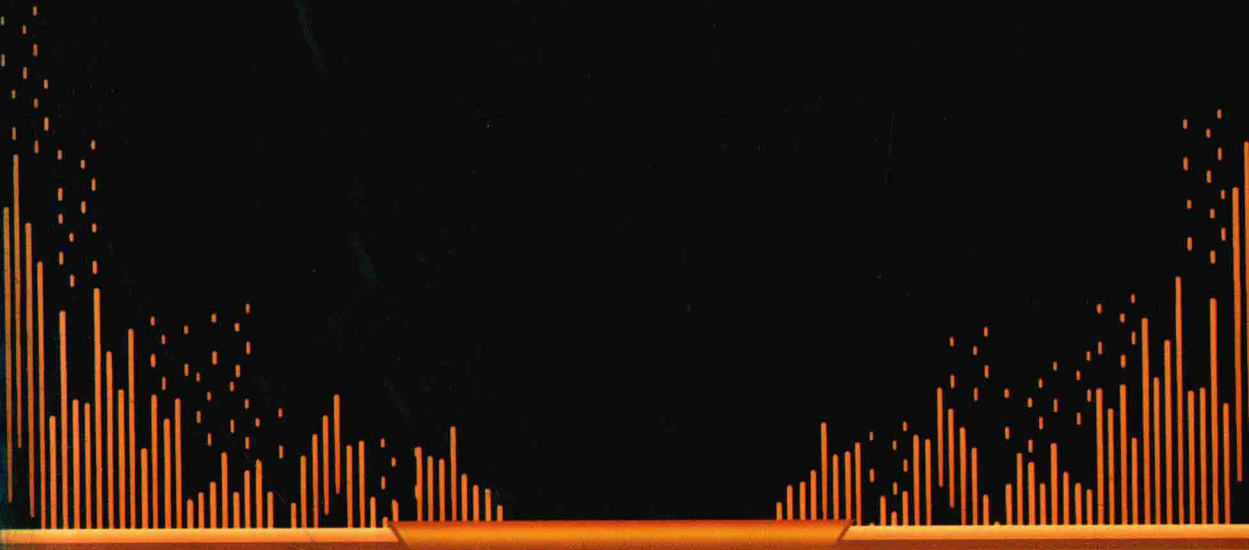




建筑多能互补能源 系统技术及应用

卢 军 邹秋生 李永财 王 曦 / 著



Building Multi-Energy Complementary
Technology and Its Applications



科学出版社

建筑多能互补能源系统技术及应用

卢 军 邹秋生 李永财 王 曦 著



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以理论知识与工程案例相结合为特点,融入了作者多年的教学、科研和工程实践经验。全书共12章,内容涉及地埋管地源热泵、水源热泵、空气源热泵、热源塔、工业余热、太阳能光热利用、分布式能源、相变蓄能等技术,着重阐述多能互补能源系统的协同运行机理、优化控制策略及其经济性等。不仅能使读者熟悉该技术基本原理,还能掌握其设计方法。

本书可供暖通空调研究、设计、施工、管理人员使用,也可供具有一定专业基础的大中专院校师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

建筑多能互补能源系统技术及应用 / 卢军等著. —北京:科学出版社, 2018.3

ISBN 978-7-03-056262-3

I. ①建… II. ①卢… III. ①建筑-能源-系统设计-研究 IV. ①TU111.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 006467 号

责任编辑:张 展 唐 梅 / 责任校对:韩雨舟

责任印制:罗 科 / 封面设计:墨创文化

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

成都锦瑞印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年3月第一版 开本:B5(700×1000)

2018年3月第一次印刷 印张:17 3/4 插页:8页

字数:357千字

定价:118.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

如今,随着可再生能源、储能技术的发展,能源产业开始进入多元化时代。发展可再生能源是优化我国能源结构和改善环境质量的主要手段,已成为我国可持续发展战略中重要组成部分。“十三五”时期是我国能源低碳转型的关键期。多能互补成为能源可持续发展的新潮流,引领着能源行业迈向多种能源深度融合、集成互补的全新能源体系。可再生能源与化石能源具有很强的互补性,因此,可再生能源可与化石燃料形成多种能源互补的系统形式。所谓多能互补,简单来说就是多种能源之间相互补充和梯级利用,其中至少含有一种可再生能源,能源类型相互补充,从而提升能源系统的综合利用效率,缓解能源供需矛盾,构成丰富的清洁、低碳供能结构体系。2016年12月,国家能源局发布《能源发展“十三五”规划》,明确了多能互补集成优化示范工程的建设任务,并将相关国家级示范项目纳入规划。要求各省(区、市)能源主管部门应在省级能源规划中明确本地区建设目标和任务,针对新增用能区域,组织相关部门研究制定区域供用能系统综合规划,推动多能互补集成优化示范工程。

基于多能互补能源系统在我国能源低碳转型过程中所起的重要作用,有必要对多能互补系统在我国不同地区的适宜性以及经济性进行深入研究。本书结合我国西南地区——四川省的气候以及资源特点,着重研究多能互补能源系统的协同运行机理、优化控制策略及其经济性。现阶段介绍多能互补能源系统的著作较少,无法满足广大专业人员对这方面相关知识的需求。作者长期从事多能互补能源系统的相关理论和工程应用研究工作,为介绍多能互补能源系统在建筑中的应用,特编写了本书,以期为广大暖通空调工程技术人员提供设计、施工、运行管理等方面的参考,也可供相关高校师生学习使用。为了保证研究体系的完整性,一些章节有较深入的理论数学公式或模型介绍,以备有研究兴趣的读者参考。

卢军教授负责全书统稿,并编写第3、4、5、6章;李永财副教授负责编写第1、8、10章;邹秋生高级工程师负责编写第2、7、9章;王曦工程师负责编写第11、12章。研究生孙芸雅、苏立群、丁豪、胡磊、邓博、范芸青、宋景娜、卜萃文、段梦庆、刘雨曦、徐政宇、张惠民、杨柳、李婷、张少良、刘宗晟、

施润亮、李无言、吕恽非、田柳、付文涛、熊磊、郭哲豪、黄若琳、方超、范浩然、刘崇喜、李倩茹、黄凯霖、袁琳琳、陈攀、黄胜、龙天河、李妤姝、王美林、胡睿等为书稿的资料收集、整理等做了大量工作，在此谨致谢意。

同时，全书参考了众多的著作与文献，谨向原作者表示诚挚谢意。

因时间以及作者水平有限，书中可能存在不妥之处，敬请广大读者提出宝贵意见。

作者

2018 年于重庆

目 录

第1章 绪论	1
1.1 多能互补与建筑节能	1
1.2 现有能源及主要利用技术	2
1.2.1 现有的能源形式	2
1.2.2 建筑新能源的利用技术	3
1.3 多能互补的发展过程	5
参考文献	6
第2章 建筑负荷分析	8
2.1 四川代表城市气候分析	8
2.1.1 严寒、寒冷地区(红原)	8
2.1.2 夏热冬冷地区(成都)	10
2.1.3 温和地区(西昌)	11
2.2 建筑负荷分析	12
2.2.1 居住建筑负荷分析	12
2.2.2 公共建筑负荷分析	13
2.3 实例分析	13
2.3.1 DeST 模型建立	13
2.3.2 模拟参数定义	14
2.3.3 建筑冷热负荷模拟及分析	16
参考文献	26
第3章 地埋管地源热泵	27
3.1 地埋管地源热泵概述及特性	27
3.1.1 地埋管地源热泵概述	27
3.1.2 地埋管地源热泵特性	28
3.2 地埋管地源热泵研究与应用现状	29
3.2.1 国外的研究与应用	29
3.2.2 国内的研究与应用	29
3.3 岩土热响应测试设计	30

3.3.1	测试原理	30
3.3.2	测试方案	31
3.3.3	测试方法	32
3.3.4	测试过程	33
3.3.5	岩土热响应测试结果及分析	34
3.3.6	单位孔深地埋管参考换热量	35
3.3.7	岩土温度动态特性模拟	35
3.4	重庆地区地埋管地源热泵社会效益	39
3.4.1	计算相关设定	39
3.4.2	地源热泵在不同功能建筑中的应用效益	41
3.4.3	社会效益指标化	44
3.4.4	社会效益总结分析	48
3.5	案例分析	48
3.5.1	地埋管地源热泵系统 RH 项目	49
3.5.2	LJ 商务中心办公楼冷却塔复合式地源热泵项目	52
3.5.3	LJ 节能示范项目冷却塔复合式地源热泵系统	56
	参考文献	60
第 4 章	地表水源热泵	61
4.1	地表水源热泵研究概述	61
4.1.1	背景	61
4.1.2	地表水源热泵发展现状	62
4.2	地表水源热泵应用分析	63
4.2.1	江水源热泵系统技术分析	63
4.2.2	湖水源热泵应用分析	68
4.3	地表水源热泵模型分析	72
4.3.1	能量回收型江水源热泵系统	72
4.3.2	湖水源热泵系统水源侧数学模型	79
4.4	案例分析	82
4.4.1	江水源热泵案例分析	82
4.4.2	湖水源热泵案例分析	83
	参考文献	95
第 5 章	空气源热泵	97
5.1	空气源热泵研究现状及系统概述	97
5.2	空气源热泵机组工作原理	97
5.3	空气源热泵系统形式及特点概述	98

5.3.1	空气源热泵热水系统形式及特点概述	99
5.3.2	空气源热泵供暖系统形式及特点概述	100
5.4	空气源热泵系统应用要点与关键技术	101
5.4.1	空气源热泵热水系统应用要点与关键技术	101
5.4.2	空气源热泵供暖系统应用要点与关键技术	104
5.5	空气源热泵热水系统优化配置与运行	107
5.6	空气源热泵采暖热水系统评价	110
5.6.1	技术性评价	110
5.6.2	经济性评价	110
5.7	实例分析	113
5.7.1	工程概况	113
5.7.2	典型气候日系统性能测试结果与分析	115
5.7.3	系统节能效益分析	122
	参考文献	125
第6章	热源塔热泵	126
6.1	热源塔热泵系统的原理	126
6.1.1	热源塔三种典型结构	126
6.1.2	热源塔热泵系统	130
6.1.3	自动加药系统	131
6.2	开式热源塔热质交换理论	131
6.2.1	气-液热质交换原理	131
6.2.2	夏季工况热质交换过程	133
6.2.3	冬季工况热质交换过程	135
6.3	开式热源塔冬季传热传质性能	139
6.3.1	物理模型	139
6.3.2	传质性能	140
6.3.3	传热性能	140
6.3.4	热质传递微分方程组	141
6.4	开式热源塔冬季换热性能影响因素分析	142
6.5	热源塔热泵的特点	143
6.6	热源塔热泵设计注意事项	144
6.7	工程实例	145
6.7.1	某能源站节能改造工程	145
6.7.2	浙江舟山市普陀山大酒店开式热源塔热泵系统	147
	参考文献	147

第7章 工业余热回收利用	148
7.1 工业余热回收利用方式	148
7.2 工业余热回收利用形式	150
7.2.1 冷热电联产系统(CCHP)	150
7.2.2 大型数据机房余热回收	151
7.2.3 空压机余热回收利用系统	155
7.3 工业余热回收利用特点	157
7.4 工业余热回收利用进展与新方向	157
7.5 实例分析	158
参考文献	172
第8章 太阳能光热利用	173
8.1 太阳能资源分析	173
8.1.1 太阳辐射	173
8.1.2 太阳能利用分类	174
8.1.3 四川地区太阳能资源情况	175
8.2 太阳能集热器	175
8.2.1 太阳能集热器分类	175
8.2.2 太阳能集热器倾角研究	178
8.3 建筑太阳能热水技术	181
8.3.1 太阳能热水系统分类	181
8.3.2 太阳能热水系统性能研究	182
8.3.3 太阳能热水系统经济性能分析	185
8.4 建筑太阳能采暖技术	186
8.4.1 太阳能供暖系统介绍	186
8.4.2 太阳能采暖系统主要参数确定	187
8.4.3 太阳能间接蓄热供暖系统的数值模型	192
8.4.4 太阳能采暖系统运行特性分析	193
参考文献	196
第9章 分布式能源	197
9.1 冷热电联供系统的主要形式	198
9.1.1 燃气轮机冷热电联供系统	198
9.1.2 内燃机冷热量联供系统	199
9.1.3 燃料电池冷热电联供系统	201
9.1.4 斯特林发电机冷热电联供系统	201
9.2 系统主要部件和数学模型	201

9.2.1	发电设备	201
9.2.2	影响蒸汽型吸收式制冷机组性能的因素	211
9.3	实际案例分析	214
9.3.1	CCHP 系统优化	214
9.3.2	冷热电三联供+江水源热泵的复合系统	217
	参考文献	219
第 10 章	相变储能	221
10.1	相变材料	221
10.1.1	相变储能材料的选择标准	221
10.1.2	相变储能材料的分类	222
10.1.3	相变储能材料强化传热研究	224
10.2	相变储能材料在建筑中的应用	226
10.2.1	相变墙体	227
10.2.2	相变混凝土	228
10.2.3	相变地板	228
10.2.4	相变砂浆	229
10.3	相变储能技术应用案例	229
10.3.1	相变水箱的实验研究	229
10.3.2	相变水箱的模拟研究	233
10.3.3	相变水箱性能分析	243
	参考文献	244
第 11 章	多能互补系统及工程实例	246
11.1	多能互补系统原理	246
11.1.1	多能互补系统概念	246
11.1.2	多能互补系统的特点	246
11.1.3	多能互补系统的节能性	247
11.2	主要多能互补系统形式	248
11.2.1	太阳能+热泵多能互补供热系统	248
11.2.2	太阳能+燃气能多能互补供热系统	250
11.2.3	空气热能+热泵多能互补系统	250
11.2.4	终端一体化集成供能系统	251
11.3	工程实例	252
11.3.1	各建筑自然室温特性	252
11.3.2	各建筑热负荷特性	252
11.3.3	太阳能供暖系统的基本原理和运行模式	253

11.3.4	系统参数设置	253
11.3.5	运行模式与控制策略	254
11.3.6	运行特性分析	255
11.3.7	经济性分析	255
11.3.8	节能性分析	257
	参考文献	258
第 12 章	工程应用实例	260
12.1	西藏大学教学楼	260
12.1.1	系统原理	260
12.1.2	机房及系统设计	262
12.1.3	现场实景	263
12.2	色达第二完全小学	265
12.2.1	供暖系统设计	266
12.2.2	运行控制策略	267
12.2.3	现场实景	267
12.3	华能林芝水电园基地	268
12.3.1	气候特点	269
12.3.2	能源资源情况	269
12.3.3	供暖热源系统设计	270
彩图		273

第1章 绪 论

1.1 多能互补与建筑节能

现阶段,中国建筑能耗约占社会总能耗的30%,虽然我国的建筑能耗与发达国家相比仍处在相对较低水平,但因为我国建筑规模基数大,且新建建筑总量还在不断增长,所以我国建筑能耗总量巨大,其中大部分能耗用于空调采暖。目前,我国的能源结构仍以传统能源——煤炭和石油为主,传统能源在燃烧过程中会产生大量的温室气体和烟尘、 SO_2 、 NO_x 等污染物,造成严重的环境污染。2016年4月22日《巴黎协议》的签订,对中国政府的节能减排工作提出了更严苛的目标: CO_2 排放在2030年左右达到峰值,并争取尽早达峰,2030年单位国内生产总值 CO_2 排放比2005年下降60%~65%。非化石能源占一次能源消费比重达到20%左右。因此,能源供给侧的改革势在必行,调整能源结构,实现供给模式的彻底改变^[1,2]。

发展可再生能源是优化我国能源结构和改善环境质量的要求,已成为我国可持续发展战略中的重要组成部分。可再生能源具有分布广、能量密度低、不稳定、无污染等特点,而化石能源则具有分布不均匀、品位高、可连续供应、有污染等特点。太阳能、地热能、生物质能等可再生能源与化石能源具有很强的互补性,因此,可再生能源可与化石燃料形成多种能源互补的系统形式。所谓多能互补,简单来说就是多种能源之间相互补充和梯级利用,其中至少含有一种可再生能源,能源类型相互补充,从而提升能源系统的综合利用效率,缓解能源供需矛盾,构成丰富的清洁、低碳供能结构体系。需要强调的是,多能互补并不是将几种能源进行简单相加,而是需要在技术上进行创新,实现新能源和传统能源之间的深度融合^[3-5]。

“十三五”时期是我国能源低碳转型的关键期。由于未来的新增用能需求方向转变,所以供能方式也正向着绿色高效、安全稳定、贴近用户、就地取材的方向转变。基于此,“十三五”期间国家将重点推动实施多能互补系统集成优化工程。为了加快推进多能互补集成优化示范工程建设,提高能源系统效率,增加有效供给,满足合理需求,2016年7月4日,国家发展改革委、国家能源局发布《关于推进多能互补集成优化示范工程建设的实施意见》,明确提出将在“十三五”期间建成多项国家级终端一体化集成供能示范工程及国家级风光水火储多能互补

示范工程。多能源互补系统借助系统集成和过程革新，寻求将多种能源综合互补、高效利用的有效途径与方法，将成为建筑能源领域可持续发展的优先选项。

1.2 现有能源及主要利用技术

1.2.1 现有的能源形式

19 世纪 70 年代以来，化石燃料危机以及使用化石燃料所造成的生态环境问题使世界各国意识到能源问题的严重性。为摆脱对化石能源的依赖，解决环境问题，各国开始寻找新的能源供给方式。

经过数十年的努力，除常规化石能源外，多种新能源的开发利用技术已经比较成熟。目前，主要的新能源包括太阳能、水能、风能、地热能、生物质能等。各种能源的主要优缺点如表 1.1 所示。

表 1.1 各种能源的主要优缺点比较

能源类型		优点	缺点
化石能源	煤炭	分布广，储量大；开发和利用技术难度不大	发热量和燃烧效率不高；输送和使用不如石油方便；易造成环境污染
	石油	便于开采、运输、使用；发热量高	燃烧会造成较大污染
	天然气	便于开采、运输、使用；发热量高	燃烧造成的污染较小
电能	水电	可再生，清洁无污染，发电成本低，综合效益大	受降水的季节变化影响大，枯水期发电少，电量不稳定，需火电调节；对位置的要求高
	火电	投资少，建设周期短	对环境污染比较严重
太阳能		太阳能无处不在非常普遍，不需要开采和运输；清洁无污染，对环境无害；可以长期持续利用；能量巨大可再生	能量不稳定，受地域和季节影响较大
水能		清洁无污染，可再生，发电比较廉价，水利枢纽可以综合利用	能量不稳定(如我国四川水电时有短缺)，水利枢纽淹没耕地，需要移民
风能		不需要运输、不需要开采、清洁、无污染、可再生	利用难度大，受地区和季节影响大，多分布在沿海地区和内地地区
地热能		资源丰富，可直接利用，地热能的利用可分为地热发电和直接利用两大类，如温泉沐浴、医疗等，我国地热能利用居世界第一	地热能的分布相对来说比较分散，开发难度大，受地理地质条件限定
生物质能		可再生，可直接利用，使用范围广	做燃料利用，会使土壤失去氮、磷、钾等营养成分而导致肥力减退
海洋能		可再生；这些能量以潮汐、波浪、温度差、盐度梯度、海流等形式存在于海洋之中；我国大陆沿岸和海岛附近蕴藏着较丰富的海洋能资源	只分布在沿海地区，并且各种能量涉及的物理过程开发技术及开发利用程度等方面存在很大的差异

1.2.2 建筑新能源的利用技术

建筑可利用的能源形式除了化石能源、电能和燃气外,还包括可再生能源,主要为浅层地热能及太阳能。浅层岩土体、地下水或地表水中的热能资源都属于浅层地热能,其中地表水主要包括河流、湖泊、海水、中水及达到国家排放标准的废水、污水等^[6]。现在工程应用的热泵空调系统,就是采用热泵技术从浅层地热中提取能量。太阳能利用主要是指光电利用和光热利用,这已经成为有效利用可再生能源的节能新技术,在我国也得到了迅速的发展。

1. 地埋管地源热泵技术

地埋管地源热泵是以土壤为热源,以水或者以水为主要成分的防冻剂作为循环液,流经地下埋管实现与土壤换热的地源热泵系统。地埋管地源热泵在我国应用广泛,且运行效果较好,能很好地满足用户的需求,但初投资较高以及冬夏季土壤热平衡等问题在一定程度上限制了其发展。土壤是良好的蓄热体,且温度相对稳定,相对于其他冷热源来说使用范围广泛。因为土壤热物性参数随着所处地区及深度的变化而变化,所以在地埋管地源热泵空调系统设计时应充分考虑埋管所处地区及深度。当建筑物的冬夏季冷热负荷严重不平衡时,长期运行会导致系统失效,为了保证系统的长期稳定运行,应针对该问题采取相应解决措施^[7-10]。

2. 地表水源热泵技术

地表水源热泵是以水中储存的太阳能为冷热源,可利用的水体包括河水、湖水、地下水和海水等。地表水源热泵作为一种清洁的可再生能源技术,不仅具有十分明显的节能优势,而且运行费用远远低于其他系统。随着技术的不断发展,无论从设备投资、工程施工以及运行管理都日益科学和完善,这样不仅有利于地表水源热泵技术的推广,而且也会增大其带来的经济和环境效益。当前,地表水源热泵以其运行稳定、高效节能、环境效益显著等诸多优点,在建筑能源系统的设计与运用中获得了广阔的发展前景,也促进了节能减排和可再生能源利用的发展。2017年4月1日,我国新成立的雄安新区地热资源丰富,地下水利用已深入地下3000m,使地热发电、供暖和供应生活热水有机地结合起来,将推动雄安新区的绿色生态化发展。

3. 空气源热泵技术

空气源热泵是以室外环境空气作为冷热源来制冷供热的热泵,通过电能驱动制冷工质热力循环,把空气中的低位热能转换成高位热能,满足建筑物空气调节

的需求。由于空气取之不尽，用之不竭，且空气源热泵装置的安装和使用较为方便，在能源紧张、环境污染日渐严重的今天，具有高效、节能、无污染等多重优点的空气源热泵技术是一项极具开发和应用潜力的新技术。目前国内空气源热泵机组的应用技术已经比较成熟，在工程中应用较普遍，特别是在夏热冬冷、夏热冬暖、温和地区，除霜问题对系统影响较弱，因此在空调系统中广为采用。当然，空气源热泵技术也存在一些缺陷，在推广和应用中同样面临着一些难题。随着空气源热泵的优异性能及其控制技术的不断完善，已经被越来越多的用户所接受，各国纷纷制定了各种计划，国际上，欧盟、日本等地区也在积极促进空气源热泵技术的应用。同时，居民对于热水需求量的增加，舒适供暖需求的增多，都有效地促进空气源热泵的应用和发展。可以预见，随着空气源热泵技术的进步，这种便捷、高效、环保的节能新技术必将得到广泛应用。

4. 热源塔热泵技术

热源塔热泵是通过塔体与空气进行热量交换，从空气中吸收的低品位热能，再通过水源热泵将其提升为高品位热能，用于提供生活热水及空调制冷、供暖。

夏季，热源塔的作用类似于开式冷却塔，通过直接蒸发冷却来降低循环水的温度。循环冷却水吸收冷凝器中制冷剂冷凝时放出热量，从冷凝器送至热源塔，通过喷淋器均匀喷洒，在填料表面形成水膜，与温度相对较低的空气进行热质交换而使温度降低，然后经管道回流至冷凝器内进行下一个循环，如此不断往复。

冬季，热源塔用来获取室外低品位热源。低温防冻溶液吸收蒸发器中制冷剂的冷量，然后从蒸发器输送至热源塔内，通过喷淋器均匀喷洒，在填料表面形成液膜，与温度较高的湿空气进行热质交换而使温度升高，再经管道回送至机组的蒸发器，如此循环。

5. 太阳能利用技术

太阳能在可再生能源中有举足轻重的地位，风能、海洋能、水能、生物质能等可再生能源都源于太阳能。目前，以太阳能热水系统为代表的太阳能热利用技术发展迅速，技术应用程度高。我国丰富的太阳能资源为其大规模的开发利用提供了光明的前景。太阳能热水系统利用的是光—热转换过程，是光热转换中最常见的形式。太阳能热水系统一般由集热器、(供)热水箱、管路、水泵、阀门、控制元件等主要部件组成，是目前太阳热能利用中经济价值最高、技术最成熟且应用程度最高的一种设备。与电制热、燃气制热不同的是，太阳能集热器利用的是太阳辐射，由于太阳辐射具有间歇性和不稳定性，因此太阳能供暖系统一般需要辅助热源，如水源(或土壤源)热泵、锅炉、电加热等。

1.3 多能互补的发展过程

从能源优缺点分析比较结果可以看出,依靠某一种能源供应的单一能源系统普遍存在缺点:传统的化石能源供应面临枯竭的危机,并造成了严重的环境污染和生态问题;可再生的新能源存在着能源分布不均、供应不稳定等弊端。通过风光等不稳定的可再生能源和稳定的传统能源的结合能实现互补。多能互补系统采用多种能源组合的方式,在发挥各种能源优势的同时,弥补了单一能源系统的缺陷,有利于用能对象根据既有条件因地制宜地开发利用可再生的环境友好型分布式能源,缓解能源供应压力。

早在20世纪50年代初就有人提出了太阳能-热泵联合运行系统,不久后相关学者探讨了太阳能与热泵系统联合运行的可行性,并且通过实验验证这种联合运行的多能互补形式既可提高太阳能集热器的集热效率,又能提高系统的能效^[11]。在这之后,美国、土耳其、瑞典等国相继对多能互补系统进行了深入研发和应用,至此,多能互补系统被彻底推广开来,不断在实际工程中得到运用。如1957年丹麦哥本哈根市郊外的一栋建筑通过连接太阳能集热器的地下大型储能水罐供热,同一时期德国阿赫恩福利普斯研究所也建造了一座在地下埋置了大型蓄热槽的建筑,美国也在1971~1981年对串联了太阳能集热器的地下圆柱形储能罐热泵系统进行了实验研究^[12]。

我国从20世纪80年代初便开始制定能源政策,力求尽可能减少煤的使用而增加其他能源的利用比率,对不可再生能源进行合理利用。为实现绿色可持续发展,政府以及学者正在积极探索新的能源利用方式^[13]。太阳能联合地源热泵的供暖方案首先被提出^[14],而后相关学者提出以太阳能为主以热泵为辅的热水系统,相比传统的电加热器,系统运行变得更加灵活与可靠,也更为节能高效^[15,16]。分布式能源作为一种新的多能互补能源供应方式因其具有经济、节能、高效、环保的优势及特点,相比于传统的能源供应方式更加节能,因此在我国也得到了迅速的发展。

当前,我国经济发展进入新常态,一方面,三北地区(东北、华北和西北地区)弃风、弃光现象突出,川滇地区弃水严重,严重阻碍了可再生能源产业的健康发展;另一方面,我国是世界最大的能源生产国和消费国,煤电、水电、风电、太阳能发电等规模均为世界第一,但是存在系统协调性不足、整体效率较低等问题,同时环境污染等问题日益突出。只有推进以化石能源、风能、太阳能、水能、地热能等多种能源形式协同运行的多能互补系统,通过多能互补集成优化,从而多方面实现能源梯级利用和优势互补,提升整体系统效率,才能够扫清可再生能源

产业发展的障碍。

时至今日,随着可再生能源、储能技术的发展,能源产业开始进入多元化时代。“十三五”时期是我国能源低碳转型的关键期。多能互补成为能源可持续发展的新潮流,引领着能源行业形成多种能源深度融合、集成互补的全新能源体系。国家发改委在国家能源规划中明确了多能互补集成优化示范工程建设任务,并将相关国家级示范项目纳入规划。各省(区、市)能源主管部门应在省级能源规划中明确本地区建设目标和任务,针对新增用能区域,组织相关部门研究制定区域供用能系统综合规划。推动多能互补集成优化示范工程。到2020年,各省(区、市)新建产业园区采用终端一体化集成供能系统的比例达到50%左右,既有产业园区实施能源综合梯级利用改造的比例达到30%左右。

基于多能互补能源系统在我国能源低碳转型过程中所起的重要作用,所以非常有必要对多能互补系统在我国不同地区的适宜性以及经济性进一步深入研究,本书结合我国西南地区之一——四川省的气候以及资源特点,着重阐述研究多能互补能源系统的协同运行机理、优化控制策略及其经济性。

参 考 文 献

- [1] 李帅. 争议多能互补[J]. 中国能源, 2017, (1): 36-38.
- [2] 国家发展改革委, 国家能源局. 关于推进多能互补集成优化示范工程建设的实施意见[Z]. 中华人民共和国国务院公报, 2017, (7): 92-95.
- [3] 江亿. 中国建筑能耗状况和发展趋势[A]//2016 第三届城市生态与节能论坛[C], 2016.
- [4] 张红, 曹亚楠. 浅谈建筑能耗的现状和节能的重要性[J]. 林业科技情报, 2005, 37(2): 31.
- [5] 江亿. 我国建筑耗能状况及有效的节能途径[J]. 暖通空调 HV&AC, 2005, 35(5): 30-40.
- [6] 中华人民共和国建设部. 地源热泵工程技术规范(GB50366-2005) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [7] 张佩芳, 袁寿其. 地源热泵的特点及其在长江流域应用前景[J]. 流体机械, 2003, 31(2): 50-52.
- [8] 高青, 于鸣. 高效环保效能好的供热供冷装置——地源热泵的开发与利用[J]. 吉林工业大学自然科学学报, 2001, 31(2): 96-102.
- [9] 寿青云, 陈汝东. 高效节能的空调—地源热泵[J]. 节能, 2001, (1): 41-45.
- [10] 刘冬生, 孙友宏. 浅层地能利用新技术—地源热泵技术[J]. 岩土工程技术, 2003, (1): 57-59.
- [11] Jordan R C, Threlkeld J L. Design and economics of solar energy heat pump systems[J]. ASEM Journal Section, Heating, Piping and Air Cond, 1954, (26): 122-130.
- [12] Bose J E, Ledbetter C W, Partin J R. Experimental results of a low cost solar-assisted heat pump system using earth coil and geo-thermal well storage[J]. Proceedings of the Fourth Annual Heat Pump Technology Conference, Stillwater, Oklahoma State University, 1979.