



普通高等教育高职高专“十二五”规划教材 电气类

新能源发电技术

主 编 李家坤 黄 莉



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



普通高等教育高职高专“十二五”规划教材 电气类

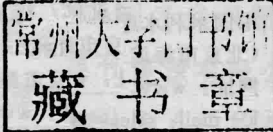
新能源发电技术

主编 李家坤 黄莉

副主编 茹反反 王卫卫 夏勇

张争 程天龙 余茂全

陈春海



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

地址：北京三里河路67号 邮编：100044 电话：(010) 68339000

发行：全国各地新华书店

内 容 提 要

《新能源发电技术》是根据高职高专电力类“新能源发电技术”课程教学要求编写的教材,全书采用项目式编写法,适合采用项目式教学。内容共分为8个项目,每个项目又包含多个工作任务,8个项目分别为了解新能源、太阳能光伏发电系统的组成及案例分析、太阳能热发电系统的组成及案例分析、风力发电系统的组成及案例分析、地热发电系统的组成及案例分析、潮汐能发电技术系统的组成及案例分析、生物质能发电系统的组成及案例分析和燃料电池的组成及案例分析。

本教材内容简明扼要,难度适宜,紧扣“应知应会”,突出实用性,强调操作性和通用性,文字通俗易懂,图文并茂。

本教材主要适用于高职高专发电厂及电力系统、新能源发电技术等专业的教学,也可供从事电力系统工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

新能源发电技术 / 李家坤, 黄莉主编. — 北京 :
中国水利水电出版社, 2015.7
普通高等教育高职高专“十二五”规划教材. 电气类
ISBN 978-7-5170-3292-2

I. ①新… II. ①李… ②黄… III. ①新能源—发电
—高等职业教育—教材 IV. ①TM61

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第138842号

书 名	普通高等教育高职高专“十二五”规划教材 电气类 新能源发电技术
作 者	主 编 李家坤 黄莉 副主编 茹反反 王卫卫 夏勇 张争 程天龙 余茂全 陈春海
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 (发行部)
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	北京市北中印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 12印张 285千字
版 次	2015年7月第1版 2015年7月第1次印刷
印 数	0001—4000册
定 价	28.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言



新能源发电技术是未来解决能源与环境问题的重要科学技术,“新能源发电技术”是高等职业教育发电厂及电力系统、新能源发电技术等专业的一门专业课程,通过本课程的教学,使学生了解太阳能、风能、地热能、潮汐能、生物质能等可再生能源发电及燃料电池发电技术,了解国内外新能源发电工程现状等。

本教材特点如下:

- (1) 本教材为校企合作开发教材,集中了学校与企业优势,体现工学结合。
- (2) 本教材采用项目式编写法,便于开展项目式教学,通俗易懂。
- (3) 提供翔实的最新数据,配有大量的照片和图解,内容丰富、图文并茂。
- (4) 对传统教学内容进行了大胆地取舍,紧密联系工程实际,以实用为原则,体现了实用性、应用性等特点。

本教材由长江工程职业技术学院李家坤教授、浙江同济科技职业学院黄莉副教授任主编,长江工程职业技术学院王卫卫、夏勇、张争、程天龙以及福建水利电力职业技术学院茹反反、安徽水利水电职业技术学院余茂全、三峡电力职业学院陈春海任副主编。在编写过程中,得到了武汉凯迪电力股份有限公司、武汉日新科技股份有限公司、武汉绿色环保能源有限公司、武汉汉口绿色能源有限公司、晶科能源有限公司等企业工程技术人员的热心帮助,在此表示衷心的感谢。同时,编者参阅了许多同行专家编著的教材和资料,从中得到了不少启发和教益,在此致以诚挚的谢意!

由于编者水平有限,不足之处,敬请读者指正并提出宝贵意见。

编者

2015年4月

任务 5.1 地热基本知识	23
任务 5.2 地热资源的分布	24
任务 5.3 地热发电原理和技术分析	100
任务 5.4 地热发电系统案例分析	107
任务 5.5 地热发电的现状发展前景分析	113

目录



前言

项目1 了解新能源	1
任务1.1 了解能源的含义及分类	1
任务1.2 了解世界能源消费现状及发展趋势	3
任务1.3 了解中国的能源现状与未来发展对策	4
项目2 太阳能光伏发电系统的组成及案例分析	9
任务2.1 光伏发电系统的组成及分析	9
任务2.2 太阳能电池的制造与工艺	19
任务2.3 光伏控制器的功能、分类及原理分析	28
任务2.4 光伏逆变器的功能、分类及原理分析	33
任务2.5 蓄电池的种类、主要技术参数及工作原理	36
任务2.6 太阳能光伏发电系统应用实例	40
项目3 太阳能热发电系统的组成及案例分析	46
任务3.1 太阳能热发电原理分析	46
任务3.2 太阳能热发电系统的设计	51
任务3.3 太阳能热发电系统案例分析	57
任务3.4 太阳能热发电技术应用现状及前景分析	60
项目4 风力发电系统的组成及案例分析	63
任务4.1 了解风与风力资源	63
任务4.2 风力机工作原理及组成分析	71
任务4.3 风力发电案例分析	79
任务4.4 风力发电现状及趋势	82
项目5 地热发电系统的组成及案例分析	88
任务5.1 地热基本知识	88
任务5.2 地热资源的分析	91
任务5.3 地热发电原理和技术分析	100
任务5.4 地热发电系统案例分析	107
任务5.5 地热发电的现状 & 前景分析	113

项目 6 潮汐能发电技术系统的组成及案例分析	117
任务 6.1 认识潮汐和潮汐能	117
任务 6.2 潮汐能发电原理及类型分析	121
任务 6.3 潮汐能电站案例分析	128
任务 6.4 中国潮汐能发电现状及前景分析	130
项目 7 生物质能发电系统的组成及案例分析	133
任务 7.1 生物质和生物质能	133
任务 7.2 生物质能发电原理分析	137
任务 7.3 生物质能发电技术案例分析	155
任务 7.4 生物质能利用现状及前景分析	165
项目 8 燃料电池的组成及案例分析	174
任务 8.1 燃料电池的基本原理	174
任务 8.2 燃料电池系统的构成	176
任务 8.3 燃料电池的特点分析	178
任务 8.4 燃料电池的类型	179
任务 8.5 燃料电池的应用现状及前景分析	183
参考文献	186

项目1 了解新能源

【项目说明】

在科学技术迅猛发展的今天，能源已经成了生产生活中必不可少的资源，而在众多能源中，人们利用最多的就是电能。人们发明了很多方法将其他能源转化为电能，目前使用最广泛的仍然是火力发电，而新兴能源发电技术包括太阳能光伏发电技术、太阳能热发电技术、风力发电技术、核能发电技术、洁净煤发电技术、生物质能发电技术、地热发电技术、海洋能发电技术、燃料电池发电技术等。随着国民经济的迅猛发展以及人民生活水平的飞速提高，人们对电能的需求也呈现出膨胀性增长的趋势。

在过去20年中，全世界能源消耗量增加了40%，其中85%以上使用的是矿物燃料，这些矿物燃料燃烧时产生大量温室气体，全球单是CO₂排放量每年就超过500亿t，而且还在不断增加，其中作为目前发电的主要燃料——煤炭，探明储量仅够维持200年，所以大力推广发展新能源发电技术势在必行。

本项目的主要目的是了解能源和新能源的概念，了解新能源发电技术的分类，了解世界以及中国的新能源战略。

任务1.1 了解能源的含义及分类

【任务目标】

- (1) 了解能源的含义。
- (2) 掌握能源的分类方法。
- (3) 了解新能源发电方式。

【相关知识】

1.1.1 能源的含义

能源亦称能量资源或能源资源，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，是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

能源种类繁多，而且经过人类不断地开发与研究，更多新型能源已经开始能够满足需求。根据不同的划分方式，能源也可分为不同的类型，主要有以下几种分类方法。

1. 按照能源的生成方式分类

按照能源的生成方式可分为一次能源和二次能源。一次能源是自然界中以天然形态

存在的能源，是直接来自自然而未经加工转换的能源，故又称为自然资源。煤炭、石油、天然气、水能、风能、生物质能、太阳能、地热能、海洋能等都是**一次能源**。通常我们所说的能源是指一次能源。二次能源是指在一次能源的基础上经过转换以符合人们使用要求的能源。电能、汽油、柴油、焦炭、煤气、蒸汽、氢能等都是**二次能源**。随着科学技术的发展和社会现代化程度的提高，二次能源在整个能源消费系统中的比重将日益增大。

2. 按照能源在社会经济生活中的地位分类

按照能源在社会经济生活中的地位可分为**常规能源**和**新能源**。常规能源是指那些普遍使用的、技术成熟的、在生产和生活中起着重要作用的能源，目前主要是煤炭、石油、天然气、水能和核能等。新能源是指尚未被人类大规模利用、正在研究开发和探索的能源，如风能、太阳能、地热能、海洋能及核聚变能等。所谓新能源，是相对而言的。

3. 按照一次能源能否再生而循环使用分类

按照一次能源能否再生而循环使用可分为**可再生能源**和**非再生能源**。可再生能源是不会随其本身的转化或人类的利用而减少的能源，具有自然恢复的能力，如太阳能、风能、水能、生物质能、地热能以及海洋能等。非再生能源是指那些随着人类的利用而逐渐减少的能源，如化石燃料和核燃料等。

4. 按照一次能源来源的不同分类

按照一次能源来源的不同可分为来自地球以外天体的能源、来自地球内部的能源和地球与其他天体相互作用产生的能源。来自地球以外天体的能源，主要是指太阳能及其作为太阳能固化形式的煤、石油、天然气和生物质能，以及作为太阳能转化形式的风能、水能、海水温差能等。来自地球内部的能源，主要是指地下热水、地下蒸汽、岩浆等地热能和铀、钍等核燃料所具有的核能。地球与其他天体相互作用产生的能源，主要是指由于地球、月亮和太阳之间的引力作用导致海水有规律的涨落而形成的潮汐能。

5. 按照能源性质分类

按照能源性质可分为**燃料型能源**（煤炭、石油、天然气、泥炭、木材）和**非燃料型能源**（水能、风能、地热能、海洋能）。人类利用自己体力以外的能源是从使用火开始的，最早的燃料是木材，之后使用各种化石燃料，如煤炭、石油、天然气、泥炭等，现在正在研究利用太阳能、地热能、风能、潮汐能等新能源。当前化石燃料消耗量很大，而且地球上这些燃料的储量有限。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，人类实际上将获得无尽的能源。

6. 按照能否流通分类

按照能否流通可分为**商品能源**和**非商品能源**。凡进入能源市场作为商品销售的，如煤、石油、天然气和电等均为商品能源。国际上的统计数字均限于商品能源，非商品能源主要指薪柴和农作物残余（秸秆等）。

1.1.3 新能源发电技术

人类进入21世纪，一场新的能源革命正在悄悄进行。根据经济社会可持续发展的需要，人们迫切呼唤建立以清洁、可再生能源为主的能源结构逐渐取代以污染严重、资源有



限的化石能源为主的能源结构。

新兴能源发电技术包括太阳能光伏发电技术、太阳能热发电技术、风力发电技术、核能发电技术、洁净煤发电技术、生物质能发电技术、地热发电技术、海洋能发电技术、燃料电池发电技术等等。

【任务实施】

(1) 上网查资料,了解能源的定义和能源危机的概念。

(2) 分组讨论能源如何分类。

任务 1.2 了解世界能源消费现状及发展趋势

【任务目标】

(1) 了解世界能源消费现状。

(2) 了解世界能源消费发展趋势。

【相关知识】

1.2.1 世界能源消费现状

受经济发展和人口增长的影响,世界一次能源消费量不断增加。随着世界经济规模的不断扩大,世界能源消费量持续增长。根据统计,1973年世界一次能源消费量仅为 57.3 亿 t 油当量,而 2007 年已达到 111.0 亿 t 油当量。30 年内能源消费总量翻了一番,年均增长率为 1.8% 左右。

世界能源消费呈现不同的增长模式,发达国家增长速率明显低于发展中国家。

过去 30 多年来,北美洲、中南美洲、欧洲、中东、非洲及亚太等六大地区的能源消费总量均有所增加,但是与经济、科技与社会比较发达的北美洲和欧洲两大地区相比,增长速度非常缓慢,其消费量占世界总消费量的比例也逐年下降,北美洲由 1973 年的 35.1% 下降到 2007 年的 25.6%,欧洲地区则由 1973 年的 42.8% 下降到 2003 年的 26.9%,其主要原因:一是发达国家的经济发展已进入到后工业化阶段,经济向低能耗、高产出的产业结构发展,高能耗的制造业逐步转向发展中国家;二是发达国家高度重视节能与提高能源使用效率。

由于中东地区油气资源最为丰富、开采成本极低,故中东能源消费的 97% 左右为石油和天然气,该比例明显高于世界平均水平,居世界之首。在亚太地区,中国、印度等国家煤炭资源丰富,煤炭在能源消费结构中所占比例相对较高,其中中国能源结构中煤炭所占比例高达 68% 左右,所以在亚太地区的能源结构中,石油和天然气的比例偏低(约为 47%),明显低于世界平均水平。除亚太地区以外,其他地区石油、天然气所占比例均高于 60%。

1.2.2 世界能源供应及消费趋势

随着世界经济、社会的发展,未来世界能源需求量将继续增加。伴随着世界能源储量分布日益集中,对能源资源的争夺将日趋激烈,争夺的方式也更加复杂,由能源争夺而引发冲突或战争的可能性依然存在。

随着世界能源消费量的增大,二氧化碳、氮氧化物、灰尘颗粒物等环境污染物的排放量逐年增大,化石能源对环境的污染和全球气候的影响将日趋严重。面对以上挑战,未来世界能源供应和消费将向多元化、清洁化、高效化、全球化和市场化方向发展。

1. 多元化

世界能源结构先后经历了以薪柴为主、以煤为主和以石油为主要的时代,现在正在向以天然气为主转变,同时水能、核能、风能、太阳能也正得到更广泛的利用。可持续发展、环境保护、能源供应成本和可供应能源的结构变化决定了全球能源多样化发展的格局。未来,在发展常规能源的同时,新能源和可再生能源将受到重视。

2. 清洁化

随着世界能源新技术的进步及环保标准的日益严格,未来世界能源将进一步向清洁化的方向发展,不仅能源的生产过程要实现清洁化,而且能源工业要不断生产出更多、更好的清洁能源,清洁能源在能源总消费中的比例也将逐步增大。同时,过去被认为是“脏”能源的煤炭和传统能源薪柴、秸秆、粪便的利用将向清洁化方面发展,洁净煤技术、沼气技术、生物柴油技术等将取得突破并得到广泛应用。一些国家,如法国、奥地利、比利时、荷兰等国,已经关闭其国内所有煤矿而发展核电,它们认为核电是高效、清洁的能源,能够解决温室气体的排放问题。

3. 高效化

世界能源加工和消费的效率差别较大,能源利用效率提高的潜力巨大。随着世界能源新技术的进步,未来世界能源利用效率将日趋提高,能源强度将逐步降低。发展中国家与发达国家的能源强度差距较大,节能潜力巨大。

4. 全球化

由于世界能源资源分布及需求分布的不均衡性,许多国家和地区越来越需要依靠其他国家或地区的资源供应,主要能源生产国和能源消费国将积极加入到能源供需市场全球化的进程中,世界贸易量将越来越大。

5. 市场化

世界能源利用的市场化程度越来越高,世界各国政府直接干涉能源利用的行为将越来越少,政府为能源市场服务的作用在相应增大,在完善各国、各地区的能源法律法规并提供良好的能源市场环境方面,将更好地发挥作用。

【任务实施】

- (1) 上网查阅资料,了解世界能源消费现状。
- (2) 分组讨论世界能源消费趋势。

任务 1.3 了解中国的能源现状与未来发展对策

【任务目标】

- (1) 了解中国的能源现状。
- (2) 了解中国的能源未来发展对策。



(3) 了解中国新能源与可再生能源的发展前景。

【相关知识】

1.3.1 中国的能源现状

1953—1978 年和 1979—2005 年两个不同历史阶段, 中国 GDP 的年均增长速度分别为 5.78%、9.47%, 能源消费量年均增长速度分别为 9.89%、5.26%。中国的人均能源消费量也在不断上升, 2005 年相当于 1953 年的 19 倍。但是中国的能源消费从整体上讲还属于粗放型能源利用方式, 能源消费强度很高, 与现代集约经济发展的要求还有很大的差距。从能源消费结构上讲, 我国是世界上为数不多的几个以煤炭为基础的国家, 煤炭消费的平均比重在 70% 以上, 能源消费结构不合理。在中国经济发展过程中应逐步减少煤炭的消费比重, 不断增加石油、天然气资源的国际贸易和对外直接投资, 充分利用国际能源资源, 提高石油、天然气资源的使用比例, 保持能源、经济和社会的可持续发展。

1. 能源需求持续快增

虽然我国能源资源总量丰富, 但人均能源资源贫乏, 能源问题将面临长期的挑战。近年来, 我国在优质能源的消费方面, 如煤炭、石油、天然气、水力等都处于上升趋势。并且, 随着我国工业化、城镇化进程的加快, 国民经济的快速增长, 内外需求的强劲拉动, 新形成的生产能力必然对能源消费产生很大拉动, 能源供需矛盾仍将持续存在。

2. 能源技术相对落后

不可否认, 我国能源技术近年来取得了较大进步, 但与经济发展的要求相比还有相当大的差距。可再生能源、清洁能源、替代能源等技术的开发相对滞后, 节能降耗、污染治理等技术的应用还不够广泛, 一些重大能源技术装备自主设计制造水平还不高, 这直接导致了我国的能源利用效率和产出经济效率一直处在比较低的水平。

3. 能源资源赋存分布不均衡

我国能源资源分布广泛但不均衡。煤炭资源主要赋存在华北、西北地区, 水力资源主要分布在西南地区, 石油、天然气资源主要赋存在东、中、西部地区 and 海域。我国主要的能源消费地区集中在东南沿海经济发达地区, 资源赋存与能源消费地域存在明显差别。大规模、长距离的北煤南运、北油南运、西气东输、西电东送, 是我国能源流向的显著特征和能源运输的基本格局。

4. 能源资源开发难度较大

与世界相比, 中国煤炭资源地质开采条件较差, 大部分储量需要井下开采, 极少量可供露天开采。石油、天然气资源地质条件复杂, 埋藏深, 勘探开发技术要求较高。未开发的水力资源多集中在西南部的高山深谷, 远离负荷中心, 开发难度和成本较大。非常规能源资源勘探程度低, 经济性较差, 缺乏竞争力。

5. 能源安全问题严峻

根据目前有关机构的估计, 2050 年我国国内一次能源最大可能的获得量约为 35 亿~40 亿 t 标准煤, 与 50 亿 t 标准煤的需求相比有相当大的缺口。依靠从国际市场上进口来解决如此巨大的供应缺口并不现实可行, 因为这既要受国际市场供应能力限制, 又将承受供应安全保障的巨大政治风险。

1.3.2 中国能源未来的发展对策

我国《国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》指出：推进能源多元清洁发展；发展安全高效煤矿，推进煤炭资源整合和煤矿企业兼并重组，发展大型煤炭企业集团；有序开展煤制天然气、煤制液体燃料和煤基多联产研发示范，稳步推进产业化发展；加大石油、天然气资源勘探开发力度，稳定国内石油产量，促进天然气产量快速增长，推进煤层气、页岩气等非常规油气资源开发利用；发展清洁高效、大容量燃煤机组，优先发展大中城市、工业园区热电联产机组，以及大型坑口燃煤电站和煤矸石等综合利用电站；在做好生态保护和移民安置的前提下积极发展水电，重点推进西南地区大型水电站建设，因地制宜开发中小河流水能资源，科学规划建设抽水蓄能电站；在确保安全的基础上高效发展核电；加强并网配套工程建设，有效发展风电；积极发展太阳能、生物质能、地热能等其他新能源；促进分布式能源系统的推广应用。

1. 提高能源利用效率

与发达国家相比，我国的能源利用效率很低，关键在于产业结构低度化，高耗能产业如钢铁、电解铝、水泥等比重过高，而低耗能、高附加值产业如电子信息、精密制造和第三产业比重过低。高能耗产品产量的高速扩张，并不是建立在充分提高技术和效率的基础之上。

在形成世界最大产业的过程中，我国的高耗能行业并没有形成国际领先的生产技术，单位产品能耗和工艺能耗与国际先进水平相比仍有很大差距。为此，必须通过转变增长方式和结构调整，改变以高投入、高消耗来实现经济快速增长的局面，坚持走科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少的新型工业化之路。

2. 大力发展替代技术

我国煤炭储量丰富，煤多油少是能源结构的基本特点。目前，在我国的一次能源结构中，煤炭占67%。解决石油储量不足和燃料油供给问题，要立足于从煤炭液化技术找出路。根据目前国际石油价格暴涨和我国石油进口剧增的新形势，应当进一步抓紧发展煤制油产业的有关工作，从而使我国油品供应建立在主要依靠国内生产的基础之上。

3. 调整优化能源结构

我国高度依赖煤炭资源，这种以煤为主的能源消费结构，是客观上造成我国与国外相比，能源经济利用效率低、污染严重、产品能源成本高、市场竞争能力差的根本原因。目前，世界能源消费结构在经过战后几十年的发展，完成由煤炭向石油的转换后，正朝着高效、清洁、低碳或无碳的天然气、核能、太阳能、风能方向发展。

4. 积极发展洁净煤技术

由于自身资源特点、经济发展水平和历史等因素，中国一直保持着以煤炭为主要能源的能源结构，煤炭在未来几十年内仍将是中国的主要能源。因此，积极发展洁净煤技术，高效清洁地开发利用煤炭资源，努力降低燃煤对于环境的污染，应成为中国能源发展的重大措施之一。

5. 大力开发利用新能源和可再生能源

近年来，世界新能源与可再生能源发展飞速，技术上逐步成熟，经济上也逐步为人们所接受。我国在《可再生能源发展“十二五”规划》中指出：扩大可再生能源的应用规



模,促进可再生能源与常规能源体系的融合,显著提高可再生能源在能源消费中的比重;全面提升可再生能源技术创新能力,掌握可再生能源核心技术,建立体系完善和竞争力强的可再生能源产业。

1.3.3 中国新能源与可再生能源的发展前景

新能源与可再生能源是中国能源优先发展的领域。新能源与可再生能源的开发利用,对增加能源供应、改善能源结构、促进环境保护具有重要作用,是解决能源供需矛盾和实现可持续发展的战略选择。我国《可再生能源发展“十二五”规划》中指出以下内容。

1. 主要指标

(1) 可再生能源在能源消费中的比重显著提高。到 2015 年全部可再生能源的年利用量达到 4.78 亿 t 标准煤,其中商品化可再生能源年利用量 4 亿 t 标准煤,在能源消费中的比重达到 9.5% 以上。

(2) 可再生能源发电在电力体系中上升为重要电源。“十二五”时期,可再生能源新增发电装机 1.6 亿 kW,其中常规水电 6100 万 kW,风电 7000 万 kW,太阳能发电 2000 万 kW,生物质发电 750 万 kW,到 2015 年可再生能源发电量争取达到总发电量的 20% 以上。

(3) 可再生能源供热和燃料利用显著替代化石能源。不断扩大太阳能热利用规模,推进中低温地热直接利用和热泵技术应用,推广生物质成型燃料和生物质热电联产,加快沼气等各类生物质燃气发展。到 2015 年,可再生能源供热和民用燃料总计年替代化石能源约 1 亿 t 标准煤。

(4) 分布式可再生能源应用形成较大规模。建立适应太阳能等分布式发电的电网技术支撑体系和管理体制,建设 30 个新能源微电网示范工程,综合太阳能等各种分布式发电、可再生能源供热和燃料利用等多元化可再生能源技术,建设 100 个新能源示范城市和 200 个绿色能源示范县。发挥分布式能源的优势,解决电网不能覆盖区域的无电人口用电问题。沼气、太阳能、生物质能气化等可再生能源在农村的入户率达到 50% 以上。

2. “十二五”时期可再生能源重点建设工程

(1) 大型水电基地建设。优先开发水能资源丰富、分布集中的河流,建设 10 个千万千瓦级大型水电基地。

(2) 大型风电基地建设。重点建设“三北”(东北、西北和华北)和沿海地区千万千瓦级风电基地,包括河北、内蒙古东部、内蒙古西部、甘肃酒泉地区、新疆哈密地区、吉林、黑龙江及江苏和山东沿海等地区。

(3) 海上风电建设。加快海上风电开发,在江苏、山东、河北、上海、广东、浙江等沿海省份,建成一批海上风电示范项目,以示范项目建设带动海上风电技术进步和装备配套能力的提升。

(4) 太阳能电站基地建设。在甘肃、青海、新疆等太阳能资源丰富、具有荒漠化等闲置土地资源的地区,建设一批大型光伏电站,结合水电、风电开发情况及电网接入条件,发展水/光、风/光互补发电系统,建设若干太阳能发电基地。

(5) 生物质替代燃料。发挥生物质能产品形式多样的特点,大力推进生物质替代燃料工程。建设村村沼气工程和大型生物质气化供气工程,满足居民清洁燃气需求,鼓励剩余燃气发电。合理开发盐碱地、荒草地、荒山荒地等边际性土地,开展非粮生物液体燃料示范点建设,替代车用燃料。建立生物质成型燃料生产、储运和使用体系,在城市推广生物质成型燃料集中供热,在农村作为清洁炊事和采暖燃料推广应用。

(6) 绿色能源示范县建设。在可再生能源资源丰富地区,支持开展绿色能源示范县建设,建成完善的绿色能源利用体系。鼓励合理开发利用农林废弃生物质能资源,改善农村居民生产和生活用能条件等。支持小城镇因地制宜发展中小型可再生能源开发利用设施,满足电力、燃气以及供热等各类用能需求。

(7) 新能源示范城市建设,鼓励资源丰富、城市生态环保要求高、经济条件相对较好的城市、按照多能互补的原则,开展太阳能、生物质能、地热能等新能源在城市中的小范围应用。支持各地在产业园区开展先进多样的太阳能等新能源利用技术示范,满足园区的电力、供热、制冷等综合能源需求。

(8) 新能源微电网示范建设。在可再生能源资源丰富和具备多元化利用条件的地区,建设小型风能、太阳能、水能设备与储能设施组成的微型电网,以智能电网技术为支撑,开展以新能源发电为主、其他电源及大电网供电为辅的新型供用电模式。

【任务实施】

- (1) 分组讨论中国的能源现状及能源发展对策。
- (2) 查阅资料,了解我国《可再生能源发展“十二五”规划》的全文内容。

【思考与练习】

- (1) 简述能源的分类方法。
- (2) 中国能源发展对策有哪些?
- (3) 新能源发电技术有哪些?

项目 2 太阳能光伏发电系统的组成及案例分析

【项目说明】

太阳能是由太阳中的氢气经过聚变而产生的一种能源，它取之不尽、用之不竭，是目前人类可以依赖的能源之一。本项目的主要目的：了解光伏发电系统的组成，掌握太阳能电池的发电原理，掌握光伏发电系统的各部分的作用、原理，掌握太阳能电池的制造与工艺，了解太阳能光伏发电系统应用实例。

任务 2.1 光伏发电系统的组成及分析

【任务目标】

- (1) 了解光伏发电系统的组成。
- (2) 掌握太阳能电池的发电原理。
- (3) 掌握光伏发电系统各部分的作用。

【相关知识】

2.1.1 光伏发电系统的组成

光伏发电系统通常由太阳能电池组件、蓄电池组、控制器、逆变器等几部分组成，如图 2.1 所示。

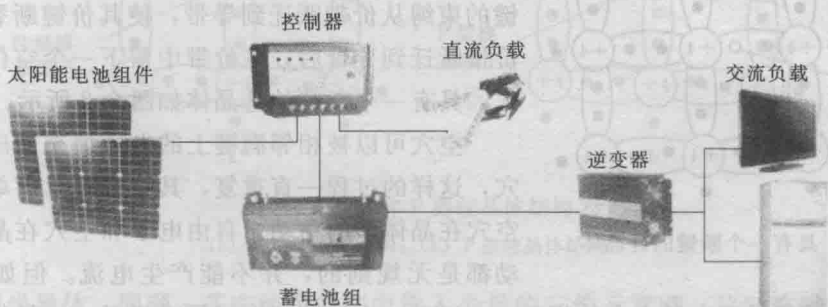


图 2.1 光伏发电系统的组成

1. 太阳能电池组件

太阳能电池组件也称为太阳能电池板，是太阳能发电系统中的核心部分，是能量转换的器件，其作用是将光能转换成电能。当发电电压、容量较大时，就需要将多块电池组件串、并联后构成太阳能组件方阵。太阳能电池一般为硅电池，分为单晶硅太阳能电池、多晶硅太阳能电池和非晶硅太阳能电池 3 种。

2. 蓄电池组

蓄电池的作用是储存太阳能电池方阵受光照时发出的电能，并可随时向负载供电。光伏发电系统对所用蓄电池组的基本要求是使用寿命长，深放电能力强，充电效率高，维护少或免维护，价格低廉。

3. 控制器

控制器的作用是使太阳能电池和蓄电池高效、安全、可靠工作，以获得最高效率并延长蓄电池的使用寿命，能自动防止蓄电池过充电和过放电。由于蓄电池的循环充放电次数及放电深度是决定蓄电池使用寿命的重要因素，因此能控制蓄电池组过充电或过放电的充放电控制器是必不可少的设备。

4. 逆变器

逆变器是将直流电转换成交流电的设备。由于太阳能电池和蓄电池是直流电源，当负载是交流负载时，逆变器是必不可少的。逆变器按运行方式可分为独立运行逆变器和并网逆变器。独立运行逆变器用于独立运行的光伏发电系统，为独立负载供电。并网逆变器用于并网运行的光伏发电系统。逆变器按输出波形可分为方波逆变器和正弦波逆变器。方波逆变器电路简单，造价低，但谐波分量较大，一般用于几百瓦以下和对谐波要求不高的系统。正弦波逆变器成本高，但可以适用于各种负载。

2.1.2 太阳能电池的工作原理

1. 太阳能电池的物理基础

(1) 本征半导体和掺杂半导体。

1) 本征半导体。晶格完整且不含杂质的半导体称为本征半导体。半导体在热力学温度为 0°C 时，电子填满价带，导带是空的。此时的半导体和绝缘体的情况相同，不能导电。当温度高于热力学温度零度时，价电子在热激发下有可能克服共价键的束缚从价带跃迁到导带，使其价键断裂。电子从价带跃迁到导带后，在价带中留下一个空位，称为空穴，具有一个断键的硅晶体如图 2.2 所示。

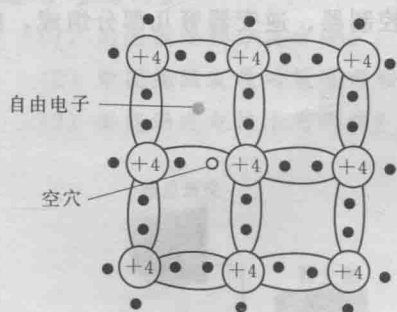


图 2.2 具有一个断键的硅晶体

空穴可以被相邻满键上的电子填充而出现新的空穴，这样的过程一直重复，其结果可以简单地描述成空穴在晶体中的移动。自由电子和空穴在晶体内的运动都是无规则的，并不能产生电流。但如果存在电场，自由电子将沿着电场方向的相反方向运动，空穴则与电场同向运动，半导体就是靠电子和空穴的定向移动来形成电流的，电子和空穴都被称为载流子。晶体中的电子浓度 n 等于空穴浓度 p 。这个浓度称为本征载流子浓度 n_i 。实验表明， n_i 的值随晶体温度的升高而增大，而随晶体禁带宽度的增大而减小。在室温条件下，半导体硅的本征载流子浓度约为 $1 \times 10^{10} / \text{cm}^3$ 。

2) 掺杂半导体。在本征半导体中掺入其他元素后就得到掺杂半导体。所谓掺杂，是指在一定的温度下，将一种元素作为杂质渗透到另一种主体元素中。晶体硅太阳能电池的主体元素就是本征硅。

高纯本征半导体具有很高的电阻率，若将一定数量的杂质掺入到半导体内，则会在它的禁带中产生附加的能级。当半导体受激发产生电子跃迁时，电子就有可能首先跳到这些附加的能级上，然后再跃迁到导带中去，这显然要比电子从价带直接跃迁到导带容易得多。尽管掺杂很小，却会很明显地改变导带中的电子数和价带中的空穴数，从而显著地影响半导体的电阻率。因此，在实际的半导体技术中，有选择地掺杂，可得到所需要的半导体导电类型。适量的掺杂可得到所需要的导电率，不适当地掺杂则会使半导体成为废料。

a. N型半导体。硅的最外层有4个价电子，若掺入少量的五价元素磷，这时在硅的晶格中，一个磷原子中的4个价电子与其周围4个硅原子的价电子形成共价键，还剩下1个价电子。这个多余的价电子因不能被安排在硅原子晶格的正规结构中而游离，致使磷原子电离，其电离能约为 0.44eV 。硅中掺杂的元素磷，在室温下全部电离，同时提供等量的自由电子，从而产生自由电子导电运动。如图2.3(a)所示。这种在掺杂半导体中提供电子的杂质称为施主型杂质，这里指的是掺入的磷元素，其浓度用符号 N_D 表示。在掺有五价元素（施主型杂质）的半导体中，存在着大量带负电荷的自由电子，以及等量带正电荷的磷原子和少量空穴，平衡状态下呈电中性。这样的半导体称为电子型或N型半导体。在这种半导体中，自由电子的浓度远远大于空穴的浓度，自由电子是多数载流子，简称多子，空穴是少数载流子，简称少子。半导体主要依靠自由电子导电，导电方向与电场方向相反。

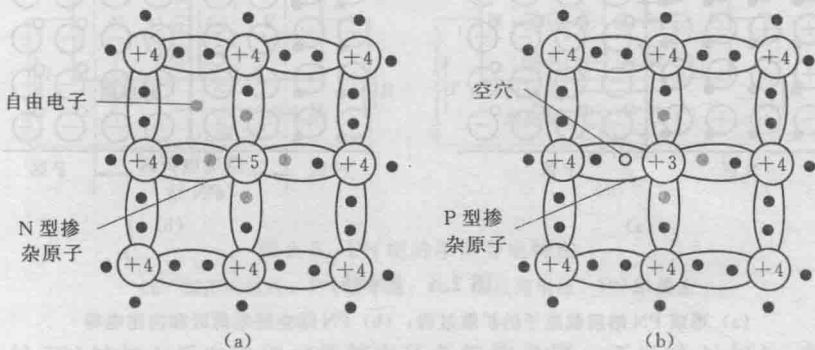


图 2.3 N 型和 P 型硅晶体结构

(a) N 型硅晶体结构；(b) P 型硅晶体结构

b. P型半导体。同理，若在纯净的硅中掺入少量的三价元素硼，这时在硅的晶格中，一个硼原子的3个价电子与其周围4个硅原子的价电子形成共价键，还缺少了1个电子，要从其中一个硅原子的价键中获取一个电子填补。这样就在硅中产生了一个空穴，而硼原子由于接受了一个电子而成为带负电的硼离子，如图2.3(b)所示。这就是说，掺入硅的硼原子带着一个很容易电离的空穴，其电离能为 0.45eV 。硅中掺杂的元素硼，在室温下将全部电离，同时提供等数量的空穴。硼原子在晶体中起着接受电子而产生空穴的作用，所以称为受主型杂质，其浓度用符号 N_A 表示。在含有三价元素（即受主型杂质）的半导体中，存在着大量带正电荷的空穴，以及等量的带负电荷的硼原子和少量电子，平衡