

捷運輸胎最適里程限制之研究

藍俊雄^{1*}

Chun-hsiung Lan

李孟軒²

Meng-shuang Lee

賈子寬³

Tzu-kuan Chia

周莉坦³

Li-tan Chou

¹南華大學企管系 (* 聯絡作者 e-mail : chlan@mail.nhu.edu.tw)

Department of Business Administration, Nanhua University

²南開技術學院資訊管理系

Department of Information Management, Nankai College

³東南技術學院工業管理系

Department of Industrial Management, Tungnan Institute of Technology

摘要

本研究構建一成本函數，針對考慮捷運輸胎成本以及捷運爆胎事件發生時所造成的損失成本來加以討論。再藉由範例加以完整描述與構建出本研究之應用性。另外，透過動態電腦化決策工具之建立，以求取最佳解。而對於各項重要參數的變動對於最佳解改變的敏感性分析亦在本文中探討。本研究著實提供給捷運公司一個更換輪胎的里程數之參考依據與準則，亦可為捷運公司在成本管理上提供一快速與最適成本的動態電腦化決策工具。

關鍵字：成本函數；決策工具；敏感性分析；成本管理。

Abstract

This study is to construct a cost function with the considerations of MRT tire cost and loss cost while the tire explosion happens. In addition, the case study is proposed to describe the applicability of this work. Moreover, the dynamic computerized decision tool is developed for easily reaching the optimal solution. This study not only provides a decision criteria and reference for MRT firm to determine the running

limitation of the MRT tires, but also offers a dynamic computerized decision tool for quick reaching the optimal cost in MRT firm to execute the cost management.

Keyword : cost function ; decision tool ; sensitivity analysis ; cost management.

壹、前言

相信大多數的台北市民都還記得，前幾年的交通黑暗期；這段期間一直是台北市民的夢靨，每逢上下班期間使得交通幹道宛如若大的停車場。直到台北捷運一條一條逐漸通車之後，台北市的交通也漸趨獲得改善。當初，台灣交通史上第一條捷運，木柵線，卻是差點難產；因捷運木柵線在完工測試期間，遭遇到火燒車、爆胎、出軌、帽樑裂縫等問題，可說是問題重重。最後於民國 84 年 3 月 10 日至 5 月 15 日由木柵線總體檢委員會〔由民間推薦國內外公正客觀之專業人士組成〕提出捷運體檢紅皮書，要求捷運局及台北捷運公司改善，並於民國 85 年 3 月 28 日通車營運。經過這麼多的風風雨雨，捷運雖已通車營運，但就營運後接踵而至的成本控制問題亦因應而生。

自捷運板南線通車以來，使得捷運木柵線的轉運量提高許多；目前每日捷運木柵線平均旅客運輸量約達到 89,300 人次。捷運公司為考量已發生的多次爆胎事件對營運品質及旅客權益造成的影響，因此對電聯車輪胎之使用里程限制不斷的降低，營運品質自然提昇。相對地，此舉亦使得輪胎成本大幅地增加。因此，本研究將以爆胎事件的成本與輪胎成本進行構建成本函數，擬制定出最適的輪胎里程限制，以達成最低總成本的目標。

許多研究均論及成本函數之構建與應用，例如：Translog 成本函數被用來分析證券商；並發現證券商為達到最適規模時，應擴大業務範疇，且進一步的可

使成本下降 (黃英哲, 2000)。另外, 成本函數亦被運用在探討台灣農會信用部之成本效率 (賴勇賓, 2002); 在其研究顯露出, 小型農會信用部之成本效率優於大型農會信用部。再者, 若在成本函數中加入隨機變數之後, 發現農會信用部存在跨期效果, 惟跨期效果為正值即代表農會信用部之成本隨時間增加而增加。

更有研究利用概似比檢定超越對數成本函數, 估算民國七十二年至民國八十八年國內五大商港之產出及成本資料, 並建構隨機邊界成本模式 (黃玉梅, 2001)。其研究中顯現出各商港經濟效率之高低與各商港港埠規模之大小有著極大的相關聯性, 也就是說, 規模愈大之港埠港口其經濟效率愈低, 反之, 則愈高。諸如這些研究, 再再都強調出成本函數對各不同企業之重要性。

另有研究, 建構出各轉運站不同的配送範圍、規模及週期之差異化配送策略之平均運銷成本函數模式 (蔣敏玲, 1999)。其研究結果顯現出運用差異化配送策略之企業其配送成本較低。更進一步, 由其研究得知, 成本函數模式的建構有助於企業決策最適成本策略之參考依據。另有研究以聯合存貨模式為基礎, 納入可調式之訂購成本, 並針對幾種基本的供應鏈存貨系統構建量化模式, 藉以分析降低訂購成本對於供應鏈存貨決策與存貨成本之影響 (徐淑如, 2000)。其研究結果顯示, 單就存貨成本的節省即可確認出調降訂購成本的可行性。綜合上述之論點, 成本函數的建構對企業成本決策參考時, 扮演著十分重要的角色。

成本函數的重要性, 已在前述各研究中確認。而資源有效之利用也會伴隨成本之改變。另有論文以資源有效運用的觀點探討國道客運最適座位數。其研究中應用等候理論於客運排班, 並藉此構建出最適座位數模式 (薛富謐, 2002)。其結果發現路線距離愈長、顧客需求量愈大, 班車應配置較多的座位數, 以減少車隊規模成本, 方可使得總成本達最小化。由此可知, 資源有效之運用可使成本減

少。也有研究闡述到有效的資源應用可提高企業之服務品質與水準(曾育培，2001)。整體說來，有效之資源運用可對成本造成某種程度的影響。而成本函數的建構，亦對企業在管理與策略決策的參考上扮演不可或缺的角色。

有限元素模型被應用，並使用有限元素軟體 (ANSYS) 來建立輪胎模型，以模擬輪胎充氣及壓到地面後的變位與負載分佈情形 (黃義明，1999)。其研究發現輪胎充氣後在胎腹有較大的變位，且在胎唇附近有應力集中現象，而且應力集中現象長久作用於胎唇附近加上輪胎的使用率，不斷的增加常常是造成爆胎的因素。此外，另一研究中也發現了此一現象的存在 (黃義雄，1997)。因此電聯車輪胎的使用率(里程數之多寡)對爆胎事件發生的機率有著絕對的影響。因此若將輪胎里程數限制下降，亦即增加更換輪胎的頻率，將有助於爆胎事件發生機率的下降。但相對地更換輪胎的頻率增加，其輪胎成本勢必增加，若更換輪胎的頻率減少，雖輪胎成本減少，但若爆胎事件發生時，亦相對地造成其他成本的上揚。本研究有鑑於此，同時考量爆胎事件所造成的各項成本與輪胎本身的成本，構建出一成本函數，並藉由此函數尋求最適輪胎里程限制。

貳、考量因素

本研究以台北捷運公司歷年來各種不同的輪胎里程限制數與所需之輪胎成本進行討論，並與歷史資料中爆胎事件的所損失的成本來進行成本函數之構建；希以求出最適成本下之輪胎里程限制。因此本研究所需蒐集之資料如下：

- 輪胎所需之成本
- 每次爆胎事件發生時造成的損失成本；本項成本包含了：全線無法營運的損失成本，旅客的車資補貼造成的成本，爆胎損壞之零件成本，

電聯車維修期間無法營運之損失成本，以及維修電聯車所需之人力成本。

本研究將上述資料蒐集後，將其彙整後建構出一成本函數，以求最低成本下之最適輪胎里程限制。以下將這些成本衡量的方式列述如下。

一、輪胎成本

設 n 為擬提出之每個輪胎之里程限制，且每條輪胎的成本為 H 元，每年每對車之平均行駛里程為 L 公里。因此，每年每對車所花費的輪胎成本為 $\frac{LH}{n}$ 元。

二、損失成本

(一) 全線無法營運的損失成本

假設捷運的營運時間為 h 小時，每天平均搭乘人次為 b ，每個旅客的平均票價花費為 c 元。因爆胎造成無法營運的平均時間長度為 T ，則其收入損失為

$$\frac{bcT}{h}。$$

(二) 旅客的車資補貼造成的成本

當爆胎事件發生，在車上的每位旅客皆可獲得 p 元車資補償，又發生爆胎時當線營運的列車數為 g ，每對車的平均載客人數為 a 人，而每一列車由 2 對車所組成。因此其賠償成本為 $2agp$ 元。

(三) 爆胎損壞之零件成本

電聯車所使用的輪胎，並不是像汽機車一樣填充空氣；而是填充高壓的氮氣 (11bar,160psi)。所以當爆胎事件發生時，產生的衝擊力相當強大，足以損壞電聯車輪胎的周邊機電設備。因此考慮平均每次爆胎的零件成本為 E 元。(此項成本由歷年資料平均而得)

(四) 電聯車維修期間無法營運之損失成本

假設電聯車之維修天數為 d 天，每天平均每對車之發車次數為 m 班次，其中每一班次每對車的平均載客人數為 a 人。因此，電聯車維修期間無法營運之損失成本為 $acmd$ 元。

(五) 維修電聯車所需之人力成本

平均電聯車之維修之人力成本為 W 元。(此項成本由歷年資料平均而得)

綜上所述，當電聯車發生爆胎時所有損失的成本為：

$$\left[\frac{bcT}{h} + 2agp + E + acmd + W \right] \quad (1)$$

為求便於呈現，並令式(1)以符號 Q 表示。亦即

$$Q = \left[\frac{bcT}{h} + 2agp + E + acmd + W \right]。$$

參、成本函數之建構

首先 $\frac{B}{A}$ 表示每年平均的爆胎次數，其中分母 A 代表資料期間使用 A 年，而

分子 B 則代表 A 年來，發生爆胎的次數。另外式中 $\frac{n}{C}$ 中之分母 C 代表歷年來每

個輪胎平均之替換公里數。 Q 代表電聯車每次爆胎事件發生時之平均損失成本。

因此 $\frac{B}{A} \times \frac{n}{C} Q$ 代表在 n 里程限制下時，每年每對車的平均損失成本。再者 $\frac{LH}{n}$

則代表每對車在輪胎里程限制為 n 下時，每年每對車更換輪胎所造成的輪胎本身的成本。

綜上所述，本研究將成本函數建構如下：(註：本函數代表在 n 里程限制下每對車之年成本)。

$$F(n) = \frac{B}{A} \times \frac{n}{C} \times Q + \frac{LH}{n}$$

肆、最佳解之求取

首先對 $F(n)$ 函數做二階導數，可得 $\frac{d^2 F(n)}{dn^2} = \frac{2LH}{n^3}$ ，其中 $\frac{2LH}{n^3} > 0$ ，根據最佳化理論，此函數為一凹函數，而當其函數之一階導數為零時，所得之解必使此函數之值最小化。因此

$$0 = \frac{dF(n)}{dn} = \frac{B}{AC}Q - \frac{LH}{n^2} \quad (2)$$

之關係必定存在，由式(2)整理可得

$$\frac{ACLH}{BQ} = n^2$$

因此

$$n = \sqrt{\frac{ACLH}{BQ}} \quad (3)$$

式(3) 表示出最適輪胎里程限制 n 之參數式為 $\sqrt{\frac{ACLH}{BQ}}$ 。

伍、敏感性分析

由式(3)得知，當平均每年爆胎次數 $\frac{B}{A}$ 愈大則 n 趨向愈小，這正說明了當每年平均爆胎事件增加時，輪胎限制里程應動態地變動調小。另外，當 C 、 L 或 H

增加，則 n 相對地應調大些。不容置疑地，當平均每年每對車需跑的公里數增加，或輪胎本身成本上升時，最適的輪胎里程限制，應傾向調大以維持低成本的營運優勢。再者，式(3)亦顯露出當歷年平均輪胎更換里程數變大時，輪胎之最適里程限制，也傾向調大。最後當 Q 變小時，則 n 可相對應地調大，這說明了當電聯車每次爆胎之平均損失成本下降時，則最適輪胎里程限制可因應調高。各參數對於最佳解所造成的變動情形整理如表 1 所示：

表 1. 參數變動對最適里程數變化之情形

參數	$\frac{B}{A}$	Q	C	L	H
n	-	-	+	+	+
備註	-：參數與最適里程數成反比 +：參數與最適里程數成正比				

陸、範例

一、輪胎成本

本範例舉捷運木柵線為例，並收集近四年所發生的五次爆胎事件為資料，求得每個輪胎平均行駛 98,452 公里即遭更換。而每條輪胎的成本為 50,000 元。每對車擁有 8 個輪胎，且每對車每天需跑 10,000 公里。因此每對車所有輪胎每年需跑 29,200,000 公里。

二、損失成本

(一) 全線無法營運的損失成本

捷運的營運時間自上午 6 點至晚間 12 點，總計 18 小時。根據統計，平均每天有 89,300 人次搭乘，旅客的平均票價為 30 元。根據資料計算(見表 2)，因爆胎造成無法營運的平均時間為 2.156 小時，而其損失為：

$$\left[\frac{89,300}{18} \right] \times 30 \times 2.156 = 320,884.66 \text{ 元。}$$

(二) 旅客的車資補貼造成的成本

當爆胎事件發生時，依台北捷運公司規定，事件發生後，在車上的每位旅客皆可獲得 100 元車資補償。根據統計資料，每對車上平均約有 98 人，而捷運線上平均保持有 9 列車(18 對車)在同一線上(木柵線)行駛。因此事件發生時線上約有 1,764 人〈18 對車×98 人〉。所以賠償旅客的支出成本為 100 元×1,764 人=176,400 元。

(三) 爆胎損壞之零件成本

表(2) 顯示出五次爆胎事件所損失成本明細及時間。

由資料顯示，平均每次爆胎事件發生造成的零件成本為 590.8 萬元，且平均每次所需的搶修時間(亦即爆胎時無法營運的時間)為 2.156 小時。

表 2. 歷年 5 次爆胎事件發生之損失成本明細與搶修時間

		零件項目							總價 (萬元)	搶修 時間 (小時)
		輪胎 組	馬達	轉轍 輪	車軸	煞車 碟	集電 靴組	轉向 架組		
第一次爆胎	數量	1	1	2	1	1	1	1	668	3.083
	價格(萬元)	47	280	30	200	18	15	78		
第二次爆胎	數量	1	1	0	1	1	1	0	560	1.6
	價格(萬元)	47	280	0	200	18	15	0		
第三次爆胎	數量	1	1	2	0	1	1	0	390	2.017
	價格(萬元)	47	280	30	0	18	15	0		
第四次爆胎	數量	1	1	2	1	1	1	1	668	2.516
	價格(萬元)	47	280	30	200	18	15	78		
第五次爆胎	數量	1	1	2	1	1	1	1	668	1.566
	價格(萬元)	47	280	30	200	18	15	78		
平均(萬元)		47	280	48	160	18	15	46.8	590.8	2.156

(四) 電聯車維修期間無法營運之損失成本

當爆胎發生後，故障車輛需運回維修場進行檢修工作。當維修人員評估損壞程度後，即進行維修工作。而待料時間與更換時間卻是免不了花上 5 至 10 數個工作天不等。維修妥善後還必須經過 3 工作天的測試後才可回線上營運。下表顯示五次爆胎事件，維修故障車輛所需花費的總天數，由表(3) 中可知平均之維修時間為 10.4 個工作天。

表 3. 五次爆胎事件之維修天數

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
待料及更換天數	10	6	5	8	8	7.4
測試天數	3	3	3	3	3	3
總天數	13	9	8	11	11	10.4

根據統計，木柵線每天發車班次為 400 班次。而木柵線擁有 51 對電聯車；平均每天有 89,300 人次。每位旅客平均票價為 30 元。因此，每天平均每對車之發車次數為 7.84 班次 (400 班次/51 對) 每對車的載客人數為 98 人 因此電聯車在維修期間無法營運之損失成本為 239715.84 元 (98 人×30 元×7.84 班次×10.4 天)。

(五) 維修電聯車所需之人力成本

維修電聯車的維修人員共需 15 人，而電聯車的維修人員每月薪資為 40,000 元。因此，維修人工平均每日薪資約為 1333.33 元 (40,000 元/30 天)。故電聯車維修之平均人力成本為 (40,000 元/30 天)×15 人×10.4 天= 208,000 元。

將上述參數帶入式(3)，可得 $n = 129,536.84$

因此，輪胎之最適里程限制為 129,536.84 公里。圖 1 為電腦化決策工具之輸入視窗，本範例之最佳解亦顯現在本視窗上。



圖 1.電腦化決策工具之輸入視窗(視窗上之數據為本節之範例)。

再將本節範例之各項參數代入第三節所建之成本函數中，藉由 Microsoft Excel，可得此成本函數式為：

$$F(n) = 2 \times 10^{-26} n^6 - 6 \times 10^{-20} n^5 + 6 \times 10^{-14} n^4 - 3 \times 10^{-8} n^3 + 0.0083n^2 - 1049.8n + 7 \times 10^7$$

另外，再以 n 為橫軸， $F(n)$ 之值為縱軸，可將此成本函數繪製如圖 2 所示。

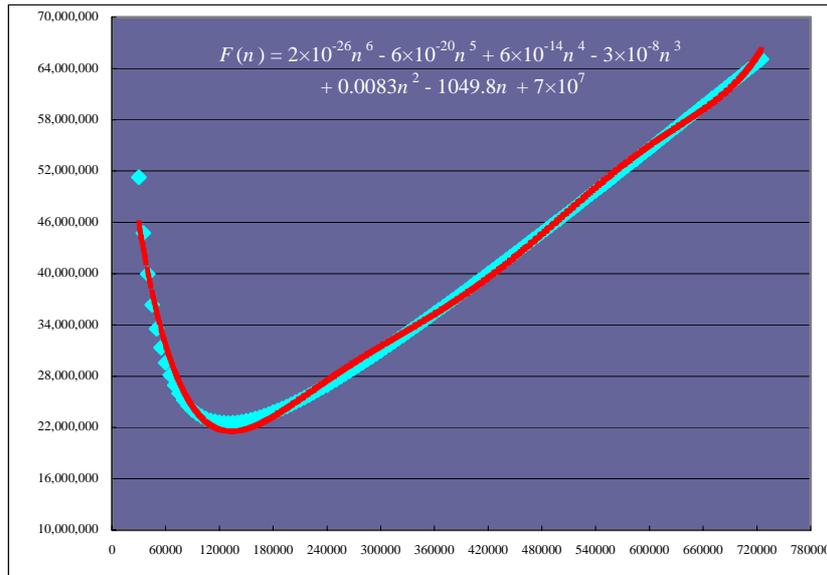


圖 2. 數值範例之成本函數曲線圖(深色實線為配適出之成本函數)。

柒、結論

本研究主要是制定台北捷運公司現行木柵線電聯車之輪胎里程限制作為其參考之報廢標準；本研究對於台北捷運公司而言，乃考量安全性之前提下，以追求其輪胎與損失成本之總和最小化為目標，也為現行混亂的輪胎里程限制報廢標準制定一套有依據的參考模式。對於爾後木柵線的延伸線-內湖線，或者只要使用與木柵線相同的捷運系統，其輪胎報廢的里程就有所依據，不必遇到爆胎事故就以無目標地降低輪胎限制里程以做為因應之對策。

另外，本研究亦對所舉之例子配適出其成本函數式。此函數式可讓捷運公司在做輪胎里程限制調整時，對額外所需支付或減省的總成本提供出一有效的判斷依據。再者，本文亦針對各項重要參數改變對最佳解(輪胎里程限制)所造成的影響(敏感性分析)提出了完善的討論，事實上，也對充滿不確定的未來提供了一動態反映決策之參考。換言之，隨著不斷改變的環境，本研究著實為捷運公司在輪

胎里程限制之制定上提供了一動態的電腦化決策工具。

參考文獻

- (1) 黃英哲，2000，證券商競爭分析與合併策略之研究--Translog 成本函數之應用，台北大學企業管理學系碩士論文。
- (2) 賴勇賓，2002，台灣農會信用部之成本效率分析，逢甲大學經濟學系碩士論文。
- (3) 黃玉梅，2001，臺灣地區五大商港經濟效率比較之研究-隨機邊界成本函數之應用，海洋大學航運管理學系碩士論文。
- (4) 蔣敏玲，1999，網路購物商品之配送策略研究，交通大學運輸工程與管理系碩士論文。
- (5) 徐淑如，2000，降低訂購成本之供應鏈存貨模式，交通大學經營管理研究所博士論文。
- (6) 薛富溢，2002，國道客運最適座位數之研究，淡江大學運輸管理學系碩士論文。
- (7) 曾育培，2001，類神經網路於醫療業顧客失約預測之應用，台北科技大學生產系統工程與管理研究所碩士論文。
- (8) 黃義明，1999，輪胎與地面接觸之力學探討，成功大學工程科學系碩士論文。
- (9) 黃義雄，1997，輪胎爆胎的分析與改善，台灣大學機械工程學系碩士論文。