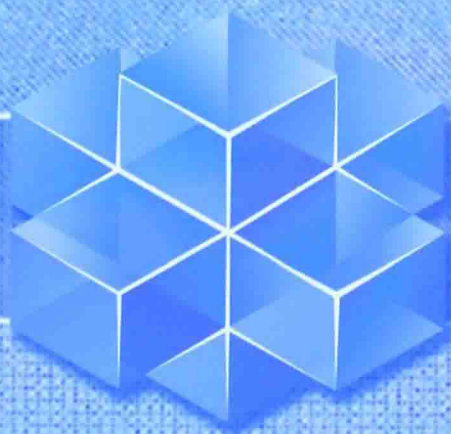


电气学科概论

Electrical Subject Conspectus

主编 曹晴峰

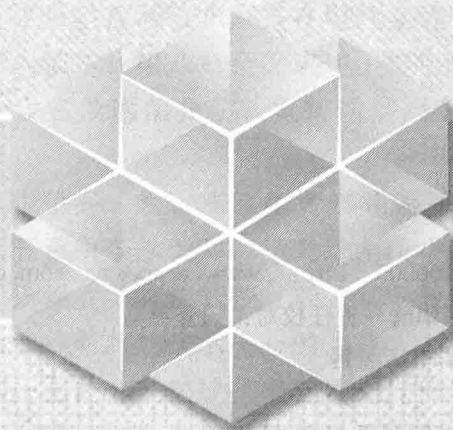


中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

电气学科概论

Electrical Subject Conspectus

主编 曹晴峰 参编 李生权 段小汇 李喆 朱明祥



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

电气学科是现代化科技领域中核心学科之一，是当今高新技术领域中不可或缺的关键学科，电气学科概论较为详细地阐述了该学科的产生与发展。全书共分九章，分别为发、供、配电，可再生能源及核能发电技术，电能转换技术，低压电器与电气控制，从强电到弱电，自动化技术，人类与机械电子，楼宇自动化技术，信息与通信。本书选材广泛，内容翔实，理论联系实际，向读者展现了电气技术所取得的成果，并着重介绍电气学科所包含的主要内容以及目前该学科的主要研究方向。

该书适用对象为电气工程与自动化、智能建筑、信息工程、建筑电气等本科专业师生和相关领域的技术人员和管理人员，以及对电气技术感兴趣的读者，也可作为非电类专业学生的电类教材或电气技术专业的入门教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

电气学科概论/曹晴峰主编. —北京：中国电力出版社，2014.7

ISBN 978-7-5123-5803-4

I. ①电… II. ①曹… III. ①电工技术 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 079626 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>

责任编辑：杨淑玲 责任印制：郭华清 责任校对：闫秀英

航远印刷有限公司印刷·各地新华书店经售

2014 年 7 月·第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16·15 印张·363 千字

定价：38.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，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

前 言

电是什么？怎么形成的？到底有什么用，能干什么？电如何传递能量？通过对电规律的学习，如何利用电为人类服务？这些问题在我们成长的不同阶段，或多或少地会出现在我们的脑海中。人们看不到电，但它却实实在在存在着。我们享受着它带来的便利，也忍耐着它有时给我们带来的麻烦；电既是人类的帮手，又是人类的对手。我们感知电的神奇，电的神秘，电的威力。

由于人类的不断努力，电的本质被逐步揭示，电的规律被逐渐发现，电学理论不断被完善。电学与众多学科的融合，开阔了人类的眼界，促进人们思维的变化和进步，迅猛地推动着社会的进步。19 世纪后半期到 20 世纪中叶，以工业生产电气化为主要标志的第二次工业革命使人类生产力大大提高，其应用价值得到显现，发明家的努力使其应用成为现实，各种发明使得电的使用越来越广，直接进入人们的日常生活，改变着人类的生产方式和生活方式，人类进入了一个前所未有的电气化时代。因此，电气技术也必将随着基础理论的深入研究，全新设计理念、设计方法的提出而得到进一步发展。本书目的是让读者通过阅读和学习能全面了解到电气学科研究的主要内容和发展方向。因此，该书是属于电气学科的入门指导书。

全书共分九章。第一章介绍了电的起源及发展、火力发电技术、电力传输技术、供配电技术以及电气安全；第二章讲述了水能、核能、太阳能、风能、生物质能、潮汐能、地热能发电技术；第三章阐述了以变压器和各种电机为代表的电能转换技术；第四章讨论了常用低压器件、照明控制、电动机的继电接触控制；第五章重点介绍了半导体技术、电力电子技术、计算机技术；第六章阐述了自动控制技术及其在电气工程中的应用；第七章讨论了传感器、虚拟仪器、执行器、机器人技术；第八章全面讲述了楼宇自动化技术；第九章从信息交换技术、通信网的拓扑结构、设备及通信介质、宽带通信网等方面对信息与通信技术做了说明。

曹晴峰任本书的主编，其中第一、六、八章由曹晴峰编写，第二、七章由李生权编写，第三、四章由朱明祥编写，第五章由李喆编写，第九章由段小汇编写。

本书在编写过程中得到了扬州大学陈虹教授、刘大年副教授的大力支持和关心，江小燕和刘桂言为本书做了有益的工作，对此均表示衷心的感谢。本书引用了大量的参考文献和网上资料，附录中不能一一举例，在此一并对这些书刊资料的作者表示感谢。

电气学科是一个内容包含众多，涉及面广泛的学科，本书不可能全部涵盖所有内容，因此希望能起到抛砖引玉的作用。限于作者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请读者和同行给予批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 发、供、配电	1
第一节 引言	1
一、电流	1
二、电	2
三、电力技术与电力工业发展简史	3
第二节 火力发电技术	4
一、火力发电的基本概念	4
二、火电厂生产过程	5
第三节 电力传输技术	8
一、电力传输的基本概念	8
二、变电所	11
三、架空线	18
四、电力系统自动化	20
第四节 供配电技术	22
一、供配电的基本概念	22
二、主接线	25
三、配电	29
第五节 电气安全	32
一、电力系统安全运行	32
二、用电安全	33
思考题	36
第二章 可再生能源及核能发电技术	37
第一节 水能	37
一、水能	37
二、水力发电	38
三、水轮机	40
第二节 核能	41
一、核能	41
二、核能发电	44
三、核能发电机组	49
第三节 太阳能	51
一、太阳能	51
二、太阳能发电	51

三、太阳能的转换	53
第四节 风能	56
一、风能	56
二、风能发电	57
三、风力发电的展望	63
第五节 其他形式能源技术	63
一、生物质能	63
二、潮汐能	66
三、地热能	67
思考题	69
第三章 电能转换技术	70
第一节 概述	70
一、全电流定律	70
二、电磁力定律	70
三、电磁感应定律	70
第二节 直流电机	71
一、直流电机的结构	71
二、直流电机的基本工作原理	74
三、直流电机的用途和优缺点	75
第三节 变压器	76
一、变压器的分类	76
二、变压器的基本工作原理	76
三、变压器的基本结构	77
四、超导变压器	79
第四节 交流电机	79
一、三相异步电动机	79
二、同步发电机	82
第五节 微控电机	84
一、微控电机概述	84
二、几种微控电机简介	84
第六节 电动机的新技术与应用	90
一、超微型电机	90
二、超声波电机 (USM)	90
三、直线电机	91
思考题	92
第四章 低压电器与电气控制	93
第一节 常用低压电器	93
一、低压电器的基础	93
二、低压器件	94

第二节 照明控制	103
一、概述	103
二、电光源	103
三、照明控制系统	107
四、照明设计	111
第三节 电动机的继电接触控制	113
一、常用控制器件在电路中的作用	113
二、几种控制电路	115
三、电气控制原理图的阅读	118
思考题	120
第五章 从强电到弱电	122
第一节 概述	122
一、半导体	122
二、半导体的特点	122
第二节 半导体技术	123
一、PN 结	123
二、半导体器件	124
三、集成电路	129
第三节 电力电子技术	130
一、电力电子学科的形成	130
二、电力电子学概述	131
第四节 计算机技术	136
一、微处理器	136
二、计算机	137
三、计算机应用技术	141
思考题	142
第六章 自动化技术	143
第一节 自动化技术的发展史	143
一、古代自动装置	143
二、自动控制理论	144
第二节 自动化技术的概念	146
一、自动化的基本概念	146
二、自动控制的内容	147
第三节 自动化的前沿技术	150
一、现代控制论的发展	150
二、经典控制的数字化实现	152
三、人工智能化	153
第四节 自动化技术的应用	155
一、自动化技术在工业中的应用	155

二、自动化技术在军事中的应用	157
三、自动化技术在日常生活中的应用	159
思考题	162
第七章 人类与机械电子	163
第一节 传感器	163
一、概述	163
二、传感器的分类	164
三、传感器应用实例	173
第二节 虚拟仪器	174
一、概述	174
二、基于计算机的测试系统	176
第三节 执行器	177
一、概述	177
二、执行器工作原理	177
第四节 机器人	180
一、机器人工作原理	180
二、机器人分类	181
思考题	184
第八章 楼宇自动化技术	185
第一节 自动化技术在智能建筑中的应用	186
一、几种计算机控制系统	186
二、楼宇自动化控制系统	188
三、综合布线系统	190
第二节 集散型控制系统和现场总线	190
一、集散型控制系统的基本结构与特点	190
二、现场总线	191
三、几种常见的现场总线	193
第三节 楼宇供配电系统的自动控制	194
一、空调系统的监视与控制	195
二、变配电系统的监视与控制	196
三、照明系统的监控	197
四、电梯自动控制	198
五、给水排水监控系统	199
第四节 火灾自动报警与控制	202
一、火灾自动报警系统	202
二、火灾探测器构造及分类	205
三、火灾报警控制器功能	206
第五节 楼宇安全防范技术	207
一、楼宇安全防范技术概述	207

第一章 发、供、配电

第一节 引言

电力工业，是我国能源产业的重要组成部分，是国民经济的重要网络性基础产业，在我国工业化、现代化进程中起着十分重要的作用，被誉为国民经济的先行官和经济社会发展的晴雨表。

持续、优质、稳定的电力供应，是我国由工业化迈向现代化进程的重要保障。同时，电力也是人类文明和社会进步的象征，与我们的生活息息相关。生活，因为电力而绚丽……

一、电流

电流是人类最伟大的十大科学发现之一

古希腊人已经发现用毛皮摩擦过的琥珀能吸引一些像绒毛、麦秆等一些轻小的东西，他们把这种现象称作“电”。公元前 585 年，古希腊第一位自然哲学家泰勒斯（Thales，公元前 625～公元前 545 年）已经注意到摩擦（带电）的琥珀能吸引细小的绒毛。这是西方世界关于电现象最早的观察记录。今天英语中“电（Electricity）”这个词在古希腊语中的意思就是“琥珀”。

英国物理学家、医生吉尔伯特（William Gilbert，1544—1603）做了多年的实验，发现了“电力”、“电吸引”等许多现象，并最先使用了“电力”、“电吸引”等专用术语，因此许多人称他是电学研究之父。他的主要著作为 1600 年出版的《论磁性、磁体和巨大地磁体》。全书分为 6 篇，这是他约 17 年的研究结晶，记录了 600 余个实验，叙述了磁的历史及五种磁运动。第二篇中有一章叙述了电的实验。这本书堪称物理学史上第一部系统阐述磁学的科学专著。在吉尔伯特之后的 200 年中，又有很多人做过多次试验，不断地积累对电的现象的认识。

1734 年法国人杜菲（Charles-Francois du Fay，1696—1739）在实验中发现带电的玻璃和带电的琥珀是相互吸引的，但是两块带电的琥珀或者两块带电的玻璃则是相互排斥的。杜菲根据大量的实验事实断定电有两种：一种是与琥珀带的电性质相同，叫作“琥珀电”；一种是与玻璃带的电性质相同，叫作“玻璃电”。

1745 年普鲁士的一位副主教克莱斯特（Ewald Georg von Kleist，1700—1748）在实验中利用导线将摩擦所起的电引向装有铁钉的玻璃瓶。当他用手触及铁钉时，受到猛烈的一击，他由此发现了放电现象。

1746 年，荷兰莱顿大学的物理学教授马森布罗克（Pieter von Musschen，1692—1761）发明了收集电荷的“莱顿瓶”。因为他看到好不容易起得的电却很容易地在空气中逐渐消失，他想寻找一种保存电的方法。有一天，他用一支枪管悬在空中，用起电机与枪管连着，另用一根铜线从枪管中引出，浸入一个盛有水的玻璃瓶中，他让一个助手一只手握着玻璃瓶，马森布罗克在一旁使劲摇动起电机。这时他的助手不小心将另一只手与枪管碰上，他猛然感到一次强烈的电击，喊了起来。马森布罗克于是与助手互换了一下，让助手摇起电机，

他自己一手拿水瓶子，另一只手去碰枪管。用另一只手从充电的铁柱上引出火花。突然，手受到了一下力量很大的打击，使全身都震动了，手臂和身体产生了一种无法形容的恐怖感觉。他由此得出结论：把带电体放在玻璃瓶内可以把电保存下来。就把这个蓄电的瓶子称作“莱顿瓶”，这个实验称为“莱顿瓶实验”。

1780年，意大利科学家伽伐尼（Luigi Galvani, 1737—1798）在一次解剖青蛙时有一个偶然的发现，一只已解剖的青蛙放在一个潮湿的铁案上，当解剖刀无意中触及蛙腿上外露的神经时，死蛙的腿猛烈地抽搐了一下。伽伐尼立即重复了这个实验，又观察到同样的现象。他以严谨的科学态度，选择各种不同的金属，例如铜和铁或铜和银，接在一起，而把另两端分别与死蛙的肌肉和神经接触，青蛙就会不停地屈伸抽动。如果用玻璃、橡胶、松香、干木头等代替金属，就不会发生这样的现象。他认为这是一种生物电现象，他的《关于电对肌肉运动的作用》论文于1791年发表。

1791年意大利物理学家亚历山德罗·伏打（Alessandro Volta, 1745—1827）他用两种金属接成一根弯杆，一端放在嘴里，另一端和眼睛接触，在接触的瞬间就有光亮的感觉产生。他用舌头舔着一枚金币和一枚银币，然后用导线把硬币连接起来，就在连接的瞬间，舌头有发麻的感觉。这些实验证明：电不仅能够产生颤动，而且还会影响视觉和味觉神经。

1793年伏打总结了自己的实验，不同意伽伐尼关于动物生电的观点。他认为伽伐尼电在质上是一种物理的电现象，蛙腿本身不放电，是外来电使蛙腿神经兴奋而发生痉挛，蛙腿实际上只起电流指示计的作用。伏打在伽伐尼实验的基础上，致力研究两种不同金属的接触。他得出了新的结论，认为两金属不仅仅是导体，而且是由它们产生电流的。用伏打自己的话来说：金属是真正的电流激发者，而神经是被动的。伏打并把这种电流命名为“金属的”或“接触的”电流。伏打证明这个堆的一端带正电，另一端带负电，当时引起极大的轰动。这是第一个能人为产生稳定、持续电流的装置，为电流现象的研究提供了物质基础，也为电流效应的应用打开了前景，并很快成为进行电磁学和化学研究的有力工具，促使电学研究有一个巨大的进展。伏打的成就受到各界普遍赞赏，科学界用他的姓氏命名电动势，电动势差（电压）的单位，为“伏特”（就是伏打，音译演变的），简称“伏”。

二、电

（一）电的起源与发展

电是一种自然现象。18世纪时，西方国家开始探索电的种种现象。

美国科学家富兰克林认为，电是一种没有重量的流体，存在于所有物体中。当物体得到比正常分量多的电就带了正电；若少于正常分量，就带了负电。所谓“放电”，就是正电流向负电的过程。尽管这个理论并不完全正确，但是正电、负电两种名称被保留下来。1752年，他在一个风筝实验中，证明了空中的闪电与地面上的电是同一回事。

18世纪，蒲力斯特里与库仑于1785年揭示出静态电荷间的作用力与距离的二次方成反比的定律，奠定了静电的基本定律。

电工技术的发展主要是从18世纪末1785年库仑建立库仑定律开始的。

1800年化学电池的发明揭开了人类利用电能的序幕。意大利的伏特制成了第一个电池。

1831年，英国的法拉第利用磁场效应的变化，展示感应电流的产生。

1897年，汤姆生揭示出了原子由带正电的原子核（质子、中子）和核外带负电的电子组成， $e=1.6\times 10^{-19}\text{C}$ 。

1820 年,奥斯特发现了电流对磁针有力的作用,揭开了电学理论新的一页。同年安培确定了通有电流的线圈的作用与磁铁相似,这就指出了磁现象的本质问题。

1826 年,欧姆建立了欧姆定律。

1831 年,法拉第发现的电磁感应现象是以后电工技术的重要理论基础。

1833 年,楞次建立楞次定律。其后他致力于电机理论的研究并阐明了电机的可逆性原理。

1834 年,雅可比制造出世界上第一台电动机,从而证明了实际应用电能的可能性。

1838 年,用一台直流电动机拖动轮船,以 4km/h 的速度逆流而上和顺流而下,这是最早的实用电动机。

1844 年,楞次与焦耳分别独立确定了电流热效应定律(焦耳-楞次定律)。

1831 年,法拉第发现了磁铁同导线相对运动时,导线中有电流产生。他所发现的电磁感应定律,成为发电机的理论基础。法拉第的发现为人类开辟了一种新的能源,电力时代的大门由此开启。

1864 年,年轻的麦克斯韦利用当时数学家们在理论力学方面的研究成果,用一组偏微分方程来概括全部电磁现象,把法拉第的思想用数学语言表述出来。从此,电学、磁学、光学融合成一体,物理学完成了第三次伟大的综合。

(二) 电力特性

非物质性:看不见、无重力,电力生产只涉能量转换,不存在物质转变(或转移)。

暂态性:变化快,不能大量贮存。

连续性:发、供、用电必须同时进行,必须随时保持平衡。

重要性:与国民经济以及日常生活密切相关。

网络性:实现电力输送、使用,必须要有特定的网络(电力网)支持,且需形成闭环回路。

(三) 电流的三大效应

1. 热效应

2. 化学效应

导体溶液里有电流时,溶液里发生化学变化的现象。例如:电渡、电解、电冶金等。

3. 磁效应

(1) 电流感应磁场现象:导体中有电流时,导体周围就会产生感应磁场。

(2) 电磁力现象:电荷、电流在电磁场中所受力的总称。也有称静止电荷在电场中所受力为静电力,而称载流导体在磁场中所受力为电磁力。电工中所关注的电介质在电磁场中受到的电磁有质动力也是电磁力。

(3) 电磁感应现象:闭合电路的一部分导体在磁场做切割磁感线运动时,导体中就会产生电流。

(4) 互感现象:两个线圈放在一起,其中一线圈中的电流发生变化时,另一线圈就会产生感应电动势。

三、电力技术与电力工业发展简史

1831 年,法拉第发现电磁感应原理。

1866 年,维·西门子发明了励磁电机。

1876 年, 贝尔发明了电话。

1879 年, 爱迪生发明了电灯。

1881 年, 卢西恩·高拉德和约翰·吉布斯取得“供电交流系统”专利。

1882 年, 爱迪生建成世界上第一座发电厂。

1885 年, 制成交流发电机和变压器。

1886 年, 建成第一个单相交流送电系统。

1888 年, 制成交流感应式电动机。

1891 年, 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。

第二节 火力发电技术

一、火力发电的基本概念

自从 18 世纪发明了发电的原理之后, 科学家们便努力寻找推动导线旋转的动力, 以便发展持久且大量的发电方式来造福人类。

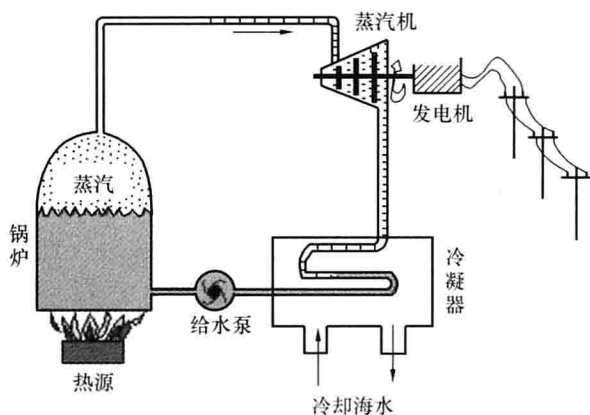


图 1-1 火力发电厂运作原理

我国电源构成是以火电为主, 火力发电厂运作原理如图 1-1 所示。截至 2004 年底, 全国总装机容量为 44 070 万 kW, 火电装机容量为 32 490 万 kW, 占我国发电装机总容量的 73.7 %。我国目前最大的火电厂是浙江北仑港电厂, 其装机容量 300 万 kW (即 3000MW), 共有 5 台 60 万 kW (600MW) 机组。

火力发电厂是利用化石燃料燃烧释放的热能发电的动力设施, 包括燃料燃烧释热和热能电能转换以及电能输出的所有设备、装

置、仪表器件, 以及为此目的设置在特定场所的建筑物、构筑物 and 所有有关生产和生活的附属设施。主要有蒸汽动力发电厂、燃气轮机发电厂、内燃机发电厂几种类型。火力发电厂的分类有:

(1) 按燃料分, 燃煤发电厂、燃油发电厂、燃气发电厂、余热发电厂, 以垃圾及工业废料为燃料的发电厂。我国的煤炭资源比较丰富, 所以燃煤火电厂是我国目前电能生产的主要方式。

(2) 按蒸汽压力和温度分, 中低压发电厂 (3.92MPa, 450℃), 高压发电厂 (9.9MPa, 540℃), 超高压发电厂 (13.83MPa, 540℃), 亚临界压力发电厂 (16.77MPa, 540℃), 超临界压力发电厂 (22.11MPa, 550℃)。

(3) 按原动机分, 凝汽式汽轮机发电厂、燃气轮机发电厂、内燃机发电厂和蒸汽-燃气轮机发电厂等。

(4) 按输出能源分, 凝汽式发电厂 (只发电), 热电厂 (发电兼供热)。

(5) 按发电厂装机容量分, 小容量发电厂 (100MW 以下), 中容量发电厂 (100 ~

250MW)，大中容量发电厂（250~1000MW），大容量发电厂（1000MW 以上）。

火力发电厂的热力循环四大件为锅炉、汽轮机、冷凝器、水泵，见图 1-2。

二、火电厂生产过程

火电厂从能量转换观点分析，其基本过程都是燃料的化学能→热能→机械能→电能。

锅炉将燃料的化学能转化为蒸汽热能，蒸汽机将蒸汽热能转化为机械能，发电机将机械能转化为电能，图 1-3 为蒸汽动力发电厂原理图。锅炉、汽轮机、发电机是常规火力发电厂的三大主机。动力设备就是指锅炉、汽轮机及其附属设备与热力系统。火电厂的实际生产过程要复杂得多，还需要很多辅助系统以维持其正常生产，如输煤系统、除灰系统，供水系统、水处理系统等，图 1-4 为凝汽式火力发电厂生产系统组合示意图。

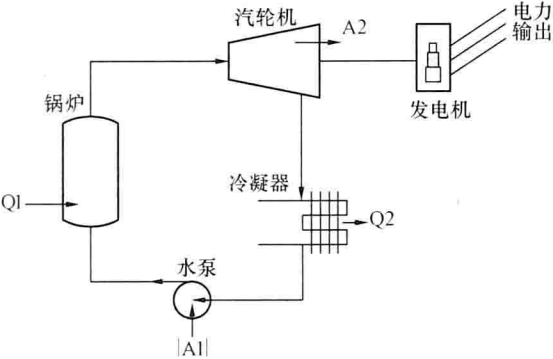


图 1-2 火力发电厂热力循环四大件

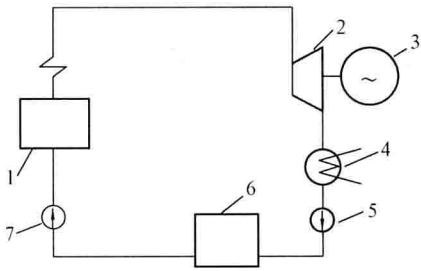


图 1-3 蒸汽动力发电厂原理图

1—锅炉；2—汽轮机；3—发电机；4—凝汽器；
5—凝结水泵；6—回热加热器；7—给水泵

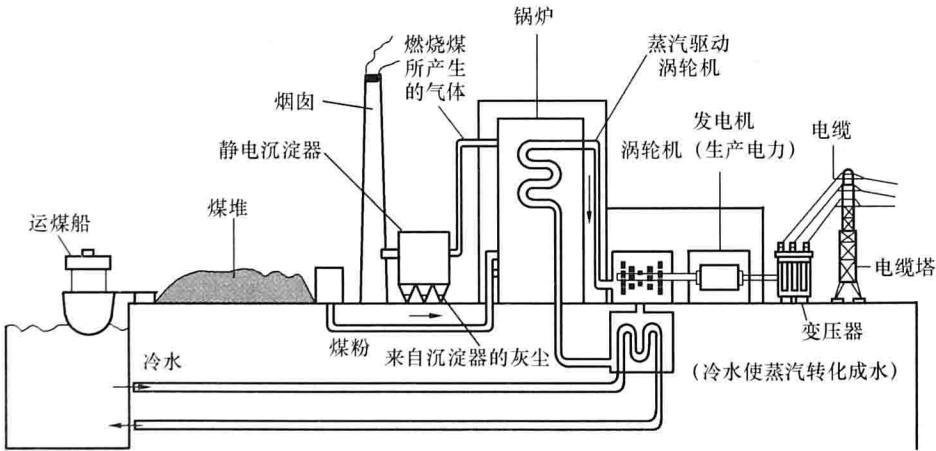


图 1-4 凝汽式火力发电厂生产系统组合示意图

(一) 锅炉

锅炉是火力发电厂中的主要热力设备之一。其作用是燃料在炉膛内燃烧将其化学能转变为烟气热能；烟气热能加热给水，水经过预热、汽化、过热三个阶段成为具有一定压力、温度的过热蒸汽。

锅炉由锅炉本体和辅助设备两大部分组成。锅炉本体实际上就是一个庞大的热交换器，由“锅”和“炉”两部分组成。由炉膛、烟道、汽水系统（其中包括受热面、汽包、联箱和

连接管道)以及炉墙和构架等部分组成的整体,称为“锅炉本体”。锅炉的辅助设备主要包括供给空气的送风机、排除烟气的引风机、煤粉制备系统以及除渣、除尘设备等。

(二) 汽轮机

汽轮机是以蒸汽为工质的旋转式机械,主要用作发电原动机,也用来直接驱动各种泵、风机、压缩机和船舶螺旋桨等,汽轮机装置在电厂中的地位如图 1-5 所示,汽轮机工作原理如图 1-6 所示。

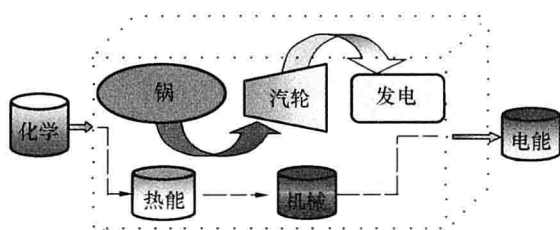


图 1-5 汽轮机装置在电厂中的地位

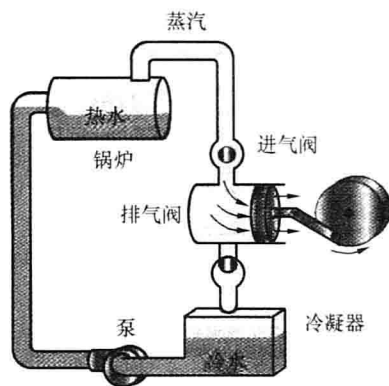


图 1-6 汽轮机工作原理图

1. 汽轮机的分类

(1) 按工作原理,可分为冲动式汽轮机和反动式汽轮机。

冲动式汽轮机是指蒸汽仅在喷嘴中进行膨胀的汽轮机,在冲动式汽轮机的动叶片中,蒸汽并不膨胀做功,而只是改变流动方向。

反动式汽轮机是指蒸汽不仅在喷嘴中,而且在动叶片中也进行膨胀的汽轮机,反动式汽轮机的动叶片上不仅受到由于气流冲击而产生的作用力,而且受到蒸汽在动叶片中膨胀加速而产生的作用力。

反动式汽轮机与冲动式汽轮机结构上最大的不同:冲动式汽轮机的动叶片出、入口侧比较薄,中间比较厚,从入口到出口,流道截面积基本不变;反动式汽轮机叶片入口侧比较厚,出口侧比较薄,流道从入口到出口横截面积逐渐缩小。

(2) 按热力特性,可分为凝汽式汽轮机、背压式汽轮机、抽汽式汽轮机、抽汽背压式汽轮机和多压式汽轮机。

凝汽式汽轮机:是指蒸汽在汽轮内膨胀做功以后,除小部分轴封漏气之处,全部进入凝汽器凝结成水的汽轮机。实际上为了提高汽轮机的热效率,减少汽轮机排汽缸的直径尺寸,将做过部分功的蒸汽从汽轮机内抽出来,送入回热加热器,用以加热锅炉给水,这种不调整抽汽式汽轮机,也统称为凝汽式汽轮机。

背压式汽轮机:排汽压力(背压)高于大气压力的汽轮机。背压式汽轮机排汽压力高,通流部分的级数少,结构简单,同时不需要庞大的凝汽器和冷却水系统,机组轻小,造价低。当它的排汽用于供热时,热能可得到充分利用,但这时汽轮机的功率与供热所需蒸汽量直接相关,因此不可能同时满足热负荷和电(或动力)负荷变动的需要,这是背压式汽轮机用于供热时的局限性。发电用的背压式汽轮机通常都与凝汽式汽轮机或抽汽式汽轮机并列运行或并入电网,用其他汽轮机调整和平衡电负荷。对于驱动泵和通风机等机械的背压式汽轮

机, 则用其他汽源调整和平衡热负荷。发电用的背压式汽轮机装有调压器, 根据背压变化控制进汽量, 使进汽量适应生产流程中热负荷的需要, 并使排汽压力控制在规定的范围内。

抽汽式汽轮机: 从中间级抽出蒸汽供给热用户的汽轮机。按抽汽数目的不同, 抽汽式汽轮机分为单抽汽和双抽汽两种。单抽汽的通流部分可分为高压和低压两段。双抽汽的通流部分分成高压、中压和低压三段。每段设有单独的汽缸, 构成分缸布置, 或几段合在一个汽缸内, 构成单缸布置。段间有抽汽口, 部分蒸汽经由此口抽出, 其余则经一可调节流量的机构进入下一段。常用的流量调节机构有调节阀和可以改变环形通流面积的旋转隔板两种。

抽汽式汽轮机运行时既要供电 (或动力), 又要供热。当抽汽量为零时便与凝汽式汽轮机相同, 进入汽轮机的蒸汽除一部分流入给水加热器加热锅炉给水外, 其余蒸汽都流经各级后进入凝汽器。当抽汽量不为零时, 进入汽轮机的蒸汽先流过高压段各级做功, 然后一部分蒸汽经由抽汽口抽出供热; 另一部分蒸汽通过调节阀或旋转隔板流经其余各级, 继续做功, 最后进入凝汽器。这时如电负荷下降, 则汽轮机的转速上升, 调速器动作, 高压调节阀和抽汽调节阀 (或旋转隔板) 均关小, 使功率下降, 保持抽汽量不变。当热负荷增大时, 抽汽压力降低, 调压器动作, 高压调节阀开大, 抽汽调节阀 (或旋转隔板) 关小。这样, 高压段的功率增大, 低压段的功率减小, 两者相抵, 使汽轮机的功率保持不变, 而供热的抽汽量增加。调速器和调压器能共同控制高压段和低压段的调节阀或旋转隔板, 以同时满足用户对热负荷和电负荷的需求。

(3) 按主蒸汽压力, 可分为低压汽轮机 (0.12~1.5MPa)、中压汽轮机 (2~4MPa)、高压汽轮机 (6~10MPa)、超高压汽轮机 (12~14MPa)、亚临界压力汽轮机 (16~18MPa)、超临界压力汽轮机 (>22.1MPa) 和超超临界压力汽轮机 (>32MPa)。

2. 汽轮机的组成及其工作过程

汽轮机由汽轮机本体和汽轮机辅助设备两部分组成。汽轮机本体由静止部分、转动部分、主汽门、调节汽门等组成。汽轮机辅助设备主要包括凝汽设备、回热加热设备、调节保安装置、供油系统等。汽轮机本体及其辅助设备由管道和阀门连成一个整体, 称为汽轮机设备, 汽轮机设备组合示意图如图 1-7 所示。汽轮机和发电机的组合称为汽轮发电机组。

汽轮机本体由固定部分 (静子) 和转动部分 (转子) 组成。固定部分包括汽缸、隔板、喷嘴、汽封、紧固件和轴承等。转动部分包括主轴、叶轮或轮鼓、叶片和联轴器等。固定部分的喷嘴、隔板与转动部分的叶轮、叶片组成蒸汽热能转换为机械能的通流部分。汽缸是约束高压蒸汽不得外泄的外壳。汽轮机本体还设有汽封系统。

(三) 热力系统及辅助设备

1. 汽轮机的调节系统

汽轮机的调节系统是根据用电负荷的大小

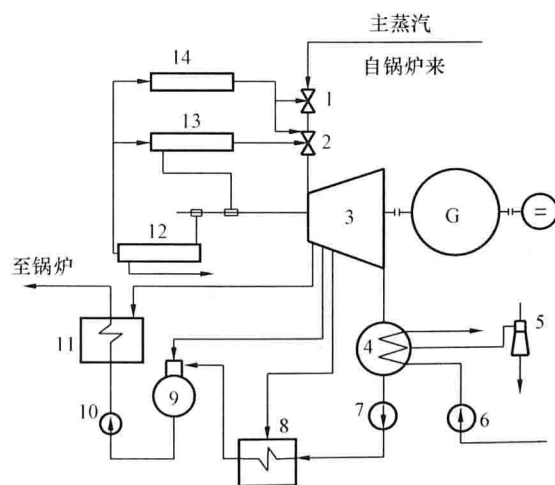


图 1-7 汽轮机设备组合示意图

- 1—主汽门; 2—调节阀; 3—汽轮机; 4—凝汽器; 5—抽汽器; 6—循环水泵; 7—水泵凝结; 8—低压加热器; 9—除氧器; 10—给水泵; 11—高压加热器; 12—供油系统; 13—调节装置; 14—保护装置

自动改变进汽量，调整汽轮机的输出功率以满足用户数量上的需求；控制转速在额定范围以保证供电质量。

2. 汽轮机的保护装置

为保证汽轮发电机组的安全运行，设有必要的保护系统，在事故或异常情况下及时切断汽源（关闭高中压主汽门和调节汽门），系统主要由超速（110%~114%额定转速）保护和参数超限保护组成。

汽轮机部分的辅助设备有凝汽器、水泵、回热加热器、除氧器等。把锅炉、汽轮机及其辅助设备按汽水循环过程用管道和附件连接起来所构成的系统，叫作发电厂的热力系统。

发电厂的热力系统按照不同的使用目的分为“原则性热力系统”、“全面性热力系统”和“汽轮机组热力系统”等。

（四）发电机

在火力发电厂中，同步发电机是将机械能转变成电能的唯一电气设备。因而将一次能源（水力、煤、油、风力、原子能等）转换为二次能源的发电机，现在几乎都是采用三相交流同步发电机。在发电厂中的交流同步发电机，电枢是静止的，磁极由原动机拖动旋转。其励磁方式为发电机的励磁线圈 FLQ（即转子绕组）由同轴的并励直流励磁机经电刷及集电环来供电。

同步发电机由定子（固定部分）和转子（转动部分）两部分组成。定子由定子铁心、定子线圈、机座、端盖、风道等组成。定子铁心和线圈是磁和电通过的部分，其他部分起着固定、支持和冷却的作用。转子由转子本体、护环、心环、转子线圈、集电环、同轴励磁机电枢组成。定子大体上与异步电动机相同，定子铁心由 0.35mm，0.5mm 或其他厚度的电工钢片

叠成。定子外径较小时，采用圆形冲片，当定子外径大于 1m 时，采用扇形冲片。定子铁心固定在机座上，机座常由钢板焊接而成，它必须有足够的强度和刚度，同时还必须满足通风和散热的需要。汽轮发电机的电压较高，要求定子绕组有足够的绝缘强度，一般采用 B 级或 F 级绝缘。为了减少高速旋转引起的离心力，一般采用隐极式转子，其外形常做成一个细长的圆柱体。转子铁心表面圆周上铣有许多槽，励磁绕组嵌放在这些槽内。励磁绕组为同心式绕组，以铜线绕制，

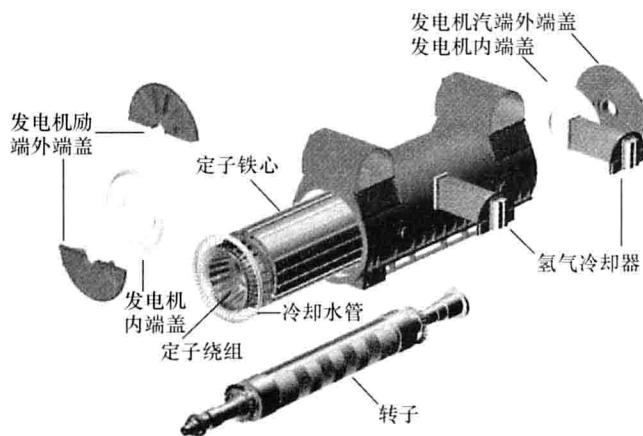


图 1-8 发电机主要部件

并用不导磁的槽楔将绕组紧固在槽内，发电机主要部件如图 1-8 所示。

第三节 电力传输技术

一、电力传输的基本概念

1882 年，爱迪生建成世界上第一座正规的发电厂，装有 6 台直流发电机，共 662kW

(900hp)，通过 110V 地下电缆供电，最大送电距离 1.6km，供 6200 盏白炽灯照明，完成了初步的电力工业技术体系。

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，距离短的缺点，也比单相交流更加经济，实现了远距离供电。电力不再仅仅用于照明，而且在工业和生活中得到广泛应用。

送电过程：发电机→升压→高压输电线路→降压→配电，如图 1-9 所示。

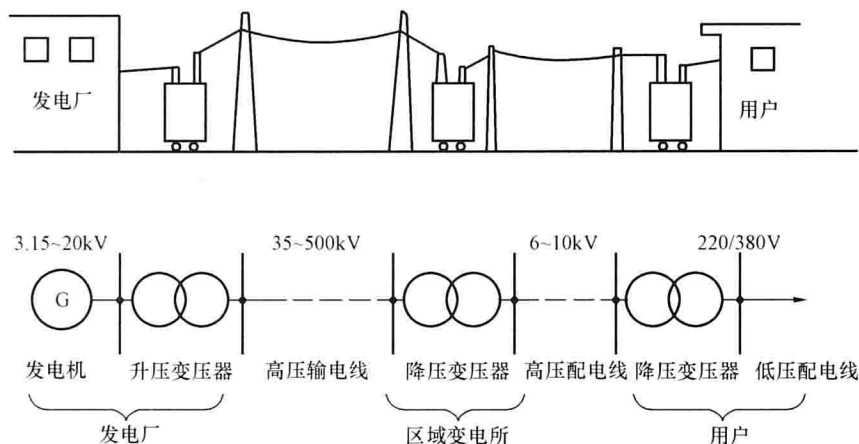


图 1-9 送电过程

由各级电压的电力线路将发电厂、变电所和电力用户联系起来的一个发电、输电、变电、配电和用电的整体称为电力系统。电力系统示意图如图 1-10 所示。

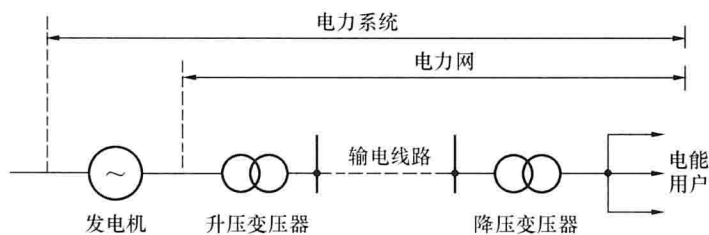


图 1-10 电力系统示意图

电力系统的运行特点：① 电能的生产、输送、分配和消费是同时进行的；② 系统中发电机、变压器、电力线路和用电设备等的投入和撤除都是在一瞬间完成的，所以，系统的暂态过程非常短暂。

电力系统中各级电压的电力线路及其联系的变电所，即连接发电厂和用户的中间环节，称为电力网或电网。电网以电压等级来区分，例如 10kV 电网。电网示意图如图 1-11 所示。

动力系统、电力系统和电力网示意图如图 1-12 所示。它由各种电压等级的输配电线路和变电所组成。电力网按其功能可分为输电网和配电网。输电网是电力系统的主网，它是由 35kV 及以上的输电线和变电所组成。配电网是由 10kV 及其以下的配电线路和配电变压器组成。电力网的电压等级：高压（1kV 以上的电压），低压（1kV 以下的电压），安全电压（50V 以下的电压）。

输电和配电设施都包括变电站、线路等设备。所有输电设备连接起来组成输电网。从输电网到用户之间的配电设备组成的网络，称为配电网。它们有时也称为输电系统和配电系