

經濟部工業局 110 年度
區域特色資源產業增值推動計畫

石材節力搬運輔具分析報告

主辦單位：經濟部工業局

執行單位：財團法人石材暨資源產業研究發展中心

第一章 前言

隨著國際石材業的產值逐年增加，根據 Natural Stone Slab Market Analysis, 2019-2027，全球石板市場的遠景將從 2019 年 450.5 億美元到 2027 年的 600 億美元 [1]，且根據中國前瞻經濟學人報導，2019 年全球的建築石材消費狀況，亞太地區為全球消費占比 61%為全球最高[2]，因此每家石材廠的石板生產量從一次石材廠至二次石材廠皆有逐年逐步提升的現象，而在此情況下，石板的搬運頻率大增，在石板的搬運過程，不論是石板於 A 加工流程傳遞至 B 加工流程的搬運，或是石板於所有加工流程完成後的出貨堆疊作業等等，確保工作人員搬運時的安全及產品的品質保護，搬運輔具是一項不可或缺的節力設備。

根據經濟部礦務局於石材產業背景描述中提及石材產業面臨問題之一為石材廠設備管理之問題，由於業者缺乏設備管理之經驗或知識，明顯的影響是會造成產能下降或交期延遲，但潛在的問題是造成現場人員的工傷事件[3]，根據職業安全衛生設施規則第 155 條之規定：『雇主對於物料之搬運，應盡量利用機械以代替人力，凡四十公斤以上物品，以人力車輛或工具搬運為原則，五百公斤以上物品，以機動車輛或其他機械搬運為宜；運輸路線，應妥善規劃，並作標示。』另根據職業安全衛生設施規則第 153 條：『雇主對於搬運、堆放或處置物料，為防止倒塌、崩塌或掉落，應採取繩索網綁、護網、擋樁、限制高度或變更堆積等必要措施，並禁止與作業無關人員進入該等場所。』無論是對於雇主或員工，法條的規定皆是提供一層安全的保護，但儘管如此，因搬運作業而造成的傷害仍時有所聞，根據勞動部 107 年度全國重大職業災害實例摘要彙編，107 年 6 月 29 日某石材廠，作業人員使用台車搬運 11 片石板至補膠區，於搬運第 12 片時，欲將裝有石板之台車由直立狀態扶平過程中，台車前方堆置之石板突然斷裂倒塌壓及台車，導致台車撞擊人員而造成職安事故，如下圖 1。



圖 1、因搬運輔具設計不良間接造成的傷害[4]。

而節力搬運輔具設備另一項主要的目的，也是防止人員在搬運重物的過程中，因施力的方式或搬運的姿勢錯誤而造成身體的永久性傷害，如腰部扭傷、挫傷或腳部遭重物砸傷等等之情況發生，如下圖 2 例為人工搬運的情況。



圖 2、石材廠(二次廠)人工搬運情況。

根據職業災害的統計分析報告，廠房或生產線對於重物的搬運沒有設計良好的搬運輔具或是選用及設計不適當的搬運輔助，容易造成搬運過程中物體的重心偏移或不平衡、傾倒、不易施力等，而造成職業傷害。

另一方面，根據國家發展委員會『工作年齡人口變動趨勢』項目中，從 2015 年達到工作年齡人口數的高峰後呈現逐年遞減情況，如圖 3 所示，面對日益嚴重

的人工問題，搬運輔具若設計得宜、使用頻率漸增，將有助於提高生產效率並解決部分人力缺工的問題。

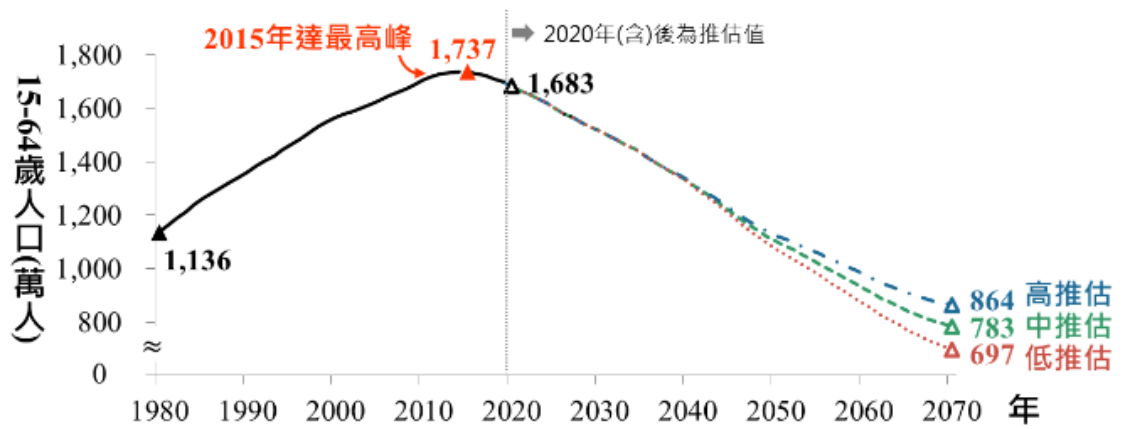


圖 3、國家發展委員會-工作年齡人口變動趨勢[5]。

目前國內安全搬運輔具遠落後歐美日，造成國內廠家因國外產品單價過高而使用的意願極低，因此對石材業或其周邊相關產業設計及開發合適的節力搬運輔具，並且落實技術本土化，可提高國內石材廠生產效率並減少職安意外發生。

第二章 節力搬運輔具概述

為使作業效率提高、保護作業人員安全、確保產品品質提升，節力搬運輔具不斷創新與突破。市場上因應作業環境、廠房空間大小、生產流程動線、製程需求、產品特性等等之各種不同情況，各式各樣的節力搬運輔助不斷地被開發出來，其中又可將種類眾多的節力搬運輔具分成無動力及有動力。

無動力節力搬運輔具最常見的即是利用人員或物品的重力，配合設計的槓桿機構或機械物理特性，來達到舉升或移動的目的；另外也有利用儲能裝置如彈簧，達到釋放能量而產生物體舉升或搬運的目的。如下圖 4 所示，輔具左邊因產品疊放後產生重量克服右邊的配重塊重量，當取下最上方一個物品後，因右邊配重塊較重而下降，因此左邊的物品存放區上升了一個位置，以此類推，物品存放區都將處於最高的位置(符合人體工學位置或其他機構搬運位置)，達到物品舉升的目的。

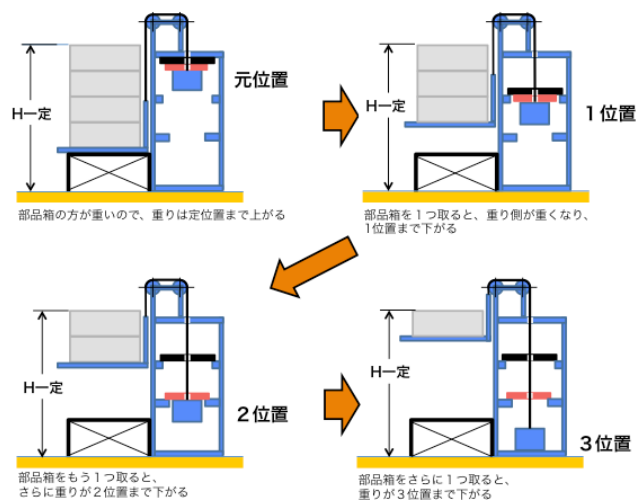


圖 4、無動力節力搬運輔具[6]。

另一個無動力吊掛的使用案例，如下圖 5，一、吊鉗搬運輔具中間設計一卡準卡住將夾爪張開，下降後卡準移開。二、吊鉗上升，夾臂因自重下降夾起，利用牽動連桿並透過力矩的轉換將物件夾緊，達到吊掛作業的目的。

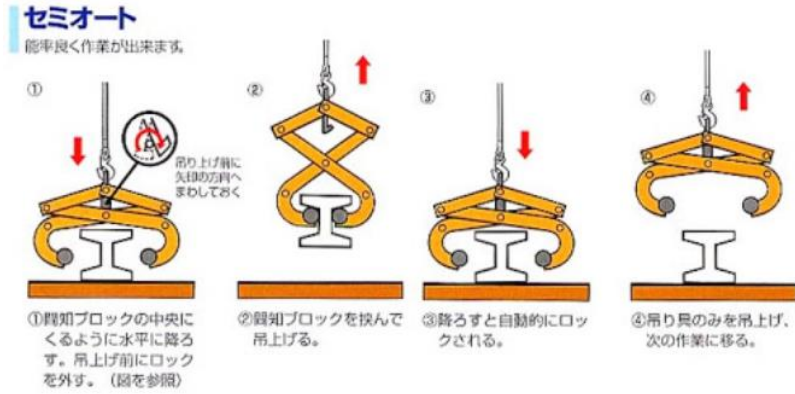


圖 5、無動力半自動吊掛輔具[7]。

搬運的輔具也有使用無動力的方式，如下圖 6，利用物品置於台車時的自重透過繩索、齒輪齒排及其餘機構的設計，將物品因自重下降的垂直運動轉換為旋轉運動，驅動台車輪軸使台車移動，因輪軸裝有一種可儲能的發條馬達，台車移動輪軸選轉的同時，發條馬達內的彈簧片持續因外力受到擠壓直到台車到達目的地，當台車上的物品卸下時，發條馬達內的彈簧釋放能量，台車自動開回原始位置，達到無動力的狀態下，台車自動搬運物品，節能省力。

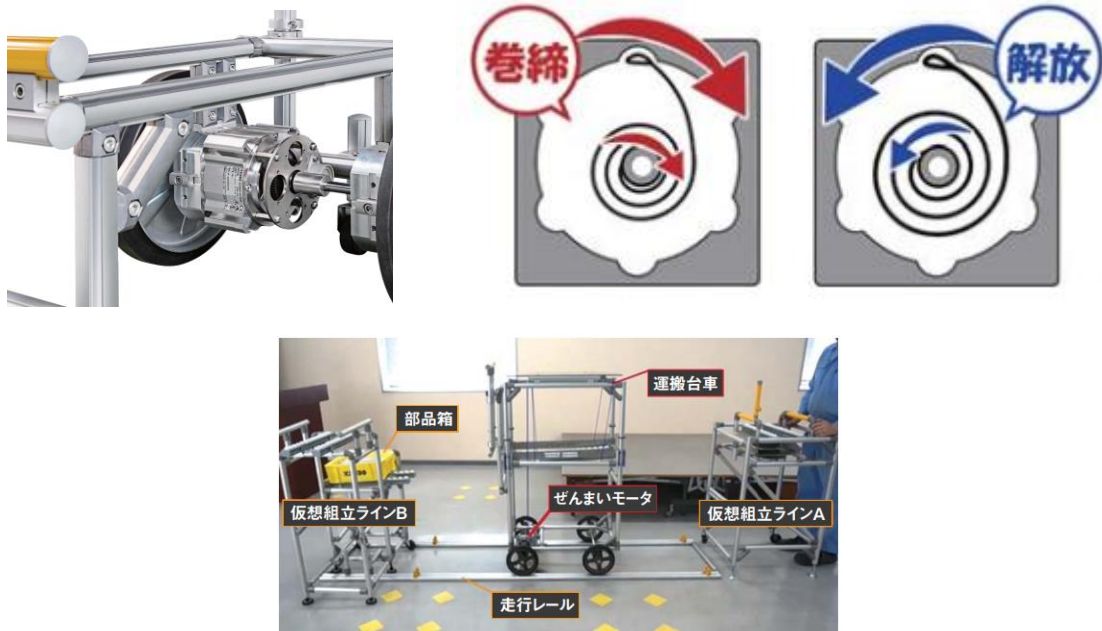


圖 6、可儲能發條馬達搬運輔具台車[8]。

有動力節力搬運輔具以動力來源區分，一般可分成氣壓、油壓或電力。氣壓式節力搬運輔具可運用在許多地方，如下圖 7 之平面狀物品的搬運節力輔具，此種

藉由真空產生吸力並吸附住物品的方式需要有一套真空迴路的嚴格測試，而且必須有儲能裝置及止迴閥達到停泵後可長時間保持真空的狀態，確保物品可維持長時間的吸附。另，在機械結構上，也必須搭配各種產業生產線的需求，設計各種搬運的動作，如搬運輔具可做 360 度的旋轉、180 度的翻轉或其他角度的自動定會等來達到物品安全輕鬆放置的目的。



圖 7、左 玻璃搬運輔具。右 石板搬運輔具。[9]

另一種專為體型較大或重量較重的產品所提供之真空式搬運輔具，如圖 8 左大型炭磚和爐窯砌築所設計的搬運輔具，其特點為可提供超大流量真空泵，克服因炭磚本身有毛細孔而造成真空度不足的問題，且所使用的吸盤可以快速更換以應付不同形狀的炭磚，不會損及搬運的產品。如圖 8 中所示，針對捲狀材料所設計捲材翻轉吸吊機，可以吸附達 1 噸重的捲材，並且設計多個獨立真空腔室可是應多種直徑規格的捲狀材料，在產品要出貨或需要堆疊時，此種搬運輔具亦可提供垂直 90 度的翻轉搬運，達到最高效率。如圖 8 右所示，開發下水道或輸油管工程需埋設的大型管路，亦經由專用的節力搬運輔具來完成搬運、埋設的工作。

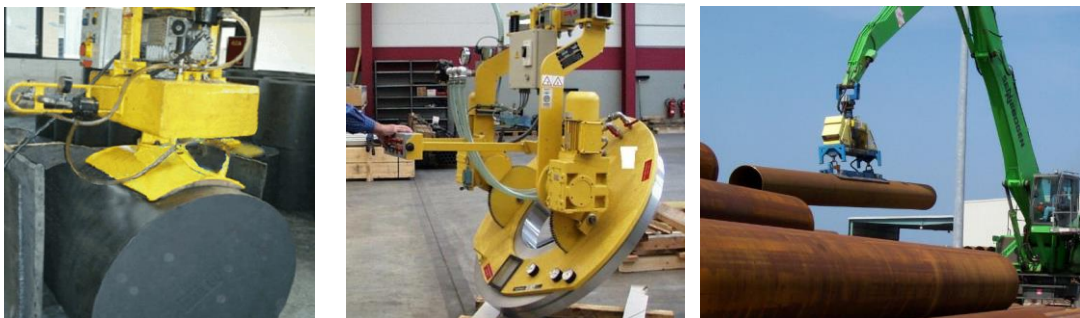


圖 8 左：碳磚真空吸盤[9] 中：捲材翻轉吸吊機[10] 右：大型管件搬運輔具[11]

而每種產品會因產品的特性有不同的包裝，亦有針對如袋裝包裝或箱體包裝的產品所設計吸附型的節力搬運輔具，如圖 9 所示，其特點為輕鬆拉動吸盤吸附目標物，且只要更換吸盤，即可吸附不同包裝樣式的產品。



圖 9、更換吸盤即可對應不同包裝產品[12]。

油壓節力搬運輔具一班是運用於重量較重且大型的物件或是不易吸附之產品，如圖 10 左所示，一些較大型車輛其使用之輪胎尺寸相對大增，若遇到輪胎磨耗、破損或是車輛維修保養需拆卸輪胎的狀況，是無法如一般小轎車一樣，人工搬運即可把輪胎卸下，需藉由油壓式的搬運輔具，除了須將大型輪胎固定完善外，亦須提供安裝時的角度微動變換，才能使大型輪胎安裝順利。另外，我們常常使用的 50 加侖油桶，其搬運及傾倒加油的時機也是頻率相當高，若沒有一個好的搬運輔具，常常會發生油桶在搬運時壓到腳部或是倒油時無法對準加油孔而發生油品外洩的危險情況，因此亦有針對 50 加侖油桶的節力搬運輔具來協助完成工作，如圖 10 右所示，此油桶搬運輔具利用迫緊帶將油桶確實固定，並以油壓缸做舉升的動作，另一設計一轉動機構，使油桶可以傾倒，方便加油。



圖 10、左：農耕機大型輪胎拆卸時的節力搬運輔具[13]。
右：50 加侖油桶搬運輔具[14]。

第三章 石材業節力搬運輔具概述

以現階段來說，一次石材廠將從礦區採集下來的石塊鋸切成片狀的石板大板，送入生產線進行補膠、烘乾、局部切割、水噴、火燒、研磨、打蠟等等的製程後，一片一片的石板從平躺翻轉成直立，並堆疊於固定架上，而二次石材廠，通常也是以片狀的石板進行加工，因此較適合運用於石材業的節力搬運輔具以適合平面產品的真空吸盤輔具或傳統形式的吊鉗為主。

吊鉗(傳統)與真空吸盤(新型)兩種類型產品(如圖 11 所示)，其兩者作用皆為提供適宜的吊掛能力，以符合廠內搬運省力、省時以及降低職業傷害發生機率。然而搬運輔具產品除外型不同之外，運作機制也截然不同，以下簡易介紹吊鉗以及吸盤產品作工原理：

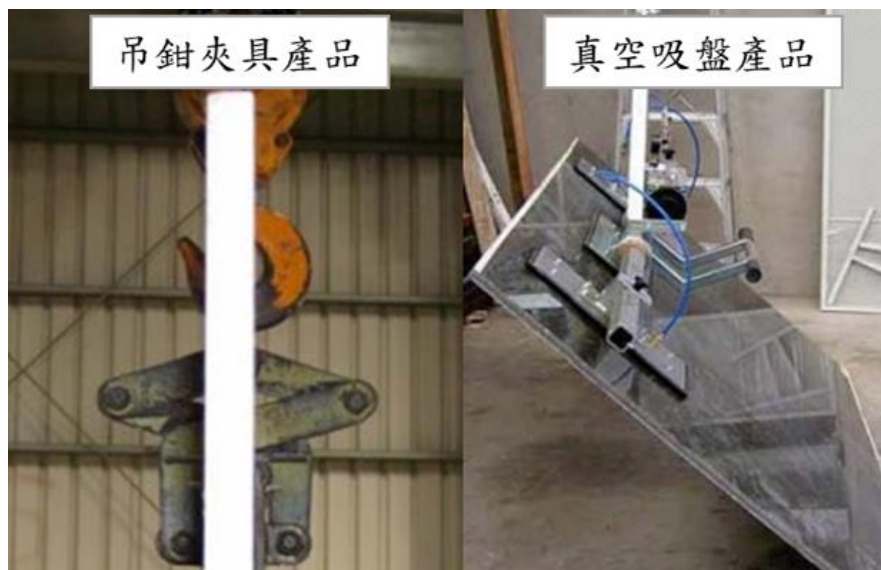


圖 11、搬運輔具產品

- a. 吊鉗搬運輔具產品原理:吊環垂直向上之拉力牽動連桿後再將拉力傳遞至夾板，並透過其力矩的轉換模式與摩擦係數將搬運物件夾緊，進而達成吊掛作業之目的(吊鉗結構如圖 12)；此外欲提高作業安全性，經研發改良設計加裝安全裝置，當夾具上升時輔助卡榫(紅色圈圈)進而向上提起卡住並固定機構上，確保連桿機構保持於夾板打開的狀態，大幅增加夾

持穩定性與降低滑落機率。另一種吊鉗也是相同的原理，但唯一不同的地方是，不用靠摩擦力確保石板不會掉下，而是直接勾住石板邊緣，直接吊起，如圖 13 所示。

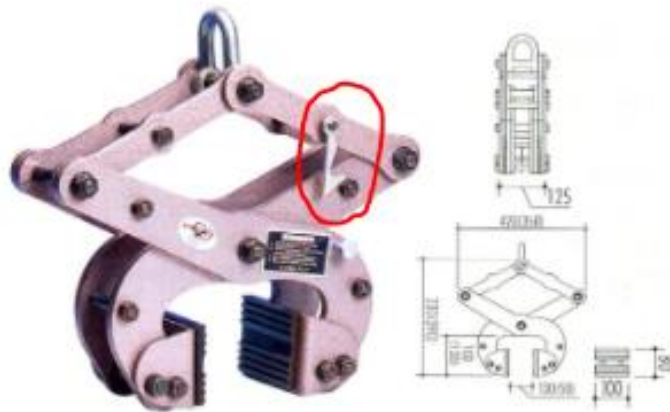


圖 12、吊鉗主體結構圖[7]

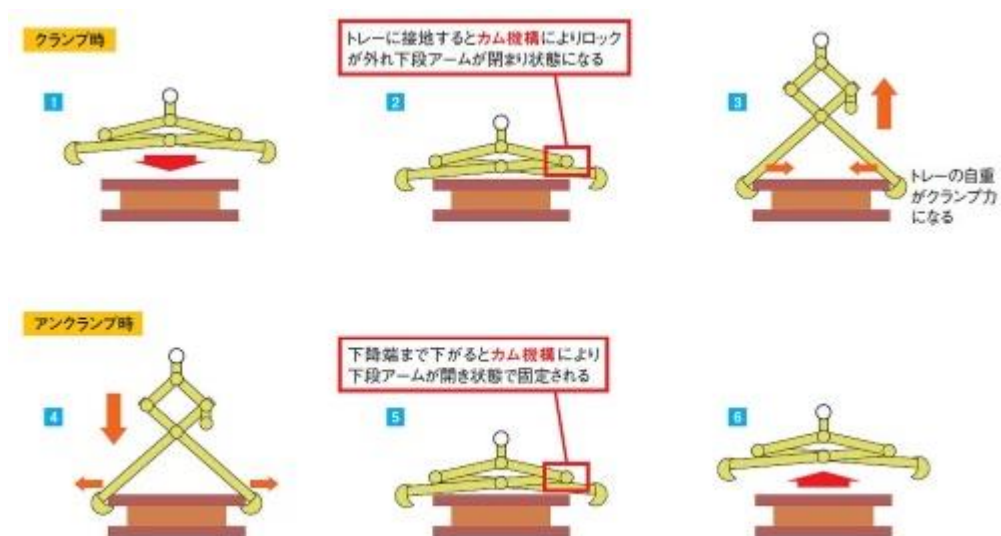


圖 13、吊鉗主體結構圖(直接勾住邊緣吊起)[15]。

- b. 吸盤搬運輔具產品原理:真空吸盤附著於物件表面上，結合真空起重器使吸盤和物件表面之壓力產生低壓小於大氣壓力，且當壓力越小時(真空度越高)，吸盤抓取力就越大(如圖 14)；即使物件不具光滑完整的表面，僅需更換不同吸盤種類並搭配多角起重機，足可吊起不同形狀、表面、大小之物件，靈活並充足應用於多種領域產業上使用。

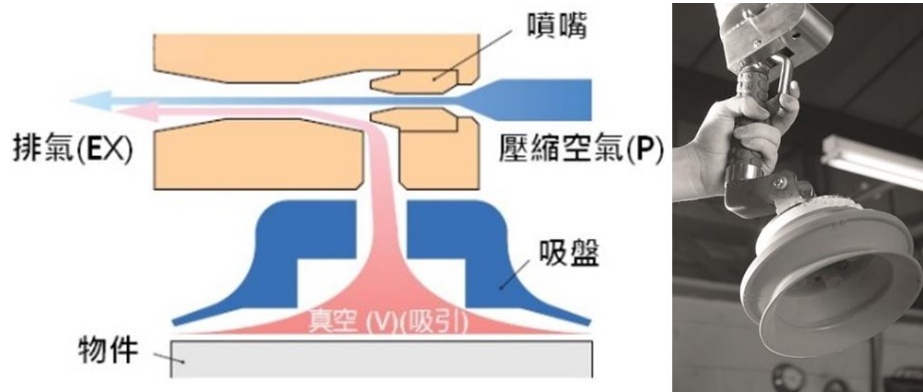


圖 14、真空吸盤示意圖[16]

真空吸盤搬運輔具產品不同於吊鉗產品是透過連桿力矩的轉換驅動夾持張力而是給予一定真空壓力(-KPa)，因此吸盤個數(n)、吸盤直徑(D)、吸取面積(A)視為使用時的重要參數，透過以下理論公式了解各參數之關係：(1) 盤

面直徑理論公式： $D = \sqrt{\frac{M \times 9.8 \times S \times 1000}{\pi \times n \times P}}$ ， $D =$ 吸盤直徑(mm)， $M =$ 物件重量

(kg)， $n =$ 吸盤個數， $P =$ 真空壓力(-kPa)， $S =$ 安全係數；水平吸吊 =

4，垂直吸吊 = 8，重量(M) x 9.8N 即為吸附力。(2) 吸取面積理論公式： $A =$

$\frac{3.14 \times D^2}{S \times 100}$ ， $A =$ 吸取面積(cm^2)， $D =$ 吸盤直徑(mm)[16]。

範例參考計算：

- 物件重量(M)=1.5Kg, 真空壓力(P)=-80KPa, 吸盤數量 1個, 安全係數(S)=4, 吸盤直徑(D)=?

套入公式 $D = \sqrt{\frac{M \times 9.8 \times S \times 1000}{\pi \times n \times P}} = \sqrt{\frac{1.5 \times 9.8 \times 4 \times 1000}{\pi \times 1 \times 80}} = 30.5(mm)$ ，然而考量物件

吸取面積的變化會因真空壓，使其變形縮小降低有效吸取面積，因此吸盤直徑應當設定大於理論吸盤直徑 (吸盤外徑尺寸一般放大 10%左右)，吸盤直徑應

選擇 32mm。而當得知吸盤直徑、吸取面積與真空壓力參數時，亦可嘗試求得

理論吸吊能力(不含安全係數)，如公式(3)：水平吸吊能力： $F = 0.1 \times A \times P$ ， $F =$ 理論吸吊力(N)， $A =$ 吸取面積(cm^2)， $P =$ 真空壓力(-KPa)，然而

考量垂直吸吊方向性(如圖)，其公式(4)： $F = \mu \times 0.1 \times A \times P$ ， $\mu =$ 摩擦係數(

納入摩擦力因素)，然而吸取面積、真空壓力等參數並不是越高越好，需依據

實際使用的場合與情況(高能量、時間、吸盤壽命)也是必要考量的隱性成本，因此給予相對足夠的數值參數即是適宜的使用條件。

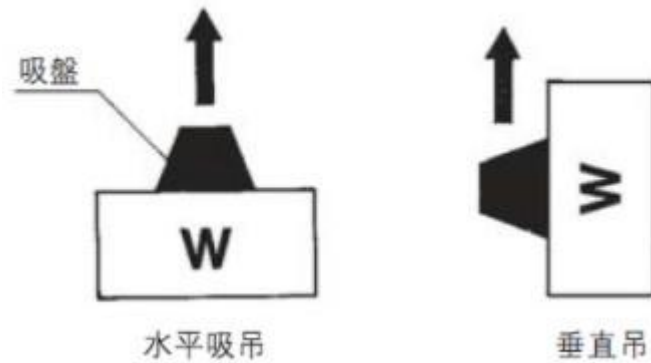


圖 15、吸吊方向示意圖[16]

吸盤形狀樣式取決於應用領域，但就總體設計分類而言，大致可分為兩種主要類型，標準吸盤與風琴式吸盤(詳細內容如表 1 所示)，並依據物件表面傾斜、曲面、平面應用選擇適當型式之吸盤；標準吸盤主要針對平面或微曲面之物件(如圖 16)，而風琴型吸盤主要應用於需要調整高度或有高度差異(傾斜)之物件(如圖 17)，且吸盤提供一定的角度靈活度，但不適用於垂直吊吸的應用。

表 1、真空吸盤-形狀樣式模組

真空吸盤形狀樣式			
標準吸盤(General type, GT)		風琴式吸盤(Bellows type, BT)	
型式	說明	型式	說明
平面帶肋(Flat with ribs type)	超薄 盤面設計，完全服貼於物件，盤底附有肋骨設計，防止皺褶及易變形的物件	多層風琴(Multiple Bellows type)	斜邊 盤面設計，適合吸曲面傾斜或彎曲面之物件
深型(Deep type)	加深 盤面設計，適合彎曲面過大之物件，如圓球形狀	風琴型附溝(Bellows with grooves style)	溝槽防滑 盤面設計，增加真空流通性，確保吸取能力，適合傾斜、彎曲面之物件
扁平型附溝(Flat with grooves style)	扁平 盤面設計，吸盤溝槽防滑設計，增加真空流通性，抑制物件變形量，適用於平面無彎曲面之物件	多層風琴(Multiple Bellows type)-進階版	2¹/₂ 層的盤面結構設計，最大限度降低施加物件的接觸壓力，減少能耗損失，適合曲面傾斜或彎曲之物件

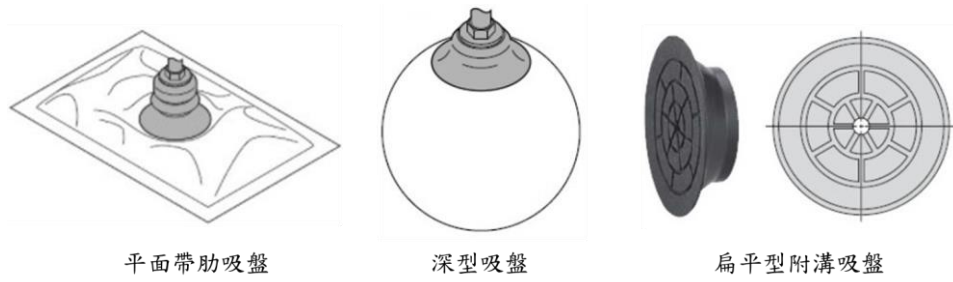


圖 16、標準吸盤-形狀樣式示意圖[17]

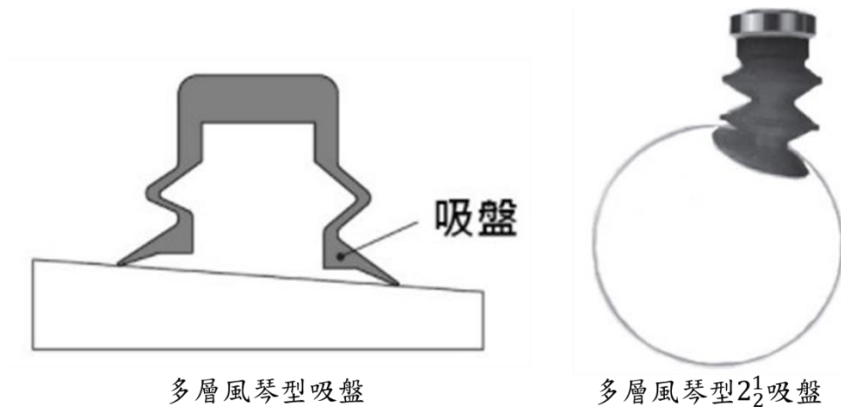


圖 17、多層風琴型吸盤-形狀樣式示意圖[17]

第四章 結論

綜觀上述，為減少石材業一次加工廠或二次加工廠在石板搬運時造成人員的職業傷害，並確保石板能安全無虞的移動至所需的地方，針對真空式吸盤的石板節力搬運輔具做設計開發，開發流程說明如下：

1. 3種以上應用於石材廠之搬運輔具設計與機械物性分析：

- 橋剪/水刀加工板材： $< 3\text{m} \times 2\text{m} \times 0.03\text{m}$ ，4~6片吸盤
- 帷幕擴孔製程板材： $< 1.5\text{m} \times 1.5\text{m} \times 0.03\text{m}$ ，2~4片吸盤
- 側面研磨製程板材： $< 1.5\text{m} \times 1\text{m} \times 0.03\text{m}$ ，2片吸盤

首先將規劃出適用於如上三種搬運輔具之機械結構及運動狀態，包含使用之零組件如可調整跨距及寬度之結構樑、旋轉臂、轉軸等主結構之設計圖形，並融入氣壓零組件、管路、感測裝置等規劃其安裝方式並形成3D總組立圖形進而模擬運動狀態檢查有無零組件干涉等等情況。

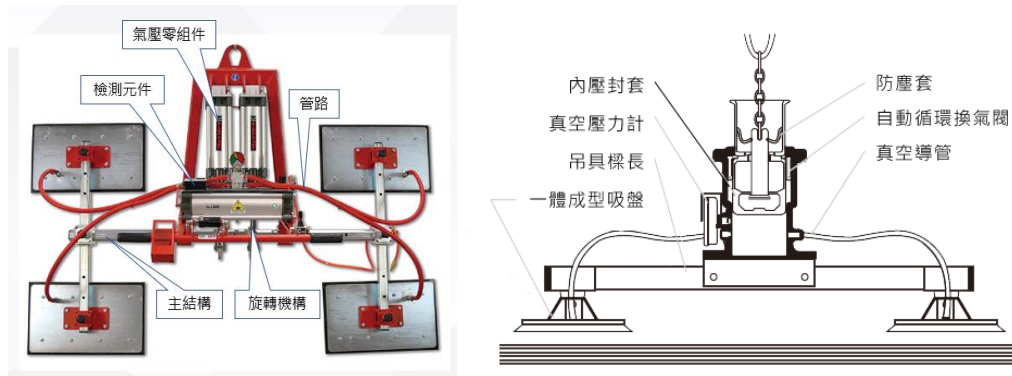


圖 18、左：節力搬運輔具主結構[18] 右：節力搬運輔具內部真空機構[19]。

2. 針對主結構進一步做應力分析(CAE)：

主結構裝上個零組件後，以及吸附石板後所承受的重量是否會導致結構變形或破壞，將以電腦輔助應力分析軟體進行評估後做結構之補強或修改。

如圖 19 為結構應力分析之案例(參考：

<https://www.conceptsinproduction.com/solidworks-simulation-professional/>)

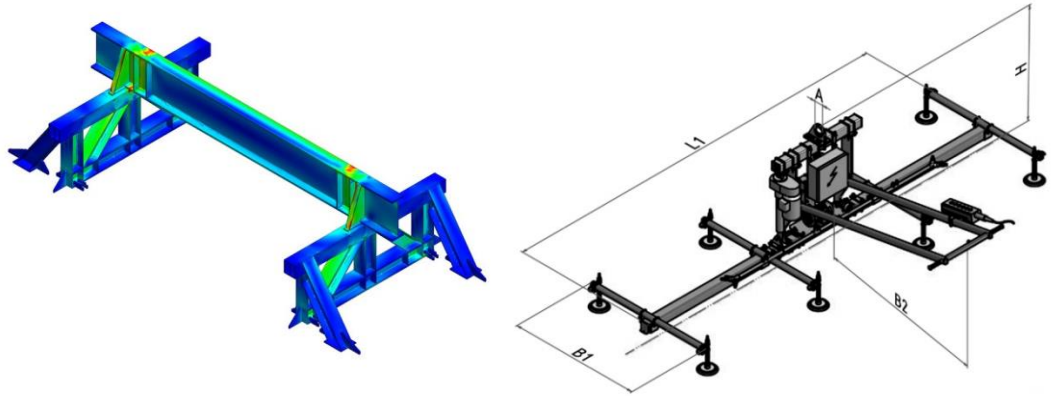


圖 19、左：結構應力分析[20]。右：泛用型真空搬運機 3D 組立圖[21]。

3. 製作與測試：

所有之主架構、框架、零組件、空壓元件、管路等組立完成後，須執行所需測試，如：

- 靜態時及當整個機構在做角度轉動時的真空保持度
- 吸附石板時 0 度及 90 度的吊掛重量能力，如：
 - 橋剪/水刀加工板材 <500kg。
 - 帷幕擴孔製程板材 <200kg。
 - 側面研磨製程板材 <150kg。
- 操作方便性及安全性等，以實際的石板進行吊掛做必要的測試確保石板在吊掛吸附時的安全性。另，機構安全設定的部分也須進一步測試，當石板在吸附時的瞬間，即必須建立足夠之真空度，確保吸力正常，若有破真空的現象，必須以壓力感測器檢知並馬上提出警示，並取消吸附功能防止石板移動到一半脫落。

現今石材業之搬運輔具大部分仍以國外較具有指標性，但因為受到價格過高及售後服務不變的影響，國內的石材業廠商使用的意願不高，進而影響現場工作人員的健康及安全，因此開發一款具有競爭力之石板專用輔具，以高性價比及高安全性為主的的方向進行刻不容緩。

參考文獻

1. Natural Stone Slab Market Analysis, 2019-2027.
2. 前瞻經濟學人：<https://www.qianzhan.com/>
3. 經濟部礦務局：https://amis.mine.gov.tw/know/use/use_1
4. 107 年度全國重大職業災害實例摘要彙編(非營造業)。
5. 國家發展委員會-工作年齡人口變動趨勢。
6. <https://www.ipros.jp/technote/basic-karakuri-kaizen/>
7. [間知ブロック多吊具 | 株式会社ヤマカツ \(yamakatsu1021.jp\)](http://yamakatsu1021.jp/)
8. <http://www.endo-kogyo.co.jp/>
9. 宏泰精密工業：<https://www.vacuumpump.com.tw/>
10. 德尼重工：<http://hksqz.com/>
11. <https://sennebogen-na.com/>
12. 上海漢爾得自動化設備有限公司：<http://www.herolift7850.com/>
13. <https://justeasytools.com/>
14. <https://www.denios.co.uk/>
15. 日經 XTECH：<https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/mag/nmc/18/00015/00014/>
16. 元勤企業：<https://www.yuenchin.com/front/content/technology/39>
17. 元勤企業：<https://www.yuenchin.com/front/content/technology/40>
18. www.braxton-bragg.com/
19. 嘉論興業有限公司：<http://www.chialern.com/tw/product-13>
20. <https://www.conceptsinproduction.com/>
21. 源傑企業：<https://www.hoist.com.tw/>