

學校節約能源技術手冊

經濟部能源局 編印

目 錄

| | |
|------------------------|-----|
| 壹、前言 | 1 |
| 貳、學校耗能概況 | 2 |
| 2.1 學校用電資料統計 | 2 |
| 2.2 耗能指標 | 6 |
| 參、學校設備介紹 | 8 |
| 3.1 能源使用概況 | 8 |
| 3.2 耗能設備使用概況 | 9 |
| 肆、節約能源措施問與答 | 10 |
| 4.1 電力節能 | 10 |
| 4.2 照明節能 | 31 |
| 4.3 監控節能 | 46 |
| 4.4 太陽能與熱泵熱水系統節能 | 52 |
| 4.5 空調節能 | 70 |
| 伍、學校節能重點措施及整體潛力 | 102 |
| 陸、結論 | 104 |
| 柒、參考資料 | 105 |
| 捌、編後語 | 106 |

壹、前言

台灣地區每年消耗能源，依賴進口程度高達 97 %。在國際上，因為全球石油能源有限，能源價格起伏波動大；在國內，因為環保意識抬頭和民眾抗爭，各項能源開發與電力建設都面臨極大困難。「節約能源」已經是人人都無法逃避的責任。然而，節約能源不是強制減少使用能源，而降低生活品質；正確的節約能源觀念，應該是有效率的使用能源，也就是「該用則用、能省則省」。

依學校節能輔導案例統計顯示，若落實電力、照明、空調、事務設備等方面節能改善，平均約有 15-20 % 之節能潛力。因此加強各級學校節約能源推廣及教育宣導，可落實全民節約能源共識，以提昇能源使用效率，減少能源費用支出，提升國家整體競爭力。

本局由各級學校節能現場輔導時，了解各能源管理者急需節約能源實際改善經驗、技術及未來方向的參考資料，乃委請國內節約能源推廣上有專精的專家學者，龍華科技大學電機系副教授羅欽煌及台北科技大學冷凍空調系李文興助理教授二位，協助執筆及蒐集實際有關的電力、照明及空調等多方面的經驗及技術資料，並配合中技社節能技術發展中心歷年的省能技術服務資料，彙整模擬出學校用電可能的疑問，以一問一答方式，深入淺出介紹學校電力、照明、空調及熱水系統節約能源的做法，提供各級學校做為推動節約能源之參考。

大專校院的人員編制多，電氣設備多聘用電機專業人員負責管理；中小學編制小，學校電氣負責人不一定是電機專家。然而，節約能源人人有責(不是電機人的專責)，因此本手冊之編寫，針對非電機專業的人士，不用高深的電機理論，以科技普及化為目標；希望增進各級學校行政主管、電氣負責人和老師們對電力、照明和空調節約能源的常識，以利節約能源政策與各項措施的推動。

貳、學校耗能概況

2.1 用電資料統計

1.各級學校校數統計

依據教育部 91 年 5 月 26 日統計【1】，見表 2-1-1 所示，台閩地區九十學年度各級學校校數共計 8,158 所。其中若扣除附屬在各級學校之國小補校、國中補校、高級進修學校及空大大專進修學校共 1,054 所。實際校數共 7,104 所，(公立學校 4,907 所，私立學校 2,297 所)。其中大專院校合計 154 所，高中高職合計 473 所，國中 708 所，國小 2,611 所，幼稚園 3,234 所。

表 2-1-1 台閩地區九十學年度各級學校校數統計(91/5/26)

| 級別 校數 | 總計 | 幼稚園 | 國民小學 | 國民中學 | 高級中學 | 職業學校 | 專科學校 | 學院 | 大學 | 特殊學校 | 國小補校 | 國中補校 | 高級進修學校 | 空大大專進修學校 |
|----------|-------|-------|-------|------|------|------|------|----|----|------|-------|------|--------|----------|
| 總計(所) | 8,158 | 3,234 | 2,611 | 708 | 295 | 178 | 19 | 78 | 57 | 24 | 359 | 283 | 234 | 78 |
| | | 7,104 | | | | | | | | | 1,054 | | | |
| 公立(所) | 5,664 | 1,288 | 2,586 | 701 | 162 | 95 | 3 | 23 | 27 | 22 | 359 | 283 | 100 | 15 |
| | | 4,907 | | | | | | | | | 757 | | | |
| 私立(所) | 2,494 | 1,946 | 25 | 7 | 133 | 83 | 16 | 55 | 30 | 2 | 0 | 0 | 134 | 63 |
| | | 2,297 | | | | | | | | | 197 | | | |

註：參考資料：依據教育部 90 學年各級學校概況統計。國小、國中補校、高級進修學校及空大大專進修學校，大都附屬在各級學校中。

2.各級學校班數統計

見表2-1-2 所示，各級學校班數共計152,110班【2】。其中附屬在各級學校之補習學校及空大大專進修學校班數共8,474班。實際班數共143,636班，(公立學校108,981班，私立學校34,655班)。

表2-1-2 台閩地區九十學年度各級學校班級數統計(91/5/26)

| 級別 班級 | 總計 | 幼稚園 | 國民小學 | 國民中學 | 高級中學 | 職業學校 | 專科學校 | 學院 | 大學 | 特殊學校 | 補習學校 | 空大大專 進修學校 |
|----------|---------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|------|-------|--------------|
| 班級 | 152,110 | 10,144 | 63,172 | 26,803 | 8,749 | 9,203 | 8,076 | 4,324 | 12,574 | 591 | 7,726 | 748 |
| 143,636 | | | | | | | | | | | 8,474 | |
| 公立(班) | 113,850 | 2,827 | 62,618 | 24,952 | 5,959 | 3,963 | 963 | 1,302 | 5,834 | 563 | 4,121 | 748 |
| 107,108 | | | | | | | | | | | 4,869 | |
| 私立(班) | 38,260 | 7,317 | 554 | 1,851 | 2,790 | 5,240 | 7,113 | 3,022 | 6,740 | 28 | 3,605 | 0 |
| 34,655 | | | | | | | | | | | 3,605 | |

註：1.參考資料：依據教育部 90 學年各級學校概況統計。

3.各級學校用電量統計

依據台電 91 年 3 月所提供之高壓用電戶資料【3】，國內各級學校共有 836 筆，用電量共約 11.78 億度電，電費約 25 億元。每度平均電價約 2.11 元。其中大專院校家數少，僅佔 16.39%，總用電量卻佔 62%。見表 2-1-3 所示。此表 2-1-3 筆數與前表 2-1-1 比較學校所數差異許多。代表幼稚園、國小、國中許多所學校都為用電少之小學校，而採用表制及低壓用電戶，故此不統計。

表2-1-3 國內各級學校用電量及電費統計(高壓用電戶)

| 學校級別 | 筆數 筆 | 尖峰用電量 萬度 | 離峰用電量 萬度 | 總用電量 萬度 | 電費合計 萬元 | 平均電價 元/度 |
|----------|---------|-------------|-------------|------------|------------|-------------|
| 國小 | 243 | 5,597 | 2,268 | 7,865 | 21,052 | 2.68 |
| 國中 | 195 | 6,107 | 2,640 | 8,747 | 22,564 | 2.58 |
| 高中+高職+啟智 | 242 | 15,335 | 7,180 | 22,515 | 53,944 | 2.40 |
| 大專院校 | 137 | 44,100 | 28,842 | 72,942 | 140,454 | 1.93 |
| 軍事學校 | 19 | 3,583 | 2,211 | 5,794 | 11,105 | 1.92 |
| 總計 | 836 | 74,722 | 43,141 | 117,863 | 249,119 | 2.11 |

資料來源：依據台電91年3月所提供高壓用電戶資料，經中技社節能中心整理結果，以上電費不含超約罰款及功因折扣。一般大專院校平均電價約2.2元。

4.各級學校用電設備統計

依據台電 91 年 3 月提供之高壓用電戶資料，國內各級學校電力、電熱、電燈用電設備容量統計共 1,21 萬 kW。其中電力 55 萬 kW，佔 45%、電熱 7 萬 kW，佔 6%、電燈 59 萬 kW，佔 49%，見表 2-1-4 所示。經統計經常尖峰需量 326,834kW，可知系統之需量因數為 27%。代表備用設備多。其中大專院校設備容量共 622,515kW，佔總設備容量 1,211,305kW 之 51%。

表2-1-4 國內各級學校用電設備容量統計(高壓用電戶)

| 學校級別 | 筆數 筆 | 尖峰需量 kW | 需量因數 % | | 電力 kW | 電熱 kW | 電燈 kW | 合計 kW |
|--------------|---------|------------|-----------|------|----------|----------|----------|-----------|
| 國小 | 243 | 51,325 | 35.76 | 設備容量 | 58,001 | 6,909 | 78,619 | 143,530 |
| | | | | 佔% | 40 | 5 | 55 | 100 |
| 國中 | 195 | 49,304 | 37.82 | 設備容量 | 45,420 | 7,720 | 77,216 | 130,356 |
| | | | | 佔% | 35 | 6 | 59 | 100 |
| 高中+高 職+啟智 | 242 | 111,544 | 38.63 | 設備容量 | 144,366 | 17,271 | 127,133 | 288,770 |
| | | | | 佔% | 50 | 6 | 44 | 100 |
| 大專院校 | 137 | 195,190 | 31.36 | 設備容量 | 287,299 | 36,356 | 298,860 | 622,515 |
| | | | | 佔% | 46 | 6 | 48 | 100 |
| 軍事學校 | 19 | 19,471 | 74.50 | 設備容量 | 15,049 | 2,015 | 9,071 | 26,135 |
| | | | | 佔% | 57 | 8 | 35 | 100 |
| 總計 | 836 | 326,834 | 27 | 設備容量 | 550,135 | 70,271 | 590,899 | 1,211,305 |
| | | | | 佔% | 45 | 6 | 49 | 100 |

資料來源：依據台電91年3月所提供高壓用電戶資料，經中技社節能中心整理結果。

2.2 耗能指標

1. 能源耗用狀況及省能效益

取樣 12 家大專學校節能技術服務報告【4】，如表 2-2-5 可顯示各校耗電狀況及指標，合計契約容量 33,729 kW、尖峰用電需量 41,514 kW、用電度數 140,525,540 kWh/年、能源費用為 31,571 萬元/年、平均電價 2.3 元/kWh，電費佔 98.6%、油費佔 1.4%，累計省能效益 2,680 萬元/年，平均省能 8.5%，抑低尖峰負載 3,466 kW，減少用電 8,797,816 kWh/年。

2. 能源指標

12 家大專學校平均樓地板面積為 1,477,698 m²，平均空調面積為 1,193,501 m²，其中能源指標平均為電力 28.1 W/m²、95.1 kWh/m².Y、能源指標 114.1 Mcal/m².Y。

表 2-2-5 各校耗電狀況及指標

| 編號 | 面積 | | 能源指標 | | | 能源耗用狀況 | | | | | | | | | | 投資 | | 省能效益 | | | | | | 省能潛 力 |
|-----|-------------|------------|-------------------|----------------|------------|------------|------------|---------------|---------|---------------|--------------|--------------|--------|--------|------------|-----------|--------------|---------------|------------|--------------|------------|------------|---------|----------|
| | 樓地板面積 m2 | 空調面積 m2 | 能源指標 Mcal/m2.Y | 電力 KWH/m2.Y | 電力 W/m2 | 契約容量 KW | 尖峰需量 KW | 用電度數 KWH/年 | 功因 % | 平均電價 元/KWH | 能源費用 萬元/年 | 電能費用 萬元/年 | 電 % | 油 % | 投資費用 萬元 | 回收年限 年 | 抑低尖峰 KW/年 | 減少用電 KWH/年 | 省電 萬元/年 | 減少油費 KL/年 | 省油 萬元/年 | 省能 萬元/年 | 費用 % | |
| 1 | 168,306 | 58,907 | 103.9 | 86.5 | 25.5 | 3220 | 4,288 | 14,566,000 | 100 | 2.08 | 3015.7 | 3,015.7 | 100 | 0 | 251.0 | 2.5 | 246.9 | 235,633 | 99.5 | 0 | 0 | 100 | 3.3 | |
| 2 | 70,929 | 49,650 | 122.7 | 102.2 | 35.7 | 2200 | 2,532 | 7,252,000 | 100 | 2.26 | 1,641.1 | 1,641.1 | 100.0 | 0.0 | 224.1 | 1.6 | 227.4 | 391,967 | 137.7 | 0 | 0 | 138 | 8.4 | |
| 3 | 41,586 | 7,754 | 216.4 | 180.4 | 41.5 | 1600 | 1,726 | 7,501,000 | 99 | 2.22 | 1664.5 | 1,664.5 | 100 | 0 | 544.6 | 2.2 | 220.4 | 890,766 | 245.1 | 0 | 0 | 245 | 14.7 | |
| 4 | 155,398 | 139,858 | 130.6 | 108.9 | 28.4 | 3300 | 4,420 | 16,916,000 | 97 | 2.08 | 3,663.8 | 3,521.7 | 96.9 | 3.1 | 151.5 | 1.1 | 345.8 | 264,589 | 136.2 | 0 | 0 | 136 | 3.7 | |
| 5 | 202,999 | 182,699 | 127.3 | 106.0 | 32.6 | 4999 | 6,616 | 21,528,000 | 93 | 2.19 | 4,907.0 | 4,706.6 | 96.0 | 4.0 | 477.0 | 1.3 | 356.9 | 788,269 | 367.3 | 0 | 0 | 367 | 7.5 | |
| 6 | 70,000 | 63,000 | 81.5 | 67.9 | 23.9 | 1600 | 1,672 | 4,752,200 | 94 | 2.38 | 1,133.7 | 1,133.7 | 100.0 | 0.0 | 129.1 | 1.1 | 330.4 | 211,337 | 122.1 | 0 | 0 | 122 | 10.8 | |
| 7 | 416,271 | 374,644 | 112.2 | 93.5 | 23.5 | 8800 | 9,772 | 38,931,000 | 96 | 2.11 | 8,422.9 | 8,203.5 | 97.4 | 2.6 | 1220.0 | 1.3 | 928.0 | 4,163,904 | 911.0 | 0 | 0 | 911 | 10.8 | |
| 8 | 83,552 | 75,197 | 84.6 | 70.5 | 24.1 | 860 | 2,010 | 5,889,140 | 93 | 2.56 | 1,582.2 | 1,506.6 | 95.2 | 4.8 | 799.0 | 3.7 | 162.3 | 614,835 | 218.6 | 0 | 0 | 219 | 13.8 | |
| 9 | 52,103 | 46,893 | 87.3 | 72.7 | 31.7 | 1400 | 1,650 | 3,790,000 | 99 | 2.59 | 1,008.1 | 983.1 | 97.5 | 2.5 | 129.1 | 1.7 | 137.5 | 235,001 | 75.8 | 0 | 0 | 76 | 7.5 | |
| 10 | 154,794 | 139,315 | 84.8 | 70.7 | 25.0 | 2800 | 3,864 | 10,940,000 | 99 | 2.39 | 2,619.8 | 2,619.8 | 100.0 | 0.0 | 270.5 | 1.6 | 259.5 | 333,224 | 164.3 | 0 | 0 | 164 | 6.3 | |
| 11 | 25,000 | 22,500 | 93.9 | 78.2 | 34.6 | 850 | 864 | 1,956,200 | 92 | 2.56 | 500.8 | 500.8 | 100.0 | 0.0 | 29.6 | 0.6 | 112.4 | 79,471 | 48.2 | 0 | 0 | 48 | 9.6 | |
| 12 | 36,760 | 33,084 | 212.3 | 176.9 | 57.1 | 2100 | 2,100 | 6,504,000 | | 2.17 | 1,411.4 | 1,411.4 | 100.0 | 0.0 | 746.5 | 4.8 | 138.5 | 588,820 | 154.6 | 0 | 0 | 155 | 11.0 | |
| 總計 | 1,477,698 | 1,193,501 | - | - | - | 33,729 | 41,514 | 140,525,540 | 1,062 | 28 | 31,571 | 30,909 | 1,183 | 17 | 4,972 | 24 | 3,466 | 8,797,816 | 2,680 | | | 2,680 | 107 | |
| 平均值 | 123,141.5 | 99,458.4 | 114.1 | 95.1 | 28.1 | 2,810.8 | 3,459.5 | 11,710,461.7 | 96.5 | 2.3 | 2,630.9 | 2,575.7 | 98.6 | 1.4 | 414.3 | 2.0 | 288.8 | 733,151.3 | 223.4 | | | | 8.5% | |

參、學校能源使用概況介紹

3.1 空調能源使用概況

國內學校空調主要可分行政中心辦公室空調、教室空調、研究室空調、圖書館空調、體育館空調。其常用空調型式及全年運轉時間，如下：

1.辦公室空調：一般採用窗型機、箱型機及中央空調。

(9 H/天×250 天/年×6/12=1125 H/年)

2.教室空調：採用窗型機為多。

(9 H/天×250 天/年×6/12=1125 H/年)。

3.研究室空調：採用窗型機為多。

(9 H/天×250 天/年×6/12=1125 H/年)。

4.圖書館空調：採用箱型機、中央空調為多。

(9 H/天×250 天/年×6/12=1125 H/年)

5.體育館空調：採用箱型機、中央空調為多。

(4 H/天×250 天/年×6/12=500 H/年)。

以大專院校為例，一般學校空調耗電佔總用電之 50 %。以圖書館空調佔最大。目前空調管理方式，大都外包保養，夏天當外氣超過 28 °C，則由各棟行政管理人員自行開機，至下班後才關機。耗能缺點為學校作息時間變動大時，空調系統若無監控系統，則常無法配合做節能控制調整，常見空調開多台低負載運轉，及工作忙而忘記關機。

3.2 照明能源使用概況

國內學校照明主要可分辦公室照明、教室照明、圖書館照明、走道照明及室外照明五大部份。其常用燈具型式及全年運轉時間，如下：

- 1.辦公室照明：大部份採用 40 W、20 W 高功因傳統安定器日光燈。(9 H/天×250 天/年=2250 H/年)。
- 2.教室照明：大部份採用 40 W×2 型高功因傳統安定器之教室照明日光燈具。(8 H/天×200 天/年=1,600 H/年)。由上表 2-1-2 各級學校班級數統計共約 143,636 班，(公立學校 113,850 班，私立學校 38,260 班)，此可算出教室照明改善數量。

每班以裝設 12 具傳統高功因安定器 40 W×2 教室照明燈具計算，一年用電約 11.4 萬 kW、1.83 億 kWh/年、3.87 億元/年。

$12 \text{ 具/班} \times 95 \text{ W/具} \times 143,636 \text{ 班} \div 1000 \text{ W/kW} \times \text{開燈參差率 } 70\% \times 1,600 \text{ H/年} \times \text{平均 } 2.11 \text{ 元/kWh}$ 計=114,622 kW、1.83 億 kWh/年、3.87 億元/年。

- 3.圖書館照明：大部份採用 40 W、20 W 型高功因傳統安定器日光燈。(12 H/天×200 天/年=2,400 H/年)。
- 4.走道照明：大部份採用 20 W 型高功因傳統安定器日光燈。(8 H/天×200 天/年=1,600 H/年)。
- 5.室外照明：大部份採用 250 W 水銀燈或鈉光燈。(晚上 10 H/天×365 天=3,650 H/年)。

以大專院校為例，一般學校照明用電佔總用電之 30 %。目前學校照明現況之耗能缺點為，(1)尚未全面採用電子式安定器燈具，因由於全年照明用電時間短，投資回收年限長達 7 年以上；(2)因校區大，照明點減管理困難。

肆、節約能源措施問與答

4.1 電力節能

電力供應有兩大難題：第一，電力供應與用電需求「必須隨時」保持平衡；無論電力供應超過或不足負載需求，電力系統都可能瞬間崩潰，應變時間分秒必爭，應變不當將造成大家都沒電可用。第二，電能無法有效大量儲存；夜間(離峰)用電少，電力公司發電容量過剩，高效率發電機發電成本不到 2 元/度，也不能多發電加以儲存；夏季下午(尖峰)用電多，所有發電機都要啟動發電，甚且不惜起動發電成本最貴每度高達 10 元的天然氣機組，加入發電以保持電力系統平衡既使每度電只能賣 3 元，虧本營運在所不惜。

因為電力供應與負載必須隨時平衡的嚴格要求，以及尖、離峰發電成本不同，因此電力公司的電價制度也十分複雜。除了利用契約容量和罰款的手段，軟硬兼施要用戶主動平均用電之外；還訂定時間電價，使尖峰和離峰電價差距最多高達四倍，以誘導用戶降低尖峰用電轉移至離峰時使用。裝設電力監控器可以有效監督/控制電源的使用，而輕易節省能源費用達 15-20%，有關電力節能介紹如下：

Q01：家庭用電和學校用電計收方式有何不同呢？

A：電器設備之用電要考慮兩項因素：「用電瞬時功率」和「總消耗能量」。電器的「用電瞬時功率」也稱為用電容量[單位為 kW(瓩)或 W(瓦)]，例如：電鍋的功率很大，約為 1000 W；隨身聽的功率很小，只有 0.25 W。電器消耗功率(kW)乘上使用時間(h)，就是「總消耗能量」，單位為 kWh(瓩時，俗稱為度)。如：使用 1000 W 電鍋煮飯 1 小時(h)，總耗電 1000 Wh，或 1 kWh 也就是 1 度電；隨身聽 0.25 W 必需使用 4000 小時，才消耗 1

度電。

家庭用電電價採累進方式，用電愈多，單價愈高，以價制量推行節約用電。未達基本度數按基本度數收費，超過則以實用度數收費。因為夏季電力供應吃緊，夏月(從6月1日起至9月30日止)電價費率較高，110度以下每度2.2元，111-330度每度2.7元，331度以上每度3.3元。非夏月期間，電價調降約10%。圖4-1-1是家庭電費單收據範例：

台灣電力公司

91年12月委託金融機構代繳電費收據 (扣抵聯)
代繳電費帳號 WT00-0001*3*0*1*378

| 電 號 | | 用電計費期間 | | | | 繳費日期 | |
|-------------------------------|--------|------------------|--------------|-----------------|----|------|----|
| 區 | 戶 | 年 | 月 | 日 | 年 | 月 | 日 |
| 009606874039 | 1141 | 91 | 11 | 03 | 91 | 12 | 04 |
| 項目 | 內 容 | 費 用 別 | 金 額(元) | | | | |
| 1 | 40 | 基本電費 | 0 | | | | |
| 8 | 1141 | 流動電費 | 27026 | | | | |
| | | | 分攤公共電費 | | | | |
| | | | 電費總額 \$27030 | | | | |
| | | | 營業稅 \$1350 | | | | |
| 應繳總金額(元) * * * 2 8 3 8 | | | | | | | |
| 本公司營業電話 03765704 | | 用電抄表日期 91年11月15日 | | 下次繳費日期 92年1月15日 | | | |
| 用戶營業電話 21251657 | | 1502070217 | | | | | |
| 列印日期: 911218 | | 輪流停電組別: II | | | | | |
| 收據號碼: 0012078 | | 饋線代號: SU62 | | | | | |
| 用電地址: 同收件地址 | | | | | | | |
| 服務地址: 106 台北市基隆路4段75號 | | | | | | | |
| 服務電話: 23777111 | | | | | | | |
| 表別 | 本月抄表指數 | 上月抄表指數 | 倍 數 | | | | |
| | 176181 | 75040 | 001 | | | | |

國內郵資已付
北 區 局
營 收 股
詳 可 證
北台字第11215號

明 信 片

106

停電搶修電話: 1911
無法投遞請退服務地址

(有關說明事項請參閱背面)

圖 4-1-1 家庭電費單收據

本範例用戶，基本度數每月40度，因為兩個月用電已經超過80度，不收基本電費(基本電費欄為0；如果用電度數不足基本度數，則按基本度數計收收基本電費)；而以實際用電1141度計收。計算如下(12月份，適用非夏月電價)：

| | |
|-----|---|
| 第一段 | $2.0 \text{ 元/度} \times 110 \text{ 度/月} \times 2 \text{ 月} = 440 \text{ 元}$ |
| 第二段 | $2.3 \text{ 元/度} \times 220 \text{ 度/月} \times 2 \text{ 月} = 1,012 \text{ 元}$ |
| 第三段 | $2.6 \text{ 元/度} \times (1141 - 220 - 440) \text{ 度} = 1,251 \text{ 元}$ |
| 合計 | 2,703 元 |

家庭用電量小，戶數很多，對於電力公司發電和輸配電系統是否超載的影響很小；如欲同時計算瞬時功率(kW)和用電能量(kWh)，則要使用複雜昂貴的電錶，為避免計費麻煩，家庭用電只計算用電度數。

學校或工業用電量大，對電力系統影響大，用電功率和總消耗能量都要計算。電力公司除了必須隨時供應用電瞬時功率(kW)之外，還要供應總消耗能量(kWh)。全月電費為基本電費和流動電費之總和；基本電費以用電功率(kW)計收，流動電費以用電度數(kWh)計收。

Q02：為何家庭用電超過基本度數不另收費，而學校超約用電卻要被加收附加費呢？

A：電力事業(以及其他自來水、瓦斯、通信等公用事業)的基礎投資金額龐大，必須靠用戶的基本度數，保障其投資的回收。家庭用電量小，用戶眾多，對電力系統影響有限；為簡單起見，每月用電未達基本度數也要計收基本度數費用，超過者以實用度數計收電費，不另收基本費。

然而，學校或工業用戶等大用戶，對電力系統影響大，超約用電會被處罰。茲以用電模式極端不同的甲和乙兩用戶為範例，解說如下：

例題：甲用戶用電很平均，每小時都用 40 瓩，24 小時共用電 960 度；乙用戶集中在 1 小時用電 960 瓩，其他時間都不用電，全天用電也是 960 度。假設甲用戶之契約量和

實際最高用電需量都是 40 瓩，而乙用戶則 都是 960 瓩，
試計算兩用戶每月的電費。

解答：因為甲、乙兩用戶都沒有超過契約容量，只收基本電費
和流動電費，沒有加收附加費。(以高壓電力夏月電價
計算)

甲用戶全月電費合計 64,968 元，詳如下：

基本電費 213 元/瓩 × 40 瓩(契約容量) = 8,520 元

流動電費 1.96 元/度 × 960 度 × 30(天) = 56,448 元

乙用戶全月電費合計 260,928 元，詳如下：

基本電費 213 元/瓩 × 960 瓩(契約容量) = 204,480 元

流動電費 1.96 元/度 × 960 度 × 30(天) = 56,448 元

雖然甲、乙兩用戶同樣每日都用電 960 度，但是甲用戶全月電費
64,968 元，乙用戶為 260,928 元，兩者相差約四倍，好像不公平。

然而，因為甲用戶用電平均，電力公司為供電甲用戶，必須
投資的發電機和輸電系統容量只要 40 瓩就夠；乙用戶用電集中，
發電機和輸電系統容量需要 960 瓩，電力公司的投資也要增加 24
倍，依據「使用者付費」之原則，其收費當然也要增加。

Q03：學校電費單的各項數據十分複雜，可否用實例加以解說呢？

A：因為用電量大小不同，鄉間小學用電量小(低於 100 kW)可使用
低壓電力，而大專校院用電量多(超過 1000 kW)，必需使用高壓
電力。

依據台電公司 91 年 10 月 31 日公佈電價表，高壓電力收費要點
如下：

基本電費：依據契約容量計收，夏月 213 元/kW，非夏月 159 元/kW。

時間電價(二段式)：

(1)週一至週五：

尖峰電價(07:30~22:30)：夏月 1.96 元/度，非夏月 1.89 元/度；

離峰電價(22:30~07:30 及放假日)：夏月 0.77 元/度，非夏月 0.71 元/度。

(2)週六、週日及離峰日：

半尖峰電價(07:30~22:30)：夏月 1.27 元/度，非夏月 1.21 元/度；

離峰電價(22:30~07:30)：夏月 0.77 元/度，非夏月 0.71 元/度。

(3)週日及離峰日：

離峰電價(00:00~24:00)：夏月 0.77 元/度，非夏月 0.71 元/度。

超約附加費：在超過契約容量 10% 以下部份按 2 倍計收基本電費，超過契約容量 10% 部份按 3 倍計收基本電費。

功率因數調整：基準為 80%，每超過 1%，減收電費 0.15%；每低過 1%，加收電費 0.3%。

圖 4-1-2 範例，是某大學 91 年 8 月份實際用電之電費通知單。電費單右側是該月份各項實際用電讀數，「表別」：1/3 分別代表尖峰/離峰指數，4 代表無效電力指數，6/8 分別代表尖峰/離峰需量。以最關鍵的最高需量(6)為例：

$$\text{抄錶指數}(15.942 - 15.052) \times \text{電錶倍數 } 2000 = 1780 \text{ kW}$$

| 台灣電力公司 電費通知單 (高壓需量用戶) | | | | | | | | | | 服務電話 | | | | | |
|-----------------------|---------|---------|---------|------|------|------|---------|---------|---------|---------------------------|---------------------------------|-----------------------|--|--|--|
| | | | | | | | | | | 輪流停電組別：D | | 29915511 | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 91 年 08 月份 電碼 07590 統一編號： | | | | | |
| 用電種類 | 契約容量 | 最高需量 | 備用容量 | 備用需量 | 無效電力 | 可停電力 | 表別 | 本月抄表指數 | 上月抄表指數 | 電表倍數 | 保證用戶生應善盡企業責任， 言電誠心與您共同創造美好空間 | | | | |
| 65 | 1300 | 1780 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 07713.0 | 07587.0 | 2000 | | | | | |
| 尖峰最高需量 | 離峰契約容量 | 離峰最高需量 | 無效電力指數 | 基本電費 | | | 1 | 01544.0 | 01478.0 | 2000 | | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 1036 | 0 | | | 3 | 01726.0 | 01705.0 | 2000 | | | | | |
| 尖峰用電度數 | 半尖峰用電度數 | 離峰用電度數 | 基本電費 | | | 4 | 015.942 | 015.052 | 2000 | | | | | | |
| 252000 | 0 | 132000 | 2769000 | | | 6 | 011.272 | 010.754 | 2000 | | | | | | |
| 流動電費 | 功率調整費 | 超約附加費 | | | 8 | | | | | | | | | | |
| 6518910 | 0 | -248651 | 2790300 | | | | | | | | | | | | |
| 應付費用 | 加減收金額 | 當期電費總額 | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | |
| 營業稅 | | | | | | | | | | 應繳總金額 | | | | | |
| 0820 | | | | | | | | | | 營業稅內含於 | | 元 | | | |
| | | | | | | | | | | 流動電費欄 | | * * 1 1 8 2 9 5 6 | | | |
| 服務地址：242 新莊市化成路 135 號 | | | | | | | | | | 停電搶修電話：1911 | | 代繳電費帳號：0000*0*7*1*110 | | | |

圖 4-1-2 學校高壓需量用戶電費收據

該校 8 月份用電數據：最高需量 1780 kW，契約容量 1300

kW，尖峰用電 252000 度，離峰用電 132000 度，功率因數 99 %。

各項費用(適用夏月電價)計算如下：

基本電費 $213 \text{ 元/kW} \times 1,300 \text{ kW} = 276,900 \text{ 元}$

尖峰電價 $252,000 \text{ 度} \times 1.96 \text{ 元/度} = 493,920 \text{ 元}$

離峰電價 $132,000 \text{ 度} \times 0.77 \text{ 元/度} = 101,640 \text{ 元}$

超約附加費

(10%以內部分) $213 \text{ 元/kW} \times 2 \times (1300 \times 10\%) = 55,380 \text{ 元}$

(超過 10%部分) $213 \text{ 元/kW} \times 3 \times (1780 - 1300 \times 110\%) = 223,650 \text{ 元}$

功因調整 $(276,900 + 493,920 + 101,640) \times (99 - 80) \times 0.0015 = -24,865 \text{ 元}$

營業稅 $(276,900 + 493,920 + 101,640 + 55,380 + 223,650 - 24,865) \times 5\% = 56,331 \text{ 元}$

應繳總金額 1,182,956 元

註：實際流動電費 = 尖峰電價 + 離峰電價 = $493,920 + 101,640 = 595,560$
元

電價單流動電費(營業稅內含於流動電費欄) = $595,560 + 56,331 = 651,891$ 元

Q04：如何控制用電需量避免超約被附加費呢？

A：因為負載需求隨時變動，而電力供應必須亦步亦趨隨時滿足負載需求(或稱需量)，為避免負載急劇上升造成發電無法配合，電錶紀錄之負載「需量」是以每 15 分鐘平均值計算，一小時有 4 個(15 分鐘)需量，一天 24 小時，一個月 30 天計，共計 2880 個需量，以其中最大者就是最高需量。計收電費時，是用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，超過部份以二至三倍計收附加費。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，就會被加收附加費，相當冤枉。想要避免超約附

加費，必須隨時監測用電狀況，甚至需要強制停用某些設備以避免超約用電，因為人員無法分分秒秒監控用電(一次疏忽前功盡棄)，此項任務必需藉助電腦---以電力監控器才有可能達成任務。因為超約用電以二至三倍附加費，且每月都可能發生，如以附加費購置遠端電力監控器，可於短期內回收，十分值得投資。

遠端電力監控器，除可以積極避免超約用電之外，還有多項附加功能，功能強大，在本手冊 4.3 章節有專篇介紹。

Q05：契約容量應該如何訂定才可以節省電費呢？

A：電力公司對大用電戶的計費方式和家庭用戶不同，家庭用戶只計算用電度數(kWh)。大用電戶除了用電度數外，必須自行訂定契約容量(kW)；如果實際用電需量較少，還是要按契約容量收費；反之，超約用電，會被加收附加費。如下例所示：

- 某用戶自訂契約容量(100 kW)，全年適用。
- 冬天，實際用電較少(50kW)，仍按契約容量(100kW)計收基本電費；
- 夏天，超約用電(130kW)，除照常計收基本電費(100kW)，超出 10% 以內部分按 2 倍加收附加費，超出 10% 以外部分按 3 倍加收附加費。
- 實際支付超約附加費為： $10 \times 2 + 20 \times 3 = 80$
- 所以，超約用電只有 30 kW，而計收基本電費容量高達 80 kW。

這個辦法看似不公平，但是，電力公司為防止用戶集中在短時間用電，造成發電機超載或必需限電，不得不如此規定，

全世界的電力公司也都有相同規定。

以表 4-1-1 為例，全年最高用電需量 130 kW，如果將契約容量訂為 150 kW(狀況 A)，不會加收附加費，但必需多付電費 143,775 元；反之，契約訂為 100 kW(狀況 B)，全年有六個月被罰，但是附加費加上多付費之總和只有 95,850 元；兩相比較，狀況 B 節省總電費 47,925 元。

表 4-1-1 訂定契約容量策略分析比較

| 月份 | 實際需量 | 狀況 A：契約(150 kW) | 狀況 B：契約(100 kW) |
|---------|------|--------------------------|-------------------------|
| 1-3 | 50 | 100 × 3 月 = 300(多) | 50 × 3 月 = 150(多) |
| 4-6 | 105 | 45 × 3 月 = 135(多) | 10* × 3 月 = 30(罰) |
| 7-9 | 130 | 20 × 3 月 = 60(多) | 80* × 3 月 = 240(罰) |
| 10-12 | 90 | 60 × 3 月 = 180(多) | 10 × 3 月 = 30(多) |
| | 未用多付 | 675 kW | 180 kW |
| | 超約附加 | 0 kW | 270 kW |
| 合計：浪費金額 | | 675kW×213 元/kW=143,775 元 | 450kW×213 元/kW=95,850 元 |

註：學校用電之基本電費以夏月契約容量每 kW 每月 213 元計算。

超約附加費容量：超出 10% 以內部分按 2 倍計收，超出 10% 以外部分按 3 倍計收。

從前，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。

電氣負責人可以利用這個範例向會計部門說明：「容許超約、省錢多多」，筆者就曾建議學校調降契約容量，雖遭加罰款但節省總電費，還獲記功嘉獎。台電公司體察各單位電氣負

責人和會計部門的困境，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，每月實際用電需量，絕無可能正好等於契約容量。有些學校訂定契約容量過高，每月支付基本電費也高，沒有超約不需繳交超約附加費；有些學校契約容量過低，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掙扎。

用戶每年可調整檢討契約容量，且電力公司或相關顧問公司可免費協助計算最適契約容量。

茲以表 4-1-2 某校九十一年全年實際用電情形為例，示範說明：

表 4-1-2 某校現行契約容量(1300 kW)基本電費和超約附加費分析

| 年月 | 最高需量 (kW) | 契約容量 (kW) | 基本電費 (元) | 10%附加 (元) | 其他附加 (元) | 總需量電費 (元) |
|-------|--------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
| 91/01 | 1,266 | 1,300 | 206,700 | 0 | 0 | 206,700 |
| 91/02 | 812 | 1,300 | 206,700 | 0 | 0 | 206,700 |
| 91/03 | 722 | 1,300 | 206,700 | 0 | 0 | 206,700 |
| 91/04 | 1,302 | 1,300 | 206,700 | 636 | 0 | 207,018 |
| 91/05 | 1,598 | 1,300 | 206,700 | 41,340 | 80,136 | 328,176 |
| 91/06 | 1,794 | 1,300 | 206,700 | 40,596 | 173,628 | 420,924 |
| 91/07 | 1,920 | 1,300 | 269,880 | 53,976 | 305,172 | 629,027 |
| 91/08 | 1,780 | 1,300 | 276,900 | 55,380 | 223,650 | 555,930 |
| 91/09 | 1,164 | 1,300 | 276,900 | 0 | 0 | 276,900 |
| 91/10 | 1,890 | 1,300 | 276,900 | 55,380 | 293,940 | 626,220 |
| 91/11 | 1,868 | 1,300 | 216,060 | 43,212 | 218,387 | 477,659 |
| 91/12 | 1,698 | 1,300 | 206,700 | 41,340 | 127,836 | 375,876 |
| 平均 | 1,485 | 全年合計 | 2,763,540 | 332,604 | 1,422,749 | 4,518,892 |

表 4-1-3 某校契約容量調整後(1600 kW)基本電費和超約附加費分析

| 年月 | 最高需量 (kW) | 契約容量 (kW) | 基本電費 (元) | 10%附加 (元) | 其他附加 (元) | 總需量電費 (元) |
|-------|--------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
| 91/01 | 1,266 | 1,600 | 254,400 | 0 | 0 | 254,400 |
| 91/02 | 812 | 1,600 | 254,400 | 0 | 0 | 254,400 |
| 91/03 | 722 | 1,600 | 254,400 | 0 | 0 | 254,400 |
| 91/04 | 1,302 | 1,600 | 254,400 | 0 | 0 | 254,718 |
| 91/05 | 1,598 | 1,600 | 254,400 | 0 | 0 | 254,400 |
| 91/06 | 1,794 | 1,600 | 254,400 | 50,880 | 16,218 | 321,498 |
| 91/07 | 1,920 | 1,600 | 332,160 | 53,976 | 99,648 | 485,784 |
| 91/08 | 1,780 | 1,600 | 340,800 | 68,160 | 12,780 | 421,740 |
| 91/09 | 1,164 | 1,600 | 340,800 | 0 | 0 | 340,800 |
| 91/10 | 1,890 | 1,600 | 340,800 | 68,160 | 83,070 | 492,030 |
| 91/11 | 1,868 | 1,600 | 265,920 | 53,184 | 53,849 | 372,953 |
| 91/12 | 1,698 | 1,600 | 254,400 | 31,164 | 0 | 285,564 |
| 平均 | 1,485 | 全年合計 | 3,401,280 | 325,524 | 265,565 | 3,992,368 |

比較表 4-1-2 和表 4-1-3 發現，將該校契約容量，由原訂 1300 kW，調整為 1600 kW，其他用電條件不變，雖然每月基本電費增加，但超約附加費大幅減少，總電費由 4,518,892 元，降為 3,992,368 元，節省 526,524 元。

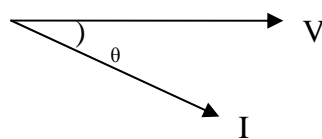
本範例顯示：不需要增加設備投資，只是調整契約容量數值，就可以節省電費支出，各級學校能不重視此項課題嗎？各級學校如果對於計算適當契約容量有任何疑問，可以請教「中技社節能技術發展中心」，該中心將樂於提供免費諮詢服務。

Q06：功率因數是什麼？高功率因數是否就等於高效率呢？

A：大多數非電機專業人士常常會將功率因數和效率混淆，有必要加以澄清。

功率因數(簡稱功因)，是因為「交流電力系統」的電流和電壓相位不同而產生；直流電力系統電壓和電流永遠同相位，功率因數為 1，不成問題。交流負載多為電阻和電感之組合，電流落後電壓，其功率因數小於 1，平均值約為 80%。交流電壓和電流夾角(θ)之餘弦，稱為功率因數，如公式(1)和圖 4-1-3 所示。

$$pf = \cos \theta \quad \text{-----}(1)$$



圖

4-1-3

功

率因

數

通常，用戶總功率因數約為 80% 落後，可以加裝電容器加以改善，使功因角 θ 縮小，功因最高($\theta=0^\circ$)可達 100%；超過 100%，功因變成前引，又成為小於 100%。

然而，效率是輸出功率和輸入功率的比值，如公式(2)。

$$\eta \equiv \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad \text{-----} (2)$$

因為機器都有損失，輸出永遠小於輸入，所以，效率永遠不可能達到 100%。

雖然，高功率因數和高效率都是我們追求的目標，然而，從功率因數和效率的定義可以看出，兩者並不相同，不要混淆。

Q07：改善功率因數對用電戶有什麼好處呢？

A：用戶可以加裝「靜電電容器」改善功率因數，以獲得電費優待。改善功率因數好處多多：釋放系統容量、減少線路電流、減少線路壓降、減少線損失和節省電費。然而，真正享受前述四項好處的受益對象是電力公司(有點複雜不容易解釋，電機專業人員可以參考工業配電課本)，所以，依據公平原則，電力公司必須回饋功率因數高的用戶，減少其電費支出。

實際上，台電對於用戶功因是採取「獎懲並用」方式。功率因數以 80 % 為基準：

—每超過 1 %，減收電費(基本電費+流動電費)0.15 %

—每低過 1 %，加收電費(基本電費+流動電費)0.3 %

因為，功率因數是以全月累積的總有效用電度數和總無效用電度數來計算，所以，很多用戶於假日停工時，仍將功因電容器接電，以減少無效電度，而獲得更佳功率因數。但是，假日電容器接電，固然可以提高功因，惟功率因數改善過當(超前)，將造成電壓上升的負面效應。筆者曾於週日在汐止工業區量測電壓，高達 255 V(正常值 220 V)，以致於很多週日仍然使用的電器容易燒而發生火災，可能得不償失。

Q08：實施電力節能有哪些主題呢？

A：一般人大多認為電力節能有兩大主題：減少功率(kW)需量，減少電能(kWh)消耗；然而，還有第三主題就是：轉移尖峰用電至離峰時段使用。

首先，減少功率(kW) 需量，沒有輕鬆的方法，只有老老實實的提升用電設備的內部效率。例如：選用高效率的馬達、高效率的安定器、高 EER 的冷氣機等。

其次，減少電能(kWh)消耗，則要從減少用電時間做起，例如：自動點滅的燈光、隨手關燈...等。

最後，將尖峰用電轉移至離峰時段的效益，除了節省用戶的電費之外，也可以協助電力公司紓解尖峰電力供應之不足。

長期而言，除了上述提高電器效率和減少用電時間，省電別無捷徑。

市面上販售多種省電器，號稱花小錢可以長期省電，都是騙人的。業者會示範，裝上省電器後，總電流減少了；其實，只是無效電流減少造成功因提高，其消耗之交流總有效功率仍然相同。因為家庭用戶不計功率因數，對用戶而言，電費不會減免，電流減少的效益只是電力公司受益而已。

Q09：電力公司為什麼要推行時間電價？

A：電力事業的兩大難題：第一，電力供應與負載需求「必須隨時」保持平衡；無論電力供應超過或不足負載需求，系統都會崩潰，大家都沒電可用。第二，電能無法儲存；夜間(離峰)用電少，電力公司發電容量過剩，高效率發電機成本低至 2 元/度，也不能多發電儲存；夏季下午(尖峰)用電多，所有發電機都要發電，最貴的天然氣發電成本每度高達 10 元也要發電，既使每度電只能賣 3 元也在所不惜。

因為，離峰(夜間)發電成本便宜，日間(尖峰)發電成本超高；所以，電力公司依據發電成本實施時間電價。因為夏季冷氣用電最多，電力公司特別針對儲冷式空調專用分路以七五折

收費。以低壓綜合電力為例，尖峰電價 2.06 元/度，離峰電價 0.78 元，儲冷專用優惠電價為 $0.78 \times 0.75 = 0.585$ 元/度，約為尖峰電價的 28 %。

電力公司實施時間電價，就是利用尖離峰價差為誘因，希望吸引用戶將用電時間由尖峰(下午)移至離峰(夜間)，可以減輕電力公司發電成本與電源調度的困難。

Q10：學校如何利用時間電價來節省電費呢？

A：儲冰式空調：於夜間製造冷凍鹵水，白天抽出鹵水以風扇吹出冷氣；不會影響使用冷氣的舒適度，但可以協助電力公司紓解尖峰供電壓力。所以，電力公司對於儲冷式冷氣專用電路，按離峰電價七五折計收。

將其他用電移至離峰時間使用，也可以享受遠比尖峰用電較低的離峰電價。所以，洗澡用熱水，也可利用夜間加熱儲存於熱水槽中，白天洗澡時就有熱水可用；洗衣服也不必利用白天，可以改在深夜時洗衣，白天再曬衣服等；學校儲水水塔，可以利用離峰時間打滿水位。

貴機構有什麼電器之使用可移至夜間用電？你可以盡量發揮想像力，實施之後可以節省電費支出。

Q11：如何判斷學校用電是否浪費呢？

A：身為電氣負責人，如何判斷學校用電是否浪費？最簡單的方法，是將貴校全月用電度數除以樓地板面積，計算全年用電量密度(kWh/m²)，再和其他同級學校全年平均值 95 kWh/m，表 2-2-5 做比較，雖然各校用電設施不盡相同，但是超過平均值，就值得檢討是否有浪費能源的情形。

因為用電有每年重複的週期性，評量學校電費時，至少要有一整年的用電資料，才可做出正確分析。表 4-1-4 是以某校的全年用電資料，做為分析範例。

表 4-1-4 最近一年某校用電資料分析

| 收費 年月 | 最高 需量 (kW) | 契約 容量 (kW) | 尖 峰 度 數 (kWh) | 離 峰 度 數 (kWh) | 功率 因數 (%) | 全 月 電 費 (元) | 樓 板 面 積 (m ²) | 平 均 度 數 (kWh/m ²) | 平 均 電 價 (元/kWh) |
|----------|------------------|------------------|---------------------|---------------------|-----------------|-------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| 91/01 | 1,266 | 1,300 | 234,000 | 130,000 | 98 | 757,308 | 73,603 | 4.95 | 2.08 |
| 91/02 | 812 | 1,300 | 156,000 | 114,000 | 95 | 596,008 | 73,603 | 3.67 | 2.21 |
| 91/03 | 722 | 1,300 | 76,000 | 82,000 | 96 | 417,405 | 73,603 | 2.15 | 2.64 |
| 91/04 | 1,302 | 1,300 | 270,000 | 134,000 | 95 | 830,390 | 73,603 | 5.49 | 2.06 |
| 91/05 | 1,598 | 1,300 | 278,000 | 138,000 | 84 | 975,621 | 73,603 | 5.65 | 2.35 |
| 91/06 | 1,794 | 1,300 | 426,000 | 220,000 | 96 | 1,416,535 | 73,603 | 8.78 | 2.19 |
| 91/07 | 1,920 | 1,300 | 436,000 | 210,000 | 97 | 1,662,140 | 73,603 | 8.78 | 2.57 |
| 91/08 | 1,780 | 1,300 | 252,000 | 132,000 | 99 | 1,182,956 | 73,603 | 5.22 | 3.08 |
| 91/09 | 1,164 | 1,300 | 250,000 | 120,000 | 98 | 876,551 | 73,603 | 5.03 | 2.37 |
| 91/10 | 1,890 | 1,300 | 306,000 | 134,000 | 95 | 1,389,445 | 73,603 | 5.98 | 3.16 |
| 91/11 | 1,868 | 1,300 | 392,000 | 190,000 | 96 | 1,426,290 | 73,603 | 7.91 | 2.45 |
| 91/12 | 1,698 | 1,300 | 340,000 | 142,000 | 98 | 1,143,731 | 74,603 | 6.46 | 2.37 |
| 總計 | | | 3,076,000 | 1,604,000 | | 11,530,649 | | | --- |
| 平均 | 1,485 | | 284,667 | 145,500 | | 1,056,198 | | 5.84 | 2.46 |

從表 4-1-4 即可發現契約容量 1300 kW 低於平均需量 1485 kW，應儘速調整，以免超約用電被罰款(加收附加費)。月平均用電 5.84(kWh/m²)，全年用電為 70(kWh/m²)，可以和他校全年平均 95 kWh/m² 相比尚屬合理。

也可以請經濟部能委會委託的專業機構---中技社節能技術發展中心---免費分析，該中心之建議，提供 該校負責人做決定。除非 該校同意採取節約能源的改善措施，必需增建設備才需要花錢，其餘諮詢與分析完全是免費的。

Q12：電壓對於節約能源有什麼影響呢？

A：相同的電壓(一種米)要提供各種不同的電器設備(養百樣人)使用。電力系統最主要的用電設備是電動機和照明器具。本文以電燈和感應電動機為範例，分析說明供電電壓對用電設備之重要影響。

如表 4-1-5 所示，對於額定電壓為 220 V 的電燈而言，供電電壓降低為 200 V，電燈光度減為 70%，但是其壽命卻大幅增為 300%，綜合效益增大；反之則否。所以，對電燈而言，希望供電電壓「低於或等於」額定電壓。

表 4-1-5 供電電壓對電燈(額定 220 V)之影響

| 電燈特性 | 供電電壓 | | |
|------|-------|-------|-------|
| | 240 V | 220 V | 200 V |
| 光度 | 130% | 100% | 70% |
| 壽命 | 30% | 100% | 300% |
| 綜合 | 39% | 100% | 210% |

然而，對於 220 V 的感應電動機(簡稱馬達)而言，供電電壓增高為 240 V，其轉矩增加、電流減小、溫升降低，影響均為正面；反之，則為負面影響，如表 4-1-6 所示。所以，對馬達而言，希望供電電壓「高於或等於」額定電壓。

表 4-1-6 供電電壓對馬達(額定 220 V)之影響

| 馬達特性 | 供電電壓 | | |
|------|---------|-------|---------|
| | 240 V | 220 V | 200 V |
| 轉矩 | 121 % | 100 % | 81 % |
| 電流 | 93 % | 100 % | 111 % |
| 溫升 | - 1-2°C | | + 6-7°C |

節約能源的最佳做法，是電源供電電壓等於電燈和電動機的額定電壓。台灣電力公司建議用戶變壓器供電電壓調為 230 V，減去線路電壓降(0-5%)，用電電壓最高 230 V，最低 218 V。一般用戶選用電燈或馬達之額定電壓都是 220 V；如此，對電燈而言：供電電壓高於或等於電燈額定電壓，對於靠近電源端之電燈不利。對馬達而言，供電電壓高於或幾乎等於馬達額定電壓，馬達可以滿意運轉。所以，最佳的做法是自力救濟，選購電燈時選用額定 230 V 的產品，才可以保障電燈的使用效益，如圖 4-1-4 所示。

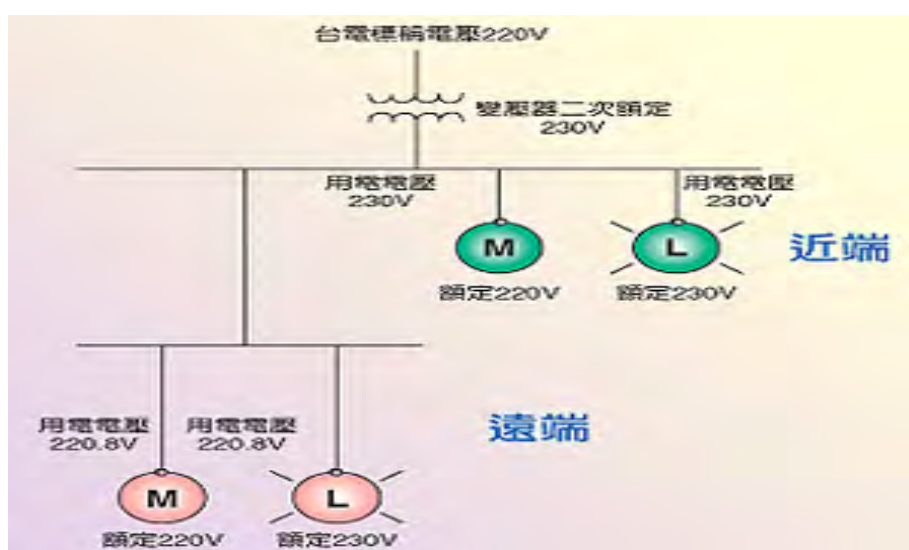


圖 4-1-4 系統電壓與電器額定電壓之關係

Q13：電動機要如何省電？

A：因為電動機無所不在，冷氣用電的動力來源也大多採用電動機；所以，學校電力用電的主角是電動機(或稱馬達)，擒賊必需擒王，如何節約能源，必然要從電動機的省電與節能開始。

從長期觀點，選用高效率的電動機，可以節省用電。此外，電動機在滿載時效率最高，應避免選用大電動機帶動小機器，選用適當容量的電動機，才可以節省用電。同時，定期保養(潤滑加油)，可以減少電動機的摩擦損失，同樣可以節省能源。

Q14：學校應如何推動全體師生確實實施節約用電？

A：如何節約用電可以先研究電費收據，電費分為兩部分，契約容量/最高需量與用電度數。所以學校推動節約用電，應先檢討契約容量是否合理，以降低巨額超約附加費，或是加裝遠端電力監控器。

其次，是節約用電度數，這需要全體師生努力才可以達成，先要做教育訓練，向老師學生說明如何節約用電，特別強調節約「尖峰用電」，對於國家和學校有巨大貢獻；如果可能，可以在不同單位(建築)加裝分電錶，以明確責任，訂定合理節約目標，採取逐步遞減方式，優良者加以獎勵、不力者予以處罰，雙管齊下必能有良好成效。

Q15：請列舉學校如何節約電力用電的具體做法？

A：學校可以實施的電力節約用電措施列舉如下：

- 1.建立能源使用量及電費付費檔案，做為能源管理的依據。
- 2.依據全年用電最高需量實況，每年檢討合理契約容量(或申請免費諮詢)，以減少基本電費及超約附加費支出。(參考 Q04)

3. 裝設遠端電力監控系統，以積極手段輪流停用部分設備，控制最高需量不超過契約容量，避免超約用電(附加費)，進一步節省電費。(參考 4.3 監控節能)
4. 協調將各班級蒸飯時間錯開，或設計成不同分路，避免同時蒸飯，造成短時間用電需量激增，一次 15 分鐘超過契約容量，全月都要遭受超約罰款(附加費)。
5. 裝設低壓進相電容器，將功率因數調高為 99-100%。
(參考 Q12)
6. 選用「能源之星」電腦：個人電腦於正常使用時，平均每台耗電 150 W；當超過設定時間(5-10 分鐘)不作業時，能源之星電腦會進入「睡眠狀態」，耗電降至 30 W 以下，可以節省大量能源。
7. 選用高效率的電器設備(變壓器、冷氣、冰箱等)。
8. 將變壓器二次測電壓和電器額定電壓做適度協調，以維持電動機和照明器具都能在高效率運轉，延長設備使用壽命。
(參考 Q12)
9. 各大樓裝設獨立電錶，訂定明確節電目標，專人負責管理，有效節約用電。
10. 夏季學校放暑假期間，正是台電電力供應最吃緊時期，可以向台電申請可停電力(同意台電於電力不足時，減少供電)，台電給予電價優惠回饋，雖有可能造成用電之不方便，但可以節省電費支出。
11. 實施各項冷氣節約用電方案。(參考 4.5 空調節能)
12. 實施各項照明節約用電方案。(參考 4.2 照明節能之 Q15)。

4.2 照明節能

Q01：照明對於學生學習的影響有多大？

A：照明的重要性，可以用表 4-2-1 加以突顯，人類利用五官攝取資訊，最重要的就是視覺(眼睛)高達 87 %，其餘聽覺(耳朵)、嗅覺(鼻子)、觸覺(皮膚)和味覺(舌頭)加總才佔 13 %。照明適當與否直接影響視覺的資訊攝取效率，對於學生的學習極為重要，所以雖然要節約照明用電，但也不可虧待眼睛。

研究顯示，學生在光線充足的場合，學習效果最好；反之，光線不足，會造成精神無法集中；光線過強，容易造成疲勞。所以合理的照明對於學生學習相當重要。

表4-2-1 照明的重要性

| 感覺的種類 | 攝取資訊能力(%) |
|--------|-----------|
| 視覺(眼睛) | 87.0 |
| 聽覺(耳朵) | 7.0 |
| 嗅覺(鼻子) | 3.5 |
| 觸覺(皮膚) | 1.5 |
| 味覺(舌頭) | 1.0 |

Q02：照明只要「亮度」夠就好，不是嗎？

A：人類的活動和照明息息相關，各種不同的活動其照明需求也不同。如表 4-2-2 所示，休閒照明(以住家為代表)，以舒適為主，照(亮)度不要很高，照明品質要高；反之，行動照明(以開車為例)，安全最重要，照(亮)度要夠高，照明品質不計較；至於工作照明(辦公場所)，以明視為主，照明的量與質並重。

所以，照明不是亮度夠就好，照度不足或過多都會產生不

良效果。場所不同，需求也不相同，必需因地制宜，做適度的照明設計。

表 4-2-2 人類活動與照明需求

| 活動狀態 | 照明需求 | 生理(量/照度) | 心理(質) | 代表場所 |
|------|------|----------|-------|------|
| 休閒 | 舒適 | 低 | 高 | 住宅 |
| 工作 | 明視 | 中 | 中 | 辦公室 |
| 行動 | 安全 | 高 | 低 | 道路 |

Q03：增加燈具(管)則亮度會成正比增加，不是嗎？

A：照明的亮度，以照度來衡量，單位是勒克斯(Lux 或 lx)。人類的眼睛對於亮度的感覺是對數(Log)關係。對數關係有「抑強助弱」的效果，所以，在電影院中地面照度約為 10^{-3} lx，眼睛仍然可以認路，看完電影走出戶外面對大太陽，照度立即升高達 10^5 lx，兩者照度相差 10^8 ，也就是相差一億倍，眼睛仍然可以調適，而不會被燒壞。

如表 4-2-3 所示，照明投資和照度成線性關係，也就是裝設燈具數量和照度成正比。所以，裝設兩倍數量的燈具就可以獲得兩倍照度。但是，人眼的亮度感覺和照度卻是對數關係，所以，兩倍的照度只有增加 0.3 倍的亮度感覺，因為

$$\log_{10} 2 = 0.3$$

表4-2-3 照明投資vs.亮度感覺

| 照度(lx) | 設備投資(線性 linear) | 亮度感覺(對數 log) |
|--------|-----------------|--------------|
| 10 | 1 | 1 |
| 20 | 2 | 1.3 |
| 100 | 10 | 2 |

如果，想要兩倍的亮度感覺，就要增加十倍燈具，則投資與報酬顯然不成比例，將造成投資上極大的浪費。為兼顧照明投資與亮度感覺，可以使用局部加強照明的設計觀念。例如，以讀書為例，如果感覺房間整體照度 500 lx 太低，想要增加照度為 1000 lx，加裝兩倍燈具太貴，只需在書桌上加裝檯燈，局部加強照度就可以了。

Q04：照明測量的計算標準是什麼？

A：「照度」是照明計算的基礎。照度定義為，工作面(書桌)單位面積所接受的有效光通量來計算，如公式(3)所示：

$$E \equiv \frac{F \times \eta}{A} \text{-----(3)}$$

式中：

E：照度，單位勒克斯(Lux 或 lx)

F：光通量，單位流明(Lumen 或 lm)

η ：照明燈具效率

A：工作面積，單位平方公尺(m²)

通常，電機設施的標準都是「規定值」，不可違反；例如，直徑為 2.0mm 的銅線安全電流為 20 A，電機工程師在設計分路負載時，電流就不得超過此規定值(20 A)，違反規定可能造成火災，工程師可能吃上官司。

但是，中國國家標準 CNS 的照明設計標準，只是「推薦範圍值」，僅供參考；如果實際照度低於標準值，不會產生立即危險，也不會被處罰；主要原因就是眼睛對亮度的對數感覺，可以適應的範圍極大。

所以，照度推薦值是一個範圍，如表 4-2-4 所示。例如，以讀書為例，照度推薦值為 300-500 lx；會議室照度推薦值為 300-750 lx。如前節所述，300 lx 和 750 lx 的投資相差 2.5 倍，照明節約能源可以依據這種特質，加上局部加強照明而設計。圖 4-2-1 是中國國家標準建議的學校照度標準，是學校執行照明設計和節約用電的主要依據。

表 4-2-4 住宅/辦公室照度推薦值

| 種類 | 場所 | 照度(lx) |
|-----|-----|----------|
| 住宅 | 裁縫 | 300-700 |
| | 讀書 | 300-500 |
| | 客廳 | 150-300 |
| 辦公室 | 營業廳 | 750-1500 |
| | 會議室 | 300-750 |
| | 倉庫 | 75-300 |

過高者可以推動節約能源，反之，照度不足者，還必需增設燈具，才可以確實維護學生的視力健康。

Q05：輝度是什麼？對照明有何影響？

A：輝度，簡單的說就是「刺眼的程度」。光源越小就越刺眼，人眼的感覺也不舒服。例如 100 W 的亮度高但燈泡面積小，其輝度大，直視感覺刺眼；如果，100 W 燈泡外加磨砂燈具後，光源面積加大，輝度變小，就不刺眼。

照明設計時，必需考慮作業對象(工作面)和周遭物件的輝度差異，就是輝度比。輝度比過大，長期會使眼睛疲勞、不舒服。辦公室輝度比的建議值如表 4-2-5 所示。

表 4-2-5 辦公室輝度比建議值

| | |
|------------|--------|
| 作業對象：周圍 | 1：1/3 |
| 作業對象：遠處陰暗面 | 1：1/10 |
| 作業對象：遠處明亮面 | 1：10 |

Q06：眩光是什麼？市面上有防眩光燈具有用嗎？

A：眩光就是造成人眼感覺不舒服的照明。

眩光的種類有三種：直接眩光、反射眩光和背景眩光。

直接眩光，是直視光源(燈管)所產生，光源的輝度大造成刺眼而令人不舒服，稱為直接眩光。

反射眩光，是因反射光源而產生，如圖 4-2-2 所示。有些反射是好的，在檢查物體表面時需要少許反射，如(c)所示；有些反射會造成眩光如(d)所示，應予避免。

背景眩光，則是因為主題較暗而背景太亮而產生，也會造

成不舒服的眩光。

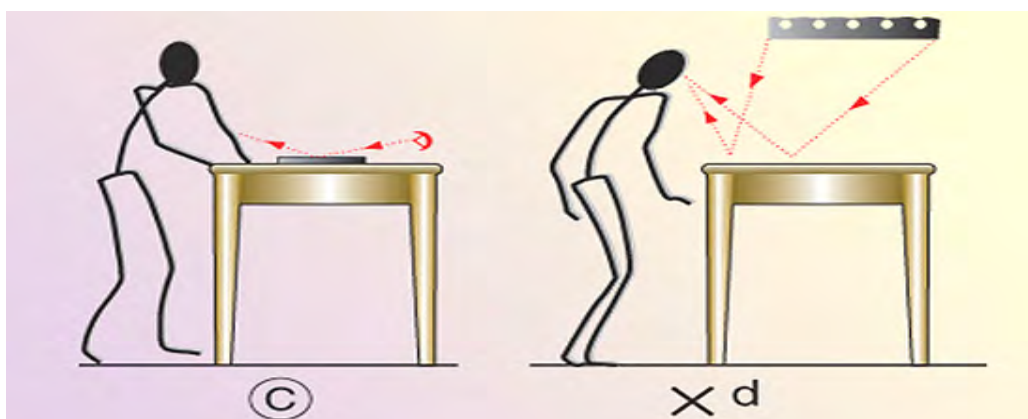


圖 4-2-2 反射眩光

市面上有些燈具採用特殊設計的遮光格板，可以改善反射眩光，但是價錢較高，如果需要長期閱讀，就值得購用，否則不需要浪費金錢。

Q07：三波長日光燈管比較貴，有比較好麼？

A：三波長日光燈管價格較普通者貴二~三倍，其優點就是演色性較佳。演色性，簡單說就是「顏色逼真的程度」。人類對顏色的體認，是以太陽照射下的顏色為基準，然而，陽光下的顏色也隨時間改變，日出和日落時分，太陽的顏色偏紅，正午的陽光則呈藍白色，也會影響我們對顏色的判斷。所以，演色性的基準，以太陽升起兩小時和日落前兩小時為基準，其對物體的演色性為 100 %。

人造光源中，白熾燈泡和鹵素燈所發出的光線包含所有光色，其演色性為 100 %，適合在家庭或博物館使用。鈉光燈，只呈現黃色，演色性最差，只有 20 %，但其發光效率最高，適合用在高速公路交流道或隧道。辦公室最常用的日光燈，演色性在 60-85 % 之間，適用於大多數場合。如表 4-2-6 所示。

表4-2-6 光源演色性與使用場所

| 等級 | 指數 | 光色 | 使用場所 |
|----|------------------------|------------|---------------|
| 1 | $Ra \geq 85\%$ | 冷色 暖色 | 紡織工業 住宅、餐廳 |
| 2 | $70\% \leq Ra \leq 85$ | 冷色 (台灣) | 辦公室、學校、百貨公司 |
| 其他 | $Ra \leq 30\%$ | | 道路 |

Q08：省電燈泡有黃色和白色兩種，有何差別呢？

A：通常，溫度高會令人感覺熱，溫度低則寒冷；至於顏色，紅黃色令人感覺熱，藍白色覺得冷。兩相對應，人類的感覺：紅黃色溫度高，藍白色溫度低。然而，在照明領域，「色溫度」是以黑體加溫定義而成；當加熱至 2000 K 以上，黑體開始發出紅色光，3000 K 發出黃光，6500 K 發出白光，10000 K 成為藍白光。所以，紅黃光的色溫度低，但是感覺溫暖；藍白光的色溫度高，反而感覺寒冷。

請注意，照明的「色溫度」和我們對一般顏色與溫度的感覺完全相反。以省電燈泡的兩種顏色為例，黃色給人溫暖的感覺，其色溫度約為 3000 K；白色則令人感覺寒冷，其色溫度數值卻較高，為 6500 K。

如表 4-2-7 所示，3300 K 的燈泡，給人溫暖的感覺，適合用在家庭；5000 K 以上的日光燈，給人清冷的感覺，非常適合用在辦公室，讓上班的人都很有精神。

表 4-2-7 色溫度與感覺

| 色溫度 | 光色 | 感覺 | 場所 |
|------------------|----|----|-----|
| 3300 K 以下(燈泡) | 暖色 | 溫暖 | 住宅 |
| 3300-5000 K(日光燈) | 中間 | 中間 | 通用 |
| 5000 K 以上(日光燈) | 冷色 | 清冷 | 辦公室 |

照明設計時，要注意色溫度和照度的關係。如圖 4-2-3 所示，色溫度高、照度低，讓人有冷的感覺；反之，色溫度低、照度高，讓人覺得燥熱。有一個廣告，留一盞燈給夜歸的人，應該要留一盞黃色小燈泡，才會令人覺得溫暖；千萬不要為了省電而留一盞小日光燈，因為小日光燈色溫度低、照度低，反而讓人覺得寒冷。

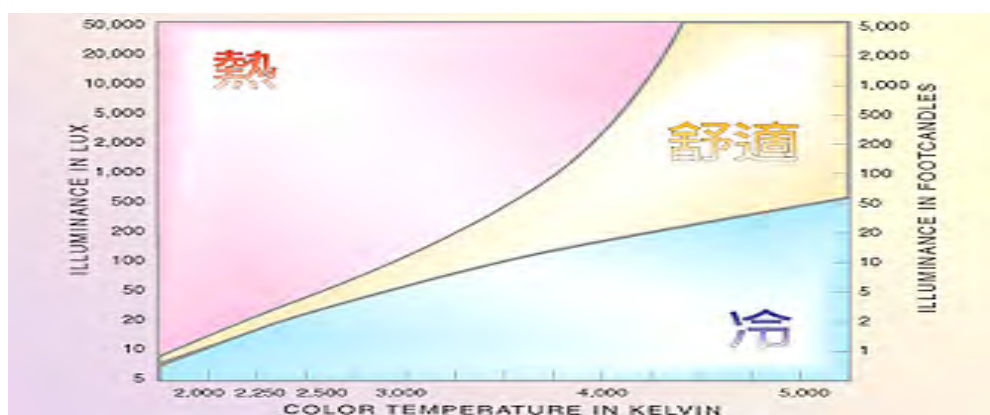


圖 4-2-3 色溫度、照度與人的感覺

Q09：白熾燈泡、日光燈和複金屬燈各有什麼特點呢？

A：白熾燈泡的效率和壽命都最低，但是價格便宜，演色性最好，所以，最常用在家庭、交誼廳等需要良好氣氛的場所；改良的鹵素燈，壽命較長、效率更高、演色性最好，大量使用在百貨公司和博物館。表 4-2-8 是常用光源種類及其特性。瞭解光源

的特性，對於照明設計和節約能源非常重要。

日光燈：價格便宜、演色性中等、色溫度中等，適合在辦公場所。

低壓鈉氣燈：效率最高、演色性最差，適合用在高速公路交流道、隧道等場所。

複金屬燈：效率高、光度強，適合大廳、運動場等挑高照明。

表4-2-8 光源種類與特性

| 特 性 | 燈泡/鹵素燈 | 日光燈 (含安定器) | 低壓 鈉氣燈 | 複金屬燈 |
|----------|------------|---------------|-----------|-------|
| 效率(lm/W) | 10/20 | 55-80 | 100-200 | 70-95 |
| 壽命(h) | 1000/10000 | 10000 | 15000 | 10000 |
| 演色性(%) | 100 | 70-85 | 20-30 | 70-85 |
| 光色 | 暖和 | 清涼 | 燥熱 | 清涼 |

Q10：白熾燈泡很耗電，為什麼歐美家庭中大量使用呢？

A：白熾燈泡雖然有效率最低、壽命最短的缺點；但是，因為燈泡的演色性最好(100%)，又屬於暖色系，在家庭中使用，造成溫暖的感覺，正好符合家庭的需求；再加上其價格便宜，光源小、燈具設計可以變化多樣，所以在歐美國家的家庭大量使用燈泡。學校的諮商室、交誼廳同樣需要溫暖的氣氛，照理也要使用白熾燈泡，但是為了節約能源，可以使用暖色系(黃色)的省電燈泡取代，可以兼顧溫暖和省電的功效。

Q11：日光燈換用電子安定器有什麼優點？

多久才可以回收投資成本呢？

A：辦公室照明使用最多的是日光燈，數量十分龐大，是照明節能最主要的訴求對象。以 40 W 日光燈用電分析，傳統燈管耗電 40 W，傳統安定器耗電 10 W。燈管部分，近年來大量改用新型 T8 管，耗電為 36 W 或 32 W，更新型的 T5 為 28 W。至於安定器，則以改用電子安定器為主要訴求。電子安定器的優點有：

- 省電 20-25%
- 功率因數 95-99%
- 不閃爍、噪音低、安全性

按照現行分析，將傳統安定器汰換為電子安定器，根據經驗新設時若以投資差額計算，只要兩年就可以回收投資，是照明節約能源最可行的方法。

此外，40 W 雙管日光燈比 20 W 四管，其光通量更多也更為省電；日光燈直管優於彎管，也是照明節能應具備的常識。

Q12：燈具維護的重要性？

A：新裝設合乎規定的照明設備，使用三年之後，照度只剩下原設計值的 44 %，如圖 4-2-4 所示。可以讓我們深刻體認照明維護的重要性。

- 1.使用三年之後，照度只剩下原設計值的 44 %；
- 2.清掃燈管燈具之後，光出力可以增為 55 %；
- 3.更換不亮燈管，可再增加 5 % 光度；
- 4.燈管全部換新，光出力可提高至 75 %；
- 5.修正電壓降，可以再增加 3 %；

6.天花板及牆壁重新油漆，可以提高至 91 % ；

7.最後，將所有燈具換新，才可以回復原始設計 100 % 光出力 。

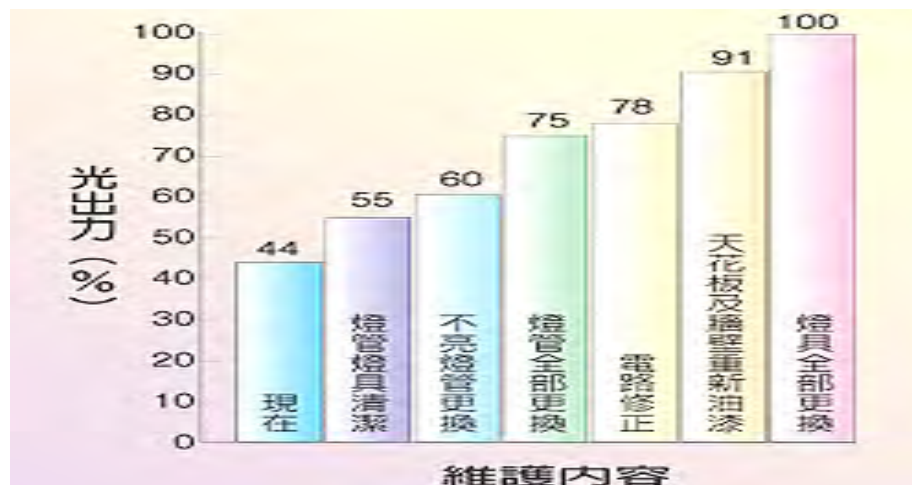


圖 4-2-4 照明維護的重要性

所以學校對於燈具之維護應該注意

- 1.建立燈具維修通報系統，教師或學生發現燈具損壞，應立即通報換新。
- 2.學校應於寒暑假定期全面擦拭燈管，以發揮燈具應有光通量。
- 3.指導學生養成隨手關燈習慣，以節約能源並延長燈具使用壽命。

Q13：校園內照明設施應如何設計以維護學生視力健康？

A：學生在校停留時間最長的地方，是在一般教室和專業教室。教室照明設計的重點是：課桌的照度要充足，提供良好學習環境；避免戶外強烈陽光照到書桌，造成刺眼；黑板照度要充足，並避免反射眩光；採用防眩光燈具，使學生往前方看老師/黑板時，避免直接看到燈管，以避免直接眩光。至於演講廳等場所，照度需求較低，只要避免眩光就好。

因為學生聽老師上課時，必需長時間向前看並稍微仰視(與

上班族埋頭苦幹不同)，所以教室日光燈具的防眩光設計十分重要。以教室天花板上吊掛式日光燈為例，採用裸露燈管時，其輝度為 $6000(\text{cd}/\text{m}^2)$ ；加裝高反射係數的鏡面鋁板(辦公室常用)時，輝度增高至 $8000(\text{cd}/\text{m}^2)$ 。加裝防眩格板，可以避免學生直接看到燈管，輝度也大幅下降；加裝 24° 防眩格板，輝度降為 $1000(\text{cd}/\text{m}^2)$ ；加裝 30° 防眩格板，輝度降低為 $300(\text{cd}/\text{m}^2)$ 。為維護學生視力健康，教室應採用加裝眩光格板的日光燈具。

Q14：教室在白天是否不需要開燈呢？

A：大白天教室很亮，是否需要開燈？一般人的直覺反應都認為不需要開燈。然而，如果太陽光直接照到書桌，光線太強，學生的眼睛受不了，必需使用厚窗簾遮光(淺色薄窗簾，被太陽照射時，窗簾太亮，輝度比太強，參考 Q05)，此時，桌面光線反而可能不足，要用人工照明加以補強。此外，陰雨天，教室光線也不足，必需用人工照明補強。

然而，白天教室受太陽光變動之影響，光線分佈狀況並不均勻，靠窗部分光線可能太亮，靠走廊部分可能太暗，輝度比太強烈，對學生長時間的學習十分不利。所以，教室照明燈具開關控制，應兼顧天然光源之採光，照明分路必需採取多迴路設計，原則上可以靠走廊之一排平行燈具為一迴路，靠窗邊一排燈具為一迴路，中間之其他燈具為一迴路。此外，黑板燈具為另一迴路，依據實際狀況開燈，儘可能使教室各部分照度均勻。

Q15：如何判斷學校照明用電是否浪費呢？

A：照明用電是否合乎規定，最簡單的方法，就是計算照明負載密度。依據傳統標準照明(含插座)負載密度為 $20 \text{ W}/\text{m}^2$ ，新加坡政

府為節約能源，訂定新標準為 15 W/m^2 ，ASHARE 90.1 要求更為嚴格成為 14 W/m^2 。所以，各用電戶可以用照明變壓器平均負載，和辦公室樓地板面積，計算照明負載密度，以判斷是否需要改善照明用電。

對於超高照度需求的場所，例如製圖室，照度需求為 1500 lx ，全辦公室基本照度可以設計成 500 lx ，繪圖桌再利用檯燈局部加強照度 1000 lx ，可以節省大量照明能源。挑高的大廳，可以採用高效率的複金屬燈，壽命長、演色性佳，可以兼顧優良照明、維護和節約能源的任務。辦公大樓的窗戶可以加裝玻璃隔熱紙，除了可以節省冷氣能量外，也可以降低室內和室外的輝度比，提升照明品質。

Q16：請列舉學校如何節約照明用電的具體做法？

A：學校可以實施的照明節約用電措施列舉如下：

- 1.日光燈的鐵芯安定器改用高效率電子安定器，可以降低損失，節省電費。
- 2.戶外夜間照明採用感光自動開關，可適時提供照明，並避免忘記關燈之浪費。
- 3.路燈採用隔盞控制，並配合自動點滅器自動開關。
- 4.選用高功因、高效率燈具，雖然初期購置經費較高，長期省電效果仍划算。
- 5.廁所白天採光足時應關燈。
- 6.燈管及反射罩每年定時清洗，發黑或閃爍燈管換新，以維持適度照明。
- 7.選用低眩光燈具：應具有防眩格板與高遮光角設計。
- 8.每年定期測量所有教室、辦公室之照度，以確保充足照明。

9.繪圖室、辦公室等照度需求較高之場所，可採用檯燈等以局部照明加強之。

10.台灣地處亞熱帶夏季時間長，教室和辦公室等宜選用色溫度6500-7500 K 的日光燈管，以營造夏天有清涼與明亮感覺。

諮商室、會議室、展覽室等需要溫暖氣氛場所，可以將白熾燈改用暖色系省電燈泡，以兼顧溫暖氣氛和省電效果。

4.3 監控節能

Q01：學校採用電力監控系統其目的為何？

A：1.學校採用電力監控系統的目的如下：

(1)可充分自行掌握校區內各電能使用狀況及耗用統計。

(2)建立 貴校各大樓能源使用成本中心制度。

(3)建立 貴校各大樓長期能源有效用電之管理制度。

2.電力監控系統主要功能與項目有：

(1)調整契約容量合理化。

(2)降低用電量(kWh)，強化設備使用效率及有效用電行政管理。

(3)調整功率因數合理化，減少電費支出

(4)抑低尖峰最高需量(kW)。。

(5)動力設備之運轉管理合理化。

(6)全校各大樓(圖書館、行政大樓...等)空調設備運轉管理合理化。

Q02：學校如何利用電力監控系統降低電費？

A：依據各學校的需求與經費預算不同，可以採用以下策略：

1.只抑低尖峰需量：如學校專業管理人員及經費有限，建議採用需量控制器設備，以抑低尖峰需量用電，直接減少超約附加費用，為最簡單及投資最少之策略。

2.兼顧抑低尖峰需量及監控各大樓用電狀況：如學校經費充裕，建議採用監控系統及需量控制器，可以監控及管理各建築大樓設備用電，並可抑低尖峰需量用電，直接降低電費。

Q03：何謂電力監控系統？

A：全校電力監控系統主要以電力與空調系統之用電資料為主。

電力系統各分路用電資料(電壓、電流、kW、kWh、功因等)，以及空調系統之溫度、壓力、流量等資料，除於現場顯示之外，可經由轉換器透過高階模組，連接至校區內每一大樓的可程式控制器(PLC：Programmable Logic Controller)，彼此以 Ethernet 網路連線在一起，再連接至中央監控主機，顯示並加以控制。

因為最高需量是以 15 分鐘平均值計算，以空調主機為例，採取運轉 10 分鐘、停用 5 分鐘模式運轉，不會影響舒適度。如欲避免超過契約容量之情形發生，可以利用需量控制器與 PLC 連結，於用電即將超過契約容量時，透過 PLC 將預先選定之設備(如空調主機...等)短時間卸載停用，即可避免產生超約情形，而可以節省超約附加費之支出。

Q04：一般學校監控系統功能及架構為何？

A：中央監控系統功能如下：見圖 4-3-1 監控系統架構

- 1.網路連線：可與電腦工作站做資料傳輸。
- 2.作業系統：軟體架構在微軟視窗環境下，使用人性化的下拉式功能表、對話方塊來操控各項功能。
- 3.標準介面：經 Ethernet 通訊界面可與現場控制器做資料傳輸每秒傳輸速度達 10Mbps。
- 4.滑鼠操作：提供滑鼠操作界面，軟體上的各項功能操作經由滑鼠的選取，可更快速、有效的完成。
- 5.資料儲存：所有監控點歷史資料，包括類比訊號 A/I、數位訊號點 D/I、D/O，可自動儲存於硬碟，以供記錄及追蹤分析。

- 6.即時顯示：透過多功能電表可以顯示用電資料如電壓、電流、功率因數、功率等將近 21 種電力參數。透過轉換器可以顯示溫度、壓力、流量...等數值。
- 7.報表列印：(1)控制群監視狀態報表。(2)警報歷史資料報表。(3)設定之日誌報表。(4)類比訊號歷史趨勢圖。
- 8.警報列印：警報時於螢幕顯示並自動將所有訊息列印於印表機。
- 9.中文顯示：以各種不同之色彩及中文字的顯示，完全表達系統的狀態，使操作人員能輕易辨認系統運轉之狀態及處理應有的反應。
- 10.動態圖形顯示：生動的操作者界面，系統具有圖像的能力，圖畫或建築物圖像、樓層圖案和空調系統的圖庫，顯示在電腦工作站上，操作者可輕易的使用和操控。

能源資訊系統架構圖

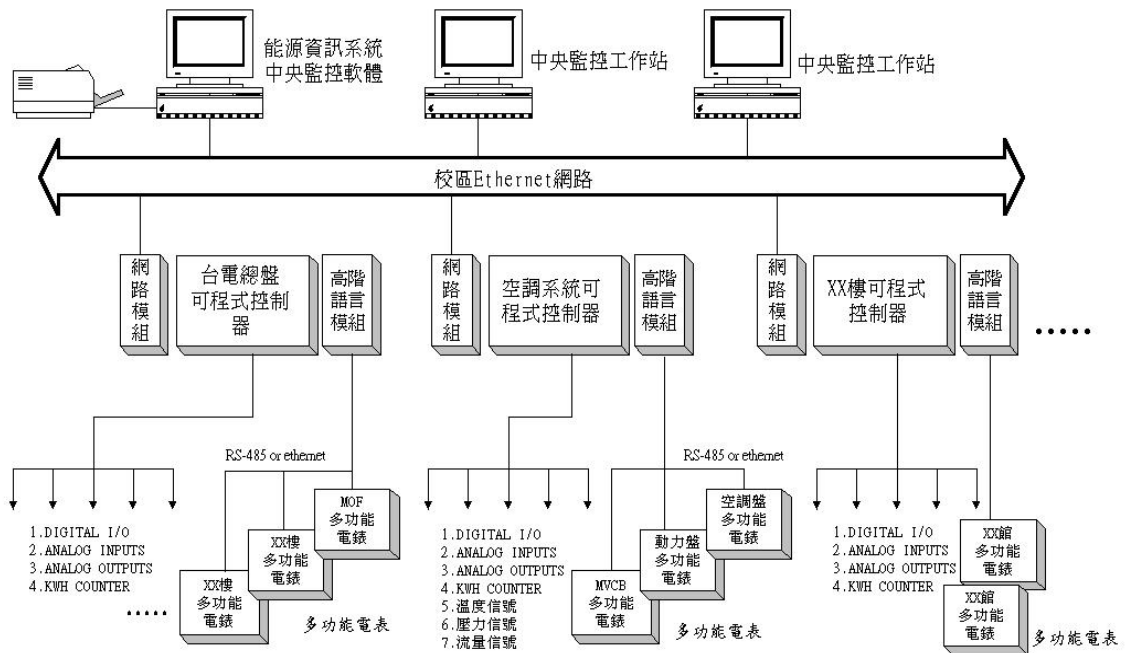


圖 4-3-1 監控系統架構

Q05：學校監控系統實際安裝情形為何？

A：目前大專院校實際安裝分為三大類：

1. 電力監視系統：學校經費有限下之採用之方式，以監視用電為主。
2. 需量控制器：學校經費有限採用之方式，以降低超約附加費為主。
3. 電力監控系統加需量控制器：學校經費充裕時可採行之方式，可以監視並控制全校用電狀況，並降低超約附加費。

Q06：學校監控系統應用未來趨勢為何？

A：學校監控系統應用未來趨勢如下：

1. 監控系統不應只是一項產品，學校管理人員購買監控系統硬體與軟體，應要求提供者教導如何應用監控系統這工具，節省學校電費，提供學校的軟、硬體是開放式系統，且將管理方法與技術轉移。
2. 在系統和設備維護方面，建議使用互通性的系統，如採用 OPEN BASE PLC 及多功能錶即採用互通性產品，市面上有多種品牌可選用，業主可以依據其需求選擇適合的產品，來維護一部份的系統元件，對安裝自動化系統的建築可提供最多的保障。
3. 軟體撰寫應用之於圖控軟體架構，就好像 AUTOLISP 之於 AUTOCAD 電腦繪圖，必需是在一個人人皆可發揮之標準平台環境上發展之監控軟體，只要會使用，人人皆可撰寫軟體及維護。
4. 開始規畫電力監控系統時，可以要求建立歷史紀錄資訊，作為爾後節能運轉分析的依據。學校可委託政府相關節約能源顧問單位輔導，建立一套模式，未來學校老師可應用該系統開設研究計劃或開相關課程傳授學生。

Q07：學校監控系統應用有無成果案例？

A：以某南部地區技術學院安裝監控系統實例如下：

1. 由集合式電表、需量控制器及配件組成監控系統，校方相關單位及電機系組成能源小組，參與規劃、測試、分析，並訓練學生實習，達到教學合一之成效。

2.記錄主要大樓用電，抑低尖峰需量，減少超約附附加費，再配合校方行政管理，雖增加班級人數(約 17%)及冷氣空調負載約 100 kW，卻每年節省電費支出達 90 萬元。如圖 4-3-2 所示

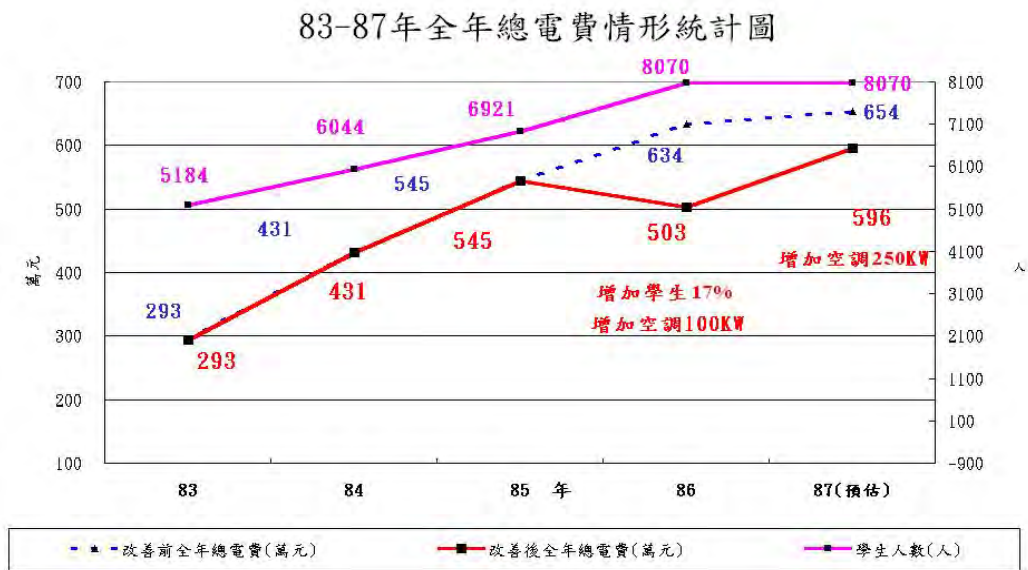


圖 4-3-2 學校監控系統應用節能

4.4 太陽能與熱泵熱水系統節能

再生能源取之不盡，用之不竭，對環境衝擊性小，屬於一種淨潔能源。經濟部為增進國內能源多元化及提升環保效益，將再生能源推廣利用列為國家重要能源政策之一。台灣位處亞熱帶地區，具有良好的太陽能源，太陽能熱水系統技術已商業化，如何有效利用，是目前推廣應用的重要項目。

熱泵系統相較於電熱水器具有能源使用效益高的優點，國外做為暖氣使用已多年，引進國內應用於熱能供應，將可有效節省電熱水器使用的電力，因此，本文就熱泵系統及其原理進行簡介，讓使用者瞭解熱泵熱水器的功能及其效益。

Q01：國內太陽能熱水系統推動狀況如何？

A：太陽熱能技術主要利用集熱器將太陽輻射能量吸收，利用熱交換形式將輻射能量轉換成有用的熱能使用。台灣地區約位於北緯 22~25.5 度之間，屬亞熱帶氣候，日射量年平均每日每平方公尺達到 3,000~4,300 仟卡 (kcal)。與世界其他地區相較，台灣太陽能資源豐沛，極為適合太陽能熱水系統應用，而台灣目前最普遍的應用，則以 100°C 以下的洗滌用太陽能熱水系統為主。

經濟部能源局為鼓勵民眾裝設太陽能熱水系統，於 89 年頒佈實施「太陽能熱水系統推廣獎勵辦法」。自推廣辦法實施以來，太陽能熱水器的設置量大幅成長，國內安裝總裝置面積已達到 107 萬平方公尺，共計有 25 萬戶使用太陽能熱水系統，普及率約 3.6%，每年新增設置用戶約達一萬餘戶。

目前國內以熱水應用為主的太陽能產業已初具基礎與規模，太陽能熱水系統製造及供應廠商共計 20 餘家，安裝銷售廠商

170 餘家，合格產品 220 餘件，產業就業人口達 1,000 人以上。目前國內太陽能熱水系統之年市場量約 8 萬平方公尺。

國內太陽熱能經過長期的發展，產業已初具基礎。目前太陽能熱水系統架設多以樓頂空間為主，為因應國內建築型態朝公寓、大廈發展的趨勢，以及突破受國內建築業景氣持續低迷的衝擊影響，從而提升產品競爭性及市場量能，產業技術發展未來將著重於提升產品應用性、開發新應用技術、提升量產技術、改善製造成本結構等策略。例如為因應綠建築應用發展趨勢，發展輕型化、建材整合化集熱器等。

Q02：太陽能熱水系統主要組成部份及功能？

A：太陽能熱水系統簡介

太陽能熱水系統係由集熱器、儲水槽、輔助加熱器及管路等四部份所組成，茲分述如下：

1.集熱器(collector)基本組成(圖 4-4-1)

吸熱板 (absorber) 表面塗上選擇性吸收膜，吸收太陽輻射能量。其上有管路導引工作流體 (一般常用水作為工作流體)，將吸熱板上所吸收之太陽熱能傳輸至使用端利用。

選擇性吸收膜 (Selective Surface Coating) 具有高吸收率、低放射率之光學特性，主要將太陽輻射能大量吸收，並降低輻射損失。

由於吸熱板吸收太陽輻射能量，集熱板表面溫度提高，為降低與表面空氣之對流損失 (或受風影響) 及熱傳導損失，因此，吸熱板上方以透明面蓋與大氣隔離；集熱器周圍及底部以保溫材料包覆，以降低熱損。

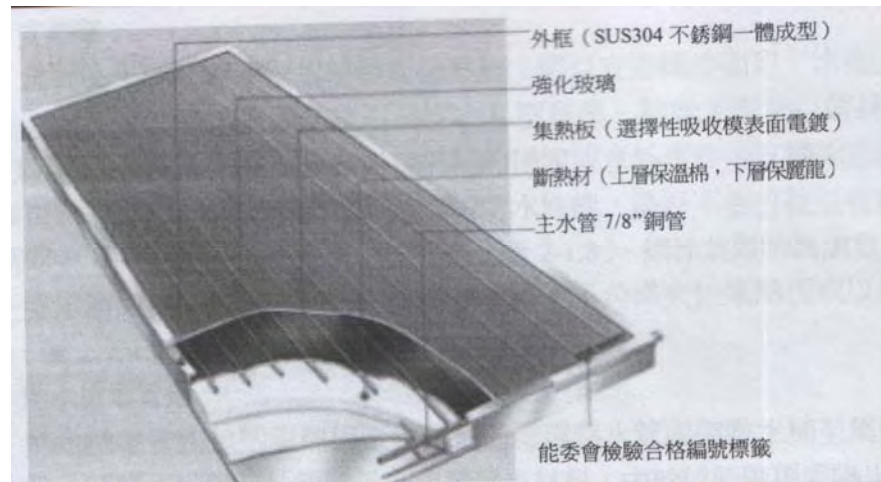


圖 4-4-1 金屬平板集熱器主要組成結構圖【5】

2. 儲熱桶 (Storage Tank)

其功能在於儲存集熱器所加熱的熱水。儲熱槽由內外桶構成，中間充滿如 PU 發泡、保麗龍等保溫材料，以防止熱量散失。儲熱桶一般依外型長寬比分為臥室與立室兩種，其結構大致相同，都是內外各一層水桶，中間填塞隔熱材料保溫，一般而言，直立桶效果較佳，但市面上多使用臥式，因結構上較易固定，外表較美觀，且不佔空間。為減少冷熱水之混合，儲水槽內亦有種種設計，如分層隔板、進水檔板及進水噴管。

3. 輔助加熱器 (Auxiliary heater)

家用熱水器一般多使用電熱棒。電熱棒安裝於最後一個出水的儲熱槽內或另外置放於一個較儲熱桶小的加熱桶內，以節省電能使用。以定時器及溫控計控制加熱時間與熱水溫度。如固定晚上洗澡用水，則將定時計設定傍晚至就寢前作用，如果當天天氣好，水溫夠，則加熱器自然不作用，因此，有了輔助加熱器，不論天氣如何，皆有充足的熱水可用，十分方便。

大型強制循環式太陽能熱水系統，大部份以鍋爐做為其輔助加熱器。

4. 管路(Piping)

包括補充熱水器冷水管與輸送熱水至用水龍頭的熱水管，熱水管路外覆保溫材料，以防散熱。

小型太陽能熱水器之管路材質有鍍鋅銅管、不銹鋼管、PU管、銅管。較常用的為銅管與 PU 管。集熱器與儲水槽之間的管路與往浴室之管路，必須要有保溫，且需要外覆材。對於自然循環系統之管路，必須避免管路先向上而後向下彎。

中大型系統之管路，通常是用鍍鋅銅管或不銹鋼管。PU 管不適用。管路要有保溫及外覆材(鋁皮、亞鉛皮、塑膠布或橡膠布)每片集熱器之冷水管與熱水管長度和，最好相等，且熱水管越短越好。至於溫水游泳池，則管路可用塑膠管。

Q03：集熱器種類

A：集熱器可分為平板式集熱器、真空管式集熱器、熱管式集熱器。

1. 平板式集熱器之集熱板形式一般為銅板銅管、銅鰭片銅管(圖 4-4-2)、不鏽鋼板管、非金屬板管(高分子化合物)等。依用途、操作溫度及設置成本之考量，透明面蓋成為非必要元件，因此，又分為有面蓋式集熱器及無面蓋式集熱器。一般非金屬平板集熱器主要由 EPDM 或 Copolymer 等製成，用於溫水游泳池。(圖 4-4-3)

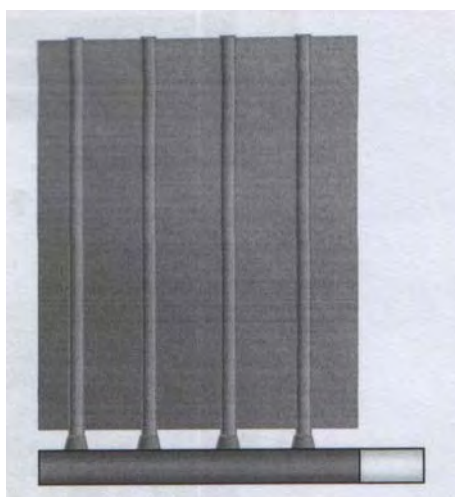


圖 4-4-2 銅鰭片銅管式金屬平板集熱器結構圖【5】



圖 4-4-3 應用於溫水游泳池之無面蓋 EPDM 式非金屬平板集熱器【5】

2.真空管集熱器之集熱板形式有玻璃管(圖 4-4-4)、銅鱗片銅管(圖 4-4-5)、銅管等。集熱板周圍以透明材(玻璃管)包覆，內部抽製成真空狀態，以降低內部空氣造成之對流熱損。由於真空管式集熱器之上下四周均為透明材，因此，有些產品配合聚光用反射板，將太陽光有效集中在集熱板上，提高收集能力。

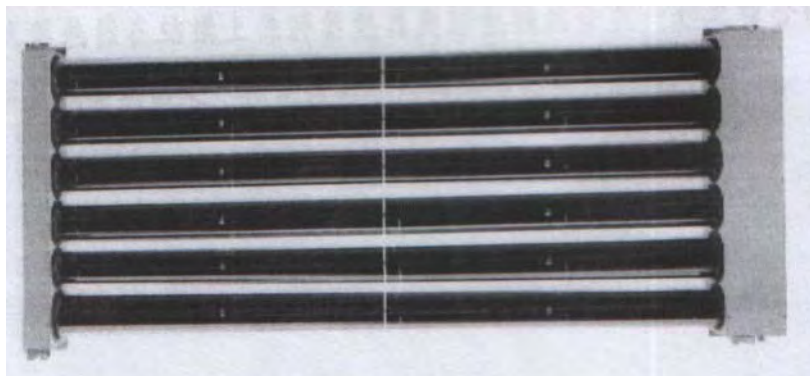


圖 4-4-4 全玻璃式真空管集熱器【5】

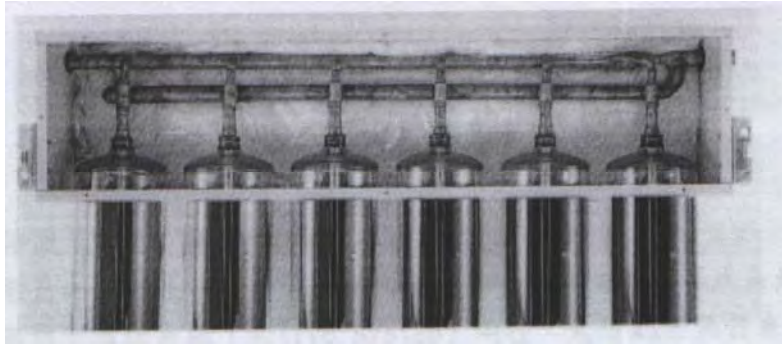


圖 4-4-5 銅鰭片銅管式真空管集熱器【5】

3.熱管式集熱器係將集熱板之導管做成熱管形式，以提昇集熱板在寒地、高山、防結垢應用方面之適用能力。因此在集熱器外型結構上有平板式熱管集熱器及真空熱管式集熱器。

Q04：太陽能熱水系統可分為幾種及其特性差異如何？

A：太陽能熱水系統依循環動力源的設計可分為：(1)自然循環式太陽能熱水系統(2)強制循環式太陽能熱水系統(3)儲置式太陽能熱水系統

(1)自然循環式 (natural-circulation) (圖 4-4-6)

這種型式儲水箱置於收集器上方，水在收集器中受太陽輻射之加熱，溫度上升，造成收集器及儲水箱中水溫之不同，而產生密度差，因此引起浮力，產生熱虹吸現象(thermosyphon)，使水在儲水箱及收集器中自然流動，由於密度差為溫度差之函數，則水流量與收集器之有用能吸收量成正比關係。

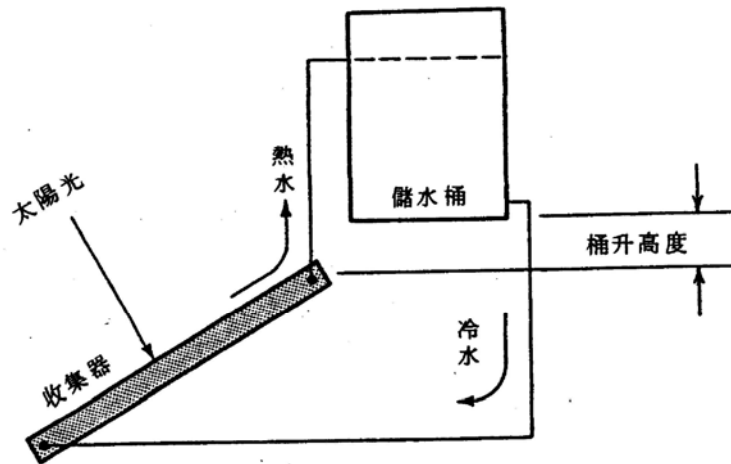


圖 4-4-6 典型的自然循環式太陽能熱水系統【12】

(2) 強制循環式 (force-circulation) (圖 4-4-7)

這種熱水系統利用水泵使水在收集器與儲水箱之間循環，當收集器頂端水溫高於儲水箱底部水溫若干度時，控制裝置啟動水泵使水流動，水泵入口處裝設止回閥(check valve)以防止夜間水由收集器逆流，引起熱損失；這種型式之熱水系統之流量已知(由水泵之流量可知)，容易預測性能，及若干時間內之加熱水量，同時在同樣設計條件下，較自然循環式可得較高溫度之水；但是，因為必須利用水泵，而有水泵電力、維護(如漏水等)以及控制裝置啟停時容易損壞水泵等問題存在，因此，除大型熱水系統或需要較高水溫時需利用強制循環型外，大多採用自然循環型熱水系統。

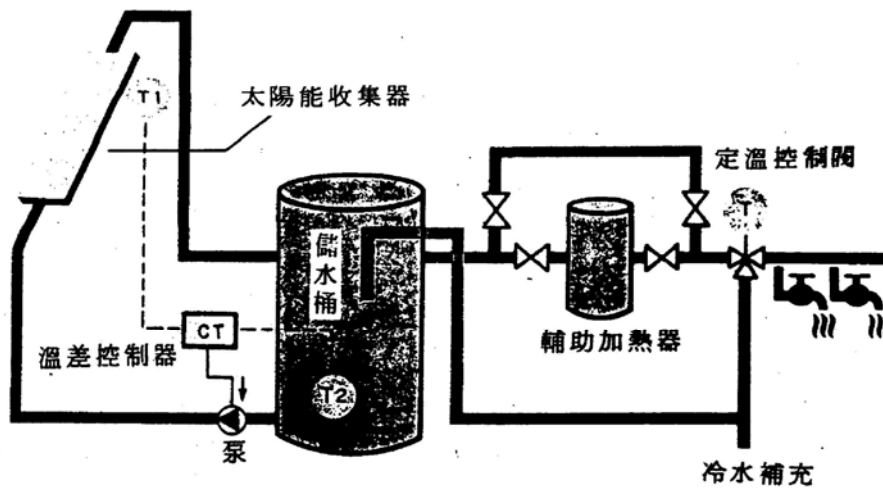


圖 4-4-7 強制循環式太陽能熱水系統示意圖【12】

(補助熱源置於至負載之管路上)

(3) 儲置式 (batch 或 integrated) (圖 4-4-8)

這種太陽能熱水系統的基本結構及設計構想都是最簡單的，其特點在吸熱裝置與儲熱裝置是合為一體的。由於毋需儲熱桶的費用，又無需設計傳熱管、鰭片的考慮，故製造成本局低得多。

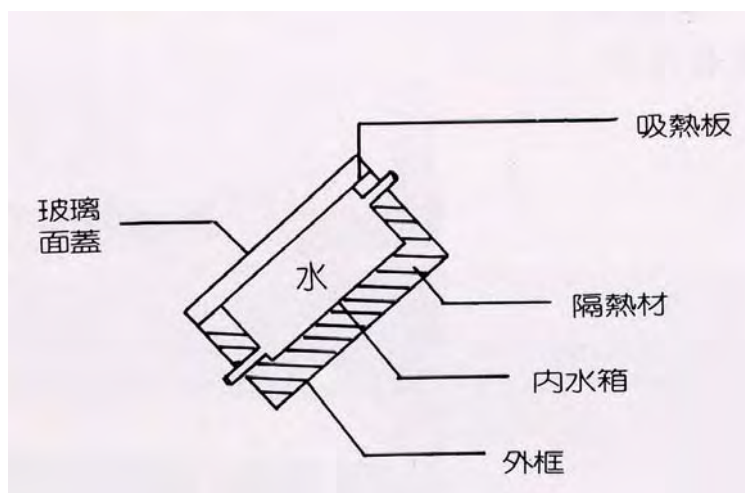


圖 4-4-8 儲置式太陽能熱水系統【6】

在日本，太陽能熱水器的普及率是 11 %，而以色列更達到

80 %，相對於國內的 3 %左右的使用率，實是相差甚遠。因此，此產品在國內仍深具潛力，值得多加開發。

Q05：太陽能熱水系統設計注意事項為何？

A：1.系統設計條件：

(1)用水量與水溫

家用洗澡用水

男生：每人 50 °C 水 50 公升

女生：每人 50 °C 水 80 公升

宿舍用水：每人 50 °C 水 80 公升

(2)容水量與太陽能集熱面積之比值

儲水桶容水量與太陽能集熱面積之比值為

$V/A = \text{儲水桶容水量} / \text{太陽能集熱面積}$ (公升/平方公尺)

自然循環式 $V/A = 50 \sim 80$

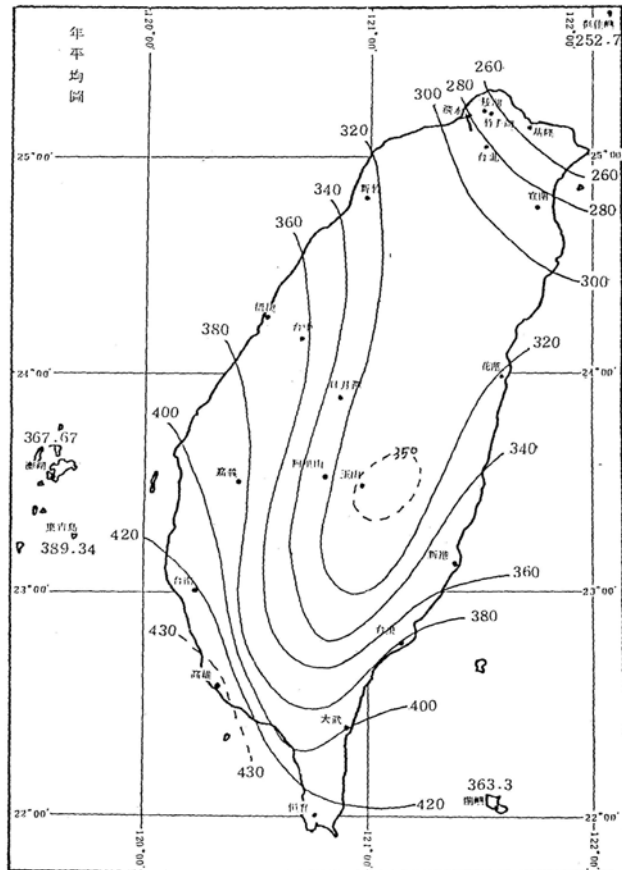
強制循環式 $V/A = 70 \sim 100$

由於安裝地點及使用集熱器效率的不同，上述 V/A 值將有所變化。

2.安裝要點

(1)日照條件

圖 4-4-9 所示為台灣地區全天日射量分佈圖，由圖中可以看出台灣地區的太陽能日射量介於 260~430 Langley/day，中南部地區的日射量是北部的 1.2~1.5 倍。



(單位: Langley /day)

圖 4-4-9 台灣地區全天日射量分佈圖【15】

(2)安裝要點

A.方位：

在台灣，安裝時集熱器必須面向正南方。

B.傾斜角 θ ：

強制式：全年使用

θ = 緯度 著重冬天使用

θ = 緯度 + 5 ~ 10 度 自然循環式：

θ = 25 ~ 30 度

C.遮蔭：

不要被屋頂女兒牆、附近建築物及前排集熱器給遮蔭。

- D.安裝自然循環式熱水器的管路不能有先向上而後向下的管路，以避免氣堵。
- E.補充冷水管，若是從儲水桶頂端沖下來，必須用導管引到桶底。
- F.太陽能熱水系統的管路，往浴室的管路，必須要有保溫層及外覆材。外覆材，可以利用鋁皮、亞鉛皮或塑膠布。
- G.強制式，每片集熱器之冷水管和熱水管長度總和，必須相等，且熱水管愈短愈好。
- H.強制式，排氣閥必須裝在每排集熱器最後一個熱水出口處和全系統最高處。
- I.管路與集熱器連接處，必須做好防水、防風砂之措施，以免雨水、水氣、風砂吃進吸收板縮短壽命。安裝後，必須注意有無漏水。
- J.若太陽能熱水輔助加熱器則必須注意下列各項：
- (a)輔助加熱器若為電熱水器，或水槽電加熱器，則必須要有漏電斷路器和溫控器等裝置以免漏電或電熱器燒壞。
 - (b)輔助加熱器若為鍋爐，則要注意太陽能儲水槽到鍋爐的流量及太陽能儲水槽補充水流量，必須各別足夠供應鍋爐的用水流量，以免鍋爐發生爆炸。
 - (c)施工時，必須告訴安裝的廠商，安裝地點的水壓情形，如果水壓不夠，要有補救措施。
 - (d)太陽能熱水系統宜遠離冷水塔，以防冷卻水塔水噴到或被風吹到集熱器，會造成玻璃鈣化不透明，集熱器框腐蝕，縮短使用年限。

(3)水質處理

家用太陽能熱水系統設置使用之前，對水質成分進行了了解，對於地下水用戶或水質差的地區；應適當選擇元件或適當型式之太陽能熱水器，即降低不良水質造成之影響。

(4)集熱器性能

集熱器之性能曲線

根據 ASHREA 93-77 之標準，一片集熱器之性能曲線方程式為

$$\eta = (F_R \tau \alpha) - (F_R U_L)(T_i - T_a) / I$$

式中 $F_R \tau \alpha$: 集熱器之吸收係數愈大，效率愈高

$F_R U_L$: : 集熱器之散熱係數愈小，散熱愈小，相對地效率愈高。

T_i : 集熱器之進口水溫，一般而言以當地的水溫為進口水溫，一年平均比大氣溫度略高 1~2

T_a : 大氣溫度

I : 瞬間日射量

若以 η 為縱座標，以 $(T_i - T_a) / I$ 為橫座標，則可得集熱器之性能曲線，如下圖 4-4-10 集熱效率-性能效率曲線

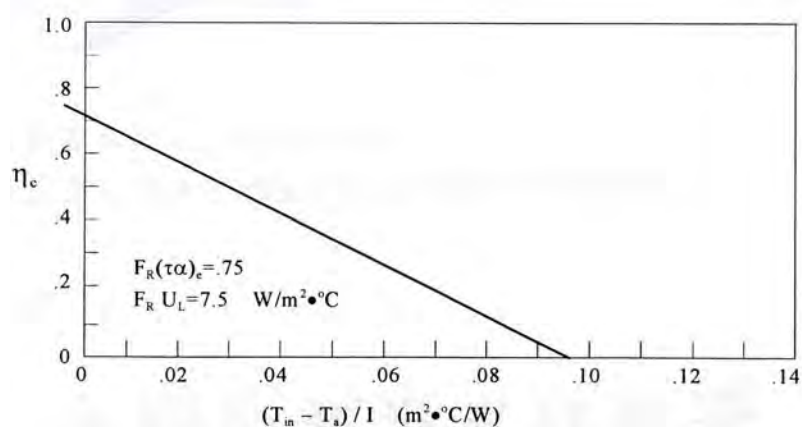


圖 4-4-10 熱傳效率性能效率曲線圖

(5)強制系統溫差設定

可分成溫差控制，補充冷水控制及補助電熱器控制。

(a)溫差控制器：有二感溫器，一為高溫側，置於一排最後一片集熱器之上端吸熱板上或熱水出口處。另一為低溫側，至於除水桶下端內或水桶底端之外側上，當集熱器高溫側之溫度比低溫側之溫度高出設定溫度時(5~10 °C)即啟動泵浦。當溫差低於設定溫度(通常為 1 °C)時，即停止泵浦之裝置。

(b)補充冷水控制：分密閉式與開放式。

密閉式：藉補充冷水塔之壓力逼壓熱水出去。此等系統儲水槽之壁厚較厚，冷水塔不太高。

開放式：藉著雙浮球、三極水位計來控制進水及停止進水。亦有單浮球，隨水位高低而進不同流量之水。

(c) 補助電熱器

強制循環系統，都用於大型系統，儲水槽較大。當水溫不夠時，一般是銜接至鍋爐(燃油鍋爐或瓦斯鍋爐)。

Q06：太陽能熱水系統如何保養維修？

A：1.定期檢修：應定期至屋頂檢查系統外觀情形，如有漏水、玻璃面蓋破裂或面蓋發燙(表示有阻塞)，應立即通知廠商檢修。

2.定期保養

定期(至少每月一次)清洗集熱器面蓋落塵，排放集熱器(金屬型)和儲熱桶底堆積雜質與水垢。

Q07：太陽能熱水系統操作使用注意事項如何？

A：1.集熱器表面溫度或背面溫度過高，表示儲熱桶溫度已經到達很高或管路阻塞，應檢查儲熱桶水溫是否已否達 60°C~70°C，如未達此溫度，應檢修管路。

2.應注意補助加熱能源使用情形，如能源使用量不合理的增

加，需檢查輔助加熱器動作時間及設定溫度；大型系統檢查泵浦及控制開關是否正常運作。

Q08：太陽能實際應用情形如何？

A：各級學校太陽能實際應用主要為供應教職員及學生宿舍熱水，已有各各級學校已先後裝設太陽能熱水系統。

Q09：熱泵熱水系統原理及性能如何？

A：熱泵這個名詞，對於一般民眾而言，較為生疏，其實它就是我們經常使用的冷氣機，主要的差別，冷氣機的需求端是冷能，而熱泵的需求端是熱能。

冷氣機可以說是一部移熱裝置，把熱能從一個地方(冷氣房)移到另一個地方(大氣)，當然這個移動熱能的作用，需要借助電能才會發生。就好像是我們家裡所用的水泵，一通電後，會將水從一個地方(一樓自來水池)送到另一個地方(樓頂水塔)一樣。只是冷氣機所搬動的是熱能而已，所以冷氣機的學名又稱為熱泵，移動的熱能可以是以熱氣來傳遞，也可以是以熱水來傳遞。

冷氣機主要是由壓縮機及一些熱交換器組成，其內充灌冷媒。冷氣機通電後會從空氣吸取熱量，使空氣降溫，這便產生了冷氣。冷氣機也會往外面排出熱氣，由自然界的能量不減原理，這些熱氣的能量(Q3)，會等於輸入冷氣機的電能(Q2)加上從冷氣房所吸取的熱量(Q1)，即 $Q3=Q1+Q2$ 。熱氣能量(Q3)會高於輸入電力(Q2)的好幾倍(約二到四倍)。

冷媒在循環盤管內受壓縮機之力而流動。在膨脹閥後冷媒突然由高壓液體狀態變成低壓，在蒸發器內蒸發為氣體，吸收大量的熱，將通過蒸發器之空氣降溫，也將空氣中的熱帶到冷媒中。當冷媒氣體繼續前進經過壓縮機加壓時會產生高溫。經由冷凝

器之作用,會將室溫冷水 (21°C) 加熱到 60°C 熱水 (Q_H),此熱水之能量係由原來蒸發器取自空氣中之熱量 (Q_L) 以及壓縮機 (W_e) 做功所耗之電能而來.故其產生之熱量較單純之電能高好幾倍同時,因為經過蒸發器之空氣能量被取走,隨之所得之冷空氣亦可做為降溫空調之用.熱泵系統如圖 4-4-11 所示。

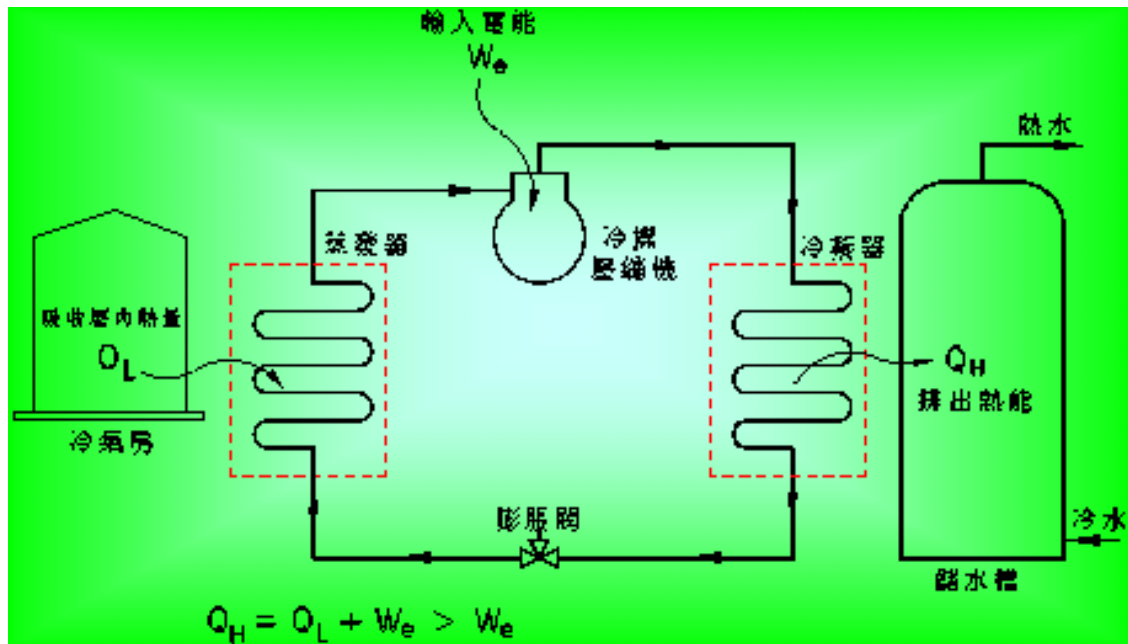


圖 4-4-11 熱泵系統示意圖【7】

熱泵的能源使用效率以熱泵成績係數(C.O.P.)表示，其定義為熱泵成績係數(C.O.P.)= 熱氣能量(Q_H)/ 電能(W_e)

熱泵的分類，以其使用介質的不同，可分為水對水、水對空氣、空氣對空氣、空氣對水等四種類型。

Q10：熱泵系統設計方法如何？

A：1.熱源需求溫度：熱泵熱水器受限於壓縮機吐出口溫度的限制，因此其所能供應的熱水溫度並無法加熱到太高的溫度，除非採用特殊的壓縮機，一般熱泵所能供應的溫度上限約為 70~80 °C。如需求溫度較高時，可利用熱泵做為預熱，再與其他輔

助加熱器加熱到所需的溫度。

2.能源效率：熱泵能源效率值以下式表示：

$$\text{熱泵成績係數(C.O.P.)} = \frac{\text{熱氣能量}(Q_H)}{\text{電能}(W_e)} \propto \frac{T_H}{T_H - T_L}$$

T_H 表示冷凝器溫度(對應於熱源需求溫度)

T_L 表示蒸發器溫度(對應於外界環境溫度)

當熱源需求溫度愈高時，能源使用效率愈低；外界環境溫度愈低時，能源使用效率降低。因此，有效的將蒸發器所產生的冷能帶走，將可促進系統能源使用效率的提升。

3.能源有效利用的整體設計

熱泵一端提供熱能，一端提供冷能，如能結合此種特性配合適當的應用場所，其能源效益，將可發揮到最高。例如：有一個房間需要冷氣的供應，而有一個房間需要暖氣的供應，將熱泵的熱源供應端置於暖氣房，吸熱端置於冷氣房，則可達雙重效益。

Q11：熱泵系統保養維修如何？

A：熱泵其組成元件為壓縮機、蒸發器、冷凝器及膨脹閥，即為冷氣機，其保養維修與冷氣機相似，主要的項目為蒸發器、冷凝器的清洗及冷媒的填充。

Q12：熱泵熱水操作使用注意事項如何？

A：1.蒸發器(吸熱端)：熱泵熱水器於使用時必須注意蒸發器側必須保持空氣或水的流通，如空氣或水未流通，將造成能源使用效率降低，更甚者，將會造成蒸發器結冰現象。

2.冷凝器(供熱端)：有效的增進供熱端的空氣或者水的流動，將可加速能量的取得，輔助加熱裝置如設於供熱端的儲水槽內

時，其設定溫度不宜過高，否則熱泵冷凝器溫度過高，除降低能源效率外，更甚者高壓保護開關啟動，熱泵將會停止運轉。

Q13：熱泵實際應用情形如何？

A：各級學校熱泵實際應用主要為供應教職員及學生宿舍熱水、室內游泳池熱水及空調。

4.5 空調系統節能

Q01：空調系統為何？

A：空調系統依其構造可分為中央空調、獨立式空調與儲冰式空調等，隨著其系統運轉循環概略可分冷媒循環系統、冰水循環系統與冷凝水循環系統。

1.冷媒循環系統

冷媒系統可分為壓縮機、蒸發器、冷凝器與節流閥等四大元件，其主要原理如圖 4-5-1 冷媒在蒸發器中吸收熱量汽化為低壓過熱蒸汽(B-C')經由壓縮機壓縮為高溫高壓蒸汽(C'-D')，壓縮機吐出後的冷媒被送至冷凝器冷凝降溫為常溫液態冷媒(D'-A)並經由節流閥降壓(A-B)後送至蒸發器吸熱即完成一個冷凍循環。

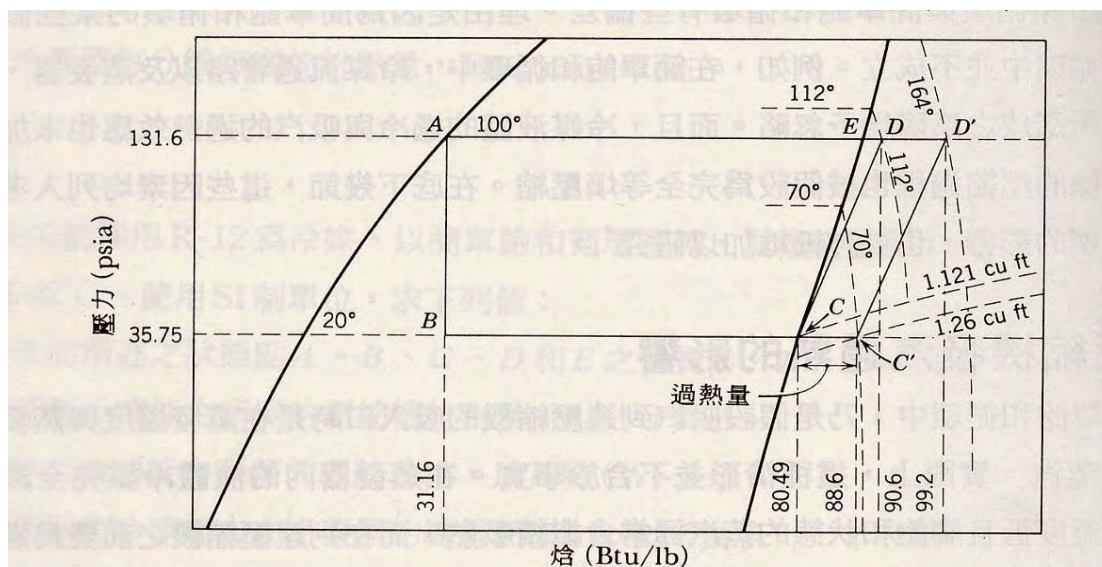


圖 4-5-1 冷媒循環圖【8】

(1)壓縮機

壓縮機依壓縮型式可分為往復式、渦捲式與離心式等，其中往復式和螺旋式屬於正排量式(reciprocating displacement)壓縮機，冷媒蒸汽藉由壓縮的機械元件達成壓縮目的。在往復式

壓縮機中壓縮的機械元件是指活塞(piston)；而在迴轉式壓縮機中，壓縮的機械元件可能為轉子(roller)、螺紋與渦卷(scroll)所構成。而離心式壓縮機藉由高速旋轉的葉輪(impeller)提供離心力進而造成壓縮效果。

三種不同型式的壓縮機在其應用的領域上各有其優點，依系統大小和特性及冷媒的種類來選擇不同的壓縮機。

(2)蒸發器

蒸發器是一種熱交換器，冷媒液體在其上蒸發，而把熱從冷房或冰水中移走，蒸發器有三種主要的構造(a)裸管式(b)平板式(c)鰭片式。裸管式及平板式有時被歸類為原始表面蒸發器，因其表面均與冷媒接觸，在鰭片式蒸發器中，冷媒管是原始表面且鰭片不與冷媒接觸，為二次熱交換面，將空氣或水中的熱量傳至冷媒中。

(3)冷凝器

冷凝器與蒸發器一般，係一熱傳表面，熱由熱冷媒蒸汽經由經由冷凝器壁面傳至水或空氣等熱傳媒界，冷媒蒸汽先冷卻至飽和狀態後凝結成液態。

冷凝器一般分為三種(a)氣冷式(air-cooled)(b)水冷式(water-cooled)(c)蒸發式(evaporative)。氣冷式冷凝器以空氣當作冷凝媒介，而水冷式冷凝器以冷卻水當作冷凝媒介。無論水冷式或氣冷式冷凝器，熱皆由凝結之冷媒傳出，使作為冷凝媒介的水或空氣溫度上升。

蒸發式冷凝器同時使用空氣與水，雖然空氣流經冷凝器時，其溫度略增，但冷凝氣內之冷媒之凝結主要的原因乃是由噴灑在冷凝器上之水蒸發吸熱所致。空氣的作用為帶走由蒸發

過程中產生之水汽，提高蒸發率。

(4)節流器

節流器又稱冷媒流量控制器可分為(a)手動膨脹閥(b)自動膨脹閥(c)感溫式膨脹閥(d)毛細管(e)低壓浮球閥(f)高壓浮球閥等六種基本型態。

無論是哪種冷媒流量控制設備，其功能為(a)調整冷媒進入蒸發器之流量，使進入蒸發器的冷媒流體流量等於冷媒液體在蒸發器蒸發的量。(b)維持系統高低壓側壓差，即達到冷媒液體在蒸發器蒸發所需要低壓壓力，以及冷媒在冷凝器所需要的高壓壓力。

2.冰水循環系統

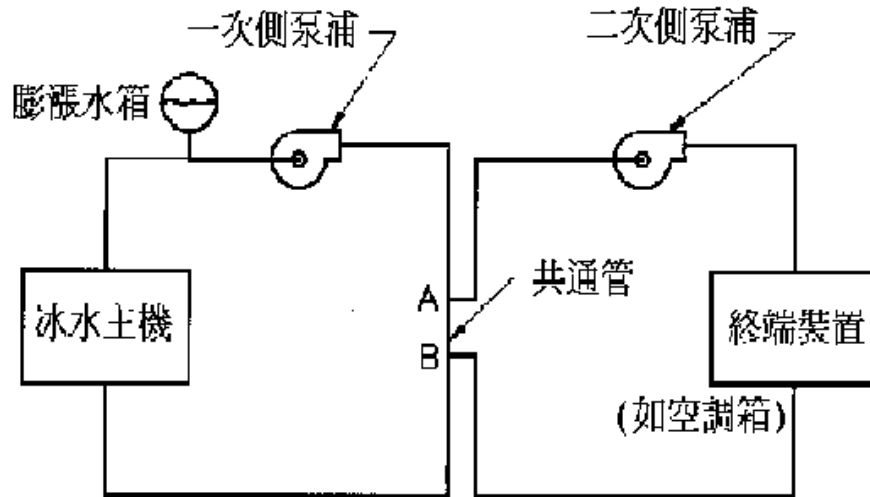
利用泵浦驅動冰水管路中之工作流體，使工作流體流經冰水機降溫後，再將其輸送至各個空調箱或者風盤管提供冷能完成熱交換，系統包含泵浦、管路以及各類管件，各種控制閥、平衡閥等。

在大型空調系統，常使用一次側/二次側冰水循環系統，如圖 4-5-2 所示，它是由一次側泵浦及二次側泵浦結合而成，一次側泵浦主要提供冰水主機側之循環水量，二次側泵浦則提供終端裝置側(空調箱)之循環水量，一次側與二次側間以共通管聯結，其雖聯結但一次側及二次側循環系統是完全獨立的，共通管設計配置優劣，會影響一次側及二次側循環系統是否能完全獨立運轉互不干擾，所以需非常注意，其要訣就是共通管越短越好，越大越佳，將共通管壓損降至最低，共通管上面不得有任何閥或逆止閥，如此我們可將共通管視為零壓降，那一次側及二次側循環系統就可視為完全獨立。

一次側/二次側冰水循環系統有下列優點：

- (1)依負載需求，調整並提供二次側不同水溫之水。
- (2)因一次側及二次側循環系統完全獨立，在大型系統之操作、控制及分析上，較為容易，系統完全獨立，也可以避免一次側及二次側泵浦串並聯發生。

一次側及二次側冰水循環系統，可設計為完全不同的水流特性，例如二次側冰水循環系統可設計成比例二通閥控制之變流量，以節省能源且較易控制，一次側設計成定流量系統，以防止冰水器結冰。



4-5-2 一次側/二次側冰水循環系統【9】

3.冷卻水循環

冷卻水循環主要利用泵浦驅動冷卻水至冰水機帶走冷凝器的熱量，並藉由冷卻水將熱量帶至冷卻水塔，應用空氣帶走水塔中冷凝水的熱量達到散熱的效果。

Q02：空調系統負載分析方法為何？

A：1.國內氣候環境條件對空調負荷之影響

台灣地屬於海島型亞熱帶氣候區，氣候熱且濕，學校為求

得環境之舒適性，空調用電日益增加。圖 4-5-3 為台灣北、中、南各地區之每月平均氣溫。

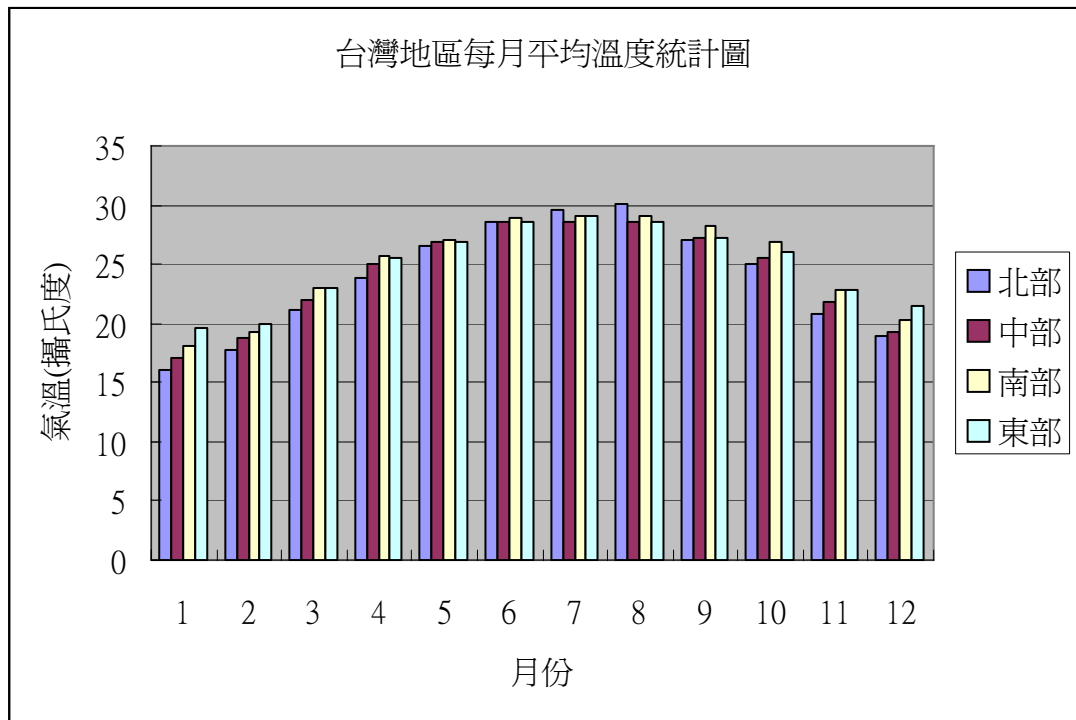


圖 4-5-3 臺灣地區 91 年每月氣溫分佈【10】

分佈圖，圖中可見夏季 7、8 月北部平均氣溫較南部高，但在冬季時南部氣溫皆比北部地區高。太陽日照亦會影響空調耗能，直接射入室內之輻射會造成空調負荷，陽光照到外牆使外牆表面溫度上升，亦是主要空調負荷。

2. 學校之空調負荷來源

學校之空調負荷可從以下數方面來討論：

- (1) 建築外殼部份最大之負荷為教室之玻璃，如有輻射照入會形成大量之熱負荷，尤其是面南或面西之教室。
- (2) 室內主要空調負荷部份包括照明、電器(電視、音響)產品插座耗電約 30 %，教室之照度多為較高，耗電約為 20 W/m² 或更高。

(3)各教室空調負荷隨課堂變化。

(4)經由窗引入之外氣進入及空調箱引入，故外氣量之變化與人員負荷同，亦造成負荷之變化。

Q03：中央空調系統中冰水主機節能方法為何？

A：冰水主機在中央空調系統中之耗能佔有相當大的比例，維持其在高效率下運轉也就顯得特別重要。因此，冰水機的節能方式如：

1.應採用高效率之主機以減少耗電，表 4-5-1 為我國空調系統冰水主機能源效率標準。

表 4-5-1 空調系統冰水主機能源效率標準

| 執行階段 | | 第一階段 | | 第二階段 | | |
|------|------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|---------------|------|
| 實施日期 | | 民國九十二年一月一日 | | 民國九十四年一月一日 | | |
| 型 式 | 冷卻能力等級 | 能源效率比 值(EER) kcal/h-W | 性能係數 (COP) | 能源效率比 值(EER) kcal/h-W | 性能係數 (COP) | |
| 水冷式 | 容積式 壓縮機 | <150RT | 3.50 | 4.07 | 3.83 | 4.45 |
| | | ≥ 150RT ≤ 500RT | 3.60 | 4.19 | 4.21 | 4.90 |
| | | >500RT | 4.00 | 4.65 | 4.73 | 5.50 |
| | 離心式 壓縮機 | <150RT | 4.30 | 5.00 | 4.30 | 5.00 |
| | | ≥ 150RT <300RT | 4.77 | 5.55 | 4.77 | 5.55 |
| | | ≥ 300RT | 4.77 | 5.55 | 5.25 | 6.10 |
| 冷氣式 | 全機種 | 2.40 | 2.79 | 2.40 | 2.79 | |

註：

- 1.冰水機能源效率比值(EER)依 CNS12575 容積式冰水機組及 CNS12812 離心式冰水機組規定試驗之冷卻能力(Kcal/h)除以規定試驗之冷卻消耗電功率(W),測試所得能源效率比值不得小於上表標準值，另廠商於產品上之標示值與測試值誤差應在百分之五以內。_
- 2.性能係數(COP)=冷卻能力(W)÷冷卻消耗電功率(W)=1.163EER。1 RT(冷凍噸)=3024Kcal/h
- 2.考慮選擇有變頻控制轉速功能之主機，而非使用傳統改變進口導流葉片角度來配合負載的方式，增加部份負載時之效率。
- 3.考慮其滿載時之效率和部份負載的運轉效率。適當地調整冰水主機冰水之設定溫度，每 1.0 °C 會影響約 3 % 之效率，如圖 4-5-4。
- 4.冷卻水入口溫度應在符合冰水機特性及外氣濕球溫度的限制下，儘可能地降低。
- 5.冷卻水或冰水水質的管理，避免熱交換器結垢影響熱傳效

率，定期清洗熱交換器，污垢會影響主機效率達 20 % 以上。

5. 利用負載控制器(Load Controller)適當地調配冰水機組運轉台數來適應空調負載變化，使每部主機在最佳效率下運轉，避免起動過多的冰水機，而使得冰水機反而在低負載下運轉，如圖 4-5-5 所示。

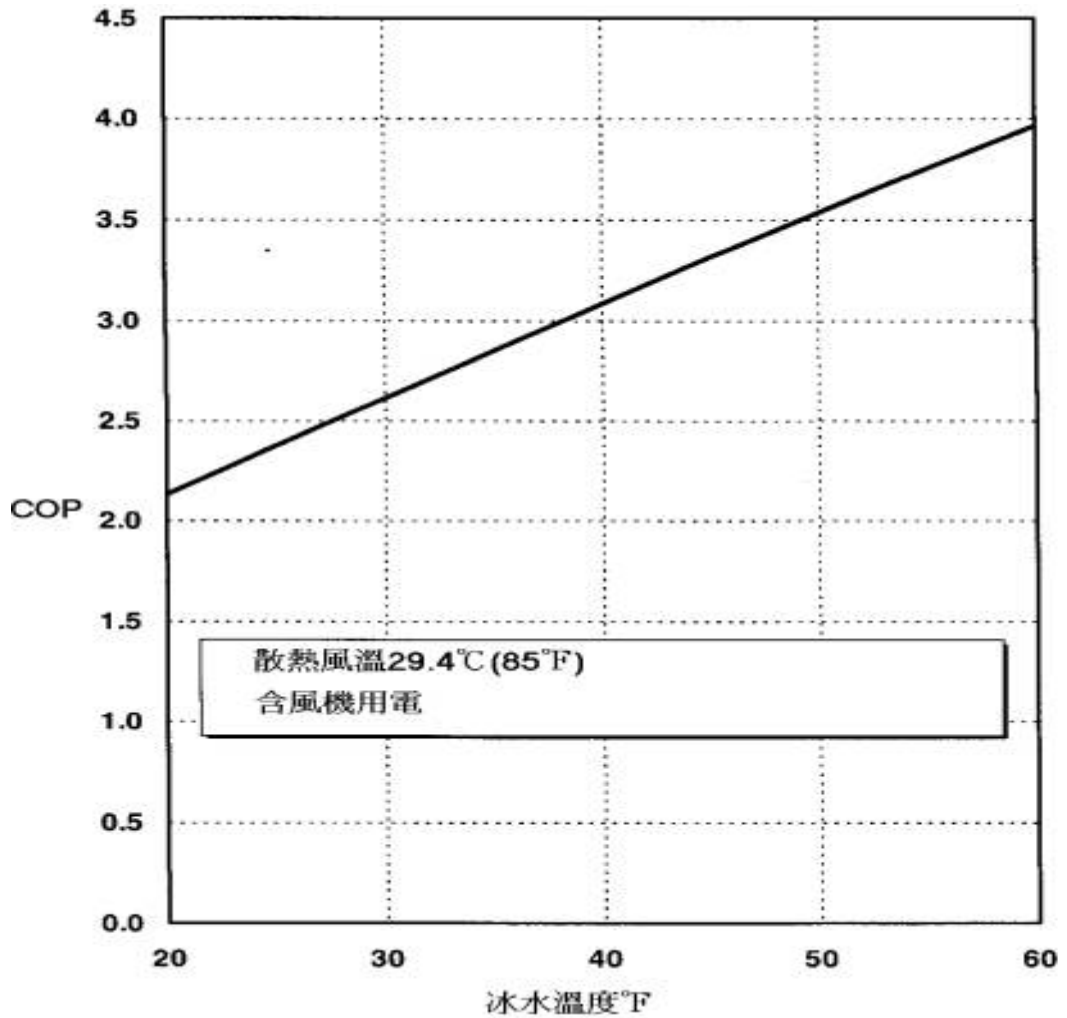


圖 4-5-4 冰水機效率對冰水溫度關係【11】

壓縮機容機之控制

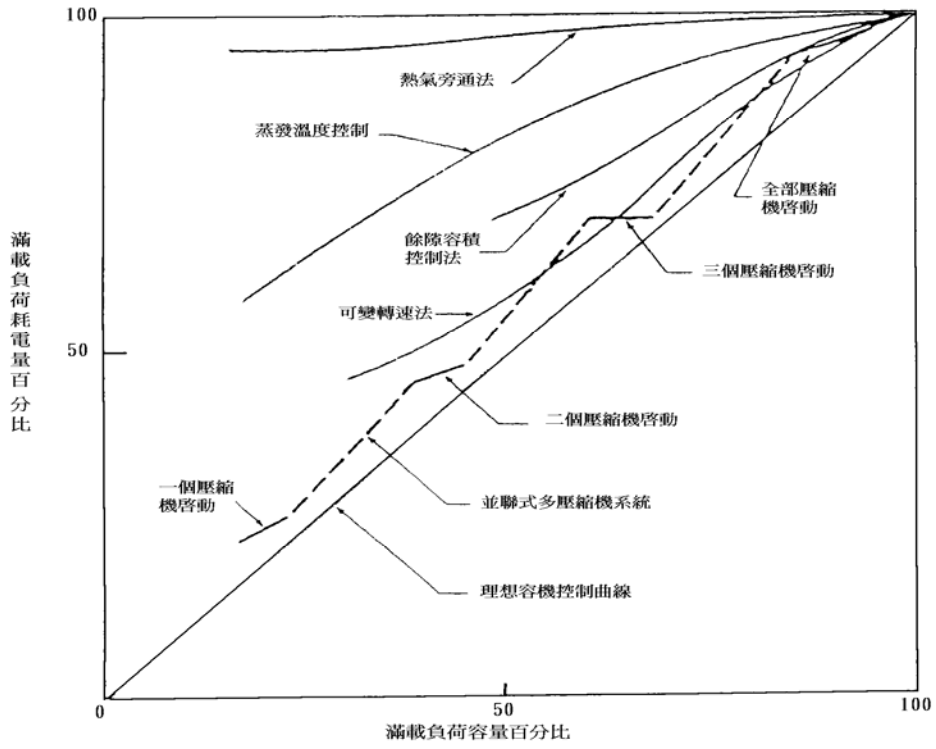


圖 4-5-5 壓縮機的容量控制圖【11】

Q04：中央空調系統中空氣側節能方法為何？

A：1.定風量系統

送風系統的品質非僅由送風機就能決定，其系統設計及控制策略亦為重要關鍵，以提供均衡的風量及維持空氣的衛生與健康條件。送風系統之耗能甚大，裝置之電力可達空調總裝置電力之 25%，但是，送風系統因運轉時間長，故實際耗電比裝置比例大，不得不給予重視。簡單而言，可將送風系統分成兩種來討論。

(1)風機盤管型

如圖 4-5-6 所示，風機盤管內主要有一個風機和一個盤管，風機為送風之動力，而盤管為熱交換器。風機盤管設置在室內牆角或置於天花板上，由主機房冰水主機所產生之冰水經送水系統將冰水送至風機盤管，流入盤管，風流經盤管而被冷卻產生冷氣效果。盤管應設有外氣口，另以風管送外氣至室內，對風機盤管而言，其之送風距離短，外氣一般而言只有送風量之 20%，故使用風機盤管會有較低之送風耗能。

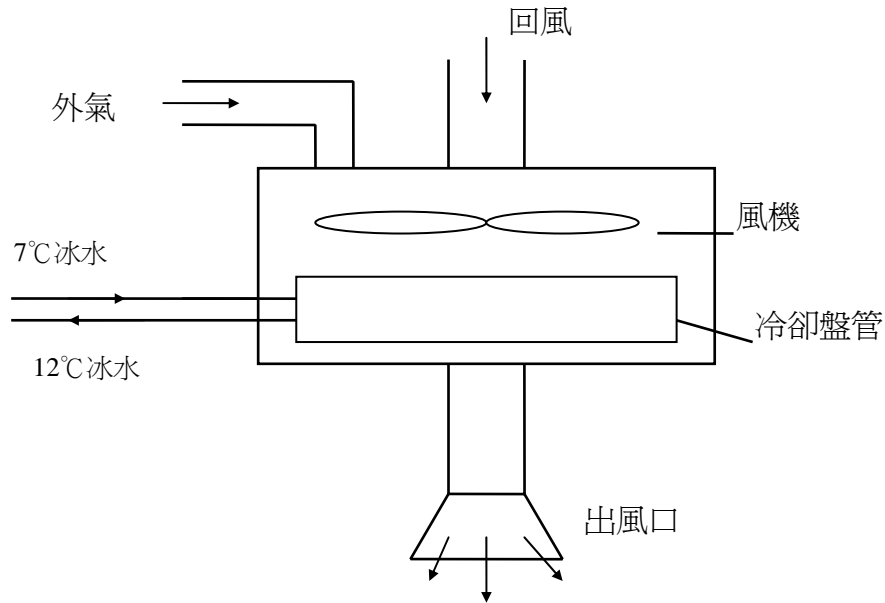


圖 4-5-6 風盤系統構造圖【13】

一般而言，風機盤管之風車有三速控制，可用約 50 %、75 % 及 100 % 之風量操作。為進一步節約能源，馬達可裝置無段變速控制，進行 30-100 % 之風量控制，此外並可增加空調之溫度及舒適度控制效果。

(2) 全空氣系統

另一種常用的空調送風系統為全空氣系統，冰水主機所製造的冰水不直接送到室內，而是送到每層樓(或兩層以上共用一個機械房)的機械房，由機械房內之空調箱將空氣冷卻再送回室內。這種空調方式的優點為：

- a. 空氣較集中處理，可獲得較佳之空調品質，如溫濕度控制、清淨度等。
- b. 設備集中，較易維護。其缺點為風管較長，送風耗能大。解決耗能的方法為使用 VAV 空調系統，其可節省大量的送風耗能。

2. 可變風量系統

單以控制冰水流量無法有效節約能源，如能與主機容量配合將送風量減少，就可減少送風耗能，即所謂之可變風量系統 (Variable Air Volume, VAV)。VAV 終端箱之設計有許多種類，以 VAV 的功能而言，可由圖 4-5-7 作簡略的說明

- a. 冷房內恆溫器感測到室溫升高時，驅使 VAV 終端箱將風門開啟的範圍加大，以讓更多的空氣進入室內。
- b. 由於風門大開，流出主風管之流量大，造成風管內空氣靜壓降低。接收控制器獲得壓力訊息後便控制風扇的轉速，以增加空調箱空氣的吸入，補充負荷增加所需要的冷空氣。
- c. 在 b 動作的同時，接收器 RCI 因感測到風管內溫度升高所傳來的訊息，一方面打開風門開啟的程度，另一方面則參考戶外的溫度，重新調整並由冰水機供應較多之冰水量，以適時降低空氣溫度。

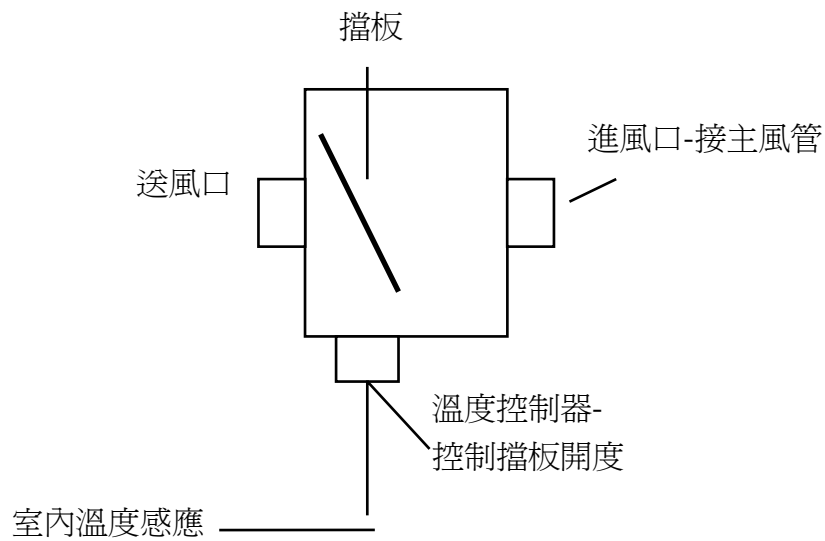


圖 4-5-7 VAV 終端箱之設計【13】

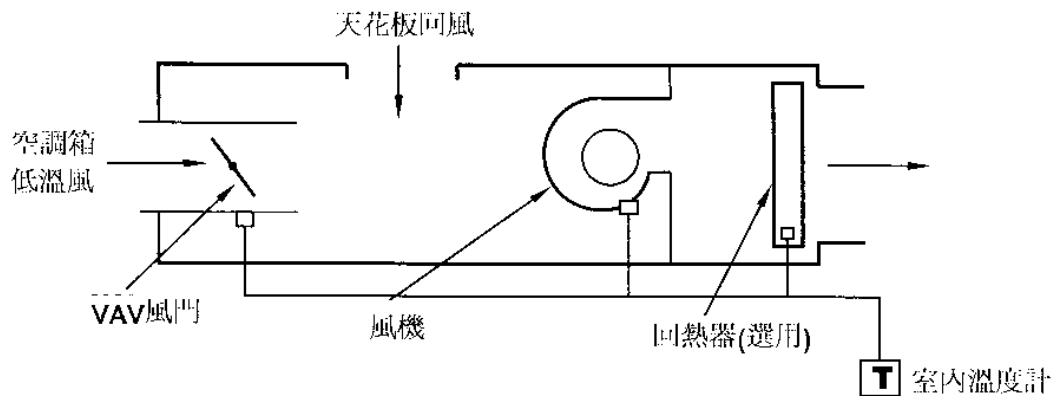


圖 4-5-8 以風機提升室內空氣流動量之 VAV 終端箱【13】

圖 4-5-8 為另一種設計，增加一風機以提高室內空氣之流動量。設計要點為變化送風量來控制室溫，室內溫度計所量測到的溫度與設定溫度作比較，室溫較高時將擋板開度加大，提高冷氣效果，反之將擋板開度關小。由於在此系統中，分別於室內及風管內設置溫度感測器，因此可依據不同空間的冷房負荷

作調節用，以達到多區域(multi-zone)溫度控制的要求。可變流量式的空調系統在元件上多了一些溫控及控制流量的風門，構造上顯然比單區域式的複雜，所以造價也稍高。

3. 外氣節能利用：

(1)夏季外氣預冷

外氣與室內空氣之熱值(熱焓)差異很大，外氣在 32 °C 70 % RH 時，其之熱焓為 20.6 kcal/kg，室內空氣在 26 °C 50 % RH 時，其之熱焓為 12.6 kcal/kg。尤其是夏季之尖峰，室內外空氣的熱焓之差異更大，引入外氣會造成很大的負載，甚至高達 30 %之多。

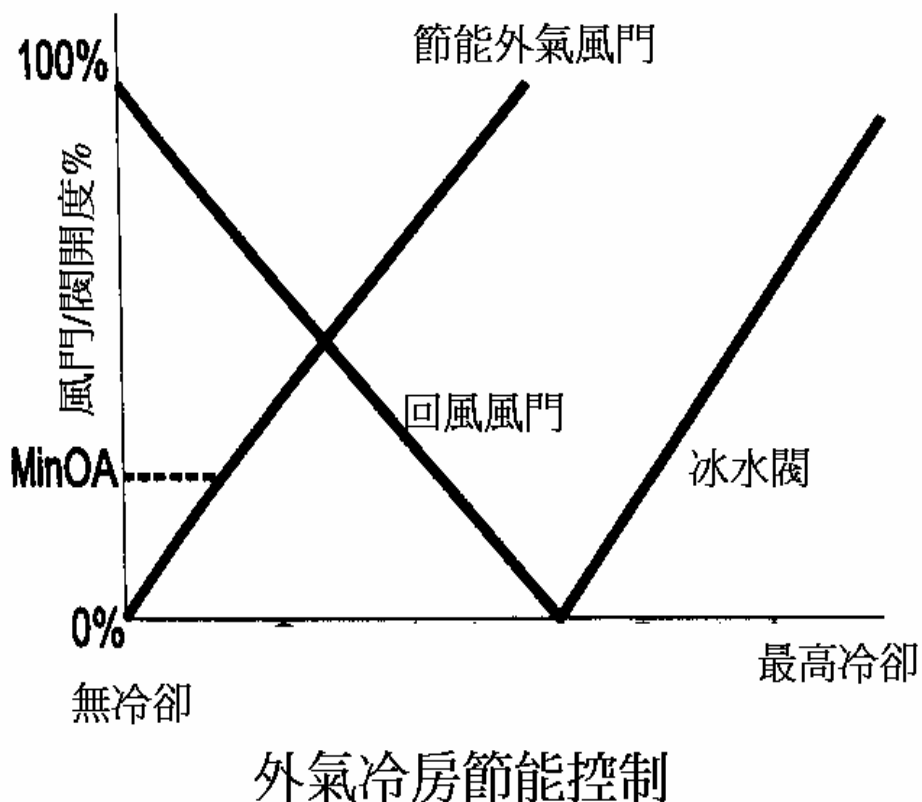
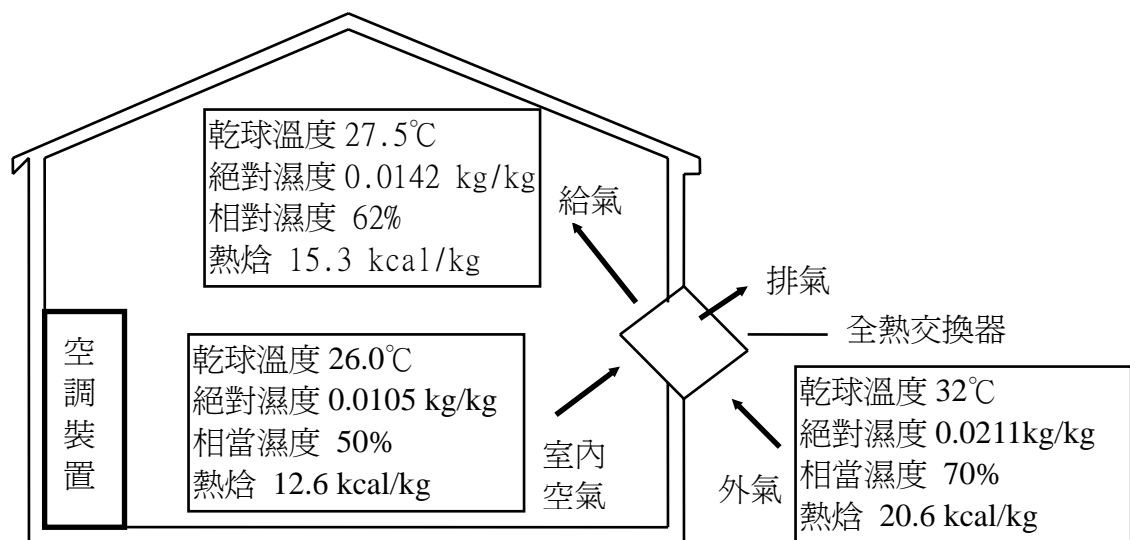


圖 4-5-9 外氣冷房之節能控制【13】

室內與室外之空氣有很大之熱焓差異，在同時引入新鮮空氣與排氣時，若能使兩股氣流作熱(或焓)交換，可節約大部份的外

氣負荷，如圖 4-5-9 所示。圖 4-5-10 為一個熱回收之設計例子，用一個全熱交換器，使外氣進入室內前將其溼氣與熱吸收，使進入之外氣降溫降濕；排氣亦先流經全熱交換器，把濕氣與熱帶到室外。在 70 % 之交換效率下，可將外氣之焓值自 20.6 kcal/kg 降至 15.3 kcal/kg，節約 70 % 之外氣耗能。若排出之廢氣有影響室內空氣品質時，則勿使用全熱交換器，可使用一般熱交換器來節約能源。



交叉流式全熱交換器之應用

圖 4-5-10 利用全熱交換器節能【13】

所謂全熱即是以熱焓計算之熱值，或為顯熱(溫度變化)與潛熱(濕度變化)之總和。而全熱交換器即為焓之交換器，除了顯熱交換之功能外，其並有吸收或吸附濕氣之功能，會把濕空氣中的水蒸汽吸收。反之，若流經之空氣為較乾空氣，全熱交換器內表面之蒸汽壓比乾空氣高時，則水份會蒸發進入比較乾之空氣，隨乾空氣流出。

全熱交換器之 配置方法

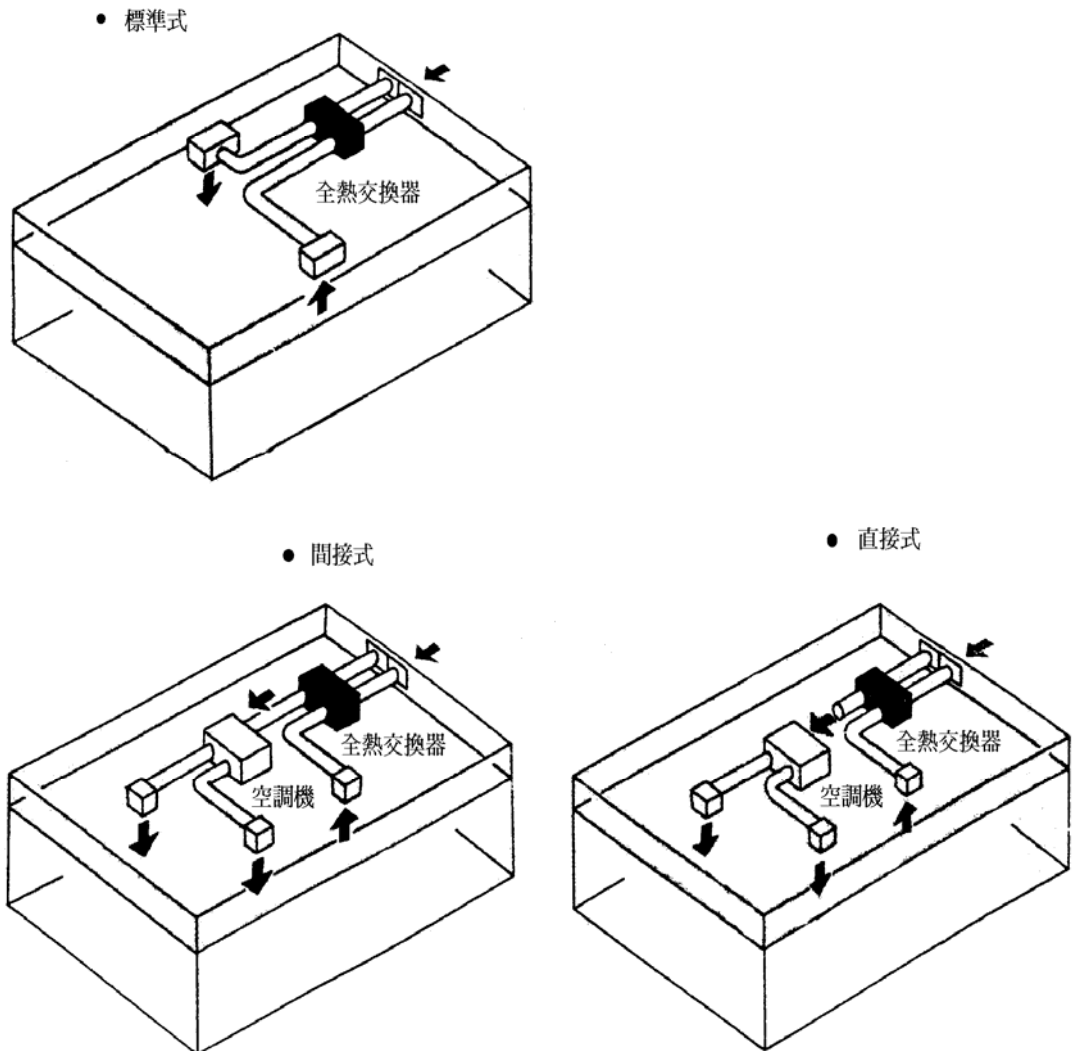


圖 4-5-11 全熱交換器安裝示意圖【13】

(2) 冬季低溫外氣引入

對於有較大空調負荷之內週區，或內部空調負荷大之建築如旅館，在換季甚至在冬季時內週區尚需空調。在這種情況下可考慮用低溫外氣以提供空調外氣冷房在有適當條件下是為可行，其之設計需考慮兩點：

a. 台灣地區之濕度高，不能如國外只用溫度作為外氣冷房之

切換，需同時考慮溫濕度，計算焓值與設定值作比較。

b.一般之外氣約佔總送風量之 20%，故送風管皆不大，若外氣冷房則需將外氣管加大，才會有足夠之外氣。

Q05：中央空調系統中冰水側節能方法為何？

A：1. 泵浦系統設計原則

當空調系統水側之泵浦系統動力超過7.5 kW時，應設計為可變流量系統，可控制系統流量至原設計流量的50%或以下。在可變流量系統中，當各泵揚程超過300 kPa且動力超過37 kW時，在50%的設計水量時，須有控制裝置(例如可變速度的控制)使泵耗電不大於全載之30%。

但是在系統最小流量小於設備製造商規格所要求之可正常運轉的最小值，並且總動力不超過60 kW的水泵系統，或者不超過三個控制閥的系統，考量系統的複雜性，可不採用變流量的設計方式。

若系統為含有一台以上冰水機的冰水系統，當一台冰水機關閉時，必須使相對的冰水機流量自動減少。本節所述之冰水機若其管路串聯以增加溫度差，則將視為一台冰水機。

2. 冰水側節能設計

在冰水側系統運轉之節能方面，可參考以下之節能設計。

(1) 中大型中央空調系統使用 P-S 系統(Primary-Secondary System)如圖 4-5-12，將冰水系統分離為二個部分，分別為主機側及負載側，如圖使用這種系統必須要遵循以下三項原則：

a. 全載時共通管必須完全沒有阻抗，也就是說該管的壓損必須接近於零。

b.二次側負載端必須使用二通閥控制流量，這樣的設計才能使分離水路系統發揮功效。

c.多台主機併聯時所有冰水機必須設定在相同的出水溫度，使其有相同的冰水溫差。

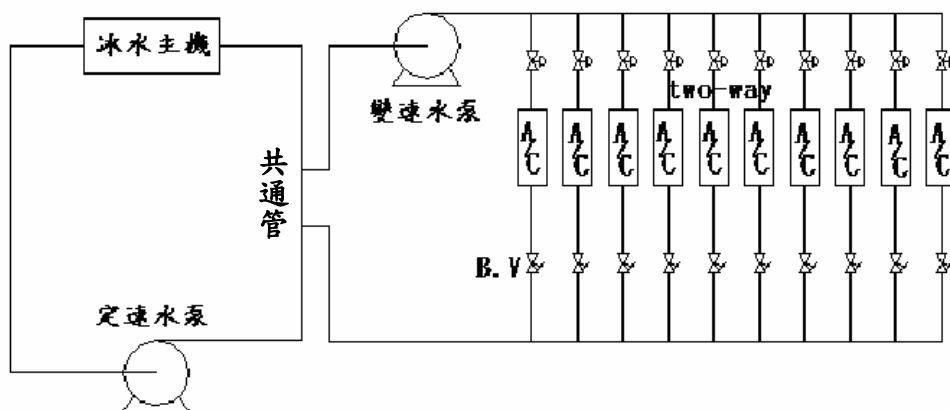


圖 4-5-12 P-S 系統圖【9】

(2)選擇適合系統之冰水泵

冰水主機所產生的低溫冰水是由冰水泵推送至空調箱或冷機之熱交換器(冰水盤管)，使其與高溫高濕之室內回風熱交換，並將溫度升高之冰水送回冰水主機內冷卻，故其負擔著將冰水由冰水主機房載運至現場之任務。故應選擇適合系統之冰水泵，提升冰水泵之效率。

3.送水系統節能

冰水系統如前所述，其中負載側因管路長，為主要耗能之處，送水系統之耗能分析主要在比較定流量與變流量系統(variable water volume, VWV)，分析如下：

(1)定流量系統

流經空調主機之水量是固定的，定流量系統利用三通閥來改變流經盤管之流量，當負載低時將旁通量提高以減少流經盤管之水量，降低冷卻能力。如此，低負載時水量不改變，搬運之阻力也並不會有效的減少，泵之耗能維持一樣。這種設計只考慮到調節冷氣能力，沒考慮到耗能。

(2)變流量系統(VWV)

系統設計觀念為將熱源(主機)與負載側之送水系統分開控制，其控制介面為一個共同管(common pipe)。共同管之左側為主迴路(primary loop)，為空調主機機房內之水循環系統，各主機有一個泵浦負責送水(定量)，故其總循環量為開啟主機水量之總和。主機之開啟依負載而定，負載大時開啟之主機多，負載小時減少主機之開啟數。熱源側之送水距離短，且送水量隨主機之開啟數變化，耗能較小。在負載側方面，其之送水系統(或稱二次迴路，secondary loop)亦需有泵浦作為動力，因送水之距離長，為送水系統之主要耗能之處，亦是 VWV 系統主要節能之處。VWV 系統之操作原理如下：

- a. 利用水壓控制二次側泵浦之轉速以調整送水量，如負載低調降泵浦轉速，在降低減流量的同時使泵浦在較高效率下運轉，節約搬運耗能。
- b. 負載處(如風機盤管)以二通閥控制流量，不需旁通管路，只送所需之冰水量至盤管，二通閥之開啟度依盤管之出水水溫而定，當閥關小時水流阻力加大，經控制系統使二次泵減少送水量，如此達到最佳之節能效果。

c.當二次側之冰水需求量減少時，熱源(一次)側之循環量較大，多餘之冰水經共同管流回主機，共同管之阻力極小，不會造成耗能。當經共同管旁通之水量多時，流回主機之水溫降低，溫度訊息將使主機依需求減少開啟數，同時減少一次側之水循環量。當二次側之水量過大時，二次側之回水就會有一部份經共同管反向流到供應側，如此會提高供應冰水之溫度，溫度過高時會啟動多台空調主機，補充冷氣能力之不足。以上之變水量(VWV)系統，有節約近一半冰水搬運耗能之潛力，其所達成之節能功效為：

- a.將熱源側與空調側之供水動力以共通管區隔，避免其相互影響，以容許供水側變流量。
- b.熱源側水泵依主機開啟台數控制，獲得適當之循環量。

Q06：中央空調系統中冷卻水側節能方法為何？

A：水的熱傳導性比空氣高約25倍，水的比熱約是空氣的4倍，又水的密度是空氣的1000倍，用水冷式所需熱傳面積比氣冷式小很多；傳熱效率也高，以空調機為例，水冷式之空調機與氣冷式之空調機效率比COP約為3.65：2.85，顯然水冷式比氣冷式較具省能效果。

冷卻水塔基本的功能乃是經由蒸發部份水量來冷卻水塔中之循環水。冷卻水塔底池流出之冷水，循環到需要冷卻的設備中(比方說：空調系統)。熱交換產生後，使得設備溫度降低，而冷卻水則溫度升高，而這溫水將回到冷卻水塔中再次被冷卻，這種循環將一直重複著。如圖4-5-13所示，冷卻水連續不斷地自冷卻水塔底的水池中，經由管路流向加熱製程中之熱交

換器，將熱帶出後，水再流入冷卻水塔中。這種系統被稱為“循環冷卻迴路(recirculating cooling loop)”。因為循環水在系統散熱過程中將損失部份水量，因此這種系統又被稱為“開放型循環冷卻水迴路(“open” recirculating cooling loop)”，如圖4-5-13所示。

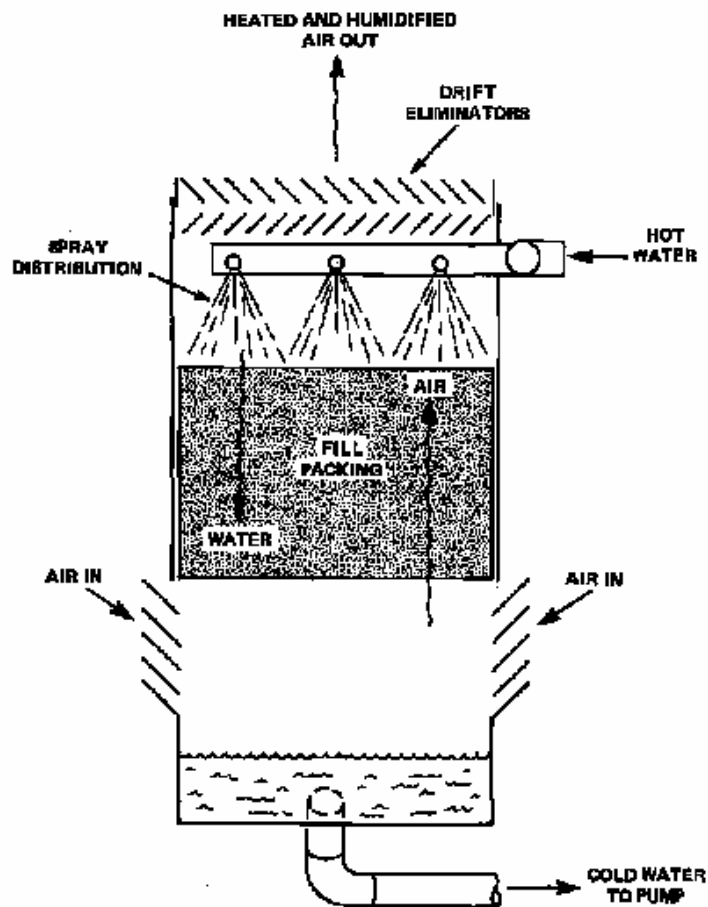


圖 4-5-13 開放型循環冷卻水塔【14】

冷卻水塔或其他的冷卻設備之冷卻能力通常以冷凍噸(tons)來計算，這裡所講的噸，不是重量單位，而是冷卻設備散熱的功率。一冷凍噸的定義為使一千公斤的液態水於一小時內變為冰所需的冷能。

1.冷卻水塔如何運轉

要了解冷卻水塔如何減少其用水量之前，必須先了解冷卻水塔是如何運轉。在冷卻水塔中，溫水被噴灑經過空氣流，造成部份水量之蒸發，水溫因此而降低。水滴在空氣流中，經由輻射(radiation)、傳導(conduction)、對流(convection)及大部份由蒸發(evaporation)的方式將熱從水塔中帶出。

當水份蒸發時，它必須從液相變成氣相，這種不同相之變化所需能量正好可由溫水中之熱能來提供。這種散熱之程序與人體本身之散熱功能非常相似。這種能量被稱為“潛熱(latent heat)”。另外有些熱量，有時可能高達總熱量的三分之一，是靠傳導與對流的方式將熱量散去。此種方式的散熱量，取決於水及空氣的溫度差。至於以輻射方式所散失的熱量很小，往往可被忽略。

2.冷卻水塔內用水損失種類

冷卻水塔中用水損失有下列三種方式：蒸發損失(evaporation)、排放損失(bleed-off)及飛散損失(drift)。損失的水量必須馬上補入水塔中，這種水被稱為“補充水(make-up water: MU)”。各種用水之反應機制將說明於下。

(1)蒸發損失(Evaporation)

冷卻水塔的主要功能乃是蒸發一部份循環水，使循環水的溫度下降。平均水溫每降低 5.6 °C，蒸發率約等於冷卻水循環率之百分之一。蒸發率將隨著冷卻效率以及天氣狀況而變化。一般言之，冷卻水塔之蒸發率約為每 100 冷凍噸有 2.4 gpm (gallons per minute)之蒸發率。譬如一個 500 冷凍噸之冷卻水塔，其蒸發損失大約是 12 gpm (500 tons×2.4 gpm/100 tons)。其一天之蒸發損失約 17,280 gallons (註: 12×24×60)。

(2) 排放損失(Bleed-off)

冷卻水塔中的水是以純水蒸氣的形式蒸發，補充水中之溶解固體(dissolved solid)將被留在水塔中，因此造成循環水中之溶解物質濃度增加。而且此濃度將隨著水之蒸發而持續增加。假如這些存留在循環水中之高濃度物質沒有被排除，則此物質將對整個水塔造成嚴重傷害。在許多水塔中，這些物質都是經由排放部份循環水而加以排除。而這種排放的動作往往靠計時器(timer)、導電度自動排放器(conductivity meter)或人工手動排放。排放損失之節約，通常為冷卻水塔節水之主要方法。

(3) 飛散損失及其他(Drift and Other Losses)

水滴受水塔空氣流夾帶出水塔之外的損失水，稱為飛散損失。飛散損失中含有一些懸浮及溶解固體，因此其可被視為排放損失之一部份。飛散損失率隨著不同的冷卻水塔而有不同的量，一般約為冷卻水循環率之 0.05 %到 0.2 %之間。其他如滲漏損失及移作其他用途所造成之損失，均可視為排放損失。

(4) 補充水(Make-up Water)

補充水是冷卻水塔中為了補足蒸發、排放及飛散損失，所補入水塔中之水量。補充水量之大小取決於蒸發及飛散損失。由於蒸發損失之量較恆定，飛散損失量極微，補充水之需求量主要隨著排放損失而變化。

3. 冷卻循環水水質問題及水塔之保護

水質所衍生的問題是傳統水冷式冷卻水塔最大的致命傷，根據經驗，水垢問題會使系統機組 COP 很快的降低 20 %；這一點已獲得許多實驗證實，水垢產生的原因是水中結垢性離子堆

積達到飽和濃度後，結垢便會產生，然而結垢產生之速率與離子飽和濃度有關，當熱傳面溫度越高，飽和濃度越低，因此結垢通常會在熱表面很快的發生，特別是在熱交換器之入口的地方，結垢除了增加熱阻抗，更重要的它會在管內堆積造成阻塞，嚴重影響冷卻水流道水流的順暢，或造成水流分佈不均，因此冷卻水塔需要進行水質的處理，方能減緩結垢所形成的嚴重問題。另外細菌滋生也是困擾多時，退伍軍人症細菌就與冷卻水塔有密切關係。

如果冷卻循環水未加以管制，則其水質將逐漸惡化。有兩個因素與循環水水質惡化息息相關，其一是通過冷卻水塔的空氣品質，另一則是補充水水質。循環水水質受到與其接觸的空氣流影響甚巨。當空氣流過水塔時，其中所夾帶的灰塵(dust)、煙霧(smoke)及油脂等污染物將被循環水所吸附，因此增加循環水中總溶解固體之濃度。補充水水質也會影響循環水水質。如前面章節所述，當蒸發散熱的過程中，水分子離開系統，而將懸浮或溶解固體留在循環水中。因此補充水之 TDS 愈高，則循環水之 TDS 增加愈大。

冷卻水塔之熱傳效率、操作運轉及使用年限取決於其循環水水質的好壞。而循環水水質的好壞將決定水塔之結垢(scale)、腐蝕(corrosion)及菌藻滋生(fouling)等問題之嚴重性。同時，這也是水塔排放循環水的主要原因。除此之外，許多冷卻水塔採用化學加藥處理循環水的方法來控制或抑制因水質惡化所產生的問題。許多工廠也和水處理公司簽約，由該公司提供其藥品及水質控制方案。以下將針對因水質惡化所導致之結垢、腐蝕及菌藻滋生之問題，詳加討論。

(1)結垢(Scale)

結垢乃是循環水中之鹽類被結晶析出，沈積在系統設施表面的現象。此種結垢物質，其主要成份是碳酸鈣(CaCO_3)。碳酸鈣乃是重碳酸鈣($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$)分解後的一種產物。重碳酸鈣及其他物質能在循環水中保持溶解而不被析出的濃度取決於循環水的pH值、水溫及二氧化碳的含量(free carbon dioxide content)。結垢可能在冷卻水塔各種設施表面生成，由於其隔熱作用，使得熱交換器之熱交換效率及系統之冷卻性能減低。如果允許結垢情況持續累積而不加以控制，將妨礙系統的循環水流，進而導致能源之嚴重浪費。

防止系統結垢的方法很多，譬如：循環水中添加結垢抑制劑(scale inhibitors)；如有機磷酸鹽(organo-phosphates)等，化學處理法，控制循環水的pH值、補充水軟化及增加排放損失以減低少循環水之物質濃度等。

(2)腐蝕(Corrosion)

冷卻水塔中，各種設備單元對於腐蝕都是相當敏感的。循環水中低pH、溶氧、流電效應(galvanic action:由電化學反應所產生之電流效應)及沖擊效應(impingement)均為造成冷卻水塔腐蝕的原因。低pH，也就是酸性，其主要的污染源，乃來自空氣中之污染物質。流電腐蝕主要發生在兩種不同金屬互相接觸，並有高導電度之液體傳導電流所致。流電腐蝕程度將隨著循環水之導電度增加而增加。沖擊效應實際上並不是一種腐蝕，但是，其效應和腐蝕非常相似。沖擊效應是由於循環水中之懸浮物質或水本身對金屬表面鈍化氧化膜而導致局部劇烈腐蝕，大都成溝狀或圓孔損壞。

腐蝕抑制劑主要被用以抑制金屬的腐蝕或於金屬表面形成一種保護膜。這種抑制劑包括磷酸鹽、鉻酸鹽(由於其毒性高，目前許多國家已禁用)、矽酸鹽、亞硝酸鹽、鉬酸鹽及其他有機物質。

(3) 菌藻污塞(Biofouling)

冷卻水塔由於內部有藻類(algae)、黏泥(slime)、菌類(bacteria)及真菌(fungi)的滋生，使得水塔產生阻塞(plugging)等問題。菌藻污塞將促使結垢及腐蝕問題更加惡化，同時會導致水塔壓降及熱傳效率不良。而菌藻污塞對部份大型水塔的木材材質會造成破壞。

菌藻污塞可用化學加藥法加以控制，此種藥劑又分為氧化性生物滅除劑(oxidizing biocides)，如氯，及非氧化性生物滅除劑(non-oxidizing biocides)，如第四胺化合物(quarternary amines)、氯酚(chlorophenols)、有機錫化合物(organic-tin compounds)及有機硫化合物(organo-sulfur compounds)。

(4) 外來物質(Foreign Matter)

灰塵和油脂等外來物質可能會進入冷卻水塔中，這些空氣中的污染物將增加循環水的濁度，阻塞水塔的灑水系統、阻塞填充材(fill)的通路，而且會在水塔中流速較低的區域沈積下來，增加清除上的工作。如果這些沈積物未加以清除，久而久之便成為菌藻滋生的溫床，因此，冷卻水的保養清洗是必要的工作。

4. 節約冷卻用水的各種方法

冷卻水水處理法中，化學加藥處理以防蝕、抑垢及殺藻，乃最廣泛被採用的方法。補充水水質較好的系統，可以在較高的濃縮倍數下運轉；補充水水質較差的系統，則其操作時濃縮倍數往往較低，但是，以節約用水的觀點而言，我們儘可能在不影響操作及不破壞設備的情況下，提高其濃縮倍數，以達到節約用水之目的。

標準的冷卻水化學處理方法，乃利用一些結垢及腐蝕抑制劑(例如有機磷酸鹽)及一種或多種的殺藻劑(如加氯等)來處理。這些藥劑以自動加藥裝置，直接將藥劑注入循環水中，而自動加藥裝置乃以計時器或導電度計加以控制。自動加藥裝置之可信度較人工加藥高。

5. 潛在的支出與節約

減少冷卻水塔之排放損失，一方面節約水費，另一方面也節省了排放費用。同時減少排放，意味著減少化學水處理藥劑之排放，對於昂貴的化學藥劑費用也能大大地節省下來。而且改善冷卻水塔操作，減低結垢、腐蝕及菌藻污染的問題，不但能增加能源效率，同時，也能減少大量冷卻水塔維修費用及因停工所造成的損失。

冷卻水節約利用工作中，將回收水作為補充水之替代水源，也是一種可行的方式。

Q07：箱型冷氣節能方法為何？

A：選擇高效率設備為獨立系統設計的原則，考慮獨立系統於應用之彈性，過多的規範不合乎其使用之便利性，因此僅提供相關設備之能源效率比值標準。

表 4-5-2 箱型冷氣機能源效率比值標準對照表[13]

| 機 種 | 適用舊版 CNS2725 | 適用新版 CNS3615 及 CNS14464 | 實施日期 |
|----------------------|--|----------------------------|----------------------------|
| | 能源效率比值 (EER) kcal/h-W (Btu/h-W) | 能源效率比值 (EER) | |
| 氣冷式 (消耗電功率大於 3kW) | 2.44(9.68) | 2.84 | 民國 91年 1月 1日 起 |
| 水冷式 | 3.17(12.58) | 3.69 | |

註：

- (1)適用舊版 CNS2725 箱型空氣調節機(民國 84 年 12 月 21 日修訂公布)者，能源效率比值 (EER)依該標準規定試驗之冷氣能力(kcal/h) 除以規定試驗之冷氣消耗電功率(W)，其比值應在上表標準值及標示值之 95%以上。
- (2)適用新版 CNS3615 無風管空氣調節機(民國 89 年 10 月 24 日修訂公佈)及 CNS14464 無風管空氣調節機與熱泵之試驗法及性能等級(民國 89 年 10 月 24 日修訂公布)者，能源效率比值 (EER)依該標準規定在 T1 標準試驗條件下試驗之總冷氣能力(W) 除以有效輸入功率(W)，其比值應在上表標準值及標示值之 95%以上。

Q08：窗型冷氣節能方法為何？

A:1.按時進行保養，定期維護清潔。

2.汰換能源效率較低的設備，參考表 4-5-3。

表 4-5-3 窗型冷氣機能源效率比值標準對照表[13]

| 窗型氣冷式(消耗電功率 3kW 以下) | | | | 適用舊版 CNS3615 | 適用新版 CNS3615 及 CNS14464 | 實施 日期 |
|---------------------|--|----------------------------------|-----------------------|---|-------------------------------|----------------------------|
| 機種 | 總冷卻能力 | | 型式 | 能源效率 比值 (EER) kcal/h-W (Btu/h-W) | 能源效率 比值 (EER) | |
| | 適用舊版 CNS3615 | 適用新版 CNS3615 及 CNS14464 | | | | |
| 單 體 式 | 低於 2,000kcal/h | 低於 2.3kW | 一般型式 變頻式 (60Hz) | 2.33(9.24) | 2.71 | 民國 91年 1月 1日 起 |
| | 2,000 kcal/h 以 上 3,550 kcal/h 以 下 | 2.3kW 以上 4.1kW 以下 | 一般型式 變頻式 (60Hz) | 2.38(9.44) | 2.77 | |
| | 高於 3,550 kcal/h | 高於 4.1kW | 一般型式 變頻式 (60Hz) | 2.24(8.89.) | 2.60 | |
| 分 離 式 | 3,550kcal/h 以下 | 4.1kW 以下 | 一般型式 | 2.55(10.12) | 2.97 | |
| | | | 變頻式 (60Hz) | 2.38(9.44) | 2.77 | |
| | 高於 3,550 kcal/h | 高於 4.1kW | 一般型式 變頻式 (60Hz) | 2.35(9.32) | 2.73 | |

註：

- (1)適用舊版 CNS3615 室內空氣調節機(民國 84 年 12 月 21 日修訂公布)者，能源效率比值 (EER)依該標準規定試驗之冷氣能力(kcal/h) 除以規定試驗之冷氣消耗電功率(W)，其比值應在上表標準值及標示值之 95%以上。
- (2)適用新版 CNS3615 無風管空氣調節機(民國 89 年 10 月 24 日修訂公佈)及 CNS14464 無風管空氣調節機與熱泵之試驗法及性能等級(民國 89 年 10 月 24 日修訂公布)者，能源效率比值 (EER)依該標準規定在 T1 標準試驗條件下試驗之總冷氣能力(W) 除以有效輸入功率(W)，其比值應在上表標準值及標示值之 95%以上。

Q09：中央空調系統保養維修方法為何？

- A：1. 冷凝器銅管易受到外來物質及結垢的污染，每年至少必須清洗一次。 冷凍油及濾網每年須換新一次，但若油質顏色轉黑或有雜質，則宜立即換新。
2. 長期停機後再開機時，冷凍油及濾網宜全部換新。
3. 壓縮機馬達每年須定期實施絕緣測試。
4. 隨時注意冷媒量是否正常，倘有不足，則需充灌之。
5. 定期檢查水泵軸承，必要時添注潤滑油；水泵軸封處若有漏水的現象，應儘速修復；進出口壓力錶損壞時，應予以更換。冷卻水塔宜每月清洗一次。
6. 隨時檢查冷卻水塔水位、浮球開關及灑水頭是否正常。
7. 冷卻水塔入風口之保護網如有脫落現象，應立即裝上，以免
8. 冷卻水大量散失及雜物掉入，影響散熱效果。
9. 小型冷風機及空調箱之過濾網及盤管鰭片應每月定期清洗；並每月檢查傳動皮帶鬆緊度及控制系統是否正常。

Q10：箱型冷氣系統保養維修方法為何？

- A：1. 過濾網每 2~3 週至少清洗一次。
2. 熱交換器遭受污染時，會使冷氣能力降低，並引起故障，在
3. 開始使用空調時應清洗水垢或灰塵。
4. 氣冷式箱型機應定期清洗散熱鰭片，水冷式箱型機應定期清洗冷卻水塔。
5. 溫度感測控制異常時，應即時請廠商修復。

Q11：窗型冷氣系統保養維修方法為何？

- A：1.每兩週清洗空氣過濾網一次，空氣過濾網太髒時，容易造成電力浪費。
- 2.依室外空氣污濁程度，每 1-3 年應請廠商清洗散熱片一次。
- 3.溫度感測控制器異常時，較為耗電，應及時請廠商修復。
- 4.不明原因造成冷氣機不冷時，不宜勉強使用，避免浪費電力，並造成機件故障。

Q12：中央空調系統操作使用注意事項為何？

- A：1.冷氣溫度設定範圍以 26-28 °C 為宜，並應裝設自動溫控設備，以免過冷而浪費能源。對於經常進出的房間，室內溫度不
- 2.要低於室外溫度 5 °C 以上，以免影響身體健康。
- 3.每日定時記錄冰水主機運轉時之油溫、油壓、水溫、水壓、冷媒溫度、電流及電壓等，以瞭解實際狀況。
- 4.在不影響冷房的情況下，適度提高冰水出口溫度，每提高冰水出口溫度 1 °C 約可減少冰水主機耗電量 2 %。
- 5.外氣溫度低時，應降低冷卻水設定溫度，每降低冷卻水設定溫度 1 °C，可節省冰水主機耗電量 2 %。
- 6.在下班前半小時關掉冰水主機，利用冰水循環泵繼續運轉即可。
- 7.晚間若有少數單位加班，應關閉部份冰水主機，以節約能源。冰水系統若是屬於水路分離系統(Decoupled System)，且小型冷風機或空調箱使用二通閥(2-Way Valve)控制冰水量，則區域泵可加裝變頻器及台數控制系統，以達節約能源的功效。
- 8.地下停車場之排風，可增設定時控制器，在非車輛出入尖峰時間，設定每小時運轉約 15 分鐘，以節約能源。

9.空調使用期間應緊閉門窗，以防止冷能外洩或熱風滲入，空調箱回風口處勿堆積雜物，以免影響回風效果。

Q13：箱型冷氣操作使用注意事項為何？

- A：1.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 26-28 °C 為宜，每調高溫度設定值 1 °C，約可節省冷氣用電 6 %。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。
- 2.冷氣區域應與外氣隔離且門窗應緊閉，以免增加空調負載。
- 3.為提高冷氣效果，最好裝置百葉窗或窗簾以免日光直接照射。

Q14：窗型冷氣操作使用注意事項為何？

- A：1.冷氣機的溫度設定範圍以 26-28 °C 為宜，每調高溫度設定值 1 °C，約可節省冷氣用電 6 %。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。
- 2.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。
- 3.冷氣房內避免使高熱負載之用具，如熨斗、火鍋、炊具等。
- 4.停用冷氣機前 5-10 分鐘可先關掉壓縮機（由冷氣改為送風或調高溫度設定），維持送風換氣，則下次再開冷氣時較為省電。

伍、學校節能重點措施及整體潛力

一、 節能重點措施

由於學校有寒暑假，除了圖書館用電時間較長外，全年空調、照明用電時間短約 2,000 小時左右，因此在既有系統下，目前學校空調、照明採行節能措施，偏向定期設備維護保養及合理開關操作管理。但經歷年學校節能服務案例如：台灣科大、清大、交大、高雄科大、高苑技術、第一科大、中興大學等等都有省能 10~20 % 左右之空間。彙整各校重點節能措施為：

(一)國中、國小

(1)空調系統：

汰舊換新時選用高能源效率設備、空調主機台數控制、窗型及箱型機加強開關機與條件管理。

(2)照明系統：

選用用高效率燈具、採用電子式日光燈、配合照度調整燈具數量、調整燈具回路開關、加裝感應點滅開關、加裝日照點滅開關。

(3)管理方面：

契約容量最適化、增設需量控制系統、增設自動功因調整器、水塔利用離峰用電補滿水、加強全校「有效用電、節約能源」宣導。

(二)大專院校及高中職

(1)空調系統：

汰舊換新時選用高能源效率設備、空調主機台數控制、冰水泵及冷卻水塔風扇採用變頻器控制、增設儲冰系統、中央空

調增設監控控制系統、加強開關機與條件管理。

(2)照明系統：

選用用高效率燈具、採用電子式日光燈、配合照度調整燈具數量、調整燈具回路開關、加裝感應點滅開關、加裝日照點滅開關。

(3)管理方面：

契約容量最適化、增設需量控制系統、增設電能監視控制系統(SCADA)、增設自動功因調整器、水塔利用離峰用電補滿水、學生宿舍洗澡熱水採用熱泵系統或太陽能熱水系統、推動全校利潤中心制度、加強全校「有效用電、節約能源」宣導。

二、 節能潛力

依據依據台電 91 年 3 月所提供高壓用電戶資料，國內各級學校共有 836 筆，用電量共約 11.78 億度電，電費約 25 億元。每度平均電價約 2.11 元。其中國中、國小共有 438 筆，用電量共約 1.66 億度電，電費約 4.4 億元。每度平均電價約 2.62 元。若政府給與經費協助積極推動採用高效率設備及加強管理，推估空調及照明節能潛力可達 10%計，可節省用電量共約 0.14 億度電，電費約 0.37 億元。而大專院校及高中職共有 398 筆，用電量共約 10.12 億度電，電費約 20.6 億元。每度平均電價約 2.02 元。若政府給與經費協助積極推動採用高效率設備及增設監控系統加強管理，推估空調及照明節能潛力可達 15 %計，可節省用電量共約 1.5 億度電，電費約 3.04 億元。以上共可節省用電量共約 1.64 億度電，電費約 3.41 億元。

陸、結論

為能順利推動全國節約能源政策，各級學校應率先配合政府及教育部政策，積極推動落實「學校節約能源措施」工作，應是刻不容緩的。而各單位在執行節約能源措施時，應抓住「節約能源、有效用電」重點，除了隨手關閉不必要使用之照明及冷氣外，比較有效且科學化的工作就是數據化管理，把所有關於能源使用的數據都要統計記錄，然後作比較，從中分析原因再作改進。像電力可多利用分錶或電力記錄器；空調除了記錄電力的消耗外，也要做其它相關條件比較，像外氣溫度、相對濕度等，當然水及其他的能源消耗，也要將此相關條件列入考慮。另外良好的保養就是基本的節約能源，建立正確的操作及管理模式、適時導入使用新型省能設備，將更能有效節約能源。

柒、參考資料

- 【1】 台閩地區九十學年度各級學校校數統計：教育部。
- 【2】 台閩地區九十學年度各級學校班級數統計：教育部。
- 【3】 學校用電資料(高壓與低壓、表制)90年4月~91年3月一年之用電資料統計：台電提供
- 【4】 產業節約能源服務報告：中技社能源中心。2001年。
- 【5】 太陽能熱水應用手冊：工業技術研究所
- 【6】 <http://solar.erl.itri.org.tw/>太陽能熱水器介紹.pdf
- 【7】 太陽能利用：黃秉鈞
http://minho.show.org.tw/-hw1/-magaZine/11/mz_11-d2.htm
- 【8】 陸紀文、王輔仁、謝文健”冷凍空調原理”滄海書局出版
- 【9】 李瑞墉 ”冰水系統能源效益分析”，台北科技大學碩士論文，91年7月
- 【10】 台灣地區九十一年各地氣溫溫度，中央氣象局
- 【11】 量販店節能技術手冊，中技社
- 【12】 太陽能熱水系統供應廠商技術人員講習班講義，經濟部能源局，75年3月
- 【13】 建築耗能設備能源效率之技術規範研究：中技社
- 【14】 ”ASHRAE HANDBOOK”CHAPTE36,1996
- 【15】 太陽熱能有效利用技術之研究，台灣電力公司，87年4月

捌、編後語

本局所委辦財團法人中技社節能技術發展中心，主要任務是配合國家能源政策，執行之各項節約能源技術服務計畫，藉由檢測、診斷找出產業、住商及政府機關能源使用缺失，尋找節能機會(政策、技術、設備、管理)，對能源用戶提供能源效率評估及改善規劃、製程、操作等服務工作外，亦製作節約能源海報、貼紙及出版各種節能成果專刊、節能技術手冊，而推廣節約能源的觀念。

此學校節能技術手冊之編撰，希望提供給各級學校能源管理者，能有一參考學習節約能源技術觀念與手法之手冊，而率先自發性推動學校節約能源改善工作，達年度自訂降低能源使用量目標，產生示範效果，引導民間採行。並借此加強節約能源教育宣導，落實全民節約能源共識，共同努力，達到至 2020 年全國節約能源量 28 % 之目標。

此手冊的編撰是在中技社節能中心王主任文伯的指導下，由電力照明專家龍華科技大學電機系副教授羅欽煌及空調專家台北科技大學冷凍空調系李文興助理教授協助資料收集撰稿，提供技術諮詢，由工程師黃建誠彙整編排和校稿後，經聘請蕭弘清、李魁鵬、胡石政等三位諮詢委員審核後，並呈經濟部能源局核可，才得以印製完成，倉促間內容不免有所疏漏和缺失，還望產、官、學界的各位先進不吝指教正！得以使本手冊更形充實和完備。