

高职高专机电类专业统编教材
全国水利水电高职教研会组编

FADIANCHANG DIANQI SHEBEI

发电厂电气设备

谢珍贵 汪永华 主编



黄河水利出版社

高职高专机电类专业统编教材
全国水利水电高职教研会组编

发电厂电气设备

主 编	谢珍贵	汪永华
副主编	李文才	黄德建
主 审	袁兴惠	

黄河水利出版社

内容提要

本书是高职高专机电类专业统编教材,是根据全国水利水电高职教研会制定的《发电厂电气设备》课程教学大纲编写完成的。全书共分16章,主要介绍发电厂及变电所一次部分和二次部分的知识。具体内容包括:绪论、电弧及电气触头的基本理论、电气设备的及载流导体、电气主接线、厂用电及接线、配电装置、接地装置、电力系统短路及其计算、电气设备的选择、电气二次基本知识、测量监察回路、操作电源、断路器控制回路、信号系统、同期装置和安装接线图等。本书在编写过程中能有效针对高职高专院校的特点和教学要求,本着理论适度够用、强化实践技能的原则,对部分理论内容进行了删减,增加了新设备、新技术的介绍。

本书可作为高职高专电气工程类专业的教材和职业技术培训用书,也可供从事发电厂及变电所设计、运行、安装检修以及管理等工作的有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

发电厂电气设备/谢珍贵,汪永华主编. —郑州:黄河水利出版社,2009.1

高职高专机电类专业统编教材

ISBN 978-7-80734-524-4

I. 发… II. ①谢…②汪… III. 发电厂-电气设备-高等学校:技术学校-教材 IV. TM621.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 008325 号

组稿编辑:王路平 电话:0371-66022212 E-mail:hhslwlp@126.com
简 群 66026749 w_jq001@163.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路11号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhslcbs@126.com

承印单位:黄委会设计院印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:19.5

字数:450千字

版次:2009年1月第1版

印数:1—4 100

印次:2009年1月第1次印刷

定价:33.00元

目 录

前 言

第 1 章 绪 论	(1)
1.1 电力工业发展概况及前景	(1)
1.2 电力系统基本概念	(3)
1.3 电气设备概述	(6)
习题与思考题	(9)
第 2 章 电弧及电气触头的基本理论	(10)
2.1 电弧的形成和熄灭	(10)
2.2 直流电弧的特性及熄灭	(12)
2.3 交流电弧的特性及熄灭	(15)
2.4 灭弧方法	(17)
2.5 电气触头	(19)
习题与思考题	(22)
第 3 章 电气设备及载流导体	(24)
3.1 高压开关电器	(24)
3.2 互感器	(41)
3.3 母线、电缆及绝缘子	(52)
3.4 限流电器	(58)
3.5 低压开关电器	(61)
习题与思考题	(68)
第 4 章 电气主接线	(70)
4.1 电气主接线概述	(70)
4.2 电气主接线的基本形式	(73)
4.3 主变压器的选择	(83)
4.4 电气主接线方案的技术经济比较	(86)
4.5 电气主接线方案实例分析	(88)
习题与思考题	(92)
第 5 章 厂用电及接线	(93)
5.1 厂用负荷	(93)
5.2 厂用变压器的选择	(95)
5.3 厂用电接线	(97)

5.4 厂用电接线实例分析	(102)
习题与思考题	(105)
第6章 配电装置	(106)
6.1 配电装置概述	(106)
6.2 屋内配电装置	(109)
6.3 屋外配电装置	(117)
6.4 主变压器场地布置	(122)
习题与思考题	(125)
第7章 接地装置	(126)
7.1 人体触电的概念及机理	(126)
7.2 保护接地及保护接零	(128)
7.3 接地电阻的计算及测量	(132)
7.4 接地工程	(136)
习题与思考题	(138)
第8章 电力系统短路及其计算	(140)
8.1 短路的基本概念	(140)
8.2 标么值	(142)
8.3 电力系统各元件电抗值的计算	(144)
8.4 短路电流的计算程序	(148)
8.5 无限大容量电力系统供电的三相短路	(150)
8.6 发电机供电电路的三相短路	(154)
8.7 用运算曲线法计算短路电流	(158)
8.8 对称分量法在不对称短路计算中的应用	(163)
8.9 序阻抗和序网络图	(165)
8.10 不对称短路电流的计算	(169)
习题与思考题	(178)
第9章 电气设备的选择	(180)
9.1 电器和载流导体的发热	(180)
9.2 电器和载流导体的电动力效应	(183)
9.3 电气设备选择的一般条件	(185)
9.4 高压开关电器的选择	(189)
9.5 母线、电缆和绝缘子的选择	(194)
9.6 互感器的选择	(204)
习题与思考题	(207)
第10章 电气二次基本知识	(210)
10.1 原理接线图	(210)
10.2 展开接线图	(213)
10.3 安装接线图	(213)

习题与思考题	(214)
第 11 章 测量监察回路	(215)
11.1 互感器的配置	(215)
11.2 测量回路	(216)
11.3 交流绝缘监察回路	(217)
习题与思考题	(219)
第 12 章 操作电源	(220)
12.1 概 述	(220)
12.2 蓄电池	(222)
12.3 蓄电池直流操作系统	(226)
12.4 整流操作的直流系统	(232)
12.5 直流绝缘监察和电压监察装置	(234)
习题与思考题	(238)
第 13 章 断路器控制回路	(239)
13.1 概 述	(239)
13.2 常用控制开关	(240)
13.3 常用断路器控制回路	(243)
习题与思考题	(253)
第 14 章 信号系统	(255)
14.1 概 述	(255)
14.2 信号回路的构成	(256)
14.3 常用信号装置	(258)
14.4 新型信号装置	(264)
习题与思考题	(266)
第 15 章 同期装置	(267)
15.1 概 述	(267)
15.2 同期电压的引入	(268)
15.3 手动准同期接线	(271)
习题与思考题	(277)
第 16 章 安装接线图	(278)
16.1 二次回路编号	(278)
16.2 屏面布置图	(281)
16.3 端子排图	(283)
16.4 屏背面接线图	(287)
习题与思考题	(291)
附 录	(292)
附录 1 短路电流运算曲线数字表	(292)
附录 2 真空断路器技术参数	(297)

附录 3	隔离开关技术参数	(298)
附录 4	电流互感器技术参数	(299)
附录 5	电压互感器技术参数	(302)
附录 6	避雷器技术参数	(303)
参考文献		(304)

第 1 章 绪 论

教学要求

了解我国电力工业发展概况;掌握电力系统的基本概念及发电厂、变电站的常见类型;了解发电厂、变电站常用电气设备;掌握额定电压的确定方法。

1.1 电力工业发展概况及前景

电能是现代人们生产和生活的重要能源。电能可由其他形式的能转换而来,也可简便地转换成其他形式的能(例如将电能转换成光能、热能、机械能、化学能等)。电能的输送、分配、调节、控制和测试等都简单易行,有利于实行生产过程的自动化,因此在工矿企业、交通运输、科学技术、国防建设和人民生活中得到了广泛应用。电力工业是国民经济极重要的部门,是现代化建设的基础。它为国民经济的其他各部门快速、稳定地发展提供足够的动力,其发展水平是反映国家经济发达程度的重要标志。

据相关资料记载,世界上第一个发电厂是于 1875 年在美国纽约建造的,装机容量为 30 kW。自此以后,随着生产、科学技术和城市的发展与进步,电力工业得到了迅速的发展,尤其是近二三十年来,发展更为迅速。一些工业发达国家几乎是每 7~10 年装机容量就要增长一倍。据相关统计,到 20 世纪 80 年代初,全世界总装机容量已超过 5.2 亿 kW,最高交流输电电压已超过 1 000 kV,最高直流输电电压已超过 ± 500 kV,最远输电距离已超过 1 000 km。并且从世界各国经济发展的过程看,国民经济每增长 1%,就要求电力工业增长 1.3%~1.5%,即在经济发展过程中,电力必须先行,且应具有较高的发展速度。

我国能源资源极其丰富,全国水能资源的蕴藏量为 6.8 亿 kW,其中可开发利用的为 3.7 亿 kW,居世界第一位。此外,我国煤炭、石油、天然气等天然能源储量也十分丰富,这些优越的自然条件为我国电力工业的发展提供了良好的基础。但是,我国电力工业自 1882 年在上海建立第一座火电厂,1912 年在昆明滇池石龙坝建立第一座水电站开始,至 1949 年全国解放,由于发展缓慢,基础薄弱,经过 67 年发展装机容量只达到 185 万 kW,年发电量 43 亿 kWh,居世界第 25 位。

新中国成立以后,电力工业的发展可以分为 1950~1978 年和 1978 年以后两个阶段。在 1950~1978 年期间,新中国的建立为我国电力工业的发展创造了有利条件。1953~1957 年,在恢复原有发供电设备的基础上,建设了一批新电厂,每年平均装机 50 万 kW。1958~1965 年,每年平均装机达 150 万 kW 以上。在此期间,装机容量和发电量的平均年增长率分别为 17% 和 18%,电力工业超前于国民经济的发展,电力弹性系数达到 2.0 以上(电力弹性系数 = 电能生产增长率/国民经济增长率),保证了工农业的迅速发展。1966~1975 年,电力工业未能以应有的速度发展,电力弹性系数下降到 1.3 以下,不能适应国民经济的发展需要,从 1970 年起出现缺电的局面。

1978 年以来,中国开始实行改革开放政策,电力工业重新得到持续发展,并以前所未有的速度增长。每年平均装机容量达到 450 万 kW 以上。1990 年,全国总计发电装机容量为 1.35 亿 kW,年发电量达到 6 105 亿 kWh。截至 2000 年,全国装机容量已达 3.19 亿 kW,年发电量超过了 13 684 亿 kWh。目前,比较完备的电力工业体系已经初步建立,技术装备水平还在逐步提高。除我国台湾省和港、澳地区外,已经形成华北、东北、华东、华中、西北、川渝和南方联营等 7 个跨省、市区电网,已经实现跨省、跨大区电网的互联。1949 年中国的输电线路主要是 110 kV 及以下的电压等级,仅东北有 1 条 220 kV 电压等级的线路。到目前为止,中国电网除已有的 220 kV 各省骨干线路外,还建成了 330 ~ 500 kV 的各大区域电网输电主网架。1989 年,中国第一条 ± 500 kV 直流输电线路(葛洲坝—上海,1 080 km)建成投入运行,实现了华中电力系统与华东电力系统互联,形成中国第一个跨大区的联合电力系统。2003 年我国的 750 kV 超高压输变电工程在西北地区开始建设,2005 年 10 月全长 146 km 的青海官亭—兰州东 750 kV 输电示范工程投运,这是我国首条电压等级最高、世界海拔最高的输变电工程。2003 年全国总装机容量达到 38 450 万 kW,年发电量 19 080 亿 kWh,从 1996 年起我国发电装机容量和年发电量均居世界第二位,2004 年全国总装机容量达到 44 700 万 kW,2004 年电力弹性系数达到 1.6。这一切都说明我国电力工业建设成就是巨大的。

针对我国能源结构的实际情况,我国的电源发展实施了“优先开发水电,大力发展火电,适当发展核电,积极发展新能源发电”的方针,使电源发展呈现多种能源互补的格局。

1925 年中国自行设计施工的第一座水电站——四川泸县洞窝水电站发电,装有一台 140 kW 机组。1936 年,石龙坝水电站已装水轮机 6 台,总容量 2 200 kW,是当时中国自己经营管理的最大水电站。中华人民共和国成立以后,我国的水电建设得到了充分的重视,随着三峡水电站的建设,我国的水电装机容量在世界上跃居第一,三峡水电站安装的国产 70 万 kW 水轮发电机已投入运行。

20 世纪 50 年代,中国建设的火电厂一般采用 6 000 ~ 25 000 kW 中压机组或高压机组。1956 年,第一台国产 6 000 kW 机组在安徽淮南田家庵电厂投入运行。1986 年,中国制造成功第一台 60 万 kW 机组安装于安徽平圩电厂,并于 1988 年发电。现在,国产 30 万 ~ 60 万 kW 火电机组已成为主力机组。

至 2004 年年底,我国最大的汽轮发电机组容量 90 万 kW,安装在外高桥第二发电厂;最大的水轮机组容量 70 万 kW,安装在三峡水力发电厂;最大的核电机组容量 100 万 kW,安装在岭澳核电厂。目前我国最大的火力发电厂是北仑港电厂,装机容量 300 万 kW,单机容量 60 万 kW;最大的水力发电厂是三峡水力发电厂,总装机容量 1 820 万 kW,单机容量 70 万 kW,年均发电量 847 亿 kWh;我国最大的核能发电厂是岭澳核电厂,装机容量 200 万 kW,单机容量 100 万 kW;最大的抽水蓄能电厂是广州抽水蓄能电厂,装机容量 240 万 kW,单机容量 30 万 kW。

目前,我国电力工业已开始进入“大机组”、“大电网”、“超高压”、“高自动化”以及“核电”的发展新阶段,科技水平不断提高,调度自动化、光纤通信、计算机控制等高新技术已在电力系统中得到了广泛应用。现在,我国已经掌握了先进的 30 万 kW、50 万 kW 和超临界 60 万 kW 火电机组、100 万 kW 级核电机组和 500 kV 交直流输变电工程的设

计、施工、调试和运行技术,掌握了各类大坝的筑坝技术和大型电站的设计、施工技术,各大电网的计算机监控调度系统进入实用化阶段,电网运行和调度实现了自动化、现代化。

1.2 电力系统基本概念

1.2.1 电力系统及电力网

1.2.1.1 电力系统的概念

在电力工业发展的初期,发电厂多建设在用户附近,规模很小,而且是孤立运行的。随着城市的发展和科学技术的进步,用户的用电量和发电厂的装机容量都在不断增大。由于电能生产是一种能量形态的转换,发电厂必须或需要建设在动力资源所在地,而蕴藏动力资源的地区与电能用户之间往往隔有一定距离。例如,水能资源集中在河流落差较大的山丘地区,热能资源则集中在盛产煤、石油、天然气的矿区,而大城市、大工业中心等用电单位则由于原材料供应、产品协作配套、运输、销售、农副产品供应等原因以及各种地理、历史条件的限制,往往与动力资源所在地相距较远,为此就必须架设输电线路将电能送往负荷中心。同时,要实现大容量、远距离输送电能,还必须建设升压变电站和架设超高压输电线路。当电能输送到负荷中心后,必须经过降压变电站降压,再经过配电线路,才能向各类用户供电。

随着生产的发展和用电量的增加,发电厂、输电线路、配电线路、升压变电站、降压变电站等数目都将不断增加。当把一个个地理上分散在各处、孤立运行的发电厂通过输电线路、变电站等相互连接形成一个“电”的整体以供给用户用电时,就形成了现代的电力系统。换句话说,这种由发电机、升压和降压变电站及用电设备通过输配电线路连接起来的整体,称为电力系统。电力系统加上发电机的原动机(如汽轮机、水轮机等)、原动机的力能部分(如热力锅炉、水库、原子能反应堆等)以及配套设施(如用热设备)等,则称为动力系统。此外电力系统中由各级电压等级的输配电线路、升压和降压变电站及其所属的电气设备所组成的部分称为电力网。动力系统、电力系统和电力网三者的联系与区别如图 1-1 所示。

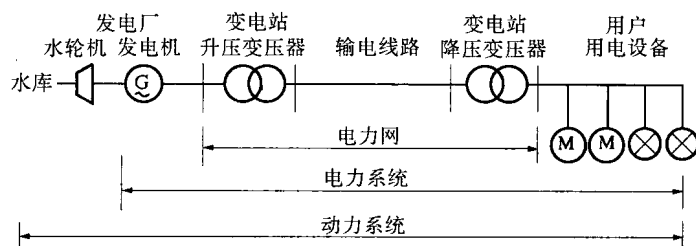


图 1-1 电力系统和动力系统示意图

1.2.1.2 电力系统的优越性

随着电力工业的不断发展,电力系统的容量不断增加、电压等级不断提高,所跨的区域不断扩大,形成强大的联合电力系统。联合电力系统具有以下优越性:①可以提高电力

网运行的可靠性;②可以保证供电的电能质量;③可以提高电气设备的利用率,减少系统的备用总容量;④便于采用技术经济性能好的大机组,提高效率;⑤可以充分利用各种自然资源,发挥各类发电厂的特点,提高电力系统的整体经济性。

1.2.1.3 电力生产的特点

电力生产具有以下特点:①电能生产、输送、分配、使用的同时性;②运行方式改变引起电磁暂态和机电暂态的短暂性;③对国民经济发展和人民生活的重要性。

1.2.1.4 电力系统的运行要求

为了保证向用户提供电能,电力系统的运行必须满足以下要求:①必须满足用户的最大要求;②保证供电的可靠性;③保证电能质量;④保证电力系统运行的经济性;⑤保证运行人员和设备安全。

1.2.2 发电厂(站)的基本类型

发电厂是电力系统的中心环节,根据一次能源形式的不同,可以分为火力发电厂、水力发电厂、核能发电厂、风力发电站、潮汐发电站等,此外还有地热发电、太阳能发电、垃圾发电和沼气发电等。按发电厂的规模和供电范围划分,又可分为区域性发电厂、地方发电厂和自备专用发电厂等。

1.2.2.1 火力发电厂

火力发电厂是将燃料的化学能转换成电能的工厂,常见的燃料是煤、重油和天然气。火力发电厂中的原动机大都为汽轮机,现在柴油机和燃气轮机都得到了应用。火力发电厂又可以分为以下几种。

(1)凝汽式火力发电厂(通常称为火电厂)。燃料在炉膛内燃烧发出热量,被锅炉本体内的水吸收后产生蒸汽,送到汽轮机,带动发电机发出电能。已做过功的蒸汽进入汽轮机末端的凝汽器被凝结成水后再送回锅炉。凝汽式电厂中的工质在发电过程中经历了水→汽→水的反复循环,从而实现燃料的化学能→热能→机械能→电能的转换过程。在凝汽器中,大量的热量被冷却水带走,所以效率较低,只有30%~40%,宜建在燃料产地。

(2)供热式火力发电厂(通常称为热电厂)。与火电厂不同的是,热电厂把汽轮机中部分做过功的蒸汽,从汽轮机中间段中抽出来直接供给热用户,或经热交换器将水加热后,把热水供给用户。这种既发电又供热的火力发电厂称为热电厂,这样就减少了被冷却循环水带走的热量损失,从而提高了效率,现代热电厂的总效率可高达60%~70%,一般建在大城市及工业区附近。

1.2.2.2 水力发电厂(通常称为水电厂)

水电厂是将水的位能和动能转换为电能的工厂。水电厂中发电机的原动机是水轮机,水流冲击水轮机旋转,带动发电机发电。按取水方式的不同,水电厂可以分为以下几种:

(1)堤坝式水电厂。在河流上的适当位置上修建水坝,形成水库,利用坝的上下游水位较大的落差,引水发电。堤坝式水电厂分为坝后式和河床式两种。坝后式水电厂厂房建筑在大坝的后面,不承受水的压力,适用于高、中水头的水电厂;河床式水电厂的厂房与大坝联合成一体,厂房是大坝的一个组成部分,要承受水的压力,故适用于中、低水头的水

电厂。

(2) 径流式水电厂。利用有较高水位落差的急流江河建坝,但不形成水库直接将水引入水轮机发电。这种水电厂只能按天然江河的水流量及水头落差来发电,受季节影响较大,如长江中游的葛洲坝水电厂。

(3) 抽水蓄能电厂。这是一种特殊形式的水力发电厂,由高落差的上、下水库和水轮机—发电机—抽水机的可逆机组构成。抽水蓄能电厂可以实现对电能的调节。当系统处于低负荷运行时,电厂利用系统富余的电力将下水库的水抽到上水库中储存能量,此时机组按电动机—水泵方式工作;待电力系统处于高负荷、电力不足时,上水库放水释放能量发电,此时机组按水轮机—发电机的方式工作。抽水蓄能电厂可以作调频、调相和系统的备用容量,一般可与发电出力较稳定的核电厂配合设置。

1.2.2.3 核能发电站

核能的利用是现代科学技术的一项重大成就。自 1956 年英国建成了世界上第一座全尺寸、商业规模的科尔德霍尔 (Calder Hall) 核能发电站至今,全世界已有 20 多个国家先后建成了数百座核电站。

核能发电的基本原理是利用核燃料在反应堆内产生核裂变(即所谓链式反应)释放出大量热能,由冷却剂(水或气体)带出,在蒸汽发生器中将水加热为蒸汽,然后与一般火电厂一样,用蒸汽推动汽轮机,再带动发电机发电。冷却剂在把热量传给水后,又被泵打回反应堆里去吸热,这样反复使用,不断地把核裂变释放的热能引导出来。核电站与火电厂的主要区别是用核反应堆代替了蒸汽锅炉,1 kg 核燃料铀 235 约等于 2 700 t 标准煤发出的电能。

1.2.2.4 其他类型发电站

利用其他一次性能源发电的还有风力发电、潮汐发电、沼气发电、太阳能发电等。这些发电站的容量一般不大,是电力系统的一种补充,但这些电站在特定情况下,尤其是在交通不便的偏僻农村,能发挥很大的作用。

1.2.3 变电站的基本类型

变电站是联系发电厂和用户的中间环节,起着变换和分配电能的作用。从发电厂送出的电能一般经过升压后远距离输送,再经过多次降压后用户才能使用,所以电力系统中的变电站的数量多于发电厂。据一般统计,系统变压器的容量一般是发电机容量的 7 ~ 10 倍。根据变电所在电力系统中的地位与供电范围,可以将其分为以下几类:

(1) 枢纽变电站。枢纽变电站位于电力系统的枢纽点,汇集着电力系统中多个大电源和多回大容量的联络线,连接着电力系统的多个大电厂和大区域。这类变电站的电压一般为 330 ~ 500 kV。枢纽变电站在系统中的地位非常重要,若发生全所停电事故,将引起系统解列,甚至系统崩溃的灾难局面。

(2) 中间变电站。中间变电站的电压等级多为 220 ~ 330 kV,高压侧与枢纽变电站连接,以穿越功率为主,在系统中起交换功率的作用或使高压长距离输电线路分段。它一般汇集 2 ~ 3 个电源,其中压侧一般是 110 ~ 220 kV,供给所在的多个地区用电并接入一些中小型电厂。这样的变电站主要起中间环节作用,当全所停电时,将引起区域电网解列,

影响面也比较大。

(3)地区变电站。地区变电站的高压侧一般为 110 ~ 220 kV, 低压侧一般为 10 ~ 110 kV, 主要对地区用户供电, 所以这类变电站是一个地区或城市的主要变电站, 若全站停电, 仅该地区中断供电, 影响面较小。

(4)企业变电站。企业变电站是大、中型企业的专用变电站, 电压等级 35 ~ 220 kV, 1 ~ 2 回进线。

(5)终端变电站。终端变电站位于配电线路的终端, 接近负荷处, 高压侧 10 ~ 110 kV 引入线, 经降压后向用户供电。

1.3 电气设备概述

1.3.1 主要电气设备

发电厂电气部分的主要工作, 是根据负荷变化的要求, 起动、调整和停止机组; 对电路进行必要的切换; 不断监视主要设备的工作; 周期性地检查和维护主要设备; 定期检修设备及迅速消除发生的故障等。以上所有的工作都是靠操作主要电气设备来完成的。按主要电气设备作用的不同, 可以分成以下两大类。

1.3.1.1 一次设备

直接参与生产、转换和输配电能的设备称为电气一次设备。它们主要有以下几种:

(1)生产和转换电能的设备。如发电机、电动机、变压器等, 它们是直接生产和转换电能的主要电气设备。

(2)接通或断开电路的开关电器。为满足运行、操作或事故处理的需要, 将电路接通或断开的设备, 如断路器、隔离开关、接触器、熔断器等。

(3)限制故障电流和防御过电压的电器。如用于限制短路电流的电抗器和防御过电压的避雷器、避雷针、避雷线等。

(4)接地装置。用来保证电力系统正常工作的工作接地或保护人身安全的保护接地, 它们均与埋入地中的金属接地体或接成接地网的接地装置连接。

(5)载流导体。电气设备必须通过载流导体按照生产和分配电能的顺序或者说按照设计要求连接起来, 常见的载流导体如母线、架空线、电力电缆等。

(6)补偿装置。如调相机、电力电容器、消弧线圈、并联电抗器等。它们分别用来补偿系统的无功功率、补偿小电流接地系统中的单相接地电容电流、吸收系统过剩的无功功率等。

(7)仪用互感器。如电压互感器和电流互感器, 它们将一次回路中的高电压和大电流变成低电压和小电流, 供给测量仪表和继电保护装置用。

1.3.1.2 二次设备

对一次设备和系统的运行状况进行测量、控制、保护和监察的设备称为二次设备。二次设备包括:

(1)测量表(计)。如电压表、电流表、功率表、电能表等, 用于测量电路中的电气

参数。

(2)继电保护和自动装置。如各种继电器和自动装置等,用于监视一次系统的运行状况,迅速反映异常和事故,作用于断路器,进行保护控制。

(3)操作电器。如各类型的操作把手、按钮等,实现对电路的操作控制。

(4)直流电源设备。如蓄电池组、直流发电机、硅整流装置等,供给控制、保护用的直流电源及厂用直流负荷和事故照明用电等。

1.3.2 电气设备的额定参数

用以表明电气设备在一定条件下长期工作的最佳运行状态的特征量的值叫做额定参数。各类电气设备的额定参数主要有额定电压、额定电流和额定容量等。

1.3.2.1 额定电压

电气设备的额定电压是按长期正常工作时具有最佳的技术性能和最大经济效果所规定的电压。为使电气设备实现标准化和系列化生产,国家规定了标准电压系列,见表 1-1。

表 1-1 我国交流电力网和电气设备的额定电压值 (线间电压,单位:kV)

用电设备额定电压与 电力网额定电压	发电机额定电压	变压器额定电压		
		原边绕组		副边绕组
		接电力网	接发电机	
0.22	0.23	0.22	0.23	0.23
0.38	0.4	0.38	0.4	0.4
3	3.15	3	3.15	3.15 及 3.3
6	6.3	6	6.3	6.3 及 6.6
10	10.5	10	10.5	10.5 及 11
35		35		38.5
60		60		66
110		110		121
220		220		242
330		330		363
500		500		550
750		750		825

1. 电力网和用电设备的额定电压

设发电机在额定电压下运行,给电力网 AB 部分供电。由于线路有电压损失,所以负荷 1~5 点所受的电压各不相同,线路首端电压 U_a 大于末端电压 U_b 。若负荷沿线路分布均匀,则电压沿线路分布情况大致如图 1-2 中斜线 ab 所示。各处用电设备所受的电压不

同,也不可能按上述分布电压制造,而且电力网各点的电压也是经常变化的,所以用电设备的额定电压只能力求接近于实际工作电压。通常用线路首、末两端电压的算术平均值 $(U_a + U_b)/2$ 作为用电设备的额定电压,这个电压也即是该电力网的额定电压,用电设备的额定电压就等于其所在电力网的额定电压。

目前,我国电力网的额定电压等级有 0.4 kV、3 kV、6 kV、10 kV、35 kV、60 kV、110 kV、220 kV、330 kV、500 kV、750 kV 等。

一般城市中对中、小企业的供电,可采用 10 kV 电压等级的配电网;对大、中企业的供电,可采用 35 ~ 110 kV 电压等级的配电网;大、中型企业内部,可采用 10 kV 电压等级的配电网。35 kV、110 kV 电压等级,适用于中距离输电;220 ~ 500 kV 电压等级,适用于远距离大容量的输电。大、中容量的电动机可采用 3 kV、6 kV 和 10 kV 的额定电压等级;小容量的电动机可采用 0.38/0.22 kV 的额定电压等级,并采用 0.38/0.22 kV 三相四线制供电网络,照明灯及其他单相负载接在相电压上。直流 220 V、110 V 电压等级,广泛使用在发电厂、变电站的控制、信号及自动装置回路中。

2. 发电机的额定电压

发电机总是处于电力网首端,其额定电压比电力网的高 5%,即 $U_{Ge} = 1.05U_e$ 。允许线路电压降 10%,从而保证用电设备的工作电压均在 $\pm 5\%$ 以内。

发电机的额定电压等级见表 1-1。其单机容量越大,采用的额定电压越高。其中 6.3 kV 电压等级广泛应用于容量 10 000 kW 以下至 500 kW 的中小型发电机,而 3.15 kV 等级现已很少采用。

3. 变压器的额定电压

变压器一次绕组的额定电压根据升压还是降压变压器有所不同。一般升压变压器是与发电机电压母线或与发电机直接相连,如图 1-2 中的 T1 所示,所以升压变压器的一次绕组的额定电压应高出其所在电力网额定电压的 5%。降压变压器对电力网而言相当于用电设备,如图 1-2 中的 T2,所以其一次绕组的额定电压等于所接电力网的额定电压。但厂用变压器一次绕组的额定电压取所接电力网额定电压的 1.05 倍。

考虑到带满负载时,变压器本身绕组有 5% 的电压损失,变压器所接输电线路有 5% ~ 10% 的电压损失。所以对二次侧电压等级较高时,二次绕组的额定电压比所接电力网的额定电压高出 10%;对 35 kV 及以下较低的电压等级,视所接线路的长短及变压器阻抗电压大小分别高出所接电力网额定电压的 10% ~ 5%。

此外,习惯上 1 000 V 及以上的电压等级称高压,小于 1 000 V 的电压等级称低压。这样分,是由于这两种电压等级的电气设备及装置在构造和使用规则上有所不同,并不表明对人身伤亡的危害程度。

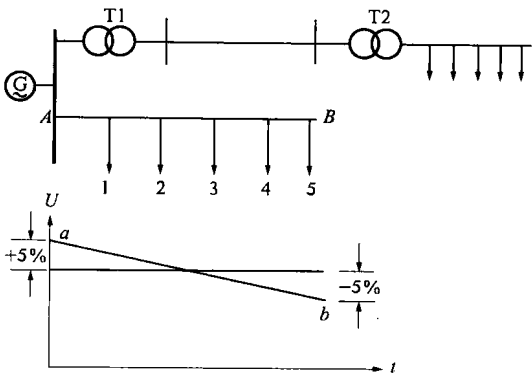


图 1-2 额定电压的解释图

1.3.2.2 额定电流

电气设备的额定电流是指在一定的基准环境温度下,允许长期连续通过设备的最大电流,并且此时设备的绝缘和载流部分被长期加热的最高温度不超过所规定的允许值。

我国采用的基准环境温度如下:①电力变压器和大部分电器(如断路器、隔离开关、互感器等)的额定周围空气温度取为 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$;②发电机的冷却空气温度 $35\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$;③裸导线、绝缘导线和裸母线周围空气温度为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$;④电力电缆在空气中敷设温度为 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$,直埋敷设的额定泥土温度为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

1.3.2.3 额定容量

发电机、变压器、电动机是用于转换功率的,所以都相应规定有额定容量,其规定条件与额定电流相同。

发电机的原动机只能提供有功功率,所以一般以有功功率(kW)表示,当用视在功率(kVA)表示时,需表明额定功率因数($\cos\varphi$)。变压器的额定功率用视在功率(kVA)表示,即最大一线圈的容量。电动机由于铭牌上指的是输出轴机械功率,所以用有功功率(kW)表示,同时应表明额定功率因数($\cos\varphi$)和效率(η)。

习题与思考题

- 1-1 什么是电力系统及电力网?建立电力系统有什么优越性?
- 1-2 发电厂和变电站各有哪几种类型?简述各类发电厂的基本生产过程及其特点。
- 1-3 什么是一次设备和二次设备?它们各包含哪些内容?
- 1-4 什么是额定电压、额定电流和额定容量?一次设备的额定电压是如何规定的?

第2章 电弧及电气触头的基本理论

教学要求

掌握电弧的形成及熄灭条件,熟悉电弧形成的物理过程、特性;掌握直流电弧及交流电弧的特性及熄灭条件;掌握开关电器常用的熄弧方法;了解电气触头的类型、工作条件。

开关电器是用来接通或开断电路的电气设备。在发电厂与变电站中运行的发电机、变压器、进出线等回路,经常需要投入运行或退出运行,因此在发电厂与变电站中需装设必要的开关电器。当开关电器触头切断有电流通过的电路时,在开关触头间就会产生电弧,尽管触头已经分开,但电流通过电弧继续流通,只有触头间的电弧熄灭后,电流才真正切断。电弧的温度很高,很容易烧毁触头,或使触头周围的绝缘材料遭受破坏。如果电弧燃烧时间过长,开关内部压力过高,有可能使电器发生爆破事故。因此,当开关触头间出现电弧时,必须尽快予以熄灭。本章以电弧的熄灭为重点,主要讲述电弧形成和熄灭的物理过程、电弧的特性、直流和交流电弧的特点,以及常见的基本灭弧方法。

2.1 电弧的形成和熄灭

2.1.1 电弧的危害

电弧实际上是一种气体放电现象,是在某些因素的作用下,气体强烈游离、由绝缘变为导通的过程。电弧形成后,由电源不断地输送能量,维持它的燃烧,并产生很高的温度,电弧燃烧时,中心区温度可达到 $10\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,表面温度也有 $3\,000\sim 4\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$;同时,发出强烈的白光,故称弧光放电。电弧的危害很大,主要有以下几种危害:

(1) 如果电弧较长时间不能熄灭,将会延长开关电器切断故障的时间,引起电器被烧毁,甚至有爆炸的可能,危及电力系统的安全运行,造成人员的伤亡和财产的重大损失。

(2) 电弧具有高温,即使作用很短的时间,触头表面也会剧烈熔化和蒸发。同时,与电弧接触的绝缘材料(包括油、瓷、有机绝缘材料等)将被严重烧损,以至设备被烧坏。

(3) 在充油开关电器中,电弧将使绝缘油强烈分解,产生大量气体,其温度和压力迅猛升高,易引起着火甚至爆炸。

(4) 电弧可能使触头熔焊,破坏电器设备的正常工作;亦会产生高次谐波,干扰附近的通信。

所以,对于开关电器中的电弧,必须采取措施,使其迅速熄灭。

另外,电弧也有可利用的一面,如电弧焊、电弧熔炼、弧光灯等;同时,电气设备亦可借助电弧防止产生过电压和限制故障电流。