

土木与建筑类专业新工科系列教材

总主编 晏致涛

# 建筑节能与新技术应用

JIANZHU JIENENG YU XIN JISHU YINGYONG

主 编 余晓平

副主编 吴蔚兰 居发礼



清华大学出版社

## 内 容 提 要

本书以服务建筑可持续发展为着眼点,突出了知识体系的系统性和技术体系的开放性,融入了建筑整体节能与低碳发展的理念。本书既可以作为高校“建筑节能概论”课程的教材,又可供从事建筑节能工程设计、施工、管理、咨询和运行岗位的工程技术人员及管理人员阅读和使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

建筑节能与新技术应用 / 余晓平主编. —重庆:  
重庆大学出版社, 2023.6  
土木与建筑类专业新工科系列教材  
ISBN 978-7-5689-3709-2  
I. 建… II. ①余… III. ①建筑—节能—高等学校  
—教材 IV. ①TU111.4  
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2022)第 255038 号

### 建筑节能与新技术应用

主 编 余晓平

策划编辑:林青山 王 婷

责任编辑:张红梅 版式设计:王 婷

责任校对:王 倩 责任印制:赵 晟

\*

重庆大学出版社出版发行

出版人:饶帮华

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023) 88617190 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:[fxk@cqup.com.cn](mailto:fxk@cqup.com.cn) (营销中心)

全国新华书店经销

重庆巨鑫印务有限公司印刷

\*

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:15.5 字数:388千

2023年6月第1版 2023年6月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5689-3709-2 定价:45.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换  
版权所有,请勿擅自翻印和用本书  
制作各类出版物及配套用书,违者必究

# 编委会名单

顾 问：杨永斌 李正良

总 主 编：晏致涛

副总主编：李东升 赵宝云 孙 毅

编 委（排名不分先后）：

卜长明 万虹宇 王子健 王思长 王德伟

文 佳 朱浪涛 伍 培 刘先锋 刘 炜

许年春 李自强 李定玉 吴同情 余渝娟

余晓平 张 斌 陈小英 陈小亮 陈世菟

罗 玲 周兆银 周海清 赵子莉 赵 爽

洪 宇 徐 典 高 荣 黄 伟 黄林青

曾玥琳 曾国明 温世平 廖小烽 周 博

# 前 言

习近平总书记在党的二十大报告中强调：“必须牢固树立和践行绿水青山就是金山银山的理念，站在人与自然和谐共生的高度谋划发展。”生态文明建设是中华民族永续发展的根本大计，应扎实推动绿色发展，共同建设美丽中国。根据“3060”目标，要在建筑领域实现低碳绿色发展，建筑节能与减碳是重中之重。建筑节能涉及土木建筑工程、能源动力工程等学科的基础理论——建筑物理学、建筑环境学、热工学、能源计量与测量学等；从建筑工程学科的角度看，建筑节能与城市规划、建筑学、土木工程、建筑设备与能源工程等应用领域密切相关，涉及建筑的规划设计、施工、建筑设备安装调试及建筑节能改造等不同阶段的节能与减碳问题。

本书共分为9章，第1章建筑节能导论，涵盖了建筑节能和全过程管理等基本概念。根据建筑全过程管理理念，第2章至第8章从规划设计新技术、节能施工技术、节能运行与减碳技术等方面介绍了建筑节能的基本原理、新方法和技术策略，建筑节能新技术的应用途径和原则要求，结合技术经济分析介绍建筑碳排放计算方法。第9章结合节能建筑与低碳建筑示范工程案例进行分析。

本书是校企合作、产教融合的成果，书中融入了建筑行业绿色低碳发展新动态、新技术和新案例，旨在培养大学生以问题为导向的探索性学习能力。本书知识结构体系设计体现了“以学生为中心、产出为导向”的教育教学理念，每一章都有明确的教学目标和教学要求，力求通俗易懂、图文并茂。本书内容基于项目全过程理念，体现了建筑项目全过程知识的系统性，总结了当前低碳节能建筑典型案例及建筑碳排放计算等方面的内容，增强了实现“3060”目标的社会责任感，符合新时代社会经济高质量发展对高等工程人才培养的新要求。

本书由重庆科技学院余晓平担任主编，中机中联工程有限公司吴蔚兰和重庆科技学院居发礼担任副主编。第1、3、4和5章由余晓平编写，第7、8和9章由吴蔚兰组织编写，第2和6章由居发礼编写，李文杰、刘丽莹、孙钦荣和彭宣伟等老师为本书的编写收集了大量素材，参编了部分思考题，全书由余晓平统稿。

本书内容丰富，系统性和时效性强，主要供大学通识教育和土木建筑类专业本科生教学使用，也可以作为土木建筑领域的研究生，继续教育的本、专科生参考使用，亦可为从事建筑节能

与减碳技术研究及施工人员参考。本书在编写过程中参考了大量文献和部分网络资源,主要参考文献列于书后,但仍有部分参考资料难免疏漏,无法一一列出,在此一并感谢。由于编者水平所限,本书还有许多不尽如人意之处,恳请读者将相关意见和建议发至邮箱:yuxiaoping2001@126.com。

编者 余晓平

2022年10月

# 目 录

1 建筑节能导论 .....	1
1.1 基本概念 .....	2
1.2 国内外建筑节能发展史 .....	6
1.3 我国建筑能耗分类、特点及计算方法 .....	10
1.4 建筑节能与室内环境质量 .....	13
1.5 建筑节能系统与建筑节能全过程管理 .....	16
1.6 建筑节能技术的地域性 .....	19
思考与练习 .....	22
2 建筑节能规划与设计 .....	23
2.1 中国建筑气候特征与气候分区 .....	24
2.2 建筑规划与节能设计方法 .....	27
2.3 建筑规划阶段的节能设计 .....	32
2.4 建筑节能评价指标及能耗模拟方法 .....	39
2.5 BIM 技术在建筑规划与节能设计中的应用 .....	44
2.6 “暖巢”项目案例 .....	48
思考与练习 .....	49
3 建筑围护结构节能技术 .....	51
3.1 建筑材料的热物理性能 .....	52
3.2 建筑节能墙体 .....	59
3.3 建筑节能门窗 .....	63

3.4	建筑屋面节能 .....	70
3.5	建筑绿化与遮阳 .....	77
3.6	建筑合理保温隔热技术 .....	80
	思考与练习 .....	82
4	建筑节能施工与绿色建造 .....	84
4.1	建筑节能施工概述 .....	85
4.2	建筑节能施工方法与施工要点 .....	88
4.3	建筑系统调试 .....	103
4.4	建筑绿色建造 .....	106
4.5	建筑节能施工的 BIM 新技术 .....	109
	思考与练习 .....	113
5	建筑常规能源系统运行节能 .....	114
5.1	建筑供配电系统的节能运行 .....	115
5.2	暖通空调系统的运行节能 .....	117
5.3	生活热水系统运行节能 .....	123
5.4	建筑给水排水系统运行节能 .....	125
5.5	建筑照明系统运行节能 .....	131
5.6	电梯系统运行节能 .....	135
5.7	建筑能源管理系统 .....	137
5.8	建筑节能运维中的 BIM 新技术 .....	140
	思考与练习 .....	146
6	可再生能源在建筑中的应用 .....	147
6.1	可再生能源概述 .....	148
6.2	建筑可再生能源技术的气候适应性 .....	152
6.3	太阳能在建筑中的应用 .....	153
6.4	地热能建筑中的应用 .....	161
6.5	空气能热泵应用技术 .....	168
6.6	建筑可再生能源利用潜力 .....	173
	思考与练习 .....	177
7	建筑减碳新技术与可持续发展 .....	178
7.1	碳排放概述 .....	179

7.2 碳排放量计算方法 .....	180
7.3 建筑减碳集成技术路径 .....	182
7.4 建筑碳排放信息化管理新技术 .....	184
7.5 建筑节能与可持续发展 .....	188
思考与练习 .....	203
<b>8 建筑节能的技术经济分析</b> .....	<b>204</b>
8.1 建筑节能生命期评价方法 .....	205
8.2 能源效率、能源服务与焓分析 .....	209
8.3 建筑节能的经济性评价指标 .....	212
8.4 建筑节能技术先进性与综合效益评价 .....	215
思考与练习 .....	219
<b>9 建筑节能工程与低碳项目案例</b> .....	<b>220</b>
9.1 深圳建科大楼建筑节能技术的综合实践 .....	221
9.2 可再生能源建筑应用低碳改造示范工程项目 .....	224
9.3 上海世博会“城市最佳实践区”——伦敦零碳馆 .....	227
9.4 北京冬奥会国家速滑馆“冰丝带” .....	229
9.5 低碳建筑案例——中国杭州低碳科技馆 .....	231
思考与练习 .....	232
<b>参考文献</b> .....	<b>233</b>

# 1

## 建筑节能导论

### 教学目标

本章主要讲述建筑节能与建筑能耗的基本概念、国内外建筑节能的发展及其比较、建筑节能的系统认识及其全生命周期的分析方法等。通过学习,学生应达到以下目标:

- (1)掌握建筑节能及建筑能耗的基本概念。
- (2)了解国内外建筑节能发展史和中国建筑节能发展现状及未来趋势。
- (3)理解建筑节能系统分析方法和建筑节能与建筑室内环境营造的关系。

### 教学要求

知识要点	能力要求	相关知识
建筑节能与建筑能耗	<ol style="list-style-type: none"><li>(1)掌握建筑节能的概念</li><li>(2)掌握建筑能耗的概念</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>(1)建筑节能与建筑能耗</li><li>(2)建筑节能工程与建筑节能技术</li><li>(3)建筑节能产业与建筑节能市场</li></ol>
国内外建筑节能发展史	<ol style="list-style-type: none"><li>(1)了解国外建筑节能发展史</li><li>(2)熟悉国内建筑节能发展现状及特点</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>(1)国外建筑节能发展史</li><li>(2)中国建筑节能发展现状</li><li>(3)中国建筑能耗特征</li></ol>
建筑节能与室内环境质量	<ol style="list-style-type: none"><li>(1)熟悉建筑室内环境控制与建筑能耗的关系</li><li>(2)了解建筑节能对室内环境品质的影响</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>(1)室内空气品质与热舒适</li><li>(2)绿色建筑、健康建筑、可持续建筑</li></ol>
建筑节能的系统观与地域观	<ol style="list-style-type: none"><li>(1)了解建筑节能系统的划分</li><li>(2)熟悉建筑节能系统分析方法</li><li>(3)了解建筑节能技术的地域性</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>(1)建筑节能技术系统</li><li>(2)建筑节能全生命周期</li><li>(3)建筑节能全过程管理</li><li>(4)建筑节能技术的地域性</li></ol>



### 基本概念

建筑节能;建筑能耗;建筑节能工程与技术;建筑节能产业与建筑节能市场;建筑节能发展

史;中国建筑能耗特征;室内空气品质与热舒适;绿色建筑;建筑节能系统;建筑节能全生命周期;建筑节能全过程管理



## 引言

在全球能源总消耗量中,商业和住宅建筑大约占 1/3,工业和运输业也各占大约 1/3。建筑领域的节能问题已经成为全世界范围内共同关注的问题之一。在建筑领域的能源消耗,不同类型国家所占的比例不同:工业化国家占 52%、发展中国家占 23%。但发展中国家建筑能耗增长最快:发展中国家 6.1%/年、工业化国家 0.6%/年。能源的利用或消费即形成能耗,消耗能源的目的是提供一种服务,即“能源服务”。建筑能源消耗的环境影响体现在新建和改建的建筑要消耗掉大量的林木、砖石和矿物材料,资源消耗速度超过资源自我补充速度,破坏了生态平衡,导致生态危机;建筑的采暖、空调、照明和家用电器等设施运行消耗了全球约 1/3 的能源,主要是化石能源,而这些化石燃料是地球经历了亿万年才形成的,它将在我们这几代人中间消耗殆尽;建筑物在使用能源的过程中排放出大量的  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、悬浮颗粒物和其他污染物,影响人体的健康和动植物的生存;世界各国建筑能源使用中所排放的  $\text{CO}_2$ ,大约占全球  $\text{CO}_2$  排放总量的 1/3,其中,住宅约占 2/3,公共建筑约占 1/3。在中国的城市中,由于我们的能源统计分项方法与国外不同,相应的碳排放量还没有统一的数据。所以,建筑节能已成为建筑领域能源消耗的环境责任,既要重视建筑使用过程中能源消耗的环境影响,也要重视建筑建造过程中的环境影响,温室气体减排已成为建筑节能发展的基本动力。

本章主要介绍建筑节能相关的基本概念,比较国内外建筑能耗的发展及其特点,介绍建筑节能与绿色建筑、建筑节能与室内环境质量营造的关系,并从全生命周期角度建立建筑节能全过程系统模型,为本书后续章节的内容奠定基础。

## 1.1 基本概念

### 1.1.1 建筑节能与建筑能耗

节能是节约能源的简称,在不同时期有不同的内涵。我国新修订通过的《中华人民共和国节约能源法》中,节约能源是指“加强用能管理,采取技术上可行、经济上合理以及环境和社会可以承受的措施,从能源生产到消费的各个环节,降低消耗、减少损失和污染物排放、制止浪费,有效、合理地利用能源”。这表明,要达到节能的目的,需要从能源资源的开发到终端利用的全过程,通过能源管理和能源技术创新与应用,与社会经济发展水平相适应,与环境发展相协调,实现能源的合理利用、节约利用,以达到提高能源的利用效率、降低单位产品的能源消费和减少能源从生产到消费过程中对环境的不利影响。可见,节能既涉及生产领域的节能,又包括消费领域的节能,并总与一定历史时期的社会、经济、环境和技术条件密切联系。

从建筑节能理念发展的历程来看,最初的建筑节能(energy saving in building)是指降低能

耗,减少能量的输入;后来是指在建筑中保持能源(energy conservation in building),意思是保持建筑中的能量,减少建筑的热工散失;现在是指提高建筑中的能源利用效率(energy efficiency in building),即不是消极被动地节省能源,而是从积极意义上提高能源利用效率,高效地满足舒适要求。能源效率,按照物理学的观点,是指在能源利用中,发挥作用的与实际消耗的能源量之比,即为终端用户提供的服务与所消耗的总能源量之比。1995年,世界能源委员会出版《应用高技术提高能效》,把能源效率定义为“减少提供同等能源服务的能源投入”。我国《民用建筑节能条例》将民用建筑节能定义为“在保证民用建筑使用功能和室内热环境质量的前提下,降低其使用过程中能源消耗的活动”,表明民用建筑节能的基本任务是降低建筑使用过程中的能源消耗,节能的前提条件是确保建筑的使用功能和营造适宜的人工环境。

按照能源服务对象的不同,能源消耗通常分为生产、建筑和交通三大领域。在这三大领域中,能源消耗的技术设备、使用环境、操作方式及运行主体不同,其能耗形成规律也就不一样。国际上的建筑能耗有狭义和广义之分,狭义的建筑能耗是指建筑物在使用过程中消耗的能源,即建筑运行能耗;广义的建筑能耗则是指在狭义建筑能耗上加上建筑材料生产和建筑施工过程中的建造能耗。与生产、交通相比,建筑能耗具有不同的特征,具体如表 1.1 所示。

表 1.1 不同能源服务领域能耗的特征

领域能耗	能源服务类型	能耗载体	实施主体	主要属性	计量方式	影响能耗的主要因素
建筑能耗 (狭义)	热力、电力	民用建筑设施 及设备系统	全社会的人	自然、经济、 社会	单位建筑面 积能耗或人 均能耗	地域气候、建筑类型 及本体节能性、设计 施工水平、使用者行 为模式、运行管理水 平、能耗计量方式
生产能耗	热力、电力	生产工艺 及设备	培训上岗的 生产人员	经济	单位产值能耗	产品生产工艺先进 性及设备效率水平
交通能耗	移动力	交通工具	持证上岗的 驾驶员	经济、社会	单位里程能耗	交通工具及运输路况

由表 1.1 可知,与生产能耗和交通能耗相比,建筑能耗具有一定的特殊性。建筑的使用者和建筑能源系统的服务对象是全社会的人,所有生活在建筑中的人都可以参与建筑设备的操控和建筑环境参数的调节,但大多数人不理解建筑设备的性能和正确的操作方法,更不理解建筑节能的原理,没有强制的节能使用规程进行指导,对建筑设备的操作方法和环境的控制方式是主观的、随意的,建筑使用者的行为方式和生活习惯对建筑能耗的影响很大,体现了建筑节能主体的特殊性和广泛性。

建筑能耗需求的层次性和能源服务水平的多样性源于建筑自身的特性;建筑的基本属性决定了建筑环境营造必须以适宜居住为本。人的需求存在个体差异,要求建筑能源服务水平因人而异。此外,建筑的地域特征决定了建筑能耗受地域气候条件影响很大,不同地区、不同功能的建筑,提供不同服务水平的建筑能耗水平也不同。中国幅员辽阔,各地区的气候差异显著,各气候地区的建筑节能必须与当地气候条件相适应,不同地区采取的节能技术措施、产品和途径不一样,没有统一的标准或规范能概括所有气候地区的建筑,表明建筑能耗具有显著的

地域性。这些特性表明,建筑能耗不能用简单的指标进行描述,建筑能耗高低受诸多非技术因素制约,其形成与发展比生产能耗和交通能耗复杂得多。

### 1.1.2 建筑节能知识体系

建筑节能包含建筑节能科学、建筑节能技术、建筑节能工程与建筑节能产业等不同层次的理论知识与实践活动,它们相互影响,共同构成建筑节能的知识体系,如图 1.1 所示。

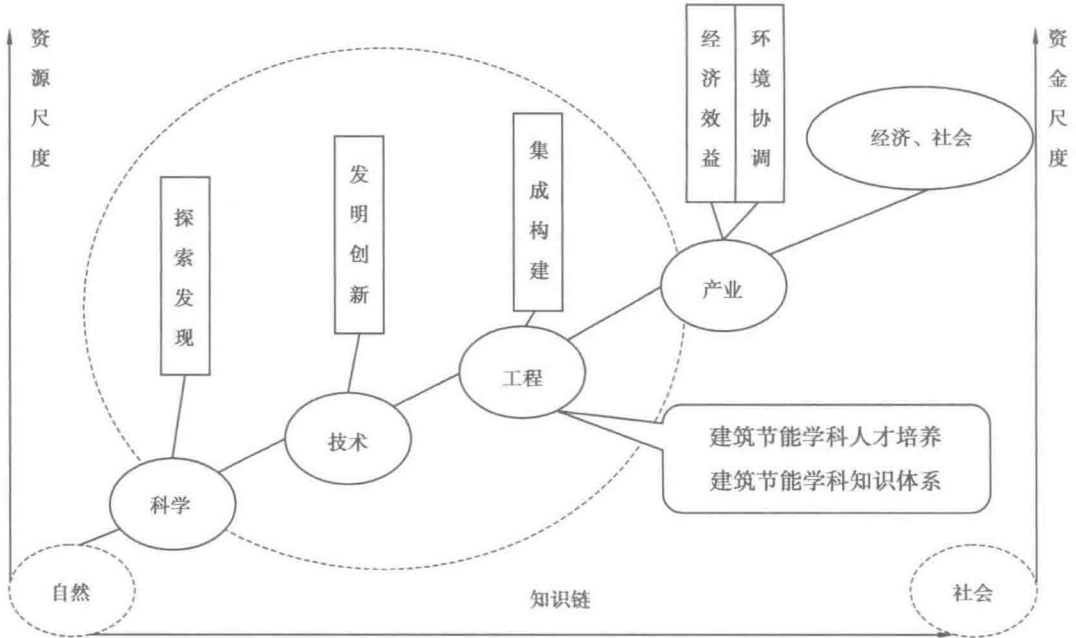


图 1.1 建筑节能知识体系的结构层次

从知识链角度来看,建筑节能既包含科学技术的内涵,又包含工程科学、工程技术和工程管理的理念,这些知识在实践活动中可以转化为现实生产力;从工程活动的社会属性来看,建筑节能是一项有计划、有组织、有目的的人工活动,通过建筑节能技术、产品或服务,向社会提供节能建筑,创造相应的经济、社会或环境效益。从社会活动角度认识建筑节能,需要系统研究其作为一门科学的理论体系和结构,作为一门学科的知识体系和人才培养要求,作为工程和技术层次应遵循的原则和发展规律,作为一个新兴产业应遵循的发展机制。建筑节能工程既有与建筑节能科学、建筑节能技术的关联性,又有与建筑节能产业、经济与社会关联性。建筑节能科学是对建筑节能活动的构成、本质及运行规律的探索与发现,并不一定要有直接的、明确的经济目标,但建筑节能技术、工程和产业则有明显的经济目标或社会公益目标,必然与市场、资源、能源、资金、环境、生态等基本要素相联系,与经济和社会的关联程度比建筑节能科学高。

### 1.1.3 建筑节能工程与技术

建筑节能工程是为了实现节能工程在建筑系统中的目标而组织、集成的活动。建筑节能工程活动的核心标志是建筑节能实践的物化成果——构建具体的建筑节能项目所提供的建筑节能服务,是通过建筑节能技术要素与诸多非技术要素的系统集成为基础的工程活动。

建筑节能技术是建筑节能工程中的一个子项或个别部分,不同的建筑节能技术在建筑节能工程中有不同的地位,起着不同的作用,彼此之间存在不同的功能。不同的建筑节能技术在一定环境条件下,通过有序、有效的合理集成,以不可分割的集成形态构成建筑节能工程整体。不同建筑节能技术方案的对比取舍、优化组合以及实施后的效果评价都是工程决策中应该考虑的重要内容。虽然建筑节能工程与建筑节能技术之间具有集成与层次的关系,但建筑节能工程不仅集成“建筑节能技术”要素,还集成许多非技术要素,是建筑节能技术与当前社会、经济、文化、政治及环境等因素综合集成的产物。

#### 1.1.4 建筑节能产业与市场

按照产业经济学的定义,产业是指具有某种同类属性、具有相互作用的经济活动的集合或系统。这里的“具有某种同类属性”是将企业划分为不同产业的基准,同一产业的经济活动均具有这样或那样相同或相似的性质。“具有相互作用的经济活动”表明,产业内各企业之间不是孤立的,而是相互制约、相互联系的。这种“相互作用的经济活动”不仅表现为竞争关系,也包括产业内因进一步分工而形成的协作关系。产业内部企业间的相互竞争与协作,促进了产业的不断发展。

建筑节能产业是指因建筑节能的兴起、发展而引起的各种产业的总和。构成建筑节能产业的各部分产业以建筑节能领域为主要服务对象,以节约能源使用、提高能源利用效率为目的,从事于各种咨询服务、技术开发、产品开发、商业流通、信息服务、工程承包等行业。建筑节能产业涉及范围广,图 1.2 为整个建筑节能产业的构成关系。

主导产业在建筑节能全局中起着主导作用,引领着节能行业的发展方向,这部分产业的发展可带动整个建筑节能行业的发展;反之,建筑节能的开展情况也决定着这部分产业的市场发展、企业生存等状况,产业与建筑节能存在相互依存的作用。基础产业是开展建筑节能工作的基础,其企业的生存和发展与建筑节能的开展状况密切相关,对建筑节能有很大的依赖性。相关产业与建筑节能有相关性,其服务含有建筑节能的内容;其企业的发展对建筑节能开展状况也有影响,同时又相对独立于建筑节能;企业中有关建筑节能的服务质量,对建筑节能的影响显著,因而,会受到建筑节能的制约。以上 3 部分产业相互影响,共同作用,形成了涉及设计、咨询、施工、监理、运行、维护、检测、评估等多个领域的建筑节能集成产业。同时,上述产业的有效联结,使得我国建筑节能产业成长为一个新兴的行业。

建筑节能市场又可以分为新建建筑节能市场和既有建筑节能改造市场两类。由于一些既有建筑的节能改造是通过能源服务公司,以合同能源管理的方式实现的,因此能源服务公司成为节能服务市场的一部分。在节能服务市场上,市场交易的商品是专门的节能服务,市场的供方为节能服务企业,需方为建筑使用者,即业主。节能服务企业通过“合同能源管理”等方式,为业主提供能源节约服务,包括为帮助业主降低建筑能耗而提供的咨询、检测、设计、融资、改造、管理等节能服务。节能部品市场是指以符合节能标准的各类建筑部品为交易对象的市场。市场的供方是节能部品生产商,需方有两类,一类是房屋的最终使用者,即业主,他们可以在市

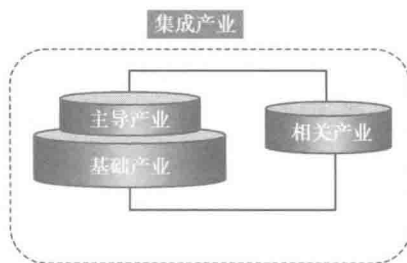


图 1.2 整个建筑节能产业的构成关系

场上直接购买节能部品,并在建筑的日常运行中使用;另一类是房屋的建造者、提供者,即开发商,他们购买节能部品,并将其作为建筑的一部分提供给业主。

### 1.1.5 节能建筑与绿色建筑

一般认为,节能建筑是指在保证建筑使用功能和满足室内物理环境质量的条件下,通过提高建筑围护结构隔热保温性能、采暖空调系统运行效率和自然能源利用等技术措施,使建筑物的能耗降低到规定水平;同时,当不采用采暖与空调措施时,室内物理环境达到一定标准的建筑物。人们对节能建筑概念的理解,经过一段时间的发展,从最初的一味节省能源,到后来的集中关注减少热量散失,再到现在的强调提高建筑中的能源利用效率。也就是说,节能建筑并不意味着牺牲舒适度,它要求用现实的手段更方便地实现高舒适度。

节能建筑最大的好处在于降低建筑能耗,从而降低维护费用。按照北欧的经验,节能建筑在初始投资上比一般建筑高出 3%,但运行维护费用可降低 60%。发达国家建筑用能一般占一国能耗的 30%~40%,我国占能源消费总量的 28%。目前,我国能源形势相当严峻,但我国的建筑节能水平较低,在能源利用效率方面有很大的提高空间。例如,瑞典、丹麦的建筑能耗大约为  $11 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ,而我国北京为  $31.7 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 、哈尔滨为  $33.7 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ,如果能达到上述先进国家的水平,则可节约 60%~70% 的建筑能耗。其次,建筑节能可以提高建筑室内环境的质量,满足人们日渐提高的生活水平的需要。再次,建筑节能可以有效减轻建筑采暖、空调引起的大气污染。如果采用新型材料的墙体,还能节约有限的黏土资源。

绿色建筑是在建筑的全生命周期内,最大限度地节约资源(节能、节地、节水、节材)、保护环境和减少污染,为人们提供健康、适用和高效的使用空间与自然和谐共生的建筑。从建筑特征来看,绿色建筑主要有 5 个要点:少消耗资源,设计、建造、使用要减少资源消耗;高性能品质,结构用材要有足够的强度、耐久度,围护结构要保温、防水等;减少环境污染,采用低污染材料,利用清洁能源;延长建筑运行使用寿命;建筑材料多回收利用。

## 1.2 国内外建筑节能发展史

### 1.2.1 建筑节能的国外发展史

国外开展建筑节能研究与实践相对国内较早,居住条件和生活方式与水平没有显著变化,其建筑节能市场框架体系比较完善,形成了相对稳定的建筑节能工程技术实践体系,各国针对自身的气候资源条件、社会经济发展水平和居住文化传统形成建筑节能发展特色,值得我们研究和借鉴。下面以德国、日本、美国、波兰为例介绍建筑节能的发展。

#### 1) 德国

自 1952 年起,德国的建筑标准开始提出了最低保温要求,保护建筑部件不受凝露和水浸破坏,提高建筑的安全使用寿命。在 1973 年第一次石油危机后,节能目标首次成为人们关注的焦点。1977 年,德国首部《保温条例》正式颁布实施,对新建建筑外露部件的热工质量提出

具体要求。2002年,《节能条例》取代了《保温条例》,不再针对单个建筑构件进行计算和评估,首次将包含技术设备在内的建筑物作为一个系统,并且用一次性能源需求取代热需求作为最重要的节能考核参数,实现了从保温证书过渡到能源证书管理,将低能耗房屋变成了普遍适用的标准。2004年、2007年和2009年版《节能条例》中相关要求进一步提高,而根据综合能源、气候一体化计算,自2012年起,能效要求还将进一步提高,最大幅度可达30%,低能耗房屋标准、被动式房屋标准到零能耗(采暖能耗)房屋标准都从建筑设计、围护结构、技术设备等方面依据建筑物所处的气候区域、地理位置以及具体用途和目的,因地制宜地采取了最佳节能措施。

## 2) 日本

日本在经历了1973年、1979年的两次石油危机后,节能技术开发和相关的节能法规建设都得到了很大发展,其建筑能耗约占全社会能耗的27%。隶属于《节约能源法》的住宅建筑节能能源基准就经历了多次修订,逐渐强化了日照和热损失基准值,设置了采暖、空调标准,扩大并完善了气密性保温隔热设计的适用范围,并且根据不同区域、地域的自然条件,因地制宜地制定了包括建筑换气、空调采暖、空气污染在内的一系列规定条款。日本作为高效的建筑运行管理典范,2003年开始实施的《修正节能法》,将建筑运行过程的节能纳入日常管理,确保建筑节能的各项措施效益最大化。日本还建立了健全的住宅节能体系,积极地推动了节能环保的产业化发展,并且重视提高整个社会的节能环保意识。比如,在依据2000年开始实施的品质法(住宅品质确保促进法)而产生的住宅性能表示制度中,对住宅的热工环境、节能等项目设定了评价基准。

## 3) 美国

美国人口约3.1亿,近2/3的家庭拥有自己的房屋,人均住房面积近60 m<sup>2</sup>。其中大部分住宅都是3层以下的独立房屋,热水、暖气、空调设备齐全,而且供暖、空调全部是分户设置,电力、煤气、燃油等能源是家庭日常开销的一个主要部分。建筑节能关系到家庭的支出,所以建筑节能是一个市场化的行为,每个家庭根据能源价格、自身收入和生活水平等因素来选择建筑能源的消费方式和水平。能源效率在同类建筑中占前25%,且室内环境质量达标的建筑授予“能源之星”标识。联邦机构必须采购有“能源之星”标识的用能产品,或能效在同类产品中占前25%的产品。

美国依靠市场机制,制定建筑行业和节能产品标准、开发和推荐能源新技术等,同时推行强制节能标准。美国以行业协会牵头、政府机构示范推进公共建筑节能。美国绿色建筑协会(USGBC)积极建设并推行以节能为主旨的《绿色建筑评估体系》,劳伦斯伯克利实验室对住宅节能技术进行了重点研究,与一些州政府合作建设“节能样板房”,为大型公共建筑节能起到了表率作用。

## 4) 波兰

20世纪七八十年代,波兰建设了不少以煤炭为能源的大板房,这些房屋能耗非常高。波兰作为2004年才加入欧盟的成员国,在住宅节能上需严格按照欧盟标准执行,即房屋的耗能

量不超过  $30 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ; 不管是在房屋租赁还是买卖时, 出租方或卖方必须给出该房屋的能耗曲线, 使租房者或买房者知道该房屋的能耗量是多少。通过推行“取暖现代化计划”, 政府将向全国居民提供约 2.4 亿欧元的“取暖现代化贷款”, 以支持那些身居旧房的居民通过节能改造来实现旧房翻新和居住条件的现代化。节能改造后的住宅, 耗能量由以前的  $130 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  普遍降到了  $30 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  以内, 有的甚至可控制在  $9 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  之内。波兰通过住宅节能改造实现了旧房“取暖现代化”。

从发达国家建筑发展过程看, 美国及日本从 20 世纪五六十年代起, 经过了 15~20 年的时间, 单位建筑面积能耗增加了 1~1.5 倍。在能耗强度大致稳定的近 20~30 年间, 与经济发展同步的全社会总建筑拥有量呈现出缓慢增长, 由此使建筑能耗总量持续增长, 并逐渐成为生产、交通、建筑三大能源消费领域中的比例最大者。发达国家的建筑节能已从 20 世纪 70 年代初为应对能源危机而被迫实行节约和缩减, 逐步演变成以提高能源利用效益、减少环境污染、改善居住生活质量和改善公共关系为目标的绿色建筑发展阶段。

### 1.2.2 建筑节能的国内发展史

中国建筑节能是以建筑业发展过程为物质基础的。居住建筑问题一直是最重要的民生问题之一。中华人民共和国成立之初, 城市住宅数量较少, 卫生条件极差, 当时针对全国 50 个城市人均居住面积只有  $3.6 \text{ m}^2$  的现状, 制定每人居住面积  $4 \text{ m}^2$  的设计标准, 实行了 30 年。1978 年 10 月, 国务院批转国家建设委员会《关于加快城市住宅建设的报告》, 要求迅速解决职工住房紧张问题, 到 1985 年, 城市人均居住面积才达到  $5 \text{ m}^2$ 。1984 年 11 月, 国家科学技术委员会提出到 2000 年争取实现城镇居民每户有一套经济实惠的住宅, 全国居民人均居住面积达到  $8 \text{ m}^2$  的目标。1994 年, 国务院提出实施国家“安居工程”计划, 平均每套建筑面积  $60 \text{ m}^2$  左右, 1995—1997 年, 共有近 245 个城市批准实施, 建筑面积近 5 000 万  $\text{m}^2$ 。1994—2000 年, 全国各地有 7 批共 70 多个小康住宅示范小区设计通过审查进入实施, 2000 年后, 示范小区并入康居工程。2004 年 11 月 22 日, 原建设部政策研究中心颁布了我国居民住房的小康标准。

截至 2006 年年底, 城镇居民住房自有率达到 83%。按户籍人口计算, 2008 年, 城镇人均住宅建筑面积达到了  $28 \text{ m}^2$  左右, 全国城镇住宅投资总额已达到 6.7 万亿元, 年均竣工住宅超过 6 亿  $\text{m}^2$ 。城镇住宅建设面积从数量上已与发达国家居住水平接近, 居住环境得到改善, 但住宅建设过程中土地、能源、材料浪费和环境污染严重, 城镇居住建筑能耗总量逐年增长, 住宅建筑节能问题日益突出。

同样, 公共建筑建设规模和能耗总量也逐年上升。城镇公共建筑总面积, 2005 年达到 57 亿  $\text{m}^2$ , 其中, 大型公共建筑 6.6 亿  $\text{m}^2$ , 一般公共建筑 50 亿  $\text{m}^2$ 。公共建筑能耗占建筑总能耗近 20%。其中, 一般公共建筑总耗电量从 1995 年的全国平均  $24 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  提高到 2005 年的  $28 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ , 大型公共建筑则从平均  $148 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  提高到  $168 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ , 单位面积年耗电量大型公共建筑是一般公共建筑的 6 倍左右。2010—2020 年, 中国建筑能耗总量及其电力消耗量均大幅增长。2020 年, 建筑运行的总商品能耗为 10.6 亿吨标准煤 (tce), 约占全国能源消费总量的 21%, 建筑商品能耗和生物质能共计 11.1 亿 tce, 其中, 生物质能耗约 0.9 亿 tce。

总之, 中国建筑节能大致经历了以下 5 个阶段。

①1986年之前为理论探索阶段,主要是在理论方面进行了一些研究,了解、借鉴国际上建筑节能的情况和经验,对我国建筑节能进行初步探索,1986年出台了《民用建筑节能设计标准》,提出建筑节能率目标是30%。

②1987—2000年为第二阶段,即试点示范与推广阶段。原建设部加强了对建筑节能的领导,并从1994年开始有组织地出台了一系列的政策法规、技术标准与规范,制定建筑节能政策并组织实施。如《建筑节能“九五”计划和2010年规划》,修订节能50%的新标准。

③2001—2005年是第三个阶段,一个承上启下的转型阶段。这一时期,地方建筑节能工作广泛开展,建筑节能趋向深化,地方性的节能目标、节能规划纷纷出台,28个省、市制定了“十一五”建筑节能专项规划;各地建设项目在设计阶段执行设计标准的比例提高到57.7%,部分省、市提前实施了65%的设计标准。2005年修订的《民用建筑节能管理规定》,总结既往经验和教训,针对建筑节能工作面临的新情况进行管理规定,对全面指导建筑节能工作具有重要意义。

④2006—2020年是建筑节能的全面发展阶段,其重要标志是新修订的《中华人民共和国节约能源法》成为建筑节能上位法,以及《民用建筑节能条例》《公共机构节能条例》的实施。

⑤2021年至今,建筑节能进入低碳发展新阶段。2020年,中央明确提出“3060”目标,国务院印发《2030年前碳达峰行动方案》。建筑领域低碳目标是寻求在建筑全生命周期中通过采取有效措施降低其碳排放,包括建造过程的碳排放、建材生产运输的碳排放及建筑运行过程的碳排放,通过低碳或零碳电力系统,协调能源供给侧与需求侧的关系,实现低碳与节能的协同目标。

中国建筑发展及能耗现状研究表明,随着社会经济的发展,城市化进程加快,人们对人居环境质量水平要求的提升,建筑能耗规模还将持续增加,必将给能源供应安全带来极大的压力,表明推动建筑节能事业健康的紧迫性。

### 1.2.3 国内外建筑节能发展比较

根据能耗数据分析,国内外建筑能耗存在差别的主要原因包括:用能设备的运行模式差异、建筑内居住者或使用者的行为差异,以及室内环境的设定参数差异。表1.2给出了中美两国建筑空调能耗差别的原因,其中最根本的原因是居民控制的室内参数不同。

表 1.2 中美两国建筑空调能耗差别的原因

国家	特征	空调运行时间	运行模式	居住者行为	室内温度	新风量
中国	自然和谐	短	部分时间、部分空间	用户根据需要调节设备、开窗、调节室内温度等	根据外界气候有较大波动	自行开窗解决
美国	全面掌控	长	全时间、全空间	不需要调节,实现自动化	恒温	机械送风,有固定送风量

对比美国、日本等国家的建筑能耗水平,我国城市的单位面积建筑能耗水平、经济发展水平还有较大的提升空间。但是,我国人口总量大、国土面积和资源量有限,并且不能像美国、日