

常用电工电气设备 知识读本

国家电网公司产业发展部 编



 中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

常用电工电气设备 知识读本

国家电网公司产业发展部 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书图文并茂、深入浅出地介绍了发电、输电、变电、配电、用电等领域中常用电工电气设备的基本知识,包括设备的基本原理、设备类型、技术展望等。本书有利于加强电工电气设备基础知识的普及,并有助于读者了解国家电网公司直属产业公司和科研单位在坚强智能电网方面的设备研发及制造能力。

本书可作为国家电网公司直属单位的职能管理人员、非电力专业技术人员、新入职员工、市场营销人员以及供电企业相关技术管理人员的培训用书,也可作为高校电力专业学生、电工电气相关专业人士的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

常用电工电气设备知识读本/国家电网公司产业发展部编.
北京:中国电力出版社,2012.3

ISBN 978-7-5123-2802-0

I. ①常… II. ①国… III. ①电工-设备-基本知识②电气设备-基本知识 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 040103 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>)

北京盛通印刷股份有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 7 月第一版 2012 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 10.75 印张 168 千字

定价 45.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,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

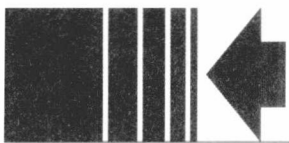
本书编写组

组 长 宋高峰

副组长 马新征 潘 丁 刘 博 李冠甲 张学深
郭宝玉 王 磊

成 员 邓茂军 谢卫华 黄明山 郑晓果 颜 语
刘 臻 项 斌 赵东元 汪 权 郭 焕
刘 丽 刘 强 蒋雷海 李明刚 龚 敏
杨 杨 董新生 刘维彬 沈 刚 费 烨
蔚泉清 刘 琴 张亚辉

顾 问 尹宝训 李瑞生 王大为 田志国 张爱玲
周逢权 王景朝 赵大平 赵江河 张 晶
冯 炜 温家良 张长银 万保权 刘 极
李海英



序

电工电气设备制造是装备制造业的核心组成部分，是国民经济发展特别是工业发展的基础，为国民经济和社会发展提供了有力支撑和保障。我国电工电气设备制造业经过半个多世纪的创立与发展，已取得了令人瞩目的成就，形成了覆盖从发电到用电全领域、从低压到特高压全电压等级，具有相当生产规模、技术水平和竞争实力的电工电气设备制造体系。

“十一五”期间，在国家加快振兴装备制造业政策的引导下，我国电工电气设备制造业发展明显加快，电工电气行业相关的电子、电气、机械方面的产品、设备、系统的研发制造及成套能力取得了长足发展，特别是应用于特高压交、直流输电的一批重大技术装备自主化水平显著提高，国际竞争力进一步提升。“十二五”期间，发展低碳经济成为应对气候变化、环境污染和能源紧张的客观要求，也是保持经济可持续发展的必然选择。随着我国向低碳经济转型，加快建设以特高压为核心的坚强智能电网被国家列入“十二五”规划纲要，低碳节能、经济高效、科技环保将成为电工电气制造业发展的新趋势。在新兴电工电气设备制造领域，我国与国外处于同一发展水平，甚至略微领先，我国电工设备制造企业应抓住国家大力建设坚强智能电网的历史机遇，集中精力、迎接挑战，重点发展特高压和智能设备，抢占技术制高点，推动我国电工电气设备制造实现跨越式发展，努力打造世界一流电工

设备制造企业。

为全面梳理我国电力各环节的电工电气设备，总结我国电工电气行业的发展成就和研究成果，国家电网公司产业发展部组织编写了《常用电工电气设备知识读本》。作为一本科普性参考读物，本书系统全面、通俗易懂、图文并茂地介绍了我国电力系统特别是电网领域的电工电气设备的基本概念、主要作用、基本原理、设备类型、外观结构、特点和技术发展趋势，使读者了解各类电工电气设备的结构和功能。

本书的编写，凝聚了我国电工电气行业众多专家、学者和工程技术人员的汗水和心血。希望本书在让读者了解我国电工电气设备的同时，为推动我国电工电气设备知识普及作出更大贡献！

张春城

2012 年 7 月

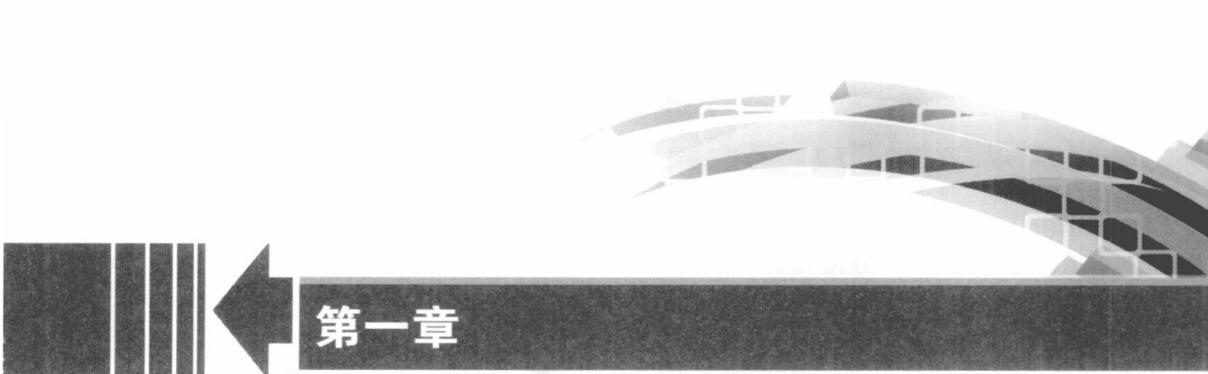


目 录

序

第一章 发电环节电气设备	1
第一节 发电机	1
第二节 厂用电设备	6
第三节 光伏发电系统设备	9
第二章 输电环节电气设备	16
第一节 电缆	16
第二节 杆塔	19
第三节 导线和地线	26
第四节 输电线路金具	30
第五节 绝缘子	35
第六节 输电线路串联补偿装置	40
第三章 变电环节电气设备	46
第一节 变压器	46
第二节 开关	58
第三节 互感器	68
第四节 避雷器	76
第五节 电容器	80
第六节 电抗器	84
第七节 换流阀	88
第八节 无功补偿装置	91

第四章 电力系统二次设备	95
第一节 保护及控制设备	95
第二节 自动装置	105
第三节 电力系统自动化	109
第四节 二次系统安全防护设备	116
第五节 电源系统	121
第六节 电力通信设备	124
第五章 配电环节电气设备	132
第一节 配电终端设备	132
第二节 配电开关设备	135
第三节 配电开关柜设备	138
第六章 用电环节电气设备	141
第一节 电能表	141
第二节 用电信息采集系统	146
第三节 用电互动服务	149
第四节 智能家居系统	152
第五节 电动汽车智能充换电站设备	156
参考文献	161



第一章

发电环节电气设备

发电厂是电力生产的源头。发电厂的作用主要是实现煤炭、水力等一次能源向电能的转化。根据发电厂发电过程使用一次能源类型的不同,发电形式可分为火力发电(通过燃烧煤、石油、天然气等化石燃料发电)、水力发电、核能发电、风力发电、太阳能发电、潮汐发电、地热发电等。这些发电形式,根据发电过程是否会产生对人体或自然环境有害的排放物,可分为清洁能源发电和非清洁能源发电;根据被耗费一次能源是否具有再生性,分为可再生能源发电和非再生能源发电。水力、风力、太阳能、潮汐、地热等是清洁能源,并具有再生性;核能也被视为清洁能源,但不具有再生性;化石燃料既非清洁能源,也不可再生。据统计,2011 年我国总发电量 46 037 亿 kWh,火力发电量占总发电量的 82.84%,水力发电量占总发电量的 13.27%,核能发电量占总发电量的 1.88%。为实现绿色环保、可持续发展的能源战略,我国目前正大力推进清洁能源和可再生能源发电,水电、风电、核电的装机容量正在逐年增大。

各类发电厂所用电气设备种类繁多、功能各异,限于篇幅,本章仅重点介绍发电机、电动机、厂用变压器等几种主要的通用设备。风力发电、太阳能发电是当前清洁能源工程建设的热点,相关设备也将在本章介绍。

第一节

发 电 机

发电机是利用电磁感应定律将机械能转化为电能的机械装置,是发电厂的核心设备。发电机通常由汽轮机、水轮机或内燃机驱动,小型发电机

也可由风轮或其他机械设备驱动,实现其他一次能源向电能的转化。为适应不同应用场合,发电机有不同的型号,容量也从几千瓦到一千多兆瓦不等。

一、基本原理

发电机的理论基础是法拉第电磁感应定律。发电机由定子、转子、机座、端盖、转轴等几个部分构成,定子固定在机座上,转子通过转轴固定在端盖和机座上,转子和定子间留有气隙。工作时发电机转子旋转,使电枢绕组和内部气隙磁场产生相对运动,从而产生感应电动势,输出电能。发电机的气隙磁场由装设在转子或定子上的励磁绕组(或永磁体)产生,电枢绕组则相应地装设在定子或转子上。发电机结构示意图如图1-1所示。

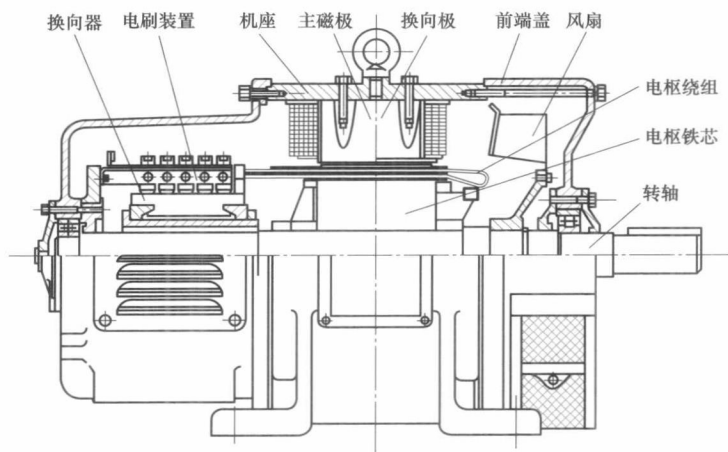


图 1-1 发电机结构示意图

二、设备类型

发电机按工作原理不同分为交流发电机和直流发电机。

(一) 交流发电机

交流发电机包括同步发电机和感应发电机。

1. 同步发电机

同步发电机气隙磁场和转子的转速相等,且气隙磁场转速受转子转速控制,通过改变转子转速,可以调节电枢绕组中感应电动势的频率,控制输出交流电的频率。

同步发电机有转速相对固定、无功调节方便、容量大、效率高等特点，但控制维护复杂，存在失步风险。现代发电厂中普遍采用同步发电机。

按照结构形式，同步发电机可以分为旋转电枢式和旋转磁极式。

(1) 旋转电枢式同步发电机。

旋转电枢式同步发电机的电枢绕组装设在转子上，主磁极装设在定子上，发电机发出的电能从转子引出。目前仅一些小型发电机采用这种结构。图 1-2 为旋转电枢式同步发电机结构示意图。

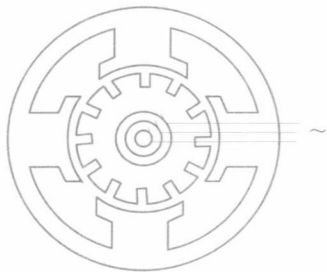


图 1-2 旋转电枢式同步发电机结构示意图

(2) 旋转磁极式同步发电机。

旋转磁极式同步发电机的电枢绕组装设在定子上，主磁极装设在转子上，发电机发出的电能从定子引出。大中型发电机普遍采用这种结构。旋转磁极式同步发电机可分为隐极式同步发电机和凸极式同步发电机。

1) 隐极式同步发电机。

隐极式同步发电机转子为圆柱形，定子和转子间的气隙为均匀分布。根据励磁方式不同，隐极式同步发电机又可分为电励磁式和永磁式两种机型，电励磁式通过对励磁绕组施加直流电励磁，永磁式由转子上安装的永磁体励磁。永磁式发电机受永磁材料的限制，发电功率受到制约，仅适用小容量发电。隐极式同步发电机适用于对转速要求较高的场合，一般火力发电厂均采用电励磁隐极式同步发电机。图 1-3 为隐极式同步发电机结构示意图。

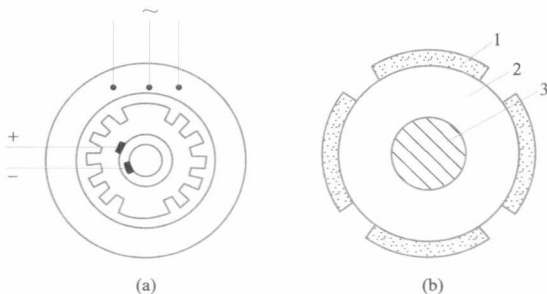


图 1-3 隐极式同步发电机结构示意图

(a) 电励磁式；(b) 永磁式

1—永磁体；2—转子铁心；3—转轴

2) 凸极式同步发电机。

凸极式同步发电机转子有明显凸出的磁极，定子和转子间的气隙为不均匀分布。与隐极式同步发电机相同，凸极式同步发电机也分为电励磁式和永磁式两种机型。凸极同步发电机适用于对转速要求较低的场合，一般水力发电厂多采用电励磁凸极式同步发电机。图 1-4 为凸极式同步发电机结构示意图。

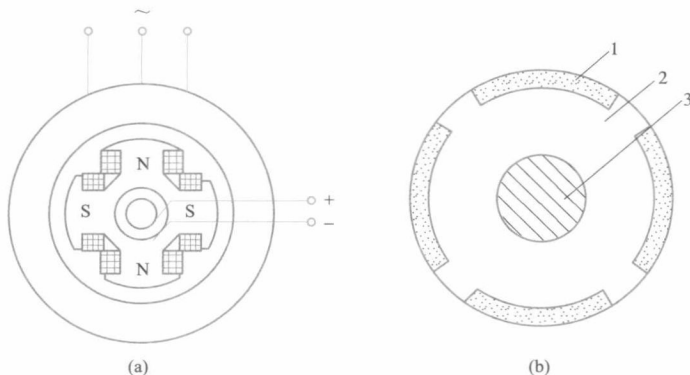


图 1-4 凸极式同步发电机结构示意图

(a) 电励磁式；(b) 永磁式

1—永磁体；2—转子铁心；3—转轴

2. 感应发电机

感应发电机的气隙磁场和转子存在转速差，故又被称为异步发电机。正常运行时，转子速度一般领先气隙磁场的转速。

感应发电机具有结构简单、转速调节范围宽、无失步问题等特点，但容量较小、效率低，发电过程中需消耗大量系统无功功率，运行过程中多需无功补偿设备支撑。感应发电机主要应用于小容量发电厂，如风力发电厂和小型水力发电厂等。

感应发电机根据转子结构的不同，可以分为笼型感应发电机和绕线型感应发电机。

(1) 笼型感应发电机。

笼型感应发电机的转子绕组是一个自行闭合的绕组，它由插入每个转子槽中的导条和两端的环形端环构成，如果去掉铁心，整个绕组就像一个“圆

笼”，故称为笼型绕组。图 1-5 为笼型转子绕组结构图。

笼型感应发电机转子结构简单、制造方便，整体强度、刚度都比较高，缺点是转化效率较低。这种绕组结构的发电机多应用于风力发电机等小型发电机中。

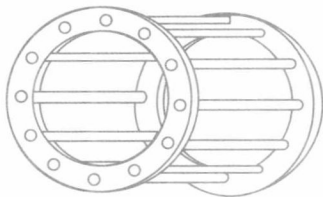


图 1-5 笼型转子绕组结构图

(2) 绕线型感应发电机。

绕线型感应发电机的转子槽内嵌有用绝缘导线组成的三相绕组，各绕组的出线端分别接到安装于转轴上的三个集电环上，经电刷与外部馈电回路相连。

风力发电领域广泛应用的双馈异步发电机即为绕线型感应发电机。双馈异步发电机通过风力驱动风轮转动为发电机提供动力，其定子绕组直接连接电网，转子绕组经变频器与电网相连。双馈异步发电机由转子绕组进行励磁，通过控制励磁电流可对发电机的转速、功率进行调整，使发电机始终在最佳发电状态工作，并保持定子输出电压和频率不变。图 1-6 为运行中的双馈异步风力发电机外观。

(二) 直流发电机

直流发电机通过电磁感应，先在电枢绕组中产生交流电动势，再通过换向器和电刷的换向作用，将此交流电动势转换为直流电动势对外输出。图 1-7 为最简单的两极直流发电机模型。



图 1-6 双馈异步风力发电机外观

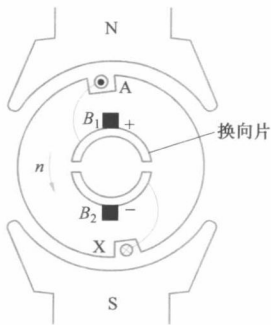


图 1-7 最简单的两极直流发电机模型

直流发电机的结构复杂,效率低,仅适用于小容量发电系统,但其输出直流电,无需额外整流装置即可对特殊设备供电。火力发电厂中一般采用直流发电机为主发电机提供励磁电流。

三、技术展望

大容量、高效率是发电机的发展方向。就风力发电机而言,国际上单机容量已达到6MW,10MW机组也已开始概念设计;水轮发电机最大单机容量已达到800MW;汽轮发电机最大单机容量更是达到了1000MW。随着冷却技术和超导技术的发展和运用,可以预见发电机的单机容量会进一步提升。

延伸知识

总投资约120亿元、占地200km²,集风电、光伏发电、储能、智能输电于一体的张北国家风光储输示范工程,是财政部、科技部、国家能源局和国家电网公司联合推出的“金太阳示范工程”首个重点项目,同时也是国家电网公司建设坚强智能电网首批试点工程。该工程规划总容量风力发电500MW、光伏发电100MW、储能系统70~110MW,建成后将成为国内最大的并网太阳能光伏电站、国内陆上单机容量最大的风电场、世界上规模最大的化学储能电站,智能化运作水平最高、运行方式最为多样的风光储输四位一体新能源示范工程。一期工程由许昌许继风电科技有限公司提供的24台2.0MW、WT2000型双馈异步发电机组于2011年12月25日投入运行。

第二节

厂用电设备

发电机组在启动、运行、停役、检修过程中,有大量由电动机拖动的机械设备,用以保证机组的主要设备(如锅炉、汽轮机或水轮机、发电机)和输煤、碎煤、除尘、除灰及水处理等辅助设备正常运行。这些电动机及全厂的运行、操作、试验、检修、照明等用电设备构成厂用负荷,它们同厂用供电系统及配电装置统称为发电厂自用电或厂用电系统。

火电厂大量辅助设备中,电动机和厂用变压器是核心电气设备。电动机主要实现电能向机械能的转换,用于驱动厂用机械设备,满足发电环节各种

动力需求。厂用变压器是为电动机及其他用电设备提供合适工作电源的变压器。本节主要介绍电动机和变压器两种厂用电设备。

一、基本原理

电动机的基本工作原理是法拉第电磁感应定律，这点和发电机相同，但其工作过程和发电机刚好相反，实现了电能向机械能的转换。

为提高电动机的工作效率，装备大中型机组的火力发电厂，一般设厂用高压（一般常用 6kV）和厂用低压（400V）两个电压等级给电动机供电。一般情况下 100 ~ 200kW 以上的电动机需采用高压供电。

厂用变压器是根据电磁感应原理，把一种电压的交流电能转变成频率相同的另一种电压的交流电能。

二、设备类型

（一）电动机

根据工作电源的不同，电动机分为交流电动机和直流电动机。

1. 交流电动机

交流电动机的定子绕组外接交流电源，产生旋转磁场，在转子导体（鼠笼条）中产生感应电流及电磁力，带动转子沿旋转磁场方向转动。一般情况下，电动机的转子速度低于旋转磁场的转速，两者旋转不同步，称为异步电动机。

发电厂中拖动厂用机械最多的是异步电动机，特别是笼型异步电动机。异步电动机结构简单、运行可靠、操作维护方便、价格便宜。它可以在电源电压下直接启动，除了开关，不需要任何启动设备，因此操作简单，可靠性高。图 1-8 为某型高压异步电动机外观，图 1-9 为给水泵电动机外观。

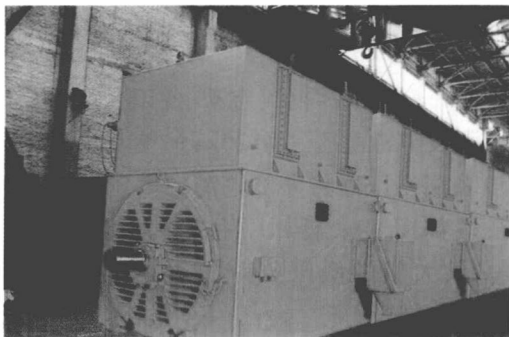


图 1-8 高压异步电动机外观

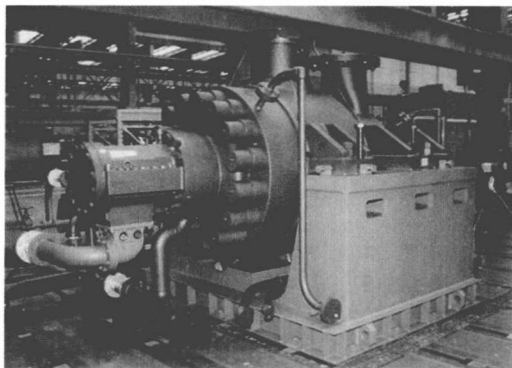


图 1-9 给水泵电动机外观

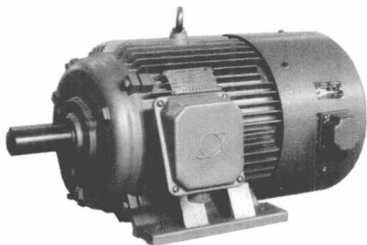


图 1-10 直流电动机外观

2. 直流电动机

直流电动机的转子绕组外接直流电源，通电后，在定子提供的固定磁场作用下产生电磁力，带动转子旋转。

直流电动机的主要优点是可在大范围内均匀平滑地调节转速。直流电动机不依赖厂用交流电源，可由蓄电池组供电。但直流电动机制造工艺复杂、成本高、维护工作量大、工作可靠性差，而且需要提供

直流电源或整流电源，因此一般仅用于保证事故时设备安全的关键负荷，如给粉机、事故备用油泵、备用电动给水泵、事故负荷中直流备用润滑油泵等。图1-10 为直流电动机外观。

（二）厂用变压器

厂用变压器包括高压厂用变压器、启动/备用变压器和低压厂用变压器三类。高压厂用变压器将发电机电压（如 20kV）变为厂用高压电动机的额定电压（如 6kV）；启动/备用变压器将外部电源的电压（如 220kV）变为厂用高压电动机的额定电压（如 6kV）；低压厂用变压器将厂用高压（如 6kV）变为厂用低压（400V），供大量的低压负荷如 400V 电动机、照明等使用。图 1-11 为启动/备用变压器外观。

三、技术展望

电动机作为辅机设备的核心电气设备，种类多、耗能高是其主要特点。

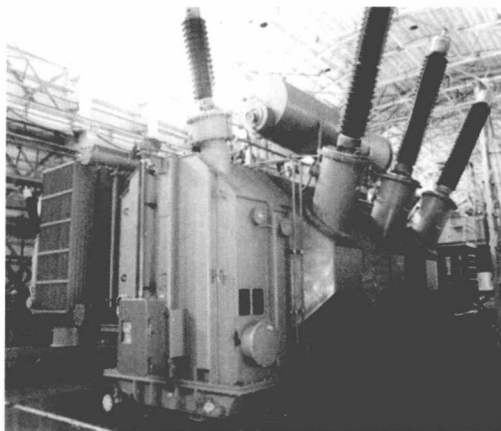


图 1-11 启动/备用变压器外观

如何有效提高电动机工作效率，是要解决的关键技术问题。

小型化、低噪声、高阻抗、低功耗是厂用变压器技术的发展方向。此外，为避免事故过程中变压器燃烧爆炸的危险，非易燃变压器油工艺和干式变压器技术等也将得到有效发展。

第三节 光伏发电系统设备

太阳能作为一种洁净的可再生能源，其利用越来越受到人们的重视。太阳能发电主要有光热发电和光伏发电两种。太阳能光热发电是通过聚光装置利用太阳光加热工作介质，使其产生蒸汽推动汽轮发电机发电。按聚光方式不同，太阳能光热发电常见的有塔式、槽式和碟式三种。由于技术不成熟、发电成本高、效率低，太阳能光热发电推广应用受到限制。光伏发电系统是指利用光伏半导体材料将太阳能直接转化为电能的系统。与传统发电技术相比，光伏发电无噪声、无污染，建设维护简单，与建筑结合也更为便利。本节将重点介绍光伏发电系统。

近几年来，随着光伏发电技术的进步、制造工艺的改进、成本的降低，加上各国纷纷启动各项光伏激励计划，光伏发电，特别是大型并网光伏电站建设开始进入快速发展阶段。