

建筑环境学

(原书第5版)

Environmental Science in Building

(英) Randall McMullan 著
张振南 李溯 译

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



建筑环境学

(原书第5版)

(英) Randall McMullan 著
张振南 李 溯 译



机械工业出版社

如何科学地营造建筑的环境,满足人们对环境的要求,已经成为当今建筑领域内的热门话题。本书研究了一切与人体舒适和建筑环境性能有关的科学、技术和设施。主要介绍了气候、能量供应和储存、人体舒适度、供热、通风、采光、隔声、音质、供电、供水、水处理、病态建筑和绿色建筑等等因素对建立科学的建筑环境的影响。

本书内容丰富、实用性强,不仅适合学习建筑学、建筑工程学、环境学和测量学的不同水平的学生阅读,也可以为专业建筑设计人员提供参考

Randall McMullan: Environmental Science in Building

Authorized translation from the English language edition published by Palgrave.

Copyright © 2001 by Palgrave Publishing.

All rights reserved.

Chinese simplified language edition published by China Machine Press.

Copyright © 2002 by China Machine Press.

本书中文简体字版由英国 Palgrave 公司授权机械工业出版社独家出版,未经出版者书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

建筑环境学:原书第5版/(英)Randall McMullan 著;
张振南,李溯译—北京:机械工业出版社,2003.1

书名原文:Environmental Science in Building

ISBN 7-111-11489-2

I. 建… II. ①麦…②张…③李… III. 建筑学
—环境理论 IV. TU-023

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 001378 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:彭礼孝 黄丽梅 版式设计:霍永明 责任校对:张晓蓉

封面设计:陈沛 责任印制:付方敏

北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·11.125 印张·407 千字

0 001—4 000 册

定价:29.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书研究了一切与人体舒适和建筑环境性能有关的科学、技术和服务设施。主要介绍了气候、能量供应和储存、人体舒适度、供热、通风、采光、隔声、音质、供电、供水、水处理、病态的建筑和绿色建筑。

本书为学习建筑学、建筑工程学、环境学和测量学的不同水平的学生所写。书中内容满足了一个人获得学位、国际文凭与证明以及职业机构考试所需课程的基本需要。本书出版 20 年证明了它在各个层次领域的作用——从学生入门到职业参考。

没有多少科学与数学知识的读者也能读懂本书，而且我们还提供了实例与公式以供参考和使用。物理的名词定义与单位都是根据他们的文化背景以适当的形式来表达的，并且向他们开启了阅读不同领域实用技术著作的方便之门。需要数学方法的时候，计算实例就会一步步地展现在您的面前，并且还安排了练习题作为巩固练习。

诚然，我的文风一直保持简单，但是同时也提供了适合于这些课题研究的科技内容并保证其科学准确性。本书中的文章还精心安排了大量的图表以帮助读者理解并且作为学生们进行数学演算的模型。

当本书进行第一次修订时，环境论这项术语尚未普遍使用。从那时起，理解我们新的课程和它们的有关材料就一直反映了我们理解环境的需要和兴趣，其中就包括这本书。这个版本是有效的修订版，同时又因为关系到对环境的关注和当前读者的需要而成了一部有突破性的书。尽管书中有大量的脱离本书题目——建筑环境科学的内容，但仍然改变不了本书的核心内容。

Randall McMullan

如何使用本书

你可以用不同的方式来使用本书，一切取决于你的需要。譬如说，话题所讨论的内容对于你所修课程或是专业目的来说只是一些很生僻的东西，那就没多大的使用意义。本书中的所有课题都是值得向更深层次研究的，希望这本书能够成为你进行深入探索的一个起点。为了让你更加有效地利用本书，下面总结了它的特点以供参考。

文 本

各章都假定读者没有多少专业知识，并且引导读者去学习有用的知识。如果你已经忘记了你曾经在学校里面学到的科学知识，你会发现学习有关热、光和声的基本原理方面的导论章节对于后面学习其他各章节将会很有用处。

文本内容本身其实只是读者达到更深的知识理论深度的一个向导，写作的文风一直保持简朴，但是它使用了正确的专业术语和章节划分。当你需要利用专业知识时，譬如说在一个工程设计中，它还可以在实际应用中起作用。

图 表

安排这些图表的目的是更加清楚地解释书中的课题。插图同样保持相对简单，为的是它们可以成为你自己脑中的插图。记住那些精确的表格和记住插图是同等的重要。

计 算

计算能让你对一些题目产生更加深刻的理解，并且你很可能在课程中要用到它们。文本着重介绍了那些特别重要的或是可能会对记忆有帮助作用的公式。重要的计算类型有精确计算的例题来解释，并且采用的是相对简单的计算方法。章节末尾的例题为你提供了进一步训练的机会。

附 录

在本书的结尾，用表格的形式列出了大量附加内容，这就使得查找类似于科学术语、章节和符号的信息变得非常简单。参考资料还附有许多外国组织，它们出版的刊物和国际互联网站点对某些课题给出了更多的信息。

作为每个课题相关专业知识的补充，你应该努力把自己的知识放到对环境的研究与关注这个更为深入的课题背景中。那么就用本书的第1章和最末一章来帮助你看到那广大的图景吧！

目 录

前言	
如何使用本书	
第 1 章 环境	1
1.1 人工建成环境	1
1.2 气候	3
1.2.1 纬度	4
1.2.2 一年的季节	4
1.2.3 海拔高度与地形	5
1.2.4 水的影响	5
1.2.5 大气循环	6
1.2.6 气候类型	6
1.2.7 环境与建筑物	7
1.2.8 气候变化	7
1.2.9 温室效应	7
1.3 环境舒适度	8
第 2 章 热原理	10
2.1 热的性质	10
2.1.1 热能	11
2.1.2 功率	11
2.1.3 温度	11
2.1.4 温度计	12
2.1.5 温度衡量标度 (温标)	12
2.1.6 热容	13
2.1.7 密度	14
2.1.8 状态的改变	14
2.1.9 显热和潜热	15
2.1.10 焓	16
2.1.11 热量数值计算	16
2.1.12 膨胀	18
2.2 热传递	20
2.2.1 传导	20
2.2.2 对流	20
2.2.3 辐射	21
2.2.4 温室效应	22
2.3 气体和水蒸气	23
2.3.1 气体	23
2.3.2 气体定律	23
2.3.3 蒸汽	24
2.3.4 大气	25
2.4 冰箱(制冷器)与热泵 原理	26
2.4.1 制冷循环	26
2.4.2 制冷剂	27
2.4.3 冰箱(制冷器)	28
2.4.4 热泵	29
2.4.5 热泵效率	29
2.4.6 热泵的热源	30
第 3 章 建筑隔热	32
3.1 隔热	32
3.1.1 隔热材料	33
3.1.2 热绝缘体的类型	34
3.1.3 热绝缘体的特征	34
3.1.4 热导率, λ 值	34
3.1.5 发射率和吸收	37

3.1.6 晴空辐射	38	4.3.4 不稳定环境条件	68
3.2 U 值	38	4.4 热增量	70
3.2.1 传热系数, U 值	38	4.4.1 太阳热增量	70
3.2.2 基本 U 值	39	4.4.2 太阳调节装置	72
3.2.3 热阻, R 值	40	4.4.3 不规则热增量	72
3.2.4 U 值的计算	43	4.5 能量平衡	73
3.2.5 楼板的 U 值	46	4.5.1 能量的计算	74
3.2.6 U 值的调整	47	4.5.2 能量平衡	74
3.3 热桥	48	4.5.3 季节性能量需求	74
3.3.1 冷桥	49	4.5.4 效率	76
3.3.2 结构痕迹显现 (暗斑)	49	4.6 能量规章	77
3.3.3 复合 U 值	49	4.6.1 建筑规章	78
3.4 结构温度	52	4.6.2 能量评估, SAP	78
3.4.1 反应时间	52	4.6.3 碳指数, CI	79
3.4.2 温度梯度	52	4.6.4 建筑结构隔热	79
第 4 章 建筑能耗	56	4.6.5 节约能源的其他 措施	80
4.1 能耗	56	第 5 章 建筑空气调节	83
4.1.1 能量分项	57	5.1 通风	83
4.1.2 能量单位	57	5.1.1 通风的必要条件	84
4.1.3 发热值	58	5.1.2 通风装置	86
4.1.4 国家建筑能耗	58	5.1.3 空调	87
4.2 热舒适	59	5.2 湿度	88
4.2.1 影响热舒适的因素	59	5.2.1 水蒸气	88
4.2.2 活动	60	5.2.2 饱和度	88
4.2.3 衣服	60	5.2.3 湿度规范	89
4.2.4 房间温度	61	5.2.4 湿度计	92
4.2.5 湿度	62	5.2.5 湿度图表	92
4.2.6 通风	62	5.3 建筑中的冷凝	95
4.3 热损失	63	5.3.1 冷凝原理	96
4.3.1 结构热损失	65	5.3.2 冷凝的起因	97
4.3.2 通风损失	66	5.3.3 温度	97
4.3.3 外界温度	66	5.3.4 通风	98

VII 目 录

5.3.5 建筑物的用途	98	6.4.5 色彩的减法	126
5.3.6 冷凝的补救	98	第7章 人工光环境	129
5.4 冷凝条件	99	7.1 灯	129
5.4.1 蒸汽传递	100	7.1.1 灯的性质	130
5.4.2 露点梯度	101	7.1.2 荧光灯	133
5.4.3 冷凝的危险性	104	7.1.3 放电灯	136
5.4.4 墙体蒸汽隔板	105	7.1.4 灯的发展	136
5.4.5 屋顶蒸汽隔板	105	7.2 灯具	137
第6章 光学原理	109	7.2.1 极坐标曲线	137
6.1 光的性质	109	7.2.2 光输出比例	138
6.1.1 电磁波	110	7.2.3 英式带状系统	139
6.1.2 可见辐射	110	7.3 照明设计	140
6.1.3 不可见辐射	111	7.3.1 照度水平	140
6.2 视觉特性	112	7.3.2 流明法	141
6.2.1 眼睛	112	7.3.3 灯的布局	144
6.2.2 视觉过程	112	7.3.4 照明控制	144
6.2.3 视觉感受	113	7.3.5 眩光指数	145
6.2.4 视觉术语	114	7.3.6 照明规则	146
6.3 照明度量单位	114	第8章 自然光环境	148
6.3.1 立体角	114	8.1 自然光源	148
6.3.2 发光强度	115	8.1.1 直接的太阳光	149
6.3.3 光通量	115	8.1.2 统一标准天空	149
6.3.4 照度	116	8.1.3 CIE标准天空	149
6.3.5 照度的反平方定律	118	8.2 采光系数	150
6.3.6 照度的反余弦定律	119	8.2.1 推荐采光系数	151
6.3.7 反射	121	8.2.2 采光系数的组成 部分	151
6.3.8 亮度	122	8.2.3 采光系数等高线	152
6.3.9 方向品质	124	8.2.4 采光系数的估算	152
6.4 色彩	124	8.3 混合照明	157
6.4.1 光谱能量分配	124	第9章 声学原理	160
6.4.2 色彩系统	124	9.1 声音的特性	160
6.4.3 色彩重现	125		
6.4.4 色彩的加法	126		

9.1.1 声源	160	10.1.7 等效连续声级	
9.1.2 声波运动	161	L_{Aeq}	187
9.1.3 声音的速度	163	10.1.8 听力的威胁	188
9.1.4 声音的频率	163	10.1.9 娱乐和噪声	189
9.1.5 声音的音质	164	10.1.10 工地噪声	189
9.1.6 声音的消失	165	10.1.11 其他的噪声测量	191
9.1.7 共鸣	165	10.2 噪声的控制	192
9.2 声级	166	10.3 噪声的传播	194
9.2.1 测量	166	10.3.1 空气传播的声音	194
9.2.2 阈	167	10.3.2 撞击声	194
9.2.3 分贝	168	10.3.3 实际声音的声源	194
9.2.4 声级	168	10.3.4 吸声和隔声	195
9.2.5 声级的计算	169	10.4 隔声	196
9.2.6 声级的叠加	170	10.4.1 声降指标, R	196
9.3 声音的衰减	172	10.4.2 隔声原理	198
9.3.1 点声源	172	10.4.3 重量	198
9.3.2 线声源	174	10.4.4 完整性	199
9.3.3 空气中的衰减	175	10.4.5 弹性	199
9.4 听觉的特性	176	10.4.6 独立性	200
9.4.1 人耳	176	10.4.7 声音减弱的规章	201
9.4.2 听力的测定	178	10.4.8 规范的要求	201
9.4.3 响度	178	10.4.9 建筑外围护结构	
9.4.4 方的尺度	179	的隔声	202
9.4.5 宋的尺度	180	10.4.10 独立墙体和楼	
第 10 章 噪声和隔声	181	板的隔声	204
10.1 噪声的测量	182	10.4.11 隔声标准的满足	204
10.1.1 声级表	183	10.4.12 用于隔声的结构	207
10.1.2 频率的组成	183	10.4.13 隔声的测量	210
10.1.3 噪声限制曲线	184	10.4.14 隔声的计算	210
10.1.4 时间因素	186	第 11 章 室内声学	214
10.1.5 术语	186	11.1 声学原理	214
10.1.6 交通噪声指标		11.1.1 一般要求	214
L_{A10}	187	11.1.2 听众席的种类	215

X 目 录

11.1.3 室内声音传播的途径	215	12.2 磁	242
11.2 声反射	216	12.2.1 磁场	242
11.2.1 反射的种类	216	12.2.2 电磁学	243
11.2.2 回声	217	12.2.3 电磁铁的应用	243
11.2.3 驻波	218	12.2.4 导体介质的作用力	245
11.2.4 大厅的形状	218	12.2.5 电动机	245
11.3 吸声	219	12.3 感应	247
11.3.1 吸声系数	219	12.3.1 电磁感应	247
11.3.2 总的吸声	220	12.3.2 电磁感应现象的本质	248
11.3.3 吸声体的种类	221	12.3.3 发电机	249
11.3.4 多孔吸声体	221	12.3.4 变压器	251
11.3.5 平面吸声体	222	12.3.5 交流电特性	253
11.3.6 空腔吸声体	222	12.3.6 三相交流电	254
11.3.7 实际的吸声体	222	12.4 电能供应	255
11.4 混响声	223	12.4.1 发电站	256
11.4.1 混响时间	224	12.4.2 输电系统	258
11.4.2 理想的混响时间	224	12.4.3 传输控制	260
11.4.3 混响时间公式	225	12.4.4 英国的电力供应	261
11.4.4 混响时间的计算	226	12.4.5 综合分配	261
11.4.5 计算指南	226	12.5 用电设备	262
第 12 章 电力供应	230	第 13 章 水技术原理	266
12.1 供电电流	231	13.1 静流体	266
12.1.1 物质结构	231	13.1.1 压强	267
12.1.2 导体和绝缘体	233	13.1.2 流体压强原理	268
12.1.3 电压	234	13.1.3 压强的测量	268
12.1.4 电阻	235	13.1.4 内表面作用力	270
12.1.5 电路	236	13.2 流体流动	271
12.1.6 电路原理	236	13.2.1 雷诺数	272
12.1.7 电池	238	13.2.2 流量	272
12.1.8 电池类型	239	13.3 流体能量	274
12.1.9 电池的连接方式	240	13.3.1 柏努利原理	274
12.1.10 电功和电功率	240		

13.3.2	压强和速度	275	15.3	废水处理	303
13.3.3	流量计量	276	15.3.1	污水处理过程	303
13.3.4	能量损失	277	15.3.2	污水处理设备	303
13.3.5	管道内的水流	278	15.3.3	软泥处理	306
13.3.6	管道公式	279	15.3.4	软泥处置	307
13.3.7	开放水渠中的流 动	279	15.4	污水处理选择	308
第 14 章	水资源供应	282	15.4.1	污水坑	308
14.1	自然水	282	15.4.2	化粪池	308
14.1.1	水循环	282	15.4.3	缓冲池	309
14.1.2	化学效应	283	15.4.4	湿地和芦苇床	309
14.1.3	自然水的特性	284	第 16 章	绿色建筑	311
14.2	水的硬度	285	16.1	建筑周边的气候	311
14.2.1	硬度的计量	285	16.1.1	气候类型	312
14.2.2	硬度的类型	286	16.1.2	气候资料	312
14.2.3	硬度的重要性	286	16.1.3	户外每日平均温度, 温差累加	313
14.3	水源	287	16.1.4	大雨指数, DRI	314
14.3.1	地下水	287	16.1.5	风资料	314
14.3.2	地表水	288	16.1.6	建筑周围的风的 影响	315
14.4	水处理	289	16.1.7	日光资料	316
14.4.1	水处理方法	289	16.2	建筑资源	317
14.4.2	水存储	290	16.2.1	生命周期分析, LCA	318
14.4.3	水过滤	290	16.2.2	可持续发展	318
14.4.4	消毒	292	16.3	能量储存	319
14.4.5	软化水	293	16.3.1	能量选择	319
14.4.6	水垢的预防	295	16.3.2	能量效率	320
14.5	水设备	295	16.3.3	隔热	321
14.5.1	水的输配系统	295	16.3.4	通风	321
14.5.2	家庭内的水设备	296	16.4	污染	321
第 15 章	废水	298	16.4.1	空气污染	322
15.1	排水系统	298	16.4.2	水污染	323
15.2	废水的性质	301			

XII 目 录

16.4.3	土壤污染	323	16.6.4	时机	329
16.4.4	废弃物	323	附录 1 科学信息		330
16.4.5	氦	324	单位		330
16.4.6	室内污染	324	希腊字母表		332
16.5	病态的和健康的建筑		符号		332
	物	324	化学过程		333
16.5.1	病态建筑效应	325	附录 2 参考资料		338
16.5.2	建筑物的风险	325	整体建筑环境		338
16.5.3	病态建筑导致原		能量、隔热和服务设施		339
	因	325	噪声和音质		339
16.5.4	健康建筑	326	水和整体环境		340
16.6	未来建筑	326	官方政府：英国		340
16.6.1	建筑的评价标准	327	专业团体：英国和爱尔兰		341
16.6.2	智能建筑	327	标准组织		341
16.6.3	智能建筑的设计和				
	建造	328			

第 1 章 环 境

本章提纲

从广义上来说，环境(environment)是讲影响我们生活的全球环境(surroundings)。这明显是一个庞大而复杂的话题，包括了从太阳上的大活动到活生生的有机体分子内的小活动中的所有因素。许多的环境因素还与另外的因素发生相互作用，以重要的甚至是生命必不可少的方式进行着。例如，大气中的氧气含量由地球上的植物进行控制和调节，因为它们从空气中吸收二氧化碳然后释放出供我们呼吸的氧气。

维持并改善我们的环境质量对于生命和生活的质量是极其重要的。一些环境话题经常带有浓厚的社会和政治色彩，以至于很难作出选择，值得进一步讨论。除此之外，不同话题中的科学和技术也有许多的相互作用和联系，这些都是要求我们去理解的挑战性问题。

关于现实、术语和原理的基础知识是我们理解环境的良好基础，这一章将使你能够：

- 理解自然和环境术语
- 理解自然环境和人工建成环境之间的关系
- 理解气候的性质和它的控制要素
- 理解全球变暖的科学道理
- 共同评价与温室气体和全球变暖相关的问题
- 鉴定在人工建成环境中人体舒适的主要因素

本章为环境话题提供了更为广阔的讨论空间，在接下来的几章里我们将讨论更多的细节问题。在本书的附录部分还介绍了大量的有用信息，可用来证实原理和对课题进行深入的研究。

1.1 人工建成环境

广阔环境的组成部分可以按照不同的原则划分为多种系统，但是本书中要讲的一个主要的区分是自然环境和人工建成环境之间的区别。

- 自然环境是忽略人类存在和人类干扰的整个环境。

2 建筑环境学

自然环境的显著特征包括气候、山脉和丘陵、河流和湖泊、岩石和土壤、树木和植物。

人工建成环境是在自然环境中由人类建造的建筑物和其他建构体。

人工建成环境的显著特征包括建筑物、水与排水系统、交通系统、电力系统、交流系统。本书将焦点放在了建筑物内外的环境上，但是不同的环境因素之间有着不可忽略的相互作用，正如图 1-1 所示。

各环境间的联系

从很久以前，人们就开始在自己的居留地上建造遮蔽物来抵御风霜雪雨和其他外来的对生命的威胁。开始，原始人类使用自然遮蔽物，比如山洞，然后他们开始利用一些适用的材料，比如皮革、兽骨、稻草，或者是木头。而现代建

筑在设计上、材料上和建构上包括如此之多的特征，以至于人们很容易忘记自己的根本目的是要提供一个与外部空间环境截然不同的内部空间环境。

一个建成环境反映了当地的自然环境，因此在世界各地发现了不同类型的建筑物。在决定建筑物特征、建筑材料和技术的有效性方面，气候当然是一个主要因素。我们在表 1-1 中总结了一些这样的相互作用。至于建筑风格方面的其他影响，那就主要是指当地的传统地域风格和国际建筑风格。

表 1-1 环境联系的例子

自然环境特征	建成环境特征	自然环境特征	建成环境特征
干热气候	浅色表面 提供阴凉的屋顶挑檐 通风开口 捕捉冷空气的后院	寒冷气候	高度绝热 密封结构
		降雪	强力负载屋顶 排雪倾斜屋顶
暖湿气候	轻质材料 通风的阁楼	强风	低沉降建筑物
		森林	构造材料为木材

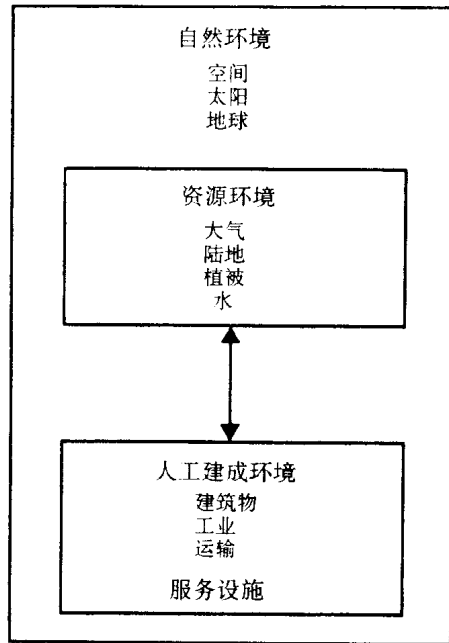


图 1-1 环境的构成

(续)

自然环境特征	建成环境特征	自然环境特征	建成环境特征
松散的石头或采石场	构造材料为石材	地震区	构造轻质灵活
黏土土壤	构造材料为砖块		临时救急的砖石与混凝土建筑

相互作用和问题

人工建成环境和自然环境之间的一些相互作用结果值得引起我们关注：

- 不可再生资源的消耗，比如化石燃料
- 不可替代资源的消耗，比如森林
- 对当地生态环境有害的改变，比如滥伐森林
- 对全球生态环境有害的改变，比如气候的改变

这些结果与本书中不同内容有着密切联系，在其他有关章节中将有所论述。

要知道，没有人类存在的时候，自然环境能够经历大的变迁。譬如说，英国就曾经经受了从冰河时期到温暖时期的变迁，这还不算英国大陆与加拿大相连并且位于赤道时的远古地质时代。地球上的不少山脉已经被侵蚀，并且被冲刷到海洋中形成了新的岩石层，循环往复便形成了新的山脉。这在地球的有生之年已经发生了4次，也许20000年以前你还能够在干旱的陆地上漫步，而今他们已经成为穿越海底的海峡隧道。

1.2 气候

地球的大气层是一个很特殊的环境，它能够产生一系列的变化结果——阳光和云，压力和风，气温和湿度，以雨的形式出现的降水、冰雹和降雪。当这些短期的天气变化固定在一个地方观测，并且被长期地总结的时候，便形成了大的气候。地球上每个不同的地方都有不同的气候，并产生了一系列不同的环境。

控制全球气候系统的物理过程包括从太阳上获取能量、地球的转动、空气团的转化、陆地和水体的吸热、水的蒸发和最终的冷凝和降水。这些过程以复杂的形式环环相扣，并且产生了按照周期有规律发生的各种变化，比如每天的和每年的，还产生了另外的一些随机的变化。【地方性的每天的天气预报是不稳定的，但是存在一个地区气候信息的准确频率数据，这些信息比起建筑设计来是更加重要的。】

气候对所有的人类活动都会产生直接的或是间接的影响，就像它对一个地

4 建筑环境学

区的岩石、土壤、植被和水资源的影响一样。因此气候又与一个地区的传统社会特征密切相关，比如说当地植物的类型、人们的穿衣以及住房。即使是在没有什么传统的地区，气候仍然会影响其农业、建筑和他们们的生活供应、休闲活动还有运输等生活的方方面面。

一个地区的基本气候经常与某些因素密切相关，下面列举的这些因素在下面几部分我们要做详细阐述。

- 地理纬度
- 水的影响
- 一年的季节
- 大气循环
- 海拔高度与地形

1.2.1 纬度

一个地方的地理纬度描述了它的位置是位于赤道上方还是位于赤道下方，而且它经常用角度来度量，单位是度。

- 随着纬度的升高，太阳辐射密度随着降低。

当太阳位于大气层正上方的时候，来自太阳的辐射强度是最大的，并且地球的表面和辐射面成 90° 。当辐射线以小于 90° 的角度射到地球表面上的时候，辐射强度便要减小，因为它的大小是与角度余弦值相关的。离两极越近，入射角度就越小，因此辐射强度就越小。

1.2.2 一年的季节

太阳辐射强度是随着一年中四季的变化而变化的。太阳辐射线到达地面的人射角度也是随着地球围绕太阳公转的轨道和倾斜度而改变的，如图 1-2。在低纬度区，靠近赤道的地方，夏季和冬季在太阳辐射方面的差异是很小的。而高纬度地区，如南极和北冰洋地区，一年中有很长的时期甚至根本见不到太阳。

地球绕太阳公转的轨道在外形上略呈椭圆形，而且地球的自转轴与公转平面之间呈 23.5° 的倾斜角。这个倾斜度引起了热辐射的变化，还有白天时间长短的变化和冬夏两季气候的变化。如果没有这个倾斜角的话，我们的气候条件一年到头都将会成为一样的。

每天，太阳都在天际划出一道明显的轨道。在北半球，12月21日的冬至日白天时间最短，而6月21日的夏至日白天时间最长。在北半球，春季和秋季的昼夜平分点分别在3月21日和9月21日。在这两天里，地球上所有的地