

生活環境科學系列之四

建築空調系統節能設計

空調系統耗能係數 PACS

Energy Conservation Design for Air Conditioning System of Buildings

Performance of Air Conditioning System PACS

林憲德 著

詹氏書局

封面故事：台灣最早的空調設備

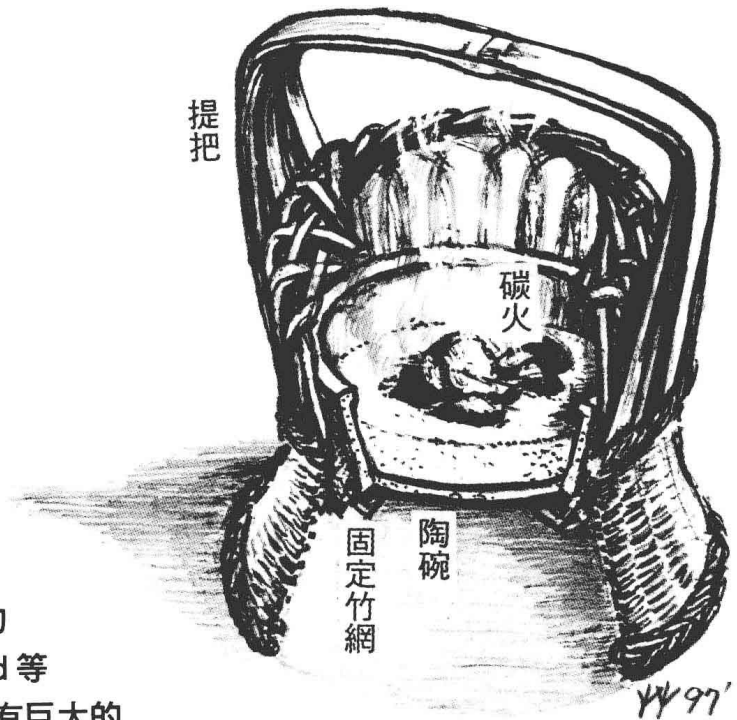
本書封面照片登載著兩件台灣古老的民間竹編藝術，右圖叫做「火籠」（台語， $20 \times 20 \times 28\text{cm}$ ），是一種攜帶型採暖用火爐，左圖是涼風竹扇（ $28 \times 36\text{cm}$ ）。兩者均為自然生態材料編成，十分輕巧透氣，造型典雅美觀。它們可說是台灣最早的空調設備（亦即採暖與通風設備）。

「火籠」的構造如上圖所示，其中間有一個由竹片編織襯托的陶碗，陶碗中央放置燃燒的碳火以供取暖。取暖時，人們將手掌或腳掌放置於竹籠上面，即可享受直接輻射溫度滲透皮膚的快感。在寒冬時甚至可將「火籠」放入被窩內，其溫暖快樂之感不可言喻。「火籠」所圍的圓形空間，必須在竹材燃點與碳火輻射溫度間取得一微妙的平衡，以發揮最大的輻射暖氣效果，並防止碳火延燒他物。寬大的竹片間隙，提供良好的輻射面與充足的燃燒氧氣。

以現代空調知識而言，「火籠」是一種局部輻射暖房形式，是一種既舒適又高效率的節約能源暖房設備。在社會文化意義上，「火籠」是一種南方溫暖氣候區的採暖器具，因為在溫暖地區之冬季短暫，以「火籠」或「火塘」之類的局部暖房設備即可渡過寒冬。相反地，北方寒冷地區由於寒冬嚴峻而漫長，必須建造如炕、壁爐、煙道等堅固耐用的全面暖氣設備，才足以應付峻寒。因此，我們可將「火籠」、「火塘」視為一種南方採暖文化的指標，而「炕」與「壁爐」則是北方採暖文化的象徵。

另一方面，「涼風竹扇」所代表的則是最原始的冷房空調設備。其輕薄的竹片編織構造具有良好的彈性力學特性，提供一種最有效率的風效果，其透氣的竹纖維有最好的蒸發散熱特性。以通風、蒸發等自然法則來取得涼意的方法，是

提把



南方國家自然發生的智慧，例如，伊拉克的 Baghdad、巴基斯坦的 Hyderabad、伊朗的 Yazd 等乾熱地方的民居，就建有巨大的「風塔」以引進涼風。更有些民居在風塔之通風道內放置水盆，在些在則入口或窗口上放置潮濕的草蓆，利用水的蒸發來冷卻空氣。熱濕氣候東南亞的高腳式民居，則採取高架透氣通風的竹編地板構造，可防虫獸之害，又可避濕熱之氣，整個建築有如一部冷房空調機器。

從技術的角度而觀，冷房空調的技術遠比暖房技術複雜困難。人類直到 1902 年 Carrier 博士發明了空調冷凍理論，進而開發冷凍機，才真正展開建築空調的時代。就人體舒適氣候而言，長江以南至赤道的熱濕氣候地區是最需要空調技術的地區。在沒有空調技術之前，熱濕氣候的人常常生活步調緩慢、工作效率低落，今後這些熱濕氣候國家若能積極普及空調技術，當可大大地提高工作效率及國家競爭力，最近香港、台灣、東協國家的高度經濟發展，有拜空調普及之賜。空調技術發源於溫帶氣候的美國，其技術尚未能充分掌握南方熱濕氣候的特色。著眼於廣大的南方市場，今後如何發展適合熱濕氣候的空調技術，勢必成為未來空調工業發展的重心。

自序

我國最新的建築節能法規即將在1998年元旦公佈生效。本人參與此法的催生，深知本立法過程十分漫長而辛苦。1990年成功大學建研所研究，於「建築節約能源設計的指標與基準」之研究報告中，向內政部建築研究所提出ENVLOAD-PACS指標評估系統，作為我國建築節能立法的依據。ENVLOAD-PACS 指標是依據國人開發的學術理論，並落實於本土氣候條件的研究成果。1995年營建署正式在建築技術規則第二章第八節四十五條納入建築節約能源規定，正式規定ENVLOAD為節能設計指標。

ENVLOAD是用來規範建築外殼節能設計的指標，PACS則是用來規範中央空調系統效率的指標，兩者本來是相輔相成、缺一不可的的節能設計指標體系。但是現行建築節能法令卻只納入了ENVLOAD指標，而並未將PACS指標納入管制。PACS指標未成為政府法令的原因，並非不可用，而是管理建築空調系統的主管機關不明確而無法落實，十分可惜。

為了彌補現行建築節能法令之不足，本書主要描述空調系統耗能係數PACS的解析法，也希望能作為政府今後進一步從事空調設計節能立法之參考。本書的PACS指標事實上是現行建築節能法令ENVLOAD指標的延伸，兩者構成了建築節能設計最完整的體系。本書的PACS雖未正式成為法令規範，但PACS理論自1990起已成為政府與民間業界爭相引以為節能設計之圭臬。PACS指標所具有的整體而合理的節能評估能力，已在空調實業界引起震撼。它尤其能防止空調設備超大設計，又能鼓勵採用優良空調節能設備，並淘汰不良空調設備系統，對業主、設計界、政府、民眾均有莫大益處。

本書修改自1995年「建築及空調節能設計規範的解說與實例」的部份內容，本內容已完成數年，其信賴度也經多方印証而取得共識。惟政府遲遲礙於管理行政之混亂而未能將之法制化，本研究單位的心力與責任因新建築節能法的公佈而告一段落，本人深恐本PACS的內容恐怕到處散潰，特將之整理成書以作了結。

本書主要是為空調設計界寫的著作，對於一些空調的基本知識則委之他書而省略不提。建築界的朋友對本書內容也許有些艱深難懂，但亦不必介意。由於我國現行建築節能法規所採用的ENVLOAD與本書的PACS有密不可分之關連，兩者若能一併參考，當更能登堂入室。本人另外為建築界朋友寫了兩本較為淺顯的建築節能設計相關著作，一本是內政部營建署印製的「建築節能法規的解說與實例專輯」(1997.12)，另一本是「建築風土與節能設計——亞熱帶氣候的建築外殼節能計畫」(1997.12)，敬請參考。這兩本書是敘述我國建築外殼節能設計與法令的著作，是本書PACS指標的前提，在使用本書前務必列為參考，方能從事PACS的實務設計。

本人從事空調節能研究十餘年，如今能初見建築節能立法成功，其甘苦辛酸點滴在心頭。希望我國能儘速將PACS納入政府法令，以落實全面性的國家環保政策，本書若能作為未來立法之參考，甚幸矣。在此我特別要感謝感謝內政部營建署、內政部建築研究所、經濟部能委會長期來對本相關研究的資助。當然也要感謝多年來不斷勉勵指導的眾多建築、照明、空調界專家，以及長年來共同研究配合的本系師生以及諸位研究助理，才能使本研究內容更臻可信。

**成功大學建築系
林憲德教授 謹序
1997年12月**

目 錄

封面故事

自序

第一章 建築空調用電與能源危機

- 1-1 新建築節能法令公佈..... 1
- 1-2 台灣與世界上各國能源消耗的比較..... 2
- 1-3 建築空調的用電統計..... 5

第二章 建築節能法規與 PACS

- 2-1 前言..... 8
- 2-2 何謂 ENVLOAD 與 PACS..... 9
- 2-3 ENVLOAD 的指標與基準概說..... 11

第三章 空調系統耗能係數 PACS

- 3-1 PACS 指標與基準..... 15
- 3-2 PACS 指標計算法..... 17
- 3-3 何謂特殊空調節能系統..... 22
- 3-4 特殊空調節能系統對 PACS 的修正..... 23
- 3-5 特殊空調節能系統修正效率之意義與求法..... 24

3-5.1 熱源機器之效率修正	
3-5.2 熱源台數控制系統修正效率 α_1	
3-5.3 變風量(VAV)系統修正效率 α_2 、 α_3	
3-5.4 變流量(VWV)系統修正效率 α_4	
3-5.5 全熱交換器系統及 CO ₂ 濃度外氣量控制系統之修正效率	
3-5.6 外氣冷房系統修正效率 α_8	
3-5.7 儲冷槽系統	
3-5.8 其他特殊節能設備系統	
3-6 複合空調系統的 PACS 計算法	40
3-7 小結	41

第四章 PACS 的計算步驟與實例

4-1 前言	94
4-2 全年空調負荷 S_b 之計算步驟	95
4-3 全年空調系統耗能量 S_a 與 PACS 之計算方法	97
4-3.1 基本計算	
4-3.2 特殊空調節能系統修正計算	
4-3.3 PACS 值計算	
4-4 PACS 計算實例	101

參考文獻	116
謝辭	123

第一章 建築空調用電與能源危機

1-1 新建築節能法令公佈

我國最新的建築節能設計規定，已經正式納入「建築技術規則」之中，在 1998 年元旦正式公佈生效。這是繼 1995 年第一次公佈實施後，全面擴大適用範圍的新法令。原來的法令只針對辦公、百貨、旅館等大型空調建築物實施節能管制，新法令則增列醫院、住宿類及一般建築物的適用對象，其管制對象也由原來樓地版面積四千平方公尺擴大兩千平方公尺以上的建築物，預計受到本法管制的建築市場將由 2 % 增加至 57 % 。尤其對於大型中央空調建築幾乎全面納入節能管理，對空調設計界影響層面十分巨大。本法令實施二十年後，預計可節約全國總發電量 7 % ，對地球環保貢獻甚大。

過去許多人以生活方便的理由，為了國內電力不足、夏季限電危機而要求節約能源。也有人以經濟發展的理由，為了減少能源的對外依賴而提倡節能政策。然而節約能源在今天的意義，並非只為了石油、電廠而存在，亦非一項趕熱門或泛道德的工作，而是一件為了子孫永續發展的基業，也是一項立足於地球環保的"綠色生活宣言"。

1992 年 6 月於巴西里約召開的"地球高峰會議"，史無前例地聚集了 170 個國家的政府代表以及 118 位的國家元首，共同商討挽救地球環境危機的對策。會中簽署了"氣候變化公約"、"生物多樣性公約"，同時發表了"森林原則"、"里約宣言"、"二十一世紀議程"等重要宣示。這些都顯示地球環境破壞已不容忽視，同時也顯示環保的問題已成為超越國境、超越政體的國際要務。身為地球村的一份子的台灣豈能置之於度外？

台灣過去以經濟優先的政策犧牲了寶貴的生態環境，但是今後的社

會若忽略了環保就將喪失經濟發展的優勢。最近我國力爭加入國際環保組織，其原因除了善盡地球環保的責任外，更為了免於受到不符環保之理由而遭到國際經濟處罰。我國若遭到經濟處罰，預計每年將損失總產值達新台幣十數億元。另一方面，為了防止因二氧化碳過多而使地球氣候高溫化，國際上建議對各國的能源消耗量重課環保基金，以回饋地球環保工作。果真如此，則 95 % 以上能源仰賴進口的我國經濟將遭受嚴重打擊。由此觀之，今後的經濟發展漸漸必須立於環保責任上，建築與空調的節能政策亦將成為維繫經濟發展的一環。

總之，節約能源政策不是為了節約國家外匯，也不是為了緩和限電危機，而是為了我們自己子孫的福祉、為了生活環境的永續發展、為了我們自己生存的尊嚴。

1-2 台灣與世界上各國能源消耗的比較

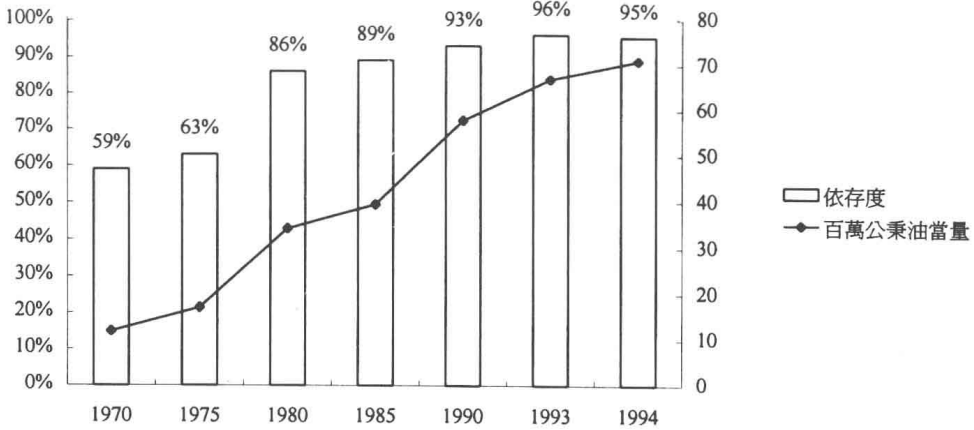
[表 1.1] 是台灣與幾個工業國家的能源消耗比較，其中以美國的能源

「表1.1」 對外能源依存度之國際比較

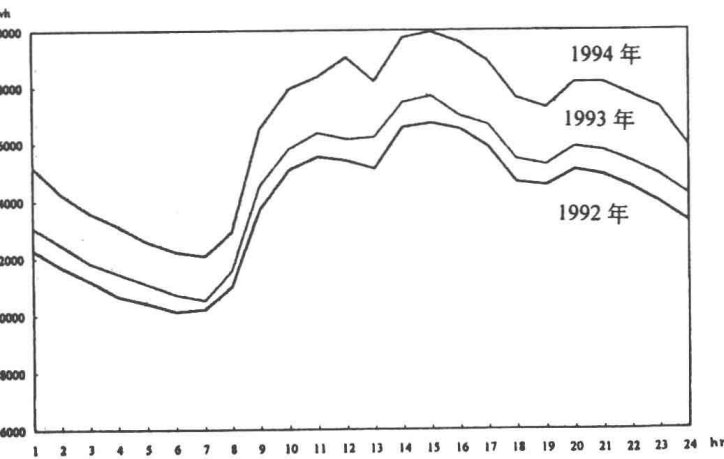
我國與其他國家能源供應結構比較				
國 家 別	自 產		進 口	
	百萬公噸油當量	%	百萬公噸油當量	%
台灣(1993)*	3.4	4.7	6.8	95.3
台灣(1989)*	3.4	7.1	44.3	92.9
韓國(1989)	23.3	25.7	67.3	74.3
日本(1989)	73.5	16.9	361.2	83.1
德國(1989)	129.6	45.5	155.6	54.5
法國(1989)	94.5	41.4	133.7	58.6
美國(1989)	1611.0	78.2	448.1	21.8

* 進口能源包括核能

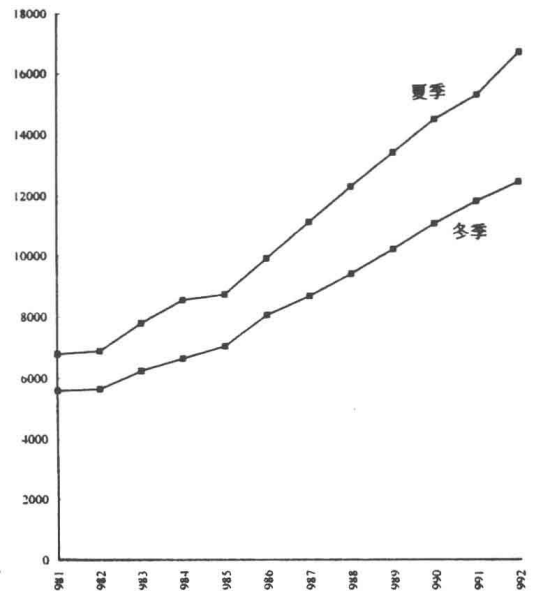
消耗總量為最大，但其依賴進口能源的比例(依存度)卻最小，而我國消耗能源的總值最小，但依存度卻最高，到1994年時已達95%(參見圖1.1)，可說是幾乎全部仰賴國外供應，這事實是對我國工業及民生方面非常不利的。尤其是我國外有戰爭威脅的狀況下，內有環保抗爭，應如何降低對外能源依存度及積極開發新能源，是非常重要的。其中尤其是節約能



「圖1.1」 國內歷年能源消費及依存度狀況(經濟部能源委員會)



「圖1.2」 台灣夏日用電單日負載曲線
(台灣電力公司1993.05, p120)

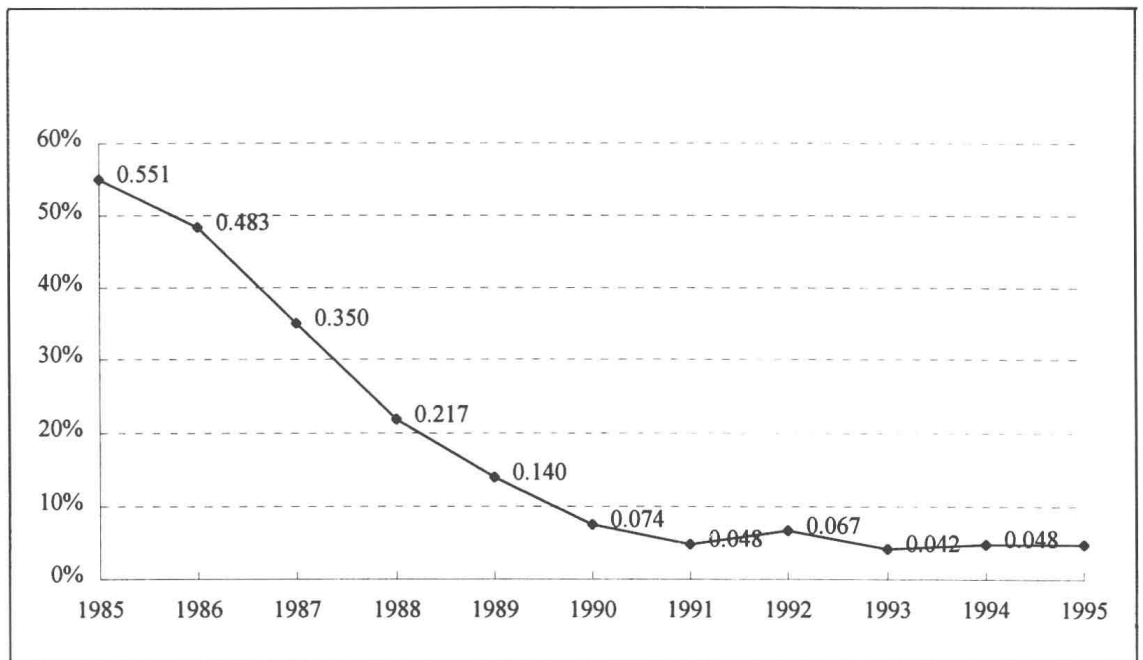


「圖1.3」 台灣電力系統夏季及冬季尖峰負載變化圖

源政策，是最值得注重的一環。

近年來的台灣，由於電源開發不易與環保抗爭不斷，使得台電的電力備轉率偏於相當低的水準(參見圖1.2)，在夏日常常發生限電危機，影響工業經濟與民眾生活至巨，此並非一個高度工業化國家應有的合理現象。造成此供電危機最大的原因，在於建築空調耗電量過高。

如(圖1.3)所示，我國夏季及冬季電力系統尖峰負載值相差約1.4倍，其主要的差距當然由於夏季大量的空調耗電所造成。又如(圖1.4)的夏日用電單日負載曲線顯示，用電量最少的時候約在早上七點左右，也是外氣溫最低之時刻。第一次的用電高峰約在午前十一點左右，大部分是由於準備午餐使用電器產品所致。到了十二點到一點之間，用電量又急速下降，顯示邁入午休時段，許多工廠機器也停工。而全天的用電高峰出現在午後兩三點左右，這時的外氣溫達到最高，所有建築物的空調耗電也達最高峰。根據台電的統計，1996年台灣平均約有百分之三十的發電設備量，都是為了應付夏日空調用電而開發，而且在夏日尖峰負載時，空調用



「圖1.4」我國電力備轉率變化(取自台灣電力公司)

電更佔了41%~45%之多。目前台灣的建築空調設備才正處於起步的階段，今後會隨著空調設備之普及以及空調品質的提高，建築空調耗能比例只有日漸高昇之一途，供電危機也無緩和之勢。由此可證明建築空調用電量是造成我國供電危機的主因，也因此證明建築空調的節能政策，是緩和用電危機最重要的角色。

1-3 建築空調的用電統計

不同類型的建築物，用電的模式與密度各不同。如[表 1.2]中所示；我國四類不同用途的建築物中，以百貨用途的建築單位面積用電量最高，在夏季的八月可達 43.8kWh/m²之多，而全年單位面積總耗電量達 433.3 kWh/m²，也是最高，幾近於辦公建築的兩倍，醫院建築次之，再其次是旅館建築及辦公建築。

「表 1.2」我國各類中央空調建築物實際用電比例統計

	季節別	空調	照明	動力
辦公建築*2 (樣本8)	夏季	0.41	0.35	0.25
	春秋季	0.27	0.48	0.25
	冬季	0.19	0.58	0.24
百貨建築*2 (樣本8)	夏季	0.36	0.44	0.20
	春秋季	0.30	0.48	0.22
	冬季	0.29	0.50	0.21
旅館建築*1 (樣本19)	夏季	0.50	0.26	0.24
	春秋季	0.39	0.37	0.24
	冬季	0.30	0.31	0.39
醫院建築*1 (樣本16)	夏季	0.58	0.31	0.11
	春秋季	0.53	0.25	0.22
	冬季	0.43	0.38	0.20

[註]：*1 取自李靖男 1994, p.188~194

*2 為林憲德修正值

我們又可從[表 1.2]中看出，不同類型的空調型建築物之空調、照明、動力三方面的用電比例也不相同。整體言之，空調型建築中以空調用電佔了最大比例，在夏日約佔四至五成，在冬季也佔了二至四成。尤其全年高度依賴空調的醫院建築中，空調耗電的比例在全年中變動不大，均高達四至五成之間，顯示其空調負荷以穩定的室內熱負荷為主。相對地，辦公建築的空調用電比例的季節變動較大，顯然是深受外氣候的影響。其次，大型空調建築的照明用電比例僅次於空調，全年比例高達三至四成，而動力的耗電量約佔二成左右。由此比例可知，建築節能設計應以最大比重的空調為最優先的重點。

就建築類別用電特性言之，在辦公建築中，夏季以空調用電為最大比例，冬季則以照明用電為主。百貨建築則因為高照明要求，不管在夏季或冬季都是以照明用電為最多。而旅館建築，夏季以空調用電的比例最大；冬季則以動力(運輸)佔較大比例，醫院建築則在夏季和冬季均以空調為最

「表1.3」我國各類建築物實際用電量統計

建築類別	內容	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	全年
辦公建築 (樣本8)	單位面積用電量	12.5	11.3	14.3	14.1	18.4	18.8	20.2	21.0	18.0	16.7	15.9	12.9	193.8
	單位面積空調用電	2.4	1.8	3.9	23.	5.7	7.6	8.3	8.5	7.2	5.5	4.0	2.7	60.7
	空調用電比例	0.19	0.16	0.28	0.2	0.31	0.41	0.41	0.41	0.40	0.33	0.25	0.21	0.31
百貨建築 (樣本14)	單位面積用電量	34.2	30.1	36.2	33.6	38.4	40.5	40.6	43.8	34.4	33.5	36.5	31.4	433.3
	單位面積空調用電	9.5	7.6	10.1	8.7	13.8	13.7	15.7	15.1	13.1	12.0	10.5	10.3	139.9
	空調用電比例	0.28	0.25	0.28	0.26	0.36	0.34	0.39	0.34	0.38	0.36	0.29	0.33	0.32
旅館建築 (樣本13)	單位面積用電量	15.3	12.9	17.4	17.0	21.5	22.8	23.1	24.7	20.5	20.7	19.6	15.0	230.5
	單位面積空調用電	3.9	2.9	5.3	5.0	8.3	10.1	11.4	10.9	10.1	8.2	5.6	4.9	86.6
	空調用電比例	0.26	0.2	0.30	0.29	0.39	0.44	0.49	0.44	0.49	0.40	0.29	0.33	0.37
醫院建築 (樣本8)	單位面積用電量	22.5	19.7	24.6	24.7	30.1	32.9	33.5	36.2	30.5	29.9	28.2	22.3	335.4
	單位面積空調用電	8.8	7.0	10.5	8.9	17.3	18.7	21.3	20.5	18.8	15.5	12.2	12.9	172.5
	空調用電比例	0.39	0.36	0.43	0.36	0.58	0.57	0.64	0.57	0.62	0.52	0.43	0.58	0.51

[註]：1993, 03~1994, 02 用電量單位：kWh/m²

多，可見得針對不同的建築用途，應該注意不同的節能方法才能夠發揮較佳的節能效果。

[表 1.3] 是依台電的實測資料所統計的逐月空調用電統計，可看出辦公、百貨、旅館、醫院的全年總空調用電量約各為 61、140、87、172 kWh / (m²-fl-area · yr) 左右，這些是十分寶貴的參考資料，可作為我國建築設計基準的參考。然而，我們要特別注意這些用電統計的代表意義。這些用電量是在台灣目前的空調水準下的統計，但是台灣目前的空調環境設備狀況大多不符合健康舒適的標準，亦即通常處於換氣與照明均十分不足的情形。假如在充分新鮮換氣量供應、充足照明的標準下，正常的空調用電量應該會比上述台電記錄值還高。台灣將來各方面的空調水準必然會日漸提高，因此這些用電量應該會日漸上昇才對。

第二章 建築節能法規與PACS

2.1 前言

我國最新的建築節能法令已經在1998年元旦正式公佈生效。這法令尤其將大型中央空調建築幾乎全面納入節能管理，對空調設計界影響層面十分巨大。為了明示本法之影響，以下讓我們來回顧其立法之經緯。1973年第一次能源危機以來，許多先進國在節約能源上苦下功夫，相繼建立建築耗能之「指標」與「基準」來規範建築物的能源使用量。有些國家從此之中，不但獲得了相當大的節能效果。同時也因由節約能源對策中，重新檢討建築環境的本質，大大地提升了全民的居住水準。1990年適逢伊拉克入侵科威特，再度引發了能源危機。內政部建築研究所籌備處再度委託成功大學建研所研究，於「建築節約能源設計的指標與基準」之研究報告中提出ENVLOAD-PACS指標評估系統，而成為我國建築節能立法的依據。

ENVLOAD-PACS 指標是依據國人開發的學術理論，並落實於本土氣候條件的研究成果。自1991年以來，在內政部建築研究所籌備處所舉辦的 "建築節約能源設計評審及獎勵作業" 活動中，在多位專家的監督考驗下，經過數十棟建築物的實例印證分析，確立了本指標的信賴度與合理性，遂於1992年由營建署委託成功大學建築研究所將其內容匯編納入規範草案。1995年營建署正式在建築技術規則第二章第八節四十五條納入建築節約能源規定，正式規定ENVLOAD為節能設計指標。同時也公佈辦公建築、百貨商場、旅館建築類的節能設計技術規範。1997年更全面更新法令，增列醫院、住宿類及一般建築物的適用對象，其管制對象也由原來樓地版面積四千平方公尺擴大兩千平方公尺以上的建築物。

ENVLOAD 是用來規範建築外殼節能設計的指標，PACS 則適用來規範

中央空調系統效率的指標，兩者本來是相互相成、缺一不可的的節能設計指標體系。但是這建築節能法令卻只納入了 ENVLOAD 指標，而並未將 PACS 指標納入管制，十分可惜。其原因並非 PACS 指標尚未成熟，而是礙於行政主管管理權責上未能釐清。今後有賴各方人士之努力，以期進一步將 PACS 法制化，使節能政策更能落實。

2-2 何謂ENVLOAD 與PACS

科學化的建築節能設計必須具備精確評估建築耗能量的「指標」與「基準」。「指標」是作為評估的尺度或計算根據，「基準」是指評估尺度在價值、意義上量化的參考。例如ENVLOAD、PACS就是「指標」，而 $110\text{kWh}/(\text{m}^2\text{-fl-area}\cdot\text{yr})$ 或1.8就是辦公建築合格的「基準」。向來台灣空調設計的效果一向都是黑箱作業，業主與建築師不懂空調設計，建築設計與空調設計難以配合，空調設備常被超量灌水。常常有些業主迷惑於各廠商誇大其實的節能效果，五花八門的節能設備、神奇活現的節能控制，不知如何取捨。這些混亂的現象都是因為沒有客觀的量化評估依據所致。因此，欲落實建築能源節約政策，首先必須建立一套合理而定量化的「指標」與「基準」。

ENVLOAD與PACS兩指標是規範「建築外殼節能設計」與「空調系統耗能效率設計」的指標系統。ENVLOAD是規範建築外殼的耗能水準，PACS是規範空調系統整體設計之耗能效率。第一部份的ENVLOAD是管制耗能源流最重要的部份，因為建築外殼之特性是空調耗能之本，外殼一被定型後其空調耗能特性就固定不變，在數十年的建築生命週期中就得年年消耗固定的能源。因此從建築外殼的源頭就進行節能計畫是節能設計最重要的瓶頸。第二部份的PACS是開啟空調整體能源效率設計之鑰。過去的空調設計常常與建築設計分離，空調設計常遷就不良的建築設計而迂迴無效的配合。然而事實上建築設計的平面佈局、機械空間、管路配置，乃至設備設