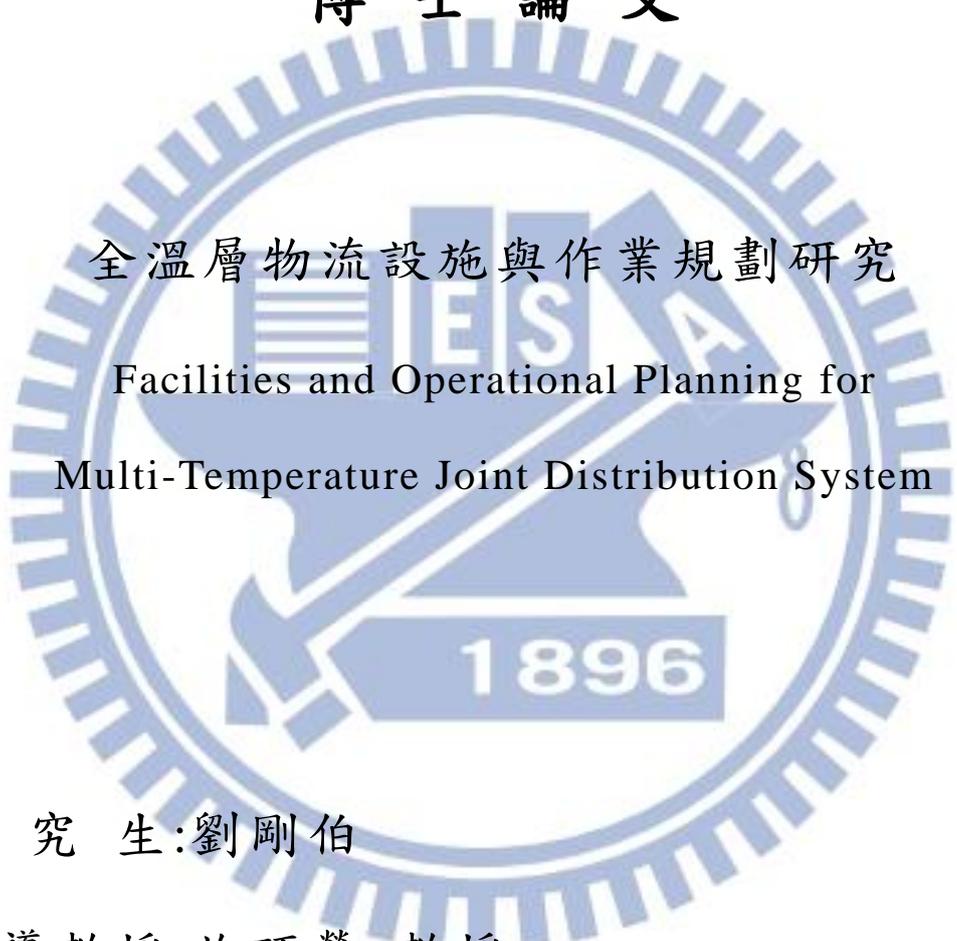


國立交通大學  
運輸科技與管理學系

博士論文



全溫層物流設施與作業規劃研究  
Facilities and Operational Planning for  
Multi-Temperature Joint Distribution System

研究生:劉剛伯

指導教授:許巧鶯 教授

中華民國一零一年十二月

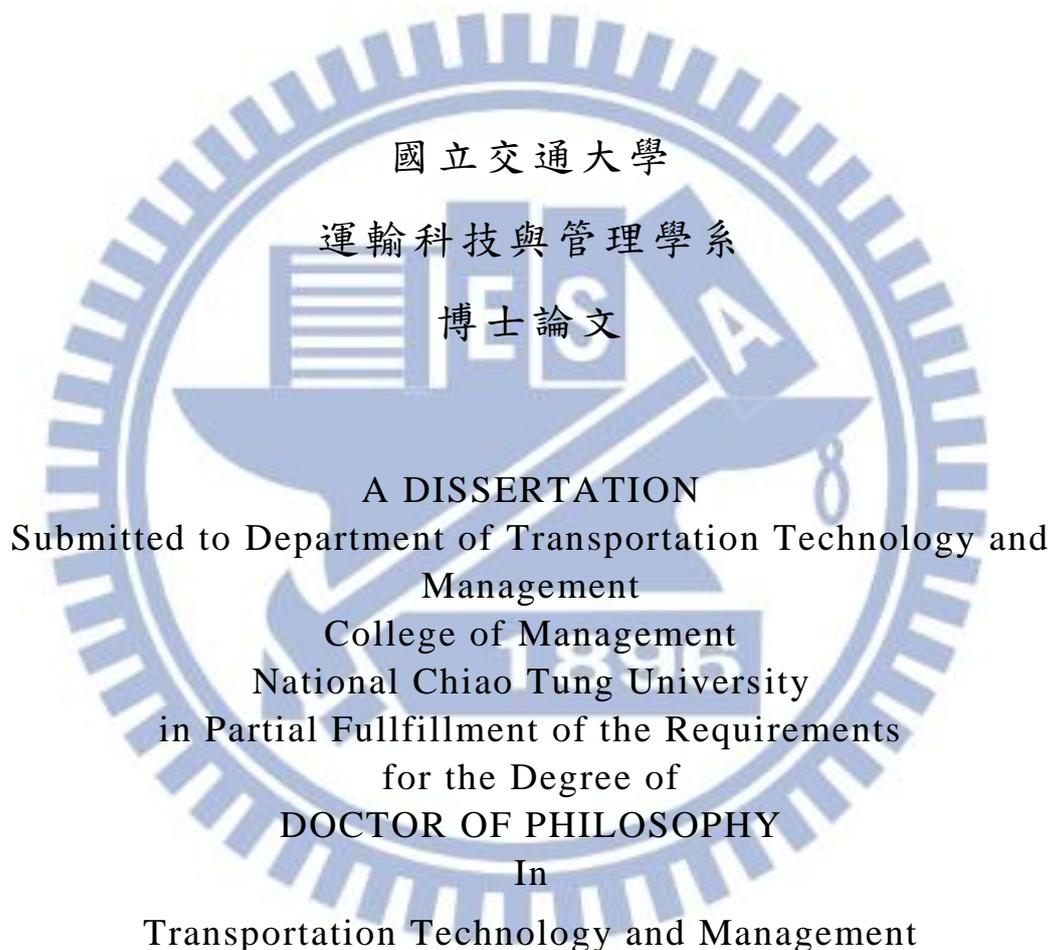
全溫層物流設施與作業規劃研究  
Facilities and Operational Planning for  
Multi-Temperature Joint Distribution System

研 究 生:劉剛伯

Student: Kang-Po Liu

指 導 教 授:許巧鶯 教授

Advisor: Prof. Chaug-Ing Hsu



December 2012

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一零一年十二月

# 全溫層物流設施與作業規劃研究

研究生:劉剛伯

指導教授:許巧鶯 教授

國立交通大學運輸科技與管理系博士班

## 摘要

近年來，隨著宅配服務與電子商務之興起，配送物品朝著多樣少量與多溫層的方向發展，該趨勢亦使物流業者對多溫共配之相關課題日益重視。除在運送貨物品質之控管問題外，全溫層物流於場站使用之技術類型、車輛型式、車輛大小、等中期設施規劃問題以及如何提升短期作業效率問題都是未來發展的重要課題之一。有關全溫層物流的文獻較為少見，其中以全溫層物流新技術的開發與應用佔大部分。目前常見之配送方式大致可分為單溫配送與多溫共配兩種，在貨運規劃相關文獻中，鮮少將各種物流技術與多溫層貨物同時納入考量與探討；另在提升短期作業效率相關研究中亦鮮少將儲位指派視為短期作業規劃問題，而儲位指派良窳卻可能是提升物流中心短期作業效率之重要關鍵。

本研究將針對中期設施規劃與短期作業規劃構建兩種模式探討全溫層物流在陸運上之營運規劃相關議題。中期設施規劃部分是假設場站區位與需求為已知條件下，以業者的角度，追求運輸成本與貨物處理成本所加總之總運送成本最小化為目標。運輸成本包含運具成本與場站成本，兩者均包含期初投資之固定成本與變動成本，並在滿足顧客需求下，求解業者所需投資之場站技術、車輛型式與大小等設施，以及在該設施投資下所搭配之最適貨物處理量、服務頻次與車輛路徑等。短期作業規劃部分則是假設場站貨物處理量適合採用傳統多車配送技術，並分別使用冷凍、冷藏與常溫之自動倉儲系統情境下，針對低溫食品特性建構兩階段動態儲位指派模式。第一階段指派先分析各種低溫食品隨著時間而快速腐敗之特性，而將越接近期限的低溫食品越先指派至中下游，且將過期之低溫食品移出儲位，進而瞭解空儲位分佈狀況；第二階段指派則考慮低溫食品具有需求量依時變動之特性，結合動態預測與第一階段指派之結果，將低溫食品指派至空儲位並使後續作業有效率的進行。

最後，本研究進行範例分析，在中期設施規劃部分，發現抽換式蓄冷保溫箱多溫共配技術適合需求量較小之場站、場站分布密集與營運範圍小之網路型態，亦較能因應外在環境變動趨勢。而傳統多車配送技術則因為具有規模經濟特性適合需求量較大之營運網路。在短期作業規劃部分，本研究結果證明所構建之模式，可使相同之低溫食品指派至相近的儲位以及使較接近出口/裝卸站之儲位的周轉率提昇，進而加強自動倉儲系統的揀貨效率；並可隨著低溫食品依時變動的特性，隨時改變儲位配置情形，使之更容易達到儲位高利用率之目標。以上結果可驗證本研究所構建的模式在實際應用上的可行性與模式發展之潛力。

**關鍵字：**全溫層物流、中期設施規劃、短期作業規劃、動態儲位指派

# Facilities and Operational Planning for Multi-Temperature Joint Distribution System

Student: Kang-Po Liu

Advisor: Prof. Chaug-Ing Hsu

Department of Transportation Technology and Management

National Chiao Tung University

## Abstract

The continued growth of demand on multi-temperature products and wide spread of timely customer demand has greatly contributed to the challenge of logistics carriers. Under the MTJD system and various deterioration of products, how to design a service strategy to serve consumers with distinct demand has become an important issue for a MTJD carrier to achieve cost effective while maintain the maximized customer satisfaction. In practice, the categories of the multi-temperature distribution system include single-temperature distribution and MTJD. Some studies have analyzed the problems on distributing regular and/or specific-temperature products but few of them focused on multi-temperature products. Past studies have largely discussed the development of techniques applied in the MTJD system. Moreover, in the field of physical distribution problems, the MTJD problem combined with techniques employed are seldom discussed. Furthermore, storage assignment could be considered as one of the most prominent factors in improving short-term operational efficiency of the distribution center, but storage assignment is often neglected in the short-term operational efficiency planning.

This study attempts to solve the issues related to multi-temperature distribution on land and is separated into two sections: mid-term facilities planning, and short-term operational planning. Assuming that terminal locations and demands are known, mid-term facilities planning aims to minimize the total delivery cost, tries to find the most suitable multi-temperature joint distribution system techniques, product handling quantity, vehicle type, vehicle size, vehicle route, and delivery frequency, and at the same time without sacrificing customer satisfaction. Distribution cost includes product handling and transportation costs. Transportation cost, included in the fixed and variable costs during the initial investment process can further break down into vehicle cost and terminal cost.

Under the automated storage and retrieval system and with the condition that terminals use traditional single-temperature distribution, short-term operational planning constructs two stages of dynamic storage assignment methods for refrigerated food. The first stage assignment assigns storage food to retailers and takes the overdue food out by analyzing the perishable properties of food according to its expiration time. The layout of occupied and vacant space will be obtained by this assignment. The second stage assignment combines the demand forecast results of various refrigerated items using dynamic grey predictions and the results of the first stage assignment. And continuously assigns different food items to empty space according to their forecasted demands efficiently.

Lastly, this study conducts analysis on series of cases studies and finds that in mid-term facilities planning, results indicate the model is feasible for facilities planning for MTJD. The replaceable cold accumulation and insulation box MTJD technique is suitable for operation networks with densely distributed terminals and uneven temporal and/or spatial demand distribution. For short-term operational planning, a simulated case study about practical automated storage and retrieval system is provided to demonstrate the feasibility and the results of applying the proposed model. The results show that the model developed in this study can result in higher space utilization as compared with those conventional models.

**Keywords:** Multi-Temperature Joint Distribution (MTJD); Mid-Term Facilities Planning; Short-Term Operational Planning; Dynamic Storage Assignment

## 誌謝

於 92 年 9 月進入交通大學運輸科技與管理系迄今已逾 9 年，從一開始對研究的懵懵懂懂至完成這篇論文，歷經考取國家考試、結婚、買房、生育子(女)及擔任主管等人生大事，也遭遇家人生病與過世等低潮，研究過程中更是遭遇到數不盡的挫折而曾有放棄的念頭，幸好有恩師許巧鶯教授之諄諄教誨與鼓勵，讓我能順利完成人生的另一項大事-學業，謹致上最誠摯的敬意與謝忱。

論文口試委員逢甲大學溫傑華教授、中華大學蘇昭銘教授、本校黃承傳教授、馮正民教授與邱裕鈞教授在百忙中撥冗審查，惠賜寶貴意見，謹此深致謝忱；修業期間承蒙任維廉教授、張新立教授、韓復華教授、卓訓榮教授、陳光華教授、吳水威副教授、吳宗修副教授、王晉元副教授、謝尚行副教授、高凱副教授、張隆憲副教授、黃寬丞助理教授、黃家耀助理教授、郭秀貴老師、李明山老師及林貴璽老師...等，於日常上及修課時給予的教導與鼓勵，謹致上誠摯的感謝。

感謝研究室曾經共同奮鬥的夥伴們，慧潔學姐、清成學長、幼屏學姐、志青學長、美珠學姐、憲宏學長、大乃學長、偉哲學長、鵬先學長、心玫學姐、佳紋學姐、耀慶、易呈、佩青、立弘、錦昌、國濬、昱樺、舜輔、維婷、律陞、法筑、維真、憲梅、惟茵、子萱與郁哲...等，我們曾一起奮鬥過、玩過、哭過、笑過，有太多美好回憶仍歷歷在目，慶幸有你們的陪伴，讓我在研究的道路上不曾感到孤獨。

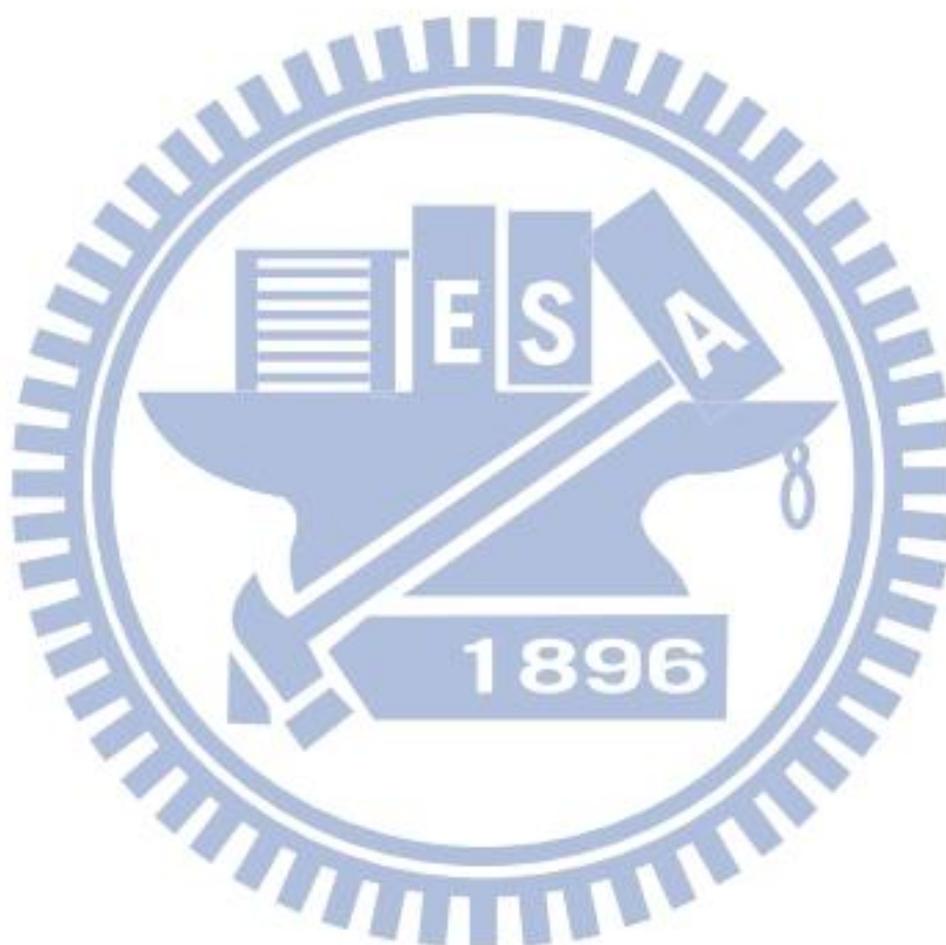
最後，我要感謝我的家人，尤其是我最親愛的老媽、老爸與老婆，您們是我完成這篇論文最大的推手，謹獻上這篇論文，希望能為家裡近日來的陰霾帶來滿滿的正面能量，讓我們共同面對未來的挑戰！

劉剛伯 謹誌

# 目錄

摘要 .....	i
Abstract.....	ii
誌謝 .....	iii
目錄 .....	iv
表目錄 .....	vi
圖目錄 .....	viii
符號說明 .....	x
第一章 緒論 .....	1
1.1 研究背景 .....	1
1.2 研究動機 .....	2
1.3 研究目的 .....	5
1.4 研究範圍 .....	6
1.5 研究架構與方法 .....	7
1.6 研究流程 .....	8
第二章 文獻回顧 .....	11
2.1 全溫層物流相關文獻 .....	11
2.2 營運規劃相關文獻 .....	20
2.3 軸輻網路相關文獻 .....	33
2.4 灰預測和分支定限法相關文獻 .....	41
第三章 模式構建 .....	45
3.1 全溫層物流設施規劃研究 .....	45
3.2 低溫物流自動倉儲系統動態儲位指派模式研究 .....	54
第四章 範例分析 .....	64
4.1 全溫層物流設施規劃研究 .....	64

4.2 低溫物流自動倉儲系統動態儲位指派模式研究 .....	75
第五章 結論與建議 .....	91
5.1 結論 .....	91
5.2 建議 .....	97
參考文獻 .....	99
簡歷 .....	112

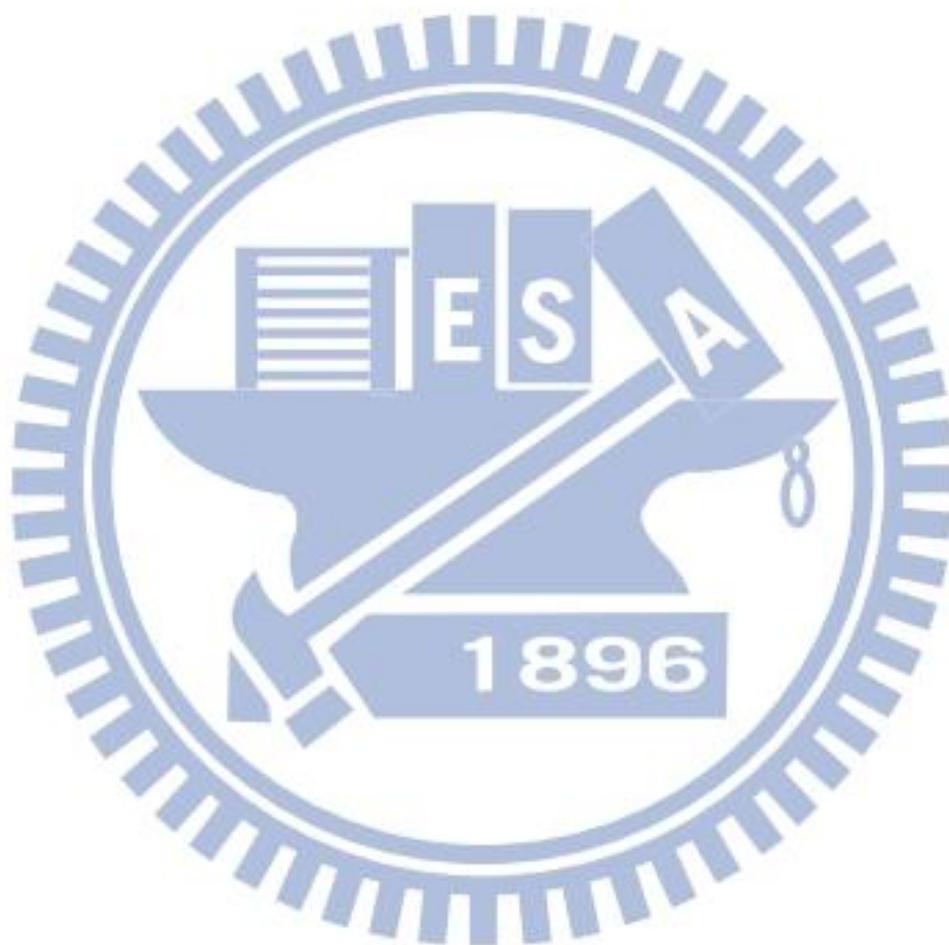


## 表目錄

表 1 各類食品所需保鮮之溫度分類 .....	3
表 2 全溫層物流相關研究 .....	19
表 3 全溫層物流技術之比較 .....	20
表 4 長期策略規劃相關研究－區位選擇與網路設計 .....	23
表 5 中期策略規劃相關研究－運具(車輛)選擇 .....	28
表 6 中期戰術規劃相關研究－服務路網設計 .....	29
表 7 中期戰術規劃相關研究－路徑選擇與車輛派遣 .....	29
表 8 中期戰術規劃相關研究－貨物排程 .....	30
表 9 軸輻網路之經濟效益相關研究 .....	36
表 10 層級式軸輻網路單一中繼站指派之相關研究 .....	39
表 11 純軸輻網路多重中繼站指派之相關研究 .....	40
表 12 中繼站與營業所 ( $t=1,2$ ) 場站設置與營運成本 .....	65
表 13 車輛購買與營運成本 (台幣) 之相關參數值 .....	66
表 14 原始範例結果-場站 .....	68
表 15 原始範例結果-車輛 .....	69
表 16 需求改變之結果 .....	70
表 17 使用多溫共配車輛比例與所有場站使用技術 $t=3$ 之總貨物處理量 .....	74
表 18 儲位 $i$ 至出口/裝卸站之距離成本 .....	78
表 19 於 $T$ 時段時用於第一階段指派之 $D_{\gamma}^{T+1}$ .....	79
表 20 於 $T$ 時段用於第二階段指派之 $S_{\gamma}^{T+2,3}$ .....	82
表 21 於 $T$ 時段所預測之需求量 $\widehat{D}_{\gamma}^{T+4}$ .....	85

表 22 儲位於  $(T+2)$  時段之利用率 ..... 89

表 23 儲位於  $(T+2)$  時段之流動率 ..... 90



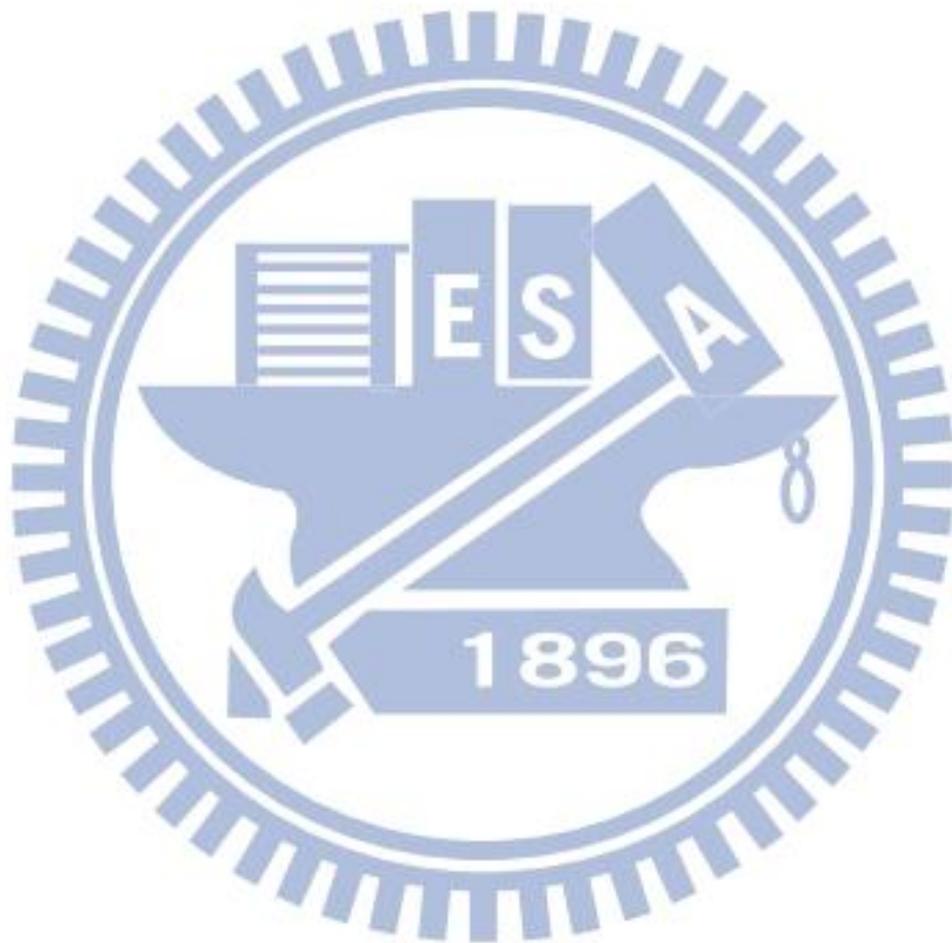
## 圖目錄

圖 1 實務上常見之配送方式示意圖資料來源：郭儒家[1].....	4
圖 2 研究架構圖 .....	9
圖 3 研究流程圖 .....	10
圖 4 傳統多車配送系統示意圖（資料來源：郭儒家[1]） .....	13
圖 5 機械式冷凍車廂區隔多溫共配系統示意圖（資料來源：郭儒家[1]） .....	14
圖 6 機電共用式保冷櫃多溫共配系統示意圖（資料來源：郭儒家[1]） .....	14
圖 7 抽換式蓄冷保溫多溫共配系統示意圖（資料來源：郭儒家[1]） .....	15
圖 8 蓄冷器（資料來源：工研院能資所） .....	15
圖 9 蓄冷保溫箱（資料來源：工研院能資所） .....	16
圖 10 蓄冷保溫櫃（資料來源：工研院能資所） .....	16
圖 11 凍結機（資料來源：工研院能資所） .....	17
圖 12 單一中繼站指派之層級式軸輻網路基本型式 .....	45
圖 13 車輛購買與營運成本與車輛路徑一天曾裝載最大貨物量之關係 圖 .....	50
圖 14 車輛成本演算法架構圖 .....	53
圖 15 兩階段儲位指派之示意圖 .....	56
圖 16 需求量改變之各項成本（單位：台幣元） .....	72
圖 17 場站相關成本與車輛成本參數之校估結果 .....	73
圖 18 嘉豐低溫物流中心自動倉儲系統之平面示意圖 .....	77
圖 19 本研究測試範例之自動倉儲系統示意圖 .....	81
圖 20 連續 13 個時段送至中下游之各低溫食品需求量變化圖 .....	86
圖 21 $T=4\sim 13$ 時段之各低溫食品預測需求量變化圖 .....	86

圖 22 於  $T = -1 \sim 9$  時段第二階段指派完成後各低溫食品平均之距離成本 ..... 87

圖 23 於  $T = -1 \sim 9$  時段第二階段指派完成後各低溫食品平均相距之距離成本 ..... 87

圖 24 於  $T = -1 \sim 9$  時段第二階段指派完成後低溫食品 2 與 3 平均相距之距離成本 ..... 88



## 符號說明

- $t$  : 表示使用之技術， $t=1$ 表示使用傳統多車配送技術， $t=2$ 表示使用機械式冷凍車廂區隔多溫共配技術， $t=3$ 表示使用抽換式蓄冷保溫多溫共配技術
- $\alpha^t$  : 表示使用技術  $t$  之單位場站貨物處理成本
- $\beta$  : 表示使用技術  $t=3$  之單位場站設置與營運成本
- $C_n$  : 營業所使用技術  $t=1$  處理貨物量等級為  $n$  時所需付出之場站設置與營運成本
- $C_n'$  : 中繼站使用技術  $t=1$  處理貨物量等級為  $n$  時所需付出之場站設置與營運成本
- $q_n$  : 營業所使用技術  $t=1$  處理貨物量等級為  $n$  時可處理之貨物量上限
- $q_n'$  : 中繼站使用技術  $t=1$  處理貨物量等級為  $n$  時可處理之貨物量上限
- $V_a^t$  : 支線上車輛使用技術  $t=1,2$  時，車輛可提供裝載適合  $a$  溫層貨物之貨物量上限
- $V^t$  : 支線上車輛使用技術  $t=3$  時，車輛可提供裝載所有溫層貨物之貨物量上限
- $V_a^t'$  : 主線上車輛使用技術  $t=1,2$  時，車輛可提供裝載適合  $a$  溫層貨物之貨物量上限
- $V^t'$  : 主線上車輛使用技術  $t=3$  時，車輛可提供裝載所有溫層貨物之貨物量上限
- $D_a^{s^k}$  : 支線上平均每日送進營業所  $s^k$  之  $a$  溫層貨物總需求量

- $D_a^{s^k}$  : 支線上平均每日送出營業所  $s^k$  之  $a$  溫層貨物總需求量
- $D_a^{k_1 k_2}$  : 主線上平均每日由分區  $k_1$  運送至分區  $k_2$  之  $a$  溫層貨物總需求量，其中  $k_1 \neq k_2$ ， $k_1 k_2 \in M$ ， $M$  為所有貨物配送起迄分區對之集合
- $\delta_{s^k, p}$  : 當支線班車路徑  $p$ ，經過營業所  $s^k$  時， $\delta_{s^k, p} = 1$ ，否則為 0
- $\delta_{k_1 k_2, p}$  : 當主線班車路徑  $p$ ，運送分區  $k_1$  至分區  $k_2$  之貨物時， $\delta_{k_1 k_2, p} = 1$ ，否則為 0
- $\delta_{h_1 h_2, p}^{k_1 k_2}$  : 當主線班車路徑  $p$ ，經由線段  $h_1 h_2$ （即經過中繼站  $h_1$  至中繼站  $h_2$  之線段）運送分區  $k_1$  運送至分區  $k_2$  之貨物時， $\delta_{h_1 h_2, p}^{k_1 k_2} = 1$ ，否則為 0，其中  $h_1 \neq h_2$ ， $h_1 h_2 \in A$ ， $A$  為主線上所有線段之集合
- $D_{s^k, p}^{t, a}$  : 決策變數，支線上以班車路徑  $p$  與技術  $t$ ，每日運送進營業所  $s^k$  之  $a$  溫層貨物量
- $D_{s^k, p}^{t, a}$  : 決策變數，支線上以班車路徑  $p$  與技術  $t$ ，每日運送出營業所  $s^k$  之  $a$  溫層貨物量
- $D_{k_1 k_2, p}^{t, a}$  : 決策變數，主線上以班車路徑  $p$  與技術  $t$ ，每日運送從分區  $k_1$  運送至分區  $k_2$  之  $a$  溫層貨物量
- $\delta_{s, n}$  : 決策變數，當場站  $s$  使用技術  $t=1$  處理貨物量等級為  $n$  時， $\delta_{s, n} = 1$ ；否則為 0。在此將中繼站與營業所分開表示，當  $s = h^k$  時，表示於  $k$  分區內之中繼站； $s = s^k$  時，表示於  $k$  分區內之營業所

$X_{i,\gamma}^{T+2,d'}$  : 於  $T$  時段所做第一階段指派之決策變數；當倉庫內於  $(T+2)$  時段開始時且距離期限  $d$  時段時之低溫食品  $\gamma$  在  $i$  儲位時， $X_{i,\gamma}^{T+2,d'} = 1$ ，否則為 0。

$X_{i,\gamma}^{T+1,d+1}$  : 當倉庫內於  $(T+1)$  時段將新進之低溫食品放入儲位後， $i$  儲位存放距離期限  $(d+1)$  時段的低溫食品  $\gamma$  時， $X_{i,\gamma}^{T+1,d+1} = 1$ ，否則為 0。

$X_{\gamma}^{T+1,d+1}$  : 倉庫內於  $(T+1)$  時段將新進之低溫食品放入儲位後，所有距離期限  $(d+1)$  時段的低溫食品  $\gamma$  數量

$D_{\gamma}^{T+1}$  :  $(T+1)$  時段中下游廠商對於低溫食品  $\gamma$  之需求量

$D_{\gamma}^{T+1,d+1}$  :  $(T+1)$  時段中下游廠商對於距離期限  $(d+1)$  時段的低溫食品  $\gamma$  之需求  
量

$C_i$  : 儲位  $i$  至出口/裝卸站之距離成本

$X_{i,\gamma}^{T+2,d}$  : 本研究於  $T$  時段所做的第二階段決策變數；當倉庫內於  $(T+2)$  時段將新進之低溫食品放入儲位後，距離期限  $d$  時段之低溫食品  $\gamma$  在  $i$  儲位時， $X_{i,\gamma}^{T+2,d} = 1$ ，否則為 0。

$\widehat{D}_{\gamma}^{T+4}$  :  $(T+4)$  時段中下游廠商對於低溫食品  $\gamma$  需求量之預測值

$S_{\gamma}^{T+2,d}$  :  $(T+2)$  時段運送至物流中心且距離期限  $d$  時段的低溫食品  $\gamma$  之數量

# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景

從 2008 全球性金融風暴以來，各國之企業大部分都壟罩在營收下滑之陰霾下，然而其中在歐美以及亞洲逆勢成長的，就是經營線上購物之電子商務公司。電子商務（Electronic Commerce, EC）泛指透過網路達成的交易行為，包括企業對企業（Business to Business, B2B）與企業對顧客（Business to Customer, B2C）透過網路所進行的詢價、報價、訂購、付款與售後服務等作業過程。近年來隨著電子商務的興起以及個人電腦與網路技術不斷攀升，其提供之方便性、安全性與資訊品質亦日益提升。故在企業對顧客（Business to Customer, B2C）方面，電子商務營收占整體營收之比例有顯著之成長，可見電子商務與網路購物將成為未來時勢之所趨。而電子商務的成長中所需大量依賴的工具，就是物流運輸系統的快速性以及便捷性。1980 年代，日本大和運輸首先提供貨物配送到家之服務，並將此種宅配服務稱之為宅急便；時至今日，宅配服務在日本已成為一種基本的配送模式，並為日本物流業者創造出 2000 億台幣以上的商機。這種服務方式已漸漸被各國物流業者所採用，像是台灣於西元 2000 年起引進宅配服務，當年的營業額約為台幣 2000 萬元，至西元 2001 年營業額成長 40 倍，達台幣 8 億元，且爾後的每年仍呈現大幅成長之趨勢，顯示宅配服務極具有發展之潛力，充滿無限的商機。

由於科技與生活水平日益提升，民眾對於物品的品質要求也越來越嚴苛，因此如何能以最經濟的方式做配送，並對物品所要求的外在條件做嚴格控管，並達到顧客滿意之水準，將是一件刻不容緩的課題。根據美國冷凍食品協會和冷凍食品時代雜誌於 1999 年針對美國民眾對冷凍食品的消費行為之研究顯示，近 10 年冷凍食品的銷售成長率高達 20%，且近幾年世界各國在冷凍食品上的銷售都呈現大幅成長的趨勢。又依據工研院經資中心調查，西元 2000 年總計台灣低溫市場之營業規模已超過 2000 億元[1]。由於宅配服務與電子商務等服務之興起，造成貨運業配送物品朝向多樣少量的趨勢發展，此趨勢導致原先軸輻網路於站所產生之貨物量聚集功能變差，尤其位於地區性之營業所受其影響更甚區域性之中繼站。根據工研院能資所的資料統計，國人於 2003 年一年食用約 2200 億元低溫食品，其中每年有超過

370 億低溫流通事業效益，顯示低溫物流市場極具潛力，因此有業者開始提出多溫共配的想法，使其在地區性之營業所同樣可產生較佳之貨物聚集功能，並提供較密集之服務頻次。故由上述可知配送之物品將朝著「多樣少量」、「多溫層」的方向邁進，而該趨勢也將帶動物流貨運業與全溫層物流技術之發展。

## 1.2 研究動機

本研究將全溫層物流定義為：「物品從生產或供應端，經過保管、倉儲、配送到銷售端與顧客端之所有過程都施以最佳的溫度控制，並以講求效率與節省成本方式維持物品原來的價值與品質。」全溫層物流與食品物流之關係密不可分，以食品物流為例，可依不同食品所需的保鮮溫度，分成七大類，如表 1 所示；在實務上則多簡化為熱食、常溫、鮮食、冷藏、冷凍等五種溫層。上述五種溫層中，以常溫、冷藏、以及冷凍三種溫層在實務運送上最為常見。針對此三種溫層之處理過程中，包含保管、倉儲、配送等過程給予特殊的設備做溫度控管，使所有食品都能保持在合適之溫度，當食品到達物流最末端(顧客端)時，能維持所有食品原來的價值與品質。

全溫層物流方面的文獻主要針對新技術的開發與介紹與「多樣少量、多溫層」之貨運配送趨勢[1][2][3]。卓裕仁及李長駿[4]以全溫層物流中的抽換式蓄冷保溫箱多溫共配系統，探討多溫共配下的車輛路線問題 (Multi-temperature Storage Box Vehicle Routing Problem, MSBVRP)；許祖棟[5]針對支線運送(即分區內運送)，以成本角度分析比較蓄冷式多溫共配系統與傳統多車配送系統。在現況實務上常見的配送方式為傳統多車配送系統搭配機械式冷凍車廂區隔多溫共配系統共同營運，其應用如圖 1 所示。以軸輻網路作為營運網路，在轉運中心與轉運中心間，因轉運中心之貨物集結效果導致各溫層之貨物量大，適合採傳統多車配送系統。在轉運中心與營業所間及營業所與顧客間，則因相同溫層商品的集結效果較差，採以機械式冷凍車廂區隔多溫共配系統，使產生多溫層商品聚集之效果。傳統多車配送及多溫共配系統於場站均須提供冷凍、冷藏與一般倉庫儲存貨品，所以配送方式於場站設備使用上皆具有規模經濟優勢，適合需配送大量商品之場站使用。

表 1 各類食品所需保鮮之溫度分類

分類	合適溫度	相關產品	簡化分類
熱食品	60°C 以上	包子、美味小吃等	熱食
常溫品	一般環境溫度	一般食品	常溫
鮮食品	恆溫 18°C	便當、三明治、飯團、涼麵、巧克力等	鮮食
冷藏品	0°C ~ +7°C	保存生鮮蔬菜（葉菜類、截切生鮮蔬菜）、果汁、牛乳、乳飲品、日配品（豆腐、乳製品）、加工肉品（香腸、火腿）、鮮花等	冷藏
冰溫品	- 2°C ~ + 2°C	畜肉品（牛、豬、羊肉）、禽肉品（雞、鴨肉）水產品（鮮魚、貝）、刨冰等	
冷凍品及冰品	- 18°C 以下	冷凍蔬果、冷凍調理食品（水餃、包子，比薩）、冰淇淋等	冷凍
超低溫品	- 30°C 以下	生魚片	

資料來源：郭儒家[1]

由上述可知，多溫共配將成為貨物運輸業的新潮流，故工研院能資所在經濟部的大力支持下，研發出抽換式蓄冷保溫箱多溫共配系統。此系統透過抽換不同類型的蓄冷器，改變保溫箱櫃中的溫層，並以增減蓄冷器數量的方式來配合保溫箱櫃之容量，蓄冷時間可長達 12 小時，並且於期間保溫效果良好、維持貨物品質效果佳，適合運送對溫度敏感度高之生鮮產品、高科技產品與生技產品等，而目前低溫物流產業中仍屬運送生鮮食品為最大宗。市面上蓄冷器的類型主要分作冷凍與冷藏兩種，乃因目前運送生鮮食品亦採用此種分類方式，於未來工研院能資所亦可根據商品需求，發展不同類型之蓄冷器供特殊商品使用。此種多溫共配系統除了具有上述之優點外，最重要是它

還具有節省能源與環保的功能，近來能源價格持續攀高與全世界對永續運輸之課題日益重視，因此該系統有其潛力被廣為推廣與推薦使用。

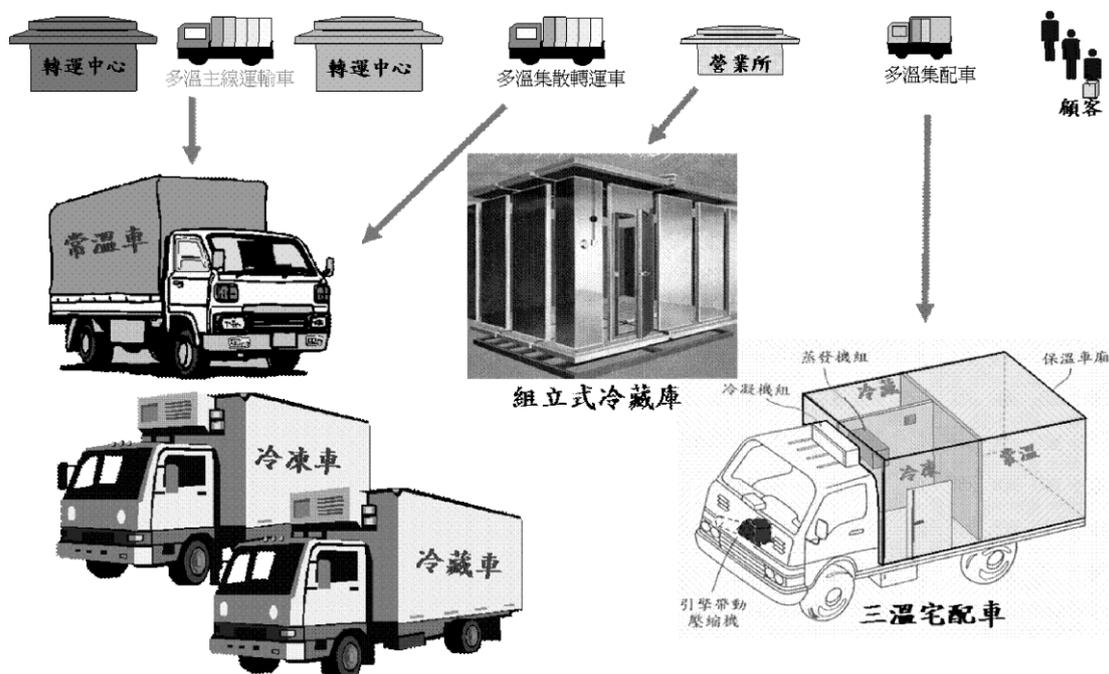


圖 1 實務上常見之配送方式示意圖資料來源：郭儒家[1]

隨著全溫層物流技術越來越多樣化，可供業者選擇之機會也越來越多，而各技術均有其優缺點，需視業者所經營之網路形態、各溫層貨物之需求分佈、成本變化與各全溫層技術之空間利用情形，決定業者於各場站使用之技術類型，使整體營運網路的運送成本最低，其可行之場站技術營運組合隨場站增加而呈現指數增加之情形。此外，車輛使用亦會影響場站使用技術之情形，故本研究後續將在场站區位已知與需求為外生變數下，根據現有之全溫層技術與未來發展趨勢，以業者角度出發，追求運輸成本與貨物處理成本所加總之總運送成本最小化為目標。運輸成本包含車輛成本與場站成本，兩者均包含期初投資之固定成本與變動成本，並在滿足顧客需求下，求解業者所需投資之場站技術、車輛型式與大小等設施，以及在該設施投資下所搭配之最適貨物處理量、服務頻次與車輛路徑等。

因民眾對於服務品質要求日益提升，場站適合選擇鄰近市場端之區位，但越靠近市場端之土地使用成本越高，故需致力於提升場站空間利用率與使用效率進而節省成本。其中最有效方法之一為提升儲位指派（揀貨）效率，而文獻上儲位指派問題常被定義為一種空間佈置問題[6][7][8]。然文獻上探討之儲位問題缺乏動態特性與效率，對於動態需求及指派上較難達成，因此本研究亦將針對此類型場站構建動態儲位指派模式，朝短期作業面向即時即地的管理，並以需求變動較大之低溫食品為主要對象，期提升場站空間利用率與使用效率。

### 1.3 研究目的

本研究期能以業者的角度分析，探討在現有全溫層物流技術無任何外力介入下，業者應採以何種方式營運。而各溫層貨物之需求特性，以及不同技術間之差異應被納入考慮，如設備折舊年限、車輛之容量利用率等，進而瞭解不同技術之營運特性。此外，本研究亦針對實務上常見運送方式之場站設備營運效率進行探討，透過構建動態儲位指派模式以改善場站空間利用率與使用效率不佳問題。茲將本研究之具體研究目的說明如下：

#### 1. 中期戰術規劃之問題特性與各項成本函數

建立以中期戰術營運的相關設施規劃成本函數，包括運輸成本與貨物處理成本建構二元混合整合數學規劃模式，並以分支定限法取得最適解，以瞭解各種情境下業者所需投資之場站技術、車輛型式與大小等設施，以及在該設施投資下所搭配之最適貨物處理量、服務頻次與車輛路徑等。

#### 2. 短期作業規劃構建適切之儲位指派模式

應用二階段儲位指派法與灰預測模式建立儲位指派模式，其中第一階段指派方式瞭解儲位分佈情形，灰預測模式建構第二階段指派權重值，提供建構第二階段儲位指派模式，以提升空間利用率、場站內作業效率、以及確保場站競爭優勢。

#### 3. 實務現況與理論的資料驗證

以國內經營多溫配送之實例，蒐集與本研究模式相關之實際

資料，或根據實務現況與理論的資料進行合理之假設，應用於本研究所構建之模式，並闡述模式之可行性與現況下之結果。

#### 4. 針對重要之參變數進行敏感度分析

根據未來趨勢做合理假設，說明在需求型態轉變、與技術相關之參數改變、能源價格日益昂貴等合理之情境假設下，對於已跨足多溫層商品市場業者在營運上之影響，以及就有意跨足多溫層商品市場之業者擬定本研究認為適切之營運規劃內容以供參考。

### 1.4 研究範圍

全溫層物流將漸漸成為物流業的發展重點項目之一，以下將本研究之研究範圍與限制敘述如下：

#### 1. 經營全溫層第三方物流業者角度

根據文獻 Crainic and Laporte [20]對於貨運業營運規劃的三種類型，針對其中二種類型進行研究，此二種類型包括中期設施與短期作業規劃。

#### 2. 全溫層物流商品

以實務面分類商品，可分作一般常溫商品、冷藏商品（ $-2^{\circ}\text{C} \sim 2^{\circ}\text{C}$ ）與冷凍商品（ $-18^{\circ}\text{C} \sim -20^{\circ}\text{C}$ ）三種。

#### 3. 研究假設

各溫層貨物起迄點之貨物需求量為已知，如倉庫中將出庫的低溫食品項與數量，本研究不考慮物品之腐敗與存貨成本。

#### 4. 營運網路

營運規劃僅限於內部營運網路（Line-haul operations network），並以層級式軸輻網路作為該內部營運網路，本研究不考慮車輛至顧客處之集貨配送路線之外部服務網路。

#### 5. 全溫層物流技術

本研究僅針對三種全溫層物流技術進行探討，包括傳統多車配送

系統、機械式冷凍車廂區隔多溫共配系統與抽換式蓄冷保溫箱多溫共配系統。

## 1.5 研究架構與方法

本研究之研究架構如圖 2 所示，將研究架構分為三層，第一層架構為營運規劃，其中 Crainin and Laporte [20] 又將營運規劃定義為三種類型；第一種類型為長期策略規劃 (long-term strategic planning)，此種類型屬於高層管理者的決策和長期投資問題，主要的決策內容包括：場站的區位、資源取得、服務水準與費率訂定等決策，其規劃內容的可變動性最低；第二種類型為中期戰術規劃 (medium-term tactical planning)，此類型之目的在於合理且有效的分配資源以提高系統的整體績效，主要的課題包括：貨物指派、車輛路徑與頻次、車輛人員排班等問題，其規劃內容的可變動性較高；第三種類型為短期的作業規劃 (short-term operation planning)，必須將不確定性納入系統中考慮，其決策內容常以動態方式來反應實際不確定性之情形，故其規劃內容的可變動性最高。

第二層架構為研究方法，本研究所做之規劃內容區分為中期戰術規劃與短期作業規劃。中期戰術規劃是以設施規劃研究為主，即在已知長期資源做有效利用，規劃內容包含營運網路適用之場站技術、場站貨物處理量、車輛型式、車輛大小、運送頻次與車輛路徑等，而上述這些規劃內容除場站技術、車輛型式與大小屬設施投資較難以變動外，其餘場站貨物處理量、運送頻次與車輛路徑等均可依實際營運狀況於短期作業規劃中再進行優化；本研究首先構建成本函數，包含運輸成本與貨物處理成本，運輸成本則包含車輛成本與場站成本，惟因車輛成本會隨車輛大小越大呈現規模經濟之現象，而車輛型式會直接影響場站技術之選擇，故本研究必須將該現象納入考量，但是此規模經濟特性，若納入數學規劃式中，會大幅增加運算之負擔，故本研究發展出計算車輛成本之演算法 (於第 3.1.2 節介紹)。而左半邊的第三層架構則為結果，透過該演算法可求解在二元混合整數規劃模式放鬆整數條件後之貨物處理量下之可行車輛型式、車輛大小、運送頻次、車輛路徑與車輛成本等，結合目標式為貨物處理成本與場站成本加總最小化之二元混合整數規劃模式 (決策變數為場站貨物處理量與場站技術)，並以分支定限法與越優解越先搜尋之原則求解，得到業者所

需投資之場站技術、車輛型式與大小等設施，以及在該設施投資下所搭配之最適貨物處理量、服務頻次與車輛路徑等。

短期作業規劃則主要針對儲位指派進行研究，即假設該場站貨物處理量適合採用傳統多車配送技術，並分別使用冷凍、冷藏與常溫之自動倉儲系統，隨著短期需求變動情形，建構動態儲位指派模式，包含第一階段指派模式、灰預測模式與第二階段指派模式，第一階段指派模式建構目的有 3 項為 1)將越接近過期之商品越先配送至需求端；2)優先移除靠近出口儲位之商品至需求端；3)瞭解空儲位分布情形以利後續作業之進行；灰預測模式是依據需求端之實際需求預測商品最有可能離開時間之需求量，並作為第二階段指派模式之權重值；第二階段指派模式目的則是將預測需求量較大之商品存放至越靠近出口之儲位；而右半邊的第三層架構則為結果，透過案例驗證該模式以提升場站空間利用率、作業效率及競爭優勢等。

## 1.6 研究流程

本研究之研究流程，如圖 3 所示，首先針對問題做深入瞭解，透過蒐集與回顧相關之學術文獻、研究報告與實際參訪實務運作情形，使本研究可以在明確瞭解研究背景與動機下，確立研究目的與研究範圍，以及定位本研究學術與實務應用之價值與貢獻。

之後則針對中期設施規劃與短期作業規劃兩部份建構數學式，第一部份為中期設施規劃，首先構建與全溫層物流設施規劃之成本函數，包含運輸成本與貨物處理成本，運輸成本則包括車輛成本與場站成本，兩者均包含期初投資之固定成本與變動成本，建構本研究營運規劃之基本數學規劃式，由於此數學規劃式屬於二元混合整數規劃問題，當面對規模大之問題時，求解難度頗高，故需建立演算法，以利於在有限時間內求解案例。第二部份為短期作業規劃，即動態儲位指派模式，在此本研究分作二種模式進行求解。

最後本研究以國內經營多溫配送之案例，蒐集與本研究模式相關之實際資料，進行案例分析，並針對重要之參變數進行敏感度分析，說明在需求型態轉變、與技術相關之參數改變、能源價格日益昂貴等合理之情境假設下，對於已跨足多溫層商品市場業者在營運上之影響，以及就有意跨足多溫層商品市場之業者擬定本研究認為適切之營運規劃內容以供參考。

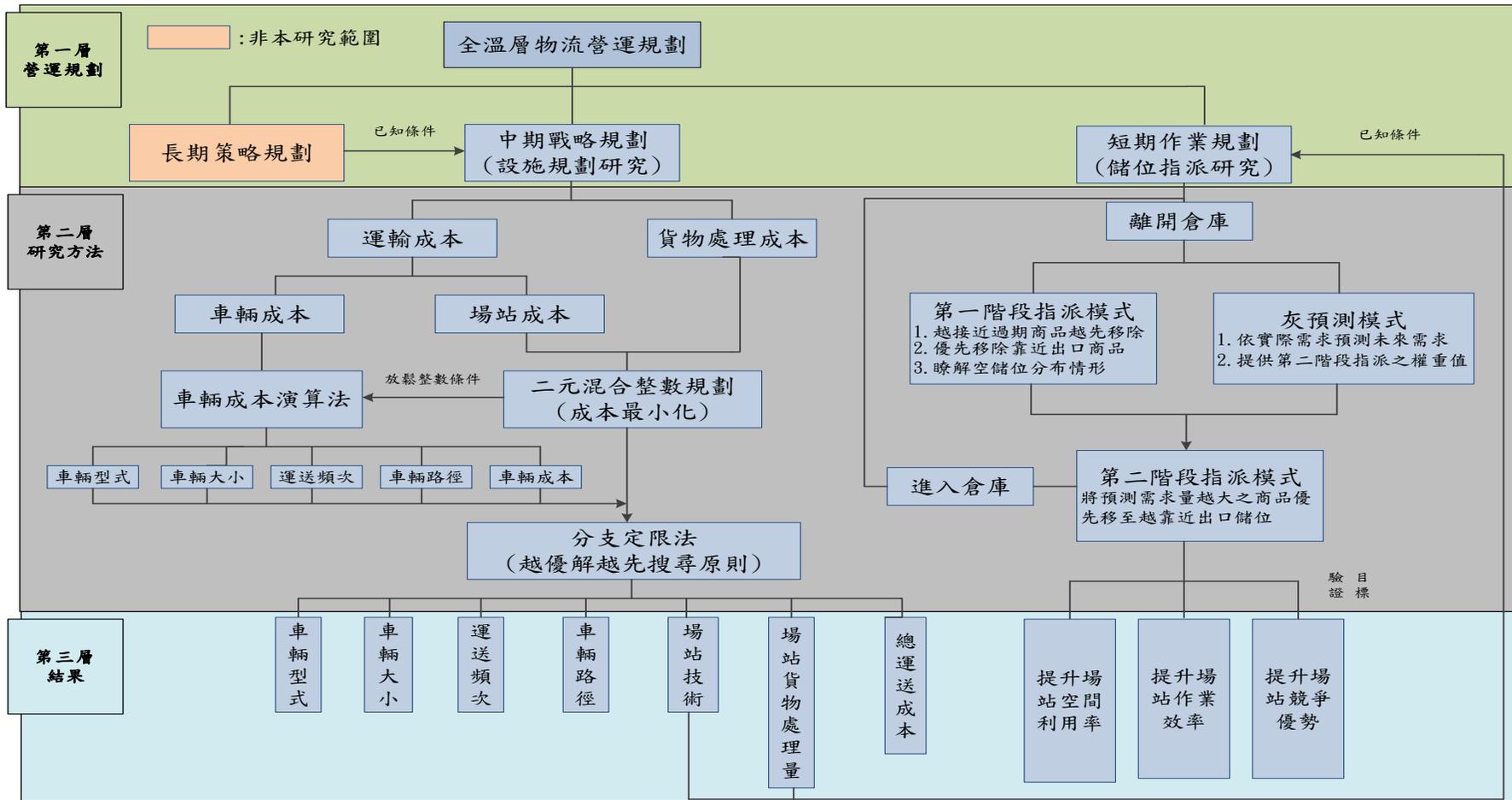


圖 2 研究架構圖

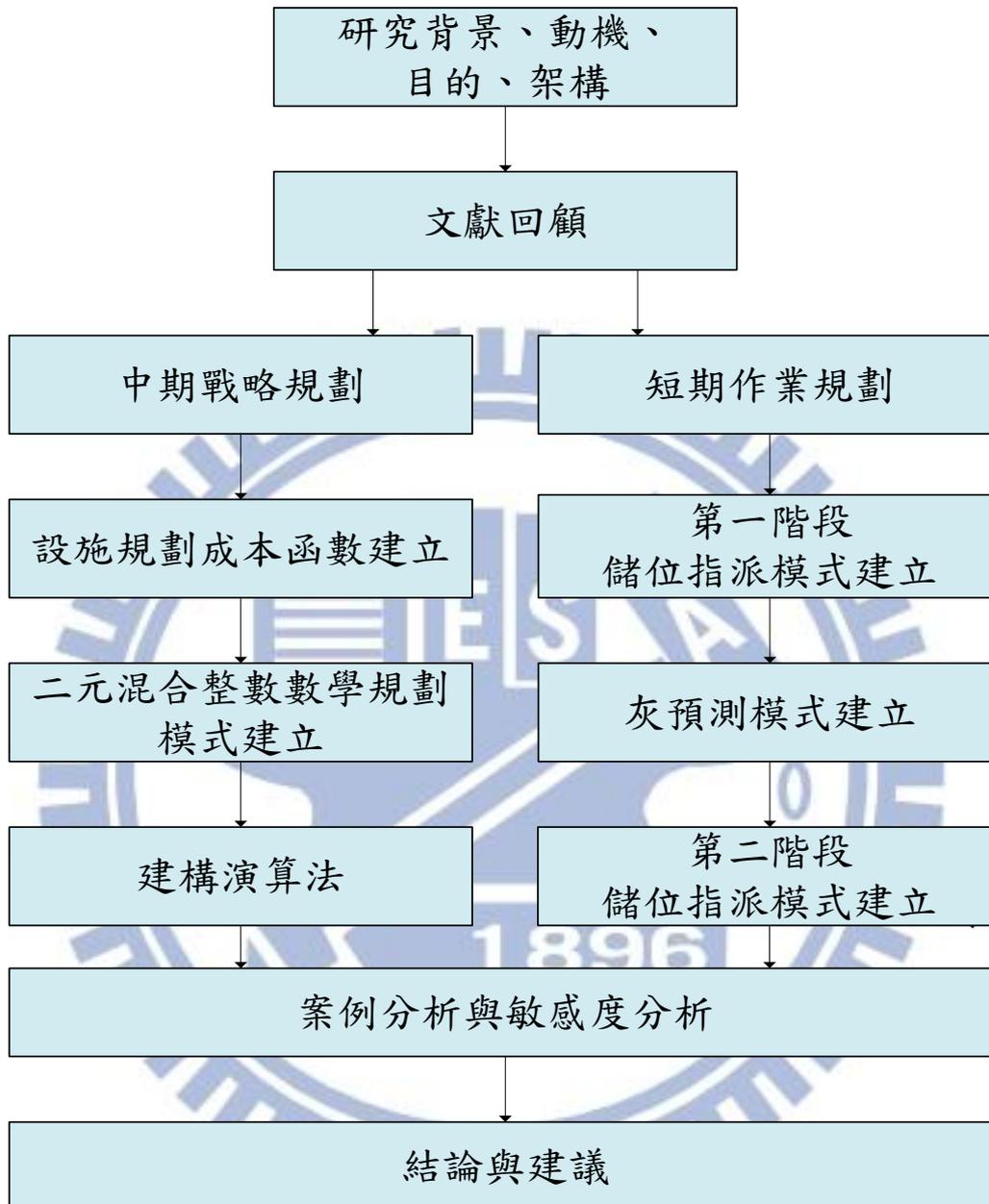


圖 3 研究流程圖

## 第二章 文獻回顧

本研究於該章節中，針對現有全溫層物流技術、營運規劃與營運網路三方面進行文獻回顧，其中營運網路部份以軸輻網路為主，並分別於 2.1 節全溫層物流相關文獻，2.2 節營運規劃相關文獻，2.3 節軸輻網路相關文獻中加以敘述說明，2.4 節描述灰預測和分支定限法相關文獻。

### 2.1 全溫層物流相關文獻

首先，本研究根據郭儒家[1][2][3]對全溫層物流之技術背景回顧做整理與說明，目前全溫層物流技術大致可分做兩種配送方式，一種為單溫配送方式，即每一種車輛僅運送一種溫層貨物的配送方式，代表為傳統多車配送系統；另一種為多溫共配方式，即每一種車輛可運送多種溫層貨物的配送方式，以下則分別介紹這二種配送方式。

#### 1. 單溫配送

##### (1) 傳統多車配送系統( $t=1$ )

此種配送系統屬於單溫配送方式，也是最傳統之配送方式，其配送方式如下圖 4 所示，即根據運送物品種類所適合之溫層，分別以常溫車、冷藏車與冷凍車做配送，在站所則需設置冷藏、冷凍與一般倉庫暫存貨物，因此不同溫層間之設備無法相互使用，故空間彈性應用之能力較差；冷藏車與冷凍車是以引擎驅動的機械壓縮式冷凍機組維持所需的溫度條件，其溫度控制良窳及貨物品質之維持主要受車況與車輛開關門次數之影響；另在車輛購買成本上，冷藏、冷凍車為常溫車輛的兩倍，冷凍機組壽命也較短；且此種配送方式一旦遇上多樣少量之配送市場時，可能會造成運能浪費之情形發生。

雖然此種配送方式於期初所需投資之成本頗大，但相對於其他配送方式，在具有相同空間為前提下，此種配送方式可提供較大之配送容量，適合提供大量之配送服務，且規模經濟之現象較明顯；除此之外，此種配送方式在場站於裝貨前與卸貨後的貨物處理上較為單純，

故所需之人力、機具與所耗費之時間都較為節省。

## 2. 多溫共配方式

而多溫共配方式主要可分做三種配送系統，機械式冷凍車廂區隔多溫共配系統、機電共用式保冷櫃多溫共配系統以及抽換式蓄冷保溫箱多溫共配系統，以下則分別介紹這三種全溫層物流之技術。

### (1) 機械式冷凍車廂區隔多溫共配系統( $t=2$ )

此種配送系統是目前最常見之多溫共配方式，通常與傳統多車配送系統搭配，亦是目前實務上最常使用之配送模式，其配送方式如下圖 5 所示，即在轉運中心與轉運中心間，以傳統多車配送系統運送；而在轉運中心與營業所間及營業所與顧客間，則視情況採以機械式冷凍車廂區隔多溫共配系統運送。此種共配系統使用車輛方式是在同一車廂區隔出常溫、冷藏與冷凍不同溫度之區域，區域間無法彈性應用，易造成運能之浪費；該三溫車同樣是以引擎驅動機械壓縮式冷凍機組維持所需的溫度條件，車輛購買成本是常溫車之兩倍，冷凍機組壽命也較短，其溫度控制良窳及貨物品質之維持主要受車況與車輛開關門次數之影響。

傳統多車配送系統與機械式冷凍車廂區隔多溫共配系統於場站均須提供冷凍、冷藏與一般倉庫暫存貨物，故於中介之場站並不會有雙重投資設備的問題，反而有助於使場站投資產生規模經濟之效益；此外，該種配送方式於場站裝貨前與卸貨後在貨物處理上亦較為單純，所需之人力、機具與所耗費之時間也較為節省。

### (2) 機電共用式保冷櫃多溫共配系統

此種配送系統屬於多溫共配方式之一，為日本近期所發展之技術，配送方式如圖 6 所示，於實務運作上可與機械式冷凍車廂區隔多溫共配系統共用，即在轉運中心與轉運中心間，以機電共用式保冷櫃多溫共配系統運送；而在轉運中心與營業所間及營業所與顧客間，則視情況採以機械式冷凍車廂區隔多溫共配系統運送。該系統採以電冰箱式保冷櫃與蓄冷技術之結合，亦即在保溫櫃內設置冷凍機組與蓄冷盤管，於站所以電力驅動冷凍機組，並於運轉期間蓄冷，當蓄冷完成

可供配送過程所需之冷能，可以常溫貨車配送，此舉可使車廂空間彈性利用，且貨物品質之維持較不易受車況與車輛開關門次數之影響。但該冷凍櫃體內有冷凍機組重量大，搬運費時費力，易因重量影響貨車之容量利用率，且價格昂貴；而在貨物處理上，則較前兩項技術複雜，需將保溫櫃蓄冷、貨物裝置於保溫櫃中與貨物在到達各站所後依據下一目的地重新裝置等過程，故在貨物處理成本上耗費較大；另在規模經濟現象上則較不顯著。

### (3) 抽換式蓄冷保溫箱多溫共配系統 ( $t=3$ )

此系統為經濟部工研院能資所發展出之多溫共配系統，其配送方式如圖 7 所示，利用可抽換式、不同溫度與大小（以顏色區隔冷凍與冷藏兩類，如圖 8 所示）之蓄冷器放入規格化之保溫箱（如圖 9 所示）與保溫櫃（如圖 10 所示）中，以保持各種溫度貨物於所需的溫度條件，蓄冷器則透過站所設置之凍結機（如圖 11 所示）蓄冷，並藉由一般常溫車同時運送各種溫層貨物，屬於無冷凍機組運載之多溫共配系統。其優點為車廂利用彈性佳、溫度控制與配送品質佳、設備購置之成本低與壽命長等優點；缺點則為在規模經濟現象上較不顯著與在貨物處理成本上耗費較大等缺點。

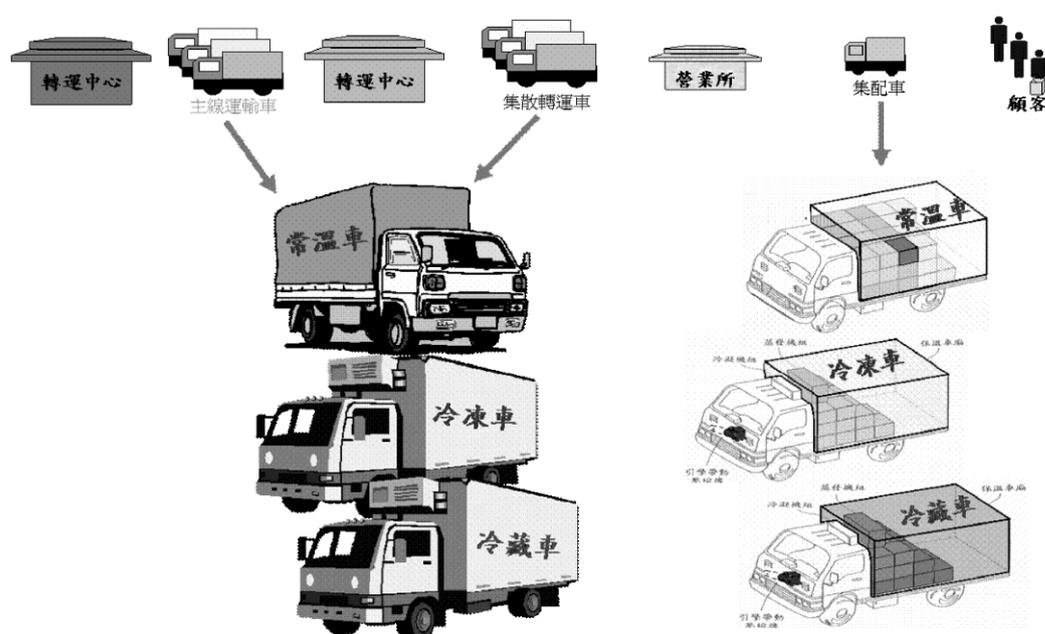


圖 4 傳統多車配送系統示意圖（資料來源：郭儒家[1]）

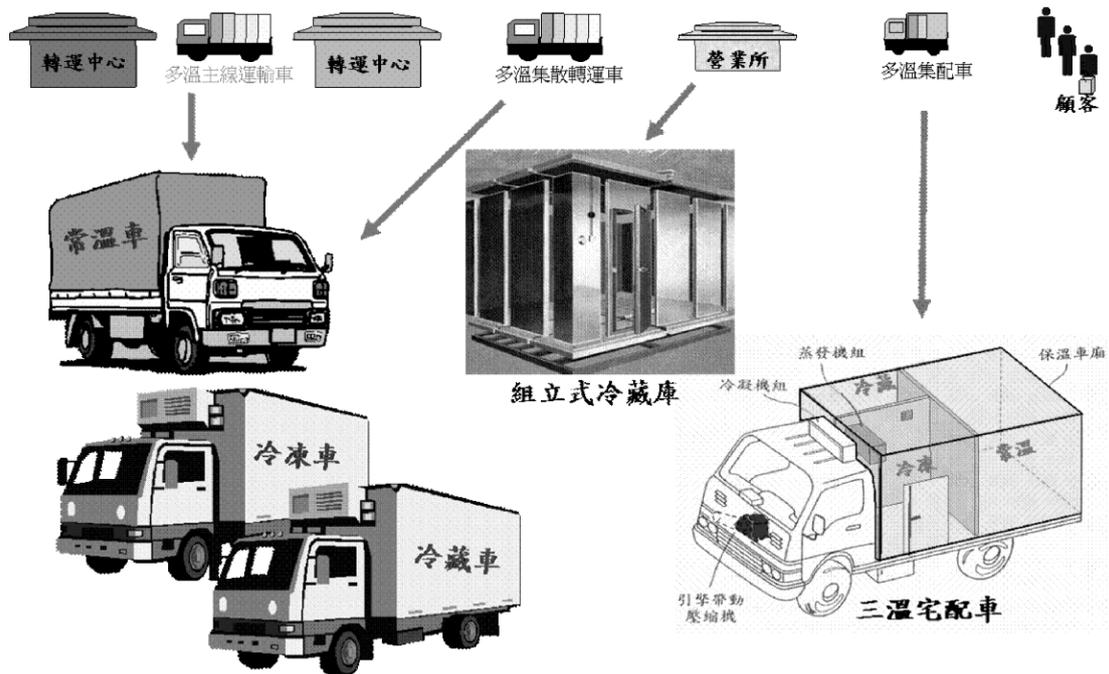


圖 5 機械式冷凍車廂區隔多溫共配系統示意圖（資料來源：郭儒家 [1]）

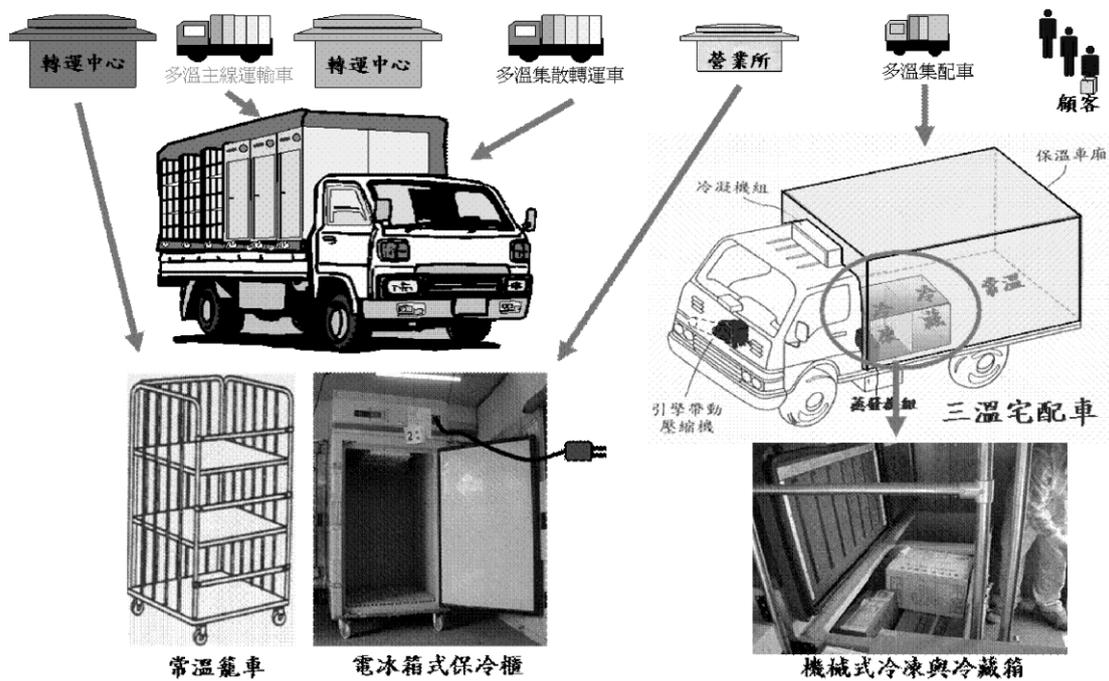


圖 6 機電共用式保冷櫃多溫共配系統示意圖（資料來源：郭儒家 [1]）

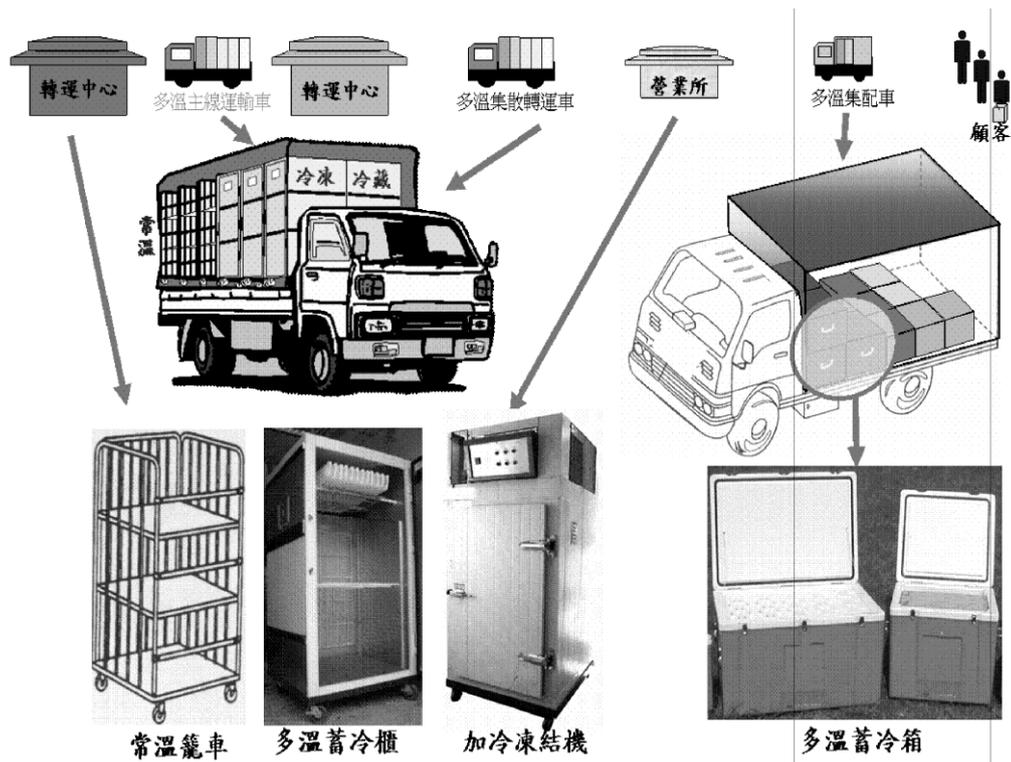


圖 7 抽換式蓄冷保溫多溫共配系統示意圖 (資料來源：郭儒家[1])

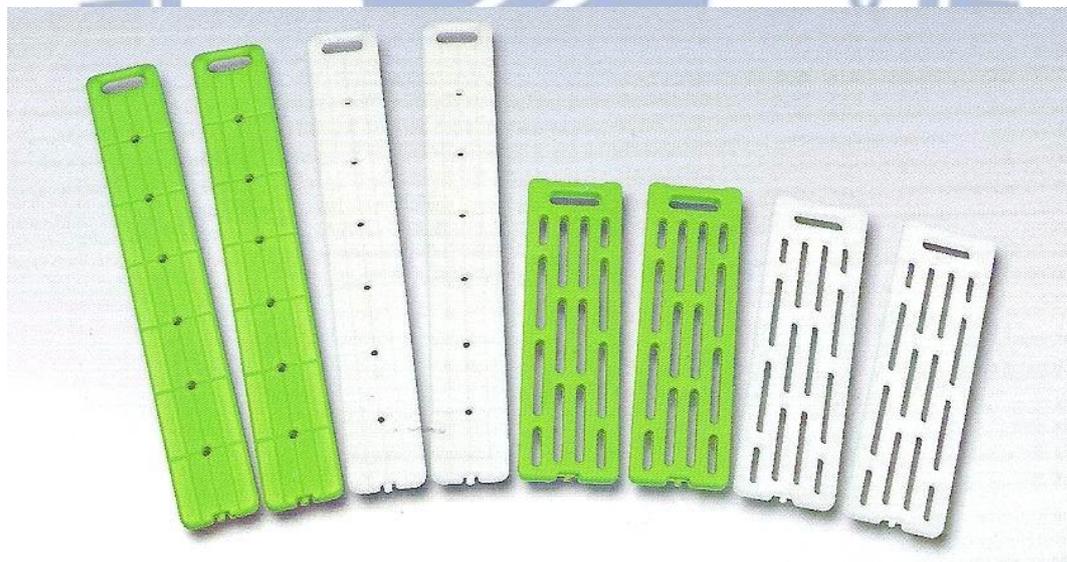


圖 8 蓄冷器 (資料來源：工研院能資所)





圖 11 凍結機（資料來源：工研院能資所）

此外在學術上同時探討多溫層物流之相關文獻則更少，卓裕仁、李長駿[4]則以全溫層物流中的蓄冷式多溫共配系統，探討多溫共配下的車輛路線問題（Multi-temperature Storage Box Vehicle Routing Problem, MSBVRP），其解題複雜度高於傳統 VRP，但結果顯示在路線成本方面明顯低於傳統多車配送，此乃由於抽換式蓄冷保溫箱多溫共配系統，可以減少冷藏與冷凍車使用，僅需用一般常溫車輛配送即可，可降低配送車輛數與路線成本；許祖棟[5]針對支線運送（即區域內運送），以成本角度分析比較蓄冷式多溫共配系統與傳統多車配送系統，並歸納出蓄冷式多溫共配系統之效益，其中發現支線上之車輛與設備購置折舊成本方面兩者差距最大，又以蓄冷式多溫共配系統之效益較高

相較於全溫層物流相關文獻，易腐性商品與低溫物流相關文獻則較多。以往文獻上對於易腐性商品多針對其存貨模式做探討，如 Ghare and Schrader[11]為首次針對易腐性商品的存貨問題做探討之文章，該文假設腐敗率為定值；Covert and Philip[12]則延伸 Ghare and Schrader 的數學模式，假設腐敗率為 Weibull 分配，建構最佳之經濟訂購量模式（EOQ Model）；自此之後的研究多假設生鮮產品的腐敗函數為 Weibull 分配（e.g., Hariga[13]; Giri and Chaudhuri[14]; Charkrabarty et

al.[15])。

Zhang et al.[16]考慮整個冷凍食品鍊之配送結構，包含工廠、批發商與零售商所組合而成的整個配送結構，以動力學來探討商品品質隨時間下降之程度，再以禁忌搜尋法求解最小化系統倉儲與運輸成本之冷凍食品配送結構，並在求解過程中搭配動態的禁忌名單與懲罰成本，使求解具有效率；Jacxsens et al.[17]以模擬的方法研究運輸生鮮蔬果的過程中，溫度與時間的變化對貨物品質的影響，結果發現運輸過程中，溫度會對運具內氣體組成產生變化，進而對商品品質產生影響；Net et al.[18]以實驗組與對照組方式，探討移植用角膜運輸時的溫度維持問題，並比較現有系統與改善後系統的實驗結果，結果發現改善後系統對於移植用角膜品質維持有較佳的效果，亦顯示移植用器官在運輸過程中，溫度控管之重要性。Hsu and Hung[19]加入考慮生鮮產品腐敗特性，將產品腐敗成本與其他運輸成本結合，構建低溫物流配送路線之基本模式，結果顯示該模式可降低成本，且能確實反應出生鮮產品於實際運送時之特性。

目前在實務上使用之單溫配送和全溫層物流技術共有四種，分別為單溫配送的傳統多車配送系統，全溫層的三種物流技術，機械式冷凍車廂區隔多溫共配系統、機電共用式保冷櫃多溫共配系統、以及抽換式蓄冷保溫箱多溫共配系統。而這四種技術各有其利弊，技術間之比較歸納於下表 3 所示。

在學術文獻上，同時探討多溫層物流相關研究甚少，且因目前貨運配送趨勢朝向「多樣少量」與「多溫層」的方向發展，故相關議題之研究，無論在學術上與實務上均具有相當之貢獻。易腐性商品相關文獻多將低溫商品、生鮮產品歸類於易腐性商品，於 1960 年代即有研究探討該類商品隨時間導致品質流失的議題，近期則陸續有研究證實易腐性商品的品質除了與時間有相關外，與溫度也有密不可分的關係，故由此趨勢可知在未來與低溫商品、生鮮產品有關之研究中，如何應用新技術以降低溫度與時間對於易腐性商品的影響是項重要的課題。

表 2 全溫層物流相關研究

文獻	研究對象	研究方法	研究內容	重要發現
郭儒家[3]	低溫食品	實務探討	介紹工研院能資所發 展的低溫物流省能技 術及其應用成效	此新技術可有效利用 能源與資源，降低電力 需求
郭儒家[1][2]	多層食品	實務探討	介紹工研院能資所發 展的全溫層物流省能 技術、分析其競爭力與 現有技術之比較	說明該技術除具有環 保功能外，與現有技術 之競爭仍相當具有優 勢
卓裕仁、李長駿[4]	抽換蓄保箱溫配系統 式冷溫多共系	啟發式演算法	將該系統應用於車輛 路線問題 (VRP)，並 以啟發式演算法求解	在路線成本方面明顯 低於傳統多車配送，所 以該系統可降低配送車 數與路線成本
許祖棟[5]	抽換蓄保箱溫配系統 式冷溫多共系	成本分析	就支線上之配送，以成 本角度比較系統與傳 輸車配系之差異	歸納出該系統之效 益，其中發現該系統於 車輛上之配置最高
Ghara and Schrader[11]	易腐商品	數學規劃式	將易腐性商品之腐敗 率設為定值，並納入存 貨模式中探討	首次探討商品腐敗與 時間、存貨之關係，該 結果較以往模式更符 合真實情形
Covert and Philip[12]	易腐商品	數學規劃式	將易腐性商品之腐敗 率設為 Weibull 分配， 並納入存貨模式中探 討	首次將腐敗率假設為 Weibull 分配，其結果 較先前研究佳，後續研 究則多假設腐敗率為 Weibull 分配
Zhang et al.[16]	凍食品	動力學與禁忌 法	以動力學研究商品品 質隨時間下降之程法求 解，再以禁忌法配結 構	因溫度對於凍食品之 配送結構有重要之禁 忌影響，故搭配懲罰成 本，使單與懲罰成本，使 求解有效率
Jacxsens et al.[17]	鮮蔬果	模擬	以模擬的方法研究運 輸鮮蔬果的過程對溫 度與品質的影響	結果發現運輸過程 中，溫度會對運具內氣 體組成產生變化，進而 對商品品質產生影響
Net et al.[18]	移植角膜	實驗	以實驗組與對照組方 式，探討移植用角膜運 輸時的溫度維持問題 改善後系統的實驗結 果	發現改善後系統對於 移植用角膜品質維持 有較佳的效果，亦顯示 移植用器官在運輸過 程中，溫度控管之重要 性
Hsu and Hung[19]	低溫食品	數學規劃式 啟發式演算法	考慮鮮產品腐敗特 性，將產品腐敗成本與 其他運輸成本結合，構 建數學規劃式	該模式可降低成本，且 能確實反應出生鮮產 品於實際運送時之特 性

[資料來源：本研究整理]

表 3 全溫層物流技術之比較

系統種類	傳統 多車配送	機械式 冷凍車箱區隔	機電共用式 保冷櫃	抽換式 蓄冷保溫箱
系統特色	使用多種溫度車輛 個別配送	車廂區隔溫域，引 擎驅動冷凍機組	電冰箱式保冷櫃及 機械式冷凍箱	抽換式蓄冷保溫箱 、無冷凍機組
車輛設備	冷凍車 冷藏車 常溫車	冷凍車 + 車廂區隔	常溫車 + 機械式冷凍櫃	常溫車 + 蓄冷廂
系 統 比 較	配送方式	單溫配送	多溫共配	多溫共配
	凍結系統	個別車用冷凍機	個別車用冷凍機	個別櫃用冷凍機
	故障率	高	高	中
	均溫性	低(機械冷凍)	低(機械冷凍)	低(機械冷凍)
	空間彈性	低	中	中
	營運成本	高	高	中
	固定成本	高	高	中
	單次運送量	高	高	中
裝載時間	短	短	中	長

(資料來源：本研究整理)

## 2.2 營運規劃相關文獻

Crainic and Laporte [20]對於貨運業的成長，運輸環境日趨複雜，提出貨運業營運規劃的三個重點，分別是長期策略規劃、中期戰術規劃、短期作業規劃，可作為營運規劃的基礎架構，並以文獻回顧的方式，列舉並說明這三個規劃重點。第一、長期策略規劃：基於初期投資成本龐大與投入後之不可回收性，長期策略規劃通常由企業最高層管理者擬定，規劃範圍包含實體網路、區位與設備設置、其他相關之硬體升級或擴充、資源取得、服務水準之訂定、費率政策，由於其涉及範圍廣大，小者有區域網路，大者為國家網路，亦有跨國網路，因此訂定其長期策略規劃時，會由多方該運輸網路服務者共同討論之。第二、中期戰術規劃：中期戰術規劃根基於長期策略規劃，其目標著眼於整體系統績效之提升。在長期策略規劃範疇下，中期戰術規劃包含運具(車輛)選擇、路徑選擇、提供之服務水準、資源均衡分配。此層級之規劃依賴總體性資料，故決策不會受資料變異性之影響，像是運輸受季節性的變動影響甚鉅，但該類決策甚少考慮此情形。第三：短期作業規劃：為反應高度動態之現場作業環境，快速、效率與時間之節省是最重要的，因此，短期作業規劃是即時即地的管理，包含服務排程、車輛與人員之調度與排程、資源有效配置。由長期策略規劃至短期作業規劃，其間的關聯性是長期策略規劃會設立一個共通的策略與依循方向供中期戰術規劃做下一步之決策，中期戰術規劃則確立

目標、規則與限制，短期作業策略依此實行。

承上述，以下沿用 Crainic and Laporte [20]之分類對運輸課題長期、中期與短期作業規劃之文獻進行回顧，其中短期作業規劃部份著重以儲位指派相關文獻為主。

### 2.2.1 長期策略規劃相關研究

在區位選擇與網路設計相關研究，自 Weber [21]提出 Weber problem，開啟了生產區位選擇問題的探討，其原始模型假設生產要素彼此間存有固定之替代關係，探討廠商在商品市場與原料供應地間之最適區位選擇。而自從生產區位問題被提出後，往後的學者加入各種條件或放寬限制，嘗試探討各種可能狀況下的區位選擇，包括線性、網路及平面條件下的區位選擇問題，而近幾年更陸續出現運輸業與製造業複雜的區位問題。

部份區位選擇問題之研究著重於最適解求算或啟發解發展(e.g., Brandeau and Chiu[22]; Tansel et al.[23]; Bornstein and Azlan[24])，另有部分研究則將區位選擇問題視為運輸指派問題，而利用整數規劃或混合整數規劃求解(e.g., Toregas et al.[25]; Jucker and Carlson[26]; Kennington and Unger[27] Mairs et al., [28])，在此類之區位選擇問題中，所考慮之成本主要包括區位點之成本與區位間之成本，前者即為在該區位設廠投資生產之成本，後者則為設廠後與上下游間之運輸成本，然而在此類研究中，多假設成本為常數或與產量呈線性關係，無法反映成本可能隨生產數量而有規模經濟之效果，亦無法反映各區位間在運輸時可能因流量匯集而產生之經濟特性。O'Kelly and Bryan[29]之研究強調流量匯集產生的規模經濟特性，但會使模式成為非線性數學規劃模式，求解較困難，因此提出以 piece-wise 成本函數逼近原來之非線性成本函數，並且能夠以現有求解線性整數規劃方法(如分支定限法，branch-and-bound)求解得最佳解。

另一類區位選擇之研究分析因選擇區位之不同對物流成本之影響，以求得最適區位，如 McCann[30]引進物流成本為其成本最小化之目標式，定義物流成本為貨物取得成本、貨物倉儲成本、運輸成本之總合，以求取物流成本最小來取得經濟定貨量(Economic Order Quantity)，以求取利潤極大，分析工廠區位、原料來源與市場三者之地理關係，提出當貨物附加價值愈高時，工廠區位越接近市場，運送

至市場的速度越快，越能獲得較大利潤。Melachrinoudis et al.[31] 探討倉儲中心網路設計問題，模式以決策者角度，綜合考量不同衡量準則，包含成本、服務績效以及效益等，決策對現有倉儲網路之合併或是淘汰等策略。研究結果顯示，當顧客至倉儲中心之平均距離降低時、服務績效將提高，以較少數量的倉儲中心服務顧客可有效降低成本。

目前製造業之競爭激烈、產品生命週期縮短，在企業降低成本的同時，若僅考慮配送成本最小，會傾向滿車運送與停靠點最少；若僅考慮製造成本最小，則傾向最少的工廠設置點搭配多頻次配送，以減少前置時間；若使運輸與製造獨立運作並各自發揮其功能，需有非常大的存貨作為兩者的緩衝，結果會造成高昂的持有成本與更長的前置時間。Ekşioğlu et al. [32] 將整合製造、倉儲與運輸最小化成本的策略規劃問題，作為路網流量問題求解，第一階段各自求解製造排程問題與路徑問題，第二階段將製造排程與路徑問題求解結果一併納入模式，以 CPLEX 軟體求解，最後結果可達到 20% 的成本節省。

Nozick and Turnquist [33] 整合等候理論、直接選擇區位分析與多目標決策分析美國汽車製造業之存貨、設施、運輸成本，結果顯示以年成本六百七十二萬美元可設置 23 個配送中心，可涵蓋配送中心半徑兩百英哩內 87% 的需求；年最高成本超過九百萬美元可設置 64 個配送中心，則涵蓋配送中心半徑兩百英哩內 100% 的需求。

區位選擇問題中之中位問題(median problem)為設置  $p$  個點於路網中，並指派需求至各設置點，以求設置點與需求點間加權距離之最小值。假如  $p$  是變數則定義為無容量限制性設施區位問題(uncapacitated facility location problem 或 simple plant location problem)，其最早被提出的概念如同路網中的倉庫設置問題；若  $p$  是定值則定義為數量限制、無容量限制性設施區位問題(capacitated facility location problem)。Magnanti and Wong [34]，Balakrishnan et al. [35] 對此類問題與演算法有詳細之介紹。Holmberg [36] 求解無容量限制性設施區位問題，提出運輸成本為非線性凸函數，納入分支定限法(branch-and-bound)之概念架構線性零一變數區位選擇模式，求解能力極有效率，以接近三百萬個變數的範例測試亦能求得最佳解。

Melkote and Daskin [37] 提出無容量限制性設施區位問題的幾項特性，該問題屬於 NP-hard 問題，以混合整數規劃求證，並延伸至路

網設計問題，求解預算設計問題(budget design problem)，研究結果建議在預算較少之情形設立較少的設施搭配較多的節線，若預算較充足則設立較多的設施搭配較少的節線，而此時之單位運輸成本會以凸形 piece-wise 線性方式遞減。作者認為該模式可應用於現實生活之運輸規劃情境。由於軸輻式網路系統是由轉接點中位問題延伸，轉接點中位問題則是自中位問題發展而來，因此本研究將於本章下節對軸輻式網路所產生之經濟效益、模式構建與求解方法方面做進一步探討。

表 4 長期策略規劃相關研究－區位選擇與網路設計

文獻	研究對象	研究方法	研究內容	重要發現
Crain and Laporte[20]	貨運業者	文獻評析	貨物運輸業之營運規劃	回顧歸納求解問題數學方法
Ekşioğlu[32]	製造業者	數學規劃模式	製造與運輸問題	以啟發式解法產生上界與下界有效求解
Nozick and Turnquist[33]	汽車製造業者	數學規劃模式	解決汽車製造業者設立問題	對於業者最重視的顧客需求、設置、運輸、存貨成本提供一整體性分析
Holmberg [36]	運輸業者	數學規劃模式	運輸業者之網路設計問題	以分支定限法發展之路網模式，以接近三百萬個變數的範例測試亦可以快速求得最佳解
Melkote and Daskin [37]	運輸業者	整數數學規劃模式	以有限預算設計運輸網路	可應用於現實生活之運輸規劃問題
Melachrinoudis et al. [31]	製造業者	數學規劃模式	倉儲中心網路設計問題	顧客至倉儲中心之平均距離降低時，以較少數量的倉儲中心服務顧客可有效降低成本

[資料來源：本研究整理]

## 2.2.2 中期戰術規劃相關研究

### 1. 運具(車輛)選擇

Prins and Schultheis [38]提出貨運運具選擇個體行為模式。Nam [39]考量公路與鐵路包裹運輸，以個體行為模式分析 1988 年至 1999 年間韓國 100 公斤以下之包裹託運者之運具選擇，結果顯示託運者優先考量包裹之運輸時間，其次是運輸費率與可及性，最後是運輸之頻次。Picard and Gaudry [40] 考慮運輸成本與運送時間，以羅吉特模式評估鐵路與公路運輸兩種運送方式被選機率。

Brookes [41][42] 研究顯示加拿大出口之託運者選擇，其所重視之因素，包括成本、頻次、商譽和運送時間等。Whyte[43]表示影響託運者決定因素，有停靠之港口、送達時間、契約以及可靠度等。Lu [44]對於台灣海運物流公司之研究，其結果顯示，一家貨運公司良好的財務狀況、高頻次運送、即時交貨、詢問服務親切與戶對戶服務等，都會使託運者提高選擇該公司之意願。另外就是其他附加服務之提供，也會增加該物流公司之競爭力。

歐洲貨運業成長快速，近幾年跨國貨運之年成長率更高達 10%，探討貨運路線與運具選擇之研究中，最常被提及的屬性包括費率、速度、運送時間可靠度、貨品特性、服務等(Cullinane and Toy,[45])。Nijkamp et al.[46]以個體選擇模式與類神經網路模式 (neural network model) 相比較於不同運輸政策情境下之對貨運運輸運具選擇之描述能力與預測能力，結果整體而言類神經網路模式描述能力優於個體選擇模式，但個體選擇模式對成本之變動較類神經網路模式敏感；類神經網路模式空間上貨物流量之預測能力較佳，個體選擇模式則適合用於短期預測。

上述之相關研究以貨運需求角度探討，而屬於供給面之貨運運輸策略規劃方面之研究較少，最初是由貨物需求模式漸漸發展為貨運路網平衡模式 (freight network equilibrium model, Friesz[47])與可應用於多運具多貨品之路網指派模式 (Guelat et al.,[48])。貨運路網平衡模式認為貨運市場中決定貨物運輸之關鍵角色為託運者與運送者，於模式中描述兩者之行為，基本上是一個運具選擇模式。應用於多運具多貨品之路網指派模式則為避免貨運路網平衡模式重於描述運送者之情形，以旅次矩陣代表託運者之需求。託運者之決策包含迄點、運具選擇、運送者選擇，運送者之決策則是在眾多運具、路網與作業員中選擇最適者，完成顧客委託之各種商品之運送。

## 2. 服務路網設計

服務路網設計，即包含服務頻次與貨物路徑設計等相關議題，接續近幾年之文獻回顧，Crainic[49]特別針對貨物運輸業的中期戰術規劃做統整性之介紹，中期戰術規劃範圍包含服務路網設計、場站營運訂定、路網班次等，除了提供可靠、高品質、低成本的服務，中期戰術還需視社會經濟的變動做適當的調整以獲得最大利潤。整合近幾年之文獻，皆陸續提出新型的網路設計模式，求解過程不僅可找到更低的下界(lower bound)，在實務上，亦應用於美國的零擔貨運業者，目前美國零擔貨運業者使用之系統除了路網設計，延伸至需求預測、資料庫管理、使用者監控等。現在的網路設計亦納入動態概念，其時間維度的路網設計幫助美國鐵路貨運業者以營運現況做情境分析，為業者帶來莫大之改善。

貨運業的場站區位問題包含中繼站、營業所、配送中心或倉庫之設置，對於腹地廣大之國家或內陸，供司機稍事休息、交換司機或交換車輛的轉接點(relay point 或 exchange point)亦是必要考慮之議題，反應至數理模式中，就是一個對貨運司機旅行距離之限制。該類問題目標求解路網轉接點之數量最小，直接路徑啟發式(Straight route heuristic)限定貨物旅行於最短路徑上，轉接點亦位於最短路徑上；部分迂迴啟發式(Semi-detour heuristic)則允許貨物離開最短路徑，以充分利用鄰近之轉接點，但必須由離開最短路徑的點再次回到最短路徑；迂迴路徑啟發式(Detour heuristic)則無限定貨物旅行路徑。Ali et al. [50]撰寫 C 語言，假設路網節點、節點密度與旅行距離限制等條件，於 Linux 環境做範例實驗，分析結果部分迂迴啟發式所需之求解時間明顯高於其他兩種，求解時間會隨節點之增加做指數型快速暴增，但其求解結果顯示路網所需設立之轉接點最少，貨物旅行路徑之距離亦較直接路徑啟發式求解之距離短，表示路網效率最佳，於高密度節點路網之適用性亦最佳。作者指出，轉接點之研究剛起步，仍有發展空間延伸至其他貨運問題或與運輸多目標問題相結合。

在美國內陸，石油產品(petroleum products)之運輸規劃相當受重視，石油產品由煉油廠產出後，用管路或以卡車、船運運送至各州的集散站，集散站有設置成本與營運成本，為了搶佔市場，業者考慮新設集散站，但可能僅是把原屬之顧客需求由系統中另一個集散站吸引至新的集散站；為了降低成本，業者考慮關閉集散站，當地之顧客需

求可能因此拱手讓人。美國內陸之石油產品市場是兵家必爭之地，石油產品之價格每日波動，更需搭配有效的配送系統。如此的策略規劃需考量產品價格之波動。Smith et al. [51] 與石油運輸企業合作，透過調查求算各州、各集散站彼此之需求矩陣，利用容量限制重力模式 (capacitated gravity model) 可判斷實體系統的改變對於企業利潤的影響，除了供決策者思考改善既有運輸系統，亦可幫助管理階層找尋有潛力的新據點，進而在市場佔有率上突破，其模式受美國中部某家石油運輸業者應用，對該家企業在營運規劃上獲益良多。

服務路網設計除了起訖點間之路徑選擇，亦包含中間轉運站之選擇。Southworth and Peterson[52] 利用 GIS(Geographic information systems)技術整合美國境內高速公路路網、鐵路路網、水運港口，能夠有效的將貨物指派至鄰近起點轉運站與迄點轉運站。

Blumenfeld et al. [53] 探討運輸成本、存貨成本以及生產成本下最適運送策略之決策，包含運送之路線與運送量之決定，且衡量直運方式、轉運方式以及直運與轉運組合三種不同的運輸型態。此研究主要特點為分析運輸成本與生產成本間關係，了解運輸成本和生產成本對存貨成本之影響，且在多對多網路中，各路段逐一分析，而研究方法可同時決定運送路線與運送量。Fernández et al. [54] 等人以供需均衡 (supply-demand equilibrium) 角度建構一模式，納入影響託運者與運送者決策之因子，可適當描述託運者與運送者之行為，在該模式中，運輸費率等於運送者之邊際成本加上利潤。

### 3. 路徑選擇與車輛派遣

中期戰術規劃有一個很重要的領域是節點服務組合最佳化，其問題包含旅行推銷員問題 (traveling salesman problem) 與車輛路徑選擇問題 (vehicle routing problems)，前者為無車輛容量限制的單一路線節點組合問題，後者則考慮車輛容量限制，是多路線節點服務組合問題。Laporte [55] 研究旅行推銷員問題，Benton and Rossetti [56] 則研究間斷顧客需求情況之車輛路線問題，Stewart et al. [57] 與 Bertsimas [58] 求解隨機需求之車輛路線問題，Haughton [59] 則以不完全固定路線之情況訂定顧客隨機需求下之規劃策略，並測試各策略獲得之收益。Crevier et al. [60] 有鑑於食品配送問題，建構多場站車輛路徑選擇問題 (multi-depot vehicle routing problem) 模式，並以禁忌搜尋法求解範例。

路網中車輛指派、車輛轉運、車輛容量分配等問題亦是決策者關切之中期戰術規劃領域，Marín and Salmerón [61]以鐵路貨物運輸路網為例，比較模擬退火法、禁忌搜尋法、下坡法(descending method)、分支定限法求解車輛排程與分配問題，作者認為小規模之問題以分支定限法求解有良好的效果，大規模之問題則適合以模擬退火法求解。Marín and Salmerón [62]假設以局部最佳解為 Weibull 分配，以尋找整體最佳解及其信賴區間，比較各啟發式解法求得之解，並建立比較之準則。

#### 4. 貨物排程

Jansen et al. [63]以德國郵政包裹運送服務引入 POP (Planung und Optimierung Programm)系統為例，利用最小成本流量問題(min cost flow problem)構建模式，賦予三種節點分別是進入(incoming)、儲存(stocking)、流出(outgoing)，結果指出以資料架構與平衡二元搜尋樹(balanced binary search trees)可同時規劃包裹分派、空車平衡、人員排程等每日郵政問題。包裹分派涉及運具之選擇，德國郵政以貨車與鐵路為主，鐵路運輸具備長距離運送的成本節省性；顧客可選擇包裹翌日到達或是第二天到達，即使是運送時間不同，包裹亦可合併以節省成本。作者們放棄一般路網規劃的空車平衡概念，取而代之的是指派空車至下一個需求點，如同下棋佈局，使空車之移動發揮最大效益。該系統求解問題規模龐大，仍有相當彈性以供未來需求擴增或修正模式，以一般電腦或工作站求解時間約為 15 分鐘，屬合理範圍；德國郵政自 1997 年十一月導入該系統後，平均每日為德國郵政處理 4000 個貨櫃量，並降低百分之五的總成本，節省成本數百萬元。

貨運業與社會經濟發展有密不可分的關係，其快速發展帶來的許多工作機會，亦伴隨交通擁擠、環境污染與安全問題。Crainic et al.[64]思考一個可組織與應用科技的架構系統，導向整合性的貨運業營運規劃模式，以羅馬 (Rome) 之貨運業為實驗對象，研究結果車公里旅次減少為 68.71%至 71.58%，車小時旅次減少為 68.90%至 72.20%。作者表示這僅是數值上的成果，該系統搭配低污染與能源節省的貨運車輛對環境之長期效益還待評估。

羅吉斯特模式(logistic model)可用以描述一項商品的推廣期、成長期、成熟期與衰退期之軌跡，Chou et al. [65] 利用 logistic model 描述如高科技產品此類生命週期較短的產品，在假設商品價格不隨時

間變動下，構建每一個運送週期的單位時間成本，並以啟發式演算法求解，探討依消費者需求分佈的送貨排程問題。

表 5 中期策略規劃相關研究－運具(車輛)選擇

文獻	研究對象	研究方法	研究內容	重要發現
Nam [39]	包裹託運者（需求面）	個體行為模式	分析韓國包裹託運者之特性	託運者優先考量包裹之運輸時間，其次是運輸費率與可及性，最後是運輸之頻次
Picard and Gaudry [40]	貨物託運者（需求面）	羅吉特模式	考慮運輸成本與運送時間之城際運輸	以羅吉特模式評估鐵路與公路運輸兩種運送方式被選機率
Nijkamp et al. [46]	歐洲貨運（需求面）	個體選擇模式、類神經網路模式	比較個體選擇模式與類神經網路模式之描述能力與預測能力	類神經網路模式空間上貨物流量之預測能力較佳，個體選擇模式則適合用於短期預測
Guelat [48]	貨物託運者與運送者（供給面）	數學規劃模式	針對多運具多貨品之環境下做路網指派	該模式在眾多運具、路網與作業員中選擇最適者，完成顧客委託之各種商品之運送

[資料來源：本研究整理]

表 6 中期戰術規劃相關研究－服務路網設計

文獻	研究對象	研究方法	研究內容	重要發現
Crainic [49]	貨運業者	文獻評析	貨物運輸業的路網設計	回顧歸納求解問題數學方法
Ali et al.[50]	貨運業者	數學規劃模式	求解貨物運輸與設點區位成本最小問題	運用部分迂迴啟發式於此類問題求解結果最佳
Smith and Moses[51]	石油運輸企業	重力模式	石油運輸企業之運輸規劃	提供實體系統與定價之財務策略
Southworth and Peterson[52]	貨運業者	GIS 技術、模擬方法	零擔貨物於不同路網上之轉運站指派	藉由 GIS 可有效連結不同屬性之路網，並依據貨物起訖點，快速指派貨物至路網上最適之起訖轉運站
Fernández et al. [54]	貨物託運者與運送者	數學規劃模式	影響託運者與運送者決策之因子	該模式可適當描述託運者之行為

[資料來源：本研究整理]

表 7 中期戰術規劃相關研究－路徑選擇與車輛派遣

文獻	研究對象	研究方法	研究內容	重要發現
Haughton(59)	貨運業者	數學規劃模式	不完全固定路線之情況訂定顧客隨機需求下之規劃策略	比較策略之差異
Crevier et al.(60)	食品配送業者	數學規劃模式	配送路徑最佳化求解	構建 MDVRP 模式
Marín and Salmerón(61)	鐵路貨運業者	數學規劃模式	車輛排程與分配最佳化問題	建議以模擬退火法求解大規模問題
Marín and Salmerón(62)	鐵路貨運業者	數學規劃統計方法	尋找整體最佳解及其信賴區間	建立比較準則

[資料來源：本研究整理]

表 8 中期戰術規劃相關研究－貨物排程

文獻	研究對象	研究方法	研究內容	重要發現
Crainic et al.[64]	貨運業者	數學規劃模式、模擬方式	城內貨物運輸整合規劃	整合結果車公里旅次減少為 71.58%，車小時旅次減少為 72.20%
Jansen et al.[63]	德國郵政包裹運送	數學規劃模式	郵政包裹營運規劃	實務上有效降低成本達數百萬

[資料來源：本研究整理]

### 2.2.3 短期作業規劃相關研究

關於儲位指派相關研究，以往的儲位指派問題多被定義為一種空間佈置的問題，且多以數學規劃模式求解；而最早被提出的空間佈置模式為二次指派問題(quadratic assignment problem, QAP)，二次指派問題最早係由(Koopmans & Beckmann[66])提出，並以最佳化方式求解；由於 QAP 模式為非線性的目標式，在求解上較困難且複雜，因此之後的相關研究多著重於尋找有效率的啟發式解法以求解這類空間佈置的問題(Armour & Buffa,[67]; Hillier & Connors[68])；而這類的問題也於 1976 年被證明為 NP-Complete 的問題(Sahni & Gonzalez[69])，亦即當分類數超過 15 個時，則即使使用分枝定限法(branch-and bound approach)也難以求解。QAP 問題除了求解困難外，另假設各候選位置為已知且固定，各候選位置面積必須相等，這與實際情形相差甚遠；(潘昭賢與林國傑[70])以兩階段進行儲位指派，在第一階段加入(Hesskett [71])提出的訂單體積指標(Cube-Per Order Index, COI) 構建起始解，該指標是用來瞭解物品暢銷性與物品體積大小的指標，當物品的單位體積越小或物品暢銷性越佳時，則該物品在構建起始解時會較靠近出口，第二階段則根據二次指派問題(quadratic assignment problem, QAP) 模式利用模擬退火法來求解，該二次指派問題模式主要加入物品間相關性的考量，所以經過此一階段指派，將可以減少物品總體的揀貨距離；而該研究仍然無法改善二次指派問題模式的缺失，亦可能會造成儲位數設置過多(儲位利用率低)、每種物品保留的儲位數都相同、較不適用於具動態需求的商品等缺失。

其他研究尚包括(Sadiq et al.[72])將群集分析法(Cluster analysis, CA)應用於儲位指派問題，此方法將不同物品做分類，每一種分類做為一個儲區，並且求解揀貨距離，找出揀貨距離最小的儲位配置，以啟發式解法求解，此方法提供了一種可以檢視物品相關性與動態規劃儲區的方法，亦改善部分二次指派的缺失；(鈴木震[73]；簡美珍與陳振明[74]；王承新[75])利用訂單-物品-數量(Entry-Item-Quantity, EIQ)分析法來規劃物流中心內的長期空間佈置與揀貨系統，此方法主要在探討訂單數、物品種類、訂購數量三者之間的關係，並依據這三者之間的關係作儲位的規劃設計，以提昇整體物流中心的作業效率，然該方法主要以平均值的觀念來進行指派，較難針對商品需求量具依時變動的特性進行探討。

在自動倉儲系統方面的文獻有很多，但針對儲位指派方面的研究則較少，如(Hausman et al.[76])分別比較三種自動倉儲系統的儲位指派策略：1.分類儲放(依產品週轉率分類分區，如將儲位分做暢銷產品區與非暢銷產品區兩類) 2.隨機儲放(每一個物品被指派至任何儲位之機率均相同) 3.完全依週轉率指定儲位(每一種產品項的儲位規劃必須滿足其產品對儲位的需求)，而分類儲放與指定儲放的指派策略均是將週轉率較佳之產品放置較接近出口/裝卸站的儲位(儲區)，結果發現依據產品週轉率來指派儲位(儲區)的指派策略可以減少揀貨距離與時間，其中以完全依產品週轉率指定儲位之指派策略的改善效果最佳；另(Linn & Wysk[77])將儲位指派的策略分做四種：1.隨機儲放 2.最低層優先儲放 3.最小運送時間優先儲放 4.完全依週轉率指定儲位，前三種的指派策略與產品之週轉率無關，而結果顯示，當倉庫內產品的流量越密集時，3與4的指派策略會減少揀貨的距離與時間，但當產品項超過10時，則以4的指派策略會較佳；(Thonemann & Brandeau[78])以(Hausman et al.[76])研究為基礎，利用數學推導方式指出在不確定的產品需求下，以產品週轉率作為指派儲位的策略時，會比隨機指派的策略節省更多的運送時間。但完全依週轉率指定儲位(每一種產品項的儲位規劃必須滿足其產品對儲位的需求)之指派策略在實務上會造成儲位利用率不佳的問題，因此(Eynan & Rosenblatt[6]; Kouvelis & Papanicolaou[8]; Rosenblatt & Eynan[7]; van den Berg, [9]; etc.)等文獻多著重於如何規劃儲區與產品分類的相關研究，如[van den Berg[9]]以動態數學規劃方式，依據產品週轉率將產品做不同分類，其中假設各產品之需求曲線已知，並維持特定存貨水準下，以啟發式解法於多項式時間內，求解各產品分類的儲位配

置，結果顯示產品需求較高之產品會指派至較接近出口/裝卸站之儲位。其他有關自動倉儲系統的研究課題有：存取機居留點選擇問題(Egbelu[79]; Hwang[80]; etc.)、揀貨路徑問題(Graves et al.[81]; Han et al.[82]; etc.)、選擇產品項目置入自動倉儲問題(Hackman & Rosenblatt[83]; etc.)等相關課題。藉由上述的研究中亦可發現，自動倉儲系統的效益有：增加儲存能量、增加空間使用率、增加倉儲產品控管能力等優點，而這些效益對於低溫物流中心而言，與其他類型物流中心相較下，顯得更為重要。而儲位高利用率與揀貨高效率分別是未依週轉率指派（如：隨機儲放）與依週轉率指派之指派策略（如：分類儲放）的優點，故本研究根據需求預測與動態的方式做指派，使兩項優點可以同時並存，並以簡潔的數學規劃模式做求解。

另一方面，(van den Berg and Sharp[84])針對倉儲空間分做儲存區與運送區的問題，其中運送區的功用在於貨物依訂單需求由儲存區取出，然後集結，再裝車送至中下游，而揀貨作業多在運送區進行，又揀貨作業通常屬於瓶頸作業，故該文獻以節省物流中心人力為目標，使減輕揀貨作業於運送區的負擔，結果顯示將揀貨作業配置於先前較為閒置的區段，並增加機具的使用，可降低倉庫內所產生之擁擠與意外的情形發生。(van den Berg and Zijm[85])指出以往存貨理論的研究，較少以倉儲系統的角度著手，故提出以供應鍊的方式(即整體觀點)，根據以往有關存貨理論的研究構建長期存貨成本以及單位時間訂購成本最小之目標，再結合其他儲位指派相關研究模式以做為例子，說明以此方式設置倉儲管理系統，可減少存貨成本，並且加快整體的反應時間。

其餘的儲位指派研究大多是探討海運貨櫃的儲位問題，(Taleb-Ibrahimi et al.[86])針對出口貨櫃進行研究，發現以動態的方式對貨櫃做指派，並且於貨櫃場中保留緩衝儲位，可以有效地減少儲位的浪費；(Chuqian et al.[87])提出由於貨櫃的存放目的不同，需要處理的方式也不同，因此將貨櫃儲放場中的單一儲位分做四種不同存放目的，並以兩階段進行指派，第一階段在瞭解如何以最節省時間的方式將貨櫃移下船，而第二階段則以距離最節省方式將貨櫃指派至貨櫃存放場(儲位)，這兩階段的進行是有先後順序的，研究結果顯示上述的動態指派模式比較合乎真實情況並且有不錯的效果。

#### 2.2.4 營運規劃相關文獻總結

長期運輸課題營運規劃之內容與範圍涉及沉沒資金之投資，計畫之同時政府需予以輔助與監督，以確保未來營運順利並發揮投資最大功效。中期則是系統內最佳化課題或提升系統績效，而顧客市場瞬息萬變，運輸業者須留意市場變化予以適當的調整營運規劃。比較長期規劃與中期規劃之核心差異，長期規劃著眼於企業服務目標，強調資源之取得，中期規劃則是在有限資源下做資源之分配，使資源發揮其最大效益。

而以上針對中長期策略規劃文獻回顧顯示區位選擇、網路設計、服務網路設計、車輛路徑選擇、車輛派遣與貨物排程等課題皆有豐富之研究，而運具選擇則多就需求面做探討，本研究針對全溫層貨物之運送規劃適當技術之設備與容量，以求成本最小化下將貨物完好送達目的地，該技術設備包含有場站倉儲設備與運具等，此類研究相關文獻尚付之闕如；此外，本研究亦從短期營運規劃觀點，建構動態儲位指派模式提升場站空間利用率、作業效率與競爭優勢，但過去研究多對一般化物流中心在中長期的儲位配置與策略面的研究，較不適用於需求量依時變動大的商品，如低溫食品，因此本研究嘗試以低溫食品做為本研究對象，結合低溫食品的特色，如低溫食品的易腐性、低溫食品的需求量易隨時間有明顯變化與各種低溫食品間的相關性高等特性，做為本研究模式構建之重要依據。

### 2.3 軸輻網路相關文獻

基於市場需求、法令規定及地理幅員之不同，各零擔貨運業者採取不同的貨物運輸營運方式。Godon and Neufville [88]指出，同樣連接相同數目的場站，軸輻網路(hub and spoke network)較直接服務式網路(direct service network)大幅減少直接相連的路線數，因此於成本上更為經濟。目前國外大型零擔貨運業者常以軸輻網路作為貨運運輸網路架構，但國內路線貨運業則因需求面之貨物處理量未達經濟規模、貨物大小包裝不一致，供給面則因場站密度高、站所間距離短、場站月台空間受限等諸多因素，未普遍採用軸輻網路，取而代之的是以內部營運網路的長途班車採沿途裝卸作業方式營運。

關於中繼站區位的研究首先由 O'Kelly[89]與 Klincewicz[90]提出二次方程式整數規劃求解，之後相關的區位問題與求解方法陸續被提出，如線性目標函數之研究(O'Kelly et al.[91]; Klincewicz[92]; Skopin-kapov[93]; Ernst and Krishnamoorthy[94]; Nickel et al.[95])，並以零一變數決定中繼站的使用與否，之後有研究提出目標函數為非線性函數的觀點(O'Kelly and Bryan[96]; Guldman and Shen[97]; Illia and Laura[98])，此時的中繼站成本為遞增凹函數(concave increasing function)。故本節將回顧軸輻網路與零擔貨運業之相關研究，2.3.1 將討論軸輻網路之經濟效益，2.3.2 回顧單一中繼站指派之軸輻網路，2.3.3 回顧多重中繼站指派之軸輻網路，2.3.4 為貨運業軸輻網路營運規劃相關研究。

### 2.3.1 軸輻網路之經濟效益

本小節將以經濟觀點與敘述性分析，探討軸輻網路系統於貨物運輸之應用。轉接點(hub)此名詞最早被美國民用航空局採用，主要是美國在1978年後解除了航空管制政策，各家航空公司對於航線規劃與航站設置掌握了自主權，為了能有效降低營運成本，便開始採用軸輻網路結構概念規劃航空網路。而軸輻網路系統運用於航空客運貨運、陸運運輸、電信通訊網路與其他的物流系統領域者應用相當多，相關研究與文獻相當豐富，以經濟效益為研究重點之文獻以航空市場首當其衝。

過去航空管制的時代，部分航線由於乘客數少，導致航空公司對乘客不足之航線採取班次少、票價高的策略，而軸輻網路系統的建立，對航空公司與乘客、貨主而言都有莫大之影響，Brown[99]以經濟觀點分析軸輻網路系統對飛航班次數、票價與旅客需求間相互之影響關係。轉運站的設置會將某一條特定航線的乘客轉移到其他航線上，對乘客而言之最大利益為飛航班次的增加，但相對的飛航班次之增加有可能影響航空公司之票價訂定，票價訂定的高低不僅影響旅客的搭乘意願，其航線收入亦影響航空公司是否足以支付維持航線之營運成本與提供飛行此航線的飛航班次。

Drezner[100]研究美國與加拿大兩國的跨國航線，以多元迴歸與經濟分析方法，從轉運站設置點之差異對不同航空公司經營不同跨國

航線之影響進行探討。其貢獻不單是從轉運站之流量匯集功能探討軸輻網路問題，更加入從轉運站所延伸出去的航線產生之問題一併考慮。假使跨國航線與美國境內的轉運站相連接，對美國籍航空公司而言會吸引較多的旅客；若跨國航線與加拿大境內的轉運站相連接，對加拿大籍航空公司亦會吸引較多的旅客。這代表預先規劃良好之跨國航線，對兩國航空公司所經營不同的跨國航線必能共創較多的利益。

貨物運輸與旅客運輸所考慮因素與特性不盡相同，Chestle[101]以敘述性方法探討航空貨運服務之特性及軸輻航空網路於貨物運輸之應用。Federal Express 每日運輸的包裹首先由陸運運輸車輛蒐集，再運送至機場，較其他貨運公司更有效率之原因是Federal Express採用軸輻網路系統。美國在未解除航空管制前之航線與航線總流量管制，造成Federal Express 巨大的損失，開放航空市場後，Federal Express之業績扶搖直上。

以航空快遞而言，通常以大型飛機運輸主線之貨物，以較小的飛機運輸之線之貨物。Kuby and Gray [102]比較純軸輻式網路與在主線與支線上採用沿途或卸貨物的軸輻網路型態，以成本、飛行里程、承載率、航班數量等因子分析美國某家貨運公司於內陸西部單一中繼站網路之資料進行，以窮舉法找尋所有可能的貨物路徑與機型組合，以CPLEX軟體求解。實證分析結果證實在主線與支線上採用沿途裝卸貨物的網路型態，具有較高的承載率與較低的成本。

早期零擔貨運業者的營運網路採用起點與迄點的直接網路運輸，此類營運模式因每一運具的承載率低，故所耗用的運具較多，Akyilmaz[103]以零擔貨運業者為例，原有網路結構與站所位置不變之情況，車輛與人員配置固定之前提下，利用簡單的啟發式演算法，探討零擔貨運業者如何透過貨物於站所組裝的功能，重新考慮貨物之排程，證實中繼站組裝之主要功能是減少空車之里程數，進而降低營運成本。

此節文獻主要探討軸輻網路系統，在運輸網路上的應用與轉運站的設置所帶來的經濟效益，以了解軸輻網路系統的應用對業者所帶來的利益，透過文獻探討，可以得知以內部營運網路的長途班車採沿途裝卸作業方式營運，有著較高的承載率與較低的成本。

表 9 軸輻網路之經濟效益相關研究

文獻	研究對象	研究方法	研究內容	重要發現
Brown[99]	航空公司與乘客	經濟分析方法	軸輻網路系統對飛航班次數、票價與旅客需求間之影響關係	對乘客之最大利益為飛航班次的增加，飛航班次之增加有可能影響航空公司之票價訂定
Drezner[100]	航空公司	多元迴歸與經濟分析方法	轉運站設置點之差異對航線之影響	預先規劃良好之跨國航線對雙方都可吸引更多乘客
Chestle[101]	Federal Express	敘述性方法	航空貨運服務之特性及軸輻航空網路於貨物運輸之應用	FedEx 採用軸輻網路系統較其他貨運公司更有效率
Kuby and Gray [102]	航空快遞	數學規劃法	比較純軸輻式網路與在主線與支線上採用沿途或卸貨物的軸輻網路型態	主線與支線上採用沿途裝卸貨物的網路型態，具有較高的承載率與較低的成本
Akyilmaz[103]	零擔貨運業者	數學規劃法	探討業者透過貨物組裝重新考慮貨物之排程	中繼站可減少系統空車之里程數進而降低營運成本

[資料來源：本研究整理]

### 2.3.2 單一中繼站指派

軸輻網路的結構是由節點(node) 與節線(link)所構成，節點包含營業所(center)與中繼站(hub)等兩大類，營業所之主要功能是旅客或貨物的集散點，而具轉運或組裝功能之營業所即是中繼站或是轉運站(transit center)。軸輻網路系統若以指派的方式分類可分做單一中繼站指派與多重中繼站指派(Bryan and O'Kelly[104])。

單一中繼站指派定義為一個軸輻網路結構內任一節點欲與其他節點連接，其流量都必須且僅能經過一個中繼站，此問題首先由 O'Kelly [89]規劃為求總網路成本最小化下的二次整數規劃，目標函

數為非凸函數(non-convexity)，研究證實經由中繼站的網路設計使流量聚集可達經濟規模。陳春益與蔡蕉蘭[105]求解總營運成本最小化問題，在貨物運輸業者營運網路固定下尋找每一貨物起迄對之貨物運送路徑。該營運網路每一節點僅指派給一個中繼站，並且具方向性，即對每一中途停靠站皆可同時裝卸貨物作業。此外，該類軸輻網路常見形式為層級式軸輻網路，敘述如下：

層級軸輻式網路(Hierarchical H/S network)屬於具沿途停靠與支線的軸輻式網路(hub-and-spoke with stopovers and feeders, H/S with SF)之一種，此一網路結構，任何營業所僅能被指派至唯一的中繼站，每一營業所有其所屬指派的中繼站，整個營運網路以中繼站為主，而分割為數個分區，每一分區有一個中繼站，分區內的路徑稱之為支線(secondary trunk line)，支線連接每一個營業所及其所屬之中繼站，支線則具沿途單向裝貨或卸貨(Current[106][107]; Lin[108]; Lin and Chen[109])的特性。各中繼站之間則以較大型之運具連接，稱之為主線(primary trunk line)。支線的車輛路徑在往中繼站的方向，以其分區之中繼站為車輛路徑的終點，並允許於中途有停靠站。

Current[106][107]提出層級式網路設計問題(hierarchical network design problem)，在已知主線(primary path)起迄點下找出k條最短路徑，再以這些最短路徑的主線節點出發，以最小擴張樹找到最小營運成本的運輸網路支線(secondary path)，研究中的最小擴張樹在每一節點的分支度(degree)並沒有限制。Lin[108]的研究則增加最小擴張樹上各節點分支度的限制，即在端點時其數為1，而中間點時其數為2的分支度限制(degree constrain)，如此可避免班車路徑經任一節點分裂成兩部以上班車之不合理現象，同時研究亦探討時間對班車路線的限制。

陳春益、林正章、高玉明[110]以國內某大路線貨運業為進行貨物排程問題之研究，並利用Dantzig-Wolfe 分解演算法求解屬多元商品網路問題之貨物排程模式。此模式乃根據路線貨運業網路及貨物排程之特性，將營運網路予以電腦化，進而構建貨物排程模式，但模式中未考慮中繼站作業容量及演算法之效率改善問題。

林正章、黃冠翔[111]提出以節線流量為決策變數來構建模式，並採用懲罰函數演算法(penalty function)使貨物排程模式成為一凸非線性函數，最後以Frank-Wolfe 演算法求解此模式。

貨物運輸實務界之營運作業限制對任一起迄對規劃單一的站所路徑但允許多重的載貨路徑，因此林正章[112]，提出啟發式分解演算法(decomposition heuristic algorithm)，將模式分解成兩個子問題：(1)決定滿足站所容量、時效性與進入擴張樹的任一起迄對單一貨物站所路徑；(2)決定單一貨物站所路徑的多重貨物被載運路徑與容量。單一貨物站所路徑子問題以任一起迄對轉運次數最少的可行貨物站所路徑所構成的可行解區間，採窮舉法(Complete Enumeration)，決定一個總成本最小的貨物站所路徑組合。

### 2.3.3 多重中繼站指派

多重中繼站指派問題十分類似單一中繼站指派問題，唯一不同是其節點可同時分派至一個或一個以上之轉接點，因此可視單一中繼站指派問題為多重中繼站指派之特例。該類軸輻網路常見之型式為純軸輻網路，敘述如下：

Lin[113]研究時效性零擔貨運業的貨物排程模式，建立以節線為決策變數的數學模式，並提出隱約窮舉法(implicit enumeration)進行求解。基本觀念是對任一起迄對，列舉所有滿足時效要求的貨物路徑，依序檢測尚未被納入之起迄對的貨物路徑，若此貨物路徑不違背容量限制或是進入擴張樹等限制式，且其下限值小於現在的最佳解，則將此路徑納入。否則，則按其所違背的限制式分支到不同的起迄對的一條貨物路徑。如此反覆進行，直到所有的貨物路徑皆被檢測為止。下限值是以所收集之起迄對路徑成本與未收集起迄對最小路徑成本的總和。若有可行解存在，則現在的最佳解即為此模式之最佳解。不然可行解集合為空集合。作者驗證隱約窮舉法所得到的解比拉氏鬆弛法較接近最佳解。

貨物路徑問題假設運具選擇已知，另外運具選擇與均衡問題假設貨物路徑已知，因此必須相互回饋，因而形成載運問題(loading planing)。亦即定義為貨物如何由起點站所運送至中繼站，經分類、組裝之後再運送至迄點站所，其中需決定貨件的運送路徑(貨物排程問題)及決定車輛/貨櫃型式與數量。Powell and Sheffi [114] 研究非時效性零擔貨運業之載運規劃問題，建構一大型混合整數問題，同時將整個問題分解為貨物路徑選擇問題(freight routing problem)、貨櫃均衡問題(empty balancing problem)以及是否直接提供服務路線之網路設計問題(network design problem)。服務的頻率考量零擔貨運業者在

貨物排程實務經營上的處理原則，亦即無論起迄需求量的多寡，各起迄點每日至少維持一班車輛以維持服務。

Leung et al. [115]則研究時效性零擔貨運業，構建路線規劃(routing planning)模式，將站所容量及車輛裝載容量放入模式中，而此問題為一大型混合整數規劃問題，求解的過程將模式層次性分解為容量限制性指派問題(assignment problem with constraints)與排程問題(routing problem)。主要係著重於貨物路徑的選擇與車輛數量之指派，使營運總成本最低。此模式僅考慮單一型式的車輛，也不考慮車輛之均衡問題。並以拉氏鬆弛法(Lagrangian Relaxation Method)求解，由於用分解求解而無回饋的演算法，無法保證求得正確解。

Lin[116]提出  $\epsilon$  差距的隱約窮舉法(implicit enumeration with  $\epsilon$ -optimality)。隱約窮舉法考慮所有可行解，同時針對非包含所有起迄對，但不違背任何限制式的局部可行解，求取下限值以決定是否繼續搜尋或分支至其他組合。整合性求解法考慮分解各模組間相互影響與回饋的關係，不但可求得更佳解，同時當  $\epsilon$  設為零時，更可以得到最佳解。

表 10 層級式軸輻網路單一中繼站指派之相關研究

文獻	研究對象	研究方法	研究內容	重要發現
陳春益、林正章、高玉明 [110]	國內路線貨運業	數學規劃模式	多元商品之貨物排程問題	可根據路線貨運業網路及貨物排程之特性予以電腦化
林正章、黃冠翔 [111]	貨物排程問題	數學規劃模式	貨物排程問題	以節線流量為決策變數構建模式
林正章 [112]	貨物排程問題	數學規劃模式	滿足站所容量與時效性之貨物路徑	啟發式分解演算法

[資料來源：本研究整理]

表 11 純軸輻網路多重中繼站指派之相關研究

文獻	研究對象	研究方法	研究內容	重要發現
Lin[113]	時效性零擔貨運業	數學規劃模式	貨物排程模式	隱約窮舉法所得到的解比拉氏鬆弛法較接近最佳解
Powell and Sheffi [114]	非時效性零擔貨運業	混合整數數學規劃模式	貨物路徑選擇問題、貨櫃均衡問題以及是否直接提供服務路線之網路設計問題	結合貨物路徑選擇問題、貨櫃均衡問題以及服務路線之網路設計問題
Leung et al. [115]	時效性零擔貨運業	混合整數數學規劃模式	考慮站所容量及車輛裝載容量之路線規劃問題	藉由貨物路徑選擇與車輛數量之指派，使營運總成本最低
Lin[116]	多重中繼站指派之純軸輻式網路	數學規劃模式	貨物載運問題	提出 $\epsilon$ 差距的隱約窮舉法，設 $\epsilon$ 為零時可得到最佳解

[資料來源：本研究整理]

#### 2.3.4 貨運業軸輻網路營運規劃相關研究

與貨運業規劃相關研究討論議題有貨櫃選擇均衡問題(Eckstein and Sheffi[117])、貨物排程與網路設計問題(Powell and Sheffi[114])、貨物排程問題(Crainic[118])與貨櫃載運問題(Leung et al.[115])。Eckstein and Sheffi[117]利用拉式鬆弛法為下限值的分支界定法(branch and bound)，求解單一中繼站、單種貨櫃型態至多托掛雙貨櫃聯結車(twin trailers)之貨櫃選擇與均衡問題。Powell and Sheffi[114]利用分解啟發式演算法，在僅考慮單一貨櫃型態之情況下，對非時效性零擔貨物運輸業者的載運問題，將模式分解為貨物排程、空櫃平衡與班車行駛頻率的網路設計等三個子問題，分別進行求解。

Crainic[118]提出以路線服務頻率與貨物路徑為決策變數，求取目標函數包括運輸成本、貨物組裝成本、場站容量擁擠懲罰成本及服務延誤懲罰成本之總成本最小的模式，其為一非線性、大型混合整數規劃問題之貨物排程問題，並將其應用於零擔貨運業及鐵路貨運業。

Leung et al.[115]針對時效性貨物運輸業的載運規劃問題進行研究，並且構建路線規劃模式，該模式為一同時考量站所處理容量、車輛裝載容量之大型混合整數規劃問題，但該模式僅考慮單一車種之型態。該模式主要著重於貨物路線的選擇與貨櫃數量之指派，作者將整合性問題分解成營業所起訖對指派至中繼站起訖對的指派問題與中繼站起訖對間的多元商品流量等兩子問題。並且以拉氏鬆弛法求解。Illia and Laura[98]提出兩個啟發式解法求解piece-wise成本函數之運具選擇問題，以三十個節點之路網測試亦能快速求得結果。

### 2.3.5 軸輻網路相關文獻總結

軸輻網路藉由流量匯集達到規模經濟之特性已獲得許多研究之證實，對業者而言可節省成本，若業者於供給面增加班次，相對於顧客則有更多之選擇。目前軸輻網路普遍應用於航空貨運與客運業、貨物運輸業、電信業，與之相關研究相當豐富。軸輻網路為區位問題之延伸，但由於該問題屬於NP-hard的問題，因此相關文獻大部分多著重演算法之發展與提升，以區位問題為主軸應用於貨運課題者占少數；應用於貨運課題之軸輻網路問題者多對基本作業層面做探討，如貨物載運問題、排程問題、貨櫃選擇與均衡問題，與中長期貨運運輸營運規劃之網路設計、車隊選擇、技術選擇等相關研究則佔少數，本研究期以軸輻網路之架構，建立適用於全溫層物流所適用之技術類型、車輛型式、車輛路徑、車輛容量、貨物路徑與各路徑服務頻次之整體網路模式。

## 2.4 灰預測和分支定限法相關文獻

此章節將介紹本研究中所使用灰預測和分支定限法的概念，並介紹相關研究與應用。

### 2.4.1 灰預測

灰色系統理論（Grey System Theory）是由鄧聚龍教授於1982年所提出，主要是針對系統在模型之不明確性，資訊之不完整性的情況之下，所進行有關於系統的關聯分析（Relational Analysis）與模型建構，藉由預測及決策的方法來探討並瞭解系統。灰色理論的應用範圍極廣，主要能對事務之「不確定性」、「多變量輸入」、「離散的數據」以及「數據的不完整性」進行有效的處理。該理論之

主要特點在於其可僅依少數的系統輸出取樣點(至少 4 個點)，即能對一未知系統的動態行為進行預測。

灰預測是以 GM(1, 1) 模型為基礎對現有數據所進行的預測方法，實際上則是找出某一數列中間各個元素之未來動態狀況，一般分為下列幾種：

1. 數據預測：對數據大小進行數列預測。
2. 異常預測：對一定時間內是否有異常現象發生的預測。
3. 拓璞預測：對現有數據構成之圖型發展狀態所作的預測。
4. 系統預測：結合 GM(1, 1)及 GM(1, N)，對系統中得多個變量進行預測，了解彼此之間的關係。

主要的優點為所需的數據不用太多且不須符合常態分配，數學基礎和計算方法相當簡單，不會產生與定性分析矛盾的結論等優點。二十多年來經過鄧聚龍教授以及國內外廣大灰色系統研究及應用學者不懈耕耘和開拓，使得灰色系統理論體系愈加完善，並已成功地應用於實際領域之中，如宋欣財(2003)該研究主要是在建立標準化之專案排程趕工決策模式[122]，包含有灰預測專案進度、模糊專案排程、模糊時間與模糊成本權衡、以及最適趕工方案決策等四個子模式。該研究根據所建立之模式，開發一專案排程趕工決策系統。經由專案排程案例之應用與驗證結果，顯示利用灰預測理論進行專案進度趨勢之短期預測具適用性與不錯之準確率；黃仲達(2003)該研究利用灰預測理論預測農產銷售量[123]，並藉由與迴歸分析、時間序列分析的比較，探討灰預測應用於農產銷售預測之適用性。另運用灰關聯分析，建構供貨商評鑑模式及探討影響農產供銷合作關係因子的供應鏈之關聯性。研究對象為供應桶筍及魷魚的南部某中盤商，由預測精確度實證分析中，灰預測從預測精確度、模型的等級評定及使用的樣本數等多方面來看，其整體表現優於時間序列分析及統計的線性迴歸分析，證實了此模式之適用性。

使用灰預測於數學規劃模式上，可從文獻上得知應用灰預測理論於排程和供應鏈關聯分析上的可行性和適用性，本研究提出之動態灰預測模式，預期可反應需求量依時變動特性與簡化模式複雜度，進而完成整體模式構建。

## 2.4.2 分支定限法

當處理組合最佳化問題如銷售員旅行問題，背包問題、零工式生產排程問題、混合整數規劃等問題之求解時，最常用到分支定限法來做為求解最佳解的方法。分支定限法利用一些特定的條件將問題重複的分解，直到得到一個解或是證明其為不可行解。在這樣的概念下，分支定限法包含以下四個主要的部分：分支法則(branching rule)、評選法則(section rule)、排除法則(elimination rule)與停止條件(termination condition)。

### 1. 分支法則(branching rule)

分支法則是將問題分解成子問題時所採用的方法策略，一般依據不同的問題，會有不同的分支方式。一般而言多半使用啟發式的分解方式，以樹狀結構來表示整個問題分解的結構，其中樹狀結構中的最下層節點(leaf node)表示一個完整的解。

### 2. 評選法則(section rule)

評選法則的用途在於從已經評價但是未進一步分解的子問題集合中選取下一個進行分解的目標。依據不同評選的方式，維持此子問題集合於特定的排列順序。一般而言分支定限法多半是以評選法則的不同進行分類，可分成以下四類：廣度優先搜尋(breadth-first search)，深度優先搜尋(depth-first search)，越優解越先搜尋(best-first search)，隨機搜尋(random search)等四種不同方法。廣度優先搜尋分支定限法，其未分解子問題集合是依照先進先出進行排列。如果未分解子問題集合是依照後進先出進行排列，則歸類為深度優先搜尋。在最小化問題中，越優解越先搜尋將集合依據其評價後的值從小到大排列，優先選取最小下界值的子問題進行進一步分解。如果此集合未依一固定的方式排列，隨機選取子問題進行進一步分解，則歸類為隨機搜尋。

### 3. 排除法則(elimination rule)

排除法則是用來測試此問題所分解的子問題是否包含最佳解的方法。如果此子問題所分解後續子問題未能包含最佳解，可以將此子問題從未分解子問題集合中排除。

### 4. 停止條件(termination condition)

假如所有子問題都已經分解或排除，則達到分支定限法的停止條

件。目前所得到最好的解也就是問題的最佳解。分支定限法應用的範圍十分廣泛，亦有相當多的文獻探討其基本的特性。

近期之應用研究如 Ng *et al.* (2010)應用於求解具退化性工作件二機台之流程式生產排程問題[123]，Sourd and Kedad-Sidhou (2008)應用於求解具提前與延遲完工懲罰成本之生產排程問題[124]等。本研究採用分支定限法中評選法則的越優解越先搜尋方法，在達到終止條件前所計算的子問題個數，平均而言是最低的，有較低的時間複雜度，在此研究中可有效率的建構模式。

#### 2.4.3 灰預測和分支定限法相關文獻總結

本小節針對本研究為何使用此二種方法進行概略總結，在灰預測方法中，具備符合此研究之良好特性，只要四筆資料即可進行預測需求量，符合此研究中的模式設計，也不需要任何理論前提假設，即可進行分析預測；在於分支定限法中，因為由於解空間樹狀結構會隨著階層與分支數量，成指數性的成長，若單純根據上述的方法來搜尋整個解空間樹狀結構，其求解效率將不符合實務所需，而由於整個解空間樹狀結構只有部分為可行解，因此分支定限法透過修剪分支的方式，來減少解空間樹狀結構的搜尋範圍，進而提高求解效率，其主要的精神在於每個節點利用一定的規則，來判斷該分支是否有前途，若判斷往下不可能找到比目前更佳的解，則不再搜尋該節點以下之所有分枝節點，進而縮小搜索的範圍，因此如果在越上層停止分支，則能節省越多的演算時間，滿足此此研究所要求考量車輛規模經濟之特性，且能在有限時間內求解完成，進而滿足時間的特性。

### 第三章 模式構建

本章將分為中期戰術規劃（即全溫層物流設施規劃研究）與短期作業規劃（即低溫物流自動倉儲系統動態儲位指派模式研究）兩節，中期戰術規劃部分再細分二元混合整數規劃模式與車輛成本演算法兩小節，短期作業規劃則細分為第一階段儲位指派模式、動態灰預測模式(GM(1,1))與第二階段儲位指派模式三小節，並分別詳述如下。

#### 3.1 全溫層物流設施規劃研究

營運網路可區分為內部營運網路(Line-haul Operations Network)與外部營運網路(Local Services Network)，本研究僅就內部營運網路進行探討。目前物流業者於營運網路常用之陸運配送方式大多為，將整個配送區域做區隔，並將其分作多個分區，而在每個分區內由一個規模較大之中繼站負責收集該分區內與分區間所有貨物運送，以及將所有欲運送至該分區內之貨物配送至該區內之營業所，營業所則是業者與顧客間的重要媒介，主要負責從顧客端收取貨物與配送貨物至顧客端，而中繼站通常亦具備營業所此功能，其中營業所（或中繼站）與顧客端之運送服務屬於外部營運網路，不在本研究範圍；本研究認為此種配送方式與層級式軸輻網路（如圖 12 所示）相似，故本研究將以層級式軸輻網路作為本研究模式構建之基礎。

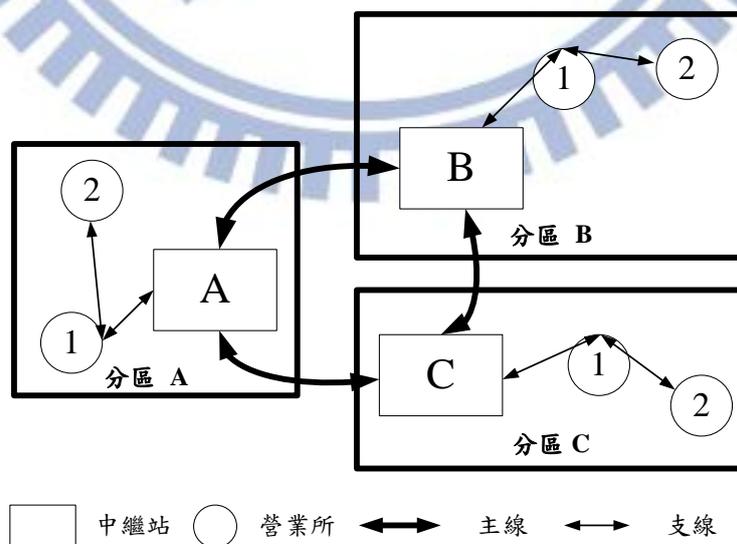


圖 12 單一中繼站指派之層級式軸輻網路基本型式

### 3.1.1 全溫層物流設施規劃研究—二元混合整數規劃模式

本研究以每日所需付出之運送成本最小化為目標，運送成本包含：運輸成本與貨物處理成本。運輸成本則包含車輛成本與場站成本；車輛成本包含期初所需投資之固定成本，該成本主要與車輛型式、大小有關，而不同型式車輛在維修成本與使用年限上也不盡相同，以及車輛運送時所產生之營運成本，在此指的是油耗、維護與折舊所產生之成本，主要與運送距離（車輛路徑）、車輛型式、大小有關，本研究將上述各項有關車輛之成本統稱為車輛購買與營運成本；場站成本亦包括期初所需投資之固定成本與平時之營運成本，兩者均與場站使用技術、場站處理量有關，在此合稱為場站設置與營運成本，由於常溫貨物並不會因為場站使用技術改變導致場站設置與營運成本之變化，故該貨物處理量僅需計算冷凍與冷藏貨物之處理量即可。貨物處理成本是表示場站處理行經該場站之路徑的車輛上貨物所需耗費之成本，即裝貨前與卸貨後所需付出之貨物處理成本，該成本採以外包的概念，除場站基本人力（與技術無關）與設備，需額外付出之人力與機具使用之成本等，主要與使用技術、貨物處理量有關。

由於車輛購買與營運成本會隨車輛大小越大呈現規模經濟之現象，而車輛型式會直接影響場站技術之選擇，故本研究必須將該現象納入考量，但是此規模經濟特性，若納入數學規劃式中，會大幅增加運算之負擔，故本研究擬發展出計算車輛成本之演算法（於第3.1.2節介紹），結合本節所構建二元混合整數規劃模式之放鬆整數條件解，並以分支定限法與越優解越先搜尋之原則求解，此舉可反應車輛規模經濟之特性，且在有限時間內求解完成。

本章所構建之二元混合整數規劃模式以追求貨物處理成本與場站設置與營運成本最小化為目標，其中  $C_T$  表示業者每天需付出之貨物處理成本，如式(1)所示；分別計算以各種技術運送進出營業所與中繼站之貨物量，並乘以各種全溫層物流技術配送所需付出之單位貨物處理成本，即可得到業者每天需付出之貨物處理成本。

$$C_T = \sum_t \sum_{s^k} [\alpha^t \cdot \sum_a \sum_p (D_{s^k,p}^{t,a} + D_{s^k,p}^{t,a})] + \sum_t \sum_{k_1} [\alpha^t \cdot \sum_{k_2} \sum_a \sum_p (D_{k_1 k_2,p}^{t,a} + D_{k_2 k_1,p}^{t,a})] \quad (1)$$

$C_s$  表示業者每天需付出之場站設置與營運成本，如式(2)所示；由於技術  $t=1$  與  $t=2$  於場站內可共用設備，故在此合併考慮之。而使用技術  $t=1,2$  與  $t=3$  之場站，兩者之成本型態顯著不同。其中場站以技術  $t=1,2$  之設置成本，屬於沈沒成本，即須於期初投資大量的設置成本，該成本具有規模經濟之特色，該成本主要包含冷凍冷藏貨物所需之硬體設備費與能源使用費等； $C_n$  則表示以技術  $t=1,2$  服務場站貨物處理量（僅含冷凍冷藏貨物）等級為  $n$  之場站時，每日所須付出之場站設置與營運成本，並隨著場站每日貨物處理量增加（貨物量等級  $n$  改變），場站每日所須付出之場站設置與營運成本亦增加，而每一種等級的場站每日貨物處理量會有其上限，若超過該上限，場站將無法負荷，故場站必須選擇可滿足該場站每日貨物處理量的等級。另外在技術  $t=3$  之場站設置成本，屬於進入門檻低（期初投資成本低）之技術，此種技術可隨冷凍冷藏貨物之貨物量多寡訂購合適之設備量，也因此該規模經濟之特性較不顯著，而與該技術營運成本相關之能源使用費，跟設備量呈現正相關，且該規模經濟之現象亦不明顯，故本研究假設此種技術之每日須付出之場站設置、營運成本與場站每日處理冷凍冷藏貨物之貨物量呈現線性（斜率為正）之關係。

$$C_s = \sum_k \sum_{s^k} \sum_n C_n \cdot \delta_{s^k, n} + \sum_k \sum_n C_n' \cdot \delta_{h^k, n} + \sum_k \sum_{s^k} [\beta_1 \cdot \sum_p \sum_{a=1}^2 (D_{s^k, p}^{t=3, a} + D_{s^k, p}^{t=3, a'})] + \sum_{k_1} \{ \beta_1 \cdot [\sum_p \sum_{a=1}^2 \sum_{k_2} (D_{k_1, k_2, p}^{t=3, a} + D_{k_2, k_1, p}^{t=3, a'}) + \sum_{s^{k_1}} \sum_p \sum_{a=1}^2 (D_{s^{k_1}, p}^{t=3, a} + D_{s^{k_1}, p}^{t=3, a'})] \} \quad (2)$$

本研究所構建之二元混合整數規劃模式之限制式，如式(3)-(15)所示；由於層級式軸輻網路於支線上採單向沿途裝或卸之配送方式，故車輛路徑發生之載運容量瓶頸必出現在該車輛路徑行經之場站進或出的流量中，式(3)(4)則是針對使用技術  $t=1,2$  之各溫層貨物實際載運量必須小於適合該溫層貨物載運車輛一天可提供容量之限制式，例如某車輛路徑以技術  $t=2$  載運冷凍貨物，則該路徑必須根據三溫車所切割出之冷凍空間於一天中可提供之容量作為實際載運量上限；式(5)(6)則是針對使用技術  $t=3$  實際載運所有溫層之貨物量必須小於常溫車輛一天可提供容量之限制式，該限制式可反應出以技術  $t=3$  之常溫車載運較  $t=1,2$  具有空間利用彈性。而在主線上則允許沿途同時進行裝卸作業，故車輛路徑發生之載運容量瓶頸必出現在該車輛路徑行

經之線段上的流量中，式(7)(8)則分別針對使用技術  $t=1,2$  與  $t=3$  之實際載運量必須小於載運車輛一天可提供容量之限制式。式(9)(10)分別針對營業所與中繼站使用技術  $t=1,2$  情形下，業者必須提供大於場站實際處理冷凍冷藏貨物之貨物處理量等級做服務。式(11)為限制當場站以技術  $t=1,2$  營運最多只能以一種貨物處理量等級做服務。式(12)為限制運送至  $s^k$  營業所之貨物量必須大於  $s^k$  營業所實際需求量；式

(13)為限制從  $s^k$  營業所運送至各地之貨物量必須大於各地需求起迄

對的起點為  $s^k$  營業所之需求量總和；式(14)為限制運送分區  $k_1$  至分區

$k_2$  之貨物量必須大於需求起迄對的起點為  $k_1$  分區內營業所與迄點為

$k_2$  分區內營業所之需求量總和；式(15)表示模式中部份之決策變數為

二元整數。

$$\sum_{s^k} D_{s^k,p}^{t,a} \cdot \delta_{s^k,p} \leq V_a^t \quad \forall p \in P; t=1, 2; a=1, 2, 3; k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{s^k} D_{s^k,p}^{t,a'} \cdot \delta_{s^k,p} \leq V_a^t \quad \forall p \in P; t=1, 2; a=1, 2, 3; k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{s^k} \sum_a D_{s^k,p}^{t,a} \cdot \delta_{s^k,p} \leq V^t \quad \forall p \in P; t=3; k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{s^k} \sum_a D_{s^k,p}^{t,a'} \cdot \delta_{s^k,p} \leq V^t \quad \forall p \in P; t=3; k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{k_1 k_2} D_{k_1 k_2,p}^{t,a} \cdot \delta_{h_1 h_2,p}^{k_1 k_2} \leq V_a^t \quad \forall p \in P; h_1 h_2 \in A; t=1, 2; a=1, 2, 3 \quad (7)$$

$$\sum_{k_1 k_2} \sum_a D_{k_1 k_2,p}^{t,a} \cdot \delta_{h_1 h_2,p}^{k_1 k_2} \leq V^t \quad \forall p \in P; h_1 h_2 \in A; t=3 \quad (8)$$

$$\sum_n q_n \cdot \delta_{s^k,n} - \sum_p \sum_{t=1}^2 \sum_{a=1}^2 [(D_{s^k,p}^{t,a} + D_{s^k,p}^{t,a'}) \cdot \delta_{s^k,p}] \geq 0 \quad \forall k \in K; s^k \in S^k \quad (9)$$

$$\begin{aligned} & \sum_n q_n \cdot \delta_{h^k_1,n} - \sum_p \sum_{t=1}^2 \sum_{a=1}^2 \sum_{k_2} (D_{k_1 k_2,p}^{t,a} \cdot \delta_{k_1 k_2,p} + D_{k_2 k_1,p}^{t,a} \cdot \delta_{k_2 k_1,p}) \\ & - \sum_{s^{k_1}} \sum_p \sum_{t=1}^2 \sum_{a=1}^2 (D_{s^{k_1},p}^{t,a} + D_{s^{k_1},p}^{t,a'}) \cdot \delta_{s^{k_1},p} \geq 0 \quad \forall k_1 \in K \end{aligned} \quad (10)$$

$$\sum_n \delta_{s,n} \leq 1 \quad \forall s \in S \quad (11)$$

$$\sum_p \sum_t D_{s^k,p}^{t,a} \cdot \delta_{s^k,p} \geq D_a^{s^k} \quad \forall k \in K; s^k \in S^k; a=1, 2, 3 \quad (12)$$

$$\sum_p \sum_t D_{s^k,p}^{t,a} \cdot \delta_{s^k,p} \geq D_a^{s^k} \quad \forall k \in K; s^k \in S^k; a=1, 2, 3 \quad (13)$$

$$\sum_p \sum_{h_1 h_2} \sum_t D_{k_1 k_2, p}^{t,a} \cdot \delta_{h_1 h_2, p} \geq D_a^{k_1 k_2} \quad \forall k_1 k_2 \in M; a=1, 2, 3 \quad (14)$$

$$\delta_{s,n} \in \{0, 1\} \quad \forall s \in S; n \quad (15)$$

### 3.1.2 全溫層物流設施規劃研究—車輛成本演算法

車輛運送與營運成本之規模經濟特性會隨車輛大小越大而越形顯著，但業者通常在可滿足需求前提下，願意以較小之車輛搭配密集頻次運送，故本研究根據上述假設車輛購買與營運成本與車輛路徑一天曾裝載最大貨物量之關係圖，如圖 13 所示，即當車輛路徑一天曾裝載最大貨物量超過特定車輛大小並搭配該路徑所能提供最密集頻次之容量（a, b 點）時，則會選擇改以較大之車輛營運，一旦使用較大之車輛時，則會以較低之頻次服務，之後並隨著需求量增加而改變頻次，再者改變車輛大小，直到提供最大車輛與最密集頻次之容量（c 點）也無法滿足需求時，則必須以另一車輛路徑提供服務。而該成本則是由數條車輛大小之成本線所組合而成之線段（如圖 13 之實線部份），其中該成本包含之車輛營運成本與購買成本均與車輛路徑之長度相關，即當路徑長度越長，所需之營運成本越高，且為滿足該車輛路徑之發車班距而所需之車輛數亦增加，致使車輛購買成本亦提高；另使用之全溫層技術會直接影響車輛型式與車輛容量利用率，而車輛型式亦會直接影響單位距離營運成本與車輛購買成本，故可知該成本與車輛使用之技術、車輛路徑與一天可裝載最大貨物量有關。由於業者在中繼站與營業所之設備要求不盡相同，進而會影響揀貨效率，故本研究設定主線之最小班距為 1 小時（最大頻次為 24 班車/日），支線最小班距為 2 小時。

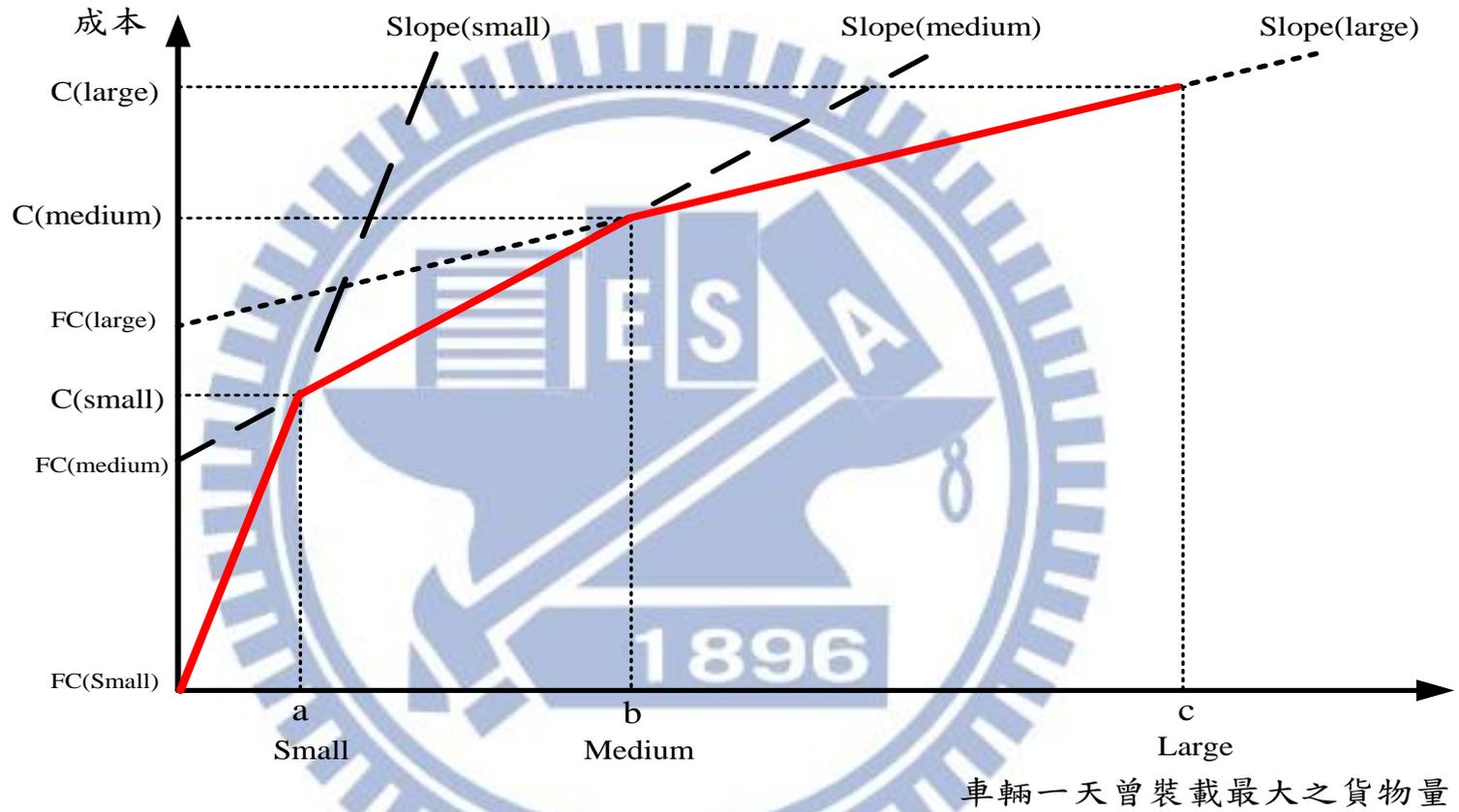


圖 13 車輛購買與營運成本與車輛路徑一天曾裝載最大貨物量之關係圖

本研究根據上述成本特性，以及以三個分區內各有兩個營業所之層級式軸輻網路形態，設計車輛成本演算法之架構，如下圖 14 所示，首先將前章所構建之二元混合整數規劃模式放鬆整數條件求解，並分主線與支線計算車輛成本，以下將分做八步驟說明該演算架構。

### Step 1—計算進出場站之貨物量

由於場站設備可選擇使用之技術有兩種，故在此分別計算主支線上所有車輛以技術  $t=1,2$  與  $t=3$  進出場站之各溫層貨物量與所有溫層貨物量總合，完成計算後即進行下一步驟。

### Step 2—計算車輛一天曾裝載之最大貨物量

由於技術會直接影響使用之車輛型式，當場站以技術  $t=1$  營運時，則有冷凍、冷藏與常溫車輛可使用，但每一種車輛只允許載特定溫層之貨物；若以技術  $t=2$  與  $t=3$  營運時，則分別僅能使用三溫車與常溫車，而兩者均可同時載運三種溫層貨物，因此當場站以技術  $t=1,2$  營運時可分做四種載貨種類，即分做冷凍、冷藏、常溫與三溫層混合貨物；當場站以技術  $t=3$  營運時則可同時載運三溫層混合貨物。此外，技術亦會影響車輛內實際裝載之貨物量，而本研究以車輛容量可使用率表示之，其中以  $t=1$  的車輛容量可使用率最高， $t=2$  次之，此技術所使用之車輛則根據實務情形將冷凍、冷藏與常溫三種溫層車廂之容量以 1:1:2 之方式做區隔，亦即當以技術  $t=2$  載運冷凍、冷藏與常溫三種溫層貨物之一天曾裝載最大貨物量比例為 0.8:1:1.2 時，仍需採以 1:1:2 方式區隔之車輛服務，並根據冷藏之貨物量決定車輛大小，此舉易造成冷凍與常溫車廂空間之浪費， $t=3$  容量可使用率則最低，而這些車輛所載運之貨物量均不可超過可使用容量上限。

支線之可行路徑共有四條，有兩條屬於全服務路徑（即經過所有營業所），另兩條則為直達路徑（即中間無停靠站），由於支線路徑上之車輛一天裝載最大之貨物量必出現在進出場站流量中，故全服務路徑在計算該量時均相同，因此一旦依據載運量相關指標而選擇全服務路徑時，只會選擇成本最低之路徑。而主線上之可行路徑共有六條，有三條屬於全服務路徑，另三條則為直達路徑，該全服務路徑上之車輛一天曾裝載最大貨物量並不會相同，故須分開考慮之。最後則

依據主支線路徑特色，計算各種載運組合所使用之車輛一天曾裝載最大貨物量，當計算完成後，即進行下一步驟。

### Step 3－選擇載運組合

本研究在此步驟依據貪婪原則，選擇上一步驟計算出之貨物量中最大之載運組合，得到所使用之車輛、路徑、載運之貨物種類與可提供之空間等，並進行下一步驟。

### Step 4－重新計算進出場站之貨物量

依據上一步驟得到之結果，並遵照場站內貨物量越大越先折減之原則，計算各場站可減少進出場站之貨物量，並重新得到 Step 1 之結果。

### Step 5－檢測是否完成分區內與主線上之運算

當得到所有進出場站貨物量相關變數之值均為 0 時，即完成運算，則進行下一步驟；否則回到 Step 3。

### Step 6－輸出部分結果

即輸出分區內與主線上之車輛成本與相關結果。

### Step 7－檢測是否完成所有分區運算

當完成所有分區之運算時，則進行下一步驟；否則回到 Step 1 針對支線部份進行另一分區之運算。

### Step 8－輸出全部結果

即輸出所有分區與主線上之車輛成本與相關結果。

最後會以二元混合整數規劃模式為主，結合演算法求得之結果，以分支定限法與越優解越先搜尋之原則求解，此舉可反應車輛規模經濟之特性，即當需求量夠大時，業者會盡可能選擇較大型車輛作運送；以及反應技術  $t=2$  使用三溫車多溫共配之彈性，與車廂空間使用率不佳之特性等，即三溫車可同時載運冷凍、冷藏與常溫三種貨物，倘若路徑上載運各溫層貨物之瓶頸貨物量比例不若 1:1:2 之情形時，則會造成空間與成本之浪費，此種結果易因越優解越先搜尋之求解原則下不被青睞。然而，上述這些特性並不容易以傳統之整數規劃方式求解，故本研究乃發展車輛成本演算法助於求解。

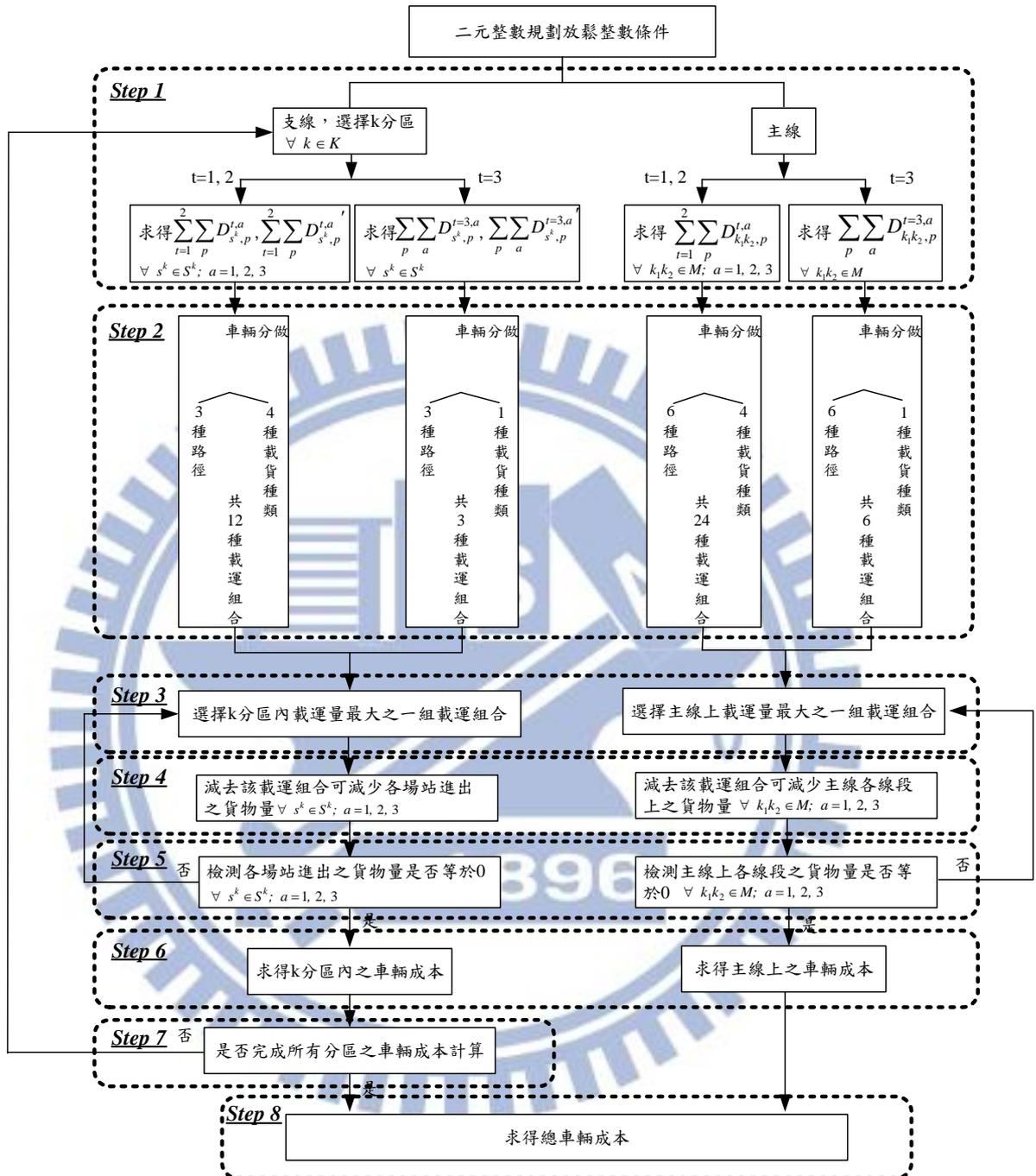


圖 14 車輛成本演算法架構圖

### 3.2 低溫物流自動倉儲系統動態儲位指派模式研究

本研究所探討之低溫物流中心為具有自動倉儲系統(儲位標準化)之物流中心，為多家低溫食品製造商與進口商所使用之大型物流中心，是所有資訊彙總之地方。過去一般化物流中心的儲位指派研究多以「分類儲放」的方式進行指派，這種指派方式是先將倉庫內的物品項目做分類，然後再針對分類後的物品種類進行儲位的空間佈置，使相關性高與暢銷程度相近之商品指派至相同或鄰近儲區，如傢俱類與家電類商品的性質與暢銷程度接近則指派至相近的儲區，以減少訂單的揀貨距離；而本研究根據低溫食品項目的儲存條件做分類，分做凍藏庫、冷藏庫與特殊冷藏庫三種低溫食品類別(經濟部[119])，由於各倉庫間在儲存設備與運送設備上的要求明顯不同，不得有共用的情形發生，因此本研究必須將這三種倉庫的作業獨立進行，如此將可在同一時間平行處理三種倉庫的儲位指派問題，進而減緩運算的時間與複雜度；由於各倉庫內的低溫食品項目間的相關性很高，即所有訂單中的訂購項目之差異性較低，故本研究不再針對各倉庫內的低溫食品項目進行分類，直接對各倉庫內的低溫食品項目進行兩階段的動態儲位指派。

本研究於第一階段指派先分析各種低溫食品隨著時間而快速腐敗之特性，而將越接近期限的低溫食品越先指派至中下游，若距離期限相同則優先指派儲位較接近出口/裝卸站之低溫食品，並將過期之低溫食品移出儲位，進而瞭解空儲位分佈狀況；第二階段指派則在於分析低溫食品具有需求量依時變動之特性，而依此構建動態灰預測模式(GM(1,1))做為第二階段指派時的依據，並結合第一階段指派之結果，將預測值越大之低溫食品項放入越靠近出口/裝卸站之空儲位，反之則放入較遠離出口/裝卸站之空儲位；故透過預測未來倉庫內各低溫食品項目的需求量，將越暢銷的商品越靠近出口/裝卸站，而較不暢銷的商品則遠離出口/裝卸站，因此暢銷程度接近的商品會被指派在附近儲位；(Hausman et al.[77]; Thonemann & Brandeau[78])等研究指出將週轉率佳之產品儲放至較接近出口/裝卸站的儲位，利於提昇低溫物流中心內的揀貨效率，而本研究則以此理念根據需求量預測的結果，將需求量預測越高之低溫食品指派至越接近出口/裝卸站的現有空儲位中，該現有的空儲位即是根據前一時段指派的結果得到，此作用可增加越接近出口/裝卸站儲位的流動率與利用率，且就長期

而言，最接近出口/裝卸站的儲位，同樣會被週轉率較高之低溫食品所佔據，而達到揀貨高效率與儲位高利用率之目標。此外，本研究在模式構建中有以下幾點假設：

1. 各低溫食品項均以標準化的方式儲放與運送(例如：標準化之冷凍櫃)。
2. 於低溫食品出庫前一個時段，已知倉庫中將出庫的低溫食品項與數量。
3. 於低溫食品入庫前兩個時段，已知倉庫中將入庫的低溫食品項、距離期限時段數與數量。
4. 任兩個連續時段間所出入庫之低溫食品項與量並無明顯差異。
5. 各低溫食品項之平均在庫時間為兩個時段。

之後本研究在構建模式中，均以 T 時段所做的指派做說明，以下將針對本研究的動態儲位指派模式在時間上的關係做說明(如圖 15 所示)；在實務上，良好之物流中心可以於商品出庫與入庫約一日前得到所有商品將出庫與入庫的相關資料，而本研究根據實務上的經驗將一天分做兩個時段，所以合理假設該低溫物流中心可於低溫食品出庫前一個時段以及入庫前兩個時段得到倉庫中將出入庫低溫食品之相關資料，且任兩個時段間所出入庫之低溫食品項與量並無明顯差異(假設 2~假設 4)。故本研究在 T 時段得到(T+1)時段要送至中下游的低溫食品項與量後，可預先於 T 時段對(T+1)時段要送至中下游的低溫食品進行第一階段指派，當對(T+1)時段要送至中下游的低溫食品指派完成時，此時儲位的分佈情形即是(T+1)時段結束時的儲位分佈狀態，亦是(T+2)時段初始時的儲位分佈狀態。因此第一階段指派是以各項低溫食品的易腐特性做為指派原則，將越接近期限的低溫食品越先送至中下游，若距離期限相同則優先指派儲位較接近出口/裝卸站之低溫食品，並將過期之低溫食品移出儲位，藉由預先模擬指派(T+1)時段運送至中下游的低溫食品，以瞭解(T+2)時段可用之空儲位分佈情形；在瞭解(T+2)時段開始時的空儲位分佈情形，緊接著對所有低溫食品項進行需求量預測，而本研究為能即時反應需求量的變化與簡化模式的複雜度，決採以灰預測模式(GM(1,1))；因此本研究將於 T 時段取得(T+1)時段、T 時段、(T-1)時段、(T-2)時段四筆已知的需求量資料進行預測，在此本研究假設所有低溫食品項的在庫時間平均為兩個時段(假設 5)，而該預測值為第二階段指派時之依據，故本

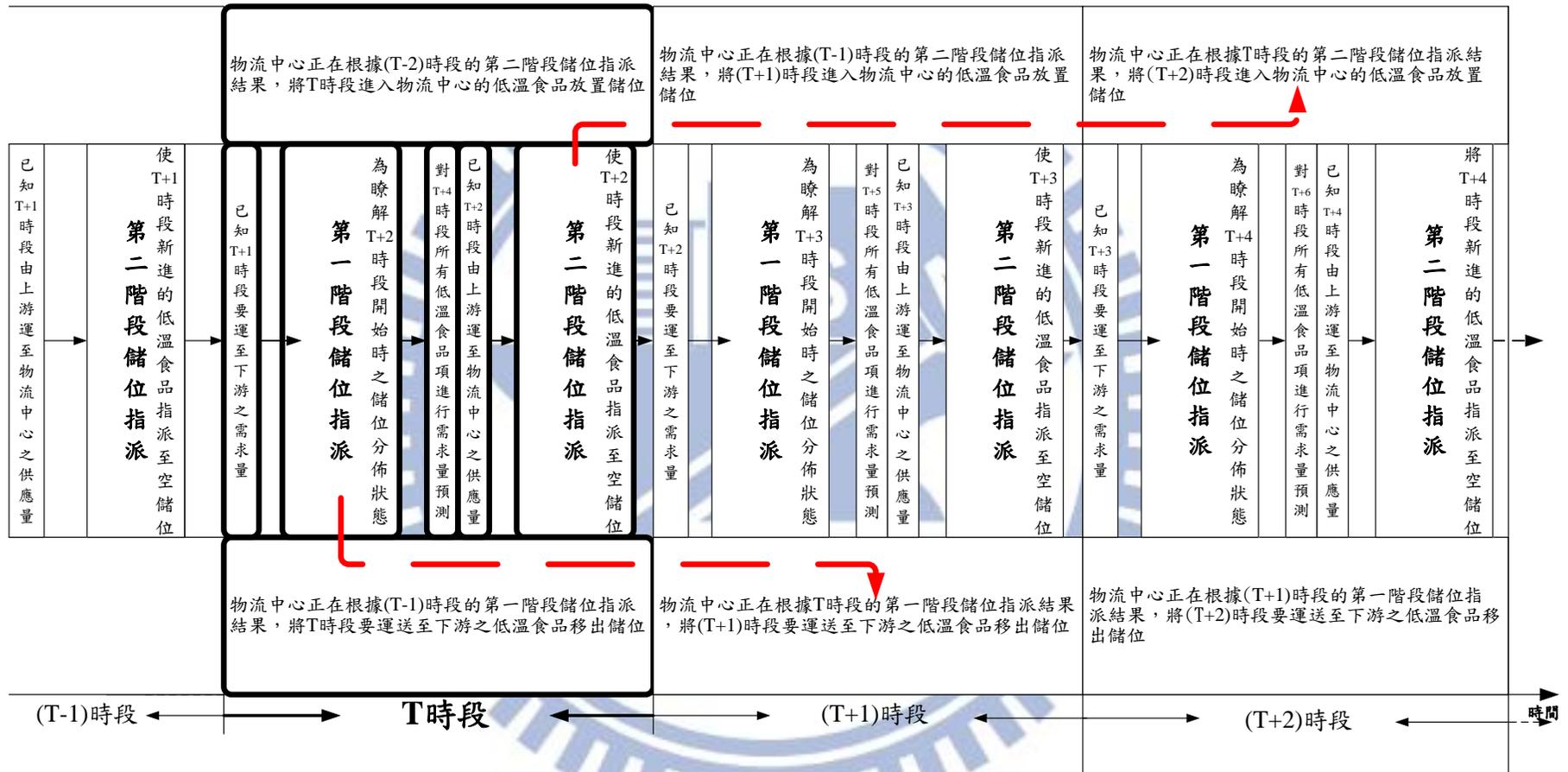


圖 15 兩階段儲位指派之示意圖

研究須於  $T$  時段時對  $(T+4)$  時段的各項低溫食品做需求量預測，以即時掌握所有低溫食品項的需求量變動趨勢；最後再對  $(T+2)$  時段即將要進入低溫物流中心的低溫食品進行第二階段的指派，當預測該項低溫食品於  $(T+4)$  時段的需求量越大時，則將該項低溫食品指派至越接近出口/裝卸站之空儲位，反之亦然。所以由上述可知，本模式在兩階段指派中均以前一階段(或時段)所指派的結果，代入現階段的指派模式中，使其能在現有的可行解(儲位)中找到最佳解，展現動態指派之特性，並反應時間變化與需求量變動對於儲位指派之影響，進而達到低溫物流中心整體作業高效率之目標。

### 3.2.1 低溫物流自動倉儲系統動態儲位指派模式研究—第一階段指派模式構建

在此小節中，將針對本研究所構建的第一階段儲位指派模式說明。由於將凍藏、冷藏與特殊冷藏三種倉庫的作業獨立進行會比較符合實務上的營運情形，且可以減緩模式的複雜度與運算時間，以下僅以三種倉庫當中的其中一個倉庫為例進行儲位指派模式的構建。

在此階段中，本研究以低溫食品的易腐特性做為考量，期能使倉庫內的存貨正常且有效的利用；本研究假設於  $T$  時段僅知  $(T+1)$  時段中下游各低溫食品項的需求量(假設 2)，但尚未知道到底要指派哪些低溫食品送至中下游，故透過距離期限的遠近來決定哪些低溫食品可能會受到指派，最後再根據儲位至出口/裝卸站的距離成本決定哪些低溫食品實際要被指派；本研究之距離成本為一外生變數，此成本應考慮存取機 (Storage/Retrieval Machine) 在裝卸站 (Pickup/Deposit Station) 與儲位間水平與垂直移動之時間和，所以該成本為一時間的函數，可根據存取機分別移動水平與垂直一個儲位平均所需耗費的時間做估計。

在此階段指派中，本研究須先選擇可能會被指派至中下游的候選低溫食品，亦即盡可能的先選擇距離期限較近之低溫食品；因此可藉由式(16)得到  $l$ ，並由式(17)限制要送至中下游的量  $(D_{\gamma}^{T+1,d+1})$  必須小於等於庫存量  $(X_{\gamma}^{T+1,d+1})$ ，且使  $D_{\gamma}^{T+1,d+1}$  由  $d=0$  加到  $d=l$ ，其加總值等於

$D_\gamma^{T+1}$ 。

$$\sum_{i=1}^I \sum_{d=0}^{l-1} X_{i,\gamma}^{T+1,d+1} < D_\gamma^{T+1} \leq \sum_{i=1}^I \sum_{d=0}^l X_{i,\gamma}^{T+1,d+1} \quad \text{for } \gamma = 1, 2, \dots, m \quad (16)$$

$$\begin{cases} D_\gamma^{T+1,d+1} = X_\gamma^{T+1,d+1} & \text{if } 0 \leq d < l \\ D_\gamma^{T+1,d+1} = D_\gamma^{T+1} - \sum_{d=0}^{l-1} D_\gamma^{T+1,d+1} & \text{if } d = l \\ D_\gamma^{T+1,d+1} = 0 & \text{if } l < d \leq D \end{cases} \quad \text{for } \gamma = 1, 2, \dots, m \quad (17)$$

透過式(16)與式(17)可得到  $D_\gamma^{T+1,d+1}$ ，該變數將用於下列之數學規劃式；下列之數學規劃式目的在求解倉庫內於(T+2)時段初始時的儲位分佈狀態，而目標式(式(18))之意義則在於由  $D_\gamma^{T+1,d+1} < X_\gamma^{T+1,d+1}$  之候選低溫食品中，優先指派儲位至出口/裝卸站距離成本較低之低溫食品，本研究於第一階段指派模式中所構建之數學規劃式如下：

$$\max \sum_{i=1}^I \sum_{\gamma=1}^m \sum_{d=0}^D (C_i \cdot X_{i,\gamma}^{T+2,d'}) \quad (18)$$

$$\text{s.t. } \sum_{i=1}^I (X_{i,\gamma}^{T+1,d+1} - X_{i,\gamma}^{T+2,d'}) = D_\gamma^{T+1,d+1} \quad \text{for } \gamma = 1, 2, \dots, m, d = 0, 1, \dots, D \quad (19)$$

$$X_{i,\gamma}^{T+1,d+1} - X_{i,\gamma}^{T+2,d'} \geq 0 \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, I, \gamma = 1, 2, \dots, m, d = 0, 1, \dots, D \quad (20)$$

$$\sum_{\gamma=1}^m \sum_{d=0}^D X_{i,\gamma}^{T+2,d'} \leq 1 \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, I \quad (21)$$

$$X_{i,\gamma}^{T+2,d'} \in \{0, 1\} \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, I, \gamma = 1, 2, \dots, m, d = 0, 1, \dots, D \quad (22)$$

上述的數學規劃式中， $X_{i,\gamma}^{T+2,d'}$  與  $X_{i,\gamma}^{T+1,d+1}$  二變數，其距離期限之時段數會隨著此二變數所代表時段的差異而存在固定之關係，亦即若本研究欲瞭解(T+1)時段初始時在*i*儲位的低溫食品 $\gamma$ 於(T+2)時段時是否仍然存放於儲位*i*中，應以  $X_{i,\gamma}^{T+2,d'}$  與  $X_{i,\gamma}^{T+1,d+1}$  做比較；此外，式(16)–(22)均只考慮於(T+2)時段時， $d \geq 0$  之情形，即為令在第一階段指派完成後，所有於(T+2)時段時， $d < 0$  之低溫食品所佔之儲位均視做為空儲

位，因此可使(T+2)時段新進物流中心的低溫食品放置該儲位。其中式(19)是流量守恆的數學式，限制儲位的總變化量必須等於送至中下游的低溫食品數量；式(20)則是限制儲位之變化量必為大於或等於 0 之整數；式(21)限制每個儲位最多只能放入一個單位的低溫食品；式(22)說明本研究第一階段儲位指派的決策變數為 0,1 變數。

### 3.2.2 低溫物流自動倉儲系統動態儲位指派模式研究—動態灰預測模式

灰色系統理論為鄧聚龍教授於 1982 年所提出(鄧聚龍，民 92；溫坤禮，民 91)，是一種適用於預測與決策的理論方法，可針對資訊不完整與不明確的系統進行分析。而本研究所欲預測之中下游廠商對於各低溫食品的需求量常存在著不確定因素，如氣候之變化等，故本研究嘗試以灰色理論預測中下游廠商對於各低溫食品的需求量，該結果將用於之後第二階段新進低溫食品指派儲位時之權重值。

灰色理論視任何隨機過程都是在一定幅值範圍變化的灰色量，透過灰色累加生成(Accumulated generating operation, AGO)後出現較明顯的指數規律，可依此建立微分方程建構灰色模式(Grey Model, GM)，再經由累減生成(Inverse Accumulated generating operation, IAGO)運算還原成原始序列預測值。本研究將根據灰色理論假設灰色模式(GM)為一階線性微分方程式，建立 GM(1,1)模式。之後本研究利用於 T 時段已知的 (T-2), (T-1), (T), (T+1) 四個時段的需求量數據  $D_{\gamma}^{T-2}, D_{\gamma}^{T-1}, D_{\gamma}^T, D_{\gamma}^{T+1}$ ，對 (T+2) 時段新進的低溫食品最可能被指派至中下游的時段，即 (T+4) 時段做需求量預測，期能及時反應需求量變動之趨勢；故本研究於 T 時段時對 (T+4) 時段的所有低溫食品項做需求量預測，以即時掌握所有低溫食品項的需求量變動趨勢。首先，本研究於目前 T 時段對 (T+4) 時段的所有低溫食品項做需求量預測，令  $D_{\gamma,T}^{(0)}$  為一需求量之原始序列，即：

$$D_{\gamma,T}^{(0)} = (D_{\gamma}^{T-2}, D_{\gamma}^{T-1}, D_{\gamma}^T, D_{\gamma}^{T+1}) \quad \text{for } \gamma = 1, 2, \dots, m \quad (23)$$

將原始數據經累加生成(AGO)運算後，得到需求量之生成數列

$D_{\gamma,T}^{(1)}$ ，即：

$$D_{\gamma,T}^{(1)} = (D_{\gamma}^{(1)}(T-2), D_{\gamma}^{(1)}(T-1), D_{\gamma}^{(1)}(t), D_{\gamma}^{(1)}(T+1)) \quad \text{for } \gamma = 1, 2, \dots, m \quad (24)$$

其中

$$D_{\gamma}^{(1)}(T-k) = \sum_{q=T-2}^{T-k} D_{\gamma}^q \quad k = -1, 0, 1, 2 \quad \text{for } \gamma = 1, 2, \dots, m \quad (25)$$

再對需求量之生成數列(如式(24))建構 GM(1,1)微分方程式，如下式：

$$\frac{dD_{\gamma,T}^{(1)}}{dT} + \sigma_{\gamma,T} D_{\gamma,T}^{(1)} = u_{\gamma,T} \quad \text{for } \gamma = 1, 2, \dots, m \quad (26)$$

由導數定義可知：

$$\frac{dD_{\gamma}^{(1)}(T)}{dT} = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \frac{D_{\gamma}^{(1)}(T + \Delta T) - D_{\gamma}^{(1)}(T)}{\Delta T} \quad \text{for } \gamma = 1, 2, \dots, m \quad (27)$$

通常連續型的序列一般可用線性微分方程式來描述，而離散的序列可以用線性差分方程式來敘述，所以在此可用差分方程式來代替，而灰色模式要求樣本的時間期數為等間隔，故令  $\Delta T = 1$ ，所以式(27)可以近似為差分方程式，如下式：

$$\frac{dD_{\gamma}^{(1)}(T)}{dT} = D_{\gamma}^{(1)}(T+1) - D_{\gamma}^{(1)}(T) \quad \text{for } \gamma = 1, 2, \dots, m \quad (28)$$

灰色理論定義變化率  $\frac{dD_{\gamma}^{(1)}(T)}{dT}$  之背景值，為  $\frac{dD_{\gamma}^{(1)}(T)}{dT}$  在  $D_{\gamma}^{(1)}(T-\Delta T) \sim D_{\gamma}^{(1)}(T+\Delta T)$  之間所有與  $\frac{dD_{\gamma}^{(1)}(T)}{dT}$  相關之群體，一般背景值可以取  $D_{\gamma}^{(1)}(T-\Delta T) \sim D_{\gamma}^{(1)}(T+\Delta T)$  之線性中點，所以背景值(式(29))與白化方程式(式(30))有以下關係：

$$Z_{\gamma}^{(1)}(T) = \frac{1}{2} [D_{\gamma}^{(1)}(T-1) + D_{\gamma}^{(1)}(T)] \approx D_{\gamma}^{(1)}(T) \quad \text{for } \gamma = 1, 2, \dots, m \quad (29)$$

$$D_{\gamma}^{(0)}(T) = D_{\gamma}^{(1)}(T) - D_{\gamma}^{(1)}(T-1) \approx \frac{dD_{\gamma}^{(1)}(T)}{dT} \quad \text{for } \gamma = 1, 2, \dots, m \quad (30)$$

將式(29)與式(30)代回式(26)，得：

$$D_{\gamma,T}^{(0)} + \sigma_{\gamma,T} Z_{\gamma,T}^{(1)} = u_{\gamma,T} \quad \text{for } \gamma = 1, 2, \dots, m \quad (31)$$

然後以最小平方方法求得  $\sigma_{\gamma,T}$  與  $u_{\gamma,T}$ ，以矩陣方式表示之：

$$[\sigma_{\gamma,T}, u_{\gamma,T}]^T = (B_{(\gamma,T)}^T \cdot B_{(\gamma,T)})^{-1} B_{(\gamma,T)}^T Y_{(\gamma,T)} \quad \text{for } \gamma = 1, 2, \dots, m \quad (32)$$

$$B_{(\gamma,T)} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(D_{\gamma}^{(1)}(T-2) + D_{\gamma}^{(1)}(T-1)), & 1 \\ -\frac{1}{2}(D_{\gamma}^{(1)}(T-1) + D_{\gamma}^{(1)}(T)), & 1 \\ -\frac{1}{2}(D_{\gamma}^{(1)}(T) + D_{\gamma}^{(1)}(T+1)), & 1 \end{bmatrix} \quad \text{for } \gamma = 1, 2, \dots, m \quad (33)$$

$$Y_{(\gamma,T)} = [D_{\gamma}^{T-1}, D_{\gamma}^T, D_{\gamma}^{T+1}] \quad \text{for } \gamma = 1, 2, \dots, m \quad (34)$$

將得到之  $\sigma_{\gamma,T}$  與  $u_{\gamma,T}$  代回式(31)，得到：

$$\widehat{D}_{\gamma}^{(1)}(T+4) = \left[ D_{\gamma}^{(T-2)} - \frac{u_{\gamma,T}}{\sigma_{\gamma,T}} \right] \cdot e^{-6\sigma_{\gamma,T}} + \frac{u_{\gamma,T}}{\sigma_{\gamma,T}} \quad \text{for } \gamma = 1, 2, \dots, m \quad (35)$$

$$\widehat{D}_{\gamma}^{(1)}(T+3) = \left[ D_{\gamma}^{(T-2)} - \frac{u_{\gamma,T}}{\sigma_{\gamma,T}} \right] \cdot e^{-5\sigma_{\gamma,T}} + \frac{u_{\gamma,T}}{\sigma_{\gamma,T}} \quad \text{for } \gamma = 1, 2, \dots, m \quad (36)$$

再將式(35)與式(36)代入白化方程式(30)，得到  $(T+4)$  時段需求量之預測結果為：

$$\widehat{D}_\gamma^{T+4} = \left[ \left[ D_\gamma^{(T-2)} - \frac{u_{\gamma,T}}{\sigma_{\gamma,T}} \right] \cdot (1 - e^{\sigma_{\gamma,T}}) \cdot e^{-5\sigma_{\gamma,T}} \right] \quad \text{for } \gamma = 1, 2, \dots, m \quad (37)$$

由式(37)所得到之各低溫食品項的需求量預測結果，將用於本研究之第二階段指派。

### 3.2.3 低溫物流自動倉儲系統動態儲位指派模式研究—第二階段指派模式構建

本研究於第二階段的指派目的在於考慮低溫食品具有需求量依時變動之特性，並根據 3.2.2 小節所得到的需求量預測結果，做為第二階段指派時的重要依據，並結合第一階段指派之結果，將預測值越大之低溫食品項放入至出口/裝卸站距離成本較低之空儲位，反之則放入至出口/裝卸站距離成本較高之空儲位，欲藉此指派過程提昇低溫物流中心內的作業效率。本研究於第二階段指派模式中所構建之數學規劃式如下：

$$\min \sum_{i=1}^I \sum_{\gamma=1}^m \sum_{d=0}^D (\widehat{D}_\gamma^{T+4} \cdot C_i \cdot X_{i,\gamma}^{T+2,d}) \quad (38)$$

s. t.

$$\sum_{i=1}^I (X_{i,\gamma}^{T+2,d} - X_{i,\gamma}^{T+2,d'}) = S_\gamma^{T+2,d} \quad \text{for } \gamma = 1, 2, \dots, m, d = 0, 1, \dots, D \quad (39)$$

$$X_{i,\gamma}^{T+2,d} - X_{i,\gamma}^{T+2,d'} \geq 0 \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, I, \gamma = 1, 2, \dots, m, d = 0, 1, \dots, D \quad (40)$$

$$\sum_{\gamma=1}^m \sum_{d=0}^D X_{i,\gamma}^{T+2,d} \leq 1 \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, I \quad (41)$$

$$X_{i,\gamma}^{T+2,d} \in \{0, 1\} \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, I, \gamma = 1, 2, \dots, m, d = 0, 1, \dots, D \quad (42)$$

在上述的數學規劃式中，式(38)為本研究第二階段指派模式中的目標式，該目標式欲透過需求量預測值  $\widehat{D}_\gamma^{T+4}$ ，使暢銷的低溫食品能指

派至至出口/裝卸站距離成本較低之空儲位；而此目標式在未進行指派前，即具有一起始值，產生該起始值之原因為指派前即有部分儲位已經被佔用所導致，但該起始值並不影響指派的結果。式(39)為流量守恆之限制式，限制儲位的總變化量須等於 $(T+2)$ 時段真正送進物流中心的低溫食品數量；式(40)限制儲位的變化量為大於或等於0之整數，此乃由於在第二階段指派時僅將物品放入儲位，尚未將物品移出；式(41)限制每個儲位最多只能放入一個單位的低溫食品；式(42)則說明第二階段指派模式中的決策變數為0,1變數。

然而，本研究在第一與第二階段的指派模式中的限制式(式(19)~(20)與式(39)~(40))中，決策變數的係數都是1，且右側值(Right-Hand-Side, RHS)均為整數，所以若以線性規劃(Linear Programming, LP)求解時，可以求得整數解，又因式(21)與式(41)限制決策變數必須小於等於1，使其求解結果符合二元整數解，即符合式(22)與式(42)的限制條件，所以本研究所構建之兩階段的指派模式(式(18)~(22)與式(38)~(42))，雖然為二元整數規劃(Binary Integer Programming, BIP)的問題，但仍然可以線性規劃方式求解本研究所構建之模式；故所構建之模式將不受限於問題規模的大小，均可以在多項式時間(Polynomial Time)求解完成。以上即為本研究之模式構建。當 $(T+2)$ 時段指派完成後，即繼續進行 $(T+3)$ 時段的儲位指派，一直循序下去。

## 第四章 範例分析

本章將分為中期戰術規劃(即全溫層物流設施規劃研究)與短期作業規劃(即低溫物流自動倉儲系統動態儲位指派模式研究)兩節進行範例分析。

### 4.1 全溫層物流設施規劃研究

本研究根據實務情形，設定成本參數，中繼站與營業所以技術  $t=1,2$  營運時與冷凍冷藏設備相關之場站設置與營運成本分別列於表 12，其中一單位處理量相當於 180 公升體積大小之保溫箱，每個儲位約可置放兩單位，場站安全儲位數的設計約為場站流量之  $1/2$ ，每日維修成本約占設置成本 7%~10%，每日營運成本占總場站設置與營運成本 61%~66%，並可利用工程經濟年值轉現值之方式(設備使用年限為 6 年，年利率為 6%)計算期初投資設備之成本。由於中繼站與營業所在冷凍冷藏設備之要求並不相同，故當場站處理量相同時，兩者期初投資設備成本並不相同。

由於場站以  $t=3$  營運時，其冷凍冷藏效果均可達到高標準之要求，故在此期初投資成本並不會因中繼站與營業所而有差異，該成本根據工研院能資所提供之資料與計算方式，敘述如下；一個 180 公升保溫箱為 9,000 元，每一支冷凍(藏)蓄冷器約值 500 元，一個 180 公升保溫箱約需要 5 支冷凍(藏)蓄冷器，這類設備之維修率約占設備設置成本 3%，使用年限為 10 年，並經現值轉年值後得到業者每日需付出 4.24 元/個保溫箱；冷凍(藏)蓄冷器需透過凍結機蓄冷，每一凍結機值 380,000 元可蓄冷 156 支蓄冷器，並須歷時 12 小時，在此假設每天凍結機可蓄冷約凍結機容量 1.5 倍共 235 支蓄冷器，故每台凍結機可負責 47 個保溫箱之蓄冷器，而蓄冷器之安全存量設定為冷凍冷藏貨物進出場站貨物總流量所需之蓄冷器，由於凍結機具有冷凍機組，故其維修成本為購買成本之 7%，使用年限為 6 年，則業者每天須負擔之成本為 4.68 元/個保溫箱；在每日營運成本(電費)部份，每月基費為 1,400 元，每千瓦小時之電費為 1.7 元，每台凍結機每小時約耗電 10 千瓦，每天運轉 24 小時，可得到每日營運成本為 9.67 元/個保溫箱，約占總場站設置與營運成本 52%，後續本研究以 18.5 元/個保溫箱作為使用該技術之場站設置與營運成本參數值。

車輛購買成本與營運單位成本相關參數之設定，如表 13 所示，而車輛之維修成本約占購買成本之 7%。當以技術  $t=1$  之冷凍、冷藏與常溫車輛營運時，以大型（25 噸）、中型（10 噸）與小型（3.5 噸）車輛運送分別可提供之容量為 200、70 與 20 個單位（180 公升），而在場站之貨物處理成本為 10 元/180 公升；以技術  $t=2$  之三溫車營運時，其可提供之容量大小為技術  $t=1$  之 0.9 倍，場站之貨物處理成本為 10 元/180 公升；以技術  $t=3$  之常溫車營運時，其可提供之容量大小為技術  $t=1$  之 0.8 倍，場站之貨物處理成本為 20 元/個保溫箱。

表 12 中繼站與營業所（ $t=1,2$ ）場站設置與營運成本

中繼站					
處理量 (等級 n)	4,000 (n=1)	8,000 (n=2)	12,000 (n=3)	16,000 (n=4)	20,000 (n=5)
儲位數	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000
每天總成本 <sup>a</sup>	92,500	158,750	208,750	251,250	291,250
維修成本 <sup>b</sup> (b/d)	2,500 (0.071)	4,750 (0.080)	6,750 (0.093)	8,250 (0.099)	9,250 (0.095)
營運費 <sup>c</sup> (c/a)	55,000 (0.611)	95,000 (0.617)	130,000 (0.644)	160,000 (0.658)	185,000 (0.656)
設置成本 <sup>d</sup>	35,000	59,000	72,000	83,000	97,000
年值轉現值 (年限,利率)	$\times 365 \times \frac{(e^{IR \cdot y_a} - 1)}{IR \cdot e^{IR \cdot y_a}} = 1839.136 \doteq 1850$ (6 年, 6%)				
期初投資	6,475 萬	10,915 萬	13,320 萬	15,355 萬	17,945 萬
營業所					
處理量 (等級 n)	2,000 (n=1)		4,000 (n=2)		6,000 (n=3)
儲位數	500		1,000		1,500
每天總成本	46,250		79,375		104,375
維修成本	1,250		2,375		3,375
營運費	27,500		47,500		65,000
設置成本	17,500		29,500		36,000
期初投資	3,238 萬		5,458 萬		6,660 萬

表 13 車輛購買與營運成本（台幣）之相關參數值

車輛購買與營運單位成本						
車輛大小 車輛型式	Small (3.5 噸)	Medium (10 噸)	Large (25 噸)	使用年 限		
冷凍車 冷藏車 (營運單位成本)	96 萬元 (5 元/公里)	280 萬元 (12.5 元/公里)	450 萬元 (20 元/公里)	5 年		
常溫車 (營運單位成本)	60 萬元 (4 元/公里)	160 萬元 (10 元/公里)	350 萬元 (16 元/公里)	7 年		
三溫車 (營運單位成本)	88 萬元 (5 元/公里)	245 萬元 (12.5 元/公里)	420 萬元 (20 元/公里)	5 年		
主/支線路徑之單程距離						
支線路徑	H→S1→S2	H→S2→ S1	H→S1	H→S2		
A 分區	25 km	35 km	15 km	25 km	支線車速：40 kph	
B 分區	30 km	32 km	18 km	20 km	主線車速：90 kph	
C 分區	27 km	33 km	12 km	18 km		
主線路徑	A→B→C	A→C→B	B→A→C	A→B	A→C	B→C
主線	420 km	580 km	560 km	200 km	360 km	220 km

本研究以台灣之物流業現況，將服務範圍分做 A（台北）、B（台中）與 C（台南）三分區，分別位於台灣北部、中部與南部；在需求特性上，A 分區偏屬於貨物之需求端，C 分區則偏屬於貨物之供給端，B 分區則較無明顯特色，而 A 與 C 分區之貨物總流量顯著大於 B 分區之貨物流量；且在所有貨物流方向中均以常溫貨物為目前物流業最主要載運之貨物種類，其次為冷藏貨物，再者為冷凍貨物，其比例在此假設為 4:2:1。

最後則根據實務現況所設定之成本參數值與模擬之合理範例進行分析，其結果如表 14 與 15 所示，針對場站部分（如表 14）大致上可看出 A 與 C 分區內之中繼站與營業所均較傾向使用技術  $t=1,2$  設備，B 分區內之中繼站則無顯著偏好，而營業所則明顯傾向使用技術  $t=3$  之設備；此外在總計結果方面，顯示中繼站使用技術  $t=1,2$  設備情形也較營業所顯著，故推論技術  $t=3$  適合營業量較小之站所；另針對車輛部分（如表 15）大致上可看出當車輛使用技術  $t=1,2$  時，其運送頻次多會利用大型車輛以較高之頻次服務，而當車輛使用技術  $t=3$  時則多利用中型車以較低頻次運送，其原因推測與技術  $t=1,2$  之規模經濟特性有關，而技術  $t=3$  則因  $t=1,2$  之規模經濟特性被定位為輔助角色，亦即當營業量隨時間增加或營業量不確定性高時，該技術則可作為緩衝之用，由以上結果得知技術  $t=3$  除適合營業量較小之場站外，亦適合於營業量波動大或不確定高之地方。

由於本研究將各場站之區位分布情形與營運網路範圍視為已知，而場站區位分布情形，會影響其貨物處理量，即總需求固定下，當受到多家業者搶攻相同市場時，場站分佈會較為密集，像是同一業者設置之營業所分布會較中繼站密集，其場站處理之貨物量顯著不同；另當業者經營之網路範圍不同時（如內部營運網路與外部營運網路），該網路內之場站處理貨物量亦明顯不同，故本研究將需求量改變為原始範例之 0.25、0.5、0.75、1.25、1.5、1.75 與 2 倍檢視其結果，並整理如表 16 所示，當需求為原始範例之 0.25 倍時，所有中繼站與營業所均採以  $t=3$  營運，而隨著需求量增加， $t=3$  之優勢漸漸消失，各分區內使用技術  $t=1,2$  之貨物量持續增加，但使用技術  $t=3$  之貨物量則呈現不穩定變動之情形，意謂著隨需求量增加，使用  $t=1,2$  之貨物漸漸成為主流，而技術  $t=3$  則演變成為調節與輔助角色；在技術使用比例上，若以使用比例 0.8 當作場站主要使用技術之判斷依據，發現分區 A 與 C 內之中繼站，需求量約為原始範例之 0.5~0.75 倍時， $t=1,2$

即成為場站主要使用技術，並隨需求量增加持續維持該技術之優勢，而分區 B 內之中繼站則在 1.25 倍時  $t=1,2$  才成為主場站主要使用技術流，且當  $t=1,2$  於各分區內之營業所成為主要使用技術時，其所屬中繼站已使用  $t=1,2$  為主要技術；所以由上述結果得知當場站分布密集時(即需求量小時)，場站會較傾向使用  $t=3$  營運；反之，當場站分布分散時(即需求量大時)，則技術  $t=3$  可扮演輔助技術  $t=1,2$  之角色，且當需求增加時，雖從結果發現增加設備可能是較佳之選擇，但倘若需求是隨時間而增加之情形，此時再去改變技術  $t=1,2$  之設備則較為困難，若以技術  $t=3$

表 14 原始範例結果-場站

	中繼站		營業所				營業所總計	
	A		S1		S2			
分區	t=1, 2	t=3	t=1, 2	t=3	t=1, 2	t=3	t=1, 2	t=3
A	7997.27 (0.887)	1020.08 (0.113)	1342.8 0 (1.000)	0 (0.000)	2366.4 0 (1.000)	0 (0.000)	3709.20 (1.000)	0 (0.000)
分區	B		S1		S2		t=1, 2	t=3
B	t=1, 2	t=3	t=1, 2	t=3	t=1, 2	t=3		
B	3903.68 (0.583)	2794.72 (0.417)	0 (0.000)	943.20 (1.000)	0 (0.000)	1774.8 0 (1.000)	0 (0.000)	2718 (1.000)
分區	C		S1		S2		t=1, 2	t=3
C	t=1, 2	t=3	t=1, 2	t=3	t=1, 2	t=3		
C	8000 (0.830)	1641.35 (0.170)	1415.0 1 (0.967)	48.99 (0.033)	1995.6 4 (0.801)	495.55 (0.199)	3410.65 (0.862)	544.55 (0.138)
總計	19900.9 5 (0.785)	5456.07 (0.215)	—				7119.85 (0.686)	3262.55 (0.314)

處理量：1 單位 = 180 公升保溫箱（各站所使用各技術之比例）

表 15 原始範例結果-車輛

車輛路徑	車輛大小與型式【註】	運送頻次
主線		
A→B→C	1 輛中型 R	6
	1 輛大型 N	24
	1 輛中型 N*	4
	1 輛大型 C*	24
支線		
分區 A		
H→S1→S2	1 輛大型 R	5
	1 輛大型 N	12
	1 輛大型 C*	12
H→S1	1 輛小型 F	2
分區 B		
H→S1→S2	1 輛大型 N	12
	1 輛大型 N*	11
分區 C		
H→S1→S2	1 輛大型 R	6
	1 輛大型 N	12
	1 輛中型 N*	2
	1 輛大型 C*	12
	1 輛大型 C*	5

【註】：F：冷凍車，R：冷藏車，N：長溫車，C：三溫共配車 \*為採用多溫共配技術

需求量改變時，成本亦產生改變，包含場站相關成本與車輛成本，如圖 16 所示，由於本研究是採以啟發式解法，求解之結果並不一定為最佳解，故從圖 16 中較難明顯看出各項成本之趨勢，故本研究假設場站相關成本 $=a_1 \cdot x^{b_1}$ 與車輛成本 $=a_2 \cdot x^{b_2}$ ，其中  $x$  為所有場站處理冷凍、冷藏貨物之總貨物量， $a_1, a_2, b_1, b_2$  為待校估之參數，並以最小平方法校估，得到結果為  $a_1 = 328.911$ ， $a_2 = 357.801$ ， $b_1 = 0.774574$ ， $b_2 = 0.769691$ ，誤差約在 5%；顯示場站與車輛相關成本均具有規模經濟之特性，且車輛成本之規模經濟現象較場站相關成本明顯，此結果可能場站處理成本與當場站使用技術  $t = 3$  時之設置與營運成本並不具有規模經濟特性有關，所以結果符合預期與本研究設計車輛成本演算法之邏輯。

表 16 需求改變之結果

原始需求比例		0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2	
分區 A	中繼站	t=1, 2	0 (0.00)	3880.2 (0.85)	6827.4 (1.00)	7997.3 (0.89)	11379 (1.00)	13640.6 (0.99)	15382.6 (0.97)	18206 (1.00)
		t=3	2213 (1.00)	671.4 (0.15)	0 (0.00)	1020 (0.11)	0 (0.00)	14.2 (0.01)	546.1 (0.03)	0 (0.00)
	營業所加總	t=1, 2	0 (0.00)	1183.2 (0.64)	2962.4 (1.00)	3709.2 (1.00)	4636.5 (1.00)	5549.6 (0.99)	6000 (0.92)	7418.4 (1.00)
		t=3	927.3 (1.00)	671.4 (0.36)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	14.2 (0.01)	491.1 (0.08)	0 (0.00)
分區 B	中繼站	t=1, 2	0 (0.00)	1990.2 (0.59)	2985.3 (0.59)	3903.7 (0.58)	6975.5 (0.83)	7970.6 (0.79)	11681.5 (0.99)	13396 (1.00)
		t=3	1674.6 (1.00)	1359 (0.41)	2038.5 (0.41)	2794.7 (0.42)	1397.5 (0.17)	2077 (0.21)	40.7 (0.01)	0 (0.00)
	營業所加總	t=1, 2	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	2000 (0.59)	2000 (0.49)	4756.5 (1.00)	5436 (1.00)
		t=3	679.5 (1.00)	1359 (1.00)	2038.5 (1.00)	2718 (1.00)	1397.5 (0.41)	2077 (0.51)	0 (0.00)	0 (0.00)
分區 C	中繼站	t=1, 2	0 (0.00)	2886 (0.59)	7295.4 (1.00)	8000 (0.83)	11045 (0.91)	14399.8 (0.99)	16000 (0.97)	19454 (1.00)
		t=3	2369.4 (1.00)	1977.6 (0.41)	0 (0.00)	1641.4 (0.17)	1114 (0.09)	196 (0.01)	1020.7 (0.03)	0 (0.00)
	營業所加總	t=1, 2	0 (0.00)	0 (0.00)	2962.4 (1.00)	3410.7 (0.86)	3830 (0.78)	5736.8 (0.97)	5996.6 (0.87)	7910.4 (1.00)
		t=3	988.8 (1.00)	1977.6 (1.00)	0 (0.00)	544.6 (0.14)	1114 (0.22)	196 (0.03)	924.9 (0.13)	0 (0.00)

處理量：1 單位 = 180 公升保溫箱（各站所使用各技術之比例）

由於  $t=3$  之場站設置與營運單位成本可能會受到業者使用方式、估算方式與科技發展而改變，故本研究將  $t=3$  之場站設置與營運單位成本改變 -15%、-10%、-5%、5%、10% 與 15% 時，檢視其結果變化，其結果顯示當需求量為原始需求 0.5~1 倍時，技術使用比例上之變動較顯著，即當  $t=3$  之場站設置與營運單位成本越低，場站越傾向使用  $t=3$  之技術，但因這些成本改變之結果資料過於龐大，難以有效呈現，故本研究以之前計算場站相關成本與車輛成本參數  $a_1, a_2, b_1, b_2$  之方式顯示其單位成本改變之意涵，如圖 17 所示，而這些校估的結果與實際誤差均維持在 5% 左右，表示這些結果均適合以該函數表示之。在場站成本部分， $b_1$  值隨  $t=3$  單位成本越高而越低，顯示其規模經濟特性隨著  $t=3$  單位成本越高而越明顯，意謂著  $t=3$  單位成本越低，場站使用  $t=3$  之比例越高，導致規模經濟現象較不顯著；另由場站成本之參數值顯示單位成本持續下降，其參數值變化會逐漸趨緩，即當  $t=3$  單位成本下降 10% 以內時，其技術使用比例之變化較大，而當從 10% 降至 15% 時，其變動則大幅減緩，此乃由於技術  $t=1,2$  具有規模經濟特性與車輛空間利用率高之優勢，於需求量大之營運網路不易取代；反之，若單位成本持續升高，其技術使用比例之變化則相對穩定，即  $t=3$  單位成本持續升高，則場站會漸漸傾向使用技術  $t=1,2$ 。在車輛成本部分， $b_2$  值均在 0.765~0.770 間，顯示車輛成本的規模經濟特性是很穩定的，而  $a_2$  值之變化亦不顯著，故顯示出車輛成本並不會隨  $t=3$  單位成本變動而明顯改變，此結果符合預期。

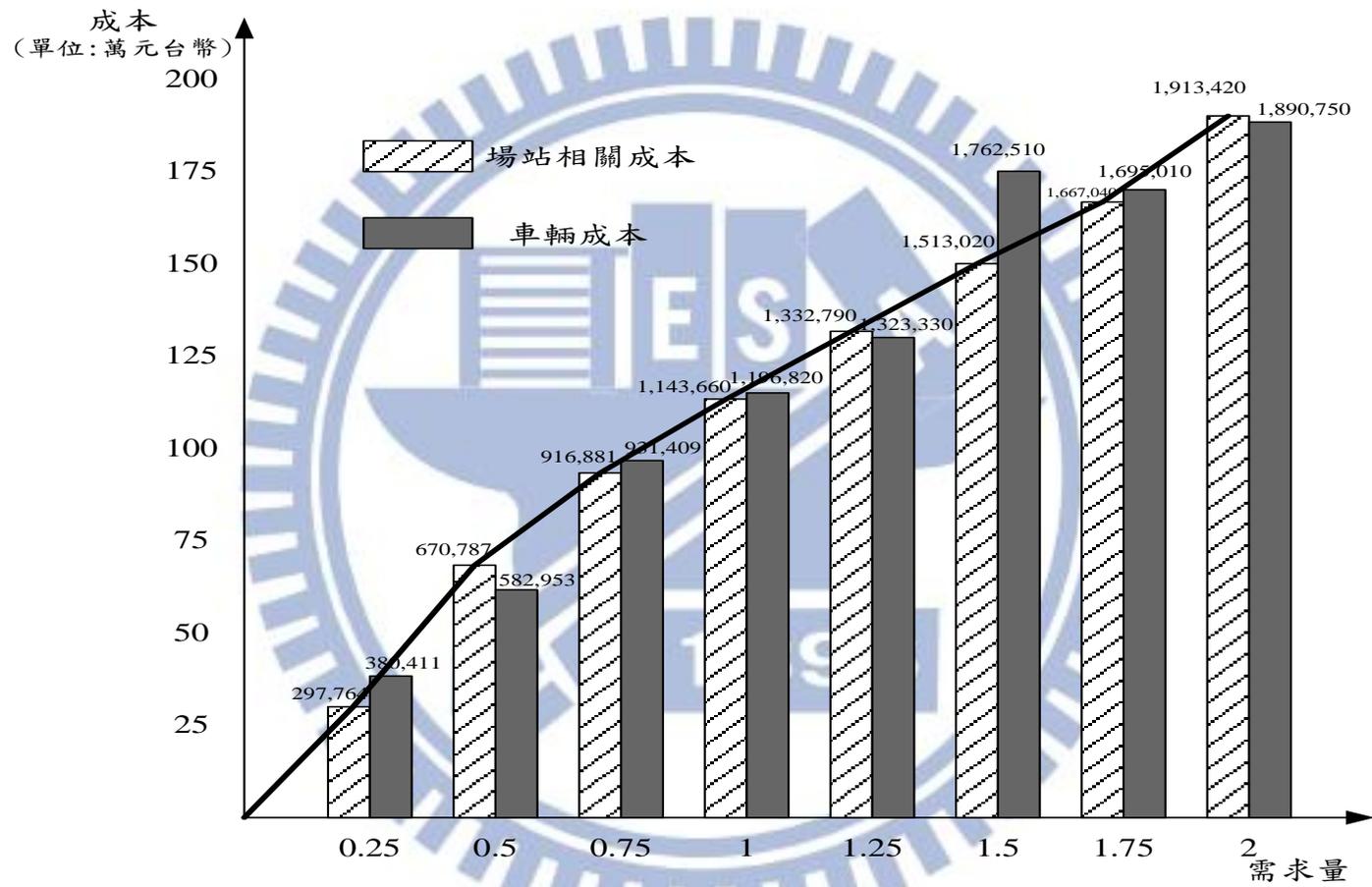


圖 16 需求量改變之各項成本 (單位:台幣元)

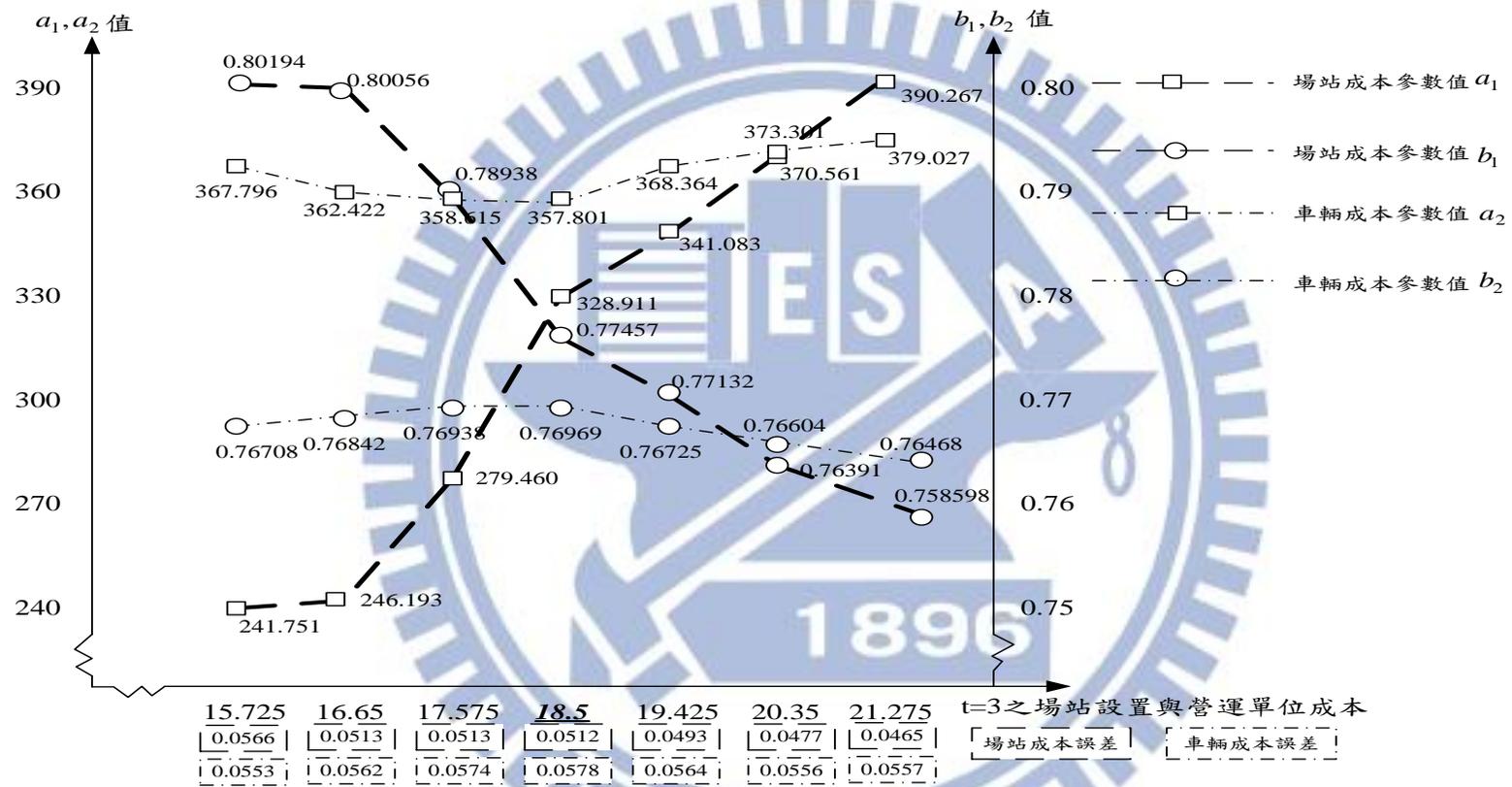


圖 17 場站相關成本與車輛成本參數之校估結果

表 17 使用多溫共配車輛比例與所有場站使用技術  $t=3$  之總貨物處理量

需求比例		0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2
改 變	多溫共配 車輛比例 (%)	4/8 (50%)	6/9 (67%)	<u>9/14</u> ( <u>64%</u> )	<u>8/16</u> ( <u>50%</u> )	<u>10/18</u> ( <u>55%</u> )	<u>10/18</u> ( <u>55%</u> )	8/21 (38%)	3/20 (15%)
	利用 $t=3$ 貨物處理量	8853	8016	<u>7066</u>	<u>8758</u>	<u>14376</u>	<u>14778</u>	3023	0
不 改 變	多溫共配 車輛比例 (%)	4/8 (50%)	6/9 (67%)	<u>6/13</u> ( <u>46%</u> )	<u>7/15</u> ( <u>46%</u> )	<u>8/17</u> ( <u>47%</u> )	<u>6/18</u> ( <u>33%</u> )	8/21 (38%)	3/20 (15%)
	利用 $t=3$ 貨物處理量	8853	8016	<u>4077</u>	<u>8719</u>	<u>5023</u>	<u>4575</u>	3023	0

## 4.2 低溫物流自動倉儲系統動態儲位指派模式研究

為驗證本研究模式之可行性，本研究以嘉豐冷凍冷藏股份有限公司之低溫物流中心的自動倉儲系統做為本研究建立測試範例之依據，目前該系統為台灣地區規模最大之低溫自動倉儲系統，亦是目前於實務中最被廣泛使用之自動倉儲系統，以下將對嘉豐冷凍冷藏股份有限公司之低溫物流中心的自動倉儲系統之硬體與作業方式做簡介，以瞭解該系統於實務上之應用。

該自動倉儲系統主要之硬體構造如圖 18 所示：

- (1) 存取機(Storage/Retrieval Machine, S/R Machine or Crane)：該系統共有 5 台存取機，每一台存取機負責兩旁存貨架之物品存取及搬運之工作，可於軌道上移動 38 個儲位，該存取機可以於移動時，同時改變其 12 個儲位的高度。
- (2) 存貨架(Rack)：共有 10 列的存貨架，每一列的存貨架，高有 12 個儲位，長有 38 個儲位，深有 2 個儲位，所以該自動倉儲系統共有 9120 個儲位，供儲存物品用。因為該系統之存貨架深度有 2 個儲位，使得當需要取出內側之物品時，必須要先將外側物品移出，移至其他儲位後，才能將內側物品取出，而這是由於台灣地區目前高單價的低溫食品市場規模較小所致，所以容許花較多的時間出入庫，以換取空間的節省；但是這種配置方式對於流量大之物流中心則不適用，如奇美電子股份有限公司之自動倉儲系統，雖同屬一家公司負責規劃建造，其存貨架深度只有 1 個儲位，目的為加快物品出入庫的時間。
- (3) 走道(Aisle)：走道以軌道(Rail)的方式取代，每一軌道上置放 1 台存取機，供其移動 38 個儲位。

(4) 裝卸站(Pickup/Deposit Station, P/D Station or Input/Output Station, I/O Station)：此為存取機裝/卸之地點，該系統共有 10 個裝/卸地點，其中 5 個為專門讓存取機裝貨之地點，另 5 個為專門讓存取機卸貨之地點；若工作站(Work Station)下達存取機取貨之命令時，則存取機會由裝/卸站出發，至物品儲放處取貨，然後回到裝卸站，再將物品移到輸送帶(Conveyor)上，傳送至下命令之工作站，緊接著進行包裝與裝車等後續的工作。而若工作站下達存貨之命令，則以反向方式進行，由工作站貼完條碼後移至輸送帶上，再至指定之裝/卸站，隨即存取機即將該物品放入指定的儲位，然後停留等待下一次命令。

(5) 輸送帶(Conveyor)：負責工作站與裝卸站之間搬運物品的工作，以固定方向繞行，並以全年無休的方式運轉。

(6) 工作站(Work Station)：該系統中有數個工作站，可同時下達存/取之指令，當遇取貨時會遵守先進先出(FIFO)之原則，而存貨時則以最近距離優先指派的方式進行指派，指派完成後貼上條碼，送入輸送帶。

本研究以單指令(Single-Command)，即每次指令只會進行一個存取或取的動作，以及單載量(Unit-Load)，即每一次存取動作只能載一個單位物品的自動化倉儲系統，模擬小型範例進行測試及分析，並以 LINGO 8.0 執行運算。

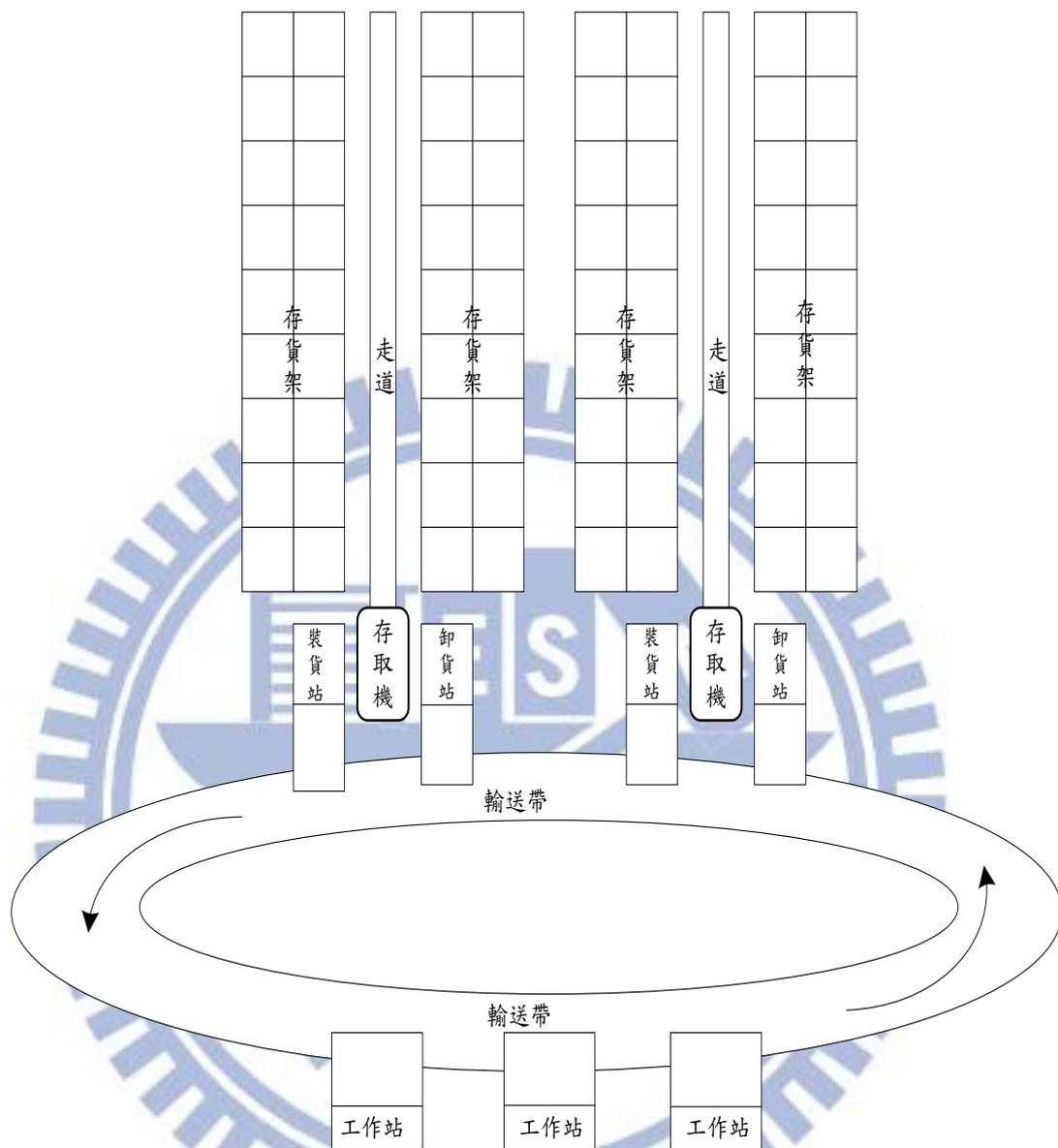


圖 18 嘉豐低溫物流中心自動倉儲系統之平面示意圖

表 18 儲位*i*至出口/裝卸站之距離成本

<i>i</i>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
$C_i$	0.5	1.0	1.2	1.5	1.7	1.9	2.0	2.2	2.4	2.5	2.7	2.9	3.0	3.2	3.4
<i>i</i>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>
$C_i$	3.5	3.7	3.9	4.0	4.2	4.4	4.5	4.7	4.9	5.0	5.2	5.4	5.5	5.7	5.9
<i>i</i>	<b>31</b>	<b>32</b>	<b>33</b>	<b>34</b>	<b>35</b>	<b>36</b>	<b>37</b>	<b>38</b>	<b>39</b>	<b>40</b>	<b>41</b>	<b>42</b>	<b>43</b>	<b>44</b>	<b>45</b>
$C_i$	6.0	6.2	6.4	6.5	6.7	6.9	7.0	7.2	7.4	7.5	7.7	7.9	8.0	8.2	8.4
<i>i</i>	<b>46</b>	<b>47</b>	<b>48</b>	<b>49</b>	<b>50</b>	<b>51</b>	<b>52</b>	<b>53</b>	<b>54</b>	<b>55</b>	<b>56</b>	<b>57</b>	<b>58</b>	<b>59</b>	<b>60</b>
$C_i$	8.5	8.7	8.9	9.0	9.2	9.4	9.5	9.7	9.9	10	10.2	10.4	10.7	10.9	11.4

表 19 於  $T$  時段時用於第一階段指派之  $D_{\gamma}^{T+1}$

$D_{\gamma}^{T+1}$													
	$T = -3$	$T = -2$	$T = -1$	$T = 0$	$T = 1$	$T = 2$	$T = 3$	$T = 4$	$T = 5$	$T = 6$	$T = 7$	$T = 8$	$T = 9$
$\gamma = 1$	11	10	9	8	8	7	7	6	5	5	4	3	3
$\gamma = 2$	8	8	9	9	8	8	9	9	8	8	9	9	8
$\gamma = 3$	2	2	3	3	2	2	3	3	2	2	3	3	2
$\gamma = 4$	1	2	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8
$\gamma = 5$	7	7	6	6	7	2	2	1	1	2	2	1	1

本研究的測試範例以可容納 4 個距離期限之時段數( $d=0\sim 3$ )與 5 種低溫食品項( $\gamma=1\sim 5$ )，共有 60 個儲位( $i=1\sim 60$ )之低溫物流中心做為測試之對象，並連續進行 10 個時段( $T=0\sim 9$ )的測試。其儲位  $i$  至出口/裝卸站之距離成本如表 18 所示。其儲位分佈以一個具有 20 個儲位長度、3 個儲位高度與 1 個儲位深度的存貨架做配置，配置方式為儲位至出口/裝卸站的距離成本由小至大按 1, 2, 3, ... 排列，其中平均垂直移動一個儲位與水平移動一個儲位的距離成本比為 7:5；該存貨架只被一台存取機服務，有兩個裝/卸站，分別供存取機裝與卸之地點，並以輸送帶送至裝卸站與工作站(如圖 19 所示)。

在進行指派前需要各時段送至中下游之各低溫食品需求量  $D_\gamma^T$  與各時段要送進物流中心之各低溫食品之數量  $S_\gamma^{T,d}$ ，其中五種低溫食品項的需求量，本研究分別以五種不同的需求型態來做測試，低溫食品 1 與 4 的需求量分別呈現持續衰退與成長的趨勢，低溫食品 2 與 3 的需求量是呈現穩定的，並分別保持於相對的高需求與低需求狀態，而低溫食品 5 則時由原本穩定的相對高需求，突然衰退至相對低需求，然後呈現穩定的相對低需求狀態；另外，( $T+2$ )時段要送進物流中心之各低溫食品之數量  $S_\gamma^{T+2,d}$  是依據前一時段要送至中下游之各低溫食品的兩倍需求量 ( $2D_\gamma^{T+1}$ ) 減去 ( $T+2$ ) 時段低溫食品要送進物流中心前所有  $d\geq 1$  之各低溫食品數量 ( $\sum_{i=1}^I \sum_{d=1}^D X_{i,\gamma}^{T+2,d}$ )，即  $2D_\gamma^{T+1} - \sum_{i=1}^I \sum_{d=1}^D X_{i,\gamma}^{T+2,d} = \sum_{d=1}^D S_\gamma^{T+2,d}$ ，若  $2D_\gamma^{T+1} \leq \sum_{i=1}^I \sum_{d=1}^D X_{i,\gamma}^{T+2,d}$ ，則  $\sum_{d=0}^D S_\gamma^{T+2,d} = 0$ ，此用意在於確保物流中心內之安全存貨，避免需求變動幅度過大時，庫存無法滿足需求的情形發生；在此範例中，本研究假設所有時段送至物流中心之低溫食品都距離期限還有 3 個時段 ( $d=3$ )，所以只有  $S_\gamma^{T+2,3}$  有數據，其餘  $S_\gamma^{T+2,2} = S_\gamma^{T+2,1} = S_\gamma^{T+2,0} = 0$ ；而  $D_\gamma^{-2}$ 、 $D_\gamma^{-1}$ 、 $D_\gamma^0$  則是為了於  $T=0$  時段做需求量預測時所需要的需求量數據，該數據如表 19 與表 20 所示；此外，本研究於  $T=0$  時段對  $T=2$  時段進行指派時，還須得到起始值  $X_{i,\gamma}^{1,d+1}$ ，各低溫食品的起始數量為  $T=1$  時段要送至中下游之各低溫食品需求量  $D_\gamma^T$  的兩倍，其所有低溫食品之儲位設定則是以隨機給定，並無任何規則。

存貨架

儲位 6	儲位 3	儲位 1
儲位 9	儲位 5	儲位 2
儲位 12	儲位 8	儲位 4
儲位 15	儲位 11	儲位 7
儲位 18	儲位 14	儲位 10
儲位 21	儲位 17	儲位 13
儲位 24	儲位 20	儲位 16
儲位 27	儲位 23	儲位 19
儲位 30	儲位 26	儲位 22
儲位 33	儲位 29	儲位 25
儲位 36	儲位 32	儲位 28
儲位 39	儲位 35	儲位 31
儲位 42	儲位 38	儲位 34
儲位 45	儲位 41	儲位 37
儲位 48	儲位 44	儲位 40
儲位 51	儲位 47	儲位 43
儲位 54	儲位 50	儲位 46
儲位 57	儲位 53	儲位 49
儲位 59	儲位 55	儲位 51
儲位 60	儲位 58	儲位 55

第三層

第二層

第一層

走道

裝貨站

存取機

卸貨站

輸送帶

工作站

圖 19 本研究測試範例之自動倉儲系統示意圖

表 20 於  $T$  時段用於第二階段指派之  $S_{\gamma}^{T+2,3}$

$S_{\gamma}^{T+2,3}$										
	$T=0$	$T=1$	$T=2$	$T=3$	$T=4$	$T=5$	$T=6$	$T=7$	$T=8$	$T=9$
$\gamma=1$	8	8	5	7	4	3	5	2	1	3
$\gamma=2$	9	6	8	11	9	6	8	11	9	6
$\gamma=3$	3	0	2	5	3	0	2	5	3	0
$\gamma=4$	4	4	7	5	8	6	9	7	10	8
$\gamma=5$	6	9	0	0	2	1	4	2	0	0

由表 19 之數據，可對  $(T+4)$  時段做需求量預測，即  $\hat{D}_y^{T+4}$ ，其結果如表 21 所示；而該結果對於本研究之應用意義在於各低溫食品預測值間的大小相對關係，而非絕對的關係，若某低溫食品間所預測之需求量誤差可能造成其相對關係產生變化，但就整體(所有低溫食品)而言，其相對關係依舊存在，此作用可減輕需求量預測誤差所造成之影響；此外，當某低溫食品間於某些時段易產生相對關係的改變時，即表示這些低溫食品於這些時段的需求量相似，此結果會導致這些需求量相似的低溫食品間有類似隨機指派之效果；這些作用與效果可由圖 20 與圖 21 看出，如低溫食品 1 與 4 的實際需求量( $D_y^T$ )顯示於  $T=4\sim 7$  時段時，兩者的需求量是較接近的，由預測需求量( $\hat{D}_y^T$ )可發現兩者雖然在這段時間裡預測所產生的誤差導致兩者的相對關係持續發生改變，但整體的相對關係並未受到明顯的影響，也由於在這段時間裡兩者預測需求量的相對關係持續發生改變，導致兩者於該時段的儲位指派難以歸納出其指派規則，所以對於兩者而言，於該時段的儲位變化會有類似於隨機指派的結果；但若於預測期間有某低溫食品之需求量產生巨大擾動(如原暢銷之低溫食品被查驗出含有過量之防腐劑)時，則短時間內會造成預測需求量有顯著的誤差，雖然可能會導致該低溫食品在實際需求量與預測需求量間的整體相對關係上產生明顯的差異，但由於本研究的灰預測模式會不斷加入更新的資料做預測，所以經過幾個時段後，預測需求量即可反應出實際需求量變動的趨勢，如低溫食品 5 於  $T=4\sim 5$  時段時，由圖 20 與圖 21 比較顯示，實際需求量( $D_y^T$ )與預測需求量( $\hat{D}_y^T$ )在整體的相對關係上產生顯著的差異，但於  $T=6$  時段後，預測需求量已可反應出實際需求量的狀況，並隨著過期的低溫食品被移出儲位後，指派又會變得有效率；因此以長期角度而言，動態的指派也是一種當需求量可能產生巨大擾動時之因應措施，而這也會比將物品做長期規劃儲位的方式顯得更具有彈性。而本研究針對此範例以灰預測模式做預測，其驗證方式是以先前所預測特定時段的需求量與該特定時段的實際需求量做比較，當中的誤差率會與該低溫食品於該時段的需求量有關，即低溫食品若於特定時段的需求量越高時，其誤差率越小，反之則越大；而本研究的測試範例中，因僅以少量的需求量做測試，其誤差率都很高，如低溫食品 2 的需求

量在整體上屬於相對高且穩定的需求量，其平均誤差率約在正負 18% 左右，其餘低溫食品的誤差率則更高；但這些預測所產生的誤差率大多都不會影響指派的結果，因為灰預測模式對於本研究的意義在於預測需求量的相對關係，亦即只要預測需求量的誤差不致影響其在整體上的相對關係，其誤差都是屬於可接受的範圍；而不同的低溫食品間於同一時期通常具有需求量相對關係明顯之特性，將使其能容許較大之誤差。

在經過 10 個時段( $T=0\sim 9$ )的指派後，由圖 22 可看出，各低溫食品於起始時是以隨機方式做指派，得到所有低溫食品的平均距離成本約在 5~7，經過 5 個時段指派後，發現整體的趨勢已經顯現，需求量高的低溫食品 2 與 4 會指派較接近出口/裝卸站之儲位，所以平均之距離成本較低，而其餘低溫食品則指派較遠離出口/裝卸站之儲位，所以平均之距離成本則較高；而圖 23 則顯示，一開始各低溫食品於起始時經隨機指派後，其相同低溫食品間的距離會隨著時段的累積，而漸漸變得越來越集中，即相同低溫食品間平均相距之距離成本會隨著時段之而呈現整體下滑的趨勢，當中以低溫食品 5 最為特殊，這是因為其需求量的變動過於劇烈所致；然而，平均相距之距離成本的期望值與該低溫食品於特定時段之庫存量有關，因為庫存量越多，其平均相距之距離成本期望值則越低，這可由起始時，各低溫食品的平均相距之距離成本看出，因此僅以圖 23 較難做出任何有力的結論，故另由圖 24 針對  $T=-1\sim 9$  時段需求量變動不大之低溫食品 2 與 3，結果發現其平均相距之距離成本會隨著時段而呈現下滑的趨勢更為顯著，所以由上述的結果可發現本研究的指派模式會使需求量佳之低溫食品指派至較接近出口/裝卸站之儲位，並且使相同低溫食品指派至較相近之儲位。

表 21 於  $T$  時段所預測之需求量  $\hat{D}_\gamma^{T+4}$

$\hat{D}_\gamma^{T+4}$										
	$T=0$	$T=1$	$T=2$	$T=3$	$T=4$	$T=5$	$T=6$	$T=7$	$T=8$	$T=9$
$\gamma=1$	6.419	6.925	6.321	5.937	5.342	3.604	3.975	3.409	1.852	2.057
$\gamma=2$	10.257	7.304	6.925	9.996	10.257	7.304	6.925	9.996	10.257	7.304
$\gamma=3$	4.466	1.556	1.146	4.523	4.466	1.556	1.146	4.523	4.466	1.556
$\gamma=4$	7.700	5.382	6.167	6.335	7.098	7.305	8.052	8.284	9.020	9.268
$\gamma=5$	4.953	8.052	1.819	0.239	0.723	0.351	4.232	3.659	0.723	0.351

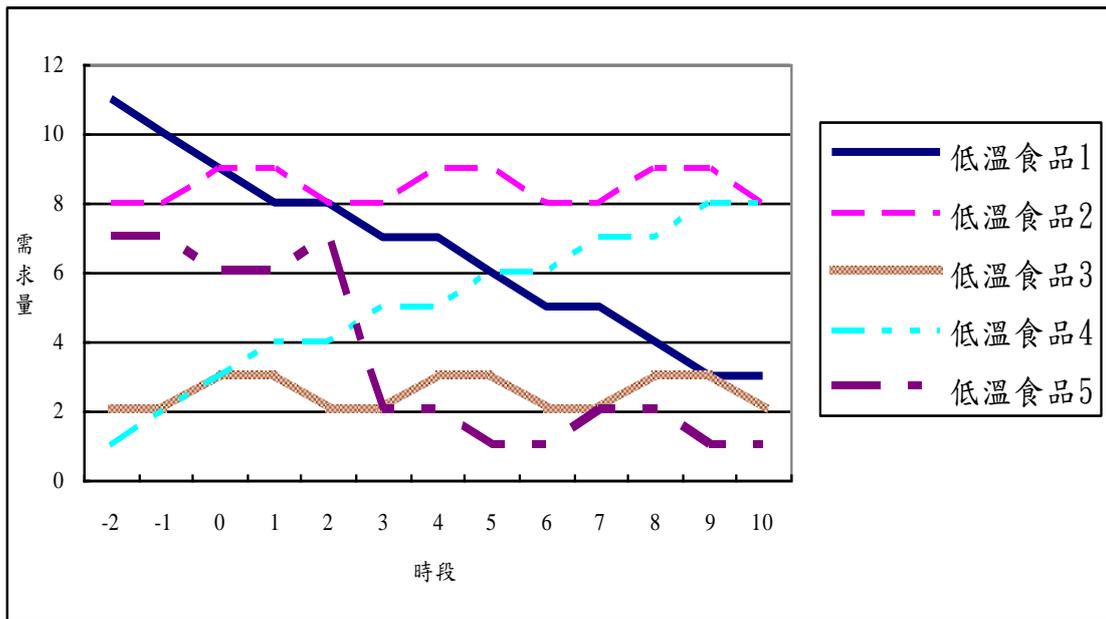


圖 20 連續 13 個時段送至中下游之各低溫食品需求量變化圖

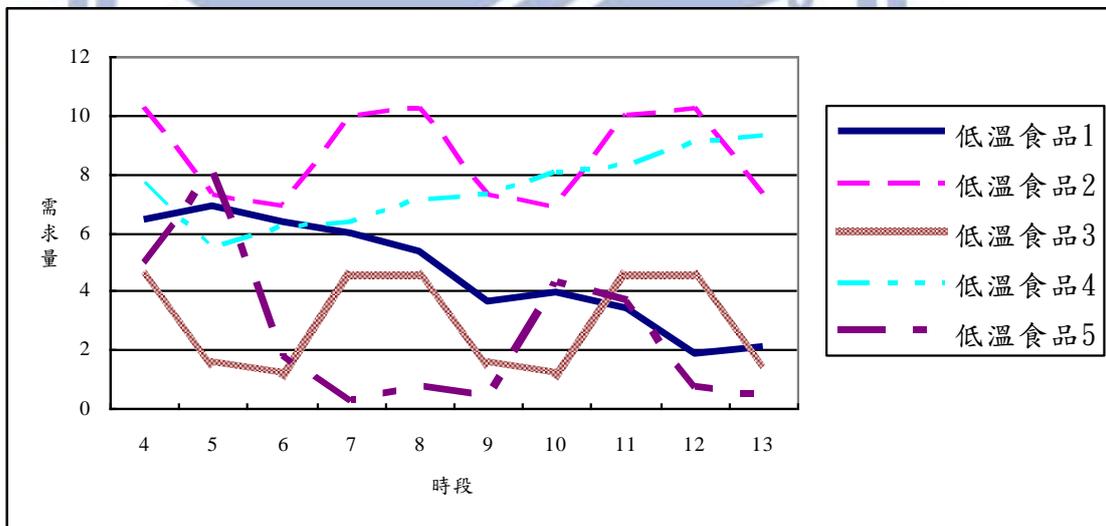


圖 21 T=4~13 時段之各低溫食品預測需求量變化圖

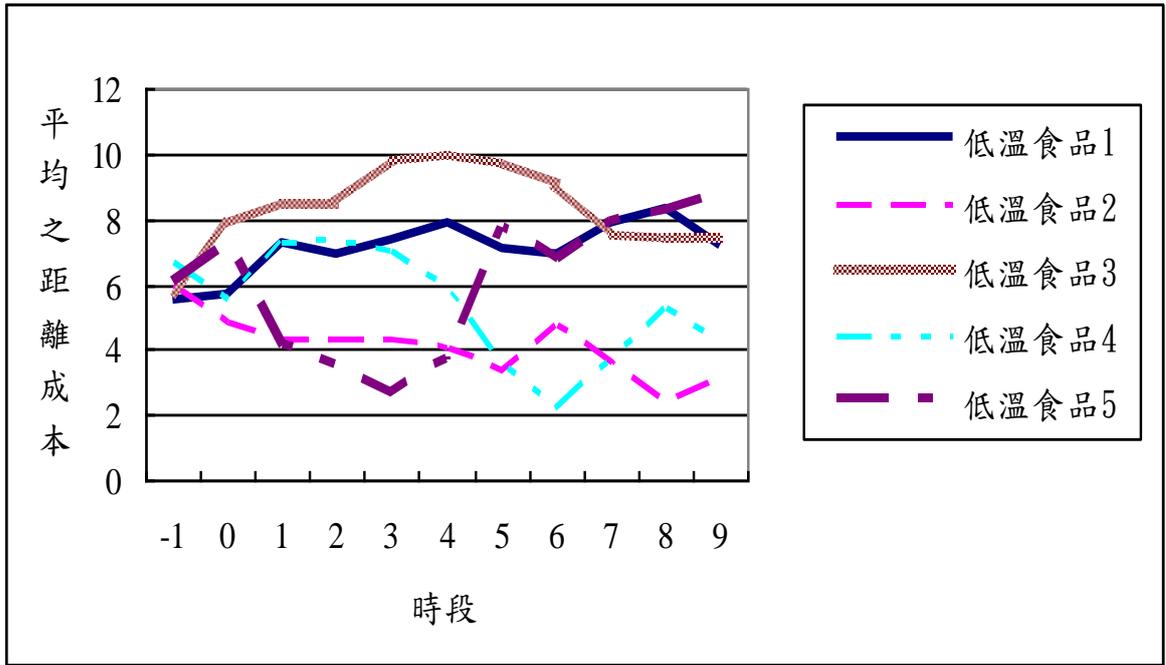


圖 22 於  $T = -1 \sim 9$  時段第二階段指派完成後各低溫食品平均之距離成本

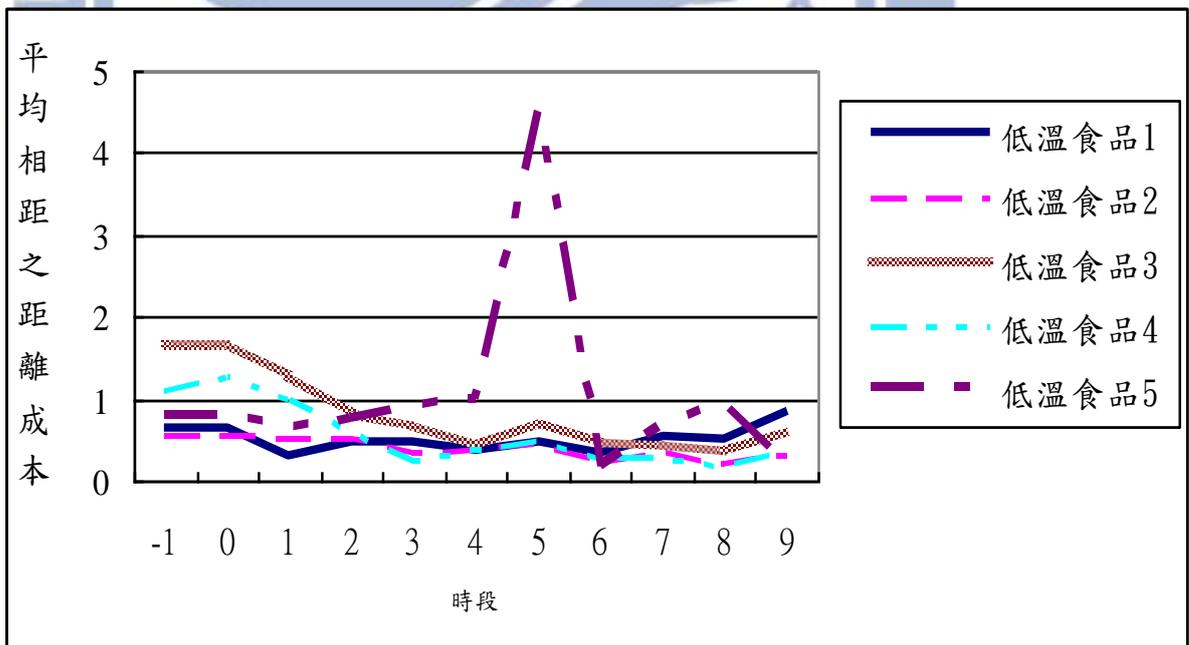


圖 23 於  $T = -1 \sim 9$  時段第二階段指派完成後各低溫食品平均相距之距離成本

此外，本研究進一步探討經過各時段之儲位指派後，儲位之流動率與利用率之關係(如表 22 與表 23 所示)；本研究定義( $T+2$ )時段利用率為所有儲位在經過 $T$ 時段所做第二階段指派後，在固定儲位當中，儲位將被佔用之比率。 $(T+2)$ 時段流動率則定義為經過 $T$ 時段所做的指派後，在固定儲位當中，儲位被移出與放入低溫食品之比率。由表 22 中可清楚看出越接近出口/裝卸站之儲位的利用率越高，並且無論任何時段都可看出相同趨勢，而在平均儲位利用率上高達 87.5%，倘若以完全依週轉率指定儲位方式規劃儲位，並且根據本研究範例相同的安全存貨設定，則該儲位數至少需要 70 個，其平均儲位利用率則為 75%，所以由本研究的範例可知本研究的動態儲位指派可以達成儲位高利用率之目標；在儲位流動率方面， $T=0\sim 4$ 五個時段中所做的指派，由於低溫食品 5 在需求量預測上，預測錯誤的需求趨勢，導致前五個時段所做的指派無法完全地妥善利用前面 12 個儲位 ( $i=1\sim 12$ )，但大致上還是可看出越接近出口/裝卸站的儲位，流動率越佳之現象；直到佔據前面儲位的低溫食品 5 過期被移出儲位後，才能顯著地顯示出越接近出口/裝卸站的儲位有流動率越佳之效果，所以由此結果可得到，若需求量預測出錯誤的趨勢可能會導致比較無效率的指派，但本研究所構建之模式仍會盡可能的使越接近出口/裝卸站的儲位有流動率越佳之效果。

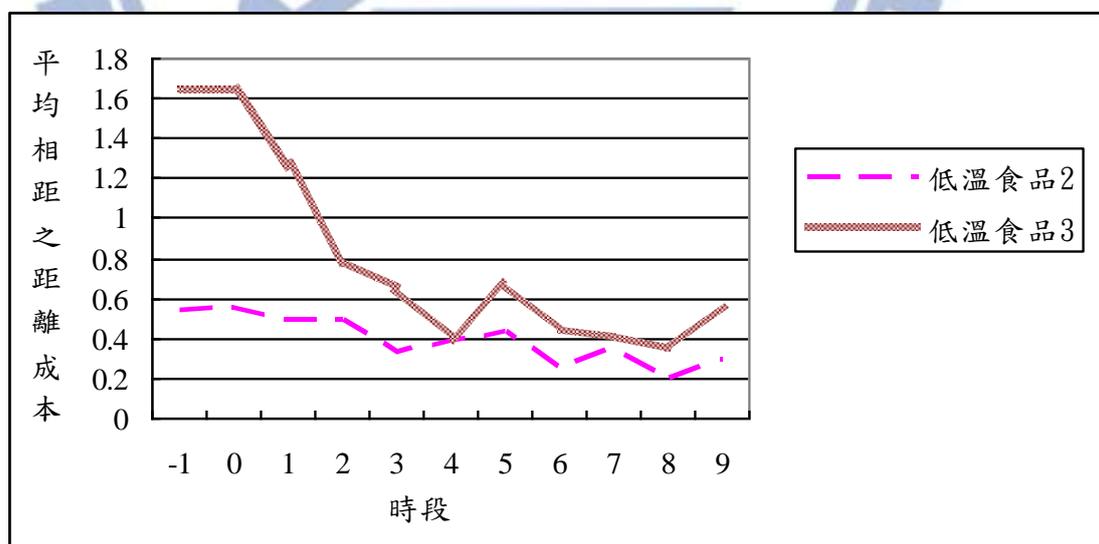


圖 24 於  $T=-1\sim 9$  時段第二階段指派完成後低溫食品 2 與 3 平均相距之距離成本

表 22 儲位於(T+2)時段之利用率

	$i = 1 \sim 12$	$i = 13 \sim 24$	$i = 25 \sim 36$	$i = 37 \sim 48$	$i = 49 \sim 60$	平均值
$T = 0$	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	<b>100.00%</b>
$T = 1$	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	83.33%	<b>96.67%</b>
$T = 2$	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	66.67%	<b>93.33%</b>
$T = 3$	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	83.33%	<b>96.67%</b>
$T = 4$	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	83.33%	<b>96.67%</b>
$T = 5$	100.00%	100.00%	75.00%	33.33%	58.33%	<b>73.33%</b>
$T = 6$	100.00%	100.00%	100.00%	83.33%	16.67%	<b>80.00%</b>
$T = 7$	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	16.67%	<b>83.33%</b>
$T = 8$	100.00%	100.00%	100.00%	91.67%	16.67%	<b>81.67%</b>
$T = 9$	100.00%	100.00%	100.00%	50.00%	16.67%	<b>73.33%</b>
平均值	<b>100.00%</b>	<b>100.00%</b>	<b>97.50%</b>	<b>85.83%</b>	<b>54.17%</b>	<b>87.50%</b>

表 23 儲位於(T+2)時段之流動率

	$i = 1 \sim 12$	$i = 13 \sim 24$	$i = 25 \sim 36$	$i = 37 \sim 48$	$i = 49 \sim 60$	平均值
$T = 0$	41.67%	66.67%	66.67%	50.00%	25.00%	<b>50.00%</b>
$T = 1$	66.67%	33.33%	25.00%	41.67%	66.67%	<b>46.67%</b>
$T = 2$	33.33%	66.67%	66.67%	16.67%	8.33%	<b>38.33%</b>
$T = 3$	8.33%	25.00%	50.00%	83.33%	58.33%	<b>45.00%</b>
$T = 4$	41.67%	75.00%	41.67%	25.00%	33.33%	<b>43.33%</b>
平均 值	<b>38.33%</b>	<b>53.33%</b>	<b>50.00%</b>	<b>43.33%</b>	<b>38.33%</b>	<b>44.67%</b>
$T = 5$	58.33%	41.67%	45.83%	33.33%	12.50%	<b>38.33%</b>
$T = 6$	50.00%	41.67%	62.50%	41.67%	20.83%	<b>43.33%</b>
$T = 7$	66.67%	66.67%	33.33%	33.33%	16.67%	<b>43.33%</b>
$T = 8$	50.00%	41.67%	83.33%	20.83%	0.00%	<b>39.17%</b>
$T = 9$	50.00%	66.67%	16.67%	29.17%	0.00%	<b>32.50%</b>
平均 值	<b>55.00%</b>	<b>51.67%</b>	<b>48.33%</b>	<b>31.67%</b>	<b>10.00%</b>	<b>39.33%</b>

## 第五章 結論與建議

本章分別針對中期戰術規劃（即全溫層物流設施規劃研究）與短期作業規劃（即低溫物流自動倉儲系統動態儲位指派模式研究），經由實際測試案例與重要參變數敏感度分析後，進行結論與建議。

### 5.1 結論

近年來，隨著宅配服務與電子商務之興起，配送物品朝著多樣少量與多溫層的方向發展，該趨勢亦使物流業者對多溫共配之相關課題日益重視。除在運送貨物品質之控管問題外，全溫層物流於場站使用之技術類型、車輛型式、車輛大小、等中期設施規劃問題以及如何提升短期作業效率問題都是未來發展的重要課題之一。

本研究即針對中期設施規劃（即全溫層物流設施規劃研究）與短期作業規劃（即低溫物流自動倉儲系統動態儲位指派模式研究）構建兩種模式探討全溫層物流在陸運上之營運規劃相關議題。全溫層物流設施規劃研究部分是假設場站區位與需求為已知條件下，以業者的角度，追求運輸成本與貨物處理成本所加總之總運送成本最小化為目標。運輸成本包含運具成本與場站成本，兩者均包含期初投資之固定成本與變動成本，惟因車輛成本會隨車輛大小越大呈現規模經濟之現象，而車輛型式會直接影響場站技術之選擇，故本研究必須將該現象納入考量，但是此規模經濟特性，若納入數學規劃式中，會大幅增加運算之負擔，故本研究發展出計算車輛成本之演算法，透過該演算法可求解在二元混合整數規劃模式放鬆整數條件後之貨物處理量下之可行車輛型式、車輛大小、運送頻次、車輛路徑與車輛成本等，結合目標式為貨物處理成本與場站成本加總最小化之二元混合整數規劃模式(決策變數為場站貨物處理量與場站技術)，並以分支定限法與越優解越先搜尋之原則求解業者所需投資之場站技術、車輛型式與大小等設施，以及在該設施投資下所搭配之最適貨物處理量、服務頻次與車輛路徑等。低溫物流自動倉儲系統動態儲位指派模式研究部分則是假設場站貨物處理量適合採

用傳統多車配送技術，並分別使用冷凍、冷藏與常溫之自動倉儲系統情境下，針對低溫食品特性建構兩階段動態儲位指派模式。第一階段指派先分析各種低溫食品隨著時間而快速腐敗之特性，而將越接近期限的低溫食品越先指派至中下游，且將過期之低溫食品移出儲位，進而瞭解空儲位分佈狀況；第二階段指派則考慮低溫食品具有需求量依時變動之特性，結合動態灰預測與第一階段指派之結果，將低溫食品指派至空儲位並使後續作業有效率的進行。

在全溫層物流設施規劃研究部分，結果顯示在原始範例中貨物處理量較大之場站(如 A 與 C 分區內之中繼站與營業所)較傾向使用傳統多車配送技術與機械式冷凍車廂區隔多溫共配技術( $t=1,2$ ，即使用傳統區分冷凍、冷藏與常溫之倉儲設備)，而貨物處理量較小之場站(如 B 分區內之中繼站與營業所)則較傾向使用抽換式蓄冷保溫箱多溫共配技術設備( $t=3$ )，且各分區內之營業所也較中繼站傾向使用抽換式蓄冷保溫箱多溫共配技術設備( $t=3$ )；另在車輛使用傳統多車配送技術與機械式冷凍車廂區隔多溫共配技術( $t=1,2$ )時，多會利用大型車輛且以較高之頻次服務，而當車輛使用蓄冷保溫箱多溫共配技術( $t=3$ )時，則會傾向利用中小型車以較低頻次運送，推測抽換式蓄冷保溫箱多溫共配技術( $t=3$ )則因傳統多車配送技術與機械式冷凍車廂區隔多溫共配技術( $t=1,2$ )之規模經濟特性被定位為輔助角色，亦即當營業量隨時間增加或營業量不確定性高時，該技術則可作為緩衝之用。原始範例之需求量改變後發現，當需求量減少時，抽換式蓄冷保溫箱多溫共配技術( $t=3$ )則漸漸成為主流技術，反之，當隨著需求量增加時，抽換式蓄冷保溫箱多溫共配技術( $t=3$ )之優勢漸漸消失，各分區內使用傳統多車配送技術與機械式冷凍車廂區隔多溫共配技術( $t=1,2$ )之貨物量持續增加，但使用抽換式蓄冷保溫箱多溫共配技術( $t=3$ )之貨物量則呈現不穩定變動之情形，意謂著隨需求量增加，使用傳統多車配送技術與機械式冷凍車廂區隔多溫共配技術( $t=1,2$ )之貨物漸漸成為主流，而抽換式蓄冷保溫箱多溫共配技術( $t=3$ )則演變成為調節與輔助角色。依據上述需求量改變之結果，假設場站相關成本= $a_1 \cdot x^{b_1}$ 與車輛成本= $a_2 \cdot x^{b_2}$ ，其中  $x$  為所有場站處理冷凍、冷藏貨物之總貨物量， $a_1, a_2, b_1, b_2$  為待校估之參數，並以最小平方法校估，得到結果為  $a_1 = 328.911$ ， $a_2 = 357.801$ ， $b_1 = 0.774574$ ， $b_2 = 0.769691$ ，誤差約在 5%；顯示場站與車輛相關成本均具有規模經濟之特性，且車輛成本之規模經濟現象較場站相關成本明顯，此結果可能場站使用抽換式蓄冷保溫箱多溫共配技術( $t=3$ )時之設置與營運成本並不具有

規模經濟特性有關，所以結果符合預期，亦證明本研究設計之車輛成本演算法具有二項特性，第一項為幫助規劃內容於有限時間內求解完成，第二項為反應車輛成本與場站成本規模經濟特性等優勢。

由於抽換式蓄冷保溫箱多溫共配技術 ( $t=3$ )之場站設置與營運單位成本可能會受到業者使用方式與科技發展而改變，故本研究將抽換式蓄冷保溫箱多溫共配技術 ( $t=3$ )之場站設置與營運單位成本改變-15%、-10%、-5%、5%、10%與 15%且需求量改變後之結果，並同樣假設場站相關成本= $a_1 \cdot x^{b_1}$ 與車輛成本= $a_2 \cdot x^{b_2}$ 方式進行分析，經參數校估結果，在場站成本部分， $b_1$ 值隨抽換式蓄冷保溫箱多溫共配技術 ( $t=3$ )之場站設置與營運單位成本越高而越低，顯示其規模經濟特性隨著該單位成本越高而越明顯，意謂著抽換式蓄冷保溫箱多溫共配技術 ( $t=3$ )之場站設置與營運單位成本越高，場站使用傳統多車配送技術與機械式冷凍車廂區隔多溫共配技術設備( $t=1,2$ )之比例越高，導致規模經濟現象越顯著；另當抽換式蓄冷保溫箱多溫共配技術 ( $t=3$ )之場站設置與營運單位成本下降 10%以內時，其場站成本參數值  $b_1$ 之上升幅度較大，而當從 10%降至 15%時，其上升幅度則大幅減緩，顯示該單位成本下降 10%以內時之敏感度較高，且有利於場站選擇使用抽換式蓄冷保溫箱多溫共配技術設備 ( $t=3$ )；反之，若抽換式蓄冷保溫箱多溫共配技術 ( $t=3$ )之場站設置與營運單位成本持續升高，其場站成本參數值  $b_2$ 則相對穩定下降，即該單位成本持續升高，其敏感度均呈現穩定，且有利於場站選擇使用傳統多車配送技術與機械式冷凍車廂區隔多溫共配技術設備( $t=1,2$ )。在車輛成本部分，參數值  $b_2$ 值均在 0.765~0.770 間，顯示車輛成本的規模經濟特性是很穩定的，而參數值  $a_2$ 值之變化亦不顯著，故顯示出車輛成本並不會隨抽換式蓄冷保溫箱多溫共配技術 ( $t=3$ )之場站設置與營運單位成本變動而明顯改變。

在上述範例中，均以固定之需求型態作測試範例，即所有貨物流方向之各溫層貨物需求比例均相同之情形，但實際情形卻有可能發生不盡相同之情形，故本研究假設由北至南貨物流方向之冷凍、冷藏與常溫之需求比例為 2:1:4，而南至北貨物流方向則維持各溫層貨物為 1:2:4 之需求比例，其結果顯示當需求量為原始需求量之 0.75 倍~1.5 倍時，場站使用技術之情形與原範例有明顯之差異，即當貨物流方向之各溫層貨物需求比例不一致時，業者會傾向使用運送空間利用彈性較大之車輛營運，其中使用抽換式蓄冷保溫箱多溫共配技術 ( $t=3$ )之常溫車空間彈性較使用機械式冷凍車廂區隔多溫共配技術設備

( $t=2$ )之三溫車為佳，且場站採用抽換式蓄冷保溫箱多溫共配技術( $t=3$ )之比例亦明顯提高。

在低溫物流自動倉儲系統動態儲位指派模式研究部分，結果顯示低溫食品 1 與 4 的實際需求量( $D_y^T$ )顯示於  $T=4\sim 7$  時段時，兩者的需求量是較接近的，由預測需求量( $\hat{D}_y^T$ )可發現兩者雖然在這段時間裡預測所產生的誤差導致兩者的相對關係持續發生改變，但整體的相對關係並未受到明顯的影響，也由於在這段時間裡兩者預測需求量的相對關係持續發生改變，導致兩者於該時段的儲位指派難以歸納出其指派規則，所以對於兩者而言，於該時段的儲位變化會有類似於隨機指派的結果；但若於預測期間有某低溫食品之需求量產生巨大擾動(如原暢銷之低溫食品被查驗出含有過量之防腐劑)時，則短時間內會造成預測需求量有顯著的誤差，雖然可能會導致該低溫食品在實際需求量與預測需求量間的整體相對關係上產生明顯的差異，但由於本研究的灰預測模式會不斷加入更新的資料做預測，所以經過幾個時段後，預測需求量即可反應出實際需求量變動的趨勢。在經過 10 個時段( $T=0\sim 9$ )的指派後，各低溫食品於起始時是以隨機方式做指派，得到所有低溫食品的平均距離成本約在 5~7，經過 5 個時段指派後，發現整體的趨勢已經顯現，需求量高的低溫食品 2 與 4 會指派較接近出口/裝卸站之儲位，所以平均之距離成本較低，而其餘低溫食品則指派較遠離出口/裝卸站之儲位，所以平均之距離成本則較高；其相同低溫食品間的距離會隨著時段的累積，而漸漸變得越來越集中，即相同低溫食品間平均相距之距離成本會隨著時段之而呈現整體下滑的趨勢，所以由上述的結果可發現本研究的指派模式會使需求量佳之低溫食品指派至較接近出口/裝卸站之儲位，並且使相同低溫食品指派至較相近之儲位。

此外，本研究進一步探討經過各時段之儲位指派後，儲位之流動率與利用率之關係；本研究定義( $T+2$ )時段利用率為所有儲位在經過  $T$  時段所做第二階段指派後，在固定儲位當中，儲位將被佔用之比率。 $(T+2)$  時段流動率則定義為經過  $T$  時段所做的指派後，在固定儲位當中，儲位被移出與放入低溫食品之比率。結果可清楚看出越接近出口/裝卸站之儲位的利用率越高，並且無論任何時段都可看出相同趨勢，而在平均儲位利用率上高達 87.5%，倘若以完全依週轉率指定儲位方式規劃儲位，並且根據本研究範例相同的安全存貨設定，則該儲位數至少需要 70 個，其平均儲位利用率則為 75%，所以由本研究的範例

可知本研究的動態儲位指派可以達成儲位高利用率之目標；在儲位流動率方面， $T=0\sim 4$ 五個時段中所做的指派，由於低溫食品 5 在需求量預測上，預測錯誤的需求趨勢，導致前五個時段所做的指派無法完全地妥善利用前面 12 個儲位 ( $i=1\sim 12$ )，但大致上還是可看出越接近出口/裝卸站的儲位，流動率越佳之現象；直到佔據前面儲位的低溫食品 5 過期被移出儲位後，才能顯著地顯示出越接近出口/裝卸站的儲位有流動率越佳之效果，所以由此結果可得到，若需求量預測出錯誤的趨勢可能會導致比較無效率的指派，但本研究所構建之模式仍會盡可能的使越接近出口/裝卸站的儲位有流動率越佳之效果。

綜上所述，本論文有關全溫層物流設施與營運規劃研究之具體結論彙整如下：

1. 抽換式蓄冷保溫箱多溫共配技術 ( $t=3$ )適合需求量較小之場站、場站分布密集與營運範圍小之網路形態。
2. 在車輛使用傳統多車配送技術與機械式冷凍車廂區隔多溫共配技術( $t=1,2$ )時，多會利用大型車輛且以較高之頻次服務，而當車輛使用蓄冷保溫箱多溫共配技術 ( $t=3$ )時，則會傾向利用中小型車以較低頻次運送，所以抽換式蓄冷保溫箱多溫共配技術 ( $t=3$ )則因傳統多車配送技術與機械式冷凍車廂區隔多溫共配技術( $t=1,2$ )之規模經濟特性被定位為輔助角色，亦即當營業量隨時間增加或營業量不確定性高時，該技術則可作為緩衝之用。
3. 當需求是隨時間而增加時，改變傳統多車配送技術與機械式冷凍車廂區隔多溫共配技術 ( $t=1,2$ )之設備則較為困難，可以抽換式蓄冷保溫箱多溫共配技術 ( $t=3$ )做調節，所以當業者經營為外部營運網路或競爭激烈之市場時，會較傾向使用抽換式蓄冷保溫箱多溫共配技術 ( $t=3$ )營運，並有利於因應市場需求隨時間之變動。
4. 抽換式蓄冷保溫箱多溫共配技術 ( $t=3$ )之場站設置與營運單位成本下降會使場站相關成本之規模經濟現象較不顯著，意謂會增加使用抽換式蓄冷保溫箱多溫共配技術 ( $t=3$ )之比例，然而當該成本下降至某一程度後，其參數上升比例幅度則大幅減緩，此乃由於傳統多車配送技術與機械式冷凍車廂區隔多溫共配技術 ( $t=1,2$ )之場站設備具有規模經濟特性與

車輛空間利用率高之優勢，無法被該單位成本降低而完全被取代。

5. 抽換式蓄冷保溫箱多溫共配技術 ( $t=3$ )之場站設置與營運單位成本持續升高，其技術使用比例之變化則相對穩定，顯示該單位成本提高將逐漸降低其優勢。
6. 當貨物流方向之各溫層貨物需求比例不一致時，業者會傾向使用運送空間彈性較大之車輛營運，於場站則偏好使用抽換式蓄冷保溫箱多溫共配技術 ( $t=3$ )，此乃因該技術使用之常溫車空間彈性較機械式冷凍車廂區隔多溫共配技術設備 ( $t=2$ ) 使用之三溫車為佳所致，故抽換式蓄冷保溫箱多溫共配技術 ( $t=3$ )適用於需求型態較不勻稱之營運網路，即無論在時間上或空間上之需求差異顯著，均可透過該技術減緩其成本的增加。
7. 本研究結果尚符合理，亦證明本研究設計之車輛成本演算法具有三項特性，第一項為幫助規劃內容於有限時間內求解完成，第二項為反應車輛成本與場站成本規模經濟特性等優勢，第三項為反應  $t=3$  使用常溫車的空間彈性較  $t=2$  三溫車佳之特性等優勢。
8. 近年來，環保議題日益重視、民眾對於運送品質要求越來越嚴苛與市場競爭激烈等趨勢，從上述結果均顯示抽換式蓄冷保溫箱多溫共配技術 ( $t=3$ ) 將較能適應未來外在環境之變動趨勢。
9. 本研究建構之動態儲位指派模式，不同於以往先進先出 (FIFO) 之指派原則，而是以低溫食品的特性(距離期限時段數)做為指派的原則，此原則可適用於相同產品以不同工廠製造之物流中心。
10. 本研究的動態儲位指派模式可利用灰預測模式所預測之各商品的需求變動趨勢，幫助廠商瞭解各種低溫食品的需求特性以因應各種行銷上的策略。
11. 本研究的動態儲位指派模式會使相同產品項之平均相距距離成本會隨著時段而呈現下滑的趨勢。
12. 本研究的動態儲位指派模式會使需求量佳之低溫食品項指派

至較接近出口/裝卸站之儲位，並且使相同低溫食品指派至較相近之儲位。

13. 透過本研究的動態儲位指派模式確實能提升空間利用率、場站內作業效率、以及提升場站競爭優勢

## 5.2 建議

在全溫層物流設施規劃研究部分，本研究首先將全溫層物流技術與各溫層貨物納入考量，所以本研究所建構之模式主要考量為成本最小化、滿足需求與容量限制等，並未將目前民眾日趨重視之時效與品質等議題納入考量，且本研究為測試該模式之可行性，僅以小型案例作測試，未來建議可朝向大型案例作測試，並將民眾日趨重視之時效與品質等議題納入考量。另因本研究同時考量到全溫層物流技術、各溫層貨物、車輛型式、車輛大小與服務頻次等，導致構建本研究模式之複雜度高，因此本研究另外建構車輛成本演算法與其求解架構，其中車輛成本演算法主要利用貪婪原則，此屬於最單純之演算法，未來可朝向建構更複雜且更周密之演算法；該求解架構則採用分支定限法中評選法則的越優解越先搜尋方法，其達到終止條件前所計算的子問題個數，平均而言是最低的，有較低的時間複雜度，且因本研究的範例規模較小，對於陷入區域解(local optimal)則有較低的風險，且樹狀的結構子問題分解，屬於啟發式的分解方式，未來可嘗試使用不同的起始解與其他已發展之巨集演算法，應可避免執行演算法時落入區域解(local optimal)的問題。

在低溫物流自動倉儲系統動態儲位指派模式研究部分，本研究能根據未來趨勢在需求型態轉變、技術相關參數改變下等不同情境環境下，對於已跨足多溫層商品市場業者在營運上之影響，以及就有意跨足多溫層商品市場之業者擬定本研究認為適切之營運規劃內容以供參考。由於真實範例取得不易，故本研究在此僅針對小型的範例進行測試，未來仍可嘗試以實例的方式與不同之自動倉儲系統來進行分析，如此分析出來的結果將更具信賴度；而在需求量的預測方面，本研究以灰預測 GM(1,1)，且僅以四筆資料做需求量預測，係為簡化求解上的複雜度，未來仍可以較多筆的資料或較複雜的模式來進行預測，可能會有更佳之效果。此外，本研究係以低溫食品為研究對象，未來亦可針對物流環境要求較為嚴峻之電子

科技與生化科技等特殊商品，針對各種環境與技術加入腐敗與存貨等成本進行深入的探討。

綜上所述，本論文有關全溫層物流設施與營運規劃研究之具體建議彙整如下：

1. 未來可朝向大型案例與真實案例作測試。
2. 未來可針對民眾日趨重視之時效與品質等議題納入模式中一併考量。
3. 本研究所建構之車輛成本演算法主要利用貪婪原則，此屬於最單純之演算法，未來可朝向建構更複雜且更周密之演算法，並搭配適合之求解架構，以使求解結果更接近最佳解。
4. 本研究求解架構則採用分支定限法中評選法則的越優解越先搜尋方法，其達到終止條件前所計算的子問題個數，平均而言是最低的，有較低的時間複雜度，且因本研究的範例規模較小，對於陷入區域解(local optimal)則有較低的風險，且樹狀的結構子問題分解，屬於啟發式的求解方式，未來可嘗試使用不同的起始解與其他已發展之巨集演算法，應可避免執行演算法時落入區域解(local optimal)的問題。
5. 本研究以灰預測 GM(1,1)，且僅以四筆資料做需求量預測，係為簡化求解上的複雜度，未來仍可以較多筆的資料或較複雜的模式來進行預測，可能會有更佳之效果。
6. 本研究係以低溫食品為研究對象，未來可針對需求較為嚴峻的物流環境，如電子科技與生化科技等特殊商品，針對各種環境與技術加入腐敗與存貨等成本來進行深入的探討。

## 參考文獻

- [1] 郭儒家，「全新獨創技術-全溫層保鮮宅配服務系統（上）」，物流技術與戰術，第七期，34-43 頁，民國九十三年。
- [2] 郭儒家，「全新獨創技術-全溫層保鮮宅配服務系統（下）」，物流技術與戰術，第八期，90-99 頁，民國九十三年。
- [3] 郭儒家，「低溫物流省能技術與應用研究」，能源節約技術報導，第四十七期，4-20 頁，民國九十一年。
- [4] 卓裕仁、李長駿，「多溫共配系統之車輛路線問題研究」，第二屆流通與全球運籌論文研討會，G11-G20 頁，東海大學，台中，民國九十三年。
- [5] 許祖棟，蓄冷式低溫物流系統之特性與成本分析，交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國九十五年。
- [6] Eynan, A. and Rosenblatt, M.J., “Establishing Zones in Single-Command Class-Based Rectangular AS/RS,” IIE Transactions, Vol. 26, pp. 38-46, 1994.
- [7] Rosenblatt, M.J. and Eynan, A., “Deriving the Optimal Boundaries for Class-Based Automatic Storage/Retrieval Systems,” Management Science, Vol. 35, pp. 1519-1524, 1989.
- [8] Kouvelis, P. and Papanicolaou, “Expected Travel Time and Optimal Boundary Formulas for a Two-Class Based Automatic Storage/Retrieval System,” International Journal of Production Research 33, 10, 2889-2905, 1995.
- [9] Van den Berg, J.P. , Class-Based Storage Allocation in a Single Command Warehouse with Space Requirement Constraints, International Journal of Industrial Engineering, Vol. 3, pp. 21-28, 1996.
- [10] Crainic, T.C., Laporte, G., “Planning models for freight transportation,” European Journal of Operational Research, Vol. 97, pp. 409-438, 1997.

- [11] Ghare, P.M. and Schrader, G.F., "A model for exponentially decaying inventories," Journal of Industrial Engineering, Vol. 14, pp. 238-243, 1963.
- [12] Covert, R.P. and Philip, G.C., "An EOQ model for items with Weibull Distribution Deterioration," AIIE Transactions, Vol. 5, pp. 323-326, 1973.
- [13] Hariga, M., "Optimal EOQ Models for deteriorating items with time-varying demand," Journal of the Operational Research Society, Vol. 47, pp. 1228-1246, 1996.
- [14] Giri, B.C. and Chaudhuri, K.S., "Deterministic models of perishable inventory with stock-dependent demand rate and nonlinear holding cost," European Journal of Operational Research, Vol. 105, pp. 467-474, 1998.
- [15] Charkrabarty, T., Giri, B.C. and Chaudhuri, K.S., "An EOQ model for items with Weibull distribution deterioration, shortages and trended demand: an extension of Philip's Model," Computers and Operations Research, Vol. 25, pp. 649-657, 1998.
- [16] Zhang, G., Habenicht, W., and Spieß, W.E.L., "Improving the structure of deep frozen and chilled food chain with tabu search procedure," Vol. 60, pp. 67-79, 2003.
- [17] Jacxsens, L., Devlieghere, F. and Debevere, J., "Predictive modeling for packaging design: equilibrium modified atmosphere packages of fresh-cut vegetables subjected to a simulated distribution chain," International Journal of Food Microbiology, Vol. 73, pp. 331-341, 2002.
- [18] Net, M., Trias, E., Navarro, A., Ruiz, A., Diaz, P., Fontenla, J.R. and Manyalich, M., "Cold chain monitoring during cold transportation of human corneas for transplantation," Transportation Proceedings, Vol. 35, pp. 2036-2038, 2003.
- [19] Hsu, C.I., Hung, S.F., Li, H.C., "Vehicle Routing Problem with Time-Windows for Perishable Food Delivery," Journal of Food

Engineering, 2007.

- [20] Crainic, T.C., Laporte, G., “Planning models for freight transportation,” European Journal of Operational Research, Vol. 97, pp. 409-438, 1997.
- [21] Weber, A., Theory of Location and Industries, University of Chicago Press, Chicago, 1929.
- [22] Brandeau, M. and Chiu, S. “An Overview of Representative Problems in Location Research,” Management Science, Vol. 35, pp. 645-674, 1989.
- [23] Tansel, B., Francis, R. and Lowe, T., “Location on Networks: A Survey,” Management Science, Vol. 29, pp. 482-492, 1989.
- [24] Bornstein, C. T. and Azlan, H. B., “The Use of Reduction Tests and Simulated Annealing for the Capacitated Plant Location Problem,” Location Science, Vol. 6, pp. 67-81, 1998.
- [25] Toregas, C., Swain, R., Reville, C. and Bergman, L., “The Location of Emergency Service Facilities,” Operations Research, Vol. 19, pp. 1363-1373, 1971.
- [26] Jucker, J. and Carlson, R., “The simple Plant-Location under uncertainty,” Operations Research, Vol. 24, No. 6, pp. 1045-1055, 1976.
- [27] Kennington, J. and Unger, E., “A New Branch and Bound Algorithm for the Fixed-Charge Transportation Problem,” Management Science, Vol. 22, No. 10, pp. 1116-1126, 1976.
- [28] Mairs, T., Wakefield, G., Jonnson, E. and Spielberg, K., “On a Production Allocation and Distribution Problem,” Management Science, Vol. 24, pp. 261-273, 1978.
- [29] O’Kelly, M.E., Bryan, D., “Hub location with flow economies of scale,” Transportation Reach Part B, Vol. 32, pp. 605-616, 1998.
- [30] McCann, P., “The Logistics-Costs Location-Production Problem,”

Journal of Regional Science, Vol. 33, pp.503-516, 1993.

- [31] Melachrinoudis, E., Messac, A. and Min, H., "Consolidating a warehouse network: a physical programming approach," International Journal of Production Economics, Vol. 97, pp. 1-17, 2005.
- [32] Ekşioğlu, S.D, Romeijn, H.E., Pardalos, P.M., "Cross-facility management of production and transportation planning g problem," Computer and Operations Research, Vol. 33, pp. 3231-3251, 2006.
- [33] Nozick, L.K., Turnquist, M, A., "Inventory, transportation, service quality and location of distribution centers," European Journal of Operational Research, Vol. 129, pp. 362-371, 2001.
- [34] Magnanti, T.L., Wong, R.T., "Network design and transportation planning: models and algorithms," Transportation Science, Vol. 18, pp. 1-55, 1984.
- [35] Balakrishnan, A., Magnanti, T.L., Wong, R.T., "A dual-ascent procedure for large-scale uncapacitated network design," Operations Research, Vol. 37, pp. 716-740, 1989.
- [36] Holmberg, K., "Exact solution methods for uncapacitated location problems with convex transportation costs," European Journal of Operational Research, Vol. 114, pp. 127-140, 1999.
- [37] Melkote, S., Daskin, M.S., "An intergrated model of facility location and transportation network design," Transportation Reach Part A, Vol. 35, pp. 515-538, 2001.
- [38] Prins, V., Schultheis, M., "Measuring the impacts of freight transport regulatory policies," Transportation Research Record, Vol. 1154, pp. 15-22, 1987.
- [39] Nam, K., "A study on the estimation and aggregation of disaggregate models of mode choice for freight transport," Transportation Reach Part E, Vol. 33, pp. 223-231, 1997.
- [40] Picard, G. and Gaudry, M., (1998) "Exploration of a box cox logit

model of intercity freight mode choice,” *Transportation Research Part E*, Vol. 34, pp. 1-12.

- [41] Brooks, M.R., “An alternative theoretical approach to the evaluation of liner shipping – Part I: situational factors,” *Maritime Policy and Management*, Vol.11, pp. 35-43, 1984.
- [42] Brooks, M.R. “An alternative theoretical approach to the evaluation of liner shipping – Part II: situational factors,” *Maritime Policy and Management*, Vol. 12, pp. 145-155, 1985.
- [43] Whyte, J.L., “The freight transport market: buyer-seller relationships and selection criteria,” *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, Vol.23, pp. 29-37, 1993.
- [44] Lu, C.S., “Logistics services in Taiwanese maritime firms,” *Transportation Research Part E*, Vol. 36, pp. 79-96, 2000.
- [45] Cullinane, K. and Toy, N., “Identifying influential attributes in freight route/mode choice decisions: a content analysis,” *Transportation Research Part E*, Vol. 36, pp.41-53, 2000.
- [46] Nijkamp, P., Reggiani, A., Tsang, W.F., “Comparative modeling of interregional transport flows: applications to multimodal European freight transport,” *European Journal of Operational Research*, Vol. 155, pp. 584-602, 2004.
- [47] Friesz, T.L., Gottfried, J.A., Morlok, E.K., “A sequential shipper-carrier network model for predicting freight flows.” *Transportation Science*, Vol. 20, pp. 80-91, 1986.
- [48] Guélat, J., Florian, M., Crainic, T.G., “A multimode multiproduct network assignment model for strategic planning of freight flows.” *Transportation Science*, Vol. 24, pp. 25-39, 1990.
- [49] Crainic, T.C., “Service network design in freight transportation,” *European Journal of Operational Research*, Vol. 122, pp. 272-288, 2000.

- [50] Ali, T.H., Radhakrishnan, S., Pulat, S., Gaddipati, N.C. “Relay network design freight transportation system,” Transportation Reach Part E, Vol. 38, pp. 405-422, 2002.
- [51] Smith, L.D., Moses, S.W., “Strategic planning of transportation service for petroleum products: An application of capacitated gravity models,” European Journal of Operational Research, Vol. 88, pp. 215-230, 1996.
- [52] Southworth, F., Peterson, B.E., “Intermodal and international freight network modeling,” Transportation Reach Part C, Vol. 8, pp. 147-166, 2000.
- [53] Blumenfeld, D.E., Burns, L.D., Diltz, J.D., and Daganzo, C.F. “Analyzing trade-offs between transportation, inventory, and production costs on freight networks,” Transportation Research B, Vol. 19, pp. 161-180, 1985.
- [54] Fernández, J.E., De Cea, J., Soto, A., “A multi-modal suppl-demand equilibrium model for predicting intercity freight flows,” Transportation Reach Part B, Vol. 37, pp. 615-640, 2003.
- [55] Laporte, G., “The traveling salesman problem: an overview of exact and approximate algorithms,” European Journal of Operational Research, Vol. 59, pp. 231-247, 1992.
- [56] Benton, W.C., Rossetti, M.D. “The vehicle scheduling problem with intermittent customer demands,” Computers and Operations Research, Vol. 19, pp. 521-531, 1992.
- [57] Stewart Jr., W.R. Golden, B.L., “Stochastic vehicle routing: a Comprehensive approach,” European Journal of Operational Research, Vol. 14, pp. 371-385, 1983.
- [58] Bertsimas, D.J., “A vehicle routing problem with stochastic demand,” Operations Research, Vol. 40, pp. 574-585, 1992.
- [59] Haughton, M.A., “The performance of route modification and demand stabilization strategies in stochastic vehicle routing,”

Transportation Reach Part B, Vol. 32, pp. 551-566, 1998.

- [60] Crevier, B., Cordeau, J.F., Laporte, G., “The multi-depot vehicle routing problem with inter-depot routes,” European Journal of Operational Research, Vol. 176, pp. 756-773, 2007.
- [61] Marín, A., Salmerón, J., “Tactical design of rail freight networks. Part I: Exact and heuristic methods,” European Journal of Operational Research, Vol. 90, pp. 26-44, 1996a.
- [62] Marín, A., Salmerón, “Tactical design of rail freight networks. Part II: Local search methods with statistical analysis,” European Journal of Operational Research, Vol. 90, pp. 43-53, 1996b.
- [63] Jansen, B., Swinkels, P.C., Teeuwen, G.J.A., Fleuren, H.A., “Operational planning of a large-scale multi-model transportation system,” European Journal of Operational Research, Vol. 156, pp. 41-53, 2004.
- [64] Crainic, T.C., Ricciardi, N., Storchi, G., “Advanced freight transportation systems for congested urban areas,” Transportation Reach Part C, Vol. 12, pp. 119-137, 2004.
- [65] Chou, S.Y., Chang, S.L. and Yang, W.D., “Optimal multiple delivery schedule for demand in logistic model,” International Journal of Production Economics, Vol. 73, pp. 241-249, 2001.
- [66] Koopmans, T. and Beckmann, M., “Assignment Problems and the Location of Economic Activities,” Econometrica, Vol. 25, pp. 53-76, 1957.
- [67] Armour, G. C. and Buffa, E. S., “A Heuristic Algorithm and Simulation Approach to Relative Locations of Facilities,” Management Science, Vol. 9, pp. 294-309, 1963.
- [68] Hillier, F. S. and Connors, M. M., “Quadratic Assignment Problem Algorithms and the Location of Indivisible Facilities,” Management Science, Vol.13, pp. 42-57, 1966.
- [69] Sahni, S. and Gonzalez, T., “P-Complete Approximation

- Problems,” *Journal of the Associated Computing Machinery*, Vol. 23, pp.555-565, 1976.
- [70] 潘昭賢、林國傑，「物流中心物品儲位指派之研究」，管理與系統期刊，第六卷第二期，頁131-150，民國八十八年。
- [71] Heskett, J. L., “Cube-Per-Order Index- a Key to Warehouse Stock Location,” *Transportation and Distribution Management*, Vol. 3, pp. 27-31, 1963.
- [72] Sadiq, M. B., Landers, T. L. and Taylor, G. D. , “An Assignment Algorithm for Dynamic Picking Systems,” *IIE Transactions*, Vol. 28, pp. 607-616, 1996.
- [73] 鈴木震，如何利用EIQ法來進行配送中心系統規劃，中國生產中心，民國八十一年。
- [74] 簡美珍、陳振明，「物流中心揀貨作業最佳儲位規劃」，1996年國際商業物流管理研討會論文集，頁330-338，民國八十五年。
- [75] 王承新，遺傳演算法在物流中心儲位規劃之應用，元智大學工業工程系碩士論文，民國九十一年。
- [76] Hausman, W.H., Schwarz, L.B. and Graves, S.C. , “Optimal Storage Assignment in Automatic Warehousing Systems,” *Management Science*, Vol. 22, pp. 629-638, 1976.
- [77] Linn, R.J. and Wysk, R.A. (1987), “An Analysis of Control Strategies for an Automated Storage/Retrieval System,” *INFOR*, Vol. 25, pp. 66-83.
- [78] Thonemann, U.W. and Brandeau, M.L., “Optimal Storage Assignment Policies for Automated Storage and Retrieval Systems with Stochastic Demands,” *Management Sciences*, Vol. 44, pp. 142-148, 1998
- [79] Egbelu, P.J. , “Framework for Dynamic Positioning of Storage/Retrieval Machines in an Automated Storage/Retrieval System,” *International Journal of Production Research*, Vol. 29, pp. 17-37, 1991.

- [80] Hwang, H. and Lim, J.M. , “Deriving an Optimal Dwell Point of the Storage/Retrieval Machine in an Automated Storage/Retrieval System,” *International Journal of Production Research*, Vol. 31, pp. 2591-2602, 1993.
- [81] Graves, S.C., Hausman, W.H. and Schwarz, L.B., “Storage Retrieval Interleaving in Automatic Warehousing Systems,” *Management Science*, Vol. 23, pp. 935-945, 1977.
- [82] Han, M.-H., McGinnis, L.F., Shieh, J.S. and White, J.A. , “On Sequencing Retrievals in an Automated Storage/Retrieval System,” *IIE Transactions*, Vol. 19, pp. 56-66,1987.
- [83] Hackman, S.T. and Rosenblatt, M.J. , “Allocatint Item to an Automated Storage and Retrieval System,” *IIE Transactions*, Vol. 22, pp. 7-14, 1990.
- [84] Van den Berg, J.P. and Sharp, G.P. , “Forward-Reserve Allocation in a Warehouse,” *European Journal of Operations Research*, Vol. 111, pp. 98-113, 1998.
- [85] Van den Berg, J.P. and Zijm, W.H.M., “Models for Warehouse Management: Classification and Examples,” *International Journal of Production Economics*, Vol. 59, pp. 519-528, 1999.
- [86] Taleb-Ibrahimi, M., Castilho, B.D., Daganzo, C.F. , “Storage Space vs. Handling Work in Container Terminals,” *Transportation Research Part B*, Vol. 27, pp. 13-32, 1993.
- [87] Chuqian, Z., Jiyin, L., Yat-wah, W., Katta, G. M. and Richard J. L. , “Storage Space Allocation in Container Terminal,” *Transportation Research Part B*, Vol. 37, pp.883-903, 2003.
- [88] Goden,S.,and R. de Neufville,”Design of air Networks”,*Transportation Research*,pp.207-222, 1973
- [89] O’Kelly, M.E., Bryan, D., “A quadratic integer program for the location of interacting hub facilities,” *European Journal of Operational Research*, Vol. 32, pp. 393-404, 1987.
- [90] Klincewicz, J.G., “Heuristics for the p-hub location problem,”

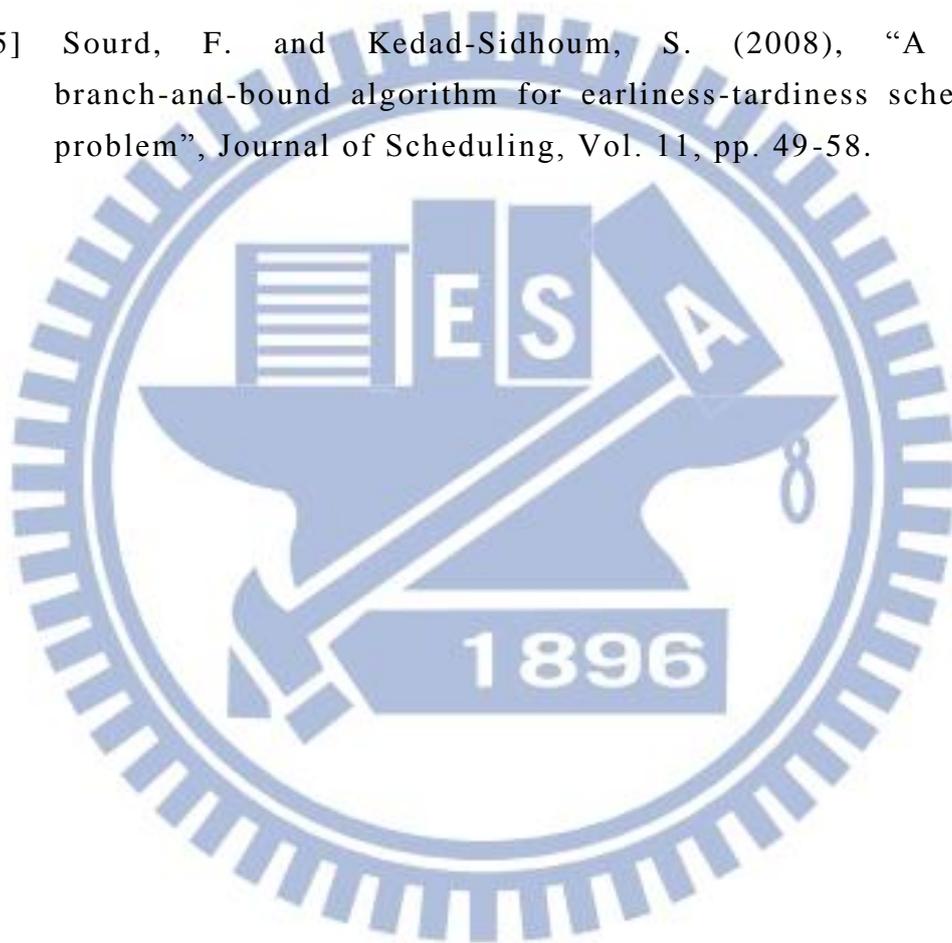
- European Journal of Operational Research, Vol. 53, pp. 25-37, 1991.
- [91] O’Kelly, M.E., Skorin-kapov, D., Skorin-kapov, J., “Lower bounds for the hub location problem,” Management Science, Vol. 41, pp. 713-721, 1995.
- [92] Klincewicz, J.G., “A dual algorithm for the uncapacitated hub location problem,” Location Science, Vol. 4, pp. 173-184, 1996.
- [93] Skorin-kapov, D., Skorin-kapov, J., O’Kelly, M., “Tight linear programming relaxations of uncapacitated p-hub median problems,” European Journal of Operational Research, Vol. 94, pp. 582-593, 1996.
- [94] Ernst, A.T., Krishnamoorthy, M., “Exact and heuristic algorithms for the uncapacitated multiple allocation p-hub median problem ,” European Journal of Operational Research, Vol. 104, pp. 100-112, 1998.
- [95] Nickle, S., Schoebel, A., Sonneborn, T., “Hublocation problems in urban traffic networks,” Mathematical Methods and Optimization Systems, pp. 95-108, 2000.
- [96] O’Kelly, M.E., Bryan, D., Skorin-kapov, D., Skorin-kapov, J., “Hubnetwork design with single and multiple allocation: a computational study,” Location Science, Vol. 4, pp. 125-138, 1996.
- [97] Guldman, J.M., Shen, G., “A general mixed-integer nonlinear optimization model for hub network design,” Regional Science Association International, Vol. 6-9, 1997.
- [98] Illia, R., Laura, W., “Optimal location of intermodal freight hubs,” Transportation Reach Part B, Vol. 39, pp. 453-477, 2005.
- [99] Brown, J.,H., “An economic model of airline hubbing-and-spoking,” The Logistics and Transportation Review, Vol. 27, pp. 225-239, 1991.
- [100] Drezner, M., “Hubbing effects on the Canada-US transborder air

- market,” The Logistics and Transportation Review, Vol. 30, pp. 211-222, 1994.
- [101] Chestler, L., “Overnight air express: spatial pattern, competition and the future in small package delivery services,” Transportation Quarterly, Vol. 1, pp. 59-71, 1985.
- [102] Kuby, M.J., Gary, R.G., “The hub network design problem with stopovers and feeders: the case of Federal Express,” Transportation Research Part A, Vol. 27, pp. 1-12, 1993.
- [103] Akyilmaz, M.O., “An algorithmic framework for routing LTL shipments,” Journal of Operational Research Society, Vol. 45, pp. 529-538, 1994.
- [104] Bryan, D.L., O’Kelly, M.E., “Hub-and-spoke networks in air transportation: an analytical review,” Journal of Regional Science, Vol. 39, pp. 275-295, 1999.
- [105] 陳春益、蔡蕉蘭，「國內貨物排程問題之探討」，運輸計劃季刊，第十期，79-98頁，民國八十六年。
- [106] Current, J.R., ReVelle, C.S., Cohon, J.L., “The hierarchical network design problem,” European Journal of Operational Research, Vol. 27, pp. 57-66, 1986.
- [107] Current, J.R., “The design of a hierarchical transportation network with transshipment facilities,” Transportation Science, Vol. 22, pp.270-277, 1988.
- [108] Lin, C.C., “The feeder fleet planning problem of the same-day ground express service in Taiwan,” Asia-Pacific Journal of Operational Research, Vol. 18, pp. 165-191, 2001.
- [109] Lin, C.C., Chen, S.H., “The hierarchical network design problem for time-definite express common carriers,” Transportation Research Part B, Vol. 38, pp. 271-283, 2004.
- [110] 陳春益、林正章、高玉明，「路線貨運業貨物排程模式之研究」，運輸計劃季刊，第二十六期，327-352頁，民國八十六年。

- [111] 林正章、黃冠翔，「懲罰函數法應用於即時性貨物排程問題之研究」，運輸計劃季刊，第二十八期，421-450頁，民國八十八年。
- [112] 林正章，「路線貨運業單一路徑限制之貨物排程規劃問題」，運輸計劃季刊，第二十九期，1-32頁，民國八十九年。
- [113] Lin, C.C, “The freight routing problem of time definite freight delivery common carriers,” Transportation Research Part B, Vol. 35, pp. 525-547 , 2011.
- [114] Powell, W.B., Sheffi, Y., “Design and implement of an interactive optimization system for network design in the motor carrier industry,” Operation Research, Vol. 37, pp. 12-29, 1989.
- [115] Leung, J.M.Y., Magnanti, T.L., Singhal, V., “Routing in point-point delivery formulations and solution heuristics,” Transportation Science, Vol. 24, pp. 245-260, 1990.
- [116] Lin, C.C., “The load planning of time-define freight delivery common carriers,” Transportation Planning Quarterly, Vol. 27, pp. 371-406, 1998.
- [117] Eckstein, J., Sheffi, Y., “Optimization of group line-haul operations for motor carriers using twin trailers,” Transportation Research Record, Vol. 1120, pp. 12-23, 1987.
- [118] Crainic, T.G., Laporte, G., “Invited review planning models for freight transportation,” European Journal of Operational Research, Vol. 97, pp. 409-438, 1986.
- [119] 經濟部，物流經營管理實務，經濟部商業司編印，民國八十五年。
- [120] 鄧聚龍，灰色系統理論與應用，初版二刷，高立圖書有限公司，民國九十二年。
- [121] 溫坤禮，灰預測原理與應用，全華科技圖書公司，民國九十一年。
- [122] 宋欣財，2003，專案排程趕工決策模式，國立成功大學土木工程

程學系碩士論文。

- [123] 黃仲達，2003，灰色理論在農產銷售預測及其供銷關係探討之應用，國立嘉義大學運輸與物流工程研究所碩士論文。
- [124] Ng, C.T., Wang, J.-B., Cheng, T.C.E, and Liu, L.L. (2010), “A branch-and-bound algorithm for solving a two-machine flow shop problem with deteriorating jobs”, *Computers & Operations Research*, Vol. 37, pp. 83-90.
- [125] Sourd, F. and Kedad-Sidhoum, S. (2008), “A faster branch-and-bound algorithm for earliness-tardiness scheduling problem”, *Journal of Scheduling*, Vol. 11, pp. 49-58.



## 簡歷

<b>姓名</b>	劉剛伯		
<b>生日</b>	69 年 9 月 15 日		
<b>住址</b>	新北市永和區竹林路 225 巷 39 號 2 樓		
<b>聯絡電話</b>	0937860998		
<b>學歷</b>	92/06	逢甲大學交通工程與管理學系學士	
	92/09-93/06	交通大學運輸科技與管理學系碩士班	
	101/12	交通大學運輸科技與管理學系博士	
<b>經歷</b>	97/03-101/01	新北市政府（原臺北縣政府）交通局技士	
	101/01-迄今	新竹市政府交通處科長	
<b>通過 國家考試</b>	96 年公務人員普通考試正額錄取 96 年特種考試地方政府公務人員三等考試正額錄取 97 年公務人員高等考試三級考試正額錄取 97 年專門職業及技術人員高等考試交通工程技師考試及格		
<b>證照</b>	採購專業人員證照（工程企專字 97230256 號） 全民英檢中級資格（TOEIC CERTIFICATE OF ACHIEVEMENT, 證件文號:11011224）		
<b>研究成果</b>	<b>國外期刊</b> 1. Chaug-Ing Hsu and <u>Kang-Po Liu</u> , 2011, "A Model for Facility Planning for Multi-Temperature Joint Distribution System," Food control, 22, 1873-1882. (SCI, 2010 Impact Factor: 2.812, Rank in Food Science and Technology: 11/126, 8.73 %)		
	<b>國內期刊</b> 1. 許巧鶯、 <u>劉剛伯</u> ，2005. 06，「低溫物流中心自動倉儲系統動態儲位指派之研究」，運輸學刊，第十七卷，第二期，209-232 頁。(TSSCI)		
	<b>國外研討會</b> 1. Chaug-Ing Hsu and <u>Kang-Po Liu</u> , 2008. 06, "A Model for Operational Planning for Multi-Temperature Joint Distribution System," Paper presented at the 6th International Conference on Computing, Communications and Control Technologies, Orlando, Florida, U.S.A., June 29 -July 2, 2008.		

2. Chong-Chang Lin, Kang-Po Liu, Chih-Cheng Hsu, Hung-Wen Chen, Wei-Liang Hung, and Wan-Chi Chiu, 2009. 03, "A Study of Route Network Planning for Bicycle Commuting in Taipei County," Paper presented at the 10th UITP Asia-Pacific Assembly, Taipei, Taiwan, March 10 – March 12, 2009.

#### 國內研討會

1. 周榮昌、翁美娟、劉剛伯、陳美好，2002. 12，「通勤者出發時間決策行為模式之研究」，中華民國運輸學會第十七屆論文研討會論文集。
2. 陳美好、劉剛伯，2003. 1，「兩人世界與習慣領域」，中華民國習慣領域學會年會第十一屆論文研討會論文集。
3. 許巧鶯、劉剛伯，2004. 11，「低溫物流中心動態儲位指派之研究」，中華民國運輸學會第十九屆學術論文研討會論文集，729-748 頁。
4. 林重昌、劉剛伯、陳鴻文，2008. 10「臺北縣市區自行車道路網規劃研究－以土城市為例」，97年道路交通安全與執法研討會論文集，B17-32頁。

