

太阳能光伏发电预报技术原理

TAIYANGNENG GUANGFU
FADIAN YUBAO JISHU
YUANLI JIQI YEWU XITONG


» 及其业务系统

陈正洪 李芬 成驰 唐俊 申彦波 等编著

 气象出版社
China Meteorological Press

太阳能光伏发电预报技术 原理及其业务系统

陈正洪 李 芬 成 驰 编著
唐 俊 申彦波 等

 气象出版社
China Meteorological Press

内容简介

本书是中国气象局 2010 年度创新工作“太阳能光伏发电预报系统研究”、2011 年度现代气候业务试点任务“太阳能光伏发电预报系统和服务试点建设”、科技部 2010 年度行业(气象)科研专项“太阳能预报技术研究”、华中区域气象中心 2010 年度重点科技项目“太阳能光伏发电预报方法研究”的首部联合著作。

本书重点介绍了我国气象部门自主研发的第一代太阳能光伏发电预报系统的基本原理、方法以及使用方法。全书共分七章,主要内容包括:太阳能发电技术的分类与发展、世界及中国光伏发展前景、太阳能资源评估,太阳能光伏发电预报的技术原理与方法、预报系统的结构、预报制作流程、误差分析以及系统安装和操作方法,最后给出了国家在可再生能源尤其是光伏发电方面的系列法规和鼓励性政策文件。

本书可供气象、电力、新能源、光伏系统集成等部门的业务人员、高等院校师生、科研院所的技术人员参考阅读,尤其是能源气象保障服务、光伏电站、电网公司调度中心等预报软件使用单位所需求。

图书在版编目(CIP)数据

太阳能光伏发电预报技术原理及其业务系统 / 陈正洪等编著.

—北京:气象出版社,2011.11

ISBN 978-7-5029-5347-8

I. ①太… II. ①陈… III. ①太阳能发电—研究
IV. ①TM615

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 230183 号

Taiyangneng Guangfu Fadian Yubao Jishu Yuanli jiqi Yewu Xitong

太阳能光伏发电预报技术原理及其业务系统

陈正洪 等 编著

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室:010-68407112

网 址:<http://www.cmp.cma.gov.cn>

责任编辑:林雨晨

封面设计:博雅思企划

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:787 mm×1092 mm 1/16

字 数:300 千字

版 次:2011 年 11 月第 1 版

定 价:38.00 元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终 审:黄润恒

责任技编:吴庭芳

印 张:11.75

插 页:2

印 次:2011 年 11 月第 1 次印刷

《太阳能光伏发电预报技术原理及其业务系统》

编委会

主任委员：

矫梅燕 中国气象局副局长

副主任委员：

崔讲学 湖北省气象局局长

毕宝贵 中国气象局预报与网络司司长

赵玉文 中国可再生能源协会副理事长、光伏专业委员会主任

委员：

张强 中国气象局预报与网络司副司长

柯怡明 湖北省气象局副局长

王仁乔 湖北省气象局副局长

潘进军 中国气象局公共气象服务中心副主任

王炳忠 中国气象局气象探测中心研究员

祝昌汉 中国气象局国家气候中心研究员

刘海波 中国气象局预报与网络司气候资源处处长

段善旭 华中科技大学电子与电气工程学院教授、博导

朱凌志 国网电力科学研究院清洁能源发电研究所高级工程师

周海 国网电力科学研究院清洁能源发电研究所高级工程师

侯佑华 内蒙古电力(集团)有限责任公司调度通信中心总工程师

黄焕寅 湖北省气象局预报与科技处副处长

陈正洪 湖北省气象服务中心(省气象能源技术开发中心)副主任

《太阳能光伏发电预报技术原理及其业务系统》

编写组

主 编：陈正洪

副主编：李 芬 成 驰 唐 俊 申彦波

成 员：陈正洪 李 芬 成 驰 唐 俊 申彦波

何明琼 白永清 付 佳 徐 静 王明欢

谢今范 孙 娴 孙银川 王学峰 辛 渝

保广裕 蔡 涛 代 倩 刘岩松 谷 春 等

项目来源：

中国气象局预报与网络司、科技与气候变化司、华中区域气象中心

任务名称：

①“关于开展太阳能光伏发电预报系统研究的通知”(气预函[2010]76号)

②“太阳能光伏预报系统建设和太阳能发电预报服务试点”(气预函[2010]174号,“关于编制2011年现代气候业务建设试点工作实施方案的通知”)

③“关于太阳能光伏发电预报系统和服务试点建设实施方案的复函”(气预函[2011]35号)

④“太阳能预报技术研究”(科技部公益性行业(气象)科研专项 GYHY201006036)

⑤“太阳能光伏发电预报方法研究”(华中区域气象中心气象科技发展基金重点项目QY-Z-201010)

序

能源是经济社会发展的重要基础。近年来,化石能源大量消耗所引发的资源短缺、环境污染以及气候变化问题受到国际社会的广泛关注,加快开发利用可再生能源,走多元化能源发展道路,已成为我国能源节约发展、清洁发展、安全发展、实现可持续发展的重大举措。风能、太阳能是新能源开发利用的重要领域,最新调查结果显示,我国三分之二的陆地面积具备太阳能利用的良好条件,西北、华北和东北等“三北”地区风能资源十分丰富,全国陆地风能技术开发量达 25.7 亿千瓦,近海风能资源技术开发量达 5.1 亿千瓦,可再生能源开发利用具有巨大的潜力和广阔的前景。

胡锦涛总书记在致中国气象局成立 60 周年的贺信中提出,要大力推进气象科技创新,不断提高气象预测预报能力、气象防灾减灾能力、应对气候变化能力、开发利用气候资源能力。这既是党中央、国务院从经济社会发展全局出发对气象部门提出的新要求,也是新时期气象工作的重大战略性任务。中国气象局党组认真贯彻落实中央领导同志的重要指示精神,加强组织领导,坚持科技创新,将风能、太阳能开发利用作为国家可再生能源发展的重点领域,开展了一系列气候资源的详查、监测、预测和评估工作,特别是针对近年来风能太阳能快速发展的趋势,中国气象局全面部署,积极谋划,组织省级气象部门开展风能太阳能开发利用工作,取得了许多富有成效的成果。

湖北省气象局紧密结合国家可再生能源发展需求,早谋划、早准备,与华中科技大学密切合作,在太阳能资源开发利用方面进行了积极的探索。2009 年 12 月,中国气象局副局长矫梅燕赴湖北调研时既对此项工作给予充分肯定,也对进一步做好此项工作给予指导,并要求面向全国、面向前沿、面向应用,进一步开展太阳能光伏发电(功率)预报系统的研究开发。在一年多的时间里,湖北气象局组织力量,艰苦攻关,建立了太阳能光伏发电功率预报的技术方法、预报模型、制作流程、误差判别标准,开发完成了我国气象部门第一代拥有自主知识产权的太阳能光伏发电预报系统,在宁夏、青海、甘肃等省(区)进行了应用,并在此基础上形成了《太阳能光伏发电预报技术原理及其业务系统》一书,值得肯定。

本书汇集了湖北省气象部门 2009 年底以来在太阳能光伏发电预报方面的一系列成果,对我国太阳能发电的规模化发展奠定了良好基础,为合理开发、科学利用和有效保护气候资源做出了突出贡献,对于加快转变经济发展方式、促进经济社会可持续发展具有重要意义。借此机会,我向本书编委会主任矫梅燕研究员以及参加这项工作的科技人员表示衷心的感谢!

2011 年 11 月 10 日

前 言

地球万物均与太阳密切相关。太阳能无穷无尽,据测算,每年照射到地表的太阳能极其巨大,是目前全人类使用能源总量的一万倍。最大程度转化和利用太阳能是人类千百年的追求和梦想。目前地球上对太阳能的利用主要包括5大方面,即生物利用、建筑利用、热水利用、光伏发电、光热发电。其中光伏利用是目前转化效率高、发展速度最快、可提供大量电力的太阳能利用方式。

光伏发电起源于20世纪的一项科学发明,一些晶硅材料在太阳光照射下便可产生电子空穴对,也就是正负极,电就产生了,这项发明成就了人类的航天事业。随着光伏材料价格的急剧下降,光伏发电逐渐进入人们的生活,并将最终改变人们的生活。欧洲、美国、日本等已完成了试验示范,进入大规模应用阶段,截至2010年底,全世界光伏电站总装机容量达到4千万千瓦,德国13%的电力已由太阳能发电提供。据国际能源署估计,到2015年(最迟2020年),太阳能发电成本将与常规化石能源发电成本相当,资本投资将大规模投向太阳能。据德国顾问委员会推算,到2030年,全世界常规化石能源使用量将出现拐点,清洁能源包括太阳能占比将显著增加;到本世纪末,地球绝大部分能源(电力)将由太阳能提供。

从2007年起,我国光伏电池的产量已连续4年稳居世界第一,目前已超过世界产量的一半。随着国家对清洁能源的重视程度加码,尤其是2009年以来“金屋顶”、“金太阳”两项计划的实施,我国太阳能光伏发电发展速度明显加快,2010年底累计装机容量已达到80万千瓦。最近国家能源局制订了“十二五”太阳能发电单项规划,到2015年,太阳能发电将达到1千万千瓦,是2010年底为止装机容量的12.5倍。2011年7月24日,《国家发展改革委关于完善太阳能光伏发电上网电价政策的通知(发改价格[2011]1594号)》的出台,设定了全国统一、高于行业期望值的标杆电价,必然带来光伏发电市场规模的飞跃式发展,一个真正的朝阳产业正在诞生。

太阳能是气象学上的一个观测量——辐射,俗称太阳光。虽然辐射的多年平均总量较为稳定,但仍存在着较大的年、季、月、日变化,并随天气状况、空气清洁度(或污染程度)而急剧变化,太阳能的发电量(上网电量)当然就随之而变化,属于不稳定、不可控的电源。根据电力调度部门的规定,当不稳定电力大于10%~

15%时,将对电网的稳定和安全产生极大冲击,增加了调度的难度,还需要增加旋转备用容量,通过发电预报,增加调度科学性,使不可控为可控,就显得十分必要。面对太阳能光伏发电预报的新需求,2010年,中国气象局在湖北启动了全国太阳能光伏发电量(功率)预报系统的建设项目。

气象部门在风能、太阳能发电量(功率)预测上有着不可替代的优势,由卫星、雷达及地面气象站构成的立体观测系统、数值天气预报模式、精细化预报技术、高性能计算资源等,可支持对风和辐射等气象条件做出较为准确的精细化预报。目前对风速、风向预报的空间分辨率为1km、时间分辨率15min,对辐射预报的空间分辨率为3km、时间分辨率1h,通过降尺度订正后的相对误差可以控制在20%以内,是开展发电功率预测的技术基础。

从辐射预报到发电量(功率)预报,是一种新的预报技术。光伏材料表面的太阳辐射需要通过一系列较为复杂的物理过程,才能转化为上网电量(功率),需要对光电转换模型、逆变器模型、并网模型与气象因子的关系进行研究,在此基础上,建立符合不同地域气候特征的气象模型,为发电量(功率)预报提供技术方法。

以陈正洪研究员为组长的课题组经过两年多的技术攻关,开发完成了基于数值天气预报的太阳能光伏发电预报系统。此项得到中国气象局预报与网络司、科技与气候变化司、华中区域气象中心等相关项目的资助,由湖北省气象服务中心牵头,中国气象局风能太阳能资源评估中心、气象探测中心,中国气象科学研究院以及吉林、新疆、陕西、云南、宁夏等省(区)气候中心及华中科技大学、南京信息工程大学等单位的专家共同参与完成,在此一并向参与此项工作的单位和专家表示感谢。

本书由陈正洪提出和策划,并完成了内容简介,第一章第一节,第三章第一节,第四章第一节第一部分的具体编写,附录文件(C—H)的收录整理,并与申彦波一起负责第二章第二节、第三节的编写以及全书统稿和审核把关。

李芬负责第一章第二、三、四节,第三章第二、七、八节,参考文献的整理,附录A的编写;蔡涛、代倩参加了第三章第七节的编写。

成驰负责第二章第一节,第三章第五、六、节,第九节第一部分,第四章第一节第一部分的编写。

唐俊负责第四章第一节第二部分,第三、四节,第六章,第七章的编写;刘岩、谷春参与了第六章第四节、第七章第三节的编写。

何明琼负责第五章,附录B的编写。

白永清负责第三章第四节、第九节第二部分的编写。

付佳负责第四章第二节的编写。

徐静负责第四章第五节的编写。

王明欢负责第三章第三节的编写。

谢今范(吉林)、孙娴(陕西)、孙银川(宁夏)、王学锋(云南)、辛渝(新疆)、保广裕(青海)等主要负责系统在各地的推广应用。

由于时间紧、任务急,以及编著者水平有限,书中差错在所难免,欢迎广大读者不吝赐教,以便今后改正。

本书编委会主任

2011年10月18日

目 录

序

前言

第一章 绪论	(1)
第一节 开发利用太阳能的目的和意义	(1)
一、满足不断增长的世界能源之需	(1)
二、应对气候变化之需	(2)
三、满足偏远地区用电之需	(3)
四、太阳能开发的巨大潜力	(4)
第二节 太阳能发电的分类	(5)
一、太阳能发电的分类	(5)
二、两种发电方式的比较	(6)
第三节 近年来世界光伏产业的发展及前景	(7)
一、世界太阳能电池的生产	(7)
二、太阳能电池技术	(8)
三、光伏市场及其应用	(10)
四、中国光伏产业发展	(13)
五、未来光伏发电前景	(14)
第四节 近年来聚光太阳能发电技术的发展及前景	(16)
一、聚光太阳能发电技术分类	(16)
二、近年来聚光太阳能发电技术发展现状及预测	(17)
第二章 太阳辐射及其资源的基本特征	(18)
第一节 太阳辐射基本概念	(18)
一、太阳辐射及其分类	(18)
二、大气对太阳辐射的削弱作用	(19)
三、地面接收的太阳辐射	(20)
第二节 太阳能资源评估指标	(20)
一、年总量指标	(21)
二、稳定度指标	(21)
三、直射比指标	(22)
第三节 中国、世界太阳能资源空间分布	(22)
一、中国太阳辐射分布	(22)

二、世界太阳辐射及光伏、光热资源分布	(24)
第三章 太阳能光伏发电预报关键技术原理和方法	(28)
第一节 太阳能光伏发电预报的基本思路	(28)
一、光伏发电的不稳定性	(28)
二、光伏发电预报技术的基本思路	(29)
第二节 光伏发电预报方法的分类	(29)
第三节 基于数值模式的太阳辐射预报	(30)
一、模式简介	(30)
二、短波辐射方案简介	(31)
三、辐射的模式预报结果与检验	(31)
第四节 地表太阳辐射的 MOS 订正	(33)
一、辐射观测数据处理	(33)
二、模式输出因子处理	(34)
三、建立相关主分量与清晰度指数的 MOS 方程	(36)
第五节 斜面辐射计算模型	(37)
一、斜面辐射计算方案	(37)
二、直射比的推算	(37)
三、斜面辐射的计算	(38)
第六节 辐射时差问题与解决方案	(39)
一、几个时间概念	(39)
二、辐射时差问题和解决方案	(40)
第七节 光电物理转换的气象敏感性模型	(40)
一、光电转换环节	(40)
二、并网逆变转换环节	(42)
第八节 光伏并网逆变器转换效率非线性模型	(43)
第九节 利用实际发电数据的动力—统计预报方法	(48)
一、影响因子诊断分析	(48)
二、主要统计方法简介	(51)
第四章 太阳能光伏发电预报系统软件设计	(56)
第一节 预报系统组成与数据流程	(56)
一、预报系统及主要模块简介	(56)
二、预报系统分层及其数据流程	(57)
第二节 资料采集处理子系统	(58)
一、数据采集与共享	(58)
二、技术架构	(58)
三、功能模块划分	(59)
第三节 数据库子系统	(60)
一、主要数据库表设计	(60)
二、数据库子系统的平台选择和实现	(65)

三、其他子系统与数据库子系统之间的数据访问接口	(65)
第四节 预报产品制作子系统	(65)
一、业务工作流程	(65)
二、系统功能模块划分和设计	(67)
三、发电预报计算	(67)
四、预报结果对比显示和误差分析	(68)
五、资料补录	(69)
六、系统参数管理配置	(70)
七、系统的技术架构和实现	(70)
第五节 预报产品 Web 发布子系统	(70)
一、系统概述	(70)
二、网站设计	(71)
三、网站的技术架构和实现	(74)
四、技术特点	(76)
第五章 太阳能光伏发电预报系统预报效果评价	(77)
第一节 到达地表的短波辐射预报评价	(77)
一、国外辐射预报效果	(77)
二、本系统辐射预报效果评价	(78)
第二节 光伏发电量预报效果检验	(78)
一、逐时发电量预报	(79)
二、逐日发电量预报	(80)
三、光伏发电量预报与日照时数关系分析	(81)
第三节 小结及讨论	(82)
第六章 太阳能光伏发电预报系统的安装	(83)
第一节 系统安装前必要的准备工作	(83)
一、系统硬软件配置要求	(83)
二、历史资料准备	(84)
三、初始参数信息准备	(85)
第二节 资料采集子系统的安装	(85)
一、程序安装	(85)
二、程序配置	(88)
第三节 预报制作子系统的安装	(89)
一、系统安装	(89)
二、修改连接字符串	(92)
第四节 产品发布网站的安装	(94)
一、系统安装前准备	(94)
二、系统安装	(96)
三、还原前台网站文件	(97)
四、创建网站虚拟目录	(97)

第七章 太阳能光伏发电预报系统使用手册	(104)
第一节 资料采集子系统使用说明	(104)
一、修改数据库连接	(104)
二、修改资料处理目录	(104)
三、修改资料备份目录	(106)
四、资料入库	(107)
五、文件处理记录查询	(108)
六、资料查询	(108)
第二节 预报产品制作系统使用说明	(111)
一、预报制作	(112)
二、预报查询	(114)
三、对比分析	(117)
四、资料补录	(119)
五、统计报表	(123)
六、系统参数管理	(124)
第三节 产品发布 web 网站子系统使用说明	(129)
一、实况查询	(129)
二、预报查询	(131)
三、对比分析	(137)
四、用户系统设置	(140)
参考文献	(146)
附录 A 原理预报法相关公式、参数及符号	(149)
附录 B 预报误差检验公式	(153)
附录 C 中华人民共和国可再生能源法	(155)
附录 D 中华人民共和国可再生能源法修正案	(159)
附录 E 关于加快推进太阳能光电建筑应用的实施意见	(164)
附录 F 太阳能光电建筑应用财政补助资金管理暂行办法	(166)
附录 G 关于实施金太阳示范工程的通知	(168)
附录 H 国家发改委关于完善太阳能光伏发电上网电价的通知	(172)
后记(代致谢)	(173)

第一章 绪 论

第一节 开发利用太阳能的目的和意义

一、满足不断增长的世界能源之需

随着世界人口的持续增长和经济的发展,对能源的需求日益增加。根据美国能源信息管理局在2010年7月的研究报告《2010年国际能源形势》(International Energy Outlook 2010)中预测,世界能源消费从2007—2035年将增加49%,平均年增长率为1.4%。经合组织国家(OECD)的能源消费从2007—2035年将增加14%,非经合组织国家的能源消费从2007—2035年将增加84%。历史上经合组织国家占据世界最大能源消费主导地位,2007年非经合组织国家能源消费首次超过经合组织国家。世界的能源消耗总量将从2007年的 495×10^{24} Btu(英制热量单位,1Btu=1055.79 J),增加到2035年的 739×10^{24} Btu,见图1.1。

在目前的能源结构中,世界一次能源消费主要是依靠石油、煤炭、天然气等常规化石燃料,石油市场份额位居第一,2007年占到一次能源的35%,到2035年则将下降为30%。煤位居第二,2007年占26.7%,到2035年将上升至27.9%。天然气第三,2007年占22.6%,到2035年将下降为21.9%,详细见表1.1世界各种燃料消费量的统计和预测。

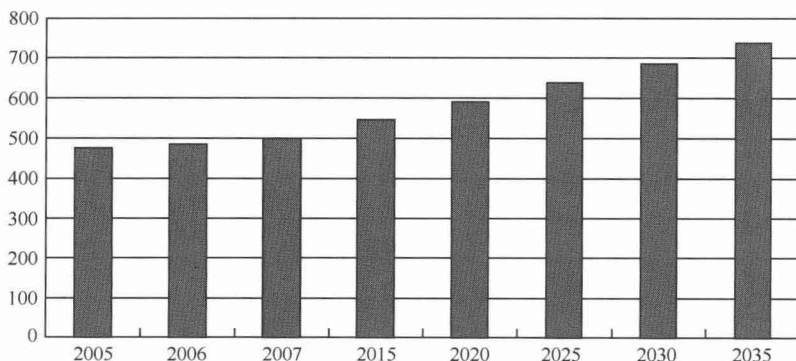


图 1.1 2005—2035 年世界能源消费总量统计及预测
(纵坐标单位: 10^{24} Btu, International Energy Outlook 2010)

与持续增长的能源需求相比,一个残酷的事实是地球上常规化石燃料资源的储量有限,并随着大规模工业开采和不断增长的能源消费需求,全球的化石燃料资源正在加速枯竭。如果不采取任何措施,按照目前全球使用常规化石燃料的趋势,本世纪中期全球的能源形势和生态环境可能会遭受到危及人类生存的灾难。

表 1.1 世界各种燃料消费的历史统计和预测(单位:10²⁴ Btu)

燃料	历史数据			预测数据					2007—2035 年平均增长率(%)
	2005	2006	2007	2015	2020	2025	2030	2035	
石油	170.4	172.8	174.7	179.3	186.0	197.2	210.0	223.6	0.9
煤	122.3	126.4	132.4	139.1	152.4	167.8	185.6	206.3	1.6
天然气	106.3	108.3	112.1	129.1	141.2	150.2	155.8	162.0	1.3
核电	27.5	27.8	27.1	32.2	37.4	41.1	43.9	47.1	2.0
其他	46.2	47.9	48.8	63.8	73.4	82.4	91.2	99.8	2.6

世界石油的紧张形势及价格飞涨是其中主要的信号之一。石油储量日益减少是石油持续涨价最基本的原因,石油价格不但突破每桶 100 美元,而且经常在每桶 100 美元以上的高位徘徊。此外,地缘政治的不稳定,如盛产石油的中东地区、北非等战争威胁和局势动荡,以及主要海上运输通道的安全问题,都会引起全球对原油供给减少和运输通道中断的担忧。

图 1.2 给出了 1999 年中国一次能源资源储量和世界平均储量(储采比)的对比情况。可以看出,中国的一次能源资源的储量远低于世界的平均水平,说明中国的能源形势比世界能源形势要严峻得多。

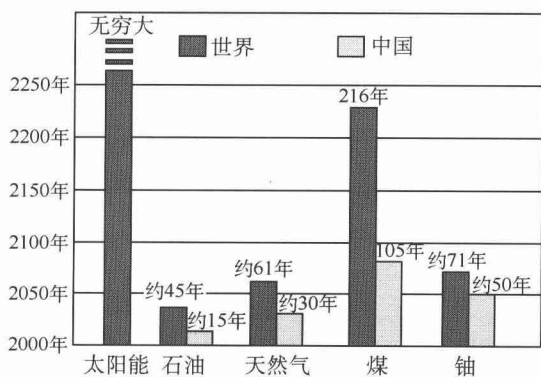


图 1.2 中国主要能源资源储量和世界平均储量的对比(赵玉文等 2008)

为了应对化石燃料加速枯竭和高涨的能源需求,各国大力推动可再生能源的快速发展,改变能源消费结构,在这个变革过程中可再生能源将逐渐替代常规化石燃料能源。这些国家不仅加大对可再生能源技术发展的支持强度,同时还通过法规和政策强力推动可再生能源市场快速发展。目前太阳能光伏发电和风力发电发展最快,也是各国竞相发展的重点。根据德国全球变化咨询委员会的研究(WBGU 2004),实现全球能源可持续发展,则所要求的可再生能源替代比例,将从 2020 年的 20% 提升到 2050 年的 50%,到 21 世纪末,太阳能资源开发将在

可能生能源甚至整个能源消耗中居绝对主导地位。

二、应对气候变化之需

气候变化是 21 世纪人类社会共同面临的最严峻挑战的之一,引起了国际社会普遍关注和高度重视。2007 年 2 月,联合国政府间气候变化专业委员会正式发布第四次评估报告(IPCC AR4 2007),该报告主要对气候变化预估和不确定性问题进行深入研究,更加明确地指出,全球气候变暖是不争的事实,且对于过去 50 年来的全球气候变化现象,90% 的可能性是人类活动引起的。目前地球上产生的温室效应气体比过去 1 万年中任何一段时间都高,大气中二氧化碳(CO₂)的含量比过去 65 万年中任何时间都高,比工业化革命前高出 35%。温室效应使地球正在以前所未有的速度变暖。过去 100 年(1906—2005 年)中全球平均气温升高 0.74℃,过

去 50 年中,平均气温是过去 1300 年中的最高值。全球变暖,一方面会导致冰雪圈融化,海平面上升,此外也可能加剧高温、热浪、暴雨、干旱、极端低温等极端灾害的发生频率。

International Energy Outlook 2010 统计和预测了世界主要国家和地区 2005—2035 年的 CO₂ 排放量,见表 1.2。预测 2007—2035 年世界 CO₂ 排放量的年平均增长率为 1.3%,2035 年 CO₂ 排放量是 2005 年的 1.5 倍。中国由于人口众多,处于经济高速增长和转型期,加上一大能源以煤为主,能源利用效率不高,2007 年中国 CO₂ 排放量首次超过美国成为全球第一大排放国,预测 CO₂ 排放年平均增长率为 2.7%(也是世界年排放增长率最高的国家),备受关注,CO₂ 减排压力大。

表 1.2 主要国家和地区 CO₂ 的历史排放和预测(单位: Mt)

燃料	历史数据			预测数据					2007—2035 年平均增 长率(%)
	2005	2006	2007	2015	2020	2025	2030	2035	
美国	5974	5894	5986	5731	5851	6016	6176	6320	0.2
加拿大	628	596	586	553	554	579	609	643	0.3
墨西哥	410	426	444	451	499	568	641	741	1.8
欧洲经合组织国家	4398	4426	4386	4110	4042	4037	4052	4107	-0.2
日本	1254	1253	1262	1102	1114	1106	1085	1064	-0.6
韩国	496	486	516	535	570	627	687	757	1.4
澳大利亚/新西兰	453	457	495	512	517	530	546	567	0.5
俄罗斯	1650	1672	1663	1642	1648	1666	1715	1811	0.3
中国	5558	5862	6284	7716	9057	10514	11945	13326	2.7
印度	1187	1287	1399	1566	1751	1905	2079	2296	1.8
中东	1395	1446	1515	1939	2134	2287	2450	2692	2.1
非洲	982	988	1011	1157	1237	1347	1461	1610	1.7
巴西	366	380	394	478	534	601	682	761	2.4
中南美洲	726	753	775	833	873	901	931	973	0.8
全球总计	28306	28812	29694	31509	33812	36460	39268	42392	1.3

根据《联合国气候变化框架公约》“共同但有区别的责任”的基本原则,发展中国家的义务之一就是“制定并执行减缓和适应气候变化的国家计划”。中国政府做出了积极承诺,到 2020 年单位 GDP 二氧化碳排放比 2005 年降低 40%~45%,2010 年可再生能源比例达 10%左右,2020 年达到 15%左右,目前中国水力发电资源的开发接近饱和,最有发展前途的可再生资源是风能、太阳能、生物质能,预计 2020 年太阳能发电装机可达 50~80 GW。

三、满足偏远地区用电之需

根据国际能源署(IEA)的调查,截至 2008 年,全球约有 15 亿人口,占全球总人口的 22%,没有电力供应,而其中 85%的人口生活在经济不发达的偏远地区。在偏远地区,人口分散,而