



全国高职高专新能源类“十三五”精品规划教材

新能源概论

主 编 任小勇

副主编 冯黎成



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

全国高职高专新能源类“十三五”精品规划教材

新 能 源 概 论

主 编 任小勇

副主编 冯黎成

常州大学图书馆
藏书章



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书以新能源科学的基础知识、新技术前沿、新能源经济与政策等方面的内容为对象，结合多学科优势，力求兼顾科学素质教育要求，理论上简单介绍，文字叙述上通俗易懂，旨在为广大读者系统地介绍有关新能源科学的基本理论、技术进展和新能源经济与政策。

本书适合作为高等院校与新能源领域相关的本科和高职学生新能源概论方面的教材，也适合相关的科研与管理工作者阅读参考。

图书在版编目（C I P）数据

新能源概论 / 任小勇主编. -- 北京：中国水利水电出版社，2016.7
全国高职高专新能源类“十三五”精品规划教材
ISBN 978-7-5170-4399-7

I. ①新… II. ①任… III. ①新能源—高等职业教育—教材 IV. ①TK01

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第173947号

书 名	全国高职高专新能源类“十三五”精品规划教材 新能源概论 XINNENGYUAN GAILUN
作 者	主编 任小勇 副主编 冯黎成
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 12.75印张 302千字
版 次	2016年7月第1版 2016年7月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	32.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换
版权所有·侵权必究

前言

能源是人类生活和社会发展的物质基础。煤炭、石油、天然气等常规能源曾极大地支撑和推动着人类社会的进步和发展,但是由于石化能源的大规模开采和应用,造成资源日益枯竭、环境不断恶化、气候反常逐年加剧。以优先发展可再生能源为特征的能源革命已成为必然趋势。德国、美国等国家均提出到2050年可再生能源满足80%以上电力需求的发展目标。

新能源又称非常规能源,是指传统能源之外的各种能源形式。目前,可待开发的新能源主要包括风能、太阳能、生物质能、地热能、水能、海洋能、核聚变能和氢能等,以上能源将逐渐由传统意义的补充能源转变为替代能源、主力能源。本书从新能源的研究出发,以目前新能源学科的发展为契机,对上述各种新能源进行了详尽的阐述和系统的讲解。本书适合于高等院校与新能源领域相关的本科、高职学生作为新能源概论方面的教材,也适合于相关的科研与管理工作者参考。

本书由任小勇任主编,冯黎成任副主编。编写分工如下:第1章~第4章由任小勇编写,第5章~第9章由冯黎成编写。全书由任小勇统稿。

本书在编写过程中得到了甘肃省新能源职教集团、甘肃金风风电设备有限公司、酒泉正泰太阳能科技有限公司、酒泉市能源局等单位的工程技术人员的大力支持和帮助,他们在本书编写过程中提出了宝贵的意见,在此一并表示感谢!

由于编者水平有限,时间紧迫,书中难免有不足之处,敬请读者批评指正。

作者

2016年4月

目 录

前言

第 1 章 能源概述	1
1.1 能源的概念和种类	1
1.2 能源与经济发展	4
习题	6
第 2 章 风能及其利用	7
2.1 风能资源概述	7
2.2 风力机的种类	25
2.3 水平轴风力机的结构和原理	31
2.4 风力发电机组	36
2.5 风电场	40
2.6 风力发电的发展	41
习题	48
第 3 章 太阳能及其利用	50
3.1 太阳能资源概述	50
3.2 太阳能电池特点及原理	53
3.3 太阳能光伏发电的系统组成及原理	59
3.4 太阳能热发电技术	65
习题	77
第 4 章 生物质能及其利用	78
4.1 生物质能概述	78
4.2 生物质发电	97
习题	117
第 5 章 海洋能及其利用	118
5.1 潮汐能	118
5.2 海流能和潮流能	121
5.3 海浪能	123
5.4 温差、浓差发电	125
5.5 海洋生物电站	130
习题	131

第 6 章 核能及其利用	132
6.1 概述	132
6.2 核电厂的一般工作原理	138
6.3 压水堆核电厂简介	143
6.4 核电技术发展趋势	146
6.5 核能的其他应用	148
习题	151
第 7 章 地热能及其利用	153
7.1 概述	153
7.2 地球的内部构造	153
7.3 地热能的来源	154
7.4 地热资源	155
7.5 地热能的利用	164
7.6 地热能利用的制约因素	172
7.7 我国地热能利用现状	174
习题	175
第 8 章 氢能	176
8.1 概述	176
8.2 氢能的定义和特点	177
8.3 氢的制备方法和储运	178
8.4 氢能应用	181
8.5 展望	185
习题	185
第 9 章 新能源与社会进步	186
9.1 环境问题	186
9.2 新能源与经济发展	192
习题	196
参考文献	197

第1章 能源概述

1.1 能源的概念和种类

人类社会的发展离不开优质能源的出现和先进能源技术的使用。能源的利用和环境问题，是全世界共同关心的问题，也是我国社会经济发展的重要问题。那么，什么是能源？能源又有哪些种类呢？

1.1.1 能源的概念

能源亦称能量资源或能源资源，是自然界中能为人类提供某种形式能量的物质资源。通常，凡是能被人类加以利用以获得有用能量的各种来源都可以称为能源。

换句话说，能源是指可产生各种能量（如热量、电能、光能和机械能等）或可做功的物质的统称，也指能够直接取得或者通过加工、转换而取得有用能的各种资源，包括煤炭、原油、天然气、煤层气、水能、核能、风能、太阳能、地热能、生物质能等一次能源和电力、热力、成品油等二次能源，以及其他新能源和可再生能源。

1.1.2 能源的分类

自然界的一些自然资源本身就具有某种形式的能量，这些能量在一定条件下能够转换成人们所需要的能量形式，这些自然资源就是能源，如煤炭、石油、风能、太阳能、水能等。在生产和生活中，为了便于使用或运输，常常将能源经过一定的加工、转换，使之成为符合要求的能量形式，如煤气、电力、蒸汽、焦炭等。经过人类不断的开发与研究，更多新型能源已经能满足人类生产、生活的需求。

由于能源形式多样，因此通常有多种不同的分类方法，如按能源的来源、形成、使用分类，或从技术、环保等角度进行分类。不同的分类方法，可以从不同的侧面反映各种能源的特征。

1. 按地球上的能量来源分类

(1) 来自地球外部天体的能源。人类现在使用的能量主要来自太阳能，故太阳有“能源之母”的称谓。人类所需能量的绝大部分都直接或间接地来自太阳。除直接利用太阳辐射的能源外，人类还大量间接地使用太阳能。太阳能为风能、水能、生物能和矿物能源等的产生提供基础，如各种植物通过光合作用把太阳能转变成化学能在体内储存下来；煤炭、石油、天然气等化石燃料也是由古代埋在地下的动植物经过漫长的地质年代形成的，它们实质上是由古代生物积淀下来的太阳能。此外，水能、风能、波浪能、海流能等也都是由太阳能转换来的。

(2) 地球本身蕴藏的能量。通常指与地球内部热能有关的能源和与原子核反应有关的

能源,如原子核能、地热能等。温泉和火山爆发喷出的岩浆是地热的表现。地球可分为地壳、地幔和地核三层,它是一个大热库。地壳就是地球表面的一层,一般厚度为几千米至70km不等。地壳下面是地幔,它大部分是熔融状的岩浆,厚度为2900km,火山爆发一般是这部分岩浆的喷出。地球内部为地核,地核中心温度为2000℃。可见,地球上的地热资源储量很大。

(3) 地球和其他天体相互作用而产生的能量。主要指地球和太阳、月球等天体间有规律运动而形成的潮汐能。海水每日潮起潮落各两次,这是月球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,是充足的发电原动力。

2. 按使用类型分类

(1) 常规能源。又称为传统能源,常规能源开发利用时间长,技术成熟,能大量生产并被广泛使用,包括一次能源中可再生的水力资源和不可再生的煤炭、石油、天然气等资源。

(2) 新能源。又称为非常规能源或替代能源,是相对于常规能源而言的。新能源开发利用较少或正在研究开发中,包括太阳能、风能、地热能、海洋能、生物质能以及用于核能发电的核燃料等能源。由于新能源的能量密度较小,或品位较低,或有间歇性,按已有的技术条件转换利用的经济性尚差,还处于研究、发展阶段,因此只能因地制宜地开发和利用。但新能源大多数是再生能源,资源丰富,分布广泛,是未来的主要能源之一。

3. 按能否再生分类

(1) 可再生能源。凡是在自然界中可以不断得到补充或能在较短周期内再产生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。

(2) 非再生能源。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、天然气等,随着大规模地开采利用,其储量越来越少,总有枯竭之时。

4. 按获得的方法分类

(1) 一次能源。即天然能源,是指在自然界中以天然形式存在且没有经过加工或转换的能量资源,它又分为可再生能源和非再生能源。

可再生的水力资源和不可再生的煤炭、石油、天然气资源是一次能源的核心,它们是全球能源的基础。除此之外,太阳能、风能、地热能、海洋能、生物质能以及核能等可再生能源也被包括在一次能源的范围内。地热能基本上是非再生能源,但从地球内部巨大的蕴藏量来看,又具有再生的性质。核能的新发展将使核燃料循环利用。核聚变最合适的燃料重氢(氘)大量地存在于海水中,可谓“取之不尽,用之不竭”,因此,核能是未来能源系统的支柱之一。

(2) 二次能源。即人工能源,是指由一次能源经过加工转换而成的能源产品。沼气、汽油、柴油、焦炭、煤气、蒸汽、火电、水电、核电、太阳能发电、潮汐发电、波浪发电等能源都属于二次能源。

5. 按能否作为燃料分类

(1) 燃料型能源。包括煤炭、石油、天然气、泥炭、木材等。

(2) 非燃料型能源。包括水能、风能、地热能、海洋能等。

人类利用自己体力以外的能源是从用火开始的，最早的燃料是木材，以后用各种矿物燃料（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）和核燃料（铀、钍、氘等）。当前矿物燃料消耗量很大，而地球上这些燃料的储量有限，因此太阳能、地热能、风能、潮汐能等新能源已成为很多国家重要的能源补充。未来铀和钍将提供世界所需的大部分能量。一旦控制核聚变的技术问题得到解决，人类将获得无尽的能源。

6. 按对环境的污染情况分类

- (1) 清洁能源。使用时对环境没有污染或污染小的能源是清洁能源，如太阳能、水能、风能以及核能等。
- (2) 非清洁能源。对环境污染较大的能源是非清洁能源，如煤炭、石油等。

7. 按能否进入商品流通领域分类

- (1) 商品能源。凡能进入市场作为商品销售的能源均为商品能源，如煤、石油、天然气和电等。国际上关于能源的统计数字均限于商品能源。
- (2) 非商品能源。主要指薪柴、秸秆等农业废料和人畜粪便等就地利用的能源。非商品能源在发展中国家农村地区的能源供应中占有很大比重。2005 年，我国农村居民生活能源有 53.9％是非商品能源。

8. 按形态特征或转换与应用的层次分类

世界能源委员会推荐的能源类型分为固体燃料、液体燃料、气体燃料、水能、电能、太阳能、生物能、风能、核能、海洋能和地热能。其中，前三类统称化石燃料或化石能源。

能源的分类见表 1.1。

表 1.1 能源 的 分 类

按使用类型	按性质分	按一、二次能源分	
		一次能源	二次能源
常规能源	燃料型能源	泥煤、褐煤、烟煤、无烟煤、石煤，油页岩、油砂、原油、天然气、生物燃料、天然汽水化合物	煤气、焦炭、汽油、煤油、柴油、重油、液化石油气、丙烷、甲醇、酒精、苯胺、火药
	非燃料型能源	水能	电、蒸汽、热水、遇热
新能源	燃料型能源	核能	沼气氢
	非燃料型能源	太阳能、风能、地热能、潮汐能、海洋温差能、海浪、波浪动能	激光（光能）

随着全球经济发展对能源需求的日益增加，现在许多发达国家都更加重视对可再生能源、环保能源以及新型能源的开发与研究。我们相信，随着人类科学技术的不断进步，科学家们会不断研究开发出更多新能源来替代现有能源，以满足全球经济发展与人类生存对能源的需求。我们也能够预计到，地球上还有很多尚未被人类发现的新能源正等待我们去探寻与研究。

1.2 能源与经济发展

能源是国家的战略性资源，是一个国家经济增长和社会发展的物质基础，我们的日常生活也离不开能源。那么，能源的发展与国民经济和人民生活有什么关系呢？

1.2.1 能源的更迭

回顾人类的发展历史可以发现能源与人类社会发展之间的密切关系。近 150 年来能源的使用情况为：木质能源→煤→石油（含各种成品）→天然气。近代和现代世界能源发展与利用的趋势是三种能源不断发展和逐渐替代。也就是说，20 世纪 20 年代是利用煤炭的高峰期；70—90 年代是石油接替煤炭时代；21 世纪初期是液化石油气及天然气逐步替代原油及其他成品油时代，同时核能和太阳能作为新能源的“主力”，利用率大幅度上升。

人类从学会用火开始，就以薪柴和动物的粪便等生物质燃料作为主要燃料，同时以人力、畜力和一小部分简单的风力和水力机械作为动力，从事生产活动。这个阶段持续了很长时间，生产和生活水平很低，社会发展迟缓。

第一次工业革命后，煤炭取代薪柴成为主要能源，蒸汽机成为生产的主要动力，工业得到迅速发展，劳动生产率有了很大的提高。特别是 19 世纪末，电力开始进入社会各个领域，电动机代替了蒸汽机，电灯代替了油灯和蜡烛，电力成为企业的主要动力，成为生产和生活照明的主要来源。电器产品、电影、电视等的出现，不但使得社会生产力有了大幅度的增长，而且极大地提高了人们的生活水平和文化水平，从根本上改变了人类社会的面貌。但是，发电的原料主要是煤炭。

石油资源的发展，开始了能源利用的新时期。特别是 20 世纪 50 年代，美国、中东、北非相继发现了大油田和气田，西方国家很快从以煤为主要能源转换到以石油和天然气为主要能源的阶段。汽车、飞机、内燃机车、远洋客货轮等迅猛发展，大大缩短了地区之间和国家之间的距离，极大地促进了世界经济的繁荣。近几十年来，许多国家依靠石油和天然气，创造了人类历史上空前的物质文明和精神文明。

1.2.2 能源与国民经济

能源与人类的关系非常密切，它既是同人们生活密切相关的重要资源，也是实现国民经济现代化的物质基础。能源的替代和变革是人类社会不断发展进步的标志，每一次变革的结果都必然促进人类社会产生质的飞跃，尤其是对工业的发展起到直接的促进作用。列宁曾说过：“煤是工业的粮食，石油是工业的血液。”能源为工业发展提供了原动力，所以它是促进国民经济发展的物质基础。

能源是一个国家或地区总发展战略的核心。一个国家或地区拥有能源的数量和分布以及开发利用能源的水平和程度都直接决定了这个国家或地区的国民经济发展水平及可持续发展能力。

长期以来，能源一直是促进或制约各国、各地区经济发展的主要因素。由于拥有丰富的能源资源和高度的综合开发能力，促成了一些国家和地区经济的高速发展，亦由于石油

危机而导致了一些国家和地区经济危机。改革开放以来,我国经济的持续稳定发展也得益于有丰富稳定的能源保障。

世界各国经济发展的历史表明,能源消费与国民经济之间存在着明显的关系。一般来说,在同一时期中,能源消费量增长较快的国家,其国民经济的发展速度也较快;反之,能源消费量增长较慢的国家,其国民经济发展速度也较慢。例如,1965—1980年间,日本是发达国家中能源消费增长速度最快的国家,增加了129%,其国民经济年平均增长9.7%;同期,西欧国家的能源消费量几乎没有什么增长,其中英国的国民经济年平均增长只有1.8%。

尽管能源消费量的增长速度和整个国民经济的增长速度呈正相关,但二者并不是等速的,通常人们都用能源弹性系数(或称能源增长系数)来表示在同一时期这两种速度之间的关系:

能源弹性系数 = 能源消费量的年平均增长率(%) / 国民生产总值的年平均增长率(%)。

能源弹性系数越小越好。也就是说,人们希望每年国民生产总值多增长些,而能源消费量少增长些。但是能源弹性系数的大小有一定的客观规律,是不能随意选取的,它一方面受各种技术和经济条件的制约,另一方面又受产业结构、能源利用效率、国民经济能源消费的比例等因素的影响。利用能源弹性系数可以对一个国家或地区过去的能源消费与经济增长之间的关系进行分析,从中找出规律,并对今后较长时期内的能源需要量进行预测。通常一个国家在工业化初期,由于能耗少的农业生产比重逐渐下降,能耗大的工业生产比重逐步上升,因此能源消费量年平均增长速度都比国民经济年平均增长速度要快些,能源弹性系数一般大于1;随着经济的发展和科学技术的进步,能源的利用日益合理,而且利用效率不断提高,加上国民经济结构的改善和产品质量的提高,到工业成熟以后,能源弹性系数就会逐步下降,一般都小于1。

能源与国民经济之间的这种弹性关系,决定了在开发利用能源为国民经济发展服务的时候,一方面要适应国民经济发展的需要,广泛地挖掘和利用能源以提供社会发展的动力;另一方面又要在“开源”的同时全面“节流”。通过调整地区产业结构和改进技术设备等手段,努力提高能源使用效率,以最少的能源促进国民经济的最快发展。

1.2.3 能源消费与经济发展

人们的日常生活处处离不开能源。能源是国家的战略性资源,是一个国家经济增长和社会发展的物质基础。从世界经济发展经历来看,经济越发达,人均能源消费量越大。因此,从一个国家的能耗量就可以看出这个国家人民的生活水平。

一般来说,一个国家或地区国民经济的增长速度同其能源消费增长速度保持正比例关系,即随着国民经济的发展,能源消费量也相应增加。从世界各国能源消费情况来看,经济发达国家由于其经济总量大,居民生活水平较高,人均能源消费量也较大。高收入国家能源消费量占到世界能源消费总量的一半以上。从人均能源消费量状况看,高收入国家人均消费能源量是中等收入国家的4倍,是低收入国家的11倍。像美国、日本、欧洲等经济发达的国家和地区,人均收入水平较高,能源消费量也较大。韩国、新加坡、马来西亚

等国家,人均能源消费量明显高于一般发展中国家,有的已达 2000kg 标准油以上。所以,中国要达到小康生活水平,必须努力提高人均商品能源消费量。

世界银行关于世界发展的报告统计显示,2006 年世界平均能耗量为 1700kg 标准油,高收入国家人均能耗为 5600kg 标准油,其中美国为 7800kg 标准油,而我国为 1400kg 标准油,为高收入国家的 25%、世界平均数量的 82.4%。

目前我国一次能源消费量已超过俄罗斯,居世界第二位,但由于人口过多,人均能耗仍处于很低的水平。

改革开放以来,我国的能源工业得到迅速发展,但能源生产增长的速度相对落后于能源消费的增长,能源已成为制约我国国民经济发展的瓶颈。我国能源利用率低,单位产值能耗高,能源浪费大,意味着节能的潜力也大。到 21 世纪中叶,我国要实现第三步发展目标,国民经济要达到届时中等发达国家的水平,人均能源消费量必将有很大的增长。国际有关能源机构预测,到 2050 年,我国人均能源消费量至少是 2900~3900kg 标准油,约为我国 1994 年人均能源消费量的 4.4~5.8 倍;如果 2050 年时我国人口总数为 14.5 亿~15.8 亿人,我国能源消费总量约为目前美国能源消费总量的 1.5~2 倍,为届时世界能源消费总量的 16%~22%。到 2020 年,我国将实现经济翻两番,届时人均 GDP 将超过 1 万美元,这一时期是实现工业化的关键时期,也是经济结构、城市化水平、居民消费结构发生明显变化的阶段。反映到能源领域,我国面对的情况要比发达国家在同一历史时期经历的情况复杂得多。要在比发达国家复杂得多的情况下实现能源翻倍的增长,这是 21 世纪我国能源面临的一个严峻挑战。

习 题

1. 什么是能源?
2. 按使用类型来分,能源可以分为哪两大类?
3. 什么是一次能源?常用的一次能源包括哪些?
4. 什么是再生能源?
5. 什么是二次能源?
6. 哪些是燃料型能源?
7. 哪些是非燃料型能源?
8. 什么是常规能源?
9. 什么是新能源?
10. 能源与国民经济发展有什么关系?

第2章 风能及其利用

2.1 风能资源概述

2.1.1 风能利用状况与发展趋势

2.1.1.1 风能利用的意义

人类利用风能的历史可以追溯到公元前,但数千年来,风能技术发展缓慢,没有引起人们足够的重视。自1973年世界石油危机以来,在常规能源告急和全球生态环境恶化的双重压力下,风能作为新能源的一部分才重新有了长足的发展。风能作为一种无污染和可再生的新能源有着巨大的发展潜力,特别是对沿海岛屿、交通不便的边远山区、地广人稀的草原牧场以及远离电网和近期内电网还难以达到的农村、边疆,作为解决生产和生活能源的一种可靠途径,有着十分重要的意义。即使在发达国家,风能作为一种高效清洁的新能源也日益受到重视。

迄今为止,以石油、煤炭、天然气为主的一次性化石能源仍然是全球能源的主要来源。然而,资源是有限的,而对无限的经济增长,全球性的能源枯竭问题日益突现。全球化石能源已探明总储量约为16000亿toe(吨油当量),根据政府间气候变化专业委员会(IPCC)的统计,2030年能源需求量将达到165亿~214亿toe,2050年甚至可能突破300亿toe。这表明化石能源的静态储量不足以满足人类22世纪的使用。

能源的枯竭关系到一个国家的生死存亡,而中国的能源短缺更甚。中国探明石油、天然气和煤炭的储量分别为全球总量的1.4%、1.2%和11%,而中国人口密度为全球平均的3倍,中国人均拥有的能源总量仅为全球平均水平的40%,与此对应的是,目前中国依然是一个高能耗国家,资源利用水平低于全球平均水平。例如,2004年中国能源消费总量占全球的13.5%,而GDP仅占全球的4%,单位产值的能耗相当于全球平均值的3.4倍。同时,中国的能源对外依存度高。例如,预计到2020年,石油进口依存度将超过50%。解决能源问题的战略主要有扩大能源来源范围、提高开采和利用效率、开发新能源等措施。从长期的能源安全供给考虑,必须依靠包括太阳能、风能等可再生能源的开发,这些能源的供给量理论上可以满足全球对能源不断增长的需要。因此,可以说,可再生能源是缓解现有能源危机和解决能源问题的真正出路。可再生能源包括太阳能、风能、生物质能等。未来10年左右的时间里,在技术进步的推动下可再生能源的绝对成本将迅速降低,同时,化石能源的价格增长将使可再生能源有利可图。

在所有的可再生能源中,风能是近10多年来发展最快的可再生能源。目前,风能的综合社会成本已经低于化石能源。在世界各国重视环保、强调能源节约的今天,风能利用对改善地球生态环境、减少空气污染具有积极的作用。减少CO₂排放量是风能利用对环境

做出的重要贡献。 CO_2 是产生温室效应的主要因素,它会导致全球气候变化,引起灾难性气候的发生。风能资源的开发利用,已经成为世界利用可再生能源的主要成分。随着技术的进步,风力设备外观将更具观赏性,可以成为自然景观的补充。预计到2020年,风能将可提供世界电力需求的12%,并在全球范围内减少100多亿 m^3 的 CO_2 。

2.1.1.2 国内、外风能利用状况

1. 国外风能利用状况

人类利用风能的历史可以追溯到公元前。公元前数世纪我国人民就利用风力提水、灌溉、磨面、碾米,用风帆推动船舶前进。甲骨文字中就有“帆”字存在。1800年前,东汉刘熙著作中有“随风张幔日帆”的叙述。唐代有“乘风破浪会有时,直挂云帆济沧海”的诗句。明代的《天工开物》书里有“扬郡以风帆数叶,俟风转车,风息则止”的记载。

公元前3000年,古埃及人就学会了驾驶帆船。公元前2世纪,古波斯人就利用垂直轴风车碾米。10世纪伊斯兰人用风车提水,11世纪风车在中东已获得广泛的应用。13世纪风车传至欧洲,14世纪已成为欧洲不可缺少的原动机。在随后的几个世纪中,风车在欧洲被广泛用于排水和研磨谷物。在荷兰,风车先用于莱茵河三角洲湖地和低湿地的汲水,以后又用于榨油和锯木。18世纪,风车在北美的垦荒过程中发挥了巨大的作用。1888年,美国人查尔斯·布鲁斯(Charles Brash)在克里夫兰建成第一座可以发电的风力发电机。1891年,丹麦物理学家 Poul La Cour 发现,叶片较少但旋转较快的风力发电机效率高于叶片多但转速慢的风力发电机。应用这一原理,他设计建造了一座4个叶片、功率为25kW的风力发电机,这奠定了现代风力发电机的基础。

由于蒸汽机的出现,煤炭和石油价格低廉,兴建大电网的工程迅速发展,风力发电被视为一种没有前途的产业而遭到冷落,风车数量急剧减少。1920—1950年,美国 and 许多欧洲国家使用风能为偏远地区供电,每台风力发电机的发电能力仅有2~3kW。

1973年世界石油危机以后,在常规能源告急和全球生态环境恶化的双重压力下,风能作为新能源的一部分开始了新发展。当时,风力发电研究者多数为大型军工企业、飞机制造商,研究资金由政府提供,研究重点是大型风力发电机。但随着能源危机的缓解,这期间的主要研究者后来基本上放弃了风力发电这一领域。1990年之后,空气污染和气候变化逐渐引起人们的关注,风力发电作为一种可持续清洁能源被许多国家加以推广,尤其是在欧洲。

美国早在1974年就开始实行联邦风能计划。其内容主要是:评估国家的风能资源;研究风能开发中的社会和环境问题;改进风力机的性能,降低造价;主要研究为农业和其用户用的小于100kW的风力机;为电力公司及工业用户设计的兆瓦级的风力发电机组。在瑞典、荷兰、英国、丹麦、德国、日本、西班牙等国,也根据各自国家的情况制订了相应的风力发电计划。

2. 我国风能利用概况

中国是世界上利用风能最早的国家之一。据考证用帆式风车提水已有1700多年的历史,这种传统的风车一直用到20世纪,在农用灌溉和盐地提水中起到过重要的作用。新中国成立后,风能开发利用大体可划分为下面几个阶段:

(1) 20世纪50年代,在发展传统风车的同时,开始摸索研制风力发电机组。由于当

时经济和技术条件的限制,大多数机组在试运行时就损坏了,虽然未能形成产品,但是为后来研制风力发电机组提供了宝贵的经验和教训。

(2) 20 世纪 60 年代开始,在传统风车的基础上,重点研制现代风力提水机组,在一些地区推广应用,取得了良好的效果。

(3) 20 世纪 70 年代末,国家科学技术委员会等有关部委组织全国力量重点对小型风力机组,特别是小型风力发电机组进行科技攻关,促进小型风力发电机组商品化,并在内蒙古等省(自治区)组织示范试验和推广应用。这一时期,还成立了全国性的风能学术组织和风能技术开发组织,一些省、自治区还组建了风能研究所和小型风力机组制造厂,对我国风能利用事业的发展起到了积极的促进作用。

(4) 从 20 世纪 80 年代中期开始,在继续推广应用小型风力机组的同时,重点放在大中型风力发电机组的科技攻关。在消化吸收国外技术基础上自行研制百千瓦级大型风力发电机组。与此同时,开始着手规划风电场的建设,引进国外大型风力发电机组,进行试验示范。为了进一步加快风力机产业化的进程,成立了全国风力机械制造行业协会。一些省、自治区还调整了一些国有大中型企业,着手进行大型风力发电机组的生产。

(5) 从 20 世纪 90 年代开始,以风力发电为主体的我国风能开发利用进入一个新的时期,风力发电作为一个产业在我国电力工业中逐步占有一席之地。这一时期,我国风电场的建设得到了迅速的发展,与此同时,以 200kW 为主体的大型风力发电机组的国产化亦迈开了新的步伐。

我国风力提水虽有悠久的历史,但直至 20 世纪 70 年代后,在风力提水机组的研制和应用技术方面才得以成熟的发展,并用于农田灌溉、海水制盐、水产养殖、滩涂改造、人畜饮水、草场改良等提水作业,取得了较好的经济效益和社会效益。我国已研制的风力提水机组大致可以分为两大类:一类是低扬程(小于 5m)大流量(大于 20t/h)型,用于南方抽提地表水;另一类是高扬程(大于 10m)小流量(小于 8.5t/h)型,用于北方抽提地下水。经过示范试验和推广应用表明,我国研制的风力提水机组结构设计合理,运行稳定可靠,操作维护简便,性能满足需要。其中由中国农业机械科学研究院研制的低扬程大流量风力提水机组和由呼和浩特牧机所研制的高扬程小流量风力提水机组已进入商品化生产。另外,与风力提水机配套的泵,包括旋转式泵和往复式泵,国内都能自行研制和生产。我国在风力提水技术方面的进步得到了国际同行的重视。

我国风力机的发展也取得了一定的成就。在 20 世纪 50 年代末是各种木结构的布篷式风车,到 60 年代中期主要是发展风力提水机。70 年代中期以后风能开发利用被列入了“六五”国家重点项目,得到迅速发展。进入 80 年代中期以后,我国先后从丹麦、比利时、瑞典、美国、德国引进一批大、中型风力发电机组,在新疆、内蒙古、广东等省(自治区)建立了示范性风力发电场。目前我国已研制出上百种不同型式、不同容量的风力发电机组,并初步形成了风力机产业。我国风力发电起步较晚,但进展较快。小型风力发电机组得到推广应用,大型风力发电机组开始进入商品化,风电场已在电力行业中占有一席之地。风力发电在解决边远地区生活用电和缓解部分地区生产用电紧张方面已取得较好的社会效益、环境效益和经济效益。我国已研制的风力发电机组主要是水平轴风力发电机组。从国情出发,目前风力发电机组的研制重点是两头,一头是 1kW 以下独立运行的小

型风力发电机组；另一头是100kW以上并网运行的大型风力发电机组。小型风力发电机组从20世纪70年代开始，经过科技攻关、研制开发、示范试验、商品生产和推广应用等阶段，目前已全部国产化。除满足国内需要外，还向国外出口。大型风力发电机组的研制开发是从20世纪80年代真正开始的。“八五”期间，国家将大型风力发电机组列入科技攻关项目。一方面，组织国内科研单位，对大型风力发电机组关键技术进行联合攻关，在此基础上自行研制开发；另一方面，组织国内企业单位引进国外大型风力发电机组，进行消化吸收，掌握大型风力发电机组制造技术，在此基础上进行组装或合作生产。经过几年的努力，我国大型风力发电机组的研制开发有了长足的进步。

从“六五”开始，国家就将风力发电技术列入重点科技攻关项目，经过“七五”“八五”和“九五”期间的努力，我国风力发电技术取得了较大的进步。主要反映在下面几个方面：

1) 风能资源调查。从20世纪70年代末开始，国家气象局气象科学研究院同有关省区合作对我国风能资源做了几次全面的调查。1981年首次公布了我国第一张《全国风能资源分布和区划图》，1987年，又对我国在风能利用方面具有发展前景的东南沿海及三北等地区做了进一步的风能资源的详查，加密了选站的密度，完善了选取资料的代表性，给出了风能利用主要省、自治区的风能密度分布及各等级风速间的累积时数图。与此同时，一些重点的省市对本省市的风能资源亦做了详查，绘制了本地区的风能资源分布图。所有这些成果丰富了对我国风能资源状况的了解，为我国进一步开发和利用风能提供了可靠的依据。

2) 风力机性能测试。我国风力机性能测试的主要手段有风洞测试和风场测试两种。中国空气动力研究与发展中心有一个大型低速风洞，可进行最大风轮直径为7m的全尺寸小型风力机组性能试验和大型风力发电机组风轮模型性能实验。风场测试主要在北京八达岭测试站中进行。此外，还有内蒙古赛汉塔拉等地亦建有相当规模的测试站，可对风力发电机运行状态、风速、风向、转速及输出电压、功率等10余个参数进行监测，获得风能利用效率和功率特性曲线。此外，还可以进行噪声、振动等非常规性能的测试。

3) 风力机标准规范。1985年全国风力机标准化技术委员会成立以来，在呼和浩特畜牧机械研究所的组织下，制定风力机国家标准。目前，小型风力发电机组的有关标准已经完成，正在拟定大型风力发电机组和风电场的有关标准。这些标准对保证风力机质量起到了重要的作用。

4) 风力机设计技术。风力机设计是一门综合技术，涉及空气动力学、结构动力学、气象学、机电工程、自动控制、计算机等专业技术。我国对风力设计技术主要进行了风力机空气动力设计和计算方法、风力机结构动力计算和分析方法、风力机玻璃钢叶片设计方法、风力机变速恒频发电机技术、风力机自动控制技术、风力机调（限）速特性、风力机调向特性、风力机计算机辅助设计和软件包开发等研究工作，取得了较快的进展。

5) 风力机制造技术。随着大、中型风力发电机组国产化进程的加快，我国风力机制造技术也取得了较快的进步。目前，塔架、发电机和齿轮箱等部件的制造技术已基本掌握。叶片和控制系统的制造技术也取得进展和良好的运行效果。

6) 风力机运行技术。随着风电场建设的发展，我国对大型风力发电机组并网运行技

术进行了研究,重点放在大型风力发电机组并网后对电网运行的影响。并在《风力发电场并网运行管理规定》中明确,现阶段风电量控制在电网容量的5%以内。

7) 新概念型风能转换装置。新概念型风能转换装置是从如何提高收集风的能量的角度提出来的。从20世纪80年代开始,我国曾先后对旋风型风能转换装置、风能太阳能综合发电装置和扩压引射型风能转换装置进行了可行性研究、概念设计和示范试验,新概念型风能转换装置较之常规的风能转换系统投资大、技术复杂,因此从总体上还处在科研探索阶段。

我国在小型风力发电机组推广应用中已取得了明显的社会效益。近年来,在风电场示范应用中也取得了较好的经济效益。在我国广大边远地区,有20%以上的农(牧)户没有用上电,由于推广了小型风力发电机组,特别是百瓦级的小型风力发电机组,逐步解决了有风无电地区农(牧)户生活用电的问题。使用独立运行的小型风力发电机组一般配以蓄电池输出直流电或加逆变器输出交流电。

我国风力发电并网运行的方式有三种形式。第一种是将单台中、大型风力发电机组并入电网运行;第二种是将单台或多台中、大型风力发电机组与柴油发电机组组成风/柴系统并入电网运行;第三种是将多台大型风力发电机组组成风电场并入电网运行。目前主要是第三种。

1983年,在山东荣成安装了3台丹麦 Vestas 55kW 风力发电机,建设起了我国第一个风电场。1989年,在新疆达坂城安装了13台丹麦 Bonus 150kW 风力发电机组,在内蒙古朱日和安装了5台美国 Windpower 100kW 风力发电机组,开始了风电场运行示范试验。从这之后,在全国各地陆续引进国外机组建设风电场,装机容量逐年增长,特别是原国家计划委员会提出的“乘风计划”、国家经济贸易委员会提出的“双加工程”和原电力部提出的到20世纪末装机容量达到100万kW的目标,对推动我国风电场建设起到了重要的作用。在国家发展和改革委员会、国家经济贸易委员会、国家电网公司的规划和组织下,风电场的建设正在稳步健康地发展,并取得了较好的经济效益,为改善我国电力工业的结构打下了良好的基础。

2.1.1.3 风能利用发展趋势

面对与全球气候变化进行斗争的紧迫性,也使风能开发利用的需求更为迫切。IPCC预测,在21世纪,全球平均温度将提高 5.8°C ,随之而来的将是洪水、干旱和气候巨变。大多数国家已经认识到,为了避免环境灾难的发生,必须大幅度降低温室气体的排放量。根据1997年《京都议定书》规定,2008—2012年间,全球温室气体排放量要比1990年减少5.2%。风电不像用化石燃料发电和原子能发电那样产生有害物质,也不排放 CO_2 这样的温室气体,这为提高风能在能源利用中的份额提供了良好的机遇。欧盟成员国等国家已经采取了一系列促进风力机市场成长的措施。在过去的10年里,全球风力发电总量增加了10倍。到2020年,将实现风能生产量占全球电力需求总量的12%。

随着技术的发展以及机器规模的增大,风力发电的成本将持续减少。在过去的20年里,风力发电成本从0.8美元/(kW·h)降至0.4美元/(kW·h)。风力发电与以煤为燃料的新建电厂相比,已具有竞争力。技术的进一步改进将使风力发电成本再降低30%。随着在经济方面的吸引力越来越突出,风能利用已成为一个很有前途的行业。