

李保峰 李钢◎著

BUILDING SKINS

建筑表皮

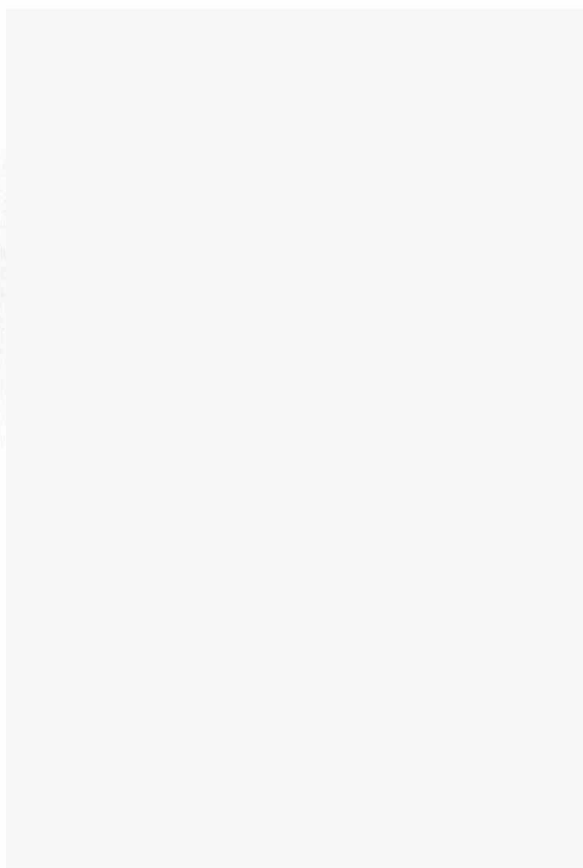
夏热冬冷地区
建筑表皮设计研究

中国建筑工业出版社

建筑表皮

——夏热冬冷地区建筑表皮设计研究

李保峰 李 钢 著



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑表皮——夏热冬冷地区建筑表皮设计研究/李保峰,
李钢著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2009
ISBN 978-7-112-11300-2

I. 建… II. ①李…②李… III. 建筑物—外墙—建筑设计
IV. TU227

中国版本图书馆CIP数据核字 (2009) 第169807号

责任编辑: 徐 冉 陆新之
责任设计: 张政纲
责任校对: 赵 颖 陈晶晶

建筑表皮

——夏热冬冷地区建筑表皮设计研究

李保峰 李钢 著

*

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
北京嘉泰利德公司制版
北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 850×1168 毫米 1/16 印张: 16 1/2 字数: 462 千字
2010 年 4 月第一版 2010 年 4 月第一次印刷

定价: 48.00 元

ISBN 978-7-112-11300-2

(18525)

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)

序 言

建筑的本原是人类为了抵御自然气候的不利影响而建造的“遮蔽所”(Shelter),遮风避雨,防寒避暑,使室内的微气候适合人类的生存。当然也有防卫功能。

既然建筑本原是针对气候而建的“遮蔽所”,必然受到气候的影响。气候作用于建筑有三个层次:

一是,气候因素(日照、降水、风、温度、湿度等)直接影响建筑的功能、形式、围护结构等。

二是,气候因素影响水源、土壤、植被等其他地理因素,并与之共同作用于建筑。

三是,气候影响人的生理、心理,并体现为不同地域在风俗习惯、宗教信仰、社会审美等方面的差异性,最终间接影响到建筑。

地球上各个地区巨大的气候差异,在现代人工环境技术尚未出现的时代,在现在还未能采用这些技术的地区,建筑为了适应气候,形成了巨大的地区差异。建筑具有明显的气候特征,这也是世界各地建筑文化多元化的最重要的原因。

中国长江中下游流域属于季风型的夏热冬冷气候区,夏季炎热且湿度大,冬天寒冷且传统上没有采暖设施,从热舒适性的角度看,是不好的一种气候形态。地区气候极端变化,而人的热舒适宽容度是有限的。在气候极端变化地区,为了保证人的基本热舒适,有两种措施:一是冬季采暖、夏季空调,用设备系统调节室内气候,但是以消耗能源为代价;二是创造可适应气候变化的建筑表皮:在冬季引入阳光并具有良好的保温性能,在夏季隔绝阳光并具有通风隔热性能。两种措施可以结合,建筑表皮的变化有助于在保证人体热舒适的前提下减少建筑能耗。

本书是讨论建筑表皮及其设计以适应气候的。作者李保峰2000~2001年得到中国政府留学基金的支持前往德国慕尼黑工业大学做访问学者,在欧洲著名生态建筑学家托马斯·赫尔佐格处学习、工作,并对欧洲生态建筑进行了考察。他2001~2004年间在清华大学建筑学院做博士论文,研究内容就是建筑表皮,主要是双层皮(double skin)玻璃幕墙。他结合中国国情和地方气候对建筑表皮的研究有自己的特点。

建筑表皮是近些年来建筑界较为热门的话题,关于建筑表皮的研究可以从许多角度开展:可以从个人身体的公共边界来研究其社会学意义,可以从设计语言角度研究其设计手法,可以从制造工艺的角度展开技术研究,也可以从透明性角度探索建筑表皮之于使用者心理及生理的诸多属性。李保峰选择的是气候适应的角度,其研究对地域广大、人口众多的中国夏热冬冷地区建筑节能具有积极的现实意义。

建筑学的软性特点使得建筑师往往习惯于概念而疏于量化,但这却可能导致“概念正

确，效果不佳”的结果。比如，“烟囱效应”可以降温，“温室效应”却可以升温，当两者同时作用时，其实际作用绝非因建筑师使用某个词而应验。李保峰的研究不仅仅停留在概念阶段，他建造了玻璃幕墙、水平窗及天窗的对比试验台，在武汉严酷的冬夏季节进行了长达两年多的实验观察和测量，经过对实验数据的分析，得出关于建筑表皮气候适应性的量化结论。

建筑师往往习惯使用图形语言，因而对以抽象的数字及图表来表达观点的科学论文不甚关注，建筑技术论文被建筑师束之高阁的情况非常普遍。这种现象阻碍了建筑技术研究成果的转化，也不利于建筑设计的科学化发展。李保峰将建筑技术研究（building technology research）与建筑设计研究（architectural design research）结合起来，将实验数据分析得出的结论与建筑设计相整合，用建筑师的语言予以表述，方便建筑师阅读和使用。

秦佑国

2009年11月23日

致 谢

感谢导师秦佑国教授对我的教诲，是秦先生敏锐地发现“用科学方法研究地域建筑生态设计”的课题，并鼓励我结合我工作生活所在地域，将建筑设计及建筑技术加以整合研究。按照先生指引的路径，我不仅完成了博士论文，还承接了三项与此课题相关的国家自然科学基金课题。秦老师严谨的学术态度和开阔的学术思维令我受益匪浅，师德表率，在此表示衷心感谢。

感谢清华大学江亿院士、栗德祥教授、袁宾教授对本研究给予的宝贵的指导。

足尺实验是一种需要较大经费支持的活动，感谢武汉凌云建筑装饰工程有限公司及上海华艺幕墙系统工程有限公司徐宁总经理对本研究的慷慨资助，没有他们的经费支持，在大学进行此类研究是根本不可能的。

感谢华中科技大学余庄教授在计算机模拟方面的指导。感谢北京工业大学杨红老师在实测方面的帮助。感谢吴靖杰、杜鹏、王振、王浪、卢晓刚、张安琪等同学，由于他们的热心帮助，使得大量繁杂的工作得以顺利完成。

感谢中国建筑工业出版社徐冉编辑非常认真而精细的编辑工作。

最后，还要感谢我的太太及女儿的理解与支持。过了不惑之年，担当的社会角色渐多，往往顾此失彼，难以两全。没有她们的支持，我是不可能完成本项研究的。

李保峰

2009年11月24日于武汉

目 录

第1篇 可变化的建筑表皮

第1章 建筑表皮的概念	3
1.1 建筑的围护结构与表皮	3
1.1.1 建筑围护结构的蔽护功能	3
1.1.2 与室内舒适环境相关的因素	4
1.1.3 建筑与能耗——以居住建筑为例	6
1.2 建筑表皮的功能	8
1.2.1 建筑表皮的基本功能	8
1.2.2 建筑表皮分类方式	9
1.3 建筑表皮的系统性	12
1.3.1 作为建筑子系统的建筑表皮	12
1.3.2 建筑表皮的可变化部分	14
第2章 可变化的建筑表皮	18
2.1 建筑仿生学的启示	18
2.1.1 生物进化的适应性	18
2.1.2 建筑仿生学的研究	20
2.1.3 仿生学对建筑学的启示	21
2.2 建筑表皮的可变化意义	23
2.2.1 建筑的气候分区	23
2.2.2 气候对建筑的影响	26
2.3 适应气候变化的建筑表皮	28
第3章 建筑表皮的发展历程	34
3.1 建筑表皮演变的历史回顾	34
3.1.1 传统的建筑表皮	34
3.1.2 大工业时代的建筑表皮	35
3.1.3 当代的建筑表皮	37
3.2 玻璃建筑表皮	38

3.2.1 早期的玻璃发展简史·····	38
3.2.2 大工业化的生产·····	40
3.2.3 从“实墙”到“通透的玻璃表皮”·····	41
3.3 建筑表皮的生态化发展趋势·····	44
第2篇 可变化建筑表皮的量化研究	
第4章 夏热冬冷地区气候的特殊意义·····	51
4.1 中国的气候分区·····	51
4.1.1 《建筑气候区划标准》·····	51
4.1.2 民用建筑热工气候区划·····	54
4.2 夏热冬冷地区气候的特征·····	55
4.2.1 夏热冬冷地区的气候特点·····	55
4.2.2 中国夏热冬冷地区太阳能资源状况·····	58
4.3 中国“夏热”地区的范围已经明显扩大·····	61
第5章 作为表皮的玻璃特性·····	66
5.1 玻璃的物理特性·····	66
5.1.1 玻璃的光热特性·····	66
5.1.2 玻璃的热工特性·····	69
5.2 增强玻璃的保温隔热能力·····	71
5.2.1 采用多层玻璃组合的方式·····	71
5.2.2 改变玻璃表面的特性·····	72
5.3 玻璃悖论——玻璃应用的两难·····	72
5.3.1 普通玻璃·····	73
5.3.2 间层玻璃·····	73
5.3.3 镀膜玻璃·····	74
5.3.4 选择性玻璃·····	76
5.4 建筑设计中玻璃应用的误区·····	77
第6章 作为表皮的窗系统研究·····	81
6.1 问题的提出·····	81
6.2 实验目标、实验房、实验方案·····	83
6.2.1 实验目标设定·····	83
6.2.2 实验房及测试仪器·····	83
6.2.3 测点布置·····	85
6.2.4 窗户附加装置·····	85
6.2.5 实验方案设计·····	90

6.3 夏季实验系列	90
6.3.1 夏季实验系列1	90
6.3.2 夏季实验系列2	93
6.3.3 夏季实验系列3	94
6.3.4 夏季实验系列4	100
6.3.5 夏季实验系列5	104
6.3.6 夏季实验系列6	106
6.4 冬季实验系列	108
6.4.1 冬季系列1	108
6.4.2 冬季系列2	110
6.5 实验结论	111
6.5.1 关于内外遮阳方式	111
6.5.2 关于朝向及遮阳方式	112
6.6 实践运用的经济性分析	113
6.6.1 百叶窗造价分析	113
6.6.2 与家庭装修的经济比较	114
 第7章 作为表皮的玻璃幕墙系统研究	118
7.1 问题的提出	118
7.2 实验目标、实验房、实验方案	121
7.2.1 目标设定	121
7.2.2 实验房与测试仪器	121
7.2.3 测点布置	123
7.2.4 实验方案设计	123
7.3 夏季实验系列	124
7.3.1 夏季实验系列1	124
7.3.2 夏季实验系列2	131
7.3.3 夏季实验系列3	133
7.3.4 夏季实验系列4	135
7.3.5 夏季实验系列5	141
7.3.6 夏季实验系列6	144
7.3.7 夏季实验系列7	147
7.3.8 夏季实验系列8	149
7.3.9 夏季实验系列9	153
7.3.10 夏季实验系列10	154
7.4 冬季实验系列	156
7.4.1 冬季实验系列1	156

7.4.2 冬季实验系列2	159
7.5 实验结论	161
7.5.1 关于玻璃幕墙的气候适应性	161
7.5.2 关于遮阳	162
7.5.3 关于空腔设计	163
7.5.4 关于双层玻璃幕墙系统的使用方式与功效	165
7.6 实践运用的分析	166
7.6.1 类型学上的分类与界定	166
7.6.2 双层玻璃幕墙的经济分析	169
7.7 给建筑师的设计提示	172
7.7.1 关于软件模拟	172
7.7.2 双层玻璃幕墙的优缺点	174
7.7.3 夏热冬冷地区双层皮玻璃幕墙的设计导则	175
第8章 作为表皮的玻璃采光顶系统研究	178
8.1 玻璃采光顶概述	178
8.1.1 玻璃采光顶的历史追溯	178
8.1.2 玻璃采光顶的分类	179
8.2 夏热冬冷地区玻璃采光顶问题调查	180
8.2.1 夏热冬冷地区中庭类型调查	180
8.2.2 夏热冬冷地区整体式水平采光建筑调查	184
8.3 实验目标、实验房、实验方案	185
8.3.1 实验目标	185
8.3.2 实验房与测试仪器	186
8.3.3 测点布置	186
8.3.4 实验方案设计	187
8.4 实验描述与分析	187
8.4.1 夏季实验系列1	187
8.4.2 夏季实验系列2	191
8.4.3 夏季实验系列3	192
8.4.4 夏季实验系列4	194
8.4.5 冬季实验	195
8.5 实验总结	196
8.6 玻璃采光顶能耗的计算机模拟研究	196
8.6.1 模拟软件及模拟目的	197
8.6.2 模拟及分析	197
8.6.3 小结	202

8.7 关于玻璃采光顶的设计原则	203
8.7.1 关于玻璃采光顶的设计重点	203
8.7.2 关于玻璃采光顶的建筑设计	203
8.7.3 关于玻璃采光顶的节能策略	204

第3篇 建筑表皮的运用实例

1.夏日空间	209
2.冈山的房子	209
3.巴黎大学学院	211
4.杜塞尔多夫的公寓办公建筑	212
5.纽约42街新演播室	213
6.阿姆斯特丹的改造项目	214
7.Volkenroda镇的基督小教堂	215
8.慕尼黑教堂	216
9.桑河圣塞巴斯蒂昂文化会议中心	218
10.BatoH的Hiroshige Ando博物馆	219
11.柏林自行车体育场	220
12.位于威斯巴登的行政大楼	221
13.汉诺威公平贸易大楼	223
14.柏林行政办公楼	224
15.Delft 大学图书馆	227
16.汉诺威世博会日本馆	228
17.波茨坦广场上的德比斯公司总部, 柏林	230
18.Gladbacher 银行, 门兴格拉德巴赫	232
19.中船重工722研究所	234
图表来源	236
参考文献	247

第1篇

可变化的建筑表皮

中国的建筑教育受布扎（Beaux arts）体系的影响较深，多年的封闭使我们一直将建筑视为艺术，习惯于用非生命体的方法去思考建筑。1902年Carrier博士发明空调之后，建筑从某种意义上来说开始异化为不分季节的“时装”，建筑师逐渐习惯于请设备工程师用贴“创可贴”的办法去解决建筑物的舒适性及能耗问题，按这种非整合的模式工作，资源的过度耗费自不待言。

当代仿生学在许多技术领域已经取得了突破性进展，从仿生学视角来看，建筑不是热水瓶，建筑的表皮更应该是一种“过滤装置”，而非“密闭的表皮”。但建筑师往往还在使用静止的概念思考建筑表皮。四季更替的气候往往对建筑表皮提出互相矛盾的要求，在夏热冬冷地区这种矛盾尤其突出，然而我们在设计建筑外皮时往往仅仅强调保温概念，只考虑被动的“堵”，却忽视了在冬季对太阳能的积极利用和在夏季对强烈阳光主动的“防”。仿生学的多功能原则为解决此类问题提供了新思路：我们的建筑表皮能否成为一个动态的多功能外壳（dynamic multi-function shelter）？

第1章 建筑表皮的概念

始于1796年的英国工业革命把人类的物质文明带到前所未有的新纪元,人类“支配地面”的能力越来越大;1969年阿姆斯特朗登陆月球,并在月球表面插上美国国旗,表明人类的科技能力已开始向太空迈进。随着科学技术的发展,现代建筑在设计手法上、材料选择上、个性创造上具有越来越大的自由度,以至于人们很容易忽略建筑的根本目的是提供一个与外部空间环境截然不同的内部环境。当然,“自由创作的建筑”是要付出代价的。在发达国家,建筑设备能耗已占据了国家主要消耗能量的40%~50%!¹几年前笔者起草此书稿时国际原油价格每桶不足80美元,封笔时油价已达137美元,而且大有继续增长之势。建筑物不仅消耗大量的能源,同时又因使用矿物燃料而伴随大量的污染排放,近几十年来,能源及环境问题已造成世界性的灾难,直接威胁着人类的生存。节约能源、保护环境已成为人类的共识,生态建筑研究已成为国际化热点领域。而本书探讨的是结合地域气候特点、具有生态意义的建筑表皮。

1.1 建筑的围护结构与表皮

建筑的物质实体一般由承重结构、围护结构、饰面装修及附属部件组合构成。承重结构犹如人体的骨骼起到支撑作用;饰面装修和附属部件让建筑变得更加完善;而真正使建筑具有实际空间使用意义的是围护结构。作为限定室内外空间的围护结构,主要有屋顶和外围护墙(包括门窗),也就是人们常说的建筑立面。那么建筑的围护结构除此之外,还有什么别的功能呢?这就需要对建筑产生的初始原因进行溯源。

1.1.1 建筑围护结构的蔽护功能

对建筑的起源,先人们曾勾画出一幅幅图景。罗杰埃(M.A.Laugier)在其名著《论建筑》一书的第一章中描述:

“野蛮人在用树叶搭起的庇护物中,还不懂得如何在潮湿的环境中保护自己。他匍匐进入附近的洞穴,惊奇地发现洞穴里是干燥的,他开始为自己的发现欢欣。但不久,黑暗和污秽的空气又包围了他,他不能再忍受下去,他离开了,决心用自己的才智和对自然的蔑视改变自己的处境,他渴望着给自己建造一个住所来保护而不是埋葬自己。森林的落枝是适合目标的良好材料,他选择了4根结实的枝干,向上举起并安置在方形的四个角上,在其上放4根水平树枝,再在两边搭4根棍并使它们在顶端相交(图1-1)。他在这样的顶上铺上树叶遮风挡雨。于是人类有了房子。”²而维特鲁威(Vitruvius)在《建筑十书》中为建筑的起源描述了另一种场



图1-1 罗杰埃的建筑原型

景：“最初，立起两根叉形树枝，在其间搭上细长树木，用泥抹墙。另有一些人用太阳晒干的泥块砌墙，把它们用木材加以联系，为了防避雨水和暑热而用芦苇和树叶覆盖。因为这种屋顶无法遮雨，故用泥块做三角墙，使屋顶倾斜以利雨水流下。”³ 阿尔伯蒂对建筑起源的论述较威特鲁威更为简单、通俗，他写道：“在某些较安定的国家中，开始时人们寻求安居地。当找到一处合适的地点后，便使之成为自己的住所，办法是将公私事务分开，不会混杂在一起。要使一部分用于睡眠，另一部分作为厨房，其余部分分派作其他用途。然后，人们又要加防晒、防雨的顶盖，为此又树立墙壁以便装上顶盖。就这样，他们懂得了必须有更完整的掩体以遮挡刺骨的寒气。最后，在墙身各边，从上到下开了门窗以便于人们进出以及引入光线和空气、排除湿气和进入室内的大量水蒸气。”⁴ 在我国古代，建筑又被称为“宫室”。《周易·系辞传》曰：“上古穴居而野处，后世圣人易之以宫室，上栋下宇，以待风雨。”

尽管上述对建筑起源形态的表述有所不同，但其共同之处在于：将对环境中不利气候

条件的防护作为建筑产生的初衷。人类生命新陈代谢对于温度适应的宽容度非常有限，而人类所处环境的温度变化幅度远大于人类的生命适宜生存温度（图1-2）。⁵ 人类为了自己生存就需要创造出适宜的人工环境，这便是建筑产生的最原本的意义。G·勃罗德彭特（Geoffrey Broadbent）曾说：“这种早期房屋有多方面的启示：建屋的基本理由是改变大自然所给的气候，方便舒适地进行一些人类活动。所有建筑终需完成此项目的——在人的需要与特定地理气候之间达成协调。”⁶ 基于此，G·勃罗德彭特将建筑对于人的意义归纳为以下三点：

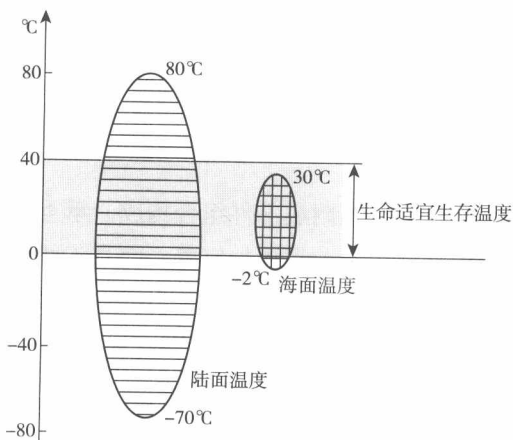


图1-2 环境温度及人类适宜温度

- ①提供一个舒适的环境，可以根据需要来调节温度、湿度、照明和其他条件。
- ②避免有害的外在干扰及保护一些特殊活动。
- ③提供以激发人们情感、想像、宗教等方面的象征符号。

综上所述，建筑产生的首要目的源于对环境不利因素的防护，包括气候（灾害）、异族与野兽等等。而进入工业社会以后，虽然建筑的功能不断丰富，但建筑在其本体目的上表现得更单纯、明确、有针对性，即“遮蔽出人工舒适环境并维持其与自然气候之间的差异。”

1.1.2 与室内舒适环境相关的因素

图1-3阐明了作为生物的人类对环境温、湿度的适应程度，显示了舒适、可接受及不舒适的指标范围。⁷ 从图中可知，人体产生舒适感的空气温度为18℃~25℃之间，但空气温度不是一个绝对的量，它与空气的相对湿度有关，在一定的湿度下，夏季27℃及冬季17℃

也是可以接受的温度。下述人体舒适指标（表1-1），显示了人体可接受的舒适指标。

室内空气温度：人类对温度舒适的期望程度，受既有物质条件及资源状况的限制，同时地域气候及资源限制会导致原住民形成一定的气候适应性，这种气候适应性又可以逐渐固化成为一种生活习惯。不同的生活习惯也会导致对环境温度的不同期望值。爱斯基摩人住在伊格鲁（Igloo）中，可以适应 -40°C 的环境，而对于非洲人， 0°C 已是足以冻死人的温度；2003年夏季法国因为“气温过高”而热死数千人，而同一时期中国的许多地方温度远高于法国，却平安无事。按照DIN 1946规定，冬季室内设计温度为 22°C ，而VDI 2067则定为 20°C ；⁸ 英国政府规定冬季起居室的设计温度为 21°C ，德国定为 20°C ，法国则定为 18°C ，⁹ 这是穿毛背心的温度。而在中国武汉，冬季室内能有 15°C 就很满足了，因为武汉人习惯在室内穿两件以上的毛衣甚至棉衣。

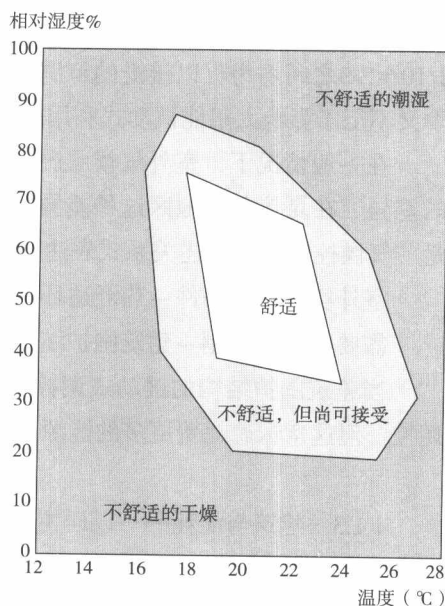


图1-3 热舒适图

人体舒适指标

表1-1

项目	气温	气压	相对湿度	风速	有氧度
指标	$19^{\circ}\text{C} \sim 22^{\circ}\text{C}$	760mHg	30% ~ 70%	0.1~0.7m/s	17% ~ 30%

室内相对湿度：人类对于环境温度的接受程度与相对湿度有关。不同的温湿度组合有时会产生接近的舒适感。湿热、湿冷往往比干热、干冷更难耐，一般来说，相对湿度在30% ~ 70%之间，均为可以接受的舒适水平。

室内平均表面温度：室内表面温度也会对人体热舒适产生影响。在具有同样空气温度的不同室内，若二室的表面温度不同，则会使人产生不同的舒适感。一般情况下室内表面温度与室内空气温度接近，至多也不过有2~3K的温差。在正常情况下，同一室内不同表面的温差不会超过3~4K。¹⁰

换气和通风：为了使用者的健康，各国均制定了建筑通风标准。有的规定“每小时换气次数”（如比利时、匈牙利、波兰、法国），有的则规定每小时换气量（如瑞典、前苏联等）。¹¹ 一般来讲，在无人停留的房间至少需要 $0.3\text{m}^3/\text{h}$ ，而工作时则要求 $1.1\text{m}^3/\text{h}$ ，这是基于每人每小时40~60 m^3 新风量而折算的。¹² 通常，每平方米楼板面积需要200 cm^2 的通风口即可满足自然通风的要求。¹³ “非典”过后，人们更深刻地认识到了自然通风的意义。

亮度：工作点的亮度标准值与工作性质、房间朝向，以及与窗口的远近程度有关。典型的亮度范围为：一般标准办公室500lx，表面反射较好的开敞式办公室700lx，表面反射一般的开敞式办公室1000lx。¹⁴

采光强度：房间的采光质量不仅仅取决于亮度，它还与眩光有关。通常光强对比在1/10至2/3之间均为可以接受的范围。因而，在建筑立面上设置既可在夏季防止眩光、在冬季又不至于影响太阳能被动式利用的装置尤其重要。

在一般情况下，室外气候状况与人类基本生理要求的热舒适条件之间存在着不同程度的差异，在夏热冬冷地区这种差异尤其明显，试图缩小或取消这种环境差异的调控手段便是“气候控制”。下述关系式表达了气候控制的本质：

室外实际气候条件—热舒适环境=需要的气候控制

需要的气候控制—建筑围护结构的被动式调控=设备的主动式调控¹⁵

当建筑围护结构的被动式调控不足以达到需要的气候控制条件时，则需要设备的主动调控。但这意味着耗费更多的能源，以及所可能导致的更严重的环境问题。

1.1.3 建筑与能耗——以居住建筑为例

改革开放30年来，人们经济收入普遍增加，生活水平迅速改善，对生活质量的要求也越来越高。近10年来，随着国民经济的快速发展，人民生活水平大幅度提高，广大居民纷纷购置制冷、取暖设备，冬天用煤气炉、电热器、油汀等取暖，夏季则普遍使用空调。近年来家用空调的增幅尤为迅速，从夏热冬冷地区10个省、市在1998~2000年城镇居民空调每百户拥有量的变化（图1-4¹⁶），就可以清晰地看到这一点。然而在人们生活舒适度提高的同时，如影随形地是各种能耗问题、污染问题、城市热岛问题等问题。

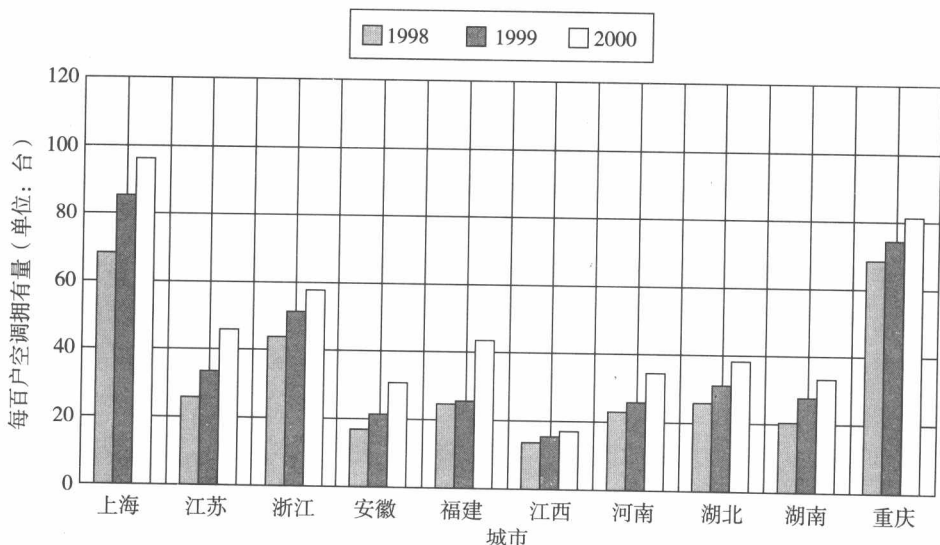


图1-4 城镇居民空调拥有量变化情况

众所周知，我国的建筑能耗在持续增加，尤其是夏热冬冷地区的建筑能耗，增长得更迅猛。这主要出于以下三个原因。首先，该地区采暖是从无到有：在计划经济时代，按照国家规定，淮河以南地区的居住建筑不采暖，因此建筑的围护结构的保温隔热性能普遍