



高等学校电子与电气工程
及自动化专业“十二五”规划教材

现代能源与发电技术

(第二版)

主编 邢运民 陶永红 张 力
主审 杜正春

E. & E. E. & E.



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校电子与电气工程及其自动化专业“十二五”规划教材

现代能源与发电技术

(第二版)

主编 邢运民 陶永红 张 力

主审 杜正春

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书主要介绍现代各种一次能源转换为电能的发电原理和技术,及其发展前景和趋势。主要内容包括现代能源及其相关能源问题、火力发电技术、水力发电技术、核能发电技术、垃圾发电技术、风力发电技术、太阳能热发电技术、太阳能光伏发电技术、生物质能发电技术、地热发电技术、潮汐能发电技术、燃料电池发电技术以及新能源与分布式发电技术。特别地,在介绍各种发电技术的同时,本书还对大部分相关一次能源的分布状况和储量作了较为系统的介绍。

本书可作为普通高等学校电气工程和能源动力工程类专业学生的辅修课程教材,也可作为电力系统工程技术人员和管理层人员的培训参考用书,亦可供广大能源爱好者阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代能源与发电技术/邢运民,陶永红,张力主编. —2版.

—西安:西安电子科技大学出版社,2015.5

高等学校电子与电气工程及其自动化专业“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5606-3629-0

I. ① 现… II. ① 邢… ② 陶… ③ 张… III. ① 能源—高等学校—教材
② 发电—高等学校—教材 IV. ① TK01 ② TM6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 077118 号

策 划 马乐惠

责任编辑 马乐惠 牛 帅

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2015年5月第2版 2015年5月第3次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 22

字 数 520千字

印 数 6001~9000册

定 价 38.00元

ISBN 978-7-5606-3629-0/TM

XDUP 3921002—3

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

本书第一版于2007年7月正式出版,至今已经有整整7年。作为第一本以新能源发电技术为主要内容的教科书,本书完整地向读者介绍了现代各种一次能源及其发电技术,出版后一直深受各界好评。

自本书第一版出版以来,新能源发电技术一直蓬勃发展,其社会价值和经济价值获得国际社会越来越广泛的认同,有关科学技术已经取得很大进步,作者的初衷也得到充分肯定。

但是,新能源发电是一门涉及多种学科的发展中的新技术,新能源产业也日新月异,发展速度与规模常常超乎意料,让人惊叹不已。进入21世纪,我国风力发电和光伏发电更是跳跃式发展,短短数年就跃居世界前列,风电已位居世界第一,光伏已是第三,并且有望在3~4年内超越意、德两国,居于首位。同时,它们也超越核电,成为我国继火电、水电之后的主要能源。另外,我国常规能源也发展迅速,数年之间也不复当初。

本书第一版从2007年开始就一直选为本校电气工程本科专业教材,近几年来编者感觉到书中各种技术数据、发展态势的描述已然过时,急需更新和替换。因此,借此再版之机,我们全面更新了本书的相关数据,重新理清了发展形势和现状,补充了相关新技术和新动态。同时,为节省篇幅,我们忍痛删减了部分教学中暂时无法顾及的相关内容。修编后,本书在总体结构和内容上基本未变,但是,鉴于分布式发电技术与新能源发电密切相关,我们增设了第十三章,特别地将分布式发电技术及其相关的微电网新技术推荐给读者,同时,也期望让本书的现代发电技术内容更趋完整。

本书在编写过程中,参考和引用了众多专家和学者的专著,在此郑重道谢。

本书的修编工作由西华大学邢运民和张力共同完成,其中,第1~8章由邢运民修编,第9~13章由张力修编,并由邢运民对全书进行统稿。

本次修编过程中甘肃洁源风电的李青和吴吉军工程师给予了极大帮助,在此表示由衷的谢意。

希望本书能为广大读者扩展知识面,推动与发展新能源技术稍尽绵薄之力。

由于编者水平有限,书中不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2015年1月于成都西华大学

第一版前言

21 世纪,没有任何一个问题像“能源与可持续发展”那样能够引起全人类的关注,引起全人类的共鸣,因为它关系到人类文明的延续。

毫无疑问,要实现可持续发展的战略目标,可持续能源供应的支持是必不可少的。

坚持节能优先,提高能源效率;优化能源结构,以煤为主多元化发展;加强环境保护,开展洁净煤利用;采取综合措施,保障能源安全;依靠科技进步,开发利用新能源和可再生能源,是建立可持续能源系统最主要的政策措施,也是我国长期的能源发展战略。

电能使用起来方便清洁,易于输送,容易转化成其他形式的能量,是一种十分理想的二次能源。电能已经成为现在应用最多最广泛的二次能源。

电力作为现代文明的象征,一个国家的人均用电量往往体现了该国经济发展的水平。

作为能源,电能是由一次能源转化来的。除了少数小容量的干电池、蓄电池,我们通常使用的电能都是指从发电厂发出来的电。基本上大部分的一次能源都在为电力行业服务,一次能源(特别是煤)对电力的转换率是一个国家能源结构是否先进合理的重要标志。

本世纪是可持续发展的关键时期,显而易见,今天这些选择学习“电力”和“动力”类专业的大学生,在毕业后的四五十年中,现代能源利用和新能源发展的重担就在他们肩上。因此,他们不可以不了解现代能源形势和各种新能源发展趋势,否则,很难成为合格的新一代“能源人”。

编写本教材的初衷是因为在教学工作中,感觉到我们一些学习电力和动力专业的大学生有必要了解一些关于能源和能源转换的相关知识,以扩大知识面和弥补某些知识缺陷。为此,我们将“发电厂动力部分”课程和“新能源及其发电技术”相关知识结合,新开了一门“现代能源与发电技术”课程,教学中,我们无法选择到一本集上述两部分内容的教材,因此不得不“勉为其难”了。

本书第一章介绍了现代各种主要一、二次能源及其相关能源问题,以下各章分别介绍了火力发电、水力发电、核能发电、垃圾发电、风力发电、太阳能热发电、太阳能光伏发电、生物质能发电、地热发电、潮汐发电以及燃料电池发电(氢能发电)的相关技术。特别在第二章火力发电技术中,引入了燃气轮机发电的相关技术,还特别强调了总能系统的概念,特别强化了燃气轮机和汽轮机按总能系统概念联合运行,分层用能的发展趋势,这一趋势代表着未来热力发电厂提高热效率和能源效率的发展方向。

本书所介绍的包括燃气轮机在内的十二种发电技术都是已经进入商业化运行的、相对成熟的技术。此外还有很多新的发电技术正在研究和成熟中,我们期待着它们的到来。

本书作为一本基础性质的教材,在编写过程中,着重于原理的描述,淡化了数字分析的内容,力求通俗易懂。因此,本书既可作为教材供相关专业本、专科师生选用,也可作为电力系统管理层人士和广大工程技术人员开阔眼界、提高素质的培训用书,还能作为科普读物为广大能源爱好者阅读和参考。

本书内容丰富，涉及面广，由于编者学识水平所限，再限于篇幅，难免不详不尽，如读者有更深层次的要求，请参看有关专著。另外，由于内容较多，作为教材时应根据侧重点不同而选择适宜的章节。

本书编写过程中，大量参考和引用了众多专家先贤的专著，在此郑重道谢。

本书由西华大学邢运民和陶永红共同完成，第4章、第9章、第10章和各章的复习思考题由陶永红编写；其余各章均由邢运民编写，并由邢运民统稿。

全书初稿由资深教授颜怀梁、牟道槐、曾丹苓三位先生共同审阅，并提出了许多宝贵意见，在此表示衷心的感谢。杜正春教授也审阅了全书，并提出了许多建设性的意见，对最后定稿帮助良多，在此一并表示深深的谢意。

本书插图的处理过程中钟嘉智工程师给予了极大帮助，在此表示由衷的谢意。

希望本书能为广大读者扩展知识面和推动与发展新能源技术稍尽绵薄之力。

由于编者水平所限，书中不当之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2006年11月于成都

目 录

第一章 能源	1	2.3.1 汽轮机工作原理	52
1.1 能源的概念	1	2.3.2 汽轮机主要工作参数	54
1.1.1 能源的定义	1	2.3.3 汽轮机设备组成	55
1.1.2 能源的分类	2	2.4 锅炉和汽轮发电机组运行调节	62
1.2 能源资源的利用及其开发	3	2.4.1 锅炉的运行调节	62
1.2.1 常规能源的开发和利用	3	2.4.2 汽轮机的调节与保护	62
1.2.2 新能源和可再生能源的开发利用	6	2.5 燃气轮机与燃气蒸汽联合循环总能	
1.3 人类利用能源的历史和未来	10	系统	63
1.3.1 人类利用能源的历史	10	2.5.1 燃气轮机概述	63
1.3.2 能源的未来	11	2.5.2 燃气蒸汽联合循环	67
1.4 世界能源利用的现状及面临的问题	12	复习思考题	77
1.4.1 能源结构	12	第三章 水力发电技术	78
1.4.2 能源效率	12	3.1 水电资源概述	78
1.4.3 能源环境	13	3.1.1 水文循环、水量资源、水能	
1.4.4 能源安全	14	资源	78
1.5 中国能源现状、问题及对策	14	3.1.2 我国水电能源概况	80
1.5.1 中国能源现状	14	3.2 水力学基础与水力发电开发利用	
1.5.2 中国能源存在的问题	14	方式	84
1.5.3 中国的能源发展对策	17	3.2.1 水力学基础知识	84
1.5.4 中国的新能源与可再生能源	18	3.2.2 水力发电的基本原理	88
1.6 电力	20	3.2.3 水电能资源开发的基本方式和	
1.6.1 电力——理想的二次能源	20	水电站的类型	89
1.6.2 发电厂的类型与新能源发电	21	3.3 水电站主要水工建筑物和动力设备	95
复习思考题	21	3.3.1 水电站主要水工建筑物	95
第二章 火力发电技术	22	3.3.2 水轮机	97
2.1 火力发电的基本原理	22	3.3.3 水电厂的主要辅助设备	108
2.1.1 工程热力学基本概念	22	复习思考题	111
2.1.2 热力系统的能量平衡	26	第四章 核能发电技术	112
2.1.3 水蒸气的动力循环	29	4.1 核能发电基本知识	112
2.1.4 提高朗肯循环热效率的途径	33	4.1.1 核能发电的发展概况	112
2.1.5 火电厂生产流程	37	4.1.2 物质元素的原子和原子结构	114
2.2 锅炉设备	40	4.1.3 原子核裂变的巨大核能	114
2.2.1 锅炉设备概述	41	4.1.4 重核裂变能应用中的一些重要	
2.2.2 燃料的成分及发热量	43	技术性问题	116
2.2.3 减少对环境污染的措施	44	4.1.5 核反应堆的类型	118
2.2.4 锅炉设备的组成	45	4.2 压水堆核电厂及其一般工作原理	118
2.3 汽轮机	52	4.2.1 核反应堆的控制原理	118

4.2.2 压水堆本体基本结构和工作特点	120	6.4 风力发电运行方式	177
4.2.3 压水堆核电厂的系统布置	123	6.4.1 独立运行方式	177
4.2.4 常规岛蒸汽发电系统的设备布置及特点	124	6.4.2 并网运行方式	178
4.3 核电厂辐射防护和三废处理	126	6.5 风力发电现状与展望	180
4.3.1 核电厂的辐射防护	126	6.5.1 风力发电发展简史	180
4.3.2 核电厂的三废处理	127	6.5.2 世界风力发电现状与展望	180
4.3.3 核电厂乏燃料的处理	127	6.5.3 中国风力发电发展与现状	183
复习思考题	128	复习思考题	187
第五章 垃圾发电技术	129	第七章 太阳能热发电技术	188
5.1 城市垃圾及其处理	129	7.1 太阳能及其利用	188
5.1.1 城市生活垃圾	129	7.1.1 太阳和太阳能	188
5.1.2 城市垃圾的综合处理	131	7.1.2 太阳能利用基本方式	189
5.2 垃圾发电技术及设备	132	7.2 中国的太阳能资源	190
5.2.1 垃圾焚烧发电技术	132	7.2.1 中国的太阳能资源分布及其特点	190
5.2.2 垃圾焚烧发电设备	135	7.2.2 中国的太阳能资源等级划分	191
5.2.3 垃圾卫生填埋场沼气发电技术	141	7.2.3 中国的太阳能资源带	192
5.2.4 未来新趋势——废弃物气化再生能源发电	144	7.3 太阳能热发电系统	193
5.3 垃圾焚烧发电的污染控制	145	7.3.1 太阳能热发电系统基本工作原理	193
5.3.1 垃圾焚烧发电污染物来源及形成机理	145	7.3.2 太阳能热发电系统组成	194
5.3.2 垃圾焚烧发电污染物控制处理技术	146	7.4 太阳能热发电系统基本类型	197
5.4 垃圾发电技术的发展和现状	148	7.4.1 槽式线聚焦系统	197
5.4.1 国外垃圾发电技术的发展及现状	148	7.4.2 塔式系统	199
5.4.2 我国垃圾发电的现状与发展	150	7.4.3 碟式系统	201
复习思考题	153	7.5 太阳能热发电系统的发展与未来展望	202
第六章 风力发电技术	154	7.5.1 太阳能热发电技术的发展及现状	202
6.1 风与风力资源	154	7.5.2 太阳能热发电的现状和展望	205
6.1.1 风的产生与特性	154	7.5.3 其他几种太阳能热发电技术	208
6.1.2 风力资源	155	复习思考题	209
6.2 风能计算与风力机原理	160	第八章 太阳能光伏发电技术	210
6.2.1 风能参数与测量	160	8.1 太阳能光伏发电及其系统	210
6.2.2 风力机工作原理	164	8.1.1 太阳能光伏发电	210
6.3 风力发电原理及设备	169	8.1.2 太阳能光伏发电系统	211
6.3.1 风力发电原理及输出功率	169	8.1.3 太阳能光伏发电系统的应用前景	212
6.3.2 风力发电系统及设备	170	8.2 太阳能电池及太阳能电池方阵	212
6.3.3 典型并网型风力发电机组特点介绍	174	8.2.1 太阳能电池及其分类	212
6.3.4 风电技术的发展趋势	175	8.2.2 太阳能电池的工作原理及制造方法	216
		8.2.3 太阳能电池方阵	217

8.3 独立太阳能光伏发电系统	219	10.3.1 地热发电原理及分类	267
8.3.1 独立太阳能光伏发电系统	219	10.3.2 地热发电资源勘探与开采	272
8.3.2 独立太阳能光伏发电系统的组成	220	10.4 地热发电现状与展望	274
8.4 联网太阳能光伏发电系统	223	10.4.1 世界地热发电	274
8.4.1 联网太阳能光伏系统的优越性和国外发展简况	223	10.4.2 中国地热发电	278
8.4.2 联网太阳能光伏系统类型、工作原理和设备构成	226	复习思考题	281
8.4.3 联网系统的太阳能电池方阵	227	第十一章 潮汐能发电技术	282
8.4.4 联网逆变器	228	11.1 潮汐和潮汐能	282
8.5 中国太阳能光伏发电系统及应用实例	230	11.1.1 海洋和海洋能	282
复习思考题	234	11.1.2 潮汐和潮汐能定义	284
第九章 生物质能发电技术	235	11.2 潮汐能发电技术	286
9.1 生物质与生物质能	235	11.2.1 潮汐能发电的原理及型式	286
9.1.1 生物质与生物质能资源	235	11.2.2 潮汐能发电站的组成	290
9.1.2 生物质能的分类	236	11.2.3 潮汐能发电站建设的相关问题	294
9.2 生物质能的转化与热裂解技术	237	11.3 潮汐能发电现状与展望	295
9.2.1 生物质能转化技术	237	11.3.1 世界潮汐能发电	295
9.2.2 生物质热裂解技术	244	11.3.2 中国潮汐能开发利用简史	301
9.3 生物质能的应用与发电技术	245	11.3.3 中国潮汐能资源	302
9.3.1 生物质能的特点及其应用	245	11.3.4 中国潮汐能发电现状	304
9.3.2 生物质能发电技术	246	11.3.5 中国潮汐能发电前景	306
9.3.3 生物质发电技术的发展	250	复习思考题	307
9.4 中国生物质能利用现状与前景	251	第十二章 燃料电池发电技术	308
9.4.1 生物质能在中国的发展	251	12.1 燃料电池发电原理	308
9.4.2 生物质能发展的制约因素分析	253	12.1.1 燃料电池简史	308
9.4.3 开辟多元途径,促进生物能源商业化发展	254	12.1.2 燃料电池的基本原理	309
复习思考题	256	12.2 燃料电池	312
第十章 地热发电技术	257	12.2.1 磷酸型燃料电池	312
10.1 地热能基本知识	257	12.2.2 熔融碳酸盐型燃料电池	315
10.1.1 地球的构造	257	12.2.3 固体电解质型燃料电池	318
10.1.2 地热、地热分布与地热异常区	258	12.2.4 质子交换膜型燃料电池	321
10.1.3 地热分类	259	12.2.5 直接甲醇型燃料电池	323
10.2 地热资源	260	12.3 燃料电池发电系统	326
10.2.1 概述	260	12.3.1 燃料电池发电系统的特征	326
10.2.2 地热的利用方式	263	12.3.2 燃料电池发电系统	327
10.2.3 世界地热资源	264	12.3.3 燃料电池应用范围	328
10.2.4 中国地热资源	265	复习思考题	329
10.3 地热发电原理和技术	267	第十三章 新能源与分布式发电技术	330
		13.1 分布式发电技术的概念	330
		13.1.1 分布式发电技术的定义	330
		13.1.2 分布式发电技术的特点	331
		13.1.3 分布式发电技术的运行方式	332

13.2 分布式发电技术	332	13.3.5 微电网的保护	338
13.2.1 新能源分布式发电技术	332	13.3.6 微电网的能量管理系统	338
13.2.2 燃气轮机、内燃机、微燃机 分布式发电技术	333	13.4 分布式发电技术的研发重点与 应用前景	339
13.2.3 分布式发电的储能技术	333	13.4.1 分布式发电技术的研究与 开发的重点	339
13.3 分布式发电的微电网集成技术 与应用	335	13.4.2 分布式发电技术的应用前景	340
13.3.1 微电网集成技术	335	复习思考题	340
13.3.2 微电网的结构	336	参考文献	341
13.3.3 微电网的运行方式	337		
13.3.4 微电网的控制功能	337		

第一章 能 源

能源是人类社会生存与发展的物质基础。过去 200 多年，建立在煤、石油、天然气等化石燃料基础上的能源体系极大地推动了人类社会的发展。然而，人们在物质生活和精神生活不断提高的同时，也越来越意识到大规模使用化石燃料所带来的严重后果：资源日渐枯竭，环境不断恶化，还诱发不少国家、地区之间的政治经济纠纷，甚至冲突和战争。人类在深刻反思过去的发展历程后，严肃地提出了未来的发展模式——必须走可持续发展的道路！

21 世纪，没有任何一个问题像“可持续发展”那样能够引起全人类的关注，它关系到人类文明的延续。毫无疑问，要实现可持续发展的战略目标，可持续能源供应的支持是必不可少的。因此，人类必须寻求一种新的并且是清洁、安全、可靠的可持续能源系统。

我国快速持续发展的经济，正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。我国近期采取的措施包括：坚持节能优先，提高能源效率；优化能源结构，以煤为主多元化发展；加强环境保护，开展洁净煤利用；采取综合措施，保障能源安全；依靠科技进步，开发利用新能源和可再生能源。这些措施是建立可持续能源系统最主要的政策措施，也是我国长期的能源发展战略。

1.1 能源的概念

能源的问题是 21 世纪的热门话题。这个话题涉及自然科学和社会科学的众多科学领域。当我们乘坐着公共汽车或坐在家中看电视的时候，能源始终关照着我们的生活。不要说全面的能源危机，即使是须臾的停电也是现代社会经济和生活不能忍受的，如果没有飞机、汽车、电灯、电视等工具，无法想象现代人的生活会变成什么样子。

1.1.1 能源的定义

从物理学的观点看，能量可以简单地定义为做功的本领。广义而言，任何物质都可以转化为能量，但是转化的数量及转化的难易程度是不同的。一般认为，比较集中而又较易转化的含能物质称为能源。同时，还有另一类型的能源，即物质在宏观运动过程中所转化的能量，即所谓能量过程，例如水的势能落差运动产生的水能及空气运动所产生的风能等。

由于科学技术的进步，人类对物质性质的认识及掌握的能量转化方法也在深化，因此，严格地说并没有一个很确切的能源的定义。但对于工程技术人员而言，在一定的工业发展阶段，能源的定义还是比较明确的。因此，能源的定义可描述为：比较集中的含能体

或能量过程称为能源。换句话说,能源是可以直接或经转换后提供人类所需的光、热、动力等任何形式能量的载能体资源。

1.1.2 能源的分类

1. 按蕴藏方式分类

按能量蕴藏方式的不同,可将能源分为以下三大类。

1) 来自地球以外的太阳能

人类现在使用的能量主要来自太阳能,故太阳有“能源之母”的说法。现在,人类除了直接利用太阳的辐射能之外,还大量间接地使用太阳能。例如目前使用最多的煤、石油、天然气等化石资源,就是千百万年前绿色植物在阳光照射下经光合作用形成有机质而长成的根茎及食用它们的动物的遗骸在漫长的地质变迁中所形成的。此外如生物质能、流水能、风能、海洋能、雷电等,也都是由太阳能经过某些方式转换而形成的。

2) 地球自身蕴藏的能量

这里主要指地热能资源以及原子能燃料,还包括地震、火山喷发和温泉等自然呈现出的能量。据估算,地球以地下热水和地热蒸汽形式储存的能量,是煤储能的 1.7 亿倍。地热能是地球内放射性元素衰变辐射的粒子或射线所携带的能量。此外,地球上的核裂变燃料(铀、钍)和核聚变燃料(氘、氚)是原子能的储存体。即使将来每年耗能比现在多 1000 倍,这些核燃料也足够人类用 100 亿年!

3) 地球和其他天体引力相互作用而形成的能源

这类能源主要指地球、太阳、月球等天体间有规律运动而形成的潮汐能。地球是太阳系的九大行星之一。月球是地球的卫星。由于太阳系其他八颗行星或距地球较远,或质量相对较小,结果只有太阳和月亮对地球有较大的引力作用,导致地球上出现潮汐现象。海水每日潮起潮落各两次,这是引力对海水做功的结果。潮汐能蕴藏着极大的机械能,潮差常达十几米,非常壮观,是雄厚的发电原动力。

2. 按比较方法分类

能源按相对比较的方法可分为以下五类。

1) 一次能源和二次能源

在自然界中天然存在的,可直接取得而又不改变其基本形态的能源,称为一次能源,如煤炭、石油、天然气、风能、地热等。为了满足生产和生活的需要,有些能源通常需要经过加工以后再加以使用。由一次能源经过加工转换成另一种形态的能源产品叫做二次能源,如电力、煤气、蒸汽及各种石油制品等。大部分一次能源都转换成容易输送、分配和使用的二次能源,以适应消费者的需要。二次能源经过输送和分配,在各种设备中使用,即终端能源。终端能源最后变成有效能。

2) 可再生能源与非再生能源

在自然界中可以不断再生并有规律地得到补充的能源,称为可再生能源。如太阳能和由太阳能转换而成的水力、风能、生物质能等。它们都可以循环再生,不会因长期使用而减少。经过亿万年形成的、短期内无法恢复的能源,称为非再生能源,如煤炭、石油、天然气、核燃料等。随着大规模的开采利用,非再生能源的储量越来越少,总有枯竭之时。

3) 常规能源与新能源

在相当长的历史时期和一定的科学技术水平下,已经被人类长期广泛利用的能源,不但为人们所熟悉,而且也是当前主要和应用范围很广的能源,称为常规能源,如煤炭、石油、天然气、水力、电力等。一些虽属古老的能源,但只有采用先进方法才能加以利用,或采用新近开发的科学技术才能开发利用,还有一些能源近一二十年才被人们所重视,新近才开发利用,而且在目前使用的能源中所占的比例很小,但很有发展前途,称这些能源为新能源或替代能源,如太阳能、地热能、潮汐能等。

常规能源与新能源是相对而言的,现在的常规能源过去也曾是新能源,今天的新能源将来又成为常规能源。

4) 燃料能源与非燃料能源

从能源性质来看,能源又可分为燃料能源和非燃料能源。属于燃料能源的有矿物燃料(煤炭、石油、天然气)、生物燃料(薪柴、沼气、有机废物等)、化工燃料(甲醇、酒精、丙烷以及可燃原料铝、镁等)、核燃料(铀、钍、氘等)共四类。非燃料能源多数具有机械能,如水能、风能等;有的含有热能,如地热能、海洋热能等;有的含有光能,如太阳能、激光等。

5) 清洁能源与非清洁能源

从使用能源时对环境污染的大小,又把无污染或污染小的能源称为清洁能源,如太阳能、水能、氢能等;对环境污染较大的能源称为非清洁能源,如煤炭、油页岩等。石油的污染比煤炭小些,但也产生氧化氮、氧化硫等有害物质。所以,清洁与非清洁能源的划分也是相对比较而言,不是绝对的。

1.2 能源资源的利用及其开发

1.2.1 常规能源的开发和利用

1. 煤炭

埋在地壳中亿万年以上植物,由于地壳变动等原因会经受一定的压力和温度作用而形成含碳量很高的可燃物质,这种物质称为煤炭,又称原煤。根据各种煤的形成年代及碳化程度的不同,可将其分为无烟煤、烟煤、褐煤、泥煤等。这种分类方法以其挥发物含量和焦结性为主要依据。烟煤又可以分为贫煤、瘦煤、焦煤、肥煤、漆煤、弱黏煤、不黏煤、长焰煤等。

煤炭既是重要的燃料,又是珍贵的化工原料。煤的用途非常广泛,我们的生产和生活都离不开它。煤的类型和用途不同,各种行业对煤质的要求也不同,但各种类型的煤都可以作为工业燃料和民用燃料。煤炭主要用于电力生产和在钢铁工业中炼焦,某些国家蒸汽机车的用煤比例也很大。电力工业多用劣质煤(灰分大于30%),蒸汽机车用煤则要求质量较高,灰分低于25%,挥发分含量要求大于25%,易燃并具有较强的火焰。在煤矿附近建设的“坑口发电站”通常使用大量的劣质煤来做燃料,将其直接转化成电能向各地输送。另外,由煤转化的液体和气体合成燃料对补充石油和天然气的使用也具有重要意义。

根据成煤条件,地球上的煤炭资源主要分布在北半球,集中在北美、中国、俄罗斯等地区,这些地区的煤炭储量约占世界总蕴藏量的80%以上,南半球仅在南非、澳大利亚和博茨瓦纳等国有较大储量。中国煤炭资源的分布十分广泛,遍及全国各省区,并且各地质时代的煤炭都有。中国煤炭资源总储量很大,居世界第一位,探明储量达4万亿吨,现在年开采量达14亿吨,在一次能源中占70%。

2. 石油

石油是一种用途极为广泛的宝贵矿藏,是天然的能源物资。在公路上奔跑的汽车,在天上飞翔的飞机,在水里航行的轮船,它们都是使用石油或石油产品来做燃料的。假如没有了石油,那么可以想象一下,交通瘫痪,工厂停产,我们的日常生活都会受到影响。

但是石油是如何形成的呢?这个问题科学家一直在争论。目前大部分科学家都认同的一个理论是:石油是由沉积岩中的有机物质转变而成的。在已经发现的油田中,99%以上都分布在沉积岩区。另外,人们还发现海底和湖底的近代沉积物中的有机物正在向石油慢慢地变化。

石油是一种黏稠状的液体,颜色深,直接开采出来的未经加工的石油称为原油。由于所含胶质和沥青的比例不同,因此石油的颜色也不同。石油中含有石蜡,石蜡含量的高低决定了石油的黏稠度的大小。另外,含硫量也是评价原油的标准之一,含硫量的大小对石油及其产品性质的影响很大。

石油同煤相比有很多的优点。首先,石油释放的热量比煤大的多。每千克标准煤(kgce)燃烧释放的热量为20 900 kJ(5000 kcal),而每千克石油燃烧释放的热量至少为10 000多千卡。就发热量而言,石油大约是煤的两倍。石油使用方便,易燃且不留灰烬,是理想的清洁燃料。

从已探明的石油储量来看,世界总储量为1043亿吨。目前世界有七大储油区,第一大储油区是中东地区,下来依次为拉丁美洲地区、俄罗斯地区、非洲地区、北美洲地区、西欧地区和东南亚地区。这七大油区占世界石油总储量的95%。

中国的石油储量占世界石油总储量的2.4%,人均占有量仅为世界人均占有量的11%。

3. 天然气

天然气是地下岩层中以碳氢化合物为主要成分的气体混合物的总称。天然气是一种重要能源,燃烧时有很高的发热值,对环境的污染也较小,而且还是一种重要的化工原料。天然气的生成过程同石油类似,但比石油更容易生成,它主要由甲烷、乙烷、丙烷和丁烷等烃类物质组成,其中甲烷占80%~90%。天然气有两种不同类型:一是伴生气,由原油中的挥发性组分所组成。约有40%的天然气与石油一起伴生,称油气田,它溶解在石油中或是形成石油构造中的气帽,并对石油储藏提供气压。二是非伴生气,与液体油的积聚无关,可能是一些植物体的衍生物。60%的天然气为非伴生气,即气田气,它埋藏更深。很多来源于煤系地层的天然气称为煤成气,它可能附于煤层中或另外聚集。在7~17 MPa和40℃~70℃时每吨煤可吸附13~30 m³的甲烷。即使在伴生油气田中,液体和气体的来源也不一定相同。它们所经历的不同的迁移途径和迁移过程完全有可能使它们最终来到同一个岩层构造中。这些油气构造不是一个大岩洞,而是一些多孔岩层,其中含有气、油和水,这些气、油、水通常都是分开的,各自聚在不同高度水平上。油、气分离程度与二者的相对

比例、石油黏度及岩石的孔隙度有关。

天然气的勘探、开采同石油类似，但收采率较高，可达 60%~95%。大型稳定的气源常采用管道输送至消费地区，输送时每隔 80~160 km 需设一个增压站，加上天然气压力高，故长距离管道输送投资很大。

天然气中主要的有害杂质是 CO_2 、 H_2O 、 H_2S 和其他含硫化合物。因此天然气在使用前也需净化，即脱硫、脱水、脱二氧化碳、脱杂质等。从天然气中脱除 H_2S 和 CO_2 一般采用醇胺类溶剂。脱水则采用二甘醇、三甘醇、四甘醇等，其中三甘醇用得最多；也可采用多孔性的吸附剂，如活性氧化铝、硅胶、分子筛等。

近 10 年来，液化天然气技术有了很大发展，液化后的天然气体积仅为原来体积的 1/600。因此可以用冷藏油轮运输，运到使用地点后再将天然气气化。另外，天然气液化后，可为汽车提供既方便污染又小的燃料。

中国的天然气储量占世界天然气总储量的 1.2%，但人均占有量仅为世界人均占有量的 4%。

4. 水能

许多世纪以前，人类就开始利用水的下落所产生的能量。最初，人们以机械的形式利用这种能量。在 19 世纪末期，人们学会将水能转换为电能。早期的水电站规模非常小，只为电站附近的居民服务。随着输电网的发展及输电能力的不断提高，水力发电逐渐向大型化方向发展，并从这种大规模的发展中获得了益处。

水能资源最显著的特点是可再生、无污染。开发水能对江河的综合治理和综合利用具有积极作用，对促进国民经济发展，改善能源消费结构，缓解由于消耗煤炭、石油资源所带来的环境污染有重要意义，因此世界各国都把开发水能放在能源发展战略的优先地位。

世界河流水能资源理论蕴藏量为 40.3×10^4 亿千瓦时，技术可开发水能资源为 14.3×10^4 亿千瓦时，约为理论蕴藏量的 35.5%；经济可开发水能资源为 8.08×10^4 亿千瓦时，约为技术可开发的 56.5%，为理论蕴藏量的 20%。发达国家拥有技术可开发水能资源 4.8×10^4 亿千瓦时，经济可开发水能资源 2.51×10^4 亿千瓦时，分别占世界总量的 33.6% 和 31.1%。发展中国家拥有技术可开发水能资源共计 9.5×10^4 亿千瓦时，经济可开发水能资源 5.57×10^4 亿千瓦时，分别占世界总量的 66.4% 和 68.9%。可见，世界开发水能资源主要蕴藏量在发展中国家，而且发达国家可开发水能资源到 1998 年已经开发了 60%，而发展中国家到 1998 年才开发 20%，所以今后大规模的水电开发将主要集中在发展中国家。

中国水能资源理论蕴藏量、技术可开发水能资源和经济可开发水能资源均居世界第一位，其次为俄罗斯、巴西和加拿大。

5. 核能

从 1932 年发现中子到 1939 年发现裂变，经历了 7 年之久才把巨大的裂变能从铀核中解放出来。裂变能同已知的只有几个电子伏的化学能相比要大几百万倍，而同一般的核反应能相比也要大十倍左右。仅发生裂变释放能量还不理想，核燃料的原子核在中子轰击下会发生分裂。一个原子核吸收一个中子而发生裂变后，除了能释放出巨大能量外，还伴随产生两至三个中子，即由中子引起裂变，裂变后又产生更多的中子。在一定的条件下，这种反应可以连续不断地进行下去，称为链式反应。经过科学家的努力，目前已实现了人为

控制链式反应,即使得裂变可以进行,也可以停止,从而形成了反应堆。

裂变后会释放出巨大的能量,这种能量就称为核能,核能发电比火电更清洁、环保。到2014年初,全世界32个国家和地区,共有435台核电机组在运行,总装机容量约为373GW。全球核电最多的国家依次为美国、法国、日本、俄罗斯、韩国、中国。这六国的核电总装机量占全世界的71.35%。

1.2.2 新能源和可再生能源的开发利用

1. 太阳能

太阳是一颗巨大的恒星,它不停地通过核聚变反应向宇宙释放大量的能量。到达地球的能量是太阳辐射总量的二十亿分之一,经大气层的反射和吸收,到达陆地的能量约为 $1.7 \times 10^{13} \text{ kW} \cdot \text{h}$,是地球上每年发电功率的几万倍。如果人类能有效地利用这些能量,那么未来的世界就不会为能源的枯竭问题担忧了。

目前,人们利用太阳能的方式很多,主要利用太阳能加热、取暖、发电等。我们现在可以使用太阳能热水器、太阳能灶、太阳能硅电池等,但是使用的范围还非常小。太阳能作为可再生能源,利用及发展最完善的应该算是太阳能热水器。太阳能热水器利用太阳辐射聚集热量,从而节约了电能。太阳能热水器的种类繁多,常用的有整体式热水器、平板式热水器和真空管热水器。我国在研究开发太阳能热水器的领域中发展很快,目前中国的太阳能热水器产量居世界第一。

太阳能的发展方向是利用太阳能发电,太阳能发电分光热发电和光伏发电。就当前看来,不论产销量,还是发展速度和发展前景,光伏发电都优于光热发电。光伏发电根据光伏打效应原理,利用太阳能电池将太阳光能直接转化为电能。光伏发电被认为是目前世界上最有发展前途的一种可再生能源技术。

光伏电池发展的最大障碍是发电成本过高,太阳能转化率低,因此各个国家都在通过各种方式来降低成本,以促进光伏电池市场的发展。世界光伏产业和市场在严峻的能源形势和人类生态环境(地球变暖)形势压力下,自20世纪90年代后期进入了快速发展时期,太阳能电池产量逐年增长,过去10年的平均年增长率达到40%,超过了IT产业,已经成为世界上发展最快的产业之一。目前,世界太阳能电池的产能已经远超50~60GW,累计装机容量已突破130GW。光伏市场的增长主要是由于成本下降、新增应用领域、较大的投资收益以及持续强有力的政策支持。光伏发电系统除了在偏远地区和特殊场合具有很强的竞争力之外,大规模的光伏电站和分布式联网电站也大量涌现。世界各国都纷纷加入到光伏产业的发展当中,制定了宏伟的发展计划。预计到21世纪中叶,太阳能光伏发电将达到世界发电总量的20%左右,成为人类的基础能源之一。

2. 风能

风是地球上的一种自然现象,它是由太阳辐射热引起的。太阳照射到地球表面,由于地球表面各处受热不同,因此会产生温差,进而引起大气的对流运动,这样就形成了风。风是流动的空气,有速度,有密度,所以风包含能量。虽然到达地球的太阳能中只有大约2%转化为风能,但其总量仍是十分可观的。据世界气象组织估计,全球的风能约为 $2.74 \times 10^{12} \text{ kW} \cdot \text{h}$,其中可利用的风能为 $2 \times 10^{10} \text{ kW} \cdot \text{h}$,比地球上可开发利用的水能总量

还要大 10 倍。

风能就是空气流动所产生的动能。大风所具有的能量很大,风速为 $9\sim 10\text{ m/s}$ 的 5 级风吹到物体表面上的力,每平方米面积上约有 10 kg 。风速为 20 m/s 的 9 级风吹到物体表面上的力,每平方米可达 50 kg 左右。台风的风速可达 $50\sim 60\text{ m/s}$,它对每平方米物体表面上的压力高达 200 kg 以上。汹涌澎湃的海浪是被风激起的,它对海岸的冲击力相当大,有时可达每平方米 $20\sim 30\text{ t}$ 的压力,最大时甚至可达每平方米 60 t 左右的压力。

据专家们估计,风中含有的能量比人类迄今为止所能控制的能量高得多。全世界每年燃烧煤炭得到的能量还不到风力在同一时间内所提供给我们的能量的 1% ,可见,风能是地球上非常重要的能源之一。

目前风能利用的主要形式是风能发电和风能提水,其主要设备是风力机和风力发电系统。风力提水的历史悠久,近代的风力提水发展得最好的国家应该算是荷兰,荷兰被称作“风车之国”。荷兰人拦海造田,风车帮助他们提干了海水,留下大片土地。荷兰还制定出世界上最特别的法律——《风法》,授予风车主人以“风权”,他人不得在风车附近修筑其他建筑物。

风力发电在新能源和可再生能源行业中增长最快,据全球风能理事会的预测,未来全球风电还将保持 20% 以上的年增长速度。到 2013 年,全球风电装机容量已达到 $3.18\times 10^8\text{ kW}$,年发电 $6.5\times 10^{11}\text{ kW}\cdot\text{h}$,风电约占全球电力供应的 4% 。其中,欧洲、亚洲和北美市场的风电装机容量分别为 $1.21\times 10^8\text{ kW}$ 、 $1.16\times 10^8\text{ kW}$ 和 $7.088\times 10^7\text{ kW}$,占全球市场的份额依次是 38.18% 、 36.44% 和 22.28% ,亚洲的市场份额明显上升,其次是北美,而欧洲在全球风电市场中的份额明显下降,这表明风力发电机组的分布在全球范围将趋于更加广泛和均衡。另一方面,风力发电技术更加趋于成熟,单机容量不断扩大,单位造价降低,使风电价格不断下降,加上政府政策支持,在有些地区已可与火电等能源展开竞争。

全球风能理事会在 2006 年发表的《2050 年风电发展展望》中认为,如果采取积极措施,2030 年和 2050 年,全球风电装机容量将分别达到 $2.1\times 10^9\text{ kW}$ 和 $3\times 10^9\text{ kW}$,发电量分别达到 $5\times 10^{12}\text{ kW}\cdot\text{h}$ 和 $8\times 10^{12}\text{ kW}\cdot\text{h}$ 。

3. 生物质能

生物质是讨论能源时常用的一个术语,是指由光合作用而产生的各种有机体。生物质能是太阳能以化学能形式储存在生物中的一种能量形式,是一种以生物质为载体的能量,它直接或间接地来源于植物的光合作用。在各种可再生能源中,生物质能是独特的,它是储存的太阳能,更是一种唯一可再生的碳源,它可转化成常规的固态、液态和气态燃料。据估计,地球上每年通过植物光合作用固定的碳达 $2\times 10^{11}\text{ t}$,含能量达 $3\times 10^{21}\text{ J}$,因此每年通过光合作用储存在植物的枝、茎和叶中的太阳能相当于全世界每年耗能的 10 倍。生物质能是第四大能源。生物质遍布世界各地,其蕴藏量极大,形式繁多,其中包括薪柴、农林作物(尤其是为了生产能源而种植的能量作物)、农业和林业残剩物、食品加工和林产品加工的下脚料、城市固体废弃物、生活污水和水生植物等。

生物质能可以转化为多种形式的二次能源,如转化为气体燃料或液体燃料,也可以直接用于发电。生物质能转化为电能的技术包括:直接燃烧(包括与煤及其他燃料共燃)、气化和热解。气化和直接燃烧是利用生物质原料发电的主要方法。

生物质的转化大致有三种途径:热化学法、生物化学法和提取法。不同的途径可以得