

第一章 緒論

1-1 研究動機

電子產業規模日趨龐大，且工程對時效性、複雜度及專業性的要求不斷增加。常見施工中管線的衝突修改，竣工後擴充空間的檢討……等。面對市場的競爭，需有一套準確且方便的製圖軟體，應用於施工階段中讓空間與時間的運用更有效率。

潤泰董事長賴士勳，在「藍海策略」提到預鑄在運用效率上說過「蓋廠房又要趕工時，尤其需要大量工人，但是，我們不能讓工人成為控制我們生存的一個因素。所以，採用預鑄工法後，某些科技業蓋廠房，本來每天現場可能需要五百到一千個工人，可是潤泰的案子，我們可能只有五十個人在現場！」【1】。這案例說明了空間與時間不一定要用加班解決，也能用預製方式將空間擴大、時間分散來獲得解決。

常見電子產業中機電工程週期進度表(S-curves)，所呈現的人力曲線，常出現短時間爆量出工的狀況，所以施工承攬商，必須再將工程部分分包，或三班式加班，以符合出工及進度須求。此時如能運用 3D 製圖，在營建過程中，先以預製方式將施工現場的部份工作在工廠施作，就能將擁擠的空間與緊縮的時間做適當的分配。

所以 3D 製圖的優勢係將原有自然界中實現以其三維資訊來呈現，除有利表現原有物件的幾何資訊，亦可更清晰真實的了解物件間與空間的相對位置與關係。

在機電工程空間設計而言，現行市場上的 CAD/CAID (電腦輔助設計/電腦輔助工業設計)軟體數量繁多，舉例如大家所較為熟悉的 AutoCAD、Microstation、SolidWorks 、、、等，使用者在面臨選擇時往往不知所措，究竟哪一套軟體比較適合自己？又符合市場整合需求？正因為使用者對造形功能的需求度不同，所以有待建立起這類軟體的比較評估，並運用此繪圖軟體做施工圖面的操作，並檢視對空間衝突的助益。

1-2 研究目的

高科技廠房之興建，具有投資額高及工期緊迫之特性。所以在進度規劃上常見人力密集施工的現象(如圖 1-1)，在空間與時間的侷限下，常見的解決辦法就是以時間換取空間，以 3 班制施工爭取更多的時間與空間，而加班所延伸的費用增加也造成成本多餘的支出。所以傳統人力密集施工的方式，效率值得施工單位再檢討。

施工階段，攸關施工品質及效率最直接就是施工圖，隨著數位化科技時代的來臨，電腦化已普及深入各階層領域，而機電工程施工階段卻只見傳統 ISO 拆圖方式做施工圖，3D 製圖卻只能存在設計單位或甲方，作初步的規劃及建物外觀的運用，無法實際應用在實做面，讓人有採用 3D 製圖浪費成本的錯誤觀念問題。所以如何運用 3D 作業模式創造價值，擺脫傳統作業模式，提昇公司形象，是我們設計單位或管理單位(Construction Management 簡稱 CM)，需用心思考及探討的。

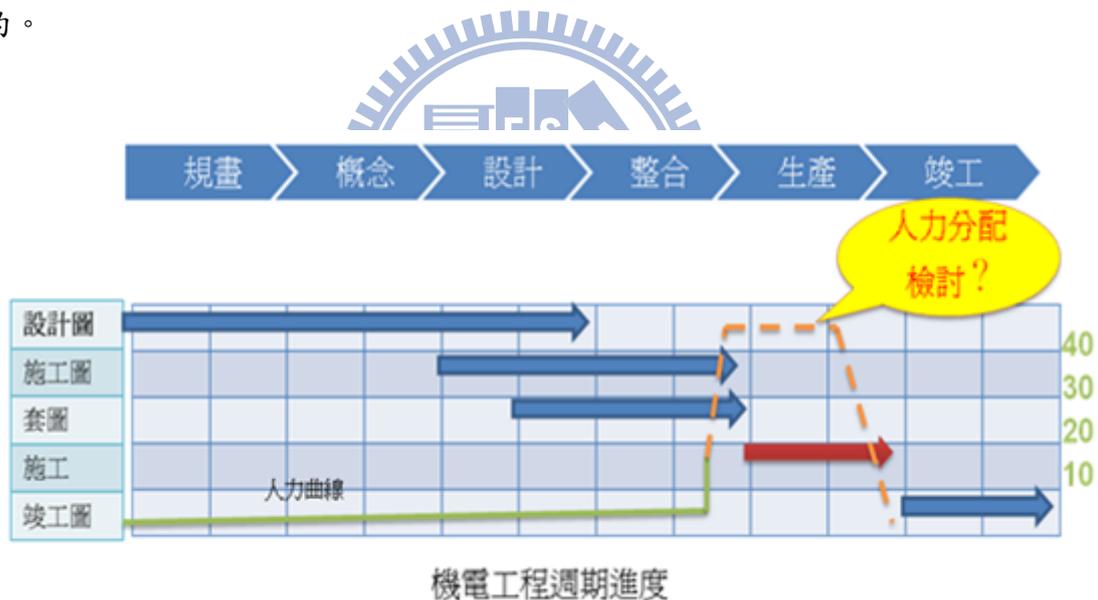


圖 1-1 機電工程週進度表

所以本研究將探討藉由三維空間套圖運用在機電工程的施工階段的可行性，並期達下列目的：

1. 探討 3D 製圖軟體應用於機電工程之適用性。
2. 運用 3D 製圖及傳統拆圖方式做施工圖，並探討兩者所需的人力分析。
3. 探討現有施工圖面盲點，並分析運用 3D CAD 軟體找出管線間之衝突點所產生的效能。

1-3 研究方法與流程

本研究應用三維空間視圖於統包工程上，並以工業廠房機電工程為分析對象，針對施工圖製作方式比較應用於施工上產生的適用性做探討，並以以下研究方法做分析比較：

- 一、 比較傳統施工方式與運用 3D 製圖於機電工程圖面產出流程之差異，傳統施工方式之流程為——流程圖→設計圖→初步施工圖→剖面圖(空間初步規劃)→ISO 圖→施工圖→竣工圖。運用 3D 製圖後之施工方式則為——流程圖→設計圖→初步施工圖→剖面圖(空間初步規劃)→3D 製圖→竣工圖。
- 二、 工程中常見的界面問題及衝突探討——本研究利用文獻回顧及相關案例做舉例，分析管線常見空間運用失誤的地方，並藉由 3D CAD 程式做管線交集剖析，自動找出 X 軸管線及 Y 軸管線同時出現在 Z 軸相同位置上，以工地實做說法，探討管線衝突發生之機制與 2D 圖之盲點。
- 三、 大型機電工程中，由於系統繁多，需由各專業的承攬商來完成。而每個系統都有其施工圖，當集合在同一空間時，需經過套圖才不至於產生衝突。所以需依據軟體特性製訂一套共同標準，大家依據此標準製圖，才不至於將各家的施工圖層疊時有基準點不一及圖示不明的狀況。而此標準需具備工業級廠房基本系統需求，才不用在下一個工程又需重新製訂。
- 四、 分析配管方式，本研究將以機電工程中空間較為複雜的空調冰水機房為主要研究範圍。介紹機電工程量化管線的公式，並以此公式計算人力及成本，分析傳統拆圖施工方式及應用 3D 空間套圖後的人力比較。並實際勘察運用 3D 套圖後可大量做管線預製的特性，在工程週期進度內，檢討人力及空間的分配狀況。
- 五、 套圖檢查，以某商業大樓施工圖為例，以已完成的 2D 施工圖，再運用 3D 製圖軟體確認其空間配置及是否因隔間而產生視覺盲點，並比較兩者間應用於施工所產生的影響。

綜合上述研究方法之流程整理，如下圖：

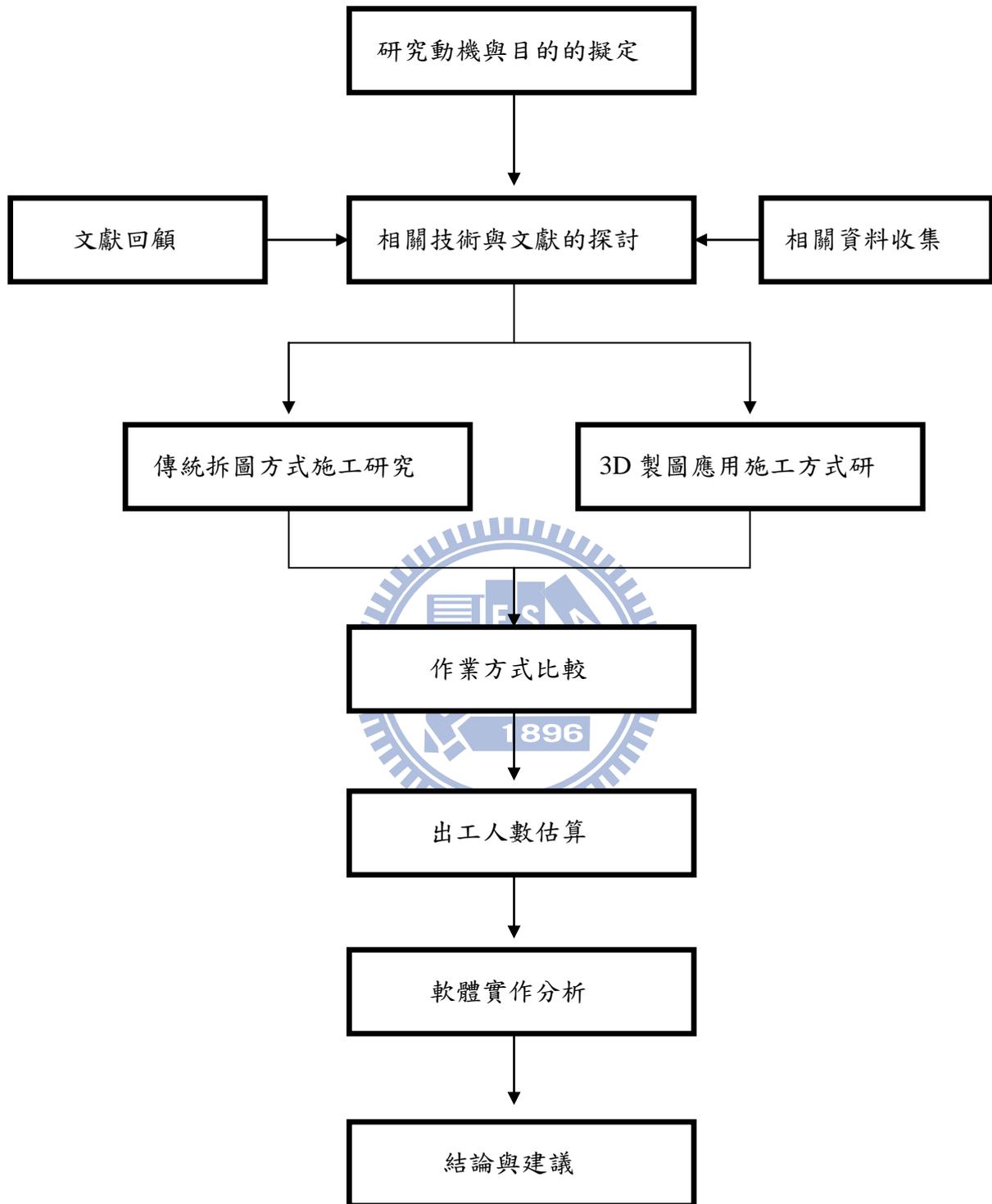


圖 1-2 研究方法流程圖

1-4 論文架構

本論文架構，依據 3D CAD 軟體應用在機電工程實際施工上的功能分析，本內容將分成五個部分做分析研究：

第一章——探討目前諸多製圖軟體，多具備 3D 功能，依其功能適用在何種行業，並以目前機電工程常用軟體作為本次研究之基礎，以提高本研究主要對象之了解及其重要性，對後續各階段研究過程及內容能有所助益。

第二章——利用文獻回顧及專家訪談，探討目前市面上常見的製圖軟體，探討運用於機電工程的適用性與發展。並檢討機電工程常見界面問題與應用 3D 製圖在工程上所遭遇的難題。

第三章——介紹電子廠房機電工程，設計圖產出週期，做傳統製圖拆圖(ISO 圖)方式及應用 3D 製圖於施工後，所需步驟及方式探討。並探討施工套圖整合，須如何做系統整合及分類，訂定共同製圖標準，以利各系統施工圖可在統一的基準點上做適當的空間分配。

第四章——為應用實作的應用檢討，針對機電工程在施工階段，短時間內需集中大量人力的狀況，在應用 3D 製圖後可模擬工地現況的特性，做時間與空間的分配分析研究，並依機電工程常用人力計算方式做傳統拆圖(ISO 圖)施工與應用 3D 製圖施工的數據表現。

第五章——為運用 3D 製圖，檢討對於施工實做上，所具備的正面意義，以實際操作檢討分析其可靠度。並分析目前軟體運用機電工程所不足，需加强的地方。

第二章 文獻回顧

2-1 CAD 功能探討

國內資訊化發展迅速，初期於民國 62 年即引進及運用電腦繪圖 (CG)/電腦輔助設計 (CAD) 技術。初期僅有若干投入研發之單位與機構為求時效與品質而引進使用，如中山科學研究院、中研院、中船、中鼎、中興、楊鐵工廠以及中華顧問工程公司等【2】。

若論及我國應用 CAD 軟體的過程，則為民國 65 年行政院「應用科技研究發展小組」的成立談起，該小組以能源、材料、機械和資訊工業為優先推動項目。政府有鑑於資訊工業的重要性，乃於民國 68 年 7 月正式成立「財團法人資訊工業策進會」以協助政府推動資訊工業的發展，使得電腦由實驗室、一般機構的電腦機房，進入一般中小企業、個人工作室及家庭中【3】。

由於電腦使用的普遍化，因此帶動了 CAD 應用軟體的熱潮，並以其來完成更寬更廣的設計製圖工作；諸如 3D 透視圖、實體模型、材料分析、進度規畫... 等，目前功能均可達到。以下為探討目前市場主流 CAD 軟體之適用範圍：

1. Auto CAD 是由美國 Autodesk 公司為電腦上應用 CAD 技術而開發的繪圖程序軟體，現已經成為國際上廣為流行的繪圖工具。應用行業廣泛，包括建築設計，室內設計，機電工程，土木工程，及產品設計等。其 .dwg 文件格式成為二維繪圖的常用標準格式【3】。
2. Microstation 是由 Bentley 公司企業級工程模型產品的核心軟體。它是利用新的 JMDL™ 核心，提供 Java 作為工程應用軟體區域化開發環境的第一個工程軟體產品，適用於機械、模具、玩具等各個行業裡【4】。
3. SolidWorks 是其中一個三維電腦輔助設計軟體(3D CAD)技術的領導者，在產品設計行業內十分受歡迎，適用於電子通訊、工業設計、機械、模具、玩具等各個行業裡【4】。

以上軟體皆是目前工程界常用軟體，經文獻記載及工程專業人士訪談，目前機電工程上常見使用的還是 Auto CAD 系列產品，理由不外乎是普遍性及價格考量，其餘軟體雖然功能上不遜色於 Auto CAD，甚至更強，但應用於機電工程上，還是要以市場趨勢做優先考量，不然在空間整合上，容易產生基準點不一致，或檔案相容性的問題。

有鑑於此，國外一些專業的工程軟體廠商，也積極的開發 3D 製圖整合平台，重點著重在工程設計的本體，其目的不僅是要提高工程設計的效率及正確性，也透過幾何資訊模型，在設計過程中不同的專業領域(如建築、水電空調、一般機械、成本估價、設施管理等等)，透過此標準格式互相轉移工程資訊，達成資訊交換與再利用。經過專家訪談，得知以下為目前較常見的軟體，藉由期刊及文獻的探討扼要的舉出其功能的分析：

1. IFC(Industry Foundation Classes) 由 IAI(International Alliance for Interoperability)國際組織提出且維護，推動以工程應用為範疇的資訊標準，重點著重在工程設計的本體，也就是 3D 的幾何資訊模型，其目的不僅是要提高工程設計的效率及正確性，也透過幾何資訊模型，在設計過程中不同的專業領域(如建築、水電空調、一般機械、成本估價、設施管理等等)，透過此標準格式互相轉移工程資訊，達成資訊交換與再利用。此 IFC 格式儼然已成工程業界標準，許多工程應用之工具軟體已開始提供 IFC 格式資料的輸出輸入介面，包括 AutoCAD 在內。而此資料格式也正是以 XML 語言格式來定義，從前述所舉隱約可看到標準的推行將隱含著技術與市場的競爭【5】。
2. BIM 建築資訊模型，藉由建立幾何模型也同時建立資訊模型的成果，其所帶來的效益如下【6】：
 - (一) 工程設計具體化：可將設計方案以 3D 模型具體化及視覺化。
 - (二) 避開工程風險：在實際進入施工階段之前可就結構中構件衝突問題事先偵測並作預防性的處理。
 - (三) 專案數量計算：可直接從 3D 模型中抽取必要資料將其自動化及表格化的呈現，如面積表、門窗表等。
 - (四) 變更設計保持一致性：利用參數式與建築模型的相互連結，增加變更設計管理的一致性及便利性，也就是跨軟體平台的資料相容性。
 - (五) 提昇設計品質：設計者更能具體掌握其設計成果的視覺效果、成本造價等。
 - (六) 提高工程設計產能：減少人為疏失，可使設計者將心力花在真正的設計工作上。
 - (七) 工程資料再利用：可將設計資訊完整的保留在資料模型之中，方便其在整個工程生命週期中各個階段來使用。
3. Navisworks：Autodesk Navisworks 軟體系列包括四款產品【7】：

- (一) Autodesk Navisworks Manage 將精確的錯誤查找功能與基於硬衝突、軟衝突、淨空衝突與時間衝突的管理相結合。
- (二) Navisworks Simulate 支持專案相關人員通過互動式、逼真的渲染圖和漫遊動畫來查看其未來的工作成果。
- (三) Navisworks Review 可以相容大多數主流的三維設計和鐳射掃描格式，因此能夠快速將三維檔整合到一個共用的虛擬模型中，以便專案相關方審閱幾何圖元、對像資訊及關聯 ODBC 資料庫。
- (四) Navisworks Freedom 為設計專業人士提供了高效的溝通方式，支援他們便捷、安全、順暢地審閱 NWD 格式的專案檔案。這款實用的解決方案可以簡化大型的 CAD 模型、NWD 檔，而無需進行模型準備、協力廠商伺服器託管、培訓，也不會有額外成本。

2-2 工程施工階段常見問題探討

機電系統在建築工程中擔負著建築本體之生命運作，提供使用者便利及安全之操作環境，在建築工程中扮演著舉足輕重之角色。由於系統種類及工項繁多的特性，經常出現空間管理不佳的問題，導致延伸變更設計、拆除重做、工期延宕以及品質不佳之狀況發生。

於建築工程施工階段，機電工程由於系統特性較雜項目較多，需依專長及範圍分包 WBS(work breakdown structure)，因此界面問題總是佔較多爭議空間，所以文獻中常見這類問題探討。而依據工業級廠房的特性可以下幾點做界面探討：

- (1) 機電一般分為五類—水、電、空調、消防及弱電。而工業用廠房還需增加特殊用途管路，如特殊氣體、廢水、排氣、二次配...等管路。
- (2) 高科技廠房之興建，具有投資額高、工期緊迫之特性，遇到趕工時，所有工種一起進場施做，常造成區域工種施工重疊、等待、效率不彰之問題。
- (3) 機電系統界面問題，大部分發生在平面及垂直的管道間，發生問題之種類常為空間有限、系統太多，管線特性不一，造成上下交疊、交錯、繞道與彎折。
- (4) 套圖需注意系統工法特性，方法可依照以下基本方式進行：
 1. 機電系統與建築結構相關位置套圖，並確認支撐架固定方式。
 2. 以天花板淨高為依據，檢討配管空間、維修人員動線及施工順序。
 3. 重力流配管需考量洩水坡度。
 4. 大型設備與主管先確定尺寸，於圖上進行放樣定位以及各管路路徑安

排。

5. 電線與水管配管路徑需先行錯開，若電線與水管必須重疊需考量高層順序問題，以防漏水。

6. 系統跨樓層需考量管道間排列順序及平面高層佈管高層順序。

(5) 機電工程水平管路施工順序需考量區域特性、管線大小、高層佈置，會影響消防送審的工項要先做，需潔淨的管線後做，但空間需做保留。

工業級廠房的空間整合，基本可參考行政院國家科學委員會-機電設備之變更設計對建築工程總完工期程之分析與影響中所提的方式做基本分析，空間整合依「施工考量」及後續之「成本與維修考量」可以細分為「安全性」、「機能性」、「與土建配合性」、「施工性」、「經濟性」、「效益性」、「擴充性」及「維護管理性」等八要項。以上八種特性成為機電系統施工界面整合要項之「八選項」，依其重要性再分為三個等級以方便進行後續排序作業，其關係及說明如圖 2-1 所示，本研究將科技廠房建廠的系統特性依各選項內容說明如下【8】：

1. 「安全性」指基於施工與使用安全考量，例如水管若在電管之上，漏水將造成危險。
2. 「機能性」指該設備管路提供之機能是否能充分發揮，例如排水管若忽視洩水坡度與排放動線，將造成污廢水排放功能不佳。消防設備與管路因為與消防法規及消防送審圖說有關，若工序排在後面，造成原定空間被其他系統所佔用，而無法按圖施工，將影響日後消防檢查與使用執照之取得。
3. 「與土建配合性」指工程進行中必須配合土建工程先行預埋水平管及垂直套管者，例如由樓板出線之電管、照明管、監控管路，污廢水排放之垂直套管，在樓版灌漿前需先行配管。大型設備下方為防潮、防水、隔震需先行施作之混凝土基座亦必須配合機電套管及土建工程先行施作。
4. 「施工性」指同一配管空間依管線材質考量配管順序。亦即設備空間衝突、管路空間衝突、管徑尺寸過大或管子材質可撓度不佳、施工作業空間擁擠、管路排設過份擁擠、上層管路應先行施工等因素造成施工排序受影響。各種情況分述如下：
 - (1) 設備空間衝突：因為空間擁擠，大型設備搬運過程與定位時必須考量土建隔間進度其他設備進場之動線與順序。
 - (2) 管路空間衝突：因為管路排設未考量施工空間及事前套圖不周延，管路上下交疊或口型交錯情形時有所見，除了進行變更設計外，現場拆除重做或繞道、彎折或增加管排層數，造成施工困難或動線搬運不易，管件非必要性的

浪費及流體壓損增加需更大的電力，為使用者帶來莫大損失。

- (3) 管徑尺寸過大或管子材質可撓度不佳：管徑過大、材質過硬者，不易進行裁切或彎曲，即為施工性不易。遇到上述材質時，應先行施作，以免造成施工困擾。
 - (4) 施工作業空間擁擠：因為太多工班在同一場所進行施工或是因為空間擁擠造成施工作業空間衝突，除了造成工人等待或作業品質不佳外，先到先贏或先做先贏之品質亦會造成管路安排紊亂之情形。
 - (5) 上層管路應先行施工：當傳輸側之管路安排上下超過二層以上時，上層管路應先行施工。
5. 「經濟性」指若未經有效整合所造成之成本增加。如：管路繞道引起之管路長度與材料與施工成本增加。
 6. 「效益性」指若未經先予有效整合而施工時必須彎曲管路，造成壓降與能量損耗，而影響機電系統基本功能之有效呈現或噪音產生。因此，配管時應考慮儘量減少彎曲而以直管配置，若於整合套圖時經評估，若條件所限而必須選擇彎曲管路時，則應檢討該系統效能是否受影響。此外，設備周圍通風換氣條件亦會影響設備實質效益，也是施工界面整合時需注意之要項。
 7. 「擴充性」高科技廠房由於造價不菲，常會依營業需求將產線分期建造，所以各系統配管須考量未來空間的擴充性及設備的搬運動線，以利未來施工之空間。
 8. 「維護管理性」高科技廠房由於廠務設備繁多以及功能自動化及 24 小時運轉的特性，所以設備常利用天花板的空間而控制元件也分布在各設備及使用點上，在定期保養及維修相當費時耗工，所以空間整合亦須考量維修動線及空間的保留。

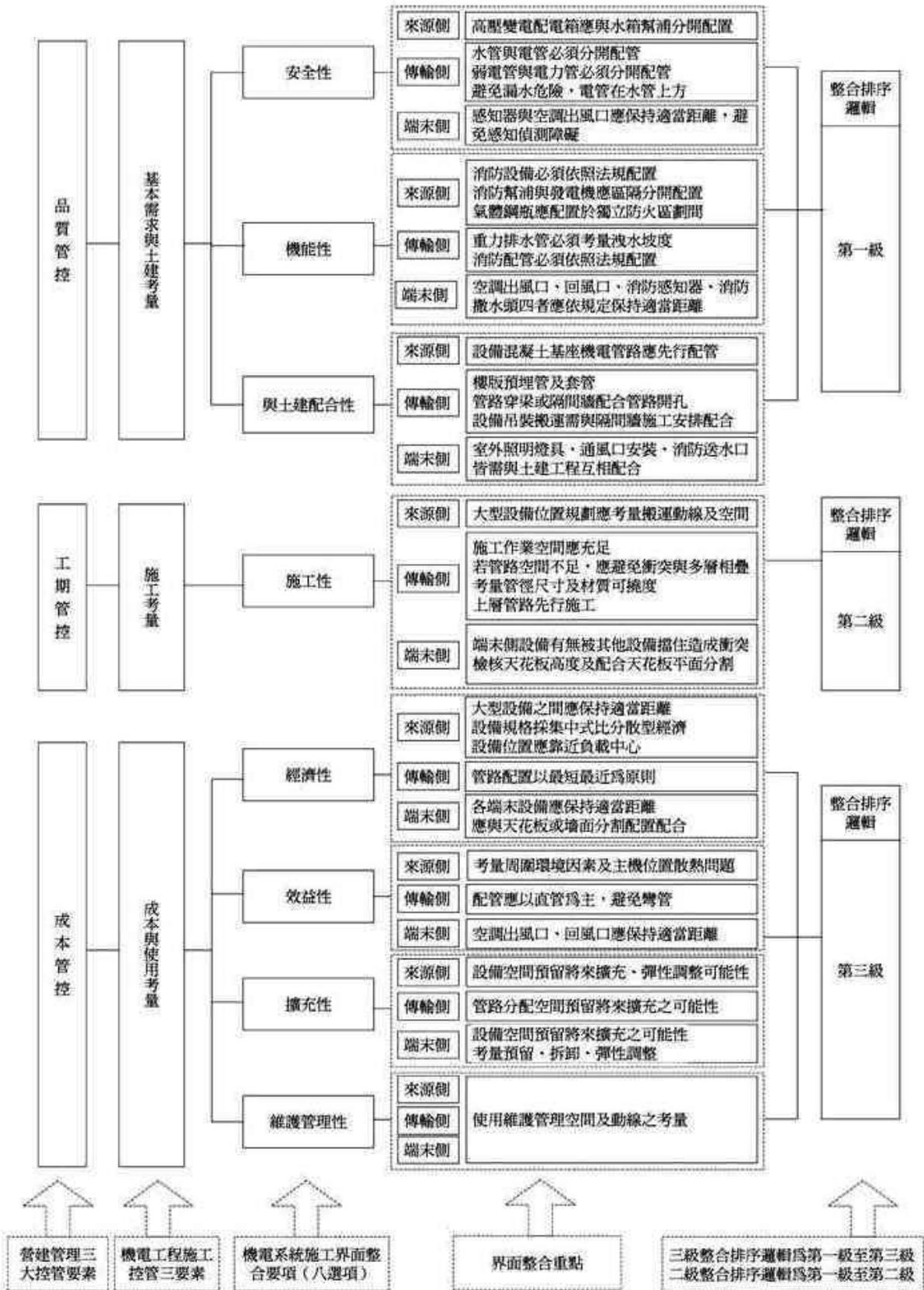


圖 2-1 「機電系統施工界面整合要項八選項及整合排序邏輯關係圖」【7】

2-3 工程施工圖應用三維空間製圖面臨問題

目前中小型公司在工程設計三維空間製圖所遭遇的瓶頸方面，由於 3D 或 4D 軟體屬專業繪圖工程師才會使用，大部分公司設計部門主要在做系統設計，而以過去傳統製圖經驗已經陪著工程師走過每個建廠歲月，尤其隨著經濟不景氣粥少僧多的情形下利潤大幅降低，所以延伸出無法接受的心理，以下歸納出一些問題核心所在，並且對於工程三維空間設計及資訊化所面臨的問題有所了解：

2-3-1 工程設計三維空間製圖所面臨之管理問題

1. 各工程設計部門主管對 3D 製圖知識需加強——由於設計單位各部門主管，其工作重心在於工程設計之專業技術上，其本身對於 3D 製圖的發展與應用並非全然了解，因此對於軟體往往不知如何推動。
2. 提高各工程設計部門主管 3D 製圖之執行參與意願——各工程設計部門主管對於資訊科技應用層面知識之缺乏，因此參與推動工程設計資訊化專案時往往委託由相關人員承辦，較少直接參與工程 3D 軟體運用的專案執行推動。
3. 高階主管對製圖資源規劃的支援缺乏——企業資訊化的推動涉及跨部門多層級之變革，甚至造成作業流程、資源分配、組織結構轉變；不過，因高階主管只著眼於立即性的利益，所以對於組織架構及人才培訓需耗時又有成本考量。
4. 施工管理尚無法配合 3D 系統運作——工程機電業 3D 製圖應用於施工需要一套完善的管理制度加以規範，各施工階層的作業流程有其差異，必須建立起各施工承攬商對製圖軟體及施工圖的訊息交接防止因理念不同造成施工承攬商對 3D 製圖產生排拒。
5. 各設計部門間橫向資訊整合缺乏——多年來，各設計部門施工圖三維空間化的推動，都礙於設計與製圖單位不同，無法將設計理念有效傳達到製圖部門，並沒有在橫向跨部門之方向作考量，因而多有各自為政之情形，較缺少部門之間的溝通協工作。

2-3-2 施工圖三維空間化內部層面問題

1. 工程設計公司對施工運用 3D 製圖認知的深度不足——設計部門在工程顧問公

司之扮演角色，處於專業的系統設計單位，例如負責工程整體之系統設計，對於監造管理部分，總是無進一步涉入，其實監造工程師相當需要設計部門之協助，但是受限於工程設計之專業知識問題，使得無法好好運用製圖人力於工程施工運作上。

2. 軟體資訊來源受限，對軟體運用侷限於個體經驗法則——工程設計公司其專業在於工程設計上，因此工程與軟體之相關訊息搭配相當有限，軟體功能在強大但應用於施工上對於進度、界面及尺寸誤差無法精準掌握，對於統包與施工單位的印象只是浪費預算。對於軟體知識之應用有限，應加強設計、施工與軟體開發相互之間的訊息傳遞。
3. 部分產業對資訊科技的價值與能力尚未有正確之認知——例如整廠 3D 模型之建立，一般除了產生原有之平面圖、立體圖、材料表之外，是否還有其他之附加價值，這些附加價值必需說明讓業主接受，採購發包之成本分析，其資料都來自專案之圖面，圖面之資料萃取，便可利用 3D 模型產生，這就是其附加之價值，在 3D 之架構下，可以執行干涉檢查，避免碰撞問題發生，這也是降低建造期間成本之方式。
4. 軟體廠商缺乏針對工程企業之特性，提供有效解決方案——一般資訊廠商都專研於軟體系統開發，對於工程企業之特性不了解，因此無法對工程企業提供有效之解決方案，一般工程統包商之人員流動率較高，無法長時間由製圖人員中培養支援工程特性之工程師，一方面是培養此類專長人員，必需有相當之投資，是否有相對之投資報酬率，也是製圖廠商考慮之一大問題。
5. 缺乏工程設計資訊化成功經驗學習、交流和分享機會——IFC 和 BIM 在國外已有大型工程公司、企業投入，但是相對成功之案例也相對增加，因此常常有成功之經驗分享與交流。反觀國內之工程企業，工程製圖資訊化成功之企業屈指可數，但那或許是各家企業之生存核心，自然釋放之經驗訊息就顯得少，所以在軟體的推展自然就受限某特定行號裡。

2-4 相關文獻及出處

除上述針對製圖軟體探討及軟體管理問題外，其他相關整理如下

項目	作者	書目	出處	時間	參考摘要
1	張伯弘	施工套圖 架構及規 劃說明書	國立交通 大學 NDL 計劃書	2002	套圖流程及規則訂定
2	張添富	施工圖繪 圖準則	同開科技 工程	2006	施工圖繪製準則參考
3	張美苓	建築工程 套圖作業 之案例研 究	國立交通 大學碩士 論文	2008	對於實務套圖作業流 程作為說明，並將套圖 常見之錯誤態樣作為 整理，套圖作業實作、 管理及整合之參考
4	陳柏瑞	CAD/CAID 軟體之功 能評估及 在造形設 計上之應 用	銘傳大學 設計管理 研究所 1895	2005	CAD/CAID 軟體在產品 造形設計上之功能特 性建立起客觀性的評 估模式，探究在造形設 計上之發展與應用
5	吳正仲	工業設計 學生在立 體電腦輔 助設計學 習模式評 估之研究	國立台北 教育大學	2009	探討工業設計相關科 系學生在 3D CAD 之學 習模式與成效提升該 類學生 3D CAD 之技能
6	郭斯傑	機電設備 之變更設 計對建築 工程總完 工期程之	台灣大學 土木工程 學系	2004	規劃階段找出機電各 系統之衝突位置，建立 套圖整合原則，即時解 決界面問題，並編擬較 佳之機電工程排序邏

		分析與影響			輯，以檢視工程作業流程之合理性
7	W. Chan Kim	藍海策略 開創無人 競爭的全 新市場	商業週刊		價值創新致力於為顧客和公司創造價值躍進，並因此開啟無人與之競爭的市場空間
8	CTLIN	CAD 與 GIS 製圖 之差異	CT-Family -新浪部落	2008	要利用 C A D 與 G I S 的比較，說明為何需要利用 GISCAD 來處理一般的基礎資料
9	Administ rator	三維 CAD 技術在產 品開發設 計中的應 用（一）	AutoCAD 技術交流， 資源分享 中心	2009	產品的結構設計是一種嚴謹的設計。它要求資料準確，符合國家或國際標準，產品的每個尺寸及公差都是以資料為基礎，不可差之毫釐。這種設計是採用專門用於產品結構設計類的軟體， 如：AutoCAD, UG, Solid edge, Pro/ENGINEER, SolidWork 等來完成。

第三章 機電工程施工圖整合方式探討

3-1 施工圖

施工圖是記載工程建築、結構以及管線、設備、電氣、儀錶、給排水、環保設施等建設安裝工程真實情況的技術文件，是工程建設歷程的真實寫照，詳實地記錄了工程建設的本來面目，它把工程建設全部過程的質量和技術參數真實地凝聚於圖紙上，其繪製質量的優劣直接影響到工程的整體施作【8】。

施工圖也是工程師的語言，是設計者設計意圖的體現，也是施工、監造、計價核算的重要依據。因此，施工圖的繪製作業有舉足輕重的作用，關聯整個後續施工過程的流程依據。所以施工圖相當重要，繪製完當層施工圖，也等於模擬了一遍當層的配製施工。

施工圖的產出過程需經由設計圖-施工大樣圖-工作圖-規範中所陳述，此為設計單位對工程的系統運作設計理念，所以在討論套圖前，先就設計階段產生的圖面定義加以說明：

1. 設計圖：設計單位為表達設計理念，而附於招標文件中及申請建築執照相關文件之相關圖面，也就是俗稱之契約圖；因工程規模越加龐大且漸趨複雜，設計圖大多分別由各種專業技師分工設計而成，且執行規劃設計時程常因施政政策之關係而遭受壓縮，因此設計圖中常有衝突或矛盾之處，必須經過廠商審慎檢討並繪製施工大樣圖或工作圖予以解決。
2. 施工大樣圖：設計圖中所包括之設計細部詳圖，並非施工大樣圖。施工大樣圖為廠商依據設計圖之規定，配合現場實際狀況及其他配合條件所繪製之圖樣。例如設備裝置圖-設計圖將設備依安裝區域對震動要求而有不一樣的裝置方式。設備裝配圖-依據設備特性，在設備前需裝設的零組件。配管大樣圖-說明各式管路施工工法等。
3. 工作圖：為廠商分項工程施工時，對臨時性工程施工順序、機具材料搬運、放置場所之說明所須使用之圖樣，其主要目的為使廠商本身對施工過程工作安排及執行有一準據。

3-2 施工圖製作現況

用於機電工程的施工圖，為了能符合工地現場的視圖需求，在繪製過程中須盡量收集彙整可參考之圖說，如建築圖、結構圖、零件圖、設備廠商圖說等等，參詳以上圖說，使完成後之施工圖更具參考性、實用性、符合施工性，實務施工圖說作業程序。

施工配管師傅會以平面圖為依據，然後依系統項目區分(如圖 3-1)，依據管架圖面及建築誤差做高層依據(如圖 3-2)，繪製 ISO 圖(如圖 3-3)，表示出立面高度及平面圖所無法顯示出的管件，再將圖面交給施工者，作為管件數量清點及施工配管的依據，但這只能表示出單方向的系統，一個完整的系統就需以多張流程圖，才能組織完成。

一套完整的 ISO 圖實際為一 2-1/2D 之 45° 透視圖，從圖面上雖可以輕易的判斷平面管及垂直管分部，確無法讓從業人員看出該空間管件分部的密度，所以施工中領班及製圖人員，需常駐留現場依進度作尺寸丈量，因此這種需現場量身訂作的方式，便無法以預製方式作適當的時間調配，也容易忽略後面施作的空間而造成所謂的介面衝突。

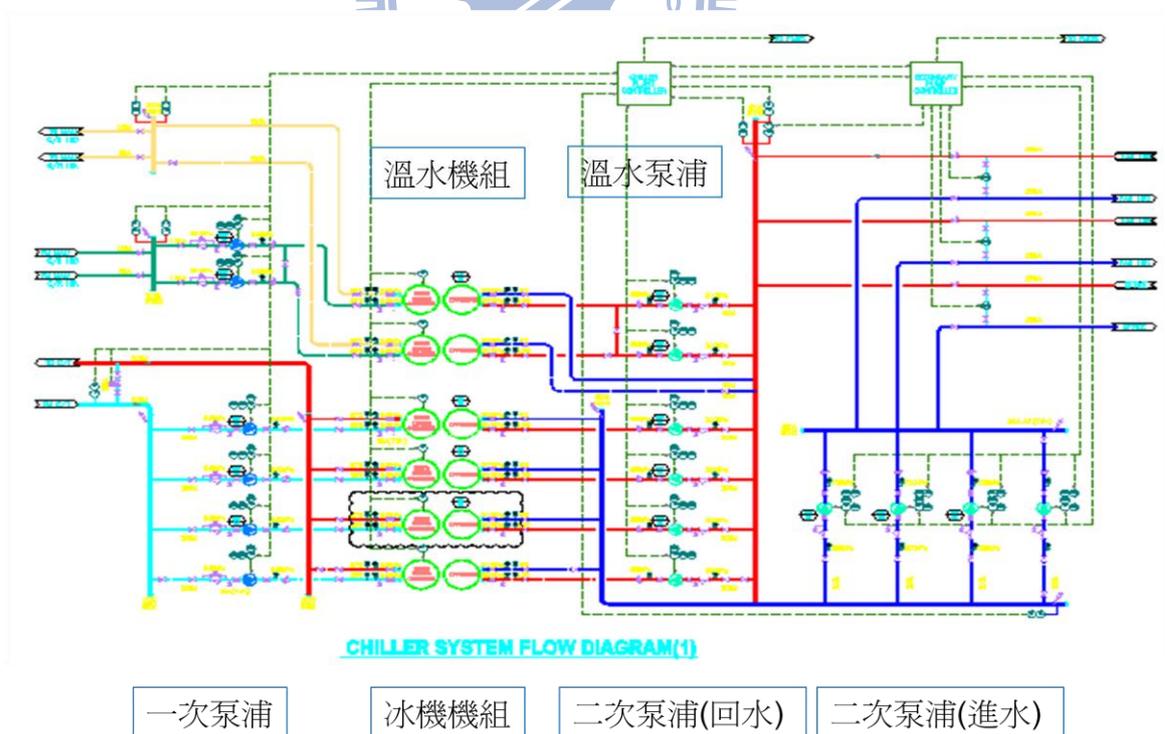


圖 3-1 冰水機房流程圖

3-3 施工套圖架構及規劃說明

施工階段品質管理措施，除訂定施工品質管理標準，並依自主檢查表落實自主品管外，另一重要之課題即為建立並執行工程界面管理之機制。當工程規模及其複雜程度越大時，有效的界面管理措施將越顯得重要。

根據以往施工經驗，機電工程因為廠商未審慎檢討建築、水電等相關設計圖並繪製施工大樣圖或施工製造圖(Shop Drawings)而導致發生無法補救之缺失之情況不勝枚舉，因此施工中界面整合的工作相當重要，界面整合必須經過確實檢討相關設計圖面(包括建築平面圖、立面圖、剖面圖、結構圖、給排水圖、電力圖、弱電圖及空調圖等)並在各分項施工計畫時確實繪製相關施工圖及大樣圖，將設計圖之矛盾處加以檢討，才能按所檢討之施工製造圖施工。

3-3-1 工程範圍區分

工業級廠房機電工程，依大系統區分可分為：電力、空調、氣體、儀控、消防、水處理...等(表 3-1)。在施工套圖可依據系統代號做圖層的區分，可作圖塊名稱參考並定義系統顏色，以方便辨識各廠商所提供的圖面，並藉由繪圖軟體輔助設計與執行(如附件一所示)。

表 3-1 各系統代號範例

1. 主系統代號

代號	主系統名稱	代號	主系統名稱
MP	一般機電工程	CR	特殊管路及統包工程
	電力及弱電系統工程		電力系統工程
	給排水系統工程		空調系統工程
	空調系統工程		內裝系統工程
	消防系統工程		製程系統工程
			中央監控系統工程
			廢水系統工程
			超純水系統工程

			氣體系統工程
			化學系統工程

3-3-2 作業通則

定義常用的 CAD 軟體做基準，以目前大家所用的最低版本做檔案儲存。依據軟體共同特性定義絕對座標、單位、比例尺、圖層、文字字型及圖例做構圖基準。定義構圖的原則如以下說明：

1. 原點位置：以各建物為基準，設計者於繪圖前設定原點（0,0）。
2. 單位：一律以公釐(mm)為單位。
3. 繪圖比例：以 1：1 長度等比例繪製。
4. 圖層：
 - i. 圖層 0 不使用。
 - ii. 物件顏色及線型一律設定為 Bylayer，不可隨意設定。
 - iii. 各圖層顏色之設定請依「工程圖面文件管理規則」執行之。
 - iv. 建築底圖一律圖層名：ARCH 及圖層顏色：7 號。
5. 字型及線型：一律使用 Auto CAD 2000 內定標準字型及線型。
6. 字高：以 A3 出圖時清晰可辨為準。
7. 出圖線寬：Out line：0.5 mm；Center line：0.2 mm；Hidden line，0.2 mm；Phanton line：0.2 mm；Dimension line：0.2 mm
8. 統一各式材料代號(如圖 3-4)。

3-3-3 系統套圖流程

當施工單位拿到設計圖後，必須針對所有系統作一番評估，訂出設備與材料規格、採購計畫、搬運計畫與施工計畫等，同時依據各系統特性及進度開始進行施工套圖與動線檢討。

施工套圖可依據目前工程界對工程界面管理所採用之措施，大概可分為：結構機電整合界面圖（Structural, Electrical and Mechanical, SEM）、機電整合界面圖（Combined Service Drawing, CSD）過程如以下所述：

1. CSD：將工程中，所有機電設備部分，包括水電、空調、消防、電力、各特殊系統等各主要設備位置與管理路徑作協調配置，CSD 為設計階段界面整合重要措施。過程如下
 - 1-1 管路套圖：係以 CM 所規劃定義之空間區域範圍，包括進入本區域之各系統管路責任者，皆需依規則執行。
 - 1-2 所有套圖作業將依照套圖準則內容進行，以制約各系統之套圖工作的進行，並需參照相關規定模式。
 - 1-3 確認各系統主要設備位置後再依順序進行：
 - 1) 確認廠房主要佈管路徑。(如圖 3-7 所示)
 - 2) 根據主要通道空間繪製剖面圖定義各系統主管、次幹管、分歧管第三視角的層次與走向(如圖 3-8, 9 所示)，並考量介面整合要項之「八選項」的通則，再檢討各管道間與平面管路間證明已將問題疑點釐清及檢討完成。
 - 1-4 各責任者在交付圖件前，應自行先將所負責之各系統予以整合套繪過，始得送交以免自誤而連帶影響到整合作業時間。
 - 1-5 區域完成套圖作業所產生之完套圖件，套圖人員將其整理後出圖提供責任者確認，同時將完成版套圖資料(電子磁片檔)一併交付以做為施工參考。
 - 1-6 工程進行期間因工程變更造成管線增減移置，而有可能壓縮到其他系統空間時，各責任者應先行套繪於已完套圖面後，再向套圖人員提出空間要求以協調規劃位置。
2. SEM：係為工程計畫中，土建工程為配合機電系統安裝，並於結構安全考量下，綜整各關聯廠商所提之意見需求，將其所需之開口、基座、套管、預埋件及管道間等，彙整納入建築/結構圖中並提供各分標廠商製作施工大樣圖（施工製造圖）。

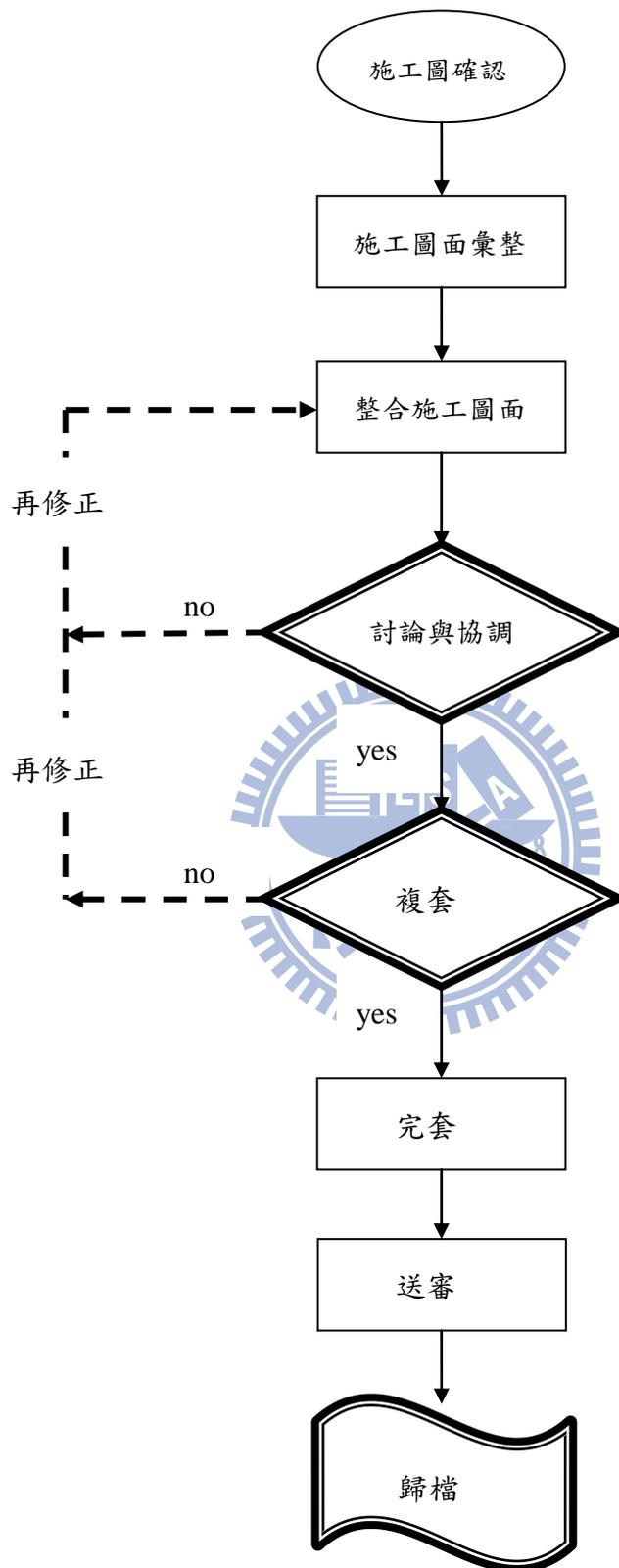


圖 3-5 CSD 套圖流程

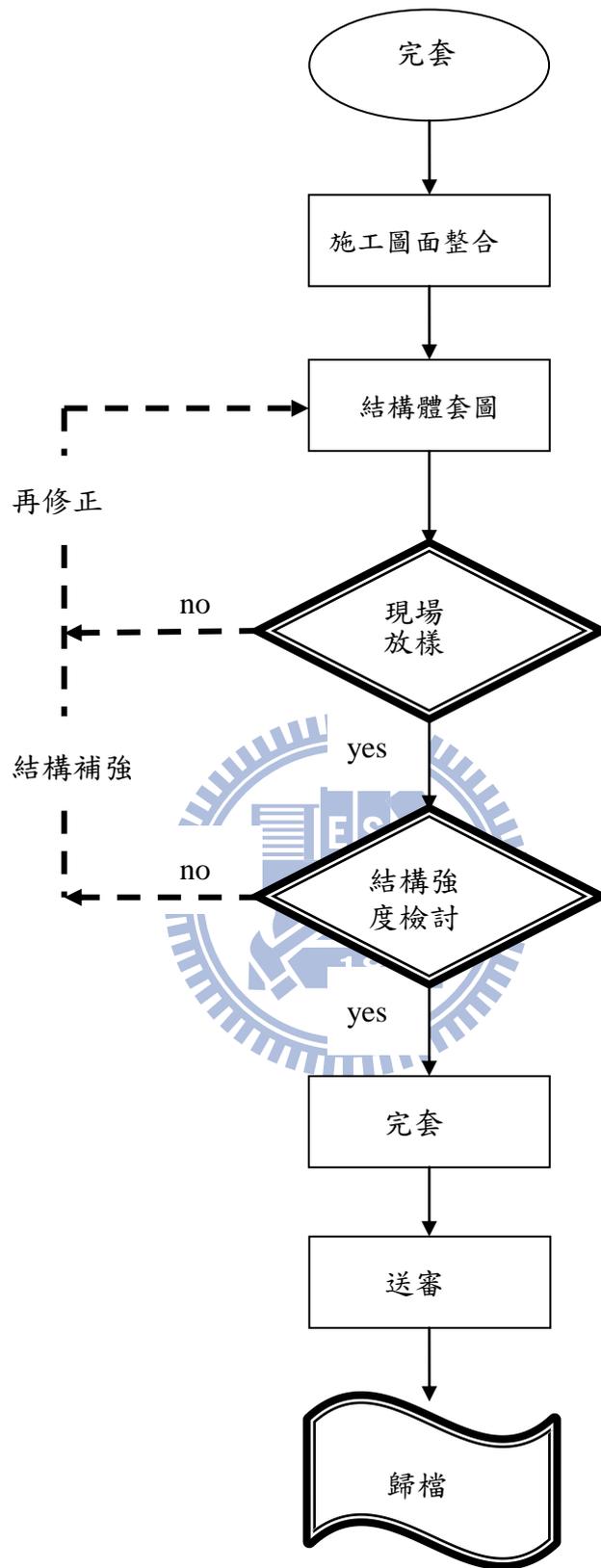


圖 3- 6 SEM 套圖流程

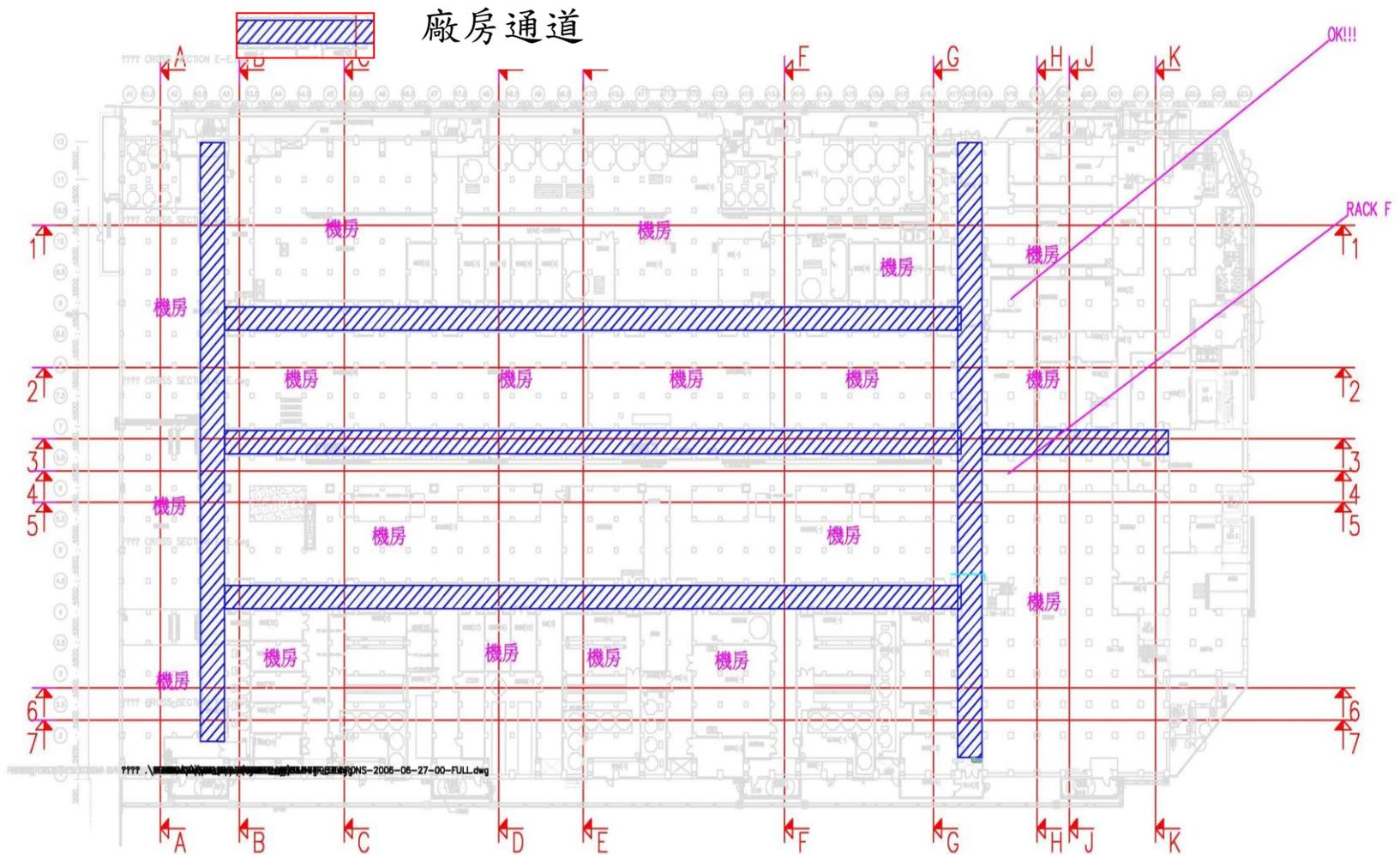
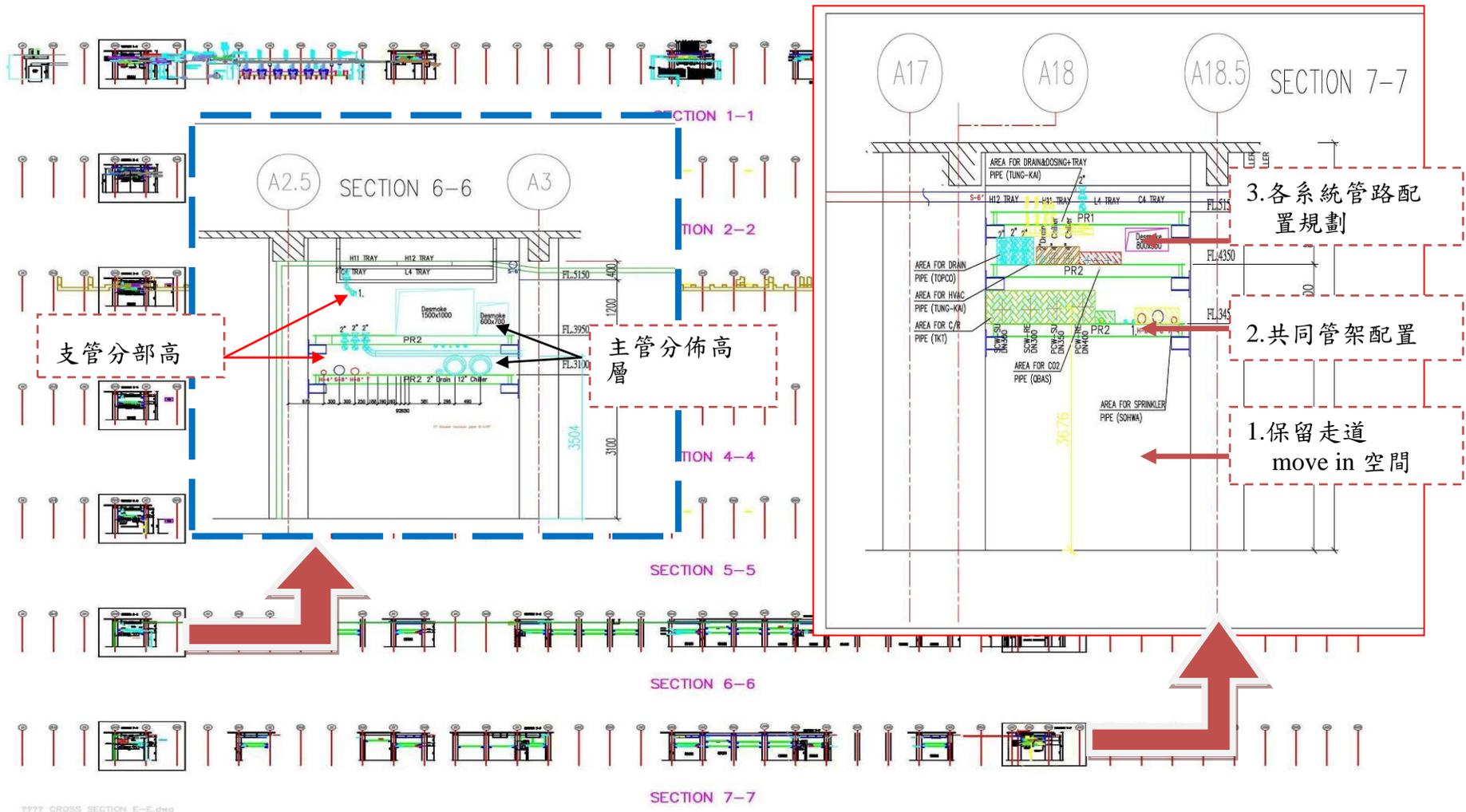


圖 3-7 找出平面圖主要管路通道(如斜線區)



9979 CROSS SECTION E-E.dwg

圖 3-8 依據平面圖主要區域，放置剖面圖(縱向剖面)

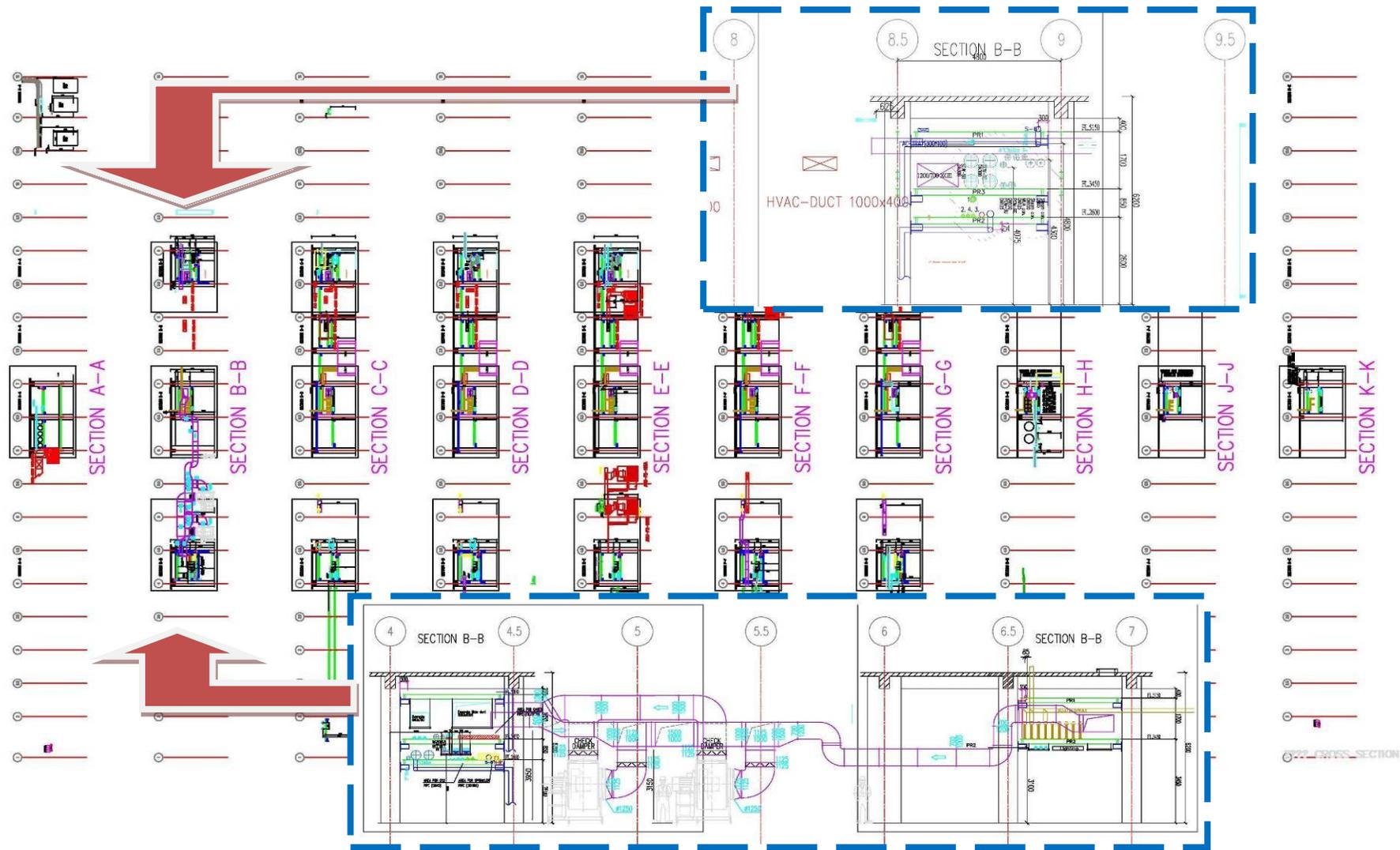


圖 3-9 依據平面圖主要區域，放置剖面圖(橫向剖面)

3-3-4 文件管理規則

1. 所有圖面文件的電子檔則存放在業主及CM電腦處集中管理，同時建築底圖、送套圖檔、一次版、二次版、完套版及送請核備之圖檔則規定以唯讀建檔保存。
2. 所有套圖人員供應套圖之圖面或使用之正式圖面，須標示日期、版次、修正日期、圖名樓層、繪圖者及確認者等項目，同時建立套圖圖面文件管理人。
3. 完套圖面之圖名將分成系統平面套圖、斷面套圖等名稱項目的編列，圖面編號最後面之三角標示內數字代表修正版之次數；同時於圖面之修正記錄欄記錄所有曾經修正之版次、日期、及內容，圖面編號最後面倘若無三角標示，則代表該圖面並無修正情形。
4. 圖面文件管理人對於所有完套圖面之圖面，須填寫「送審認可表」及圖面一式四份，報請核備後，再由其通知以做為現場施工的依據。
5. 文件管理人將每週定期確認及鑑別整理過期或已有新版之圖面電子檔案，以維持及管制使用之圖面為最新及正確的版本，並存置於「圖面文件登記簿」卷宗內(如圖 3-10)。

3-3-5 套圖進度管制

1. 專案執行之目標進度為本項工作進度指標，先由各系統責任者將依所負責系統含概之區域樓層勾選填列後送交套圖人員整理，待重新釐清後發由各系統參照實施，以做為各系統在對應期限內為套圖而須配合及應準備圖面之作業進度所依循。
2. 因現場需求改變或工程設計變致使套圖作業受到影響而進度落後時，套圖人員將與專案負責人員協商或重設新的進度管制點，以求順利推動後續套圖工作的進行。
3. 送審預定進度請參閱施工圖及施工套圖預定送審表。
4. 施工圖及施工套圖整合第一次版、第二次版、完套版均須與總顧問確認並審核通過後始可執行。施工套圖送審作業流程如下：

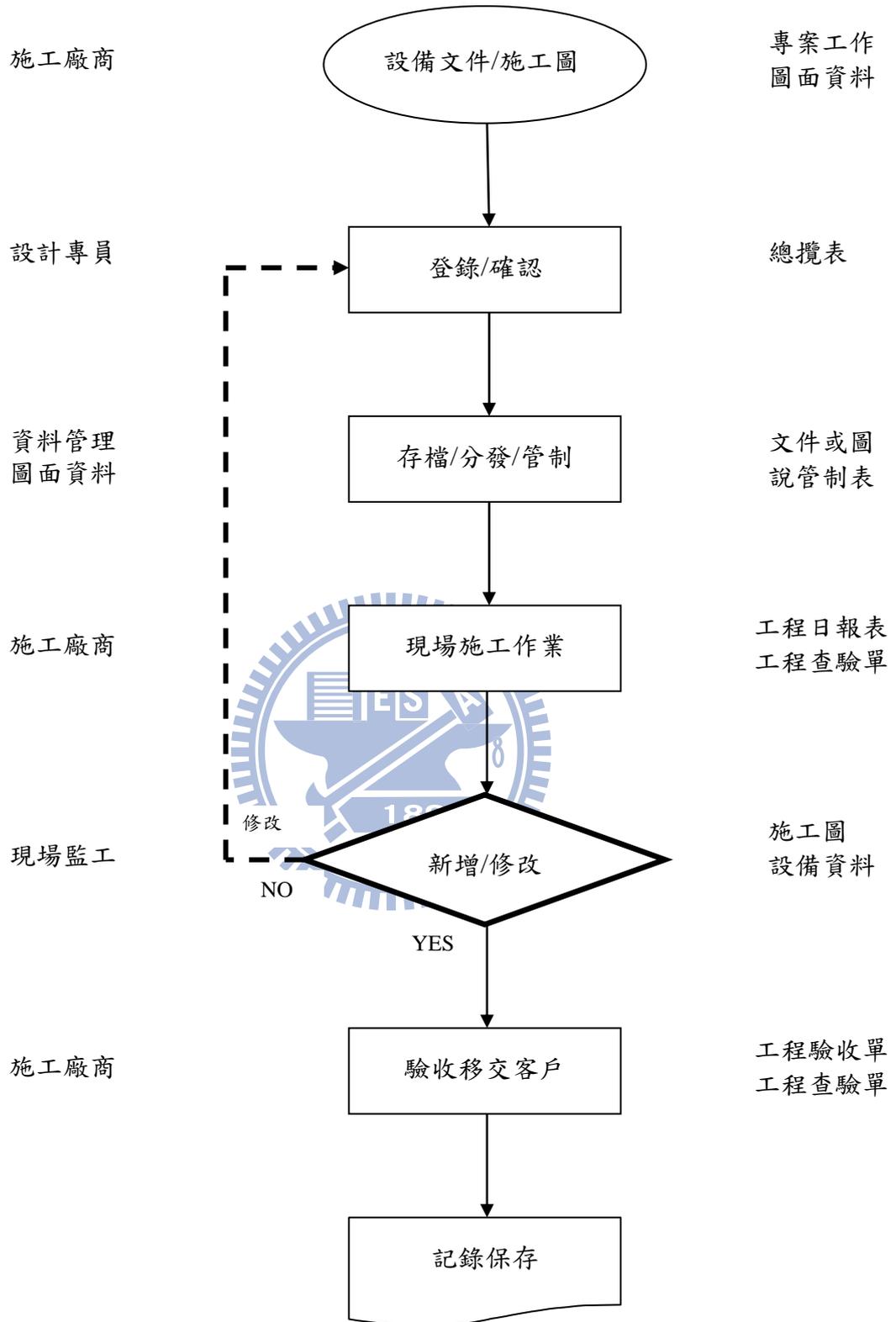


圖 3- 10 圖面文件管制流程

3-4 施工套圖常見問題探討

工程管理在政府的大力推動中已行之有年，但是在民間企業，因產業競爭及成本考量，所以業主在省成本的情形下，一些間接費用常是降低成本的手段，包括管理費及套圖費用...等，因此一些界面管理文獻一直在探討，但是承攬商仍騰不出費用聘用有經驗的工程師。所以提出工程套圖中常見問題點以供參考：

1. 單位與文字標註——依工程慣例及單位誤差值不一樣，所用單位就不一樣，如營造建物比較大，所容許誤差值以公分(cm)計算。機電配管在管與管、管與零件銜接點裁切時，必須計算到公厘(mm)。又部分歐美進口品在製作設備承認圖時習慣用英吋為單位。所以常見套圖或放樣時因慣用尺寸不一造成配置錯誤狀況
2. 圖層錯誤——大部分建築師事務所的圖說，都是底圖加入外部參考檔結合而成，除了負責該案的繪圖人員才能較清楚，對於圖面之外部參考檔勘誤，若不熟悉操作 CAD，則會有套圖錯誤之虞。尤其套圖時圖面會以層疊方式做判讀，因此必須依賴圖層的開關與性質來判斷各家的管線。
3. 管線收頭——如前圖 3-8，3-9 所示，本廠為求精準套圖，各管路通道所繪製出的剖面圖及共同管架非常詳細，但是排水承攬商套圖時未將主管所需的預留點置於套圖公檔，造成施工完成後因預留點向上占用上層管線空間，既使排水預留點的性質本需向上，也因套圖疏失，全改為 45 度仰角才解決。
4. 共同管架——電子廠房因系統繁多及管徑大，都以明管做配置，所以針對管線主要通道會設置共同管架，但部分部不屬共同區域由廠商自行規劃，由於工期緊迫的關係缺乏協調，各家廠商在經過這些區域各家做自己的支撐架，造成空間紊亂，占用維修空間的情形。
5. 空間變換——此狀況最容易發生在管線跨樓層的系統，因主套或次套圖人員不了解其他廠商的系統，作管道間套圖時未注意管線出管道間之後的順序，造成管線在管道間打結或必須繞道出管，不但影響美觀也造成管線壓力損失耗能的狀況。
6. 材質不同——電子廠房所用化學物質繁多，需依照各種化學物質選擇適用的管材，而套圖人員無法熟悉各種管材的性質，包括可撓度、施工空間及潔淨需求，所以常見圖面繪製完成後整齊規則，但卻無法施工的窘境。

第四章 機電生命週期及人力分析

4-1 設計階段工期與人力預估說明

機電工程依其特性基本可分成三類：（一）設備、（二）材料、（三）勞務，其依合約金額佔百分比分別約為（一）設備 55%、（二）材料 25%、（三）勞務 20%。

常見分析方法依據工程 milestone(如圖 4-1)的設備金額比例做勞務數量的分配(如圖 4-2)，或以人員派工單價除以工程勞務金額做人力計算。如此做法僅是表面化的人力概估計算，所以工程中常會延伸趕工計畫書的存在。如能依照實際配管行進長度計算，將能在工程採購階段，依承攬商規模做好分包管理，就能減少加班及工程延誤的狀況。

本研究主要針對大型空調的心臟-冰水機房，做配管空間規劃及人力分派，依據管理單位、施工單位計算人力方式分別做說明，再依應用 3D 製圖配合管路預製方式，實際人力出工狀況做分析及比較。

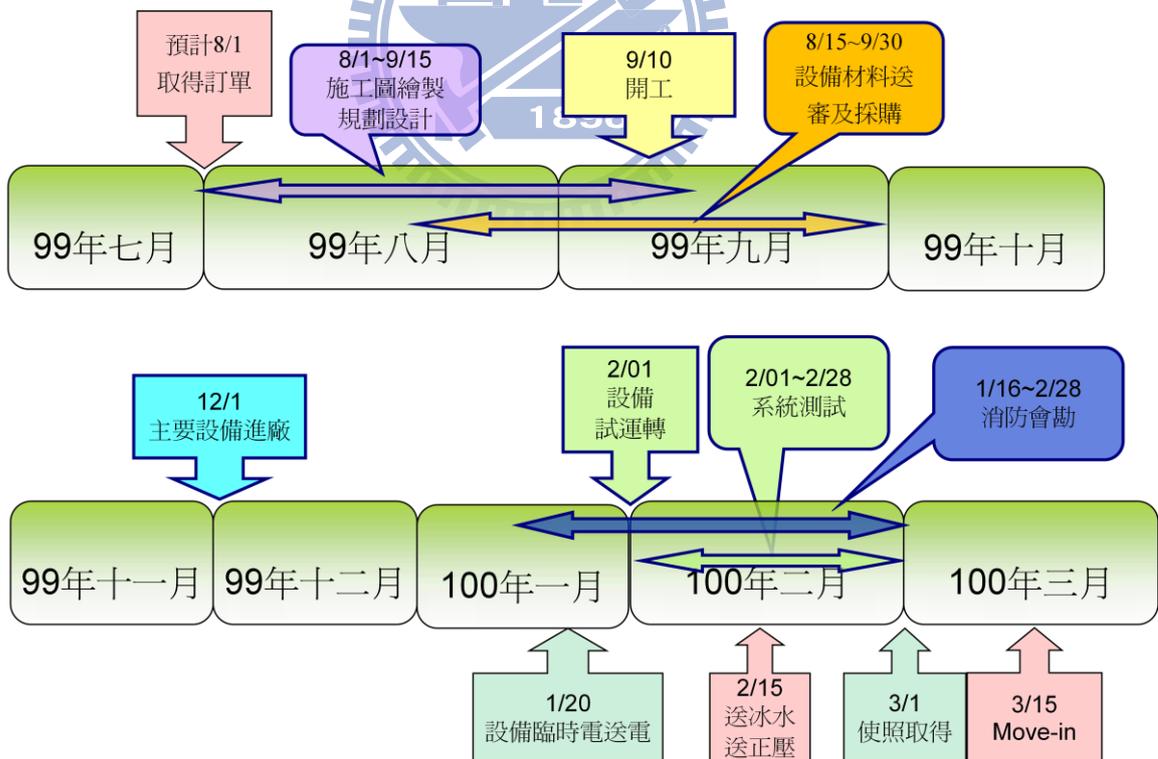
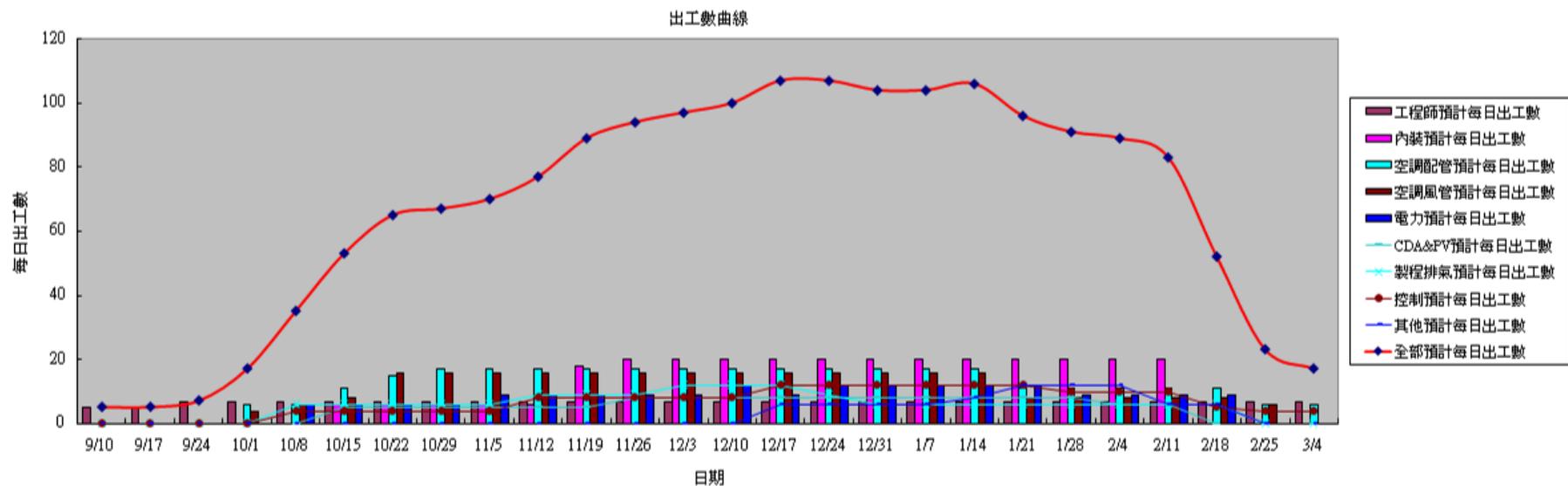


圖 4-1 工程 milestone

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	
1	工程人力資源追蹤曲線表(含預製廠)																											
2	工程時間	9/10	9/17	9/24	10/1	10/8	10/15	10/22	10/29	11/5	11/12	11/19	11/26	12/3	12/10	12/17	12/24	12/31	1/7	1/14	1/21	1/28	2/4	2/11	2/18	2/25	3/4	
3	工程師預計每日出工數	5	5	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
4	內裝預計每日出工數	0	0	0	0	0	6	6	6	6	6	18	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	0	0	0	
5	空調配管預計每日出工數	0	0	0	6	6	11	15	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	11	11	11	11	11	6	6	
6	空調風管預計每日出工數	0	0	0	4	6	8	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	8	8	8	8	8	6	0	
7	CDA&PV預計每日出工數	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5	5	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	6	6	0	0	
8	製程排氣預計每日出工數	0	0	0	0	6	6	6	6	6	9	9	9	12	12	12	9	6	6	6	6	6	6	6	6	0	0	
9	電力預計每日出工數	0	0	0	0	6	6	6	6	9	9	9	9	9	12	9	12	12	12	12	12	12	9	9	9	9	0	0
10	控制預計每日出工數	0	0	0	0	4	4	4	4	4	8	8	8	8	8	12	12	12	12	12	12	10	10	10	5	4	4	
11	其他預計每日出工數	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6	6	6	8	12	12	12	6	6	0	0	
16	全部預計每日出工數	5	5	7	17	35	53	65	67	70	77	89	94	97	100	107	107	104	104	106	96	91	89	83	52	23	17	



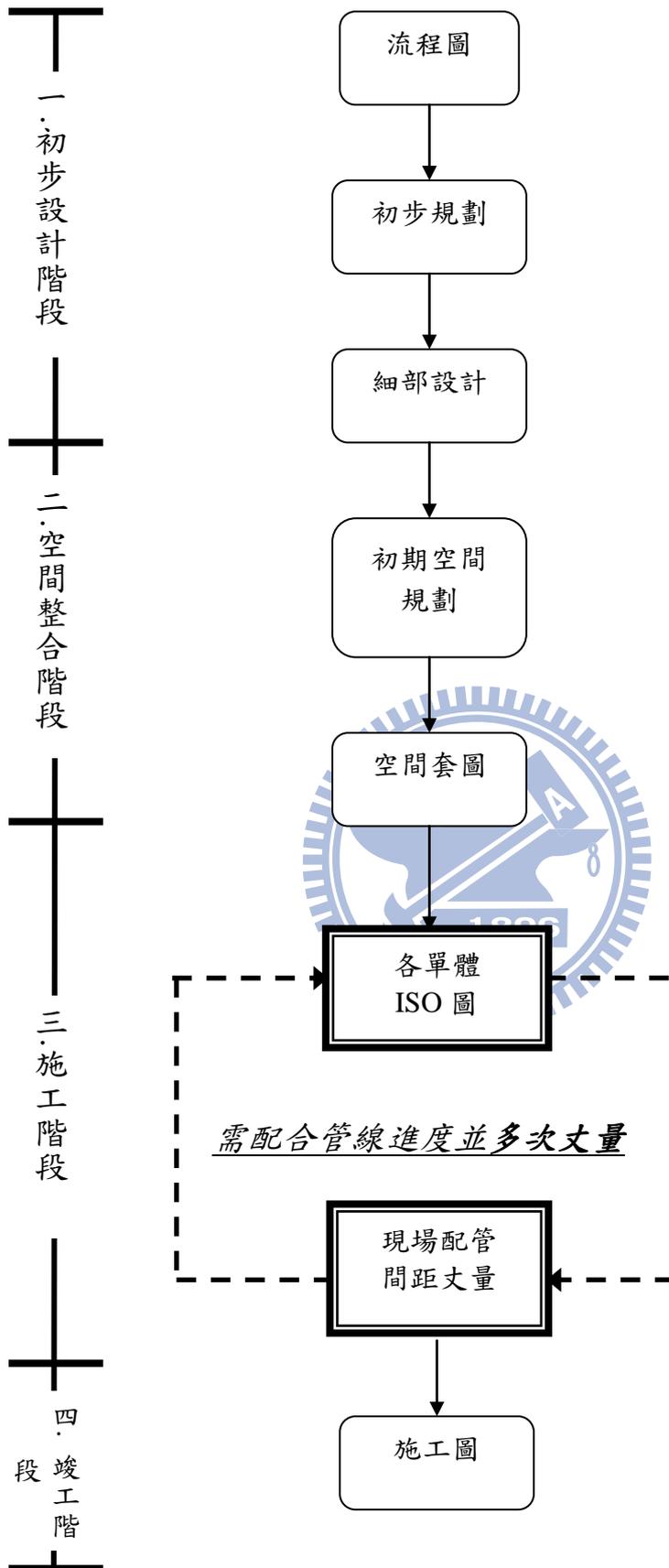
4-2 傳統製圖製作施工用圖面及 3D 製作施工用圖面比較

所以本研究主要針對大型空調的心臟-冰水機房並搭配空調箱，使成為一基本完整系統架構。依據傳統配管施工方式及運用 3D 製圖可多方位視角而得以大量預製的優勢，做施工圖產出周期及人力成本的探討比較。

工程中傳統施工圖及 3D 施工圖產出周期，產出過程中主要差異在初步空間套圖之後，傳統施工圖依據套圖後高層繪製成施工用 ISO 圖，而施工用 ISO 圖需依據系統各單體流程做成，所以一個完整的施工圖需幾十張 ISO 圖組合完成。又必須搭配前一組施作完成的管線做相對位置丈量，需循序漸進，所以無法一次就確定高層，而預製也無法提前施做(圖 4-3)。

運用 3D 施工圖則只需確認現場柱位誤差，將圖面稍做修整，然後直接將 3D 圖轉成斜角及斷面裁切，就是可供施工人員判斷施工管件及尺寸的 ISO 圖，不用在手繪好幾十張的 ISO 圖，也不必配合每個系統單元做佈管程序。因此預製的工作可在經 3D 圖檔做好後，立即給予施工人員建立管線空間的概念，可以施工同時間預製各單體系統的管件(圖 4-4)。

而本次所探討是目前常見 3D 製圖由統包商或施工承攬商製作，若 3D 施工圖能由設計單位直接製圖，並直接交接給統包商及施工承攬商，那施工預置的工作將可提前至空間初步規劃階段，進度將可提前許多。但是前提是業主需多付出設計費，而一開始委由軟體資訊較為齊全的設計單位，就可省去套圖階段需集合各統包承攬商，而套圖時各家承攬商又具私心，將分配到套圖的區域把自家管線放在施工最容易的位置，別家的管線就因此施工困難，或必須多轉折如此不但影響空間的整體性，也因壓力損失而浪費能源。



一.業主：

提出使用需求供設計單位做系統設計。

一.設計單位：

依使用者需求設計系統流程圖，並依建築圖做設備及管線初步平面繪製。

二.業主：

監督套圖進度及協調土建與機電介面

二.CM 單位：

依據主要管線通道空間，製作共同管架及剖面圖，供各統包商套圖。

二.統包單位：

依據設計容量，將設備及管線實際尺寸繪製於平面圖上。

三.統包單位：

提供套圖後的圖面給施工承攬商，核對圖面系統連結正確。並監督施工是否依據套圖空間。

三.施工承攬商：

依據套圖高層及現場柱位誤差，繪製 ISO 圖，做施工及點料用。

四.統包商：

依據施工承攬商提供的最後空間尺寸修改施工圖，並提交業主歸檔

四.施工承攬商：

提供現場實際施做尺寸供統包商做正確施工圖修改。

圖 4-3 傳統施工製圖流程

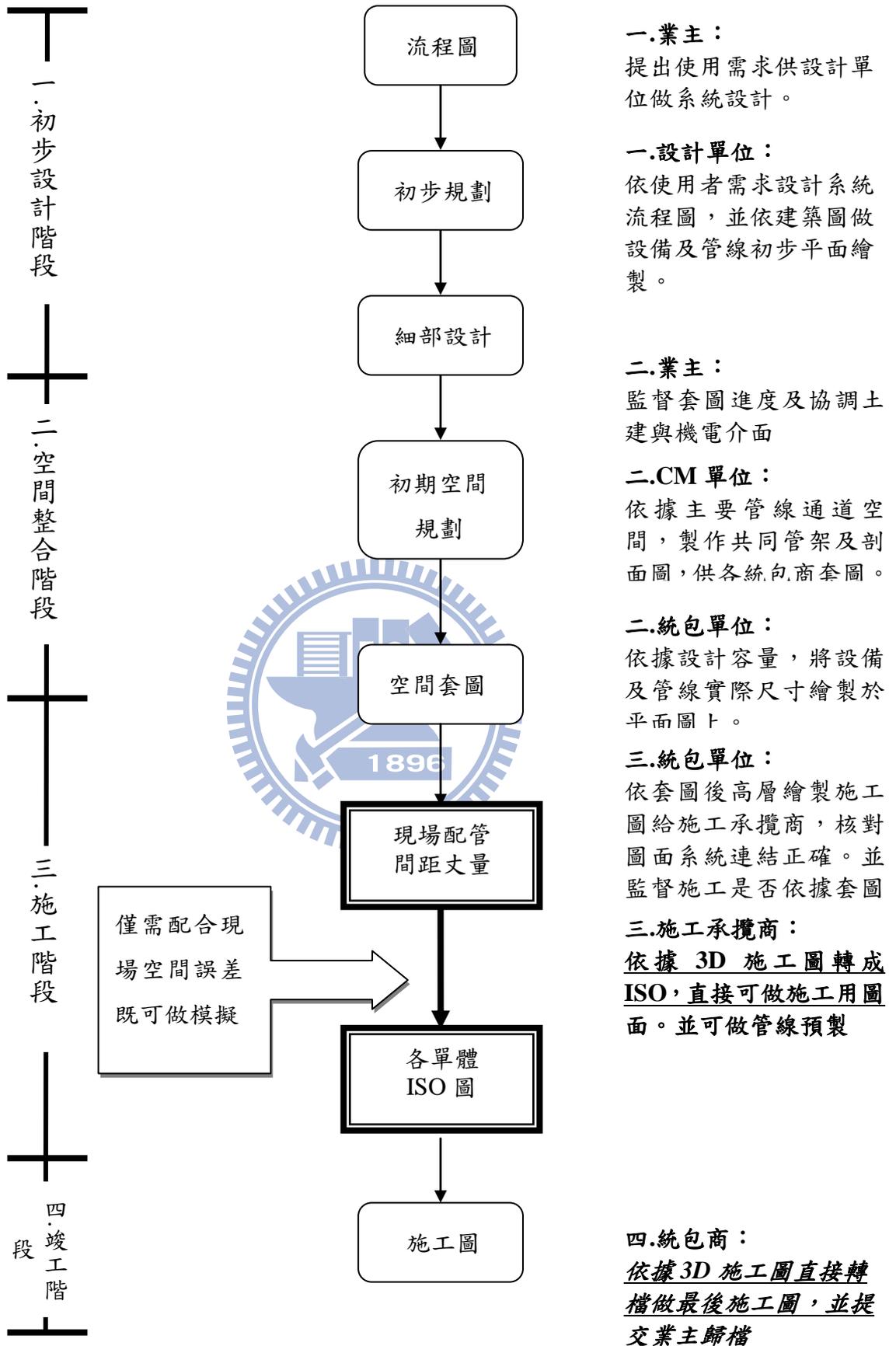


圖 4-4 運用 3D 製圖流程

4-2-1 傳統施工的拆圖方式

機電工程套圖基本分為兩次整合，一是設計階段，其目的是確認生產設備需求空間高度及動線，規畫初步的管架配置，及各系統管路空間分配。二則是細部設計階段，此階段依據建築平面圖將管路的通道、匯集點及管道間...等，以剖面表示，給各系統製圖員依據各管路實際大小及特性，做系統管路佈置及分配。

傳統施工圖，要運用於施工中，必須藉由施工承攬商拆圖人員將初步套好高層的圖面(如圖 4-5)，依系統區分將每一流程分開(如圖 4-6)繪製成 ISO 圖(如圖 4-7)，以利施工人員得以判斷立面的空間組成，一套完整的施工圖必須搭配幾十張的 ISO 圖，除圖面舉例的系統外，還有管道間，及空調箱設備端。而繪製過程中由於各系統並無套合，所以在施工過程中必須常在現場做圖面確認及修正。

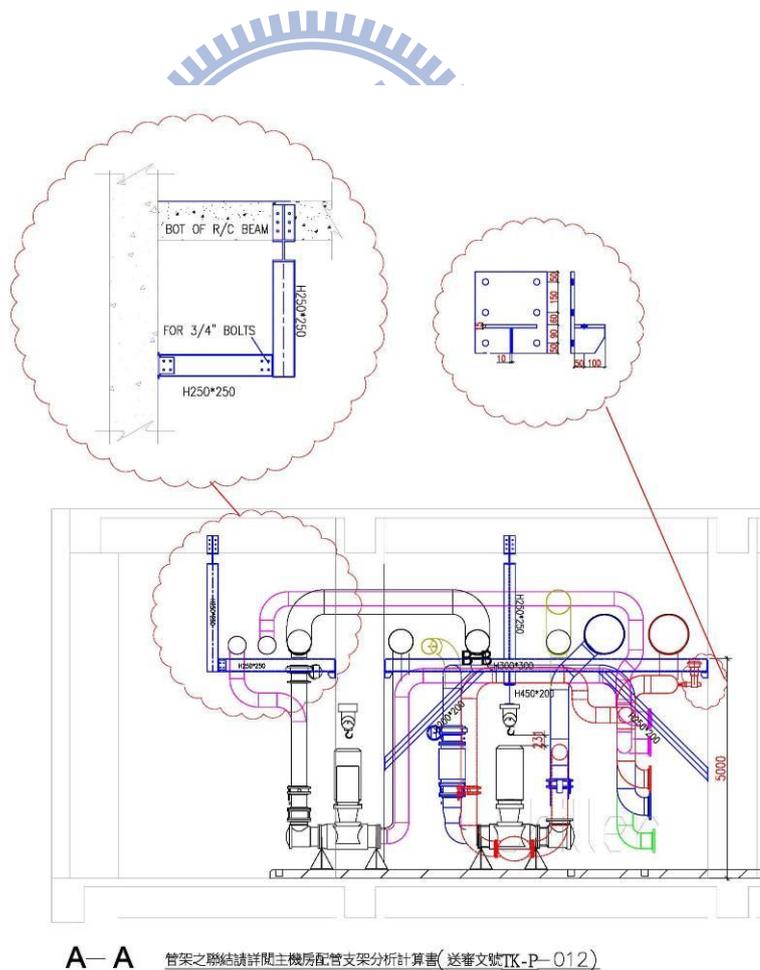


圖 4-5 初步空間規劃

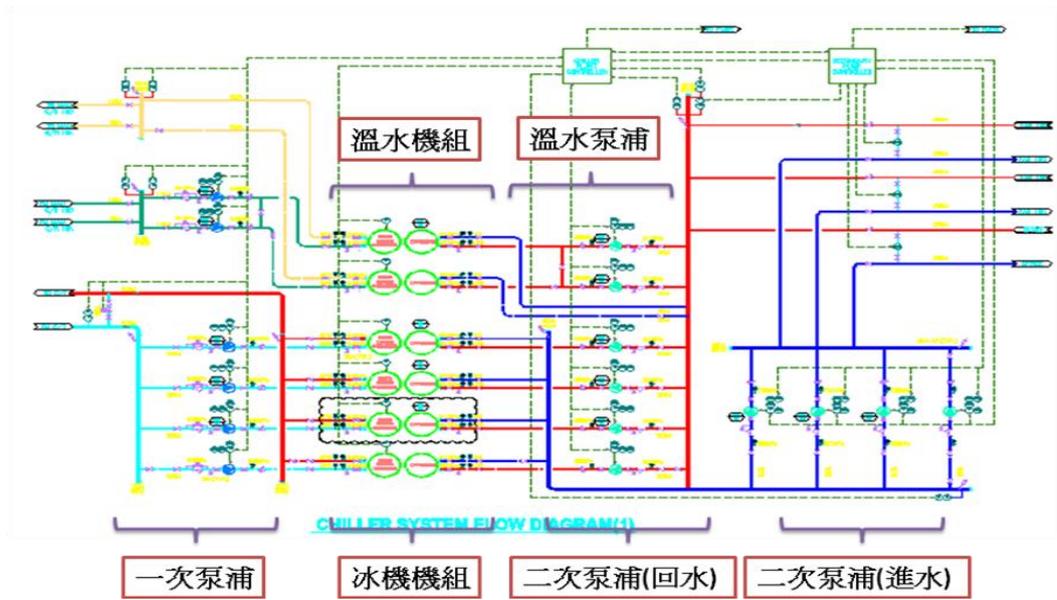


圖 4-6 區分系統流程圖

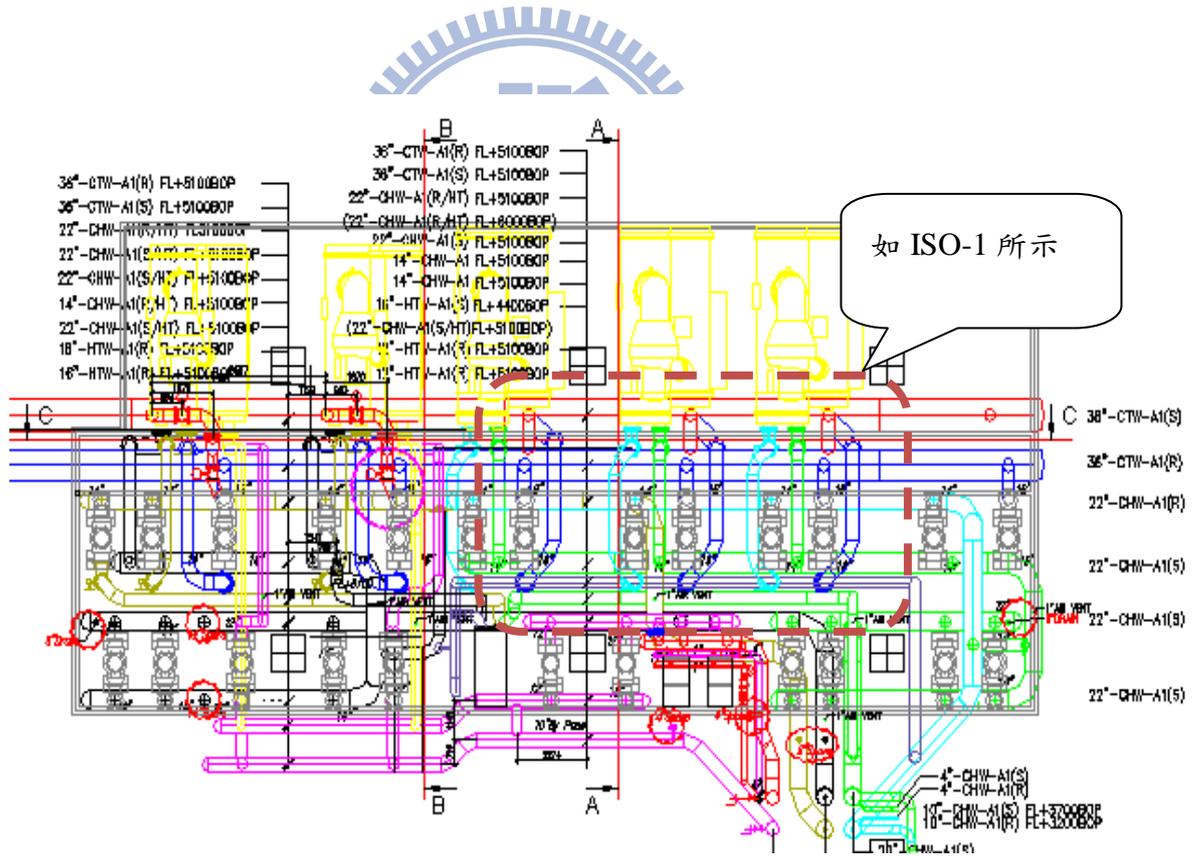


圖 4-7 空調機房平面圖

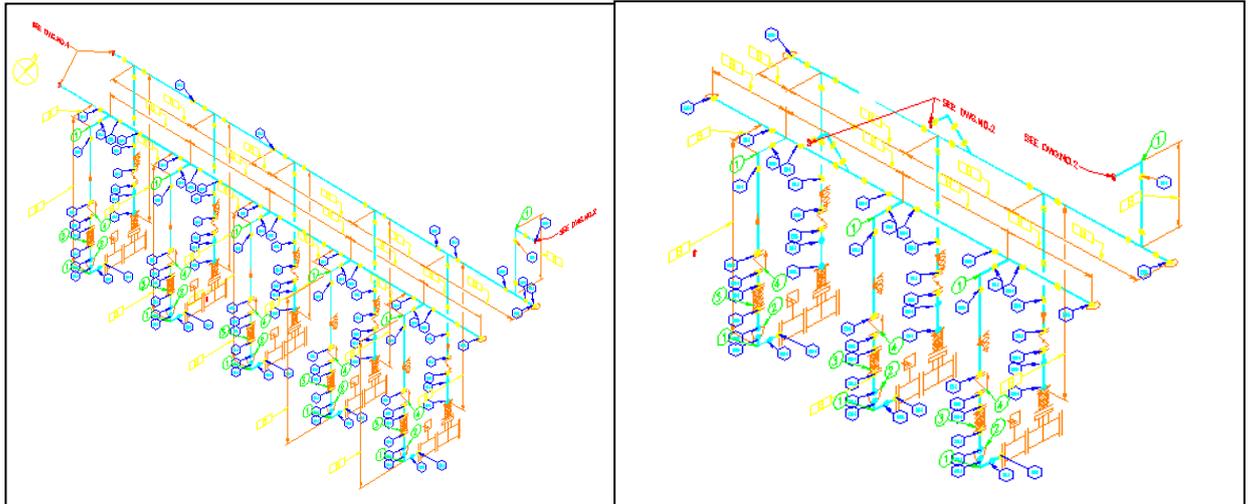


圖 4-8 依系統分類繪製 ISO 圖

4-2-2 運用 3D 套圖施工模式

隨著數位化時代的快速發展，CAD 的功能越來越強，所能因應的領域也越來越多，所以也越來越多工程公司，重視 3D 製圖的應用，而國外也越來越多相關單位，發表應用 3D 製圖所產生的效率，一方面可以減少管線衝突，也期望藉由 3 維空間多方位的辨識度，及精準度，讓施工更有效率。

工程製圖運用 3D 製圖，主要發生在初步空間規劃後，開始做細部空間規劃及正確的施工尺寸，所以在這時候需盡快送審及確認設備及系統零件配置，這些步驟在初步規劃幾乎都已完成，唯一不能控制的變數就是建築物柱位的誤差，建築物的誤差值一般在百分之一都算正常，所以 10 公尺的柱位有可能就相差 10 公分。因此現場需在建築物柱位完成後立即做誤差值的量測。並做圖面細部修正。

運用 3D 製圖對施工承攬商而言必須在每一筆繪製 3D 製圖的成本，但是 3D 製圖具有較完整性的空間套合特性，包括與建築物的相對空間，因此可讓施工者，清楚判斷每個系統的相對位置及空間密度，可在施工前針對管線密度高的地方做預防(如圖 4-9)。

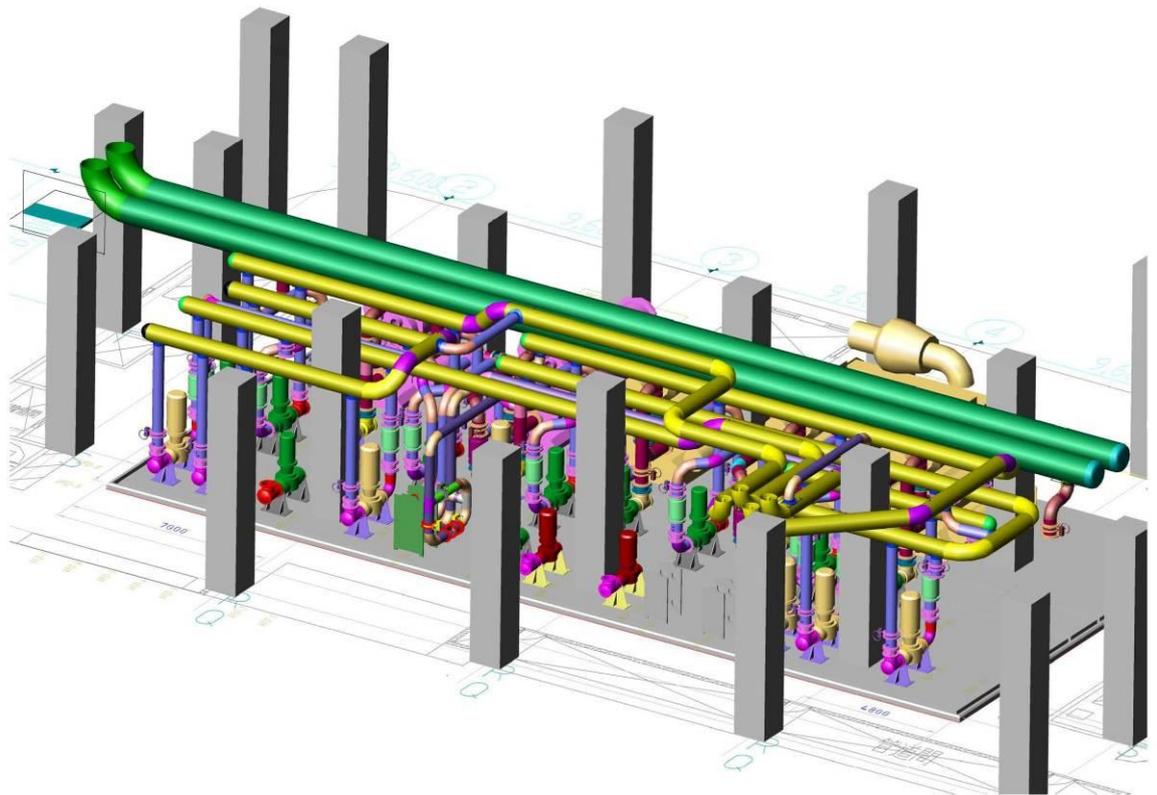


圖 4-9 3D 機房施工圖

在 3D 施工圖產出週期雖與傳圖製圖產出周期相仿，對施工者而言都必須仰賴 ISO 圖的視角，做施工材料組成的空間判斷。雖然仍需製作相當傳統 ISO 圖的數量，但 3D 製圖在繪製完成後，只需將視角轉動及關閉不必要系統圖層便能快速產生正確尺寸的 ISO 圖(如範例-圖 4-10，11)，如此施工者可以在完整的空間下做施工預製判斷，確定零件組成及現場所需預留調整誤差的段落。在此過程中也能利用 CAD 中 block 的統計功能將每個流程所需的管件統計出。

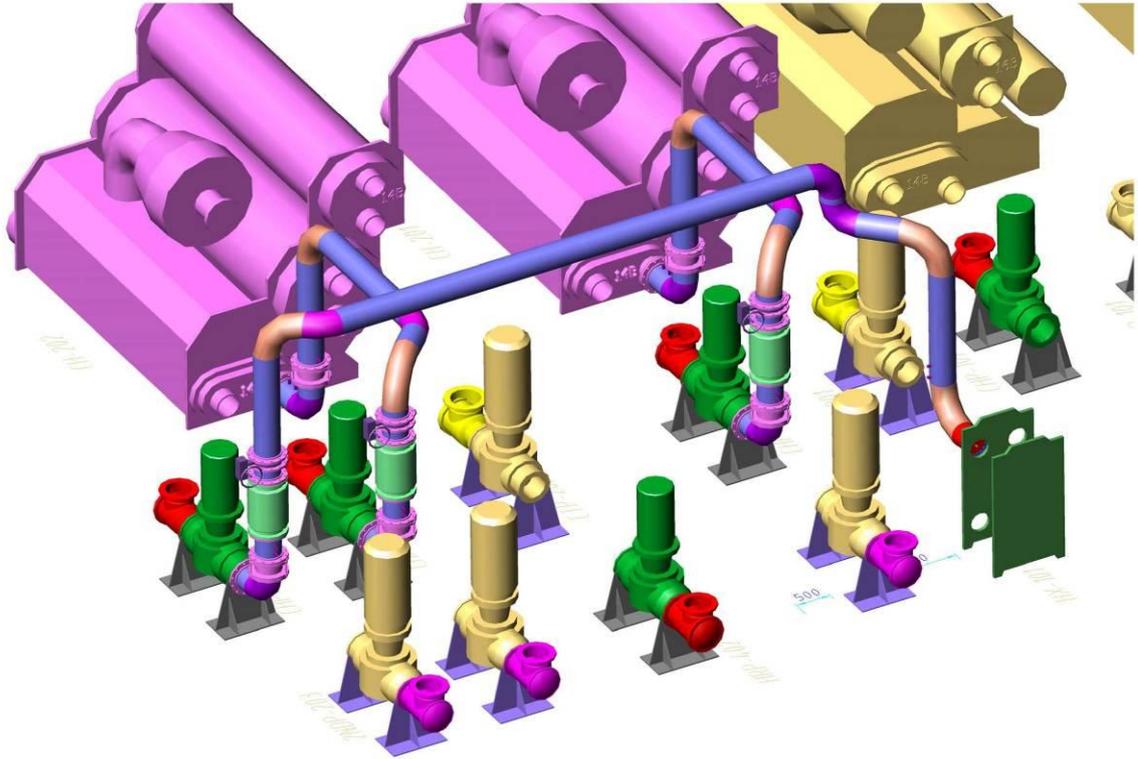


圖 4- 10 3D ISO 圖

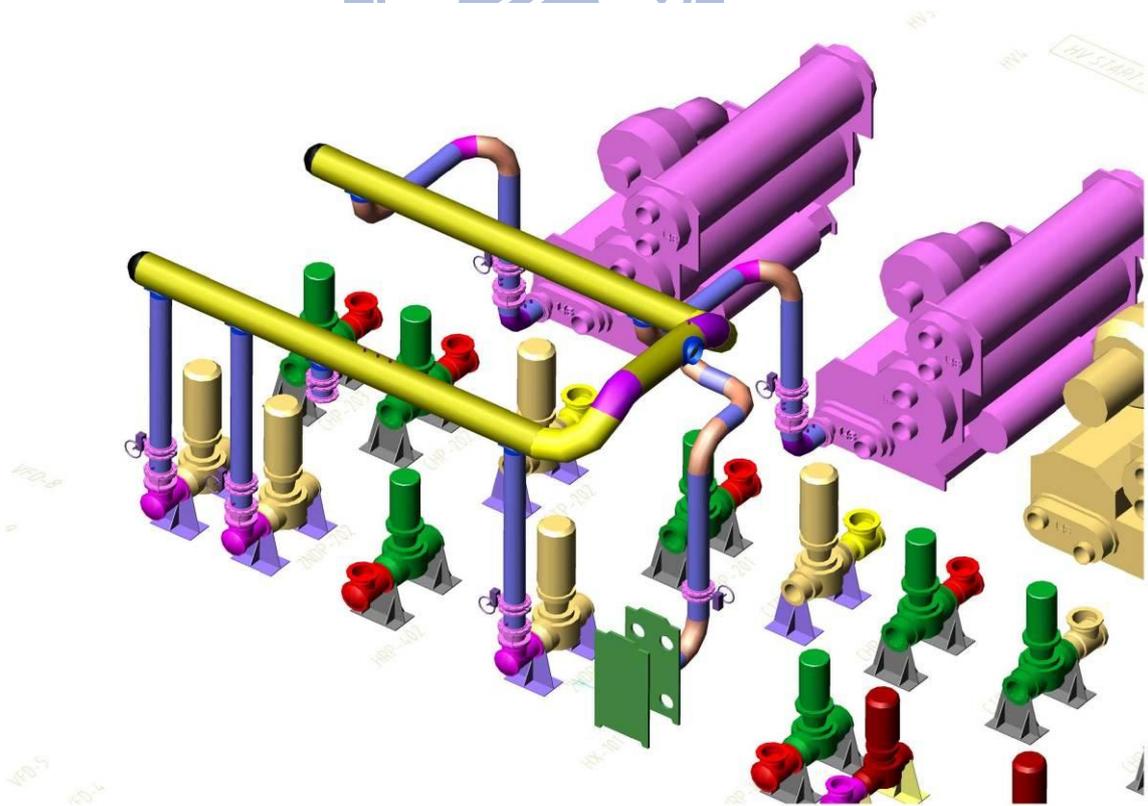


圖 4- 11 3D ISO 圖

綜合上述傳統製圖及 3D 製圖運用在施工圖產生週期，可歸納以下優劣性：

表 4-1 傳統製圖及 3D 製圖比較表

	傳統製圖	3D 製圖	說明
空間整合		○	三維空間可呈現出管線佈置在每個視角的空間狀況，可清楚確認管線有無衝突。
施工判讀		○	施工人員可更清楚看出垂直管段零件組成及判斷空間管線佈置狀況。
製圖成本	○		傳統製圖-施工承攬商領班，一般都具備手繪 ISO 圖能力。3D 製圖則需委外或在聘請繪圖人員。
材料清點		○	可清楚看見垂直管段零件組成，零件清點能更準確
施工預製		○	3D 製圖可將各系統流程及建築的相對位置清楚表示出，有利管路預製的準確度。

雖然 3D 製圖在空間具備絕對的優勢，但在目前的 CAD 繪圖系統仍有其需改進的地方。尺寸標示部分，目前常用的 3D CAD 無法直接做尺寸標註，必須將視角轉成 2D 才能標示尺寸，所以在轉成 ISO 圖之後必須手抄尺寸在圖上才可。期望未來軟體廠商能將尺寸普及應用在各 3D 軟體。

而 3D 製圖雖製作上有不足之處，但在管線預製上確是帶來相當的便利性，以下章節將針對預製的人力及進度做實地觀察，比對工地現場施工人力及進度的成本分析。

4-3 施工階段-傳統人力控制模式

4-3-1 施工承攬商組織介紹

本次研究根據施工承攬商實際施工情況做觀察研究，承攬商選擇的標準具備完整的施工體系，並包含繪圖人員。該施工程覽商基本組織成員包含：領班、製圖人員、施工人員、焊工、工安人員。依各工項職務說明如以下表列：

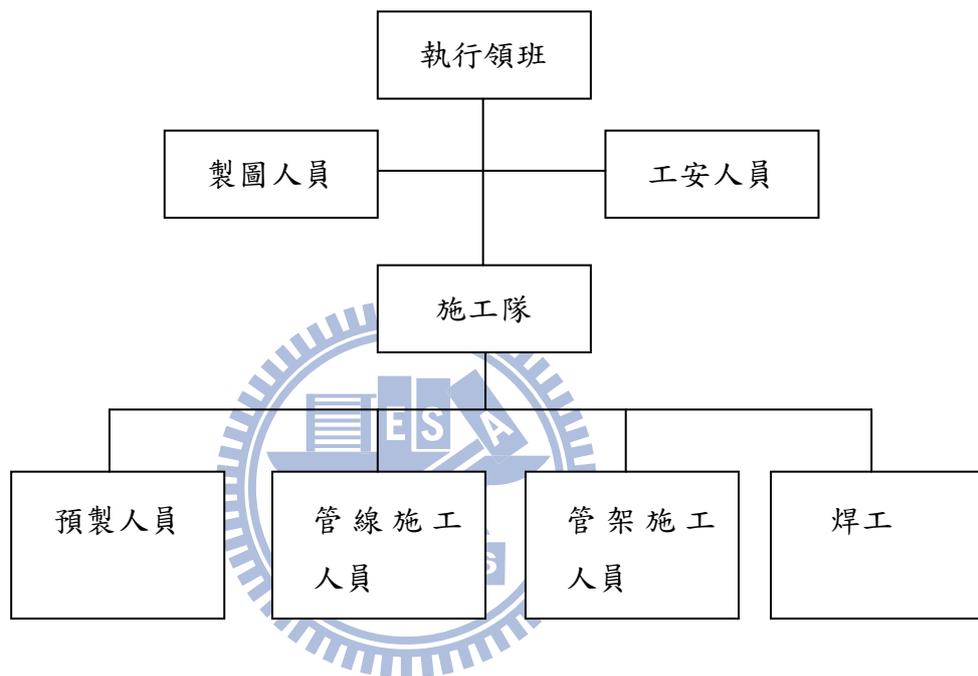


圖 4-12 施工承攬商組織表

表 4-2 施工承攬商人員職務說明

項次	職稱	工項	職務說明
1	執行領班	派工	A. 人力分配 B. 物料管控 C. 工區協調 D. 施工確認、品質管控 E. 系統測試
2	製圖人員	套圖	A. 製圖套圖 B. 空間協調 C. 系統拆圖 D. 材料清點

			E. 實地丈量
3	施工人員	配管	A. 裁切倒角 B. 搬運 C. 管架製作 D. 管路預製 E. 管路丈量、放樣
4	工安人員	工地安全	A. 勞安 6S 執行 B. 施工申請 C. 人數確認
5	焊接人員	焊工	焊接

4-3-2 傳統製圖方式人力及成本計算方式

工程配管主要計算以 DB 值(英吋乘公尺)為單位，就是將鋼管展開以面積做計算(直徑 $\times\pi\times$ 管長)，為方便計算將常數-圓周率(π)移除，即是一般用來計算配管進度的 in-m(如表 4.3)。

工程配管人力及成本需求，為方便計算常以配管小組成員三人基本薪資與合約 DB 值單價換算成本及人力需求。

配管工二員	2500	$\times 2$	(元)
焊工一員	3500		(元)
施工成本合計	8500		(元/日)
DB 單價	160		(元)
每天至少完成數量	$8500 \div 160 \doteq$	53 (DB)	

所以若配管數量 14,304 DB (如表 4-3)合約日曆天 100 天那每天需施作 143DB，而施工派遣為三組約 10 人/每日。其餘工項如：支撐架、管線油漆、標示及試壓，因金額及工項所占比例不大，僅以材料比例 10%~20%做成本。

表 4-3 案例數量計算書

項次	品名 管徑(吋)	單位	數量 (管長)	DB 值 (in-m)
1	冰水機房			
(1)	24"	M	82	1,968
(2)	22"	M	104	2,288
(3)	16"	M	230	3,680
(4)	14"	M	224	3,136
(5)	12"	M	40	480
2	管道間			
(1)	24"	M	22	528
(2)	22"	M	22	484
(3)	16"	M	12	192
(4)	14"	M	12	168
3	空調箱機房			
(1)	6"	M	60	360
(2)	5"	M	60	300
(3)	4"	M	60	240
(4)	3"	M	120	360
(5)	2"	M	60	120
	合計(in-m)			14,304

4-4 運用 3D 製圖做管線預製分析

管線預製依特性基本可分為兩類，工廠內預製和工地預製。場內預製主要針對工地空間大、管徑小而管件尺寸有固定長度，如消防灑水配管，固定距離留撒水點。製程用配管，平均預留產線設備需求點，特性比較簡單。而工廠內預製主要針對以下幾種狀況：

1. 管徑太大-管徑大相對的五金另件也重量重，而此類管線集中在機房及管溝，而且大部分是懸吊在天花板，施工不易而高架作業也相對危險，又管線加工和焊接時需搬運及翻面，需吊運機具，一般工廠會有天車設備協助搬運，大部分焊道也可以在地面完成，安全上相對有保障。
2. 某區域趕工各工種在同一時間地點施工，這時可將一些共同性質的管件組合先於工廠預製組裝完成，如圖 4-14 所示，設備端的旁通組件共八組，每組由 13 個零件組成，若現場組裝需 13 道以上施工手續，而利用預製，現場只需做前後連接兩道手續，可減少現場人力，防止與其他系統擠在同一區域施工的現象。
3. 工地現場施工常用臨時電在施工，當每個系統商都在同一時間施工容易造成電力不足的現象，而鐵管電焊需穩定及足夠的電流，施工品質才會良好，所以利用預製可讓工地現場電力較為節省，也不至於用電過度或電線在現場容易被施工機具破壞，造成電線走火的危險。
4. 空間不足，如圖 4-8 所示冰水機房，從平面圖上看管線及設備已佈滿整個空間，而機房又是系統主管路最大的地方，而圖面上還有管線支撐架未表示出來(如圖 4-5)，空間相當壅擠。所以利用預製方式將空間與時間錯開，利用管線在工廠預製的時間，同時將工地支撐架完成，管線預製完成後運送工地依序上架，而現場就只剩下管線連結的工作，如圖 4-14 管線預製段如雲線內的組合，到工地只剩兩雲線組成的接合焊道。
5. 工地現場不得動火，此部分主要發生在無塵室廠房，當無塵室進入潔淨管制程序而配管工作為完成時，為減少電焊產生濃煙、異味及微塵的發生，所以盡量場外加工，再組件完成的端點利用法蘭片，到現場只需兩法蘭片利用螺絲對鎖既可。

本研究實際勘查施工承攬商在工廠預製管件進度，並做紀錄，因該公司這時段有兩個新建工程在同時進行，所以記錄的管件無法針對同一廠，因此以預製的口徑為依據，用某光電廠的空調架構冰水主機到空調箱(圖 4-13、14)的配管數量來模擬計算。

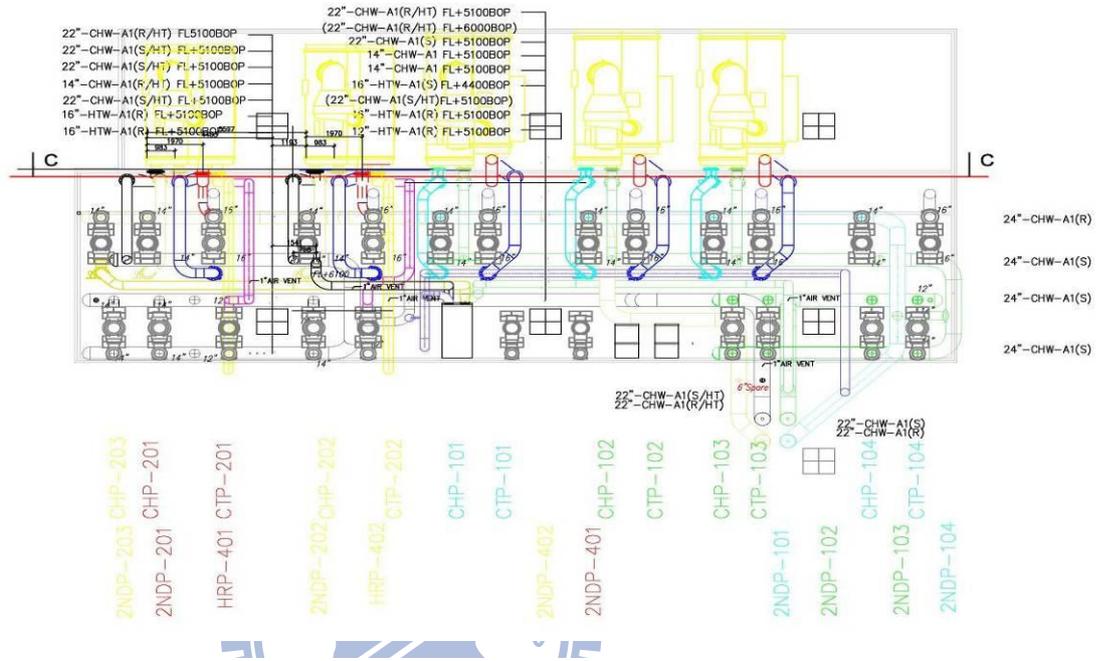


圖 4-13 冰水機房

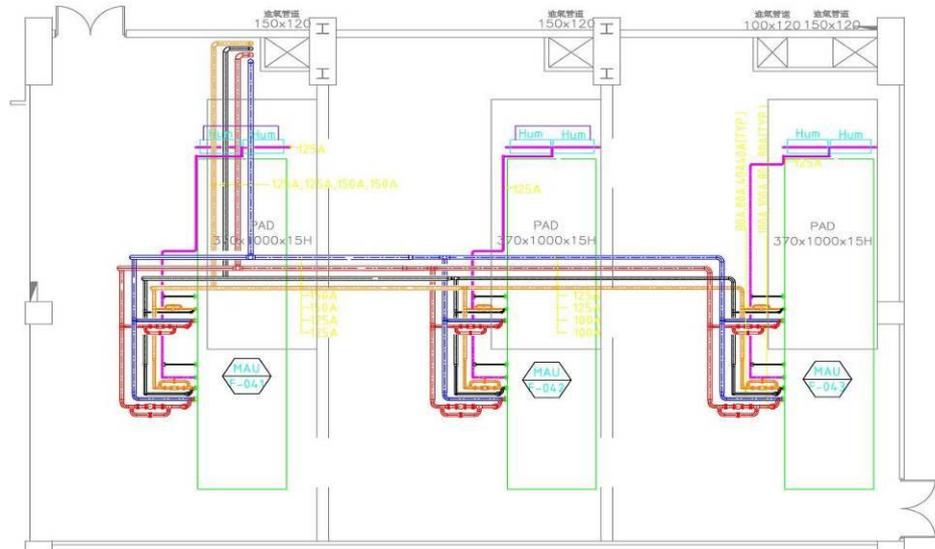


圖 4-14 空調機房

管線可預製(如圖 4-15~17)所示，約占整體管線數量 70~80%，其餘地方為預製組裝後，需現場施工，依誤差做調整。又以預製工法，工廠施工進度表如表格 4.4 所示，預製人員+現場施作人員，平均進度值可達 108 DB。

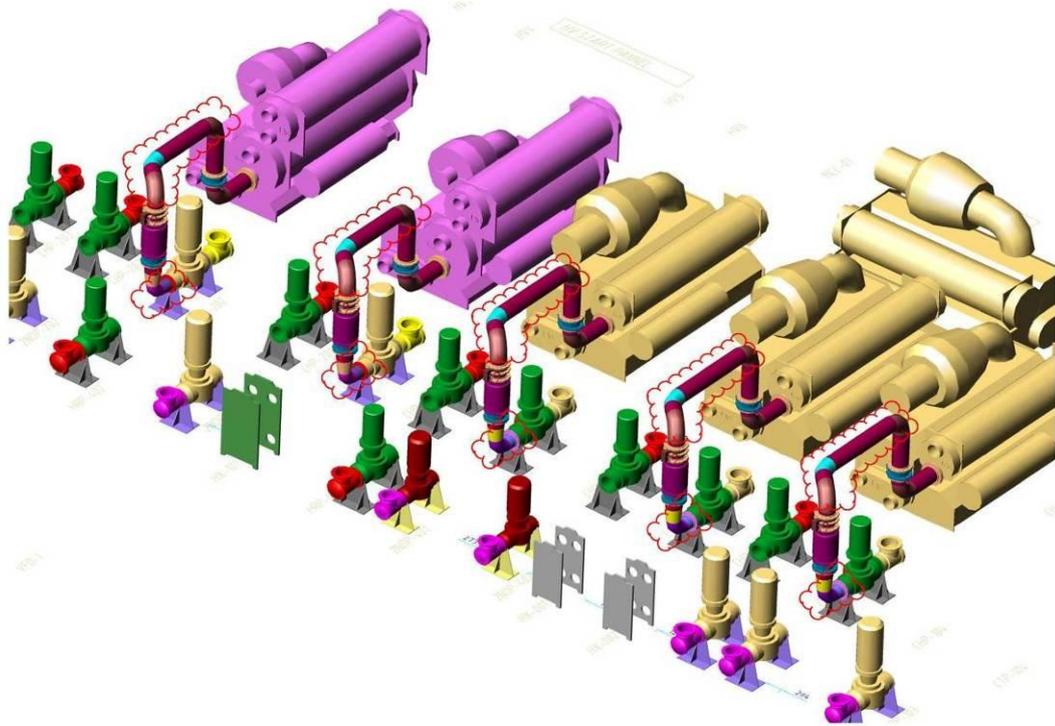


圖 4-15 機房分解圖-1

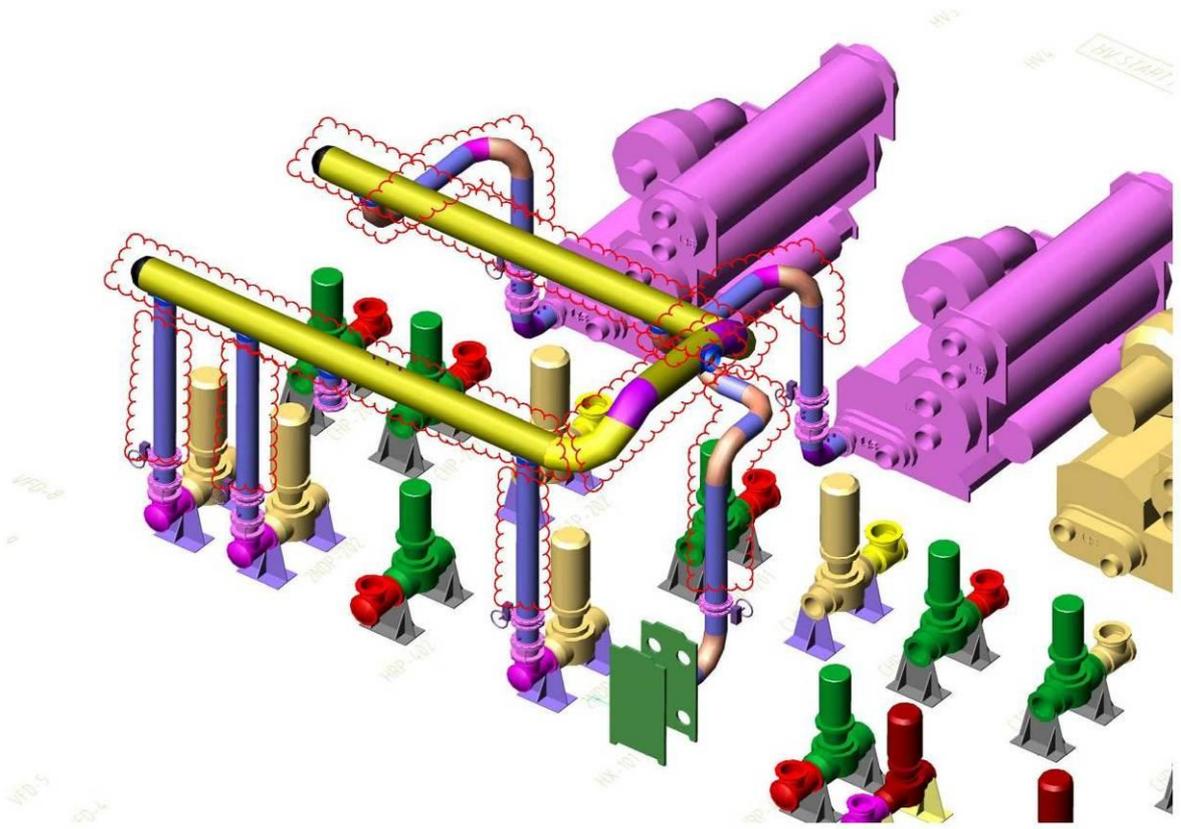


圖 4-16 機房分解圖-2

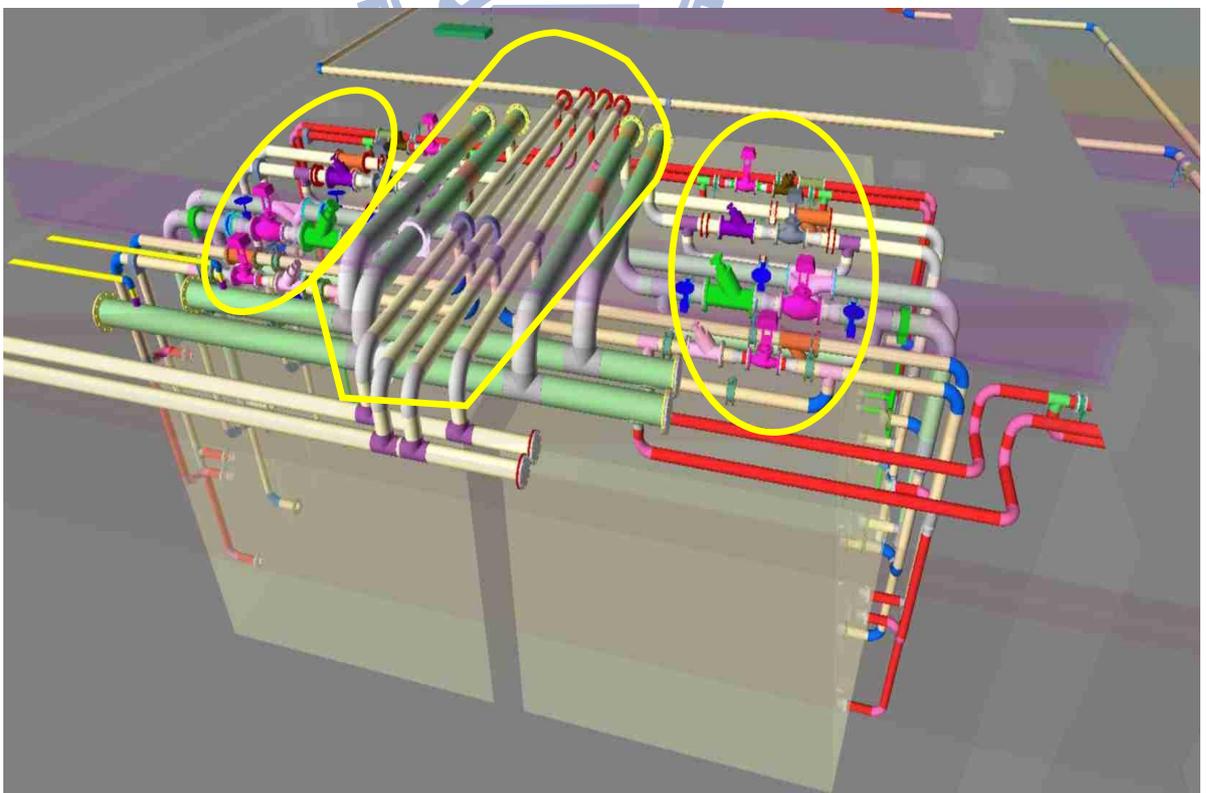


圖 4-17 空調機房配管圖-3

表 4-4 工廠預製進度表

平均工資 2,700

項次	日期	管件	預製數量	預製人員	in-m	DB/人	in-m/元
1	3月26日	24"	24	5	576	115	23
2	3月27日	24"	24	5	576	115	23
3	3月29日	22"	22	5	484	97	28
4	3月30日	12"	20	3	280	93	29
5			12	3	264	88	31
6	3月31日	24"	20	5	480	96	28
8	4月1日	22"	20	5	440	88	31
9	4月2日	22"	16	3	352	117	23
10	4月3日	16"	28	5	448	90	30
11	4月6日	16"	26	5	416	83	33
12	4月7日	16"	28	5	448	90	30
13	4月8日	16"	24	3	384	128	21
14	4月9日	16"	20	3	320	107	25
15	4月10日	14"	36	5	504	101	27
16	4月12日	14"	24	3	336	112	24
17	4月13日	14"	22	3	308	103	26
18	4月14日	14"	26	3	364	121	22
19	4月15日	40"	16	5	640	128	21
20	4月16日	40"	14	5	560	112	24
21	4月17日	40"	16	5	640	128	21
22	4月19日	40"	20	5	800	160	17
23	4月20日	32"	16	5	512	102	26
24	4月21日	32"	18	5	576	115	23
25	4月22日	32"	18	5	576	115	23
26	4月23日	24"	14	3	336	112	24
27		22"	14	3	308	103	26
28	4月24日	16"	22	3	352	117	23
29		14"	24	3	336	112	24
					平均值	108	

以本次案例計算方式，計算預製完成管件及運送至工地後完成的配管做加總並平均，可得利用預製方式約可節省的成本。

工廠預製進度：

預製焊工 1 員、預製人員計 4 員

- (1) 總 IN-M 14,304 (DB)
- (2) 以 75%可預製量 $(1) \times 0.75 = 10,013$ (DB)
- (3) 預製人員 4 員 $2500 \times 4 = 10,000$ (元)
- (4) 預製焊工 1 員 $3500 \times 1 = 3,500$ (元)
- (5) 施工合計成本 $(3) + (4) = 13,500$ (元)
- (6) 工廠平均進度(表列) 108 (DB)/人
- (7) 施工人員 5 員可完成天數 $(2) / (6) \times 5 = 18$ (天)

工地施工進度：

焊工 1 員、施工人員計 4 員

- (8) 25%工地數量 $(1) \times 0.3 = 4,291$ (DB)
- (9) 工地經驗進度 50 (DB)/ 3 人
- (10) 施工人員 5 員可完成天數 52 (天)
- (11) 運送時間總計 5 (天)

總計需求工期：

$$\underline{(7) + (10) + (11) = 75 \text{ 天}}$$

由計算式可得知本工程以 75 天，每天 10 工完成。與原本工期需求 100 天，每天 10 工的人數更節省成本。

4-5 趕工成本比較

隨著科技的進步，一些高科技廠房如：晶圓廠、面板廠...等，總樓板面積越做越大，總樓板面積都在 5 萬平方公尺以上，在投資額高及市場佔有先機的特性下，常見機電工期都壓縮在 3 個月內完工，若營建工期延誤，並不因此延後完工日期，相對的機電的工期就受到壓縮。以下為常見趕工計畫：

(一) 施工人員調度

1. 工程規模已非一下包商可獨立施工，故於選用下包商時將分開發包並選用多家具晶圓廠施工經驗包商。
2. 於趕工期開始時，因同時有二至三家不同管道人員，調度方可運用自如。

(二) 物料掌控

1. 工程所使用管材，管徑較大及數量較多必須有一定準確數量使趕工期間材料不至不足。
2. 對管材採購及管理將會專人管制，管制進場時間及數量尺寸，及對管材保護及運用都影響施工現場預製空間及物料效率使用。

(三) 工廠先行預製

1. 如風管部份尺寸及數量，於空間管理會議確認後可先行預製並工廠加工後，至工地按裝。

(四) 施工時段區分(兩班制)

1. 施工人員增加至影響施工空間時需調整施工區域分區施工，以減短施工時間。
2. 因施工機具不足或施工用電不足，若必需調整施工時段時，將分為 08:00-17:00 及 16:00-23:00 並考慮兩班間工作接序固施工時段需重疊藉以確保工程完整性。

(五) 空間規劃

1. 增加管件及材料預製即可減少物料暫存區。
2. 確實掌握設備材料進場時間，進場時將儘速安裝完畢以減少暫存區之面積。

在本次計算的案例，在高科技廠房規模都在 2 倍以上，所以單一系統建廠人員至少每日 30 員以上，而施工承攬商的成員稍具規模 20 人就很多了，因此以目前工程管理方式，趕工計畫不是將系統再分包就是工時 3 班制。但是成本也因此相對提高。

4-6 小結

經本次實際做工廠施工研究，施工運用 3D 製圖做配管預製，可增加產出效率主要分析如下：

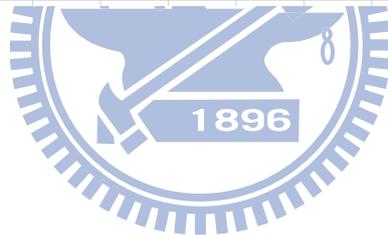
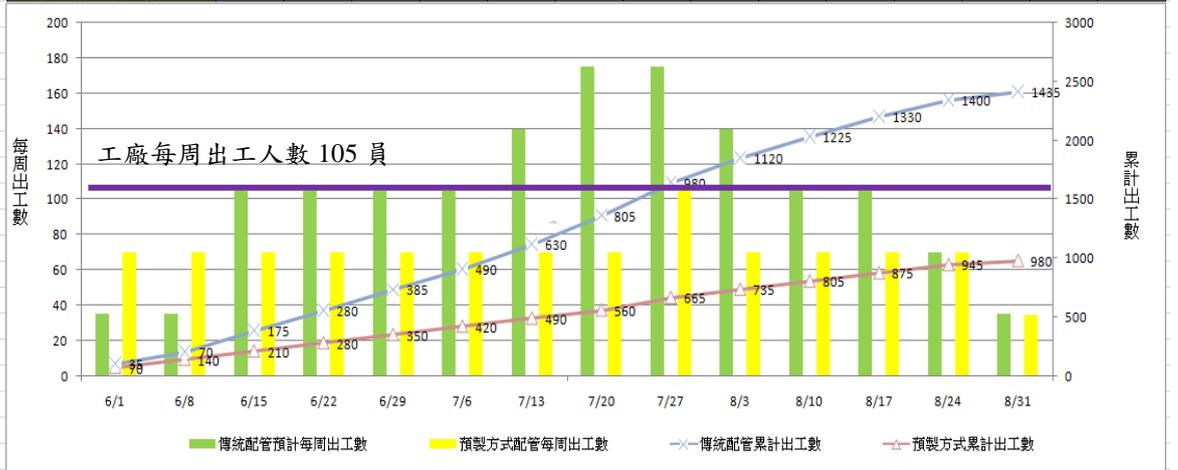
1. 空間概念，施工人員可藉由三維空間視圖完整了解空間密度，做事前配管規畫。
2. 工具齊全，管線製作可有大型機具，工地則只存在方便攜帶的機具。
3. 電力穩定，工地建廠初期，使用臨時電電力不穩。施工顛峰期用電量大，電力容易不足。
4. 施工安全，工廠預製電焊工可在地面施工。工地則需於管路就管架定位後施工，需高架作業。
5. 工安巡檢，工地常預長官巡檢，為避免不必要罰單，就會停止施工。
6. 施工重疊，一般機電如消防、電力、給排水...等，分佈最廣，所以施工重疊機會相當大。
7. 空間分配，利用預製將部分人力及材料分配在工廠，不用同時擠在同一機房內。

綜合以上優點，預製確實可增加工作效率，也可把人數降低，讓一般的承攬商不用在轉包便可符合人力需求。所以學生服務的公司趕工計畫中，也把預製作執行項目的一部分。

以本次案例以工程常態施工任務及工廠平均有施工人員 15 人乘上一周時間的人數來做進度分配所呈現的曲線如下表 4.5，傳統施工曲線以常見凸型呈現，中間部分人數超出工廠每周施工人數內，所以需以加班方式克服。而運用預製方式施工可增加配管數量所以出工數大幅降低，並以比較平均方式呈現出工，所以人員分佈較易掌握。

表 4-5 出工狀況比較表

傳統配管常態任務調配	支撐架	支撐架	配管	配管	配管	配管	支撐架+配管	支撐架+配管	支撐架+配管	配管	配管	配管	配管	試壓
預製配管方式常態分工	支撐架+預製	支撐架+預製	預製+配管	預製+配管	預製+配管	預製+配管	支撐架+預製	支撐架+預製	支撐架+預製	配管	配管	配管	配管	試壓
日期	6/1	6/8	6/15	6/22	6/29	7/6	7/13	7/20	7/27	8/3	8/10	8/17	8/24	8/31
傳統配管預計每日出工數	5	5	15	15	15	15	20	25	25	20	15	15	10	5
預製方式配管每日出工數	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	5
傳統配管預計每周出工數	35	35	105	105	105	105	140	175	175	140	105	105	70	35
預製方式配管每周出工數	70	70	70	70	70	70	70	70	70	105	70	70	70	35
傳統配管累計出工數	35	70	175	280	385	490	630	805	980	1120	1225	1330	1400	1435
預製方式累計出工數	70	140	210	280	350	420	490	560	635	735	805	875	945	980



第五章 運用 3D 製圖解決空間常見問題分析

5-1 製圖常見問題

工程施工之探討，經驗中常見界面衝突，邊施工邊爭的面紅耳赤，術業有專攻，每個專業都做最好的設計，好的管線空間大家都要用，節省成本增加系統效率，但是結合起來卻是管線層疊。所以延伸出工程管理的重要，界面要有規則，除合約、標單、WBS 要明白外，其中影響最直接的就是施工圖面標示要清楚。

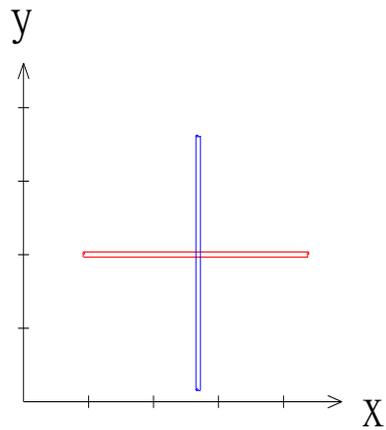
而工程施工圖又常見製圖人員屬文職人員，不常進出工地，所以無法領略三維空間管線配置概念，因此在過去常見施工領班拿設計圖到工地現場手繪施工圖，再回歸製圖人員做 CAD 製圖。如此做法不但無法在施工前做準確的製圖，也難怪施工衝突一直存在工程界面中。

隨著工業軟體的進步，3D 製圖也漸漸的普及，不但將施工圖三維空間化，也讓兩不同房間的隔間可透視化，得以讓管路得以在穿牆後也能事先得知牆後方是否存在其他器具。

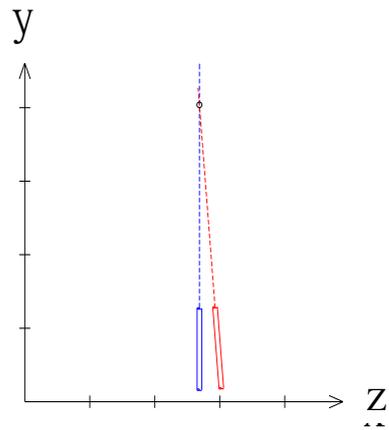
所以本章主要針對機電工程常見空間問題做說明，並針對這些問題所必須使用的工具做實例操作及在 2D 視圖上因視覺死角不易察覺，需運用 3D 多視角的優勢，才得以判斷出空間上的差異，舉例以下常見空間衝突案例，並利用案例做差異比較：

1. 管線及設備空間交集搜尋
2. 平面圖兩平行管線的衝突判斷
3. 兩垂直軸向管線的投影交集
4. 兩平行管線未保留適當操作空間

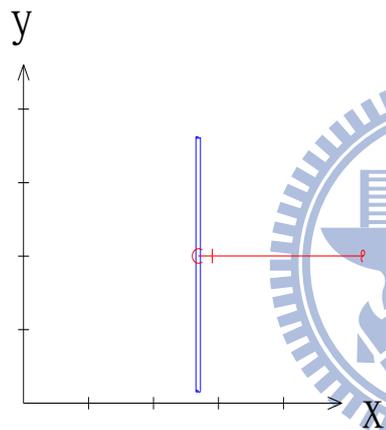
以上狀況在一般施工平面套圖，需具備基本空間向量概念，首先需將各系統施工平面圖的原點對正，此時由平面圖會出現如圖 5-1 所示的幾種向量交集狀況。



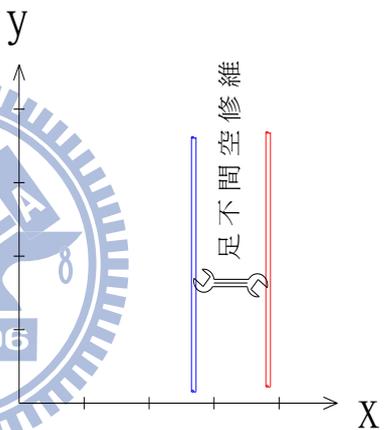
1)x 軸與 y 軸管線交集



2)兩看似平行但不平行的管線，確相交於遠處某點。



3)x 軸向端點有一下降符號，其投影與 y 軸相交



4)維修空間不足

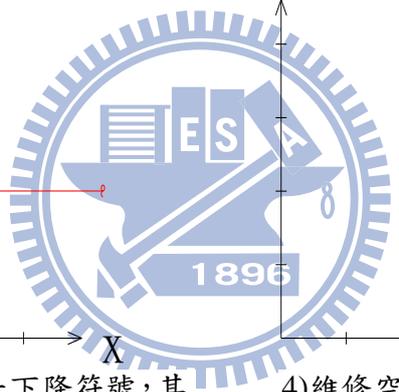


圖 5-1 管線衝突向量表示範例

5-1-1 兩垂直管線的交集

機電配管施工平面圖為求整齊有規律，管線所呈現出來的都是平行 x 軸與 y 軸向的向量。所以在套圖時首先需由最基本也是平面圖上最易判讀的到的就是 x 軸向與 y 軸向的交集，因此基本的空間規畫就是定義 x 軸向及 y 軸向位於垂直面 z 軸的高層數據，如此可確認兩向量不會產生交集(如圖 5-2)，

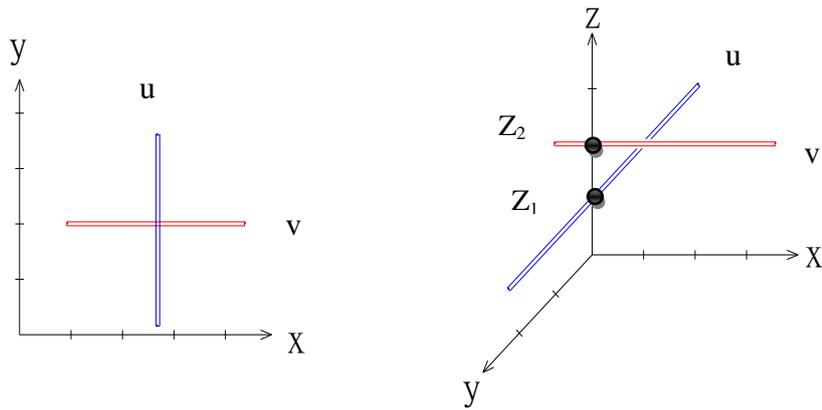


圖 5-2 垂直管線交集

若 \vec{u} 與 \vec{v} 表示兩管線之軸心於 x, y 平面之投影向量表示平面兩線段呈垂直相交
 當 $\vec{u} \cdot \vec{v} = 0$

此時需再確認兩線段交點之 Z 值相關位置，若 Z_1 與 Z_2 分別表示兩管線與
 投影交點時之 Z 值，而 d_1 與 d_2 分別為兩管線之直徑：

當 $|Z_1 - Z_2| \geq (d_1 + d_2)$

則兩管線段高程已錯開不會產生衝突

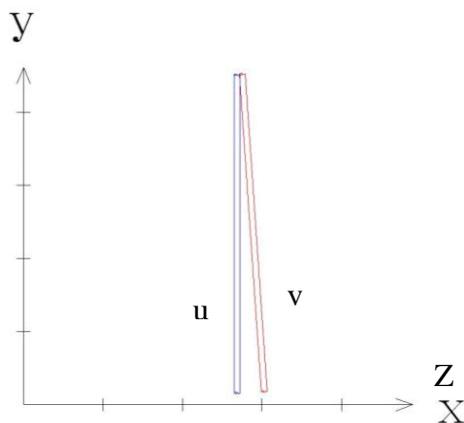
5-1-2 兩同軸向管線的交集

當兩看似平行的管線，確相交於遠處某點(如圖 5-3)。此狀況以排水管需有
 slope 最常發生，我們需確認兩管線方程式：

假如 $\vec{u} = k\vec{v}$ 表示兩管線平行則進行 5-1-4 之施工空間判斷；否則

$$d_i = |\mathbf{u} - \mathbf{v}| = ((X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2 + (Z_1 - Z_2)^2)^{1/2}$$

若 $\min(d_i) \geq (d_1 + d_2)$ 則兩線相交於遠處。



2) 兩看似平行的管線，確
 相交於遠處某點。

圖 5-3 同軸向具斜率管線範例

5-1-3 兩垂直軸向管線的投影交集

在檢討垂直管段點的投影是否與平面上的管線或設備重疊(如圖 5-4)。需檢討 v 在 u 的投影(projection of v onto u)：

當 $\text{proj}_u(v) = \left(\frac{u \cdot v}{u \cdot u}\right)u$ 則 v 線段的端點與 u 產生衝突

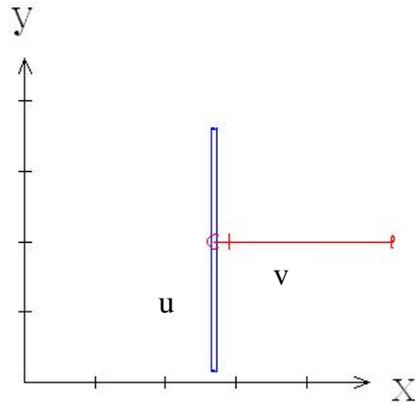


圖 5-4 管線向量投影交集

5-1-4 兩平行管線未保留適當操作空間

配管套圖中常見的一個錯誤就是未保留適當施工及維修空間(如圖 5-5)，因為當兩管線平行無交集。其實在配管施工都必須保留適當的施工及閥件操作空間，一般會以兩物件最大直徑的 1.5 倍做安全空間：

$$[d_a \geq 1.5 \times |d_1 - d_2|]$$

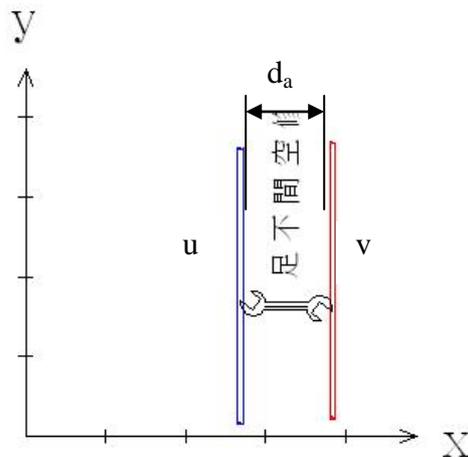


圖 5-5 兩平行管線空間不足範例

5-2 案例說明

機電工程套圖繪圖人員在判斷管線空間配置時，需懂得基本向量圖學，否則必須經過長時間的工地經驗才能體會三維空間的管線配置。而目前軟體隨著工程經驗的累積開已發出可替代的功能，來彌補繪圖人員經驗不足的缺失，以下以目前常見的 Autodesk Navisworks 做功能上的介紹。

5-2-1 管線及設備空間交集搜尋

本節利用某工廠的水配管作範例，將原施工圖繪製成 3D 施工圖後做套圖檢討，以常見空間問題作模擬，利用 Navisworks 作空間檢討平台，來詮釋施工圖所應該注意事項，如下所示：

1. 選擇要比對的 BLOCK
2. 訂定管路安全半徑範圍
3. 點選 START 開始搜尋

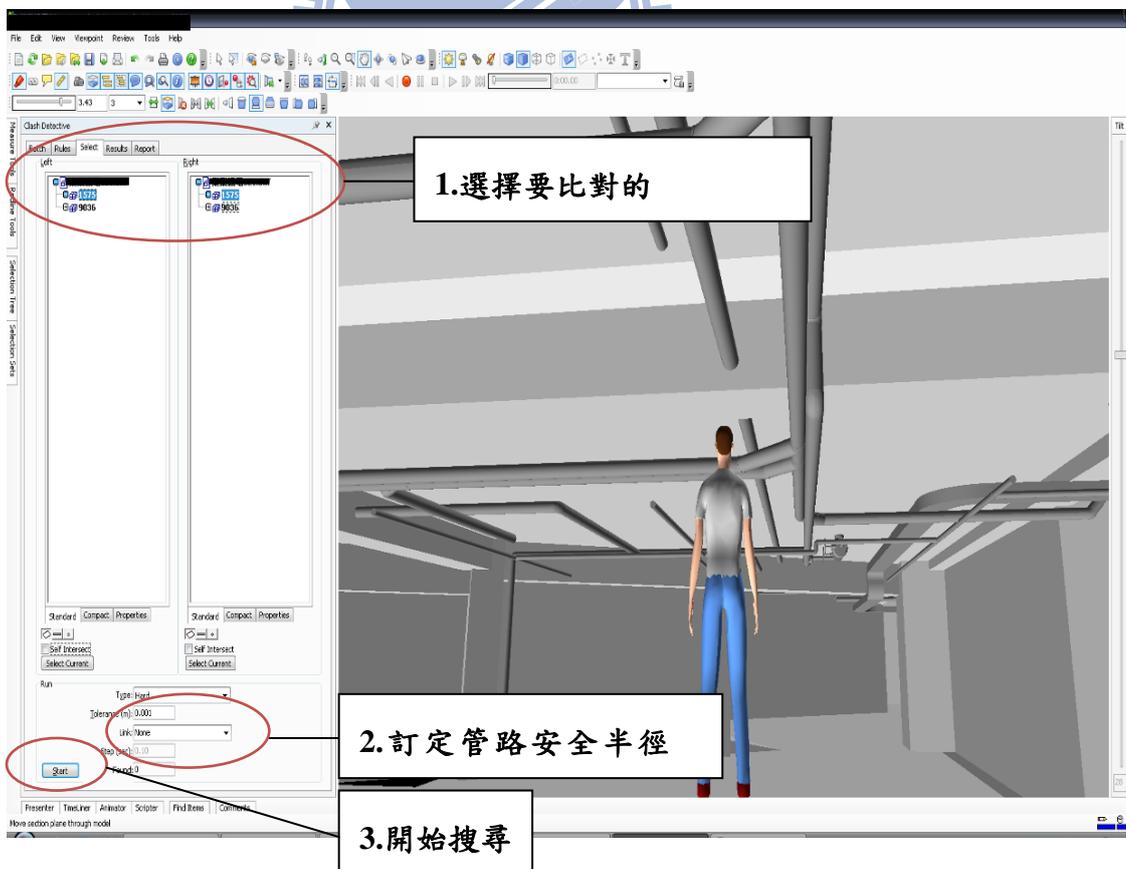


圖 5-6 衝突實例操作檢討-01

- 選出如圖面諸多交集點，大部分都是穿牆交集，不過根據下方功能列顯示的 BLOCK 看自己所需要的管線既可。

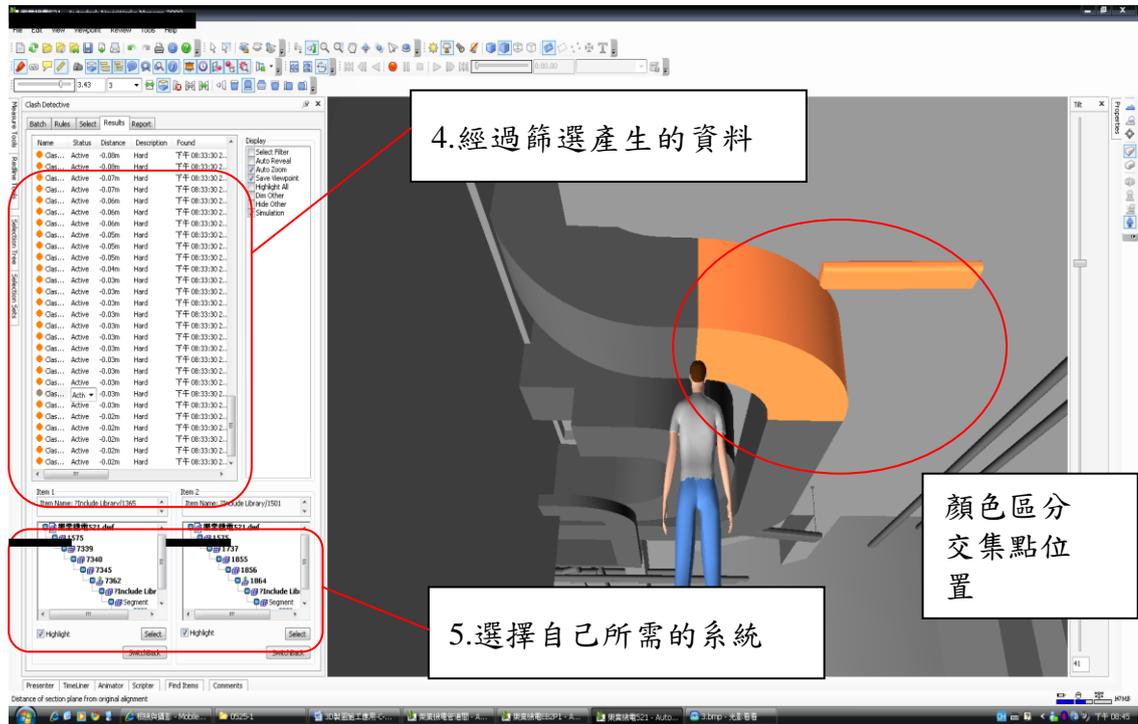


圖 5-7 衝突實例操作檢討-02

- 點選 BLOCK 相關位置圖檔自動將畫面帶到相關位置，並將相關交集點以顏色表示出。

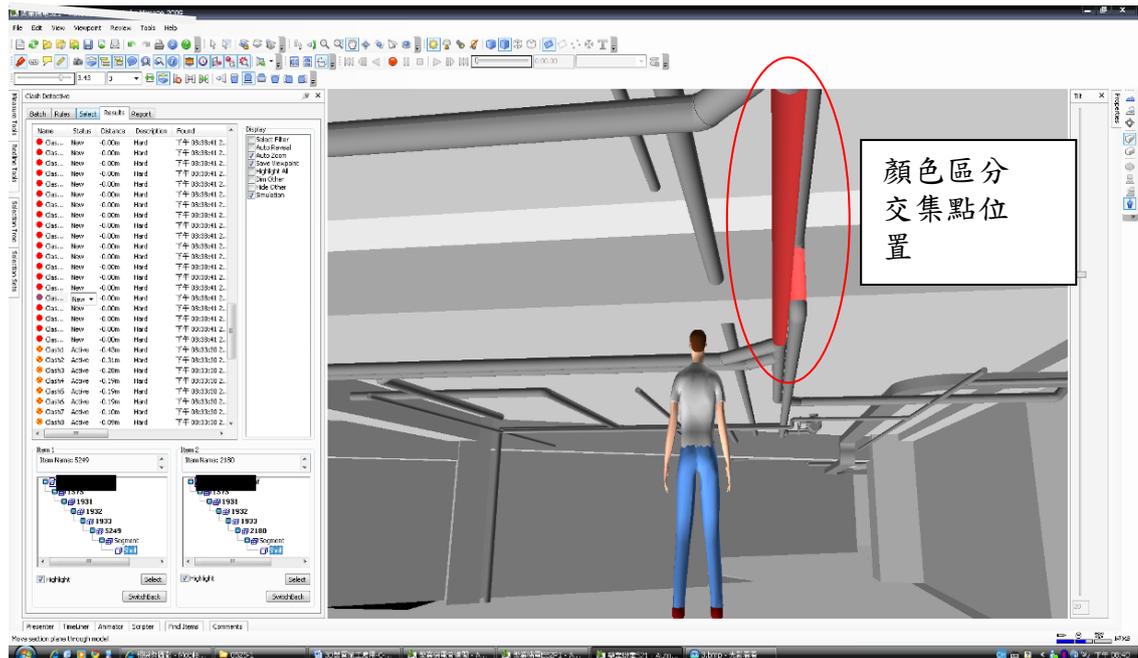


圖 5-8 衝突實例操作檢討-03

5-2-2 管道間排列及出管判斷

常見管線套圖中在管道間跨越樓層空間時，在平面圖視覺上僅能看出當樓層的格局，而下一樓層的空間佈置若未做管道間出管比對，將不易判斷出管線穿板後，是否有東西阻礙，或排列次序是否影響管線出管道間接續問題。

如圖 5-9 所示，管線經管道間跨越樓層後，平面圖無法立即判斷出管道間的排列方式，若沒有做適當的排列管路在出管道間時容易發生管線打結衝突現象。

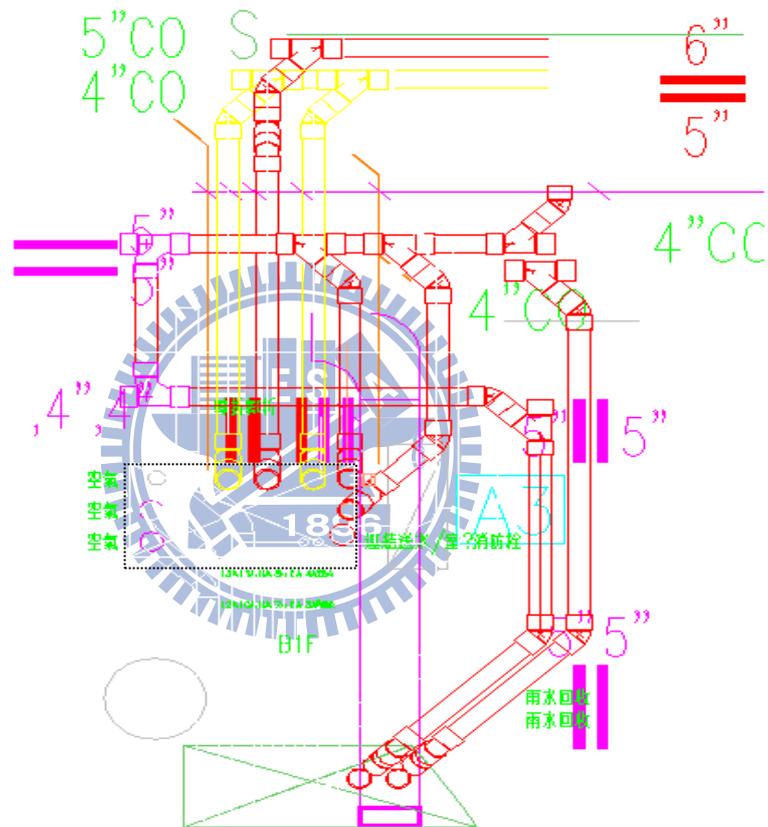


圖 5-9 管道間實例操作檢討-01

經過 3D 軟體剖視之下，將平面管路依其特性做適當的區分，再依出管需求將管道間做合理的排列(如圖 5-10)。

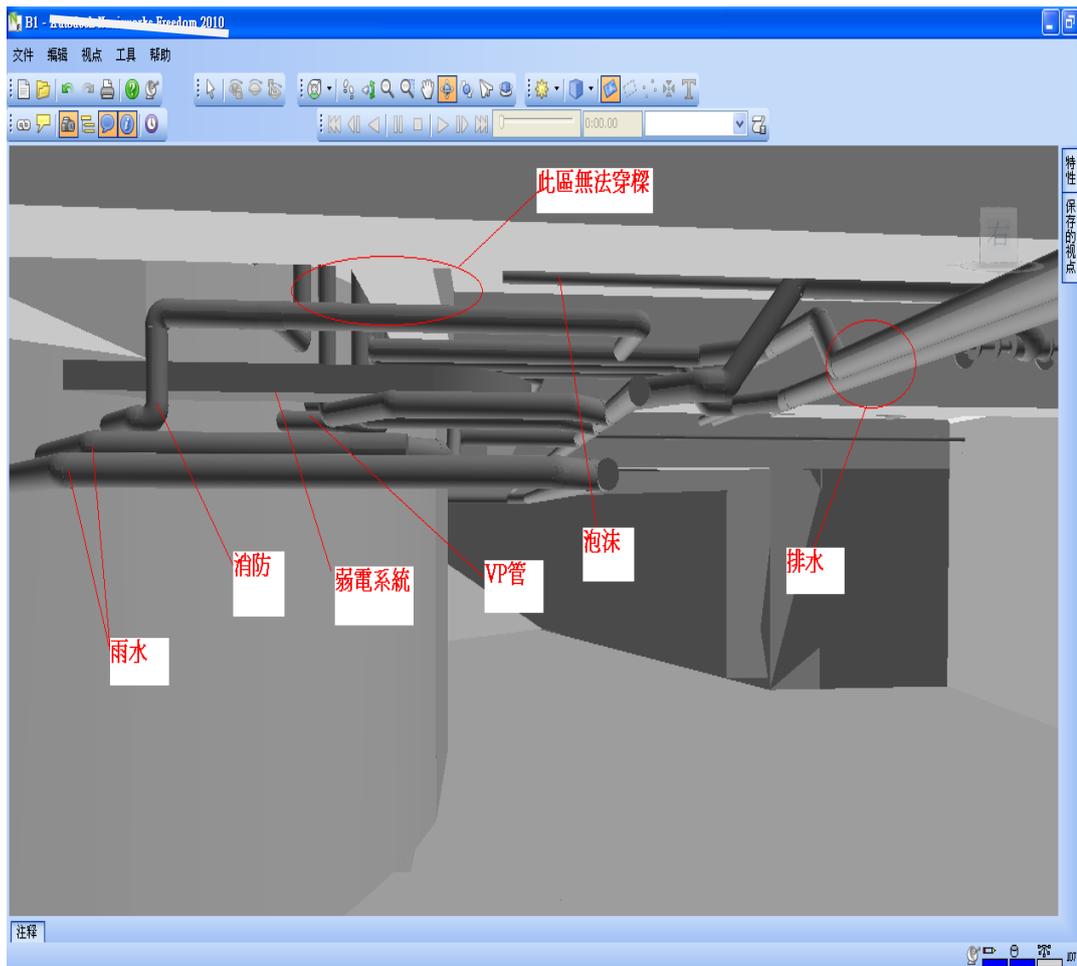


圖 5-10 管道間實例操作檢討-02

5-2-3 隔間阻礙視覺判斷

設計繪圖單位，部分製圖人員缺乏工地實作經驗及三維空間概念，圖面繪製時僅考量管線是否衝突，忽略構圖所需圖資及配管所需施工空間，無法再設計階段就將空間作有效的配置，因此容易造成施工人員施工不易或邊施工邊改圖的狀況，也容易造成日後維修空間的障礙。

如圖 5-11 所示，為一般機電施工圖表示管線佈置方式，圖中藍色虛線代表衛浴設備的排水管，配合隔間需求做配管佈置。由平面看是相當平常繪製方式，並無不妥。

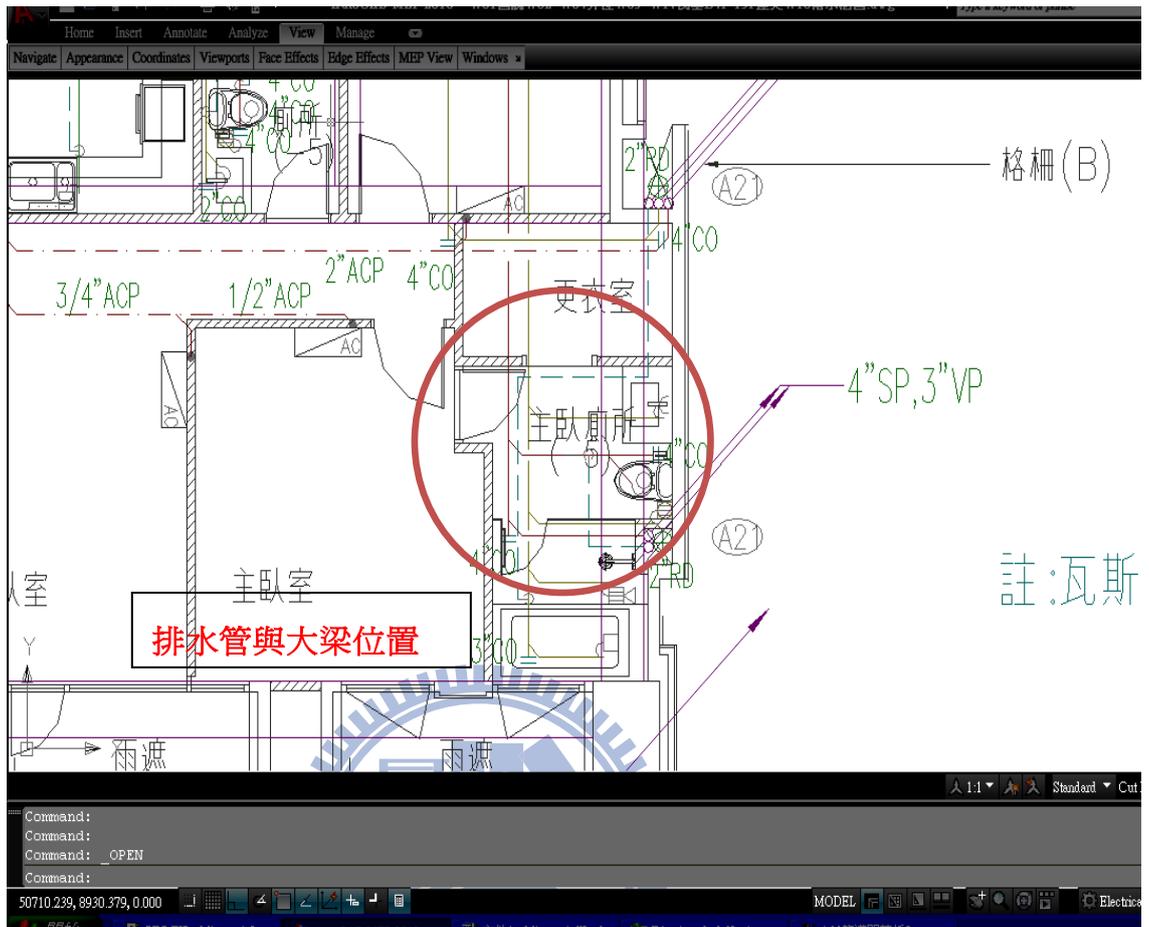


圖 5-11 隔間阻礙視覺判斷實例操作-01

在經過 3D 視圖檢視之下發現，本區雖然只是單純的衛浴設備配管，但經過樓層透視檢查下，發現本區下方緊鄰建築大樑(如圖 5-12)，所以樓板下方空間有限，除衛浴設備座樑外，管線也因空間問題發生衝突、施工間距不足...等狀況(如圖 5-13)。

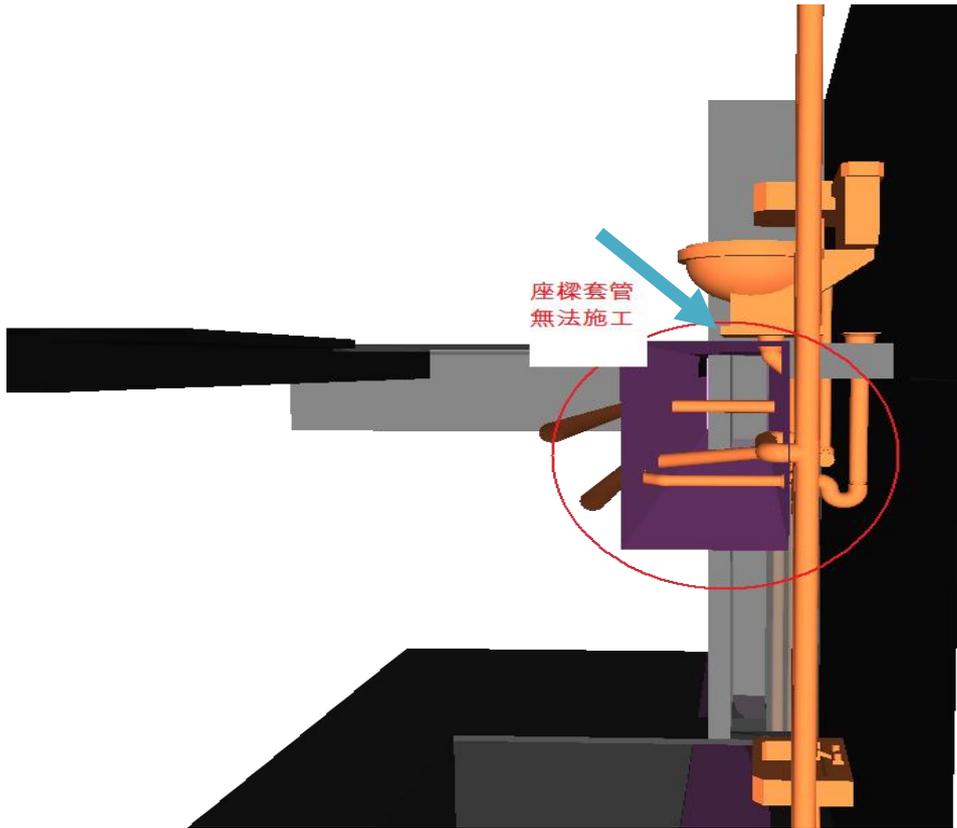


圖 5- 12 隔間阻礙視覺判斷實例操作-02

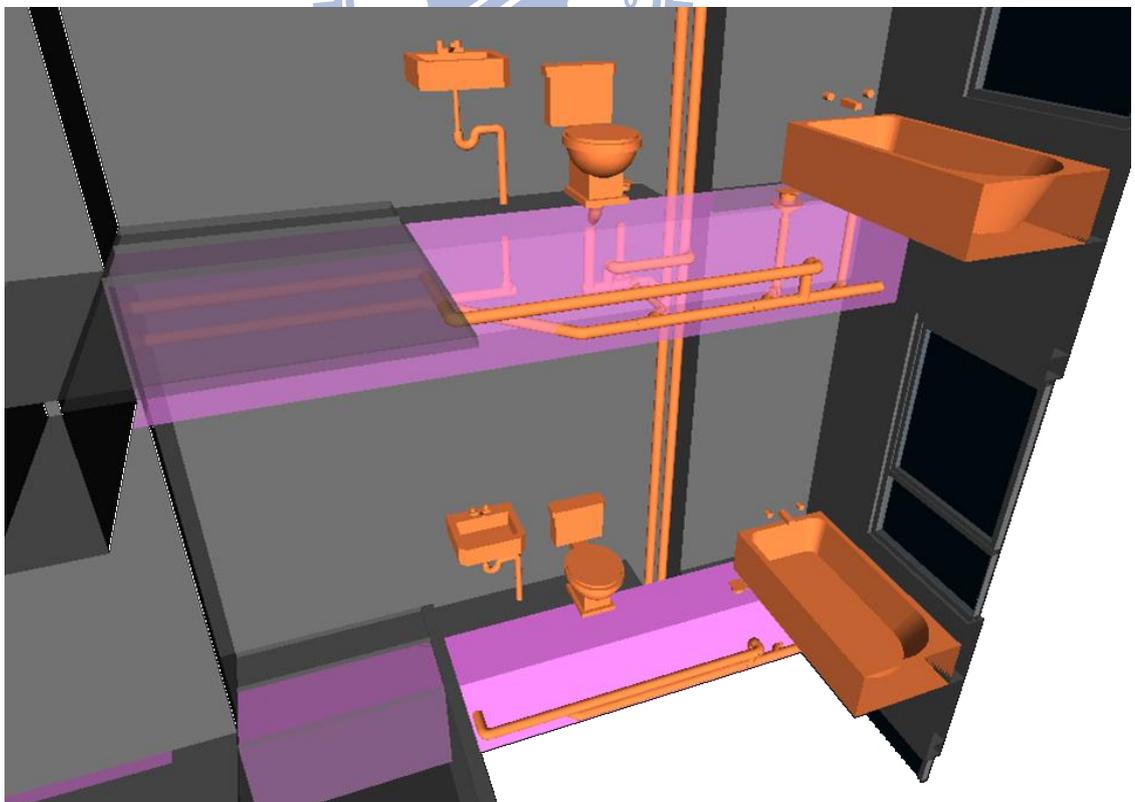


圖 5- 13 隔間阻礙視覺判斷實例操作-03

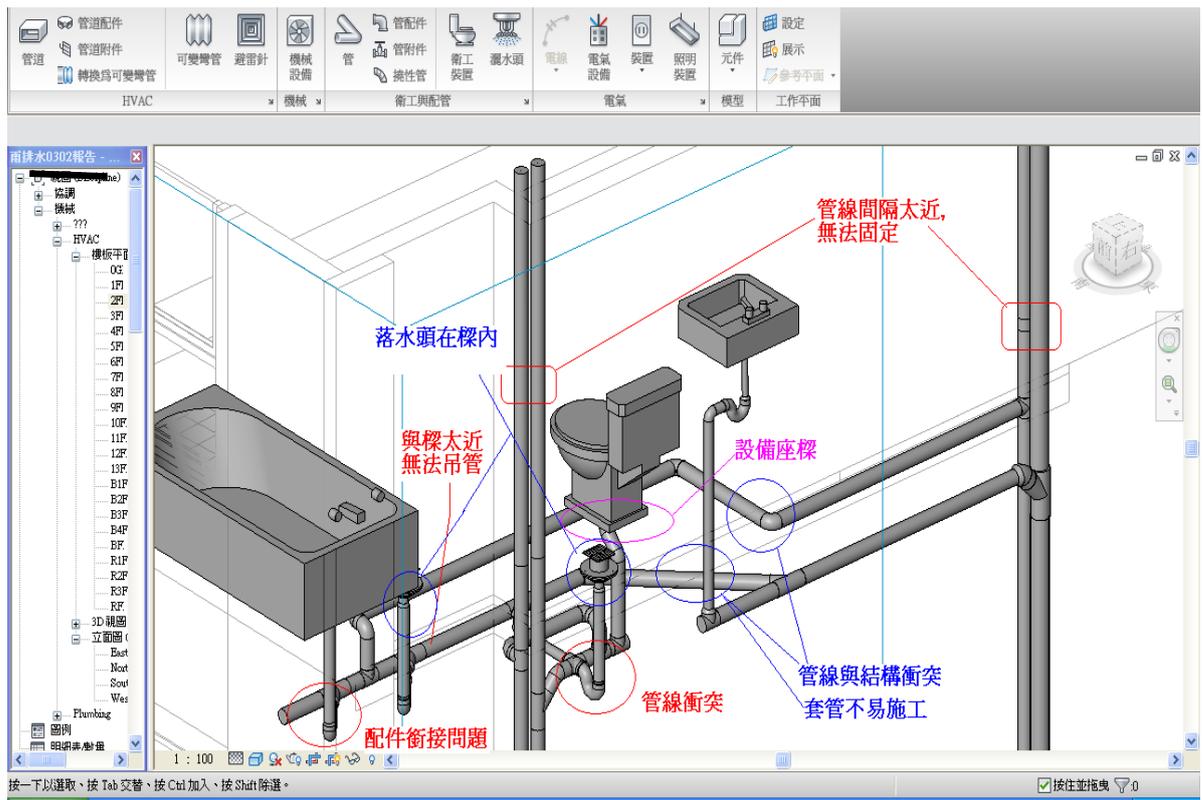


圖 5- 14 隔間阻礙視覺判斷實例操作-04

最後在 3D 空間剖視大樑位置，確認需檢討設備位置，經過隔間變更，將浴室及廁所空間做適當方向對調與調配，將排水管錯開大樑相對位置，再檢討管路配置空間與方式，才得以將配管空間做適當的佈置。

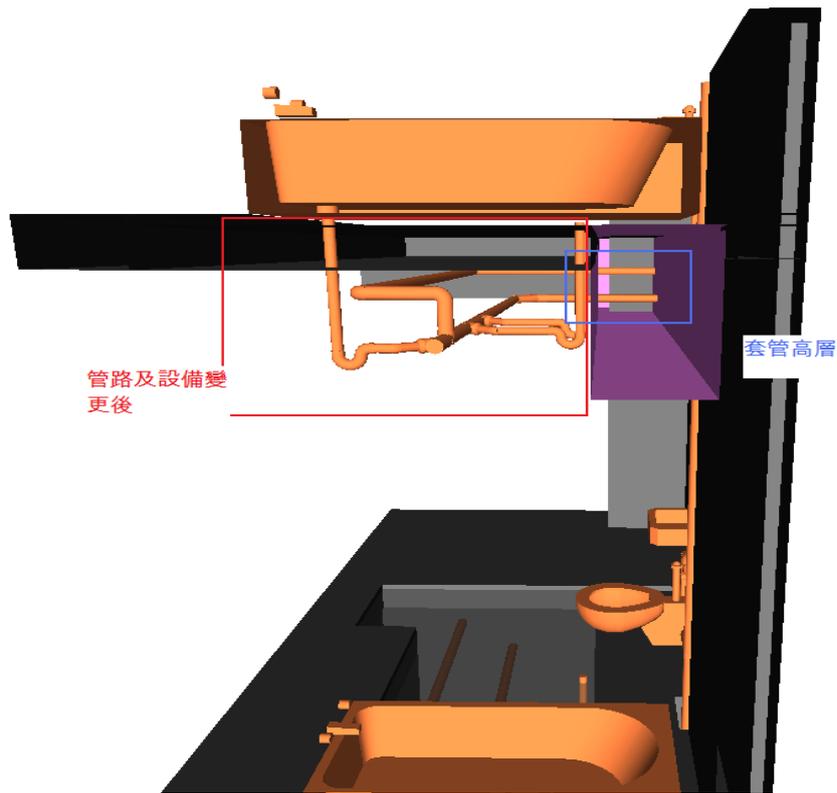


圖 5-15 隔間阻礙視覺判斷實例操作-05

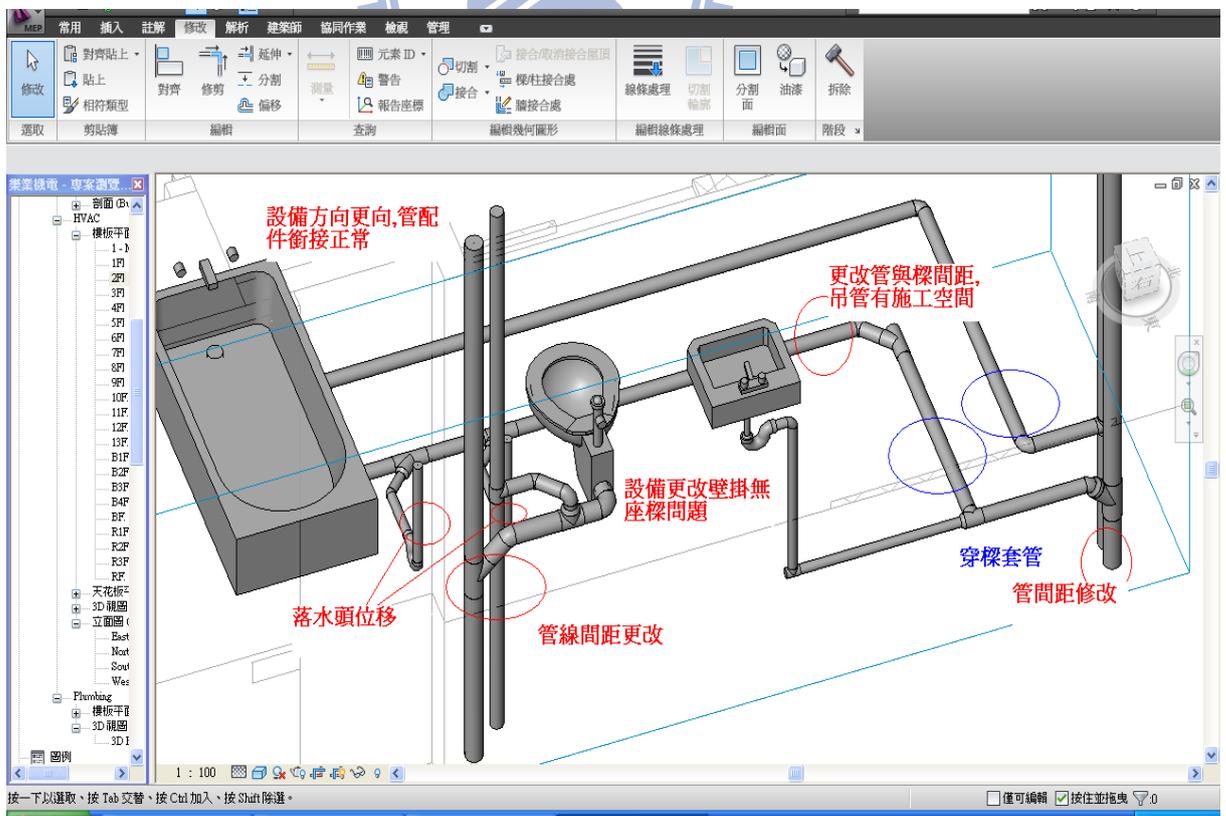


圖 5-16 隔間阻礙視覺判斷實例操作-06

5-2-4 忽略維修動線

部分廠房為增加產線空間，犧牲部份不具經濟效益的廠務空間，造成機房空間縮小，所以空間規劃上需確實考量人員操作及維修的最小空間需求，以免造成操作障礙。

為方便管理人員檢示維修空間部分軟體加入假人圖形，並可依特性設定人員高度，作視覺模擬。以步行方式前進，並加入碰撞指令，當管線或器具空間不足，人員即被阻擋無法前進(如圖 5-17 所示)。

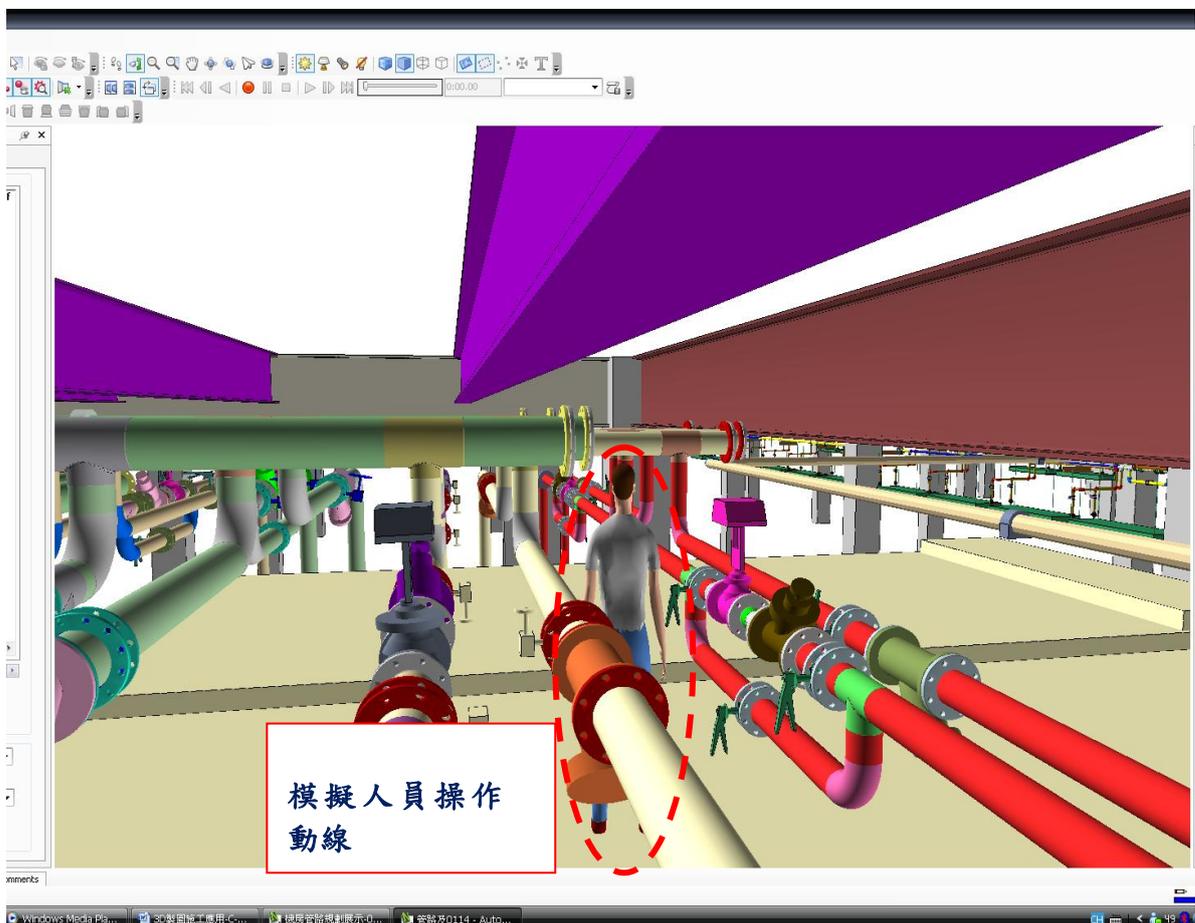


圖 5-17 維修動線

5-3 應用 3D 製圖優勢介紹

5-3-1 軟體應用優勢

製圖軟體隨著時代的進步，相關廠商也開發出適合各產業的製圖軟體，而越來越多的軟體雖然讓產業可以各取所需，但是卻面臨整合問題，如工程大項目中就包含營建、機電、設備...等，不同性質的工作適合不一樣的軟體。不一樣的格式就無法在一個軟體整合。

有鑑於此，一些具工程背景的廠商，也積極開發出共同整合平台如：BIM、IFC、NavisWorks....等。結合建築工程專案等各種相關資訊的工程資料模型，建築資訊模型同時是一種能夠應用於設計、建造、管理的數位化方案，支援建築工程的整合管理，可以顯著提高建築工程進行中的效率並大量降低風險。也支援各種 3D 軟體轉換成整合平台所需的格式(如下表示)。

表 5-1 各式製圖軟體檔名格式

1.	.dwg	Auto CAD
2.	Bentley AutoPLANT .dwg , .mdb	Bentley AutoPLANT
3.	.dxf	Autodesk
4.	.dwt	Autodesk
5.	.3ds	3Ds Max, VIZ
6.	.dgn	Micro Station
7.	.man	MicroGDS
8.	.dri	PDS Design Review
9.	.iges	Open CASCADE
10.	.step	Open CASCADE
11.	.3dd	Rieg1 Scan
12.	.asc;.txt	ASCII Laser Scan date
13.	.stl	STL Stereolithography data
14.	.rvm	AVEVA's PDMS
15.	.ifc	IFC files
16.	.skp	Sketchup

所以綜合以上案例實際操作及軟體功能說明，運用 3D 整合平台，可有以下優點：

1. 可以清楚地將設計方案視覺化，而且可運用工具如渲染技巧將其美化或動態模擬的研究等。
2. 在實際建造之前，可運用此平台將物件放置問題或相互衝突的問題事先偵測減少設計時的錯誤。
3. 可直接由模型中抽取必要資料將其自動地表列化或表格化地呈現，而不需再用人工建制，如面積表、五金表、門窗表或材料數量表等等。
4. 有能力自動地將圖面修正，因為利用參數式與模型相互地連結，因此變更設計管理大大地簡化，任何的變更設計，只要修改 3D 的模型，其內部自動產生出所有平面、剖面、立面及相互關係均將跟隨改變，此功能大大地增加工作效率及生產率。
5. 能增加設計者對形體外觀的把握，因為當設計階段可隨時檢討其形體的視覺效果、節能效率、成本造價等等，不必等到完成所有設計圖面及工作再做檢討，非常符合設計過程的需求，對設計程式的改進有很大的效果。
6. 以往傳統的製圖及計算數量工作，必須花費許多人力及時間，而且還有不必要的人為疏失，將因使用而大為改善，使設計者將人力及時間花在真正的設計工作，同時人為疏失的錯誤也會大幅度地減少。
7. 能將建築相關資訊完整地保存，方便建築物生命週期任何階段的使用，當設計者完成設計後，其資訊模型將可傳遞給建造者，甚至使用者運用其模型，而不需花費大量人力、時間，重新再次建立各種數位資訊，而且也能完整地傳遞其各種資訊，改善目前建築資訊的不完整性及零散地分佈各種資料中。

5-3-2 人力應用優勢

施工圖是工業界的共同語言，不論是設計者、製造者或者品管檢驗...等，都必須藉以作為彼此間溝通或傳遞訊息的依據。而此溝通橋樑在隨著數位化時代的進度，已經從 2D 平面進步到 3D 立體圖，甚至加入時間管理技術已經達到 4D 的領域。

然而利用 CAD 軟體逼真的產品預想呈現，甚至材質模擬、背景變換、貼圖等，大幅跨越了設計師手繪精描預想圖的水準，更重要的是其模擬動態的功能，可以在立體空間裡以虛擬的幾何模型呈現出以往圖紙平面所無法表現的角度，進行檢討修正的工作。透過電腦 3D 幾何模型的幫助，設計師也可以直接在其架構的三維空間裡進行設計思考，並且由電腦產生的資料數據，經由適當的平台介面直接轉換為工程製造上的應用，降低傳統設計開發上的時程。

所以製圖軟體的功能提升，不但能提升設計人員製作品質，間接的對於施工上，也能讓空間更有規則。經過本次研究中可以比較出以下優勢：

表 5-2 應用 3D 製圖於施工的優勢

項次	常見問題	解決方式	
		傳統	3D 運用
1	建廠工期短，人力不足現象。	增加工時，3 班制。	預製管件，在建築物未完前即可預知配管空間
2	人力需求大，廠區空間不足。	區域分配，增加工時	可預製管件，把空間延伸到工廠。
3	施工圖已經套圖，確仍產生管線衝突現象。	管路修改，管線價值越低越沒保障	利用 CAD 程式可直接找出交集的地方。
4	製圖成本開銷。	增加成本開銷。	人力適當調配，可抵銷該筆費用。
5	空間無法展開，圖面複雜材料清點不易。	先拆圖，預購 8 成材料。	空間清楚，運用 CAD 的圖塊統計。
6	施工用 ISO 圖拆圖成本。	大型冰水機房，至少需手繪 20~30 張	利用空間轉換可直接呈現所需的 ISO 圖
7	人力支出	集中環境不良的工地施工區域易重疊	工廠管件預置設備齊全，進度可提升 30~40%

5-4 3D 製圖應用不足檢討

本研究利用 3D 製圖檢討管線衝突及維修空間的同時，也發現目前軟體對建築及機電管線功能，雖以經開發讓使用者可以輕易上手，但仍有不足的地方，如以下說明：

1. 標註-3D 製圖軟體標註不易，主要鎖點對於圓型管線邊界判斷不易，所以僅對柱狀或型鋼有邊線的材料，才能辨識，否則就須轉成 2D 三視圖才能對管線做標註，所以對於營建有實質功效，對於機電圓形管路則需加強。
2. 管徑標示-3D 製圖為面所組成，所以應可判斷管線的組成大小，藉此可以將管徑直接表示於物體上。
3. CAD 可針對管線交集(衝突)之處作自動搜尋功能，但部分管線連結有誤差(如圖 5-18)，確無法辨識。或許可增加以面接觸搜尋功能，因管線連接偏差將形成點接觸。
4. 三維製圖圖檔占用電腦記憶體大，一般電腦作業無法順暢，所以鮮少製圖人員利用 cad 直接清點物料，因為物料做性質定義也必須多占用記憶體，甚為可惜。因此檢視施工圖一般轉檔成檢視檔(如 Auto CAD 的.dwf 檔模式)，才可將檔案縮小，當檢視到錯誤，就必須再回到原圖檔修改。

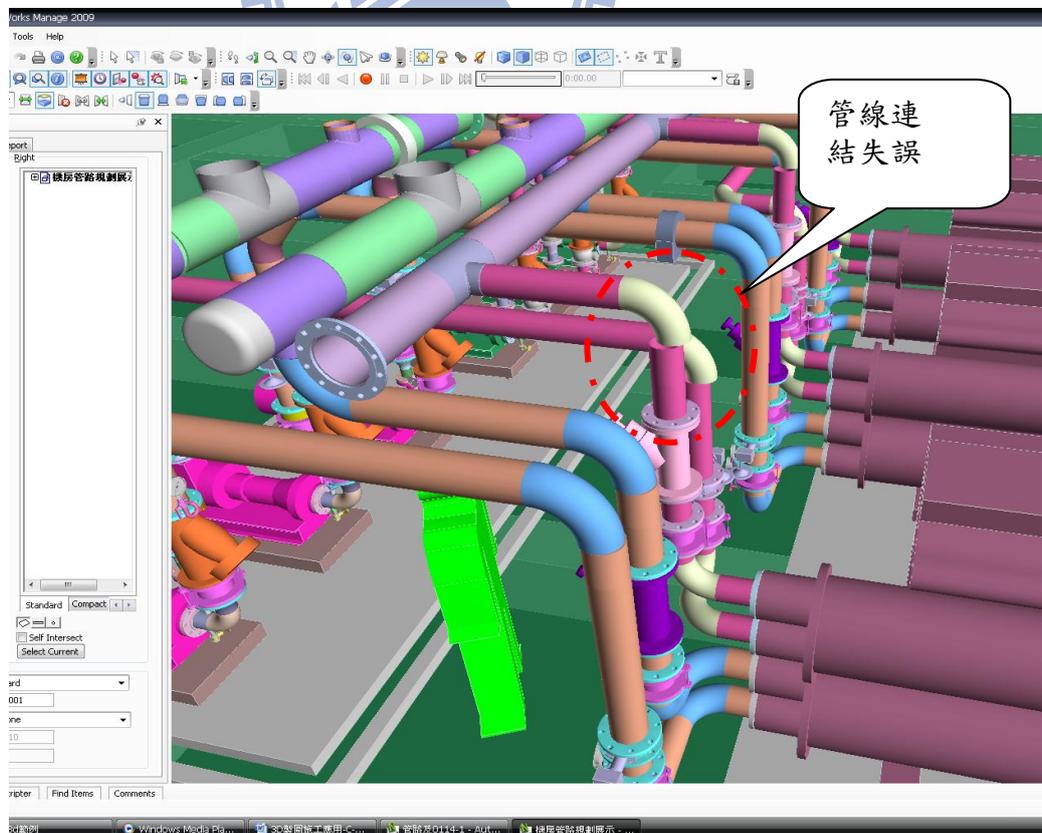


圖 5-18 管線連結失誤範例

第六章 結論與建議

6-1 結論

三維空間製圖在產業界也行之有年，從一開始廣泛應用在機械研發生產，到電子產業的應用，到營建業的應用，但是機電工程產業在 cad 的相關配套確是近幾年才開始蓬勃發展，所以在 3D 製圖與施工結合的研究過程中相關案例很少，僅能從 1~2 家施工商的生產過程做探討，而這幾家廠商的 3D 製圖運用也只做最基本的構圖，連管線碰撞也只是用目視做檢討。因此對於目前軟體強大的計算功能，還是有很大的推廣空間。

本研究在 3D 製圖應用於工程施工對於人力與進度剖析中，從工程幾個重要管理項目可歸納以下結論：

(一) 軟體應用：

由於資訊科技之逐漸進步，各家工程顧問公司之作業型態，為在國際間競爭及符合業主之需求下，都將工程設計模式加緊腳步轉向資訊科技模組化之方向，將以往之人工設計模式漸漸由電腦取而代之，替代之想法及觀念都相當好，但在推行初期，由於外購之工具軟體(如 2D、3D、4D CAD 輔助設計系統軟體)僅僅具有基本之功能，無法配合各工程型態之設計模組，可以說僅只取代了鉛筆和圖紙而已，對於工程設計專案之整個執行效率上，不但沒有助益，反而增加了工程設計及繪圖之工時，導至專案成本的提高，因此僅少數具規模的設計及工程公司，才有相關設計部門，用 3D 及 4D CAD 做工程導入管理。

(二) 界面檢討：

經過本研究，利用 3D 製圖軟體案例探討管線衝突中發現，管線介面問題於 2D 平面圖基本都可輕易判讀。造成部分穿樓板或穿牆部分，因建築結構在平面圖無做特別標示，製圖時容易忽略，造成該區穿牆及版的管線必須在施工時才會發現衝突，而利用 3D 製圖就可利用 Clash Detective 指令，做樑與管線的衝突就可輕易判讀管線穿樑時，是否在安全的間距內。

(三) 進度管控：

本研究雖然僅對於 3D 製圖做施工探討，但在文獻及一些大型工程公司的訪談中，得知國際間部分資深工程設計人員，為有效整合各製圖軟體間的套圖，推出套圖共同整合平台(如：BIM、IFC、NavisWorks)，而各家軟體製造商為了讓使用者方便整合也配合整合平台的讀取模式，做共通的轉檔程式。兩者之間雖然屬同業，但功能上已做區分，並相輔相承。

除以上整合功能更加強外，也導入 4D(time)功能，目前也有許多相關文獻作相關功能探討，但是經過文獻分析發現該功能僅對營建業做模擬，相當可惜。而在相關文獻及講義中分析進度的資料庫建立也沒有相關人力計算，進度最直接關係就是人力及施工機具，如此的分析最後還是需要最基層的施工承攬商來結合進度與人力的相對關係分析，才能確認實際進度發展。所以本研究這部分僅針對其文獻做研究，期望未來在功能上能加上人力分析功能。

(四) 預製功能：

為了有效達到時間與空間的分配，由文獻中得知目前已有許多產業利用 3D 製圖做空間模擬，包括船舶、機械、營造業，配合外在環境因素，設計內部環節，利用 3D 視圖給承攬商做預製，在運送至現場安裝。達到同時間將工作分配開，也防止現場空間不足，人員壅擠狀況。

而機電產業因系統及管線多樣化的特性，所以多是現場丈量，現場訂製。目前常見預製方式僅利用 2D 施工圖做依據，管線預製僅限於一些共同尺寸的配件，占整個工程比例僅約 20~30%，所能做人事成本的 cost down 有限，所以應建立設計單位將 3D 製圖做施工圖給施工商，或施工承攬商聘用 3D 製圖拆圖人員，讓施工人員在工程初期就建立空間概念、佈管層次，清楚判斷每個空間的用途及預先做管路預製。如此不但不至於非法占用維修及二期空間，並可於施工密度高的地方，利用管線預製方式避開同一空間施工重疊的狀況。

(五) 人力成本：

工程上利用預製達到人力成本大幅降低應屬潤泰集團利用預鑄工法，將危險的工地現場，施工人力降到最低。而機電工程因 3D 製圖軟體開發晚，又學校單位沒有相關機電工程設計科系，導致人才缺乏，而少數相關的人才絕大部分都是大型工程及設計公司才有培訓。所以既使有 3D 製圖做施工圖，到施工單位也有軟體及視圖的斷層。

本研究所參予研究分析的廠商，屬少數使用 3D 軟體做施工的施工承攬商，感謝該廠商提供相關人力分析資料，才得以讓本研究得到施工運用 3D 製圖後所產生的 cost down 效果，也期望將此成果分享給更多相關廠商，讓工程的品質與介面衝突降到最低。

6-2 建議

(一) 設計階段之圖面檢討與整合

設計圖及介面的檢討，屬於施工前的前置作業，3D 技術若能提前在設計階段應用，大部分的問題，都可在設計階段解決，若到施工階段才應用此技術，隨著施工進度的迫切性，沒有充分的時間，完整的應用 3D 技術，去檢討更詳細的介面問題，相當可惜。若能及早將 3D 技術應用在設計階段，將可讓工程在建物未完成階段先做管線預製，不會因工期短為了趕工而影響工程施工的可靠度與品質。

(二) 4D 的研究與應用

利用 CAD 建立的 3D 模型，可以當成研究的素材，加入時間參數，結合其他技術或理論，來研究這些參數與工程本身的相互影響，例如機電配管的水流模擬，風管氣流的檢討及室內通風的氣流分部等視覺效果，都是值得探討的方向。目前 4D 的應用，尚在資料蒐集與研究階段，但它將是具影響力的工具，工程的營運常與時間賽跑並有重大的關聯性，如果能發展出可靠的 4D 模式，對於將來的進度將有相當大的幫助。

(三) 系統流程辨識

空調水及廢水迴路系統，常見同一系統但不同屬性，而同時走在同一管道，常因介面關係，兩不同施工商或空間變換，導致配管錯接，空調不冷或廢水污染的現象，只能靠現場管理者對於現場之即時管理。因此如能將流程圖及 3D 製圖結合，利用設備做過程中的 milestone，做流體假設，如此可做系統間流程配置的檢視，防止有管線錯接的疑慮。

參考文獻：

1. W. Chan Kim(2004)，藍海策略開創無人競爭的全新市場，商業週刊。
2. 朱柏穎(2002)，CAID 的發展趨勢，設計共合-設計專欄，
http://www.designrepublic.org.tw/news/news.php?show_n_id=78
3. 康鳳梅、蕭吉男(2003)，「台灣機械業 CAD 軟體應用概況與未來趨勢探討」，CADesing 雜誌，179 期。
4. 林榮發(2001)，工程設計研發人員應用資訊科技之研究。國立中山大學，資訊管理研究所，碩士論文。
5. 姚世正，建築與機電工程界面整合概述，財團法人中華顧問工程司，2002。
6. 蔡孟涵、康仕仲、郭政翰、謝尚賢(2006)，4D 管理工具之導入案例研究，國立台灣大學土木工程學系電腦輔助工程組，第十二屆營建工程與管理學術研討會。
7. AutoCAD 技術交流.資源分享中心，三維 CAD 技術在產品開發設計中的應用（一），2009。
8. 戴期甦、陳曉晴、郭斯傑，建築工程機電系統施工界面整合之探討，中華民國建築學會「建築學報」第 61 期，2007。
9. 王斌弘、施乃中(2001)，3D 物件辨識在建築工程生產行為之運用與發展，中華民國建築學會第十三屆，建築研究成果發表會論文集。
10. 余仁彬，建築設計階段專業分工之介面整合研究—以設備系統與建築介面之整合為例，國立台北科技大學建築與都市設計研究所碩士論文，2003。
11. 陳伯昌，建築工程管理實務，詹氏書局，2004。
12. 蔡志偉(2007)，IFC 建築資訊內容應用於結構分析資料擷取，國立交通大學土木工程學系(研究所)碩士班，碩士論文
13. 楊國強(1999)，Auto plant 軟件在化工設計中的應用，大陸(東華工程公司)
14. 財團法人台灣營建研究院，結構及機電整合班訓練課程講義，2006。
15. 財團法人臺灣營建研究院，工程設計品保與界面圖說整合，1999。
16. 王賢坤、陳淑梅、陳亮(2000)，機械 CAD/CAM 技術應用與發展，北京：

機械工藝出版社。

17. 朱柏穎(1997)，「工業設計電腦化電腦輔助工業設計」，設計雜誌，75期，72-75頁。
18. 吳田瑜(2001)，「未來科技的新思維」，新設計、新思維國際學術研討會-設計組論文集，銘傳大學。
19. 閔嬰紅(2000)，Alias Design Studio 工業設計入門，台北:文魁資訊。
20. 黃銘智(1997)，「3D CAD 系統的評估與導入」，設計雜誌，78期。閔嬰紅(1998)，「CAID 的定位」，設計雜誌，80期。
21. 葉日豐(2003)，「電腦輔助軟體中幾何模型的建構」，CADesing 雜誌，182期。
22. 陳文龍(2002)，談產品設計快速化，設計共合-設計專欄，http://www.designrepublic.org.tw/news/column.php?show_n_id=502&archive=
23. 吳梵(1997)。工業設計教育中電腦 3D 輔助設計知識與技能之內涵研究。大業工學院工業設計研究所碩士論文，未出版。彰化縣。
24. 許宏瑋(2004)。電腦輔助設計對產品造形建構之影響。大同大學工業設計學研究所碩士論文。台北市。
25. 戴勝鵬(2006)，高科技廠房在工期限制下最佳化排程之研究-以中華映管無塵室工程為例，國立中央大學土木工程研究所，碩士論文
26. 沈秉廷(2007)，運用物件導向技術於 IFC 建築資訊，國立交通大學土木工程學系(研究所)碩士班，碩士論文。
27. 戴盈正(2005)，高雄捷運細設階段機土介面管理模式之研究，國立成功大學土木工程研究所，碩士論文。
28. 宋思賢(2009)，應用圖型物件於施工管理之探討-以高科技廠房預鑄工法為例，國立台灣大學土木工程學研究所，論文摘要。
29. 王立嫻 邵揮洲(2005)。基因演算法應用於三維管路佈置之研究，國立成功大學 造船暨船舶機械工程研究所，碩士論文

附件一：

1. 主系統代號

代號	主系統名稱	代號	主系統名稱
MP	一般機電工程	CR	特殊管路及統包工程
	電力及弱電系統工程		電力系統工程
	給排水系統工程		空調系統工程
	空調系統工程		內裝系統工程
	消防系統工程		製程系統工程
			中央監控系統工程
			廢水系統工程
			超純水系統工程
			氣體系統工程
			化學系統工程

2. A 表示『系統代號』。

建築	電力	給排	空調	消防	內裝	製程	廢水	純水	氣體	其它
A	E	D	H	F	I	U	WT	DI	G	O

空調 H

序號	圖層名稱	說明	顏色
1	H-EQ	空調設備	7
2	H-AHU	空調箱	7
3	H-FAN	送風機	7
4	H-TOWER	空調給水設備	7
5	H-CHW-S	空調冰水管路-供水	7
6	H-CHW-R	空調冰水管路-回水	3

7	H-CDW-S	空調冷卻水管路-供水	7
8	H-CDW-R	空調冷卻水管路-回水	6
9	H-CW	自來水	3
10	H-DCW-S	二次冰水-供水	4
11	H-DCW-R	二次冰水-回水	6
12	H-HW-S	熱水-供水	1
13	H-HW-R	熱水-回水	6
14	H-SA	送風系統	5
15	H-RA	回風系統	4
16	H-OA	外氣系統	3
17	H-SECTION-1	空調系統局部	7
18	S-SYS1	空調系統流程	7
19	H-EQUIP	排氣設備	7
20	H-G	一般無毒氣體排氣	3
21	H-SOL	有機溶劑氣體排氣	6
22	H-ALK	鹼性氣體排氣	5
23	H-ACID	酸性氣體排氣	1
24	H-DRA	空調冷凝水排水	3

電力 E

序號	圖層名稱	說明	顏色
1	E-CCTV	門禁系統	7
2	E-CCTV-S	門禁系統流程(S-SYS)	7
3	E-TEL	電話系統	6
4	E-TEL-S	電話系統流程(S-SYS)	7
5	E-LIGHT	燈具配置	5
6	E-LIGHT-S	燈具配置流程(S-SYS)	7
7	E-LIGHT-L	燈具線路流程(L-LINE)	8
8	E-ELE	電力系統單線	5
9	E-ELE-S	電力系統流程(S-SYS)	7
10	E-CONTROL	監控系統	5
11	E-CONTROL-S	監控系統流程(S-SYS)	7
12	E-SPEAK	廣播系統	3

13	E-SPEAK-S	廣播系統流程(S-SYS)	7
14	E-F-LAMP	標示燈	1
15	E-F-DETECTOR	感知器	1
16	E-F-COMBIN	火警綜合盤	1
17	E-HYDRANT	消防栓	1
18	E-F-PANEL	受信總機	3
19	E-S-VALVE	撒水用閥類	3
20	E-S-PANEL	撒水受信總機	3
21	E-EXTINGUISH	滅火器	1
22	E-S-HEAD	自動撒水頭	1
23	E-AIR	排氣系統	5

水處理 WT

序號	圖層名稱	說明	顏色
1	WT-DI-S	純水-供水	1
2	WT-DI-R	純水-回水	5
3	WT-RO	RO 水	3
4	HUPWS	熱超純水-(往)	1
5	HOPWR	熱超純水-(回)	5
6	UPWS	超純水-(往)	4
7	UPWR	超純水-(回)	6
8	ZW	雜用水	4
9	IW	飲用水	4
10	JW	生產系補給水	1
11	DR-HHF	高濃度氫氟酸系統	6
12	DR-LHF	低濃度氫氟酸系統	3
13	DR-PD	有機系排水	5
14	DR-AW	酸鹼系排水	1
15	DR-H2O2	H2O2 系排水	7
16	DR-MW	電鍍排水	
17	PCWS	製程冷卻水-(往)	5
18	PCWR	製程冷卻水-(回)	1
19	DR-DW	研磨排水	

20	DR-PR	純水回收	
21	DR-WR	排水回收	
22	DR-AWR	酸排水回收	

氣體 G

序號	圖層名稱	說 明	顏色
1	G-SiH4	SiH4 矽甲烷	4
2	G-HiH2CL2	SiH2CL2 二氯二氫化矽	4
3	G-10SiH4	10%SiH4 10%矽甲烷	4
4	G-C2F6	C2F5 六氟乙烷	4
5	G-CF4	CF4 四氟化碳	4
6	G-CO2	CO2 二氧化碳	4
7	G-CL2	Cl2 氯氣	4
8	G-CHF3	CHF3 三氟甲烷	4
9	G-10CH4-AR	10%CH4/Ar 10%甲烷/氬氣	4
10	G-HE	He 氦	11
11	G-HBR	HBr 溴化氫	11
12	G-H2N2	H2/N2	11
13	G-NH3	NH3 氨氣	11
14	G-NF3	NF3 三氟化氮	11
15	G-SF6	SF5 六氟化硫	3
16	G-WF6	WF5 六氟化鎢	3
17	G-AR	Ar 氬	3
18	G-5PH3	5%PH3 磷化氫	3
19	G-BCL3	BCl3 三氯化硼	3