

电力科普知识

中国电机工程学会 编



中国电力出版社

电力科普知识

主 编 曾庆禹
副主编 杨传箭
刘 纫 苴

中国电力出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电力科普知识/中国电机工程学会编. -北京: 中国电力出版社, 1995

ISBN 7-80125-082-6

I. 电… II. 中… III. 电力工业-科普读物 IV. TM-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 18098 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 邮政编码 100044)

北京外文印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1995 年 10 月第一版 1995 年 10 月北京第一次印刷

787×1092 毫米 32 开本 4.25 印张 92 千字

印数 000001—110000 册 定价 7.00 元

版权专有 翻印必究

前 言

为贯彻中共中央、国务院“关于加强科学技术普及工作的若干意见”的精神和落实电力部领导关于加强科普工作的指示，进一步提高电力职工和各级领导干部的科技素质，更好地依靠科技进步，促进电力工业的迅速发展，特编写出版《电力科普知识》一书。本书对电力技术、生产建设和技术经济等知识，以及当代世界高新技术发展和电力科技的新发展等方面作了深入浅出的论述，知识面宽、通俗易懂，可作为技术工人、技术人员、管理人员和领导干部了解电力科技知识和高新技术知识的“入门”读物，供学习参考。

本书是在电力部电力科普知识竞赛组委会具体指导下，由电力科普知识编委会编写。参加编写人员有曾庆禹、刘纫荃、杨勤明、肖国泉、周照茂、曾鸣、刘惠民、朱新华、宗士杰、饶纪杭、林江、杨飞、甄雷、楼重义、唐金生、王绍民、陈梅倩、孙海波、于海琴、冯爱玲、马驯、王洪生、杨学勤、周晖等。电力部电力科普知识竞赛组委会全体成员和有关专家对本书初稿进行了审阅，提出了宝贵的修改意见。本书的编写得到了电力部有关司局和在京有关单位的领导、专家和学者的指导，以及科技人员的支持与帮助，在此表示衷心感谢。由于时间仓促、水平与条件的限制，本书难免存在缺点与不足，请广大读者批评指正。

目 录

第一章	电力技术与电力工业	(1)
第二章	火力发电	(8)
第三章	水力发电	(24)
第四章	核能发电	(32)
第五章	新能源和可再生能源发电	(39)
第六章	输电与配电	(46)
第七章	电力系统	(55)
第八章	供用电	(74)
第九章	电力环境保护	(86)
第十章	电力成本、电价和技术经济指标	(92)
第十一章	电力基本建设	(99)
第十二章	当代高新技术的发展与电力 新技术	(108)

第一章 电力技术与 电力工业

一、电力技术与电力工业发展简史

电力技术的发明、电力工业的建立至今已有 100 余年的历史。今天，电与人们的生产、生活、科学研究和精神文明建设息息相关，对现代社会的各个方面已产生直接的或间接的巨大作用和影响，已成为现代文明社会的重要物质基础。

1831 年，法拉第发现电磁感应原理，奠定了发电机的理论基础。科学的发现，引起了技术的发明。1866 年，维·西门子发明了励磁电机，并预见：电力技术很有发展前途，它将会开创一个新纪元。接着，1876 年，贝尔发明了电话；1879 年，爱迪生发明了电灯。这三大发明照亮了人类实现电气化的道路，继蒸汽机技术革命后，引起了电力技术革命。

1882 年，爱迪生建成世界上第一座较正规的发电厂，装有 6 台直流发电机，共 900 马力（1 马力=0.735kW，下同），通过 110V 电缆供电，最大送电距离 1.6km，供 6200 盏白炽灯照明用，完成了初步的电力工业技术体系。

1881 年，卢西恩·高拉德和约翰·吉布斯取得“供电交流系统”专利，美国发明家乔治·威斯汀豪斯买下此专利，并以它为基础于 1885 年制成交流发电机和变压器，并于 1886 年建成第一个单相交流送电系统，1888 年又制成交流感应式电动机。1891 年，在德国劳芬电厂安装了世界第一台三相交

流发电机，建成第一条三相交流送电线路。三相交流电的出现克服了原来直流供电容量小，距离短缺点，开创了远方供电，电力除照明外，用于电力拖动等各种用途的新局面。

电力技术和电力工业的出现和发展改变了人们的生产和生活面貌，促使经济以前所未有的速度向前发展。美国原来落后于英国、德国等国家，电力技术革命使美国后来者居上，成为最发达的国家。电力的广泛应用，电力需求的增加，促使电力技术和电力工业进一步向高电压、大机组、大电网方向发展。高压输电、大型汽轮发电机、大型水轮发电机应运而生，迅速发展。

1960年，美国制成50万kW汽轮发电机，1963年制成100万kW双轴汽轮发电机。1973年，美国将BBC公司制造的130万kW双轴汽轮发电机投入运行。1971年，原苏联将单轴80万kW机组投入运行。1980年，在科斯特罗姆火电厂单轴120万kW机组投入运行，这是世界上唯一的一台单轴最大机组。

在高电压输电方面，瑞典于1954年首先建成第一条380kV输电线，此后美国、加拿大等欧美国国家相继使用330~345kV输电系统。1964年，美国建成第一条500kV输电线路，原苏联也于1964年完成了500kV输电系统。1965年，原苏联建成±400kV直流输电线路。1965年，加拿大建成765kV输电线路。1989年，原苏联建成一条世界上最高电压1150kV、长1900km交流输电线路。到1990年，全世界拥有发电设备27.46亿kW，其中火电占64.9%，水电占23%，核电占12.1%，全世界发电量为117340亿kW·h。

随着电子技术、电子计算机技术和自动化技术的发展，电

力工业自动化迅速向前发展。以大机组、大电厂、高电压、大电网、高度自动化为特点的现代化电力工业在不同的国家已经形成或正在形成。

二、中国电力工业发展

中国电力工业从 1882 年上海创建第一个 12kW 发电厂至今，已有 110 余年历史。1949 年，全国发电装机容量 185 万 kW，年发电量 43 亿 kW·h，分别名列世界第 25 位和 21 位。中华人民共和国成立后，用了 30 年时间，使全国发电装机容量达到 5712 万 kW，年发电量达 2566 亿 kW·h。自 1978 年改革开放以来，只用了 10 年时间，发电装机容量和年发电量就翻了一番。1990 年，全国发电装机容量达 13789 万 kW，年发电量达 6213 亿 kW·h，均名列世界第 4 位。1994 年，全国发电装机容量为 19990 万 kW，其中火电占 74%，水电占 24.8%，核电占 1.2%，年发电量为 9279 亿 kW·h。

随着电力工业的发展和电力技术的不断进步，1972 年建成了刘一天—关 330kV 输电线路，接着 1981 年建成了第一条姚—双—武 500kV 输电线路。1990 年，第一条葛洲坝至上海、南桥±500kV 直流输电线路投入运行。1975 年，我国自行设计制造的第一台 30 万 kW 汽轮发电机在姚孟电厂投入运行。目前，国内运行最大机组是 60 万 kW 汽轮发电机和 90 万 kW 核发电机组；全国（除台湾省外）已形成东北、华北、华东、华中、西北和南方联营六大跨省（区）电网，以及山东、福建、四川、海南、新疆和西藏等省（区）独立电网。一个初步现代化的电力工业技术体系已经建立起来。

三、电力与能源

电力是通过一定的技术手段从其他能源转换而来的能源。人类利用的能源包括已开采出来可供使用的自然资源和经过加工或转换的二次能源。电力是二次能源。能源可分为可再生能源与非再生能源。可连续再生、永久持续利用的能源，如水力、风能、潮汐能和太阳能，均称为可再生能源，而经过亿万年形成的，短期内无法恢复的能源，如煤、石油、天然气等称为非再生能源。自然界存在的能源资源，通过相应的技术都可转换为电能。目前，用于发电的主要能源是煤、石油、天然气、水力、风能、潮汐、地热、太阳能、核能和生物质能。在技术、经济可行的情况下，应首先考虑利用可再生能源发电，造福人类。

电力是一种便于集中、传输、分散、控制和转换成其他形式的能源，它的利用已遍及国民经济和人民生活的各个方面，成为现代社会的必需品。同时，电力又是使用方便、清洁的能源。因此，世界各国都尽可能地将各种能源转换成电能再加以利用，例如：美国的发电能源消耗量占一次能源消耗总量的比重，1970年为24.7%，1980年为34.8%，1990年为43.6%，按预测，本世纪末将达到50%以上。1990年，我国的比重为23.1%，按照规律，这一比重必将逐步增加。

电力消耗量的年增长率与国民经济增长率的比值称为电力弹性系数。它是分析电力工业发展与国民经济发展相互依存的内在关系的重要指标，系数的大小与产业结构和科技进步有关。为了保持国民经济持续、快速、健康向前发展，电力工业要保持与国民经济同步发展（即电力弹性系数为1），同时要加快技术改造和技术进步的步伐，坚持开发与节约并

重的方针，使电力工业的发展适应国民经济发展和人民生活水平不断提高的需要。

四、电力技术与电力工业

人类对客观世界的认识出现飞跃，是科学革命；人类改造客观世界，技术的飞跃就是技术革命。而科学革命、技术革命会引起整个社会生产体系的变革，即产业革命。人类近代历史经历过蒸汽机技术革命和电力技术革命，因此，电力技术是人类历史上重要的知识宝库。

技术是什么？18世纪末，法国科学家狄德罗在他主编的《百科全书》中，给技术下了一个定义，即“技术是为某一目的的共同协作组成的各种工具和规则体系”。他所阐述的技术概念包括5个方面的要点，即①技术是“有目的”，②强调技术的实现是通过广泛“社会协作”完成的；③技术表现首先是生产“工具”，即硬件；④技术表现的另一重要形式是“规则”，即生产工艺、方法、制度等知识，是软件；⑤技术是成套的知识体系。狄德罗给技术下的定义，今天仍有指导意义。

电力工业主要包括5个生产环节。①发电，包括火力发电、水力发电、核能和其他能源发电；②输电，包括交流输电和直流输电；③变电；④配电；⑤用电，包括用电设备的安装、使用和用电负荷的控制，以及将这5个环节所存在的设备连接起来的电力系统。此外，还包括规划、勘测设计和施工等电力基本建设，电力科学研究和电力机械设备制造。

电力技术，按照狄德罗给技术的定义是形成电力产业，发展电力产业的综合的知识体系，它随现代科学技术的发展而

不断向前发展。电力技术的发展推动电力工业的发展，电力工业的发展史就是电力技术的发展史；电力工业的发展需要更先进的技术支持，反过来促进电力技术的发展。因此，电力工业发展必须依靠科学技术进步，电力科学技术的研究必须面向电力建设，为电力工业发展服务。

五、电力工业的特点

电力工业与生产其他商品的行业一样，其产品有生产、运输、销售和使用的过程，但又有显著的不同。目前，它是集产、运、销为一体。电力作为广泛利用的二次能源，电能与其他能源不一样，一般不能大规模储存。电力生产过程是连续的，发、输、变、配电和用电是在同一瞬间完成的，因此发电、供电、用电之间，必须随时保持平衡。

在一个电力系统内，电力用户有千家万户，其用电的时间和用电的数量虽然有一定规律，但很难准确预测。为了满足用户的电能需要，电力系统内的发电容量和设备均需要有相应的备用容量，以适应各种用户用电因素的变化。

在一个电力系统内，发电、供电和用电设备在电磁上相互连接，相互耦合，因此，任何一点发生故障或任何一个设备出现问题，都会在瞬间影响和波及全系统，如果处理不及时和控制措施不恰当，往往会引起连锁反应，导致事故扩大，在严重情况下会使系统发生大面积停电事故。因此，保证电力系统的安全、稳定运行显得特别重要。所有发供用电设备在制造时，均有规定的额定容量和短时过负荷的能力，使用时必须按照厂家规定的容量使用，这样才能保证设备的安全。为了整个电力系统的安全、经济运行和可靠地向用户供电，电力生产过程有严格的统一调度制度。系统内各个电厂、变电

站和供电所都必须接受统一调度，执行调度员的命令；在正常运行条件下，随时保持电力供需平衡；在故障出现时，按调度员命令，迅速处理事故，使事故的影响限制在最小范围，以减少事故的损失。

第二章 火力发电

一、火力发电概述

利用煤、石油、天然气等自然界蕴藏量极其丰富的化石燃料发电称为火力发电。按发电方式，它可分为汽轮机发电、燃气轮机发电、内燃机发电和燃气-蒸汽联合循环发电，还有火电机组既供电又供热的“热电联产”。

汽轮机发电又称蒸汽发电，它利用燃料在锅炉中燃烧产生蒸汽，用蒸汽冲动汽轮机，再由汽轮机带动发电机发电。这种发电方式在火力发电中居主要地位，占世界火力发电总装机的95%以上。

内燃机和燃气轮机发电均称燃气发电。

内燃机发电主要指功率较大的柴油机发电。柴油机系统压缩点火式发动机，将吸入的空气用活塞压缩到高温与喷入的燃油着火燃烧产生高温高压，推动机械旋转运动，带动发电机发电。它的优点是单位容量重量轻，占地面积小，投资省、建设速度快，缺点是使用燃料价格高，发电成本高、容量小、维修工作量大、运行周期短，除特殊场合外，多用作尖峰供用电电源和应急电源。目前，最大的单机柴油发电机组功率已达4.5万kW，净发电效率达30%~40%。

燃气轮机是旋转式机械，与柴油机相比更适宜于作为常用发电设备。它通过压气机将空气压缩后送入燃烧室，与喷入的燃料混合燃烧产生高温高压燃气，进入透平机膨胀作功，推动发电机发电。它的单机容量远比汽轮机小，最大功率已

发展到 13~21.6 万 kW，净发电效率可达 35% 以上，主要用于带尖峰负荷。

把燃气发电和蒸汽发电组合起来就是燃气-蒸汽联合循环发电，它较高的电能转换效率，受到世界各国重视。

二、火力发电厂的基本生产过程

这里介绍的是汽轮机发电的基本生产过程。

火力发电厂的燃料主要有煤、石油（主要是重油、天然气）。我国的火电厂以燃煤为主，过去曾建过一批燃油电厂，目前的政策是尽量压缩烧油电厂，新建电厂全部烧煤。

火力发电厂由三大主要设备——锅炉、汽轮机、发电机及相应辅助设备组成，它们通过管道或线路相连构成生产主系统，即燃烧系统、汽水系统和电气系统。其生产过程简介如下。

1. 燃烧系统

燃烧系统如图 2-1 所示，包括锅炉的燃烧部分和输煤、除灰和烟气排放系统等。

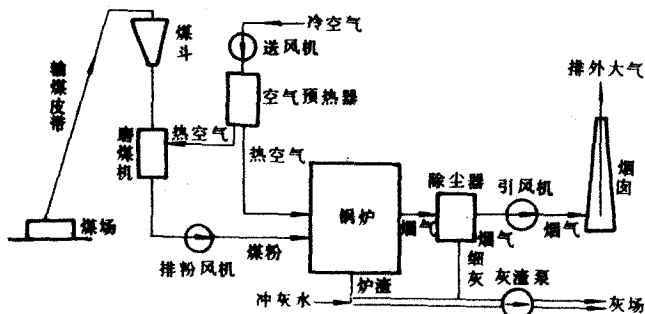


图 2-1 燃烧系统流程（煤粉炉）

煤由皮带输送到锅炉车间的煤斗,进入磨煤机磨成煤粉,然后与经过预热器预热的空气一起喷入炉内燃烧,将煤的化学能转换成热能,烟气经除尘器清除灰分后,由引风机抽出,经高大的烟囱排入大气。炉渣和除尘器下部的细灰由灰渣泵排至灰场。

2. 汽水系统

汽水系统流程如图 2-2 所示,包括锅炉、汽轮机、凝汽器及给水泵等组成的汽水循环和水处理系统、冷却水系统等。

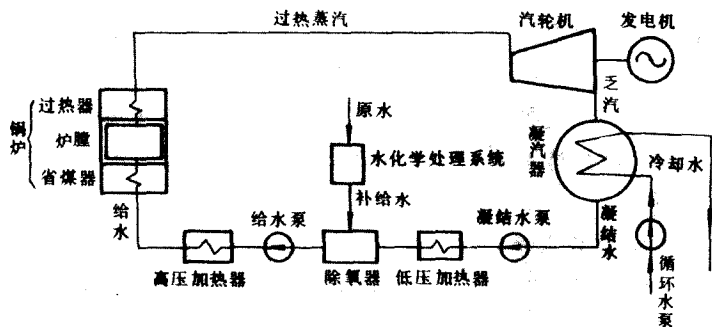


图 2-2 汽水系统流程

水在锅炉中加热后蒸发成蒸汽,经过热器进一步加热,成为具有规定压力和温度的过热蒸汽,然后经过管道送入汽轮机。

在汽轮机中,蒸汽不断膨胀,高速流动,冲击汽轮机的转子,以额定转速(3000r/min)旋转,将热能转换成机械能,带动与汽轮机同轴的发电机发电。

在膨胀过程中,蒸汽的压力和温度不断降低。蒸汽做功后从汽轮机下部排出。排出的蒸汽称为乏汽,它排入凝汽器。

在凝汽器中，汽轮机的乏汽被冷却水冷却，凝结成水。

凝汽器下部所凝结的水由凝结水泵升压后进入低压加热器和除氧器，提高水温并除去水中的氧(以防止腐蚀炉管等)，再由给水泵进一步升压，然后进入高压加热器，回到锅炉，完成水—蒸汽—水的循环。给水泵以后的凝结水称为给水。

汽水系统中的蒸汽和凝结水在循环过程中总有一些损失，因此，必须不断向给水系统补充经过化学处理的水。补给水进入除氧器，同凝结水一块由给水泵打入锅炉。

3. 电气系统

电气系统如图 2-3 所示，包括发电机、励磁系统、厂用电系统和升压变电站等。

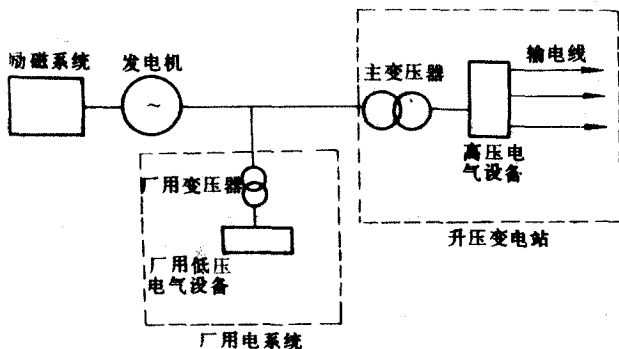


图 2-3 电气系统

发电机的机端电压和电流随其容量不同而变化，其电压一般在 $10\sim 20\text{kV}$ 之间，电流可达数千安至 20kA 。因此，发电机发出的电，一般由主变压器升高电压后，经变电站高压电气设备和输电线送往电网。极少部分电，通过厂用变压器

降低电压后，经厂用电配电装置和电缆供厂内风机、水泵等各种辅机设备和照明等用电。

4. 火力发电厂的效率提高

在火力发电厂中，汽轮机组容量越大，效率越高。汽轮机组单机容量的增大是随蒸汽参数提高而实现的。蒸汽参数就是蒸汽的压力和温度，其单位分别是帕(Pa)和摄氏度(℃)。

最早的汽轮机组是低温、低压机组。随着科学技术的进步，汽轮机组逐渐发展为中温中压、高温高压、超高压、亚临界压力、超临界压力机组，现在正发展超超临界压力机组。水的临界压力是 $227.98 \times 10^5 \text{ Pa}$ (225 大气压)，该值以上的压力称为超临界压力， $172.25 \times 10^5 \text{ Pa}$ (170~210 大气压) 一般称为亚临界压力。水的压力越高，水的沸点（也称饱和温度）也越高。在临界压力下，水加热到沸点 $374 \text{ }^\circ\text{C}$ （称临界温度）时，一下子全部变成饱和蒸汽。此时，饱和蒸汽和饱和水的比重相同，两种状态没有任何区别。

目前，我国火力发电厂采用的蒸汽参数和相应的机组容量的关系如表 2-1 所示。

表 2-1 我国火力发电厂采用的蒸汽参数和相应的机组容量的关系

电厂参数类型	汽轮机汽压 (Pa)	汽轮机汽温 (℃)	机组容量范围 (MW)
中温在压	34×10^5	435	6~50
高温高压	88×10^5	535	25~100
超高压	132×10^5	535	125~200
亚临界压力	167×10^5	535	300
超临界压力	241.3×10^5	538/538	600