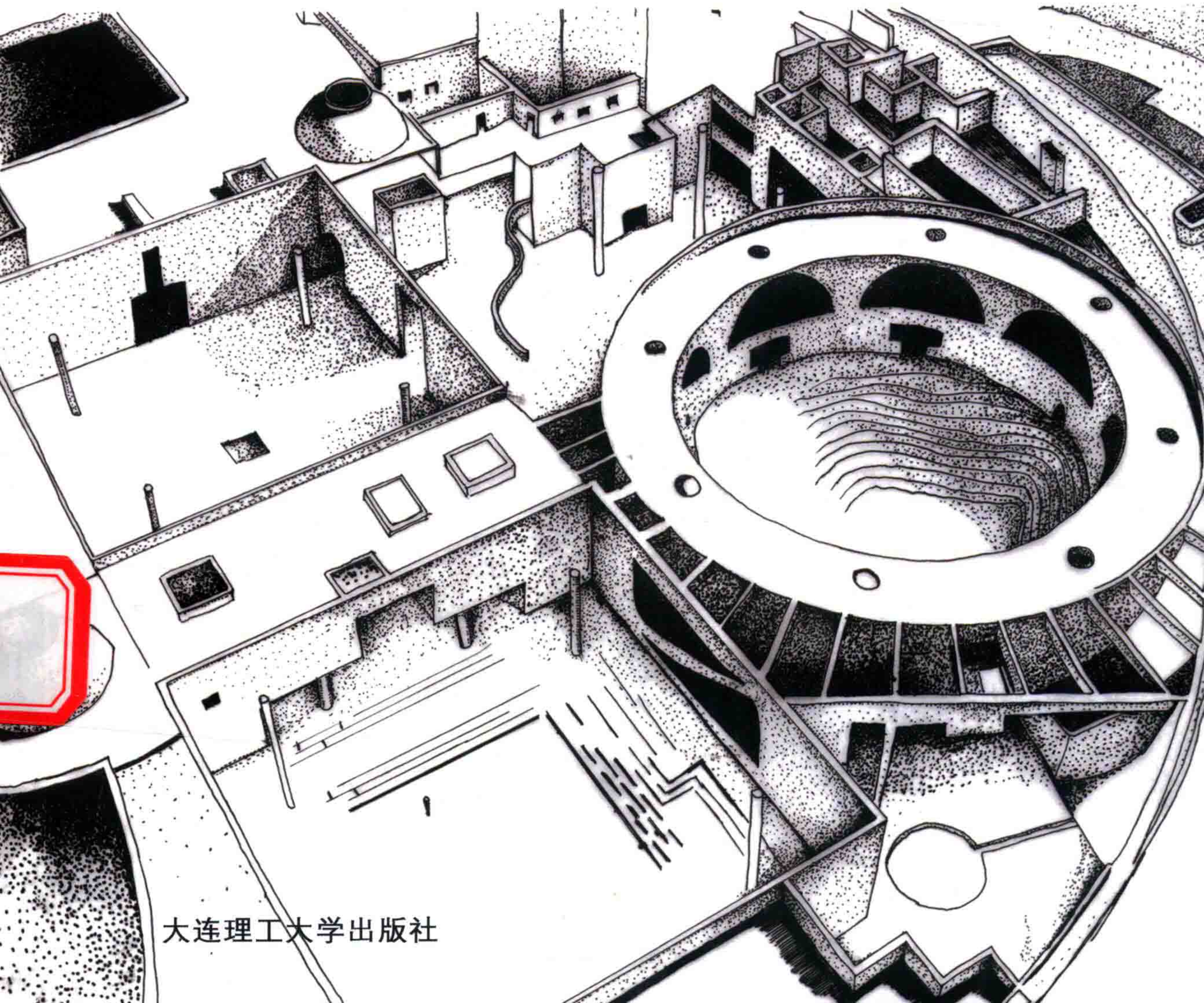


国家自然科学基金资助 (项目编号: 51308087, 51278078)  
大连理工大学教改基金资助

THEORY AND  
TECHNOLOGY  
OF  
SUSTAINABLE  
BUILDING

# 可持续建筑的 理论与技术

郭飞 著



大连理工大学出版社



国家自然科学基金资助(项目编号: 51308087, 51278078)  
大连理工大学教改基金资助

THEORY AND  
TECHNOLOGY  
OF  
SUSTAINABLE  
BUILDING

# 可持续建筑的 理论与技术

郭飞 著

大连理工大学出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

可持续建筑的理论与技术 / 郭飞著. — 大连 : 大连理工大学出版社, 2017. 1

ISBN 978-7-5685-0648-9

I. ①可… II. ①郭… III. ①建筑设计—可持续性发展—研究 IV. ①TU2

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第314104号

---

出版发行: 大连理工大学出版社

(地址: 大连市软件园路80号 邮编: 116023)

印刷: 大连金华光彩色印刷有限公司

幅面尺寸: 180mm×245mm

印 张: 19

出版时间: 2017年1月第1版

印刷时间: 2017年1月第1次印刷

策 划: 房 磊

责任编辑: 张昕焱 杨 丹 许建宁

封面设计: 王志峰

封面绘图: 高 原

责任校对: 张媛媛

书 号: 978-7-5685-0648-9

定 价: 60.00元

---

发 行: 0411-84708842

传 真: 0411-84701466

E-mail: 12282980@qq.com

URL: <http://www.dutp.cn>



## 序

人类的建筑活动与可持续建成环境的营造成为当代规划师与建筑师的重要命题，设计师们没有理由不承担相应的社会责任，成为一名有可持续理念、掌握绿色节能技术方法的合格环境创造者。

此书作者通过对历史上大量建筑的案例剖析，分析当代建成环境问题的本质和产生的重要根源，向读者展现了可持续发展理念的全貌。城市与建筑一旦建成就会影响我们的环境上百年甚至更长时间，因此不当的规划与设计将造成难以逆转的巨大的环境破坏。作者告诉我们：可持续城市规划和建筑设计不仅仅是技术问题，更是人们的思维立场；是不顾人类后代和他人利益，无节制的消费环境资源？还是在保障适当需求的前提下，充分尊重自然环境，珍惜各种资源和能源？只有从世界观上建立正确的价值取向，怀着对自然环境的敬畏和感恩之情，才能真正避免设计走入片面地一味追求高新技术、堆砌技术，造成能耗巨大等误区。环境设计的节约是最大的节约，远比后期采用技术和设备解决问题要有效。作者为我们厘清了这些观念上的误区，并回答了我们的疑问。

郭飞副教授是一位工作勤奋、知识广博的青年学者。此书内容广泛，涉及城乡规划、建筑设计、建筑构造、建筑节能与热环境、环境气候学等多种学科，此书是他多年以来对本领域的持续研究、辛勤耕耘的结果。德国著名建筑师托马斯·赫尔佐格曾说：“建筑师要掌握的知识很多，我们不可能样样精通。但是概念理解非常重要，否则我们无法在构思时提出具有生态意义的想法，也难以与其他专业人员沟通。我本人并不精通那些物理或力学计算，但我喜欢从整体上去把握它们之间的关系。”此书站在设计师的立场对这些复杂的理论问题进行了有效梳理，展示了相关的应用案例。一个成功的建筑师理当熟悉这些知识与理论，在设计当中把握好相关技术的协同与协作关系，巧妙运用理论与方法，使之成为设计创意的源泉。

我衷心祝愿此书作者在可持续城市和建筑设计领域的研究越做越好，也希望更多的读者读到此书，共同推动城市和建筑的可持续设计这一永恒命题为人们所接受。

同济大学建筑与城市规划学院 教授 / 博导

宋德萱

2016年10月



## 前言

工业革命时期尤其是第二次世界大战以后，建筑技术的进步极大地改善了人类的居住环境。但是过度依赖建筑技术、忽视建筑与自然的关系，也为我们唯一的地球家园和生存环境带来许多问题。例如环境污染、气候变化和灾害、垃圾泛滥、自然资源枯竭等，导致世界上许多地区的人民遭受了难以弥补的损失。我们提倡要遵循可持续建筑原则，就是对这些现象的反思。这与东西方文化中的许多优良传统是一脉相承的。中国人历来讲究“天人合一”、重视人与自然相和谐。“绿树村边合，青山郭外斜。”“采菊东篱下，悠然见南山。”这些诗句不仅是在描绘乡愁之情，也道出了我们思维深处对居住融入自然的理想。过去数十年，西方文化也开始重视建筑与自然的关系。例如海德格尔提出“诗意的栖居”，就强调了人应当谦逊地对待自然环境。因此生态建筑、可持续建筑、绿色建筑等设计理念越来越深入人心，这方面的实践也成为潮流。

本书回顾了可持续建筑的发展历史，介绍了可持续建筑设计的基本理论和设计方法，并对绿色建造适宜技术与最新设计案例进行了梳理。本书可为建筑师、规划师、景观师、暖通工程师等专业人员在进行绿色建筑、生态建筑和可持续理念设计时提供参考，也可用于这些专业的课程教学。

本书得到了大连理工大学教改基金、国家自然科学基金项目（编号 51308087、51278078）的支持。

我的研究生张鹤子、郭廓和刘术国在文字整理、插图绘制中付出了大量劳动。建筑学院的温良涵、王智慧、高原、高宁泽、毕海、王浴安、金焯和周凯宇同学等人也绘制了书中的部分插图。于辉老师、胡沈健老师、阮文展、刘国宇、王涤尘、单文婧和于存提供了部分照片。在此对他们一并表示衷心感谢。

郭飞

2016年10月



# 目 录

第一章 绪论	1
1.1 从建筑的起源谈起	1
1.2 最出色的建筑师	2
1.2.1 没有建筑师的建筑	2
1.2.2 穴居与巢居	3
1.2.3 世界民居	4
(1) 因纽特人冰屋	4
(2) 捕风塔	6
(3) 马鞍形屋顶民居	7
1.2.4 中国民居	8
(1) 蒙古包	8
(2) 窑居	10
(3) 其他民居	10
1.3 地球的挑战	12
1.3.1 通天塔理想	12
1.3.2 增长的极限	14
1.3.3 气候变化	15
1.4 建筑界的行动	17
1.4.1 可持续发展理念	17
1.4.2 可持续建筑	17
1.4.3 绿色建筑	18
1.5 绿色建筑的原则	18
1.5.1 因地制宜	19
1.5.2 适宜技术	19
1.5.3 适当需求	20
1.5.4 全生命周期理念	22
(1) 3R 理念	22
(2) 生命周期评估	23



第二章 气候、建筑、人	25
2.1 温室效应	25
2.1.1 地球的温室效应	25
2.1.2 建筑业减排途径	26
2.1.3 玻璃的温室效应	29
2.2 城市热岛效应	32
2.2.1 形成机理	32
2.2.2 热岛强度	34
2.2.3 城市热岛的危害	35
2.2.4 评价指标	36
(1) 湿球黑球温度 WBGT (Wet-Bulb Globe Temperature)	36
(2) 标准有效温度 SET*	37
2.2.5 透水地面	38
(1) 透水地面的作用	38
(2) 透水地面的主要形式	39
(3) 透水路面砖	40
(4) 透水性混凝土	41
(5) 雨水贮集	42
2.2.6 城市绿化	42
(1) 绿化对改善热环境的作用	42
(2) 立体绿化	43
(3) 都市农业	46
(4) 屋顶绿化的构造技术	48
2.3 生物气候学	53
2.3.1 生物气候学	53
2.3.2 生物气候图	54
2.4 建筑适应气候	55
2.4.1 建筑形态	55
(1) 强调保温防寒的形态	55
(2) 强调防热的形态	55
2.4.2 气候梯度与气候缓冲区	57
2.4.3 可控性与可变性	59
2.5 人体热舒适	60
2.5.1 人体的热平衡	60
(1) 热平衡方程	60



(2) 平均辐射温度 (mean radiant temperature)	62
2.5.2 稳态模型	63
2.5.3 动态模型	65
(1) PMV 修正模型	65
(2) 适应模型	66
第三章 自然降温与通风	69
3.1 长波辐射	69
3.1.1 长波辐射降温原理	69
3.1.2 蓄水屋面	70
3.2 蒸发降温	71
3.2.1 蒸发降温原理	72
3.2.2 影响因素	72
3.3 土壤供冷	73
3.3.1 土壤供冷的原理	73
3.3.2 地源热泵技术	74
3.4 建筑外部的风环境	75
3.4.1 自然通风的动力	75
3.4.2 风影效应	75
3.4.3 风速梯度	77
3.4.4 文丘里效应	78
3.4.5 建筑布局与风环境	80
3.4.6 建筑体形与风环境	82
3.4.7 季风条件下的通风设计	85
3.5 过渡空间与通风	88
3.5.1 巷道与厅井	88
3.5.2 空中花园	89
3.5.3 外廊	91
3.5.4 阳台	94
3.6 平面布置与通风	98
3.7 门窗通风技术	98
3.7.1 房间开口	99
(1) 开口的大小	99
(2) 开口的位置	100
(3) 外窗的可开启面积	101
3.7.2 开启方式与通风效果	101



(1) 通风量与通风路线	102
(2) 开启方式	103
3.8 自然通风的控制	106
3.8.1 诱导风向	106
3.8.2 控制风量	107
(1) 百叶格栅窗	107
(2) 通风器外窗一体化技术	112
3.9 自然通风的强化	114
3.9.1 捕风装置	115
3.9.2 无动力风帽	116
3.9.3 太阳能烟囱	116
3.10 全面通风策略	116
3.10.1 全面通风的意义	116
(1) 全面通风与自然通风	117
(2) 全面通风的空气品质	117
3.10.2 全面通风的技术类型	120
3.11 通风的模拟技术	120
第四章 太阳能利用	125
4.1 太阳辐射	125
4.2 中国太阳能资源分布	127
4.3 被动式太阳能光热的利用	128
4.3.1 建筑布局和朝向	128
4.3.2 阳光与通风综合设计	129
4.3.3 建筑体形	132
4.3.4 平面布置	132
4.3.5 被动式太阳能采暖	134
(1) 直接受益式	136
(2) 特隆布墙	137
(3) 附加日光间	139
(4) 对流环路式	139
4.3.6 太阳墙采暖	140
4.4 太阳能热水器	142
4.4.1 集热器	142
4.4.2 建筑一体化	143
4.5 太阳能光电利用	145



4.5.1 光热发电	145
4.5.2 太阳能电池	147
4.5.3 光伏发电系统	148
4.5.4 光伏建筑一体化 (BIVP)	149
第五章 建筑遮阳	157
5.1 遮阳的历史	157
5.2 遮阳的节能作用	159
5.3 遮阳分析与计算	159
5.3.1 遮阳分析	160
(1) 模型法 (照灯法 Helidons)	160
(2) 日照棒影图分析	160
(3) 计算机模拟	160
5.3.2 遮阳构件的计算	161
5.4 遮阳系数	162
5.5 构件遮阳	163
5.6 绿化遮阳	166
5.7 外窗遮阳	166
5.7.1 按照基本形式分类	167
(1) 内遮阳	167
(2) 外遮阳	168
(3) 中间遮阳	168
5.7.2 按照构件类型分类	169
5.7.3 按照活动方式分类	169
(1) 固定式遮阳	169
(2) 活动式遮阳	169
5.8 玻璃材料遮阳	171
(1) 着色玻璃	171
(2) 低辐射 (Low-E) 玻璃	171
(3) 阳光控制镀膜 (热反射镀膜) 玻璃	172
(4) 智能化调光玻璃	172
5.9 装置外遮阳	173
5.9.1 铝合金格栅	173
5.9.2 卷帘 (卷闸窗帘)	175
5.9.3 推拉式遮阳百叶 (板)	176
5.9.4 折叠式遮阳板 (百叶)	178



第六章 围护结构	187
6.1 围护结构热工性能	187
6.2 节能规范	188
6.2.1 体形系数	188
6.2.2 窗墙比	189
(1) 住宅建筑	189
(2) 公共建筑	190
6.2.3 传热系数	190
6.2.4 蓄热系数与热惰性	191
6.3 保温材料	192
6.3.1 矿棉 (玻璃棉和岩棉)	193
6.3.2 泡沫玻璃	193
6.3.3 硅酸钙板	193
6.3.4 膨胀珍珠岩 (EPB)	194
6.3.5 膨胀聚苯乙烯泡沫 (EPS)	194
6.3.6 挤压聚苯乙烯泡沫 (XPS)	194
6.3.7 膨胀聚氨酯泡沫 (PUR)	194
6.3.8 刨花板 (WW)	195
6.3.9 真空保温隔热板 (VIP)	195
6.4 墙体	195
6.4.1 墙体材料	195
6.4.2 技术类型	196
6.4.3 安全性能	197
(1) 饰面砖的应用	198
(2) 防火	198
(3) 使用年限	200
6.4.4 外墙外保温	200
(1) 技术特点	200
(2) EPS 板外墙外保温系统	201
(3) 胶粉聚苯颗粒保温浆料系统	203
(4) XPS (挤塑板) 外墙外保温系统	205
(5) 聚氨酯硬泡外墙外保温系统	205
(6) 矿 (岩) 棉板外保温系统	206
(7) 外保温系统装饰一体化技术	206
(8) 外保温与通风一体化技术	207
6.4.5 外墙内保温	207



(1) 内保温技术特点	207
(2) 常见内保温技术体系	209
(3) 内保温技术应用案例	210
6.4.6 外墙自保温	212
6.4.7 外墙内外组合保温	213
6.5 楼地面	214
6.5.1 楼地面设计要求	214
6.5.2 地板辐射采暖	215
6.6 屋面	216
6.6.1 平屋面	216
(1) 保温技术	216
(2) 架空隔热屋面	218
6.6.2 坡屋面	219
6.6.3 金属板屋面	220
6.7 外窗	228
6.7.1 降低窗能耗的途径	228
6.7.2 玻璃材料	228
(1) 中空玻璃	229
(2) 阳光控制镀膜(热反射镀膜)玻璃	230
(3) 低辐射(Low-E)玻璃	230
(4) 真空玻璃	230
6.7.3 窗构造	230
(1) 窗框材料与构造	230
(2) 密封材料	233
<b>第七章 建筑幕墙</b>	<b>239</b>
7.1 幕墙热工设计	239
7.1.1 气密性	240
7.1.2 保温隔热性能	240
7.2 金属板幕墙	241
7.2.1 铝合金幕墙	241
7.2.2 耐候钢(锈钢)板幕墙	243
7.3 陶土板幕墙	246
7.4 U形玻璃幕墙	248
7.5 百叶中空玻璃	251
7.5.1 传热性能	251



7.5.2	遮阳系数	251
7.6	双层通风玻璃幕墙	252
7.6.1	双层幕墙的原理	254
7.6.2	双层幕墙的分类	255
	(1) 外循环式双层幕墙	255
	(2) 内循环式双层幕墙	258
	(3) 综合内外循环的双层幕墙	259
7.6.3	双层幕墙的构造要求	259
7.6.4	双层幕墙的保温性能	259
第八章 可持续建筑理念的实践		261
8.1	勒·柯布西耶	261
8.2	路易·康	263
8.3	查尔斯·科里亚	263
8.4	杨经文	266
8.5	保罗·索拉里与生态建筑	267
8.6	生土(覆土)建筑	268
8.7	自维持住宅 (Autonomous House)	268
8.8	贝丁顿零能耗社区	269
8.9	宁波诺丁汉大学可持续能源技术研究中心	274
8.10	大连滨海度假宾馆竞赛方案	278
8.10.1	环境与方案总体概述	278
8.10.2	设计策略的确定	278
8.10.3	太阳能光热利用	279
8.10.4	自然采光	282
8.10.5	节水设计	283
8.10.6	围护结构节能	283
8.10.7	可再生能源利用	284
8.10.8	自然通风	284
参考文献		285



# 第一章 绪论

## 1.1 从建筑的起源谈起

著名生物学家 Peter Scholander 说，人是一种热带动物。由于人类汗腺非常发达，在闷热的气候下，人会通过出汗蒸发散热，使体温保持在  $37^{\circ}\text{C}$ 。如果其周边环境的热中性温度在  $28^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ ，人类就可以保持舒适状态，否则就不得不通过行为调节（肌肉运动、服装）等维持恒定体温，因此人对炎热环境的适应能力强于寒冷环境。

现在人类已经遍布世界各地，但科学研究表明：人类祖先最早生活于气候终年温暖湿润的东部非洲热带森林草原。最初人类向高纬度的亚热带、温带迁徙的主要原因就是气候变迁引起的环境恶化（图 1.1）。从此，人类的生存环境不仅有和煦的阳光、温暖的空气，还有严寒酷暑、风雨雷电。



图 1.1 世界各地古文明分布图  
(古代最早的文明基本位于南北纬 30 度附近，是人类离开非洲最早到达的地方)

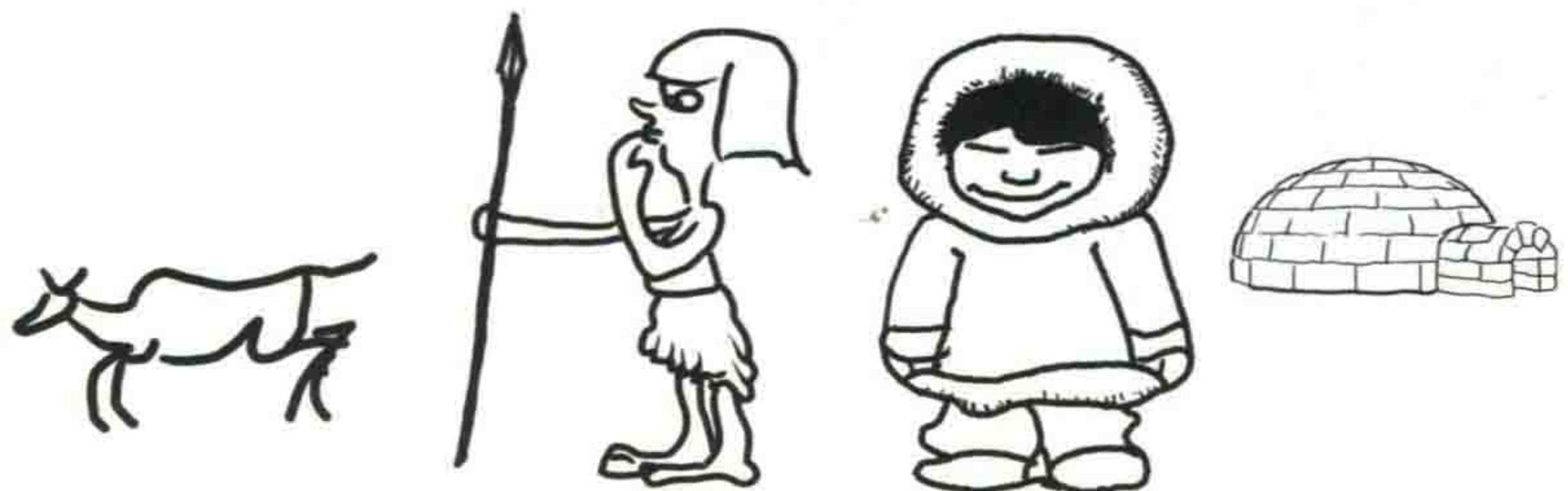


图 1.2 人类应对寒冷气候需要穿上衣服、用火取暖、使用工具、建造房屋



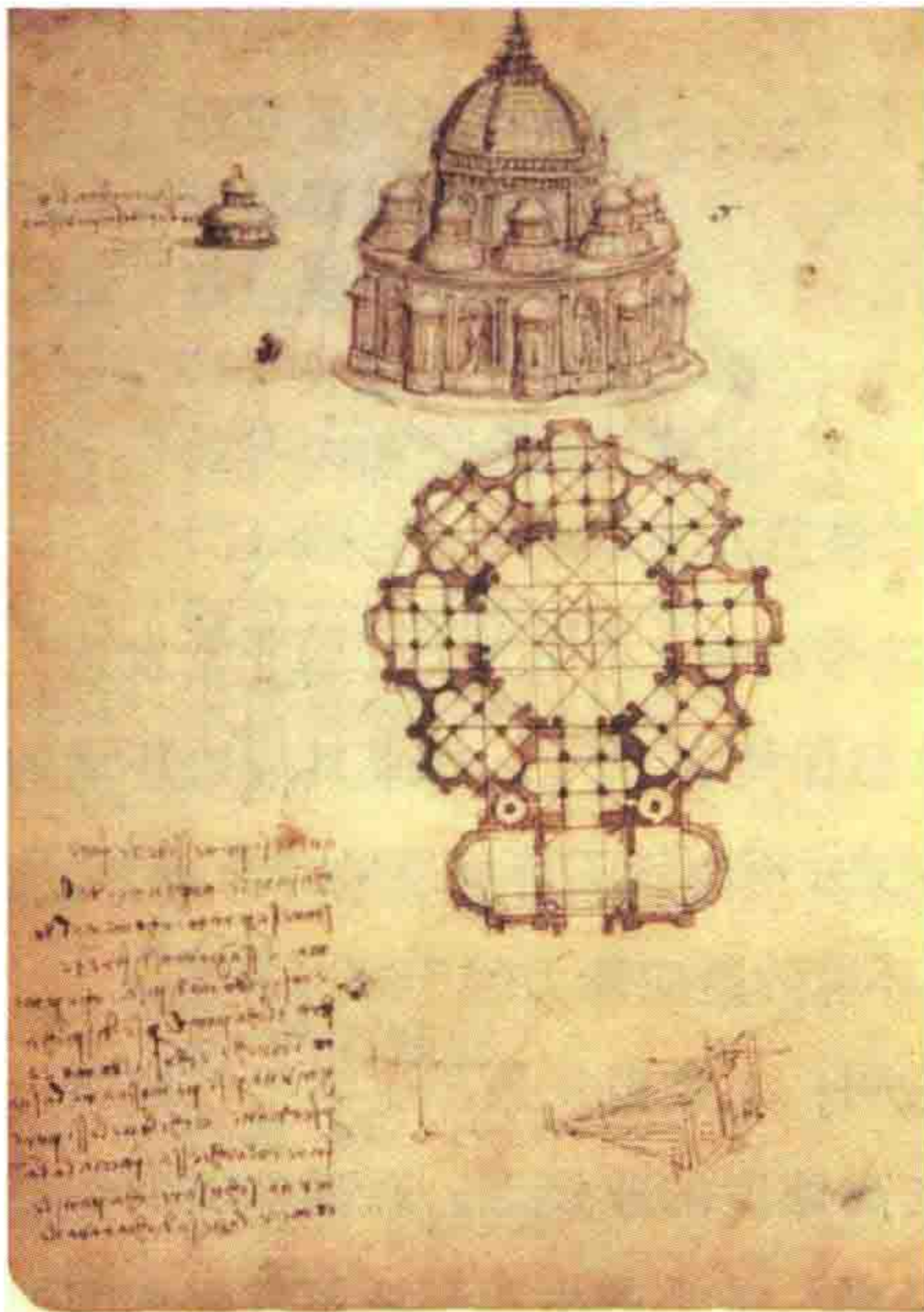


图 1.3 达·芬奇铅笔建筑画 Study of A central Church

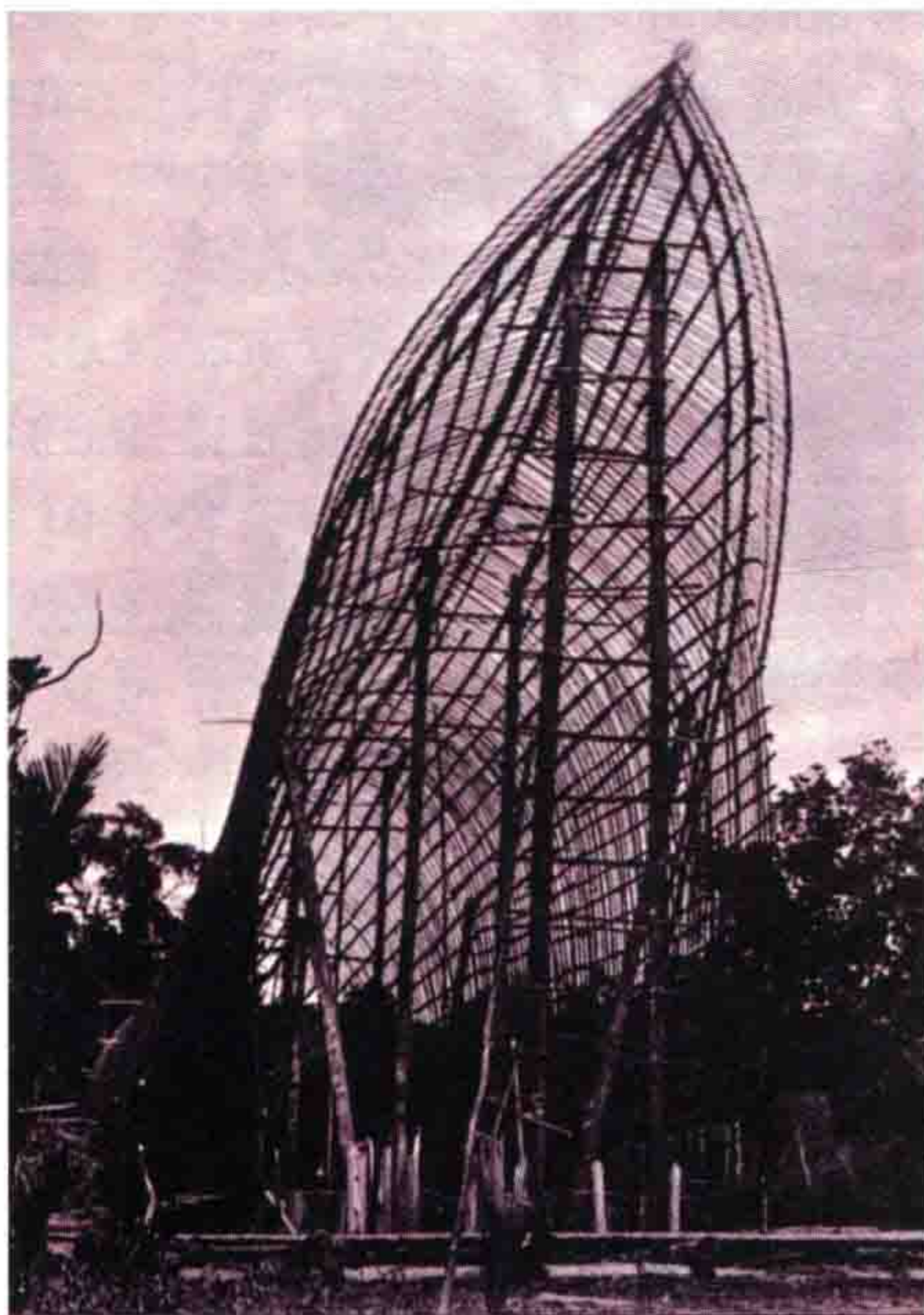


图 1.4 新几内亚湾 Maipua 地区男人专用大集会堂骨架

为了应对不利的气候环境，我们的祖先不得不穿上衣物、用火取暖、使用工具、建造房屋（图 1.2），由此在世界各地产生了多种多样的文明。因此建筑最初的、最本质的功能是“遮风避雨”。

中华文明最伟大的建筑——长城，与环境气候的关系也密不可分。例如，长城与 350mm（15 inch）等雨线的走向基本一致。中国大陆东南风带来温暖湿润的空气，与寒冷干燥的西北风相遇而产生降水。丰沛的降水有利于发展农业，产生工商业和城市。而深入大陆内部、降水少于 350mm 时人们无法从事农业生产，因此 350mm 等雨线成为农耕文明和游牧文明的分界线。气候寒冷时等雨线往往向南移动，中国北方的游牧民族遭遇寒冷干旱无法生存，于是一次次地越过长城、进入南方的城市掠夺粮食财物，农耕民族只得不断地重修长城，由此成就了世界文明史上的七大奇迹之一。

## 1.2 最出色的建筑师

### 1.2.1 没有建筑师的建筑

真正意义上的建筑师可以追溯到文艺复兴时期集艺术家、雕塑家和建筑师于一身的达·芬奇、米开朗基罗、伯鲁涅列斯基和伯尼尼等人，他们受过良好的教育，主要作品都是教堂、贵族府邸等高级建筑（图 1.3）。而历史上的大量民居是没有委托建筑师设计的，只有工匠（中国古代称之为“匠人”）



和居民的自发建造。1965年伯纳德·鲁道夫斯基在《没有建筑师的建筑》一书中列举了许多乡土建筑的形式（图1.4）。他写道：“这些乡土建筑是不能归类在建筑时尚圈的，但是这些建筑几乎是不可改变甚至是完善的，因为它们完美地服务于功能。”人类的祖先在不同环境建造出了特色鲜明、类型丰富、多姿多彩、适应各地自然条件（阳光、风、水、土）的乡土建筑。这些建筑不仅满足生存需求，而且在一定程度上具有改善室内热环境的最基本功能，体现了人类在适应环境方面的智慧。

### 1.2.2 穴居与巢居

世界范围内广泛存在的早期人类住所主要有“巢居”和“穴居”两种形式（图1.5～图1.6）。巢居主要流行于热带、亚热带炎热潮湿的地区，不仅防止蛇虫侵害，而且材料来源广泛，利于通风散热，避免潮湿。公元1世纪维特鲁维在其《建筑十

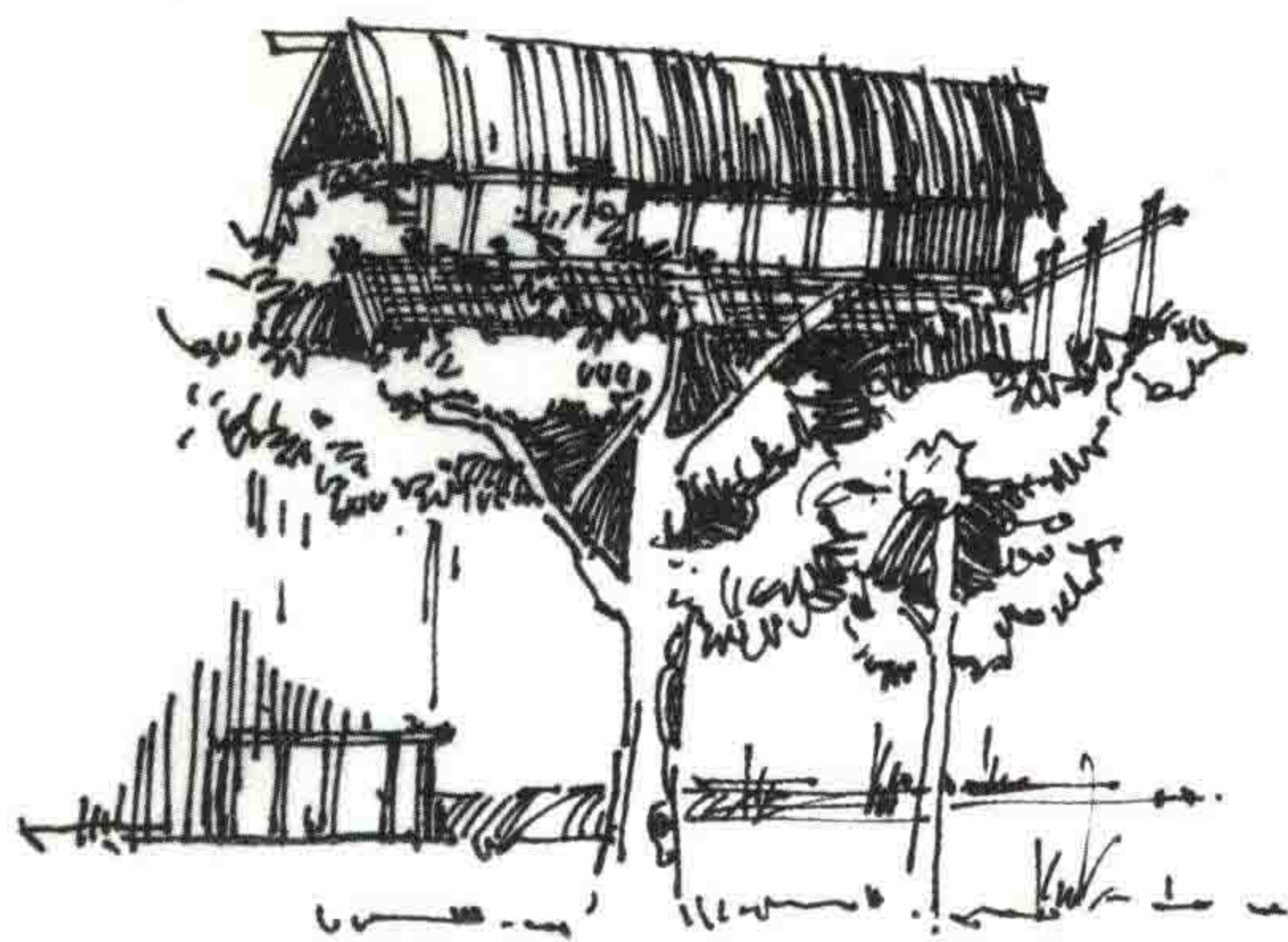


图 1.5 巢居

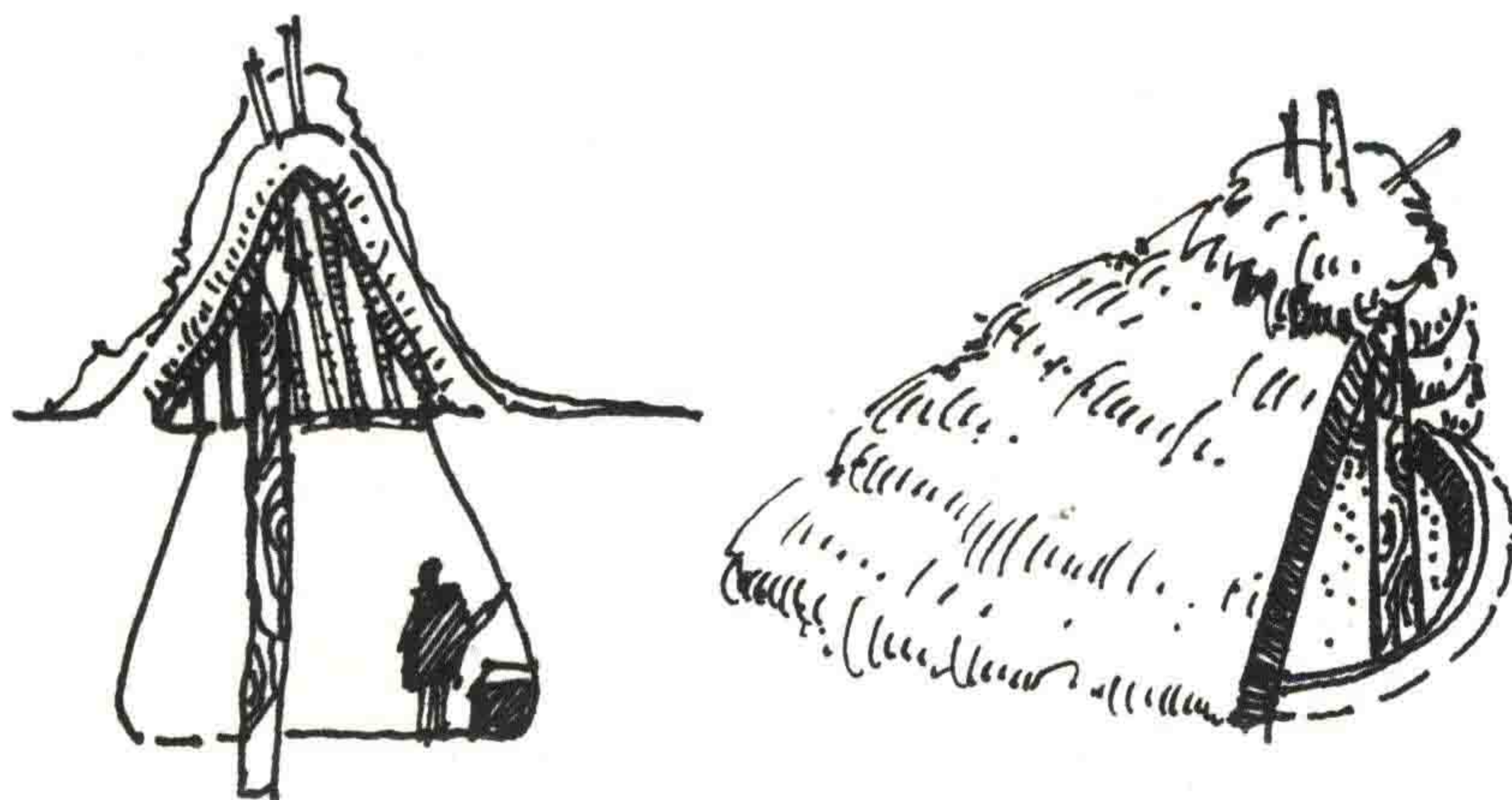


图 1.6 穴居



书》中就这样描述巢居的形式：“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。因为这种屋顶在冬季风雨期间挡不住雨，所以使用泥块建造三角墙，使屋顶倾斜，让雨水流下。”

穴居则广泛流行于温带及寒带气候区。穴居可利用火塘取暖，加上土壤良好的蓄热、保暖性能，为早期人类提供了基本的生存环境。《建筑十书》这样描述：“居住在平原的弗律癸亚人因为缺乏森林，木材不足，所以选择了自然的山丘，在其中央挖洞而入，贯穿通道，在土地允许的范围内开辟了宽敞的空间。在它的上面把原木相互结合，造成方锥形，用芦苇和树枝把它覆盖起来。在住居的上面堆积大量的土。这样，就实现了冬暖夏凉的屋顶做法。”

### 1.2.3 世界民居

#### (1) 因纽特人冰屋

北极圈内的因纽特人利用本地仅有的建材——冰块建造房屋，冰块作为砌体只能承受压力，穹窿式结构则巧妙地将水平向的拉力全部转换成压力的形式进行传递。建筑入口下沉以减少进入室内的冷风，人们还点起鲸鱼油脂灯取暖，并将兽皮衬在建筑内表面以防止冰块融化。一系列措施成功地营造了室内的小气候，气温可保持在 $0^{\circ}\text{C}$ 左右，远高于室外 $-30^{\circ}\text{C} \sim -40^{\circ}\text{C}$ 的严酷环境（图 1.7 ~ 图 1.9）。

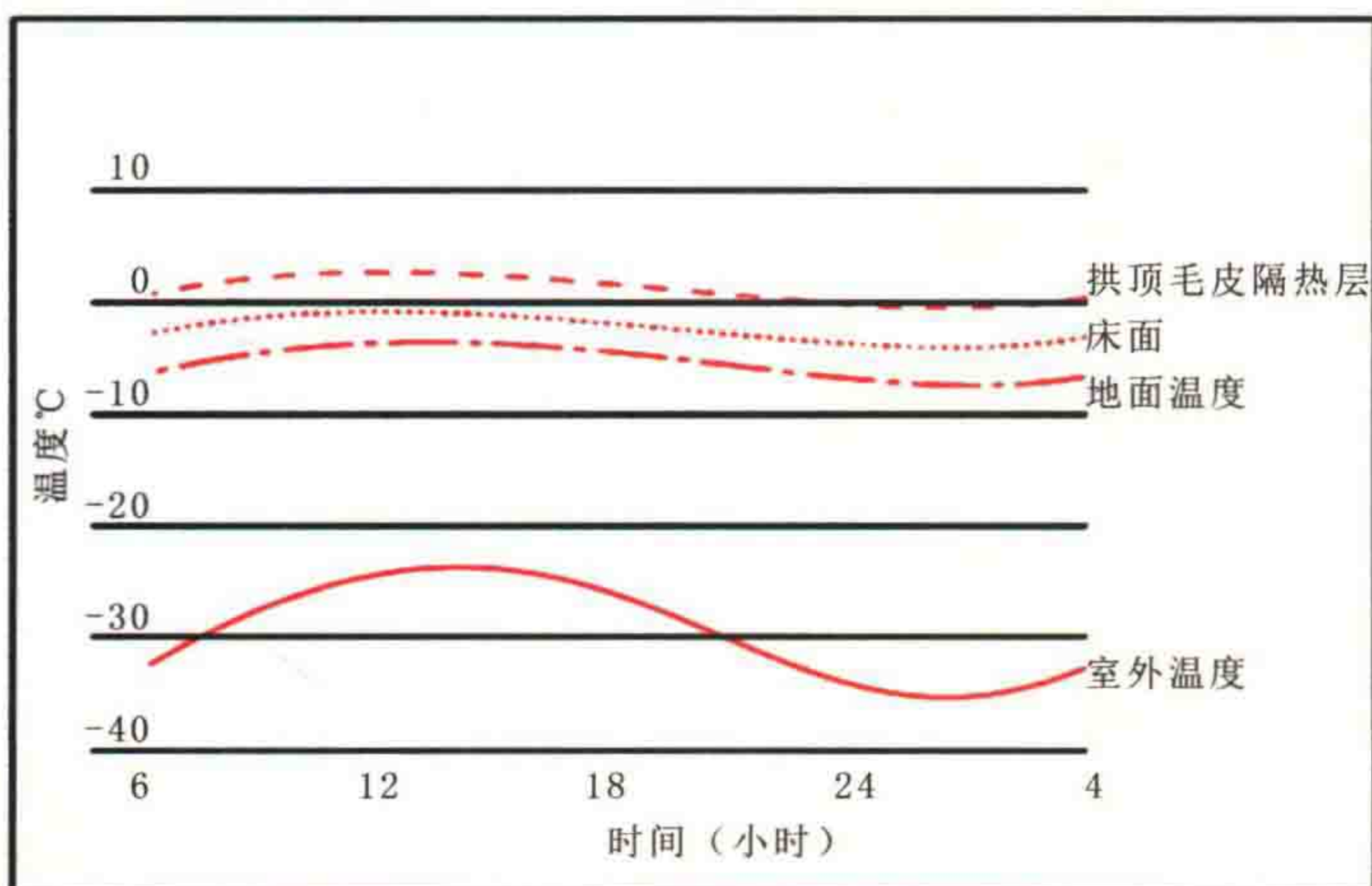


图 1.7 北极圈冰屋室内与室外气温对比（室内外温差可达 $30^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ ）