

● 建筑节能低碳最新技术丛书

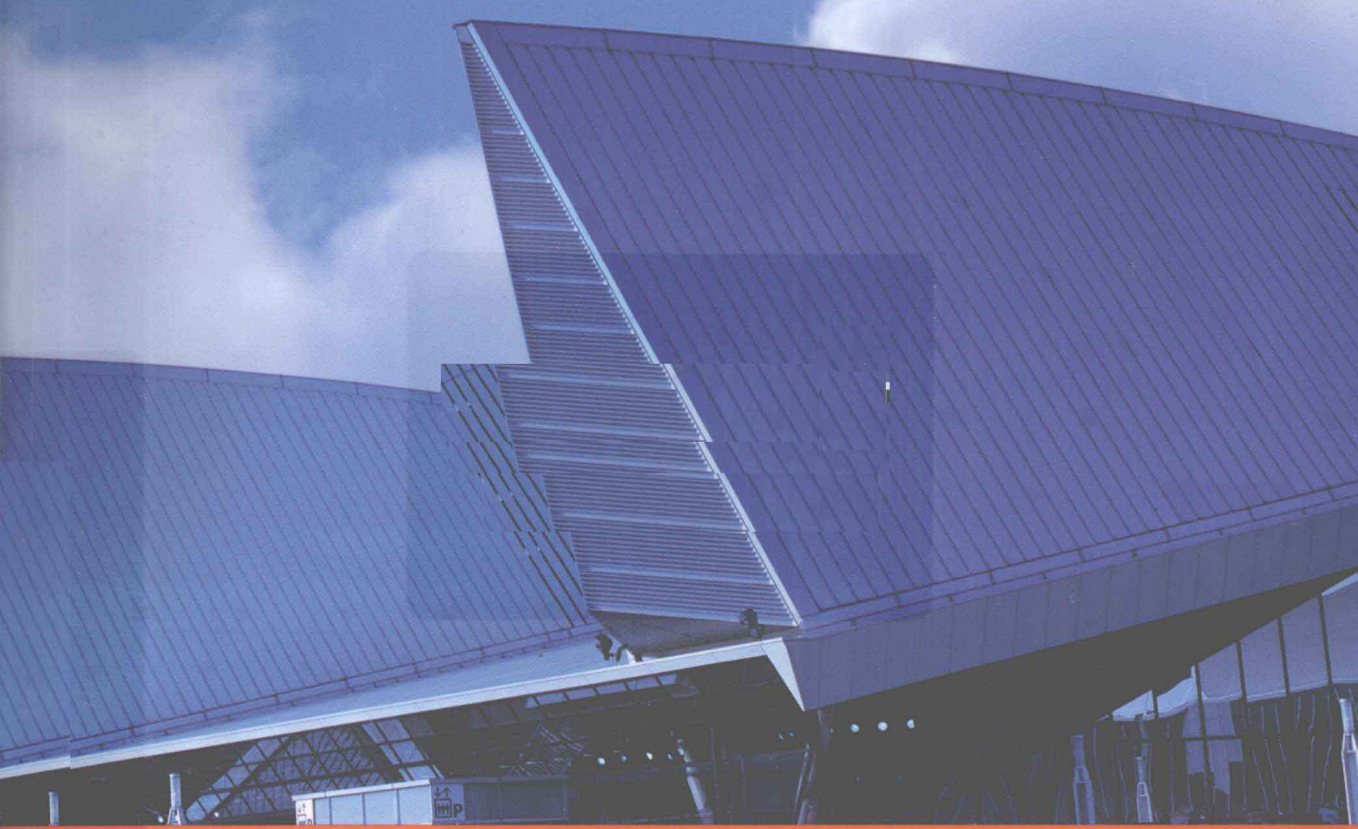
BUILDING

建筑无源制冷和低能耗制冷

PASSIVE AND LOW ENERGY COOLING TECHNOLOGIES IN BUILDING

北京无源建筑规划设计院

刘令湘 编译



中国建筑工业出版社

建筑节能低碳最新技术丛书

建筑无源制冷和低能耗制冷

北京无源建筑规划设计院

刘令湘 编译

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

建筑无源制冷和低能耗制冷/刘令湘编译. —北京: 中国建筑工业出版社, 2011. 4

(建筑节能低碳最新技术丛书)

ISBN 978-7-112-12949-2

I. ①建… II. ①刘… III. ①空气调节系统: 制冷系统

IV. ①TU831.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 044030 号

本书为《建筑节能低碳最新技术丛书》的第二分册, 主要介绍了无源制冷的基本知识, 最新发展动态、趋势和前景, 分析了基于建筑物的热力学特性分析主要方法的有效性、基本原理以及适用建筑类型和标准条件。

本书可供建筑节能有兴趣的建筑业主, 居者和直接参与建筑业、物业运行管理、维护保养的专业人士参考, 同时对大专院校师生、研究生、相关研究设计院所人员也有借鉴价值。

责任编辑: 于 莉 王 磊 田启铭

责任设计: 李志立

责任校对: 陈晶晶 王雪竹

建筑节能低碳最新技术丛书

建筑无源制冷和低能耗制冷

北京无源建筑规划设计院

刘令湘 编译

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京天成排版公司制版

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 9¼ 字数: 230 千字

2011 年 5 月第一版 2011 年 5 月第一次印刷

定价: 58.00 元

ISBN 978-7-112-12949-2

(20185)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

编 译 者 序

自从人类构筑房屋栖居以来，总是企求得到一个稳定的环境，努力探索以多种途径改善室内居住条件。然而，室内环境却往往被室外环境的每日和随季节变化以及建筑类型与运行方式的更迭所主宰。地域和季节的不同决定了人们强调制冷或者取暖，并且通过调控室内温度、湿度、光的利用以及空气质量来达致室内舒适的目的。

主要基于改善建筑围护结构隔热保护，消散建筑热负荷并得以低幅度降温的无源制冷 (passive cooling) 技术已被实践证明很有效。这一策略和技术已经相当程度地达到在建筑和工业上的实用程度。无源制冷技术作为空调的替代可以带来能量、环境、经济、可操作和高质量的巨大收益。

最近，世界范围应用空调的疯狂膨胀带来了上述各方面包括能量、环境、经济等的灾难性后果。有媒体报道，最近引发的希腊主权债务危机三个主要原因之一竟然是空调使用的浪费。在刚刚结束的希腊之旅中，笔者目睹了窗户和空调同时大开的情景。这也正是希腊学者在无源制冷技术研究方面走在世界前列的原因。

研究和应用无源制冷是一个多层次结合，多学科交汇的过程。它不能孤立地进行，而要和建筑设计的其他方面一起综合考量。本书考虑无源制冷和“混合式”(Hybrid) 制冷系统环境设计的框架可归纳为——防止建筑热增益和散热：

- 景观设计充分利用室外空间；
- 建筑类型，造型设计和施工；
- 太阳光控制和建筑表面遮阳；
- 建筑围护结构隔热；
- 控制室内热增益。

本书还有三个主要目标：阐述无源制冷基本知识；报告世界上无源制冷最新发展动态、趋势和前景；基于建筑物的热力学特性分析主要方法的有效性、基本原理以及适用建筑类型和标准条件。

笔者将本书贡献给对建筑节能有兴趣的建筑业主，居者和直接参与建筑业、物业运行管理、维护保养的专业人士。更对大专院校师生、研究生、相关研究设计院所领导、专家和工作人员寄予厚望。

编者还要在此特别感谢 Mark Zimmerman 先生《Handbuch der passiven kühlung》一书 (Fraunhofer IRB Verlag 出版社出版，2003) 授予其 (Abb, 5-1, 5-2, 6-1, 6-7, 7-3, 7-10, 8-3, 8-4, 8-6, 8-7, 8-8) copy-right。本书引用一些图片 (均附有出处及作者) 以飨读者，一并对作者致以诚挚谢意。

北京无源建筑规划设计院 刘令湘 (Dr. lng.)

2011. 1. 15

目 录

1 引言	1
1.1 制冷技术发展的历史回顾	1
1.1.1 历史早期阶段	1
1.1.2 机械制冷	2
1.1.3 夏天制冷的迫切需求	3
1.2 为什么要无源制冷	3
1.2.1 通常的房屋类型	4
1.2.2 气候变化和城市热岛效应	4
1.2.3 热浪来袭	5
1.2.4 “舒适”认同以及消费行为取向的变化	6
1.2.5 采用空调引发的问题	7
1.2.6 出路——无源制冷	7
1.3 什么是无源制冷	8
1.3.1 无源制冷的定义	8
1.3.2 无源制冷技术和自然制冷技术的主要内容	9
2 制冷功率需求	11
2.1 室外大气候	11
2.2 室内小气候	12
2.3 内部热负荷	13
2.4 外部热负荷	14
2.4.1 穿过透明建筑部件的热量	14
2.4.1.1 日光和热量入射	14
2.4.1.2 遮挡日光的选择	15
2.4.2 通过不透明建筑部件的热量传导	15
2.4.2.1 通过墙体、屋顶的热传导	15
2.4.2.2 通过窗户的热传导	15
2.4.3 通风带入的热量	15
2.4.4 通过外负荷的总体制冷负荷	16
2.5 无源制冷的热增益	16
2.5.1 无源制冷如何防止热增益	16
2.5.2 无源制冷如何控制热增益	17
2.6 自然制冷——热沉降	17

2.6.1	通风	17
2.6.2	蒸发	17
2.6.3	地热	17
2.6.4	辐射和对流	18
3	太阳光热负荷的控制	19
3.1	概述	19
3.2	控制太阳光热负荷的重要性	20
3.3	太阳光辐射	21
3.3.1	太阳光辐射的气象地理因素	21
3.3.2	太阳光辐射的物理因素	22
3.4	太阳光辐射控制元件	23
3.4.1	控制太阳光辐射的玻璃	23
3.4.1.1	阳光控制膜玻璃	23
3.4.1.2	智能玻璃	24
3.4.1.3	真空玻璃	24
3.4.2	遮挡太阳光辐射的器件	25
3.4.2.1	固定遮挡太阳光辐射的器件	25
3.4.2.2	可调节遮挡太阳光辐射的器件	26
3.4.2.3	固定建筑构件控制太阳光辐射	27
3.4.2.4	植树遮阳	28
3.5	自动和手动太阳光辐射控制系统	28
4	自然和机械夜间通风	29
4.1	建筑通风综述	29
4.1.1	通风的基本目的	29
4.1.2	通风系统分类	29
4.1.3	夜间通风	29
4.1.4	自然通风和机械通风	30
4.1.5	混合通风	30
4.2	受控自然通风	31
4.3	受控自然通风条件模拟	32
4.3.1	基于空气卫生的空气交换	32
4.3.2	空气移动	32
4.4	限制热负荷	33
4.5	热存储质量	33
4.5.1	热存储质量如何起作用	33
4.5.2	热存储质量的特性	34
4.5.3	通风制冷系统的热存储质量	35

4.6	通风开口的位置	36
4.7	不同建筑类型夜间通风小结	37
4.7.1	住宅建筑	37
4.7.2	办公室建筑	37
4.8	风塔	37
4.8.1	风塔的运行	37
4.8.2	传统风塔	37
4.8.3	现代冷却风塔设计	38
4.9	太阳能烟囱(Solar Chimney)	39
4.9.1	太阳能烟囱概述	39
4.9.2	太阳能烟囱设计要点	39
4.9.3	太阳能烟囱住宅无源制冷	39
4.9.4	蒸发下拉制冷塔	39
4.10	相变制冷	40
4.10.1	相变物质	40
4.10.2	相变制冷系统的运行	40
4.10.3	相变制冷系统的运行效果	41
4.10.4	最新技术——含微胶囊相变材料的建筑制冷	41
4.10.4.1	相变材料提高热容	41
4.10.4.2	微胶囊相变材料	42
4.10.4.3	微胶囊相变材料的特性	42
4.10.4.4	微胶囊相变材料的应用	42
5	蒸发制冷	43
5.1	蒸发制冷的物理基础	43
5.1.1	蒸发制冷的基本原理	43
5.1.2	蒸发制冷系统的效率评估	44
5.1.2.1	蒸发制冷系统的浸透效率	44
5.1.2.2	经蒸发制冷空气温度计算	44
5.1.2.3	蒸发制冷系统评估	44
5.1.3	由空气焓湿图分析蒸发制冷	45
5.2	无源及混合蒸发制冷系统	45
5.2.1	无源直接蒸发制冷	45
5.2.1.1	利用植被无源直接蒸发制冷	45
5.2.1.2	利用喷泉、水雾、池塘无源直接蒸发制冷	46
5.2.1.3	利用冷却塔无源直接蒸发制冷	46
5.2.2	无源间接蒸发制冷	46
5.2.2.1	屋顶淋雾喷洒	46
5.2.2.2	屋顶水池	47
5.2.2.3	移动水膜	47

5.2.3	混合蒸发空气制冷器	47
5.2.3.1	混合直接蒸发空气制冷器	47
5.2.3.2	混合间接蒸发空气制冷器	47
5.2.4	两极蒸发空气制冷器	48
5.3	绝热制冷系统运行分析	48
5.3.1	干燥吸收制冷系统	49
5.3.2	系统运行模式	50
5.3.3	系统控制策略	50
5.3.3.1	房间使用期控制	50
5.3.3.2	房间不被占用期的控制	50
5.3.4	系统变种	51
5.3.4.1	重要元件选项	51
5.3.4.2	加湿器选项	51
5.3.4.3	热量回收选项	51
5.4	蒸发制冷系统应用实例	51
5.4.1	美国联邦法院 Phoenix	51
5.4.2	马耳他股票交易所	52
5.5	干燥脱湿和蒸发制冷	53
5.5.1	干燥剂脱湿	53
5.5.2	干燥剂脱湿和蒸发制冷	53
5.5.3	太阳能辅助干燥脱湿和空调结合	54
5.6	下拉蒸发制冷塔(Downdraught Evaporative Cooling Tower, DECT)	55
5.6.1	背景	55
5.6.2	工作原理	55
5.6.3	设计因素	56
5.6.4	下拉蒸发制冷塔设计举例及分析	57
5.7	屋顶水池	57
5.7.1	概述	57
5.7.2	屋顶水池元件	58
5.7.3	设计提示	58
5.8	蒸发制冷的热舒适性和环境健康	58
5.8.1	蒸发制冷的热舒适性	58
5.8.2	蒸发制冷与人的健康	59
6	吸入空气地下区域布管——地热制冷之一	60
6.1	利用地热资源制冷	60
6.1.1	土壤温度	60
6.1.1.1	地下温度分布	60
6.1.1.2	地下温度数学模型	60

6.1.2	地热资源利用的分类	61
6.1.2.1	半埋建筑物	61
6.1.2.2	地下区域水平布管通道网路系统	61
6.1.2.3	垂直钻孔热交换器	62
6.2	地下区域布管通道系统分类	62
6.2.1	按运行机制的分类	63
6.2.1.1	舒适制冷	63
6.2.1.2	房间制冷	63
6.2.1.3	辅助制冷	64
6.2.1.4	三种运行机制的过程和功效	64
6.2.2	按铺设方式分类	65
6.2.2.1	新鲜空气直接热交换	65
6.2.2.2	新鲜空气间接热交换	65
6.3	地下区域布管通道系统铺设参数	66
6.3.1	埋管深度	66
6.3.2	布管长度和直径	66
6.3.3	布管系统大小的确定	67
6.4	地下区域布管通道系统铺设结构	68
6.4.1	吸气口	68
6.4.2	地下布管通道分配和集中	68
6.4.3	土壤集热器	69
6.5	地下区域布管通道系统运行	70
6.5.1	温度走向分析	70
6.5.2	环境温度和地下布管通道系统出口温度	70
6.5.3	地下布管通道系统三个工作区	70
6.5.4	地下布管通道系统的控制	71
6.5.5	地下布管通道系统的能量效益	71
6.5.6	地下布管通道系统运行小结	72
6.6	地下水/地下等效平衡制冷和采暖	72
6.6.1	一个替代空调系统的可行之路	72
6.6.2	等价热能存储系统	72
6.6.3	等价热能存储系统功效	73
7	地热探针和能量柱桩——地热制冷之二	74
7.1	地热探针和能量柱桩(钻孔热交换器)	74
7.2	地层温度	75
7.3	地热探针和能量柱桩的设计	77
7.3.1	设计考虑要素	77
7.3.2	融入建房技术系统	77

7.3.3	水或水-乙二醇循环	77
7.3.4	制冷功率	77
7.3.5	当制冷功率超过采暖功率会使土层变热	78
7.3.6	典型设计特性参数	78
7.4	地热探针和能量柱桩结构设计提示	79
7.4.1	地热探针结构	79
7.4.2	能量柱桩结构	79
7.4.3	结构与系统的结合	79
7.4.4	地热探针内流量范围	80
7.4.5	施工提示	80
7.5	热响应测试	80
7.5.1	热响应测试基本原理和装备	81
7.5.2	热响应测试实践	82
7.5.3	热响应测试历时和简单模型对热响应测试结果评估	82
7.5.4	热响应测试和地下水流	82
7.5.5	热响应测试小结	82
7.6	钻孔热交换器总结	83
8	建筑部件制冷	84
8.1	建筑部件制冷概述	84
8.2	建筑部件制冷系统	85
8.2.1	系统综述	85
8.2.2	热性能活跃建筑部件	85
8.2.3	建筑部件热存储	86
8.3	建筑部件制冷系统的运行	87
8.3.1	对流热传递通道	87
8.3.2	通过辐射热传递	87
8.3.3	热负荷与热卸载	87
8.3.4	回冷	89
8.4	建筑部件制冷结构提示	90
8.5	预制中空水泥楼板	91
8.6	建筑部件制冷设计	92
8.6.1	中空楼板结构	92
8.6.2	中空楼板工作	93
8.7	建筑部件制冷建筑举例	93
8.7.1	瑞士佛莱博格混凝土楼板顶棚办公建筑	93
8.7.2	中国北京混凝土楼板顶棚住宅建筑	93
8.8	双层前立面通风制冷	95

8.8.1	双层前立面	95
8.8.1.1	双层前立面组成	95
8.8.1.2	双层前立面设计	95
8.8.1.3	双层前立面空腔通风空气流种类	95
8.8.2	应用双层前立面办公室建筑特性	96
8.8.3	应用双层前立面的主要类型	97
8.8.4	应用双层前立面短评	97
9	建筑局部制冷	98
9.1	建筑局部制冷的概念	98
9.2	建筑局部制冷的重要特性	98
9.3	建筑局部制冷设计基本考量	98
9.4	建筑局部制冷工作原理	99
9.5	建筑局部制冷功效指标	100
10	其他无源制冷方法简介	101
10.1	辐射制冷	101
10.1.1	辐射制冷概述	101
10.1.2	辐射制冷原理	101
10.1.2.1	辐射传热的物理基础	101
10.1.2.2	天空辐射	102
10.1.3	辐射制冷系统	103
10.1.3.1	白屋顶	103
10.1.3.2	可移动隔热层	103
10.1.3.3	可移动热质量	103
10.1.3.4	平板空气制冷器	103
10.1.4	辐射制冷举例	103
10.1.5	辐射制冷小结	104
10.2	吸收冷凝制冷	104
10.2.1	冷凝制冷简介	104
10.2.2	吸收冷凝	104
10.3	氨吸收制冷	104
10.3.1	氨吸收制冷工作原理	104
10.3.2	氨吸收制冷系统改进	105
10.3.3	氨吸收制冷应用	105
10.4	热电子制冷——无化学制冷	105
10.4.1	历史回顾	105
10.4.2	热电子制冷工作原理	106
10.4.3	热电子制冷系统特性及应用	106

10.5	热声制冷	106
10.5.1	热声制冷的特点	106
10.5.2	热声制冷工作原理简述	107
10.5.3	热声制冷评估	107
10.6	透明隔热体制冷	107
10.6.1	Trombe 墙	107
10.6.2	透明隔热体	108
10.6.2.1	透明隔热体的工作原理	108
10.6.2.2	透明隔热体结构	108
10.6.2.3	透明隔热体材料	108
10.6.2.4	透明隔热体的特性	108
10.6.3	透明隔热体采暖和制冷功能	109
10.6.4	透明隔热体的应用	110
10.6.5	应用透明隔热体制冷评估	110
11	城区设计的制冷考量	111
11.1	城区设计步骤	111
11.1.1	改善热舒适条件设计的基本思路	111
11.1.2	城区设计步骤要点	111
11.2	城区设计选址	111
11.2.1	城区设计选址要旨	112
11.2.2	城区设计选址讨论	112
11.2.2.1	基于夏天热舒适度选址考虑	112
11.2.2.2	基于气候要求建筑物选址	112
11.3	城区规划	113
11.3.1	能量利用最佳化	113
11.3.2	城区形态	114
11.3.2.1	城区密度	114
11.3.2.2	街道布局	115
11.3.2.3	建筑物高度	115
11.3.2.4	风景设计	116
11.3.2.5	公共空间	117
11.4	城区单体建筑设计	118
11.4.1	私人花园	118
11.4.2	建筑特征	119
11.4.2.1	造型	119
11.4.2.2	内部布局	120
11.4.2.3	建筑物朝向	120
11.4.2.4	建筑物外表面颜色	121

12	热舒适及无源制冷方略选择	122
12.1	热舒适	122
12.1.1	建筑物的舒适度	122
12.1.2	建筑物的热舒适度	123
12.1.2.1	热舒适度的定义	123
12.1.2.2	影响热舒适度的重要参数	123
12.1.2.3	决定热舒适度的热平衡	123
12.1.3	建筑物的通风与热舒适度	124
12.1.4	热舒适度指数, 预判量化条件和度量	124
12.1.4.1	热舒适度指数	124
12.1.4.2	热舒适度预判条件	124
12.1.4.3	热舒适度的量测	124
12.1.5	围绕热舒适区的空气湿度图	125
12.2	无源制冷资源	125
12.2.1	自然制冷资源	126
12.2.1.1	空气移动	126
12.2.1.2	蒸发制冷	127
12.2.1.3	地球耦合的热质量	127
12.2.2	混合制冷系统	127
12.3	无源制冷方略选择	128
12.3.1	按气候特点选择无源制冷方略	128
12.3.1.1	高湿热气候	128
12.3.1.2	夏天干热气候	128
12.3.1.3	较长期湿热气候	129
12.3.2	基于生物气候图选择无源制冷技术方略	129
13	质量保证	131
13.1	无源制冷的办公室建筑项目	131
13.1.1	项目概述	131
13.1.2	办公室建筑项目的无源制冷	131
13.2	无源制冷办公室建筑的质量认证	132
13.2.1	质量保证过程概述	132
13.2.2	质量保证证书	132
14	有关无源制冷的书籍	133

1 引 言

在欧盟范围内，建筑能耗大约占到每年总能耗的40%。随着对“必须减少能耗”意识的提升，无源制冷特别是由无源制冷来替代空调的兴趣日益增长。

依据历史和自然法则，人类首先成功地控制并满足了冷季采暖的需求。然而，现代社会人们对热季最佳地利用资源和生产能力来制冷——创造凉爽环境的需求变得特别迫切，如下两点愈显突出：

(1) 现代技术进步特别是材料科学发展涉及日趋复杂的建筑结构要求以及人们期盼的更高的生活和工作标准。

(2) 空调设施可以调控室内温度、湿度和空气质量；但因其运作基于机械系统，耗费大量电能的弊端十分突出。

再者，能源特别是不可再生化石能源的存储枯竭以及价格上涨要求人们重新考虑建筑设计和空调系统的应用；采用新的技术和过程，最佳地利用自然法则和手段来达到建筑条件舒适的目的。

本章首先回顾制冷过程和制冷技术的历史，包括自然制冷和机械制冷；同时结合当前发展方向、趋势和实践，引入无源制冷和低能耗制冷的基本概念。

直觉的自然制冷技术，即便在早期文明阶段也是很成功的。无源制冷技术也是一样，只不过更涉及当今可提供的技术和认知(know-how)，并且成功地融入建筑设计和运行之中，以期达到一个恰当的形式和最佳的效果。

1.1 制冷技术发展的历史回顾

制冷技术历经几个阶段：由直觉的自然制冷技术，如遮阳、蒸发制冷和空气循环，使人们感知舒适；到后来的机械制冷以及基于机械制冷原理的空气调节循环系统。事实上，这些众所周知的技术、工序和系统亦有一个历史回归过程。

1.1.1 历史早期阶段

在人类历史早期阶段，人们在土地上构建遮蔽处所，作为栖居生活空间，以期能够达到舒适凉爽的条件。利用既有的和自然的条件，产生了后来的建筑物。人们利用了这些既有的和自然的条件，却没有基于对所涉及物理过程的理解，仅仅凭直觉的经验。这些应用大部分是简单的，如敞开让空气流动，内部和外部遮阳，恰当地安置建筑物间的空间(种植、开辟池塘等)或者采用合适的建筑材料(建筑外表用冷大理石和浅颜色)。

除此以外，空气在室内空间的流动能够避免因热增益直接导致的室内环境的不舒适。这取决于建筑设计与各种基本的、简单的但是有效的原则相互结合。建筑物的敞开给予空气更宽广、更自由的空间，显现能够达到很有效的制冷效果。即便室外空气温度并不理

想, 空气的移动也会给人体一种凉爽的感觉。

房屋建筑本身能通过恰当的遮阳手段避免热增益来袭, 对使用者提供足够的保护。

建筑借助周围环境景观提供遮阳和蒸发制冷, 既有美学因素, 也可以改善室内微气候。建筑物旁密集的植被不仅可以提供遮阳, 而且可以吸收大量射向室内的太阳光辐射, 使室内保持较低温度。此外, 植被根系还可以使土壤水分的蒸发损失进一步降低。开放水面、喷泉、池塘和流水在欧洲建筑发展历史上具有特殊地位。水蒸发的相变可降低空气的干球温度, 同时增加空气中的水分含量。

浅色建筑外表面在传统的希腊建筑上给人以愉快的感觉。图 1-1 是希腊 Santorin 岛上美丽风光。然而, 浅色建筑外表面还有一个用途是反射更多太阳光, 减少辐射进入室内, 达到制冷效果。

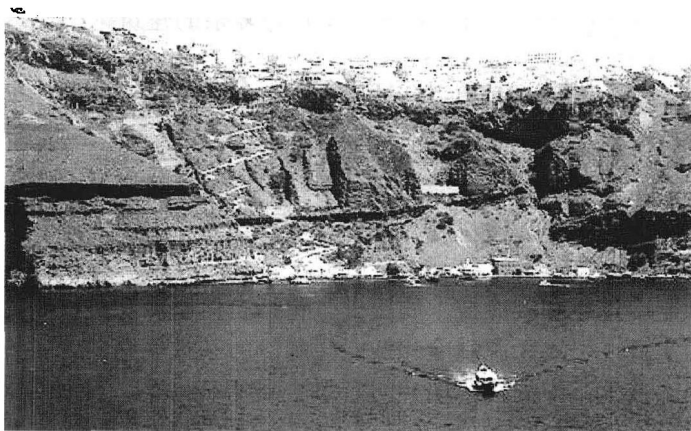


图 1-1 希腊 Santorin 岛上浅色建筑外表构造了世界上最令人陶醉的绚丽风光, 同时也反射更多太阳光减少辐射进入室内起到制冷作用

1.1.2 机械制冷

随着社会和科技进步, 特别是在热力学、流体力学和热传导领域, 促进了室内空调的开发和设计: 机械式制冷设施满足了大部分制冷和冷冻的要求。机械式制冷起源于 19 世纪中期, 20 世纪初得以迅速发展。

根据热力学第二定律, 热量不能自动地由冷的物体传导给热的物体。要完成这一过程必须要消耗能量做功。液体在蒸发时需要吸收汽化潜热, 蒸汽在膨胀时也需要吸收热量。机械制冷正是利用了这个原理: 利用被称为制冷剂的特殊液体在蒸发时吸收周边的热量, 使周围环境的温度降低; 然后把这种液体的蒸气又加以压缩, 再冷却移去它的热量, 使它又变成液体, 然后把这液体再去蒸发吸热, 如此循环往复, 便能使蒸发器附近的温度不断降低, 即把热量转移。

机械制冷装置由压缩机、冷凝器、节流装置、蒸发器四个主要部分组成, 图 1-2 简单描述了一个机械制冷装置的工作过程。

至于制冷剂, 在 20 世纪 30 年代的冰箱中多采用氨、二氧化碳、氯甲烷等, 却显现不

少问题。经过几十年的努力，无毒不燃、可经受考验且具有良好的热稳定和化学稳定性、不腐蚀金属并且工作高效的介质诸如 CFC-12(二氯二氟甲烷)、CFC-11(三氯一氟甲烷)、HCFC-22(二氟一氯甲烷)为大多数商业空调所选用。然而，统称氟利昂的含氯氟烃制冷剂已被广泛认为是破坏臭氧层的元凶。臭氧层的破坏将导致以下问题：(1)损害人类健康，破坏人体免疫系统；(2)危及植物及海洋生物；(3)产生附加温室效应，从而加剧全球气候变暖；(4)加速聚合物的老化。因此，保护臭氧层已成为当前一项全球性的紧迫任务。

尽管基于机械制冷的室内空调系统基本满足了大部分制冷和冷冻的要求，但是消耗大量电能并引发世界范围内能耗剧增和制冷剂导致环境污染的问题日益成为人们聚焦的中心。与此同时，人们对于夏天制冷的要求却愈加迫切，意识也更加强烈。

1.1.3 夏天制冷的迫切需求

舒适的室内小气候对于人们的健康十分必要，也是对建筑物功能的基本要求。在地球上很多地区，夏天制冷和冬天采暖一样重要。相对而言，在冷天保暖要比暑季防热更容易些。然而，在某些地区，如中欧，大部分建筑没有考虑制冷。

愈来愈多的情况下，人们需要采取必要措施以确保夏天室内小气候舒适宜人。这是因为：制冷并非不必要的奢华而是良好工作岗位的前提条件。瑞典人 D. Wyon 的研究成果表明：室内温度在 23℃ 时，工作效率最佳(见图 1-3，这是按夏季着装坐着办公的情形考虑的)，过高或过低的室内温度都将导致工作功效急剧下降。

另外，随着 IT 技术和设施依照指数级飞速发展，办公室设备热负荷超迅猛增长，更加速了建筑室内制冷的渴望。

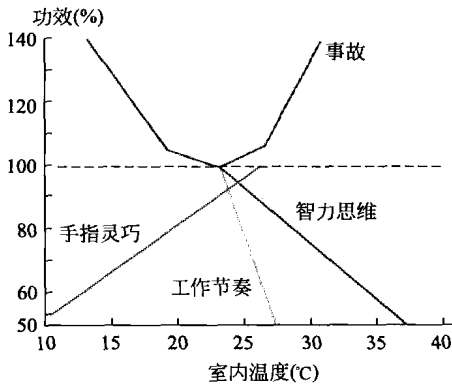


图 1-3 过高或过低的室内温度导致工作功效急剧下降

(来源: D. Wyon)(夏季着装坐着办公的情形)

1.2 为什么要无源制冷

在各种建筑中，空调应用发展迅猛异常。据统计，在经济合作与发展组织(OECD)成员国的建筑中，已有 46% 采用空调并且每年以 7% 的速度继续攀升。除此之外，OECD 成员国住宅制冷的能耗在 1990 年到 2000 年间就增加了 13%，已达到这些国家全部耗电量的 6.4% (据国际能源局 IEA, 2003)。另据报道，在日本服务业应用空调接近 100%，在美国达 63%，欧洲国家为 27%。在我国，近年来空调行业持续快速发展，空调产品由“生活奢侈品”逐渐转变为日常生活用品。这不仅大大刺激了国内空调产业的发展，耗电

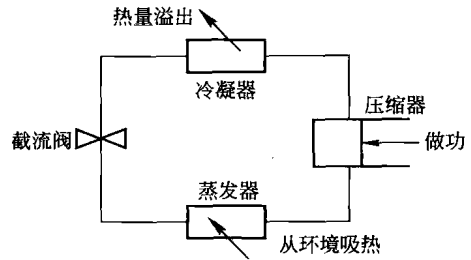


图 1-2 机械制冷工作过程示意图

量也急剧增加。据《中国电信节能减排技术应用蓝皮书》报道：空调系统是中国电信耗电的主要设备，耗能上占有相当大的比例：超过了用电总量的40%。

空调应用之所以急剧发展源于多种因素，例如：

- (1) 通常的房屋类型没有考虑室内小气候，并导致夏天能量需求量剧增；
- (2) 周围环境温度渐升，特别是城市市区的“热岛效应”更使夏日建筑制冷的要求趋于恶化；
- (3) 消费者对“舒适文化”认同以及消费行为取向和企盼的变化；
- (4) 人们生活水平的提高，消费投入更趋高档；
- (5) 建筑物内部电力负荷增容。

下面择要分别讨论。

1.2.1 通常的房屋类型

采用通常的房屋类型是导致建筑制冷要求剧增的重要原因。很不适应局部空气调控的现代建筑类型不允许高效地控制太阳能和热能，同时有效自然通风也受到严重限制。

例如，采用通常类型的办公室建筑制冷能耗需求量为 $200\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ，采用良好隔热的办公室建筑制冷能耗需求量为 $40\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ，而最佳生态无源办公室建筑制冷能耗需求量仅为 $5\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。图1-4给出了各种不同类型建筑制冷能耗需求量的示意图。

这里需要指出的是：虽然通常类型办公室建筑具有高制冷能耗需求，其舒适度条件却比良好隔热及无源建筑还要相差许多。另外，由于不恰当的通风速率，通常类型办公室建筑内的空气污染物集中度也更高。

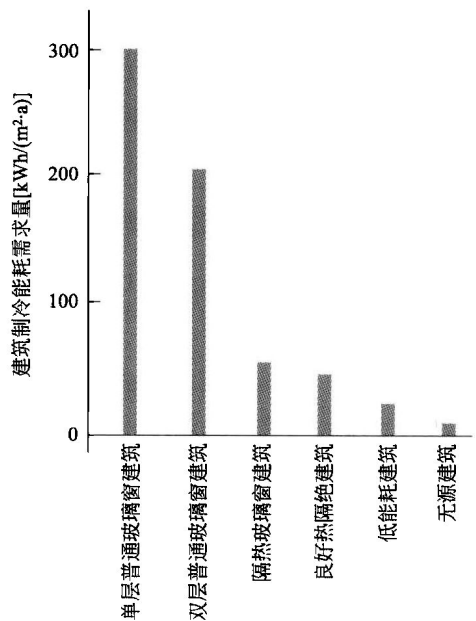


图 1-4 各种不同类型建筑制冷能耗需求量示意图

1.2.2 气候变化和城市热岛效应

城市热岛效应(Urban Heat Island Effect)是指城市中的气温明显高于外围郊区的现象。在近地面温度图上，郊区气温变化很小，而城区则形成高温区，就像突出海面的岛屿，由于这种岛屿代表高温的城市区域，所以就被形象地称为城市热岛。

图1-5形象地勾画出了城市热岛的情形。

城市热岛效应使城市年平均气温比郊区高出 1°C ，甚至更多。夏季，城市局部地区的气温有时甚至比郊区高出 6°C (如北京)甚至于 10°C 以上。图1-6给出了在一些欧洲城市测量的热岛强度。

热岛效应属于气候变化现象，对建筑制冷的能耗有极其负面的影响。如对日本东京的研究表明，由于热岛效应的作用，从1965年到2000年同样建筑制冷的能耗增加了50%。另据美国洛杉矶的统计，环境温度每增加 1°C ，电功率需求量增加540MW。全美国夏天