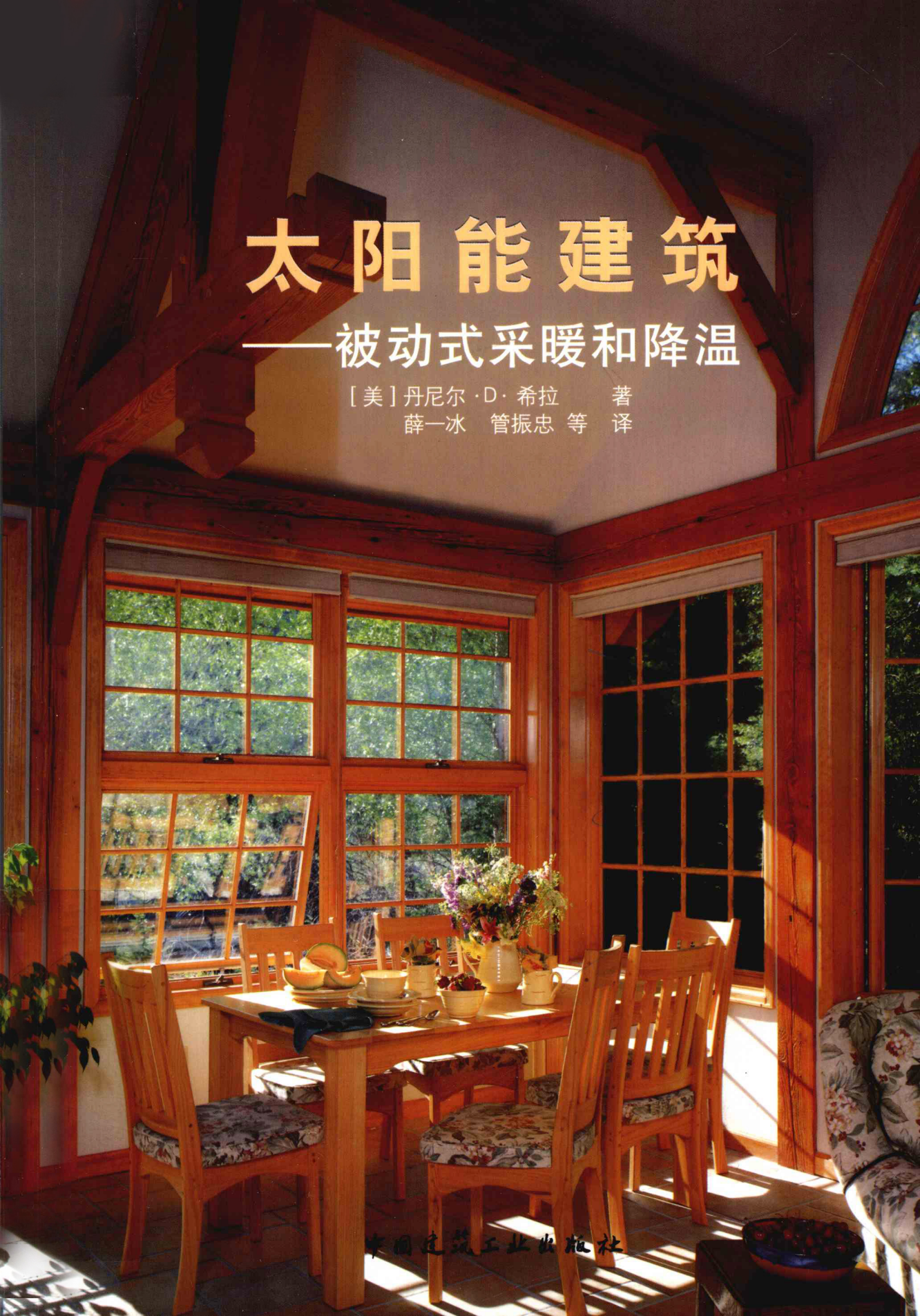


太阳能建筑

——被动式采暖和降温

[美] 丹尼尔·D·希拉 著
薛一冰 管振忠 等 译



中国建筑工业出版社

太阳能建筑

——被动式采暖和降温

[美] 丹尼尔·D·希拉 著

薛一冰 管振忠 等 译



中国建筑工业出版社

著作权合同登记图字：01-2007-6087号

图书在版编目 (CIP) 数据

太阳能建筑——被动式采暖和降温/(美) 丹尼尔·D·希拉 (Chiras,D.D.)
著;薛一冰等译. —北京: 中国建筑工业出版社, 2008

ISBN 978-7-112-08159-2

I. 太... II. ①丹...②薛... III. 太阳能住宅—建筑设计 IV. TU241.91

中国版本图书馆CIP数据核字 (2008) 第006069号

Copyright © 2002 by Daniel D. Chiras

This edition published by arrangement with Chelsea Green Publishing Co, White
River Junction, VT 05001, USA

www.chelseagreen.com

本书由美国切尔西·格林出版公司授权我社翻译、出版、发行本书中文版
The Solar House / Passive Heating and Cooling / DANIEL D. CHIRAS

责任编辑: 于 莉 姚荣华 戚琳琳

责任设计: 董建平

责任校对: 李志立 刘 钰

太阳能建筑

——被动式采暖和降温

[美] 丹尼尔·D·希拉 著

薛一冰 管振忠 等 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

北京嘉泰利德公司制版

北京二二〇七工厂印刷

*

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 16¹/₄ 字数: 390千字

2008年9月第一版 2008年9月第一次印刷

定价: 45.00元

ISBN 978-7-112-08159-2

(14113)

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)

译者序

随着技术和经济的发展，人们对建筑的需求标准也越来越高。能不能用可再生的能源、用尽可能少的消耗来满足人类的需求？能不能使我们重归自然、亲和自然、适应自然，而不是试图征服自然、战胜自然，这些都是当今建筑界亟待解决的问题。

中国在近二十年取得了突飞猛进的经济的发展，在我们基本解决了居民的住房问题和迅速地改变城市面貌的同时也带来了能耗剧增、耕地锐减、污染加重和资源破坏的严重后果。当前国家正在倡导坚持科学的发展观和建设和谐社会的伟大议题，用可持续发展理念进行建筑的设计、建造、施工、运行、管理就是建筑行业对这个伟大议题的最好诠释。

本书从综合被动式设计的基本原理、节能设计与施工、被动式太阳能采暖、辅助热源的可持续设计、被动式降温致凉、被动式建筑中室内空气品质的优化设计、被动式建筑的设计与评价及多种生态技术综合应用等八个方面展开论述。其设计理念、原理与方法对开发商、设计师、建造商、管理者以及建筑院校的学生来说都是有价值的参考，相信他们都能从中获益。

本书由山东建筑大学的老师及研究生译著，分工如下：

薛一冰、鞠晓磊、王艳（前言、第1章），管振忠、毕晓云、温超（第2章），管振忠、吕明霞、王军伟（第3章），何文晶、房涛、张蓓、夏金萍（第4章），何文晶、荆惠霖、张振兴、薛彩霞（第5章），管振忠、张乐、陈刚、韩卫萍（第6章），薛一冰、孟光、韩卫萍、郭清华（第7章），谢涛（济南大学）、黄晓曼、王刚（第8章），全书由薛一冰组织翻译，管振忠统稿，赵晖博士校审。

本书在翻译过程中得到了我国著名的太阳能建筑专家、博士生导师王崇杰教授的悉心指导，在此表示衷心的感谢。张玲、曹峰、王新彬、王晓光等也参与了部分校核工作，在此一并感谢！

由于时间仓促及译者的水平所限，本书中肯定还存在许多疏漏和不足，敬请读者批评指正。

译者

致 谢

本书在准备过程中得到了很多人的帮助。在此表示我深深地感谢那些对我频繁的提问予以耐心解答并且提供其他信息的人们，他们为这本全面而准确的书的问世提供了宝贵的帮助，包括 Ron Judkoff 和 Chuck Kutscher (NREL), Doug Hargrave (SBIC), Alex Wilson (BuildingGreen), Bill Eckert (Friendly Fire), Niko Horster (Chelsea Green), Bruce Brownell (Adirondak Alternate Energy), Heinz Fluter (Biofire), Vashek Berka (Bohemia International), Randy Udall (CORE), James Plagmann (HumanNature), David Adamson (EcoBuild), and Professor Murray Milne (UCLA)。另外，对为本书提供照片的个人和公司也深表谢意。

还要特别感谢在本书编写的早期阶段，帮助校对草稿并提出宝贵意见的 Niko Horster, Jim Schley, Ron Judkoff 以及 Bill Eckert，同时也要感谢 CHELSEA GREEN 出版公司的朋友们，包括编辑 Jim Schley and Alan Berolzheimer，他们帮我塑造并且精炼了这本书，另外还要感谢插图画家 David Smith，感谢他对本书的大力支持。

最后，感谢我两个亲爱的儿子，Forrest 和 Skyler，谢谢他们的远见卓识，幽默快乐，勤勉负责；感谢我的太太 Linda，感谢她的耐心和理解，以及永不动摇的爱和支持。

目 录

译者序	iii
致谢	iv
引言 在任何气候下都能获得舒适的居住环境	1
第1章 被动式建筑一体化设计基本原理	9
第2章 节能设计及施工	43
第3章 被动式太阳能采暖：规划选址及设计方法	81
第4章 辅助热源的可持续设计	121
第5章 被动式降温：规划选址及设计方法	153
第6章 健康问题：被动式建筑中室内空气品质的优化设计	179
第7章 被动式建筑的设计与评估	199
第8章 仅仅利用太阳能，为何不能多管齐下？——其他生态建筑技术	223
附录：美国和加拿大部分城市太阳辐射量的平均百分比	235
资源指南	243
作者推荐参考书目	253

引言

在任何气候下都能获得舒适的居住环境

几年前，笔者的一位准备购房的朋友向其征求意见。她看中的是一栋被动式太阳能建筑——即直接由南向的窗户吸热加热房子。由于笔者一直在从事被动式太阳能建筑设计研究，而且曾经在被动式采暖的房子中居住过（图 I-1），因此很想去参观一下这栋建筑。

次日上午，笔者一行参观了这栋位于洛基山脉丘陵地区的建筑，毗邻一条曲折的砂砾路，离笔者住宅大约半小时车程。那是一个阳光明媚的秋日，比较适宜参观太阳能建筑。

该建筑设计紧凑合理，位于海拔 14000ft 的洛基山脉，风景如画。

该建筑的主要太阳能采暖措施为太阳能集热蓄热墙（特隆布墙，将在第 3 章中详述）。特隆布墙的特点是设置于住宅南向，由混凝土

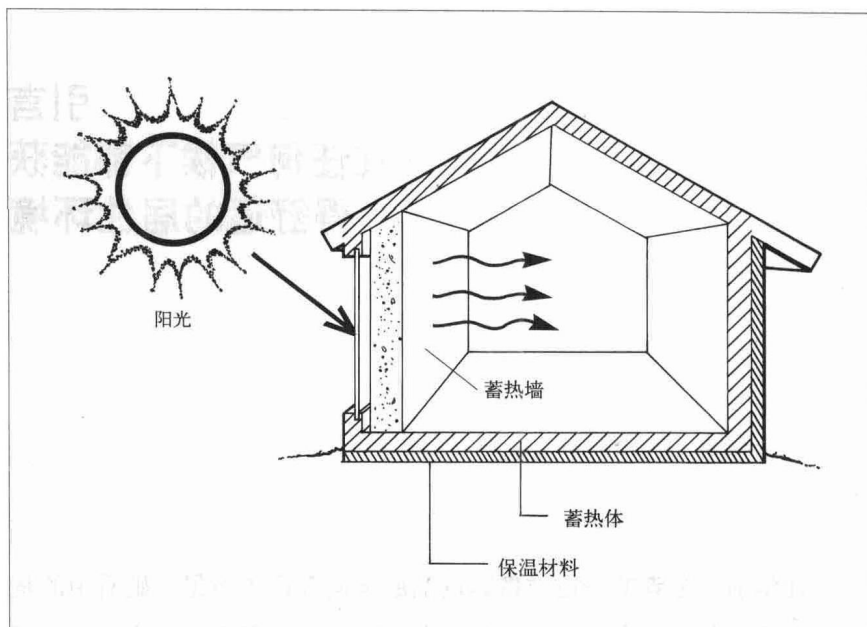


图 I-1

笔者的第一栋被动式太阳能建筑采用了许多典型的被动式太阳能技术，如集热蓄热墙，附加阳光间，直接受益窗等。虽然较好地解决了采暖问题，但由于窗墙比过大，导致房间过热问题严重，尤其到了夏天，大量的天窗和西向玻璃门使得室内炎热难耐。

图 1-2

特隆布墙是该建筑的太阳能采暖措施之一，图示为其工作原理。



块砌筑，表面覆盖一层玻璃。冬季，太阳高度角较低，阳光透过玻璃加热墙体，热量储存在墙体中，并逐渐传入整个房间（图 I-2）。

笔者一行参观了整个建筑，并同房主进行了交流，房主提到：早晨必须使用火炉来提高室内温度，夜间室内温度会下降 60 多度（华氏度 °F），事实上，整个采暖季节，包括秋季、冬季和春季的大部分时间，都需要在早晨为房间加温。

图 1-3

像许多早期的被动式太阳能建筑一样，这座建筑同样存在着窗墙比过大的问题。早期的设计师认为直接受益窗的面积越大，采暖效果越好。然而，如果窗户面积与建筑的蓄热性能搭配不当的话，过多的南向窗会导致室内温度过高和暴晒的问题，这些问题将在后面的章节中加以详述。



对笔者来说,这种情况是非常奇怪的,因为笔者居住的被动式太阳能住宅不需要任何辅助采暖设施,而且还时常受房间过热的困扰。

在对该建筑进一步的调研中笔者发现该建筑具有很好的保温性能,而且从外观上看蓄热墙的设计也没有问题。但是,建筑师将房子设计为坐东朝西,集热蓄热墙面向西而不是南,无法保证在采暖季节获得足够的太阳能,造成了采暖季早晨室温过低的问题。

由于将集热蓄热墙布置在建筑的西侧,限制了整个建筑吸收太阳能。集热墙直到下午才能吸收太阳能并产生热量,而此时已经错过了最佳时间。更糟的是,房子的南向是普通的木板墙没有一扇外窗,而冬季太阳主要的照射方向恰恰是南向,因此在使用中造成了诸多问题。

自 20 世纪 70 年代中期至今,笔者参观和研究了许多太阳能建筑,大部分太阳能建筑的使用效果还是很不错的,但也有部分建筑由于朝向、窗墙比、保温、蓄热等设计问题严重影响了建筑的热工性能和舒适性。

这本书是笔者多年来对被动式太阳能建筑设计研究经验的一个总结,概述了典型的太阳能建筑设计手法,强调因地制宜,希望能够加速被动式太阳能建筑的推广和普及。

为了有效减少因追求住宅舒适度而付出的庞大家庭财政开支也是编著本书的主要目的之一。我们生活开支的相当一部分都是用于维持住宅舒适度的,美国人每年花费约 54 亿美元用于住宅的采暖和降温。一对年收入 \$60000 的夫妇,将花费 \$3000 的能源费用,这相当于每个月所有工作时间中有 8 个小时是为了支付其能源账单。我们为了舒适的生活而辛苦的工作,但事实上,住宅本身就应该为我们提供免费而舒适的环境。

建筑采暖和降温所消耗的能量约占国家矿物质燃料发电总量的五分之一,是导致环境污染的主要原因之一。因此,住宅也要对当地生态环境的破坏和污染负相应的责任。人们往往把污染归因于汽车和工业生产等“看得见”的污染,却忽略了住宅也同样是巨大的污染源,全球环境的恶化在一定程度上就是源于人类对住宅舒适度的过分要求。据估计,在美国住宅采暖和降温所产生的二氧化碳大约占全国每年总排放量的五分之一。这种污染,虽然无毒,但却是导致全球气候变暖和气候异常的主要因素。综合考虑过度污染和物种灭绝等因素,全球性气候变化将带来一场巨大的生态灾难。

人类总是无视道德伦理的约束一味地追求舒适,却没有意识到由此而导致的危险。

人类总是只追求自身的舒适，却从不考虑地球其他物种的舒适和健康。许多物种因为人类对舒适生活的追求而灭绝。然而具有讽刺意味的是，随着住宅舒适度的提高，最终损害的是人类未来的生存环境。为了获得当前的舒适生活，人类消耗了大量矿物燃料，污染了空气和水，毁坏了自然风景，破坏了生态系统——即一切生命赖以生存的地球。更可怕的是，人类为了追求舒适度而从未意识到这种危及社会、经济和生态的行为正在加速蔓延。

自然调节：实用、简单、经济

幸运的是，我们完全可以通过简便易行、高效经济的方法，既保证居住空间的舒适度，又保护人类赖以生存的地球生态系统。其中人类为了适应自然而总结出的传统做法却长期被忽视。

自然调节就是不依赖外部能源而实现建筑的采暖、降温、采光、通风的艺术和科学。它通常包括四个紧密关联的基本策略：（1）被动式太阳能采暖，（2）被动式降温，（3）天然采光，（4）自然通风。

无论是哪种能够提供舒适环境的现代技术手段，都无一例外地依靠核能或矿物燃料以及成熟的技术和设备。自然调节依靠的是清洁、可再生的能源，将日光和被动式措施与建筑紧密结合，设计成可自我调节的建筑模式。与传统的采暖、制冷方式不同，自然调节是基于当地气候和地理环境进行合理设计，利用自然元素来提供我们需要的——阳光、新鲜空气、舒适度——而非破坏自然环境。简而言之，自然调节是针对特定的气候类型，适应气候变化的设计模式（图 I-4）。

你会很快发现，大多数自然调节措施性能优越、构造简单。这些措施造价较低、效果明显。事实上，在建筑的使用周期内，这种自然调节的被动式设计模式能够节省数万美元。并且，该设计模式在设计、材料等方面投资较少却能带来持久的较为舒适的环境，从而可以大大缓解社会对矿物燃料的需求。

成功的被动式太阳能采暖和降温设计不需要高深的专业知识。Anasazi 印第安人一千年前就采用过这种设计模式，他们利用石头和泥土在北美西南沙漠陡峭的大峡谷深处建造了自然调节式住宅。住宅位于山谷向阳面的自然突出物下方，夏天可以遮挡强烈的阳光，冬天低角度的阳光可从遮挡物的下面照射进来提供采暖（图 I-5）。

早在 Anasazi 印第安人从被动式采暖中受益之前，在大西洋彼岸，

依靠传统技术的自然调节，在任何气候地区都能创造良好的人类居住环境。



图 1-4

笔者现在居住的太阳能住宅较好地平衡了南向玻璃窗面积和蓄热体蓄热能力的关系，大大提高了效果（见图 1-1）。本图中的建筑用压实的土坯、草泥以及其他可再生的建筑材料建造。基本上依靠被动式太阳能采暖和降温措施，屋顶采用了太阳能光电组件。

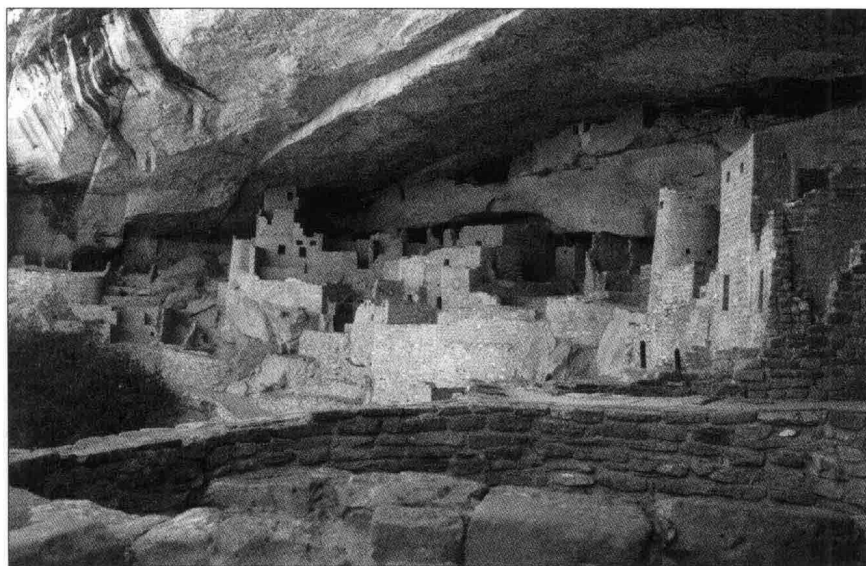


图 1-5

Anasazi 印第安人在北美西南沙漠陡峭的大峡谷深处建造的住宅。

古希腊人就发展利用了太阳能采暖技术。古希腊人对太阳能重要性的认识如此前瞻，以至于将太阳能作为一种热源进行立法。在公元前 5 世纪，至少有一个城市——Olynthus 城已经开始大规模利用太阳能采暖。

古希腊人不仅认为利用被动式太阳能采暖是一个法定的权利，还认为这是人类文明的重要标志之一。他们甚至认为“不使用被动式太阳能采暖”的人是野蛮人！

在矿物燃料时代，设计精巧的采暖和空调设备逐渐成为了建筑的标准配置，那些经过验证切实有效的自然调节设计方式却被逐渐的忽

被动式太阳能的经济性

美国太阳能协会出版的《Solar Today》和《Buildings for a Sustainable America》中大量的案例都证明了被动式太阳能建筑具有良好的经济性。很多案例研究可通过 www.even.doe.gov/buildings/case_study/ 在线获得。

略。但是自然调节方法在全世界范围内仍然广泛使用，并且有着数千个相当成功的建筑实例。在美国和其他工业国家，许多建筑物包括住宅、银行、办公、学校等也是通过自然方式来采暖、降温、采光和通风的。这些建筑不仅减少了矿物燃料的使用量，降低了能源消费，同时也使建筑物的舒适度达到比传统建筑更高的水平。例如，在自然调节的住宅中，没有风机等机械设备运行所发出的噪声，同时也没有空调装置产生的令人不舒服的冷热气流。取而代之的是，热量随气流通过热压在室内流动或者从墙体等，其他结构中辐射出来，创造了一个更加舒适的环境。建筑师和工程师可以使用加入了建筑智能化设计的被动式自然调节方式替换传统的高能耗采暖空调设备，从而实现轻松舒适的生活。

本书着重叙述了自然调节的两个基本元素，主要针对居住建筑的被动式太阳能采暖和降温。“被动式”是指无机械装置的采暖和降温，它依靠自然调节，比如被动式采暖中的阳光间、被动式降温中的通风组织（在以后的章节中将会介绍更多的关于这些系统的详细内容）。

太阳能利用方式分类

太阳能系统有很多不同的利用形式，每种形式都有其特定的功能。三种最常见的系统是：(1) 被动式太阳能采暖系统；(2) 太阳能热水系统；(3) 太阳能发电系统。

被动式太阳能采暖系统是通过直接受益窗收集阳光为室内空间提供热量。太阳能转化为热能，从而加热室内空间。

太阳能热水系统提供的生活用水可以用来洗刷、淋浴或加热室内空间。设置在屋顶的太阳能集热器将太阳能转化为热能并传递给液体。

太阳能发电系统由太阳能光伏发电板组成，当阳光照射到光伏发电板中的半导体材料时会产生电流。这也是我们通常所说的光电系统。

因为自然通风是被动式降温的关键组成部分，笔者也将对此进行深入的探讨，同时对自然采光进行介绍。

本书的结构组织

本书以被动式太阳能建筑设计概述为开篇，引入了若干建造被动式采暖、降温住宅的实例。第2章论述了建筑节能设计的主要方面，重点是被动式采暖和降温。第3章主要解决不同区域被动式太阳能设计，问题探索每个主要设计策略的利与弊，以及如何对每一种设计方

法进行优化，即关于气候和太阳（阳光）的可利用性。第4章主要讨论被动式太阳能设计中一个重要的却易被忽视的方面：如何尽可能环保的提供辅助采暖。第5章主要讨论被动式降温，列举其基本技术，讨论适用于不同气候区的有效设计策略。在这一部分中会发现许多被动式采暖措施同样适用于被动式降温。

第6章详细概述了建造一个被动式太阳能住宅所需要的设计工作，并关注了另一个极其重要的主题：在一个气密性良好，高效节能，被动式调节的住宅中如何保持室内的空气质量。第7章对被动式太阳能住宅设计和建造过程提供了一个循序渐进的概述。笔者也会讨论一些可以实施整合设计的辅助设计工具，它们对成功的设计和建造自然调节住宅非常重要。

建造一栋真正的可持续建筑除了考虑被动式调节之外，还需要考虑许多其他方面的问题，只有这样才能创造出永恒的可持续建筑，在第8章中对这些问题进行概述，主要介绍太阳能发电、中水系统、雨水收集、自然建筑技术，绿色建材等重要知识。

通过科学的预测、详细的规划、一定的专业知识和基本常识，设计师就可以在任何自然气候条件下利用阳光、遮阴、覆土、保温和天然采光等措施创造舒适的环境。

第 1 章

被动式建筑一体化设计基本原理

被动式建筑设计的关键是综合设计，也称一体化设计，即把建筑的空间、功能、构件、立面等作为一个整体来进行设计。一体化设计的目的是以对环境最小的影响、最低的投资和运行费用来达到最理想的效果。

一体化设计要求充分了解建筑各组成部分之间的关系，例如建筑南向窗面积与蓄热体体积之间的平衡关系。同时，还要对各种建筑设计手法与建筑材料在整个建筑中起到的积极和消极作用有一个清晰的认识。新技术、新方法的应用要充分考虑到对建筑整体性能可能造成的影响。例如，在采暖季节，天窗可以争取到更多的太阳辐射热进入室内，对被动式太阳能采暖系统的运行非常有利；然而，在非采暖季节（如夏季），天窗同样会使过多的太阳辐射热进入室内，造成室内过热，对被动式降温系统的运行产生不利影响。在冬季，天窗还可能在夜间造成过多的热量损失，降低了建筑的整体性能，这样就使得建筑师不得不放弃对天窗等设计元素的应用。

一体化设计应从各种各样的建筑设计实例中吸取经验。举例来说，南向窗不仅可以将太阳辐射热引入室内，同时也能在白天提供天然采光，减少了对人工照明的需求。除此之外，南向窗能为用户提供开阔的视野、美化建筑立面、提高居住者的生活品质，提升住宅的升值潜力。

被动式设计成功的关键是在建筑设计中，对一系列设计手法和建筑构件进行优化组合。从而使建筑冬暖夏凉，并为实现舒适、健康、高效的室内环境提供天然采光和新鲜空气，同时降低建筑能耗。

一体化设计通常需要业主、施工单位、建筑师、设备工程师和设

一体化设计

一体化设计要求对建筑各部分之间的关系充分地理解，以使各部分的功能可以完美结合。最重要的两点是提高建筑的舒适性和降低能耗。

被动式设计成功的关键在于把建筑设计考虑成一系列设计手法和建筑构件的优化组合。在任何季节都能够提供新鲜空气，满足冬季采暖、夏季降温 and 室内采光的要求，实现舒适的室内环境。

备供应商共同完成。在工程策划和实施过程中应经常就工程设计和施工中的各种问题召开协调会，在会议中参与工程的各方应各抒己见，这对设计意图的有效落实并最终达到预期的效果很有帮助。

相对于传统的设计和建造模式来说，这种工作方法可能会花费更多时间和费用，但有利于保证建筑设计意图的实现。在传统工作方式中，建筑项目通常根据专业进行分工，建筑师进行设计；施工单位根据设计图纸施工；设备供应商根据设计安装供热、通风和空调系统。各单位之间的交流仅仅局限于施工进度方面，其结果往往导致建筑无法充分发挥被动式太阳能系统的性能，最终，业主仍然要消耗大量的能源、支付额外的费用、安装复杂的系统来维持室内舒适度。相比之下，新的工作方式有助于确保团队的密切协作以及设计意图的实现，也更加有利于提高被动式太阳能设计措施的性能，减少太阳能供热量通过围护结构的散失。

这种一体化的设计过程不仅适合专业的设计施工单位，也同样适用于由家庭成员或亲朋好友组成的建房团队。不管是与专业团队还是个人建房团队合作，都需要对被动式一体化设计的关键原则有充分的理解。在这一章中提出了 14 条被动式一体化设计原则，这些原则将贯穿整个设计建造过程的始终。在学习过程中，一定要明确这些原则是相互关联的，它们相辅相成组成了被动式采暖降温系统。本章将详细介绍被动式太阳能建筑设计中的原则性问题，其他细节将在后面的章节中详述。

1.1 原则 1：合理的选址与朝向

被动式太阳能采暖需要足够的阳光，在采暖季节日照理想的情况下，每天能够获得 4 ~ 6 小时（上午 9 点到下午 3 点或至少上午 10 点到下午 2 点）的有效日照（完全无遮挡）。在寒冷地区，采暖季通常是深秋、冬季和早春。在温和地区，采暖季较短，在佛罗里达州南部，可能持续一个月左右。

就像这些基本原则一样，很多重要因素的运用并不复杂。首先，要考虑当地的太阳辐射量，图 1-1 所示为不同地区的太阳辐射量。一般来说，太阳辐射量越大，被动式太阳能采暖效果越好。

传统观念认为：被动式太阳能采暖仅限于日照充足地区，事实并非如此。

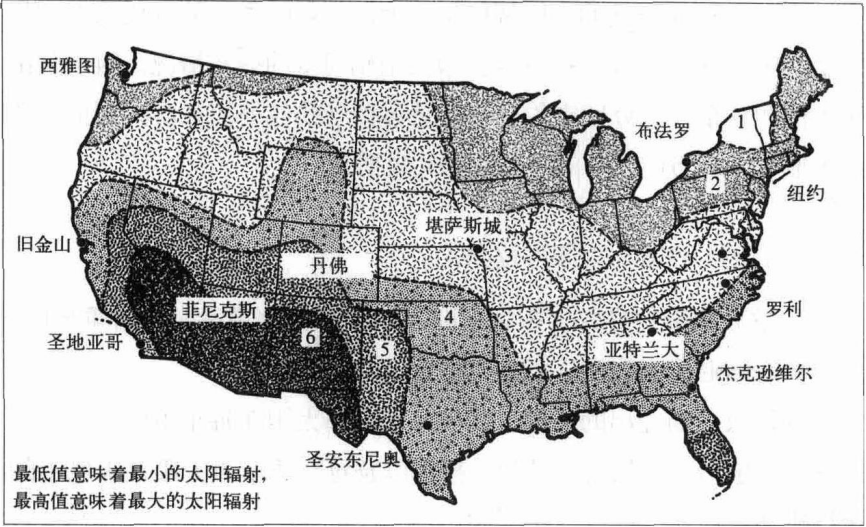


图 1-1
各地年平均日太阳辐射量以及
月平均有效日照时间占全部日
照时数的百分比。

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
布法罗	32	41	49	51	59	67	70	67	60	51	31	28
纽约	49	56	57	59	62	65	66	64	64	61	53	50
罗利	50	56	59	64	67	65	62	62	63	64	62	52
亚特兰大	48	53	57	65	68	68	62	63	65	67	60	47
杰克逊维尔	58	59	66	71	71	63	62	63	58	58	61	53
堪萨斯城	55	57	59	60	64	70	76	73	70	67	59	52
丹佛	67	67	65	63	61	69	68	68	71	71	67	65
圣安东尼奥	48	51	56	58	60	69	74	75	69	67	55	49
菲尼克斯	76	79	83	88	93	94	84	84	89	88	84	77
圣地亚哥	68	67	68	66	60	60	67	70	70	70	76	71
旧金山	53	57	63	69	70	75	68	63	70	70	62	54
西雅图	27	34	42	48	53	48	62	56	53	36	28	24

美国的大多数地区在采暖季节都可以获得充足的日照用于采暖，应用潜力巨大。

被动式太阳能采暖甚至可以在复杂的气候条件下工作，在多云多雪的美国东北部，被动式太阳能采暖系统仍能够提供相当数量的热量，只是在最冷的一段时间需要辅助采暖。在布法罗、纽约等被建筑师称为“阴暗地带”的地区，冬季仅能获得很少的阳光，在 12 月份，有效日照时间仅占全部日照时数的 26%，1 月份也只有 32%，2 月份为 38%。在这段时间内，太阳能提供的热量有限，然而，在 9 ~ 11 月和 3 ~ 5 月（所谓的过渡季节），丰富的太阳能完全能够满足一个家庭采暖所需的热量。通过精心设计，建筑师在布法罗完全能够设计出太阳能采暖保证率超过 50% 的建筑。

传统观念认为：
被动式太阳能采暖仅
限于日照充足地区，事
实并非如此。