

因應兩岸開放通航不同階段之航空網路規劃

Airline Network Planning for the Different Phases of Cross-Strait Direct Flights Deregulation

楊大輝¹ Ta-Hui Yang 林燦煌¹ Tsan-Hwan Lin 林宜靜² I-Ching Lin

國立高雄第一科技大學運籌管理系

國立高雄第一科技大學
管理研究所

曾志煌³ James C.H. Tseng 張昭芸³ Chao-Yun Chang

交通部運輸研究所

¹Dept. of Logistics Management, National Kaohsiung First University of Science and Technology, ²College of Management, National Kaohsiung First University of Science and Technology, and ³Institute of Transportation, Ministry Of Transportation and Communications

(Received May 19, 2011; Final Version August 7, 2012)

摘要：政府目前正推動兩岸全面通航，在航空市場方面，規劃以漸進的方式逐步開放。本研究主要針對兩岸航空市場逐步開放的過程中，因應不同階段的開放，對於營運網路的建立及轉運點的設置，進行比較及分析。根據航空市場開放的不同階段，有三種不同的通航方式：1.停轉港澳的方式對應到以往嚴格管制情形，兩岸間任何機場的通行，都必須要經由第三地機場降落轉機再起飛，最常使用的第三地轉運機場為香港或澳門。2.繞境香港為過渡期間的運行方式，兩岸間任何機場的通行，都必須繞境到香港飛航情報區 (flight information region; FIR)，但並不強制要求一定要降落再起飛。3.全面開放方式為台灣及大陸間的全面性開放，台灣與大陸的任何機場，都可以直接飛行。本研究針對這三種通航方式，建立飛航網路及轉運站設置的模型。利用所建立的模型，套用推估的航空客運資料。針對兩岸通航的過程中，航空營運路網及轉運點應

本文之通訊作者為林燦煌，e-mail: percy@nkfust.edu.tw ·

本文承交通部運輸研究所補助部分研究經費 (MOTC-IOT-98-EBA017)，謹此致謝。作者感謝論文審查委員提供之寶貴意見。

如何規劃設置，進行比較分析。測試結果顯示，模式所提供的結果合理，具相當的實用價值。所提出方法及結果可提供給公私部門參考。

關鍵詞：航空網路設計、兩岸直航、轉運站區位問題、混合整數規劃

Abstract: The cross-strait direct flights between Taiwan and Mainland China were forbidden before. However, the government has deregulated the cross-strait direct flights. The process of the deregulation can be carried out in three different stages. The first stage is the restrained operation, which forbids any cross-strait direct flights and forces the flights to transship at an airport other than Taiwan and Mainland China. The most commonly used airports are Hong Kong and Macau. The second stage requires the aircrafts detouring via Hong Kong flight information region (FIR), but landing on the third-party airports is not mandatory. The third stage is the full opening for the cross-strait direct flights without any restriction. This study constructs three mathematical models for the different operations under the three stages. The air passenger data from Taiwan and Mainland China is applied to the three models to construct the airline operational networks for the different stages. The comparisons and analysis are performed for the three networks. The results support the government's deregulation policy. The proposed method can provide the private sectors a useful tool to plan the flight network in cross-strait air market.

Key Words: airline network design, cross-strait direct flights, hub location problem, mixed integer program

1. 緒論

近年來由於政經趨勢急速變化，三通及直航議題在國內備受注目。根據中華經濟研究院的調查報告，以 1997 年的貿易額 250 億美元估計，直航即可節省約新台幣 320 億，航程平均可減少兩天。開放直航能節省運送成本，亦可促進出口金額。中國大陸不僅是我國最大的貿易順差來源，從 2001 年底起也成為我國最大的出口市場。政府於 2001 年起，陸續展開兩岸直航的影響評估及規劃工作，2001 年 11 月完成「兩岸『直航』之影響評估」初步報告，經過跨部會協調及徵詢意見後，完成報告的修正及行政程序。鑑於全球化趨勢及兩岸經貿關係快速成長，為因應兩岸經貿關係的變化，2008 年 6 月海基會與海協會在「海峽兩岸包機會談紀要」裡達成初步協議，同年 11 月簽訂「海峽兩岸空運協議」與「海峽兩岸郵政協議」，兩岸直航包機增加兩倍

至 108 班次，大陸航點也由 5 個城市增加到 21 個城市，為兩岸直接通郵業務及兩岸空運直航開啟了新契機。在 2009 年 4 月底雙方並於第三次江陳會談中達成協議，兩岸客貨運將由平日包機邁入定期包機，並就增加航路、航點、航班等進行配套的商談。

因應兩岸航空市場變化的趨勢，政府採取漸進式開放的作法。以往台灣大陸對飛時，一律必須停靠第三地轉運。考慮國防安全，於兩岸達到全面通航開放前，過渡時期的作法是將「直航」變成「曲航」。透過 S 型飛行路線來達到「直航」的目的，也就是說所有的飛行路線藉由繞經香港飛航管制區 (flight information region; FIR) 的方式抵達大陸。此做法可使台北至上海飛航時間縮短至 70 分鐘左右，能大幅降低燃油消耗及飛行成本。現階段政府從嚴格管制到全面通航的過程中，可分成三個不同階段進行。第一階段為停轉港澳的方式，飛機必須經由第三地降落再起飛；第二階段為繞境香港飛航管制區，不須強制降落再起飛；第三階段才全面開放不受限制的直飛。

本研究根據目前兩岸航空市場發展趨勢，分析嚴格管制、轉換過程及全面開放三種不同的通航情境中，航空公司對於轉運站設置、營運網路設計及飛航路線該如何因應不同開放階段調整決策，並針對不同階段的營運網路進行比較分析。據作者所收集的文獻資料，至目前為止，未曾有研究探討過海峽兩岸航空市場循序開放的過程中，網路設計的問題。雖然文獻上有許多關於航空網路設計規劃的研究，然因為海峽兩岸的關係特殊，而衍生出三個不同階段的營運模式，一般的航空網路設計模式，皆無法直接應用。本研究為首篇針對三種情境進行分析及比較的研究。其次針對三種不同的通航情境，建構其轉運站位置、營運網路、及飛航路線決策的對應模式。最後本研究收集兩岸航空客運資料，針對三種模式進行測試，除了驗證所建立之模式可確切描述目前的情境外，所得到之結果亦可提供進入兩岸市場航空公司的營運策略基礎，並分析政府開放兩岸直航政策，對航空公司營運效率之影響。

2. 文獻探討

有關航空網路設計及轉運站位址選擇的研究，文獻上有許多學者發表過。O'Kelly (1987) 將轉運站設置問題定式為二次非線性整數規劃問題，隨後許多學者延伸此模式進行許多相關的研究，包括模式的改進及求解方法的改善 (O'Kelly, 1986; O'Kelly, 1992; Skorin-Kapov and Skorin-Kapov, 1994)。Campbell (1994) 則提出新的觀念，以路徑來定義決策變數，如此可將轉運站區位問題簡化成線性的整數規劃問題。與 O'Kelly (1987) 模型相較之下，雖然會有較多的變數跟限制式，但是卻改善了非線性問題上求解的困難。此後許多研究，皆採用同樣的觀念來定義決策變數。Aykin (1994, 1995) 建構不同的軸輻式網路模型，考慮不同的轉運策略，並提出求解演算法。O'Kelly *et al.* (1996) 修正轉運站設置問題的數學模式，減少限制式的數目，得到一個問題規模較小的數學模式，以改善求解的難度及速度。Skorin-Kapov *et al.* (1996) 修正 Campbell

(1994) 所發表的模型，發展出一個可以直接應用線性鬆弛法 (linear programming relaxation) 求解的模式。Lin and Chen (2008) 提出一個整合性軸輻式網路模型，可同時考慮純軸輻式網路 (pure hub-and-spoke)、層級軸輻式網路 (hierarchical hub-and-spoke)、沿途裝卸軸輻式網路 (stopovers network)、分支軸輻式網路 (stopovers with feeders network)。Yang (2008) 探討不同參數的變化，與航空網路規劃間的關係，發現轉運站容量及運輸成本的變化，對結果會造成明顯的影響。Yang (2009) 將需求的不確定性，納入轉運站位置選擇及網路規劃的問題中，提出一個兩階段的隨機規劃模型。

傳統的網路設計及轉運站區位問題，通常以搜尋最佳轉運點的角度來探討。近來有些學者從不同的角度探討軸輻式網路問題，從節線的連結方式找出最佳轉運點。Campbell *et al.* (2005) 提出的方法，考慮如何決定轉運站連接出去的節線，而非決定轉運站本身的位址。Podnar *et al.* (2002) 提出的模型，則決定哪些節線具有集貨的效果以達到規模經濟，而不直接探討轉運的節點。有關軸輻式網路設計相關文獻的彙整及回顧，讀者可參考 Campbell *et al.* (2002)、Bryan and O'Kelly (1999) 以及 Alumur and Kara (2008) 之文獻。

有關兩岸航空市場的相關研究，Lin and Chen (2003) 以軸輻式網路的觀點出發，探討那些機場在最小成本流量的考量下，可能開放直航的情形。該篇著重於以貨物運輸的角度，考量以最小成本流量找出貨機直航的對接點。黃雅芬與張堂賢 (民 86) 利用區位理論尋求最適直航的航點組合，再以系統動態學方法，預測不同情形下的航空客運需求。林正章等 (民 88) 利用效用函數來表示消費者選擇航線的機率。汪進財等 (民 85) 以旅行者之旅行間距最小為主要考量，利用區位理論中的 P 中位問題求解機場選擇問題，發現飛行時間與旅次分佈是影響直航機場選擇的因素。

3. 模式建構

3.1 問題描述

由於兩岸直航可以使旅行的時間及成本明顯縮短，航空市場的直航為規劃開放的重要課題。雖然直航政策已開放，但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，整體營運路網並未完整建構。具體而言，目前航空公司係以循序漸進的方式，持續擴大整體營運路網。本研究擬就兩岸航空客運市場，針對台灣、大陸、港、澳地區，在開放前後及中間轉換銜接過程中，飛航營運網路及轉運站的設置，應如何調整因應，進行比較及分析。本研究所建構的模式，可提供航空公司業者未來規劃擴大營運路網所使用。實例分析所得到的結果則可提供公部門、私部門、與後續學者研究兩岸航空市場時，相關決策規劃的參考。本研究分析由嚴格管制到全面通航的過程中，所對應的三種不同情境分別說明如下：

- (1) 停轉港澳：為以往嚴格管制下的運作方式，兩岸間任何機場的通行，都必須要經由第三地轉機，且飛機必須於第三地的機場降落再起飛。第三地機場的認定為非在台灣或大陸地區的機場，最常使用的第三地轉運機場為香港或澳門。
- (2) 繞境香港：為嚴格管制到全面性開放前，中間轉換過程的替代方案。兩岸間任何機場間的通行，都必須繞境過第三地，但並不強制要求一定要降落再起飛。一般航空公司採用的方式為繞境到香港飛航情報區，再到對岸的機場。
- (3) 全面開放：為台灣及大陸間的全面性開放，台灣與大陸的任何機場，都可以直接飛行，航線可以自由的規劃。

本研究擬針對上述三種通航方式，以最低營運成本的角度，求得轉運機場設置地點及飛航營運網路。並分析比較三種可能方式間的差異，以提供給公部門或實務界在兩岸直航全面開放後相關決策的參考。

3.2 模式建構

目前航空公司在投入新市場的經營方式，通常是以適度與當地航空公司合作的方式來拓展，透過結盟、聯盟或者是共掛班表、聯合營運等方式，擴大營運路網，達到迅速擴展新市場的目的。因此本研究所考量的營運路網範圍，並非意指僅由單一國籍航空公司獨自經營，而是考量航空公司若要拓展大陸市場，其完整的路網及轉運站設置應該如何規劃，其間也可包括策略聯合夥伴的合作航線。以下先對模式的變數及符號進行說明：

決策變數：

s_k ：轉運站的設置。 $s_k=1$ ，節點 k 為轉運站； $s_k=0$ ，節點 k 不為轉運站。

x_{ij} ：節點 i 到節點 j 間的需求選擇以直飛方式運送的流量分流比例。因此 $0 \leq x_{ij} \leq 1$ 。

x_{ikjt} ：節點 i 到節點 j 間的需求選擇經由轉運站 k 和轉運站 t ，以轉運的方式運送的流量分流比例。因此 $0 \leq x_{ikjt} \leq 1$ 。

其他符號：

N ：所有節點的集合，在此每個節點代表一個機場。

d_{ij} ：節點 i 到節點 j 的需求量。

l_{ij} ：節點 i 到節點 j 的飛行距離。

o_{ij} ：節點 i 到節點 j 每單位人次運送每單位距離的成本。

α ：轉運站與轉運站間的折扣係數，其值介於0和1之間。利用此折扣係數表達轉運站間的規模經濟現象。

β ：起點到轉運站或轉運站到迄點的折扣係數。利用此折扣係數來表達非轉運站節點與轉運站間的規模經濟現象。一般而言， $0 \leq \alpha \leq \beta \leq 1$ 。

c_{ij} : 節點 i 到節點 j 以直飛方式的單位運輸成本。 $c_{ij} = o_{ij} \cdot l_{ij}$ 。

c_{ikjt} : 節點 i 到節點 j 經由轉運站 k 和轉運站 t , 以轉運方式的單位運輸成本。利用折扣係數來表達經濟規模的情形, $c_{ikjt} = \beta \cdot c_{ik} + \alpha \cdot c_{kt} + \beta \cdot c_{tj}$ 。其中 $\beta \cdot c_{ki}$ 及 $\beta \cdot c_{tj}$ 為非轉運站的節點和轉運站之間的運輸成本, $\alpha \cdot c_{kt}$ 代表轉運站到轉運站的運輸成本。

F_k : 設置轉運站 k 的固定成本。

P : 航空公司預設的轉運站個數。

V : 一極大的正數。

Z : 目標價值, 代表總成本。

有關成本的計算, 本研究採用文獻上最常使用的折扣係數方式, 以逼近運輸規模經濟效果。雖然部分文獻指出, 利用凹型函數可較完整的表達各種不同流量情形下所對應的成本關係, 在理論的推導與模式建構也會比較完善, 規模經濟的情況也可以較完整的表達。然而為了要建構此凹型成本函數, 必須去推估出所有不同流量情況下相對應的成本情形, 在實務運作上較難達成。在現實航空公司運作過程中, 業者通常只會面臨到幾種常發生的流量情形, 如尖峰、離峰、及一般狀況。要求業者蒐集所有不同流量下, 所對應的成本, 在實際營運上不太容易。此外, 凹型函數的使用, 模式會變成非線性整數規劃問題, 在模式的應用、理論的推導, 皆會導致極度複雜, 求解也會非常耗時及困難。換言之, 折扣係數以簡化問題及實用為主要目標, 學理上可簡化複雜模式、迅速求解; 實務上資料較容易取得、推估及應用, 因為此方法只要知道幾個常發生的流量所對應成本的情形, 就能推估出對應的折扣係數。故本研究採用折扣係數的方式, 除前述所提及研究模式運算便利外, 亦將業者實際面臨的問題及模式應用層面的因素納入考量, 希望提供業者一個簡單實用的方法。

本研究根據目前台灣航空公司進入大陸市場的決策程序, 建構不同開放階段下的最佳營運網路模式。首先是全面開放的方式, 其模式並無特別要求及限制, 因此最接近一般規劃航空營運網路的作法。以下先針對全面開放方式建構模式, 再根據此模式, 增加不同的額外限制式, 以建構符合停轉港澳及繞境香港不同要求的模式。

3.2.1 全面開放模式

全面開放的方式即台灣到大陸或大陸到台灣的直航, 不須經由轉運站轉運, 可以為任何二個城市間的航線自由規劃。以目前台灣航空公司規劃進入未來大陸市場的方式, 通常會按公司投入新市場的預算、未來服務機場的數目、配合公司的發展策略等, 先行決定轉運站的個數。再按預設的轉運站個數, 尋找最佳設置地點, 據此再規劃整體營運網路、及各服務機場間的飛航路線。本研究修正 Yang (2008) 所提出的飛航網路規劃模型, 以建構全面開放方式下的模型。主要不同之處在於 Yang (2008) 的模型中, 轉運站個數為內生決策變數, 由模式決定最佳轉運個數, 在區位理論中被歸類為 *fixed charge facility location* 的問題。其做法為一次求得所有轉運站

設置點及營運網路，隱含航空公司以一次到位的方式調整轉運站及營運網路，此方式與航空公司實際的調整過程不同。採用一次到位的方式，須同時對整個營運網路、航班、機隊及人員，進行大幅度的改變，投入的成本及面臨的風險都相對提高。業者的做法，通常會在預算之內設置轉運站，並以循序漸進的方式調整、增加到完整的轉運站個數，營運網路的調整，亦配合轉運站的增加逐步擴展。此循序漸進的方式，配合的航班、機隊及人員的變動才不至於有突然的大改變，調整失敗的風險也將降低。本研究配合航空公司目前的決策程序，轉運站個數為事先給定的外生參數，在區位理論中屬於 P 個轉運點中位問題 (p-hub median)。全面開放方式下的數學模型，詳述如下：

$$(P) \quad \text{Minimize } Z = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N: j \neq i} d_{ij} c_{ij} x_{ij} + \sum_{i \in N} \sum_{j \in N: j \neq i} \sum_{k \in N: k \neq i, j} \sum_{t \in N} d_{ij} c_{iktj} x_{iktj} \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_{k \in N} s_k = P \quad (2)$$

$$x_{ij} + \sum_{k \in N} \sum_{t \in N} x_{iktj} = 1, \quad \forall i, j: i \neq j \quad (3)$$

$$\sum_{i \in N} x_{ik} + \sum_{i \in N} x_{ki} \leq V(1 - s_k), \quad \forall k: i \neq k \quad (4)$$

$$\sum_{t \in N} x_{kkti} + \sum_{t \in N} x_{itkk} \geq 2s_k, \quad \forall i, k: i \neq k \quad (5)$$

$$x_{kkti} \geq s_k + s_t - 1, \quad \forall k, t: k \neq t \quad (6)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N: j \neq i} (x_{iktj} + x_{itkj}) - \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} x_{ikkj} \leq V s_k, \quad \forall k: i \neq j \quad (7)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N: j \neq i} (x_{iktj} + x_{itkj}) - \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} x_{ikkj} \geq s_k, \quad \forall k: i \neq j, i \neq k, j \neq k \quad (8)$$

$$0 \leq x_{ij} \leq 1, \quad \forall i, j: i \neq j \quad (9)$$

$$0 \leq x_{iktj} \leq 1, \quad \forall i, k, t, j: i \neq j \quad (10)$$

$$s_k \in \{0, 1\}, \quad \forall k \quad (11)$$

上述全面通航模型中，目標式(1) 由兩個部份組成，直航的運輸成本及轉運航線的運輸成本。限制式(2) 代表轉運站個數必須等於事先決定的數目。限制式(3) 代表同一起迄點下，直航及不同轉運路線的分流比總和須為 1，隱含流量守衡的條件。限制式(4) 描述 x_{ik} 表達起迄點皆

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

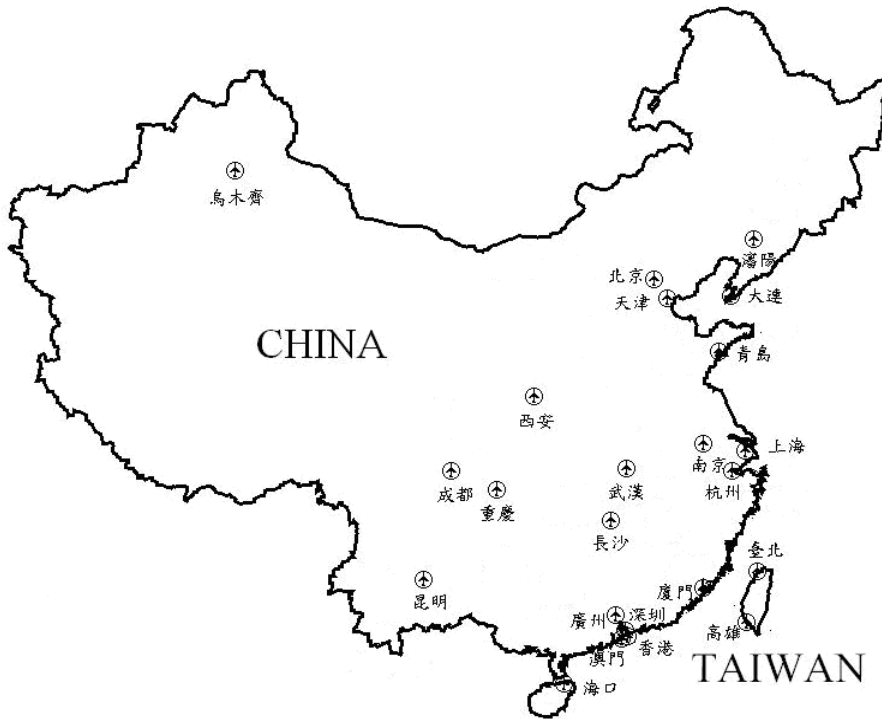


圖 1 測試實例考慮之機場

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

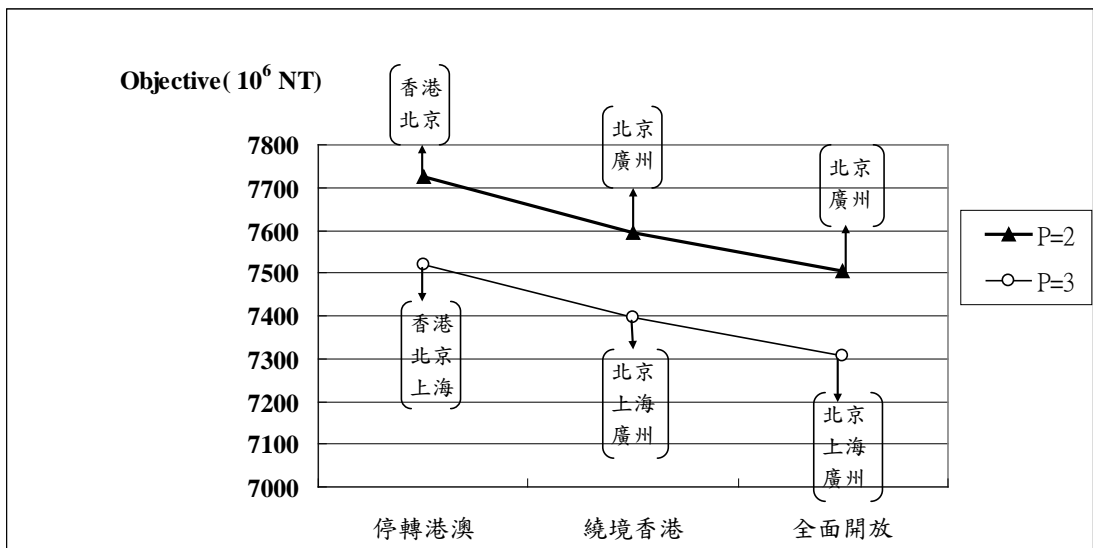


圖 2 轉運站個數為 2 及 3 時之變化趨勢

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

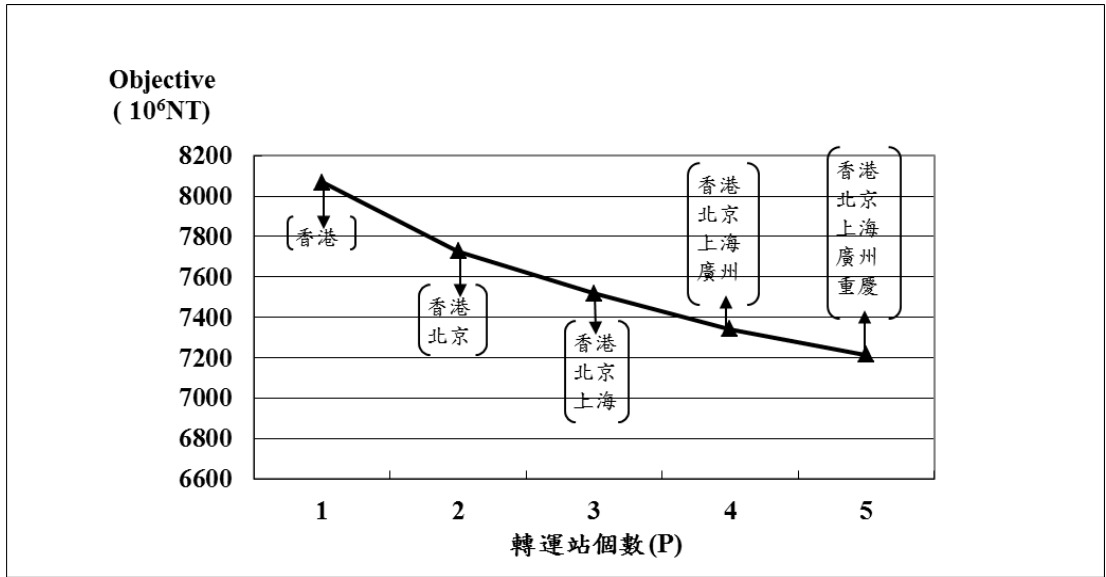


圖 3 停轉港澳方式於不同轉運站個數之變化

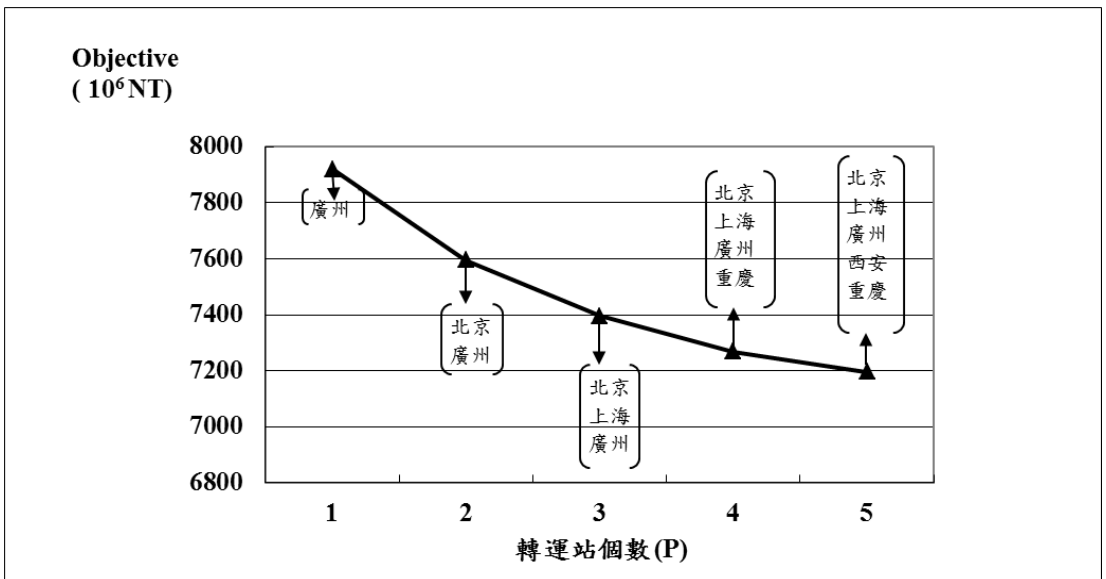


圖 4 繞境香港方式於不同轉運站個數之變化

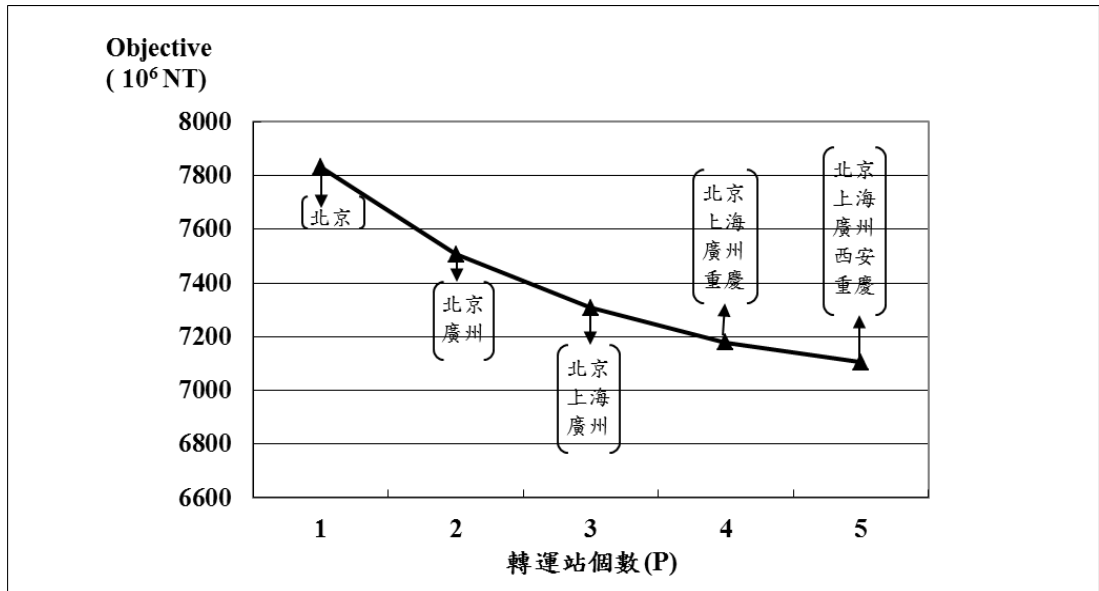


圖 5 全面開放方式於不同轉運站個數之變化

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

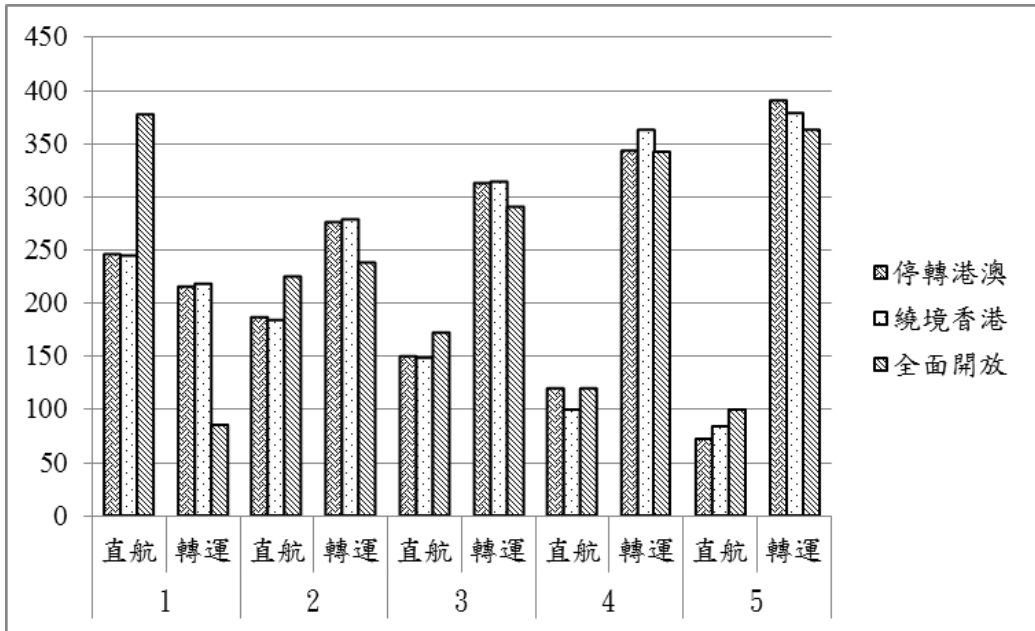


圖 6 直飛轉運路線數目比較

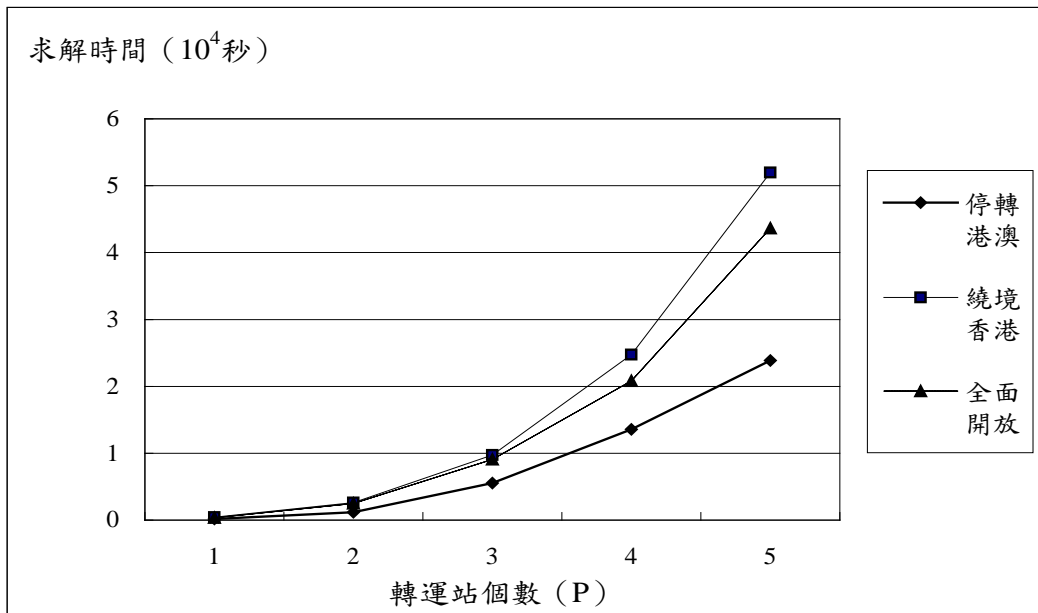


圖 7 轉運站運算求解時間變化

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、蔡德璘，「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.