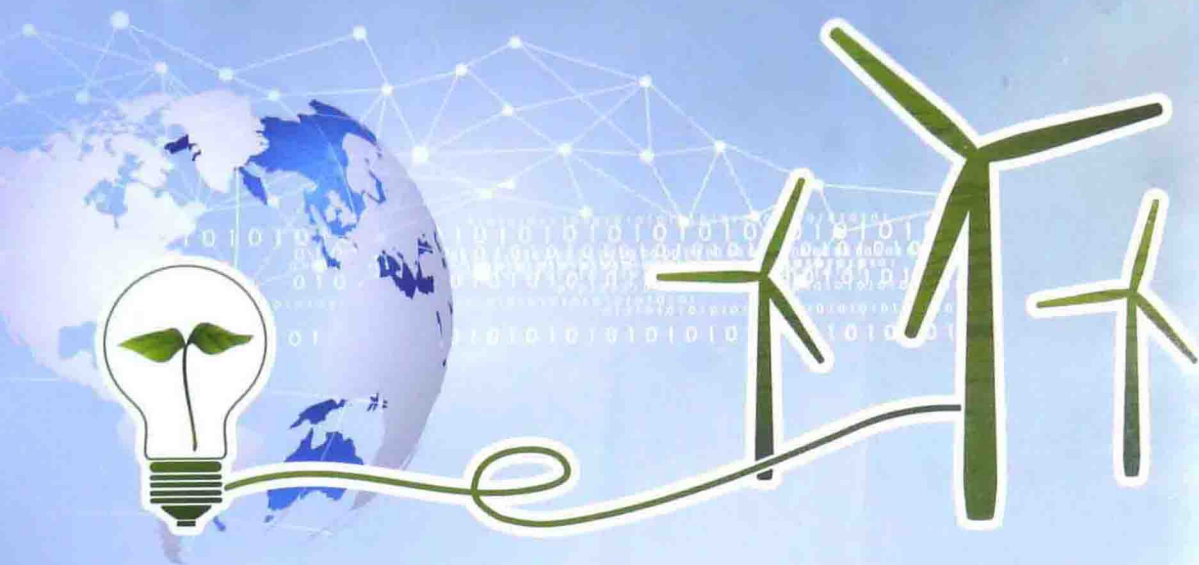




源荷互动技术

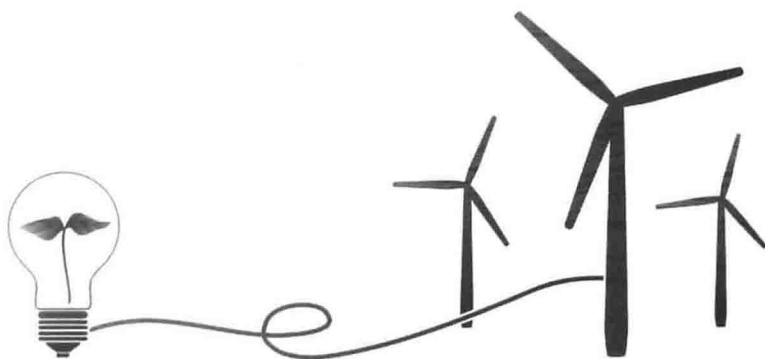
徐鲲鹏 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

源荷互动技术

徐鲲鹏 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

未来的智能电网是由时空分布广泛的多元电源和负荷组成,依靠源荷两端共同的协调与互动,可突破能源生产与消费的“瓶颈”,进而建立能源互联网,加快能源的变革进程。

本书共分七章,包括概述、源的特性、电力负荷特性、源荷互动关键技术、源荷互动技术的应用、源荷互动的市场运行分析以及源荷互动的未来。本书紧密结合现场实际、全面系统、实用性强,对提高技术人员对源荷互动的认知具有重要意义。

本书主要适用于直接从事源荷互动的研究人员和生产管理人员,也可供相关专业人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

源荷互动技术 / 徐鲲鹏主编. —北京: 中国电力出版社, 2015.5

ISBN 978-7-5123-7423-2

I. ①源… II. ①徐… III. ①智能控制—电网 IV. ①TM76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 057452 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2015 年 5 月第一版 2015 年 5 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 10 印张 169 千字

印数 0001—2000 册 定价 38.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

编 委 会

主 编 徐鲲鹏

副 主 编 殷树刚 郭增桥

编写组成员 李 涛 刘 磊 龚桃荣 刘 瑞

丁 晓 李江伟 高丽萍 胡宇宣

刘金龙 肖凤女 于秀丽 刘晓巍

康 晔 谷 阳 皮学军 张孝杰

韩小伟 吕天光 王 靓 刘富君

陈 河 王 建 秦晓敏 李霁元

前 言

能源的利用与人类的历史一样古老,从诞生之日起,人类的祖先就在从事着发现能源、掌握能源、适应自然、改造社会的活动。随着人类不断努力,逐渐发现了煤、石油、天然气等各类一次能源。直到第二次工业革命,发生了以电能为代表的巨大的能源变革。在随后的一百多年里,风能、核能、太阳能等多种能源纷纷成功转化为电能,各种用电设备百花齐放、层出不穷,极大地促进了人类社会的发展进程。

但是人类社会的跨越式发展也带来了一系列的问题,人口爆炸、能源紧缺、环境污染都极大地蚕食着人类文明的灿烂成果,身处其中的每个人都无法置身事外。如何调整社会发展与环境破坏之间的矛盾,突破能源生产与消费的“瓶颈”,这是当今亟待考虑和解决的现实问题。基于此,我们积极倡导源荷互动的理念,进而把这个理念深化、构建并实践应用。

本书首先介绍了源荷互动提出的背景、概念以及面临的挑战,针对目前智能电网中源与荷面临的双重变革,分析了能源与负荷的特性;接着描述了实现源荷互动的关键技术,介绍了源荷互动的典型设备、平台,以及在居民用户、工商业用户和城市低压配电网中的典型应用案例;最后对实现源荷互动的市场影响因素进行了剖析。

本书由徐鲲鹏主编,殷树刚、郭增桥担任副主编,参加编写的人员还有李涛、刘磊、龚桃荣、刘瑞等。在编写过程中,得到了国网江苏省电力公司的大力支持,在此一并致谢。

由于编写时间仓促,书中难免存在疏漏或不足之处,恳请广大读者和专家不吝赐教,给予批评指正。

编 者

2015年1月

目 录

前 言

⇒第一章 概述	1
第一节 源荷互动的背景	1
第二节 源荷互动的概念	3
第三节 电力调度模式的发展	4
第四节 源荷互动技术的挑战	6
⇒第二章 源的特性	7
第一节 电源结构	7
第二节 常规能源发电特性	12
第三节 新型能源发电特性	17
⇒第三章 电力负荷特性	27
第一节 电力负荷特性分析	27
第二节 电力负荷现状及面临的新形势	33
⇒第四章 源荷互动关键技术	37
第一节 柔性负荷调节技术	37
第二节 云计算技术	46
第三节 通信技术	51
第四节 安全防护	59
第五节 低压直流配电网技术	65
⇒第五章 源荷互动技术的应用	79
第一节 源荷互动的典型设备	79
第二节 源荷互动的平台	94
第三节 典型应用	110

⇒第六章 源荷互动的市场运行分析.....	128
第一节 电价政策的市场激励	128
第二节 公平效率的竞价机制	132
第三节 可再生能源配额机制	135
⇒第七章 源荷互动的未来.....	139
参考文献	145

能源问题事关国家命脉，大力发展可再生能源已经成为全球共识，也是智能电网发展的关键所在。开放互动是智能电网的重要特征，提高电网可靠性与灵活性、打造绿色电力、提升能源利用效率和实现与用户的友好互动是电力发展的永恒主题。如图 1-1 所示为未来电网组成示意图，一方面在源侧随着风能、太阳能光伏等具有随机性和波动性的新能源加入；另一方面在用户侧电动汽车等随机负荷的出现，使电力系统正经历着源与荷的双重变革。但目前对于互动的研究与应用主要局限于源网协调和用电互动化等方面。“弃光”和“弃风”等新问题的重要原因是仍按“发电跟踪负荷”的常规电网运行模式来应对新需求，没有让可控负荷成为电网调节和消纳新能源的重要手段，没有让电源与负荷形成真正的互动，未能充分发挥智能电网的作用。

未来的智能电网是由时空分布广泛的多元电源和负荷组成，电源与负荷均具备了柔性特征。通过间歇式能源与柔性电源的协调配合，可以使之共同向可预测、可控调的方向发展；可控常规负荷及电动汽车等将发展成为能够适应电网调控需求的柔性负荷；信息通信技术的

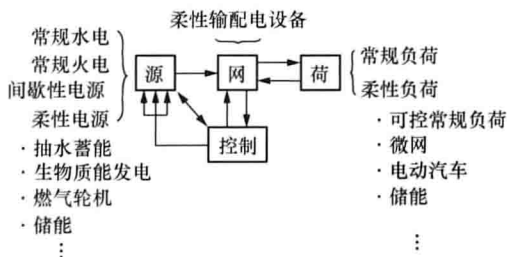


图 1-1 未来电网组成示意图

的不断发展与完善，使得电源与负荷不仅能感知自身状态的变化，同时还能获知其他个体的信息。这一切都为电源与负荷之间的广域互动提供了可能性。因此，源荷互动是应对未来电网能源结构变革的重要手段，也是智能电网发展的必然趋势。

第一节 源荷互动的背景

人类对能源的认识是从无到有，逐渐深刻并更新的过程。最初，相对于人类社会活动的消耗量，自然能源是取之不尽用之不竭的。数百年来，煤、石油、天然

气等化石能源一直是世界能源结构的主体，但 1973 年与 1978 年爆发的两次石油危机，使国际社会意识到化石能源逐渐枯竭的现状，开始在“节流”的同时“开源”——积极寻求可再生能源的大规模开发利用。

在我国，化石能源面临枯竭，能源问题已经成为我国政府和社会各界关注的焦点。据国家能源局发展规划司 2009 年的统计数据，我国煤、石油、天然气的已探明剩余储量分别仅能维持 80 年、15 年、30 年。我国《可再生能源中长期发展规划》中提出，到 2020 年可再生能源的利用要达到能源消费总量的 15%。大力发展新能源是实现这一目标的根本保证。

电力是重要的二次能源形式，能源政策的转变促使其生产和利用的格局发生根本变革。

一方面突出表现为可再生能源特别是风能、太阳能等清洁能源发电的并网规模迅速扩大，根据 2012 年 3 月中国电力企业联合会发布的《中国新能源发电发展研究报告》：截止到 2011 年底，全国并网新能源发电装机容量达到 51590MW，占总装机容量的 4.89%，其中并网风电约占并网新能源发电装机的 87.33%，并网太阳能光伏装机约占 4.15%。到 2020 年，风电装机容量将达 1.87 亿 kW，规划建设 8 个千万千瓦级风电基地；太阳能发电则将达到 25000MW。届时预计新能源发电将占总发电装机容量的 35% 左右，新能源电力系统逐渐成为下一代电网的主要特征。

在实际运行中，为了使得新能源发电较为平稳的接入系统，减小其不利影响，弃风、弃光现象成为电网调度中的常态。然而充分消纳新能源需要配套建设大量调峰电源，并在发电计划中为其预留足够的备用，导致常规机组频繁启停和长期低负荷运行，额外增加化石能源的消耗。

另一方面，智能电网的出现使需求侧也发生了根本变化。在传统电网中，需求侧被认为是缺乏弹性的，电网调度的基本任务是时刻满足负荷的用电需求。1986 年美国最早提出需求侧管理的概念，2005 年美国在能源政策法案 2005 (energy policies act of 2005) 中又提出需求响应 (demand response, DR) 技术，但受限于量测与远程控制技术落后以及 DR 项目自身的缺点，收效并不明显。

在智能电网中，需求侧设备更加多元化，分布式发电、分布式储能、电动汽车等的大量加入，使传统无源配电网产生了双向潮流，而且，智能电表的推广使用大大增强了需求侧的可观可测性，用户不再仅仅是电网末端的用电负荷，而是可以通过高级量测体系 (AMI) 与调度机构进行互动，实现真正广泛的 DR。

在智能电网提出后不久，2012 年国家推出的“阶梯电价”政策将是推动需求

响应技术的重要举措，也是向着互动电网迈出的重要一步。

据统计，在我国的 110kV 及以下配电网中有约 3 亿个诸如工业园区、居民小区、宾馆之类的负荷集群，而且随着智能电网建设的进一步深入，需求侧资源数量将呈指数型增长，给电网调度工作带来前所未有的机遇和挑战。如何引导这些负荷集群、分布式发电集群参与调度运行，是新能源电力系统优化调度需要重点关注的问题之一。

综上所述，新能源电力系统正在经历源与荷的双重技术革命。在传统电网中，负荷完全是随机变量，电网的调峰和调频由电源来单方面完成。但电力系统的基本元素包括电源、电网和负荷，实现电能的生产、输送、分配和消费，它们是一个不可分割的整体。互动电网的本质应该是实现“源（电源）”、“网（电网）”、“荷（负荷）”之间的相互补充、相互协调，从而实现互动。源荷互动正是在这一背景下提出的。

第二节 源荷互动的概念

“源”是指发电侧的火电、水电、风电等各种大容量机组或集中发电形式，一般通过输电和变电环节才能向负荷供电；“荷”泛指经由 110kV 及以下电压等级接入电网的弹性负荷、可控负荷、含源负荷等负荷形式，也包括向用户直接供电的分布式发电、分布式储能等发电形式。

源荷互动是指依靠发电侧与需求侧的良性有序互动，实现广域的能源优化利用。并且源荷互动的本质体现了电网调度模式的变革。源荷互动调度将是以往调度模式的发展，是电力系统发展到新能源与智能电网阶段的客观要求，对促进新能源发电的充分消纳、引导用户科学合理用电、实现电力行业的节能减排与安全经济运行具有广泛而现实的意义。

源荷互动概念的内涵是指，在相应监测与控制手段的支持下，以电网调度机构为桥梁，一体化协调发电侧和需求侧可调度资源，实现广泛分布的“源”与“荷”的互动，源荷共同参与并优化系统运行，以取得安全、经济与环境效益的最优。其中，互动的实现要依靠需求响应。源荷互动的外延是指，所有同时包含发电侧和需求侧资源的调度模式，如可中断负荷、直接负荷控制、微网、虚拟发电厂与发电机组同时参与日前发电计划、备用调度、实时调度、安全预防控制和校正控制等。外延是内涵的具体化，从实现方式来说包含源源互动、源荷互动和荷荷互动，从目标来说包含安全经济、节能减排。

第三节 电力调度模式的发展

传统电力调度模式主要是通过调度发电侧电源，最大限度地满足电网功率平



图 1-2 传统电力调度模式

衡，如图 1-2 所示，负荷是被动的、近乎于刚性。在新能源电力系统中，风能与太阳能等是一种随机波动的、间歇性能源，大规模接入电网后将给电网带来持续性的随

机扰动变量，必须依附可调度能源发电形式，以维持电网的安全稳定运行。间歇性能源并网容量比例较大时，仅依靠机组出力调整往往不能实现其充分消纳；而且为了给间歇性能源发电预留备用，常规能源机组不得不长期低效率运行，间接造成能源浪费，不能充分发挥新能源发电的节能减排价值。因此，仅依靠发电侧的传统调度模式，已不能满足新能源电力系统的运行。要求必须研究新的调度模式。

一、调度模式演变

电力工业发展至今已有 100 多年的历史，随着电力系统的发展，调度模式也随之不断演变。国外主要有两种调度模式：即电力垄断体制下的经济调度和发电管制取消后的市场竞争调度。国内调度模式则较为复杂，主要受电力供求形势和电力体制的影响，基本可分为四个阶段：一是早期垂直一体化电力工业体制下的传统经济调度模式；二是电力供应紧张、鼓励各方发电上网局面下的计划电量调度模式；三是电力体制改革，试行电力市场后的市场竞争调度模式；四是目前节能减排环境下的节能发电调度模式。

经济调度模式一般以耗量（或机组发电成本）最小为目标，在满足系统各约束条件下，通过优化发电机组出力，对用户实现安全可靠供电，按照发电成本大小在各发电机组或发电厂之间进行负荷分配；计划电量调度模式以协调多方利益为目标，各发电机组按容量平均分配发电利用小时数，主要目的是鼓励发电商发电，以满足电力系统供需平衡；市场竞争调度模式以购电成本最小或社会效益最大化为目标，根据各发电商在能量市场的竞价排序制订发电计划，使全网的运营效益最优；节能发电调度以节约能耗为目标，优先安排风电等可再生能源发电，对化石能源发电机组按能耗和污染物排放由低到高确定发电序位，以减少化石能源消耗和污染物排放。

另外学术界在理论研究和前瞻的基础上，有学者提出环保调度模式，其优化

目标是减少二氧化碳等污染气体的排放，其出发点在一定程度上与节能发电调度是相通的，但适用条件还不成熟，未在实际中得到应用。但由于温室气体排放增加，环境日益恶化，这种调度模式将逐渐受到重视。需要强调的是，无论何种调度模式，首先要满足电网安全稳定运行的要求，但调度模式在不同发展阶段的决策目标分别有所侧重。

值得注意的是：第一，发展充分的电力市场，通过市场竞争手段实现发电资源的优化配置是发达国家电力调度管理的发展趋势，值得国内借鉴；第二，在目前国内的能源和环境压力下，节能发电调度将是很长一段时期内应坚持和继续发展的调度模式，以提高风电等可再生能源发电的利用率，减少化石能源消耗，促进电力行业节能减排。这两种模式的结合值得深入研究与应用。

二、新能源调度模式的发展

目前最受关注的新能源发电形式是风能和太阳能光伏发电。受气候因素的影响，风力发电和太阳能发电具有间歇性和波动性的特点，难以调度，特别是大规模接入电网后，对发电计划的制订、实时调度以及备用安排等都将产生不利影响。若不能合理安排电网运行方式，将出现不必要的弃风、弃光等操作，影响系统运行的经济性，严重时甚至影响电网的安全稳定运行。

风力发电目前的装机容量远远大于光伏发电，而且光伏发电出力的波动与负荷的波动具有相关性；而风力发电则具有明显的反调峰特征。因此，对风电的调度研究与应用较多。主要体现在研究风力发电预测方法，减少预测误差，这样能够直接减少风电备用安排，是合理安排含风电场电力系统发电计划的有效方法。目前风电场出力预测的思想主要分为两类：一类是先对风速进行预测，再利用风机出力特性及其在风电场的空间布局特征等综合信息进行发电功率的计算；另一类是对风电场出力直接进行预测。具体算法可分为统计学算法、物理学方法以及两者的结合 3 种。其中短期调度服务的风电功率预测，以往文献的研究成果建议使用统计学算法。但总体来看，目前风电预测误差基本仍在 20% 左右，难以满足实际调度的需要。

利用需求响应抑制风电和光伏发电的波动是技术和经济上都较好的方案。工程界和学术界已经意识到 DR 在提高风电消纳能力方面具有巨大的技术潜力和经济效益，但研究尚不深入。总体来讲，学者们在理论研究、模型建立、求解算法等几个方面对含新能源特别是风电场电力系统的优化调度问题进行了卓有成效的研究，对提高电网风电与光伏发电消纳能力起到了积极作用，但现有成果仍需进一步发展，特别是与需求响应的结合更需要深入探索与实践。

第四节 源荷互动技术的挑战

源荷互动运行模式在带来电能利用灵活性提升和用电互动选择空间增加的同时，也对电网安全运行、供电质量和供电可靠性提出了一系列挑战。互动主体数量的快速上升、间歇能源的运行不确定性和分布式可控负荷的灵活响应特性也增加了电网运行的复杂程度。需要研究源荷柔性互动控制策略和技术，尤其是海量分布式优化控制与集中优化控制之间的交互协调，全面实现源荷的有序互动。

(1) 互动环境下源荷之间的功率平衡控制技术。传统的省网有功功率就地平衡模式在一定程度上不利于可再生能源的大规模消纳和源荷间的协调互动，需要考虑电源和负荷之间的联络线传输功率控制新模式。

(2) 海量分布自治与集中控制的协调优化技术。在源荷柔性互动的环境中，除了集中式的常规大电源和直控大负荷外，还有海量分布式的电源和可控负荷。需要研究海量分布式优化控制与集中优化控制间的交互协调技术，由集中优化控制为海量节点自组织优化控制提供可接纳的控制参数和目标，充分发挥海量分布式优化控制的自组织、自适应能力和集中优化控制的全局协调能力，全面实现源荷友好互动。

(3) 电力政策与市场的影响。源荷互动离不开国家对电力体制的政策以及市场的影响，特别是电价政策。已经开始推行的阶梯电价与峰谷电价对源荷互动有一定的促进作用。源荷互动要通过市场机制改革，使用价格杠杆才能逐步实现。

第一节 电 源 结 构

一、电源结构的概念

根据电源使用能源的类型,将电力系统电源分为常规电源和新型电源两种。常规电源包括燃烧煤、石油、天然气等化石燃料发电的火电厂以及利用水能发电的水电站。新型电源包含许多新能源发电的方式,如核电站、太阳能光伏电站、风电场等。

电源结构(Power Source Structure),是指在电力系统中各种类型的电厂之间的发展比例。我国电力系统电源结构如图 2-1 所示。

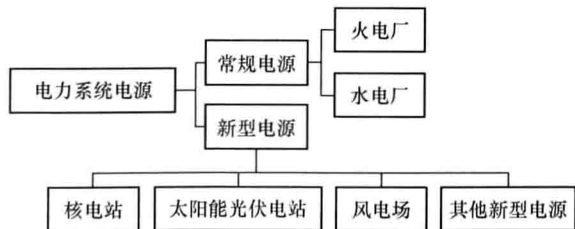


图 2-1 我国电力系统电源结构

火、水、核、风、光各种电源分布都有着极为明显的地域性。各地区的能源分布不同,能源储量和开发条件受到制约,因此形成的电源结构也不同。

1. 煤炭资源

中国是世界上煤炭产量最多、增长速度最快的国家。我国煤炭资源在地理分布上的总格局是西北多东南少、北富南贫。主要集中在分布在山西、内蒙古、陕西、新疆、贵州、宁夏等 6 省(自治区),而且煤类齐全,煤质普遍较好。我国经济最发达,工业产值最高,对外贸易最活跃,能源需求量最多,耗用煤量最大的京、津、冀、辽、鲁、苏、沪、浙、闽、台、粤、琼、港、桂等 14 个省(市、区)自有煤炭资源十分贫乏。

总体来说,我国煤炭资源赋存丰度与地区经济发达程度呈逆向分布的特点。

2. 水能资源

水能资源主要集中在中西部地区的大中型河流上,长江、金沙江、雅砻江、大渡河、乌江、澜沧江、黄河和怒江等干流上的可开发装机容量约占总量的 60%。目前,我国水电开发量已经达到 27% 左右,估计 2020~2030 年期间,我国水电资源将基本开发完毕,届时可以形成 3 亿 kW 的发电能力,在当时的全国电力装机中占据 28% 左右的比例。

我国十三大水电基本分布在东北、黄河北干流、黄河上游、雅砻江、大渡河、长江上游、金沙江、怒江、乌江、湘西、闽浙赣、澜沧江干流、南盘江红水河等流域和地区。

3. 核能资源

核电站(Nuclear Power Plant)又称核电厂,指利用铀、钚等作核燃料,通过核裂变(Nuclear Fission)或核聚变(Nuclear Fusion)反应所释放的能量产生电能的发电厂。核电厂主要以反应堆的种类相区别,有压水堆核电厂、沸水堆核电厂、重水堆核电厂、石墨水冷堆核电厂、石墨气冷堆核电厂、高温气冷堆核电厂和快中子增殖堆核电厂等。目前商业运转中的核能发电厂都是利用核裂变反应发电。

出于对核泄漏危险性的考量,核电站的选址不仅要满足核电机组自身安全性的要求,还要考虑到地震、洪水、土壤、极端天气、飞机失事、化学爆炸以及其他外部情况等因素,例如,自然环境、人口密度等。

目前,我国大陆已建成并投入商业运行的核电站,分别为浙江秦山核电站一期、二期、三期,广东大亚湾核电站和岭澳核电站一期、二期,江苏田湾核电站,辽宁红沿河核电站,福建宁德核电站,防城港核电站共有 20 台机组。

4. 风力资源

随着能源供应的渐趋紧张以及环保问题的日益突出,可再生能源越来越被重视。风力发电是一种清洁的可再生能源,同时又是新能源发电技术中最成熟和最具规模开发条件的发电方式之一,因此在世界各地得到迅速发展。其蕴量巨大,全球的风能约为 $2.74 \times 10^9 \text{ MW}$,其中可利用的风能为 $2 \times 10^7 \text{ MW}$,比地球上可开发利用的水能总量还要大 10 倍。

我国幅员辽阔,海岸线长,具有非常丰富的风能资源,近几年也得到了迅速发展。我国风能资源丰富的主要地区分布如下。

(1)“三北地区”(东北、华北北部和西北地区)。风能功率密度在 $200 \sim 300 \text{ W/m}^2$ 以上,局部可达 500 W/m^2 以上,如阿拉山口、达坂城、辉腾锡勒、锡林

浩特的灰腾梁等，可利用的小时数在 5000h 以上，局部可达 7000h 以上。该地区风能丰富带的形成，主要是和该地区处于中高纬度的地理位置有关。

(2) 东部沿海陆地、岛屿及近岸海域。主要包括山东、江苏、上海、浙江、福建、广东、广西和海南等省(市)沿海近 10km 宽的地带，年风功率密度在 $200\text{W}/\text{m}^2$ 以上。

(3) 内陆个别地区由于湖泊和特殊地形的影响，形成一些风能丰富点，如鄱阳湖附近地区和湖北的九宫山和利川等地区。

(4) 近海地区，我国东部沿海水深 5~20m 的海域面积辽阔，按照与陆上风能资源同样的方法估测，10m 高度可利用的风能资源约是陆上的 3 倍，超过 7 亿 kW。

风是没有公害的能源之一，而且它取之不尽，用之不竭，对于缺水、缺燃料和交通不便的沿海岛屿、草原牧区、山区和高原地带，因地制宜地利用风力发电，非常适合。

5. 太阳能光伏资源

太阳能是一种清洁的、环保的可再生能源。太阳能发电成为目前备受关注的焦点之一。

我国属太阳能资源丰富的国家之一，根据国家气象局风能太阳能评估中心划分标准，我国太阳能资源地区分为以下四类。

(1) 资源丰富带：全年辐射量在 $6700\sim 8370\text{MJ}/\text{m}^2$ ，相当于 230kg 标准煤燃烧所发出的热量。资源丰富带主要包括青藏高原、甘肃北部、宁夏北部、新疆南部、河北西北部、山西北部、内蒙古南部、宁夏南部、甘肃中部、青海东部、西藏东南部等地。

(2) 资源较富带：全年辐射量在 $5400\sim 6700\text{MJ}/\text{m}^2$ ，相当于 180~230kg 标准煤燃烧所发出的热量。资源较富带主要包括山东、河南、河北东南部、山西南部、新疆北部、吉林、辽宁、云南、陕西北部、甘肃东南部、广东南部、福建南部、江苏中北部和安徽北部等地。

(3) 资源一般带：全年辐射量在 $4200\sim 5400\text{MJ}/\text{m}^2$ ，相当于 140~180kg 标准煤燃烧所发出的热量。资源一般带主要是长江中下游、福建、浙江和广东的一部分地区，该地区春夏多阴雨，秋冬季太阳能资源属一般水平。

(4) 资源较差带：全年辐射量在 $4200\text{MJ}/\text{m}^2$ 以下。资源较差带主要包括四川、贵州两省。此区是我国太阳能资源最少的地区。

整体上，我国属于太阳能资源丰富的大国，全国有 2/3 的地区年辐射量在

5000MJ / m² 以上。合理有效开发太阳能资源成为现阶段我国解决能源危机、缓解气候变化的重要途径。

二、电源结构的调整

目前，煤炭、石油、天然气等是当前社会的主体能源。根据统计年鉴数据计算得我国近十年能源消费总量如表 2-1 所示。2013 年，我国能源结构如图 2-2 所示。煤炭在中国一次能源消费结构中的占比为 66.0%，石油占比为 18.4%，而清洁能源占比大幅度增长。过去 10 年，天然气占中国一次能源消费结构的比重翻了一番，达到 5.8%。非化石能源占比达到 9.8%，过去十年增速超过 50%。

表 2-1 我国近十年能源消费总量

年份	煤炭	石油	天然气	水电、核电、风电	总量
2004	248351.92*	45466.13	5336.40	14301.55	213455.99
2005	167085.88	46727.41	6135.92	16047.80	235996.65
2006	183918.64	49924.47	7501.60	17331.29	258676.30
2007	199441.19	52735.50	9256.76	19074.54	280507.94
2008	204887.94	53334.98	10783.58	22441.50	291448.29
2009	215879.49	54889.81	11959.23	23918.47	306647.15
2010	220958.62	61738.41	14297.32	27944.75	324939.15
2011	238033.37	64728.37	17400.10	27840.16	348001.66
2012	240913.51	68005.62	18810.06	34002.81	361732.00
2013	247500.00	69000.00	21750.00	36750.00	375000.00

* 表中数据单位为折算成万吨标准煤。

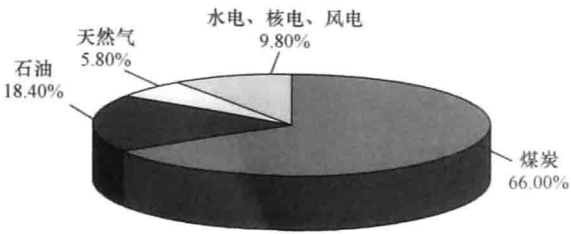


图 2-2 2013 年我国能源结构

2014 年第二季度我国各类电源发电量比例结构如图 2-3 所示。表 2-1 表明近几年火电的发展进入迟缓期，风电和太阳能发电高速发展。但从图 2-3 可以看出，由于风电和太阳能发电的基数低，尽管发展迅速，新型电源发电量仍只占极小部分，起支柱作用的仍然是火电。