



能源与环境出版工程

总主编 翁史烈

上海交通大学学术出版基金资助

绿色建筑能源系统

Energy Systems in Green Buildings

王如竹 翟晓强 编著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS



能源与环境出版工程

总主编 翁史烈

上海交通大学学术出版基金资助

绿色建筑能源系统

Energy Systems in Green Buildings

王如竹 翟晓强 编著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书是“能源与环境出版工程”系列图书之一,内容覆盖了绿色建筑的主要能源系统形式,包括太阳能热利用技术,高效热泵能源技术、冷热电三联产技术等。本书针对这些技术,分别介绍了系统工作原理、设计计算方法以及系统运行性能,并重点介绍了各项技术的实验室研究结果以及工程应用实践。

本书可供高校建筑以及能源相关专业师生教学使用,也可供建筑设计单位以及建筑开发企业进行工程技术研发、设计和管理。

图书在版编目(CIP)数据

绿色建筑能源系统/王如竹,翟晓强编著. —上海:上海交通大学出版社,2013

ISBN 978-7-313-10243-0

I. ①绿… II. ①王… ②翟… III. ①生态建筑—无污染能源 IV. ①TU18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 201042 号

绿色建筑能源系统

王如竹 翟晓强 编著

上海交通大学 出版社出版发行

(上海市番禺路 951 号 邮政编码 200030)

电话: 64071208 出版人: 韩建民

上海万卷印刷有限公司印刷 全国新华书店经销

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 21.25 字数: 407 千字

2013 年 10 月第 1 版 2013 年 10 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-313-10243-0/TU 定价: 89.00 元

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系
联系电话: 021-56928211

能源与环境出版工程 丛书学术指导委员会

主任

杜祥琬(中国工程院原副院长、中国工程院院士)

委员(以姓氏笔画为序)

苏万华(天津大学教授、中国工程院院士)

岑可法(浙江大学教授、中国工程院院士)

郑平(上海交通大学教授、中国科学院院士)

饶芳权(上海交通大学教授、中国工程院院士)

闻雪友(中国船舶工业集团公司 703 研究所研究员、中国工程院院士)

秦裕琨(哈尔滨工业大学教授、中国工程院院士)

倪维斗(清华大学原副校长、教授、中国工程院院士)

徐建中(中国科学院工程热物理研究所研究员、中国科学院院士)

陶文铨(西安交通大学教授、中国科学院院士)

蔡睿贤(中国科学院工程热物理研究所研究员、中国科学院院士)

能源与环境出版工程 丛书编委会

总主编

翁史烈(上海交通大学原校长、教授、中国工程院院士)

执行总主编

黄震(上海交通大学副校长、教授)

编委(以姓氏笔画为序)

马重芳(北京工业大学环境与能源工程学院院长、教授)

马紫峰(上海交通大学电化学与能源技术研究所教授)

王如竹(上海交通大学制冷与低温工程研究所所长、教授)

王辅臣(华东理工大学资源与环境工程学院教授)

何雅玲(西安交通大学热流科学与工程教育部重点实验室主任、教授)

沈文忠(上海交通大学凝聚态物理研究所副所长、教授)

张希良(清华大学能源环境经济研究所所长、教授)

骆仲泐(浙江大学能源工程学系系主任、教授)

顾璠(东南大学能源与环境学院教授)

贾金平(上海交通大学环境科学与工程学院教授)

徐明厚(华中科技大学煤燃烧国家重点实验室主任、教授)

盛宏至(中国科学院力学研究所研究员)

章俊良(上海交通大学燃料电池研究所所长、教授)

程旭(上海交通大学核科学与工程学院院长、教授)

总 序

能源是经济社会发展的基础,同时也是影响经济社会发展的主要因素。为了满足经济社会发展的需要,进入 21 世纪以来,短短十年间(2002—2012 年),全世界一次能源总消费从 96 亿吨油当量增加到 125 亿吨油当量,能源资源供需矛盾和生态环境恶化问题日益突显。

在此期间,改革开放政策的实施极大地解放了我国的社会生产力,我国国民生产总值从 10 万亿元人民币猛增到 52 万亿元人民币,一跃成为仅次于美国的世界第二大经济体,经济社会发展取得了举世瞩目的成绩!

为了支持经济社会的高速发展,我国能源生产和消费也有惊人的进步和变化,此期间全世界一次能源的消费增量 28.8 亿吨油当量竟有 57.7% 发生在中国! 经济发展面临着能源供应和环境保护的双重巨大压力。

目前,为了人类社会的可持续发展,世界能源发展已进入新一轮战略调整期,发达国家和新兴国家纷纷制定能源发展战略。战略重点在于:提高化石能源开采和利用率;大力开发可再生能源;最大限度地减少有害物质和温室气体排放,从而实现能源生产和消费的高效、低碳、清洁发展。对高速发展中的我国而言,能源问题的求解直接关系到现代化建设进程,能源已成为中国可持续发展的关键! 因此,我们更有必要以加快转变能源发展方式为主线,以增强自主创新能力为着力点,规划能源新技术的研发和应用。

在国家重视和政策激励之下,我国能源领域的新概念、新技术、新成果不断涌现;上海交通大学出版社出版的江泽民学长著作《中国能源问题研究》(2008 年)更是从战略的高度为我国指出了能源可持续发展的健康发展之路。为了“对接国家能源可持续发展战略,构建适应世界能源科学技术发展趋势的能源科研交流平台”,我们策划、组织编写了这套“能源与环境出版工

程”丛书,其目的在于:

一是系统总结几十年来机械动力中能源利用和环境保护的新技术新成果;

二是引进、翻译一些关于“能源与环境”研究领域前沿的书籍,为我国能源与环境领域的技术攻关提供智力参考;

三是优化能源与环境专业教材,为培养具有高水平技术人员的培养提供一套系统、全面的教科书或教学参考书,满足人才培养对教材的迫切需求;

四是构建一个适应世界能源科学技术发展趋势的能源科研交流平台。

该学术丛书以能源和环境的关系为主线,重点围绕机械过程中的能源转换和利用过程和这些过程中产生的环境污染治理问题,主要涵盖能源与动力、生物质能、燃料电池、太阳能、风能、智能电网、能源材料、大气污染与气候变化等专业方向,汇集能源与环境领域的关键性技术和成果,注重理论与实践的结合,注重经典性与前瞻性的结合。图书分为译著、专著、教材和工具书等几个模块,其内容包括能源与环境领域内专家们最先进的理论方法和技术成果,也包括能源与环境工程一线的理论 and 实践。如钟芳源等撰写的《燃气轮机设计》是经典性与前瞻性相统一的工程力作;黄震等撰写的《机动车可吸入颗粒物排放与城市大气污染》和王如竹等撰写的《绿色建筑能源系统》是依托国家重大科研项目的新成果新技术。

为确保这套“能源与环境”丛书具有高品质和重大的社会价值,出版社邀请了杜祥琬院士、黄震教授、王如竹教授等专家,组建了学术指导委员会和编委会,并召开了多次编撰研讨会,商谈丛书框架,精选书目,落实作者。

该学术丛书在策划之初,就受到了国际科技出版集团 Springer 的关注,与我们签订了合作出版框架协议。Springer 经过严格的同行评审,首批购买了三本书的英文版权,如《低铂燃料电池技术》(*Low Platinum Fuel Cell Technologies*),《生物质水热氧化法生产高附加值化工产品》(*Hydrothermal Conversion of Biomass into Chemicals*),《燃煤烟气汞排放控制》(*Coal Fired Flue Gas Mercury Emission Controls*)。这些著作的成功输出体现了图书较高的学术水平和良好的品质。

希望这套书的出版能够有益于能源与环境领域里人才的培养,有益于能源与环境领域的技术创新,为我国能源与环境的科研成果提供一个展示的平台,引领国内外前沿学术交流和创新并推动平台的国际化发展!

俞史烈

2013年8月

前 言

绿色建筑是指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。能源系统是绿色建筑设计中的重要内容。《绿色建筑能源系统》撰写的初衷,就是通过介绍主要高效节能技术的工作原理以及运行实验,并结合一些工程实例详解部分技术的应用方案,为绿色建筑能源系统的设计和研究提供借鉴。此外,在我国大力发展绿色建筑之际,该书的及时出版更可为设计师以及开发商提供一些较为合理的技术路线和设计参数。

本书的主要内容基于作者及其团队近十年来在绿色建筑能源系统方面的研究成果。具体包括八部分内容:其中,第1章主要讲述绿色建筑的基本概念以及发展历程,同时介绍绿色建筑能源系统的特征和主要形式;第2章主要讲述太阳能利用技术,从建筑一体化光热和光伏、太阳能供热、空调、除湿系统集成以及运行实验等角度详细阐述太阳能在建筑中的应用途径;第3章主要讲述热泵能源技术,包括应用较多的空气源热泵技术以及近些年得到迅速发展的地源热泵空调技术,具体以土壤源热泵和河水源热泵为例阐述其工作原理和实际运行特性;第4章主要讲述分布式供能技术,以燃气驱动的冷热电三联产系统为例阐述其工作过程的主要特点;第5章、第6章和第7章分别基于大量的参考文献讲述太阳能储能技术、高效空调与供热节能技术以及绿色建筑论证体系中的能源系统评价方法;第8章主要介绍作者及其团队于2012年实施完成的上海交通大学绿色能源实验室的能源集成系统。

为了真正达到推广和普及绿色建筑能源系统的目的,本书采用了较多的原理图和实验过程曲线,力求深入浅出地向读者讲述各项技术方案和系

统形式,既保证本书在专业方面的学术性,同时兼顾其他专业领域工程技术人员的可读性。

本书由王如竹、翟晓强联合编著。代彦军、吴静怡、李勇、葛天舒等教授以及孙鹏、邓帅、尹亚领、裴海涛、李蕊、李慧、王加龙、王聪、闫霆、张川、刘剑、王波、孙晓林等研究生在本书的编著过程中做了大量的工作。此外,本书的许多素材还来源于作者团队已经毕业的研究生旷玉辉、孔祥强、吴大为、李胜、王德昌等人的学位论文,对此谨致谢意。

由于作者水平有限,书中存在的错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

王如竹 翟晓强

2013年5月

目 录

第 1 章 概述	001
1.1 绿色建筑概论	001
1.1.1 绿色建筑概念	001
1.1.2 绿色建筑的发展过程	001
1.2 绿色建筑能源系统特点及主要系统形式	003
1.2.1 绿色建筑能源系统特点	003
1.2.2 绿色建筑能源系统分类及主要系统形式	003
参考文献	009
第 2 章 太阳能技术	010
2.1 太阳能集热技术与热水系统	010
2.1.1 太阳能集热器	010
2.1.2 太阳能热水系统	016
2.2 建筑一体化光伏系统	020
2.2.1 太阳能发电基本原理	020
2.2.2 建筑一体化光伏系统概念	022
2.2.3 BIPV 对建筑围护结构热性能的影响	023
2.2.4 建筑一体化光伏系统设计实例	024
2.3 太阳能供热与制冷系统	028
2.3.1 技术现状	028
2.3.2 系统工作原理	029
2.3.3 系统运行特性	031
2.3.4 其他类型的太阳能空调系统	037
2.3.5 节能性及技术适用性分析	040
2.4 太阳能除湿空调系统	042
2.4.1 技术现状	042
2.4.2 系统工作原理	043

2.4.3 运行特性	046
2.4.4 节能性及技术适用性分析	054
参考文献	056
第3章 高效热泵能源技术	059
3.1 空气源热泵能源系统	059
3.1.1 空气源热泵热水系统	059
3.1.2 空气源热泵空调系统	070
3.1.3 游泳池空气源热泵能源系统	082
3.1.4 太阳能/空气源直膨式热泵热水器	087
3.2 竖直埋管地源热泵空调系统	091
3.2.1 技术现状	091
3.2.2 系统工作原理及设计计算方法	093
3.2.3 运行特性	095
3.2.4 地源热泵空调系统的适用性分析	108
3.3 河水源热泵空调系统	110
3.3.1 技术现状	110
3.3.2 系统工作原理及设计计算方法	113
3.3.3 运行特性	115
3.3.4 节能性及技术适用性分析	119
参考文献	120
第4章 分布式供能技术	124
4.1 技术原理及系统设计	124
4.1.1 分布式供能技术	124
4.1.2 技术原理	125
4.1.3 系统设计	132
4.2 冷热电联供系统运行特性	138
4.2.1 影响运行特性的关键因素	138
4.2.2 运行特性预测	140
4.2.3 运行特性实验研究	146
4.3 技术适应性及热经济性分析	155
4.3.1 技术适应性分析	155
4.3.2 热经济性分析	161
4.4 冷热电联供与风、光互补	164

4.4.1 设计思想	164
4.4.2 工作原理	165
4.4.3 优化配置	165
4.4.4 能量输出	167
参考文献	169
第5章 太阳能储能	171
5.1 概述	171
5.1.1 储能系统的定义和任务	171
5.1.2 对储能系统的要求	172
5.2 热能储存技术	172
5.3 太阳能储热技术的分类	176
5.3.1 按循环周期的长短分类	176
5.3.2 按储热温度的高低分类	177
5.4 太阳能储热一般需要考虑的问题	177
5.5 显热热储存	179
5.5.1 显热热储存介质	179
5.5.2 显热热储存中需要考虑的问题	181
5.6 潜热热储存	182
5.6.1 相变材料的使用及选取	183
5.6.2 潜热热储存中需要考虑的问题	189
5.7 化学热储存	191
5.7.1 太阳能化学热储存的特点	191
5.7.2 可用于化学热储存的可逆反应	192
5.7.3 化学热储存的前景及存在的问题	199
5.8 电能储存技术	200
5.8.1 飞轮储能	200
5.8.2 超导电感储能	202
5.8.3 超级电容储能	203
5.8.4 蓄电池储能	204
参考文献	208
第6章 高效空调与供热节能技术	210
6.1 高效冷水机组	210
6.1.1 冷水机组的能效及其评价	210

6.1.2 提高冷水机组能效的技术措施	212
6.2 多联机(VRV)空调系统	214
6.2.1 VRV 系统的基本原理	214
6.2.2 VRV 系统的特点	215
6.2.3 VRV 系统的设计与运行	217
6.2.4 VRV 系统的发展现状与趋势	218
6.3 冰蓄冷空调	219
6.3.1 蓄冷技术产生的背景	219
6.3.2 蓄冷技术的基本概念与原理	220
6.3.3 冰蓄冷空调的设计与运行	221
6.3.4 冰蓄冷空调的经济性分析	223
6.4 温湿度独立控制空调系统	224
6.4.1 温湿度独立控制空调系统的基本原理与设备	224
6.4.2 温湿度独立控制空调系统的设计方法	226
6.4.3 温湿度独立控制空调系统的性能分析	227
6.4.4 温湿度独立控制空调系统的应用与实践	227
6.5 新型空调末端	228
6.5.1 空调末端设备简介	228
6.5.2 辐射末端	229
6.5.3 小温差换热末端	233
6.6 建筑热回收技术	234
6.6.1 排风热回收	234
6.6.2 空调冷凝热回收	236
6.6.3 建筑内其他热量的回收	239
6.7 燃气冷凝锅炉	239
6.7.1 燃气冷凝锅炉的概念与特点	239
6.7.2 燃气冷凝锅炉的研究与应用	240
6.8 建筑能耗的分项计量	241
6.8.1 建筑能耗及其统计方法	241
6.8.2 大型公共建筑能耗的分项计量	242
6.8.3 住宅建筑的能耗统计	243
参考文献	244
第7章 绿色建筑论证体系及其中的能源系统评价	246
7.1 绿色建筑评价的基本原则	246

7.2 绿色建筑评价标准	248
7.2.1 建筑环境标准	248
7.2.2 绿色建筑评价体系标准的制定	249
7.2.3 绿色建筑评价体系标准的内容	250
7.3 国外绿色建筑评价体系介绍	251
7.3.1 美国的能源及环境设计先导计划 LEED	251
7.3.2 英国的建筑研究所环境评估法 BREEAM	253
7.3.3 加拿大“绿色建筑挑战”GBTool	256
7.3.4 日本建筑物综合环境性能评价体系 CASBEE	259
7.4 我国绿色建筑评价体系介绍	261
7.4.1 北京奥运建筑评估体系	262
7.4.2 绿色建筑评价标准	265
7.5 各国绿色建筑评价体系的比较	266
参考文献	267
第8章 绿色建筑能源系统案例	268
8.1 中意绿色能源实验室	268
8.1.1 建筑基本信息	269
8.1.2 能源系统设计条件	269
8.1.3 能源系统的设计概述	271
8.2 零能耗住宅系统集成案例	278
8.2.1 集成系统设计概述	279
8.2.2 集成系统介绍	282
8.2.3 运行效果与分析	286
8.3 住宅能源计量与管理系统集成案例	293
8.3.1 集成系统介绍	293
8.3.2 运行效果与分析	299
8.4 上海生态建筑示范楼太阳能热利用系统	305
8.4.1 太阳能与建筑一体化设计	306
8.4.2 太阳能供热水、空调、地板采暖、自然通风复合能量系统	308
8.4.3 数据采集及自动控制系统	310
8.4.4 太阳能复合能量系统的运行测试与分析	312
参考文献	318
索引	320

第 1 章 概 述

1.1 绿色建筑概论

绿色建筑是实现“以人为本”、“人文—建筑—环境”三者和谐统一的重要途径,是实施可持续发展战略的重要组成部分。这里所说的“绿色”并非一般意义的立体绿化、屋顶花园,而是对环境无害的一种标志,是指这种建筑能够在不损害生态环境的前提下,提高人们的生活质量及当代与后代的环境质量。其“绿色”的本质是物质系统的首尾相接,无废无污、高效和谐、开放式闭合性良性循环。“绿色”赋予建筑物以生态学的文化和艺术内涵,因此,绿色建筑又为环境共生建筑。近些年来,绿色建筑的理念在世界各国逐渐受到重视。

1.1.1 绿色建筑概念

我国《绿色建筑评价标准》将绿色建筑定义为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^[1]。

1.1.2 绿色建筑的发展过程

20 世纪中期,在全球资源环境危机中受绿色运动的影响和推动,绿色建筑的思想观念开始萌生。20 世纪 60 年代,美籍意大利建筑师保罗·索勒瑞首次综合生态与建筑两个独立的概念提出“生态建筑”(绿色建筑)的新理念。20 世纪 70 年代中期,一些国家开始实行建筑节能类的规范,并且逐步提高节能标准,绿色建筑逐渐开始了政府化行为。1992 年联合国环境与发展大会的召开,使“可持续发展”这一重要思想在世界范围达成共识。绿色建筑渐成体系并在不少国家实践推广,成为当今世界建筑发展的重要方向^[2]。

由于历史和经济的原因,中国绿色建筑发展历史并不长,前后不到 30 年,这 30 年也是中国城市化高速发展的时期。与欧美发达国家不同,中国绿色建筑的发展伴随着稳定快速城市化的高峰期,而欧美国家是在其完成了城市化以后,在郊区城

市化和逆城市化阶段发展绿色建筑。回顾中国的绿色建筑发展历史,基本可以划分为以下四个阶段:①20世纪80年代及以前,中国绿色建筑萌芽阶段;②20世纪90年代,国外绿色建筑理论的引入和绿色建筑基础研究阶段;③21世纪前10年,绿色建筑实践和中国绿色建筑标准体系建立阶段;④中国绿色建筑高速发展阶段^[3]。

如今,我国的绿色建筑正进入快速发展时期,截至2012年3月,全国已评出379项绿色建筑评价标识项目,总建筑面积达到3800多万平方米。通过对已经获得绿色建筑评价标识的79个不同星级绿色建筑项目进行分析可知,社区的绿化率可以达到38%,平均节能率达到58%,节水率达到15.2%以上,可循环材料达到7.7%。大规模发展绿色建筑,不仅可以把建筑节能总体的目标限制在10亿t标准煤以内,甚至可能会低于8亿t标准煤,更重要的是还可以通过节水节材,从而降低工业能耗^[4]。发展绿色建筑是解决我国资源能源问题的有效途径和重要战略。

我国正处于工业化、城镇化和新农村建设快速发展的历史时期,深入推进建筑节能,进一步加快发展绿色建筑面临难得的历史机遇。从目前各省已有的绿色建筑项目数量来看,江苏名列前茅,广东紧随其后。广东省所有的绿色建筑中70%是深圳的项目。前十位的省市还有上海、浙江、天津、北京、河北、四川、湖北、山东,如图1-1所示^[4]。整体来看,绿色建筑的面积每年增长都较快,尤其是2011年获得明显的加速,如图1-2所示^[4]。

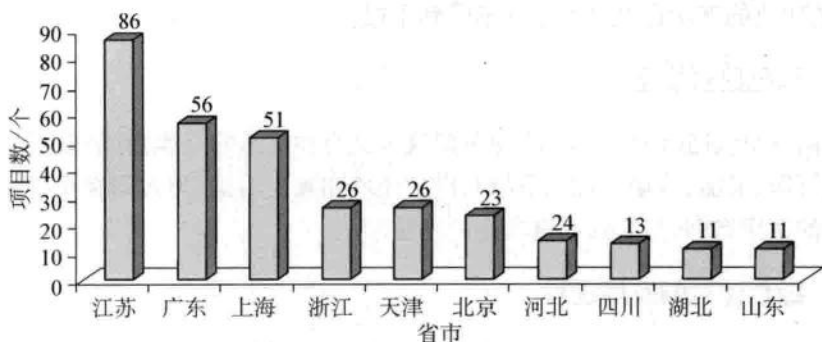


图1-1 已有绿色建筑项目数处于前十位的省市

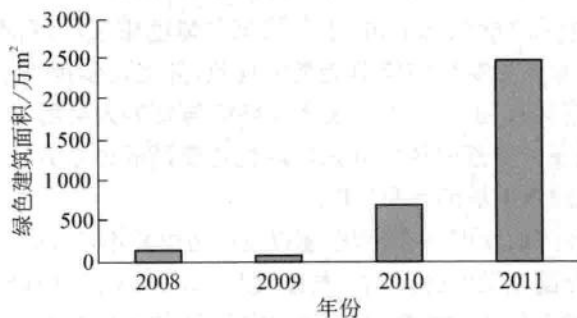


图1-2 中国每年新建绿色建筑面积