股道煞車力及起動力採用下表所示作用力為標準值。列車活載重之載重長度及載重位置應取對構材產生最不利影響者。

1、容許應力法：

列車活載重	煞車力及起動力		作用高度
KS 活載重	煞車力	列車活載重之 15 %	軌頂面上 1.8 公尺處
	起動力	動輪軸重之 25 %	

2、強度設計法：

列車活載重	煞車力及起動力		作用高度
KS 活載重	煞車力	列車活載重之 25 %	軌頂面上 1.8 公尺處
	起動力	動輪軸重之 25 %	

4.6.2 高速鐵路

每一股道煞車力及起動力採用下表所示作用力為標準值。列車活載重之載重長度 (L_b) 及載重位置應取對構材產生最不利影響者。

1、容許應力法：

列車活載重	煞車力及起動力		作用高度	
貨運列車活載重	煞車力	$3 + L_b$ (tf) (ie $30 + 10 L_b$ (kN))	軌頂面上 1.8 公尺處	
		$2 + 0.6 L_b$ (tf) (ie $20 + 6 L_b$ (kN))		$L_b \leq 100$
	起動力	62 (tf) (ie 620 (kN))		$100 < L_b \leq 190$
		$62 + 0.6(L_b - 190)$ (tf) (ie $620 + 6(L_b - 190)$ (kN))		$190 < L_b \leq 240$
		92 (tf) (ie 920 (kN))		$240 < L_b$
客運列車活載重	煞車力	$3 + 0.7 L_b$ (tf) (ie $30 + 7 L_b$ (kN))	軌頂面上 1.5 公尺處	
	起動力	$1 + 0.3 L_b$ (tf) (ie $10 + 3 L_b$ (kN))		

2、強度設計法：

列車活載重	煞車力及起動力		作用高度
貨運列車及 客運列車活 載重	煞車力	$\left(0.20 + \frac{0.80}{M} \cdot L_b\right) \cdot Q$	軌頂面上 1.5 公尺 處
	起動力	$\left(0.19 + \frac{0.76}{M} \cdot L_b\right) \cdot Q$	

M：車輛長（1 節車廂長度）(m)

Q：列車標準活載重之輪軸重

4.7 步道活載重

鐵路橋梁中，行人步道採用之活載重為 500 kgf/m^2 5kN/m^2 ，維修步道採用之活載重加計置放之維修器材為 500 kgf/m^2 5kN/m^2 。

步道活載重應依據構造物或構件之使用目的與特性加以訂定，原則上以下表所列之值為標準，但對於大都市車站等之預期會有高人群密度情況下之月臺承梁，應使用月臺跨越橋行人活載重之值。

(單位： kgf/m^2 (ie kN/m^2))

設計對象	構造類別	常時	地震時
混凝土版構造	月臺跨越橋	500 (ie 5.0)	—
	站區高架橋之中層橋版 懸臂版、橋側步道(道碴軌道之情況)		
	月臺承梁 懸臂版、橋側步道(版式軌道或無道床之情況)	300 (ie 3.0)	—
	梁、柱	月臺跨越橋	350 (ie 3.5)	150 (ie 1.5)
站區高架橋之中層橋版		210 (ie 2.1)	
月臺承梁		200 (ie 2.0)	100 (ie 1.0)

4.8 作業車活載重

對於行駛於軌道、橋側步道或月臺跨越天橋之作業車、維修車或搬運車，應依預期使用車輛種類之車輪配置與承載重量，訂定相關之輪軸重。

4.9 風力

風力假設水平作用於橋軸垂直方向，受風面積為該方向橋梁投影面積，橋上有列車時應將列車投影面積計入。

1、橋上無列車之情況

設計風壓不得小於 390 kgf/m^2 (ie 3.9kN/m^2)。但風速超過 55m/s 時，應依風速比平方之比例增加之。

2、橋上有列車之情況

設計風壓不得小於 150 kgf/m^2 (ie 1.5kN/m^2)。

4.10 水壓力

平均流水壓力按下式計算

$$P_{\text{avg}}=52.5K(V_{\text{avg}})^2 \quad (\text{ie } 515K(V_{\text{avg}})^2)$$

式中

P_{avg} =平均流水壓力 kgf/m^2 (ie Pa)

V_{avg} =平均水流速 m/sec ，以流量除以流水面積計算之。

K =水流作用力常數，平頭墩用 1.4，圓頭墩用 0.7，尖頭墩其角度為 30° 或小於 30° 者用 0.5。

對於橋墩之作用力應假設水壓按三角形分佈，最大流水壓力 P_{max} 為平均流水壓力 P_{avg} 之二倍。流水力可以流水壓力與流經橋墩面積之乘積計得。若水位面頂部高程較梁底為高時，流水力對於上部結構之影響亦應考量，此時上部結構所受之流水壓力可取為 P_{max} 按均勻分佈之方式作用之。

若水流方向與其流經之結構物表面非成垂直，或有河岸遷移或河岸曲折變化之虞時，對於流水壓力方向分力之影響應予考量。

4.11 土壓力

擋土結構應足以抵抗依藍欽 (RANKINE) 或庫倫 (COULOMB) 公式計算所得之土壓力，惟設計壓力不得小於單位重為 480kgf/m^3 (ie $4,800\text{N/m}^3$) 之流體壓力。地震時之土壓力，應符合部頒“鐵路橋梁耐震設計規範”之相關規定。

4.12 地震力

地震力之計算較為複雜，一般可分為靜力分析法與動力分析法兩種，在本文第

6 節將簡述靜力分析法，及所須要應用的數據表，對於路線上的簡支橋梁等常見結構物，已足敷使用。

其他有關地震力之規定詳見交通部頒“鐵路橋梁耐震設計規範”之相關規定。

4.13 鋼軌縱向力

鐵路橋梁設計時應將鋼軌縱向力之影響納入考量，每股道之鋼軌縱向力可取 1 tf/m (ie 10 kN/m) 乘以連續構造物全長之值，但不需超過 200 tf (ie 2,000 kN)。

【解說】以鋼軌之不動區段內存在一單跨簡支梁之情況為例來作說明。由於梁對於其溫度變化幾可自由地伸縮，因此會以固定端為不動點而向可動端之方向移動。另一方面，由於鋼軌位於不動區段之範圍，因此可視為幾乎不移動。從而鋼軌與梁將產生相對錯動，而於至某微小錯動量為止之範圍內，抵抗力將與此錯動量成等比例地增加，但當抵抗力達某一定值時將產生滑動。產生滑動時之定值抵抗力，亦即所謂之爬行抵抗力，隨著扣件扣壓力等因素而改變。如上所述起因於梁與鋼軌移動量之差所造成之鋼軌連結裝置等位置之摩擦力，將對於梁產生鋼軌縱向力之作用。

鋼軌之可動區段之結構物與鋼軌之錯動情形雖與不動區段之錯動情形有所差異，但鋼軌縱向力可考量為與不動區段相同之方式作用。

由於鋼軌連結裝置等位置之摩擦力，會因日溫差變化程度之溫度變化而達到爬行抵抗力之大小，因此鋼軌縱向力應考量為常時作用之長期載重。

其次，在鋼軌溫度較設定溫度為高或為低之情況，鋼軌縱向力之作用方向將相反，因此一般而言鋼軌縱向力可作用於軌道之雙向上。

對於靜不定結構物等之裂縫檢討，在混凝土乾縮影響與負溫度變化之影響相互組合之情況時，可僅考量鋼軌溫度較設定溫度為低之情況下之作用方向。

為減少鋼軌縱向力，對於版式軌道或直結式軌道可減少其扣件之扣壓力，但若扣件之扣壓力太小，於低溫時鋼軌斷裂之開口量會變大。其次，若相對地扣件之扣壓力太大，由於鋼軌軸力會增大，因此在軌道橫向抵抗力較小之情況時，會產生鋼軌挫屈之危險。基於上述之考量，通常是以具有 0.5 tf/m (ie 5 kN/m) 爬行抵抗力之方式來扣壓鋼軌。除此之外，結構分析檢討所用之爬行抵抗力，一般可採用一股道 1 tf/m (ie 10 kN/m)。

對於結構物上之軌道，有時會採用具有與通常爬行抵抗力有所差異之連結裝置。類似此等之使用特定連結裝置之情況，應採用該連結裝置之爬行抵抗力。

在道碴軌道之情況，鋼軌作用力藉由道碴之摩擦與剪力變形來作用，其作用方式雖與版式軌道或直結式軌道之作用方式稍有差異，惟其爬行抵抗力約略相當，因此對於道碴軌道亦可採用與版式軌道、直結式軌道相同之爬行抵抗力。

由於鋼軌縱向力之作用方向與作用長度，隨著鋼軌伸縮縫之位置、與鄰接結構物之相對位置關係、結構物長度、梁構造之固定或活動支承之配置方式等因素之不同而有所差異，因此無法作概括性之訂定。本規範基於安全側之判斷，考量鋼軌作

用力作用於連續構造物全長之同一方向上。

鋼軌縱向力設計標準值最大不超過 200 tf (ie 2,000 kN) 之理由，乃基於對於高溫時鋼軌挫屈之軸力限制之考量，以及基於鋼軌縱向力考量為同一方向作用於連續結構物全長之載重，則此等程度之值應已足夠。

設計時特別指定鋼軌伸縮縫位置之情況，可考量其相應之鋼軌縱向力。例如於長大橋梁之活動端設置鋼軌伸縮縫之情況，由於會產生鋼軌與梁之間沒有相互錯動之區段，因此在此等配置很明確之情況，可縮短鋼軌縱向力之作用區段，從而減小鋼軌縱向力之大小。

其次，對於鋼軌之不動區段內之剛構架式結構物而言，其鋼軌縱向力將相互抵銷。對於此等結構物，由於考慮到鋼軌斷裂等之可能性，因此於極限狀態之檢討時仍應考慮鋼軌縱向力。惟於使用狀態之檢討時，若此結構物皆於不動區段內之前提下，亦可不考慮鋼軌縱向力之作用。

鋼軌縱向力可視為終日或終年在爬行抵抗力範圍內變化之變動載重。於耐久性之裂縫檢討所用之設計標準值，一般可採用 0.8 tf/m (ie 8 kN/m) 乘以連續構造物全長之值。

4.14 道路車輛撞擊力

對於會有道路車輛撞擊疑慮之橋墩等，原則上應設置充分之防護設施。在無法設置充分防護措施之情況時，對於該橋墩等應考慮道路車輛之撞擊力。

道路車輛之撞擊力原則上採用下列所示之作用力，以距車道面 1.8 公尺高度之水平方向作用，但不需考慮於兩個方向同時作用。

車道方向 100 tf (ie 1,000 kN)

垂直車道方向 50 tf (ie 500 kN)

4.15 浮力

設計下部結構（包括基樁）或上部結構時，浮力之影響應予考慮。

4.16 活動支承之縱向摩擦力

橋梁上、下部結構以活動支承連接時，活動支承端由於摩擦或剪力阻抗引致之縱向力可由作用於支承之靜載重反力乘以活動支承之摩擦係數求得作用於下部結構，惟其值不必大於假設該支承為鉸支承時所分攤之縱向力。

4.17 其他載重

鐵路橋梁之結構應能抵抗由於潛變、乾縮、溫度效應以及支承變位之影響等

所引致之力量。

4.18 施工期間之載重

施工期間之載重，包括自重、活載重、衝擊力及其他直接加載於構材之載重，應依所採用之施工法加以訂定。施工期間之風力及地震力之影響，得依工期之長短，結構物之重要度，適當予以減小。

4.19 附屬設施載重

4.19.1 作用於橋側步道欄杆之水平力

欄杆或胸牆之水平作用力，垂直構件向內向外採 75 kg/m (ie 0.75 kN/m) 以上之推力，但對於旅客月臺之欄杆應採以 250 kg/m (ie 2.50 kN/m) 以上之推力，對於通過軌道上方通道之欄杆應採不小於 100 kg/m (ie 1 kN/m) 之推力。作用於欄杆或胸牆之其他荷載，如風力、篷頂結構、大型標誌看板、防音牆等載重應另外加以考慮。

4.19.2 電桿載重

電桿之設計載重應考慮電桿之自重、作用於電桿及電車線之風力、電車線斷裂時之不平衡力等。

架空電車線設施受 1 條斷裂電車線之不平衡力，為作用於電車線方向 2 tf (ie 20 kN) 之單側拉力，並依下列方式考量多條電車線同時斷裂時之最不利荷載情況。

- 1 條電車線：1 條電車線斷裂
- 2 至 6 條電車線：2 條電車線同時斷裂
- 6 條以上電車線：3 條電車線同時斷裂

五、標準載重之應用

5.1 標準列車載重 EA 及 KS

一般鐵路活載重包括非電化路段之動力集中式列車活載重及電化路段之動力分散式列車活載重，動力集中式列車活載重之標準列車活載重為 EA 活載重或 KS 活載重，動力分散式列車活載重之標準列車活載重為 M 活載重。列車活載重之大小依路線等級以下列所示之設計列車活載重為標。

準，惟非電化路段可不分路線等級採用 EA-15 為設計列車活載重，電車專用線可不分路線等級採用 M-18 (有特別之理由時 K-12、S-16 或 KS-15) 為設計列車活載重。

- 1、特甲級線：EA-17 (KS-16，但情形特殊時得增至 KS-18)

2、甲級線：EA-17（KS-16）

3、乙級線：EA-17（KS-15）

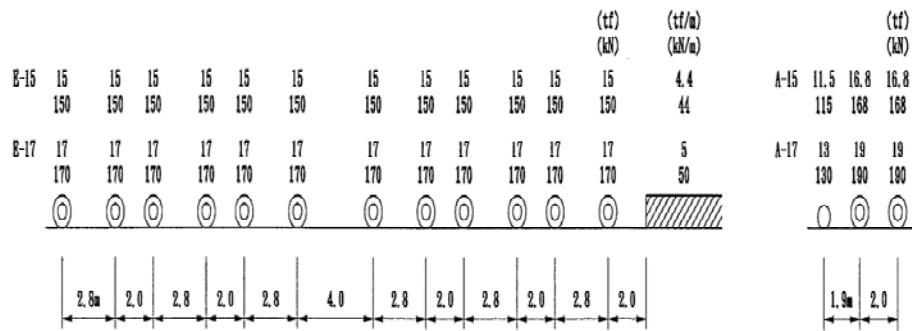


圖 4 EA 活載重

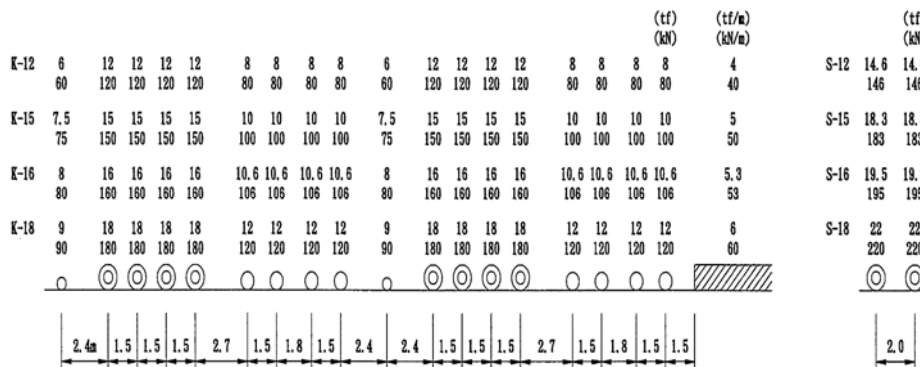


圖 5 KS 活載重

鐵路車輛一般依車輛設計時訂定之計畫重量加以製作，同一型式車輛之實際重量變動程度甚小。客車之最大承載重量可由最大可乘載人員之重量來估算。根據日本擠塞乘車試驗之結果，座位區以外之車地版所承載之最大旅客載重為 780 kgf/m^2 ($12 \text{ 人/m}^2 \times 65 \text{ kgf/人}$)，可利用類似此類之數值來估算最大承載重量。另一方面，貨車之牽引載重之估算，可根據承載之容積與承載貨物之種類，同時考量假想之超載重量來作判斷。

決定設計列車活載重時，應對於該路線區段所使用之列車與車輛進行重量之評估，其中應包含對於結構物或構材造成最大影響之列車與車輛，並根據所採用車輛系統之列車車軸配置、車輛實際重量與最大承載重量予以訂定。

5.2 標準列車 KS 載重之相當值

一般設計結構物時，必須自多種載重組合條件中選取一種對該結構物造成最大應力的載重組合，並以此作為計算構件最大應力之設計條件。若不清楚哪一種載重組合將對構件造成最大應力，則必須依規範檢算幾種載重組合條件，取其最大值最為設計條件。

所謂的標準載重被採用有兩層意義，其一是設計各種結構物如橋梁、箱涵等，作為結構分析計算基礎，因為工程師們不可能將所有不同型式的車輛軸重都拿來計算；另一層意義是作為車輛製造、採購的依據。不過，雖然車輛製造或採購必須符合標準載重規定，但各型車輛因其用途不同，所以，其輪重、軸距也各不相同，此時，就必須依個別的輪重、軸距計算其所能造成的最大彎矩、剪應力等。這些真正的車輛所算得的應力，若與標準載重所計算出來的應力值做比較，就可以得知有沒有超過規範所定的標準載重範圍。以標準載重所算之最大彎矩值為分母，兩者相除，就可得到標準載重之相當值，意思是相當於幾倍（或幾%）的標準載重。又因結構分析一般都假設是材料的彈性範圍，載重也是符合可以疊加的線性條件，所以，實際車輛載重若經與 KS 標準載重比較，也可依比例關係推得其相當 KS 標準載重之值。

由於上述計算過程繁複，早期工程師沒有電腦協助，發展出一系列的查表計算方法，甚為簡便。目前，雖結構分析軟體已汗牛充棟，但囿於版權與經費，臺鐵工程師們未必能用，所以，再次引介早年的查表方法，所應用數據圖表主要來自日本鐵道方面書籍。【5】【6】

5.3 查表法

表 6 為 KS18 載重的彎矩表，表最上端依次列出 KS18 標準載重各輪相對位置，圓圈內數字表示輪重，圓圈間數字表示輪距，圓圈上的數字表示該輪序號，係自最前端之輪起依順序編號，而表左右數字表示行序。表內有一粗線作階梯狀，將表分割為上下兩部分，茲就階梯粗線以上及階梯粗線以下，分別說明如後。

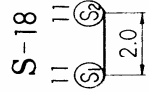
5.3.1 階梯粗線以上

在表 6 中試以 6~7 號輪間，由上向下算第 4 格（即第 16 行）為例，該方格內所示數字係表自該方格向右橫向延伸，遇粗線，粗線上方是第 16 號輪。即表示該方格內下方數字 672.75，是以第 16 號輪中心為原點，自第 6 號輪至第 16 號輪之彎矩總和（ $t \cdot m$ ）。同理，該方格內左上方數字 76.5 為輪重總和，方格內右上方數字 18.3 為距離總和。

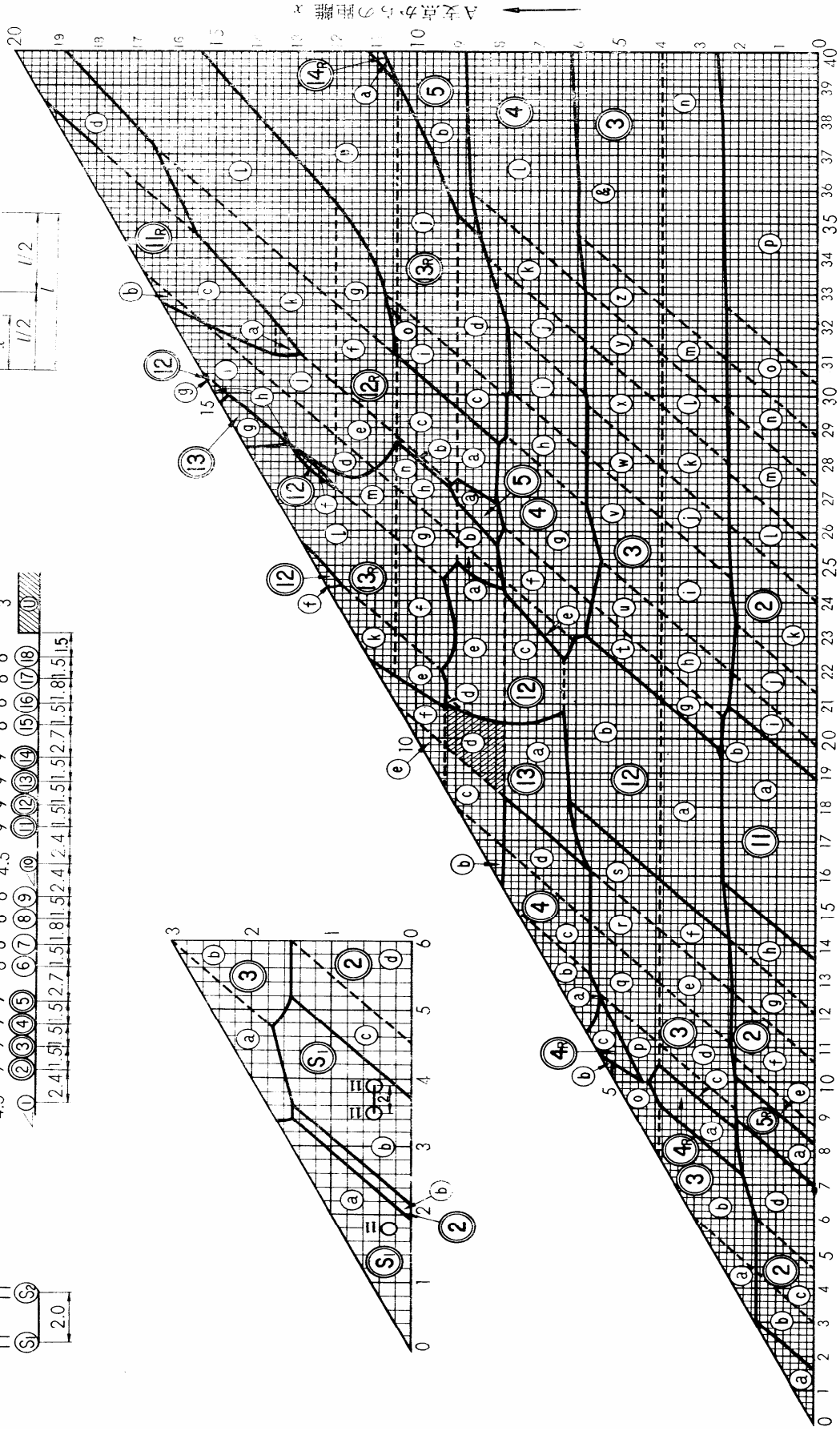
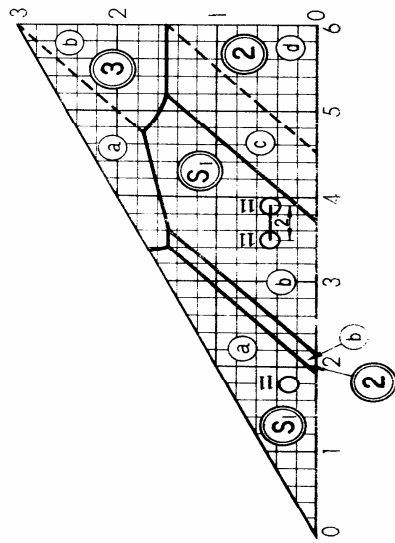
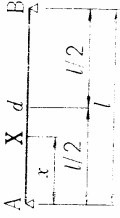
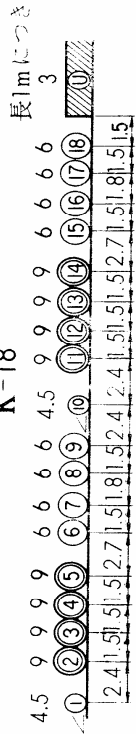
5.3.2 階梯粗線以下

在表 6 中試以 16~17 號輪間，由下向上算第 2 格（即第 2 行）為例，該方格內所示數字係表自該方格向左橫向延伸，遇粗線，粗線上方是第 2 號輪。即表示該方格內下方數字 1522.80，是以第 2 號輪中心為原點，自第 17 號輪至第 2 號輪之彎矩總和（ $t \cdot m$ ）。同理，該方格內左上方數字 18.5 為輪重總和，方格內右上方數字 27.3 為距離總和。

以 KS 載重求簡支梁兩支承點間某點之彎曲力矩極大值，雖可依載重條件式求得，但滿足該條件式之載重配置卻有許多種，那一種可求得最大值，需依各種情形實際計算，尚未得結果作比較以前難予了解，所以，工程師往往為了計算二點間彎曲力矩而頗費功夫。圖 7 及圖 8 表示簡支梁內各點產生最大彎曲力矩之載重位置，橫軸表示梁構件兩支承點間之淨距離，亦即簡支梁之跨距，縱軸表示未知彎矩斷面與支承點間之距離。而圖中圓圈內所標示者為區域及編號，亦代表在表 7 及表 8 中所必須採用的公式之編號。



K-18



支間 l

圖7 鐵路 KS18 載重最大彎矩位置圖^(a)

単純桁の各点に最大曲げモーメントを生ずる荷重の位置 (その2)
活荷重 KS-18

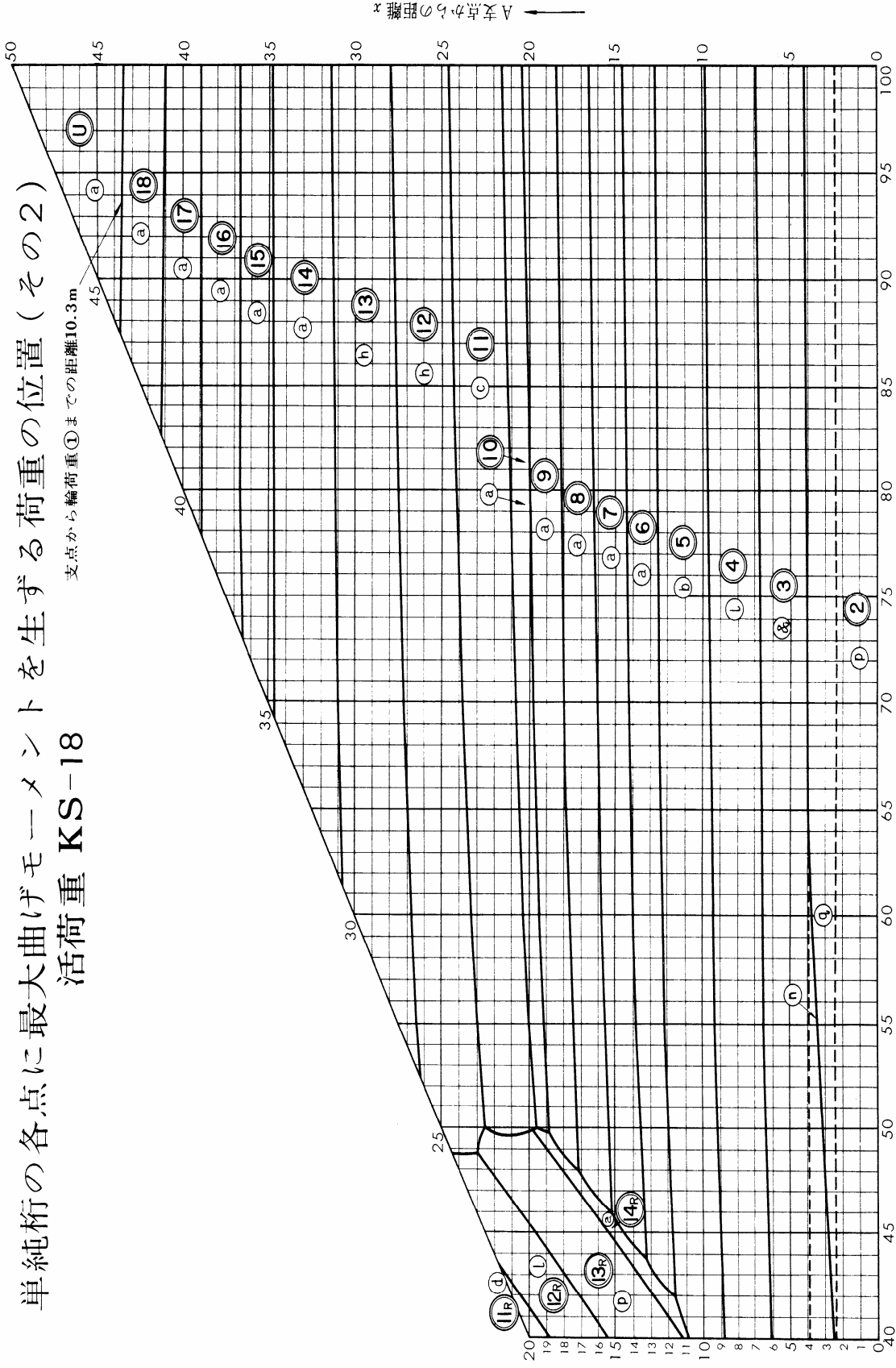


圖 8 鐵路KS18載重最大彎矩位置圖⁶⁾

表7 鐵路KS18 載重最大彎矩公式表⁶⁾

最大曲げモーメント公式表 (単純桁)

A	B	C	D	A	B	C	D
①	a	⑤	$\frac{11x}{l}(l-x)$	③	④	①-⑦	$\frac{x}{l} \{ 52.5(l-x) - 86.85 \}$
	b	⑤-⑥	$\frac{22x}{l}(l-x)$		④	①-⑧	$\frac{x}{l} \{ 58.5(l-x) - 140.85 \}$
	a	②	$\frac{9x}{l}(l-x)$		⑤	①-⑨	$\frac{x}{l} \{ 64.5(l-x) - 203.85 \}$
	b	②-③	$\frac{18x}{l}(l-x) \cdot 0.75$		⑥	①-⑩	$\frac{x}{l} \{ 87.0(l-x) - 550.80 \}$
	c	②-④	$\frac{27x}{l}(l-x) \cdot 1.5$		⑦	①-⑪	$\frac{x}{l} \{ 96.0(l-x) - 715.50 \}$
	d	②-⑤	$\frac{36x}{l}(l-x) \cdot 2.25$		⑧	①-⑫	$\frac{x}{l} \{ 105.0(l-x) - 893.70 \}$
	e	②-⑥	$\frac{x}{l} \{ 42.0(l-x) - 124.20 \}$		⑨	①-⑬	$\frac{x}{l} \{ 111.0(l-x) - 1028.70 \}$
	f	②-⑦	$\frac{x}{l} \{ 48.0(l-x) - 176.40 \}$		⑩	①-⑭	$\frac{x}{l} \{ 117.0(l-x) - 1172.70 \}$
	g	②-⑧	$\frac{x}{l} \{ 54.0(l-x) - 239.40 \}$		⑪	①-⑮	$\frac{x}{l} \{ 123.0(l-x) - 1327.50 \}$
	h	②-⑨	$\frac{x}{l} \{ 60.0(l-x) - 311.40 \}$		⑫	①-⑯	$\frac{x}{l} \{ 129.0(l-x) - 1491.30 \}$
	i	②-⑩	$\frac{x}{l} \{ 82.5(l-x) - 692.10 \}$		⑬	①-⑰	$\frac{1.5x}{l} \{ (l+14.2-x)^2 - 366.40 \}$
	j	②-⑪	$\frac{x}{l} \{ 91.5(l-x) - 870.30 \}$		⑭	②-⑰	$\frac{x}{l} \{ 48.0(l-x) - 32.40 \}$
	k	②-⑫	$\frac{x}{l} \{ 100.5(l-x) - 1062.00 \}$		⑮	②-⑱	$\frac{x}{l} \{ 52.5(l-x) - 8.10 \}$
②	l	②-⑬	$\frac{x}{l} \{ 106.5(l-x) - 1266.00 \}$	④	c	①-⑧	$\frac{x}{l} \{ 58.5(l-x) - 53.10 \}$
	m	②-⑭	$\frac{x}{l} \{ 112.5(l-x) - 1359.00 \}$		d	①-⑨	$\frac{x}{l} \{ 64.5(l-x) - 107.10 \}$
	n	②-⑮	$\frac{x}{l} \{ 118.5(l-x) - 1522.80 \}$		e	①-⑩	$\frac{x}{l} \{ 87.0(l-x) - 420.30 \}$
	o	②-⑯	$\frac{x}{l} \{ 124.5(l-x) - 1695.60 \}$		f	①-⑪	$\frac{x}{l} \{ 96.0(l-x) - 571.50 \}$
	p	②-⑰	$\frac{1.5x}{l} \{ (l+11.2-x)^2 - 337.75 \}$		g	①-⑫	$\frac{x}{l} \{ 105.0(l-x) - 736.20 \}$
	q	①-⑱	$\frac{1.5x}{l} \{ (l+12.7-x)^2 - 366.40 \} - 10.8$		h	①-⑬	$\frac{x}{l} \{ 111.0(l-x) - 862.20 \}$
	a	②-⑳	$\frac{27x}{l}(l-x) - 13.5$		i	①-⑭	$\frac{x}{l} \{ 117.0(l-x) - 997.20 \}$
	b	②-㉑	$\frac{36x}{l}(l-x) \cdot 0.75 - 13.50$		j	①-⑮	$\frac{x}{l} \{ 123.0(l-x) - 1143.00 \}$
	c	②-㉒	$\frac{x}{l} \{ 42.0(l-x) - 61.20 \}$		k	①-⑯	$\frac{x}{l} \{ 129.0(l-x) - 1297.00 \}$
	d	②-㉓	$\frac{x}{l} \{ 48.0(l-x) - 104.40 \}$		l	①-⑰	$\frac{1.5x}{l} \{ (l+15.7-x)^2 - 366.40 \}$
	e	②-㉔	$\frac{x}{l} \{ 54.0(l-x) - 158.40 \}$		⑤	①-⑳	$\frac{x}{l} \{ 105.0(l-x) - 578.70 \}$
	f	②-㉕	$\frac{x}{l} \{ 60.0(l-x) - 221.40 \}$		⑥	①-㉑	$\frac{1.5x}{l} \{ (l+17.2-x)^2 - 366.40 \}$
	g	②-㉖	$\frac{x}{l} \{ 82.5(l-x) - 568.35 \}$		⑦	①-㉒	$\frac{1.5x}{l} \{ (l+19.9-x)^2 - 366.40 \}$
h	②-㉗	$\frac{x}{l} \{ 91.5(l-x) - 733.05 \}$	⑧	①-㉓	$\frac{1.5x}{l} \{ (l+21.4-x)^2 - 366.40 \}$		
i	②-㉘	$\frac{x}{l} \{ 100.5(l-x) - 911.25 \}$	⑨	①-㉔	$\frac{1.5x}{l} \{ (l+23.2-x)^2 - 366.40 \}$		
j	②-㉙	$\frac{x}{l} \{ 106.5(l-x) - 1046.25 \}$	⑩	①-㉕	$\frac{1.5x}{l} \{ (l+24.7-x)^2 - 366.40 \}$		
k	②-㉚	$\frac{x}{l} \{ 112.5(l-x) - 1190.25 \}$	⑪	①-㉖	$\frac{1.5x}{l} \{ (l+27.1-x)^2 - 366.40 \}$		
l	②-㉛	$\frac{x}{l} \{ 118.5(l-x) - 1345.05 \}$	⑫	①-㉗	$\frac{1.5x}{l} \{ (l+27.1-x)^2 - 366.40 \}$		
m	②-㉜	$\frac{1.5x}{l} \{ (l+12.7-x)^2 - 337.75 \}$	⑬	①-㉘	$\frac{1.5x}{l} \{ (l+27.1-x)^2 - 366.40 \}$		
n	②-㉝	$\frac{x}{l} \{ 40.5(l-x) - 9.45 \}$	⑭	①-㉙	$\frac{1.5x}{l} \{ (l+27.1-x)^2 - 366.40 \}$		
o	①-㉞	$\frac{x}{l} \{ 46.5(l-x) - 43.65 \}$	⑮	①-㉚	$\frac{1.5x}{l} \{ (l+27.1-x)^2 - 366.40 \}$		
p	①-㉟	$\frac{x}{l} \{ 46.5(l-x) - 43.65 \}$	⑯	①-㉛	$\frac{1.5x}{l} \{ (l+27.1-x)^2 - 366.40 \}$		

表8 鐵路KS18 載重最大彎矩公式表¹⁶⁾

最大曲げモーメント公式表 (単 純 桁)				
A	B	C	D	D
⑪	(a)	⑩ - ①	$\frac{1.5x}{l} \{ (l + 6.5 - x)^2 - 67.6 \}$	$\frac{x}{l} \{ 40.5(l - x) - 112.05 \}$
	(b)	⑩ - ①	$\frac{1.5x}{l} \{ (l + 8.0 - x)^2 - 82.15 \} - 10.8$	$\frac{x}{l} \{ 124.5(l - x) - 396.00 \}$
	(c)	① - ①	$\frac{1.5x}{l} \{ (l + 29.5 - x)^2 - 366.40 \} - 793.8$	$\frac{1.5}{l} (l - x) \{ (x + 25.0)^2 - 279.55 \}$
	(d)	① - ①	$\frac{1.5x}{l} \{ (l + 8.0 - x)^2 - 67.6 \} - 13.5$	$\frac{1.5}{l} (l - x) \{ (x + 28.0)^2 - 337.75 \}$
⑫	(a)	⑩ - ①	$\frac{1.5x}{l} \{ (l + 9.5 - x)^2 - 82.15 \} - 31.05$	$\frac{1.5}{l} (l - x) \{ (x + 29.5)^2 - 366.40 \}$
	(b)	⑩ - ①	$\frac{1.5x}{l} \{ (l + 11.5 - x)^2 - 98.95 \} - 68.85$	$\frac{x}{l} \{ 112.5(l - x) - 699.75 \}$
	(c)	⑧ - ⑧	$\frac{x}{l} \{ 76.5(l - x) - 119.25 \} - 115.65$	$\frac{x}{l} \{ 109.5(l - x) - 481.05 \}$
	(d)	⑧ - ①	$\frac{1.5x}{l} \{ (l + 13.5 - x)^2 - 117.75 \} - 115.65$	$\frac{x}{l} \{ 18.5(l - x) - 64.75 \}$
	(e)	⑥ - ⑥	$\frac{1.5x}{l} \{ (l + 17.5 - x)^2 - 158.95 \} - 239.85$	$\frac{x}{l} \{ 106.5(l - x) - 266.85 \}$
	(f)	⑤ - ⑤	$\frac{1.5x}{l} \{ (l + 20.5 - x)^2 - 190.15 \} - 364.05$	$\frac{x}{l} \{ 115.5(l - x) - 418.05 \}$
	(g)	⑤ - ①	$\frac{1.5x}{l} \{ (l + 31.0 - x)^2 - 366.40 \} - 910.80$	$\frac{x}{l} \{ 124.5(l - x) - 582.75 \}$
	(h)	① - ①	$\frac{1.5x}{l} \{ (l + 11.0 - x)^2 - 82.15 \} - 64.80$	$\frac{x}{l} \{ 129.0(l - x) - 675.90 \}$
⑬	(a)	⑩ - ①	$\frac{x}{l} \{ 64.5(l - x) - 6.30 \} - 111.60$	$\frac{1.5}{l} (l - x) \{ (x + 20.5)^2 - 190.15 \} - 364.05$
	(b)	⑩ - ①	$\frac{x}{l} \{ 70.5(l - x) - 6.30 \} - 111.60$	$\frac{1.5}{l} (l - x) \{ (x + 23.5)^2 - 230.35 \} - 501.75$
	(c)	⑩ - ①	$\frac{1.5x}{l} \{ (l + 13.0 - x)^2 - 98.95 \} - 111.60$	$\frac{1.5}{l} (l - x) \{ (x + 26.5)^2 - 279.55 \} - 652.95$
	(d)	⑩ - ①	$\frac{x}{l} \{ 76.5(l - x) - 4.50 \} - 167.40$	$\frac{1.5}{l} (l - x) \{ (x + 29.5)^2 - 337.75 \} - 817.65$
	(e)	⑩ - ①	$\frac{1.5x}{l} \{ (l + 15.0 - x)^2 - 117.75 \} - 167.40$	$\frac{1.5}{l} (l - x) \{ (x + 31.0)^2 - 366.40 \} - 910.80$
	(f)	⑩ - ①	$\frac{1.5x}{l} \{ (l + 19.0 - x)^2 - 158.95 \} - 309.60$	$\frac{x}{l} \{ 91.5(l - x) - 329.40 \}$
	(g)	⑩ - ①	$\frac{1.5x}{l} \{ (l + 32.5 - x)^2 - 366.40 \} - 1041.30$	$\frac{x}{l} \{ 100.5(l - x) - 480.60 \}$
	(h)	① - ①	$\frac{1.5x}{l} \{ (l + 34.0 - x)^2 - 366.40 \} - 1185.30$	$\frac{x}{l} \{ 118.5(l - x) - 823.50 \}$
⑭	(a)	① - ①	$\frac{1.5x}{l} \{ (l + 36.7 - x)^2 - 366.40 \} - 1468.80$	$\frac{x}{l} \{ 123.0(l - x) - 923.40 \}$
	(a)	① - ①	$\frac{1.5x}{l} \{ (l + 38.2 - x)^2 - 366.40 \} - 1635.30$	$\frac{x}{l} \{ 82.5(l - x) - 62.10 \}$
⑮	(a)	① - ①	$\frac{1.5x}{l} \{ (l + 40.0 - x)^2 - 366.40 \} - 1845.90$	$\frac{x}{l} \{ 88.5(l - x) - 137.70 \}$
	(a)	① - ①	$\frac{1.5x}{l} \{ (l + 41.5 - x)^2 - 366.40 \} - 2030.40$	$\frac{x}{l} \{ 97.5(l - x) - 275.40 \}$
⑯	(a)	① - ①	$\frac{1.5}{l} \{ (lx + 366.40)(l - x) \}$ 輪荷重①より支点に至る距離10.3米	$\frac{x}{l} \{ 106.5(l - x) - 426.60 \}$
	(a)	① - ①	$\frac{x}{l} \{ 140.5(l - x) - 51.30 \} - 13.5$	$\frac{x}{l} \{ 124.5(l - x) - 769.50 \}$
⑰	(a)	① - ①	$\frac{x}{l} \{ 142.0(l - x) - 1.80 \} - 38.7$	$\frac{x}{l} \{ 129.0(l - x) - 869.40 \}$
	(a)	① - ①	$\frac{x}{l} \{ 146.5(l - x) - 26.10 \} - 38.7$	$\frac{1.5}{l} (l - x) \{ (x + 17.0)^2 - 137.35 \}$
⑱	(a)	⑤ - ①	$\frac{x}{l} \{ 140.5(l - x) - 51.30 \} - 13.5$	$\frac{1.5}{l} (l - x) \{ (x + 19.0)^2 - 158.95 \}$
	(b)	⑥ - ②	$\frac{x}{l} \{ 142.0(l - x) - 1.80 \} - 38.7$	$\frac{1.5}{l} (l - x) \{ (x + 22.0)^2 - 190.15 \}$
⑲	(a)	⑥ - ①	$\frac{x}{l} \{ 146.5(l - x) - 26.10 \} - 38.7$	$\frac{1.5}{l} (l - x) \{ (x + 25.0)^2 - 230.35 \}$
	(b)	⑥ - ②		$\frac{1.5}{l} (l - x) \{ (x + 31.0)^2 - 337.75 \}$
⑳	(a)	⑥ - ①		$\frac{1.5}{l} (l - x) \{ (x + 32.5)^2 - 366.40 \}$
	(b)	⑥ - ①		$\frac{1.5}{l} (l - x) \{ (x + 34.0)^2 - 366.40 \}$

A: 最大曲げモーメントを求めようとする点にくる荷重 B: 公式適用範囲 C: 桁支間中高重範囲 D: 最大曲げモーメント公式
 長さの単位 (m) 曲げモーメントの単位 (t・m)

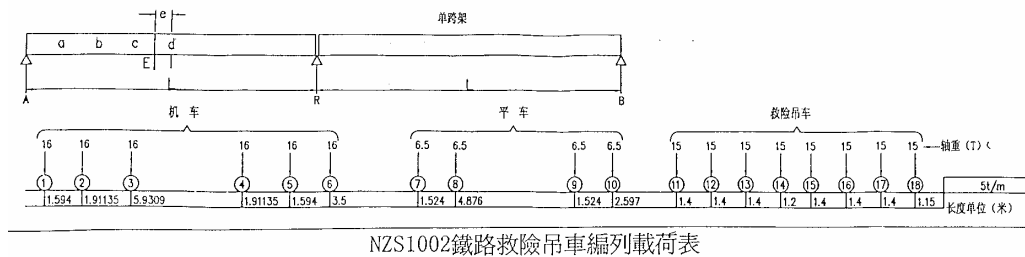
表9 KS18 載重最大應力及彎矩表^[6]

せん断力, 橋脚反力および曲げモーメント表 活荷重 KS-18 (1 レール)		せん断力 (t)											橋脚反力 (t)	曲げモーメント (t・m)					e (m)	l (m)
		S _a	S _b	S _c	S _d	S _e	S _f	S _g	S _h	S _i	S _j	S _k	M _a	M _b	M _c	M _d	M _E			
1.0	11.00	9.625	8.250	6.875	5.500	11.00	1.203	2.063	2.578	2.750	2.750	0	1.0							
1.5	11.00	9.625	8.250	6.875	5.500	11.00	1.805	3.094	3.867	4.125	4.125	0	1.5							
2.0	11.25	9.625	8.250	6.875	5.500	13.50	2.406	4.125	5.156	5.500	5.500	0	2.0							
2.5	13.20	10.45	8.250	6.875	5.500	16.20	3.266	5.156	6.445	6.875	6.875	0	2.5							
3.0	14.67	11.92	9.167	6.875	5.500	18.00	4.469	6.875	7.734	8.250	8.250	0	3.0							
3.5	15.71	12.96	10.21	7.464	5.500	20.57	5.672	8.938	9.797	10.13	10.13	0	3.5							
4.0	16.88	13.75	11.00	8.250	5.625	22.61	6.875	11.00	12.38	13.50	13.50	0	4.0							
4.5	18.00	14.63	11.61	8.861	6.111	24.60	8.227	13.06	14.98	16.88	16.88	0	4.5							
5.0	19.80	15.53	12.15	9.350	6.600	26.19	9.703	15.19	18.56	20.25	20.25	0	5.0							
5.5	21.27	16.77	12.89	9.750	7.000	27.68	11.53	17.72	22.78	23.63	23.63	0	5.5							
6.0	22.50	18.00	13.50	10.13	7.333	29.55	13.50	20.25	27.00	27.00	27.84	0.375	6.0							
6.5	23.54	19.04	14.54	10.64	7.615	31.32	15.47	23.63	31.22	31.50	32.28	0.375	6.5							
7.0	24.49	19.93	15.43	11.09	7.857	32.83	17.44	27.00	35.44	36.00	36.72	0.375	7.0							
7.5	25.56	20.70	16.20	11.61	8.067	34.14	19.41	30.63	39.66	40.50	41.18	0.375	7.5							
8.0	26.49	21.43	16.88	12.15	8.250	35.81	21.43	34.43	43.88	45.23	45.63	0.375	8.0							
8.5	27.39	22.26	17.47	12.63	8.412	37.50	23.65	38.22	48.09	50.29	50.35	0.117	8.5							
9.0	28.40	22.99	18.00	13.05	8.556	39.00	25.86	42.08	52.69	55.35	55.41	0.117	9.0							
9.5	29.43	23.68	18.58	13.43	8.684	40.78	28.12	46.01	57.44	60.41	60.47	0.117	9.5							
10.0	30.36	24.36	19.17	13.79	8.800	42.57	30.45	50.40	62.18	65.48	65.53	0.117	10.0							
10.5	31.20	25.20	19.70	14.13	9.064	44.19	33.08	54.90	67.01	70.65	70.66	0.281	10.5							
11.0	32.24	25.96	20.16	14.43	9.368	45.69	35.70	59.40	72.46	76.13	76.46	0.281	11.0							
11.5	33.18	26.66	20.54	14.71	9.646	47.33	38.33	63.90	77.91	82.09	82.26	0.281	11.5							
12.0	34.05	27.30	21.08	15.11	9.900	48.96	40.95	68.40	84.04	88.65	88.68	0.077	12.0							
12.5	35.09	28.10	21.63	15.49	10.13	50.55	43.90	73.46	90.19	95.21	95.24	0.077	12.5							
13.0	36.05	28.83	22.14	15.84	10.35	52.18	46.86	78.53	96.34	101.8	101.8	0.077	13.0							
13.5	36.93	29.52	22.61	16.16	10.55	53.83	49.81	83.59	102.5	108.3	108.4	0.077	13.5							
14.0	37.78	30.26	23.05	16.48	10.74	55.42	52.95	88.65	108.6	114.9	114.9	0.077	14.0							
14.5	38.63	31.02	23.61	16.89	10.93	56.95	56.23	94.28	114.9	121.5	121.5	0.454	14.5							
15.0	39.47	31.74	24.14	17.27	11.19	58.47	59.51	99.90	121.8	128.0	128.8	0.454	15.0							
15.5	40.30	32.41	24.63	17.63	11.43	60.16	62.79	105.5	129.4	135.3	136.1	0.454	15.5							
16.0	41.12	33.06	25.09	17.96	11.66	61.96	66.12	111.5	136.9	143.3	143.4	0.454	16.0							
16.5	41.95	33.71	25.66	18.28	11.88	63.74	69.52	117.6	144.5	151.3	151.3	0.049	16.5							
17.0	42.76	34.35	26.19	18.62	12.08	65.65	72.99	123.8	152.0	159.4	159.4	0.049	17.0							
17.5	43.58	34.99	26.70	19.00	12.29	67.65	76.53	130.1	159.7	167.4	167.4	0.049	17.5							
18.0	44.39	35.62	27.18	19.36	12.55	69.59	80.15	136.5	167.5	175.5	176.2	0.428	18.0							
18.5	45.19	36.25	27.64	19.71	12.80	71.46	83.84	143.0	175.3	184.3	185.0	0.428	18.5							
19.0	46.07	36.88	28.10	20.03	13.03	73.27	87.59	149.7	183.3	193.7	193.8	0.428	19.0							
19.5	47.01	37.50	28.56	20.40	13.26	75.09	91.60	156.4	191.4	203.3	203.3	0.029	19.5							
20.0	47.99	38.11	29.01	20.78	13.47	76.91	95.93	163.2	199.6	212.9	212.9	0.029	20.0							
20.5	49.05	38.71	29.47	21.15	13.67	78.67	100.4	170.2	208.0	222.4	222.4	0.029	20.5							
21.0	50.06	39.32	29.92	21.50	13.86	80.39	105.0	177.2	216.9	232.0	232.0	0.037	21.0							
21.5	51.10	39.94	30.37	21.83	14.12	82.06	110.0	184.4	226.3	241.6	241.6	0.102	21.5							
22.0	52.23	40.66	30.83	22.15	14.36	83.74	115.0	191.6	235.8	251.3	251.4	0.167	22.0							
22.5	53.30	41.35	31.27	22.47	14.59	85.43	120.0	199.0	245.4	261.5	261.8	0.280	22.5							
23.0	54.33	42.13	31.72	22.79	14.81	87.08	125.4	206.5	255.2	272.2	272.3	0.215	23.0							
23.5	55.31	42.93	32.17	23.11	15.02	88.69	130.9	215.3	265.0	282.9	283.0	0.149	23.5							
24.0	56.25	43.69	32.62	23.43	15.23	90.26	136.4	224.3	275.0	293.7	293.8	0.083	24.0							
24.5	57.28	44.47	33.06	23.74	15.48	91.80	141.9	233.5	285.1	304.7	304.7	0.029	24.5							
25.0	58.26	45.33	33.50	24.06	15.73	93.31	147.4	243.3	296.1	315.9	316.0	0.460	25.0							
25.5	59.21	46.15	34.03	24.37	15.96	94.79	152.9	253.2	307.5	327.2	327.7	0.394	25.5							
26.0	60.23	46.94	34.55	24.69	16.19	96.24	158.6	263.0	319.0	339.2	339.5	0.327	26.0							
26.5	61.22	47.71	35.07	25.00	16.41	97.71	164.4	272.9	330.4	351.2	351.4	0.260	26.5							
27.0	62.17	48.44	35.67	25.31	16.62	99.19	170.2	282.7	342.1	363.4	363.5	0.193	27.0							
27.5	63.16	49.16	36.25	25.62	16.82	100.6	176.1	292.6	354.6	375.6	375.7	0.126	27.5							
28.0	64.11	49.94	36.80	25.93	17.03	102.1	182.3	302.4	367.0	387.9	387.9	0.058	28.0							
28.5	65.07	50.69	37.37	26.24	17.23	103.5	188.4	312.8	379.8	400.4	400.4	0.010	28.5							
29.0	66.03	51.41	38.00	26.55	17.44	104.9	194.6	323.2	393.4	412.9	412.9	0.078	29.0							
29.5	67.02	52.17	38.62	26.86	17.64	106.2	200.7	333.6	407.4	425.5	425.5	0.146	29.5							
30.0	67.98	52.94	39.21	27.17	17.84	107.6	207.2	344.0	422.0	438.5	439.1	0.797	30.0							

表 10 KS18 載重最大應力及彎矩表^[6]

せん断力, 橋脚反力および曲げモーメント表 活荷重 KS-18 (1 レール)													
l (m)	せん断力 (t)					橋脚反力 (t)	曲げモーメント (t-m)					e (m)	l (m)
	S _a	S _b	S _c	S _d	S _e		M _a	M _b	M _c	M _d	M _e		
31	69.83	54.38	40.34	27.90	18.25	110.2	220.2	366.2	451.1	466.2	467.5	0.664	31
32	71.65	55.88	41.40	28.64	18.65	112.9	234.0	389.3	480.3	495.7	497.3	1.360	32
33	73.45	57.32	42.53	29.45	19.05	115.6	248.1	412.3	509.6	525.8	529.3	1.231	33
34	75.23	58.82	43.60	30.22	19.45	118.1	262.4	435.4	540.1	558.0	561.8	1.102	34
35	77.00	60.24	44.73	31.09	19.85	120.7	277.0	458.5	571.0	592.0	594.9	0.972	35
36	78.75	61.64	45.80	31.93	20.24	123.4	291.8	483.2	602.2	626.3	628.4	0.840	36
37	80.49	63.01	46.89	32.71	20.64	126.0	307.0	508.2	633.6	661.0	662.9	1.065	37
38	82.22	64.38	47.96	33.46	21.07	128.7	322.4	533.7	665.3	696.0	698.2	0.932	38
39	83.93	65.74	49.05	34.23	21.53	131.3	338.1	559.7	697.2	732.2	734.0	0.799	39
40	85.64	67.08	50.13	35.00	22.01	134.0	354.1	586.0	730.4	769.1	770.4	0.666	40
41	87.33	68.42	51.16	35.74	22.54	136.6	370.4	612.8	764.0	806.4	807.2	0.531	41
42	89.02	69.75	52.19	36.53	23.04	139.2	387.0	639.9	797.8	844.1	845.0	0.941	42
43	90.69	71.07	53.20	37.27	23.55	141.9	403.8	667.5	831.8	882.2	883.4	0.804	43
44	92.36	72.38	54.21	38.01	24.11	144.5	421.0	695.6	866.1	921.2	922.4	0.666	44
45	94.02	73.68	55.21	38.78	24.64	147.2	438.4	724.0	900.7	961.1	961.9	0.528	45
46	95.68	74.98	56.20	39.51	25.15	149.9	456.2	752.9	935.6	1 001	1 002	0.389	46
47	97.32	76.27	57.19	40.28	25.63	152.7	474.2	782.2	970.7	1 042	1 042	0.249	47
48	98.97	77.55	58.17	41.03	26.10	155.5	492.5	813.0	1 006	1 083	1 083	0.108	48
49	100.6	78.83	59.14	41.74	26.61	158.2	511.0	844.7	1 043	1 125	1 125	0.033	49
50	102.2	80.11	60.11	42.46	27.10	161.0	529.9	876.7	1 081	1 166	1 166	0.174	50
51	103.9	81.38	61.07	43.16	27.56	163.8	549.1	909.2	1 122	1 209	1 209	0.316	51
52	105.5	82.64	62.03	43.86	28.07	166.6	568.8	942.2	1 164	1 251	1 252	0.459	52
53	107.1	83.90	62.99	44.56	28.56	169.4	589.0	975.5	1 206	1 295	1 295	0.602	53
54	108.7	85.16	63.94	45.26	29.03	172.2	609.5	1 009	1 250	1 339	1 339	0.212	54
55	110.3	86.41	64.89	45.95	29.51	175.0	630.3	1 043	1 295	1 384	1 384	0.357	55
56	111.9	87.66	65.83	46.63	30.00	177.8	651.4	1 079	1 340	1 429	1 430	0.502	56
57	113.5	88.90	66.77	47.31	30.47	180.6	672.8	1 115	1 386	1 475	1 476	0.648	57
58	115.1	90.14	67.71	47.99	30.95	183.5	694.4	1 151	1 432	1 521	1 522	0.794	58
59	116.7	91.38	68.64	48.67	31.44	186.3	716.4	1 188	1 478	1 567	1 569	0.940	59
60	118.3	92.62	69.57	49.34	31.92	189.2	738.6	1 225	1 525	1 614	1 616	1.087	60
61	119.9	93.85	70.50	50.01	32.38	192.0	761.1	1 262	1 572	1 661	1 664	1.235	61
62	121.5	95.08	71.43	50.68	32.84	194.9	783.9	1 300	1 620	1 709	1 713	1.382	62
63	123.0	96.31	72.35	51.34	33.29	197.7	807.0	1 339	1 669	1 758	1 761	1.530	63
64	124.6	97.53	73.27	52.01	33.74	200.6	830.4	1 378	1 719	1 807	1 811	1.679	64
65	126.2	98.75	74.19	52.67	34.19	203.5	854.1	1 418	1 769	1 857	1 861	1.301	65
66	127.8	99.97	75.10	53.32	34.64	206.3	878.0	1 459	1 819	1 907	1 912	1.451	66
67	129.3	101.2	76.01	53.98	35.08	209.2	902.3	1 500	1 870	1 957	1 963	1.601	67
68	130.9	102.4	76.93	54.63	35.53	212.1	926.8	1 542	1 922	2 008	2 015	1.751	68
69	132.5	103.6	77.83	55.28	35.97	215.0	951.6	1 584	1 974	2 059	2 067	1.901	69
70	134.1	104.8	78.74	55.93	36.40	217.9	976.7	1 626	2 026	2 112	2 120	2.052	70
71	135.6	106.0	79.65	56.58	36.84	220.7	1 002	1 669	2 079	2 166	2 174	2.203	71
72	137.2	107.3	80.55	57.23	37.28	223.6	1 028	1 712	2 132	2 220	2 227	2.355	72
73	138.7	108.5	81.45	57.87	37.71	226.5	1 054	1 756	2 186	2 275	2 282	2.506	73
74	140.3	109.7	82.35	58.51	38.14	229.4	1 080	1 801	2 241	2 331	2 337	1.719	74
75	141.9	110.9	83.25	59.16	38.57	232.3	1 107	1 847	2 297	2 388	2 394	1.872	75
76	143.4	112.1	84.15	59.80	39.00	235.2	1 133	1 892	2 353	2 445	2 451	2.025	76
77	145.0	113.3	85.05	60.43	39.43	238.1	1 161	1 938	2 409	2 502	2 508	2.178	77
78	146.5	114.5	85.94	61.07	39.86	241.0	1 188	1 985	2 466	2 560	2 567	1.812	78
79	148.1	115.7	86.84	61.71	40.28	244.0	1 217	2 032	2 523	2 619	2 627	1.966	79
80	149.6	116.9	87.73	62.34	40.70	246.9	1 245	2 079	2 581	2 679	2 687	2.121	80
81	151.2	118.1	88.62	62.98	41.13	249.8	1 274	2 129	2 639	2 739	2 747	2.275	81
82	152.7	119.3	89.51	63.61	41.55	252.7	1 303	2 178	2 698	2 800	2 808	2.430	82
83	154.3	120.5	90.40	64.24	41.97	255.6	1 332	2 228	2 757	2 862	2 870	1.963	83
84	155.8	121.6	91.29	64.87	42.39	258.5	1 362	2 279	2 817	2 924	2 932	2.119	84
85	157.4	122.8	92.17	65.50	42.81	261.5	1 392	2 330	2 878	2 987	2 996	2.274	85
86	158.9	124.0	93.06	66.13	43.22	264.4	1 422	2 382	2 940	3 050	3 059	2.430	86
87	160.4	125.2	93.94	66.75	43.64	267.3	1 452	2 435	3 002	3 114	3 123	2.585	87
88	162.0	126.4	94.83	67.38	44.05	270.2	1 483	2 489	3 064	3 179	3 189	2.226	88
89	163.5	127.6	95.71	68.00	44.47	273.2	1 514	2 543	3 127	3 245	3 254	2.382	89
90	165.1	128.8	96.59	68.63	44.87	276.1	1 545	2 597	3 190	3 312	3 321	2.538	90
91	166.6	130.0	97.48	69.25	45.29	279.0	1 577	2 652	3 254	3 380	3 388	2.695	91
92	168.1	131.1	98.36	69.87	45.71	282.0	1 609	2 707	3 318	3 449	3 455	2.852	92
93	169.7	132.3	99.24	70.50	46.12	284.9	1 641	2 763	3 383	3 518	3 524	1.970	93
94	171.2	133.5	100.1	71.12	46.53	287.8	1 674	2 819	3 450	3 588	3 594	1.949	94
95	172.7	134.7	101.0	71.74	46.94	290.8	1 706	2 875	3 517	3 659	3 665	1.928	95
96	174.3	135.9	101.9	72.36	47.35	293.7	1 740	2 932	3 585	3 731	3 736	1.908	96
97	175.8	137.1	102.7	72.98	47.75	296.7	1 773	2 989	3 653	3 803	3 809	1.889	97
98	177.4	138.2	103.6	73.59	48.16	299.6	1 807	3 047	3 722	3 876	3 882	1.869	98
99	178.9	139.4	104.5	74.21	48.57	302.6	1 840	3 106	3 792	3 950	3 955	1.851	99
100	180.4	140.6	105.4	74.83	48.97	305.5	1 875	3 165	3 863	4 025	4 030	1.832	100

5.4 實際設計例



【範例一】臺鐵欲採購鐵路救險吊車乙部，依製造廠所提供的輪距及軸重資料（如上圖所示），經初步計算，當通過一跨距 20 公尺簡支橋梁時，四分之一跨距及二分之一跨距中點之最大彎曲力矩，分別為 $M_b=339.811 \text{ t-m}$ ， $M_d=450.696 \text{ t-m}$ ，請問此部救險吊車能否准許其進入路線執行任務？或是否須限速慢行通過？能不能進入各支線作業？

【計算】

跨距=20^m，距支點 $x=5^m$ ，求 x 點之最大彎曲力矩：

依圖 7 所示 x 點在 5^m 處，由載重⑫承載，載重群⑥所造成，依表 8 之⑫⑥公式求其值。

$$\begin{aligned}
 \text{公式：} & \frac{1.5x}{l} \{(\ell + 9.5 - x)^2 - 82.15\} - 31.05 \\
 & = \frac{1.5 \times 5}{20} \{(20 + 9.5 - 5)^2 - 82.15\} - 31.05 \\
 & = \frac{7.5}{20} \{518.1\} - 31.05 \\
 & = 194.2875 - 31.05 \\
 & = 163.2375 \text{ (t-m)}
 \end{aligned}$$

距支點 $x=10^m$ （中點）處，求 x 點之最大彎曲力矩：

x 點在 10^m 處，由載重⑬承載，載重群⑥所造成，依表 8 之⑬ 公式求其值

$$\begin{aligned}
 \text{公式：} & \frac{x}{l} \{76.5(\ell - x) - 4.5\} - 167.4 \\
 & = \frac{10}{20} \{76.5(20 - 10) - 4.5\} - 167.4 \\
 & = 212.85 \text{ (t-m)}
 \end{aligned}$$

鐵路救險吊車，其載重力矩表顯示時之 Mb、Md 如下：Mb=339.811 t-m，Md=450.696 t-m

分別依比例關係計算其在 b 點、d 點（中點）的 KS 相當值

$$\frac{KS-18}{KS-x} = \frac{18}{x} = \frac{163.2}{339.811/2} \Rightarrow x = 18.7$$

⇒即在 b 點所造成之彎矩相當於 KS-18.7 之值

$$\frac{KS-18}{KS-y} = \frac{18}{y} = \frac{212.85}{225.348} \Rightarrow y = 19.1$$

⇒即在 d 點（中點）所造成之彎矩相當於 KS-19

所以，此部救險吊車，在一般狀況下不可行駛於路線上，因其通過該橋梁時載重效應已超出設計值。另因支線橋梁設計載重均在 KS16 以下，故亦不能進入各支線作業。若考慮慢行，以減少衝擊效應，則另依限速後之衝擊係數，重新計算其造成之最大彎矩。

六、橋梁耐震設計（靜力分析）

耐震設計之基本要求，為所設計之橋梁結構，在中度地震時主結構體維持在彈性限度內，且其變形不得妨害列車正常運行；在設計地震時容許產生損傷，但須可修復；發生最大考量地震時，須避免產生落橋或崩塌。

振動單元即耐震分析時視為一體振動之單元。橋梁沿行車方向及垂直行車方向之振動單元應分別確定。但使用長鉸鋼軌之鐵路橋梁，除應依前項振動單元進行分析設計外，應考慮軌道結構對橋梁結構之影響，將原有之振動單元適當加長進行檢核^[7]。

耐震設計之基本原則是在不同等級（或回歸期）之地震作用下，橋梁能維持其應有的性能，即：

- 1、在最大考量地震（約 2500 年回歸期）作用時，橋梁不得產生落橋或崩塌，以避免造成嚴重的人命、財產損失。因為地震之水準已經為最大考量地震，若還限制其韌性容量之使用，殊不經濟，所以允許橋梁之塑性變形達其極限值。
- 2、在設計地震（約 475 年回歸期）作用時，允許橋梁產生可修復的塑性變形。在設計地震時若限制橋梁須保持彈性，殊不經濟，因此容許橋梁在一些特定位置產生塑性變形，但限制其容許值，藉以消耗地震能量，並降低橋梁所受之地震力，惟產生塑性變形的地方最好在可檢視之處或容易修補的地方，以方便震後之修復。
- 3、在中度地震（約 30 年回歸期）作用時，橋梁能保持在彈性限度內，使地震過後，橋梁結構沒有損壞，以避免常需修補之麻煩。一般而言，對高韌性容量的橋梁而言，此一目標可能控制構材之設計。

地震時由於各橋柱底部輸入的地震波，其振幅與相位不同，致使軌道所在平面在伸縮縫處會產生較大的折角，可能會危及行駛中列車的安全性。因此地震時軌道變位應加

以檢核，使其小於容許值，以確保行車安全性。

6.1 設計地震下之水平地震力^[7]

橋梁沿行車方向及垂直行車方向之任一振動單元，其設計地震下之水平地震力 V_D 應依下式計算：

$$V_D = \frac{I}{1.2\alpha_y} \left(\frac{S_{aD}}{F_{uD}} \right)_m (W + L_E)$$

其中

L_E =地震時列車載重；二股道及以下，採計一列車重量；三至四股道，採計二列車重量；五股道及以上，則採計三列車重量。

W =橋梁振動單元靜載重；包括該振動單元上部結構之靜載重、該振動單元所有橋墩重量。

I =用途係數；依表 11 之規定。

α_y 起始降伏地震力放大倍數；依表 12 之規定。

$$\left(\frac{S_{aD}}{F_{uD}} \right)_m = \begin{cases} \frac{S_{aD}}{F_{uD}} & ; \frac{S_{aD}}{F_{uD}} \leq 0.3 \\ 0.52 \frac{S_{aD}}{F_{uD}} + 0.144 & ; 0.3 < \frac{S_{aD}}{F_{uD}} < 0.8 \\ 0.70 \frac{S_{aD}}{F_{uD}} & ; \frac{S_{aD}}{F_{uD}} \geq 0.8 \end{cases}$$

S_{aD} =設計水平反應譜之加速度係數、 F_{uD} =水平地震力折減係數。均應依橋梁振動單元基本振動週期 T 之範圍計算：

$$S_{aD} = \begin{cases} S_{DS} (0.4 + 3T/T_0^D) & ; T \leq 0.2T_0^D \\ S_{DS} & ; 0.2T_0^D \leq T \leq T_0^D \\ S_{D1}/T & ; T_0^D \leq T \leq 2.5T_0^D \\ 0.4S_{DS} & ; 2.5T_0^D \leq T \end{cases}$$

$$F_{uD} = \begin{cases} R_a & ; T \geq T_0^D \\ \sqrt{2R_a - 1} + (R_a - \sqrt{2R_a - 1}) \times \frac{T - 0.6T_0^D}{0.4T_0^D} & ; 0.6T_0^D \leq T \leq T_0^D \\ \sqrt{2R_a - 1} & ; 0.2T_0^D \leq T \leq 0.6T_0^D \\ \sqrt{2R_a - 1} + (\sqrt{2R_a - 1} - 1) \times \frac{T - 0.2T_0^D}{0.2T_0^D} & ; T \leq 0.2T_0^D \end{cases}$$

式中 S_{DS} 、 S_{D1} 、 T_0^D 、 R_a 分成一般工址、活動斷層近域及臺北盆地區域三種情況。

1、一般工址：

$$S_{DS} = F_a S_S^D$$

$$S_{D1} = F_v S_1^D$$

$$T_0^D = \left(\frac{S_{D1}}{S_{DS}} \right)$$

$$R_a = 1 + \frac{(R-1)}{1.5}$$

2、活動斷層近域：必須考慮斷層近域效應之行政區域如表 16 所列。活動斷層近域之工址堅實地盤短週期與一秒週期設計水平譜加速度係數調整為 $S_S^D N_A$ 與 $S_1^D N_V$ ，其中 N_A 與 N_V 之值見表 16。

表 14(a)及表 14(b)中之工址放大係數 F_a 及 F_v ，應分別以調整後之譜加速度係數決定之。

$$S_{DS} = F_a (S_S^D N_A)$$

$$S_{D1} = F_v (S_1^D N_V)$$

$$T_0^D = \left(\frac{S_{D1}}{S_{DS}} \right)$$

$$R_a = 1 + \frac{(R-1)}{1.5}$$

3、臺北盆地區域，包括臺北市及臺北縣之三重市、新莊市、板橋市、中和市、永和市、新店市、蘆洲市、五股鄉、泰山鄉、樹林市、土城市等行政區域：

$$S_{DS} = 0.6$$

$$T_0^D = 1.32 \text{ sec}$$

$$S_{D1} = S_{DS} T_0^D$$

$$R_a = 1 + \frac{(R-1)}{2.0}$$

R = 結構系統韌性容量，依表 13 之規定。

F_a = 表 14(a) 規定之數值。

F_v = 表 14(b) 規定之數值。

S_s^D =表 15 規定之數值。

S_1^D =表 15 規定之數值。

T =橋梁在所考慮方向之基本振動週期

$$= 2\pi \sqrt{\frac{\zeta}{\beta g}}$$

g =重力加速度。

$$\beta = \int w(x)u(x)dx$$

$$\zeta = \int w(x)u^2(x)dx$$

$w(x)$ =沿計算方向施加橋梁結構之單位靜載重，不含列車載重。

$u(x)$ =橋梁振動單元沿計算方向之變位。

6.2 垂直地震力^[7]

橋柱與樁帽於設計斷面之垂直地震力，應包括設計斷面以上之上部結構及下部結構所引致之地震力，並加在橋柱、樁帽各節點上。橋梁振動單元所引致之總垂直地震力應包括上部結構及下部結構所引致者。

1、設計地震下之垂直地震力

$$V_{DV} = \frac{\alpha_v IS_{aD}}{\alpha_y} W_{sup} + \frac{\alpha_v I(0.4S_{DS})}{\alpha_y} W_{sub}$$

2、中度地震下之垂直地震力

$$V_{medV} = \frac{\alpha_v IS_{amed}}{\alpha_y} W_{sup} + \frac{\alpha_v I(0.4S_{medS})}{\alpha_y} W_{sub}$$

3、最大考量地震下之垂直地震力

$$V_{MV} = \frac{\alpha_v IS_{aM}}{\alpha_y} W_{sup} + \frac{\alpha_v I(0.4S_{MS})}{\alpha_y} W_{sub}$$

其中

一般工址與臺北盆地： $\alpha_v = \frac{1}{2}$

活動斷層近域： $\alpha_v = \frac{2}{3}$

總垂直地震力應依其結構模式適當分配至各節點。上部結構若採預力構材者，應考慮垂直地震力對上部結構之影響。

6.3 地震效應之組合^[7]

地震引致構材之彎矩、軸力及剪力，應考慮下列地震效應之組合：

1、載重組合一：100%縱向設計地震力引致之構材內力絕對值，加上 30%橫向設計地震力引

致之構材內力絕對值，再加上 30% 垂向設計地震力引致之構材內力絕對值。

2、載重組合二：30% 縱向設計地震力引致之構材內力絕對值，加上 100% 橫向設計地震力引致之構材內力絕對值，再加上 30% 垂向設計地震力引致之構材內力絕對值。

3、載重組合三：30% 縱向設計地震力引致之構材內力絕對值，加上 30% 橫向設計地震力引致之構材內力絕對值，再加上 100% 垂向設計地震力引致之構材內力絕對值。

6.4 附表^[7]

表 11 用途係數 I

橋梁類別	用途係數
高速鐵路	1.2
重要鐵路、跨越重要設施之鐵路橋梁、城鎮之主要聯外鐵路橋梁	1.2
其他	1.0

表 12 起始降伏地震力放大倍數 α_y

構材設計方法	α_y
RC 構材強度設計法	1.0
鋼結構構材極限設計法	1.0
鋼結構構材容許應力設計法	1.45

表 13 結構系統韌性容量 R

類別	下部結構	R
1.	壁式橋墩	1.6
2.	單柱橋墩	3.0
3.	多柱構架式橋墩	4.2
4.	RC 樁構架式橋墩	
	全為垂直樁	3.0
	1 支或 1 支以上斜樁	1.6
5.	鋼樁或鋼與混凝土合成樁構架式橋墩	
	全為垂直樁	4.2
	1 支或 1 支以上斜樁	3.0

表 14(a) 反應譜等加速度段之工址放大係數 F_s

地盤分類	震區一秒週期水平譜加速度係數 S_1 (S_1^D 、 S_1^M 或 S_1^{med})				
	$S_1 \leq 0.30$	$S_1 = 0.35$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.45$	$S_1 \geq 0.50$
第一類地盤 (堅實地盤)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
第二類地盤 (普通地盤)	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1
第三類地盤 (軟弱地盤)	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4

表 14(b) 反應譜等速度段之工址放大係數 F_v

縣市	鄉鎮市區	S_s^D	S_1^D	S_s^M	S_1^M
苗栗縣	苗栗市、卓蘭鎮、大湖鄉、公館鄉、銅鑼鄉、南庄鄉、頭屋鄉、三義鄉、造橋鄉、三灣鄉、獅潭鄉、泰安鄉	0.8	0.45	1.0	0.55
	其他鄉鎮市區	0.7	0.4	0.9	0.5
臺中縣	大甲鎮、大安鄉、外埔鄉、梧棲鎮、龍井鄉、大肚鄉、烏日鄉、和平鄉	0.7	0.40	0.9	0.5
	其他鄉鎮	0.8	0.45	1.0	0.55
臺中市	全區	0.8	0.45	1	0.55
彰化縣	其他鄉鎮市區	0.7	0.4	0.9	0.5
	二水鄉	0.8	0.45	1	0.55
南投縣	草屯鎮、中寮鄉、南投市、名間鄉、集集鎮、鹿谷鄉、竹山鎮	0.8	0.45	1	0.55
	其他地區	0.7	0.40	0.9	0.5
雲林縣	林內鄉、斗六市、古坑鄉	0.8	0.45	1	0.55
	其他地區	0.7	0.4	0.9	0.5
嘉義縣	大林鎮、溪口鄉、梅山鄉、民雄鄉、竹崎鄉、番路鄉、中埔鄉、大埔鄉	0.8	0.45	1.0	0.55
	其他地區	0.7	0.4	0.9	0.5
嘉義市	全區	0.8	0.45	1.0	0.55
臺南縣	白河鎮、山上鄉、新市鄉、左鎮鄉、新化鎮、永康市	0.8	0.45	1.0	0.55
	其他地區	0.7	0.4	0.9	0.5
臺南市	全區	0.7	0.4	0.9	0.5
高雄縣	大樹鄉、大社鄉、仁武鄉、鳥松鄉、鳳山市、大寮鄉、林園鄉	0.6	0.35	0.8	0.5
	其他地區	0.7	0.4	0.9	0.5
高雄市	全區	0.6	0.35	0.8	0.5
屏東縣	三地門鄉、高樹鄉、霧臺鄉、里港鄉、瑪家鄉、泰武鄉	0.7	0.4	0.9	0.5

	南州鄉、東港鎮、林邊鄉、佳冬鄉、春日鄉、枋寮鄉、琉球鄉、枋山鄉、獅子鄉、牡丹鄉、車城鄉、滿州鄉、恆春鎮	0.5	0.3	0.7	0.4
	其他地區	0.6	0.35	0.8	0.5
臺東縣	太麻里鄉、金峰鄉	0.7	0.4	0.9	0.55
	達仁鄉、大武鄉	0.6	0.3	0.8	0.45
	其他鄉鎮市區	0.8	0.45	1	0.55
花蓮縣	各鄉鎮市區	0.8	0.45	1	0.55
澎湖縣金門與馬祖地區	各鄉鎮市區	0.5	0.3	0.7	0.4

表 15 震區短週期與一秒週期之設計水平譜加速度係數 S_s^D 與 S_1^D 與最大考量水平譜加速度係數 S_s^M 與 S_1^M

地盤分類	震區短週期水平譜加速度係數 S_s (S_s^D 、 S_s^M 或 S_s^{med})				
	$S_s \leq 0.5$	$S_s = 0.6$	$S_s = 0.7$	$S_s = 0.8$	$S_s \geq 0.9$
第一類地盤 (堅實地盤)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
第二類地盤 (普通地盤)	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0
第三類地盤 (軟弱地盤)	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0

表 16 各第一類活動斷層近域調整因子 N_A 與 N_V

斷層名稱	設計地震		最大考量地震		縣市之鄉鎮市區
	N_A	N_V	N_A	N_V	
1、獅潭斷層 神卓山斷層	1.1	1.2	1.1	1.2	新竹縣： 北埔鄉、寶山鄉、峨眉鄉、五峰鄉 苗栗縣： 苗栗市、大湖鄉、公館鄉、南庄鄉、頭屋鄉、造橋鄉、三灣鄉、獅潭鄉、泰安鄉
2、屯子腳斷層	1.1	1.2	1.1	1.2	苗栗縣： 苑裡鎮、通霄鎮、卓蘭鎮、大湖鄉、銅鑼鄉、三義鄉 臺中縣： 豐原市、東勢鎮、大甲鎮、清水鎮、沙鹿鎮、梧棲鎮、后里鄉、神岡鄉、潭子鄉、大雅鄉、新社鄉、石岡鄉、外埔鄉、大

斷層名稱	設計地震		最大考量地震		縣市之鄉鎮市區
	N_A	N_V	N_A	N_V	
					安鄉、龍井鄉 臺中市： 西屯區、北屯區
3、車籠埔斷層	1.1	1.2	1.1	1.3	苗栗縣： 苑裡鎮卓蘭鎮大湖鄉銅鑼鄉 三義鄉泰安鄉 臺中縣： 豐原市、東勢鎮、后里鄉、神岡鄉、潭子鄉、大雅鄉、新社鄉、石岡鄉、外埔鄉、烏日鄉、霧峰鄉、太平市、大里市、和平鄉 臺中市： 中區、東區、南區、西區、北區、西屯區、南屯區、北屯區 彰化縣： 彰化市、花壇鄉、芬園鄉、員林鎮、彰化市、大村鄉、社頭鄉、二水鄉 南投縣： 南投市、草屯鎮、竹山鎮、集集鎮、名間鄉、鹿谷鄉、中寮鄉、國姓鄉、水里鄉 雲林縣： 斗六市、古坑鄉、林內鄉
4、梅山斷層	1.2	1.2	1.2	1.2	雲林縣： 斗南鎮、古坑鄉、大埤鄉 嘉義縣： 太保市、大林鎮、民雄鄉、溪口鄉、新港鄉、竹崎鄉、梅山鄉 嘉義市 東區、西區
5、大尖山斷層觸口斷層	1.1	1.1	1.1	1.2	南投縣： 竹山鎮、鹿谷鄉 雲林縣： 斗六市 嘉義縣： 大林鎮、水上鄉、中埔鄉、竹崎鄉、梅山鄉、番路鄉、大埔鄉、阿里山鄉 嘉義市：

斷層名稱	設計地震		最大考量地震		縣市之鄉鎮市區
	N_A	N_V	N_A	N_V	
					東區、西區 臺南縣： 白河鎮、東山鄉
6、新化斷層	1.1	1.1	1.2	1.2	臺南縣： 大內鄉、新化鎮、善化鎮、新市鄉、安定鄉、山上鄉、玉井鄉、左鎮鄉、歸仁鄉、關廟鄉、龍崎鄉、永康市 臺南市： 安南區
7、花東縱谷地區斷層 (含米崙、玉里、池上與奇美斷層)	1.2	1.3	1.2	1.3	臺東縣： 成功鎮、關山鎮、鹿野鄉、池上鄉、東河鄉、長濱鄉、海端鄉 花蓮縣： 花蓮市、鳳林鎮、玉里鎮、新城鄉、吉安鄉、壽豐鄉、光復鄉、豐濱鄉、瑞穗鄉、富里鄉、秀林鄉、萬榮鄉、卓溪鄉

註：鄉、鎮、市、區如臨近兩個或兩個以上的斷層，其 N_A 與 N_V 值應採用其中較大之值。

參考文獻

- 1、陳生金，2001年9月，「鋼結構設計」，臺北：科技圖書出版社。
- 2、J.C.Smith 著，華根、李臺光、田乾隆譯，1999年9月，「鋼結構設計」，六和出版社。
- 3、徐耀賜，「橋樑結構之基本功能」，1997年11月，臺北：全威圖書。
- 4、交通部，「鐵路橋梁設計規範」，2004年12月，臺北：交通部。
- 5、山田慶太郎，「KS 相當值一覽表」，東京：交友社（日本國鐵）。
- 6、(日本) 橋梁研究會，1973年12月，「鋼橋設計資料」，東京：技報堂株式會社。
- 7、交通部，1999年6月，「鐵路橋梁耐震設計規範」，臺北：交通部。

專案成功度動態預測-應用演化式支持向量機推論模式 (ESIM)

Dynamic Prediction of Project Success-- Applying the Evolutionary Support Vector Machines Inference Model(ESIM)

鄭明淵¹
Zheng Ming-yuan¹

吳慶芳²
Wu Qing-fang²

營建工程研究所
國立臺灣科技大學
臺北，臺灣 10672，R.O.C
Department of Construction Engineering
National Taiwan University of Science and Technology
Taipei, Taiwan 10672, R.O.C

摘要

影響專案最後成功與否的因子眾多，而且在專案工程生命週期的不同階段，各項因子重要程度是隨時間而改變，因此在專案執行過程中是很難精確預測最後的結果，往往只能依賴專案管理人員的經驗來判斷。本研究嘗試以人工智慧技術－Evolutionary Support Vector Machine Inference Model (ESIM) 為模式核心，建立一專案成功度動態預測模式。

本研究以 CAPP(Continuous Assessment of Project Performance)的研究成果為基礎建立專案成功度動態預測資料庫，結合資料探勘技術(Data Mining)並應用 ESIM 建立專案成功度動態預測預測模式，有效萃取專家知識及經驗，找出影響專案成功度的顯著因子與專案整體成功度之間的映射關係，並且利用 k-means 法對歷史專案資料庫進行非監督式集群分析(clustering)，將分群前與分群後預測結果作比較，證明訓練案例藉由資料探勘技術處理後將可以提高 ESIM 推論系統預測的準確度。

關鍵詞：集群分析、專案成功度、支持向量機、快速混雜基因演算法。

1.國立臺灣科技大學營建工程系教授

2.本局工務處幫工程司

Abstract

Many factors decide the success or failure of a project and during the different stages of the project engineering lifecycle the importance of the various factors changes, consequently, when implementing a project, the final results are hard to accurately predict and results prediction often depends on the judgment of the project manager. This paper attempts, using Evolutionary Support Vector Machine Inference Model (ESIM) as the model core, to establish a project success production model.

This paper, using CAPP(Continuous Assessment of Project Performance) results as the foundation, establishes a dynamic project success production databank, uses data mining and also applies ESIM to establish a dynamic project success prediction model, effectively extracting expert knowledge and experience and identifying the mapping relationship between significant factors influencing project success and overall project success. K-means is also used to carry out unsupervised clustering of past project databanks, comparing prediction results before and after clustering, proving that ESIM prediction accuracy is increased after data mining is used.

Key words : Clustering, project success, Support Vector Machine, Fast Messy Genetic Algorithms

一、前言

專案控制的目的是要確保專案目標之達成及掌握工程各階段之進行狀況，爲了使專案能夠從開始計畫到實際進行以至最終完成的階段，都能有良好的績效表現，進而使得專案最後的成果能夠符合要求並讓業主滿意，專案管理人員必須持續對進行中的專案績效進行監控，並針對可能的問題做出修正。目前國內外對於專案完成後的績效評估研究已經相當多，但是事後的專案績效評估常需耗費大量人力與時間，卻往往無法達到對目前專案即時監控的功能。其原因是在不同階段影響專案成功度的因子眾多，很難有效率的在短時間之內考量各個影響專案績效的因素，因此在專案執行過程中要快速且精確評估專案最後的結果相當困難，往往只能依賴管理人員有限的經驗。

爲了能夠承接過去專案的經驗，並解決專案資料量龐大所帶來的專案控制上的困難，美國營建產業研究院(Construction Industry Institute, CII) 與威斯康辛大學(The University of Wisconsin at Madison)合作一項名爲 Development of a Predictive Tool for Continuous Assessment of Project Performance 的研究計畫，發展一套含有資料庫的軟體 CAPP (Continuous Assessment of Project Performance) (Russell, Jaselskis, and Lawrence 1997)^[1,2,3,4]，用於收集過去的歷史專案資料，主要目的在於分析成功與失敗歷史專案進度曲線(S-Curve)的差異，並且利用系統進行統計分析，確認在不同專案特性下影響專案績效的因子顯著水準，進一步決定出影響專案成功度的關鍵影響因子。雖然 CAPP 可以分析在各種不同專案參數下的重要影響因子，但是在專案的績效評估上，CAPP 則尚未提供一套完整的模式，無法對專案最後成果做出精確預測。

有鑑於此，本研究希望引入「演化式支持向量機推論模式－ESIM」(Evolutionary Support Vector Machine Inference Model－ESIM)，結合 Data Mining 集群分析(Clustering)觀

念並且銜接 CAPP 的分析模式，建立一專案成功度動態預測模式。專案成功度動態預測模式係以 CII 蒐集的 52 筆歷史案例資料庫為基礎，首先利用 CAPP 針對影響因子進行統計分析，確認出影響專案成功度的關鍵影響因子，再應用資料探勘技術對工程歷史案例進行非監督式分群，最後採用演化式支持向量機推論機制(ESIM)進行案例訓練，並對一個新專案的成功度進行預測。幫助專案管理人員能夠在專案進行中，更有效的掌握專案的績效並且及時發現問題加以修正。

除此之外，目前國內研究常常使用人工智慧系統對龐大的資料進行學習、預測或模擬，但是常常因資料庫內資料數據異質性高而影響最後輸出結果。本研究所應用的 ESIM 推論模式亦有其使用限制，當訓練案例不足或資料分佈不均時，將會降低其推論結果的準確度，因此本模式希望利用集群分析的概念，對資料庫內的歷史專案進行聚類，將專案聚類成群內相似度高，組間相異程度大的群組，進一步證明訓練案例藉由資料探勘技術處理後將可以提高 ESIM 推論系統預測的準確度。

二、研究目的

2.1 建立一工程專案成功度動態預測模式

本研究依 CAPP 的研究成果建立專案成功度動態預測資料庫，結合資料探勘技術(Data Mining)並應用 ESIM 模式建立專案成功度動態預測預測模式，希望有效淬取專家知識及經驗，找出影響專案成功度的顯著因子與專案整體成功度間的映射關係，幫助專案管理人員從專案眾多且繁雜的數據中，即時的了解目前專案執行績效，輔助專案管理人員能更有效的進行專案控制的工作。

2.2 驗證資料探勘技術能有效改善 ESIM 之推論準確率

運用資料探勘(Data mining)^[5,6]的概念，對歷史專案資料庫進行非監督式集群分析(clustering)，將分群前與分群後預測結果作比較，證明訓練案例藉由資料探勘技術處理後將可以提高 ESIM 推論系統預測的準確率。

三、演化式支持向量機推論模式 (ESIM)

3.1 ESIM 架構

「演化式支持向量機推論模式」^[10,11,12]係此模式融合支持向量機(Support Vector Machine, SVM)與快速混雜基因演算法(Fast Messy GA)^[13,14,15]，模式中 SVM 用於歸納輸入變數與輸出變數間複雜的關係；而快速混雜基因演算法搜尋 SVM 所需的最佳參數(C 與 γ)，藉此提高 SVM 的預測準確度(如圖 1 所示)。

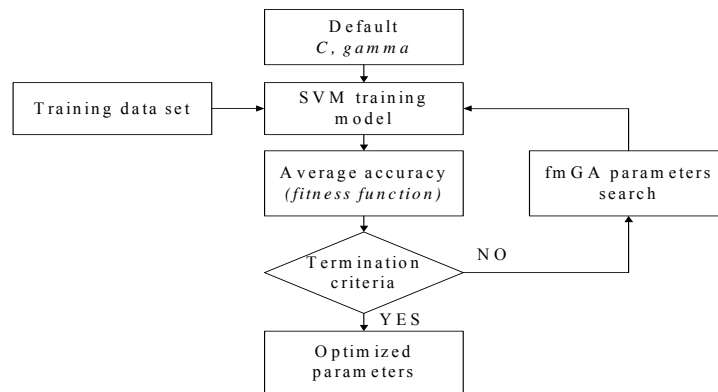


圖 1 ESIM 架構

此模式中，將藉由過去案例作為輸入訓練之用，使用初始 C 與 γ 參數值，運用 SVM 進行輸出之預測並與實際輸出進行比較，fmGA 則經由實際輸出與推估輸出之誤差與模式中支持向量數目作為目標函數，進行參數之最佳化。其步驟說明如下：

Default C, γ : C 與 γ 值可能依案例與問題特性而有不同設定，根據 Thorsten Joachims^[7]建議其預設值 C 與 γ 可分別設定為 1 及 $1/M$ ，其中 M 為變數個數。

Training data set : 首先在預測模式之前，必須先尋找影響因素，並且建立影響因子集合 (influence patterns Training data set) 作為預測的輸入變數。

SVM training model : 在此步驟中，使用者預先收集研究課題之歷史案例，並以案例影響因子作為輸入因子，案例決策作為輸出。將此輸入與輸出數值做為訓練案例，輸入 SVM 中進行模式的初始訓練，SVM 將以預設之 C 與 γ 值作為模式中第一次訓練設定值。

Average accuracy : 此步驟將根據目標函數之倒數作為適應函式，其值越大表示此模式架構越佳。

Termination criteria : 此流程將持續運作，直到符合某些條件，如達到符合的適存度或數世代演算中適存度無明顯增加(表示已達收斂)。

fmGA parameters search : 此步驟中，快速混雜基因演算法將尋找下一代中較適合之 C 與 γ 參數值。

Optimized parameters : 根據上述最佳化演算，可留下最佳之基因組合。將基因解碼為支持向量機模式之 C 與 γ 值，即可求得最佳之推論模式。

3.2 支持向量機簡介

支持向量機分類 (Support Vector Classification, SVC)^[8,9]是建立在機器學習理論的結構風險最小化(Structural Risk Minimization SRM)原則上，其主要思想是針對低維度分類問題，在高維度空間中尋找一個超平面(Hyper-plane)作為二類的分割，以保證最小的分類錯誤率。且支持向量機一個重要的優點就是能處理線性不可分的情況。SVC 可利用目前現有的資料作訓練，再利用這些分析出的資料(Training Data)選出幾

個支持向量(Support Vector)來代表整體的資料，並將少部份極端值事先剔除，然後將所挑選的支持向量包裝成模型(Model)。假設若有測試的資料(Testing Data)作推論預測時，SVC 就會將資料歸類，找出對應之分類。

如圖 2 所示，一群資料(Data set, R)，若在低維度中(Data Space, F)，需以非線性函數做為分類依據，然而此非線性函數無法輕易求得。因此藉由一核心函數(Kernel Function)將資料映射至高維度空間(Feature Space, H)，此過程將可使得資料點分散並符合線性函數可分類的特性。

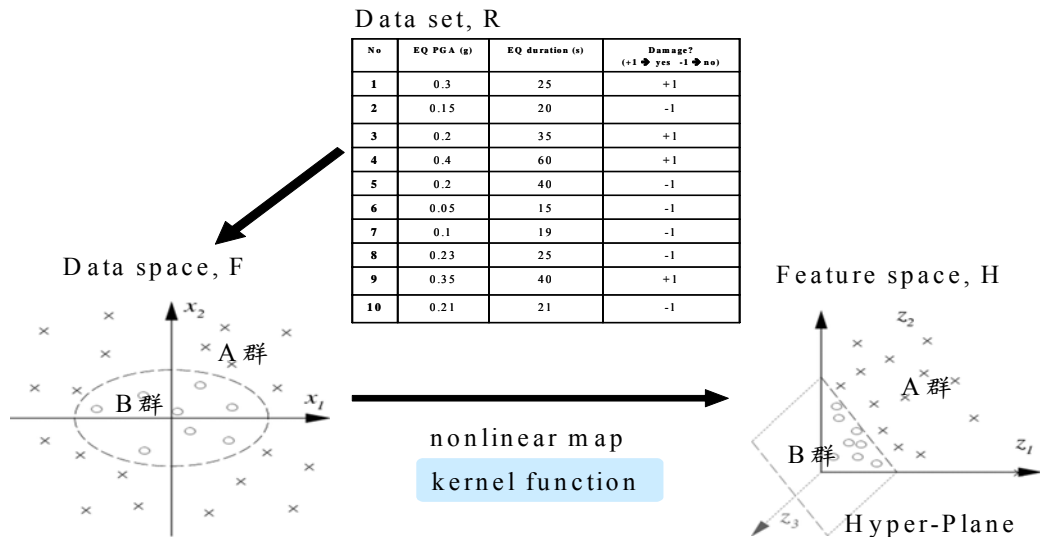


圖 2 支持向量機資料分類示意圖

因此在高維度空間中，如圖 3 所示，即可找出一超平面可將這群資料切成兩群 (ie: 群組 A、群組 B)，而屬於群組 A 的資料均位於超平面的一側，而群組 B 的資料均位於超平面的另一側。此平面稱為最優分離超平面 (Optimal Separating Hyperplane)，此超平面能儘可能將不同類型的樣本點正確分開，同時使分開的樣本點距離該最優分離面的垂直距離最大，即不同類型樣本點有最大的分離間隔 (Maximum Margin)。

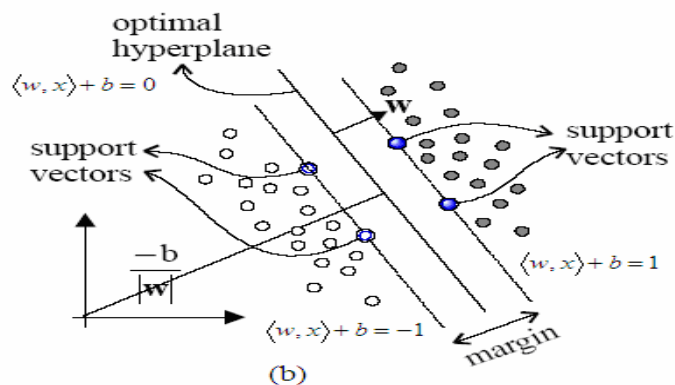


圖 3 最大分離間隔與最優分離超平面

為求解此原始最佳化問題 (Primal Optimization Problem)，假設此問題為包含 m

個訓練樣本點，每個樣本點具有 n 個維度之向量集合 Ω ，則：

$$\Omega = \{(x_1, y_1), \dots, (x_m, y_m)\} \in X^m \times Y^m, x_i \in X = R^n, y_i \in Y = \{1, -1\}, i = 1, \dots, m \quad (2-1)$$

假設這個向量集合 Ω 可以被超平面 $\langle w, x \rangle + b = 0$ 分開，且不同類型樣本點有最大的分離間隔，則稱此超平面為最優分離超平面，而距離超平面最近的樣本點稱為支援向量 (Support Vectors)，對任一樣本點 $(x_i, y_i) \in \Omega$ 皆滿足：

$$\langle w, x \rangle + b \geq 1 \quad \text{if } y_i = 1 \dots \dots \dots (2-2)$$

及

$$\langle w, x \rangle + b \leq -1 \quad \text{if } y_i = -1 \dots \dots \dots (2-3)$$

式(2-2) (2-3)可合併如式(2-4)所示。

$$\langle w, x \rangle + b \geq 1 \quad i = 1, \dots, m \dots \dots \dots (2-4)$$

假設樣本點 x^+, x^- 是分別位於 $y_i = 1$ 及 $y_i = -1$ 邊界平面 $\langle w, x \rangle + b = 1$ 與 $\langle w, x \rangle + b = -1$ 上的支援向量 (Support Vectors) 則間隔距離 L_m 可由式(2-6)求得：

$$L_m = \left\| \left\langle (x^+ - x^-), \frac{W}{\|W\|} \right\rangle \right\| = \left\langle x^+, \frac{W}{\|W\|} \right\rangle - \left\langle x^-, \frac{W}{\|W\|} \right\rangle = \left| \frac{1-b}{\|W\|} - \frac{-1-b}{\|W\|} \right| = \frac{2}{\|W\|} \dots \dots \dots (2-5)$$

若考慮最大間隔 (Maximum Margin) 則 $\max L_m = \max \frac{2}{\|W\|}$ 可以下列式子 $\min \frac{\|W\|}{2} \Rightarrow \min \frac{\|W\|^2}{2}$ 表示，因此最優分離超平面及最大間隔求解問題可轉化為以下之約束條件二次規劃求解問題 (Constrained Quadratic Programming)。

$$\min_{w,b} f(w,b) = \frac{1}{2} \|w\|^2 \quad \text{Subject to } y_i (w^T x_i + b) \geq 1 \quad i = 1, \dots, m \quad (2-6)$$

因為式(2-6)之目標函數為一個二次凸函數，限制式為凸集合，因此形成的凸優化問題 (Convex Optimization Problem)，能夠確保找到的極值是全域最佳解 (Global Solution) ^[10]。

由於原始最優分離超平面及最大間隔求解問題是一個帶有限制式的二次凸優化求解問題，因此引入 Lagrangian 函數求解時具有鞍點 (Saddle Point)，鞍點同時為不同方向之極大及極小值，因此可使用 KKT 條件 (KKT Condition) 轉化原始二次凸優化問題為對偶問題並求解^[10]。

Lagrangian 函數 $L(w, b, \alpha)$ ：

$$L(w, b, \alpha) = \frac{1}{2} \|w\|^2 + \sum_{i=1}^m \alpha_i [1 - y_i (\langle w, x_i \rangle + b)] \quad , \quad \alpha_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, m \quad (2-7)$$

由 1st KKT 條件 (1st KKT Condition) 式(2-9)分別對 w 及 b 偏微分梯度為零可得：

$$\frac{\partial L}{\partial w} = w - \sum_i \alpha_i y_i x_i = 0 \Rightarrow w = \sum_i \alpha_i y_i x_i \quad (2-8)$$

$$\frac{\partial L}{\partial b} = \sum_i \alpha_i y_i = 0 \quad (2-9)$$

將式(2-8)及(2-9)代入式(2-7)可得到對偶函數 $W(\alpha)$ 如式(2-12)所示。

$$\begin{aligned} W(\alpha) &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \alpha_i \alpha_j y_i y_j \langle x_i, x_j \rangle + \sum_{i=1}^m \alpha_i - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \alpha_i \alpha_j y_i y_j \langle x_i, x_j \rangle \\ &= \sum_{i=1}^m \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \alpha_i \alpha_j y_i y_j \langle x_i, x_j \rangle \end{aligned} \quad (2-10)$$

考慮鞍點條件 $L(w^*, b^*, \alpha) \leq L(w^*, b^*, \alpha^*) \leq L(w, b, \alpha^*)$ ，鞍點極值 w^*, b^* 分別為原始優化問題之最小值及 α^* 為對偶問題之最大值，因此原始二次凸優化問題可轉換為下列為最大化之對偶問題如式(2-11)所示：

$$\max_{\alpha} W(\alpha) = \sum_{i=1}^m \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \alpha_i \alpha_j y_i y_j \langle x_i, x_j \rangle \quad \alpha_i \geq 0, \quad \sum_{i=1}^m \alpha_i y_i = 0, \quad i = 1, \dots, m \quad (2-11)$$

上述對偶問題若我們能找到 $\alpha_n^* \neq 0$ 該樣本點即為支援向量 (Support Vectors) 如圖 4 所示，由 $\alpha_n^* \neq 0$ 及式(2-12) 之 2nd KKT 條件 (2nd KKT Condition) 可以解得樣本點偏心值 b^* 及支援向量機線性可分問題之決策函數 $f(x)$ 如式(2-13)所示，式中 x_{new} 為分類問題中待預測之新點資料。

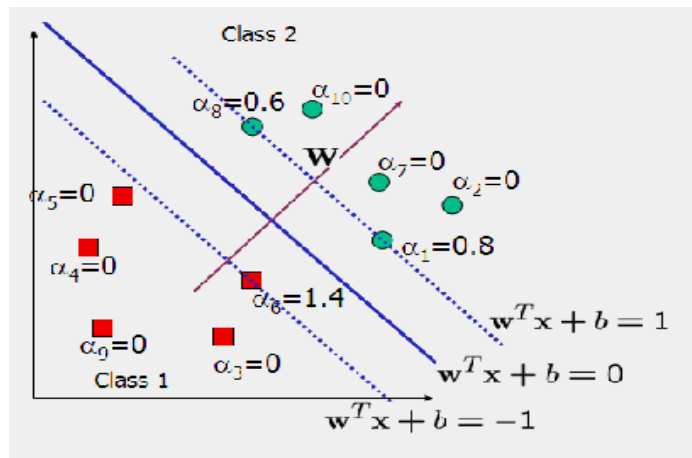


圖 4 支援向量 (SV) 示意圖

$$\alpha_n^* [1 - y_n (\langle w^*, x_n \rangle + b^*)] = 0 \quad , i = 1, \dots, m \dots\dots\dots (2-12)$$

$$f(x) = \text{sgn}(\langle w^*, x_{new} \rangle + b^*) = \text{sgn}\left(\sum_{i=1}^m \alpha_i^* y_i \langle x_i, x_{new} \rangle + b^*\right) \quad i = 1, \dots, m \quad (2-13)$$

對於線性可分問題，由前述方法可找到最優分離超平面可將不同類別樣本點完全分開，但對於線性不可分問題，如圖 5 所示則無法找到一個超平面可將不同類別樣本點完全分開。

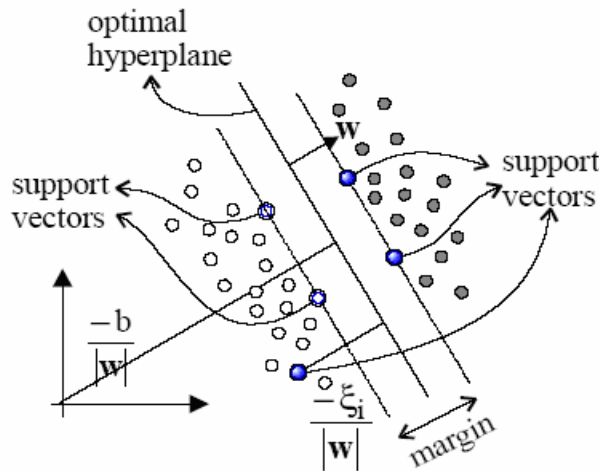


圖 5 線性不可分與鬆弛變量示意圖

因此若想繼續使用超平面進行分類，則必需導入軟化間隔 (Soft Margin) 與鬆弛變量 (Slack) ξ_i ，亦可稱容錯值的概念[10]，即前述二次凸優化問題的限制式將修正如式(2-14)所示。

$$y_i (\langle x_i, w \rangle + b) \geq 1 - \xi_i \quad \xi_i \geq 0 \quad i = 1, \dots, m \dots\dots\dots (2-14)$$

當鬆弛變量 ξ_i 充分大時，原本無法以超平面劃分的樣本點 (x_i, y_i) 將滿足式(2-14)的限制而被正確分類，但 ξ_i 如被任意放大，則支撐向量分類機最大間隔原則將變得毫無意義，因此原始最佳化問題的目標函數將導入平均鬆弛變量項 $\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \xi_i$ ，使得二次凸優化問題同時考慮最大間隔與訓練誤差最小化。綜合目標函數與限制式的改變，對於線性不可分，原始二次凸優化問題將修正如式(2-15)所示。

$$\min_{w, b, \xi} \frac{1}{2} \|w\|^2 + \frac{C}{m} \sum_{i=1}^m \xi_i \quad y_i (\langle x_i, w \rangle + b) \geq 1 - \xi_i \quad \xi_i \geq 0 \quad i = 1, \dots, m \dots\dots\dots (2-15)$$

上式中 C 是一個權衡常數 (Tradeoff Constant)，用來平衡目標函數前後項之間隔最大化與訓練誤差最小化間的衝突。其中低維度空間映射至高維度空間之核函數 (kernel function)，採用徑向基核函數 (Radial Basis Function, RBF) 如式(2-16)所示：

$$K(x_i, x_j) = \exp(-\gamma |x_i - x_j|^2) \quad (2-16)$$

綜合以上，可得知支持向量機分類之模式架構取決於核函數 (Kernels) γ 與權衡常數 (Tradeoff Constant) C 之設定。

3.3 快速混雜基因 (fmGA) 演算法

簡單基因演算法是 John Holland 受達爾文天擇說啟發，於 1975 年開始研究發展的一種演算法則，其求解效率與準確度已被驗證為快速且正確的演算法。其後，Goldberg et al. (1989) 以簡單基因演算法為基礎發展混雜基因演算法 (messy Genetic Algorithm, mGA)，以改善簡單基因演算之缺點，過去許多試驗^{[11][12]}顯示混雜基因演算法在解決排列問題方面明顯優於簡單基因演算法。Goldberg(1993) 之後為了修正運算過程太耗費記憶體之問題，而發展出快速混雜基因演算法 (fast messy Genetic Algorithm, fmGA)。

快速混雜基因演算法 (fmGA)^[13] 為針對簡單基因演算法於最佳化求解過程中沒有考慮基因字串間的邏輯限制問題，而所提出的改良基因演算法機制。經過改良的快速混亂基因演算法與簡單基因演算法最佳化求解機制最主要有四點不同，分別為：(1) 混亂基因演算法之母體採用可變長度之染色體；(2) 使用簡單的切割與結合 (Cut and Splice) 取代簡單基因演算法的交配 (Operator) 機制；(3) 將最佳化求解過程分有原始階段 (Primordial) 與並列階段 (Juxtapositional)；(4) 採用競爭樣板 (Competitive Templates) 保留每世代最突出之基因砌塊 (Building Blocks)。而快速混亂基因演算法演算機制如圖 6。步驟分別敘述如下：

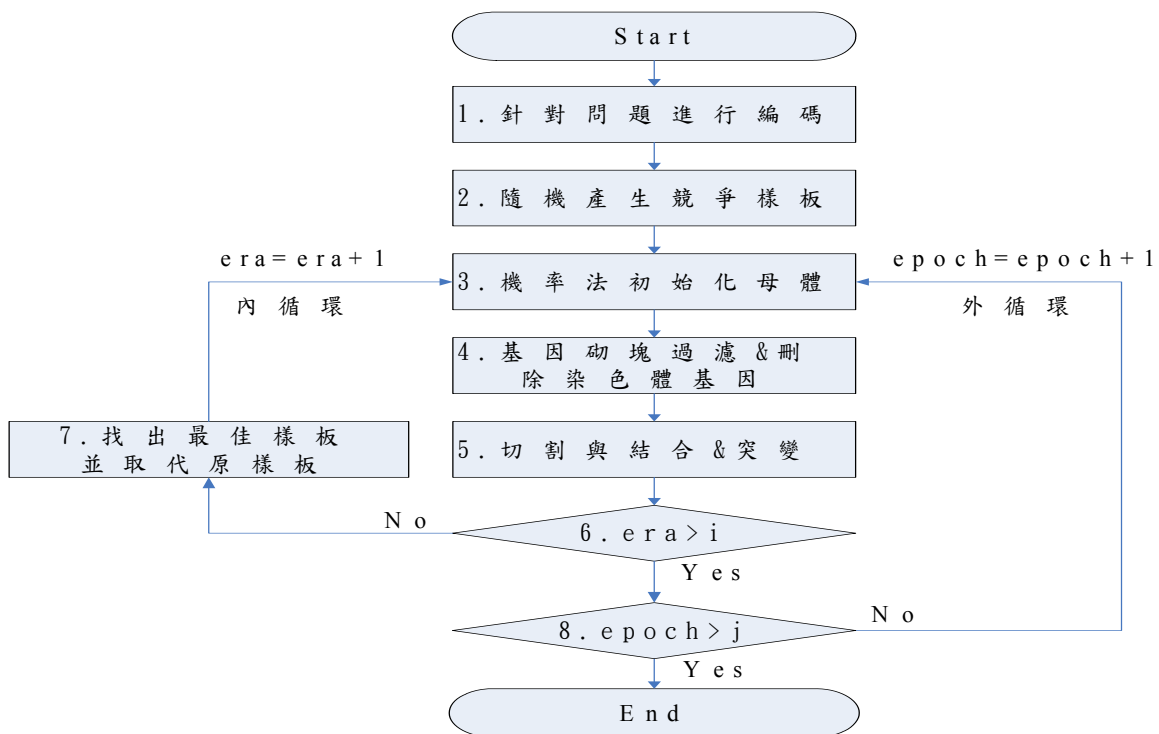


圖 6 快速混亂基因演算法演算機制

3.3.1 針對問題進行編碼：

因為快速混亂基因所使用的為可變式字串長度，為了利於判別母體中之基

因砌塊所屬於問題之基因位子，因而成快速混亂基因中的每一個砌塊都是由一個基因位置 (Gene Locus) 與一個基因值 (Gene Value) 所組成-(基因位置，基因值)。如圖 7 為簡單基因演算法與快速混亂基因演算法之基因表現方式，其中快速混亂基因字串中在括弧內的第一個數字為該染色體的字元值 (Bit Value)，字元值為表示該染色體在問題中染色體的位子；而在括弧中第二個數字為代表為該染色體字元位子之可能解。在基因演算法中其因值可採用二進位 (Binary) 或實數值 (Real Number) 進行編碼。

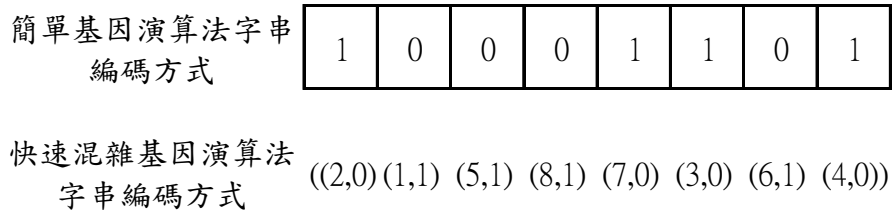


圖 7 快速混亂基因演算法演基因編碼方式

3.3.2 隨機產生初始競爭樣板：

競爭樣板在快速混雜基因演算法中是相當重要的一環。其主要目的是儲存問題之最佳基因字串，藉由演化世代的增加，不停的更新好的基因字串至競爭樣板中，因此當演化世代終止時，最後之競爭樣板即為該問題之最佳解。另外，當計算染色體適存值時，如果該染色體為不足編碼時，競爭樣板也必須提供相關資訊以求得該染色體之適存值。為達成此目的，必須針對問題特性充分了解，才能決定競爭樣板的最大長度，以提供不足編碼的染色體相關資訊。而其初始產生競爭樣板方式則是與一般基因演算法的染色體編碼方式相同，採用絕對位置編碼，並且以隨機方式產生，而每經過一個內循環，競爭樣板會被該世代中最佳的染色體所取代。

3.3.3 機率法產生初始化母體：

在原始的混雜基因演算法中，以列舉的方式將所有長度為 k 之染色體。Goldberg et al. (1992) 提出了新的方式來初始化母體數 n ，其所採用的方式如公式 (3-1)，其推導原則在於希望能夠有效減少需初始化的母體數並且能夠有較高的可信賴度之染色體。

$$n = \frac{\binom{l}{l'}}{\binom{l-k}{l'-k}} 2c(\alpha)\beta^2(m-1)2^k \dots\dots\dots(3-1)$$

其中，
 n 為初始化母體數
 l 為問題長度

k 為基因砌塊長度，

l 為染色體基因字串長度，一般採用 $l = l - k$ ，

$c(\alpha)$ 為常態分佈對應 α 尾端機率平方值，

β 為基因砌塊中之最佳適存值與次佳適存值之比值，

m 為子基因砌塊數量，一般採用問題長度與基因砌塊長度的比值 l/k 。

3.3.4 基因砌塊過濾法刪除染色體基因：

在快速混雜基因演算法的原生階段中，由於一開始所隨機產生的母體其染色體長度為 l ，並非基因砌塊長度 k ，需經過隨機基因刪除的動作，同時也必須保留高適存值的染色體，因此在漸進式刪除基因字串過程中，每刪除一次基因字串後都要進行門檻選擇。

3.3.5 切割與結合及突變

在快速混雜基因演算法中由於染色體長度不同，因此採用切割與結合運算來取代簡單基因演算法中的交配運算。先根據切割機率 (Cut Probability) 選取兩條染色體，每條染色體都隨機選取切割點 (Cut Point)，經過切割後，會產生四條染色體，之後由結合機率 (Splice Probability) 來決定是否要將切割後的四條染色體進行結合的動作。

若是在切割與結合運算中已經讓染色體的結構有了很大的變化。但是訓練結果一直無法達到最佳解時，可加入突變運算。而突變運算最主要的目的就在於避免搜尋空間陷入局部最佳解中。而其運作方式與簡單基因演算法一樣，根據突變機率 (Mutation Probability) 決定是否要突變，而後隨機選擇要突變的位置，並將該位置之基因值隨機改變^[4]。

3.3.6 中斷條件 $era > i$

此為內循環演算次數中斷條件， i 為預設之內循環之終止條件。

3.3.7 找出最佳樣板並取代原樣板

根據目標函數找出最符合之適存值，產生最佳的競爭樣板，取代第二階段中產生之原始樣板。因此可保留較佳之基因砌塊架構至下一循環中。

3.3.8 中斷條件 $epoch > j$

此為外循環演算次數中斷條件， j 為預設之外循環之終止條件。

3.4 ESIM 特性與限制

3.4.1 ESIM 承襲了支持向量機、快速混雜基因演算法 (fmGA) 之特性，經彙整後包括以下八點^[7]：

- 1、具有解決過程不確定、不清楚、或部份未知問題之能力。

- 2、具有對環境自我調適、學習之能力。
- 3、具有解決高維度或高度複雜問題之能力。
- 4、具有容錯能力(Fault Tolerance)。
- 5、具有找出輸入變數向量與輸出變數向量間複雜之映射關係。
- 6、具有高度近似推論之能力。
- 7、具有知識、與經驗累積之特性。
- 8、具有訓練速度快之優點。

3.4.2 ESIM 限制

- 1、需要訓練資料。
- 2、訓練資料正確且分布均勻。
- 3、所求得之解為近似值。

3.5 ESIM 應用程序

如圖 8。為本研究之 ESIM 應用程序，以下針對 ESIM 推論系統建構程序作進一步說明。

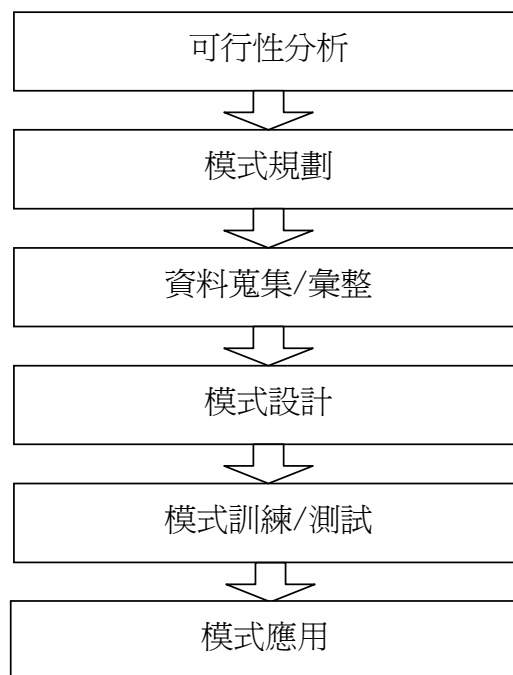


圖 8 ESIM 應用程序

步驟一、可行性分析

根據 ESIM 之特性與限制，針對問題領域特性加以評估，是否適合以 ESIM 處理。

步驟二、模式規劃

本步驟包含：模式架構確立、輸入變數之建立與輸出變數之決定。

- 1、模式架構之確立：依需求或實際情況，建立 ESIM 應用之基本架構。
- 2、輸入變數之建立：實際分析問題之特性，據此決定輸入變數，輸入變數必須能夠充分反應出問題特性。
- 3、輸出變數之決定：根據實際需求訂定輸出變數。

步驟三、資料蒐集/彙整

- 1、資料蒐集：針對待解決問題之特性進行案例蒐集。為使建構之模式有說服力，歷史案例必須反應出實際情況，亦即案例須具代表性。
- 2、資料彙整：將蒐集而得之案例進行預處理。針對 ESIM 對輸入變數與輸出變數處理，使資料符合模式訓練、測試需求。

步驟四、模式設計

模式設計包含兩個部分：模式變數定義、模式模式規劃

- 1、模式變數定義：針對規劃模式，定義其輸入、輸出變數之個數、型式。
- 2、模式模式設計：ESIM 經實際應用、分析後，模式架構參數以作最佳設計，因此，在實際使用時，以內定參數設定即可。當問題情況特殊時，才須要進一步作細部參數設計。

步驟五、模式訓練/測試

1、式訓練

以訓練案例為學習「模式規則」之案例資料，利用 ESIM 模式搜尋能使推論輸出與目標輸出相符之模式架構之訓練案例，作為欲建立之系統。

2、模式測試

根據訓練後建立之模式進行模式準確度測試。模式驗證是以案例測試，比較輸出結果與實際值之差異。本研究利用均方根誤差 (Root Mean Square Error) 作為評估基準，當誤差達到訂定標準時，模式即符合要求。

$$RMS = \left(\frac{\sum_{i=1}^M e_i^2}{M} \right)^{1/2} \text{-----} (4-1)$$

RMS：均方根誤差

M：測試案例數

e：實際值與預測值之差

步驟六、模式應用

根據步驟五的評估，模式確實具備解決問題之能力後，推論系統即可對問題領域進行實際運用。

四、專案成功度影響因子篩選模式建立

CAPP 系統結合了 52 筆歷史專案資料庫，每筆專案記錄了影響專案成功度的 76 項因子，本節主要介紹如何使用 CAPP 系統進行專案成功度影響因子的篩選，篩選第一步便是設定系統參數，以下分別說明之：

4.1 系統參數設定

在系統使用前，須先決定擬預測之專案目前工程進度與因子顯著水準，然後依專案需求參數進行設定，其步驟與說明如下：

Step 1：確定目前工程進度

在資料庫裡面一共收集了影響專案成果的 76 項因子，在專案生命週期中，同一項因子在每個不同的階段對專案最後成果的影響程度並不相同，故預測專案成功度之前必須先確定目前工程進度，以利後續步驟找出在本階段重要的影響因子。本研究選擇之案例目前進度為 67% 進行測試。

Step 2: 決定因子顯著水準

因子顯著水準越小，表示該因子影響專案成果越明顯，故必須先決定符合需求的因子顯著水準。CAPP 建議 α 小於 0.1 之因子即具有參考價值，本研究選取 $\alpha = 0.025$ 找出最有代表性因子。

Step 3: CAPP 參數設定與應用

為求本研究建立之模式可以符合各種專案需求，選取分析範圍涵蓋工程設計發包至完工使用，且對各項參數不做任何限制。

4.2 成功度定義

CAPP 將所有專案的執行績效定義成四種類型：Successful、on time or on budget、less-than-successful、disastrous^[34]。本研究依據此一分類定義在進行預測之前，將四種專案成功度依線性量化定義如下表 1 所示：

表 1 成功度預測值定義

Project Performance	Value
Successful	1
on time or on budget	0.667
less-than-successful	0.333
disastrous	0

4.3 專案成功度顯著因子篩選

在 CAPP 完成參數設定並對成功度做出定義後，即可使用 Graphic 功能對每項因子進行分析，如下圖 9 所示。圖中呈直方圖狀顯示，稱為顯著水準(Significance Level)，顯著水準越低，表示該變數對於最後成功度有明顯的影響；在圖 3 中可以看出 Cost of change orders 這項因子在工程進度 67%時，其直方圖所對應之 α 軸顯著水準約為 0.02，在本研究所預設的臨界值 0.025 之下，故本因子為顯著因子，依此類推，本研究一共確認出 11 項達到顯著水準的因子，如表 2 所示，因子確認後便從 CAPP 資料庫裡將因子所對應數據擷取出來，剔除無效案例後(所選出因子數據全為 0 或未記錄)，有效案例共 46 筆，當作 ESIM 的訓練案例庫，如表 3 所示。

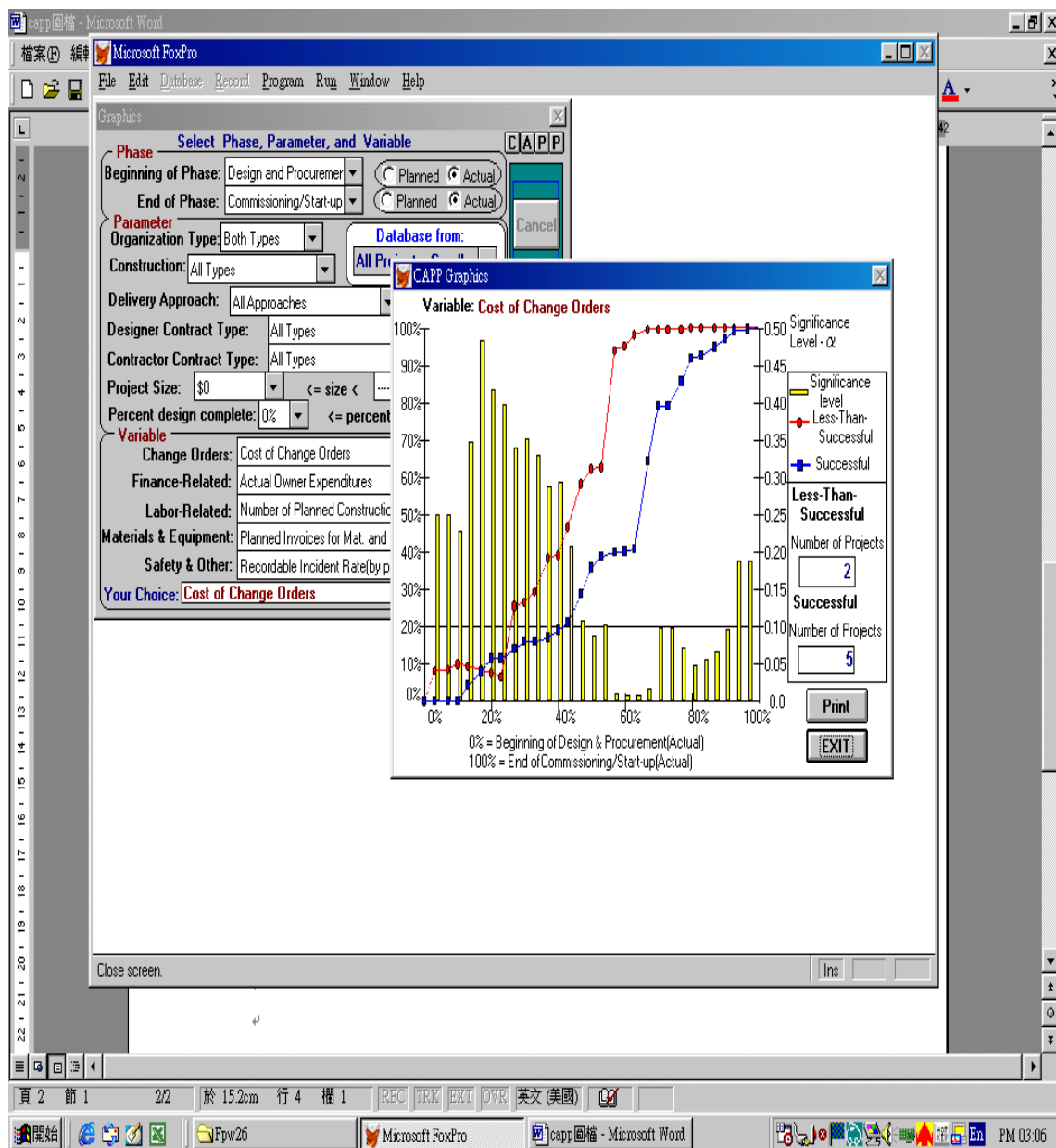


圖 9 Graphics Screen for Cost of Change Order

表2 顯著因子分析

因子	定義
1. Actual design % complete	在專案施工開始時，細部設計完成百分比。
2. Actual owner expenditures	業主在記錄週期內實際支出費用，包含：設計、採購、工程費用、土地、相關執照、及處理各種突發事件等費用。
3. Invoiced construction costs	記錄週期內承包商向業主請款金額。
4. Designer planned effort hours	設計者在記錄週期內計畫的工作小時數，不包含設計者在施工過程的監督工作時間。
5. Actual invoices for Material and Equipment	在記錄週期內材料與機具設備的實際花費。
6. Paid construction costs	業主在記錄週期內支付給承包商的工程費用，包括承包商的經常費用及利潤。
7. Cost of owner project commitments	業主在記錄週期內所承諾的義務支出，包含材料、機具設備、經常性支出、承包商的利潤等。
8. Recordable incident rate (by period)	根據美國職業健康安全管理協會 OSHA (Occupational Safety & Health Administration) 對 Recordable incident rate 所最做出之定義為每 200000 工作小時平均所發生的事故件數，計算公式如下： $\frac{\text{\# of recordable} * 200000}{\text{hours earned}}$ # of recordable：可記錄的事故件數 hours earned：所有工地現場的總工作小時數
9. Cost of change orders	在記錄週期內變更設計的費用。
10. Quantity of change orders	在記錄週期內變更設計的數量。
11. Actual overtime work	工地現場人員在記錄週期內超時工作的小時數，以每週 40 小時為標準。

表3 專案成功度預測原始資料庫

PROJECT \ 因子	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	成功度
	C5_16	C3_10	C2_14	C2_13	C3_28	C3_14	C2_24	C2_38	C2_17	C3_17	C3_41	
1	0.000	0.000	0.000	0.177	0.187	0.000	1.000	0.000	0.567	0.244	0.000	0.667
2	0.296	0.885	0.086	0.904	0.300	0.111	0.407	0.000	0.278	0.044	0.000	0.667
3	0.000	0.090	0.150	0.000	0.075	0.287	0.000	0.000	0.099	0.122	0.000	1
4	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.637	0.011	0.000	1
5	0.000	0.340	0.207	0.453	0.000	0.267	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.333
6	0.000	1.000	0.327	0.000	0.675	0.419	0.847	0.000	0.000	0.000	0.000	0.667
7	0.000	0.280	0.000	0.000	0.000	0.000	0.229	0.048	0.049	0.189	0.000	1
8	0.185	0.987	0.000	0.675	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.333
9	0.111	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1
10	0.148	0.000	0.773	0.228	0.000	1.000	0.000	0.000	0.076	0.033	0.000	0.667
11	0.000	0.000	0.127	0.000	0.000	0.165	0.000	0.000	0.009	0.000	0.000	0.667
12	0.000	0.000	0.164	0.000	0.000	0.223	0.000	0.000	0.033	0.100	0.125	0.667
13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020	0.026	0.000	0.000	0.045	0.011	1.000	0
14	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.067	0.000	0.000	0.005	0.056	0.000	1
15	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.167	0.000	0.000	0.107	0.078	0.246	0
16	0.037	0.266	0.000	0.056	0.188	0.451	0.116	0.000	0.000	0.000	0.020	0.667
17	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.099	0.000	0.000	0.008	0.000	0.622	0.667
18	0.000	0.000	0.109	0.042	0.061	0.080	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.667
19	0.000	0.000	0.457	0.000	0.404	0.592	0.000	0.000	0.334	0.111	0.300	1
20	0.000	0.710	0.000	0.000	0.448	0.000	0.000	0.000	0.023	0.000	0.000	0.667
21	0.000	0.159	0.000	0.000	0.051	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.667
22	0.000	0.000	0.118	0.150	0.154	0.135	0.000	0.000	0.251	0.456	0.861	0
23	0.111	0.000	0.000	0.048	0.000	0.000	0.022	0.000	0.043	0.144	0.000	1
24	0.000	0.000	0.211	0.050	0.418	0.188	0.394	0.000	0.000	0.000	0.000	1
25	0.444	0.511	0.000	0.000	0.000	0.000	0.995	0.000	0.000	0.011	0.000	1
26	0.296	0.031	0.726	0.000	0.318	0.026	0.010	0.000	0.024	0.033	0.000	0.667
27	1.000	0.000	0.021	0.233	0.021	0.027	0.000	0.864	0.145	0.000	0.021	1
28	0.000	0.143	0.029	0.000	0.044	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.667
29	0.000	0.123	0.123	0.000	0.025	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1
30	0.444	0.058	0.033	0.000	0.027	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1
31	0.074	0.841	0.657	0.079	0.622	0.000	0.000	0.249	0.000	0.000	0.000	1
32	0.000	0.007	0.000	0.009	0.010	0.003	0.019	0.000	0.025	0.067	0.000	1
33	0.000	0.111	0.045	0.000	0.021	0.000	0.140	1.000	0.042	0.067	0.013	1
34	0.000	0.926	0.498	0.000	0.000	0.000	0.581	0.000	0.179	0.267	0.180	1
35	0.000	0.148	0.035	0.000	0.000	0.000	0.029	0.000	0.141	0.156	0.000	0.333
36	0.000	0.277	0.166	0.000	0.000	0.000	0.000	0.941	0.138	0.200	0.635	0.333
37	0.000	0.149	0.085	0.000	0.000	0.000	0.108	0.000	0.113	0.944	0.000	1
38	0.000	0.557	0.352	0.000	0.086	0.455	0.000	0.200	1.000	0.344	0.000	1
39	0.000	0.733	0.000	0.007	0.000	0.000	0.575	0.072	0.416	1.000	0.000	1
40	0.333	0.000	0.122	0.128	0.167	0.000	0.000	0.000	0.076	0.433	0.540	1
41	0.000	0.807	0.585	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.081	0.211	0.000	0.667
42	0.000	0.022	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.090	0.111	0.000	0.667
43	0.370	0.850	0.587	0.077	0.000	0.760	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.667
44	0.000	0.224	0.162	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015	0.089	0.000	1
45	0.444	0.156	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.077	0.087	0.122	0.000	0.667
46	0.148	0.000	0.776	0.000	0.502	0.550	0.000	0.032	0.155	0.656	0.000	1

五、專案成功度動態預測模式建立

5.1 專案成功度動態預測模式設計

案成功度動態預測模式主要適用於預測進行中專案的成功度，模式以 CAPP 原始資料庫為基礎，應用 CAPP 系統對因子進行分析，篩選出在某一工程進度百分比下，影響專案成功度的顯著因子，然後應用資料探勘技術對工程歷史案例進行非監督式分群，將專案聚類成群內相似度高，群間差異性大的群組，然後應用演化式支持向量機推論系統 ESIM (Evolutionary Support Vector Machine Inference Model)針對歷史案例進行學習訓練，求出案例在某一進度百分比下(本研究選取之進度為 67%)各項影響因子之執行狀況與最後完成專案之成功度間之映射關係，最後再依此訓練成果，按目標案例在該進度百分比下之執行狀況來預測最後專案成功度，其步驟如下圖 10 所示：

5.1.1 新增測試案例資料

在使用本模式進行預測之前，首先將所要預測專案之 76 項因子(time-dependent variables)的連續記錄數據記錄到資料庫中，建立一筆新增專案為目標案例，以利後續使用 CAPP 系統對資料庫進行分析。

5.1.2 CAPP 因子統計分析

完成案例新增後，利用 CAPP 系統 Graphics 模組，對資料庫內的因子進行統計分析，找出符合目標案例工程進度與顯著水準的因子。

5.1.3 資料庫數據擷取

在確認出顯著影響因子後，便可以從資料庫中擷取與目前工程進度相對應的因子數據，作下一步的集群分析。

5.1.4 專案案例集群分析

由於資料庫中之 52 筆歷史案例資料其工程規模大小、工程種類、發包方式皆不相同，且有些案例差異性甚大，因此若將所有案例納入 ESIM 訓練，則往往會因案例間差異性過大，而影響訓練案例預測成果之準確率，因此本模式採用資料探勘技術中的集群分析方法，先將資料庫內的專案使用非監督式分群法聚類成兩群，找出與目標案例相似程度高的一群案例進行訓練，以提高最後模式預測的準確率。

5.1.5 動態預測資料庫建立

集群分析完成後，選出目標案例之所在群組，作數據正規化，建立動態預測資料庫，以利後續之 ESIM 模式訓練及預測。

5.1.6 ESIM 模式訓練

本模式最後利用 ESIM(Evolutionary Support Vector Machine Inference Model)對案例資料進行模式訓練，求出該工程進度下之顯著影響因子與專案成功度間

之映射關係。

5.1.7 目標案例成功度預測

爲了使本模式可以適用各種不同成功度的專案預測，本研究隨機挑出了四筆成功度各不相同的專案當作測試案例，並將集群分析前與集群分析後的預測結果作一比較分析，證明分群後預測的準確率將會比分群前提昇，以驗證本模式及 ESIM 推論的合理性。

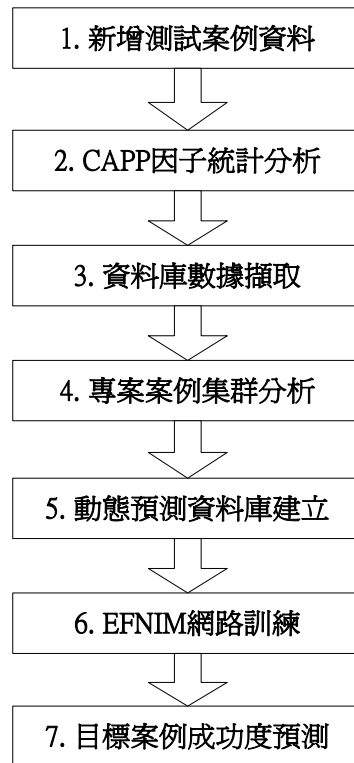


圖 10 專案成功度動態預測模式

5.2 ESIM 模式訓練與測試-集群分析前

本研究使用以ESIM爲架構發展而成的Evolutionary Support Vector Machine Inference System「演化式支持向量機推論系統，ESIM，」作爲訓練與測試軟體。在本節首先將未集群分析前的資料庫進行ESIM模式訓練與測試，並選取出案例22、31、36、41等四個成功度各不相同的專案來當作測試案例。

專案變數主要有輸入變數及輸出變數兩種，本模式藉由 CAPP 共計確認出 11 項顯著因子，這 11 項因子在各個專案進度 67%時所記錄的數據即爲輸入變數，而輸出變數則是專案最後的成功度。本專案成功度推論模式將經由此兩變數作模式訓練，以找出輸入變數與輸出變數之間之映射關係。推論模式經參數設定後，ESIM 系統即進行最佳模式搜尋。在 fmGA 搜尋了 100 個世代後，搜尋時間 3~5 分，其最佳化 SVM 容錯值參數 $C=0\sim 100$ 及核心函數中 $\gamma=0.0001\sim 1$ 值，而模式誤差均方根爲 0.09045，搜尋結果列於表 4。

表 4 專案成功度動態預測模式搜尋結果-集群分析前

ESVM 模式執行結果	
執行迴圈(EPOCH*ERA)	100 (Iterations)
搜尋時間	3~5(mins)
容錯參數 C	0~200
核心函數參數 γ	0.0001~1
最佳適合度染色體-模式均方根誤差 (RMS)	0.09045

5.2.1 訓練案例誤差測試

將表 3 中各筆輸入變數值經由 ESIM 模式表現評估模組之推論，對於每筆案例可獲得一個成功度輸出值，此評估值又稱為推論輸出 (Actual Output)；CAPP 資料庫中經正規化處理後之專案成功度為目標輸出 (Desired Output)，表 5 中顯示出表 3 中各筆專案之推論輸出與目標輸出之比對，將表 5 繪成圖 11 後可清楚的看出各筆案例推論輸出與目標輸出間之差距。

表 5 模式訓練案例測試輸出值比較-集群分析前

專案編號	推論輸出	目標輸出	專案編號	推論輸出	目標輸出
1	0.648614	0.667	23	1.037361	1
2	0.701195	0.667	24	0.900862	1
3	0.900041	1	25	0.900264	1
4	0.900002	1	26	0.767046	0.667
5	0.433002	0.333	27	0.899934	1
6	0.766999	0.667	28	0.767518	0.667
7	1.100994	1	29	0.899678	1
8	0.232999	0.333	30	0.910085	1
9	0.900001	1	32	0.899544	1
10	0.767289	0.667	33	0.944356	1
11	0.718944	0.667	34	0.899998	1
12	0.767933	0.667	35	0.432944	0.333
13	0.100611	0	37	1.100196	1
14	0.899515	1	38	0.900186	1

15	0.100000	0	39	0.956379	1
16	0.567003	0.667	40	0.900220	1
17	0.567755	0.667	42	0.701084	0.667
18	0.767533	0.667	43	0.767005	0.667
19	1.100000	1	44	1.027944	1
20	0.567432	0.667	45	0.767478	0.667
21	0.715352	0.667	46	1.100085	1

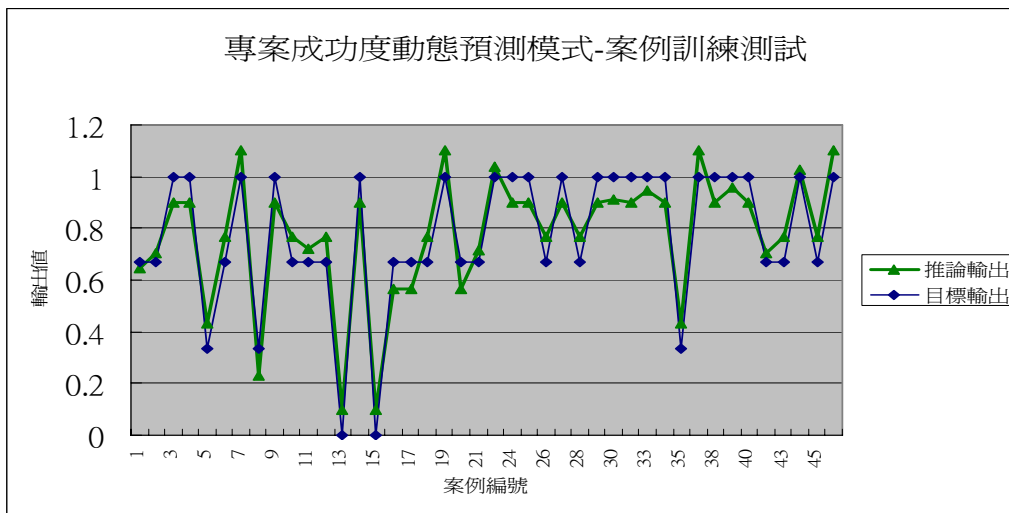


圖 11 專案成功度動態預測模式訓練案例測試輸出值比較-集群分析前

5.2.2 測試案例驗證

本研究以式均方根誤差來衡量模式學習精度。訓練案例經過測試後，其均方根誤差為「0.09045」；4 筆測試案例之測試結果如表 6 所列，測試案例的推論輸出與目標輸出間之均方根誤差為「0.178042」。

表 6 專案成功度動態預測模式測試案例輸出值比較-集群分析前

模式	案例編號	推論輸出 (Actual Output)	目標輸出 (Desired output)	均方根誤差 (RMS)
集群分析前	22	0.097855	0	0.178042
	31	1.052796	1	
	36	0.634739	0.333	
	41	0.819928	0.667	

由表 6 中得知，工程案例未經集群分析由 ESIM 模式表現評估模組所推論，四筆測試案例成功度的預測值平均誤差(RMS)約為 0.178，結果尚可接受，但是從模式訓練案例測試輸出值比較圖(圖 6)中可以看出，預測模式對於成功度為 1(非常成功)與 0.667(成功)的專案並無法明顯區隔出來，其發生原因有可

能是因爲專案類型、特性、規模大小差異所造成，因此，本模式進一步結合資料探勘(Data mining)的觀念，利用集群分析的方法將資料庫聚類，求得到相似度高的專案來進行案例訓練，期望藉此提高本模預測的準確率。

5.3 專案案例集群分析

群集分析是多變量統計分類方法，其主要是探討如何將資料加以分群(cluster)或是分類(classify)，而集群分析就是依照收集的樣本將它分成數個群數，使得群內個體間高度的同質性，以及不同群體高度的異質性。CAPP資料庫中所蒐集的專案類型差異甚大，隨著專案的不同所擷取出的數據異質性高，所以爲提升ESIM預測的準確率，本模式結合應用群集分析的方法先將資料庫裡的專案分群，找出與測試案例相似性高的專案，再應用ESIM進行模式訓練，以求得到最佳的預測結果。

集群分析者要分成監督式與非監督式分群法兩種；監督式分群法如classification(分類)，就是分析資料的所有特質，再將其指派至一個現有的群集中，它是將每一種類別找到一個合理的描述或模型，然後利用這些模型來對未知的資料進行分類。非監督式分群則是將一群異質的群體區隔爲同質性較高的群體或是子群。分群與分類不同的是群集化沒有依靠事先明確定義的類別來進行分類，資料是根據自身的相近性而群聚在一起的。爲使本模式可以適用於各種類型的專案，本模式採用非監督式分群法中的k-means法來進行本模式之群集分析的部分，原因主要有兩項：第一是監督式分群法必須先將專案的類別屬性定義出來，在專案的眾多屬性如工程種類、造價、發包方式…等，很難去建立一個合理的模型來對專案分類，因爲定義太多類別，把專案分的太細可能造成訓練案例不足；定義的類別太少，可能因屬性的取捨不同而造成不客觀的狀況。非監督式分群法則沒有這個困擾，它可以依本身所定義好的相似性函數，自動歸納成數個群集。第二是效率，K-means法是非監督式分群法最常使用的方法，爲了在工期緊迫的專案中迅速取得所需的資訊，因此利用k-means群集分析，爲簡便且快速的方法。

K-Means Cluster Analysis是屬於非階層式分群法，首先是先決定K 個集群中心，用來當作起始的分群中心，而後，依各個體到各中心點距離遠近，重新移動個體到最近的群體，並計算出各群體新的中心點，然後繼續再移動各個體到最接近的群體，直到群聚結果不再改變或滿足某種限制爲止。

非階層式分群法，是指在一個N度空間中，將資料切割成K 個群集。我們可以定義一N 度空間中的n個資料點，資料集合爲 $S = \{ x_1, x_2, \dots, x_n \}$ ，而 C_1, C_2, \dots, C_K 表示K 個群集的中心點。因此，資料分群必須滿足下列的條件 (Maulik,Bandyopadhyay, 2000)：

$$C_i \neq \Phi \text{ for } i = 1, 2, \dots, K$$

$$C_i \cap C_j = \Phi, \text{ for } i = 1, 2, \dots, K, j = 1, 2, \dots, K \text{ and } i \neq j \text{ and } \bigcup_{i=1}^k C_i = S$$

非階層式分群法中最常用的方法是K-Means 演算法 (Tou, Gonzalez, 1974) 。它是利用不斷疊代 (iteration) 的方式，將一群在多維度空間中的資料分為K 群。以隨機選取K 個中心代表點，利用歐基里德距離 (Euclidean Distance) ，找出最接近每一群資料的中心點。K-Means 演算法的流程有下述四個步驟[Tou, Gonzalez,1974]：

5.3.1 由 $S = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 中，隨機選取 K 個中心代表點 $z = \{z_1, z_2, \dots, z_K\}$ ， $K \geq 2$ 。

5.3.2 計算 $S = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 到每一中心點 $z = \{z_1, z_2, \dots, z_K\}$ 的距離，選擇 $S = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 中最接近 $z = \{z_1, z_2, \dots, z_K\}$ 的資料，再分群，其演算法規則如下：

$$x \in S_j(K), \text{ if } \|x - z_j(k)\| < \|x - z_i(k)\|, \quad i = 1, 2, \dots, K, \quad i \neq j$$

其中 $z_j(k+1)$ 表示第 k 次疊代所求得第 j 群的中心點， $S_j(k)$ 是第 k 次疊代後經由分群所得第 j 群的資料點，而 $\|x - z\|$ 表示資料點 x 到 z 之間的歐基里德距離。

5.3.3 針對步驟 2 分群後的資料，重新計算新的中心點 $z_j(k+1)$ ，公式如下所示：

$$z_j(k+1) = \frac{1}{N_j} \sum_{x \in S_j(k)} x, \quad j = 1, 2, \dots, k$$

其中， N_j 是分群後第 j 群的資料筆數。

5.3.4 當 $z_j(k+1) = z_j(k)$ ， $j=1, 2, \dots, k$ ，結束計算，否則回到步驟 2。

5.4 ESIM 模式訓練與測試-集群分析後

本節說明集群分析後 A、B、C、D 四個群組進行模式訓練的過程與結果。A、B、C、D 四個群組之 ESIM 最佳模式搜尋搜尋結果，其模式均方根誤差分別為 0.091811、0.089342、0.087644、0.089059，如表 7。

表 7 專案成功度動態預測模式搜尋結果-集群分析後

訓練案例群組	ESVM 模式執行結果	
A	執行迴圈(EPOCH*ERA)	100 (Iterations)
	搜尋時間	1~3(mins)
	容錯參數 C	80
	核心函數參數 γ	1
	最佳適合度染色體-網路均方根誤差 (RMS)	0.091811
B	執行迴圈(EPOCH*ERA)	100 (Iterations)
	搜尋時間	1~3(mins)

	容錯參數 C	20
	核心函數參數 γ	0.1
	最佳適合度染色體-網路均方根誤差 (RMS)	0.089342
C	執行迴圈(EPOCH*ERA)	100 (Iterations)
	搜尋時間	1~3(mins)
	容錯參數 C	80
	核心函數參數 γ	1
	最佳適合度染色體-網路均方根誤差 (RMS)	0.087644
D	執行迴圈(EPOCH*ERA)	100 (Iterations)
	搜尋時間	1~3(mins)
	容錯參數 C	20
	核心函數參數 γ	0.4
	最佳適合度染色體-網路均方根誤差 (RMS)	0.089059

以下以 B 群組(測試案例 31)為例說明測試結果。

5.4.1 訓練案例誤差測試

將B群組資料庫中各筆輸入變數值經由ESIM模式表現評估模組之推論，表8中顯示出B群組中各案例之推論輸出與目標輸出值。另將表8中各訓練案例之測試結果以圖形（圖12）來表示，可清楚的看出各筆案例推論輸出與目標輸出間之差距。由上表7中B群組測試結果可發現訓練案例之推論輸出與案例之目標輸出之誤差均方根為「0.089342」。

表8 模式訓練案例測試輸出值比較-B 群組

案例編號	推論輸出	目標輸出
1	0.767000	0.667
2	0.715645	0.667
5	0.433858	0.333
8	0.433000	0.333
9	1.100000	1
10	0.624171	0.667
19	0.900000	1

20	0.714476	0.667
24	0.900000	1
25	0.900000	1
26	0.767001	0.667
34	0.900000	1
38	0.900000	1
39	0.899999	1
43	0.567186	0.667
46	0.966509	1

5.4.2 測試案例驗證

本研究以式均方根誤差來衡量測試案例誤差。4筆測試案例之測試結果如表9所列，測試案例的推論輸出與目標輸出間之均方根誤差為「0.007076」。

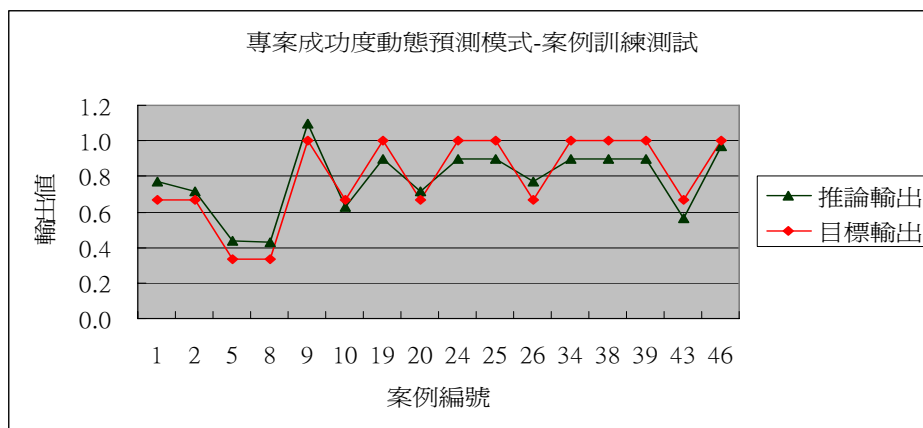


圖 12 B 群組訓練案例測試輸出值比較

表 9 專案成功度動態預測模式測試案例輸出值比較-集群分析後

模式	案例編號	推論輸出 (Actual Output)	目標輸出 (Desired output)	均方根誤差 (RMS)
集群分析後	22	0.00829	0	0.007076
	31	0.993296	1	
	36	0.323726	0.333	
	41	0.667807	0.667	

集群分析前後的模式成功度預測結果彙整如表 10 所示，並繪製成圖 13，由圖中可以清

楚看出集群分析後的推論輸出值與目標輸出值相當接近。FittestMeanErrorPerCase 為 ESIM 模式訓練案例與最佳適合度函數值的均方根誤差，用來衡量模式學習精度，其均方根誤差越小，代表著該訓練群組模式越佳，對測試案例的準確度也越有信心；測試案例均方根誤差 RMS 則是對四個測試案例推論輸出與目標輸出值的誤差衡量。在集群分析前，ESIM 模式學習的均方根誤差為 0.1811665，在集群分析後分別減小到 0.09555815、0.01746631、0.1149914、0.0826156；在四個測試案例的部分，推論輸出與目標輸出的均方根誤差由 0.130342542 減小至 0.039629845。由此可以了解，不但集群分析後的案例 ESIM 模式學習精度大幅提昇，測試案例的推論輸出值亦比分群前精確許多，此結果驗證了資料探勘技術可以提升 ESIM 推論的精確率，亦進一步證明了本模式的可行性與合理性。

表 10 集群分析前後測試案例推論輸出值比較

模式	測試案例 ID	推論輸出	目標輸出	SVM 最佳參數	測試案例均方根誤差(RMS)
		(Actual Output)	(Desired output)	(C 與 γ)	
分群前	22	0.097855	0	C=60 $\gamma=1$	0.178042
	31	1.052796	1		
	36	0.634738	0.333		
	41	0.819928	0.667		
分群後	22	0.008293	0	C=100 $\gamma=0.4$	0.007076
	31	0.993296	1	C=20 $\gamma=0.1$	
	36	0.323726	0.333	C=0 $\gamma=0.4$	
	41	0.667807	0.667	C=100 $\gamma=0.3$	

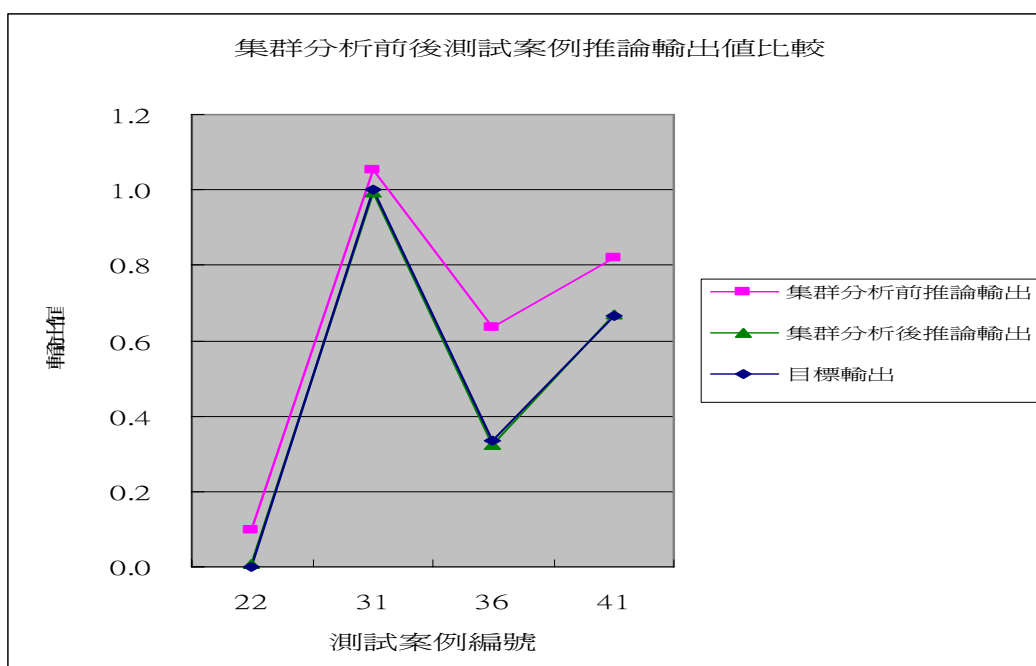


圖 13 集群分析前後測試案例推論輸出值比較圖

5.5 模式應用

本專案成功度預測模式主要是用來預測專案最後成果，除了專案成功度此一指標可以當作專案管理人員參考外，專案管理人員更可以使用 CAPP 系統的 Real-Time Control 模組來分析顯著因子。當所預測的專案成功度不佳時，專案管理人員應該針對所篩選出的顯著因子逐項分析，了解造成專案成功度偏低的原因，以達到專案控制的功能。

以編號 22、31、36、41 四個測試案例，分別代表不同專案的執行績效專案功度四種類型：disastrous、Successful、less-than-successful、on time or on budget，對應目標輸出 0、1、0.333、0.667，其實際應用改善對策整理如表 11 所示。

表 11 不同專案專案功度與應用改善對策

案例編號	目標輸出	專案成功度	改善對策
22	0	disastrous	失控災難
31	1	successful	表示影響因子變數在目前是朝向成功的專案邁進
36	0.333	less-than-successful	代表此影響因子變數可能將導致專案失敗的結果，可能是工期延誤，預算超支，或者兩者皆是。在這個時間點專案經理應該立即檢討造成此一現象的原因，以改善目前績效
41	0.667	on time or on budget	沿著 successful 與 less-than-successful 之間前進，此現象可以有兩種方式來解釋；第一個是此專案一開始表現不錯，但是隨工程進行時卻偏向失敗專案，必須立即採取改善措施。第二是在這個時間點，專案經理應該持續的對此一變數進行監控，並且擬定將來問題發生的解決措施

六、結論與建議

6.1 本研究作成以下幾點結論：

6.1.1 本研究結合支持向量機與快速混雜基因演算法所建立之 ESIM 決策模式，有效地透過

歷史案例中粹取經驗、歸納決策規則，解決傳統決策方法缺點，同時亦改善了人為主觀判斷之影響，並解決運用演化式模糊類神經網路訓練時間過長之缺點。

- 6.1.2 本研究所發展之高效率與準確率的專案成功度預測模式，有效改善傳統專案執行過程中，無法即時預測專案成果的缺點，其結果可以協助專案經理在工程進行中，發現工程潛在的問題並迅速做出決策改善，協助專案管理控制的進行。
- 6.1.3 依照本研究專案成功度預測流程方式，可應用此 ESIM 模式於其他營建管理決策課題上，只要遵循確立影響因子與案例收集並利用案例進行模式訓練之步驟，可作為營建管理決策輔助之用。
- 6.1.4 由模式驗證結果得知，資料探勘技術之結合應用，可有效提升 ESIM 人工智慧系統推論的準確率。

6.2 本節歸納前述之研究成果，提出以下幾點建議：

- 6.2.1 由模式驗證的部分可以看出利用資料探勘技術對資料庫進行非監督式分群後，專案成功度預測的精確度大幅提升，建議使用 ESIM 系統(或類似的人工智慧系統)前，如果可以對所收集的資料數據利用適當的方法進行聚類，將可以得到更佳的效果。
- 6.2.2 專案資料之數量與代表性以及專家對專案成功度的評判的標準，對所建立專案成功度預測模式的準確性有直接的影響。將來實際應用時，將可以不斷擴充資料庫內的專案資料，並藉由專家給予每筆專案成功度做出合理評分，讓本模式擷取出的因子能更符合國內專案執行成敗的關鍵影響因素，並使顯著因子與成功度之間的映射關係能更符合國內專案執行的狀況，以不斷提高本預測模式的實用性與準確性。
- 6.2.3 本 ESIM 模式中支持向量機中自訂參數 C 與 γ 值，採用 fmGA 搜尋方式求得，未來可與其它最佳化模式進行比較並修正。

參考文獻

1. 林信宏 (1999)，「類神經網路在工程績效管理上之應用」，國立臺灣大學土木工程研究所，碩士論文。
2. 陳弼宏 (2003)，「建立專案成功度動態預測模式-演化式模糊類神經模式推論模式」，國立臺灣科技大學，碩士論文。
3. Russell, J. S., Jaselskis, E. J., and Lawrence, S. P. (1997). "Continuous Assessment of Project Performance." *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 123(1), 64 - 71.
4. Russell, J.S., Jaselskis, E.J., Lawrence, S.P., Tserng, H.P., and Prestine, M.T. (1996), "Development of a Predictive Tool for Continuous Assessment of Project Performance," Source Document, The Construction Industry Institute.
5. 陳麗君 (2002)，「應用資料探勘技術於信用卡黃金級客戶之顧客關係管理」，元智大學工業工程與管理學系，碩士論文。

6. 劉世琪、劉晉宏（2003），「應用資料挖掘探討顧客價值-以汽車維修業為例」，朝陽科技大學工業工程與管理系，碩士論文。
7. Thorsten Joachims, http://svmlight.joachims.org/svm_struct.html。
8. 楊智民，劉廣利（2006），「不確定性支持向量機原理及應用」，中國：中國科學出版社。
9. Cortes and V. Vapnik., ” Support-vector network,” Machine learning, vol.20, No.3, pp.273-297 (1995)。
10. 鄧乃楊等（2004），” 數據挖掘的新方法—支持向量機” ， 中國：中國科學出版社。
11. Goldberg D.E., Deb K., Kaegupta H., Harik G.(1993), Rapid, accurate optimization of difficult problems using fast messy genetic algorithms, Proceedings of the Fifth International Conference on Genetic Algorithms, pp. 56 - 64 。
12. D. Knjazew, G.A. Ome (2003) , A Competent Genetic Algorithm for Solving Permutation and Scheduling Problems, Kluwer Academic Publishers, Boston 。
13. 許淑婷（2006），「利用快速混雜基因演算法與模擬機制建立設計專案作業程序最佳化之研究」，國立成功大學，碩士論文。
14. 簡崑棋，馮重偉（2003），「結合模糊類神經模式與快速混雜基因演算法於專案工期之預測」，國立成功大學，碩士論文。

砸道車電源電路板之研製(二)

Track Maintenance Vehicle Power Source Circuit Board Research and Production (2)

張進財¹
Zhang Jin-cai¹

地址：臺中縣烏日鄉光日路 225 號
Address: No.225, Guangri Road, Niaori rural township, Taichung County

電話：04-23385753
Tel: : 04-23385753

電子信箱：tr483014@msa.tra.gov.tw
E-mail:tr483014@msa.tra.gov.tw

摘要

本文的延續臺鐵資料第 336 期刊載內容，就硬體電路製作與電路即穩壓性能實測，採用的 DC-DC Converter Module 功率為 30W，較原始設計之 20W 多出 25% 的功率；且在輸入電源部份更具彈性，電壓值可從+18V~+36V，避免因砸道車發電機輸出的+24V 電壓異常或不穩定而影響電路之正常工作。

關鍵詞：砸道車、養路機械。

Abstract

This paper will extend the gauging of hardware circuit manufacture and circuit instant pressure balance performance featured in Taiwan Railway Journal Issue 336, using a 30W DC-DC Converter Module, 25% more powerful than the 20W used in the original design. There is also more power source input flexibility with voltage +18V~+36V avoiding normal work being affected by voltage abnormality or instability because the vehicle generator outputs 24V.

Key words: Track Maintenance Vehicle, Track Maintenance Machinery

四、實驗結果與討論

本文的電路以 DC-DC Converter Module 為主要核心，將輸入的+24V 電源轉換成可調

1.本局工務養護總隊助理工務員

的±15V 輸出，並再利用該輸出電壓，透過電壓參考單元及 OPA 與電晶體所組成的串聯式穩壓電路一全配合，即可將具限流保護±10V 的電源供應共同設計於同一 PCB 板上。

4.1 硬體電路製作與電路實測

本文硬體電路為使用 PCB 電腦輔助設計製作而成，電路經由軟體繪製後隨即可產生相對應的稿件輸出。將其產生的稿件與雙面感光電路板配合，經曝光、顯影、蝕刻、鑽孔、裁切、及焊接，即可將此電源電路以印刷電路板模式呈現，焊接好的電路實體圖如圖 27、圖 28 所示。由於電路製作過程均為採用電腦輔助設計，對日後大量生產具有其便利性。



圖 27 電源電路板實體圖（正面）

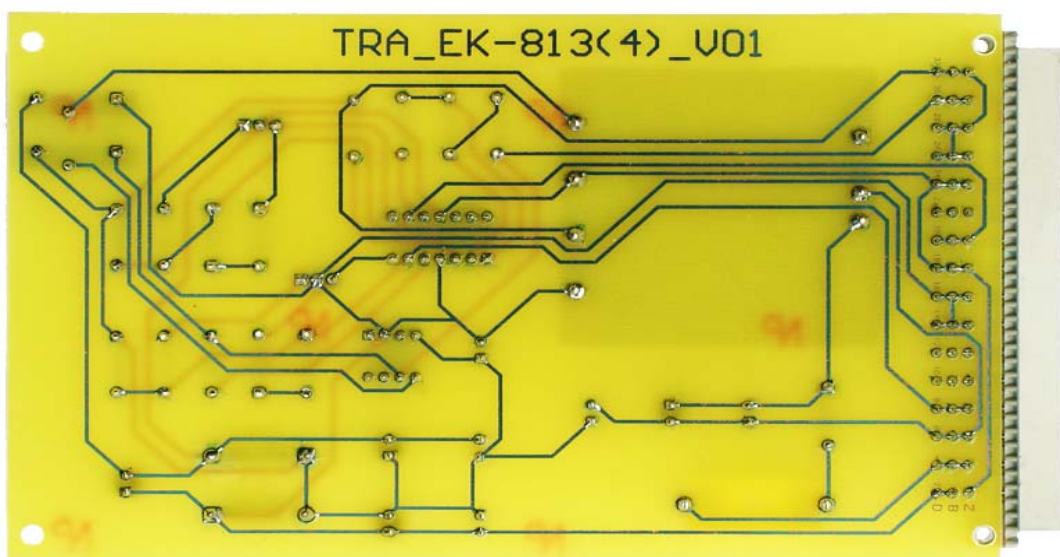


圖 28 電源電路板實體圖（背面）

4.1.1 電路設計

將本文 3.2 節中的各電路加以綜合整理可得如圖 29 所示之電源電路板完整電路圖，圖中所使用各元件規格及數量一覽表則如表 4 所示。

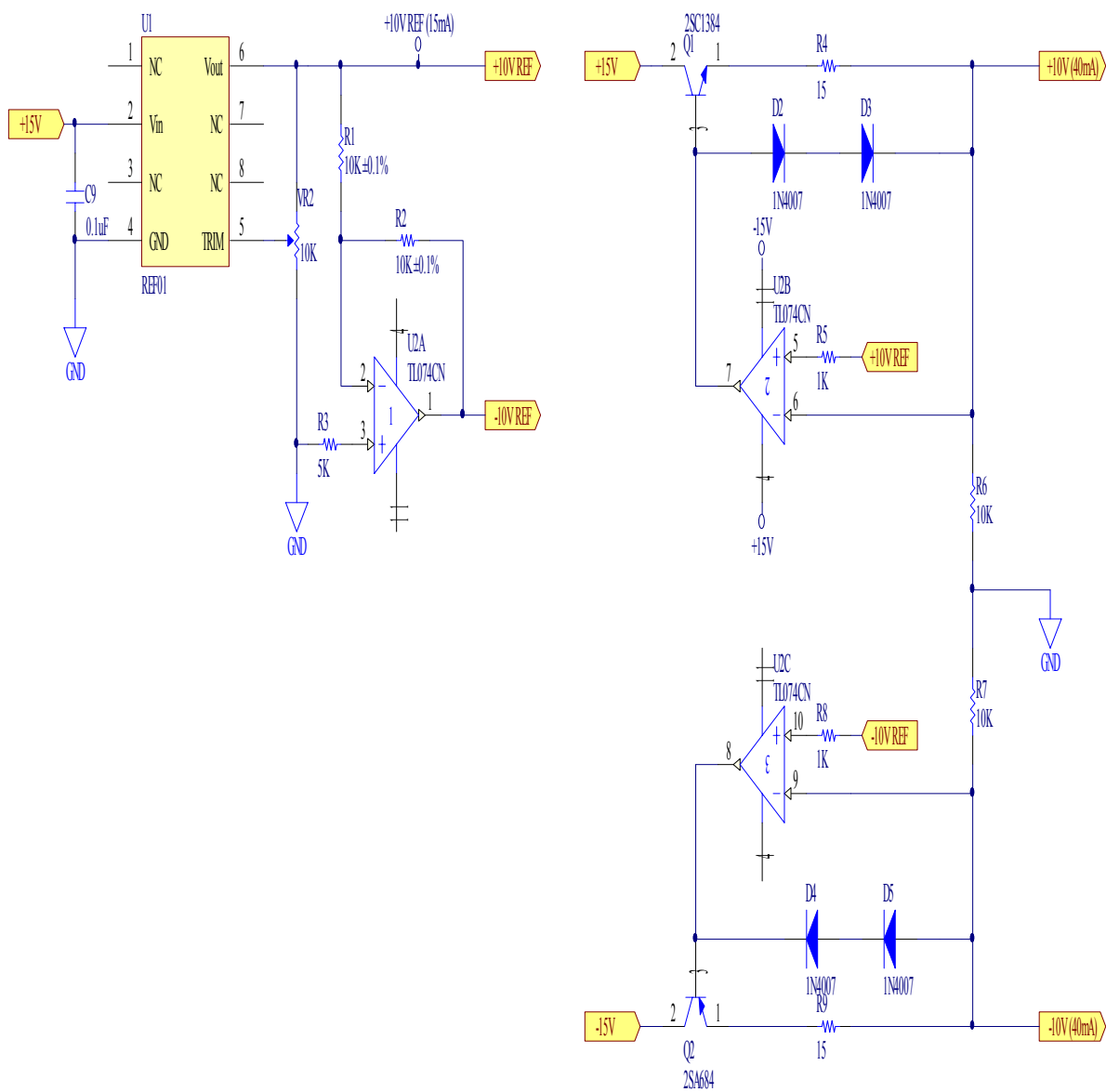
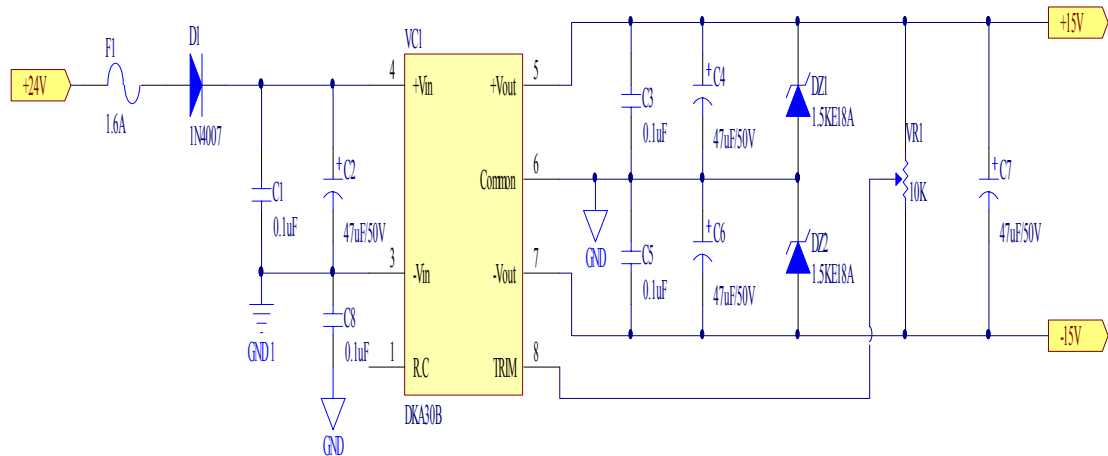


圖 29 電源電路板之完整電路圖

表 4 電路元件規格一覽表

零件編號	名稱	規格	數量	備註
Q1	電晶體	2SC1384	1	NPN
Q2	電晶體	2SA684	1	PNP
U1	電源準位 IC	REF01	1	DIP
U2	運算放大器	TL074	1	DIP
R4、R9	精密電阻	15Ω	2	1/4W
R5、R8	精密電阻	1kΩ	2	1/4W
R3	精密電阻	5kΩ	1	1/4W
R1、R2	精密電阻	10kΩ	4	1/4W
VR1、VR2	可變電阻	10kΩ	2	精密 15 轉
C2、C4、C6、C7	電容器	47uF/50V	4	電解質、日製
C1、C3、C5、C8、C9	電容器	0.1uF	5	積層
D1~D5	二極體	1N4007	5	Si
DZ1、DZ2	穩壓二極體	1.5KE18A	2	Si
F1	保險絲	1.6A	1	20 mm
	保險絲座	20 mm	1	附蓋
	IC 座	8 PIN	1	圓孔
	IC 座	14 PIN	1	圓孔

在完成電路繪製後，隨即進入 PCB 板的佈線作業，由於本文所使用的零組件甚多，且部份零件的 Footprint 並未在設計軟體的零件庫中預先建立，需重新建製。在完成各零件置放作業與板形規劃後，需先完成規劃預佈線路之寬度、焊點、及鑽孔孔徑大小等程序，方可由手動佈線方式將圖 29 電路轉換成如圖 30 與圖 31 所示之 Layout 圖輸出，以待後續感光板曝光之用。

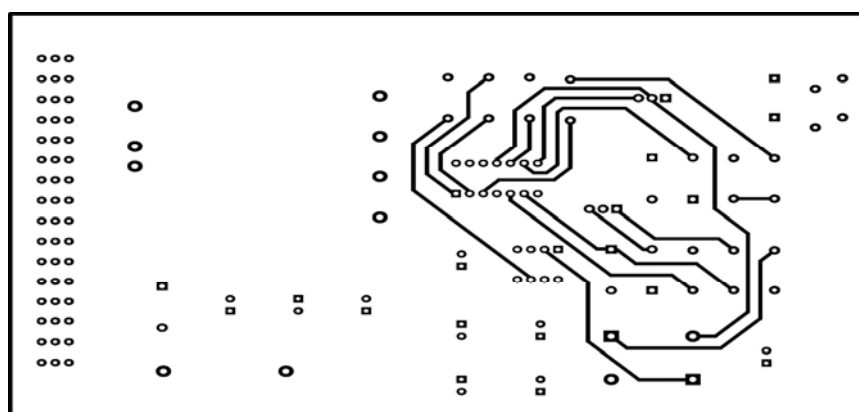


圖 30 PCB 板正面 Layout 圖

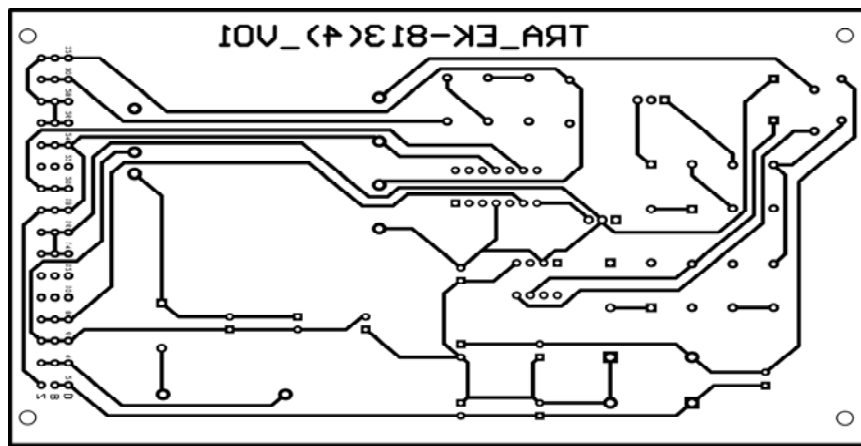


圖 31 PCB 板反面 Layout 圖

4.1.2 電路板製作

圖 27、圖 28 中的電路板為使用感光型的玻璃纖維雙面板所製作而成，電路板實際尺寸為 100×160×1.6 mm，在製作前需先將圖 30 與圖 31 製作成底片模式，將此膠片以真空曝光機做雙面同時曝光後，再以適量顯影劑溶於一定比例的清水中加以顯像，待顯像完後的電路板經清水清洗後即可進入最後蝕刻程序。由於早期大都採用氯化鐵溶液進行蝕刻，除本身氯化鐵溶液噴濺於衣物難以清洗外，更有嚴重環境污染之虞，故本電路板決定採用市售藍色環保蝕刻液進行蝕刻，並搭配溫控蝕刻機進行蝕刻程序；對於已達到飽合之廢棄蝕刻液，必需使用專屬中和劑加以中和，以減少對環境的影響及破壞。

經蝕刻完後的電路板經洗淨及乾燥後，已將所佈好的線路及焊點完整留下，隨即進入最後鑽孔階段，由於所選擇的電路板材質為 FR4 玻璃纖維，材質較一般電木板堅硬，若使用一般材質的鑽頭進行鑽孔，易於因鑽頭硬度不足及磨耗不鋒利而破壞鑽孔之完整性，因此，本電路板所使用的鑽頭皆為鎢鋼鑽頭，具有較高之硬度，在使用高速鑽床鑽孔下，可保鑽孔之美觀及完整性，圖 32、圖 33 為已製作完成的 PCB 板正面及反面照片圖。由於本電路所使用之零件種類繁多，因此亦有多種孔徑需個別鑽孔處理，以便插件焊接，表 5 為本電路之電路板孔徑一覽表。

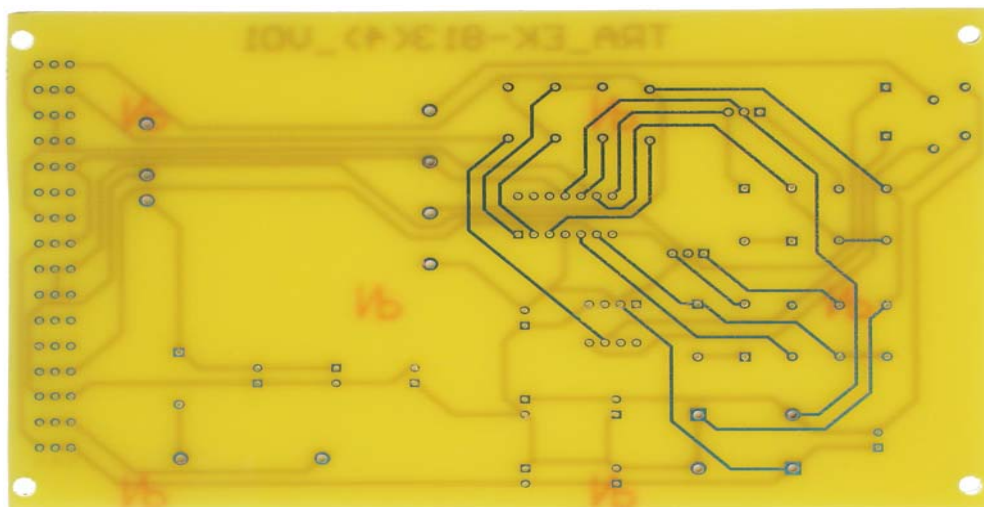


圖 32 PCB 板正面照片圖

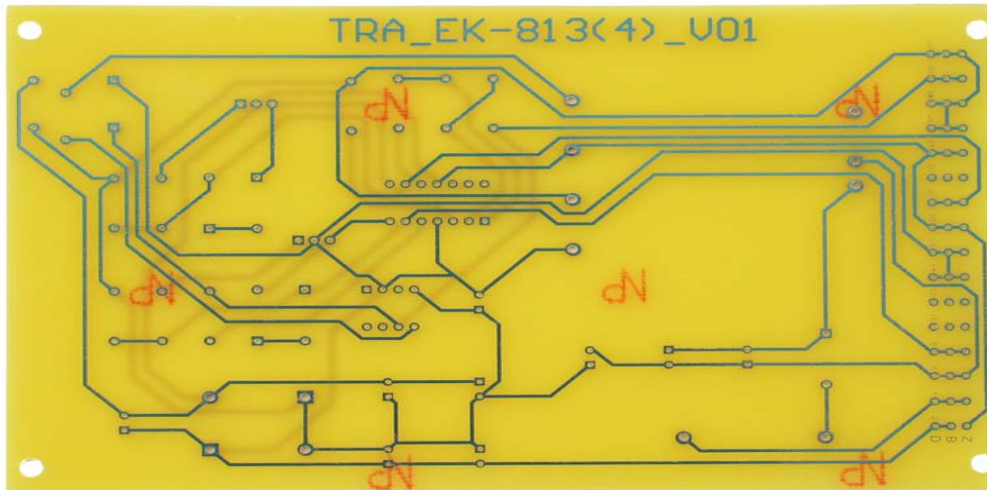


圖 33 PCB 板反面照片圖

表 5 電路板孔徑一覽表

孔徑	使用元件
0.85	IC 元件、電晶體、電阻、精密可變電阻、電容器、連接器
1.05	二極體
1.3	直流電源轉換模組、保險絲座、穩壓二極體
3.3	連接器固定螺絲孔

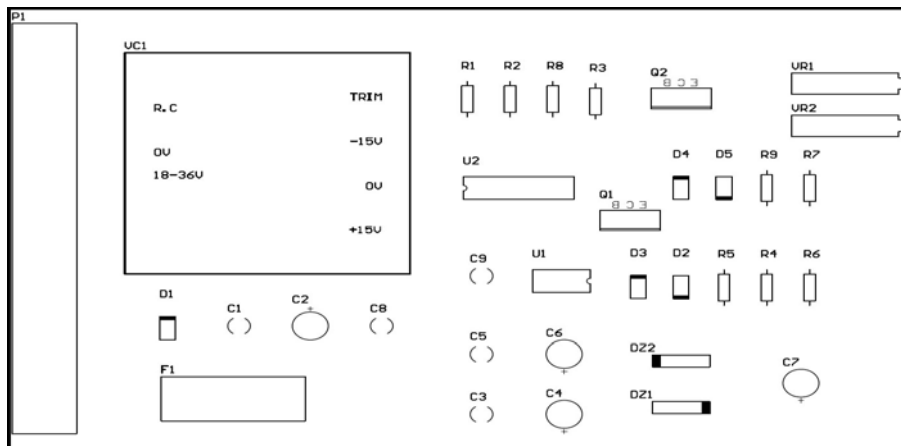


圖 34 電路板元件配置圖

鑽孔完之電路板上每條線路雖看似正常，為確保焊接完後之電路可以正常工作，故在焊接前再使用三用電表歐姆檔上的短路測試功能，逐一檢測各線路在洗製過程中有無產生斷線情況，以減少日後故障查修之機率。焊接電路板雖是最後一階段的工作，但仍不可馬虎，尤其是在插件時，各零件更需依電腦輔助設計軟體所產生的如圖 34 所示的插件圖逐一放置，不可產生錯置情況，以免造成電路動作不正常或燒毀。焊接時亦需注意每一個焊點，除不可產生空焊、包焊、與假焊外，焊點用錫量更應酌量，方不至產生相互干擾及短路。

4.1.3 電路實測

本電源電路大致可分為 DC-DC Converter、 ± 10 電壓參考電路、 ± 10 電壓輸出及保護與濾波等幾大單元，由於所產生的電源為供應後端諸多 OPA 及電位計使用，因此在輸出部份需由儀器觀察其穩定度，需確保漣波值甚小及無高頻諧波，

方不致使其他電路產生振盪或使欲控制之機構產生誤動作。圖 35、圖 36 為 DC-DC Converter 所產生的 $\pm 15\text{V}$ 兩端的漣波波形圖。

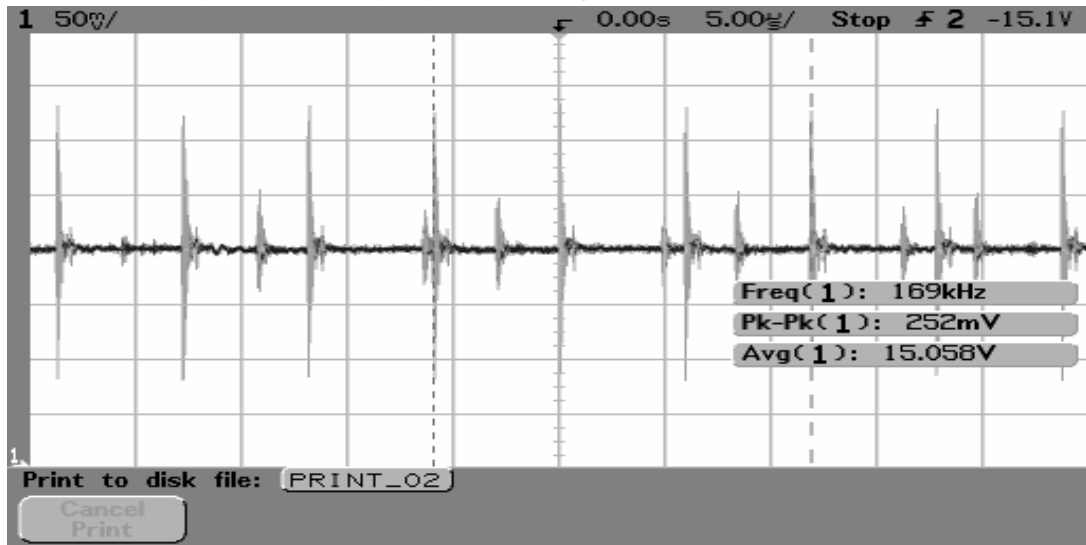


圖 35 +15V 之漣波波形圖

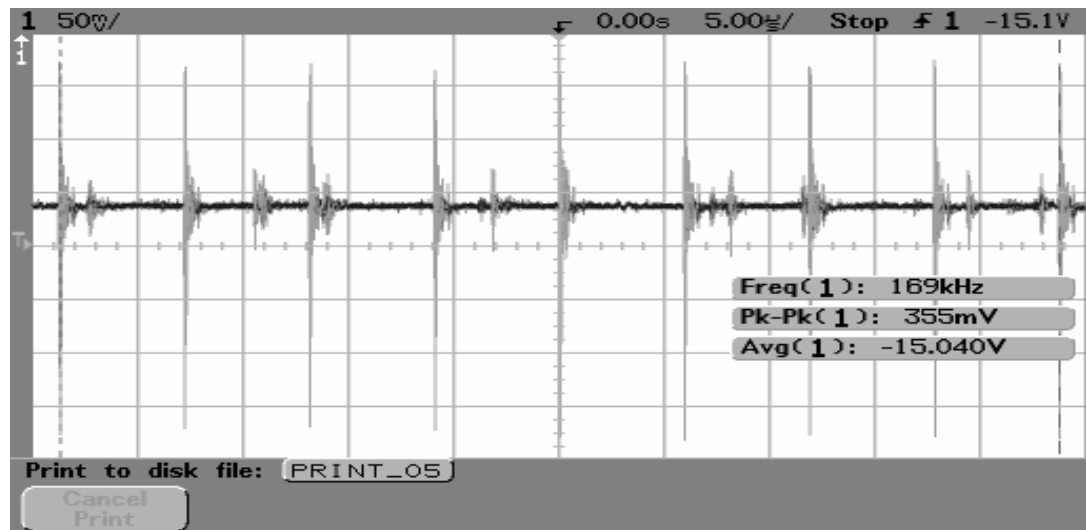


圖 36 -15V 之漣波波形圖

圖 35 中的波形為使用 Agilent 的 54624A 示波器所量測而得，其中 Freq(1)代表 DC-DC Converter 內+15V Converter 的切換頻率為 169k Hz；漣波的峰對峰值 Pk-Pk(1)為 252mV；+15V 平均輸出電壓為+15.058V。

圖 36 中的 Freq(1)代表 DC-DC Converter 內-15V Converter 的切換頻率為 169k Hz；漣波的峰對峰值 Pk-Pk(1)為 355mV；-15V 平均輸出電壓為-15.040V。

綜合上述可得知本文所選用的 DC-DC Converter Module 輸出的 $\pm 15\text{V}$ 輸出電壓絕對值相差甚小，且漣波的平均電壓值亦甚小，故所輸出的電壓可以很平穩的供給後端電路中 OPA 使用，同時並可相當平穩的做為 $\pm 10\text{V}$ 的電源供應。由於本電路所產生的 $\pm 10\text{V}$ 電源為供應後端電位計之使用，電位計主要功用為砸道車在砸道時負責路線方向、高低、水平及下砸深度校準之用，其精準度要求甚鉅，因此，在 $\pm 10\text{V}$ 調整時，需使用具有較高準確度的數位電錶予以調整，以免因不精準的電壓值影響到路線養護的品質。

4.2 穩壓性能實測

將已製作測試完成的電路板透過實驗室的量測儀器即可模擬本文所製作的電路實際使用情形，由於本次所使用的 Agilent 54624A 示波器，在同時量測兩組電壓波形且無任何訊號輸入情況下會存在約-350mV 的誤差值，其波形圖如圖 37 所示，因此，欲同時使用 ch1 與 ch2 量測時電壓波形時，需將此誤差值列入計算，以求得實際電壓輸出的數值。

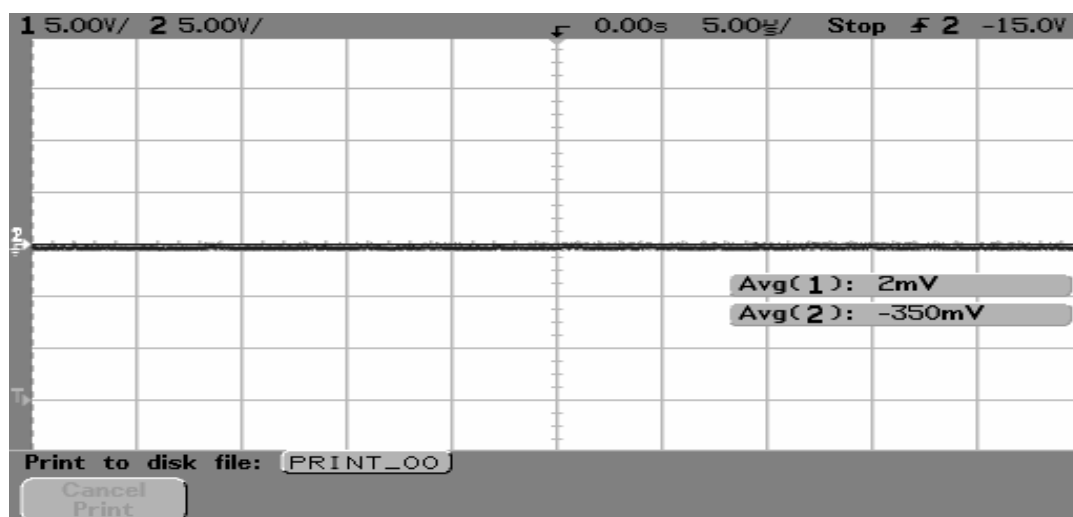


圖 37 示波器零電位電壓誤差波形圖

本電路板實際應用為使用砸道車的+24V 發電機作為電源輸入，當發電機輕載與滿載時，所能提供的輸入電壓值也不盡相同，負載愈高則電壓降愈大，除此之外，當負載產生劇烈變化時，發電機所能提供的電壓也非穩定的標準值+24V，故為求本文所設計的電路板可符合實際應用所需，因此在實驗過程中，共設計了多組不同的輸入電壓值及負載，以觀察其±15V 與±10V 的壓降變化及穩壓情況。

4.2.1 輸入電壓為 18V

將輸入電壓調整為如圖 38 中 Avg(1)所示的 18V。

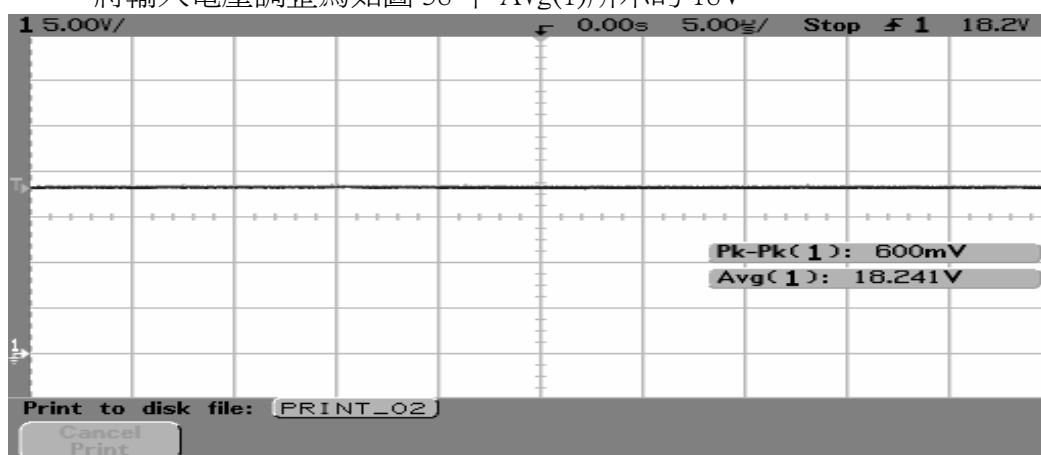


圖 38 輸入電壓為 18V 之電壓波形圖

分別以示波器量測±15V 於無載如圖 39 所示、50%負載如圖 40 所示、及滿載如圖 41 所示的電壓波形與實際量測值。

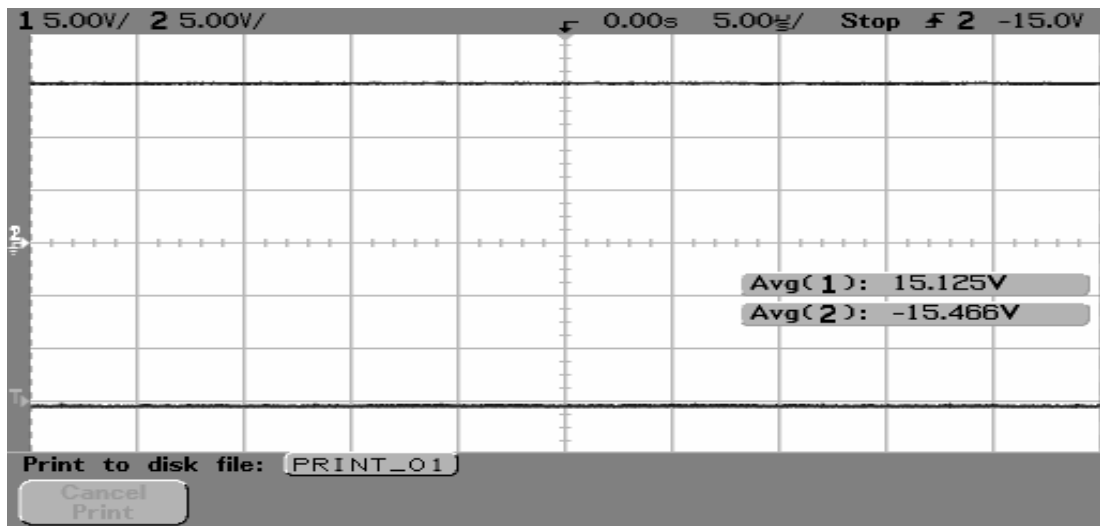


圖 39 輸入電壓為 18V 時，±15V 無載電壓輸出波形圖

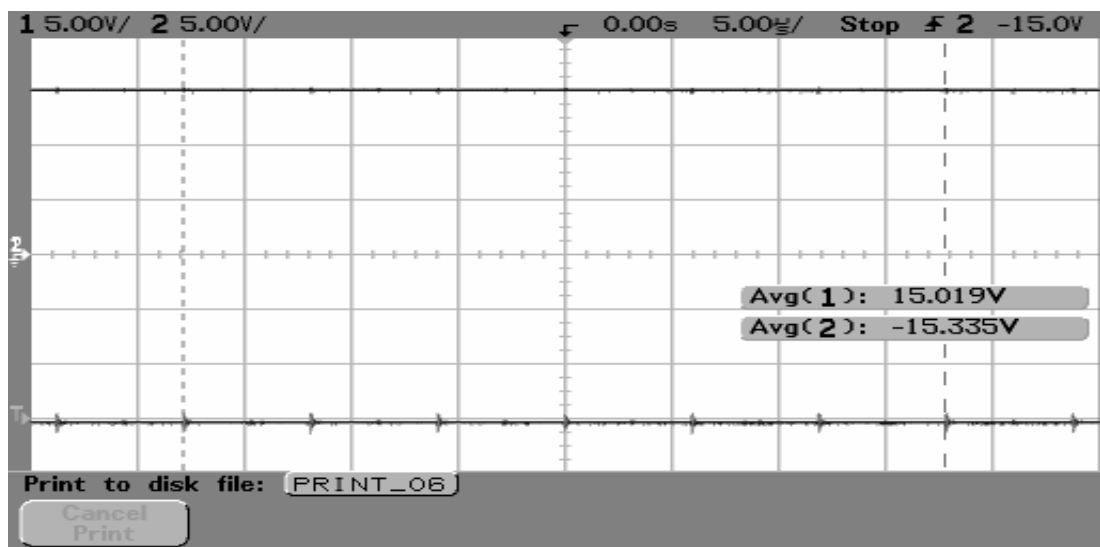


圖 40 壓為 18V 時，±15V 負載為 50%的電壓輸出波形圖

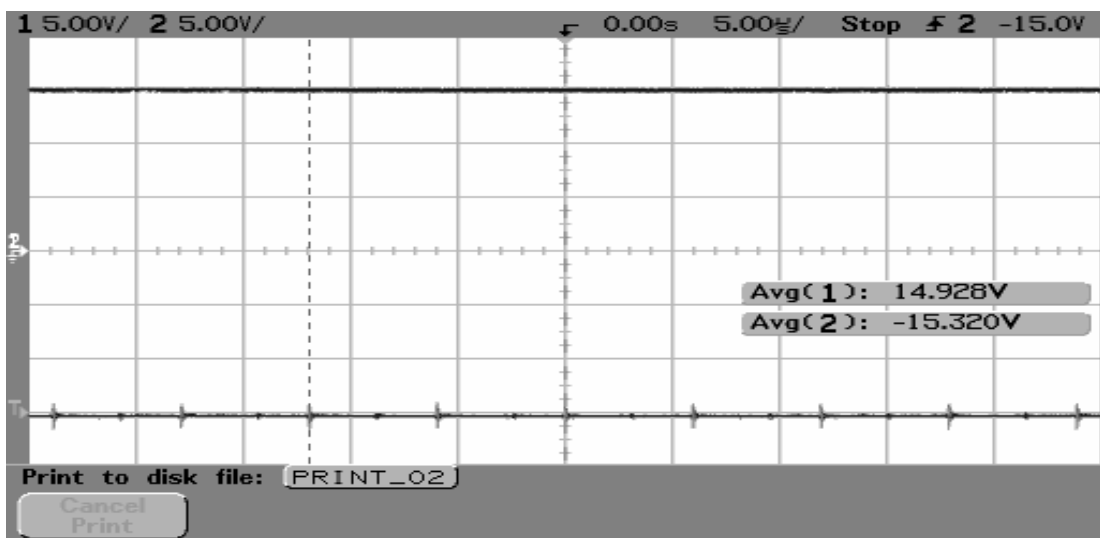


圖 41 電壓為 18V 時，±15V 滿載電壓輸出波形圖

重新以示波器量測±10V 於無載如圖 42 所示、50%負載如圖 43 所示、及滿載如圖 44 所示的電壓波形與實際量測值。

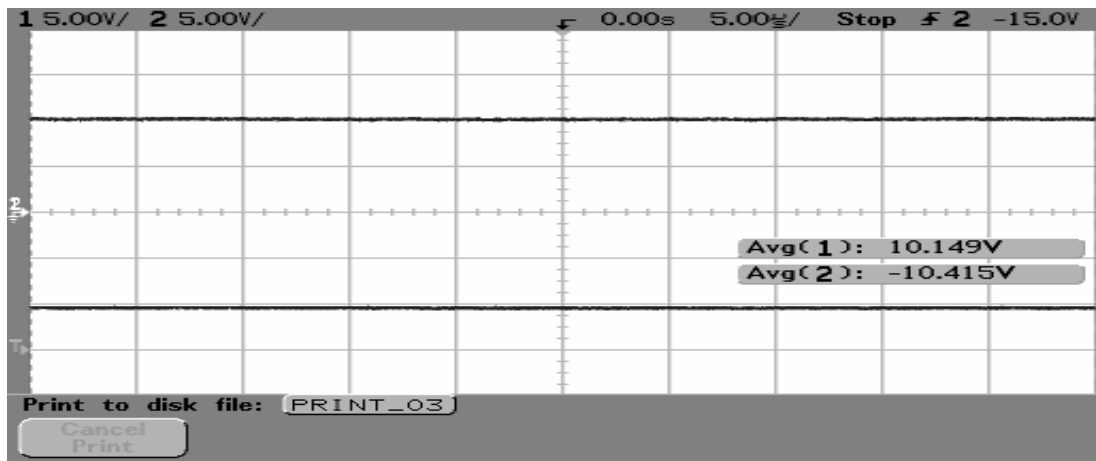


圖 42 輸入電壓為 18V 時， $\pm 10V$ 無載電壓輸出波形圖

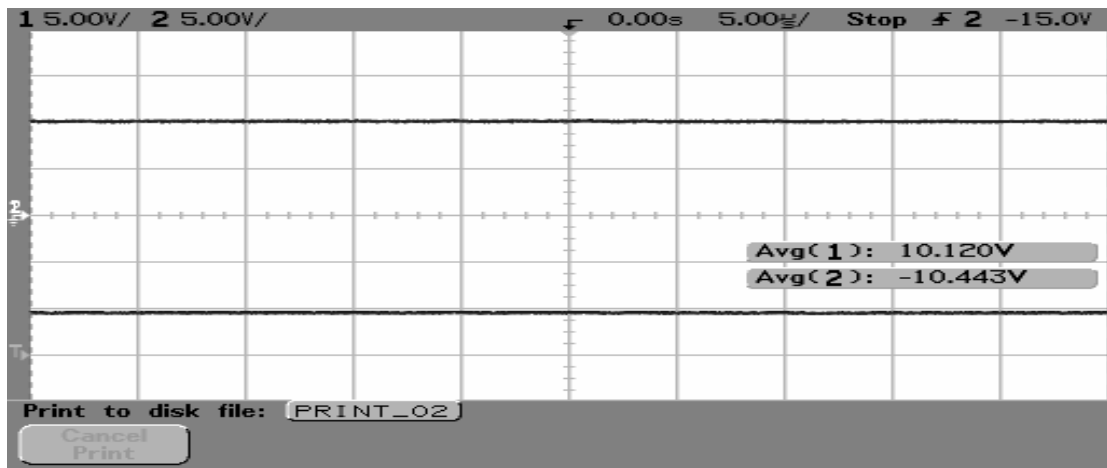


圖 43 輸入電壓為 18V 時， $\pm 10V$ 負載為 50% 的電壓輸出波形圖

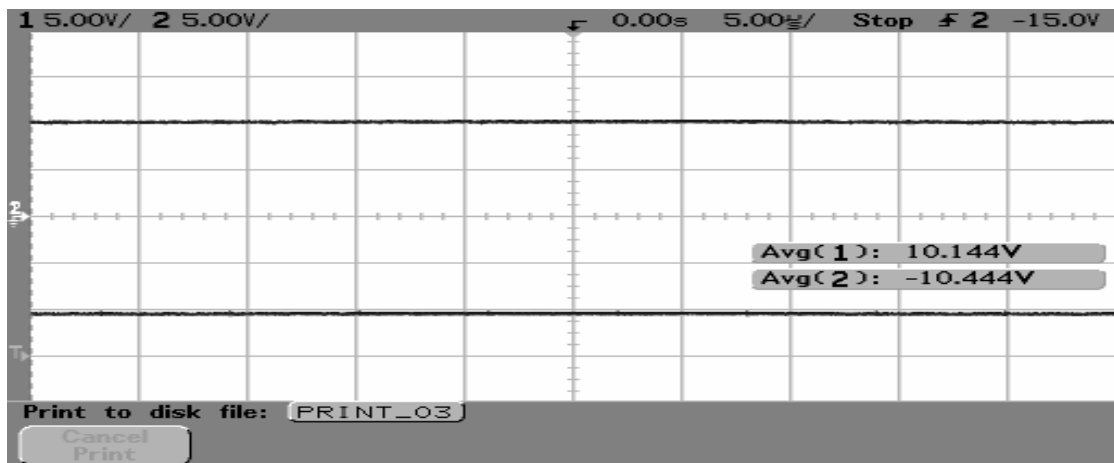


圖 44 輸入電壓為 18V 時， $\pm 10V$ 滿載電壓輸出波形圖

4.2.2 輸入電壓為 24V

將輸入電壓調整為如圖 45 中 Avg(1) 所示的 24V。

分別以示波器量測 $\pm 15V$ 於無載如圖 46 所示、50% 負載如圖 47 所示、及滿載如圖 48 所示的電壓波形與實際量測值。

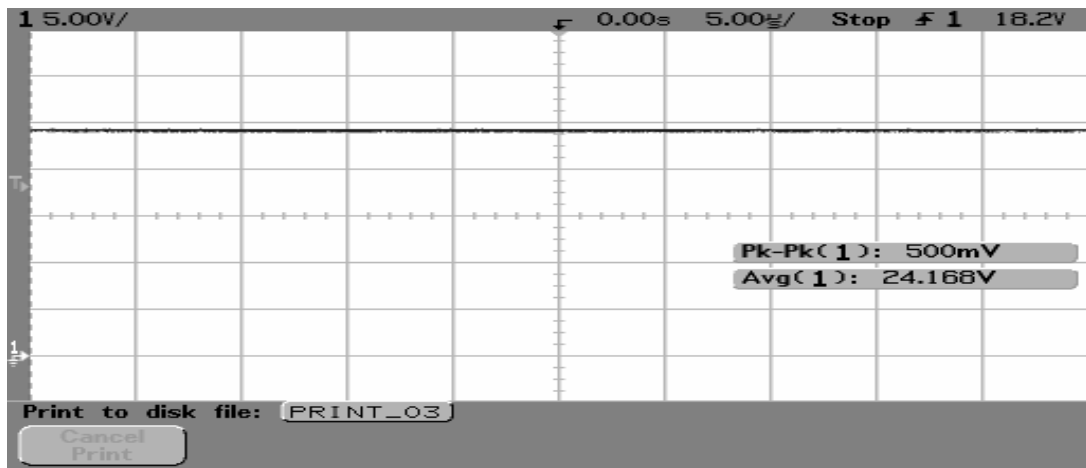


圖 45 輸入電壓為 24V 之電壓波形圖

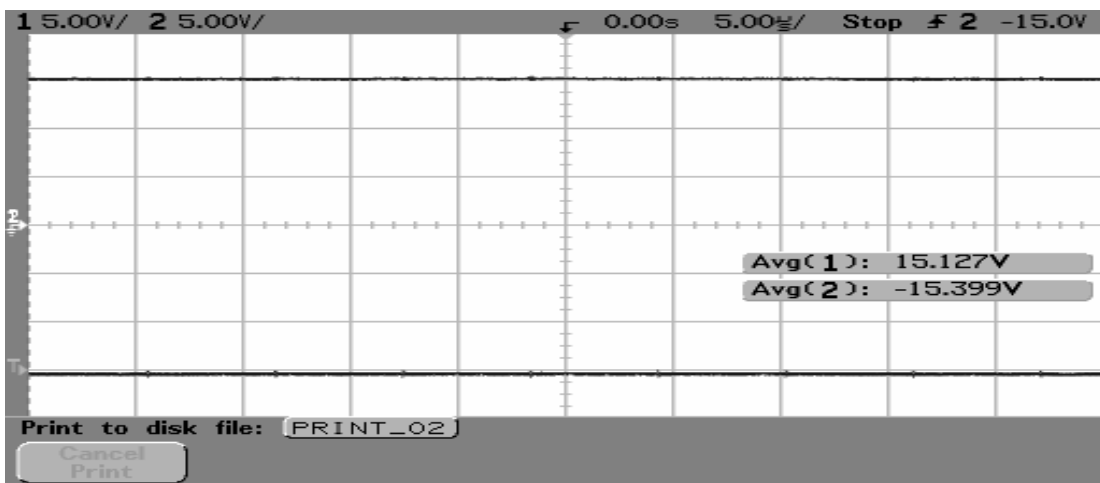


圖 46 輸入電壓為 24V 時，±15V 無載電壓輸出波形

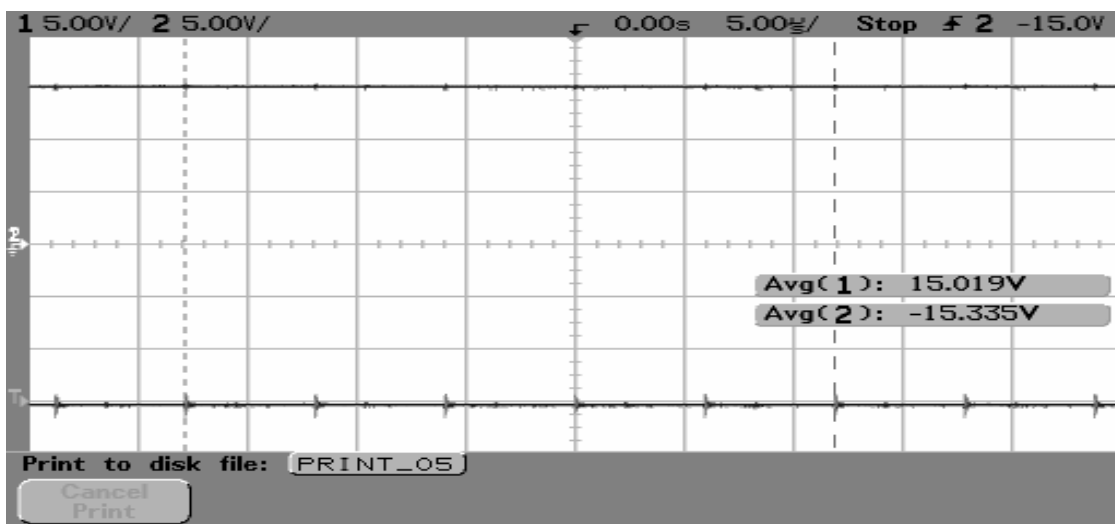


圖 47 輸入電壓為 24V 時，±15V 負載為 50%的電壓輸出波形圖

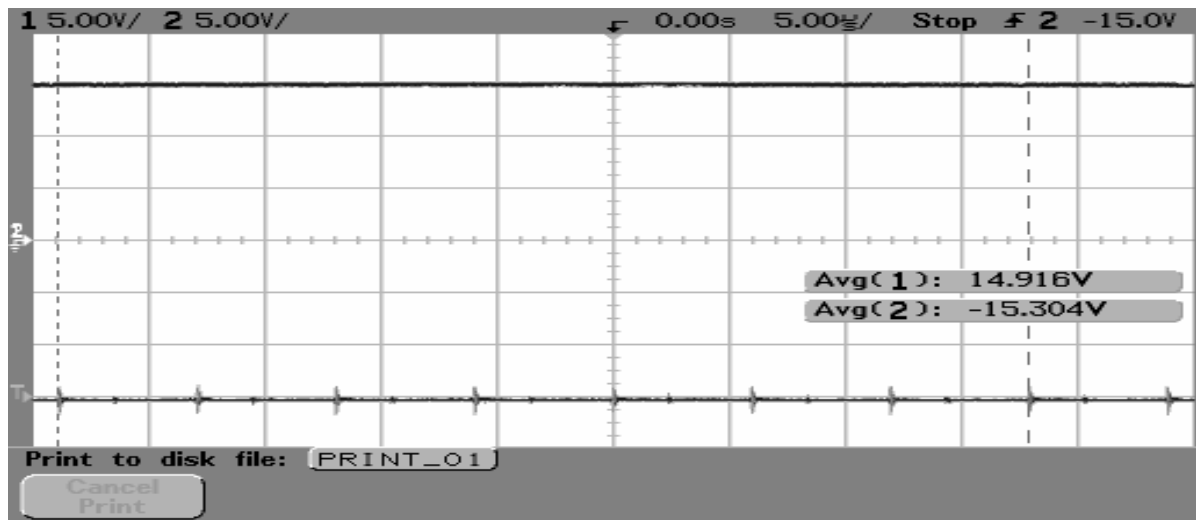


圖 48 輸入電壓為 24V 時， $\pm 15V$ 滿載電壓輸出波形圖

重新以示波器量測 $\pm 10V$ 於無載如圖 49 所示、50%負載如圖 50 所示、及滿載如圖 51 所示的電壓波形與實際量測值。

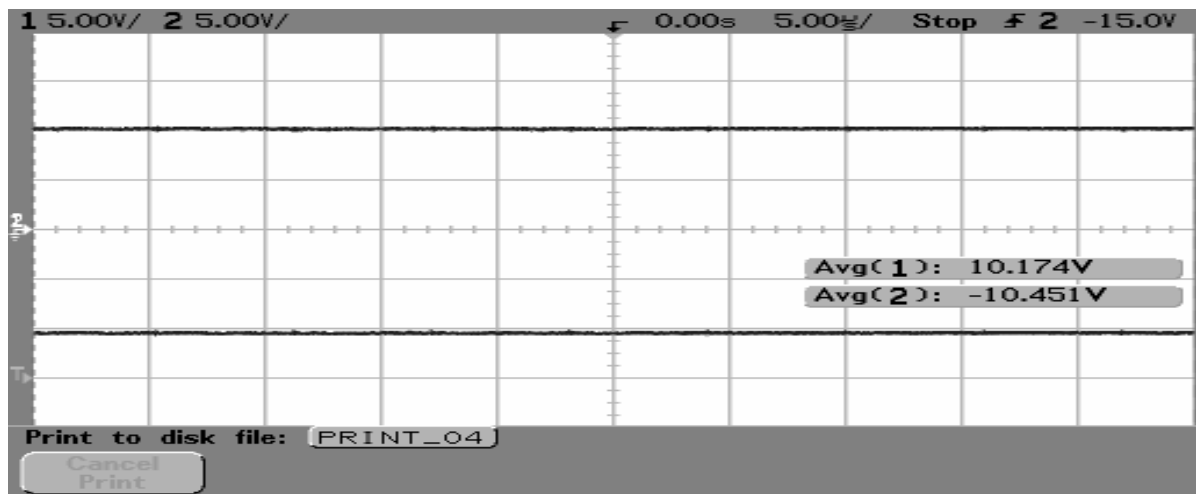


圖 49 輸入電壓為 24V 時， $\pm 10V$ 無載電壓輸出波形圖

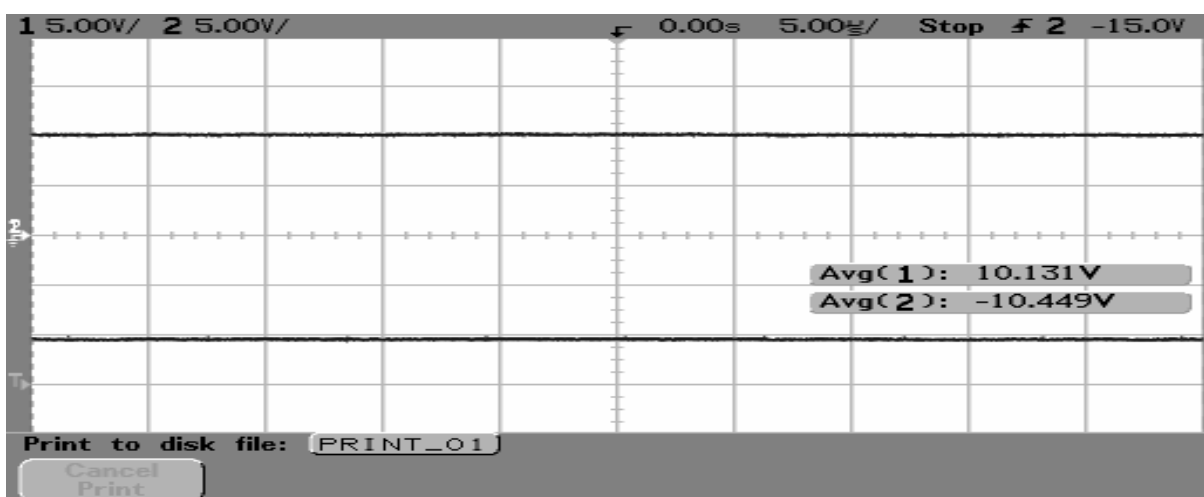


圖 50 輸入電壓為 24V 時， $\pm 10V$ 負載為 50%的電壓輸出波形圖

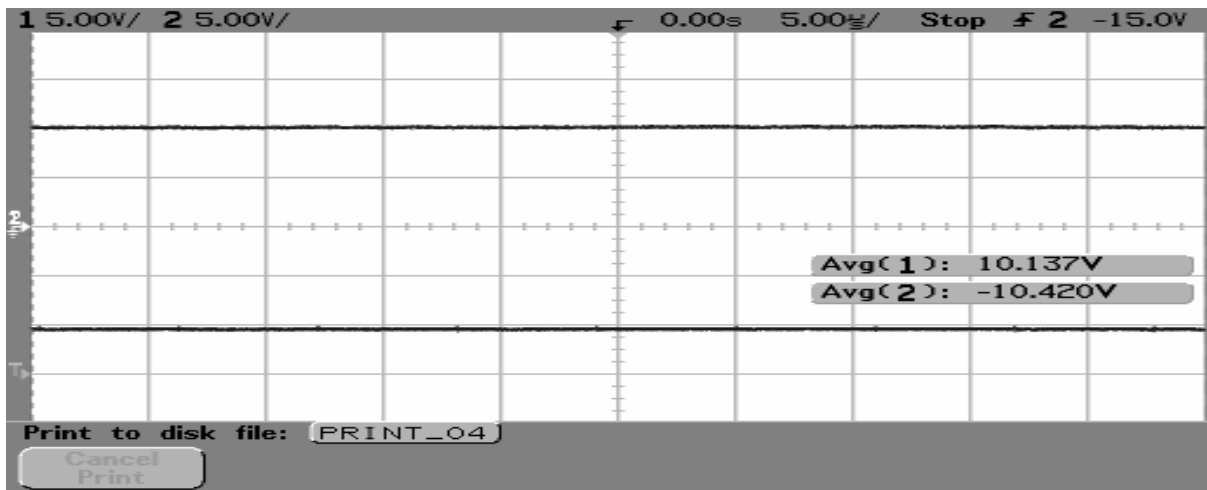


圖 51 輸入電壓為 24V 時，±10V 滿載電壓輸出波形圖

4.2.3 輸入電壓為 36V

將輸入電壓調整為如圖 52 中 Avg(1)所示的 36V。

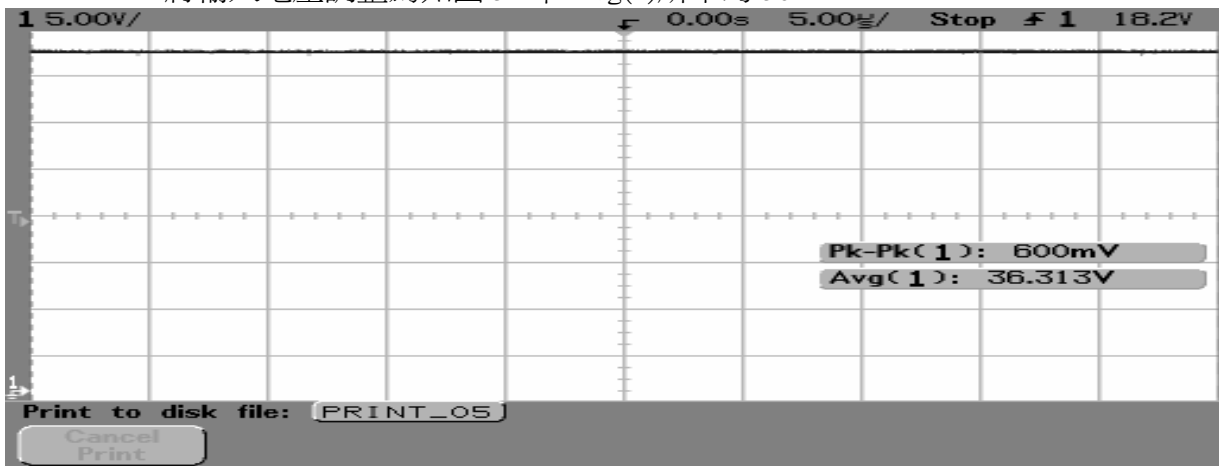


圖 52 輸入電壓為 36V 之電壓波形圖

分別以示波器量測±15V 於無載如圖 53 所示、50%負載如 54 所示、及滿載如 55 所示的電壓波形與實際量測值。

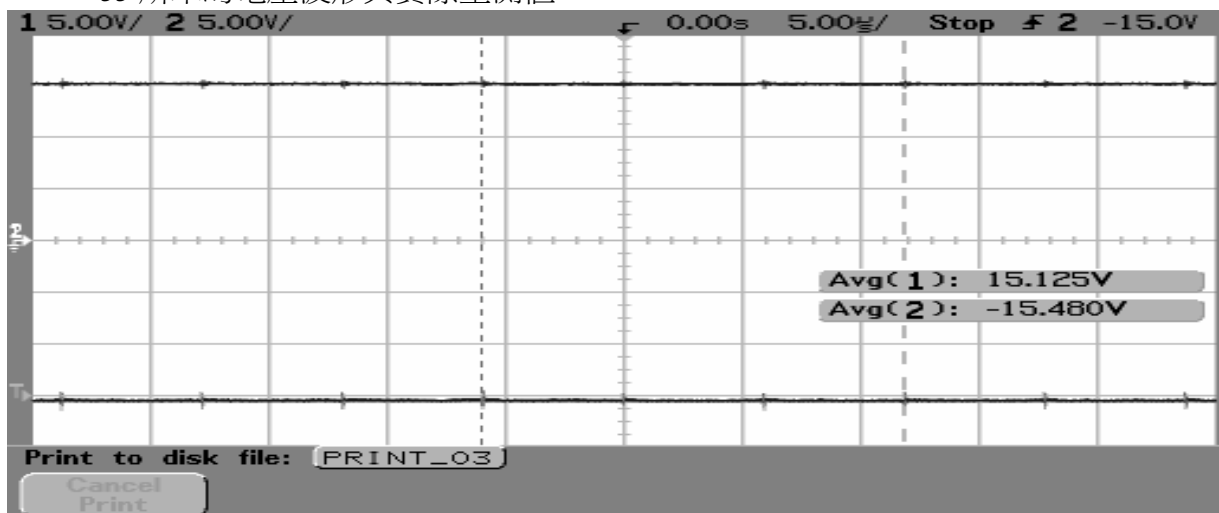


圖 53 輸入電壓為 36V 時，±15V 無載電壓輸出波形圖

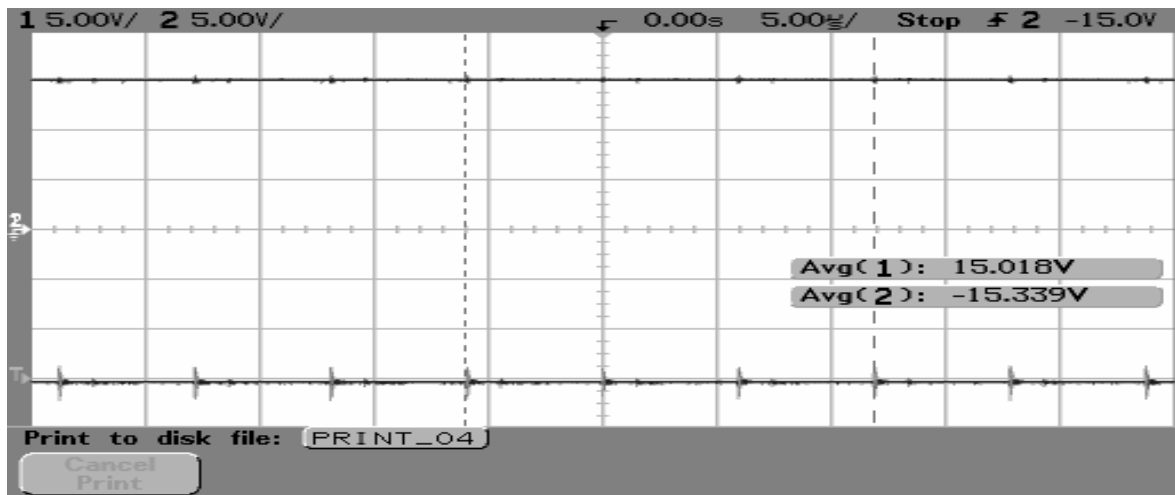


圖 54 輸入電壓為 36V 時，±15V 負載為 50% 的電壓輸出波形圖

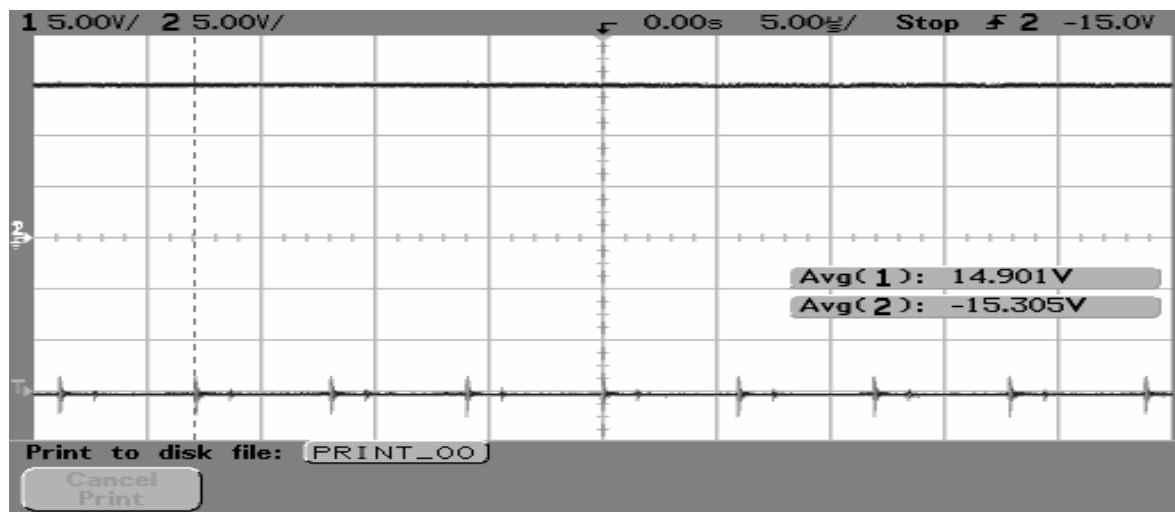


圖 55 輸入電壓為 36V 時，±15V 滿載電壓輸出波形圖

重新以示波器量測±10V 於無載如圖 56 所示、50%負載如圖 57 所示、及滿載如圖 58 所示的電壓波形與實際量測值。

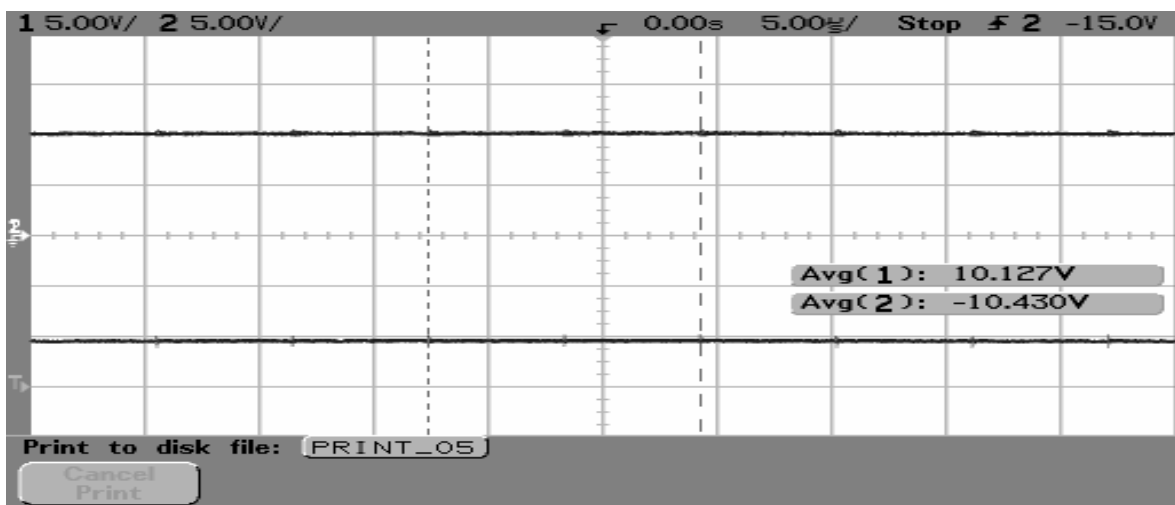


圖 56 輸入電壓為 36V 時，±10V 無載電壓輸出波形圖

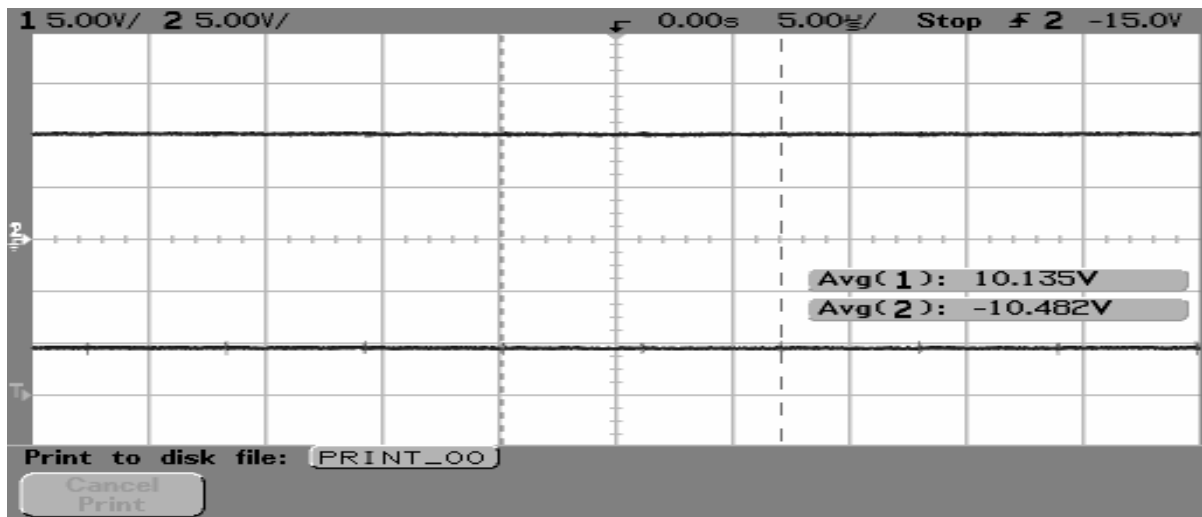


圖 57 輸入電壓為 36V 時，±10V 負載為 50%的電壓輸出波形圖

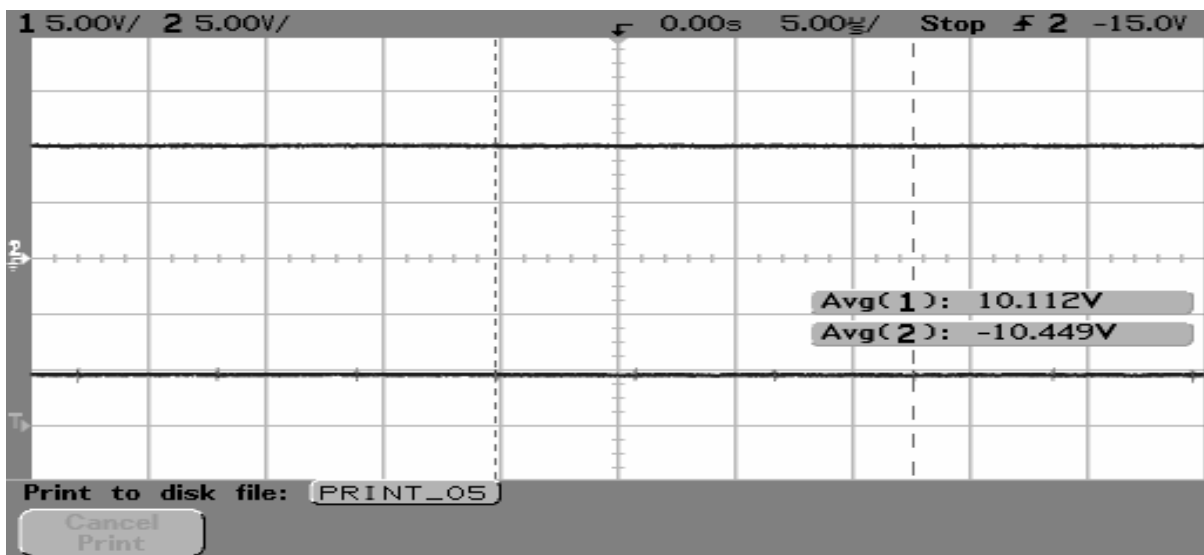


圖 58 輸入電壓為 36V 時，±10V 滿載電壓輸出波形圖

4.3 實驗結果

將本文 4.2 節中的實驗數據加以整理可得如表 6 所示之各輸入電壓之穩壓狀態比較表，表中壓降百分比可由方程式(4-1)計算而得

$$VR\% = \frac{V_o - V}{V} \times 100\% \quad (4-1)$$

其中， $VR\%$ 為壓降百分比； V_o 為無載輸出電壓； V 為滿載輸出電壓。

表 6 各輸入電壓之穩壓狀態比較表

輸入電壓	輸出電壓	無載	50%負載	滿載	壓降百分比
18V	+15V	15.125	15.019	14.928	1.32%
	-15V	-15.466	-15.335	-15.320	0.95%
	+10V	10.149	10.120	10.144	0.05%
	-10V	-10.415	-10.443	-10.444	-0.28%
24V	+15V	15.127	15.019	14.916	1.41%
	-15V	-15.399	-15.335	-15.304	0.62%
	+10V	10.174	10.131	10.137	0.36%
	-10V	-10.451	-10.449	-10.420	0.29%
36V	+15V	15.125	15.018	14.901	1.50%
	-15V	-15.480	-15.339	-15.305	1.14%
	+10V	10.127	10.135	10.112	0.15%
	-10V	-10.430	-10.482	-10.449	-0.18%

本實驗所使用的 DC-DC Converter 為交換式電源轉換器，故由示波器量測而得的平均輸出電壓值亦會隨時間而有些微變化，並非恆定之輸出值；且 $\pm 10V$ 的輸出電流限制在 40mA，總功率也僅有 0.8W，此一功率值對 30W 的轉換器而言並不會造成電壓降，在此雙重因素影響下，則會造成在量測及顯示上存在些微誤差，此即為表 6 中的輸入電壓分別為 18V 與 36V 的 $\pm 10V$ 壓降百分比產生負值的原因。

由表 6 中分析，在不同的輸入電壓下， $\pm 15V$ 與 $\pm 10V$ 在滿載時所產生的壓降甚小，尤其以 $\pm 15V$ 在滿載時的壓降也僅有 0.2V，此一電壓變化量並不會對所欲供應後端的電路產生任何影響。

綜合表 4 中所選用的各零組件特性規格，可得如表 7 所示之電源電路板特性規格一覽表。

表 7 電源電路板特性規格一覽表

輸入	電壓	DC +18V~DC +36V
	電流	滿載：1.5A (DC 24V)
	濾波器	電容濾波器、 π 型濾波器
輸出	電壓	DC \pm 15V、DC \pm 10V
	電流	DC \pm 15V： \pm 1A、DC \pm 10V： \pm 40mA
	功率	30W
	電壓調整範圍	DC \pm 15V： \pm 10%、DC \pm 10V： \pm 3%
環境	工作溫度、溼度	-25°C~+70°C、20%~90% RH
	儲存溫度、溼度	-40°C~+105°C、10%~95% RH
保護	過載保護	110~250%，30 秒
	短路保護	所有輸出端，30 秒
	限流保護	DC \pm 10V：40mA
其他	MTBF	100k hrs，25°C
	尺寸	180*100*25 mm (L*W*H)
	重量	180g

五、結論與建議

自養路機械化至今，臺鐵已陸續購買為數不少的各型養路機械，迄今已著實分配於各工務段隊使用，且使用頻率甚高、效果甚好，大幅改善路線品質並提高行車安全。目前雖已有部份機械逾使用年限，但僅需保養得當，維修零組件供應無短缺，亦能擔任養護路線之責，故零組件之供應就顯得格外重要。維修用之零組件，除可透過國內代理商向國外原廠採購外，部份零件材料可在國內尋求可相容的產品替代之，更亦可透過產、官、學的互助，研發設計所需的各項零組件，以縮短外洋採購時程及節省公帑支出。

5.1 結論

依本文提出的電源供應方式所設計製作的電源電路板，目前已分別安裝於 2 部 09-32 大型砸道車上的砸道機構控制部份進行實車測試，迄今並未發生任何故障。由於砸道機構部份在砸道過程中作動頻繁，此處控制迴路相較他處則消耗較多電力，安裝至此測試，除可測得實際使用成效外，更可彰顯該電路板之耐用程度。

綜觀目前本局已損壞的電源電路板，其故障原因皆為 \pm 15V 的輸出電壓值異常，常為約為 \pm 20V 或更高，幾乎已超過一般 OPA 的工作電壓容許值，因此常會造成機

構動作不良或燒毀其他電路板之情事。 $\pm 15V$ 的電源為以 Switch Power Supply Converter 做為理論基礎所產生的，會造此電壓值輸出異常之原因主要為電路中負責切換的功率電子元件損壞所造成，該元件損壞原因除切換頻率過高及材料老化因素外，一般為不自覺的長時間高載或過載使用所造成。故為避免因設計功率值不足而縮短電源電路板的使用壽命，本文所採用的 DC-DC Converter Module 功率為 30W，較原始設計之 20W 多出 25% 的功率；且在輸入電源部份更具彈性，電壓值可從 +18V~+36V，避免因砸道車發電機輸出的 +24V 電壓異常或不穩定而影響電路之正常工作。

5.2 未來研究方向

電源電路板於開發研製過程中需靠純手工製作雙面 PCB 板，耗時費工，但所研製而成的樣品已完成最後實車測試階段，故已可委由國內 PCB 板製造廠商大量生產所需的 PCB 板，除可提升整體電路的穩定性外，亦可降低製作成本、縮短製作時程，在電路的美觀上更有所助益。另在零件選用上，均為選購國內外知名廠商所生產製造及易於國內購得之各種商用零組件，除價格低廉外，更對日後維修及採購上具相當便利性。

本文電路板之完成，蒙工務處各級主、官、管的支持與協助，及工務養護總隊郭慶進工程司對各型砸道車養護經驗的傳承與技術諮詢，更感謝諸多為本電路板催生的鐵路同仁，本研究內容及成果將貢獻給交通部臺灣鐵路管理局，以為鐵路路線之養護略盡棉薄之力。

參考文獻

1. 黃民仁，民國96年，新世紀鐵路工程學_基礎篇，文笙書局。
2. E. C. Servetas and A. V. Vlachakis (May 1981), "A New Ac Voltage Regulator Using Thyristors," IEEE Transactions on Industrial Electronics and Control Instrumentation, Vol. Ieci-28, No. 2, pp.140-145,.
3. 梁適安，民國97年，交換式電源供應器之理論與實務設計（修訂版），全華科技圖書股份有限公司。
4. P. Sanchis, et al. (Mar. 2005), "Boost DC - AC Inverter: A New Control Strategy," IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 20, No.2, pp.343-353.
5. 王順忠譯，民國90年，電力電子學，東華書局。
6. "25~30W DC-DC Dual Output Converter," Technical Data From MEAN WELL.
7. "ANALOG DEVICE 10V Precision Voltage Reference," Technical Data From ANALOG.
8. 張義和，民國96年，Altium Designer 6 電腦輔助電路設計【電路圖篇】，全華科技圖書股份有限公司。
9. 張義和，民國96年，Designer 6 電腦輔助電路設計【電路板篇】，全華科技圖書股份有限公司。

功率半導體各種冷卻方法之比較

Comparison of Power Semiconductor Cooling Methods

許調泰¹
Xu Tiao-tai¹

地址：臺北市市民大道五段 48 號
Address: No 48, Section 5, Civic Boulevard, Taipei City

電話：02-27658386
Tel: 02-27658386

電子信箱：tr389950@msa.tra.gov.tw
E-mail:tr389950@msa.tra.gov.tw

摘要

臺灣鐵路管理局自民國 67 年鐵路電氣化以來，機車車輛之牽引轉換器，均為功率半導體設計，而將其安裝於散熱片模組上，藉散熱模組散熱冷卻，以維持功率半導體工作在許可的工作溫度範圍內。目前使用之機車車輛 EMU100~400 型電聯車、E100~400 型及 E1000 型電力機車，都是將功率半導體安裝在散熱片模組，並採強制式風扇來強迫冷卻散熱片；但自民國 90 年起，所引進之電聯車 EMU500~600 型及 TEMU1000 型，則將功率半導體改安裝於自然冷卻之熱管式模組上，此種自然冷卻方式的模組具減少噪音及節省能源優點，無須安裝冷卻風扇，符合環保需求，冷卻能力亦較強迫冷卻式佳，又因無須設計安裝冷卻風扇，列車故障率可因此降低，牽引轉換器將更容易維修、保養，節省人力、物力，可為日後新購車輛之參考。

關鍵詞：功率半導體、散熱片模組、熱管式模組、牽引轉換器。

Abstract

Since the electrification of Taiwan Railway Administration lines the tractive converters of locomotives and rolling inventory have all been power semi-conductors fitted on to the heat spreader module which cooled it and kept the power semiconductor within the permitted work temperature range.

The locomotives and rolling inventory currently in use- EMU100~400 Electric Multiple Unit and E100~400 and E1000- all have power semiconductors fitted to the heat spreader module and keep the heat spreader cool using a force fan-.However, the EMU500~600 and TEMU1000 that have been introduced since 2001 have attached the power

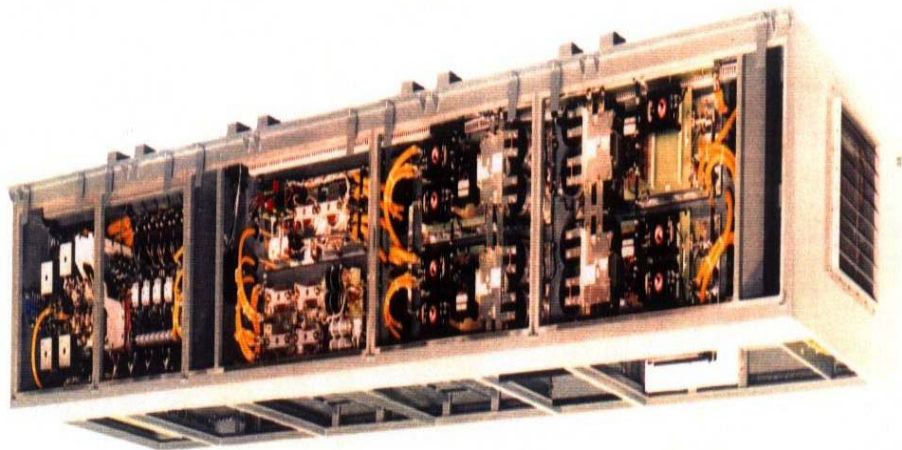
1.本局臺北機廠代理廠長

conductor to a heat pipe type module that is naturally air cooled. This natural cooling has the advantages of noise reduction and saving energy and does not require the installation of a fan, meeting environmental protection requirements, and also has a better cooling effect than forced cooling. In addition, because there is no need to install cooling fans, the train defect rate is lowered and tractive converters are easier to maintain, saving manpower and resources. This natural cooling method can be used as reference when new trains are purchased in the future.

Key words: Power Semiconductor, Heat Spreader Module, Heat Pipe Type Thermal Module, Tractive converter

一、前言

自鐵路電氣化以來所使用的電車，EMU100~400 型電聯車、E100~400 型及 E1000 型電力機車，其牽引轉換器所使用之功率半導體皆安裝在散熱片模組上，且因散熱片為翼片狀，在強迫通風時易將濕氣吸入並黏附在翼散熱片，當粉塵及棉屑被吸入同時，即黏著在翼散熱片上，之後，粉塵即堆積越來越多，致散熱片模組散熱能力越差，此由保養時，所吹出之粉塵甚多即知；但民國 90 年起使用的電車，EMU500~600 型及 TEMU1000 電聯車，則將功率半導體改安裝在自然冷卻式的熱管式模組，於高速行駛中，藉由自然風來冷卻散熱管外，並因散熱管為圓管狀，粉塵及棉屑不易附著在此散熱圓管上，因此，在保養時，所吹出之粉塵甚少即知。由上述兩種冷卻方式比較得知，熱管式模組的冷卻方式較翼片式散熱模組優異，實足以為我們日後採購新車採用的冷卻模式。



Labelling

Type:

Traction Converter TAIWAN EMU 500

圖 1 散熱片模組牽引轉換器



圖 2 安置在牽引轉換器中間之模組的散熱翼片



圖 3 散熱片式模組



圖 4 安置在牽引轉換器之熱管式模組



圖 5 拆下之熱管式模組



圖 6 熱管式模組之熱管及固定散熱片

二、各種冷卻方法之比較

電子裝置利用各種冷卻技術來散熱，其散熱方式包括傳導、對流、放射(輻射)、相變化。依任何一種傳熱樣式為主，而表 1 為冷卻技術分類，冷卻能力依自然空冷→強制空冷→複式交換式之序增加。而液冷式因送風機、泵浦、熱交換器等輔機而增加不利因子(Penalty)，包括它們的可靠性、保養、管理、經濟性的問題。

在強制空冷時，這些要因相當平衡，尤其在冷卻能力、可靠性、經濟性等觀點上，強制空冷法可用到相當高的發熱密度(用散熱片時，在晶體表面約 $4\text{W}/\text{cm}^2$)。間接液冷式是將熱傳導模組(Thermal conduction module, TCM)用水冷散熱片，可達成 $20\text{W}/\text{cm}^2$ 的冷卻能力。要求冷卻係本身的高可靠性時，宜用高能力的自然空冷。

散熱器常用的冷卻系統可分成自然冷卻與強迫冷卻二種方式，其主要的分別為具有及沒有冷卻風扇。冷卻原理大致可分成空氣冷卻、油冷卻、水冷卻、沸騰式冷卻及散熱管散熱式。

從另一個角度來講，動力設備所使用各種不同之散熱系統，因受熱阻抗的影響，而有一定的限制。

在圖 7 中可看出，採用自然通風法可用的範圍約在 400 瓦，而使用強迫通風式可用範圍達 1000 瓦，甚至於超過 1000 瓦的範圍，視使用各種不同的系統而定如水冷式、沸騰式、散熱管散熱式。以上所述的每一種冷卻系統，現今在熱阻抗限制上都有不錯的發展。

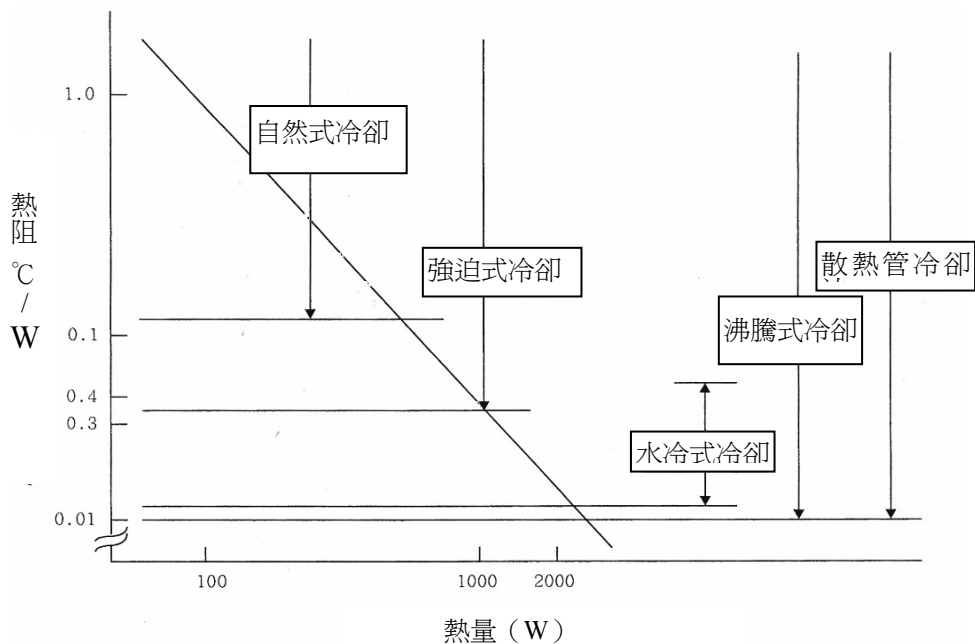


圖 7 熱量與熱阻之關係

表 1 主要的冷卻技術

冷卻方式 性能	自然空冷	強制空冷	強制空冷 + 水冷熱交換器	液體冷卻 (包括蒸發、沸騰)		熱管
				直接	間接	
構成(→ 表示主要的熱流路 線	零件(IC 等)⊕散 熱片→空氣、電 路基板、基板支 持框、裝置構體	自然空冷 ⊕ 送風機	在通風路插 入水冷熱交 換器	把零件浸入 冷卻液→熱 交換器(水 冷、空冷)	零件→冷卻 板(冷液)	零件→高溫部 份→低溫部份 →散熱片
流體	空氣	空氣	空氣、水	不活性絕緣 性液體	水等	水甲醇氨氟化 碳
流體驅動源	(浮力)	送風機	送風機，泵 浦	泵浦	泵浦	蒸氣壓，毛細管 力
流速	~0.2m/s	0.5~10m/s				
冷卻能力	小	中~大	中~大	極大*	大	大**
裝置體積	大	中	中	小	小	小
噪音	無	中~大	中	中	中	液冷散熱片時 小
冷卻系的可靠性	大	中	中	小~中	小~中	中~大
(註)	利用導管效 果，可增加冷卻 能力			*依存於熱 交換器的能 力	適用例：為 減少接觸器 熱阻使用 He 氣	**依存於熱交 換器的能力

2.1 氣冷式系統

氣冷式冷卻方式有自然冷卻法及強迫通風冷卻法兩種，今說明如下：

2.1.1 自然冷卻是通過空氣自然對流及輻射作用將熱量帶走的散熱方式。

這種方式之散熱效率很低，但結構簡單、維護方便、噪音較小。適用於額定電流較小的功率半導體元件或簡單裝置中的較大電流功率半導體元件。

氣冷系統為使用在鐵路動力設備上的一種最基本的方法，自然冷卻所用的交換原理，為熱的空氣向上流，而冷的空氣向下流。

此種冷卻方法沒有噪音的產生，而與其它的冷卻方法相較散熱，此種冷卻方式性能穩定，但須定期清除鰭片上的灰塵。但是這種系統，鰭片的效率較差，而且尺寸與重量均較大，如果能以強迫的通風方式，則可使鰭片的散熱量增加。此種冷卻系統在設計上的重要考量點，包括鰭片的傳熱效率、元件配置的位置、空氣的流速、與壓力的損失等。

2.1.2 採用強迫通風式(圖 9)的優點，為體積較小重量較輕，但缺點是噪音大，風扇需維

修，同時，須定期清除濾網上的灰塵。

以強迫通風冷卻之散熱器的方式主要應用於額定電流值在 50-500A 的元件，它是自冷散熱器效率的 2-4 倍。圖 8 所示為風冷式散熱的風速與熱阻之間的關係曲線。在風冷裝置內部的冷卻風速，通常小於額定風速 6m/s。

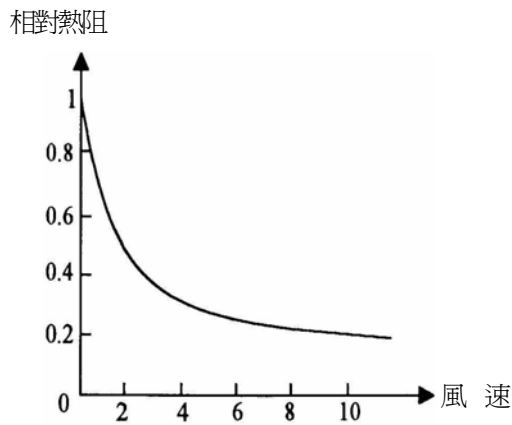


圖 8 風速與熱阻之關係

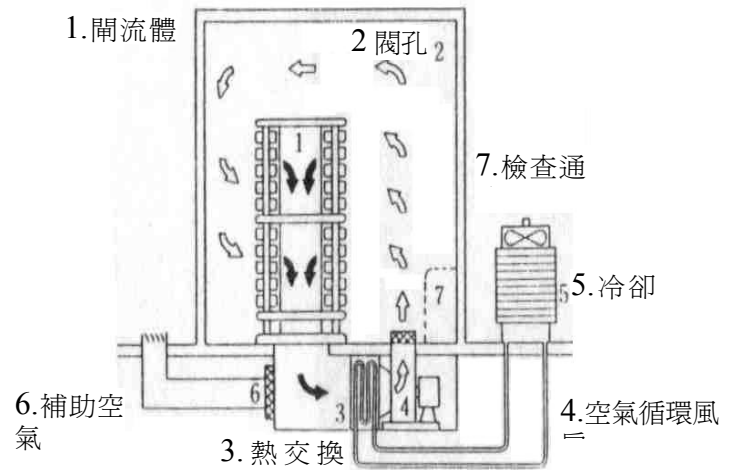


圖 9 強迫通風冷卻方式

2.1.3 強迫空冷風扇的噪音

各種電子裝置的發熱密度上升時，噪音成為問題，以 IC 的冷卻為例，噪音源的主體在風扇，風扇噪音有旋轉音與亂流音，旋轉音起因於往風扇所流入之氣流較長週期變動。亂流音則起因於所流入氣流的亂度、葉片面或風扇周邊構成部流路的剝離。在電子裝置的冷卻，亂流音為噪音的主體。風扇翼形的改良、流入部流路形狀的圓滑化、採用吸音材等，可降低某種程度的噪音，但這些對策自有其界限。使只須冷卻空氣流經所須通過之流路，勿使不參與冷卻的空氣大量流過裝置內，若無精細的熱設計，很難大大地減低其噪音。

2.2 水冷式系統

對安裝有約 10mm 見方之晶體的 LSI 模組，壓接用微型伸縮囊的彈性傳熱元件 FTC，來自噴嘴的水衝撞噴流（如圖 10），可得 $2\text{W}/\text{cm}^2\text{C}$ 的熱傳導率和 $2.5^\circ\text{C}/\text{W}$ 的總合熱阻。在圖（如圖 11）所示的實用領域，水衝撞噴流可得比水之強制對流或氟化碳等之浸漬沸騰高的熱傳導率。

油/水冷散熱器（如圖 12）的散熱效率較高，其對流換熱係數等於空氣自然換流係數的 150 倍以上。這種散熱器一般適用於電流容量 500A 以上的功率半導體元件。油冷散熱器的散熱效率在水冷散熱器與風冷散熱器之間，冷卻介質多用變壓器絕緣油。

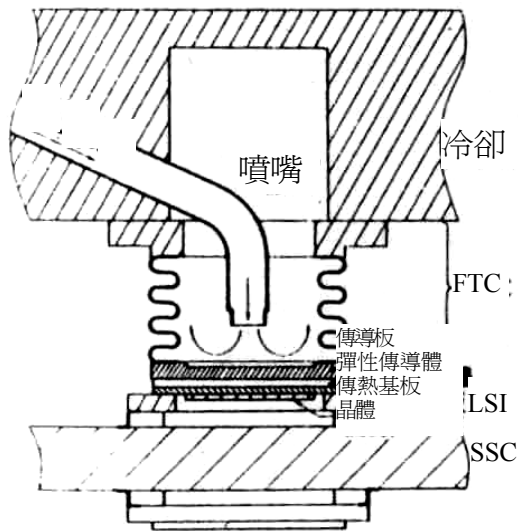


圖 10 水衝擊噴流冷卻圖

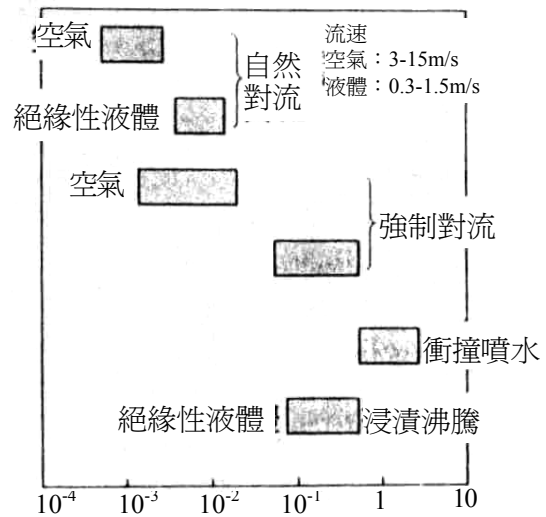


圖 11 各種冷卻方式之熱傳導率

在動力電子機械上，水冷式為最常使用的方法，具有較高的動力容量，在歐洲國家常使用在輕軌車輛上。水冷卻的原理是將動力設備產生的熱量，經由散熱片傳入水中，在水中使熱量散去。其缺點如下：

- 2.2.1 此種方法須要一些附屬設備，如水泵。
- 2.2.2 須考量到水管中阻力所生的壓力損失。
- 2.2.3 須檢查冷卻水是否會因大氣環境而產生凍結。
- 2.2.4 安裝淨水設備，並且定期更換冷卻水。

自然水冷式具傳熱率佳，但與電氣設備隔離不易，因為水管中會有離子溶解在其中。當 GTO 和閘流體須隔離使用時，安裝淨水設備可使隔離效果佳，因為水的純度變的較高。但是 IGBT 與 IPM 在製造時已有自己的隔離設備，因此不需要安裝此一設備。

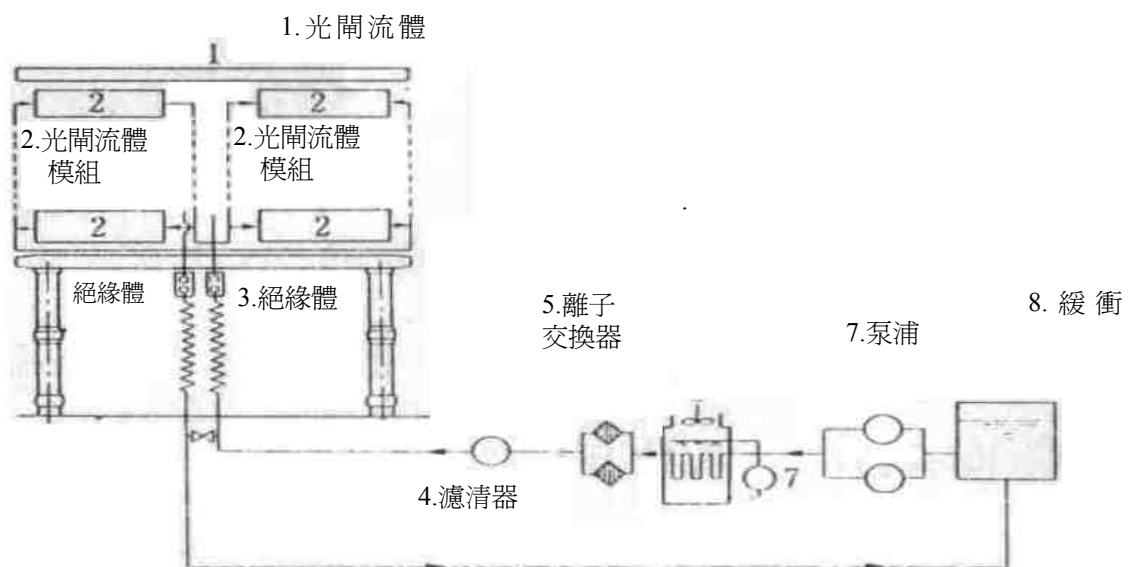


圖 12 水冷式冷卻系統

2.3 沸騰冷卻式

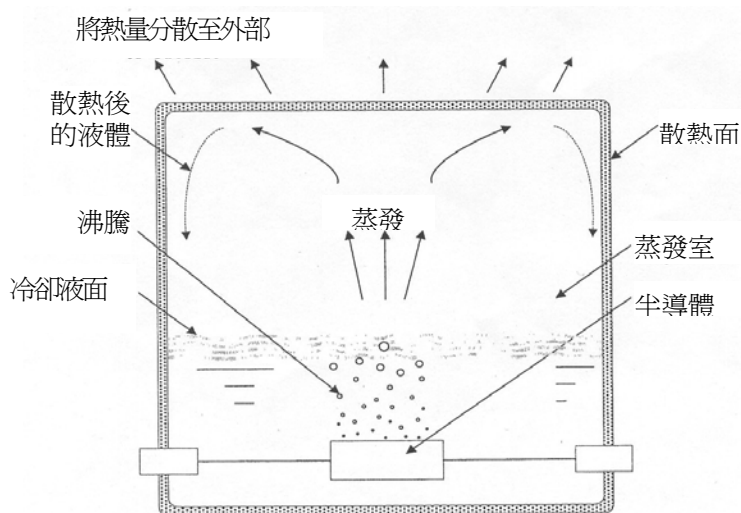
沸騰冷卻是將冷卻媒質(如氟氯化氮 Freon)放在密閉容器中，通過媒介物質的相變化來進行冷卻的技術。這種冷卻方式具有極高的冷卻效率，它比油冷和水冷之冷卻效率高過數倍，風冷比高十多倍。因此，沸騰冷卻裝置的體積比同等容量油冷和自冷裝置小得多。

沸騰法原理如圖 13 所示，動力元件與冷卻設備，皆安裝在一密閉容器的表面，而採用漸進式方式來冷卻。當負載電流流過動力設備，這些熱將從動力元件傳送到密閉容器的表面，如此下部熱的空氣會蒸發到上側，如圖上述原理冷卻後的水亦將再流到下側。

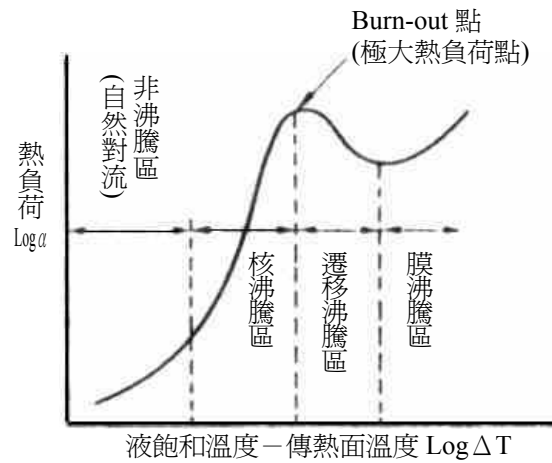
2.3.1 沸騰冷卻

此整流器把主要發熱體(半導體元件與其附屬電路電阻浸入 freon 液中)，利用 freon 沸騰 [freon R-113 沸騰 47.6°C (1 氣壓)]、冷卻，圖 13 為沸騰冷卻的原理圖。Freon 液中的發熱體發熱的話，接觸發熱體的 freon 液沸騰，奪熱而氣化，氣化的 freon 藉整流器上部的冷卻器(凝結器)自然冷卻，回復凝結器的 Freon 液體，反覆此循環，把半導體元件及電阻器冷卻。

熱負載小時，發熱體藉 freon 液的自然對流冷卻，熱負荷超過某值後，開始沸騰，此稱核沸騰，在此核沸騰域，冷卻能力遽增。熱負荷更大時，從核沸騰遷移到膜沸騰，熱傳達率下降，此點為 burn-out 點，在核沸騰域把整流器冷卻。



(a) freon 沸騰冷卻原理圖



(b)沸騰曲線

圖 13 沸騰冷卻的原理圖

2.3.2 Freon 冷卻式截波器控制裝置的設計概念

近年利用以大容量半導體元件為對象的自冷式 freon 冷卻方式。此方式的目的是在解決以往強制風冷方式的課題—防止送風機噪音、簡化送風機、空氣濾清氣的檢查及裸露絕緣部的塵埃、污損等保養事項。

自冷式的 freon 冷卻方式，係以沸騰 freon 蒸氣為媒體，把元件的發熱傳到凝結管的各角落，能以表面積廣大的散熱器冷卻，不需送風機。

採用沸騰式 freon 冷卻方式的電车用截波器 (chopper) 裝置已有各種實績，以下將介紹 freon 冷卻的特性、硬體等。

圖 14 為截波器裝置用 freon 冷卻系統，由收容流體、二極體元件等的蒸發器及有凝結器的散熱器等組成。容器內抽成真空後，再灌入 freon113 液體。圖 2.7 freon 冷卻系統半導體元件浸入蒸發器的 freon 液中，使 freon 液蒸發，凝結而冷卻。

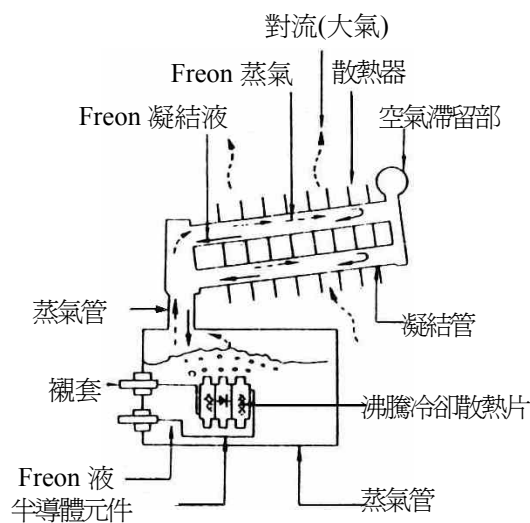


圖 14 freon 冷卻系統

當半導體元件因通電而發熱時，所發生的熱經連接半導體元件的沸騰冷卻散熱片後，再傳至 freon 液體。接觸散熱片的 freon 液隨熱流速的增加而沸騰，升高蒸發器內的壓力，蒸氣在壓力低的凝結管內移動，此管壁藉散熱器冷卻，蒸發時所得潛熱經管壁排出，凝結、液化，再因重力而下降，返流到蒸發器內。

如此，半導體元件的發生熱以 freon 蒸氣為媒體，迅速且幾乎以同一溫度傳至凝結管各角落，所以，散熱器的配置、大小等設計較自由，可自冷化。

2.3.3 冷卻系統的說明

Freon 冷卻方式是利用 freon 沸騰、凝結和蒸氣的輸送，特色是保養簡易化、低噪音化、高可靠性。此裝置的主要特色如下：

1、冷卻單元小型化而簡化保養

冷卻單元為密封構造，隨 freon 液的溫升，而使內壓上升，成爲一種壓力容器，壓力容器的冷卻有「勞動安全衛生法」、「壓力容器構造規格」等，壓力容器的規模分爲「第一種壓力容器」、「小型壓力容器」、「容器」及「法令外」。截波器用冷卻單元藉元件收容器(蒸發器)的小型化、配合元件接頭溫度界線與全體溫度分配而設定 freon 液溫度，可成不受法令規定的容器。

2、利用「thermoexcel」加工把散熱片小型化

爲促進沸騰傳熱，最好從傳熱面發生很多氣泡，把傳熱面周邊的 freon 液激烈攪亂。平滑面上的微細傷痕等發生氣泡的機率較高，把沸騰傳熱面粗面化時，其效果更大，圖 15 爲細孔與隧道組成的高性能傳熱面「thermo excel」，圖 16 爲施行「thermo excel」加工後的散熱片熱阻。在主開流體實用範圍（約 900W）的熱阻，在其厚 16mm 的散熱片爲 0.009°C/W，可把傳統方式的 3-5 模組截波器電路元件集中成 1 模組，也可使蒸發器小型化。

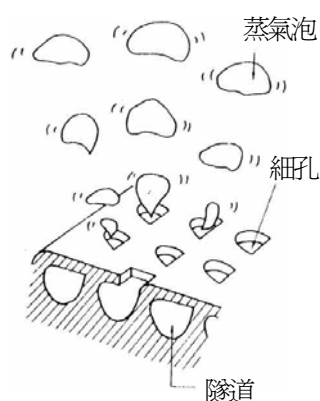


圖 15 施行「thermo excel」加工的高性能傳熱面

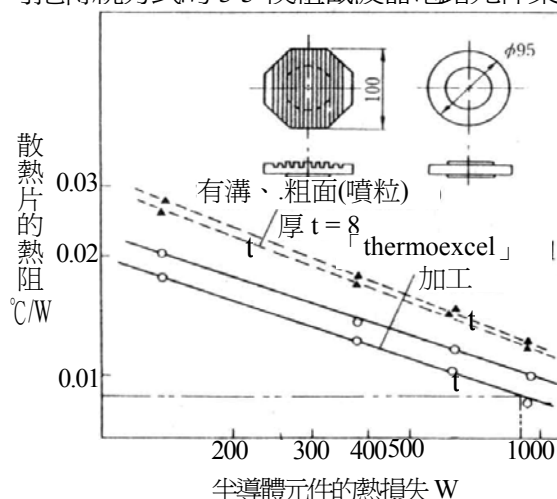


圖 16 施行「thermo excel」加工之沸騰冷卻散熱片的熱阻

3、有餘裕的散熱能力

半導體元件所發生之熱量，係經散熱器傳至大氣，若因通風條件變化而使散熱能力不足時，半導體元件過熱時，使得容器內之壓力異常上升，故需設計有足夠餘裕的散熱器。散熱器因收容於有限空間內，壓力容器的內容積有法令限制，所以要求小型化。利用列車行駛時的風量，測定行駛風速、導管的形狀、行駛路線的周圍條件、散熱器的配置等對通風的影響，來調查行駛中之風量參與冷卻的程度。結果，散熱器成爲可在上下方向和車輛前進方向通風的散熱片配置、路線的周圍條件並不一定，冷卻效果會變動，所以，設計成靜態自冷式散熱器，以利用行駛風量作爲餘裕。

4、抑制因空氣混入所導致冷卻性能的下降

空氣(不凝結性)混入凝結管內時，因熱傳導性不良的空氣滯留在管內壁面，使得 freon 液蒸氣不能在凝結管內散熱，導致冷卻性能降低，爲防止此情形發生，使冷卻系統成氣密容器，須先把內部抽氣，再灌入 freon 液至氣密容器內。因長期使用時，使得氣密性下降、殘留空氣、吸入氣體的放出都需預先考慮。

冷卻系統採用在凝結管內使 freon 蒸氣與凝結液流向相向的「相向式冷卻系統」，此冷卻系統即使空氣混入凝結管內，從蒸氣器送入的 freon 蒸氣，而把空氣推向深處，藉空氣本身浮力之助，補集於上部空氣筒內，因此在少量空氣混入時，可防止性能下降。

2.4 散熱管冷卻法

散熱管冷卻法乃利用對流原理，即利用氣體或液體的底部受熱時，下層的部分因受熱體積膨脹而密度較小，故向上流動，上層的部分因密度較大，故向下流動，此種循環的流動可以使部分反覆受熱，而使熱量傳播至整體。因水空氣等能流動的物質，受熱時，變熱部份會向上昇，其原來的位置則由旁邊較冷的部分流動過來補充。

散熱管的熱傳導率約在 Cu 的 500~1000 倍以上，其原理如圖 17 所示。與金屬相較，散熱管在低的溫度下快速傳送大量的熱能。

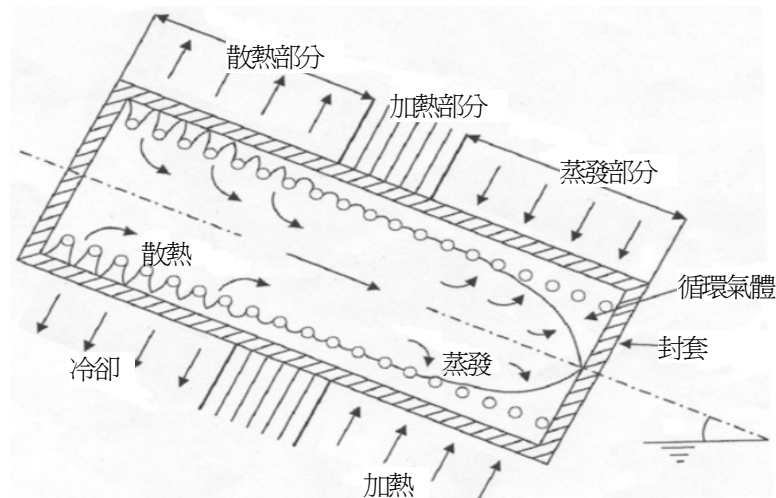


圖 17 散熱管原理

自冷式閘流體模組收容於密閉控制箱內（如圖 18），而所發生之損失以熱管冷卻作用將熱引出箱外，二次冷卻藉自然冷卻散熱，熱管以純水作為流體，冷卻散熱片與空氣間的熱阻，在發生損失 200W 時為 $0.2^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 。冷卻散熱片與空氣間之總熱阻，在風速 5m/s 時為 $0.027^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ，比以往的自冷方式可改善性能約 30~40%。

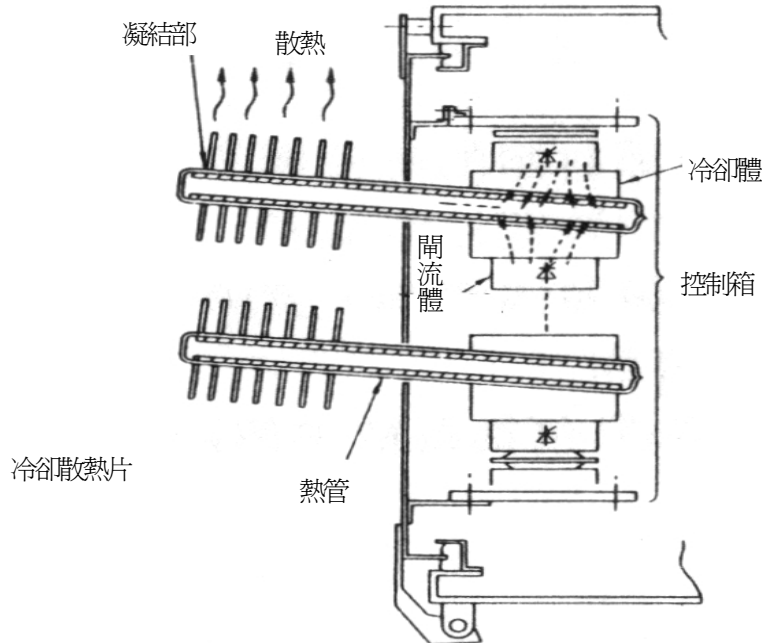


圖 18 閘流體模組以熱管冷卻

三、結論

牽引轉換器所使用之功率半導體安裝在散熱片模組上者，因此模組之散熱片又安置在牽引轉換器的內部，且因散熱片為翼片狀，在風扇強迫通風時，易將濕氣吸入並黏附在翼散熱片，當粉塵及棉屑被吸入同時，即黏著在翼散熱片上，粉塵即堆積越來越多，致散熱片模組散熱能力越差。因此在保養時，所吹出之粉塵甚多即知，且吹塵不易，粉塵量大且費工，又須安裝冷卻風扇及增加噪音。

再者由前章之比較可知，其熱量超過二千多瓦時，效率較低，故散熱片模組缺點甚多，但亦有其優點，安裝空間不若熱管式模組大，散熱片較散熱管便宜；熱管式模組牽引轉換器者，則將功率半導體改安裝在以自然冷卻式的熱管式模組上，此熱管式模組之散熱管安裝在牽引轉換器之兩外側，於高速行駛中，藉由自然風(或下雨時因雨水)來冷卻散熱管外，並因散熱管為圓管狀，是安置在轉換器之兩外側，粉塵及棉屑不易附著在此散熱圓管上。因此，在保養時，吹塵容易，所吹出之粉塵甚少，省時省工又方便保養，惟安裝空間較散熱片大，費用較散熱片高。由上述兩種冷卻方式比較得知，熱管式模組的冷卻方式較散熱片新購車輛採用的冷卻模式。

參考文獻

1. 江炫樟（2003），電力電子學，臺北：全華出版社。
2. 張立、林清一（1998），現代電力電子技術，臺北：全華出版社。
3. 張天錫（2004），電力電子學，臺北：東華書局。
4. 徐天佑（1985），電子裝置及電路理論，臺北：全華出版社。
5. 楊宗銘（1990），電力電子理論與實作，臺北：全華出版社。
6. EMU600型技術資料（2001），韓國ROTEM公司之IGBT散熱設計。
7. EMU600型技術資料（2001），東芝公司之主變壓器損失和冷卻容量。
8. 洪坤土（1976），機務訓練資料，日立及通用公司之散熱器、涼油器之設計及一般保養。
9. EMU600型技術資料（2003），韓國現代重工之GTO模組改IGBT模組方案。
10. EMU600型技術資料（2003），韓國現代重工之鐵路車輛性能。

臺北捷運系統「標竿學習」－
機務同仁「檢修」及「乘務」見學
Taipei Rapid Corporation Benchmarking- TRA Rolling Stock
Department Staff “Maintenance” and “Operation” training

劉景釗¹
Liu Jing-zhao¹

地址：臺北市北平西路3號5樓
Address：5F, No.3, Beiping West Road, Taipei City

電話：02-23815226 轉 3370
Tel：02-23815226 ext 3370

電子信箱：tr646010@msa.tra.gov.tw
E-mail:tr646010@msa.tra.gov.tw

摘要

臺北捷運系統自 2004 年至 2007 年連續 4 年，系統維修可靠度在全世界主要城市捷運系統名列第一。其成功之要素，除了決策管理階層有效地運作外，管理計畫的研擬務實、技術部門的貫徹執行、軟硬體之改善計畫，均為成功之基礎要件。

系統維修以日、德兩系為主軸，車種單純化配合保養維修模組化，使人員配置率逐年降低，車輛妥善率逐年提高，以「後來居上」之態勢與先進國接軌。

Abstract

Taipei Rapid Transit System from 2004 to 2007 for 4 years, the reliability of system maintenance at major cities all over the world ranked first in mass rapid transit system. Elements of its success, apart from the decision-making management to operate effectively, the management program to develop practical, technical implementation of the department, hardware and software to improve the program, are basic elements of success.

System maintenance to Japan and Germany as the main axis of two-line, vehicles with a simple and modular maintenance, so that the rate of year-on-year to reduce staffing, improve year-on-year rate of vehicles properly so as to "catch up" with the advanced countries of the world situation.

1.本局機務處助理工務員

一、前言

奉 局長局務會報指示，向臺北大眾捷運股份有限公司借鏡取經，藉以學習他人長處，改進自己的技術，爰機務處洽捷運北投機廠同意，協助安排觀摩其機廠設施及制度，以促進技術交流及提升服務品質。學習內容包含美化環境、站場維護、車輛維修流程、車輛組件維修測試與組件壽命管控、材料管控、研發單位的成立、人員培訓(含人文與技術)、新式站場修車與測試設備、工安防護等，期望藉此標竿學習，以北投機廠各項工作模式及設備使用之經驗及範例來加以實行，效仿見賢思齊之標竿學習精神，協助本（機務）處業務推動。

二、行程簡介

領隊:何副處長進郊。

參與人員:機務處各科幕僚及新竹以北各廠、段選派 3 員核心幹部，共計 35 員參加。

時間及地點:97 年 11 月 13 日 14 時至 17 時 10 分止。

地點: 臺北大眾捷運股份有限公司北投機廠。

三、活動內容

此次「標竿學習」課題係針對機務處「檢修」與「乘務」兩項業務主軸進行研討，除了觀摩北投機廠實地運作情形外，並聽取捷運公司車輛處「維修」與行車處「車務」等兩大議題之簡報。

四、標竿學習的定義

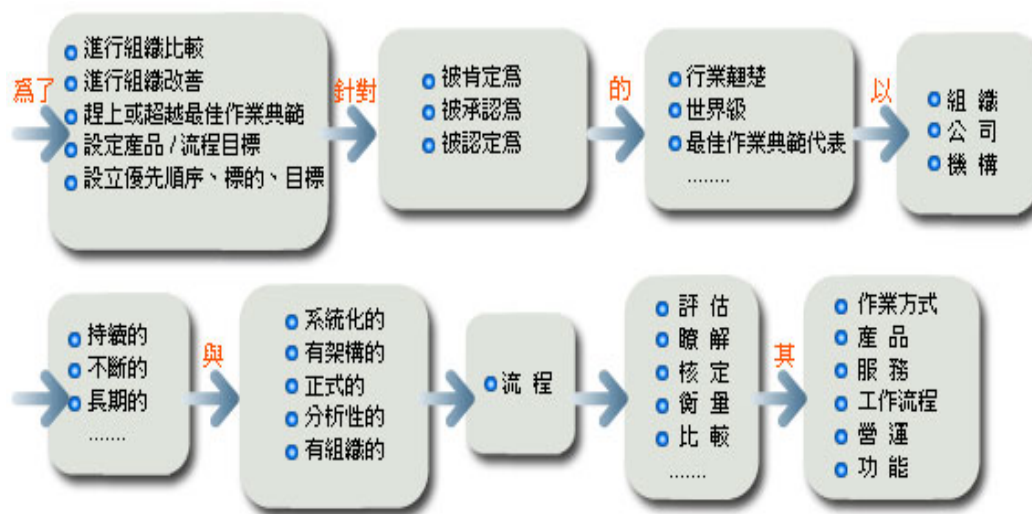
標竿學習最早起源於 1980 年代，企業尋找產業內的最佳實務，企圖超越競爭對手。早期，大多數的企業依賴競爭分析與量化比較來取得市場中的競爭優勢。然而標竿學習在性質上與競爭分析有兩個相異處，首先是標竿學習不只分析企業的產品或服務，更重要的是企業如何設計、製造與行銷產品與服務的流程；其次是標竿學習的對象不只侷限於直接的競爭對手，更將視野拓展到產業外、國外、甚至世界級的比較。

就原始的字義而言，「標竿」(benchmark) 最早是指地理研究中，用來測量相對距離前必須先決定的參考點。

在品質改善辭典中，「標竿」指的是同儕中最好的成就 (best-in-class achievement)。擁有相同作業流程的企業，會將此成就做為參考學習的典範。

1985 年美國生產力與品質中心 (APQC) 對標竿學習的正式定義為「標竿學習是一項有系統、持續性的評估過程，透過不斷地將組織流程與全球企業領導者相比較，以獲得協助改善營運績效的資訊」。

Spendolini 團隊認為標竿學習是一持續不斷的學習流程，透過分析其他組織的最佳實務，將其調整並應用至本身企業之中，以獲得組織在品質、作業程序與管理面的績效改善。



Spendolini 標竿學習定義

五、標竿學習的流程

Michael J. Spendolini 在 1991 年展開標竿學習的研究，透過 24 家執行標竿學習的企業，Spendolini 在 The Benchmarking Process 發表他所歸納出來的五個主要流程：

5.1 決定向標竿學習什麼？

我們執行標竿學習的第一步是，確認所要進行標竿學習的單位與需求，以及定義標竿學習的對象。當我們的需求與對象選定之後，可進一步確定在學習過程中所需投入更多的資源（如時間、金錢、人力與搜尋資料），以取得實務上可執行的案例。經本團對隊所擬定標竿學習之參訪課題項目如下：

- 5.1.1 車輛維修週期？以行駛公里計算或使用期限排定維修週期？車輛進廠維修方式採用模組更換維修或傳統拆下整修？各級檢修所需維修天數？
- 5.1.2 對於車輛核心關鍵技術如何突破？是否委外維修？
- 5.1.3 維修人力養成程序？委外訓練或自行編製教材訓練？
- 5.1.4 車輛各級檢修工作單維修項目如何？所需維修用料如何掌控，以維持適量用料供應？
- 5.1.5 車輛故障率(故障件數/百萬公里)？車輛使用率與人員配置率？
- 5.1.6 檢修人員及乘務人員在職訓練工作如何實施？每月至少多少小時？

5.1.7 站廠 6S 及車輛維修/測試設備模範學習。

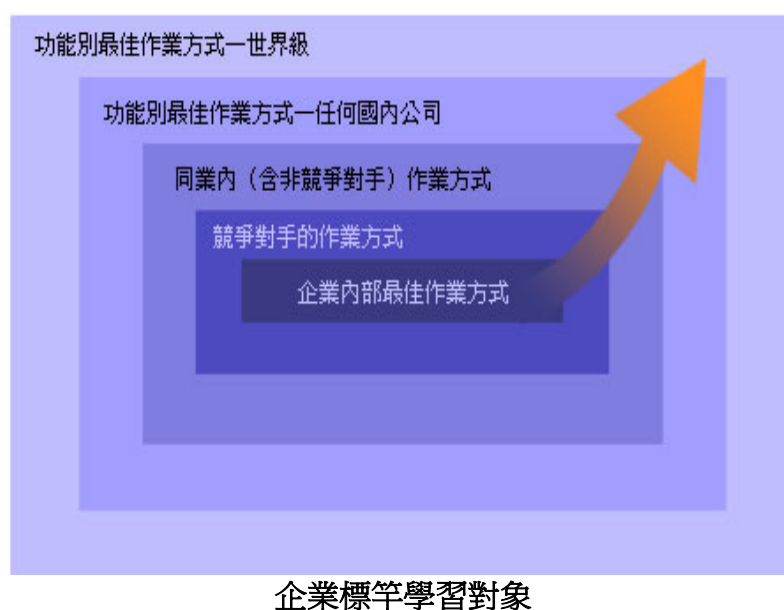
5.2 組成標竿學習團隊

選擇訓練與管理標竿學習團隊為本標竿學習流程的第二步，由單位主管指派一單位副主管來負責外，並請運轉股、指導股、材料股、修繕股，各指派特定的角色與任務給團隊的成員。利用一些專案管理的工具，來確認團隊的成員都很清楚他們所負責的任務，以及每一計畫階段的里程碑。

5.3 選定標竿學習夥伴

臺北捷運北投機廠標竿學習資訊的來源。來源可包括標竿學習對象的公司員工、顧問、分析師或是其業務報告與競爭分析資料等。同時在此階段必須確認臺北捷運北投機廠或組織間的最佳實務為何？是我們所要學習的。

標竿學習依不同的學者，各有不同類型。Spendolini(1992)在『The Benchmarking Book』中提出一『跳脫框框外思考』之架構，成為企業尋找標竿學習對象(如下圖)之參考。Spendolini 認為，企業應先自內部檢測開始，進而瞭解競爭對手、產業領導者、甚至跨產業績卓越者的最佳實務，從中觀照學習，最終階段甚至要尋求世界級的典範，整合最佳實務到企業本身的作業流程中。



5.4 蒐集及分析資訊

參訪過程中，廠段等幹部雖然各有其心得與獨到之見解，但是全盤套用於本局實施也未必洽當。因此，僅就較符合本局現階段需求者，分別於下列項目討論之：

5.4.1 維修方式、週期及各級檢修作業時間

高運量電聯車定期檢修，依使用期間及行駛公里數為週期基準實施。使用期間及行駛公里數以先到者為施行限期。得視電聯車運用、實際情況及設備、零組件壽命而酌予增減，惟增加部分不得超過百分之十五，不足一天者以一天計。列車檢修以模組更換為原則。

佐證：依據長榮航機機務管理概論，維修不當影響安全-潛藏成本亦增加，過度維修成本增加-安全性卻不一定增加。準此，航機維修計劃表之排定必須考慮飛機使用率、航機維修能力、人力及設備、成本追蹤等諸多因素。

5.4.2 對於車輛核心關鍵技術如何突破，以及是否委外維修？

- 1、電子電機設備類每年編預算執行開發工作：由各部門選擇優秀專業人才進入研發中心加以破解研發。
- 2、機械設備類每年編預算執行開發工作：由大修工廠選擇具開發價值符合經濟效益的零組件進行開發。
- 3、配件如受限機電設備及無法克服之專業技術皆委外維修。
- 4、捷運公司對於車輛檢修所須之重裝備採購上較為方便靈活，因此對於關鍵技術較能以設備突破，惟相對經費的支出亦較大。

5.4.3 維修人力養成程序？委外訓練或自行編製教材訓練？

檢修人力培訓及管理：新進人員由公司訓練中心規劃通識課程，辦理訓練專業養成方面又分專業基礎訓練，依廠區不同需求予以分項訓練，專科訓練（依日係與德系車區分）分別依不同科目（如故障檢修、機械大修、空調大修、輪軸大修、組裝與轉向架及電機大修）分別施不同時數之專業訓練。受訓學員必須取得證照，管理單位依其受訓之項目做為升遷及績效獎金之依據，即依員工的貢獻度給予升遷及不同待遇，建立較公平的管理制度可提昇技術人員素質，減少人員流動性，對不適任人員主管有絕對權力依考核獎懲、解僱或資遣。

5.4.4 檢修人員在職訓練工作如何實施？每月至少多少小時？

以訓練現場維修人員(含技術員、領班、股長)為主，每年集中訓練 2 天(16 小時)，課程內容以現場所需維修技術為主，並分發教材及文具給受訓人員。

5.4.5 車輛各級檢修工作單維修項目如何？所需維修用料如何掌控，以維持適量用料供應？

- 1、臺北捷運公司各級檢修項目範本業已交予本處參考，每位工作人員皆有工單，且公司不定期檢討工單內容以符實際。

※佐證：長榮航太科技股份有限公司任何維修工作皆要有工單作為依據。

2、車輛維修用料依零件生命週期進行更換，零件週期壽命由捷運公司自行蒐集彙整資料研判，本局機務處亦可加強機務管理系統功能，達到廠段零件更換或汰換可於電腦中登錄，並由資料庫擷取資料加以分析零件使用壽命，做為預防保養及故障保養之參考。

3、維修用料

※預防檢修：評估年度排定之各級檢修作業所需用料作為採購依據，而更換下來之物料，經整理測試後，務必確保可使用至下一個大修週期。

※故障檢修：統計前兩年之平均故障量，作為次年度故障用料需求預為採購。

5.4.6 乘務員如何養成與訓練？所需期限？如何考評？

1、公司對外公開甄選

- (1) 第一階段筆試「語文、專業、心理測驗」。
- (2) 第二階段口試。
- (3) 新進人員體格檢查。

2、新進人員訓練：約一週，課程包含：新進同仁應有認識與態度、公司沿革與組織演進、捷運企業文化與經營發展、人事管理及待遇福利、工會組織與運作、職工福利簡介、旅客服務經驗分享、職場禮儀、政風工作與公司廉能形象等。

3、專業訓練：

(1) 基礎訓練 203 小時（集中訓練，課堂課及實作）

- A 每週測驗一次，未達 80 分予以補考一次(80 分及格)，補考仍不及格予以退訓。
- B 測驗成績低於 60 分不予補考，立即退訓。
- C 補考次數達全部測驗次數 1/2 者，立即退訓。
- D 測驗總成績未達 75 分者，解除試用。

(2) 適應訓練 120 小時(分配到各段輪班訓練)。

(3) 三個月試用期滿前完成檢定，並觀察其工作能力、態度、學習能力、品德操守及體能狀況等，檢定合格取得「高運量列車司機員合格證」，以從事授證職務工作（每位司機員培育約需 6 個月）。

5.4.7 乘務員擔任工作內容？升遷及不適任人員之處理？

1、主要職責：負責電聯車之駕駛、廣播服務及狀況處理。

2、工作項目：

- (1) 依司機員任務卡駕駛電聯車。
- (2) 操作列車上相關控制設備。
- (3) 依行控中心指示執行電聯車簡易故障排除。
- (4) 機廠內調移車作業。
- (5) 旅客廣播服務。
- (6) 緊急事故時負責協助旅客離開危險區域以確保旅客安全。

3、升遷：

公司每年公告舉辦甄試升遷，司機員得以依相關資格條件報考副站長、助理工程(管理)員、車班領班(執行列車司機員之技術輔導及考核管理)、車務技術士(負責電聯車駕駛、認養維護及司機員輔導工作)等。

4、不適任：

依工作規則及相關規定，對不適任從業人員採取考核、獎懲、解僱、資遣等各項措施處理。

5.4.8 行車運轉發生死傷事故之處理流程？(以月臺區人員捲入車下為例)

1、通報：

立即回報行控中心，行控中心立即切斷第三軌電力、通報消防、救護及公司內外單位。

2、現場隔離及行車運轉安排：

- (1) 站務人員黃色警示帶隔離現場，詢問目擊證人旅客掉落位置，搜尋旅客。
- (2) 行控中心安排事故車清車及後續列車單線雙向列車運轉。
- (3) 車務安排另1位司機員前往現場準備替換原司機員、通知心理協談員及法務室派員前往現場(原司機員替換後接受酒測及尿液檢驗)。

3、搶救：

- (1) 除旅客明顯已為死已(如身首分離、遺體支離破碎等)或經醫療人員判定死亡外，仍應依人員受傷方式處理，將人員搶救後送醫院處理。
- (2) 如人員確認係死亡，則須司法警察機關初步蒐證處理，認明顯為自殺或一般車禍案件，口頭或以電話向檢察官報備後，才得移動現場。

4、現場復原及後續處理：

現場相關丈量、拍照蒐證完畢(含列車撞擊位置、人員掉落位置等)，第三軌復電，現場隔離設施移除，恢復正常運轉及通報，事故列車移回機廠檢修及細部蒐證，撰寫事故調查報告。

5.4.9 乘務員駕駛時間？有無待班人員？

- 1、早班平均約 6 小時、午班平均約 6 小時、夜班平均約 5.5~6 小時左右。
- 2、車務未安排待班人員，遇有緊急狀況，則改下列措施緊急上線遞補人力以維持列車正常運作：
 - (1) 調用車班值班管理人員(領班、技術士、管理員等)緊急上線。
 - (2) 調用休假人員出勤。
 - (3) 前一班人員延時下班，並通知後一班人員提早上班。
 - (4) 取消任務卡改採輪替駕駛。

5.4.10 車輛故障率(故障件數/百萬公里)？車輛使用率與人員配置率？

1、車輛故障率：

單一零組件百萬車廂公里超 4 件，即屬 LEVEL1 緊急狀況，須全面換新，舊品全面維修測試，以確保此維修測試後之零組件，在使用時可使用至下一個大修安全無虞。臺北捷運北投機廠所屬車輛共計 576 輛，而每年百萬公里之車輛故障件數為 0.1 件，每年約故障 14 件，每延誤 5 分鐘以上列事故 1 件。

2、車輛妥善率：約 95%左右。

3、人員配置率：每輛車約配置 0.9 人。

5.4.11 捷運公司目前車輛只有日系及德系，車種單純化。保養檢修模組化為原則，每一模組分解組裝制訂 SOP，減少人為疏失。檢修週期依車況彈性調整，每一零組件經檢修後必經過嚴格之測試達到標準後才能重新組裝，並記錄簽名以劃分責任。以轉向架為例：其零組件中之馬達故障率幾乎為零，6 年才需換下保養，車輪很少鏽銷，煞車採用電軔方式，車速在 10 公里以下才採用閘瓦煞車，以致閘瓦磨耗低，轉向架煞車模組 6 年才需更換整修，節省不少維修人力，因此該公司人員配置率正逐年降低中。

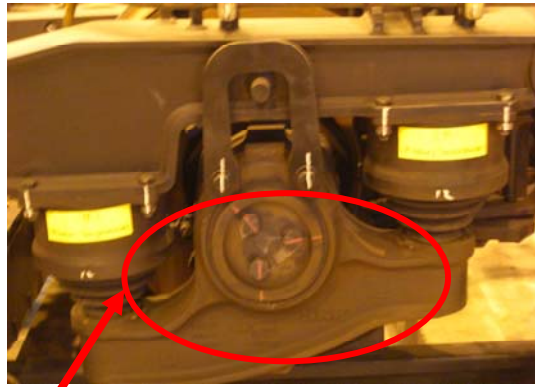
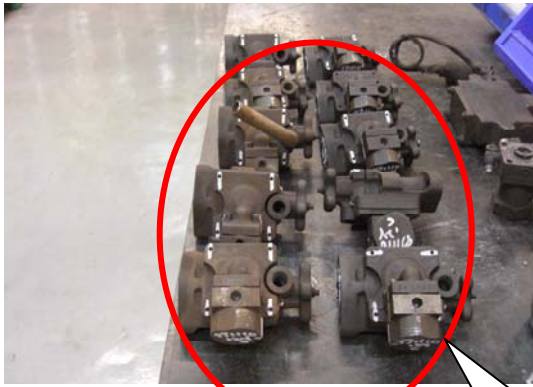
5.4.12 本局車種繁多不容置疑，在長久車輛維修實務經驗下，理應累積多國車輛設計概念及維修技術傳承，惜因未建立文獻而失傳，誠屬可惜。此外，以高運量捷運電聯車轉向架與 EMU500 型電聯車轉向架作比較為例，電空軔機-速控模式下，無論是熱阻式電軔或自動氣軔（車輪、閘瓦之摩擦熱）均對日漸暖化之大氣再增添一項不利因素。因此，唯有再生（回饋）式電軔才能符合「節能減碳」之環保需求。

5.4.13 捷運路線平直、軌道平整性及設施維護良好、摩擦振動小，對降低車輛故障率幫助很大，車輛車輪沒有直立磨耗問題，幾乎不用銹削車輪，轉向架耐磨鈹、空氣彈簧等組件使用年限可達 15 年以上，大幅減低車輛檢修人力成本，可直接提昇車輛妥善率。又因捷運路基為硬式，基礎穩定車損較輕，故可節省維修成本及增加可靠度。

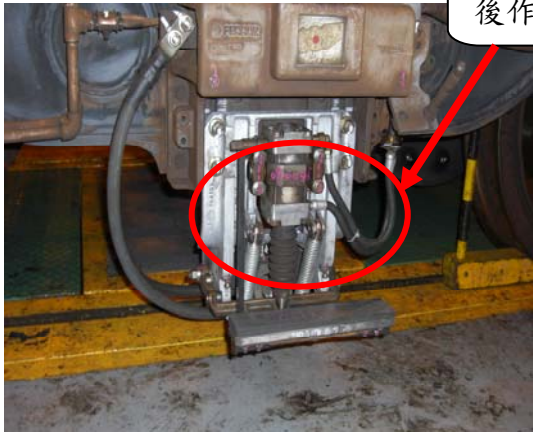
5.4.14 站廠 6S、車輛維修/測試設備模範學習

1、車輛各部分組件給予標示名稱，以方便辨識，及將組裝扭緊後之螺絲作標記，可確保各機件固定良好，如下圖：

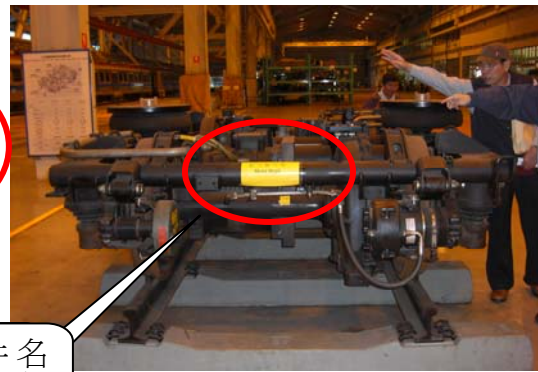




螺絲扭緊後作標記



組裝螺絲扭緊後作標記



組件名稱標示



車輛各組件皆標示名稱，以便讓所有人員很容易辨認

2、材料倉儲管理

材料採購與儲存，臺北捷運公司採用自全自動倉儲管理系統，可節省人力及找料時間，如下圖：



採用全自動倉儲系統

3、電子研究室之成立

臺北捷運公司其維修用料均使用原廠品，替代品均要有實績才可開放採購，許處長並說「臺北捷運公司絕不作白老鼠」，若原廠已倒閉或不生產，轄下有研究開發小組計 28 人，可突破原廠技術，且每單位均設有 2 員，1 員負責研究檢修技術(SOP)訂定，1 員負責檢修技術規範研究開發。



電子研究室各式電子測試設備

4、現場各項測試儀器齊全，每一儀器旁貼有操作說明及測試方法，如下圖：



牽引推進器測試臺



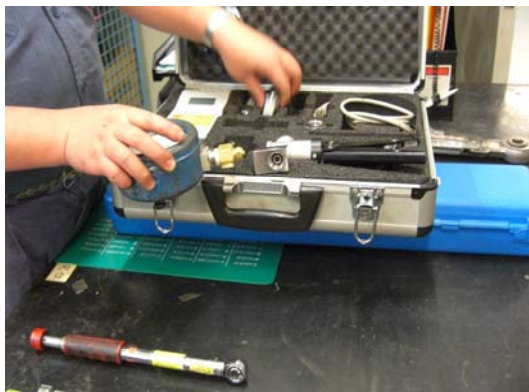
機械校驗區



壓力表待校正品



壓力表標準校正品



壓力表標準校正設備



壓力表已校正品



軋機測試臺



齒輪箱測試臺

臺北捷運公司其馬達軸承大修均有施作振動噪音測試，振動噪音測試通過表示可繼續使用至下次大修沒問題。



軸承振動噪音檢測機



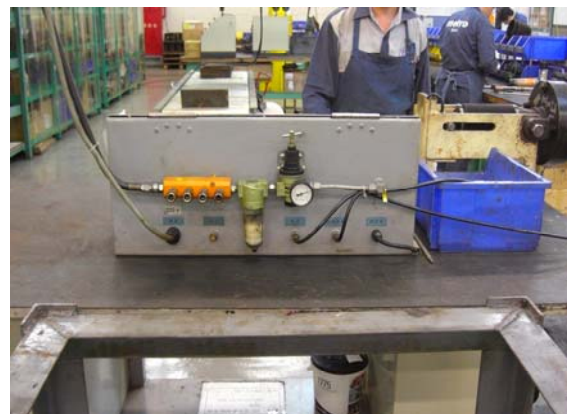
二次簧測試臺



煞車主機測試臺



車輪組平衡校正機



煞車制動器測試臺

臺北捷運公司測試空壓機模擬現車懸吊方式來測試，這樣可測出振動噪音之問題，本局可借鏡。

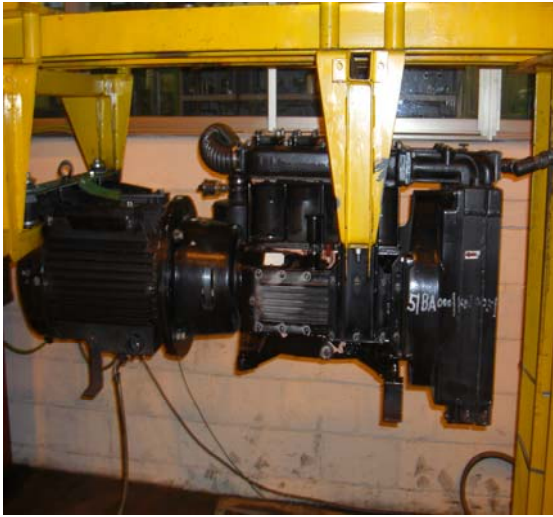


空壓機電源

空壓機測試臺



空壓機測試臺



空壓機測試臺



空壓機安裝在測試臺之測試情形

5、各項維修相關設備



搬運車



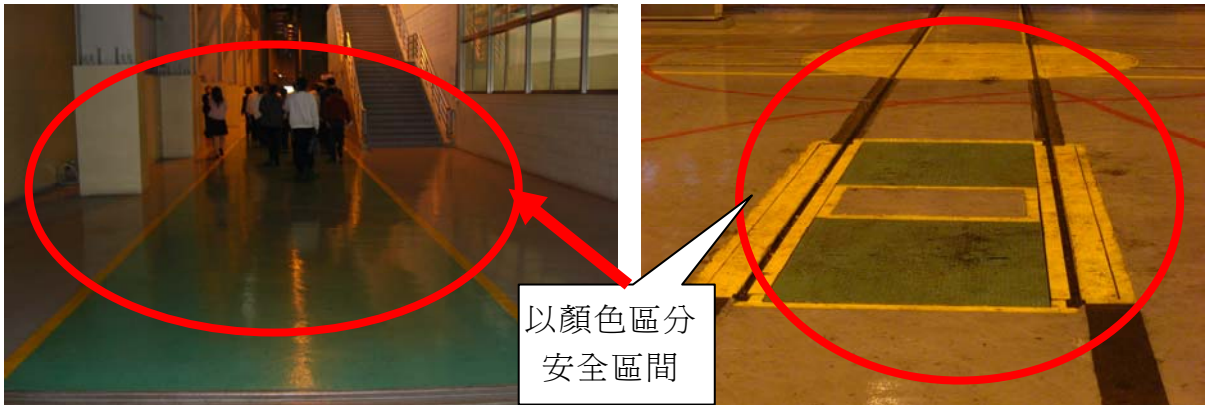
空調機灌冷煤機



懸臂式吊車

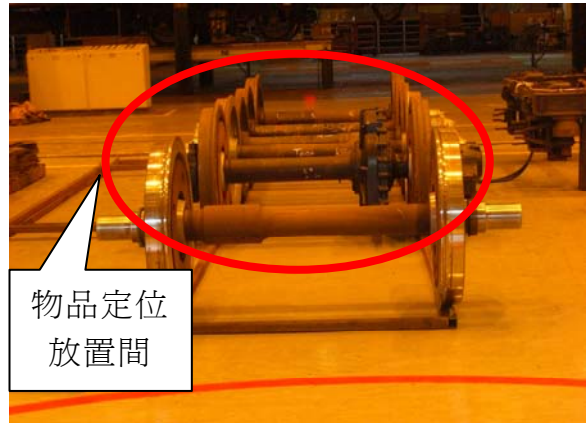
6、廠房環境美化

(1) 廠房區如圖：



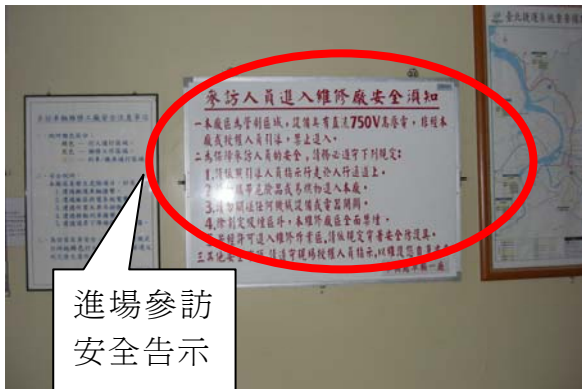


物品定位
放置間



物品定位
放置間

(2) 室內美化



進場參訪
安全告示



電視說明



形象造勢

7、維修組件合格與不合格區分

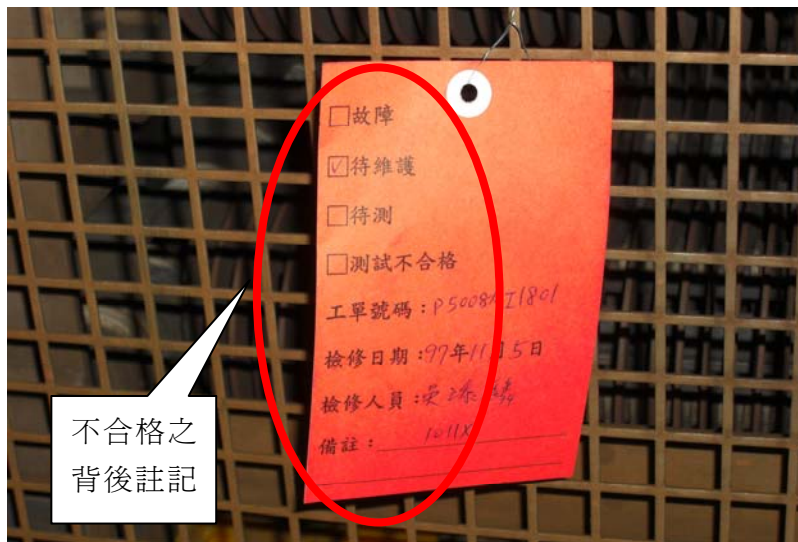
維修品之合格品及不合格品分開，綠色標籤為合格品，正面標合格背後註明修理人員名字，紅色標籤為不合格品，正面標不合格背後則註明不合格原因及檢修人員名字。

(1) 紅色標籤為不合格組件

a. 不合格區標示放置區

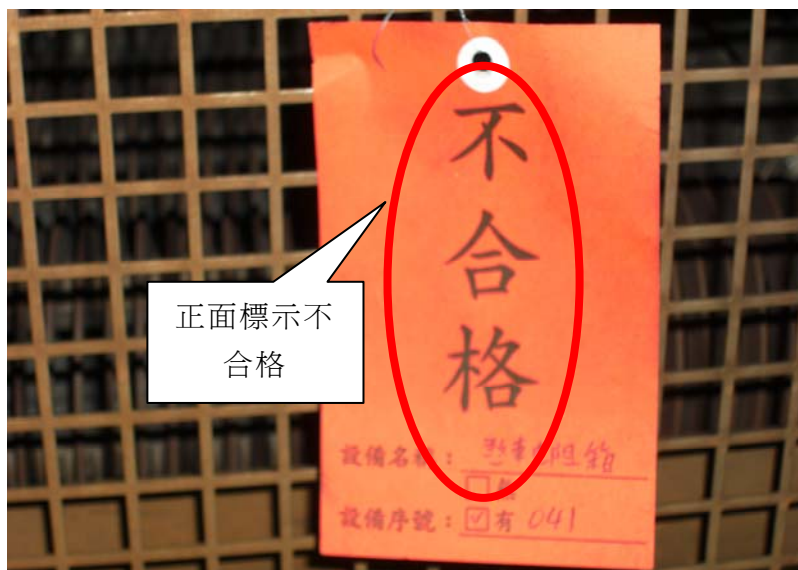


b. 正面標示不合格



c. 背後註明:

工單號碼、修理人員名字及不合格原因



(2) 綠色標籤為合格組件

a.合格區標示放置區



b.正面標合格



c.背後註明：

工單號碼、修理人員名字及完工日期。



d.合格品封裝



(3) 各備品可用數量顯示板

301型電聯車可修件備品使用狀況

項次	品名	備品數量		備註	項次	品名	備品數量	
		合格	不合格				合格	不合格
1	變換器控制板	0	0	零件損壞	20			
2	變換器控制板(主用)	25	0		21			
3	變換器控制板(副用)	0	0	零件損壞	22			
4	變換器控制板(主用)	4	0		23			
5	電容控制板	0	0		24			
6	變換器控制板(主用)	0	0		25			
7	線開關箱	3	0		26			
8	變換器控制板(主用)	0	0		27			
9	變換器控制板(副用)	0	0		28			
10	變換器控制板	0	0		29			
11	電氣式聯結器	0	0		30			
12					31			
13					32			
14					33			
15					34			
16					35			
17					36			
18					37			
19					38			

空調股馬達班可修件管理

301型電聯車					341型電聯車				
項次	可修件品名	料號	備品數量	備註	項次	可修件品名	料號	備品數量	備註
01	01	...	...	...	...
02	02	...	...	...	...
03	03	...	...	...	...
04	04	...	...	...	...

321型電聯車					371型電聯車				
項次	可修件品名	料號	備品數量	備註	項次	可修件品名	料號	備品數量	備註
01	01	...	...	...	...
02	02	...	...	...	...
03	03	...	...	...	...
04	04	...	...	...	...

(4) 待檢區



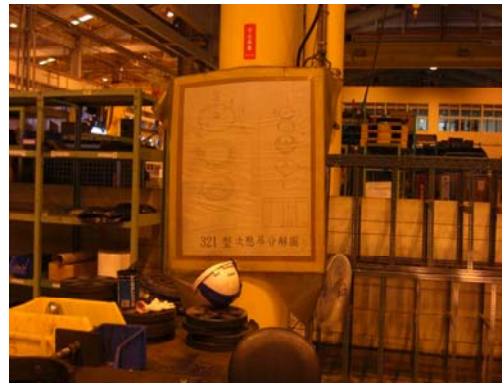
(5) 報廢品



8、現場各組件及設備工作說明表



二次簧分解說明圖



二次簧測試說明圖



牽引馬達組裝設備



空壓機測試說明



電子自動測試設備說明



電子自動測試設備說明



電子自動測試設備說明

9、捷運北投大修廠有各類證照及訓練管制版



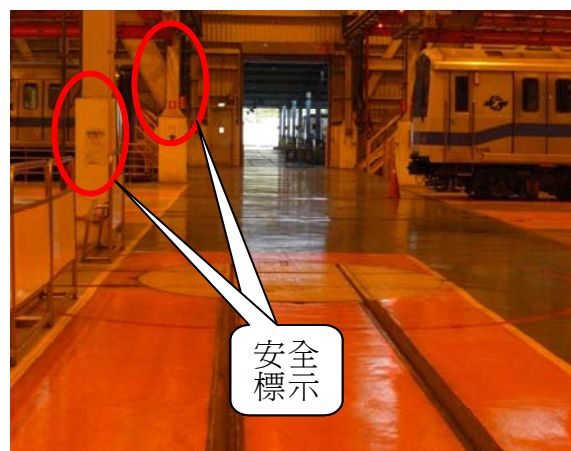
10、採用節省人力/物力之車輛設備

臺北捷運公司煞車系統均採用車輪電軔碟式煞車系統，故不用經常更換煞車軔塊且其轉向架均使用同一款式，維修備料單純化，節省非常多之人力，而本局為車輪踏面式煞車，其普通鑄鐵閘瓦使用壽命 30 天，US 鑄鐵閘瓦使用壽命 3 個月，合成閘瓦使用壽命 5 個月(若使用電軔可延長使用壽命至 12 個月)。



碟煞煞車系統

11、工安：凡具有為危險性之工作場所，皆有警告標示。



12、維護車輛整潔：除了例行性清掃工作，並嚴格要求員工穿著隔離衣，以防再次污染車廂內部環境。



13、現場各處張貼工廠佈置圖：工作現場皆有標示清楚之配置圖，以明動線。

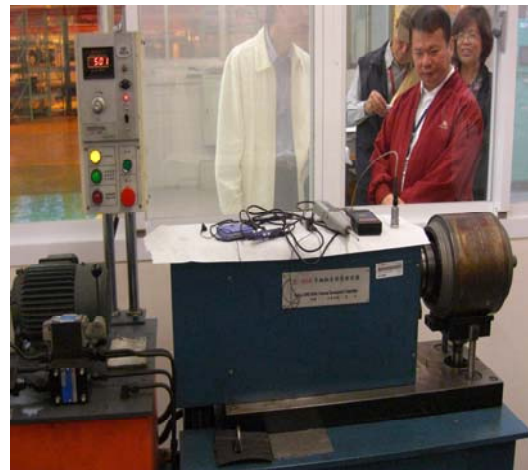


空調工場配置圖



轉向架工場配置圖

14、本局人員參訪情形：維修完成之零組件，務必經過嚴格之測試與校正，以確保使用至下依次大修安全無虞。





六、採取改革行動

此階段的目標是完成一份臺北捷運北投機廠標竿學習報告，並從中找出可作為改善車輛故障及保養流程的機會，並就其因研發單位及管控物料節省費用之方法加以效仿，以應此行之標竿學習而使本單位脫胎換骨，煥然一新。同時確認後續展開行動的詳細步驟。



五階段標竿學習流程（The Five-Stage Benchmarking Model）

Spendolini 認為這五個標竿學習流程(如圖 3)是一個循環（circlar），而非一個直線式的流程圖（flowchart），因為一般的流程圖有其起點與終點，不符合循環的概念。標竿學習的資訊需要定期的評估，因為標竿學習對象的產品或流程是動態的（dynamic）、會隨時間改變的，基本概念在於標竿學習的流程是持續的改善。

而 Besty Weisendanger 在「Benchmarking Intelligence Fuels Management moves」一文中，提出另一簡化的標竿學習流程模型，共有四個步驟：

- 1、在特定的範圍內，瞭解與分析本身的流程與績效。
- 2、檢視組織內的其他部門或是其他公司，來發掘誰在流程上有卓越的表現。

- 3、透過調查來蒐集與分享資訊，包括了實地勘查（sites visits）及顧問。
- 4、分析所蒐集而來的資料，來瞭解該作業流程有多少比率適合自己應用。



標竿學習的步驟



臺北捷運公司連續 4 年榮獲全世界系統維修可靠度第一。

七、結論

臺北捷運公司在系統維修方面，雖然具備車種單純化與模組化之優勢，但本局車種繁多卻未必居於劣勢，只要彙整多國車輛設計概念，去蕪存菁並建立文獻以供技術傳承，再計畫性培育人才、提升技術人員素質，可即扭轉劣勢為優勢。

參考文獻

1. Bengt Karlof Kurt Lundgren Marie Edenfeldt (2002)，Benchmarking .胡瑋珊譯，標竿學習-向企業典範取經，三民書局。
2. EVERGREEN AVIATION TECHNOLOGIES CORP.長榮航太科技股份有

- 限公司（2008）航機維修概論，<http://www.egat.com.tw>。
3. EVERGREEN AVIATION TECHNOLOGIES CORP.長榮航太科技股份有限公司（2008）裝備維修概論，<http://www.egat.com.tw>。
 4. Michael Spendolini（1991），The Benchmarking Process。
 5. Spendolini（1992），The Benchmarking Book。

編後語

面對全球經濟的叱變，能源浩劫，世界各國莫不積極採取各種應變措施，期望能於變局中走出一條生路；鐵路運輸系統具有低耗能、低污染、運量大之特點，臺鐵為臺灣軌道運輸歷史最久，路線最長之經營管理者，對於技術資料之保存極力維護，並求在原來基礎下追求創新變革。

本期「臺鐵資料」內容及編排上，求能兼顧全面性之平衡，格式上儘量與各期刊相符，希望能在傳統上求突破，更能藉此帶動傳統鐵路以技術為根本之人員，能深入研究領域，結合為孕育整體軌道運輸能量。

機務處奉接此編輯任務，以兢兢業業及戒慎恐懼之心情在文字上爬行前進，步步為營，更本學習謙卑之態度與精神，希望能為臺鐵資料留下一點可供後人參考之足跡；為礙於時間有限，倉促間難免有錯或不完整，倘祈各位見諒，更感謝歷代前輩先進的指導協助與斧正。

徵稿須知

臺鐵資料約稿

1. 為將軌道運輸寶貴的實務經驗及心得紀錄保存，並提供經驗交換及心得交流的平臺，以使各項成果得以具體展現，歡迎國內外軌道界人士、學術研究單位及本局相關人員踴躍投稿。
2. 本資料刊載未曾在國內外其他刊物發表之實務性論著，並以中文或英文撰寫為主。著重軌道業界各單位於營運時或因應特殊事件之資料及處理經驗，並兼顧研究發展未來領域，將寶貴的實務經驗或心得透過本刊物完整記錄保存及分享。來稿若僅有部分內容曾在國內外研討會議發表亦可接受，惟請註明該部分內容佔原著之比例。內容如屬接受公私機關團體委託研究出版之報告書之全文或一部份或經重新編稿者，惠請提附該委託單位之同意書，並請於文章中加註說明。
3. 來稿請力求精簡，另請提供包括中文與英文摘要各一篇。中、英文摘要除扼要說明主旨、因應作為結果外，並請說明其主要貢獻。
4. 本刊稿件將送請委員評審建議，經查核通過後，即予刊登。
5. 來稿文責由作者自負，且不得侵害他人之著作權，如有涉及抄襲重製或任何侵權情形，悉由作者自負法律責任。
6. 文章定稿刊登前，將請作者先行校對後提送完整稿件及其電腦檔案乙份(請使用 Microsoft Word97 以上中文版軟體)，以利編輯作業。
7. 所有來稿(函)請逕寄「10041 臺北市中正區北平西路三號五樓，臺鐵資料編輯委員會」收。電話：02-23815226 轉 3338；傳真：02-23831367；E-mail：tr767491@msa.tra.gov.tw。

「臺鐵資料」撰寫格式

中文題目 (中文標題字型大小為 **18 點字粗體**，置中對齊，與前段距離 **1.5 列**，與後段距離 **0.5 列**，單行間距。)

TITLE (英文標題字型大小為 **16 點字粗體**，置中對齊，與前後段距離 **1 列**，單行間距。)

中文姓名 English Name¹

中文姓名 English Name²

聯絡地址及電話 (電子信箱)

摘要 (字型大小為 **16 點字粗體**，置中對齊，與前段距離 **1 列**，與後段距離 **0.5 列**，單行間距。)

摘要內容 (中文字型大小為 12 點字；英文字型大小為 12 點字斜體，左右縮排各 2 個字元，第一行縮排 2 個字元。與前、後段距離 0.5 列，左右對齊，單行間距。)

關鍵詞 (字型為中黑體為粗體 12 點字)：關鍵詞 (字型為中黑體 12 點字，關鍵詞 3 至 5 組。)

Abstract

Abstract

Keywords (*Times New Roman 粗體*): **Keyword** (關鍵詞字型為 *Times New Roman*，關鍵詞 3 至 5 組。)

標題 1 (字型為 16 點字粗體，與前、後段距離 1 列，置中對齊，單行間距，以國字數字編號 **【一、二】**。)

內文 (字型大小為 12 點字。第一行縮排 2 個字元，與前、後段距離為 0.25 列，左右對齊，單行間距。文中數學公式，請依序予以編號如：(1)、(2)。

標題 2 (字型為 14 點字粗體，與前、後段距離 1 列，左右對齊，單行間距，以數字編號 (**【1.1、1.2】**)。)

內文 (字型大小為 12 點字，左右對齊，與前、後段距離為 3 點，單行間距。第一行縮排 0.85 公分 (兩字)。文中數學公式，請依序予以編號如：(1)、(2)。

圖片標示：

圖 1 圖名 (圖名字型大小為 12 點字，置中對齊，圖之說明文字置於圖之下

1. 中央大學土木系教授 (聯絡地址：320 桃園縣中壢市五權里 2 鄰中大路 300 號，電話：03-4227151，E-mail:author@cc.ncu.edu.tw)。

2. 中央大學土木系碩士。

方，並依序以阿拉伯數字編號 (圖 1、圖 2)。

標題 3 (字型為中黑體 12 點字**粗體**，與前、後段距離 0.75 列，左右對齊，單行間距，以數字編號 (1.1.1、1.1.2))

內文 (字型大小為 12 點字，左右對齊，與前、後段距離為 3 點，單行間距。第一行縮排 0.85 公分 (兩字)。文中數學公式，請依序予以編號如：(1)、(2)。

表 1 表名 (表名字型大小為 12 點字，置中對齊，表之說明文字置於表之上，並依序以阿拉伯數字編號 (表 1、表 2)。

表內容

參考文獻

1. 王永剛、李楠 (2007)，「機組原因導致事故徵候的預測研究」，中國民航學院學報，第廿五卷第一期，頁25-28。
2. 交通部統計處 (2006)，民用航空國內客運概況分析，擷取日期：2007年7月27日，網站：
3. http://www.motc.gov.tw/ana/20061220173350_951220.wdl。
4. 交通部臺灣鐵路管理局 (2007)，工程品質管理手冊。
5. 汪進財 (2003)，我國航空保安發展策略之研究，交通部科技顧問室委託研究。
6. 林淑姬、黃櫻美 (2006)，關係資本之衡量與管理，收錄於智慧資本管理，鄭丁旺 (編)，頁249-271，臺北：華泰文化。
7. 洪怡君、劉祐興、周榮昌、邱靜淑 (2005)，「高速鐵路接駁運具選擇行為之研究－以臺中烏日站為例」，中華民國運輸學會第二十屆學術論文研討會光碟。
8. Duckham, M. and Worboys, M. (2007), Automated Geographical Information Fusion and Ontology Alignment, In Belussi, A. et al. (Eds.), Spatial Data on the Web: Modeling and Management, New York: Springer, pp. 109-132.
9. FHWA (2006), Safety Applications of Intelligent Transportation Systems in Europe and Japan, FHWA-PL-06-001, Federal Highway Administration, Department of Transportation, Washington, D.C.
10. Lan, L. W. and Huang, Y. S. (2005), "A Refined Parsimony Procedure to Investigating Nonlinear Traffic Dynamics," Proceedings, 10th International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies, pp. 23-32.
11. Menendez, M. and Daganzo, C. F. (2007), "Effects of HOV Lanes on Freeway Bottlenecks," Transportation Research Part B, Vol. 41, No. 8, pp. 809-822.

刊名：臺鐵資料

刊期頻率：季刊

出版機關：交通部臺灣鐵路管理局

機關地址：10041臺北市中正區北平西路3號5樓

機關電話：(02)23899854

網址：<http://www.railway.gov.tw>

編者：臺鐵資料編輯委員會

出版日期：中華民國98年03月

創刊日期：中華民國52年10月

版次：初版(電子全文同步登載於臺鐵網站)

定價：新臺幣200元

展售門市：

(1) 國家書店松江門市

地址10485臺北市松江路209號1樓 TEL：(02)25180207

國家網路書店：<http://www.govbooks.com.tw>

(2) 五南文化廣場(<http://www.wunanbooks.com.tw>)

地址：40042臺中市區中山路6號 TEL：(04)22260330

GPN：2005200020

ISSN：1011-6850

著作財產權人：交通部臺灣鐵路管理局

本書保留所有權利，欲利用部份或全部內容者，須徵求著作財產權人書面同意或授權。