

貨櫃碼頭岸肩拖車派遣規劃之研究¹

DISPATCHING OF TRUCK TRAILERS IN CONTAINER TERMINAL

盧華安 Hua-An Lu²

鄭景怡 Jing-Yi Jeng³

(93 年 7 月 22 日收稿，93 年 9 月 29 日第一次修改，93 年 11 月 16 日
第二次修改，94 年 3 月 25 日定稿)

摘 要

本研究以專用貨櫃碼頭之營運型態為對象，探討碼頭岸肩與貨櫃堆積場間，載運貨櫃車輛之派遣規劃。在各櫃次之橋式起重機與貨櫃堆積場作業時間已知的前提下，建構一極小極大化之非線性整數規劃模式，並發展符合實務作業之啟發式演算法，解析多部拖車支援單部起重機之規劃作業。其中建議「由近至遠」、「由遠至近」、「一遠一近」、「隨機選取」四種距離原則作為儲區指派策略，除對實例之原始裝卸順序進行解算外，另配合「全卸全裝」、「依艙位序裝卸」與「同時裝卸」的貨櫃船裝卸作業型態，進行不同拖車數之派遣分析。其結果顯示儲區指派原則因案例不同而裝卸效率互異，宜做事先規劃；而作業型態若能在充分配合下，「同時裝卸」方式較能達到縮短作業時間之成效。本研究之成果不僅可預先規劃拖車之指派與完工時間的估算，就長期規劃課題而言，亦能作為機具數量與部署決策之參考。

-
1. 本研究承國科會補助研究經費 (NSC 93-2416-H-019-005)，謹申謝忱。
 2. 國立臺灣海洋大學航運管理學系副教授 (聯絡地址：202 基隆市中正區北寧路 2 號臺灣海洋大學航運管理學系；電話：02-24622192 轉 3431；E-mail：halu@mail.ntou.edu.tw)。
 3. 國立臺灣海洋大學航運管理學系碩士。

關鍵詞：橋式起重機；極小極大化；非線性整數規劃模式；啟發式演算法

ABSTRACT

In this study we analyzed the dispatching problem of truck trailers to support transferring tasks of containers between quay cranes and yard areas of private container terminals. Given the waiting time of crane and yard handling for each task, we formulated a min-max nonlinear integer programming model for multiple track trailers working with one crane. Based on certain operational concepts, a heuristic algorithm is also designed to solve this problem. They include four assignment principles of container storage/pick-up location: shortest-route assignment, furthest-route assignment, shortest and furthest-route mixed assignment, and random assignment, as well as three loading and discharging patterns (i.e., whole discharging plus loading, bay-to-bay, and double cycle operation). We exploited the algorithm to analyze some real-world cases. The results showed that none of the operations worked better in four location assignment principles for different cases, but the double cycle operation was able to obtain a fair performance, if the real environment of container terminal could match the requirement of handling. Our study can provide companies not only the dispatching program of truck trailers and the estimated period of tasks finished but also the required number of deployed truck trailers for a long-term planning.

Key Words: Quay crane; Min-max; Nonlinear integer programming model; Heuristic algorithm

一、前言

貨櫃碼頭作業效率之良窳，左右定期航商選靠與否之決策。近年，受船舶大型化的影響，世界各大港口無不戮力改善港埠環境，積極提升作業效率，增加對外競爭能力。欲提升貨櫃碼頭的裝卸作業效率，不能僅著重岸肩起重機 (quay crane; QC) 之作業效能，更重要的是岸肩載運機具與起重機吊卸作業間的相互配合。一般而言，大部分國際商港所使用的岸肩起重機均為橋式起重機 (gantry crane; GC)，在裝卸效能上已具有近似的水準，如此岸肩載運機具支援工作的配合調度，即成為關鍵的影響因素。目前岸肩載運機具的種類，主要包括場內貨櫃拖車 (truck trailer)、跨載機 (straddle carrier; SC) 與自動導引車輛系統 (automatic guided vehicle system; AGV) 三種。而港埠貨櫃基地的裝卸作業型態與機具設備的選定，往往取決於後線土地面積大小及裝卸機具間之配合。由於自動導引系統乃因應歐、美有廣大土地面積，卻人力工資昂貴的碼頭而設，例如鹿特丹就是利用自動導引車輛配合岸肩裝卸作業之典型港口；其餘多數亞洲港口或幅員不大的碼頭，仍以跨載機或拖車配合橋式起重機作業為主。臺灣的港埠裝卸作業，受限於實際港口地理條件以及資金成本

的考量，也僅見場內貨櫃拖車或跨載機穿梭於起重機與堆積場之間。根據近期之研究^[1]，場內拖車與跨載機除在堆場之作業表現有所差異外，在岸邊配合貨櫃裝卸的功能幾乎相近，所以本研究利用臺灣較常見的拖車作業做為描述對象。

配合船舶大型化之趨勢，在大型全貨櫃船靠泊時，通常都由二部以上的岸肩起重機進行貨櫃吊卸，以加快港埠作業。但為避免作業現場的混亂，一般的工作分配方式，乃以起重機為單位，分別指派特定的岸肩載具固定支援其吊卸服務。此一概念即形同將裝卸工作分組平行作業，同一組岸肩載具支援單部起重機為最基本的規劃單元。各組岸肩載具所肩負的任務，均為如何有效的支援所對應的起重機，盡快完成其分配到的裝卸工作。因此在預先的派遣安排中，只要針對一組的特性提出適當模式，即可分別針對各組別進行完整規劃。

以往針對港埠作業之研究，大部分因其隨機性與機動性較高，多以模擬方法探討整體貨櫃裝卸作業環境與流程^[2,3,4]，較少利用確定性模式解析其中特定主題。本研究針對專用貨櫃碼頭的營運內容，深入分析岸肩拖車支援裝卸作業之特性，在橋式起重機裝卸工作順序與各櫃次屬性已知下，考量多部場內拖車支援單部橋式起重機之基本作業，建立車輛派遣之數學規劃模式。並進一步將此一課題分解為兩個子題，即每個櫃次存放或提領儲區位置之指派，以及櫃次任務裝載拖車之車輛指派，而設計適當之啟發式演算法則 (heuristic algorithm) 協助求解。由於拖車派遣工作與貨櫃碼頭之場地佈設內容有極密切之關係，本文藉高雄港某專用碼頭為例，進行實例測試，比較規劃結果與實務結果之差異，並評估各種不同裝卸作業型態在部署拖車多寡下之派遣效率。

後續章節，首先將透過文獻回顧了解以往研究之範圍與成果，第三節則針對貨櫃裝卸作業與拖車支援連結之特性，進行深入剖析，第四節為數學模式與求解演算法的介紹。第五節利用簡例與裝卸公司所提供之實例進行求解與分析，並討論不同貨櫃船裝卸作業型態、儲區指派原則與派遣拖車數間之關連性，最後一節為結論與建議。

二、文獻回顧

由於本研究之範圍界定於船邊橋式起重機與貨櫃堆積場間的運送作業，故針對貨櫃碼頭作業、岸肩載運機具調度與碼頭其他機具的研究，進行文獻回顧。

2.1 貨櫃碼頭作業

Vis 和 Koster^[5]曾將貨櫃碼頭裝卸的整體流程進行詳細之說明，並從策略性層面、戰術性層面及作業性層面，以作業研究方法應用的角度，分別探討各運送階段之關鍵決策課題。Steenken 等人^[6]亦從作業研究的角度回顧以往探討碼頭作業之文獻，並介紹全球最新的貨櫃碼頭作業變革。Meersmans 和 Dekker^[7]描述貨櫃碼頭裝卸流程中之各個子系統，清楚剖析各子系統所面臨的課題，以及以往相關的研究與成果。

靳蓉章^[8]從實務面具體描述碼頭暨船舶實際作業情形及特性，並且對於如何有效提高貨櫃裝卸作業效率之課題，提出具體的作業性建議。Chen^[9]針對貨櫃基地中船邊作業系統、管制站作業系統及儲存系統之貨櫃移動特性進行研析。Garrido 和 Allendes^[10]在貨櫃基地內部運送方面，針對貨櫃裝卸、貨櫃搬運、貨櫃儲放三大方向，利用等候理論提出一套模組化衡量工具，以評量不同作業策略的相對衝擊，並進行貨櫃碼頭效率的評比。

2.2 岸肩載運機具調度

Bish 等人^[11]將岸肩載運機具指派與貨櫃存放區位問題，分解為派遣車輛供貨櫃載運任務、將船舶卸櫃分派到特定位置、以及車輛載運任務個別排程等三個子問題，在滿足「每個貨櫃只能分派給一個儲放櫃位」及「每個櫃位至多只能被指派給一項工作」的限制式下，逐步剖析各項問題，作者證明此為一難以確認是否具多項式求解效率之問題 (NP-hard)，並設計啟發式演算法進行求解，以期貨櫃自船舶卸下後，整體運送至櫃場的時間最少。Bish^[12]延伸之前的研究，探討不同船舶同時靠泊碼頭時，如何充分利用岸肩載運機具，穿梭於各個橋式起重機之間，文中亦設計啟發式演算法，進行貨櫃儲區位置的決策與拖車派排程問題求解。其概念有別於傳統之岸肩載運機具作業方式，但必須做好預先的規劃，使船舶得以同時靠泊，始能發揮岸肩載運機具同時派遣之功能。Nishimura 和 Imai^[13]建立數學規劃模式，考慮在公共碼頭進行多船間拖車載運任務的聯合指派，文中並發展基因演算法 (genetic algorithm) 進行解算，以模擬方式驗證該演算法結果優於實務之效能。但所提模式頗為簡易，無法充分描述主題之複雜度，且其解算之目的似在建立拖車支援之樣式，並未討論與實務現狀之配合。

Das 和 Spasovic^[14]針對跨載機支援貨櫃碼頭裝卸作業的型態，透過即時系統的模擬概念建立指派模式，使跨載機運送貨櫃時所可能產生的空車時間最短，同時以貨櫃對客戶可能造成的延遲最少為目標，進行動態性指派。Bose 等人^[15]將焦點放在船邊起重機與櫃場間運送的跨載機作業，搜羅不同的派遣策略，然後運用進化式演算法 (evolutionary algorithms)，嘗試改善船邊起重機的裝卸能量，並使船舶在港作業時間相對減少。

Ballis 等人^[16]針對貨櫃碼頭的傳統裝卸作業與先進技術之裝卸作業系統提出說明及比較。前者以一般拖車或跨載機載運，而後者則是採用自動化導引車輛系統，兩者之間的差異主要在於碼頭到貨櫃場間的運送。Liu 等人^[17]說明在運輸櫃量急速成長的同時，自動化作業設備漸被採用以達成高效率裝卸作業的目的，並針對機動性運輸裝置設備系統與自動導引車輛系統，進行碼頭作業績效改善的比較與分析。Evers 和 Koppers^[18]以模擬的方式進行櫃場內自動導引車輛交通控制系統的測試。Vis 等人^[19]嘗試發展一演算法，決定半自動化的貨櫃基地系統，所需自動導引車輛的數目。

2.3 碼頭其他相關機具之相關研究

Kozan^[20]、Kiesling 和 Walton^[21]、Daganzo^[22]、Easa^[23]、Edmond^[24]、Jones^[25] 等人，

皆曾以等候理論的概念針對岸肩陸側作業，像是碼頭橋式起重機、拖運車輛、堆積場起重機等，評估設備機具的產能，做為港埠作業政策的參考。陳壽山^[26]以高雄港專用碼頭為例，針對貨櫃堆積場進口櫃區之作業機具構建模式，應用於櫃區作業面積規劃、機具種類和數目的配置以及碼頭作業績效的評估。

Kozan 和 Preston^[27]指出貨櫃船靠泊時間長短，視貨櫃之搬運是否有效率而定，貨櫃搬運過程包括船邊的裝卸、儲區的裝卸及船邊到儲區間的移動。文中利用極小極大化模式佐以基因演算法求解，結果顯示貨櫃搬運時間隨機具的增加而減少，而貨櫃存放策略則以有計劃的存放策略較隨機存放策略為佳。許乃云^[28]從貨櫃儲區的管理作業層面，以網路流量模式為基礎，發展儲區中貨櫃搬移的最佳化模式，目標為減少機具工作停滯互相等待的時間。

Kim 和 Kim^[29,30]提出單一門型起重機移動路徑問題，針對出口儲區執行裝船作業進行路徑規劃。Kim 和 Kim^[31]延續該課題，將其構建為一混合整數規劃模式，並且嘗試提出基因演算法與集束搜尋法 (beam search) 進行求解比較。謝玉霜^[32]、陳春益與趙時樑^[33]、趙時樑^[34]以兩部門型機同時在出口貨櫃儲區作業為前提，嘗試使用限制式規劃 (constraint programming) 求解其移動路徑問題。Kim 和 Kim^[35]又進行機動性較高的跨載機路徑問題之探討，並發展啟發式演算法，改善求解模式效率以突破機具數量的限制^[36]。

此外，在岸肩起重機服務船舶之工作排程上，Daganzo^[37]認為可依據不同特性之港口系統，發展出特定的模式，建立起起重機排程與通用原則。Peterkofsky 和 Daganzo^[38]藉由前述之概念，擴大問題規模，深入說明分枝界限法 (branch-and-bound algorithm) 的應用。

整理前述文獻應可發現，貨櫃碼頭作業已逐漸獲得學術探討的重視，除了巨觀性之研究外，亦不乏針對個別碼頭機具與櫃場環境特性的分析。但在岸肩與櫃場間載運機具之課題，均考慮擴及不同船舶間之彈性調度，較忽略基本問題特性之解析，下一節將就此一課題進行說明。

三、貨櫃裝卸與拖車作業分析

本節針對貨櫃船裝卸作業型態與拖車作業，進行最基本的特性說明，並剖析兩者間接運連結所衍生之固定銜接模式，作為建構數學模式與發展求解演算法之基礎。

3.1 貨櫃船裝卸作業型態

貨櫃船裝卸作業型態，乃是考慮卸櫃與裝櫃順序之基本安排，全貨櫃船一般有「全卸全裝」、「依艙位序進行裝卸」(bay-to-bay) 與「同時裝卸」(double cycle) 三種基本型態，若考慮空櫃作業則尚有「空櫃雙卸」，以下僅以參考文獻^[8]與實務單位參訪心得，分別說明其作業內涵。

1. 全卸全裝

全卸全裝是最常見的裝卸作業型態，其方式是先將船上的所有進口或欲轉口貨櫃進行卸載，再裝載欲出口的貨櫃，岸肩載運機具依序支援直至完成所有裝櫃工作。此種作業形式，在貨櫃存放船上艙位較為集中時，岸肩橋式起重機之作業效率可相對提高；但在船上貨櫃存放艙位較為分散，且事前規劃未見詳備時，橋式起重機必須多次往返於不同儲存艙位間，由於起重機移動過於頻仍，可能會拉長整體之裝卸完工時間。一般小型貨櫃船因裝卸時，需考慮船舶傾側或俯仰而進行壓艙作業，影響整體裝卸時間，傳統上較常使用此種裝卸模式。

2. 依艙位序進行裝卸

如果橋式起重機將船上同一艙位應卸載與裝載的工作完成後，方移動至下一鄰近艙位繼續其卸、裝作業，直至該起重機所有應負責之艙位工作完成為止，此種作業型態即所謂依艙位序進行裝卸。一般在母港之大型貨櫃輪，因裝卸貨櫃量較大，船型受傾側或俯仰影響小，通常都採用此種作業方式。而岸肩載運機具支援作業必須配合調整，時為出口作業，時為進口流程，大部分現場仍需仰賴理貨人員憑藉其經驗進行即時調度。若將全卸全裝與此一作業模式比較，可以發現前者橋式起重機移動較頻繁，載運機具支援作業單純；後者橋式起重機移動較少，但載運機具支援作業較為複雜。兩者對於完工時間的影響，是頗值得進一步分析之課題。

3. 同時裝卸

以上二種裝卸型態，在橋式起重機的運作上，必有一趟抓取櫃，另一趟為空程。同時裝卸則是利用橋式起重機完成一次卸櫃後，隨即進行一次裝櫃動作，然後在吊桿一卸一裝、一裝一卸動作的工作循環中不斷反覆。此種作業型態內容較為精細，必須先有縝密的觀念與計畫，複雜度較高，若操作得宜，應能減少裝卸時間。但其間仍有所顧慮，首先考慮避免橋式起重機往返移動太過頻繁，使這種同時裝卸的型態儘可能以同一船艙間之卸、裝工作進行為主。其次，在進行同時裝卸前需將裝櫃之空間清出，才有可能進行同時裝卸，此意謂需先將若干卸載貨櫃完成後，才能進行此一作業。換言之，同時裝卸係以同艙位內之直立排為處理單位元，而不再單以船舶艙位來區分。就岸肩載運機具而言，在同時裝卸期間，必須配合卸櫃與裝櫃之需求，調度更加困難，機動性高之岸肩載運機具較為可行，例如 Maersk-Sealand 以跨載機配合做為載具，配合同時裝卸作業，高雄碼頭作業曾達每小時 42 櫃次的效率。但採用此一作業型態之貨櫃碼頭仍屬有限，僅少數歐洲碼頭之貨櫃作業採行之。

4. 空櫃雙卸

所謂空櫃雙卸，就是吊桿一次卸載上下兩個以固鎖 (twist-locker) 繫縛在一起的空櫃。在美國西岸的洛杉磯港和奧克蘭港，空櫃卸船作業時，甚至經常以三個空櫃一吊卸下，其效率更佳。但須有能升至三層貨櫃高度的大型機具配合作業才實際可行。在本研究中係以臺灣港口型態為主，雖然實際存在有這樣的作業方式，不過仍屬少數，故不將此作業型態列入考慮。

3.2 拖車作業剖析

岸肩載運機具之任務，主要是進行橋式起重機與貨櫃堆積場之間的貨櫃移動。在前一小節中，我們已將岸肩裝卸作業稍作劃分，這一節將進一步配合裝卸作業，針對整個岸肩拖車的調度作更細微的剖析。

3.2.1 連續狀態之基本組合

載運機具對應船邊貨櫃之「裝」、「卸」，不外是空車 (empty) 或裝載 (full-load) 的狀態，以下依兩連續工作可能的基本型態，分述如下：

1. 「卸櫃」與「卸櫃」連結

拖車自船邊承裝卸下之貨櫃後，以「裝載」狀態將貨櫃運送至儲放櫃場，之後以「空車」狀態駛回船邊，再次承接船邊卸下之貨櫃運送至儲放櫃場。在這種情形之下，拖車必須空車返回進行下一任務接續，如圖 1 所示。

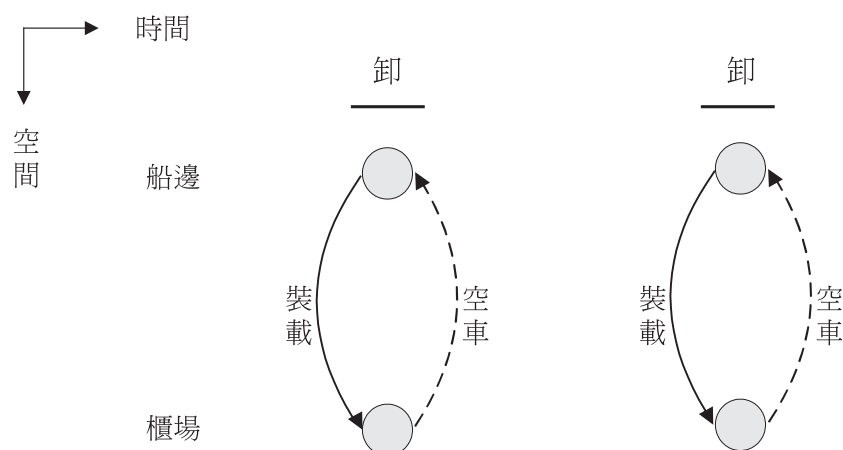


圖 1 卸櫃與卸櫃之連結狀態

2. 「卸櫃」與「裝櫃」連結

拖車自船邊承裝卸下之貨櫃後，以「裝載」狀態將貨櫃運至儲放位置，之後以「空車」狀態直接駛往預備上船貨櫃之儲放位置裝櫃，此時是以「裝載」狀態，將貨櫃運送至船邊將櫃裝載上船，如圖 2 所示。

3. 「裝櫃」與「卸櫃」連結

拖車自儲放櫃場提領欲裝船之貨櫃後，以「裝載」狀態將貨櫃運至船邊，之後由船邊直接再承接卸下之貨櫃，繼續以「裝載」狀態運送至櫃場。此種連結情形，可視為連續維持在「裝載」狀態，如圖 3 所示。

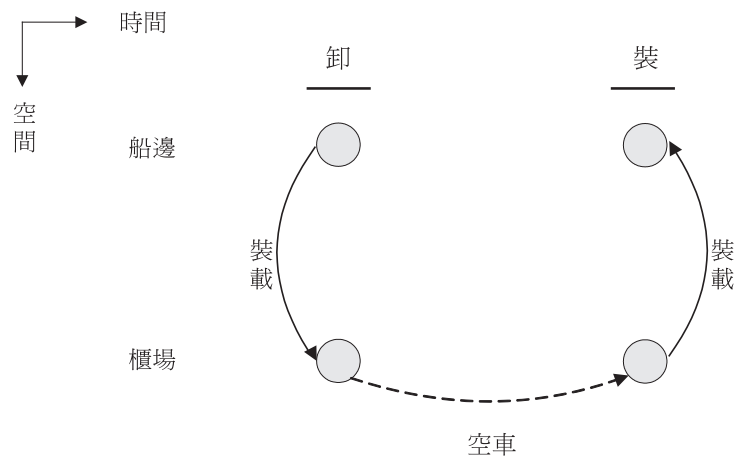


圖 2 卸櫃與裝櫃之連結狀態

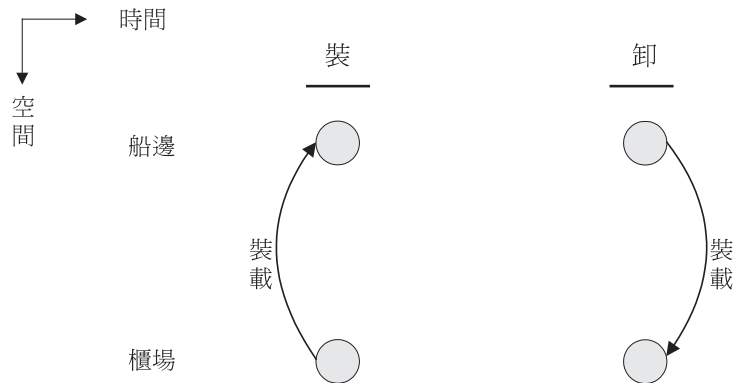


圖 3 裝櫃與卸櫃之連結狀態

4. 「裝櫃」與「裝櫃」連結

拖車自櫃場提領欲裝船之貨櫃後，以「裝載」狀態將貨櫃運至船邊，之後以「空車」狀態駛往下一載運裝櫃的存放儲區，再次承接欲出口貨櫃後，運送返抵船邊裝船。在這種情形之下，拖車必須空車返回櫃場接續下一個任務，如圖 4 所示。

利用上述四種基本組合，可分析全卸全裝、依艙位序進行裝卸、同時裝卸三種貨櫃裝卸方式之內涵，以作為建構模式與發展求解演算法之基礎。以下之說明，均以一部岸肩拖車為例。

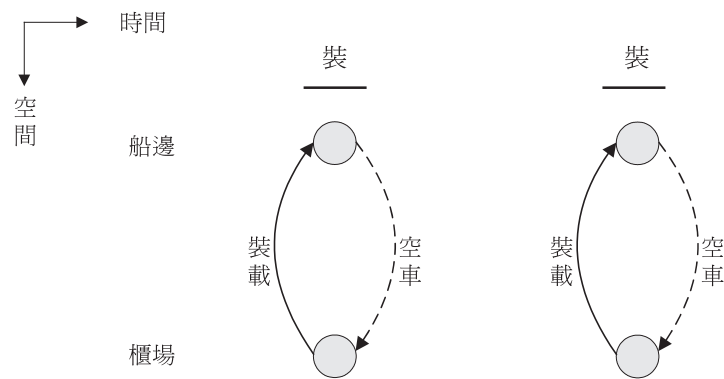


圖 4 裝櫃與裝櫃之連結狀態

3.2.2 裝卸作業型態與拖車支援之工作連結

1. 全卸全裝之拖車作業

就全卸全裝的系統而言，所有船上卸櫃完成卸載動作後，始以岸肩載運機具進行預備裝船貨櫃載運的部分。於是，載具之運程皆由一趟「裝載」與一趟「空車」所組成，卸櫃部分由船邊往櫃場均為裝載的狀態，回程則為空車；裝櫃部分則正好相反。載運卸櫃與裝櫃的差異，主要在於「裝載」與「空車」途程方向之改變。全卸與全裝兩部分間的銜接，係以空車由最後一個卸櫃之存放儲區前往裝櫃儲區提領預備裝船貨櫃。此一作業型態之裝運特性，詳如圖 5。

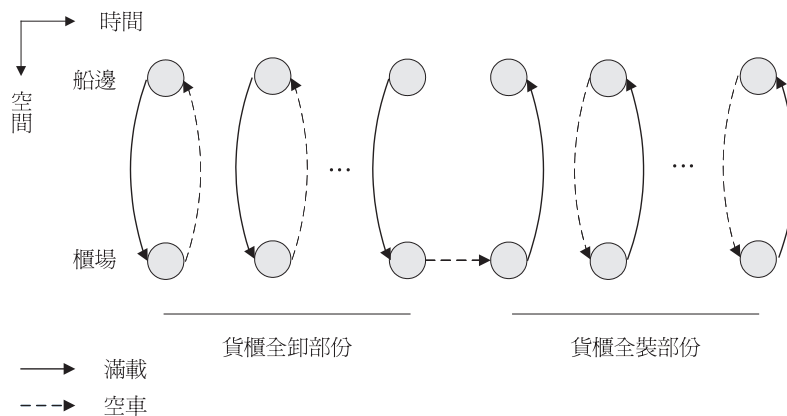


圖 5 全卸全裝的岸肩拖車調度特性

2. 依艙位序進行裝卸之拖車作業

依艙位序進行裝卸之拖車作業，可先考慮單一艙位，再擴展至各艙位間之連結。單一艙位作業其實是全卸全裝的縮影，係將艙位中欲卸載貨櫃之作業完成後，方針對同一艙位

進行裝櫃動作。因此，拖車在各艙位內之支援型態與全卸全裝相同。對整體而言，拖車之「裝載」與「空車」型態，依照橋式起重機於船舶艙位間之移動而變換，故為卸櫃、裝櫃穿插進行。相較於全卸全裝之作業型態，依艙位序進行裝卸之拖車作業略顯複雜，特別在卸、裝銜接之間，多出櫃場間「空車」之途程。此外，卸櫃與裝櫃之運程變換會因移動艙位之多寡而增加，也有可能影響載運機具調派之複雜性，詳如圖 6 之描述。

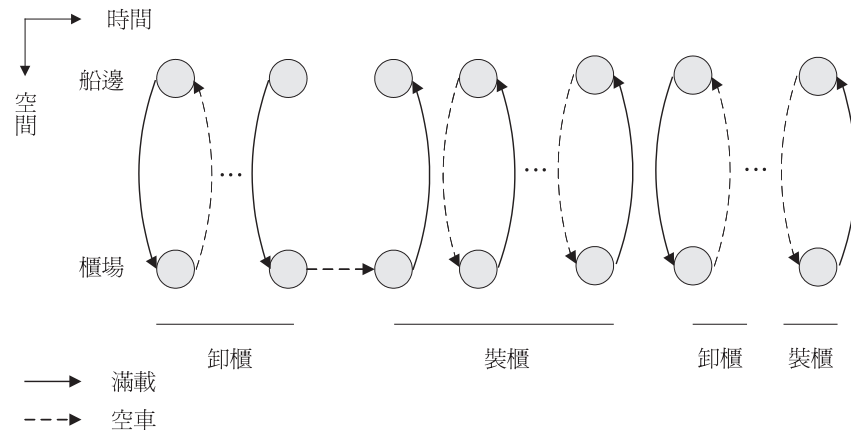


圖 6 依艙位序進行裝卸的岸肩拖車調度特性

3. 同時裝卸之拖車作業

同時裝卸方式與全卸全裝的差別，在於卸與裝動作的連結範圍縮小至單一貨櫃。每一個自船邊卸下貨櫃運至儲放位置後，拖車即刻「空車」前往欲裝船貨櫃儲區，並且載運欲裝船之貨櫃至岸邊進行裝船作業。也就是說，卸下的每一個貨櫃，與其後裝載上船之貨櫃的運送過程間，即以拖車「空車」銜接至裝櫃儲區。所以同時裝卸期間，載具往返於船邊與櫃場的途程均為「裝載」的情形。更簡單地說，載具拖運卸櫃至存放儲區，而後空車至裝櫃儲區，再載運貨櫃返回船邊。如此形成以單一貨櫃裝卸運送之循環，詳如圖 7 所示。

綜合上述，無論岸肩裝卸作業型態為何，船邊橋式起重機與貨櫃堆積場間仰賴載具的接運，總不離「裝載」與「空車」兩種類型，利用此兩者間連結，將拖車的調度系統逐一分割，即是一連串「裝載」與「空車」的接續，以表現前述的三種不同的裝卸型態而已。換句話說，岸肩裝卸型態才是真正決定整體裝卸作業效率的關鍵所在。

四、模式建構與求解

本節將針對船舶泊靠碼頭進行岸肩貨櫃裝卸作業中，拖車支援岸肩橋式起重機與貨櫃堆積場間載運工作之派遣，嘗試構建一部拖車支援單部橋式起重機之數學模式，並提出適當之求解策略。

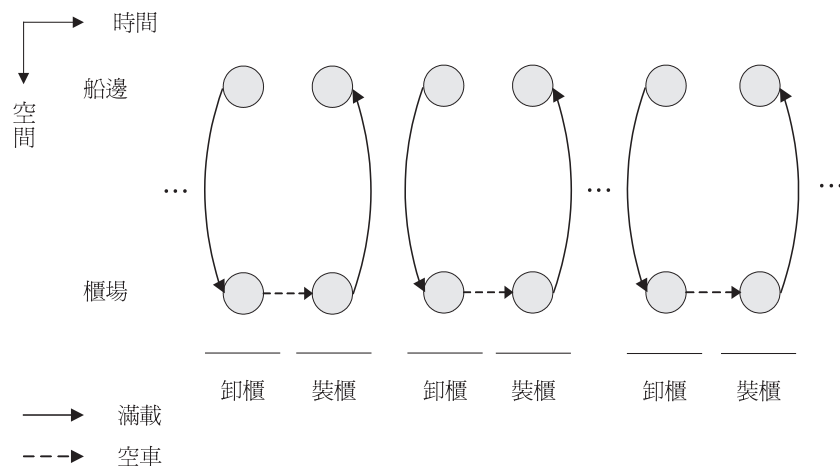


圖 7 同時裝卸的岸肩拖車調度特性

4.1 模式概念

在模式建構時必須假設以多部拖車進行單部橋式起重機的支援工作，不受其他因素之干擾，如支援其他橋式起重機之拖車作業，或不相干之場內工作等。且整體之規劃內容為連續性之拖車服務，不受作業流程中必須顧及之中斷而影響，如事先安排的停工用餐或機械故障等。此外仍有若干前提與假設說明如下：

1. 橋式起重機之工作順序已知，且須依序執行；
2. 橋式起重機在船邊之存放艙位間的平均移動時間已知；
3. 各儲區可存放之貨櫃容量已知；
4. 拖車承載貨櫃繞行於貨櫃儲場，係遵循統一的方向；
5. 各存放區位間拖車行駛距離已知；
6. 所有拖車行駛速度相同，暫不考慮裝載與空車狀態之差異；
7. 所有拖車於起始時間，都處於可供服務的狀態；
8. 橋式起重機各個裝卸工作之作業時間隨機產生改變；
9. 各個裝、卸工作在儲區取、放作業時間隨機產生改變。

船舶抵港開始進行吊櫃前，卸櫃與裝載計畫 (stowage plan) 業已排定，但計畫內容是否詳細至確定裝卸作業順序，仍視各裝卸公司之作業習慣與資訊系統能力而定。本研究假設橋式起重機所需服務的櫃次已經先行排序，意即事前已做好橋式起重機裝卸工作順序的排程；在這樣的前提下，每一櫃次皆可被視為一項確知的工作或任務。按照該起重機的工作順序，依所建立之儲區指派原則，進行任務櫃次之儲區指派。至於第 8 與 9 點，因拖車等候時間的發生與車輛派遣系統以外之機具作業產生關連性，必須考慮其他機具之作業特性，故設定其隨每一櫃次而隨機改變，下一節將再詳細說明。

此外，為了達成全部貨櫃裝卸完工時間最短，以儘可能使船舶滯港時間縮短、船席使用率相對提升之目的，可以橋式起重機對裝卸貨櫃作業的完工時間最短，亦或所有櫃次被拖車載運服務完成之時間最短，作為評量裝卸效率之績效指標。若最後一個工作為裝櫃動作，橋式起重機完成的時間，即為完工時間。若最後一個工作為卸櫃動作，拖車載運服務完成時間才是碼頭停止工作的時間。在實務上，兩者之差異不大；但從學理上來看，後者所可能造成的不確定性較高，因橋式起重機一個起吊循環時間明確，但卸櫃之區位在本研究中卻是指派變數，故模式目標以後者為考量。

4.2 數學模式

將起重機裝卸工作的各個櫃次視為任務 (*job*)，並以 j 為其標記表示，定義 *job* 的集合為 J ，其集合大小為 $|J|$ ，則 $j = 0, 1, 2, 3, \dots, |J|$ ， $j = 0$ 代表起始狀態；服務裝卸貨櫃之載運作業的拖車，以 k 為表示，集合為 K ，集合大小為 $|K|$ ， $k = 1, 2, 3, \dots, |K|$ ； l 為貨櫃櫃場之存放儲區之標記， L 為其集合，集合大小定義為 $|L|$ ， $l = 1, 2, 3, \dots, |L|$ 。另以 J_l 表示第 l 儲區適合儲存或可存放之所有 *job* 的集合，而 L_j 則代表適合儲存第 j 個 *job* 之所有儲區集合；此外，卸櫃櫃次之集合以 D 表示，裝櫃櫃次集合以 V 表示。模式內容如下：

$$\text{Min. } \text{Max. } t_j^k \quad \forall j=1, \dots, |J| \quad (1)$$

$$\text{s.t. } \sum_k x_j^k = 1 \quad \forall j=1, 2, \dots, |J| \quad (2)$$

$$\sum_{l \in L_j} y_{jl} = 1 \quad \forall j=1, 2, \dots, |J| \quad (3)$$

$$\sum_{j \in J_l} y_{jl} \leq U_l \quad \forall l \quad (4)$$

$$\sum_{j'=0}^{j-1} s_{j'j}^k = x_j^k \quad \forall j=1, 2, \dots, |J|, k \quad (5)$$

$$f_j = \begin{cases} \sum_l g_l y_{jl} & \text{if } j \in D \\ \sum_l r_l y_{jl} & \text{if } j \in V \end{cases} \quad \forall j=1, 2, \dots, |J| \quad (6)$$

$$e_{jj'} = \begin{cases} \sum_l g_l y_{jl} & \text{if } j \in V, j' \in V \\ \sum_l r_l y_{jl} & \text{if } j \in D, j' \in D \\ 0 & \text{if } j \in V, j' \in D \\ \sum_{(l,l')} \tau_{ll'} y_{jl} y_{j'l'} & \text{if } j \in D, j' \in V \end{cases} \quad \forall j=1, 2, \dots, |J|-1, j'=j+1, \dots, |J| \quad (7)$$

$$t_j^k = t_{j-1}^k + \sum_{j'=0}^{j-1} s_{j'j}^k e_{jj'} + f_j x_j^k + \psi_j x_j^k + w_j x_j^k \quad \forall k, j=1, \dots, |J| \quad (8)$$

$$x_j^k \in \{0, 1\} \quad \forall j=1, 2, \dots, |J|, k \quad (9)$$

$$y_{jl} \in \{0, 1\} \quad \forall j=1, 2, \dots, |J|, l \quad (10)$$

$$s_{j'j}^k \in \{0, 1\} \quad \forall j'=j-1, j=1, 2, \dots, |J|, k \quad (11)$$

$$f_j \geq 0 \quad \forall j=1, 2, \dots, |J| \quad (12)$$

$$e_{jj'} \geq 0 \quad \forall j=1, 2, \dots, |J|-1, j'=j+1, \dots, |J| \quad (13)$$

$$t_j^k \geq 0 \quad \forall j, k \quad (14)$$

其中，決策變數有：

$e_{jj'}$ ：第 j 個 job 被載運所需的空車時間；

f_j ：第 j 個 job 在裝載狀態之運送時間；

$s_{j'j}^k$ ：第 k 部拖車完成第 j' 個 job 後，是否繼續執行第 j 個 job ，是為 1，否則為 0；

t_j^k ：第 k 部拖車在第 j 個 job 完成的累計時間；

x_j^k ：第 j 個 job 是否指派給第 k 部拖車，是為 1，否則為 0；

y_{jl} ：第 j 個 job 是否儲放在 l 儲區，是為 1，否則為 0。

隨機變數：

w_j ：第 j 個 job 於橋式起重機作業時所產生拖車等候的時間，此一時間通常因起重機作業特性及拖車作業與其配合而隨機改變；

ψ_j ：第 j 個 job 於儲區作業時所產生拖車等候的時間，此一時間通常因儲區作業機具與拖車作業配合程度而隨機改變。

其他參數定義如下：

U_l ：第 l 儲區可儲存 job 之容量；

g_l ：拖車由岸肩駛往儲區 l 所需的車行時間；

r_l ：拖車由儲區 l 返回岸肩所需的車行時間；

$\tau_{ll'}$ ：拖車由第 l 個儲區至第 l' 儲區間車行所需的時間；

在上述數學模式裡，式 (1) 為建立之目標式，旨在將所有裝卸櫃次的任務分別指派予各拖車後，求解各拖車完成最後任務的時間，並且取所有拖車完工時間之極小極大化。當所有裝卸貨櫃的任務被確實執行完成的時候，即謂裝卸完工時間。因此全部拖車完成其最後任務的時間中最長者，就是所有工作櫃次裝卸完成的時間。

式 (2) 限制一個 *job* 只能指派給一部拖車；式 (3) 限制一個 *job* 只能存放在一個儲區；而式 (4) 則為儲區容量之限制，係對於可指派存放至 l 儲區之 *job* 的總數，限制其必須小於或等於 l 儲區可允許存放貨櫃之容量。式 (5) 主要是車次依序執行任務的限制，當第 j 個 *job* 指派予第 k 部拖車進行載運時，對該拖車而言，一定有在該任務之前執行的一項工作與其接續；但第 j 個 *job* 若不指派給第 k 部拖車，亦不會有工作與其連結，而所有的拖車第一項工作均由 $j = 0$ 連結。

式 (6) 與式 (7) 分別說明貨櫃裝卸任務進行時，貨櫃於裝載狀態之車行時間及拖車執行裝卸任務所發生的空車時間。若第 j 個 *job* 為自船舶卸載貨櫃，該任務對於拖車而言所產生式 (6) 的裝載時間，將為拖車由船邊運櫃駛往儲區之車行時間；而以出口櫃來說，此時間將是拖車由儲區提領貨櫃返回岸肩裝船之車行時間。式 (7) 則分別將裝櫃連結裝櫃、卸櫃連結卸櫃、裝櫃連結卸櫃以及卸櫃連結裝櫃的各自空車時間透過數學式表達。

式 (8) 則表達各櫃次所指派的拖車完成任務之時間推進方程式，其時間加總項目依序為：前一櫃次完成後拖車之累計工時、任務被拖車裝載運送的途程時間、為執行任務所發生空車狀態的時間、櫃次於儲區作業時所產生拖車等候時間、任務於船邊起重機作業時所產生拖車等候的時間。根據此式，若第 j 個任務並非指派給第 k 部拖車，則式中的第二個加項至第五個加項，也就是任務裝載時間、空車時間、儲區及岸肩的拖車等候時間都將是 0，也就是只剩第一個加項，意即當任務非指派予該部拖車時，其拖車任務完成的時間將維持該車載運完成其前一任務的時間，如此即可累積個別拖車之工時。此外，拖車在起重機下與貨櫃儲區之等候時間 w_j 與 ψ_j ，實包含作業機具之作業時間，以及拖車到離與作業機具產生可能之相互等候時間。但因 f_j 與 $e_{j\bar{k}}$ 僅與拖車派遣和取櫃、放櫃位置有關，而 w_j 與 ψ_j 受限於下列兩點因素，並不易於模式中建立對應公式，故以整體性之隨機變數表達拖車在兩端點可能產生的等候。

1. 等候時間的發生雖因每一櫃次而產生，但與拖車派遣系統以外之機具作業產生關連性，必須考慮其他機具之作業特性。故在貨櫃儲區必須判斷櫃次間（不一定是連續兩櫃次）是否使用同一部作業機具而造成等候；在所支援的單部橋式起重機，也必須考慮其是否必須移動作業艙位而造成等候。
2. 拖車所進行之工作型態基本上有 3.2.2 節描述之工作連結特性，但其連結並非固定以橋式起重機下或特定儲區為櫃次工作之開始或結束。故以完成櫃次運送，較易累積個別拖車之工時，如此即不易比較儲區或橋式起重機下是否需要等候，或等候多久了。

式(9)至(14)則為變數限制。上述模式為一極小極大化之非線性整數規劃模式，屬於 NP-Hard 問題，且模式中 w_j 與 ψ_j 隨各櫃次不同而產生隨機性之變化，如果要利用模式直接求解， w_j 與 ψ_j 必須實際探究其機率分配情形帶入模式中產生，但限制式之非線性特性仍然存在，在面對日常貨櫃碼頭之大量工作將不易求解。下一小節藉啟發式演算法的發展，先決定儲區位置，即可判斷會否造成等候，再以隨機方式產生機具作業時間加以處理，以利解算。

4.3 求解演算法

本研究的啟發式演算法發展架構，主要區分為：先決定所有裝卸貨櫃的存放或提領儲區，再逐櫃次決定載運機具之任務派遣等兩部分。茲分別說明如下：

1. 貨櫃儲區指派

本研究中採用下列四項原則進行儲區指派的規劃，並分別進行求解比較。在這些不同的指派原則下，因拖車速度假設相同，其距離定義亦謂拖車車行時間，且指從岸肩載櫃至存放儲區的車行距離，或自存放儲區載櫃至岸肩的車行距離。

- (1) 由近至遠：自該櫃次可能存放或提領的櫃區選擇最近距離，且符合儲區容量限制的區域予以指派。
- (2) 由遠至近：自該櫃次可能存放或提領的櫃區選擇最遠距離，且符合儲區容量限制的區域予以指派。
- (3) 一遠一近：就所有櫃次依序以可能存放或提櫃之儲區中，以最遠與最近距離的儲區進行交叉混合指派。
- (4) 隨機選取：就所有櫃次可能存放或提櫃之儲區，以隨機選取的方式進行依序指派。

2. 拖車任務指派

當貨櫃儲區指派確定後，即可按照櫃次先後，依序進行拖車指派規劃，但在拖車運送過程之時間與空間差異，需按下列原則進行派遣：

- (1) 先到先派：針對某一櫃次的任務，乃以各拖車完成前次載運任務，最快可抵達該櫃次之起始位置者，作為指派對象。此起始位置，對卸櫃櫃次而言為船邊；對裝櫃櫃次而言，則指提櫃儲區。假若有一部以上的拖車可於同一時間點抵達預備載運位置，則以車次累計服務時間較短者優先指派，此目的係為使車次工作儘可能達到平均。
- (2) 先行限制：雖然拖車任務的指派，通常係以先到先服務為原則，但仍應遵循起重機工作順序的先行限制，亦即前項櫃次尚未完成，即使次項任務的拖車已抵船邊，仍需等候，無法跨越先做。

在決定各櫃次之貨櫃儲區後，拖車在各停駐點之間的車行時間即可直接進行計算。但橋式起重機針對各個裝卸工作的完成時間，與拖車支援有互動關係，必須判斷起重機在兩櫃次之間所花時間之長短與被指派拖車抵達岸肩之時間，究竟是起重機等候拖車，抑或拖車等候起重機，後續演算法利用起重機與各部拖車之時間記錄，配合應有的時間遞移和等候關係，以正確計算拖車作業時間。另外，儲區作業時間則以較為單純的方式處理，利用儲區作業之最長與最短時間間距，進行隨機產生作業時間。此兩個隨機變數之變化與判斷，亦會在拖車任務指派時，逐櫃次進行，而不致忽略。

前述之求解概念，可實際轉換為演算執行步驟，首先定義演算流程中各符號之意義：

- i ：橋式起重機工作順序下的貨櫃櫃次；
 j ：櫃場之各貨櫃儲區編號；

- k ：服務橋式起重機之拖車編號；
 p ：櫃次預計被拖車服務的途程時間；
 r ：車次自原任務的完成位置至某任務之工作儲區所需時間；
 s ：車次完成目前執行任務之時間。

演算步驟如下，並將此步驟轉換為圖 8 所示之電腦流程圖。

- Step 1：輸入基本資料，令有 n 個貨櫃，櫃次 $i = 1$ ，儲區 $j = 1$ ；
 Step 2：指派 i 之儲區；
 Step 3： i 是否等於 n ，若是，到 Step 4；否則， $i = i + 1$ ，返回 Step 2；
 Step 4： $i = 1$ ；
 Step 5：指派服務 i 之拖車；
 Step 6： i 是否等於 n ，若是，停止並輸出結果；否則，至 Step 6-1；
 Step 6-1： $k = 1$ ；
 Step 6-2：是否比較出最短之 $s + r$ ，若是，到 Step 6-4；否則，至 Step 6-3；
 Step 6-3： $k = k + 1$ ，返回 Step 6-2；
 Step 6-4：將 $s + r$ 最短之 k ，派給 i 櫃次；
 Step 6-5： $s = s + r + p$ 。
 Step 7： $i = i + 1$ ；返回至 Step 6。

五、實證案例分析

前述之演算法以 C 語言撰寫程式，於 Pentium IV 之個人電腦演算平台，進行本節之案例分析。其中，包含一簡例與二個裝卸公司提供之實例，分析內容均假設現實作業環境，可配合測試之不同裝卸作業型態調整。

5.1 簡例分析

在本小節中，以單部橋式起重機進行 25 個貨櫃裝卸工作為例，依照預先排定之起重機工作順序（詳如附錄 A）派遣 3 部拖車。在儲區指派部分，不論是何種儲區原則的指派，皆由起重機工作順序表中取得可能存櫃或提櫃的儲區編號，然後對照容量限制表，選取最接近該原則且符合容量限制的儲區位置。而在容量已達上限的情形下，即便某儲區為最接近原則的位置，也僅能就尚有存放或提領量的次佳儲區予以選擇。經求解後，詳細之儲區指派結果，詳如附錄 B。各儲區指派原則下所求解的起重機完工時間與拖車完工時間，詳如表 1 所示。其中，起重機完工約在一分鐘的差異左右，以「一遠一近」較快；而拖車完工時間都在 48 至 49 分鐘間，幾乎不分軒輊，尚難對不同儲區指派原則的優劣遽下定論。

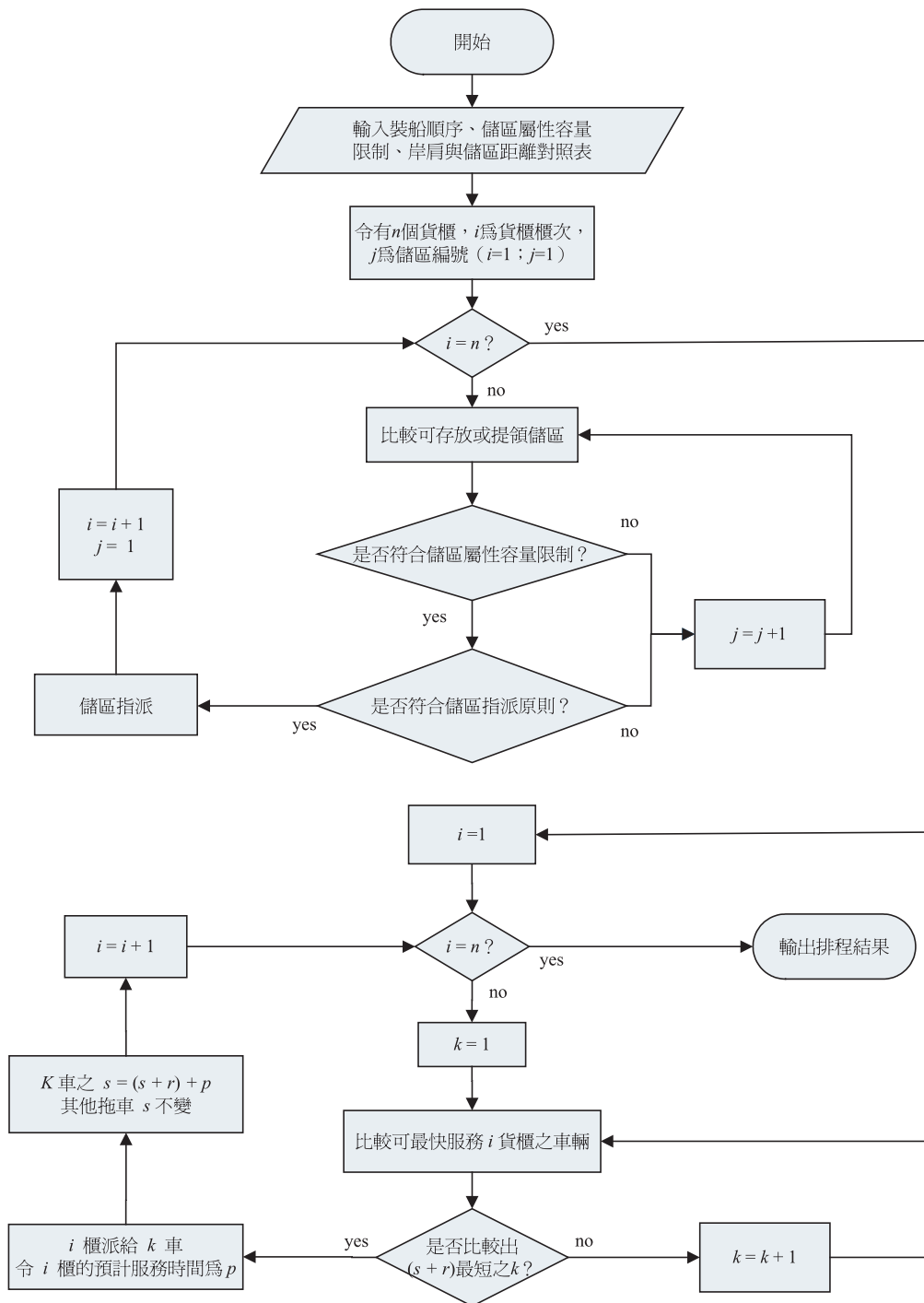


圖 8 模式流程圖

表 1 各儲區指派原則下裝卸完成時間表

單位：分鐘

儲區指派原則	起重機完工時間	拖車完工時間
由近至遠	45.53	48.42
由遠至近	46.72	49.61
一遠一近	44.95	48.26
隨機選取	46.50	48.90

圖 9 以由近至遠為例，展示各車任務之分配指派圖，其中長條圖說明各拖車在不同時間點上所承接之任務、狀態與等候橋式起重機作業所造成的延遲。拖車在裝載狀態以灰色長條及櫃次標號，如 J12，加以表示；白色方格代表拖車處於空車狀態，但包含於儲區等候取櫃或放櫃之作業時間。至於拖車載運裝櫃返抵岸肩，等候橋式起重機吊載入艙（如拖車 1 的 J12 及拖車 3 的 J11），或者空車於橋式起重機下之車道，停等載運卸櫃或起重機移動的延遲時間（如 J14、J15、J16 與 J17 間之等候），則以黑色方格表示，並於方格上方標註其等候起重機作業的時間。透過圖形區域劃分的呈現，可以看出每一拖車的載運任務在起重機作業時間點的連續性，也顯示出橋式起重機對於工作順序上即便後項工作的車次先抵達了岸肩，也必須等候前項工作依序完成的「先行限制」。

至於拖車於船邊與各儲區位置間，因載運貨櫃所發生的移動狀態與時間點的延續，可以拖車作業時間圖分析。圖 10 為由近至遠原則之例，以拖車 1 為例予以說明，在時間點 0 時，起重機將櫃次 1 卸下置位於岸肩（即 0 的位置）的拖車 1，拖車 1 因此被派往櫃 1 的存放儲區 6。而後，車 1 自 6 號儲區空車返回船邊，此時拖車 2 已載運櫃次 2 前往其儲放位置。而拖車 1 雖已自儲區回到船邊，亦必須等候拖車 3 將起重機卸下之櫃次 3 任務載運離開後，才能繼續裝運櫃次 4，前往儲區 1 存放，後續依此類推。

5.2 實證案例之原始個案裝卸順序求解結果

實證的部分，利用高雄 70 號專用碼頭之櫃場儲區劃分與佈設，輸入業者所提供的案例，並以實際裝卸工作順序表等資料作為輸入，進行解算分析。根據我們的觀察，該裝卸公司之貨櫃裝卸順序乃以船艙存放位置為規劃準則，即接近 bay plan 的規劃模式，但其中仍具備人為的機動性。尤其在裝櫃之取櫃順序上只要符合其裝載位置所需屬性之貨櫃即可，卸櫃則確認為進口櫃還是轉運櫃，將其放置於可存放之儲區即可，在儲存位置上並未做更精細的規劃。由於篇幅關係，僅介紹其中二個測試案例。兩案例之裝卸總櫃量分別為 117 和 574 只，裝、卸櫃量相近，前者原始工作排序近乎全卸全裝，後者之進口櫃約有四分之一為空櫃，茲將實證案例特色彙整如表 2。

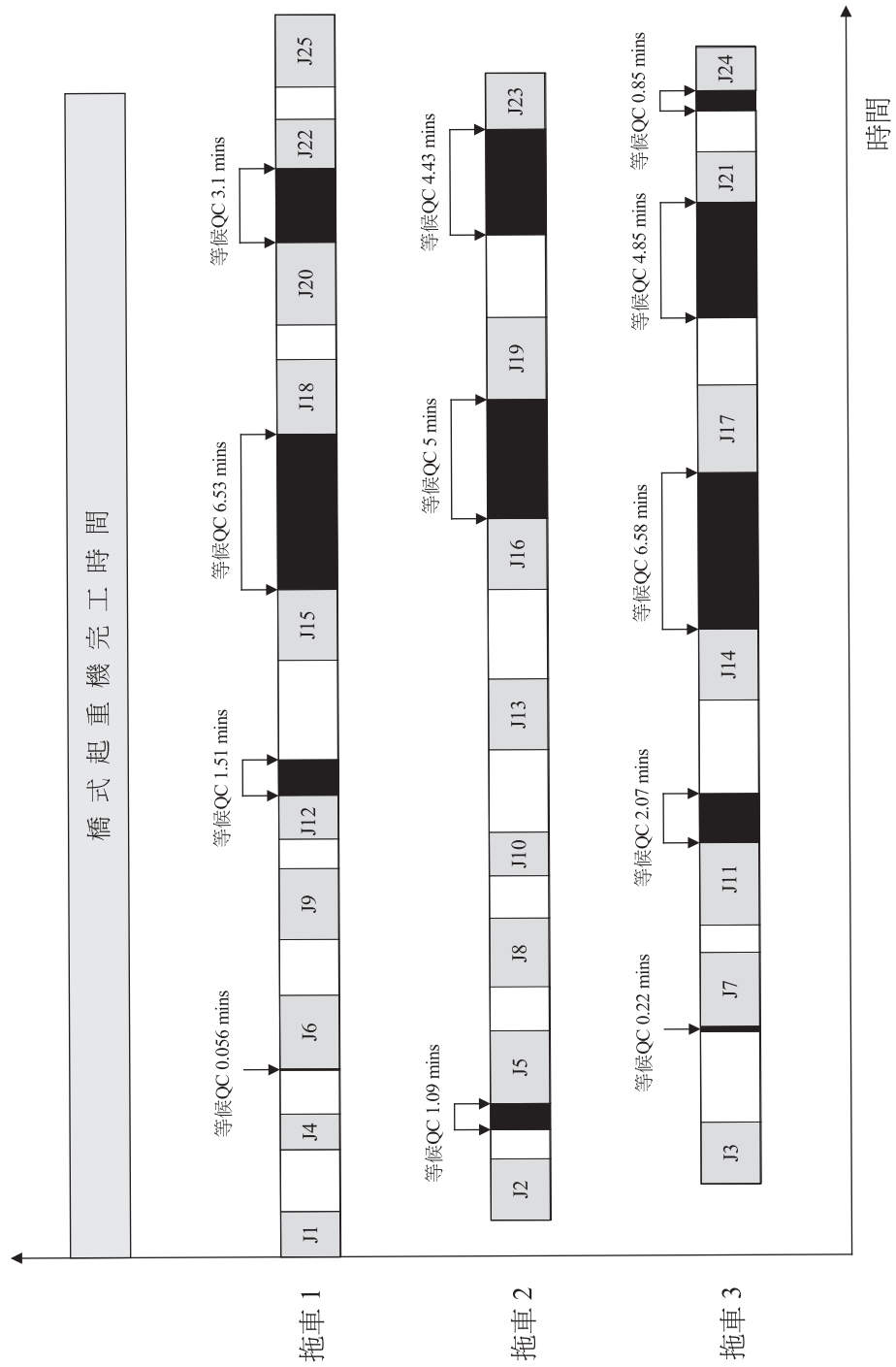


圖 9 由近至遠儲區指派下的車次任務分配

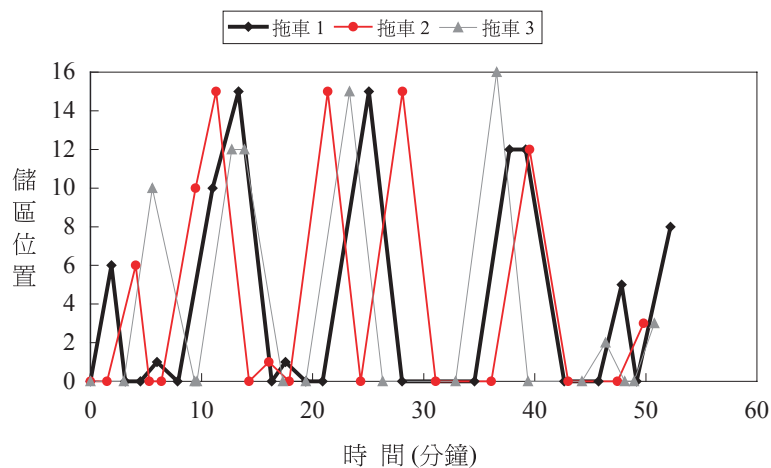


圖 10 由近至遠指派原則的拖車移動示意

表 2 實證案例之特色

實例	項目	裝卸櫃總量 (只)	卸櫃量 (只)	裝櫃量 (只)	實證案例特色
一		117	67	50	總裝卸櫃量較少； 裝、卸櫃量數目接近； 原始工作排序近乎全卸全裝。
二		574	270	304	裝、卸櫃次數目接近； 進口櫃量有四分之一為空櫃； 總裝卸櫃量較多。

就業者原始排定的貨櫃裝卸次序，實例一分別在各儲區指派原則下進行 3 到 8 輛拖車數之解算。從圖 11 之求解結果可知，起重機完工時間介於 188 至 212 分鐘，派遣 3 輛拖車時，不同儲區指派原則的完工時間互有差異，但在派遣 5 輛以上拖車時，儲區指派原則對起重機最後完工時間，即無法產生重大影響。圖中曲線顯示，由近至遠的儲區指派原則，可得到較短的完工時間；由遠至近的儲區指派原則，雖然是所有原則下裝卸速度最慢的，但由斜率可以看出該儲區原則下，每增加 1 部拖車所得到的效率改善也最為顯著。

本案例在裝卸公司之實際作業上，乃以 6 部拖車服務單一橋式起重機，總完工時間為 279 分鐘，較四種儲位指派原則所得測試結果 188 分鐘為多，相差近一個半小時。整理原始個案之派遣內容發現，其中有近三成的櫃量於岸肩起重機等候或作業的時間超過 2 分鐘，另有 1 個櫃次與前一工作櫃次於橋式起重機作業之時間間隔了 42 分鐘。此顯示本研所得之規劃結果，應頗能符合該裝卸公司之事前規劃，但裝卸作業實際運作時，可能遭遇偶發的長時間延遲或等候，並無法確實估算在內。

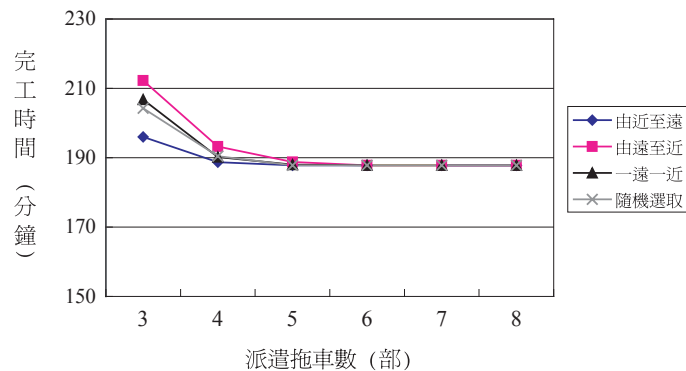


圖 11 實例一之原始個案裝卸順序求解結果

實例二以原工作順序來看，有點像是小區域範圍的卸裝連結，但又不像全卸全裝。經解算後，除了從 3 部拖車增至 4 部，大約在完工時間上縮短了 7% 至 10% 外，爾後每增加一部拖車，完工時間也不過縮短約 1% 左右，甚或更少，分析結果詳如圖 12。其中，由近至遠之完工時間顯然高於其他儲區指派原則，此可能因 70 號碼頭存放空櫃區域距岸肩較遠，此一指派準則在預定的裝卸順序下，使拖車在儲區間的車程花費較多的時間。

裝卸公司 6 部拖車實際作業時間為 1,351 分鐘，與本研究之派遣結果相差近六個半小時。整理原始個案之派遣內容發現，起重機停等作業間隔 3 至 10 分鐘的櫃次占二成，另有 10 個櫃次等候時間超過 10 分鐘，其中造成延遲最久的竟達 1 個小時。

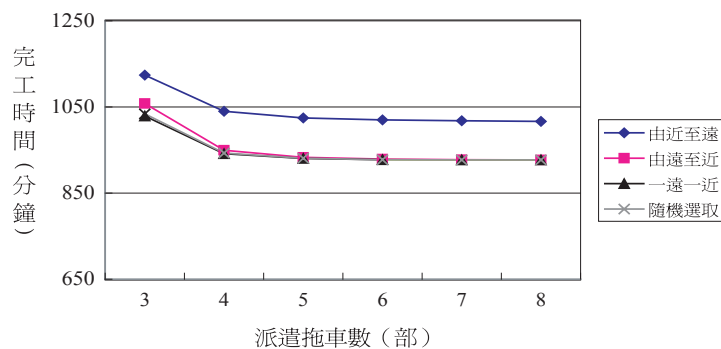


圖 12 實例二之原始個案裝卸順序求解結果

從上述測試結果與實務作業的比較當可發現，本研究之演算法確可獲得不錯的拖車派遣計畫，實務作業當中的延誤雖無法從歷史紀錄發現主要原因，但宜重視其發生的可能性。此外，儲區指派原則與使用拖車數量有取捨關係 (trade-off)，使用較多拖車即可不必在意儲區之指派方式；相反地，若能於規劃時善用儲區指派原則，亦能減少拖車使用數量。

5.3 實證綜合分析

在這一小節當中，主要就 5-2 節所提出的實例，加入不同裝卸作業型態的求解分析，為能扼要說明整體測試之結果，以下均以每小時之裝卸櫃量為探討依據。首先，比較不同裝卸作業型態在不同拖車數之平均作業效率；其次，則是就各實例中儲區指派原則在不同拖車數之平均作業效率進行評比。

5.3.1 裝卸作業型態與派遣拖車數間之相關性分析

以每小時橋式起重機裝卸櫃量，評比實例一各裝卸型態在不同拖車數下，各種儲區指派原則解算後的平均裝卸作業效率，詳如圖 13。業者原始所排定的工作順序表與全卸全裝作業型態，即便拖車數增多，每小時裝卸的工作櫃量也非常相近，幾乎沒有成長。但若以同時裝卸的作業型態來看，只要將裝卸櫃次作合理地銜接，使車次的空車路程減少，即可縮短運程時間，獲得顯著的作業效率改善。整體而言，同時裝卸型態所得的效率較佳，而依艙位序亦略優於其他兩者。

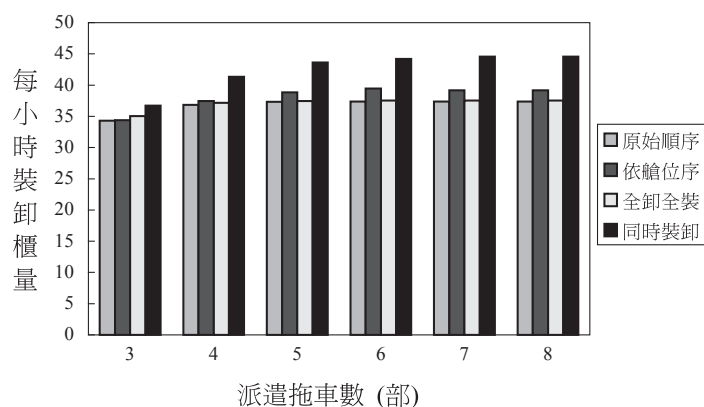


圖 13 實例一各裝卸型態之平均效率分析

實例二中，各裝卸型態的作業效率與實例一相近，但實例二同時裝卸作業型態在拖車數少於 6 部以下時，裝卸效率較差；但在此案例中，派遣 4 部以上拖車進行同時裝卸作業的效率，則優於其他作業型態，詳如圖 14。

5.3.2 儲區指派原則與派遣拖車數間之相關性分析

在實例一中，除上一小節之原始裝卸順序的求解結果外，再加上其他三種裝卸型態的解算結果，四者在各儲區指派原則下的平均每小時裝卸櫃量，詳如圖 15 所示。從曲線變化而言，由近至遠除 6 部拖車的情形外，均優於其他原則；一遠一近原則變化卻最大，在

6 部拖車的情形下，反優於其他原則。但在派遣 7 部以上拖車，裝卸效率反而較 6 部拖車略微下降。

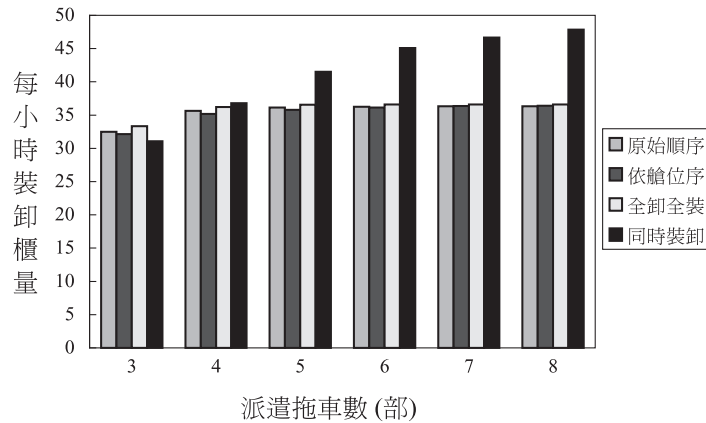


圖 14 實例二各裝卸型態之平均效率分析

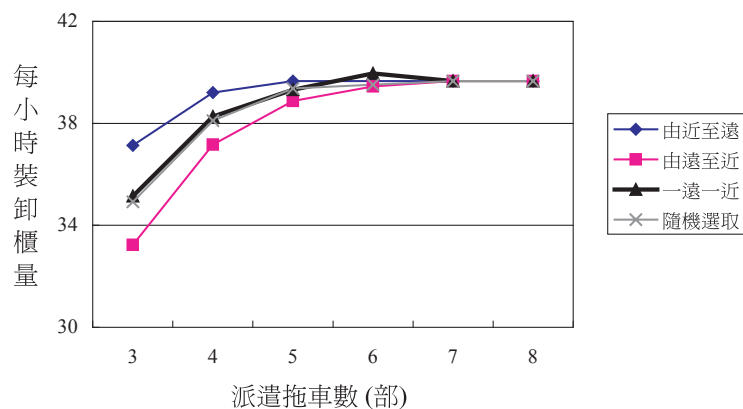


圖 15 實例一以平均裝卸效率進行各儲區指派原則之評比分析

至於實例二的折線圖當中，則出現完全不同的結果。以由近至遠的原則在圖形上所描繪出的折線看來，效果並不理想，反而呈現相較於其他原則效率異常低落的現象，圖 16 可看出此一差別，其原因已於 5-2 節說明。其他三種，以一遠一近之指派原則的裝卸效率，略微突出。

總體來看，在所分析的兩個實例結果中發現，採行同時裝卸時，能有良好的裝卸效率，並且在拖車數增加下，每小時的工作量也能有較佳的提升效果，其他的裝卸型態，在裝卸效率上的差異則不明顯。至於儲區指派的原則，就不同的起重機工作裝或卸的總量，或者櫃次的屬性，都可能影響其效率的表現。因此，在儲區指派原則方面，並沒有絕對的最佳

指派原則，而必須依照不同的裝卸櫃次屬性與數量，以及場地分配和行車規範方能衡量。但拖車數增加到特定數量以上，各種儲區指派原則之效率都將趨於一致。此外，上述案例的解算時間都在 10 秒以內，顯示藉由模式建構概念所推演出來的演算法，在演算效率的表現極為良好。

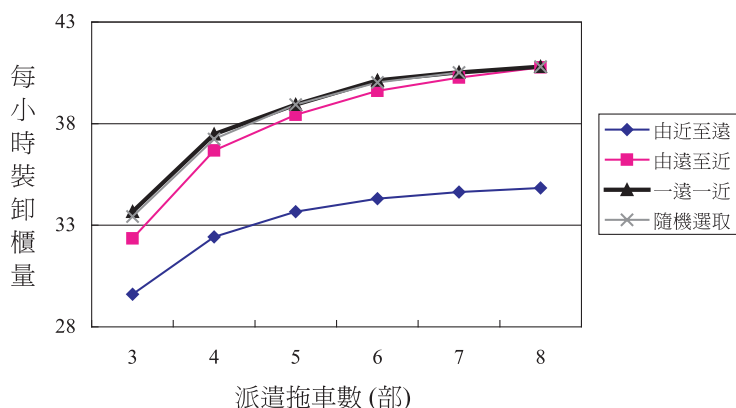


圖 16 實例二以平均裝卸效率進行各儲區指派原則之評比分析

六、結論與建議

本研究主要針對貨櫃專用碼頭之裝卸作業流程與拖車作業特性進行深入剖析，建構多部拖車支援單部橋式起重機之解析性數學規劃模式，並藉其觀念發展適當的啟發式演算法。根據業者提供實例資料，比較演算結果與實務的差異，顯示本研究的規劃確能反映實務拖車派遣的需求，並可獲得良好的預排結果。此外，本研究亦藉實例分析貨櫃裝卸作業型態、儲區指派原則、拖車數量對岸肩裝卸效率的影響。研究成果可歸納出以下結論：

1. 不同的儲區原則或者裝卸作業型態，在每增加一部拖車時，計算求得的總完工時間都能獲得減少，唯減少的幅度隨車輛數的增加而趨緩。以平均裝卸效率來看，即每小時裝卸作業的櫃量會隨著車輛數增加而增加，但增量效果隨之遞減。
2. 如有大量貨櫃必須存取於特定儲區，場地佈設即可能影響某種指派原則。如實例二中，四分之一的空櫃必須卸至距岸肩較遠的儲區，使由近至遠之指派原則，明顯略遜色於其他原則，所以裝卸公司應進行事先之規劃，再決定採用何種指派原則為宜。
3. 同時裝卸的作業型態在本研究中之實例所得的效果，優於其他，唯若選擇此種作業型態時，詳實的預先裝卸作業計劃便顯格外重要，尤其包括拖車於儲位間的連結及任務途程的指派。

雖然以上測試之結果，僅得自於 70 號碼頭裝卸公司的案例測試，但此可作為長期規

劃評估之重要參考。特別是在不同裝卸場地、資訊設施互異、船舶條件不同的情形下，可藉此解析方法評估出較佳的裝卸作業型態、儲區分佈規劃及拖車數量之部署等。

本研究從解析角度探討岸肩拖車派遣之規劃，不管在演算法效率或結果分析上，皆獲致良好之成果。提供若干建議供後續研究參考：

1. 本研究僅就單一橋式起重機之工作，進行拖車任務規劃，建議後續研究可以整船貨櫃裝卸作業，探討多部橋式起重機同時接受服務，而派遣拖車可互為支援的情形，作為完整的派遣規劃。
2. 本研究建構之模式為一極小極大化非線性整數規劃問題，雖已發展啟發式演算法進行解算，建議後續可考慮其他演算法之應用，如基因演算法、禁忌搜尋法等，或許能有更佳的計算結果。
3. 實證中之參數值設定乃為實際參訪蒐集結果，但與現實環境所產生的隨機性異常，略有差距。本研究受限於資料蒐集、人力與時間，並未對其可能產生之機率分配進行資料篩選與分析。如欲以解析性模式評估岸肩作業，仍宜利用長期蒐集之資料，詳細掌握隨機變數之發生型態與數值，抑或輔以隨機規劃之觀念進行，應可使結果更貼近現實。

參考文獻

1. 鄭景怡，「貨櫃裝卸作業與岸肩載運機具指派之研究」，國立臺灣海洋大學航運管理研究所碩士論文，民國九十三年六月。
2. 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，民國九十一年七月。
3. 李光益，「高雄港貨櫃中心作業流程之模擬研究」，國立成功大學交通管理研究所碩士論文，民國八十四年六月。
4. Yun, W. Y. and Choi, Y. S., "Simulation Model for Container-Terminal Operation Analysis Using an Object-Oriented Approach", *International Journal of Production Economics*, Vol. 59, No. 1, 1999, pp. 221-230.
5. Vis, I. F. A. and Koster, R., "Transshipment of Containers at a Container Terminal: An Overview", *European Journal of Operational Research*, Vol. 147, 2003, pp. 1-16.
6. Steenken, D., Voß, S., and Stahlbock, R., "Container Terminal Operation and Operations Research – A Classification and Literature Review", *OR Spectrum*, Vol. 26, 2004, pp. 3-49.
7. Meersmans, P. J. M. and Dekker, R., "Operations Research Supports Container Handling", Technical Report EI, Erasmus University, Econometric Institute, Rotterdam, 2003.
8. 靳蓉章，「如何提高貨櫃船船邊作業的效率」，**中華海員**，第五八〇期，民國九十一年，頁 1-22。
9. Chen, T., "Yard Operations in the Container Terminal – A Study in the Unproductive Moves",

- Maritime Policy and Management*, Vol. 26, No. 1, 1999, pp. 22-38.
10. Garrido, R. A. and Allendes, F. A., "Analysis and Modeling of Container Terminals Operations", *Proceedings of the Conference on Traffic and Transportation Studies, ICTTS*, 2000, pp. 232-239.
 11. Bish, E. K., Leong, T. Y., Li, C. L., Ng, J. W. C., and Simchi-Levi, D., "Analysis of a New Vehicle Scheduling and Location Problem", *Naval Research Logistics*, Vol. 48, 2001, pp. 363-385.
 12. Bish, E. K., "A Multiple-Crane-Constrained Scheduling Problem in a Container Terminal", *European Journal of Operational Research*, Vol. 144, 2003, pp. 83-107.
 13. Nishimura, E. and Imai, A., "Optimal Vehicle Routing for Container Handling in a Multi-User Container Terminal", *Proceedings of The International Seminar on Global Transportation Network*, Kobe, Japan, 2000, pp. 123-132.
 14. Das, S. K and Spasovic, L., "Scheduling Material Handling Vehicles in a Container Terminal", *Production Planning and Control*, Vol. 14, No. 7, 2003, pp. 623-633.
 15. Bose, J., Reiners, T., Steenken, D., and Voß, S., "Vehicle Dispatching at Seaport Container Terminals Using Evolutionary Algorithms", *Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences*, 2000.
 16. Ballis, A., Golias, J., and Abakoumkin, C., "A Comparison Between Conventional and Advanced Handling Systems for Low Volume Container Maritime Terminals", *Maritime Policy and Management*, Vol. 24, No. 1, 1997, pp. 73-92.
 17. Liu, C. I., Jula, H., Vukadinovic, K., and Ioannou, P. A., "Comparing Different Technologies for Containers Movement in Marine Container Terminals", *Proceedings of the Conference on Intelligent Transportation Systems, ITSC*, 2000, pp. 488-493.
 18. Evers, J. J. M. and Koppers, S. A. J., "Automated Guided Vehicle Traffic Control at a Container Terminal", *Transportation Research Part A*, Vol. 30, 1996, pp. 21-34.
 19. Vis, I. F. A., Koster, D. R., Roodbergen, K. J., and Peeters, L. W. P., "Determination of the Number of Automated Guided Vehicles Required at a Semi-Automated Container Terminal", *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 52, No. 4, 2001, pp. 409-417.
 20. Kozan, E., "Comparison of Analytical and Simulation Planning Models of Seaport Container Terminals", *Transport Plan Technology*, Vol. 20, 1996, pp. 235-348.
 21. Kiesling, M. K. and Walton, M., "Loading/Unloading Operations and Vehicle Queuing Processes at Container Ports", Working paper, Texas A & M University, College Station, 1995.
 22. Daganzo, C. F., "The Productivity of Multipurpose Seaport Terminals", *Transport Science*, Vol. 24, No. 3, 1990, pp. 205-216.
 23. Easa, S. M., "Approximate Queuing Models for Analyzing Harbor Terminal Operations", *Transportation Research Part B*, Vol. 21, 1987, pp. 269-286.
 24. Edmond, E., "Operation Capacity of Container Berths for Scheduled Service by Queuing Theory", *Dock Harbor Authority*, 56, 1975, pp. 230-234.
 25. Jones, J. H., "Ship Turn-Around Time at the Port of Bangkok", *Journal of Waterways Harbors Div.*, Vol. 94, 1968, pp. 135-148.

26. 陳壽山，「貨櫃堆積場機具作業時間模式之構建及比較」，國立成功大學交通管理研究所碩士論文，民國八十四年六月。
27. Kozan, E. and Preston, P., "Genetic Algorithms to Schedule Container Transfers at Multimodal Terminals", *International Transactions in Operations Research*, Vol. 6, 1999, pp. 311-329.
28. 許乃云，「貨櫃儲區整櫃之最佳化網路模式」，國立成功大學土木工程研究所碩士論文，民國九十一年七月。
29. Kim, K. Y. and Kim, K. H., "Routing Algorithm for a Single Transfer Crane to Load Export Containers onto a Containership", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 33, No. 3-4, 1997, pp. 673-676.
30. Kim, K. H. and Kim, K. Y., "An Optimal Routing Algorithm for a Transfer Crane in Port Container Terminals", *Transportation Science*, Vol. 35, No. 1, 1999, pp. 17-33.
31. Kim, K. Y. and Kim, K. H., "Heuristic Algorithms for Routing Yard-Side Equipment for Minimizing Loading Times in Container Terminals", *Naval Research Logistics*, Vol. 50, 2003, pp. 488-514.
32. 謝玉霜，「限制式規劃應用於港區貨櫃場軌道式門型起重機移動路徑之研究」，國立成功大學交通管理研究所碩士論文，民國九十年六月。
33. 陳春益、趙時樑，「港區貨櫃場軌道型門式起重機移動路徑之研究」，**運輸計劃季刊**，第三十二卷，第四期，民國九十二年，頁 681-714。
34. 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研究所博士論文，民國九十二年八月。
35. Kim, K. Y. and Kim, K. H. "A Routing Algorithm for a Single Straddle Carrier to Load Export Containers onto a Containership", *International Journal of Production Economics*, Vol. 59, 1999, pp. 415-423.
36. Kim, K. H. and Kim, K. Y., "Routing Straddle Carriers for the Loading Operation of Containers Using a Beam Search Algorithm", *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 36, No. 1, 1999, pp. 109-136.
37. Daganzo, C. F., "The Crane Scheduling Problem", *Transportation Research Part B*, Vol. 23, No. 3, 1989, pp. 159-175.
38. Peterkofsky, R. I. and Daganzo, C. F., "A Branch and Bound Solution Method for the Crane Scheduling Problem", *Transportation Research Part B*, Vol. 24, No. 3, 1990, pp. 159-172.

附錄 A 簡例之起重機工作順序表

裝卸 順序	裝或卸櫃*	船上 存放排位置	容許之存櫃或提櫃儲區 [#]				貨櫃屬性	卸櫃港口
			A1	A2	A3	A4		
1	1	7	6	10	16	0	1	TWKHH
2	1	7	6	10	16	0	1	TWKHH
3	1	7	6	10	16	0	1	TWKHH
4	1	7	1	12	0	0	2	SGSIN
5	1	5	6	10	16	0	1	TWKHH
6	1	5	6	10	16	0	1	TWKHH
7	1	6	1	12	0	0	2	SGSIN
8	0	7	12	15	0	0	3	HKHKG
9	0	7	12	15	0	0	3	HKHKG
10	0	7	1	12	15	0	4	THBKK
11	0	7	12	15	0	0	3	HKHKG
12	0	7	1	12	15	0	4	THBKK
13	0	5	1	12	15	0	4	THLCB
14	0	5	1	12	15	0	4	THLCB
15	0	6	1	12	15	0	4	THBKK
16	0	6	1	12	15	0	4	THBKK
17	1	2	6	10	16	0	1	TWKHH
18	1	3	1	12	0	0	2	SGSIN
19	1	3	1	12	0	0	2	SGSIN
20	0	3	12	15	0	0	3	HKHKG
21	1	6	2	5	9	13	5	RTM
22	1	6	2	5	9	13	5	RTM
23	1	5	3	8	11	0	6	USG
24	1	5	3	8	11	0	6	USG
25	1	5	3	8	11	0	6	USG

*: 以 1 或 0 分別表示貨櫃為進口卸櫃或出口裝櫃

#: 表列值 A1 至 A4，為該貨櫃可能存櫃或提櫃之儲區編號，如 6 代表第 6 號儲區，而當儲區之選擇不足時，即以 0 填入以表示無多餘可存櫃或提櫃的儲區。

附錄 B 簡例說明之儲區指派結果

櫃次	裝或卸櫃	由近至遠 指派之儲區	由遠至近 指派之儲區	一遠一近 指派之儲區	隨機選取 指派之儲區
1	1	6	16	16	16
2	1	6	16	6	16
3	1	10	10	16	10
4	1	1	12	1	1
5	1	10	10	10	10
6	1	10	10	6	6
7	1	12	12	12	12
8	0	15	12	15	15
9	0	15	12	12	15
10	0	1	12	1	1
11	0	12	15	12	12
12	0	1	15	1	1
13	0	15	15	12	15
14	0	15	15	1	12
15	0	15	15	15	15
16	0	15	15	1	15
17	1	16	6	10	6
18	1	12	12	1	12
19	1	12	1	12	12
20	0	12	15	15	12
21	1	2	13	13	13
22	1	5	5	2	5
23	1	3	11	11	3
24	1	3	11	3	11
25	1	8	8	11	3

