



建筑气候学

**BIOCLIMATIC
ARCHITECTURE**

杨柳 著

中国建筑工业出版社

国家科学技术学术著作出版基金资助出版
国家自然科学基金资助 (50978210)

建筑气候学

**BIOCLIMATIC
ARCHITECTURE**

杨柳 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑气候学/杨柳著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2010

ISBN 978 - 7 - 112 - 11674 - 4

I. 建… II. 杨… III. ①气候影响 - 建筑设计 - 中国②节能 - 建筑设计 - 中国 IV. TU201.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 227019 号

责任编辑: 陈 桦

责任设计: 郑秋菊 姜小莲

责任校对: 关 健

建筑气候学

BIOCLIMATIC ARCHITECTURE

杨 柳 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

北京富生印刷厂印刷

*

开本: 787 × 1092 毫米 1/16 印张: 19½ 字数: 474 千字

2010 年 6 月第一版 2010 年 6 月第一次印刷

定价: 46.00 元

ISBN 978 - 7 - 112 - 11674 - 4

(18920)

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

节约建筑能耗的根本途径在于设计建造低能耗的建筑物。一栋称其为低能耗的建筑物，不仅其在建造过程中消耗的能源相对较少，更重要的是其在运行使用过程中的能耗较低。建筑运行能耗又以冬季采暖能耗、夏季空调与通风能耗以及生活热水能耗为主要部分，其大小与建筑物的形式、色彩、空间布局、构造方式等有着密切的关系，更与所在地区的气候特征和太阳辐射条件直接相关。

建筑物运行中需要消耗一定的能耗，源于人们对室内热环境的需求基本上是恒定的，而室外气候随着季节变化，常常会不同程度地偏离人们对热环境的需求区间。一栋设计合理的建筑物可以在很大程度上减弱室外气候变化对室内热环境的影响。但到了严寒和酷热季节，仅依靠建筑物的自身调节，则难以达到人们在不同行为方式下对热环境的需求标准，这就需要开启室内供热或降温设备，采暖与空调能耗便由此而生。因此，建筑设计阶段是决定建筑能耗多寡的关键环节。建筑师在方案创作阶段，如果充分考虑了地域气候条件和太阳辐射资源，巧妙地利用了室外气候要素和辐射要素的季节变化和周期性波动规律，综合地运用了保温隔热、蓄热放热、自然通风、被动采暖、夏季遮阳等建筑气候设计手法，具备了科学的地域气候参数和辐射参数条件，实现低能耗建筑就是必然结果。

建筑气候学是低能耗建筑设计的科学基础。适应气候的建筑设计，是《建筑结合自然》（*Design With Nature*）的主要部分。与气候相适应的建筑物，不但可以大幅度降低建筑能耗，创造适宜的室内热环境，而且可以降低城市热岛强度，改善住区物理环境。长期以来，尽管学界一再强调在城市规划、建筑创作和景观设计中要重视与局地气候的相适应，也有不少成功作品相继问世，然而并未能在业界盛行。

杨柳教授是我国建筑热环境与节能领域的新秀，《建筑气候学》是其多年学术研究和积累的结晶。自从20世纪90年代中期硕士研究生阶段开始，作者即倾心于传统居住建筑与气候适应性研究，参与了国家自然科学基金重点项目的研究工作，后在博士研究生阶段又逐步扩展到现代城镇建筑与城市气候的相互作用机理探索领域，作为执行负责人，主持完成了国家自然科学基金重大国际（地区）合作项目《建筑采暖、通风、空调及节能设计基础数据库研究》的研究工作。进入博士后阶段，杨柳教授与香港城市大学、日本大学理工学部及美国华盛顿州立大学进行了密切的合作研究与学术交流。作为负责人，先后主

持完成了相关领域两项国家自然科学基金青年基金和面上项目的研究工作；同时，作为负责人之一，主持完成了国家自然科学基金重点项目中《西藏自治区居住建筑建筑节能设计标准》的基础研究和标准起草等工作。所得成果主要体现在建筑与地域气候的适应关系、建筑气候分析方法、人体热舒适需求的地域分布、国家标准气象年数据库、建筑气候分析与设计策略以及建筑创作中的气候设计方法等诸多方面。作为反映作者长期研究成果的学术著作的问世，实乃我国低能耗建筑设计领域一大创造性贡献。

笔者有幸作为杨柳教授的硕士和博士研究生导师，目睹了一位年轻学者的成长历程。近年来，杨柳教授作为国家级创新研究群体的学术骨干，与其他年轻教授一起，为我校“西部建筑环境与能耗控制”学术团队的成长和建设作出了杰出的贡献，今著成此大作，实属水到渠成之必然，亦必将成为我国建筑热工与节能学科发展史上的里程碑。

值《建筑气候学》专著出版之际，谨表祝贺，以为序。



2009 年岁末于古城西安

前 言

近年来,环境保护与可持续发展已成为人类社会共同关注的重要领域。如果说20世纪70年代和80年代是能源使用和觉醒时期,是建筑设计中的关键因素,那么到了20世纪90年代(特别是1992年的地球峰会以后),环境和生态因素非常醒目地成为人们讨论的焦点。建筑设计需要新的理念和样式,而环境、能源与生态成为引导和规范建筑设计的框架。只有协调考虑三方面的因素,才能够称得上是可持续发展的。其中,能源,特别是城市建筑发展对矿物燃料使用的影响,以及随之而来的对二氧化碳排放量的影响,是建筑设计需要考虑的主要因素。目前,世界各国都已经将建筑节能作为其基本国策之一,相继制定了国家及地区的建筑节能规范和标准。积极有效地运用建筑设计和建筑设备的方法与策略,提高建筑的节能性和舒适性已为业界所共识。而在建筑设计过程中,积极寻求建筑设计的方法应对室外气候的影响,提出适宜的被动式气候调控措施,是建筑节能设计最有效而直接的途径。这种在方案设计阶段,对建筑所处地区微气候环境的主要气候影响参数进行分析,考虑适宜的气候调控措施,并巧妙地将其与建筑的布局、建筑形式和局部构造有机结合的设计过程,称为建筑气候设计,属于建筑气候学的研究范畴。

本书就是以此为背景,以作者近几年来主持完成的国家自然科学基金项目的研究成果为主要内容完成的,内容涉及建筑学、气候学、环境工程学学科交叉领域。在编写过程中,参阅了大量国际文献资料,在评价分析国际建筑气候设计方法的基础上,针对我国实际的气候条件,提出了适于中国国情的建筑气候设计方法。全书的基本框架可以分为三个部分,其中绪论部分介绍了建筑气候学学科的建立和发展过程;第2章和第3章为建筑气候学的理论基础部分,阐述了学科所涉及的基本原理和基本概念,论述了建筑与气候、建筑与人的关系;后续章节分别从建筑气候学在设计中的运用出发,以建筑气候分析为主线,以建筑设计过程为顺序系统论述了针对我国不同气候特点的适宜的气候设计策略,以及建筑形式与地域性气候的关系,给出了具体的建筑设计指导原则和设计措施,并分析了建筑方案阶段应用气候资源的节能效果。

本书由杨柳主稿,其中第1至5章由杨柳撰写;第6.1至6.3节由杨柳、闫海燕(河南理工大学)共同完成;第6.1.3小节由白雪琛完成;第6.4至6.6节由何泉完成;第7章由杨柳、何泉、朱新荣共同完成。

全书的创新性成果主要体现在建立了中国建筑气候设计理论的基本框架；提出了适应中国气候条件的气候分析图；初步给出了地域建筑设计的气候分区，以及各区的建筑设计指导原则与技术措施，因此它的特点是具有地域性、系统性和学术性。

本书面向对象为有志于从事土木、建筑与城市规划方面的教学、科学研究、工程设计人员，以及大学本科生与研究生，通过理解建筑、气候和人的关系，掌握在满足健康与舒适的条件下，反映地域气候特征的建筑气候设计基本原理和方法，从而有效提高居住环境品质，促进建筑的可持续发展。本书也可作为全国建筑学、城市规划专业本科生，建筑学、城市规划及建筑技术科学专业研究生的专业辅导书；同时，又可作为建筑设计师、建筑设备工程师、建筑管理人员节能设计参考书。通过系统学习本书内容，可以使建筑专业人员掌握基本的建筑节能与气候设计方面的基础知识和专业技能，使其在建筑方案设计阶段能够很好地运用室外的可利用气候资源，创作出适应环境、节约能源、富于特色的生态建筑。

在书稿即将完成之际，我要特别感谢我的导师刘加平教授，是他为我打开建筑气候学的兴趣之门。从我初入先生门下，到今日成长为一名有着自己的研究方向和研究团队的专业教师，都离不开先生的辛勤栽培和谆谆教诲。在多年的学习工作中，先生对事业孜孜以求的敬业精神和乐观豁达的人生态度每时每刻都在给我以激励。

由衷感谢中国建筑工业出版社的支持，尤其是陈桦编辑多年的支持和关注，使本书得以顺利出版，并荣获 2008 年度国家科学技术学术著作出版基金资助。

特别感谢西安建筑科技大学建筑技术科学研究所的诸位研究生为本书图表的绘制和校对付出的辛勤工作。

由于著者水平有限，书中难免存在一些问题和不足之处，诚恳地希望读者提出宝贵的意见和建议（联系电话：029 - 82205390，email：626224056@ qq. com）。

目 录

第1章 绪论

1.1 什么是建筑气候学	2
1.2 建筑气候学的发展	4
1.3 建筑气候学的主要内容	10

第2章 建筑气候学基础

2.1 气候与建筑气候	16
2.2 传统建筑的气候适应性	24
2.3 建筑气候设计原理	30
2.4 建筑气候分析方法	34

第3章 建筑气候与人体热舒适

3.1 人体热感觉	47
3.2 热舒适评价	51
3.3 热舒适的影响因素	58
3.4 建筑气候调节与热舒适	64

第4章 建筑气候分析与设计策略

4.1 气象数据	72
4.2 气候分析	75
4.3 气候分析与设计策略	77
4.4 小结	124

第5章 地域气候建筑设计原则

5.1 气候设计原则与技术措施	130
5.2 地域气候设计策略	138

第 6 章 建筑设计与气候

6.1	场地设计	157
6.2	群体布局与气候	183
6.3	建筑朝向与气候	201
6.4	建筑体形与气候	206
6.5	建筑空间与气候	219
6.6	调节室内气候的稳定性	239

第 7 章 围护结构设计措施与气候

7.1	概述	246
7.2	墙体	249
7.3	窗（门）	256
7.4	地板	279
7.5	屋顶	288

参考文献	299
------------	-----

Contents

Chapter 1 Introduction

1.1	What is the bioclimatic architecture	2
1.2	Development of the bioclimatic architecture	4
1.3	Main contents of the bioclimatic architecture	10

Chapter 2 Basis of the bioclimatic architecture

2.1	Climate and building climate	16
2.2	Climate adaptation of the traditional architecture	24
2.3	Principle of the bioclimatic architecture	30
2.4	Analysis method of the bioclimatic architecture	34

Chapter 3 Building climate and human thermal comfort

3.1	Human thermal sensation	47
3.2	Evaluation of thermal comfort	51
3.3	The factors of thermal comfort	58
3.4	Climate adaptation and thermal comfort	64

Chapter 4 Building Climate Analysis and Design Strategy

4.1	Meteorological data	72
4.2	Climate parameters analysis	75
4.3	Climate analysis and design strategy	77
4.4	Summary	124

Chapter 5 Design Principles of the Regional bioclimatic architecture

5.1	Design principles of bioclimatic architecture	130
5.2	Regional building design with climate	138

Chapter 6 Architectural design with climate

6. 1 Site planning 157

6. 2 Building layout 183

6. 3 Building orientation 201

6. 4 Building shape 206

6. 5 Building space 219

6. 6 Thermal fluctuation of indoor environment 239

Chapter 7 Building envelope design with climate

7. 1 Overview 246

7. 2 Walls 249

7. 3 Window (door) 256

7. 4 Floor 279

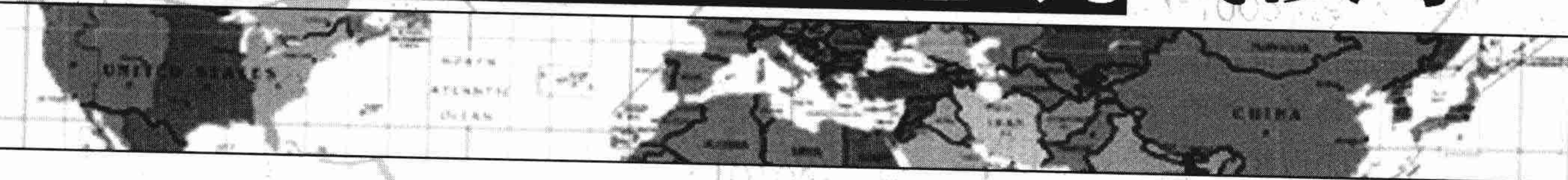
7. 5 Roof 288

References 299



**BIOCLIMATIC
ARCHITECTURE**

建筑气候学



第1章

绪论





1.1 什么是建筑气候学

建筑在人类文明发展的历史长河中扮演着极其重要的角色，肩负着诸如功能属性、社会属性、象征属性以及美学等多种用途，而遮挡风雨、御寒避暑是所有建筑的基本性能之一。自古以来，建筑都是要考虑太阳辐射等气候因素的影响，这在任何国家、任何地方都是一样的，只是程度和深度不同而已。因此，可以说“如果没有气候的问题，人类就不需要建筑了”。

建筑适应气候，无论是空间的创造还是空间的利用，都是首先需要考虑的问题。而一个优秀的建筑作品，其空间形态和环境结构总是能够反映出它所在地区自然地域气候的环境特征，这是因为不同的地理环境与自然气候，让长期栖息于此的人们通过生活、生产不断地沉淀出独特的地域文化，也造就了建筑的地域气候特色。不同气候条件下，不仅建筑的防寒、隔热、采光、通风等基本功能需要采取不同的应对措施；即使在同一气候区，由于气候变化的程度不同，也使得建筑的构造形式或细部处理存在一定的差异，而且，气候特征愈典型，建筑特征反映得愈明显、突出。我国幅员辽阔，气候差异明显。各地区的传统建筑，从我国南方的骑楼（图1-1）、湿热地区的干阑式建筑（图1-2）、北方的窑洞（图1-3），到云南民居“一颗印”（图1-4）等，都是适应气候而衍生出来的特定的建筑形式，是地域气候建筑的历史印证。

从南到北的四合院民居的空间形式和尺度的变化（图1-5），也明确地反映了地理纬度的变化（即气候要素上的日照及温度等）对其产生的影响。这种建筑形式与气候的结合，不仅赋予建筑本身浓郁的地方特色，也给建筑节能提供了先决条件。然而，现代建筑在气候的适应性方面却

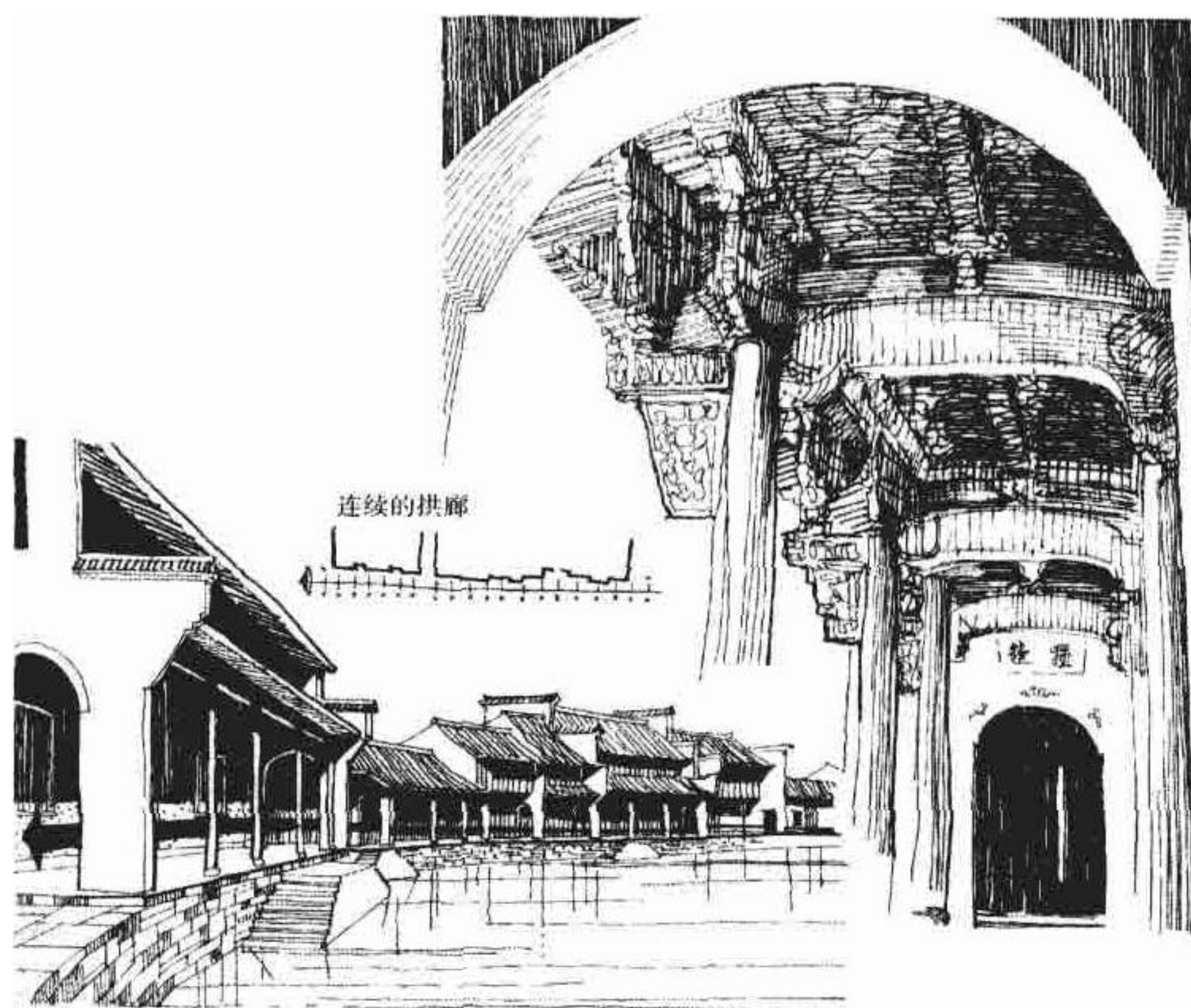


图1-1 南方的骑楼

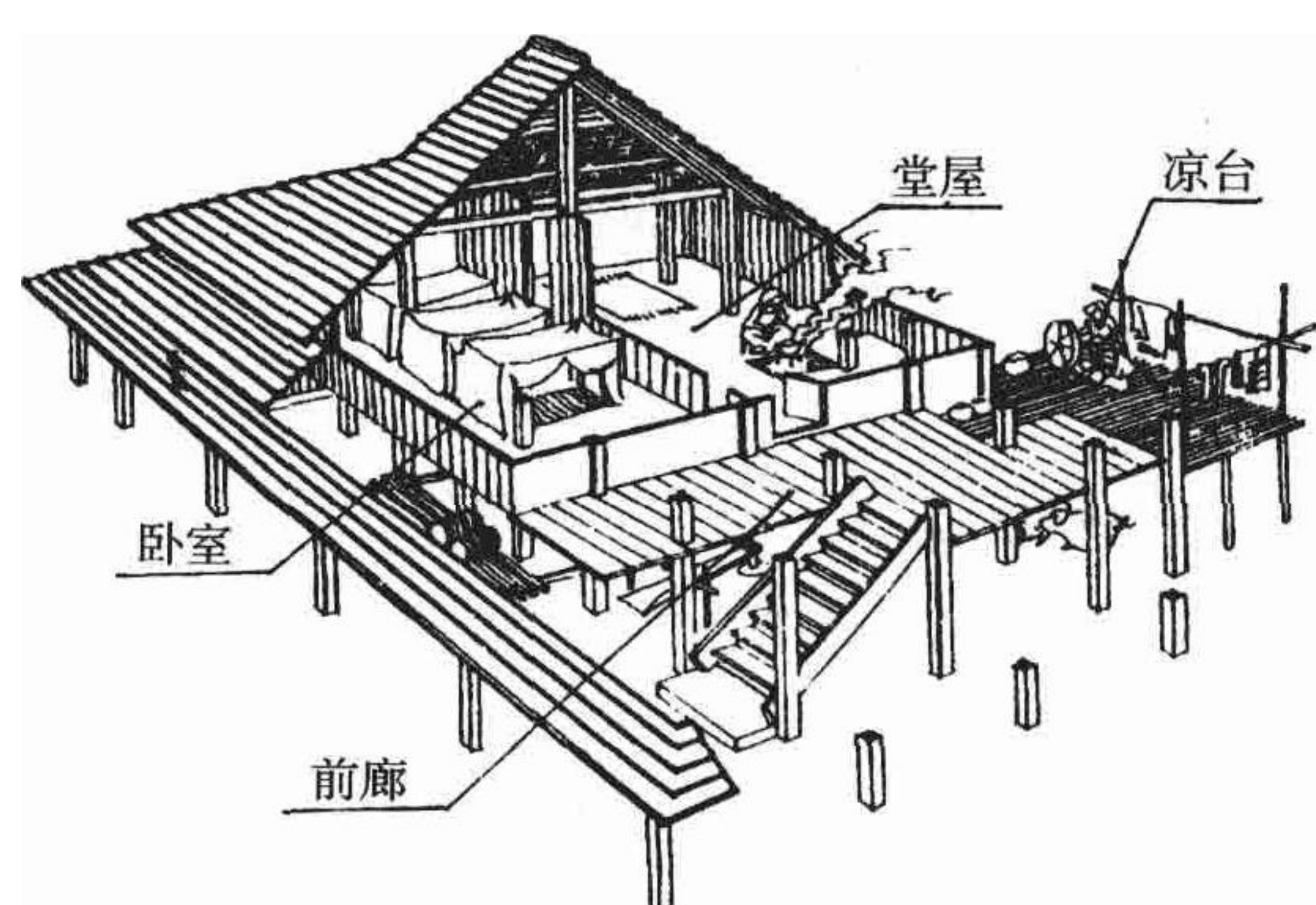


图 1-2 湿热地区的干阑式建筑

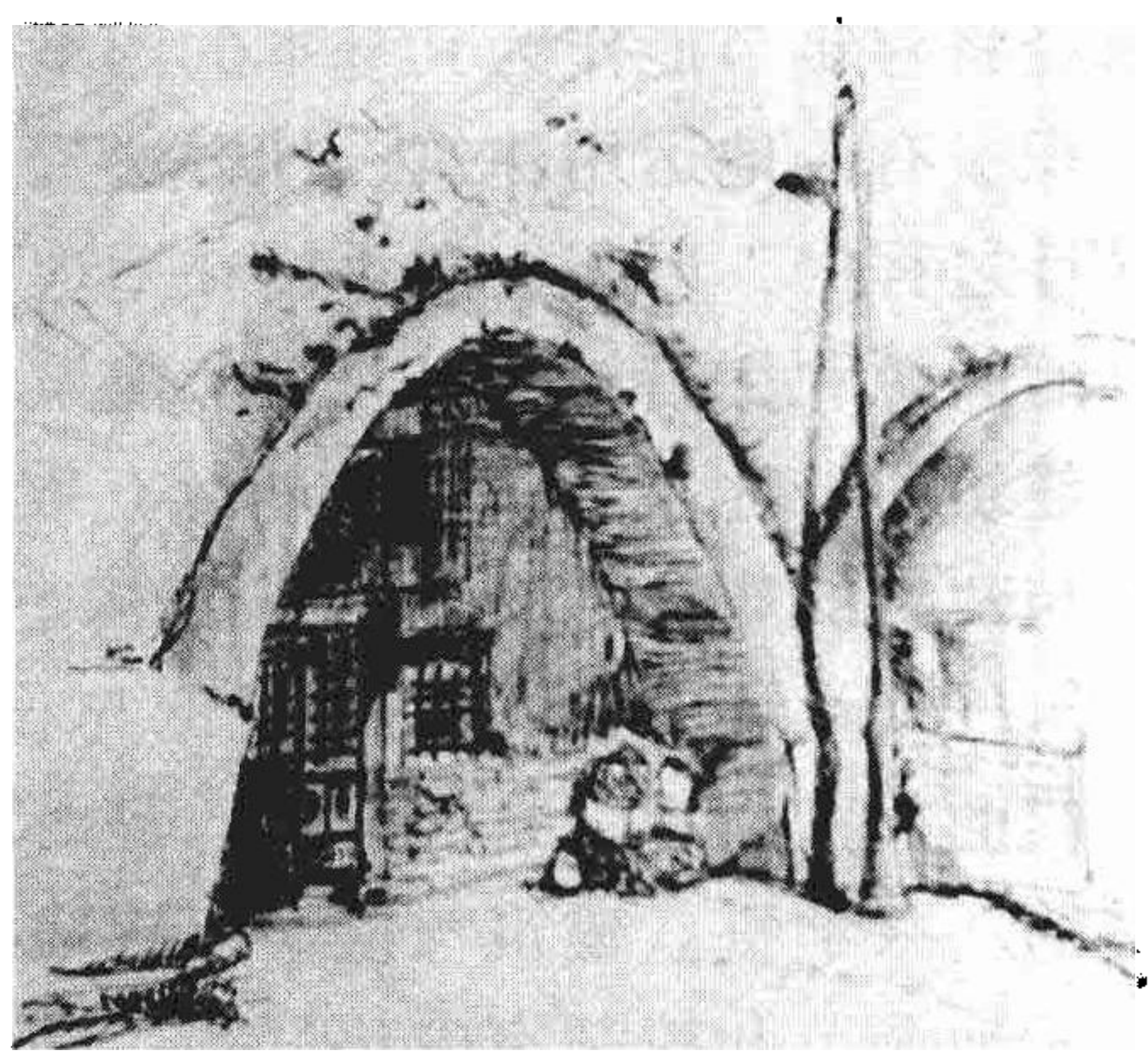


图 1-3 北方的窑洞



图 1-4 云南民居“一颗印”

表现得相当薄弱，原因有很多方面。其中最主要的一个原因是：20 世纪中期小型采暖空调设备的出现以及技术的发展与成熟，使得建筑可以完全依赖人工设备调节室内气候与舒适，却忽略了利用建筑设计要素应对室外气候，从而产生了许多高耗能、低生态的“现代化”建筑。在我国，目前用于建筑采暖与空调的能耗已超过国民经济总能耗的 30%，而能源消耗过程又是人类住区的主要污染源之一。资源与环境的危机已使得现代建筑的这种以消耗常规能源为主的模式难以为继。

随着经济的迅速发展和人们生活水平的不断提高，人居环境质量与建筑能源消耗已引起越来越多的关注。目前，世界各

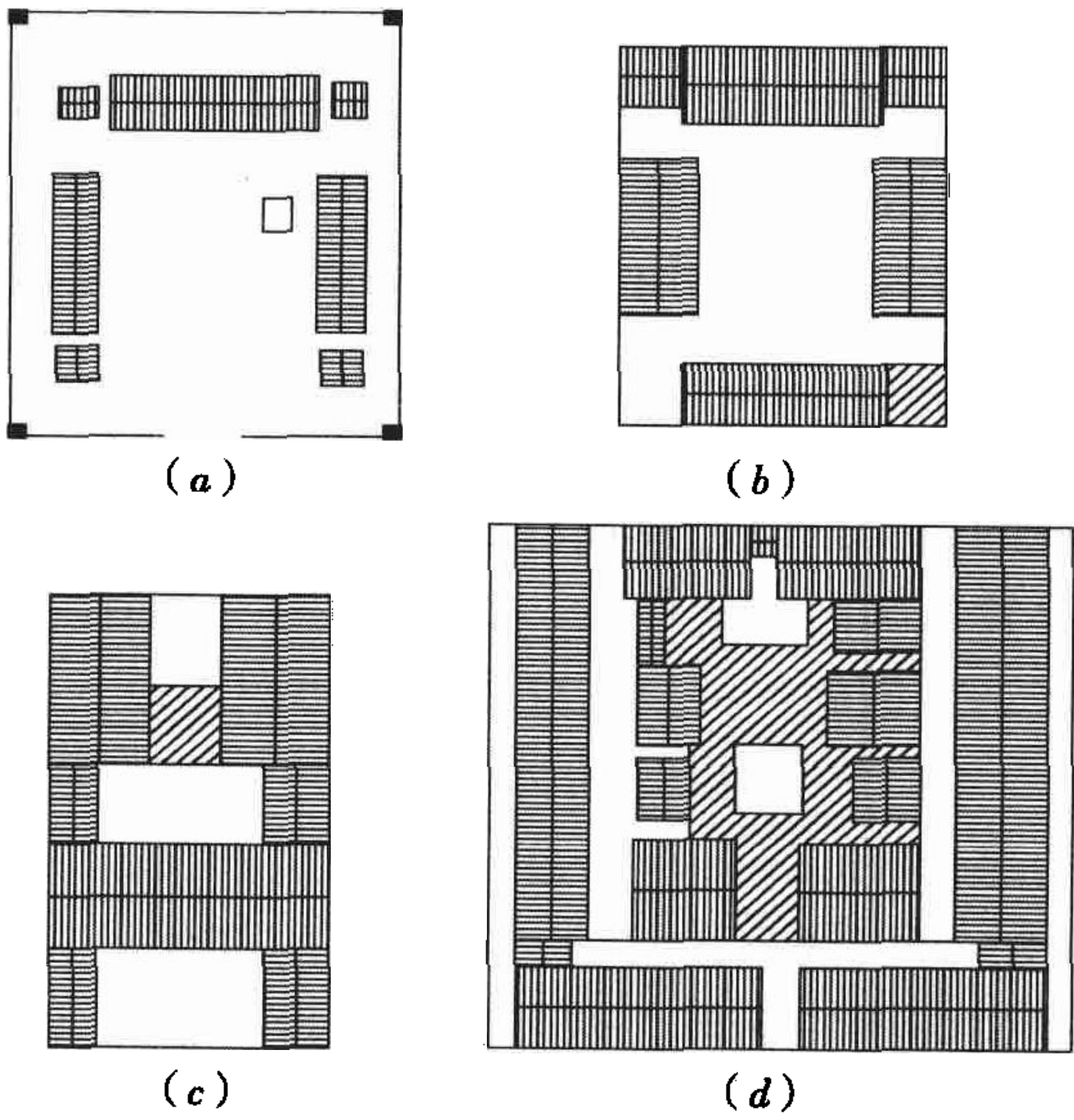


图 1-5 中国四合院格局
(a) 东北；(b) 华北；(c) 华中；(d) 华南



国都已经将建筑节能作为其基本的国策之一，相继制定了国家及地区的建筑节能规范和标准。积极有效地运用建筑设计方法提高建筑的节能性和舒适性已为业界所共识。而在建筑设计过程中，以积极的手段在适应自然环境的同时对其气候潜能进行灵活运用，提出适宜的能源利用措施，是建筑节能设计最有效而直接的途径。这种在建筑方案设计阶段，对建筑所处地区气候环境进行有效可靠分析，在考虑选择适宜的气候调节措施后，巧妙地与建筑的布局、形式和局部构造有机结合的设计过程，称为“建筑气候设计”。实现建筑气候设计的学科基础理论与设计方法称为“建筑气候学”，它是研究人、建筑、气候的相互作用关系的学科，是将气候学、环境心理学与生理学引入建筑设计的一门有趣的新兴学科。建筑气候学指导建筑师主动地利用建筑设计的手段和建筑的构成要素，自然地调节和控制室内热环境，使得建筑能够随地方气候的变化做出相应的反应，反映了现代建筑学所倡导的建筑与人类可持续发展的核心思想。

建筑气候学与建筑学、建筑物理环境、环境心理学以及气候学有着密切的关系，它一方面研究气候对建筑、人的影响；另一方面研究人的生理需求对气候和建筑气候提出的要求，从而提出调整、改善、提高居住环境质量的方法。建筑气候学是现代建筑设计理论与建筑环境物理设计理论深入发展的必然产物。由于它的产生和发展，充实、丰富和提高了建筑设计理论，将建筑学引入绿色生态的科学发展领域。

1.2 建筑气候学的发展

1.2.1 建筑气候学的确立

建筑适应气候是建筑与生俱来的功能需求。一般情况下，建筑的室外气候与室内热舒适环境总是存在着或冷或热的差异（图1-6），所谓“气候设计”就是通过“环境”调节的手段缩小这种气候差异的方法。气候调节既可以通过建筑形式的塑造、空间的组织与构造细部的处理等“建筑”的手法来完成，也可以通过环境设备来调节。如果考虑人对气候的主动调节作用，如添减衣物等行为模式，还应包括人对气候的个体适应能力。“建筑设计”、“人的主动调节”通常是不耗能或少耗能的，空气调节系统虽然可以创造全天候的舒适环境，却是以消耗大量的不可再生能源为代价的。因此，本着经济、节约和保护环境的目，通过建筑自身的被动式方式调节来减少能耗方法是大力提倡的生态手法，并且是建筑师的首要任务。这就需要建筑师在建筑设计过程中考虑气候的影响，采取适宜的气候调控措施，并且与建筑本身协调一致，这也是建筑气候学产生的客观基础。

关于气候设计的哲学思想可以追溯到公元前1世纪。在罗马时代的建筑理论家维特鲁维（Vitruvius）所著的《建筑十书》一书中就能够见到气候与建筑朝向的关系的论述，可以说是最早的、有记录的气候设计观。这种设计思维一直持续到20世纪中叶。建筑师擅长利用自然气候，通过建筑形式、窗户朝向、材料运用等方法解决建筑的冬季防寒和夏季降温问题。至20世纪中叶，随着小型采暖空调设备迅速发展，情况发生了变化，建筑环境可以完全依赖人工设备来创造，建筑的采暖、制冷、通风、空调已由专



门的工程师——环境空调工程师负责，建筑师不再关心气候问题。现代建筑气候适应能力的匮乏随处可见，如图1-6、图1-7的北方某大学学生宿舍楼。该建筑为东西朝向，在这种情况下，建筑东立面的遮阳和隔热设计就显得非常重要；但是，建筑师却采用了通长的温室内廊，封闭的玻璃窗阳台造成了夏季过热的室内热环境，使用者不得不在白天也拉上厚厚的窗帘以遮挡烈日的烘烤，使得原本用作自然采光的窗户失去了采光眺望的功能。



图1-6 北方某大学宿舍楼东立面



图1-7 东立面窗口细部

1973年，世界爆发能源危机，建筑节能的设计思想被重视起来。节约能源、保护环境不再仅仅是环境问题，也变成一个实际的财政问题。目前，我们处在一个新世纪发展的初期，工业文明和消费的加速发展，不仅为人类社会带来了乐观、自信与私欲的极度膨胀，同时也带来了遍布全球的资源枯竭、空气污染、水资源短缺、森林锐减、土壤沙化等环境问题，全球气候的变化及区域经济的衰退成为新的研究课题。斗转星移，弹指一挥间，“气候与设计”这一古老的哲学思想不仅有了新的意义，也成为人们新的需要，而且这种需要变得愈来愈紧迫。大量以能源环境问题为设计核心的气候建筑、节能建筑、绿色建筑研究进行得如火如荼。与建筑气候有关的采暖、通风、空调、自然采光等节能技术在各种类型的建筑中得到广泛应用。

作为建筑环境的设计者和提供者，我们今天生活、工作在一个与以往完全不同的全球文化氛围之中。当今世界，物质和信息不再是工业化链条中最高处单向流动的资源，而是一个多向量的资源矩阵，它具有非线性、非均匀性、非平行性的特征。在这个新的资源矩阵中，除了考虑建筑文化和建筑功能之外，还得考虑人们对地域和传统方法及材料的认识，甚至还要对人们在经济和传统文化系统中所扮演的角色进行深入的理解。适应环境气候这个古老而朴素的地域建筑主义的设计思潮重新被人们重视起来。

建筑气候学作为一门独立学科的确立大约是在20世纪60年代。1963年，美国学者维克多·奥尔基亚（Victor Olgyay）编著出版了具有前瞻性的《设计结合气候》（*Design with Climate*）一书。这本书以建筑形式、细部构造与当地气候的相互关系为基础，倡导建筑师在建筑设计中要更多的考虑气候的影响。书中首次提出了“生物气候设计方法”（Bioclimatic Design Method），系统地给出了在建筑创作中定量分析建筑设计要素，如朝向、体



形、通风等与室外气候、室内舒适环境关系的方法。在过去的几十年里，它一直是西方建筑学科的一本极其重要的教科书。凯尼格斯伯格（Koenigsberger）在1973年出版的《热带房屋设计手册》（*Manual of Tropical Housing*）一书中提出了适合热带气候的建筑设计与分析方法。这些早期在英美等国发表的气候设计观点是本领域的前沿之见，他们倡导通过气候来丰富建筑设计的内涵，把建筑科学作为实现其目标的动力之源，并且预言由于缺乏可持续发展，目前建筑行业和文化领域的全球工业化将走上绝境。

1981年，以建筑与城市的气候设计为核心的国际被动式建筑协会 PLEA（Passive and Low Energy Architecture）在百慕大召开第一次国际会议，成立了一个由研究、应用和教育工作者组成的非官方的全球联盟。旨在使低能耗建筑设计理念，从南半球到北半球，从东方到西方，从高度工业化国家到经济发展中国家广泛传播，达成共识，并付诸实施。

到20世纪90年代中期，“生态建筑”、“绿色建筑”强调整个生命周期的节能效应对环境的影响，涉及多个研究领域，而建筑适应气候是绿色建筑的重要组成部分，因此，建筑气候学是绿色建筑发展的学科基础。从建筑设计角度讲，奥尔基亚的建筑气候学方法全面而综合地考虑了包括方案设计阶段所有气候因素对它的影响和随之带来的热舒适问题，其提出的“生物气候建筑”的系统设计方法标志着建筑气候学的确立。

1.2.2 建筑气候学的发展历程

1) 关于气象参数

气候设计首先需要解决的问题就是气候与建筑的关系，这就需要了解和掌握室外气象参数、室内环境参数与建筑设计的关系。

19世纪以前，建筑行业还没有专门的气象数据，农业和林业使用的气象数据是当时业界唯一的数据来源。19世纪早期，英国的一些温室建筑师开始研究气候对建筑结构的影响。1820年，兰顿（J. C. Loudon）利用这些记录数据，巧妙地结合太阳能采暖、建筑蓄热、遮阳设计以及地板辐射采暖等气候调节技术，成功地设计了很多著名的温室结构建筑。150年以后，这些技术措施成为被动式太阳能设计普遍采用的方法。20世纪早期，美国建筑师埃伯特（Abbott）详细记录了美国首都华盛顿地区40年的太阳辐射值，这是至今最早的且依然有价值的长期的太阳辐射观测数据。

20世纪中期，随着现代气象学的发展，兰德斯伯格（Landsburg）定义了“微气候”（Microclimate）的概念，指出微气候是地面边界层的气候，其温度和湿度受地面植被、土壤和地形影响。建筑气候学属于微气候的研究范畴。

1951年，美国的一家期刊《美丽家园》和美国建筑师学会（AIA 1949-1952）的信息期刊连续发表了与建筑气候设计有关的系列文章，是最早的关于建筑气候设计参数的系统文献。通过建筑师不断的努力，最终提出了美国主要地区不同气候影响下的建筑设计依据和原则，出版了建筑师设计指导手册。此后，该杂志陆续发表了一系列重要文章倡导气候设计理念，如炎热气候区窗户要遮阳，屋面涂刷白色的、高反射的材料；寒冷气候推广地下掩土建筑，充分利用太阳能采暖等等。