

國立交通大學

運輸科技與管理學系

碩士論文

出口貨櫃堆儲指派之研究

The research of location assignment for export container

研究生：楊文全

指導教授：謝尚行 博士

中華民國九十四年六月

出口貨櫃堆儲指派之研究

研究生：楊文全

指導教授：謝尚行

國立交通大學運輸科技與管理學系

摘 要

現今國際貿易以海運為主，而海運業又以貨櫃化運輸為主流，在貨櫃化運輸中，為使貨櫃船到港之後能盡速完成裝船作業，貨櫃通常會提早於貨櫃船到港前就先運至貨櫃場內，此時貨櫃儲區即提供貨櫃一暫存空間，直至貨櫃船到港後，此些出口貨櫃再自儲區運至貨櫃船上，而進行處櫃的門型機相當龐大，貨櫃堆放位置如欠缺規劃，將導致門型機作業效率低落，進而影響到貨櫃裝船時間。

本研究為了縮短貨櫃船靠港時間，探討貨櫃應堆儲於貨櫃場內的哪一儲區，運用作業研究中的線性規劃法來構建數學模式，目標式為使每一儲區間之作業量不均程度最小，並考量到區間卡車數量、儲區與船席之距離及儲區可用容量此三項對目標值的影響，先運用窮舉法找出最佳的卡車指派數量及貨櫃非整數鬆弛解，再針對貨櫃運用分支定限法找到貨櫃最佳整數解，來決定要裝載至同一艘貨櫃船的出口貨櫃應分別堆放哪一儲區，並在貨櫃場現有的車隊數中應分別派遣多少輛的卡車至每一儲區進行貨櫃運送作業，以 Mathematica 5.0 數學軟體編製求解程式碼，經由實例分析，本研究所建立之求解模式能在短時間內即求得最佳解，並確實能縮短貨櫃裝船時間。

關鍵詞：貨櫃儲區、出口貨櫃、線性規劃

The research of location assignment for export container

Student : Wen- Chiuan Yang

Advisor : Shang-Hsing Hsieh

Institute of Transportation Technology and
Management College of Management National
Chiao Tung University

Abstract

Nowadays international trade mainly depended on containerization. In order to finishing the containers loading process speedy, the container terminal operator will request shipper to delivery containers to terminal before the containership arrives. When containers delivered to terminal, container block must provide a space for these containers to storage until these containers be loading to containership. The RMGC is very heavy and large, when deciding the storage location of container without planning, the operation of RMGCs will be inefficiency and then effect the loading time of containers.

In order to shorten containers loading time, this research discusses how to stack containers in which block and construct a mathematical model with linear programming in operation research. The objective function is to making the imbalanced degree of workload among each block as minimum as possible. Consider three impacts on objective value, such as the number of truck, the distance between block and berth and the available capacity of block. Finding the optimal assignment number of trucks with total enumeration and then using branch and bound to search optimal assignment number of containers to decide every container should be stack to each block and how number of trucks should be assign to each block to transit containers. Solution formula is coded with the Mathematica 5.0, a mathematic software package. The example analysis shows that with short computation time the method can really reduce containers loading time.

Keywords : Container block, Export container, Linear Programming

誌 謝

在這兩年的研究生涯中，承蒙謝尚行老師的指導，不只讓我體驗到做研究的辛勞與樂趣，更使我對於做事的態度上有一番新的感觸與想法，也多虧老師的指導使這篇碩士論文能順利完成。此外，感謝口試委員陳光華教授及林彬教授細心審閱，以及口試時對於本篇論文的修正建議，使本篇論文更趨於詳盡。

在此感謝世鴻學長，當我遇到研究上的瓶頸時，學長會適時的給予一些研究上的經驗以實務上的建議，學長在工作與學業間忙碌外，還特地撥空指導與修正論文，特此感謝。

此外，感謝萬海航運公司台中櫃場的林主任及王先生，在實務櫃場作業及研究資料上給於相當大的協助，在此致上十二萬分的謝意。

最後，在這幾年的求學生涯中，真的要感謝我的父母、家人、同學、朋友，以及鬍鬚熊精神上的鼓舞，讓我可以這無慮的學習與吸收新知，也因為有這些人的協助，我也才能順利的完成學業。這些回憶會永遠印在我腦海中，永遠不會忘記。



目 錄

摘 要	i
Abstract	ii
誌 謝	iii
目 錄	iv
表 目 錄	vi
圖 目 錄	vii
第一章 緒論	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究架構.....	3
1.4 研究範圍.....	4
1.5 研究方法.....	6
1.6 研究流程.....	7
第二章 文獻回顧	9
2.1 貨櫃運輸之特性.....	9
2.1.1 貨櫃化運輸之起源.....	9
2.1.2 貨櫃裝卸作業之特性.....	9
2.1.3 貨櫃裝卸方法.....	10
2.1.4 貨櫃場站經營方式.....	10
2.2 貨櫃場站設施.....	11
2.3 貨櫃場站作業方法.....	15
2.3.1 海陸公司作業法 (Sea-Land Method)	16
2.3.2 美新公司作業法 (Matson Method)	17
2.3.3 海運公司作業法 (Container Marine Line Method)	17
2.3.4 格雷斯公司作業法 (Grace Line Method)	18
2.4 貨櫃場作業現況.....	19
2.4.1 排艙問題.....	20
2.4.2 處櫃機具.....	20
2.4.3 貨櫃進儲.....	21
2.4.4 儲區容量.....	21
2.5 貨櫃流向.....	21
2.6 相關文獻回顧.....	22
第三章 模式建立	27
3.1 模式構想.....	27
3.2 模式構建.....	29

3.2.1 研究假設.....	29
3.2.2 模式構建.....	31
3.3 求解方法.....	36
3.3.1 儲區可用容量.....	36
3.3.2 求解構想.....	37
3.3.3 求解步驟.....	38
第四章、案例分析	41
4.1 簡例分析.....	41
4.2 敏感度分析.....	43
4.2.1 收貨期長短分析.....	43
4.2.2 容量差異分析.....	44
4.2.3 卡車分析.....	45
4.2.4 門型機作業效率分析.....	47
4.3 實例分析.....	48
第五章、結論與後續研究之建議	51
5.1 結論.....	51
5.2 建議.....	52
5.3 後續研究建議.....	52
參考文獻	54
附錄 求解程式碼	56



表 目 錄

表 2-1 相關文獻統整	25
表 4-1 簡例之各儲區容量表	41
表 4-2 簡例之船席與儲區間之相對移動距離表	41
表 4-3 簡例分析資料表	42
表 4-4 簡例求解結果表	42
表 4-5 資料分析參數值	49
表 4-6 實例分析改善結果	50



圖目錄

圖 1-1 貨櫃場站作業問題架構圖	4
圖 1-2 輪胎型門型起重機之貨櫃儲區	6
圖 1-3 軌道型門型起重機之貨櫃儲區	6
圖 1-4 研究流程圖	8
圖 2-1 橋式起重機	13
圖 2-2 門型起重機	14
圖 2-3 跨載機	14
圖 2-4 貨櫃儲區示意圖	15
圖 2-5 車架法作業儲區	16
圖 2-6 跨載機與門型機作業儲區	18
圖 2-7 重櫃堆高機	19
圖 2-8 貨櫃場內貨櫃流向示意圖	22
圖 3-1 儲區容量變化圖	28
圖 3-2 模式建立構想	29
圖 3-3 貨櫃平均移動時間	33
圖 3-4 貨櫃船到港時間示意圖	37
圖 3-5 求解步驟	38
圖 3-6 分支定限法求解示意圖之一	39
圖 3-7 分支定限法求解示意圖之二	40
圖 3-8 分支定限法求解示意圖之三	40
圖 4-1 收貨期長短與作業不均程度	44
圖 4-2 收貨期長短與裝船時間	44
圖 4-3 容量均衡程度與裝船時間	45
圖 4-4 卡車數量與裝船時間	46
圖 4-5 車速與裝船時間	47
圖 4-6 門型機作業效率分析一	47
圖 4-7 門型機作業效率分析二	48
圖 4-8 實例求解時間	49
圖 4-9 求解結果與實際比較圖	50

第一章 緒論

1.1 研究動機

國際貿易不外乎陸、海、空三種運輸方式，其中陸地運輸只侷限於有陸地相連之國際間，而航空運送的貨物數量不大，只侷限於體積小且機密的貨品，而海洋運輸不受海洋區隔的影響，且可運送大量貨品，所以國際貿易大多仰賴海洋運輸，而海洋運輸中又因貨櫃化運輸規格一致、作業單一化、貨物處理迅速而成為主流。

貨櫃化運輸 (Containerization) 的構想最早是由美國的海陸運輸公司 (Sea-Land Service, Inc.) 以及 Maston Navigation Company 於 1957~1958 年所同時提出，此種運輸方式消除以往小單位包裝的複雜處理程序，而將貨物裝封入大型貨櫃艙內，直至運抵目的地之後才開啟，整體運輸過程方便又省時，且貨物受損或失竊的情況大為減少，因此，國際貿易間多利用貨櫃來運送貨物。

在貨櫃化運輸中，貨櫃場站 (Container Terminal) 扮演一個相當重要的角色，除了處理船舶要卸下的進口貨櫃及將裝載到船舶上的出口貨櫃外，尚提供一個儲放區讓貨櫃堆放，以利貨櫃進出口或貨主交領貨櫃之用等種種功能，可視它為海洋與陸地的接駁站。

為了使貨櫃船舶在裝卸貨櫃時能更加快速的進行，通常會在岸肩船席 (berth) 後方設置貨櫃存放場 (Container Yard)，航商通常會要求貨主先把要出口的貨櫃先放置在貨櫃儲區 (Container Blocks) 內，當船舶一靠港就可進行貨櫃裝卸的動作，如此貨櫃的裝卸就可快速且連續地進行，縮短船舶靠港的時間，以維持船期的穩定。

現今貨櫃港口為了提升港埠競爭力，無不增加貨櫃處理效率以縮短貨櫃船舶靠港時間，為增加貨櫃處理效率，減少貨櫃處理的延誤時間是勢在必行的目標，除了處理貨櫃進出口的相關機具必須相互配合來縮短貨櫃處理的延誤時間之外，貨櫃儲區是整個貨櫃場的核心，貨櫃場內貨櫃的堆放位置將深深影響到貨櫃處理的效率，有效率地運用貨櫃儲區以達到提升港埠競爭力無不是現今貨櫃港口所重視的課題。

為了能使貨櫃裝船作業能有效率且連續的進行，對於出口貨櫃應堆放於貨櫃儲區的哪一位置作此相關方面之研究，規劃出一套數學求解模式，去決定出口貨櫃應堆放於哪一貨櫃儲區，使得貨櫃裝船作業能在最短的時間內完成。

1.2 研究目的

貨櫃因為體積大、重量重，裝船作業必須仰賴許多大型機具的相互運作才能完成。在裝船作業中，主要運作機具有橋式機、門型機及區間卡車等，其中門型機架設於貨櫃儲區上，專職於將儲放於出口儲區之貨櫃吊起放置於區間卡車，再經由卡車將貨櫃運至岸邊裝船，而門型機平均每小時處理 30 個貨櫃，相較於一般倉儲貨物之處理速度慢許多，因此，只要有些微貨櫃放置不當，將嚴重影響到裝船作業之效率。

為了使貨櫃的出口運作能更加迅速且連續的進行，處櫃機具必須有效地相互配合，但如此考量下，將必須考慮到貨櫃裝船原則、處櫃機具的排程問題以及貨櫃儲區指派問題，將使問題複雜化，在求解上造成相對的困難。如將方向針對出口儲區，要讓船舶靠港時間最小的話，每一儲區對應之船舶之工作量必須均衡，因為要裝載至船舶之出口貨櫃數量如平均放置於每一貨櫃儲區，且每一貨櫃之處櫃時間幾乎相同，當該船舶進行裝船作業時，則每一出口儲區完成該船舶所應執行的工作量之時間相等，相較於將出口貨櫃不均衡的放置於貨櫃儲區，不會產生當工作量較小之儲區完成處櫃工作時，貨櫃船必須等待工作量較大之出口儲區完成該裝船作業。因此，出口貨櫃必須均衡地放置於每一出口儲區，將使門形機作業上所產生的瓶頸降至最低，才能有效縮短船舶靠港時間，降低航商營運成本。

基於以上所述，將出口貨櫃平均分配堆放於每一貨櫃儲區，使得每一儲區內之門型機工作量不均衡程度最小，以減少處櫃上之延誤，並縮短船舶靠港時間。此外，貨櫃場內配置的卡車數量與貨櫃儲區與船席間之相對距離，將使得貨櫃在儲區以及船席間之移動時間有所差異，進而影響到每一出口儲區要放置多少數量之出口貨櫃。

因此，本研究主要目的是決定每一出口儲區要放置多少數量之出口貨櫃以及指派多少的卡車數量，使貨櫃船在裝船作業時所造成的處櫃不均之程度降至最低，使船舶能用最少之時間完成裝船作業，維持船期之穩定，並建構相對應之數

學規劃模式來求解。

1.3 研究架構

一般而言貨櫃場站包含了船席指派問題、船期以及裝船規劃問題、橋式起重機指派問題、儲區區位指派問題、貨櫃儲位指派問題、門型機指派問題、跨載機處櫃路線規劃問題以及區間卡車指派問題等多項規劃子問題(如下圖 1-1 所示)，且每一項子問題彼此會相互影響，其中船席指派問題主要規劃合適的船席給予將到港的貨櫃船停靠。船期及裝船規劃問題主要是探討船期的排定及如何將貨櫃裝載至貨櫃船上能最有效率與安全，而船期的排定主要是讓貨櫃船到達港口之後能有空餘的船席予以靠港作業，裝船規劃是讓欲裝載至該貨櫃船的出口貨櫃能在安全的前提下以最短的時間或最少的作業成本完成裝船作業。橋式機指派問題探討如何配合貨櫃船停靠的船席位置，橋式機進行貨櫃吊卸作業時能發揮其最大效能。除了部分貨櫃直接裝載至貨櫃船上，大部分的貨櫃必須先放置於貨櫃場內，等候貨櫃船到港再進行裝船作業，因此貨主會預先將貨櫃運至貨櫃場儲放，此時就必須決定哪些貨櫃應放置於貨櫃儲區的哪一區位，如何決定貨櫃放置的區位即是儲區區位指派問題必須探討的問題。當貨櫃儲放的區位決定之後，進而必須決定該貨櫃應放置於該儲區的哪一儲位，因為貨櫃放置的儲位如果不適當，會造成翻櫃及作業機具不必要的移動，進而使貨櫃裝卸作業效率低落。當進行貨櫃裝卸時，岸邊由橋式機來處理貨櫃裝卸作業，而門型機則處理儲區邊的作業，如門型機規劃不當，將會使門型機作無生產力的移動，使作業效率降低，此外，對於使用跨載機為作業機具的儲區，雖然比門型機較不易發生作業瓶頸，但跨載機有時必須進行貨櫃的搬運作業，因此必須規劃該機具的移動路線。區間卡車主要搭配處櫃機具來進行貨櫃的搬運，但無區間卡車，貨櫃將無法運送至岸邊進行裝船，因此區間卡車的指派作業也是貨櫃場內必須考量的一項議題。

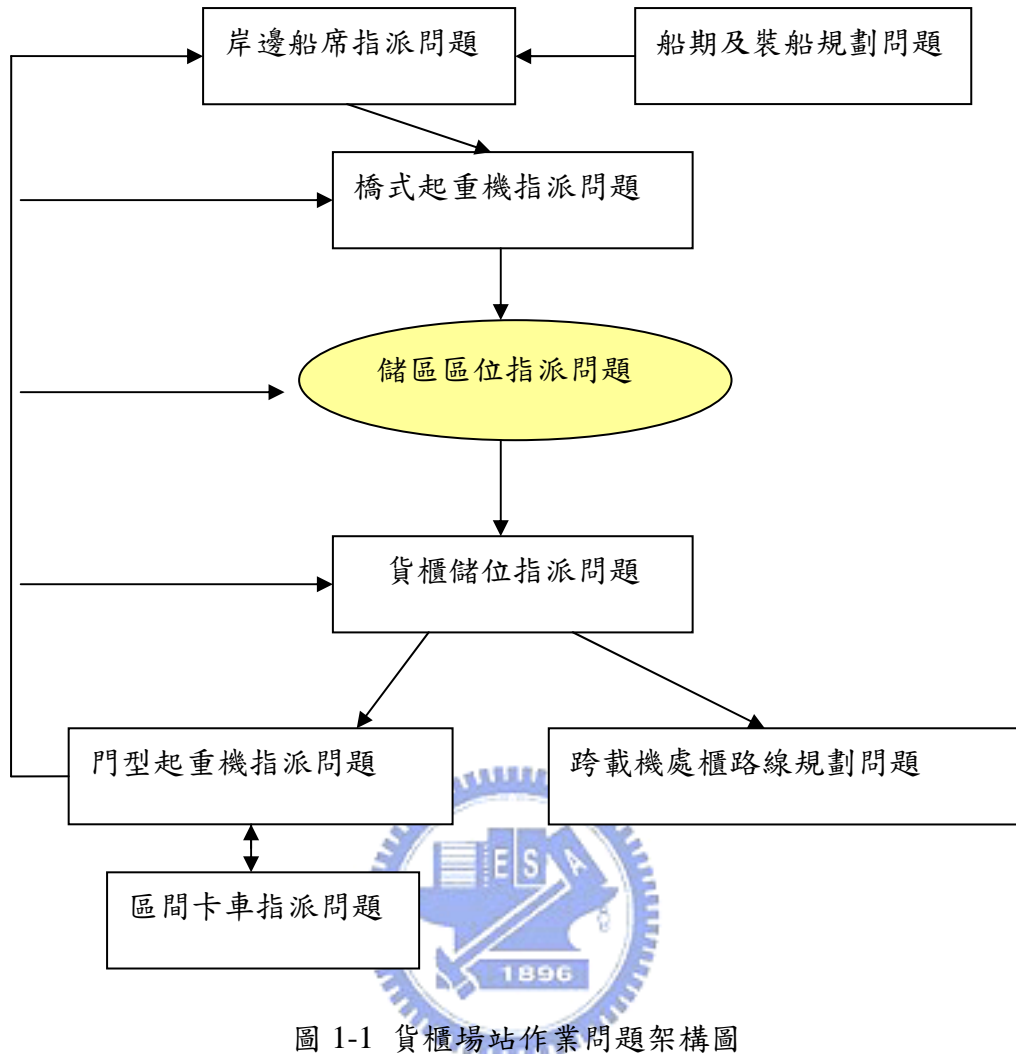


圖 1-1 貨櫃場站作業問題架構圖

1.4 研究範圍

貨櫃場站之每一項規劃子問題所涉及的考慮因素都頗多，雖然每一項子問題彼此有關聯性，但要同時將全部的問題一起納入考量的話，會造成模式過於龐大，不易求解。對此，本研究之研究範圍則針對儲區區位指派問題作探討。

貨櫃場站在整體貨櫃場站的營運上，扮演著相當重要的暫存區角色，為了能加快貨櫃的處櫃效率以及滿足不同的需求下，貨櫃場站營運者會將貨櫃儲區分類成進口櫃區、出口櫃區、冷凍櫃區、轉口櫃區，其中因冷凍櫃必須隨時供給電力以維持櫃內的溫度，因此櫃場會劃分出一特別的地區以供冷凍櫃儲放之用，而且冷凍櫃運量較小，對於整體櫃場運作上較不構成問題。而轉口櫃起初的特性為進口櫃，經由船舶上卸下之後隨即轉變成出口櫃，因此可將轉口櫃其視為出口櫃，所以可將轉口櫃區視為出口櫃區。

進口櫃區及出口櫃區皆包含貨櫃的進儲作業，對於整體櫃場而言，為營運上影響整體作業效率重要的一環，其中又因出口作業深深影響到船舶靠港之時間，使得出口櫃處理程序上必須更有效率。基於上述，本篇論文將針對出口儲區作探討。

在土地資源有限的地區，貨櫃場站面積不大，為了配合場站大量的處櫃作業，貨櫃堆疊成更高更緊密，處櫃機具轉以門型起重機為主，此種堆儲方式，貨櫃儲區容量最大但存取可及性最低。因為儲區內貨櫃堆疊的越緊密越高層，伴隨而來的期望翻櫃次數也越多，更需要執行貨櫃堆儲的事前規劃，因此本研究之對象設定在以門型機堆儲方式的貨櫃場站。

其中門型起重機可分為輪胎型門型起重機(Rubber Tire Gantry Crane ,RTGC)及軌道型門型起重機 (Rail Mounted Gantry Crane ,RMGC)，輪胎型門型起重機具有較高之機動性，可相互支援往返於每個貨櫃儲區進行處櫃作業(如下圖 1-2)，軌道型門型起重機主要是依靠鋪設於地面上之鋼軌進行移動，所以只能在同一儲區或有軌道銜接的相鄰儲區進行處櫃作業(如下圖 1-3)，但是因為軌道型門型起重機有地面鋼軌作為支撐，相較於輪胎型門型起重機而言，整體結構可以更高，跨距可以更寬，使用軌道型門型起重機的儲區內，貨櫃可以堆的更高，儲區容量較大，但可及性較低，往往某一儲區作業量過大，其他架軌道式門型起重機無法作支援動作，造成處櫃作業延誤。為了減少處櫃作業的延誤，使用軌道型門型起重機為處櫃機具之貨櫃儲區更需要進行規劃作業，因此本研究將研究對象設定在軌道型門型起重機這部分。

本研究將研究對象設定在以軌道式門型起重機為處櫃機具的出口貨櫃儲區。

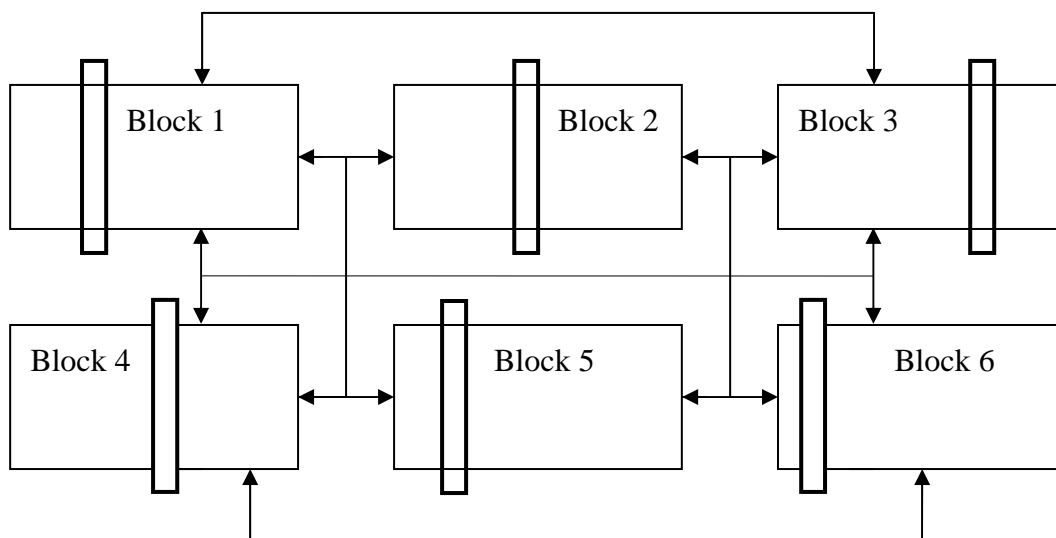


圖 1-2 輪胎型門型起重機之貨櫃儲區

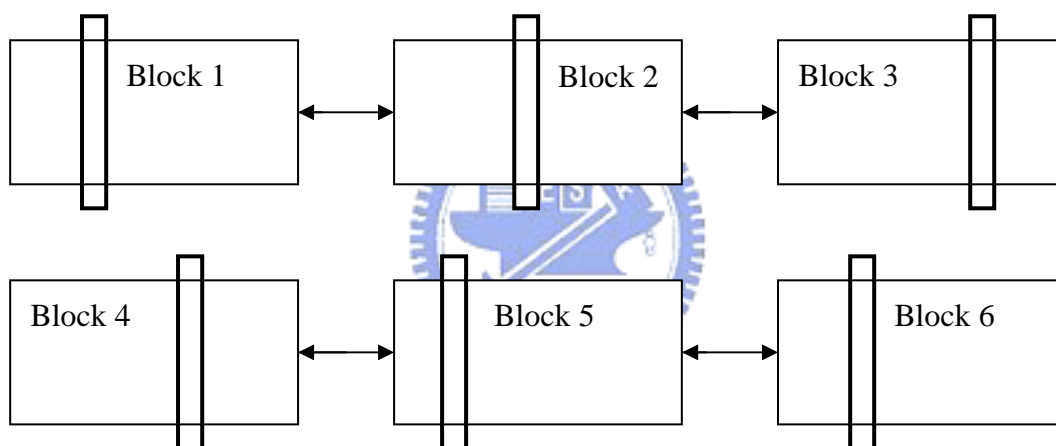


圖 1-3 軌道型門型起重機之貨櫃儲區

1.5 研究方法

為了達成貨櫃裝船作業有效率的進行，亦即必須使出口儲區內門型機相互間的處櫃不均最小，降低貨櫃船舶因為貨櫃工作量不均而造成之延誤，每一貨櫃儲區在貨櫃船靠港進行裝船作業時，必須讓要裝載至該船舶之貨櫃平均放置於每一貨櫃儲區，但受到每一貨櫃儲區容量之限制、船席與儲區距離、卡車數量等，無法完全平均分配至每一貨櫃儲區，造成有些貨櫃儲區工作量較大，產生裝船作業之延誤。

本研究採用作業研究中的整數線性規劃 (ILP)，目標式為使完成裝船作業所需最多時間之出口儲區與最少時間之出口儲區之差異最小，構建數學規劃模式，

其中受限於貨櫃流量均衡、儲區容量限制、卡車派遣上限以及非負整數等限制，並運用 Mathematica 5.0 數學套裝軟體，撰寫求解程式，求算出每一貨櫃需被堆儲於櫃場中的哪一儲區以及該儲區需指派多少卡車數量，以達成船舶靠港進行裝船作業時，儲區工作量不均所造成的瓶頸最小。

1.6 研究流程

第一章敘述整體論文之研究動機及目的，界定研究範圍，並簡述研究方法，第二章依據所要研究之內容，找尋國內外有關貨櫃場站相關議題之期刊論文，分析相關文獻，訂定研究方法依照處櫃機具的類型、貨櫃流向及貨櫃場站等，介紹現今貨櫃場站之處櫃原則，第三章描述所要研究之問題及模式構建之構想，並建構出模式之數學規劃式以及敘述求解之方法，第四章依據第三章所構建之數學規劃模式進行之案例分析，驗證模式及求解程式之求解效率，並進行敏感度分析及實例分析，以驗證模式是否能縮短貨櫃船舶之靠港時間，第五章將前面章節之內容整理並提出結論及後續研究之建議。



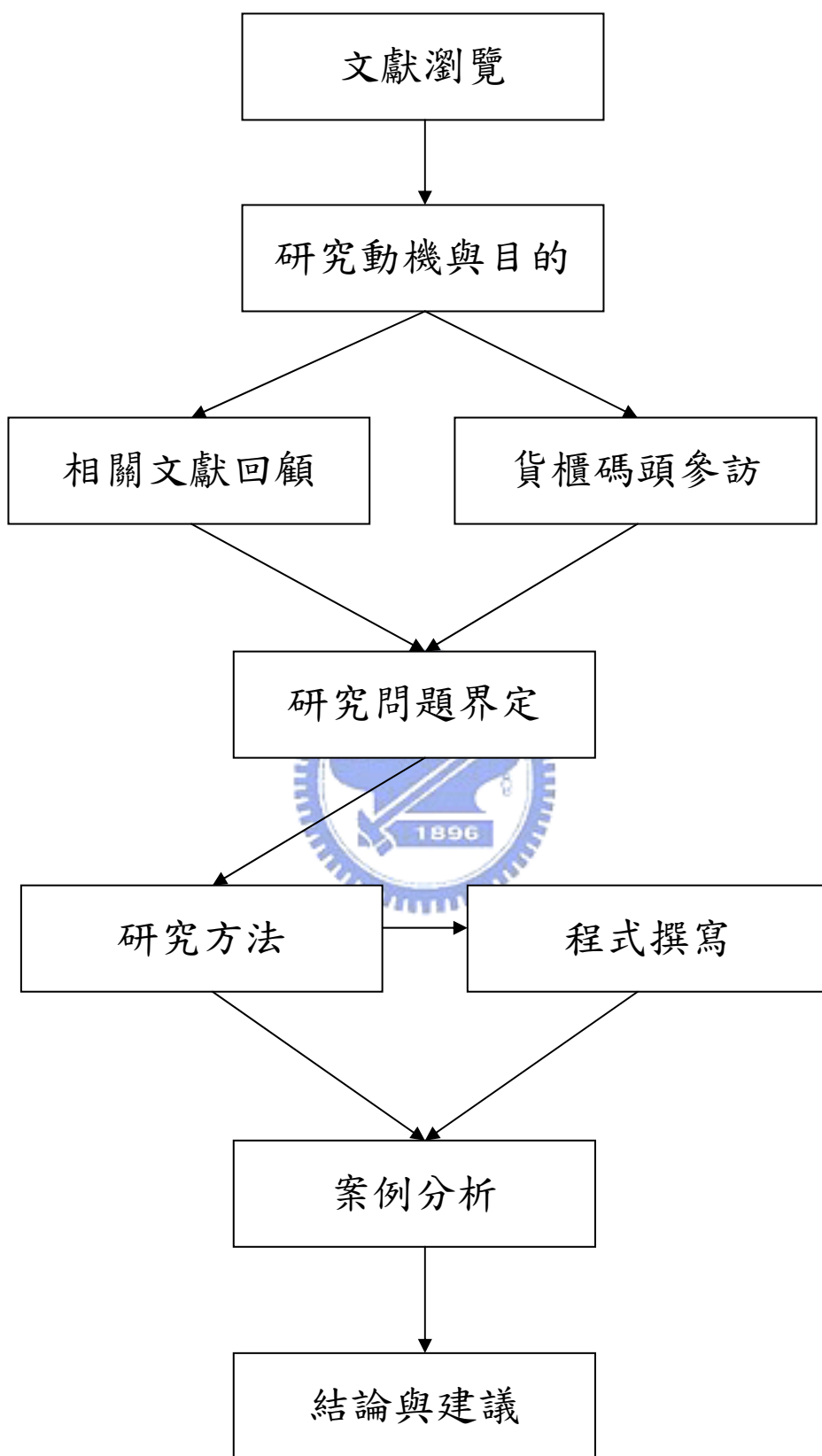


圖 1-4 研究流程圖

第二章 文獻回顧

以下參考王丘明[1]及林光[2]並實地至萬海台中貨櫃場參訪，探討貨櫃運輸之特性、貨櫃場站基本設施、貨櫃裝卸流向等作業特性。之後回顧貨櫃場作業相關文獻，了解現階段貨櫃場站主要研究議題及研究方法。

2.1 貨櫃運輸之特性

2.1.1 貨櫃化運輸之起源

早在二次大戰時期，美軍為了壓制德軍與日軍，在歐洲及亞洲地區開闢許多戰場，但這些戰場距離美國本土相當遠，而美軍作戰必須消耗許多物資，為了穩固戰略優勢，維持戰線，美軍使用一種小型貨櫃將物資單位化封裝，提升補給效率，至 1957 年，美國泛大西洋輪船公司 (Pan Atlantic Steamship Co.)，海陸公司 (Sea-Land Service Inc.) 之前身，首先將此構想運用於商業用途上，而 1958 年另一家公司 Matson Navigation Company 也開始進行此種貨櫃運輸，貨櫃運輸經由一連串的演進，貨櫃船由原先的 500TEU 左右的半貨櫃船轉變成 1000TEU 的全貨櫃船，進而再演變成巴拿馬極限型 (2000TEU)、超巴拿馬極限型 (5500~8000 TEU)，直至今日，大部分的海洋運輸都依靠貨櫃來運送貨物。

2.1.2 貨櫃裝卸作業之特性

貨櫃為一標準化大小的運輸容器，將欲運送的貨物依照其形狀與體積，分裝進貨櫃內，形成統一規格，在運送貨物時就更加簡易，增進貨物運送效率，且貨物也較不易受損或受潮，大大提升貨物運送的完整性，以下就貨櫃運輸之特性做進一步的敘述：

1、作業簡化，裝卸迅速

貨物封裝入貨櫃內，使大小不一的貨物轉變成單一大小規格的貨櫃，因為規格大小一致，處櫃機具作業單純化，貨櫃船到港進行裝卸只需將進口貨櫃依序卸船，並將出口櫃依照所安排的艙位裝船，即完成貨物的裝卸作業，使貨櫃船在港的時間大為縮短，相較於傳統雜貨船期作業較為經濟且有效率。

2、貨物受損及失竊減少

因為將貨物封裝入貨櫃內，減少搬運次數，且貨櫃可提供一個安全的保

護，使的貨櫃因碰撞所造成受損的機會減少，此外因貨物不直接外露，減少失竊的機會。

3、易於電腦化

因為貨櫃規格大小有一定的規定，且貨櫃堅固可重複使用，只需將各個貨櫃依序編號，即可運用電腦構建資料庫，不僅易於找尋貨櫃放置位置，也可知道該貨櫃要運至哪一港口及裝封了哪些貨物，提升作業效率。

2.1.3 貨櫃裝卸方法

貨櫃裝卸方法主要依據該貨櫃場站作業特性及貨櫃船設計而定，大致上可分為以下幾種：

1、吊上吊下型 (Lift On/Lift Off)

此種貨櫃船之船艙設計成好幾層的貨櫃槽，貨櫃以垂直式進行貨櫃裝卸，而每一個貨櫃槽規劃成長寬一致，且裝設角鋼，可固定貨櫃避免船舶航行時晃動造成貨物受損，因設置角鋼，貨櫃裝卸不需再進行隔艙，作業方便迅速。此種貨櫃裝卸方式，有些貨櫃船會在船上在配置起重吊桿，而近年來新式貨櫃船大多無配置起重吊桿。

2、駛上駛下型 (Roll On/Roll Off)

此種貨櫃船為最早使用的一種類型，原先設計目的是用來進行車輛的運輸作業，船尾設有艙門，當貨櫃船要進行貨櫃裝卸時，艙門打開並架至船席上，貨櫃連同卡車駛進或駛出船艙，而甲板上亦可裝載貨櫃。

3、駁進駁出型 (Float On/Float Off)

此類型作業方式之貨櫃船為一子母船，其作業特性為在大船上裝載小船，並在大船上配置重型起重機來進行小船之吊卸，而貨櫃即放置於小船上，或是將母船艙門打開並將船身下沉，海水進入艙內，子船即可駛進駛出船艙，此種作業類型因不需使用船席，所以不受港口擁擠影響。

2.1.4 貨櫃場站經營方式

貨櫃場站營運所需設備規模龐大，需要巨額的投資資金，必須考量港埠本身條件、設備使用效率，以達到各項設施最大之生產效率。一般而言，貨櫃場站會有以下三種營運方式：

1、公用貨櫃場站 (Multi-user Terminals)

該類碼頭採傳統排班等候船席方式，台灣國際港埠採 24 小時預報，若船舶延誤到港，則需重新排候船席，船期控制困難，因而其服務對象大多是不定期來港的半貨櫃船、雜貨船兼載貨櫃或支線小船，對船期要求不嚴的船舶。

2、優先使用貨櫃場站 (Limited-user Terminals)

若港埠貨櫃碼頭數不夠，但又想吸引大型貨櫃船航商以該港埠為作業基地，一般港埠當局即要求比較高的碇泊費與大型貨櫃船航商簽訂碼頭優先使用權。因其服務對象有限，港埠當局可與航商溝通採用作業方式和機具，基隆港即採用此項方式。

3、出租專用貨櫃場站 (Sole-user Terminals)

港埠當局將貨櫃碼頭和相關設備長期出租予貨櫃航商，因航商可充分控制船型和船舶靠港時間，所以作業方式可以預先安排，作業單純，效率最高。高雄港及世界各大貨櫃港皆採用此種貨櫃場站營運方式。

2.2 貨櫃場站設施

貨櫃場站為整體貨櫃運輸系統作業之核心，貨櫃場站要能進行貨櫃裝卸及搬運作業，一般會具備以下幾種主要設施：

1、貨櫃船席 (Berth)

貨櫃船席係指介於碼頭岸壁與貨櫃調度場之間的區域，用以裝置橋式起重機以供貨櫃船裝卸貨櫃之用。為因應貨櫃船之船長，一般船席長度以 300 公尺至 350 公尺，水深 12 公尺以上為宜。由於調度場運至船邊之出口貨櫃及卸船要運至調度場之進口貨櫃經常需要經過此區，有些港口亦有鐵路軌道鋪設於該區，故交通量頻繁，所以其設計寬度應在 30 公尺至 50 公尺以上，以避免發生擁擠，影響貨櫃裝卸作業。

2、貨櫃調度場 (Marshalling Yard / M.Y.)

貨櫃調度場亦稱為堆積場、儲轉場、排列場。停靠碼頭作業之貨櫃船，須有場地作為儲轉裝船之出口貨櫃及自貨櫃船卸下等待向內陸存放場或集散站之暫存區，一般貨櫃調度場約佔貨櫃碼頭總面積的 50% 至 60%。

調度場內，應照貨櫃尺寸預先劃出如棋盤格子的配置線，每個格子寫上號碼或以有色漆標示，對出口之貨櫃按卸貨港口之順序、艙內堆積方法，配置貨櫃，

期以最迅速之方法裝船。對於進口貨櫃亦須以最迅速之方式存放。

3、貨櫃存放場 (Container Yard / C.Y.)

貨櫃存放場亦稱為貨櫃場，為貨櫃存放之場所，其性質與貨櫃調度場不同，可作為貨櫃長時間之儲放。當出口貨櫃運抵碼頭而待裝之貨櫃船尚未到港時，可先存放於貨櫃存放場，待貨櫃船即將要到港時，先行將出口貨櫃自貨櫃存放場移存至貨櫃調度場，貨櫃船到港後即可快速進行貨櫃裝船作業，貨櫃存放場一般緊鄰貨櫃調度場之後，如調度場容量不敷使用，存放場亦可充當調度場。現各國貨櫃場站之調度場以與存放場合而為一，以減少貨櫃搬運次數。

4、貨櫃集散站 (Container Freight Station / C.F.S.)

貨櫃集散站亦稱整裝中心。出口之拼裝貨櫃其貨物在此地進行集中、整理、分類、驗關等等，並依照其目的港分別裝入貨櫃內；進口拼裝貨櫃也在此進行拆櫃，在分送給貨主。

5、處櫃機具 (Handling Equipment)

一般貨櫃場在正常運作下，基本上需要橋式起重機 (Quay Cranes)、門型起重機 (Yard Cranes) 或跨載機 (Straddle Carriers)、貨櫃儲區 (Container Blocks)、區間卡車 (Internal Trucks) 等幾項設施。

(1) 橋式起重機 (Quay Cranes)

橋式起重機 (如下圖 3-1) 司職把進口貨櫃從貨櫃船舶卸下給區間卡車載運到貨櫃儲區堆放，或是把區間卡車從貨櫃儲區運送來的出口貨櫃裝載到貨櫃船舶上。所以貨櫃的裝卸速率完全取決於橋式機的作業速率，而橋式機裝卸速率又與貨櫃排艙的好壞及貨櫃堆儲是否恰當相關，其中貨櫃排艙必須考量到貨櫃船於航線上需停靠港口的順序、重櫃必須壓艙及船舶的穩定，當滿足上述三項大原則時，橋式機作業就可避免無謂的翻艙動作，加上場內作業卡車適當的安排，亦即不讓橋式機等候卡車的情況發生，這時橋式機的卸櫃作業就能快速並連續的進行，對於橋式機進行貨櫃裝船作業時，要能讓橋式機增加作業效率的話，場內卡車必須迅速且連貫的將要出口的話櫃運送至船席邊，



圖 2-1 橋式起重機

資料來源：台中萬海

(2) 門型起重機 (Yard Cranes)

門型起重機因其外型而得名，門型起重機（如下圖 3-2）主要運作於貨櫃儲區，專職於把區間卡車運送來的進口貨櫃堆放到貨櫃儲區，或是把出口貨櫃裝載到區間卡車，協助區間卡車將出口貨櫃運送至碼頭邊以進行裝船作業，另外，當貨主提領貨櫃時也是經由門型起重機將貨櫃由貨櫃儲區卸下，或是將聯外卡車運送來的出口貨櫃放置到貨櫃儲區，待貨櫃船舶靠港時即裝載至區間卡車上，由卡車運送至碼頭邊裝船出口。



圖 2-2 門型起重機

資料來源：台中萬海

(3) 跨載機 (Straddle Carriers)

當跨載機進行處櫃作業時，騎跨在貨櫃上進行，而得此名。跨載機單靠本身即可進行貨櫃運送作業，亦可將貨櫃裝載至卡車上，藉由卡車將貨櫃運至儲區或岸邊，具有高度支援功能。



圖 2-3 跨載機

資料來源：台中萬海

(4) 貨櫃儲區 (Container Blocks)

貨櫃儲區是貨櫃場中最核心的部分，幾乎所有貨櫃不論出口與進口都必

須先堆放至貨櫃儲區中，所以貨櫃儲區就是提供一塊儲放區域，讓進口貨櫃暫時堆放以等待提貨人來提領，或是將貨主運來的貨櫃暫時堆放在此地，以等待貨櫃船舶靠港時裝載至船舶上。

貨櫃儲區能堆儲貨櫃的高度取決於處櫃機具，處櫃機具越高當然儲區可堆疊的貨櫃高度越高，以輪胎型門型機為處櫃機具的貨櫃儲區一般可以堆疊到4層（tiers）至5層等，如以軌道型門型機為處櫃機具的話又可高個1至2層。在儲區的寬度部份，主要是依照門型機的跨距為基準，大致上儲區的寬度為6行（lanes），至於長度方面，則是要照貨櫃場站的面積大小或該場站的處櫃原則而定，一般會有20~30列（bays）。

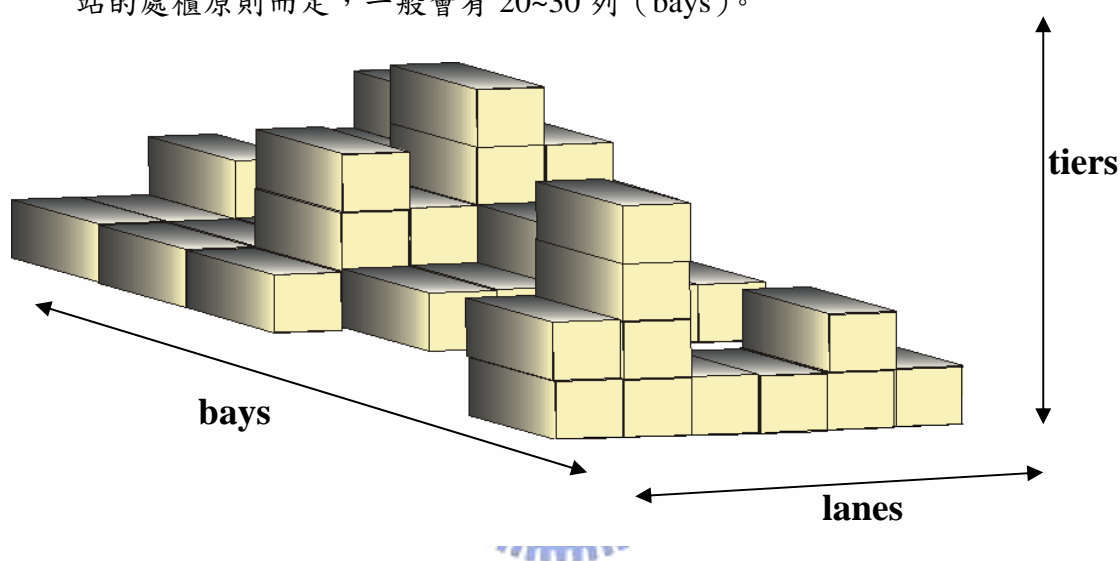


圖 2-4 貨櫃儲區示意圖

(5) 區間卡車（Internal Trucks）

區間卡車的作用是将門型起重機從貨櫃儲區吊卸下來之出口貨櫃運送至岸邊，讓橋式起重機將出口貨櫃裝載至貨櫃船上；相對的，區間卡車也將橋式起重機從貨櫃船舶吊卸下來之進口貨櫃，運送至貨櫃儲區讓門型起重機將進口貨櫃堆放至貨櫃儲區去。

以上五項貨櫃場內處櫃機具必須相互配合才能順利且流暢的完成處櫃工作，假使有其中一項作業效率不彰，不僅直接影響到處櫃作業效率，更間接的使得船舶靠港時間增加，導致整體貨櫃儲區營運績效降低。

2.3 貨櫃場站作業方法

目前依照世界主要貨櫃港，貨櫃場之搬運與堆積使用機具加以劃分，大致可

分為以下五大類：

2.3.1 海陸公司作業法 (Sea-Land Method)

亦稱為車架法 (Chassis System)，美國海陸公司原為汽車貨運公司，於 1985 年取得 Water Men Steamship Co. 及 Pan Atlantic Line 之股權後，改組成立之海運公司，其貨櫃運輸之基礎採用傳統車架作業方式，即在貨櫃碼頭把貨櫃自船上直接卸載至拖車架上，而未直接卸載至地面，直接以拖車拖運至貨櫃場儲放，因此在貨櫃場內貨櫃平放在拖車架上，無法堆疊，需要很大場地。該種作業方式其優缺點分述如下：

1. 優點：

- (1) 貨櫃裝卸存取可及性高。
- (2) 搬運過程貨櫃轉送頻率小，貨櫃損害可能性降低。
- (3) 除車架與拖車外無須重型裝卸機具，因此不須重負荷路面，碼頭建造成本可降低。
- (4) 大部份進口貨櫃可採船邊提貨方式，減少貨櫃場儲容壓力。

2. 缺點：

- (1) 車架需求量大，須購置許多車架。
- (2) 須較大土地面積，且車架周轉率低。



圖 2-5 車架法作業儲區

資料來源：參考文獻[4]

2.3.2 美新公司作業法 (Matson Method)

美新法亦稱為跨載機作業法 (Straddle Carrier Method)，為美新航運公司採用之作業方式。進口貨櫃由橋式機自船上卸下至船邊，再交由跨載機運至儲區堆放，或直接卸載於卡車上藉由卡車運至儲區邊再經由跨載機運至儲區儲放；出口貨櫃則是反向作業，運至船邊再由橋式機裝船。

在貨櫃場內，貨櫃與貨櫃間距僅需 1.1 公尺，且可堆疊 2 至 3 層貨櫃高度，單位面積儲容較海陸法大，但貨櫃存取可及性較海陸法小。

1.優點：

- (1) 貨櫃可堆疊 2 至 3 層，節省場地，儲存櫃量較多。
- (2) 興建初期裝卸櫃量低時，所需機具少，初期投資少。
- (3) 貨櫃能快速存取，加快貨櫃裝卸作業。

2.缺點：

- (1) 需鋪設重負荷路面。
- (2) 貨櫃所提領之貨櫃不一定在頂層，需要翻櫃。
- (3) 跨載機需高超之操作技巧，不適合長距離運櫃，但可搭配卡車進行貨櫃裝卸作業。



2.3.3 海運公司作業法 (Container Marine Line Method)

海運法亦稱門型機作業法 (Yard Gantry Crane Method)，為太平洋海岸工程公司 (Pacific Coast Engineering Co.) 所設計。門型機作業方式為結合前兩種作業法之優點而設計，貨櫃堆疊高度最高，貨櫃場內單位面積儲容最大，但是期望翻櫃相對提高。

1.優點：

- (1) 門型機操作較跨載機穩定，且維護費用低。
- (2) 貨櫃可堆疊 3 至 5 層，儲區單位面積容量大。
- (3) 作業能量大，尤以空櫃作業迅速，可提升工作效率。

2.缺點：

- (1) 移動底層貨櫃困難。
- (2) 輪胎式門型機重量重，需採用重負荷路面。

(3) 初期投資高。



圖 2-6 跨載機與門型機作業儲區

資料來源：台中萬海

2.3.4 格雷斯公司作業法 (Grace Line Method)

格雷斯法亦稱堆高機作業法 (Fork-Lift Method)，乃美國格雷斯輪船公司所創。貨櫃儲區與船席間，以 20 噸或 35 噸之大型堆高機搬運或堆積貨櫃，並以卡車輔助。

1.優點：

- (1) 可堆高 4 層，場地使用效率高。
- (2) 機具投資費用少。

2.缺點：

- (1) 貨櫃車之車架需設計叉動孔，以方便堆高機作業。
- (2) 貨櫃容易擋住駕駛者視線，操作較危險。
- (3) 重櫃操作不易。



圖 2-7 重櫃堆高機

資料來源：Forklift Traders Pty Limited

2.4 貨櫃場作業現況

現今貨櫃場作業大部分已經電腦化，而該電腦軟體最大的供應商為韓國的 TSB (Total Soft Bank) 公司，該公司自 1988 年開發出一套碼頭自動化作業系統 (CASTO, Computer automated terminal operation system)，該作業系統可使貨櫃場藉由減少處理貨櫃的時間、空間、資源及成本來增加其競爭力，經過歷年來的改進，該系統主要分為以下三項子系統：

1、規劃系統 (Planning System)：

包括船舶規劃及場區規劃等兩項，船舶規劃系統主要為使一連串的貨櫃裝卸和岸邊橋式機作業能快速、有效率並具有經濟性地進行。場區規劃方面則藉由將儲區劃分成許多小儲區來最大化儲區利用率及最小化翻櫃次數。

2、運作系統 (Operation System)：

監控所有場區內的貨櫃流向，並有系統地且自動地指派所有作業，提升生產力並降低作業成本。

3、管理系統 (Management System)：

功能繁多，大致上包括文件的管理、發單及分析、透過網路進行一些資料的傳輸及網路客戶資訊服務、貨櫃集散場之運作管理及處櫃設備之保養與維修等。

並非所有貨櫃場皆採用 TSB 的作業系統，各貨櫃場可依照個別的需求去選擇其他合適的作業系統，雖然市面上已有多家公司在進行碼頭作業自動系統開發，但該作業系統不外乎必須考量到排艙問題、處櫃機具、貨櫃進儲及儲區容量等四項。以下就這四項議題的作業分別做運作現況上之敘述：

2.4.1 排艙問題

排艙即是要避免貨櫃於貨櫃船上造成壓艙問題並維持船舶於海上航行時的穩定性，造成壓艙的情況主要為先下的貨櫃放置於後下的貨櫃下方，當進口貨櫃要自船舶卸下時，橋式機必須要進行翻艙的動作，增加不必要的作業次數，並間接使船舶靠港時間增加，因此，翻艙在航運界是一項大忌。此外，船舶在海上航行的穩定性也相當重要，如果貨櫃裝船沒有考量到船舶整體穩定，當貨櫃船航行於海上時會有翻船的危險。基於避免翻艙及維持船舶航行之穩定性，實務上對於貨櫃裝船必須遵守以下幾項原則：

- 1、重櫃須放置船艙位底層。
- 2、貨櫃船左右重量及前後重量必須平衡，但後方可以稍稍比前方重，讓船頭稍微上傾一些。
- 3、後卸的貨櫃不能置於先卸的貨櫃上方。
- 4、船舶吃水深度。

2.4.2 處櫃機具

處櫃機具包含橋式機、門型機、場內卡車等等，凡是進行貨櫃的裝卸貨搬運所要用到的機具都成為處櫃機具，實務上將其通稱為「車機」，該所有車機中以橋式機及門型機的購置成本最高，就車機方面而言，貨櫃裝卸問題也較常發生在橋式機及門型機上。當進行貨櫃裝卸作業時，船席邊只有橋式機能夠將貨櫃自船卸下及將貨櫃裝載至船上，但橋式機又必須依靠卡車將貨櫃自儲區運至船席邊才能作業；在儲區方面，如果該儲區配置門型機來作業，除了門型機外，其他車機就無法協助該儲區進行處櫃作業，再加上門型機堆儲區貨櫃經常是相互堆疊的狀況，假使貨櫃堆儲位置不當，往往必須執行整櫃的動作，造成門型機不具生產行

為的運作。因此對橋式機及門型機要進行作業排程規劃，主要著重於避免造成作業瓶頸及減少不必要的移動或翻櫃動作。

2.4.3 貨櫃進儲

貨櫃進儲包含兩部份，一部分時考量貨櫃應儲放於哪一貨櫃儲區，另一部份則是貨櫃於儲區內應放置於哪一儲位，第一部分作業原則將貨櫃量平均放置於每一貨櫃儲區，在第二部份必須與排艙作業一併考量，通常是在貨櫃儲區放置的上下位置會與裝載至貨櫃船上之位置顛倒，此外要裝載至同一艘貨櫃船的貨櫃與儲區內或緊靠堆放，主要目的是降低門型機進行貨櫃吊卸時不必要之移動。

2.4.4 儲區容量

貨櫃場站該場內儲區容量有一定的上限，因此貨櫃場站營運者普遍重視該儲區年度單位面積的生產力，亦即儲區要具有高週轉率，尤其在海運旺季時，對於貨櫃儲區需求大，儲區的週轉率高低往往影響整體營運收益甚巨，對此海運業者訂定每一艘貨櫃船的收貨日期，通常是船到港前 7~14 天不等，領貨日期大約是 3~7 天，當貨主提早於收貨日期將貨櫃進儲於櫃場中或超過領貨日期還未領貨時，櫃場營運者會對貨主加收延滯費用。收領貨日期的長短會依據儲區容量壓力之大小來訂定，當貨櫃場站儲容壓力大時，收領貨日期就會短些。反之，收領貨日期就長些。大致而言，儲區容量在實務上所追求的是高週轉率，但是在淡季時，儲區容量沒有壓力下，追求週轉率的高低幫助不大，反而會轉向延長免費收領貨日期來吸引更多貨主。

2.5 貨櫃流向

在櫃場內貨櫃處理之運作可以大致分成兩個區域，一為岸邊碼頭，貨櫃在此地經由橋式起重機進行裝船及卸船等工作。而另一為貨櫃儲區，貨櫃儲區往往會被分成數個區塊，通常儲放於此地的貨櫃種類有進口櫃、出口櫃及轉口櫃，在此地處理貨櫃的機具主要是門型起重機，門型起重機主要將儲放於儲區內之出口貨櫃吊起放並置於區間卡車上，經由區間卡車運送至岸邊碼頭，交由橋式起重機將出口貨櫃裝載至船舶上，或者是將區間卡車從岸邊運至的進口貨櫃吊起並放置於儲區內，另外對於貨主要提領之貨櫃，門型起重機必須將該貨櫃調至聯外卡車上，經由聯外卡車將貨主所提領之貨櫃運送出櫃場。

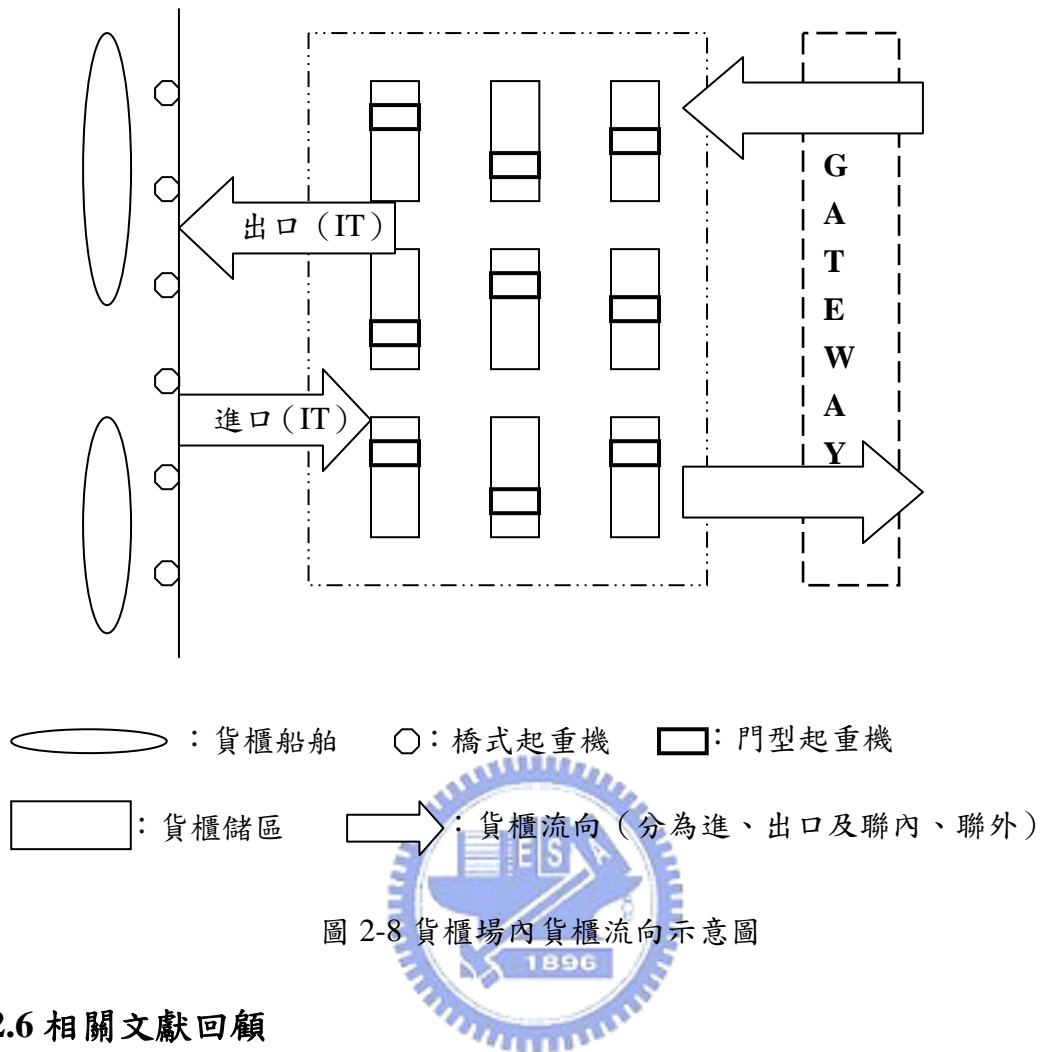


圖 2-8 貨櫃場內貨櫃流向示意圖

2.6 相關文獻回顧

貨櫃場站營運者必須思考貨櫃場站「設計」及「運作」等兩項議題，而設計與運作間具有取捨（trade-off）特性，例如土地設施成本相對於運作效率。通常櫃場在營運時，整體土地面積及設備都以既定，接下來就是如何規劃運作課題以使得整體櫃場運作效率提高。

貨櫃場站大致上的研究課題有圖 1-1 幾項，本研究主要是探討貨櫃儲區儲區區位指派問題，因此文獻回顧主要針對貨櫃儲區之相關性課題，至於其他作業課題則簡略敘述。

當貨櫃船進港時必須指派一特定的船席給予貨櫃船停靠，之後才能進行貨櫃裝卸動作，假設船席位置指派不當，整體處櫃作業效率將會降低，造成營運成本增加。Imai et al.,1997 [9]使用非線性整數規劃模式、Chen and Hsieh,1999[6] 使用時空路網（time-space network）校正、Lai and Shih,1992[13] 使用模擬方式，研究最佳船席指派問題，以達到船舶靠港時間最短之目標。

當貨櫃船席指派問題已獲解決之後，橋式起重機作業便成為貨櫃場營運者所重視之議題，當貨櫃船舶一靠港，必須馬上進行貨櫃裝卸之作業，而貨櫃裝卸動作必須完全仰賴橋式機之協助才能完成，基於此，指派橋式機如何去作業將深深影響到整體貨櫃場之營運效率，為了使船期不致延誤或延誤時間最小，橋式機指派課題遂成為海運所重視的議題之一。對此，Daganzo (1989) [7]使用整數規劃模式及簡易排程策略解決靜態橋式機排程問題，目標式為最小化總體船舶延誤成本。Daganzo (1990) [8]更進一步地研究，在長期狀況下，橋式起重機排程策略對貨櫃場站之產出及船期延誤之影響。

貨櫃儲區在整個貨櫃場中提供貨櫃暫存空間，以利處櫃作業能快速地進行，貨櫃儲區作業上可以分為貨櫃儲放區位指派課題以及儲區相關作業機具指派課題。在貨櫃儲放區位指派課題方面，貨櫃儲放於櫃場中的哪一區位會深深影響到貨櫃裝卸運作之效率。對此：

Roll and Rosenblatt (1983) [14]針對倉庫作業問題提出許多堆儲策略，而這些策略與貨櫃場站內部的貨櫃堆儲原則類似，可將其運用至貨櫃堆儲上。

Teleb-Ibrahimi et al. (1993) [15]分析貨櫃場站具有固定或週期性空間需求的貨櫃儲區指派問題，針對比離港時間還早許多到達櫃場的出口貨櫃，提出貨櫃暫存區的空間指派策略，但此研究主要探討將儲位空間指派給哪一艘船舶而不是決定貨櫃應堆儲於櫃場的哪一位置。

Kozan (2000) [11]針對複合類型貨櫃場站，構建一路網模型去決定貨櫃流量以及處櫃機具的種類，使得貨櫃的旅行時間最短。

Zhang et al. (2003) [16]針對香港貨櫃場，使用整數規劃方式並分成兩階段求解，第一階段將進出口貨櫃平均指派到每一貨櫃儲區內，使得儲區間工作量上的不均衡程度最小，消除門型機與橋式機間作業間的瓶頸，進而使得船期延誤時間最小，第二階段則依據第一階段所求出的結果，求出將裝載於哪一艘船舶之貨櫃堆儲於哪一儲區，使得貨櫃移動距離最小。其結果指出，貨櫃儲區間工作量均衡下，對於船舶靠港時間將能有效的縮短。

至於儲區位置指派研究課題，除了必須考量到貨櫃必須堆儲於哪一儲區內，更進一步必須決定貨櫃應儲放於每一儲區內的儲位，才能使作業機具在進行貨櫃裝卸作業時能最節省成本或最有效率，對此研究課題，高傳凱 (民 92) [4]首先對貨櫃堆積策略進行探討，將作業時間區分為機具移動時間、存取貨櫃時間及翻

櫃時間三部分，以平均每櫃作業時間最短為目標，針對跨載機、貨櫃堆積機及門型機等三種不同機具作業，依貨櫃屬性取得與否，區分為「進存時未知提領日期」及「進存時已知提領日期」兩大類，分別比較堆積策略之優勢順位。研究結果發現，不同的作業機具，其堆積策略各異，而機具移動時間對堆積策略之影響極微，翻櫃時間成為決定各堆積策略優勢順位之關鍵因素。之後針對單儲區與雙儲區兩種儲區規劃及順序堆置與隨機堆置兩種法則，進行儲位指派模擬及參數變化之敏感度分析，發現儲位選擇自由度較高之單儲區規劃與隨機堆置法則，可得到較佳之指派結果。經分析貨櫃儲位指派問題特性可知，當以最小翻櫃次數為目標構建貨櫃儲位指派整數規劃模式時，由於翻櫃動作係產生在同一疊貨櫃上下層貨櫃之間，因此可將行與列之差異忽略，而降低儲位指派問題的維度。

Kim et al. (2000) [12]依照貨櫃重量來規劃貨櫃應堆儲於儲區內的哪一儲位，在貨櫃裝船時，必須考量到貨櫃船裝載貨櫃之後，其重心是否穩定，一般實務上作業會盡可能的將較重的貨櫃放置於船艙底層，相對應於船艙位置，較重之貨櫃在未裝船前應堆放於儲區頂層，該學者基於此項構想，建構動態規劃模式，模式目標值為在進行貨櫃裝船作業時，翻櫃次數最少。

貨櫃場站營運者為了增加貨櫃儲區單位面積的儲櫃容量，加上貨櫃船舶漸漸有大型化的趨勢，對於貨櫃容量之需求大增，門型機遂成為貨櫃場站主要之處櫃機具，而門型起重機體積非常龐大，移動速度慢，如果門型機運作不當，往往使的整體貨櫃場的運作效率降低。對此 Zhang et al. (2002) [17]以輪胎型門型起重機為對象，研究門型機於貨櫃場站中之排程規劃問題，考慮到輪胎式門型起重機可往返與每一貨櫃儲區間進行支援之動作，建構出以每一時段遺留在每一儲區的總工作量最小為目標之混合整數規劃模式，運用拉氏鬆弛法 (Lagrangian Relaxation Method) 發展出一套啟發解法來求解。

Kim and Kim (1997) [11]探討單一門型機於單一出口儲區進行處櫃工作時之路線規劃問題，決定每一貨櫃堆儲列要吊起多少的貨櫃，才能使門型機總處櫃時間最短，其中考量門型機處櫃時必須包含到門型機設定時間及在貨櫃堆儲列間移動之時間兩部份，構建出門型機處櫃路線之整數規劃模式來求解。

趙時樑 (2003) [5]針對出口儲區門型起重機，進行門型機取櫃路線規劃之研究，將門型機分為起重機主體及夾櫃器兩部份來考量，在起重機主體移動路徑方面，運用限制式規劃及動態規劃發展啟發式解法，並考量門型機必需避免碰撞

及依序移動等限制，在夾櫃器方面，考量重櫃優先取出、僅最上層貨櫃能被吊起及貨櫃僅可置於最上層之限制，規劃貨櫃取出之順序。

就以上相關文獻，貨櫃場站中如使貨櫃儲區工作量均衡下，儲區內門型起重機處櫃作業與岸邊船席部份之橋式起重機作業間的不協調性將會減低，相反的，如有一貨櫃儲區的工作量大於其他儲區之工作量太多，當工作量低的貨櫃儲區作業完成之後，將使得船舶之貨櫃裝卸動作必須等待尚未完成處櫃作業之儲區，造成船期的延誤。因此貨櫃在儲放時必須平均指派到每一貨櫃儲區，但會受到每一儲區容量之限制。貨櫃與櫃場內之移動距離會影響到貨櫃裝船的作業時間，為了能使船舶靠港時間縮短，對於出口貨櫃應儲放哪一櫃儲區應詳加規劃。

表 2-1 相關文獻統整

研究領域	作者	年份	求解目標	求解方法
船 席 指 派	Imai et al	1997	船舶靠港時間最短	非線性整數規劃模式
	Chen and Hsieh	1999	船舶靠港時間最短	時空路網校正 (time-space network)
	Lai and Shih	1992	船舶靠港時間最短	模擬方式
橋 式 機 指 派	Daganzo	1989	最小化總體船舶延誤成本	使用整數規劃模式及排程策略
	Daganzo	1990	在長期狀況下，橋式起重機排程策略對貨櫃場站之產出及船期延誤之影響。	使用整數規劃模式及排程策略
貨 櫃 儲 區	Teleb-Ibrahimi et al.	1993	處櫃次數最少	貨櫃暫存區的空間指派策略
	Kozan	2000	貨櫃的旅行時間最短	路網模型去決定貨櫃流量以及處櫃機具的種類

指派	Zhang et al	2003	第一階段儲區間工作量上的不均衡最小 第二階段貨櫃移動距離最小	整數規劃
貨櫃儲位指派	高傳凱	2003	平均每櫃作業時間最短為目標	模擬及參數變化之敏感度分析
	Kim et al.	2000	進行裝船作業時，翻櫃次數最少	動態規劃
門型起重機指派	Zhang et al.	2002	每一時段遺留在每一儲區的總工作量最小	混合整數規劃模式，運用拉氏鬆弛法，發展出一套啟發解法來求解
	Kim and Kim	1997	門型機總處櫃時間最短	整數規劃模式
	趙時樑	2003	門型機移動路徑最短	路線規劃

第三章 模式建立

3.1 模式構想

就整體貨櫃儲區來看，會影響到貨櫃船舶靠港時間的因素眾多，例如船席位置、貨櫃儲區內貨櫃堆儲位置以及堆放順序等，如果要把全部的因素全考慮到的話，在求解上會非常困難。此外，貨櫃場內每一規劃問題又會相互影響，藉由透過整個櫃場所有的問題的流程圖（圖 1-1），發覺到要解決儲區區位指派問題必須經過船席指派問題及橋式起重機指派問題，所以假設船席指派問題及橋式起重機指派問題已經獲得解決，接下來就必須考慮到儲區區位指派問題。

本研究主要目標為使貨櫃船舶靠港時間最短，所以在貨櫃儲區區位指派問題內，與貨櫃船舶靠港時間有關連的因素都必須要考慮進來，在現行的貨櫃儲區運作中，每一儲區一般都會配置 1~2 架門型起重機進行處櫃作業，而為因應船舶大型化之趨勢，貨櫃儲區之容量勢必也要增加，但是貨櫃場站的土木設施早在場站營運時就以既定，這時就必須朝在既有的土地面積下增加貨櫃儲區的容量方向來規劃。對於使用門型機作為處櫃機具的儲區，可以大大增加櫃場的整體容量，其中以軌道式門型起重機做為處櫃機具的儲區，其單位面積可以堆儲最多的貨櫃，廣泛的被許多貨櫃碼頭所採用。

軌道式門型起重機儲區雖然容量大，但是因為軌道式門型起重機必須依靠軌道才能移動，大大降低其可及性，即軌道式門型起重機無法在無軌道相連的儲區間做支援動作，因此假使在相同時段裡有一儲區的工作量大於其他儲區的工作量，縱使其他儲區的貨櫃已吊卸完畢，貨櫃船舶還是必須等待該儲區完成貨櫃的吊卸動作才能離港，因此貨櫃儲區間貨櫃工作量的均衡程度將會影響到船舶的靠港時間。

貨櫃裝船作業必須經由區間卡車自儲區將貨櫃運送至船席邊，再經由橋式起重機裝載至船舶上，而整體貨櫃場站佔地頗廣，假如卡車在運送貨櫃時所移動之總距離越短的話越能節省貨櫃裝船作業所需之時間，所以儲區相對於船席的距離將會影響到整體貨櫃裝船作業速率，亦即如果要進行裝船的貨櫃移動總距離越短對於裝船作業所花費的時間也會越少，因此對應於船舶所停靠的位置，將要裝載至該船舶的貨櫃堆儲於最近的儲區將會縮短船舶的靠港時間。

對於使用門型機為處櫃機具之貨櫃儲區，完全必須依靠卡車才能將貨櫃運送至船席邊給予橋式機進行裝船作業，所以卡車對於貨櫃裝船作業速率會有一定之影響，通常航商會於貨櫃場內配置一定數量之區間卡車，在此有限的卡車數量下如何去指派卡車至哪一儲區進行貨櫃運送作業，以期能使貨櫃在裝船時所花費之總運輸時間能最短。

現今貨櫃船大都為定期船，亦即該貨櫃船在港口 A 裝卸完貨櫃離港，數天後在正常狀況下，該貨櫃船會再次進入港口 A 進行貨櫃裝卸，定期船此種週期性運作特性，使得出口儲區之可用容量也會有週期性之循環狀況。對單一艘貨櫃船而言，在收貨期間內，貨主會將貨櫃陸續運送至櫃場儲放以等候裝船，因此在收貨期內出口儲區可用容量會慢慢減少，當貨櫃船靠港進行貨櫃裝船作業時，因出口貨櫃依序被運至船艙，原先被應裝載至該船之貨櫃，所佔用之儲區容量隨即被釋出，貨櫃儲區因為貨櫃船此種週期性循環動作，以致於貨櫃儲區之可用容量大小也會有週期性循環，如下圖 3-1 所示。

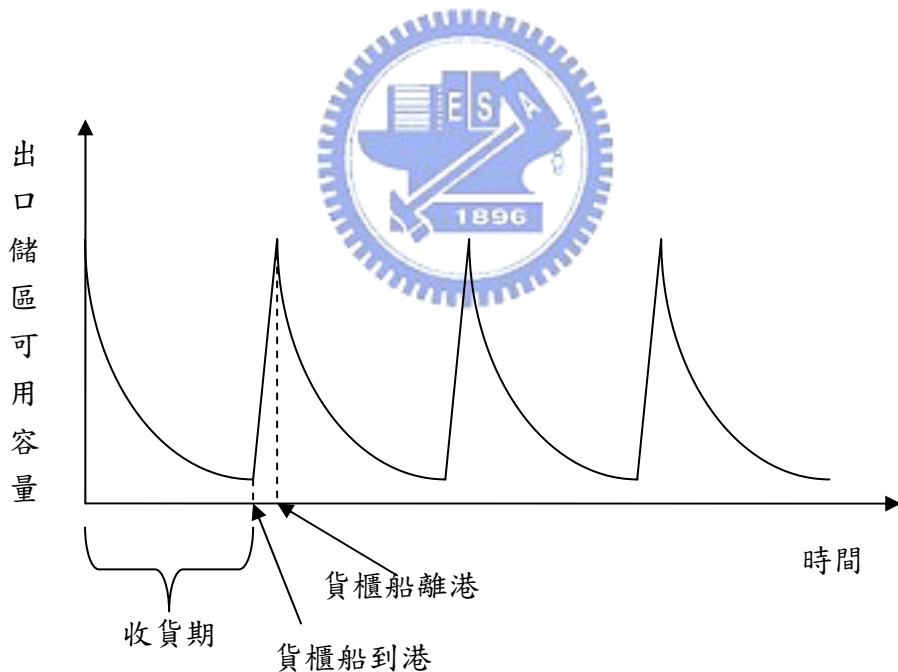


圖 3-1 儲區容量變化圖

將上述構想整理如下圖 3-2，在決定貨櫃應堆儲至哪一儲區時，為了讓貨櫃在進行裝船時門型機吊卸貨櫃作業能均衡，貨櫃必須平均放置至每一出口儲區，但還必須考量到儲區相對於船席間的距離，所以距離船席較近之儲區會比距離較遠之儲區放置多一些貨櫃，此外因為裝船作業必須依靠卡車來運送貨櫃，應指派多少卡車數量至每一出口儲區也必須納入模式考量，最後必須顧及到出口儲區之

可用容量會隨貨櫃船到離港而成週期性變動之特性。



圖 3-2 模式建立構想

本研究依照以上構想來建立求解模式，主要目的為使船舶靠港時間能最短來規劃出口貨櫃應堆儲於哪一貨櫃儲區及每一儲區應指派多少卡車數量，以使每一貨櫃儲區完成船舶裝船作業所需之時間差異最小。

3.2 模式構建

3.2.1 研究假設

1. 有充足的橋式機可因應貨櫃的裝卸。

在岸邊船席之貨櫃裝船作業完全仰賴橋式機才能進行，假使橋式機作業上不足以應付從貨櫃儲區運送而來的貨櫃數量，縱使貨櫃於貨櫃儲區堆放的非常洽當，門型機作業也非常順暢，載運貨櫃的區間卡車還是必須等候橋式機，常造成貨櫃裝船作業上之延誤，但因模式中無考慮到橋式機之影響因素，在此假設有充足的橋式起重機以因應貨櫃之裝船作業。

2. 要裝載至同一艘船舶的貨櫃在儲區內緊靠堆疊。

貨櫃如果分散堆放於貨櫃儲區內，門型機在進行貨櫃吊運作業時，將耗費時間在儲區內往返移動，而門型機體積大移動速度慢，且吊櫃時需要前置設定及對位時間，因此分散堆疊將使得門型機作業上，造成許多不必要之移動及作業時間上的浪費，本研究假設貨櫃於儲區內緊靠堆儲，避免門型機不必要之移動。

3. 每一貨櫃儲區只配置一架軌道式門型起重機進行處櫃工作。

因為門型機設置成本高昂，一般貨櫃場站會依據該貨櫃場內儲區大小及貨櫃裝卸繁忙程度而決定架設多少架的門型機，因此單一貨櫃儲區可能會設置兩架以上軌道式門型機，但為了易於構建模式因此假設每一儲區只設置一架軌道式門型起重機，對此，如單一儲區有兩架之門型機，則將該儲區分為兩個，以符合一儲區一門型機之假設條件。

4. 先到港之貨櫃船先進行貨櫃裝卸，且同一艘貨櫃船舶之出口貨櫃裝船作業在所有進口貨櫃作業完成之後。

貨櫃船一靠港之後，通常先進行進口櫃卸船作業，船艙之空間得以釋放給出口櫃裝船作業之用，雖然現今貨櫃場會有進口及出口作業同時進行的狀況，但如此就必須將橋式機分別指派給出口作業及進口作業之用，而橋式機數量配置的多寡，將嚴重衝擊處櫃作業之速度。亦即指派一架橋式機給予進口作業用而另一架給予出口作業用，相較於先將兩架橋式機指派給進口作業當進口作業完成之後再指派給出口作業，整體處櫃作業完成時之時間相當。

5. 儲區容量在貨櫃船舶完成裝船作業之後才能再利用。

貨櫃船舶靠港進行貨櫃裝船作業時，原儲放於貨櫃除區之貨櫃被裝載至貨櫃船上，而貨櫃儲區因為貨櫃流出，原本被該些貨櫃所占用之儲區容量將被釋放出來，以供後續貨櫃進儲之用，但因門型機於櫃場中作業必須避免碰撞，況且如要裝載至貨櫃船舶上之貨櫃尚未完全處理完畢，就放置新的貨櫃於該些貨櫃之上，將會造成不必要的翻櫃動作，以致於整體貨櫃裝船作業效率降低，為避免這些現象發生，本研究假設貨櫃儲區容量必須在該些貨櫃完全裝載至貨櫃船上之後才可供其他貨櫃進儲之用。

6. 對同一艘貨櫃船而言，貨主於收貨期間才會將貨櫃運至櫃場，並且每時段運至櫃場之貨櫃數量相同

貨主在航商所規範的收貨期間內將貨櫃運至櫃場堆儲，航商不會對貨主

加收貨櫃保管費用，但如貨主在收貨期未開始前就先將貨櫃運至櫃場儲放，航商將依照貨主將貨櫃運至櫃場的日期與收貨期開始日間相差的天數來對貨主加收貨櫃保管費用，一般貨主為了不增加貨物的運送成本，會在航商所規範的收貨期內將貨櫃運至櫃場儲放以等候裝船。此外，當要進行貨櫃進儲至哪一儲區之規劃時，必須預測每一艘貨櫃船將會裝載多少的出口貨櫃，對要裝載至同一艘貨櫃船的貨櫃會在收貨期間內每時段平均運至櫃場儲放。

3.2.2 模式構建

1. 參數定義：

C_{it} ：在 t 時段裡第 i 貨櫃儲區可供運用之容量（標準櫃）。

B ：貨櫃場內出口儲區之總數量（區）。

K ：規劃期間內會靠港裝卸貨櫃之貨櫃船舶數量（艘）。

C_k^{20} ：預期將裝載至船舶 k 上之 20 呎貨櫃數量（櫃）。

C_k^{40} ：預期將裝載至船舶 k 上之 40 呎貨櫃數量（櫃）。

t_r ：軌道式門型起重機每處理一個貨櫃所需之時間（分）。

t_q ：橋式起重機每處理一個貨櫃所需之時間（分）。

d_{ik} ：區間卡車將貨櫃自貨櫃儲區 i 運至船舶 k 所停靠船席間之移動距離（公尺）。

v ：區間卡車於櫃場內之行駛速率（公尺/分）。

I ：櫃場內服務於貨櫃裝船作業之區間卡車總數量（輛）。

T ：規劃期間內之時段數。

2. 決策變數：

L_{ikt}^{20} ：儲放於貨櫃儲區 i 並將在時段 t 開始裝載至貨櫃船舶 k 之 20 呎出口貨櫃數量（櫃）。

L_{ikt}^{40} ：儲放於貨櫃儲區 i 並將在時段 t 開始裝載至貨櫃船舶 k 之 40 呎出口貨櫃數量（櫃）。

I_{ikt} ：在 t 時段內往返於儲區 i 與船舶 k 間進行裝船作業之區間卡車數量（輛）。

3. 求解模式：

本研究所要求算的目標為對每一艘貨櫃船舶靠港進行貨櫃裝船所需之時間最短，因為每一貨櫃儲區只配置一架門型機，在考量裝船速度時，如將全部貨櫃放置於距離該貨櫃船席最近的儲區上反而會比平均放置於每一貨櫃儲區所需時間還要長，此外，單一貨櫃放置距船席較遠之儲區在裝船作業上會較放置於較近之儲區來的慢，而每一儲區所派遣的卡車數量多寡，會影響放置於該儲區之出口貨櫃在裝船作業進行時之移動速率。

在考量應放置多少貨櫃於哪一儲區使裝船作業能於最短時間內完成時，上述三項特性會相互影響，為了能表達卡車數量以及儲區至船席之距離對每一儲區工作量均衡程度的影響，必須求算出儲放於每一儲區之貨櫃運至船舶上之平均時間，以下圖 3-3 來說明。

在圖 3-3 中，當該儲區只配置一輛卡車時，門型機吊卸完一個貨櫃之後，就必須等候卡車將貨櫃運至船席裝船回來到儲區後，才能再進行下一個貨櫃吊卸，所以該儲區內之每一個出口貨櫃運至船舶上所需時間為：

$$\text{門型機作業時間} + \text{區間卡車移動時間} + \text{橋式機作業時間}$$

當該儲區配置兩輛卡車時，門型機完成一個貨櫃吊卸後，因為還有第二輛卡車可供運用，所以可再進行下一個貨櫃吊卸，之後門型機就必須等候第一輛卡車自船席邊回來才能進行下一輪的吊櫃作業，該儲區內之將兩個出口貨櫃運至船舶上所需時間為：

$$\text{門型機作業時間} + \text{區間卡車移動時間} + \text{橋式機作業時間} + \text{門型機作業時間}$$

亦即當該儲區配置兩輛區間卡車時，在「 $2 \times \text{門型機作業時間} + \text{區間卡車移動時間} + \text{橋式機作業時間}$ 」時間段內，可將兩個貨櫃裝載至船舶上，所以每一個貨櫃運至船舶上之平均時間為：

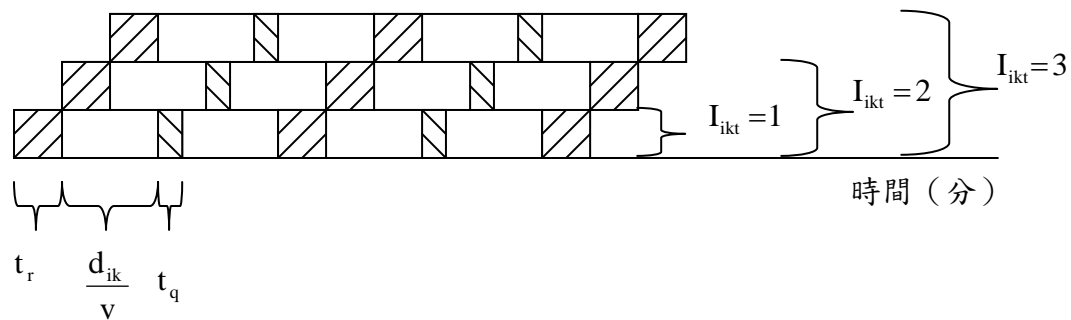
$$\frac{2 \times \text{門型機作業時間} + \text{區間卡車移動時間} + \text{橋式機作業時間}}{2}$$

當該儲區配置三輛區間卡車時，則該儲區每一出口貨櫃運至船舶上所需時間為：

$$\frac{3 \times \text{門型機作業時間} + \text{區間卡車移動時間} + \text{橋式機作業時間}}{3}$$

以此類推，當儲區配置 I_{ikt} 輛卡車、儲區距離船席之距離為 d_{ik} 、門型機與橋式機吊櫃速率分別為 t_r 及 t_q 、區間卡車移動速率為 v 時，則每一個出口貨櫃裝船

所需時間為 $\frac{I_{ikt} \times t_r + 2 \frac{d_{ik}}{v} + t_q}{I_{ikt}}$ 。



□：區間卡車旅行時間 ▨：門型機作業時間 ▩：橋式機作業時間

圖 3-3 貨櫃平均移動時間

當卡車數量增加至門型機作業速率不足因應卡車運送貨櫃時，卡車便會發生等候現象，由上圖 4-3，在卡車數量大於 $\frac{t_r + 2 \frac{d_{ik}}{v} + t_q}{t_r}$ 時，就會發生等候現象，當發生卡車等候時，再多指派卡車至該貨櫃儲區，對該貨櫃儲區之出口貨櫃在裝船作業速率上並無法提升，所以縱使該貨櫃場配置充足的卡車車隊，只要指派足夠的卡車數量即可。

4. 目標式：

目標式為針對所有靠港進行裝船作業之貨櫃船，完成裝船作業所需時間最長之貨櫃儲區與所需時間最短之貨櫃儲區之差值最小， $\frac{I_{ikt} \times t_r + 2 \frac{d_{ik}}{v} + t_q}{I_{ikt}}$ 為放置於貨櫃儲區 i 之貨櫃裝載至貨櫃船舶 k 所需之平均時間，而 $L_{ikt}^{20'} + L_{ikt}^{40'}$ 為放置於儲區 i 且將在時段 t 裝船之 20 呎與 40 呎出口貨櫃數量，目標式構建如下：

$$\text{Min} \left\{ \sum_{k=1}^K \max \left(\frac{I_{ikt} \times t_r + 2 \frac{d_{ik}}{v} + t_q}{I_{ikt}} \times (L_{ikt}^{20'} + L_{ikt}^{40'}) - \min \left(\frac{I_{ikt} \times t_r + 2 \frac{d_{ik}}{v} + t_q}{I_{ikt}} \times (L_{ikt}^{20'} + L_{ikt}^{40'}) \right) \right) \right\} \quad \forall i = 1, 2, \dots, B$$

5. 限制式：

整體模式限制式包含：儲區容量限制、貨櫃流量守衡、卡車派遣上限以及整

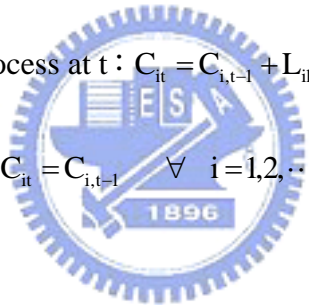
數及非負限制。

(1) 儲區容量限制

貨櫃儲區有一定大小，所以堆放貨櫃之數量不可以超過貨櫃儲區可容納的上限，因此在每一時段內，堆放於每一貨櫃儲區的貨櫃數量不能超過該貨櫃儲區可用容量，建構如下之限制式：

$$\sum_{k=1} (L^{20}_{ikt} + 2L^{40}_{ikt}) \leq C_{it} \quad \forall i = 1, 2, \dots, B; t = 1, 2, \dots, T$$

此外，貨櫃裝載至船舶上之後，原先佔用儲區的空間將會被釋出，因此，貨櫃儲區會依照貨櫃是否要被裝載至船舶上來決定其可供運用的容量大小。例如，在時段 $t-1$ 的時候，第 k 艘船舶的裝船作業完成，那麼時段 t 的時候，貨櫃儲區的容量會比時段 $t-1$ 的時候多，而多的部份就是裝載在至 k 貨櫃船上的貨櫃數量。假使裝船作業無法在時段 $t-1$ 完成，那麼在時段 t 時的貨櫃儲區的容量與時段 $t-1$ 的容量相等。該限制式如下所示：

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{If vessel } k \text{ finished loading process at } t : C_{it} = C_{i,t-1} + L_{ikt} \quad \forall i = 1, 2, \dots, B; t = 1, 2, \dots, T \\ \text{Otherwise} : C_{it} = C_{i,t-1} \quad \forall i = 1, 2, \dots, B; t = 1, 2, \dots, T \end{array} \right.$$


(2) 貨櫃流量守衡

貨櫃必須遵照流量守衡，亦即對每一艘貨櫃船而言，要裝船的貨櫃數量必須等於堆放於貨櫃儲區內之貨櫃數量，如下：

$$\sum_{i=1}^B \sum_{t=1}^T L^{20}_{ikt} = C^{20}_k \quad \forall k = 1, 2, \dots, K$$

$$\sum_{i=1}^B \sum_{t=1}^T L^{40}_{ikt} = C^{40}_k \quad \forall k = 1, 2, \dots, K$$

(3) 卡車派遣上限

當卡車數量達到造成等候現象發生時，再增加卡車對整體裝船作業不會有所增進，對此，設定卡車數量上限，如下：

$$I_{ikt} \leq \frac{t_r + 2 \frac{d_{ik}}{v} + t_q}{t_r} \quad \forall i = 1, 2, \dots, B; k = 1, 2, \dots, K; t = 1, 2, \dots, T$$

(4) 整數及非負限制

因為貨櫃為整數個，所以必須加入整數限制及非負限制。

$$L_{ikt}^{20}, L_{ikt}^{40}, I_{ikt} \geq 0 \ \& \ \in \text{integer}$$

模式中目標式為非線性，如能將其轉換成線性，對於求解速度上能有所增進，對此額外加入限制式[a]和[b]，其中 M_k 為針對每一艘貨櫃船舶 k ，其裝船作業所花費時間的最大值，相對的 m_k 為最小值。

$$M_k \geq \frac{I_{ikt} \times t_r + 2 \frac{d_{ik}}{v} + t_q}{I_{ikt}} \times (L_{ikt}^{20} + L_{ikt}^{40}) \quad \forall i=1,2,\dots,B; k=1,2,\dots,K; t=1,2,\dots,T \text{----- [a]}$$

$$m_k \leq \frac{I_{ikt} \times t_r + 2 \frac{d_{ik}}{v} + t_q}{I_{ikt}} \times (L_{ikt}^{20} + L_{ikt}^{40}) \quad \forall i=1,2,\dots,B; k=1,2,\dots,K; t=1,2,\dots,T \text{----- [b]}$$

基於上述，將整體求解模式整理如下：

目標式：

$$\text{Min} \left\{ \sum_{k=1}^K [M_k - m_k] \right\} \text{-----[1]}$$

限制式：

$$\sum_{k=1}^K (L_{ikt}^{20} + 2L_{ikt}^{40}) \leq C_{it} \quad \forall i=1,2,\dots,B; t=1,2,\dots,T \text{-----[2]}$$

$$\sum_{i=1}^B \sum_{t=1}^T L_{ikt}^{20} = C_k^{20} \quad \forall k=1,2,\dots,K \text{-----[3]}$$

$$\sum_{i=1}^B \sum_{t=1}^T L_{ikt}^{40} = C_k^{40} \quad \forall k=1,2,\dots,K \text{-----[4]}$$

$$M_k \geq \frac{I_{ikt} \times t_r + 2 \frac{d_{ik}}{v} + t_q}{I_{ikt}} \times (L_{ikt}^{20} + L_{ikt}^{40}) \quad \forall i=1,2,\dots,B; k=1,2,\dots,K; t=1,2,\dots,T \text{..[5]}$$

$$m_k \leq \frac{I_{ikt} \times t_r + 2 \frac{d_{ik}}{v} + t_q}{I_{ikt}} \times (L_{ikt}^{20} + L_{ikt}^{40}) \quad \forall i=1,2,\dots,B; k=1,2,\dots,K; t=1,2,\dots,T \text{..[6]}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{If vessel } k \text{ finished loading process at } t : C_{it} = C_{i,t-1} + L_{ikt}^{20} + L_{ikt}^{40} \quad \forall i=1,2,\dots,B; t=1,2,\dots,T \text{..[7]} \\ \text{Otherwise : } C_{it} = C_{i,t-1} \quad \forall i=1,2,\dots,B; t=1,2,\dots,T \text{-----[8]} \end{array} \right.$$

$$I_{ikt} \leq \frac{t_r + 2 \frac{d_{ik}}{v} + t_q}{t_r} \quad \forall \quad i = 1, 2, \dots, B; \quad k = 1, 2, \dots, K; \quad t = 1, 2, \dots, T \dots \dots \dots [9]$$

$$L_{ikt}^{20}, L_{ikt}^{40}, I_{ikt} \geq 0 \quad \& \quad \in \text{ integer} \dots \dots \dots [10]$$

3.3 求解方法

3.3.1 儲區可用容量

為因應貨櫃船有週期性循環特性，加上收貨期間會有貨櫃進場儲放，儲區可用容量會隨時間而有所變動，以下圖 3-4 作為說明，其中 x 軸代表日期，y 軸表示時段，每小時為一時段，共 24 時段。在圖 3-4 表示該貨櫃場在 9 天內會有 13 艘貨櫃船靠港進行貨櫃裝卸，假設該貨櫃場設定起始收貨日期為船到港的前 7 天（包含船到港當日），所以貨主會在這收貨期間內依序將貨櫃運至櫃場儲放，而這些預先放置的出口貨櫃就會佔用部分櫃場儲區容量，當考量第一艘貨櫃船時，儲區可供給予裝載至第一艘貨櫃船之出口貨櫃使用之容量為儲區原始設計容量扣除貨主預先將欲裝載至第 2~10 艘貨櫃船之出口櫃量，當考量第二艘貨櫃船時，這時必須判斷第一艘貨櫃船裝船作業完成時間是否比第二艘貨櫃船開始進行貨櫃裝船時間早或晚，如果晚的話，儲區可供給第二艘貨櫃船使用之容量為儲區原始容量扣除第一艘貨櫃船出口貨櫃量再扣除欲裝載至貨櫃船 3~10 之出口櫃量，如果早的話，則儲區可供第二艘貨櫃船使用之儲容，為原始容量扣除欲裝載至貨櫃船 3~10 之出口櫃量。

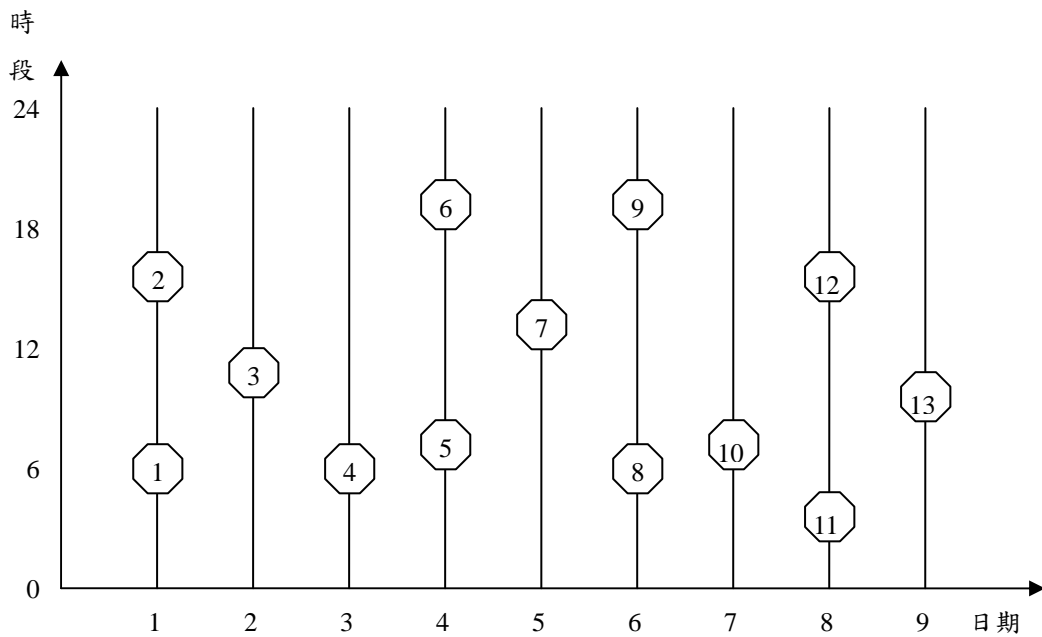


圖 3-4 貨櫃船到港時間示意圖

3.3.2 求解構想

模式中所要求解的決策變數為儲放於哪一出口儲區之貨櫃數量，但因為受到收貨期與前一艘貨櫃船是否已完成裝船作業之影響，儲區容量在收貨期間內會隨著時間而變動，基於此，將規劃期長度設定為收貨期長度，在每一規劃期內考量到貨主會在船舶未到港前將貨櫃先運至櫃場，每一艘貨櫃船期儲區容量會受到往後在規劃期到港貨櫃船欲裝載之出口貨櫃數量影響。此外，本研究是對每一艘貨櫃船之出口貨櫃進行事先的規劃，去決定該些出口貨櫃應堆儲於哪一貨櫃儲區，以使貨櫃裝船作業開始時能以最短之時間完成，而貨櫃場在實際營運上，當貨櫃船未到港之前，皆有適度微調每一儲區堆儲的貨櫃量，假設貨主預先運至櫃場的貨櫃平均堆儲於每一貨櫃儲區，所以當求解時，只須依序對每一艘貨櫃船進行求解動作，來找出最佳貨櫃及卡車指派量。

3.3.3 求解步驟

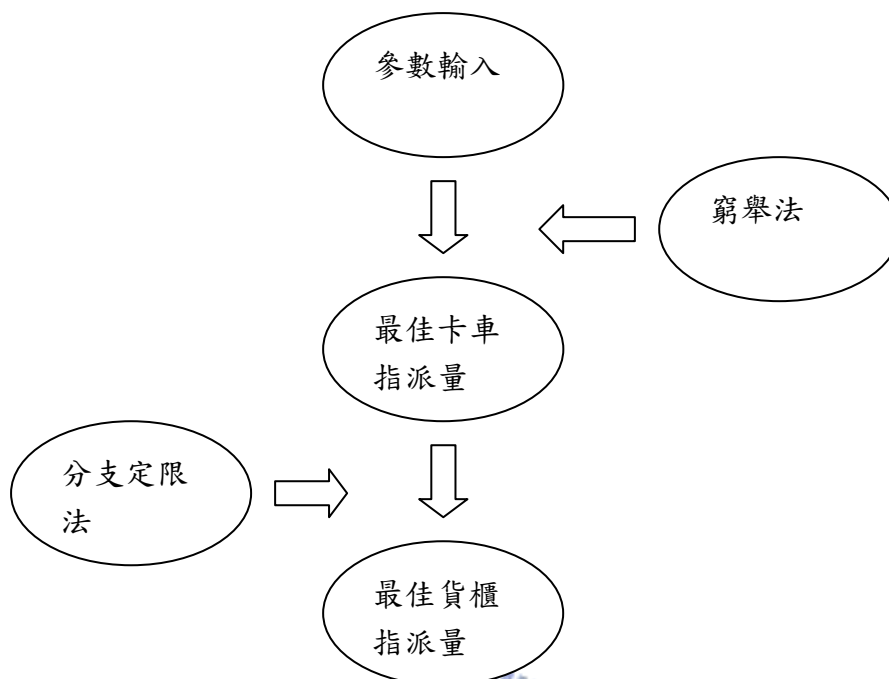


圖 3-5 求解步驟

在模式求解部分，分為兩步驟，第一步先以窮舉法（Total Enumeration）找出對佳卡車指派數量，這時對貨櫃指派數量是為非整數鬆弛解（LP Relaxed Solution），因為貨櫃為整數個，所求必為整數解，再運用分支定限法（Branch and Bound Method）找出最佳之貨櫃指派數量整數解，分支定限法顧名思義，必須進行分支及定限兩項工作，分支即是依據變數之限制加以分段，直至找到整數解為止，而定限為判斷分之所求得之解是否比當前最佳解（incumbent solution）好，若分支之後無法求得比當前最佳解還要好之解，該分支之計算則終止（terminated），而分支計算會被終止有以下三種原因：

- 1、非可行解（terminated by infeasibility）。
- 2、預期無法找到更好的解（terminated by bound）。
- 3、找到 ILP 解（terminated by being solved）。

如圖 3-6 可行解區域為限制式 C1、C2、C3、C4 所圍之灰色部份，最佳值坐

落於 A 點，對變數 x_1 而言目標式最小值介於 0~1 間，對變數 x_2 的話則介於 2~3 間，此時所找到的最佳值為鬆弛解，因為這時候所找到的 x_1 及 x_2 皆非整數，而所要求之目標值必須為整數，必須進行分支。

分支之原則就是先看變數是否為整數，不是整數的就必須分支，如果有複數個變數以上皆非整數，則選取對目標值貢獻度較大的變數先分支，因此先對變數 x_1 分支，並額外加入限制式 $C_5 (x_1 \geq 1)$ 及 $C_6 (x_1 \leq 0)$ ，如圖 3-7 所示，找到最佳值 B 點，此時變數 x_1 值為 1，變數 x_2 值介於 1~2 間，因為變數 x_2 為非整數，必須再對變數 x_2 分支，所以再加入限制式 $C_7 (x_2 \geq 2)$ 及 $C_8 (x_2 \leq 1)$ ，這時所找到的最佳值為 $(x_1, x_2) = (1, 2)$ ，如圖 3-8 所示，則目標值則會坐落於整數解上，此時即搜尋到最佳之整數解。

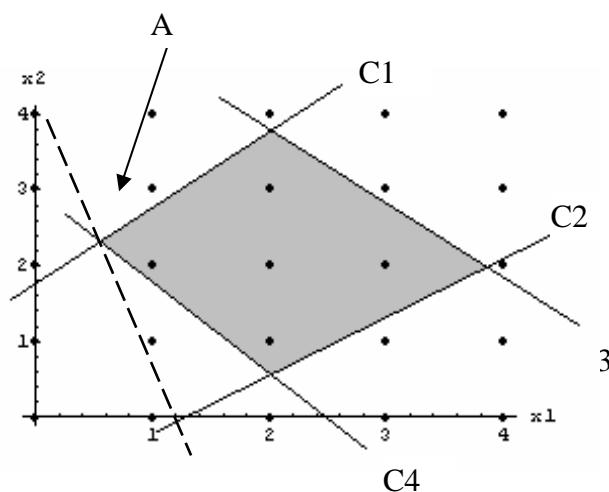


圖 3-6 分支定限法求解示意圖之一

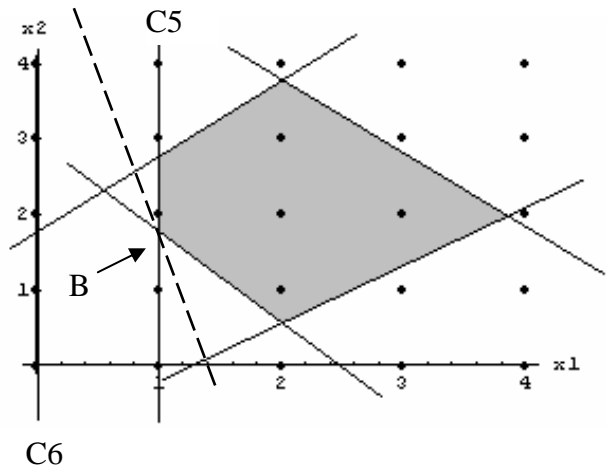


圖 3-7 分支定限法求解示意圖之二

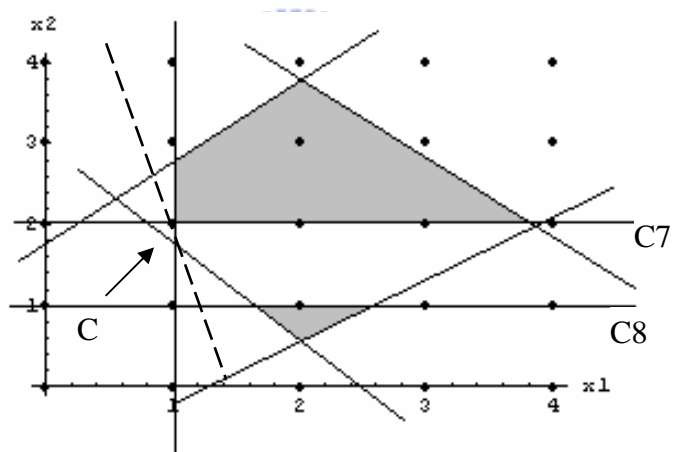


圖 3-8 分支定限法求解示意圖之三

第四章、案例分析

4.1 簡例分析

為了驗證模式的正確性以及程式的求解能力，針對所構建之模式擬定一貨櫃堆儲指派問題，問題描述如下：

該貨櫃場有 5 個軌道式門型機貨櫃堆儲區，各個儲區的容量(單位：標準櫃)分別為下表：

表 4-1 簡例之各儲區容量表

儲區 1	儲區 2	儲區 3	儲區 4	儲區 5
500	700	600	800	400

該貨櫃場在有設置兩個貨櫃裝卸作業碼頭，亦即該貨櫃場會有兩個船席給予貨櫃船舶靠港進行貨櫃裝卸作業之用，而此兩個船席位置與該貨櫃場 5 個貨櫃儲區之相對移動距離(單位：公尺)為下表：

表 4-2 簡例之船席與儲區間之相對移動距離表

	儲區 1	儲區 2	儲區 3	儲區 4	儲區 5
船席 1	400	400	450	450	500
船席 2	400	400	450	450	500

該貨櫃場區內配置 18 輛區間卡車，該卡車主要功能為進行貨櫃運送。此外，該貨櫃場規範每一位卡車駕駛在場區內行駛速率不得超過 15 公里/小時，並設定起始收貨日期為船舶到達日的前 7 天。

下表 4-3 表示該貨櫃場 20 天內有靠港進行貨櫃裝卸之貨櫃船，其中貨櫃船該欄到表第幾艘進港的貨櫃船，停靠船席為該船舶進港之後所停靠之船席位置，時段為該貨櫃船進港之後開始進行貨櫃裝卸之開始時間，進港日期為該貨櫃船餘第幾日進入該貨櫃港口，20 呎貨櫃及 40 呎貨櫃表示預期要裝載至該船的 20 呎

及 40 呎貨櫃數量。

表 4-3 簡例分析資料表

貨櫃船	停靠船席	時段	日期	20 呎貨櫃	40 呎貨櫃
1	1	6	1	300	50
2	2	10	2	200	100
3	1	20	2	100	50
4	2	8	3	500	100
5	2	13	4	200	50
6	1	17	4	50	200
7	2	4	5	100	100
8	1	15	5	300	100
9	1	10	6	200	150
10	2	14	7	250	100
11	1	8	8	50	50
12	2	11	9	100	200
13	1	17	9	400	50
14	2	15	10	100	150
15	1	9	11	200	100
16	2	16	11	150	100
17	1	7	12	300	100
18	2	13	12	50	100
19	1	1	13	150	50
20	1	12	14	100	200

主要所求為第 1 天至第 7 天所有貨櫃船要裝載的出口貨櫃應放至於哪一貨櫃儲區，以使得整體軌道式門型機作業之瓶頸最小，將上述資料輸入程式求解，所求之結果如下表 4-4，C.S.表貨櫃類型（20 呎及 40 呎兩種），B1~B5 為儲區 1~5 對應每一艘貨櫃船所堆放之出口貨櫃數量，C.T.為求解所需時間，I.D.為儲區作業不均程度，L.T.為完成該貨櫃裝船作業所需時間，T1~T5 為指派至儲區 1~5 之卡車數量，TOT 欄位代表對該船進行裝船作業時總指派卡車數量。

表 4-4 簡例求解結果表

ship	C.S.(呎)	B1(櫃)	B2(櫃)	B3(櫃)	B4(櫃)	B5(櫃)	C.T.(秒)	I.D.(分)	L.T.(分)	T1(輛)	T2(輛)	T3(輛)	T4(輛)	T5(輛)	TOT(輛)
1	20'	42	43	73	72	70	28	3	234	3	3	4	4	4	18
	40'	25	23	0	1	1									

2	20'	38	1	76	55	30	31	81	246	2	4	4	4	1	15
	40'	0	77	1	22	0									
3	20'	23	0	30	21	26	30	3	101	3	4	4	4	3	18
	40'	6	32	1	10	1									
4	20'	112	34	132	132	90	31	84	422	3	4	4	4	3	18
	40'	0	100	0	0	0									
5	20'	29	66	17	65	23	30	34	210	1	4	4	4	1	14
	40'	0	0	49	1	0									
6	20'	0	0	0	34	16	29	3	168	3	3	4	4	4	18
	40'	47	48	52	18	35									
7	20'	2	1	41	41	15	29	3	134	3	3	4	4	4	18
	40'	36	37	1	1	25									
8	20'	3	52	83	82	80	28	3	267	3	3	4	4	4	18
	40'	73	24	1	1	1									
9	20'	1	0	72	73	54	28	3	234	3	3	4	4	4	18
	40'	66	66	1	0	17									
10	20'	4	29	73	73	71	28	3	234	3	3	4	4	4	18
	40'	63	37	0	0	0									

4.2 敏感度分析

4.2.1 收貨期長短分析

為測試收貨日期之長短是否會對整體作業效率上有所影響，因此分別假設收貨日期為貨櫃船到港前 5、6、7、8 天才開始收貨，其他條件不變，將程式求解之結果繪製成下圖 4-1 與 4-2。

由圖 4-1 結果發現在收貨期 8 天之情況下，處櫃不均所造成出口作業延長之情況，在收貨期 7 天時明顯改善，到收貨期 6 天時完全消失，其主要原因在於收貨期如果越長的話，非當天須出口之貨櫃佔用儲區容量之狀況越明顯，亦即收貨期越長的話，貨主將貨櫃運至貨櫃場的時間可以越早，造成在櫃場內等候裝船之貨櫃數量增加，對於可利用之儲區容量就會有削減的影響，換言之，收貨期越長，儲區容量之週轉率就越低，越有可能造成處櫃不均之狀況。

將收貨期長短所造成處櫃不均狀況反應到圖 4-2，由圖 4-2 可看出當收貨期越長，貨櫃完成裝船作業所需時間就越長，但收貨期 5 天與收貨期 6 天完成裝船作業所需時間相同，因為在收貨期 5 天及 6 天時，儲區沒有發生作業不均現象，

所以縱使將收貨期有 6 天調低成為 5 天，也不會縮短貨櫃裝船作業所需時間。

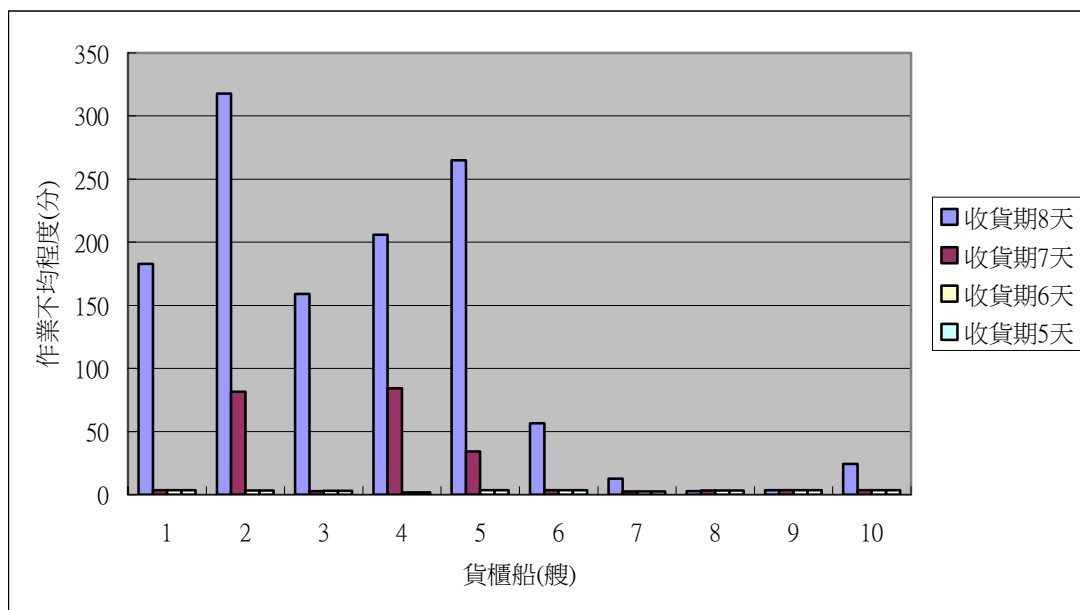


圖 4-1 收貨期長短與作業不均程度

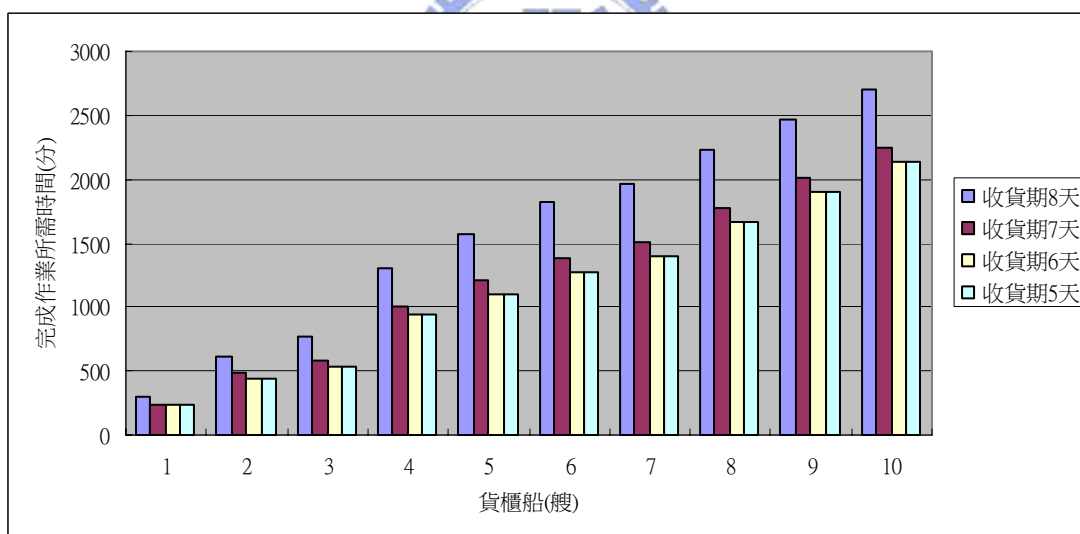


圖 4-2 收貨期長短與裝船時間

4.2.2 容量差異分析

為探討每一儲區容量不均等對於裝船作業完成所需時間之影響，假設總儲區容量不變，但每一儲區之容量分別為{400,800,500,900,400}、{450,750,550,850,400}、{500,700,600,800,400}、{600,600,600,600,600}，在其他條件不變之狀況下作比較，將求解結果繪製成下圖 4-3。

當每一貨櫃儲區容量越不均等之情況下(容量最大的儲區減去容量最小的儲區之差距)，裝船作業完成時間越長，亦即儲區容量越不均等越有可能造成儲區間作業量不均，主要原因在於當貨櫃容量不均時，容量較小的那一貨櫃儲區常會堆滿或容量不足以因應貨櫃堆儲之用，進而造成原本應放置於該儲區之貨櫃無法放至於該貨櫃儲區，那無法放置的貨櫃量就會轉放到還有容量的貨櫃儲區，進而造成門型機作業上的不均，進而造成出口作業時間的增長。

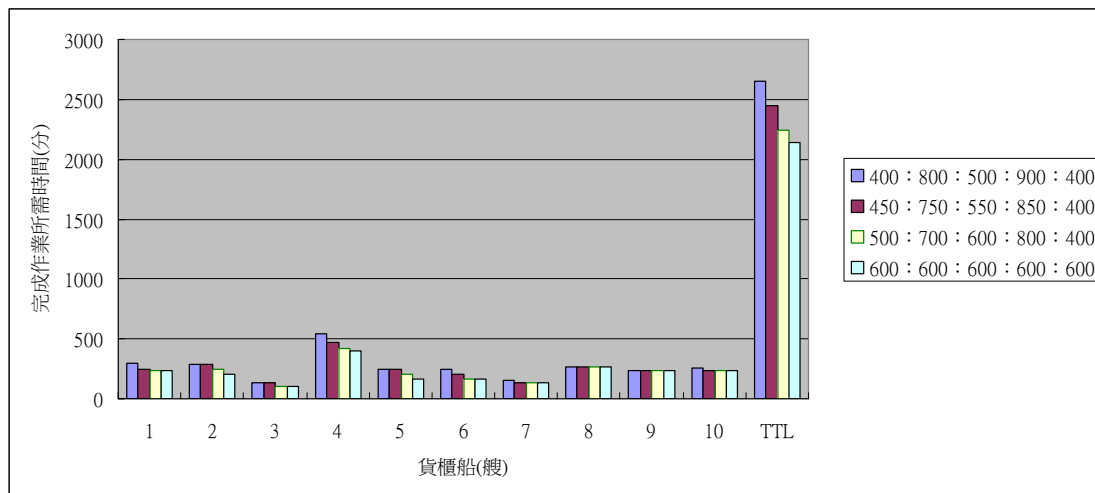


圖 4-3 容量均衡程度與裝船時間

4.2.3 卡車分析

為比較卡車數量的多寡對於貨櫃裝船作業有何種程度之影響，原問題其他條件不變下，針對簡例分析中的第二、四、五艘貨櫃船，將櫃場內卡車總數量由 5 輛增至 23 輛，將其裝船作業所需時間之結果繪製成下圖 4-4，由圖中可看出，當卡車數量增加時，裝船作業時間會減少，但呈現邊際遞減且最終會趨近一固定值，主要原因是當卡車數量增加到門型機無法適時的吊與貨櫃時，會造成部份卡車必須等候門型機吊櫃，亦即當卡車數超過極限卡車數量時，再增加卡車對貨櫃裝船作業並無幫助，圖 4-4 中指出，第二、四、五艘貨櫃船之極限卡車數量分別為 15、18、14 輛。

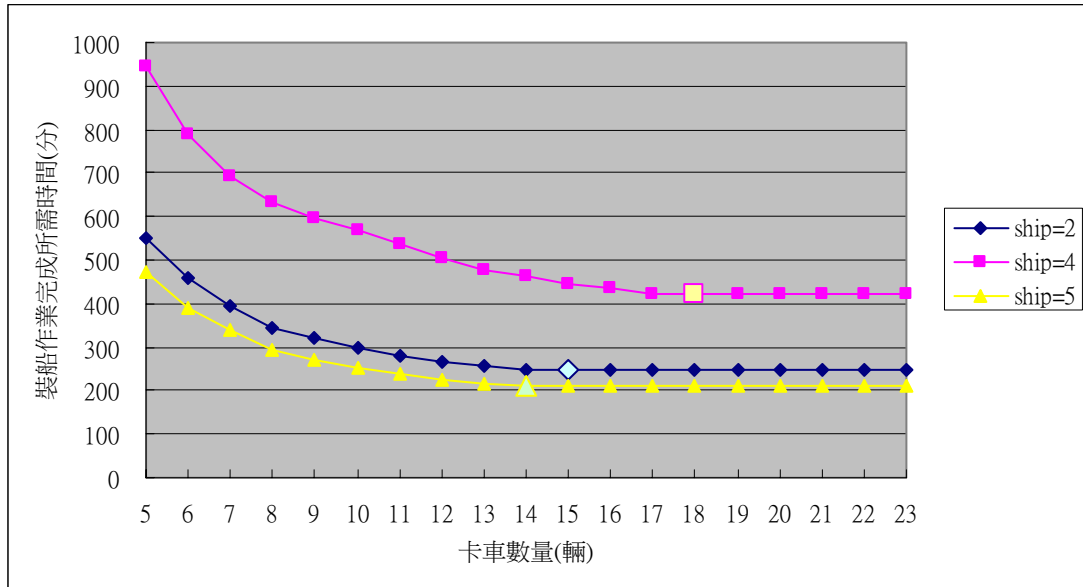


圖 4-4 卡車數量與裝船時間

卡車行駛速率愈快，在進行裝船作業時，貨櫃之運送時間勢必會縮短，當然裝船作業所需時間也會減少，但不知卡車行駛速率增減對整體裝船作業影響的程度有多大，因此針對卡車行駛速率作變動，並將裝船作業時間繪製成下圖 4-5，由此圖可以看出，隨著卡車行駛速率的增加裝船作業時間隨之減少，但縮短的幅度呈現邊際遞減狀態。

相反的，卡車行駛速率降低，對於裝船作業所需時間呈現邊際遞增狀態，如果該貨櫃場車道數不足，當進行貨櫃裝船作業的卡車數量一多，可能造成交通擁擠現象，使的整體卡車運行速率降低，進而增加貨櫃裝船之作業時間。

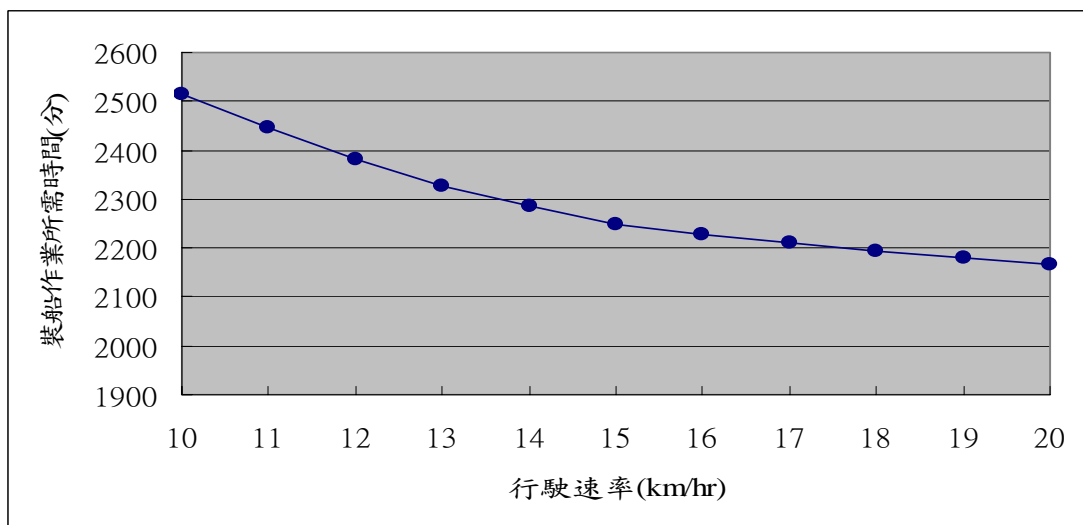


圖 4-5 車速與裝船時間

4.2.4 門型機作業效率分析

探討門型機處櫃效率對於貨櫃裝船作業有何種影響，對此，將門型機處櫃速率及卡車數量作變動，而原問題其他參數維持不變，將其結果繪製成下圖 4-6，在圖 4-6 中探討當門型機每小時平均作業櫃量分別為 30、33、36 櫃時，以及卡車數量由 10 輛增為 27 輛時，對裝船作業時間有何影響。

當卡車數量固定時，門型機處櫃速率加快，裝船作業時間會減少，當門型機處櫃速率不變時，卡車數量增加至極限數量時，再增加卡車則無法縮短裝船作業時間。

當門型機處櫃速率降低，極限卡車數量也會隨之減少，亦即當門型機作業效率降低時，所能派遣的卡車數量也會減少，所以當門型機作業效率不彰，連帶使所能指派的卡車數量減少，對裝船作業而言，有雙重程度的影響。

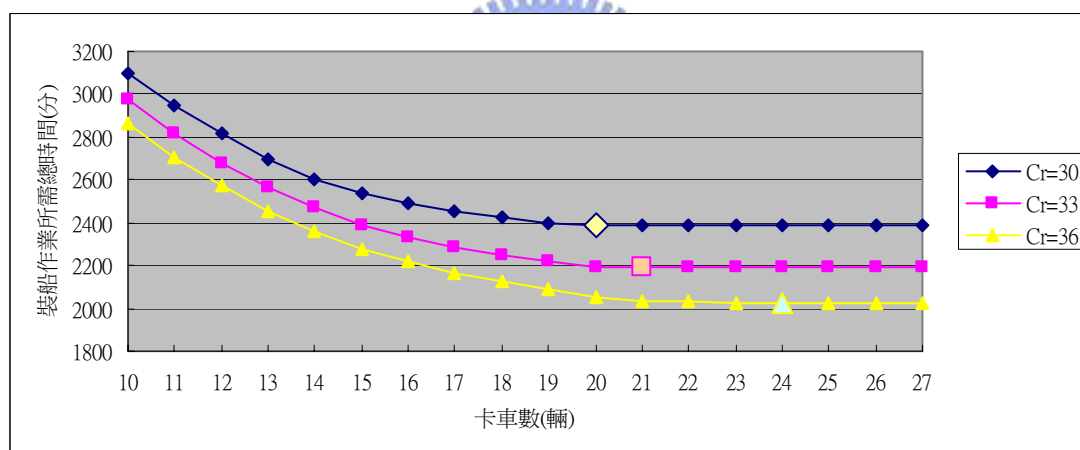


圖 4-6 門型機作業效率分析一

下圖 4-7 在針對該貨櫃場所配置的車隊數（分別有 5、10、15、20 輛），進行門型機吊櫃速率對裝船時間之影響，在圖 4-9 中 x 軸代表門型機作業速率，其單位為 TEU/hr，而 y 軸是以門型機作業速率 25TEU/hr 為基準，當門型機作業速率增加時能對整體裝船作業時間縮短的程度。

由此圖可知，不管該貨櫃場配置多少輛的卡車，門型機作業效率增加對縮短裝船時間呈現邊際遞減的情形。

此外，當車隊數越多，對門型機作業速率變動越敏感，亦即當進行處櫃作業

的卡車數量越多時，門型機作業效率每變動一單位，對裝船時間影響程度越大。

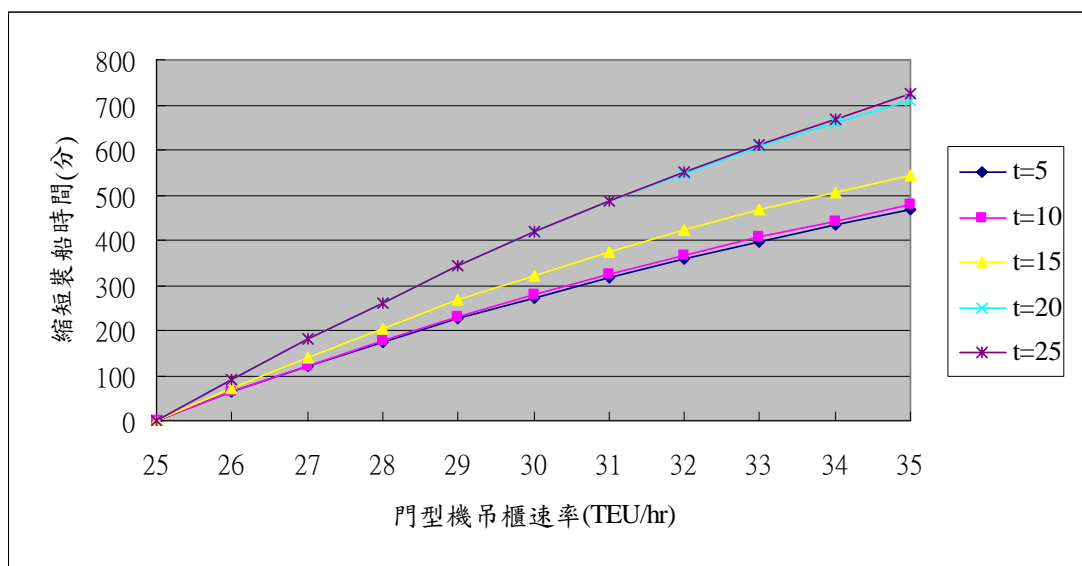


圖 4-7 門型機作業效率分析二

4.3 實例分析

資料來源為萬海航運股份有限公司 (WAN HAI LINES LTD.) 台中貨櫃場民國 93 年整年度出口貨櫃資料，該貨櫃場設置三個軌道門型機作業儲區，每一貨櫃儲區皆配置兩架軌道式門型起重機 (RMGC)，而此三個貨櫃儲區之最大容量分別為 2400、2400、2400 標準櫃 (TEUS)，該貨櫃擁有 18 輛船邊作業卡車

(trucks)，該卡車主要用於將貨櫃 (container) 自貨櫃儲區運送至岸邊給與橋式起重機 (QC) 進行貨櫃裝船作業，且該貨櫃場規定每一位駕駛者最高行駛速率不超過 15 公里/小時，萬海航運公司向台中港務局租用第 34 號碼頭及第 35 號碼頭，因此該貨櫃場共有兩個船席 (berths) 給與貨櫃船靠港進行貨櫃裝卸，該貨櫃場內卡車移動有路線規範，對此三個貨櫃儲區與兩個船席之相對移動距離分別為 {500,500}、{550,550}、{600,600} 公尺。為將資料符合模式所假定的情況，將此三個貨櫃儲區切成六個，亦即使每一儲區內只配置一架軌道式門型起重機，此外萬海航運公司將距離船席較遠之貨櫃儲區容量一半用來堆放空櫃，因此該貨櫃場的軌道門型機作業儲區會有五個用來堆放重櫃，儲區內貨櫃堆儲高度如果越高期望翻櫃次數也會增加，因此用來堆放出口貨櫃的容量以總量的 75% 來運用，將上述問題資料整理如下表：

表 4-5 資料分析參數值

貨櫃儲區	1	2	3	4	5	
容量	900	900	900	900	900	標準櫃
船席 1	500	500	550	550	600	公尺
船席 2	500	500	550	550	600	公尺
卡車數量	18					輛
行駛速率	15					公里/小時

萬海台中貨櫃場於民國 93 年度共計有 1001 艘貨櫃船靠港進行貨櫃裝卸，下圖 4-8 即是對這 1001 艘貨櫃船進行規劃求解時每一艘貨櫃船所花的計算時間(單位：秒)，由圖 4-8 可看出求解時間大都介於 27 秒至 28 秒間，且求解時間最常不超過 30 秒，遠低於貨櫃船到港之時間間距，因此不會發生貨櫃船已到港而程式尚未求解出結果之狀況。此外，因為求解所花費時間相對於貨櫃船到港時間間距極短，所以在貨櫃船尚未到港前，可視個別需要，進行處櫃機具或是貨櫃儲放儲位之微調工作。

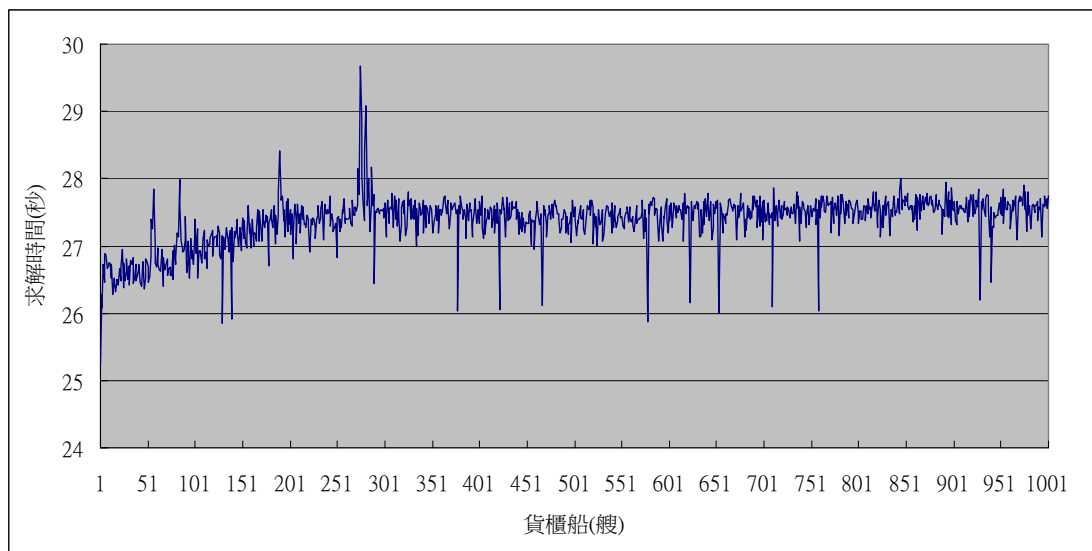


圖 4-8 實例求解時間

進一步將每一艘貨櫃船求解之作業時間與實際運作做比較，繪製成下圖

4-9，其中 y 軸代表每一艘貨櫃船經由程式求解之結果與實際運作完成裝船所需時間之差距，正值代表實際運作時貨櫃船完成裝船作業所需時間比程式求解出之結果快，反之負值代表程式求解之結果比實際運作快，在圖 4-9 中，y 軸之值多數座落在 0 以下，代表在整體運作下，模式確實能縮短貨櫃裝船所需時間。

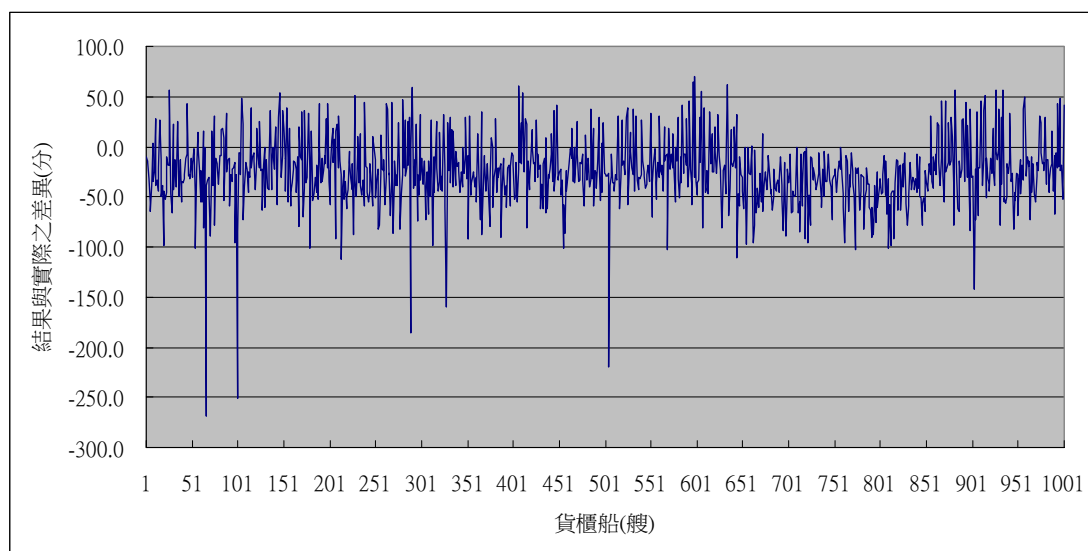


圖 4-9 求解結果與實際比較圖

將整年度出口貨櫃裝船所花之時間區分成 12 個月，如下表 4-6 (單位：分)，看模式在貨櫃裝船時間上能對實際運作改善多少程度，在 93 年度整體運作上可改善 17%。

表 4-6 實例分析改善結果

	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	TTL
求解結果	11002	11425	11035	11087	10465	9544	10499	10299	10774	11528	10064	8963	126683
實際運作	13377	13226	13137	13135	12672	11612	11629	12601	13751	15116	11188	10423	151870
改善	18%	14%	16%	16%	17%	18%	10%	18%	22%	24%	10%	14%	17%

第五章、結論與後續研究之建議

5.1 結論


1. 本研究針對貨櫃堆儲區位問題作探討，建構相對應的線性規劃模式，以決定出口貨櫃應堆儲於哪一區位，並在該貨櫃場現有的車隊數內，每一儲區應指派多少的卡車，目標式為儲區間作業量盡量均衡，考量到區間卡車數量、儲區與船席之距離及儲區可用容量等三部分對於目標值的影響，並以 Mathematica5.0 數學規劃軟體撰寫求解程式，經由案例分析，說明該數學模式及求解程式能於數秒鐘內即求得最佳解，並確實能改善貨櫃場內作業不均程度，對於貨櫃場進行貨櫃堆儲或整櫃規劃時，能提供予相關作業人員之參考依據。
2. 儲區容量如越不平均，當貨櫃進儲時，容量較小的那一貨櫃儲區很容易就滿儲，放不下的貨櫃就必須轉儲至其他尚還有容量的儲區，造成容量大的儲區放置較多的貨櫃，進而在貨櫃裝船作業時，造成門型機作業量不均，引發作業瓶頸。因此在規劃儲區大小時，應朝向每一貨櫃儲區容量大小一致來規劃，如加入門型機數量因素的話，則應朝單位面積的貨櫃儲區配置相同數量的門型機，亦即在相同長度的貨櫃儲區內應配置相同數量的門型起重機。
3. 收貨期越長，貨主可以越早將貨櫃運至櫃場儲放，代表越多非當日要出口的貨櫃儲放於貨櫃儲區內，儲區容量被非當日出口的貨櫃佔用的程度越明顯，而出口貨櫃必須裝船完才能將佔用的儲區容量釋放，導致收貨期越長，儲區可用容量越小，雖然收貨期越長越能吸引貨主，但必須依照整體海運業運量大小來訂定收貨期的長短。
4. 每增加一輛區間卡車對於裝船作業完成時間呈現遞減現象，且到達極限車隊數時，再增加卡車數量並不能縮短裝船作業所需時間。對此，貨櫃航商可以依照該貨櫃船作業量之大小來調配卡車數量，並考量派遣卡車之成本，以達到單位卡車生產量最大。
5. 門型機作業效率不僅影響到裝船作業時間，也會影響所能指派的卡車數量，假使門型機作業效率降低，連帶使卡車派遣上限減少，對裝船作業有雙重影響。

5.2 建議

1. 關於卡車指派數量一項，本研究中只考量如何在現有的車隊數中去分派卡車至每一儲區進行作業，該儲區之作業完成之後即閒置，而實際上，當發生儲區作業不均時，被分派至作業量較少之儲區的卡車理當完成該儲區之作業後，即可再被派至尚未完成裝船作業之儲區協助進行作業，建議當儲區發生作業不均時，應再考量被指派至工作量較小的卡車，於作業完成之後可再被利用去協助其他儲區或進行其他項的工作。
2. 因貨櫃場站設有貨櫃收貨期，在求解貨櫃應儲放於哪一貨櫃儲區時，應當在收貨期內運至櫃場之貨櫃皆要去決定該些貨櫃的儲放區位，而本研究之模式只對單一貨櫃船進行求解，建議可將模式規模加大，共詳細地描述每一天每一時段運至櫃場的貨櫃之堆儲區位。

5.3 後續研究建議

- 1、將橋式機納入考量。



當貨櫃要裝載至貨櫃船上時，必須仰賴橋式機始能完成，因此橋式機對於貨櫃裝船進行速率有相當大的影響，貨櫃船型的大小及該貨櫃船於上一貨櫃港如何裝艙都將影響到橋式機所能指派的數量，而橋式機指派數量多寡深深影響到裝船所需時間，以上純屬於碼頭岸邊。如再考量儲區面，必須探討以橋式機的處櫃速率是否能因應從儲區運送來的貨櫃數量，當橋式機的處櫃速率大於卡車運來之貨櫃量，則橋式機產生等候現象；相反的，如果橋式基處櫃速率不及卡車運送來的貨櫃量，則造成卡車等候現象，當卡車等候橋式機作業，儲區面就沒有足夠的卡車來運送貨櫃，連帶影響到裝船作業效率，因此後續研究可將橋式機納入考量，而考量方向，可朝判斷儲區面在單位時間能運送多少的貨櫃數量至岸邊，而橋是基在其所設計的處櫃速率下應派遣多少架，並考量卡車至儲區運送貨櫃來時是否造成等候現象，橋式機與門型機兩方面的權衡下去決定應將貨櫃儲放置哪一貨櫃儲區。

- 2、進一步探討儲位問題。

當出口貨櫃進場儲放時，不僅要考量該貨櫃應堆放於哪一儲區，還要進一步依照該貨櫃的屬性，來決定該貨櫃要儲放於該儲區的哪一儲位，而貨櫃屬性包含

該貨櫃的目的港、重量等等，所以，後續研究可以針對每一貨櫃應進儲的貨櫃數量、再進一步研究該些貨櫃應放至於該儲區的哪些儲位、使門型機在進行貨櫃吊卸作業時翻櫃次數最少及不必要之移動距離最短。

3、卡車之影響。

當進行處櫃的卡車數量增加，有助於縮短裝船作業時間，但隨著卡車數量增加至一定程度，貨櫃場站內可能會發生卡車擁擠或等候的情況，間接影響到卡車行駛速率，造成貨櫃於櫃場內之運輸時間增加，反到使貨櫃裝船時間延長，因此後續可考量卡車數輛增加時對卡車行駛速率的影響，能更加詳盡的描述卡車這項處櫃機具對裝船作業之影響。



參考文獻

1. 王丘明,「港埠管理」,二版,華泰書局,民國 91 年。
2. 林光,「海運學」,五版,華泰書局,民國 92 年。
3. 洪維恩,「數學運算大師 Mathematica 4.0」,基峰資訊,民國 90 年。
4. 高傳凱,「貨櫃儲存場堆積策略模擬與儲位指派模式構建」,國立交通大學交通運輸研究所博士論文,民國 92 年。
5. 趙時樑,「出口儲區門型起重機取櫃問題之研究」,國立成功大學交通管理科學研究所博士論文,民國 92 年。
6. Chen, C.-Y., Hsieh, T.-W., 1999. "A time-space network model for the berth allocation problem." The 19th IFIP TC7 Conference on System Modeling and Optimization. Cambridge, UK, July.
7. Daganzo, C.F., 1989. "The crane scheduling problem." Transportation Research B 23 (3), 159-175.
8. Daganzo, C.F., 1990. "Crane productivity and ship delay in ports." Transportation Research Record 1251, 1-9.
9. Imai, A., Nagaiwa, K., Tat, C.W., 1997. "Efficient planning of berth allocation for container terminals in Asia." Journal of Advanced Transportation 31 (1), 75-94
10. Kozan, E., 2000. "Optimizing transfers at multimodal terminals." Mathematical and Computer Modeling 31, 235-243.
11. Kim, K.Y., Kim, K.H., 1997. "A routing algorithm for a single transfer crane to load export containers onto a containership." Computers and Industrial Engineering Vol. 33, 673-676.
12. Kim, K.Y., Park Y.M., Ryu, K.R., 2000. "Deriving decision rules to locate export containers in container yards." European Journal of Operational Research 124, 89-101.
13. Lai, K.K., Shih, K., 1992. "A study of container berth allocation." Journal of Advanced Transportation 26 (1), 45-60.
14. Roll, Y., Rosenblatt, M.J., 1983. "Random versus grouped storage policies and their effect on warehouse capacity." Material Flow 1, 199-205.

15. Teleb-Ibrahimi, M., De Castilho, B., Daganzo, C.F., 1993. "Storage space vs. handling work in container terminals." *Transportation Research B* 12/1, 13-32.
16. Zhang, C., Liu, J., Wan, Y.-W., Murty, K.G., 2003. "Storage space allocation in container terminals." *Transportation Research B* 37, 883-903.
17. Zhang, C., Wan, Y.-W., Liu, J., Linn, R.J., 2002. "Dynamic crane deployment in container storage yards." *Transportation Research B* 36, 537-555.



附錄 求解程式碼

```

day = 7;
s = 10;
its = 18;
Array[vol, 5];
cap = Array[capacity, {5, 24, s}];
Array[obj, s];
Array[constrain, s];
cons = Array[st, {s, 22}];
Array[recons, s];
Array[var, {s, 14}];
Array[b, s];
Array[t, s];
Array[v, s];
Array[V, s];
Array[d, s];
Array[cpu, s];
Array[time, {5, 2}];
it = Array[truck, {5, 2}];
ctn20 = Array[L, {5, 2, 24, s}];
ctn40 = Array[L40, {5, 2, 24, s}];
Array[A, s];
Array[B, s];
Array[Lp, s];
Array[LLp, s];
Array[Ob, 2];
tq = 60 / 33;
tr = 60 / 33;
speed = 250;
{vol[1], vol[2], vol[3], vol[4], vol[5]} = {500, 700, 600, 800, 400}; dist = {{400, 400}, {400, 400}, {450, 450}, {450, 450}, {500, 500}};
{{b[1], t[1], d[1], v[1], V[1]}, {b[2], t[2], d[2], v[2], V[2]}, {b[3], t[3], d[3], v[3], V[3]}, {b[4], t[4], d[4], v[4], V[4]},
{b[5], t[5], d[5], v[5], V[5]}, {b[6], t[6], d[6], v[6], V[6]}, {b[7], t[7], d[7], v[7], V[7]}, {b[8], t[8], d[8], v[8], V[8]},
{b[9], t[9], d[9], v[9], V[9]}, {b[10], t[10], d[10], v[10], V[10]}, {b[11], t[11], d[11], v[11], V[11]},
{b[12], t[12], d[12], v[12], V[12]}, {b[13], t[13], d[13], v[13], V[13]}, {b[14], t[14], d[14], v[14], V[14]},
{b[15], t[15], d[15], v[15], V[15]}, {b[16], t[16], d[16], v[16], V[16]}, {b[17], t[17], d[17], v[17], V[17]},
{b[18], t[18], d[18], v[18], V[18]}, {b[19], t[19], d[19], v[19], V[19]}, {b[20], t[20], d[20], v[20], V[20]}} =
{{1, 6, 1, 300, 50}, {2, 10, 2, 200, 100}, {1, 20, 2, 100, 50}, {2, 8, 3, 500, 100}, {2, 13, 4, 200, 50},
{1, 17, 4, 50, 200}, {2, 4, 5, 100, 100}, {1, 15, 5, 300, 100}, {1, 10, 6, 200, 150}, {2, 14, 7, 250, 100},
{1, 8, 8, 50, 50}, {2, 11, 9, 100, 200}, {1, 17, 9, 400, 50}, {2, 15, 10, 100, 150}, {1, 9, 11, 200, 100},
{2, 16, 11, 150, 100}, {1, 7, 12, 300, 100}, {2, 13, 12, 50, 100}, {1, 1, 13, 150, 50}, {1, 12, 14, 100, 200}};
Do[obj[i] = Sum[A[i] - B[i]], {i, 1, s}];
Do[st[i, 6] = Sum[ctn20[[j, b[i], t[i], d[i]]], {j, 1, 5}] == v[i], {i, 1, s}];
Do[st[i, 7] = Sum[ctn40[[j, b[i], t[i], d[i]]], {j, 1, 5}] == V[i], {i, 1, s}];
Do[st[i, 8] = ctn20[[1, b[i], t[i], d[i]]] ≥ 0 && ctn20[[2, b[i], t[i], d[i]]] ≥ 0 && ctn20[[3, b[i], t[i], d[i]]] ≥ 0 &&
ctn20[[4, b[i], t[i], d[i]]] ≥ 0 && ctn20[[5, b[i], t[i], d[i]]] ≥ 0 && ctn40[[1, b[i], t[i], d[i]]] ≥ 0 && ctn40[[2, b[i], t[i], d[i]]] ≥ 0 &&
ctn40[[3, b[i], t[i], d[i]]] ≥ 0 && ctn40[[4, b[i], t[i], d[i]]] ≥ 0 && ctn40[[5, b[i], t[i], d[i]]] ≥ 0 && A[i] >= 0 && B[i] >= 0, {i, 1, s}];
Do[st[i, 19] = ctn20[[1, b[i], t[i], d[i]]] ∈ Integers && ctn20[[2, b[i], t[i], d[i]]] ∈ Integers &&
ctn20[[3, b[i], t[i], d[i]]] ∈ Integers && ctn20[[4, b[i], t[i], d[i]]] ∈ Integers && ctn20[[5, b[i], t[i], d[i]]] ∈ Integers &&
ctn40[[1, b[i], t[i], d[i]]] ∈ Integers && ctn40[[2, b[i], t[i], d[i]]] ∈ Integers && ctn40[[3, b[i], t[i], d[i]]] ∈ Integers &&
ctn40[[4, b[i], t[i], d[i]]] ∈ Integers && ctn40[[5, b[i], t[i], d[i]]] ∈ Integers, {i, 1, s}];
Do[var[i, 1] = ctn20[[1, b[i], t[i], d[i]]], {i, 1, s}];
Do[var[i, 2] = ctn20[[2, b[i], t[i], d[i]]], {i, 1, s}];
Do[var[i, 3] = ctn20[[3, b[i], t[i], d[i]]], {i, 1, s}];
Do[var[i, 4] = ctn20[[4, b[i], t[i], d[i]]], {i, 1, s}];
Do[var[i, 5] = ctn20[[5, b[i], t[i], d[i]]], {i, 1, s}];
Do[var[i, 6] = ctn40[[1, b[i], t[i], d[i]]], {i, 1, s}];
Do[var[i, 7] = ctn40[[2, b[i], t[i], d[i]]], {i, 1, s}];
Do[var[i, 8] = ctn40[[3, b[i], t[i], d[i]]], {i, 1, s}];
Do[var[i, 9] = ctn40[[4, b[i], t[i], d[i]]], {i, 1, s}];
Do[var[i, 10] = ctn40[[5, b[i], t[i], d[i]]], {i, 1, s}];
Do[var[i, 11] = A[i], {i, 1, s}];
Do[var[i, 12] = B[i], {i, 1, s}];
For[i = 1, i ≤ 1, i++,

```

```

cpu[i] = Timing[For[j = 1, 0 <= d[j + i] - d[i] <= day - 1, j++, Do[n = j]]];
For[j = 1, j <= 5, j++,
Do[cap[[j, t[i], d[i]]] = Max[vol[j] - Round[Sum[ $\left\{\frac{1}{\text{days} + i} (\text{day} + 24 - ((d[i + k] - d[i]) + 24 + t[i + k] - t[i]))\right\} * (1 / \text{dist}[[j, b[i + k]]]) /$ 
Sum[1 / dist[[m, b[i + k]]], {m, 1, 5}] + (v[i + k] + 2V[i + k]), {k, 1, n}]]], 0]]; Print[cap[[j, t[i], d[i]]]]; Print[n];
For[ttl = 1, ttl <= Min[its - 4,  $\frac{\text{tr} + 2 (\text{dist}[[1, b[i]]] / \text{speed}) + \text{tq}}{\text{tr}} + 1$ ], ttl++,
For[tt2 = 1, tt2 <= Min[its - ttl - 3,  $\frac{\text{tr} + 2 (\text{dist}[[2, b[i]]] / \text{speed}) + \text{tq}}{\text{tr}} + 1$ ], tt2++,
For[tt3 = 1, tt3 <= Min[its - ttl - tt2 - 2,  $\frac{\text{tr} + 2 (\text{dist}[[3, b[i]]] / \text{speed}) + \text{tq}}{\text{tr}} + 1$ ], tt3++,
For[tt4 = 1, tt4 <= Min[its - ttl - tt2 - 1,  $\frac{1}{\text{tr}} (\text{tr} + 2 (\text{dist}[[4, b[i]]] / \text{speed}) + \text{tq}) + 1$ ], tt4++,
For[tt5 = 1, tt5 <= Min[its - ttl - tt2 - tt3 - tt4,  $\frac{1}{\text{tr}} (\text{tr} + 2 (\text{dist}[[5, b[i]]] / \text{speed}) + \text{tq}) + 1$ ], tt5++,
Do[If[ttl >  $\frac{1}{\text{tr}} (\text{tr} + 2 (\text{dist}[[1, b[i]]] / \text{speed}) + \text{tq})$ , t1 =  $\frac{1}{\text{tr}} (\text{tr} + 2 (\text{dist}[[1, b[i]]] / \text{speed}) + \text{tq})$ , t1 = ttl]];
Do[If[tt2 >  $\frac{1}{\text{tr}} (\text{tr} + 2 (\text{dist}[[2, b[i]]] / \text{speed}) + \text{tq})$ , t2 =  $\frac{1}{\text{tr}} (\text{tr} + 2 (\text{dist}[[2, b[i]]] / \text{speed}) + \text{tq})$ , t2 = tt2]];
Do[If[tt3 >  $\frac{1}{\text{tr}} (\text{tr} + 2 (\text{dist}[[3, b[i]]] / \text{speed}) + \text{tq})$ , t3 =  $\frac{1}{\text{tr}} (\text{tr} + 2 (\text{dist}[[3, b[i]]] / \text{speed}) + \text{tq})$ , t3 = tt3]];
Do[If[tt4 >  $\frac{1}{\text{tr}} (\text{tr} + 2 (\text{dist}[[4, b[i]]] / \text{speed}) + \text{tq})$ , t4 =  $\frac{1}{\text{tr}} (\text{tr} + 2 (\text{dist}[[4, b[i]]] / \text{speed}) + \text{tq})$ , t4 = tt4]];
Do[If[tt5 >  $\frac{1}{\text{tr}} (\text{tr} + 2 (\text{dist}[[5, b[i]]] / \text{speed}) + \text{tq})$ , t5 =  $\frac{1}{\text{tr}} (\text{tr} + 2 (\text{dist}[[5, b[i]]] / \text{speed}) + \text{tq})$ , t5 = tt5]];
Do[hh = NMinimize[{obj[i],
ctn20[[1, b[i], t[i], d[i]]] + 2 ctn40[[1, b[i], t[i], d[i]]] <= cap[[1, t[i], d[i]]],
ctn20[[2, b[i], t[i], d[i]]] + 2 ctn40[[2, b[i], t[i], d[i]]] <= cap[[2, t[i], d[i]]],
ctn20[[3, b[i], t[i], d[i]]] + 2 ctn40[[3, b[i], t[i], d[i]]] <= cap[[3, t[i], d[i]]],
ctn20[[4, b[i], t[i], d[i]]] + 2 ctn40[[4, b[i], t[i], d[i]]] <= cap[[4, t[i], d[i]]],
ctn20[[5, b[i], t[i], d[i]]] + 2 ctn40[[5, b[i], t[i], d[i]]] <= cap[[5, t[i], d[i]]],
st[i, 6],
st[i, 7],
st[i, 8],
A[i] >=  $\frac{1}{\text{ct1}} (\text{tq} + (2 \text{dist}[[1, b[i]]] / \text{speed}) + \text{tr} + \text{t1}) * (\text{ctn20}[[1, b[i], t[i], d[i]]] + \text{ctn40}[[1, b[i], t[i], d[i]]])$ ,
A[i] >=  $\frac{1}{\text{ct2}} (\text{tq} + (2 \text{dist}[[2, b[i]]] / \text{speed}) + \text{tr} + \text{t2}) * (\text{ctn20}[[2, b[i], t[i], d[i]]] + \text{ctn40}[[2, b[i], t[i], d[i]]])$ ,
A[i] >=  $\frac{1}{\text{ct3}} (\text{tq} + (2 \text{dist}[[3, b[i]]] / \text{speed}) + \text{tr} + \text{t3}) * (\text{ctn20}[[3, b[i], t[i], d[i]]] + \text{ctn40}[[3, b[i], t[i], d[i]]])$ ,
A[i] >=  $\frac{1}{\text{ct4}} (\text{tq} + (2 \text{dist}[[4, b[i]]] / \text{speed}) + \text{tr} + \text{t4}) * (\text{ctn20}[[4, b[i], t[i], d[i]]] + \text{ctn40}[[4, b[i], t[i], d[i]]])$ ,
A[i] >=  $\frac{1}{\text{ct5}} (\text{tq} + (2 \text{dist}[[5, b[i]]] / \text{speed}) + \text{tr} + \text{t5}) * (\text{ctn20}[[5, b[i], t[i], d[i]]] + \text{ctn40}[[5, b[i], t[i], d[i]]])$ ,
B[i] <=  $\frac{1}{\text{ct1}} (\text{tq} + (2 \text{dist}[[1, b[i]]] / \text{speed}) + \text{tr} + \text{t1}) * (\text{ctn20}[[1, b[i], t[i], d[i]]] + \text{ctn40}[[1, b[i], t[i], d[i]]])$ ,
B[i] <=  $\frac{1}{\text{ct2}} (\text{tq} + (2 \text{dist}[[2, b[i]]] / \text{speed}) + \text{tr} + \text{t2}) * (\text{ctn20}[[2, b[i], t[i], d[i]]] + \text{ctn40}[[2, b[i], t[i], d[i]]])$ ,
B[i] <=  $\frac{1}{\text{ct3}} (\text{tq} + (2 \text{dist}[[3, b[i]]] / \text{speed}) + \text{tr} + \text{t3}) * (\text{ctn20}[[3, b[i], t[i], d[i]]] + \text{ctn40}[[3, b[i], t[i], d[i]]])$ ,
B[i] <=  $\frac{1}{\text{ct4}} (\text{tq} + (2 \text{dist}[[4, b[i]]] / \text{speed}) + \text{tr} + \text{t4}) * (\text{ctn20}[[4, b[i], t[i], d[i]]] + \text{ctn40}[[4, b[i], t[i], d[i]]])$ ,
B[i] <=  $\frac{1}{\text{ct5}} (\text{tq} + (2 \text{dist}[[5, b[i]]] / \text{speed}) + \text{tr} + \text{t5}) * (\text{ctn20}[[5, b[i], t[i], d[i]]] + \text{ctn40}[[5, b[i], t[i], d[i]]])$ ,
{var[i, 1],
var[i, 2],
var[i, 3],
var[i, 4],
var[i, 5],
var[i, 6],
var[i, 7],
var[i, 8],
var[i, 9],
var[i, 10],
var[i, 11],
var[i, 12]}]];
AppendTo[hh, {t1, t2, t3, t4, t5}];
Do[If[hh[[2, 1, 2]] <= Lp[i][[2, 1, 2]], Lp[i] = hh, Lp[i] = Lp[i], Lp[i] = hh]]];
Do[{t1, t2, t3, t4, t5} = {Lp[i][[3, 1]], Lp[i][[3, 2]], Lp[i][[3, 3]], Lp[i][[3, 4]], Lp[i][[3, 5]]}];
Do[ILp[i] = NMinimize[{obj[i],
ctn20[[1, b[i], t[i], d[i]]] + 2 ctn40[[1, b[i], t[i], d[i]]] <= cap[[1, t[i], d[i]]],
ctn20[[2, b[i], t[i], d[i]]] + 2 ctn40[[2, b[i], t[i], d[i]]] <= cap[[2, t[i], d[i]]],
ctn20[[3, b[i], t[i], d[i]]] + 2 ctn40[[3, b[i], t[i], d[i]]] <= cap[[3, t[i], d[i]]],
ctn20[[4, b[i], t[i], d[i]]] + 2 ctn40[[4, b[i], t[i], d[i]]] <= cap[[4, t[i], d[i]]],
ctn20[[5, b[i], t[i], d[i]]] + 2 ctn40[[5, b[i], t[i], d[i]]] <= cap[[5, t[i], d[i]]],
st[i, 6],
st[i, 7],
st[i, 8],

```

```

A[i] ≥  $\frac{1}{v_1}$ (tq + (2 dist[[1, b[i]]] / speed) + tr + t1) + (ctn20[[1, b[i], t[i], d[i]]] + ctn40[[1, b[i], t[i], d[i]]]),
A[i] ≥  $\frac{1}{v_2}$ (tq + (2 dist[[2, b[i]]] / speed) + tr + t2) + (ctn20[[2, b[i], t[i], d[i]]] + ctn40[[2, b[i], t[i], d[i]]]),
A[i] ≥  $\frac{1}{v_3}$ (tq + (2 dist[[3, b[i]]] / speed) + tr + t3) + (ctn20[[3, b[i], t[i], d[i]]] + ctn40[[3, b[i], t[i], d[i]]]),
A[i] ≥  $\frac{1}{v_4}$ (tq + (2 dist[[4, b[i]]] / speed) + tr + t4) + (ctn20[[4, b[i], t[i], d[i]]] + ctn40[[4, b[i], t[i], d[i]]]),
A[i] ≥  $\frac{1}{v_5}$ (tq + (2 dist[[5, b[i]]] / speed) + tr + t5) + (ctn20[[5, b[i], t[i], d[i]]] + ctn40[[5, b[i], t[i], d[i]]]),
B[i] ≥  $\frac{1}{v_1}$ (tq + (2 dist[[1, b[i]]] / speed) + tr + t1) + (ctn20[[1, b[i], t[i], d[i]]] + ctn40[[1, b[i], t[i], d[i]]]),
B[i] ≥  $\frac{1}{v_2}$ (tq + (2 dist[[2, b[i]]] / speed) + tr + t2) + (ctn20[[2, b[i], t[i], d[i]]] + ctn40[[2, b[i], t[i], d[i]]]),
B[i] ≥  $\frac{1}{v_3}$ (tq + (2 dist[[3, b[i]]] / speed) + tr + t3) + (ctn20[[3, b[i], t[i], d[i]]] + ctn40[[3, b[i], t[i], d[i]]]),
B[i] ≥  $\frac{1}{v_4}$ (tq + (2 dist[[4, b[i]]] / speed) + tr + t4) + (ctn20[[4, b[i], t[i], d[i]]] + ctn40[[4, b[i], t[i], d[i]]]),
B[i] ≥  $\frac{1}{v_5}$ (tq + (2 dist[[5, b[i]]] / speed) + tr + t5) + (ctn20[[5, b[i], t[i], d[i]]] + ctn40[[5, b[i], t[i], d[i]]]),
st[i, 19]],
{{var[i, 1], IntegerPart[Lp[i][[2, 3, 2]]] - 1, IntegerPart[Lp[i][[2, 3, 2]]] + 1},
{var[i, 2], IntegerPart[Lp[i][[2, 4, 2]]] - 1, IntegerPart[Lp[i][[2, 4, 2]]] + 1},
{var[i, 3], IntegerPart[Lp[i][[2, 5, 2]]] - 1, IntegerPart[Lp[i][[2, 5, 2]]] + 1},
{var[i, 4], IntegerPart[Lp[i][[2, 6, 2]]] - 1, IntegerPart[Lp[i][[2, 6, 2]]] + 1},
{var[i, 5], IntegerPart[Lp[i][[2, 7, 2]]] - 1, IntegerPart[Lp[i][[2, 7, 2]]] + 1},
{var[i, 6], IntegerPart[Lp[i][[2, 8, 2]]] - 1, IntegerPart[Lp[i][[2, 8, 2]]] + 1},
{var[i, 7], IntegerPart[Lp[i][[2, 9, 2]]] - 1, IntegerPart[Lp[i][[2, 9, 2]]] + 1},
{var[i, 8], IntegerPart[Lp[i][[2, 10, 2]]] - 1, IntegerPart[Lp[i][[2, 10, 2]]] + 1},
{var[i, 9], IntegerPart[Lp[i][[2, 11, 2]]] - 1, IntegerPart[Lp[i][[2, 11, 2]]] + 1},
{var[i, 10], IntegerPart[Lp[i][[2, 12, 2]]] - 1, IntegerPart[Lp[i][[2, 12, 2]]] + 1},
{var[i, 11], Lp[i][[2, 1, 2]], Lp[i][[2, 1, 2]] + 10},
{var[i, 12], Lp[i][[2, 2, 2]] - 10, Lp[i][[2, 2, 2]]}}]; AppendTo[ILp[i], {t1, t2, t3, t4, t5}];
Do[Print[ILp[i]]]; Do[Print[cpu[i][[1]]]];
For[i = 2, i ≤ s, i++,
cpu[i] = Timing[For[j = 1, 0 ≤ d[j + i] - d[i] ≤ day - 1, j++, Do[n = j];
For[j = 1, j ≤ 5, j++,
If[ILp[i - 1][[2, 1, 2]] / 60 ≤ (d[i] - d[i - 1]) + 24 + t[i] - t[i - 1],
Do[cap[[j, t[i], d[i]]] = Max[vol[j] - Round[Sum[ $\left(\frac{1}{day+24} (day+24 - ((d[i+k] - d[i]) + 24 + t[i+k] - t[i]))\right) * (1 / dist[[j, b[i+k]]] / Sum[1 / dist[[m, b[i+k]]], \{m, 1, 5\}) * (v[i+k] + 2V[i+k]), \{k, 1, n\}]\right], 0]],
Do[cap[[j, t[i], d[i]]] = Max[vol[j] - ILp[i - 1][[2, j + 2, 2]] - 2 + ILp[i - 1][[2, j + 7, 2]] - Round[Sum[ $\left(\frac{1}{day+24} (day+24 - ((d[i+k] - d[i]) + 24 + t[i+k] - t[i]))\right) * (1 / dist[[j, b[i+k]]] / Sum[1 / dist[[m, b[i+k]]], \{m, 1, 5\}) * (v[i+k] + 2V[i+k]), \{k, 1, n\}]\right], 0]]]; Print[cap[[j, t[i], d[i]]]]; Print[n];
For[tt1 = 1, tt1 ≤ Min[its - 4,  $\frac{v_1 + 2 (dist[[1, b[i]]] / speed) + tq}{v_1} + 1]$ , tt1++,
For[tt2 = 1, tt2 ≤ Min[its - tt1 - 3,  $\frac{v_2 + 2 (dist[[2, b[i]]] / speed) + tq}{v_2} + 1]$ , tt2++,
For[tt3 = 1, tt3 ≤ Min[its - tt1 - tt2 - 2,  $\frac{v_3 + 2 (dist[[3, b[i]]] / speed) + tq}{v_3} + 1]$ , tt3++,
For[tt4 = 1, tt4 ≤ Min[its - tt1 - tt2 - 1,  $\frac{1}{v_4} (tr + 2 (dist[[4, b[i]]] / speed) + tq) + 1]$ , tt4++,
For[tt5 = 1, tt5 ≤ Min[its - tt1 - tt2 - tt3 - tt4,  $\frac{1}{v_5} (tr + 2 (dist[[5, b[i]]] / speed) + tq) + 1]$ , tt5++,
Do[If[tt1 >  $\frac{1}{v_1} (tr + 2 (dist[[1, b[i]]] / speed) + tq)$ , t1 =  $\frac{1}{v_1} (tr + 2 (dist[[1, b[i]]] / speed) + tq)$ , t1 = tt1];
Do[If[tt2 >  $\frac{1}{v_2} (tr + 2 (dist[[2, b[i]]] / speed) + tq)$ , t2 =  $\frac{1}{v_2} (tr + 2 (dist[[2, b[i]]] / speed) + tq)$ , t2 = tt2];
Do[If[tt3 >  $\frac{1}{v_3} (tr + 2 (dist[[3, b[i]]] / speed) + tq)$ , t3 =  $\frac{1}{v_3} (tr + 2 (dist[[3, b[i]]] / speed) + tq)$ , t3 = tt3];
Do[If[tt4 >  $\frac{1}{v_4} (tr + 2 (dist[[4, b[i]]] / speed) + tq)$ , t4 =  $\frac{1}{v_4} (tr + 2 (dist[[4, b[i]]] / speed) + tq)$ , t4 = tt4];
Do[If[tt5 >  $\frac{1}{v_5} (tr + 2 (dist[[5, b[i]]] / speed) + tq)$ , t5 =  $\frac{1}{v_5} (tr + 2 (dist[[5, b[i]]] / speed) + tq)$ , t5 = tt5];
Do[hh = NMinimize[{{obj[i],
ctn20[[1, b[i], t[i], d[i]]] + 2 ctn40[[1, b[i], t[i], d[i]]] ≤ cap[[1, t[i], d[i]]],
ctn20[[2, b[i], t[i], d[i]]] + 2 ctn40[[2, b[i], t[i], d[i]]] ≤ cap[[2, t[i], d[i]]],
ctn20[[3, b[i], t[i], d[i]]] + 2 ctn40[[3, b[i], t[i], d[i]]] ≤ cap[[3, t[i], d[i]]],
ctn20[[4, b[i], t[i], d[i]]] + 2 ctn40[[4, b[i], t[i], d[i]]] ≤ cap[[4, t[i], d[i]]],
ctn20[[5, b[i], t[i], d[i]]] + 2 ctn40[[5, b[i], t[i], d[i]]] ≤ cap[[5, t[i], d[i]]],
st[i, 6],
st[i, 7],
st[i, 8],
A[i] ≥  $\frac{1}{v_1}$ (tq + (2 dist[[1, b[i]]] / speed) + tr + t1) + (ctn20[[1, b[i], t[i], d[i]]] + ctn40[[1, b[i], t[i], d[i]]]),
A[i] ≥  $\frac{1}{v_2}$ (tq + (2 dist[[2, b[i]]] / speed) + tr + t2) + (ctn20[[2, b[i], t[i], d[i]]] + ctn40[[2, b[i], t[i], d[i]]]),
A[i] ≥  $\frac{1}{v_3}$ (tq + (2 dist[[3, b[i]]] / speed) + tr + t3) + (ctn20[[3, b[i], t[i], d[i]]] + ctn40[[3, b[i], t[i], d[i]]]),$$ 
```

```

A[i] ≥  $\frac{1}{t_4}$  (tq + (2 dist[[4, b[i]]] / speed) + tr + t4) * (ctn20[[4, b[i], t[i], d[i]]] + ctn40[[4, b[i], t[i], d[i]]]),
A[i] ≥  $\frac{1}{t_5}$  (tq + (2 dist[[5, b[i]]] / speed) + tr + t5) * (ctn20[[5, b[i], t[i], d[i]]] + ctn40[[5, b[i], t[i], d[i]]]),
B[i] ≤  $\frac{1}{t_1}$  (tq + (2 dist[[1, b[i]]] / speed) + tr + t1) * (ctn20[[1, b[i], t[i], d[i]]] + ctn40[[1, b[i], t[i], d[i]]]),
B[i] ≤  $\frac{1}{t_2}$  (tq + (2 dist[[2, b[i]]] / speed) + tr + t2) * (ctn20[[2, b[i], t[i], d[i]]] + ctn40[[2, b[i], t[i], d[i]]]),
B[i] ≤  $\frac{1}{t_3}$  (tq + (2 dist[[3, b[i]]] / speed) + tr + t3) * (ctn20[[3, b[i], t[i], d[i]]] + ctn40[[3, b[i], t[i], d[i]]]),
B[i] ≤  $\frac{1}{t_4}$  (tq + (2 dist[[4, b[i]]] / speed) + tr + t4) * (ctn20[[4, b[i], t[i], d[i]]] + ctn40[[4, b[i], t[i], d[i]]]),
B[i] ≤  $\frac{1}{t_5}$  (tq + (2 dist[[5, b[i]]] / speed) + tr + t5) * (ctn20[[5, b[i], t[i], d[i]]] + ctn40[[5, b[i], t[i], d[i]]]),

{var[i, 1],
var[i, 2],
var[i, 3],
var[i, 4],
var[i, 5],
var[i, 6],
var[i, 7],
var[i, 8],
var[i, 9],
var[i, 10],
var[i, 11],
var[i, 12]}}];
AppendTo[hh, {t1, t2, t3, t4, t5}];
Do[If[hh[[2, 1, 2]] < Lp[i][[2, 1, 2]], Lp[i] = hh, Lp[i] = Lp[i], Lp[i] = hh]]];
Do[{t1, t2, t3, t4, t5} = {Lp[i][[3, 1]], Lp[i][[3, 2]], Lp[i][[3, 3]], Lp[i][[3, 4]], Lp[i][[3, 5]]};
Do[ILp[i] = NMinimize[{obj[i],
ctn20[[1, b[i], t[i], d[i]]] + 2 ctn40[[1, b[i], t[i], d[i]]] <= cap[[1, t[i], d[i]]],
ctn20[[2, b[i], t[i], d[i]]] + 2 ctn40[[2, b[i], t[i], d[i]]] <= cap[[2, t[i], d[i]]],
ctn20[[3, b[i], t[i], d[i]]] + 2 ctn40[[3, b[i], t[i], d[i]]] <= cap[[3, t[i], d[i]]],
ctn20[[4, b[i], t[i], d[i]]] + 2 ctn40[[4, b[i], t[i], d[i]]] <= cap[[4, t[i], d[i]]],
ctn20[[5, b[i], t[i], d[i]]] + 2 ctn40[[5, b[i], t[i], d[i]]] <= cap[[5, t[i], d[i]]],
st[i, 6],
st[i, 7],
st[i, 8],
A[i] ≥  $\frac{1}{t_1}$  (tq + (2 dist[[1, b[i]]] / speed) + tr + t1) * (ctn20[[1, b[i], t[i], d[i]]] + ctn40[[1, b[i], t[i], d[i]]]),
A[i] ≥  $\frac{1}{t_2}$  (tq + (2 dist[[2, b[i]]] / speed) + tr + t2) * (ctn20[[2, b[i], t[i], d[i]]] + ctn40[[2, b[i], t[i], d[i]]]),
A[i] ≥  $\frac{1}{t_3}$  (tq + (2 dist[[3, b[i]]] / speed) + tr + t3) * (ctn20[[3, b[i], t[i], d[i]]] + ctn40[[3, b[i], t[i], d[i]]]),
A[i] ≥  $\frac{1}{t_4}$  (tq + (2 dist[[4, b[i]]] / speed) + tr + t4) * (ctn20[[4, b[i], t[i], d[i]]] + ctn40[[4, b[i], t[i], d[i]]]),
A[i] ≥  $\frac{1}{t_5}$  (tq + (2 dist[[5, b[i]]] / speed) + tr + t5) * (ctn20[[5, b[i], t[i], d[i]]] + ctn40[[5, b[i], t[i], d[i]]]),
B[i] ≤  $\frac{1}{t_1}$  (tq + (2 dist[[1, b[i]]] / speed) + tr + t1) * (ctn20[[1, b[i], t[i], d[i]]] + ctn40[[1, b[i], t[i], d[i]]]),
B[i] ≤  $\frac{1}{t_2}$  (tq + (2 dist[[2, b[i]]] / speed) + tr + t2) * (ctn20[[2, b[i], t[i], d[i]]] + ctn40[[2, b[i], t[i], d[i]]]),
B[i] ≤  $\frac{1}{t_3}$  (tq + (2 dist[[3, b[i]]] / speed) + tr + t3) * (ctn20[[3, b[i], t[i], d[i]]] + ctn40[[3, b[i], t[i], d[i]]]),
B[i] ≤  $\frac{1}{t_4}$  (tq + (2 dist[[4, b[i]]] / speed) + tr + t4) * (ctn20[[4, b[i], t[i], d[i]]] + ctn40[[4, b[i], t[i], d[i]]]),
B[i] ≤  $\frac{1}{t_5}$  (tq + (2 dist[[5, b[i]]] / speed) + tr + t5) * (ctn20[[5, b[i], t[i], d[i]]] + ctn40[[5, b[i], t[i], d[i]]]),
st[i, 19]},
{{var[i, 1], IntegerPart[Lp[i][[2, 3, 2]]] - 1, IntegerPart[Lp[i][[2, 3, 2]]] + 1},
{var[i, 2], IntegerPart[Lp[i][[2, 4, 2]]] - 1, IntegerPart[Lp[i][[2, 4, 2]]] + 1},
{var[i, 3], IntegerPart[Lp[i][[2, 5, 2]]] - 1, IntegerPart[Lp[i][[2, 5, 2]]] + 1},
{var[i, 4], IntegerPart[Lp[i][[2, 6, 2]]] - 1, IntegerPart[Lp[i][[2, 6, 2]]] + 1},
{var[i, 5], IntegerPart[Lp[i][[2, 7, 2]]] - 1, IntegerPart[Lp[i][[2, 7, 2]]] + 1},
{var[i, 6], IntegerPart[Lp[i][[2, 8, 2]]] - 1, IntegerPart[Lp[i][[2, 8, 2]]] + 1},
{var[i, 7], IntegerPart[Lp[i][[2, 9, 2]]] - 1, IntegerPart[Lp[i][[2, 9, 2]]] + 1},
{var[i, 8], IntegerPart[Lp[i][[2, 10, 2]]] - 1, IntegerPart[Lp[i][[2, 10, 2]]] + 1},
{var[i, 9], IntegerPart[Lp[i][[2, 11, 2]]] - 1, IntegerPart[Lp[i][[2, 11, 2]]] + 1},
{var[i, 10], IntegerPart[Lp[i][[2, 12, 2]]] - 1, IntegerPart[Lp[i][[2, 12, 2]]] + 1},
{var[i, 11], Lp[i][[2, 1, 2]], Lp[i][[2, 1, 2]] + 10},
{var[i, 12], Lp[i][[2, 2, 2]] - 10, Lp[i][[2, 2, 2]]}]; AppendTo[ILp[i], {t1, t2, t3, t4, t5}];
Do[Print[ILp[i]]]; Do[Print[cpu[i][[1]]]]];
For[i = 1, i ≤ s, i++,
Do[Print[TableForm[{{cpu[i][[1]], ILp[i][[1]], ILp[i][[2, 1, 2]], ILp[i][[2, 3, 2]], ILp[i][[2, 4, 2]], ILp[i][[2, 5, 2]], ILp[i][[2, 6, 2]],
ILp[i][[2, 7, 2]], N[ILp[i][[3, 1]]], N[ILp[i][[3, 2]]], N[ILp[i][[3, 3]]], N[ILp[i][[3, 4]]], N[ILp[i][[3, 5]]]},
{, , ILp[i][[2, 8, 2]], ILp[i][[2, 9, 2]], ILp[i][[2, 10, 2]], ILp[i][[2, 11, 2]], ILp[i][[2, 12, 2]]}],
TableHeadings -> {i}, {C.T., I.D., L.T., b1, b2, b3, b4, b5, t1, t2, t3, t4, t5}]]];

```