

空调动态负荷与计算机运算

理论及实务

张乐法 编著

济南出版社

1990年·济南

序 言

自從 D.G. STEPHENSON 和 G.P. MITALAS 諸先進於 1967 年發表有關熱反應係數法計算板壁非穩定熱傳、房間冷負荷、房間排除熱以及 FORTRAN IV 程式等動態空調負荷計算三篇重要論文以後，加之電算機在 70 年代成為計算工具的條件愈趨成熟，於是動態空調負荷精算和能耗模擬就形成全世界空調學術一次大革命。再由於 ASHRAE 基礎篇於 1981 年起在其第 26 章中完全以傳遞函數法動態冷負荷計算取代舉世空調界已採行數十年穩流計算之當量溫差法 (TETD)，並將所有當量溫差數據刪除於基礎篇以外，這等於宣佈空調計算和設計自 80 年代起已完全進入動態時代。

日本空調界不甘落後，自 1969 年起集合全日本空調學術界菁英組成「第 2 委員會負荷計算法分科會」急起直追，共化費 10 年時間於 1980 年完成並發表他們自己的動態空調負荷運算程式 HASP / ACLD / 8001，並再先後完成日本各主要城市之平均氣象年和戶外設計條件以作動態空調運算不可缺少的配合，俾供全日本空調動態計算。更又於 1985 年再進一步的完成改進 HASP / ACLD / 8501 和空調設備運轉能耗模擬和控制方法之程式 HASP / ACSS / 8502；全然以和歐美目前所採用之一些動態空調運算大型電算程式如 DOE - 2, BLAST, DEROB 等爭衡。日本空調學術界集體長期努力所取得動態 HASP 程式的成果絕非偶然，深值得台灣空調學術界省思。

拾多年來我從事工商業之餘對動態空調運算之發展趨勢也頗關心，並乘來往國外之便收集有關動態空調學術資料及交換心得。當然要發展一套完善的動態空調運算程式動輒要結合幾百個 MAN - YEAR 的智慧和時間，這絕不是任何個人窮其畢生之力所能擔當和完成的。為追趕動態空調學術前瞻，多年來我以幼時拾穗的經驗以及學來的征峰精神和長跑毅力作業餘鑽研空調學術和自費收集有關資料，並也承海內外冷空界同雅們熱切的提供資訊和支援電算機的運算協助，終於能完成我國第一本集合建築非穩定熱傳，動態空調能耗和電算機運算理論與實務的專書，為我國動態空調學術基礎及其運算技術落實盡一份力。

值得一提的是，要撰寫動態空調運算專書，儘可採用國內外各有關空調學理和他國發展或任何動態空調運算程式，但要作實際動態空調電算則必須要有靠本國自力發展出來的主要城市氣象資料，如平均氣象年和戶外氣象設計條件的配合，這才能使動態空調運算在本國土地上生根落實。本書第八和第九章雖是採用日本 HASP / ACLD / 8001 程式，但卻也齊備了台灣城市的平均氣象年和戶外氣象設計條件。所以全書動態空調運算實例皆充滿活鮮鮮的中國鄉土味，這是與台灣向來依穩流編寫的空調運算書籍採用外國發展之當量溫差值和全然借用他國完成的戶外空氣溫濕度條件是顯然不同的。

目前台灣空調界所用，所教和所學皆仍然多是古典的當量溫差法。多年來由於教育當局所委編之「冷空教材標準」祇見其歷年所編項目或與某書古老內容目錄相同，或獨將某一書名列入「標準」中「參考」。對於重要基礎理論，動態空調和有關省能新學理全然未見列於各冷空教材標準中。真是冷空荷學阻道，基礎學理原地踏步，新學人才不願認同去同流落伍，顯為台灣動態空調學術一直難有機會發展和被認為世紀大落後之主因。但筆者可以預言，本世紀以前包括我們中國在內，舉世空調學術界除少數自甘落伍者以外，必將毫無選擇的一致接受動態空調負荷運算以及能耗和裝置模擬的新概念而走向代表動態指標的 $X(t)$, $Y(t)$, $Z(t)$ 新方向。目前「動態領先」的重要徵兆之一就是評估建築單位面積空調熱能單位已由「Kcal / M² h」機延到「Mcal / m² 年」，前者是多年來依穩流法

計算所用面積熱能以「小時」為單位，但後者以「年」為單位非經動態運算是絕對很難取得「Mcal/m²年」值。近若干年來世界先進國一些評估空調能耗的研究報告或論文，都普遍使用「Mcal/m²年」作共同語言。本書第八章和第九章所用HASP 程式運算的年期間統計輸出也都是採用「Mcal/m²年」，詳見圖8-33、表9-9和圖9-6等即知。但願本書的出版，能使台灣空調學術面對「動態」衝擊而能真正「處變不驚」。

本書全部九章能順利完成，除筆者拾多年來收存了百餘篇國外空調學者所撰有關動態空調研究報告，資料和專著為撰寫本書不可缺少外，也對本書內容有極大幫助者如工業日文專家楊德輝君，顏啓森和趙慶珠副教授提供他們的專著和資料；成功大學林憲德博士提供台灣平均氣象年，專著，資料，尤其對HASP程式運算寶貴意見及指導研究生張思源君操作大型電算機的長時間協力，都一併申謝！

張樂法

1987年3月10日於台北市

冷空學園寓所

再 版 序

——愿：现在迈入空调动态运算领域，90年代应赶上先进空调学术水平，下世纪使中国变成空调节能大国，不立刻学习动态空调运算，必将落伍！——

本书初版于1987年3月在台湾以书名《空调动态负荷与电算机运算理论与实务》出版。此次在我国大陆将书名改动二字再版。

自二至六章阐述有限差分法，运用变换手段对谐波反应法，热反应系数法，Z传递函数法作基础理论引导。在实践上，有七、八、九章对传递函数法和热反应系数法之应用以及台北实例运算和分析。这二法对得（失）热、冷（热）负荷，排（供）热与温湿变位等运算范围之广和精确度之可行，皆为目前世界上对动态空调运算和模拟采用最广者。

奇巧的是海峡两岸对动态空调学术发展竟各走异途。大陆有众多空调学者多年来从事基础研究成果可观，或自求发展运算程序，全力放在谐波反应法和传递函数法上，对运用平均气象年计算冷（热）负荷确实已能掌握，似应对非连续运转和期间能耗模拟有详细输入输出资料公开发表。台湾对动态空调学术基础较弱，研究人员极少，乃与日本动态空调学术发展走同一路线，主要采用热反应系数法，已自力发展出台北空调设计气象七条件和台湾六城市之平均气象年，配合日本HASP/ACLD程序已能全盘掌握排（供）热和依温湿变位保证（详见第九章）连续或非连续运转之空调装置容量计算合理和精确度，期间空调系统能耗模拟以及模拟建筑因子对空调装置容量和能耗分析，这皆是本书之主要内容。

本书所用HASP/ACLD程序为热反应系数法，其依阶跃反应式简化法截取之根（ α_i ）较少，运算快，记忆量少，精度高，惟其余如反应系数 $Y(j)$ ，权系数 $W(j)$ ，房间蓄热反应系数 $\phi_R(j)$ 等收敛在实际处理上较困难，在发展关键上却比传递函数法诸系数如 $b_i, c_i, d_i, V_0 \sim W_1, g_0 \sim p_1$ 要繁重，且在各计算阶段还各多出两个直角三角波反应系数。然而，经20余年实践，已发现传递函数法中诸系数如 b_i, c_i, d_i 在某些情况下因热桥作用其计算得热精度甚差，计算冷负荷对房间传递函数系数仅取 W_1 已不够精确。至于系数 b_i, c_i, d_i 和 $g_0 \sim p_1$ 取到5项与各相对热反应系数 $Y(j)$ 和 $\phi_R(j)$ 最高取到8项相较，前法精度逊于后法。

纵观动态空调负荷运算领域，依“冷（热）负荷”作装置容量选择的时代早已于80年代结束。因为冷（热）负荷是依恒定室内温湿条件得到计算值，但实际上要在运转中保持室内条件恒定是不可能的；总的说，采用外气不保证或保证率对连续或非连续运转必须要靠室内温湿变位条件模拟排（供）热作装置容量选择才是正确的。这就像60年代末以冷负荷取代“得热”选定装置容量一样情势要推陈更新。依用“冷（热）负荷”不能计算非连续运转，也不能作能耗模拟是事实。

为要突破我国目前“冷（热）负荷”标高以及进入80年代动态空调运算世界先进大气候，建议再集合对动态空调运算有关之空调，计算机，热传，数学，空调器各门专家学者以及设计院，研究单位组成联合小组共同协力，齐向模拟温湿变位保证装置排（供）热计算，全面掌握连续与非连续运转以及空调系统期间能耗模拟，进而追赶动态空调先进水平之装置和设备系统能量与质量模拟，完成国家级并能达到世界先进水平之全套空调动态计算和模拟程序，乃为我克服多种困难完成本书在大陆再版之目的，也希望本书之再版能为海峡两岸动态空调学术籍交流而作出互补长短之微薄贡献。个人学能有限，尚祈国内诸同雅多所指正。

张乐法 1989年11月14日

于山东建筑工程学院

目 錄

序言

第一章 太陽輻射對建築物的熱作用	1
1-1 概述	1
1-2 影響太陽輻射強度的決定性因素	4
一、太陽與地球間的各種角度影響	
二、太陽的位置	
三、太陽遮影與日照面積率	
1-3 地面所受輻射強度	11
一、太陽常數	
二、建築表面所受太陽輻射量的計算	
1-4 太陽輻射的透射、吸收和反射	15
一、不透明物體的吸收率	
二、半透明體對太陽輻射的吸收、反射和透射	
1-5 戶外空氣綜合溫度	21
1-6 玻璃窗的對流和輻射透過熱	22
一、基本原理	
二、窗戶熱平衡—太陽輻射得熱	
三、太陽得熱係數 SHGF	
四、窗幪、窗簾和捲簾對陽光之透射控制作用	
習題	36
第二章 有限差分法解析板壁非穩定熱傳	37
2-1 差分方程組的建立	37
2-2 邊界條件	38
1. 第一邊界條件	
2. 第二邊界條件	
3. 第三邊界條件	
2-3 一維差分方程組矩陣	39
2-4 有限差分法計算板壁溫度分佈的實例	39
2-5 有限差分對溫度波幅衰減和延遲的分析	42
1. 溫度波的衰減	
2. 時間的延遲	
習題	43
第三章 變換法對板壁非穩定熱傳的基本解	45
3-1 拉氏變換求解導熱偏微分方程	45
3-2 板壁的熱傳遞矩陣	46
3-3 邊界處理下的熱傳遞矩陣式	47
3-4 傳遞矩陣 $B(s)$ 元素之特徵分析	48

1. S 爲正實數	
2. S 等於 0	
3. S 爲負實數	
3-5 階躍反應基本解對板壁非穩定熱傳簡易計算法	-49
一、板壁階躍反應基本解的推導	
二、壁體的傳熱和吸熱階躍反應的簡易計算法	
三、多層板壁的 ϕ_y 和 ϕ_z 各種簡易計算法的實際運算	
3-6 邊界條件的離散、反應、求和三步驟	55
一、邊界條件的離散	
二、變量的反應	
三、疊加或疊加積分求和	
習題	58
第四章 諧波反應法計算動態熱傳	-59
4-1 求解頻率響應	59
1. 頻率反應參數	
2. S—傳遞函數一個重要特性的運用	
3. 傳熱頻率反應	
4. 內表面吸熱頻率反應	
4-2 依手算和 BASIC 語言微程式二途計算頻率反應	-61
1. 頻率反應依手算實例	
2. 依 BASIC 語言程式計算頻率反應	
4-3 諧波反應法計算板壁傳熱量	63
4-4 室內外空氣溫度變化條件下諧波反應法計算得熱	63
4-5 建材層排列次序對頻率反應的影響	63
習題	65
第五章 熱反應法計算建築動態熱傳	-67
5-1 反應波形的種類	67
5-2 斜波函數的組成	68
5-3 反應係數 $X(j)Y(j)Z(j)$ 的推導	69
1. 傳熱反應係數 $Y(j)$	
2. 吸熱反應係數 $X(j)$ 和 $Z(j)$	
5-4 從反應係數分析板壁層排列次序對熱惰性指標的影響	71
5-5 利用反應係數計算得熱量 $HG_{(n)}$	72
1. 非週期性反應係數計算得熱量	
2. 週期性反應係數計算得熱量	
5-6 利用反應係數公比計算得熱量 $HG_{(n)}$	74
1. 第一公比	
2. 第二公比	
5-7 用微程式計算熱反應係數實例	-76

5-8	兩側干擾之吸熱反應係數 $\phi' Z(j)$	77
5-9	放熱反應係數 $\phi D(j)$	78
5-10	房間蓄熱反應係數與室溫變位的分析	79
	一、房間蓄熱反應係數	
	二、室溫變位與房間排(放)熱	
	三、室溫變位之加權係數	
	習題	84
第六章	Z 傳遞函數法計算空調動態熱傳	85
6-1	Z 變換	85
6-2	Z 變換的表徵	85
	1. Z 變換的定義	
	2. Z — 傳遞函數	
6-3	建築板壁體的 Z 傳遞係數	86
	1. Z 傳遞係數的推導	
	2. Z 傳遞係數的性質與板壁厚度的關係	
6-4	Z 傳遞函數法得熱計算式的推導	90
6-5	Z 傳遞函數法計算板壁得熱實例	94
	習題	98
第七章	傳遞函數法動態冷負荷計算	99
7-1	氣象設計條件	99
	1. 冬季空調室外設計條件的確定	
	2. 夏季空調室外設計條件的確定	
7-2	瞬間得熱和冷負荷大小的關係	100
	1. 室內得熱	
	2. 室內冷負荷	
	3. 排除熱量	
	4. 冷盤管負荷	
7-3	房間反應係數法計算式的推導	102
	一、房間反應係數	
	二、房間反應係數的二種表達方式	
7-4	房間反應係數法冷負荷計算實例	108
7-5	冷負荷係數法計算式及有關數據表	109
	一、冷負荷計算式	
	二、冷負荷係數表及其應用	
	三、冷負荷係數表運算實例	
7-6	冷負荷溫差 CLTD 和冷負荷係數 CLF 算式之推導	132
	1. 冷負荷溫差 CLTD 的求取	
	2. 冷負荷係數的求取	
7-7	CLTD/CLF 法計算冷負荷實例	133

1.經屋頂和外牆之得熱求取冷負荷	
2.經窗戶得熱之冷負荷	
3.經共有牆之冷負荷量	
4.內發熱之冷負荷	
5.通風和滲透風之冷負荷	
7-8 空調房間排除熱量和室溫波動計算	- 136
1.原理概述	
2.實例計算	
習題	- 142
第八章 動態空調負荷計算程式 HASP/ACLD 的解說	- 143
8-1 HASP/ACLD/8001 程式的發展和引入台灣	- 143
8-2 HASP 程式概要	- 144
1.主計劃	
2.INPUT 副程式	
3.RESTR 副程式	
4.AHER 副程式	
5.GOFF 副程式	
6.AOUP 副程式	
7.BLOCK DATA 副程式	
8-3 HASP 程式外擾負荷計算	- 144
一、透過玻璃窗的太陽輻射熱負荷量	
二、透過建築外殼之空調負荷	
三、滲透風和通風顯熱和潛熱之負荷量計算	
8-4 HASP 程式內擾負荷計算	- 150
一、照明冷負荷	
二、人體發生熱的空調負荷	
三、器具發生熱之空調負荷	
四、除（供）熱量及室溫變位	
8-5 HASP/8001 的輸入資料卡	- 153
一、名稱卡	
二、建築資料卡	
三、房間資料卡	
8-6 HASP/8001 的控制和輸出資料卡	- 170
一、控制處理	
二、輸出型式的控制	
8-7 HASP 程式所用基本氣象資料卡	- 173
8-8 輸入卡限制量	- 175
8-9 台北地區冬夏戶外設計條件之製造	- 175
1.台北地區之夏季設計條件	

2.台北地區之冬季設計條件	
8-10 HASP 程式對台北算例的解說	177
一、台北算例作輸入解說	
二、台北算例作輸出解說	
習題	196
第九章 HASP 程式對動態空調的省能模擬分析	197
9-1 台北算例統計輸出的分析	197
9-2 台北算例裝置容量之決定	197
1.夏季裝置最大容量的計算	
2.冬季裝置最大容量的計算	
9-3 省能控制的台北夏季動態冷負荷算例	202
9-4 動態空調模擬對建築思想的影響	205
9-5 HASP 程式模擬建築因子對全年期空調負荷的分析	205
1.模型房模擬建築資料	
2.對空調負荷影響的建築因子	
3.電算機輸入條件	
4.建築因子直交表和變異數分析與應用	
5.各建築因子對空調負荷之影響程度(台北和台南例)	
9-6 HASP 程式對夏季最大冷負荷影響因素的分析	220
1.HASP 程式對夏季最大冷負荷運算之數據整理	
2.各建築因子對裝置最大容量影響的分析(台北和台南例)	
3.對工業技術研究院委研台北台南建築因子報告讀後的意見	
習題	232
附錄	233
1.HASP DATA SHEET	234
2.HASP/ACLD/8001 程式	241
3.隔著海峽評論「詮釋空調機製冷量定義和測驗誤差」	267
4.澄清有關建築外殼熱質效應「二文」的一些基本學理問題	273

第一章 太陽輻射對建築物的熱作用

1-1 概述

假使不涉及能量轉換問題，太陽輻射對建築物熱環境的直接影響，在冬季裡是提供免費的熱能；而夏季為維持建築居住環境的舒適條件，則要購置裝備和耗費能源付出代價的消除太陽輻射的干擾。所以太陽輻射對建築物的熱作用，將是人類日愈為維持生活環境和生產條件，對熱能平衡精打細算必須面對的挑戰。

太陽直徑為 1.39×10^6 公里，約為地球直徑的 110 倍，二者相距約 1.5×10^8 公里。太陽為一 6000 度的高溫氣團，其內部溫度則高達 1500 萬度以上。太陽表面不停地以輻射線形式向外散出巨大熱能，投射到地球範圍內的能量僅為其總能量的二十億萬分之一左右。

當太陽輻射線達大氣層時，其中部分輻射能量被大氣層中的臭氧、水蒸氣、二氧化碳和塵埃等吸收；其中大部份為水蒸氣所吸收，另一部份再被雲層中的塵埃、冰晶、微小水滴及各種氣體份子等反射或折射，形成漫無方向的散射輻射，此謂天空散射輻射，其中大部份返回到宇宙太空中去，一部份散射到地球表面。其餘未被大氣和雲層吸收和散射的輻射能，則仍按原輻射方向，透過大氣層沿直線繼續直達地球表面，此謂直射輻射。所以到達地面的輻射能量乃是直射和散射二種能量之和，約佔太陽輻射到地球範圍總能量三分之一。

因地球表面點至太陽的張角僅有 32 分，因此，可大致認為太陽投射到地球的光線為一組平行光束。太陽輻射直射到地面的方向是受到一系列因素的影響。散射輻射是沒有一定方向的，它祇佔其總輻射能量的一小部份；所以環境影響太陽能直射輻射的因素，也可認為是影響其對地球總輻射的重大因素。

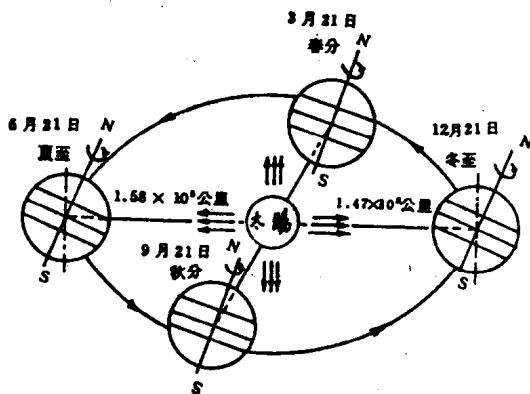


圖 1-1 地球對太陽的相對位置

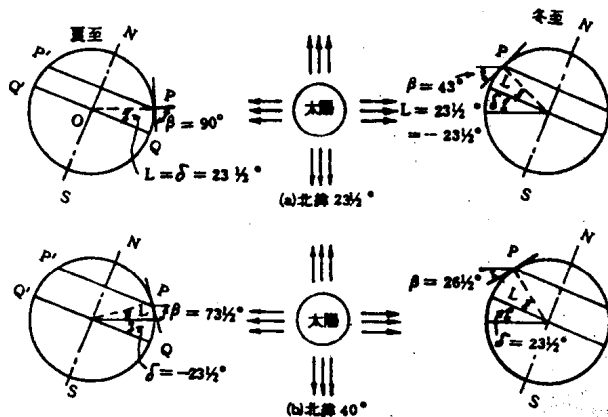


圖 1-2 冬夏時太陽高度與緯度的關係

[illegible]

各月期遷年變動係依該月二十一日正或負2日以內

[illegible]

各月期運年變動係依該月二十一日正或負 2 日以內

本表取自ASHRAE1985基礎27章表7。

1-2 影響太陽輻射強度的決定性因素

到達地面的太陽輻射強度大小取決於地球對太陽的相對位置，亦即地球的經緯度，季節、晝夜等，此即與太陽輻射線對地面的高度角和其他通過大氣層的行徑等有關。此外，高空中雲量或透明度對太陽輻射強度大小的影響也是很大的，例如全雲量遮擋時，太陽直射輻射即為零。

一、太陽與地球間的各種角度影響

1. 地球公轉與自轉：地球繞太陽反時針作公轉運轉，其軌道接近橢圓形。因此，太陽與地球之間之距離是逐日不同，12月21日距離最近，約為 1.47×10^8 公里。6月21日距離最遠約為 1.58×10^8 公里，如圖 1-1 所示。在公轉中地球仍以其極軸自轉。極軸與地球繞太陽運行軌道的黃道平面所呈之傾角稱為法線，其角度為 $23^\circ 27'$ 。因此，地球公轉為四季，自轉為晝夜。
2. 地球緯度 (L)：緯度是該點對赤道平面偏北或偏南之角位移。如圖 1-2 (a) 表示北緯 $23\frac{1}{2}^\circ$ ，處在夏至和冬至時太陽照射的情況。北緯 $23\frac{1}{2}^\circ$ 與赤道平行的緯度線又稱為北回歸線。
3. 太陽赤緯 (δ)：太陽和地球二中心連線與地球赤道的夾角為赤緯 (又稱赤緯角)。由於地球極軸呈斜傾，故赤緯角時時在變化，故其對冬季太陽輻射強度差異有重大影響，可按下式計算赤緯角：

$$\delta = 23.45 \sin \left(360 \frac{284 + n}{365} \right) \dots\dots\dots 1-1$$

式中，n：在一年中計算日的日期序號

由圖 1-2 可知赤緯全年在 $+23\frac{1}{2}^\circ \sim -23\frac{1}{2}^\circ$ 之間變化，在夏至為 $N 23\frac{1}{2}^\circ$ ，冬至為 $S 23\frac{1}{2}^\circ$ ，春秋分時則 $\delta = 0$ 。

4. 時差 (e)：鐘表時間為太陽平均時間。真太陽時間是以當地太陽位於正南方的瞬時為正午，地球自轉 15° 為 1 小時。因為太陽和地球間的距離逐時在變化，地球赤道與其所繞太陽軌道所處平面不一致，故有時差產生。真太陽時間 (AST) 可按下式計算：

$$AST = LST + ET + 4 (LSM - LON) \dots\dots\dots 1-2$$

式中，LST：當地標準時間，時；

4：地球自轉 1° 所需時間

ET：時差，分鐘，參看表 1-3；

LSM：當地標準時間位置的經度；

LON：當地的經度；

5. 太陽時角 (H)：指地球 OP 線在赤道平面上的投影與當地時間 12 點時，地中心連線在赤道平面上投影之間的夾角。當地時間 12 點時角為零，前後每隔 1 小時增加 $360 / 24 = 15^\circ$ ，例如 10 點和 14 點約為 $15 \times 2 = 30^\circ$ 。

6. 太陽高度角 (β)：地球表面某點和太陽連線與地平面所成的夾角稱為太陽高度角，如圖 1-3 所示。可用下式表之：

$$\sin \beta = \cos L \cos \delta \cos H + \sin L \sin \delta \dots\dots\dots 1-3$$

7. 太陽方位角 (ϕ)：太陽至地面上某一定點連線在地平面上的投影與指南線所成夾角 ϕ ，太陽偏東時為負，偏西時為正，太陽方位角計算式為：

$$\sin \phi = \frac{\cos \delta \cdot \sin H}{\cos \beta} \dots\dots\dots 1-4$$

表 1-3 大氣層外邊界相關逐月 21 日太陽輻射強度

月份	輻射強度		時差 (分鐘)	赤緯角 (度)	A		B C	
	W / m ²	kcal / m ² h			W / m ²	kcal / m ² h	(無因次)	
1	1396	1208	- 11.2	- 20.0	1230	1058	0.142	0.058
2	1384	1200	- 13.9	- 10.8	1214	1045	0.144	0.060
3	1364	1185	- 7.5	0.0	1185	1020	0.156	0.071
4	1341	1165	1.1	11.6	1135	977	0.180	0.097
5	1321	1148	3.3	20.0	1103	450	0.196	0.121
6	1310	1133	- 1.4	23.45	1088	936	0.205	0.134
7	1311	1126	- 6.2	20.6	1085	933	0.207	0.136
8	1324	1132	- 2.4	12.3	1107	952	0.201	0.122
9	1345	1145	7.5	0.0	1151	990	0.177	0.092
10	1367	1162	15.4	- 10.5	1192	1026	0.160	0.073
11	1388	1181	13.8	- 19.8	1220	1050	0.149	0.063
12	1398	1198	1.6	- 23.45	1233	1061	0.142	0.057

當依上式計算得 $\sin \phi > 1$ 時，應改用下式計算：

$$\cos \phi = \frac{\sin \beta \cdot \sin L - \sin \delta}{\cos \beta \cdot \cos L} \dots\dots 1-5$$

8. 壁面太陽入射角 (i)：壁面某點與太陽連線在水平面上的投影與壁面法線在水平面上投影所成之角度 i 。

9. 太陽入射角 (θ)：太陽射線與垂直壁面法線的夾角 θ ，即：

$$\cos \theta = \cos \Sigma \cdot \sin \beta + \sin \Sigma \cdot \cos \beta \cdot \cos \gamma \dots\dots 1-6$$

當表面為水平時 $\Sigma = 0$ ，則水平面太陽入射角為：

$$\cos \theta_H = \sin \beta \dots\dots 1-6A$$

當 $\Sigma = 90$ ，則垂直面太陽入射角為：

$$\cos \theta_V = \cos \beta \cos \gamma \dots\dots 1-6B$$

10. 壁面傾角 (Σ)：壁面與水平面所成角度，垂直壁面時 $\Sigma = 90^\circ$ ；水平板面 $\Sigma = 0^\circ$ 。

11. 壁面方位角 (ϕ)：壁面法線在水平面上投影與指南間所成夾角 ϕ 。壁面偏東為負；偏西為正。壁面方向和方位角見表 1-4。

12. 壁面太陽方位角 (γ)：太陽輻射線在水平面上的投影與垂直壁面法線所成夾角為 γ ， $\gamma = \phi \pm \phi$ 。

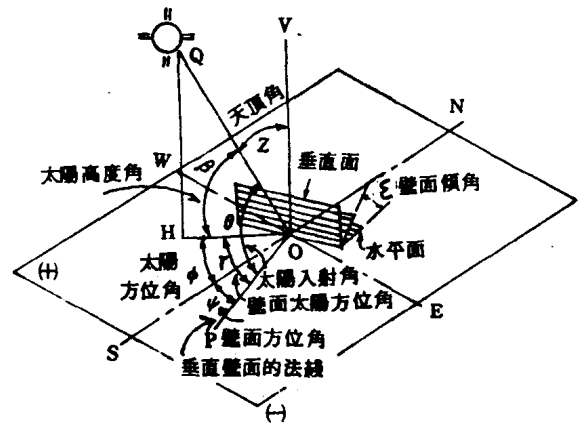


圖 1-3 太陽射線對建築表面所形成的各種射角

表 1-4 從南向測得之壁面方向和方位角

方 向	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
壁面方位角度	180	135	90	45	0	45	90	135
對其他方向求取壁面太陽方位角：								
<u>壁面對南東</u>				<u>壁面對南西</u>				
$\gamma = \phi - \phi_{AM}$				$\gamma = \phi + \phi_{AM}$				
$\gamma = \phi + \phi_{PM}$				$\gamma = \phi - \phi_{PM}$				
運用公式 1-6，祇要它們為正，可認為 γ 為負值。假使 γ 大於 90 度，板面就在陰影中。								

例題 1-1：試計算在北緯 32 度，西經 95 度，10 月 21 日，中央標準時間為 8:30_{AM} 時之太陽方位角 ϕ 和高度角 β ，以及面對南東窗之入射角。

解：當地時間為 8:30 + 4 (90 - 95) = 8:10_{AM}，從表 1-3 可得時差為 + 15 分鐘，則真太陽時間 AST = 8:10 + 15 = 8:25_{AM}，或中午前 215 分鐘，於是時角 $H = 0.25 \times 215 = 53.8$ 度。

(a) 從表 1-3 得 10 月 21 日之太陽赤緯角為 -10.5 度，依公式 1-3 得：

$$\sin \beta = \cos 32^\circ \cdot \cos (-10.5^\circ) \cos 53.8^\circ + \sin 32^\circ \cdot \sin (-10.5^\circ) = 0.396$$

$$\therefore \beta = 23.3 \text{ 度}$$

(b) 依公式 1-5 得：

$$\cos \phi = \frac{\sin 23.3^\circ \sin 32^\circ - \sin (-10.5^\circ)}{\cos 23.3^\circ \cos 32^\circ} = 0.503$$

$$\therefore \phi = 60 \text{ 度}$$

(c) 從表 1-4 中得南東向方位角為 45 度，於是 $\gamma = 60 - 45 = 15$ 度，代入公式 1-6 B 得南東向窗之入射角為：

$$\cos \theta_v = \cos 23.3^\circ \cos 15^\circ = 0.887$$

$$\therefore \theta_v = 27.3 \text{ 度}$$

二、太陽的位置

1. 太陽對水平面的位置

太陽輻射量影響空調負荷至為鉅大，在地球上任何位置所受太陽輻射量與太陽相對位置所處之高度角 β 和方位角 ϕ 有密切關係，而 β 和 ϕ 可按被照射面所在緯度 L ，太陽赤緯 δ 和時角 H 三者作決定。 δ 的計算與日期有關， H 則和時間有關，故一年 366 天中之第 N 天可換算為週期角度 H (單位為 Rad)：

$$H = \frac{2\pi}{366} N$$

從赤緯 (δ 的單位為 Rad) 近似計算式：

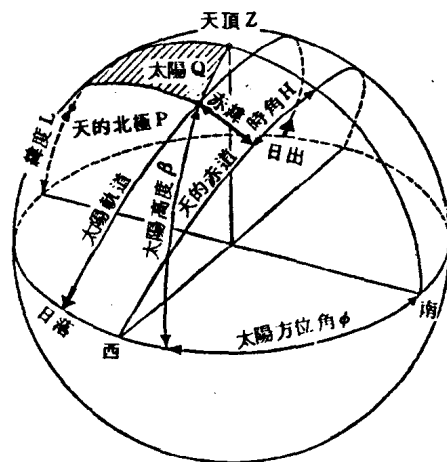


圖 1-4 從天球面上各角度決定太陽位置

$$\begin{aligned} \delta = & 0.006322 - 0.405748 \cos (H + 0.153231) - 0.005880 \cos \\ & (2H - 0.207099) - 0.003233 \cos (3H + 0.620129) \dots\dots\dots 1-7 \end{aligned}$$

再從時差 (e) 的單位為 h) 近似計算式：

$$\begin{aligned} e = & -0.000279 + 0.122772 \cos (H + 1.498311) - 0.165458 \cos \\ & (2H - 1.261546) - 0.005354 \cos (3H - 1.1571) \dots\dots\dots 1-8 \end{aligned}$$

在中原標準時間為 T, 當地經度為 ℓ , 則時角 H (單位為 Rad) 為：

$$H = \frac{\pi}{12} \left[(T + e - 12) + \frac{\ell - 120}{15} \right] \dots\dots\dots 1-9$$

由圖 1-4 所示的天頂 Z, 天球面上的北極 P 和太陽 Q 所形成的天球三角面 $\triangle QZP$ 顯示, $\angle Z = \angle QZP = \pi - \phi$, $\angle P = \angle QPZ = H$, 以及 $q = PZ = (\pi/2) - \ell$, $z = PQ = (\pi/2) - \delta$, $p = ZQ = (\pi/2) - \beta$ 。

於是運用球面三角法得太陽位置公式為：

$$\left. \begin{aligned} \sin \beta &= \sin L \cdot \sin \delta + \cos L \cdot \cos \delta \cdot \cos H \\ \cos \beta \sin \phi &= \cos \delta \cdot \sin H \\ \cos \beta \cos \phi &= -\sin \delta \cos L + \cos \delta \cdot \sin L \cdot \cos H \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots 1-10$$

2. 太陽對傾斜面的位置

由圖 1-5 所示球面三角 $\triangle QZN$ 可用來求取被照射面和太陽相關位置, 設被照射外表面傾斜角 Σ , 壁面方位角 ϕ , 由被照射面所看到的太陽位置可用高度角 β' 和最大傾斜線下面的方位角 ϕ' 來計算, 從圖 1-5 中得到

$$\angle Z = \phi - \phi', \quad \angle N = \pi - \phi'$$

以及 $q = \Sigma$, $z = (\pi/2) - \phi'$, $n = (\pi/2) - \beta$

於是得到太陽位置公式為：

$$\left. \begin{aligned} \sin \beta' &= \sin \beta \cos \Sigma + \cos \beta \sin \beta \cos (\phi - \phi') \\ \cos \beta' \sin \phi' &= \cos \beta \cdot \sin (\phi - \phi') \\ \cos \beta' \cos \phi' &= -\sin \beta \sin \Sigma + \cos \beta \cos \Sigma \cos (\phi - \phi') \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots 1-11$$

三、太陽遮影與日照面積率

對於垂直突出牆外表面的遮陽體其遮陽效果計算由圖 1-6 (a) 顯示玻璃窗面積為 $A_c = x, y$, 外牆面積為 $A_w = (x_1 + x_2 + x_3)(y_1 + y_2 + y_3) - A_c$, 當太陽從牆右上方射入, 則圖 (c) 中遮影大小 X 和 Y 之表達式為

$$\left. \begin{aligned} X &= x_1 \cot \beta' \sin \phi' = x_1 \frac{\cos \beta \sin (\phi - \phi')}{\sin \beta \cos \Sigma + \cos \beta \sin \Sigma \cos (\phi - \phi')} \\ Y &= -y_1 \cot \beta' \cos \phi' = y_1 \frac{\sin \beta \sin \Sigma - \cos \beta \cos \Sigma \cos (\phi - \phi')}{\sin \beta \cos \Sigma + \cos \beta \sin \Sigma \cos (\phi - \phi')} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots 1-12$$

由前節知道壁面太陽方位角 $\gamma = \phi \pm \phi$, 所以從公式 1-12 關係顯示, 祇要知道當地逐時太陽高度角 β 和壁面太陽方位角 γ , 就可算出逐時射入任意傾斜面之陰影 X 和 Y。目前有些動態空調負荷計算和模擬分析的電算機程式就採用此推導式計算日照或窗遮陰面積, 像 HASP / ACLD 電算動態空調負荷程式就係採用本法計算。下面特用 6 個不同狀況為例加以說明。由 X 和 Y 幅度可依圖 1-7 分

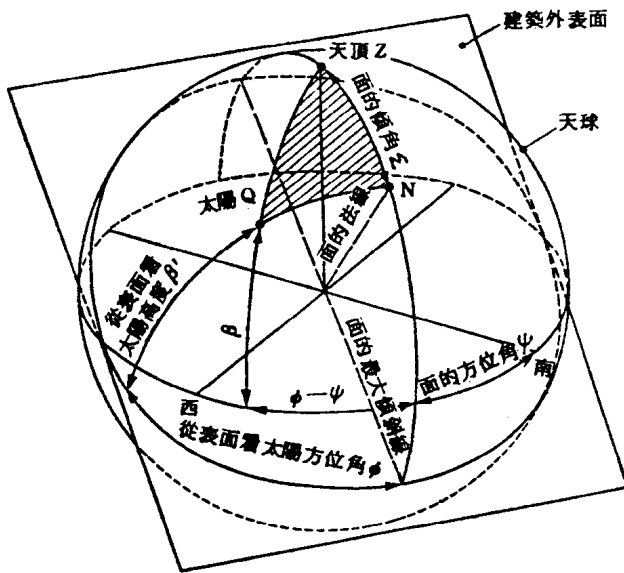
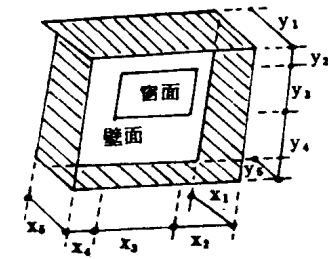


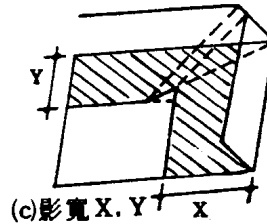
圖 1-5 從傾斜受照面所看到的太陽位置



(a) 外突垂直遮蔽體



(b) 從外表面看太陽位置



(c) 影寬 X, Y

圖 1-6 窗台遮蔽影的計算

成 6 種窗和牆的日照面積率 σ_o 和 σ_w 來作計算狀例。

狀況 1：當 $X \geq x_1 + x_2 + x_3$ 或 $Y = y_1 + y_2 + y_3$ 時， $\sigma_o = 0$ ， $\sigma_w = 0$

狀況 2：當 $X = x_1 + x_2$ 或 $Y > y_1 + y_2$ 時， $\sigma_o = 0$ ，

$$\sigma_w = (x_1 + x_2 + x_3 - X)(y_1 + y_2 + y_3 - Y) / A_w$$

狀況 3：當 $X \geq x_1$ 且 $Y \geq y_1$ 時，

$$\sigma_o = (x_1 + x_2 - X)(y_1 + y_2 - Y) / A_o$$

$$\sigma_w = [(x_1 + x_2 + x_3 - X)(y_1 + y_2 + y_3 - Y) - A_o] / A_w$$

狀況 4：當 $X \geq x_1$ 且 $Y < y_1$ 時， $\sigma_o = (x_1 + x_2 - X) \cdot y_1 / A_o$ ，

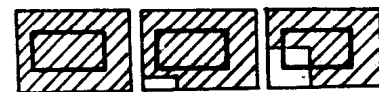
$$\sigma_w = [(x_1 + x_2 + x_3 - X)(y_1 + y_2 + y_3 - Y) - A_o] / A_w$$

狀況 5：當 $X < x_1$ 且 $Y \geq y_1$ 時， $\sigma_o = x_1 (y_1 + y_2 - Y) / A_o$ ，

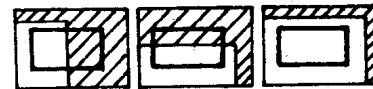
$$\sigma_w = [(x_1 + x_2 + x_3 - X)(y_1 + y_2 + y_3 - Y) - A_o] / A_w$$

狀況 6：當 $X < x_1$ 且 $Y < y_1$ 時， $\sigma_o = x_1 y_1 / A_o$ ，

$$\sigma_w = [(x_1 + x_2 + x_3 - X)(y_1 + y_2 + y_3 - Y) - A_o] / A_w$$



狀況 1 狀況 2 狀況 3



狀況 4 狀況 5 狀況 6

圖 1-7 遮陽所形成的陰影