



高科技半導體廠之地上工程

李宗軒／台灣積體電路製造股份有限公司 廠務處 副理

在過去的 30 年以來，台灣的高科技產業發展的相當成功，台灣不僅成為全世界電子、資訊和通訊等高科技品研發、製造的重鎮，半導體產業更是蓬勃發展。為了將台灣的半導體產業繼續向前推進，如何在最短時間打造出最符合使用需求的高科技半導體廠房乃是一個重要的關鍵。

前言

高科技產業是指用當代尖端技術（主要指半導體、通信技術、生物工程和新材料等領域）生產高技術產品的產業群。研究開發投入成本高，研究開發人員比重大的產業，為了研發高科技的產品，建造的廠房當然就不是一般的水準，唯有在建造出能夠符合產業需求的高科技半導體廠房，才能做為高科技產業往前發展的後盾，究竟高科技半導體廠房的地上工程在建築設計、施工及管理有何特別之處？本文以某半導體公司高科技半導體廠房為例，說明一樓以上地上工程，帶領讀者窺探其中的特別之處。

高科技半導體廠房建築與工程特性

高科技半導體廠房建築的特色

面積及量體大

以一座高科技半導體廠房為例，其主占地面積

約等於 6 個國際賽事的足球場，若再加上相關附屬建物，整體大概是 55,210 平方公尺；其土方挖方量相當於 240 座標準游泳池的容量；至於鋼結構的用量甚至等於一座台北小巨蛋。

施工工期短

為了配合產品上市、量產的時間，蓋廠的時程總是非常的緊迫，土木建築加機電的部份往往工期僅有 12 個月左右，若單看土木建築工期甚至只有 7.5 個月。若以一戶 30 坪的房子來看，平均 1 個月就必需完成 327 戶，整年度 3,924 戶，建廠的速度之快是一般工程很難相比的。

空間高度高

高科技半導體廠房因為設備、機台及管線的需求，樓層的高度通常都比較高，一般來說樓高 6 m ~ 10 m 左右，約是一般房屋的 2 ~ 3 層樓高，同時也因為樓高較高的緣故提高了施工與安全管控的難度。



1座FAB



1座台北小巨蛋的鋼構用量



6座國際賽事足球場的面積

圖 1 半導體高科技半導體廠房的量體比較



圖 2 樓層高度高以達使用需求

需要大量施工人力

綜合前面三點所述，高科技半導體廠房必需在很短的時間完成大量的量體且施工難度高，為了如期如質的完成，在施工的過程中必需引入很多的承包商的人力同時進行施工，如圖 3 所示平均一個新建廠專案其人力高峰期達 3,500 人，也因為如此在建造的過程中有非常多的施工介面必需管理，透過管理的理論及技術才能順利的如期、如質及安全完成建廠。

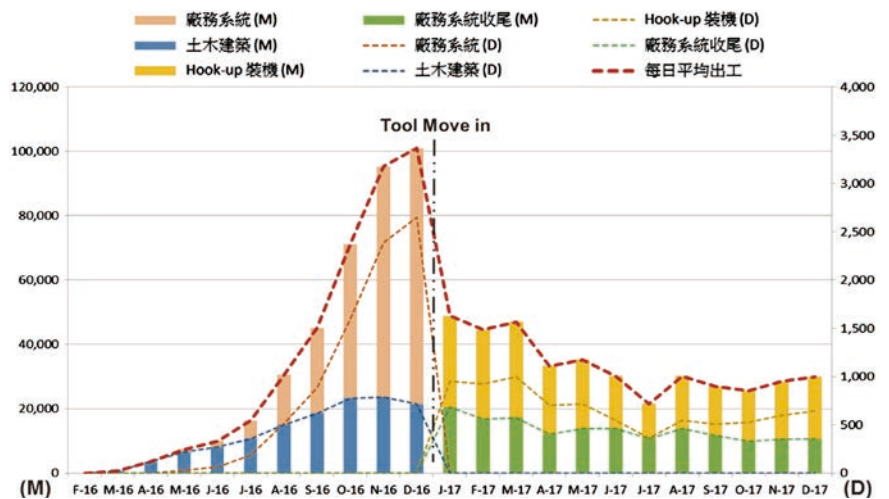


圖 3 高科技半導體廠房興建過程中的人力曲線（以某公司新建廠專案為例）

施工規劃複雜

在有限的時間、空間之內要同時讓眾多的施工廠商進廠施工，沒有做好施工規劃是不行的，所以在制訂施工計畫上我們要特別注意幾點，首先是良好的動線規劃，確保物料運輸和施工機具進出能夠順利；第二必將施工順序妥善安排，避免重工 / 做白工的情形發生，並且創造同步施工環境與條件；最後就是必須理解「要徑」以及管理「要徑」，由於在建廠的過程中工項非常多，在管理上我們要掌握要徑上的工項，避免要徑工項延遲或失控，才能讓建廠專案能夠如期完工。

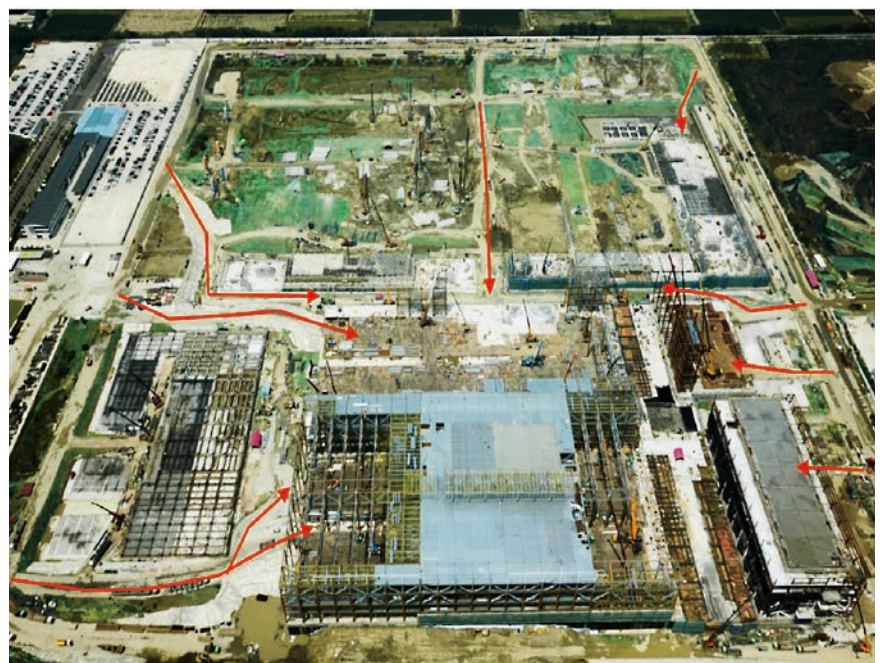


圖 4 高科技半導體廠房的動線規劃

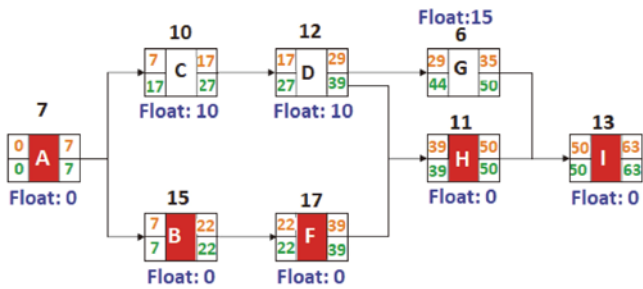


圖 5 要徑法 (Critical Path Method)

高科技半導體廠房建築與運轉使用需求上的特別關聯

在瞭解廠房特色之後，我們換個角度來探討高科技半導體廠房在建築設計上與啟用運轉生產的五大需求關聯：

空間最大利用

高科技半導體廠房為了確保生產空間能夠最大利用，所以在廠房的設計上必需考量到如何增大跨度、加寬柱位，桁架 (Truss) 便是一個很好的選擇，在後面的章節中本篇會再說明桁架的特點，這裡就不加以贅述。



圖 6 無塵室內空間利用最大化

配管及迴風需求

無塵室是利用內部流動的空氣能將塵粒 (Particles) 順著氣流的方向導入過濾器，進而將空氣中的塵粒去除 / 淨化，爾後再將乾淨的空氣導回無塵室中，所以在高科技半導體廠房中，迴風的設計就變得尤為重要，為了滿足這樣的需要，高科技半導體廠房採用「洞洞板」的設計，不僅能夠達到迴風的功能，亦可供配管使用。



圖 7 無塵室內的洞洞板

耐震與抗微振

由於高科技半導體廠房的製程越來越進步，其精度已經達到奈米的等級，在這樣的精度要求之下，廠房的震動、微振也都需要精密控制。所以在高科技半導體廠房的結構體上，也必需在這方面下功夫，必須有效的降低地震與微振影響，有效提升產品的良率創造競爭力。在高科技半導體廠房中為了要提昇耐震與抗微振的能力，在設計上會採取提昇樓板勁度、加裝 Damper 和 BRB、設置眾多剪力牆等方式解決。

複雜的安全法規需求

為符合建築法規，高科技廠房特別注重防火區劃、避難層與逃生動線的規劃，防火區劃除了一般的設計外，另注意管線在穿越不同防火區劃時，應裝設符合規範之防火排煙閘門與管線材料的防火耐燃規定；避難層設計除考量地面層外，也需評估基地有不同高低差時所產生之增加的避難層；逃生動線規劃，除了考量隔間的影響外，廠房的設備空間也應納入設計檢討的考量因素。消防法規對於存放危險化學品及氣體場所，另制定專有之設置標準及管理辦法，管制存放化學品及氣體之種類及容量；存放之空間需保留安全距離，並設置防爆牆及洩爆窗，設定洩爆壓力及洩爆方向，均是為了控制災損的範圍並減少傷害。

高科技半導體廠房地上工程概論

一座高科技半導體廠房的基本組成主要分成二大部份，FAB、CUP。本章節我們介紹的地上工程以一樓以上的結構體系統，並將會二種建築物的功能一一的為讀者解說。

FAB

高科技半導體廠房中的 FAB 是 Fabrication (製造廠) 的意思, 一般來說指得就是主要的生產重鎮, FAB 大致上分成三個區域, 無塵室、HPM、迴風區。除了一般大家所知道的無塵室之外, FAB 中有個特別區域 HPM (Hazardous Production Materials) 危險物料區, 主要用於暫時存放待處理的危險性物料 (例如有毒化學品、氣體等等)。另外在前面的章節中, 我們和讀者提到高科技半導體廠房有迴風的需求, 所以在 FAB 的兩側與中間都設有「迴風道」, 讓空氣能夠不斷的在 FAB 裡面過濾和循環、排氣。

FAB 的的結構型態

就本篇討論的高科技半導體廠為例, 其結構體為一混合式的結構系統, 將前述無塵室、迴風道與 HPM 搭配建置出來。運用 SC 鋼構結構, 特性為韌性强度高且質量輕; RC 鋼筋混凝土結構, 特性為防火性高且耐壓耐久; SRC 鋼骨鋼筋混凝土, 特性為結合 SC 與 RC 結構之特性。利用三種結構系統搭配設計, 克服 FAB 的荷重需求以及生產過程中對微振之敏感度, 並且達到耐震需求, 建造出高荷載、大跨距、制震、抗微振高之建築物性能。



L40 Truss SC



迴風道 SRC



柱 RC

圖 8 FAB 的的結構型態

CUP

CUP 的全名為「Central Utility Plant」, 其主要的功能主要有 3 項: (1) 做為銜接外部自來水及電力的接收站; (2) 將從外部接收的水經過處理或降溫而電力經過降壓之後, 提供給 FAB 使用; (3) 做為半導體廠廠務運轉監控中心。

一座工廠要能夠運轉, 必需要有水、電、氣等 Utility 系統, 有別於一般化工廠將水系統、電力系統、供氣系統, 以平面式的方式分散在廠區之中, 高科技半導體廠房將這些提供基礎的 Utility 系統以垂直的方式將之整合進一棟建築物之中, 有效利用整體廠區面積。CUP 就好比我們人類的心臟, 而這些水、電、氣就好比血液中的養份, 透過連接 CUP 與 FAB 的血管, 也就是管線、電線, 將之送到有需求的使用端, 也因為如此 CUP 是高科技半導體建廠專案的第一棒, 必需在 FAB 開始運動之前完工。

CUP 的結構系統

CUP 就功能性而言, 是提供整個 FAB 的水、電、氣的重要樞紐, 但在其結構系統而言, 常見有兩種做法, 第一為使用純鋼筋混凝土 (RC) 的做法, 第二為使用鋼構搭配鋼筋混凝土 (SRC) 的作法, 至於是怎麼決定應使用 RC 還是 SRC 結構系統呢? 關鍵都在於「成本」與「工期」, 一般而言使用 SRC 的成本約是 RC 的 1.6 倍, 但是 SRC 工期上較 RC 來的短, 決策時必需在工期與成本的考量下才能決定使用 SRC 還是 RC。另外因為在台電的接收端位在 CUP 中, 不管是 GIS 或是主變電站的設備都很重, 所以 CUP 在樓板的設計上會採用高荷載的設計, 再者為考量到安全性的問題, 在 CUP 的大電機房也會採用防爆牆、BRB 等設計, 將可能面對的災害降低, 減少對 CUP 的影響。



圖 9 CUP 建築物



圖 10 CUP 鋼結構吊裝



圖 11 興建中的 CUP 鳥瞰

高科技廠半導體房地上工程施工不同於一般建築之處

看到這裡想必讀者都已經注意到高科技半導體廠房結構所注重的幾個要點：制震、抗微振、大跨距、迴風等。基於這樣的要求下，高科技半導體廠房在結構體上有著不同於一般建築物的特殊設計。此節我們為讀者整理了這些特別之處詳細說明。

Cheese Slab

高科技半導體廠房基於潔淨室塵粒（Particles）控制的需求，在廠房設計中運用壓力將空氣當中的塵粒經由氣流穿過地板的圓洞（我們稱這樣的樓板叫 Cheese slab）並經由迴風道進入過濾器、溫濕度調節

器之後再將乾淨的空氣送回到 FAB 區。至於為什麼稱它為 Cheese slab 呢？其實下圖就以已經非常明顯了，在一般生產區洞洞板結構就如同 Cheese 一般的外觀，十分的有趣。除了迴風的作用之外，這些樓板上的孔洞也供設備配管使用，為了要做出 Cheese Slab 上的孔洞，在樓板施作的過程當中，會預先安裝圓桶型狀的模具在樓板當中，在灌漿完成之後再將模具卸除。



圖 12 Cheese Slab 與 Cheese



圖 13 Cheese Slab 下方仰視圖



圖 14 洞洞板的圓桶模具



圖 15 Cheese Slab 的施工流程

Waffle Slab

根據抗微振需求的不同，洞洞板也有不同的型式，在主要生產設備區的地坪，抗微振的需求往往都比較高，Cheese Slab 的勁度較低，因此洞洞板也有另一種變形更強壯版 - Waffle slab。為什麼叫 Waffle？主要是因為他把密集梁結構跟洞洞板合而為一之後，從樓板下方看就像 Waffle（鬆餅）一樣，故因此而得名。其樓板結構因為有密集格梁的配置，大大的提升樓板勁度，使抗微振力增強。



圖 16 格子樑結構



圖 17 Waffle Slab 下方模樣



圖 18 Waffle Slab 的施工流程

數量眾多的剪力牆

根據 103 年內政部建築研究所研究報告顯示，鋼骨構架系統中，加設剪力牆可大幅提升對水平向勁度，對於減低結構微振反應有明顯的效果，並顯示以均勻分布的效果最佳。因於這樣的原因，對於微振很敏感的高科技半導體廠房在剪力牆的設置上也採取多而且均勻的方式分散在廠區之中，除了減低微振外，剪力牆的強軸勁度很大，可有效抵抗該軸之側向地震力，分擔柱子側向力與承载力。舉個例子來說，一個中間沒有隔板的紙箱，只有稍微一擠紙箱就會變形，但如果在只箱中加入了隔板，紙箱就不會那麼容易就變形，在紙箱中的隔板就好比剪力牆，它們的功能其實是如出一轍的。



圖 19 高科技半導體廠房內的剪力牆

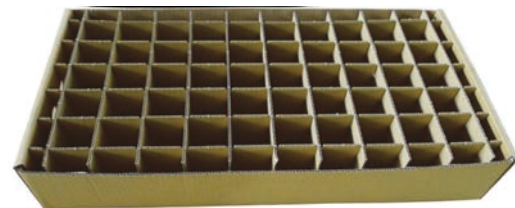


圖 20 剪力牆的功能如同紙箱中的隔板加強勁度

阻尼器 (Damper)

為了增強高科技半導體廠房的耐震及能力，在廠房中會設置很多的 damper，也就是大家常常聽到的阻尼器，FAB 裝設避震器系統屬於速度形式 damper，利用速度動能轉換地震能量，並主要用於抵抗中小地震。以金屬及高分子材料構成之制振元件，高分子材料提供良好的遲滯阻尼，也能有效應用於抗震及高層建築防風振的結構體。

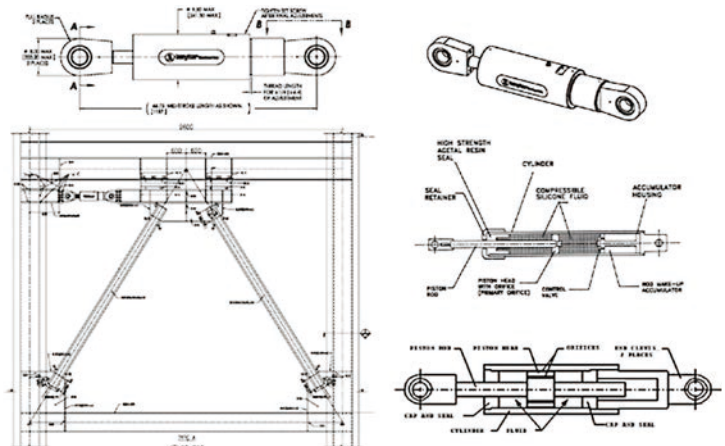


圖 21 阻尼器基本構造



圖 22 阻尼器測試

挫屈束制支撐 (BRB)

高科技半導體廠房為了確保廠房在地震中，其結構體不遭受地震所破壞，所以在結構體上都加裝「挫屈束制支撐」，其英文全名為 Buckling-Restrained Brace 簡稱 BRB。BRB 具高強度與高韌性等有利於結構耐震的特性，在中小地震時，能提供足夠勁度（越大越不易變形，在牆未裂之時就能消能）可控制結構物之側向位移。

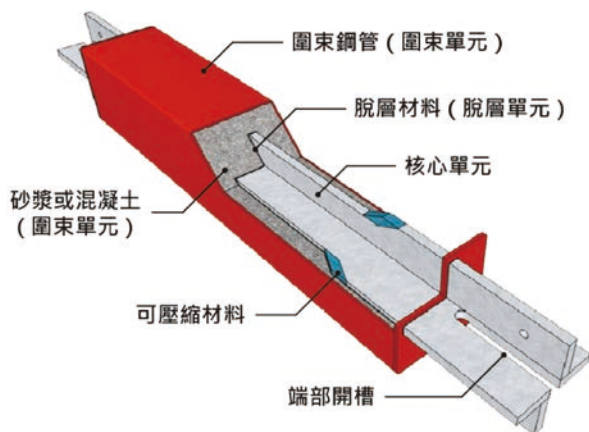


圖 23 BRB 的構造



圖 24 BRB 現場安裝

超大型桁架 (Truss) 結構

在先前的章節中有提到，高科技廠半導體房為了讓潔淨室的空間最大化，所以加大了短向的柱距，以致於主潔淨室的上部樓板及屋頂結構需採用大跨距且高承載力的設計，所以超大型鋼構桁架就成了首選。桁架是利用桿件連接成三角形，再加以串接而成受力時，桿件只傳遞拉力和壓力，進而能充分利用材料的強度，在跨度較大時，不僅能夠節省材料、減輕自重並增大剛度。

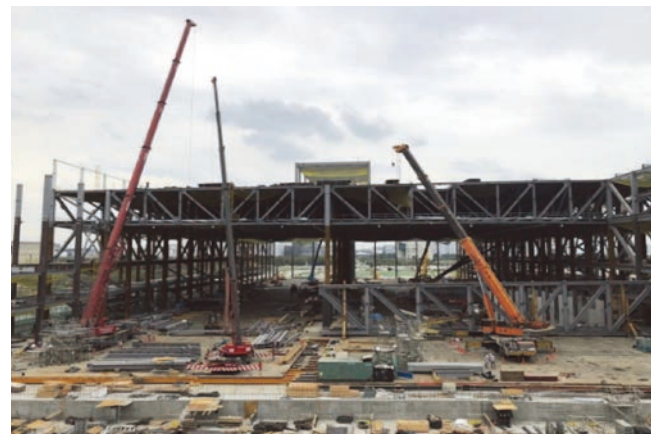


圖 25 高科技廠半導體房超大型桁架 (Truss) 結構

大跨度的結構經載重作用下，變會產生變形量，在學術上我們稱這個變形量為撓度，為了避免經載重後桁架的無法保持水平，我們會對這超大型的桁架進行「預拱」的設計。什麼叫預拱呢？就是在施工或製造時預留與變形量方向相反的校正量，經荷載（自重 + 結構樓板 + 管線設備等活載）後能保持水平狀態。

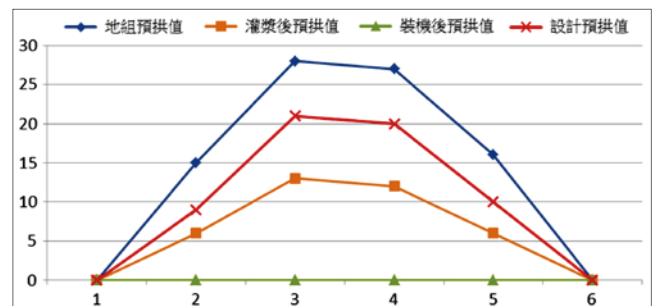


圖 26 Truss 的預拱值設計 (示意)

高科技半導體廠房施工管理

高科技半導體廠房的興建工程，就如同前面所說，是一個工期短、量體大、施工人員及工程介面多

的專案，要在這樣的工程特性如期與如質的完成專案，對專案的管理者都是一大挑戰，下列針對品質、安全、進度三方面施工管理進行介紹。

品質，源頭管理

品質管理也是施工過程中非常重要的一環，試想一個工程如期完工，但是所蓋出來的東西並不符合使用需求，如期完工又如何呢？品質管理就是制定工程標準來查核執行的成果是否有符合標準，不符合的地方就必需改進、修正。在採購發包階段若能將目標制定好，筆者以經驗說明將能控制住 70% 以上的問題，

而現場的查核約佔 30% 的控制性，所以在這裡我們想帶給讀者的是一種「源頭管理」的概念，所以怎麼再提高現場品質管理的控制度，同樣以源頭管理的觀念發展，首先「施工人員技術認證」，確保關鍵工項能夠由會的人施作，比如銲接或是防爆設備安裝等 …，另外「關鍵材料或產品效能實際驗證」，發揮實驗精神確保使用在廠房內關鍵產品之效能，比如防火漆及防火風門試燒等 …。這些都是為了一開始就對要進場的技術工、材料進行技能、品質的預先管理，控制未來品質不良的機率。

專業技術人員工種：

技術人員工種			
防水	灌漿牆	防火填塞	伸縮接頭
鋼筋	防爆牆	防爆電氣	隔振基座
焊接	Epoxy	HV電纜頭	防火風門
阻尼器	洩爆牆	電氣設備組裝	防火庫板牆
防火漆	層間塞	電氣配線結線	無塵室安裝

專業技術人員認證流程：

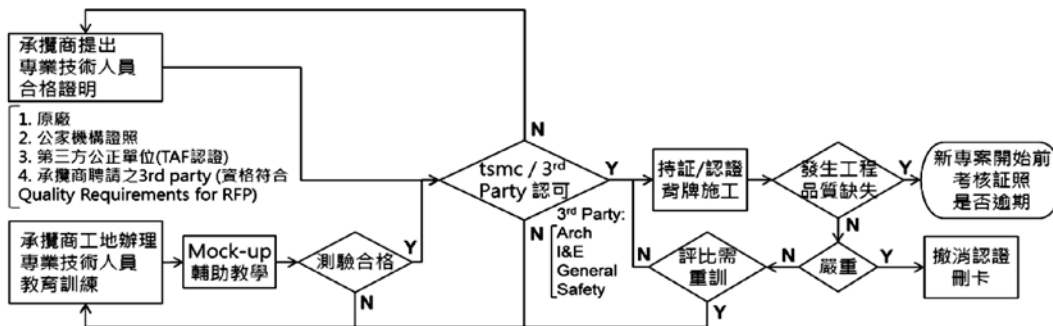


圖 27 施工人員技術認證流程

- ▣ 實驗室：內政部建築研究所防火實驗中心
- ▣ 試驗標準：CNS 12514-1建築物構造構件耐火試驗法。試驗時間：60分鐘
- ▣ 試驗判定基準：最大軸向壓縮量30mm (C=h/100)
- ▣ F15P5鋼構防火漆試燒結果：合格
 - ▣ 試體加載荷重477噸，昇溫加熱1小時後，鋼構未變形。





測試爐體內部圖示

測試爐體外觀圖示

試燒完成冷卻後試體圖

圖 28 鋼構防火漆試燒



圖 29 建立安全文化

安全，安全文化建立

在安全管理，主要由三個面向，第一我們必需注重「作業中安全活動」，設立指定區域管理責任者負責區域內的施工安全，且在高風險作業時搭配的安全查核機制，管理與降低風險。第二是「建立安全文化」，這也是最重要的安全元素，利用教育訓練課程、實際危害模擬、工具箱會議宣導、張貼警語等方式，由內而外搭配時時刻刻感受，將安全文化推廣與落實。第三是「工法安全精進」，透過組織安全防護會議等方式，討論與精進施工方法，降低人員曝露於危害的機會提升安全管理。

進度，要徑管理

擒龍必需先擒首，這是大家很常聽到的一句話，在高科技廠半導體房這樣工期短、工項多的情形之下，管理耗時最長連串工作項目就尤為重要了，而「耗時最長連串工作項目」我們就稱之為「要徑」，要徑工項能夠如期完成，也就代表專案能夠如期完工，然而透過什麼方法來管理要徑呢？大致如下述：

1. 瞭解要徑：筆者認為的要徑是由以下三點定義出來，第一是以學術理論為基礎，將施工要徑給找出來；第二為輔以專案經驗累積，判斷理論要徑在管理上的適當性；其三再配合一些市面上的專案管理工具，例如 Project、P6 等專案管理軟體，進行要徑的整合和管理。
2. 資源集中：台灣營建市場的現況為人口老化、缺工情形日益嚴重，但在短時間內讓高科技半導體廠房興建工程能夠達到需求時程目標，因此如何將有限資源做妥善的分配是非常重要的，透過上述要徑管理

概念，將資源集中到符合專案目標的工項，以使資源最大化利用之目的。

結論

高科技半導體廠房的地上工程承前面所述是一工期短、工程量體大、需投入大量人力、施工藉面複雜的工程專案，但隨著台灣營建市場施工人力老化資源不足狀況下，施工管理非常重要，掌握好 PDCA 的原則「謀定而後動」，搭配各界面之間的同步與重疊施工，透過管理的方法達成專案目標。高科技半導體廠的施工管理是一門很大的學問，目前筆者同時進行工率大數據庫及相關管理智能化系統開發，希望本篇能讓讀者對高科技半導體廠的地上工程有所認識，未來也有機會對於施工管理系統分享。

參考文獻

1. 張書萍，「高科技廠房營建工程特性之調查與分析」，碩士論文，2000
2. 許敏郎，「高科技潔淨室防火設計與現行法規適用性之研究」，碩士論文，2004
3. 蘇怡樵，「高科技廠房於規劃設計階段成本管理之探討」，碩士論文，2008
4. 曹志明，「高科技廠房空調系統節能策略之研究」，博士論文，2009
5. 何明錦，「高科技廠房建築物受風反應之研究」，2014 年內政部建築研究所協同研究報告，2014
6. 吳安傑，「挫屈束制支撐構架設計概要與工程應」，期刊〈結構工程〉，2015
7. 張陸滿，「高科技廠房設施工程及其關鍵技術」，2015
8. 吳新富，「高科技新建廠房的工程危害鑑別與預防」，碩士論文，2017
9. 吳心玫，「半導體廠房空間之研究—以廠務設施為例」，碩士論文，2018