

建築節能應用技術 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
中華民國一百零二年十二月

目 錄

目 錄	I
前言	1
第一章 建築物能源使用現況分析	2
1.1 國內能源及電力使用現況分析	2
1.2 建築物耗能分析	3
1.3 建築物耗能指標分析	5
第二章 建築物節能法規簡介	8
2.1 我國各類建築物的節約能源設計基準	8
2.2 外牆及屋頂平均熱傳透率的管理基準	9
2.3 窗戶與屋頂窗戶透過率的管理基準	12
2.4 各類建築物的節約能源管理指標	15
2.5 綠建築之日常節能評估指標	19
2.6 國內外建築物隔熱標準比較	21
第三章 建築外殼節能技術	22
3.1 建築外殼概論	22
3.2 屋頂隔熱技術	23
3.3 綠化屋頂	26
3.4 冷屋頂	31
3.5 屋頂遮陽網、灑水及太陽能板	34
3.6 屋頂隔熱設計	37
3.7 遮陽設計	42
3.8 玻璃的選擇	49
第四章 建築物通風節能技術	57
第五章 空調系統節能技術	62
5.1 中央空調系統的組成	62
5.2 空調主機節能	63
5.3 可變水量(VWV)空調系統	66
5.4 可變風量(VAV)空調系統	68
5.5 全熱交換器系統	70
第六章 照明系統節能技術	73
6.1 選用高效率光源與燈具	73
6.2 合理的照度規劃	77
6.3 善用照明系統控制策略	78
6.4 定期清潔維護與更換	80
第七章 建築物能源管理系統	81
7.1 建築物能源管理系統	81

7.2 建築物能源管理系統的分類	81
7.3 BEMS 四大管理系統	85
7.4 BEMS 系統分級制度	86
7.5 建築物 BEMS 系統架構之建立	90
第八章 建築節能應用案例介紹	92
參考文獻	100

圖目錄

圖 1.1-1	國內電力消費圖(按部門別).....	2
圖 1.2-1	大用戶(超過 800kW)建築分類電能與熱能消費比例統計圖[2].....	4
圖 1.2-2	大用戶(超過 800kW)建築分類電能消費分布統計圖[2].....	5
圖 1.3-1	近五年單位面積年用電量密度(EUI)統計圖[2].....	7
圖 2.1-1	建築節約能源設計之氣候分區圖.....	8
圖 2.3-1	建築物中庭或走道的屋頂玻璃採光罩.....	13
圖 2.3-2	大樓帷幕牆高反射光造成的反光公害.....	14
圖 2.4-1	外周區面積計算說明示意圖[3].....	17
圖 2.5-1	日常節能指標主要評估項目.....	19
圖 3.1-1	建築全系統與建築外殼節能.....	22
圖 3.2-1	降低屋頂傳熱的主要兩種方法.....	25
圖 3.3-1	綠化屋頂構造組成示意圖.....	26
圖 3.3-2	傳統式及薄層綠化屋頂構造組成的差異說明.....	29
圖 3.3-3	綠化屋頂與一般屋頂的外表面溫度比較.....	30
圖 3.3-4	綠化屋頂與一般屋頂的熱流量比較.....	30
圖 3.3-5	由一般屋頂與綠化屋頂層進入室內熱流量的實測比較[6].....	31
圖 3.4-1	屋頂反射太陽光能量.....	31
圖 3.4-2	高反射率屋頂及低反射屋頂的差異[7].....	32
圖 3.4-3	CRRC 的 Cool Roof 的認證標章.....	33
圖 3.4-4	屋面的陽光反射和熱傳導.....	33
圖 3.5-1	利用花架掛設遮陽網.....	35
圖 3.5-2	利用女兒牆架設遮陽網.....	35
圖 3.5-3	屋頂灑水係將水直接噴灑於屋頂.....	36
圖 3.5-4	屋頂灑水系統.....	36
圖 3.6-1	屋頂鋪設 PS 板.....	37
圖 3.6-2	防水層外鋪設隔熱磚.....	38
圖 3.6-3	常見的隔熱磚型式.....	38
圖 3.6-4	屋頂上的通風塔.....	41
圖 3.6-5	雙層屋頂的隔熱設計原理.....	41
圖 3.6-6	架設鋼板屋頂.....	42
圖 3.6-7	鐵皮屋頂裝設通風扇來加強雙層屋頂的通風散熱.....	42
圖 3.7-1	建築外遮陽設施.....	43
圖 3.8-1	色板玻璃陽光照射示意圖.....	52
圖 3.8-2	雙層玻璃構造圖.....	53
圖 3.8-3	大樓外觀使用反射玻璃.....	54
圖 3.8-4	低輻射玻璃構造圖.....	55

圖 3.8-5	低輻射玻璃鍍膜層效能圖	55
圖 4-1	風壓通風示意圖	58
圖 4-2	熱浮力通風示意圖	58
圖 5.1-1	中央空調系統示意圖[27]	62
圖 5.1-2	中央空調熱負載傳遞方向及耗電示意圖	63
圖 5.2-1	台北地區每月暖房及冷房度時統計圖[18]	63
圖 5.2-2	冰水主機全年各種部分負載運轉時數統計[18]	64
圖 5.2-3	冰水系統於不同冰水溫度下耗電狀況[27]	66
圖 5.3-1	一次側/二次側冰水系統管路圖[18]	67
圖 5.4-1	可變風量 VAV 系統之簡圖[19]	69
圖 5.4-2	VAV 終端箱之設計[19]	69
圖 5.4-3	以風機提升室內空氣流動之 VAV 終端箱[19]	69
圖 5.5-1	全熱交換器運轉示意圖[18]	70
圖 5.5-2	靜態交叉流式全熱交換器[18]	71
圖 5.5-3	輪轉式全熱交換器	72
圖 6.1-1	室內燈具的分類與特性[21]	77
圖 7.2-1	小型管理系統之硬體架構	82
圖 7.2-2	中型管理系統之硬體架構	83
圖 7.2-3	大型管理系統之硬體架構	84
圖 7.4-1	日本之 BEMS 分級及功能示意圖	87
圖 7.5-1	BEMS 系統之工作流程示意圖[22]	90
圖 8-1	工研院六甲院區二期宿舍[23]	92
圖 8-2	雙層通風屋頂設計[23]	93
圖 8-3	外牆立面採用白色隔熱漆塗裝[23]	94
圖 8-4	西向牆利用隔柵擋板遮陽[23]	94
圖 8-5	照明採用 T5 燈管與分區開關控制[24]	95
圖 8-6	屋頂設置太陽能熱水器[24]	95
圖 8-7	成大綠色魔法學校[24]	96
圖 8-8	屋頂花園設計[34]	97
圖 8-9	綠色魔法學校屋簷深遮陽設計[33]	97
圖 8-10	綠色魔法學校國際會議廳通風模擬圖[34]	98
圖 8-11	辦公區空調與風扇通風並用設計[34]	98
圖 8-12	國際會議廳內部空間照明[34]	99
圖 8-13	屋頂太陽能光電板與風力發電塔[34]	99

表 目 錄

表 1.2-1	能源大用戶建築類型能源消費量統計表.....	3
表 1.3-1	大用戶單位面積年用電量密度(EUI)比較表[2].....	6
表 2.1-1	我國各類建築物的節約能源管制能耗指標.....	9
表 2.2-1	外牆及窗平均熱傳透率基準值(W/m ² .K).....	10
表 2.2-2	屋頂構造的 Uar 計算範例.....	11
表 2.2-3	有不同屋頂構造的 Uar 計算範例.....	12
表 2.3-1	透光天窗日射透過率基準值.....	13
表 2.3-2	窗平均遮陽係數基準值.....	14
表 2.3-3	水平遮陽型式之 ki 值[3].....	15
表 2.4-1	各類建築物之 ENVLOAD 基準值.....	15
表 2.4-2	學校類與大型空間類建築物之 AWSG 基準值.....	18
表 2.4-3	住宿類建築物之 Req 基準值.....	18
表 2.6-1	國內外建築物隔熱標準比較.....	21
表 3.2-1	台灣各地溫熱期間(5-10月)各方位日射量及比例.....	23
表 3.3-1	綠化屋頂的類型與案例.....	27
表 3.3-2	傳統式及薄層綠化屋頂的優缺點比較.....	29
表 3.6-1	屋頂構造大樣與 U 值表[3].....	38
表 3.7-1	台灣辦公建築外遮陽對空調耗能的效益分析(單位：M.cal/年)[4].....	45
表 3.7-2	各種窗戶遮陽裝置[16].....	47
表 5.2-1	空調冰水主機能源效率標準.....	65
表 5.2-2	冰水主機滿載效率 COP 與部分負載效率 IPLV 最低標準值[27].....	65
表 5.3-1	泵浦相似定律.....	68
表 6.1-1	各種光源特性比較表[21].....	73
表 6.1-2	螢光燈管特性比較[21].....	75
表 7.4-1	我國建築能源管理系統(BEMS)分級制度表[22].....	87
表 7.4-2	BEMS 應具備之各類趨勢圖表座標定義[22].....	89

前言

依據經濟部能源局統計，101 年臺灣地區消耗之能源，將近 98% 仰賴進口，能源供給受制於國外。而近年來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，因此「節約能源」已經是人人都無法避免的責任。節約能源並非強制減少使用能源，降低生活品質，而是要有效率的使用能源，也就是「該用則用、能省則省」。

根據聯合國環境規劃署 UNEP 的估計，建築物是最大的能源消耗者，其所消耗的能源和釋放的溫室氣體占全世界能源總消耗量的 40% 左右，因此各國政府紛紛將建築節能列入節能減碳之重點推行工作，期望藉由建築物節能規範的制定與相關節能技術的推行，達到減少二氧化碳排放及降低建築能源消耗之目的。

有鑑於此，經濟部能源局乃委託財團法人台灣綠色生產力基金會（以下簡稱本會），委請國內在建築節能服務推廣上，有專精之專家學者，即國立聯合大學建築系黃瑞隆教授，協助執筆及蒐集實際相關的節能技術資料，加入本會節能技術服務資料，彙編成此技術手冊，提供給各能源用戶參考。

第一章 建築物能源使用現況分析

1.1 國內能源及電力使用現況分析

台灣地區天然資源蘊藏貧乏，依據經濟部能源局 101 年度能源統計年報統計，有 97.82% 能源仰賴進口，總能源消費量 11,154 萬公秉油當量。其中，服務業部門總能源消費量 1,231 萬公秉油當量占 11.04%，住宅部門 1,213 萬公秉油當量占 10.88%，與建築耗能息息相關的住宅部門與服務業部門能源消耗量總計達 21.92%。[1]

在電力使用部分，101 年國內電力消費量為 241,329 百萬度，服務業部門總電力消費量 46,984 百萬度占 19.47%，住宅部門總電力消費量 43,324 百萬度占 17.95%，住宅部門與服務業部門電力消費量高達 37.42%，如圖 1.1-1 所示。整個住商部門之電力消費量占比將近全國電力消費量的四成，因此為政府推動建築節能減碳之重點方向，而本手冊之建築耗能分析與節能技術介紹，亦將著重於住商部門之建築物進行探討。

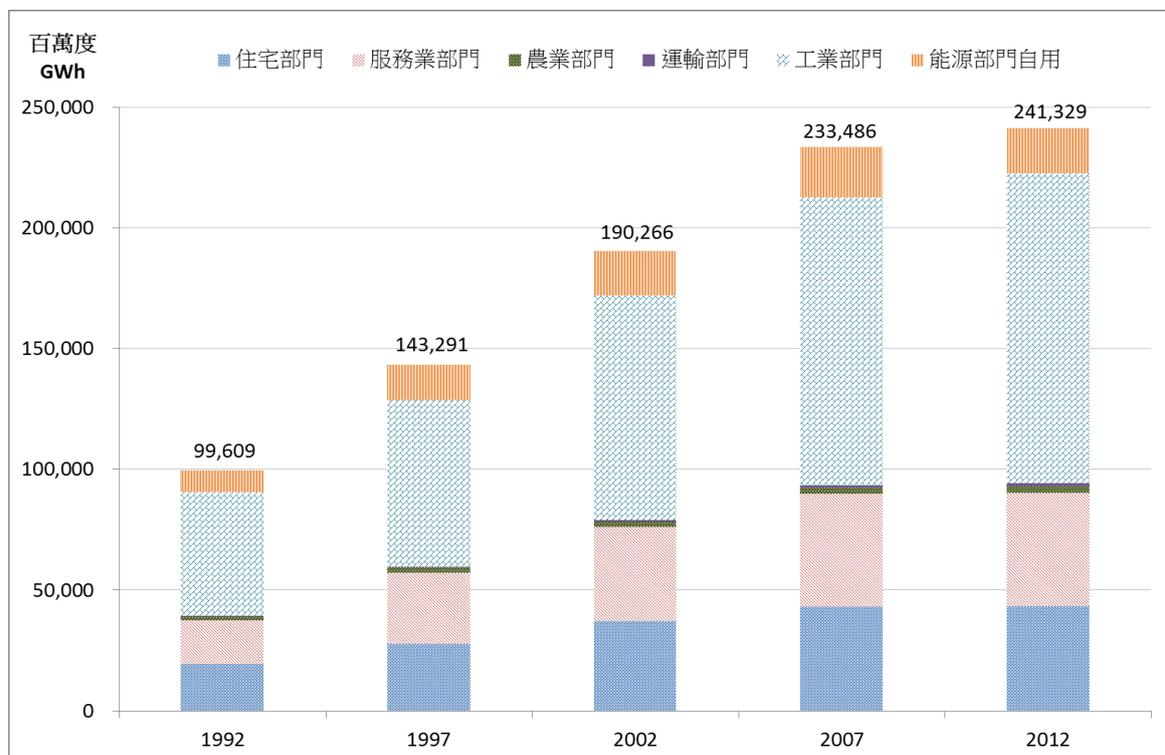


圖 1.1-1 國內電力消費圖(按部門別)

1.2 建築物耗能分析

為了解建築物能源使用情形，依據 2013 非生產性質行業能源查核年報統計資料，分析目前住商部門各類型建築物之耗能概況、用電特性及能源效率指標。依據統計資料顯示，101 年國內各建築類型之能源大用戶(契約容量大於 800kW)共有 1,416 家，其中，建築平均能源用量以航空站 11.3 千公秉油當量最大，其次為車站軌道 6.9 千公秉油當量。在電力使用部分，平均用電量仍以航空站 45,900 千度最大，其次為車站軌道用電 27,787 千度，各建築類型之平均能源用量與用電量統計如表 1.2-1 所示。

表 1.2-1 能源大用戶建築類型能源消費量統計表

建築物用途	家數	電力消費量			能源消費量		
		總用電 (千度)	平均用電 (千度/家)	占比 (%)	總能源用量 (千公秉油當量)	平均能源用量 (千公秉油當量/家)	占比 (%)
學校	247	2,247,436	9,099	15.3%	574	2.32	15.1%
辦公大樓	209	1,331,267	6,526	9.1%	333	1.63	8.7%
醫院	141	2,124,269	14,855	14.5%	581	4.06	15.3%
量販店	116	815,972	7,158	5.6%	205	1.80	5.4%
百貨公司	88	1,488,525	16,539	10.2%	380	4.22	10.0%
旅館	86	671,133	7,627	4.6%	207	2.35	5.4%
政府機關	81	391,909	4,666	2.7%	100	1.19	2.6%
車站及軌道	70	1,861,735	27,787	12.7%	463	6.91	12.2%
電信網路機房	65	891,988	14,387	6.1%	222	3.58	5.8%
國防機關	35	272,132	7,161	1.9%	85	2.24	2.2%
研究機構	29	490,083	16,899	3.3%	124	4.28	3.3%
展覽館	29	186,796	7,184	1.3%	47	1.81	1.2%
複合式商場	29	160,107	5,521	1.1%	41	1.41	1.1%
汗水處理廠	19	336,820	16,841	2.3%	84	4.20	2.2%
倉儲	18	102,966	5,419	0.7%	27	1.42	0.7%
航空站	6	275,398	45,900	1.9%	68	11.33	1.8%
其他	156	998,050	6,654	6.8%	265	1.77	7.0%
合計	1,416	14,646,586	-	100.0%	3,806	-	100.0%

在建築能源消費比例部分，依能源熱值統計電能與熱能消費比例，各類型建築使用之能源仍以電力為主，旅館、醫院及倉儲等熱能消費比

例較高，主要因為旅館及醫院有熱水及蒸汽使用；而倉儲中之「油料倉儲」為使油料於管線中易於輸送而採蒸汽間接加熱，以致熱能使用比例較大，如圖 1.2-1。

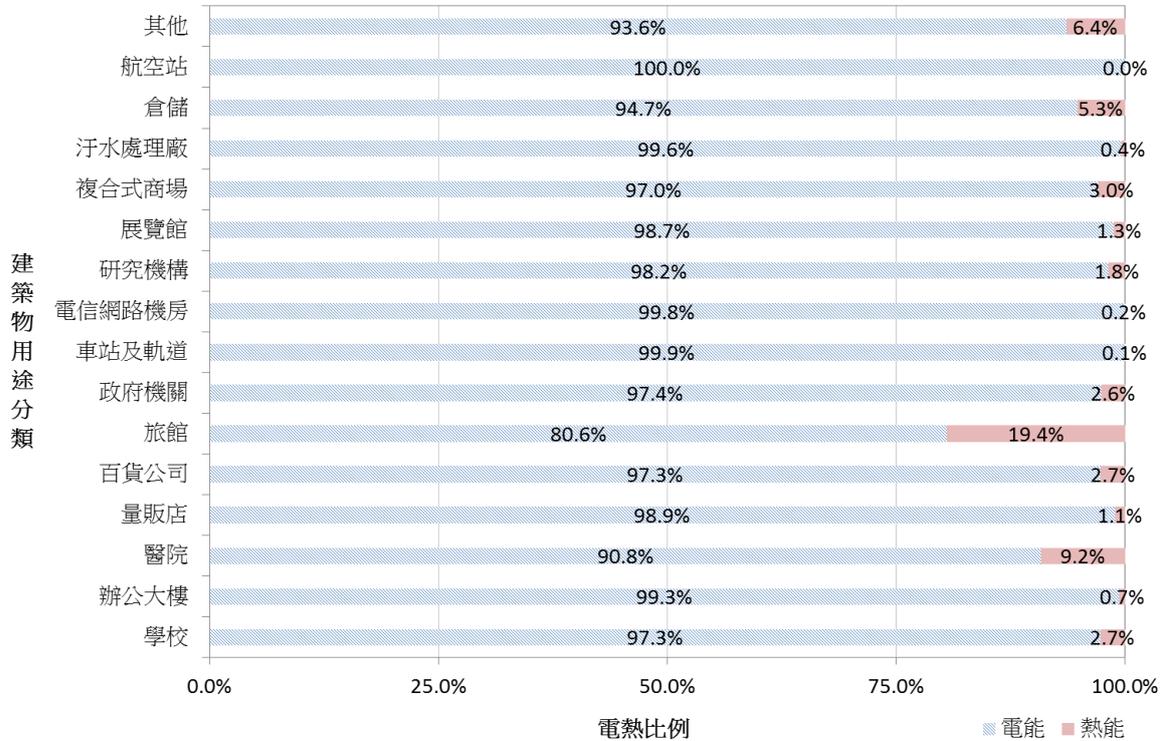


圖 1.2-1 大用戶(超過 800kW)建築分類電能與熱能消費比例統計圖[2]

在各類型建築之電能消費比例中，依查核年報統計，除了特殊建築物類型(車站軌道、電信網路機房、污水處理廠、倉儲)外，空調與照明耗電幾乎都是占比最大的項目，空調耗電平均占比約 32%~54%，照明耗電平均占比約 15%~30%，如圖 1.2-2 所示。

由此可知，空調與照明耗電占整棟建築物總耗電量比例達六、七成，而此兩部分耗電則受建築外殼設計影響顯著。由於建築外殼的壽命遠大於空調與照明設備，所以良好的建築外殼節能設計才是節約能源的重點。良好的建築節能設計可透過有效的遮陽、隔熱與通風設計，降低輻射熱吸收，減少空調負荷，並可減少室內燈具數量，有效提升建築物能源使用效率。

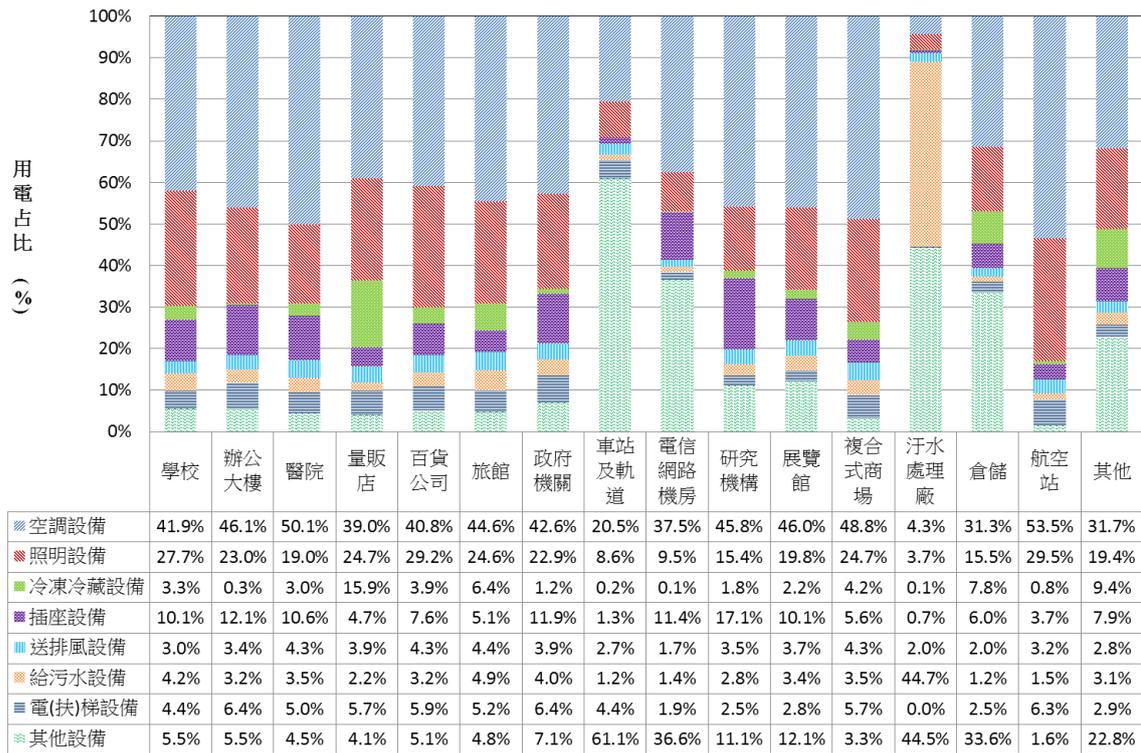


圖 1.2-2 大用戶(超過 800kW)建築分類電能消費分布統計圖[2]

1.3 建築物耗能指標分析

針對建築物之耗能高低，國內外大多採用 EUI 指標，其代表各建築物所處地區地理氣候環境、建築外殼耗能、設備效率、面積大小、停車場大小及年使用時間長短等整體性綜合指標。建築物如隔熱遮陽不佳、通風採光不良、嚴重西曬、設備超量設計、設備效率差及使用習慣不良等，均會造成 EUI 上升，因此是衡量建築物節能水準的最佳指標。本手冊以查核年報統計資料為依據，介紹各類型建築之耗能指標。

EUI (Energy Use Intensity)為單位面積年耗電量密度(kWh/m².yr)，是以建築物之年用電量除以總樓地板面積而得用電參考指標變化。由查核年報統計資料得知，各主要建築類型能源用戶之用電參考指標如表 1.3-1 所示，其中以電信機房 815.5 kWh/m².yr 為最高，其次依序為百貨公司、醫學中心及購物中心。

表 1.3-1 大用戶單位面積年用電量密度(EUI)比較表[2]

建築物用途分類		統計 樣本	單位面積年耗電量密度 ¹				單位面積年耗電量密度 ²			
			平均值	最小值	最大值	標準差	平均值	最小值	最大值	標準差
主類別	次類別	(家)	(kWh/ m ² ·yr)	(kWh/ m ² ·yr)	(kWh/ m ² ·yr)		(kWh/ m ² ·yr)	(kWh/ m ² ·yr)	(kWh/ m ² ·yr)	
政府機關類	中央(一般行政)	29	114.1	36.6	189.8	46.5	134.5	38.6	360.2	68.5
	地方(一般行政)	23	87.1	37.7	134.4	25.4	108.8	41.2	169.5	36.5
學校類	一般大學	62	84.4	45.7	123.4	20.0	89.1	45.7	130.8	21.9
	科技大學	58	69.0	33.0	99.4	18.8	72.8	33.0	111.6	19.6
	高級中學	42	65.4	30.4	107.0	21.0	68.5	30.4	116.9	21.9
	工商職業學校	17	59.3	30.4	98.4	23.7	62.0	31.4	106.6	26.6
辦公大樓類		132	149.8	79.2	225.0	34.1	180.9	88.7	325.4	47.3
旅館類	國際觀光旅館	51	207.6	117.6	299.2	53.8	239.0	135.8	539.0	67.6
	一般觀光旅館	14	198.8	106.8	264.0	49.7	232.7	132.7	325.3	56.4
	一般旅館	9	195.6	172.9	223.6	17.6	213.4	186.4	247.5	22.3
百貨商場類	購物中心	17	223.8	141.3	301.0	50.7	339.4	166.7	675.3	128.2
	百貨公司	58	331.1	209.1	483.9	77.9	412.8	249.1	807.3	108.6
	量販店(一般)	74	218.2	138.4	301.8	43.8	369.2	156.9	806.8	120.4
	量販店(無冷凍冷藏)	9	214.0	137.4	375.1	85.4	294.8	183.0	381.4	70.3
醫院類	複合式商場	21	209.6	106.4	356.2	74.9	256.0	131.5	358.8	70.9
	醫學中心	24	241.9	151.7	336.5	48.7	271.8	179.3	382.2	51.5
	區域醫院	64	211.2	136.1	286.5	40.2	232.8	139.2	333.4	46.0
	地區醫院	25	148.2	86.8	217.7	38.4	157.9	92.1	236.3	42.3
	電信機房	28	815.5	474.7	1204.0	199.6	862.0	531.5	1357.2	226.5

註：

- 1.耗能指標計算納入室內停車場面積。
- 2.耗能指標計算不納入室內停車場面積。

檢視相同大用戶近五年(2008~2012)單位面積年用電量密度變化，EUI 指標大多呈現下降趨勢，顯示隨著近年油電價格調漲與節約能源觀念普及，建築物之用電效率逐年提升。

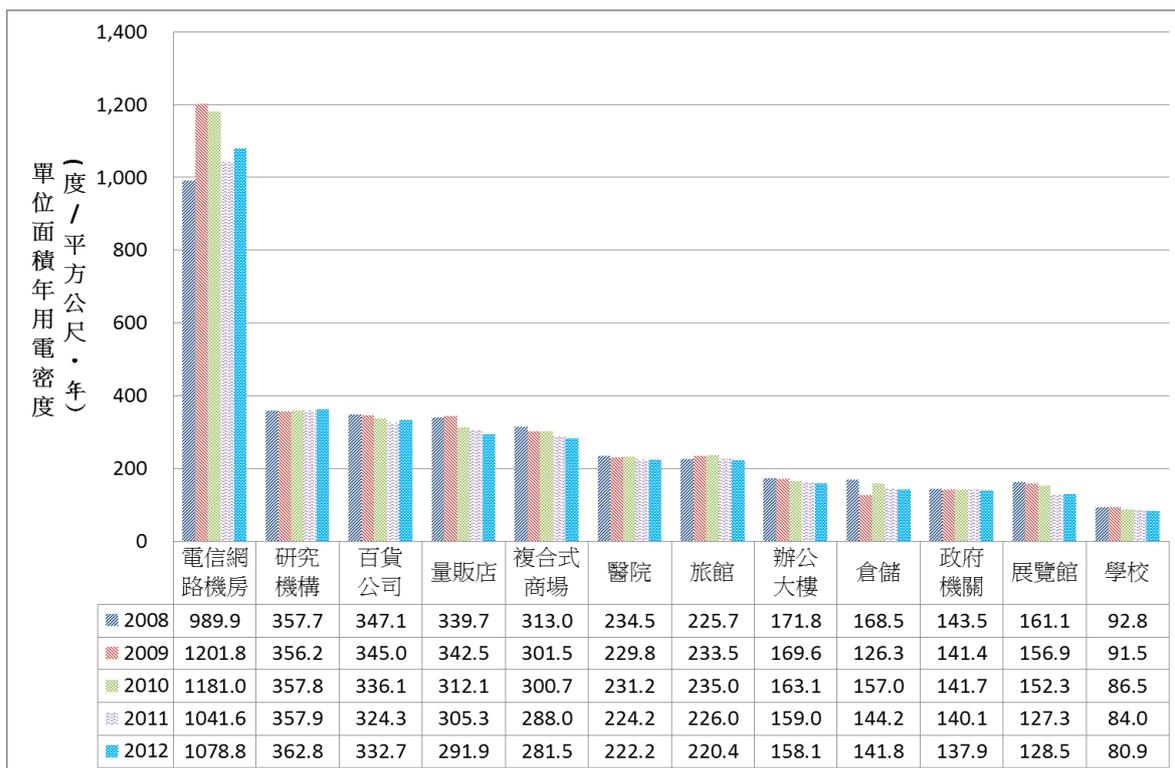


圖 1.3-1 近五年單位面積年用電量密度(EUI)統計圖[2]

第二章 建築物節能法規簡介

2.1 我國各類建築物的節約能源設計基準

一棟建築物的壽命可達 50 年以上，尤其在夏日建築物的空調用電比例約占總尖峰用電的三分之一左右，若能減少建築物日常能源的消耗，得到的節能效益是很顯著的。有鑒於此，為了促進能源有效利用，在不妨礙居住環境之安全、健康和舒適條件下，建築技術規則在施工篇中第 308 條至 315 條中，明確規定我國各類建築物的節約能源設計之基準。以下，就建築技術規則中有關建築節約能源設計基準的氣候分區、各類建築物適用的評估指標規定，做簡要的敘述與說明。

按照建築技術規則第 308 條規定，建築物建築外殼之節約能源設計，應參照圖 2.1-1 氣候分區辦理。

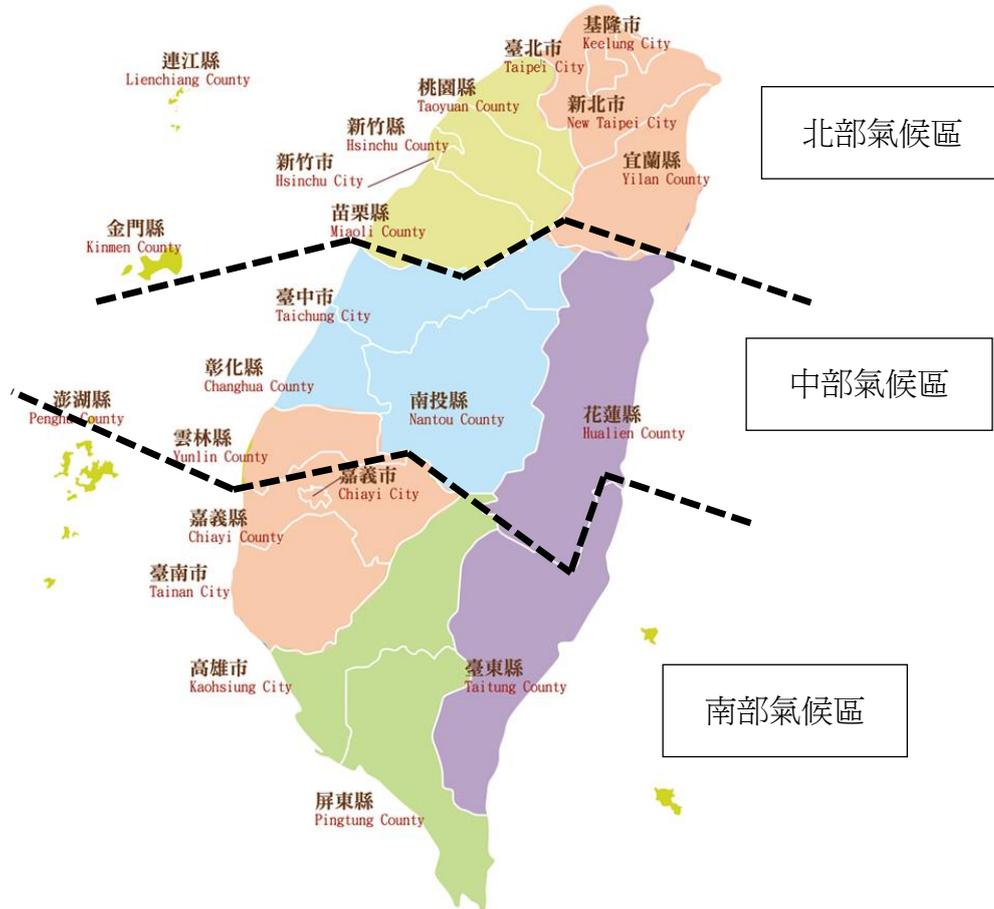


圖 2.1-1 建築節約能源設計之氣候分區圖

受建築節約能源管制之建築物，依其類別不同，除需檢討表 2.1-1 所示之指定能耗指標外，另屋頂之平均熱傳透率(U_{ar})、透光天窗日射透過率(HW_s)，及玻璃對戶外之可見光反射率(GR_c)等四項都應低於其對應基準值之規定。

表 2.1-1 我國各類建築物的節約能源管制能耗指標

建築類別	建築能耗指標		
	中文名稱	英文縮寫	單位
辦公類	建築外殼耗能量	ENVLOAD	kWh/m ² .yr
百貨商場類	建築外殼耗能量	ENVLOAD	kWh/m ² .yr
旅館類	建築外殼耗能量	ENVLOAD	kWh/m ² .yr
醫院類	建築外殼耗能量	ENVLOAD	kWh/m ² .yr
學校類	窗面平均日射取得率	AWSG	kWh/m ² .yr
大型空間類	窗面平均日射取得率	AWSG	kWh/m ² .yr
住宿類	等價開窗率	Req	%
其他類	屋頂熱傳透率	Uar	W/m ² .K

2.2 外牆及屋頂平均熱傳透率的管理基準

建築物屋頂整日受太陽的照射，吸收了大量的太陽輻射熱，這些被吸收的太陽輻射，會讓屋頂外表面的溫度上升。在晴朗的夏天，屋頂外表面的溫度通常可達到 40~50°C 之間，在豔陽高照的中午時刻，甚至會超過 60°C 以上。如此高的室內、外表面溫度差，沒有良好隔熱性能的屋頂很容易成為夏季室內熱量的最大來源。因此，我國的建築技術規則將加強屋頂的隔熱性能列為建築物節約能源管理的重點項目，並以屋頂平均熱傳透率(U_{ar})做為指標。建築技術規則 308 條之一規定屋頂平均熱傳透率應低於 0.8W/m².K，以抑制屋頂因內、外表面溫差造成的熱傳導熱量；308 條之二則規定外牆平均熱傳透率及窗平均熱傳透率應低於表 2-2-1 所示之基準值。

表 2.2-1 外牆及窗平均熱傳透率基準值(W/m².K)

類別	外牆平均熱傳透率基準值	窗平均熱傳透率基準值					
		開窗率					
		>0.5	0.5~0.4	0.4~0.3	0.3~0.2	0.2~0.1	<0.1
住宿類	2.75	2.7	3.0	3.5	4.7	5.2	6.5
其他	2.0	2.7	3.0	3.5	4.7	5.2	6.5

熱傳透率(U值)和熱阻值(R值)是用於衡量建築物牆體或者屋頂熱力性能的兩個指標，R值代表建築物牆體或屋頂阻止熱量穿過的能力，建築物牆體或屋頂的R值越高，表示該牆體或屋頂的隔熱性能越強；U值代表牆體或屋頂室內、外兩側表面之間的熱傳導量，與R值的意義相反，U值越低，表示熱傳導量就越低，牆體或屋頂的隔熱效果就越好。

利用熱傳導係數(k值)和厚度可以衡量材料或的熱阻值(R值)和熱傳透率(U值)，對單一種建築材料而言，其熱阻值(R值)的計算如公式(2-1)。

$$R = d / k \quad (2-1)$$

其中

R：熱阻值，m².K/W

d：材料厚度，m

k：熱傳導係數，W/m.K

一般而言，建築物牆體或屋頂是由多種材料組合而成的，則其總和熱阻值(R_t值)的計算如下式：

$$R_t = R_o + d_1 / k_1 + d_2 / k_2 + \dots d_n / k_n + R_i \quad (2-2)$$

其中

R_o：外表面的空氣薄層熱阻，m².K/W

R_i：內表面的空氣薄層熱阻，m².K/W

k：組成材料的熱傳導係數，W/m.K

d：基本材料的厚度，m

建築物牆體或屋頂的熱傳透率(U 值)表示在穩定傳熱條件下，單位面積的建築牆體或者屋頂內、外兩側表面在單位空氣溫差和單位時間內直接傳導的熱量。其數值剛好是牆體或屋頂的熱阻值(R_t 值)倒數，如公式(2-3)所示。建築材料的 U 值越低，代表抗熱性越好。

$$U = 1 / R_t \quad (2-3)$$

表 2.2-2 以常見的 PS 隔熱板屋頂構造來說明如何計算 U_{ar} 值，從這個計算範例說明，也可以了解到不同材料的熱阻值(R 值)對牆體及屋頂的隔熱效果的影響。像傳統的 RC 混凝土建築材料的熱阻性能不是很好，採用隔熱材料進行隔熱處理才能達到良好的效果。以表 2.2-2 中的 PS 板為例，同等厚度 PS 板隔熱效果超過 RC 混凝土隔熱效果的 20 倍以上。若同一棟建築物有不同的屋頂構造，則以面積加權的方式計算其屋頂平均熱傳透率，如公式(2-4)。藉由表 2.2-2、表 2.2-3 之案例說明其計算方式。

$$U_{ar}=(U_{ar,1} \times A_{r,1}+U_{ar,2} \times A_{r,2}+\dots+U_{ar,n} \times A_{r,n})/(A_{r,1}+A_{r,2}+\dots+A_{r,n}) \quad (2-4)$$

表 2.2-2 屋頂構造的 U_{ar} 計算範例

材料名稱	厚度 d (m)	熱傳導係數 k (W/m.K)	熱阻 $R(m^2.K/W)$
外氣膜			0.04
PS 隔熱板	0.050	0.06	0.83
水泥砂漿	0.020	1.50	0.01
PU 防水	0.002	0.05	0.04
RC 混凝土	0.150	1.40	0.11
水泥砂漿	0.020	1.50	0.01
內氣膜			0.14

*總和熱阻值 $R_t=0.04+0.83+0.01+0.04+0.11+0.01+0.14=1.18$

*屋頂熱傳透率 U_{ar} 值= $1/1.18=0.85$

表 2.2-3 有不同屋頂構造的 U_{ar} 計算範例

主要構造說明	面積, A_r (m^2)	U_{ar} 值 ($W/m^2.K$)	$U_{ar} \times A_r$ (W/K)
15cm 覆土+10cm 泡沫混凝土+15cm RC 混凝土	200	0.88	176
4cm PS 隔熱磚+10cm 泡沫混凝土+15cm RC 混凝土	300	0.75	225
鋼瓦+5cm 岩棉+5 cm 玻璃棉+矽酸鈣板天花	500	0.39	195
合計	1000	0.596	596

$$*U_{ar}=596/1000=0.596 \text{ W/m}^2.K$$

2.3 窗戶與屋頂窗戶透過率的管理基準

在建築物的中庭或走道的屋頂採用玻璃採光罩，可增加透光明亮，減少照明的用電，具有照明節能上意義，如圖 2.3-1 所示。但另一方面，屋頂天窗引進光線也將太陽的輻射熱引入室內，這些被引入的太陽光被樓板吸收後，變成長波輻射。由於玻璃的特性，長波輻射並不容易穿透玻璃再回到室外，加上天窗其特殊的位置，一般為不可開啟的玻璃窗，如果設計不當，這些中庭或者走道很容易變成一間溫室，增加空調的用電。因此建築技術規則 308 條之一規定：當設有水平仰角小於 80 度之屋頂透光天窗，且其水平投影面積(HW_a)大於 $1.0m^2$ 時，其透光天窗日射透過率(HW_s)，如公式(2-5)，應低於其基準值(HW_{sc})，如表 2.3-1。但建築物外牆透空二分之一以上之空間，不在此限。

$$HW_s = \frac{\sum_i (1.0 - Kh_i) \times \eta_i \times Ag_i}{\sum_i Ag_i} \quad (2-5)$$

其中

Kh ：外遮陽或固定室內遮陽之遮蔽率，無單位

η ：玻璃日射透過率，無單位，可查表得出

Ag ：屋頂透光部位水平投影面積， m^2



圖 2.3-1 建築物中庭或走道的屋頂玻璃採光罩

(資料來源：<http://www.ecohouse.org.tw/>)

表 2.3-1 透光天窗日射透過率基準值

水平投影面積 HW_a, m^2	基準值 HW_{sc}
$HW_a < 30$	=0.35
$30 \leq HW_a < 230$	= $0.35 - 0.001 \times (HW_a - 30.0)$
$HW_a \leq 230$	=0.15

有一些大樓帷幕牆為了減少空調耗電量採用鍍有金屬薄膜的高反射玻璃，因而產生大量反射陽光，造成危害交通安全及侵害鄰居生活隱私的「反光公害」問題，如圖 2.3-2 所示。「反光公害」是一種嚴重的環保公害，是由於玻璃反射戶外景觀，例如藍天白雲或是綠樹花叢，導致鳥類誤認為玻璃是可通過的空域，以致直接飛撞，引發「鳥類撞擊玻璃而死亡」的問題。所以，建築技術規則 308 條之一要求外牆、窗戶與屋頂所設之玻璃對戶外之可見光反射率不得大於 0.25，以有效減低刺眼的反射陽光。



圖 2.3-2 大樓帷幕牆高反射光造成的反光公害

(資料來源：<http://www.ys-co.com.tw/>)

建築技術規則 308 條之二規定受建築節約能源管制建築物除符合 309 條、310 條、311 條或 312 條規定者及海拔高度八百公尺以上者，其窗平均遮陽係數應低於表 2.3-2 所示之基準值。窗遮陽係數是指日射量穿透進開窗部位之比例，包括外遮陽以及玻璃材質對日射量的折減比例。外遮陽對開窗面日射之遮蔽效果依外遮陽形式以係數 k_i 修正，表 2.3-3 顯示水平遮陽形式之 k_i 值，其他形式外遮陽如垂直遮陽與格子遮陽等可參閱建築技術規則的設計規範。

表 2.3-2 窗平均遮陽係數基準值

類別	開窗率					
	>0.5	0.5~0.4	0.4~0.3	0.3~0.2	0.2~0.1	<0.1
住宿類	0.1	0.15	0.25	0.35	0.45	0.55
其他	0.2	0.30	0.40	0.50	0.55	0.60

表 2.3-3 水平遮陽型式之 ki 值[3]

tanθ	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0	20.0	
水 平 遮 陽 板	S	0.26	0.28	0.30	0.32	0.36	0.40	0.44	0.47	0.50	0.57	0.57	0.66	0.69	0.74	0.78	0.83	0.86	0.93
	SSW	0.25	0.27	0.30	0.32	0.37	0.41	0.45	0.48	0.51	0.57	0.57	0.66	0.70	0.75	0.78	0.83	0.86	0.83
	SW	0.25	0.28	0.30	0.33	0.38	0.43	0.47	0.51	0.54	0.61	0.61	0.70	0.73	0.78	0.81	0.86	0.88	0.94
	WSW	0.26	0.29	0.32	0.35	0.40	0.45	0.50	0.53	0.57	0.63	0.63	0.72	0.75	0.79	0.82	0.87	0.89	0.94
	W	0.28	0.31	0.34	0.37	0.42	0.47	0.51	0.54	0.58	0.64	0.64	0.72	0.75	0.80	0.83	0.87	0.90	0.95
	WNW	0.29	0.33	0.36	0.38	0.43	0.48	0.52	0.55	0.58	0.64	0.64	0.73	0.75	0.79	0.82	0.87	0.89	0.94
	NW	0.33	0.35	0.38	0.40	0.45	0.49	0.52	0.56	0.59	0.64	0.64	0.72	0.75	0.79	0.82	0.86	0.89	0.94
	NNW	0.38	0.40	0.43	0.45	0.49	0.53	0.56	0.59	0.61	0.66	0.66	0.74	0.76	0.80	0.83	0.87	0.89	0.94
	N	0.43	0.46	0.48	0.50	0.54	0.58	0.61	0.63	0.65	0.70	0.73	0.76	0.78	0.82	0.84	0.87	0.90	0.94
	NNE	0.40	0.42	0.44	0.46	0.50	0.54	0.57	0.60	0.62	0.67	0.71	0.74	0.76	0.80	0.83	0.87	0.89	0.94
	NE	0.35	0.37	0.39	0.41	0.46	0.50	0.53	0.56	0.59	0.64	0.69	0.72	0.75	0.79	0.82	0.86	0.89	0.94
	ENE	0.31	0.34	0.37	0.39	0.43	0.48	0.52	0.55	0.57	0.64	0.68	0.72	0.75	0.79	0.82	0.86	0.89	0.94
	E	0.29	0.32	0.35	0.37	0.42	0.46	0.50	0.53	0.56	0.63	0.68	0.71	0.74	0.79	0.82	0.86	0.89	0.94
	ESE	0.28	0.30	0.32	0.35	0.39	0.43	0.47	0.51	0.54	0.60	0.65	0.69	0.72	0.77	0.81	0.85	0.88	0.94
	SE	0.27	0.29	0.31	0.33	0.36	0.40	0.43	0.47	0.50	0.56	0.62	0.66	0.70	0.75	0.78	0.83	0.87	0.93
	SSE	0.27	0.28	0.30	0.31	0.34	0.38	0.42	0.45	0.48	0.54	0.59	0.64	0.67	0.72	0.76	0.82	0.85	0.92

2.4 各類建築物的節約能源管理指標

我國建築技術規則對於辦公廳類、百貨商場類、旅館類及醫院類建築物是採用 ENVLOAD 作為節約能源管理指標，第 309 條規定其 ENVLOAD 應低於表 2.4-1 之基準值。

表 2.4-1 各類建築物之 ENVLOAD 基準值

氣候區	辦公廳類	百貨商場類	旅館類	醫院類
北部	80	240	100	140
中部	90	270	120	155
南部	115	315	135	190

外殼耗能量 ENVLOAD 可選擇以精算公式或簡算公式計算，其公式如下：

● 精算公式

$$ENVLOAD = -20370 + 2.010 \times G + 0.033 \times L \times DH + 1.079 \times \sum_i M_i \times IH_i \quad (2-6)$$

$$L = \frac{\sum_i U_i \times A_i + 0.5 \sum_i U_i \times A'_i}{AF_p} + 1.011 \quad (2-7)$$

$$M_k = \frac{[\sum_i K_i \times \eta_i \times A_i + 0.035 \sum_i U_i \times A'_i] + 0.5 [\sum_i K_i \times \eta_i \times A_i + 0.035 \sum_i U_i \times A'_i]}{AF_p} \quad (2-8)$$

$$G = 13.5 \times AC \quad (2-9)$$

● 簡算公式

$$AWR = a \times \frac{\sum_i IH_i \times K_i \times \eta_i \times A_i}{A_{en}} + b \quad (2-10)$$

$$A_{en} = \sum_i (A_{g,i} + A_{w,i}) + \sum_i (A_{gs,i} + A_{r,i}) \quad (2-11)$$

其中

DH：全年冷房度時，Kh

IH：全年冷房日射時，Wh/m².yr

U：外殼熱傳透率，W/(m².K)

A, A'：空調區、非空調區外殼面積，m²

A_{en}：辦公類建築物外殼總面積，m²

AF_p, AF_i：外周區、內部區空調總樓地板面積，m²

A_g：外牆之開窗面積，m²

A_{gs}：屋頂天窗之水平投影面積，m²

A_w：外牆之不透光部位面積，m²

A_r：屋頂不透光部位之水平投影面積，m²

A_c：冷房空調運轉時間，h

k：窗戶之外遮陽係數

η ：玻璃日射透過率

a,b：常數

另外，外周區空調總樓地板面積 AF_p 是指由外牆中心線起算 5m 內之空調外周區域；內部區空調總樓地板面積 AF_i ，為除了 AF_p 以外的地上層空調總樓地板面積，如圖 2.4-1 所示。

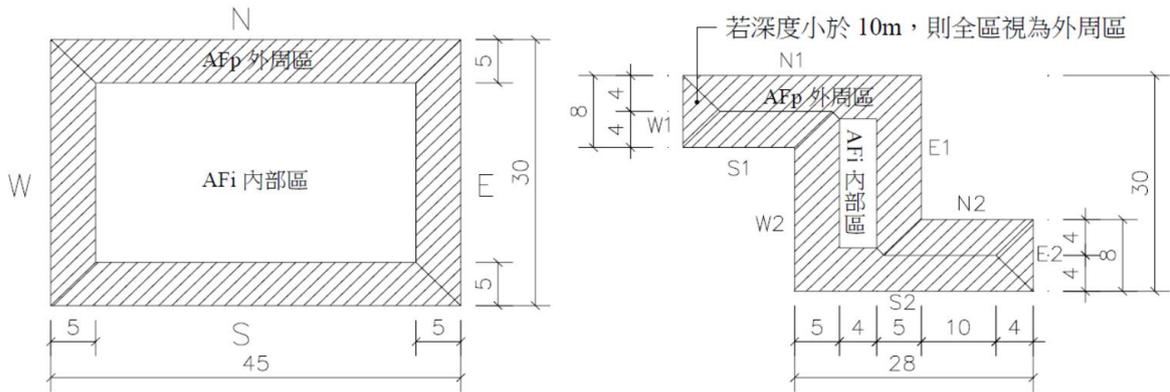


圖 2.4-1 外周區面積計算說明示意圖[3]

建築技術規則設計施工篇第 311、312 條分別規定學校類、大型空間類建築物居室空間之窗面平均日射取得量 (AWSG) 應分別低於表 2.4-2 之基準值。但大型空間類建築物平均立面開窗率 (X) 在 10% 以下者，其窗面平均日射取得量得不受限制。

平均立面開窗率(X)計算公式為：

$$x = \frac{\sum_i A_i}{\sum_i Aw_i} \quad (2-12)$$

窗面平均日射取得量基準值 AWSG 計算公式為：

$$AWSG = \frac{\sum_i IH_i \times K_i \times \eta_i \times f_{v,i} \times A_i}{\sum_i A_i} \quad (2-13)$$

其中

IH：全年冷房日射時 IHk，Wh/m²

k：窗戶之外遮陽係數

η ：玻璃日射透過率，學校類逕令 $\eta = 1.0$

f_v ：學校類建築物開窗之通風修正係數，若為大型空間類建築物則令 $f_v = 1.0$

A_w ：含開窗與實牆之外殼面積， m^2

A ：窗面積， m^2 。如為學校類建築，其浴廁、樓梯間、機械間、停車等空間，及面臨中間走廊或 1.5m 以上之戶外走廊之開窗部分不得列入計算。如為雙邊走廊設計之空間，必須選擇其中較淺邊之戶外走廊作為 AWSG 遮陽計算。但如為大型空間類建築，則全部的開窗部分均需納入計算。

表 2.4-2 學校類與大型空間類建築物之 AWSG 基準值

氣候分區	學校類	大型空間類
北部	160	$=146.2x^2 - 414.9x + 276.2$
中部	200	$=273.3x^2 - 616.9x + 375.4$
南部	230	$=348.4x^2 - 748.4x + 436.0$

建築技術規則設計施工篇第 310 條分別規定住宿類建築物外殼不透光之外牆部分之平均熱傳透率應低於 $3.5W/m^2.K$ ，且其建築物外殼等價開窗率之計算值應低於表 2.4-3 之基準值。

表 2.4-3 住宿類建築物之 Req 基準值

氣候分區	基準值
北部	13%
中部	15%
南部	18%

$$Req = A_{eq} / A_{en} \quad (2-12)$$

$$A_{eq} = \sum A_{gi} \times f_k \times K_i \times f_{vi} + \sum A_{gsi} \times f_k \times K_i \times f_{vi} \quad (2-13)$$

$$A_{en} = \sum (A_{gi} + A_{wi}) + \sum (A_{gsi} + A_{ri}) \quad (2-14)$$

其中

f_k ：日射修正係數

f_v ：通風修正係數

k_i ：開窗之外遮陽修正係數

A_{gi} ：外牆玻璃窗面積， m^2

A_{gsi} ：屋頂玻璃窗面積， m^2

A_{wi} ：不透光外牆面積， m^2

A_{ri} ：不透光屋頂之水平投影面積， m^2

2.5 綠建築之日常節能評估指標

建築技術規則僅對建築物外殼的設計做節能上的規定，但對於建築物日常耗能中占最大用電比例的空調及照明系統能源效率，並無相關規定。因此台灣的綠建築評估系統，融合建築外殼節能設計、空調效率設計及照明效率設計等三方向，成為「日常節能指標」。日常節能指標在建築外殼、空調系統和照明三個方面的主要評估項目如圖 2.5-1 所示。

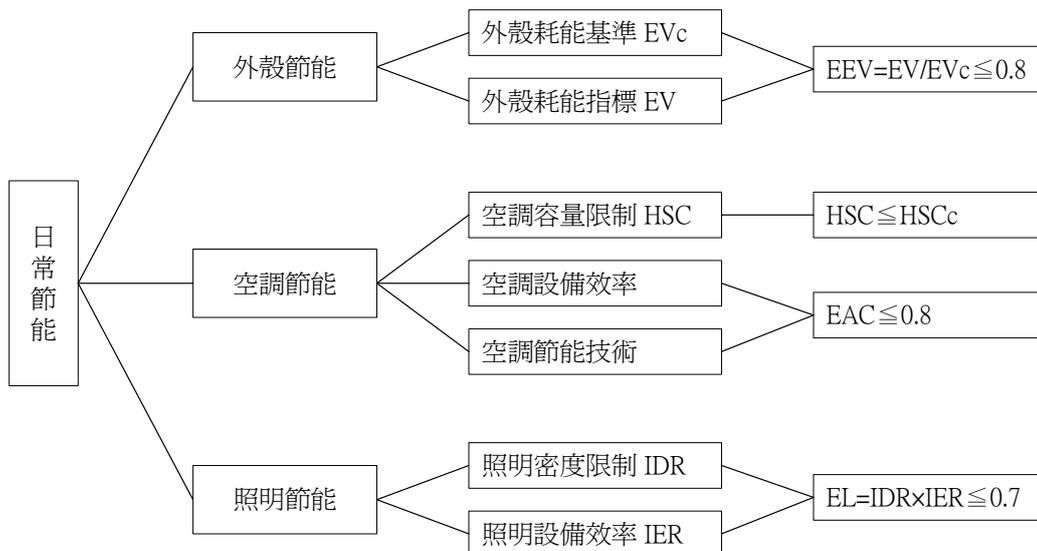


圖 2.5-1 日常節能指標主要評估項目

在建築物外殼節能評估方面，要通過認證之綠建築其外殼耗能的合格基準比建築技術則規定之節能法規嚴格 20%。空調系統節能評估方面包括防止主機超量設計、鼓勵採用高效率設備與空調節能技術等。空調系統可分為中央空調型、窗型及分離式空調三種使用方使，採用中央空調型的建築物，其評估項目有主機容量效率 HSC 及空調系統節能效率 EAC 二項，計算方式如式(2-15)及式(2-16)。採用窗型及分離式空調的建築物可以免除空調節能設計的評估，直接令 EAC=0.8。[4]

$$HSC = AC_{sc} / AC_s \leq HSC_c \quad (2-15)$$

$$EAC = \{ PR_s \times [(HC_i \times COP_{ci}) / (HC_i \times COP_i)] \times R_s + PR_f \times R_f + PR_p \times R_p \} \times R_m \leq 0.8 \quad (2-16)$$

其中

AC_s：冰水主機設計供應面積，m²/USRT

AC_{sc}：冰水主機設計供應面積基準，m²/USRT

HC_i：冰水主機容量，USRT

COP_i：冰水主機設計性能係數

PR_s、PR_f、PR_p：熱源系統、送風系統、送冰水系統之設計功率比，無單位

R_s、R_f、R_p：為熱源系統、送風系統、送冰水系統的節能效率，無單位

照明系統節能評估同樣的以預防照明燈具超量與鼓勵採用高效率燈具設計為主，評估公式如式(2-17)，主要計算建築物所有居室的燈具效率係數 IER，及主要作業空間照明功率係數 IDR，如式(2-18)和式(2-19)。

$$EL = IER \times IDR \times (1.0 - \beta_1 - \beta_2 - \beta_4) \leq 0.7 \quad (2-17)$$

$$IER = (n_i \times w_i \times B_i \times C_i \times D_i) / (n_i \times w_i \times r_i) \quad (2-18)$$

$$IDR = (sw_j) / (UPD_{cj} \times A_j) \quad (2-19)$$

其中

n_i 、 w_i 、 r_i ：某 i 類燈具的數量、功率(W)及效率比

B_i ：安定器係數，可查詢綠建築評估手冊[4]

C_i ：照明控制係數，可查詢綠建築評估手冊[4]

D_i ：燈具效率係數，可查詢綠建築評估手冊[4]

sw_j ：主要作業空間的照明總功率，W

A_j ：主要作業空間樓地板面積， m^2

UPD_{c_j} ：是主要作業空間照明功率基準， W/m^2

2.6 國內外建築物隔熱標準比較

由於臺灣位於亞熱帶氣候區，室內外溫差不大，建築外殼熱負荷對室內空調影響較小，且考慮我國建築營造習慣對於外牆及屋頂較缺乏隔熱層設計，玻璃亦較少採用複層玻璃，為此，我國建築節能法規採用 ENVLOAD、Req、AWSG 等性能式規定，以整體考量開口率、隔熱、遮陽等綜合性能。此一性能式法規相較於美國、中國 U 值之局部規定更具全盤考量。惟若僅以建築外殼耗能規定而言，相較於與臺灣氣候近似的美國 ASHRAE90.1 中的 Zone 1~2 以及中國華南地區，我國現行外殼隔熱之 U 值規定約為美國及中國隔熱水準之 30~70%（如表 2.6-1 所示），有鑑於此，部分專家學者建議營建署修改建築技術規則之外殼節約能源標準，以提高窗戶、外牆及屋頂之隔熱基準。

表 2.6-1 國內外建築物隔熱標準比較

各國相當氣候水準比較區	屋頂平均傳透率上限值 U_{wmax} ($W/m^2.K$)	外牆平均傳透率上限值 U_{wmax} ($W/m^2.K$)	玻璃部位平均傳透率上限值 U_{wmax} ($W/m^2.K$)		
			立面開窗率 >40%	40% ≥ 立面開窗率 ≥ 25%	立面開窗率 < 25%
台灣	0.8	3.5	2.7~6.5		
美國 Zone 1~2	一般隔熱材 0.27~0.36	實牆 0.85~3.3	不准立面開窗率 >40%	非金屬 4.26~6.8	
	金屬 0.37	金屬牆 0.64		金屬 3.97~6.8	
中國華南	0.9~1.0	0.7~2.0	2.0	3.0~6.0	6.5

第三章 建築外殼節能技術

3.1 建築外殼概論

雖然建築技術在各個面向的發展不斷的更新，但是目前為止建築的基本系統及系統的基本屬性並未有所改變。如圖 3.1-1 所示，建築系統大致可分為：受力系統、空間分隔系統及氣候調節系統。其中受力系統指的是建築物的承重結構；空間分隔系統為建築內部分隔不同居室中的分隔牆；氣候調節系統指的是具有調節室內微氣候的設備(主動式)與建築外殼(被動式)。

建築物室內熱狀態受室外氣候狀態和建築結構所影響，因此建築物空調能耗在很大程度上與建築外殼形式和室外氣候狀態有關，藉由改善建築物外殼的立面與屋頂形式以改善建築熱性能，是建築節能的重要途徑。

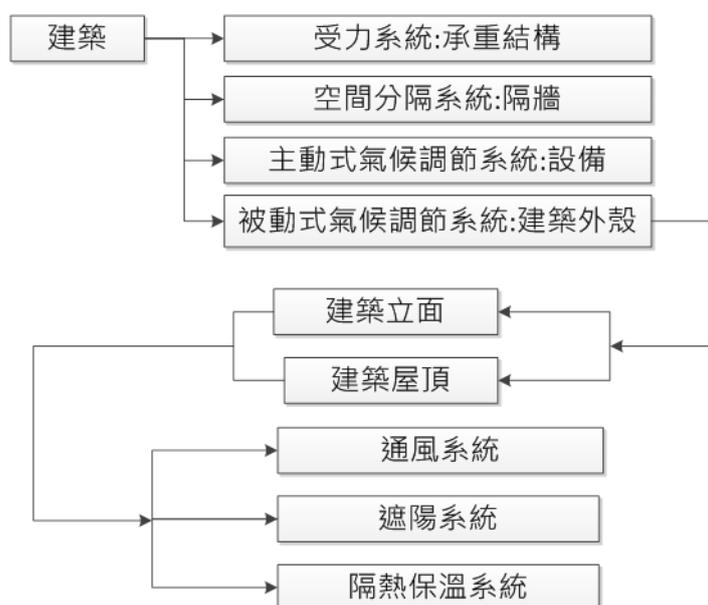


圖 3.1-1 建築全系統與建築外殼節能

一般而言，造成空調能耗之主要熱負荷來源包括：「室內發散熱負荷」、「新鮮外氣熱負荷」及「建築外殼熱負荷」。「室內發散熱負荷」來自室內人員、照明、事務機具所散發出來的熱量；「新鮮外氣熱負荷」則是為了維持室內空氣之新鮮度、健康性，自戶外引入必要新鮮空氣量

所增加的室內熱量；「建築外殼熱負荷」則是由建築牆體、屋頂、透光開口部位流入室內的熱量。其中，屋頂與牆體的隔熱性能及開窗部位的遮陽性能是上述三大因素中，可透過建築外殼熱性能來控制空調能耗的重要因素。建築外殼隔熱性能在於阻絕因為建築室內外溫差所造成外殼傳導熱，亦即在於抑制經由屋頂面、玻璃面與牆壁以熱傳透方式進出的熱流；開窗部位的遮陽性能則在於控制經由建築開窗部位傳入室內的太陽輻射熱。有關加強建築屋頂及開窗部位遮陽性能的手法，將在以下章節做詳細的介紹。

3.2 屋頂隔熱技術

屋頂隔熱能力對於居住環境是很重要的，尤其在住宅、療養院、學校、文化中心、禮堂、購物中心、量販店等低樓層大空間建築的屋頂隔熱，更是左右舒適環境與空調能耗的關鍵。如表 3.2-1 所示，台灣水平方位的日射量為南向的 2.78 倍，建築物屋頂層的空調負荷量甚高。尤其在仲夏尖峰期間，台灣屋頂層外表面溫度可能高達 60~70°C，非空調頂層內部表面溫度可能高達 45°C，使室內產生高輻射熱。這些條件可能使原來 27°C 的體感溫度(乾球溫度 30°C、濕球溫度 25°C 時之有效溫度)變成 31°C 的實感溫度，令居住者酷熱難耐。解決這些能源與居住環境問題最好的方法莫過於屋頂隔熱工程。

表 3.2-1 台灣各地溫熱期間(5-10 月)各方位日射量及比例

方位地名	北緯	東經	S	SSW SSE	SW SE	WSW ESE	W E	WNW ENE	NW NNE	NNW NNE	X	H
基隆	25.13	121.75	1172	1249	1349	1402	1389	1314	1186	1036	942	3091
台北	25.03	121.52	1241	1321	1427	1481	1462	1377	1234	1070	969	3263
新竹	24.80	120.97	1368	1469	1604	1675	1654	1549	1370	1164	1038	3711
台中	24.15	120.67	1338	1434	1565	1635	1618	1518	1348	1151	1032	3629
花蓮	23.97	121.62	1230	1328	1462	1539	1537	1456	1308	1127	1012	3451
嘉義	23.50	120.42	1273	1365	1493	1564	1555	1468	1313	1131	1020	3491
台南	23.00	120.22	1351	1460	1616	1707	1701	1602	1422	1207	1077	3837
台東	22.75	121.15	1246	1346	1491	1578	1580	1500	1348	1159	1043	3560
高雄	22.58	120.30	1242	1342	1487	1574	1578	1500	1349	1161	1046	3557
宜蘭	24.77	121.75	1202	1290	1406	1470	1462	1384	1245	1080	974	3267
合計	<12 測站>		15290	16458	16094	19028	18952	17901	16010	13736	12344	42581
比值	以 S 為 1		1	1.08	1.18	1.24	1.24	1.17	1.05	0.90	0.81	2.78

註：日射量單位 W/(m².day)

屋頂是建築物中吸收最多太陽熱能的部位，在全天太陽日射下蓄積熱能，並由外層逐漸向室內側傳遞，導致建築熱負荷的增加。另外在太陽的照射下，特別是夏季期間，屋頂室內側的表面溫度會遠高於其他牆面與地板的表面溫度，形成居室內表面溫度不對稱現象，或所謂的不對稱熱輻射現象。當屋頂的內表面與其他牆面及地板的表面溫度差過大時，室內人員會因為輻射不對稱而感到局部不舒適。有關局部不舒適的詳細評估方法可以參考 ISO7730:2005 (Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria)，其重要的公式節錄如公式(3-1) ~ (3-4)：

- 冷牆面(cool wall)

$$PD = \frac{100}{1+\exp(6.61-0.345\times\Delta t_{pr})} , \Delta t_{pr} < 15^{\circ}\text{C} \quad (3-1)$$

- 暖屋面(warm ceiling)

$$PD = \frac{100}{1+\exp(2.84-0.174\times\Delta t_{pr})} - 5.5 , \Delta t_{pr} < 23^{\circ}\text{C} \quad (3-2)$$

- 冷屋面(cool ceiling)

$$PD = \frac{100}{1+\exp(9.93-0.5\times\Delta t_{pr})} , \Delta t_{pr} < 15^{\circ}\text{C} \quad (3-3)$$

- 暖牆面(warm wall)

$$PD = \frac{100}{1+\exp(3.72-0.052\times\Delta t_{pr})} - 3.5 , \Delta t_{pr} < 35^{\circ}\text{C} \quad (3-4)$$

其中

PD：不舒適百分比，%

Δt_{pr} ：冷熱壁面的表面溫度差， $^{\circ}\text{C}$

考慮照在外表面上的太陽輻射，綜合太陽輻射、屋頂長波輻射和熱對流的作用，計算屋頂傳導熱所需的等效外氣溫度(t_e)的計算公式如公式(3-5)：

$$t_e = t_o + \alpha G_t/h_o - \varepsilon \delta R/h_o \quad (3-5)$$

其中

h_o ：熱對流與熱輻射的合併係數， $W/m^2.K$

α ：屋頂外表面的吸收係數

G_t ：太陽輻射， W/m^2

$\varepsilon \delta R/h_o$ ：長波輻射修正項，對屋頂而言通常取 $3.9^\circ C$

單位屋頂面積傳入室內的熱量(Q)可以表示為：

$$Q = (t_e - t_i) \times U \quad (3-6)$$

其中

t_i ：屋頂室內側表面溫度

U ：屋頂的熱傳導率， $W/m^2.K$

從公式(3-6)可了解到降低透過屋頂傳入室內熱量主要有兩個重點，一是降低屋頂外表面的等效外氣溫度，亦即減少屋頂的太陽光吸收；另一則是加強屋頂隔熱層性能，亦即降低其U值，如圖 3.2-1 所示。

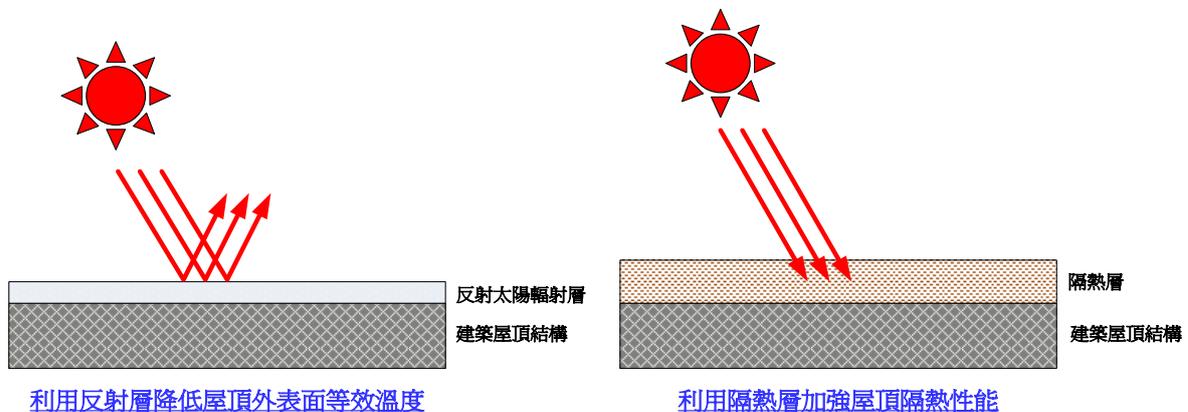


圖 3.2-1 降低屋頂傳熱的主要兩種方法

一般可以透過幾種方式來降低屋頂外表面的等效溫度，如屋頂綠化、冷屋頂、屋頂遮陽及屋頂灑水等，將於後面章節介紹。

3.3 綠化屋頂

綠化屋頂是指在整個或者部分屋頂上覆土並栽種植物，其好處包括：(1)降低頂層溫度、(2)改善熱島效應、(3)美化環境、(4)改善空氣質、(5)綠化用的泥土，過濾層可以使用建築廢料、(6)隔音、(7)調節雨水流量、(8)提供休憩園地、(9)保護屋頂。綠化屋頂不像一般地面的綠化，由於位處建築物樓板上，需要考量因素較多，譬如綠化屋頂會增加建築物的荷重負擔。如應用於既有建築的屋頂上，盡量採用覆土較淺的植草以避免大幅增加樓板的荷重。此外，在與建築物的整合上，必須確實做好屋頂防水層的防護，以免因綠化屋頂施工導致屋頂漏水。

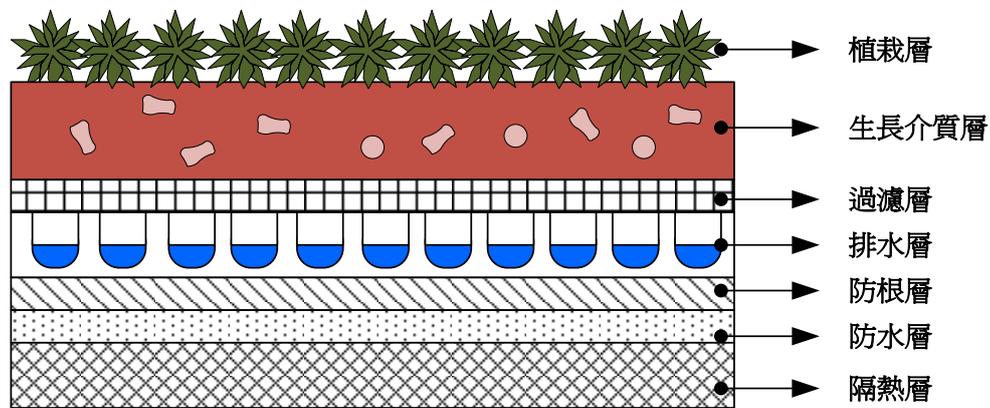


圖 3.3-1 綠化屋頂構造組成示意圖

一般綠化屋頂的構造組成如圖 3.3-1 所示，其成敗與否跟幾個要素相關，包含植栽選種、生長介質、防水與防根措施、排水與過濾層。

1. 植栽選種：植物種類是綠化屋頂最為關鍵的因子，會影響屋頂所欲呈現的景觀，在選擇上以多肉型、匍匐生長的地被植物以及對氣候適應性強的植物為主，如馬齒牡丹、馬櫻丹、佛甲草、翠玲瓏、蔓花生等。
2. 生長介質：生長介質有作為基層、提供養分與保存水分的功能，需具有保水性且重量輕的特質，常用的有泥炭土、珍珠石、椰纖塊、粗河砂、陶土粒等。
3. 防水與防根措施：防水層直接鋪設在屋面上，以防止水分滲透至屋頂樓板內而破壞結構。常用的材質包括 PVC、瀝青、高分子材

料、PU 等。防根層則位於防水層上方，主要防止植物根系穿透防水層導致屋頂漏水，常用的材料有合成橡膠、PVC、厚瀝青等。

4. 去水與過濾層：去水層位於防水層的上方，當土壤介質中的水分達飽和時，多餘的水分便藉由去水層緩慢排出，避免積水造成植栽浸泡而根系腐爛。同時，為了防止介質、碎屑滲入去水層內造成排水管堵塞，常在去水層與介質間鋪設一層過濾層，其材質通常是防水的不織布。

由管理維護與土壤層厚度的角度來看，綠化屋頂可區分為密集型、半密集型、粗放型及盆栽型。密集型的綠化屋頂可看成是位於屋頂的花園，其覆土較深，可種植喬木、灌木等較大型的植栽，需要大量的人工維護與管理。粗放型屋頂綠化，覆土較淺，保水不易，以種植耐旱的草種、低矮灌木與地被植物為主，屬於低維護型，幾乎不需要密集的維護或一年一次即可，通常這類型的綠化是不允許人們在上面活動的。半密集型屋頂綠化則介於上述兩者之間，需要少量的人工澆灌與維護，植栽則以滴灌的方式給水，同時以輕重量的陶粒做為土壤介質，除可減輕屋頂荷重外，陶粒本身多孔隙的特徵也可幫助保水。另有一種綠化屋頂方式是根據屋頂載重，在既有的屋面利用盆栽或擺放盛土栽植容器做簡易綠化，這種方式最省工，但植栽的根系成長易受局限。上述四種類型的綠化屋頂如表 3.3-1 所示。

表 3.3-1 綠化屋頂的類型與案例

分類	案例 1	案例 2
密集型		

分類	案例 1	案例 2
半 密 集 型		
粗 放 型		
盆 栽 型		

(資料來源：藍山園藝有限公司、世界屋頂綠化協會)

綠化屋頂依其施作工法不同，分為傳統式綠化屋頂及薄層綠化屋頂，其構造組成的差異如圖 3.3-2，而其兩者的優缺點比較如表 3.3-2 所示。

傳統屋頂綠化 薄層屋頂綠化

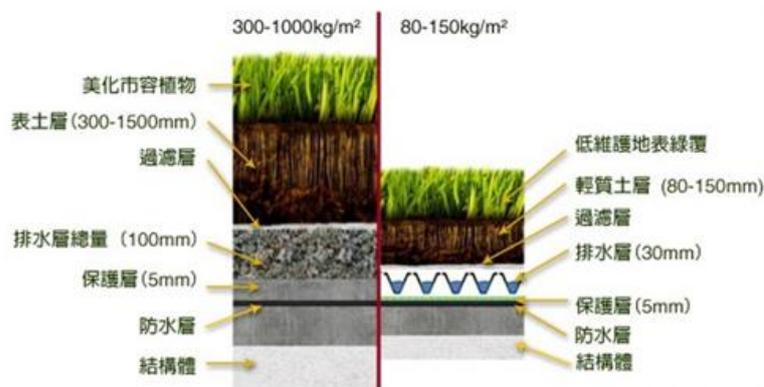


圖 3.3-2 傳統式及薄層綠化屋頂構造組成的差異說明

(資料來源：新北市政府城鄉發展局)

表 3.3-2 傳統式及薄層綠化屋頂的優缺點比較

類型	傳統綠化屋頂	薄層綠化屋頂
優點	<ul style="list-style-type: none"> 1.植物層次豐富。 2.完整性高。 3.介質體積較大，根部較可充分伸展。 	<ul style="list-style-type: none"> 1.施工簡單。 2.維管容易。 3.價格較低廉。 4.平面或傾斜 45° 內的斜屋頂皆可施作。
缺點	<ul style="list-style-type: none"> 1.設計施作較耗時費力。 2.資材搬運不易。 3.維護管理需要較高技術。 4.萬一結構有滲水等問題時，處理較困難。 	<ul style="list-style-type: none"> 1.植栽多低矮且植物種類較單純，無法提供多層次與豐富棲息空間，故生態性較不足。 2.因介質淺薄，保水力較低，較適合耐旱性的植物。

綠化屋頂的建築節能效益機制如圖 3.3-3 所示，與一般屋頂相較，綠化屋頂的植栽可以吸收照射至屋頂的太陽光以進行光合作用，同時由於有土壤層覆蓋在屋頂表面上，可以成為建築屋頂隔熱的一部分，增加屋頂的熱阻。滯留在土壤內的水分更可以藉由蒸發作用將原本要傳入室內的熱量帶回大氣中，減少熱量進入室內。此外，植物葉面也可以提供日射遮蔽效果。這些機制的綜合作用下，使得綠化屋頂的表面溫度遠低於一般屋頂，可以大幅減低從屋頂傳入室內的熱量，如圖 3.3-4 所示。

台灣大學黃國倉教授進行了有無屋頂綠化下進入室內的熱流量變化，研究結果如圖 3.3-5 所示。由夏季經由屋頂層進入室內的熱流量的實測值，可以發現在有屋頂綠化的情況下，實際流入室內的熱流量大為減少，變化較為穩定，不若一般屋頂的變動大。屋頂綠化甚至可延緩日射熱進入室內的時間，由圖中可知在日間 11 時至 16 時最熱的時段，室內熱流甚至是向外流出的。有綠化的屋頂單日總熱流量是 4.13kWh/m^2 ，無綠化的則是 18.19kWh/m^2 ，相差近 4.4 倍，這樣明顯的效果毫無疑問的將有助於空調節能與提高室內舒適度。[5]

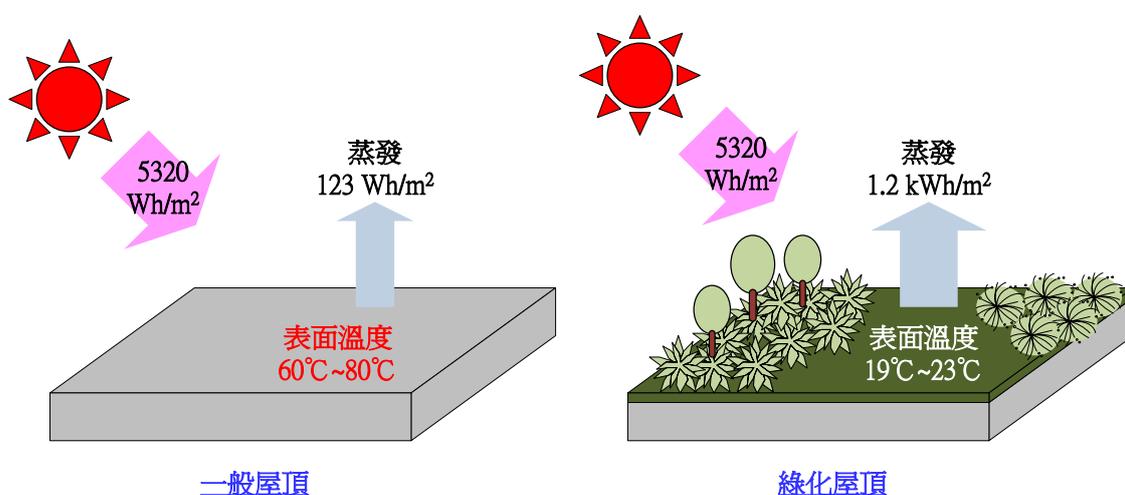


圖 3.3-3 綠化屋頂與一般屋頂的外表面溫度比較

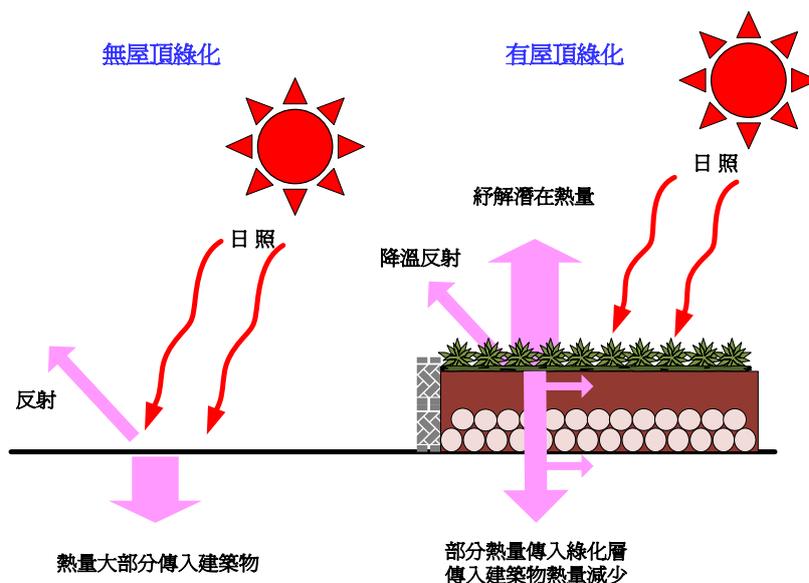


圖 3.3-4 綠化屋頂與一般屋頂的熱流量比較

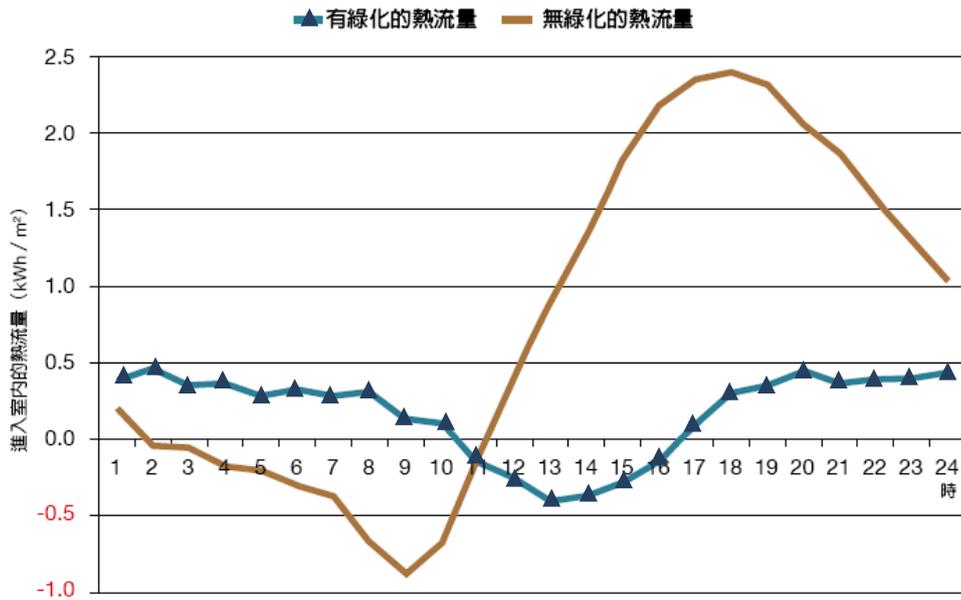


圖 3.3-5 由一般屋頂與綠化屋頂層進入室內熱流量的實測比較[6]

3.4 冷屋頂

並非所有屋頂都適合做綠化屋頂，且綠化屋頂對屋頂的相關要求也比較高。因此，為了降低屋頂表面溫度，除了前面提到的綠化屋頂，另外一種方式是採用冷屋頂解決方案，藉由屋頂反射太陽光內大部分能量，減少進入屋內的熱量，如圖 3.4-1 所示。

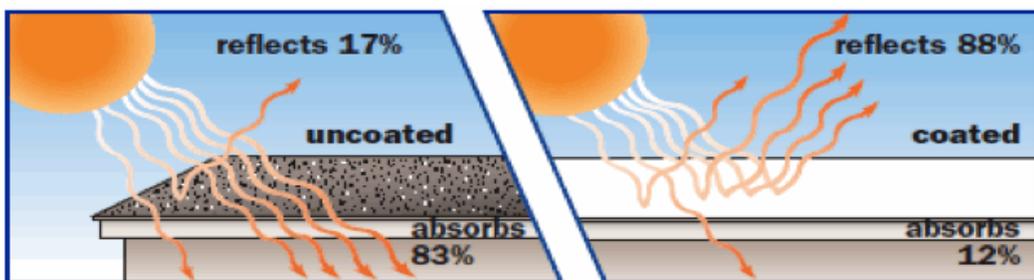


圖 3.4-1 屋頂反射太陽光能量

(資料來源：<http://us.henry.com/>)

普通屋頂由於容易吸收太陽熱，表面和周圍空氣溫度差可達 50°C 左右，導致頂層房間夏季空調冷負荷很大。所謂“冷屋頂”是指日射反射率高的屋頂，透過對普通屋頂塗上高反射率的塗料，可提高屋頂的日射反射率，減少太陽熱量的吸收。如圖 3.4-2 所示，冷屋頂的主要作用除了減少空調能耗及改善室內熱環境外，因太陽光直接反射，對於地球

降溫有一定的作用。

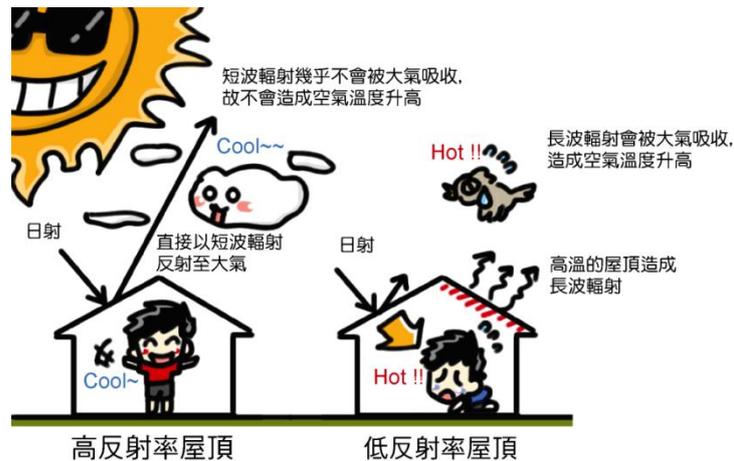


圖 3.4-2 高反射率屋頂及低反射屋頂的差異[7]

利用冷屋頂也有一些須注意的問題：

1. 費用高:屋頂表面通常都採用傳熱係數小的瀝青等材料作防水層，為了使其具有高日射反射率，需要對它們進行特殊處理，再塗上反射率高的塗料，使成本上升。另外，需定期的維修更換，也會增加費用。
2. 可能引發交通事故與損鄰事件：具有高日射反射率的冷屋頂，由於反光產生視覺干擾，容易導致交通事故與鄰近住戶反彈。

目前屋頂需具備高反射率的規定，在美國推動相當積極，已有冷屋頂的認證標章，如圖 3.4-3 所示。前美國能源部部長，諾貝爾獎得主朱棣文於 2009 年 5 月 26 日在倫敦舉辦的氣候變化研討會上曾指出，「如果所有屋頂漆成白色，路面和汽車使用淺色塗裝，就可以大量反射太陽輻射熱量至太空，在降低溫室效應作用上，相當於世界上所有汽車停止行駛 11 年減少的碳排放。」事實上，在美國有多個州對屋頂的反射有相關的規定，以加州為例，加州建築節能法令 Title 24 (2005 版)中，建議屋頂反射率要 >0.7 ；而 Energy Star (能源之星)及 CRRC (Cool Roof Rating Council，美國涼適屋頂評定委員會)，則要求反射率 >0.65 。



圖 3.4-3 CRRC 的 Cool Roof 的認證標章

(資料來源：<http://www.coolroofs.org/>)

用來評估冷屋頂的物理性質包含太陽反射率(Solar Reflectance)與表面熱輻射率(Thermal Emittance)，此兩性質的量值都是從 0 到 1，1 代表完全反射或是完全熱輻射。一個理想的冷屋頂應該能有效的反射太陽能與發散熱輻射冷卻自身，因此應具備高太陽反射率(能夠反射太陽光)與高表面輻射率(能夠散發輻射熱)，如圖 3.4-4 所示。此類屋頂能阻擋大量原本要進入建築物內的太陽輻射，而且因為高的熱輻射率使得屋頂表面溫度較低，進而能降低都市熱島效應。[10]

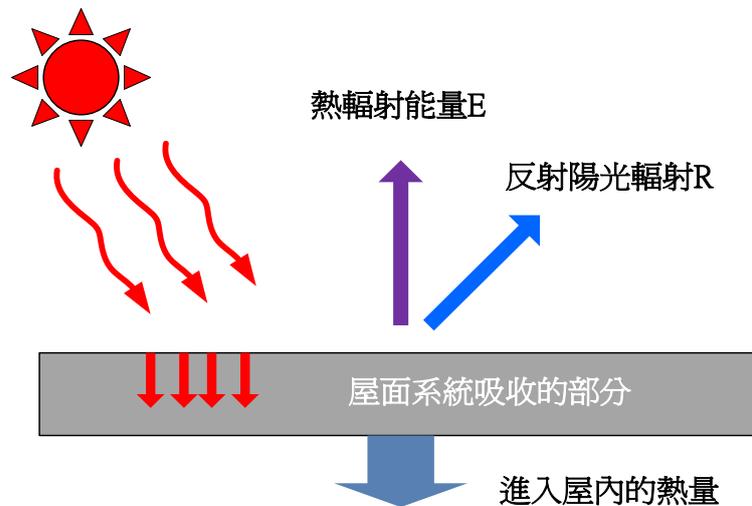


圖 3.4-4 屋面的陽光反射和熱傳導

日光反射指數(Solar Reflectance Index, SRI)是一個結合屋頂反射率與輻射率的綜合指標，可用以判定屋頂材料吸熱與否，通常會於屋頂材料說明上標示。日光反射指數的定義是以標準黑體表面(反射率 0.05，輻射率 0.90)的數值為 0，標準的白色表面(反射率 0.80，輻射率 0.90)的數值為 100，計算方法如公式(3-7)。大多數的屋頂材料 SRI 值介於 0 至 100 之間，也可能低於 0(比參考黑色更易吸熱)或高於 100(比參考白

色反射性能更佳)，SRI 值高的材料適合用來做冷屋頂材料。

$$SRI=100\times(T_{\text{Black}}-T_{\text{surface}})/(T_{\text{Black}}-T_{\text{White}}) \quad (3-7)$$

SRI 值與材料顏色有直接關係，顏色越深的材料 SRI 值越低且越容易吸熱；反之顏色越淺的材料 SRI 值越高且越不容易吸熱。一般常見屋頂材料之 SRI 值為：瀝青為-1、灰色水泥瓦為 25、白色礦物顆粒瀝青為 28、紅色陶土屋瓦為 6、鋁為 56、白色 EPDM 橡膠為 84、白色水泥瓦為 90、白色 PVC 為 104、白色塗料為 100~107。SRI 值在 78 以上太陽輻射反射效果較明顯，因此選擇屋頂材料時儘量選擇 SRI 值高於 78 的材料。此外，斜屋頂不像平屋頂直接受陽光照射，吸熱較少，可使用 SRI 值 35 以上的隔熱材或塗料即可。[28]

3.5 屋頂遮陽網、灑水及太陽能板

除了前面提到的綠化屋頂和冷屋頂，使用價格較為低廉的遮陽網亦可有效降低陽光直射的輻射強度，使屋頂溫度降低。適當運用遮陽網，也可以延長建築物壽命，擴大遮蔭面積，減輕暑熱危害，並降低冷氣電費，如圖 3.5-1 與圖 3.5-2 為幾種常見的屋頂遮陽網架設型式。

屋頂遮陽網的特點包括：

1. 遮陽網可以讓部分陽光穿透，因此不擔心光線受阻。
2. 雨水可直接穿透遮陽網，因此不擔心積聚的雨水壓垮網子。
3. 陽光直射遮陽網，熱上升機制帶動網下方空氣上升，並使周遭涼空氣補入屋頂與網的間隙，降低屋頂溫度。
4. 遮陽網容易收放，風大時可以輕易地收成一片垂在牆邊，不佔空間；無風酷熱時，幾分鐘即可重新掛設完成。



圖 3.5-1 利用花架掛設遮陽網

(資料來源：<http://www.sho-her.glob.tw/>)



圖 3.5-2 利用女兒牆架設遮陽網

如圖 3.5-3 所示之屋頂灑水係將水直接噴灑於屋頂，靠水分蒸發帶走潛熱，達到降低屋頂溫度的目的。屋頂灑水系統除了常用於鐵皮屋頂外，亦可用於一般屋頂。國內南部一所大學利用回收水在學生宿舍屋頂進行灑水降溫，與該校另一棟無灑水系統的宿舍比較，發現有灑水裝置的屋頂地板可降低 3~8°C，預估每年約可節省空調電費 118,272 元，該系統的回收年限為 2.1 年。



圖 3.5-3 屋頂灑水係將水直接噴灑於屋頂

(資料來源：義守大學環境教育網)

屋頂灑水系統具有設備便宜、安裝簡單的優勢，缺點在於每天定時定量的灑水需消耗大量的水資源，所以盡可能配合水回收系統，如圖 3.5-4 所示，來避免浪費水資源。

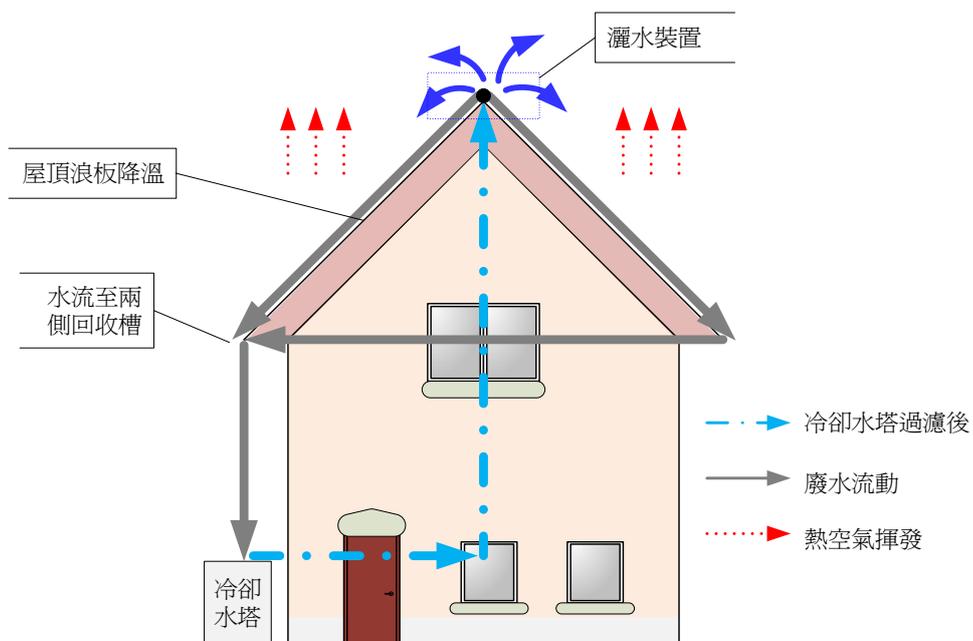


圖 3.5-4 屋頂灑水系統

3.6 屋頂隔熱設計

1. RC 屋頂隔熱

由於水泥鋼筋混凝土本身是一種既笨重又隔熱不良的材質，因此台灣現行以 15cm RC 為主流的屋面構造並非有利的隔熱構造，假如沒有隔熱層，單純以增加 RC 構造厚度很難達到隔熱效果。在 RC 屋頂屋面構造上常用的隔熱材料是高分子材料的發泡 PS 板與 PU 板，通常是以 0.25mm 之厚度用瀝青一起黏著於瀝青油毛氈防水層上，上面再鋪一層 50mm 鋼絲網混凝土作為保護層即可，如圖 3.6-1 所示。另外一種簡易屋頂隔熱工程的施工方式則是在防水層外鋪設隔熱磚，其施工圖如圖 3.6-2 所示，常見的隔熱磚型式有包覆式隔熱磚、PS 板隔熱磚、斷熱泥隔熱磚、五腳隔熱磚，如圖 3.6-3 所示。

一般屋頂的隔熱性能好壞以 U 值表示，表 3.6-1 提供多種屋頂構造大樣及 U 值以供參考。



圖 3.6-1 屋頂鋪設 PS 板

(資料來源：東海大學第二教學區美術系館暨音樂系館新建工程)

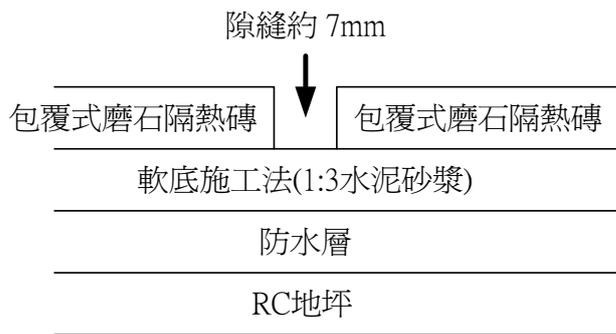


圖 3.6-2 防水層外鋪設隔熱磚

(資料來源：<http://tw.allproducts.com/construction/sungo/>)

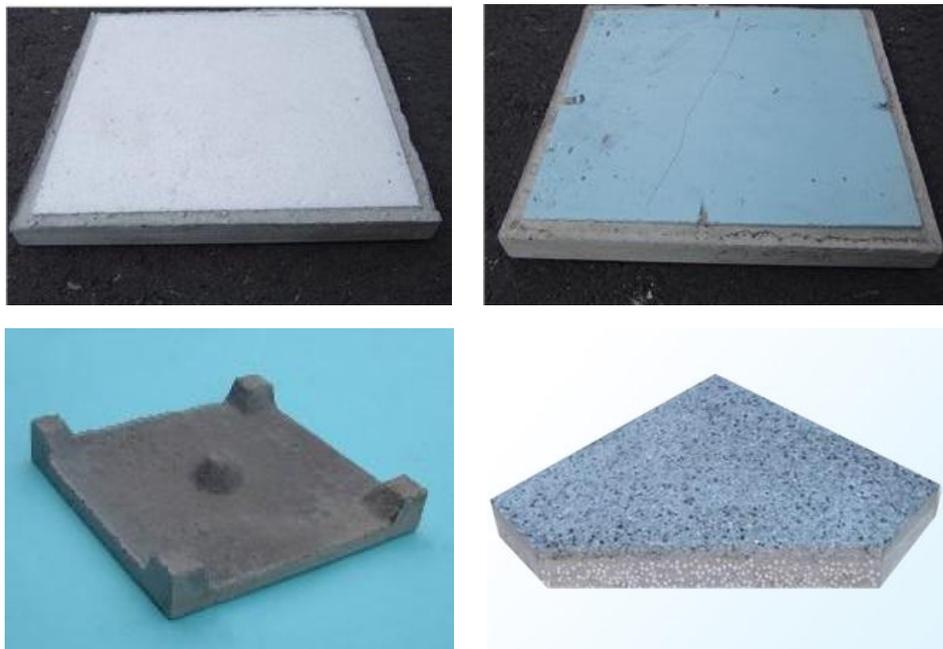
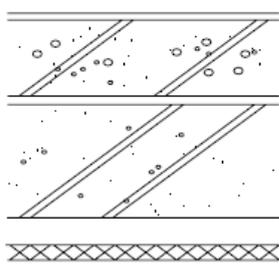
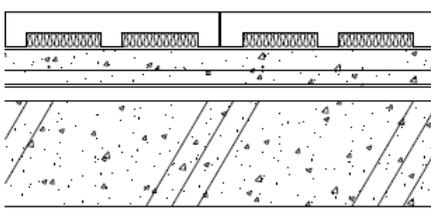
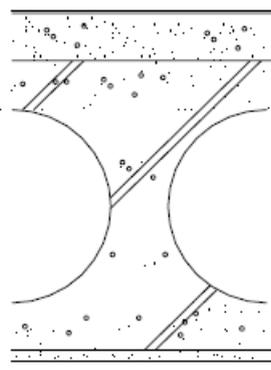
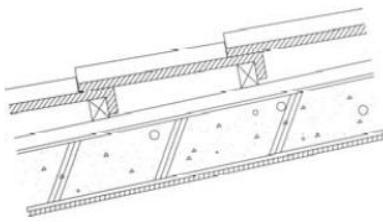


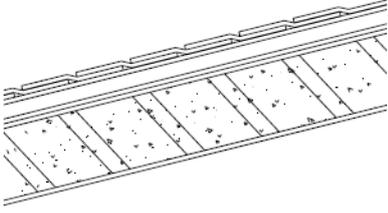
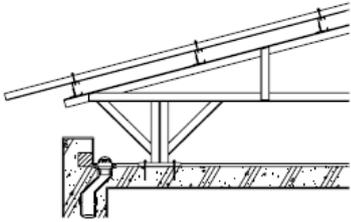
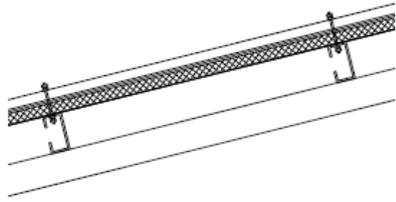
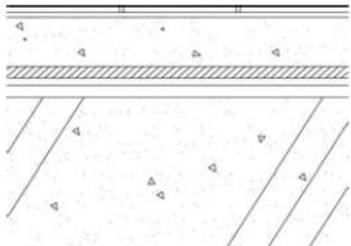
圖 3.6-3 常見的隔熱磚型式

(資料來源：<http://www.jiahrern.com.tw/>)

表 3.6-1 屋頂構造大樣與 U 值表[3]

構造	構造大樣	厚度	熱傳透率
鋼承 鈹屋 頂		外氣膜	----
		PU	0.0020
		輕質混凝土	0.1000
		鋼承板	0.0015
		噴岩棉	0.0200
		空氣層	----
		岩棉吸音板	0.0150
		內氣膜	----
			0.940

構造	構造大樣	厚度	熱傳透率
泡沫混凝土		外氣膜 ---- 軟質聚烏板(PU) 0.0020 泡沫混凝土 0.1000 油毛氈 0.0100 鋼筋混凝土 0.1500 空氣層 ---- 0.0150 岩棉吸音板 ---- 內氣膜	0.750
五角磚油毛氈		外氣膜 ---- 水泥五腳磚(水泥板) 0.0200 水泥五腳磚(保力龍) 0.0300 輕質混凝土 0.0700 油毛氈 0.0100 0.0200 水泥砂漿 0.1500 鋼筋混凝土 0.0150 水泥砂漿 ---- 內氣膜	0.795
中空樓板		外氣膜 ---- PU 0.002 泡沫混凝土 0.1000 水泥砂漿 0.0150 鋼筋混凝土 0.075 鋼管 0.001 空氣層 ---- 0.001 鋼管 0.075 鋼筋混凝土 0.010 水泥砂漿 ---- 內氣膜	0.976
陶瓦		外氣膜 ---- 陶瓦 0.0500 空氣層 ---- 油毛氈防水 0.0100 ALC 版 0.1500 0.0150 水泥砂漿 0.0200 保力龍或PS 板 ---- 內氣膜	0.712

構造	構造大樣	厚度	熱傳透率
瀝青平瓦 混凝土		外氣膜 ---- 瀝青平瓦 0.0500 油毛氈防水 0.0100 木質纖維板 0.0400 粉平砂漿 0.0100 鋼筋混凝土 0.1500 水泥砂漿粉光 0.0150 內氣膜 ----	0.964
挑空 鋼架通風		外氣膜 ---- 鍍鋅彩色鋼浪板 0.0500 40~100cm 空氣層 0.0100 水泥砂漿 0.0400 鋼筋混凝土 0.0100 水泥砂漿 0.1500 內氣膜 ----	0.914
彩色 鋼板		外氣膜 ---- 彩色鋼浪板 0.005 油毛氈防水 0.0100 保利龍或PS 板 0.0400 C 型鋼 ---- 內氣膜 ----	0.783
屋頂 覆土		外氣膜 ---- 覆土 0.5500 不織布及排水版 0.0200 瀝青油毛氈 0.0100 水泥砂漿 0.0150 鋼筋混凝土 0.1500 水泥砂漿 0.0100 內氣膜 ----	0.971

2. 雙層通風屋頂

過去的斜屋頂構造常利用山牆上的百葉窗或屋頂上的通風塔把屋頂內的熱氣排除，可得到良好的隔熱效果，如圖 3.6-4 所示。但是現代建築之屋頂大多為平屋頂，使通風塔與百葉窗的通風利用漸少。在現代則發展為雙層屋頂的隔熱設計，亦即在平屋頂上加建一透空的鋼板屋頂，中間的通風空氣層在 50cm 以上，幾乎可將強烈的太陽輻射熱完全去除，如圖 3.6-5 所示。設計上可以加建彩色鋼板屋頂以符

合對於視覺美觀的要求，避免形成簡陋的鐵皮屋，如圖 3.6-6 所示；也可以在鐵皮屋頂裝設通風扇來加強雙層屋頂的通風散熱效果，如圖 3.6-7 所示。



圖 3.6-4 屋頂上的通風塔

(資料來源：台南市永安國小)

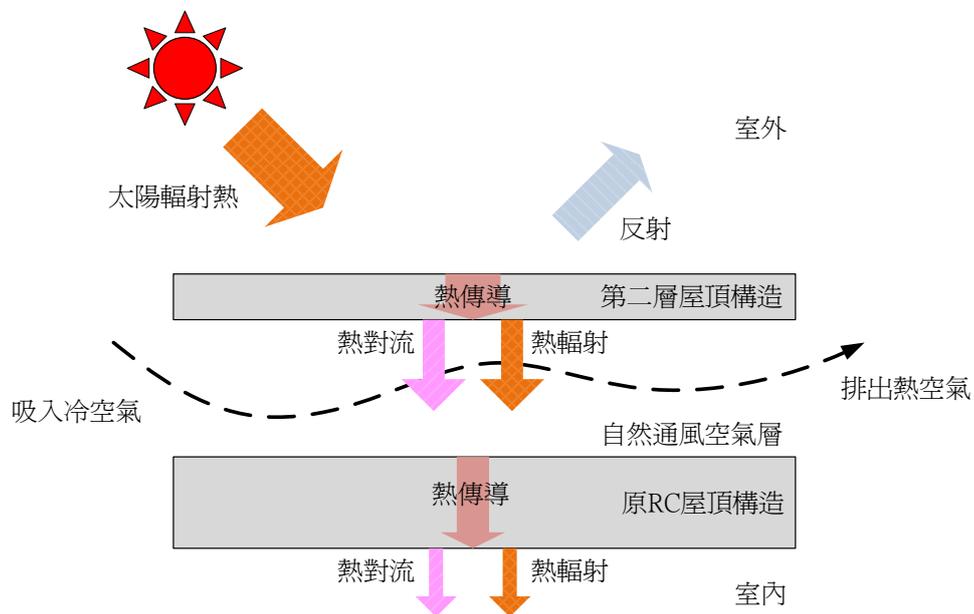


圖 3.6-5 雙層屋頂的隔熱設計原理



圖 3.6-6 架設鋼板屋頂

(資料來源：屏東科技大學<http://jlgreate.com/dogschool>)



圖 3.6-7 鐵皮屋頂裝設通風扇來加強雙層屋頂的通風散熱

(資料來源：<http://www.dzjinhao.com/>)

3.7 遮陽設計

建築的外牆可分為可透光的窗戶及不透光的牆體，對於可透光的窗戶節能重點在於控制太陽輻射經由窗戶傳入室內的日射量。阻擋日射量進入建築物的手法，可分成「採用遮陽設施」與「使用節能玻璃」兩大類。其中，外遮陽是最具有節能功效的措施，在使用「外遮陽」的情況下，最多可以節省 45% 的空調耗能。

建築遮陽是為了避免陽光直射室內，防止建築物的外殼被陽光過分加熱，造成局部過熱和眩光的產生，並保護室內各種物品而採取的一種

必要措施，合理的遮陽設計是改善夏季室內熱舒適狀況和降低建築物能耗的重要因素。

現代建築由於立面上廣泛應用大面積玻璃，因此太陽熱輻射的控制顯得非常重要，控制太陽輻射的熱量主要涉及三個方面：(1)窗戶的朝向和大小、(2)建築外殼構造材料的選擇、(3)建築遮陽技術。在這三個要素中，遮陽技術是控制太陽熱輻射最有效也是最經濟的辦法，良好的建築遮陽技術具有許多好的作用，包含以下幾點：

1. 防止太陽輻射進入室內：良好的遮陽系統不僅可改善室內熱環境，而且可以大大降低建築的夏季空調製冷負荷。
2. 避免建築外牆結構過度加熱：避免外牆結構被過度加熱而藉由二次輻射和對流的方式加大室內熱負荷，除了可以減少通過建築外牆結構進入室內的熱量，還能降低建築外殼結構的日溫度波幅，從而達到防止外牆結構熱裂，延長使用壽命的作用。
3. 防止眩光：可有效地防止眩光，達到改善室內光環境的作用。合理的遮陽措施可以阻擋直射陽光進入，或其轉化為比較柔和的漫射光，從而滿足使用者對照明質量的要求。
4. 防止陽光直射造成物品損害：可以防止陽光直射室內，造成陽光中紫外線對室內物品的損害。

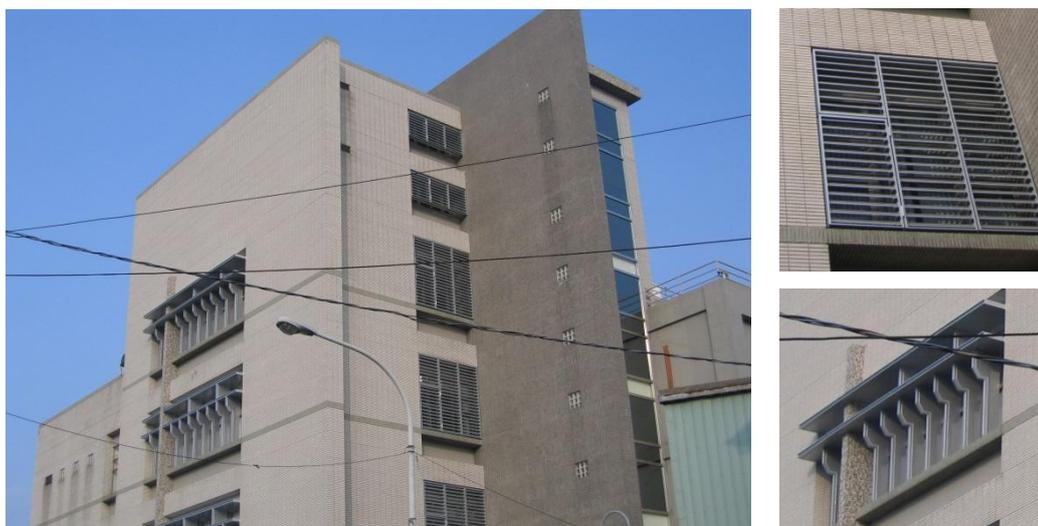


圖 3.7-1 建築外遮陽設施

遮陽設施從總體上可以分為永久性和臨時性兩大類，臨時性遮陽是只在窗口設置窗簾、帆布棚等；永久性遮陽是指建築物外殼結構上各部位安裝長期使用的遮陽構造。從遮陽的型式來區分，可以概分為五種：水平式、垂直式、格子狀、檔板式及百頁式，各遮陽型式如表 3.7-2 所示，其特性說明如下：

1. 水平式遮陽：

水平遮陽能夠有效的遮擋高度角較大、從窗戶上方照射下來的陽光，適用於南向及北向的窗口。水平遮陽的另一個優點在於合理的遮陽板設計寬度及位置，能有效地遮擋夏季日光並讓冬季日光最大限度地進入室內。

2. 垂直式遮陽：

能有效的遮擋高度角較小、從窗面側面斜射過來的陽光。不能遮擋高度角較大、從窗戶上方照射下來的陽光或接近日出、日落時分正對窗口平射過來的陽光。適用於東北、西北及北向附近的窗戶。

3. 格子式遮陽

由水平式及垂直式遮陽板組合而成，能有效地遮擋中等太陽高度角從窗前斜射下來的陽光，遮陽效果比較均勻。這種形式的遮陽構造應用於東南或西南附近的窗戶。

4. 檔板式

此種遮陽為平行於窗戶的遮陽措施，能有效地遮擋高度角比較低、正射窗戶的陽光，適用於東西向及附近的窗口。需要注意的是擋板式遮陽對建築的採光和通風都有比較嚴重的阻擋，所以一般不宜採用固定式的建築結構，宜採用活動式或方便拆卸的擋板式遮陽。

5. 百頁式遮陽

百頁式遮陽可根據百頁形可歸納到前四種遮陽中，其適用範圍很廣泛，如果操控得當，室外的百頁遮陽可以用於大部分朝向的遮陽而且效率較高。

遮陽設施對於建築物節能有很重要的作用，一方面遮陽措施能夠有效的阻擋大量的太陽輻射進入室內，降低建築物夏季空調的耗能；另一方面遮陽板能將直射陽光轉化成柔和的漫射光，改善室內光環境質量，從而減少日間人工照明能耗。辦公建築外遮陽對建築物的效能分析如表 3.7-1 所示，以台南地區開口方位朝北之辦公建築為例，有遮陽措施之節能比例可達 39%。

表 3.7-1 台灣辦公建築外遮陽對空調耗能的效益分析(單位:M.cal/年)[4]

地 區	台 北				台 南			
	南	西	北	東	南	西	北	東
無外遮陽	1653	1985	1467	1713	2511	2914	1827	223
水平遮陽 (節能比例)	1442 13%	1773 11%	1365 7%	1541 10%	2101 16%	2519 14%	1652 10%	1945 13%
垂直遮陽 (節能比例)	1483 10%	1852 7%	1341 9%	1609 6%	2189 13%	2641 9%	1607 39%	2054 8%
格子遮陽 (節能比例)	1347 18%	1673 16%	1281 13%	1462 15%	1907 24%	2325 20%	1512 17%	1816 19%
計算條件:室面積 5m*5m，高度 3.6m，窗面積 3m*2m，遮陽深度比：4.0								

遮陽設計的節能成效一般用遮陽係數(k_i)來描述，遮陽係數是指在照射時間內，照進有遮陽窗口的太陽輻射量與照進無遮陽窗口的太陽輻射量比值，係數越小，代表透過窗戶的太陽輻射熱量越小，隔熱效果越好。

遮陽的措施眾多，針對特定建築項目之不同地理位置、朝向及建築物的用途各有適用的措施，不同的遮陽型式在不同的氣候區也有著不同的適用性。總體上應滿足以下原則：在以空調為主的氣候區設計遮陽時，可以僅考慮遮陽設施在夏季減少冷房負荷的效果，而忽略在冬季可能因遮陽設施阻擋太陽輻射進入室內而造成些微增加暖房負荷的現象，可採取固定式遮陽，但仍以活動式遮陽為較佳。若針對某氣候區特定的建築物，遮陽型式的選擇應考慮以下因素：

1. 不同建築物方位遮陽需求

水平面接受的太陽熱輻射最大，所以對屋頂和天窗的遮陽隔熱非常重要。對於直向外牆結構，無論是從全日的太陽輻射總量看，還是從居室內日照面積的大小看，東西向最大，其次是東南、西南；再來是東北、西北；南向次之；北向最小。由於下午室外氣溫要高於上午，所以西向遮陽比東向重要。南向雖然日照時間較長，但由於台灣地處中低緯度地區，夏季太陽高度角較高，照射居室不深，遮陽也比較容易處理。因此對遮陽的需求程度依建築方位排序依序為水平屋頂、西向、西南向、東向、東南向、南向、西北向、東北向、北向。

2. 不同建築物方位遮陽型式的選擇

根據太陽運行規律，可以大致確定不同氣候區不同朝向較合適的遮陽方式，以下為各方位適應的遮陽形式：

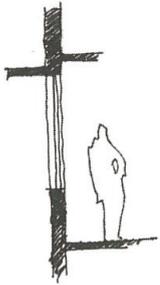
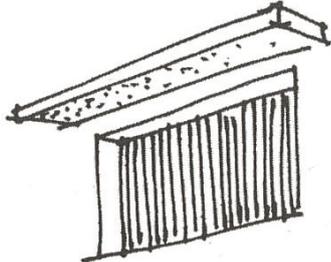
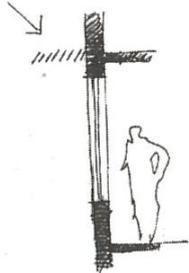
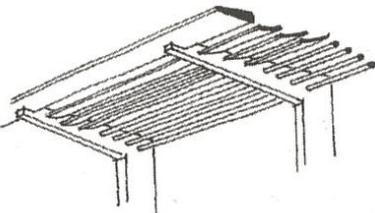
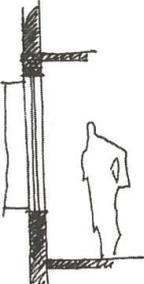
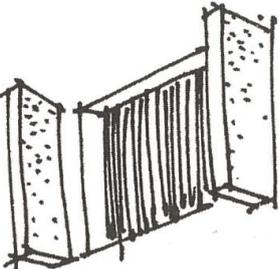
- (1) 南向：較合適的遮陽方式是水平式固定遮陽，尤其對夏季高度角大且方位角在 90° 附近的時段遮陽效果最佳。雖然日出後和日落前的一段時間，高度角較低，南向水平遮陽的效果要較其他時段差一點，但此時段一則室外氣溫不高，二則南向輻射不強，所以此時對遮陽要求不高，南向遮陽可以滿足要求。
- (2) 東、西向：最合適的遮陽型式為擋板式遮陽，但固定垂直式遮陽的實際遮陽效果很差，而且會阻擋冬季陽光進入室內。而活動式垂直遮陽在東西向的遮陽效果非常好，因而東西向遮陽的最佳選擇為活動式垂直遮陽。
- (3) 東南、西南向：應選擇綜合式遮陽形式，但構造尺寸應根據朝向角度不同進行設計。
- (4) 東北、西北向：垂直式遮陽板是較好的選擇，同樣的其構造尺寸應根據朝向角度不同進行設計。
- (5) 北向：夏季太陽僅在日出和日落時短暫時間照射到北窗，對北

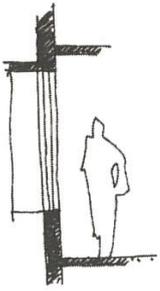
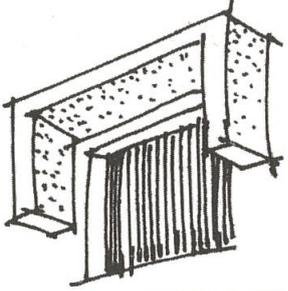
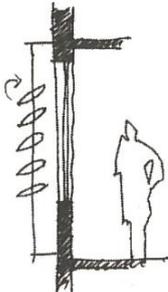
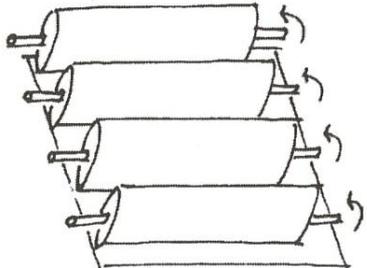
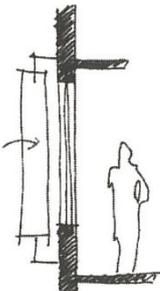
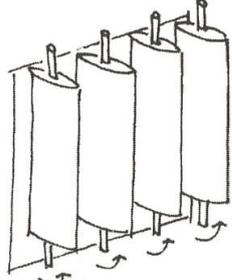
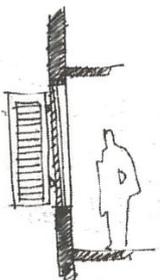
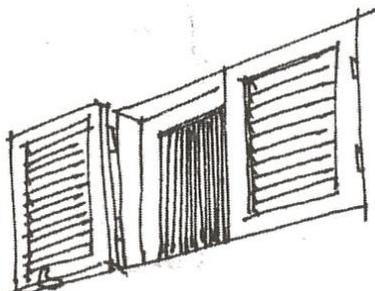
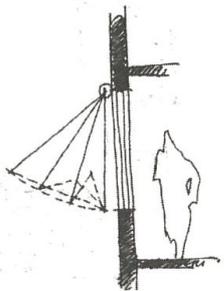
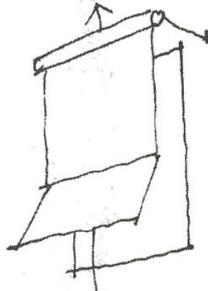
窗的影響很小，一般可不採取遮陽措施。

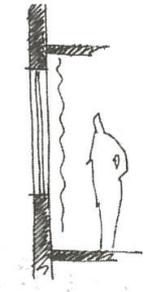
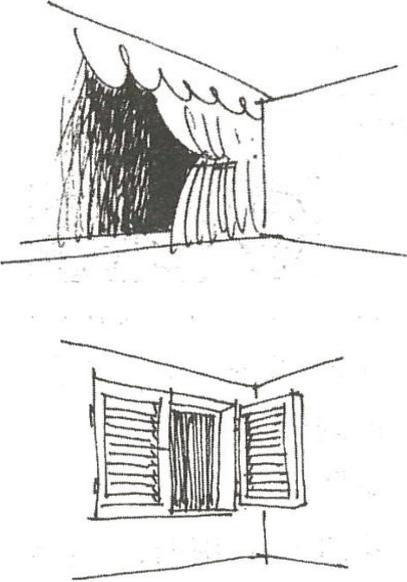
- (6) 屋頂：水平屋頂接受的太陽輻射是西面牆接受輻射量的兩倍，所以，對屋頂進行遮陽非常有必要。

常見各種遮陽型式與說明，如表 3.7-2 所示。

表 3.7-2 各種窗戶遮陽裝置[16]

構造名稱	剖面草圖	透視草圖	說明
水平式遮陽板			可有效遮擋高度較大的陽光，用於南向室外。
遮陽架			對水平實體遮陽板的修正，有利於遮陽板下的空氣流動，減少構件蓄熱，造型輕巧，金屬材質可循環使用。
垂直式遮陽板			可有效遮擋高度角較小的、從側面斜射過來的陽光，適用於東北、北及北向室外。

構造名稱	剖面草圖	透視草圖	說明
綜合式遮陽板			<p>可有效遮擋高度角中等、從窗前斜射下來的陽光，用於東南或西南向室外。</p>
可旋轉水平百葉			<p>可用於室外南向。</p>
可旋轉垂直百葉			<p>可用於室外東、西朝向。</p>
外置百葉窗			<p>可綜合解決採光、通風及遮陽的矛盾，造價較低，易於操作。</p>
垂臂式遮陽棚			<p>對西向可提供有效遮陽，對通風有一定阻礙，重量輕，用於室外。對構件強度、耐候性及自潔要求較高。</p>

構造名稱	剖面草圖	透視草圖	說明
內置窗簾 /百葉窗			<p>美化室內，防止視線干擾、防眩光。價格低廉，安裝簡單。</p>

3.8 玻璃的選擇

目前節能玻璃尚未有明確的定義，所謂節能玻璃是人們將某些玻璃的性能與普通玻璃比較後提出的，是相對的概念，目前我國尚未有關於節能玻璃具體的衡量指標。一般認為，節能玻璃通常是指具有隔熱和遮陽性能的玻璃。

節能玻璃按生產工藝分類，可分為一次製品和二次製品兩種，也就是分為在線產品和離線加工產品。一次製品的節能玻璃主要有基體著色吸熱玻璃、在線 Low-E 玻璃、在線熱反射鍍膜玻璃等；二次製品的節能玻璃主要有鍍膜著色吸熱玻璃、離線 Low-E 玻璃、離線熱反射鍍膜玻璃、中空玻璃、夾層玻璃、真空玻璃等。

按性能分類，可分為隔熱性能型節能玻璃、遮陽性能型節能玻璃和吸熱性能型節能玻璃等。其中隔熱性能型的節能玻璃有中空玻璃、真空玻璃等；遮陽性能型節能玻璃有 Low-E 玻璃、熱反射鍍膜玻璃等；吸熱性能型的節能玻璃有吸熱玻璃等。

按產品構造分類，可分為玻璃原片、表面覆膜結構、夾層結構和空

腔結構四種。其中玻璃原片的節能玻璃有基底著色吸熱玻璃、變色玻璃等；表面覆膜結構的節能玻璃有陽光控制鍍膜玻璃、Low-E 玻璃、自潔淨玻璃、鍍膜吸熱玻璃、鍍膜電磁屏蔽玻璃等；夾層結構的節能玻璃有普通夾層玻璃、夾絲電磁屏蔽玻璃等；空腔結構的節能玻璃有中空玻璃、真空玻璃等。

因此，在選擇使用節能玻璃時，應根據建築物所在地理位置確定玻璃型式，嚴寒地區和寒冷地區的玻璃應以控制熱傳導為主，盡量選擇中空玻璃；夏熱冬冷地區和夏熱冬暖地區盡量控制太陽能進入室內以減少空調負荷，最好選擇熱反射玻璃、吸熱玻璃及 Low-E 中空玻璃。

整體而言，玻璃傳導熱的速度快，是建築物能耗的關鍵部位，因此，提高玻璃的保溫隔熱能力非常必要。一般可以透過幾種辦法增加玻璃的保溫隔熱能力，使其成為隔熱保溫玻璃，說明如下：

1. 增加層數

可以用增加玻璃層數、在層間形成空氣墊層的辦法製造保溫玻璃。兩層玻璃之間的熱傳遞原理可以分為空氣層間的對流和傳導及玻璃板之間的輻射熱交換三種。減少傳導傳熱和對流傳熱，對空氣間的間距有相反的要求：空氣間層大時傳導傳熱減弱，但對流傳熱增加；而空氣間層小時對流傳熱減弱，但傳導傳熱增加。因此往往用實驗的辦法尋找尺寸適度的空氣間層，以優化保溫效果。普通 4mm 白色玻璃的熱傳導細數大於 $6\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ ；而兩片 4mm 白色玻璃加 15mm 空氣間層的保溫玻璃的傳熱係數可降至 $2.8\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ ，對空氣間層的作用可見一般。增加玻璃層數，有利於降低玻璃板之間溫差梯度，對降低輻射傳熱有利。

2. 填充氣體或氣凝膠

惰性氣體對於溫差反應遲緩，利用這一原理，在兩層玻璃之間填充惰性氣體可以有效地降低對流並減少熱傳導。研究顯示，間距並非越大越好，不同惰性氣體產生最佳 k 值的間距也不盡相同。此外，選擇惰性氣體時，經濟因素往往優先於技術因素。例如，大氣中含

有 1% 的氮，但僅含有百萬分之一的氦及氬，顯然抽取氮氣要比抽取氦及氬容易得多，因此，填充氦氣及氬氣玻璃比填充氮氣玻璃要貴得多。

德國研製的氣凝膠，是一種極小的二氧化矽微孔晶格抗壓保溫材料，其內部 75% 為空氣，故具有極高的輻射通過能力和極好的保溫能力，在非真空狀態下可達到 $0.017 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 的超低 k 值。因其結構的粒子小於可見光的波長，因此光線不會強烈擴散。該材料作為真空玻璃的層間支撐可以實現極低的 k 值，同時又避免了因玻璃變形而導致的破壞。

3. 抽真空

在真空狀態下對流和傳導傳熱量都為零，因此使用真空玻璃可以達到極佳的保溫效果，但真空會導致玻璃間層出現負壓，而脆性的玻璃在變形過大時會破碎。為克服這一問題，常常在兩塊玻璃之間設置一些結構支撐。為了避免因為這些玻璃間支撐的熱傳特性，造成所謂的冷橋效應，美國 Colorado 玻璃中心成功地使用 0.5mm 直徑的支撐，使真空 Low-E 玻璃的 k 值降到 $0.6 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ 的水平。此外，真空玻璃需要密封性能極佳的條件，為保證密封性，往往就使用連續的玻璃作為邊條，反而容易使得邊條處產生冷橋效應。

4. 設置塗層

合適的金屬塗層可以改善玻璃的光學性質，其反射率的降低程度除了與塗層的厚度與成分有關外，塗層的位置也可以導致不同的反射效果，可將吸收的熱量向室內或室外釋放，如在第三面設置反射塗層可以降低從室內向室外的熱輻射，增加室內保溫能力。被 Low-E 塗層吸收的太陽能不能再次被利用，而且在使用 Low-E 玻璃時，可見光透射率也會有所降低。

而目前市面上的玻璃使用形式有以下幾種：

1. 色板玻璃

色板玻璃對陽光輻射會產生較大的遮擋，這種遮擋本質上是一種對輻射的吸收，但被玻璃吸收的熱量最終仍會分別向室內、室外傳遞，而並非將熱量擋在室外，如圖 3.8-1 所示。此外，其過低的可見光透射率在冬季並不利於被動式太陽能利用，也會因其對人工採光的依賴而導致建築能耗增加。另外，透過彩色玻璃進入室內的光線具有明顯的色彩傾向，這種不自然的光線也不利於人們正常的工作與生活。

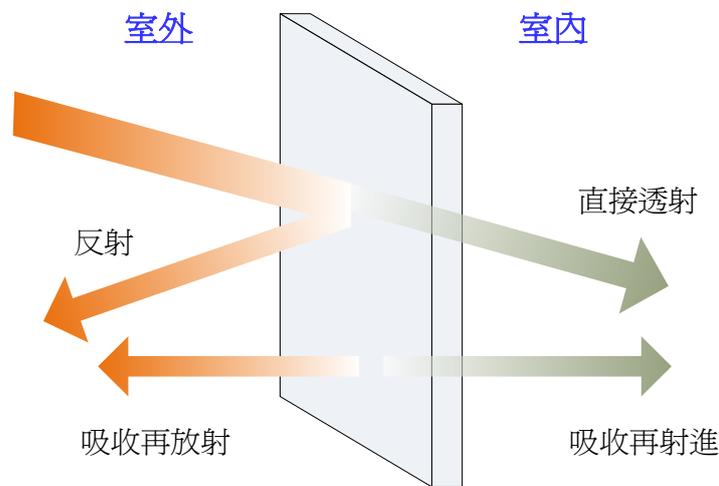


圖 3.8-1 色板玻璃陽光照射示意圖

2. 雙層玻璃

是指中空、真空或填充惰性氣體的玻璃，如圖 3.8-2 所示。其傳導係數已經可以降低到 $1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 以下。這意味著在冬季，新型中空玻璃可以有效防止因室內外溫差而導致熱量外溢。因此，從保溫的角度來看，這種玻璃適用於寒冷和嚴寒地區。

但在夏季，通過玻璃窗進入室內的熱量，主要有室內外溫差得熱和太陽輻射熱兩部分，其中太陽輻射熱是主要部分。如當窗牆面積比是 0.327 時，普通鋁合金窗太陽輻射熱是溫差得熱的 3.1 倍。研究指出[15]，南向及西向窗在夏季輻射得熱量遠大於溫差得熱量，由於玻璃對短波輻射的易通過特性，但因為太陽輻射值在冬夏兩季具有較大差別，中空玻璃在冬季對被動式太陽能採暖反而產生負面的

影響，而在夏季又不能有效地阻擋太陽輻射的進入，再加上玻璃對波長較短的太陽光有較高的穿透率，但是對於波長較長的熱輻射透射率較低的特性，反而會導致室內溫度持續升高。

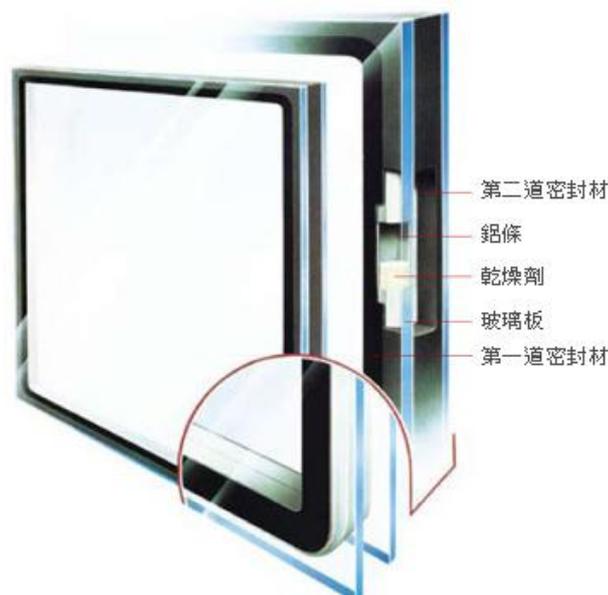


圖 3.8-2 雙層玻璃構造圖

(資料來源：台玻集團)

3. 熱反射玻璃

反射玻璃係利用金屬或金屬化合物濺鍍在玻璃表面，使其產生一層或者多層均勻的金屬氧化物或氮化物膜，因金屬鍍膜的厚薄不同，即可呈顯出不同的色彩及高性能的隔熱效能。其特性為：(1)隔熱性高，可節省能源，(2)可防陽光直射，給室內居住者舒適感，(3)可呈顯多彩和諧的建築物外觀，(4)具鏡子效果，可視光線的反射效果，把天空或周圍的環境景色，映照在建築物上，如圖 3.8-3 所示。

熱反射玻璃對可見光和長波輻射有較佳反射，因而有利於防止夏季室內過熱。在 20 世紀中期研究成功之後，熱反射玻璃一度成為高層建築玻璃幕牆的主要材料，直到 20 世紀後半葉，光污染及能耗問題日益嚴重，「光亮派」建築逐漸退出歷史舞台。除了光污染之外，熱反射玻璃對可見光的阻擋過大，勢必增加室內人工照明能耗，而人工照明又會在室內繼續產生熱量，導致新的空調能耗。此外，

在冬季熱反射玻璃因其透射率太低，不利於太陽能的被動式利用。



圖 3.8-3 大樓外觀使用反射玻璃

(資料來源：台玻集團)

4. 低輻射玻璃(Low-E)

低輻射玻璃(Low-E 玻璃，Low Emissivity)是由清玻璃/色板玻璃、鍍膜層、真空層/鈍氣層組合而成，如圖 3.8-4 所示。具有玻璃透明可見光與遮斷太陽紅外線進入室內的優點，陽光照射到玻璃時，穿透清玻璃後碰到鍍膜層，此層一般由銀、二氧化錫以及鎳鉻合金組成，可以將陽光中的紅外線大部份反射至室外，可見光部份則進入室內，讓室內可以享有良好的光線，又不會感覺炎熱；冬天時也可以因為結構中的真空層而達到阻隔效果，避免熱能流失。鍍膜層位置會因其需求而有所不同，寒帶地區鍍膜位置在內層玻璃外側，可以阻斷室內熱能輻射至室外，維持室內保暖；亞熱帶地區鍍膜位置在外層玻璃內側，可阻斷大量輻射熱進入室內，保持室內涼爽，如圖 3.8-5 所示。

選購 Low-E 玻璃時要挑選阻擋太陽輻射熱進入室內能力的遮蔽係數(SC 值)越低越好，最好能低於 0.5；可見光穿透率(VT 值)則是越高越好，至少在 0.5 以上，才能有效阻隔太陽輻射熱並保留良好的自然採光。

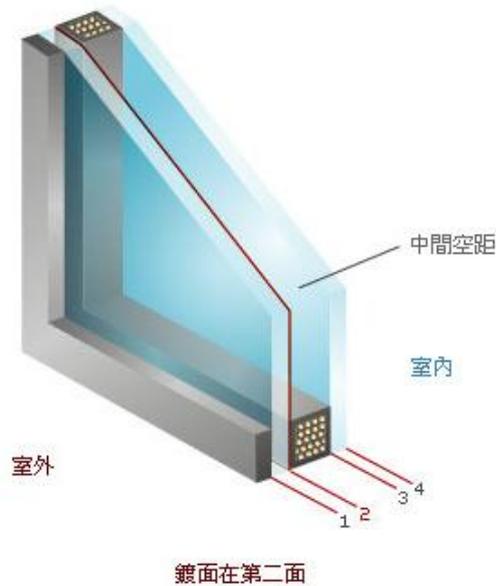


圖 3.8-4 低輻射玻璃構造圖

(資料來源：台玻集團)

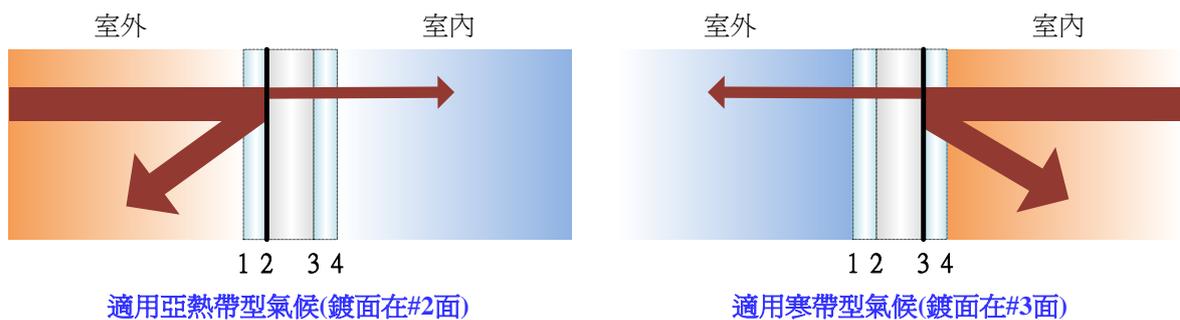


圖 3.8-5 低輻射玻璃鍍膜層效能圖

5. 熱致變色玻璃

熱致變色玻璃會在溫度達到某一臨界值時，自動降低其可見光通過率，這種特性有利於夏日防曬，但在防止熱量進入的同時也嚴重降低了室內照度，並因此增加了人工照明耗能，而人工照明在室內產生的熱量往往又會增加空調負荷。

6. 光致變色玻璃

光致變色玻璃對可見光的阻擋效果明顯，但對長波輻射的阻擋作用卻有限。雖然太陽輻射的最大強度位於可見光的波長範圍，但半數以上的能量是以紅外輻射的方式釋放出來的。光致變色玻璃擋住了「光」卻放入了「熱」，這意味著室內會更暗和更熱，光線不足則

需要開燈，開燈還會繼續增熱。

7. 高可見光選擇性玻璃

人們在視覺上需要可見光，但在夏季過多的光同樣會導致身體上的熱不舒適，而高可見光選擇性玻璃則具有可通透光線，並限制熱能進入的優點。但對於冬冷地區，高可見光選擇性玻璃限制長波輻射的進入，白白放棄了冬季白天可以充分利用太陽能的可能性。對於夏熱冬冷地區而言，這種玻璃在夏季並未完全解決室內過熱問題，在冬季卻又降低了太陽能的利用率。

第四章 建築物通風節能技術

自然通風指的是用自然方法為室內空間提供或者抽走空氣的過程。所謂「自然方法」是在提供或者抽走空氣的過程中無需使用風扇或者其他機械裝置，而是利用建築物與外界環境之間的氣壓差提供通風和空間冷卻。在使用一般能源對環境的影響日漸受到關注的情況下，使用自然通風是絕對有好處的。自然通風不但可以提供通風功能，而且在不需要風扇或其他機械裝置的情況下，保證住戶的健康、為住戶提供舒適的環境及為室內環境降溫。

因此，合理的建築自然通風不但可以為人們提供新鮮空氣、降低室內氣溫和相對濕度、促進人體汗液蒸發降溫、改善人們的舒適感，而且還可以有效的減少空調開啟時間，降低建築物能耗。反之，不合理的建築自然通風不僅不會改善室內熱環境，還會直接導致建築物空調能耗的增加。此外，由於室內沒有使用風扇等機械裝置，室內的噪音亦可減低。

基本上，可以應用於建築上的自然通風可分為兩種類型：風壓通風和熱浮力通風。兩種類型的自然通風都是由於自然形成的氣壓差引起的。不過，風壓通風是利用自然風力引起的氣壓差，而熱浮力通風則利用氣溫和濕度上的差異引起的上升浮力所產生的壓力。因此，需要採取不同的建築設計來使這兩種自然通風方式發揮最大效果。

1. 風壓通風

當風吹向建築正面時，因受到建築物表面的阻擋而在迎風面上產生正壓區，氣流偏轉後繞過建築物的各側面和屋面，在這些面及背面產生負壓區。風壓通風就利用建築迎風面和背風面產生的壓力差來實現建築物的自然通風，如圖 4-1 所示，通常所謂的“穿堂風”就是風壓通風的典型範例。

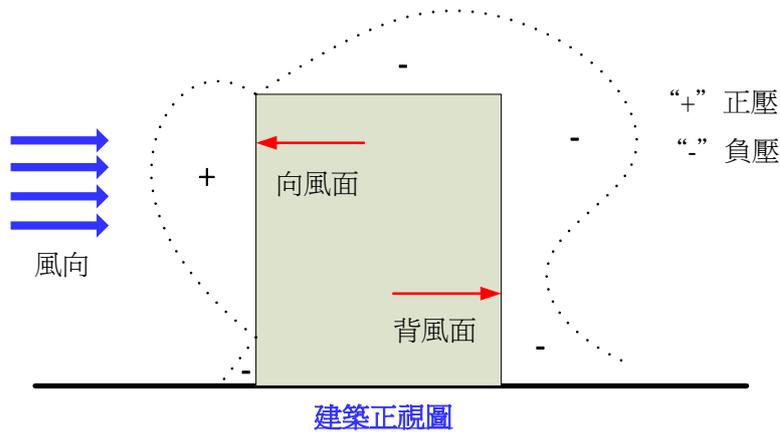


圖 4-1 風壓通風示意圖

2. 熱浮力通風

由於自然風的不穩定性，或者由於周圍高大建築物、植被的影響及建築物開窗面積不足，這時候就要考慮熱浮力通風原理來加速通風。熱浮力通風的原理為熱空氣上升，從建築物上部的排風口排出，室外新鮮的冷空氣從建築底部的進風口進入室內，從而在室內形成了不間斷的氣流運動。即利用室內外空氣溫差所導致的空氣密度差和進出風口的高度差來實現通風。熱浮力通風就是常說的“煙囪效應”，過程如圖 4-2 所示。

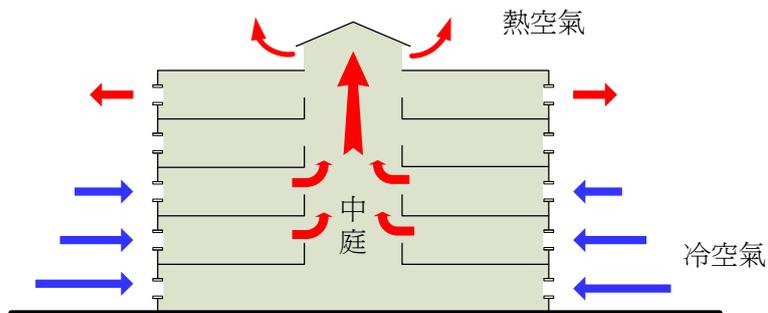


圖 4-2 熱浮力通風示意圖

在使用熱浮力通風設計上時必須考慮到讓氣流進入的進風口應該設置在居室的低位，出風口則應該設置在面對進風口居室的另一側，並且在高位，進風口和出風口之間的垂直距離應該充分利用熱浮力原理，利用天窗或者屋頂通風孔。熱浮力通風方式不依賴於風力，遇到無風的夏季，自然形成的熱浮力作用仍能產生相對穩定的空氣流動。此外，由於熱浮力作用並不依賴風壓和風向，在進風口的設置上，也可以有

更大的自主性。

建築物利用自然通風達到被動式降溫的目的主要有兩種方式，一種是直接的生理作用，即降低人體自身的溫度和減少因為皮膚潮濕帶來的不舒適感。通過開窗將室外風引入室內，提高室內空氣流速，增加人體與周圍空氣的對流換熱和人體表面皮膚的水分蒸發速度，這樣就加大了人體從皮膚表面所散發的熱量，從而達到降低人體溫度、提高人體熱舒適的目的，此種自然通風可稱之為舒適自然通風。舒適自然通風的降溫效果，主要體現在人體熱舒適的改善方面。當室外空氣溫度高於 26°C，但只要低於 30~31°C，人在自然通風的條件下仍然感覺到舒適；而在空調空間，則空調設定溫度必須在 26°C 以下人才會感覺到舒適。上述研究結果表明居室利用自然通風進行被動式降溫時可以提高空調的設定溫度，但同時使人體達到了同等甚至更高的熱舒適度，減少了空調的開啟時間，降低了建築的夏季空調耗能。這就提供了一種新的空調節能運行模式：自然通風+機械調風+空氣調節。

另一種是間接的作用，通過降低外牆結構的溫度，達到對室內的人降溫的作用。利用室內外的晝夜溫差，白天緊閉門窗以阻擋室外高溫空氣進入室內加熱室溫，同時依靠建築外牆結構自身的熱惰性維持室溫在較低的水平；夜間打開窗戶將室外低溫空氣引入室內降低室內空氣溫度，同時加速外牆結構的冷卻為下一個白天儲存冷量，這種自然通風可稱之為夜間通風，具有一定的降溫效果。

建築物的外形對於通風的利用是非常重要的，建築物的外形可以造成風壓，從而有效地驅使氣流流過建築物的開口部分。當然，建築物的通風設計還有很多其他考慮因素，在很多建築法規的設計指引中，通常有以下的建議：

1. 建築物的座向和所處位置：在需要將通風能力調節到最大的時候，應該為建築物選擇一個多風的位置，而且在設計建築物的座向時，應該將迎風牆設計到垂直於當地夏季時的風向。
2. 建築物的形狀和尺寸：採用自然通風方式的建築物不可以設計得

太深，否則很難把新鮮空氣輸送到建築物的每一個部分。

3. 其他考量因素：窗戶的類型和使用、開口的類型、形狀和大小；施工方法和細節；外部元素；配合城市規劃的考慮。

在自然通風的設計中，應該充分利用上面所提到的風力驅動和熱浮力作用兩種通風方式的設計理念。設計中要考慮的地方包括：

1. 減少從外部阻塞(例如植物或場地障礙物)或從內部阻塞(例如家具和內部分割)空氣進氣口，以增加空氣流通。
2. 居室的進氣口和出氣口應該被設置在居室中壓力相反的區域，包括位於迎風牆和背風牆的開口，或者迎風牆和屋頂的開口。
3. 所有的居室都應具備一個進氣和出氣口，而其中至少有一個開口裝配有可調式窗戶來控制氣流。提供空氣的進氣口應該被設置在居室較低的位置；出氣口則應該被設置在面對進氣口的另一側，並且在較高的位置。

在設計建築物較長的一面和大部分開口的座向時，應該使建築物的迎風牆垂直於當地夏季時的風向，並利用天窗或者屋頂通風窗。它們能排出上升的暖空氣，並且使熱量能夠被排到建築物外，從而使居室在晚間達到舒適的溫度。同時，它們還可以作為風力驅動通風方式下的一個良好的出風口。

為了建造更可靠、成本更低和能源效益更高的通風系統，我們必須清楚了解到建築物的限制，並且利用上述各種設計策略，將它們融合到建築物設計當中。建築物的限制包括以下幾方面：建築類型、當地環境、氣候及建築規則，知道了這些要求，設計者就可以決定風扇、建築開口和通風管道的尺寸。

1. 建築類型：建築物的用途，擬建建築座向和外型，以及窗戶大小和位置。
2. 當地環境：當地一般常見的風向、空氣質素和擬建建築物周圍的結構。

3. 氣候：當地的氣溫和濕度。
4. 建築規則：當地規則、標準(例如 ASHRAE 標準)或者指引。設計準則中一般會指明特定的通風要求。通風要求包括：空氣污染物的最大容許濃度、熱量產生率和空氣更新率等。

第五章 空調系統節能技術

5.1 中央空調系統的組成

中央空調系統主要由空氣、冰水、冷媒及冷卻水四大系統所組成，如圖 5.1-1 所示，實際運轉時此四系統會隨著空調負荷的變化，配合空氣流量變化、冰水流量控制及冷媒流量調整，達到負荷平衡，將熱負載由室內傳遞到室外，如圖 5.1-2 所示。

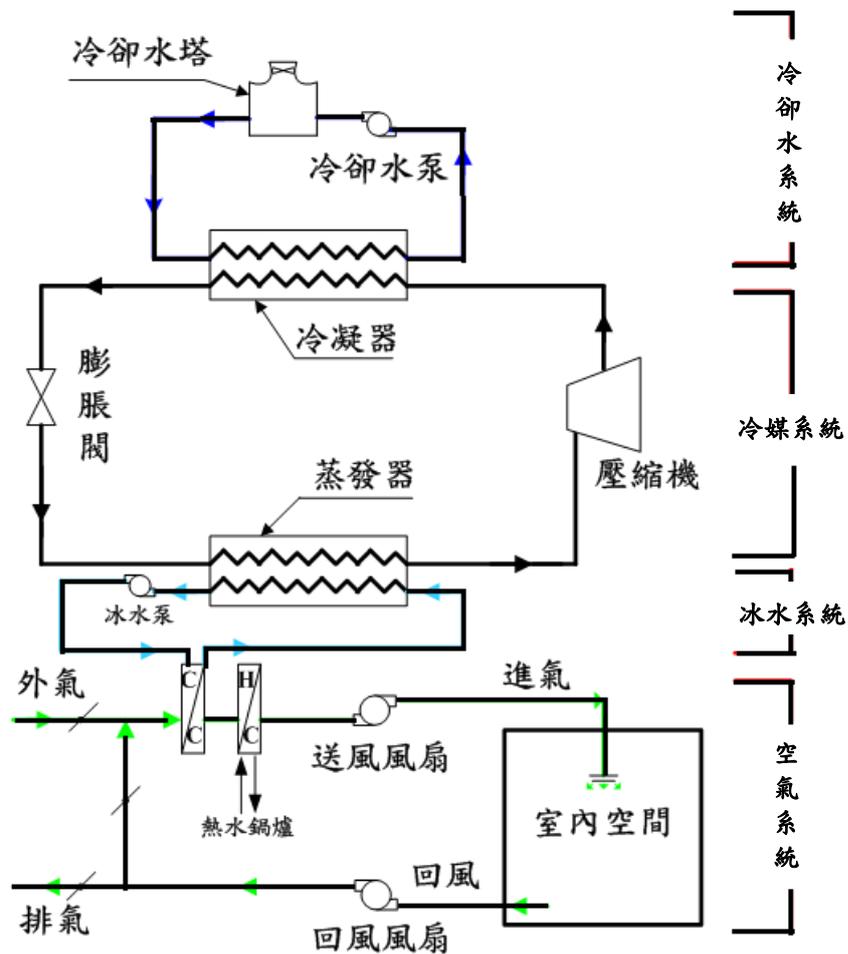


圖 5.1-1 中央空調系統示意圖[27]

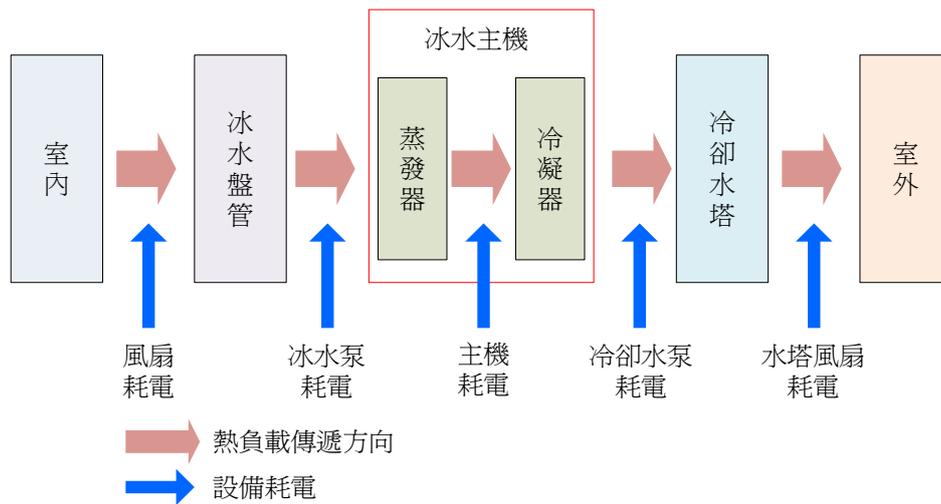


圖 5.1-2 中央空調熱負載傳遞方向及耗電示意圖

5.2 空調主機節能

台灣地屬於海島型亞熱帶氣候區，氣候熱且潮濕，以台北每月暖房及冷房度時(Heating and Cooling Degree Hours)統計圖為例，如圖 5.2-1 所示，可看出若建築物無自然通風之設計與應用，則全年幾乎皆須空調。冷房度時所代表之意義是當某一逐時外氣溫大於 26°C 時，逐時累加，因此該月份之冷房負載需求愈大，代表所需空調耗能愈高。由圖 5.2-1 可看出全年空調負荷尖離峰變化極為明顯，基本上冰水主機全年各種部分負載之運轉時數統計大約如圖 5.2-2 所示，主機 100%全載運轉時數所佔比例極小，大部分時間處於 50~70%之部分負載之運轉。

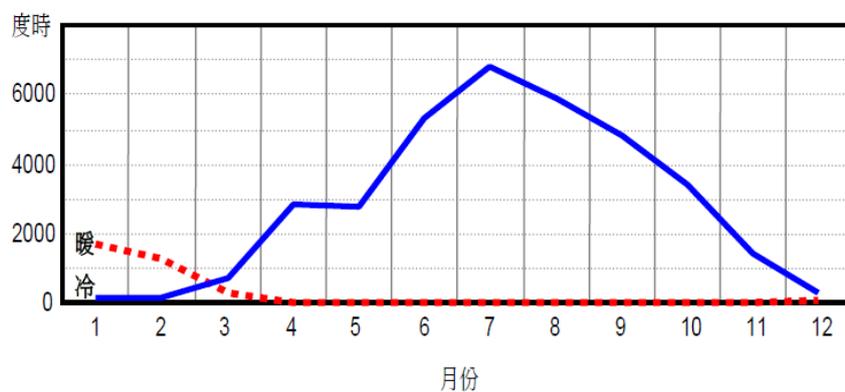


圖 5.2-1 台北地區每月暖房及冷房度時統計圖[18]

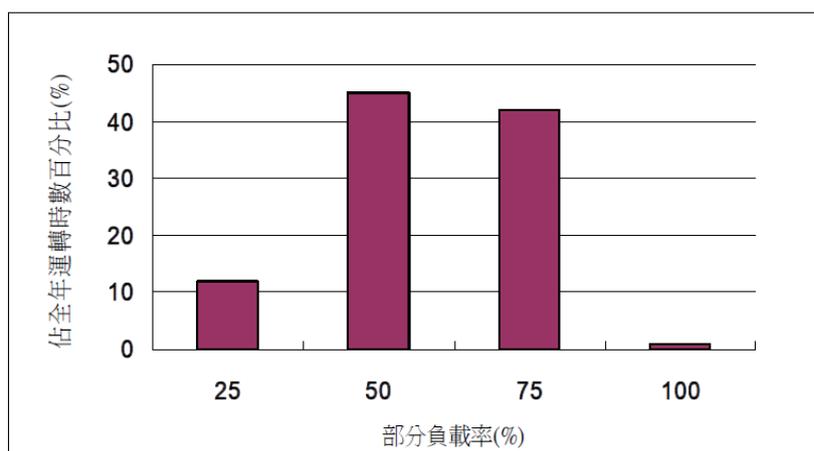


圖 5.2-2 冰水主機全年各種部分負載運轉時數統計[18]

冰水主機耗能在中央空調系統之中占有相當大的比例，除了冰水主機在 100%全載運轉時應具有高效率性能外，必須確保主機可長時間在 50~75%部分負載率的條件下進行運轉，並且能維持在高效率標準，以獲得最佳之節能效果。因此，冰水主機的節能方式如下：

1. 精確計算空調主機最大設備量

冰水主機設備容量必須由最大空調負荷、設備效率、氣象因素及熱負荷等因素決定，需藉由動態負荷模擬，才可以得到合適的空調設備量。因此，要透過經認證的空調計算程式、標準的室內條件及氣象資料來計算，以確立合理的設備設計量。

2. 採用高效率空調主機

冰水主機應採用效率高於經濟部能源局所公告冰水主機效率標準之主機，以減少耗電，如表 5.2-1 所示。因主機非長時間處於滿載下運轉，選擇冰水主機時，須同時考量滿載時效率和部份負載的效率，滿載效率 COP 與部分負載效率 IPLV(Integrated Part Load Value, IPLV) 最低標準值，可參考表 5.2-2。

此外，也可以選擇有變頻控制轉速功能之冰水主機，而非使用傳統改變進口導流葉片角度來配合負載的方式；或選擇可長期間在 25~75%部分負載率的條件下進行高效率運轉的空調主機，以增加部份負載時的效率。

表 5.2-1 空調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	性能係	kW/RT	能源效率	性能係	kW/RT
			率比值 (EER) kcal/h-W	數 (COP)		率比值 (EER) kcal/h-W	數 (COP)	
水冷式	容積式 壓縮機	<150RT	3.5	4.07	0.863	3.83	4.45	0.790
		≥ 150RT ≤ 500RT	3.6	4.19	0.839	4.21	4.9	0.717
		>500RT	4	4.65	0.756	4.73	5.5	0.639
	離心式 壓縮機	<150RT	4.3	5	0.703	4.3	5	0.703
		≥ 150RT <300RT	4.77	5.55	0.633	4.77	5.55	0.633
		≥ 300RT	4.77	5.55	0.633	5.25	6.1	0.576
氣冷式	全機種	2.4	2.79	1.259	2.4	2.79	1.259	

(資料來源：經濟部能源局)

表 5.2-2 冰水主機滿載效率 COP 與部分負載效率 IPLV 最低標準值[27]

型		式		冷卻能力等級	全載性能係數 (COP)	部分負載效率 IPLV
水冷式	容積式 壓縮機	<528kW			4.45	4.50
		≥528kW ≤1055kW			4.90	4.95
		>1055kW			5.50	5.60
	離心式 壓縮機	<528kW			5.00	5.00
		≥528kW ≤1055kW			5.55	5.55
		<528kW			6.10	6.10
氣冷式	全機種			2.80	2.80	

3. 利用多台主機搭配運轉

多台主機並聯運轉時，若同時在低負載時可關閉一台主機，維持主

機在高效率下運轉。單台主機運轉時，因其噸數較大，造成低負載運轉，則應考慮加裝一台較小噸數之主機，以維持高效率運轉。

4. 調整冰水設定溫度

根據熱力學之冷凍循環原理，冰水主機之蒸發溫度愈高效率愈好，因此提高冰水主機供水溫度或冷媒蒸發溫度，可維持冰水主機於高效率運轉，每提高 1°C 冰水溫度約可提升3%之主機效率。當冰水溫度下降，主機性能降低，冰水主機的耗電量會增加，但水泵的耗電量減低，因此存在一最佳運轉點，如圖 5.2-3 所示。但冰水出水溫度增加時，空調箱除濕能力會降低，所以必須考量環境需求來做決定。

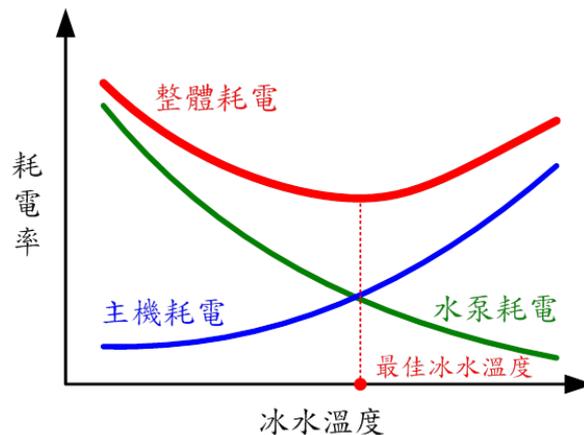


圖 5.2-3 冰水系統於不同冰水溫度下耗電狀況[27]

5. 冷卻水或冰水水質管理

定期清洗熱交換器，避免熱交換器結垢影響熱傳效率，污垢會影響主機效率達 20% 以上。

5.3 可變水量(VWV)空調系統

傳統空調系統之送水方式大多採用定水量的泵浦控制方式，而以調整水溫的方式來應付部分負載的情況，此系統稱為定流量(CWV，Constant Water Volume)系統。變流量(VWV，Variable Water Volume)系統則是以固定水溫供應以提高冰水主機的效率，並以泵浦台數控制或變頻器來改變送水量，節省泵浦用電。與定流量系統相比，變流量系統

可視室內熱負荷變動來改變送水量大小，可減低輸送之動力，達到節能的效果。

圖 5.3-1 為一次側二次側冰水控制系統示意圖，VWV 系統即是在一次冰水泵採定流量設計、二次冰水泵則搭配變頻器採變流量設計，各冷卻盤管之冰水管分別設置二通控制閥(比例式控制閥)來控制冷卻盤管之需求冰水量。當負載端負荷降低時，控制閥直接對冰水節流，冷卻盤管因空調負荷降低而剩餘之冰水量，可以支援其他冷卻盤管或經由共通管旁通流回冰水回水端，此時二次泵馬達之耗能將隨冷氣負荷之降低而大幅減少。可用水壓(或溫度)控制二次側之送水量，如負載低時減少開啟二次泵之數量，節約泵浦運轉之耗能。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。

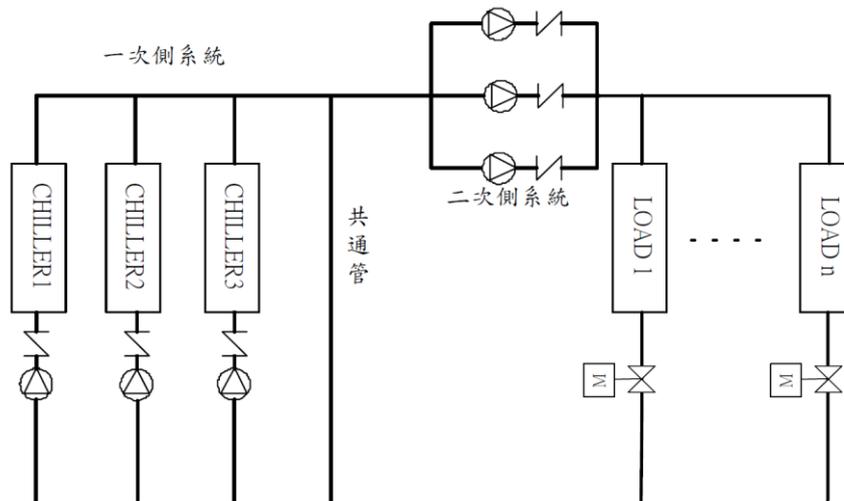


圖 5.3-1 一次側/二次側冰水系統管路圖[18]

泵浦之變頻效益可由泵浦相似定律來計算，如表 5.3-1 所示，泵浦之流量(容量)的變化與旋轉速率 N 成正比，揚程的變化與旋轉速率的平方成正比，動力的變化與旋轉速率的三次方成正比。因此當泵浦轉速改變時，其動力隨轉速成三次方變化，在滿足設定條件下，適當的改變泵浦轉速可達到有效的節能效應。

表 5.3-1 泵浦相似定律

項目	公式
流量	$Q_2 = Q_1(N_2/N_1)$
揚程	$H_2 = H_1(N_2/N_1)^2$
動力	$P_2 = P_1(N_2/N_1)^3$

5.4 可變風量(VAV)空調系統

一般空調箱系統多以一定風量來供應室內空調，對於室內負荷的變動，則以送風溫度變化來控制，稱為定風量(CAV, Constant Air Volume)系統。而變風量(VAV, Variable Air Volume)系統則是將送風溫度固定，以調節送風量的方式來應付空調負荷之變動，配合風機的運轉特性，約可節省一半以上的風機耗電。

VAV 系統之流程如圖 5.4-1 所示，當空調區負荷發生變化時，系統末端裝置(VAV 終端箱)自動調節送入房間的送風量，確保室內溫度保持在設計範圍內，從而使得空氣處理機組在低負荷時的送風量下降，空氣處理機組的送風機轉速也隨之而降低，達到節能的目的。

VAV 終端箱是補償室內負荷變動、調節室內送風量與維持室溫的重要設備，可以根據室溫高低，自動調節送風量。VAV 終端箱之設計有許多種類，以 VAV 的功能而言，可由圖 5.4-2 作簡略的說明，圖 5.4-3 則為另一種設計，增加一風機以提高室內空氣之流動量。其之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，以達到多區域溫度控制的要求。

可變風量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，但因其節能效果與較佳之空調品質，是一種較前瞻性的系統，在美國已是市場主流之一。

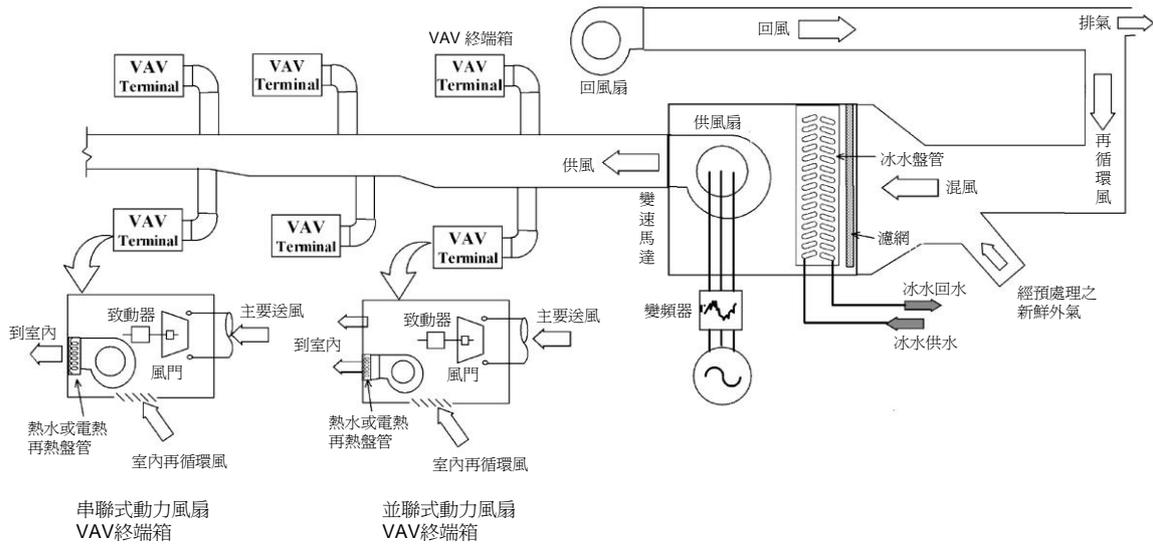


圖 5.4-1 可變風量 VAV 系統之簡圖[19]

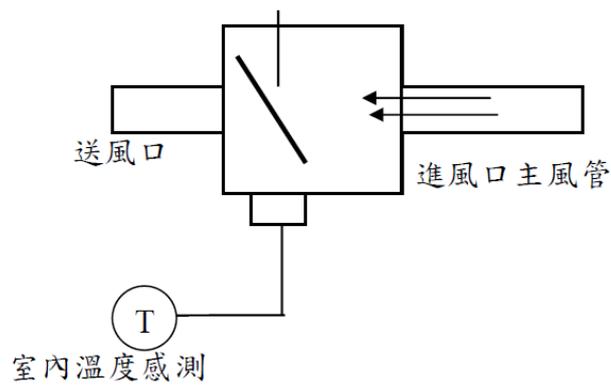


圖 5.4-2 VAV 終端箱之設計[19]

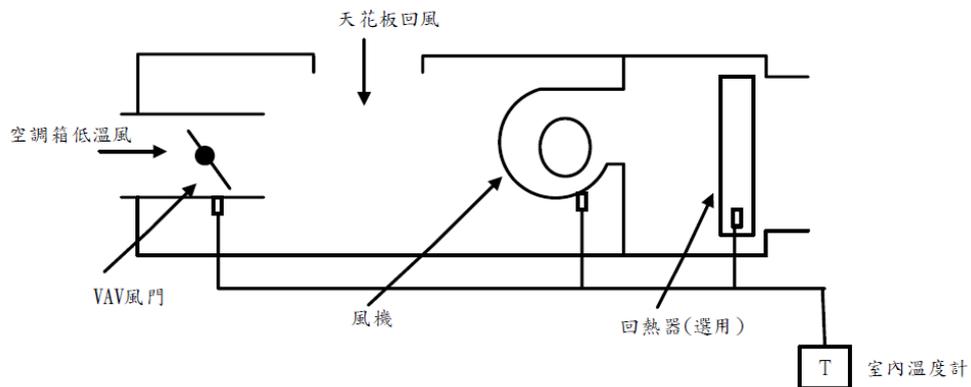


圖 5.4-3 以風機提升室內空氣流動之 VAV 終端箱[19]

5.5 全熱交換器系統

夏季空調耗能中，約有三至四成耗用於處理外氣熱負荷上，因此減少外氣熱負荷是空調節能的重點之一。為確保室內空氣品質，良好的空調系統通常會引入約 30% 的新鮮外氣與 70% 的空調回風混合後，在處理成適合室內條件的空調供氣。約有三成左右的空調回風，被更換為新鮮外氣，若能將回風排氣之低溫低濕空氣的能量回收再利用，就能達到節能的目的。

全熱交換器系統是利用全熱交換器將空調回風及新鮮外氣進行熱焓量之交換，進而降低空調外氣熱負荷，其運轉概念圖如圖 5.5-1 所示。當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，使兩股氣流進行熱(或焓)交換，可節約大部份的外氣負荷。圖 5.5-1 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 20.6kcal/kg 降至 15.3kcal/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，可使用顯熱交換器來節約能源。

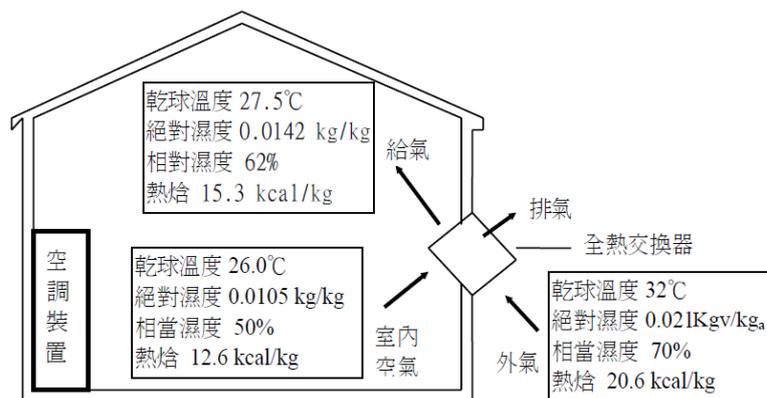


圖 5.5-1 全熱交換器運轉示意圖[18]

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，除了顯熱交換外，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

會蒸發進入較乾之空氣，隨乾空氣流出。全熱交換器基本上有兩種，一為靜態之交叉流式，另一為轉輪式，操作原理及應用可簡述如下：

1. 靜態交叉流式：靜態交叉流式全熱交換器內有許多平板之流道，以隔板與密封裝置將兩股流分開在每個平板之兩側，流向為交叉方向。平板多以可滲透之纖維製成，一邊吸收之水就可以滲透到另一邊讓另一股流帶出全熱交換器。這種設備本身不須有動力，維護簡單，為其主要優點。

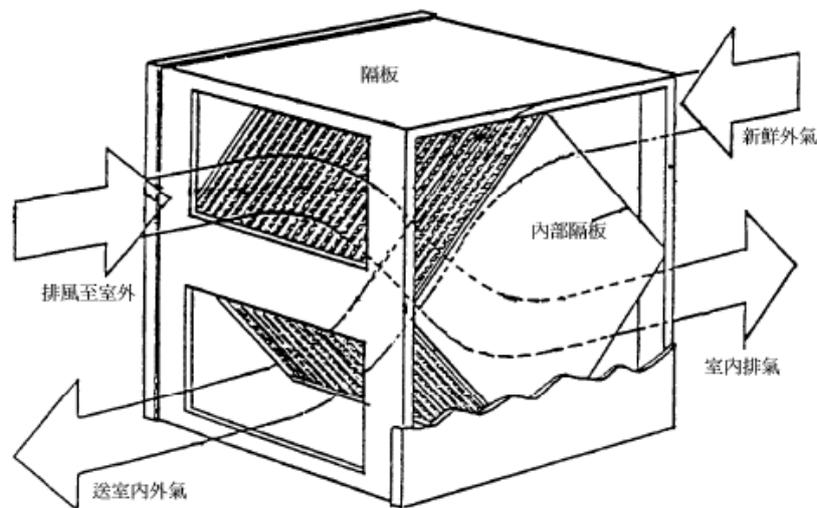


圖 5.5-2 靜態交叉流式全熱交換器[18]

2. 輪轉式：轉輪式全熱交換器需用一個小馬達造成這種蜂巢輪之轉動，蜂巢內為無數平行之小通道，形成很大的交換面積。轉輪上需有裝置將之分成兩側，外氣流經一側，熱量與濕氣有一部份被吸收在轉輪裡，已達飽和之部份持續的轉到另一側，較低溫及低濕之排氣流經另一側，將熱量與濕氣自轉輪帶走，達到吸熱吸濕能力再生之效果。

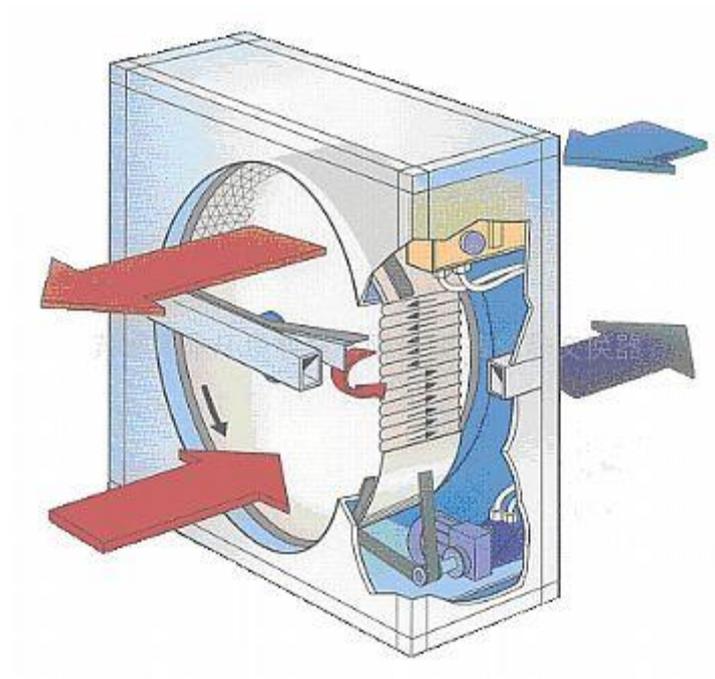


圖 5.5-3 輪轉式全熱交換器

(資料來源：武城縣金興節能空調設備廠)

第六章 照明系統節能技術

6.1 選用高效率光源與燈具

1. 高效率光源

高效率光源是指能源轉換效率高的光源，當燈具光源使用時，電能會被轉換成光能及熱能，電能被轉換成光能的比例越高，而不浪費產生熱能，則代表此光源的效率越高。光源效率通常以(lm/W)表示，代表每輸入1W之電力，可以發出多少流明(Lumen)之光線。光源之效率與壽命都會在製造廠之型錄上列出，基於經濟及維護的考量，選用發光效率高且壽命長，可以兼顧換裝費用低廉者，是特別重要的考量，目前仍以螢光管最為實用與普遍。

各種光源中的發光效率如表 6.1-1 所示，以螢光燈為例，大瓦特數(40W)較小瓦特數的燈管(20W)效率高、直管比環管效率高；以省電燈管(精緻型或緊湊型省電燈泡)為例，燈管外型螺管型(或稱冰淇淋形狀者)較多角轉彎或急轉彎的U型及PL燈管效率高。

表 6.1-1 各種光源特性比較表[21]

光源種類	效率 (lm/W)	演色性 (Ra/CRI)	色溫度 (K)	經濟壽命 (小時)
白熾燈泡	15	100	2,700	1,000
普通螢光燈	70	50	5,000	5,000
高演色性螢光燈	80-120	65-90	3,000~6,500	8,000
T5 螢光燈	80-120	65-90	3,000~6,500	20,000
PL 型螢光燈	85	85	3,000	5,000
燈泡型螢光燈	60	85	4,000	5,000
鹵素燈	25	100	3,000	2,000
高壓鈉燈	180	20	15,000	12,000
複金屬燈	90	65-90	3,000~4,700	6,000
水銀燈	65	50-60	3,000~4,000	12,000
低壓鈉燈	200	-	15,000	10,000
LED	80-100	60-80	3,000~8,000	30,000

除了發光效率外，演色性與色溫也是選擇光源的重要參考指標。演色性是光源對於物體自然顏色顯現的傳真程度，因 2,856K 的白熾燈泡連續光譜分布較接近自然陽光的分布，而被選擇作為比較的基準 (100%)，其他光源對於同一物體不同顏色的表現傳真度，經加權平均所計算得出者稱為相對演色性評價係數 (Ra)。選用 Ra 值愈高的光源，對於色彩的表現愈鮮豔，但價格也愈貴。以一般商店而言，室內 Ra=85 以上、室外 Ra=70 以上，既可以充分產生購買誘因，也可以降低投資費用，因此對商品與非商品區所使用的照明光源應有所區分。現行取得節能標章螢光燈管要求發光效率需達 90 lm/W，平均演色性 $Ra \geq 80$ ，自是高性能的指標。

色溫是光源所發出來的光源顏色與黑體在某一絕對溫度下幅射出來的光線顏色相同時，便以黑體當時之溫度稱為光源之色溫度，以絕對溫度 K (Kelvin，或稱開氏溫度) 為單位。一般而言，色溫低於 5,000K 者為暖色系；反之色溫高於 5,500K 為冷色系，它影響了使用場所的氣氛，應隨照度高低而適當地變化。台灣為亞熱帶氣候，目前國內賣場照度都已提高至 1,000 lux 以上，因此宜選擇色溫 5,500K 為宜。若選擇暖色系色溫 4,000K 以下者，會有燥熱之感覺，需降低冷氣溫度來克服，但熱食區可用暖色系光源來產生溫暖之感覺。

為因應節能減碳的潮流，全世界之光源製造廠均積極研製高效率光源及節能燈具，目前市面上所販售之光源，均是經過省電設計之節能光源，包括精緻型螢光燈管與省電燈泡。精緻型螢光燈管與省電燈泡比傳統式白熾燈泡確實省電 60~70%，但不一定比直管型螢光燈省電，只是其可沿用原來白熾燈泡之燈座，方便又兼顧燈具觀瞻美感。精緻型螢光燈管與省電燈泡都是螢光燈，由於是荷蘭 Philips 公司所最早研發成功，故有時亦稱為 PL 燈，但目前種類與外觀繁多，可視需要而安裝，運用上極為方便。

螢光燈管自 T10 進化到 T9、T8、T5，管徑愈小其發光效率愈高，使用汞的含量越低，更加符合環保的要求，各式螢光燈管特性比較如表 6.1-2 所示。如果採 T5-28W 燈管，將比原來 T9-38W 節省燈管耗

電 10W 左右，如搭配高頻電子式安定器來使用，更能提升其效能。

表 6.1-2 螢光燈管特性比較[21]

項目 種類	燈管尺寸 (mm)		燈管 功率	燈管 電壓	燈管 電流	初光束(Lm)		效率(Lm/W)		壽命	燈帽
	管徑	管長	(W)	(V)	(mA)	DEX	WEX	DEX	WEX	(Hrs)	-
FHF 18 (T9)	29.0	580	18	59	350	1400	1500	77.8	83.3	8000	G13
FHF 38 (T9)	29.0	1198	38	108	415	3400	3650	89.5	96.0	10000	G13
FHF 32 (T8)	25.5	1198	32	140	270	3000	3200	94.0	100.0	12000	G13
FHF 45 (T8)	25.5	1198	45	110	425	4230	4500	94.0	100.0	12000	G13
FL 14 (T5)	17.0	549	14	86	165	1100	1200	89.0	96.0	15000	G5
FL 28 (T5)	17.0	1149	28	170	170	2400	2600	96.0	104.0	15000	G5
註：DEX 三波長域晝光色 (色溫 6500K) WEX 三波長域白色 (色溫 4000K)											

發光二極體(LED)主要是由P型(+)與N型(-)半導體接合而成製成的元件，也是一種微小的固態光源，可將電能轉換為光。與傳統燈泡比較具有體積小、壽命長、驅動電壓低、反應速率快、耐震性特佳、顏色多樣化、點燈速度快等優點，且不會產生影像殘留，壽命較燈泡長 50~100 倍，能配合各種應用設備的輕、薄、短、小之需求，已成為日常生活中十分普及的產品。

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。同樣照明效果的情況下，用電量是白熾燈泡的 1/8、螢光燈管的 1/2。就橋樑護欄燈為例，同樣效果的一支日光燈 40W，而採用 LED 每支的功率只有 8W，而且可以全彩變化。

LED 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 LED 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。

LED 為全固體發光體，不含汞、鈉元素等可能危害健康的物質，耐震、耐衝擊不易破碎，廢棄物可回收而沒有污染。光源體積小，可以隨意組合，易開發成輕便薄短小型照明產品，也便於安裝和維護。雖然 LED 光源要比傳統光源昂貴，但是用 1~3 年時間的節能收回光源的投資，從而可獲得 4-9 年中每年數倍的節能淨收益期。

2. 高效率燈具

燈具的主要功能是改變由光源所發出的光之前進方向，使之投射到待照射的被照面上，並且可以控制眩光的量，使視覺舒適。因此燈具的分類就是以光束在空間的分佈(即配光曲線)來區分。而將使某種光源在此照明器具內所發出之光束(光線)，可以達到主要被照物表面的百分比稱為燈具效率或器具效率，代表評估此照明器具的光學投射性能(與燈具反射、折射角設計、表面處理及反射面之材質等有關)。燈具效率愈高愈好，表示可以在被照物表面上產生光亮的效果越高。依據燈具的配光曲線，室內照明燈具的分類可分為五大類，如圖 6.1-1 所示。同樣裝燈高度下，直接照明的燈具效率最高，照射面積窄，眩光也最強；間接照明效率較差，但照射面積較寬，光分佈最均勻，眩光也最少，視覺也最舒服。換言之，燈具效率及視覺舒適度是互相需作協調，才得獲得既實用又經濟的照明，其關鍵就在於端視光環境的作業性質與需求而定。商業場所，照度明亮優先，燈具效率優先考慮；居家照明則著重舒適溫暖，間接照明適合。

配光	國際分類	直接照明	半直接照明			全般擴散照明			半間接照明			間接照明
	向上光束	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
向下光束	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	
配光曲線												
實例	電燈泡及水銀燈器具											
	日光燈器具											

圖 6.1-1 室內燈具的分類與特性[21]

6.2 合理的照度規劃

照度是單位面積內所射入光的量，也就是光束除以面積(m^2)所得到的值，可用來表示某一場所的明亮度，單位是勒克斯(Lux)。被照面的照度越高，越容易辨識環境與幫助閱讀。各場所工作需求所需的最低照度，可參照國家標準(CNS12112)或國際的的照度基準。依據歐美及日本相關照明學會的研究心得與建議，讀書寫字最舒適的照度為1,000~2,000 lux；如果難以達到此最舒適照度，則要長時間維持眼睛不疲勞的最低要求應有500 lux以上。因此機關辦公大樓的大面積公共場所室內照明應以500 lux的基準來設計，以減少個別檯燈的使用；而個人辦公室內則可約略降低室內照度基準至300 lux，但以桌上型檯燈來補強閱讀與寫字照明。通常以目前的18~27W的省電螢光燈管檯燈，距離桌面40公分的高度所投射道桌面的照度約在1,200 lux上下，可減少大面積的照明用電，並產生最舒適的閱讀照明環境。

依工作場所與作業需求之不同，可訂定適合其工作的照度水準，避免燈具過量設計，導致照度過高，增加照明設備用電。所有空間應維持一定的平均照度要求，並且力求配光的均勻，部分要求高照度的場所，則可採用局部照明。此外，不論是天然光或人工光源，室內牆壁可以採用明亮系列的顏色來裝飾，以增加反射光，提高室內照度水準，照明品質也會因反射而呈現較佳的感覺。

6.3 善用照明系統控制策略

照明的點燈控制主要為點亮、調光，因應操作的便利性，需組合適當的配電器材、開關與各類光熱感應器。從簡單的手控開關、定時裝置、偵測感應器，到複雜的場景預設及時程設定系統，運用自動化的開關及調光控制功能，給予設計者及管理者全程控制室內環境的機會，不僅賦與建築空間在不同時間滿足不同需求的彈性，亦提供空間使用者適時必要的照明水準，減少無謂的能源浪費。常用的控制方式有：

1. 手控 (manual controls) 開關及調光器

結構簡單且使用方便，燈具的開關包括個別開關及群組開關，可結合預設控制系統作為調光與場景開關，或結合定時器的定時開關，唯控制迴路不應過多以避免混淆，操控面板須加標示。

2. 配合時序控制器 (timer)

在預定的時間自動對照明環境作模式切換，或燈具的明滅控制，避免因忘記關燈而浪費電能。例如上班、下班、午休時段、夜間景觀照明、路燈之自動點滅照明燈具。時程控制功能以時間為基礎，可根據預定計劃的安排自動開啟、熄滅或調整既定區域的照明設施，適合每日按例行時程進行事務的空間。

3. 配合晝光感知器或附亮度檢知器

當屋外陽光線充足明亮時，可自動調降調光型電子安定器的輸出，降低靠窗區燈具的光輸出或直接關閉燈具。因此電路設計需採平行靠窗方向來配置，適合於辦公場所靠窗側燈具、靠窗走廊、採光井、

夜間室外景觀燈等之自動控制。晝光調節系統主要應用於建築內部週邊 4 公尺以內的臨窗區域，藉分置於室內各點或燈具內置的晝光感知器(solar cell / photocell)，依據晝光供給程度由窗邊往內等比例調整輸出光量，以減少無謂的能源浪費。

4. 使用感知器(occupancy recognition)

部分較少人員進出之場所，燈具可使用附加感知器之自主控制型燈具，自動控制燈具之明滅或調節亮度。例如當感測到有人接近時，自動點亮燈具，人員離開後，經過預設定時間而自動熄滅燈具，可避免浪費能源。一般對間歇使用的空間或出入較不頻繁的走道多採用感知器控制，可隨使用者出現與離開而自動點亮、熄滅或調暗照明系統。使用感知控制可杜絕無人使用的空間之不必要照明，可隨行人的走近而調高照度；待走遠後再降至預設較低的照度。

5. 整體群控式照明控制系統

採用照明中央監控系統、二線式照明控制系統等，可機動配合場所作息變動需求，並加以監控管理，約可節約照明用電 30 % 以上。二線式系統(Two Way System)係指燈具除了供應電源的電力線之外，另外應用二條訊號線串聯所有的控制開關與控制單元，在進行點滅或調光控制時，控制開關的訊號由二線式系統傳到控制單元，進行實際的點滅或調光控制。各家系統的構成及功能差異很大，大致上可提供群組(group)開關、模式(mode)開關、調光等控制的功能，配合紅外線感知器、晝光感知器、定時開關、無線遙控器等進行多種不同的特殊應用；同時也是目前照明自動化控制系統的主要方式。此系統容許多回路同時控制，所有開關及回路均可重新安排組合，由其控制面板設定、記憶及修改，並以個別按鍵切換不同照明設定，亦可使用無線遙控器操控，可免除傳統式須安裝許多個別開關及調光器的不便。

6.4 定期清潔維護與更換

螢光燈管雖然壽命較長，燈管點用時間較久，但燈具會因結構特性而很容易積塵髒污，影響整體發光效率與照明效果。大氣中塵埃的多寡因環境、時間、天候等而不同，塵埃較少的場所其照度的減低略與日數成直線比例；而在多塵埃的地方則成為指數曲線或飽和曲線。由此可知因積塵而損失的光束是極為嚴重的事。在設計時，設計人員係將此一影響以積塵減光補償係數來考慮，如果勤加清潔與整理，則此補償係數可取較高之數值，換言之，即提高燈具之發光效率與被照面之實質照度。

除了燈具本身以外，天花板、牆壁的積塵與顏色、反光條件等也影響被照面之照度。被照面之照度可經周圍牆壁的噴漆，燈具的清掃以及光源的換新而提高，可見燈具的清掃是值得予以重視的。光源的積塵除了減低照度外，並且嚴重地影響燈管的啟動特性，故應勤加清掃。螢光燈具形體大，清掃較不容易，故在設計照明之初即應該把日後的維護考慮在先，燈具的安裝應考慮清潔燈具、燈管與換裝燈管之方便性。照明燈具的維護與汰換可循下列重點參考辦理：

1. 定期擦拭燈具、燈管，避免污染物累積而降低燈具之照明效率，並依不同光源及落塵量多寡來決定燈具之清潔週期與預估最經濟清掃時間。
2. 由於燈管的自然老化與發光衰退，故宜分批更換燈管，以維持應有亮度及節約電能，並可節省燈管更換之人工費用。
3. 燈管經濟壽命係指新燈管使用至光束衰減為原有光束 70% 的時間，超過經濟壽命之燈管，不僅燈管光束輸出劇降，照明效率不佳且浪費電能。參考光源廠商之產品型錄，在燈管經濟壽命將至之前，定期分批更換燈管，即便此時燈管尚可點燈，仍應更換為宜。

更換期限(年) = 燈管經濟壽命(小時) ÷ 每年點燈時數。

第七章 建築物能源管理系統

7.1 建築物能源管理系統

所謂建築物能源管理系統，就是將各項耗能設備，利用監控介面與網路化之自動控制裝置，檢測設備及系統之能源耗用情形，並以邏輯化的運作方式及節能管制方法，達到節能的成效，又稱為 BEMS (Building Energy Management System)。現今的建築能源管理系統具備了如下的特色：

1. 自專屬而獨立的 BAS 系統(Building Automation System)，改變為可藉由網際網路相互交通的 BEMS 開放式架構。
2. 自遠端遙控，並進行系統診斷(System Diagnostics)，改善策略之下載與評估，成為有效的建築物能源管理技術，且從系統之離線 (Off-Line) 診斷蛻變成可進行線上(On-Line) 諮詢，增強其即時性與有效性。
3. 建築物內部之空調、照明、電梯...等機電硬體設備，為了因應此趨勢而大量智能化，皆預留可傳輸內部運轉狀況數據之接口(Port)，藉由 USB (Universal Serial Bus) 與外界溝通。而傳統的程式語言，亦完全更改為國際間統一的 ISO 或 BACnet 等編譯方式，隨著此種硬體設備之流通全世界而普及化，更進一步造就了 BEMS 的推廣應用。
4. 建築物之耗能現況成為可於線端遙測，所累積之長期耗能數據由於大量數位化，又藉由網路化之快速傳輸，形成可統計、可預測之有用數據。對單一建築物而言，可對業主提出系統運轉現況、運轉電費及可改善策略等有用之資訊。

7.2 建築物能源管理系統的分類

一般的管理系統，依照規模的大小可區分為：小規模系統、中規模系統、大規模系統，說明如下：

1. 小型規模建築物管理系統

小規模系統多半是用在小型的建築物，建立管理系統的預算並不多，運用最少金額建立最適切的系統，是針對小型規模建築管理系統設計時最主要的課題，其硬體架構如圖 7.2-1 所示。此外，有效的運用空間也是設計上的一大考量。有些小型建築物採用專為小規模設計的專用系統，在使用上具有不錯的機能及成效，但若隨著建築物的擴建，管理系統也必須隨之將機能擴張，成本的考量還是直接影響著系統的運轉效果。

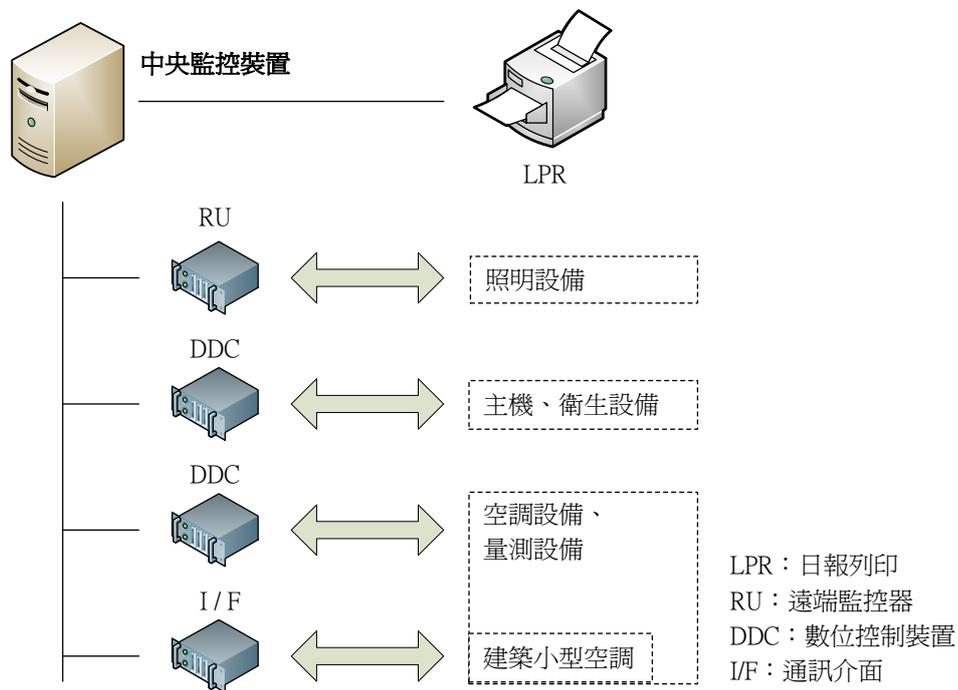


圖 7.2-1 小型管理系統之硬體架構

2. 中型規模建築物管理系統

此種規模的管理系統，除了包含小型建築所具有的設備外，還增設了防災及保全等設備。由於在管理上的複雜化，無法像小型系統一樣用簡單的監控系統來管理，在考慮到未來管理機能需要擴張的情況下，開始逐漸採用以微軟公司的 Windows 軟體為作業平台之個人電腦，由於軟體的穩定性和與周邊設備間良好的相容性，使具備 Windows 的 PC 成為管理系統之基本元件。隨著對於能源管理等管理機能重要性的提高，統一的作業平台，不但將其他一般管理(防

災、保全)的機能作結合，系統整合的功能也越來越強大，其架構圖如圖 7.2-2 所示。

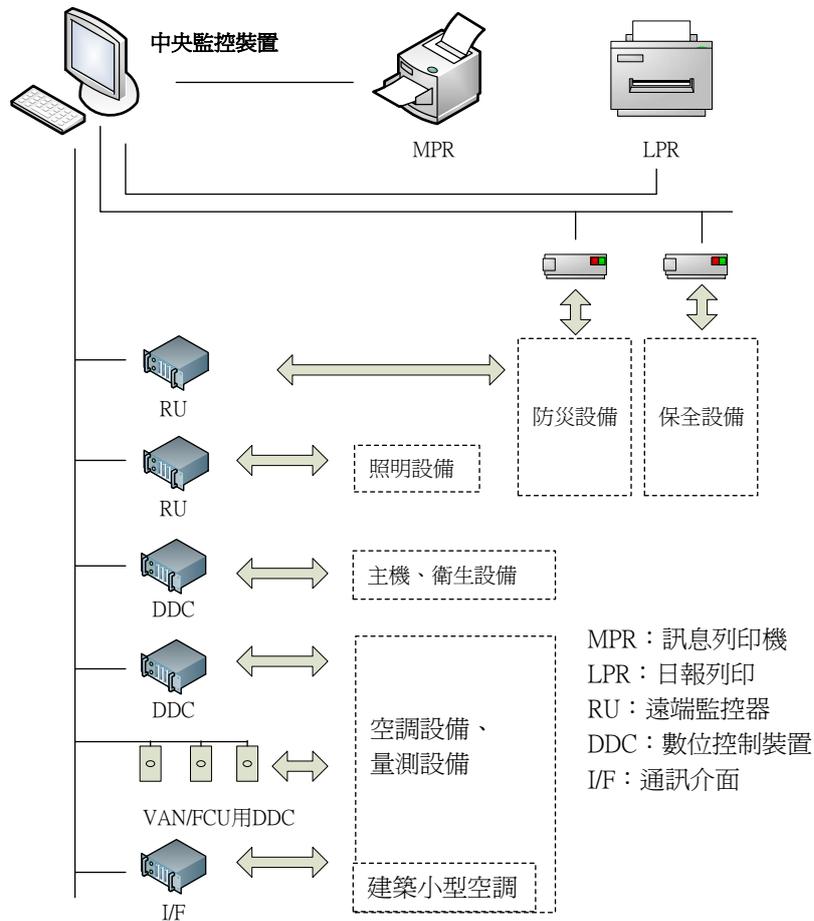


圖 7.2-2 中型管理系統之硬體架構

3. 大型規模建築物管理系統

一般高樓層大樓都屬於大型規模建築物，規模非常大，系統所要管理的事情相當的多，必須分別由多台主電腦進行管理，作組織化及雙迴路的設計。所謂組織化設計，是將各機能獨立起來，由個別的電腦管理，再藉由各系統間的連線來管理，減少單一系統故障時，對整體管理系統所帶來的影響。此外，分散管理也要考慮到各設備在管理特性上需求並不如中小型系統的單純，在設計上也是考慮的要素之一。

大規模系統在設計上除了作分散化管理之外，還必須採雙迴路設計。雙迴路設計也是為了避免某一系統故障時，導致該機能完全

停止的防範措施。在原有的系統之下，再設計一組預備用的系統，當主系統故障停止運轉時，預備系統能馬上接替主系統的工作，讓整個管理系統還是維持在運作的情況，運轉效率也不會因此而下降。作為大型建築的管理系統，網路化的通訊設備也是極為重要的一環，當整體系統所管理的對象不只為單一建築時，各建築間的管理系統便藉由網路作聯繫，並建立系統資料庫，對系統從過去至今的狀況作歷史紀錄之比對。圖 7.2-3 為大型規模建築系統結構的基本架構，各系統間都以並聯的方式作控管並都具有網路介面裝置，連線到內部網路伺服器；管理者端有警報及圖像現顯示系統，遇到異常狀況時，圖像顯示系統能讓管理者一目了然的掌握最即時的狀況。

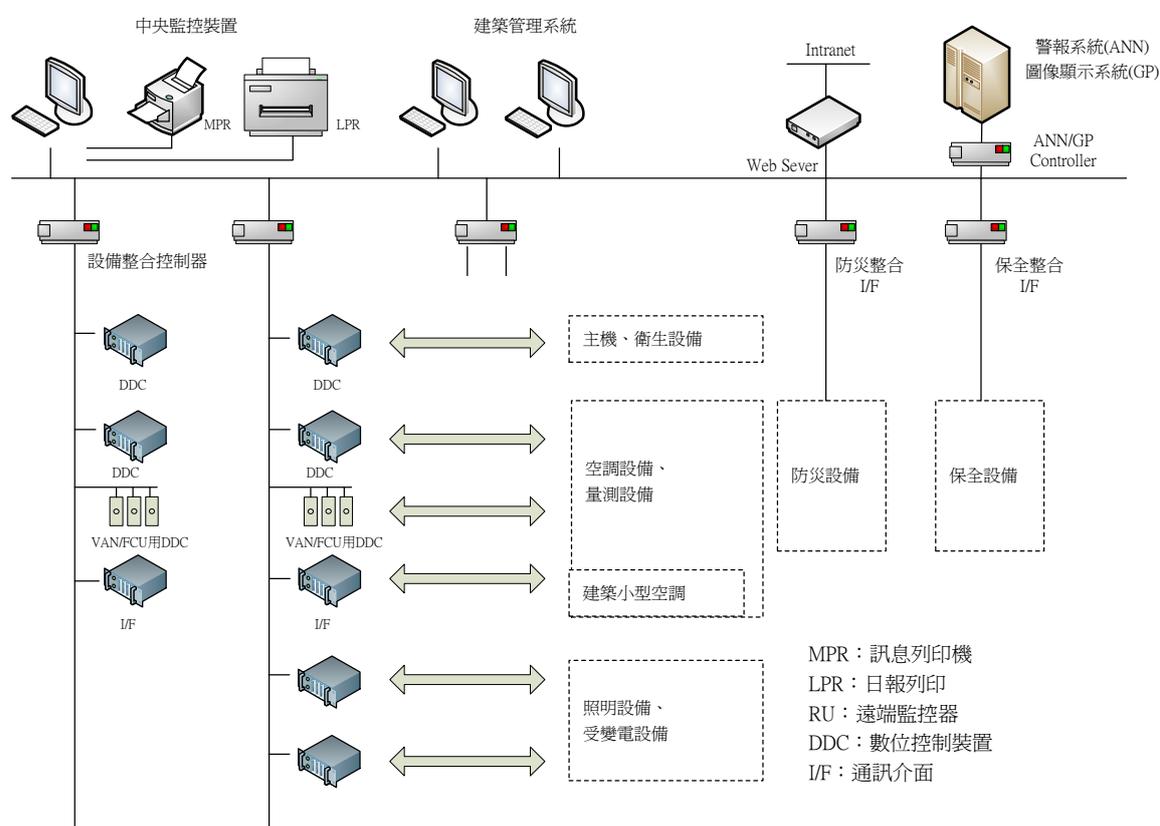


圖 7.2-3 大型管理系統之硬體架構

系統內各項機能說明如下：

- 系統基本功能：對建築物和建築設備進行監視，管理基本機能。
- 監視/操作/列印功能：增進系統對建築物和設備效率管理的機能。
- 統計圖形表示：將管理點的資料及相關狀況用圖形畫面的方式表

示，容易瞭解建築內各種資訊的機能。

- 操作者支援功能：豐富的訊息提示功能，簡單容易懂的操作性，讓非專業的管理者也能準確的瞭解系統資訊。
- 多媒體功能：善用聲音和影像等多媒體，讓管理上更佳方便容易。
- 數據管理功能：具有將過去收集、累積的資料，作各種分析、圖解的功能，藉此改善整體運轉效率。
- 控制功能：對建築物中各項設備運轉控制的功能。
- 共通：各項設備的自動控制功能及連動控制功能。
- 電器：各種省能的運轉控制及停電和復電時的控制功能。
- 空調：空調主機運轉最佳化的控制功能，及其他空調設備省能運轉控制方式。
- 防災：火災發生時的監視功能。
- 保全：建築物內的保全控制功能，及各項保全裝置的連動功能。
- 大樓管理委員會之行政功能：建築物的經營管理、保全管理及日常業務等各項資料管理功能。
- 廣泛建築管理功能：多棟建築的統一集中管理功能，遠端網路控制的功能。
- 使用者資料顯示功能：各種系統程式安裝、執行、設定和移除的功能。
- 系統狀態管理功能：系統能自行針對目前各項設備運轉狀況，判斷有無異常或變化，做出適當的運轉控制。
- 異常防護功能：具有應變設備各項異常狀況的功能。

7.3 BEMS 四大管理系統

建築物自動化系統 BAS 被成功的導入建築物內各種設施的運轉控制和管理至少已有 20 餘年的歷史了，這些安裝自動控制系統的設施，

如果管理使用得當，即使不是很花費心力於設施管理之下，也可以輕易省下 15~20% 的能源使用。近年來 BAS 系統已經進一步發展成 BEMS 系統，且趨於完善。BEMS 主要由四大管理系統組成，說明如下：

1. BAS：針對建築物之內部各種電力設備、空調設備、冷熱源設備、防火及防盜設備進行集中監控，在考慮能源節約及地球環境保護之條件下達到確保建築物內環境舒適，各設備運轉狀態及使用率均達到最佳化之目的。
2. EMS：以計算技術為基礎的現代電力綜合自動化系統，透過中央監視所傳達各監視點之數值，分配調度建築物內之管理能源使用及決策，保持建築物內各用電設備於最佳效率狀態下運轉，例如用電卸載、需量管理等。
3. BMS：管理各設備之運轉及維修，以及保全人員排程等管理，紀錄建築物內所有費用存入系統資料庫中。
4. FMS：利用電腦之資料庫累積各項設備運轉狀況紀錄、維修保養之費用，列出各項報表，進行各方面之財務評估及營繕管理。

7.4 BEMS 系統分級制度

日本為世界上推廣 BEMS 最積極之國家之一，對 BEMS 之功能及分級作了相當詳細的劃分，圖 7.4-1 即為日本 BEMS 之分級及功能示意圖。

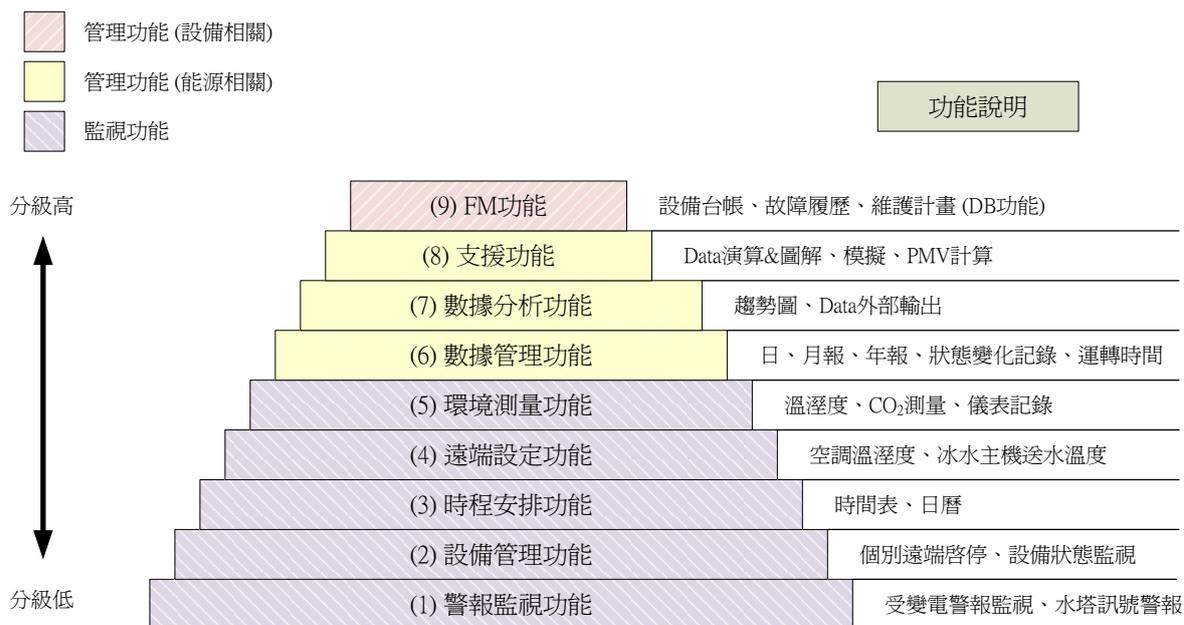


圖 7.4-1 日本之 BEMS 分級及功能示意圖

日本針對 BEMS 之分級，以監視機能、控制、操作機能等，作為優先考慮的條件，一般皆以樓地板面積作指標性的劃分，BEMS 系統也隨著總樓地板面積的大小及監控點數在能源使用監控上作出了等級上的區別。我國目前也有以建築物之總樓地板面積作為 BEMS 等級之劃分，分級制度如表 7.4-1 所示。

表 7.4-1 我國建築能源管理系統(BEMS)分級制度表[22]

BEMS 系統處理裝置之等級				
等級	等級 1	等級 2	等級 3	等級 4
總樓地板面積	5,000m ² 以下 (含)	大於 5,000m ² 至 20,000m ²	大於 20,000m ² 至 50,000m ²	大於 50,000m ² 以上
管理點數	50~250 點	250~500 點	500~3,000 點	3,000 點以上
系統之主要功能	<ul style="list-style-type: none"> ●警報監視功能 ●基本之設備運轉狀況監視功能，包含耗電量、累積用電、運轉效率，設備維護紀錄等 	<ul style="list-style-type: none"> ●設備啟停時程管理 ●空調系統運轉資料之紀錄及存檔功能 ●具等級 1 之功能 	<ul style="list-style-type: none"> ●包含大部分設備之運轉狀態監視及控制 ●具備有計費機控制功能 ●具備有資料處理功能，將各設備之用電情形及運轉狀態，以報表(月 	<ul style="list-style-type: none"> ●將建築物內之所有設備皆納入監視及控制範圍，並設置統一且集中之管理中心 ●具有最佳化運轉控制功能，針對建築室內外環境條件，

			報、季報、年報等)及各類圖形之方式作比較分析 ●具等級 2 之功能	有效調整設備之運轉狀態 ●除計費機制外，設備之生命週期也一併列入管理，整合消防及保全系統，包含人員管理等 ●具等級 3 之功能
--	--	--	--------------------------------------	---

樓地板面積 5,000m² 以下的建築物空調系統通常較為小型及單純，因此主要的監控對象為動力及照明設備，即三相和單相的累計用電。而樓地板面積在 10,000m² 以上之建築物，不但具有大型且複雜的空調系統，動力及照明系統的能源使用需量也大幅增加，因此不但對各系統作累計用電上的監測，運轉設備的詳細用電情形也一併要求監測。

除了在能源使用之監測上作等級的劃分之外，中央監控設備之功能的多寡也有層級的區別，一般層級之監控系統通常具備有：

1. 警報監視功能。
2. 設備管理功能，如運轉機器的啟停。
3. 工作排程功能。

除了設定啟停之外，還包含順序上的控制管理。我國目前之監控系統功能大都屬於初步層級，較無法達到有效之節能，因此若要更進一步向上提升，尚須增加遠方設定功能和環境狀態監測功能，如此不但確切掌握室內及室外環境之溫濕度及 CO₂ 值，再藉由遠端設定之功能，調整合理之空調設定溫度，達到能源使用的合理化，避免無形之浪費。

我國 BEMS 系統規範在 Real-time Online 即時診斷方面，也訂製出一標準之即時參數分析圖表，有助於了解目前建築能源使用之狀況及耗能分析，須具備 Web-Based 歷史資料查詢功能，可查詢各感測器數據，並可指定日期或時間區間(可選擇日期及時間範圍)查詢，同時選擇多筆

查詢項目(如主機耗電、運轉噸數、冰水進出水溫)等功能。耗能診斷數據資料庫需具備以自選參數作為座標軸參數之功能，例如：選取時間作為 X 軸，外氣溫度及相對濕度作為 Y 軸，完成即時外氣環境(溫濕度)變化圖。此外，我國 BEMS 規範也一併制訂了配合使用 BEMS 應提出之各類能源分析圖表，如表 7.4-2 所示。

表 7.4-2 BEMS 應具備之各類趨勢圖表座標定義[22]

區分	評價項目	圖形種類	X 軸		Y 軸		內容	備註
			表示	單位	表示	單位		
全體	能源利用區分	圓餅圖	-	-	-	-	熱源設備、泵及照明等其他設備，按照能源使用比例區分	
	能源利用區分	柱狀圖	月	-	能源消費量	kWh	每月能源使用量表示，作日後每月能源消耗量推估	
	主要機器運轉時間	柱狀圖	月	-	累積運轉時數	Hr	主要機器每月的運轉時數	
	空調負荷分布	點陣圖	溫度	°C	負荷	kWh	空調使用時外氣溫度與室內負荷的分佈	CO ₂ 控制
個別	外氣冷房實施時間	柱狀圖	月	-	累積時間	Hr	各月外氣冷房累積運轉時數	
	室內狀態	點陣圖	乾球溫度	°C	相對濕度	%	空調使用於冬季、夏季與其他季時之室內狀態	
	室內狀態評價	柱狀圖	月	-	件數	件	室內舒適度不佳之申訴案件	
	熱源機器成績係數	點陣圖	輸出冷房能力	RT	消耗電功率	kW	熱源機器輸出熱量的能源消耗量，與供水溫度的相互關係	COP 值
	照明負荷	柱狀圖	時刻	Hr	電力量	kWh	按每小時、晝光利用、每季及全天之消耗量作比較	
	照明負荷	點陣圖	室內人數	-	電力量	kWh	室內使用人數精確掌握	

BEMS 系統最重要之功能便是整合建築內部各子系統使達到運轉之最適化，因此整個系統最具備之核心價值便是數據的管理及分析功能。資料管理包含了系統各設備之運轉時間累計、使用電量、環境狀態變化的紀錄，分別能夠以日報、月報、季報甚至年報的方式對應呈現；加上系統之分析功能，分別將數據以時間趨勢圖表示，並配合其他的數據計算功能，產生更多複合式之圖表，如主機效率分析、冰水泵效率、系統整體效率等，來達到能源使用效率之最佳化。

7.5 建築物 BEMS 系統架構之建立

BEMS 架構主要之考量包含設計層面、運轉層面及節能對策專家系統三個層面環環相扣而成，如圖 7.5-1 所示。其主要精神在於經由完整而數位化之監控系統，對於建築物之耗能現況進行詳細之診斷。經量測數據與既存資料庫數據之相互比對來發掘問題之所在 (Fault Detection)；再經由專家系統擬定節能對策，區分為設計問題、運轉問題或管理問題，再回饋至原系統進行改善，並進行經濟效益評估。如此隨著建築物進行商業運轉之長時間逐步往前推移，直至達成系統運轉最適化為止。

傳統之 BAS 系統，既為專屬之獨立系統，又缺乏運用外界專家系統擬定改善對策之能力，形成了設計不良、長期運轉於耗能狀態、管理系統鬆散失效之狀況。經由此 BEMS 架構之建立，則建築物不但時時在進行自我偵測，且於異常時將可觸發而啟動自動警報系統，再經由專家系統來擬定及評估改善對策及其效益，且一切可經由遠端透過網際網路來進行，極具效率而準確。

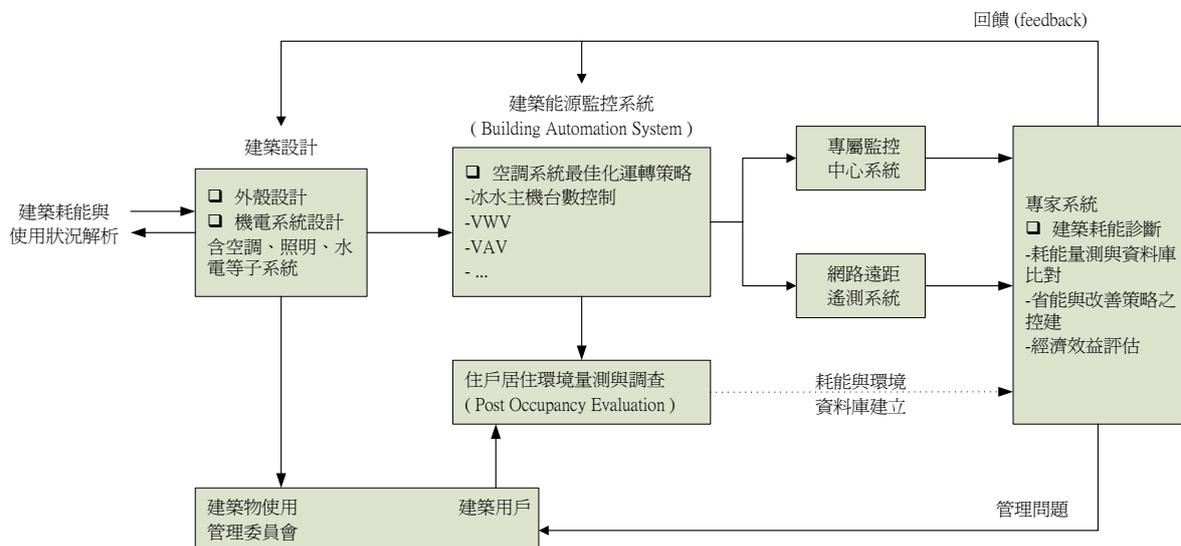


圖 7.5-1 BEMS 系統之工作流程示意圖[22]

建立完整之 BEMS 系統架構之後，針對空調、照明及動力三大子系統，再進行詳細細項之規劃，包含監控等級之設定、監視系統之點數、位置、控制系統之方式 (PID、Fuzzy)、建築物管理 (外聘保全公司或大樓自設管理員) 及通信系統 (設置、電話、傳真、可否上網、撥接或 LAN)

等。硬體設備方面如空調系統則分別設置相對應之監測點，如冰水流量、冰水進出溫度、冷卻水進出溫度及耗電量等，以便進行量測點之規劃。

第八章 建築節能應用案例介紹

1. 工研院六甲院區二期宿舍

工研院六甲院區二期宿舍位於臺南市六甲區，緊鄰烏山頭水庫，設計從集中且低度開發的方向著手，是一座融合地景、重視水土保持及顯現地方特色的建築。宿舍新建工程是由九典聯合建築師事務所設計監工，從設計到施工過程皆以水土保持與環保生態的工法為基礎，降低土地環境衝擊降，已獲得台灣綠建築鑽石級標章，為我國研究機構新建宿舍開發之典範。

宿舍之設計符合國內綠建築九大指標，注重生態多樣性、利用再生能源、增加綠化面積、提高日常節能等。在建築節能設計方面，屋頂面與西向立面分別採用雙層屋頂和外牆淺色立面處理，抵抗南臺灣強烈日射；西向方位之格柵可提供遮陽與抵擋西曬，並保持涼爽通風與自然採光；照明燈具採用 T5 高效率電子式安定器燈具，並有良好分區控制開關；屋頂利用鋪設 BIPV 擷取豐沛的太陽能，供應宿舍熱水；環繞在四周的水池則可藉由蒸散作用來降低環境溫度。各項節能設計手法說明如下：



圖 8-1 工研院六甲院區二期宿舍[23]

- (1) 雙層通風屋頂：宿舍屋頂利用烤漆鋼板與鋼筋混凝土形成雙層屋頂，最外層屋頂提供抵擋日射的保護層，對內層屋頂有遮陰效果，兩層屋頂間的空氣層則兼具通風效果，透過空氣層的流通，將熱氣帶走，熱量便不易傳導到室內，如圖 8-2 所示。雙層屋頂的設計方式讓屋頂隔熱傳透率僅 $0.43 \text{ W/m}^2 \cdot \text{k}$ ，達到空氣層隔熱節能之效用。

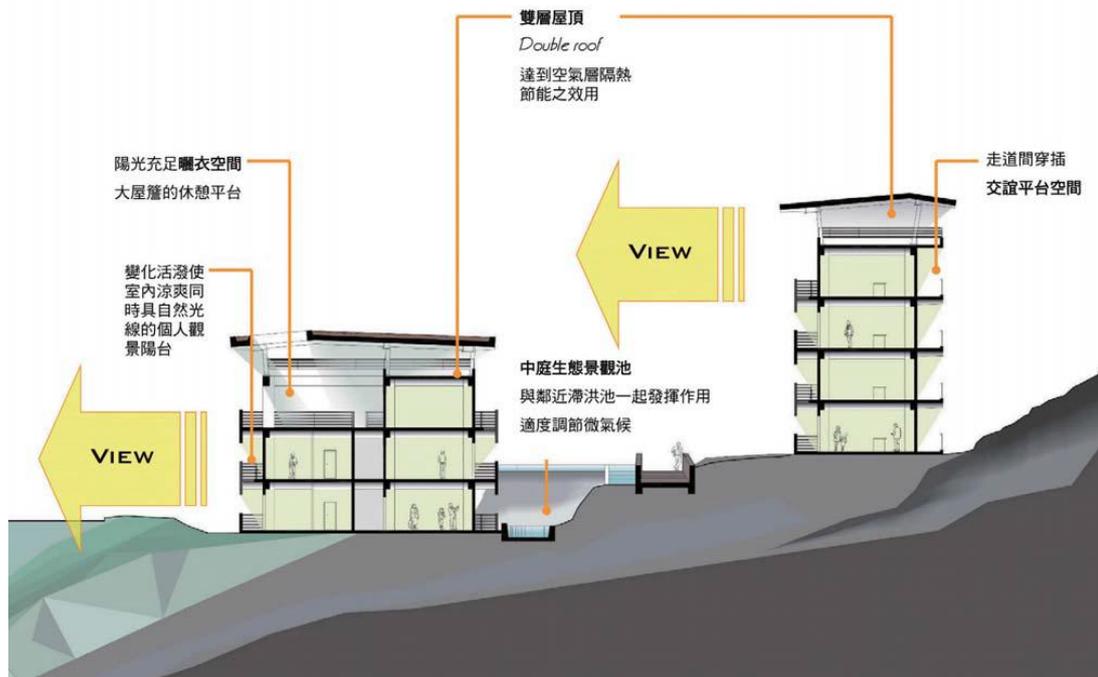


圖 8-2 雙層通風屋頂設計[23]

- (2) 外牆採用白色隔熱漆：宿舍外牆上採用白色的隔熱漆，塗料中間能產生細微的蜂巢狀組織，增加熱能的散射、折射與消散，在日照強烈的環境下，可使室內溫度降溫 5°C 以上，減少透過外牆傳導至室內的太陽輻射熱。[23]



圖 8-3 外牆立面採用白色隔熱漆塗裝[23]

- (3) 外遮陽設計：南部天氣經常艷陽高照，常有日照強烈與西曬的困擾，在遮陽設計方面，宿舍利用位於西向方位的格柵、深出簷與陽台來抵擋強烈的西曬，可形成涼爽的陰影空間，避免室內熱負荷增加，提供室內涼爽溫度與具自然採光的個人景觀台，如圖 8-3 所示。



圖 8-4 西向牆利用隔柵檔板遮陽[23]

- (4) 適當的開窗率：建築物立面開窗率適當且全部使用清玻璃，讓室內空間能充分利用自然採光。另外，透過設計良好的居室格局，所有居室空間可開窗自然通風，配合環繞在四周的水池提供蒸散作用降低周遭環境溫度，有效利用自然通風並減少空調設備開啟時間。

- (5) 使用高效率燈具：照明燈具採用高效率電子式安定器，燈管則使用 T5 及螢光燈管，並有良好之分區開關控制，以達到節能的目的。



圖 8-5 照明採用 T5 燈管與分區開關控制[24]

- (6) 再生能源利用：利用南部地區日照強烈的特性，於屋頂設置太陽能熱水器，取代傳統電熱或瓦斯熱水器，供應宿舍所需生活熱水使用，減少熱水燃料成本。



圖 8-6 屋頂設置太陽能熱水器[24]

2. 成大綠色魔法學校

成大「綠色魔法學校」全名為「孫運璿綠建築研究大樓」，位於國立成功大學力行校區，是台達電子文教基金會董事長鄭崇華與成大研究基金會出資，募集多家企業捐贈綠色科技，並由成大林憲德教授

與石昭永建築師設計，共同打造的零碳建築，已獲得臺灣綠建築鑽石級標章與美國綠建築最高的白金級標章，為臺灣綠建築教育訓練的示範基地。

綠色魔法學校不強調昂貴的高科技，而以「適當技術」、「本土科技」及「經濟實惠」為宗旨，儘量採用本土建材與本土產品。在建築節能設計方面，包含利用由開口、遮陽、屋頂隔熱組成的建築外殼節能設計，減少太陽輻射熱影響；利用通風塔、吊扇等自然通風節能設計，減少空調使用時間；以高效率變頻空調、高效率燈具及照明控制等硬體設備，提升能源使用效率；屋頂則裝設太陽能與風力發電，充分利用再生能。各項節能設計手法說明如下：



圖 8-7 成大綠色魔法學校[24]

(資料來源：成功大學新聞中心 <http://web.ncku.edu.tw/>)

- (1) 屋頂隔熱設計：屋頂鋪設由淤泥再生陶粒製成之預鑄輕質混凝土板並設置屋頂花園，花園上則種滿景天科耐旱植物，藉此減少太陽輻射熱吸收、節約空調耗能，並減緩都市熱島效應，如圖 8-8 所示。太陽輻射經屋頂花園冷卻後，樓板室內側最高表面溫度可維持於 32°C 以下，頂層空間全年幾乎不需使用空調，大幅減少空調用電。



圖 8-8 屋頂花園設計[34]

- (2) 遮陽設計：屋頂大片弧形屋簷，形成深邃的遮陽，搭配窗戶採用水平遮陽百葉與垂直混凝土遮陽板，可擋掉大部分進入室內的直接日射，減少室內空調負荷，如圖 8-9 所示。



圖 8-9 綠色魔法學校屋簷深遮陽設計[33]

- (3) 自然通風：魔法學校設計了三個浮力通風塔，利用熱浮力通風原理將底層的空氣吸出，透過通風塔排出，並藉由流體力學模擬軟體模擬氣流流動過程，進行通風路徑的預測，以確保良好的通風效果。三座浮力通風塔各具有一面用來吸熱的玻璃牆面，利用加熱後的空氣產生浮力，將樓下的空氣往外吸出。其中，位於二樓的「國際會議廳」是可以容納 300 位觀眾的演講廳，透過講台下的三組通風口引風進入，讓演講廳一年裡至少有四個月不用空調

就能保持通風，再由後方的煙囪將熱空氣抽出，其通風模擬如圖 8-10 所示。

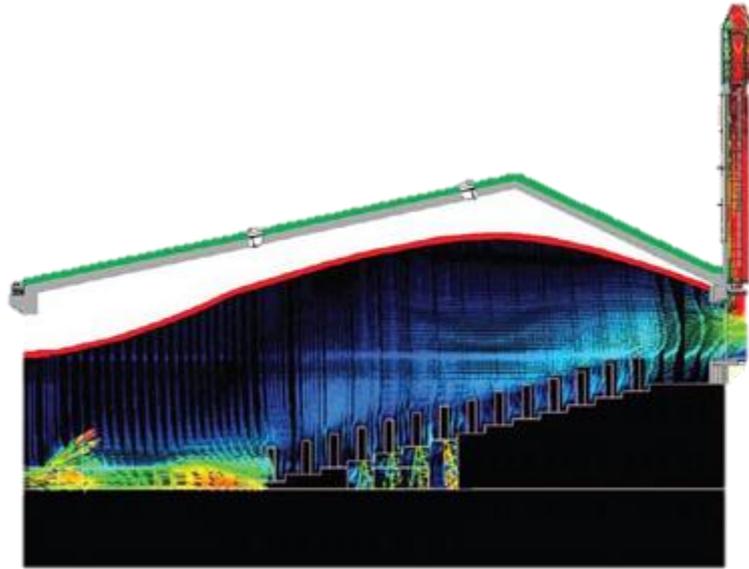


圖 8-10 綠色魔法學校國際會議廳通風模擬圖[34]

- (4) 空調節能：大型會議室中央空調系統採用變頻離心式冰水主機；其他小型會議室及辦公區域等行政空間則配置 9 套 VRV 變頻多聯式空調系統併聯運轉，設備運轉效率高。此外，配合建築本身良好的自然通風開窗設計，辦公室天花板設置多盞吊扇，如外氣溫度低於 31°C，透過開窗通風與吊扇使用即可維持良好室內舒適度，減少空調使用時間。



圖 8-11 辦公區空調與風扇通風並用設計[34]

- (5) 照明節能：國際會議廳照明採用高效率、高演色性的陶瓷複金屬燈，並利用二次反射照明設計，將複金屬燈從低處以二次反射的

方式投光於客席。雖然反射會有效率折減，但此方式無眩光、照明均齊度高且燈具維修與更換容易。在燈光控制部份，依座位可分為四個區域，如會場人數不多時，後半部的燈可關閉，讓人集中至前面，節省照明用電。

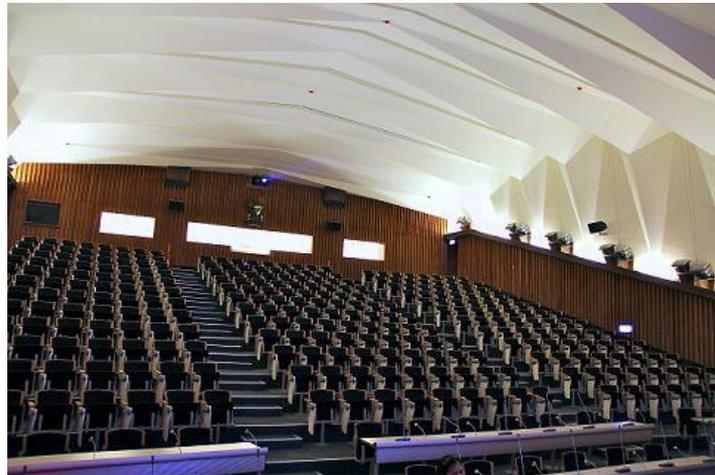


圖 8-12 國際會議廳內部空間照明[34]

- (6) 再生能源利用：魔法學校屋頂層有設置太陽能發電與風力發電系統，供應部分建築所需能源。太陽能發電部分，裝設一片 17.6kW 葉片造型的太陽能光電板，可隨季節變換調整葉片角度，全年發電量約 2 萬度。風力發電部份，配置 50kW 的風力發電塔，並以航空渦輪葉片設計技術設計風力渦輪葉片，啟動風速低並可隨著風向不同擺動到最佳方為，增加發電效率。

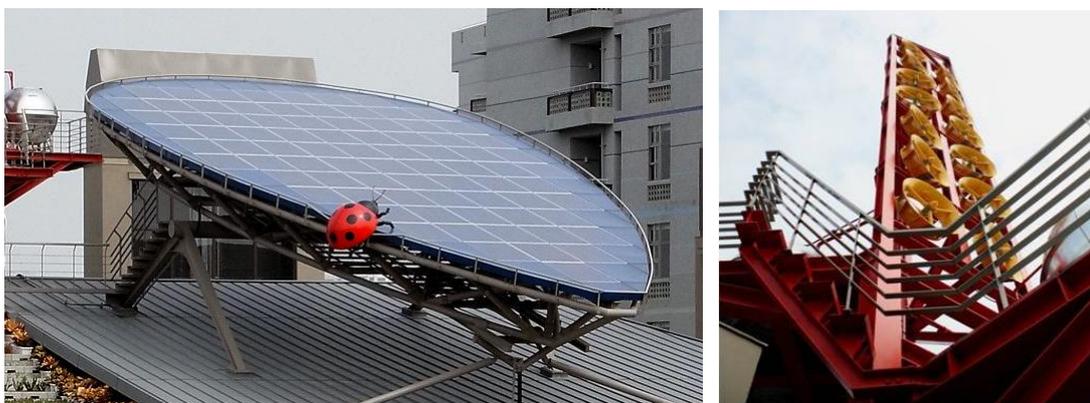


圖 8-13 屋頂太陽能光電板與風力發電塔[34]

參考文獻

- [1] 經濟部能源局，中華民國101年能源統計手冊，2013
- [2] 財團法人台灣綠色生產力基金會，2013非生產性質行業能源查核年報，2013
- [3] 內政部營建署，辦公廳類建築物節約能源設計技術規範，2011
- [4] 內政部建築研究所，綠建築評估手冊-基本型，2012
- [5] 黃國倉，綠建築的屋頂綠化，科學發展，460，48-53，2011
- [6] 曾筱霽，不同屋頂降屋系統對室內溫度影響-以水池、噴霧、灑水為例，朝陽科技大學建築及都市設計研究所碩士論文，2011
- [7] 林子平，都市退燒及室內節能目標下屋頂鋼板反射率之實測及成果應用，國科會專題計畫，2010
- [8] Lawrence Berkeley National Laboratory - Cool Roofing Materials Database: How to use the Cool Roofing Materials Database
- [9] 郎彥慶，季生兵，渠毅，冷屋頂概念與耐久性冷屋頂塗料，中國建材科技，2012
- [10] 郎彥慶，朱立甯，孫家悅，應用於可持續性建築的耐久性冷屋頂塗料，塗料技術與文摘，2011
- [11] 內政部建築研究所，冷屋頂設計於我國氣候條件下之建築節能應用分析與驗證，2011
- [12] PHOENIX COATINGS, INC, Roofing Brochure
(http://www.phoenixcoatings.com/roofing_brochure.html)
- [13] Rosenfeld, A.H,etc.※Mitigation of Urban HeatIslands:Materials utility programs updates§, Energy andBuildings, Vol.22, 255-265,1995
- [14] 曾筱霽，不同屋頂降屋系統對室內溫度影響-以水池、噴霧、灑水為例，朝陽科技大學建築及都市設計研究所碩士論文，2011
- [15] 周鼎金、邱繼哲，建築物雙層通風屋頂構造隔熱性能之研究，建築學報，59，2007

- [16] 李保峰，李鋼，建築表皮-夏熱冬冷地區建築表皮設計研究，中國建築工業出版社，2010
- [17] 黃夏冬，趙士懷，夏熱冬冷地區外窗保溫隔熱性能對居住建築採暖空調能耗和節能影響的分析，建築科學，20(21)：16，2004
- [18] 財團法人台灣綠色生產力基金會，空調系統管理與節能手冊，2008
- [19] 財團法人台灣綠色生產力基金會，空調空氣系統節能技術手冊，2011
- [20] 財團法人台灣綠色生產力基金會，照明系統Q&A節能技術手冊，2007
- [21] 財團法人台灣綠色生產力基金會，照明節能產品應用手冊，2010
- [22] 財團法人台灣綠色生產力基金會，建築能源管理(BEMS)節能手冊，2008
- [23] 內政部建築研究所，綠建築在台灣：第六屆優良綠建築獎作品專輯，2011
- [24] 台灣綠建築發展協會(<http://www.taiwangbc.org.tw/>)
- [25] 內政部建築研究所，101年度建築節能與綠廳舍改善補助計畫，2012
- [26] 內政部建築研究所，建築物外遮陽暨屋頂隔熱設計參考手冊，2008
- [27] 財團法人台灣綠色生產力基金會，圖書館節能技術手冊，2012
- [28] 綠領建築師培訓工作坊專業講師群，綠領建築師教你設計好房子，2013
- [29] 林憲德，綠建築84技術，2010
- [30] 林憲德，亞洲觀點的綠色建築，2011
- [31] 內政部營建署，建築技術規則，2013
- [32] 新北市水利局，透水保水設施規劃參考手冊，2012
- [33] 內政部建築研究所，綠建築綠改善-打開綠建築的18把鑰匙，2012
- [34] 綠色魔法學校(<http://www.msgt.org.tw/>)