



高科技半導體廠之機電設計概論

李若瑟 / 漢唐集成股份有限公司 設計處 技術長

高科技半導體廠之機電系統一般也稱為 MEP (Mechanical, Electrical and Plumbing) 系統。半導體廠與生產直接相關的系統有無塵室 (Cleanroom)；純水、氣體與化學 (Process Critical)；製程冷凝水、製程排氣、製程真空等 (Process Support)。除此之外，都歸於機電 (MEP) 系統內。機電系統主要含電力系統、冰水系統、溫水系統、一般空調系統、消防系統、給水系統等。

電力系統

最新半導體廠之用電量都大於 200 MW，它是一個很大的用量，接近台電公司單台火力燃煤發電機四分之一的發電量。依台灣電力公司的供電規則，供電電壓為 161 KV。半導體廠都設於台灣北、中、南三個科學園區內。設在科學園區內解決了用電大戶申請用電的難題，因為科學園區可即時供電，並提供可靠之供電品質。它的電源來自二處超高變電所，並互聯形成

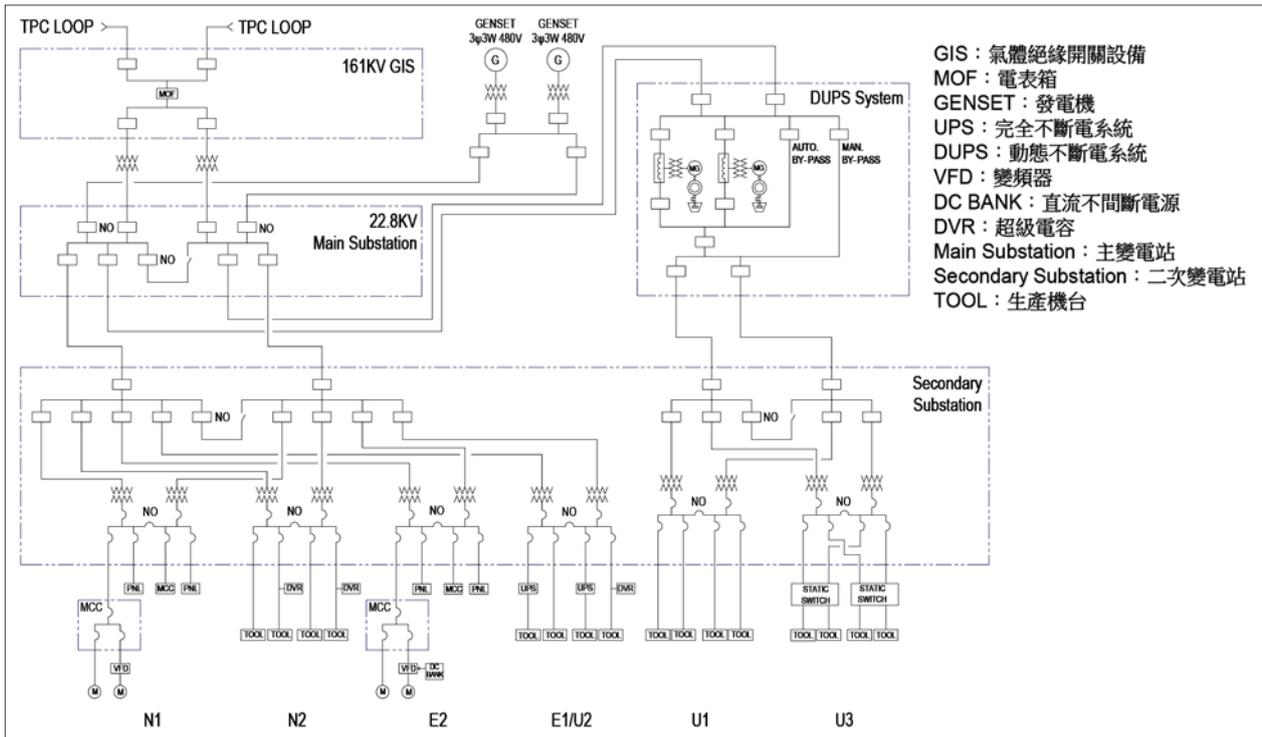
環路供電；當環路任何一點故障，故障點可立即跳脫隔離，並由另一健全的回路供電，如圖 1 所示。

半導體廠之電力系統可參考圖 2。電力公司受電電壓為 161 KV，先降壓至 22.8 KV，再降壓至使用電壓 4.16 KV、480 V、208 V、277 V 與 120 V。

台電公司定義其供電可靠度為「可用度」(Availability)，但半導體生產製程機台 (Process Tools) 只允許瞬間電壓降或中斷，其要求之供電品質，由 SEMI (國際半導體產業協會) 訂定，如圖 3 所示。



圖 1 新竹科學園區 161 KV 環路供電規劃



GIS：氣體絕緣開關設備
 MOF：電表箱
 GENSET：發電機
 UPS：完全不斷電系統
 DUPS：動態不斷電系統
 VFD：變頻器
 DC BANK：直流不間斷電源
 DVR：超級電容
 Main Substation：主變電站
 Secondary Substation：二次變電站
 TOOL：生產機台

圖 2 半導體廠電力系統架構圖

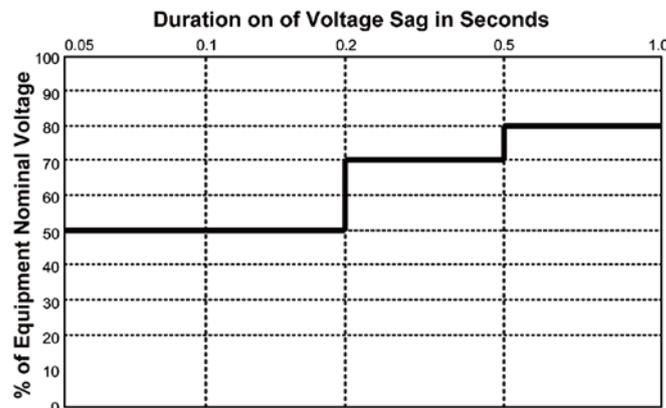


圖 3 SEMI F47 允許電壓降範圍

在曲線上方區域為生產機台可容忍電壓瞬間壓降之範圍：壓降至 50% 為 0.2 秒，壓降至 70% 為 0.5 秒，而壓降至 80% 時間長可延至 1 秒。SEMI F47 同時也建議電壓降至 0% 之時間長為 1 週期 (1 cycle)；而電壓降至 90%，機台可連續正常運轉 (normal operation)。

依此允許範圍及台電之供電品質，一年將有超過 6 次以上之機會製程機台將受到瞬間電壓降 (通常為 3 ~ 10 週期) 之影響，故製程機台及輔助機台須依賴安全不斷電系統 (UPS)。隨著製程發展至次 10 奈米，製程機台對完全不斷電之需求已趨近百分之百。完全不斷電設備包含動態不斷電系統 (DUPS)、靜態不斷電系

統及超級電容等。重要廠務設施除了由完全不斷電系統供電，如果馬達已經配置變頻器 (VFD) 也可加設 DC Bank (直流不間斷電源)，達到與不斷電系統相同的效果。

緊急電力系統主要包括多台緊急發電機並聯運轉。與完全不斷電系統不同，當台電供電中斷至發電機正常運轉和並聯輸出，將有約 30 秒之電力中斷時間。緊急電力主要供應法規要求之消防設備、生命安全系統；也支援靜態不斷電系統、DC Bank 等的電池供電時間。

電力系統架構設計須達到最高可靠度要求，它具有下列特色：

- (1) 系統主動容量設備 (Active Capacity Components) 須有 N + 1 之設計。
- (2) 配電路徑 (Distribution Path) 必須一主動一備份或二主動。
- (3) 儘可能達到「不停電維修」(Concurrently maintenance) 之目標。
- (4) 實質隔離 (Compartmentalization)。

如以圖 2 之架構為例，簡單說明如何達到上述之原則：

- (1) 自台電 161 KV 以下，22.8 KV 配電和變電，都是雙回路供電。
- (2) 系統主動容量設備如變壓器、發電機、動態不斷電設備都是 N + 1 之設計。
- (3) 雙回路供電之間，加上連絡斷路器 (Tie Breaker)，連接雙回路；當任一回路故障或中斷供電，另一健全回路可經由連絡斷路器，供應百分之百之電力。
- (4) 雖然圖中並未顯示，雙回路上之主設備儘可能地安裝於不同之變電室內，並以防火牆分隔。

冰水系統

半導體工廠之冰水系統與一般商業辦公大樓之冰水系統看似相同，但有下列很大的差異：

容量

最新半導體廠冰水系統的總容量大於 8 萬冷凍噸，

如果與台北 101 超高大樓 (包括塔樓與裙樓) 6 仟冷凍噸比較，大小差異很大。

用途

冰水系統用於無塵室環境之溫濕度控制，各輔助機房與機電機房之溫度或濕度控制，與半導體製程機台 (Tools) 之冷卻用等。

可靠度與穩定

冰水系統控制無塵室之溫濕度，並供應半導體製程機台之冷卻水，所以冰水系統必須絕對地可靠與穩定：沒有計劃外的停機時間 (No Unscheduled Downtime) 與沒有瞬間流量與壓力的變動 (控制於規格內)。

效率

詳見下節「冰水系統之節能設計」。

目前半導體廠之冰水系統幾乎都選擇 5°C 與 12°C 二種冰水水溫；5°C 低溫冰水主要用於無塵室的濕度控制用，而 12°C 中溫冰水則用於無塵室以及各房間之溫度控制。選擇 12°C 是考量無塵室之露點溫度為 9°C，所以 12°C 的冰水可控制無塵室溫度但無除濕效果 (因為 12°C 高於 9°C)，並不影響無塵室之濕度控制，也不產生冷凝水，所以也稱為乾冷卻 (Dry Cooling)。5°C 與 12°C 冰水系統之流程圖參考圖 4。另外，選擇 12°C 的另一原因是：12°C 冰水主機的運轉效率比 5°C 冰水主機高。

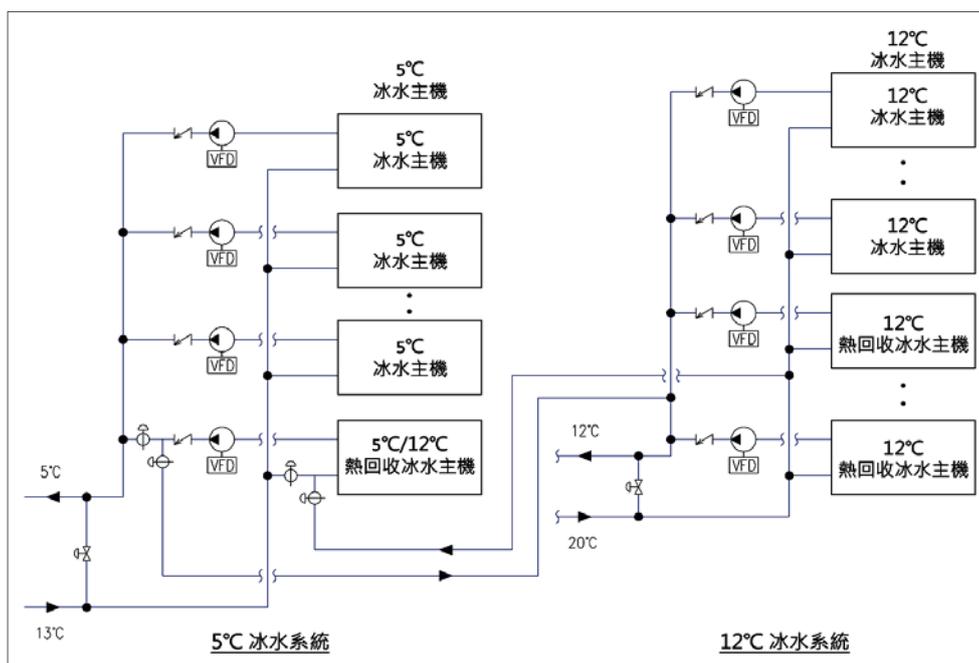


圖 4 5°C 與 12°C 冰水系統流程圖

冰水系統之節能設計

半導體廠之冰水系統容量是各種工業、商業與辦公建築中最大的規模，所以節能是冰水系統設計的最重要考量之一，與穩定的供應冰水同樣重要。

系統設計

- (1) 一次變流量冰水系統 (Variable Primary Flow)。
- (2) 全變頻：冰水主機 (選項)、冰水泵、冷卻水塔、冷卻水塔。

- (3) 降低管路摩擦損失。

設備選擇

- (1) 高效率離心式冰水主機、變頻泵浦。
- (2) 加大冷卻水塔規格，以降低冷卻水塔之「趨近溫度」(Approach)。

操作程序

藉大數據 (Big Data) 技術，達到運轉最佳化。

效率

平均全年冰水系統效率達到 0.55 kw/Ton 或更佳。

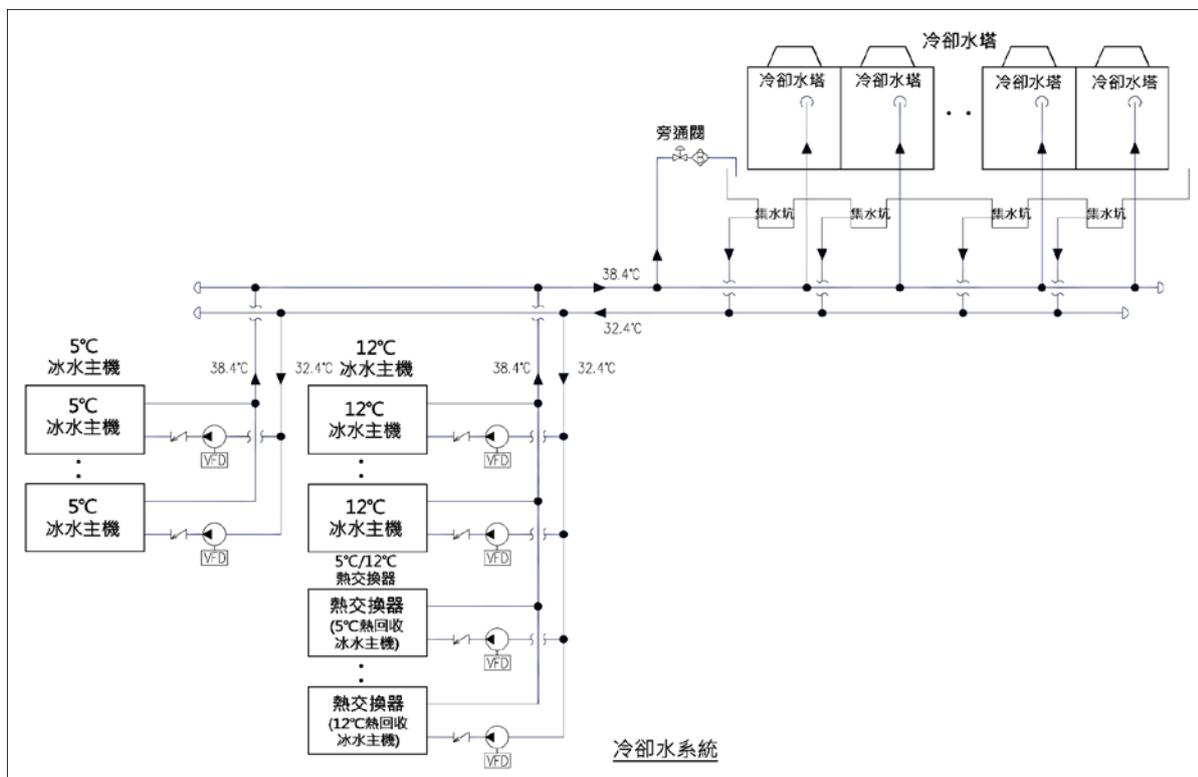


圖 5 冷卻水流程圖

溫水系統

溫水系統主要作為無塵室外氣空調箱再熱所需之熱源與冬天加濕時所需之熱源。

非常幸運地，台灣的冬天並不寒冷（外氣溫度不低於 0°C），所以溫水溫度 35°C ~ 38°C 已足夠。35°C ~ 38°C 熱源可回收自冰水系統與空壓機之廢熱（否則這些廢熱須經冷卻水塔排出室外至大氣）。如果在寒冷地區，則需要加裝 90°C 的熱水鍋爐以提高溫水溫度。

一般空調系統

雖然名為一般空調，但與商業或辦公大樓之空調不同。半導體廠房間用途很複雜：危險物品儲存、氣體與化學品供應、各種機械室與電氣室、附屬生產層 (Subfab) 等。

一般空調是屬於空調系統之風側 (Airside) 部份。「風」經由外氣空調箱 (Makeup Air Handling Unit)、空調箱 (Air Handling Unit)、小型送風機 (Fan Coil Unit)、箱型空調箱 (Packaged Air Handling Unit)、風車 (Fan) 等處理後，送至室內以控制房間之清潔度、溫度、濕度及室內壓力等。

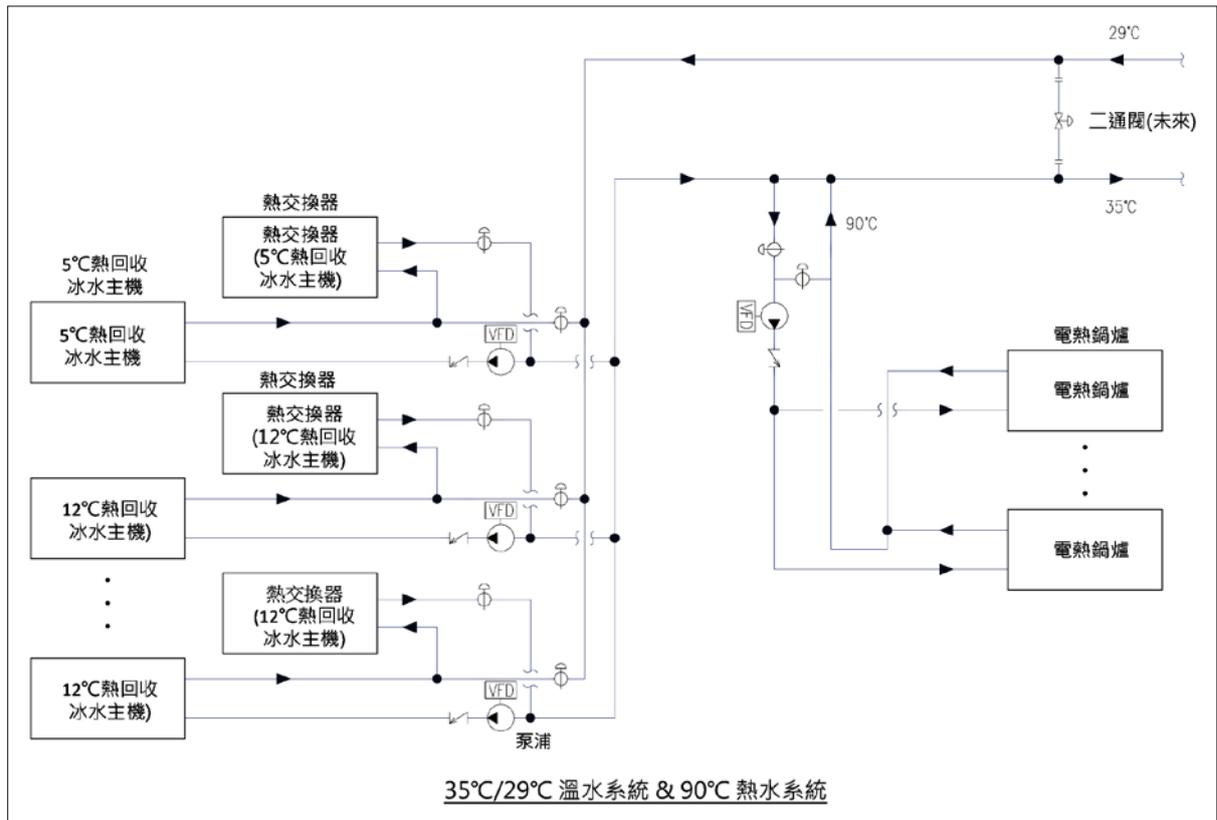


圖 6 溫水系統流程圖

空氣處理包括空氣過濾、加熱、加濕、冷卻、除濕等。一般空調設計看似容易，卻一點也不簡單，因為必須充分了解各房間的用途與需求，也必須了解法規的相關規定。此外，一般空調設計除了滿足功能要求，同樣也要求節能考量。

消防系統

消防系統分為：滅火系統（Fire Protection System）、警報系統（Fire Detection System）、避難逃生設備、排煙系統等。

滅火系統包括自動撒水、滅火器及室內 / 外消防栓、水霧滅火及細水霧、泡沫滅火、二氧化碳及清淨藥劑、乾粉及簡易自動滅火等。

警報系統包括火警自動警報與瓦斯漏氣火警自動警報。

避難逃生設備包括標示設備、避難器具、緊急照明設備等。

半導體廠消防系統設計之特點：

(1) 消防設計之初，須與業主及保險公司確認依據之國

內 / 外法規與標準。一般情況，保險公司會要求依據 NFPA, FM 等相關之國外標準。

(2) 消防系統是風險管理之一部分。

(3) 半導體廠使用與儲存許多危險性化學品，所以消防系統設計必須依各種化學品之性質，並依據 NFPA 或 FM 之相關標準設計：例如親水性化學品採用乾粉自動滅火系統滅火，有機溶劑類化學品採用泡沫滅火系統。

(4) 撒水系統是最主要的滅火系統，必須依 NFPA 13 設計。消防泵浦為 2,500 GPM，消防蓄水池需 1,000 M³ 以上。

(5) 消防系統必須結合被動防火系統（Passive Fire Protection System），包括防火區劃、防火填塞，與防爆設計等。

火災所造成的煙害對半導體製程設備與環境是致命的損害。雖然半導體廠依據國內「潔淨區消防安全設備設置要點」，可免設排煙設備，但半導體廠對火災與煙害的防止採取更有效的策略：要求建材、設備、管路、導線的不燃性、不延燒性與低煙 / 無毒等。

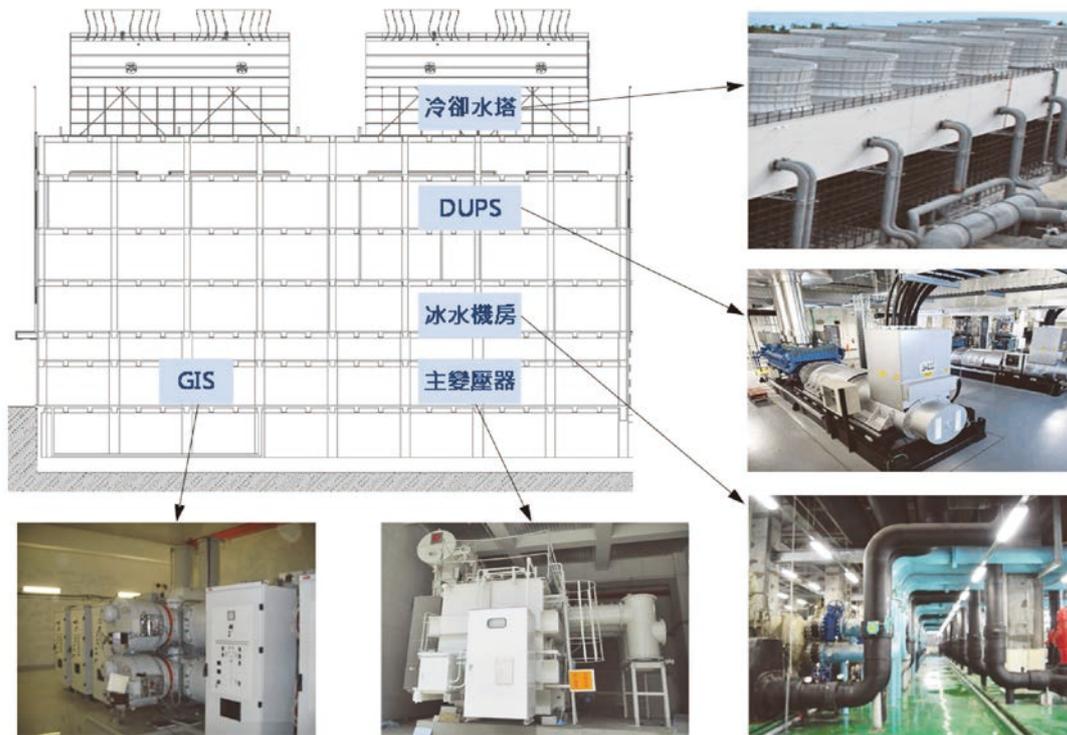


圖 7 中央公用建築 (CUB)

給水系統

半導體製程使用大量的超純水與自來水，雖然已儘可能地回收再用，但仍需補充大量的自來水；此外，冰水系統之冷卻水塔也需大量的補水。最新半導體廠每日需消耗 18,000 噸以上之自來水，如果考慮儲水 36 小時，則需 13,500 m² 二個蓄水池。

耐震設計

台灣是地震頻繁的地區。雖然我們無法避免地震發生當下對半導體生產所造成的影響，但必須防止地震對廠房與設施造成任何之損害，各廠務系統之功能也完全不受地震影響。

- (1) 地震力規範主要依據中華民國建築技術規則，但業主可要求更高之地震力係數。
- (2) 機電設施屬於「非結構構材與設備」，須依安裝樓層高度，考慮樓高之放大效應。
- (3) 機電設備與管線之耐震設計，都須經由合格之結構技師核可，並採用 FM 認證之耐震斜撐裝置 (Seismic Bracing Products)。

- (4) 最新半導體廠對機電設施之耐震之要求是：地震（依業主要求之耐震等級）不造成廠務設施任何之損害，也不影響系統的功能。這種要求已與半導體廠建物之耐震要求同一等級。

中央公用建築 (Central Utility Building) 簡稱 CUB

半導體生產廠區，除了主要生產廠房 (FAB)，通常都含一棟獨立的 CUB。CUB 主要放置機電系統的主設備，例如冰水主機、冷卻水塔、特高壓變電站、22.8 KV 變電站、發電機及 DUPS 等。此外，也可能包含空壓機、廢水處理系統等。CUB 及 FAB 二棟建築物分開，主要是避免 CUB 內機電設備產生的震動與噪音影響 FAB 之生產。

結論

半導體機電設施之特點為複雜、規模大、品質與可靠度之要求高。它就像人體內的一個重要器官，與其它器官一起維繫人的生命。🏡