

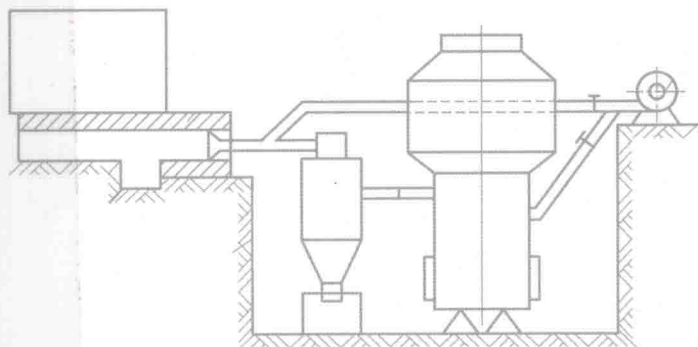
普通高等教育“十三五”规划教材



# 新能源技术与应用概论

第二版

冯飞 张蕾 等编著



化学工业出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

# 新能源技术与应用概论

第二版

冯 飞 张 蕾 等编著



化学工业出版社

·北京·

全书共分为7章。第一章简明扼要地介绍了能源和新能源的基本概念、分类、新能源技术应用的现状和发展；第二章对太阳能的资源状况、太阳能光热转换、光电转换及其他形式转换的基本原理、应用状况进行了较为详细的介绍；第三章介绍了风力资源的概况、风能的主要利用方式、风力发电技术与组成、风电场的基本概念，以及风力发电的发展趋势；第四章介绍了生物质能的基本概念、分类以及其利用技术；第五章主要介绍了氢能的性质与分布、制备与储运以及具体应用；第六章则对地热能的资源状况、常见形式、供热、干燥以及发电等利用技术进行了介绍；第七章介绍了其他新能源的基本概念与应用情况，包括核能、海洋能和天然气水合物。

本书可作为高等院校、高职高专院校热能动力设备及应用、能源工程、新能源技术、环境工程、建筑环境与设备等专业及相关专业的教材，适合从事能源生产与管理、环境保护和能源化工等领域的工程技术人员、研究人员参考和使用。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

新能源技术与应用概论/冯飞等编著. —2版. —北京:  
化学工业出版社, 2016.7

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-122-27037-5

I. ①新… II. ①冯… III. ①新能源-高等学校-教材  
IV. ①TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 100067 号

---

责任编辑: 高钰  
责任校对: 王素芹

文字编辑: 谢蓉蓉  
装帧设计: 刘丽华

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印刷: 北京云浩印刷有限责任公司

装订: 三河市曩发装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 19 $\frac{3}{4}$  字数 489 千字 2016 年 8 月北京第 2 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 39.00 元

版权所有 违者必究

# 前言

本书自第一版面世以来，得到了广大院校的认可，重印多次，但新能源技术的快速发展，新技术与新工艺的不断涌现，促使我们对第一版做出修订。

本书延续了上一版的主旨与风格，在内容和结构上均做了一定的修改，编著者仍然强调以技术应用为主，通俗易懂地介绍近几年新能源技术的发展与应用，增添了最新的数据和研究进展，注重实用性和先进性，力求做到理论与实践相结合。

本书在内容和结构上均做了一定的修改、更新和完善，主要内容如下：

1. 在绪论中增加了世界能源发展现状、我国最新的能源政策等内容。
2. 在太阳能及应用一章中，删除了太阳能光电转换利用技术中较为复杂、专业性较强的内容，更新了太阳能利用的最新进展。
3. 由于风能的飞速发展，将风能及其利用放在了单独的一章中重点介绍，并增加了关于风电场等新的内容。
4. 在生物质能及应用一章中，增加了关于“先进生物燃料”的介绍，同时更新了生物质能利用技术的研究进展。
5. 在氢能及应用一章中，增加了最新的技术研究进展和应用实例。
6. 由于核能在我国的快速增长，在核能利用部分增加了关于核反应堆和核聚变的介绍。
7. 更新了关于海洋能、天然气水合物的最新研究与应用进展。
8. 本书的内容已制作成用于多媒体教学的 PPT 课件，并将免费提供给采用本书作为教材的院校使用。如有需要，请发电子邮件至 [cipedu@163.com](mailto:cipedu@163.com) 获取，或登录 [www.cipedu.com](http://www.cipedu.com) 免费下载。

本书由冯飞、张蕾等共同编著完成。冯飞编著了第一章、第三章、第四章和第七章，张蕾编著了第五章和第六章，涂中强编著了第二章。全书由冯飞统稿。在编著过程中，得到了广大读者和其他高校同行的帮助与支持，特别感谢黄淮学院衡耀付老师的指导与建议。同时还得到了张德华、祁建安、公冶令沛、龙海军、项玲、曹慧、金良、张鹏高等的大力帮助，在此一并表示感谢。

东南大学沈来宏教授在百忙中认真审阅了本书，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，不足之处在所难免，恳请广大读者不吝指教。

编著者  
2016年4月

# 第一版前言

能源是人类社会存在和发展的物质基础，为国民经济的发展提供动力支持。自19世纪工业革命以来，以煤炭、石油和天然气等化石燃料为代表的一次能源极大地推动和促进了世界各国的经济发展。然而，化石燃料的大量使用也带来了一系列严重问题，比如化石能源资源的不断枯竭，化石燃料的燃烧导致环境急剧恶化，为占有能源资源而引发冲突和战争等社会、政治问题等。尤其是20世纪70年代爆发的能源危机更促使人类探寻一种新的、清洁、安全、可靠的可持续能源系统，新能源的探索、开发与应用逐步展开，并逐渐成为世界各国的研究热点。进入21世纪，随着不断加大对新能源研究与利用的人力和物力的投入力度，新能源利用技术和装置的研发不断深入，新能源的发展一日千里，很多新能源的利用已进入商业化应用阶段，并逐步在能源建设中发挥重要作用。

就我国而言，新能源的开发利用具有更重要的意义。我国的能源结构很不合理，其中煤炭所占比例过大，石油对外依存度高，人均能源占有率低，同时能源的利用效率低，环境污染严重。因此，我国面临着有限的化石燃料资源和更高的环境保护要求的严峻挑战。为了解决这些问题，必须依靠科技进步，优化能源结构，开发利用新能源，这是解决我国能源问题的重要途径，也是我国长期能源的发展战略，是我国建立可持续能源系统最主要的措施之一。为此，我国政府高度重视新能源的开发与利用工作，新能源的开发应用在我国得到了飞速发展，很多技术已位于世界前列。

随着我国能源、化工、电力等行业的持续快速增长，对从事新能源工作的技术人员的需求也日益增加，大专院校相关专业的师生也迫切需要了解和掌握新能源的资源特性和应用技术。为满足能源、化工、电力等专业的师生对新能源技术的求知愿望，帮助能源、化工、电力等行业的工程技术人员认识和了解新能源技术及应用，编写了本书。

本书以应用为主，主要选择成熟可靠并通过实践检验的技术，同时也介绍一些指导性的科学理论和新技术。本书内容丰富，叙述力求具体、直观，图文并茂，有启示、借鉴和指导意义。在文笔上，力求通俗易懂，简明扼要，充分体现针对性、实用性和先进性。

本书由冯飞、张蕾等编著。各章节的分工为：冯飞编著第一章和第三章；张蕾编著第四章和第五章；赵振宙编著第六章；李永杰编著第二章的第一节和第二节；涂中强编写第二章的第三节和第四节。

沈来宏教授在百忙中抽出时间，主审了本书，并为全书的修改提出了不少宝贵意见；魏

龙、祁建安、龙海军、公冶令沛参加了审稿。本书在编写过程中，得到了曹慧、张国东、蒋李斌、张鹏高、戴路玲、冯秀等的大力帮助，在此一并表示感谢。

新能源技术的发展日新月异，科技成果不断涌现，限于编者的水平，书中遗漏之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编著者  
2010年10月

# 目 录

## 第一章 绪论

1

第一节 能源的基本概念 .....	1
一、能源及其分类 .....	1
二、能源在国民经济中的重要战略地位 .....	2
第二节 我国能源现状 .....	2
第三节 新能源及发展趋势 .....	4
一、新能源简介 .....	4
二、国际新能源发展现状与趋势 .....	5
三、我国新能源的发展现状与趋势 .....	8
思考题 .....	12

## 第二章 太阳能及其应用

13

第一节 太阳能概述 .....	13
一、太阳能的基本概念 .....	13
二、我国太阳能资源的分布 .....	15
三、太阳能的利用方式 .....	16
四、太阳能的开发历史 .....	17
五、国外太阳能的开发状况 .....	18
六、我国太阳能的开发现状 .....	19
第二节 太阳能的光热转换利用 .....	20
一、太阳能热水器 .....	20
二、太阳灶 .....	23
三、太阳能制冷 .....	26
四、太阳能热发电 .....	29
五、太阳能干燥器 .....	43
六、太阳能在建筑节能上的应用 .....	47
七、太阳能蒸馏——海水淡化 .....	50
八、其他应用 .....	52
第三节 太阳能的光电转换利用 .....	54
一、光伏效应 .....	54

二、太阳能电池 .....	54
三、光伏发电技术 .....	66
四、太阳能光伏发电技术的发展概况 .....	73
第四节 其他形式的太阳能转换利用 .....	76
一、太阳能-氢能转换利用 .....	76
二、太阳能-生物质能转换利用 .....	77
三、太阳能-机械能转换利用 .....	78
思考题 .....	78

### 第三章 风能及其利用技术

80

第一节 风能概述 .....	80
一、风的简介 .....	80
二、风能的特点 .....	80
三、风能的描述 .....	81
四、风能资源 .....	82
第二节 风能利用技术 .....	83
第三节 风力发电技术 .....	85
一、风力发电系统 .....	85
二、风力机 .....	87
三、风力发电机的组成 .....	91
四、风力发电场 .....	95
第四节 风力发电技术的发展现状与趋势 .....	98
一、全球风电的发展现状 .....	98
二、风电的发展方向 .....	102
思考题 .....	103

### 第四章 生物质能及其应用

104

第一节 生物质能概述 .....	104
一、生物质能的基本概念 .....	104
二、我国的生物质资源以及开发生物质能的意义 .....	107
三、生物质能利用技术 .....	108
第二节 生物质的物理转换利用 .....	112
一、生物质压缩成型技术 .....	113
二、生物质型煤 .....	120
第三节 生物质的生物化学转换利用 .....	123
一、沼气技术 .....	123
二、燃料乙醇 .....	133



第四节 生物质的热化学转化利用 .....	142
一、生物质直接燃烧技术及应用 .....	142
二、生物质气化技术及应用 .....	152
三、生物质热解技术及应用 .....	166
四、生物质直接液化技术简介 .....	174
第五节 先进生物燃料 .....	176
一、先进生物燃料的概念 .....	176
二、先进生物燃料的特点 .....	176
三、先进生物燃料的制取途径 .....	177
四、先进生物燃料的发展情况 .....	179
第六节 城市生活垃圾处理技术 .....	183
一、城市生活垃圾的基本特性 .....	183
二、城市生活垃圾能量利用技术 .....	184
思考题 .....	194

## 第五章 氢能及其应用

195

第一节 氢能概述 .....	195
一、氢的分布 .....	195
二、氢的性质 .....	196
第二节 氢的制备与储运 .....	197
一、氢的制取 .....	197
二、氢的纯化 .....	212
三、氢的储存 .....	214
四、氢的输运 .....	217
第三节 氢的应用 .....	218
一、直接燃烧 .....	219
二、燃料电池 .....	222
思考题 .....	233

## 第六章 地热能及其应用

234

第一节 地热能概述 .....	234
一、地热能基本概念 .....	234
二、地热能的分类 .....	237
三、我国的地热资源 .....	237
第二节 地热资源的直接利用 .....	239
一、地源热泵 .....	240
二、地热干燥 .....	244

三、地热资源的其他利用 .....	246
第三节 地热发电技术及应用 .....	250
一、地热蒸汽发电 .....	250
二、地热水发电 .....	252
三、地压地热发电 .....	256
四、干热岩地热发电 .....	257
思考题 .....	260

## 第七章 其他新能源及其应用

261

第一节 核能及其应用 .....	261
一、核能概述 .....	261
二、核能发电 .....	265
三、核聚变 .....	267
四、国际核电发展动向 .....	272
第二节 海洋能及其利用 .....	275
一、潮汐能 .....	276
二、波浪能 .....	279
三、海流能 .....	286
四、温差能 .....	290
五、盐差能 .....	295
六、各类海洋能的特点 .....	297
七、海洋能利用的前景 .....	297
第三节 天然气水合物 .....	298
一、天然气水合物物理化学性质 .....	298
二、天然气水合物形成原理 .....	298
三、天然气水合物的分布 .....	299
四、天然气水合物的环境效应 .....	300
五、天然气水合物开采方式 .....	300
六、全球天然气水合物开发 .....	303
七、中国天然气水合物研究 .....	304
思考题 .....	305

## 参考文献

306

# 第一章

## 绪论

### 第一节 能源的基本概念

从人类学会用火到蒸汽机、内燃机的发明应用，人类文明前进的每一步，都与能源的开发利用息息相关。人类文明前进的过程，也是开发利用能源的规模与水平不断提高的过程。从推动生产力提高的作用来看，是能源的开发利用将人类社会飞速推向现代文明时代。在当代，能源的开发和利用水平仍是衡量社会生产力和社会物质文明的重要标志，并且关系着社会可持续发展和社会的精神文明建设。科学技术的发展、国民经济的繁荣、国防建设的加强、社会生活质量的提高、人类文明的进步等，都必须以充足的能量供应为支柱。

#### 一、能源及其分类

所谓能源是指可向人类提供各种能量和动力的物质资源。迄今为止，由自然界提供的能源有：水力能、风能、太阳能、地热能、燃料的化学能、原子核能、海洋能以及其他一些形式的能量。通常人们按照以下几种分类方式对能源分类。

(1) 按来源分 根据来源，能源大致可分为三类：第一类是地球本身蕴藏的能源，如原子核能、地热能等；第二类是来自地球以外天体的能源，如太阳能以及由太阳能转化而来的风能、水能、海洋波浪能、生物质能以及化石能源（如煤炭、石油、天然气等）；第三类则是来自月球和太阳等天体对地球的引力，且以月球引力为主，如海洋的潮汐能。

(2) 按照开发的步骤分 按照开发的步骤，能源可分为一次能源和二次能源。一次能源，即在自然界以自然形态存在可以直接开发利用的能源，如煤炭、石油、天然气、水力能、风能、海洋能、地热能 and 生物质能等。一次能源中又可根据能否再生分为可再生能源和不可再生能源。可再生能源是指不会因被开发利用而减少，具有天然恢复能力的能源，如太阳能、风能、地热能、水力能、海洋能、生物质能等；不可再生能源是指储量有限，随着被开发利用而逐渐减少的能源，如煤炭、石油、天然气和原子核能等。二次能源，即由一次能源直接或间接转化而来的能源，如电能、高温蒸汽、汽油、沼气、氢气、甲醇、乙醇等。

(3) 按使用程度和技术分 在不同历史时期和不同科技水平条件下，能源使用的技术状况不同，从而可将能源分为常规能源和新能源。常规能源是指开发时间较长、技术比较成熟、人们已经大规模生产和广泛使用的能源，如煤炭、石油、天然气和水力能等。新能源是指开发时间较短、技术尚不成熟、尚未被大规模开发利用的能源，如太阳能、风能、生物质能、地热能、海洋能和原子核能等。

(4) 按照开发利用过程中对环境的污染程度分 按对环境的污染程度，能源可分为清洁

能源和非清洁能源。无污染或污染很小的能源称为清洁能源,如太阳能、风能、水力能、海洋能等;对环境污染大或较大的能源称为非清洁能源,如煤炭、石油、天然气等。

(5) 按性质分 按本身性质,能源可分为含能体能源和过程性能源。含能体能源是指集中储存能量的含能物质,如煤炭、石油、天然气和原子核能等。而过程性能源是指物质运动过程产生和提供的能量,此种能量无法储存并随着物质运动过程结束而消失,如水力能、风能和潮汐能等。

## 二、能源在国民经济中的重要战略地位

能源是人类社会生存的基础,能源的开发和利用不但推动着社会生产力的发展和社会历史的进程,而且与国民经济的发展密切相关。能源在国民经济中具有特别重要的战略地位。

首先,能源是现代生产的动力来源。无论是现代工业还是现代农业都离不开能源。现代化生产是建立在机械化、电气化和自动化基础上的高效生产,在所有生产过程进行的同时总伴随着能源的消费。

其次,化石能源提供了珍贵的化工原料。以石油为例,除了能提炼出汽油、柴油和润滑油等石油产品外,对它们进一步加工可取得 5000 多种有机合成原料。这些原料经过加工,便可得到塑料、合成纤维、化肥、染料、医药、农药和香料等多种工业制品。此外,煤炭、天然气等也是重要的化工原料。

综上,一个国家的国民经济发展与能源开发和利用紧密联系,没有能源就不可能有国民经济的发展。世界各国的经济发展实践证明,在经济正常发展的情况下,每个国家能源消费总量及增长速度与其国民经济总产值及增长速度成正比例关系。

此外,能源的人均消耗量的多少也反映出人民生活水平的高低。在人民的生活中,不仅衣、食、住、行需要能源,而且文教卫生、各种文化娱乐活动等都离不开能源。随着人民生活水平的不断提高,所需的能源数量、形式越来越多,质量越来越高。一般而言,从一个国家的能源消耗状况可以看出一个国家人民的生活水平。例如,生活富裕的北美地区的年人均能耗比贫穷的南亚地区要高出 55 倍。

## 第二节 我国能源现状

能源是国民经济发展的基础,随着社会经济发展水平的不断提高,未来我国经济对能源的依赖度也将不断增加,能源的可持续供应将面临很大的压力。同时,能源结构的优化、能源效率的提高以及如何治理能源消费所引起的环境污染问题都是我国中长期经济发展中面临的重要任务。

中国的能源消费总量连续多年都位居世界前列。2014 年,我国能源消费增长 2.6%,增速放缓,但仍然是世界上最大的能源消费国,占全球消费量的 23%。

### (1) 我国能源消费构成的特点

① 煤炭的生产和消费比重偏高,处于基础性地位。尽管近年来中国的能源结构持续改进,但是煤炭仍然是中国能源消费的主导燃料。近年来煤炭占比的最高值是 2005 年前后的 74%,2014 年其占比仍达到 66% (创历史新低)。

② 石油的生产量低,消费量大,供需缺口需依赖进口石油满足。与煤炭资源相反,石油在能源总产量的比重稍有上升,其消费量的比重 5 年来均超过 20%。2014 年,中国石油

净进口增长 8.4% 至 700 万桶/日，创历史最高水平。中国超过美国成为世界最大的石油进口国。

③ 水能资源占能源总产量的比重呈逐年递增趋势。2014 年，水电在各类能源中增长最快（+15.7%），水电约占中国发电总量的 1/5（19%）。

④ 新能源利用率低，发展迅猛，且潜力大。目前对新能源的利用率不足 10%，而我国地域辽阔，太阳能、风能、生物质等能源蕴藏丰富，开发潜力巨大。近年来，我国高度重视新能源的开发利用工作，发展迅猛。2014 年，可再生能源全年增长 15.1%。中国可再生能源占全球总量的 16.7%，而 10 年前仅占 1.2%。核能增长 13.2%，高于过去 7 年平均水平的两倍。

## （2）我国能源发展目前所面临的问题

① 能源资源品种丰富，人均占有量较少。水能资源主要分布在西南地区，开发程度还比较低，但开发难度加大、成本升高。煤炭资源大多分布在干旱缺水、远离消费中心的中西部地区，总体开采条件不好。石油资源储采比低，还有增加探明储量的潜力，但产能增幅有限。天然气资源探明剩余经济可采储量为  $239 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ，进一步提高探明程度的潜力很大，具备大幅增产的可能，但资源总量和开采条件难以同俄罗斯、伊朗等资源大国相比。风能、太阳能等可再生能源资源量巨大，其开发利用程度主要取决于技术和经济因素。

② 能源建设不断加强，能源效率仍然较低。中国能源利用效率相对较低，能源生产和使用仍然粗放。

③ 能源生产迅速增长，生态环境压力明显。在需求快速增长的驱动下，我国的能源生产增长很快，尤其在与对化石能源的需求和使用方面。由此带来的  $\text{SO}_2$ 、烟尘、粉尘、 $\text{NO}_x$  以及  $\text{CO}_2$  的排放量也有所攀升，给生态环境治理尤其是目前群众比较关心的雾霾治理带来了很大的难度。

④ 能源消费以煤为主，能源结构需要优化。中国是世界上最大的煤炭生产国和消费国，在一次能源消费构成中，煤炭的份额比世界平均值高 41 个百分点，油气的比重低 36 个百分点，水电、核电的比重低 5 个百分点。

⑤ 能源需求继续增加，可持续发展面临挑战。随着中国经济持续快速发展，工业化、城镇化进程加快，居民消费结构升级换代，能源需求不断增长，能源尤其是油气供求矛盾将进一步显现。

为此，我国政府非常重视能源问题。2006 年 2 月中华人民共和国国务院发布的“国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006~2020 年）”中将能源列为重点领域及其优先主题中的第一位，并指出：能源在国民经济中具有特别重要的战略地位。我国“十一五”能源发展规划提出，“十一五”时期我国能源建设的总体安排为有序发展煤炭；加快开发石油天然气；在保护环境和做好移民工作的前提下积极开发水电，优化发展火电，推进核电建设；大力发展可再生能源。

在刚刚过去的“十二五”期间，我国清洁能源快速发展，水电、核电、风电、太阳能发电装机规模分别增长 1.4 倍、2.6 倍、4 倍和 168 倍，带动非化石能源消费比重提高了 2.6 个百分点。节能环保成效显著，全国 6000kW 及以上火电机组每千瓦时供电标准煤耗累计下降 17g，火电机组二氧化硫、氮氧化物、烟尘排放量累计分别下降 33%、35% 和 39% 以上。国际合作全面拓展，初步形成了西北、东北、西南及海上四大油气进口战略通道，火电、水电、核电、新能源、电网、煤炭等领域国际合作全方位开展。科技创新能力明显增强，具有

自主知识产权的“华龙一号”、CAP1400 三代核电技术和具有四代安全特征的高温气冷堆核电技术研发成功,大型水电筑坝和 800MW 水轮机组设计制造世界领先。电力、油气行业改革迈出重要步伐。我国人均用能、人均用电分别提高了 15.7%、29%,居民用气人口提高了 1.8 倍。

2015 年 11 月我国发布了国家“十三五”能源发展规划。该规划指出我国“十三五”能源发展总的目标要求是:增强能源供给能力,满足经济社会发展需要,保障国家能源安全;关键技术装备研发取得新突破,科技创新能力进一步增强;大幅度增加非化石能源消费比重,逐步提高天然气消费比重,绿色低碳发展取得新进展;化石能源清洁利用取得新突破,煤炭深加工和综合利用水平进一步提高;能源发展更加开放,国际合作更加广泛深入;用能条件大幅改善,普遍服务显著提高;重点领域改革深入推进,适应新常态的体制机制更加完善。到 2020 年,非化石能源占一次能源消费总量的比重达到 15%左右,单位国内生产总值二氧化碳排放量比 2005 年下降 40%~45%。

为此,“十三五”规划建议提出,推动低碳循环发展,推进能源革命,加快能源技术创新,建设清洁低碳、安全高效的现代能源体系。提高非化石能源比重,推动煤炭等化石能源清洁高效利用。加快发展风能、太阳能、生物质能、水能、地热能,安全高效发展核电。加强储能和智能电网建设,发展分布式能源,推行节能低碳电力调度。有序开放开采权,积极开发天然气、煤层气、页岩气。改革能源体制,形成有效竞争的市场机制。实施新能源汽车推广计划,提高电动车产业化水平。提高建筑节能标准,推广绿色建筑和建材。

人类已经进入 21 世纪,化石燃料的大量使用所带来的环境、社会,甚至政治问题已经日益显现,解决能源的需求问题显得越来越紧迫。为此,在节约现有一次能源的同时,有必要开发和利用新能源,寻求一种新的、清洁、安全、可靠的可持续能源系统,走能源、环境、经济和谐发展的道路。

### 第三节 新能源及发展趋势

#### 一、新能源简介

新能源是与常规能源相对的概念。常规能源是指技术较成熟、已被大规模利用的能源(如煤、石油、天然气、大中型水电等)。新能源是指技术正在发展成熟、尚未大规模利用的能源,其内涵根据不同时期和技术水平发展有所变化,如核能在国外已大规模利用,属常规能源,而我国还没有实现规模化利用,仍作为新能源看待。根据当前我国能源状况,新能源包括核能、风能、太阳能、生物质能、地热能、海洋能、氢能等还没有规模化应用的能源。

(1) 太阳能 太阳能指太阳光的辐射能量,是人类最主要的可再生能源。每年太阳辐射到地球大陆上的能量约为  $8.5 \times 10^{10}$  MW,相当于  $1.8 \times 10^{14}$  t 标准煤,远大于目前人类消耗的能量总和。利用太阳能的方法主要有太阳能光伏电池和太阳能热水器等。

(2) 生物质能 生物质能来源于生物质,它直接或间接地来源于植物的光合作用。地球每年经光合作用产生的物质有 1730 亿吨,其中蕴含的能量相当于全世界能源消耗总量的 10~20 倍,但目前的利用率却不到 3%。生物质能的主要利用方式有直接燃烧利用、化学转换利用与生物转换利用等。

(3) 氢能 氢是未来最理想的二次能源。氢以化合物的形式储存于地球上最广泛的物



质——水中，如果把水中的氢全部提取出来，总热量相当于地球现有化石燃料的 9000 倍。

(4) 地热能 地热能是地球内部来自重力分异、潮汐摩擦、化学反应和放射性元素衰变释放的能量等。地热能资源是指陆地下 5000m 深度内的岩石和水体的总含热量。其中全球陆地部分 3km 深度内、150℃ 以上的高温地热能资源为 140 万吨标准煤。全世界地热资源总量大约为  $1.45 \times 10^{26}$  J，相当于全球煤热能的 1.7 亿倍。而且地热能具有分布广、洁净、热流密度大、使用方便等优点，目前在包括我国在内的一些国家已开始商业开发利用。

(5) 风能 风能是太阳辐射下空气流动所形成的。风能蕴藏量大，估计全球可利用的风能为  $2 \times 10^7$  MW，为水能的 10 倍。风能分布广泛，永不枯竭，对交通不便、远离主干电网的岛屿及边远地区尤为重要。

(6) 海洋能 海洋能指蕴藏于海水中的各种可再生能源，包括潮汐能、波浪能、海流能、海水温差能、海水盐度差能等。海洋能理论储量十分可观。据科学家推算，全世界海洋能的理论可再生量约为  $7.6 \times 10^7$  MW，相当于目前人类对电能的总需求量。目前，海上导航浮标和灯塔已经用波浪发电机供电照明，大型波浪发电机组也已问世。

(7) 天然气水合物（可燃冰） 可燃冰是天然气的水合物，在海底分布范围占到海洋总面积的 10%（相当于  $4 \times 10^7$  km<sup>2</sup>），储量够人类用 1000 年。

相对于传统能源，新能源普遍具有污染少、储量大的特点，对于解决当今世界严重的环境污染问题和资源枯竭问题具有重要意义。随着全球化石能源的日渐枯竭，以及近年来温室气体排放引起的气候问题日益严重，世界各国都把未来能源战略瞄准了新能源。世界各国对新能源支持力度不断加大，未来新能源产业在进入规模化生产后将带来价格的下降，与高价的石油天然气等常规能源相比，新能源产业将彰显出强劲的竞争实力。

## 二、国际新能源发展现状与趋势

目前，新能源战略已经成为西方发达国家占领国际市场竞争新的制高点、主导全球价值链的新王牌。尽管短期内新能源还无法替代传统化石能源，但世界范围内资源的供给紧张以及应对气候变化为新能源的发展提供了广阔的空间。

### （一）国际新能源的发展概况

美国、欧盟等西方发达国家和地区最先开始新能源的大规模开发。通过促进新能源发展的法规和政策以及推动技术创新、快速打开市场、建立健全产业体系等措施，实现了新能源产业的稳步快速发展，也为新能源开发在全世界范围获得认同、付诸实践奠定了基础。

在 2009 年《美国经济复苏与再投资法案》中，美国明确要求到 2020 年所有电力公司的电力供应中要有 15% 来自风能、太阳能等新能源。美国采取了多项措施引导和鼓励新能源的发展，包括配额定比为核心的相关法案、新能源发电保护定价等，为其能源变革、能源独立之路提供了保障。美国是目前世界上最大的地热发电国，风力发电装机容量也是世界领先，具有较高的新能源装备技术和研发水平，其新能源发展速度和潜力世界领先。

欧盟于 2007 年通过“能源和气候变化一揽子计划”，承诺到 2020 年将可再生能源比例提高 20%，温室气体排放减少 20%。欧盟主要通过绿色关税、绿色节能指标、投资补贴、上网电价补贴、减免税负等措施来促进新能源产业的快速发展，并确立了以风能、太阳能、生物质能为中心的发展方向。2010 年风电已经满足了欧盟 5.3% 的电力消费，其中在丹麦这一比例已达到 20%，同时欧盟也是世界第一大光伏市场。

除了美国和欧盟，日本、澳大利亚也较早提出了新能源和可再生能源的发展规划，新能

源产业获得了较快发展。近年来,以中国、印度、巴西为代表的新兴经济体国家陆续将新能源作为能源产业革新的主要方向,逐步成为新能源产业发展的支柱力量。

## (二) 国际新能源的发展特点

### 1. 新能源技术升级不断加快

新能源作为新兴产业其相关技术的研发一直得到各方面的重视并不断取得进展和突破。在风能利用方面,随着风电技术的进步,设备制造水平不断提高,风电机组向着大型化和特性化发展,2~3MW 风电机组已经成为市场主流,8MW 的大型风电机组已开始运行,同时低风速地区、海上风电机组技术也不断成熟。在太阳能利用方面,多晶硅电池的转化效率从20世纪90年代不足10%发展到目前的15%以上,并逐步成为市场主流,薄膜电池技术也在持续发展。在生物质能利用方面,成型燃料技术和生物质发电技术已基本成熟,成为生物质能大规模利用的主要方式,生物柴油、燃料乙醇、先进生物燃料等成为重要发展方向。在地热能利用方面,除针对高温地热资源的闪蒸发电技术外,还开发了针对中低温地热资源的双工质循环发电技术,大大拓宽了地热资源的利用范围。

### 2. 新能源产业规模化发展,新能源市场份额持续增加

近年来,新能源市场不断扩大,装机容量快速增长,逐步由补充能源向主力替代能源发展。2013年,在全球能源消费总量中,化石能源、核能、可再生能源分别占86.7%、4.4%、8.9%。与2004年相比,化石能源和核能消费比重有所下降,以新能源为代表的可再生能源(包括水力发电)消费比重上升,从6.8%上升到8.9%,见表1-1。其中作为新型可再生能源,2004~2013年风能和太阳能增长最快,而生物质能、地热能等总体平稳增长。

表 1-1 2004 年与 2013 年全球能源消费份额对比

年份	主要能源的消费份额/%							
	石油	天然气	煤炭	核能	水力发电	风能	太阳能	生物质能和地热能等
2004	37.2	23.3	26.7	6.0	6.1	0.2	0.006	0.5
2013	32.7	23.6	30.4	4.4	6.7	1.1	0.9	0.2

### 3. 新能源发电增速明显

2007~2012年世界风电装机容量年平均增长25%,光伏装机容量年平均增长59%,是世界上增长最快的两种电源。截至2012年年底,以新能源为主的非水可再生能源发电量占总发电量的4.7%,新能源已经逐步在世界能源格局中占有一席之地。2013年,全球可再生能源电力总装机容量1560GW,占全球电力总装机容量的23%,比2012年增长8%。其中新能源电装机容量560GW,比2012年增长17%,增速明显。IEA(国际能源机构)预计,到2035年可再生能源将占全球发电能力增长的50%,其中风力发电和太阳能光伏发电占比将达到45%。

### 4. 新能源产业投资规模不断增大

2013年,可再生能源中以太阳能和风能的投资规模最大,分别达1137亿美元和801亿美元,占全部投资的53%和37%;其次是生物质和废弃物利用、生物燃料、小水电,分别达80亿、49亿、51亿美元;再次是地热能、海洋能,分别为25亿美元和1亿美元,见表1-2。



表 1-2 2013 年全球新能源投资对比

项目	太阳能	风能	生物质能		小水电	地热能	海洋能
			生物燃料	其他生物质能 及废物利用			
投资额/亿美元	1137	801	49	80	51	25	1
投资规模/%	53	37	2	4	2	1	0.05

### 5. 新能源产业地位逐步凸显

作为新兴产业, 新能源产业具有产业链长、对配套和支撑产业需求量大的特点, 对经济发展具有良好的带动作用。因此许多国家都将新能源产业当做重要的经济增长点, 投入大量资金进行技术研发, 抢占技术制高点, 同时大力开拓市场, 促进新能源技术向世界范围输出。特别是 2008 年金融危机以来, 各国政府均希望借助新能源产业的经济效益推动经济复苏, 加大新能源领域投资成为各国经济刺激方案中的重要内容。在美国 2009 年《美国经济复兴与再投资法案》中, 确定投资 168 亿美元用于可再生能源利用, 同时承诺每年投资 150 亿美元用于风能、太阳能、生物燃料等新能源项目, 由此可以创造 500 万个工作岗位。

### 6. 新能源发展成为世界可持续发展的有力支撑

由于新能源具有可再生、无污染、低排放的优势, 在构建安全能源体系中能够发挥重要作用, 符合当前世界绿色环保可持续发展的理念, 得到了世界各国, 特别是西方发达国家的高度重视。为了应对全球气候变暖, 国际能源署提出 2050 年 CO<sub>2</sub> 排放量要比 2005 年减少 50% (约为  $1.4 \times 10^{10}$  t), 需要每年增加额外投资 11000 万亿美元, 占全球 GDP 的 1.1%。而发展新能源和可再生能源是达成这一目标的重要手段之一。日本福岛核泄漏事故发生后, 出于安全因素考虑许多国家选择了“弃核”或者延缓核电建设的能源发展战略, 这也使得新能源在发展清洁能源和减少温室气体排放方面将承担更多的任务, 国际社会对大力发展新能源的共识将更为清晰, 开发新能源的行动将更为迅速。

### (三) 国际新能源面临的挑战

#### 1. 高成本依然是制约新能源产业发展的重要障碍

随着技术的成熟和规模生产效应的体现, 新能源利用成本迅速下降, 但在不考虑常规能源外部环境成本的情况下, 绝大多数新能源生产的电力、热力以及液体燃料等产品的成本仍然高于常规能源产品, 市场竞争力不强, 尚不具备完全自主商业化发展的能力。高成本阻碍了新能源市场的进一步扩大, 而市场容量的狭小又反过来影响新能源成本的降低, 这已成为新能源产业发展亟须破解的一个难题。

#### 2. 新能源利用存在一些技术瓶颈

大部分新能源在具有可再生性的同时, 也普遍存在能量输出不稳定、能量密度低等不足。新能源发电接入电网时会给电力系统带来一定的冲击, 同时新能源利用占地面积大, 往往位于远离负荷中心的偏远地区。目前有利于保障新能源消纳和利用效率的并网接入和储能等关键技术仍然未能取得突破性进展, 新能源的装机比例由于电网的约束被限制在一定范围内; 远距离送电大大降低了新能源利用的经济性, 在极端情况下甚至会限制新能源发电, 造成“弃电”现象。新能源利用技术的一些缺陷还将长时间影响该产业的健康发展。

#### 3. 新能源发展受当前世界经济疲软影响较大

2008 年金融危机以后, 很多国家都将新能源投资作为振兴经济的重要举措, 但世界整