



住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
高校建筑学专业规划推荐教材

ENERGY-EFFICIENT BUILDING

节能建筑设计与技术

宋德萱 赵秀玲 著

DESIGN AND TECHNOLOGY

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

节能建筑设计与技术/宋德萱, 赵秀玲著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2015.12
住房城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
高校建筑学专业规划推荐教材
ISBN 978-7-112-18997-7

I. ①节… II. ①宋…②赵… III. ①节能—建筑设计—高等学校—教材 IV. ①TU201.5

中国版本图书馆CIP数据核字 (2016) 第010398号

责任编辑: 杨虹 陈桦

责任校对: 李欣慰 王焯

住房城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
高校建筑学专业规划推荐教材

节能建筑设计与技术

宋德萱 赵秀玲 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路9号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京嘉泰利德公司制版

北京市密东印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 10½ 字数: 240千字

2019年2月第一版 2019年2月第一次印刷

定价: 40.00元 (赠课件)

ISBN 978-7-112-18997-7

(28285)

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)

— Preface —

— 前言 —

节能建筑已经成为 21 世纪建筑科学技术的关键领域，在当今光鲜的建筑创作中，更多的建筑师不再停留于建筑形式与光影效果，而充分关注建筑科学技术的作用，并将其融于建筑创作，其中节能建筑设计与技术是首选问题。

节能建筑设计是现代建筑学发展的动因之一，可持续性与生态思想日益成为现代建筑思潮的组成部分，而其中的节能与资源的有序利用是必不可少的研究对象。

世界各国都在对建筑活动中能源利用的科学性问题进行积极的探索，都试图在建立人居环境，创造舒适空间的同时，对人类的未来做出一定的贡献，其中，建筑师充当十分重要的角色。作为经济高速发展的中国，已触摸到时代的节拍，对节能建筑设计研究已成为现代建筑技术科学的主流。

节能建筑之于生态建筑是骨干、是生命。

生态建筑思想在现代化建筑思想中占据重要地位，而节能建筑是生态建筑的技术手段与方法论，是生态建筑从理论走向实践的必经之路，节能建筑重操作、重实践的科学特性，成为现代建筑师追逐的重要因素。

节能建筑之于可持续性是实质、是根本。

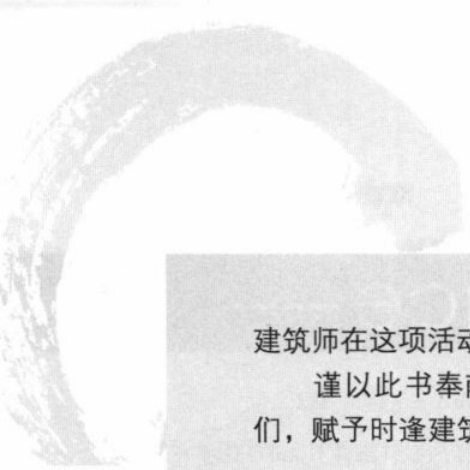
建筑的可持续性，或称“持续建筑”，强调建筑的资源消耗要兼顾资源消费的今天与明天，其中的节约、循环、再生是可持续的实质，而节能建筑设计的三要素就是研究资源的节约、循环、再生的技术问题，对节能建筑原理的掌握，就是建筑师手中握有可持续性研究与应用的钥匙。

节能建筑之于绿色建筑是手段、是方法。

绿色建筑思潮被年轻建筑师所关注，绿色也成为现代建筑技术领先的象征，节能建筑作为绿色建筑的有机组成部分，像纽带一样联系着现代科学技术、建筑学与社会学的根本问题，节能建筑的综合手段与方法，完成了绿色建筑理论所要完成的使命。

节能建筑之于现代建筑发展是不以人们意志为转移的一条必由之路。

人类活动的进步与发展应以自然性、生态化与环境共生的最高思想为原则，追求在建筑活动中以利用可循环资源的可能性为主流，而其中



建筑师在这项活动中扮演着十分重要的角色。

谨以此书奉献给有志于节能建筑设计创作的建筑师们和未来的建筑师们，赋予时逢建筑设计崭新时代的建筑设计创作更多的技术支持与设计方法。

宋德萱

— Contents —

— 目录 —

第一章 节能建筑概述

第一节 建筑节能基本概念 \ 1

- 一、建筑与气候 \ 2
- 二、基于气候的设计 \ 3
- 三、热舒适指标 \ 8

第二节 节能建筑设计的准备知识 \ 12

- 一、日照基本知识 \ 12
- 二、风 \ 15
- 三、温度 \ 16
- 四、湿度 \ 17
- 五、热运动 \ 18
- 六、热用语 \ 18
- 七、体形系数 \ 19

第二章 节能建筑设计策略

第一节 场地要素与总平面设计 \ 21

- 一、场地分析 \ 21
- 二、选址原则 \ 24
- 三、总平面节能设计方法 \ 26

第二节 节能建筑的单体设计 \ 31

- 一、满足冬季采暖的节能设计 \ 32
- 二、满足夏季致凉的节能设计 \ 38

第三节 建筑节能构造设计 \ 42

- 一、保温节能设计 \ 42
- 二、隔热节能设计 \ 44

- 三、避免热桥（冷桥） \ 46
- 四、预防结露 \ 47

第三章 节能建筑的太阳能利用

第一节 被动式太阳能建筑设计 \ 49

- 一、直接受益式系统 \ 52
- 二、对流环路式系统 \ 53
- 三、蓄热墙式系统 \ 54
- 四、附加日光间系统 \ 55

第二节 主动式太阳能利用 \ 55

- 一、太阳能热水系统 \ 55
- 二、太阳能光伏发电系统 \ 60

第三节 太阳能十项全能竞赛案例 \ 62

- 一、竞赛背景 \ 63
- 二、复合表皮生态屋 \ 65
- 三、屋顶居住模块 \ 70
- 四、箱形木屋 \ 74

第四章 节能建筑的日照调节

第一节 天然采光设计 \ 77

- 一、设计法规依据及相关要求 \ 77
- 二、天然采光的设计原则 \ 79
- 三、建筑中的采光形式 \ 79
- 四、利用技术手段的天然采光 \ 86

第二节 天然采光与人工照明 \ 90

- 一、设计原则 \ 90
- 二、天然采光和人工照明协调控制 \ 91

第三节 节能建筑的遮阳设计 \ 92

- 一、传统遮阳与遮阳设计 \ 92
- 二、遮阳形式和效果 \ 94
- 三、遮阳的计算 \ 97

第一章 节能建筑概述

第一节 建筑节能基本概念

节能建筑是以探讨为满足建筑热环境和保护人居环境为目的,通过建筑设计的手段和改善建筑围护结构热工性能、充分利用非常规能源,使建筑达到可持续发展的应用研究科学。随着科学技术水平的提高,人们对居住质量(建筑功能合理、建筑设备齐全、室内外环境条件舒适等)越来越重视,要求建筑师在进行艺术创作同时,能更科学、实用、有远见卓识地开展建筑创作活动。近年来,建筑节能已成为世界建筑界共同关注的课题,并由此形成关于“建筑节能”定义的争论,一般来讲,其概念有三个基本层次:最初称之为“建筑节能”;随后又改为“在建筑中保持能源”,即减少建筑中能量的散失;目前较普遍的称之为“提高建筑中的能源利用效率”,即以主动、积极地节省能源消耗、提高其利用效率。我国建筑界对第三层次的节能概念有较一致的看法,即在建筑中合理使用和有效利用能源,不断提高能源利用效率。

由此,建筑师率先在建筑设计领域充分尊重能源的有效利用,通过建筑设计手段提高能源利用效率,成为建筑学中关于环境保护、建筑可持续发展的首要设对问题。目前,建筑设计可以借助先进的科技成果来改善建筑的居住质量,但对建筑热环境而言,“能源问题”的提出,使建筑设计再也不能够仅靠消耗有限的常规能源(煤、电、石油气等)来换取舒适的热环境了,建筑开始回到“自然”中来,

向“自然”要能源，在设计中挖掘能源，建筑的节能设计已刻不容缓地摆在建筑师面前。

一、建筑与气候

“气候”是指某一地区多年的天气特征，由太阳辐射、大气环流、地面性质等相互作用决定，人类文明在很大程度上依赖于最近一万年以来相对稳定的气候状况，大自然为人类提供阳光、空气和水，以及生存所需的其他必要条件。地球上各个地区气候差异巨大，在现代人工环境技术尚未出现的时代，目前在还未采用这些技术的地区，造成了建筑巨大的地区差异，使建筑具有明显的气候特征。建筑是人类为了抵御自然气候的不利影响而建造的“遮蔽所”，遮风避雨、避寒防暑，使室内微气候适合人类的生存。气候作用于建筑包含三个层次：

①气候因素（日照、降水、风、温度、湿度等）直接影响建筑的形式、功能、围护结构等；

②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；

③气候影响人的生理、心理因素，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，最终间接影响建筑本身。

建筑围护部分的设计应该使其与所处气候相互作用，在传统建筑中，建筑内部空间与外部环境之间的关联非常普遍，而在现代建筑中，这一点反而因为对空调技术的普遍应用而被忽视。现代人工环境技术使人类极大地摆脱了自然气候对建筑的影响，大大提高了室内的舒适度，但是这些都是以消耗能源为代价，并引发了生态、环境、资源、健康的逐步恶化。同时，现代人工环境技术也使建筑失去了地区气候所造成的特征和差异，世界建筑逐步趋同化。在这样的背景下，建筑的节能设计成为各国建筑界关注的目标。针对特定的气候条件，主要通过建筑设计手段，即采用被动式的设计策略，既可以保证建筑的健康舒适，又可以节约大量的能耗，这是建筑师的工作范畴，也是当今世界建筑的发展潮流。

气候对设计节能建筑起决定性作用，气候条件（太阳辐射、地轴倾斜、空气流动、地形等）决定了建筑用地环境的温度、湿度、辐射能力、空气流动、风和天空条件等气候性质。气候作为某一特定地点是一项已知条件，是设计必须遵守的客观前提。温度、湿度、通风、采光等要素对室内环境的舒适度影响，在不同气候环境中具有不同的组合标准。节能建筑设计应充分利用气候的已知条件，迎合气候因素，使气候成为节能建筑的有利因素。

通常把一个地区范围内的共同气候条件所形成的气候区或气候

地带分别归类为不同的气候分区。如美国版图被划分为四大气候区：寒冷地区，特点为温度变化幅度大，记录温度从 -34.4°C ~ 37.8°C ，存在炎热的夏天及寒冷的冬天，主导风向为西北风及东南风；温和地区，特点为炎热和温和天气平均分布，风向为东北和南向的季风，高温、降雨特征显著，常出现多云及阴天天气；干热地区，特点为天空晴朗、天气干燥，持续炎热并昼夜温差大；湿热地区，特点为高温、高湿（湿度常年如一），全年及每日风向变化大，常有飓风出现。

我国为了满足建筑与气候相适应的要求，将全国划分成五个气候设计分区：严寒地区，累年最冷月平均温度低于或等于 -10°C 的地区；寒冷地区，累年最冷月平均温度高于 -10°C ，低于或等于 0°C 的地区；夏热冬冷地区，累年最冷月平均气温 0°C ~ 10°C ，最热月平均气温 25°C ~ 30°C 的地区；温和地区，累年最冷月平均温度高于 0°C ，最热月平均温度低于 28°C 的地区；夏热冬暖地区，累年最热月平均温度高于或等于 28°C 的地区。

按照以上气候分区，参照国家和地区的经济因素，我国确定了以长江流域作为界线的采暖分界线，于 20 世纪 50 年代规定长江以北大部地区为建筑采暖区，长江以南地区为建筑非采暖区。为了更客观地反映中国的气候特征，目前是以黄河和长江为界，黄河以北为建筑采暖区，长江以南为建筑非采暖区，黄河和长江之间为过渡区。

二、基于气候的设计

基于气候的设计是一种设计策略，旨在利用气候对基址的有利之处，同时使气候对舒适度不利的影 响最小化，或减少建筑本身的能量需求，是利用气候特征所有优势的设计和建筑系统。基于气候设计的建筑比没有考虑气候的建筑设计通常会有较低的运行费用，同时达到较高的满意度。

建筑基址所处的气候特征——温度、湿度、风向和日照等情况，都会对建筑环境的舒适性产生正面或负面的影响。主要气候要素有太阳辐射（包括温度和光照情况）、风和空气压力状况、湿度和降雨量，同时大气中的云量对地球辐射平衡有重要作用（图 1-1）。大量的云可以反射或吸收太阳辐射，同时，地球辐射热会被大气中的云反射回地面，为地球大气加热，即温室效应。

天气和气候模式是太阳、大地和水三者之间的相互作用而导致的。当地球围绕地轴自转，同时围绕太阳公转时，大地和海洋吸收了太阳的辐射能量，根据它们不同的吸热能力就产生了温度和压力差，从而生成风。接着，风为大地降温或者升温，大气中的水汽就会以雨或雪的形式降落到地面。山脉和山谷使风转向，风向多变，

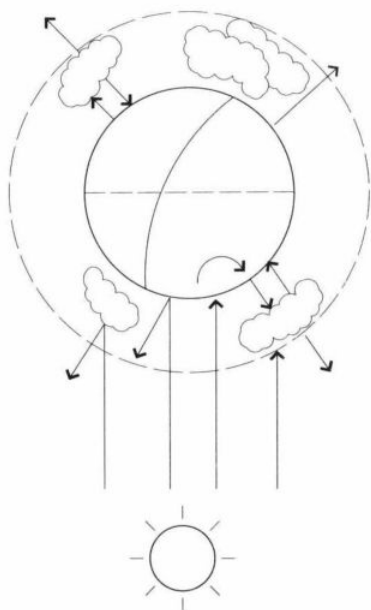


图 1-1 大气对地球的辐射平衡

就形成了一系列区域气候和微气候。正如，一天当中的太阳辐射的热不同，风向在一天中也会发生变化，特别是在陆地与水域交汇的地方。太阳辐射因纬度不同而不同。很多山区辐射强度大是由于所处区域海拔高，空气产生的阻碍少，大气、云层、水汽、污染，这些可以过滤或者反射或漫射太阳能量，低海拔的地方往往由于大气的过滤作用接收到的辐射强度较低，且漫射光较多。在世界范围内，这种交互作用使得各地的气候条件存在很大的不同。临海城市的气候模式受到大面积水域的影响，早晨和晚上的低云层使得空气温度适中，是典型的海洋气候；相反，沙漠地区大量吸收太阳辐射而导致全年天气非常炎热且多风。

了解特殊气候和微气候，以及它们如何影响能量使用和建筑的舒适性，是气候设计的第一步，也是最重要的一步。每个微气候都不相同，需要不同的设计解决方法。例如，用于供暖、通风和空气调节的装置可能在海滨地区很有效，而在内陆地区效果很差；相对于内陆的建筑，海滨地区夜晚和早晨的低云层还会影响窗户和外遮阳设施的位置。此外，场地的特殊情况会进一步调整气候和微气候，建在山顶上的建筑的风流情况比建在山谷中的建筑要普遍的多，风向和风速会影响很多与设计相关的内容，如入口、进风口、水管出口等。其他场地特性因素包括遮阳、相邻建筑的太阳反射和城市热岛效应等。

为了更好地实现气候设计，设计者首先应尽可能了解详细的气候数据并记录气候的优势和劣势特点。设计初始阶段，尽可能详细的查询、收集建筑用地可能存在的气候特征和微气候情况，还要考虑场地特有的情况，如当地的地理信息、可能影响该项目的临近建筑信息；在项目早期的概念设计阶段，核查气候数据对使用潜在的能效设计策略非常必要，如估测太阳数据（全年的辐射强度和太阳高度角）、风玫瑰信息、降雨量、温度和湿度等数据。同时，也要确定任何可能不利于舒适和能效的因素，如高湿度、某时段的特殊太阳辐射问题，或者可能引起的穿堂风等情况。针对不同的气候区特征，建筑设计策略也要区别考虑。

（一）湿热气候

热带：高温高湿、昼夜温差小、降水量大、较厚的云层减少太阳辐射，但同时可能产生严重的眩光。该地区建筑常为开敞构架，大屋顶以防雨，轻质的建筑材料，围护结构利于通风，地板架空以防洪水、潮气和动物，并可促进地板通风；有时还建在水面上，以利用水蒸发散热的作用（图 1-2）。

亚热带：夏季时间长、气候暖湿；冬季湿冷，并伴有强风。建筑常常需要遮挡夏季的太阳辐射，并阻挡冬季的冷风。高高的顶棚

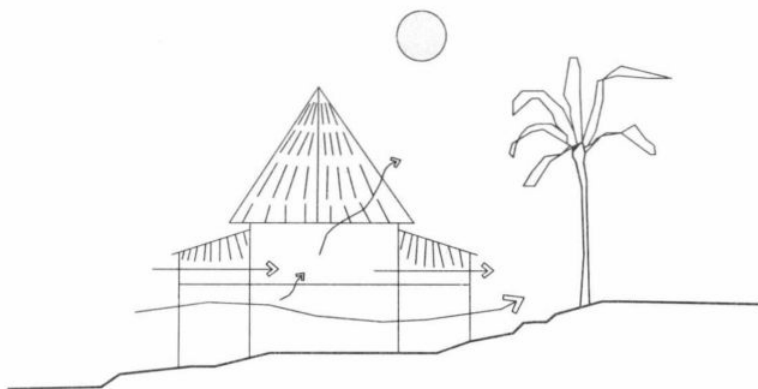


图 1-2 泰国干阑住宅

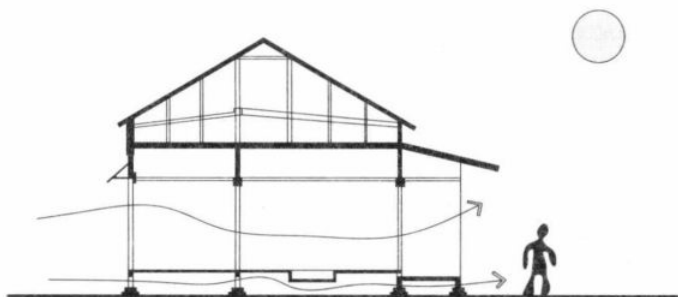


图 1-3 日本传统住宅

可缓解夏季太阳辐射热，复檐可有效遮阳，同时可用作室外活动的空间。有时架空地面以促进通风，并防潮（图 1-3）。

（二）温和干燥气候

地中海气候：夏季长、温暖；冬季短、湿冷，日夜温差变化较小。传统建筑为厚重石墙建筑，使夏季室内温度相对凉爽稳定，冬季需要采暖。建筑多为浅色，以减少对太阳辐射热的吸收；开很少数量的小窗，百叶格栅提供遮阳，阻挡太阳辐射和强光；阳台、平台、门廊天井院、庭院、花园为夏季室外活动提供缓冲空间（图 1-4）。

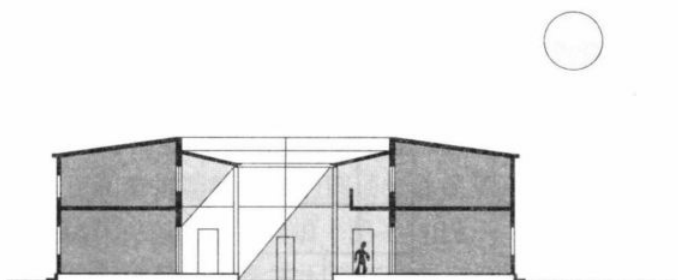


图 1-4 罗马的中庭住宅

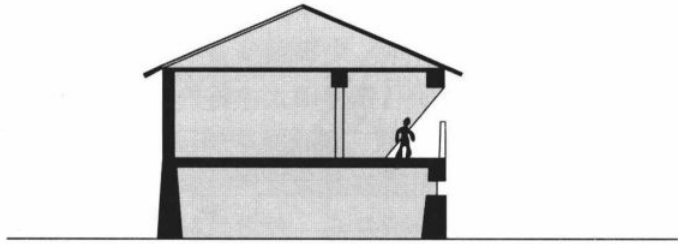


图 1-5 土耳其乡村住宅

大陆性气候：夏季温暖，冬季寒冷。季节温差大，日间温度变化大，湿度低，有强风。传统的土耳其住宅兼顾了冬夏两季的需求，下层结构使用厚重的材料，上层结构使用隔热性能好的木结构，坡度平缓的石子覆面屋顶有出挑的屋檐，以阻挡夏季阳光（图 1-5）。

（三）温和湿润气候

海洋性气候：温暖、潮湿、多雨、天气多变。大多位于沿海地区，主要受所临海域的影响，常有风，降水多，夏季凉爽、短暂，冬季温和。建筑主要需防风、防潮。常设有廊子或有非采暖房间作为采暖房间的过渡空间。屋顶坡度陡，有出檐，墙多为砖砌。英国南部、法国北部、西班牙北部的建筑常常设有大玻璃的阳光房作为缓冲空间（图 1-6）。

（四）湿冷气候

亚极地：夏季凉爽、极昼时间短；冬季漫长、极夜时间长。宁静、干燥季节和潮湿季节的转换常伴有大风天气。瑞典木屋建筑屋顶坡

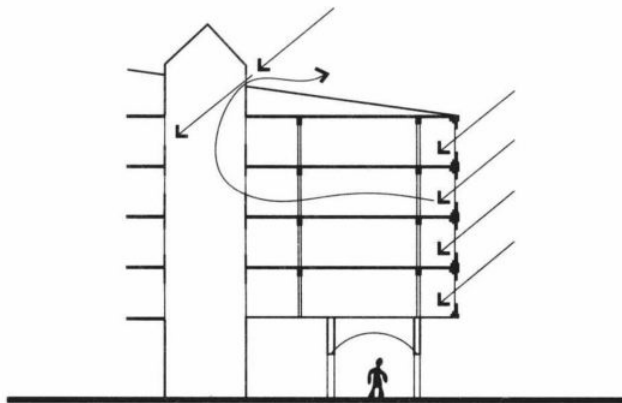


图 1-6 （西班牙）拉科鲁尼亚住宅

度较缓,可以使积雪覆盖于屋顶起到保温作用,房屋以砖砌火炉为中心,外墙为厚厚的木墙,有很好的保温效果。适应亚极地湿冷气候的典型建筑形式有萨米人(斯堪的纳维亚半岛)的帐篷、瑞典木屋、冰岛泥煤屋(图 1-7)。

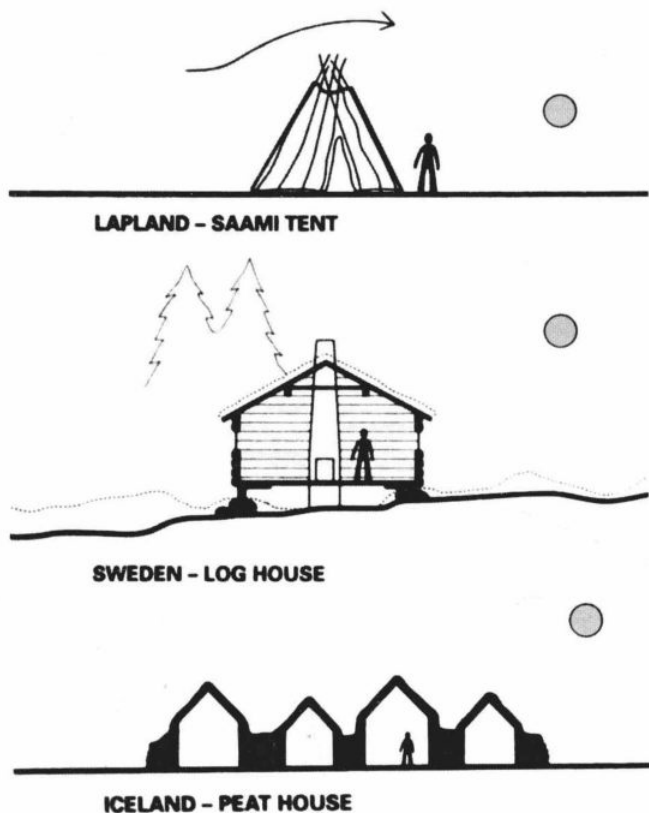


图 1-7 亚极地气候建筑

(五) 干冷气候

极地:气温极低,冬季极夜且漫长;夏季极昼且短暂,冬夏季一天中的气温变化很小。抵御低温和冷风是建筑面临的挑战,动物皮毛常用来做衣服或房子保温。雪屋,如 Igloo(图 1-8),显示了人类最大程度适应极地气候的能力。半球结构具有最有效的体形系数,用雪块建造,雪块中大量的空气孔洞可以起到保温作用(图 1-9)。由于下沉的入口通道和屋内内衬的设置,即使室外温度极低的情况下,体温和小的取暖装置也可以使室内温度保持在 15°C 以上。西伯利亚和蒙古游牧民族的圆顶帐篷是更高级的可拆卸携带的房子,体型优化,中间设有火炉(图 1-10)。

建筑适应气候的能力是关于建筑建造与气候、周边环境、材料和能源消耗等一系列的问题。适应能力既取决于固定的、被动式气



图 1-8 Igloo

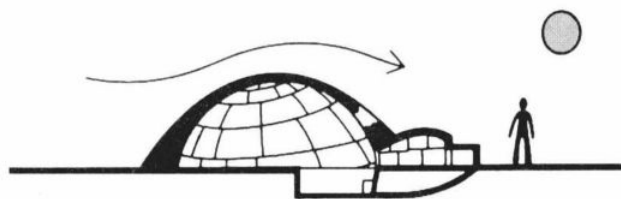


图 1-9 爱斯基摩人的 Igloo 剖面

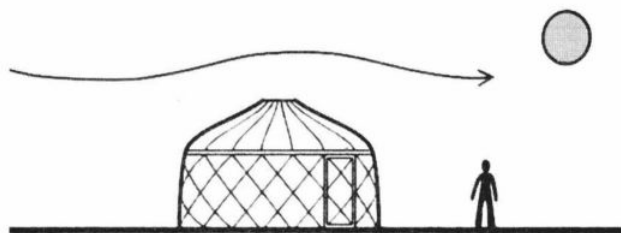
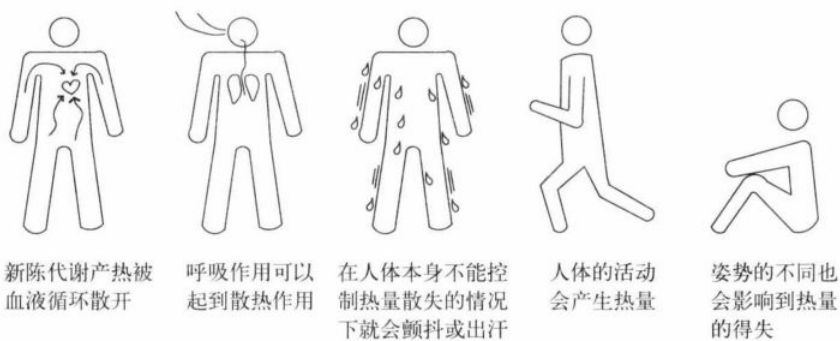


图 1-10 蒙古游牧民族的帐篷

候控制的部分，也取决于可变的、主动式气候控制的部分。建筑结构的轻重、空间布局，或室内外过渡区，如立面、窗户的设计，它们与环境互动并调节室内外的气候。适应气候的节能建筑设计，是利用被动式和主动式设计的有机结合；被动式气候控制的建筑对气候的调节模式是固定的，但在不同季节，建筑的空间可以灵活使用；主动式气候控制的建筑对气候的调节模式可以动态变化，以适应不同的天气变化情况；具备以上两种气候控制的建筑，既可以实现空间的灵活使用，也可以主动适应不同天气。

三、热舒适指标

人体和皮肤的保护和调节是与不同气候条件下的衣着情况共同作用的。人体对热环境的适应能力很强，从 -20°C 到 $+40^{\circ}\text{C}$ ，对冷热的感受被其他气候参数所影响，如湿度、风速和热辐射，还有人的运动程度和衣着，也具有决定性的影响（图 1-11）。



新陈代谢产热被
血液循环散开

呼吸作用可以
起到散热作用

在人体本身不能控
制热量散失的情况
下就会颤抖或出汗

人体的活动
会产生热量

姿势的不同也
会影响到热量
的得失

图 1-11 舒适度要素

舒适区是指在某种条件下人感到舒服的范围，包括工作和休息状态。温度在 22°C 上下波动 2°C 的情况下被视作舒适的环境温度范围，人体对相对湿度的适应性很强，在 $20\%\sim 80\%$ 的范围内都不会有明显的的不适感，人体对风和空气流动的适应性同样很强。但温度、相对湿度和风三者的综合作用，以及衣着和营养状况可以确定在工作和静止状态下最优化的扩展舒适范围。图 1-12 所示，用一个立体图示来表达影响舒适的三要素：温度、湿度、风之间的重要联系，其中每一维度都代表一个舒适参数，且每个参数都有各自舒适的范围。如果把三个要素结合在一起所构成的舒适区，则可反映每个参数可延伸的舒适范围的大小。

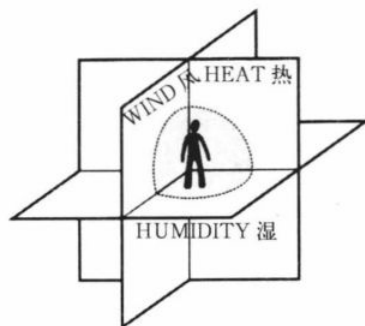


图 1-12 温湿度、风与舒适度

1963 年，Victor Olgyay 在其著作《设计结合气候》一书中描述的舒适区，用图表的方式显示了传统热舒适各参数之间的相互作用关系，如图 1-13。横轴为空气的相对湿度，纵轴为空气温度（摄氏温度）。在舒适的温度范围之外，需要风和太阳辐射来达到延伸的舒适环境。图表意图确定出一个舒适区域，该区域内不需改变温度、湿度和风，只要有太阳辐射热，在低于 70°F ，即 21°C 左右仍可使人体感觉舒适。1970 年，丹麦室内气候研究者 Ole Fanger 定义了舒适性的概念，由 6 个测量因素确定：空气温度、辐射温度、空气运动、相对湿度、新陈代谢和衣着状况。随后测量因素又增加了空气污染、光照量和声环境限制三项。

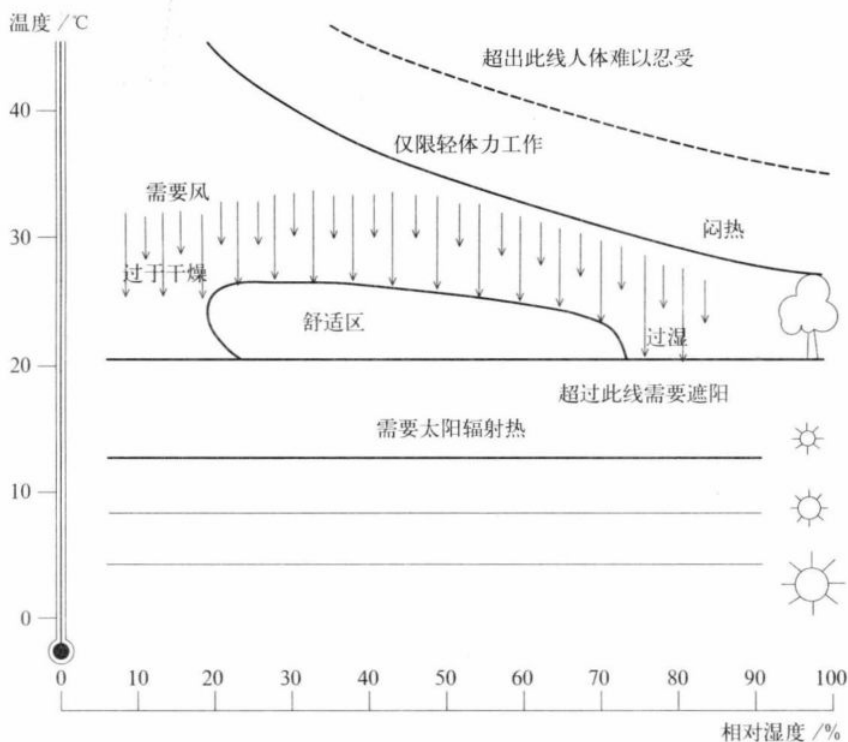


图 1-13 热舒适图表

美国供暖、制冷和空气调节工程师协会 (ASHRAE) 的标准把人体热舒适定义为：人感到满意的热环境。该标准规定：舒适的热环境是指 80% 静坐或轻微活动的人认为可以接受的环境。该定义是定性表达的舒适性，同时，定量表达舒适度的研究也在不断进行，如美国供暖、制冷和空气调节工程师协会研究的舒适度公式：

$$Y=0.14 \times T+1.65 \times P-11.339 \quad (1-1)$$

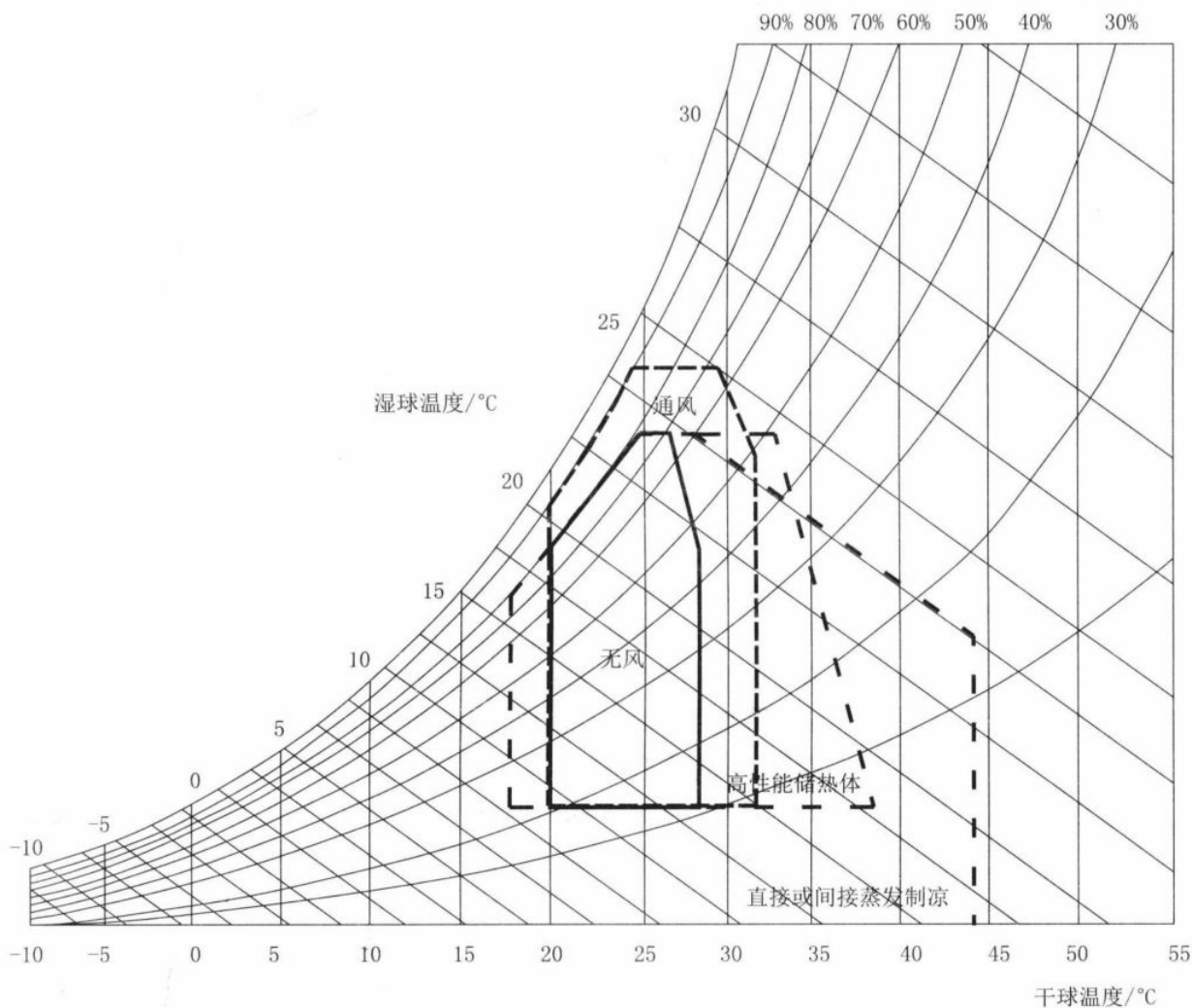
式中： T = 干球温度 (°F)

P = 水蒸气压力 (psi⁵)

这表示建筑师和工程师必须了解人们如何感知热舒适，才能在设计中达到需要的舒适性。

热舒适最重要的两个要素是温度和湿度。如果温度和湿度合适，就可以达到 90% 热舒适的接受程度，这超出了 ASHRAE 标准所注的 80%。温度是最显著的热舒适因素，是使用者通过自动调温器在建筑内可以控制的唯一因素。根据 ASHRAE 标准，大部分人（指穿着适宜季节的衣着，静坐或轻微活动的人）在 69°F (20.56°C) 到 81°F (27.22°C) 之间感觉最为舒适。相对湿度是温度的一种功能，空气温度上升，就可以提高饱和水蒸气含量。人体可以通过汗液的蒸发散热，这种散热方式在相对湿度较低时非常有效。而相对湿度较高时，汗液蒸发不畅，就达不到散热目的。相对湿度在 30% 到 60% 之间时大部分人会感觉舒适。提供人们在舒适度范围内的不同温度和相对湿度组合可以用图表表示，可以清晰地显示出舒适区。处于该舒适区的温度和相对湿度会使大部分人感到舒适。然而，因穿着、新陈代谢量和其他因素的不同，每个人的舒适区也存在很大差别，但世界各地不同气候区、生活条件和文化环境的人，当穿着、活动量相似时，所选择的舒适区是一样的。图 1-14 为 B.Givoni 在《城市和建筑设计中的气候考虑》一书中提出的可达到额外舒适区的设计策略。图示显示在干热气候，相对湿度 20% 时，即使室外温度高于 40°C，仍可以通过储热体或蒸发降温方法达到舒适感觉；在暖湿气候，相对湿度 70%，室外温度 30°C，可以通过通风达到舒适范围。

虽然温度和湿度的合理搭配会使人的感觉达到热中和，但如果不加处理，其他因素也会影响舒适性，如非匀质的热环境和局部不舒适。当人体受到不均匀的热辐射时会影响舒适度。例如在冬天，当一个人坐在大窗户旁边时，人体的热量就会向窗户一侧辐射，而另一侧的热量辐射率差别很大。研究表明当两侧的温差高于 18°F (9°C) 时，人就会感到不舒适。不需要的局部冷气流也会导致整个身体舒适度的降低，如人脚部的冷气流。有研究表明，即使在一个可以达到舒适度热中和零度标准的环境中，速度高于 0.254m/s 的冷气流，就会影响人体的舒适感觉。温度、湿度、匀质和局部冷气



流之间相互作用，其中一项有变化，就需要调整其他项来保持相应的舒适度。例如，在寒冷的冬日里，坐在窗户旁边的人相对于坐在室内的人，就需要更高的室内温度以弥补身体朝向窗户一侧散失的热量。

图 1-14 B.Givoni 提出的达到舒适区的设计策略

以下设计策略有利于在新建筑项目中提升建筑的热舒适性：

- 理解某一气候条件下的舒适性边界。在极端气候条件下，使室内达到热舒适性的难度比温和气候条件下大得多。强辐射、高湿度，或者寒冷的冬季温度都可以导致很差的舒适性。建筑设计的第一步便是了解当地影响舒适度的气候特点。

- 使用隔热性能好的窗户系统。与单层玻璃相比，双层玻璃可以阻挡更多的热流，同时可以大大缓解因不均匀热环境造成的不舒适。普通的单层玻璃的 U 值为 $1\text{Btu}/\text{SFt}^2\text{ }^\circ\text{F}$ ($5.68\text{W}/\text{m}^2\text{k}$)，目前的多层 low-E 玻璃的 U 值可以达到 0.20 到 0.30 之间。隔热良好的玻璃可以使得得热和失热降低 70%~80%，在供暖和制冷季节，可以缓解不均匀辐射的影响。