

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

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

(2/2)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2211-E-002-080-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立臺灣大學土木工程學系暨研究所

計畫主持人：郭斯傑

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 10 月 5 日

行政院國家科學委員會專題研究計劃進度 報告

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(2/2)

Impacts of electrical/mechanical changes for project
completion in building construction

計劃編號：NSC 92-2211-E-002-080

執行期限：92年8月1日至93年7月31日

主持人：郭斯傑 台灣大學土木工程學系

一、中文摘要

在傳統建築工程中，機電系統由於其種類複雜與施工多樣之特性，在施工階段常常因為缺乏事前完整之界面整合，以致造成施工程序紊亂、天花板完成面高度不夠、變更設計及工期延宕，使整體工期與品質受到影響。為改善此種情形，本研究將探討機電系統施工界面整合之方式，經由專家訪談及工地調查，透過知識擷取之方式建立整合排序邏輯，並以一實際之案例做驗證，進行機電系統界面分析以及界面整合之探討。

本研究將整合方式分為兩個階段 - 套圖階段及施工階段界面整合。套圖階段整合為機電工程第一次之界面整合，主要進行平面的設備與管路 2D 整合，並解決 3D 的衝突與管路高程分配，透過套圖階段界面整合表依整合及排序原則進行比較，得到設備及管路平面與立體空間整合之結果。施工階段整合為第二次之界面整合，藉由施工階段工作界面表所釐清之排序原則，進行施工階段界面整合，得到各系統各工項施工排序，避免前置作業與後續作業混淆。依據二階段界面整合之結果，建立各系統及全系統分項

施工排序以及施工排序邏輯網圖供現場做較佳之時程管控依據。

機電工程因為種類及工項繁瑣與複雜，現場管理需要仰賴經驗豐富之工程師，本研究即是將這些經驗條理化與邏輯化，透過套圖階段及施工階段之整合，找出合理的機電系統施工排序。因為施工前透過完整之界面整合解決了空間衝突與排序邏輯，機電工程施工中經常面臨之問題即可獲得釐清，如此，經常發生之變更設計、管路衝突及天花板高度不足之問題即可避免，工期與工程品質即可達到如期如質如式之成果。

關鍵詞：建築工程，機電系統，設備，施工界面，界面整合

二、研究動機與目的

機電系統在建築工程中擔負著建築本體之中樞，提供居住者傳輸、流通、舒適及安全之居住環境，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，經常出現界面管理不佳的問題，導致變更設計、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，機電系統各項問題總是佔較多爭議空間，目前有關機電工程界面問題之探討大多著重在建築設計與機電工程之間的界面問題，較少針對機電工程各系統間之施工前套圖、界面問題與施工排序做整合性之探討，本研究擬結合機電工程各系統施工圖面與界面管理方式，於施工前先行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輯，以檢視工程作業流程之合理性，於施工階段依序施做，找出較佳之工項排序與施工管理模式，避免因機電系統界面元件之衝突所造成之干擾，藉以提升工程之整體品質，期能達成以下幾點目的：

(1) 建立一般辦公大樓於傳統工程中，施工前之「機電系統套圖階段界面整合」方式。

(2) 建立一般辦公大樓於傳統工程中，施工階段「機電系統施工階段工作界面整合」方式，產生合理之排序邏輯。

三、研究範圍與流程

本研究以一辦公大樓新建工程為案例，並以其機電機房為主要研究範圍，僅就機電工程之間界面問題加以研究，探討機電工程套圖分析之原則以及界面整合之方法，並以施工排序邏輯呈現整合後之結果。同時，本研究著眼於工程技術層面之探討，並排除因不當之工地工班調派產生之施工順序問題，且不特定限制任一工項必須全部完成方得進行下一種工項。

本研究之研究流程如圖 1 所示，首先，確認研究動機和目的、範圍限制，以及研究流程。接著，機電工程

界面相關的文獻整理、專家訪談及工地調查及先行探討問題進而彙整分析並研擬相關課題。其次，界面問題探討，建立界面整合原則，同時，以一實際之案例做說明，並進行機電系統之分析。最後，以前述案例進行實作分析，確認工作界面，建立施工前套圖界面整合方式、施工階段界面整合方式，研擬較佳之施工排序邏輯。再進入本研究之結論與建議。

四、文獻回顧與專家訪談

有關界面管理及界面定義之文獻相當多，但大部分均為捷運工程對於該核心機電系統之討論，較少對於一般建築工程中機電系統界面整合之研究。捷運、高鐵工程所重視的機電系統為包括電聯車、號誌系統、通訊系統、供電系統及軌道工程等核心機電系統，有關結構機電整合界面圖(SEM 圖)及機電整合界面圖(CSD 圖)在捷運工程中是必備之圖說，圖面中對於機電與機電工程、機電與建築工程放樣之尺寸及位置高程均有一定程度之整合與規劃。

本研究專家訪談時係針對六個問題方向進行：

(1) 機電系統之分類，管路佈設之方式

(2) 機電工程容易發生之糾紛與問題？變更設計之原因？天花板高度不夠之原因？拆除重做、敲鑿穿孔之成因？

(3) 機電系統界面問題分類？

(4) 套圖之原則為何？

(5) 機電工程如何排序？何者為最佳之排序？哪一個工種應先進場施做？排序邏輯為何？

(6) 機電工程進度網圖如何製

作？里程碑如何推估？

針對不同之專家經驗與看法，本研究整理如下：

(1) 機電系統一般分為五類 - 水、電、空調、消防及弱電。

(2) 工程經驗承傳常靠口耳相傳，遇到趕工時，所有工種一起進場施做，造成施工衝突、等待、效率不彰之問題更多。

(3) 機電系統界面問題，大部分發生在傳輸側，發生問題之種類常為空間有限、管路太多，造成上下交疊、交錯、繞道與彎折。

(4) 套圖之方法係依照以下重點進行：

- 先將機電系統及結構圖一起套圖。

- 以天花板淨高為依據，檢討何者需穿梁與結構補強。

- 重力排水需考量洩水坡度。

- 大型設備與幹管先確定尺寸，於圖上進行放樣定位以及各管路路徑安排。最後以3D 立體空間檢討管路衝突點。

- 電管必須在水管之上。否則一旦有漏水的問題時便造成安全上之問題。

(5) 機電工程水平管路施工順序是由最上層的管路開始施工，同時，考量洩水坡度的要先做，會影響消防送審的工項要先做，必須配合土建工程者要先做。

依照上述原則，分析彙整成「八選項」如下：

- 安全性（例如：水、電管不能在一起，弱電與

電力管不可混在一起）

- 機能性（以達成其基本需求為目標，例如重力排水、消防法規、建築法規等）

- 與土建配合施工（當機電工程遇到必須與土建配合預埋套管或混凝土基座先施作時，必須與土建施工程序相搭配）

- 施工性（例如：作業空間是否合適？管路設備是否有空間衝突？管路材質是否具可撓性等影響施工進行之狀況）

- 經濟性（例如：管路以最短最近為原則，可節省成本）

- 效益性（例如：直管比彎管所造成能量耗損較低，效益性高）

- 擴充性（管路分佈空間必須預留將來擴充之可能性）維護管理（考慮將來維修之空間及動線）

(6) 機電工程進度之推算以完工日向前推算，分別可以找出消防掛件消防核可與使照掛件、使照核可之里程碑，從而推算配合消防檢查之作業及需完成之機電工程項目與土建工程項目。

五、機電系統界面整合原則

5.1. 機電系統界面問題探討

機電系統界面可分為來源側、傳輸側及末端側，這三個界面元件構成機電系統界面整合之依據，元件兩兩之間因為作業方式、作業動線、系統種類、前置作業與

後續作業而產生各種不同之界面問題。因此若無完善的界面管理方法並對施工排序及各工項之間邏輯關係做一個澄清及歸納，先進場的先做，後進場的只好將管路繞道或從下層接著做，使管路因為繞道增加成本及施工難度或管路因為彎曲增加而造成能量損耗、效果降低，天花板完成面高度也會因此達不到設計要求，緊接著變更設計或拆除重做的現象便會出現，最後影響整個工程進度與品質。

5.2. 機電系統界面整合原則

(1) 套圖階段

將上述「八選項」依照問題之輕重緩急，將其分為三種等級進行分類，第一級為最重要，包括的項目分別為「安全性」、「機能性」、「與土建配合施工」共三項，第二級為次重要，包括項目為「施工性」，第三級為「經濟性」、「效益性」、「擴充性」與「維護管理」，依序組合成為『三級整合排序邏輯』，依此邏輯原則檢視每一個界面元件排序之結果，如圖 2 所示。套圖時整合之重點即是將來源側、傳輸側及末端側三種界面元件以及各系統之工項根據所有的空間條件以及『三級整合及排序邏輯』原則進行整合工作。

進行 2D 管路平面套圖時，先做 2D 管路衝突辨識，一旦有衝突發生，將規劃衝突對策 - 平移、繞道及重疊等方法。再以管路重疊之方法至 3D 立體空間安排高程。

(2) 施工階段

施工階段，依據已整合完成之施工圖面進行施工，工序安排之原則仍然以前述之『三級整合排序邏輯』為參考，但因為第三級所述「經濟性」、「效益性」、「擴充性」與「維護管理」等四個原則在套圖階段已獲解決，進入施工時，對於作業彼此之間工序安排之影響應屬第一與第二級 - 「安全性」、「機能性」、「與土建配合施工」及「施工性」等原則。因此，於施工階段時，將『三級整合排序邏輯』改為『二級整合排序邏輯』，如圖 3 所示。

5.3. 案例說明

本研究以一棟目前正在興建之實驗及辦公大樓之新建工程為案例，實地進行訪談與工地調查。建物地上一層為主要機房及辦公室，地上二層至地上八層為標準樓層，分別是實驗室與辦公研究空間。研究範圍主要針對機電系統最複雜之機房做深入之探討，從各系統間套圖階段與施工階段之邏輯排序來討論機電系統施工排序之問題。

六、機電系統施工界面整合實作

6.1 機電系統套圖階段界面整合

進行機電套圖時，即進行第一次機電界面整合之工作，所有設備及管路位置與尺寸之放樣、高程分配、水平與垂直管路之銜接、管路與設備之銜接、土建配合穿梁位置與尺寸，土建配合樓版牆面開口之位置與尺寸均在套圖階段完成，同時進行 2D 平面空間管路衝突與 3D 立體空間衝突

處置，以解決管路高程衝突，並進行管路高程規劃。套圖之流程如圖 5 所示。本研究以「機電系統套圖階段界面整合表」進行衝突點分析以及衝突處置，在界面整合表中，分別條列界面問題、界面元件、界面地點及處置方法與原則，同時輔以 3D 圖面進行分析，獲致界面整合之結果。綜合各種整合後之管路高程，最後即可完成 CSD 圖 - 機電整合界面圖。機電系統套圖階段界面整合表如表 1 所示。

6.2 機電系統施工階段界面整合

本階段即是以經過完整界面整合後之機電系統施工階段工作界面表分析施工中之工序安排，以作為工程進行之邏輯排序之依據。配合『二級整合排序邏輯』及 5W 分析法，將各個系統所有工項進行界面問題分析以及前置、後續作業探討，獲得各工項之機電系統施工階段工作界面表後，整理出各系統施工流程圖。機電系統施工階段工作界面表如表 2 所示。

根據工作界面表分析整理出各系統施工流程圖以及全系統整合後之施工流程，其中電力系統施工流程如圖 4 所示。依此流程，便可以得到機電系統施工排序邏輯網圖，如圖 6 所示，清楚而明確的瞭解各系統各工項施工排序邏輯。

五、結論與建議

5.1. 結論

施工前妥善之套圖整合，施工時合宜之排程邏輯，將可避免施

工中之過於頻仍之變更設計、施工過程中不時之拆除重做，避免因而造成工期延宕執行率落後以及品質難臻優良之狀況。

本研究經由訪談整理專家之經驗輔以工地調查資料，建立「八選項」（整合排序邏輯之選項），將機電工程各系統知識加以整合擷取。藉由一實際進行之工程案例予以探討，建立機電工程界面整合方法，利用『三級整合排序邏輯』以及通過套圖階段 2D 空間衝突辨識、衝突分析、規劃衝突對策（平移、重疊、繞道）、再利用 3D 立體空間進行衝突處置，再一次規劃衝突對策（上下交疊、上下交錯、上下彎折），以解決空間衝突，規劃管路高程。

進入施工階段界面整合時，採用 5W 分析與『二級整合排序邏輯』結合之方式，建立機電系統各工項之「施工階段工作界面表」，檢視工程作業流程前置、後續作業之合理性，彙整產生合理之機電系統排序邏輯。最後得到全系統施工流程圖以及根據此流程圖完成之機房機電系統施工排序邏輯網圖。

本研究完成之具體成果有以下二點：

(1) 建立一般辦公大樓機房空間「機電系統套圖階段界面整合」方法。

- 探討機電系統間之界面問題出現於來源側、傳輸側、末端側三方面，其中各系統傳輸側之管路交疊產生之界面問題

辨識與解決之方法。

- 藉由套圖找出 2D 管路空間衝突處，進行空間衝突分析、衝突辨識、規劃衝突對策（平移、重疊、繞道）、再利用 3D 立體管路圖進行 3D 衝突處置，再一次規劃衝突對策（上下交疊、上下交錯、上下彎折），以解決空間衝突，規劃管路高程。
- 以專家訪談所彙整之機電「8 選項」（整合排序邏輯之選項），建立『三級整合排序邏輯』，進行空間衝突之優先順序分析，佐以文獻回顧之規劃衝突對策（平移、重疊、繞道）解決空間衝突。
- 建立整合後之 SEM 圖與 CSD 圖成為套圖階段之最終成果。

(2) 建立施工階段「機電系統界面整合工作界面表」，產生合理之排序邏輯。

- 採用 5W 分析方法與『二級整合排序邏輯』原則，建立機電系統各工項之「工作界面表」，產生該工項之前置、後續作業。
- 檢視工程作業流程前置、後續作業之合理性，彙整產生合理之機電系統施工排序。
 - 建立機電系統施工

作業項目之排序邏輯網圖。

本研究針對機電工程各系統間之施工前套圖、界面進行整合問題與施工時應用合理排序作業之探討。建立界面管理方式結合機電工程各系統設計圖面，製作合理之機電工程套繪整合方式，找出較佳之施工排序與施工管理方式，藉以提升機電工程系統與整體工程品質。

5.2. 建議

鑑於本研究過程，對本研究範圍建立多項限制，排除許多研究項目。後續研究之建議有三。

(1) 研擬於機電系統更為多樣性、複雜之建築物（如：生物科技廠房、醫療設施建築、智慧型建築、五星級飯店等），建立其「機電系統套圖階段界面整合」方式。

(2) 將施工階段機電系統施工界面管理，延伸至生命週期中之設計階段，研擬各機電系統設計整合管理方式。

(3) 於機電系統施工排序邏輯加以研究將串聯施工工項改為並行作業，將全區工程分成合理之數個小區多工班並行施工，或利用合理劃分作為多工項並行施工。

八、參考文獻

- [1] 江文章，「界面表達系統與界面管理體系之研究—以土建與機電之界面為對象」，國立臺灣科技大學營建工程研究所，碩士論文，台北（2001）。
- [2] 林陵三、蕭永豐，「台北捷運系

統機電工程界面概述與整合」,中國工程師學會工程月刊,72期,第16-34頁,台北(1999)。

[3] 李政憲,「高層集合住宅建築與設備介面之整合」,營建自動化計畫成果報告,台北(1995.6)。

[4] 郭斯傑、黃契介、吳俊達,「建築工程施工作業空間規劃與衝突分析流程之研究」,中國土木水利工程學刊, pp. 489-501, (2002. 9)。

[5] 詹慕祖,「機電工程變更設計對工期的影響」,國立臺灣大學土木工程學研究所,碩士論文,(2000)。

[6] 潤泰集團潤安機電工程公司,機電施工圖及3D模擬圖,台北(2003)。

[7] Pavitt T.C. and Gibb A.G.F. "Interface Management within Construction, In Particular Building Façade " *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 129, No. 1, pp. 8-15 (2003 Jan)

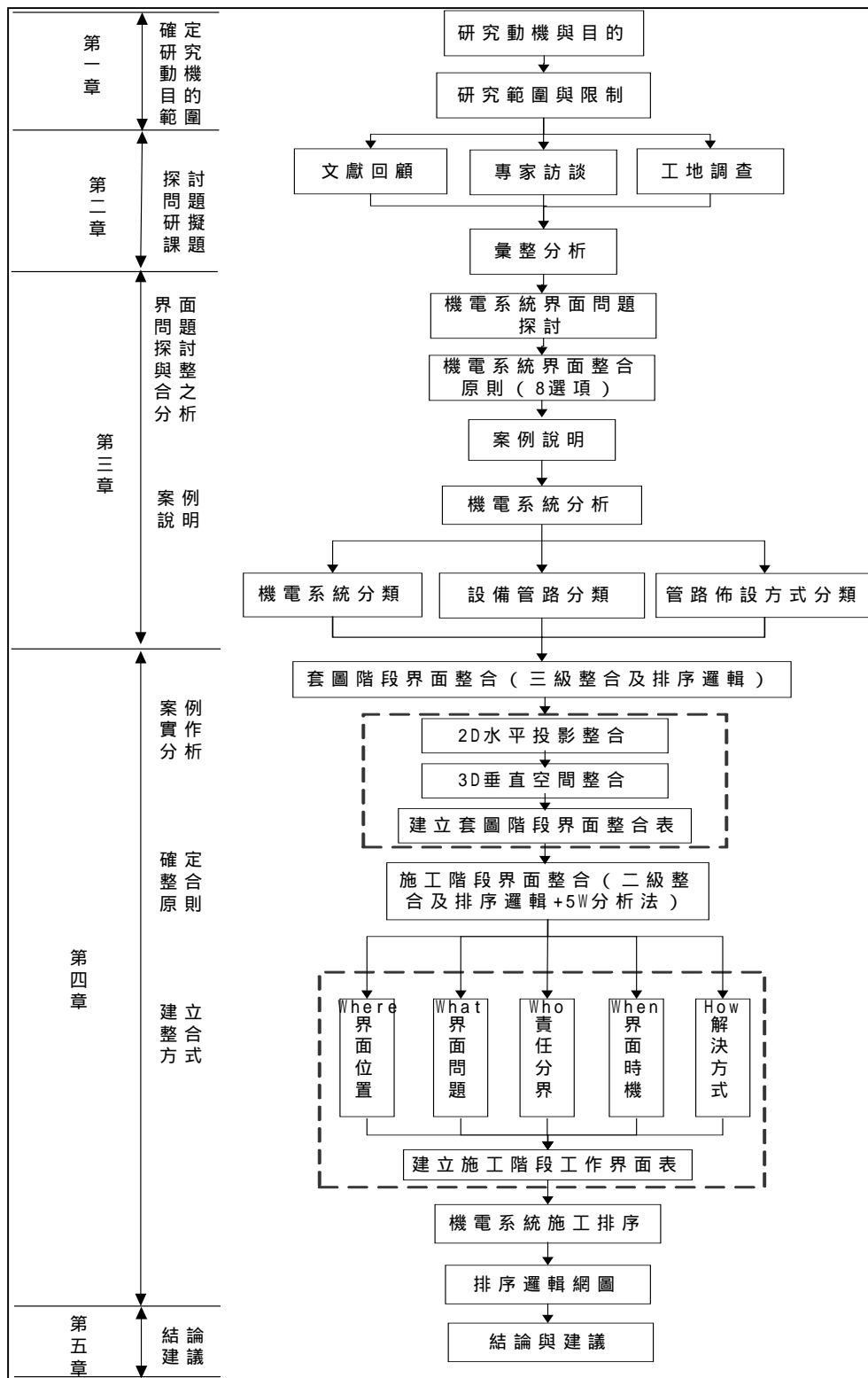


圖 1 研究流程圖

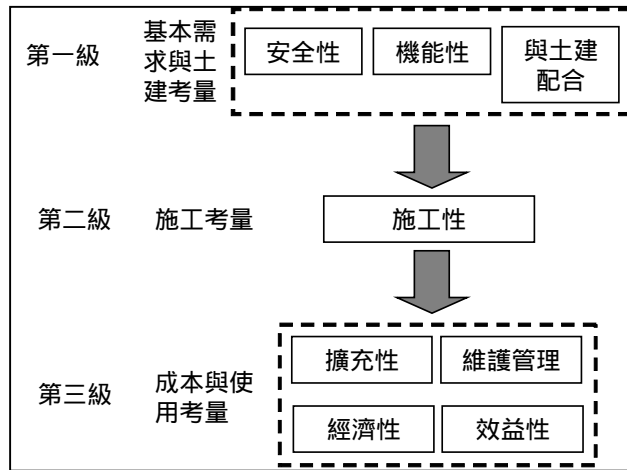


圖 2 三級整合排序邏輯

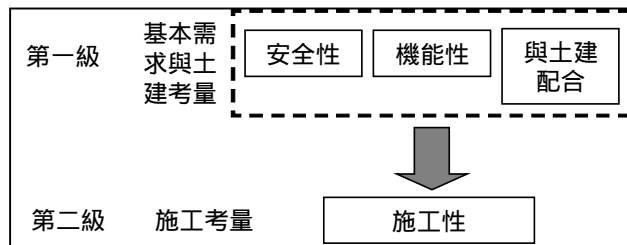


圖 3 二級整合排序邏輯

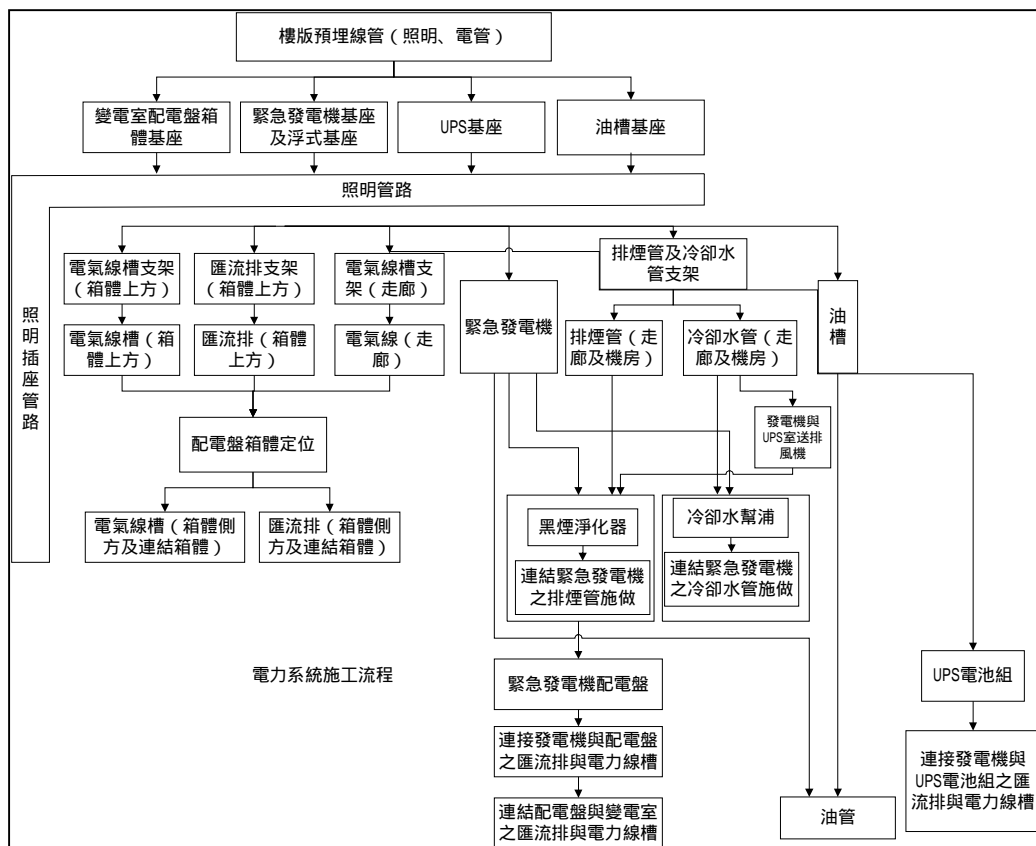


圖 4 電力系統施工流程圖

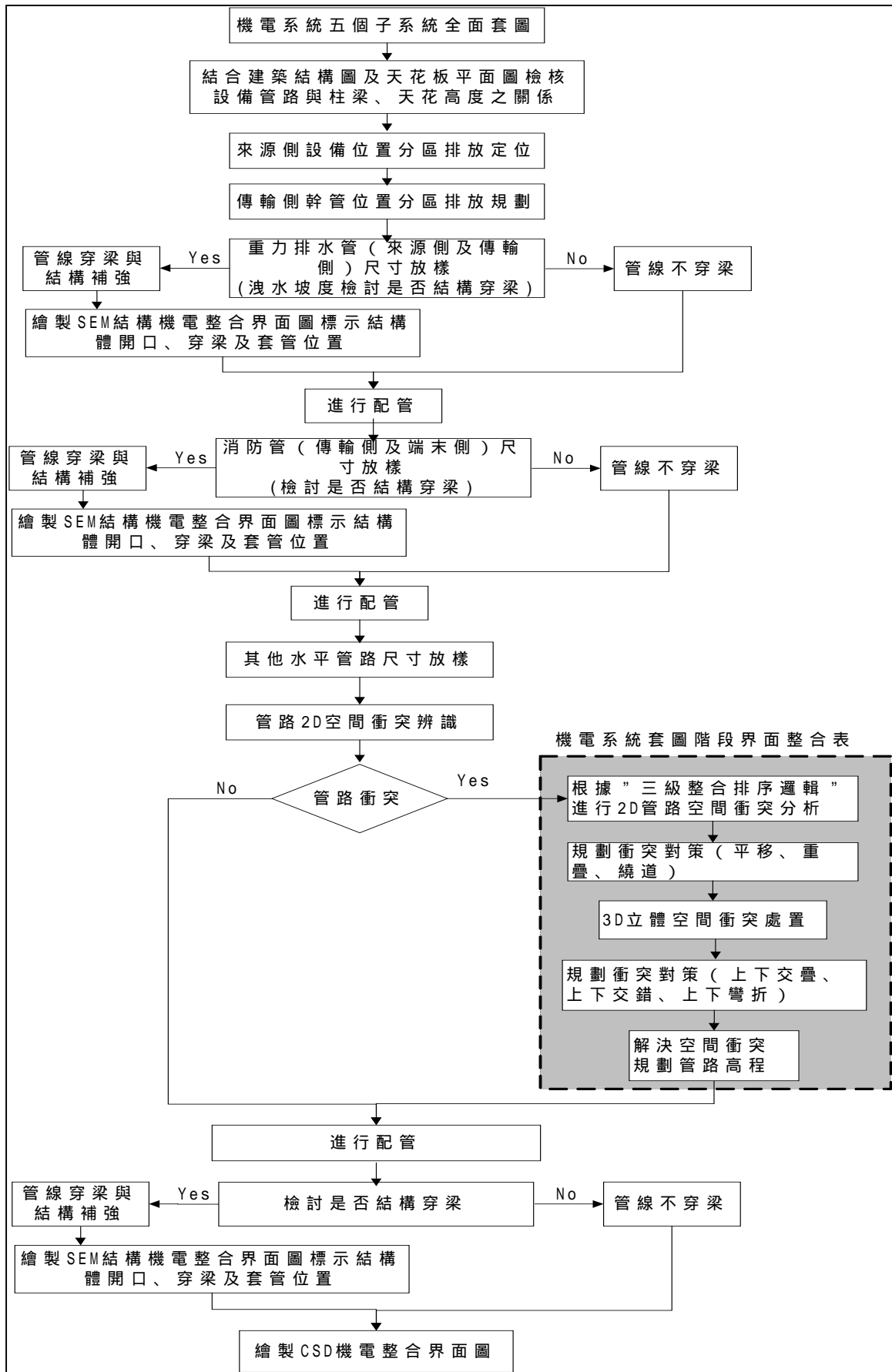


圖 5 套圖流程圖

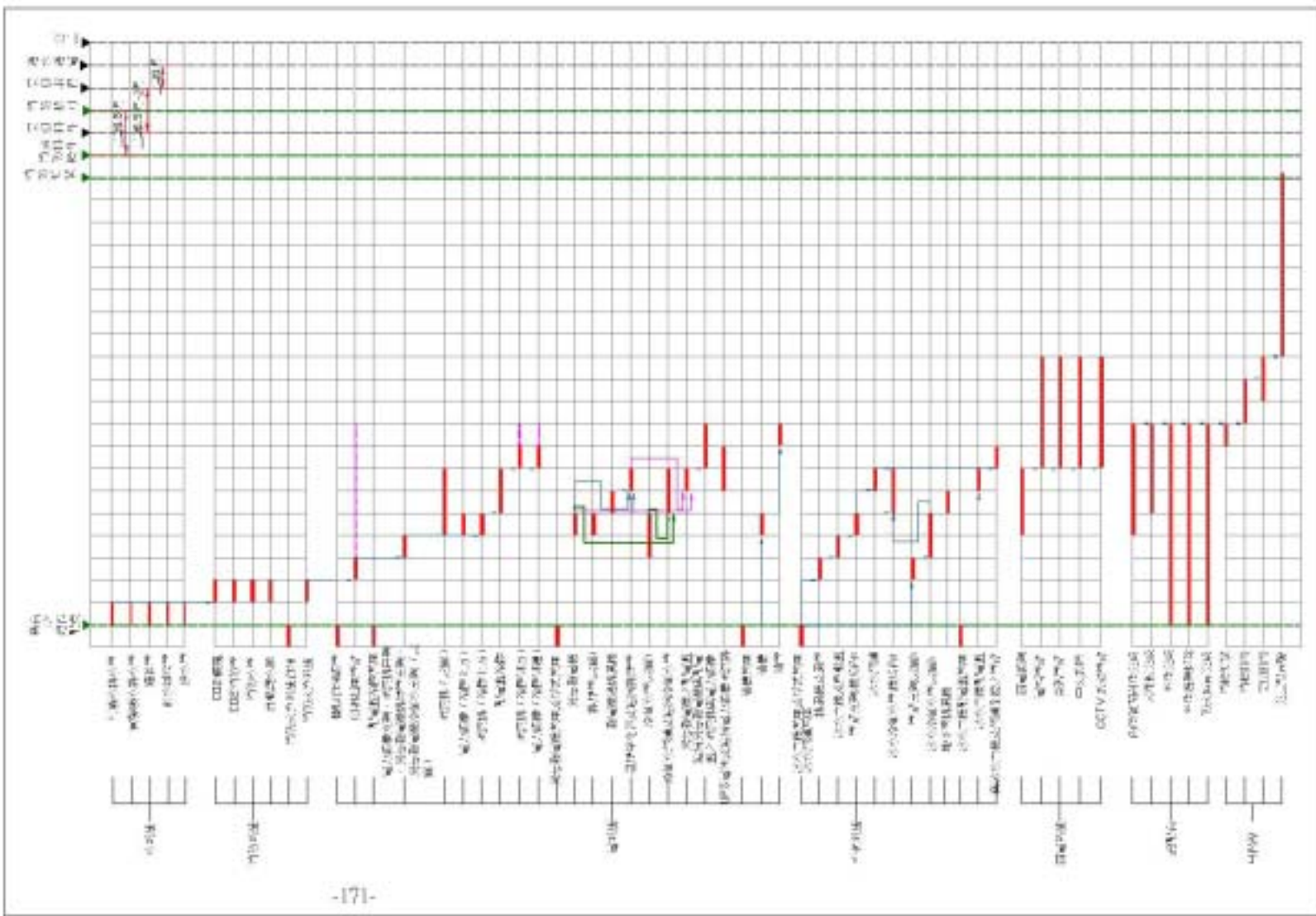
表 1 機電系統套圖階段界面整合表

空間名稱	電力機房		界面元件	傳輸側	
問題敘述	匯流排與冰水管冷卻水管、空調風管之管路衝突 - 水平上下交錯與重疊				
安全性	機能性	與土建配合	三級整合排序邏輯		
電管在水管上方	無重力排水及法規問題	無			
施工性					
將管路分為三種高程，上層匯流排先施作。風管因為只有一小段，而冰水管長度較長，中間層為冰水管，第三層為空調風管。					
經濟性	效益性	擴充性	維護管理		
管路減少彎曲	管路路徑減少不必要之繞路	無	風管只有一小段，大體而言，維護管理較沒問題		
整合結果：					
第一層	電力幹管				
第二層	空調冰水管、冷卻水管				
第三層	送，排風風管				
電力幹管（匯流排）在冰水管、冷卻水管上方，風管在最下層。					
			匯流排		
			冰水管、冷卻水管		
			風管		

表 2 機電系統施工階段工作界面表

工作項目	空調系統 - 冰水管及冷卻水給回水幹管安裝 (穿廊及機房外走廊)					
發生地點	穿廊					
問題陳述	幹管支架安裝完畢即可進行幹管之放樣與配管。					
簡易圖示						
界面問題分類	來源側		傳輸側		端末側	
界面責任分界	土建	水	電	空調	消防	弱電
二級整合排序邏輯	安全性		機能性		土建配合	
前置作業	工作項目	空調系統 - 冰水管及冷卻水給回水幹管支架安裝 (穿廊)				
	說明	所有幹管安裝之前置作業為支架之固定。				
後續作業	工作項目	空調系統 - 冰水管及冷卻水給回水幹管安裝 (空調機房內)				
		空調系統 - 風管 (UPS 室外側走廊)				

業	說明	<p>機房內冰水管冷卻水之管路必須與機房外走廊之管路相接，因此，施工順序上先從穿廊施做，再沿著空調機房外之走廊一直做到空調機房外側，再轉入空調機房內分成四個高程分別與三台冰水主機及十八台冰水幫浦銜接。因此，空調機房內之管路為其後續作業。</p> <p>UPS 室外側走廊有一排空調風管係位於冰水管下方，為其後續作業。</p>
----------	-----------	--



機房機電系統施工排序邏輯網圖(本研究處理)

圖 6 機電系統施工排序邏輯網圖