購物中心

節約能源技術手冊

經濟部能源局 指導

財團法人台灣綠色生產力基金會 編印

中華民國 111 年 11 月

目錄

目錄 I
圖目錄 II
表目錄 VI
前言 1
壹、 購物中心概況 2
貳、 區域功能概述 6
參、 用能設備及系統介紹 9
一、 電力系統 9
二、 空調系統 13
三、 照明系統 16
四、 給排水、汙廢水 21
五、 進排風系統 26
六、 營業用電 28
七、 能源流向 30
肆、 購物中心節能改善措施 31
一、 電力系統 31
二、 空調系統 45
三、 照明系統 70
四、 電梯、電扶梯系統 74
五、 給排水、汙廢水 79
六、 進排風系統 83
七、 營業用電 87
伍、 結語 93
陸、 參考文獻 95

圖目錄

圖 3-1 二次選擇系統之供電架構【3】 9
圖 3-2 乾式(模鑄式)變壓器 10
圖 3-3 配電示意單線圖 11
圖 3-4 緊急發電機示意圖 12
圖 3-5 中央空調系統流程圖【4】 13
圖 3-6 一次冰水系統簡圖【5】 14
圖 3-7 一次/二次側冰水系統簡圖【5】 14
圖 3-8 定風量 CAV 系統簡圖【5】 15
圖 3-9 可變風量 VAV 系統簡圖【5】 15
圖 3-10 T8 燈管示意圖(發光效率 85 lm/W) 17
圖 3-11 T5 燈管示意圖(發光效率 96 lm/W) 17
圖 3-12 緊湊型螢光燈(俗稱省電燈泡)示意圖(發光效率 61 lm/W) 18
圖 3-13 複金屬燈示意圖 19
圖 3-14 給水系統示意圖 22
圖 3-15 雨水回收與再生流程示意圖 23
圖 3-16 雨水回收與配水示意圖 23
圖 3-17 汙水回收與排放流程示意圖 24
圖 3-18 汙水處理流程示意圖 25
圖 3-19 各類送排風系統關係 26
圖 3-20 一次電錶箱示意圖 28
圖 3-21 一次電錶箱與二次插座照明盤示意圖 28

圖目錄

圖 3-22 中島櫃插座盤示意圖.....29
圖 3-23 某購物中心能源流向圖.....30
圖 4-1 電力監視系統圖.....31
圖 4-2 高壓設備保護電驛監視系統.....32
圖 4-3 三相電壓電流圖形化比較介面.....32
圖 4-4 電力品質異常分析.....33
圖 4-5 試辦時間帶調整方案(110 年 10 月 15 日~111 年 9 月 30 日).....38
圖 4-6 需量競價措施簡介(110 年 12 月 1 日起實施)【11】.....39
圖 4-7 變壓器效率曲線圖【12】.....40
圖 4-8 聯絡盤(TIE 盤)示意單線圖【13】.....42
圖 4-9 功因改善電容器裝置方法.....43
圖 4-10 一次/二次側冰水系統簡圖【5】.....46
圖 4-11 一次冰水系統簡圖【5】.....49
圖 4-12 冷卻水塔並聯變頻運轉示意圖.....51
圖 4-13 冷卻水塔濕球溫度控制示意圖.....52
圖 4-14 主機負載率與效率關係【14】.....55
圖 4-15 冰水主機耗電量與冷卻水溫度關係圖.....56
圖 4-16 某冰水主機冷凝器壓力、溫度與趨近溫度關係.....57
圖 4-17 某冰水主機冷媒壓力、進出水溫度.....57
圖 4-18 R-134a/R-22 冷媒壓力錶(左)與水溫計(右).....58
圖 4-19 二氧化碳濃度與外氣風門控制.....61

圖目錄

圖 4-20 外氣冷房與風門控制.....62
圖 4-21 溫度控制及焓值控制節能效果之差異【17】.....63
圖 4-22 冰水主機能源效率分級標示圖(黏貼主機正面明顯處).....66
圖 4-23 冰水機群組系統效率示意圖.....68
圖 4-24 ASHRAE 針對中央空調冰水機房系統能效與技術關係圖【19】..69
圖 4-25 燈具迴路及排程圖形控制畫面.....71
圖 4-26 燈控架構及模組配置圖.....72
圖 4-27 二線式燈控單線配置圖示.....72
圖 4-28 外牆燈迴路及排程圖形控制畫面.....73
圖 4-29 外牆燈可程式控制架構.....73
圖 4-30 電梯各部構造名稱與位置【23】.....74
圖 4-31 電梯配重原理示意圖與實照.....75
圖 4-32 永磁馬達之無齒輪捲揚機【24】【25】.....75
圖 4-33 電梯運行四象限示意圖【26】.....76
圖 4-34 電扶梯變頻控制示意圖【27】.....78
圖 4-35 可變轉速電扶梯人員感知器與感測區示意圖【27】.....78
圖 4-36 給水系統監視畫面.....79
圖 4-37 動力與公用設備能效登錄管理系統-高效率水泵.....80
圖 4-38 汙水機房狀態監視系統.....82
圖 4-39 汙水泵浦超時運轉預警及狀態監控系統.....82
圖 4-40 廚房進排氣系統架構.....83

圖目錄

圖 4-41 噴流式風機外觀.....85
圖 4-42 停車場送排風系統監控畫面.....86
圖 4-43 能源管理系統示意圖.....87
圖 4-44 店櫃電錶圖控畫面.....88
圖 4-45 能源統計表.....88
圖 4-46 南紡購物中心電氣(器)設備每年定期檢查表.....89
圖 4-47 南紡購物中心電氣設備管理與張貼核准標章.....90
圖 4-48 店鋪二次側電源盤熱顯影檢測作業.....91
圖 4-49 三相負載線路不平衡損失【12】.....92

表目錄

表 1-1 百貨公司與購物中心分布、面積與契約容量 2
表 1-2 購物中心營業面積、電力、空調與照明統計 4
表 2-1 購物中心各區域功能 6
表 2-2 樓面店鋪交屋介面 7
表 2-3 進駐店鋪提交圖說審核(設計圖說/竣工圖說)項目 8
表 3-1 T8、T5 螢光燈與直管型 LED 燈比較表 20
表 3-2 建築技術規則設備編機械通風量 27
表 4-1 供電容量設置費單價【9】 34
表 4-2 契約容量試算範例 35
表 4-3 高壓/特高壓三段式時間電價表(111.7.1 公告實施)【10】 36
表 4-4 高壓/特高壓二段式時間電價表(111.7.1 公告實施)【10】 37
表 4-5 11.4/22.8kV 鐵心矽鋼片與非晶質(AMT)變壓器銅、鐵損參考表 41
表 4-6 主要的室內空氣污染源【15】 59
表 4-7 我國環保署公告之室內空氣品質標準【16】 60
表 4-8 冰水機組製冷能源效率分級基準表(109 年 7 月 1 日實施)【18】 65
表 4-9 CNS 14400 低壓三相鼠籠型高效率感應電動機(一般用)滿載特性 67
表 4-10 新加坡 Green Mark 認證【20】【21】【22】 69
表 4-11 電梯電力回生裝置回生率及相關因素統計【26】 77

前言

2030 年減碳目標、2050 年淨零排放，或多或少大家在新聞媒體得知，不僅是我國的目標，亦是世界各國共同的目標沒有人能迴避；國際能源署(IEA)指出自 1992 年聯合國氣候變化框架公約簽署以來，全球能源和工業二氧化碳排放量增加 60%，即便各國政府完全實現其減碳承諾，也遠遠達不到 2050 年的淨零目標，因此在未來 30 年還有相當多的工作需要努力。

購物中心(shopping mall)提供舒適空調的室內購物環境，隨著消費者期望多樣化且不斷創新的娛樂需求，促使購物中心持續成長，除了服飾、精品、美食與影音娛樂外，有的更結合零售量販、運動場館、賽道、摩天輪等各式各樣的設施，期望一站解決民眾平假日生活與娛樂需求；也因此購物中心成為占地面積廣、耗能大的場域之一。

經濟部能源局有鑑於此，乃委託財團法人台灣綠色生產力基金會，遴聘國內專精之專家學者與業界先進，楊正光、許祐峰、高梓桑與楊政達等，協助審查及修訂彙編，特別感謝南紡購物中心提供實際操作管理經驗，使手冊貼近現場管理人員所需，業經修訂彙編完成，提供給各購物中心業者盼多加參考應用。

壹、購物中心概況

購物中心(shopping mall)原意是人行道串連的商店街，而後逐漸演變為大型室內購物中心成為眾多大店、店鋪的「集合體」，甚至包含百貨公司(Department stores)、量販店等，內部供消費者徒步行走並設有大型停車場。我國購物中心至110 年底已有 57 家，購物中心面積由 300 坪至 12.1 萬坪不等，因其戶外場地寬廣、結合各類店鋪與休閒娛樂，近年成長幅度(110 年成長 5.6%)高於百貨公司(110 年衰退 0.9%)【1】。

依非生產性質能源查核資料庫統計，能源大用戶中百貨公司與購物中心分布、面積與契約容量(如表 1-1 所示)，顯示百貨與購物中心集中於北部(72 家)與南部(29 家)，且南部各類面積高於北部 27~66%不等。

進一步分析可知，購物中心各類面積均大於百貨公司，且購物中心停車場面積(37%)占比明顯高於百貨公司(29%)，顯示定位為消費者自行駕車前往，也與近年興起的 Outlets 設置於郊區有關【1】。若以建築樓層與面積的關係來看，購物中心每層樓面積達 10,187m^2 遠高於百貨公司的 3,857m^2，可知百貨公司設置於都會蚤黃區，寸土寸金的情況下自然建築樓層數高；因此若要設置大型店鋪，購物中心更能提供寬敞的營業空間，從消費者的體驗來說購物中心更接近於平面移動的「逛街」。

表 1-1 百貨公司與購物中心分布、面積與契約容量

建築類型	地區	家數	平均值				
			樓地板面積(m^2)	空調面積(m^2)	室內停車場(m^2)*2	建築樓層*3	經常契約容量(kW)
百貨公司	北部	52	45,805	29,403	13,222	12.4	2,921
	中部	7	83,075	67,206	17,686	17.9	4,600
	南部	19	58,133	40,156	18,466	15.5	3,565
	東部	1	45,595	23,253	11,097	5	2,200
	小計	79	52,069	34,053	14,929	13.5	3,523

建築類型	地區	家數	平均值				
			樓地板面積(m^2)	空調面積(m^2)	室內停車場(m^2)*2	建築樓層*3	經常契約容量(kW)
購物中心	北部	20	91,886	48,425	35,955	8.7	4,959
	中部	6	48,059	34,427	8,820	9.2	2,800
	南部	10	139,165	80,357	56,618	11.4	5,890
	外島	1	25,401	9,652	2,473	5	1,025
	小計	37	95,760	53,737	35,827	9.4	4,754

註 1：地區分布依全國國土計畫進行分類。

註 2：部分停車場面積為 0(共構或與其他單位共用)，不納入平均面積計算。

註 3：建築樓層因分組平均，取至小數點第一位。

註 4：統計資料範圍為 2021 年非生產性質能源查核資料。

進一步將購物中心依國際購物中心理事會(ICSC)定義【2】，將可出租面積(GLA)分為三級(社區、區域與超級區域)，受限於出租面積並無確切資料，本表統計採室內空調面積作為分類使用，統計資料如表 1-2 所示。

面積同上一段所述，無論何種規模等級的購物中心，因其市場定位室內停車場面積均佔前場營業面積有相當的比例。契約容量與變壓器兩者可知，實際用電需求與電力系統設置規劃差距約 3~4 倍之多，幾乎全以乾式變壓器為主(97%)，此部分尚有合併迴路降低鐵損，或者日後改為非晶質變壓器降低鐵損。

冰水主機設置容量在社區型、區域型幾乎與契約容量成正比，值到超級區域型購物中心才有明顯差距，惟冰水主機設置容量、契約容量與實際冷凍噸數(RT)、尖峰需量(kW)涉及負載率、機房設計等，此部分趨勢僅供參考。主機型式以離心式為主(佔整體達 54.8%)，隨著建築規模越大選用離心式比例越高(考量能源效率)，反之則離心與螺旋各半且部分搭配氣冷冰水機輔助運轉。

照明採用 LED 光源已佔總裝置盞數 55%~72%，社區型採用 LED 光源比例最高，而區域與超級區域型購物中心，其規模較大需逐年汰換，因此尚有相當數量的螢光燈(含省電燈泡)、複金屬燈與其他(如水銀燈、高壓鈉燈)燈種仍有相當更新空間。

表 1-2 購物中心營業面積、電力、空調與照明統計

建築類型		社區購物中心	區域購物中心	超級 區域購物中心
可出租(空調) 面積範圍(m^2)*1		37,000 以下	超過 37,000 74,000 以下	超過 74,000
家數		18	8	11
平均	空調面積(m^2)	17,133	54,086	113,382
	停車場面積(m^2)*2	14,114	22,660	68,668
	變壓器容量(kVA)	7,115	16,721	33,364
合計	變壓器-乾式(台)	69	78	169
	變壓器-油式(台)	7	0	3
	變壓器-非晶質(台)	0	0	0
平均	經常契約容量(kW)	1,749	5,263	9,302
	冰水主機容量(RT)	1,832	5,051	7,596
合計	冰水主機- 離心式(台)	28	39	76
	冰水主機- 螺旋式(台)	36	25	31
	冰水主機- 其他型式(台)	20	4	2

建築類型		社區購物中心	區域購物中心	超級 區域購物中心
平均照明盞數		6,228	15,363	34,177
合計	LED	4,507	8,373	21,423
	T5 日光燈	761	1,971	7,979
	其他(T8、T9...) 日光燈	378	1,803	938
	省電燈泡	272	816	2,204
	複金屬燈	304	2,122	1,382
	其他類型燈	7	279	252

註 1：建築類型分類參國際購物中心理事會(ICSC)定義【2】，依可出租總面積分為三級，本表以室內空調面積做為可出租範圍。

註 2：部分停車場面積為 0(共構或與其他單位共用)，不納入平均面積計算。

註 3：統計資料範圍為 2021 年非生產性質能源查核資料。

由此我們將在後續的章節分別從購物中心的區域功能、各類用能設備架構、流程進行說明，期望讀者有初步的概念與認識，最後就各系統別現今成熟的節能技術進行說明；受限章節篇幅有限，如需深入了解細部技術說明等，建議搭配本會各年度出版的技術別手冊，可獲得較多資訊。

服務業節能服務網→節能知識→節能技術手冊

網址：https://www.ecct.org.tw

貳、區域功能概述

購物中心分為前、後場空間如表 2-1 所示，空間區劃、動線設計攸關基礎設施、維生管線的配置，每一類型空間電力、空調、照明...等需求各不相同，例如前場營業區物販類、餐飲類，即便同樣坪數大小但空調需求量相差一倍以上，因此掌握各區域設施關鍵參數、加/改裝後供應情況等，搭配分區分量才能將有限能源運用在正確的空間。

表 2-1 購物中心各區域功能

區域	類型
前場-營業區	1. 物販類：如化妝用品、生活用品、時尚名品、親子用品、休閒娛樂...等各類型中島櫃或店鋪。 2. 餐飲類：如美食街、主題餐廳、飲料、食品料..等各類型中島櫃或主題餐廳。
前場-公共區	走道、貴賓室、電梯、電扶梯、展示陳列、醫務室、哺集乳室、廁所、無障礙廁所...等
後場-公共區	逃生梯、停車場...等
後場 非公共區	1. 倉庫：如一般倉庫、乾倉、冷倉(冷凍櫃)等。 2. 辦公室：如會議室、行政、營運、工務、行銷、財務..等員工辦公場所。 3. 員工休息室：如品牌職員或樓面管理員用餐、飲水休息場所。 4. 機房：如電氣、消防、空調、汙水處理、廢棄物處理、自來水、資訊、發電機、廚餘冷藏..等設備空間。 5. 美食街洗碗房、中央監控室等。

櫃位類型如表 2-2 所示，分成統設統裝、統設自裝、自設自裝與中島櫃四種，其中統設統裝、統設自裝，所謂「統設」指天花板、地板、電力、燈具、空調等硬體由商場統一裝設完畢，而「自裝」則是牆面未油漆，供店鋪二次佈置或展示櫃裝修附掛；自設自裝櫃為商場提供毛胚屋、一次側各式維生管線，由進駐店鋪規劃設計與引接使用；中島櫃則是沒有獨立隔間，商場提供空間與插座使用，上述進駐櫃位送審圖說(範例)審核如表 2-3 所示。

簡而言之，不同的櫃位類型所代表的店鋪自主裝修程度、商場提供設備設施分界點不同，甚至牽涉到能源費用的分攤與管理差異，如前段所述不同的櫃位型態用能種類與使用量有相當差異，因此前期空間規劃、櫃位配置、雙方約定裝修/使用規範、計價模式等，往後直接影響商場管理與設施運營。

表 2-2 樓面店鋪交屋介面

櫃位類型	設置/商場提供
統設統裝櫃	商場統一設置： 天花板、地板、牆面(油漆)、店招。 電力插座、燈具、消防設備、空調設備、弱電插座。
統設自裝櫃	商場統一設置： 天花板、地板、牆面(未油漆)。 電力插座、燈具、消防設備、空調設備、弱電插座。
自設自裝櫃	商場提供： 毛胚屋，一次側電源箱(380V/208V 3ø4W)並設置斷路器與緊急供電迴路、一次側冰水管、進排風管、基礎消防設備、弱電箱。
中島櫃	商場提供： 設置區、電源插座、弱電插座

表 2-3 進駐店鋪提交圖說審核(設計圖說/竣工圖說)項目

項次	比例	設計圖內容	第一次提交基本設計圖	第二次提交修改設計圖	第三次提交竣工圖
01	A3	店鋪設計意象圖(透視圖)-裝修設計	●	●	●
02	1/50	道具平面配置圖-裝修設計	●	●	●
03	1/50	天花板器具反射配置圖-裝修設計	●	●	●
04	1/50	地板配置圖-裝修設計	●	●	●
05	1/50	地板插座配置圖-機電設計	●	●	●
06	1/50	壁櫃立面剖面圖-裝修設計	●	●	●
07	1/20	道具平面、立面、側面圖-裝修設計	●	●	●
08	1/50	弱電設備位置圖-機電設計	●	●	●
09	1/50	燈具迴路配置圖-機電設計	●	●	●
10	1/50	空調配置圖-機電設計	●	●	●
11	1/50	給排水配置圖(餐飲/食品)-機電設計	●	●	●
12	1/50	廚房設備配置圖(餐飲)- 廚房設計	●	●	●
13	1/50	廚房器具表(餐飲/食品) -機電設計	●	●	●
14	1/50	瓦斯配管圖(餐飲)-機電設計	●	●	●
15	A4	截油槽規格表(餐飲) -機電設計	●	●	●
16	1/50	排油煙配管圖(排煙總量表)(餐飲) -機電設計	●	●	●
17	A4	水洗煙罩規格表(餐飲)- 廚房設計	●	●	●
18	1/20	第二次防水層施工圖(餐飲)-裝修設計	●	●	●
19	A3	裝修材質板 1 份-裝修設計	●	●	●
20	A4	配電盤、迴路結線圖及電容量負載表負載計算書(含機電技師完工檢測報告書) -機電設計	●	●	●
21	A4	材料耐燃/防火之證明文件-裝修設計			●

參、用能設備及系統介紹

以某大型購物中心設計規劃為例，其整棟建築物能源供電系統及主要耗能設備概況，大致如下：

一、電力系統

台電供電電壓一般為 22.8kV 為主，現今為避免饋線/設備故障造成營運中斷，採內外二次選擇系統(Secondary Selective system)設計如圖 3-1 所示【3】，外二次選擇系統即台電由兩個變電所提供饋線供電(一用一備)，當各別變電所/饋線異常時可切換備用饋線供電給高壓變壓器；內二次選擇系統設計則是高壓變壓器低壓側匯流排設有聯絡(TIE)盤，當各別變壓器故障時，先隔離故障設備/區間，再透過另一台變壓器供電至各區域。

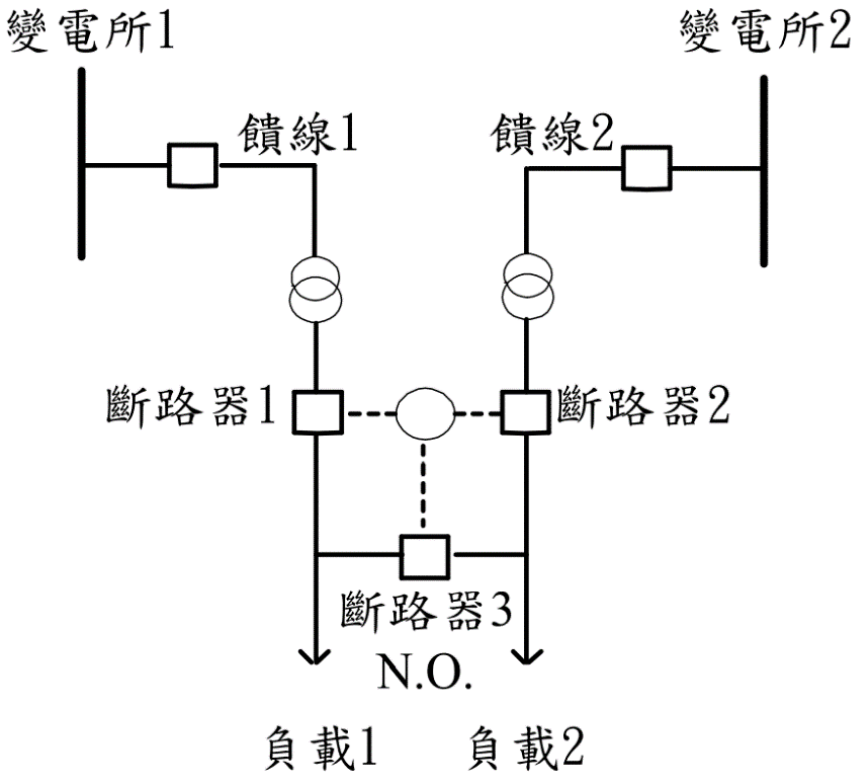
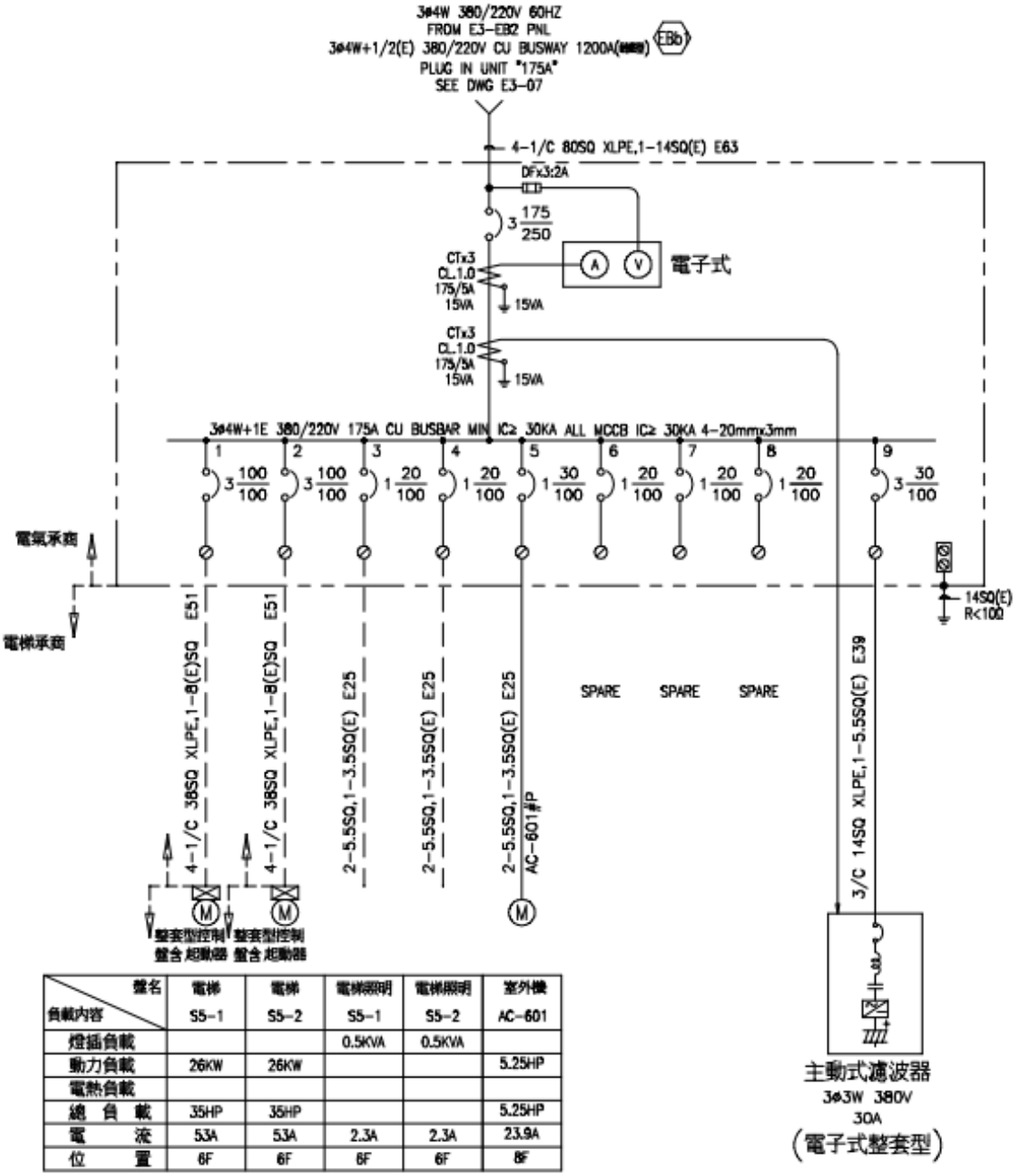


圖 3-1 二次選擇系統之供電架構【3】

變壓器概略區分為油式、乾式(模鑄式)與非晶質，油式與乾式差異在於絕緣方式的不同，前者使用絕緣油、後者使用樹脂，而非晶質則是鐵心採用非晶質合金材料降低鐵損；而購物中心與大型建築物，因用電量大、機房空間有限與室內消防等問題，經常選用乾式變壓器供電如圖 3-2 所示，相較於油式的體積龐大且大量絕緣油，具空間、維護上的優勢，然而模鑄式變壓器對於環境要求略高，仰賴良好的通風與乾燥環境，因此通常使用空調予以冷卻與維持乾燥。

圖 3-2 乾式(模鑄式)變壓器

由於購物中心主要為電感式負載(冰水主機壓縮機、水泵、手扶梯...等)，且為了節能與調速導入許多變頻控制，使得供電迴路中充斥虛功與諧波，因此於低壓迴路旁裝設 APFR 自動功率因數調整器，控制進相電容器改善功因、AHF 主動式濾波器改善電力品質，消除各種不同的電力諧波，減少因虛功與諧波所導致的不必要電力消耗與熱能產生，配電示意單線圖如圖 3-3 所示。



盤名 / 負載內容	電梯 S5-1	電梯 S5-2	電梯照明 S5-1	電梯照明 S5-2	室外機 AC-601
燈插負載			0.5KVA	0.5KVA	
動力負載	26KW	26KW			5.25HP
電熱負載					
總負載	35HP	35HP			5.25HP
電流	53A	53A	2.3A	2.3A	23.9A
位置	6F	6F	6F	6F	8F

圖 3-3 配電示意單線圖

由於外部(台電)電力供應無法保證不中斷，因此大型建物通常設有緊急供電系統，分為不斷電系統(UPS)與發電機兩種，不斷電系統使用電池、反應時間快、供電時間受限於電池容量，通常設置於無法接受瞬間/短時間停電的場所與設備，例如消防逃生指示燈、資訊設備、監視器及中央監控系統等；後者透過內燃機帶動發電機(如圖 3-4 所示)，其啟動、多機組並聯同步運轉至逐步恢復供電約需 15 分鐘，然而只要柴油儲備量足夠(日用油槽可支撐 8 小時)便可持續供電，且裝置容量大佔地空間尚可接受(需注意若油槽容量超過 1,000 公升，需依「公共危險物品及可燃性高壓氣體設置標準暨安全管理辦法」進行設置與管理)，因此建築緊急供電主要來自於此，通常設置於無法長時間停電的場所與設備，例如消防排煙機、冷凍冷藏庫、電梯、照明、部分空調等。

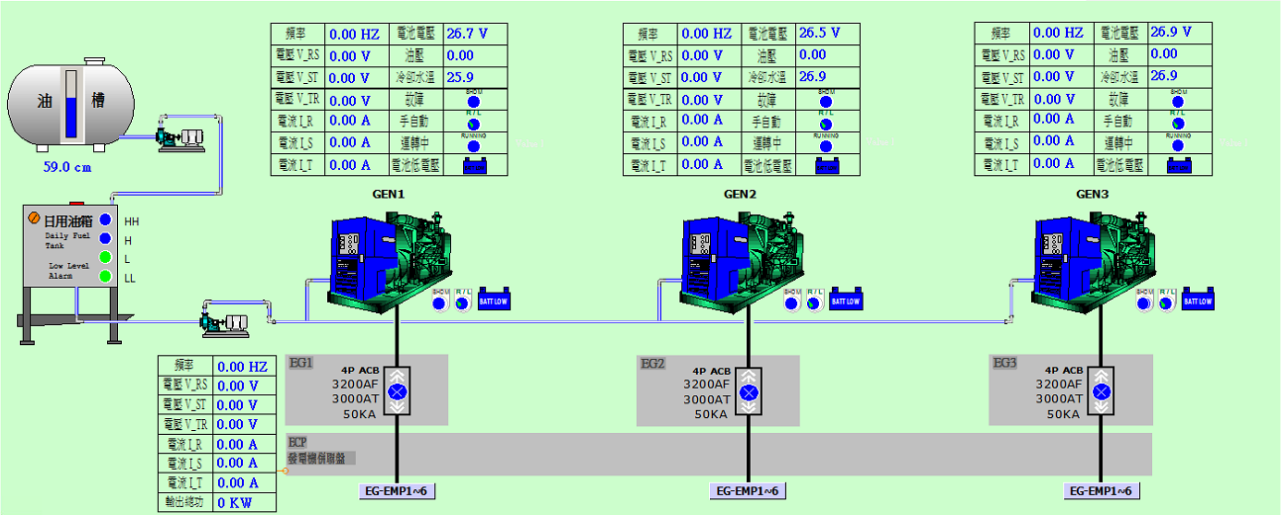


圖 3-4 緊急發電機示意圖

近年有儲能系統採各式鋰電池(磷酸鋰鐵、鋰三元等)，採模組化貨櫃型部署，可設置約 1~2MWh(20 呎、40 呎貨櫃)，受限於消防、設置成本等因素，現階段百貨與購物中心尚無導入實例(較多應用於示範場域或參與調頻運轉)，故暫不加以說明。

二、空調系統

為提供顧客一個舒適的購物環境，購物中心仰賴中央空調將室外炎熱、潮濕的空氣，變為涼爽、乾燥的冷氣，系統示意圖如圖 3-5 所示，分別由空氣、冰水、冷媒與冷卻水系統，將室內空氣的熱量逐次交換排放至冷卻水塔(室外)。

空氣系統有空調箱(AHU)、小型冷風機(FCU)與預冷空調箱(PAH)，使用冰水與送風機，透過盤管將空氣與冰水熱交換，送出涼爽、乾燥的冷氣至室內空間；冰水系統有冰水泵(CHP)、區域泵(ZP)等，作為輸送冰水往來主機與空氣系統的動力來源；冰水主機(CH)則是透過壓縮機驅動冷媒吸收冰水(蒸發器)的熱量，傳輸至冷卻水(冷凝器)，而冷卻水泵(CWP)與冷卻水塔(CT)則是將冷卻水的熱量透過水泵與風扇傳送至室外大氣環境中。

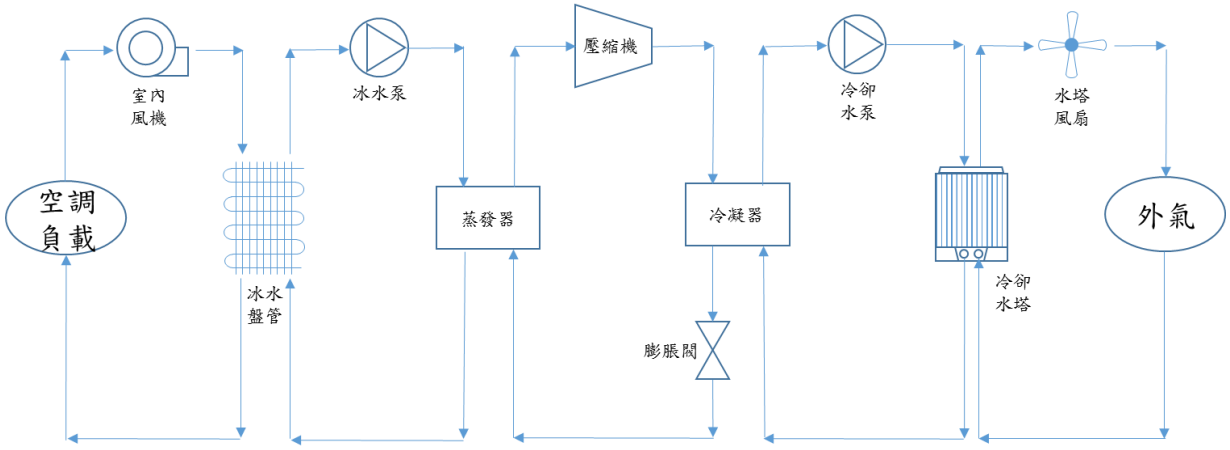


圖 3-5 中央空調系統流程圖【4】

空調冰水系統依據管路設計，可概略區分為一次冰水系統(如圖 3-6 所示)與一/二次冰水系統(如圖 3-7 所示)，兩者差異在於前者使用主機端冰水泵(CHP)直接供應全區空調冰水，後者透過區域泵(ZP)接力供應各區冰水使用；由於大型空調系統各季節、時段負荷差異大，故以一/二次冰水系統採流力分離、熱力耦合的應用上較為普遍。

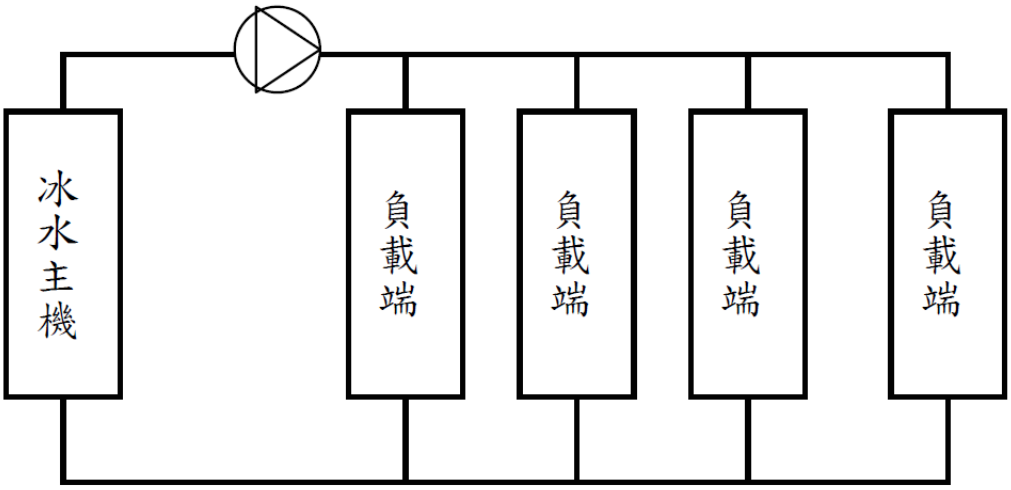


圖 3-6 一次冰水系統簡圖【5】

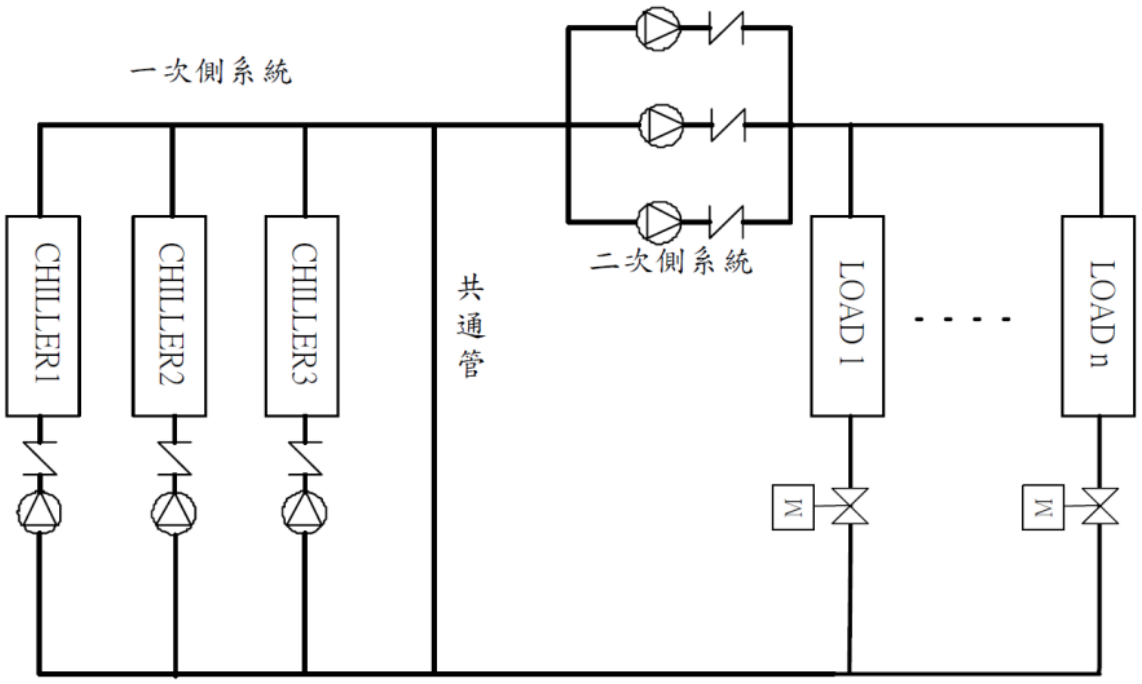


圖 3-7 一次/二次側冰水系統簡圖【5】

空氣系統視空調空間的需求與特性進行配置，空調箱(AHU)適合供應大空間同時使用，例如營業區公共走道、中島櫃、大型店鋪空調，而小型冷風機(FCU)則適用於各別空間(如小型店鋪、辦公室)或不同時段下各自開啟(廠商休息室)的零星需求。其中空調箱又可區分為定風量(CAV)與變風量(VAV)兩種如圖 3-8、

圖 3-9 所示，差異在於空調箱供風量是固定不變，或者透過變頻器等方式隨負載變動風量。

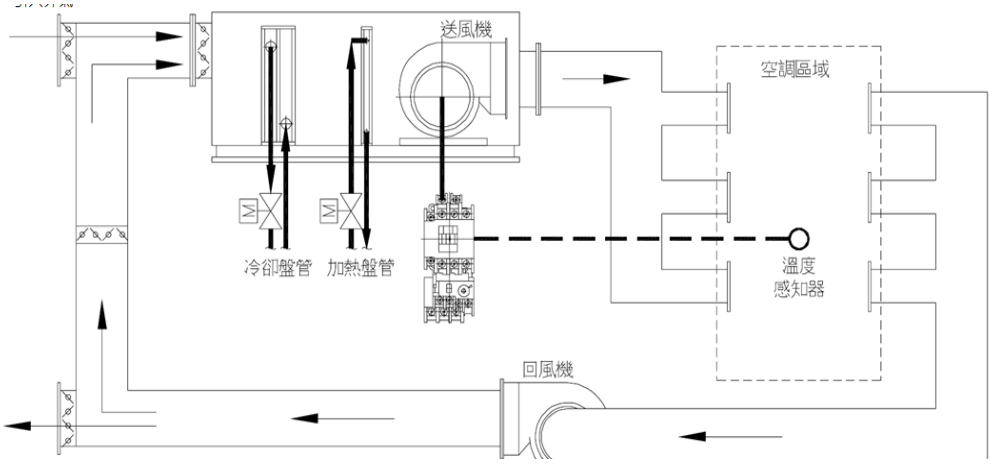


圖 3-8 定風量 CAV 系統簡圖【5】

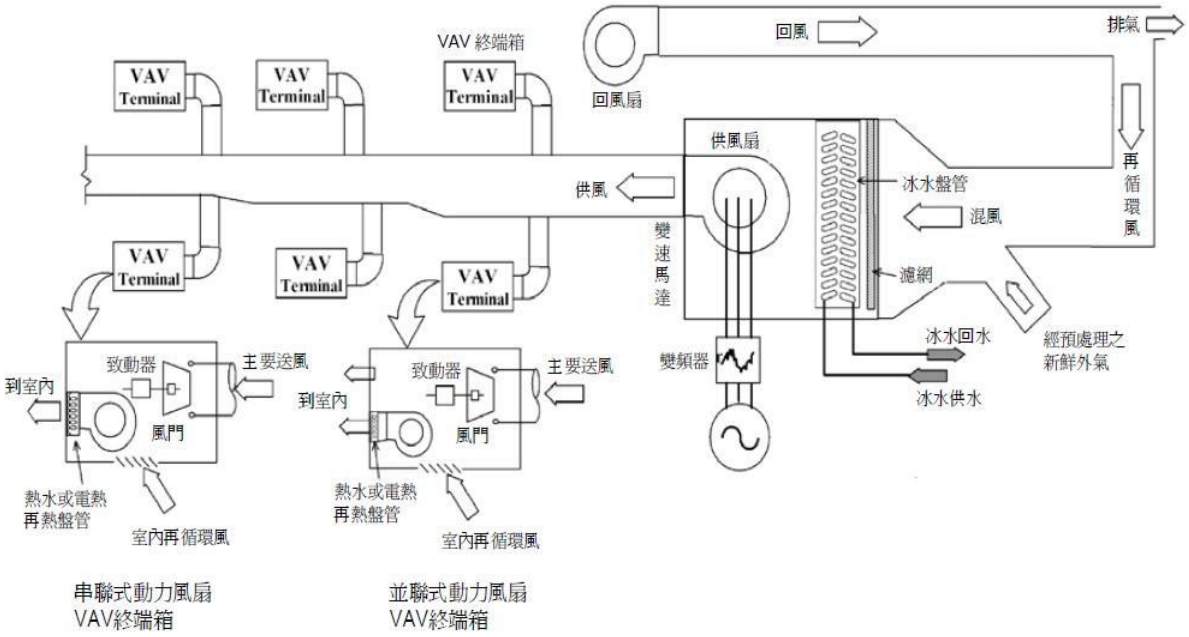


圖 3-9 可變風量 VAV 系統簡圖【5】

三、照明系統

商場依據不同區域、被照射體而配置各式燈具/種，常見的有 T5/T8 日光燈、PL 崁燈/筒燈、複金屬燈、PAR 燈等，現今各式燈具大多有 LED 光源的替代品，燈，新設商場多採 T5 日光燈甚至全 LED 照明，以下就商業空間常用之光源進行介紹：

1. 螢光燈

螢光燈屬於氣體放電燈的一種。它使用電力在氬或氖氣中激發水銀蒸氣，形成電漿並發出短波紫外線，紫外線被磷質吸收後，磷會發出可見的光以照明，這樣發出可見光的方式屬於螢光。一般的螢光管以玻璃製造，在兩端裝有插口以連接電源及固定螢光管的位置。與電燈泡不同，螢光管必須設有安定器，與啟動器配合產生讓氣體發生電離的瞬間高壓。日光燈管如果照直徑來分類，可分成 T2、T3.5、T4、T5、T6、T8、T9、T10、T12 等規格，常用所謂的 T5 就是直徑為 5/8 英吋（約 16 毫米）的日光燈管；T8 直徑為 1 英吋（約 26 毫米）；T9 直徑為 9/8 英吋（約 29 毫米）的日光燈管。【6】

(1) T8 螢光燈

T8 螢光燈管口徑 8/8 英吋(26mm)如圖 3-10 所示。在歐洲 T8 燈管可以配合傳統銅鐵式的安定器，或電子式安定器來使用，但在美國及日本的 T8 燈管為高頻燈管，必須專門使用電子式安定器。

圖 3-10 T8 燈管示意圖(發光效率 85 lm/W)

(2) T5 螢光燈

T5 螢光燈管口徑 5/8 英吋(16mm)如圖 3-11 所示。相對於傳統 T9 螢光燈管口徑 9/8 英吋(=2.9 公分)，或 T8 螢光燈管口徑 8/8 英吋(=2.6 公分)，T5 螢光燈管口徑較細小，但其發光效率卻高於 T9 與 T8 燈管。T5 必須專門使用電子式安定器。

圖 3-11 T5 燈管示意圖(發光效率 96 lm/W)

(3) 緊湊型螢光燈

為了取代傳統白熾燈，將燈管、安定器、啟動器結合在一起，配合使用白熾燈燈座的緊湊型螢光燈泡，俗稱為省電燈泡如圖 3-12 所示，可以在不更換燈具基座的情況下，直接取代白熾燈使用。

圖 3-12 緊湊型螢光燈(俗稱省電燈泡)示意圖(發光效率 61 lm/W)

2. 複金屬燈【7】

複金屬燈係由硬質外管、石英玻璃發光管、主電極、起動電阻補助電極及支架所構成。在石英玻璃發光管內封入金屬鹵化物，作為發光物質，在高溫及高壓之水銀電弧中，金屬鹵化物分解為金屬原子與鹵元素，並使金屬原子產生特有之光譜而發光。複金屬燈與大多數氣體放電燈一樣，呈現負電阻的電氣特性，點

亮前燈管兩電極間有極高的電位梯度；所以驅動複金屬燈的安定器，必須具備限制燈管電流以及高電壓點燈的兩個基本功能。

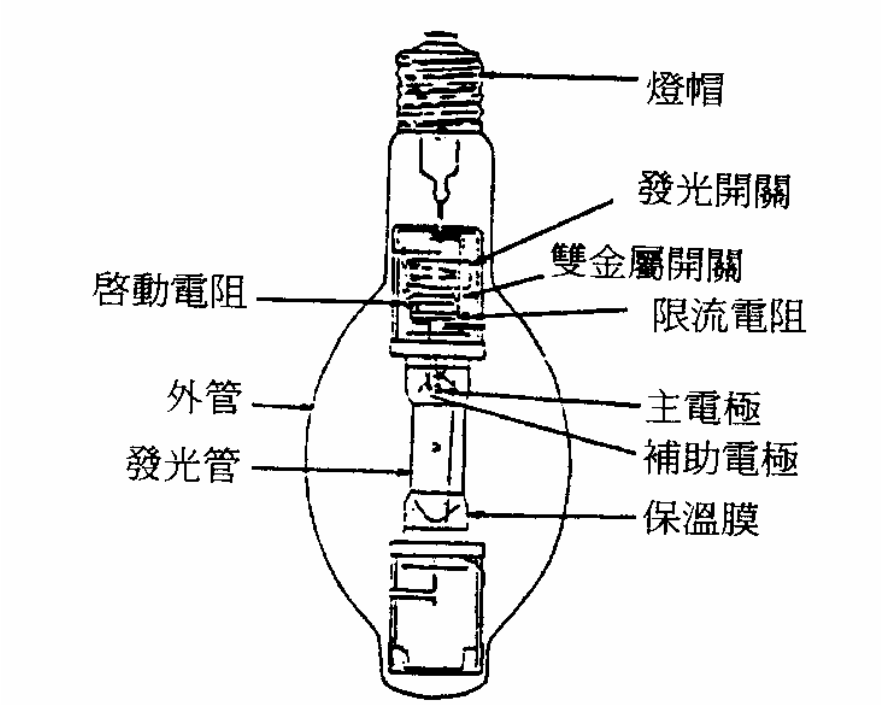


圖 3-13 複金屬燈示意圖

3. LED 燈【8】

白熾燈、鹵素燈光效只有 15~25 lm/W，螢光燈 60~100 lm/W，尤其是白熾燈等電熱性光源，大部分的用電變成熱量損耗。LED 經過幾十年的技術改良，市售 LED 產品之發光效率已達(105~160 lm/W)，實驗室晶片發光效率已可達到 254 lm/W 階段；其光的演色性好、光譜窄，無需過濾可直接發出有色可見光。而在用電量方面，單顆 LED 功率自小瓦數 50mW 至大瓦數 1W 以上，採直流驅動，反應速度快，可在高頻操作。可內置於微處理系統而控制發光強度，調整發光方式，實現光與藝術結合。

同樣照明效果情況下，用電量是白熾燈泡的 1/8、螢光燈管的 1/2，如表 3-1 所示。同樣效果的一支 T8 螢光燈管要 40W、T5 螢光燈管要 28W，而採用 LED 每支的功率只有 18W 甚至有 13W(節能標章)。如果散熱處理良好，理論上半導體發光蕊片平均壽命可達 10 萬小時；而燈具使用壽命也可達 5~10 年，可以大大降低燈具的維護費用，避免經常更換燈具之支出。

表 3-1 T8、T5 螢光燈與直管型 LED 燈比較表

項目	T8 燈具	T5 燈具	直管型 LED 燈具
平均壽命(h)	8000	20000	30000
演色性	Ra80	Ra85	Ra80~90
閃頻(秒)	高頻 40000~50000/秒	高頻 40000~50000/秒	無(直流電)
每管瓦數	短 18W(2 尺) 長 38W(4 尺)	14W(2 尺) 28W(4 尺)	9W(2 尺) 18W(4 尺)
燈管管徑	26mm	16mm	26mm
燈管管長(mm)	604(2 尺) 1213(4 尺)	565(2 尺) 1163(4 尺)	604(2 尺) 1213(4 尺)
發光效率	1W=70lm 18W=1260lm	1W=90lm 14W=1260lm	1W=100~130lm
光衰狀況	3000 小時達 80%	10000 小時達 80%	10000 小時 90%
水銀含量	10~15mg	3~5mg	0mg
每小時耗功	40~80W	30~60W	30~45W
省電比	比 T5 多出 20%耗電量		比 T5 節省約 25~50%

四、給排水、汙廢水

購物中心匯聚大量店家與人潮整體用水量相當可觀，水資源的儲存、分配、回收、再生與排放均相當重要，概略可分為地下蓄水池(上水)、生活水箱(上水)、生飲水、雨水或生活雜排水回收(中水)與汙水(下水)；隨著開發規模增加便會要求建置完整的水資源回收系統，以達相當的回收再利用率。

給水流程如圖 3-14 所示，自來水由受水管(水量計後)至地下蓄水池儲存，再由自來水揚水泵加壓輸送至高樓層的生活水箱，透過重力或恆壓泵將水輸送至各處使用，地下蓄水池與生活水箱儲留水量約為設計用水量的十分之四至二日之間，依照用途可概略區分：生活用水、空調用水、植栽澆灌用水、消防用水。

1. 生活用水：供公共廁所、拖布盆間、員工休息室、醫務室、露臺、停車場、洗窗機及店鋪...等區域。
2. 空調用水:供空調冷卻水塔蒸發飛濺補水及中央空調冰水系統膨脹水箱補水。
3. 植栽澆灌用水：搭配雨水回收系統不足時補水用。
4. 消防用水:供消防栓系統、消防撒水系統、消防放水型系統、消防泡沫系統、消防取水系統、消防輔助水箱。

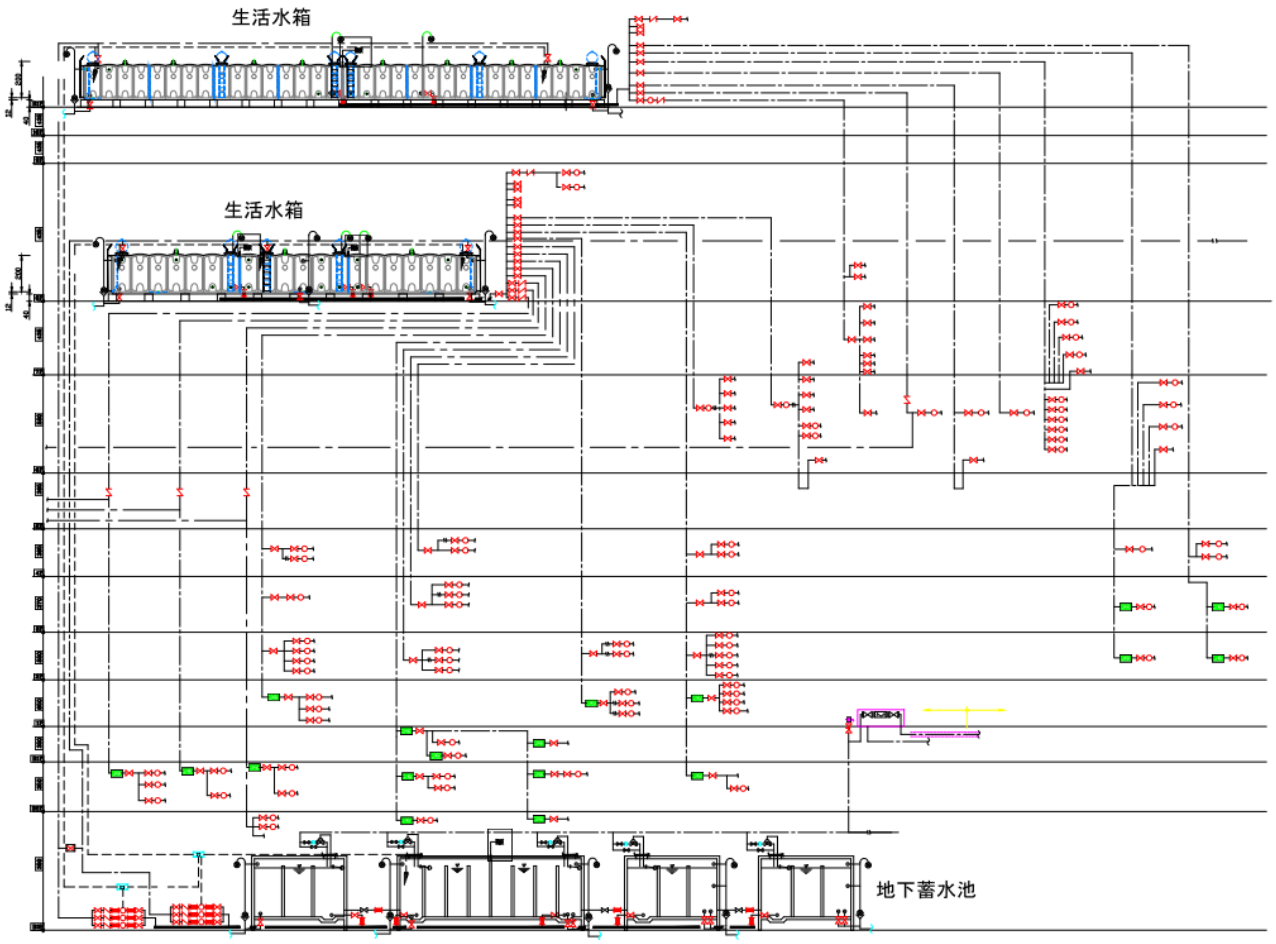


圖 3-14 給水系統示意圖

生活用水使用後成為汙水與廢水，分別進入污水池與廢水池等待進一步處理，其中廢水(生活雜排水)與雨水可進一步處理作為沖廁、澆灌等非與人體接觸使用，由於廢水中含有較多雜質(人體毛髮、清潔劑或蔬果殘渣...等)，需經過過濾、曝氣、沉澱、加氯方可再利用，而雨水雜質相對較少僅過濾便可再利用，如圖 3-15 所示，前者廢水回收水量多且固定、處理成本較高，後者雨水回收量”看天”、處理成本低；經過處理水質達到使用標準後，進入中水蓄水池與泵送至中水箱供沖廁與澆灌，如圖 3-16 所示。

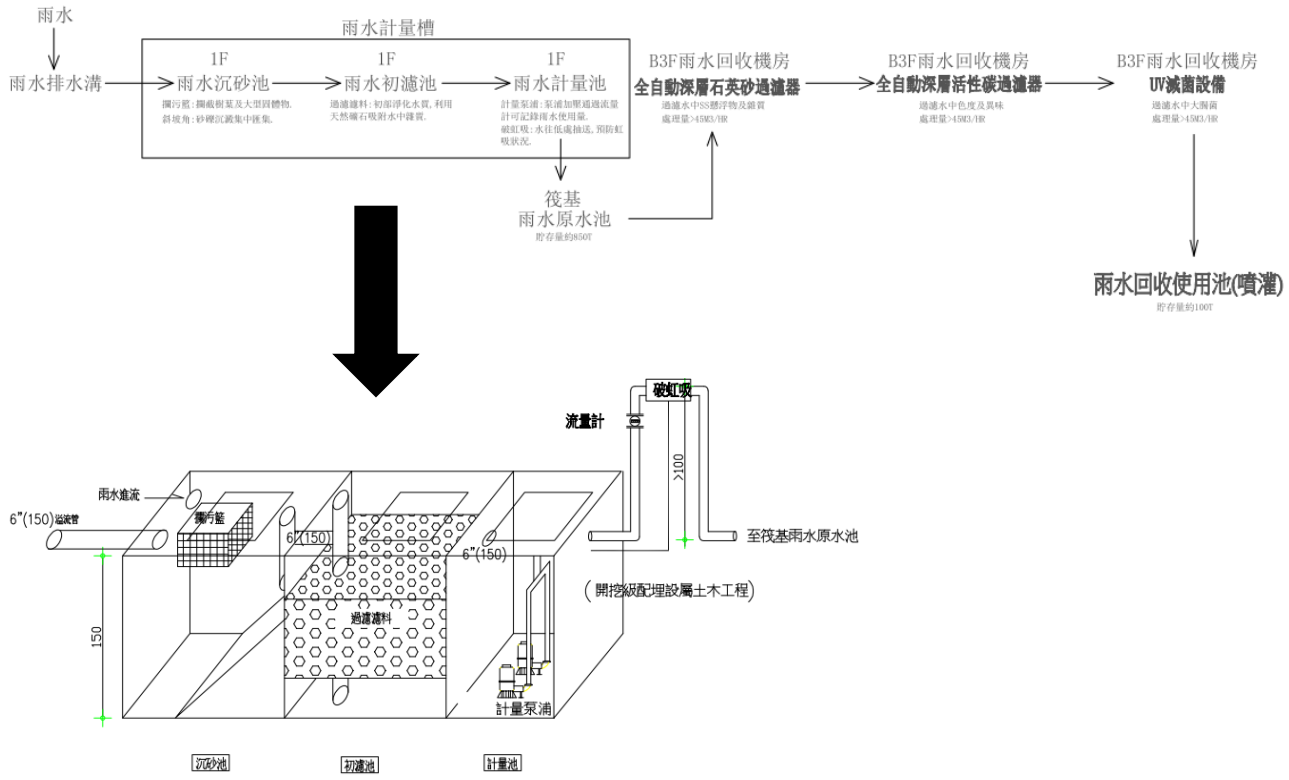


圖 3-15 雨水回收與再生流程示意圖

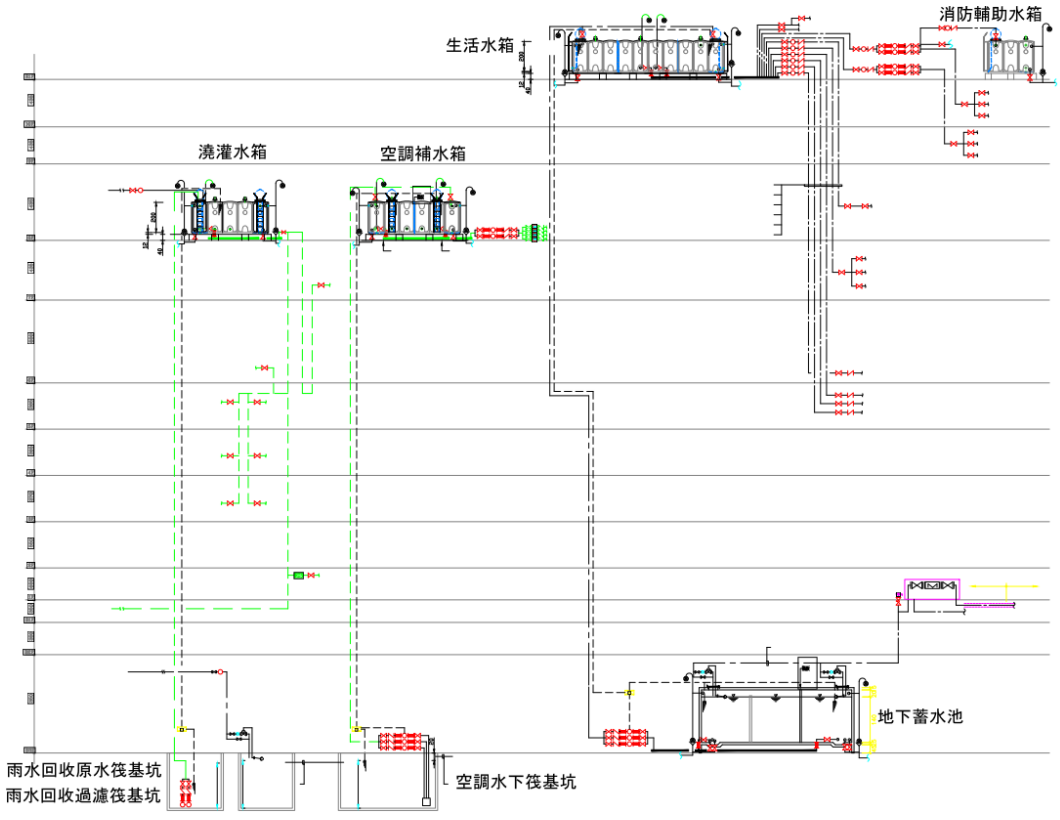


圖 3-16 雨水回收與配水示意圖

污水一般指沖廁使用後或不再利用的廢水(如廚房含油脂廢水)，此類污水需經攔汙、除油(如果需要)、沉砂、調勻、曝氣、沉澱、加氯消毒後(如圖 3-17、圖 3-18 所示)，再將符合排放標準之污水排放至指定管溝或污水下水道，其處理流程最多、耗能量大。

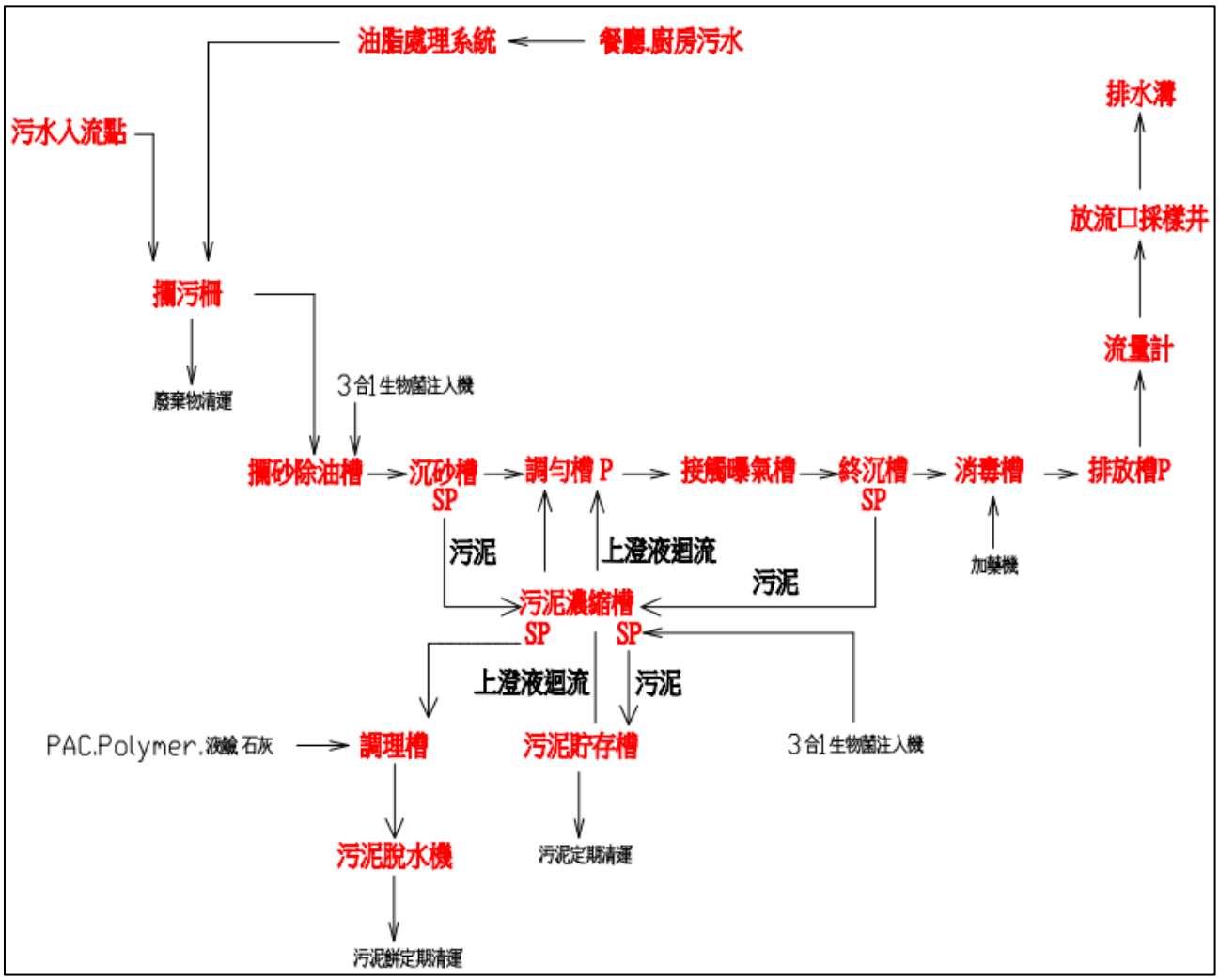


圖 3-17 汙水回收與排放流程示意圖

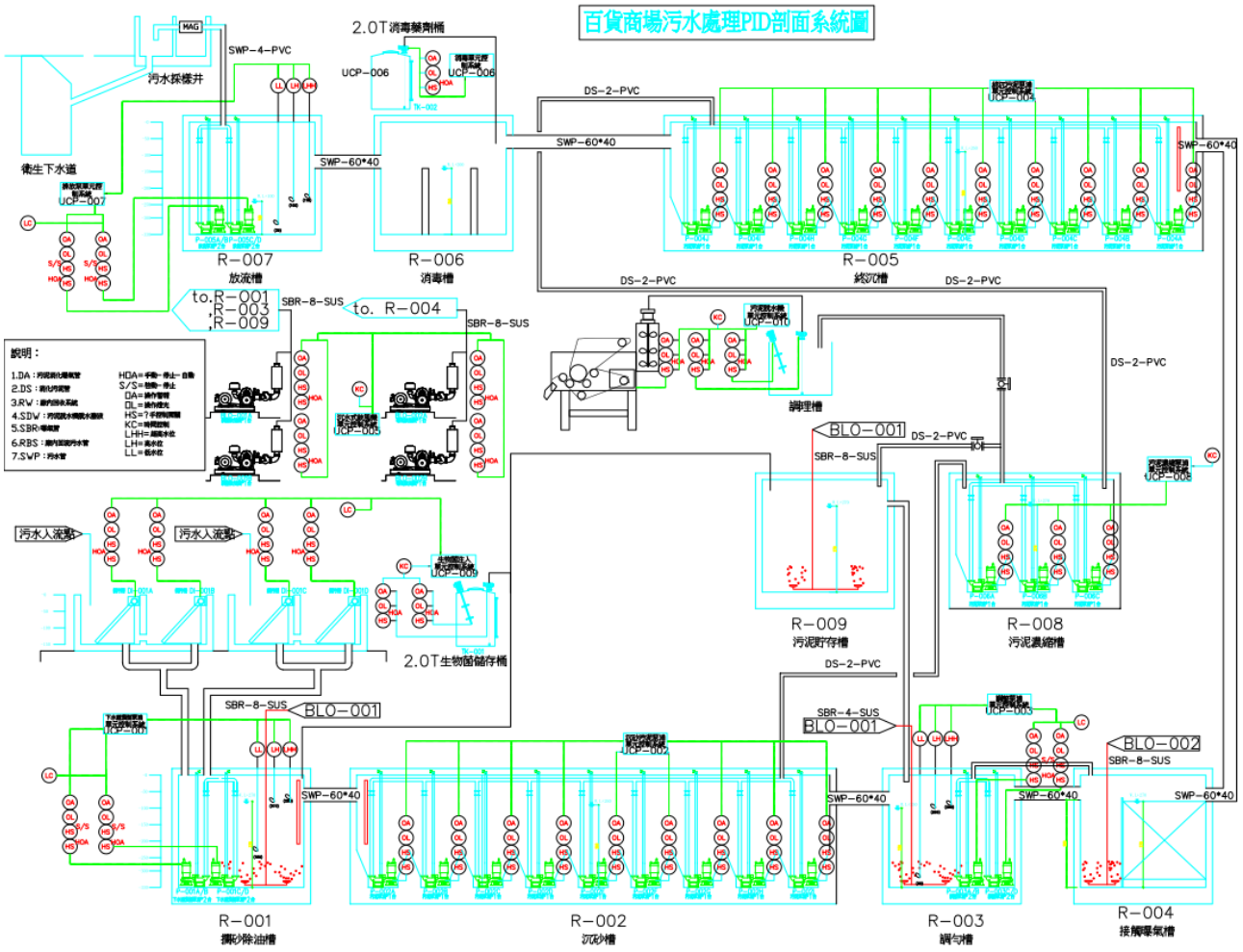


圖 3-18 汙水處理流程示意圖

五、進排風系統

購物中心送排風系統概略分為空調進風、廚房進/排風、廁所排風、停車場進/排風與特殊機房排風幾類，若將建築視為一個方塊(如圖 3-19 所示)，可知商場與停車場形成各自的進、排氣流程。

商場預冷空調箱(或空調箱外氣風門)經除濕、降溫、過濾 PM2.5 提供涼爽的新鮮外氣，稀釋內部二氧化碳後，經由廁所排風機二次使用後排至室外；廚房蒸煮燃燒亦有相當的排氣經由水洗機處理後排出室外，為維持換氣效率與避免大量冷氣被抽出，另有廚房補氣系統將室外空氣送至廚房排油煙口附近。停車場則為了排除汽機車行駛的廢氣(一氧化碳)與部分筏基汙廢水異味，設有進排風機，通常以軸流式(大風量)與噴流式(高靜壓)風機接力組合，在停車場形成風場(風的流動)，通風量可參建築技術規則建築設備編第 102 條規範，如表 3-2 所示。

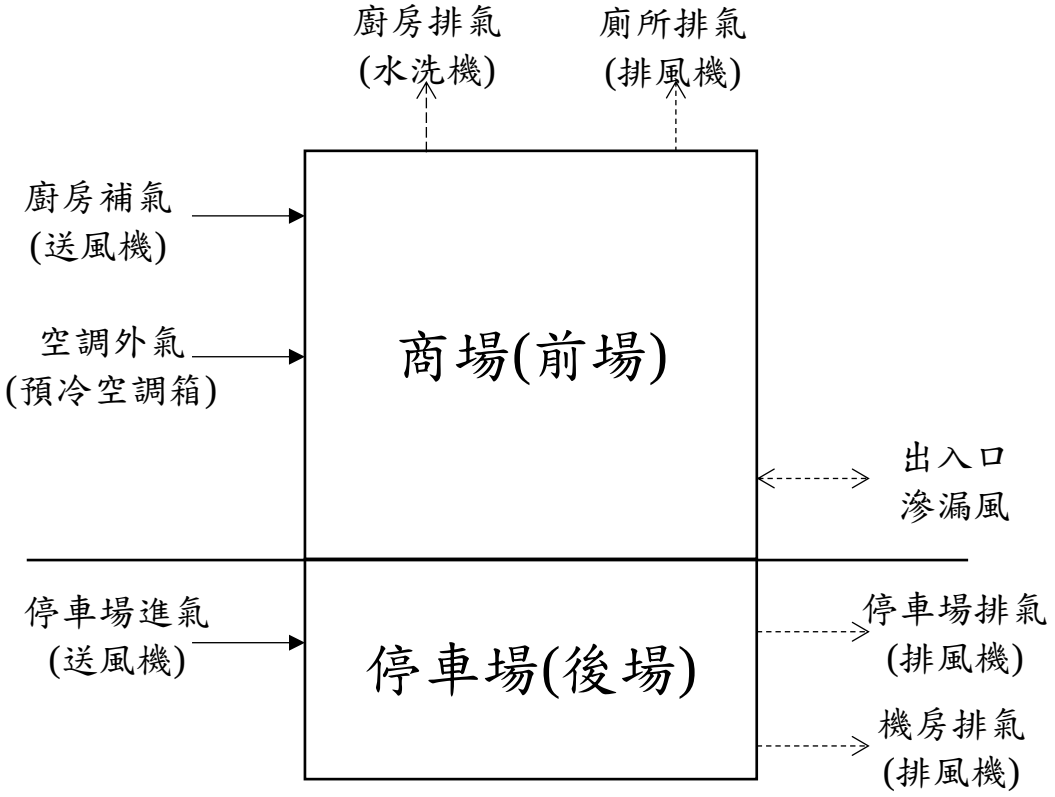


圖 3-19 各類送排風系統關係

表 3-2 建築技術規則設備編機械通風量

第 101 條　（通風系統）機械通風應依實際情況，採用左列系統：

一、機械送風及機械排風。

二、機械送風及自然排風。

三、自然送風及機械排風。

第 102 條　建築物供各種用途使用之空間，設置機械通風設備時，通風量不得小於左表規定：

房間用途		樓地板面積每平方公尺所需通風量(立方公尺／小時)	
		前條第一款及第二款通風方式	前條第三款通風方式
臥室、起居室、私人辦公室等容納人數不多者。		8	8
辦公室、會客室		10	10
工友室、警衛室、收發室、詢問室。		12	12
會議室、候車室、候診室等容納人數較多者。		15	15
展覽陳列室、理髮美容院。		12	12
百貨商場、舞蹈、棋室、球戲等康樂活動室、灰塵較少之工作室、印刷工場、打包工場。		15	15
吸煙室、學校及其他指定人數使用之餐廳。		20	20
營業用餐廳、酒吧、咖啡館。		25	25
戲院、電影院、演藝場、集會堂之觀眾席。		75	75
廚房	營業用	60	60
	非營業用	35	35
配膳室	營業用	25	25
	非營業用	15	15
衣帽間、更衣室、盥洗室、樓地板面積大於１５平方公尺之發電或配電室		—	10
茶水間		—	15
住宅內浴室或廁所、照相暗室、電影放映機室		—	20
公共浴室或廁所，可能散發毒氣或可燃氣體之作業工場		—	30
蓄電池間		—	35

六、營業用電

除了上述各節的公用設備或系統別用電外，櫃位內營業用電佔整體用電亦有相當的比例，各商場會依設定的業態/業種，分別規劃適合店鋪型態、營業用電規格與管理型態。例如以下店鋪類型所設定的營業用電需求：

1. 自設店鋪：提供一次側電錶盤(如圖 3-20 所示)，由店鋪自設二次側用電盤與自行管理。

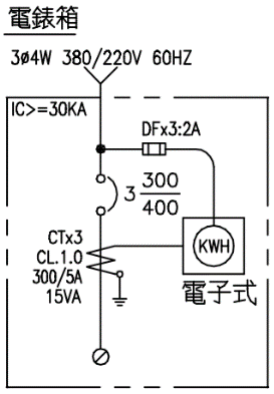


圖 3-20 一次電錶箱示意圖

2. 統設店鋪：電力系統由商場設備提供，二次側插座照明盤供店鋪銜接道具燈、陳列等設備負載(如圖 3-21 所示)，可設置遙控電源開關以搭配中央監控系統管理。

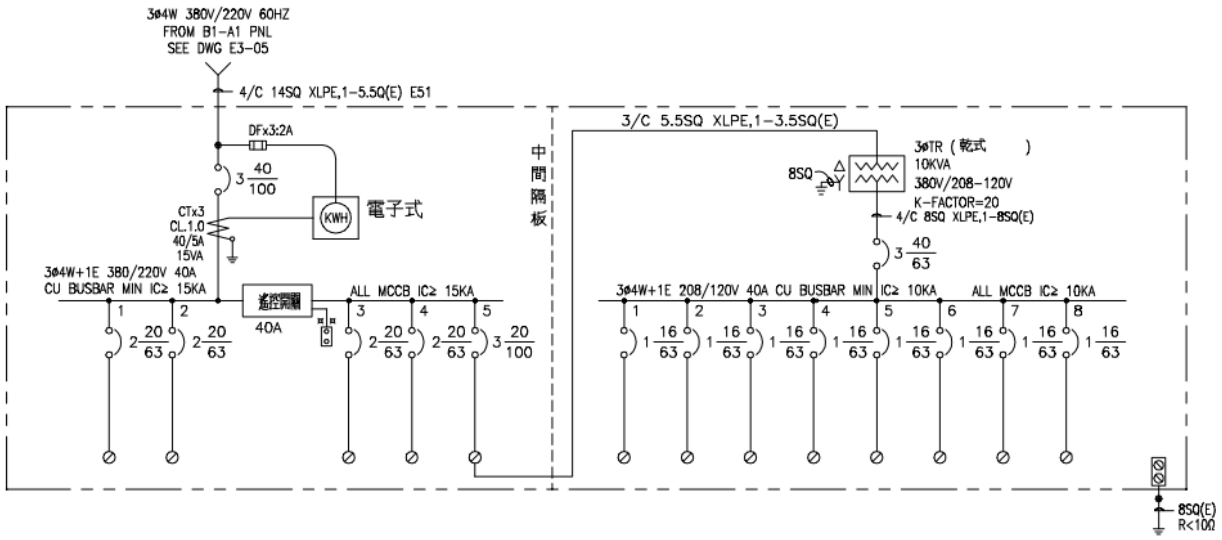


圖 3-21 一次電錶箱與二次插座照明盤示意圖

3. 中島店鋪：僅有 110V/220V 插座供店鋪銜接道具燈、陳列等設備負載(如圖 3-22 所示)，可設置遙控電源開關及燈光二線控搭配中央監控系統管理。

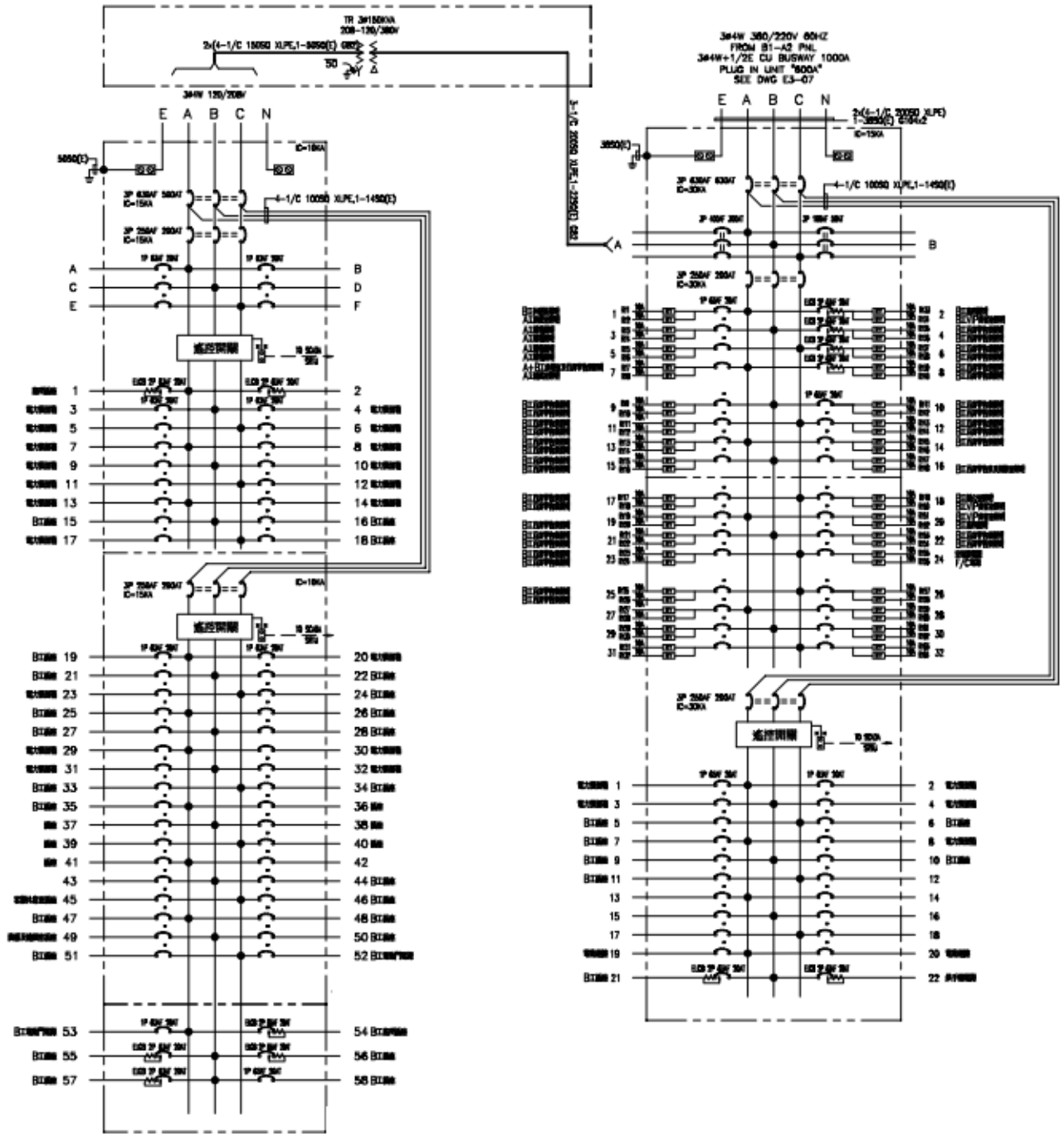


圖 3-22 中島店鋪插座盤示意圖

七、能源流向

以某大型購物中心為例，後場與公用設備用電達 50.7%，而前場(營業區)用電則為 49.3%可說兩者各半，如圖 3-23 所示，顯示工務部門所管理的機電設施對總體耗能固然重要，然而前場營業單位的型態、用能行為與效率等，仍可左右整體建物耗能，能源管理的成功仰賴全體員工、櫃位與各式軟硬體的配合方能達成。

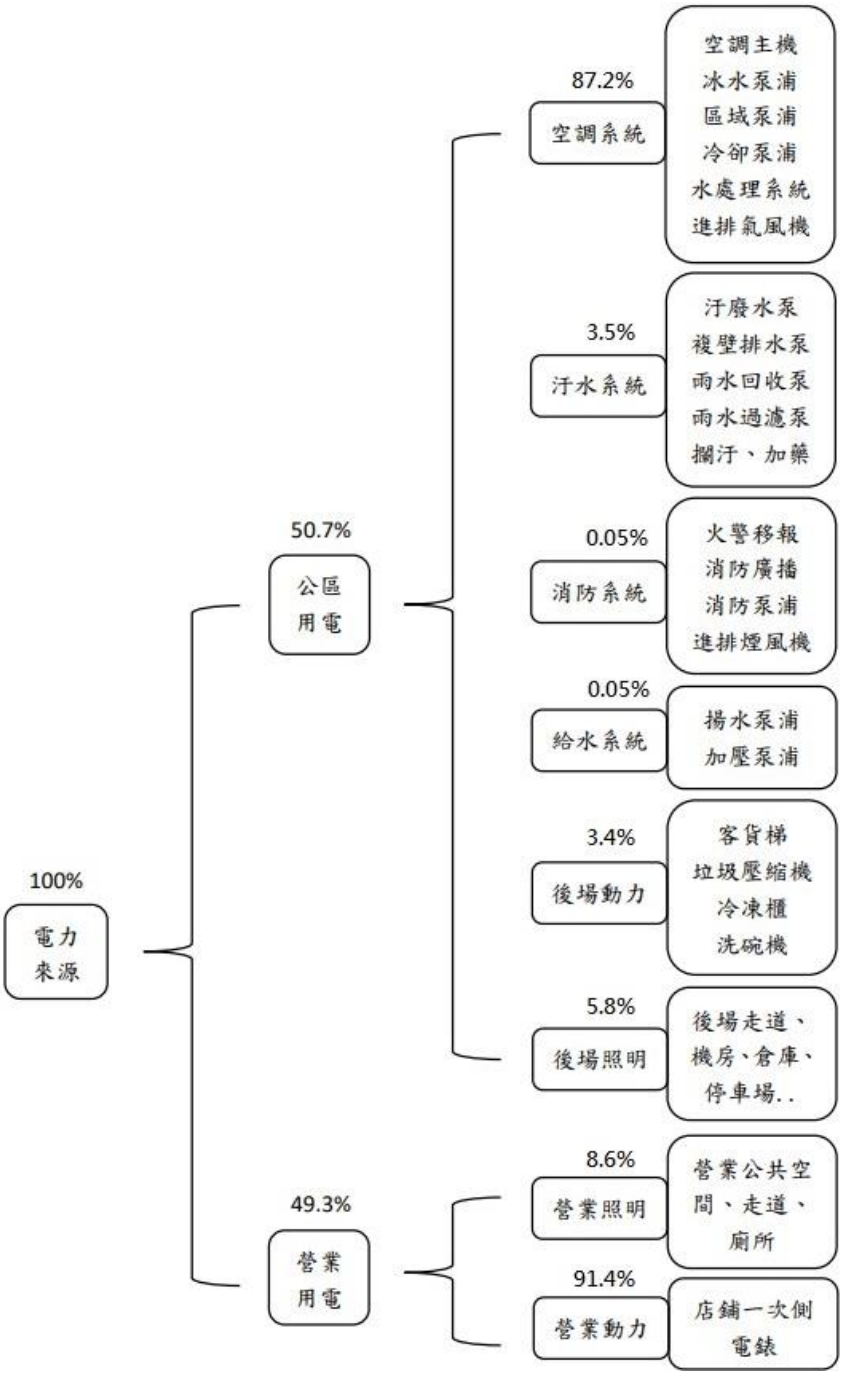


圖 3-23 某購物中心能源流向圖

肆、購物中心節能改善措施

一、電力系統

購物中心主要用能及支出為電力(費)，以下就電力監視系統、契約容量、計費模式與需量管理、電力變壓器、電力品質等分別說明來掌握各迴路/系統情形，同時供電迴路可區分為空調主機、空調動力、照明插座、動力、各店鋪與緊急迴路等(可從電力單線圖得知)

1.電力監視系統

電力監視系統為中央監控系統(BAS)或能源管理系統(EMS)的一項，透過數據收集掌握電力流向，透過高/低壓所裝設的數位電錶，掌握電壓(V)、電流(A)、功率因數(PF)、有效功率(kW)、度數(kWh)、無效功率(kvar)等電力參數，如圖 4-1~圖 4-3 所示，具產出圖表、數據輸出、超量/異常告警等功能。其中超量告警可分為需量與度數兩種，例如建築尖峰需量超過契約的自動卸載、每日/每週用電度數相較同期超過 10%、店鋪夜間閉店後持續耗電等可能的異常徵狀，仰賴數據收集、分析與應用管理。

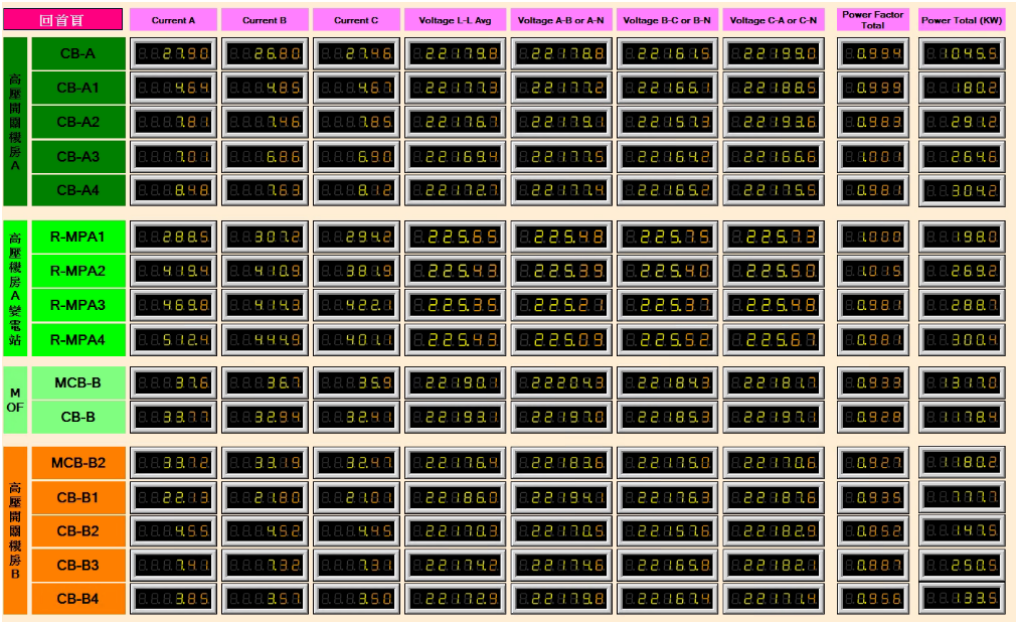


圖 4-1 電力監視系統圖

圖 4-2 高壓設備保護電驛監視系統

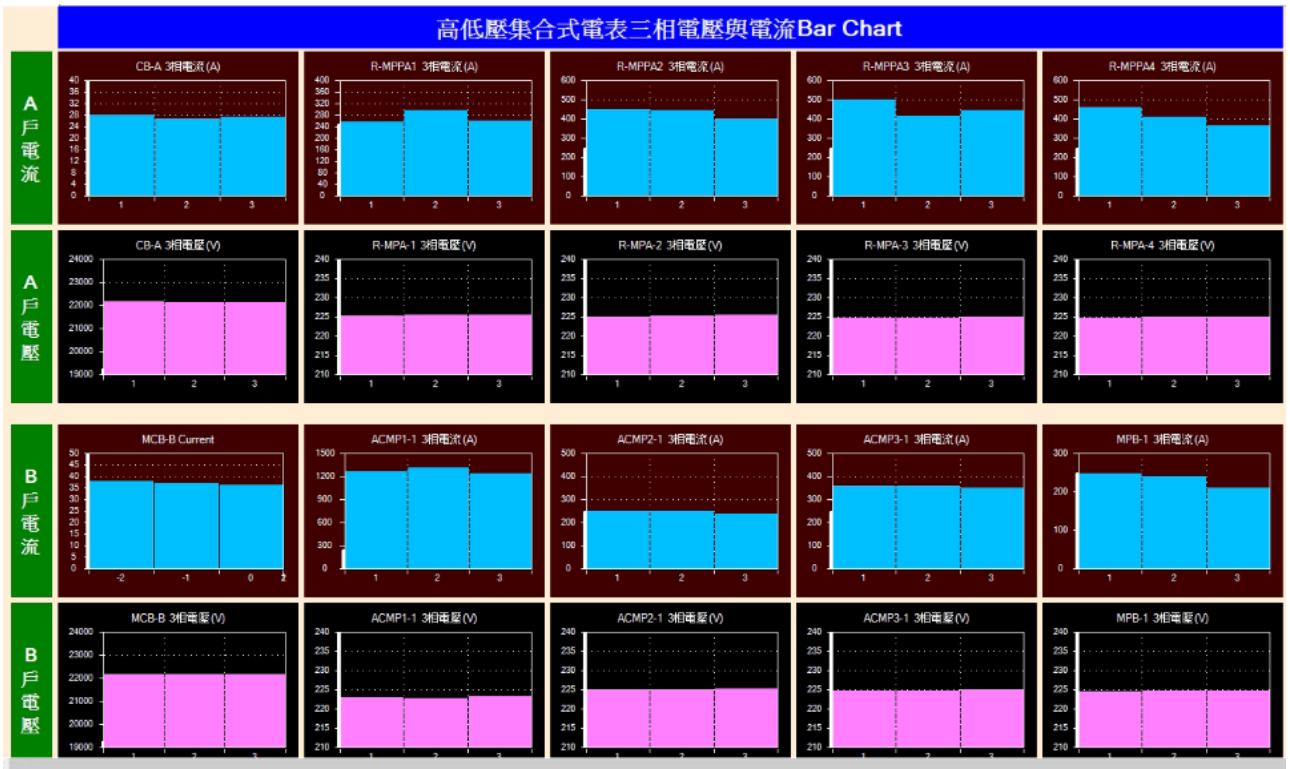


圖 4-3 三相電壓電流圖形化比較介面

偶而我們看到日光燈閃爍或者某些設備不明原因跳脫，此時除了儘速排除事故降低營業影響外，透過電力品質異常分析(如圖 4-4 所示)，找出可能的異常原因，釐清是外部電力品質不穩定、自設的高壓變壓器或保護設備有異常，以提早擬定對策及預防後續的事故或營業損失。

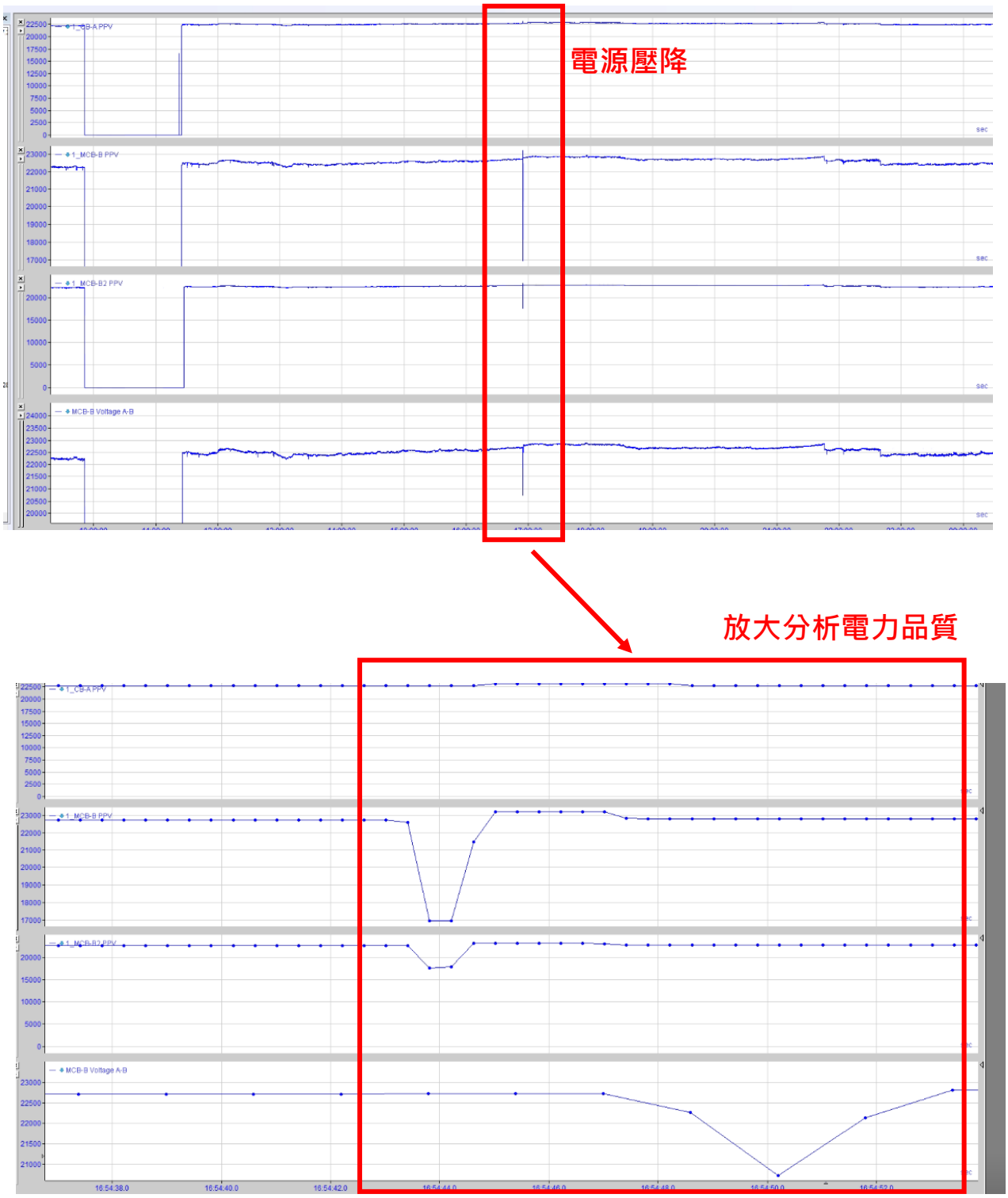


圖 4-4 電力品質異常分析

2.契約容量、計費模式與需量管理

契約容量是用電戶與台電簽訂的供電契約，雙方約定供需的需量(kW，指有效功率)，為此台電需投資興建供電設備，用電戶則為此付出供電容量維持費(首次繳納)如表 4-1 所示，並每月付出基本電費分攤供電設備維運成本，當用電需量超過契約時，會加收"非約定"基本電費(早年稱超約附加費)，反之用電需量低於契約仍需繳納約定的基本電費。

表 4-1 供電容量設置費單價【9】

用電種類		單位	單價
電燈		每戶	5,500 元
電力用電	低壓	每瓩	2,750 元
	高壓	每瓩	2,200 元
	特高壓 69 千伏	每瓩	2,000 元
	特高壓 161 千伏	每瓩	1,313 元
	特高壓 345 千伏	每瓩	525 元

備註：
1. 非夏月契約容量按表列單價 75%計收。
2. 半尖峰契約容量按表列單價 75%計收。
3. 週六半尖峰契約容量按表列單價 20%計收。
4. 離峰契約容量按表列單價 20%計收。

由此可知為了維持台電供電，用電單位需付出相當的成本，而這個契約訂定初期是電力技師，於「假設」的營業條件下給予用電單位建議再向台電申設，「實際」用電需求運營隨著櫃位進出、景氣/人潮變化有所增減，因此並非不能調整與檢討。契約容量調整需往前檢視近年用電趨勢、營業情形與評估未來營業型態等，而契約訂定的太高需付出較高的基本電費，太低則有較高的非約定基本電費，兩者的平衡在於每年約有 3~4 個月超約(服務業通常在夏季，因為空調)，而超約幅度在 10%以內，可使全年的約定與非約定基本電費較符合經濟原則，如表 4-2 所示。

表 4-2 契約容量試算範例

契約容量的訂定(三段式)

(1).根據貴單位提供之一年份電力通知單資料輸入如下表，其基本電費及非約定基本費(超約)共計　10,702,080 元。

年份	月份	最高需量(kW)				契約容量(kW)				基本電費	非約定基本電費(元)				
		經常	半尖峰	週六半尖峰	離峰	經常	半尖峰	週六半尖峰	離峰	(元)	合計	經常	半尖峰	週六半尖峰	離峰
109	1	0	3,808	3,960	3,976	4,800	0	0	0	801,120	0	0	0	0	0
109	2	0	3,640	4,016	3,520	4,800	0	0	0	801,120	0	0	0	0	0
109	3	0	3,472	3,536	4,056	4,800	0	0	0	801,120	0	0	0	0	0
109	4	0	3,824	3,672	3,432	4,800	0	0	0	801,120	0	0	0	0	0
109	5	0	3,992	4,000	3,984	4,800	0	0	0	801,120	0	0	0	0	0
109	6	0	4,032	4,432	4,472	4,800	0	0	0	801,120	0	0	0	0	0
109	7	4,480	4,504	4,608	4,512	4,800	0	0	0	1,073,280	0	0	0	0	0
109	8	4,560	4,552	4,648	4,600	4,800	0	0	0	1,073,280	0	0	0	0	0
109	9	4,480	4,552	4,576	4,584	4,800	0	0	0	1,073,280	0	0	0	0	0
109	10	4,328	4,256	4,392	4,416	4,800	0	0	0	1,073,280	0	0	0	0	0
109	11	0	4,184	4,320	4,216	4,800	0	0	0	801,120	0	0	0	0	0
109	12	0	3,920	4,144	4,048	4,800	0	0	0	801,120	0	0	0	0	0
平均		4,462	4,061	4,192	4,151	總計				10,702,080	0				
										約定與非約定基本電費合計	10,702,080				

(2).最佳化後之契約容量如下表，重新計算基本電費及超約附加費共　9,853,912 元。

契約容量重新訂定後，全年可節省基本電費及超約附加費共　848,168 元。

年份	月份	最高需量(kW)				契約容量(kW)				基本電費	非約定基本電費(元)				
		經常	半尖峰	週六半尖峰	離峰	經常	半尖峰	週六半尖峰	離峰	(元)	合計	經常	半尖峰	週六半尖峰	離峰
109	1	0	3,808	3,960	3,976	4,146	0	350	0	691,967	0	0	0	0	0
109	2	0	3,640	4,016	3,520	4,146	0	350	0	691,967	0	0	0	0	0
109	3	0	3,472	3,536	4,056	4,146	0	350	0	691,967	0	0	0	0	0
109	4	0	3,824	3,672	3,432	4,146	0	350	0	691,967	0	0	0	0	0
109	5	0	3,992	4,000	3,984	4,146	0	350	0	691,967	0	0	0	0	0
109	6	0	4,032	4,432	4,472	4,146	0	350	0	691,967	0	0	0	0	0
109	7	4,480	4,504	4,608	4,512	4,146	0	350	0	927,046	157,376	149,365	8,011	0	0
109	8	4,560	4,552	4,648	4,600	4,146	0	350	0	927,046	185,141	185,141	0	0	0
109	9	4,480	4,552	4,576	4,584	4,146	0	350	0	927,046	173,398	149,365	24,034	0	0
109	10	4,328	4,256	4,392	4,416	4,146	0	350	0	927,046	81,390	81,390	0	0	0
109	11	0	4,184	4,320	4,216	4,146	0	350	0	691,967	12,684	0	12,684	0	0
109	12	0	3,920	4,144	4,048	4,146	0	350	0	691,967	0	0	0	0	0
平均		4,462	4,061	4,192	4,151	總計				9,243,922	609,990				
										約定與非約定基本電費合計	9,853,912				

(3).契約容量設算

設算	契約容量(kW)				總基本電費	線路設置費	回收年限
	經常	半尖峰	週六半尖峰	離峰	(元/年)	(元)	(年)
最佳值	4,146	0	350	0	9,853,912	0	0.00
設算 1	4,156	0	350	0	9,854,982	0	0.00
設算 2	4,166	0	350	0	9,856,052	0	0.00
設算 3	4,136	0	350	0	9,959,665	0	0.00
設算 4	4,126	0	350	0	9,960,831	0	0.00

細看契約容量可區分經常、半尖峰、週六半尖峰與離峰幾個時間，不同時間的電價成本不同(如表 4-3 所示)，自然維持契約的基本電費也有所不同；所謂「經常」是指全年任何時間可用容量(基本電費最高)，半尖峰(費用次之)、週六半尖

峰與離峰(費用最低)則是各自不同時間(同流動電費時段)，其中週六半尖峰可涵蓋離峰時段。

契約訂定常被忽略的部分是週六半尖峰，以購物中心、百貨業或飯店業來說，其假日消費人潮高於平日的營業型態，假日正是店鋪「拚經濟」的時間，自然不可能在此時提倡減少用電、抑低需量，而往往契約的訂定只看到「經常性」，而忽略週六半尖峰的需求，反而造成不必要的非約定基本費支出與使用單位的困擾，此部分可另訂週六半尖峰契約(如表 4-3 所示)，反應此部分用電需求。

表 4-3 高壓/特高壓三段式時間電價表(111.7.1 公告實施)【10】

(二)三段式時間電價：　　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	經常契約				每瓩每月	223.60	166.90	217.30	160.60
	半尖峰契約					166.90	166.90	160.60	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(尖峰時間固定)	週一至週五	尖峰時間	夏月	10:00~12:00 13:00~17:00	每度	5.31	—	5.19	—
		半尖峰時間	夏月	07:30~10:00 12:00~13:00 17:00~22:30		3.54	—	3.47	—
			非夏月	07:30~22:30		—	3.44	—	3.36
		離峰時間	00:00~07:30 22:30~24:00			1.58	1.50	1.53	1.44
	週六	半尖峰時間	07:30~22:30			1.78	1.71	1.73	1.65
		離峰時間	00:00~07:30 22:30~24:00			1.58	1.50	1.53	1.44
	週日及離峰日	離峰時間	全日			1.58	1.50	1.53	1.44
流動電費(尖峰時間可變動)	週一至週五	尖峰時間	夏月(指定30天)	10:00~12:00 13:00~17:00	每度	8.67	—	8.46	—
		半尖峰時間	夏月(指定30天)	07:30~10:00 12:00~13:00 17:00~22:30		3.54	—	3.47	—
			夏月(指定以外日期)	07:30~22:30					
			非夏月	07:30~22:30		—	3.44	—	3.36
		離峰時間	00:00~07:30 22:30~24:00			1.58	1.50	1.53	1.44
	週六	半尖峰時間	07:30~22:30			1.78	1.71	1.73	1.65
		離峰時間	00:00~07:30 22:30~24:00			1.58	1.50	1.53	1.44
	週日及離峰日	離峰時間	全日			1.58	1.50	1.53	1.44

現行台電高壓契約用電分為三段式與兩段式電價計費(如表 4-3、表 4-4 所示)，購物中心、百貨業或飯店用電假日、下午較多，大多選擇三段式計費較為划算，值得注意的是隨著我國能源轉型，傳統火力機組尖峰由過往日間移轉至夜間(16~22 時)，所試行之「新版時間電價」是否三段式仍然比較划算則不一定(如圖 4-5 所示)，能源管理人員需要定期注意與善用試算資源，做好調配與因應。

契約容量的訂定應參考預估全年用電，可洽：

(1)財團法人台灣綠色生產力基金會(02-2911-0688)

(2)台電-高壓入口網站(https://hvcs.taipower.com.tw)

表 4-4 高壓/特高壓二段式時間電價表(111.7.1 公告實施)【10】

(一)二段式時間電價：　　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	經常契約			每瓩每月	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	週一至週五	尖峰時間	07:30~22:30	每度	4.00	3.86	3.89	3.73
		離峰時間	00:00~07:30 22:30~24:00		1.68	1.56	1.62	1.48
	週六	半尖峰時間	07:30~22:30		1.97	1.87	1.95	1.82
		離峰時間	00:00~07:30 22:30~24:00		1.68	1.56	1.62	1.48
	週日及離峰日	離峰時間	全日		1.68	1.56	1.62	1.48

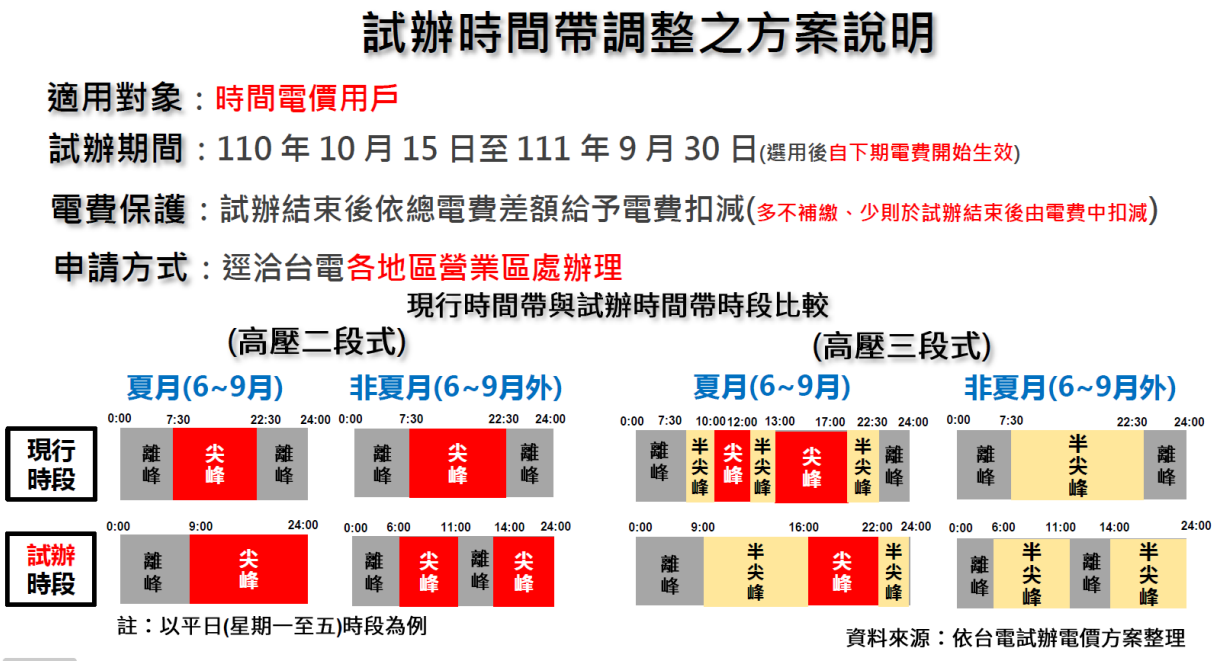


圖 4-5 試辦時間帶調整方案(110 年 10 月 15 日~111 年 9 月 30 日)

需量管理困擾著第一線機電管理人員，畢竟需量起起伏伏、大多數用電不在其直接掌控中，若無完整的電力監視系統與設備自動控制做支援，往往次月收到電費單才知道超約幅度，自然也無從跨越時空去檢視原因及管理了。而需量管理的第一步便是掌握重大耗能設備的「功率」、「運轉時間」、「優先度」，這些東西從設備規格表、日常操作上便能掌握與討論，釐清前面這些關鍵參數，接下來才依靠電力監視系統與需量管理程式，去排定那些設備卸載程度、順序、分組與循環方式等。

需量管理不僅僅是「關閉冰水主機」這麼簡單，我們應該將目光放寬，例如停車場送排風機、空調箱、抽水泵、照明等，關閉、降頻運轉、輪流降載、延遲啟動、夜間(提早)運轉或跳盞等，作為短期的需量管理策略、靈活運用，而且可在小區域內試行、評估影響程度後納入整體管理策略。

過往需量管理僅是為了不在非預期時間外超約，如今則是因應電網負荷、配合台電推出的需量競價如圖 4-6 所示，先上網每月登錄報價(元/kWh)得標後依照約定時段執行，除了卸載期間本身減少流動電費的支出外，台電亦會就卸載幅度(kW)、時間(h)、每度報價(元/kWh)，給予用戶電費折扣。

需量競價措施簡介

1. 「需量競價措施」係指系統高載時期，開放用戶把節省下來的電回賣給台電公司，並由用戶出價競標，台電公司則採愈低報價者先得標方式決定得標者，若得標者於抑低用電期間確實減少用電，則可獲得電費扣減。
2. 本措施藉由用戶自報回饋價格方式，賦與用戶更多自主權，激發抑低用電潛能，以改善系統負載型態，進而延緩對新設電源之開發或降低可能面臨之限電風險。用戶可衡量本身之負載特性，確認可緊急配合降載，與台電公司簽訂「需量競價措施」契約，以達到減少電費支出的目的。

措施內容

可選用對象

1. 經常契約容量 100 瓩以上（特）高壓用戶得申請選用，但選用三段式尖峰時間可變動時間電價用戶夏月期間及離島地區用戶不適用。
2. 聯合型每一群組戶數需 2 戶（含）以上，至多以 10 戶為限，並由群組用戶中指定 1 戶為代表戶。

抑低用電期間

每年 1 月 1 日至 12 月 31 日，用戶得以月份為單位，選擇抑低用電月份。

抑低用電時數及次數

用戶得選擇每次執行抑低時數為 2 小時或 4 小時，以日為單位，每日視為抑低用電 1 次，每月抑低用電時數不超過 36 小時。

申請及報價方式

用戶應於抑低用電月份開始前申請本措施，申請時提出抑低用電每度報價，抑低用電每度報價不得高於 10 元（報價至小數點後 2 位），並得於抑低用電前一日上午 10 時前申請變更。

得標及抑低通知

台電公司得依系統需要及競價結果，於抑低用電前一日下午 6 時前或抑低用電前 2 小時通知用戶執行抑低用電（聯合型則通知代表戶）。

抑低契約容量

由雙方約定，但不得低於最低抑低契約容量 20 瓩（聯合型最低抑低契約容量為 100 瓩）。

基準用電容量（CBL）

依當次執行抑低用電日前 5 日（執行抑低用電日、離峰日、週六、週日等除外）每日相同抑低用電時段之平均需量（15 分鐘平均瓩數）計算。

實際抑低容量

依基準用電容量扣除抑低用電時段平均需量之差額計算，未達最低抑低契約容量者則按 0 計算。

電費計算及案例說明

經濟型

● 各次流動電費扣減按下列方式計算：

1. 前一日下午 6 時前通知
   流動電費扣減＝實際抑低容量 × 執行抑低時數 × 抑低用電每度報價 × 扣減比率

執行率 x	x < 60%	60% ≦ x < 80%	80% ≦ x ≦ 120%	x > 120%
扣減比率	0%	100%	110%	100%

註：執行率 x ＝實際抑低容量 / 抑低契約容量 ×100%

2. 抑低用電前 2 小時通知
   流動電費扣減＝實際抑低容量 × 執行抑低時數 × 抑低用電每度報價 ×120%
3. 當月之電費扣減為當月各次流動電費扣減之總和。

● 案例說明：

某高壓用戶經常契約容量 800 瓩，申請 7 月抑低契約容量 300 瓩，抑低用電每度報價 6 元，每次抑低 4 小時，7 月共執行 7 次，實際抑低容量如次：4 日 400 瓩、2 日 300 瓩、1 日 10 瓩。（均為前一日下午 6 時前通知）

1. 執行率＝ 400 / 300×100% ＝ 133%
2. 執行率＝ 300 / 300×100% ＝ 100%

流動電費扣減＝ 400 瓩 ×4 日 ×4 小時 ×6 元 / 度 ×100%
＋300 瓩 ×2 日 ×4 小時 ×6 元 / 度 ×110%
＝ 54,240 元

註：其中 1 日實際抑低容量 10 瓩，低於最低抑低契約容量 20 瓩，故不予計入。

聯合型

● 各次流動電費扣減同經濟型說明計算，電費扣減金額統一由代表戶之電費帳戶中扣抵，當期電費不足以扣減部分，遞延至次期電費中扣減，台電公司不提供電費扣減分攤至群組內各別用戶之服務。

● 案例說明：

某高壓用戶為代表戶，聯合 5 戶（包含代表戶），申請 7 月抑低契約容量 200 瓩，抑低用電每度報價 6 元，每次抑低 4 小時，7 月共執行 7 次，實際抑低容量如次：4 日 300 瓩、2 日 200 瓩、1 日 60 瓩。

1. 執行率＝ 300 / 200 × 100% ＝ 150%
2. 執行率＝ 200 / 200 × 100% ＝ 100%

流動電費扣減＝ 300 瓩 ×4 日 ×4 小 時 ×6 元 / 度 ×100%
＋200 瓩 ×2 日 ×4 小時 ×6 元 / 度 ×110%
＝ 39,360 元

註：其中 1 日實際抑低容量 60 瓩，低於最低抑低契約容量 100 瓩，故不予計入。

圖 4-6 需量競價措施簡介(110 年 12 月 1 日起實施)【11】

3.電力變壓器

第參章第一節概述電力變壓器區分為油式、乾式(模鑄式)與非晶質，而購物中心與大型建築物多採用乾式變壓器，其設置容量在建築設計階段，電機技師由建築師、空調技師、業主等處獲得的電力需求，於「假設負載」+「備援」+「擴充預留」+「安全係數」等條件下規劃出變壓器裝設容量，秉持寧願多不能少，使得營運階段的最高用電負載與裝置容量差異達 3~10 倍之多(合理範圍為 3 倍，考慮故障備援不超載)。然而設置過大的變壓器並不是好事，畢竟變壓器有鐵損(固定損)、銅損(負載損)兩種損失(如圖 4-7 所示)，其中鐵損只要通電便會持續耗電(故名固定損)、銅損則視負載高低有損失變動，而變壓器裝設後若非故障否則使用就是 30 年以上，以 2,000kVA 為例(如表 4-5 所示)，無論用電多寡即有 6.3kW 鐵損持續消耗，「單顆」變壓器每年就需要 16.6 萬元的電費維持，使用 40 年便要支出 664 萬元。

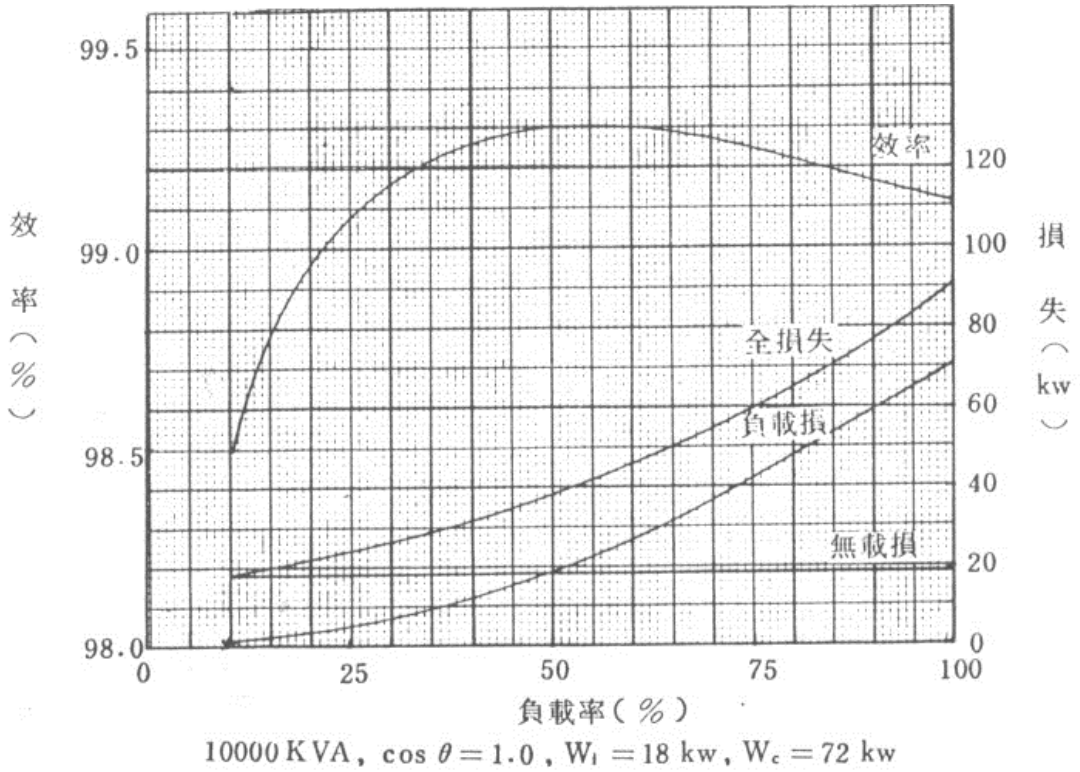


圖 4-7 變壓器效率曲線圖【12】

表 4-5 11.4/22.8kV 鐵心矽鋼片與非晶質(AMT)變壓器銅、鐵損參考表

變壓器容量 (KVA)	Wfe (鐵損) (AMT)	Wfe (鐵損) (一般)	Wcu(銅損) (AMT)	Wcu(銅損) (一般)
150	0.08	0.9	1.68	2.71
200	0.11	1.15	1.96	3.45
300	0.13	1.57	2.19	4.71
400	0.15	1.99	2.4	5.96
500	0.2	2.36	3.2	7.065
600	0.24	2.75	4.0	8.25
750	0.28	3.34	6.0	10.02
1000	0.4	4.2	8.3	12.58
1250	0.45	5.25	10.25	15.75
1500	0.5	5	12.1	20.17
2000	0.7	6.3	14.1	25.2
2500	0.8	7.36	16.57	29.44
3000	0.9	8.83	17.25	35.31

看到此處或許讀者感嘆，變壓器都裝上去不可能試用不滿意退貨，或許可以換另一個角度思考，可否合併負載關閉部分變壓器？ 因此可從電力單線圖上檢視低壓側有無聯絡盤(TIE 盤)，大型用戶電力迴路通常會兩、三個變壓器間設置聯絡盤作為相互備援使用，如圖 4-8 所示，可詢問電力維護廠商切換的作業程序(SOP)，合併負載偏低的迴路、關閉變壓器降低鐵損。需要注意的是合併變壓器需要長時間的數據蒐集與評估，至少要知道各迴路的尖峰用量(通常看高壓端數位電錶的有效功率 kW)，再評估哪些迴路長期處於低負載有合併的空間；其次停用後的變壓器應依原廠建議儲存於乾燥環境、重新啟用前乾燥處理，避免啟用後因水氣入侵導致故障。

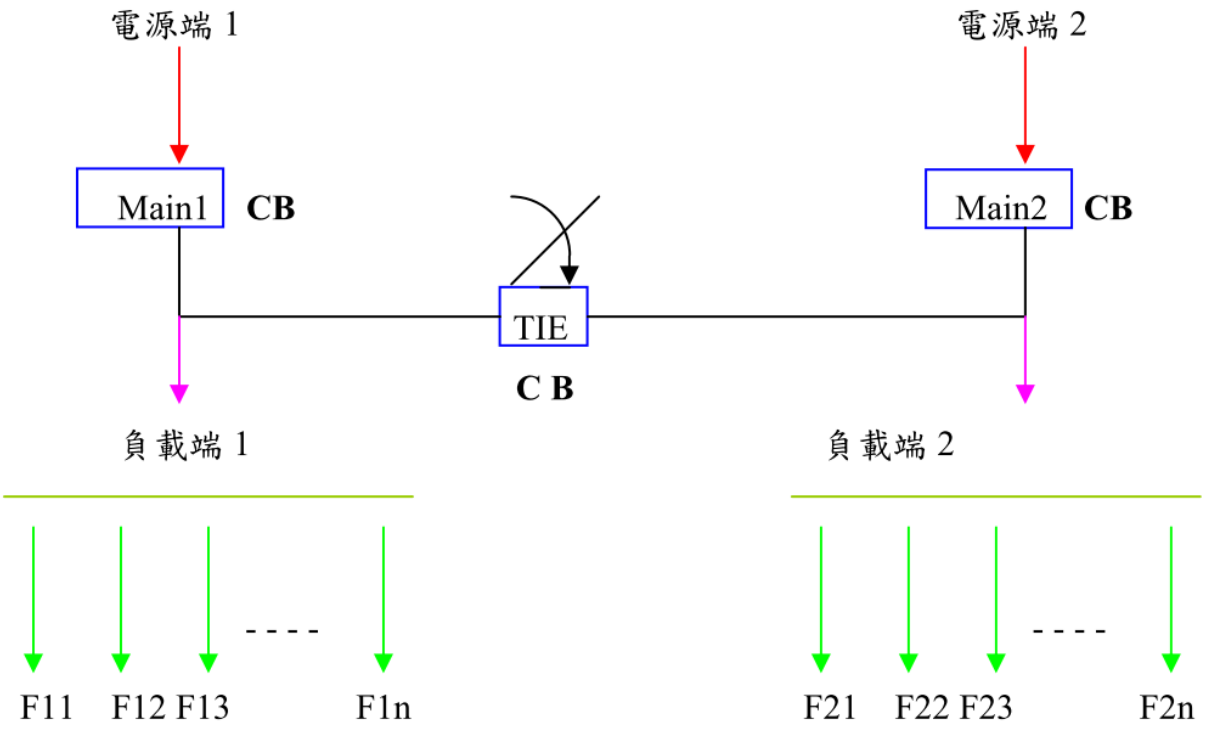


圖 4-8 聯絡盤(TIE 盤)示意單線圖【13】

由表 4-5 可知，傳統方向性矽鋼片鐵心與非晶質合金材料(Amorphous Alloy)相比，非晶質(AMT)變壓器鐵損極低、銅損也下降近半，因此若碰到新建案或既有設備更新時，建議評估負載需求選用合適容量(避免過大設計)與採用非晶質(AMT)變壓器，避免電費損耗於無形之中。

非晶質乾式及油浸式變壓器

4.電力品質(功率因素)

功率可分為有效功率(kW)、無效功率(kvar)，其實就是實功與虛功，常說「不要做虛功」意味著不要做浪費、無意義的動作，在此亦然。電力系統中分為電阻性負載(如電熱絲)、電感性負載(如馬達)與電容性負載，其中電感與電容性負載均會產生虛功，而現今建築中有許多馬達(電感性)負載，使得供電線路中充斥著虛功，占用線路容量、降低設備效率與電力品質，虛功的多寡反應在功率因素(PF)，台電建議維持滯後 95%(偏電感性)，因此低壓迴路中多半設有自動功因調整器(APFR)，控制低壓進相電容器自動投入或切離，如圖 4-9 所示。

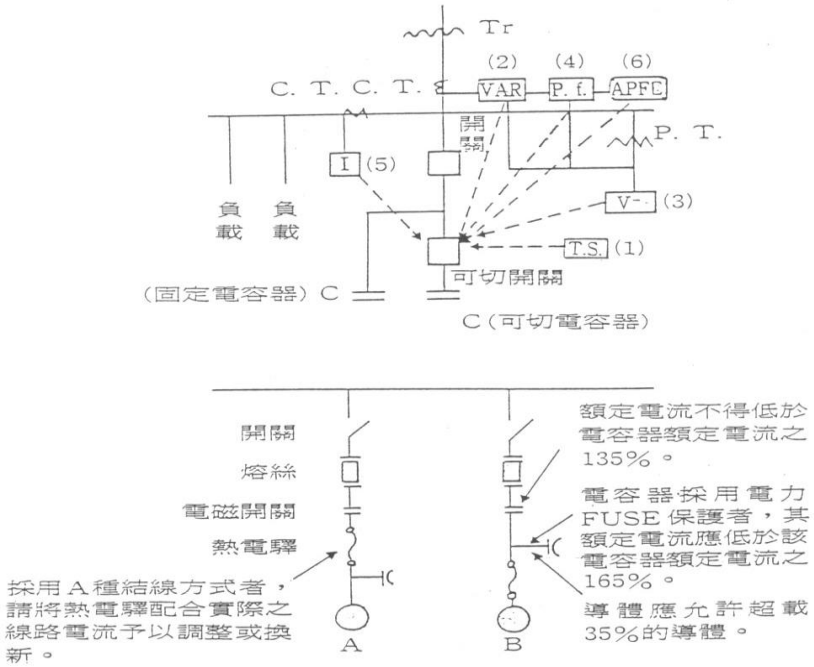


圖 4-9 功因改善電容器裝置方法

要注意的是：

- 不要使功率因數超前，此舉會造成低壓側電壓升高，造成電器較易損壞。
- 至於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。
- 低壓電容器選用時，應注意額定電壓須大於實際使用電壓。
- 確認電容器裝設位置及合理的電容器量，以避免投資浪費。
- 改善功因減少的電力損失

  平均負載(kW)×2.5%×[1-(改善前功因/改善後功因)^2]

雖然有自動功因調整器(APFR)幫助處理虛功，然而不代表設備動作一定是正常的，畢竟設備裝設多少電容器、分幾段投入，往往也是基於「假設」情況下去購置安裝、安裝「當下」調整參數，而實際設備運轉有時不是這麼回事，例如日間用電尖峰是正常投入(功因滯後 95%)，夜間低負載下分段不良持續投放(未投入滯後 80%、投入超前 80%)；近年疫情期間服務業用電大幅下降，也可看出部分商場功因跟著變低，這代表原先設定值與用電現況有所差異，使得自動功因調整器動作不符合需求。另外電容器本身也是會老化/故障，長期追蹤台電的電費單來看，有些用電戶數年都維持在 95%功因，卻在某年某月明明用電沒有明顯增減、詢問也無大型設備更新，功因開始慢慢下降直至降到 85%都沒人發現，因此培養日常巡檢、數據抄錶與判讀有其意義。

二、空調系統

購物中心因建築量體大、進駐店舖多與購物人潮多等因素，使得空調負荷龐大，因此多採中央空調系統，並配置冰水機房供應各館/層/區的空調。中央空調可概略區分冰水、冷卻水、冰水主機與空氣側系統等，由此由各系統就相關節能措施概述如下：

1.冰水系統

冰水系統為輸送冰水往來主機與空氣系統的媒介，我們期望主機產出的冰水在最小損耗、最小水泵輸送功率下，傳遞至空氣系統的各項設備，使其吹出涼爽的空氣給消費者。於第參章第二節概略性介紹到依據管路設計，可概略區分為一次冰水系統與一/二次冰水系統，關於流量控制與管路設計可分支出許多不同的設計，在此聚焦購物中心經常使用的一/二次變流量冰水系統與日漸成熟的一次變流量冰水系統進行說明：

(1) 一/二次變流量冰水系統(Primary-Secondary System)

在大型空調系統，常使用一次側/二次側冰水循環系統，如圖 4-10 所示，其就結構而言是由一次側冰水泵及二次側區域泵結合而成，一次側主要提供主機冰水側之循環水量，二次側則提供至負載側(空調箱或小型送風機)之循環水量，一/二次側之間以共通管連結形成「熱力耦合、流(水)力分離」之概念，藉由共通管切割二系統的流(水)力而產生平衡。

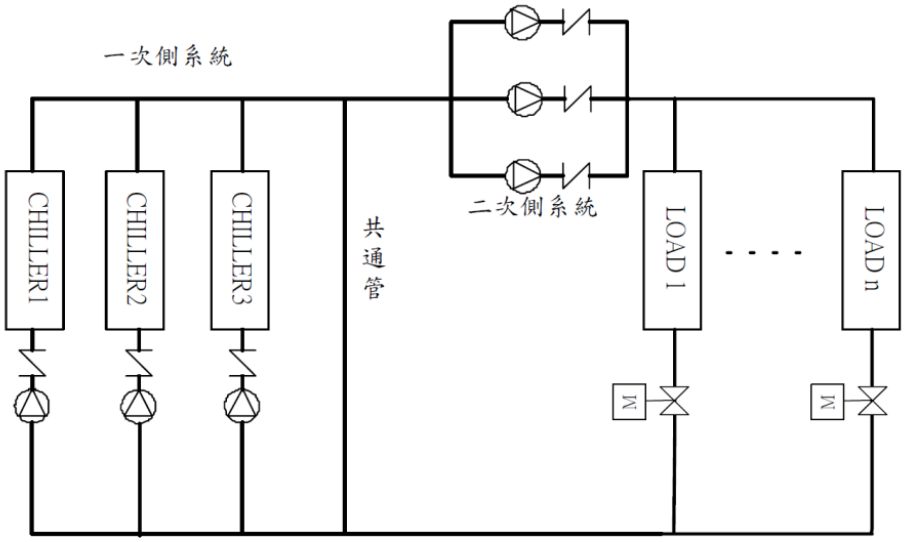


圖 4-10 一次/二次側冰水系統簡圖【5】

為了節省二次側水泵耗能，採用壓差變頻結合負載側二通閥控制，所謂壓差變頻是偵測冰水送水管與回水管壓力差，作為水泵變頻控制之訊號；動作原理為室內冷氣溫度低於設定值時，冰水(二通)閥像水龍頭一樣漸漸關小、送水管壓力上升，水泵降頻維持管路恆壓；反之，當室內冷氣溫度偏高冰水閥開大、送水管壓力下降，水泵升頻維持管路恆壓。

值得注意的是

- 壓力偵測器裝設於冰水管的管末，其節能效益與準確性高於裝置於機房端。
- 壓力設定值是為了克服冰水閥、盤管的最小壓差，可從設備規格或型錄查知。
- 當壓力設定過大時，大部分冰水閥會關得很小，甚至現場設備出現明顯壓降噪音，反之壓力設定過低，大多冰水閥會全開、溫度無法達到設定值。
- 各季節壓力設定略有不同，夏季略高、冬季略低，可參考管末空調箱二通閥開度微調設定壓力，原則上管末二通閥開度接近全開。

- 各迴路冰水旁通閥僅在空調負載極低(如冬季、深夜)、水泵降頻至最低(30Hz)、僅開啟一台時才會開啟，其餘時間旁通閥應處於關閉的狀態，畢竟旁通冰水就是浪費區域泵的耗電。
- 合理的區域泵送/回水溫度差應接近 5℃(或空調箱設計溫差如 8℃)，當二通閥或旁通閥故障無法關閉導致冰水大量旁通時，會出現區域泵送/回水溫度低於 5℃(可能只有 2℃溫差甚至更低)。
- 當冰水閥旁通量過大，除了上述送/回水溫差偏低外，將出現區域泵運轉台數(頻率)偏多(高)，甚至有冰水壓力無法建立的徵狀。

過往為確保冰水主機有穩定之循環水量，一次側冰水泵多採定頻運轉、額定流量供應主機，然而空調負載本就會變化，當一次側主機冰水量供應大於二次側需求時，部分低溫冰水通過共通管回流至主機進水側，使得主機開始卸載、冰水進出口溫差低於 5℃。現今隨著控制技術趨於成熟與節能要求，部分用戶於一次側冰水泵導入溫差變頻控制。

以冰水主機蒸發器常見設計 5℃溫差為例(12℃進、7℃出)，當滿足 5℃溫差可發揮蒸發器最佳熱交換效率，一次冰水泵溫差變頻是在符合「冰水主機最低流量與壓差限制」下，透過冰水泵變頻調整冰水流量，使其滿足蒸發器進出口 5℃溫差；當空調負荷上升時，一次側冰水溫差隨之拉大，一次側冰水泵升頻、主機加載滿足二次側需求，反之當空調負荷下降時，一次側冰水溫差低於 5℃，一次側冰水泵降頻、主機卸載。

值得注意的是

- 滿足冰水主機最低流量與壓差限制是必要的項目，低於限值將使主機跳機。
- 一/二次皆導入變頻，加/卸載速度與追逐現象，需透過各別設定參數克服，對系統建置技術、操作人員判斷要求相對高。
- 冰水管路與共通管配置可能影響系統的成敗。

(2) 一次變流量冰水系統

一次變流量冰水系統，是指系統僅用一次冰水泵提供全系統(冰水主機與負載側)冰水循環，如圖 4-11 所示，並以變頻器配合空調負載變化控制水泵運轉，其運轉限制條件與前一節相似，主機側需符合「冰水主機最低流量與壓差限制」，負載側需克服冰水閥、盤管的最小壓差需求。

一次變流量冰水系統，因管路配置與系統設計使得冰水混水損失(指不同溫度冰水混和)降到最小，水泵將所有的動力運用於主機至空氣系統冰水搬運上，幾乎沒有一/二次系統中共通管旁通混水問題。然而，既然一個水泵要同時兼顧雙方的需求，其系統上壓力/溫度/流量感測器、控制/旁通閥自是不會少，同時高度仰賴監控系統綜整回授訊號，進而決定水泵/主機應該開幾台、運轉頻率與加/卸載控制等。

值得注意的是

- 滿足冰水主機最低流量與壓差限制是必要的項目，低於限值將使主機跳機。
- 冰水泵參考負載側壓差、主機最低流量與壓差限制等參數，進行變頻調控。
- 壓力偵測器裝設於冰水管的管末，其節能效益與準確性高於裝置於機房端。

- 壓力設定值是為了克服冰水閥、盤管的最小壓差，可從設備規格或型錄查知。
- 當壓力設定過大時，大部分冰水閥會關得很小，甚至現場設備出現明顯壓降噪音，反之壓力設定過低，大多冰水閥會全開、溫度無法達到設定值。
- 各季節壓力設定略有不同，夏季略高、冬季略低，可參考管末空調箱二通閥開度微調設定壓力，原則上管末二通閥開度接近全開。
- 冰水旁通閥僅在空調負載極低(如冬季、深夜)、冰水泵降頻至主機水流量下限才會開啟，其餘時間旁通閥應處於關閉的狀態，畢竟旁通就是浪費冰水泵的耗電。
- 合理的冰水送/回水溫度差應接近 5℃(或空調箱設計溫差如 8℃)，當二通閥或旁通閥故障無法關閉導致冰水大量旁通時，會出現送/回水溫度低於 5℃(可能只有 2℃溫差甚至更低)。
- 一次變流量系統，仰賴完整的空調監控系統、正確回授訊號與完善的控制邏輯，方能獨立自行運作。

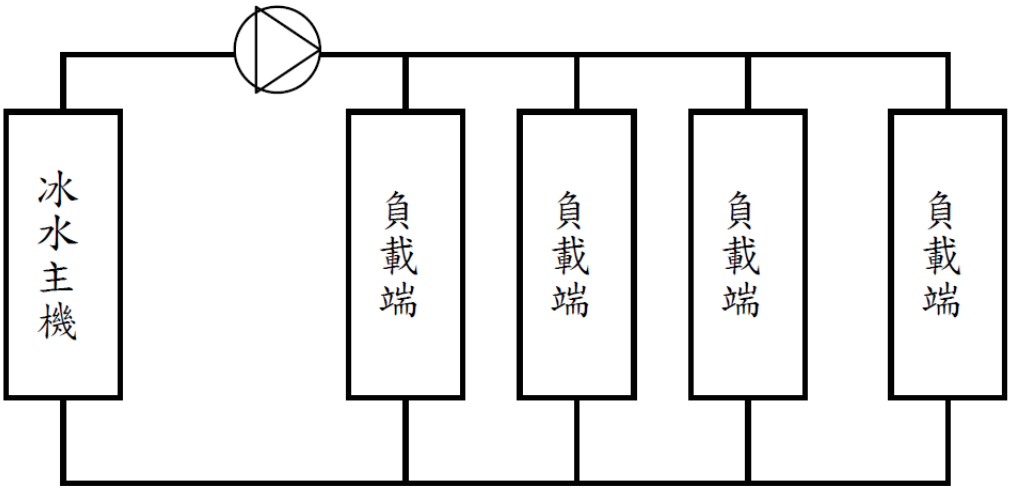


圖 4-11 一次冰水系統簡圖【5】

2.冷卻水系統

冷卻水系統為輸送冷卻水往來主機與大氣的媒介，我們期望主機的廢熱在最少的耗能下，傳遞至大氣環境中；過往一台主機搭配一台冷卻水塔，就像是分離式冷氣機的室外機風扇一樣，空調啟動後冷卻水塔風扇就轉個不停。關於冷卻水塔配置與控制有許多設計，在此聚焦購物中心所應用的冷卻水塔並聯變頻運轉、濕球溫度控制與冷卻水泵溫控變頻三個項目說明如下：

(1) 冷卻水塔並聯變頻運轉

冷卻水塔從外觀來看就是一邊撒水、另一邊抽風的裝置，可以把冷卻水從熱水變成冷水，而散熱能力越大的水塔外觀自然也越大台，因此概略可以知道影響散熱效果有幾個關鍵，散熱面積、氣/水流分佈、水垢/藻類堆積與大氣環境限制。

冷卻水塔並聯變頻運轉(如圖 4-12 所示)，可以分成並聯與變頻兩個議題，前者是透過多台水塔並聯增加面積換取更好的散熱效率，後者則以變頻加卸載解決風車台數控制上氣流分配不均的問題。重點在並聯變頻的自動控制邏輯，完全與過往台數控制概念不同,風車隨著散熱後的冷卻水溫度與設定值之差異，「同時」對「所有」風車加載或卸載(同升同降)，不可採台數開啟加至滿載再開下一台，畢竟變頻器滿載並沒有節能效果，氣流分布也不均勻。

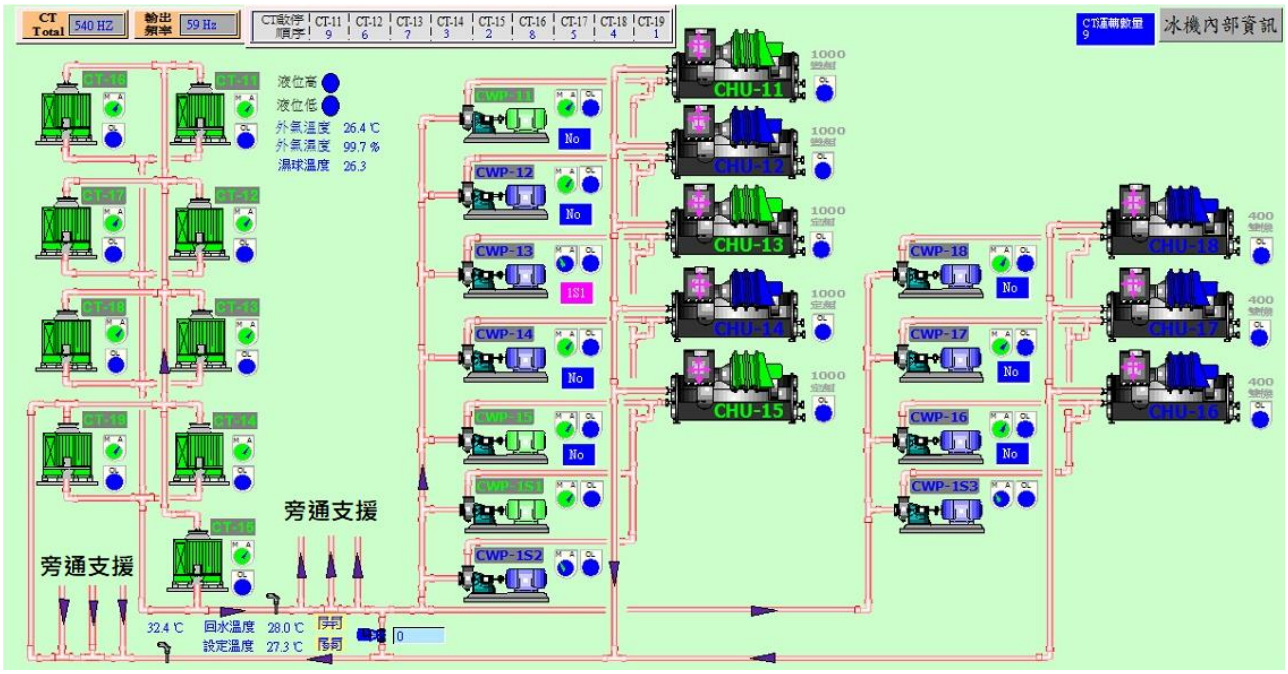


圖 4-12 冷卻水塔並聯變頻運轉示意圖

(2) 冷卻水塔濕球溫度控制

我們對環境最直觀的感受就是溫度與濕度，冷/熱/乾燥/潮濕代表就是空氣中的溫度高低與水份含量，那麼冷卻水塔一邊是風、一邊是水，自然就跟環境空氣狀態有相當大的關係，而影響冷卻水溫度的關鍵就是「濕球」溫度，學術上的名詞解釋在此不多講述，我們可以認知濕球溫度就是冷卻水塔「理論」上的極限(不可能低於此溫度)，而「實際」冷卻水塔散熱後的水溫與「理論」的差異，稱之接近(趨近)溫度。

過往冷卻水溫由值班人員依循經驗手動設定，然而大氣環境時刻變化、值班人員也不可能隨時計算與調整，因此無法發揮水塔的最佳性能；而濕球溫度控制是透過感測器，即時取得大氣環境的乾球溫度與相對濕度，進而計算出「濕球溫度」再加上水塔本身的「接近溫度」，作為冷卻水溫的控制目標(如圖 4-13 所示)。

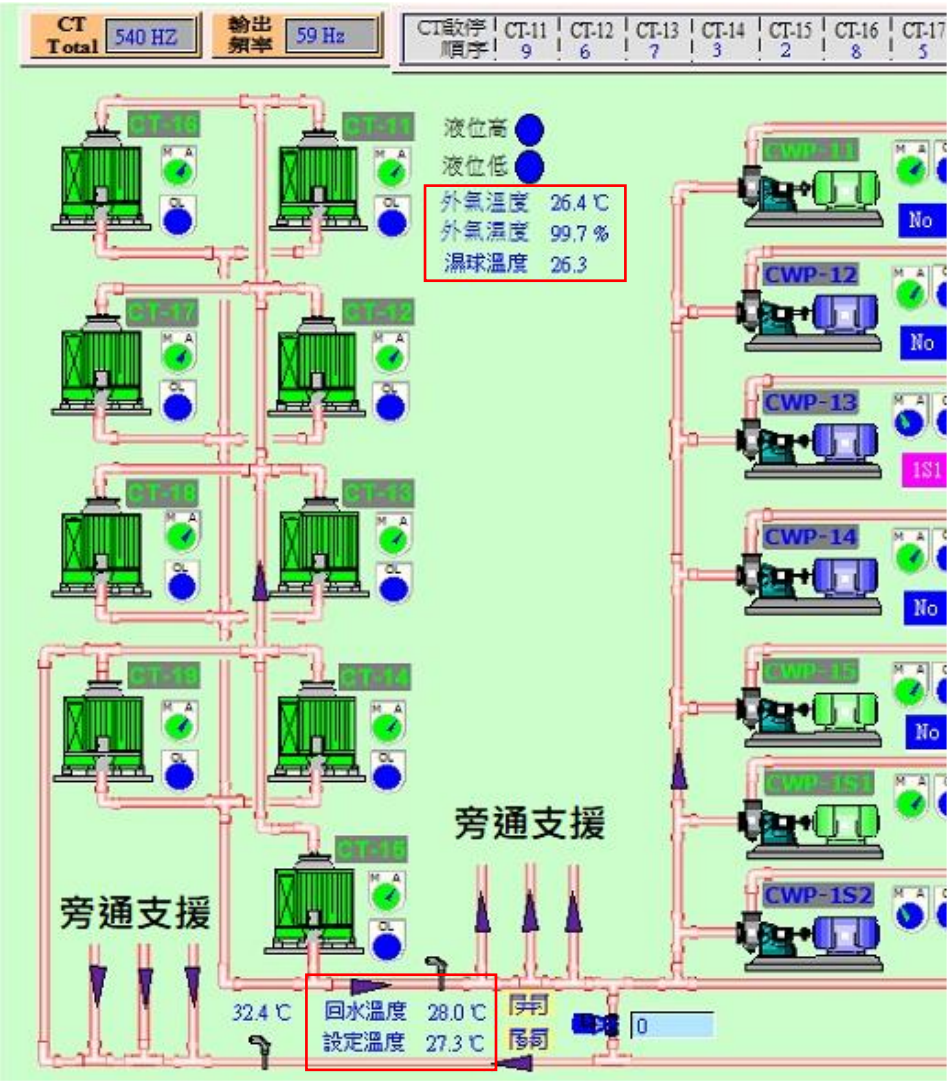


圖 4-13 冷卻水塔濕球溫度控制示意圖

我國冷卻水塔常用設計條件為進水 37℃、出水 32℃，環境條件為濕球溫度 27℃，少部分濕球溫度為 29℃(較嚴苛條件)，可從設備銘牌、竣工圖(設備規格表)或送審資料得知該型水塔額定能力，因此接近溫度在 3~5℃內較合理，而接近溫度設定值受當下大氣環境條件、水垢與藻類堆積、主機與水塔能力關係有所變化，初始測試確認最佳條件後，隨運轉時間推移與維護保養等使得溫度有所增減。

(3) 冷卻水泵溫控變頻

冷卻水泵將水在冰水主機的冷凝器與冷卻水塔間進行循環，將熱能從主機傳遞至水塔散熱，過往為確保冰水主機有穩定之循環水量，冷卻水泵多採定頻運轉、額定流量供應主機，然而空調負載/散熱需求本就會變化，當超過熱交換器設計溫差時，即便提供再多的冷卻水也無法交換出更多熱能，對主機散熱並沒有更大的能力。

以冰水主機冷凝器常見設計 5℃溫差為例(30℃進、35℃出)，當滿足 5℃溫差可發揮冷凝器最佳熱交換效率，溫差變頻是在符合「冰水主機最低流量與壓差限制」下，透過冷卻水泵變頻調整冷卻水流量，使其維持冷凝器進出口 5℃溫差；當主機散熱需求上升時，冷卻水溫差隨之拉大、冷卻水泵升頻，反之當主機散熱需求下降時，冷卻水溫差隨之縮小、冷卻水泵降頻。

值得注意的是

- 滿足冰水主機最低流量與壓差限制是必要的項目，低於限值將使主機跳機。

3.冰水主機

冰水主機又稱中央空調主機，透過壓縮機與冷媒循環一側製造冰水、另一側製造熱水(冷卻水)，型式可分為容積式(往復、迴轉、渦卷或螺旋等)與離心式，單機裝置容量由數十冷凍噸(RT)至數千冷凍噸不等；冰水主機是系統的核心也是最耗電的設備，在此聚焦主機台數控制、冰水/冷卻水溫度設定與熱交換器趨近溫度三個項目說明如下：

(1) 主機台數控制

空調負載隨著季節(氣溫)、日夜(太陽輻射)、店鋪營運(開閉店)、人潮多寡等有所變動，因此為了配合負載變動與備援需求，系統會設置多台主機並聯透過自動控制或手動操作，供應建築冰水。

多主機並聯運轉首先需要判斷負載需求，過往經驗教導我們夏季應該開幾台主機、春秋季開幾台、冬季開幾台等，這就是基於負載需求下的操作；然而環境一直在變，過往所流傳下來的台數不見的符合當下需求，甚至開啟過多主機(確保冰水供應充裕)導致不必要的能源浪費而不自知。

一般而言，判斷主機負載可以從冰水/冷卻水進出水溫差或壓縮機負載率來判斷。冰水/冷卻水進出水溫差，可從主機面板或兩側指針式溫度計得知，若以主機常見設計 5℃溫差為例(冰水 12℃進、7℃出，冷卻水 30℃進、35℃出)，若水泵以主機需求「額定」流量供應時，主機全載時冰水與冷卻水端各有 5℃溫差，反之部分負載時溫差則會縮小，例如冰水與冷卻水溫差都是 3℃時，可知此時主機應為 60%負載，然而當水泵並非額定流量時(例如變流量控制、設備老舊或過量設計等)，水溫差自然就無法直觀反應負載。壓縮機負載率從主機面板得知(螺旋式主機可從外部電磁閥得知)，相較於水溫差較精準，也是主要判斷主機負載率的方式，而溫差做為輔助使用。

前段我們了解主機負載率判斷，需知主機設計是為了長時間、高負載下提供冰水使用，短時間頻繁啟停、長期低負載運轉(<50%)容易減損主機壽命、運轉效率不佳(如圖 4-14 所示)，因此依照負荷需求選擇適當的台數/容量便相當重要。多台主機並聯運轉時，透過計算主機噸數(RT)與負載率(%)，可推估現行空調負載需求，加上負載預測(白天/晚上、平日/假日、用餐、活動等)決定應該改開大容量主機或關閉部分主機。

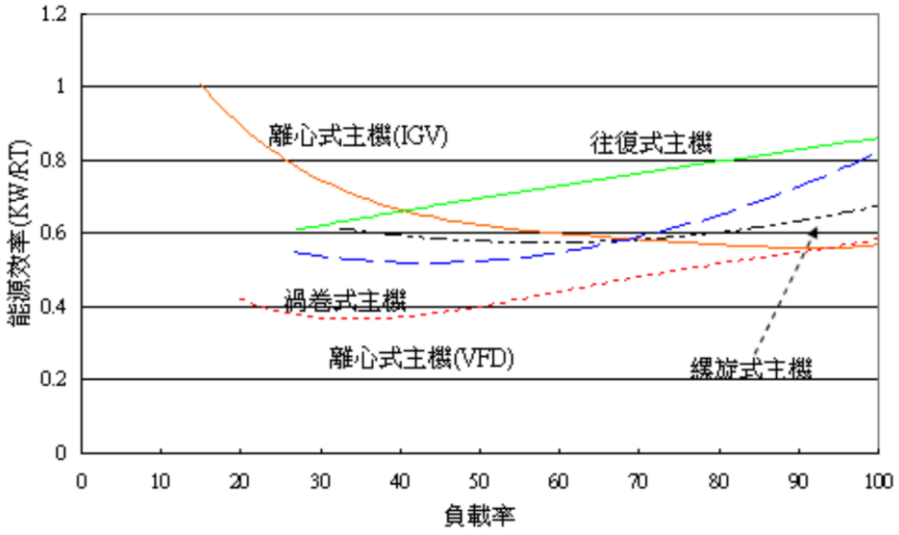


圖 4-14 主機負載率與效率關係【14】

在台數控制上另一個問題是定頻與變頻主機如何搭配運轉，定頻與變頻是指主機壓縮機馬達控制，前者壓縮機固定轉速、透過冷媒旁通多寡來加卸載，後者則是壓縮機轉速變動改變馬達出力來加卸載，也因此定頻主機適合使用於「全載」，而變頻主機適合用於「部分負載」。當判斷出空調負載需求時，常態需求的噸數由定頻機負擔(基載)，而變動負載由變頻機調變供應；可透過溫度設定使定頻機維持全載，而變頻機優先加卸載。

(2) 冰水/冷卻水溫度設定

冰水與冷卻水溫度設定直接影響主機效率，實測數據可知冰水每調升 1℃、冷卻水每調降 1℃，約可節省主機耗電 2%。服務業舒適性空調其冰水設計溫度通常為 7℃，提供賣場涼爽、乾燥的環境，調升冰水溫度可節省主機耗電，卻會影響空調箱、小型冷風機降溫與除濕性能，因此調升需視季節空調負荷與除濕需求；例如夏季維持 7~8℃冰水供應，春秋季與冬季調升 1~3℃，搭配賣場溫濕

度監測以兼顧舒適與節能。調降冷卻水溫設定，善用春秋季與冬季的低溫冷卻水，可使主機冷媒高壓降低進而讓壓縮機耗電下降，如圖 4-15 所示，水塔控制技術可參前一節說明。

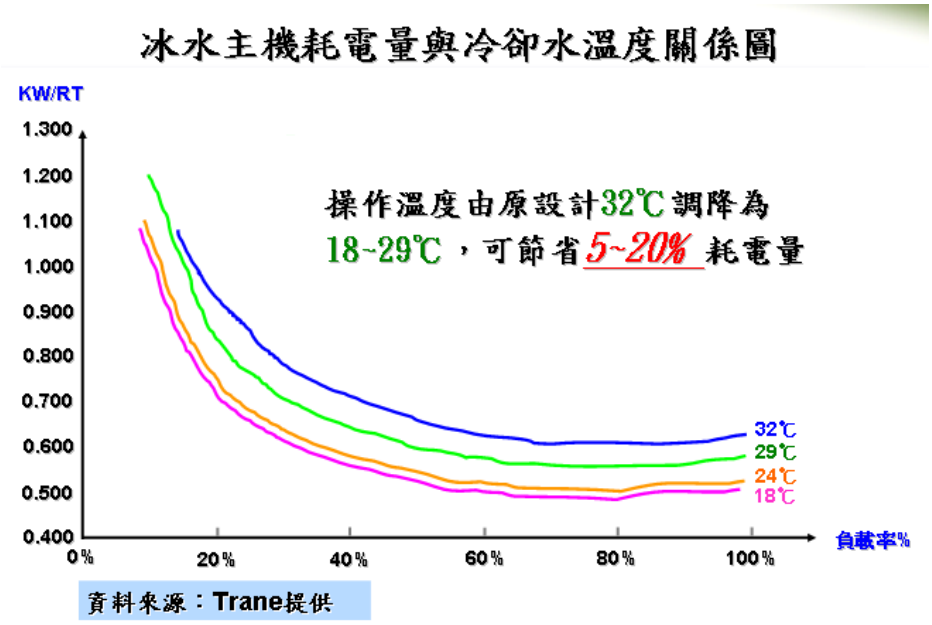


圖 4-15 冰水主機耗電量與冷卻水溫度關係圖

(3) 熱交換器趨近溫度

冰水主機的蒸發器(冰水側)與冷凝器(冷卻水側)是冷媒和水做熱交換的地方，我們期望冷媒和水完全熱交換、毫無溫差，相當直觀的稱作「趨近溫度」，然而隨著運轉時間增加難免會有積垢、堵塞，使得熱交換器趨近溫度上升(即冷媒溫度與水溫差異拉大)。

熱交換器趨近溫度可由冷媒飽和壓力、冷凝溫度與冰水/冷卻水出水溫度，簡易計算得出。以圖 4-16 為例，冷凝器出水溫度 35.7℃、冷媒壓力為 137.3kPaA(該款主機為 R-123 冷媒)，已換算飽和冷媒溫度為 36.4℃，將飽和冷媒溫度與出水溫度相減，便可得出冷凝器趨近溫度為 0.7℃。如若主機控制畫面

沒有抓取訊號計算，但一定有裝設冷媒高、低壓錶與進出水溫錶，其實可以從錶頭取得上述這些數值，如圖 4-17、圖 4-18 所示。

圖 4-16 某冰水主機冷凝器壓力、溫度與趨近溫度關係

圖 4-17 某冰水主機冷媒壓力、進出水溫度

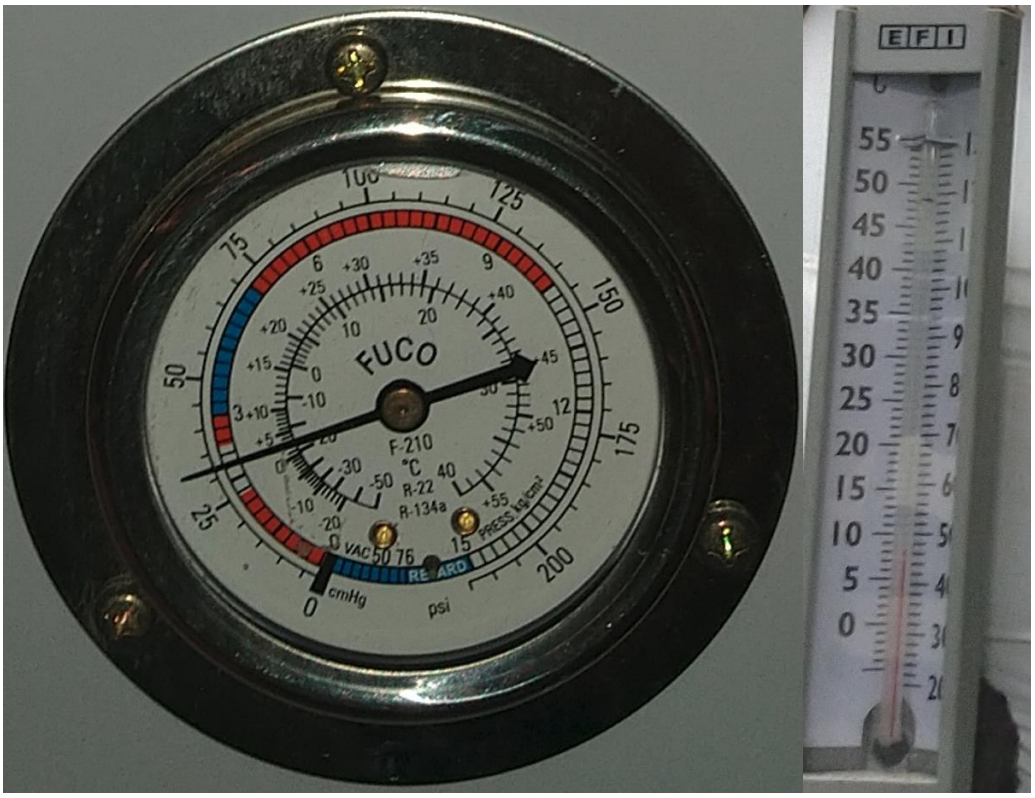


圖 4-18 R-134a/R-22 冷媒壓力錶(左)與水溫計(右)

4.空氣系統(室外空氣引入控制)

空氣系統由空調箱(AHU)、小型冷風機(FCU)與預冷空調箱(PAH)等設備組成，目的就是將乾淨、涼爽、乾燥的冷氣輸送至賣場各處，提供消費者與店舖舒適的購物與營業環境。由於購物中心考量舒適度，希望維持賣場空氣循環，因此較少導入完整變風量系統，在此聚焦空調箱外氣引入控制，如二氧化碳濃度控制、外氣冷房與建築預冷三個項目說明如下：

(1) 二氧化碳濃度控制

首先要了解換氣的目的是為了將汙染物稀釋與排除，在不同場域、使用型態相對有其特徵汙染物，就購物中心而言賣場內主要是人潮活動產生的二氧化碳、停車場則是汽機車內燃機燃燒產生的一氧化碳，各類汙染物產生來源可參表 4-6 所示。

表 4-6 主要的室內空氣污染源【15】

	說明
室外空氣污染源	室外的空氣可藉由自然通風或機械通風而進入室內，使室內空氣品質受到不同程度的影響。室外的空氣污染源主要是交通運輸與工商活動所產生的空氣污染物。
室內燃燒源	烹飪與取暖是室內最普遍的燃燒行為。來自瓦斯爐、電爐、暖爐、壁爐等設備燃燒木材、煤、油、瓦斯等產生的空氣污染物主要為一氧化碳、一氧化氮及二氧化氮。
建材	主要產生甲醛等揮發性有機物及石棉。室內裝潢時所用的合板與隔板，因使用含有甲醛樹脂的接合劑，會刺激皮膚及黏膜。此外，過去廣為使用的石棉瓦也是一種致癌的污染物。
油漆及塗料	主要產生甲醛等揮發性有機物。
辦公室事務機	主要產生臭氧。
清潔產品	主要產生甲醛等揮發性有機物。使用殺蟲劑、特殊清潔劑、髮膠、油漆、立可白等用品，皆是室內揮發性有機污染物的來源。
生物性污染物	潮濕且不常清潔打掃的地方容易孳生黴菌、霉、真菌、細菌、病毒、塵蟎等生物。
人類活動及其他	人類呼吸便會產生二氧化碳，而抽煙除了會釋放尼古丁、一氧化碳、二氧化碳、乙醛、丙酮、焦油等污染物質外，也是室內懸浮微粒的主要來源。此外，室內盆栽植物產生的花粉、人體或寵物掉落的毛髮、體垢及皮屑也是室內空氣污染的來源。

至於汙染物的濃度標準應依我國室內空氣品質法要求(如表 4-7 所示)，購物商場須符合其中的二氧化碳(CO_2)、一氧化碳(CO)、甲醛(HCHO)與粒徑小於等於十微米(μm)之懸浮微粒(PM10)四項，其中二氧化碳與一氧化碳主要透過換氣來稀釋，而甲醛是裝潢板材、黏合膠所產生，從裝修規範進行源頭管理較為有效，懸浮微粒(PM10)則以空調箱中的初級或中級濾網攔截即可。

表 4-7 我國環保署公告之室內空氣品質標準【16】

項目	標準值		單位
二氧化碳(CO_2)	8 小時	1000	ppm (體積濃度百萬分之一)
一氧化碳(CO)	8 小時	9	ppm
甲醛 (HCHO)	1 小時	0.08	ppm
總揮發性有機化合物(TVOC)	1 小時	0.56	ppm
細菌(Bacteria)	最高值	1500	CFU/m^3 (菌落數/立方公尺)
真菌(Fungi)	最高值	1000	CFU/m^3
粒徑小於等於十微米(μm)之懸浮微粒(PM10)	24 小時	75	$\mu g/m^3$ (微克/立方公尺)
粒徑小於等於二·五微米(μm)之懸浮微粒(PM2.5)	24 小時	35	$\mu g/m^3$
臭氧(O_3)	8 小時	0.06	ppm

二氧化碳是人類活動必定會產生的，長期待在二氧化碳過高的環境，將使人員產生倦怠、頭痛等症狀，因此建築物需有相當的換氣量，尤其是大型購物中心、玻璃帷幕等規模大、密閉型建築，難以像是家中開窗便能換氣，因此仰賴空調箱(AHU)或預冷空調箱(PAH)等機械式換氣，將新鮮空氣輸送到指定區域。

空調箱(AHU)與預冷空調箱(PAH)兩者的差異在於，空調箱(AHU)以處理室內熱負荷為主、換氣為輔，將室內空氣(RA)抽回與室外新鮮空氣(OA)混和(MA)後，經由過濾、降溫除濕再以風車(SA)輸送至各空間，如此往復循環提供室內環境一個涼爽、潔淨與新鮮的空氣；預冷空調箱(PAH)則完全引入室外新鮮空氣(OA)，經過濾、降溫除濕後，輸送至室內空間直接使用或空調箱二次處理再送至現場。

而夏季與部分春秋季期間室外空氣相當炎熱與潮濕，若毫無節制的大量引入外氣再降溫成冷氣，勢必造成空調負荷與用電飆增，又不能為了節能而全然不換氣；為了避免過與不及，因此透過二氧化碳偵測器了解區域的換氣需求，結合電動風門控制外氣引入量。

以圖 4-19 空調箱為例，此設備供應地下一樓的商場使用，空調箱設有變頻風車、靜壓感測、冰水二通閥、CO_2 感測器、回風溫度計、電動外氣風門及外氣溫度感測等；在此聚焦於外氣控制，此案例外氣風門最小開度設定為 20%，當室內人潮增加或辦活動時，偵測到回風空氣中二氧化碳濃度逐漸上升，當接近或達到設定值時(此案例設定 900ppm 漸開、1,000ppm 全開)，控制外氣風門開度加大引入量，反之二氧化碳濃度下降則外氣風門漸關直至最小開度。由此可兼顧室內空氣品質，同時避免引入過多濕熱外氣加大空調負荷與耗能。

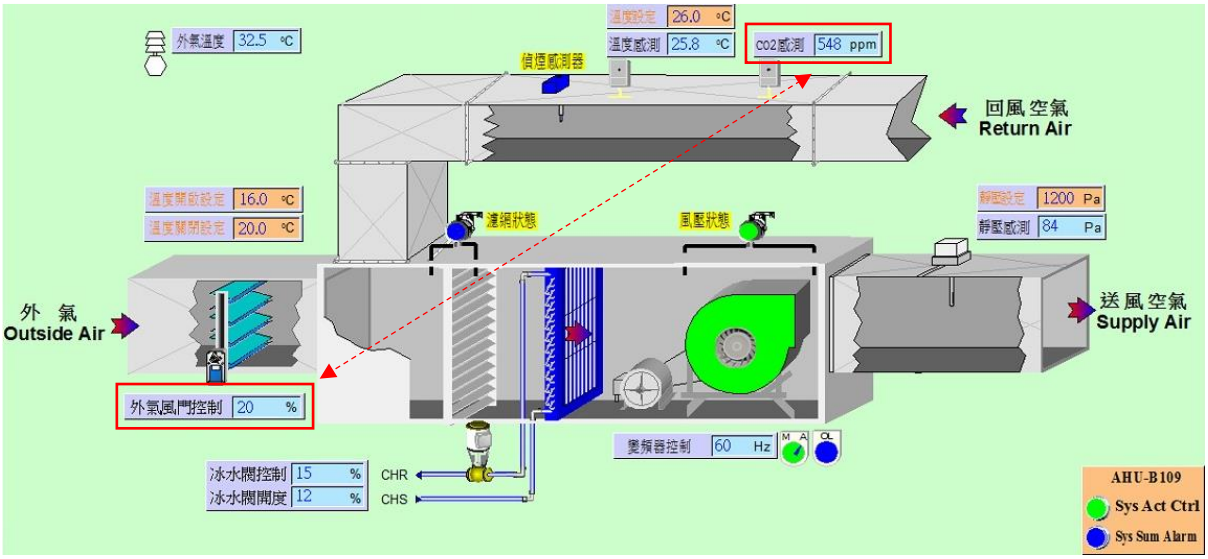


圖 4-19 二氧化碳濃度與外氣風門控制

(2) 外氣冷房

外氣冷房顧名思義就是將室外空氣當冷氣使用，前段所述夏季與部分春秋季是炎熱且潮濕的室外空氣，引入必須有所節制，反之冬季或涼爽季節時，既然

室外溫度已經低於室內時，自然也可增加引入量降低空調負荷甚至全部作為冷氣使用。

我們以同樣的空調箱做說明(如圖 4-20 所示)，透過室外溫度感測器、外氣風門與其溫度控制點三者結合，當室外低於 16℃時外氣風門開啟，引入低溫新鮮空氣做為冷氣，使得冰水二通閥開度下降甚至關閉，進而降低中央空調冰水使用量；此時外氣風門就是控制溫度的設備，當室內溫度過低時(如冬季寒流)，自然風門就逐步關小(此時冰水二通閥全關)。如若室外溫度上升時，外氣風門恢復預設開啟 20%，避免引入過多濕熱空氣，此為外氣冷房控制技術。

這邊需進一步說明，二氧化碳濃度控制大於外氣冷房，因此即便冬季寒流外氣引入量不需要這麼大，但 CO_2 濃度到達設定值仍需增加外氣風門開度，畢竟人員的健康遠大於舒適的考量。

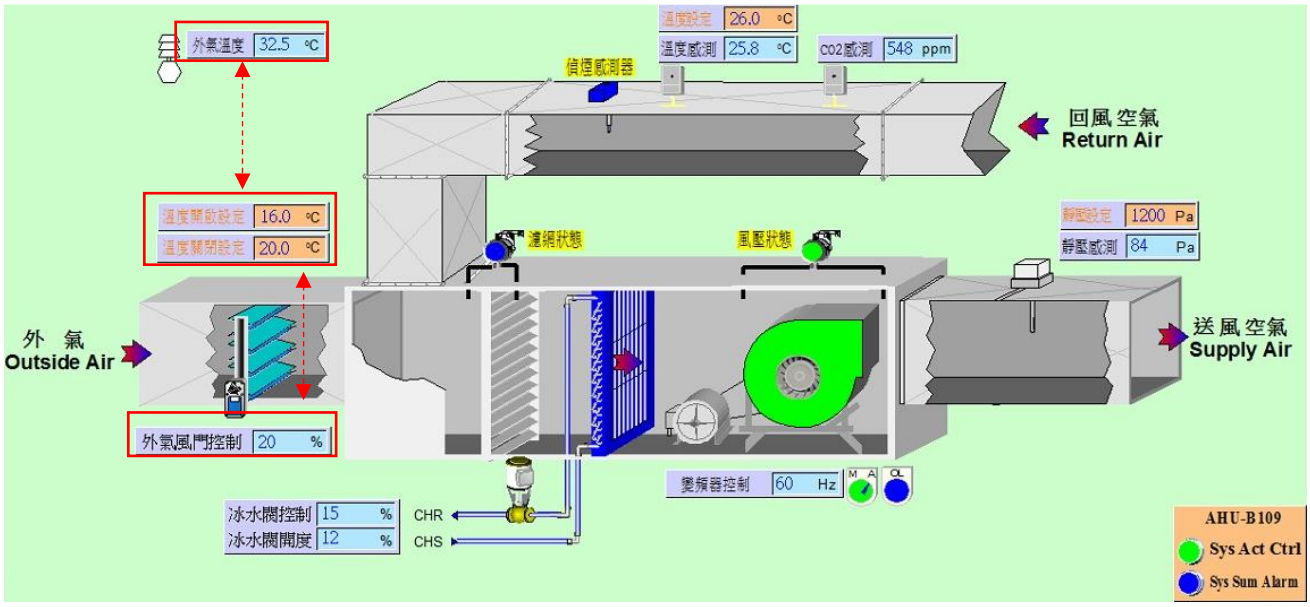


圖 4-20 外氣冷房與風門控制

外氣冷房的控制可分為溫度或焓值兩種，前者硬體價格較低、控制直觀、節能範圍較小，後者價格較高、節能範圍較大。

A. 溫度控制：當感測室外溫度低於或接近空調箱出風溫度設定值時，外氣風門開啟引入室外冷空氣直接供應賣場，而冰水閥則關閉或作為二次降溫的輔助，達到節省冰水使用。需注意為避免引入低溫卻潮濕的空氣，造成賣場濕度過高，外氣冷房引入設定點接近空調箱出風溫度為宜，其節能範圍如圖 4-21 僅有區域 2。

B. 焓值控制：焓值可以理解成空氣的「熱值」，畢竟空氣除了溫度還有水氣(濕度)，有時陰雨天雖然感到溫度涼爽卻相當潮濕，賣場的服飾、皮件對濕度尤其敏感，若引入高濕空氣使得室內環境失控可能延伸相關損失。而焓值就是結合溫度與濕度的一種呈現方式，因此控制相較溫度更為精確、節能範圍更廣(如圖 4-21 所示)，在區域 2~4 皆有節能效果。

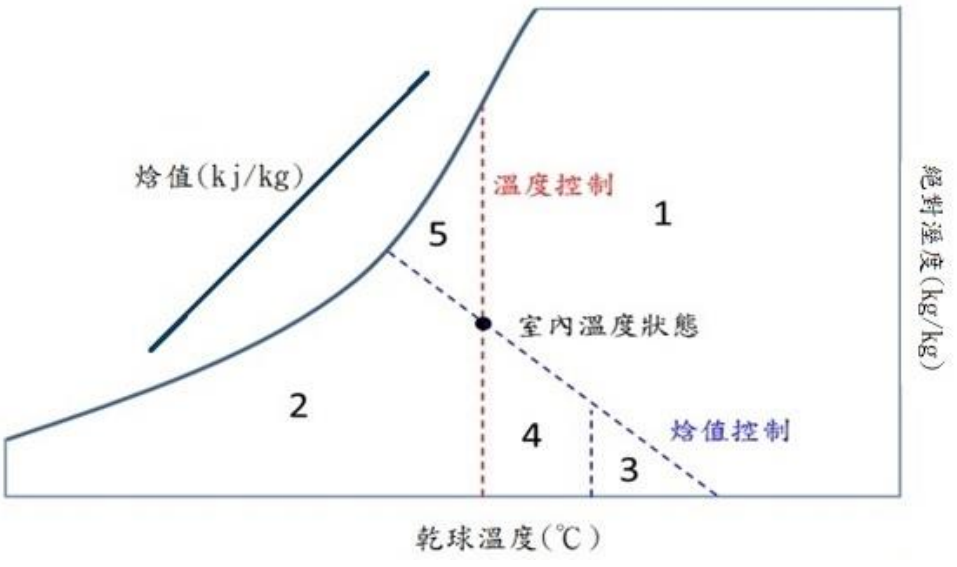


圖 4-21 溫度控制及焓值控制節能效果之差異【17】

(3) 夜間排風

建築結構本身會儲存與釋放熱能，像是水泥或磚造結構尤為明顯(熱容量大)，日間太陽曝曬熱能儲存於結構內，當室內開啟冷氣或夜間氣溫降低時，壁面緩緩放熱；同時閉店後仍有少量機電設備、冷凍冷藏櫃等運轉所排出的廢熱，都使得建築物內部有相當熱量累積，隔日開店前便需要提早半小時甚至一小時將全棟建築降溫。

夜間排風使用凌晨 4~5 點全天溫度最低的時間，比對室內、外焓值差異，當室外焓值低於室內時，透過空調箱(AHU、PAH)將低焓值空氣引入，替換掉室內相對高焓值空氣，使得開店前需處理的空調負荷減少，進而減少電費支出。

5.設備效率標準

中央空調系統是由冰水主機、各類水泵與風車組合而成，設備效率可參考經濟部能源局與標檢局頒布相關標準；冰水主機於 109 年 7 月 1 日實施能源效率分級(如表 4-8 所示)，分為水冷容積式、離心式主機與氣冷式主機三種，並細分不同製冷能力與 1~3 級的能耗標準(如圖 4-22 所示)，所有製造/進口的冰水主機皆需符合最低能效標準(三級)，並將實測的主機性能公開上網(如下方網址)。

中華民國蒸氣壓縮式冰水機組能源效率分級標示管理系統

網址：https://ranking.energylabel.org.tw/LBICE/index.aspx

表 4-8 冰水機組製冷能源效率分級基準表(109 年 7 月 1 日實施)【18】

附表五

冰水機組製冷能源效率分級基準表

冰水機組類型		標示額定製冷能力	製冷能源效率分級基準		
			性能係數(COP)		
			3 級	2 級	1 級
水冷式	容積式	< 528kW	4.45	4.80	5.15
		≧528kW <1758kW	4.90	5.30	5.70
		≧1758kW	5.50	5.90	6.35
	離心式	<528kW	5.00	5.40	5.80
		≧528kW <1055kW	5.55	5.95	6.40
		≧1055kW	6.10	6.60	7.10
氣冷式		全機種	2.79	3.00	3.20

註：

1.冰水機組性能係數(COP)依 CNS 12575（96 年版）「蒸氣壓縮式冰水機組」於全載標準試驗條件，及各積垢容許值皆為零值下，實測所得之額定製冷能力除以額定製冷消耗電功率，採四捨五入計算至小數點後第二位，須符合附表一規定。

2.實測所得之額定製冷能力及性能係數應大於產品標示值 95%以上。

3.經中央主管機關審核具有 CNS 12575 中所述熱回收功能之冰水機組，不適用本表分級基準。

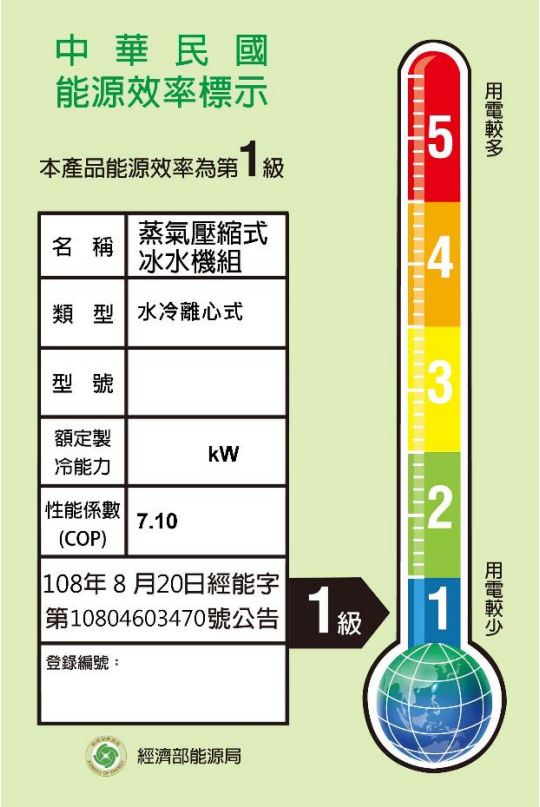


圖 4-22 冰水主機能源效率分級標示圖(黏貼主機正面明顯處)

中央空調中的水泵與風機，多使用低壓三相鼠籠型感應電動機驅動，自 105 年 7 月 1 日起製造商生產之電動機(馬達)均須符合 IE3 等級效率標準(經能字第 10304606310 號公告)，因此使用者僅需確認馬達銘牌上標示效率等級「IE3」即可，馬達效率標準可參考 CNS 14400(如表 4-9 所示)。水泵另需注意是否符合 112 年 1 月 1 日起實施的迴轉動力水泵容許耗用能源基準(經能字第 11004605700 號)要求。

低壓三相鼠籠型感應電動機能源效率基準、效率標示及檢查方式

網址：https://www.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/Law/Content.aspx?menu_id=1038

迴轉動力水泵容許耗用能源基準、標示事項及檢查方式(112 年 1 月 1 日生效)

網址：https://www.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/Law/Content.aspx?menu_id=16603

表 4-9 CNS 14400 低壓三相鼠籠型高效率感應電動機(一般用)滿載特性

表 5 IE3 超高效率電動機之滿載特性

額定輸出		2極			4極			6極		
		同步轉速 (rpm)	額定效率 η (%)		同步轉速 (rpm)	額定效率 η (%)		同步轉速 (rpm)	額定效率 η (%)	
kW	HP	60 Hz	全閉型	保護型	60 Hz	全閉型	保護型	60 Hz	全閉型	保護型
0.75	1	3,600	77.0	77.0	1,800	85.5	85.5	1,200	82.5	82.5
1.1	1.5		84.0	84.0		86.5	86.5		87.5	86.5
1.5	2		85.5	85.5		86.5	86.5		88.5	87.5
2.2	3		86.5	85.5		89.5	89.5		89.5	88.5
3.7	5		88.5	86.5		89.5	89.5		89.5	89.5
5.5	7.5		89.5	88.5		91.7	91.0		91.0	90.2
7.5	10		90.2	89.5		91.7	91.7		91.0	91.7
11	15		91.0	90.2		92.4	93.0		91.7	91.7
15	20		91.0	91.0		93.0	93.0		91.7	92.4
18.5	25		91.7	91.7		93.6	93.6		93.0	93.0
22	30		91.7	91.7		93.6	94.1		93.0	93.6
30	40		92.4	92.4		94.1	94.1		94.1	94.1
37	50		93.0	93.0		94.5	94.5		94.1	94.1
45	60		93.6	93.6		95.0	95.0		94.5	94.5
55	75		93.6	93.6		95.4	95.0		94.5	94.5
75	100		94.1	93.6		95.4	95.4		95.0	95.0
90	125		95.0	94.1		95.4	95.4		95.0	95.0
110	150		95.0	94.1		95.8	95.8		95.8	95.4
150	200		95.4	95.0		96.2	95.8		95.8	95.4
185～375	250～500		95.8	95.4 [a]		96.2	96.0 [b]		95.8	95.8 [c]

註[a] 在 NEMA 能源效率值(nominal limit)中，250 HP 為 95.0 %，500 HP 為 95.8 %，本表取其平均值。

[b] 在 NEMA 能源效率值(nominal limit)中，250 HP 為 95.8 %，500 HP 為 96.2 %，本表取其平均值。

[c] 在 NEMA 能源效率值(nominal limit)中，250 HP 為 95.4 %，500 HP 為 96.2 %，本表取其平均值。

備考 1. 對於 IE1+等級電動機而言，若額定輸出功率未列於表內時，以其較大一級輸出功率之效率為檢驗標準。例如 100 kW、4P 全閉型之效率，以 110 kW、4 P 之效率 94.1 %為檢驗標準。

備考 2. 對於 IE2 與 IE3 等級電動機而言，若輸出功率未列於表內時，其效率檢驗標準依下列原則。

(a) 若未表列之輸出功率〝大於或等於〞其大一級輸出功率與小一級輸出

6.中央空調水側系統效率

上一節提到的是「各別設備」效率標準，對於中央空調「系統」來說，各別設備是一個個齒輪，眾多齒輪組合而成一個系統，系統也有效率標準可依循。

中央空調水側系統效率是指冰水主機每製造一冷凍噸(RT)，需花費的電功率(kW)，在此電功率包含冰水主機、冰水泵、冷卻水泵、區域泵、中繼泵與冷卻水塔等，即是冰水與冷卻水兩側所包含的設備功率，如圖 4-23 所示。

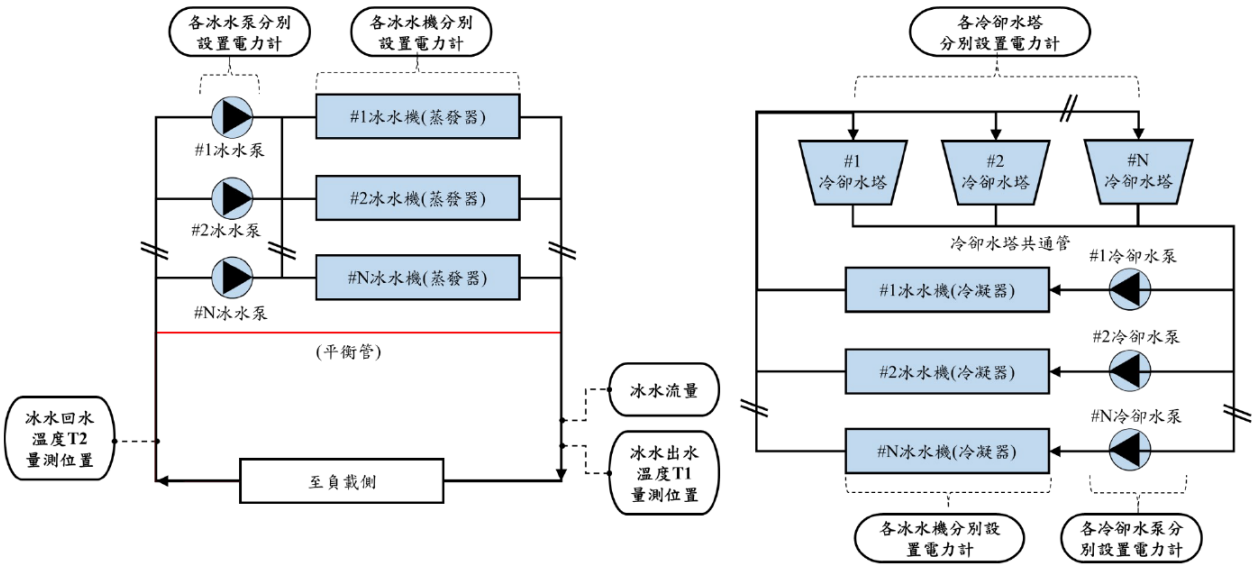


圖 4-23 冰水機群組系統效率示意圖

中央空調冰水機房系統能效可參考美國採暖、製冷與空調工程師學會(ASHRAE)提出不同技術對應的效率等級，如圖 4-24 所示，左側是全變頻控制冰水機組(效率 0.65kW/RT 以下)、中間是舊型機組(效率介於 0.85~1.0kW/RT 之間)與右側運轉上已有部分問題的機組(效率超過 1.0kW/RT，需要改進！)。新加坡則是透過法規律定新建與既有系統改善的效率標準，如表 4-10 所示，從合格級(最低標準)至白金級區分為四個等級。

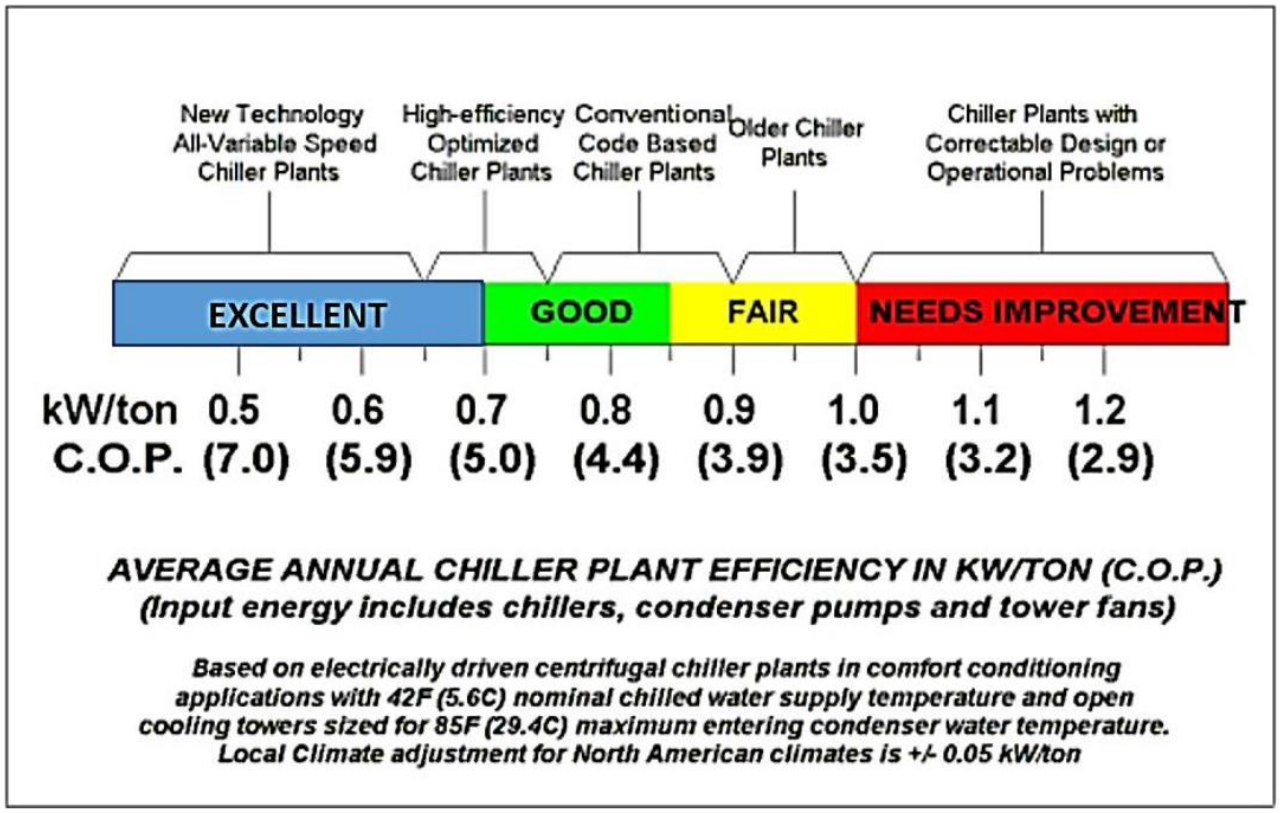


圖 4-24 ASHRAE 針對中央空調冰水機房系統能效與技術情境關係圖【19】

表 4-10 新加坡 Green Mark 認證【20】【21】【22】

系統類型 / 最低(合格級)效率	新建系統 (2015 年版)	既有系統改善 (2017 年版)
	水側系統效率(kW/RT)	
峰值建築負荷<500RT	0.75	0.8
峰值建築負荷≥500RT	0.67	0.75

註：新加坡 Green Mark 2021 版採空調總系統效率(Air Conditioning Total System Efficiency, AC TSE)，新建物 0.8 kW/RT、既有建物 0.9kW/RT，僅使用空氣側(接外部冰水)為 0.2~0.25kW/RT，相形之下水側系統效率再度提升至 0.6~0.65kW/RT。

三、照明系統

購物中心室內販售空間多採燈光照明為主，少數使用自然採光，主要考量開窗率增加會使空調負擔過大；近年隨著 LED 價格下降與發光效率提升，將各式傳統光源(螢光燈、水銀燈或複金屬燈等)更新為各類 LED 光源，以螢光燈為例，節能率可達 30~50%。燈具發光效率可參我國節能標章要求，現行室內照明燈具標準為 125 lm/W 其他燈具標準甚至有 140 lm/W，相較前兩年推出 100 lm/W 產品，足見 LED 光源效率與傳統光源差異已逐漸增加，更新採購亦可參考我國相關節能標章之能效要求。

節能標章全球資訊網

網址：https://www.energylabel.org.tw/index.aspx

除了光源更新外燈光能源控制與管理，可搭配照明控制系統及迴路規劃(如圖 4-25~圖 4-27 所示)，利用系統來分區、分段、分時來規劃燈光點滅，統一集中利用燈光系統管理可避免人員控制失誤或者誤操作...等問題，導致燈光無效使用浪費能源。為簡化管理可搭配燈光圖面控制系統，圖形化介面一目了然燈光開關狀態(如圖 4-28~圖 4-29 所示)，可利用系統分迴路分群組制定排程。外牆燈光、燈箱、戶外燈皆可納入系統管理。

1.分區

購物中心(商場)有不同的分區，例如座席區、中島店鋪區、特販區、公區走道、廁所...等，每一區的燈光需求不同可依實際需求分區規劃。

2.分段

如上述區域再分段控制燈光需求，例如公區走道可分為三段開啟，第一段開啟 30%燈光提供人員走動基礎照明，第二段開啟 30%供週邊店鋪開店準備使用，如中島店鋪、臨時店鋪，第三段開啟 40%準備開店，閉店則反向控制。

3.分時

如上述區域分段再分時開啟、關閉，若多迴路要同時啟動時，建議將時間錯開 30 秒或 1 分鐘，避免多迴路同時啟動造成瞬間電流啟動產生壓降，進而影響到周邊設備電源尤其是通訊或網路設備。

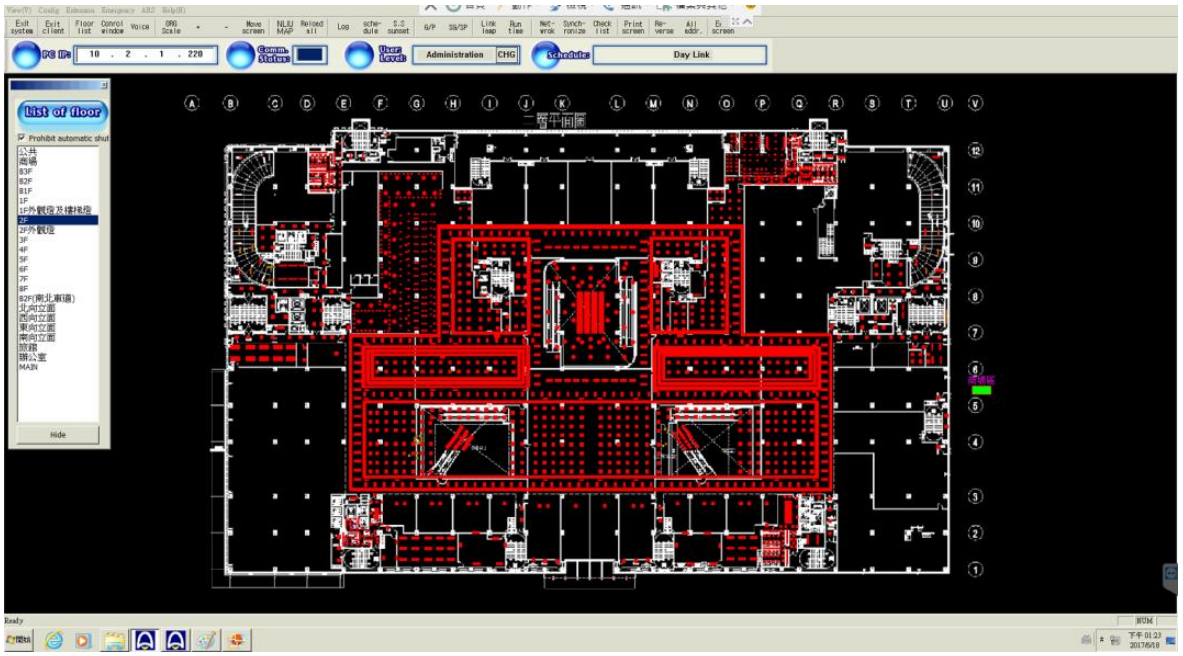


圖 4-25 燈具迴路及排程圖形控制畫面

圖 4-26 燈控架構及模組配置圖

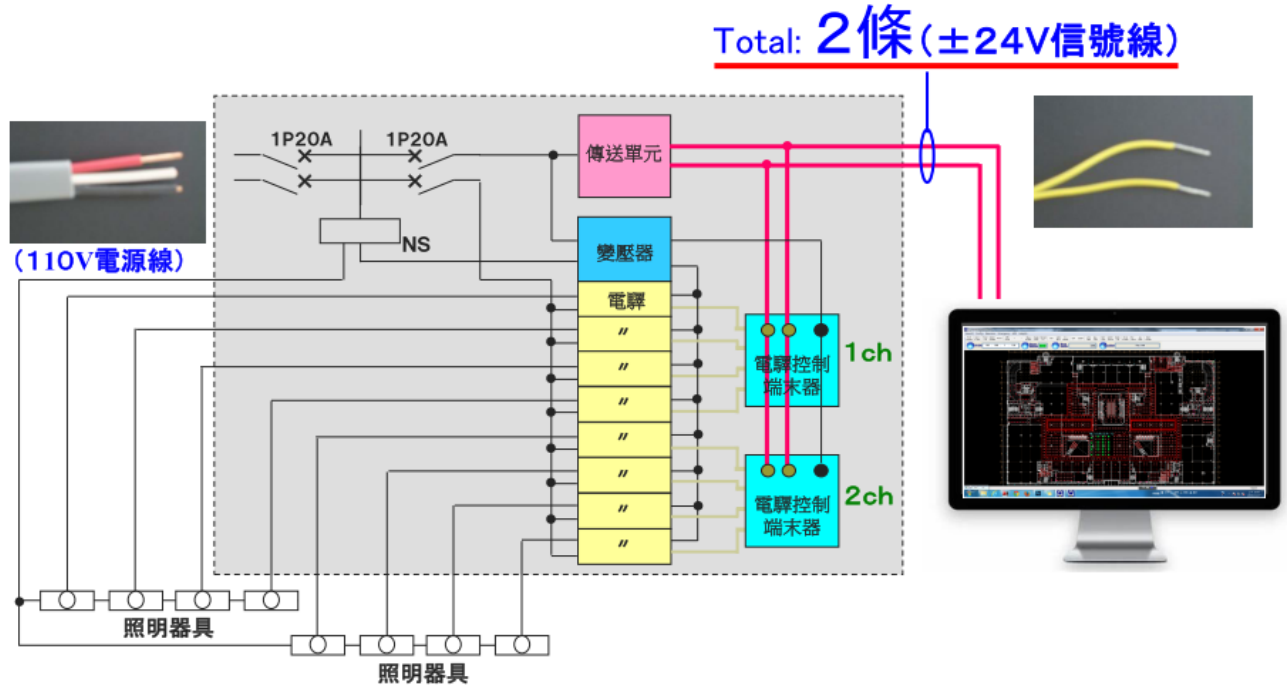


圖 4-27 二線式燈控單線配置圖示

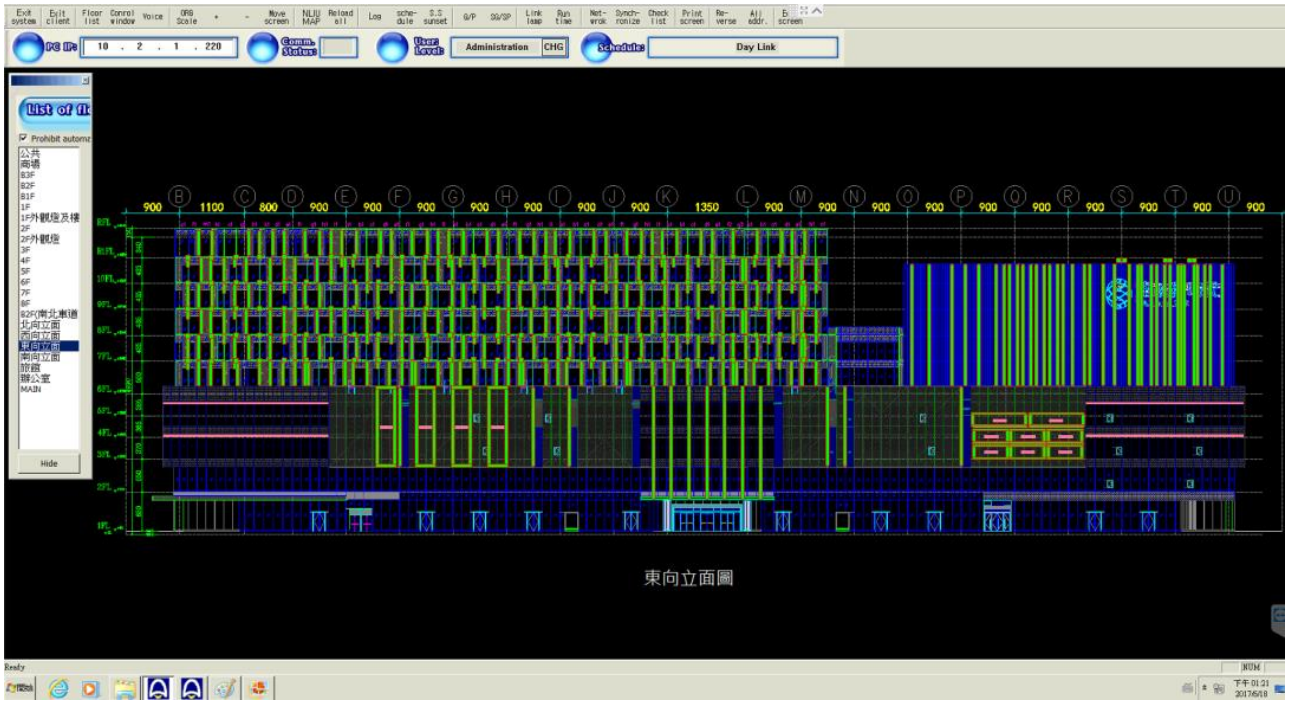


圖 4-28 外牆燈迴路及排程圖形控制畫面

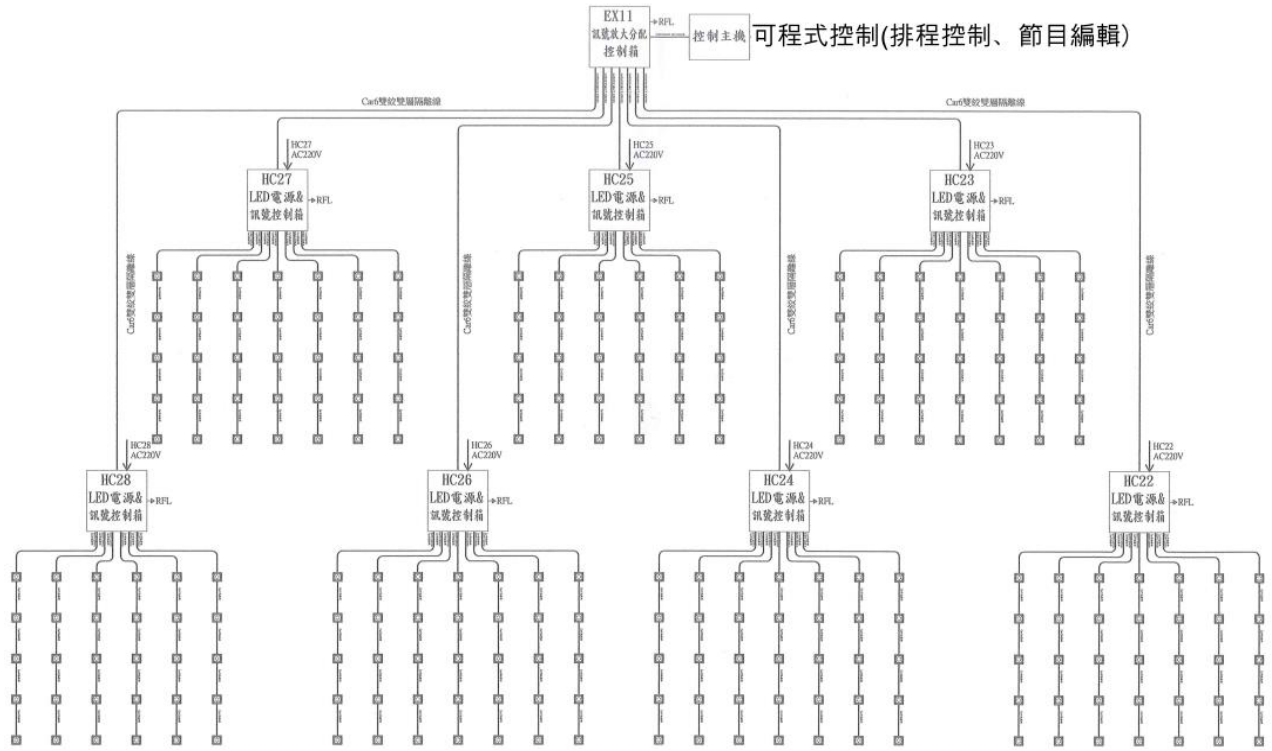


圖 4-29 外牆燈可程式控制架構

四、電梯、電扶梯系統

電梯、電扶梯目的是將消費者移動至各樓層，因此我們期望當顧客光臨時，這些設施可以安全、快速、平穩與安靜的提供服務。反之平日消費者略少則緩步運行，營造緩和的步調兼顧節能效果，而電梯及電扶梯各有不同的節能技術，由此分述如下：

1.電梯

電梯耗能的核心想當然爾是主機(馬達)，而整體構成如圖 4-30 所示，概略可理解成翹翹板，車廂與配重塊位於翹翹板兩端，中間則是馬達帶動兩端車廂與配重塊的移動。當乘客進出車廂時便會改變翹翹板其中一端的重量，如圖 4-31 所示，因此主機並非一直都在出力，有時反而需要減速。

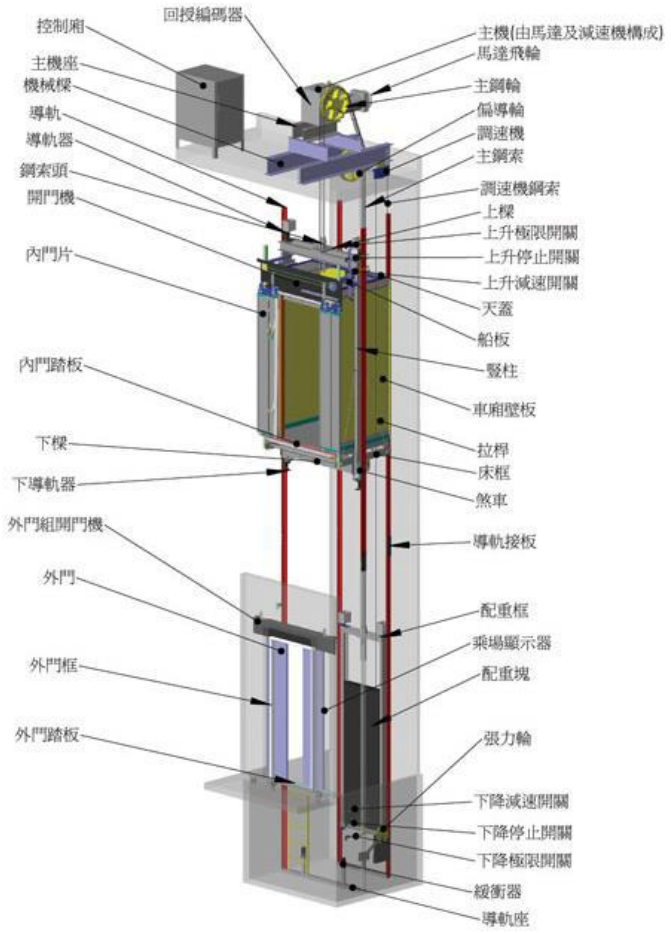


圖 4-30 電梯各部構造名稱與位置【23】

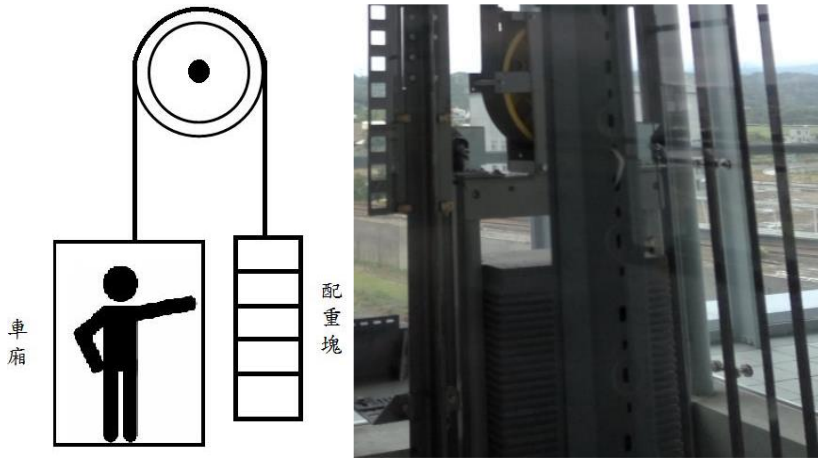


圖 4-31 電梯配重原理示意圖與實照

因此節能技術概略可分為兩個層面，主機馬達效率與動能回收，前者主機效率部分，現今採永磁(PM)無齒輪式捲揚技術(如圖 4-32 所示)，永磁是指主機馬達使用永久磁鐵等新材料，來提升電能轉為動能的效率，而無齒輪則是主機馬達直接驅動鋼輪，不再經過減速機轉換由此降低動能傳遞損失。

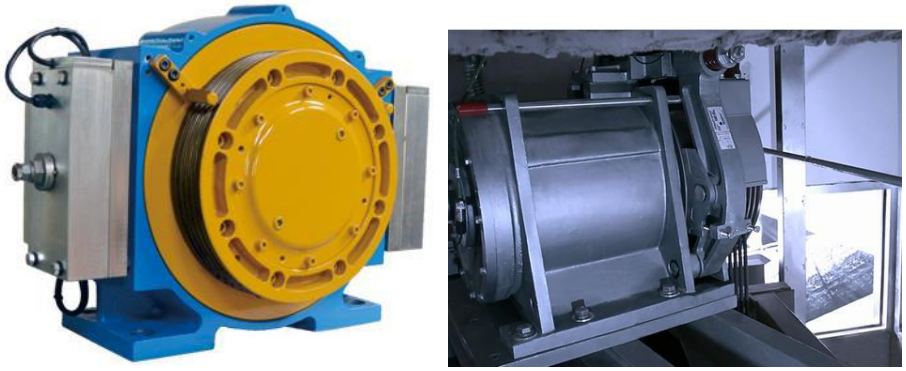


圖 4-32 永磁馬達之無齒輪捲揚機【24】【25】

動能回收首先我們需要知道馬達與發電機其實是一樣的，只是正/反轉、輸入/出電能而已，最常見的應用就是捷運列車減速進站，同樣的馬達起步加速、列車滑行、直到減速出現特殊的聲音，這時馬達變成發電機將動能回收轉成電能，再輸送回第三軌供應其他列車使用(當然最後煞停還是靠剎車片)。

以圖 4-33 做說明，當車廂與配重塊平衡發生改變且車廂需要移動，有時馬達需要出力(輸入電能，象限一、三)有時卻需要減速(輸出電能，象限二、四)，而過往電梯馬達減速階段發出來的電並沒有妥善利用，而是串聯電阻變成廢熱，電梯機房為此還需裝設冷氣機避免電梯控制器與車廂過熱。隨著電力電子技術發展，現今這些減速所產生的電力可以透過「電梯電力回生裝置」將其回收再利用，我們可以理解這個裝置是將馬達減速發出的電能，重新濾波/整流後變成電網中使用的電壓(例如 380V)與頻率(60Hz)。

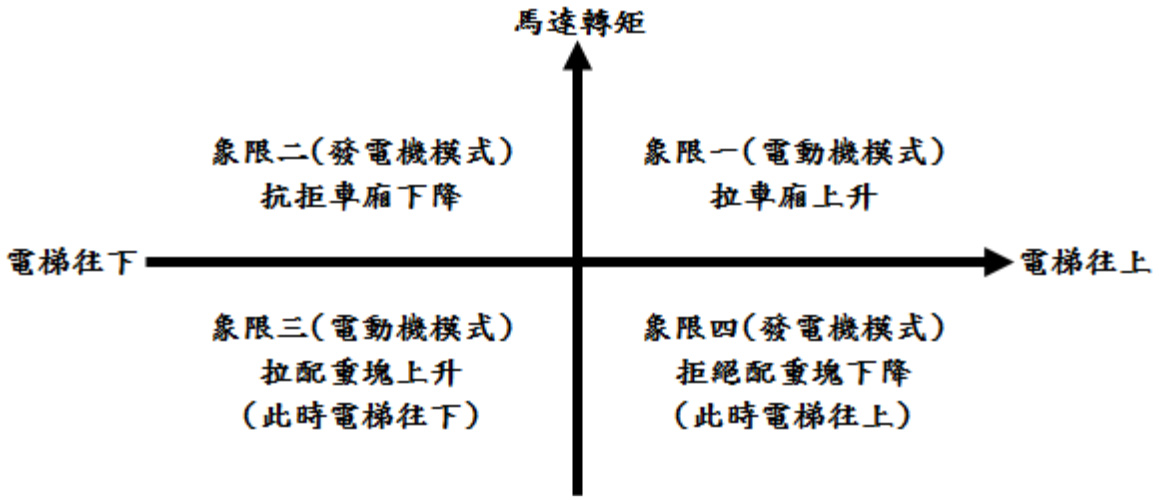


圖 4-33 電梯運行四象限示意圖【26】

依本會 104 年實測不同類型場所、電梯速度與載重，如表 4-11 所示，可知觀光旅館(行程 B4-12F)、百貨公司(行程 B5-7F)分別有 25~30%回生率，詳細測試與技術資料可參本會 105 年發行之電梯電力回生裝置節能應用手冊。現今各大電梯原廠有開發與自家電梯相容之電力回生裝置，可於設備更新時選用相關模組，兼顧保固、安全與節能需求。

表 4-11 電梯電力回生裝置回生率及相關因素統計【26】

類型	電梯速度(m/min)	載重限制(kg)	回生率(%)
辦公大樓	105	1350	26.8
觀光旅館	120	1150	25.78
社區住宅	105	700	10
大專院校	90	1000	20.4
百貨公司	120	1350	30.44
集合住宅	60	700	22.5
資訊機房	90	1000	13
政府機關	120	1350	28.5
商辦中心	120	1350	39.73
區域醫院	90	1000	11.18

2.電扶梯

有時我們在捷運或量販店搭乘電扶梯時，會聽到”電扶梯加速中，請緊握扶手、站穩踏階”的自動語音提醒，人少時經過還可看見電扶梯轉動的很慢甚至停止，其實這就是電扶梯的主要節能技術「變頻怠速」與「自動啟停」。

首先須了解電扶梯是由馬達帶動踏階循環，多數在營業時間內無論有無顧客搭乘均保持循環運轉，有部分時間消耗電力卻無人搭乘。而變頻怠速(如圖 4-34 所示)與自動啟停，是透過乘場兩側的光電感應器得知顧客接近(如圖 4-35 所示)，前者透過變頻器控制加速與怠速(約節能 30%)、後者僅啟動與停止，兩種控制模式均有相當的節能效益，應用何種技術是考量營業需求，可接受啟停或是僅接受怠速，適合應用於具人潮尖離峰明顯場域。

硬體技術面由原廠加裝變頻器、光電感應與相關控制器並無問題，使用上需注意搭配語音、狀態指示或地板貼等，讓顧客了解電扶梯怠速、停止，並非故障、靠近會加速或啟動，避免造成不必要的困惑與驚嚇。

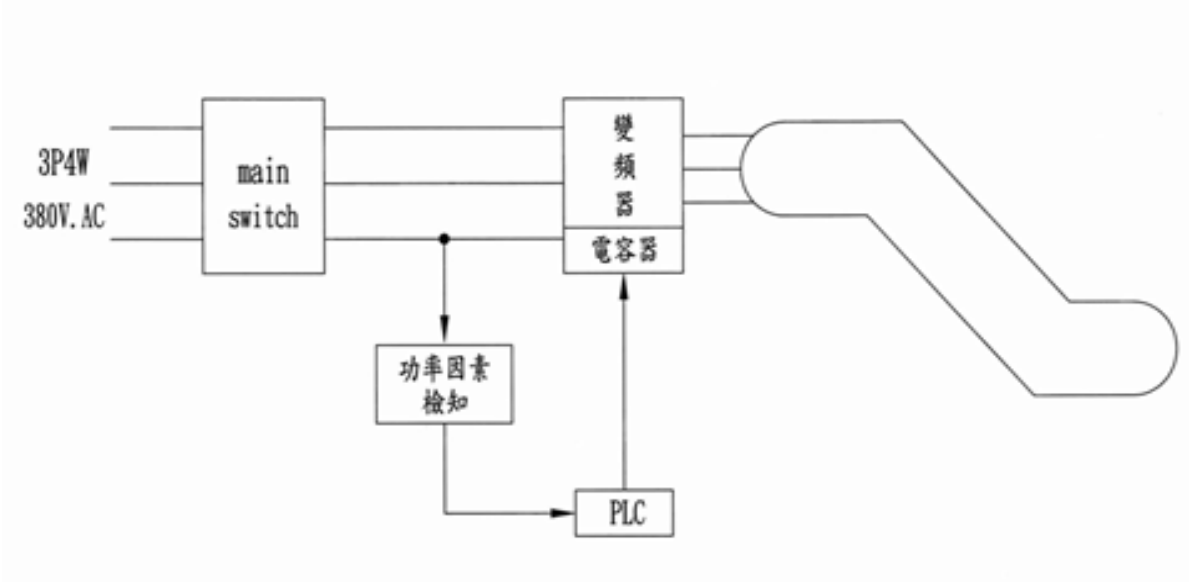


圖 4-34 電扶梯變頻控制示意圖【27】

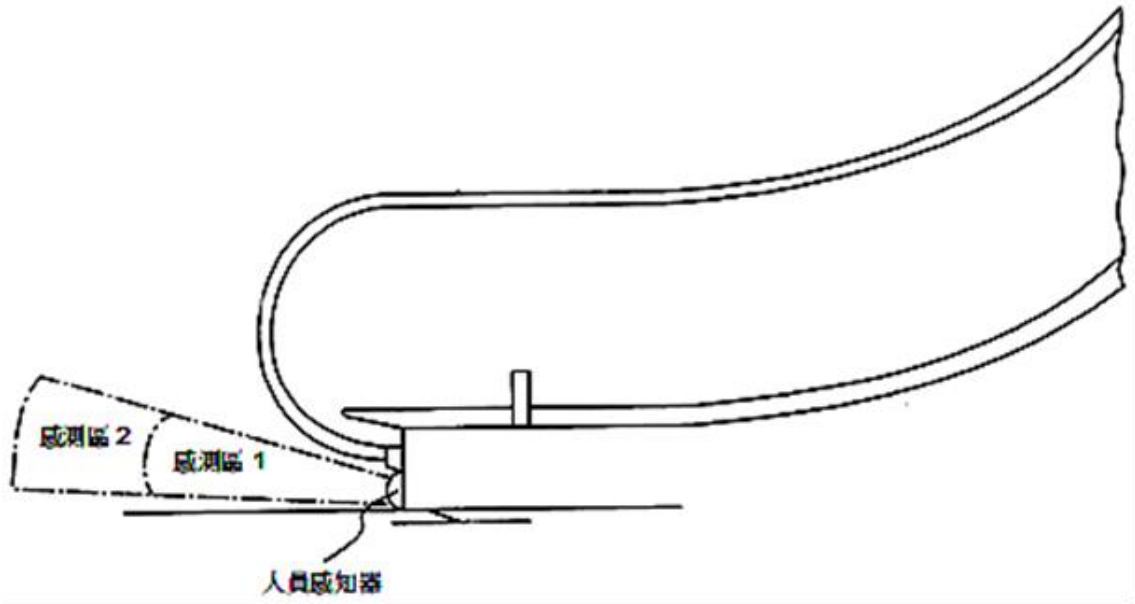


圖 4-35 可變轉速電扶梯人員感知器與感測區示意圖【27】

五、給排水、汙廢水

第參章已概述給排水、汙廢水輸送與處理流程，在此分為給排水、中雨水與汙水處理兩個小節討論，前者著重於輸送效率，後者則是避免過量或無效運轉。

給水系統可利用離峰時段來啟動揚水泵，進行 RF 生活水箱補水作業，建議搭配中央監控系統或 PLC 結合人機介面來監控水箱有效存量(如圖 4-36 所示)，若上水箱較大可足夠一天用水量，可直接設定離峰時段強制補水至滿水位，若上水箱不夠一日存量則可利用半尖峰(尖峰)時段進行局部補水，供階段使用等待離峰時段再開啟揚水泵大量補水；對於液位計/液位開關亦須定期巡檢與測試，避免錯誤的訊號使得控制錯誤/偏移，導致水箱溢流或馬達燒毀(可配合超時運轉警報)。

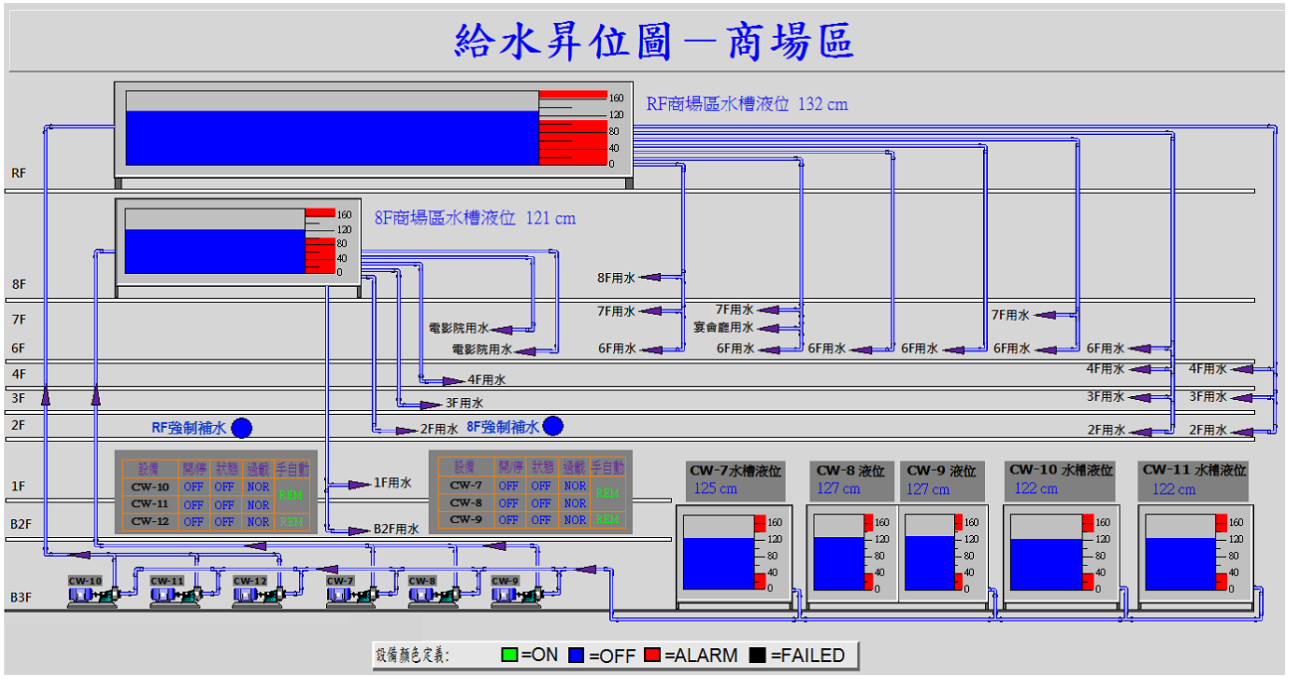


圖 4-36 給水系統監視畫面

另一方面選用符合管徑、揚程與送水量的高效率水泵(如圖 4-37 所示)，亦可增加輸送效率，採購前可查詢是否有適合的水泵。

動力與公用設備能效登錄管理系統

網址：https://www.mdss.org.tw/subsidy/Product/list.aspx

圖 4-37 動力與公用設備能效登錄管理系統-高效率水泵

中雨水與汙水處理興建之初會預估需處理的水量、水質等，進而規劃出前置槽(坑)、除油欄汙槽(坑)、沉澱槽(坑)、曝氣槽(坑)、終沉槽(坑)..等功能槽(坑)，而槽與槽之間使用沉水泵進行水處理的傳遞及運行，而過程各槽體視功能性不同，例如初期處理沉澱時間、二級生物處理所需曝氣量/時間等，會讓系統有足夠的沉澱及運轉時間，然而設計(假設)條件與營運(實際)階段多少有所不同，同時設計處理量多以最大量加上安全係數去規劃。

因此各槽/處理設備運轉時間並非不能調整，而是在不同的營運階段/負載下，請設計廠商取水樣評估處理設施合理的運轉時間與參數;以二級生物處理為例，池內透過細菌與微生物分解水中有機物，曝氣的目的是為了攪動水池與提供合適的溶氧量，透過魯氏鼓風機與送風管把空氣打入池內，溶氧量太高徒增電費而沒有效果，溶氧太低則使細菌轉為厭氧發酵(多採好氧生物處理，異味低)，因此可委由專業汙廢水廠商定期檢視各池運轉情形與微調設定參數，以達符合放流標準與避免能源過度浪費；另一方面如若前置的收集水槽夠大，自然也可透過運轉時間調整，改由夜間離峰時段運作以節省電費。

汙廢水本就雜質多(油脂、毛髮或各類異物)，使得浮球開關容易卡住不作動或浮油結塊導致泵浦持續運轉，輕則浪費能源，重則馬達空轉燒毀、汙廢水從筏基溢出等災難；因此可透過監視系統觀察正常啟停時間/週期，例如滿水位抽到低水位時間，建立一個運轉超時的監控時間點警報(如圖 4-38、圖 4-39 所示)，當泵浦超時運轉時可預警是否泵浦阻塞、浮球開關故障或卡住..等異常狀況，防止馬達空水運轉燒毀及無效能源浪費。反之也可建立正常排水時，暫存槽從低水位到高水位的時間點來預警泵浦異常無作動。

圖 4-38 汙水機房狀態監視系統

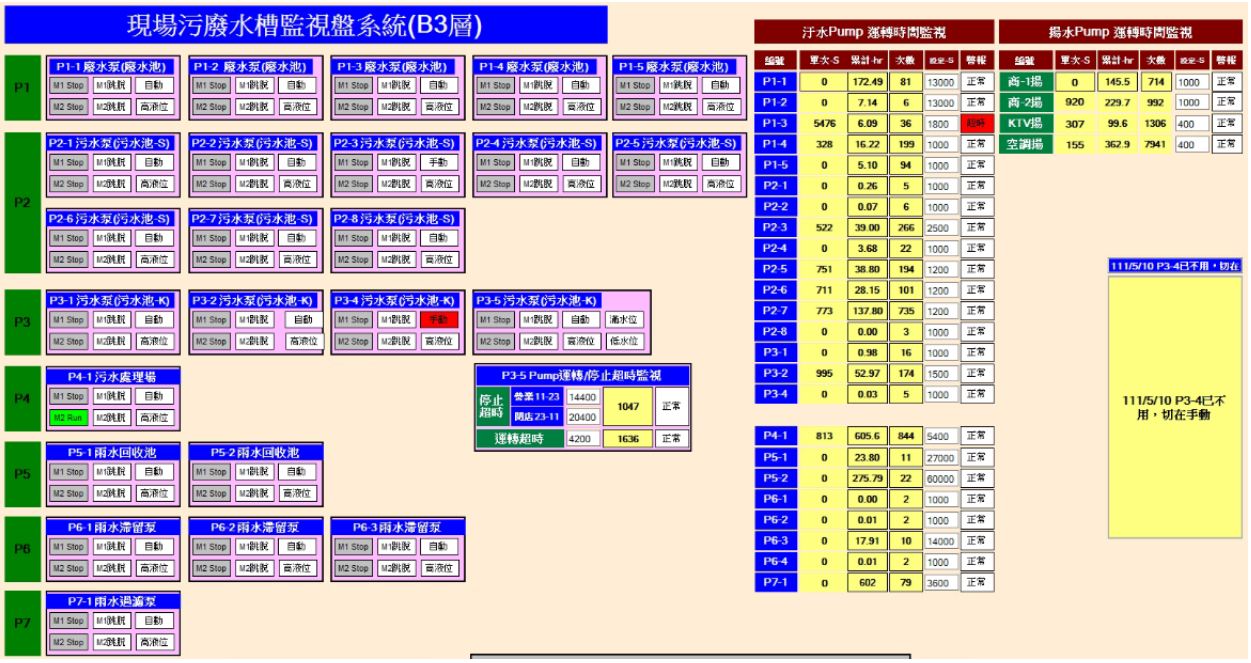


圖 4-39 汙水泵浦超時運轉預警及狀態監控系統

六、進排風系統

進排風的目的是將汙染物稀釋與抽除，若能源頭減量自然是最好，如果不是我們能控制的，那麼則依換氣需求進行運轉，在此以廚房進/排風與停車場進/排風控制分述如下：

1.廚房進/排風

廚房排風的目的是將油煙、蒸氣或燃燒後廢氣排至戶外(如圖 4-40 所示)，避免影響廚房工作人員的安全或不適，既然有排氣自然就會有進氣，因此廚房進排氣在維持換氣需求的前提下，會希望換氣量足夠抽除汙染物但不會過大，換氣儘量減少顧客用餐區的影響。

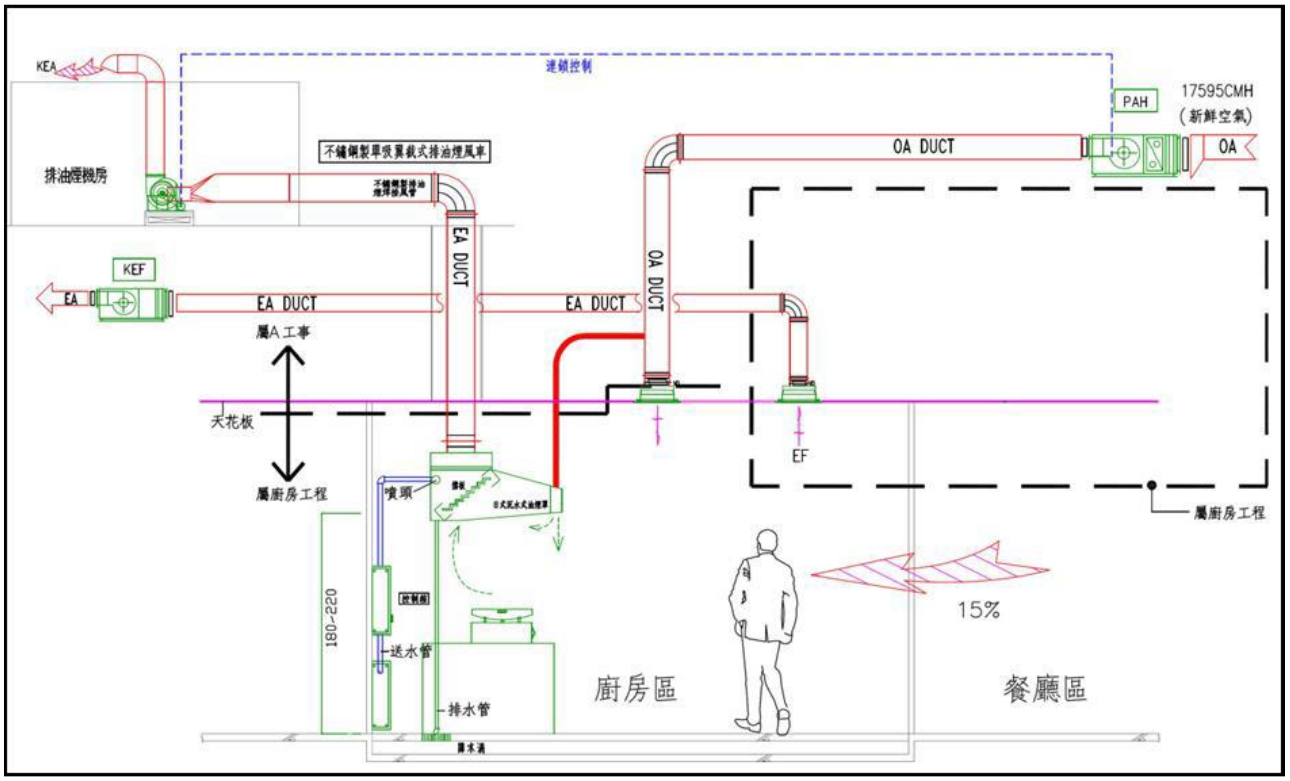


圖 4-40 廚房進排氣系統架構示意圖

基於上述的需求，便可認知到初始系統設計與實際店鋪需求，必然有所差異(通常為過大設計)，中式大火熱炒與清淡的日式料理排風需求顯然不同，因此店鋪進駐後可依需求微調進、排風門，未使用的風口也應儘量關小，將風機能力提供給需求的店鋪，再搭配變頻控制將過大的風量調降，便有節能空間。

補氣系統是配合排風量補充至廚房內，避免顧客用餐區冷氣大量被廚房排風機抽走，影響消費者用餐感受(過熱)；若以節能的角度，自然會希望直接以室外空氣不做處理直接輸入，然而考量室內作業人員感受與避免食品過快腐敗，有時會補氣與冷氣併供或提供涼風等，以符合多方需求；值得注意的是補氣系統送風量需略小於排風量，例如廚房獨立排氣量 100%、補氣系統進氣量為 95%，使廚房形成「微負壓」的環境避免油煙擴散至客席區，若補氣不足將抽除大量客席區冷氣，反之補氣過多則廚房熱氣/油煙擴散至客席區，兩者均增加不必要的空調負載，同時也造成用餐民眾不適。

看到此處或許讀者會問，那麼排風量、進風量或廚房微負壓又如何得知，現今風量有多種量測方式，以風速計量測平均風速(m/s)乘上開口或風管截面積(m^2)最為方便，而平均風速視開口面積平均取點量測即可；廚房微負壓，畢竟購物中心不是醫院手術室無須強調必須幾 Pa 的壓差，使用衛生紙或其他輕薄材質，在廚房門口或開口處用「拔草測風向」方式，便可知曉廚房是否處於負壓。

2.停車場進/排風

停車場進排風自然就是處理汽、機車行駛的廢氣，尤其購物中心寬闊且多層地下停車場，更仰賴機械通風維持室內空氣品質；規模較大的停車場，常以大馬力軸流式風機結合小台的噴流式風機(如圖 4-41 所示)，沿特定的方向形成一側進氣、中途接力與另一側排氣的空氣流向。

圖 4-41 噴流式風機外觀

停車場主要污染物為內燃機產生的一氧化碳，因此透過一氧化碳偵測器可了解場內汙染物濃度，進而結合自動控制判斷需換氣的區域、運轉頻率(風量)，避免過量排氣(如圖 4-42 所示)，然而並不是隨時都有大量汽機車進出，並無常態運轉的需求。需注意的是偵測器裝設位置與人呼吸高度相近即可，安裝點位不一定要很密集，重點在進排氣風機組成的氣流迴路上佈點，藉以了解停車場區塊的空氣品質與風機開啟後換氣狀態。

若無固定式一氧化碳偵測器與自動控制，透過手持式儀器搭配時程控制也是有效的方法，分區停車管理(集中)、分區風車啟停(輪流啟動)、因應車行尖峰平假日啟停規劃，均能維護空氣品質的同時有效降低停車場風機運轉耗能。

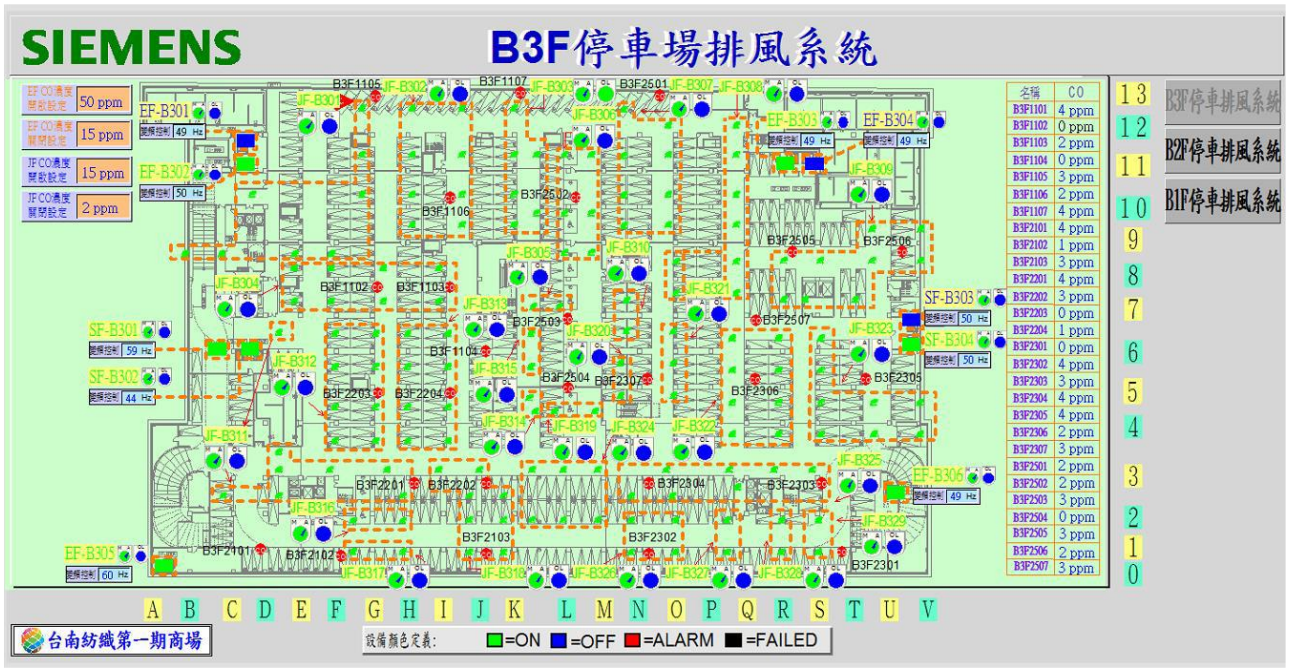


圖 4-42 停車場送排風系統監控畫面

部分停車場因筏基設有汙廢水坑，異味影響消費者停車體驗，因此停車場風機常態運轉相當耗能，建議朝幾個方向檢視：

(1)汙廢水坑是否厭氧化(硫化氫臭味較多)。

(2)人孔蓋避免設置於車道、車位上，維護困難外車輛重複輾壓氣密容易變差。

(3)對坑內或人孔(開口處)密閉抽氣避免異味傳至場內，小型風機便足夠因應。

七、營業用電

購物中心營業用電佔建築整體用電近半，主要供應各店鋪使用，依型態不同有相應的用電規格、管理型態與計費模式。店鋪用電以營業需求為主要考量，而現場從業人員多非機電背景，自然對能源管理、安全並無概念，因此店鋪用電從裝設數位電錶、用電設備規範與管理兩處著手，由此分述如下：

1.數位電錶

數位電錶不僅僅是計算/分攤電費，更是輔助店長內部管理的有效工具，在店鋪一次側電源箱設置數位電錶，並傳送至能源管理系統(EMS)，透過逐日回傳的耗電量(kWh)進行篩選、排序或比對，提供管理人員與店鋪用電趨勢的參考與異常警示，如圖 4-43 所示。

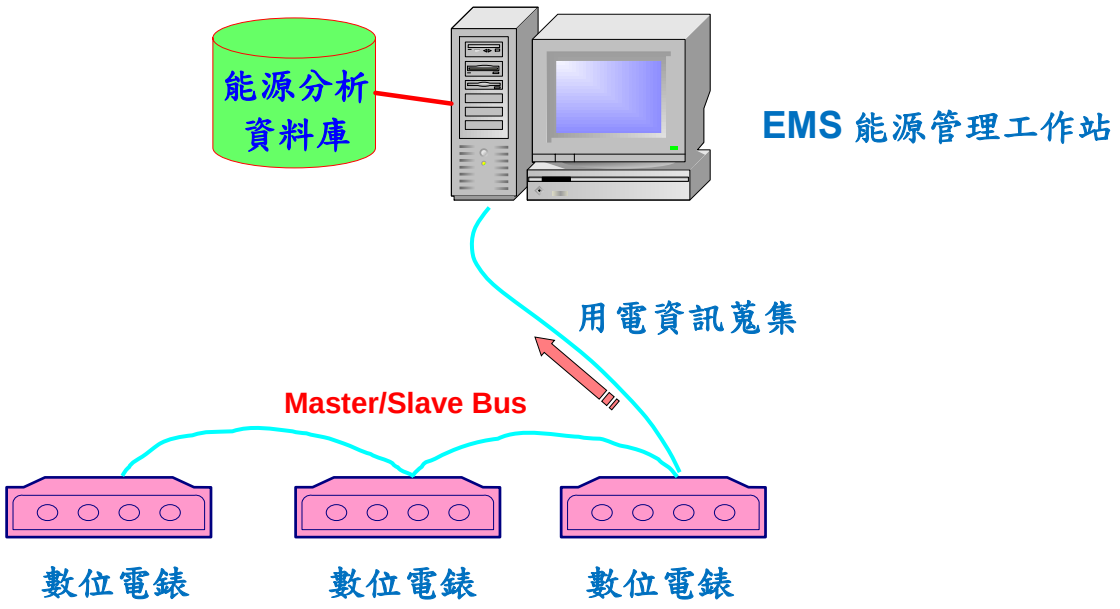


圖 4-43 能源管理系統示意圖

相比數據收集，更重要的是正確、快速與方便分析比較(如圖 4-44、圖 4-45 所示)，因此 EMS 系統的線上即時統計分析，除大幅縮減管理人員使用人工的方式，進行資料的篩選、整理，與統計分析的工時成本外，更增加資料處理的正確性。並可透過系統提醒、簡訊、Line 或 E-mail 等方式，自動傳訊給管理單位或店鋪，進而自主檢視用電設備是否異常或人為因素忘記關閉設備等，做到即時了解異常與改進。

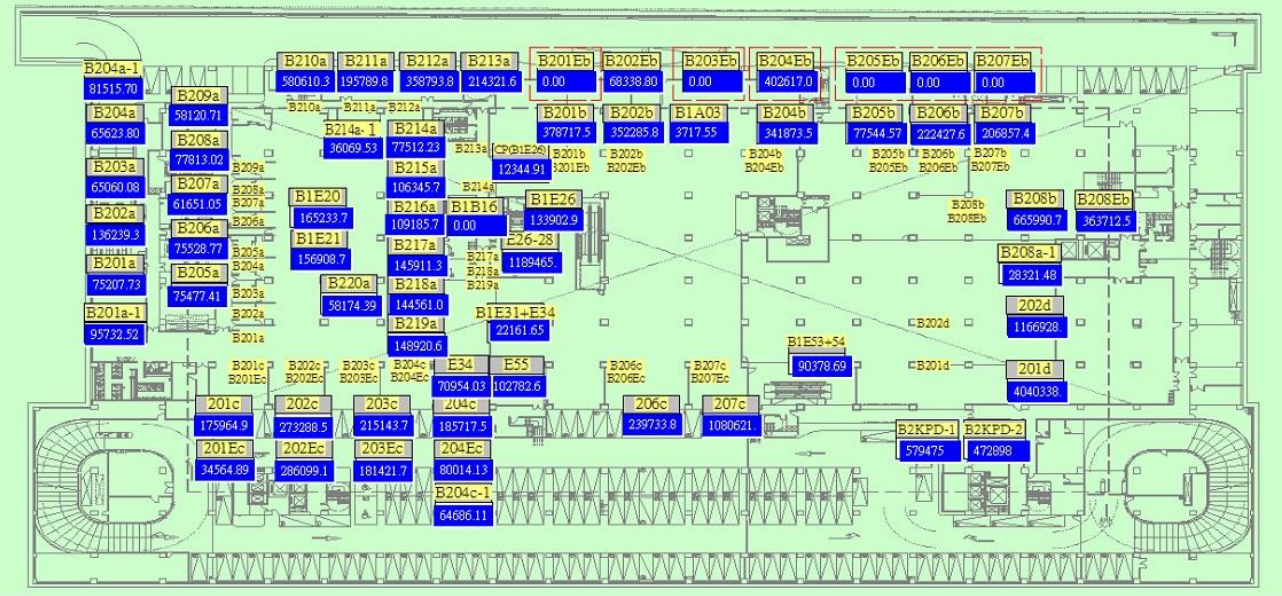


圖 4-44 店櫃電錶圖控畫面

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	結算年月		本次抄錶日		2022/05/25							
2	櫃位編號		項次	結算年月 (yyyymm)	能源錶號 (5碼)	能源類型 (G01:水 G02:電 G03:瓦斯)	本次抄錶日 (yyyy/mm/dd)	本月使用度數		上月水表度數度值	本月水表度數度值	
3	B1A01+A02		1	202205	WB102	G01	2022/5/25	667.42		32283.43	32950.85	
4	B1B01		2	202205	WB105	G01	2022/5/25	91.45		221.23	312.68	
5	B1B02		3	202205	WB106	G01	2022/5/25	84.23		10305.03	10389.26	
6	B1B03		4	202205	WB107	G01	2022/5/25	49.2		8875.15	8924.35	
7	B1B04		5	202205	WB108	G01	2022/5/25	497.92		5177.77	5675.69	
8	B1B07		6	202205	WB111	G01	2022/5/25	44.37		6656.67	6701.04	
9	B1B08		7	202205	WB112	G01	2022/5/25	64		6389.52	6453.52	
10	B1B10		8	202205	WB114	G01	2022/5/25	89.96		8562.02	8651.98	
11	B1B11		9	202205	WB115	G01	2022/5/25	35.05		372.57	407.62	
12	B1B12		10	202205	WB116	G01	2022/5/25	37.59		4108.76	4146.35	
13	B1B16+B1B17		11	202205	WB120	G01	2022/5/25	354.45		18076.93	18431.38	
14	B1B19		12	202205	WB123	G01	2022/5/25	12.19		1186.52	1198.71	
15	B1B20		13	202205	WB124	G01	2022/5/25	161.25		15384.28	15545.53	
16	B1B21		14	202205	WB125	G01	2022/5/25	78.12		14034.34	14112.46	
17	B1C01+C02		15	202205	WB126	G01	2022/5/25	371.08		30898.29	31269.37	
18	B1C03		16	202205	WB128	G01	2022/5/25	144.84		2763.39	2908.23	
19	B1C05+C06+C07		17	202205	WB131	G01	2022/5/25	401.54		2597.01	2998.55	
20	B1D02		18	202205	WB133	G01	2022/5/25	32.88		101.79	134.67	
21	B1E26		19	202205	WB140	G01	2022/5/25	170.73		6352.81	6523.54	
22	B1E27+E28		20	202205	WB141	G01	2022/5/25	48.45		5579.81	5628.26	
23	B1E42a+E43		21	202205	WB152	G01	2022/5/25	1.73		285.78	287.51	
24	B1E55		22	202205	WB137	G01	2022/5/25	17.12		358.06	375.18	
25	B1E56b		23	202205	WB151	G01	2022/5/25	97.57		5495.14	5592.71	

圖 4-45 能源統計表

2.用電設備規範與管理

用電設備規範與管理，目的不是限制店鋪用能或使用設備，而是基於「用電安全」、合理用電的角度下，共同遵守相關規範，並由管理單位機電人員為店鋪實施用電健檢(點檢)，如圖 4-46 所示。

南紡購物中心

(櫃位)廠商電氣(器)設備每年定期檢查表(自設&統設)

櫃位(廠商)名稱：　　櫃位(廠商)編號：　　檢查日期：110年5月18日

	檢查項目(包括相關之設備圖面)	檢查方法	檢查結果 正常	檢查結果 異常	備註
電箱盤體	1.箱體有無生鏽	檢視	✓		
	2.外殼是否破損	檢視	✓		
	3.接地線是否良好	檢視/儀器檢測	✓		
	4.名牌是否明確標示	檢視	✓		
	5.置放位置散熱是否良好	檢視	✓		
	6.盤體內部配線是否整齊	檢視	✓		
	7.盤體內部所有螺絲是否鎖緊	檢視	✓		
	8.箱體外部四周是否通暢	檢視	✓		
	9.盤體內部電氣設備是否有CNS國家檢驗標章	檢視/儀器檢測	✓		
	10.盤體內部是否有雜物或灰塵棉絮	檢視	✓		
總開關	1.過載燒焦現象	檢視/儀器檢測	✓		
	2.前後配線是否完整	檢視	✓		
	3.使用中有無超過常溫度	檢視/儀器檢測	✓		
	4.開關接連線是否良好	檢視	✓		
	5.開關是否小於一次側	檢視	✓		
分路開關	1.開關與配線頭是否完整	檢視	✓		
	2.有無過載燒焦現象	檢視/儀器檢測	✓		
	3.線徑與開關是否配合	檢視	✓		
變壓器	1.是否為乾式	檢視	✓		
	2.置放位置散熱是否良好	檢視	✓		
	3.是否有固定安全	檢視	✓		
電氣(器)設備	1.放置位置是否安全良好	檢視			
	2.是否附有接地或保險絲	檢視			
	3.是否張貼商品檢驗標識	檢視			
	4.引接線材是否符合規定	檢視			
	5.與圖面是否相符	檢視			
延長線	1.是否符合商檢標準	檢視			
	2.長度是否在三尺以內	檢視			
	3.是否有突波保護或保險絲裝置	檢視			
燈具	1.是否有異常高溫	檢視	✓		
	2.周圍是否有易燃物	檢視	✓		
	3.是否為節能標章	檢視	✓		
其他	1.商場所提供電氣設備是否有更改	檢視	✓		
	2.商場提供插座是否有更改	檢視			
	3.POS電源是否有使用其他電器設備	檢視			
	4.商場提供設備是否損壞	檢視	✓		
補充	內容：電盤未標示名稱，迴路未標示名稱 110/7/6 電盤迴路標示完成 □無任何缺失，無須複檢。				

	機電TEAM 主管	機電TEAM 檢驗員	營運部 主管	營運部 承辦員	櫃位(廠商)
初檢					
複檢					

20190320(修)

圖 4-46 南紡購物中心電氣(器)設備每年定期檢查表

以南紡購物中心用電管理經驗為例，透過一系列的規範與流程使店鋪有所依循，再由管理單位提供用電健檢「服務」，實施點檢、標示與管理(如圖 4-47 所示)，過程使店鋪了解店內用電設備安全、節能技術、補助資源與相關法規。

電氣(器)設備	1. 放置位置是否安全良好
	2. 是否附有接地或保險絲
	3. 是否張貼商品檢驗標識
	4. 引接線材是否符合規定
	5. 與圖面是否相符
延長線	1. 是否符合商檢標準
	2. 長度是否在三尺以內
	3. 是否有突波保護或保險絲裝置
燈具	1. 是否有異常高溫
	2. 周圍是否有易燃物
	3. 是否為節能標章

圖 4-47 南紡購物中心電氣設備管理與張貼核准標章

為避免點檢過程影響到店鋪營運，善用各類非接觸/侵入式檢測，例如熱影像儀、電流勾錶等，早期發現異常/故障避免災害發生。以店鋪二次側電源盤應用熱影像儀為例(如圖 4-48 所示)，由於用電量大的迴路/設備、鬆脫接點(線)或設備故障會有發熱的徵狀，熱影像儀便是將熱(紅外線)轉成圖像的形式表現，藉此預防店鋪電氣設備已異常發熱而不自知，輕則設備故障損壞、重則引發跳電、走火等公安意外。

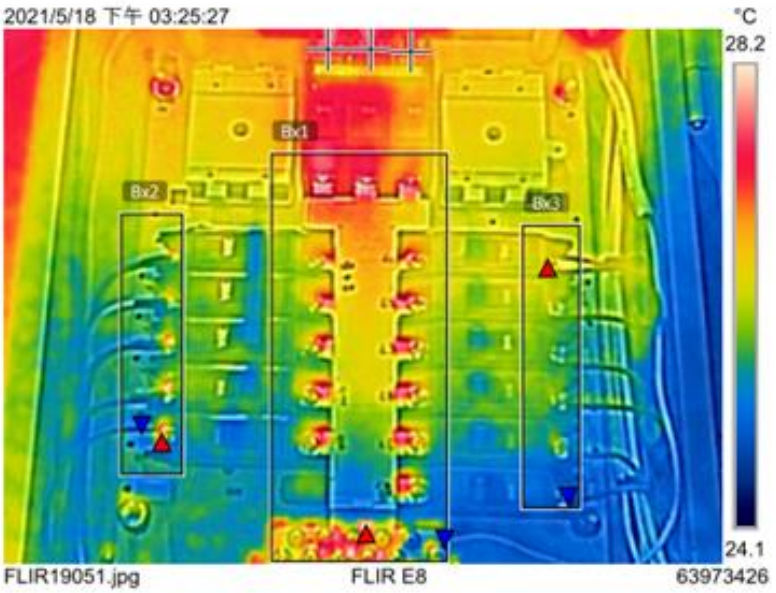
而用電量大的迴路不一定是異常，首先需判斷是不是合理的電流/溫度範圍內，是否有立即性危險，其次節能的角度是避免線損過高、三相不平衡等，而店鋪二次側電源通常提供三相電力，現場設備多為單相用電，因此或多或少會有三相不平衡(如圖 4-49 所示)，透過定期檢視、調整維持三相平衡，以下源往上源調整平均用電也是一種節約能源方式。

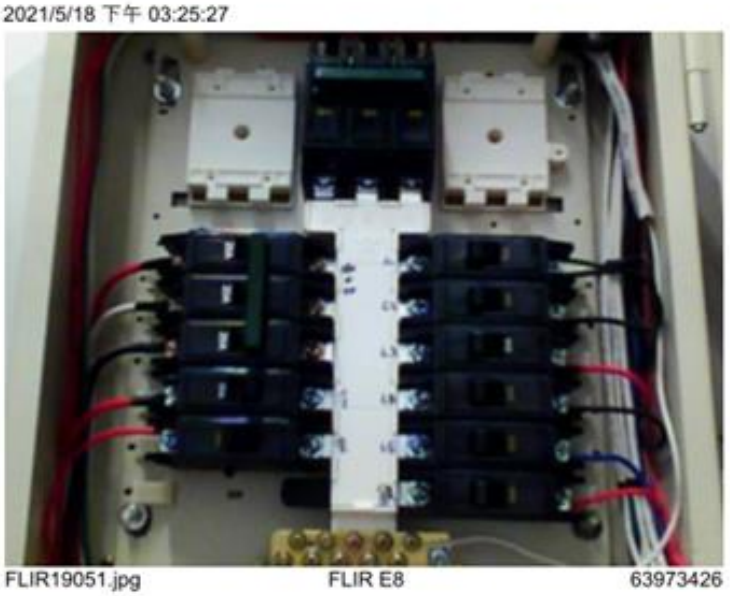
2021年店櫃熱顯影檢驗報告
店櫃：F1C08
日期：2021/05/18

測量		°C
Bx1	Max	30.4
	Min	25.3
	Average	26.1
Bx2	Max	26.5
	Min	25.5
	Average	25.8
Bx3	Max	26.1
	Min	25.2
	Average	25.8
Sp1		27.0
Sp2		27.0
Sp3		26.6

參數	
放射率	0.95
反射溫度	22 °C

電盤:380/220 V





接點、設備高溫異常檢測

1.用電安全

2.設備發燙=能源損耗

3.三相平衡->節約能源

圖 4-48 店鋪二次側電源盤熱顯影檢測作業

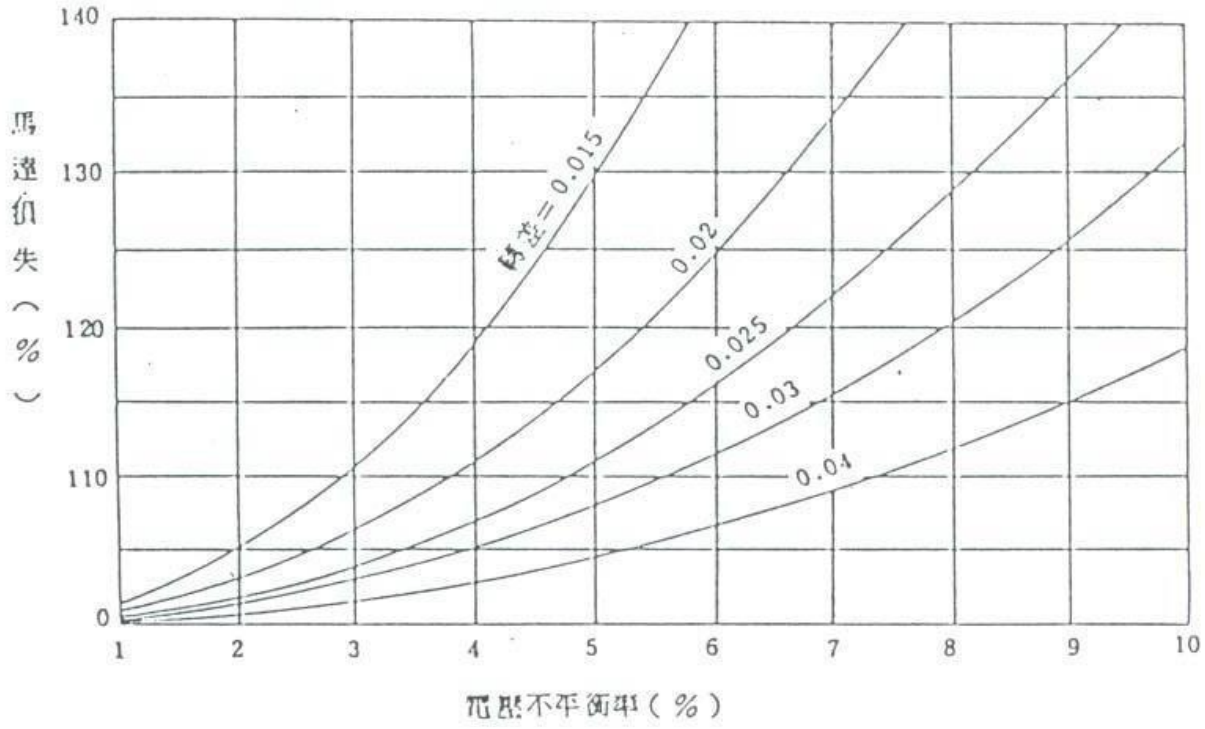


圖 4-49 三相負載線路不平衡損失【12】

伍、結語

購物中心擁有廣大的室內營業空間、各式店鋪進駐，形成管理單位與店舖提供給民眾最佳的消費體驗，共創彼此的利益，在節能這條路需要多方的協力並進；摘錄各系統別節能重點如下：

- 電力系統：掌握電力品質、用電流向，定期評估契約容量與迴路管理，如果能掌握到細部迴路用電，將資訊進行分析配合管理，可獲得不錯的效果。
- 空調系統
  - 冰水側:導入變流量系統可有效節能,長期追蹤運轉情形與定期檢討參數,早期發現系統故障或動作不良,掌握水側系統效率(kW/RT)作為管理目標。
  - 冷卻水側：導入濕球溫度控制，善用大氣低冷卻水溫降低主機耗電；趨近溫度是水塔效率指標。
  - 主機側：配合負載側需求開啟合適容量的主機，冷媒高低壓與水溫的關係有助於判斷熱交換器是否髒汙需進行清洗。
  - 空氣側：避免夏季引入過量熱氣，冬季善用室外涼爽空氣取代冷氣。
- 照明系統：採用高效率光源，可將節能標章相關標準或效率納入採購考量；非安全或營業相關區域，可考慮導入感應式燈管。
- 電梯、電扶梯系統：電梯電力回生可搭配主機更新時選用原廠模組；電扶梯裝設自動啟停可考量營業特性，評估調速或啟停模式。
- 給排水、汙廢水系統:水位調整與操作時間管理,為需量移轉使用離峰用電,汙廢水運轉調整應洽水處理機構評估，兼顧處理效果與節能需求。

- 營業用電：事前約定裝修與設備使用規範，管理單位與店鋪共同維護用電安全、節省電費的角度，是營業用電管理的重點；善用非接觸式儀器進行巡檢，早期發現異常即時向店鋪說明，建立雙方信任。

掌握設備資料、運轉情形與確實的維護保養是維持設備效率的基本功，效率不僅是依靠感覺，而是有具體的運轉條件、數據與操作技令。進階有自動控制、監控數據等，數據是需要判讀與應用才有其價值與意義，透過分析與判斷數據合理性，便能找到節能改善的蛛絲馬跡。

陸、參考文獻

[1] 社團法人台灣連鎖暨加盟協會，2022，2022 台灣連鎖店年鑑。

[2] International Council of Shopping Centers. (2017). U.S. Shopping-Center Classification and Typical Characteristics. Retrieved November 9, 2022, from https://www.icsc.com/uploads/research/general/US_CENTER_CLASSIFICATION.pdf

[3] 辜志承、朱文賢、楊明達、莊志鴻，2001，配電系統升級技術與效益研究-子計畫六：配電系統保護協調升級技術與效益研究。

[4] 柯明村，空調系統空氣側節能技術。

[5] 財團法人台灣綠色生產力基金會，2008，空調系統管理與節能手冊。

[6] 財團法人台灣綠色生產力基金會，2022，辦公大樓節能技術手冊。

[7] 財團法人台灣綠色生產力基金會，2009，照明節能產品應用手冊。

[8] 財團法人台灣綠色生產力基金會，2012，LED 照明節能應用技術手冊。

[9] 台灣電力股份有限公司(2022)。線路設置費收費費率表(自 111 年 5 月 30 日實施)。上網日期：2022 年 5 月 30 日。檢自：https://www.taipower.com.tw/tc/page.aspx?mid=1450

[10] 台灣電力股份有限公司(2022)。詳細電價表。上網日期：2022 年 7 月 1 日。檢自：https://www.taipower.com.tw/tc/page.aspx?mid=238

[11] 台灣電力股份有限公司(2022)。需量競價(110 年 12 月 1 日起實施)。上網日期：2021 年 12 月 1 日。檢自：https://www.taipower.com.tw/tc/page.aspx?mid=135

[12] 經濟部能源委員會，1988，節約能源技術手冊。

[13] 柯俏寬(2005)，工業界電力系統之--雙迴路及參迴路自動併聯供電系統與數位式電驛結合通訊架構之應用，電驛協會會刊，21 卷頁 80-94。

[14] 經濟部能源局，2006，能源查核與節約能源案例手冊-空調系統。

[15] 室內空氣品質資訊網(2014)。室內空氣汙染物的主要來源。查詢日期：2022 年 11 月 8 日。檢自：https://iaq.epa.gov.tw/indoorair/introduction_importance.aspx

[16] 室內空氣品質資訊網(2014)。室內空氣品質標準。查詢日期：2022 年 11 月 8 日。檢自：https://iaq.epa.gov.tw/indoorair/download_law.aspx

[17] 楊冠雄，2008，綠空調實踐與應用。

[18] 經濟部能源局(2019)。蒸氣壓縮式冰水機組容許耗用能源基準與能源效率分級標示事項方法及檢查方式(109 年 7 月 1 日實施)。查詢日期：2022 年 11 月 8 日。檢自：https://www.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/Law/Content.aspx?menu_id=8553

[19] Thomas Hartman, “All-Variable Speed Centrifugal Chiller Plants”, ASHRAE Journal , 2001

[20] Building and Construction Authority. Non-Residential Buildings NRB: 2015. Retrieved November 9, 2022, from https://www1.bca.gov.sg/buildsg/sustainability/green-mark-certification-scheme

[21] Building and Construction Authority. Existing Non-Residential Buildings ENRB:2017. Retrieved November 9, 2022, from https://www1.bca.gov.sg/buildsg/sustainability/green-mark-certification-scheme

[22] Building and Construction Authority. Super Low Energy Buildings. Retrieved November 9, 2022, from https://www1.bca.gov.sg/buildsg/sustainability/green-mark-certification-scheme

[23] 盛大電梯企業股份有限公司，2016。

[24] 誠岱機械廠股份有限公司產品型錄，2016 年。

[25] 日本電產株式會社網站，2016 年。

[26] 財團法人台灣綠色生產力基金會，2016，電梯電力回生裝置節能應用手冊。

[27] 泰盛企業有限公司。法國 CNIM 之電扶梯節能設計方式? 查詢日期：2022 年 11 月 8 日。檢自：http://www.tisheng.com.tw