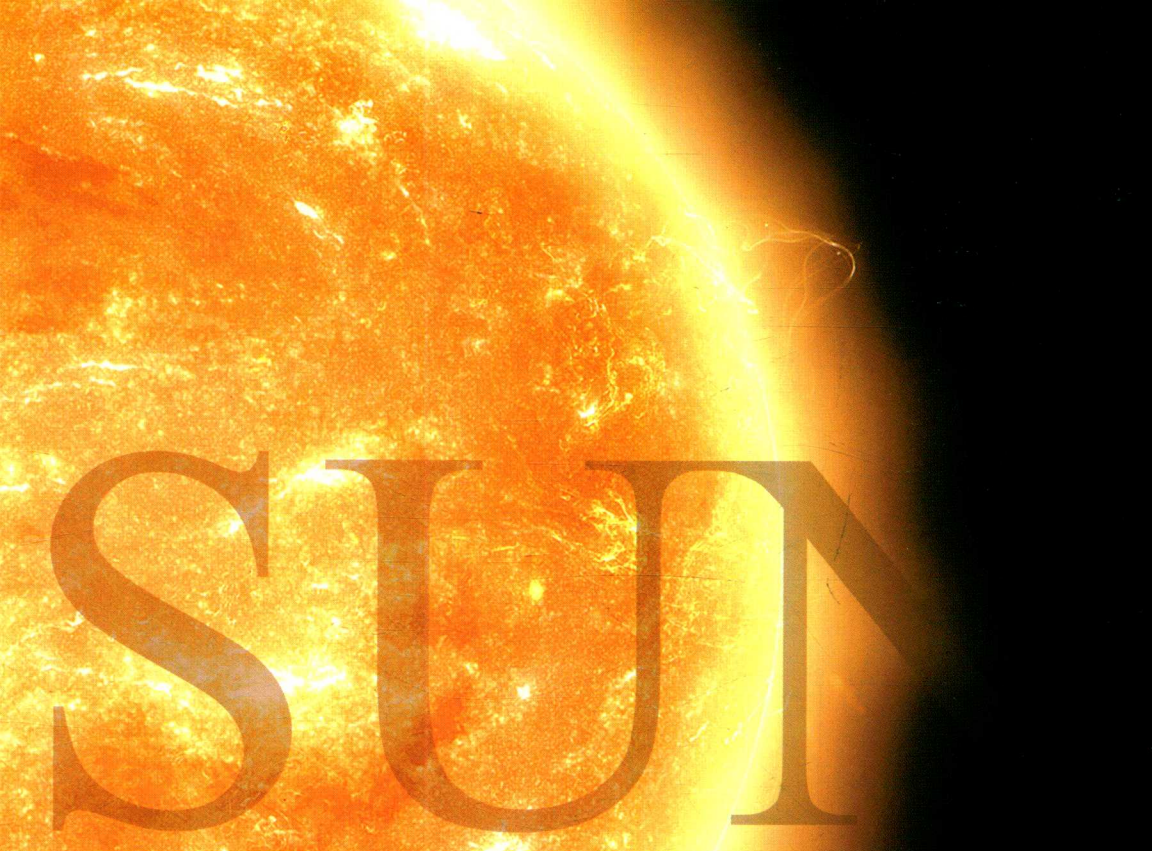




SUN

太阳能热气流发电系统 理论与技术应用

Theory and Applications of Solar Chimney
Power Plant System

明廷臻/著



科学出版社

太阳能热气流发电系统 理论与技术应用

**Theory and Applications of Solar
Chimney Power Plant System**

明廷臻 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书围绕太阳能热气流发电系统开展基础理论和技术应用研究,太阳能热气流发电系统主要由集热棚、蓄热层、风力透平和烟囱四个部件组成。本书着重分析系统的热力学性能及其影响因素、提高效率的方法及特定条件下系统效率的极限,依次对系统的流动与传热特性、环境风对系统性能的影响、储能特性展开数值模拟分析,提出一种将风能发电和太阳能热气流发电相结合的综合集成系统,提出一种在中国干旱、半干旱地区利用太阳能热气流系统的空气取水技术及实现全球温室气体大规模移除的新方法,对太阳能热气流发电系统的经济性展开分析比较,并对其未来发展进行分析。

本书可供从事太阳能热利用、可再生能源利用、空气取水、温室气体和污染气体移除的研究人员与技术人员使用,也可供能源、建筑、环境、大气科学等相关专业的高校和科研院所的科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

太阳能热气流发电系统理论与技术应用 = Theory and Applications of Solar Chimney Power Plant System / 明廷臻著. —北京:科学出版社,2019.5
ISBN 978-7-03-061123-9

I. ①太… II. ①明… III. ①太阳能发电-研究 IV. ①TM615

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第082422号

责任编辑:冯晓利 王楠楠 / 责任校对:王 瑞

责任印制:师艳茹 / 封面设计:无极书装

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>

天津文林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019年5月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2019年5月第一次印刷 印张:16 3/4

字数:337 000

定价:128.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

我国能源现状及前景不容乐观。首先,我国能源资源有限,特别是目前作为我国能源主体的化石能源资源,即使近几年我国不断发现新的油田,其储采比也仍然远低于世界平均水平,已经探明的煤炭和石油人均可采储量也远低于世界平均水平。我国能源资源的另一个不利因素是分布不均,而富集地区条件又非常恶劣。其次,由于我国人口基数大,能源消费量非常大,但能效很低,能源强度远高于世界平均值。随着我国经济的快速发展,能源需求增势将远超出世界平均水平,供求矛盾必将日益突出,尤其是油、气缺口将越来越大,严重影响我国的能源安全。最后,以煤为主的不合理能源结构问题长期难以得到解决,必将导致甚至加速我国环境的恶化。从世界范围看,我国 CO_2 排放量占全球排放量的比例在 2010 年前后已位居世界第一,但是我国的能源结构决定了我国的 CO_2 排放增势大,随着所占比例的进一步增加,我国必将面临越来越大的国际压力。

因此,要从根本上扭转我国能源面临的资源短缺、需求增势明显、结构不合理、环境压力大等困境,必须寻找到可大规模开发的新能源,改善以燃煤为主的不合理能源结构。充分利用我国广大的荒漠化、沙化土地及其太阳能资源,大规模开发太阳能热气流发电,大幅度提高电力在终端能源结构中的比例,处理好太阳能热气流发电与其他类型发电的兼容性和互补性,从根本上改善现行不合理的能源结构,将是在聚变能实现前,即 21 世纪上半叶乃至中叶,解决我国能源困境的有效途径之一。太阳能热气流发电与风能发电的大规模互补联合开发,将有利于提高供电稳定性和电能质量,实现大面积荒漠绿化、沙尘暴治理和局域气候改善。发展基于太阳能热气流发电的电解制氢和海水淡化,将缓解我国油、气、水资源的不足。

《太阳能热气流发电系统理论与技术应用》一书围绕太阳能热气流发电系统开展基础理论和技术的综合应用研究,从内容上看,该书大体可分成四部分。第一部分从热力学理论的角度出发,深入分析系统的效率、影响因素,并提出提高效率的方法,根据流体力学和传热学的相关理论分析系统的流动与传热特性、储能特性,分析环境风对系统性能的影响机制。第二部分提出一种将风能发电和太阳能热气流发电相结合的大规模互补发电系统集成系统。第三部分根据中国西部干旱、半干旱地区的实情,提出利用太阳能热气流系统的空气取水技术,并根据全球变暖的困境,提出一种实现全球温室气体大规模移除的新方法。第四部分对太阳能热气流发电系统的经济性展开分析比较,并对其未来发展趋势进行分析。

该书不仅是一本良好的阐述太阳能热气流发电系统综合应用技术的基础读物,而且有助于读者较全面地了解太阳能热气流发电技术的产生、发展及其应用,也可作为太阳能热气流发电技术与其他相关技术互补、集成的综合应用提供新的思路,相信该书会为有志于从事新能源利用技术及其综合应用的工程技术人员提供有价值的参考。

该书的作者明廷臻教授是我在 2009 年 4 月至 2011 年 5 月指导的博士后,他从 2003 年底开始从事太阳能热气流发电技术的研究工作。应该说,正是由于心无旁骛、潜心钻研和勇于创新,他才能在 *Progress in Energy and Combustion Science*、*Renewable and Sustainable Energy Reviews*、*Energy*、*Energy Conversion and Management*、*Solar Energy* 等国际顶级期刊上发表大量原创性成果,并基于这些成果完成该书。希望他继续努力,百尺竿头,更进一步,不断提高学术水平,为国家能源应用和环境治理等作出贡献。



2018 年 12 月 18 日

前 言

能源是国民经济的命脉，是人类社会生存和发展的物质基础，与人类生活及生存环境休戚相关。自 20 世纪 70 年代发生遍及全球的能源危机以来，化石能源资源的枯竭引起了许多发达国家的经济衰退，从而直接影响到国家经济的可持续发展及社会稳定。毋庸讳言，化石能源的过度开采与过量使用也引起了世界性环境污染，导致全球变暖、冰山融化、生态环境失调、人类疾病增多、生存环境恶化等。地球生态的维持、人类文明的进步以及国际社会的稳定主要依赖于世界各国政府、普通民众对环境的保护、对化石能源的节约与洁净利用、对可再生能源的推广应用、对欠发达国家人口增长的有序式控制等。

中国是能源生产和消费大国。储量大、人均少、分布不均和利用率低是中国能源生产与消费的四个重要特点。随着能源缺口逐年增大，我国能源进口依存度将逐步扩大，这是未来我国能源安全面临的最主要问题之一。另外，环境污染严重、温室气体排放量大是目前化石能源发电导致的主要问题。目前我国太阳能、风能资源比较丰富，大力发展以太阳能、风能为主的可再生能源发电及利用技术成为中国 21 世纪国民经济建设刻不容缓的战略目标。补充能源缺口、保障能源安全、优化能源结构、保护生态环境、减少温室气体排放已成为可再生能源技术利用的历史重任。

制约可再生能源发展的因素主要有三个：①能量密度大，大面积收集困难；②能流不稳定，利用具有间断性；③开发成本高，商业化竞争力弱。因此，现有可再生能源发电技术难以实现对化石能源的大规模替代，寻求利用可再生能源发电的新方式或可再生能源综合集成发电技术成为工程技术人员需要考虑的问题。

20 世纪 80 年代，德国斯图加特大学的 Schlaich 教授在西班牙建立了一座额定功率为 50kW 的太阳能热气流发电系统，该太阳能热气流发电系统由集热棚、蓄热层、风力透平和烟囱四个主要部件组成。其基本原理是由透明或半透明材料做成的集热棚实现太阳能的大规模收集，太阳能以热能的形式储存于低成本大容量的蓄热层，实现热能的平稳输出，烟囱效应则可形成定向、平稳的高速气流，推动风力透平驱动发电机组对外稳定地输出电能。

目前，关于太阳能热气流发电技术的研究已引起全世界工程技术人员的广泛关注，相关的研究越来越多，但其最主要的缺点是太阳能向电能转换的总效率低、高耸烟囱建造困难、巨大集热棚的清洗比较困难、占地面积太大等。截至 2019

年, 现有的研究仅停留于太阳能热气流的原型系统, 而真正的商用太阳能热气流发电系统尚未建成。此外, 太阳能热气流发电系统的关键技术难题也并未真正解决, 结合太阳能热气流发电系统的综合利用技术也尚未有详细的研究报告。

因此, 本书尝试从太阳能热气流发电系统的基本原理出发, 分析其由太阳能向电能转换的最大能量转换效率及影响因素, 给出不同规模太阳能热气流发电系统的基本结构参数组合, 揭示不同组合蓄热层材料下太阳能热气流发电系统的储能机制, 揭示环境风对太阳能热气流发电系统的影响机制, 提出一种新型的太阳能和风能互补发电的综合集成系统, 以及基于太阳能热气流系统的空气取水技术及温室气体的大规模移除技术, 最后对太阳能热气流发电系统的经济性展开分析。

全书共分 11 章。

第 1 章是绪论, 主要介绍我国的能源形势及太阳能热气流发电技术的产生、发展、研究现状。

第 2 章和第 3 章主要对太阳能热气流发电系统展开热力学性能分析, 建立太阳能热气流发电系统的热力学循环, 研究系统理想循环效率和实际循环效率, 建立系统能量平衡模型, 编制程序, 并根据文献中的几何模型对本书编制的能量平衡模型进行验证, 提出系统极限效率和运行效率模型, 提出提高系统效率的方法, 分析系统效率的影响因素。

第 4 章建立太阳能热气流发电系统的流动与传热特性数学模型, 分析系统内速度、温度和压力的分布特征, 对烟囱结构进行优化设计, 以 10MW 模型为例, 给出两种几何设计方案, 对其流动、传热、发电特性进行分析。

第 5 章考虑到环境风对太阳能热气流发电系统的集热棚进口及烟囱出口的显著影响, 建立包括环境风和太阳能热气流发电系统的数学模型, 分析环境风对太阳能热气流发电系统内部速度场、温度场、系统抽力及出力性能的影响, 揭示影响系统出力的主要因素, 提出相应的改进措施。

第 6 章对太阳能热气流发电系统的储能性能进行分析, 建立系统储能方程, 分析蓄热材料对系统发电波动特性的影响, 分析蓄热材料, 水层厚度、面积和位置对系统发电峰谷差的影响。

第 7 章提出风能-太阳能热气流综合集成发电系统, 利用太阳能热气流发电系统来平滑风能发电, 建立系统模型; 以不同规模风电场为例, 配套太阳能热气流发电系统后, 分析风能-太阳能热气流综合集成发电系统的整体出力特征。

第 8 章针对沙漠或戈壁等干旱、半干旱地区, 开展利用太阳能热气流系统的空气取水技术的理论研究, 揭示温湿气流沿烟囱上升过程的成云机制, 分析不同城市气候特征下的凝水量, 并据此分析在干旱、半干旱地区利用太阳能热气流系

统进行空气取水的可行性。

第 9 章针对环境污染的治理和地球温室效应的减缓已成为世界性难题的现状,提出基于太阳能热气流系统的温室气体大规模事后治理的一种可能方案,分析利用太阳能热气流系统实现温室气体大规模移除的可行性及效果,以期为大气污染治理及温室气体移除提供可能的方法选择。

第 10 章建立太阳能热气流发电系统的经济性模型,分析不同规模的太阳能热气流发电系统的制造成本和运行成本,提出降低系统成本的方法。

第 11 章结合能源、环境、建筑、生态等技术研究现状,对太阳能热气流发电系统的未来发展提出一些可能的思考。

本书的内容一部分来自作者的博士学位论文《太阳能热气流发电系统的热动力学问题研究》和博士后报告《太阳能热气流发电技术研究》,此外,作者指导的硕士研究生和本科特优生参与的部分相关研究工作也一并纳入其中。其中,硕士研究生龚廷睿和吴永佳参与了基于太阳能热气流系统的空气取水技术的研究工作,硕士研究生桂进乐和本科特优生王新江、沈文庆参与了环境风对太阳能热气流发电系统的影响研究,本科特优生于翔飞、刘超、汪利先参与了太阳能热气流发电系统的经济性分析研究,本科特优生郑勇、周洲参与了关于太阳能热气流发电系统的热力学性能分析,本科特优生时笑阳参与了关于太阳能热气流发电系统的耦合数值模拟,本科特优生孟凡龙参与了关于太阳能热气流发电系统的蓄热性能分析。他们的工作丰富和充实了本书的内容。

从 2003 年作者开始研究太阳能热气流发电技术到 2019 年本书完成,该项研究工作相继得到了如下科学研究基金项目的支持:教育部重点研究项目(104127)、国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2007CB206903)、中国博士后研究项目(20100471175)、中国博士后特别基金项目(201104460)、国家自然科学基金青年项目(51106060)、湖北省自然科学基金项目(2012FFB02214)、国家自然科学基金面上项目(51778511)、湖北省自然科学基金群体项目(2018CFA029)和武汉理工大学 ESI 学科水平提升计划重点项目(2017001)。

作者满怀敬意向自己的博士生导师华中科技大学刘伟教授、博士后合作导师中国工程院院士潘垣和华中科技大学黄树红教授致以最衷心的感谢,很荣幸作者可以近距离地学习三位先生为人、处世、做学问的风范。三位先生远见卓识、治学严谨、思想深邃。他们创新的学术思想、独特的思维方法、忘我的工作精神一直让作者敬佩不已。他们对科学执着追求,对学生无比关爱,对他人襟怀坦荡。他们在科研上帮作者奠定理论基础和开拓思路,在工作上帮作者指点迷津并解决困难,在生活上给予经济资助从而帮作者渡过难关,在做人方面则不断指导作者要柔和通达,是他们引领作者带着无畏无惧的勇气进入这一全新的科学研究领域并继续艰难前行。

本书之成，还要感谢黄素逸教授、黄文迪教授、邬田华教授、许国良教授、吴克启教授、魏秉武教授等的热情帮助和关怀，也要感谢易辉、石东源、林新春、刘小虎、刘晖、樊剑、周新平、李学敏、李建兰等几位前同事的科研合作及部分资料共享。此外，本人的博士研究生刘杨和硕士研究生方炜杰、李德飞、甘婷、石天豪参与了参考文献的格式修订等工作。

由于作者水平所限，书中难免存在不足之处，敬请读者不吝指正。



武汉理工大学

2018年10月21日

目 录

序	
前言	
第1章 绪论	1
1.1 能源、环境与气候变化问题	1
1.1.1 世界能源形势	1
1.1.2 中国的能源形势和挑战	3
1.2 我国可再生能源的现状与发展	4
1.2.1 我国可再生能源资源和特点	4
1.2.2 非水能可再生能源发电现状	5
1.2.3 我国可再生能源发展预期	6
1.3 现有可再生能源发电技术	7
1.3.1 风力发电	7
1.3.2 太阳能光伏发电	8
1.3.3 太阳能高温热发电	9
1.4 太阳能热气流发电系统简介	11
1.4.1 系统原理	11
1.4.2 系统的特点	13
1.5 太阳能热气流发电系统实验系统及商业电站建设进展	14
1.6 太阳能热气流发电系统的理论研究进展	24
1.6.1 太阳能热气流发电系统的热力学理论	24
1.6.2 太阳能热气流发电系统的抽力机制	25
1.6.3 太阳能热气流发电系统的流动与传热理论	25
1.6.4 热气流透平的设计及其优化技术	27
1.6.5 太阳能热气流发电系统储能特性研究	28
1.6.6 太阳能热气流发电系统的经济性与可行性研究	29
1.7 中国关于太阳能热气流发电技术的研究	29
1.8 尚待进一步解决的问题	31
参考文献	32
第2章 太阳能热气流发电系统的热力学性能	42
2.1 概述	42
2.2 太阳能热气流发电系统热力学分析	42

2.2.1	热力过程描述	42
2.2.2	系统透平轴功	44
2.3	太阳能热气流发电系统实际效率	45
2.3.1	传热数学模型	45
2.3.2	流动阻力数学模型	47
2.4	程序可靠性验证	49
2.4.1	模型验证程序编制思想	49
2.4.2	西班牙实验电站数据的计算验证	49
2.4.3	对现有文献的预测模型进行计算验证	51
2.5	系统效率理论分析	52
2.5.1	西班牙实验电站模型计算结果	52
2.5.2	商业电站模型计算结果	54
2.6	本章小结	56
	参考文献	56
第3章	太阳能热气流发电系统的效率优化	59
3.1	概述	59
3.2	理想循环效率和系统运行效率	59
3.2.1	理想循环效率	59
3.2.2	系统运行效率	63
3.3	提高系统效率的方法	65
3.3.1	透平效率的影响	65
3.3.2	烟囱高度和直径的影响	66
3.3.3	集热棚直径的影响	67
3.3.4	太阳辐射的影响	68
3.3.5	环境温度的影响	69
3.4	系统效率的影响因素定量分析	70
3.4.1	影响因素分析	70
3.4.2	发电功率影响因素分析	71
3.4.3	用于计算的参数选择方法	71
3.4.4	六条因素的大致影响范围	72
3.5	本章小结	73
	参考文献	74
第4章	太阳能热气流发电系统的流动与传热特性	76
4.1	概述	76
4.2	流动与传热特性数学模型	77
4.2.1	数学模型	77

4.2.2 边界条件	78
4.3 计算结果与分析	81
4.3.1 模型验证	81
4.3.2 系统流场	82
4.3.3 系统运行特征	86
4.4 烟囱结构的优化设计	90
4.4.1 基于相同底部直径的不同烟囱形状的影响	90
4.4.2 基于相同表面积的不同烟囱形状的影响	93
4.4.3 烟囱高径比的影响	95
4.5 10MW 模型设计方案	99
4.5.1 设计方案 1	99
4.5.2 设计方案 2	101
4.6 本章小结	102
参考文献	103
第 5 章 环境风对太阳能热气流发电系统的影响	106
5.1 概述	106
5.2 数学模型	107
5.3 环境风对西班牙实验电站的影响	108
5.3.1 物理模型	108
5.3.2 边界条件	109
5.3.3 数值模拟结果分析	110
5.4 环境风对大型太阳能热气流发电系统的整体影响分析	124
5.4.1 物理模型	124
5.4.2 边界条件	125
5.4.3 数值模拟结果分析	125
5.5 环境风对大型太阳能热气流发电系统烟囱出口的影响	131
5.5.1 物理模型	131
5.5.2 边界条件	132
5.5.3 结果分析	132
5.6 本章小结	140
参考文献	141
第 6 章 太阳能热气流发电系统的储能性能	142
6.1 概述	142
6.2 不同蓄热层的动态储热性能	143
6.2.1 物理数学模型	143

6.2.2	蓄热层的物性对系统的影响	144
6.2.3	空气流速对蓄热层性能的影响	145
6.3	太阳能热气流发电系统的储热性能及其发电特性	147
6.3.1	物理模型	147
6.3.2	数学模型	149
6.4	计算方法	155
6.5	验证	156
6.6	计算结果与分析	157
6.6.1	蓄热材料对系统发电性能的影响	157
6.6.2	水层厚度对系统发电性能的影响	158
6.6.3	水层面积对系统发电性能的影响	161
6.6.4	水层位置对系统发电性能的影响	162
6.7	本章小结	163
	参考文献	163
第7章	风能-太阳能热气流综合集成发电系统	165
7.1	我国风电特点	165
7.2	我国大规模风力发电面临的问题	165
7.2.1	电网稳定性问题	165
7.2.2	风电场可调度性	166
7.3	解决大规模风电并网的技术途径	167
7.3.1	互补发电技术	167
7.3.2	大规模储能技术	167
7.4	风能-太阳能热气流集成储能发电技术	168
7.4.1	方案的提出	168
7.4.2	基本结构组合	169
7.4.3	系统特点	170
7.5	数学物理模型	171
7.5.1	物理模型	171
7.5.2	集热棚和烟囱内流动与传热数学模型	171
7.5.3	蓄热系统流动与传热数学模型	172
7.5.4	定解条件与求解	172
7.6	计算结果与分析	173
7.6.1	系统出力控制方法	173
7.6.2	10MW 级综合发电系统计算结果	174
7.6.3	100MW 级大规模综合发电系统计算结果	175
7.6.4	400MW 级大规模综合发电系统计算结果	177

7.6.5 不同类型风力发电互补或储能模式比较	179
7.7 本章小结	180
参考文献	180
第 8 章 基于太阳能热气流系统的空气取水技术	182
8.1 空气取水技术的基本原理	182
8.1.1 空气取水技术原型	182
8.1.2 空气取水机理分析	183
8.1.3 环境和经济效益分析	185
8.2 模型描述	186
8.2.1 物理模型	186
8.2.2 数学模型	188
8.2.3 模型验证	192
8.3 空气取水特性分析	193
8.3.1 可行性分析	193
8.3.2 有效性分析	198
8.4 系统参数敏感性分析	200
8.4.1 烟囱进气流速	201
8.4.2 凝结高度	203
8.4.3 凝结水的质量流量	204
8.4.4 风力透平的输出功率	205
8.4.5 水力透平的输出功率	207
8.4.6 系统总输出功率	209
8.4.7 系统发电效率	210
8.5 本章小结	213
参考文献	213
第 9 章 基于太阳能热气流系统的温室气体大规模移除	215
9.1 概述	215
9.2 基于太阳能热气流系统的温室气体大规模移除性能	215
9.3 大尺度大气温室气体光催化转化	219
9.4 太阳能热气流系统内质量交换	220
9.5 讨论	222
9.6 本章小结	226
参考文献	226
第 10 章 太阳能热气流发电系统的经济性分析	229
10.1 概述	229

10.2	成本预测模型	229
10.2.1	系统结构预测模型	229
10.2.2	系统造价模型	229
10.2.3	系统发电成本模型	230
10.3	计算结果与分析	231
10.3.1	10MW 系统计算结果	231
10.3.2	50MW 系统计算结果	235
10.4	系统的技术经济可行性	236
10.4.1	不同类型电站技术经济性对比	236
10.4.2	不同类型太阳能热发电系统技术对比	237
10.4.3	不同容量系统的技术经济性对比	238
10.5	本章小结	238
	参考文献	239
第 11 章	太阳能热气流发电系统的未来发展展望	241
11.1	概述	241
11.2	海水淡化	242
11.3	城市污染治理	243
11.4	干旱地区的下沉气流能源塔	246
	参考文献	249
附录	2003~2018 年发表的与本著作相关的代表性专著与论文	251

第1章 绪 论

1.1 能源、环境与气候变化问题

1.1.1 世界能源形势

能源安全和环境保护已成为全球性问题。以煤、石油、天然气等化石能源为主的世界能源消费结构造成全球环境污染、生态破坏及气候变化，主要表现为酸雨范围广、臭氧层破坏严重、温室气体排放增多、全球气候变暖以及海平面水位升高等。不可持续的能源消费模式给世界经济、社会、环境带来了极为严重的后果。以目前人们最关心的 CO_2 排放为例，2015 年世界 CO_2 总排放量已达 360 亿 t。其中，中国、美国、欧洲联盟（以下简称欧盟）、印度、俄罗斯、日本和德国已成为世界七个最主要的 CO_2 排放地区，占世界 CO_2 总排放量的 70%^[1]。其中，中国由于工业发展十分迅速，自 2000 年以来 CO_2 排放量开始迅猛增长（图 1-1），2010 年前后就已位居世界第一。

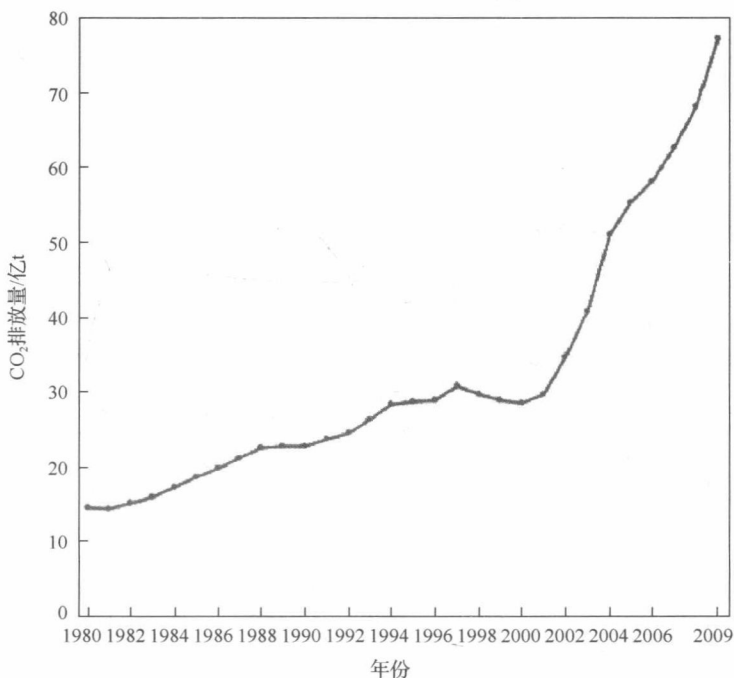


图 1-1 中国 1980~2009 年 CO_2 的排放量变化^[1]

为应对全球气候变暖,《联合国气候变化框架公约》缔约方第 15 次会议(简称哥本哈根世界气候大会)于 2009 年 12 月 7~18 日在丹麦首都哥本哈根召开。192 个国家的环境部长和其他官员在此召开联合国气候会议,商讨《京都议定书》一期承诺到期后的后续方案,就未来应对气候变化的全球行动签署新的协议。会议上,世界各国(地区)纷纷提出了各自的不具法律约束力的减排目标,如表 1-1 所示^[2]。目前,许多国家高度重视发展各种可再生能源,将其作为缓解能源供需矛盾、减少温室气体排放以及应对气候变化的重要措施,并纷纷制定了发展战略和一系列激励政策,引导、鼓励可再生能源的发展。2006 年底,全球非水电可再生能源发电装机容量约为 1.41 亿 kW,其中风力发电 7400 万 kW,生物质发电约 5000 万 kW,地热发电 1000 万 kW,太阳能发电 700 多万 kW(图 1-2)^[3]。可再生能源开始从补充能源向替代能源过渡。

表 1-1 哥本哈根会议世界各国(地区)CO₂减排目标^[2]

国家及地区	减排参考年份	减排目标(2020 年)/%	措施和要点
中国	2005	40~45	节能、增加森林碳汇
美国	2005	17	自主减排
日本	1990	25	力主低碳型
印度	2005	24	—
德国	1990	40	通过气候保护促进清洁能源技术外销
俄罗斯	1990	40	建立多边或全球环境保护基金
加拿大	1990	2	反对绝对量化
澳大利亚	2005	25	积极推动减排立法
巴西	2005	20	缩减毁林面积
欧盟	1990	20	共同减排

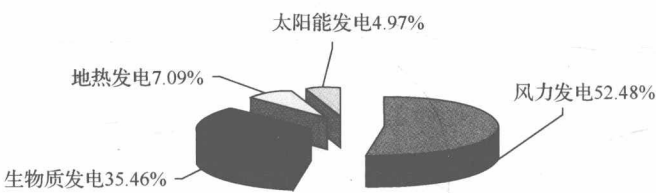


图 1-2 2006 年世界新能源发电构成比例^[3]

当前,欧盟、美国和日本都将可再生能源作为未来能源替代和温室气体减排的重要战略措施,提出了宏大的发展目标。欧盟提出,到 2020 年和 2050 年,可再生能源占其能源消费量的比例要分别达到 20%和 50%;美国提出,到 2030 年,风力发电占全部电力装机容量的 20%;日本提出,到 2050 年,可再生能源等替代能源将占能源供应的 50%以上^[3]。