

非轉運站的直航路線。限制式(5) 表起點或迄點之一為轉運站時，飛航路線最多只能一次轉運。限制式(6) 為起迄點皆為轉運站時，兩轉運站間只能直航。限制式(5) 及 (6) 主要配合實務上軸輻式系統運作方式而加入的限制。限制式(7) 表示非轉運站的節點不可利用來轉運。限制式(8) 表示轉運的機場必須有轉運的路線經過。式(9) 及 (10) 限制轉運及直航的流量分流比應介於 0-1 之間。式(11) 限制 $s_k = 0$ 或 1 的整數。由上述的數學模型可知，此問題為混合整數規劃問題。

3.2.2 停轉港澳模式

以往嚴格管制下台灣與大陸間航空市場之營運方式，飛機必須降落停留在第三地後，再行起飛轉運到目的地。目前大部分航空公司皆以香港或澳門為主要的第三地轉運機場。建立停轉港澳通航方式的飛行網路模型，可利用上一節的全面通航模型加以修正。由於香港、澳門為大部分航空公司採用的停轉機場，因此模式建構上中間停轉的機場以香港、澳門為主。未來若其他機場也被採用為停轉地點，模型經簡單的修正即可適用。由於全面通航模型 (P) 適用於兩城市間的航線可以直接連接，因此對應到停轉港澳的問題，必須將航線加以限制，強迫於香港或澳門轉運。大陸台灣城市間的飛航路線，如果沒有停靠香港或澳門的航線變數，須強迫其值為 0。

令 H 為香港及澳門機場的集合， \bar{H} 集合為除香港、澳門以外的所有機場，台灣地區機場的集合為 T ，大陸內陸所有機場的集合為 Q 。模式須做以下的修正：

(1) 台灣與大陸往來的直飛航線變數須設為 0；即 $\{x_{ij} = 0 | i \in T, j \in Q\}$ 且 $\{x_{ij} = 0 | i \in Q, j \in T\}$ 。

(2) 不論是台灣飛大陸或大陸飛往台灣，只要是轉運航線，其轉運站必為香港或澳門。也就是說，如果台灣與大陸間的轉運航線，不是經由香港、澳門轉運，其相對應變數須設為 0；即 $\{x_{iktj} = 0 | i \in T, k \in \bar{H}, t \in N, j \in Q\}$ 且 $\{x_{iktj} = 0 | i \in Q, k \in N, t \in \bar{H}, j \in T\}$ 。

(3) 因此數學模式須加上兩條限制式：

$$\sum_{i \in T} \sum_{j \in Q} x_{ij} + \sum_{i \in T} \sum_{k \in \bar{H}} \sum_{t \in N} \sum_{j \in Q} x_{iktj} = 0 \quad (12)$$

$$\sum_{i \in Q} \sum_{j \in T} x_{ij} + \sum_{i \in Q} \sum_{k \in N} \sum_{t \in \bar{H}} \sum_{j \in T} x_{iktj} = 0 \quad (13)$$

經上述變數及限制式的修正後，即可建構出停轉港澳方式的數學模型。完整的停轉港澳模型包括式 (1) - (13)。

3.2.3 繞境香港模式

基於國防及社會安全的考量，兩岸的航運市場採漸進方式開放，從嚴格管制下的停轉港澳運作方式（須降落再起飛），逐步改以繞境香港飛航管制區的方式運作（不須降落再起飛），最後再進展到全面開放的方式。按此概念繞境香港的網路規劃模型，可藉由修改全面開放的模型而得出。由於原本大陸、台灣之間直接飛行的路線，改以繞境到香港飛航管制區的方式飛行，因

此全面開放模型中的距離參數須加上繞境後增加的路程，飛航路線的成本參數也須據此修正。距離參數的計算方式須修正為 $\{l'_{ij} = l_{ik} + l_{kj} \mid i \in T, j \in Q, k = \text{HongKong}\}$ 及 $\{l'_{ij} = l_{ik} + l_{kj} \mid i \in Q, j \in T, k = \text{HongKong}\}$ 。因為距離參數改變，成本參數也因此不同，即 c_{ij} 跟 c_{iktj} 將與全面開放的模型不同，須重新計算。直航部分成本計算方式修正為 $\{c'_{ij} = o_{ij} \cdot l'_{ij} \mid i \in T, j \in Q, k = \text{HongKong}\}$ ，轉運成本計算方式修正為 $\{c'_{iktj} = \beta \cdot c'_{ik} + \alpha \cdot c'_{kt} + \beta \cdot c'_{ij} \mid i \in Q, j \in T, k = \text{HongKong}\}$ 。成本經由前述修正後，代入式 (1) - (11) 即可得繞境香港的模式。

雖然本研究所提出的模式多係軸輻式網路的延伸，但本研究針對海峽兩岸航空市場開放過程的特有問題，建立三個不同模型，已與傳統的軸輻式網路模型有明顯的不同。文獻上一般的航空網路設計模型，如：Yang (2008)，皆無法直接應用於海峽兩岸循序開放的三種情境。

4. 實例分析

本研究利用兩岸實際的航空客運資料，對所建立的三種不同通航運作模式進行測試。將所得的轉運站、營運網路、飛航路線進行比較。部分資料如成本、折扣係數等，因關係到航空公司內部營運上的機密問題，因此以推估方式求得。測試所得結果，雖無法完全達到公司實際營運情況，但對模式特性、趨勢相關分析及敏感度分析所得的結論，其正確性及有效性仍然成立。

4.1 模式建立與運算環境

利用 GAMS 軟體建構三種數學模式 (全面開放、停轉港澳、繞境香港)，再透過 OSL 的混合整數規劃 (MIP) 求解模組，分別求解三個問題。所有的測試皆在配置 Intel Core 2 CPU、1.86 GHZ、2GB RAM 的個人電腦上執行與運算，所採用的作業系統為 Windows XP。

4.2 資料蒐集與推估

在機場選取方面，選擇大陸旅客進出口流量排名前 20 的機場，再加上台灣通航後最可能採用的兩個主要機場，共 22 個機場，如圖 1 所示。此 22 個機場的需求總量約占海峽兩岸航空客運總需求的 76% 以上，在分析上應具足夠的代表性。兩兩機場間客運需求量的推估，參考曾志煌等 (2008) 所發展的推估方法。折扣係數的推估方式則參考 Yang (2009) 的方法；其他與航空公司相關的成本及資料，則根據國內一家主要航空公司為基礎推估所得，詳細資料請參考表 1。

兩岸雖然已開放直航，然目前國內航空公司只經營部分航點，本研究選取大部分兩岸可能通航的機場進行分析規劃，主要乃因考量轉運站設置及網路規劃時，應該考慮完整的航點及實際需求，如此才能達到最佳的網路設計。如果只以部分航點，或與實際不同的需求為基礎分析，所得的結果將不會是實際營運時的最佳結果。因此本研究根據兩岸實際的航空市場需求，應用所發展的模型求得轉運站及網路的最佳設置。雖然直航政策已開放，但航空業者仍處於初步進

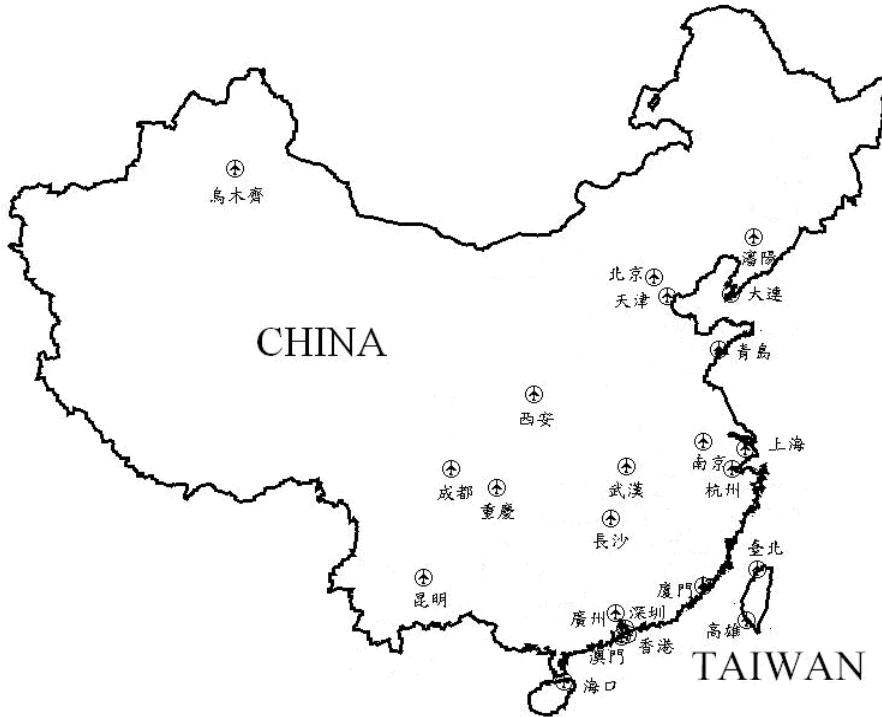


圖 1 測試實例考慮之機場

表 1 模式參數

節點數	22
單位運輸成本	1.08 (NTD/seat•km)
成本折扣係數	$\alpha = 0.807$, $\beta = 0.869$

入兩岸市場狀況，業者僅規劃部分點對點對飛的航線，整體營運路網並未完整建構。航空業者進入新市場，通常以循序漸進的方式，逐步擴大營運路網，以減低風險。本研究所得之結果可提供給實務界未來擴大營運的參考。

4.3 測試結果分析

在 22 個機場的網路規模下，航空公司最有可能設立的轉運站個數 (P) 為 2 或 3 個。因此測試時以 P=2 及 P=3，分別對三種情境模式進行求解，所得結果如表 2 及圖 2 所示。從表 2 及圖 2 可歸納出四點觀察：1. 轉運站個數 P=2 的目標值 (總運送成本)，皆比轉運站個數 P=3 之目標值還高。主要因為轉運站個數越多，各機場與轉運站間的平均距離越小。因此 P 越大，總運送

表 2 轉運站選址之結果

情境	轉運站個數	目標值 (NTD)	轉運站位置	運算時間 (CPU, sec.)
停轉港澳	2	77.2 億	香港、北京	1173.609
	3	75.2 億	香港、北京、上海	5536.796
繞境香港	2	75.9 億	北京、廣州	2637.828
	3	73.9 億	北京、上海、廣州	9747.421
全面開放	2	75.0 億	北京、廣州	2468.031
	3	75.0 億	北京、上海、廣州	9072.671

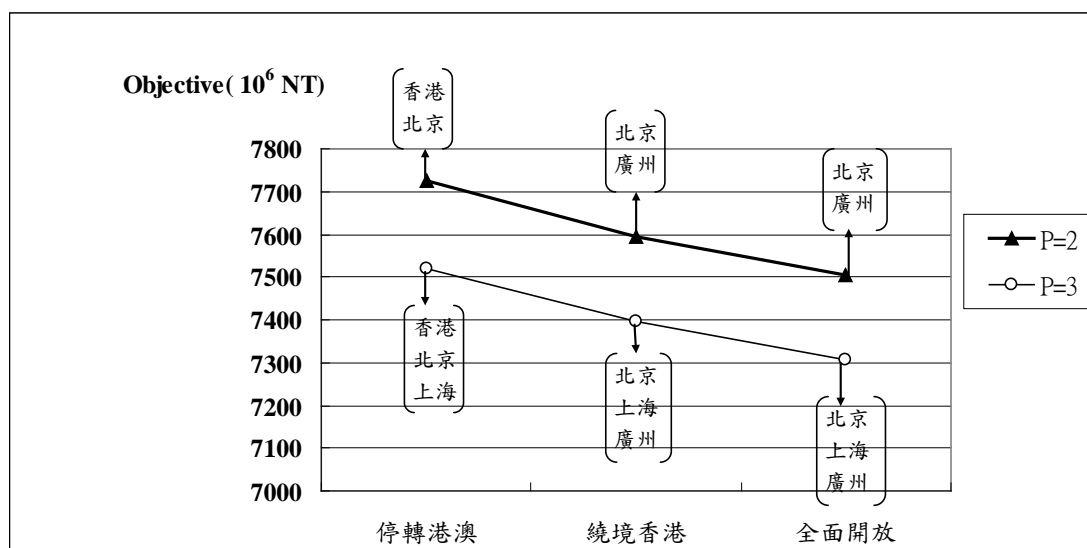


圖 2 轉運站個數為 2 及 3 時之變化趨勢

4.4 敏感度分析

為進一步了解問題的特性，本研究對三種階段的通航模式，從 P=1 遞增至 P=5，進行敏感度分析。所得結果顯示於圖 3 至圖 5。

停轉港澳的方式，強迫須於香港或澳門降落後，轉運再起飛。測試 P 變化的結果，顯示於圖 3。P=1 時，模式僅能從香港或澳門選擇其一為轉運站。結果顯示，P=1 時，香港為轉運站，由此可知，香港的轉運地位優於澳門。實務上，目前大部分航空公司經營兩岸航線，多以香港為轉運機場，印證本研究模式之正確性及實用性。當轉運站個數 P 依序增加至 5 時，所選擇增加的轉運站依序為，北京 (P=2)、上海 (P=3)、廣州 (P=4)、重慶 (P=5)。由於 P=1 時選擇南部

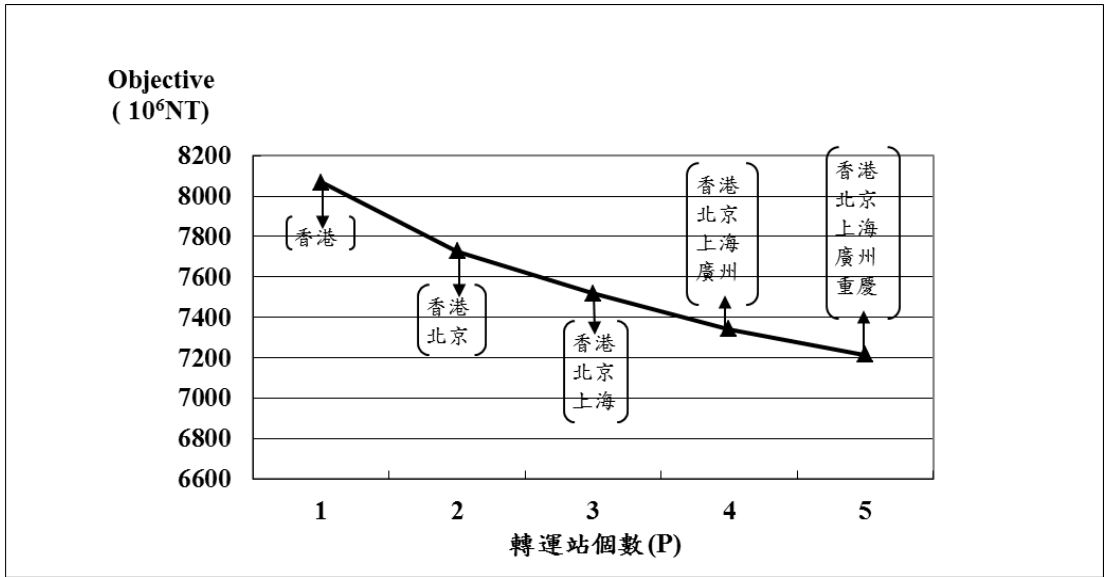


圖 3 停轉港澳方式於不同轉運站個數之變化

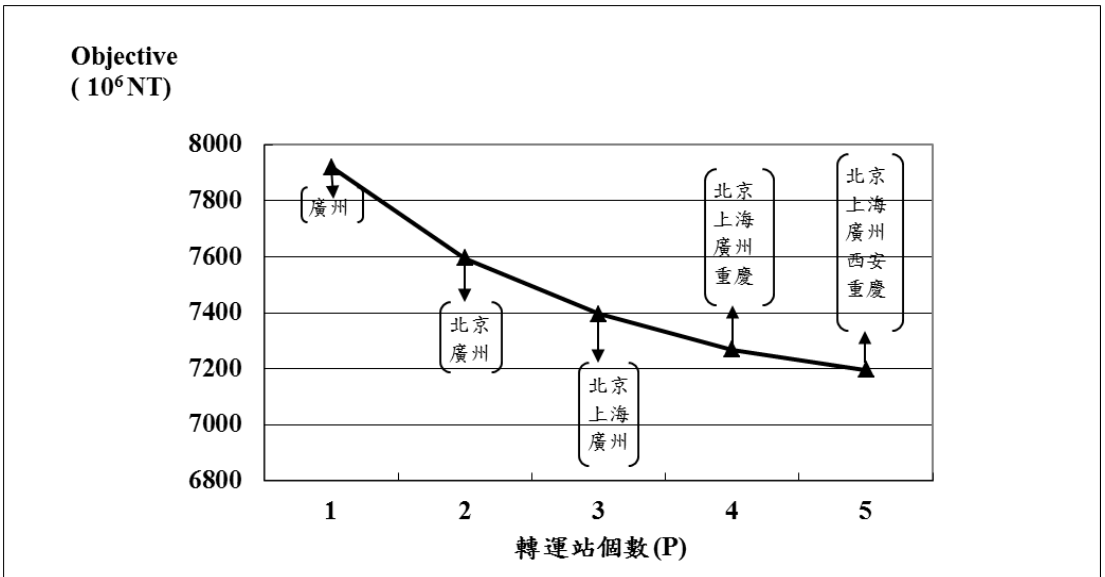


圖 4 繞境香港方式於不同轉運站個數之變化

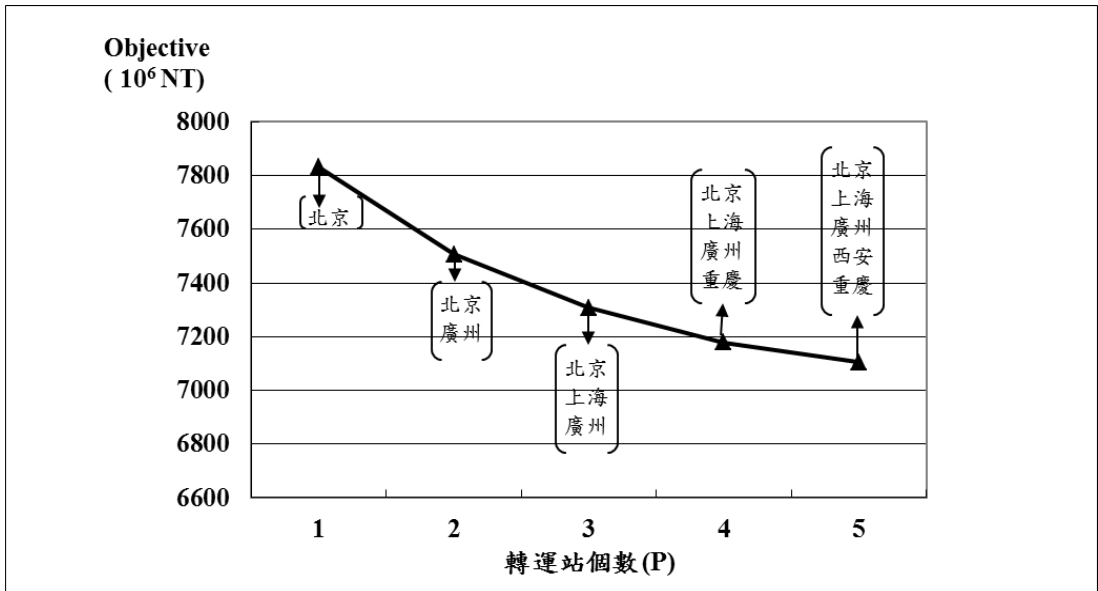


圖 5 全面開放方式於不同轉運站個數之變化

的香港為轉運站，因此 P=2 時增加選擇北部的北京為轉運站，以平衡南北的轉運操作。P=3 時，南北皆已有轉運站，因此模式增加選擇中部的上海為轉運站。當 P 增加至 4 個轉運站時，模式選擇增設轉運站在廣州。主要因為停轉港澳的方式，強迫將轉運站先設於香港，並不代表香港為整體最佳的轉運位址。若無此限制，廣州為南部較佳的轉運點（請參考全面通航的結果），因此當轉運站個數 P 充裕時，模式會多增設轉運站在廣州。當 P 增加至 5 時，模式選擇增設重慶為轉運站，主要是因為前 4 個轉運站，皆偏重於東部沿海地區，因此當 P 再增加時，模式選擇較靠西部內陸的重慶，以平衡整體的轉運路網。

繞境香港的通航方式，飛機不需降落於香港或澳門後再起飛，僅須繞行進入香港飛航情報區，再進入大陸地區即可，測試結果顯示於圖 4。由於香港情報區在大陸最南端，許多航線須先繞行大陸南部後，再連接其他城市，因此在 P=1 時，模式優先選擇南部地區廣州當轉運點，以配合往南繞行的飛行方式。相較於廣州而言，香港在整個網路最邊緣的位置，因此並不是最好的轉運點，所以此種通航方式沒有選擇香港當轉運點。當轉運站個數 P 依序增加至 5 時，所選擇增加的轉運站依序為，北京 (P=2)、上海 (P=3)、重慶 (P=4)、西安 (P=5)。由於 P=1 時已選擇南部的廣州為轉運站，因此 P=2 時增加選擇北部的北京為轉運站，以平衡南北轉運的操作。P=3 時，南北皆已有轉運站，因此模式增加選擇中部的上海為轉運站。當 P 增加至 4 個轉運站時，模式選擇增設轉運站在重慶，主要是因為前面 3 個轉運站，皆偏重於東部沿海地區，因此

當 P 再增加時，模式選擇較靠西部內陸的重慶。當 P 增加至 5 時，模式增設西安為轉運點，因為西安與重慶皆位於較偏西部的位址，但是重慶偏南邊。因此 P 再增加時，增設西偏北的西安為轉運點，以平衡整體的轉運路網。

全面開放的通航方式，不對飛行路線做任何限制，可自由選擇最佳的地點當轉運站，路線也會選擇成本最小的路徑飛行，測試結果顯示於圖 5。轉運站個數 P 從 1 增至 5，所選擇增加的轉運站依序為，北京 ($P=1$)、廣州 ($P=2$)、上海 ($P=3$)、重慶 ($P=4$)、西安 ($P=5$)。北京位於整個網路偏北偏東的位置，但並不是在邊緣地區，且北京本身進出的需求量大，附近的城市也有充足的流量利用它轉運，因此當 $P=1$ 時，模式優先選取北京為轉運點。 $P=2$ 時由於北邊已有轉運站，因此增設南部的廣州為轉運站。 $P=3$ 時，南北皆已有轉運站，因此增加中部的上海為轉運站。 $P=4$ 時，因為前面 3 個轉運站，皆偏重於東部沿海地區，因此增設偏西偏南的重慶。 $P=5$ 時，增設偏西偏北的西安為轉運點，以平衡整體的轉運路網。全面開放與繞境香港兩方式，轉運點的選擇雷同，差別在於轉運站位址被選擇的次序不盡相同。

本研究進一步彙整不同通航階段及不同轉運站個數 (P) 下，模式所求得直飛與轉運路線數目的比較，如圖 6 所示。由圖 6 可知，轉運站個數 P 越多時，轉運路線數目會增加，而直飛路線數目會減少。全面開放階段，未對航線做任何限制，因此直飛的路線在不同的轉運站個數 (P) 下都是最多的。繞境香港及停轉港澳的轉運路線數目，則只有些許差異，而兩者的轉運路線數目，皆比全面開放方式多。由此可知，兩岸航線全面開放後，許多城市間會採用直飛方式，對旅客及航空公司而言，可縮短旅行時間及飛行距離，有助於提升整體路網效率。

有關運算時間方面，本研究將轉運站個數由 1 遞增至 5 的情形下，對應的運算時間繪製成圖 7。結果顯示，轉運站個數 (P) 增加，運算時間隨之成非線性的遞增。停轉港澳模式運算時間，明顯比其他兩個模式較少，主要乃因停轉港澳模式限制兩岸間的航線，僅能選擇由香港或澳門轉運，在轉運站區位選擇上，排除掉許多的可能性，減少可行解的搜尋空間，所以求解時間較為迅速。

5. 結論及建議

由於台灣與大陸間的特殊關係，兩岸間的航線並不會被視為國際航線，但也不適合被歸類為國內航線。因為不屬於國際航線，因此兩岸間的航空市場不會開放給兩岸以外的國際航空公司經營。也因為不屬於國內航線，因此兩岸間的航線須透過協商談判的方式對等開放，不會如一般的國內航空市場，面臨國內及大陸航空公司劇烈的競爭。如此的特殊條件，為國內的航空公司提供適度的保護，維持競爭的優勢，也提供國內航空公司擴大延伸經營大陸內陸市場的機會。目前政府已朝向兩岸全面開放的方向前進，兩岸自由飛行航點持續的擴大開放，也提供國內航空業者未來發展的商機。由於兩岸直航可以使旅行時間及運輸成本明顯降低，因此兩岸航空

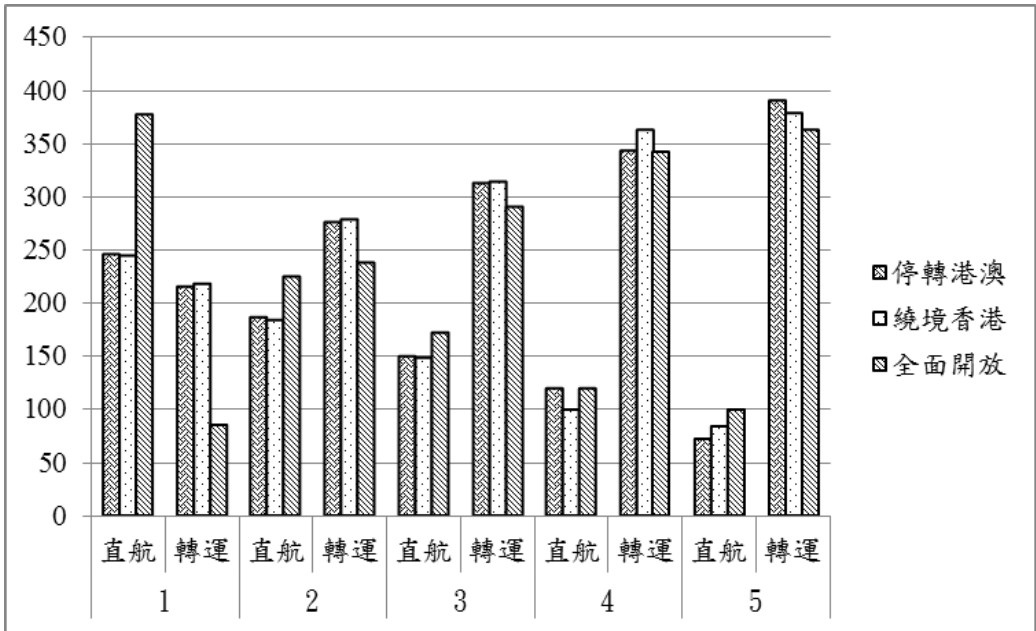


圖 6 直飛轉運路線數目比較

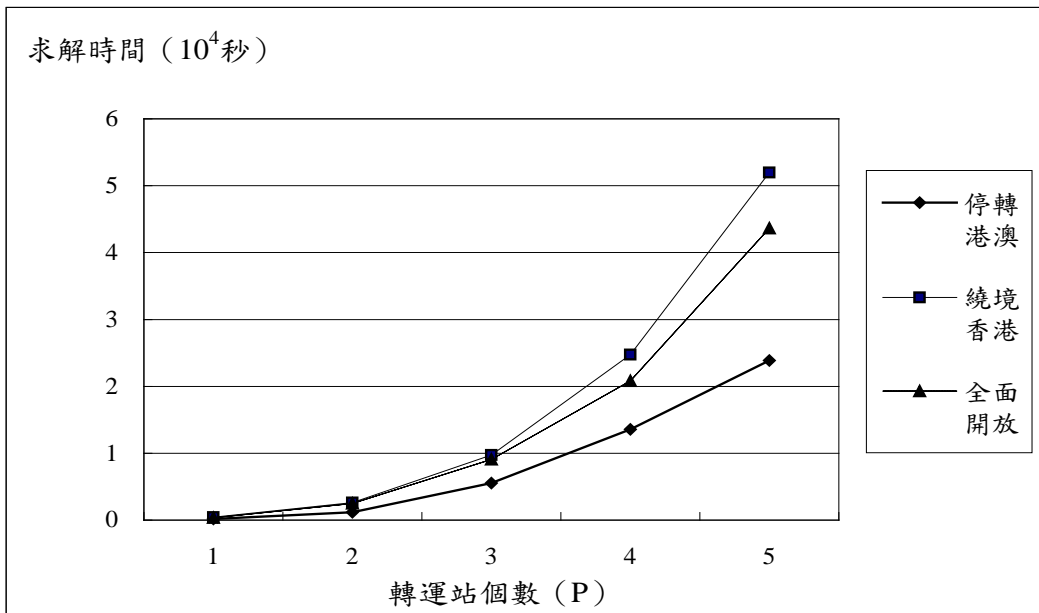


圖 7 轉運站運算求解時間變化

市場的開放，已經為既定之政策。因應兩岸特殊的關係，政府擬訂兩岸航空政策乃採漸進式的開放方式，以「停轉港澳」、「繞境香港」及「全面開放」三階段逐步放寬限制。本研究針對三種通航方式，建立飛航網路及轉運站設置的模型，並搜集兩岸航空客運資料，對不同開放階段下，航空營運網路及轉運點，應如何規劃設置，進行比較分析。結果顯示，漸進式的階段開放過程，明顯的降低旅行時間及成本，提升運輸效率，支持且呼應政府兩岸航空開放的方式及政策。所得到的營運網路及轉運站結果，亦可提供航空業者進入大陸市場，佈局營運網路及航點之參考。營運網路及轉運站的建立，對於航空公司屬於長期的投資及規劃，牽涉到高額的成本，對於實際營運也有深遠且重大的影響，且不易於短期間改變更動。雖然目前航空業者仍處於初步進入兩岸市場階段，僅規劃部分點對點對飛的航線，整體營運網路尚未完整連結，業者可以循序漸進的方式，按照所建議的營運網路，逐步連結擴大航點網路、建立轉運站，以減低風險。如果沒有事先完整的網路規劃，可能造成未來營運缺乏效率，再重新調整及更動將耗費更多的成本及資源，也會對實際營運造成重大的衝擊及不便。

本研究建構之模型，為達到實務上可直接應用的目標，避免使用複雜的數學模式，三個模式皆可以利用目前常用的最佳化求解軟體進行求解，應用於實際問題規模時，皆能於合理的時間內求得一定水準的解。套用兩岸航空市場推估資料所得的結果顯示，「全面開放」的模式，其營運網路及轉運站，可以做最佳的配置及選擇，比其他二種方式，總運送成本可大幅降低，顯示兩岸航空市場越開放，其整體的成本及效率就越佳。由模式建議可考慮的轉運站位址的結果，部分與目前實務上航空公司在大陸內陸營運所選擇的轉運站不謀而合，驗證本研究建立模式的正確性及可行性，其結果在實務上具參考價值。例如所建議的轉運站中，包括：北京、上海、及廣州，以現行機場運作情形而言，北京首都機場為中國國際航空、南方航空的轉運站；中國東方航空、中國國際航空及南方航空則以上海的機場做為其轉運站；而中國國際航空、南方航空及聯邦快遞則以廣州做為其轉運站。

參考文獻

- 中華航空股份有限公司，華航財務年報，取自：<http://www.china-airlines.com/ch/about/95ap.pdf>，民國 96 年。
- 汪進財、陳君杰、榮德璘，「兩岸直航機場選擇問題初探」，中華民國第一屆網路運輸研討會，桃園：國立中央大學，民國 85 年，143-152 頁。
- 林正章、劉志遠、熊正一，「以消費者選擇行為探討兩岸直航航線選擇與直航點規劃之研討」，運輸計劃季刊，第二十八卷第二期，民國 88 年，267-290 頁。
- 黃雅芬、張堂賢，「台海兩岸航空客運需求系統動態分析與預測」，第五屆海峽兩岸都市交通學術研討會，台中：逢甲大學，民國 86 年，4-54 - 4-65 頁。

- 曾志煌、楊大輝、張昭芸、陳俞因，兩岸通航後航空市場城際旅客需求資料之蒐集推估及分析，台北：交通部運輸研究所，民國 97 年。
- Alumur, S. and Kara, B. Y., "Network Hub Location Problems: The State of the Art," *European Journal of Operational Research*, Vol. 190, No. 1, 2008, pp. 1-21.
- Aykin, T., "Lagrangian Relaxation Based Approaches to Capacitated Hub-and-Spoke Network Design Problem," *European Journal of Operational Research*, Vol. 79, No. 3, 1994, pp. 501-523.
- Aykin, T., "Networking Policies for Hub-and-Spoke Systems with Application to the Air Transportation System," *Transportation Science*, Vol. 29, No. 3, 1995, pp. 201-221.
- Bryan, D. L. and O'Kelly, M. E., "Hub-and-Spoke Networks In Air Transportation: An Analytical Review," *Journal of Regional Science*, Vol. 39, No. 2, 1999, pp. 275-295.
- Campbell, J. F., "Integer Programming Formulations of Discrete Hub Location Problems," *European Journal of Operational Research*, Vol. 72, No. 2, 1994, pp. 387-405.
- Campbell, J. F., Ernst, A. T., and Krishnamoorthy, M., "Hub Arc Location Problems: Part I- Introduction and Results," *Management Science*, Vol. 51, No. 10, 2005, pp. 1540-1555.
- Campbell, J. F., Ernst, A. T., and Krishnamoorthy, M., "Hub Arc Location Problems: Part II- Formulations and Optimal Algorithms," *Management Science*, Vol. 51, No. 10, 2005, pp. 1556-1571.
- Campbell, J. F., Ernst, A. T., and Krishnamoorthy, M., "Hub Location Problems," In Z. Drezner and H. W. Hamacher (Eds.), *Facility Location: Applications and Theory*, New York: Springer-Verlag, 2002, pp. 373-402.
- Lin, C. C. and Chen, Y. C., "The Integration of Taiwanese and Chinese Air Networks for Direct Air Cargo Services," *Transportation Research Part A*, Vol. 37, No. 7, 2003, pp. 629-647.
- Lin, C. C. and Chen, S. H., "An Integral Constrained Generalized Hub-and-Spoke Network Design Problem," *Transportation Research Part E*, Vol. 44, No. 6, 2008, pp. 986-1003.
- O'Kelly, M. E., "Activity Levels at Hub Facilities in Interacting Networks," *Geographical Analysis*, Vol. 18, No. 4, 1986, pp. 343-356.
- O'Kelly, M. E., "A Quadratic Integer Program for the Location of Interacting Hub Facilities," *European Journal of Operational Research*, Vol. 32, No. 3, 1987, pp. 393-404.
- O'Kelly, M. E., "Hub Facilities Location with Fixed Costs," *Regional Science: The Journal of the RSAI*, Vol. 71, No. 3, 1992, pp. 293-306.
- O'Kelly, M. E., Bryan, D., Skorin-Kapov, D., and Skorin-Kapov, J., "Hub Network Design with Single and Multiple Allocation: A Computational Study," *Location Science*, Vol. 4, No. 3, 1996, pp.

125-138.

- Podnar, H., Skorin-Kapov, J., and Skorin-Kapov, D., "Network Cost Minimization Using Threshold-Based Discounting," *European Journal of Operational Research*, Vol. 137, No. 2, 2002, pp. 371-386.
- Skorin-Kapov, D. and Skorin-Kapov, J., "On Tabu Search for the Location of Interacting Hub Facilities," *European Journal of Operational Research*, Vol. 73, No. 3, 1994, pp. 502-509.
- Skorin-Kapov, D., Skorin-Kapov, J., and O'Kelly, M. E., "Tight Linear Programming Relaxation of Uncapacitated P-Hub Median Problems," *European Journal of Operational Research*, Vol. 94, No. 3, 1996, pp. 582-593.
- Yang, T. H., "Airline Network Design Problem with Different Airport Capacity Constraint," *Transportmetrica*, Vol. 4, No.1, 2008, pp. 33-49.
- Yang, T. H., "Stochastic Air Freight Hub Location and Flight Routes Planning," *Applied Mathematical Modeling*, Vol. 33, No. 12, 2009, pp. 4424-4430.