

305837 86.1039

JWN

B. 吉 沃 尼 著

陈士骅译 王建瑚校

人·气候·建筑

REN
QIHOU
JIANZHU



第一版序言

在气候环境对人的影响以及气候与建筑之间的关系这两方面，人们日益增长的兴趣不但表现在针对这些课题的研究活动不断增多，而且在大量的书刊内也有所反映。虽然许多涉及建筑气候问题的书籍，包括了一些有关生理方面的参考材料，在某些涉及环境生理学的刊物中，也包含有物理环境方面的论述；但是，不论哪一种书刊，都只是侧重于问题的某一方面。

近年来的研究主要是针对炎热地区、热带及亚热带地区所产生的一些问题。这主要是由于下述两个原因：首先，该类地区有着大量的发展中国家及世界上最多的人口；其次，在欧洲与北美已掌握的大量知识，都是属于温带气候以及与之有关的一些特殊问题方面的。发展中国家只是在近年来才开始逐步建立起研究机构并开展研究活动，而发达国家也才对炎热气候区的问题给予较多的注意。

本书试图就气候、人与建筑的关系中，对生理、物理及建筑等几个方面同等详尽地加以综合地讨论；事实上，上述几个方面乃是互有联系的。作者希望，这样做可以有助于对某一问题的判定，这一判定是在与其它方面也有关联的结论的基础之上作出的。

本书是根据作者在海法以色列技术学院为毕业班“生物及建筑气候学”课程拟定的教学大纲而编写的，大部分是基于近十年来该学院建筑研究所建筑气候研究室所进行的研究工作写成的。但是，本书只不过是试图对这些研究工作给予一些说明，对于问题的分析与所得出的结论，还参照了其它一些研究机构的研究工作与其发表的刊物。因作者从事的研究工作多半与炎热地区的生

理及建筑方面的问题有关，这一情况当然会在本书中有所反映。

本书的基本观点是：不能把影响人体热舒适感或室内气候的各种因素中任一种因素的作用，看成是由其自身产生的，因为其中每一种因素的作用以及对它们的要求，应视其它因素的水平与条件而定。所以，本书着重于讨论各种因素作用之间的相互影响。

全书可分为五个主要部分，每一部分又包括若干章。第一部分是阐述气候要素及其在生理、感觉与生物物理方面的影响，以及评价气候要素对于人体综合影响的方法。第二部分讨论建筑材料的热物理性能及其对室内气候与潮湿状况的影响。第三部分涉及太阳辐射对建筑物的影响以及与控制日辐射有关的设计问题。第四部分是与通风有关的问题，诸如其中涉及到的生理上的要求、物理因素以及影响室内通风条件的设计因素等。最后一部分是将前四部分所提出的资料综合在一起，按不同气候类型编成设计原则与设计细节。

目 录

再版序言

第一版序言

第一章 气候要素..... 1

1-1 太阳辐射 1

1-2 长波辐射散热 3

1-3 空气温度 5

1-4 气压与风 7

1-5 大气湿度 11

1-6 凝结和降水 13

第二章 人与热环境之间的热交换要素 17

2-1 概述 17

2-2 新陈代谢产热 19

2-3 对流及长波辐射产生的干热交换 20

2-4 蒸发散热 24

第三章 对热应力的生理反应及感觉反应 27

生理反应 27

3-1 血液循环的调节 27

3-2 排汗 33

3-3 体内温度对工作、环境条件及衣着的反应 36

3-4 平均皮肤温度 43

3-5 新陈代谢对受冷和受热的反应 46

主观的感觉反应 48

3-6 热感觉 49

3-7 显汗(皮肤潮湿) 51

第四章 环境因素的生物物理作用 54

4-1 空气温度及平均辐射温度(均匀化环境) 54

4-2 平均辐射温度(M.R.T)变化时的生理反应及感觉反应 56

4-3 湿度	57
4-4 气流速度	59
4-5 衣服	61
4-6 太阳辐射	63
4-7 新陈代谢产热	66
第五章 热指标	68
5-1 引言	68
5-2 “有效温度”指标 (E.T)	69
5-3 “合成温度”指标 (R.T)	72
5-4 预测的四小时排汗率 ($P_{4,S,R}$)	73
5-5 热应力指标 (H.S.I)	76
5-6 热应力指标 (I.T.S)	80
5-7 对各种热指标的分析比较	89
5-7-1 指标的单位	89
5-7-2 各种指标的应用范围	90
第六章 建筑材料的热物理性能	92
6-1 导热系数、热阻及传热系数	92
6-2 与辐射有关的表面特性	95
6-3 表面热转移系数	97
6-4 空气间层的传热	99
6-5 热容量	100
6-6 基本热物理性能的组合	102
6-7 多层构件的等效热阻与热容量的乘积 (RC)	103
第七章 建筑材料对热状况的影响	107
7-1 概述	107
7-2 按生物气候学观点表征室内温度变化特性的参数	110
7-3 热阻对室内温度的影响	112
7-3-1 在冬季以及在有空调的建筑中热阻的作用	112
7-3-2 在无空调的建筑中隔热层的位置与外表面颜色的 作用	113
7-4 墙的热容量与厚度	118
7-5 室内温度特性的预测	122
7-6 材料对室内加热的影响	126

第八章 屋面型式及顶棚高度(层高)对热状况的影响	129
8-1 重质实体屋面	129
8-2 轻质屋面	136
8-3 顶棚高度对室内热状况的影响	140
第九章 建筑物的受潮	145
9-1 引言	145
9-2 雨水渗透	145
9-3 凝结	147
9-4 墙型的分类	152
9-5 装配式建筑的潮湿问题	155
9-5-1 通过接缝的雨水渗透	156
9-5-2 装配式建筑中的凝结问题	159
第十章 太阳的运动及对太阳辐射的控制	160
10-1 引言	160
10-2 太阳辐射	160
10-3 太阳的视动	165
10-4 太阳行程图	172
10-5 遮阳设施	181
10-6 表面朝向对入射的太阳辐射强度的影响	186
第十一章 朝向及其对室内气候的影响	189
11-1 引言	189
11-2 太阳辐射与环境空气温度的综合作用——综合温度	190
11-3 朝向对外表面温度的影响	192
11-3-1 朝向和外表面颜色作用之间的相互影响	193
11-3-2 外表面温度的近似计算	193
11-4 朝向对内表面温度的影响	196
11-5 窗户朝向对室内温度的影响	199
11-6 朝向对通风的影响	203
11-7 关于朝向影响的小结	203
第十二章 窗户的热作用及遮阳设施的效率	205
12-1 问题的提出	205
12-2 玻璃的热工性能	207
12-3 遮阳设施的功能与类型	209

12-4	可调节的遮阳设施的效率	210
12-5	对固定式遮阳性能的鉴定	213
12-6	窗户及遮阳设施的热作用	220
12-7	用计算机帮助设计固定式遮阳	222
第十三章 通风的功能及要求		228
13-1	健康通风的要求	228
13-2	热舒适通风	236
13-3	使建筑降温的通风	238
13-4	通风要求与气候的关系	243
13-5	评价通风条件的方法与标准	244
第十四章 通风的物理机理		247
14-1	热力引起的通风	247
14-2	风压引起的通风	248
14-3	风力与热力的综合作用及其相对重要性	252
第十五章 影响通风的设计因素		254
15-1	窗户朝向与风的关系	254
15-2	窗户的尺寸	256
15-3	穿越式通风	258
15-4	在只有单一外墙的房间内组织穿越式通风	260
15-5	窗户的竖向位置	262
15-6	窗户——开启的方法与位置	263
15-7	室内空间的再划分	264
15-8	纱帘的影响	266
15-9	城镇规划的通风问题	267
第十六章 使建筑与气候相适应的设计原则以及材料的选择		
(一般讨论)		270
16-1	通过建筑设计控制气候的范围	270
16-2	确定满足人体热舒适要求的方法以及适应气候条件的设计	
原则		272
16-2-1	奥尔吉伊的方法	272
16-2-2	作者建议的方法	274
16-3	围护结构所需的热工性能与气候的关系	281

16-4 寒冷地区的材料选择	285
16-5 炎热地区的材料选择	293
第十七章 使建筑与气候相适应的设计原则以及材料的选择 (适用于特殊的气候类型)	298
17-1 导言	298
17-2 干热气候(沙漠气候)	300
17-2-1 气候特征及其地理分布	300
17-2-2 人的舒适要求	301
17-2-3 沙漠地区建筑设计及建筑构造的原则	302
17-2-4 原则的提出和应用,设计自然冷却的建筑	304
17-3 湿热气候(赤道及热带海洋性气候)	306
17-3-1 气候特征及其地理分布	306
17-3-2 人的舒适要求	307
17-3-3 建筑设计原则	308
17-3-4 湿热地区的材料选择	311
17-4 地中海(亚热带)气候——一般讨论	313
17-4-1 地中海大陆性气候	313
17-4-2 地中海海洋性气候	317
17-4-3 地中海山岳性气候	320
17-5 亚热带气候区的冬季采暖	323
第十八章 建筑物利用自然能源采暖及降温——综述	326
18-1 导言	326
18-2 太阳能的收集	328
18-3 设计对于平板集热器效率的影响	333
18-4 热能的贮存	340
18-5 空气系统与水系统的一般比较	347
18-6 利用自然能于建筑降温	348
18-7 平板集热器与建筑处理的关系	354
18-8 全年的地下贮能	357
第十九章 室内温度的推算——建筑构件的热物理参数对室 内热环境的影响	362
19-1 计算内表面温度的谐波分析法	362
19-2 计算内表面温度振幅衰减和时间延迟的热时间常数法	367

19-3	矩阵法	369
19-4	建筑物中温度与热转移方程的有限差分表达式	374
19-5	模拟法	375
19-6	反应系数法	376
19-7	当量热质量反应系数法(一种实验的方法)	379
19-8	总热时间常数	379
19-9	计算墙的外表面温度;将热容量、太阳辐射吸收率及长波辐射 射换热均考虑在内的总热时间常数法	383
19-10	应用总热时间常数法于建筑物室内温度的计算	385
19-11	总热时间常数法、反应系数法及当量热质量反应系数法的 比较	389
附录	单位换算表	391
	参考文献	394
	内容索引(汉英对照)	409

第一章 气候要素

本章的目的，在于就影响全球气候条件的各种因素的性质，向读者提供一般性的了解。

在一给定区域内的“气候”，取决于若干种要素的变化特性以及它们的组合情况。当研究人的舒适感及设计时，涉及的主要气候要素有：太阳辐射，对天空的长波辐射，空气温度和湿度，风及雨、雪等。本章将简要地对这些要素的内在联系及其在地球上的分布情况予以阐述，试图就每一种因素在其直接与人的舒适感有关的以及对建筑设计有影响的方面提供一些资料。

正规的气象学书籍在讨论某一区域的气候时，是取各种因素长期的平均值作为依据的。但是，各项条件逐日、逐年的变化可能是很大的，故当研究气候问题时，应从较现实的观点出发，要考虑到与此平均值产生的偏差。在许多实际问题中，极端条件及其可能出现的频率，常比平均条件更为重要。

本章所选用的资料，主要是摘自参考文献[1.1]、[1.4]及[1.5]等三本著作。

1-1 太阳辐射

太阳辐射是来自太阳的电磁波辐射。在地球表面上，太阳光谱的波长范围约在0.28~3.0微米之间。太阳光谱可大致划分为三个区段：紫外线(u.v)，可见光，红外线(i.r)。其中，只有0.4~0.76微米这一小部分是人眼可见的光线；小于0.4微米的波段为紫外线辐射，波长大于0.76微米者为红外线。虽然太阳辐射的最大强度(峰值)位于可见光的范围内，但半数以上的能

量是以红外辐射放射出来的。

在大气层上界的太阳辐射能，随太阳与地球之间的距离以及太阳的活动情况而变化，其范围由 $1.8 \sim 2.0$ 卡/厘米²·分，平均值为 1.97 卡/厘米²·分^[11]，此值称为太阳常数。当太阳辐射透过地球的大气层时，其强度将减弱，而且光谱的分布也因大气层的吸收、反射与散射而改变。

太阳辐射按照其波长的不同而在大气层内被有选择地吸收。大部分紫外线及全部波长小于 0.288 微米的辐射线均被臭氧所吸收，还有相当一部分红外线则被水汽及二氧化碳所吸收。反射主要发生于小水滴，并且实际上是无选择性的，因此反射辐射的光谱分布和原来的一样，故反射光仍为白色。当太阳辐射入射到其大小接近或小于波长的分子及微粒上时，便在空间发生折射及散射。于是光线即扩散开，即使在无直射阳光时也能有亮光。这是一种选择性现象，每一种波长的散射辐射量是与波长倒数的四次方成正比。因此，空气分子扩散了大部分短波的蓝、紫光，而使晴朗的天空呈现蓝色；但当大气中较大的尘粒含量增多时，空气的浊度增大，长波的黄、红光被扩散的比例增多，天空就变成乳白色。

云层将大量太阳辐射反射回外层空间，余者则散射到地面。

射至地球表面一定区域上的太阳能量的日变型及年变型，取决于太阳辐射的强度及持续时间。太阳辐射的可能强度取决于日光需穿透的大气层的厚度，后者又是由地球自转、公转以及地轴与公转轨道平面之夹角等这样一些可以精确计算的条件所决定的。但是，真正到达地面的太阳辐射量还取决于天空中云块的间隙及空气中微尘、二氧化碳和水汽的含量，即与大气的透明度有关。这些都是只能靠估算而无法精确计算的因素。

光线投射至地球上某一点所穿过的空气层的厚度，取决于太阳在地平面上之角度即太阳高度角，也取决于该点的海拔高度。太阳的高度角随该点所在的地理纬度而异，最大值在热带区，向南北两极逐渐减小。但是，随着纬度的增加，夏季的日照时间增多，冬季则减少。这样，在高纬度地区的夏季，较长的白天对较

低的日光角度便可部分地予以补偿。

湿度及云量状况也随着纬度而变化。由于它们的综合作用，夏季期间以及从年平均值来看，最大的太阳辐射强度出现在亚热带干燥地区而不在热带地区。

阿什贝尔 (Ashbel) ^[1,2] 根据在国际地球物理年 (1957~1958) 期间对太阳辐射所进行的世界范围的观测资料，绘制了太阳辐射的世界分布图。表 1-1 即是根据该分布图编成的，所载的是通过东经 40°，由北极至南极的截面上，一、三、六、八月及全年的太阳辐射总量平均值。

定量地确定作用在人体及建筑物上的太阳辐射的方法，分别在第四、第十章中讨论。

1-2 长波辐射散热

由地表向大气及外层空间放射的是长波辐射。按照斯蒂芬-波尔兹曼 (Stefan-Boltzmann) 定律：放射辐射的强度是与放射点和吸收点的绝对温度的四次方之差成正比。故此强度取决于地表温度与大气或外层空间中吸收辐射的介质温度之差值。大气层中的各种气体也会向各个方向放射长波辐射，地面则吸收了其中向下放射的部分。

大气中的气体在吸收和放射辐射能方面与黑体不同，不具有连续的放射光谱和吸收光谱，而是有选择性的，只有一小部分短波太阳辐射能通过，大部分外逸长波辐射则被空气所吸收。但不管怎样，只有某些波长的辐射受到影响，其余的均继续向空间传播。

在大气所含的各种气体中，水蒸汽是主要的长波吸收体，其次是二氧化碳。

由地表放射出的辐射量与大气对地表放射的逆辐射量之差值称为净辐射散热量^①。在阴天，这个量降至极低的水平。这是因

① 亦称有效辐射 (effective radiation)。——校者注

太阳辐射总量①月平均值(卡/厘米²·日)

表 1-1

纬 度	一 月	三 月	六 月	八 月	年 平 均
85°N	0	30	650	200	100
80	0	75	580	220	120
70	15	150	400	260	180
60	40	200	430	300	220
50	85	250	480	470	300
40	160	280	600	590	370
30	280	450	740	670	530
20	360	530	570	550	600
10	500	600	500	500	500
0	500	500	500	450	500
10°S	480	480	500	450	480
20	600	550	430	450	470
30	700	600	330	400	450
40	500	380	180	260	400
50	450	280	80	150	300
60	510	230	20	70	210
70	560	180	0	10	160
80	610	130	0	0	110
90	700	120	0	0	80

① 太阳辐射总量是指水平面上的直接辐射与散射辐射的总和。

为, 云层中的水粒能吸收并放射由地表所放射的全部长波光谱, 与水蒸汽的选择性吸收大不相同; 因此, 地表所散发的全部辐射在云层底部就已被充分吸收了。故在明净干燥的大气中, 净辐射散热量最大; 而随着水蒸汽、微尘特别是云量的增加而减小。

盖格 (Geiger) 引用了对于一给定的表面, 计算其净辐射散热量的公式^[1.3]:

$$R = 8.26 \times 10^{-11} \times T^4 (0.23 + 0.28 \times 10^{-0.074P})$$

式中, R 为水平表面的净辐射散热量 (卡/厘米²·分); P 为靠近地面所测得的水蒸汽分压力 (毫米汞柱); T 为绝对温度 ($^{\circ}\text{C} + 273$)。此公式仅适用于无云天气。

水蒸汽分压力对于长波辐射散热之影响, 如表1-2所示, 该表

所列的数值系由盖格的线解图中得来，给出了表面温度在10°C、20°C、30°C的情况下，随水蒸汽分压力而变的R值。

净长波辐射热流 (卡/厘米²·分)

表 1-2

温 度 (°C)	水 蒸 汽 分 压 力 (毫米汞柱)						
	4	6	8	10	15	20	30
10	0.197	0.176	0.160	—	—	—	—
20	0.225	0.200	0.183	0.169	0.153	—	—
30	0.260	0.230	0.210	0.195	0.163	0.155	0.150

盖格指出，由上述公式所计算出的数值可能偏高17%左右。

当天空有云时，外逸辐射^①即降低。盖格对外逸辐射的测量结果列出如下，以相对于无云天外逸辐射的百分数表示：

云量分级	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
外逸辐射(%)	100	98	95	90	85	79	73	64	52	35	15

在沙漠气候条件下，外逸辐射特别强，可利用此辐射作为建筑降温之能源，在第十八章中将详细讨论。

1-3 空 气 温 度

地球表面加热或冷却的速率是决定其上部空气温度的主要因素。空气几乎对于所有的太阳辐射线都是透明的，故太阳辐射对空气温度仅有间接的影响。

与温暖的地表直接接触的空气层，由于导热的作用而被加热，此热量又主要靠着对流的作用而转移至上层空气。由此，气流和风带着空气团不断与地表接触而被加热。

① 原文为 outgoing radiation，实际即指净长波辐射或有效辐射。——校者注

在冬季及夜间，由于向空际的长波辐射作用，地表常较空气为冷。这样，就产生反向的净热交换，从而与地表接触的空气就会变冷。

因此，气温的年变型及日变型便取决于地表温度的变化。在这一方面，陆面和水面有着很大的差异。在同样的太阳辐射条件下，大的水体较地块所受的影响为慢。故在同一纬度上，陆地表面与海面比较，夏季热些，冬季冷些。在这些表面上所形成的气团也随之而异。陆面上的平均气温在夏季较海面上的高些，冬季则低些。

高度的变化也会使气温发生改变。当一气团上升的时候，例如上升到高山处，即由较高的压力区到达较低的压力区，气团因扩散而变冷。反之，当气团下降时，则因压缩而增温。这就是所谓的绝热冷却和绝热加热的过程。温度随高度的变化率约为 $1^{\circ}\text{C}/100\text{米}$ 。

当水汽凝结成水滴时，所释放的潜热将加热空气或减缓空气的冷却。所以，当在上升的空气中发生冷凝时，只要冷凝过程连续不断，冷却的速率便会下降。在自由大气中，空气温度随高程而降低，直至同温层的高度。这种降低称为“温度直减率”，是随着季节与昼夜时间而变的，但平均值约为 $0.6^{\circ}\text{C}/100\text{米}$ 。在白天，近地处的温度直减率较大，这是由于与地表接触的下层空气因导热而被加热之故。加热的空气体积膨胀，其密度变小而上升，遂使低的空气层处于不稳定状态，并不断地与上层的空气相混合。

在夜间，特别是当天空晴朗时，地表温度明显地较气温低，于是在近地处，低的空气层就比上面的冷。这就造成在近地表处常态的垂直温度梯度的反向，此种现象称为表面“倒置”。由于较冷、较低的空气层比其上部的暖空气层重些，空气在倒置的情况下变得较稳定，而整个竖向的运动即受到抑制。促成表面倒置的条件为夜长、天空洁净、空气干燥和无云。

当冷气团与热气团相遇而热气团被举升于冷气团的上部时，

也能产生倒置现象，这是一种动力的倒置。

靠近地面的冷空气总是趋向集中于低洼谷地，所以该处的气温可能比它上面较高处的地方低几度。

地球上方的压力差会引起气团的移动。当在某一地区内达到某一温度的空气团可能移动到具有不同温度的另一地区时，会改变该地区的主导条件。因此，朝向两极运动的亚热带空气团便造成途中所经地区温度的提高，而两极的空气团则可降低途经地区的温度。

1-4 气 压 与 风

在一地区内，风的分布与特征决定于若干全球性和地区性的因素。主要的决定因素是：气压的季节性的全球分布，地球的自转，陆、海加热和冷却的日变化以及该地区的地形与其周围的环境。

压力带及压力区

在南、北半球的地面上空，都存在着高的及低的大气压力带和气压中心，其中一些是永久性的，另一些仅存在于一年之中的部分时期内。

在南、北半球纬度 $20^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 的亚热带区，有两个高气压带围绕着地球，它们在夏季向两极移动，冬季移向赤道。在冬季时，二者均连续地环绕着地球，大陆上空的压力高于海洋上空的压力。夏季时，低压中心（低气压）在大陆上空展开，冲破了气压带的连续性。两极地带为永久高压区，但与亚热带的高气压带相比，气压稍低些。

赤道带是主要的低气压区，全年均保持此状况。在夏季时，每个半球上空的低气压带朝向高纬度处移动，特别是在大陆上空。因此，在七、八月间，这一区域主要在北回归线附近，由非洲的东北延伸至亚洲的中部和东部，而其中心则在波斯湾。在一、二月间，这一区域主要在南回归线附近。其它的低压中心存

在于较高的纬度上，在南半球靠近南极上空形成气压带。在北半球，由于有大面积的陆地围绕着北冰洋，故低压区的分布较为复杂。由于此种原因，高气压区及低气压区常出现在几乎同一个纬度上，并不断地向东移动。所以，任何地区均经历着接连的高气压及低气压周期。

形成压力带及压力中心的主要原因，是地球上太阳辐射的分布不均匀，以及由此造成的地表受热不同的结果。靠近赤道的地区由于受到大量的太阳辐射，空气加热的程度较相邻地区为高。此热气便扩张并上升，留下一个低气压带，周围仍为高压区的空气即流向该低压区。

在夏季，当每个半球上最大辐射区的中心线向亚热带移动时，低气压带也随之移动。在这些纬度上的陆地和海洋的分布，决定着夏季时最大加热区的位置，特别是在北半球。在北半球，由于最大加热区的中心移至波斯湾，所以西南亚洲陆地区域的温度最高。

由于被举升而形成赤道低气压带的空气团，在上层大气中被分割开并朝着两极的方向流动；它按照太阳的位置，冬季时在纬度 $20^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 之间，夏季时在 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 之间又下降返回地球。这就使这些地区的气压增高而形成亚热带的高压区。两极的高压区是由于冰面上的下层空气变冷所造成的。全球的高压中心与低压中心的压力差也是不同的。根据阿什贝尔的意见^[1-1]，在冬季，南格陵兰的低压与东俄罗斯的高压差值约为70毫米汞柱，而地中海的低压较俄罗斯的高压仅差40毫米汞柱。

空气由较高的压力区流向较低的压力区。永久性及半永久性的高压区是大空气团的源地，此种气团由于在相对稳定的条件下，在一定的区域停留一段时间，根据其停留区的地表性质而得到一种特殊的物理特性，即气团内部相当均匀。能够形成这类空气团的具有足够面积且条件一致的主要地区为：

1. 两极区域（全年）；
2. 亚洲、北非、澳大利亚和北美洲的寒冷陆地（冬季）；