

含製程技術訣竅設施的 EPC 專案的運作和管理

核能科技協進會 首席顧問/陳勝朗

關鍵字: EPC 專案 專案的運作和管理 技術訣竅

一. 前言

EPC (Engineering Procurement Construction) 是國際工程承包慣用模式。是指“承包單位按照與建設單位(業主)簽訂的合同,對預定設置工廠設施進行工程細部設計、設備採購、施工及安裝,以及運轉調試等階段的總承包”。可知,工程總承包專案覆蓋了工程專案計畫實施的全過程,專案的內容多,範圍廣,週期長,涉及的風險點多,有些風險可能影響專案計畫的成敗。其中,對於較大且含有製程技術訣竅設施的專案計畫,建設單位通常是採用設計—採購—施工總承包(可含勘察和運轉調試)或者設計—施工總承包(可含勘察)模式,按照風險合理分擔原則與承包單位簽訂工程總承包合同,總承包單位對承包事項按照工程合同的約定,承擔工程範圍內的工程勘察(可含)及設計;工程設備材料採購;施工階段的品質、工程進度、施工現場安全文化、勞務用工管理、發包市場行為等負總責。通常,總承包者承擔專案品質終身責任⁽¹⁾。即 EPC 是工程總承包模式的一種,是指承包方受業主委託,按照合同約定對工程總承包專案的可行性研究、勘察、設計、採購、施工、試運行(竣工驗收)等實行全過程或若干階段的承包。並對其所承包工程的品質、安全、工期、造價等全面負責⁽²⁾。

承包單位將負責開展專案計畫從接收製程技術訣竅所有者的基本設計圖件資料,進行工程設計到竣工與設施運轉調試的所有活動。專案計畫完成後,將移交給最終用戶業主。最終用戶(業主)或所有者只有在專案計畫完成後才會接受該專案計畫。

工程總承包模式目前分類有多種:如 EPC 模式(設計-採購-施工-運轉前預調試總承包)、DBO 模式(設計-施工-運轉總承包)、DBFO 模式(設計-施工-融資-運轉總承包)、EP 模式(設計-採購總承包)、EPCM(設計-採購-施工-專案管理總承包)及 PC 模式(採購-施工總承包)等,但都簡稱工程 EPC 總承包⁽³⁾。

含製程技術訣竅設施的 EPC 專案計畫在展開作業的前置依據,承包單位是需協助業主先將技術訣竅所有者所有圖件資料引進再予以工程化,進而才可執行建廠或設施工程細部設計作業及購置工業裝備與進行施工和安裝。基此,承包單位即須訴之妥適的基本設計作業,以顯現技術訣竅內容的完整性、可用性。

二. 含成熟製程技術訣竅的基本設計

筆者願提供參與早年服務單位—核能研究所的磷酸提鈾技術的開發建廠計畫,歷經實驗室、設備單元放大試驗、先導場測試等過程獲得的成熟技術訣竅⁽⁴⁾,之後,核能研究所於 1980 年在中磷公司利用其磷酸廠建設生產廠。而本案該所的角色既是業主同時也是技術訣竅所有者;至於 EPC 專案是委由中鼎工程公司承辦的,據告知本案是該公司極力爭取的第一個此類型案例。該專案的運作以及各方的相互配合十分順利達到目標,因此,本報告內容也納入說明,提供興趣者參考。

通常,經由技術轉移引進或自我研發的成熟製程設施的基本設計⁽⁵⁾內容綱要資料示如下表:

表一. 製程設施的基本設計內容綱要

<ol style="list-style-type: none">1. 設廠設計說明書(OPDD)<ul style="list-style-type: none">• 簡述設廠之目標、設計考量、法規標準依據、製程系統、廠房需求2. 製程(系統)流程圖(PFD)<ul style="list-style-type: none">• 流程圖內須標示主流程流向、主要設備名稱及控制路徑。• 流程圖內須標示主流程流量及成份變化、主要設備負載溫度及壓力變化等參數數據。3. 公用(輔助)系統圖<ul style="list-style-type: none">• 各系統圖。• 各系統需求量估算報告。4. 外釋物估算報告<ul style="list-style-type: none">• 各類外釋物放流前之成份資料。• 氣、液、固體類外釋物數量估算報告。5. 程式說明書(Process Description)<ul style="list-style-type: none">• 包含起動、正常運轉及停止運轉的操作說明書。• 各製程單元系統在各種運轉模式時意外事故處理程式說明書(最好包含在操作說明書內)。• 安全設備規範書6. 管線儀控圖(PID)<ul style="list-style-type: none">• 圖內須標示設備、流程、管線、桶槽規格尺寸、儀控及控制迴路7. 初步設備配置圖(Plot Plan)<ul style="list-style-type: none">• 含上視及側視的廠區設備位置圖。8. 製程單元設備規格(含材料)表單<ul style="list-style-type: none">• 反應槽內部配件示意圖及反應槽規格如尺寸、材料、設計條件、連接情形等設計規格。• 熱交換器的設計負載能量,型式、管/殼分別流體條件等設計規格。• 泵及送排風機的設計負載能量輸送流體性質及動力方式。• 製程相關特殊系統或設備,如點火器、進料或卸料、通風系統等之規格。9. 儀控規格表單<ul style="list-style-type: none">• 壓力、溫度、流量、液位、控制閥等儀控需求規格表單• 控制盤面初步配置圖。• 儀控邏輯圖。• 控制輸入/輸出點表單。10. 電力<ul style="list-style-type: none">• 電力單線圖。• 電力設備規格。11. 管線<ul style="list-style-type: none">• 管線等級及規格(含材料)表單。• 安全閥、逆止閥等各式閥類規格。12. 各系統(含製程)設計說明書<ul style="list-style-type: none">• 說明系統功能要求,設計依據準則及設計結果。13. 廠區或廠房設計特殊要求規格 如:Hazardous Area、無塵室 Class 100、Class 1000 /耐輻射。

三. EPC 的各主要作業階段規劃和運作要素^(1,7)

1. 各主要作業階段規劃

當合同交給履行 EPC 承包商的公司時, EPC 專案計畫需先進行可行性研究。這也稱為成本和預算分析, 用於根據計劃的成本和預算了解業主的需求。此類可行性分析必須記錄在案並與最終用戶或所有者討論。接著進行前端工程與設計的分析與開發, 這將是執行 EPC 合同的前置主要步驟之一。將執行此步驟中使用製程技術訣竅的設計和資源依據, 如流程圖和其他細節。EPC 專案計畫各主要階段作業實施前的主要規劃事項為:

- 工程設計計劃: 設計方法/設計規範和標準/安全設計標準

- 採購計劃：採購策略/催交和檢驗/分包/海運、保險、清關
- 施工規劃：可施工性審查/分包管理策略/現場組織/安全政策
- 運轉前預調試規畫：機械設備/管道系列/儀控系統/電力系統

EPC 實施完成上述所有工作後，將進行 EPC 實施。專案將包括公司執行專案計畫的所有要求。採購將包括實施專案計畫所需的原材料。這裡的其他問題包括資本貨物和其他形式的原材料的需求和供應。施工將是實施該專案計畫的主要階段。調試 EPC 這是 EPC 中的關鍵步驟。如果沒有這一步，EPC 的整個過程就不會由公司進行。調試需包括執行 EPC 合同工作的勞動力要求。

2. 各主要作業階段的運作

2.1 EPC 模式中“設計”作用

國際上工程管理模式是按“FIDIC 協定”，總包商對建設工程的“設計、採購、施工”整個過程負總責。經國外資料統計：從 EPC 專案要素鏈來看，設計階段對專案投資的影響起決定性作用，工程造價的絕大部分在設計階段就已經確定，施工階段對專案投資的影響僅占 5% 左右。

設計是把業主的需求轉化成系統性的基於技術的解決方案。對於專案計畫，設計人員首先考慮的是專案計畫的工藝和技術訣竅，對建築細部設計、設備選型往往不考慮其經濟實用性。在 EPC 專案中，設計作為專案龍頭，從一開始就對專案的造價和成本進行了基本的定義，設計所花成本比例一般不超過建設投資費用的 2%~5%，但對投資成果的影響卻達 70% 以上。

在 EPC 模式中，E(Engineering)是在既有製程技術訣竅資料(基本設計)的細部設計(Design)工作基礎上，包括整個專案合同範圍內的總體策劃工作以及對整個專案實施組織管理的策劃和具體實施工作，它伴隨著專案計畫整個建設過程，是工程實施(工程過程與專案管理過程)的先導。因此，通常所說的“設計的主導作用”，只有在 EPC 中才能實現。

EPC 模式下，以設計為主導，是國際工程建設領域一種慣用做法，世界頂端設計顧問公司多是 EPC 型工程總承包企業。

2.2 EPC 模式中“採購”作用

在 EPC 工程專案計畫建設中，一般設備材料成本所占比重很大，對於許多工程專案計畫來說，設備材料採購費用占到 EPC 總承包合同金額的 50%~70%。EPC 模式中採購(P)納入設計過程，資訊準確，設計變更相應減少。

採購工作中，設計參與制定建議邀請書(RFP)、工作說明書(SOW)、條款及其他招標檔，應負責提供採辦清單檔，內容一般包括：圖紙、材料設備的規格和資料、適用標準和規範、其他等，在採購過程中進行技術評審和參與材料設備到場質檢審核，進行符合性分析並滿足相關要求評價。

一般，採購設計案由招標起案、資格標及規格技術標編訂、決標評選及履約、至驗收管理階段的全程運作技術方法。在有關財物定製、專業服務及工程定作等類別採購，如何編訂符合品保要求之請購技術規範書的技能方法。至於請購技術規範書，它是確保購置物料設施或技術服務的主要依據所在，由於請購標之物之類別不一，在個案內容範圍及實質需求性質上會有所不同，其中：有的是屬於硬體實物的需求；有的是屬於軟體服務的需求；或者兩者兼具。因此，技術規範書內容上部份專案計畫會有些差別的，詳細情形(請參考：陳勝朗，採購管理技術實務，科技圖書股份有限公司出版)提出實務範例說明⁽⁸⁾。內容上計有：物料類、工業標準規格品類、設計製造設備類、委託技術服務類、委託專業服務類、兼具工程及技術服務類等類別採購標的物的工作要求。

整個過程，設計工作按設計計畫與採購、施工等進行有序地銜接並處理介面關係。國際上工程 EPC 把建設工程的主要三大要素融彙了起來，重新定義了各要素的作用和功能。

2.3 EPC 模式中“施工”作用

施工及安裝工程是指按照工程建設施工圖紙和施工規範的規定，把各種設備

放置並固定在一定地方，或將工程原材料經過加工、安置並裝配而形成具有功能價值產品的工作過程。

施工及安裝工程所包括的內容很廣泛，涉及多個不同種類的工程專業。在建築行業常見的安裝工程有：電氣設備安裝工程，給排水、採暖、燃氣工程，消防及安全防範設備安裝，通風空調工程，工業管道工程，刷油、防腐蝕及絕熱工程等。這些安裝工程按建設專案的劃分原則，均屬單位元工程，它們具有單獨的施工設計檔，並有獨立的施工條件，是工程造價計算的完整物件。

施工及安裝工程造價是反映擬建工程經濟效果的一種技術成本費用檔。它一般從兩個方面計算工程經濟效果：一方面為“計量”，也就是計算使用和消耗在工程中的人工、材料、機械機具數量等；另一方面為“計價”，也就是用貨幣形式反映工程成本。它是以根據圖紙、定額以及清單規範，計算出工程中所包含的直接費（人工費、材料費、施工機具使用費）、企業管理費、利潤、規費及稅金等為主要目的。

2.4. EPC 模式中“運轉前預調試”作用

運轉前預調試所包括的內容很廣泛，涉及多個不同種類的工程專業。其中包括：1). 儀控系統為儀器迴路、因果關係、Modbus 測試、雜項儀器設備等，2). 機械設備，包括電機運行、泵校準、雜項機械設備等，3). 電氣系統分為電池放電、功率變壓器和其他設備，4). 在管道系統，包括沖洗、洩漏測試和雜項測試。⁽⁹⁾

3 EPC 中核心作業間運作途徑

3.1 確立設計的主導作用

工程總承包一直強調設計的龍頭作用，強調設計採購施工的深度融合，因此設計階段必須是工程總承包不可缺少的重要環節。判斷工程總承包的三個基本特徵是：設計採購施工的深度融合、設計在專案中主導作用、以總承包方為主的單一責任主體。

強調和充分發揮設計工程師的作用和地位，尤其對於含製程系統技術訣竅設施的 EPC 專案引進成熟技術深化方案提報、設計階段就要發揮設計的主導優勢，才能有利於工程專案計畫建設整體方案的效能，有效克服設計、採購、施工相互掣肘與脫節的問題，利於建設程序各階段工作的合理融合，有效地實現建設專案的進度、成本和品質控制符合合同約定，確保獲得令人滿意的投資效益。

區別於傳統的設計（D）專案，EPC 中設計“E”的要求特點如下：

- (1) 設計在專案中的先導作用突出。
- (2) 技術與經濟比選，貫穿整體設計過程，需要有機融合。
- (3) 採購納入設計過程，資訊回饋準確，設計變更減少。
- (4) 施工納入設計過程，定制化施工，可施工性強，施工變更減少。
- (5) 採用 BIM (Building Information Modeling) 條件具備，資訊化指導，專案實施的準確性、效率性提高。安裝與精裝設計利用 BIM 技術+正向設計模式，方案設計階段，建立 BIM 模型，優化總平面圖；施工圖（深化）階段，通過創建全專業 BIM 模型，對複雜節點深化設計，綜合管線設計，精裝、景觀、室外場地、管網深化設計，審核圖紙問題，實現精益圖紙的目標。
- (6) 設計進度安排隨專案整體需要，避免盲目趕工，影響品質。
- (7) 設計工作範圍擴大，深度提高，規模專案有設計駐工地代表，指導施工。

3.2 “設計—施工”的協同聯動

EPC 承包商，設計牽頭的採購與施工協同聯動尤為重要，其 EPC 專案計畫的盈利空間主要集中於“E”，即通過設計優化與統籌管理，實現合理降造，實現設計、採購、施工階段的合力交叉，節約工期。設計優化工作任重而道遠，它將是設計牽頭開展 EPC 專案核心競爭力。

3.3 “設計—採購”的協同聯動

在 EPC 專案中，規範設計、採購之間的介面協同管理，是保障專案順利開展的重中之重。採購階段是專案計畫成本控制的重點實施階段。設計與採購是相輔相成的兩個環節，採購進度的滯後及採購設備的品質也會影響工程成效。

EPC 專案計畫中採購 (P) 與設計 (D) 介面包括以下內容：

- (1) D 與 P 共同確定分包商及供應商。
- (2) D 向 P 提交採購清單。
- (3) P 向 D 提交關鍵設備資料。
- (4) D 與 P 對供應商的分層評審。
- (5) C 過程中，發生設計變更後，D 向 P 提交變更後資料清單。

3.4 “設計—採購—施工”的融合

要素介面管理是 EPC 專案中管理難度較大且較敏感的地方，比較容易出偏差，採購與設計介面的通暢和高效與否直接決定了工程專案計畫建設、工程專案計畫採購是否順利。

設計選型對比、優化設計是控制採購成本的重要途徑，設計執行過程中的方案優化也同樣具有較大的空間，能夠對採購甚至整個專案計畫的成本控制起到“牽一髮而動全身”的效果。

符合預期的優化，使設計既滿足建設單位的使用和功能要求，又符合設計的合理性、經濟性和可靠性要求。

區別於設計方案的經濟性與設計單位沒有直接利益關係傳統模式，EPC 總承包模式因為合同總價是固定的，總承包商必須採用價值工程的方法，優化設計，降低成本，利潤空間才能提高。總承包單位應優化設計，精細組織施工，降低工程成本，從而提高經濟效益。

在建設方案符合招標檔及預期的前提下，設計限額、優化方案、替代材料、新工藝應用等，有限條件下的降低成本，建設過程的三要素環節“設計、採購、施工”動態協同聯動控制。

四. EPC 各主要作業階段的管理

EPC 承包商是需要負責開展專案計畫從初始設計到竣工的所有活動。專案計畫完成後，將移交給最終用戶業主。最終用戶或所有者只有在專案計畫完成後才會接受該專案計畫。

因此，EPC 專案計畫管理被視為由 EPC 承包商處理的整個過程。設計合同，需考慮合同的所有要求。這包括考慮合同形式、所需材料、負責開展活動的施工藍圖所花費的設計作業時間。採購需包括獲得執行專案計畫所需的所有資本貨物和原材料的權限。在採購方面，為獲得原材料而簽訂的合同也將得到執行。施工包括整個專案計畫的實施階段。這主要標準是在進行施工中使用的資源。除此之外，時間方面將是這方面的主要標準。

因此，EPC 專案計畫管理是管理專案計畫從開始階段到完成階段的整個過程。為了有效完成專案計畫，確保適當的 EPC 專案計畫管理分別在技術方面和管理措施方面要求情形說明如下。

1. 技術方面

(1) 建立全方位進度管理體系

全方位的進度管理(網路計畫及關鍵線路)體系是順利開展設計與採購工作的基礎。專案執行過程中，EPC 管理團隊需對進度計畫的執行情況進行密切跟蹤，客觀準確地發現和評價問題，並採取合理有效的進度控制和管理措施。

此外，結合關鍵線路，還應當做好工程設計、設備採購的進度風險管理，採取相應的應對措施，控制和管理好設計和設備採購進度，從而保證專案的順利推進。

(2) 強化設計的成本意識

在設計中既要反對片面強調節約，忽視技術上的合理要求；又要反對重視技

術，輕經濟、設計保守浪費的現象。

要求設計人員在做深、做全的基礎上實現性價比高、注重實用性的“設計產品”。“成本意識”從勘察階段開始，加大EPC專案定測勘探的深度和量，一般專案定測達到60%~70%開始初步設計，EPC專案計畫項對地質定測鑽探量達到80%~90%，雖然前期成本較多，但是能夠對地質有更為精準的瞭解，減少設計變更，更為精確估算專案成本。

(3) 強化設計的過程評審

從企業層面高度重視EPC的設計過程，在初步設計、施工圖反覆運算，不斷提高設計的深度和精細化程度。

組織設計端的內審會，組織內部專家每個階段開展評審會，每個專業的相關負責人均參與該專業的設計圖件評審與優化工作，審查措施到不到位、精細不精細、性價比是否高。

應當進行施工圖審查的，建設單位可以根據專案實施情況，會同總承包單位將施工圖一次性或者分期、分階段送審。工程總承包專案經理應簽字確認。

2. 管理措施

(1) 建立有效協調機構

採購與設計在專案實施過程中既分工又合作，設計、採購部門在協調機構的統一組織下，有效結合、分工協作，各自對工作品質、進度和經濟風險承擔責任，共同完成專案建設任務。

(2) 建立全程聯動機制

各階段設計聯絡會議是協調設計、採購進展的有效途徑，通過組織設計、採購、設備廠家、委託方多方參加的聯絡會議，會上各方針對設計、設備進度進行彙報，並就需要討論確定的介面問題進行當面溝通，為設計工作、採購工作的順利進行提供有力保障。

應率先在規劃、設計、施工等階段全過程應用BIM+技術。

(3) 建立標準化採購流程

EPC專案管理應組成由設計、採購、品質管制等多個部門參與的對擬招標的設備供應商進行資質考察。招標採購部門負責牽頭成立專項招採組進行設備招標，由設計部門須參加的評審組根據採購部門提供的供應商報價檔，對供貨廠商報價的技術部門提出評審意見，並參加由採購部門組織的供應商澄清會議，進行技術澄清。最終衡量技術評標得分和商務評標得分，確定供貨廠家。

(4) 建立規範供應管道

在設備定標後，與廠家簽訂採購合同時就應該確定設備廠家向設計部門的提資時間、提資管道、版次說明等，以確保設計部門用於設計的設備廠家資料是準確的、最終的，避免生產及施工階段出現介面問題。

(5) 培育“設計優化”思維

企業採用合理合規的形式，使“設計優化”從企業的要求與期待、大規模的專家集中評審，衍變為設計人員的日常、個人的主動行為。“設計優化”的理念落地生根且成為一種習慣。構成企業的核心價值能力。

結語

EPC工程總承包從系統學的角度可理解為：把形成預期產品的要素，由一家責任單位統籌和整合，其中設計、採購、施工等要素環節的協同配合至關重要，其中的設計猶如發動機，各環節的協同融合，離不開專案管理團隊的精心組織，一支“懂技術、善管理、精經營”的複合型團隊的高效運營，才能達到專案建設要素耦合的境界。如此，EPC模式的優勢得以充分體現。EPC降本增效，建設單位的投資收益得以充分提高，社會效益得到了充分體現。

參考資料

1. 蔣維鄆, 李奇偉, 周攸, 國際工程EPC項目要素管理研究, 《建築建築技術雜誌社》2022-02-08

2. 楊瀟, EPC 工程總包專案—該怎麼做? 該如何管? 《建築技術雜誌社》2022-12-23
3. 鄧尤東 《工程總承包=EPC?》鄧尤東工作室, 2023-01-15
4. 陳勝朗, 郭載書, 核能研究所磷酸提鈾技術的建立: 實驗室-先導工廠-生產工場, 《工程》, 第五十八卷第一期, 1985-1
5. 鄧尤東 鄧尤東工作室, 2022-04-25
6. 陳勝朗, 《建廠工程基本設計方法概論》, 科技圖書股份有限公司出版 2000-7
7. Enterslice, EPC Project Management- An Overview, <https://enterslice.com/epc-project-management>
8. 陳勝朗, 《採購管理技術實務》, 科技圖書股份有限公司出版, 2012-8
9. Walter de Gruyter GmbH, Engineering procurement and construction: steps and methods. <https://doi.org/10.1515/9783110657357-010> 2020