

貨櫃碼頭自動化對港口營運影響研析

Study on the influence of container terminal automation on port operation

運輸工程組 邱雅莉研究員

研究期間：111 年 1 月至 111 年 12 月

摘 要

碼頭自動化發展已近 30 年，但在全球港口中貨櫃碼頭自動化的比例仍不高，碼頭自動化的推廣使用仍面臨些許障礙，受制於成本壓力，以及對設備可靠度的疑慮，碼頭自動化的進一步推廣還面臨一些現實壓力。國內碼頭目前的裝卸費率普遍不高，自動化的投資回報週期太長，也讓投資者更加謹慎。而對於設備可靠度的疑慮，隨著科技的快速進步，則為碼頭自動化的發展帶來新的契機。

本研究先蒐整貨櫃碼頭自動化發展型態及全球貨櫃碼頭自動化發展歷程，並研析未來發展趨勢，再探討貨櫃碼頭自動化對港口營運的優缺點、自動化與傳統碼頭作業效率差異，及綜整貨櫃碼頭自動化建置評估的重點，再進一步研析我國港口貨櫃碼頭發展自動化之可行性及課題後，歸納出本研究的結論與建議。

透過本研究的研析得知，碼頭自動化可以提昇碼頭的作業效能，使港口「保持競爭力，促進貨運和就業的成長，並減少溫室氣體排放」，是提昇港口競爭力的有效方法；碼頭自動化已成為貨櫃碼頭未來發展的重要趨勢；另經國內外的實證，碼頭櫃場自動化已具經濟效益，值得推廣應用。

關鍵詞：

貨櫃碼頭、港口營運、碼頭自動化

貨櫃碼頭自動化對港口營運影響研析

一、前言

傳統的港口碼頭屬於人力密集作業，自動化程度低、人工成本很高，隨著貨櫃船的大型化，貨櫃碼頭面臨裝卸量劇增的壓力，加上勞動力成本增加和勞動力資源匱乏，以及環保意識及法規的標準提高，高效節能的碼頭自動化已成為降低整體貨櫃儲運費用、提升市場競爭力之重要策略。21世紀以後，港口貨櫃裝卸從追求效率轉向自動化、人工智慧及大數據運用擴展，傳統港口如何搭上科技的潮流，實現智慧化、低污染成為業內高度關注的焦點，已成為碼頭發展的重要趨勢。

碼頭自動化發展已近 30 年，但在全球港口中貨櫃碼頭自動化的比例仍不高。碼頭自動化的推廣使用仍面臨些許障礙，受制於成本壓力，以及對設備可靠度的疑慮，碼頭自動化的進一步推廣還面臨一些現實壓力。從全生命週期成本看，自動化的成本較低，但在短期內，成本卻很高。國內碼頭目前的裝卸費率普遍不高，自動化的投資回報週期太長，也讓投資者更加謹慎。而對於設備可靠度的疑慮，隨著科技的快速進步，則為碼頭自動化的發展帶來新的契機。貨櫃碼頭自動化對港口未來的營運影響值得深入探討，以做為我國港口後續發展之應用參考。

二、貨櫃碼頭自動化發展型態

自動化是一個定義廣泛的概念，可以從港口文書工作的數位化，到幾乎無人工干預的全自動操作碼頭。碼頭自動化常見的模式是針對性的採用自動化流程(設備)來解決特定問題，碼頭自動化包括不同型式的「半自動化」及「全自動化」類型，部分全自動碼頭近年來正陸續在發展營運。

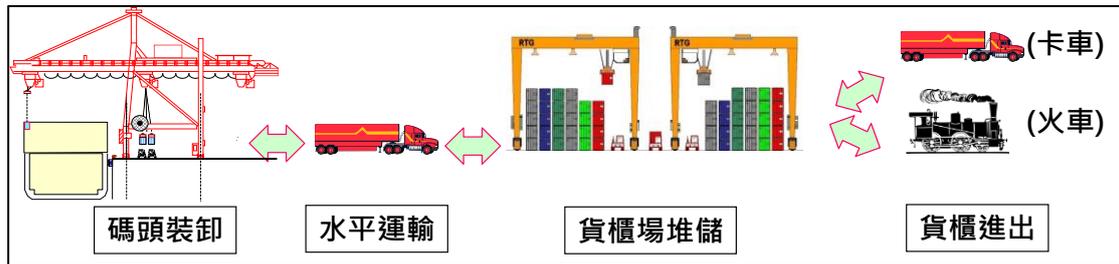
貨櫃碼頭依據作業功能可區分為前線碼頭及後線櫃場，前線碼頭主要作業機具為橋式起重機，用以裝卸船上及岸肩貨櫃；後線櫃場範圍則包含道路、重櫃區、空櫃區、冷凍櫃區、特殊及危險櫃區、洗（修）櫃區等，主要作業機具則為軌道式門式起重機、膠輪式門式起重機、跨載機及空櫃堆高機等；而傳統貨櫃碼頭係仰賴人工駕駛的場內解櫃車進行前後線場地間之水平運輸。

傳統的貨櫃碼頭係以搭載人的機器設備直接操作裝卸貨物，而自動化貨櫃碼頭係指透過「遠端遙控」或「設備自動操作」的方式裝卸貨物。

依據貨櫃於碼頭內之動線流程，自動化機具設備大致可應用於如圖 1 所示之 4 個主要作業[1]：

- 1.前線碼頭 (船邊)裝卸作業 (Waterside, 水側)；
- 2.前線碼頭 (船邊)與後線櫃場區間之水平運輸作業 (Horizontal Transport, 水平運輸)；

- 3.後線櫃場區內的堆儲作業 (Stacking Area/Block，堆儲區/塊)；
- 4.櫃場區與場外拖車 (或火車) 之貨櫃交取作業 (Landside，陸側)。

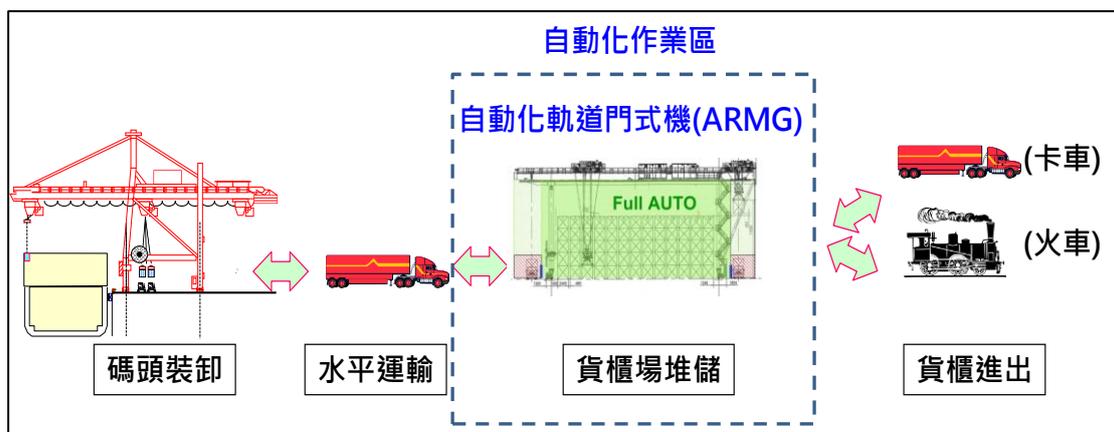


資料來源：張徐錫等 3 人，中華技術，2019 [1]。

圖 1 貨櫃碼頭 4 個主要作業示意圖

全球貨櫃碼頭的自動化程度和佈局因港口的區位條件、社會經濟及時空背景、分佈形式和營運商需求等因素不同而存在差異，但仍以「半自動化」型態居多，此作業模式「僅止於櫃場區」採用全自動化無人作業系統(遠端遙控)，碼頭前線及前後線間的水平運輸仍是以人員操作機具作業，可歸類為半自動化櫃場。依據目前世界上已營運或在建造中自動化貨櫃碼頭，其自動化發展初期主要是透過自動化堆垛起重機 (Automatic Stock Crane, ASC) 實現碼頭半自動化作業，詳圖 2 所示。

目前半自動化貨櫃碼頭在貨櫃場採用的自動化堆垛起重機(ASC)，主要有自動化軌道門式起重機(Automatic Rail Mounted Gantry Crane, ARMGC)和自動化膠輪門式起重機(Automatic Rubber Tyred Gantry Crane, ARTGC)，詳圖 3 所示。讓貨櫃場區內部取櫃、翻櫃、放櫃均依靠設備自動完成，但與貨櫃車間的貨櫃交接作業仍須由人工透過遠端控制系統完成。目前這種貨櫃場 ASC 作業系統在全球自動化貨櫃碼頭得到廣泛應用，並形成較為成熟的技術、設備及作業控制系統。2009 年營運之臺北港貨櫃中心、2011 年營運之高雄港第六貨櫃中心均採行此半自動化貨櫃碼頭作業模式。而自動化貨櫃堆場一般採用自動化軌道門式機(ARMG)方案，因為其具有技術成熟、安全可靠、低碳環保、效率較高等優點。



資料來源：資料來源：張徐錫等 3 人，中華技術，2019 [1]。

圖 2 半自動化貨櫃中心作業



資料來源：張徐錫等 3 人，中華技術期刊，2019 [1]。及
<https://www.acctw.com.tw/h/ServiceDetail?key=992017698718&cont=161312> [2]

圖 3 碼頭貨櫃場區自動化機具

隨著自動化技術的提升，自動化的範圍擴充到水平運輸系統及碼頭裝卸作業系統，這二類「貨櫃場堆儲+水平運輸」自動化（如圖 4）及「貨櫃場堆儲+水平運輸+碼頭裝卸」自動化（如圖 5），都被歸為「全自動化」貨櫃碼頭。前者如荷蘭鹿特丹港 ECT 及 Euromax 碼頭及德國漢堡港 CTA 碼頭皆可歸為此類。後者則如鹿特丹港 World Gateway Terminal 與 Msssvlakte II Terminal 及中國大陸青島貨櫃碼頭、上海洋山深水港第四期貨櫃碼頭等。自動化水平運輸系統的技術難度較大，是自動化碼頭作業效率、總投資、營運成本、環境安全及貨櫃裝卸能力的主要影響因素之一。

我國興建中的高雄港第 7 貨櫃中心，規劃配置先進的前、後線自動化機具設備，提升裝卸作業效率，在船邊貨櫃裝卸作業的橋式起重機將導入遠程操控作業模式，操作員不需要在數 10 公尺高的橋式機上長時間作業，而是待在大樓控制室遠端操作，大幅降低作業人力，還提高作業效率與安全性。



資料來源：張徐錫等 3 人，中華技術，2019 [1]。

圖 4 「貨櫃場堆儲+水平運輸」全自動化貨櫃碼頭示意圖



資料來源：張徐錫等 3 人，中華技術，2019 [1]。

圖 5 「貨櫃場堆儲+水平運輸+碼頭裝卸」全自動化貨櫃碼頭示意圖

三、全球貨櫃碼頭自動化發展歷程與趨勢

貨櫃碼頭自動化發展，取決於勞動力成本、市場通用之先進技術類型、可用資源（財務和技術）和碼頭規模。大型碼頭營運商更有可能採用自動化，但許多勞動力成本高的小型營運商也會採用自動化。

過去貨櫃碼頭自動化發展受限於相關技術的純熟度而影響可靠度且初期建置成本高等因素，而遭遇發展瓶頸及推廣受限，惟隨科技的進步，貨櫃碼頭自動化所使用的技術，越來越成熟，越來越可靠，許多瓶頸逐漸被解決突破，也將加速自動化發展的推進，迄今為止，已有超過 50 個港口使用自動化貨物裝卸設備（包括遠程控制和全自動）。

（一）發展歷程

日本港灣空港技術研究所 2018 年報告，「世界の自動化コンテナターミナルの動向分析(全球自動化貨櫃碼頭趨勢分析)」[3]將貨櫃碼頭自動化發展分為 4 個階段，摘整如後。

1. 黎明期（1993-2004）

全球第一個自動化貨櫃碼頭開始於 1993 年在鹿特丹港的 ECT 碼頭，主要係導入遙控操作投入營運。這時期自動化技術水平參差不齊，可以說是自動化貨物裝卸設備的試驗性引進和起步階段。

初期引入自動化的背景為勞動力成本高、裝卸量能不足但又因環境及空間問題難以擴展，及環保意識提高，因此建置的目的包括：在限制條件下，提高碼頭作業效率、職業安全、降低作業成本和改善工作環境等。此時期的發展緩慢，除了鹿特丹港的 ECT 碼頭外，歐洲僅英國倫敦(1994 年)及德國 CTA (2002 年) 2 座碼頭、亞洲僅有新加坡港 PSA Pasir Panjang 碼

頭（2000年）的案例。此時歐洲的自動化貨櫃碼頭發展有以下特點：

- (1) 為提高碼頭處理能力和降低勞動力成本而引入自動化。
- (2) 因工會排斥而放棄現有碼頭的自動化，而在新碼頭建置自動化。
- (3) 由於許多初始故障導致自動化貨櫃碼頭利用率降低。
- (4) 自動化碼頭營運後，由於工作環境和安全的改善，工會的意識發生變化。

而亞洲地區的新加坡情況與歐洲不同，當時新加坡正遭受長期勞動力短缺及少子化趨勢的困擾，必須接受來自鄰國的跨境工人，雖國家對自動化採積極支持的態度，也沒有工會反對，但試驗結果自動化技術的可靠度令人懷疑，因此便暫緩發展與推動。

2. 效益前期（2005-2009）

此時期投入碼頭自動化的目的是期望透過貨櫃碼頭的早期投資來提高與對手的競爭優勢。碼頭營運商分析最初的自動化貨櫃碼頭的運行狀況，並在確認技術改進後的可靠度和生產力，決定在此期間引入自動化貨物裝卸設備。這一時期是自動化貨櫃碼頭在歐洲以外的地區（澳洲、美國、亞洲和日本）誕生的時期。

澳洲第一個自動化貨櫃碼頭 Patrick Terminals 於 2005 年啟用，其導入自動化的背景是由於貨櫃碼頭受幾家營運公司寡頭壟斷，導致貨物處理效率低且缺乏競爭力，但在工會的反對下，Patrick 碼頭只有一半貨櫃碼頭導入自動化，另一半則仍採用傳統的貨物裝卸方式，採用這種半開放式的目的是為確認自動貨物裝卸設備技術的可靠度，並比較自動貨物裝卸和傳統貨物裝卸的能力。

美國第一個自動化貨櫃碼頭於 2007 年在東海岸的維吉尼亞港（Virginia International Gateway, VIG）啟用，碼頭營運商是 APMT，在美國引入自動化與工會密切相關，工會派遣的港口工人都接受自動貨物裝卸的培訓。韓國釜山新港（2007 年啟用，碼頭營運商是 DP World）在導入自動化之初，亦遭受工會因擔心失去就業機會而反抗，但每個碼頭都透過增加就業機會的方式，最後獲得工會的支持。

這一時期推動自動化技術發展的特點是：

- (1) 降低港口工人的勞動力成本。
- (2) 提高碼頭的生產力。
- (3) 由於各地區工會的反對，經過溝通而確立與工會的合作方式，奠定後續貨櫃碼頭自動化的推進。

3. 普及期（2010-2014）

在此期間，自動化貨物裝卸設備的技術可靠度確立，從追求職業安全

和保護自然環境的角度出發，平均每年約有 4 個自動化貨櫃碼頭在全球開設。自動化貨櫃碼頭在普及期的特點包括：

- (1) 建立自動化貨物裝卸技術的可靠度。
- (2) 職業安全意識和自然環境保護意識抬頭。
- (3) 與工會進一步建立合作制度。

綜整自動化貨櫃碼頭變普及的因素如下：

(1) 提高利潤率、改善工作環境及自然環境保護的需求加劇

此期間，在歐洲、美國和澳大利亞等地區，相鄰港口貨櫃碼頭間的生產力競爭加劇；另在歐美地區因碼頭作業發生幾起致命事故引發罷工事件，勞工工會反對職業事故頻發；而許多港口因自然環境保護和污染防治因素，土地開發受到限制，又禁止填海造地，用地取得困難，只能在現有土地範圍內盡量提高港口的生產力。

在此背景下，引入自動化貨物裝卸設備正可提高港口吞吐能力，並有望透過貨櫃堆場的無人貨物裝卸來改善港口工作環境，並透過自動化電氣化來保護自然環境。貨櫃碼頭自動化已成為「提高碼頭生產力、改善碼頭作業工作環境和促進自然環境保護」政策的重要措施。

(2) 勞動價值觀的變化和確保多樣化的人力資源

隨著生活水準的提高，勞動價值也在發生變化，進而追求更好的工作環境。傳統的碼頭作業大都在戶外，勞工必須處於惡劣的工作環境和氣候條件下，而自動化碼頭員工則大都是在室內進行遠端操控，更好的工作環境口耳相傳，讓工會對碼頭自動化的排斥漸漸改觀。另遠程控制的辦公室為婦女和身障人士提供了進入碼頭工作的機會，尤其是實務上發現女性操作員與男性的拖車司機間的衝突減少很多，女性勞工意外的受到碼頭營運商的歡迎。另外自動化亦有助於降低因政府的移民政策而引發的勞動力短缺（歐洲和美國的港口工人中有很多移民）的風險。

(3) 因應物流市場需求的變化

由於貨櫃船舶大型化，貨量多造成處理貨物的時間更長，導致碼頭費用增加及影響航運公司貨櫃船的調度。航運公司因而要求貨櫃碼頭在 48 小時內處理大型 20,000TEU 貨櫃船的貨物裝卸（約 10,000TEU），為達此需求，須採日夜不停地進行貨物裝卸，但在傳統的貨物裝卸模式，深夜工作相關的人工成本會增加，然船公司又要求採單一費率標準。此情形下，自動化貨櫃碼頭可以達到一天 24 小時，全年 365 天的連續作業，是滿足船公司需求的一種手段，可提高處理能力並實現晝夜同費率來降低碼頭成本。

(4) 受其他產業自動化的啟發後技術提升

此時期許多產業的自動化發展迅速且技術純熟可靠度高，如汽車組裝工廠、全自動物流倉庫及自駕車等，碼頭自動化的供應商受其影響與啟發，技術水準亦快速發展與提升。

(5) 軟體和硬體的使用性提高

由於雲端與相關技術之提升及普及，提升自動化設備操作之友善性，軟體和硬體的使用性提高，讓多數人都很容易上手。

(6) 初始成本和營運成本降低

自動化貨物裝卸技術提高可靠度，並建立有效的技術組合模式，量產帶來的規模經濟開始發揮作用。此外，隨著節能技術的提高，自動化貨物裝卸設備的節能也取得進展。因此，自動化貨物裝卸設備的投資成本（初始成本）和營運成本降低，也降低資本投資的盈虧平衡點。

(7) 貨物自動裝卸作業安全標準之擬訂

歐盟於 2006 年 5 月生效之「Directive2006/42/EC new machinery directive」，於工程機械增列基本健康與安全相關要件，歐盟創先著手制訂的歐盟安全標準成為全球各國適用標準的依循參考。

4. 新的發展期（2015 年後）

這一時期，自動化貨櫃碼頭間的生產力除在歐美開始競爭外，自動化貨物裝卸設備也在全球擴張，在其他地區（拉丁美洲、非洲、亞洲）也陸續引進自動化貨物裝卸設備的碼頭。此外，自然環境保護意識比普及期還要強烈，因此誕生提倡所謂「零排放」的自動化貨櫃碼頭。

在亞洲，中國大陸與新加坡近年來都積極投入自動化碼頭，尤其是中國大陸，自 2016 年 3 月廈門遠海自動化碼頭完工營運以來，上海洋山四期（目前全球規模最大的自動化貨櫃碼頭，設計吞吐量 630 萬 TEU/年）、青島前灣一期二期、天津五洲國際等多座新建或改造的自動化貨櫃碼頭（含全自動化碼頭和堆場半自動化碼頭）相繼完成並投入營運。2021 年還有深圳媽灣（由傳統散雜貨碼頭升級改造成的自動化貨櫃碼頭）、日照石臼（全球首個「平行」開放式全自動化貨櫃碼頭）、天津港北疆 C 段（打造「智慧零碳」碼頭）3 座全自動化碼頭相繼建成投入營運。開發中的還包括廣州港南沙四期及北部灣港欽州港區大欖坪南等，後者將開發為「海鐵聯運自動化貨櫃碼頭」。

中國大陸藉由陸續建置的自動化碼頭，積極配合政府採用自行研發純國產技術開發自動化貨物裝卸設備的政策，讓上海振華重工公司從一家專業從事港口貨物裝卸設備的起重機供應商，轉變為進入自動化軟體領域，即擁有全自動化貨櫃碼頭的生產管理系統(Terminal Operation System, TOS 系統)和設備控制系統(ECS 系統)的技術，並進而全面掌握自動化碼頭

設計建造、設備製造、系統整合和營運管理整個供應鏈的關鍵技術。中國大陸交通運輸部編製並已於 2021 年發布全球首部「自動化集裝箱碼頭設計規範」和「自動化集裝箱碼頭建設指南」。近年來已陸續向海外輸出，包括以色列海法港、阿布扎比哈里發港二期等的自動化碼頭的建置。

新加坡則斥資超過 4,150 億臺幣，將在 2040 年於大士港 (Tuas Port) 完成全球最大的「全自動化貨櫃碼頭」，屆時貨櫃吞吐量可望達 6,500 萬 TEU。預計將採用全電動無人駕駛的自動引導運輸車、全電動的自動化軌道式龍門起重機等。

另由自動化相關設備訂單，可顯示出自動化發展已快速成長的趨勢，以港口設備供應商 Cargotech 的設備訂單為例，在 2021 年第 2 季同比成長 105%，到 2021 年第 2 季末累積訂單同比成長 42%，足見碼頭自動化已進入快速發展期。

(二)未來發展趨勢

本計畫研析綜整自動化發展未來的關鍵驅動因素如下（部分參採 Drewry, Sep 2021 [4]的分析）：

1. 節省勞動力成本，降低碼頭營運成本，有效提高並穩定利潤率

航商聯盟化後加劇碼頭營運商間競爭，貨櫃碼頭業者積極採用創新技術降低單位處理成本。不同於擴張產能(如增加泊位長度、增加碼頭起重機和擴展櫃場設施)和垂直整合策略(如提供及戶服務)的目標在提升港口貨量，自動化和數位化技術引入，側重將傳統營運模式的相關成本降低。Drewry 研究顯示，小型碼頭營運商著重於管理流程數位化，而具高貨量和高使用率的大型碼頭營運商，對自動化的態度更積極。碼頭自動化的主要驅動力來自於降低處理每個貨櫃箱的營運成本，而碼頭營運商推動自動化的動力，取決於自動化的「長期收益」。對推動自動化，棕地(brownfield)改建可能比綠地(greenfield)新建更昂貴，兩者都需要大量初始資本支出，但現有系統的升級不僅複雜，還可能需要暫停當前營運，增加自動化的總成本。

Drewry [4]以 APM Terminal (APMT) 2020 年的成本結構分析：碼頭的勞動力佔營運成本 48%，原利潤率約為 32%。分析 3 種情境，分別將勞動力成本降低 30%、40%和 50%，其 EBITDA 利潤率將分別增加至 41%、45% 和 48%。當前在低利率和國際貿易蓬勃發展情況下，許多碼頭營運商皆將提升碼頭自動化作為提高營運利潤的策略。另有港口營運商直接收購相關自動化和數位化公司，如 2021 年 HHLA (Hamburger Hafen und Logistik AG 漢堡哈芬和物流股份公司) 宣布收購自動化公司 Industrial Software Application Manufacturing AG (ISAM AG) 的多數股權 (80%)，也正為 Altenwerder 貨櫃碼頭(CTA)的鐵路複合運輸開發自動化原型。

一名 RTG 操作員可以同時遠程控制多達 15 台 ARTG，在傳統的貨物裝卸中，司機必須坐在 RTG 等待，導致人力的空轉，透過自動化可以減少空轉時間。美國和歐洲的港口工人工資皆高於全國平均工資，因此透過自動化減少港口工人是一項重大的成本削減。另由於單位面積的處理能力可以翻倍，利潤率因而可再增加。

2. 港口堵塞是自動化變革的驅動力

2020 年起，新冠疫情造成供應鏈中斷，導致全球港口堵塞，其中的問題之一是擁擠的堆場降低整體碼頭效率，使船舶生產率降低和門哨周轉時間增加。而自動化碼頭可以降低碼頭作業受人力短缺的影響，歷經此次因疫情而引發的港口堵塞後，更凸顯自動化碼頭不受環境影響的優點，將成為未來變革發展的驅動力。

3. 碼頭營運商因客戶要求對自動化的需求更高

由於貨櫃船大型化，航運公司不斷在增加貨櫃船的規模，同時又希望減少在碼頭的貨物處理時間，20,000TEU 級大型貨櫃船的貨物裝卸時間要在 48 小時以內完成。

全球大型區域營運商（如馬來西亞港口碼頭營運商 Westports Holdings）陸續開始著手探索新技術，並在其擴建碼頭採購自動化起重機和卡車。另有碼頭營運商正在測試許多新創自動化設施，如 2020 年中遠海運港口公司(CSP)宣布其自動化無人駕駛貨櫃卡車操作系統在廈門港成功試運行。該技術由 CSP、東風商用車公司和中國移動(上海)信息通信技術公司聯合開發。客戶需求的提高將是自動化未來發展的重要驅動力。

4. 港口容量成長有限，進一步驅動自動化發展

Drewry 估計，全球貨櫃港運能每年平均成長 2.5%，到 2025 年達到 13.4 億 TEU，約為同期全球貨櫃量平均成長(5%)的一半，港口平均利用率將從目前的 67% 增加到 75% 以上。正常操作條件下，港口或碼頭的 75% 利用率並不高，但在當前港口壅塞壓力情況下，且環保意識高漲、港口受到自然環境保護的限制，難以擴大碼頭用地，港口容量成長有限，推動自動化和數位化發展，提高單位面積吞吐量，有助提高現有碼頭設施下之生產力和容量。

5. 綠色永續環保，實現零排放意識提高

歐洲海港組織 (ESPO) 指出前三大港口環保課題為空氣品質、能源消耗、氣候變遷；世界港口永續發展計畫 (WPSP) 也將氣候能源作為永續發展之主題，顯示國際貿易組織相當重視港口相關的環保議題。實現零排放是未來社會的要求與趨勢，碼頭營運商為達到綠色港口的排放標準，傳統碼頭將被迫必須有所改變，除了減少使用石化燃料設備外，提高現有場地的處理能力，亦可減少碳排，自動化碼頭是改善方案之一。如 APMT 在鹿特丹港 Maasvlakte II 開設一個零排放的自動化貨櫃碼頭。

6. 港區勞動力短缺問題及高齡化現象越來越嚴重

由於港口的工作環境大都在室外，加上大部分港口位於郊區，與城市隔絕，讓年輕人不願投入港區工作，港口工人的平均年齡越來越高，自動化碼頭使人能夠與機器分離，從危險和惡劣的工作環境轉移到控制室的安全和舒適。港口的貨物裝卸工作環境得到改善並提高職業安全，創造良好的工作場所，較能吸引年輕人投入港區工作，改善港區工人高齡化現象。

我國高齡及少子化現象日漸顯著，衍生出勞動力不足的隱憂，港口作業需大量人力以維持運行，因此可能將面臨人力資源逐漸短缺的問題，為維持港口運作及服務品質，應儘早思考替代傳統人力工作之方法，同時節省所需營運成本。

四、貨櫃碼頭自動化對港口營運優缺點分析

本研究研析綜整貨櫃碼頭自動化對港口營運的優點主要包括經濟、安全和環境等面向的效益。分別說明如下：

(一) 經濟效益

1. 減少人力成本七成以上：在傳統的碼頭中，岸橋、櫃場以及物流運輸車上都有司機，而自動化碼頭能夠實現自動化遠程操控(一人多機)，自動化機具取代現場操作人力，且櫃場經營者無須支付夜間加成、例假日之人事成本，減少人力成本七成以上。自動化貨櫃碼頭之競爭優勢，在港口勞工薪資相對昂貴的地區特別顯著。由於自動化貨櫃碼頭的投資環境和勞動力成本等社會經濟環境在各國不同，利潤結構也不同，在人力單位成本較低的地區，自動化貨櫃碼頭係以提高生產力的「薄利多銷」的管理決策。
2. 可採單一裝卸儲運費率：碼頭一貫化作業，可連續 24 小時運作不受勞動環境影響，及其他外部因素導致停工等，因此可以採全年 365 天、24 小時、不分晝夜之統一裝卸儲運費率。
3. 效率平均可提升約 30%：遠端遙控軟體輔助起重機全天候卸船；自動駕駛載具有效地在碼頭周圍搬運貨櫃；自動移動式起重機能在夜間將貨櫃作有效的整理堆疊，以便在第二天早上快速、高效地裝載到卡車和火車上；數位檢查站減少卡車的延誤，提高貨物流入供應鏈的速度，且效率提升進而提升航商調度貨櫃船班之便利性及彎靠意願。
4. 可高密度利用貨櫃儲置場：透過自動化機械作業，可將貨櫃堆得更高、更緊密，提升櫃場的生產力。
5. 可減少人為錯誤、減少設備與貨物損傷，並提升可靠度。

(一) 安全效益

碼頭工人常因惡劣的工作條件引起的健康問題，尤其是岸邊 STS 起重機的高度和船舶容量不斷增加，起重機操作員的工作環境也日益惡化。貨

櫃碼頭自動化，碼頭作業可完全自動化或遠端操控，使人能夠與機器分離，從危險和惡劣的工作環境轉移到控制室的安全和舒適。除減少碼頭上的作業人員，亦可有效提升碼頭勞工的安全性，遠端操作也為員工創造一個有吸引力的工作環境。

(二)環境效益

貨櫃碼頭自動化可提升裝卸效率，更快的卡車周轉速度大幅減少柴油動力車的怠速時間，進而降低裝卸作業能耗、提高環境品質。由於零排放電動貨物裝卸設備和更高效的物流相結合，溫室氣體排放量下降。

自動化是促進現有碼頭零排放目標的重要工具，除了自動駕駛汽車和起重機本身的排放量降低或為零外，自動化還透過提高碼頭的效率來減少排放量，為櫃場及客戶省時、省力、省成本。在歐洲和亞洲營運中的先進自動化碼頭，已驗證自動化操作亦顯著減少碳排放。

綠色環保已成為不可抵擋的全球趨勢，在全球市場和趨勢中，已有愈來愈多的貨主或船公司，會從客戶端來要求貨櫃碼頭必須達到綠色環保的標準，因此，若想要招攬生意，綠色碼頭就是個不可不為的方向。亦即綠色碼頭與企業投資效益之間，不只沒有太大的衝突，更能形成服務加值及市場區隔，成為爭取業務、提升競爭力的利器。若是短期內不願意投資或接受綠色碼頭的觀念，在不久的未來就會落伍、被淘汰[5]。

雖然貨櫃碼頭自動化對港口營運有許多優點，但仍有些缺點，綜整如下：

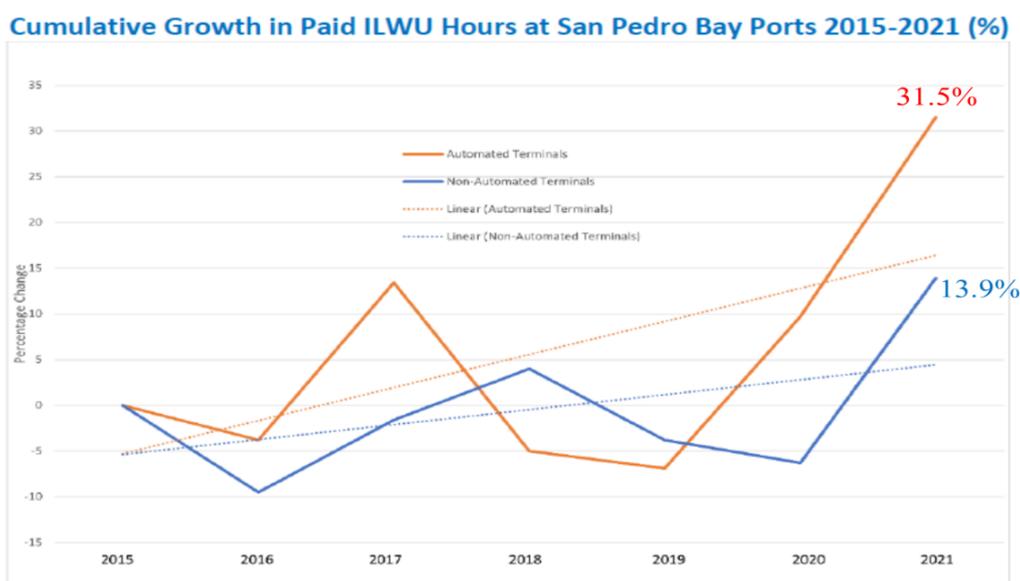
1. 初期須花費較高之投資費用：自動化機具設備及軟硬體設施的成本較高，惟因採用不同的機具型式、組合與規模，其成本皆不同，且因涉各公司之財務管理機密，較難取得實際成本進行比較分析。
2. 營運期需花費較多之維護保養成本。
3. 櫃場需保留更為寬廣之自動化機具設置及作業空間。
4. 自動化基地配置固定後，若要再變更將極為困難。
5. 遭遇突發事故必須停機排除障礙時之困難度較高。
6. 自動化基地之學習摸索期較長，潛藏困難及風險亦高，不易預期。
7. 必須與工會協調：歐美地區許多勞工工會皆反對碼頭自動化，要建置自動化碼頭必須取得工會認同。

而關於美國國際碼頭工人和倉庫聯盟(International Longshoremen and Warehouse Union, ILWU)對碼頭自動化後將造成人力需求減少的疑慮，美國太平洋海事協會(The Pacific Maritime Association, PMA)委託 Michael Nacht and Larry Henry (2022) 進行的研究[6]，分析美國西岸 LA/LB 港的 LBCT 和 TraPac 自動化貨櫃碼頭後指出，從 2015 年(自動化運營前的最後一年)到 2021 年，LA/LB 的 ILWU 勞動力成長 11.2%，而西岸其他港

口的成長僅為 8.4%。同期，LBCT 和 TraPac 兩個自動化碼頭的工時(paid hour)成長 31.5%，而非自動化碼頭僅成長 13.9%，如圖 6 所示，自動化碼頭相較非自動化在工時成長率達兩倍多，自動化並沒有減少 ILWU 成員的工作，反而因為碼頭吞吐量增加(因效率高吸引航商選擇泊靠)而提高勞工服務的需求。

更高的貨物吞吐量將創造與港口相關的就業機會，並增加整個供應鏈的就業機會。相反的，如果不調整因應，可能會將貨物運往其他港口，碼頭和整個區域經濟的工作機會將一連串流失。自動化將使港口「保持競爭力，促進貨運和就業的成長，並減少溫室氣體排放」。

分析貨櫃碼頭自動化對港口營運的優缺點(潛在效益和相關風險)及蒐整相關的實務驗證分析後，長遠來看，正確推動自動化系統，產生的效益將超過潛在的相關風險。



Source: PMA and Ports of Los Angeles and Long Beach data.

Paid hours exclude mechanics and port guards.

資料來源：Michael Nacht and Larry Henry (2022) [6]

圖 6 2015-2021 年美國 LA/LB 港 ILWU 勞動力工時成長率

五、貨櫃碼頭自動化之效率分析

為研析貨櫃碼頭自動化的「效率」，本研究蒐整相關文獻進一步探討分析如後：

(一) 影響因素

綜整影響自動化貨櫃碼頭處理能力的因素包括(部分參採[3])：

1. 自動貨物裝卸設備類型的組合：自動貨物裝卸設備各類型各有其特色與優缺點，不同的組合直接影響整體的處理能力。
2. 碼頭佈局：碼頭佈局與採用之設備類型及自動化範圍相關，其直接影響自動化機具的動線規劃，在佈局受限時，透過進行不同設計方案的模擬，可以創建最大化處理能力的設計。亦可依據「貨櫃裝卸需求」，透過貨櫃區(block line)數量的敏感度分析，進行碼頭佈局的最優佈設。
3. 由於自動貨物裝卸設備供應商的差異導致的性能差異：擅長硬體產品的供應商和處理自動化系統的軟體供應商不一定相同，在選擇供應商時，既可以將多個具備自動化貨物裝卸設備技術能力的供應商單獨組合聯合開發，也可以選擇具備綜合能力的供應商，而不同的供應商組合將導致性能差異。
4. 碼頭前線 STS (Ship To Shore)的裝卸能力：橋式起重機的裝卸能力通常為全自動化貨櫃碼頭處理能力的關鍵作業流程。
5. 聯外的集輸運能力：如外部拖車的交通量和尖峰量，及轉運鐵路的運輸能力。
6. 港口工人技能：無論是自動化或半自動化貨櫃中心，長期累積之操作經驗為影響營運績效之重要關鍵，自動化貨櫃碼頭的生產力可以透過培訓港口工人來提高。
7. 貨櫃船的種類和數量。
8. 船舶準點率：船舶到港時間的準度越高，可減少翻櫃需求，自動化效能將越高。
9. 貨物的轉運率：貨物的轉運率將影響櫃場的運作，進而影響貨櫃碼頭的處理能力。

(二) 相關案例

自動化貨櫃碼頭的作業效率不一，早期有些碼頭的作業效率因故甚至低於傳統人工作業碼頭，由於計算實際作業效率資料蒐集不易，本研究蒐整近期有關貨櫃碼頭自動化作業效率的文獻研析如後。

1. 「高雄港第七貨櫃中心碼頭及櫃場新建工程」設計及監造工作委託技術服務，2019 [7]

此報告參考日本港灣技術報導第 166 期(2018)內容並蒐整國內自動化碼頭之相關設備資訊，依其營運實績分析作業績效如表 1 所示，分析比較的碼頭包括荷蘭鹿特丹的 World Gateway 及 APMT2 座碼頭、美國長灘港 LBCT 碼頭、及中國大陸青島 QQCT 及上海洋山港第 4 期自動化碼頭，國內碼頭包括高雄港的四、五、六櫃及臺北港的碼頭，分析結論摘述如下。

(1) 櫃區平均處理能力

自動化櫃場除長灘港 LBCT 及青島 QQCT 外，其餘之櫃區平均作業績效均接近或符合 10 萬 TEU 之標準；我國半自動化櫃場平均約 9.45 萬

TEU，作業績效與全自動化櫃場差異不大。分析原因，由於各櫃場均採 ARMG 系統，故只要碼頭前線作業效率可維持一定水準、貨源充足，則無論水平或垂直櫃場，櫃區作業績效均可符合預期能力。

(2) 碼頭前線(STS)裝卸效率

自動化櫃場採雙小車橋式機，其中鹿特丹 APMT(MaasvlakteII)、上海洋山第四期等，可達到 20~24.5 萬 TEU/部之績效，而鹿特丹 World Gateway、長灘 LBCT 則僅 16~16.8 萬 TEU/部。半自動化櫃場則以高雄港長榮四、五櫃最佳，可達到 18~22 萬 TEU/部。而臺北港貨櫃中心則因轉口櫃市場有限，致 STS 作業能量未能充分發揮。

惟此報告蒐集之青島 QQCT (2017 年啟用) 資料，係為碼頭營運初期尚未穩定的資料，依據經濟日報報導[8]，中國大陸青島港的全自動化碼頭，橋吊單機作業效率在 2021 年 8 月時已達每小時 52.1 TEU。

(3) 碼頭單位長度作業績效

自動化櫃場除青島外，其餘 4 座均在 0.18~0.24 萬 TEU/m 之水準，半自動化櫃場仍以高雄港四、五櫃最佳，達 0.20~0.22 萬 TEU/m。顯示碼頭到櫃區間仍採用拖車(Chassis)之作業型態(半自動化)，就全年績效而言，並不比自動化櫃場採 L-AGV 系統差。

(4) 小結

由前述分析可知，只要港口為區域樞紐港、貨源充足，縱使僅櫃區採 ARMG 系統，碼頭到櫃區間貨櫃水平搬運仍採傳統拖車之作業型態(半自動化)，其半自動化櫃場之整體作業績效及各項指標，仍可與全自動化櫃場並駕齊驅。

表 1 國內外自動化/半自動化櫃場營運績效比較

港口	自動化貨櫃中心					半自動化貨櫃中心			
	Rotterdam	Rotterdam	長灘	青島	上海	高雄港	高雄港	高雄港	臺北港
Terminal	World Gateway	APMT	LBCT	QQCT	洋山第4期	五櫃	四櫃	六櫃	N3~N6
STS 數量	14	11	10	7	10	9	9	12	13
	半自動	半自動	半自動	半自動	半自動	人控	人控	人控	人控
碼頭長(m)	1,150	1,500	860	690	900	815	917	1,500	1,055
營運實績 (萬TEU/年)	235	270	160	79	200	162	200	167	164
碼頭~櫃區	L-AGV	L-AGV	AGV	L-AGV	L-AGV	Chassis	Chassis	Chassis	Chassis
櫃場配置	垂直	垂直	垂直	垂直	垂直	水平	水平	水平	水平
儲櫃區數量	24	27	25	19	20	15	22	18	19
	48	54	51	38	40	30	27	30	38

門式機數量	ARMG	ARMG	ARMG	ARMG	ARMG	ARMG	ARMG×4 +RTG×23	ARMG	ARMG
每櫃區作業 績效 (萬TEU/年)	9.79	10.0	6.4	4.16	10.0	10.8	9.09	9.28	8.63
STS 裝卸績 效(萬TEU/ 部)	16.79	24.55	16.0	11.29	20.0	18.0	22.22	13.92	12.62
碼頭單位長 處理量(萬 TEU/m)	0.2	0.18	0.19	0.11	0.22	0.2	0.22	0.11	0.16
啟用年份	2015	2015	2016	2017	2017	2006	2017	2011	2009

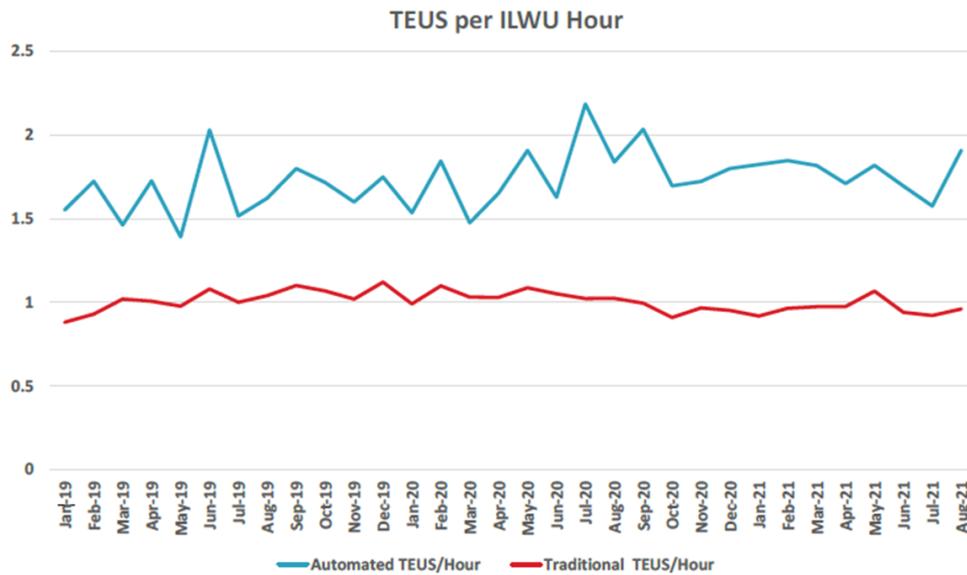
資料來源：「高雄港第七貨櫃中心碼頭及櫃場新建工程」設計及監造工作委託技術服務，2019

2. Terminal Automation in Southern California: Implications for Growth, Jobs, and the Future Competitiveness of West Coast Ports [6]

Michael Nacht and Larry Henry (2022)分析美國西岸的 LBCT 和 TraPac 的自動化貨櫃碼頭，並與同港口（背景環境條件相同）的傳統碼頭進行比較，本研究摘整有關碼頭作業效能相關重點如後。

2020 年 1 月至 2022 年 2 月 Covid-19 疫情期間（因塞港，各碼頭貨源充足），自動化貨櫃碼頭吞吐量上升至平均每英畝 510 個 TEU，而傳統貨櫃碼頭約為每英畝 350 個 TEU，吞吐量約高出 46%。且兩個碼頭處理貨櫃的速度甚至可為傳統貨櫃碼頭的兩倍，如圖 7 所示，自動化貨櫃碼頭單位工時處理的貨櫃量明顯高於傳統貨櫃碼頭。究其因係得益於效率提升，LBCT 和 TraPac 的自動化正在提升碼頭的效率和生產力。

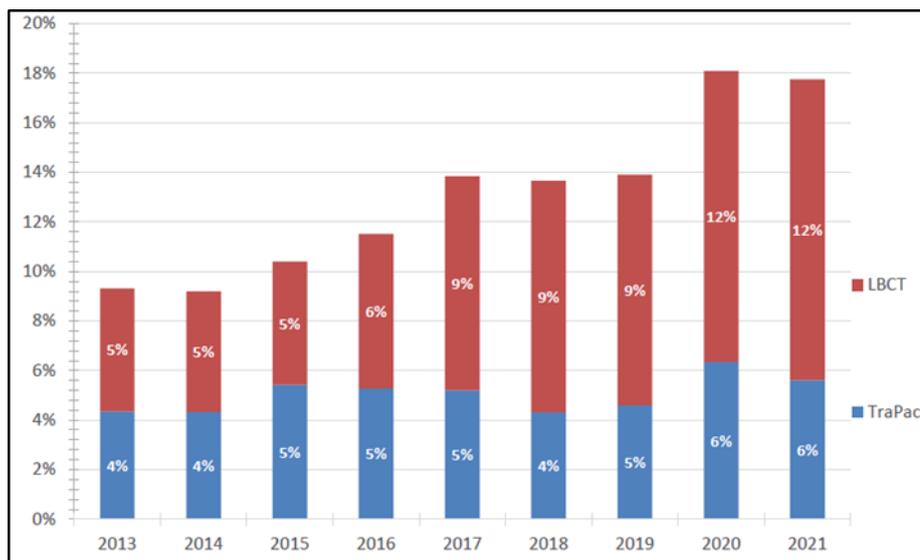
圖 8 顯示美國西岸的 LBCT 和 TraPac 的自動化貨櫃碼頭於 2013-2021 年間處理貨量相對整個港口的占比，由圖可知，在 2020-2021 年的疫情期間，人力缺乏與嚴重塞港的情境下，此 2 自動化貨櫃碼頭的處理量占比明顯的提升，尤其是 LBCT 碼頭，占比由 9% 提升至 12%，可知自動化貨櫃碼頭在人力短缺時，其生產力明顯高於傳統貨櫃碼頭。



Source: Martin Associates

資料來源：Michael Nacht and Larry Henry (2022)

圖 7 自動化與傳統貨櫃碼頭單位工時處理貨櫃量分析圖



Percent of Total San Pedro Bay Containers (TEUs) Handled by LBCT and TraPac

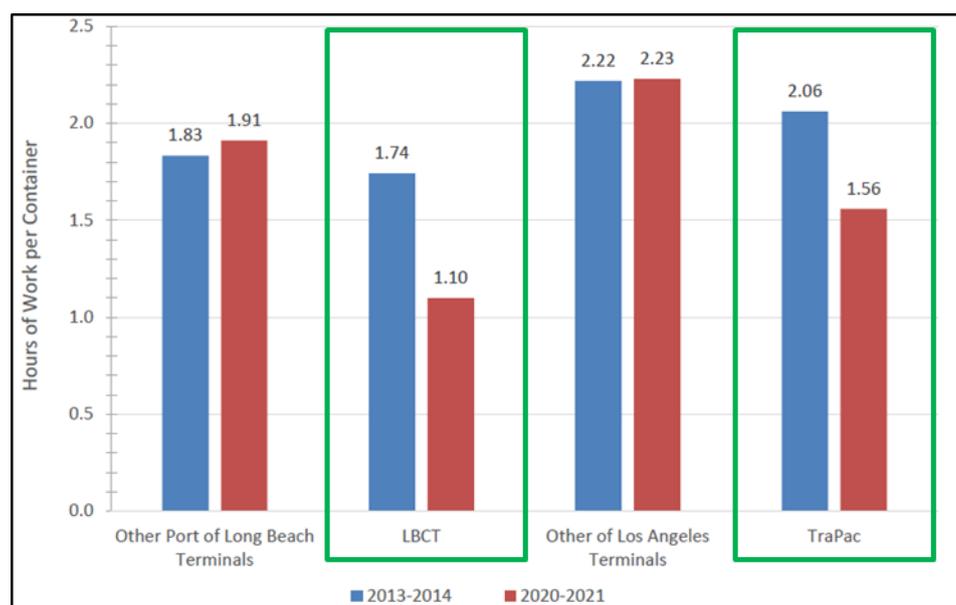
資料來源：Michael Nacht and Larry Henry (2022)

圖 8 美國西岸的 LBCT 和 TraPac 的自動化貨櫃碼頭處理貨量占比

圖 9 顯示美國 LA/LB 自動化與傳統貨櫃碼頭每個貨櫃平均岸上處理時間，在自動化之前(2013~2014 年)，LBCT 碼頭岸上處理 1 個貨櫃的作業需要 1.74 小時，而 LB 港其他貨櫃碼頭平均則需要 1.83 小時，岸上處理作業包括從船上卸下貨櫃，將其堆放在櫃場，直到準備好提貨，然後將其

移至卡車或軌道車上。而在 2020 年至 2021 年期間，LBCT 岸上處理一個貨櫃僅需 1.10 小時，而對比非自動化碼頭則需要 1.91 小時的勞動力，LBCT 碼頭的效率相較傳統貨櫃碼頭提升 42%。而 TraPac 在 2020 年至 2021 年期間，岸上處理一個貨櫃僅需 1.56 小時，而 LA 港非自動化碼頭則需要 2.23 小時，TraPac 碼頭的效率相較傳統貨櫃碼頭提升 30%。

相較於傳統貨櫃碼頭的作業，自動化貨櫃碼頭的岸上作業效率約可大幅提高 30%，這不但代表整體貨櫃裝卸作業所需要的時間及耗能更少，同時也能讓船舶有更充裕的航行時間，不需要為了趕到下個港口而提高其航行速度及油耗成本。



資料來源：Michael Nacht and Larry Henry (2022)

圖 9 美國 LA/LB 自動化與傳統貨櫃碼頭貨櫃平均岸上處理時間

就規模而言，美國在自動化碼頭的數量與和處理的貨物量方面仍大幅落後。港口的自動化是正日益成長的全球趨勢，也是貨櫃港口及碼頭現代化、最高效的標誌。鹿特丹、新加坡和中國大陸沿海的主要港口是近年來推動的翹楚。

另若要迎合航商超大型貨櫃船的裝卸需求，即每艘次須於 48 小時內完成裝卸，假設 20,000TEU 左右的貨櫃船每次靠岸平均裝卸 10,000 個貨櫃(40 呎：20 呎=1:1)，若每座碼頭配置 6 部 STS，則其每部 STS 之裝卸能力，每小時應至少需達到 35 個貨櫃 (即 35 Move/hr、約 53TEU/時)。

由於貨櫃中心所處理之每 TEU 貨櫃均會通過儲櫃區，故可以假設「自動化貨櫃碼頭裝卸量=儲櫃區處理量」。自動化貨櫃中心裝卸能力大略標準為每儲櫃區(block line)每年 10 萬 TEU [7]。而每一泊位每年 50 萬 TEU 是自動化貨櫃碼頭管理的重要指標。釜山新港對新的自動化貨櫃碼頭進行資本投資管理決策的指標之一，即為一個泊位年吞吐量超過 50 萬 TEU [3]。

六、貨櫃碼頭自動化建置評估重點

碼頭自動化的特點是貨物裝卸分離，使貨物裝卸效率在不同的貨櫃裝卸作業區（碼頭貨物裝卸與水平運輸、水平運輸與堆放區、堆放區與陸上）互不影響。為了完全分離貨物裝卸，提高整個貨櫃碼頭的貨物裝卸效率，需要將引入自動化的區域（碼頭前線裝卸、水平運輸、貨櫃場區、陸側貨物裝卸）連接成一個自動化系統。

貨櫃碼頭自動化的建置，主要有 3 種方式，即新建自動化碼頭、半自動化碼頭提升為全自動化碼頭，及將傳統碼頭改為自動化碼頭。

過去貨櫃碼頭自動化發展大都於新建碼頭中設置，綠地(Greenfield)自動化發展在過去幾年已被廣為接受，但僅剩少部分空間可執行新計畫，使用中的傳統碼頭畢竟占多數，但由於改建技術及成本等多種因素，致有所限制。

傳統的自動化，通常需要全新的佈局，或環境和基礎設施升級，有時會造成營運中斷，或犧牲長期累積的操作技能，造成相當高的成本。由於科技不斷提升，近來已陸續有相關技術研發，目前已開始轉向發展棕地(Brownfield)自動化，但通常較綠地自動化更具挑戰性。棕地和綠地自動化都需要大量初始資本支出，但現有系統的升級不僅複雜，還可能需要暫停當前營運，增加自動化的總成本。

因此，自動化貨櫃碼頭的建設方案應根據建設目標、建設規模、建設條件、集輸運方式和營運管理模式等，依安全可靠、高營運效能、節能環保、技術先進、經濟合理、利於維護等原則，經技術及經濟面向的評選論證後確定。

（一）綠地 (Greenfield) 新建碼頭

新建綠地碼頭自動化首先要先決定自動裝卸設備組合，再設計自動化貨櫃碼頭佈局，由於可以全新設計自動化貨櫃碼頭，因此可以從營運初期就引入最新技術，並能夠採用提高自動化貨物裝卸設備最大容量的佈局，在確定佈局時需要透過模擬驗證。而為發揮最大的自動裝卸設備能力，將貨櫃場的空間和外掛拖車的運行空間結合起來，碼頭需要超過 500 公尺的深度[3]。

在將自動化貨物裝卸引入新建綠地碼頭時，首先需要將自動化系統的軟硬體視為一個整體予以考慮，然後再將其視為單個自動化貨物裝卸設備的組合。

自動化貨櫃碼頭的處理能力可以根據貨櫃區塊、STS、AGV、A-ShC 等的數量而改變，因此設計時可以透過增加區塊等來增加處理能力。

(二) 棕地 (Brownfield) 碼頭

在棕地碼頭自動化，首要需以對目前業務造成中斷的影響降到最低為目標，因此設備自動化前應有良好的流程規劃，來分散可能的風險。

自動化的定義可以很廣泛，從港口文書工作的數位化，到幾乎無人工干預的全自動操作碼頭。碼頭營運商可依其財務和技術資源，選擇不同程度的自動化方案，在棕地碼頭自動化，可先進行小型計畫，以不需改變基礎設施，或影響端到端(End-to-End)流程的區域先進行，例如先自動化其中一台起重機(吊掛機)，或一架橋式機，然後逐步拓展到其他設備，及整個櫃場。

若在已營運貨櫃碼頭(棕地)引入自動化首先要先選擇自動化區域的標地，大部分都先從貨櫃堆場自動化著手，即引入 ARMG、ARTG 或 ASC 取代有人駕駛的 RMG 或 RTG，初期也可以只選擇部分區塊進行改建，由於引入作業可以限制在貨櫃場的區域內，因此改建工作可以在貨櫃碼頭停工最少的情況下進行，對管理的影響較小。惟若如歐洲有禁止人工與自動化混用的規定，當有人駕駛拖車進入自動化區域時，即需採取嚴格的安全措施，棕地碼頭自動化難度相對就更高。

若要將自動化範圍擴大到「水平運輸」，則需要在貨櫃堆場內裝設用於引導 AGV 或 A-ShC 的嵌入式傳感器，因此必須暫停使用貨櫃堆場和碼頭，涉及的構建規模比貨櫃堆場的自動化更大。

在新的貨櫃碼頭 (Green Terminal) 和已營運的貨櫃碼頭 (Brown Terminal) 中引入自動貨物裝卸設備的共同點是在引入自動化貨物裝卸設備時，應先進行自動化貨櫃碼頭的模擬，驗證引入各型態貨櫃碼頭的投資效果、效率及安全性等，以根據條件制訂自動化系統。

另碼頭作業管理系統 (Terminal Operation System, TOS) 是自動化貨櫃碼頭的「大腦」，而裝卸設備調度管理與控制系統 (Equipment Control System, ECS) 可謂自動化貨櫃碼頭的「神經」。

中國大陸交通運輸部於 2021 年 6 月[9]發佈的「自動化集裝箱碼頭建設指南」指出，自動化貨櫃碼頭管理系統 TOS 應滿足碼頭生產管理、設備調度管理、設備控制管理、單機設備控制管理等核心業務的需要，以及系統實施進程中各階段、輔助系統、營運配套系統等的需要，並應具有整合和擴展能力、高性能和易於管理的 IT 體系架構。其基本架構應滿足表 2 的要求，且 TOS 設計應滿足與海關、海事、鐵路、船代、貨代等其他物流節點之間資料交互、協同的要求，宜考慮智慧港口、智慧交通與智慧城市的需要建立統一的資料交換標準，保證整體物流生態圈的資料協同。

表 2 自動化貨櫃碼頭管理系統 TOS 的基本特性要求

TOS 的基本特性要求	具體描述
整合和擴展要求	簡單、動態、靈活的架構；資源的合理利用和分配；資料的集中整合。
系統的高性能要求	消除瓶頸，高效的業務資料傳輸；資源分享和負載均衡；更高的輸入/輸出輸送量，更快的批次處理能力。
系統的安全性、穩定性要求	餘裕可擴充設計；多層次資料保護機制；災備機制；不同等級安全措施之間相互補充、相互協同。
低成本、易管理要求	提高資源利用率；系統集中監控，自動調優；簡化管理，降低風險。

資料來源：「自動化集裝箱碼頭建設指南」，中國大陸交通運輸部，2021 [9]

而自動化貨櫃碼頭設備調度與控制系統(ECS)應包括系統配置管理、碼頭作業任務管理、碼頭作業監控管理、設備調度管理、設備控制管理、單機系統等功能模組。設備調度和設備控制宜一體化管理，也可根據實際情況分開管理。ECS 應保留人工介入機制，人工介入時系統應具備相關安全控制功能。設備出現自動化控制故障時，自動化控制應切換成遠端控制；遠端控制也無法進行時，應允許人工進入相應區域進行修理或暫時性人工處理。高度自動化及完全自動化貨櫃 ECS 應具備碼頭裝卸設備、櫃場裝卸設備和水平運輸設備自動化管理等功能；半自動化貨櫃 ECS 應具備櫃場裝卸設備自動化管理等功能。

七、我國港口發展自動化貨櫃碼頭之課題

(一) 我國港口貨櫃碼頭自動化現況

我國各港口現況已自動化的碼頭包括高雄港的長榮海運公司使用之第四、五貨櫃中心、陽明海運公司使用之第六貨櫃中心及臺北港貨櫃碼頭，以上均採半自動化貨櫃碼頭作業模式(僅櫃場區自動化)。新建中的高雄港第七貨櫃中心也將建置為自動化碼頭，除此之外，我國商港的大部分碼頭皆無自動化，亦即現況只有高雄港及臺北港碼頭有半自動化設施，而基隆港及臺中港碼頭則尚無自動化。我國港口自動化碼頭詳細建置時間、地點及規模如下：

1. 2006 年長榮公司在高雄港第五貨櫃中心碼頭(共 21 個櫃區)建置 3 個自

動化櫃區。

2. 2009 年營運之臺北港貨櫃中心，4 座碼頭的後線櫃區全部建置為自動化。
3. 2011 年營運之高雄港第六貨櫃中心，4 座碼頭的後線櫃區全部建置為自動化。2021 年高雄港第六貨櫃中心的貨櫃裝卸量達 203 萬 TEU，超越整個基隆港及臺北港的營運量。
4. 2017 年長榮公司於高雄港第四貨櫃中心碼頭(共 26 個櫃區) 建置 2 個自動化櫃區。
5. 2023 年長榮公司已於高雄港第七貨櫃中心 5 座新碼頭，後線櫃區全部建置自動化設備，且碼頭前線 STS 亦已引進自動化橋式機，並正評估水平運輸亦採自動化之方案。

(二)我國港口貨櫃碼頭自動化拓展可行性分析

我國商港除臺北港可能再擴增第五座碼頭外，短時間應無太多新建貨櫃碼頭需求，使用中的傳統碼頭畢竟占多數，而如報告前面章節所研析，營運中的棕地(Brownfield) 碼頭要改為自動化，可能必須停止碼頭作業進行施工，對碼頭營運影響較大，可行性較低，惟高雄港因為第七貨櫃中心即將營運，牽動各碼頭業者的重新配置與搬遷，正是引入自動化的好時機，在業者遷出後，欲遷入之業者即可先將其視為綠地碼頭改建為自動化，如此即不會影響原業者的營運，可為高雄港棕地碼頭改建帶來新契機。據了解，萬海海運公司在遷入第五貨櫃中心前，即規劃先將碼頭櫃區改建為自動化。

由蒐整的資料及訪談得知，自動化櫃場的效益是顯而易見的，因此全球各地新建的碼頭櫃場大都採「自動化」設計，惟整座碼頭營運還包括前線碼頭(船邊)裝卸作業(STS)及前線碼頭(船邊)與後線櫃場區間之水平運輸作業，若現況 STS 的自動化只能採「遠端遙控」方式，且效率與人工駕駛差異不大，自動化的效益較低，而水平運輸作業若要自動化，除機具成本較高(約為傳統拖車的 7 倍)，也需要更大的運行空間，碼頭後線要夠深才適合。貨櫃碼頭自動化，若僅為櫃區自動化，可局部設置，空間面積較不受限，惟若要建置碼頭全區的自動化，為發揮最大的自動裝卸設備能力，將貨櫃場的空間和外掛拖車的運行空間結合起來，則碼頭需要超過 500 公尺的深度。

另由於自動化設備初期投入成本較高，為達效益，須考量碼頭的作業量要夠大，才能達到「規模經濟」，也才能達到自動化的效益。自動化貨櫃中心裝卸能力大略標準為每儲櫃區(block line)每年 10 萬 TEU。而每一泊位每年至少 50 萬 TEU 是自動化貨櫃碼頭管理的重要指標。

本研究蒐集我國各商港貨櫃碼頭的長度、後線深度及近 3 年(108-110

年)的營運規模(平均裝卸量)、平均毛裝卸效能及現況營運業者等相關資訊，以檢視碼頭自動化拓展的可行性，分析如後。

1. 基隆港

蒐整基隆港貨櫃碼頭的相關資訊如表 3，雖然目前的碼頭裝卸效能不高，但貨櫃碼頭的後線深度只有 37~120M，各碼頭的年平均裝卸量皆低於 50 萬 TEU，最高是中櫃公司營運的 W19 碼頭，約達 30 萬 TEU，惟後線只有 37.4M，較不適合改為自動化碼頭。

表 3 基隆港貨櫃碼頭的相關資訊

貨櫃碼頭	長度 (m)	後線深度 (m)	使用水深 (m)	108~110 年平均裝卸量 (TEU)	平均毛裝卸效能 (TEU/時)	營運者
E08	240	47	-12	147,399	42	聯興
E09	220	76	-12	181,213		聯興
E10	200	76	-12	153,852		聯興
E11	200	76	-13	148,787		聯興
W17	207	34	-12	92,260	43	港公司
W18	403.9	20	-13	109,584		港公司
W19	364.4	37.4	-14.5	298,249	48	中櫃
W20	325.6	120	-10.5	162,612		中櫃
W21	236.6	120	-10.0	11,348		中櫃
W22	190	120	-15	4,942	42	港公司
W23	210	120	-15	163,953		港公司
W25	300	120	-13	37,880	29	港公司
W26	210	120	-11	2,945		港公司

2. 臺北港

蒐整臺北港貨櫃碼頭的相關資訊如表 4，臺北港目前櫃場已經自動化，裝卸效能頗高，達 104 TEU/時。貨櫃碼頭的後線深度有 480M，雖然碼頭的年平均裝卸量仍低於 50 萬 TEU，惟 110 年的裝卸量已達 194.3 萬 TEU，每座碼頭平均已達 48.6 萬 TEU。為因應船舶大型化需求，臺北港貨櫃碼頭公司已在評估擴大碼頭自動化範圍，引進自動化的 STS 橋式機。

表 4 臺北港貨櫃碼頭的相關資訊

碼頭	長度 (m)	寬度 (m)	使用水深 (m)	108~110 年平均裝卸量 (TEU)	平均毛裝卸效能 (TEU/時)	營運者
N3	365	480	-16	578,339	104	臺北港貨櫃碼頭公司
N4	330	480	-16	381,392		
N5	330	480	-16	415,024		
N6	330	480	-16	325,810		

3. 臺中港

蒐整臺中港貨櫃碼頭的相關資訊如表 5，臺中港目前的貨櫃碼頭由中櫃、長榮及萬海公司承租營運，裝卸效能並不高，碼頭的後線深度皆超過 500M，空間條件適合發展自動化，各碼頭營運公司的年總平均裝卸量皆高於 50 萬 TEU，可達經濟規模，非常有潛力改為自動化碼頭，由於各碼頭營運商皆經營 2 座碼頭，建議必要時可採半半施工進行改建，即可將施工期對碼頭的營運影響降至最低。

表 5 臺中港貨櫃碼頭的相關資訊

碼頭	長度 (m)	寬度 (m)	使用水深 (m)	108~110 年平均裝卸量 (TEU)	平均毛裝卸效能 (TEU/時)	營運者
10	320	565	-13	625,931	46	中櫃
11	320	565	-13	20,428		中櫃
32	320	505	-14	403,931	63	長榮
33	250	505	-14	229,827		長榮
34	250	505	-14	392,364	69	萬海
35	340	505	-14	152,163		萬海

4. 高雄港

蒐整高雄港貨櫃碼頭的相關資訊如表 6，由表得知，高雄港除第一貨櫃中心(#42、#43)碼頭後線深度不足、其餘貨櫃碼頭的空間條件都適合朝自動化發展。而各碼頭的裝卸效能除一櫃及四櫃的 HMM 及港務公司自營的碼頭效能較低外，其餘裝卸效能皆不差，其中以高明貨櫃碼頭公司經營的六櫃碼頭裝卸效能最高，而第二貨櫃中心(#63~#66)目前由萬海及東方海外經營，碼頭雖然未自動化，但其裝卸效能亦頗高。六櫃(櫃場自動化)為目前我國裝卸效能最高的碼頭，據了解亦正評估擴大自動化範圍中。

如前文分析，高雄港因長榮公司即將搬遷至第七貨櫃中心營運，未來將牽動各碼頭業者的重新配置與搬遷，正是引入自動化的好時機，在業者遷出後，即將遷入的碼頭營運商可將其視為綠地碼頭改建為自動化，又可

於原碼頭維持作業，如此即不會影響原業者的營運，可為高雄港棕地碼頭改建帶來新契機。

表 6 高雄港貨櫃碼頭的相關資訊

碼頭	長度 (m)	後線深度 (m)	使用 水深 (m)	108~110 年 平均裝卸量 (TEU)	平均毛裝 卸效能 (TEU/時)	營運者
42	230	165	10	97,177 (一櫃)	39	連海
43	190	165	10			
63	275	457	14	1,012,323 (二櫃)	103	萬海
64	245.46	457	14			
65	351.5	465	14	1,242,870 (二櫃)	116	東方海 外
66	408.5	465	14			
68	320.16	900	15	564,567 (三櫃)	98	APL
69	320	900	15			
70	320.6	575	13.5	524,765	87	鴻明
76	320	165	13.5	706,335	80	HMM
77	355	850	14.5			
78	320	850	14.5			
79	355	1080	14.5	1,961,312 (五櫃)	108	長榮
80	340	400(重 疊#79)	13.5			
81	120					
108	375	472	16	1,642,090 (六櫃)	130	高明
109	375	472	16			
110	375	472	16			
111	375	472	16			
115	176.86	425	16.5	1,348,119 (四櫃)	114	長榮
116	320	425	16.5			
117	320	425	16.5			
118	320	425	14	356,710 (四櫃)	67	HMM
119	320	425	14			
120	320	425	13.5	428,257	48	港公司
121	320	425	13.5	97,177		
S1	470	720	18	7 櫃，未營 運無資料		長榮
S2	470	720	18			
S3	470	720	18			
S4	470	720	18			
S5	480	720	18			

本研究除蒐集我國各國際商港貨櫃碼頭資料以研析其改建為自動化的可行性外，另為進一步研析我國港口發展自動化貨櫃碼頭之課題，分別拜訪臺北港貨櫃碼頭公司、高明貨櫃碼頭公司及長榮海運公司碼頭管理部，進行3場專家訪談，綜整相關課題如後：

1. 自動化碼頭初期投入成本高，投入條件門檻主要需達到「規模經濟」，我國港口由於貨量成長緩慢，碼頭的供給大於需求，貨量不足的碼頭，比較沒有投入自動化的條件。另由於臺灣的裝卸費率低，成本回收需要更長。但自動化是目前的發展趨勢，政府必須重視並評估。
2. 中國大陸本來就是全球碼頭設備製造很大的供應商，在全球的市佔率很高，近幾年所開發的「自動化」碼頭設備，已經可以與歐美廠商競爭，對我國有地利之便，維修方便，但採購可能受政治因素影響。
3. 我國的碼頭科技市場太小，沒有科技公司願意投入研發，自動化的關鍵技術及ECS系統都須仰賴歐美、中國大陸，當設備故障就必須等國外技師維修，仍存在風險性，且國內電控維修人才缺乏。
4. 國內碼頭自動化潛藏的困難及風險是「缺電」及「通訊」問題。另外「人力」的招聘及養成，也是有難度。
5. 船舶大型化，STS起重機作業高度對人體負荷加重，可能將迫使碼頭船邊作業引入遠端操控的STS起重機，雖然技術已成熟，但影響效率的因素眾多，目前的效率不一定比人工作業佳。
6. 業者發展自動化碼頭，仍需要政府方面的支持及因應需求訂定相關規範及標準，例如：海關法規修改、貨櫃車系統化管理等。

八、結論與建議

本研究先蒐整貨櫃碼頭自動化發展型態及全球貨櫃碼頭自動化發展歷程，並研析未來發展趨勢，再探討貨櫃碼頭自動化對港口營運的優缺點、自動化與傳統碼頭作業效率差異，及綜整貨櫃碼頭自動化建置評估的重點，再進一步研析我國港口貨櫃碼頭發展自動化之可行性及課題後，歸納出本研究「貨櫃碼頭自動化對港口營運影響」的結論與建議如後：

(一) 結論

1. 碼頭自動化是提昇港口競爭力的有效方法

貨櫃碼頭自動化已成為「提高碼頭生產力、改善碼頭作業工作環境和促進自然環境保護」政策的重要措施。碼頭自動化可以提昇碼頭的作業效能，使港口「保持競爭力，促進貨運和就業的成長，並減少溫室氣體排放」，亦是港口高科技及高效率的表徵，可以提昇港口整體的形象，進而提昇港

口的競爭力。

2. 碼頭自動化為貨櫃碼頭未來發展的重要趨勢

分析貨櫃碼頭自動化對港口營運的優缺點(潛在效益和相關風險)長遠來看，正確推動自動化系統，產生的效益將超過潛在的相關風險。碼頭自動化具有經濟、安全和環境等面向效益，在安全至上、淨零脫碳目標及提高效能的殷切需求下，將為未來發展的重要趨勢。

由於碼頭營運商提高利潤率、改善工作環境及自然環境保護的需求加劇、勞動價值觀的變化、因應物流市場需求的變化、自動化技術的提升、軟體和硬體的使用性提高、投資成本和營運成本降低、歐盟制訂貨物自動裝卸作業安全標準、港口容量成長有限、淨零脫碳目標的相關法規及港區勞動力短缺問題等因素，貨櫃碼頭自動化將快速發展，越來越普及。另為因應船舶大型化，碼頭前線橋式機的自動化為必要的解決方式。

3. 經國內外的實證，碼頭櫃場自動化已具經濟效益，值得推廣應用

國內外新建的貨櫃碼頭幾乎都採自動化，可知碼頭自動化受到碼頭營運業者的肯定。分析過去我國貨櫃碼頭櫃場的自動化經驗，也證實在我國的經濟環境背景下，是具經濟效益，值得推廣應用。

(二) 建議

1. 棕地碼頭改建不易，建議港務公司可鼓勵碼頭營運業者進行轉型，朝自動化發展

高雄港七櫃即將完工啟用，長榮公司將搬遷至七櫃(已設置自動化)，而萬海公司亦已規劃搬遷至五櫃，高雄港貨櫃碼頭營運商將可能陸續進行遞移搬遷，是棕地碼頭改建為自動化的契機，建議可把握高雄港碼頭遞移的契機，鼓勵碼頭營運業者進行轉型，朝自動化發展。

而經本研究研析，基隆港的碼頭條件較不適合發展自動化，臺北港的自動化可擴展到碼頭前線，而臺中港有些貨櫃碼頭適合發展為自動化。

我國高齡及少子化現象日漸顯著，衍生出勞動力不足的隱憂，港口作業需大量人力以維持運行，人力資源短缺的問題已逐漸明顯及嚴重，為維持港口運作及服務品質，建議應儘早思考替代傳統人力工作之方法，同時節省所需營運成本。

棕地碼頭改建自動化，首先要進行碼頭基礎工程改建以提升碼頭乘載力，此為碼頭基礎設施，建議港口主管機關可評估主動出資協助改建或與業者合作建置，鼓勵碼頭營運業者進行轉型。

2. 建議航港主管機關(構)，進一步協助業者共同因應我國碼頭自動化面臨之相關課題。

本研究為研析我國港口發展自動化貨櫃碼頭之課題，分別拜訪臺北

港貨櫃碼頭公司、高明貨櫃碼頭公司及長榮公司碼頭管理部，進行3場專家訪談，蒐整我國港口發展自動化貨櫃碼頭之課題如第七章，為提升我國港口競爭力，建議航港主管機關(構)進一步協助業者共同因應我國碼頭自動化面臨之相關課題。

參考文獻

1. 張徐錫、張欽森、劉宏道，全球供應鏈的中繼站—先進貨櫃中心的發展與規劃，中華技術 No. 121，January, 2019。
2. 自動化輪胎式集裝箱門式起重機(ARTG)，
<https://www.acctw.com.tw/h/ServiceDetail?key=992017698718&cont=161312>。
3. 日本港湾空港技術研究所報告，世界の自動化コンテナターミナルの動向分析，Vol. 56, No. 4, March 2018。
4. Drewry Maritime Financial Insight, Sep 2021。
5. ABB 特別報導：綠色櫃場-高明貨櫃碼頭公司，
<https://new.abb.com/tw/about/publication/abb-connects-2014-01/specialreport>。
6. Michael Nacht and Larry Henry，Terminal Automation in Southern California: Implications for Growth, Jobs, and the Future Competitiveness of West Coast Ports，Pacific Maritime Association，02 May 2022。
7. 臺灣港務股份有限公司高雄港務分公司，「高雄港第七貨櫃中心碼頭及櫃場新建工程」設計及監造工作委託技術服務，2019。
8. 20210826 經濟日報 <https://money.udn.com/money/story/5/5699831>。
9. 「自動化集裝箱碼頭設計規範」及「自動化集裝箱碼頭建設指南」，中國大陸交通運輸部，2021年發佈。