

【AE】

建築環境控制系列

(I)

- ☐ 自然氣候
- ☐ 室內環境
- ☐ 日照與日射
- ☐ 熱傳與防濕
- ☐ 採光照明
- ☐ 建築聲學
- ☐ 建築與環保

建築物理概論

陳啟中編著

詹氏書局

TU11

2007.1.2

【AE】

建築環境控制系列

(I)

- ☐ 自然氣候
- ☐ 室內環境
- ☐ 日照與日射
- ☐ 熱傳與防濕
- ☐ 採光照明
- ☐ 建築聲學
- ☐ 建築與環保



建築物理概論

陳啓中編著

詹氏書局

前言

一般建築科學所通稱之「建築環境」可分為「建築物理」及「建築設備」等兩大部份。「建築物理」之內容包括了氣候、空氣、熱、光、聲音等與居住有關之物理現象，並且以自然人為控制之手法來達到居住者舒適、健康之需求；「建築設備」之內容則包括了空氣調節、給排水、電氣、輸運、消防安全等設備，主要係以機械人工之手法來強制彌補「建築物理」之不足，此種以自然或人工之手法來控制建築環境，即為一般所稱之「建築環境控制」。一般而言，無論是「建築物理」或是「建築設備」，其基本出發點均是以人的生理、心理感受為其主要之考量，並且以達成居住者舒適、健康及安全為其主要之目的。另外，由於地球之資源日漸枯竭，地球之居住環境也漸日益惡化，因此在利用建築環境控制手法之同時，也應考慮到「節約能源」及「生態建築」之設計理念，盡量避免大量的破壞地球資源，以達成環境保護之要求，如此才能留給人類後代子孫有一美好的地球居住環境。

本書編寫之內容係針對「建築物理」之部份，而本書之前身即為筆者所編著之「建築物理概論」一書，因原有書中之內容及編排已不合時宜，因此配合新資料之修正再加以改編，而且為了要提供建築科系學生及業界能有一較簡易之學習途徑，因此本書再將「建築物理」之章節做一整體性之統合，書中之內容亦大多引用數十本中、英、日之參考書籍及文獻，將其做局部修正再配合台灣本土之法令及資料，並且以筆者任教本學科十餘年與國內建築科系學生互相「教學相長」；及開業建築師之執業經驗加以編寫而成。本書之所以延續取名為「建築物理概論」，乃因本書亦是採「導讀性」之編寫方式，書中內容均以概論之方式分別敘述之，倘若習者欲有更深入一層之了解，則可自行參閱本書中所附之參考文獻及書目。

本書之內容共分七章，第一章為「自然氣候」，第二章為「室內環境」，第三章為「日照與日射」，第四章為「熱傳與防濕」，第五章為「採光與照

明」，第六章為「建築聲學」，第七章為「建築與環保」。其中第一章至第四章又稱為「熱及空氣環境」，第五章又稱為「光環境」，第六章又稱為「音環境」。本書之編寫係採循序漸進之方式，條理簡潔分明並避免繁雜之贅述，而且本書之最大特色為綜合「理論」、「實務」及「本土」三者間之基本教材；又目前許多專有名詞因台灣尚無統一之翻譯，故編寫時均以中英文互相對照之，而所有之記事均以西元來表示，以避免造成習者之困惑，因此本書供習者自行研讀或做為建築科系之教材均相當合適。

筆者於就讀大三時（1977 年）開始接觸「建築物理」，粗讀之餘就被本學科之內容所深深吸引，但因該時期各學校之師資及資料均相當缺乏，唯一可供筆者研讀者只有王錦堂先生所著的「建築應用物理學」一書，書中遇有疑難不解之處就向各相關理工科系查詢，甚至還至各相關理工科系旁聽，且書中之相關公式筆者均親自推算演練，因此奠定了筆者對本學科之理論基礎。爾後林憲德先生開始推動台灣本土基本資料之建立，使得本學科之系統架構又更向前邁進一步，而此兩位學者之學識風範也實在令人敬仰。

1984 年筆者向各專科學校申請任教，因缺乏關係而均被拒絕於門外後，就開始任教本學科於補習班迄今，前後教導出之學員高達萬人次，自 1987 年時起，亦先後任教於東海大學建築系、淡江大學建築系、屏東商業技術學院不動產經營技術系等學校。另外，自 1983 年起迄今，筆者均鑽研於此學科之資料收集及做整理研究之工作，並於 2000 年一整年之時間開始重新編寫此書，且本書之所有圖表均經本事務所員工全部重新修正繪製，但因筆者並非學者，故書中之所有資料大多引用他人之文獻；再結合台灣本土之資料及筆者之實務經驗所編寫而成，在此謹向所引用資料之學者致謝。另外對於本書之編寫出版，希望能對台灣這塊土地略盡薄力，若書中有疏漏錯誤之處，尚請各位先進不吝來電或來信指教，不甚感激。

陳啟中謹識 2000 年 12 月

1 自然氣候

目 錄

第一章 自然氣候

1-1 自然氣候概述.....	1
1-2 氣溫.....	2
1.2.1 氣溫之發生.....	2
1.2.2 氣溫之變化.....	2
1.2.3 氣溫之控制原則.....	3
1-3 濕度.....	4
1.3.1 濕度之意義及相關表示法.....	4
1.3.2 濕度之測定.....	6
1.3.3 空氣線圖.....	7
1.3.4 濕度之變化與控制原則.....	9
1-4 雨量	10
1.4.1 雨之成因與雨量.....	10
1.4.2 排水設計	10
1.4.3 雨與建築	16
1-5 氣壓.....	16
1.5.1 氣壓成因	16
1.5.2 氣壓單位及其分佈	16
1.5.3 氣壓之變化	16
1-6 風	17
1.6.1 風之成因.....	17
1.6.2 風力大小.....	20
1.6.3 風與地形	26
1.6.4 風之控制.....	26
1-7 都市氣候	30
1.7.1 都市氣候之特徵.....	30
1.7.2 都市氣候之影響及控制	33

1-8 氣候分區.....	34
1.8.1 氣候分區之目的及沿革.....	34
1.8.2 台灣之氣候分區.....	36

第二章 室內環境

2-1 室內環境概述	39
2-2 體溫與生理反應	39
2.2.1 人體熱平衡.....	39
2.2.2 影響室內氣候之因素.....	40
2-3 室內溫風濕環境指標	43
2.3.1 有效溫度.....	44
2.3.2 修正有效溫度	46
2.3.3 新有效溫度... ..	47
2.3.4 等溫感覺.....	47
2.3.5 等感溫度.....	48
2.3.6 作用溫度.....	48
2.3.7 不快指數.....	48
2-4 室內空氣品質	49
2.4.1 室內空氣之污染.....	49
2.4.2 室內污染物種類.....	50
2.4.3 污染學說及評估.....	52
2-5 換氣理論與方式.....	54
2.5.1 換氣次數與換氣量.....	54
2.5.2 換氣量之測定.....	55
2.5.3 換氣理論.....	56
2.5.4 換氣方式.....	60
2-6 室內通風設計.....	61
2.6.1 建築技術規則有關通風換氣之規定.....	61
2.6.2 通風設計.....	63
2-7 室內舒適環境基準.....	64

第三章 日照與日射

3-1 日照與日射概述67

3-2 地球與太陽.....67

 3.2.1 天球運動.....67

 3.2.2 真太陽時與平均太陽時.....69

 3.2.3 太陽位置.....69

 3.2.4 其它相關之太陽位置.....73

 3.2.5 台灣地區之日徑圖.....74

3-3 日影曲線與日照率.....76

 3.3.1 日影曲線.....76

 3.3.2 陰影長度與鄰棟間隔.....77

 3.3.3 窗與陰影.....78

 3.3.4 日照率.....79

 3.3.5 建築物之陰影.....80

3-4 日射.....82

 3.4.1 太陽輻射與熱之關係82

 3.4.2 日射能量83

 3.4.3 日射能量之計算.....85

 3.4.4 建築物之受熱量.....86

3-5 遮陽設計.....89

 3.5.1 遮陽種類.....89

 3.5.2 遮陽板之遮陽效果.....90

 3.5.3 控制日射之遮陽板設計.....92

3-6 日照與日射計劃.....96

 3.6.1 遮陽板之應用.....96

 3.6.2 日照日射控制.....96

第四章 熱傳與防濕

4-1 熱傳與防濕概述.....101

4-2 傳熱行爲.....101

4.2.1 熱輻射.....	101
4.2.2 熱傳導.....	106
4.2.3 熱傳遞	111
4.2.4 空氣層之熱傳行為.....	115
4.2.5 熱傳透.....	116
4-3 傳熱性能評估指標.....	117
4.3.1 室溫變動因素	117
4.3.2 時滯與溫度振幅衰減率.....	119
4.3.3 等價外氣溫度	120
4.3.4 總透熱值.....	121
4.3.5 度日與度時	124
4.3.6 室內頂表面溫度.....	125
4.3.7 建築技術規則之節能設計規範.....	125
4-4 傳熱控制計劃	128
4.4.1 隔熱材之應用	128
4.4.2 隔熱構造	130
4.4.3 隔熱控制原則	131
4.4.4 建築物外殼之節能設計.....	132
4-5 濕氣與結露.....	134
4.5.1 空氣中之濕氣	134
4.5.2 透濕理論.....	135
4.5.3 防濕防露計劃.....	137

第五章 採光照明

5-1 採光照明概述.....	139
5-2 光照基本量.....	139
5.2.1 光照生理量	139
5.2.2 光照物理量.....	144
5.2.3 光照量之測定.....	149
5-3 光照基本理論.....	150

5.3.1 完全漫射面	150
5.3.2 發光度與亮度	150
5.3.3 反射·透射·吸收	151
5-4 直接照度計算	151
5.4.1 點光源	151
5.4.2 直線形光源	152
5.4.3 帶狀光源	153
5.4.4 矩形光源	153
5.4.5 三角形光源	155
5.4.6 圓形光源	155
5.4.7 直接照度之圖解法	156
5-5 反射照度計算	159
5.5.1 相互反射之基本式	159
5.5.2 反射照度之近似解	160
5.5.3 反射照度之圖解法	161
5-6 配光與光通量	162
5.6.1 配光	162
5.6.2 光通量之計算	164
5.6.3 非幾何形之配光	169
5-7 晝光及採光計算	169
5.7.1 晝光	169
5.7.2 地面照度計算	170
5.7.3 漫射晝光照度分析	172
5.7.4 晝光率與投射率	172
5.7.5 採光計算	174
5-8 採光設計計劃	177
5.8.1 最適晝光照度	177
5.8.2 採光設計規範	178
5.8.3 各種採光法	179
5.8.4 採光設計原則	181
5-9 人工光源及照明計算	183

5.9.1 人工光源.....	183
5.9.2 照明計算.....	185
5.9.3 照明計算步驟.....	190
5-10 照明計劃.....	192
5.10.1 最適照度基準.....	192
5.10.2 照明種類.....	195
5.10.3 照明控制方式.....	196
5.10.4 照明設計原則.....	197

第六章 建築聲學

6-1 建築聲學概述.....	201
6-2 物理音響.....	202
6.2.1 音波之傳播.....	202
6.2.2 聲音大小.....	203
6.2.3 音波運動方程式.....	205
6.2.4 音波物理性質.....	207
6-3 生理音響.....	210
6.3.1 音與聽覺.....	210
6.3.2 聲音生理量.....	214
6.3.3 音之響度.....	217
6.3.4 遮蔽效應.....	219
6.3.5 哈斯效應.....	220
6.3.6 聲音方向性.....	221
6.3.7 樂音與噪音.....	222
6-4 聲學材料.....	224
6.4.1 吸音隔音原理.....	225
6.4.2 吸音材料.....	227
6.4.3 隔音構造.....	241
6.4.4 隔振構造.....	249
6.4.5 消音材料.....	252

6-5 室內聲學設計	253
6.5.1 室內音場性質	253
6.5.2 餘響理論	258
6.5.3 室容積及體形設計	261
6.5.4 室內聲學評估指標	272
6.5.5 聲學設計之整體計劃	275
6-6 噪音評估與隔音設計	276
6.6.1 加權音級	276
6.6.2 噪音評估基準	277
6.6.3 建築隔音設計	288
6.6.4 戶外噪音之傳播與控制	291
6-7 防音計劃及構造	297
6.7.1 噪音及振動音源種類	297
6.7.2 噪音振動防止計劃	298
6.7.3 防音隔振構造	299
6-8 電氣音響	305
6.8.1 電氣音響之構成	305
6.8.2 揚聲器之配置	307
6.8.3 擴音設備機房	310
6-9 建築聲學測量	311
6.9.1 聲學測量內容	311
6.9.2 吸音係數測量	313
6.9.3 隔音性能測量	314
6.9.4 音質測量	314

第七章 建築與環保

7-1 地球環境概述	317
7-2 建築生產與環境負荷	317
7.2.1 環境負荷	318
7.2.2 建築物之負荷評估	319

7-3 環保建築.....	321
7.3.1 生態建築.....	321
7.3.2 環境共生建築.....	321
7.3.3 綠色建築.....	324
7.3.4 環保建築之綜合設計技術.....	326
7-4 台灣綠建築評估指標.....	334
7.4.1 綠建築之意義.....	334
7.4.2 綠建築評估指標.....	335
7-5 環境影響評估.....	340
7.5.1 環境影響評估之相關規定.....	340
7.5.2 環境影響評估之內容.....	343

附錄：

附錄 A 圖目錄.....	347
附錄 B 表目錄.....	357
附錄 C 參考書目及文獻.....	361
編著者簡介	
版權頁	

第一章 自然氣候

1-1 自然氣候概述

氣候（climate）一詞乃源自於希臘字「klima」而來，原意係指坡度或傾斜，意即太陽光線對地球表面之傾斜度。演變至今，氣候乃係指某一地區長時間內之平均天氣，此天氣係由溫度、濕度、雲量、日照、雨量及風等多項因素所組合而成，由此可見，氣候為實際各種天氣要素之綜合現象。另外，天氣與氣候之差別主要是在於時間的長短，長時間之總合累計謂之「氣候」，較短時間之統計累積則謂之「天氣」。一般而言，某地區所顯示之氣候特性受多種因素所控制，其中最主要之外在因素約有下列五項。

- （1）緯 度：緯度決定了太陽光線之照射程度、晝夜之長短、季節之區分及日射量之多寡等。
- （2）海 拔：氣象要素會隨著海拔之高度而有所變化。
- （3）土 質：土質之濕潤或乾燥、有無草木遮掩等均會影響該地之氣候。
- （4）坡 度：地面坡度會影響當地之雨量及溫度。
- （5）陸性率：陸性率（continental）係指地球表面某點受陸地影響之程度，因為距離海洋之遠近，為是否能獲得濕潤氣候條件之一項重要因素。

近年來，由於人類大量破壞地球環境，並且毫無節制的消耗能源，而地表不斷的排放出如氟氯碳化合物及 CO₂ 等溫室氣體之化學物，此種現象除大氣中之臭氧層被破壞外，亦會造成地表氣溫逐年升高之「地球溫暖化」效應，而形成全球「溫室效應」（greenhouse effective）逐年升高之惡化現象。另外，也由於人類大量集中都市，居住環境逐漸形成都市化及工業化，經由人類產生之污染物亦造成了都市氣候惡化之「都市沙漠化」現象。這些人為因素對地球所造成的破壞，使得地球及都市之氣候也隨之改變，近年來造成地球大災難之「聖嬰」、「反聖嬰」等氣候反常現象，亦是地球對人類警示之最佳明證，因此在對自然氣候研究之同時，這些因地球環境被破壞所形成之氣候惡化現象，也是不可忽略的重要因素之一。

自然氣候於應用上之區別，可分為「大氣候」（large scale climate, macro climate）及「局部氣候」（或稱之為微氣候，local climate, micro climate）。大氣候廣泛用於氣象學上之研究，而局部氣候乃係針對某地區，由於受到自然環境之影響所呈現出局部地區氣候之特性。局部氣候於敷地計劃、農業、水文、森林等之應用較為被注意，因為設計者可以局部人為之手法做局部氣候之控制，以達到該地區使用上之目的，而此種學科在建築上則被稱為「敷地計劃中局部氣候之控制」。

1-2 氣溫

1.2.1 氣溫之發生

氣溫主要受太陽輻射之日射能量而定，一般而言，日射能量透過大氣層而抵達地表面被吸收謂之第一熱源，地表所產生之地表輻射放射於大氣中則稱之為第二熱源。第一熱源除白晝輻射外，亦包含了由地表輻射於大氣中再由大氣對地表輻射之反輻射，因此若白晝輻射+反輻射>地表輻射，則地表溫度上升，反之則地表溫度降低。一般在設計上若能維持第一熱源與第二熱源之平衡，則為達到氣溫控制之最佳理想條件。

1.2.2 氣溫之變化

一、時滯

如圖 1-1 所示，所謂「時滯」(time-lag)乃係指某物質當外界達到最高溫度(或最大熱量)時，該物質將熱量吸收，經過某段時間後才使得該物質本身達到最高溫(或最大熱量)，而此種時間之延遲現象則稱為時滯。

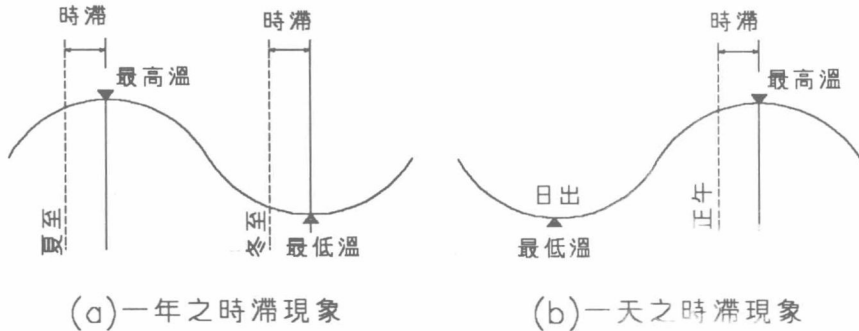


圖1-1 時滯現象

一般而言，地球乃係一熱容量相當大之物體，因此當接受太陽輻射時，地球之最高熱量與太陽輻射會有時間差，此時差一年當中約有 1.5~2 個月，一天當中約有 2 小時左右。因此一天中之最高溫度大約發生在下午 1~2 時左右，而最低溫則大約發生在早上 5~6 時之間。

二、較差 (range)

一天當中最高溫度與最低溫度之差距謂之「日較差」，一月當中則謂之「月較差」，而一年當中則謂之「年較差」。此較差主要受到當地之緯度、雲雨量、濕度、空氣品質及環境而有所影響，一般而言，雲層較多時日較差較

小，晴天或沙漠地區則日較差較大。若位於高山地區，當高度每上升 100m 則溫度約下降 0.5~0.6℃，因此位於山區其日較差也較平地來得大。

三、氣溫之測定

如圖 1-2 所示，通常測定氣溫所使用的為棒狀水銀溫度計，但為避免太陽直接照射，則宜加設百葉箱來量測。若位於氣溫特別低之地區，則宜用酒精溫度計，但若為連續了解某地區之溫度記錄時，則可使用自記溫度計來量測之。

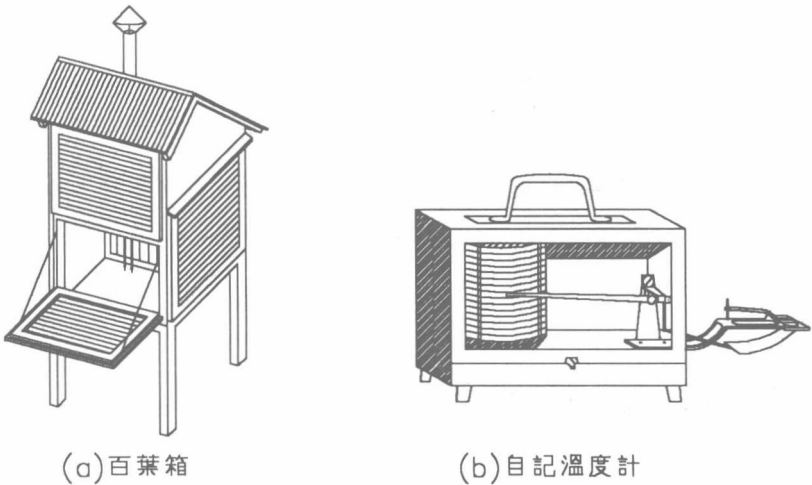


圖1-2 溫度計

若為統計每年之平均溫度，則可以下式來計算。

$$Ty = \sum_{i=1}^{12} \frac{(tm \times Nm)}{365} \dots\dots\dots (1-1)$$

而為統計每月之平均溫度，亦可以下式來計算之。

$$Tm = \sum_{i=1}^{Nm} \frac{(24 \times Nd)}{Nm} \dots\dots\dots (1-2)$$

- 式中 Ty=年平均氣溫 (℃)
Tm=日平均氣溫 (℃)
tm=每月之天數 (天)
Nm=各月之平均氣溫 (℃)
Nd=各天之平均氣溫 (℃)

1. 2. 3 氣溫之控制原則

在敷地計劃局部氣候控制中為達到該地區氣候之舒適，對於氣溫之控制應以避

免日夜溫差過大為原則，其主要之做法則有下列幾項。

一、植物、草皮之利用

利用植物、草皮具有日間可防止太陽輻射，夜間又可阻擋地表輻射之特性，如此則可避免日夜溫差過大。

二、水池、湖泊之應用

利用水池、湖泊熱容量大之特性則有助於調整日夜溫差。

三、自然環境之利用

地形、地貌、建築物等環境之利用，亦有助於避免日夜溫差過大，如位於山坡背陽面之基地，則可避免太陽直接照射而減少日夜溫差。

四、方位之選擇

選擇南北向之方位，其日射能量就比東西向來得少，因此做建築物配置時，若考慮其方位亦可避免造成日夜溫差過大。

1-3 濕度

1.3.1 濕度之意義及相關表示法

包圍地球表面之空氣大多屬於濕空氣居多，而空氣中含有水氣之多寡則稱為「濕度」(humidity)，一般而言，對濕度定義之不同則有下列之各種表示方法。

一、水蒸氣張力

空氣中含有水蒸氣則會產生張力，其水蒸氣張力之表示則如下式。

$$f = Ha \times \frac{1 + 0.00367 t}{105} \dots\dots\dots (1-3)$$

式中 f=水蒸氣張力 (mmHg)

Ha=絕對濕度 (g/m³)

t=溫度 (°C)

二、相對濕度

「相對濕度」(relative humidity)簡寫為 RH 或 φ，係指 1m³之空氣中所含水蒸氣重與同溫度時同空氣所含飽和水蒸氣量之比值，其表示法則如下式。

$$RH(\%) = \frac{\text{某溫度時空氣所含有之水蒸氣量}(g/m^3)}{\text{同溫度時同空氣之飽和水蒸氣量}(g/m^3)} \times 100\% \dots (1-4)$$

如圖 1-3 所示，飽和水蒸氣量乃空氣在某溫度時，其所含水蒸氣量之最大值，超過此量則多餘之水氣會結露成水。此飽和水蒸氣量與溫度有關，一般而言，溫度愈高飽和水蒸氣量也就愈大，亦即愈不容易使其達到飽和。