

2015



校園節能手冊



教育部 編印

中華民國 104 年 5 月



目錄

目錄	I
圖目錄	III
表目錄	VII
第一章 前言	1-1
第二章 空調篇	2-1
2.1 基礎篇	2-1
2.1.1 空調系統原理簡介	2-1
2.1.2 空調系統常見設備簡介	2-2
2.1.3 空調系統適用簡介	2-12
2.2 實務篇	2-13
2.2.1 中央空調主機	2-13
2.2.2 儲冰式系統(Ice Storage Systems)介紹	2-18
2.2.3 變頻器	2-21
2.2.4 校園內開放或密閉空間空調節能方式簡介	2-23
2.2.5 各類空調系統設備檢點表	2-31
2.3 應用篇	2-34
2.3.1 校園空調系統常建設計與保養缺失案例	2-34
2.3.2 校園空調系統執行績優案例	2-45
第三章 熱泵篇	3-1
3.1 基礎篇	3-1
3.1.1 熱泵系統原理簡介	3-1
3.1.2 熱泵系統常見設備簡介	3-1
3.1.3 熱泵系統適用簡介	3-6
3.2 實務篇	3-9
3.2.1 校園熱泵系統選用	3-9
3.2.2 校園熱泵設備基本保養與檢點方式	3-14
3.3 應用篇	3-16
第四章 電力篇	4-1
4.1 基礎篇	4-1
4.1.1 電力系統概述	4-1
4.1.2 校園內電力系統常見設備簡介	4-4
4.1.3 校園內常見電費結構與基本電費計算	4-8
4.1.4 能源監控系統簡介	4-12



4.2	實務篇.....	4-13
4.2.1	校園電力系統變壓器與需量控制系統選用原則.....	4-13
4.2.2	校園常見電力系統缺失及節能改善方式.....	4-16
4.2.3	校園電力設備基本保養與檢點方式.....	4-22
4.3	應用篇.....	4-25
第五章 照明篇.....		5-1
5.1	基礎篇.....	5-1
5.1.1	常用重要名詞.....	5-1
5.1.2	常用燈具介紹.....	5-7
5.1.3	照明方式與配光特徵（直接、擴散、間接）.....	5-18
5.2	實務篇.....	5-20
5.2.1	校園照明設備選用及設計原則.....	5-20
5.2.2	現有照明設備節能改善方式簡介.....	5-36
5.3	應用篇.....	5-51

參考資料



圖目錄

圖 2.1.1 冷凍循環系統示意圖	2-2
圖 2.1.2 窗型冷氣機實體圖	2-2
圖 2.2.3 分離式冷氣機室外機	2-4
圖 2.1.4 分離式冷氣機嵌入式室內機	2-4
圖 2.1.5 分離式冷氣機埋入型室內機	2-5
圖 2.1.6 分離式冷氣機壁掛型室內機	2-5
圖 2.1.7 氣冷式箱型冷氣機示意	2-6
圖 2.1.8 氣冷式箱型冷氣機實體圖	2-6
圖 2.1.9 水冷式箱型冷氣機示意圖	2-7
圖 2.1.10 水冷式箱型冷氣機實體圖	2-7
圖 2.1.11 水冷式中央空調系統示意圖	2-8
圖 2.1.12 中央空調冰水主機（螺旋式 40RT）	2-9
圖 2.1.13 中央空調冰水主機（往複式 40RT）	2-9
圖 2.1.14 冰水系統泵浦	2-10
圖 2.1.15 冷卻水塔	2-10
圖 2.1.16 送風口	2-11
圖 2.1.17 空調箱	2-11
圖 2.2.1 選購冰水主機 SOP 簡易流程圖	2-14
圖 2.2.2 儲冰系統圖	2-19
圖 2.2.3 儲冰式冰水主機	2-20
圖 2.2.4 儲冰槽	2-20
圖 2.2.5 三相變頻器方塊圖	2-22
圖 2.2.6 機房設備無冷熱通道擺設圖	2-25
圖 2.2.7 機房設備冷熱通道擺設圖	2-26
圖 2.2.8 電腦機房熱通道	2-27
圖 2.2.9 電腦機房	2-27
圖 2.3.1 冷凝器位置示意圖	2-35
圖 2.3.2 冰水主機出水溫度設定畫面	2-36
圖 2.3.3 水泵浦軸承鏽蝕漏水	2-37
圖 2.3.4 為青苔滋生嚴重之情形	2-37
圖 2.3.5 冷卻水塔與遮蔽物的最短距離示意圖	2-38
圖 2.3.6 塔體間距示意圖	2-39
圖 2.3.7 冷卻水塔散熱不良	2-39
圖 2.3.8 冷卻水塔設置過於靠近牆面	2-40
圖 2.3.9 冷卻水塔灑水不均(左圖)與正常情況(右圖)之對照	2-40
圖 2.3.10 設備外觀鏽蝕與鰭片破損情形	2-41
圖 2.3.11 室外機安裝位置錯誤範例	2-44



圖 2.3.12 分離式冷氣冷媒管失效	2-44
圖 2.3.13 正確的室外機安裝方式	2-44
圖 3.1.1 熱泵系統原理	3-1
圖 3.1.2 氣源式熱泵示意圖	3-2
圖 3.1.3 氣源式熱泵實體圖	3-2
圖 3.1.4 水源式熱泵示意圖	3-3
圖 3.1.5 水源式熱泵實體圖	3-3
圖 3.1.6 雙效式熱泵示意圖	3-4
圖 3.1.7 太陽能輔助熱泵示意圖	3-4
圖 3.1.8 游泳池熱泵示意圖(氣源式應用)	3-5
圖 3.1.9 游泳池熱泵示意圖(水源式應用)	3-5
圖 3.1.10 地熱式熱泵示意圖	3-6
圖 3.2.1 決定熱水負荷方式	3-9
圖 3.2.2 太陽能輔助熱泵熱水器(ISAHP)	3-11
圖 4.1.1 我國各供電階段電力系統圖	4-2
圖 4.1.2 一般高壓供電配電系統示意單線圖	4-2
圖 4.1.3 變壓器示意圖	4-4
圖 4.1.4 模鑄式變壓器(左圖)與油浸式變壓器(右圖)	4-5
圖 4.1.5 變壓器內部結構圖	4-5
圖 4.1.6 高壓電容器(左圖)與低壓電容器(右圖)	4-6
圖 4.1.7 自動功率因數調整器	4-7
圖 4.1.8 無熔絲開關(左圖)與真空斷路器(右圖)	4-7
圖 4.2.1 常見的室內變電站(左圖)與室外變電站(右圖)設置	4-14
圖 4.2.2 校園電力監控及虛量控制管理系統架構圖	4-15
圖 4.2.3 變壓器並聯	4-16
圖 4.2.4 高壓變電室設置排風扇(左圖)並搭配溫控開關(右圖)	4-17
圖 4.2.5 用電契約容量與用電最高需量示意圖	4-18
圖 4.2.6 契約容量與電費之關係	4-19
圖 4.2.7 高壓變電室功率因數偏低	4-20
圖 4.2.8 循環式控制示意圖	4-21
圖 4.2.9 循環式控制示意圖	4-21
圖 5.1.1 光束、光度、照度與輝度的定義	5-1
圖 5.1.2 光束、光度、照度與輝度以水量表示	5-2
圖 5.1.3 色溫規格表	5-2
圖 5.1.4 光源/照明色溫資料	5-3
圖 5.1.5 照度與光源距離的關係圖	5-4
圖 5.1.6 各類型照度計	5-4



圖 5.1.7 電光轉換的過程	5-7
圖 5.1.8 螢光燈管種類	5-9
圖 5.1.9 各類型石英鹵素燈泡	5-10
圖 5.1.10 各類型 LED 燈具	5-13
圖 5.1.11 冷陰極管的應用	5-14
圖 5.1.12 緊密型螢光燈 (PL 燈、圓球型及螺旋型省電燈泡)	5-16
圖 5.1.13 燈具的外部結構	5-17
圖 5.1.14 反射罩光學性質	5-18
圖 5.1.15 輕鋼架嵌入式格柵燈	5-18
圖 5.1.16 室內燈具的分類與配光	5-19
圖 5.2.1 黑板燈具裝設位置與投光照射角度	5-21
圖 5.2.2 容易產生反射光幕之正反射區	5-22
圖 5.2.3 桌面與燈具擺設相關位置圖	5-22
圖 5.2.4 辦公室應採分區開關並搭配桌燈使用	5-24
圖 5.2.5 地下停車場調光控制案例	5-25
圖 5.2.6 學校游泳池應多利用自然採光(左圖)並減少間接照明(右圖)	5-26
圖 5.2.7 活動中心可利用自然採光(左圖)，不建議使用螢光燈具(右圖)	5-26
圖 5.2.8 照明時間控制開關	5-32
圖 5.2.9 照明點滅時程控制流程圖	5-32
圖 5.2.10 晝光感應控制辦公室照明	5-32
圖 5.2.11 紅外線感應控制圖書館書櫃間照明	5-33
圖 5.2.12 自然採光與人工照明使用分布時段示意圖	5-34
圖 5.2.13 圖書館利用自然採光關閉靠窗旁燈具	5-34
圖 5.2.14 游泳池部分利用自然採光於日間減少燈具開啟時間	5-35
圖 5.2.15 地下停車場設置光井引入自然光減少燈具開啟	5-35
圖 5.2.16 現有照明設備評估檢測與節能改善示意圖	5-36
圖 5.2.17 黑板面照度檢測點	5-37
圖 5.2.18 教室課桌面照度檢測點	5-38
圖 5.2.19 透過搭配桌燈提高局部照度並進行照明減載	5-39
圖 5.2.20 經濟部標準檢驗局走廊燈具減載(改善前/後)	5-39
圖 5.2.21 調整燈具高度提升照度示意圖	5-40
圖 5.2.22 臺灣科技大學圖書館改善前/後比較	5-41
圖 5.2.23 間接照明與直接照明示意圖	5-41
圖 5.2.24 定期清洗保養影響燈具照度示意圖	5-42



圖 5.2.25 螢光燈具點燈時間與作業面照度關係圖	5-42
圖 5.2.26 內政部移民署改善老舊燈罩實例	5-43
圖 5.2.27 分區域照明迴路應提供清楚標示	5-43
圖 5.2.28 教室照明迴路平行窗戶設計可利用自然採光	5-44
圖 5.2.29 教室後排照明迴路獨立設計	5-44
圖 5.2.30 照明節能改善施行步驟流程圖	5-45
圖 5.2.31 光源的光衰減特性與燈具壽命關係圖	5-47



表目錄

表 2.1.1 冷凍噸定義表	2-1
表 2.1.2 常見空調設備區分表	2-8
表 2.1.3 一般空調冷房能力估算 DIY	2-12
表 2.1.4 常見空調系統適用簡介	2-12
表 2.2.1 水冷式及氣冷式比較表	2-17
表 2.2.2 儲冷式空調系統與傳統式空調系統之比較	2-21
表 2.2.3 空調系統維護保養檢點表	2-31
表 2.2.4 空調設備常見缺失檢點表	2-32
表 2.2.5 空調節能措施檢點表	2-33
表 3.1.1 熱泵系統說明	3-7
表 3.1.2 常見熱水器的能源使用費率	3-8
表 3.2.1 各鍋爐熱水器單位能源熱值及燃燒效率	3-10
表 3.2.2 熱泵設備檢點表	3-15
表 4.1.1 變壓器規格表	4-6
表 4.1.2 表燈用戶各級距用電度數收費表(單位：元)	4-8
表 4.1.3 二段式時間電價表(單位：元)	4-9
表 4.1.4 各電費項目降低費用策略	4-11
表 4.2.1 變壓器型式、冷卻方式與負載容量彙整表	4-13
表 4.2.2 變壓器日常維護項目及異常處理方法	4-22
表 4.2.3 變壓器內零件建議更換週期	4-23
表 5.1.1 一般常用光源的發光效率比較	5-6
表 5.1.2 傳統式與電子式原理與構造	5-8
表 5.1.3 鹵素燈的優缺點分析	5-11
表 5.1.4 複金屬燈的優缺點分析	5-12
表 5.1.5 LED 燈的優缺點分析	5-13
表 5.1.6 傳統與冷陰極管 (CCFL) 緊急照明燈具之比較表	5-14
表 5.1.7 冷陰極管的優缺點分析	5-15
表 5.1.8 緊密型螢光燈的優缺點分析	5-16
表 5.1.9 燈箱種類	5-17
表 5.2.1 燈具遮光角與排列關係建議	5-23
表 5.2.2 各類常見燈具發光效率、使用壽命彙整表	5-27
表 5.2.3 各式燈具改善效益評估表	5-28
表 5.2.4 彙整校園內各種場所建議汰換之節能燈具	5-29
表 5.2.5 常見裝修材料之反射率	5-30
表 5.2.6 更換裝修材料量測照度之實驗	5-31
表 5.2.6 普通教室照度改善效檢測表	5-38
表 5.2.7 不同光源最經濟清掃的預估時間	5-48



Manual of Energy Efficiency Promotion in School

表 5.2.8 照明設備施工規範檢點表	5-48
表 5.2.9 照明設備驗收規範表	5-49
表 5.2.10 照明設備維護檢點表	5-50



第一章 前言

「政府機關及學校全面節能減碳措施」自 97 年 8 月 6 日奉行政院核定，並於 98 年 12 月 16 日第一次修訂實施以來，已具成效，惟為促進政府機關及學校更積極規劃節能減碳作法、編列相關預算並落實執行，爰推動政府機關及學校「四省（省電、省油、省水、省紙）專案」計畫，以精進政府機關及學校節約能源成效，訂定檢討建物空調設備之管理與控制、保養維護系統，是否環保省能，抑或陳舊耗能，俾採取適當有效之改善對策，各機關學校於有汰換設備或增設電力系統時之需求，須先符合上開標準，始能編列預算購置設備。本手冊為廣泛吸取實際節能改善經驗、技術及未來方向的參考資料，乃委請國立台北科技大學冷凍與能源空調系卓清松老師、陳傳瑞與陳廷昱研究員、國立勤益科技大學電機工程學系陳鴻誠老師、張隆益老師及元智大學魏榮宗教授協助執筆、修訂手冊內容及蒐集各領域多方面的節能改善經驗及技術資料，並將本手冊分為空調篇、熱泵篇、電力篇與照明篇四大篇，每篇章再細分為基礎篇、實務篇與應用篇三大章節，其中基礎篇內容主要為介紹基本原理及常見種類設備介紹；實務篇內容主要為針對學校該如何進行設計、選用及介紹一般維護保養措施；應用篇內容主要為提供執行績優案例給學校作參考，手冊並附有各式檢點表格，提供各機關與學校作為參考。



第二章 空調系統篇

2.1 基礎篇

2.1.1 空調系統原理簡介

冷凍循環系統構成的四大主要元件包括壓縮機(Compressor)、冷凝器(Condenser)、毛細管(Capillary Tube)或是膨脹閥(Expansion Valve)與蒸發器(Evaporator)。

壓縮機將低溫低壓之汽態冷媒壓縮成高溫高壓之氣態冷媒，再由冷凝器散熱將高溫高壓之汽態冷媒冷卻成中溫高壓之液態飽和冷媒或稱為溫冷媒，散熱方式較常見的方式有水冷式及氣冷式兩種，此部分裝置大多放置在室外，在此形成散熱作用，接著毛細管或膨脹閥將中溫高壓液態冷媒降壓成低溫低壓之液汽共存冷媒，再由蒸發器將低溫低壓液汽共存冷媒蒸發吸熱成為低壓低溫之汽態冷媒，此部分裝置在冷房或冷凍櫃內，冷媒蒸發時吸收熱量，造成冷房或冷凍櫃溫度下降，以達成冷凍之目的。圖 2.1.1 為冷凍循環系統示意圖。

一般冷凍噸定義可分為公制、美制及英制三種，其定義如表 2.1.1 所示（不宜將冷凍噸分三種，其實以 12000 BTU (3.516 kW) 說明即可

表 2.1.1 冷凍噸定義表

冷凍噸種類	定義
公制	$\frac{1000\text{kg} \times 79.68\text{kcal/hr}}{24\text{hr}} = 3320\text{kcal/hr} = 3.861\text{kW} = 13180\text{BTU}$
美制	$\frac{2000\text{lb} \times 144\text{BTU}}{24\text{hr}} = 12000\text{BTU} = 3024\text{kcal/hr}$ = 3.516kW(市場使用單位)
英制	$\frac{2240\text{lb} \times 144\text{BTU}}{24\text{hr}} = 13440\text{BTU} = 3387\text{kcal/hr} = 3.938\text{kW}$

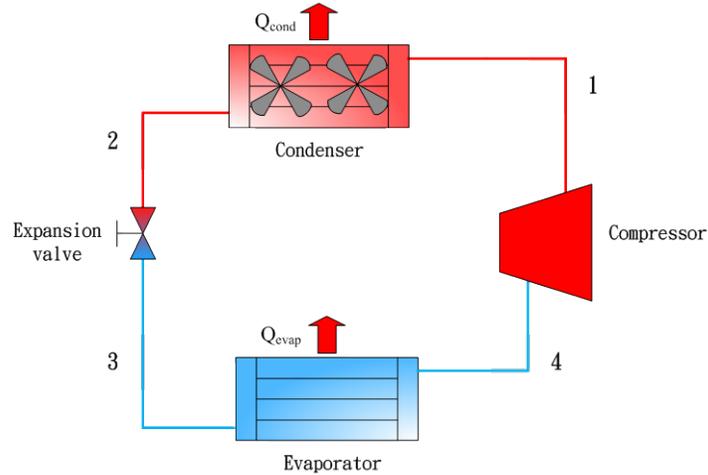


圖 2.1.1 冷凍循環系統示意圖

2.1.2 空調系統常見設備簡介

一、窗型冷氣機(Window Type Air Conditioner)

機種特點：窗型冷氣機係指將所有的元件裝置單一機箱內，在安裝與施工上較容易，且無須額外拉設冷媒管路，因此在價格上相對於分離式冷氣機較為便宜，目前常見的機種有定頻冷暖、變頻冷暖、定頻單冷、變頻單冷四種形式。而窗型冷氣機的缺點是壓縮機、散熱風扇以及各個元件都安裝在同一箱體內，所以運轉時噪音較大。圖 2.1.2 為窗型冷氣機實體圖。

圖 2.1.2 窗型冷氣機實體圖¹

¹參考資料：台灣日立股份有限公司



二、分離式冷氣機(Split Type Air Conditioner)

分離式冷氣機與窗型冷氣機一樣，目前常見的機種有定頻冷暖、變頻冷暖、定頻單冷、變頻單冷四種形式，現階段的分離式冷氣機大多以變頻系統較多。分離式冷氣機和窗型冷氣機最大的不同點，在於元件分別安裝至室內機與室外機（如圖 2.1.3）兩個箱體，兩機間再以被覆銅管連接，形成冷媒循環迴路讓室內的熱量散到室外去。分離式冷氣機的優點是壓縮機是放在室外機，室內機僅有風扇，噪音會降低。雖然分離式冷氣機是最具方便性的冷氣機，不過它還是有缺點，像是安裝施工複雜、費時，單是施工費就比窗型冷氣昂貴許多，且若冷媒管路太長或彎點太多，將使其效率降低。

在寸土寸金的都市裡，現代化建築物並不一定有空間可以安裝窗型冷氣機，但是分離式冷氣機可適用於各種空間，尤其是窗型冷氣機無法安裝的空間。且分離式冷氣機可依不同的需求，可選擇

1. 一對一分離式冷氣機(Single Split Type Air Conditioner)，適用於室外側安裝空間較充足的地方，保養和維修較方便，效能表現也比一對多好。
2. 一對多分離式冷氣機(Multi Split Type Air Conditioner)，適用於室外側安裝空間較不足的地方，效能表現較一對一差。
3. VRV(Variable Refrigerant Volume)系統，依負載端的需求來調整冷媒流量，部分負載下效率高，效能表現為分離式冷氣機之中最好的，其缺點是建置成本及維護保養非常昂貴。

在這三種不同型的分離式冷氣機中，VRV 系統（變冷媒流量之中央冷氣系統）因建置成本及維護保養昂貴，較適合用於大型空調負



荷場合，其他兩種形式的分離式冷氣機，都已取代傳統的窗型冷氣機，成為目前最常見的冷氣機種。此外，若不想破壞整體室內設計的美感，還可以依不同的室內設計選擇搭配嵌入型、埋入型、壁掛型等三種不同型式的室內機（如圖 2.1.4~2.1.6）。



圖 2.1.3 分離式冷氣機室外機²



圖 2.1.4 分離式冷氣機嵌入型室內機³

²參考資料：台灣日立股份有限公司

圖 2.1.5 分離式冷氣機埋入型室內機⁴圖 2.1.6 分離式冷氣機壁掛型室內機⁵

三、箱型冷氣機(Package Air Conditioner)

箱型冷氣機主要具有安裝容易、安裝所需時間短等優點，就結構上，其構成之元件與一般家用冷氣機相比較起來，除了膨脹元件較不同之外，其餘均相同。箱型主機分為水冷式及氣冷式二種，以下針對各機種特性作簡單介紹：

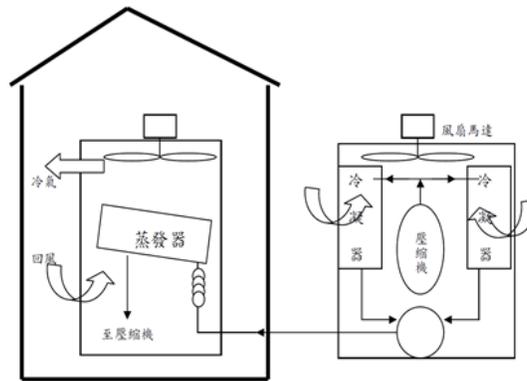
(一)、氣冷式箱型冷氣機

氣冷式箱型機就結構上類似放大版的分離式冷氣機，在元件上亦分為室內機及室外機（如圖 2.1.7、2.1.8 所示），室內機及室外機藉由被覆銅管連結來達到製冷，其缺點是效率會較水冷式箱型冷氣機差，故較少人使用氣冷式箱型冷氣機。

³參考資料：台灣日立股份有限公司

⁴參考資料：台灣日立股份有限公司

⁵參考資料：台灣日立股份有限公司

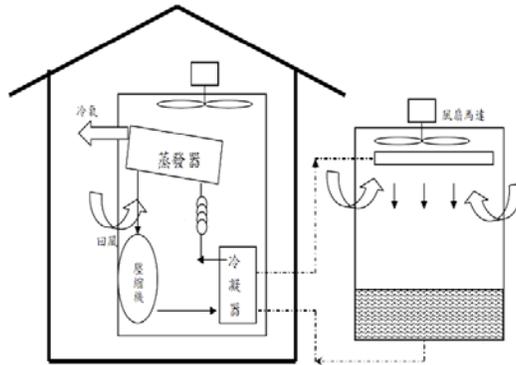
圖 2.1.7 氣冷式箱型冷氣機示意⁶圖 2.1.8 氣冷式箱型冷氣機實體圖⁷

(二)、水冷式箱型冷氣機

水冷式箱型冷氣機在構造上與氣冷式箱型冷氣機有明顯上的不同。其結構上較類似於窗型冷氣機，將各個元件裝置單一機箱內，室外端則以冷媒搭配冷卻水塔以水冷式的方式來散熱(如圖2.1.9、2.1.10)，由於水的熱傳系數遠大於空氣，水冷式箱型冷氣機散熱效果優於氣冷式箱型冷氣機，可以得到較高的運轉效率，其缺點是噪音會較氣冷式箱型冷氣機大。

⁶參考資料：台灣綠色生產力基金會《空調系統管理與節能手冊》

⁷參考資料：台灣日立股份有限公司

圖 2.1.9 水冷式箱型冷氣機示意圖⁸圖 2.1.10 水冷式箱型冷氣機實體圖⁹

(三)、中央空調系統

中央空調系統亦可稱為冰水系統，其主要設計之目的在於節省建置成本及減少冷媒洩漏率。因為一棟大型商業辦公大樓、商場及工場廠房等，一定會有許多的空調管路，若全部的空調管路都是走冷媒，成本就會增加很多，且若有冷媒洩漏，根本是無從查起。因此，有學者提出一套設計方法，是在蒸發器內由冷媒先與冰水進行熱交換，再將冰水送至負載端產生需要之空調效果，水與冷媒比較起來除了較好掌控外，價格也較為低廉，藉此可以達到節省建置成本及減少冷媒洩漏率之目的。圖 2.1.11 為中央空調系統示意圖(水冷式)。

⁸參考資料：台灣綠色生產力基金會《空調系統管理與節能手冊》

⁹參考資料：台灣日立股份有限公司

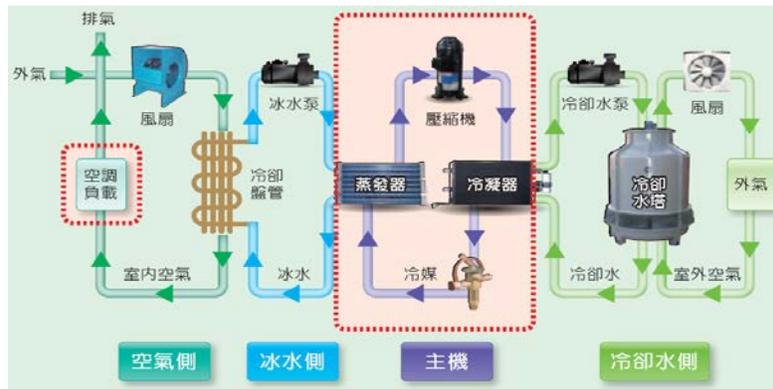


圖 2.1.11 水冷式中央空調系統示意圖¹⁰

冰水系統跟箱型冷氣機一樣，只是結構上更為複雜，以分水冷為主，水冷式的冷凝器一般大多採用殼管式熱交換器。其相關採購設備與附屬設備如圖 2.1.12~2.1.17 所示。一般空調設備與中央空調設備之間的差異性整理如表 2.1.2 所示

表 2.1.2 常見空調設備區分表

	特性	常見設備
小型空調設備	1.系統製冷能力較小 2.管路配置較為簡單 3.安裝所需空間較小 4.適用於小空間	1.窗型冷氣機 2.分離式冷氣機 3.箱型冷氣機
大型中央空調設備	1.系統能力較大 2.管路配置較為錯綜複雜 3.安裝所需空間大 4.適用於大空間	1.冰水主機 2.冷卻水塔 3.冷卻冰水汞 4.空調箱

¹⁰參考資料：台北市政府《空調系統節能管理與維護手冊》



圖 2.1.12 中央空調冰水主機（螺旋式 40RT）



圖 2.1.13 中央空調冰水主機（往複式 40RT）



圖 2.1.14 冰水系統泵浦



圖 2.1.15 冷卻水塔



圖 2.1.16 送風口



圖 2.1.17 空調箱



2.1.3 空調系統適用簡介

一般空調冷房能力簡易的估算及其各種機型適用地點如表 2.1.3 及表 2.1.4 所示。

表 2.1.3 一般空調冷房能力估算 DIY

空間	每坪所需之冷房能力
一般情況 (無頂樓、西曬)	400~500kcal/hr
有西曬 or 頂樓	550~650kcal/hr
西曬+頂樓	700~800kcal/hr

表 2.1.4 常見空調系統適用簡介

項目	類別	適用空間	優點	缺點
窗型冷氣機	定頻冷暖 變頻冷暖 定頻單冷 變頻單冷	預設有冷氣口 教室、辦公室	易安裝 價格低	噪音大
分離式冷氣機	一對一 一對多 VRV 系統	各種空間皆宜	噪音低	安裝複雜 價格高
箱型冷氣機	氣冷式 水冷式	演講廳、電腦教室、視聽教室	易安裝	室內機較占空間
中央空調系統	水冷式	辦公大樓、圖書館	價格低 減少冷媒洩漏率	安裝所需空間較大



2.2 實務篇

2.2.1 中央空調主機

一、冰水主機大小臺匹配應用

一般而言冰水主機大小臺匹配，是要根據自身的需求與預算來選擇搭配，像是一大一小冰機搭配，或是一台足噸冰機搭配變頻器使用也是可行的。以國立臺灣大學第二活動中心為例，冰水主機匹配方式為設置兩台 120RT 雙螺旋式冰水主機，一台為主，一台為輔，平常只走一台，當負載較大時，一台主機無法負擔時，再由另外一台主機啟動輔助，也有另一種方式，以內湖 costco 為例，他們是由兩台 380RT 冰機同時啟動製冷加卸載。

選購冰水主機 SOP 步驟如下：

第一步驟：

先確定空間的大小

第二步驟：

選取每坪空間概略需要的仟卡數→單位以 RT (kw)

普通教室，每坪約需 400~500Kcal/h 冷房能力

普通教室（頂樓或西曬），每坪約需 550~650Kcal/h 冷房能力

普通教室（頂樓且西曬），每坪約需 700~800Kcal/h 冷房能力

※每坪空間所需要的 RT 數，會隨著使用人數多寡、建築材料（是否為鐵皮屋）、空間用途（是否為營業場所）、樓層高度、照明燈的種類及數量、等不同情形；而有所差異。可請教專業，以免花錢不冷又耗電。

第三步驟：

將第一步得知的坪數和第二步選取每坪空間概略需要的仟卡數或由專業技師依空間負載計算求得。



第四步驟：

確認安裝位置及空間大小。

第五步驟：

在確認其安裝位置、空間大小及所需的製冷量後，可請廠商到現場規劃客製化的管路配置及安裝相關配件。其簡易流程圖如圖 2.2.1 所示。(大小配之原則)

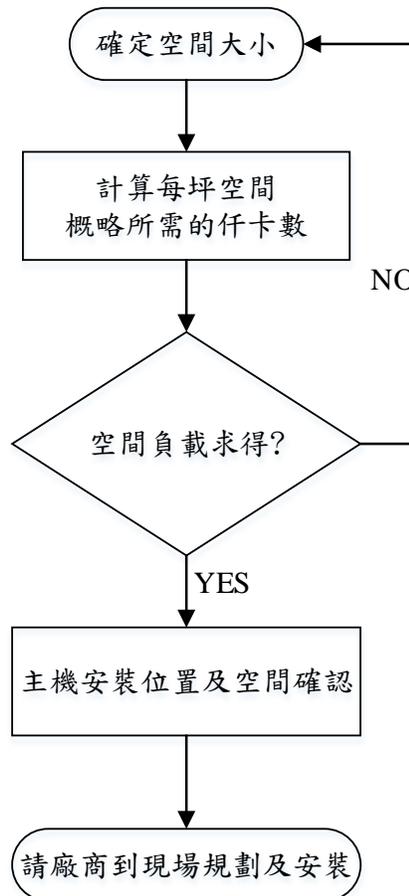


圖 2.2.1 選購冰水主機 SOP 簡易流程圖

二、箱型、冰水主機使用氣冷、水冷方式之原則

(一)、效率性能係數 (COP)

水冷式系統是利用水來當冷卻介質，一般為了維護水資源，都會使冷卻水循環使用，冷卻水大多數會採取開放式循環系統，將冷卻水



的熱量藉由冷卻水塔排放到大氣中。

氣冷式系統直接利用大氣來當作冷卻介質，因此所能利用的溫度隨著大氣溫度的高低起伏而有所影響，以目前台灣地區的空氣設計溫度通常定為 35°C，所以氣冷式的冷凝壓力較水冷式系統來得高，因此對同一個壓縮機，在相同的蒸發溫度下，採用水冷式散熱系統會較氣冷式散熱系統有較佳的運轉性能係數，且水冷式的熱傳係數高，在相同的溫度差與熱傳量下，水冷式系統所需要的傳熱面積較小，所以水冷式散熱系統的體積較小。

(二)、經濟性比較

如果以相同散熱能力而言，在大型系統中，水冷式系統較氣冷式系統裝置成本低；在小型系統中則是氣冷式系統較佔優勢。以施工與維修保養而言，水冷式系統較繁複，氣冷是系統較為簡單。

相同散熱能力時，水冷式系統所佔的土地面積較小，土地成本較少；而氣冷式系統，在小型系統可以採取懸掛方式，完全不佔用土地面積，大型系統所佔的土地面積較相同能力的水冷式系統來的大，土地使用成本也較高。不過放置散熱器的場所，通常為較不具經濟價值的使用空間，因此一般人在考慮成本時不會將佔地成本列入。

氣冷式系統最大的優點是維修保養簡單，只要定期使用清潔刷清潔鰭片表面，就可以確保散熱器的性能。而水冷式系統必須要定期做水質處理與清潔，必須由專業人員進行，維修保養費用較高。再加上台灣的空氣污染嚴重，空氣中的雜質溶於水後，常導致水質得酸鹼度改變，如不時常注意酸鹼值的偵測，容易因酸鹼質的不平衡導致管路銹蝕，造成系統故障。水冷式系統的維護費用遠較氣冷式系統來的高，且水冷式系統一但面臨停水的問題時，就全面停擺。因此在商業的冷



凍系統中，為確保冰存食品的安全性，全部採用氣冷式散熱系統，畢竟電停了可以用發電機救急，但水沒了很難找到備用水來應急。

氣冷式系統在保養方面佔的另一個優勢就是保養時不必使系統暫停，水冷式系統進行清潔保養時，涉及到水路中的汙水排放，有時系統必須稍做暫停來進行保養工作。在運轉成本上，水冷式系統在壓縮機的耗電上較佔優勢，但氣冷式系統只有風扇馬達的耗電，不像氣冷式系統有循環水泵與冷卻水塔風扇馬的耗電，因此在整體的運轉成本上氣冷式系統反而略佔優勢。

(三)、環境比較

不論是使用那一種散熱方式，都會對環境產生或多或少的影響。以水冷式與氣冷式而言，都會造成環境的熱污染與噪音影響。由於散熱器就是將熱量排到大氣環境中，因此將造成環境的熱污染。

而在噪音方面，水冷式系統多採用冷卻泵系統與冷卻水塔，因此在噪音上較只用風扇馬達的氣冷式系統來的大。水冷式系統使用水作為冷卻介質，水中含有雜質與礦物質，在閉路系統循環中，經過冷卻水塔的蒸散作用，水中的雜質濃度會越來越高，在管內形成水垢，這些水垢附著不但降低熱傳效果，甚至造成管路的腐蝕。在台灣，水質的硬度相當高，如果自來水未經任何處理，直接作為冷卻水塔的補充水，水垢的產生速度就非常快。為徹底清潔管路中的水垢，常保系統的性能，定期必須於管路中加入化學藥劑清洗管路，這些含有化學藥劑的污水排放至河川，將對河流生態產生影響，目前坊間亦推廣物理性除垢，減少對環境造成汙染。

水冷式系統中的冷卻水塔是利用蒸散方式將水中的熱量排至大氣，在這個過程中一些水汽飛沫逸散至周圍的環境，除了造成四周的環境



污染，約 1/10 的水分蒸發，造成水資源的補充與浪費。

相對的，在氣冷式系統中問題就單純許多，由於管外側利用空氣吹拂，空氣中的雜質會累積在鰭片的表面，時日一久，這些積塵會降低水凝器的熱傳效果，因此必須定期將灰塵除去，在除去灰塵的過程中會對環境造成短暫的污染。在高落塵量的環境中，只要裝置濾塵網定期更換或沖洗即可確保散熱能力。而水冷式系統如果在管理上不多加以注意，容易在冷卻水塔中孳生導致『退伍軍人症候群』的病菌。因此當使用水冷式系統時，必須隨時做好水質的監控。氣冷式系統屬於乾燥環境，並無可供孳生病菌的媒體，因此不容易有病菌孳生。水冷式系統最重要的是使用水資源，由於台灣的水資源日益缺乏，在水的取得上將來必須付出極大的成本。雖然多數的冷卻系統採取開放系統，但冷卻水塔的蒸散作用也必須補充水，水源的枯竭，是水冷式系統未來所要面對的難題。

氣冷式系統直接利用空氣作為冷卻介質，不必擔心冷卻介質匱乏的問題。但是台灣空氣的污染問題，也是氣冷式系統所要面對的一大課題。近年來氣冷式系統為因應台灣的环境，已開發出密封式馬達、自動清潔式冷凝器、低積塵量散熱器，來對抗高落塵量的環境。總結兩者型式比較請表參考表 2.2.1。

表 2.2.1 水冷式及氣冷式比較表

	氣冷式	水冷式
散熱媒介	空氣	水
性能係數	低	高
噪音	小	大
保養成本	低	高
熱傳係數	低	高



	氣冷式	水冷式
建置成本	低	高
運轉成本	壓縮機耗電+蒸發器側耗電+風扇馬達耗電	壓縮機耗電+蒸發器側耗電+冷卻水循環泵耗電+冷卻水塔風扇馬達耗電
孳生病菌	不易	易
汙染	熱污染、灰塵污染 (清潔時)	熱污染、排放水污染、飛沫污染(冷卻水塔)

2.2.2 儲冰式系統(Ice Storage Systems)介紹

儲冰式空調系統係指冰水主機在離峰時間運轉並將冷能儲存起來，儲存的冷能在尖峰時間釋放出來以供應空調系統之所需，是一種屬於顯熱與潛熱同時儲存的方式；此系統可移轉尖峰時間用電至離峰時間，利用離峰時段費用較低廉之電力來達到降低電費成本。圖 2.2.2 為儲冰式空調系統圖，圖 2.2.3 為儲冰式冰水主機圖，2.2.4 為儲冰槽。

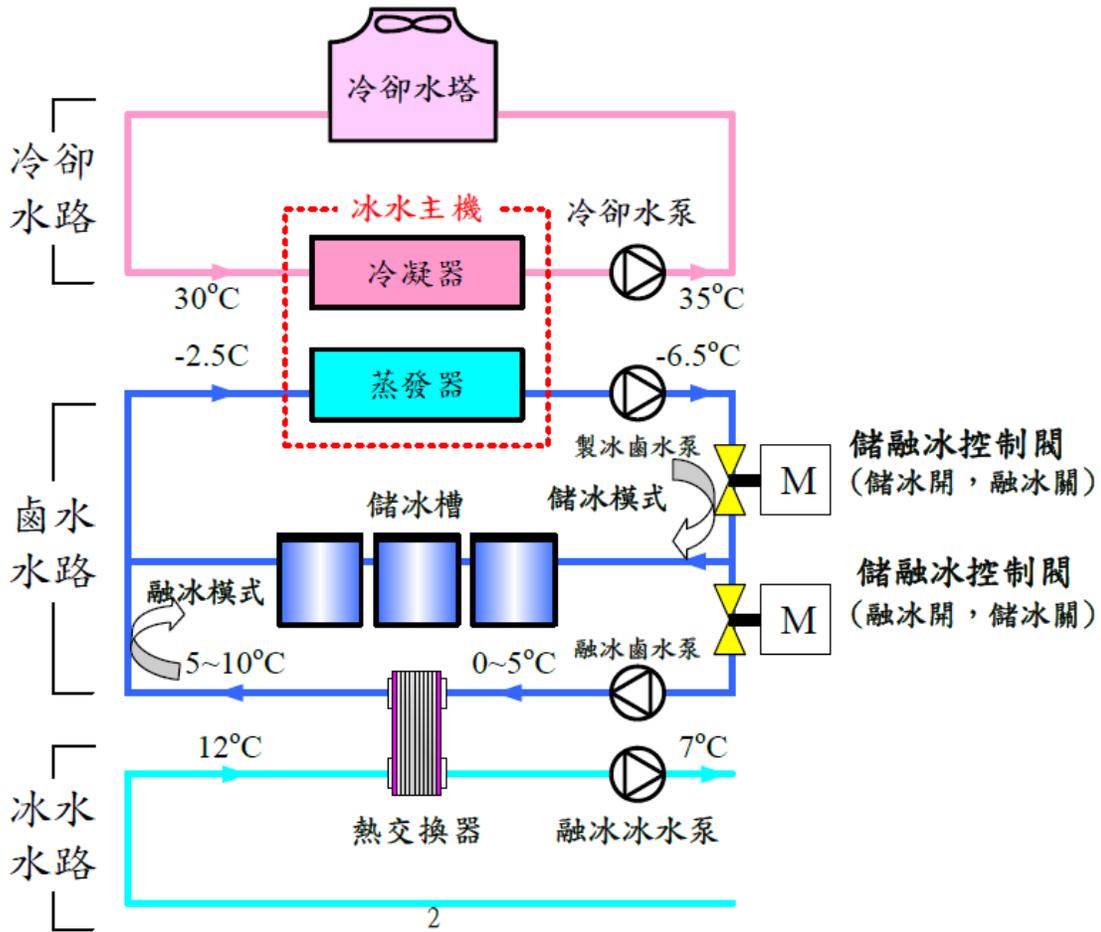


圖 2.2.2 儲冰式空調系統圖¹¹

¹¹參考資料：台灣電力公司《儲冷式空調系統離峰用電措施》



圖 2.2.3 儲冰式冰水主機



圖 2.2.4 儲冰槽



其中儲冰式系統又可分為分量儲冰系統及全量儲冰系統兩種，以下將作一簡介：

(一)、全量儲冰系統(Full Storage System)

冰水主機於離峰或低負載時段運轉儲冰，於尖峰或高負載時將所儲存之冷能供應空調負載。此系統適用於空調負載大但使用時間短之建築物，如展覽館、會議室等。

(二)、分量儲冰系統(Partial Storage System)

冰水主機全日運轉，於離峰或低負載時段儲冷，待尖峰或高負載由儲冰系統提供空調能力，不足部分則再由冰水主機分擔部分空調負載。此系統適用終日需空調且空調負載變化不大的建築物，如圖書館、行政大樓等。儲冰式空調系統與傳統式空調系統之比較如表 2.2.2。

表 2.2.2 儲冷式空調系統與傳統式空調系統之比較

系統分類 項目	儲冰式空調系統		傳統式空調系統
	分量儲冰系統	全量儲冰系統	
主機容量	小	次大	大
主機運轉時間	全天候	離峰	尖峰
儲冰槽容量	小	大	無
初設成本	中	高	低
節省電費	有(較少)	有(較多)	無
經濟效益	中	高	低

2.2.3 變頻器

在目前節能設備中變頻器(Inverter)是一種最直接有效的節能手段，在國內各行業安裝案例已非常普遍，如加壓水泵、抄紙機、冷卻風扇、冷卻水泵、冷卻水塔風扇、冷卻水泵，AHU 循環式空調箱變風量、空調主機等。



變頻器動作原理為透過整流器將交流電整流為直流電，之後藉由脈寬調整將直流電轉為特定頻率之波形，進而改變馬達轉速，達到降低用電量之效果。圖 2.2.5 為三相變頻器方塊圖。

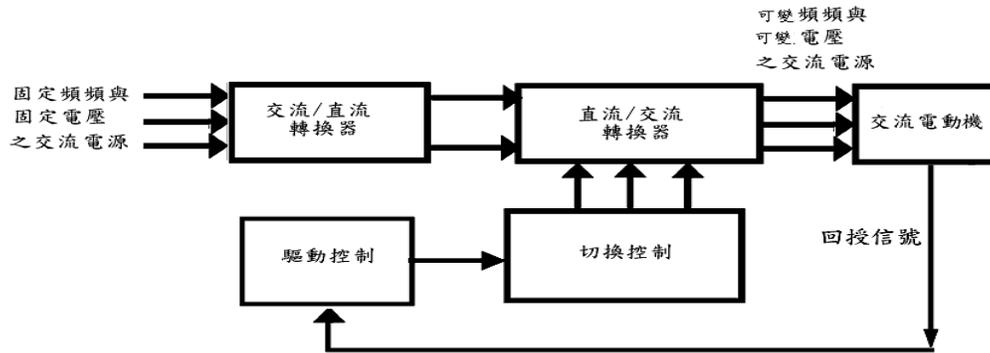


圖 2.2.5 三相變頻器方塊圖¹²

一般而言冰水主機大部份的操作時間處於部分負載狀態之中，而非全載，所以美國的ARI制定了一個標準 Integrated Part Load Value(總部份負載效率, IPLV)，把冰水主機運轉的工況分做四種情況(負載100%、75%、50%、25%)，給予固定的進出水溫，由冰水主機的運轉性能係數，做為主機性能的比較，其中為確保主機可長期間在50~75%部分負載條件下進行運轉，並且能維持在高效率標準，以獲得最佳之節能效果，因此再加裝變頻器可有效的將部分負載範圍擴大，提升50~75%部分負載效能。

根據風扇定律原理，加裝風機變頻器與比例式溫度調控器(即可變風量系統)，視負載狀況而適時降低電動機轉速可減少耗電量，即可達省能及噪音減量目的。

根據泵浦定律原理，故先針對高耗電量散熱循環泵浦裝設變頻控

¹²參考資料：台灣綠色生產力基金會《變頻器應用Q&A 節能技術手冊》



制，經改變泵浦轉速方式，影響流體揚程及流量下降，即可大量降低耗能量。

空調選用變頻器需考慮之原則與條件為

1. 使用環境條件
2. 計算所需水流率、入口壓力、吐出壓力，並考慮可能變動範圍。
3. 可耐受之最大差壓。
4. 關於特殊之啟動、停止及其他可能之運轉條件。
5. 包含密度、溫度等流體之規格。
6. 系統設計描述，例如：單機、併聯運轉或串連運轉。

2.2.4 校園內開放或密閉空間空調節能方式簡介

一、開放空間(如教室、圖書館、行政大樓)

- (一)若有汰換設備的必要，建議選購高性能係數(COP)冷氣機，冷氣機性能係數越高且越省電，一般而言 COP 值每提高 0.1，就可節約 4%冷氣機用電。
- (二)考慮採用變頻冷氣機，除了使室內溫度達恆溫狀態外，尚有噪音低、冷房速度快及省能的優點。
- (三)選用適當的冷氣機容量，以避免容量過大造成壓縮機會啟動頻繁，不只耗電，且導致壓縮機壽命縮短。
- (四)應避免冷氣機室外機吸入風口安裝於緊靠牆壁或障礙物之地點，以減少吹出之熱風又被吸入，造成熱風短循環，導致電能的消耗增加，機器效能降低。
- (五)為得到良好的散熱效果，建議冷氣吸入口與牆壁的距離應保持在 50 公分以上，又為避免吹出的熱風再被吸入，冷氣排出口與牆壁間之距離應較充裕，必須有 1.5 公尺以上。同時冷氣機裝



設高度應有 1.5 公尺以上的高度。

- (六)室內機部分，為使溫度分佈均勻，設備應儘量裝在房間中央，而冷氣出口亦不可有障礙物。
- (七)冷氣散熱的效率降低，會增加電力消耗，故冷氣機應安置在通風較好，不受日光直射的地方，另外裝設的地點亦應避免靠近其他熱源。
- (八)分離式冷氣機之室外機應儘可能靠近室內機，冷媒連接管長度在 10 公尺以內為佳，避免過多彎曲，否則會大幅降低冷氣機能源效率，並容易造成故障。
- (九)定期清洗空氣過濾網，若空氣過濾網太髒，容易造成電力浪費。

二、密閉空間(如鋼琴室、機房)

- (一)降低室內通風換氣量
- (二)降低外氣滲透量，門窗氣密性改善，室內隔間調整，以減少因空氣壓差形成之貫穿風。
- (三)玻璃窗遮陽、隔熱、反射輻射熱等設施之改善。
- (四)屋頂天花板隔熱。
- (五)降低照明負載。

三、電腦資訊機房節能評估

(一)PUE 值

PUE 值(Power Usage Effectiveness, 電源使用效率)，是評價數據中心能源效率的指標，是數據中心消耗的所有能源與 IT 負載使用的能源之比，是 DCIE(data center infrastructure efficiency) 的反比，PUE 值越低，表示機房中非電腦用電(包括空調、照明等用電)越少。



PUE 值已經成為國際上比較通行的數據中心電力使用效率的衡量指標，PUE 值越接近於 1，表示一個數據中心的綠化程度越高，國內電腦機房多數 PUE 值訂於 1.7，以下為 PUE 值公式：

$$\text{PUE 值} = \frac{\text{機房總耗能}}{\text{資訊設備耗能}}$$

(二) 資訊機房冷熱通道設計

國內以往機房對於冷熱通道的概念並不了解，因此有嚴重散熱效果不佳等情形，要改變機房內冷熱空氣的混風問題，首要工作就是建置良好的冷熱通道系統。

圖 2.2.6 為早期機房內部無冷熱通道擺設情況，圖中可發現其機櫃的擺設方法為面對背排列，因此第一排機櫃於前端吸入高架地板出風的冷空氣完成冷卻後從後方排出熱空氣，此熱空氣再與第二排機櫃前端高架地板出風的冷空氣混合成較高溫度的空氣後進入第二排機櫃冷卻，導至後一排機櫃散熱效果較前一排差，以此類推最後一排的機櫃散熱效果將會是最差的，甚至會因過熱而導致當機發生。

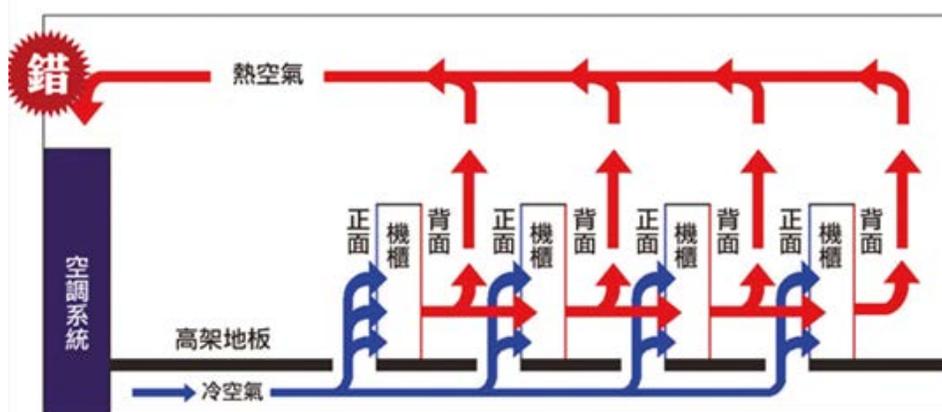


圖 2.2.6 機房設備無冷熱通道擺設圖¹³

¹³參考資料：iThome <http://www.ithome.com.tw/>



未來在發熱量密度高的電腦機房，應該在機房規劃時就把冷熱通道系統觀念導入。圖 2.2.7 為典型內部設備導入冷熱通道擺設情況，要建立冷熱通道的話，就是把機櫃以面對面、背靠背的方式擺放，並且在機櫃面對面的通道設置蜂巢板，因此冷空氣就會由蜂巢板上升，被伺服器吸入機箱內，而排出的熱氣就會聚集在機櫃背靠背的熱通道，如此即不易形成混風，若要做得更好，就是進一步將熱通道(圖 2.2.8)或冷通道(圖 2.2.9)封閉起來，完全避免冷熱空氣混風。

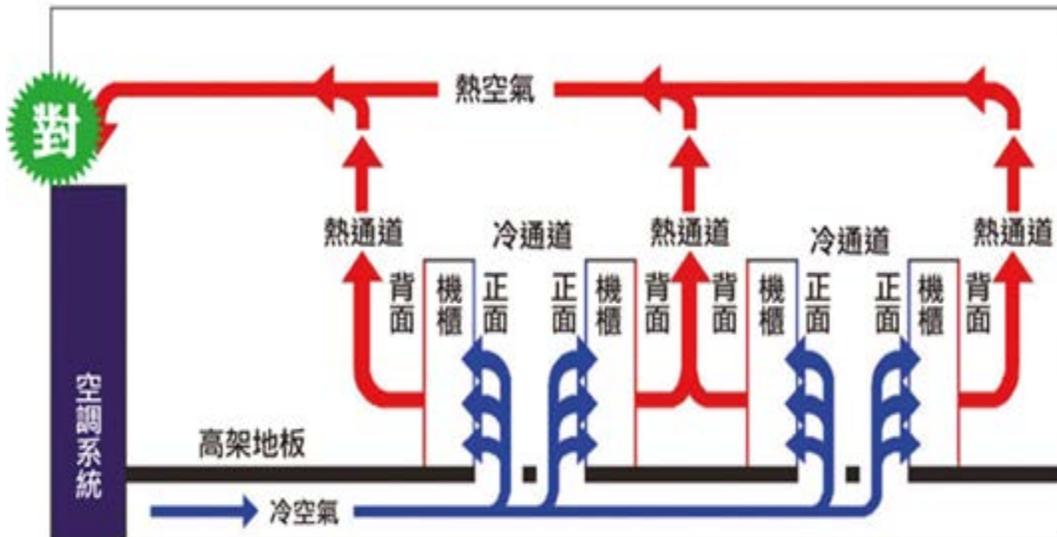


圖 2.2.7 機房設備冷熱通道擺設圖¹⁴

¹⁴參考資料：iThome <http://www.ithome.com.tw/>



圖 2.2.8 電腦機房熱通道¹⁵



圖 2.2.9 電腦機房¹⁶

¹⁵參考資料：iThome <http://www.ithome.com.tw/>

¹⁶參考資料：iThome <http://www.ithome.com.tw/>



3. 電腦資訊機房節能技術

1. 盡可能使冷通道的寬度尺寸維持在 1200 mm，熱通道寬度尺寸約 914mm，使冷通道具有完整兩片出風地板的距離，以確保足夠的冷空氣量進入電腦機櫃內。
2. 機櫃前端設置擋板阻隔防堵短循環現象。
3. 避免超量設計及主機臺數規畫。
4. 進行動態 PUE 量測：藉由量測能源消耗及 PUE 監測了解機房能源性能與效率。
5. 變頻空調系統：變頻冰水主機、變頻泵、變頻風扇、變頻冷卻水塔之投入。
6. 氣流管理：良好氣流管理是機房節能的基本，建立冷熱通道減少混風避免熱點發生。
7. 伺服器虛擬化及整併。
8. 調整溫度設定：依據 ASHRAE 建議調高冷通道溫度，降低冰水系統能源消耗。
9. 使用自然冷卻：採用水或空氣節能器可以改善能源效率。
10. 最佳化電力系統供應。

四、校園空調設備基本保養與檢點方式

(一)、保養方式介紹&保養頻率與評估標準

【窗型、分離式冷氣設備】

多數機關皆裝設有窗型冷氣機或分離式冷氣機，其優點為設備運轉彈性極高，但與中央空調系統比較起來，其運轉效率較差，若單位使用的是窗型或分離式冷氣機，平日維護保養應注意以下幾點：



1. 應每 2 周或每月應清洗空氣濾網，拆下空氣過濾網後以清水輕輕沖洗，不建議使用清潔劑或熱水以避免濾網損毀與變形，洗後使其自然風乾，再重新裝回。
2. 分離式冷氣使用者應定期保養室內機之排水管盤，避免排水管被異物或灰塵堵塞造成排水困難而形成冷氣滴水。
3. 設備應避免在無濾網的狀況下開機運轉，未裝設濾網就運轉會導致灰塵附著於散熱鰭片上，造成清理困難。
4. 應定期檢查室外機與窗型冷氣機外觀，確認安裝是否穩固，外殼有無腐爛鏽蝕的情形。

【箱型冷氣設備】

箱型冷氣機可分為氣冷式與水冷式，保養要點與窗型冷氣機大致上相同，惟水冷式箱型冷氣機具冷卻水塔等周邊設備，因此在維護保養上更為繁瑣，箱型冷氣機維護上應注意：

1. 定期清洗空氣濾網，拆下空氣過濾網後以清水輕輕沖洗，洗後使其自然風乾，再重新裝回。
2. 若為氣冷式箱型機，應定期清洗設備散熱鰭片；若為水冷式箱型機，使用者應定期清洗冷卻水塔，維持良好的散熱效率。
3. 應定期檢查冷卻水塔灑水是否均勻，若不均勻通常為撒水頭堵塞或損壞，應儘早修復。
4. 箱型機周邊應保持通風，若周遭堆滿雜物會影響回風量，間接導致設備效率下降，增加用電量。

【中央空調設備】

中央空調系統設備廠牌甚多，但基本維護保養項目皆相同，一般保養項目如下：



1. 冷媒乾燥過濾器應定期換新。
2. 儀錶校正：檢查各類溫度、壓力、流量感應器、溫度計、壓力錶安裝有無鬆動或數值異常，並確認校正日期。
3. 定期檢查冷媒濾清器濾心及冷媒過濾器是否需要更換。
4. 應每年清洗保養冰水主機散熱管排，如果銅管內結垢嚴重應採用機械或化學方法除垢清洗。
5. 冷媒量檢查：定期檢測冷媒是否足夠，若洩漏應立即補充。
6. 檢查水泵軸承有無出現磨損，並定期添加潤滑油(黃油)，若軸承磨損情況較嚴重應立即更換軸承。
7. 檢查保溫材質是否剝落或損毀，有破損狀況應立即更換。
8. 必要時水系統及空氣系統應做全面之測試調整與平均(TAB)，並定期記錄運轉狀況。
9. 空氣側部分：檢查冷凝水盤是否有異物，排水功能是否正常並清潔防塵網和冷凝水盤。
10. 清理送風機葉輪表面灰塵，檢查皮帶有無過度磨損之情形。
11. 冷凝水管路加藥劑清洗，應每 1~3 個月添加去藻劑防止藻類滋生及退伍軍人症殺菌劑滅菌。
12. 冷卻水塔風車馬達應每季進行潤滑保養。
13. 每月進行冷卻水塔灑水頭水流檢查，檢查灑水是否均勻。
14. 每月進行冷卻水塔風量及噪音檢查：檢查水塔出風量是否正常，若有異常運轉噪音應立刻停止運轉，並做調整，潤滑及維護。
15. 每月進行 Y 型過濾器清洗：Y 型過濾器為濾除水中之雜質設備，應定期拆開來清洗濾網，以維持過濾效能。



2.2.5 各類空調系統設備檢點表

一般空調系統維護保養檢點表、空調設備常見缺失檢點表與空調節能措施檢點如表 2.2.3~表 2.2.5 所示。

表 2.2.3 空調系統維護保養檢點表

項目	中央空調冰水主機												窗型、箱型與分離式冷氣								
	檢查油壓與油位是否正常	檢查乾燥過濾器是否需要更新	檢查各類溫度計、壓力計數據是否正確	定期檢測冷媒是否有洩漏	冷卻水塔清洗	風車馬達潤滑保養	灑水頭灑水是否均勻，水質是否髒污	定期清洗冷凝器	檢查水泵軸承有無出現磨損	檢查保溫材質是否剝落或損毀	定期記錄冰水主機運轉狀況	清理送風機葉輪表面灰塵並檢查軸承是否異常	形 檢查皮帶輪與皮帶有無過度磨損之情形	定期清洗空氣濾網	定期清理室內機之排水盤	定期檢查設備外觀，確認有無鏽蝕之情形	窗型，分離式冷氣機散熱片清潔	水冷式箱型機應定期清洗冷卻水塔	氣冷式箱型機應定期清洗散熱片；	檢查冷卻水塔灑水是否均勻	檢查空調區域是否有冷氣外洩之情形
每日	◎		◎	◎						◎	◎	◎				◎				◎	◎
每月													◎								
每季					◎		◎						◎								
每半年		◎				◎		◎	◎					◎				◎			
每年																	◎				



表 2.2.4 空調設備常見缺失檢點表

類別	常見缺失	建議處理方式	可勾選
空調冰水主機	冷卻水溫度異常	檢查冷卻水塔運轉是否正常，或有散熱不良之情形	
	冷卻水量偏低	建議去除水系統之積垢，並確保水泵馬力符合需求	
	冷凝壓力過高	由凝結器排除空氣	
		檢查冷卻水配管及水閥調整水量	
		清洗凝結器、冷卻水塔	
		進行多餘之冷媒回收	
減少負載或增大凝結器			
泵浦設備	葉輪磨損，軸套筒磨損導致漏水	調整軸封的鬆緊度或更換軸封	
	泵浦設備過於老舊因此效率極差	定期檢修閥件、葉輪及軸封	
	一台泵浦供水給多台主機	水泵可加裝變頻控制	
冷卻水塔	散熱片結垢、滋生青苔	以人工清洗或散熱清洗方式除垢	
	安裝位置錯誤導致散熱不良	安裝應選擇通風良好及空氣清潔的地點	
	水量不足或灑水不均	檢查灑水頭或閥件是否故障	
	冷卻水塔選擇過大	可加裝變頻器減少風車耗電	
窗箱型及分離式冷氣機	箱型冷氣出回風口堵塞	應排除送回風口周圍妨礙氣流之障礙物	
	箱型冷氣機回風口設置不當	箱型機回風口應置於空調區間，並遠離熱源產生處	
	窗箱型或分離式主機室內溫度設定過低	溫度設定範圍建議維持在 26-28 °C	
	窗箱型或分離式冷氣機壓縮機啟動過於頻繁	應選擇適合容量之冷氣機，並避免室外負荷侵入	
	窗型、分離式冷氣裝置或施工錯誤	安裝位置應注意氣流分布之流暢度	



表 2.2.5 空調節能措施檢點表

類型	節能改善措施	是否可導入下列節能措施	
		是	否
控制方式	泵加裝變頻器		
	風車加裝變頻器		
	加裝需量控制系統		
設備更新	汰換低效率主機		
	更換或增設主機		
	修改泵浦葉輪		
	搭配適當冷卻水塔		
	更換冷卻水塔		
管理調整	調整主機運轉模式		
	改善散熱片結垢		
	改善管路的配置		
	調整冷房溫度		
	控制抽風機運轉時間		
操作調整	避免主機低負載運轉		
	調整冰水機冰水出水溫度		
	調整主機冰水回水溫度		
	降低主機耗電率		
	多台泵浦起停最適化		
	泵浦運轉之合理化(冷卻水泵)		
	改善泵浦電流過載現象		
空調箱合理化運轉			
其它	連續假日或少數人加班是否不開中央空調冷氣？		
	是否下班前半小時提前關閉冰水主機，但仍維持送風機與冰水泵浦運轉？		
	是否利用室內、外遮陽或窗戶貼隔熱紙及屋頂加裝隔熱材、高反射率塗料或噴水？		
	空調區域門窗是否關閉，減少冷氣外洩或熱氣侵入？		
	每半年是否請維護廠商或保養人員檢視中央空調主機冷媒量？		



2.3 應用篇

2.3.1 校園空調系統常建設計與保養缺失案例

空調系統通常為各類建築中最為耗能之設備，其若能有效的節能，將可大幅減少夏季之電費及紓解台灣地區之夏季用電。空調系統節能，除了各項節能設備的導入外，系統「正常」的運轉及「適當」的保養更是不可或缺。空調系統不論為何種系統，最主要之基本原理仍是以熱交換為基礎，如何保持熱交換器於較佳的效率，對於空調系統節能為相當重要的一環，本章節就一些常見的缺失與改善方法進行介紹。

一、中央空調主機

【冷卻水水溫偏高，增加主機耗電率】

標準的主機冷卻水溫度應為進水 30°C、出水 35°C，若水溫超過 30°C，建議檢查冷卻水散熱系統是否正常，茲將部份較常見的情況與處理方法列出，如表 2.3.1 所示：

表 2.3.1 冷卻水溫溫度過高之原因

原因	解決方法
A.冷卻水塔風扇故障	修復冷卻水塔風扇，維持正常散熱效果，降低冷卻水溫。
B.冷卻水塔溫控設定過高	溫控開關控制水塔風扇，其溫度若設定過高，則風扇必在高溫時才運轉，冷卻水溫自然較高，故應予調低，至冷卻水於塔底之溫度為正常之範圍。
C.冷卻水塔散熱材污損	冷卻水塔散熱材污損或水質過髒，使其散熱能力不足，須清洗水塔與散熱材以改善其散熱效果，必要時更換散熱材。
D.冷卻水塔進風面受阻	將使冷卻水塔出回風短循環，須將冷卻水塔放置在通風良好處，或減少進風面附近阻擋物，可增加散熱效果。



【冷凝器結垢降低熱交換效果降低】

由於冷卻水於水塔較熱時蒸發的是純水，亦即冷卻水中的雜質濃度會不斷上升，也因此容易產生藻類與微生物，其與水中之礦物質合成，因此會產生結垢的情形，進而影響冰水主機散熱效率，冷凝器設置之位置可參考圖 2.3.1¹⁷。



圖 2.3.1 冷凝器位置示意圖

【冰水水溫度設定偏低】

夏季空調冰水主機滿載運轉時，冰水出水溫度設定約 7~9°C，如圖 2.3.2，冬季輕載運轉時，空調熱負荷較低，此時可調高冰水出水溫度 1~2°C，由於主機的用電量與冰水出水溫度約成反比，調高出水溫度可有效降低冰水主機耗電。一般而言，建議夏季出水溫度可調至 7~9°C，春秋季則調整至 9~11°C，惟需視現場需求進行調整。圖 2.3.2 為冰水主機出水溫度設定畫面¹⁸。

¹⁷ 台北市政府《空調系統節能管理與維護手冊》

¹⁸ 台北市政府《空調系統節能管理與維護手冊》



圖 2.3.2 冰水主機出水溫度設定畫面

二、泵浦

水泵屬於空調系統輸送液體的設備，主要用途為提供冰水或冷卻水傳輸之動力，因此泵浦的操作或維護會影響主機運轉效率，以下為幾項常見之泵浦運轉缺失。

【葉輪磨損，軸套筒磨損產生漏水現象】

泵浦的軸封處若有漏水的現象，應調整墊圈(PACKING)軸封的鬆緊度。以杜絕漏水的狀況，若墊圈已嚴重損壞，應考慮立刻更換，如圖 2.3.3¹⁹。

【老舊泵浦效率下降】

老舊泵浦設備效率視泵浦之使用年份及維護保養工作是否確實而定，若設備配件損壞應儘快更新或檢修，多數單位之水泵設備因為過於老舊導致運轉時有雜音，當發現水泵運轉時有雜音，應立即報修並請專業機構或廠商檢視泵浦之效率。

¹⁹台北市政府《空調系統節能管理與維護手冊》



圖 2.3.3 水泵浦軸承鏽蝕漏水

四、冷卻水塔

為冰水主機散熱之主要附屬設備，其散熱之效率與冰水主機之耗電量息息相關，因此冷卻水塔之運轉狀況顯得格外重要，下列為各項冷卻水塔常見之操作缺失。

【水塔散熱片結垢、滋生青苔藻類】

冷卻水塔散熱鰭片，以人工清洗是最直接有效的方法，建議最好依使用狀態每 1~3 個月清洗乙次；視水質及結垢情況調整加藥量，定期投入除藻劑以清除青苔、藻類，另外應定期投入抑菌藥劑以避免退伍軍人桿菌滋生，圖 2.3.4 為青苔滋生嚴重之情形。



圖 2.3.4 為青苔滋生嚴重之情形



【冷卻水塔散熱不良，冷卻水水溫太高】

冷卻水塔安裝地點的基本條件，應選擇通風良好及空氣清潔的地點，對於無遮蔽物或多台水塔安裝情況下，必須考慮下列因素：

1. 冷卻水塔安裝場所，四周須有足夠且無障礙的空間，以確保充份的風量。其冷卻水塔與遮蔽物的最短距離(S)應大於冷卻水塔高度(H)，如圖 2.3.5；如有多座冷卻水塔，塔體之間最短距離應大於半徑，如圖 2.3.6。²⁰
2. 避免安裝於煤煙、灰塵多的地方，以免影響水質及污染冷卻水塔，降低冷卻效果。
3. 應遠離鍋爐、廚房、排熱等較熱的地方，否則將影響冷卻水塔冷卻效果，亦將減少主機運轉壽命。如圖 2.3.7、2.3.8 所示²¹。

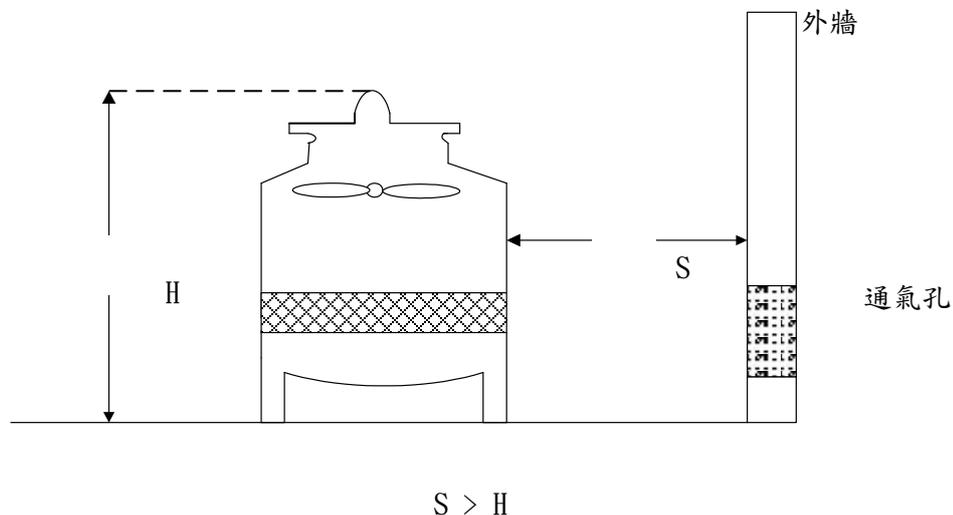
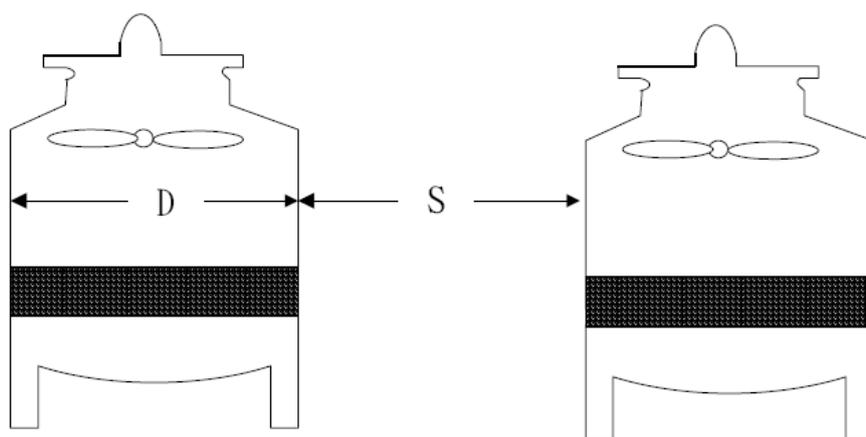


圖 2.3.5 冷卻水塔與遮蔽物的最短距離示意圖

²⁰ 台北市政府《空調系統節能管理與維護手冊》

²¹ 台北市政府《空調系統節能管理與維護手冊》



$$S > 1/2 D$$

圖 2.3.6 塔體間距示意圖



圖 2.3.7 冷卻水塔散熱不良



圖 2.3.8 冷卻水塔設置過於靠近牆面

【冷卻水水量異常或灑水不均】

若有不正常的水量溢出情形，應調整進水閥件，若水量不足應檢視進水開關及浮球開關是否正常以維持冷卻水塔正常運轉；灑水不均或水量不足皆會導致散熱效率下降，如圖 2.3.9 所示²²。



圖 2.3.9 冷卻水塔灑水不均(左圖)與正常情況(右圖)之對照

²²台北市政府《空調系統節能管理與維護手冊》



【小型送風機與空調箱】

中央空調空氣側系統，主要設備有小型送風機與空調箱，常見缺失有以下幾點

1. 小型送風機保養不良

針對小型送風機，建議使用者應常清洗過濾網，盤管鰭片部份也應定期清洗，以提高熱傳效果。

2. 空調箱保養不良

空調箱之冰水盤管是用來做為空氣及冰水的熱交換器，因此冰水盤管與空氣濾網若積有污垢，如圖 2.3.10²³，熱交換效率會降低，一般而言過濾網應該視使用情況每月至每季清洗一次或更換，而盤管最少應 6 個月清潔一次，以維持設備運轉效率。

3. 風車過於老舊或皮帶鬆脫導致供風不足

無論空調箱或送風機，均設有風車帶動空氣流過盤管產生冷空氣，一般常見的風車問題為因使用年限過長導致皮帶鬆弛或風車馬達效率下降，造成風量下降，影響空調效能。



圖 2.3.10 設備外觀鏽蝕與鰭片破損情形

²³台北市政府《空調系統節能管理與維護手冊》



【玻璃窗輻射熱侵入，導致空調用電增加】

部份建築會採用大量的玻璃帷幕設計，其日照程度影響空調耗電甚劇，建議使用者可透過裝設外遮陽板或是換裝雙層玻璃等措施，以降低由玻璃進入室內之熱負載。

【窗型、箱型及分離式冷氣機】

(一)、出回風口堵塞

在冷氣機送風口及回風口周圍，不宜放置妨礙氣流之障礙物。回風口堵塞將導致冷氣機供風風量受到影響，使室內溫度無法達到舒適條件，並增加機組之耗能。

(二)、窗型、箱型冷氣機室內溫度設定過低

溫度調節器須設定適當溫度值，以免過冷或過熱。冷氣機的溫度設定範圍以 26 至 28°C 為宜，每調高溫度設定值 1°C，約可節省冷氣用電 6 至 8%。對於經常進出的房間，室內溫度不要低於室外溫度 5°C 以上，以免影響身體健康。冷氣房內配合電風扇使用，可使室內冷氣分佈較為均勻，不需降低設定溫度即可達到相同的舒適感，並可降低冷氣機電力消耗。

(三)、冷氣機壓縮機容量設置過大造成啟動過於頻繁

1. 選擇過大的冷氣機會導致壓縮機啟停過於頻繁，建議使用者應依照空間大小選擇適當容量的冷氣機。
2. 室外負荷侵入量過多，空調區域應與外氣隔離，且門窗應緊閉，以免冷氣外洩或窗外熱風侵入，增加空調負載。為提高冷氣效果，應避免日光直接照射增加輻射熱，如裝設多層隔熱玻璃，或外遮陽板等。

(四)、箱型冷氣機運轉應注意事項

1. 箱型冷氣機濾網位於回風風口處，過濾網應視使用頻率至少每月清洗一次。



2. 氣冷式箱型機至少每年應清洗散熱鰭片，水冷式箱型機應每 1 至 3 個月清洗冷卻水塔，以可提高冷凝器散熱效果。

(五)、窗型、分離式冷氣機安裝注意事項

1. 分離式冷氣室外機應裝在通風良好，不受日光直射的地方，如無法避免可視需求安裝遮陽板。
2. 一般窗型機及分離式室外機常見之安裝缺失是散熱管排之通風口太靠近牆壁或多台室外機密集並列，缺乏足夠之散熱通風空間，造成散熱不良，每 1°C 之冷凝器散熱溫度提升，約增加耗電 2.5 至 3%，如圖 2.3.11 及圖 2.3.12。圖 2.3.13 為正確安裝方式²⁴。
3. 冷氣機室內側回風吸入口與天花板及牆面保持 50 公分以上，以提高冷氣機效率。
4. 冷氣吹出口以人身高度為宜，室外機部份離地面至少 75 公分，以免塵土揚入，污染散熱片，增加耗電量。
5. 窗型冷氣機安裝後，窗口周圍間隙宜完全密封，可減少噪音，並降低冷氣洩漏之機會。

²⁴台北市政府《空調系統節能管理與維護手冊》



圖 2.3.11 室外機安裝位置錯誤

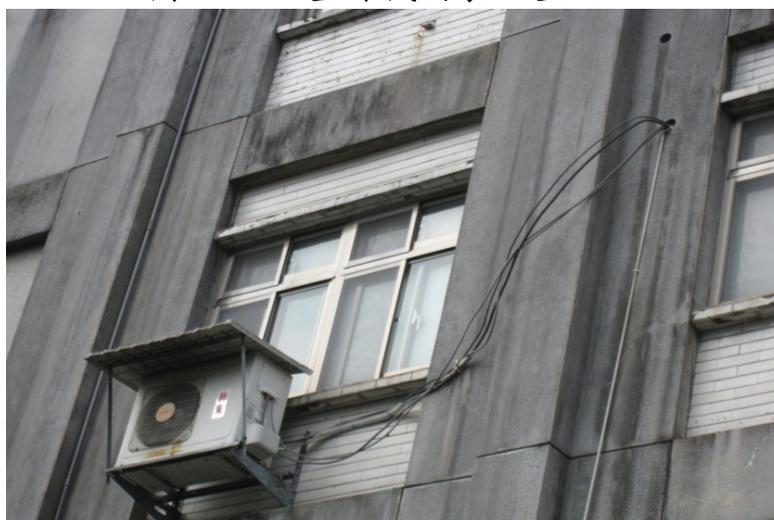


圖 2.3.12 分離式冷氣冷媒管失效



圖 2.3.13 正確的室外機安裝方式



2.3.2 校園空調系統執行績優案例

案例名稱	新竹高中節能減碳
改善措施	<ol style="list-style-type: none"> 1. 總變電站及音樂館冰機用電監控系統 2. 音樂館冰水主機運轉模式改善 3. 學生宿舍熱水供應裝設熱泵系統 4. 更換部份傳統燈具為 T5 節能燈具 5. 降低用電契約容量：800kw→735kw→690kw 6. 地下停車場減燈，改用感應式開關 7. 中午時間教室及辦公室關燈 8. 暑假開放教室集中自習 9. 避免耗能館場同時出借使用 10. 飲水機假日停機 11. 琴房裝設分離式冷氣機、電表、刷卡機
效益	節約用電量（節能率）：188,471 kWh/year(9.73%)

案例名稱	逢甲大學圖書館空調系統節能改善工程
改善措施	<ol style="list-style-type: none"> 1. 針對圖書館老舊空調機設備，進行汰換改善工程 2. 提供各樓層空氣品質監控 3. 建置能源管理、空氣品質暨校園能源整合軟體平台 4. 提供節能改善計畫改善結果與效益評估 5. 進行效益量測與驗證工程執行
效益	節約用電量（節能率）：1,285,200 kWh/year(39.7%) 節約電費：847,008 元



案例名稱	元智大學男生第一宿舍增設超導熱泵工程計畫
改善措施	於男生第一宿舍之既有熱水鍋爐系統增設超導熱泵，擬將既設鍋爐熱水儲存桶 3000 加侖(12000L)每日使用之前加熱到 55°C，使用中若儲存桶水溫達到預定溫度，則轉切換至新設 2000L 儲存桶加熱作為進水預熱。
效益	節約能源（節能率）：75%

案例名稱	國立高雄應用科技大學學生活動中心暨體育室冰水系統改善
改善措施	<ol style="list-style-type: none"> 1. 冰水泵增設變頻器系統，使系統成為 VWV 可變流量系統 2. 改為數位控制方式，併入現有 BEMS 系統進行溫控 3. 於本工程改善後，並施做中央空調系統之 TAB 工程。
效益	節約用電量（節能率）：111,197 kWh/year(39.7%) 節約電費:467,027 元



第三章 熱泵系統篇

3.1 基礎篇

3.1.1 熱泵系統原理簡介

空調系統是利用蒸氣壓縮循環運轉，熱泵系統亦是如此，其機組以較少的電能量為驅動力(與電熱水器相比下)，吸收大氣環境中的能量，藉由壓縮循環轉化為所需之熱能，進而製造熱水，因此熱泵熱水系統的組成元件與運作原理與一般的空調原理完全相同。空調系統是從室內吸取熱量，使室內空氣溫度降低，同時除濕，並將熱氣排出室外，而熱泵是將排出的熱氣加以回收導入至熱水儲存槽，將水溫提高，所以熱泵可兼具熱水、冷氣、除濕等多重功能，如圖 3.1.1 所示。



圖 3.1.1 熱泵系統原理¹

目前市面上的熱泵系統大多應用在熱水器上，依據能量不減定理，雖然同樣使用電能驅動製熱，就效率上來說，熱泵熱水器是傳統電熱水器的三至四倍。

3.1.2 熱泵系統常見設備簡介

根據取熱來源的不同，目前常見的熱泵分為以下幾種類型：

¹ 參考資料：大同電機股份有限公司



一、氣源式熱泵

藉由氣冷式之蒸發器，來吸取大氣環境中之熱量，來達到製熱之效果。是目前台灣最常見的型式，在實際應用上也較簡易，安裝上較不受環境限制，如圖 3.1.2 與圖 3.1.3 分別為氣源式熱泵的示意圖與實體圖。由於熱能取自空氣之中，其效能受周遭溫度的影響甚大，因此較不適合使用在高緯度寒帶之區域。

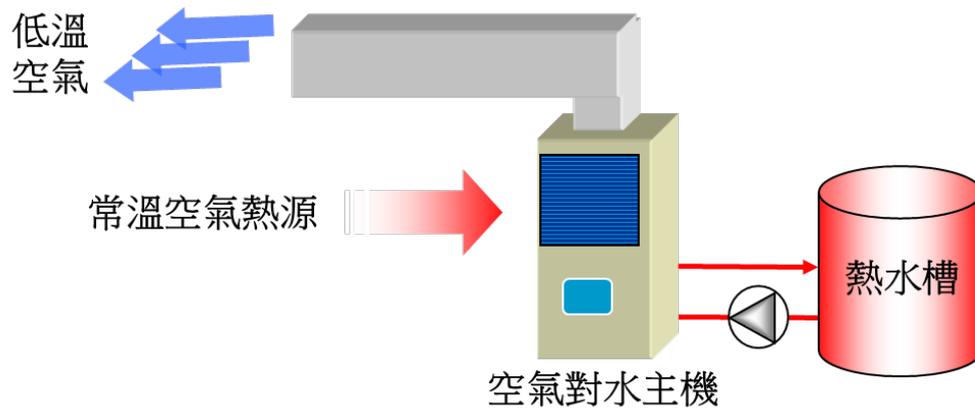


圖 3.1.2 氣源式熱泵示意圖



圖 3.1.3 氣源式熱泵實體圖²

二、水源式熱泵

與氣源式熱泵的最大差異是其熱源取自水中，蒸發器不具風扇裝置，但常見的水源式熱泵皆透過吸收水中的能量，如圖 3.1.4 與

² 參考資料：嘉祿工業股份有限公司



圖 3.1.5 分別為水源式熱泵的示意圖與實體圖。由於此類型熱源取自水中，因較不易到受周遭氣溫的影響，能維持較佳的運轉性能。

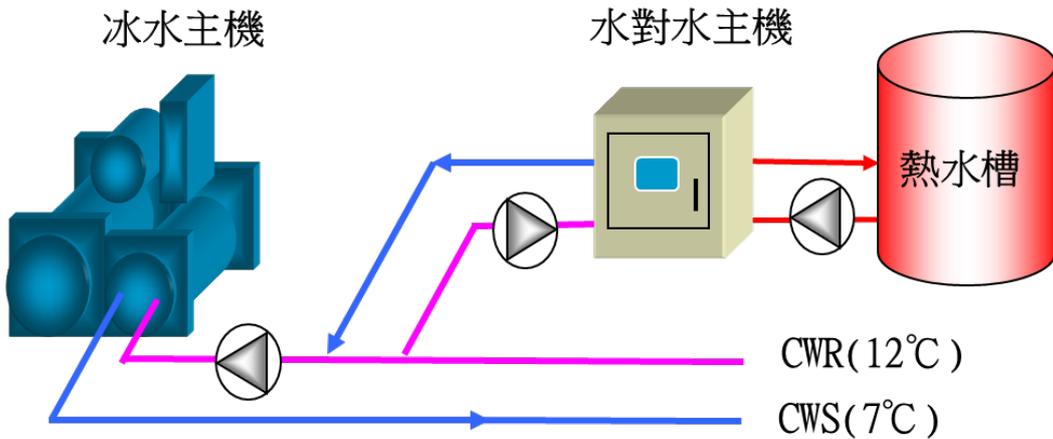


圖 3.1.4 水源式熱泵示意圖



圖 3.1.5 水源式熱泵實體圖³

三、雙效式熱泵

無論是上述的氣源式熱泵或水源式熱泵，只要使用端同時利用熱源與冷源就稱的上是雙效式熱泵。簡單來說，氣源式熱泵是吸取環境的熱源並製造出熱水以供使用，如把吸取環境的設備放置一需要製冷的空間，這樣的案例既是所謂的雙效式熱泵，其效率可發揮

³ 參考資料：大同電機股份有限公司



至最高，如圖 3.1.6 所示。

(至空調系統)

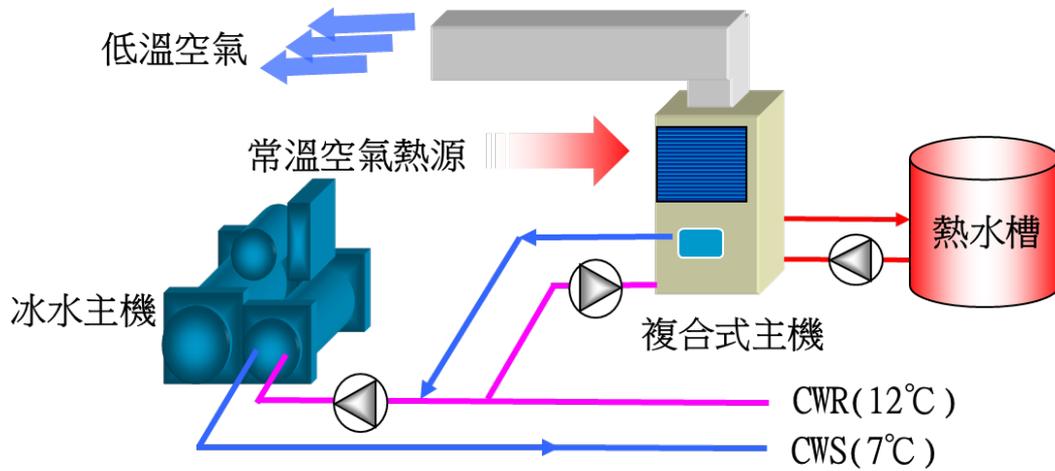


圖 3.1.6 雙效式熱泵示意圖

四、太陽能輔助熱泵

利用太陽能集熱板做為蒸發器，透過收集太陽輻射熱能，提供熱泵系統所需之能源，如果太陽能集熱板/蒸發器的操作溫度低於大氣溫度，此時除太陽輻射能外，也會同時吸收大氣熱能，因此就形成「雙熱源型」的熱泵，如圖 3.1.7 所示。

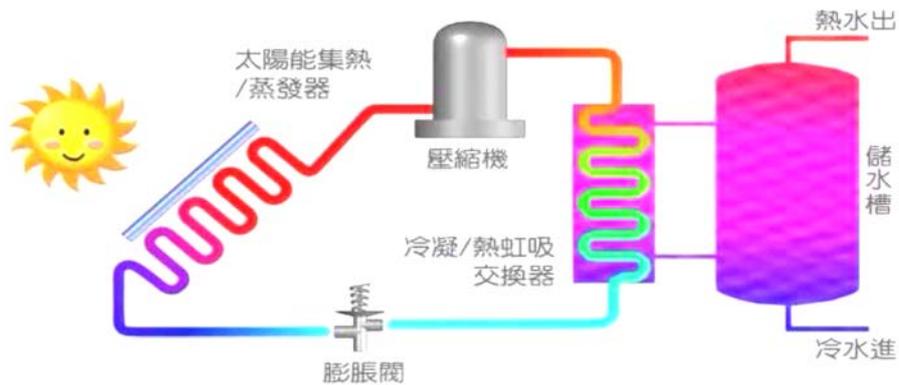


圖 3.1.7 太陽能輔助熱泵示意圖⁴

⁴參考資料：柯明村《熱泵系統節能管理技術》



五、游泳池熱泵

為因應一般泳池水中含氯量高及所需溫度較沐浴用熱水溫度低的特性，而開發出使用鈦金屬熱交換管以防止腐蝕及操作溫度上限較低的機種，如圖 3.1.8 與圖 3.1.9 分別為氣源式與水源式熱泵應用於游泳池的示意圖⁵。

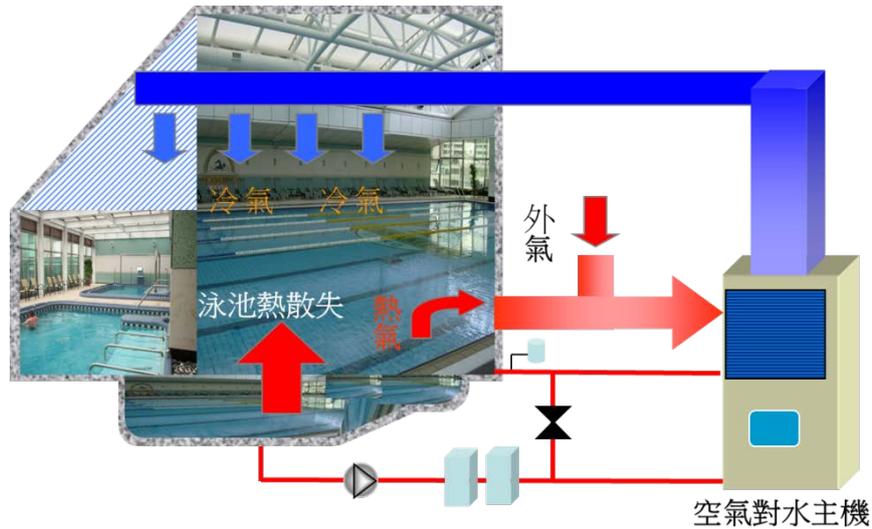


圖 3.1.8 游泳池熱泵示意圖(氣源式應用)

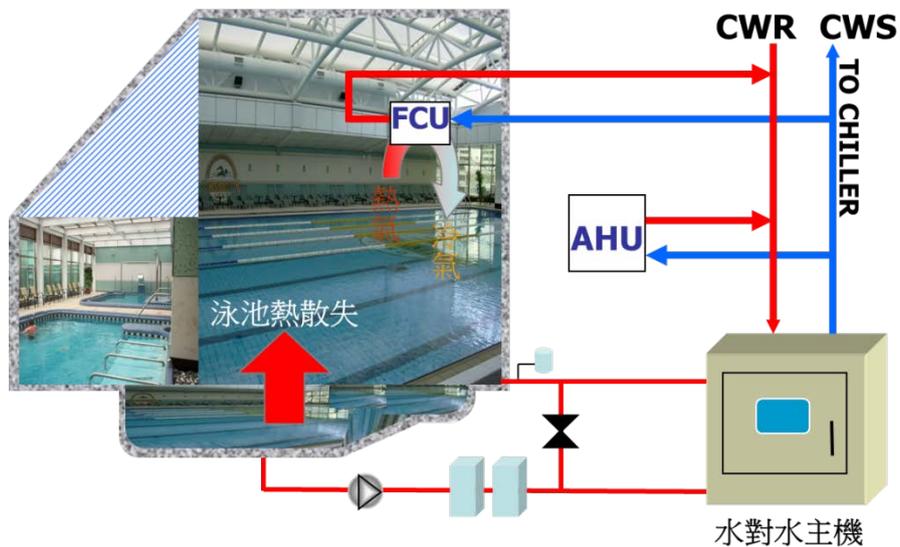


圖 3.1.9 游泳池熱泵示意圖(水源式應用)

⁵承研能源科技《熱泵熱水節能技術》



六、地源式熱泵

將「冷」送至 20 公尺以下地底與淺層溫能做熱交換，如圖 3.1.10 所示，這在高緯度區域，如北歐最為常見。此類型熱泵在設計時，還需考量表層土壤受到陽光照射的程度，並選擇中、20m 以下之淺層土壤溫度穩定，且岩層溫度高的條件區域，才能達到較高的製熱效率。

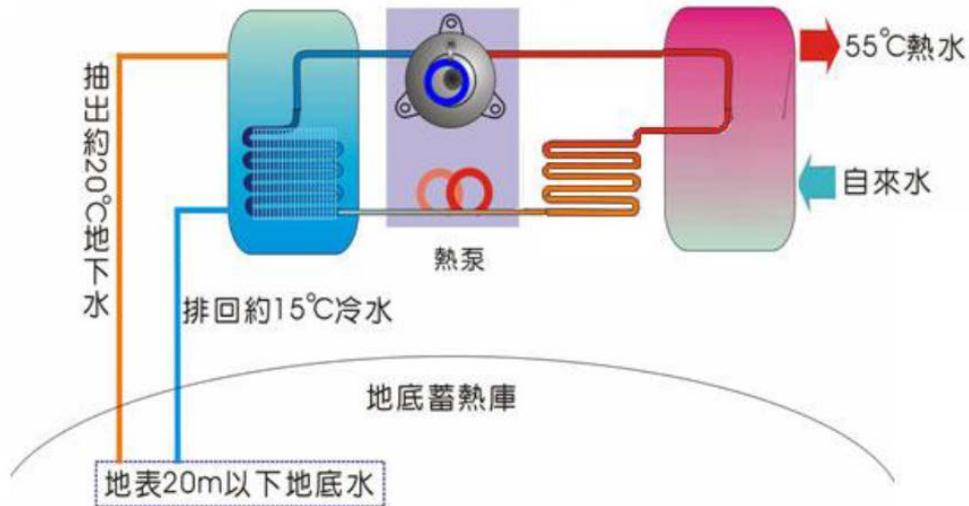


圖 3.1.10 地源式熱泵示意圖⁶

3.1.3 熱泵系統適用簡介

下表 3.1.1 為說明各種熱泵系統的應用空間、優缺點差異，並於表 3.1.2 中說明常見的熱水器的運轉成本⁷。從中可明顯得知熱泵系統在應用上節能與節費的表現。

⁶參考資料：陳育全《醫院熱泵機房系統探討與安全檢測之作業》

⁷參考資料：承研能源科技《熱泵熱水節能技術》



表 3.1.1 熱泵系統說明

項目	熱源	適用空間	優點	缺點
氣源式	大氣、冷房	各種空間皆宜	易安裝、價格低	效能易受周遭溫度的影響，寒冷的情况下，它供熱能力將有所下降
水源式	空調系統冷卻水、製程廢熱水	有固定水源的場合	不易到受周遭氣溫的影響，易保持在高效率階段製熱	施工複雜、價格高
雙效式	包含氣源式、水源式熱泵的熱源範圍	有製冷與製熱需求的場合	能源效益高	系統複雜、價格高
太陽能輔助	大氣、太陽能	有穩定太陽能來源的場合	除太陽輻射能外，也會同時吸收大氣熱能	較占空間、價格高
游泳池專用	空調系統冷卻水、大氣、冷房	游泳池	游泳池專用	游泳池專用、特殊管路材質
地源式	淺層溫能	有穩定地熱來源的場合	有穩定的熱量來源	施工複雜、場地限制



表 3.1.2 常見熱水器的能源使用費率

各種熱水器之單位能源之加熱能力									
設備種類	熱值			熱效率			單位熱產能		
電熱水器	860 仟卡/度		X	燃燒效率 90%		=	774 仟卡/度		
液化瓦斯熱水器	12,000 仟卡/公斤		X	燃燒效率 75%		=	9,000 仟卡/度		
天然瓦斯熱水器(北部)	8,900 仟卡/度		X	燃燒效率 75%		=	6,675 仟卡/度		
天然瓦斯熱水器(南部)	9,700 仟卡/度		X	燃燒效率 75%		=	7,275 仟卡/度		
柴油鍋爐熱水器	8,400 仟卡/公斤		X	燃燒效率 75%		=	6,612 仟卡/公升		
熱泵熱水器	860 仟卡/度		X	性能係數 360%(COP)		=	3,096 仟卡/度		
各種熱源燃料費(1,000 公升冷水由 21°C 加熱至 58°C 成為熱水,需要 37,000 仟卡)									
設備種類	熱量需求		單位熱產能		耗能		能源單價		能源費用
電熱水器	37,000 仟卡	÷	774 仟卡/度	=	47.8 度	×	4.5 元/度	=	220 元
液化瓦斯熱水器	37,000 仟卡	÷	9,000 仟卡/公斤	=	4.11 公斤	×	25 元/公斤	=	103 元
天然瓦斯熱水器(北部)	37,000 仟卡	÷	6,675 仟卡/度	=	4.54 度	×	15.96 元/度	=	88 元
天然瓦斯熱水器(南部)	37,000 仟卡	÷	7,275 仟卡/度	=	5.09 度	×	18.76 元/度	=	95 元
柴油鍋爐熱水器	37,000 仟卡	÷	6,612 仟卡/公升	=	5.6 公升	×	14 元/公升	=	78 元
熱泵熱水器	37,000 仟卡	÷	3,096 仟卡/度	=	11.95 度	×	4.6 元/度	=	54 元



3.2 實務篇

3.2.1 校園熱泵系統選用

一、熱水需求量

宿舍一般僅供應淋浴用熱水(不考慮盆浴的狀況)，熱水提供溫度約 50~55°C，採用氣源式熱泵，原因為宿舍類型建物空調系統大多不是中央空調系統，再者即便為中央空調系統，冬季也多停轉，若規劃為水對水系統則回收熱源受到限制。規劃前應先就使用單位進行如下調查項目(淋浴、洗滌)：

1. 房間數量及熱水使用人數：
2. 調查住宿容量及使用人次，作為熱泵系統設備容量計算之基礎，依熱水使用人數及性別。
3. 首先決定熱水負荷，決定熱水負荷關係主機的製熱能力及熱水儲槽的容積其計算方式有三種，如圖 3.2.1。

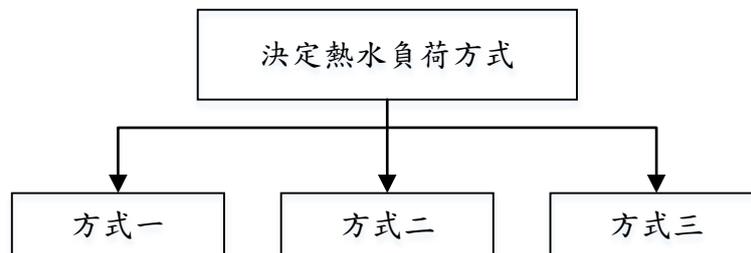


圖 3.2.1 決定熱水負荷方式

其計算方式如下：

【方式一】

“依據當前使用鍋爐類型”、燃料費用、燃料或電費單價，透過各鍋爐熱水器單位能源產熱效率，如表 3.2.1，推算出單日用水量(假設自來水溫度 15°C~20°C、熱水供水溫度依現場使用溫度為準)，在空間充裕及設置地點的條件下，增設儲水槽容積等於日用水量。



表 3.2.1 各鍋爐熱水器單位能源熱值及燃燒效率

鍋爐種類	熱值(kcal)	產熱效率(%)
電熱	860	90
柴油	8400	75
天然氣	8900(北部) 9700(南部)	75
重油	10410	70

一般熱水使用時間約在傍晚 PM 07:00~12:00，其餘時間約 19 小時，可用熱泵進行儲水加熱，考慮原有熱水供水管線的熱損失，建議設備容量在 15 小時內，可將儲水加熱至使用溫度即可。

【方式二】

“依據房間數量及熱水使用人數”，計算出單日用水量，男生用水量每人每天 60 公升、女生用水量 70 公升(依據個案需求，盆浴不適用此建議用量)，計算出單日用水量。在空間充裕的條件下，儲水槽容積等於日用水量同方式一。

【方式三】

“依據淋浴間數或蓮蓬頭數”，計算出尖峰用水量，假設每間淋浴間或每支蓮蓬頭熱水使用情形為 4 人/hr、每次淋浴間或蓮蓬頭熱水使用量為 50 公升(依個案調整假設值)，同一時間使用的比率 30%~50%，預估單位時間內熱水使用量。

依自來水溫及供水溫度及單位時間內熱水使用量計算熱泵主機容量，熱泵主機單位時間可提供熱值 \geq 單位時用水量由溫度 15°C 加熱至 55°C 之熱值)。規劃時，熱泵主機機型及熱水儲槽可因應業主要求及空間大小等因素作適當調整，規劃方式可依據方式一至三相互比對正確性，採用較符合實際需求方式規劃。



二、搭配太陽能熱水器

熱泵系統設計時，必須考量設備可能經歷保養維修，或故障停機，甚至因氣候因素造成設備製熱能力不足，這時就藉由替代熱源補足熱水供應。於改建案例中，留用既有設備是常見的作法，既有設備是否堪用，保養維修延生的費用影響投資回收年限亦應加以考量。若既有設備已達汰換年限或已不堪用，可考慮換裝小容量設備，或直接於既設或增設儲槽，安裝浸入式電熱器，初置安裝方面方便且成本較低。

台大新能源中心在經濟部能源局的支持下，開發不同機型的太陽能輔助熱泵熱水器(ISAHP)，這是結合熱泵熱水器與太陽能集熱器的新產品，如圖 3.2.2 所示，同時吸收大氣熱能與太陽能。由下方吸入 ISAHP 之空氣先流經外殼內側之溝槽，利用外殼所吸收的太陽能來加以預熱，熱空氣再流入熱泵主機，陰雨天或夜晚無太陽時，ISAHP 就回到只從空氣取熱，其單位熱水耗電量遠低於傳統太陽能熱水器(含輔助電熱器)。



圖 3.2.2 太陽能輔助熱泵熱水器(ISAHP)⁸

⁸經濟部能源局、綠基會《熱泵熱水系統 Q&A 節能技術手冊》



三、管路配置

1. 排水閘出水口應安放在安全處，盡可能在排水溝或排水口附近。
2. 宜選用金屬管道（如不銹鋼、內襯塑、內襯不銹鋼的鋼管或薄壁銅管等），若採用塑膠管道（如 PP-R 管、ABS 管等）應考慮主機與儲水桶之間管道的伸縮問題。
3. 管道連接採用焊接的話，應在中間加上由任接頭。
4. 循環管道上須裝閘閥和由任接頭，方便維修。
5. 管路間避免熱散失過大，應包覆上保溫材料隔熱。
6. 冷能回收

四、依條件選擇不同熱源系統→與 P 3-2、P 3-3 重複

（一）、氣源式熱泵系統

熱源來自常溫空氣，氣溫影響機組製熱效率，進氣溫愈高熱泵製熱效能亦高，但過高的進氣溫度亦可能造成冷媒熱泵系統高壓過高，造成跳機，故針對台灣氣候設計，常見熱泵設備進風溫度設計約為 25°C。

氣源式熱泵系統多應用於宿舍類型，熱泵主機可置於頂樓梯間，由於建築物空氣熱對流造成的熱空氣上浮，集結於頂樓梯間，有利於提高熱泵機進氣溫度，維持設備的運轉效率。但亦有建物設計較為開放，比如說走道或梯間直接開放到外氣的建築形式，就不適用於上述設置方式。空氣對水熱泵主機也可設置於有固定熱負荷的區域，如電梯機房、變電室或地下停車場等，若無含有豐富廢熱的可裝設空間，就應考慮到主機受到進氣溫度高低造成的效能變化，尤其以冬季寒流低溫可能造成熱泵製熱能力低落，造成供水不足等影響。再者過低進氣溫度易使蒸發器結霜甚至結凍，進行除霜又造成系統停擺等因素。因此，必須規劃設置輔助加熱器以因應製熱能力不足時，作為替代熱源。



(二)、水源式熱泵系統

熱源來自常溫水源，在水源溫度較恆定的條件下運轉，設備運轉效能較穩定。常溫水來源可自空調冰水系統回水側引水經主機取熱後送回(應用上亦有自冷卻水側引水取熱的使用方式)。優點是冰水回水溫度約 12°C，經主機汲取熱能後降低至近 7°C 回注至冰水系統，可降低冰水回水溫度，也就是說熱泵機除製造熱水外，冷能亦 100% 利用於冰水系統，利用率最高。

但規劃時亦需考量常溫水來源，若來自冰水系統回水，就應考慮季節性負載變化有無低於製造熱水所需的負載。比方說冬季空調負載低，但熱水使用量較大，若空調負荷可能低於提供熱水所需負載，應規劃設置輔助加熱器因應製熱能力不足時作為替代熱源。



3.2.2 校園熱泵設備基本保養與檢點方式

一、保養方式介紹&保養頻率與評估標準其保養及維修重點如下：

(一)日常保養

1. 電路系統保養
2. 電線接點之清潔
3. 電線接線螺絲上緊
4. 檢查電壓、電流是否正常。
5. 每年至少檢查一次，控制保護裝置之設定，修定設定值。
6. 清潔：灰塵太多是機械發生動作不正常之原因之一，如經常注意清潔，即可防止故障。

(二)季節性檢查

1. 檢查電氣連接螺絲是否鬆脫。
2. 接通主電源。
3. 檢查水管路並清洗管路。
4. 清潔機組之灰塵。

(三)空氣濾網

空氣濾網因灰塵，油污附著，必需定期保養。正確保養方式是以吸塵器加以清除污垢、灰塵。在有油污、蒸氣的地方，特別是像廚房的地方，必需安裝鋁質濾網。因為鋁質濾網才可以用熱水清潔劑或是清洗機加以清除油污和污垢。

二、熱泵設備檢點表

熱泵設備常見的檢點表如下表 3.2.2 所示。



表 3.2.2 熱泵設備檢點表

		熱泵																			
項目	檢查葉片是否變形、損傷或不平橫轉動	動 檢查馬達有無異音、接線是否鬆脫或不平衡震	檢查各類溫度計、壓力計數據是否正確	定期檢測冷媒是否有洩漏	蒸發器清洗	清潔風機排風口和風葉	檢查四通閥功能是否正常	檢查高、低壓保護開關是否正確作動	檢查水泵軸承有無出現磨損	檢查保溫材質是否剝落或損毀	定期記錄熱泵主機運轉狀況	脫或不平衡震動	檢查熱水泵是否有異音、漏水、接線是否有鬆	膨脹閥檢查調整	定期清洗過濾器	檢查電壓、電流是否正確	定期檢查設備外觀，確認有無鏽蝕之情形	熱水熱交換器清潔	控制機板功能測試	檢查壓縮機是否有漏油漏氣	壓縮機線圈接點電阻量測
每日	◎	◎	◎	◎			◎	◎		◎	◎	◎				◎		◎	◎	◎	
每月													◎								
每季					◎	◎								◎							
每半年									◎						◎						
每年																	◎				



3.3 應用篇

案例名稱	國立臺灣師範大學公館校區學七舍 熱泵熱水系統節能績效保證專案
改善措施	1.新設氣源式熱泵主機 3 台，總製熱能力 272,160 kcal/hr，水源式熱泵主機 1 台其製熱能力 90,720 kcal/hr，採用 R134a 冷媒。 2.集中供水式熱泵系統 3.各寢室分支管路新設置經國家型式認可之電子式水量計及傳輸訊號線。
效益	節約油當量（節能率）：155kloe/year(67%) 節約燃油費：1,686,598 元

案例名稱	元智大學男生第一宿舍增設超導熱泵工程計畫
改善措施	1.依據最低需求之夏季，安裝 6 台超導熱泵，將原有 3,000 加侖儲熱水桶進行加熱，從冷水進水溫度升溫至 55°C 熱水。 2.進水端增設保溫儲存桶(500 加侖)。 3.既有熱水保溫桶(共 3000 加侖)達到 55°C 時，則將熱泵機組管路切換至進水保溫桶繼續製熱升溫，可提供鍋爐進水預熱功能以減少鍋爐設備升溫所需之燃油。
效益	節能率：70%



第四章電力篇

4.1 基礎篇

本節能手冊電力篇將提供學校總務、行政人員了解目前電力系統方面的基本知識與常見的節能手法。基礎篇主要目的為介紹電力系統的基本知識，其內容包含電力系統概述、校園內電力系統常見設備簡介、校園內常見電費結構與基本電費計算以及能源監控系統簡介等四部份主題，茲分別敘述如後。

4.1.1 電力系統概述

我國電力系統從發電廠發電，經過輸、配電系統，將電力供電給用戶使用，整個電力系統主要可區分為供給端(主要為台電公司)及需求端(各用戶如家庭、工廠、機關學校等)兩大部分，詳細各供電階段電力系統圖如圖 4.1.1所示。在供給端即電力公司方面，其節能重點為提高發電效率、減少線路損失、降低尖離峰負載差距等項目；在需求端即用戶用電端，其節能重點為提高用電效率、減少用電浪費、線路損失，並透過適當的電費方式與契約容量訂定來節省用戶電費支出。一般用電戶由電力公司引接供電後其配線示意圖如圖 4.1.2 所示，會依照用戶用電設備類型(如空調、照明、動力設備等)或用電場所區分各配電盤用電。為使學校總務、行政人員對電力系統有基本認識，下面將介紹電力系統中常見專有名詞如電壓種類、契約容量、功率因數、負載因數及需量因數。

¹ 圖片來源：經濟部能源局《電力系統能源查核及節約能源手冊》，p2

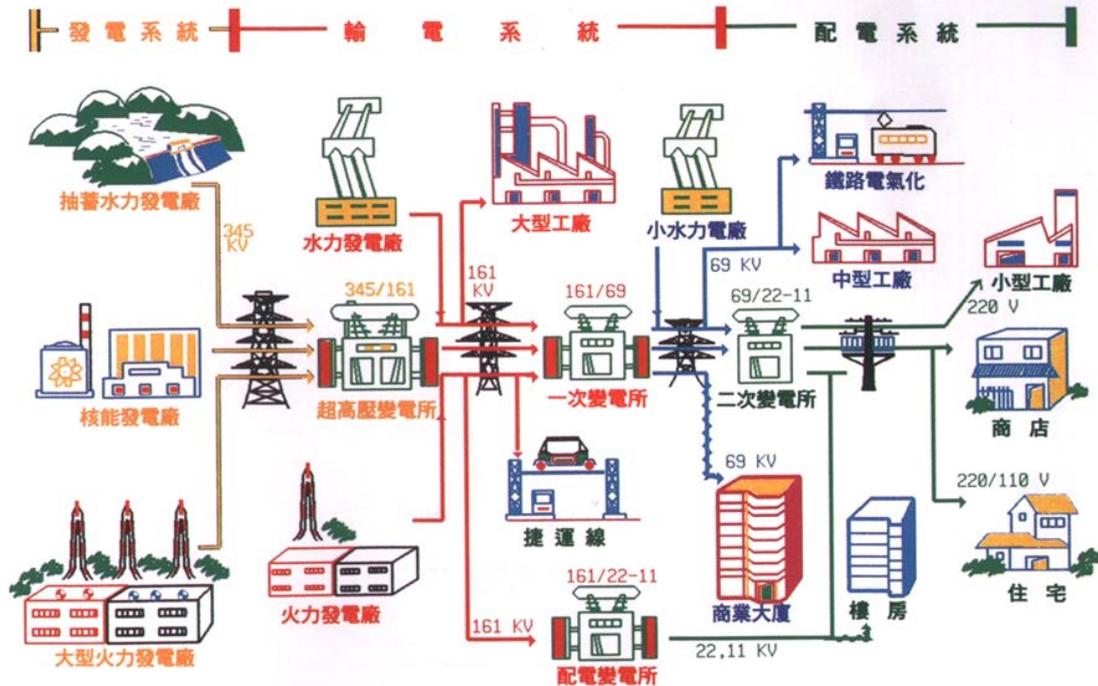


圖 4.1.1 我國各供電階段電力系統圖

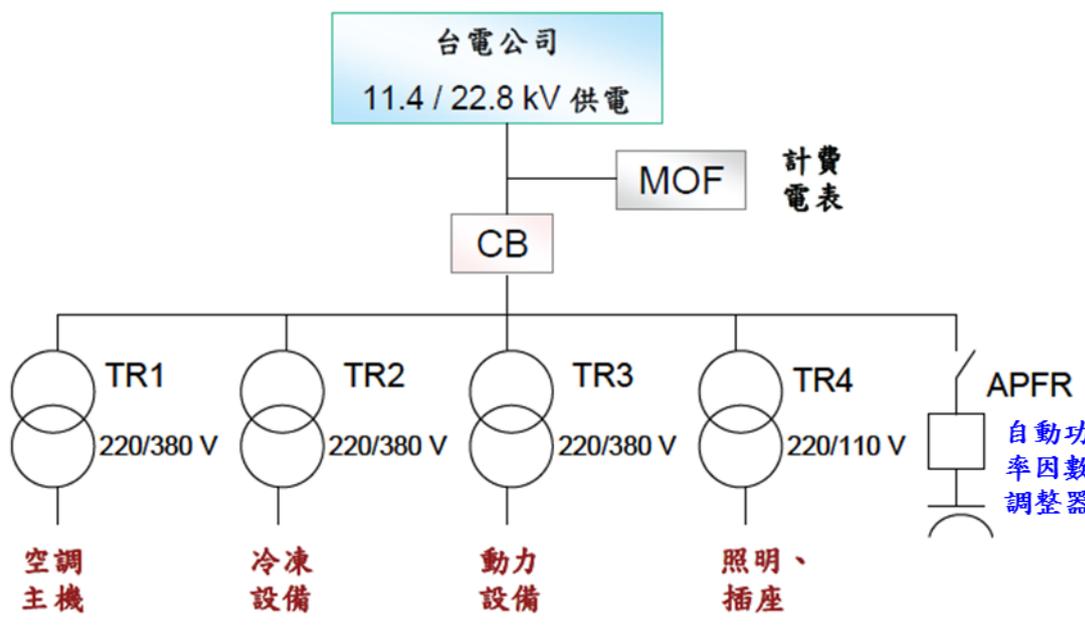


圖 4.1.2 一般高壓供電配電系統示意單線圖

一、電壓種類

我國用電電壓種類主要分為「特高壓」、「高壓」及「低壓」三種電壓，其中特高壓一般可分為 345kV、161kV 及 69kV 三種，主要為供給端的發電廠、輸配電系統所使用；高壓一般可分為 11.4kV



及 22.8kV 兩種，主要為需求端用戶的高壓變電室接收台電提供用電之主電盤所使用之電壓；低壓一般可分為 110V(照明、插座、一般電器設備)、220V(空調設備)及 380V(中央空調、大型泵浦)三種電壓使用。

二、負載因數²

負載因數(Load Factor)是指平均負載與最高負載之百分比，其計算方式如下：

$$\text{平均負載} = \frac{\text{總用電量(kWh)}}{\text{總用電時數(h)}}$$

$$\text{負載因數(LF)(\%)} = \frac{\text{平均負載(kW)}}{\text{最高負載(kW)}} \times 100\%$$

負載因數可按年、月、週、日、時分別計算。負載因數係評估工廠用電設備有效利用率之評估指標，負載因數高用電設備利用率高，反之負載因數低則表示用電設備同時使用之機率低，會有用電設備閒置或不用，自然投資成本高。負載因數亦是評估需量管理績效之指標，負載因數愈高愈佳，表示用電負載愈穩定，因此所訂定的契約容量得到充分的使用，相對的，基本電費的支出也較節省。

三、契約容量³

契約容量係用戶與電力公司雙方約定之用電最高需量，以契約容量作為計算之依據，電力公司依契約容量向用戶計收基本電費，及用電超約附加費(罰款)計算基準。

四、功率因數⁴

功率因數(Power Factor)影響到無效電力與線路損失，改善功率因數可以減少線路電流、減少線路電力損失、減少線路電壓降、增加系統供電容量及節省電力費用。為何要提高功率因數，一般交流

² 參考資料：曾國雄、譚旦旭編著《配電設計》，高立圖書

³ 參考資料：經濟部能源局《電力系統能源查核及節約能源手冊》，p5

⁴ 參考資料：經濟部能源局《電力系統能源查核及節約能源手冊》，p5



系統之負載，大多為電感性，例如感應電動機、傳統鐵磁式日光燈具、水銀燈等，致使功率因數嚴重降低。為改善功率因數偏低導致線路損失大，必需裝設電容器等設備改善電感性電力損失，其計算公式如下：

$$\text{功率因數(PF)} = P(\text{有效功率}) / [P^2(\text{有效功率}) + Q^2(\text{無效功率})]^{(1/2)}$$

亦可由電費單上得知當月平均功率因數值，其計算方法如下：

$$PF_{\text{av}}(\text{平均功率}) = \frac{\text{kWH}}{\sqrt{(\text{kWH})^2 + (\text{kVARH})^2}} \times 100\%$$

註:kWH(有效電力):包括尖峰用電度數及離峰用電度數總和，kVARH(無效電力量):乏時計量

4.1.2 校園內電力系統常見設備簡介

為使學校總務、行政人員對電力系統中常見的設備有基礎認識，下面將介紹電力系統中各項常見的配電設備包含變壓器、電容器、自動功率因數調整器、斷路器及比流器等。

一、變壓器

變壓器應用法拉第電磁感應定律而升高或降低電壓的裝置。變壓器通常包含兩組或以上的線圈。主要用途是升降交流電的電壓、改變阻抗及分隔電路，變壓器的種類可依不同用途、絕緣方式、冷卻方式、鐵芯材料、相數及繞組方式做區分，常見的變壓器如圖 4.1.3 所示⁵。



圖 4.1.3 變壓器示意圖

⁵ 圖片來源：電工機械概論 <http://164.24.156.54/dc/32614/pdf/01.pdf>



在選用變壓器時較常見的分類主要包括依照鐵心材料分為非晶質、矽鋼片以及依絕緣方式區分為油浸式、乾式(模鑄式)兩大類，如圖 4.1.4 所示⁶。



圖 4.1.4 模鑄式變壓器(左圖)與油浸式變壓器(右圖)

變壓器的構造包含鐵心、繞組、絕緣套管、絕緣油及劣化防止裝置等，如圖 4.1.5⁷所示，理想的變壓器沒有能量損失，所以擁有 100% 效率。在現實之中，大容量的變壓器的效率可達 98%；但小型的變壓器效率可能低於 85%。

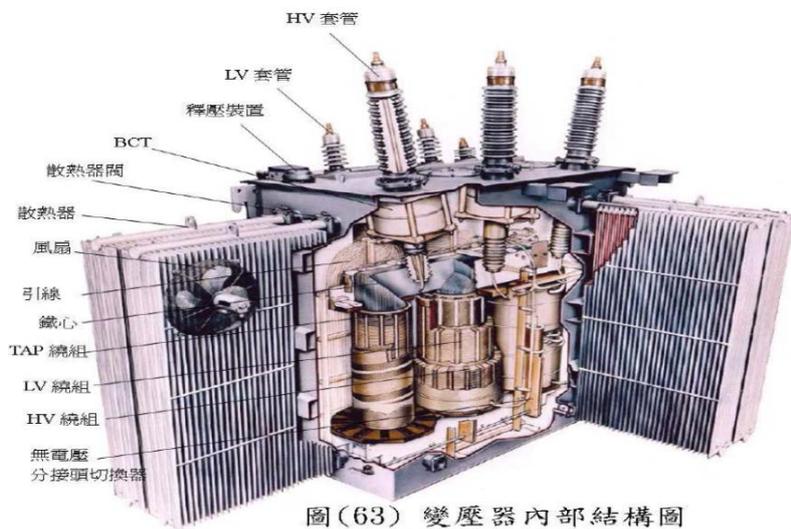


圖 4.1.5 變壓器內部結構圖

一般在選用變壓器時需要了解的基本名詞包含變壓器的容量、無載損失(俗稱鐵損)、負載損失(俗稱銅損)以及變壓器效率，詳細

⁶圖片來源：大同、士林電機公司型錄。

⁷圖片來源：台電供電處《變壓器維護要領與介紹》，民 102



規格可參考表 4.1.1⁸為例子。詳細變壓器選用原則將於實務篇中「校園電力系統與需量控制系統選用原則」進行更詳細之介紹。

表 4.1.1 變壓器規格表

容量 (kVA)	激磁電流 (%)	無載損 (W)	負載損 (W)	效率 (%)	阻抗電壓 (%)	電壓調整率 (%)
150	3.0	120	2550	98.25	3.0-4.0	1.7
200	3.0	170	3300	98.29	3.0-4.0	1.7
300	3.0	235	4600	98.41	3.0-4.0	1.6
400	3.0	290	5700	98.52	3.0-4.0	1.5
500	3.0	320	7050	98.55	3.0-4.0	1.5
600	3.0	350	8300	98.58	3.5-4.5	1.5
750	3.0	420	9700	98.67	4.0-5.0	1.4
1000	2.5	530	12850	98.68	4.0-5.0	1.4
1250	2.5	600	16050	98.69	4.5-5.5	1.4
1500	2.5	650	18050	98.77	5.0-6.0	1.3
2000	2.0	870	23900	98.78	5.0-6.0	1.3
2500	2.0	1150	25850	98.93	5.0-6.0	1.2
3000	2.0	1250	28800	99.01	5.0-6.0	1.2

二、電容器

電容定義為兩金屬極板以絕緣物質隔離所構成之儲存電能元件，在電力系統中為提高功率因數會投入電容器以提高功率因數，常見使用的高壓及低壓進相電容器如圖 4.1.6 所示⁹。



圖 4.1.6 高壓電容器與低壓電容器

⁸參考來源：大同公司《非晶質油浸式變壓器型錄》

⁹圖片來源：裕昌機電工廠股份有限公司 <http://www.capacitor.com.tw>



三、自動功率因數調整器

無效功率有兩種，一個是電感性無效功率(落後)，另一個是電容性無效功率(超前)，這兩種無效功率具有互補性。因一般用電設備以電感性負載居多，所以為了提高功率因數，必須加入電容器設備減無效功率。但兩者多為無效功率，所以如果供給電容過量時，又會形成部份電容性的無效電流增加，因此，透過自動功率因數調整器(APFR)分相補償電容盤、控制電容器投入來調整功率因數，達到較佳供電品質與節電效果，如圖 4.1.7 所示。

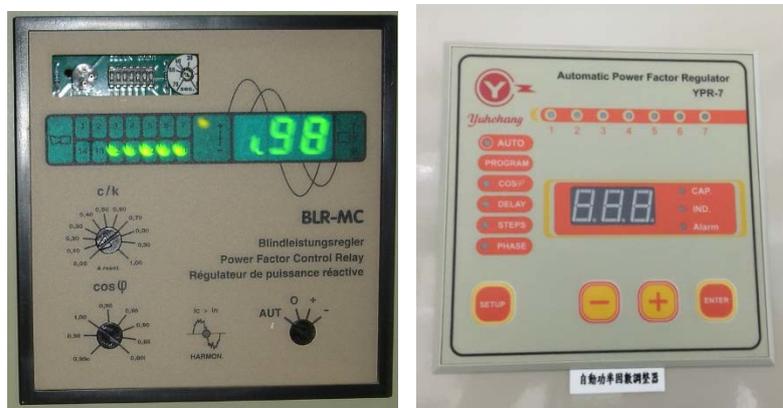


圖 4.1.7 自動功率因數調整器

四、斷路器

斷路器又稱遮斷器，為一種過電流保護之裝置，其主要用途為短路和嚴重超載時保護重要電器設備，常見的低壓斷路器為無熔絲開關(NFB)或漏電斷路器(ELB)；常見的高壓斷路器(CB)包含空氣斷路器(ACB)、真空斷路器(VCB)等，如圖 4.1.8 所示¹⁰。



圖 4.1.8 無熔絲開關(左圖)、漏電斷路器(中圖)與真空斷路器(右圖)

¹⁰圖片來源：士林電機產品型錄 <http://www.secc.com.tw>



4.1.3 校園內常見電費結構與基本電費計算

學校總務、行政人員、技士在執行節能改善措施、降低學校電費支出時，必須了解台電收取電費的方式與基本電費結構，才能對症下藥有效執行改善。一般台電收取電費方式主要分為表燈用戶(每兩個月收帳單)與契約用戶(每月收帳單)，而依據時間、季節電價以及契約容量的不同又區分為數種計費方式，詳細可參閱台電公司電價計費方式¹¹；表燈用戶依照用戶使用度數有不同級距收費，如表 2.1.2¹²所示，而契約用戶電費一般包含基本電費、流動電費、超約附加費與功率因數調整費等，詳細電費計算公式與專有名詞茲分項說明如下：

總電費=基本電費+流動電費+超約附加費±功率因數調整費

表 4.1.2 表燈用戶各級距用電度數收費表(單位：元)

分 類			夏 月 (6月1日至9月30日)	非夏月 (夏月以外時間)
非營業用	120度以下部分	每度	2.10	2.10
	121~330度部分	每度	3.02	2.68
	331~500度部分	每度	4.39	3.61
	501~700度部分	每度	5.44	4.48
	701~1000度部分	每度	6.16	5.03
	1001度以上部分	每度	6.71	5.28
營業用	330度以下部分	每度	3.76	3.02
	331~700度部分	每度	4.62	3.68
	701~1500度部分	每度	5.48	4.31
	1501度以上部分	每度	6.73	5.31

一、基本電費

基本電費係指契約用戶與電力公司雙方約定之契約用量乘上契約電價所支付之電費，一般會依用電種類的高、低壓與季節而有所不同，可參考表 1.3¹³，其計算公式如下：

基本電費 = 契約電價/瓩 × 契約容量(瓩) (每月)

¹¹參考資料：台電公司《時間電價與季節電價》，102年10月版本

¹²參考資料：台電公司《時間電價與季節電價》，102年10月版本

¹³參考資料：台電公司《時間電價與季節電價》，102年10月版本



二、流動電費

流動電費係指契約用戶在不同時段(尖峰、離峰、半尖峰等)所使用度數，並依不同依用電種類、季節每度收取不同費用，如表

4.1.3 所示，其計算公式如下：

$$\begin{aligned} \text{流動電費} = & \\ & \text{尖峰電價} \times \text{尖峰用電度數} + \\ & \text{離峰電價} \times \text{離峰用電度數} + \\ & \text{半尖峰電價} \times \text{半尖峰用電度數} \end{aligned}$$

表 4.1.3 二段式時間電價表(單位：元)

分 類				高壓供電		特高壓供電	
				夏月 (6月1 日至9 月30日)	非夏月 (夏月 以外 時間)	夏月 (6月1日 至9月 30日)	非夏月 (夏月以 外時間)
基本電費 (每戶每 月)	經常契約			223.60	166.90	217.30	160.60
	非夏月契約			—	166.90	—	160.60
	週六半尖峰契約			44.70	33.30	43.40	32.10
	離峰契約			44.70	33.30	43.40	32.10
流動電費 (每度)	週一至週 五	尖峰 時間	07:30~22:30	3.89	3.79	3.83	3.73
		離峰 時間	00:00~07:30 22:30~24:00	1.99	1.88	1.94	1.83
	週六	半尖峰 時間	07:30~22:30	2.83	2.74	2.69	2.58
		離峰 時間	00:00~07:30 22:30~24:00	1.99	1.88	1.94	1.83
	週日及 離峰日	離峰 時間	全日	1.99	1.88	1.94	1.83

三、超約附加費

超約附加費係指契約用戶在當月用電最高需求超出與台電訂定之契約容量時，台電加收之基本電費。其中用電最高需求超出契約容量 10% 以下部分按兩倍計收基本電費、超過契約容量 10% 以上則以三倍計收基本電費。



例如某學校契約容量 1300Kw，當月最高需量為 1780 kW，則當月超約罰款計算方式，如下：

以高壓供電、夏月時段，超約附加費計算：

$$(10\% \text{以內}) : 223.6 \text{ 元/kW} \times 2 \times 130\text{kW} = 58,136 \text{ 元}$$

$$(\text{超過 } 10\% \text{部分}) : 223.6 \text{ 元/kW} \times 3 \times (1780 - 1300 \times 110\%) \text{ kW} = 234,780 \text{ 元}$$

所以當月超約附加費(罰款)為 292,943 元

四、功率因數調整費

由於用戶用電功率因數之高低將直接影響台電供電成本，如低於 100%時，電業將增加額外成本，為促使用戶改善其用電功率因數，台電依據電業法第六十九條¹⁴規定制定功率因數調整條款為「用戶每月用電之平均功率因數不及百分之八十，每低百分之一，該月份電費應增加千分之三，超過百分之八十時，每超過百分之一，該月份電費應減少千分之一點五。」

例如某用戶該月平均功率因數為 70%，該月基本電費為 276,900 元，尖、離峰流動電費為 595,560 元，則該月功率因數調整費加收多少元？

$$\text{加收} : (276,900 + 595,560) \times (80 - 70) \times 0.003 = 26,173.8 \text{ 元}$$

同上題如果該用戶月平均功率因數調整為 99%，該月基本電費為 276,900 元，尖、離峰流動電費為 595,560 元，則該月功率因數調整費減收多少元？

$$\text{減收} : (276,900 + 595,560) \times (99 - 80) \times 0.0015 = 24,865.11 \text{ 元}$$

由上例得知功率因數由 70%調到 99%時，電費支出費用相差 51,038.91 元，由此可知功率因數調整對於電費支出的節省相當可觀。

¹⁴參考資料：台電公司網站常見問答「電價為何訂定功率因數調整條款？」
<http://www.taipower.com.tw/content/faq/faq01-in.aspx?sid=130>



為有效降低電費支出，本節能手冊彙整常見各電費項目降低費用之策略，如表 4.1.4 所示。

表 4.1.4 各電費項目降低費用策略

項目	降低策略	降低作法
基本電費 與超約附 加費	訂定合理契約容量	(1) 定期檢視契約容量，避免超約過多或訂定過高容量，增加基本電費增加 (2) 設置需量控制系統，針對電力、照明、空調等設備運轉進行合理性監控
流動電費	改善設備或加強能源管理降低用電度數	(1) 採用高效率設備：檢視各耗能設備(空調、照明、動力等)之節能及汰換空間 (2) 減少用電時間：檢視各設備使用時間並採行最佳化管理措施
功率因數 調整費	月平均功率因數低落	(1) 應檢視自動功因調整器有無故障，或增設電容器提高功率因數節省電費

4.1.4 能源監控系統簡介

近年來各級機關學校為有效執行節能改善措施，除汰換高效率設備外也開始由管理面著手，故陸續安裝各式能源監控系統，若依照用電設備區分主要可分為電力需量控制系統、空調監控系統及照明監控系統等，藉由上述能源管理監控系統的建立，期盼能達到「自動化」、「制度化」與「資訊化」三大目標，以有效落實各級機關之能源管理。下面將針對各項監控系統進行概要說明，相關選用原則與將於實務篇中「校園電力系統與需量控制系統選用原則」進行介紹。

一、電力需量控制系統¹⁵

電力需量控制系統一般藉由電力需量管理及用電負載管理協

¹⁵參考資料：經濟部能源局《能源管理監控系統技術手冊》，p57



助節能改善措施，並配合電力監控系統記錄改善前後用電資料與確認其節能成效。

二、空調監控系統¹⁶

空調監控系統一般藉由空調設備時間管理、運轉機台數控制與運轉參數((冷卻水)進、出口水溫溫度、泵浦流量等)管理協助節能措施改善，並配合電力監控系統記錄改善前後用電資料與確認其節能成效。

三、照明監控系統¹⁷

照明監控系統一般藉由時間管理、分區控制與感測器感測控制等措施，並配合監控系統記錄改善前後用電資料與確認其節能成效。

4.2 實務篇

實務篇主要內容為介紹電力系統中常見的節能手法、改善措施及基本電力系統保養方式等主題，期望能提供學校總務、行政人員進行節能改善時之參考，詳細內容茲分別敘述如後。

4.2.1 校園電力系統變壓器與需量控制系統選用原則

一、變壓器種類選用

變壓器依散熱方式可分為乾式與油浸式變壓器。乾式變壓器又分自冷式及風冷式，自冷式是利用變壓器箱體與散熱片散熱，主要用於小負載容量變壓器。風冷式則是在自冷式變壓器上用送風機強制冷卻，一般應用於高負載容量變壓器。油浸式變壓器又可分為自冷式、水冷式、風冷式、送油自冷式及送油風冷式，是利用絕緣油將變壓器產生的熱傳至外箱體或散熱裝置上，再散熱至大氣中，主要應用於負載容量大的變壓器，詳細彙整如下表 4.2.1 所示。

¹⁶參考資料：經濟部能源局《能源管理監控系統技術手冊》，p65

¹⁷參考資料：經濟部能源局《能源管理監控系統技術手冊》，p73



表 4.2.1 變壓器型式、冷卻方式與負載容量彙整表

變壓器型式	示意圖	冷卻方式	冷卻原理	適用負載容量
乾式		自冷式	利用變壓器箱體與散熱片散熱	低
		風冷式	以送風機進行強制冷卻	中
油浸式		自冷式	絕緣油對流導熱至箱體	中
		風冷式	裝置送風機強制冷卻	高
		水冷式	絕緣油以泵浦抽至水冷組件冷卻	高

變壓器鐵心的材質有以矽鋼片製成的傳統變壓器，還有以非晶質合金做為鐵心材料的非晶質變壓器。矽鋼片的厚度越薄則越能減少損耗，使用非晶質合金鐵心其鐵損可減少至矽鋼片鐵心的1/3~1/4。

變電站依設置位置可分為室內變電站和室外變電站兩種。室內變電站是指將所有的電氣設備佈置在一棟建築物內，經過建築物的遮罩後，這樣就大大降低了其電磁場影響。而室外變電站主要的電氣設備如主變壓器等都佈置在建築物外面，這種變電站一般占地面積遠較室內變電站的占地面積大，其電磁場輻射也較高，此外也需注意防漏水與散熱通風等問題，如圖 4.2.1 所示。按照目前的城市規劃要求，城市主城區人口密集區域全部建設室內變電站，以降低對環境的電磁場影響，但要注意散熱通風問題。



圖 4.2.1 常見的室內變電站(左圖)與室外變電站(右圖)設置

變壓器除了選擇損耗較低的以外，尚需考慮到使用地點與負載容量大小，並依此選擇適當的容量及散熱方式，以避免浪費能源。

二、需量控制系統選用¹⁸

為達到抑低尖峰用電及節約用電目的，目前電能需量管理系統大可分為三種，傳統式的需量電錶及時間控制器、電子式 PID 控制器或小型 PLC 可程式控制器及近期校園常見的電能需量管理控制系統等。一般架構校園電力監控及需量控制系統(如圖 4.2.2 所示)，其功能差異茲分項說明如下。

(一)、傳統式的需量電錶及時間控制器(具電能管理功能)

1. 可記錄需量值(每 15 分鐘)、負載率(時、日、月)
2. 可記錄每小時、每日、每月平均及總用電量
3. 可記錄電力系統之功率因數、無效電力等參數

(二)、電子式 PID 控制器/PLC 可程式控制器(具需量控制功能)

1. 可調整控制器的預測計算時距、控制靈敏度等參數
2. 具有優先順序、循環式控制及責任週期控制的輸出

(三)、電能需量管理控制系統(具有時間規劃的功能)

1. 可依據電力公司時間電價定義的時間輸出控制，以控制負載在離峰時間運轉，

¹⁸參考資料：經濟部能源局《電能管理需量控制器節能技術手冊》，p13~29



2. 可根據負載的狀況，設定負載谷底運轉，降低需量，提高負載率。

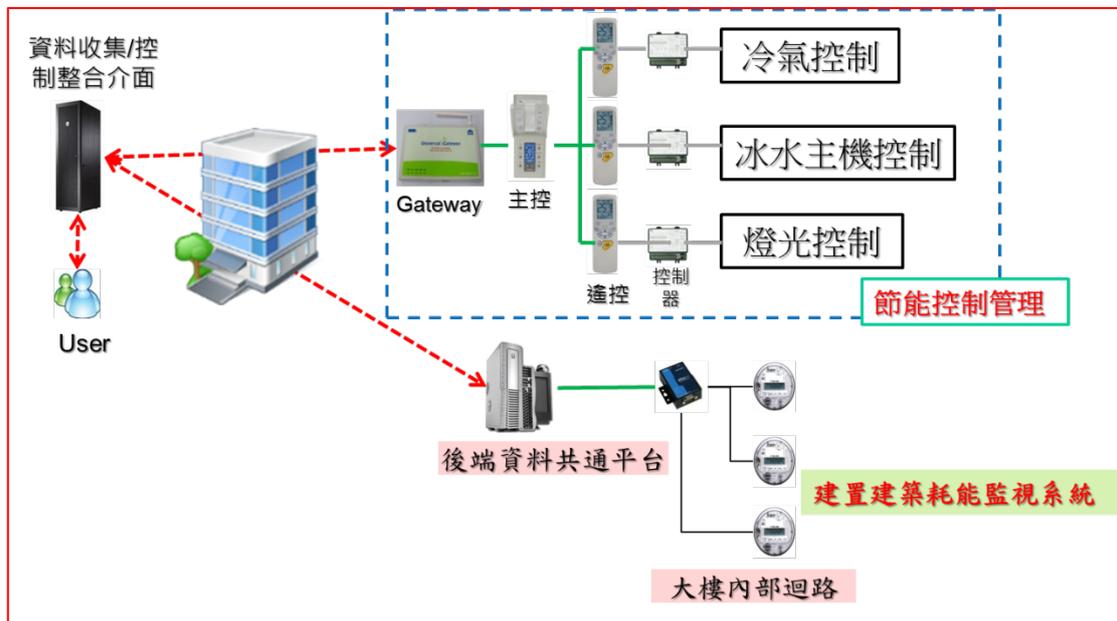


圖 4.2.2 校園電力監控及需量控制管理系統架構圖

4.2.2 校園常見電力系統缺失及節能改善方式

一、變壓器設置容量過大

當變壓器操作時，不論有無負載皆會有鐵損存在，鐵損的高低視供應的電壓大小及變壓器容量大小而定；而銅損是有負載時才會產生，銅損大小是與負載成平方正比關係。因此變壓器設置容量過大時，將會產生無謂的鐵損浪費，所以應避免過大變壓器容量設計。

減少變壓器損失的改善方式有以下幾種方法：

- (一)、選擇適當變壓器容量：高壓受電用戶電力變壓器容量，不得超過每月平均用電量(並非最高需量)之四倍，
- (二)、變壓器運轉方式與負載特性的合理配合，減少損失的運轉原則如下：
 1. 負載率(負載因數)較高，即負載變化小，變壓器組可作較



高效率之運轉，且一般變壓器滿載時銅損與鐵損之比為 3 時，負載率在 57.7% 效率最高，

2. 燈力合併供可提高負載因數，
3. 三相的負載因數偏低時，如使用三台單相變壓器接成三相時；利用其中二台改成 V-V 接線供電，停用一台。

(三)、將不必要或負載率太低之變壓器與電壓準位相同的變壓器合併負載，並將停止運轉之變壓器電源切離，如圖 4.2.3 所示，

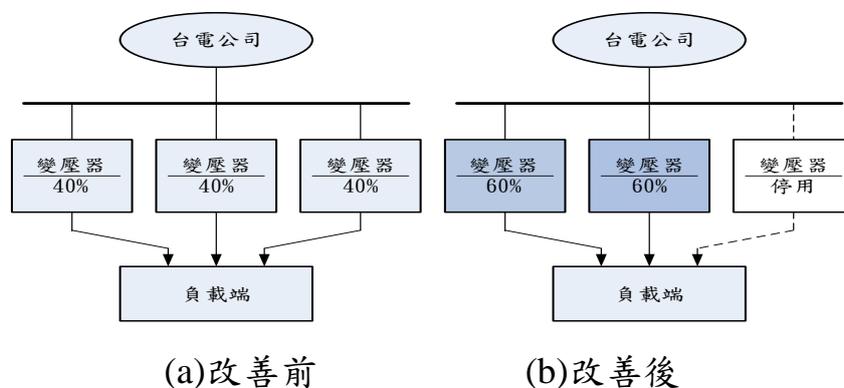


圖 4.2.3 變壓器並聯

- (四)、採用低損失型鐵心（矽鋼片）變壓器，
- (五)、降低運轉溫度，增加散熱設施提高效率，
- (六)、定期檢點維護。

二、高壓變電室通風不良導致效率不彰及折損變壓器的壽命

高壓變電室亦應設置適當空調通風設備，使變壓器能在適當的環境溫度正常而有效率地運作。通常變壓器之銘牌上會記載其額定容量，該容量係根據運轉溫度與設周圍環境溫度而定。如果實際周圍環境溫度與運轉溫度較額定值為高，將會折損變壓器的壽命。一般常見於變壓器設置通風扇並搭配溫控開關如圖 4.2.4 所示。



圖 4.2.4 高壓變電室設置排風扇並搭配溫控開關

當通風不良，室溫上昇時，變壓器之絕緣油溫度亦隨即上昇而加速氧化。絕緣油氧化時會形成腐蝕性物質而侵蝕絕緣材料與金屬零組件，並造成功率因數之惡化。繞組阻抗亦會隨溫度上昇而增加，造成效率不彰。如果絕緣油持續氧化時，會逐漸濃縮而產生固態油垢，當油垢常年沈積在油槽內壁、繞阻絕緣物表面或冷卻通道中時，將會導致變壓器之冷卻性能下降，並造成其他有機絕緣物產生劣化，而演變成短路、過熱等意外事故。

三、用電契約容量訂定不合理

用電需量係指某一特定時段內有效電力的平均值，所謂「特定時段」是電力公司之計費時段，目前台灣電力公司係以 15 分鐘平均值為需量之計算週期，每月共計 2880 個計算需量點，並以其中最大者為當月最高需量。由於用戶用電設備在同一時間內不一定所有用電設備均同時使用，因此電力公司與用戶雙方約定以最高用電需量 瓩 (kW) 數作為契約容量，並以契約容量作為計算電費及超約罰款之依據。計收電費時，是用尖峰最高需量和契約容量互相比較，最高需量未超過契約容量，仍按契約容量計收基本電費；反之，超過部份以二倍(超過 10% 以內)至三倍(超過 10% 以上)加收附加費。因為一個月當中「只要發生一次」短時間(15 分鐘)用電需量超過契約容量，就會被加收超約附加費，所以要非常注意用電最高需量



的管制，其示意圖如圖 4.2.5 所示。

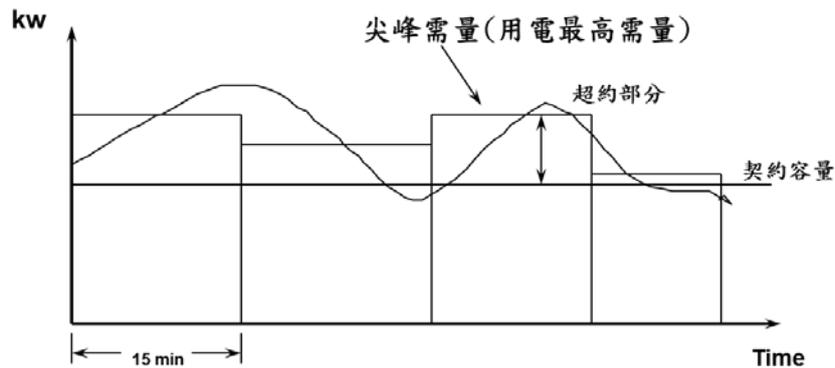


圖 4.2.5 用電契約容量與用電最高需求示意圖

契約容量的訂定是以全年所繳的基本電費及超約罰款之總和最低為合理值，因此在夏月(6至9月)最高需求超約用電3至4個月份被罰一些款，但非夏月季節月份最高需求略低於契約容量，節省基本電費，這樣將比較符合經濟原則。之前，電力公司將超約部分以罰款計收，很多公家機關的會計部門看到電費單上有「超約罰款」的科目，認為電氣負責人失職，簽請議處。所以，電氣負責人乾脆訂定超高契約容量，永遠不會受罰，但是，機關所支付的電費反而更多。台電公司體察各單位電氣負責人和會計部門的窘境，於幾年前將「超約罰款」，改名為「超約附加費」，解除了電氣負責人可能被議處的困擾。

因為契約容量之訂定，全年適用，不能按月機動調整；然而，冬季用電少，夏季用電多，每月實際用電需求，絕無可能正好等於契約容量。有些學校訂定契約容量過高，沒有超約不需繳交超約附加費，但每月要支付較高基本電費；有些學校契約容量過低，雖然每月要支付較低基本電費，但經常被加收高額超約附加費。學校用戶必需在多繳基本電費和超約附加費之間取得平衡，用戶每年可調整檢討契約容量，且電力公司或相關電機顧問公司可免費協助計算最適契約容量。而一般常見的契約容量與對費關係圖彙整如圖

4.2.6 所示

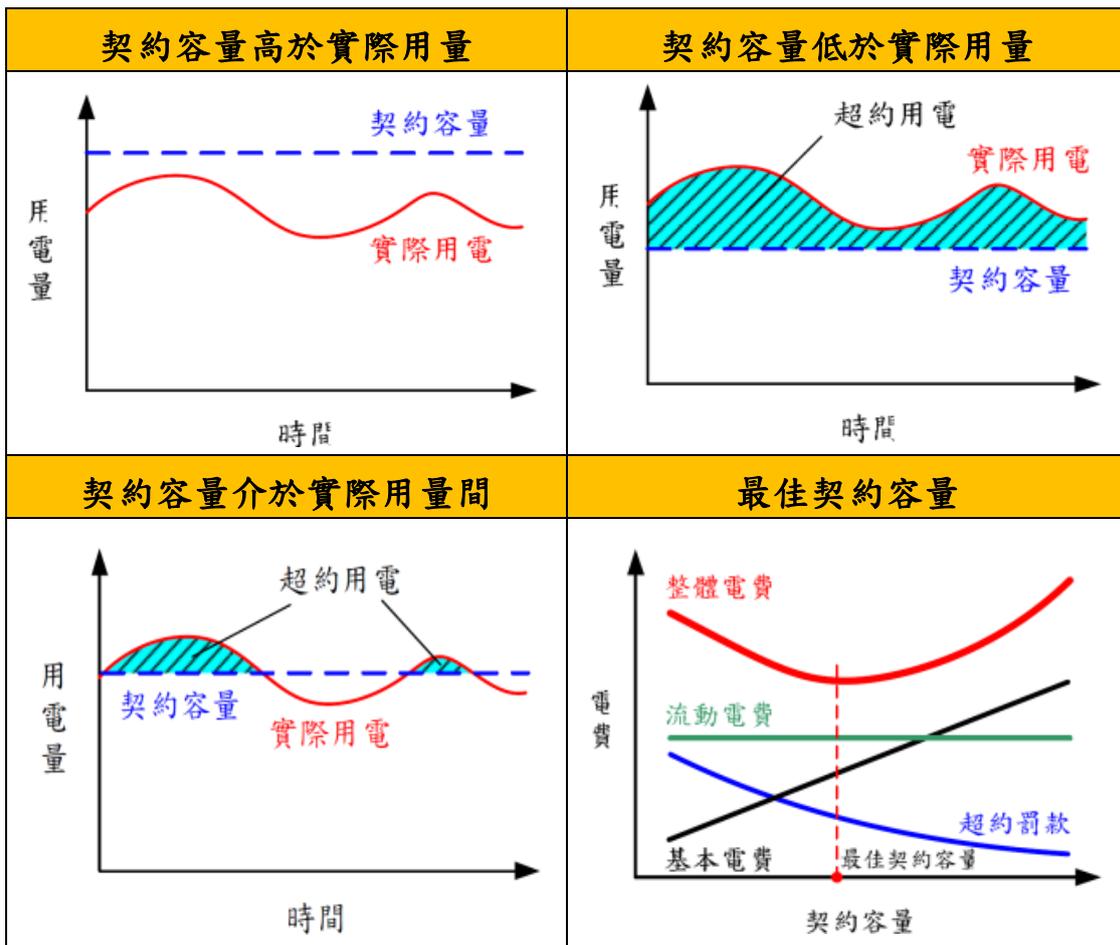


圖 4.2.6 契約容量與電費之關係

四、功率因數偏低

功率因數越高而趨近於 1.0 (100%)時，電流越小，電壓降也越小，而用電設備能運作在額定電壓範圍內，運轉效率最高。功率因數偏低(80%以下)時，電流增加，容易造成導線處於過載，或因壓降太大，使得馬達處於低電壓運轉，容易造成馬達燒毀。一般配電盤上有傳統指針表式及數位自動功率因數控制器，如圖 4.2.7 所示。但若因使用電容器改善功因後，於輕載時，卻未由自動設備切離電容器組，將會造成功因超前；指針往左偏(LEAD)如圖 4.2.7 右圖所示，而使得負載端的電壓偏高到比電源電壓更高，而容易造成電熱類設備更熱而燒毀。而照明類設備也會因電壓偏高，使得燈具安定



器及線路過載，而引起電線走火。通常夜間的工廠火災大都是因電容器未自動切離造成。

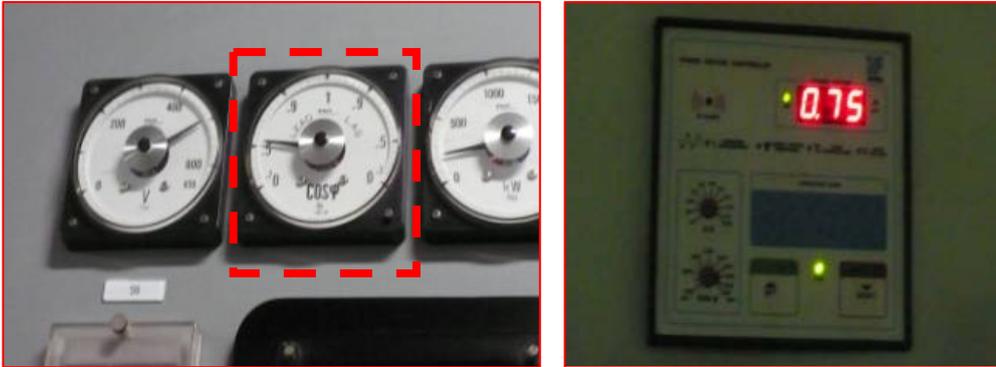


圖 4.2.7 高壓變電室功率因數偏低¹⁹

一般常見的有效的改善功率因數方法與原則如下：

1. 加裝「進相電容器」改善功率因數，以獲得電費優待。
2. 低壓電容器選用時，應注意額定電壓須大於實際使用電壓。
3. 確認電容器裝設位置及合理電容器容量，避免投資浪費。
4. 電容器最佳的裝設位置應在電感性負載設備的控制負載側，隨負載之使用而投入或切離。
5. 高壓側採固定電容器，低壓側採自動功因調整可變電容器；低壓電容器裝置在負載中心。
6. 不要過度補償，使功率因數超前，此舉會造成低壓側電壓升高，使得電器較易損壞。

五、需量控制系統優先卸載策略²⁰

需量控制器可預測用電契約容量是否超約，若預測到可能超約時，可經由事先設計的控制方式，將負載預先卸載。一般的基本控制方式可歸納如下：

1. 直接控制：將可停負載在預測會超約時全部停用，並在需量週期結束時恢復。

¹⁹教育部《低碳節能校園生活報》第33期

²⁰參考資料：經濟部能源局《電能管理需量控制器節能技術手冊》，p28



2. 優先順序控制：負載依重要性依序排列，在預測會超約時，依其重要性之優先順序卸載。
3. 循環式控制：將可控制負載單獨或分解循環控制，避免在某一特定負載作用太久，如圖 4.2.8 所示。

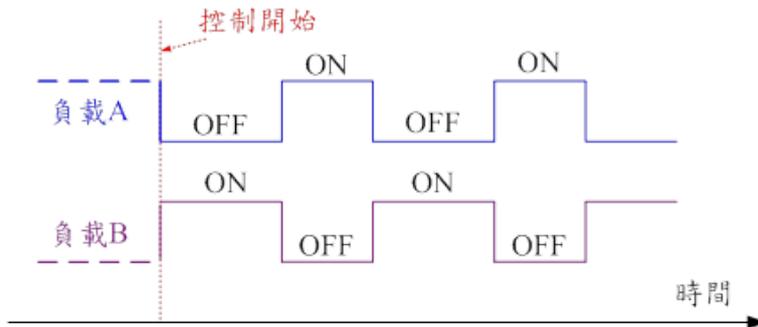


圖 4.2.8 循環式控制

4. 責任週期控制：將可控制負載設定「ON」與「OFF」的時間。並在預測會超約時依設定時間(T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4)來「開」或「關」，如圖 4.2.9 所示。

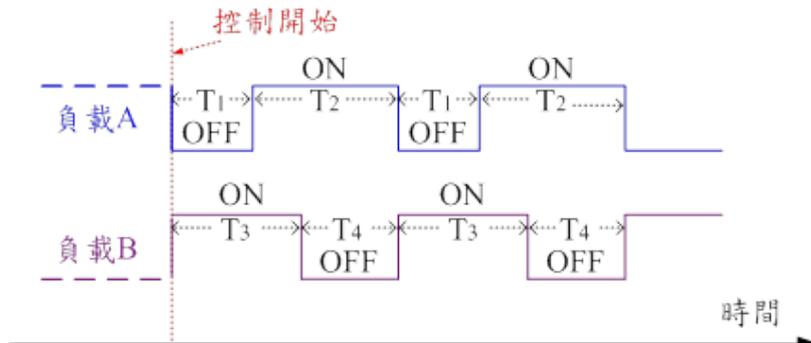


圖 4.2.9 責任週期控制

4.2.3 校園電力設備基本保養與檢點方式

根據「專任電氣技術人員及用電設備檢驗維護業管理規則」規定：低壓(600 伏特以下)供電且契約容量達五十瓩以上之學校應置初級電氣技術人員，高壓(超過 600 伏特至 22.8 千伏特)供電之用電場所，應設置中級電氣技術人員，或另委託用電設備檢驗維護業負責維護與電業供電設備分界點以內一般及緊急電力設備之用電安全。



用電場所負責人應督同專任電氣技術人員或用電設備檢驗維護業對所經管之用電設備，於每六個月至少檢驗一次，每年應至少停電檢驗一次。檢驗結果應作成紀錄，並於檢驗後五日內分送地方主管機關及所在地電業營業處所備查。變壓器的零附件壽命約在10~15年間，若負載變動較大之變壓器容易縮短其零件壽命，故一般建議以10年為一個更換基準，常見的日常維護項目、異常處理方式與零件建議汰換時間彙整如表4.2.2與4.2.3所示。

表 4.2.2 變壓器日常維護項目及異常處理方法

項目	注意要點	異常內容	可能原因	處理對策
運轉狀況	電壓、電流、周溫等觀測或紀錄	指示異常	線路異常	查明原因改善
			紀錄器不良	修理或更換
溫度	線圈溫度計路	異常溫度上升	紀錄器不良	修理或更換
			過負載	降低負載、設備容量
			線圈內部異常	查明原因改善
聲音或震動	有無異常因	鐵心(激磁)聲	過電壓	電壓適當切換
		共振音	共振	消除共振條件
			放置不平	調整放置位置
		鐵心嗶嗶聲	螺絲 螺母鬆弛	鎖緊螺絲
放電聲	接地不完全	接地工程檢查		
臭氣	有無臭氣發生	異常溫度上升	過負載	降低負載、設備容量
			局部過熱	查明原因改善
外觀檢查	端子部分	過熱變色	過負載	降低負載、設備容量
			鎖緊部鬆弛	螺絲鎖緊
	鐵心、線圈等外觀	塵埃附著汙	未清掃	塵埃去除



項目	注意要點	異常內容	可能原因	處理對策
		損		
		樹脂裂痕	溫度異常變化	查明原因改善
	有無放電痕跡	絕緣物碳化	異常電壓侵入	查明原因改善

表 4.2.3 變壓器內零件建議更換週期²¹

品名		建議更新週期	更換工作天數
油、溫度計、放壓裝置		10 年	1 天
內部故障檢出器		10 年	1 天
襯墊		10~15 年	依場所而定
軸承	免給油式	3 年	1 天
	給油式	10 年	1 天
套管		15 年	2 天
冷卻器、冷卻風扇		15 年	1~5 天
閥類		15 年	4 天
送油泵浦		15 年	2 天
油面計、壓力計		15 年	1~2 天

²¹參考資料：士林電機《模鑄式變壓器使用說明書》



4.3 應用篇

應用篇主要內容為介紹校園電力系統、需量控制系統執行績優案例，期望能提供學校總務、行政人員在進行節能改善時有具體案例作為參考²²。

【師範學院】訂定最適契約容量、提高功率因數、抑低尖峰需量			
背景說明	<p>東部某師範學院學校能源使用以電力為主，學校主要建築概分為 6 棟教學大樓、視聽教育館、科學館、美勞館、體育館、圖書館及男女生宿舍等。全年總用電 4,732,000 kWh，總電費約 1,068 萬元/年。平均電價 2.26 元/kWh。宿舍年用柴油 79.8 公秉、總燃油費 119.7 萬元。</p>		
分析	用電情況	契約容量	最高需量(7月)
		1,412 kW	1,636 kW
			最低需量(3月)
			904 kW
	<p>◇全年有 4 個月超約用電，全年超約附加費用支出約 21.6 萬元。 ◇最高最低需量差距：732 kW</p>		
對策	<ol style="list-style-type: none"> 1. 依照本身用電情形訂定最適的契約容量，以減少基本電費及超約罰款的支出。 2. 加裝電容器將功因提高至 99%，估算需加裝電容器容量為 100 kVAR，可增加功因優惠電費並減少線路損失。 3. 建議裝置中央監控系統配合需量控制，抑制尖峰需量以避免超約及減少超約附加費支出。 		
預期效益	<ol style="list-style-type: none"> 1. 調整最適契約容量節省基本電費約 2.2 萬元/年。 2. 改善功率因數增加功因優惠電費 4.1 萬元/年，減少線路損失 1.2 萬元/年，共可節省電費支出約 4.3 萬元/年。 3. 裝設電力監視及需量控制系統後，經由電力需量控制及內部自發性管理，約可減少電費支出約 5~10%，節省 80.2 萬元/年。 		

²²參考資料：經濟部能源局《電能管理需量控制器節能技術手冊》，p74



【市立國中】抑低尖峰需量，減少超約罰款之執行績優案例			
背景說明	座落台北士林區某市立國中，夏季悶熱，為提升學生之學習效率，在上課教室裝設窗型冷氣機，因此電費超出預算很多，為了減少電費支出而建置需量控制系統因應。		
分析	用電情況	契約容量	最高需量(7月)
		640 kW	775 kW
		最低需量(3月)	257 kW
	<p>◇夏季與非夏季之需量差距平均有 40% 以上。</p> <p>◇學校增設之窗型冷氣設備 120 台，每台容量為 2.2kW，活動中心、冰水主機 2 台 40 噸(RT)合計空調設備用電比率 50%。</p> <p>◇給水用水塔共有 8 座，馬達之動力為 5 kW，並無管控。</p> <p>◇照明器具已經改用省電型電子安定器。</p>		
對策	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建構電能管理需量控制裝置進行用電資料蒐集經過 15 天的資料分析電量尖峰時段及發生之機率。 2. 每間教室配置二台冷氣機以教室之地理環境規劃調控之比例，日照多的教室調控的時間比較短，日照少的地方調控時間比較長，最重要的是環境之舒適度儘量能一致避免有意見。 3. 120 台冷氣機提撥 60 台配合舒適度 (PMV) 節電調控指令做任務循環控制來減少流動電費。 4. 另規劃活動中心 80 噸(RT)及部份窗型機做需量調控，把超約抑低在契約容量之 10% 以內。 5. 給水用馬達之運轉移到晚上 10 點 30 分以後之離峰時段每天自動補滿水位，儘量避免白天之尖峰時段增加需量，利用晚上離峰時段之流動電費也比較便宜。 		
預期效益	<ol style="list-style-type: none"> 1. 調控後尖峰需量超約 60 kW，在契約容量之 10% 以內。 2. 節省流動電費 80,000 元、減少超約罰款 200,000 元，合計 280,000 元 3. 設備費用 70 萬元，投資報酬 2.5 年內回收。 		



【國立大學】電能管理落實各部門之用電成本分析執行績優案例			
背景說明	<p>座落新竹某國立大學由營繕組提供之用電歷史資料年度超約罰款高達 600 萬，學校之腹地寬大供電系統採用二條饋線，分別二個電號（電號一）契約容量為 4,500 kW，（電號二）契約容量為 3,524 kW，因為是高壓供電最高契約容量在 5,000 kW 以下，若超過 5,000 kW 就要改為 69 KV 供電。</p>		
分析	<p>電號一：從 5 月開始到 10 月均有超約情形，6 月最高需量為 5,616 kW，比契約多出 1,116 kW (24.8%)。</p> <p>電號二：從 5 月開始到 8 月均有超約情形，6 月最高需量為 4,008 kW，比契約多出 484 kW (13.7%)</p>		
對策	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建議各科館（用電大又有獨立的受電盤）建構電能管理需量控制裝置進行用電資料收集分析再與各科館之主任開會，由各科館主任議訂契約目標及用電量以責任中心方式管理。 2. 在電號一及電號二分別建構電能管理需量控制裝置，透過合成器整合為一需量值與台電電表（TOU）對準後開始蒐集全校之用電趨勢資料（安裝在營繕組）。 3. 透過光纖網路把系統連接進行測試與校正，利用外部同步控制之功能，將電號一、電號二及 7 個科館之裝置共 9 部，與台電電表（TOU）對準需量週期(15 分)後進行用電資料蒐集。核對 7 個科館之用電情形與需量週期是否一致，在營繕組就可查看。 4. 經 2 個月之測試所得數據與各科館協定目標，期初未進行調控用警報方式管理。 		
預期效益	<p>第一期建構的系統只做管理用，約抑低需量 300 kW，節省電費 669,000 元。</p>		
安裝照片			
	需量控制器	負載控制開關	控制建築用電
			
			控制建築用電



第五章 照明篇

5.1 基礎篇

本節能手冊照明篇將提供學校總務、行政人員了解照明系統方面的基本知識與常見的節能手法。基礎篇主要目的為介紹照明系統的基本知識，其內容包含常用的重要名詞、常用的燈具介紹、照明方式與配光特徵等三部份主題，茲分別敘述如後。

5.1.1 常用重要名詞

在照明學中，針對光環境的各種特性與實際的應用，有許多常見的基本名詞，對於這些名詞概念的理解，有助於學校或節能專責人員對於光源的認識及實作測量的數值，有進一步的認知與見解。

一、光源

凡物體自身能發光者，稱做光源，又稱發光體。物理學上指能發出一定波長範圍的電磁波，如太陽、燈以及燃燒的物質等。當光源發出光束，反射被照物被眼睛接收到的過程，其強度可以由光束、光度、照度與輝度定義，如圖 5.1.1 所示。若我們以水柱發出水來代表光源發出光束，則光名詞可由圖 5.1.2 所示。

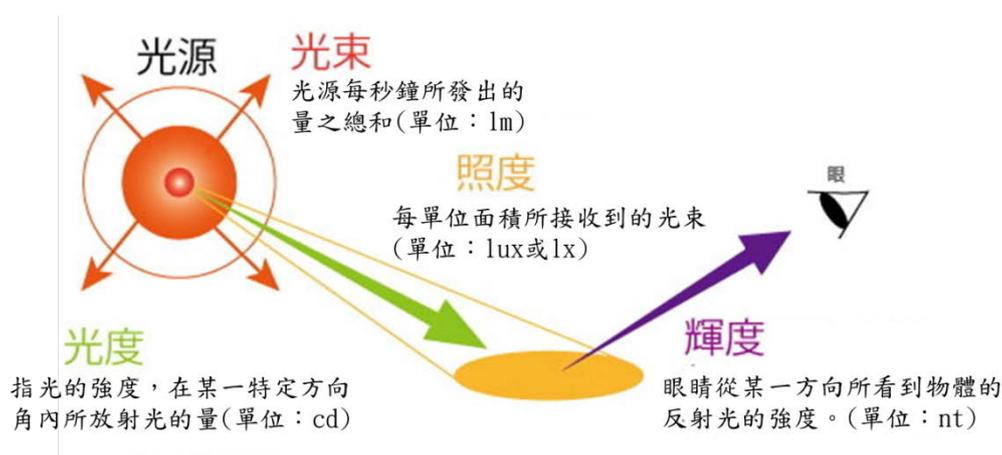
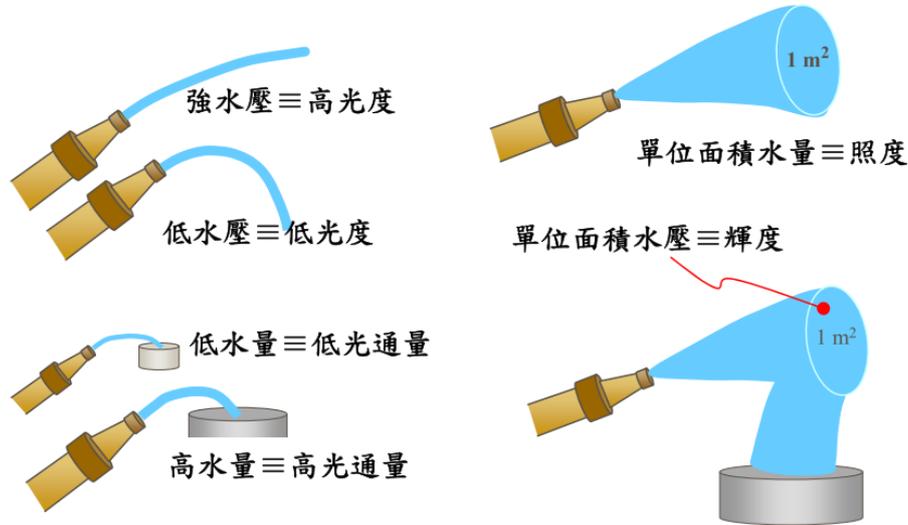


圖 5.1.1 光束、光度、照度與輝度的定義¹

¹參考資料：Daisaku Shoji Ltd - <http://www.daisaku-shoji.co.jp/>



Copyright 2009 ITRI 工業技術研究院

圖 5.1.2 光束、光度、照度與輝度以水量表示²

光源體點亮時之溫度，以黑體加熱至產生相同顏色之溫度，稱為色溫。以絕對溫度 K 來表示，是由凱氏在鋼鐵工廠內觀察到金屬從溶解開始到最高溫度時，發亮呈現出來的顏色不同，並以數據紀錄下來，如圖 5.1.3 所示。不同色溫下的光色可分低色溫、中色溫與高色溫，以下為各色溫所產生的視覺感，並且將常見到的光源/照明色溫資料彙整，如圖 5.1.4 所示。

學校教室適合選用光源色為白色的燈具，其原因為白色光源有明亮、清晰的視覺感，可以促進學習效果。且白色光源燈具中尤以螢光燈最具經濟性，因此為普遍學校教室主要採用之照明光源。

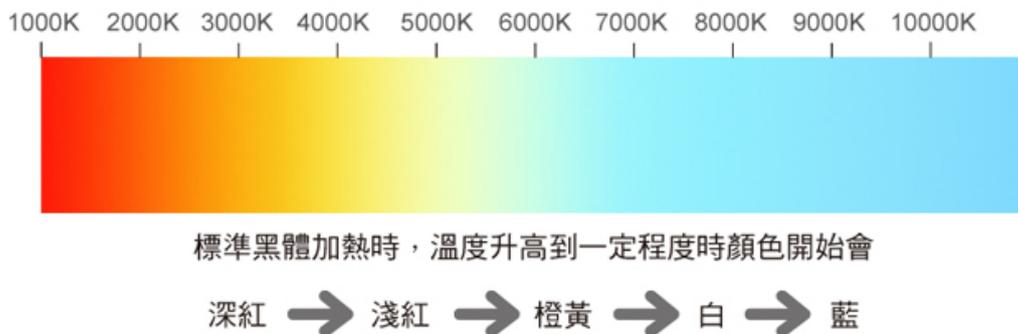


圖 5.1.3 色溫規格表³

²參考資料：工業技術研究院《照明節能實務與應用》

³參考資料：趨勢照明網站 <http://www.trend-lighting.com/shop/blog2.php?id=54>



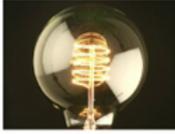
藍天白雲 8000-10000k		暖色螢光燈 2500-3000k	
陰天 6500-7500k		鎢絲燈 2700k	
夏日正午陽光 5500k		鹵素燈 3000k	
下午日光 4000k		高壓汞燈 3450-3750k	
高壓鈉燈 1950-2250k		金屬鹵化物燈 4000-4600k	
蠟燭光 2000k		冷色螢光燈 4000-5000k	

圖 5.1.4 光源/照明色溫資料⁴

二、照度

照度 (illuminance) 其物理定義為” 每單位面積所接收到的光通量” ，符號為 E，照度單位為勒克斯，符號為 Lux。照度表示被照物體照得有多亮，它是照明設計中一個重要的指標，照明設計中對不同的場所和不同的工種要求的照度不同。

$$\text{照度 (Lux)} = \frac{\text{光束 (lm)}}{\text{單位面積 (m}^2\text{)}}$$

光束 (luminous flux) 為發光源每秒鐘所發出光能量之總和。

由上面的方程式可以得到，照度的大小與光源的發光強度成正比；與被照體和光源之間的距離成平方反比，如圖 5.1.5 所示。(除

⁴參考資料：趨勢照明網站 <http://www.trend-lighting.com/shop/blog2.php?id=54>



照度外，宜說明輝度、色溫、演色性)

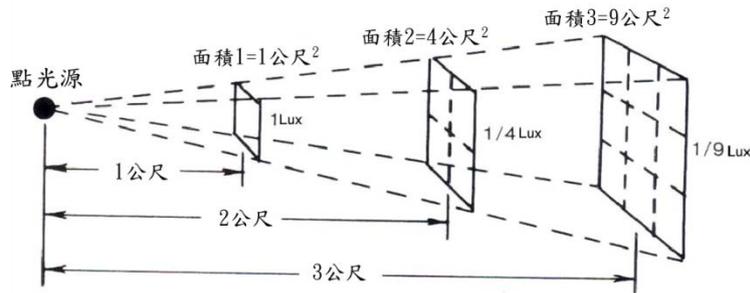


圖 5.1.5 照度與光源距離的關係圖⁵

依據國家標準 CNS 12112 要求，每一個不同使用目的的場所，均有一個參考基準值，供選擇合適的照度來配合實際需要。如一般教師辦公室的照度參考值為 300 Lux，若有閱讀需求時則可利用檯燈作為局部照明，以達到閱讀所需之照度(500 Lux)。對於照度的量測，常採用照度計 (illuminance meter) 如圖 5.1.6 所示。當照度太低時，容易導致眼睛疲勞造成近視，照度太高則過分明亮刺眼，並形成電力的浪費。



圖 5.1.6 各類型照度計⁶

三、功率因素(功率因子)

功率的物理定義：能量轉換或使用的速率，以單位時間的能量大小來表示。符號是 P、單位是瓦特(W)

$$\text{功率 } P \text{ (W)} = \frac{\text{功 } E \text{ (焦耳)}}{\text{時間 } t \text{ (秒)}}$$

從公式可得，瓦特(W)越高表示單位時間用的能力（或電力）越

⁵教育部數位教學資源 <https://isp.moe.edu.tw/>

⁶參考資料：泰菱電子、泰仕電子網路電子型錄



高。在此介紹學校常遇到的名詞-功率因素(又稱功率因子)。

功率因素(功率因子)：有效電流佔總電流之比例，或有效電力量佔有效與無效電力向量和之比例。功率因數是衡量電氣設備效率高低的一個係數，功率因數低，說明電路用於交變磁場轉換的無功功率大，降低用電設備的利用率，增加電源線路供電損失。

目前台電功率因數計算方式係經由計量電表所計量之有效電度(kWh)與無效電度(kVARh)值據以計算用戶平均功率因數。其計算式如下：

$$\text{功率因數} = \frac{kWh}{\sqrt{(kWh^2 + kVARh^2)}}$$

而現行功率因數計收規定係採依電業法第 69 條規定訂定，相關規定為：「用戶每月用電之平均功率因數不及 80%時，每低 1%，該月份電費應增加千分之 3；超過 80%時，每超過 1%，該月份電費應減少千分之 1.5。」

三、發光效率

發光效率(η ，Luminous efficacy)屬於一種光源的參數，為光通量與功率的比值，也就是每瓦所產生的光通量(流明/瓦)單位是(lm/W)，代表輸入 1 W 電力所發出多少光通量單位流明(lm)的光線。

$$\text{發光效率}(\eta) = \frac{\text{光通量}(\text{lm})}{\text{功率}(\text{w})}$$

發光效率是衡量燈具是否節能的一項指標，消耗電力越少而發出的光源越多，表示發光效率愈高，代表越省電，而發光效率依不同功率大小、光源種類及使用情況而有所差異，而學校可選用高效率之光源，表 5.1.1 為一般常用光源的發光效率比較情況。

經濟部能源局指出，照明燈具是控制光源發出的光輸出方向，並對光通量再分配到主要照明環境的裝置，其包括光源、電源連接的照



明用部件與燈具本體，若要獲得舒適的人工光效環境，必須適度調整光源輸出光的投射方向，因此採用適當的燈具乃照明設計的關鍵成功因素。

表 5.1.1 一般常用光源的發光效率比較⁷

燈泡型式	品名	消耗電力(W)	全光束(Lm)	發光效率(Lm/W)	燈泡型式	品名	消耗電力(W)	全光束(Lm)	發光效率(Lm/W)
	白熾燈泡	40	470	11.8		圓型螢光 T8 燈管	30	2450	81.7
		60	780	14.0					
		100	1450	14.5					
	螢光 T8 燈管(傳統型)	20	1150	57.5		鹵素燈泡 MR16	50	1650	34.0
		40	2730	68.3					
	螢光 T8 燈管(三波長)	18	1440	80.0		鹵素燈泡 PAR20/PAR30	50	570	11.4
		38	3400	89.5			75	1030	14.7
	螢光 T5 燈管	14	1350	96.4			250	3600	14.4
		28	2900	104.6	75	1100	14.7		
	螢光 PL 燈管	36	2590	71.9		鹵素燈泡 JVC12	100	1600	16.0
							250	5000	20.0
	螢光 FTL 燈管	18	1140	64.3		水銀燈泡	100	4200	42.0
		26	1710	65.8			400	22000	55.0
	螢光螺旋燈泡	13	670	51.5			1000	57600	57.6
		21	1260	60.0		螢光 3U 燈管	21	1155	55.0
45	2925	65.0	23	1265			55.0		
	LED 燈 10wx4	40	2600	65.0		高壓鈉光燈	150	14000	94.3
							250	28000	112.0
							400	48000	120.0
	LED 燈 2Wx6	12	603	50.3		高壓複金屬燈	150	10500	70.0
							LED 燈 1Wx7	7	490
400	29000	72.5							

五、燈具效率

燈具效率又稱為燈具光輸出比，主要用來評估燈具之能源效率，燈具效率其值愈高愈好，表示可以在被照物表面上產生光亮的效果越高。燈具效率的計算為光源燈具所發出之光通量除以燈具內光源所發出光通量的比值。

⁷參考資料：philips、億光、東亞照明電子型錄 (2010)



照明燈具是控制光源發出的光輸出方向，並對光通量再分配到主要照明環境的裝置，其包括光源、電源連接的照明用部件與燈具本體，若要獲得舒適的人工光效環境，必須適度調整光源輸出光的投射方向，因此採用適當的燈具乃照明設計的關鍵成功因素。

5.1.2 常用燈具介紹

在介紹常用燈具前，先了解照明電光轉換的原理，有助於學校或節能專責人員對於燈具的認識，與進一步的認知與見解。

當電源輸出能源後，會經過安定器/變壓器，供給穩定之電流或電壓至燈管。而燈管則提供光束，在經過不同的燈具，設定配光、眩光控制及提供外觀造型後進入眼睛被我們接收到，其過程可以簡化為圖 5.1.7 所示。

而安定器/變壓器、燈管、燈具則被稱為照明電光轉換三元素。本章節從安定器/變壓器、常用燈管與常用燈具分別作介紹。



圖 5.1.7 電光轉換的過程

一、安定器/變壓器

安定器在螢光燈及高壓放電燈中為重要的零組件，其目的是提供一穩定電源電壓使螢光燈與HID燈等發光，確保燈源性能與壽命。在此介紹安定器常見名詞：

- 安定器耗能：

傳統安定器為矽鋼片鐵心及線圈所構成，因鐵心內有鐵損所以會發熱，且有線圈繞組也是電感性負載，所以會消耗能量，也會造成功率因數落後。

- 安定器因數：

相同燈管搭配待測安定器與試驗用安定器之光輸出比值。



- 安定器效率因數：
安定器因數除以輸入功率。
- 功率因數：
安定器輸入功率與電壓、電流之乘積的比值，可評估安定器將輸入電源轉為有效電源之能力。

而安定器種類分成傳統式與電子式，如表 5.1.2 所示。

表 5.1.2 傳統式與電子式原理與構造

	傳統式安定器	電子式安定器
定義	主要構造為矽鋼片鐵心以漆包線纏繞，構成一抗流線圈，利用電磁感應之原理，產生一瞬間高壓以起動點亮燈管。點亮之後燈管電流經線圈，產生一電感抗壓降，以穩定燈管之工作電流。又稱傳統式或標準型安定器。	利用半導體元件，匹配燈管特性設計高頻電力電子電路，點亮燈管與提供穩定電流，可附加異常保護、功因修正、調光等功能；效率較傳統式高約 10-15%。
優點	<ol style="list-style-type: none"> 1. 價格便宜。 2. 壽命較電子式安定器長。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 採高頻點燈，輸出光波非常穩定而不易閃爍，有助於保護視力。 2. 體積及損失大幅減少，比傳統式可省電 25% 以上。 3. 雜音低兼可調光。 4. 高功率因數。
缺點	<ol style="list-style-type: none"> 1. 低頻，產生閃爍及雜音。 2. 耗電量較高。 3. 易發熱。 4. 易造成燈管閃爍。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 壽命較傳統式安定器短。 2. 售價較傳統式安定器高。 3. 瞬時及預熱點燈有匹配燈管的問題。



提供電子式安定器採購規範：

1. 電源端總電流諧波失真小於 15%，提高用電品質。
2. 具燈管異常檢知保護功能，使用時不閃爍、保護燈管。
3. 具併聯點燈功能，一燈不亮時，另一燈點燈正常。
4. 功率因數 98%以上，提高設備使用率，經濟、省電。
5. 燈具點燈噪音 20dB 以下。
6. 瞬時及預熱點燈的燈管匹配問題。
7. 選用時需特別注意適用燈管及功率因數。

多比較各燈具之 lm/w

加強含汞量說明與使用壽命

二、常用燈管

在此介紹日光燈、鹵素燈、複金屬燈、LED 燈、CCFL 冷陰極燈、省電燈泡等。

(一)、日光燈(螢光燈管)

螢光燈即為俗稱之日光燈，主要為利用管內低壓水銀蒸氣放電發出紫外線，以激發管壁上之螢光物質發出可見光之照明裝置。與一般燈泡不大相同，傳統式螢光燈需要設有安定器及啟動器的配合讓氣體發生電離的瞬間高壓。螢光燈的基本構件為一玻璃管，根據瓦數與設計而有不同的管徑與長度；一般學校教室或辦公室採用光源方面以直型螢光燈管居多，常見螢光燈類型有傳統 T9 型、T8 型、及高頻三波長螢光燈管 T8 及 T5 等，如圖 5.1.8。

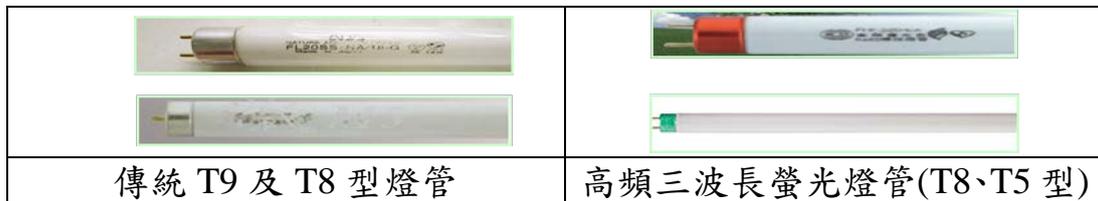


圖 5.1.8 螢光燈管種類⁸

⁸參考資料：東亞照明電子型錄(2010)，phillips



目前螢光燈管提供多種色溫選擇，包括 4,000K~6,500K 等依據不同環境需求以購買，另外，三波長太陽光色螢光燈管也是一種新選項，三波長太陽光燈管主要集中了對人類肉眼色覺識別能力最佳的(光的三原色)藍色(452nm)、綠色(543nm)、紅色(611nm)組合的一種高效率、演色性佳的白光色，適用的場合包括辦公室、商店、學校、醫院、高級住宅、飯店、照相攝影、百貨公司、銀行等。

(二)、鹵素燈

鹵素燈的形式如圖 5.1.9 所示，主要在鎢絲燈管內封入惰性氣體、碘、溴等鹵素物質，而鹵素燈使用壽命為一般白熾燈泡之兩倍，但鹵素燈在調暗情況下無法達到鹵鎢循環的必要溫度就會容易生黑化現象，故至少每周開至全亮數小時，以利鹵鎢作用來清潔燈壁。

其中，石英鹵素燈則由耐高溫的石英管、鎢絲、鉬箔、燈帽及內部的高壓氬氣與微量的溴或碘等鹵素所構成，其燈帽採耐高溫(2500°C)之黏著劑，此與一般電燈泡不同。而石英鹵素燈內由於有微量的鹵素氣體，藉著鹵素循環作用，減輕燈泡的光衰及壽命末期的黑化現象，並保持初期的發光效率。

		
J 型鹵素燈泡	PAR 型鹵素燈泡	JCV 型鹵素燈泡
		
QR-111 型鹵素燈泡	MR16 型 鹵素燈泡	JDR 型鹵素燈泡

圖 5.1.9 各類型石英鹵素燈泡⁹

⁹參考資料：東亞照明電子型錄(2010)



一般來說鹵素燈泡的優點包括亮度足夠、配光設計容易、光衰小，壽命終了時光輸出仍達初光束 90%、色溫柔和，對於居家或商店賣場的環境氣氛營造大有助益，但其缺點為耗電量高（單顆若為 50W，每天使用 12 小時，具有 30 顆，一年耗電則逾 6 千度），並有高溫高熱、壽命短等缺點，通常於節能燈具的取代上可由相對應燈頭之 LED 燈所取代。鹵素燈之優缺點如表 5.1.3。

表 5.1.3 鹵素燈的優缺點分析¹⁰

優點	缺點
<ol style="list-style-type: none"> 1. 亮度充足、配光設計容易 2. 演色性佳。 3. 光衰小，壽命終了時光輸出仍達初光束 90%。 4. 色溫柔和，常用於氣氛營造及物品展示。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 耗電量極高，已慢慢規劃被 LED 等燈種取代。 2. 高溫高熱易造成空調負荷與能源浪費。 3. 壽命較短。

（三）、複金屬燈

複金屬燈亦稱為金屬鹵化物燈，是目前 HID 燈系列中較為被廣泛採用之光源。複金屬燈主要為高壓水銀燈添加鹵化金屬，可以依照不同用途變換適合之光能分布，除了可以常使用在一般室外照明外，並可作為複寫，光化學，植物育成及漁業用等多元用途的光源。另外，清光型的複金屬燈可以提供較大的光輸出量，適用於具有控光設計之燈具，而螢光型燈泡則可提供較均勻亮度及較暖光色，所塑造的光影效果亦較柔和，應用鋁反射塗層可製成 PAR 燈，提供為投射照明用光源。

複金屬燈的優點包括有光色自然、瓦特數從 32 ~ 2,000W，光束從 2,000~210,000 流明之寬廣範圍，故包含許多室內、室外各種場所都能適用，例如一般賣場、百貨公司、辦公大樓、商業空間之

¹⁰ 參考資料：經濟部能源局《照明節能產品應用手冊》



基本與重點照明、展覽館、體育館、室內外運動場、戶外投光照明、建築景觀照明、停車場照明等，其優缺點分析如表 5.1.4。

表 5.1.4 複金屬燈的優缺點分析¹¹

優點	缺點
1. 發光效率佳 2. 色溫從 3,200K 到 4,000K，瓦特數從 32~2,000W，光束 2,000~210,000 流明，可適用於各種室內外場所之基本及重點照明	1. 較長的熱起動時間 2. 有音頻共振特性，使其弧光輸出閃爍及色溫改變情形 3. 燈具及燈泡價格較為昂貴

(四)、LED 燈

LED 燈主要利用半導體 PN 接合面發光原理製成，最先發展為弘光 LED 燈並於 1964 年成功製成，而後一直至 1994 年則由日本 Nichia 公司陸續成功開發出綠色、藍色、及白光 LED，如圖 5.1.10。

在 LED 將微小半導體晶片封裝在環氧樹脂物中，當兩端加上順向電壓使電子經過晶片時，電子便會移動至電洞區域並與之複合進而產生光子，因為其能量分佈在可見光的頻譜範圍內，以藍色光、紫色光攜帶的能量最多而呈現白光偏藍的顏色，不同的半導體材料具有不同的能帶隙，故能發出不同顏色的光，若複利用不同螢光粉可將光顏色轉變成演色性更高且更舒適的色光。

LED 燈優異的特性包括省電、耐震動，回應速度快、冷光源、壽命長可降低燈具維護費用，另外，由於 LED 燈屬於為固體發光體，不含水銀等危害健康物質，另因體積小，可便於發展輕便薄短小型照明產品。所以，目前 LED 燈光源被廣泛用於日常生活中，例如家用電器、電話機、車用電子、各類指示燈及信號燈、顯示螢幕及戶外景觀照明等。尤其 LED 燈之節電效果極被看好，據經濟部能源局

¹¹參考資料：經濟部能源局《照明節能產品應用手冊》



指出，單顆 LED 燈功率自小瓦數 50 mW 至大瓦數 1 W 以上，而在同樣照明效果下，用電量僅為白熾燈泡的 1/8，螢光燈管的 1/2。



圖 5.1.10 各類型LED燈具¹²

但目前 LED 燈也有許多亟待解決的問題，包括色溫度頻譜、散熱處理、光源衰減以及價格昂貴等，也尚未有統一規範及照明評估標準，故目前 LED 燈主要還是以光色照明、戶外空間照明或特殊照明為主，待未來相關技術及價格有所突破時可期更進一步擴展到一般照明領域中。關於 LED 燈之優缺點分析如表 5.1.5。

表 5.1.5 LED燈的優缺點分析¹³

優點	缺點
<ol style="list-style-type: none"> 1. 發光效率佳，同樣照明效果下，用電量僅為白熾燈泡的 1/8，螢光燈管的 1/2 2. 屬於冷光源且壽命長，可降低燈具維護費用 3. 屬固體發光體，不含水銀等危害健康物質 4. 體積小，便於發展輕便薄短小型之照明產品 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 電路元件之散熱處理問題 2. LED 晶體之光源衰減問題 3. 價格相較一般傳統光源昂貴 4. 室內燈具設備目前尚未有統一規範及照明評估標準 5. 近年技術發展快速，但市場上產品品質參差不齊 6. 藍光所造成視力退化疑慮

¹²參考資料：東亞照明電子型錄(2010)

¹³參考資料：經濟部能源局《照明節能產品應用手冊》



(五)、CCFL 冷陰極燈

冷陰極管(CCFL)也是目前常見的省電光源之一，其應用包含一般螢幕之背光源、逃生指示燈、及省電燈泡等，如圖 5.1.11。因冷陰極燈管不使用燈絲，故無燈絲燒斷或摔斷問題，因此有較為可靠使用壽命，長可達 50,000~70,000 hrs，此外具備低發熱量、容易調光而變化亮度、另外可以引導至燈具的輕薄短小化等優點。



圖 5.1.11 冷陰極管的應用¹⁴

由於冷陰極管具有安定的光譜分佈，適用於掃描器、傳真機彩色系統的光源、車用電子照明、超薄型燈箱、指示照明、室內裝飾用照明及其它各種顯示器用光源。惟冷陰極管可能的燈管易破碎，故需要考量有較完整的外殼保護及適當設置的地點為佳，關於傳統及冷陰極管的緊急照明燈比較如表 5.1.6。

表 5.1.6 傳統與冷陰極管 (CCFL) 緊急照明燈具之比較表¹⁵

項目	傳統緊急出口照明燈具	CCFL 緊急出口照明燈具
消耗功率	60W、40W、17W	18W、12W、6.6W
輸入電壓	110V/220V	90V~265V 共用電子式安定器
燈管壽命	3,000hrs~7,500hrs	50,000hrs(亮度衰減 50%)
厚度	5 cm~10 cm	2-3 cm
維修	須年固定更換燈管	近乎免維修
電池	使用鉛酸電池 2 年須更換	鎳氫電池壽命達 3-5 年以上

關於冷陰極管之優缺點分析如表 5.1.7。

¹⁴參考資料：威力盟電子型錄(2010)

¹⁵參考資料：經濟部能源局《照明節能產品應用手冊》

表 5.1.7 冷陰極管的優缺點分析¹⁶

優點	缺點
1. 燈管壽命長，可達 50,000~70,000 小時 2. 低發熱量 3. 可調光而變化亮度 4. 可發展輕薄短小化之燈具	1. 含有微量水銀等有害氣體 2. 燈管易碎，需考量較完整之外殼保護及設置地點 3. 輝度較高 4. 價格相較一般傳統燈具高

(六)、省電燈泡

緊密型螢光燈管有 PL 燈、省電燈泡及螺旋型省電燈泡等幾種主要型態，最早於 1980 年推出 PL 燈種，目前通稱為 PL 螢光燈，緊密型螢光燈主要發光原理與螢光燈相同，為低壓水銀放電燈，燈管內部充填水銀蒸氣，與少量氬氣用以幫助點燈，管壁內側塗布一層螢光粉；點燈時燈管兩側電極加上電壓而放電，使氣體中水銀蒸氣受到激發放發出紫外線，再激發螢光粉而發光。

另外，其特性為管徑較小，因而縮小體積燈管並折成 U 型，但由於燈管彎折可能導致燈管內的電子流不順暢，而增加燈管折數也可能產生輝度提高的問題。緊密型螢光燈適用的場所包括一般商場、櫥窗、餐廳、旅館、畫廊、博物館、家庭及辦公室等之全面照明或輔助照明等。此外，若將安定器內藏與螢光燈結合在一起，即為安定器內藏型螢光燈泡，俗稱省電燈泡，主要是其用電量僅約為普通鎢絲(白熾)燈泡之 1/3 而得名，另外亦具有重量輕、相同亮度下瓦數低、演色性佳及光衰低等，並可直接以 E27 燈帽汰換傳統之鎢絲(白熾)燈泡。

除了圓球型省電燈泡外，另外螺旋型省電燈泡則因螺旋燈體的設計而加強其共振發光效率，並減低燈管相互遮蔽率，此外，市售之螺旋燈大都以電子式安定器的設計，因此能有效降低耗電功率、

¹⁶參考資料：經濟部能源局《照明節能產品應用手冊》



提升發光效率及散熱效率等。根據專家研究，若以省電燈泡圓球型與螺旋型來比較，前者是在螺旋型的燈管外再加一層玻璃外罩，會使發光效率有所減損，如以相同的光亮度來看，沒有玻璃罩的螺旋型比圓球型省電。目前常見之緊密型螢光燈，包括有 PL 燈、3U 型、圓球型及螺旋型省電燈泡等型式如圖 5.1.12 所示。關於緊密型螢光燈之優缺點分析如表 5.1.8。



圖 5.1.12 緊密型螢光燈¹⁷ (PL燈、圓球型及螺旋型省電燈泡)

表 5.1.8 緊密型螢光燈的優缺點分析¹⁸

優點	缺點
相對於傳統白熾燈泡： 1. 重量輕且耗電量僅約 1/3 2. 發光效率較傳統燈泡高 3. 可直接以 E27 燈帽汰換傳統白熾燈泡	1. 發光原理與螢光燈相同，含有水銀成分 2. 頻繁開關下容易造成其電子安定器的損壞 3. 增加燈管摺數，可能產生輝度提高

三、常用燈具

燈具的定義為光源體與外部結構體構成之照明器具，以達到配置光線與保護光源體之目的，並提供光源體之電源供應。燈具重要元素：配光、造型、效率、使用舒適度等。以下介紹常用燈具的外

¹⁷參考資料：東亞照明電子型錄(2010)、philips

¹⁸參考資料：經濟部能源局《照明節能產品應用手冊》



部結構，可分為燈箱、反射罩、格柵(如圖 5.1.13 所示)：

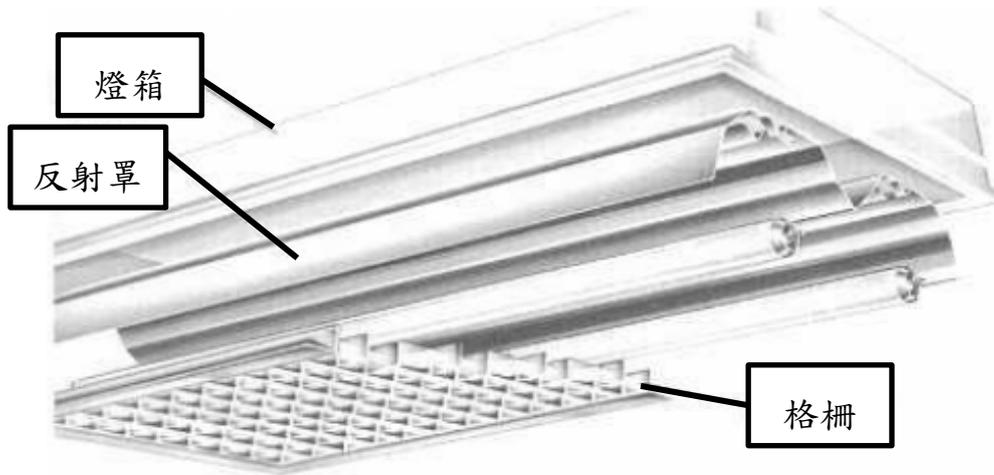


圖 5.1.13 燈具的外部結構¹⁹

(一)、燈箱 (Fixture Housing)

為燈具之支撐結構，可分為嵌入式、吸頂式與懸吊式三大類。其不同的燈箱的外表可以由表 5.1.9 所示。

表 5.1.9 燈箱種類

	嵌入式	吸頂式	懸吊式
敘述	將燈具嵌入天花板中，在視覺尚可避免燈具本身造成突兀的觀感。	適合一般未加釘天花板之空間或強調燈具造型之用途。	燈具以懸吊構件懸吊，吊燈之造型外觀常成為空間中裝飾之要件與視覺之焦點。
範例			

(二)、反射罩 (Reflector)

¹⁹ 參考資料：工業技術研究院《照明節能實務與應用》



依光線的反射特性所設計的反射罩是燈具配光與控光功能之基礎，亦可改善燈具之效率。常見反射罩種類可分為橢圓面、拋物面與雙曲面等類型，如同圖 1.14 所示。

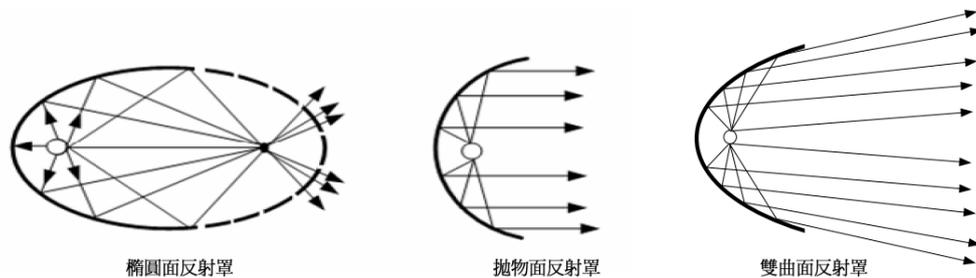


圖 5.1.14 反射罩光學性質²⁰

(三)、格柵 (Louvers)

置於燈具之光輸出面，主要功能為遮擋光源體之直接光減少眩光，並增加導光效果。如圖 5.1.15 所示



圖 5.1.15 輕鋼架嵌入式格柵燈²¹

5.1.3 照明方式與配光特徵(直接、擴散、間接)

常見燈具依光通量於上下空間分佈及配光比例可分三類：直接照明、擴散照明及間接照明等，如圖 5.1.16 所示。

一、直接照明燈具(direct lighting luminaire)

光線通過燈具射出，其中 90%的光通量到達假定的工作面上，

²⁰參考資料：黃俊明(2006)

²¹參考資料：周鼎金《學校照明節能改善手法》



這種照明方式為直接照明，光通量利用率最高。

二、擴散照明燈具(diffused lighting luminaire)

燈具向上向下的光通量幾乎相同（各占 40%-60%）。利用燈具的折射功能來控制眩光，將光線向四周擴散漫散。另一種是用半透明燈罩把光線全部封閉而產生漫射，因此光通利用率較低。

三、間接照明燈具(indirect lighting luminaire)

間接照明方式是將光源遮蔽而產生的間接光的照明方式，其中 90%—100%的光通量通過天棚或牆面反射作用於工作面，10%以下的光線則直接照射工作面。

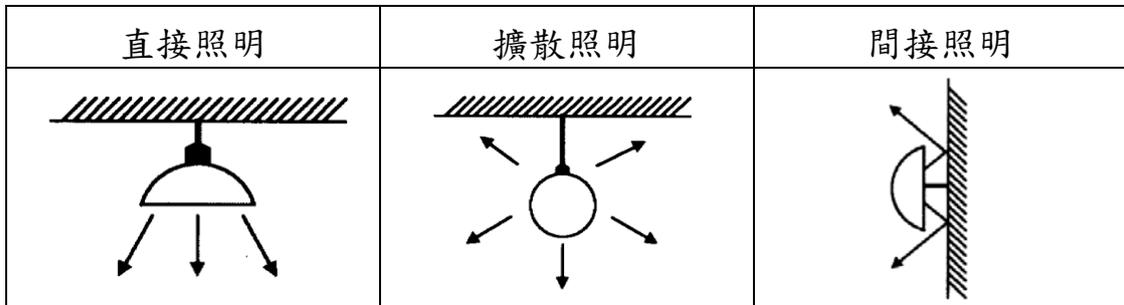


圖 5.1.16 室內燈具的分類與配光²²

²²參考資料：經濟部能源局《照明節能產品應用手冊》



5.2 實務篇

5.2.1 校園照明設備選用及設計原則

行政院於 100 年 5 月核定「政府機關及學校四省（省電、省油、省水、省紙）專案計畫」，對於每年度辦理之機關學校執行成效評鑑。

考核項目，擴大為「省電、省油、省水、省紙」4 項；然而，為協助各級學校在學童視力和節能減碳任務中取得平衡，並以維護學童視力發育為優先目標，本章節介紹了校園各區域照明設備選用及設計原則及校園常見照明節能設計方式，期許能為永續校園的發展與打造學童健康、舒適、節能的學習環境做努力。

一、校園各區域照明設備選用與設計原則

學校各種教學場所主要包括各類型教室（音樂、電腦、美術、一般教室等）、禮堂、圖書館、活動中心及游泳池等場所，依據 CNS12112 的照度標準除美術教室、製圖教室為 750Lux 較高外，其餘教學場所大多以 500Lux 為標準；各場所除照度的基本要求外，燈具安裝位置、是否利用自然採光或因眩光而易對視力產生影響皆為空間照明選用與設計時的重要參考依據。故本節將依據學校之空間特性如圖書館、教室、辦公室、停車場、體育館等及燈具配置、燈具種類選用原則等做介紹與說明。

（一）、一般教室

針對一般課堂教學空間，舉凡一般教室、專業教室、講演為主之教學場所，學生視線方向長時間朝向黑板聽講，有時需在桌面上寫字或閱讀，眼睛視線偏向水平線及其上方，屬於上仰方向，因此照明品質除照度之充足外，尤應著重在眩光的防制與閃爍的降低，以提供舒適而穩定之照明環境。在照度標準上一般教室皆以 500Lux 為基準。



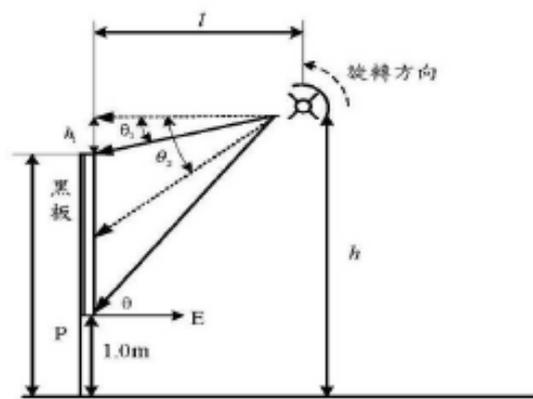
【燈具配置與選用】

教室內的燈具配置主要可分為黑板用燈具及課桌區照明燈具兩大區塊，以下針對其燈具配置原則說明如下。

教室黑板用燈具配置原則：

黑板照明原則以上下、左右應保持均勻照度，其照度標準以 750Lux 為基準，並具備有下列諸條件：

1. 防止學生注視黑板時，因黑板光源引起反光現象。
2. 照射黑板之光源應裝設於教室內學生視線仰角 45 度上端，避免燈具產生刺眼現象，如圖 5.2.1 所示。
3. 教師眼睛的高度平均為 1.55 公尺，其仰角 45 度內也不應有照射黑板之光源。



資料來源：經濟部能源局-「照明節能產品應用手冊」

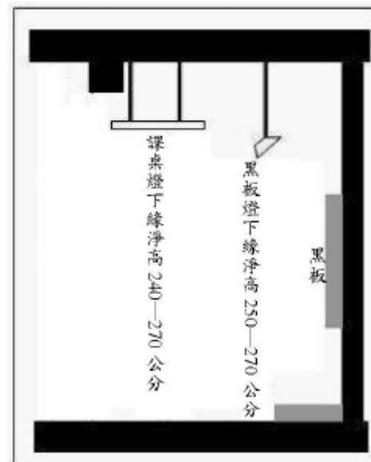


圖 5.2.1 黑板燈具裝設位置與投光照射角度²³

教室課桌區照明燈具配置原則：

一般教室若在桌面上方正面反射區域有照明器具存在時，將會產生嚴重的反射，因此照明燈具的裝設位置，必須避開正反射區域，如圖 5.2.2 所示。另外在照明燈具與黑板平行或垂直的實驗比較中，其中燈具與黑板平行方式較易使眼睛疲勞，而燈具與黑板垂直配置，視線方向與光源方向平行可防止眩光的產生，另外；可搭配燈具迴

²³參考資料：經濟部能源局《照明節能產品應用手冊》



路控制設計，靠窗兩邊可以單獨迴路，日照充足時可以關閉靠窗迴路。如圖 5.2.3 所示

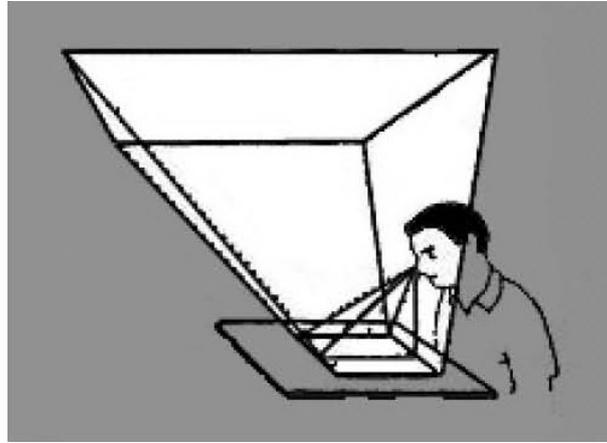


圖 5.2.2 容易產生反射光幕之正反射區²⁴

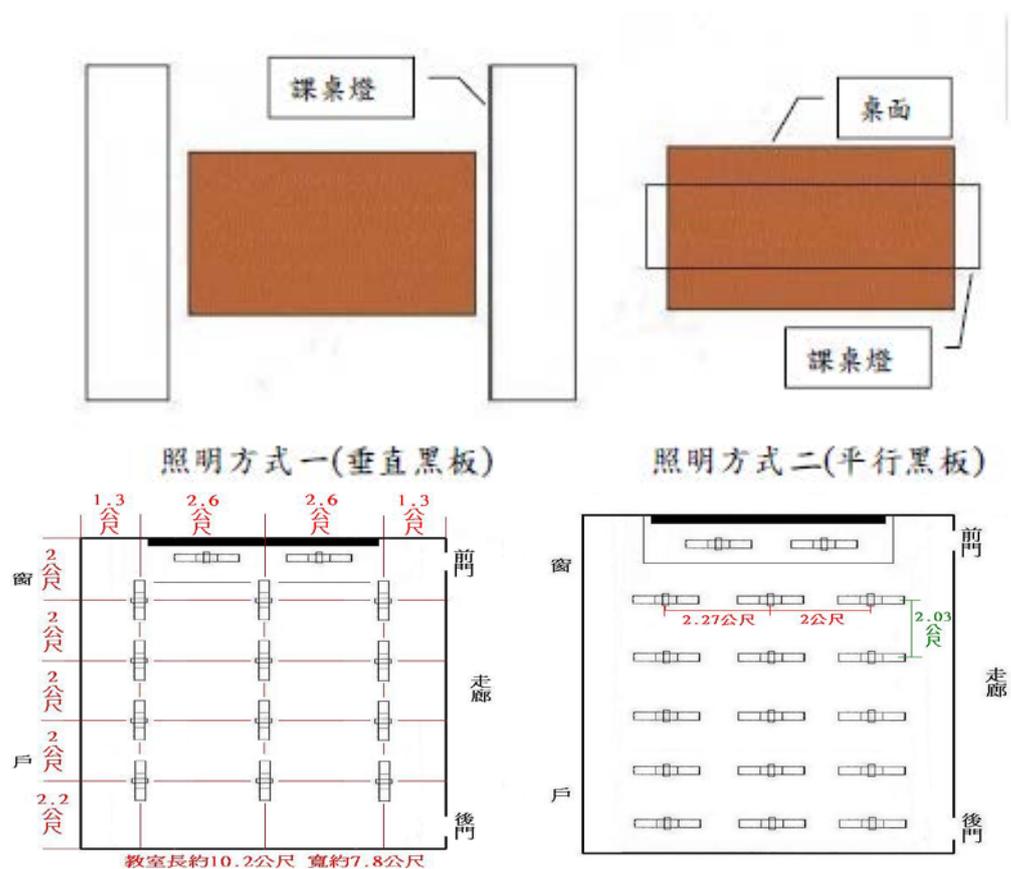


圖 5.2.3 桌面與燈具擺設相關位置圖²⁵

²⁴參考資料：教育部《學校教室照明節能手冊》

²⁵參考資料：經濟部能源局《照明節能產品應用手冊》



教室燈具該採用何種形式：

一般教室在燈具選用上建議採用 T5 電子式螢光燈具，並搭配鏡面反射提升整體照度並減少燈具數量，其較 T8 傳統式螢光燈具約有 30% 節能效率。LED 燈具部分除單價較高外，考慮藍光因素目前尚未有適合教室使用之 LED 燈檢驗標準，故仍不建議使用於各類型教學場所。此外，目前國內學校教室的天花板燈仍採用裸露式燈管，在改善照明的要求下，天花板面照明應選擇低眩光之燈具，如具遮光角或格柵型燈具，其相關燈具種類與排列配置建議如下表 5.2.1 所示。

表 5.2.1 燈具遮光角與排列關係建議²⁶

等級	燈具種類	燈具排列原則
1	無遮光角	與黑板垂直
2	具遮光角(24度以上)	與黑板平行
3	具遮光格柵	與黑板平行或垂直

(二)、辦公室

辦公室工作時間較長，且辦公室人員使用電腦、書寫文字通常眼睛視線方向長時偏向水平線及其下方，屬俯角方向，因此偏重在閃爍之防制；至於眩光，僅剩下反射眩光部分，則以桌面擺設與採用低反射桌面材料來降低，與燈具種類較無直接關係。在照度標準方面參考 CNS12112 訂定之標準辦公室以 500Lux 為基準。

【燈具配置與選用】

辦公室空間在燈具選用上建議採用 T5 電子式螢光燈具，並搭配鏡面反射提升整體照度並減少燈具數量。此外，辦公室成員一般進

²⁶ 參考資料：工業技術研究院《照明節能實務與應用》



出頻繁易造成燈具控制難度較高，故建議，再配置桌燈(閱讀燈)之型式，輔助局部需求照度之要求，並分區分組進行開關設計。



圖 5.2.4 辦公室應採分區開關並搭配桌燈使用²⁷

(三)、圖書館、禮堂等開放空間

圖書館、禮堂等開放空間常有挑高設計與使用過多間接照明等問題，由於燈具照度與其照射距離成反比往往造成空間照度不足或燈具排列過密等問題，故應選用適當燈具、降低燈具高度並減少間接照明使用。在照度標準方面參考 CNS12112 訂定之標準，除書架照度需求 200Lux 較低外，其餘閱讀區、櫃台等空間照度皆以 500Lux 為基準。此外，在圖書館中通常眼睛視線方向長時偏向水平線及其下方，屬俯角方向，因此較偏重閃爍防制及桌面反光部分。

【燈具配置與選用】

學校圖書館、禮堂等開放空間在燈具配置上建議靠窗邊之迴路設計可採用自動點滅裝置或自動晝光控制系統，當光線充足時會自動切掉光源，當光線不足即點燈補充光線，達到節能及照明之需求。另外，書庫(架)區也可採用感應式自動點滅裝置，平時無人取書時可用基本通道照明，當人員進入書庫區再點亮該區照明即可。而在燈具選用上

²⁷參考資料：周鼎金《學校照明節能改善手法》



一般仍建議以 T5 電子式安定器之燈具優先使用，且燈具上須設置鏡面反射板，以提高燈具效率增加工作面之照度。

(四)、停車場

學校停車場一般針對地下停車場部分有較大節能改善空間，包括透過時序控制、照明減載、搭配感應式開關、利用自然採光及汰換高效率燈具等手法。在照度標準方面參考 CNS12112 訂定之標準，除在進出口部分需辨識來往車輛所以有較高照度需求(約 300Lux)之外，其餘車道、停車位等處照度要求約在 75~150Lux 之間即可。

【燈具配置與選用】

在燈具配置上，一般地下停車場往往採用全面式照明，建議停車場車道上方燈具可區分為單、雙區迴路控制，並在上下班尖峰期採雙迴路開啟提高照度，平時則採用單迴路開啟、停車區間採用感應式開關控制區間照明啟閉，如圖 5.2.5 所示。而在燈具選用上由於地下停車場較無長時間閱讀等需求，且燈具使用時間長，故建議可汰換為節能效率較佳之 LED 燈具，提高節能成效。

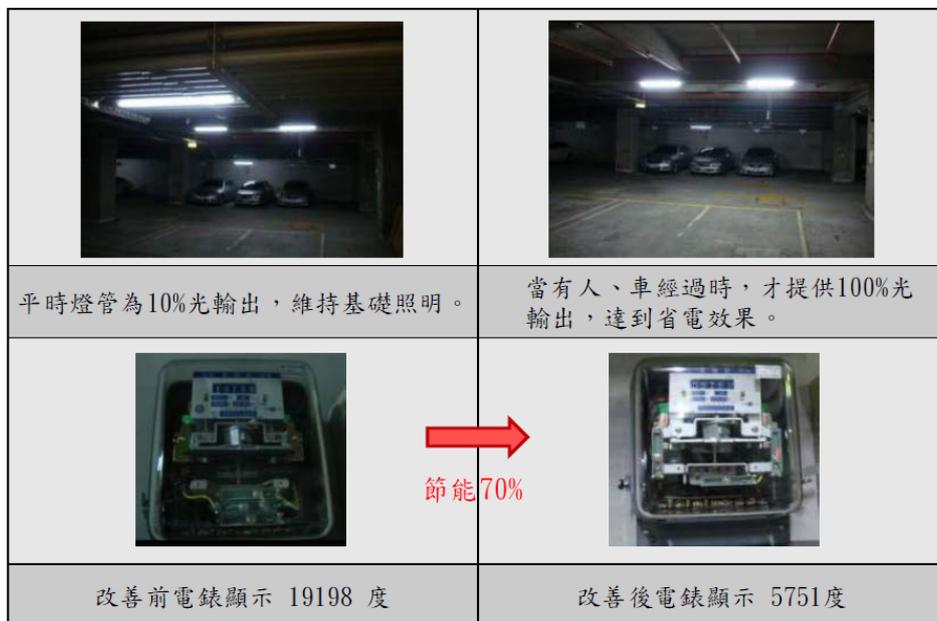


圖 5.2.5 地下停車場調光控制案例²⁸

²⁸參考資料：周鼎金《學校照明節能改善手法》



(五)、體育館、游泳池、活動中心等場所

一般體育館、游泳池及活動中心等教學場所大多可利用自然採光提高室內照度，其需要人工輔助照明主要為陰天或夜間運動時使用，故其設計目地主要在於提供必要之最低照度以供辨別環境之需，對於眩光與閃爍之要求並非重點，燈具安裝位置及是否易維護、汰換及節約能源才是設計重點。

【燈具配置與選用】

在燈具配置上除體育館因為球類運動需求較難降低燈具高度之外，活動中心及游泳池可透過適當降低燈具提高照度，並減少燈具數量及提升維修便利性。此外，應多利用自然採光提高室內照明亮度，在白天光線充足情況下亦可減少照明設備開啟時間，如圖 5.2.6 與 5.2.7 所示。在燈具選用上，考慮燈具維護性與挑高距離影響燈具照度等因素，一般不建議採用螢光燈具，而應該以複金屬燈、LED 燈等較大光輸出量及發光效率之燈具為主。



圖 5.2.6 學校游泳池應多利用自然採光(左圖)並減少間接照明(右圖)



圖 5.2.7 活動中心可利用自然採光(左圖)，不建議使用螢光燈具(右圖)



二、校園常見照明設計節能方式

一般校園常見照明設計節能方式包含燈具的選用、室內裝修材料的搭配、時序或感應控制開關的運用及自然採光的輔助等進行節能工作，茲分項說明如下。

【各種燈具比較與選用】

一般校園常見的燈具已在基礎篇進行詳細的介紹，包含日光燈、鹵素燈、複金屬燈、省電燈泡、LED 燈及 CCFL 冷陰極燈等種類，其中各式螢光燈具選用準則可依據「長的比短的好；彎得越多越糟糕」的簡單口訣作為選用原則。各種常見燈具的發光效率、壽命及優缺點彙整如表 5.2.2 所列。

此外，參考國內節能標章及 CNS691 的驗證標準，未達 1 公尺之燈具其各種色溫之燈具其發光效率皆須達到 78(lm/W)；1 公尺以上燈具其發光效率至少應達 86(lm/W)，故一般白熾燈泡、鹵素燈泡及省電燈泡皆已不符合節能標章之規定。

表 5.2.2 各類常見燈具發光效率、使用壽命彙整表²⁹

項目	白熾燈	鹵素燈泡	省電燈泡	PL 燈	日光燈	T5燈泡	LED 燈
							
發光效率 (流明/瓦)	8~20	18~20	30~50	58~87	50~80	56~90 (120)	70~160
壽命(時)	1000	2000~ 3000	6000	6000	7000	10,000	3萬~10萬

若比較各種燈具改善效益並以 5 年、10 年作為評估基準比較白熾燈、鹵素燈、省電燈泡(螺旋、球型)、LED 燈泡、冷陰極管(CCFL)、T8 與 T5 螢光燈及 LED 燈管。若使用 5 年之燈泡類以省電燈泡總費

²⁹ 參考資料：蕭弘清《因應節能減碳生活之校園燈具選擇與應用》



用最低、燈管則以 T5 燈具總費用為最低；當使用年限拉長至 10 年時，燈泡類則以 LED 燈泡最低、燈管部分仍以 T5 燈具為最低。其彙整如表 5.2.3 所列。

表 5.2.3 各式燈具改善效益評估表³⁰

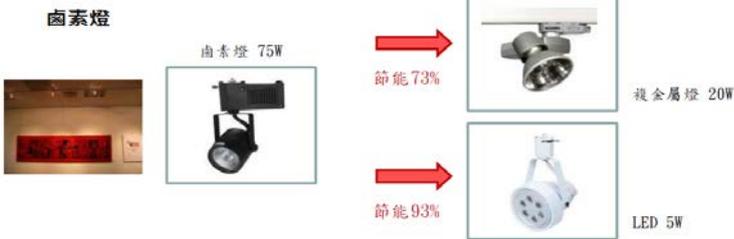
編號	光源條件												5年				10年			
	光源	廠牌	規格 (W)	光源光通量 (lm)	首次安裝費含光源(元)	光源單價(元)	光源壽命 (Hr)	光源效率 (lm/W)	盞數	平均照度(Lux)	燈具初設成本	光源初設成本	光源更換次數	光源更換價格	電費	總費用	光源更換次數	光源更換價格	電費	總費用
1	白熾燈	東亞	100	1450	300	50	1200	14.5	6	210.92	1500	300	8	2400	18000	22200	16	4800	36000	42600
2	鹵素燈	歐司朗	75	1425	350	100	1500	19	6	207.28	1500	600	6	3600	13500	19200	13	7800	27000	36900
3	省電燈泡(球形)21W	東亞	21	1050	400	150	6000	50	7	213.83	1750	1050	1	1050	4410	8260	3	3150	8820	14770
4	省電燈泡(螺旋)21W	東亞	21	1260	400	150	6000	60	8	203.64	2000	1200	1	1200	5040	9440	3	3600	10080	16880
5	LED燈泡	億光	11	920	850	600	30000	83.6	9	200.73	2250	5400	0	0	2970	10620	0	0	5940	13590
6	冷陰極管 CCLF	威力盟	21	1323	600	350	20000	63	6	192.44	1500	2100	0	0	3780	7380	0	0	7560	11160
7	T8 螢光燈	東亞	40	3100	890	90	10000	77.5	2	178.49	1600	180	0	0	2400	4180	1	180	4800	6760
8	T5 螢光燈	東亞	28	2900	1150	150	20000	103.6	2	166.98	2000	300	0	0	1680	3980	0	0	3360	5660
9	LED 燈管	億光	20	1600	2200	1200	35000	80	4	184.25	4000	4800	0	0	2400	11200	0	0	4800	13600

校園中各區域(如走廊、廁所、圖書館、教室等)若選用適當節能燈具其節能率至少有 30%以上，若將白熾燈汰換為 LED 燈或傳統方向指示燈汰換為 LED 型式指示燈更能達 90%以上節能率，其彙整如表 5.2.4 所列。

³⁰參考資料：蕭弘清《因應節能減碳生活之校園燈具選擇與應用》



表 5.2.4 彙整校園內各種場所建議汰換之節能燈具³¹

汰換場所	汰換燈具與汰換後節能率
教室走廊、廁所、樓梯間等場所	<p>白熾燈 60W → 省電燈泡17W (節能71%) → 省電燈泡13W (節能78%) → LED 4.1W (節能93%)</p> 
地下停車場、機房、體育館走廊等場所	<p>T8 40W 螢光燈管</p> <p>傳統螢光燈T8、T9 40W → T5 螢光燈28W (節能30%) → LED 8.5W (節能70%)</p> 
圖書館公共空間、禮堂、展覽廳等場所	<p>鹵素燈</p> <p>鹵素燈 75W → 複金屬燈 20W (節能73%)</p> <p>鹵素燈 75W → LED 5W (節能93%)</p> 
體育館、游泳池、活動中心等場所	<p>水銀燈</p> <p>水銀燈400W → 陶瓷複金屬燈250W (節能38%)</p> 
一般教室、辦公室、圖書館等場所	<p>T-bar型 T8 20WX4</p> <p>T-BAR型 傳統T8 20WX4 螢光燈具 → T-BAR型T5 14WX4 螢光燈具 (節能30%)</p> 
走廊、樓梯間、出入口等場所	<p>螢光燈逃生避難方向指示燈</p> <p>螢光燈逃生避難方向指示燈12W → LED 逃生避難指示燈 2.5W (節能79%)</p> 

³¹參考資料：周鼎金《學校照明節能改善手法》



汰換場所	汰換燈具與汰換後節能率
各樓層出入口、樓梯間等場所	<p>樓梯間螢光燈樓梯方向指示燈</p> <p>樓梯間螢光燈樓梯方向指示燈18WX2 LED 樓梯方向指示燈2.5W</p>

【室內裝修材料搭配】

一般教室牆壁與天花板應選用明度較高之裝修材料以加強反射提高室內照度。表 5.2.5 為常見材料之反射率，一般以白色反射率較高，故將明度低(咖啡色、深色)的裝修材變更為明度高(白色)的裝修材，可增加照度，以表 5.2.6 以白布幔、黑布幔作為牆壁反射材料之實驗為例，其兩者平均照度差距為 189(lux)。

表 5.2.5 常見裝修材料之反射率

材料名稱	反射率	材料名稱	反射率
白色泥粉刷	75	水泥沙漿粉刷	32
白色調和漆	70	中黃色調和漆	57
白色石膏板	75	白色釉面磚	80
白色大理石	62	混泥土地面	20
礦纖板	69	磨石子地面	39
紅磚	33	淺藍色地磚	42
綠色地磚	25	深咖啡色地磚	20



表 5.2.6 更換裝修材料量測照度之實驗³²

白布幔		最小照度	508 lx
		最大照度	749 lx
		平均照度	636 lx
		均齊度	0.8
		用電密度	18.99 W/m ²
黑布幔		最小照度	332 lx
		最大照度	572 lx
		平均照度	447 lx
		均齊度	0.74
		用電密度	18.99 W/m ²

【時序控制與自動感應控制】

使用時序控制，可依預定的時間自動對照明環境需求作模式切換，或燈具的明滅控制，不須手動操作控制，可避免因忘記關燈而浪費電能，一般常見的照明時間開關如 5.2.8 所示，如上課、下課、午休時段等，近年學校整合能源監控系統並搭配課表排程來減少各教室照明設備因人為疏漏關閉而造成的能源浪費，其照明點滅時程控制如圖 5.2.9 所示。



³²參考資料：
周鼎金《學校照明節能改善手法》



圖 5.2.8 照明時間控制開關³³

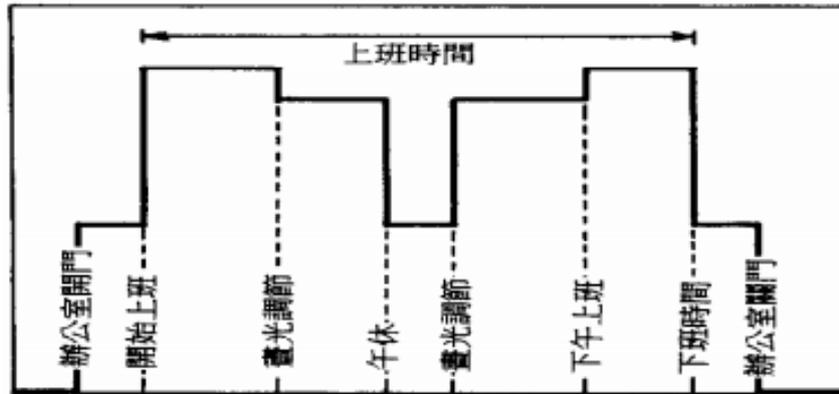


圖 5.2.9 照明點滅時程控制流程圖³⁴

自動感應控制部分一般分為依室外亮度控制的晝光感應器及依是否有人出入控制的熱感應或紅外線感應器兩種。晝光感應器一般透過關閉燈具或調降靠窗燈具亮度的方式達到照明節能之目的，因此其燈具電路設計需採平行靠窗方向來配置並常運用於如圖書館、大型會議室、辦公室等有實際照明需求的場所，如圖 5.2.10 所示；紅外線或熱感應器一般較常使用於間歇使用空間如廁所、小型會議室、地下停車場或出入較不頻繁的走道、圖書館書櫃間等場所，當人通行經過時將燈具點亮並在離開超過設定時間(3~10 分鐘)後關閉燈具，其感應器與應用案例如圖 5.2.11 所示。

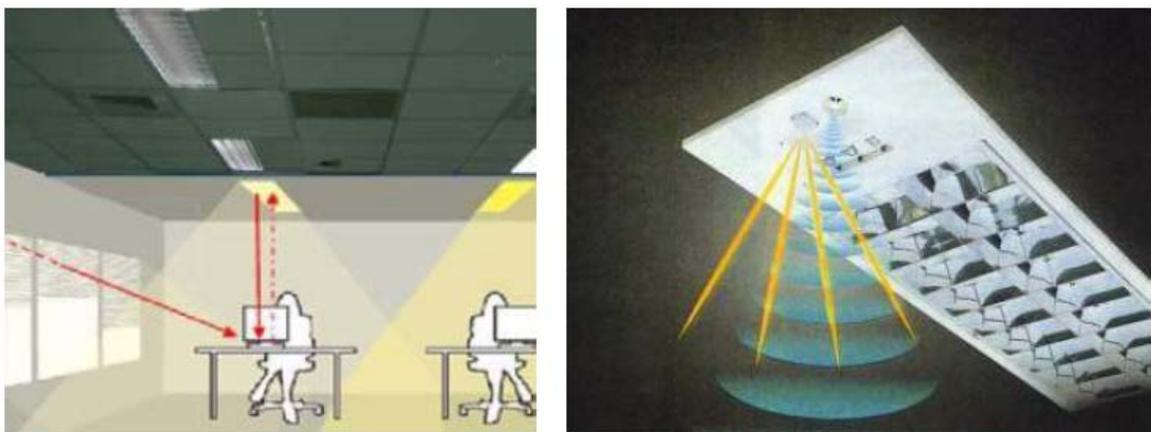


圖 5.2.10 晝光感應控制辦公室照明³⁵

³³ 參考資料：台灣綠色生產力基金會《照明系統節能技術手冊》

³⁴ 參考資料：台灣綠色生產力基金會《照明系統節能技術手冊》



圖 5.2.11 紅外線感應控制圖書館書櫃間照明³⁶

【利用自然採光】

另一種利用自然的節能方法是利用日照的自然採光，這種免費的能源雖然在設計時會受到限制，但可以通過各種技術提高它的效果。對於教學場所而言，最好的光源當然是自然光，它不僅節能也對人的眼睛、身體比較好，因為人的眼睛就是在太陽光下演化而來的，吸收太陽光我們身體還可以產生維他命 D，目前所有建築用的人造光源目前都達不到這些效益。人造光源若設計得不好就會產生眩光的問題，反而影響視覺、傷害視力，光的顏色(演色性)若不對也會對眼睛的舒適度造成影響。太陽的光線不需直射屋內，只要漫射光進入屋內，許多活動的照明需求便可滿足。如此一來，人們在白天從事室內活動的大多數時間，幾乎都不需要開燈，一般自然採光使用的時段可參考圖 5.2.12 所示；而校園中較常見進行自然採光的案例包括圖書館、活動中心、游泳池、地下停車場與一般教室等，皆可透過設計或使用上的習慣更改達到利用自然採光進行照明節能改善，如圖 5.2.13-圖 5.2.15 所示，其節能效率視原場所環境與照明燈具開啟時間而有所差異，一般約有 2-30%左右的節能率。

³⁵參考資料：周鼎金《學校照明節能改善手法》

³⁶參考資料：周鼎金《學校照明節能改善手法》



自然採光與人工照明
所形成的照度曲線

最理想的狀況是，早上10點到下午5點，主要由自然採光提供室內照明；中午11點到下午2點的太陽通常最強，人工照明需求可減至最低。傍晚以後則以人工照明為主。

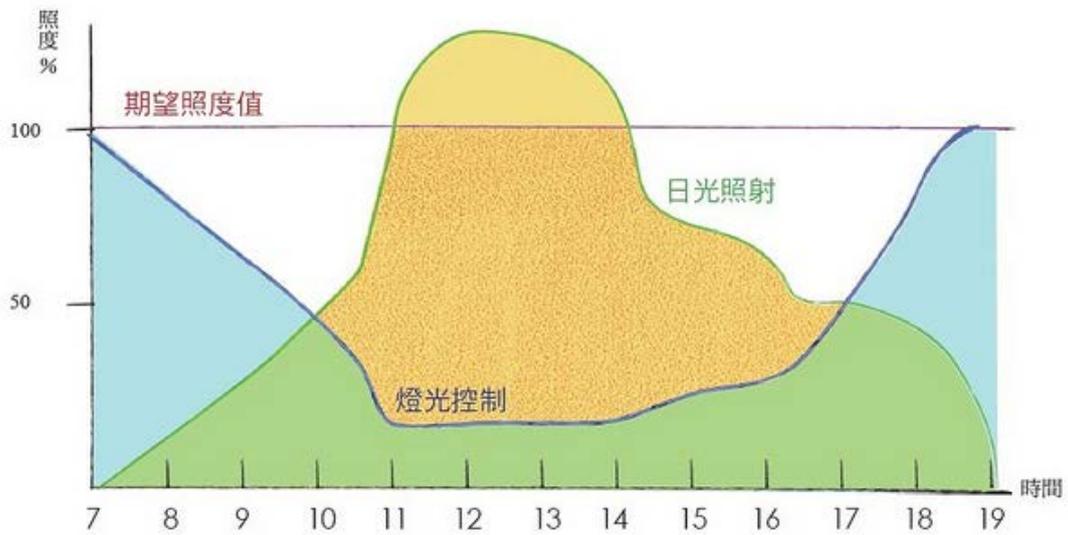


圖 5.2.12 自然採光與人工照明使用分布時段示意圖³⁷



圖 5.2.13 圖書館利用自然採光關閉靠窗旁燈具³⁸

³⁷參考資料：澄毓綠建築設計顧問《綠領建築師教你設計好房子》

³⁸參考資料：蕭弘清《因應節能減碳生活之校園燈具選擇與應用》



圖 5.2.14 游泳池部分利用自然採光於日間減少燈具開啟時間



圖 5.2.15 地下停車場設置光井引入自然光減少燈具開啟



5.2.2 現有照明設備節能改善方式簡介

本節將針對現有照明設備進行節能改善介紹，其中包含「現有照明設備檢視」及「現有照明設備節能改善方式」，提供給各級學校若無充裕經費進行高效率燈具汰換、建置時序或自動感應控制系統、更換室內裝修材料或規劃建物空間利用自然採光進行照明設備節能改善時，進行現有照明設備節能改善工作之內容可參考圖 5.2.16 所示。



圖 5.2.16 現有照明設備評估檢測與節能改善示意圖

一、現有照明設備評估檢測方式

現有照明設備評估中主要針對照明設備的配置、效率、維護方式、控制方式及現場照度是否符合標準進行檢視，其中照明設備效率與選擇、燈具的控制方式可參考實務篇的「校園照明設備選用及設計原則」；燈具的維護方式將在實務篇的「照明設備基本保養與檢點方式」進行介紹，本節主要針對現場照度的檢測以普通教室並區分為黑板、普通教室兩部分進行範例說明，詳細普通教室照度檢測表可參考表 5.2.6 所列。

【教室黑板照度的測定】

黑板之照度檢測，以黑板之中心點 D 為基準點量測照度，中軸線上方、下方各 30 公分處量測 C、E 點之照度，並再向左方、右方



延伸 100 公分為 A、B、F、G 四點量測照度，共取 7 點照度量測之平均值為其黑板之平均照度，如圖 5.2.17 所示。量測時應注意量測者應盡量遠離照度計，以不干擾照度之檢測為原則，其照度標準以 750Lux 為基準。

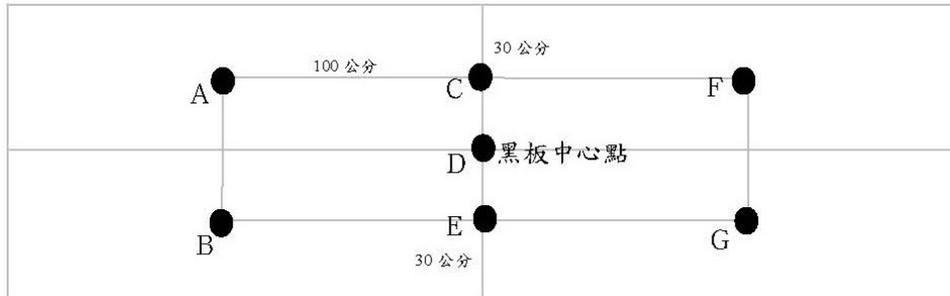


圖 5.2.17 黑板面照度檢測點

【普通教室照度的測定】

普通教室之課桌面照度檢測會因教室大小而量測點有些許差距，一般取教室四周 100 公分為距離，找出 A、C、G、I 四個量測點，再找出四點之中間點分別為 B、D、H、F 以及教室之中心點 E 共九點作為量測基準點，如圖 5.2.18 所示，其平均照度計算公式如下：

$$(A \times 1 + B \times 4 + C \times 1 + D \times 4 + E \times 16 + F \times 4 + G \times 1 + H \times 4 + I \times 1) / 36$$

量測時應注意量測者應盡量低於照度計，以不干擾照度之檢測為原則，而教室一般照度標準以 500Lux 為基準。

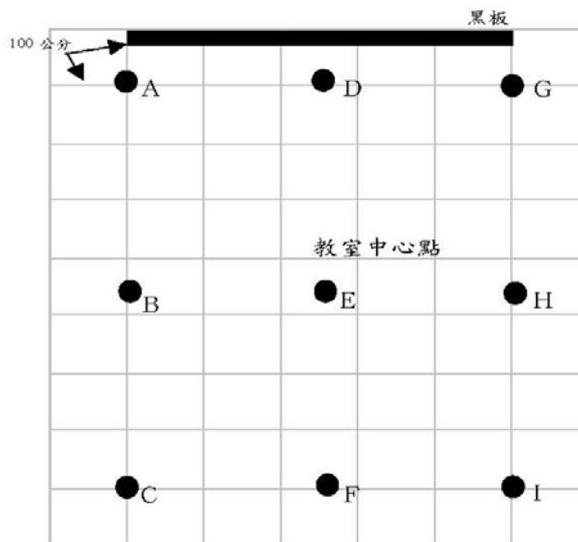




圖 5.2.18 教室課桌面照度檢測點³⁹

表 5.2.6 普通教室照度改善效檢測表⁴⁰

縣市別	學校名稱	教室面積(寬 x 長)	作業面高度	黑板燈高度	課桌燈高度			
		cm x cm	cm	cm	cm			
天氣	檢測日期		檢測時間					
晴 陰 雨	年 月 日	上午 下午	點	分				
點板面檢測點								
	狀態	A	B	C	D	E	F	G
照度值 (Lux)	開燈							
	關燈							
課桌燈檢測點								
					狀態	照度值(Lux)		
					位置	開燈	關燈	
					A			
					B			
					C			
					D			
					E			
					F			
					G			
					H			
					I			
					教室平均照度直(Lux)			
					L			

39

40 參考資料：經濟部能源局《照明節能產品應用手冊》



二、校園現有照明設備常見改善方式

評估與檢討現有照明設備後，針對現有照明設備進行較常見的改善方式包含「照明設備減載」、「調整燈具高度」、「減少間接照明」、「定時清洗保養維護燈具」、「拆除老舊燈具、燈罩提高照度」及「分區域分段控制」。各節能措施茲分項說明如下。

【照明燈具減載】

照明燈具減載應搭配各場所之標準照度量測進行評估，其改善方式如透過搭配桌燈提高局部照度，使照明設備使用彈性增加，適用於辦公室、圖書館自修室等場所，如圖 5.2.19 所示；此外，在走廊及通道等照度需求較低之場所，可設定隔盞開燈或依據照度需求來減少燈管數，如圖 5.2.20 所示。



圖 5.2.19 透過搭配桌燈提高局部照度並進行照明減載⁴¹



圖 5.2.20 經濟部標準檢驗局走廊燈具減載(改善前/後)⁴²

⁴¹參考資料：周鼎金《學校照明節能改善手法》

⁴²參考資料：周鼎金《學校照明節能改善手法》



【調整燈具高度】

校園內的圖書館、禮堂、活動中心等開放空間常有挑高設計，但由於燈具照度與其照射距離成反比，往往會造成空間照度不足或燈具排列過密等問題，且依據照度平方反比定律，高度若降低 50 公分，燈正下方照度可提升 44%，如圖 5.2.21 所示。故若為室內無風處的空間場所(包含挑高天花板之圖書館大廳、體育館走廊、禮堂或活動中心等)可考慮透過降低燈具高度，例如使用懸吊式燈具來提高照明利用效率並降低燈具消耗功率。其相關改善案例以臺灣科技大學透過調降燈具高度來改善閱覽區域整體照度及均勻度，如圖 5.2.22 所示。

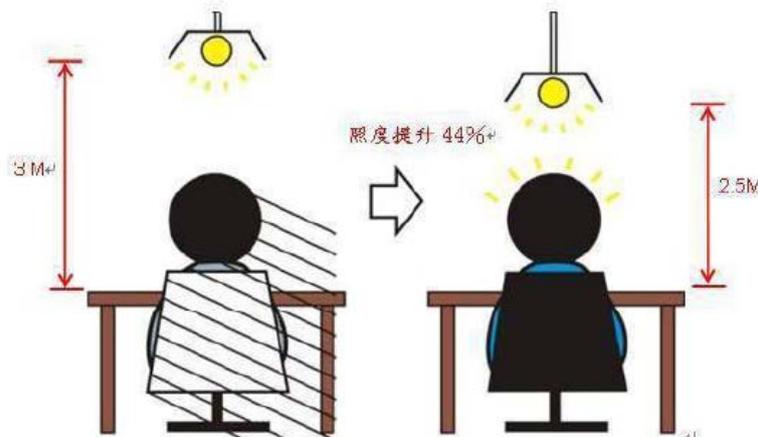


圖 5.2.21 調整燈具高度提升照度示意圖⁴³

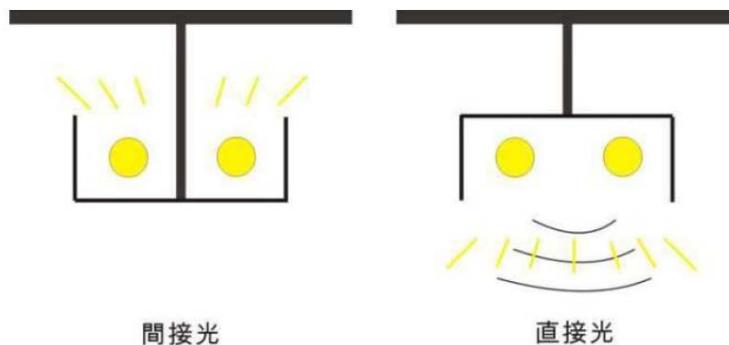


⁴³參考資料：周鼎金《學校照明節能改善手法》

圖 5.2.22 臺灣科技大學圖書館改善前/後比較⁴⁴

【減少間接照明】

校園內的圖書館、展覽空間為了營造氣氛、美觀常會採用間接照明等設計，如圖 5.2.23 所示。然而若空間採用層板燈等間接照明的方法，容易因照度不足而增加燈具數量，且對空間照度提升幫助不大，故建議除場所有特殊需求之外，應盡量減少間接照明設計。此外，未舉辦展覽或活動且自然採光充足時，應關閉間接照明光源以達到照明節能改善之目的。

圖 5.2.23 間接照明與直接照明示意圖⁴⁵

【定時清洗保養】

校園內教室、辦公室較常採用之燈具為螢光燈具，雖然其壽命較長，燈管點用時間較久，但其燈具結構易積塵而影響整體發光效率與照明效果，如圖 5.2.24 所示。故應定期擦拭燈具、燈管以避免灰塵累積降低燈具照明效率，並循檢發黑、閃爍燈管將其更新以維持適當照明亮度。相關燈具點燈時間及作業面照度關係如圖 5.2.25 所示。

⁴⁴參考資料：蕭弘清《照明系統節能》

⁴⁵參考資料：周鼎金《學校照明節能改善手法》

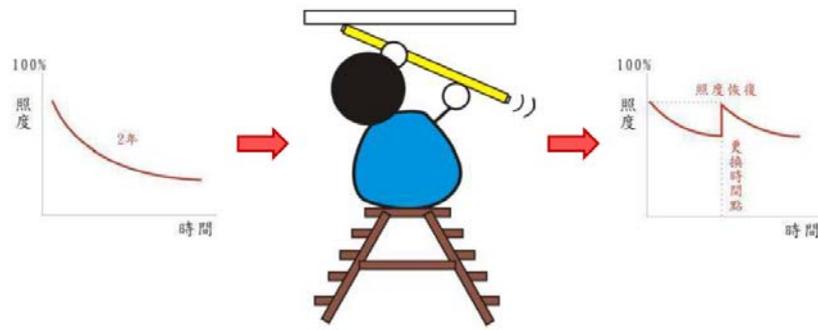


圖 5.2.24 定期清洗保養影響燈具照度示意圖⁴⁶

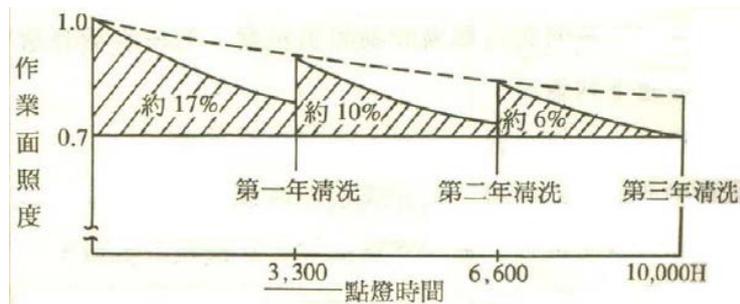


圖 5.2.25 螢光燈具點燈時間與作業面照度關係圖⁴⁷

【拆除老舊燈罩，提高燈具照度】

當燈罩經長年使用老化、積塵、減少光線及降低燈具照明效率時，可拆除燈罩或改換為格柵式螢光燈具以提高現場照度。此外，許多體育館、活動中心或圖書館樓梯、走廊間之燈具也常裝設燈罩亦可拆除提高燈具照度，以內政部移民署照明節能改善為例，其改善前每盞燈具為 40W 的 T8 燈具 3 支並加裝壓克力罩，歷經長年使用導致燈罩積塵泛黃，現場量測平均照度約 415Lux，更換為每盞 28W 的 T5 格柵式燈具 2 之後，平均照度提高至 518Lux 相當於 25% 照度增加，更高達約 57% 的節能率，詳細汰換前後如圖 5.2.26 所示。

⁴⁶ 參考資料：周鼎金《學校照明節能改善手法》

⁴⁷ 參考資料：CIE 台灣照明委員會



圖 5.2.26 內政部移民署改善老舊燈罩實例⁴⁸

【分區域控制燈具】

校園內的辦公室、普通教室、專業教室(電腦、音樂、美術教室)等空間應依場所使用特性，進行分區域控制燈具，並在設計時考慮搭配自然採光，減少燈具開啟時間。最後在燈具開關處清楚標示各開關控制區域，提供使用者容易辨識，如圖 5.2.27 所示。

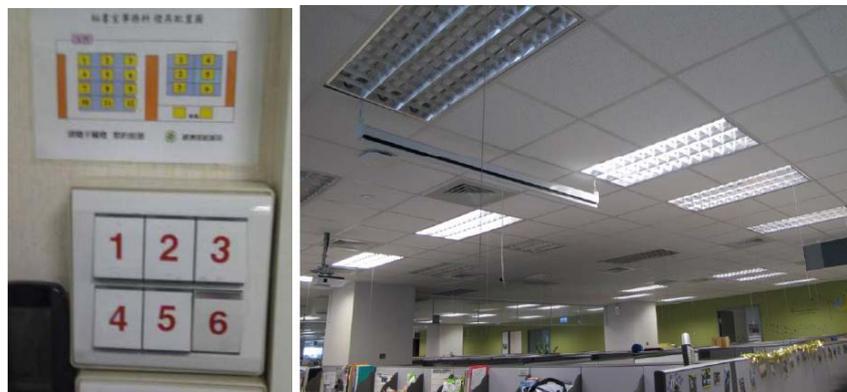


圖 5.2.27 分區域照明迴路應提供清楚標示⁴⁹

透過適宜的分區控制方式和控制開關，並配合教室內師生的使用習慣改變，將可達到顯著之節能效果，一般常見的普通教室燈具開關控制方式可分為兩種，其一為「教室照明迴路平行窗戶設計」以搭配自然採光而關閉燈具，其照明迴路設計如圖 5.2.28 所示；其二為「教室後排照明迴路獨立設計」以搭配小班制教學，可將最

⁴⁸ 參考資料：周鼎金《學校照明節能改善手法》

⁴⁹ 參考資料：周鼎金《學校照明節能改善手法》



後一排燈具關閉或在使用投影機教學時僅開啟最後一排燈具，其照明迴路如圖 5.2.29 所示。

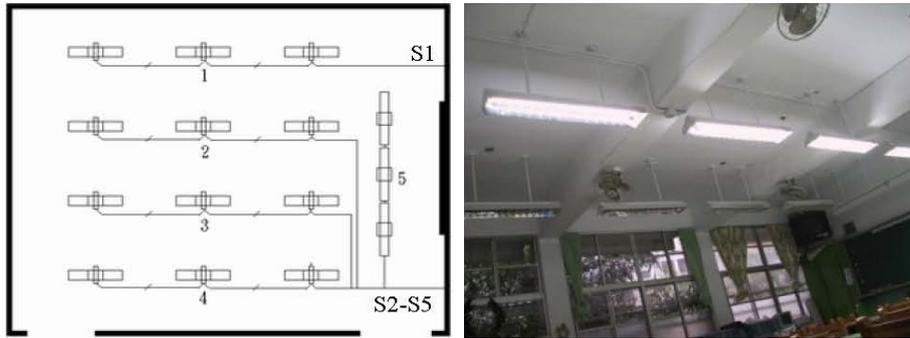


圖 5.2.28 教室照明迴路平行窗戶設計可利用自然採光⁵⁰

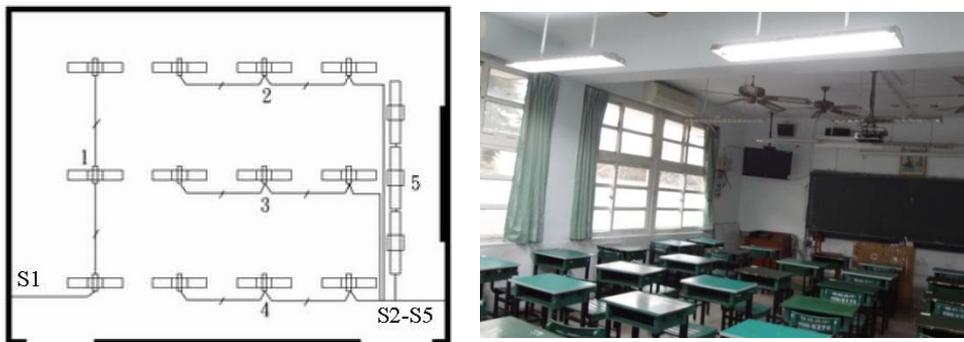


圖 5.2.29 教室後排照明迴路獨立設計⁵¹

為協助各級學校之總務人員，能夠獲得正確的照明節能改善觀念，並在進行照明節能改善工程或新建物在規劃設計時之有所參考依據，相關照明改善流程如圖 5.2.30 所示。

⁵⁰ 參考資料：教育部《學校教室照明節能手冊》

⁵¹ 參考資料：教育部《學校教室照明節能手冊》



圖 5.2.30 照明節能改善施行步驟流程圖⁵²

三、照明設備基本保養與檢點方式

(一)、燈具保養頻率與注意事項

為維持教室照明設備的效果，應注意照明設備的維護，若使用效率高的光源或照明燈具，但卻因光源光束的衰減、燈具的污穢，而造成照明效果的降低，則不合乎經濟效益。適當的維護管理，不僅可以節省能源，在電氣設備安全上，也是很重要的。教室照明設備的維護主要分成下列四點：設備檢查、設備更換、照明燈具的清掃、維護記錄。

【設備檢查】

⁵²參考資料：教育部《學校教室照明節能手冊》



教室照明設備的檢查可分為日常的檢查及定期檢查二種。日常的檢查可由老師指導學生進行，定期檢查則應由受過相關訓練具有電氣設備知識的行政人員進行，一般約每半年檢查一次，時間最好安排在學期前；除此之外，在地震、颱風之後，也應安排臨時的檢查以確保設備的正常使用及安全。

教室照明燈具的檢查應包括下列事項：

1. 點燈情況（有無不亮或閃爍的現象）。
2. 照明燈具的安裝狀況（有無鬆動、搖晃）。
3. 配線、受配電盤的情況（有無損壞、過熱、浸水）。
4. 照明燈具表面（包含光源）的污穢程度。
5. 照度測定（代表性場所）。

【設備的更換】

設備的更換應依設備特性及損壞情況，做適當的處理，包括光源（螢光燈管、燈泡等）、起動器、安定器、開關等的更換。所有更換的設備均應符合原先改善時的設計規格，或洽詢相關專業人員其汰換品之整體相容性。

光源應依其經濟壽命的長短及光未衰減狀況，採用各別及集體更換方式，各種光源的光衰與其壽命關係如圖 5.2.31 所示。當發現教室有損壞的光源或雙頭以黑化時應即刻更換；並配合光源的壽命於一個固定使用時間後，將全部的光源集體更換一次。其更換方式和更換週期的選定，對照明經濟有顯著的影響。光源最適當的更換時期，一般而言，是在光源平均壽命的 70~80% 的時期最為經濟。最適當更換週期的擬定，一般是計算電費、光源的更換費用，設備的折舊費用等，在整體費用最少的情形下決定的。如此約可節省電能 17%。

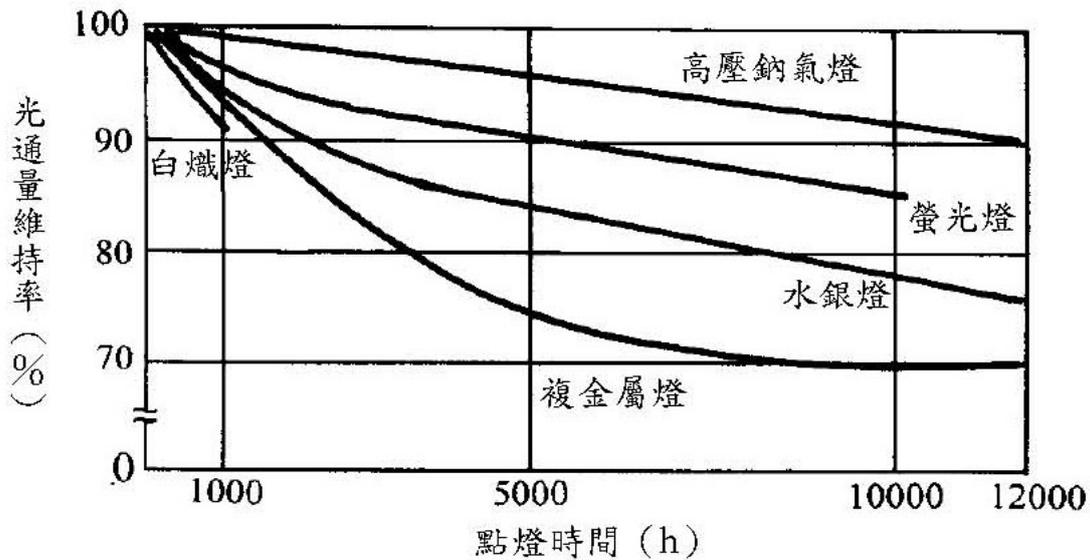


圖 5.2.31 光源的光衰減特性與燈具壽命關係圖⁵³

以螢光燈為例，40W 的 T8 螢光燈管壽命雖有 8,000 小時，但因螢光燈管發光量隨時間逐漸衰減(通常在使用 1,000 小時後降為 95%，4,000 小時後降為 90%，7,000 小時後降為 87%)。如果一直用到不能再發光為止，在末期用電量還是不變，光束卻少很多不符合效益且容易對視力造成影響。因此為提高照明的使用效率，除應每學期清掃燈具外，建議每天平均點燈 6 小時以上的教室，應每三年進行汰換燈管。

【燈具的清掃、維護】

定期擦拭燈具、燈管，避免污染物降低燈具之照明效率，可依落塵量多寡決定燈具之清潔週期。此外，校園內較常使用的螢光燈因為形體較大使得清掃工作較不容易進行，故於設計照明之初即應該把日後的維護考慮在內，燈具安裝時應考慮清潔燈具、燈管與換裝燈管之方便性。關於不同光源的最經濟清掃之預估時間，可參考表 5.2.7 所示。

⁵³參考資料：經濟部能源局《照明節能產品應用手冊》



表 5.2.7 不同光源最經濟清掃的預估時間⁵⁴

周圍環境	清掃容易度	白熱電球	螢光燈	HID 燈
清潔	容易	5-15 個月	2-6 個月	3-10 個月
	普通	15-20 個月	6-9 個月	10-12 個月
	困難	20-25 個月	9-12 個月	12-15 個月
普通	容易	3-10 個月	2-5 個月	3-6 個月
	普通	10-12 個月	5-7 個月	6-9 個月
	困難	12-15 個月	7-9 個月	9-12 個月
非常 易污染	容易	2-6 個月	1-4 個月	2-5 個月
	普通	6-9 個月	4-6 個月	5-7 個月
	困難	9-12 個月	6-8 個月	7-9 個月

(二)、照明設備施工、驗收及維護檢點表

為提昇學校執行汰換高效率節能燈具之品質，並使各級學校進行照明設備汰換時有所參考依據，同時考量到學校教室照明技術有其專業性，一般電機或建築師從業人員較不熟稔，本節參考教育部「學校照明節能改善參考手冊」提供統一之施工規範檢點表，使各級學校辦理發包工作時，可有效達到節能與照度同時兼顧之目的。詳細各檢點表如下所列。

表 5.2.8 照明設備施工規範檢點表⁵⁵

項目	查核結果				備註
1. 燈具產品已穩固的固定在建築物結構體上。	是	<input type="checkbox"/>	否	<input type="checkbox"/>	
2. 垂直與水平安裝之燈具，已使各行列的燈具位置對齊。	是	<input type="checkbox"/>	否	<input type="checkbox"/>	
4. 黑板燈應調整燈具中心投射至黑	是	<input type="checkbox"/>	否	<input type="checkbox"/>	

⁵⁴參考資料：經濟部能源局《照明節能產品應用手冊》

⁵⁵參考資料：經濟部能源局《照明節能產品應用手冊》



項目	查核結果				備註
板面中心位置。經調整完畢之燈具已保持其角度及位置。					
4. 施作教室若屬古蹟部分，施工前承包廠商須與所屬縣市政府、學校單位詳細溝通協調後，再行施工，否則屆時若有破壞古蹟時，後果由承包廠商自行負責。	是	<input type="checkbox"/>	否	<input type="checkbox"/>	
5. 拆除之老舊燈具及燈管，若經學校單位確認不需保留時，承包廠商應負責清運，且依相關法規及規定進行回收。	是	<input type="checkbox"/>	否	<input type="checkbox"/>	

表 5.2.9 照明設備驗收規範表⁵⁶

項目	查核結果				備註
1. 驗收其燈具數量、形式、位置與圖面及送審燈具型號相同，其燈具已整齊排列。	是	<input type="checkbox"/>	否	<input type="checkbox"/>	
2. 其電扇之位置已置於燈具之上方，避免閃爍發生。	是	<input type="checkbox"/>	否	<input type="checkbox"/>	
4. 檢驗燈具之迴路與開關位置已符合其圖面或規範之標準。	是	<input type="checkbox"/>	否	<input type="checkbox"/>	
4. 經審核不符本規範產品不得使用，已安裝者應要求承包廠商或原供應商回收更換，或改善至符合本規範要求為止。	是	<input type="checkbox"/>	否	<input type="checkbox"/>	
5. 照明用電密度(W/m ²)是否低於手冊之附錄 5 表 4 所列參考值。	是	<input type="checkbox"/>	否	<input type="checkbox"/>	

⁵⁶參考資料：經濟部能源局《照明節能產品應用手冊》



項目	查核結果				備註
6. 空間照度之均勻度是否高於 0.7 (或 CNS 12112 規定)。	是	<input type="checkbox"/>	否	<input type="checkbox"/>	
7. 最低演色指數是否符合 CNS 12112 規定。	是	<input type="checkbox"/>	否	<input type="checkbox"/>	
8. 統一眩光等級限制是否符合 CNS 12112 規定。	是	<input type="checkbox"/>	否	<input type="checkbox"/>	

表 5.2.10 照明設備維護檢點表⁵⁷

項目	查核結果				備註
1. 照度是否符合 CNS 之照明標準 (依 CNS 12112 要求)。	是	<input type="checkbox"/>	否	<input type="checkbox"/>	每學期至少量測一次
2. 燈具的安裝狀況是否有固定、未鬆動。	是	<input type="checkbox"/>	否	<input type="checkbox"/>	
4. 線路及配電箱是否完整及未有浸水的情況。	是	<input type="checkbox"/>	否	<input type="checkbox"/>	
4. 點燈情況，是否明亮。	是	<input type="checkbox"/>	否	<input type="checkbox"/>	
5. 點燈情況，是否穩定未有閃爍的現象。	是	<input type="checkbox"/>	否	<input type="checkbox"/>	
6. 線路及配電箱是否處於常溫未有過熱的情況。	是	<input type="checkbox"/>	否	<input type="checkbox"/>	
7. 燈具、反射片及光源表面是否有乾淨未有積塵的情況。	是	<input type="checkbox"/>	否	<input type="checkbox"/>	

⁵⁷參考資料：經濟部能源局《照明節能產品應用手冊》



5.3 應用篇

一、校園照明設備常見設計與保養缺失與改善案例⁵⁸

項目	設計不良	設計良好
黑板照度不足		
<p>黑板燈位於左右兩盞，黑板照度不均勻。</p>		
燈具排列凌亂		
<p>燈具燈管裸露，造成直接眩光問題。</p>		
燈具老舊		
<p>燈具老舊未有鏡面反射片，且燈管裸露，造成直接眩光問題。</p>		

⁵⁸參考資料：經濟部能源局《照明節能產品應用手冊》



項目	設計不良	設計良好
風扇位置不當		
	<p>大葉片之風扇配置於燈具下，風扇旋轉時造成閃爍問題。</p>	
燈具眩光大		
	<p>燈具與黑板平行配置，燈管裸露，輝度對比過大。</p>	
黑板照度不均		
	<p>黑板燈直接安裝於黑板上緣，照射角度不正確，黑板面照度分布差異大。</p>	



(二) 校園照明設備執行績優案例

中興大學圖書照明工程改善				
問題說明	改善區域為圖書館之書庫。現況燈具配置為 T8 及 T5 混用，採集中控制。此外，書庫區平時使用人數少，燈具卻經常性開啓，造成能源耗費。因閱覽區與書櫃區緊鄰，若書櫃區頻繁點滅，則影響閱讀區之使用者。			
改善對策	首先將 T8 傳統燈具，部分汰換為具節能標章或符合規範之 T5 高效率電子式燈具。並於部分書庫區走道空間設置一組紅外線感應器，用於偵測人員來往，來啓動室內燈具的點滅，以增進節能效益。			
預期成效	改善前總瓦數(W)	改善後總瓦數(W)	節能效率(%)	節省電能(KWh/yr)
	44,080	20,160	54%	110,487
	節省照明度數(kWh/yr)	節省照明用電費用(\$)	節省 CO ₂ 排放量(kg)	
	110,487	386,705	58,779	
改善照片	改善前		改善後	
				
	原書庫區現況	在書櫃間安裝紅外線感應器	交界處紅外線感應器	書庫區紅外線感應器
資料來源	財團法人台灣建築中心 http://besag.tabc.org.tw/modules/news/article.php?storyid=82&uid			

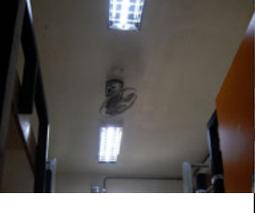


國立聯合大學體育館室內照明工程改善

<p>問題說明</p>	<p>體育館現況採用 39 盞 400W 水銀燈以及 91 盞 110W 螢光燈管照度水準皆偏低。此外，裸露的螢光燈管，容易造成使用者視覺上的眩光不舒適。溫水游泳池現況採用 35 盞 400W 水銀燈。燈具屬於效率較差的水銀燈系，且位於水道正上方，平時維修不易。</p>			
<p>改善對策</p>	<p>體育館與游泳池都將全面拆除既有螢光燈管，並將原先 400W 的水銀燈汰換為高效率 250W 的陶瓷複金屬燈，體育館迴路部分依現場開關進行調整。游泳池燈具改安裝於水道兩側的牆面上，向天花面投射，以降低燈具維修的困難性。此外，於原有鋼板屋面下新增施作造型天花，改善原本悶熱的室內環境外，平整的天花可提供光線反射，讓室內柔和的光環境。</p>			
<p>預期效益</p>	<p>說明</p>	<p>室內照明改善</p>	<p>屋頂隔熱改善</p>	
	<p>節能效益(%)</p>	<p>59%</p>	<p>10%</p>	
	<p>節能效益(kWh/yr)</p>	<p>137, 882</p>	<p>1, 342</p>	
	<p>節能效益(元)</p>	<p>482, 588</p>	<p>4, 697</p>	
	<p>減少 CO2 排放量(kg)</p>	<p>73, 353</p>	<p>714</p>	
	<p>節能效益(kWh/yr)</p>	<p>139, 224</p>		
	<p>節能效益(元)</p>	<p>487, 285</p>		
	<p>減少 CO2 排放量(kg)</p>	<p>740, 67</p>		
<p>改善照片</p>	<p>改善前</p>		<p>改善後</p>	
<p>原體育館活動現況</p>	<p>燈具位於水道上方，維修不易</p>	<p>改善後使用陶瓷複金屬燈</p>	<p>燈具安裝於兩側牆面上。</p>	
<p>資料來源</p>	<p>財團法人台灣建築中心 http://besag.tabc.org.tw/modules/news/article.php?storyid=81&uid</p>			



國立宜蘭大學女子宿舍室內照明工程改善

<p>問題說明</p>	<p>女子宿舍興建於民國 79 年，現況使用之燈具為 T8 傳統燈具搭配電感式安定器，年限已有 20 年之久，老舊且耗能，昏暗的燈光易造成學生生活起居上的不便。此外，現況燈具型式為山型，吸頂式且無格柵設計，易造成眩光問題，產生視覺上不舒適感，降低照明品質。</p>			
<p>改善對策</p>	<p>將既有傳統 T8 螢光燈具更換為 T5 高效率電子式燈具，改善原有高耗能眩光大之舊式燈具，採用具節能標章或符合室內照明規範之產品，以確保舒適之室內環境、達節約用電之效。同時，為求節能與照明品質並重。將照明功率設為小於 9 (W/m²)，單位照度之照明功率密度 (W/m² · lux) 應小於 0.03。</p>			
<p>預期效益</p>	<p>說明</p>	<p>室內照明改善</p>		
	<p>節能效益(%)</p>	<p>37</p>		
	<p>節能效益(kWh/yr)</p>	<p>64,765</p>		
	<p>節能效益(元)</p>	<p>291,445</p>		
	<p>減少 CO2 排放量(kg)</p>	<p>39,636</p>		
<p>改善照片</p>	<p>改善前</p>		<p>改善後</p>	
				
<p>資料來源</p>	<p>財團法人台灣建築中心 http://besag.tabc.org.tw/modules/news/article.php?storyid=40&uid</p>			



參考資料

柯明村《熱泵系統節能管理技術》

陳育全《醫院熱泵機房系統探討與安全檢測之作業》

周鼎金《學校照明節能改善手法》、《照明系統節能》

蕭弘清《因應節能減碳生活之校園燈具選擇與應用》

曾國雄、譚旦旭編著《配電設計》，高立圖書

承研能源科技《熱泵熱水節能技術》

工業技術研究院《照明節能實務與應用》

台灣綠色生產力基金會《照明系統節能技術手冊》

經濟部能源局《照明節能產品應用手冊》

經濟部能源局《電力系統能源查核及節約能源手冊》

經濟部能源局《電能管理需量控制器節能技術手冊》

經濟部能源局《能源管理監控系統技術手冊》

經濟部能源局、綠基會《熱泵熱水系統 Q&A 節能技術手冊》

教育部《低碳節能校園生活報》

教育部《學校教室照明節能手冊》

台北市政府《空調系統節能管理與維護手冊》

台電供電處《變壓器維護要領與介紹》，民 102

台電公司《時間電價與季節電價》，102 年 10 月版本

台灣綠色生產力基金會《變頻器應用 Q&A 節能技術手冊》



台灣綠色生產力基金會《空調系統管理與節能手冊》

台灣電力公司《儲冷式空調系統離峰用電措施》

泰菱電子、泰仕電子網路電子型錄

philips、億光、威力盟、東亞照明電子型錄（2010）

大同電機股份有限公司

大同公司《非晶質油浸式變壓器型錄》

士林電機《模鑄式變壓器使用說明書》

士林電機產品型錄 <http://www.seec.com.tw>

電工機械概論，<http://164.24.156.54/dc/32614/pdf/01.pdf>

嘉祿工業股份有限公司 http://www.karos.com.tw/index_down.html

裕昌機電工廠股份有限公司 <http://www.capacitor.com.tw>

台電公司網站常見問答

<http://www.taipower.com.tw/content/faq/faq01.aspx>

教育部數位教學資源 <https://isp.moe.edu.tw/>

趨勢照明網站 <http://www.trend-lighting.com/shop/blog2.php?id=54>

CIE 台灣照明委員會 <http://cie-taiwan.itri.org.tw/>

Daisaku Shoji Ltd <http://www.daisaku-shoji.co.jp/>

台灣日立股份有限公司 <http://www.taiwan-hitachi.com.tw/>

iThome <http://www.ithome.com.tw/>