



# 工程設計邏輯的解構與重構—大型 EPC 專案設計流程自動化之應用

中鼎工程股份有限公司系統開發部專案應用組主管 / 張育政

關鍵字：EPC 統包工程、設計自動化、任務解構、隱性知識顯性化、AI 輔助設計

## 摘要

大型 EPC 統包工程的設計階段雖佔專案總成本比重有限，卻對後續的整體績效具有決定性影響。傳統設計作業高度依賴工程師的判斷，導致設計邏輯難以外部化、知識傳承效率低落，並在跨專業介面處形成資訊孤島與重工風險。面對 AI 技術的快速演進，如何系統性地將設計邏輯轉化為 AI 可操作的顯性結構，成為 EPC 產業數位轉型的核心課題。

本文提出「流程解構 → 任務分類 → AI 重構」的三階段方法論框架。現今的 AI 技術，不作用於工程師的整體工作，而作用於具有明確前提條件、假設條件、轉換規則與輸出規格的個別任務。據此，EPC 設計任務可分

為規則型（計算自動化）、狀態型（資料驅動協同）及判斷型（AI 輔助決策）三類，對應不同的自動化策略。本文以管線應力分析作業為案例，完整呈現從痛點識別、流程解構到自動化開發提案的執行歷程，並說明設計資訊平台作為上述自動化措施共同基礎設施的關鍵角色。

## 一、前言

大型 EPC 統包工程的設計階段，是整個專案最關鍵的價值創造時期。設計相較於採購與建造，佔專案總成本最低，卻深深影響後續採購、建造乃至試車的作業流程。一個設計決策的偏差，可能在工地現場引發非常可觀的重工（recycle work）成本。



傳統的設計流程往往高度依賴人工判斷、經驗傳承以及文件導向作業，這容易造成設計知識隱性化、資訊斷裂與資訊孤島。這種碎片化的傳統設計邏輯會導致錯誤不斷向下游傳遞，引發頻繁的設計變更與重工，最終導致設計週期過長與成本超支。透過「設計邏輯解構」，能將龐雜的任務進行分解，識別出關鍵的決策點，並將輸入與輸出的資料結構化，進而萃取出明確的設計規則庫與邏輯。唯有將隱性的專家經驗轉化為標準化、規則化的數據與邏輯，AI 才有辦法進行訓練與輔助設計決策。

然而，AI 技術的切入並非「全面取代設計工程師」，也不是「對整個設計流程套用一套智慧系統」。AI 的影響作用於具體的工作任務，而非整份工作或整條流程，這意味著在導入 AI 之前，必須將設計流程拆解至任務層級，才能找到真正可行的切入點。

本文以大型石化廠 EPC 專案的設計作業為例，依循「流程解構 → 任務分類 → AI 重構」的論述主軸，探討如何系統性地識別設計自動化的應用機會，並以實際案例說明。

## 二、AI 時代的核心命題：為何要做流程拆解

### 1. AI 不懂「隱性邏輯」，只懂「顯性結構」

目前 AI（尤其是大型語言模型 LLM 技術）本質上是基於數學模型與機率運算的工具，它缺乏人類工程師的「直覺」與「工程常識」。在傳統的 EPC 專案設計流

程中，高度依賴工程師的經驗傳承與專業判斷，這些知識往往是「隱性」的（Tacit Knowledge）。工程師在進行設計作業時，腦中會自動考量法規、過往失敗經驗或跨專業的工程常識，但這些考量並不會全部寫在規範裡。如果直接讓 AI 處理這些任務，AI 會面臨「自然語言規格指示不足（Under-specification）」的問題，導致它自行做出人類無法察覺的錯誤假設。這會形成一個「黑箱」，讓使用者無法洞察 AI 生成結果背後的「如何」與「為什麼」，進而產生嚴重的 AI 幻覺與錯誤。AI（特別是大型語言模型與生成式 AI）在解決複雜問題時，必須依賴清晰的任務解構（Task Decomposition）。要讓 AI 產出可靠的結果，必須提供能讓它一步步推理的「顯性結構」。只有當輸入、輸出、參數與約束條件都被明確定義為程式可讀的結構時，AI 才能精準地進行推理與驗證。

### 2. AI 不作用於「工作（Job）」，而作用於「任務（Task）」[2]

在高度複雜且涉及嚴格安全規範的 EPC 統包工程中，AI 缺乏人類工程師的全局直覺與實務常識，因此無法直接取代一個完整的「工程設計職位」。相反地，AI 擅長的是執行明確、具體的「任務」，例如擷取資料、交叉比對圖紙等。為了讓 AI 能夠執行上述任務，必須先對傳統的設計流程進行解構。這意味著要將龐大的設計「工作」，透過「任務分解（Task Breakdown）」拆解。透過系統工程的方法，將每一個微小任務的輸入、輸出、參數與約束條件結構化，AI 才能精準對焦並發揮效用。



將工作拆解為任務的另一個重大應用，是能建立精細的人類驗證機制。在處理複雜的資料與設計分析時，系統可將大任務分解為逐步（Step wise）或分階段（Phase wise）的子目標 [1]。在執行每個子任務時，AI 會將其推理過程呈現為「可編輯的假設（Editable assumptions）」與具體行動計畫，讓工程師能審查、修改並引導 AI 的產出。這種「人類主導」的協作模式，確保了 AI 僅作為輔助工具，最終的工程決策與風險管控仍掌握在人類手中，大幅降低了 AI 幻覺可能帶來的災難性後果。當工程師的日常工作被成功解構為獨立的任務模組後，企業便能將這些模組「重構（Reconstruction）」為端到端的自動化工作流。這直接呼應了中鼎的智能化 EPC 所提倡的願景：專案管理不再受限於傳統 30%、60%、90% 這種大節點的階段性審查，而是當任何設計參數或資料庫發生變動時，系統就能自動觸發受影響的特定「任務」進行資料驗證與資訊傳遞。

### 三、EPC 專案工程設計流程的邏輯結構

#### 1. 設計流程的整體架構與里程碑體系

EPC 設計流程的整體架構是一個三層收斂結構，在專案設計規劃的時間軸上展開。

最底層是恆定不變的設計源頭：業主提供的 BEDD（Basic Engineering Design Data）加上專案所有相關的規範，是整個設計的法定基礎。所有設計假設、計算依據、材料等級的最終判準都回溯到這裡。它貫穿

全期，任何與 BEDD 的偏離都需要業主書面確認。

中間層是兩份整合主文件：P&ID（製程管線儀控圖）定義整座廠的功能與控制邏輯，Plot Plan（廠區配置圖）定義設備的空間位置關係。這兩份文件是各工程專業的「共同語言」，各專業都從它們取得啟動設計所需的邊界條件，也都有義務在它們修訂時同步更新自己的設計。它們從產出文件的版次「發行供參考」IFI（Issue for Information）到「發行審核」IFA（Issue for Approval）到「發行設計圖」IFD（Issue for Design）到「發行施工圖」IFC（Issue for Construction）的成熟度進程，直接決定下游各專業的啟動時序。

細部設計階段由方法製程、設備、管線、土建、電機與儀控六個工程專業平行推進，它們在專案管理的里程碑中同步推進。三個模型審查里程碑（30% / 60% / 90%）是這個架構的關卡。它們的功能不是進度管控，而是設定各專業在特定時間點達到共同的設計成果，讓接下來的工作可以啟動。30% 審查確認廠區佈置凍結，才能啟動地下工程；60% 確認詳設主體完成；90% 確認設計已成熟到可產生 IFC 相關資料。

#### 2. 各工程專業的設計邏輯與輸出文件體系

六個專業的設計邏輯各有其內部流程，本質上都是「收到上游資訊 → 執行該專業判斷 → 產出下游所需資料（資料傳遞至下游）」的循環，但複雜度差異極大，整理如下表：



表 1 EPC 各工程專業設計核心邏輯與主要輸出文件彙整

專業類別	設計核心邏輯	主要輸出文件 (Deliverables)
方法製程 (Process)	定義功能：確定質能平衡、壓力溫度與操作邏輯。它是所有專業的原始輸入。	製程流程圖(PFD)、管線與儀表圖(P&ID)。
設備 (Equipment)	定義容器／動力：根據製程條件進行壓力容器、換熱器、儲槽的強度計算與結構設計；針對泵、壓縮機、風機等動設備進行選型，確保機械性能符合製程需求。	設備規格書(Datasheets)、設備圖紙(General Arrangement)。詢價規格書(RFQ)、技術評標報告(TBE)、廠商圖紙審核回饋。
管線 (Piping)	定義路徑：負責所有設備間的連通、管線佈置與空間協調，並確保管線系統應力安全。	廠區配置圖(Plot Plan)、管線 ISO 圖、特殊管支撐圖、應力分析報告。
土建 (Civil / Structural)	定義支撐：根據設備重量、管線載重及環境負載(風力、地震力)，設計基礎與鋼構架。	地基基礎圖、鋼結構圖、結構計算書。
電機 (Electrical)	定義能源：建立電力分配系統，確保所有動設備、照明及儀控系統的穩定供電。	動力單線圖、電力負荷清單、電纜橋架佈置圖、接地與避雷設計。
儀控 (Instrument)	定義監控：透過傳感器與控制閥實現製程自動化，並建立工廠的安全連鎖系統。	儀表清單、控制邏輯圖、I/O 清單、佈線圖。

### 3. 跨專業介面的依賴網絡與設計瓶頸

EPC 專案的設計並非各專業獨立作業，而是高度縱向與橫向交織的介面依賴網路。這樣的跨專業介面是整個設計流程中複雜度最高、最容易形成瓶頸的部分。這個介面資料的本質是「把一個專業的設計知識，重新包裝成另一個專業可以使用的格式」。以管線荷重為例：配管完成支撐計算後，從其設計成果中提取的荷重數值以報表的形式傳給土建設計單位計算基礎承載力。這種資料傳遞的機制是大型工程跨專業協作的核心之一。

然而，這種複雜的依賴網絡也常形成嚴重的設計瓶頸與風險：

- (1) 資訊孤島與溝通斷層：EPC 專案涉及龐大的跨國團隊與次承包商，傳統高度依賴人工傳遞與分散系統的溝通方式，容易造成資訊碎片化與延遲，導致設計圖紙間出現衝突與不一致。
- (2) 專業本位主義：各專業往往只關注自身的設計工作流，在缺乏橫向溝通的情況下，容易做出犧牲其他團隊績效的決策。例如，不同團隊若採用不一致的資料標準，會引發後續的混亂與工期延誤。
- (3) 變更與重工：現代 EPC 專案時程緊縮，工程團隊常被迫在資訊不完全的「假設」下先行設計。未來前端（如方法製



程或設備)發生變更,若未能及時知會下游(如管線或土建),便會引發連鎖反應,導致現場頻繁變更、昂貴的重工與預算超支。

#### 4. EPC 設計流程的邏輯結構具備三個關鍵特性

- (1) 收斂的：所有設計知識從開放的假設空間，隨著里程碑推進，最終會收斂到 IFC 階段。
- (2) 網狀而非鏈狀的：六個專業之間存在上百條雙向依賴，不是一個簡單的上下游流水線，任何單點瓶頸都可能在網路中影響進度推進。
- (3) 知識密集而非時間密集的：設計品質的決定因素不是工時的投入量，而是在早期正確地做出判斷，每一個在早期做出的正確假設，都能在最後節省可觀的重工成本。這正是引入 AI 輔助設計時，介入點選擇比介入技術本身更為關鍵的根本原因。

### 四、設計流程的解構分析

#### 1. 「設計邏輯」的可操作化定義

「設計邏輯」在一般工程討論中往往是一個模糊的詞，指的是「有經驗的工程師知道如何做設計」。這個定義對於傳承知識是不夠的，對於 AI 介入更是完全無法使用。要使設計邏輯可操作化，必須把它拆解成四個具有明確邊界的要素。

- (1) 前提條件：每一個工作項目何時可以啟動，都有必須的輸入條件。例如管線材料規範 (Piping Material Specification) 的前提是 BEDD、P&ID 和業主規範都已核准。
- (2) 假設條件：是四要素中最關鍵、也是最容易被忽視的。它回答的是「工程師在選擇方案 A 而非方案 B 時，是依據哪些前提判斷」。這些假設決定了設計的品質。假設條件是隱性知識最集中的所在，也是設計邏輯可操作化最需要被攻克的部分。這也是使用者在驗證 AI 輸出時最大的困難，就是不知道 AI 採用了哪些假設。
- (3) 轉換規則：回答的是「給定前提條件與假設，如何從輸入產生輸出」。在 EPC 設計中，這包括三類：計算類（壁厚公式、應力計算）、查表類（ASME 材質等級對應）、判斷類（幾個設計方案的優先排序邏輯）。三類的例行化程度依序遞減，AI 可介入的難度也依序遞增。
- (4) 輸出規格：每一個工作項目都會有一個輸出內容，定義了要完成這個工作，產生的輸出資料，包括文件內容、格式要求和驗收標準等等。沒有輸出規格，設計工作項目的邊界就無法確定，AI 也無從判斷何時應該停止生成。

#### 2. 設計規則的顯性化與知識化

設計規則的顯性化與知識化，旨在解決傳統設計高度依賴工程師「直覺」與「隱性知識



(Tacit Knowledge)」的問題。要讓自動化系統或 AI 發揮作用，必須將這些隱性邏輯轉為顯性結構。不同類型的知識有不同的可顯性化路徑。EPC 設計工作中規則可分為三種形式

- (1) 規範條款型規則：這是顯性化最成熟的一類。例如 ASME B31.3 的材質等級、壁厚計算公式，這些知識早已被標準機構編碼成查詢表或公式。但它至今仍常以紙本查表或工程師記憶的形式存在於設計流程中，而不是以可被 AI 系統直接讀取的結構化知識物件形式存在。顯性化的工作，不是重新發現這些規則，而是把它們從 PDF 規範書變成程式可讀的內容。
- (2) 計算公式型規則：理論上最容易顯性化，因為本來就是顯性的數學式。但在 EPC 設計中，公式的應用涉及對輸入變數的選擇，例如壁厚公式中的腐蝕裕量 (Corrosion Allowance)，業主可能有自己的規定，這個數值不是固定的，而是從 BEDD 中讀取或由工程師根據服務環境判斷。這個「輸入選擇」的過程，才是需要被顯性化的隱性知識。
- (3) 決策樹型規則：對應到那些「If-Then」形式的判斷邏輯，但在實際設計中往往表現為多條件的組合判斷而非單純的二元選擇。例如用於低溫流體的管線材質決策不只取決於溫度，還取決於流體腐蝕性、壓力等級、業主標準規範的偏好，甚至採購時效等等。把這個多維判斷矩陣顯性化，是知識工程中最有價值也最有難度的工作。

### 3. 現有設計流程的瓶頸辨識

透過對設計流程的解構，可以精準辨識出阻礙 EPC 專案效率與數位轉型的三大核心瓶頸：

- (1) 設計知識隱性化與人工作業過載：傳統設計過度依賴工程師的人工判斷與經驗傳承，造成設計邏輯「黑箱化」與不可重用性。此外，工程師在面對龐雜的規範時，需耗費大量時間進行重複性的人工檢核，極易產生資料判讀錯誤與不一致。
- (2) 文件導向作業造成的資訊孤島與專業本位主義 (Technical Siloing)：現有流程多為「文件導向 (Document-driven)」，專案資料散落於 PDF、Excel 或分散的管理系統中，導致嚴重的資訊斷裂。各工程專業往往專注於自身的工作流，在缺乏橫向溝通與統一資料標準 (例如各行其是的設備標籤與編碼原則) 的情況下，極易引發跨專業的設計衝突與工期延宕。
- (3) 設計與施工脫節引發的變更與重工：設計部門若缺乏與採購、施工單位的協同交流，容易產出施工可行性差且採購成本高昂的圖紙。在缺乏即時同步機制的傳統「階段性處理」下，一旦前端設計發生變更，資訊無法及時傳遞給下游的採購與施工團隊，便會引發頻繁的現場變更、物料供應問題與高昂的重工代價。



這三個面向不是並列的分析維度，而是有邏輯先後的架構。【可操作化定義】告訴我們「設計邏輯」的完整形狀是什麼；【顯性化路徑】告訴我們如何把隱性知識轉化成 AI 可操作的形式；【瓶頸辨識】告訴我們在現有流程中，哪些地方的顯性化程度最不足、解構效益最高。這三者合在一起，給出了一個清晰的設計流程解構工作地圖：先找到影響最大的瓶頸節點，對該節點的設計任務進行四要素解構，再判斷其核心假設屬於哪一類規則，選擇對應的顯性化策略，最後插入可驗證的中間輸出點。這個循環，就是 EPC 設計流程從「依賴隱性知識」向「可被 AI 有效介入」轉型的核心路徑。

## 五、自動化技術的導入與設計流程的重構

### 1. 規則型任務：計算自動化

EPC 設計流程中存在大量輸入確定、規則固定、輸出可驗的計算任務，這是自動化效益最高、技術風險最低的切入點。

現有流程的問題不在於「沒有計算工具」（CAESAR II 做管線應力分析、SAP 2000 執行結構分析等都已存在），而在於這些工具彼此孤立，工程師仍然需要在工具之間手動搬運資料，從 BEDD 讀取服務條件，手動輸入到壁厚計算表，算完再手動填入材料規格書，再手動更新 MTO（材料清單，Material Take-off）、試算表。每一次手動搬運都是一個潛在的錯誤點和時間損耗點。

計算自動化的重構邏輯是：以設計資料

的單一來源為前提，讓規則引擎自動串接從輸入到輸出的完整計算鏈。一個完整的自動化計算任務需要具備三個條件：輸入資料可被結構化讀取（從 BEDD 或 P&ID 的數位模型）、轉換規則已被編碼（計算公式或查詢表）、輸出結果的格式符合下游需求。

### 2. 狀態型任務：資料驅動的設計協同

EPC 設計中有一類任務，其輸出不由固定規則決定，而是隨上游資料的狀態動態變化。以 3D 建模為例，管線 3D 模型不是一份靜態計算書，而是一個隨設備／儀表廠商圖、P&ID 版次、土建結構等更新而持續演化的數位資料庫。

重構的關鍵在於把「文件傳遞」升級為「狀態同步」。傳統流程中，A 專業完成了某份資料，用 email 或文件管理系統通知 B 專業，B 專業再手動更新自己的設計，這是一個拉式的資料流動模式，延遲且容易遺漏。資料驅動的設計協同是一個推式模式：當設備廠商圖更新時，3D 模型系統自動偵測需要重新定位的設備，並標記受影響的管線段；當管線段被標記，應力計算任務自動排入重算佇列；當應力結果更新，支撐荷重資料自動刷新傳給土建。

這個重構的基礎設施，正是 BIM（Building Information Modeling）平台的核心價值，3D 模型是一個設計狀態的共同資料庫，讓六個專業的設計動作都在同一個資料空間中發生，而非在各自孤立的文件裡發生。正是因為設計狀態的可追蹤性提升了跨專業協同的可靠性。



### 3. 判斷型任務：AI 輔助而非取代

EPC 設計中最有價值的判斷，往往正是最不能自動化的，例如廠區佈置的多目標平衡、設備選型的技術經濟評估、以及其他價值工程方案的優先排序。這類任務的特徵是「有多個可行解，但沒有唯一正確答案」，這正是人類工程師的判斷無可取代的場域。AI 在這裡的正確角色是降低嘗試的認知成本，而非給出最終答案。工程師不是因為懶惰才不探索替代方案，而是因為在傳統工具下探索一個替代方案的成本太高（重新建模、重跑計算、重出圖件）。AI 輔助的核心貢獻，是讓「探索替代方案」的邊際成本降低到工程師願意主動探索的水準。

因此，需將複雜任務解構為多個邏輯階段或步驟，並引導大型語言模型（LLM）將其推理過程充分揭露，讓工程師能隨時審查、驗證並修正 AI 的產出，確保最終決策責任仍由人類掌握。除了 LLM 以外，還有許多技術有機會應用在這個「多目標最佳化」的場域，例如「演化運算」、「強化學習」等等。

AI 輔助判斷型任務的最終目的，不是讓 AI 替工程師決定，而是讓工程師在相同的時間內，做出比以前更多、更好的判斷。最終在整個設計系統中使 AI 介入的機會，是讓這個評估過程從「少數資深工程師的腦力勞動」變成「任何專案都可以系統性執行的標準程序」。

### 4. 設計資訊平台：讓流程狀態可視化

前面所描述的自動化與 AI 輔助，都以一個前提為基礎：設計資訊必須是可被讀取、

可被追蹤、可被共享的結構化資料，而不是散落在各工程師電腦裡的 Excel 試算表和 PDF 計算書等文件。設計資訊平台就是讓前三個面向得以實現的基礎設施。

傳統 EPC 管理的單位是「里程碑」，例如 30% 模型審查、P&ID IFA 發行、IFC 完成等等，這些是以週或月為單位的大步驟。設計資訊平台的目標是把管理細化到每一個設計動作、每一筆資料的變動都可以即時被記錄和追蹤。

設計資訊平台解決了 EPC 設計流程中最根本的資訊碎片化問題：同一個閥門的資訊，分散在製程 P&ID、管線 ISO 圖、儀控接線圖、採購請購單、施工包等等不同的文件系統裡，傳統上需要靠工程師去維持它們之間的一致性。設計資訊平台讓這個一致性從「靠人維持」變成「由系統保障」。這不止於讓資訊可以被查詢，而是讓資訊累積成為智慧決策的基礎。

## 六、實際案例與實施挑戰

有鑒於整個 EPC 設計工作項目的數量繁多，礙於篇幅有限，選擇管線設計中的應力分析作為本文的實際案例說明。

### 1. 案例背景

管線應力分析（Piping Stress Analysis）是 EPC 統包工程中確保高溫、高壓管線在各種操作條件下安全運作的關鍵工程作業，其成果文件之應力分析報告包含 Stress ISO 圖、CAESAR II 分析計算書、管線清單與標



註應力分析管線之 P&ID 等四大類。此項作業涉及多個上游工程專業的資料匯入，並需在設計迭代過程中反覆調整，長期以來高度依賴工程師的人工作業。以此為「流程解構與重構」方法論的驗證標的，完整記錄從現況盤查、痛點識別，到自動化開發提案的全程實踐。

## 2. 流程解構

「解構」的核心目標，在於打破工程人員對流程的整體性直覺認知，將其拆解為可被獨立評估的最小作業單元。管線應力分析流程進行全面盤查，透過訪談資深工程師、梳理現行作業文件，將整體流程拆解為四個階段：

### (1) 前置作業階段

從數百甚至逾千條管線中篩選需要進行應力分析者，並在 P&ID 圖面上標示出應力分析的涵蓋範圍。此兩項作業目前須由工程師逐一比對，費時且容易因人而異。

### (2) 模型建立與參數輸入階段

此階段為整體流程工時佔比最重的核心環節，需由工程師依據 3D 管線模型人工重建應力分析專用的計算模型；從多種上游文件中逐一提取設計參數的作業，包括從管線清單提取設計溫度與壓力、從保溫規格書提取保溫材料數據、從管材規格書提取材質、厚度與腐蝕裕度，以及從土木結構圖、設備佈置圖、儀表數據、廠商圖、設備資料等取得支撐位置、控制閥重量、設備尺寸、溫度與壓力條件以及設備

基礎沉陷量等資訊。上述參數最終須手動鍵入分析模型。

### (3) 分析與判斷階段

需參考土木結構圖，由工程師憑專業經驗判斷，決定管支撐位置與型式，再以 CAESAR II 等專業軟體進行應力分析之核心運算，若結果不通過，則須返回前段調整設計，形成反覆迭代的過程。

### (4) 成果產出階段

分析通過後，在 Stress ISO 圖上手動標註節點編號、支撐型式、支撐位置與荷重等資訊。再將計算結果、圖面與相關數據整理成正式報告。最後由資深工程師進行最終審查，依賴專業判斷，屬人工不可替代之作業。

圖 1 以管線應力分析流程為例，對比設計邏輯解構前後的差異。圖 1 左為傳統高階視角：將十餘項異質上游資料匯入單一「Piping Stress Analysis & Coding」任務區塊後產出應力分析報告，整個推理過程被封裝為依賴資深工程師專業判斷的黑盒，AI 自動化無從介入。圖 1 右則為經訪談盤點後的解構成果：原本的單一任務被拆解為十七個顆粒度明確的工作項目，並逐一標示上游資料來源、跨專業介面、決策節點與迭代迴圈。節點依自動化效益分級為高效益的規則型／狀態型任務、中效益的圖面標註與報告彙整與高度依賴專業判斷的項目。唯有先將隱性、人員依賴的設計邏輯轉化為顯性、機器可讀的任務結構，AI 重構的導入路徑方得以被識別與優先排序。

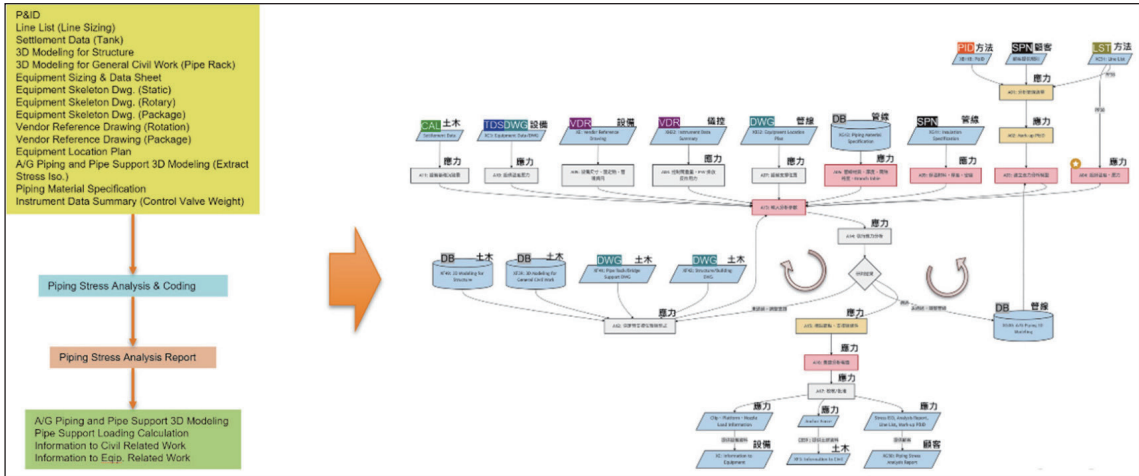


圖 1 管線應力分析流程重構前後對比圖，圖左為解構前，右為解構後

### 3. 痛點識別

透過流程解構，兩大系統性問題得以清晰呈現：

#### (1) 資料高度碎片化

單一管線的應力分析需從多種異質文件（管線清單、保溫規格書、管材規格書、設備佈置圖、儀表清單、廠商圖、設備資料、沉陷量等）中提取參數，且這些文件分屬管線、設備、儀控、土建等不同專業部門管理，格式各異。

#### (2) 大量可替代的重複人工作業

參數提取與成果標示等工作，在技術本質上具備高度規則性與可預測性，卻長期仰賴工程師手動執行，不僅耗費大量時間，更是資料錯誤的主要來源。

### 4. 流程重構

「重構」階段的目標，不在於改變流程的業務邏輯，而在於以自動化技術接管可被機器替代的作業環節，並據以提出可執行的開發提案。針對四個階段中的任務之技術可行性逐一評估後，識別出具改善效益的動作，並整合為開發題目如下：

- (1) 分析管線篩選自動化：建立規則自動篩選需要應力分析的管線，減少人工比對之時間。
- (2) 分析模型建立自動化、設計參數自動帶入：根除人工輸入錯誤；縮短資料彙整時間。
- (3) Stress ISO 標示自動化：減少圖面標示人工整理時間；確保產出資料一致性。



- (4) 彙整分析報告自動化：減少報告製作工時；加速最終交付分析報告。

## 5. 實施挑戰

管線應力分析工作項目的解構重構實踐，亦清晰揭示了工程設計自動化推進過程中的數項核心挑戰：

### (1) 異質資料源整合難度

將應力分析所需的輸入資料自動化雖效益最高，但其前提是各上游文件（尤其是廠商圖、設備沉陷量報告等非結構化文件）必須達到一定的數位化程度。現階段部分文件仍以 PDF 掃描件或手繪圖面形式存在，即便採用多模態大型語言模型（Multimodal LLM）輔助判讀，但其正確率與成本仍是實用化的關鍵瓶頸。

### (2) 工程判斷的不可替代性

「決定管支撐位置與型式」及「校核／批准應力分析報告」兩項作業，高度依賴工程師的專業經驗與情境判斷，這一類作業揭示了設計自動化工具的定位應是解放工程師免於重複性資料處理，而非取代其核心的工程判斷。

### (3) 新舊作業模式的轉型阻力

自動化工具的導入，不僅是技術問題，也涉及工程師工作習慣的調整。如何設計介面友善、容錯機制完善、且能與既有工具（如應力分析軟體 CAESAR II）無

縫整合的自動化方案，是決定實際落地效益的關鍵因素。

### (4) 解構程度的拿捏

過粗的解構無法識別真正的自動化機會，過細則可能導致開發成本超過效益。本次實踐中，將「輸入應力分析參數」進一步拆分，明確其本質為各種輸入資料之提取動作，既非獨立工作步驟，也因為各種資料來源不同，不是可以一概而論的任務，這代表解構過程本身亦需要領域知識的持續介入與修正。

此一從「看見問題」到「定義解法」的結構化歷程，正是設計自動化得以在工程組織中穩健推進的核心方法。

## 七、結論與未來展望

本文以大型石化廠 EPC 統包工程的設計作業為例，沿著「流程解構 → 任務分類 → AI 重構」的論述主軸，系統性地探討了設計自動化的應用路徑。透過管線應力分析的實踐案例，可以具體驗證這套方法論的可行性，並從中歸納出幾個具有普遍意義的認識。首先，設計自動化的核心障礙不是技術，而是知識的形式。EPC 設計流程長期依賴工程師的隱性判斷，使得許多高重複性、高規則性的作業始終以人工形式執行。解構的意義，正是把這些隱性知識系統性地轉化為顯性結構，明確前提條件、列出假設條件、轉換規則、定義輸出規格，讓自動化工具有所依附，讓 AI 有所推理。其次，AI 的作用是任務層級的，而非流程層級的。本文



所提出的「AI 不作用於工作，而作用於任務」的核心命題，在管線應力分析案例中得到了具體的對應印證：參數提取、管線篩選、成果標示等高重複性任務，是自動化的適當對象；而管支撐位置及型式判斷與應力報告之核准，仍是工程師不可讓渡的專業責任。這個分野不是妥協，而是一個精確的職能重新定位，把工程師的時間從重複性資料處理中解放出來，讓他們能夠更專注於真正需要工程判斷的設計決策。第三，設計資訊平台是上述一切自動化嘗試得以持續深化的基礎設施。各個孤立的自動化任務才能連結成為端到端的智能設計工作流，讓專案管理從里程碑式的階段審查，真正進化到對每一筆資料變動的即時感知與響應。展望未來，設計資訊平台的逐步成熟與各專業設計資料的持續數位化與標準化，巨量資料分析與機器學習的應用條件將日趨具備。未來的設計智能，有望從歷史專案的集體記憶中提取預警能力，在設計流程變更代價最低的早期階段，主動識別哪些決策在後期最可能引發重工，讓工程師得以在正確的時機做出正確的判斷。解構，因此不僅是一項工程技術的準備工作，也是整個 EPC 產業在數位轉型浪潮中，重新定義工程師核心價值的一次系統性思考。

### 參考文獻

1. Kazemitabaar, M., Williams, J., et al., “Improving Steering and Verification in AI-Assisted Data Analysis with Interactive Task Decomposition,” Proceedings of UIST '24, ACM, 2024.
2. Autor, D. H., Levy, F., Murnane, R. J., “The Skill Content of Recent Technological Change,” The Quarterly Journal of Economics, 第 118 卷, 第 4 期, 頁 1279–1333, 2003。