

貨櫃定期航商珠江三角洲空櫃調度模式 之研究—以某國籍航商之個案為例¹

A STUDY ON AN EMPTY CONTAINER DISPATCH MODEL FOR MERCHANT SHIPS IN THE PEARL RIVER DELTA AREA – THE CASE STUDY ON MERCHANT SHIPS OF SPECIFIC NATIONALITY

趙時樑 Shih-Liang Chao²
涂智凱 Chi-Ki Tu³

(100年10月4日收稿，101年5月28日第一次修改，101年10月1日第二次修改，
101年11月27日第三次修改，102年2月27日第四次修改，102年6月12日定稿)

摘 要

珠江三角洲 (Pearl River Delta, PRD) 是中國經貿活動最繁榮的港口經濟區之一，其以珠江綿密水系為主之獨特貨櫃運輸系統，使得全球廠商可以深入內陸設立生產據點，利用低廉勞工與土地成本取得競爭優勢，生產成品則可透過香港、深圳等國際港口出口至世界主要港口。由於經貿與生產活動相當活絡，此一具龐大貨櫃運輸需求之市場已成為全球主要定期航商積極發展之重點。然由於 PRD 地區獨特的水陸交錯運輸體系，使得其空櫃調度問題更加複雜。本研究旨在從國籍航商之角度，探討 PRD 地區空櫃調度與管理問題，考量重櫃拆空、空櫃調度、貨櫃租賃等因素，以及水、陸運輸系統之特性與限制條件，建立網路研究模式協助分析問題，並以某國籍航商之個案為例，進行淡旺季貨櫃調度最佳策略之案例研究以及各據點需求變動時之敏感性分析。

-
1. 本文為國科會補助研究計畫 H98-2410-H-019-018 之部分研究成果，謹此誌謝。
 2. 國立臺灣海洋大學航運管理學系研究所副教授 (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 3422；E-mail: alexchao@ntou.edu.tw)。
 3. 國立臺灣海洋大學航運管理學系研究所碩士 (E-mail: sky94kk@yahoo.com.tw)。

關鍵詞：珠江三角洲；貨櫃調度；定期航運；網路分析

ABSTRACT

The Pearl River Delta (PRD) demonstrates one of the most prosperous trading activities in harbor economies in China. The unique transportation system of the Pearl River stimulates business around the world to establish inland production facilities in China, subsequently utilizing the cheap labor and land costs of China as a competitive advantage. Finished products can then be shipped worldwide via international harbors located in Hong Kong and Shenzhen. Because of the prevalent trade and production activity, the massive requirement for transportation has led the PRD to become an essential stop for merchant ships worldwide. Furthermore, due to the diversity of transportation modes in the PRD, liner carriers must efficiently handle the complicated problem of container management. Thus, this study proposes a mathematical network model in provision of the empty container management problem in the PRD. Considering numerous factors such as heavy container dismantlement, empty container dispatch, and container rental, as well as the characteristics and limitations of the land and water transportation systems in the PRD, this mathematical network model can be used to effectively analyze problems. Subsequently, by using the merchant ships of specific nationalities as an example, this study analyzed the optimal dispatch strategies during peak and off-peak seasons, and further conducted sensitivity analysis of various locations during demand changes.

Key Words: *Pearl River Delta; Container repositioning; Liner shipping; Network analysis*

一、研究背景

珠江三角洲 (Pearl River Delta, 以下簡稱 PRD)、長江三角洲以及環渤海區為中國最繁榮的 3 個港口經濟區，其中 PRD 因腹地遼闊且有香港、鹽田、赤灣與蛇口等國際港口在貨物運輸方面的支援，國際經貿活動最為發達。如表 1 所示，在 2007-2011 年間，廣州、深圳與香港之貨櫃量約占亞洲主要港口總量之四分之一強，也約當於大陸主要港口 (含香港) 總量之五成左右，經濟實力相當堅強。在這個活絡的經貿體系背後，一個完善的海運貨櫃運輸系統扮演著極為重要的基礎角色。在地理特性上，珠江綿密水系的駁船運輸網路，使得包括臺商在內的全球廠商，可以深入上游內陸腹地設立生產據點，取得勞工與土地的成本優勢。大量生產的成品則可藉由內河水運或卡車拖運等方式先運至香港與深圳等國際級港口，再藉由密集的航線網路運銷至世界各地。值得一提的是，雖然深入上游區域發展可以取得成本優勢，卻也同時提高了原物料、半成品與成品運送問題之複雜度，需要完善的運輸與物流系統支援，才能保持生產運銷活動的順暢。對於在 PRD 區域提供貨櫃運輸服務的航商而言，除了開闢由香港與深圳等港口往來世界主要港口的航線網路並維持準確的船期外，如何利用獨特且多元的複雜運輸系統於分布廣闊的營業據點中，有效地調度與管理貨櫃，實為影響航商營運效率與服務品質之關鍵作業性課題，值得進行深入的探討。

表 1 亞洲主要港口貨櫃處理量

(單位：1,000 TEU)

港口	2007		2008		2009		2010		2011	
	櫃量	百分比								
上海	26.11	13.33%	27.98	13.36%	25.00	13.16%	29.00	13.26%	31.50	13.35%
大阪	1.97	1.01%	1.95	0.93%	1.84	0.97%	1.98	0.91%	2.17	0.92%
丹戎不碌	3.90	1.99%	3.98	1.90%	3.80	2.00%	4.71	2.15%	5.80	2.46%
丹戎帕拉帕斯	5.47	2.79%	5.60	2.67%	6.02	3.17%	6.53	2.99%	7.50	3.18%
天津	7.10	3.62%	8.50	4.06%	8.70	4.58%	10.08	4.61%	11.50	4.87%
巴生港	7.12	3.63%	7.97	3.81%	7.31	3.85%	8.87	4.06%	9.76	4.14%
可倫坡	3.38	1.73%	3.69	1.76%	3.46	1.82%	4.12	1.88%	4.26	1.81%
東京	3.82	1.95%	4.16	1.99%	3.74	1.97%	4.28	1.96%	4.55	1.93%
青島	9.46	4.83%	10.32	4.93%	10.26	5.40%	12.01	5.49%	13.02	5.52%
香港	23.94	12.22%	24.49	11.69%	21.04	11.07%	23.53	10.76%	24.40	10.34%
神戶	2.43	1.24%	2.56	1.22%	2.25	1.18%	2.56	1.17%	2.47	1.05%
釜山	13.28	6.78%	13.40	6.40%	11.95	6.29%	14.17	6.48%	16.06	6.80%
馬尼拉	2.80	1.43%	3.00	1.43%	2.88	1.52%	3.26	1.49%	3.25	1.38%
高雄	10.26	5.24%	9.68	4.62%	8.58	4.52%	9.18	4.20%	9.64	4.08%
深圳	20.81	10.62%	21.41	10.22%	18.25	9.61%	22.34	10.21%	22.57	9.56%
新加坡	27.94	14.26%	29.92	14.29%	25.87	13.62%	28.43	13.00%	29.94	12.69%
寧波舟山	9.34	4.77%	11.22	5.36%	10.42	5.48%	13.07	5.98%	14.69	6.22%
廣州	8.89	4.54%	11.00	5.25%	11.19	5.89%	12.49	5.71%	14.40	6.10%
橫濱	3.23	1.65%	3.48	1.66%	2.80	1.47%	3.02	1.38%	2.80	1.19%
藍加邦	4.64	2.37%	5.13	2.45%	4.64	2.44%	5.07	2.32%	5.73	2.43%
總和	195.89	100%	209.44	100%	190.00	100%	218.70	100%	236.01	13.35%
華南港口總量	53.64	27%	56.90	27%	50.48	27%	58.36	27%	61.37	26%
大陸港口總量	105.65	54%	114.92	55%	104.86	55%	122.52	56%	132.08	56%
華南港口總量 占大陸港口之 總量比例	-	51%	-	50%	-	48%	-	48%	-	56%

註：1.華南港口表示廣州港、香港與深圳港。

2.TEU 為 twenty-foot equivalent unit 之縮寫，表示廿呎貨櫃當量。

資料來源：Calrson Research Services^[1]。

由於全球主要經濟區域存在貿易不平衡的特性，導致貨櫃流動產生不均衡的現象，進而衍生出空櫃調度與管理的問題。以 2007-2011 年為例 (表 2)，除了越大西洋航線之櫃流維持在均衡狀況外，另兩大市場之櫃流失衡狀況嚴重，越太平洋航線東向之重櫃⁴運輸貨量約為西向運量之兩倍，其中 2007 年甚至達到 2.4 倍；另在遠東至歐洲航線方面則反之，其西向之重櫃運輸貨量約為東向運量之兩倍。此現象迫使航商必須採行貨櫃調度或租賃等策略來平衡貨櫃的存量，以紓解歐美港口空櫃累積壓力，並滿足亞洲各港未來重櫃運送之需求。除了長程跨洋的調運空櫃之外，區域內複雜的貨櫃調度與管理問題，更是航商營運能力的一大考驗。若空櫃存量過多，將虛耗存置成本並降低公司整體貨櫃周轉效率；若存量不足，則無法及時滿足客戶需求而失去商機。

我國為定期航運相當發達之國家，擁有長榮、陽明萬海與德翔等居全球領先地位之定期航商，以及高雄、基隆、臺北及臺中等國際重要貨櫃港口。基於地緣、語言以及臺商人脈等優勢，我國航商在貨櫃運量日益增長的大陸市場中已占有相當重要的地位，尤其在兩岸航運已開放直航的經營環境下，國籍航商預期應有更多發展的商機。然因 PRD 地區據點繁多且運輸系統組成多元，大幅增加了處理貨櫃管理與調度問題之複雜度與困難度。本研究旨在經由專家訪談與文獻回顧探討 PRD 地區貨櫃營運系統現況，並以國籍航商之角度，針對該地區空櫃調度問題進行解析，重點包括貨櫃存放據點之佈署、重櫃與空櫃之流向與運送方式、貨櫃租賃運作現況等。此外，本研究利用多元商品網路構建 PRD 地區貨櫃調度數學模式，並以某國籍航商為例進行實證研究。

本文以下共分 4 節：第 2 節針對研究課題進行分析，並探討 PRD 貨櫃運輸系統與貨櫃調度管理相關文獻；第 3 節說明本研究之研究方法，首先以一概念性模式說明如何利用多元商品網路模式表達國籍航商之 PRD 貨櫃調度特性，其次提出完整之數學規劃模式；第 4 節為案例研究，包含國籍航商營運基本情境分析以及重要參數變動之敏感性分析。有關本研究之結論與建議則整理於最後一節。

二、研究課題分析

珠江綿密廣闊的水系造就了 PRD 獨特的內河航運系統，隨著區域內之道路與內河碼頭改善工程相繼完工，PRD 地區整體交通運輸系統已更臻便捷完善，為貨主與航商從事貨櫃運輸提供了更便利的基礎設施。為深入分析 PRD 地區空櫃調度問題特性，2.1 節先探討 PRD 貨櫃運輸系統相關文獻，2.2 節則回顧貨櫃調度問題相關研究，並歸納國籍航商於 PRD 地區處理貨櫃調度所考慮之因素。

⁴ 實務上常將內含貨物的貨櫃稱為重櫃或實櫃，未裝貨物的貨櫃稱為空櫃。

表 2 全球主要市場貨櫃流量統計

(單位：1,000 TEU)

年度 航線	2007	2008	2009	2010	2011
越太平洋東向	14,644	13,562	11,722	13,819	15,034
越太平洋西向	6,093	6,522	6,459	6,909	7,539
不平衡比例	2.4	2.1	1.8	2	2
遠歐線西向	9,101	8,583	7,327	8,737	9,360
遠歐線東向	4,218	4,021	4,076	3,975	4,175
不平衡比例	2.2	2.1	1.8	2.2	2.2
越大西洋西向	2,387	2,256	1,883	2,188	2,267
越大西洋東向	2,125	2,276	1,748	1,955	2,042
不平衡比例	1.1	1	1.1	1.1	1.1

註：太平洋市場之不平衡比例為東向流量除以西向流量，其他市場之不平衡比例為西向流量除以東向流量。

資料來源：Neylan^[2]。

2.1 PRD 之貨櫃運輸系統

在 PRD 地區貨櫃港口系統的演進方面，Wang 與 Slack^[3] 指出在 1980 年代建立的深圳特別經濟特區，雖擁有良好的深水條件和地理位置，並極力發展國際貿易，然當時大陸港口仍難以與香港直接競爭。即使香港之成本和港口費用相對較高，但其作業效率以及綿密高頻的國際航線網路仍維持了競爭優勢。該研究同時指出在 1980 年代，大約有 95% 的貨櫃經由香港進出中國，在 1986-1996 年間香港貨量呈現倍數的成長，造就香港在 1990 年代貨櫃軸心港的地位。但由於成本競爭、一國兩制政策、全球化與香港腹地狹小的影響，加上深圳港之鹽田、赤灣與蛇口等港區均積極強化軟硬體設施與設備並開闢國際定期航線，華南地區進出口貨量逐漸由香港轉往鄰近港口。另由表 1 可知，深圳港僅以些微差距落後於香港而位居世界第四大港，目前正朝向躋身世界前三大港而積極發展。

值得重視的是，有別於一般僅利用貨櫃卡車運輸方式，PRD 獨特的地理特性造就了其多元化的運輸方式。如 Wong 等人^[4] 利用層級程序分析法，探討託運人在 PRD 區域選擇國際航商的問題，其實證研究的對象為不同類型的託運人，藉由統計歸納出的 7 個準則進行問卷調查，據以評估 8 種不同的運輸方案。在實際貨櫃流向方面，Wang 與 Slack^[3] 指出，1997 年 PRD 地區經由香港之出口及轉運貨物量為 542.4 萬 TEU，其中經由內河航運駁船 (barge) 及沿海駁船 (coastal feeder) 等方式運送至香港之貨櫃達 70.6 萬 TEU，而經由陸路卡車拖運者達 350 萬 TEU，由此可見香港對於 PRD 地區之貨物進出口具相當重要之地位。此外，1997 年 PRD 地區直接出口之貨物中，亞洲區間貨物以深圳西部蛇口港為主要出口港，而出口至美洲與歐洲之貨物則以鹽田及赤灣為主要出口港。基本上，PRD 地

區之貨物運輸系統係由內河航運、陸運卡車及鐵路系統所構成，其特性分述如下：

1. 內河航運方面：在地方政府的積極建設下，近年來 PRD 地區內河航運系統發展相當迅速。根據珠江航務管理局^[5]之統計，珠江水系 2012 年之貨物吞吐量達 3.5 億噸，貨櫃吞吐量達 664.4 萬 TEU，與 2011 年相比各別增長 12.9%和 15.0%，且 2012 年之貨量呈逐月成長之態勢。雖然 PRD 地區內河航運發展快速，然仍存在許多問題，如 10 年以上高齡船舶仍為內河航運主力，可能增加營運風險。而貨櫃船數量短缺以及營運業者削價競爭等現象，亦不利於內河航運之發展。
2. 卡車陸運方面：周祥^[6]指出，深圳區域內之卡車業自 1994 年起進入快速成長期，2008 年深圳港貨櫃量之 86%係以卡車陸運為主，足見卡車為深圳港最主要之貨櫃運送方式。由於進入門檻低，深圳區域內卡車托運業者之營運競爭相當激烈，其中以拖車經營業者眾多導致市場供過於求之情形最為嚴重。以 2007 年深圳港區貨櫃吞吐量與市場卡車數量相比可知，每處理一萬 TEU 貨櫃需使用 1,100 輛拖車，拖車業者間削價競爭激烈。雖然如此，高可及性之卡車仍為 PRD 區域之重要運輸工具。
3. 鐵路運送方面：近年來，全球許多廠商紛紛將生產基地設於中國內陸地區，以降低製造成本，中國內陸地區遂漸形成重要的貨物輸出地。相對於 PRD 之東莞及深圳等地便利的陸運與水運系統，內陸省份貨品輸出多仰賴卡車運輸，然運送時間過長、運量少且單位成本過高是卡車運輸之缺點，故大陸於 2006-2010 年間興建 18 條鐵路系統與物流中心，吸引航商與貨主擴大使用鐵路運輸。然因卡車運輸系統仍為 PRD 地區之貨物主要運輸方式，而貨櫃鐵路運輸的使用相對而言較少^[7]，因此本研究暫不考慮鐵路運輸方式。

2.2 PRD 貨櫃調度課題分析

在全球貨物流向不平衡的情況下，空櫃往往會累積在進口量高於出口量的港口，導致各港空櫃存量與出口需求產生差異，此時航商必須採取適當的空櫃調度措施，來減輕積櫃港的存置成本壓力並滿足缺櫃港的貨櫃需求。由於涉及預測、船期、航線網路與成本控制等決策性課題，空櫃調度已成為許多研究所探討的主題，如 Shen 與 Dhoong^[8]利用網路最佳化模型和啟發法建立一個決策支援系統，來處理空櫃分配不均的問題，該系統首先考量區域內的貨櫃分配，其次為區域間貨櫃調度，最後才考量到貨櫃租賃的問題。Li 等人^[9,10]指出由於不平衡的國際貿易活動，導致航商在某些港口積累了大量的閒置空櫃，而在某些地區則有空櫃需求，並定義貨櫃調度問題是針對未來缺櫃港之進口空櫃與多櫃港需輸出空櫃所需的管理。值得一提的是，Li 等人^[9,10]提出了港口空櫃存貨範圍上下限的概念，即當某港口空櫃數量高於上限時，必須將空櫃運出至其他港口；當某港口空櫃存貨數量低於下限時，必須由其他港口輸入空櫃；當某港口空櫃存貨數量介於上下界之間時，則無須進行空櫃調度。Feng 與 Chang^[11]基於安全庫存管理和地理區域等因素之考量，分兩個階段處理空櫃調度問題：第一階段是確定每一個港口的安全存量，第二階段則是解決運輸航線

規劃的問題。其研究模式是以空櫃調度最小總成本為目標，考量從供應點到需求點空櫃調度的流動，並研提最佳化調度的方法提供給航商作為決策參考。Olivo 等人^[12]指出貨櫃調度須考量貨櫃類型、貨櫃存置場地以及起租貨櫃的時間和地點，據以決定貨櫃之借用、租用或購買的數量，並以最小成本流量為目標建立數學規劃模式，來處理空櫃調度管理問題。值得注意的是，Olivo 等人^[12]以一週為規劃期，並以每小時為階段建立網路規劃模式，此方式將大幅增加決策變數與限制式的數目，並可能影響求解效率。由於 PRD 地區獨特的地理特性與多元的運輸方式，增加了航商空櫃調度之複雜性。本研究考量 PRD 區域內最重要之深圳、東莞、廣州及中山等營運據點之需求，結合香港、鹽田與蛇口等國際港口，建立數學模式協助進行貨櫃調度決策。根據文獻探討與訪談國籍航商之結果，本研究將國籍航商 PRD 地區貨櫃調度重點彙整分述如下：

1. 業務區域與據點：以珠江入海口為界，可將 PRD 地區分成珠東與珠西兩大部分（如圖 1），其中珠東區域包含北側之東莞以及南側之深圳兩大行政區，皆為以出口為導向之大型工業城市；而珠西區域則可沿綿密分支水系而上，腹地相當遼闊，國籍航商常將珠西區域劃分成廣州、中山與順德等業務分域。根據本研究訪談結果，東莞、深圳、廣州、中山與順德等地，為航商於 PRD 地區劃分攬貨業務範圍與設立分支機構之主要據點，而香港與鹽田等國際港口，因需處理母船靠港與配艙等業務，航商通常會設立層級較高且編制較大的分支機構。



資料來源：某國籍航商。

圖 1 PRD 主要港口與國籍定期航商營運據點

2. 貨櫃運輸系統特色：基本上 PRD 區域內之貨櫃運輸系統，係由駁船與拖車兩大主要子系統所構成。珠東之東莞市西部因濱臨海岸線，貨櫃可由虎門等國內港口以駁船運往香港、蛇口等國際港口轉運出口；東莞東部則以拖車陸拖貨櫃南下較具經濟效益；位於東

莞下方的深圳市地形扁而狹長，區內貨櫃傳統上以陸拖至香港出口為主，惟近年來因左岸之赤灣、蛇口與右岸之鹽田港積極發展現代化貨櫃碼頭，開闢遠洋定期航線招攬航商，已吸引許多貨物利用深圳本身港口出口，對香港的貨櫃量產生極大的衝擊；珠西方面則以駁船為主要運具，將來自如廣州、中山與順德等地之貨櫃運往香港出口。特殊的是，基於成本與時間等因素，許多由內河駛往香港之駁船並不泊靠碼頭，而是於海面直接與母船直接交接貨櫃，業界稱為中流作業。

3. 空櫃調度特性：根據本研究訪談國籍航商之結果可知，PRD 地區主要包含空櫃補給、空櫃調度、重櫃拆空、貨櫃租賃與新造貨櫃使用等方式，分述如后：
 - (1) 空櫃補給：由於出口需求高，航商於歐美航線回程時，會利用母船艙位載運空櫃卸於香港或鹽田等港口，以供貨主提領裝貨；在珠西方面，由於仰賴駁船調運空櫃，故空櫃運至內河碼頭後，常存於內河碼頭後線櫃場以供貨主提領裝貨。
 - (2) 空櫃調度：當某營運據點發生空櫃存量不足的狀況時，基於時效與成本考量，可向鄰近營運據點請求空櫃支援。此時航商將利用拖車或駁船等運具執行營運據點間空櫃的調度。例如當中山或順德等營運據點缺櫃時，可考量由廣州調運空櫃；而珠東區域各營運據點間亦可進行空櫃調度。
 - (3) 重櫃拆空：各營運據點之進口重櫃經貨主提領拆空後會成為空櫃，可直接供同一貨主再次裝貨出口使用，或歸還於鄰近碼頭或空櫃場集中儲放，以滿足未來其他貨主出口需求。一般而言，前一航次的進口貨櫃經提領拆空後所產生之空櫃，可供下一航次使用，其時間間隔視航商提供之貨櫃免費期 (free time) 而定。
 - (4) 貨櫃租賃：當航商無法以補給或調度自有空櫃滿足業務需求時，常需經由貨櫃租賃來補充短缺的貨櫃需求。貨櫃租賃的方式相當多元，有經規劃簽訂的長期租約，亦有臨時應付急需之短期租約。然不論租約為何形式，當空櫃需求產生時，可依租約於適當地點向租櫃公司提領貨櫃 (業界稱為起租)，經使用後再依租約條件歸還。
 - (5) 新造貨櫃使用：值得一提的是，PRD 地區內有許多貨櫃生產基地，如位於蛇口的中國國際海運集裝箱股份有限公司即為全球最大之貨櫃製造公司，承接航商之各類貨櫃生產計畫。在某些生產時程配合狀況下，新造貨櫃可供航商直接提領使用，但此方式屬於特殊狀況，並非航商經常性的空櫃調度管理方式，因此本研究暫不考量此空櫃補充方式。

三、研究方法

本研究以數學網路分析為研究方法，先利用多元商品網路為基礎，根據國籍航商 PRD 地區空櫃調度特性建立概念性模式，接著根據概念性模式建立對應之數學規劃模式。以下詳述本研究之方法與程序。

3.1 概念性模式之建立

本小節先說明建立模式前的若干基本假設；其次說明如何以多元商品網路之概念表達 PRD 地區之空櫃調度特性：

1. 模式假設

由於國籍航商 PRD 空櫃調度涉及因素複雜，為利於數學模式之建構，故基於實務之觀點進行以下假設：

- (1) 空櫃調度問題所涉之相關因素很多，如船舶艙位分配、重櫃與空櫃數量以及航線配置等等，若以全球性之貨櫃調度觀點加以探討，將使問題之規模過於龐大，故本文僅以 PRD 核心區域之空櫃調度進行探討。又 PRD 地區為大陸華南之進出口重鎮，除臨近香港及深圳等重要國際大港外，珠江水系尚有許多內河港口，若將所有內河港皆納入考量將導致模式繁複，且許多港口貨量不多。是故，本研究僅針對香港、蛇口、鹽田等重要國際出口大港，以及東莞、廣州、中山、順德等重要內河港口及場站加以考量，其他小型港口與營運據點暫不予考慮。
- (2) 由於距離不長，故模式中暫不考量空櫃調往缺櫃區域之時間差距，或空重櫃之間置時間、航行時間及貨櫃內陸循環時間 (turn around time) 等，即本研究先不探討動態或隨機性之參數，而以規劃性之靜態事前作業為主。
- (3) 本研究係以較長期之規劃觀點來建立研究模式，因此假設各據點前一期之進口重櫃拆空後全部轉為本期可用空櫃，暫不考慮不同時間之空櫃返還百分比。
- (4) 本研究模式中之各項成本參數，如貨櫃裝卸成本、陸上拖運成本、駁船費用、貨櫃起租費以及貨櫃場租等費用，乃以平均運費為基準，不同時間內之運費成本變動暫不予考量。

在模式成本參數設定方面，由於問題涉及港口裝卸、卡車運輸、駁船運輸、空櫃儲存與場租等成本，謹將各項相關成本參數設定之考量方式說明如下：

- (1) 進口空重櫃裝卸及處理費：此為歐、美及亞洲 3 條國際主要航線於每航次承運空重櫃進入 PRD 地區之香港、鹽田與蛇口等主要港口時之貨櫃裝卸及處理成本，此項成本將因港口之不同而有所差異。
- (2) 貨櫃陸拖成本：3 條主要航線進口之空重貨櫃經母船運抵主港後，珠東地區主要以傳統卡車陸拖方式，將空重櫃運抵內陸各需求點。此項陸拖成本將因各需求點間之運輸距離長短及運達便利性而有所差異。
- (3) 駁船運送成本：駁船運輸在 PRD 十分廣泛，特別是在珠西區域。然需考量各需求據點間是否可以駁船方式運輸貨櫃，以及駁船航次容量限制等因素。駁船運輸之成本與陸拖成本設定概念相同，即隨承運之距離及起迄港而定。
- (4) 貨櫃起租成本：起租成本會因起租數量及地點之不同而異，且因並非各需求點皆可起租貨櫃，故起租地點與之成本設定須依合約而定。

(5) 貨櫃場租成本：此成本代表各據點空櫃存放於櫃場期間所應支付之費用，將因各內陸櫃場不同而定。

2. 空櫃調度概念性模式

根據上述空櫃補充及成本參數設定方式，本研究提出 PRD 地區國籍航商貨櫃調度概念性模式網路（詳如圖 2），網路中各節點及節線分別具有不同的意義。在節點方面，網路中共包含以下 6 種節點：

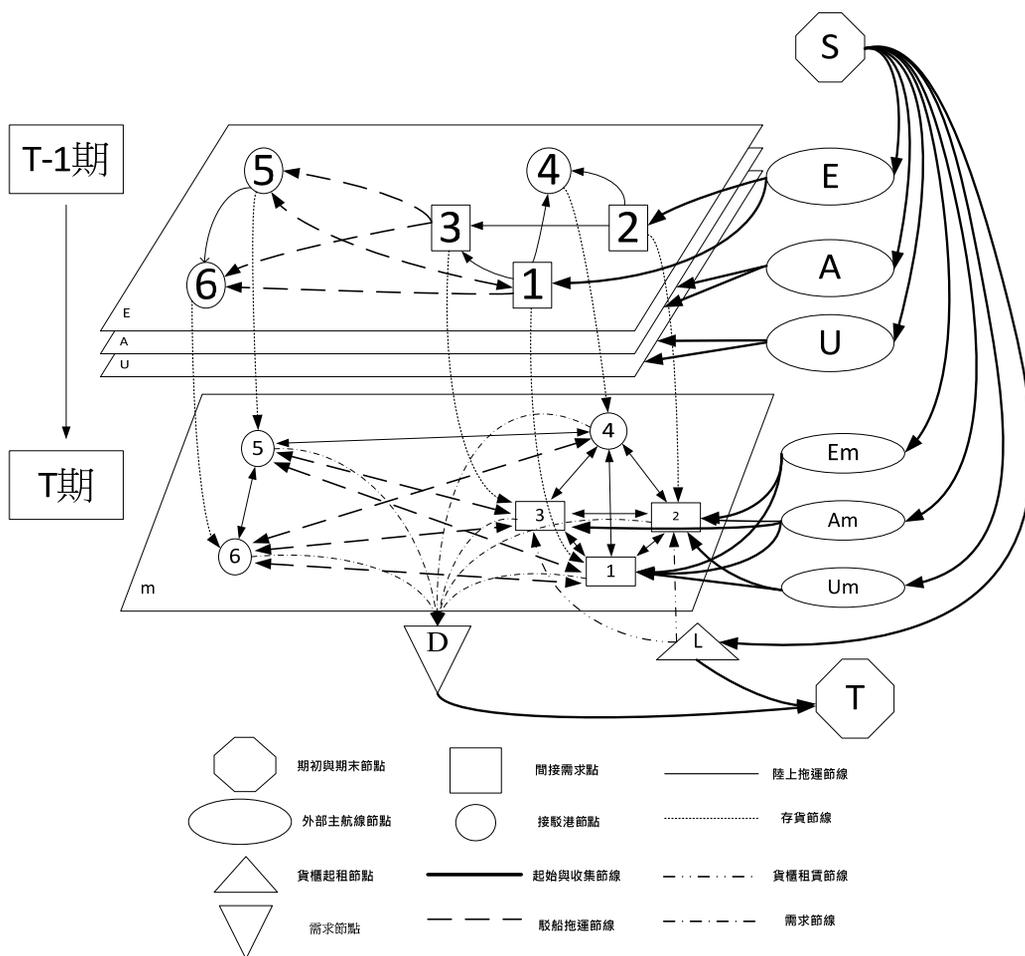


圖 2 PRD 空櫃調度概念性模式網路示意

(1) 外部主航線節點：此節點代表 3 條國際主航線所帶來的重櫃與空櫃。如在圖 2 中，節點 E, A 與 U 分別表歐洲、亞洲與美洲航線母船帶來的重櫃；節點 Em, Am 與 Um 分別表歐洲、亞洲與美洲航線母船帶來的空櫃。而為了區分各航線重櫃流入，重櫃共分成 E,A 與 U3 個圖層，分別表示歐、亞、美 3 條航線，空櫃則設計於圖層 m 上流動。

- (2) 間接需求點：代表實際航運網路中 3 條主航線靠泊港，主要將母船帶來之貨櫃轉往 PRD 地區，但本身亦有部分的空櫃需求。如在圖 2 中，E 層之節點 1、2、3 分別表示香港、鹽田與蛇口港。
- (3) 需求節點：用以連接各據點，透過節線流量表示各據點本期之需求，如圖 2 之節點 D。
- (4) 接駁節點：用以將主要港口輸入之貨櫃轉運至 PRD 地區之內陸河港與據點。如在圖 2 中，E 層之節點 4、5、6 分別表示東莞、廣州、中山。
- (5) 起租節點：代表提供起租貨櫃之節點，如圖 2 之節點 L。
- (6) 起始節點：表規劃期間之貨櫃流入總量，如圖 2 之節點 S。
- (7) 期末節點：用以收集規劃期末之貨櫃總量，如圖 2 之節點 T。

在節線方面，圖 2 網路中共包含以下 6 種節線，用以表示因卸船、調度、起租等活動所造成的重櫃與空櫃所之流動。以下詳述其意義：

- (1) 起始節線：用以連接起始節點與各外部主航線節點之節線，其流量表示各主航線船舶所帶來的貨櫃，以及貨櫃起租節點可以提供貨櫃的數量，如圖 2 之節線 (S,E)。
- (2) 收集節線：用以連接期末節點與貨櫃起租節點，表示未被租用之貨櫃數量，如圖 2 之節線 (L,T)；亦用以連接期末節點與需求節點，表示當其各據點之貨櫃總需求，如圖 2 之節線 (D,T)。
- (3) 重櫃節線：表由 3 條主航線進口至 PRD 國際港口之重櫃流，以及外部主航線進入 PRD 後，依據其內部各地需求點之位置，分別以駁船與拖車等兩種方式運輸之重櫃流。如在圖 2 之 E 層中，節線 (E,2) 表示經由歐洲主航線流入鹽田港之進口重櫃；節線 (2,4) 表鹽田港經由陸拖運輸至東莞之重櫃；節線 (3,5) 表蛇口港經由駁船運輸至廣州之重櫃。
- (4) 空櫃節線：表由 3 條主航線進口至 PRD 國際港口之空櫃流，以及外部主航線進入 PRD 地區後，依據其內部各地需求點之位置分別以駁船與拖車等兩種方式運輸之空櫃流。如在圖 2 之 m 層中，節線 (Em,2) 表示經由歐洲主航線流入鹽田港之進口空櫃；節線 (3,4) 表蛇口港經由陸拖調度至東莞之空櫃；節線 (3,5) 表蛇口港經由駁船調度至廣州之空櫃。
- (5) 貨櫃起租節線：表由起租節點流入可起租貨櫃據點之節線。如在圖 2 之 m 層中，節線 (L,2) 表示於鹽田港起租之空櫃。
- (6) 存貨節線：表前期進口重櫃經由滿足各點重櫃運輸需求後，由受貨人拆空歸還航商轉為至下期可供再使用之空櫃存貨，即表示 $t-1$ 期之進口重櫃拆空後轉換成為 t 期可用空櫃之節線。如圖 2 中，由 E 層節點 2 流向 m 層節點 2 之節線代表鹽田港進口重櫃使用歸還後，轉為鹽田港可供再使用之空櫃。

本研究模式旨在追求總成本最小化，即考量概念性模式中各成本項目，使各項成本與對應貨櫃流量之乘積總和最小化。具體而言，其目標函數之概念可表示如下：

極小化： $\{(\text{貨櫃陸拖成本} + \text{駁船調度成本} + \text{場租成本} + \text{起租成本})\}$

在限制式方面，本研究主要考量 4 種限制條件：首先，各據點之空櫃需求必須滿足。其次，由於模式係基於網路概念所構建，故各節點之流量必須守衡。接著，在以駁船運輸貨櫃時，各相同起迄對之重空櫃運輸量之和不得超過駁船艙位容量限制；最後，所有決策變數須為整數且非負。

3.2 PRD 貨櫃調度問題數學模式之建構

在建立模式之前，先將決策變數、參數與常用集合定義如下：

1. 決策變數

x_{ij}^k ：表示從節點 i 至節點 j 之第 k 種貨櫃流量。

其中： $k=1$ 表 20 呎貨櫃；

$k=2$ 表 40 呎貨櫃。

2. 參數

b_i^k ：節點 i 第 k 種貨櫃流之淨流量；

c_{ij}^k ：從節點 i 至節點 j 第 k 種貨櫃之相關單位成本；

d_j^k ：節點 j 第 k 種貨櫃之需求；

v_{ij} ：表節線 (i, j) 之駁船容量上限，以 TEU 計算。

E^k ：表示流入網路中第 k 種貨櫃總量。

3. 集合

A ：所有節線之集合；

A_B ：表所有以駁船運輸貨櫃節線之集合；

A_T ：表所有以拖車運輸貨櫃節線之集合；

A_I ：表所有存貨節線之集合；

A_L ：表所有租賃節線之集合；

D ：表所有需求據點之集合；

K ：表所有貨櫃種類之集合；

N ：表所有節點之集合；

根據上述之決策變數、參數與集合之定義，以及前小節所述之概念性模式，PRD 地區貨櫃調度問題模式之目標函數與限制式可列式如下：

1. 目標函數：

$$\text{Min} \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A_B} c_{ij}^k x_{ij}^k + \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A_T} c_{ij}^k x_{ij}^k + \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A_I} c_{ij}^k x_{ij}^k + \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A_L} c_{ij}^k x_{ij}^k \quad (1)$$

2. 限制式：

(1) 需求滿足限制式

$$\sum_{(i,j) \in A_B} x_{ij}^k + \sum_{(i,j) \in A_T} x_{ij}^k + \sum_{(i,j) \in A_I} x_{ij}^k + \sum_{(i,j) \in A_L} x_{ij}^k \geq d_j^k \quad \forall j \in D, k \in K \quad (2)$$

(2) 流量守衡限制式

$$\sum_{(j,i) \in A} x_{ji}^k - \sum_{(i,j) \in A} x_{ij}^k = -E^k \quad i = S, k \in K \quad (3.1)$$

$$\sum_{(j,i) \in A} x_{ji}^k - \sum_{(i,j) \in A} x_{ij}^k = E^k \quad i = T, k \in K \quad (3.2)$$

$$\sum_{(j,i) \in A} x_{ji}^k - \sum_{(i,j) \in A} x_{ij}^k = 0 \quad i = N - S - T, k \in K \quad (3.3)$$

(3) 駁船容量限制

$$x_{ij}^1 + 2x_{ij}^2 \leq v_{ij} \quad \forall (i,j) \in A_B \quad (4)$$

(4) 整數與非負限制式

$$x_{ij}^k \geq 0 \text{ 且 } x_{ij}^k \text{ 為整數, } \forall (i,j), k \quad (5)$$

上述模式中式 (1) 為目標函數，旨在最小化駁船運輸、拖車運輸、貨櫃存置與貨櫃起租 4 項成本之和；式 (2) 為需求滿足限制式，即要求每一需求點之空櫃存貨、拖車與駁船調度空櫃以及起租之空櫃四者之和，必須滿足各據點之需求；由於模式係基於網路所構建，故式 (3) 為流量守衡限制式，其中式 (3.1) 係針對起始節點 S 進行限制，亦即經節點 S 流入網路中之貨櫃總量為一定值 E^k ；式 (3.2) 係針對期末節點 T 進行限制，亦即經節點 T 流出網路之貨櫃總量亦須為 E^k ；式 (3.3) 則限制網路中除 S 與 T 兩節點外之所有節點的流入與流出貨櫃量必須相等；此外，模式中某些節線是以駁船運送，故以式 (4) 限制每航段貨櫃數不得超過駁船艙位限制，其中一個 40 呎貨櫃需占用兩 TEU 艙位；式 (5) 則為決策變數之整數與非負限制式。

四、案例研究

本節利用第 3 節建構之數學模式，針對某大型國籍航商（以下簡稱航商 A）於 PRD 之貨櫃調度情境進行案例研究，並進行敏感性分析。4.1 節以航商 A 之實際營運資料進行數學模式之驗證與分析；4.2 節則針對重要參數進行敏感度分析。

4.1 基本情境分析

航商 A 為一全球性貨櫃航商，經營航線遍及美洲、歐洲及亞洲等 3 個主要市場，因此

本研究於實務訪談⁵後，針對歐、亞、美等3個市場擷取若干重要且具代表性之航線進行分析，美洲線部分擷取美西與美東四條航線；歐洲線部分選取遠歐及地中海計3條航線；亞洲區間線則包括5條航線。在規劃期設定方面，原擬設定一週為分析之規劃期，然在取得相關資料後，發現部分近洋航線船期準確性較低，另有部分航線係以加班船或艙位租用等方式經營，以週為單位不易精確掌握未來船舶到離時間安排調度，故以月為規劃期進行案例分析。

由於定期航運市場淡旺季需求差異明顯，根據訪談結果，本研究分別以2007年1月與7月份之資料代表淡旺季兩種情境進行分析（詳細資料如表C1至C4）。就1月份貨櫃量而言，香港之進口重櫃數量明顯大於本身出口重櫃需求，因此有多餘空櫃可支援其他據點。反觀鹽田空櫃不足現象相當明顯，故鹽田需由其他多櫃據點調入空櫃。另在7月份方面，因已進入航運業傳統旺季，故各據點總出口重櫃量皆上升，其中又以20呎貨櫃需求量上升最多。7月份空重櫃需求比率方面與1月份相較差異不大，香港無論於20呎或40呎貨櫃方面仍明顯為多櫃區域，鹽田仍為缺櫃區且以20呎出口重櫃之需求上升幅度最大。

本研究將航商A之1月份及7月份實際營運資料，分別代入3.2節所建構之數學模式，並利用套裝軟體CPLEX 10.1進行求解。1月份實證研究問題之決策變數數目為226個，限制式383條，在配備Intel Core Duo Processor T230處理器與1GB記憶體之個人電腦上解算耗時0.13秒，目標值為948,684美元；另7月份之實證研究問題決策變數數目為227個，限制式384條，使用同一電腦求解耗時0.12秒，目標值為854,375美元。以下就實證問題之解算結果進行分析。

1. 淡季貨櫃調度策略分析

以1月份資料建立模式並完成求解後，可得淡季貨櫃調度的最佳建議，原則上須先透過香港、鹽田與蛇口等國際港口將進口重櫃轉運至其他據點後，再進行母船空櫃部分的調度，最後再以各據點間之區域調度或起租租賃貨櫃，來補足各據點之需求。以下以調度數量最龐大的香港為例進行說明，其餘港口調度建議列於附錄A。如表3所示，2007年1月份進口重櫃方面，20呎貨櫃以亞洲線之855 TEU為最多，美洲線384 TEU次之，歐洲線78 TEU最少；40呎進口重櫃則以美洲線749 FEU最多，亞洲線445 FEU次之，歐洲線僅有128 FEU。除了香港本地的進口重櫃會留在當地之外，其餘進口重櫃都將轉至東莞、廣州與中山等據點。

在空櫃調度部分，模式建議由香港分別調度132與88個20呎櫃至東莞及中山；40呎櫃則無需調度。香港在調出空櫃後，20呎空櫃剩餘617 TEU，扣除香港出口需求308 TEU後，剩餘309 TEU空櫃可作為下期存貨；40呎空櫃調度後存量為747 FEU，扣除香港出口需求497 FEU後，剩餘250 FEU空櫃可作為下期存貨。在鹽田方面（表A1），總出口需求為690 TEU，其中進口重櫃拆空僅占12%，故仍需以進口空櫃與區域間調度方式補充其餘88%之出口需求；40呎櫃部分共需1,723 FEU，其中以重櫃拆空方式補充者占24%，以進

⁵ 研究調查時間為2009年1月份。

口空櫃補充者比例高達 72%，區域間調度補充方式僅占 4%。航商 A 於蛇口港停靠船舶絕大部分為亞洲航線，無法利用歐美航線母船進口大量重櫃及空櫃，因此蛇口地區之出口貨櫃需求主要仰賴其他據點調度支援；東莞與廣州則因各航線皆有進口重櫃，故此二據點雖無直接進口空櫃，卻可利用進口重櫃拆空方式獲得大量之空櫃，除可滿足其本身出口需求外，可將多餘之空櫃支援蛇口與鹽田兩據點。中山地區 1 月份建議自香港調度入 20 呎空櫃補充需求，40 呎櫃則將多餘之空櫃支援鹽田。就淡季狀況整體而言，經調度後蛇口之空櫃恰好滿足其需求，40 呎櫃部分東莞、廣州與中山在扣除本身需求後，分別剩餘 67、331 與 15 FEU 可供下期使用。

表 3 2007 年 1 月份香港之貨調度最佳策略

(單位：個)

出口據點	航線別		香港		東莞		廣州		中山		進口總和	
			20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎
香港	美洲至亞洲重櫃	AW1	79	118	60	95	126	206	28	6	293	425
		APN	2	28	2	2	7	19			11	49
		AE3	8	50	6	22	30		6		50	72
		AE5	2	57	3		25	61		26	30	144
	歐洲至亞洲重櫃	E1	13	50	5	1	3	11			21	62
		E2	49	28			6	25		1	55	54
		M1	1	12			1				2	12
	亞洲區間重櫃	I1										
		I2	19	57	18	32					37	89
		I3	98	170	18						116	170
		I4	132	115	36						168	115
		I5	434	62	100	9					534	71
		前期存貨										
		貨櫃租賃										
		總和	837	747								
		區域調度			132					88		
		總空櫃量		20 呎		837	132-88=617			40 呎		747

註：空格表示無貨櫃流量。

進一步觀察各據點淡季之貨櫃處理費用所占總成本之比率，可發現香港所占之 43.6% 為最高，經與實務人員討論後歸納其原因有二：首先，香港為美洲、歐洲與亞洲三大航線船舶主要彎靠港口，PRD 地區大量進口空、重櫃皆需經由香港轉運處理，故香港需負擔進

口貨櫃處理費用。其次，由於香港之空櫃存量較多，故於載滿當地需求後，多餘之空櫃經由區域間調度方式支援 PRD 其他據點之需求，故香港亦須負擔區域間貨櫃調度之成本。貨櫃處理費用次高者為占 37% 之鹽田，原因在於鹽田港為美、歐洲及亞洲等主要航線進入 PRD 地區之灣靠港且空櫃需求旺盛，故模式建議利用母船航線由鹽田進口空櫃。鹽田雖無需對其他據點支援空櫃，卻因大量進口之空、重櫃而負擔較多之貨櫃處理與場租成本。值得注意的是鹽田之 40 呎空櫃需求為 PRD 地區中最高者，在 40 呎櫃處理費用較高的情況下，大幅增加了鹽田之貨櫃處理費用。在其他據點方面，基於成本考量，進入廣州與中山之貨櫃應優先由蛇口進入，然礙於實務上國籍航商於蛇口港僅安排亞洲航線船舶彎靠，故美、歐洲航線欲運往廣州與中山等地之貨櫃仍需由香港進入。廣州則因支援其他據點 20 呎空櫃需求，造成區域貨櫃調度費用上升。PRD 內陸據點如東莞、廣州、中山等因場租相對於香港、鹽田及蛇口等港口地區為低，故內陸各據點若無需負擔運輸與調度費用時，則該據點所產生之費用亦相對較低。

表 4 2007 年 1 月份各據點費用比率

據點	櫃種	成本 (美金)	占總成本比率(%)	占 1 月份總成本 比率 (%)	占 20 呎櫃總成本 比率 (%)	占 40 呎櫃總成本 比率 (%)
香港	20 呎	168,773	43.6	17.8	46.4	—
	40 呎	244,626		25.7	—	41.8
鹽田	20 呎	41,625	37.0	4.4	11.4	—
	40 呎	309,598		32.5	—	52.9
蛇口	20 呎	63,959	8.9	6.7	17.6	—
	40 呎	20,742		2.2	—	3.5
東莞	20 呎	17,948	2.8	1.9	4.9	—
	40 呎	9,053		1.0	—	1.5
廣州	20 呎	71,274	7.6	7.5	19.6	—
	40 呎	830		0.1	—	0.2
中山	20 呎	78	0.1	0.1	0.1	—
	40 呎	178		0.1	—	0.1

2. 旺季貨櫃調度策略

因定航市場淡旺季運輸需求差異明顯，本研究以同年 7 月份資料代入模式求解，可得在旺季情境下貨櫃調度之最佳策略，有關香港旺季貨櫃調度之建議策略整理如表 5，其餘據點之貨櫃調度策略列於附錄 B。比較表 5 與表 3 可看出，7 月份所有航線之進口重櫃數量總和較 1 月份低，20 呎進口重櫃以亞洲線之 729 TEU 最多，美洲與歐洲線相似，分別為 311 與 279 TEU；40 呎進口重櫃仍以亞洲線之 510 FEU 最高，美洲線為 395FEU 居次，

歐洲線僅為 149 FEU。以 7 月份與 1 月份相比，香港 7 月份 20 呎進口重櫃僅成長 0.1%，而 40 呎進口重櫃則下降 18%；進口空櫃方面 7 月份 20 呎空櫃共進口 1323 TEU，為 1 月份之 4.5 倍，而 40 呎進口空櫃 7 月份為 1087 FEU 較 1 月份為低，可見旺季需求集中於 20 呎空櫃。

表 5 2007 年 7 月份香港之貨調度最佳策略

(單位：個)

出口據點	航線別		香港		蛇口		東莞		廣州		中山		進口總和	
			20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎
香港	美洲至亞洲重櫃	AW1	72	74			22	58	91	106	12	1	197	239
		APN	3	28			1	10	2	11			6	49
		AE3	9	29			9	16	63		6	2	87	47
		AE5	1	29			6	2	13	29	1		21	60
	歐洲至亞洲重櫃	E1												
		E2	4	24					1		1		6	24
		M1	176	89	4	1	30	13	57	19	6	3	273	125
	亞洲區間重櫃	I1												
		I2	28	13			15	13					43	26
		I3	57	256			20						77	256
		I4	73	124			38						111	124
		I5	419	86			79	18					498	104
	美洲至亞洲空櫃	AW1												
		APN												
		AE3	505										505	
		AE5												
		前期存貨												
		貨櫃租賃												
		總和	1347	752										
		區域調度									189	30		
總需求		20 呎		1347-189=1158				40 呎		752-30=722				

註：空格表示無貨櫃流量。

在區域間貨櫃調度方面，香港調出 20 呎空櫃 189 TEU 至中山，剩餘 20 呎空櫃 1158 TEU；40 呎空櫃亦輸出 30 FEU 至中山，調度後數量為 722 FEU。鹽田方面值得注意的是，7 月份 20 呎空櫃進口總數較 1 月份增加了近兩倍，而 40 呎進口空櫃卻低於 1 月份，可知鹽田需大量進口 20 呎空櫃以滿足旺季需求。在蛇口方面，由於 7 月份進口空重櫃量均很低，扣除前期存貨 4 TEU 後尚不足 189 TEU，故模式建議分別自東莞與廣州調入 20 呎空櫃 158 與 31 TEU 來滿足出口需求；40 呎空櫃之需求則已滿足。東莞及廣州由於進口重櫃

拆空後所歸還空櫃多於當地之需求，因此建議將多餘空櫃調往鹽田及蛇口。廣州之 20 呎空櫃扣除本身需求以及調出總數後，剩餘 149 TEU 可留供下期使用；40 呎空櫃部分東莞與廣州扣除本身需求後，分別剩餘 21 與 187 FEU 作為存貨，中山之空櫃僅滿足當地之需求而無空櫃保留至下期。表 6 為 PRD 地區 7 月份各據點之費用所占比率，其中香港占總費用之 47.5% 為最高，其次為鹽田之 43.6%。香港 20 呎櫃費用較 1 月份支出為高，其原因為旺季空重櫃數量增加導致香港產生費用隨之提高。鹽田情況亦同，其 20 呎貨櫃處理費用較 1 月份大幅上升。其他值得注意的是，因 1 月份與 7 月份廣州均對蛇口進行空櫃支援，然 7 月份廣州對蛇口之空櫃支援數量大幅下降，故其 20 呎櫃調度費用亦隨之顯著下降。蛇口、東莞及中山則因未對其他據點進行空櫃支援，因此 7 月份費用僅為該地區空櫃存置成本（場租）之變化，對於整體運輸與調度費用無顯著影響。

表 6 2007 年 7 月份各據點費用比率

據點	櫃種	成本 (美金)	占總成本比率(%)	占 1 月份總成本 比率(%)	占 20 呎櫃總成本 比率(%)	占 40 呎櫃總成本 比率(%)
香港	20 呎	212,903	43.6	47.5	22.7	56.7
	40 呎	232,110			24.7	—
鹽田	20 呎	115,440	37.0	43.6	12.3	30.8
	40 呎	292,160			31.2	—
蛇口	20 呎	32,796	8.9	6.1	3.5	8.8
	40 呎	23,992			2.6	—
東莞	20 呎	6,283	2.8	1.9	0.7	1.7
	40 呎	11,245			1.2	—
廣州	20 呎	7,255	7.6	0.8	0.8	1.9
	40 呎	480			0.1	—
中山	20 呎	61	0.1	0.1	0.1	0.1
	40 呎	106			0.1	—

4.2 敏感性分析

為探討貨櫃需求變動對 PRD 地區調櫃決策之影響，本小節針對各據點出口空櫃需求量之變動進行敏感度分析。由 4.1 節實證研究結果可知，7 月份旺季出口空櫃最大需求點為鹽田，而東莞及廣州則有空櫃剩餘，故本小節對此 3 據點之出口重櫃需求進行增量變動後再次進行模式求解，所得結果分析如后：

1. 出口空櫃需求上升 25%

表 7(a) 所示為鹽田、東莞及廣州之需求上升 25% 時之租櫃與區域調度決策建議。由於各據點進口重櫃量不變，故進口重櫃送達各據點之路徑不受影響。但進口空櫃因具調度彈性，將首先選擇空櫃需求量較大之據點進入，即大部分進口空櫃會直接卸於鹽田以滿足出口所需。20 呎櫃區域間調度部分因需求上升後，出口櫃之總需求仍小於進口空重櫃之總量，因此區域間調度情況與基本情境差異不大；40 呎櫃部分因出口櫃需求上升後大於進口空重櫃之總數，故產生各據點調度空櫃集中支援鹽田需求的現象。較為特殊的是廣州之空櫃會先進入蛇口再轉運至鹽田，原因在於貨櫃由廣州至蛇口轉運鹽田之總費用較直接由廣州運至鹽田為低，亦即兩段駁船運輸之費用亦低於直接陸拖之費用。經各據點空櫃支援後，鹽田仍缺 40 呎櫃 69 FEU，故模式建議於鹽田起租貨櫃以滿足需求。在需求上升 25% 的情境下，求解結果目標值為 1,114,372 美元，比基本情境目標值上升 30.4%。

2. 出口空櫃需求上升 50%

表 7(b) 所示為鹽田、東莞及廣州之需求上升 50% 時之租櫃與區域調度決策建議。進口重櫃因數量不變且須送達各據點，故流動路徑不受影響，然大部分進口空櫃仍建議直接卸儲鹽田。區域調度部分因需求上升後，20 呎櫃出口需求小於進口空重櫃之總量，故區域間調度與基本情境無顯著差異；40 呎櫃部分以集中支援鹽田需求為主，廣州之空櫃亦先進入蛇口再轉運至鹽田，原有多餘空櫃可補充鹽田之廣州與東莞兩點，因本身空櫃需求上升 50%，故可輸往鹽田之空櫃降低。經各據點支援後，鹽田仍需起租 517 FEU 之 40 呎空櫃。在需求上升 50% 的情境下，最佳解目標值為 2,409,613 美元，較基本情境目標值上升 182%。

表 7 鹽田、東莞及廣州出口需求上升後之貨櫃調度最佳方案

(單位：個)

(a)需求上升 25%								(b)需求上升 50%							
出口據點	調度方式	鹽田		蛇口		中山		出口據點	調度方式	鹽田		蛇口		中山	
		20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎			20 呎	40 呎	20 呎	40 呎		
香港	貨櫃租賃							香港	貨櫃租賃						
	區域調度		170			189	30		區域調度		170	9	189	30	
鹽田	貨櫃租賃		69					鹽田	貨櫃租賃		517				
	區域調度								區域調度						
蛇口	區域調度		157					蛇口	區域調度		143				
東莞	區域調度		112	142				東莞	區域調度	15	109	112			
廣州	區域調度			47	174			廣州	區域調度			68	160		
中山	區域調度							中山	區域調度						

註：空格表示無貨櫃流量。

註：空格表示無貨櫃流量。

五、結論與建議

在全球貨櫃流量不平衡的貿易環境下，空櫃調度是定期航商必須妥善處理的作業性課

題。如何有效利用母船閒置艙位運送空櫃，並搭配區域航線將空櫃運往出口需求據點，更是影響航商成本控制的關鍵因素。因問題複雜龐大，實務上貨櫃調度工作常依需求據點劃分成若干部分交由不同人員負責，並依經驗調度貨櫃以滿足據點需求為原則。本研究以運輸模式多元且複雜的 PRD 區域空櫃調度為主題，以整體問題為考量，建構以極小化總成本為目標之空櫃調度模式，可協助航商從宏觀的角度決定貨櫃調度的最佳策略。本研究採用多元商品網路為架構所構建之某國籍航商 PRD 區域空櫃調度模式，研究結果獲致下列結論：

1. 本研究模式透過網路節線與節點的搭配組合，可以表達 PRD 區域內各需求據點以及航線靠港間之複雜關係，案例分析雖以一家航商實際資料與情境，驗證模式之合理性與適用性，未來應付不同問題時，僅須根據不同情境改變網路中節線與節點的組合，來調整模式結構與參數，即可進行求解應用。
2. 本研究利用多元商品網路為基礎所建模式，係以多層網路區分不同航線與不同櫃種（如空重櫃、20 與 40 呎櫃等），可有效表達實務上主要貨櫃種類的流動狀況。模式輸出結果除產生各櫃種流動路徑建議外，亦可同時分析各據點所產生之費用。由於實務上定期船承運之貨櫃大部分為乾櫃，其中 40 呎乾櫃約占 7 成左右，因此本研究案例分析在參數 k 的設定方面僅先考慮 20 呎與 40 呎乾櫃，未來如需納入冷櫃，平板或高櫃等櫃種之考量時，僅須在模式中再插入若干圖層即可。換言之，本研究模式具有考量更多櫃種的彈性，可進一步處理不同情境的問題。
3. 因本研究模式具有網路結構可於極短時間內完成求解，適合進行重要參數變動之敏感性分析，做為航商承接業務之參考。如在案例分析的第二個情境中，部分重要據點之假設需求增幅達 50%，已遠超過航商自有櫃量之負荷，造成航商需大幅起租空櫃產生高額成本，此為模式根據假設情境所輸出之成本最低的決策建議，理性的航商會衡量此需求產生的收益以及額外增加的成本，以決定是否調度或起租空櫃來滿足此額外的需求，此為敏感性分析之重要目的。

在案例研究方面，由於研究對象礙於業務考量未提供實際空櫃調度相關的資料，僅提供 2007 年重櫃運輸與船期相關資料，故本研究僅能針對該資料藉由基本情境分析與重要參數變動之敏感性分析，來探討模式之求解效率與輸出結果之合理性，以及模式輸出結果在實務上的意義，此為本研究之限制。後續相關研究於進行實證分析時，如有機會應盡可能蒐集較完整之實際資料，並與模式輸出結果進行比較，以提高模式的價值與說服力。

最後，提出以下幾點建議供後續相關研究參考：

1. 由於香港居 PRD 地區核心位置並與各營運據點具高度之相依性，且又有較多的國際航線船舶彎靠，故航商常將香港設為 PRD 地區之貨櫃調度指揮中心，統籌進口空、重櫃與區域間貨櫃調度事宜。後續進行相關研究時，可針對香港之空櫃存貨管理問題進行深入探討。
2. PRD 區域之貨櫃需求據點多且複雜，本研究根據訪談與文獻探討結果，建立涵蓋香港、

鹽田、蛇口等國際港與東莞、廣州與中山等據點之網路模式。雖已具相當高之代表性，然鑑於實務上某些據點又可劃分為若干次據點（如廣州可再分為佛山與花都等區），未來若可取得更完整之相關資料，可利用增加節線與節點的方式，將本研究模式加以延伸，進一步探討更詳盡的貨櫃調度策略。

3. 由於 PRD 地區之運輸基礎建設進步相當快速，如配置新式起重機且水深足夠的赤灣港區已吸引航商國際航線母船彎靠，而居於 PRD 內側之廣州港因水深問題，亦已於珠江西岸近海口處增闢深水南沙港區。此類建設對 PRD 貨櫃調度將有相當程度之影響，建議後續研究可視情況將此二港區納入考量。
4. 本研究假設重櫃拆空卸貨後之空櫃會被歸還於原據點，然為避免空櫃長距離之運輸及方便貨主提領空櫃，PRD 區域已有於較內陸的地區興建大型空櫃儲放場之計畫，其一旦啟用，應會對 PRD 之貨櫃調度實務產生重要的影響，建議後續研究可就此課題進行探討。
5. 實務上受貨人拆空重櫃後返還空櫃之時間不一，由於本研究係以較長期之規劃觀點來建立研究模式，因此假設各據點前一期之進口重櫃拆空後全部轉為本期可用空櫃，暫未考慮不同時間之空櫃返還百分比。然而在處理較即時性的空櫃調度問題時，空櫃返還百分比為相當重要的影響因素，建議未來研究應予考量並進行深入的分析。
6. 本研究所構建之貨櫃調度以調度費用極小化為目標，然對於航商而言，如何獲取最大利潤亦為經營之重要目標，因此建議後續研究可嘗試結合收入與成本等決策考量，以獲取最大利潤為目標建構數學模式。

參考文獻

1. Clarkson Research Services, “Major Container Port Throughput”, *Container Intelligence Quarterly 4th Quarter 2012*, 2012, pp. 19.
2. Neylan, P., *Container Forecaster IQ11*, Drewry Maritime Research, London, 2011.
3. Wang, J. J. and Slack, B., “The Evolution of a Regional Container Port System: Pearl River Delta”, *Journal of Transport Geography*, Vol. 8, No. 4, 2000, pp. 263-275.
4. Wong, P. C., Yan, H., and Bamford, C., “Evaluation of Factors for Carrier Selection in the China Pearl River Delta”, *Maritime Policy and Management*, Vol. 35, No. 1, 2008, pp. 52-57.
5. 珠江航務管理局，「2012年珠江水運經濟運行分析報告」，http://www.moc.gov.cn/zizhan/zhishuJG/zhuhangju/tongjifexi/201302/t20130217_1367538.html，民國 102 年。
6. 周祥，「深圳市道路集裝箱運輸業發展現況與對策」，*集裝箱化*，第 210 期，2008，頁 25-28。
7. 黃世明，「珠三角經濟腹地連結」，*航港新知簡訊*，第 116 期，2009，頁 1-5。
8. Shen, W. S. and Dhoong, C. M., “A DSS for Empty Container Distribution Planning”, *Decision Support System*, Vol. 15, No. 1, 1995, pp.75-82.

9. Li, J. A., Liu, K., Leung, S. C. H., and Lai, K. K., "Empty Container Management in a Port with Long-run Average Criterion", *Mathematical and Computer Modeling*, Vol. 40, No. 1-2, 2004, pp. 85-100.
10. Li, J. A., Leung, S. C. H., Wu, Y., and Liu, K., "Allocation of Empty Containers between Multi-ports", *European Journal of Operational Research*, Vol. 182, No. 1, 2007, pp. 400-412.
11. Feng, C. M. and Chang, C. H., "Empty Container Reposition Planning for Intra-Asia Liner Shipping", *Maritime Policy and Management*, Vol. 35, No. 5, 2008, pp. 469-489.
12. Olivo, A., Zuddasi, P., Francesco, M. D., and Manca, A., "An Operational Model for Empty Container Management", *Maritime Economics and Logistics*, Vol. 7, No. 3, 2005, pp. 199-222.

附錄 A：2007 年 1 月份區域貨櫃調度建議方案

表 A1 鹽田調往其他據點貨櫃數量

(單位：個)

出口據點	航線別		鹽田		廣州		進口總和	
			20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎
鹽田	美洲至亞洲重櫃	AW1	23	44			23	44
		APN		27				27
		AE3		166		59		225
		AE5		58				58
	歐洲至亞洲重櫃	E1	11	27			11	27
		E2						
		M1						
	亞洲區間重櫃	I1		27				27
		I2	29				29	
		I3	8	1			8	1
		I4	2	1			2	1
		I5	10	59			10	59
	美洲至亞洲空櫃	AW1	70	371			70	371
		APN		76				76
		AE3	136	772			136	772
		AE5	45				45	
	歐洲至亞洲空櫃	E1	41	2			41	
		E2		16				
		M1						
		前期存貨						
貨櫃租賃								
總和		375	1647					
區域調度		315	76					
總需求		20 呎	375+315=690		40 呎	1647+76=1723		

註：空格表示無貨櫃流量。

表 A2 蛇口調往其他據點貨櫃數量

(單位：個)

出口據點	航線別		鹽田		蛇口		廣州		中山		進口總和	
			20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎
蛇口	亞洲區 間重櫃	I1										
		I2			2		21		2		25	
		I3			22		143	2	23	1	188	3
		I4					80	3	4		84	3
		I5			1		112	29	15	19	128	48
	亞洲區 間空櫃	I1				70						70
		I2										
		I3										
		I4										
		I5										
		前期存貨										
		總和			25	70						
		區域調度	15		320	1						
		總需求	20 呎		25+320-15=330		40 呎		70+1=71			

註：空格表示無貨櫃流量。

表 A3 東莞調往其他據點貨櫃數量

(單位：個)

出口據點	航線別		鹽田		東莞		進口總和	
			20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎
東莞	美洲至亞 洲重櫃	AW1			60	95	60	95
		APN			2	2	2	2
		AE3			6	22	6	22
		AE5			3		3	
	歐洲至亞 洲重櫃	E1			5	1	5	1
		E2					0	
		M1						
	亞洲區 間重櫃	I1						
		I2			18	32	18	32
		I3			18		18	
		I4			36		36	
		I5			100	9	100	9
		前期存貨						
總和				248	161			
區域調度		300	76	132				
總需求		20 呎		248+132-300=80		40 呎		161-76=85

註：空格表示無貨櫃流量。

表 A4 廣州調往其他據點貨櫃數量

(單位：個)

出口據點	航線別		蛇口		廣州		進口總和	
			20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎
廣州	美洲至亞洲重櫃	AW1			126	206	126	206
		APN			7	19	7	19
		AE3			30	59	30	59
		AE5			25	61	25	61
	歐洲至亞洲重櫃	E1			3	11	3	11
		E2			6	25	6	25
		M1			1		1	
	亞洲區間重櫃	I1						
		I2			21		21	
		I3			143	2	143	2
		I4			80	3	80	3
		I5			112	29	112	29
		前期存貨						
		總和			554	415		
		區域調度	320					
		總需求	20 呎	$554-320=234$			40 呎	415

註：空格表示無貨櫃流量。

表 A5 中山調往其他據點貨櫃數量

(單位：個)

出口據點	航線別		蛇口		中山		進口總和	
			20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎
中山	美洲至亞洲重櫃	AW1			28	6	28	6
		APN						
		AE3			6		6	
		AE5				26		26
	歐洲至亞洲重櫃	E1						
		E2				1		
		M1						
	亞洲區間重櫃	I1						
		I2			2		2	
		I3			23	1	23	1
		I4			4		4	
		I5			15	19	15	19
		前期存貨						
總和				78	53			
區域調度			1					
總需求		20 呎	$78+88=166$			40 呎	$53-1=52$	

註：空格表示無貨櫃流量。

附錄 B：2007 年 7 月份區域貨櫃調度建議方案

表 B1 鹽田調往其他據點貨櫃數量

(單位：個)

出口據點	航線別		香港		鹽田		廣州		進口總和	
			20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎
鹽田	美洲至亞洲重櫃	AW1			7	16			7	16
		APN				6				6
		AE3			1	256		28	1	284
		AE5				61				61
	歐洲至亞洲重櫃	E1				3				3
		E2								
		M1			140	4			140	4
	亞洲區間重櫃	I1				25				25
		I2			1	21			1	21
		I3			19				19	
		I4			3	1			3	1
		I5			51	163			51	163
	美洲至亞洲空櫃	AW1			556	155			556	155
		APN			15	29			15	29
		AE3			150	321			150	321
		AE5				80				80
	歐洲至亞洲空櫃	E1								
		E2								
		M1			97	54			97	54
	亞洲區間重櫃	I1				431				431
		I2								
		I3								
		I4								
		I5								
	前期存貨 貨櫃租賃 總和 區域調度 總需求	前期存貨								
貨櫃租賃										
總和				1040	1626					
區域調度					95					
總需求				20 呎	1040	40 呎		1626+95=1721		

註：空格表示無貨櫃流量。

表 B2 蛇口調往其他據點貨櫃數量

(單位：個)

出口據點	航線別		蛇口		廣州		中山		進口總和	
			20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎
蛇口	歐洲至亞洲重櫃	E1								
		E2								
		M1	4	1					4	1
	亞洲區間重櫃	I1								
		I2			5	27	5	2	10	29
		I3			38	1	9	1	47	2
		I4			29	1	4	5	33	6
		I5			105	18	17	39	122	57
	亞洲區間空櫃	I1		17						17
		I2								
		I3								
		I4								
		I5								
		前期存貨								
		總和	4	18						
		區域調度	189							
		總需求	20 呎 4+189=193		40 呎 18					

註：空格表示無貨櫃流量。

表 B3 中山調往其他據點貨櫃數量

(單位：個)

出口據點	航線別		鹽田		蛇口		東莞		進口總和	
			20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎
東莞	美洲至亞洲重櫃	AW1					22	58	22	58
		APN					1	10	1	10
		AE3					9	16	9	16
		AE5					6	2	6	2
	歐洲至亞洲重櫃	E1								
		E2								
		M1					30	13	30	13
	亞洲區間重櫃	I1								
		I2					15	13	15	13
		I3					20		20	
		I4					38		38	
							79	18	79	18
		前期存貨								
		總和					220	130		
區域調度			95	158						
總需求		20 呎 220-158=62		40 呎 130-95=35						

註：空格表示無貨櫃流量。

表 B4 中山調往其他據點貨櫃數量

(單位：個)

出口據點	航線別		蛇口		廣州		進口總和	
			20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎
廣州	美洲至亞洲重櫃	AW1			91	106	91	106
		APN			2	11	2	11
		AE3			63	28	63	28
		AE5			13	29	13	29
	歐洲至亞洲重櫃	E1						
		E2			1		1	
		M1			57	19	57	19
	亞洲區間重櫃	I1						
		I2			5	27	5	27
		I3			38	1	38	1
		I4			29	1	29	1
		I5			105	18	105	18
		前期存貨						
		總和			404	240		
		區域調度	31					
		總需求	20 呎	404-31=373			40 呎	240

註：空格表示無貨櫃流量。

表 B5 中山調往其他據點貨櫃數量

(單位：個)

出口據點	航線別		中山		進口總和	
			20 呎	40 呎	20 呎	40 呎
中山	美洲至亞洲重櫃	AW1	12	1	12	1
		APN		2		
		AE3	6		6	
		AE5	1		1	
	歐洲至亞洲重櫃	E1				
		E2	1		1	
		M1	6	3	6	3
	亞洲區間重櫃	I1				
		I2	5	2	5	2
		I3	9	1	9	1
		I4	4	5	4	5
		I5	17	39	17	39
		前期存貨				
		總和	61	53		
區域調度		189	30			
總需求		20 呎	61+189=250			40 呎

註：空格表示無貨櫃流量。

附錄 C：案例研究相關資料

表 C1 航商 A 2007 年 1 月份 PRD 地區各需求點進出口重櫃需求量

(單位：個)

市場	航線	香港		鹽田		蛇口		東莞		廣州		中山		需求總和	
		20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎
		亞洲至 美洲線	AW1	79	118	23	44			60	95	126	206	28	6
APN	2		28		27			2	2	7	19			11	76
AE3	8		50		166			6	22	30	59	6		50	297
AE5	2		57		58			3		25	61		26	30	202
亞洲至 歐洲線	E1	13	50	11	27			5	1	3	11			32	89
	E2	1	12							1				2	12
	M1	49	28							6	25		1	55	54
亞洲區 間	I1				27										27
	I2	19	57	29		2		18	32	21		2		91	89
	I3	98	170	8	1	22		18		143	2	23	1	312	174
	I4	132	115	2	1			36		80	3	4		254	119
	I5	434	62	10	59	1		100	9	112	29	15	19	672	178
總和		837	747	83	410	25	0	248	161	554	415	78	53	1825	1786
出口空櫃需求		308	497	690	1723	330	71	80	18	234	84	166	37	1808	2430

資料來源：整理自航商 A 資料。

表 C2 航商 A 2007 年 7 月份 PRD 地區各需求點進出口重櫃需求量

(單位：個)

市場	航線	香港		鹽田		蛇口		東莞		廣州		中山		需求總和	
		20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎	20 呎	40 呎
		亞洲至 美洲	AW1	72	74	7	16			22	58	91	106	12	1
APN	3		28		6			1	10	2	11			6	55
AE3	9		29	1	256			9	16	63	28	6	2	88	331
AE5	1		29		61			6	2	13	29	1		21	121
亞洲至 歐洲	E1				3									0	3
	E2	4	24							1		1		6	24
	M1	176	89	140	4	4	1	30	13	57	19	6	3	413	129
亞洲區 間	I1				25									0	25
	I2	28	13	1	21			15	13	5	27	5	2	54	76
	I3	57	256	19				20		38	1	9	1	143	258
	I4	73	124	3	1			38		29	1	4	5	147	131
	I5	419	86	51	163			79	18	105	18	17	39	671	324
總和		842	752	222	556	4	1	220	130	404	240	61	53	1753	1732
出口空櫃需求		353	552	1040	1721	193	18	62	14	224	53	250	83	2122	2441

資料來源：整理自航商 A 資料。

表 C3 PRD 地區 20 呎空櫃調度費用

(單位：美金)

據點	香港	鹽田	蛇口	東莞	廣州	中山
香港	-	102	73	36	52	45
鹽田	102	-	60	80	155	185
蛇口	73	60	-	55	51	50
東莞	36	80	55	-	N/A	N/A
廣州	52	N/A	51	N/A	-	N/A
中山	45	N/A	50	N/A	N/A	-

註：「N/A」表兩節點間無運輸服務或需求。

資料來源：整理自航商 A 資料。

表 C4 PRD 地區 40 呎空櫃調度費用

(單位：美金)

據點	香港	鹽田	蛇口	東莞	廣州	中山
香港	-	146	104	52	78	65
鹽田	146	-	85	117	221	260
蛇口	104	85	-	78	78	72
東莞	52	117	78	-	N/A	N/A
廣州	78	N/A	78	N/A	-	N/A
中山	65	N/A	72	N/A	N/A	-

註：「N/A」表兩節點間無運輸服務或需求。

資料來源：整理自航商 A 資料。