

# 應用資料包絡分析法評估兩岸三地 國際貨櫃港經營績效之研究

## APPLYING DEA TO EVALUATE THE PERFORMANCE OF INTERNATIONAL CONTAINER PORTS ACROSS THE TAIWAN STRAIT

趙時樑 Shih-Liang Chao<sup>1</sup>

張貞德 Jen-Der Chang<sup>2</sup>

(98 年 9 月 2 日收稿，99 年 6 月 11 日第一次修改，99 年 10 月 22 日第二次修改，100 年 4 月 11 日第三次修改，100 年 8 月 25 日第四次修改，100 年 9 月 10 日定稿)

### 摘 要

由於中國經濟的迅速崛起，直接帶動了中國港口貨櫃量的大幅成長，亦透過兩岸三地特殊的貿易與分工模式造成了香港與臺灣港口貨櫃量的變化。本研究旨在利用資料包絡分析法分析兩岸三地國際貨櫃港口經營績效，作為研擬港口策略與調整資源配置之參考。本研究選取 2008 年貨櫃裝卸量超過百萬 TEU 之兩岸三地 16 大國際貨櫃港為受評單位 (decision making unit, DMU)，以六項投入變數 (貨櫃船席數、貨櫃船席長度、貨櫃碼頭面積、貨櫃碼頭儲區容量、橋式起重機數與冷凍櫃插座數) 與一項產出變數 (貨櫃裝卸量) 作為效率衡量指標，應用資料包絡分析法之 CCR 與 BCC 模式分析其生產、規模與技術效率，並採用保證區域 (assurance region, AR) 模式來處理傳統 CCR 模式乘數變動過於自由的問題。此外，本研究利

- 
1. 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)。
  2. 國立臺灣海洋大學航運管理學系研究所碩士，陽明海運公司管理師 (聯絡地址：206 基隆市七堵區明德一路 271 號；電話：02-24550657；E-mail: jasonchang@yml.com.tw)。

用 Malmquist 生產力指數 (malmquist productivity index, MPI) 分析各港之跨期經營效率。研究結果顯示,連雲港與寧波港之現況經營效率與兩期 MPI 值均領先其他港口,表示此二港口經營績效良好,可作為其他港口之參考。

**關鍵詞：**港口效率；資料包絡分析法；保證區域模式；Malmquist 生產力指數

## ABSTRACT

*The rapid growth of China's economy has not only caused a boom in its container ports, but also affects the container throughput of the ports across the Taiwan Strait through particular cooperative business models. This study aims to evaluate the performance of 16 international container ports across the Taiwan Strait and identify key factors for allocating operation resources of each port. For each decision making unit (DMU), six inputs (number of container berths, lengths of container berths, terminal areas, yard capacities, number of gantry cranes and number of reefer plugs) and one output (annual container throughput) are taken into account. CCR and BCC models, which are the basic models of data envelopment analysis (DEA) are used to measure the efficiency of each DMU. To deal with the problem of unlimited multipliers, the assurance region (AR) model is deployed to more precisely measure the efficiency of DMU. In addition, the Malmquist productivity index (MPI) is also calculated to identify the intertemporal efficiency of each DMU. The analytical results show that Lianyungang and Ningbo are ahead of other DMUs in terms of current operation efficiency and MPI. Therefore, these two ports can be used as the benchmarks for other DMUs as they have been operated efficiently.*

**Key Words:** Port efficiency; Data envelopment analysis (DEA); Assurance region (AR); Malmquist productivity index

## 一、前言

貨櫃化運輸發展超過半個世紀,已成為現代航運的主軸,貨櫃港口的經營績效攸關港口競爭力,各海洋國家莫不致力於提升港口經營績效與貨櫃裝卸量,藉以促進貿易發展並提升國家競爭力。近年來,由於全球經濟走向全球化,其中以亞洲區域經濟體為主的代工趨勢,使得全球貨櫃運量大增。尤其中國擁有眾多的勞動人口與低廉工資之優勢,已成為世界的工廠。中國進出口貿易的蓬勃發展不僅提供全球貨櫃航運充足的貨源,也帶動當地貨櫃港口裝卸量大幅成長。就兩岸經貿關係而言,根據經濟部國貿局統計資料,2008 年兩岸貿易總額為 1,054 億美元,較 2007 年增加 3.1%,占我對外貿易總額的 21.2%,足見中國不僅躍升為我國第一大貿易夥伴,也成為我國貿易順差的主要來源。為實現海峽兩岸海上客貨直接運輸並促進雙方經貿正常交流,2008 年 11 月 4 日兩岸海基會與海協會簽署「海峽兩岸海運協議」,中斷 59 年的兩岸海運直航正式於 2008 年 12 月 15 日實現。基於「海峽兩岸海運協議」,臺灣開放 11 個港口;中國則開放 68 個直航港口。兩岸開啟直航,

不僅大幅節省運輸時間及成本，更有助於雙方在海運產業進一步合作。

面對全球化競爭與鄰近南韓、中國等貨櫃港口快速崛起，我國貨櫃港口裝卸量已有日漸下滑之勢。基於兩岸開放直航後，兩岸在貨櫃港口與航運產業競爭與合作關係日益密切，為探討中國貨櫃港與我國港口營運狀況與發展之優劣勢，分析各港口經營效率並探討資源利用狀況做為改善效率之參考，本研究選取兩岸三地重要國際貨櫃港，透過資料包絡分析法 (data envelopment analysis, DEA) 探討國際貨櫃港經營績效。由於兩岸貨櫃港口之數量與種類相當繁多，為避免研究過於複雜，必須進行取捨。即對於大陸地區僅有國內駁船靠泊之內貿港口，以及年裝卸量未達百萬 TEU 之國際貨櫃港口予以排除，原因在於營運量過低之港口對於貨櫃裝卸與儲放等作業方式專業程度不足，某些港口甚至並無貨櫃碼頭與橋式機，而是以一般雜貨碼頭與移動式起重機替代之。因此，本研究選取 2008 年兩岸三地貨櫃裝卸量超過百萬 TEU 之 16 大國際貨櫃港作為評估決策單位(decision making unit, DMU)，其中包括我國的基隆(Keelung)、臺中 (Taichung) 與高雄 (Kaohsiung)；以及中國的營口 (Yingkou)、天津 (Tianjin)、大連 (Dalian)、煙台 (Yantai)、青島 (Qingdao)、連雲港 (Lianyungang)、上海 (Shanghai)、寧波 (Ningbo)、福州 (Fuzhou)、廈門 (Xiamen)、廣州 (Guangzhou)、深圳 (Shenzhen) 與香港 (Hong Kong)。本研究以 2008 年之資料作為分析之依據，雖然各貨櫃港口裝卸量不同，其所投入資源亦有所差異，故本研究利用 DEA 相關模式從投入產出的觀點，綜合比較兩岸三地 16 大國際貨櫃港之經營績效，作為港務當局研擬發展策略之參考。本研究以資源投入導向為基礎，首先利用 DEA 之 CCR 與 BCC 模式，分析各 DMU 於 2008 年之生產、技術與規模等效率。然為改善 DEA 模式中乘數變動過於自由的問題，本研究利用 DEA 交叉效率 (cross efficiency) 模式推算乘數比值上下限，再使用保證區域 (assurance region, AR) 模式，計算具乘數比值限制下各 DMU 之效率，並與原未限制乘數比值之模式進行比較。此外，本研究亦另以 2006、2007 與 2008 年之資料為基礎，計算各 DMU 之 malmquist 生產力指數 (malmquist productivity index, MPI)，據以綜合檢視各 DMU 於 2006-2007 年以及 2007-2008 年之跨期效率變化。本文以下共分四節：第二節首先回顧相關文獻，並探討績效評估的方法與 DEA 在港口績效評估之應用；第三節說明本研究之方法與進行步驟；第四節為實証分析；有關本研究之結論與建議則整理於最後一節。

## 二、文獻回顧

本節旨在探討與本研究主題與研究方法相關之文獻，以作為本研究之理論基礎。2.1 節首先回顧常見的績效評估方法；2.2 節則針對以 DEA 評估港口績效之相關文獻加以探討。

## 2.1 績效評估方法方面

績效評估常見的計量方法有比率分析法 (ratio analysis)、迴歸分析法 (regression analysis)、生產邊界法 (production frontier approach, PFA)、隨機邊界法 (stochastic frontier approach, SFA) 及 DEA。根據 Park 與 De<sup>[1]</sup>所整理的港口效率評估模式文獻比較，可以發現過去以多項投入與多項產出評估港口效率的研究中，最常被採用的效率分析方法為 DEA 與隨機邊界法 (如表 1)。由於 DEA 適合用來評估相同資源投入與相同產出之 DMU；又具有無須預設權重、較不受人為主觀意識影響之特性，因此，為求客觀評估兩岸三地 16 大國際貨櫃港口經營績效，本研究採用 DEA 作為效率評估之方法。

表 1 港口效率評估方法相關研究

研究者 (年代)	評估對象	評估模式	函數種類
Roll 與 Hayuth <sup>[2]</sup>	20 個假設港口 (1993)	DEA (CCR)	無採用
Liu <sup>[3]</sup>	28 個英國港口 (1983~1990)	隨機生產邊界函數 Stochastic Production Function	Translog
Martinez-Budria 等人 <sup>[4]</sup>	26 個西班牙港口 (1991~1997)	DEA (BCC)	無採用
Coto 等人 <sup>[5]</sup>	27 個西班牙港口 (1985~1989)	隨機邊界成本函數 Stochastic Cost Function	Translog
Tongzon <sup>[6]</sup>	16 個國際港口 (1996)	DEA (CCR), Additive DEA	無採用
Valentine 與 Gray <sup>[7]</sup>	31 個國際港口 (1998)	DEA (CCR)	無採用
Estache 等人 <sup>[8]</sup>	14 個墨西哥港口 (1996~1999)	隨機生產邊界函數 Stochastic Production Function	Translog, Cobb-Douglas
Cullinane 等人 <sup>[9]</sup>	15 個國際港口 (1989~1998)	隨機生產邊界函數 Stochastic Production Function	Cobb-Douglas
Han <sup>[10]</sup>	25 個國際港口 (1993~1999)	生產邊界函數 Production Function	Cobb-Douglas

資料來源：Park 與 De<sup>[1]</sup>與本研究整理。

## 2.2 DEA 評估港口經營績效方面

DEA 在國內、外已廣泛地被應用於評估各種營利與非營利組織之經營效率，近年來，DEA 應用在運輸業經營績效評估之研究已漸豐富，其中在海運、空運產業皆有不少相關研究。在港口績效評估方面，Roll 與 Hayuth<sup>[2]</sup>為首先應用 DEA 評估港口相對效率之研究，其以 3 項投入 (人力、資本與貨物同質性) 與 4 項產出 (貨物裝卸量、服務水準、顧客滿意度與船舶進港數) 為衡量指標，探討 20 個虛擬港埠間的相對效率。因其研究對象為假設

之虛擬港埠，並未進行實證分析，故其貢獻在於開啟應用 DEA 評估港口相對效率之研究領域。後續則有許多研究開始實際應用 DEA 進行港口績效之評估，如 Martinez-Budria 等人<sup>[4]</sup>利用 DEA 之 BCC 模式，以 1993 至 1997 年之資料評估西班牙 26 個港口之相對效率，並將港口依其複雜性分為 3 個群組，再分析各群組之效率；Valentine 與 Gray<sup>[7]</sup>則挑選世界前百大貨櫃港中的 31 個港口，運用 DEA 以兩項投入（船席長度與貨櫃船席長度）與兩項產出（貨櫃數量與貨物總噸量）分析其相對效率；由於 DEA 為數學規劃模型之應用，若對於目標函數或限制式加以調整，可以衍生出許多不同的子模式來處理不同的問題。故後續有許多研究採用多種 DEA 之延伸模式，來進行港埠生產效率的分析。如 Itoh<sup>[11]</sup>使用 DEA 之 CCR 與 BCC 模式及視窗分析法，評估日本主要國際港口於 1990 年至 1998 年之相對績效；林彬等人<sup>[12]</sup>、Cullinane 等人<sup>[9]</sup>與 Al-Eraqi 等人<sup>[13]</sup>均以視窗分析法搭配 DEA 基本模式，進行港口相對效率實證分析；Tongzon<sup>[6]</sup>使用 DEA 之 CCR 模式及加法模式（additive model），評估 1996 年澳洲 4 個貨櫃港與 12 個其他國際貨櫃港之效率，選取 6 項投入（起重機數量、貨櫃船席數、拖船數、場棧面積、港埠員工人數與船舶延遲時間）與 2 項產出（貨櫃裝卸量與船舶作業率），作為貨櫃港口績效評估指標；Park 與 De<sup>[1]</sup>則用 CCR 模式、BCC 模式及 4 階段 DEA 模式，以 2 項投入變數（船席容納船數與處理貨物噸數）與 4 項產出（貨物裝卸噸數、船舶進港數、營收與顧客滿意度），評估韓國 11 個港口效率；周明道等人<sup>[14]</sup>以 DEA 之改進方法—「遞迴資料包絡分析法」（recursive data envelopment analysis, RDEA），探討兩岸三地共 11 個貨櫃港埠於 2000 年至 2002 年之生產效率變化。此外陳巧蓁<sup>[15]</sup>與黃柏雄<sup>[16]</sup>等則以 DEA 之 MPI 模式，分別針對亞洲與全球之主要貨櫃港口跨進行期效率分析。

由上述文獻探討可發現，在研究方法方面，初期研究係以 DEA 之 BCC 或 CCR 等基本模型進行港埠生產效率之實證分析，而隨著研究課題的深入與複雜，逐漸衍生出許多修正的模型來處理更複雜的問題，如視窗分析法可藉由時間視窗的推移，來處理 DMU 個數不足之問題<sup>[11, 12]</sup>；又為了改善因乘數變化範圍過於自由而可能造成多個 DMU 效率值為一的問題，Lin 與 Tseng<sup>[17]</sup>採用 Andersen 與 Petersen<sup>[18]</sup>所發展之 A&P 模式，來區別多個 DMU 效率值為 1 的情形，其方法為先解算各 DMU 基本效率值，再以逐次剔除效率值為 1 的 DMU 的方式迭代解算效率。然而，當投入產出變數間存在某種關係時，則可藉由限制乘數變化範圍的 AR 模式，來減少多個 DMU 效率值為 1 的情形，如林彬等人<sup>[12]</sup>即利用此模式，評估臺灣主要國際商港之經營效率。在上述文獻中，並未見對於各種提升區別力模式的適用情境進行探討，基於考量本研究之投入變數間存在比例關係，因此本研究選擇採用限制乘數變化範圍之 AR 模式來進一步提升模式的鑑別力。除了研究橫斷面的資料外，觀察各 DMU 效率值隨時間之變化亦為重要趨勢，如 MPI 模式可解算 DMU 跨期效率之變動，已被應用於貨櫃港口之跨期效率分析<sup>[15, 16]</sup>。

在研究課題方面，初期研究係以一般化的投入產出變數來評估港埠之生產效率，如人力、資本、費用與碼頭長度等為常用之投入變數，而貨物處理噸數、貨物吞吐噸數、客戶滿意度與利潤等則為常用之產出變數。隨著貨櫃化運輸的興盛，全球各重要港埠紛紛設立

配置橋式機與儲區起重機具之碼頭，專供貨櫃船舶泊靠與裝卸貨櫃之用。因此，陸續有研究開始針對貨櫃港埠碼頭經營績效進行評估，所選用的投入產出變數亦更直接聚焦於貨櫃碼頭之特色，如橋式機數、儲區面積與儲量、儲區機具與貨櫃裝卸量等。然而各文獻對於投入產出變數的選取仍存在許多差異。因此，本研究除參考過去文獻外，並透過與碼頭營運商及航商的深度訪談，重新選取適當的投入產出變數進行港口效率評估。在投入變數方面以船邊作業觀點選取貨櫃船席數、貨櫃船席長度與橋式起重機數等 3 項投入變數，另以貨櫃儲存觀點選取貨櫃碼頭面積與貨櫃碼頭儲區容量等兩項投入變數。此外，由於目前許多貨櫃船舶已配備一定比例之冷櫃插座，來滿足冷櫃運輸之需求，因此儲區冷櫃插座之數量，應可視為重要的資源投入，並會影響航商使用該港口之意願，故本研究將儲區冷櫃插座之數量納為投入變數；至於貨櫃港口之產出變數基本上可從營收、船舶、服務與貨櫃裝卸量等構面加以衡量，基於營收相關數字可能會受到碼頭經營者投資多角化等財務操作之影響、服務船舶艘數統計資料無法反映船型大小，以及各港對於服務水準之定義與衡量依據不一等因素，並考量資料客觀性、可及性與代表性等因素，故本研究選擇最直接且最具代表性的貨櫃裝卸量作為產出變數。

### 三、研究方法

本節旨在說明本研究之方法與流程，以及相關 DEA 延伸模式的理論依據。為顧及研究效度，在各項效率解算開始之前，須先就投入產出變數與 DMU 數目之相對關係，以及投入與產出變數之間的相關性進行檢定。而為評估受評港口之現況、跨期效率以及分析各港口資源配置調整方向，本研究共採用六種 DEA 延伸模式進行效率值之計算，最後再就整體研究之效度進行分析。具體而言，本研究之流程與方法可分為資料準備、效率解算以及效度分析等 3 個階段，各階段需執行的步驟與彼此關係如圖 1 所示。階段 1 首先決定 DMU 與投入產出變數的項目與個數，並進行資料的蒐集，最後透過皮爾森相關係數檢定，確保投入變數與產出變數間有顯著的正向等幅變化關係。所有資料整理完成後即進入階段 2，開始進行各項效率值的解算。首先以 BCC 與 CCR 2 個 DEA 基本模型解算各 DMU 之相對效率。然為克服乘數變化過於自由之問題，本研究先解算各 DMU 之交叉效率，作為限制投入變數乘數比例之依據，接著納入乘數限制條件計算各 DMU 之 CCR/AR 模式效率，以改善多個 DMU 效率值同時為 1 的情形。另一方面，經由 MPI 指數的解算可求得各 DMU 的跨期效率值，接著對各 DMU 進行跨期效率分析。同時，為探討各 DMU 所處之生產階段以及資源調整方向，階段 2 最後將進行規模效率與報酬以及差額變數兩項分析。所有效率分析完成之後，即進入研究的第 3 階段，即針對整個研究的效度進行探討與驗證。以下 3.1 節先說明本研究蒐集資料與檢定投入產出變數相對關係之方法；3.2 節則探討 DEA 基本模式之概念。另為改善傳統 DEA 模式分析結果易於發生過多 DMU 之效率值為 1 之缺失，本研究採用 AR 模式對乘數比值之上下限加以限制，其相關理論基礎於 3.3 節中進行探討；最後，3.4 節針對可進行跨期效率比較之 Malmquist 生產力指數模式進行探討。

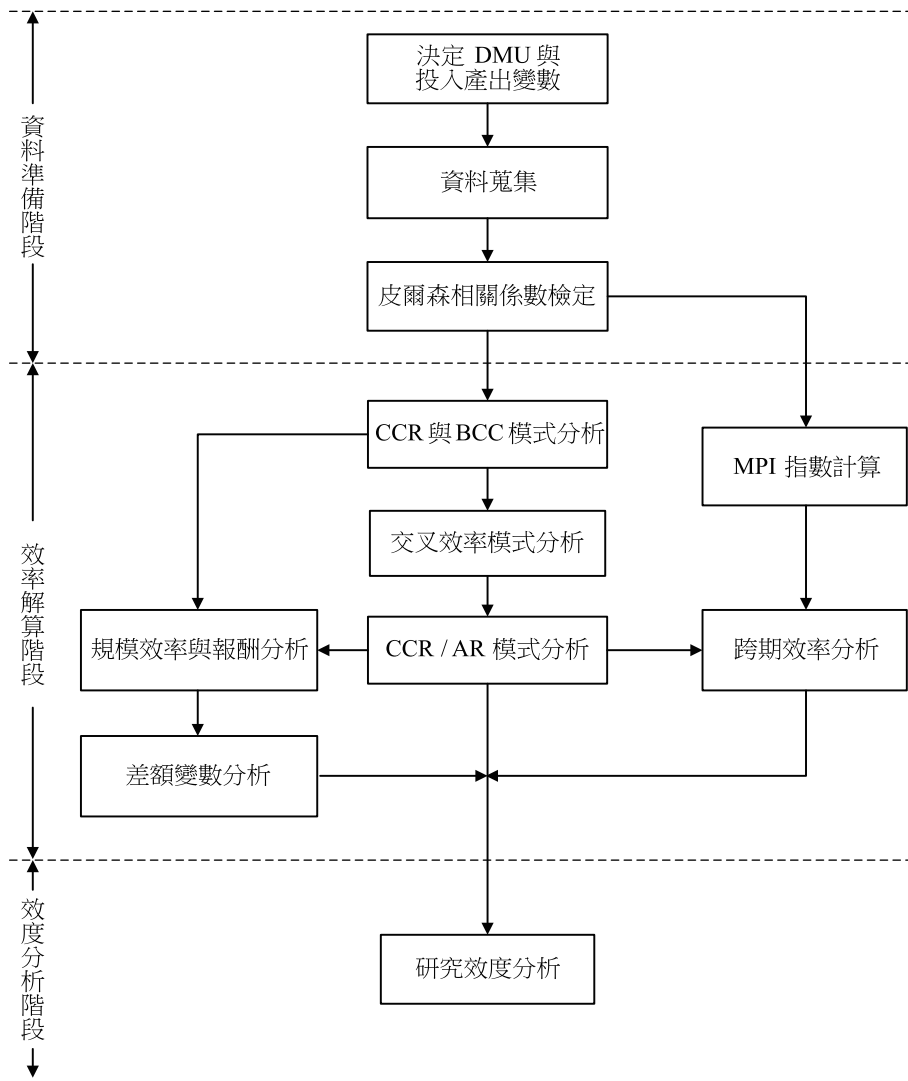


圖 1 本研究之方法與執行步驟示意

### 3.1 資料蒐集與分析

本研究之 DMU 為國際貨櫃港口，在投入資料方面主要為各港之硬體設施與設備，產出資料則為各港之營運成果。由於各港對各項資料之發佈時間不一，為求研究之客觀性與合理性，本研究乃以「國際貨櫃化雜誌年鑑」各年度所蒐集發佈之資料為分析依據。為呈現接近現況之分析結果，本研究以 2008 年之資料進行分析。然而除了進行各 DMU 營運現況效率比較外，本研究將利用 Malmquist 生產力指數進行各 DMU 跨期效率之比較，據以分析各 DMU 本身在生產技術與效率方面的變化方向與程度。因此，本研究將另取同一資

料庫之前期資料作為進行跨期效率分析之依據。此外，為確保實證分析結果之合理性，於計算各模式效率值之前，須先進行選定的投入與產出變數進行相關性檢定，俟確認選定變數皆能符合同向性與等幅擴張性兩項原則後，始可進行後續量化的分析。

### 3.2 DEA 基本模式

DEA 是由 Charnes 等人<sup>[19]</sup>以 Farrell<sup>[20]</sup>的效率衡量理論為基礎並加以延伸，以線性規劃求解出多項投入與多項產出之 DMU 的相對效率評估方法。由於在建構生產函數的過程中，所有資料均被包絡 (envelope) 於生產函數之下，凡 DMU 落在生產前緣 (production frontier) 所形成之包絡線上者，為相對有效率，其效率值為 1；落在包絡線以內者，即為相對無效率 (relative inefficiency)，其效率值介於 0 至 1 之間。DEA 主要有兩種基本模式：CCR 模式與 BCC 模式。Charnes 等人<sup>[19]</sup>所提出之效率評估方法是為 CCR 模式，CCR 模式是以固定規模報酬為其限制條件，而後 Banker 等人<sup>[21]</sup>將固定規模報酬的限制條件予以取消，以變動規模報酬 (variable returns to scale, VRS) 衡量效率值，發展成為所謂的 BCC 模式。CCR 模式與 BCC 模式均可由投入導向與產出導向兩種角度探討，其模式又可以比率型式 (ratio form)、原問題型式 (primal problem) 及對偶問題型式 (dual problem) 等 3 種型式描述。由於 CCR 模式為固定規模報酬條件，所以不論是從投入導向或產出導向觀點來衡量，其效率值皆相同；BCC 模式則為變動規模報酬條件，從投入導向或產出導向觀點來衡量，其效率值會不相同。CCR 模式為 DEA 之初始模式，為 Charnes 等人<sup>[19]</sup>根據 Farrell<sup>[20]</sup>的效率衡量理論基礎，採用線性規劃方式，在規模報酬固定的假設下，衡量各 DMU 之相對效率生產效率 (production efficiency, PE) 或稱總效率。假設有  $n$  個 DMU，第  $j$  個 DMU 使用第  $i$  項投入之數量為  $X_{ij}$ ，且其第  $r$  項產出數量為  $Y_{rj}$ ，則 DMU  $k$  的 CCR 效率值可由模式 [CCR] 計算求得。

$$\begin{aligned}
 \text{[CCR] Max} \quad & h_k = \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ik}} \\
 \text{subject to} \quad & \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ij}} \leq 1, \quad j=1, \dots, n \\
 & u_r, v_i \geq \varepsilon > 0, \quad r=1, \dots, s, \quad i=1, \dots, m
 \end{aligned}$$

模式 [CCR] 中  $u_r, v_i$  分別代表第  $r$  個產出項與第  $i$  個投入項之權重， $n$  為 DMU 之個數， $m$  為投入因子之個數， $r$  為產出項的個數， $\varepsilon$  為一極小之正值，在實際應用上常設為  $10^{-4}$  或  $10^{-6}$ ，代表任一因子均不可被忽略。



Banker 等人<sup>[21]</sup>以生產可能集合以及距離函數觀念，將模式 [CCR] 固定規模報酬的假設改為變動規模報酬，據以計算純粹技術效率 (pure technical efficiency, PTE)，並將模式 [CCR] 求得之效率值與 BCC 模式效率值之比值，定義為該 DMU 的規模效率值 (scale efficiency, SE)。Banker 等人<sup>[21]</sup>所提出之 BCC 模式之投入導向比率型式如模式 [BCC]。模式 [CCR] 與 [BCC] 之差別在於  $u_0$  項，其意義為生產函數之截距項。由模式 [BCC] 解算出  $u_0$  項之正負值，可判斷對應之生產前緣屬於規模報酬遞增或遞減階段，若  $u_0$  為零，代表對應之生產前緣屬於固定規模報酬。

$$\begin{aligned}
 \text{[BCC]Max} \quad h_k &= \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} - u_0}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ik}} \\
 \text{Subject to} \quad &\frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - u_0}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ij}} \leq 1, \quad j = 1, \dots, n \\
 &u_r, v_i \geq \varepsilon > 0, \quad r = 1, \dots, s, \quad i = 1, \dots, m \\
 &u_0: \text{無正負限制}
 \end{aligned}$$

### 3.3 AR 模式

由於模式 [CCR] 對於乘數的限制條件為大於等於零，此限制可能導致解算結果不合理的現象。即各 DMU 為求本身效率極大，傾向捨棄不利因子，令其乘數為零。另一方面，模式 [CCR] 求得之乘數未能考量投入項變數間或產出項變數間之相對重要性，無法提供經濟或其他管理層面之意涵。為改善此缺點，Thompson 等人<sup>[22]</sup>提出 AR 模式，將各項投入與產出項目之乘數上限與下限的比例值予以設限，據以求出更接近真實的效率值，來改善模式 [CCR] 的缺點。模式 [CCR] 納入乘數上下限比例值限制式後成為模式 [CCRAR]，其線性規劃模式如下：

$$\text{[CCRAR] Max} \quad h_k = \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ik}}$$

$$\begin{aligned}
 \text{subject to } & \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ij}} \leq 1, \quad j = 1, \dots, n \\
 & \alpha_i^L \leq \frac{v_i}{v_I} \leq \alpha_i^U, \quad i = 1, \dots, m \\
 & \beta_r^L \leq \frac{u_r}{u_O} \leq \beta_r^U, \quad r = 1, \dots, s \\
 & u_r, v_i \geq \varepsilon > 0, \quad r = 1, \dots, s, \quad i = 1, \dots, m
 \end{aligned}$$

模式 [CCRAR] 中， $\alpha_i^L$  與  $\alpha_i^U$  分別表示投入項乘數比率 ( $v_i/v_I$ ) 之下限與上限， $\beta_i^L$  與  $\beta_i^U$  則為兩產出項重要性乘數比率 ( $u_r/u_O$ ) 之下限與上限。Cooper 等人<sup>[23]</sup>指出 AR 模式有兩種方式可決定投入與產出項乘數比值上下限。其一為依據先驗資訊進行設定，如採用專家訪談方式來決定乘數比值上下限，使研究結果更貼近事實，然此方式可能會因專家看法之差異而產生較主觀的結果；其二為透過其他相關模式運算來決定乘數比值上下限，此方式產生的結果較為客觀。因此，本研究係以各 DMU 之平均交叉效率為基礎，據以決定 AR 模式乘數比值上下限。所謂交叉效率是指利用其他 DMU 所選擇之最佳權數來評估某一 DMU 的效率，再取平均值得到平均交叉效率。交叉效率之概念係由 Sexton 等人<sup>[24]</sup>所提出，其線性規劃模式如下：

$$\begin{aligned}
 \text{[CROSS] Max } & E_{kk} = \frac{\sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ik}} \\
 \text{subject to } & E_{kj} = \frac{\sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ij}} \leq 1 \quad \text{for all } DMU_j \\
 & u_{rk}, v_{ik} \geq 0 \quad r = 1, \dots, s, \quad i = 1, \dots, m
 \end{aligned}$$

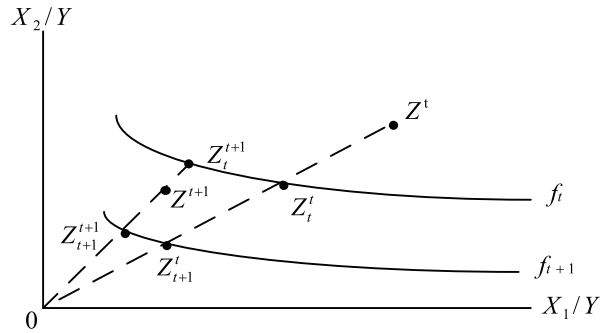
其中， $E_{kk}$ ：為  $DMU_k$  以  $DMU_k$  為評估單位的交叉效率值  
 $E_{kj}$ ：為  $DMU_j$  以  $DMU_k$  為評估單位的交叉效率值  
 $v_{ik}$ ：為  $DMU_k$  的第  $i$  投入項的權數  
 $u_{rk}$ ：為  $DMU_k$  的第  $r$  產出項的權數  
 $X_{ik}$ ：為  $DMU_k$  的第  $i$  投入項

$Y_{rk}$ ：為  $DMU_k$  的第  $r$  產出項

就任一  $DMU_k$  而言，利用模式 [CROSS] 之計算可求出其  $n$  個效率值，經扣除本身自我評估效率值  $E_{kk}$  外，計算其餘  $n-1$  個效率值之平均值，即可得到  $DMU_k$  之平均交叉效率。本研究係利用平均交叉效率，作為設定模式 [CCRAR] 中乘數上下限比值之依據。

### 3.4 Malmquist 指數分析

Malmquist 生產力指數可用以衡量生產力的變動，據以比較各 DMU 於不同時期之效率變化。Färe 等人<sup>[25]</sup>以 Cave 等人<sup>[26, 27]</sup>提出之 Malmquist 生產力指數概念為基礎，提出可衡量跨期效率之 DEA 模式。如圖 2 所述，令  $f_t$  與  $f_{t+1}$  分別代表第  $t$  期與  $t+1$  期之生產效率前緣，且  $Z^t$  與  $Z^{t+1}$  分別代表某 DMU 於第  $t$  期與  $t+1$  期之觀測值， $Z_t^t$  與  $Z_{t+1}^t$  分別代表  $Z^t$  於第  $t$  期與  $t+1$  期之生產效率前緣上之投影點，則 Färe 等人<sup>[25]</sup>所定義之 MI 計算方式如式(1)。



資料來源：高強等人<sup>[28]</sup>

圖 2 跨時期效率前緣之移動

$$MI_t^{t+1} = \left[ \frac{OZ_t^t}{OZ_{t+1}^t} \times \frac{OZ_t^{t+1}}{OZ_{t+1}^{t+1}} \right]^{1/2} \quad (1)$$

式 (1) 中， $MI_t^{t+1}$  用以衡量  $f_t$  變化至  $f_{t+1}$  之平均移動程度與方向，其由兩衡量值之幾何平均所構成，前者衡量  $Z_t^t$  移動至  $Z_{t+1}^t$  之程度與方向，後者為  $Z_t^{t+1}$  移動至  $Z_{t+1}^{t+1}$  之程度與方向。若  $MI_t^{t+1}$  等於 1，表示兩期生產效率前緣相同，若  $MI_t^{t+1}$  大於 1，表示第  $t+1$  期之生產效率前緣較第  $t$  期進步，亦即更向原點方向接近。高強等人<sup>[28]</sup>定義總效率 (technical and scale efficiency, TSE)、追趕效率 (catching-up in efficiency, CIE) 與 Malmquist 生產力指數 (Malmquist productivity index, MPI) 三項指標，用以衡量跨期效率之變動。 $TSE^t$  代表在固定規模報酬假設下，以模式 [CCR] 所求得之總效率，亦即原點至  $Z_t^t$  距離與原點至  $Z^t$  距

離之比值；CIE 指標之定義如式 (2)，其中  $CIE_t^{t+1}$  表示某 DMU 於第  $t$  期至第  $t+1$  期之追趕效率，實為兩期 TSE 值之比值；式 (3) 則為 MPI 指標之計算方式，指標  $MPI_t^{t+1}$  為  $CIE_t^{t+1}$  與  $MI_t^{t+1}$  之乘積，用以衡量 DMU 由第  $t$  期至第  $t+1$  期之跨期生產效率變化。由式 (3) 可知  $MPI_t^{t+1}$  實為 DMU 本身追趕效率與整體生產效率前緣移動兩者之交互影響之結果，可有效衡量某 DMU 本身跨期效率變化。亦即當某 DMU 之 MPI 大於 1 時，表示其生產力呈現正成長；當 MPI 指數等於 1 時，表示其生產力不變；當 MPI 小於 1 時，表示其生產力呈現負成長。

$$CIE_t^{t+1} = \frac{TSE^{t+1}}{TSE^t} = \frac{OZ_{t+1}^{t+1} / OZ^{t+1}}{OZ_t^t / OZ^t} \quad (2)$$

$$MPI_t^{t+1} = CIE^{t \rightarrow t+1} \times MI_t^{t+1} \quad (3)$$

## 四、實證研究

本節說明本研究實證分析之過程與結果；4.1 節首先說明 DMU 與投入與產出項目之挑選方式與結果；4.2 節敘述資料蒐集與適合性檢定之結果，以確保實證研究結果之合理性；4.3 節則為不同評估模式下各 DMU 之效率分析結果；4.4 節則為本研究實證分析之效率分析。

### 4.1 DMU 與投入與產出項目之選取

本研究所選取之 DMU 為具有國際貨櫃定期航線靠泊且 2008 年貨櫃裝卸量達百萬 TEU 之兩岸三地國際貨櫃港。由於中國內地有許多內貿貨櫃河港，如太倉港 2008 年貨櫃裝卸量雖達 145 萬 TEU，惟因市場經營條件不同，不符合 DMU 間之同質性原則，故不在本研究範圍之內。在投入與產出變數方面，由於近年來大型化船舶陸續下水營運，使不同船型之運力 TEU 數差異頗大。如某些港口雖可能服務船舶數較少，但因船型較大而造成 TEU 裝卸量反而較多，使得船舶進港數可能產生不客觀的現象，因此本研究暫不採用船舶進港數作為產出變數；而各港服務水準衡量標的不一，且資料未能完整公開，故此變數亦不選取。根據第二節文獻探討之結果，並考量各 DMU 投入產出資料蒐集之可及性與完整性後，決定選取各港之貨櫃船席數、貨櫃船席長度、貨櫃碼頭面積、貨櫃碼頭儲區容量、橋式起重機數與冷櫃插座數等 6 項資料作為投入變數，而以各港貨櫃裝卸量作為產出變數，據以進行實證分析，各變數之定義說明如表 2。本研究之投入與產出項目共計 7 個，而 DMU 為 16 個，符合 DEA 對投入與產出項個數決定之經驗法則，亦即 DMU 個數至少應為投入與產出項個數合 2 倍之原則。

表 2 投入與產出變數定義

類 別	變數名稱		單位	變數定義
投入項	1	貨櫃船席數	座 (No.)	介於碼頭岸壁與貨櫃調度場之間，提供貨櫃船靠泊與裝卸貨櫃之場地。貨櫃船席愈多，所能靠泊貨櫃船數愈多，並可減少船舶等待時間。
	2	貨櫃船席長度	公尺 (m)	貨櫃碼頭船席長度加總，貨櫃船席長度愈長，所能提供之船席數也愈多。
	3	貨櫃碼頭面積	平方公尺 (m <sup>2</sup> )	港口貨櫃碼頭使用之總面積，貨櫃碼頭面積愈大，對於碼頭儲區場地與設施擴充愈有利。
	4	貨櫃碼頭儲區容量	TEU	碼頭後方貨櫃儲放場地總面積，可用以堆存進出口貨櫃之場地，以利裝卸作業。
	5	橋式起重機數	座 (No.)	橋式起重機為岸邊裝卸貨櫃的主要大型機具，是影響貨櫃裝卸效率的重要項目。
	6	冷櫃插座數	座 (No.)	貨櫃碼頭之冷櫃插座，可提供冷櫃在碼頭內仍能保持貨物冷藏溫度的要求。
產出項	1	貨櫃裝卸量	TEU	貨櫃港之年度貨櫃裝卸量，為評估貨櫃港口重要產出的一項指標。

## 4.2 投入產出項目資料分析

在 DMU 投入產出變數資料蒐集方面，為求客觀與公平，本研究係以「國際貨櫃化雜誌年鑑」為資料主要來源，擷取 2008 年各 DMU 之資料進行分析。然經檢視後發現其中高雄港之橋式機數量資料有誤，故該項資料改以高雄港務局網站發佈資料代替之。此外，為探討各 DMU 跨期經營效率變化，本研究另擷取同一資料庫之前期資料進行跨期效率分析，礙於資料庫中 2006 年前營口港之資料無法取得，故以 2006 年、2007 年與 2008 年之資料進行各 DMU 逐年跨期效率之比較。各 DMU 各年度之投入產出資料整理於附錄 A.1~A.3。

為確保研究之合理性，本研究以 SPSS 12.0 版統計軟體，針對所選取之 6 項投入與 1 項產出進行皮爾森相關係數 (Pearson correlation) 檢定，以檢視變數間是否存在相關性。由檢定結果可知，2008 年度各 DMU 之 6 項投入與產出變數之相關係數皆介於 0.795 至 0.918 間，具有高度正相關性 (詳見附錄 B.1)。而 2006 與 2007 年度之資料各投入與產出變數之相關係數皆大於 0.7 (詳見附錄 B.2 與 B.3)，亦具高度正相關性。因此本研究所選取的投入與產出變數，皆能符合同向性檢驗與等幅擴張性的原則，適合以 DEA 相關模式進行分析。

## 4.3 實證分析結果

完成資料整理與檢驗後，本研究依投入導向觀點，進行 CCR、BCC、規模報酬、CCR/AR 等模式評估各 DMU 於 2008 之相對效率，並以差額變數分析探討相對無效率 DMU 未來改

善的方向與幅度。此外，並以 Malmquist 生產力指數分析各 DMU 於 2006 年至 2008 年之逐年跨期效率。在模式解算方面，本研究係利用 Microsoft Excel 2003 之規劃求解功能與 DEA Solver 3.0 軟體作為效率求解與分析工具。由於各港產出變數之貨櫃裝卸量非港口所能隨意掌控，故本研究選取之 DEA 各項評估模式，均以投入導向來探討各 DMU 之相對效率，據以比較投入資源的使用效率。各模式評估結果分述如下：

1. CCR 與 BCC 模式效率分析：CCR 模式所求得之生產效率又稱總效率，代表各港之整體效率表現情況，其效率值愈高代表港口整體經營愈有效率，且當同時達到技術效率與規模效率，才可能達到生產效率。各 DMU 之 CCR 生產效率求解結果如圖 3(a) 所示，各 DMU 平均生產效率值為 0.5017，效率值為 1 的港口共有連雲港、廈門港與寧波港等 3 港，為相對有效率之港口，而效率值未達 1 之港口共計 13 個；在 BCC 模式效率方面，模式 [BCC] 所求得之技術效率，可判定各 DMU 是否有效運用各項投入。技術效率值愈高代表愈能充分使用各投入項目，以達到產出極大化。各 DMU 於 2008 年大國際貨櫃港之 BCC 技術效率值結果如圖 3(b) 所示，總平均技術效率值為 0.7301，效率值為 1 的港口共有連雲港、寧波港、廈門港、基隆港、營口港、上海港、深圳港與香港等 8 港，為相對有效率之港口，其餘港口之效率值則分佈於 0.30 至 0.82 之間；在 BCC 模式效率值評估中，連雲港被參考次數為 7 次，寧波港為 5 次，廈門港為 3 次，基隆港與營口港被參考次數各為 1 次，屬相對技術效率較佳者。
2. CCR/AR 生產效率分析：使用模式 [CCR] 評估效率時，各 DMU 為求本身效率值極大，乘數傾向偏重於某一投入項或產出項，亦即令其他不利因子之乘數為 0，此特性可能導

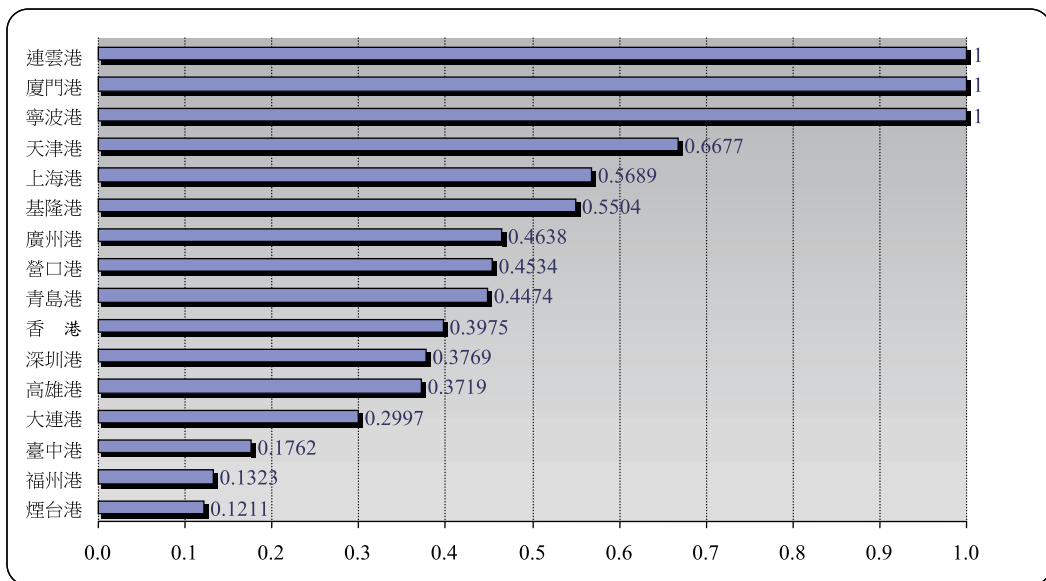


圖 3(a) 各 DMU 之 CCR 模式效率值 (2008)

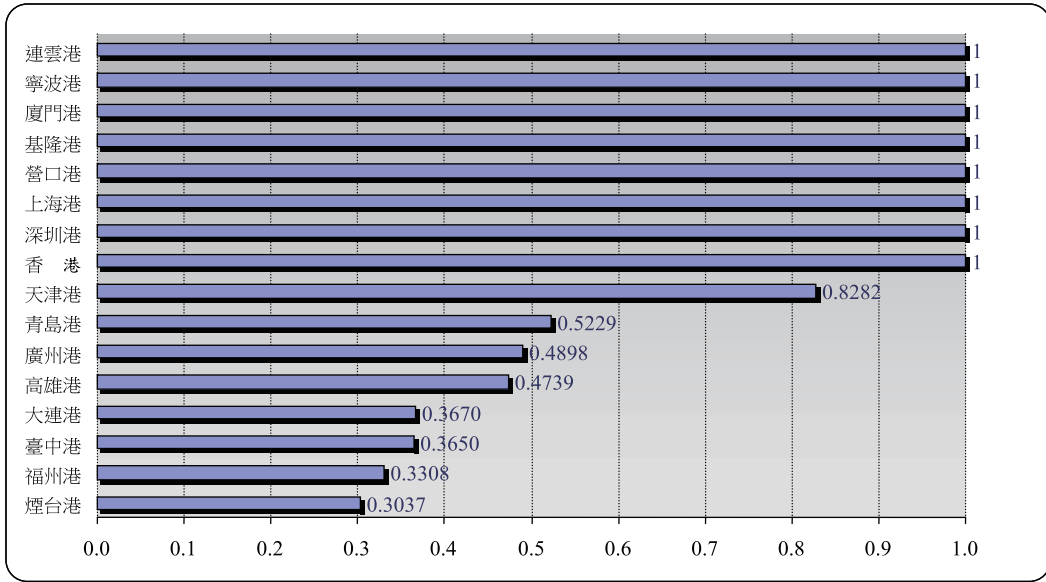


圖 3(b) 各 DMU 之 BCC 模式效率值 (2008)

致評估結果的偏頗。因此，本研究嘗試限定某些乘數比例之上下限值，並採用模式 [CCRAR] 再次解算各 DMU 之效率值，與模式 [CCR] 之求解結果進行比較。根據實務訪談結果得知，冷櫃插座數與貨櫃船席數，以及冷櫃插座數與貨櫃船席長度之間應存在某些相關。其原因在於若船席長度越長，可停靠船舶之船型也越大，而實務上大型貨櫃船舶其運載冷櫃數較小型船多，因此岸邊冷櫃插座數也會隨之增多，反之亦然。且若貨櫃船席數多寡與可停靠船舶數有關，亦會影響冷櫃插座數量之配置，故此兩變數與冷櫃插座數有一定比例相關，故本研究選用此 3 變數相互比值，來作為設定 AR 權數比例上下限之依據。為求客觀，本研究不以專家訪談所得之先驗知識直接代入模式，而是先以模式 [CROSS] 計算各 DMU 之交叉效率，據以推算 AR 權數比例之上下限。2008 年資料以模式 [CROSS] 解算出各 DMU 交叉效率平均值如表 3，從表 3 可得前 5 名為臺中、煙台、福州、香港與深圳等 5 港。接著界定選定變數之乘數最大與最小值再加以計算乘數範圍。此 5 港的乘數最大最小值與選定變數整理如表 4。其中若最小值為 0，即使用次小值代替最小值，若無次小值時，以  $10^{-3}$  取代之，旨在得不利因子權數不為 0。

接著以貨櫃船席數與冷櫃插座數為例，說明乘數比值上下限之計算方式。貨櫃船席數與冷櫃插座數兩者乘數相除之下限，乃是以貨櫃船席數最小值除以冷櫃插座數最大值，兩者乘數之上限乃是以貨櫃船席數最大值除以冷櫃插座數最小值，亦即  $0.0103497$  除以  $0.0015299$  為乘數比值下限，而  $0.0271853$  除以  $0.0001574$  為乘數比值上限，因此可得下限為 6.765、上限為 172.68，另一個乘數比值上下限為貨櫃船席長度除以冷櫃插座數。將兩個選定變數之權重上下限範圍以模式 [CCRAR] 進行求解，結果如表 5 所示。由表 5 可知廈門港在模式 [CCR] 中原生產效率值為 1，而經過模式 [CCRAR] 設定乘

數比值上下限後，其生產效率值從 1 降為 0.9318。

表 3 各 DMU 交叉效率平均值及排名 (2008)

港 口	交叉效率平均值	排名	港 口	交叉效率平均值	排 名
基隆港	0.2872	14	連雲港	0.2625	15
臺中港	0.3966	1	上海港	0.3618	9
高雄港	0.3278	12	寧波港	0.1825	16
營口港	0.3635	7	福州港	0.3849	3
天津港	0.3638	6	廈門港	0.3395	10
大連港	0.3092	13	廣州港	0.3628	8
煙台港	0.3916	2	深圳港	0.3648	5
青島港	0.3339	11	香 港	0.3732	4

表 4 選定變數之最大最小值

選定變數	最小值	最大值
貨櫃船席數	0.0103497	0.0271853
貨櫃船席長度	0.0000900	0.0005624
冷凍櫃插座數	0.0001574	0.0015299

資料來源：本研究整理

表 5 CCR 與 CCR/AR 效率比較

DMU	模式 [CCR]		模式 [CCR/AR]	
	生產效率	效率排名	生產效率	效率排名
基隆港	0.5504	6	0.4075	9
臺中港	0.1762	14	0.1729	14
高雄港	0.3719	12	0.3719	11
營口港	0.4533	8	0.4533	7
天津港	0.6676	4	0.6490	4
大連港	0.2996	13	0.2996	13
煙台港	0.1211	16	0.1175	16
青島港	0.4474	9	0.4262	8
連雲港	1	1	1	1
上海港	0.5689	5	0.5258	5
寧波港	1	1	1	1



表 5 CCR 與 CCR/AR 效率比較 (續)

DMU	模式 [CCR]		模式 [CCRAR]	
	生產效率	效率排名	生產效率	效率排名
福州港	0.1322	15	0.1322	15
廈門港	1	1	0.9318	3
廣州港	0.4637	7	0.4637	6
深圳港	0.3768	11	0.3704	12
香 港	0.3975	10	0.3852	10

3. 規模效率與規模報酬分析：以模式 [CCRAR] 解算出之生產效率除以 BCC 模式求算出之技術效率即可得規模效率。本研究探討 16 港之平均規模報酬效率值為 0.6551，效率值達 1 的港口包括連雲港與寧波港等兩港，其餘港口之規模效率值為廣州港 (0.9469)、廈門港 (0.9318)、大連港 (0.8166)、青島港 (0.8151)、高雄港 (0.7848)、天津港 (0.7836)、上海港 (0.5259)、臺中港 (0.4738)、營口港 (0.4534)、基隆港 (0.4076)、福州港 (0.3998)、煙台港 (0.3871)、香港 (0.3852) 與深圳港 (0.3705)。規模報酬遞增之港口共有 4 個，分別為基隆港、臺中港、營口港與福州港，顯示其港口規模還有擴充之空間，所以可考慮擴大經營規模以達最有效率之規模；規模報酬遞減之港口共有 3 個，分別為上海港、深圳港與香港，顯示這些港口的投入資源過剩，應考慮減少投入以達最有效率之規模；固定規模報酬之港口共有 9 個，分別為高雄港、天津港、大連港、煙台港、青島港、連雲港、寧波港、廈門港與廣州港，顯示這 9 港處於最適生產規模階段。
4. 差額變數分析：差額變數係指 DMU 與效率前緣上投影點間之差距，代表若需將相對效率值未達 1 之港口，調整成為達到有效率港口的資源使用效率時，所應減少的投入量或應增加的產出量。由本研究採用投入導向之 CCR/AR 模式之額變數分析結果 (表 6) 可知，連雲港與寧波港為相對有效率之港口，故其效率值為 1 且差額變數皆為 0，而其餘未達相對有效率之港口差額變數分析如下：
- (1) 貨櫃船席數：未達相對有效率之港口共有 7 個港口，分別為基隆港、高雄港、營口港、大連港、福州港、廣州港與香港。這些港口在貨櫃船席數之投入呈現資源閒置情形，可以考慮減少該項資源投入。
  - (2) 貨櫃船席長度：未達相對有效率之港口共有 6 個港口，分別為高雄港、營口港、大連港、青島港、福州港與廣州港。這些港口在貨櫃船席長度之投入呈現資源閒置情形，可以考慮減少該項資源投入。
  - (3) 貨櫃碼頭面積：未達相對有效率之港口共有 11 個港口，分別為基隆港、臺中港、營口港、天津港、大連港、煙台港、上海港、福州港、廣州港、深圳港與香港。這些港口在貨櫃碼頭面積之投入呈現資源閒置情形，可以考慮減少該項資源投入。
  - (4) 貨櫃碼頭儲區容量：未達相對有效率之港口共有 12 個港口，分別為臺中港、高雄港、

營口港、天津港、煙台港、青島港、上海港、福州港、廈門港、廣州港、深圳港與香港。這些港口在碼頭儲區容量之投入呈現資源閒置情形，可以考慮減少該項資源投入。

- (5) 橋式起重機數：未達相對有效率之港口共有 11 個港口，分別為基隆港、臺中港、高雄港、天津港、大連港、煙台港、青島港、上海港、廈門港、深圳港與香港。這些港口在橋式起重機數之投入呈現資源閒置情形，可以考慮減少該項資源投入。
- (6) 冷櫃插座數：未達相對有效率之港口共有 7 個港口，分別為高雄港、營口港、大連港、青島港、福州港、廣州港與香港。這些港口在冷櫃插座數之投入呈現資源閒置情形，可以考慮減少該項資源投入。

各相對無效率港口投入項目之改善目標值，其計算方式為該 DMU 之效率值與該項實際投入數量之乘積減去該項之差額變數。以基隆港貨櫃船席數之改善目標值為例，其計算方式為  $[(0.4076 \times 15) - 4.17] = 1.95$ ，由於港口設施數量單位係以整數計，故以四捨五入方式調整成為整數 2，即得基隆港貨櫃船席數之改善目標值。在基隆港整體效率方面，當實際之 6 項投入減少為目標值 (2, 1433, 112311, 4852, 3, 73)，產出裝卸量仍為 2,055,258 TEU，可使效率值達到 1，亦即經由效率改善，基隆港之各項投入可分別減少

表 6 差額變數分析結果

DMU	貨櫃港口	CCR 效率值	貨櫃 船席數	貨櫃船 席長度	貨櫃碼 頭面積	貨櫃碼頭 儲區容量	橋式 起重機數	冷櫃 插座數	貨櫃 裝卸量
1	基隆港	0.4076	4.17	0	89450.84	0	9.05	0	0.4076
2	臺中港	0.1730	0	0	82554.59	4568.18	0.29	0	0.1730
3	高雄港	0.3719	1.66	734.99	0	3409.43	10.01	217.29	0.3719
4	營口港	0.4534	0.68	190.88	53727.03	2153.62	0	22.67	0.4534
5	天津港	0.6490	0	0	374396.73	30784.02	9.95	0	0.6490
6	大連港	0.2997	1.46	239.73	367950.71	0	6.51	528.25	0.2997
7	煙台港	0.1176	0	0	36751.24	3675.52	0.29	0	0.1176
8	青島港	0.4262	0	443.14	0	37386.55	6.96	1890.95	0.4262
9	連雲港	1	0	0	0	0	0	0	1
10	上海港	0.5259	0	0	2938116.08	114411.79	20.39	0	0.5259
11	寧波港	1	0	0	0	0	0	0	1
12	福州港	0.1323	0.26	5.03	156604.88	5158.44	0	23.28	0.1323
13	廈門港	0.9318	0	0	172211.66	2091.94	2.53	0	0.9318
14	廣州港	0.4638	1.39	416.93	1555475.19	109822.39	0	1810.55	0.4638
15	深圳港	0.3705	0	0	252541.42	68537.72	5.97	0	0.3705
16	香 港	0.3852	11.77	0	0	58419.97	16.21	605.14	0.3852

(13, 2083, 382689, 7053, 26, 105) 單位。多數國際貨櫃港在面對全球化競爭的環境與船舶大型化的趨勢下，為獲得經濟規模或最低的效率規模，無不採取產能擴充策略，藉由擴大生產規模以取得成本優勢。然而，港口產能擴充必須對未來運量做精確之預測，並根據港口產業特性、競爭者行為、港口長期策略與對風險的容忍度審慎評估之。上述差額變數分析乃是理論上各相對無效率港口為達相對有效率時，其應投入之最適配置數量，但由於港口在實際營運中，其所投入之各項機具與設施，並無法為求達到相對有效率之目的，而任意減少投入數量。然而，各相對無效率港口在擴充產能之餘，仍須探討其造成無效率之原因，以作為調整投入資源合理配置之參考。

5. 跨期效率分析：由於實務上港口營運績效係以年度運量加總計算，因此除分析現況效率之外，另可利用前期資料計算各港跨期效率值，據以檢視受評港口生產力之走勢。由於實證分析所用之資料庫僅收錄各港 2006、2007 與 2008 年 3 年度之完整資料，故本研究利用此 3 年之資料，分別進行各港 2006-2007 年以及 2007-2008 年 2 個年度跨期效率分析。首先，將 2006 與 2007 兩年資料，利用式 (1) 與 (2) 解算出各港  $MI_{2006}^{2007}$  與  $CIE_{2006}^{2007}$ ，然後再利用式 (3) 將兩者相乘求得各港之  $MPI_{2006}^{2007}$ ，各港之  $MI_{2006}^{2007}$ 、 $CIE_{2006}^{2007}$  與  $MPI_{2006}^{2007}$  計算結果整理如表 7(a)。由表 7(a) 可知，就 2006-2007 年而言，共有 9 個港口之  $MPI_{2006}^{2007}$  值大於 1，表示生產力為正向成長，其中連雲港之  $MPI_{2006}^{2007}$  更高達 1.742，顯示其 2007 年之生產力相較於 2006 年大幅進步；而有 7 個港口之  $MPI_{2006}^{2007}$  值低於 1，表示生產力呈現衰退現象。由於  $MPI$  為效率前緣移動與各港效率變動之交互影響結果，因此可進一步分析各港  $MPI$  消長之原因。由表 7(a) 可看出，在效率前緣移動方面，由於受評各港之  $MI_{2006}^{2007}$  均低於 1，代表 2007 年之效率前緣較 2006 年更偏離原點，亦即各港 2007 年生產技術較前一年退步。其次， $CIE_{2006}^{2007}$  代表各港於 2007 年與 2006 年度效率之比值。以寧波港為例，其  $CIE_{2006}^{2007}$  雖高達 2.065，表示該港 2007 年相對其前緣之效率幾乎為 2006 年相對前緣效率之兩倍，然因 2007 年效率前緣退步 ( $MI_{2006}^{2007}$  僅達 0.709)，故  $CIE_{2006}^{2007}$  之兩倍成長被抵銷，導致衡量整體跨期生產力的  $MPI_{2006}^{2007}$  指數僅達 1.464。再以香港為例，其  $CIE_{2006}^{2007}$  為 1.101，表示香港 2007 年與 2006 年相對各自前緣之生產效率幾乎相同，但受到 2007 年效率前緣退步之影響，其  $MPI_{2006}^{2007}$  指數僅達 0.78，造成生產力衰退的結果。整體而言，2006-2007 年有 9 個港口以高  $CIE_{2006}^{2007}$  來彌補前緣退步的效果，將  $MPI_{2006}^{2007}$  維持在大於 1 的水準，其餘 8 個港口之  $CIE_{2006}^{2007}$  不足以抬拉前緣退步的效果，致使  $MPI_{2006}^{2007}$  呈現低於 1 的退步現象。另在 2007-2008 年方面，由表 7(b) 可看出各港之  $MI_{2007}^{2008}$  值均高於 1，顯示各港於 2008 年所對應之效率前緣較前一年進步。但就追趕效率而言，各港表現普遍未臻理想，僅香港、天津、寧波、連雲 4 港之  $CIE_{2007}^{2008}$  值大於 1，表示僅此 4 港 2008 年生產效率較前一年進步。因  $MI_{2007}^{2008}$  與  $CIE_{2007}^{2008}$  均大於 1，故此 4 港之  $MPI_{2007}^{2008}$  呈現大於 1 的進步現象。其餘 12 港之  $CIE_{2007}^{2008}$  值均未達 1，表示此 12 港 2008 年生產效率較前一年退步。其中僅廣州與福州兩港因  $CIE_{2007}^{2008}$  值相當接近 1，故其  $MPI_{2007}^{2008}$  仍能大於

1。其餘 10 港因  $CIE_{2007}^{2008}$  值偏低抵銷了  $MI_{2007}^{2008}$  值大於 1 的效果，呈現出  $MPI_{2007}^{2008}$  小於 1 的生產力退步現象。就兩個逐年跨期效率而言，各港 2006-2007 之表現優於 2007-2008，MPI 平均值由 0.992 降為 0.916，MPI 大於 1 的 DMU 也由 9 個降為 6 個。另由表 7(a) 可看出各港在 2006-2007 年之平均 CIE 值為 1.424，前緣移動效果 MI 值為 0.722；而於 2007-2008 年時，雖然 MI 值上升為 1.142，但 CI 值大幅降低至 0.805，造成了整體生產力的下降。

表 7 MPI 指數計算結果

(a) 2006-2007 之跨期效率

DMU	$CIE_{2006}^{2007}$	$MI_{2006}^{2007}$	$MPI_{2006}^{2007}$
P9 連雲港	1.897	0.918	1.742
P4 營口港	2.507	0.653	1.637
P11 寧波港	2.065	0.709	1.464
P14 廣州港	1.745	0.820	1.430
P6 大連港	1.611	0.713	1.149
P2 臺中港	1.566	0.672	1.052
P10 上海港	1.295	0.809	1.047
P1 基隆港	2.075	0.499	1.036
P3 高雄港	1.624	0.629	1.021
P15 深圳港	1.364	0.685	0.934
P13 廈門港	0.941	0.904	0.850
P16 香港	1.101	0.708	0.780
P8 青島港	1.539	0.384	0.591
P5 天津港	0.686	0.721	0.495
P12 福州港	0.542	0.798	0.433
P7 煙台港	0.233	0.928	0.216
平均值	1.424	0.722	0.992

(b) 2007-2008 之跨期效率

DMU	$CIE_{2007}^{2008}$	$MI_{2007}^{2008}$	$MPI_{2007}^{2008}$
P16 香港	1.104	1.182	1.305
P5 天津港	1.119	1.128	1.263
P11 寧波港	1.087	1.139	1.238
P9 連雲港	1.061	1.054	1.118
P14 廣州港	0.943	1.160	1.094
P12 福州港	0.916	1.099	1.007
P8 青島港	0.866	1.153	0.999
P10 上海港	0.837	1.106	0.926
P13 廈門港	0.850	1.078	0.916
P6 大連港	0.757	1.204	0.911
P15 深圳港	0.739	1.176	0.869
P3 高雄港	0.630	1.228	0.773
P2 臺中港	0.668	1.156	0.772
P1 基隆港	0.646	1.094	0.707
P4 營口港	0.493	1.169	0.577
P7 煙台港	0.160	1.152	0.184
平均值	0.805	1.142	0.916

#### 4.4 實證研究效度探討

完成各 DMU 各項營運效率分析後，本小節將探討本研究之效度 (validity)。所謂效度，係指一項量測可以達到其欲量測問題之程度，其種類相當多元，例如 Cook 與 Cambell<sup>[29]</sup> 將效度分為內部效度 (internal validity)、外部效度 (external validity)、建構效度與統計推論效度四種，然因前兩者與後兩者間關係密切，故大部分的學者論及研究效度時，常只分成內部效度與外部效度兩類<sup>[30]</sup>，故本小節根據此兩構面分析本研究之效度。在內部效度方

面，指的是一個研究之研究設計能正確說明研究成果，或呈現自變項與依變項之因果關係程度<sup>[31]</sup>，或指研究過程本身有無任何不當之處致使研究結果無法解釋<sup>[32]</sup>。由於本研究係採用 DEA 為基礎的數學規劃模式為研究方法，由文獻探討可知此類模式已被廣泛地應用於許多貨櫃港口效率評估相關研究，適用性應可接受。在模式解算方面，在 DMU 與各投入產出資料不變的狀況下，利用線性規劃所求得的最佳解結果不會改變，且各模式係根據投入產出之數據決定各 DMU 之效率，研究程序與結果均可合理解釋，因此本研究應具備相當程度之內部效度。

在外部效度方面，指的是一個研究之研究結果能普遍推論到母群體或其他類似情境的程度<sup>[30]</sup>。以下由 Lynch<sup>[33]</sup>所提出的 3 個關於外部效度觀點來檢視本研究的外部效度。第一個觀點是統計上的一般化能力 (statistical generalizability)，指的是一個使用特定抽樣方法之研究結果，是否可以一般化到更大的族群。就本研究而言，此觀點涉及 DMU 與投入產出變數之挑選是否具有代表性。在 DMU 挑選方面，基於探討兩岸國際貨櫃港口營運效率之動機，本研究挑選兩岸三地具有代表性之國際貨櫃港口作為 DMU，然因此區域內港口繁多，為避免研究過於複雜，必須進行取捨，即對於大陸地區僅有國內駁船靠泊之內貿港口，以及年裝卸量未達百萬 TEU 之國際貨櫃港口予以排除。原因在於營運量過低之港口對於貨櫃裝卸與儲存等作業方式專業程度不足，某些港口甚至並無貨櫃碼頭與橋式機，而是以一般碼頭與移動式起重機替代之。故本研究擷取有國際航線靠泊且年裝卸量超過百萬 TEU 之貨櫃港口作為 DMU，共計 16 個。由表 3 可知，DMU 中有些港口為世界級重要樞紐港 (如香港、上海、深圳與高雄等)，有些屬於區域型轉運或進出口港，各 DMU 年裝卸量表現差異頗大。必須注意的是，世界級重要樞紐港雖然成績亮麗，但因投入資源高昂，故就投入產出的觀點分析並不一定有效率。若將香港、上海、深圳與高雄等 4 港分成一組，其餘 12 港口分成一組，由曼-惠特尼 U 檢定 (Mann-Whitney U test) 結果 ( $P(U_{4,12} \leq 28) > 0.05$ )，可知港口之經營效率不因年裝卸量之不同而存在顯著差異。因此，本研究以所挑選之 16 個 DMU 進行之實證分析對於探討兩岸三地國際貨櫃港口之經營效率應具有高度的代表性。而在投入產出變數之挑選方面，均採明確量化的原則，以期提高研究代表性，如產出變數中採貨櫃裝卸量而捨棄船舶進港數或噸位數等，原因為前者更能明確代表對於貨櫃處理的能力或績效，而後者可能會因計量基礎不同而有所差異。具體而言，本研究 DMU 與投入產出變數之挑選，係以專家訪談與文獻回顧結果為基礎，再經審慎評估所決定，因此應具有代表性與一般化能力。

第二個觀點是健全性 (robustness)，指的是在一實驗中發現之關係是否可以複製到不同主題、背景或時段。本研究以模式 [CCRAR] 來改善模式 [CCR] 中乘數過於自由的問題，成功地降低了效率值為 1 的 DMU 個數，此改善方法之效果顯著，可應用於未來相關研究，惟乘數比例上下限之決定方式相當多元，本研究所採之以交叉效率為基礎的方法，較專家訪談等方法更為量化客觀，可供後續研究參考。此外，實證分析部分納入同時考量 Malmquist 生產力指數與 CCR 效率之二維構面分析，更可有效區別各 DMU 之跨期與現況之經營效率，此方式對於國際貨櫃港口之競爭力與經營效率，可提供更深入的資訊，應可

適用於可蒐集到跨期資料的相關研究。第 3 個觀點是真實性 (realism) 或稱生態效度 (ecological validity)，指的是研究調查是否為真，而可一般化到一個更自然真實之環境。本研究採之資料皆為各港口所發佈之真實資料，並無任何假設或調整。因此，本研究實證分析結果即可代表各港之經營效率。

## 五、結論與建議

在全球化與國際化日益興盛的經營趨勢下，港口業者無不致力於提升經營效率以維持競爭優勢。藉由適當的經營績效評估，港口經營者與管理當局可以瞭解其產業地位以及受評港口間的效率差距，作為效率改善與尋求產業利基之參考。由於出口貿易的暢旺，兩岸三地國際貨櫃港早已成為主要定期航商佈署航線之重要據點，同時又因中國大陸內需市場的崛起，帶動進口貨櫃數量逐步上揚，更鞏固了其港口於全球定期航運市場中之重要地位。然基於兩岸三地港口在地理位置、經營策略與發展時程等因素之差異，各港經營成績亦有所不同。本研究應用 DEA 之 CCR、BCC 與 MPI 等模式，選取兩岸三地 16 大國際貨櫃港為受評單位，以 6 項投入變數與 1 項產出變數進行相對效率之評估。就實務貢獻與管理意涵而言，本研以 DEA 主要模式與 MPI 指數所進行的分析，可協助判斷受評港口之現況效率以及跨期效率之變化。由實證分析結果可知，大陸港口之表現呈現兩極化，其中連雲與寧波兩港表現頗佳，除現況效率居冠之外，2006-2007 年以及 2007-2008 年之跨期效率亦領先其他受評港口，顯示出雄厚的營運成績與發展潛力，其經營策略與操作現況值得借鏡參考，而煙台港之現況及跨期效率則還有大幅進步的空間。至於臺灣港口的現況效率表現普通，但 2007-2008 年跨期效率表現則未臻理想，此結果顯示在 2007-2008 年間，臺灣港口在兩岸三地間未能大幅且顯著地提升資源使用效率，故於受評港口間扮演持平經營的角色。此外，透過本研究之規模效率、規模報酬與差額變數等實證分析，可觀察各受評港口所處生產階段以及與標竿港口在資源配置上的差距，作為各港調整資源配置之參考。

在研究方法方面，為克服在解算 DEA 問題時常見的多個 DMU 效率值同時為 1 的問題，本研究採用 AR 模式來提升對各 DMU 現況效率分析之鑑別力，效果相當顯著。惟此方式僅適用於某些投入變數間存在合理的相對關係時，當投入變數間不存在明顯的相對關係時，可能需採用其他的輔助模式來提升鑑別力。在研究效度方面，一般 DEA 相關研究多以兩項檢定來證明其研究具有效度，亦即檢驗 DMU 數目與投入產出變數數目之相對關係，以及由皮爾森相關係數檢定，證明投入與產出變數間具有相當程度之正向關係。本研究除進行該兩項檢定外，另從一般社會科學常用之內部與外部效度兩構面，深入探討本研究之效度，具有理論基礎與系統架構，可供後續 DEA 相關研究探討研究效度之參考。最後，在投入變數選擇方面，因本研究旨在探討貨櫃港之相對效率，故僅從船邊與儲區等二方面挑選與貨櫃作業直接相關的 6 項投入變數進行評估，其中橋式機項目係以數量加以衡量，然因許多高效率的新型橋式機（如雙吊式與雙小車式橋式機）已陸續開始於碼頭中使用，其作業能力高出傳統橋式機甚多，建議後續相關研究，可將新型橋式機與一般橋式機

分開統計或給予較高權重，以貼近實務狀況；此外，為增加貨源，目前全球各港口均致力開發物流園區或自由貿易港區等碼頭周邊事業，此類投入對於港口裝卸貨量應有相當重要之影響，建議後續港埠效率評估相關研究，可考慮將此類資源納入投入變數。

## 參考文獻

1. Park, R. K. and De, P., "An Alternative Approach to Efficiency Measurement of Seaports", *Maritime Economics & Logistics*, Vol. 6, No. 1, 2004, pp. 53-69.
2. Roll, Y. and Hayuth, Y., "Port Performance Comparison: Applying Data Envelopment Analysis", *Maritime Policy and Management*, Vol. 20, No.2, 1993, pp. 153-161.
3. Liu, Z., "The Comparative Performance of Public and Private Enterprises", *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 29, No. 3, 1995, pp. 263-274.
4. Martinez-Budria, E., Diaz, R., Navarro, M., and Ravelo, T., "A Study of Efficiency of Spanish Port Authorities Using Data Envelopment Analysis", *International Journal of Transport Economics*, Vol. 16, No. 2, 1999, pp. 237-253.
5. Coto, P., Banos, J., and Rodriguez, A., "Economic Efficiency in Spanish Ports: Some Empirical Evidence", *Maritime Policy and Management*, Vol. 27, No. 2, 2000, pp. 169-174.
6. Tongzon, J., "Efficiency Measurement of Selected Australian and Other International Ports Using Data Envelopment Analysis", *Transportation Research, Part A*, Vol. 35, No. 2, 2001, pp. 107-122.
7. Valentine, V. F. and Gray, R., "The Measurement of Port Efficiency Using Data Envelopment Analysis", *Proceedings of the 9th World Conference on Transport Research*, World Conference on Transport Research Society, 2001, pp. 22-27.
8. Estache, A., Gonzalez, M., and Trujillo, L., "Technical Efficiency Gains from Port Reform: The Potential for Yardstick Competition in Mexico", *World Bank Policy Research Working Paper* 2637, 2001.
9. Cullinane, K., Song, D. W., and Gray, R., "A Stochastic Frontier Model of the Efficiency of Major Container Terminals in Asia: Assessing the Influence of Administrative and Ownership Structures", *Transportation Research, Part A*, Vol. 36, No. 8, 2002, pp. 743-762.
10. Han, C. H., "An Empirical Study on the Determinants of Port Performance and Efficiency", *Proceedings of the Second International Port Forum and Conference for the 20th Anniversary of Korean Association of Shipping Studies*, Korea Ocean Research & Development Institute, 2002, pp. 249-260.
11. Itoh, H., "Efficiency Changes at Major Container Ports in Japan: A Window Application of Data Envelopment Analysis", *Review of Urban & Regional Development Studies*, Vol. 14, No. 2, 2002, pp. 133-152.
12. 林彬、游明敏、楊啟宏，「應用 DEA/AR 模式評估港埠經營效率之研究—以基隆、臺中及高雄三港為例」，*運輸計劃季刊*，第 35 卷，第 4 期，民國 95 年，頁 391-413。

13. Al-Eraqi, A. S., Mustaffa, A., Khader, A. T., and Barros, C. P., "Efficiency of Middle Eastern and East African Seaports: Application of DEA Using Window Analysis", *European Journal of Scientific Research*, Vol. 23, No.4, 2008, pp. 597-612.
14. 周明道、李選士、林光，「應用跨期遞迴資料包絡分析法評估兩岸三地貨櫃港埠生產效率」，*航運季刊*，第 13 卷，第 4 期，民國 93 年，頁 71-86。
15. 陳巧葵，「運用生產力指數法評估全球前 24 大國際貨櫃港埠經營績效之研究」，國立臺灣海洋大學航運管理學系研究所碩士論文，民國 97 年。
16. 黃柏雄，「運用生產力指數法評估亞洲前 20 大國際貨櫃港埠經營績效」，國立臺灣海洋大學航運管理學系研究所碩士論文，民國 97 年。
17. Lin, L. C. and Tseng, C. C., "Operational Performance Evaluation of Major Container Port in the Asia-Pacific Region", *Maritime Policy & Management*, Vol. 34, No. 6, 2007, pp. 535-551.
18. Andersen, P. and Petersen, N. C., "A Procedure for Ranking Efficient Units in Data Envelopment Analysis", *Management Decision*, Vol. 39, No.10, 1993, pp.1261-1264.
19. Charnes, A., Cooper, W. W., and Rhodes, E., "Measuring the Efficiency of Decision Making Units", *European of Operations Research*, Vol. 3, No. 4, 1978, pp. 429-444.
20. Farrell, M. J., "The Measurement of Productive Efficiency", *Journal of Royal Statistical Society, Series A*, Vol. 120, Part 3, 1957, pp. 253-281.
21. Banker, R. D., Charnes, A., and Cooper, W. W., "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis", *Management Science*, Vol. 30, No. 9, 1984, pp.1078-1092.
22. Thompson, R. G., Singleton, F. D., Thrall, Jr. R. M., and Smith, B. A., "Comparative Site Evaluation for Locating a High-Energy Physics Lab in Texas", *Interfaces*, Vol.16, No. 6, 1986, pp. 35-49.
23. Cooper, W. W., Seiford, L. M., and Tone, K., *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, Reference and DEA-Solver Software*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 2000.
24. Sexton, T. R., Silkman, R. H., and Hogan, A. J., *Data Envelopment Analysis: Critique and Extension—Measuring Efficiency: An Assessment of Data Envelopment Analysis*, Jossey-Bass Press, San Francisco, 1986.
25. Färe, R., Grosskopf, S., Lindgren, B., and Roos, P., "Productivity Changes in Swedish Pharmacies 1980-1989: A Non-Parametric Malmquist Approach", *Journal of Productivity Analysis*, Vol. 3, No. 1-2, 1992, pp. 85-101.
26. Cave, D. W., Christensen, L. R., and Diewert, W. E., "The Economic Theory of Index Numbers and the Measurement of Input, Output, and Productivity", *Econometrica*, Vol. 50, No. 6, 1982, pp. 1393-1414.
27. Cave, D. W., Christensen, L. R., and Diewert, W. E., "Multilateral Comparisons of Output, Input, and Productivity Using Superlative Index Numbers", *The Economic Journal*, Vol. 92, No. 365, 1982, pp. 73-86.
28. 高強、黃旭男與 Sueyoshi，*管理績效評估：資料包絡分析法*，華泰書局，臺北，民國 92 年。



29. Cook, T. D. and Campbell, D. T., *The Design and Conduct of Quasi-Equipments and True Experiments in Field Setting*, Rand McNally, Chicago, 1976.
30. 周文欽，**研究方法概論**，國立空中大學，臺北，民國 89 年。
31. Judd, C. M., Smith, E. R., and Kidder, L. H., *Research Methods in Social Relations*, Holt, Rinehart and Winston, Austin, Texas, 1991.
32. 黃俊英，**企業研究方法**，第 3 版，東華書局，臺北，民國 95 年。
33. Lynch, J. G., “On the External Validity of Experiments in Consumer Research”, *Journal of Consumer Research*, Vol. 9, No. 3, 1982, pp. 225-239.

## 附 錄

### A.1 DMU 投入與產出資料 (2008)

DMU	貨櫃 港口	投 入						產 出
		貨櫃 船席數 (座)	貨櫃船 席長度 (公尺)	貨櫃碼 頭面積 (平方公尺)	貨櫃碼頭 儲區容量 (TEU)	橋式起重 機數(座)	冷凍櫃插 座數(座)	貨櫃 裝卸量 (TEU)
1	基隆港	15	3,516	495,000	11,905	29	178	2,055,258
2	臺中港	6	1,800	935,269	46,200	13	547	1,450,000
3	高雄港	22	6,714	1,421,374	70,584	62 <sup>3</sup>	2,339	9,676,554
4	營口港	3	826	240,000	10,000	3	200	1,008,300
5	天津港	12	3,472	1,292,400	78,350	33	798	8,500,000
6	大連港	15	3,536	2,048,579	35,468	42	2,776	4,502,700
7	煙台港	7	1,778	862,000	55,000	16	868	1,182,551
8	青島港	14	5,449	1,322,800	144,872	49	6,472	10,320,000
9	連雲港	2	540	162,000	7,000	4	200	2,965,200
10	上海港	34	8,956	8,569,837	350,084	111	6,510	27,980,000
11	寧波港	4	2,138	757,000	39,591	16	992	11,226,000
12	福州港	8	1,658	1,670,000	60,000	12	776	1,176,600
13	廈門港	9	2,483	480,000	15,000	10	240	5,034,600
14	廣州港	19	5,219	4,650,000	292,805	32	5,504	11,001,300
15	深圳港 <sup>4</sup>	31	12,599	4,160,800	350,717	96	4,314	21,413,888
16	香 港	73	11,109	3,438,820	300,238	127	7,080	24,248,000

資料來源：Containerisation International, March 2009 & Yearbook 2009，本研究整理。

3. 高雄港之橋式起重機數統計自高雄港務局網站資料。

4. 含赤灣港、蛇口港與鹽田港等三港資料。

## A.2 DMU 投入與產出資料 (2007)

DMU	貨櫃 港口	投 入						產出
		貨櫃 船席數 (座)	貨櫃船 席長度 (公尺)	貨櫃碼 頭面積 (平方公尺)	貨櫃碼頭 儲區容量 (TEU)	橋式起重 機數 (座)	冷凍櫃 插座數 (座)	貨櫃 裝卸量 (TEU)
1	基隆港	14	3,192	339,000	9,457	25	139	2,215,484
2	臺中港	4	1,210	329,982	20,228	9	282	1,020,000
3	高雄港	22	6,714	1,435,947	71,153	21	2,177	10,256,829
4	營口港	1	826	240,000	10,000	3	200	1,371,000
5	天津港	12	3,472	1,859,400	78,350	32	798	7,103,000
6	大連港	15	3,536	2,048,579	35,468	26	2,776	4,574,192
7	煙台港	2	573	440,000	32,000	4	360	2,214,631
8	青島港	13	5,100	1,136,000	144,872	45	6,072	9,462,000
9	連雲港	1	290	162,000	7,000	4	200	2,001,000
10	上海港	24	7,666	6,939,837	350,084	99	6,510	26,150,000
11	寧波港	4	2,138	757,000	39,591	16	992	9,360,000
12	福州港	8	1658	1,328,000	90,000	12	776	1,177,200
13	廈門港	4	850	480,000	15,000	6	240	4,627,000
14	廣州港	16	4,799	4,650,000	483,605	26	5,504	9,200,000
15	深圳港	27	10,058	3,664,400	275,473	93	3,498	21,099,900
16	香 港	43	14,857	8,314,400	759,078	119	9,002	23,998,449

資料來源：Containerisation International Yearbook 2008，本研究整理。

## A.3 DMU 投入與產出資料 (2006)

DMU	貨櫃 港口	投 入						產出
		貨櫃 船席數 (座)	貨櫃船 席長度 (公尺)	貨櫃碼 頭面積 (平方公尺)	貨櫃碼頭 儲區容量 (TEU)	橋式起重 機數(座)	冷凍櫃插 座數(座)	貨櫃 裝卸量 (TEU)
1	基隆港	13	3,192	339,000	9,457	25	139	2,128,815
2	臺中港	4	1,210	725,269	35,678	9	397	1,198,530
3	高雄港	20	6,174	1,421,374	70,584	21	2,339	9,774,670
4	營口港	1	826	240,000	10,000	3	200	837,600
5	天津港	5	1,547	1,004,400	22,100	10	598	5,950,000
6	大連港	11	2,808	1,663,150	35,468	18	2,296	3,212,000
7	煙台港	1	500	30,000	3,000	2	48	1,779,107

## A.3 DMU 投入與產出資料 (2006) (續)

DMU	貨櫃 港口	投 入						產出
		貨櫃 船席數 (座)	貨櫃船 席長度 (公尺)	貨櫃碼 頭面積 (平方公尺)	貨櫃碼頭 儲區容量 (TEU)	橋式起重 機數(座)	冷凍櫃插 座數(座)	貨櫃 裝卸量 (TEU)
8	青島港	13	5,100	436,000	144,872	45	6,072	7,702,000
9	連雲港	1	250	162,000	7,000	4	200	1,302,300
10	上海港	29	7,356	6,169,837	200,084	77	3,954	21,710,000
11	寧波港	4	2,138	757,000	39,591	16	992	7,068,000
12	福州港	3	531	391,000	30,000	5	548	1,012,000
13	廈門港	1	640	480,000	15,000	6	240	4,018,700
14	廣州港	19	5,219	4,650,000	292,805	24	5,784	6,600,000
15	深圳港	22	8,228	3,341,600	248,000	58	3,498	18,468,900
16	香港	73	10,999	3,438,820	250,238	110	7,080	23,538,580

資料來源：Containerisation International, March 2009 & Yearbook 2009，本研究整理。

## B.1 投入與產出變數相關係數分析結果 (2008)

投入與產出 變數	貨櫃 船席數	貨櫃船 席長度	貨櫃碼 頭面積	貨櫃碼頭 儲區容量	橋式起 重機數	冷凍櫃插 座數	貨櫃 裝卸量
貨櫃船席數	1	0.849 (**)	0.582 (*)	0.736 (*)	0.912 (**)	0.750 (**)	0.795 (**)
貨櫃船席長度	0.849 (**)	1	0.703 (**)	0.874 (**)	0.950 (**)	0.791 (**)	0.890 (**)
貨櫃碼頭面積	0.582 (*)	0.703 (**)	1	0.883 (**)	0.747 (**)	0.756 (**)	0.823 (**)
貨櫃儲區容量	0.736 (**)	0.874 (**)	0.883 (**)	1	0.832 (**)	0.863 (**)	0.888 (**)
橋式起重機數	0.912 (**)	0.950 (**)	0.747 (**)	0.832 (**)	1	0.820 (**)	0.918 (**)
冷凍櫃插座數	0.750 (**)	0.791 (**)	0.756 (**)	0.863 (**)	0.820 (**)	1	0.815 (**)
貨櫃裝卸量	0.795 (**)	0.890 (**)	0.823 (**)	0.888 (**)	0.918 (**)	0.815 (**)	1

註：\*\* 表示在顯著水準為 0.01 時 (雙尾)，相關顯著；\* 表示在顯著水準為 0.05 時 (雙尾)，相關顯著。

## B.2 投入與產出變數相關係數分析結果 (2007)

投入與產出變數	貨櫃船席數	貨櫃船席長度	貨櫃碼頭面積	貨櫃碼頭儲區容量	橋式起重機數	冷凍櫃插座數	貨櫃裝卸量
貨櫃船席數	1	0.981 <sup>(**)</sup>	0.861 <sup>(**)</sup>	0.827 <sup>(**)</sup>	0.900 <sup>(**)</sup>	0.819 <sup>(**)</sup>	0.841 <sup>(**)</sup>
貨櫃船席長度	0.981 <sup>(**)</sup>	1	0.857 <sup>(**)</sup>	0.846 <sup>(**)</sup>	0.929 <sup>(**)</sup>	0.841 <sup>(**)</sup>	0.885 <sup>(**)</sup>
貨櫃碼頭面積	0.861 <sup>(**)</sup>	0.857 <sup>(**)</sup>	1	0.936 <sup>(**)</sup>	0.887 <sup>(**)</sup>	0.882 <sup>(**)</sup>	0.879 <sup>(**)</sup>
貨櫃儲區容量	0.827 <sup>(**)</sup>	0.846 <sup>(**)</sup>	0.936 <sup>(**)</sup>	1	0.805 <sup>(**)</sup>	0.890 <sup>(**)</sup>	0.774 <sup>(**)</sup>
橋式起重機數	0.900 <sup>(**)</sup>	0.929 <sup>(**)</sup>	0.887 <sup>(**)</sup>	0.805 <sup>(**)</sup>	1	0.831 <sup>(**)</sup>	0.944 <sup>(**)</sup>
冷凍櫃插座數	0.819 <sup>(**)</sup>	0.841 <sup>(**)</sup>	0.882 <sup>(**)</sup>	0.890 <sup>(**)</sup>	0.831 <sup>(**)</sup>	1	0.815 <sup>(**)</sup>
貨櫃裝卸量	0.841 <sup>(**)</sup>	0.885 <sup>(**)</sup>	0.879 <sup>(**)</sup>	0.774 <sup>(**)</sup>	0.944 <sup>(**)</sup>	0.815 <sup>(**)</sup>	1

註：\*\*表示在顯著水準為 0.01 時(雙尾)，相關顯著。

## B.3 投入與產出變數相關係數分析結果 (2006)

投入與產出變數	貨櫃船席數	貨櫃船席長度	貨櫃碼頭面積	貨櫃碼頭儲區容量	橋式起重機數	冷凍櫃插座數	貨櫃裝卸量
貨櫃船席數	1	0.902 <sup>(**)</sup>	0.630 <sup>(*)</sup>	0.719 <sup>(*)</sup>	0.927 <sup>(**)</sup>	0.778 <sup>(**)</sup>	0.840 <sup>(**)</sup>
貨櫃船席長度	0.902 <sup>(**)</sup>	1	0.743 <sup>(**)</sup>	0.852 <sup>(**)</sup>	0.929 <sup>(**)</sup>	0.848 <sup>(**)</sup>	0.919 <sup>(**)</sup>
貨櫃碼頭面積	0.630 <sup>(*)</sup>	0.743 <sup>(**)</sup>	1	0.846 <sup>(**)</sup>	0.707 <sup>(**)</sup>	0.678 <sup>(**)</sup>	0.785 <sup>(**)</sup>
貨櫃儲區容量	0.719 <sup>(*)</sup>	0.852 <sup>(**)</sup>	0.846 <sup>(**)</sup>	1	0.772 <sup>(**)</sup>	0.893 <sup>(**)</sup>	0.780 <sup>(**)</sup>
橋式起重機數	0.927 <sup>(**)</sup>	0.929 <sup>(**)</sup>	0.707 <sup>(**)</sup>	0.772 <sup>(**)</sup>	1	0.803 <sup>(**)</sup>	0.933 <sup>(**)</sup>
冷凍櫃插座數	0.778 <sup>(**)</sup>	0.848 <sup>(**)</sup>	0.678 <sup>(**)</sup>	0.893 <sup>(**)</sup>	0.803 <sup>(**)</sup>	1	0.722 <sup>(**)</sup>
貨櫃裝卸量	0.840 <sup>(**)</sup>	0.919 <sup>(**)</sup>	0.785 <sup>(**)</sup>	0.780 <sup>(**)</sup>	0.933 <sup>(**)</sup>	0.722 <sup>(**)</sup>	1

註：\*\*表示在顯著水準為 0.01 時 (雙尾)，相關顯著；\*表示在顯著水準為 0.05 時 (雙尾)，相關顯著。