



# 全球最大陸上模組化統包工程

中鼎工程股份有限公司專案經理 / 莊知軒  
中鼎工程股份有限公司專案控制工程師 / 范道中

關鍵字：模組化、專案管理、美國、模組預製

## 摘要

隨著全球經濟與各項產業急速成長，工地現場勞動力缺乏與過高的人力成本成為世界各國在積極開發的瓶頸之一，再加上近年來永續環境與環保意識抬頭，建造技術與工法勢必不斷地改良與精進，以符合全球產業的發展趨勢與經濟效益。模組化（Modularization）建造模式的出現無疑是一大福音，其不同於傳統建造（Stick Built）的概念，賦予了許多大型工程案與其業主在專案執行上一個不同的選擇。本文以美國新建石化廠案於中國預製的大型模組工程實務專案經驗為主體，輔以模組化建造作業的特性，從專案組織、時程規劃、採購與材料管理、預製工廠與工地現場建造等多面向進行探討，探討內容除了細探模組化的優勢外，並深入分析應用模組化作業時實際專案執行的策略方針，從理論與實務兩個角度統整模組化的優勢。

## 一、前言

將大型工程項目進行模組化操作是近年來的熱門技術，並在海洋和陸地油氣開發中得到廣泛應用。透過模組化概念，依據廠區產能特性或需求可將專案切割成較小子單元，並於不同地區模組預製工廠（Module Yard）進行預組裝作業，專案可於多工地同時進行不同作業，如此一來也使專案管理的角色與任務比起過往傳統建造中更為關鍵，如各地執行中心如設計辦公室、採購廠商、預製工廠以及工地位置間橫向溝通，且決策的建制與發佈亦需精確果斷，即時反應予位在跨時區的執行中心，專案方能順利運作以達到最佳執行效率。

以下將以美國新建石化廠於中國預製的大型模組工程案實務為例，介紹目前全球最大的陸上模組化石化廠工程在實際應用模組化執行過程中，實踐模組化的特性與最大化

其工程優勢，以專案角度督導協調美國工地現場、中國與墨西哥預製工廠以及以臺北為中心的各東南亞設計採購中心，詳述協調規劃要點與本工程案學習經驗。

## 二、模組化的優勢

模組化最大的特色，即將廠區於專案規劃之初，依其製程特性劃分為數個獨立預製單元（Pre-assembly Units），除基本現場地下物設施如基樁、基礎或地下管線等無法模組化之工作外，其餘項目如鋼結構、管線、設備、控制與電力系統等均可納入製程模組（Process Modules）或管架（Pipe Racks）規劃範疇，而預製模組多選在海外獨立預製工廠進行，此舉可在避免與現場工作影響的情況下，同步進行模組單元預製、組裝與系統測試等作業，強調專案規劃彈性與執行效率、提升工安與品質，進而優化廠區空間配置以及降低工地現場人力需求；綜觀以上，

模組化所帶來效益舉述如下：

### （一）提升專案規劃彈性

模組預製所需時間視其規模而定，小規模如百噸預製工作量數個月即完成，上萬噸預製規模則長達數十個月；由此可見在大型模組案中，預製工廠作業期間幾佔整體專案半數以上時間，這段期間所帶來的優勢在於，賦予設計團隊足夠時間完成工地現場細部設計協調與後續調整彈性，採購團隊將材料根據功能與定位（如預製工廠或工地現場），規劃有效反映需求急迫程度的催貨或出貨安排，而建造團隊亦可在無干擾條件下（如重機具行經路線或是大型設備預組裝空間等），進行完整工地建造計畫和施作。

多重任務同步進行與寬裕調整彈性，均使專案在時程或材料等的控管上握有一個有利於縮短建造期間的潛在條件（如圖1）。

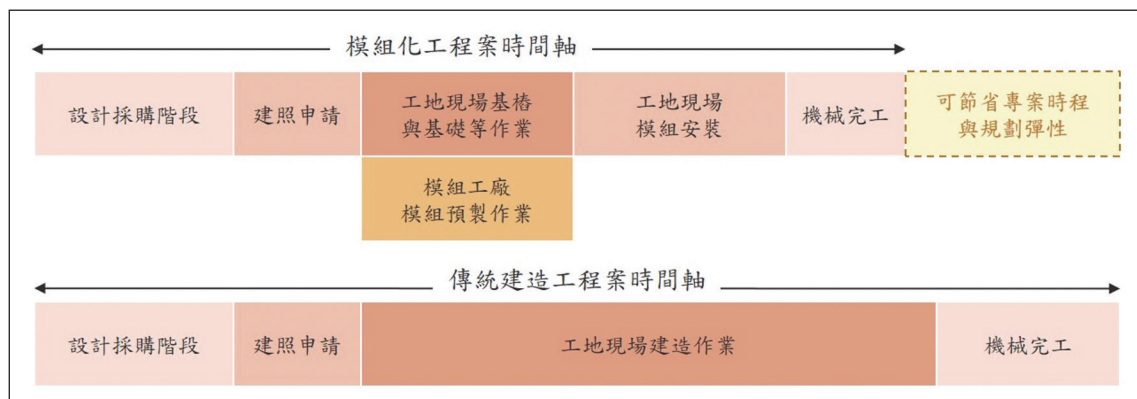


圖 1 模組化工程案與傳統工程案時程比較圖



## （二）強化工安管理與作業品質

在獨立模組預製工廠所進行的模組預製與組裝，建造人員可在安全、穩定且熟悉作業環境工作，且由於模組每層的鋼構組裝是採堆疊性質，因此在組裝過程中可減少高空作業時間並降低其風險，亦可降低與工地現場機具的碰撞或地下物設施的限制與不便；在能夠保全工地安全環境下，預製工廠作業品質自可大幅提升，這對於逐漸重視工安的建造工程或業主來說，這亦無疑是一大助益。

## （三）優化廠區空間配置

模組化設計旨在將工地現場產能特性之製程設備管線等做一系統式的集中整合，並以模組型式移出予預製工廠進行作業，移出的項目愈多，代表工程模組化程度愈高，其餘無法模組化的工地現場工作與配置也隨之愈簡化，再加上合理的模組規劃可提升預製單元上設備與管線等空間使用效率，進而縮減所需預製單元之數量及工地現場模組占地；對業主而言，因模組化與優化配置而空出的額外廠區空間，有利於其進行提高產能之進階配置，或是未來有擴廠需求時可使用之規劃空間。

## （四）降低工地現場人力需求

工地現場人力資源短缺一直是近年來建

造工程所面對瓶頸之一，而隨著模組化將大部分製程相關設備與系統移至預製工廠執行，工地現場工作量降低，較為單純的作業項目得容許現場在以較低建造人力編組與機具資源需求下，在相對寬敞作業空間與安全建造環境中進行施工，對於其建造作業工序與人力資源調配有較大調整彈性。

## （五）提升環境適應性

由於模組設計與預製組裝均在工地外進行，其所受當地氣候或地形等各類不利施工因素影響較小，模組預製作業期間可依據當地施工限制優先進行設計調整，如模組尺寸與重量設計、結構補強與固定、模組上設備或管線系統配置修改、特殊防蝕防鏽或保溫等處理，模組化的高度環境適應性亦將提升業主實際於各類工程案中採用的信心與意願。下圖2即為本案位於青島模組預製工廠廠區。

## 三、美國在中國的大型模組工程案

### （一）專案簡介

本案美國業主係由世界知名兩家石油公司所組成之合資公司，鑒於美國擁有低成本頁岩氣豐沛資源，計畫在美國德州（Texas）建立一目前全球最大的陸上模組化石化工廠，在完工正式投產後預計每年可供應上百萬噸乙二醇，並為當地創造上千個工作機



圖2 青島預製工廠



圖3 願景輪 (Vision Wheel)

會，而本案石化廠即是其中一項重要單元。本章節將以此實務工程案為例，闡述大型模組工程案在執行過程中，來自不同國家及文

化背景的專案成員，如何導入各自專業知識背景與專案執行經驗，以願景輪 (Vision Wheel) 各項指標為專案的核心精神 (如圖





3)，並在業主專案團隊的強力領導之下，與合作夥伴、模組預製工廠、下包商及材料供應商緊密融合成單一團隊，攜手合作完成具挑戰性大型模組專案。

跨國工程案已然成為趨勢，一個成功的工程案仰賴世界各國在不同專業領域知識與技術，專案成員間經驗交流與圖料等資訊的傳遞決定了工程案成功與否關鍵之一。專案資訊交換系統（POW, Project on Web）的建置為專案甫成立時重要第一步，透過雲端平台建立完整資料庫存取機制與防火牆維護資

安，位在臺北、美國、中國、墨西哥及各地辦公室的專案成員，可即時分享專案資訊、進行視訊會議、尋求其他成員或業主協助、審核廠商圖面、傳遞圖料資訊予模組預製工廠或工地建造包商等（如圖4），業主亦可透過透明化資訊管道掌握專案執行狀態與進行設計採購等文件審閱，並適時給予反饋意見以利專案推行。

在享受資訊交換便利性的同時，資訊安全與智慧財產權保密也成為了專案在傳遞資訊的重要責任之一。所有成員在參與專案之

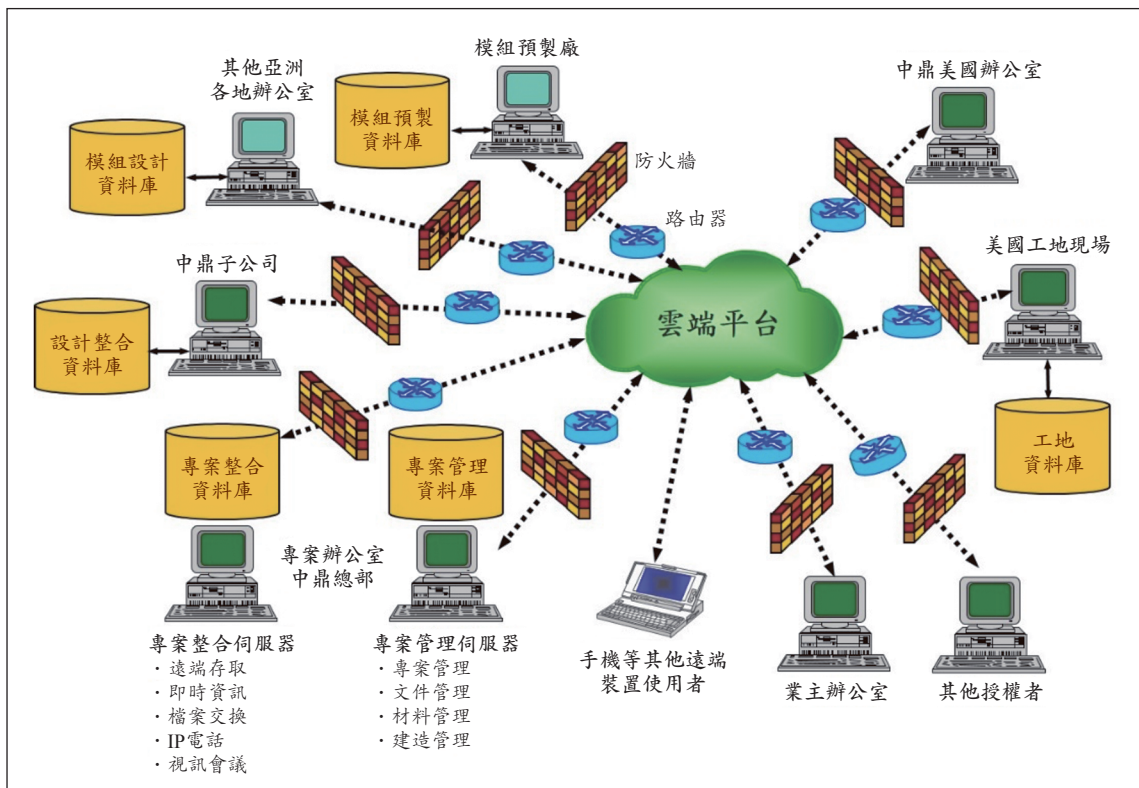


圖 4 雲端資料存取平台示意圖



初皆須簽署保密協定（NDA, Non-Disclosure Agreement），旨在保護專案機密商業資訊避免外流，為一具有實質法律效力與約束力之文件，此協定規定專案成員無論以任何形式如紙本、電子或口頭進行資訊傳遞時，須注意資訊機敏性（Confidentiality and Sensitivity）與必要接收者；因故暫離或下班時將桌面文件收妥至上鎖抽屜或文件櫃中，並將電腦螢幕闔上或關機；專案辦公室嚴格執行門禁政策，成員須配戴有效識別證，並以識別證刷卡進出辦公室，如有訪客（如廠商或其他第三方單位）來訪須先申請臨時訪客證、確實登記來訪目的與記錄來訪時間，並在有專案成員陪同下方能進出。

## （二）專案管理與組織

不同於傳統工程案只有單一工地，本工程案例以模組化應用，將主要工作從美國境內依模組預製工廠之產能特性將製程模組移出，分別交由中國青島與墨西哥坦皮科（Tampico）兩處模組廠預製，其餘美國工地現場僅進行基樁、基礎、及地下管無法模組化之部份工作，並且考慮設計及採購將會著重在亞洲，因而將設計暨採購中心設置在臺北，作為橫向協調及依工程需求及進度提供圖說及材料催貨的樞紐。專案督導轄下由各專案經理負責地區工作並互相協調溝通之外，安衛環、品質、合約及專案控制等團隊則直接對專案督導報告並提供策略及協助。如圖5，各地區專案經理皆有獨立之專案團

隊分別負責模組預製及工地現場建造工作，而臺北專案團隊則需克服跨越14小時時差與六個不同地區（臺灣、美國、中國、馬來西亞、印度、墨西哥）的專案團隊作為橫向溝通之橋梁來協調圖料需求資源調配（如圖6）。

## （三）模組案預製時程規劃特性

模組預製與建造圖料需求日（RAS, Required At Site）為專案管理及時程控制的精髓與靈魂，各項圖說及材料的發行日及到料日（ETA, Estimated Time of Arrival）都是為了能夠滿足預製及建造時序所訂定。

尤其模組預製工作特性，鋼構層吊裝（Pancake and Deck Stack Up）通常為要徑作業項目，每一設備都會因為尺寸或重量限制，需要配合上一鋼構層往上堆疊前預先吊裝完成，若有在特殊位置或大重量的設備則無法在上一鋼構層堆疊後由側邊安裝，因此所有後續工項皆需延後導致工期受到影響，所以在時程安排上需針對各類設備重量、尺寸及位置做全面性的評估及查核以確定各材料的優先順序。

如下圖7模組預製與造圖料需求日所示，由模組預製或建造導向所設定的圖料需求日，需與實際設計部門及材料設備供應商所以提交的日期在規劃上達成一致，過程中需經過各團隊無數次的討論最終達成平衡。

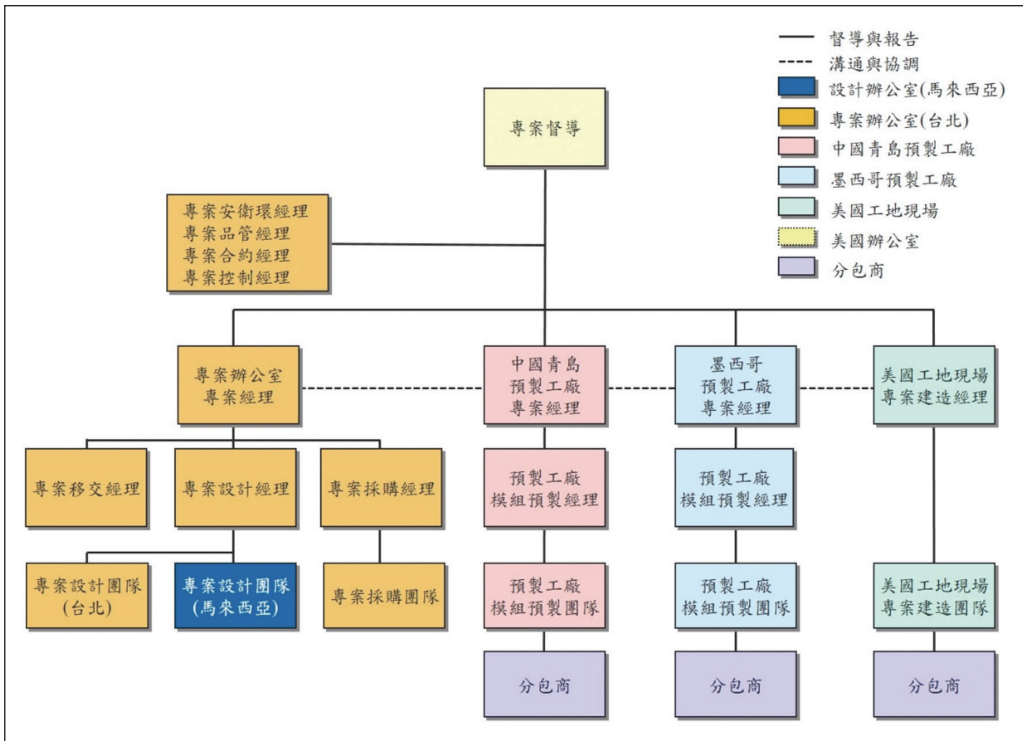


圖 5 模組案專案組織

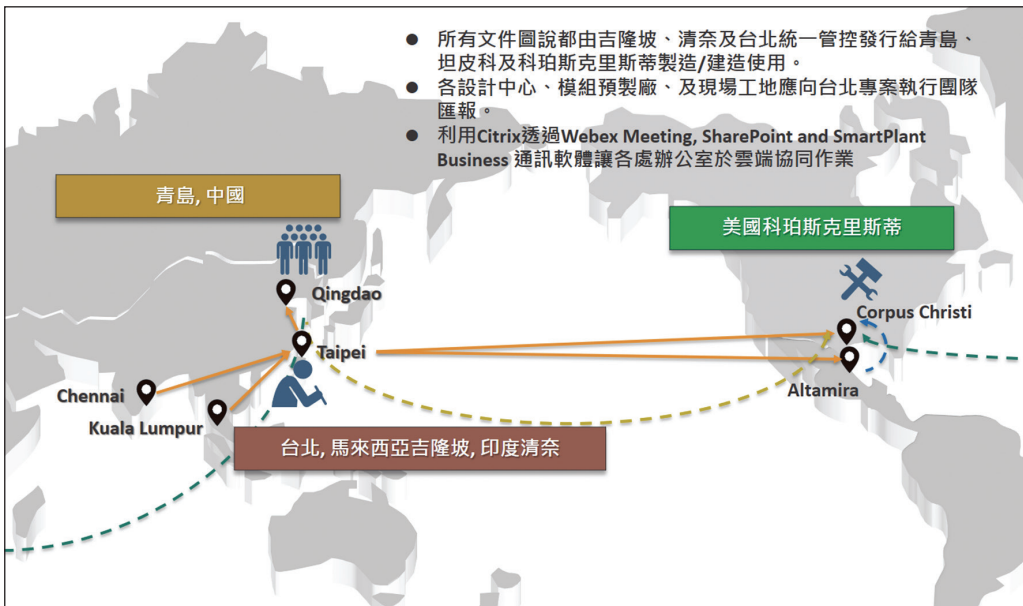


圖 6 各地區協調溝通示意圖

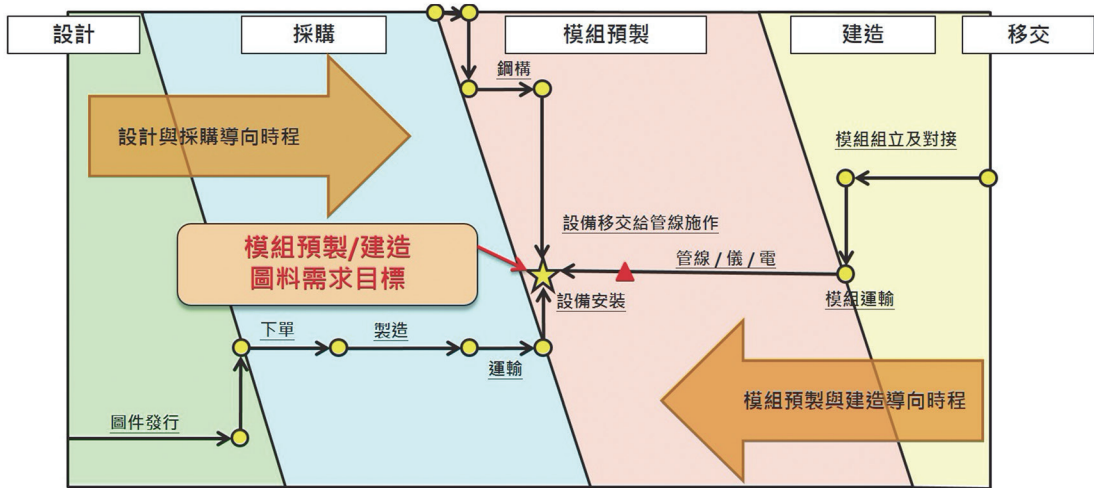


圖 7 模組預製與建造圖料需求日

預製與建造需求日規劃及管控要點如下：

- 確認設備、材料及設計圖說的交期並設定成時程基準線。
- 透過時程管理，嚴格控管各項交期以確保與預製及建造需求沒有衝突。
- 若預估到料日或預估出圖日晚於預製及建造需求日，則需按預製及建造優先順序及與要徑作業之相關程度重新評估調整，新調整的需求日應由專案管理團隊同意。
- 相關時程需回報及更新至三階專案時程以進行後續控制管理。

在模組預製的時程規劃上，第一階時程到第三階時程在不同階段工作的作業規劃上並無與傳統工法有明顯不同。但在第四階工作包規劃時，因上述所提模組預製為鋼構層

吊裝為要徑作業項目，分別在採購及模組預製的控制點則需要控制到單顆設備及鋼構各層，表1為各階時程彙整表，圖8為模組預製第四階工作包需依各顆設備所在位置區分與控制到各鋼構層。

#### (四) 模組案的採購策略

考量模組案會有多地預製工廠與工地現場同時施作的情況，材料管理 (Material Management) 比傳統建造繁瑣許多，採購項目來源的供應商與其國家的選擇以及海陸空等物流 (Logistics) 的安排均對預製工廠與工地現場之工作面 (Work fronts) 有著至關重要影響。

本案採購策略主要有兩個重點：其一





表 1 各階時程彙整表

規劃階層	設計 (Engineering)	採購 (Procurement)	模組預製 (Fabrication)	建造 (Construction)
第一階 (Level I)	里程碑			
	• 3D 設計模型審查	• 長交期設備 • 重要設備	• 鋼構預製開始 (First Cut) • 模組運送離港 (Sail Away)	• 建照 • 機械完工日 (Mechanical Completion)
第二階 (Level II)	主時程：工種			
	• 主要鋼構施工圖 • 次要鋼構施工圖 • 管線施工圖	• 靜態設備 • 轉動設備 • 套裝設備 • 儀電設備 • 儀電雜項	• 鋼構預製安裝 • 管線預製安裝 • 儀電預製安裝	• 基礎建造 • 管線預製及安裝 • 模組組立及安裝
第三階 (Level III)	三階工作時程：模組及工地區劃			
	• 工種、模組、工地區劃	• 請購單	• 工種、模組	• 工種、工地區劃
第四階 (Level IV)	工作包			
	圖件清單	各單顆設備	鋼構層	建造工作包

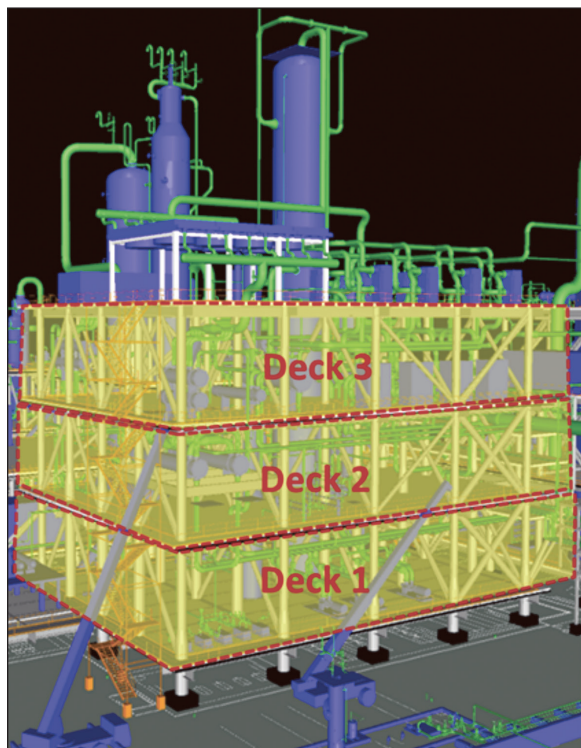


圖 8 第四階工作包：模組各鋼構層



為採用廠商預投標 (Pre-Bid) 策略；本案於前端設計 (FEED) 階段時已擬定明確採購策略，尤針對定義為重要設備 (Critical Equipment) 項目，在專案成立之初即已與多家廠商接觸詢價邀標，透過多次的標前會議，闡明本案在採購項目規格上和時間上的需求，並獲取各國供應商產品規格、數量、交期等資訊，達成合作共識，以加速採購流程如廠商技術文件或合約條文的審核等前期繁瑣作業；此策略讓本案於首三個月即達成數十筆設備下單的目標 (多為壓縮機或泵浦類設備)，順利提升廠商技術文件提送與審閱效率，並利於推行後續設計與工作之執行。

策略其二為採用大量亞洲區供應商；考量大量模組預製工作會以位在中國模組預製工廠執行為主軸，供應商來源與各類物料調配以中國為中心展開為較佳之作法，是故本案採購選商除了以原業主提供合格廠商清單 (AVL, Approved Vendor List) 為主體外，也積極地在廣大亞洲商業市場中找尋具有品

質與價格競爭優勢供應鏈資源 (如表2)，大量採用中國當地或鄰近亞洲國家供應商如臺灣、日本、馬來西亞、印度、泰國與韓國等，可縮短貨物運送的時間，利於預製與建造圖料需求優先順序之規劃；而預製過程中若因材料污損或圖面設計變更而產生物料短缺的臨時狀況，亦可透過鄰近供應商調貨迅速補足因缺料而可能造成工期延宕之影響。

### (五) 模組案的預製要點

模組工程案為講求效率，其預製與設計會同步進行，預製工廠首要的工作鋼構預製最早可於主結構設計完成後，即可進行施工圖 (Shop Drawing) 的製作與開始鋼結構預製 (First Cut)，因此重量管理 (Weight Management) 為專案重要任務之一。重量控制報告 (Weight Control Report) 紀錄設計初期至預製完成期間模組重量、尺寸與重心變化資料，供後續海陸運輸安排與現場建造施工依據。重量管理始於設計資料提供，將設計參數輸入至建模軟體，針對鋼結構和管線等

表 2 主要採購項目與來源國家

供應國家	供應採購重點項目
臺灣	碳鋼 / 不鏽鋼板、碳鋼 / 不鏽鋼管、塔槽、各類儀器、電纜、電器設備
日本	壓縮機、熱交換設備
中國	各類管線、接頭、法蘭、壓力槽、電纜、電器設備
馬來西亞	塔槽、電纜、電器設備
印度	泵浦、噪音防治設備
泰國	塔槽、電器設備
韓國	反應器、各類管線、接頭、法蘭、壓力槽、熱交換設備



工項資訊進行建模，隨著專案進行產生之修改可隨時更新，並透過該軟體自動計算更新數據及產出新的重量報告，模組廠便可依此進行預製與工序調整。

為應付龐大預製工作，預製工廠的選擇有許多評估依據。模組預製工廠條件除了要有足夠預製與安裝工作空間外，亦須注重其地理位置、過往工程實績、預製工廠產能、人力資源調配、及其他各類室內與室外附屬設施如噴砂油漆廠（Blasting and Painting）、儲存倉庫（Warehousing and Storage）和泊船碼頭（Quay）等條件；設廠位置反應在與各國供應商協調材料資源調配與各類運輸等之規劃彈性，同時判斷該地區天候是否穩定且較無不穩定因素如颱風、沙塵暴、地震等影響，而該廠人力和設施均與預製工廠之產能與產製穩定度有著直接關係。

除此之外，本案的預製工廠分別位於青島及墨西哥的自由貿易區（Free Trade Zone）或免稅區（Tax-free Zone），如此進出口之材料設備皆不須被課進出口關稅，亦是選定預製工廠的考量之一。

## （六）建造現場的作業安排

模組化作業其一亮點在於最小化現場作業與人力配置需求，並降低因重件設備或吊車行經路線對地下作業施工產生之影

響。本案的建造重點項目為非模組工項如基樁、基礎和地下管線、儲存槽、廢氣燃燒塔、變電站、模組陸運路線特殊鋪面（Enviro-Mat）、以及模組送抵現場後續安裝（Erection）、回裝（Reinstatement）與模組對接（Hook-up）。

本案與美國當地知名建造包商合作，其在當地擁有數十年建造經驗與豐富工程實績，重視工地安全並致力宣傳與實踐無工安事件（No Hurts）理念，並不定期於鄰近學校舉辦各種訓練課程以培養與招攬各領域專業人才。建造包商在設計初期階段積極的參與，使其即便在建造工作尚未開始時，於設計採購乃至模組預製階段確實掌握專案發展走向，進而針對建造可行性（Constructability）計劃做出適時反應與調整，反之亦可據建造需求與限制即早反饋予專案，將介面影響降至最低。

本案業主對於人員安全意識與工地安全宣導亦秉持著高度重視，專案領導階層成員與業主均於專案期間赴美接受領導人才受訓（Leadership Training），所有參與工地現場作業人員，包括業主、各建造包商、專案設計採購管理成員，須進行一系列理論與實務並行的紮實工安訓練講習（Safety Orientation），講習內容除了針對一般工安意識與習慣養成宣導外，更包含分組情境討論、工地現場危險物與不當行為辨識、以及實體施工機具操作，可見業主對此之重視程度。



此外，隨著近年來環境保護與社區深耕意識的提升，本案業主在這部分亦不遺餘力推廣，投入相當心血營造社區友善形象，如社區公益活動與永續環境宣導等，舉凡當地高速公路大型看板與棒球場內設施均可見本案標誌與標語，其努力可見一斑。

#### 四、總結

模組化工程技術的應用無論是在建造環

境安全的提升、工程品質的維護、各項人力與材料成本的節省、設計採購的規劃與專案管理等層面，均比起傳統建造有過而無不及之優勢。此次以美國新建石化廠於中國預製的大型模組案為實際案例討論，從策略規劃、專案組織、模組預製到美國現場建造工作相較於傳統工程不同之處整理。綜合各項要點包括設計安全應用、減少現場工時、節省成本、及確保時程等四個面向的各種優勢整合於表3作為日後類似工程之參考。

表 3 模組化工程案例優勢整合表

#	項目	效益			
		設計安全應用	減少現場工時	節省成本	確保時程
1	大量採用中國及周邊新興國家材料及設備供應商		X	X	X
2	全面展開各模組同時進行平行預製工作		X	X	X
3	於地面預組立塔槽內構件再進行吊裝		X	X	X
4	引進具模組預製經驗之工人			X	X
5	在模組預製工廠最大化製程系統預試車		X		X
6	單一垂直整合模組預製承包商				X
7	最大化各工項預製 / 預組立	X	X	X	X
8	集中重件吊裝優化吊車時程 (e.g. 3,200 噸吊車)			X	X
9	利用設計及工序調整減少施工架使用	X	X	X	X