

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

SHUIDIANZHAN DIANQI SHEBEI

水电站电气设备

黄庆丰 金永琪 主编

 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《水电站电气设备》课程教学大纲编写完成的。本书主要讲述联网电压等级 110 kV 及以下,装机容量 50 000 kW 及以下水电站电气部分内容,主要包括电站主接线及其接入方式、短路电流计算、高低压设备的工作原理及其选择应用、配电装置及布置、防雷保护等电气一次设备,以及控制、信号、测量、同期等电站常规二次回路及部分计算机控制回路。

本书为高等职业技术学院水电站动力设备、水电站机电设备、水电站电力设备专业的电气设备课程教材,也可作为专科学校、中专或技工学校相关专业培养应用型技术人才的教材或参考书,也可供从事水电站电气部分设计、运行、安装、检修及管理工作的有关工程技术人员与电气工人参考。

图书在版编目(CIP)数据

水电站电气设备/黄庆丰,金永琪主编.—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 - 379 - 0

I. 水… II. ①黄…②金… III. 水力发电站-电气设备-高等学校:技术学校-教材 IV. TV734

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 008338 号

组稿编辑:王路平 电话:0371 - 66022212 E-mail: hhsllwp@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: hhsllchs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:19.5

字数:450 千字

印数:1—4 100

版次:2009 年 1 月第 1 版

印次:2009 年 9 月第 1 次印刷

定价:36.00 元

前 言

本书是根据教育部《关于加强高职高专教育人才培养工作意见》和《面向 21 世纪教育振兴行动计划》等文件精神,由全国水利水电高职教研会拟定教材编写规划,报水利部批准,由全国水利水电高职教研会组织编写的机电类全国统编教材。

本书根据 2007 年全国水利水电高职教研会关于水利水电类高职高专专业教材选题和编审出版规划,按高职教研会审定的课程教学大纲编写,是水电站动力设备、水电站机电设备、水电站电力设备专业的电气设备课程教材。

本书着重阐明水电站电气设备的构造和工作原理,既保留了该课程的理论系统性和应用性,又收入了当前在水电站和电力系统中使用的新技术、新设备和装置。内容编写中剔除了理论和公式的推导,突出技术应用,具有明显的职业教育特色。通过本书的学习,不仅可以掌握水电站电气一次部分的设计过程和技术要素,对水电站变电站的电气部分(一次和二次)运行与维护方面的知识和技能更具有全面提升功效。本书既可作为学历教学用书,也可作为职业资格和岗位技能培训教材。

在教学过程中,建议按“项目教学”法组织教学,主要分为四个步骤:①根据已建水电站拟设计课题,布置任务;②组织参观现场,明确目标任务;③通过课堂教学、现场教学和课后练习相结合,学生带着任务,边学边做,逐步完成课题任务;④对设计成果进行检查和答辩,评定各阶段学习成绩。本课程划分为知识准备和电气主接线设计、电气设备布置设计、防雷接地设计、电气二次设备配置及安装图设计 4 个项目。知识准备阶段讲授绪论、电力系统中性点的运行方式、电弧及电气触头的基本理论 3 章,以课堂教学和多媒体演示为主;电气主接线设计项目包含了水电站电气一次设备与载流导体、水电站电气主接线及电气设备配置、水电站自用电接线、电力系统短路电流计算、电气一次设备选择等 5 章内容;电气设备布置设计包含了配电装置及布置、电气总布置 2 章内容;防雷接地设计包含防雷与接地装置 1 章;电气二次设备配置及安装图设计包含电气二次电路图 1 章。完成了以上 4 个项目的初步设计,便全面掌握了课程精髓。

本书由福建水利电力职业技术学院黄庆丰任第一主编,并编写第一、八、十章;浙江同济科技职业学院金永琪任第二主编,并编写第十二章;四川水利职业技术学院杨泽江编写第二、三章;湖南水利电力职业技术学院禹红编写第四章;云南农业大学水利水电职业技术学院邓志刚编写第五、六章;沈阳农业大学高等职业技术学院武银龙编写第七、十一章;四川水利职业技术学院罗彩建编写第九章。全书由黄庆丰统稿,由浙江同济科技职业学院应明耕主审。

由于编者水平有限,书中难免有些缺点和错误,希望读者批评指正。

编 者
2008 年 11 月

目 录

前 言

| | |
|----------------------------------|------|
| 第一章 绪 论 | (1) |
| 第一节 电力工业发展概况 | (1) |
| 第二节 电力系统概述 | (3) |
| 第三节 水电站电气设备概述 | (6) |
| 思考题与习题 | (10) |
| 第二章 电力系统中性点的运行方式 | (11) |
| 第一节 中性点不接地系统 | (11) |
| 第二节 中性点经消弧线圈接地系统 | (13) |
| 第三节 中性点直接接地系统 | (16) |
| 第四节 中性点经阻抗接地的三相系统 | (17) |
| 思考题与习题 | (18) |
| 第三章 电弧的基本理论及电气触头 | (19) |
| 第一节 电弧的形成与熄灭 | (19) |
| 第二节 直流电弧的特性及熄灭 | (21) |
| 第三节 交流电弧的特性及熄灭 | (23) |
| 第四节 熄灭电弧的基本方法 | (25) |
| 第五节 电气触头 | (29) |
| 思考题与习题 | (32) |
| 第四章 水电站电气一次设备与载流导体 | (33) |
| 第一节 开关电器概述 | (33) |
| 第二节 高压断路器 | (34) |
| 第三节 隔离开关 | (43) |
| 第四节 高低压熔断器 | (46) |
| 第五节 高压负荷开关 | (53) |
| 第六节 互感器 | (53) |
| 第七节 绝缘子、母线及电缆 | (69) |
| 第八节 低压开关电器 | (78) |
| 思考题与习题 | (87) |
| 第五章 水电站电气主接线及电气设备配置 | (89) |
| 第一节 电气主接线概述 | (89) |
| 第二节 电气主接线的基本形式 | (90) |
| 第三节 主变压器的选择 | (98) |

| | | |
|------------|---------------------------|--------------|
| 第四节 | 互感器的配置 | (100) |
| 第五节 | 电气主接线方案的技术经济比较 | (102) |
| 第六节 | 电气主接线实例 | (106) |
| | 思考题与习题 | (108) |
| 第六章 | 水电站自用电接线 | (109) |
| 第一节 | 自用负荷 | (109) |
| 第二节 | 自用变压器的选择 | (115) |
| 第三节 | 自用电接线 | (116) |
| | 思考题与习题 | (119) |
| 第七章 | 配电装置及布置 | (120) |
| 第一节 | 配电装置概述 | (120) |
| 第二节 | 屋内配电装置 | (125) |
| 第三节 | 屋外配电装置 | (132) |
| 第四节 | 全封闭组合电器 | (135) |
| | 思考题与习题 | (136) |
| 第八章 | 简单电力系统短路电流计算 | (137) |
| 第一节 | 概 述 | (137) |
| 第二节 | 标么值 | (139) |
| 第三节 | 电力系统各元件的电抗和等值电路 | (140) |
| 第四节 | 短路电流的计算步骤 | (145) |
| 第五节 | 无限大容量电力系统供电的电路内三相短路 | (149) |
| 第六节 | 有限容量发电机供电的电路内三相短路 | (153) |
| 第七节 | 短路电流的限制方法 | (159) |
| | 思考题与习题 | (160) |
| 第九章 | 防雷与接地装置 | (162) |
| 第一节 | 避雷针和避雷线 | (162) |
| 第二节 | 避雷器 | (165) |
| 第三节 | 水电站防雷保护 | (168) |
| 第四节 | 人体触电 | (176) |
| 第五节 | 保护接地及保护接零工程 | (178) |
| 第六节 | 接地电阻的测量 | (186) |
| | 思考题与习题 | (188) |
| 第十章 | 电气一次设备选择 | (190) |
| 第一节 | 电气设备选择的一般条件 | (190) |
| 第二节 | 母线、电缆和绝缘子的选择 | (196) |
| 第三节 | 高压开关电器的选择 | (206) |
| 第四节 | 互感器的选择 | (208) |
| 第五节 | 高压电气设备选择实例 | (211) |

| | |
|-------------------------|-------|
| 第六节 低压电器的选择 | (218) |
| 思考题与习题 | (220) |
| 第十一章 电气总布置 | (221) |
| 第一节 主变场地布置 | (221) |
| 第二节 电气总布置 | (224) |
| 思考题与习题 | (226) |
| 第十二章 电气二次电路图 | (227) |
| 第一节 电气二次电路图的基本知识 | (227) |
| 第二节 测量监察回路 | (230) |
| 第三节 操作电源 | (237) |
| 第四节 断路器和灭磁开关的控制回路 | (250) |
| 第五节 信号回路 | (261) |
| 第六节 同期接线 | (267) |
| 第七节 二次回路安装接线图 | (281) |
| 思考题与习题 | (292) |
| 附 录 | (295) |
| 参考文献 | (304) |

第一章 绪 论

内容提示

了解电力发展规律,了解电力系统的组成和基本要求;掌握电气设备的分类和用途,掌握电气设备额定参数、额定电压的确定方法。

第一节 电力工业发展概况

一、世界电力发展概况

由于电能便于长距离输送和分配,又容易转化为机械能、热能,加之又是信息的最重要载体,因而它一经得到工业规模的生产,就由最初用于电照明、电报,迅速扩展到电力以至整个工业生产的各部门。从 1875 年法国巴黎北火车站建成世界上第一座火电厂为附近照明供电,此后装机容量和发电量均以每年 8%~9% 的速度增长,基本上是每 10 年翻一番,远远超过其他工业部门的发展速度。

电力的旺盛需求和经济运行的需要,促进了大型发电机组的发展。1962~1963 年,美国火电厂先后投入 65 万 kW 和 70 万 kW 机组。1965 年,美国雷文斯伍德火电厂安装并投入运行世界上第一台 100 万 kW 机组。1973 年,瑞士 BBC 公司制造的 130 万 kW 双轴发电机组在美国肯勃兰电厂投入运行。苏联于 1981 年制造并投入了世界上容量最大的 120 万 kW 单轴汽轮发电机组,水电单机容量已达到 70 万 kW。我国三峡水电厂是世界第一大水电厂,装机容量 26×70 万 kW = 1 820 万 kW。

大型火电厂、水电站和核电站的建成,促进了超高压和特高压输电网的建设。1935 年,美国在研究和解决导线电晕问题的基础上建成 287 kV 高压输电线路。1952 年,瑞典为将北方大量水电输送到南部,首次采用德国研究出的二分裂导线,建成 380 kV 输电线路。1959 年,苏联建成 500 kV 线路。1965~1969 年,加拿大、苏联和美国先后建成 735 kV、750 kV 和 765 kV 线路。1985 年 5 月,苏联首次建成 1 150 kV 高压输电线路,最远输电距离 890 km,并进行工业性试运行。超高压线路的长度一般每 10 年增加 1 倍。

在发电方式和发电构成以及输电方式没有发生根本性变化之前,超高压、远距离交直流输电将继续沿着提高电压、增大距离、增加输电容量的方向前进,电力系统的网络将更加密集,系统的总容量也将相应增大。1 000 kV、1 150(1 100) kV、1 500 kV 特高压输电将在各工业国家得到广泛的应用,直流输电在实现远距离输电的同时,也将在交直流混合输电(包括多端直流输电)、非同期联网和电网分割(背靠背方式)、海底输电等方式下发挥其作用。

二、中国电力发展概况

中国电力工业 1882 年在上海诞生,到 1949 年发电装机容量和发电量仅为 185 万 kW

和 43 亿 kWh,分别居世界第 21 位和第 25 位。1949 年以后,我国电力工业得到飞快发展。1978 年发电装机容量达到 5 712 万 kW,发电量达到 2 566 亿 kWh,分别跃居世界第 8 位和第 7 位。改革开放之后,装机先后超过法国、英国、加拿大、德国、俄罗斯和日本,从 1996 年底开始一直稳居世界第 2 位。

同时,我国与发达国家电力装备技术水平差距不断缩小。火电主力机型从 20 世纪 50、60、70 年代的 5 万 kW、10 万 kW、20 万 kW,发展到 80 年代利用引进技术生产 30 万、60 万 kW。进入 21 世纪以来,60 万 kW 超临界、100 万 kW 超超临界机组引进技术国产化进程明显加快;水电具备了 70 万 kW 机组的制造能力;核电可以自主设计生产 65 万 kW 压水堆核电机组。电网已具备 750 kV 及以下、额定电流 4 000 A 及以下、短路电流水平 63 kV 及以下交流输变电设备研发及制造能力,产品类型涵盖“常规敞开式设备”至“全封闭组合电器”在内的全系列。 ± 500 kV 及以下高压直流输电工程的关键设备——晶闸管阀及换流变压器已基本实现由国内成套供货。交、直流输电系统控制保护设备的技术水平已居于世界领先行列。

经济指标不断下降。供电标准煤耗从 1978 年的 471 g/kWh 下降到 2004 年的 376 g/kWh;发电厂用电率从 6.61% 下降到 5.95%;线路损失率从 9.64% 下降到 7.59%;单位产值电耗从 1980 年的 0.21 kWh 降至 2000 年的 0.151 kWh。

可再生能源发电取得进步。①风力发电建设规模逐步扩大。从“七五”开始建设风电场,到 2004 年底,内地已建成 43 个风电场,单机容量达到 2 000 kW,累计装机 1 292 台,总装机容量达到 76.4 万 kW,占全国电力装机容量的 0.17%。②地热发电得到应用。到 1993 年底,西藏地热发电的总装机容量达到 28.13 MW,年发电量 9 700 万 kWh,约占拉萨电网年发电量的 20%。③太阳能发电开始起步。至 1999 年,光伏发电系统累计装机容量超过 13 MW。2004 年建成容量为 1MW 的太阳能发电系统,这是目前中国乃至亚洲总装机容量第一的并网光伏发电系统,同时也是世界上为数不多的兆瓦级大型太阳能光伏发电系统之一。

由于人均发电装机占有量偏低,电力供应的高速增长仍难以满足更快增长的电力需求,电力工业仍存在较大发展空间。预计 2020 年全国发电装机容量将可能超过 9.5 亿 kW,其中水电 2.46 亿 kW(含抽水蓄能 2 600 万 kW),煤电 5.63 亿 kW,核电 4 000 万 kW,气电 6 000 万 kW,新能源发电 4 100 万 kW。

但电力发展与资源、环境矛盾日益突出。我国电力发展的基本方针是:提高能源效率,保护生态环境,加强电网建设,大力开发水电,优化发展煤电,积极推进核电建设,适度发展天然气发电,鼓励新能源和可再生能源发电,带动装备工业发展,深化体制改革。2020 年火电平均供电煤耗控制在 330 g/kWh 标准煤,厂用电率下降到 5.1%;发电水耗控制在 2.5 kg/kWh(目前发达国家水平);粉煤灰综合利用率达到 75%;线路损耗下降到 6.8%。通过节能、节电,加强全国联网,调整产业结构,逐步降低单位产值能耗等综合措施,到 2020 年力争节约发电装机超过 1.2 亿 kW、标煤 2 亿 t。

三、我国水电发展概况

水电是主要的清洁能源。中国是世界上水能资源最丰富的国家,可开发水力约 5.4

亿 kW。但与发达国家相比,其水力资源开发利用程度并不高,目前开发的仅有 1.2 亿 ~ 1.3 亿 kW,开发度约为 22%,发达国家水电的平均开发度已在 60% 以上。

新中国成立以来,中国的水电建设从小到大、从弱到强不断发展壮大。小水电站的范畴已由单站容量从 20 世纪 50 年代的 500 kW、60 年代的 3 000 kW、70 年代的 1.2 万 kW、80 年代的 2.5 万 kW,上升到 90 年代的 5 万 kW。50 年代至 60 年代初,主要修复丰满大坝和电站,续建龙溪河、古田等小型工程,着手开发一些中小型水电站。在 50 年代后期条件逐步成熟后,对一些河流进行了梯级开发,如狮子滩等工程。60 年代中期到 70 年代末这段时期内开工的有龚嘴、映秀湾等工程。70 年代初第一座装机容量超过 100 万 kW 的刘家峡水电站投产。80 年代容量 271.5 万 kW 的葛洲坝水电站建成,之后一系列大水电站相继建设,容量 1 820 万 kW 的三峡工程也于 1994 年正式开工,2008 年 26 台 70 万 kW 的水轮发电机组全部投入使用,年均发电量达到 847 亿 kWh。2004 年,随着黄河公伯峡水电站首台 30 万 kW 机组的投产,中国水电装机总容量突破了 1 亿 kW,跃居世界水电装机容量首位。金沙江上总装机容量为 1 860 万 kW 的溪洛渡和向家坝,大渡河上的瀑布沟、黄河上游的拉西瓦、澜沧江上的小湾等巨型水电站近两年相继立项、开工。雅砻江上总装机容量为 800 万 kW 的锦屏一级和锦屏二级电站等的前期准备工作也在进行中。未来 20 年,中国还将在金沙江、雅砻江、大渡河流域开发 10 多个装机容量超过 300 万 kW 的巨型水电站,水资源极为丰富的“三江”流域将成为中国未来水电开发的主战场。这些正在兴建和拟建的水电站加上业已建成的二滩电站,其装机总容量相当于 5 个三峡电站。

第二节 电力系统概述

一、电力系统基本概念

由发电厂(包括升压变电站)、降压变电所、输配电线路及电力用户所组成的统一整体,称为电力系统。电力系统加上发电机的动力装置称为动力系统。电力系统中除发电机以外的部分称为电力网。动力系统、电力系统和电力网三者的联系与区别见图 1-1。

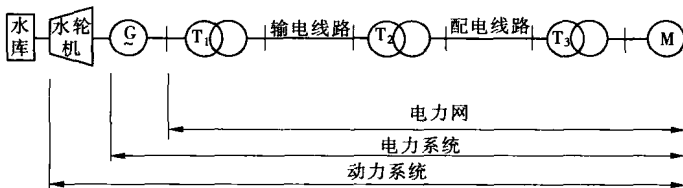


图 1-1 动力系统、电力系统、电力网示意图

发电厂是把其他形式的一次能源转变成二次能源的一种特殊工厂。按原动机的类别分为火力发电厂、水力发电站、潮汐发电站、风力发电站和核能发电厂等。此外还有地热发电、太阳能发电和沼气发电等。

火电厂是利用煤、石油、天然气或油页岩等燃料的热能将锅炉中的水变成高温高压蒸汽,推动汽轮机,带动发电机发电的电厂。它又分为凝汽式发电厂和热电厂,前者专供发

电,热效率只有 30% ~ 40%,宜建在燃料产地;后者既发电又向用户供热,热效率可达 60% ~ 70%,宜建在热用户附近。

水电站是利用河流的水能,推动水轮机,带动发电机发电的工厂。水电站的装机容量与水头、流量及水库容积有关。按集中落差的方式,水电站一般分为堤坝式、引水式和混合式三种;按主厂房的位置和结构又可分为坝后式、坝内式、河床式、地下式等数种;按运行方式则分为有调节水电站、无调节(径流式)水电站和抽水蓄能水电站,后者是利用夜间用电低谷时或丰水期的剩余电力,使水轮机以水泵方式工作,将下游的水抽回到水库内积蓄,以便峰荷或枯水时发电。

核电站是利用核燃料在反应堆中产生的热能,将汽锅中的水变为高温高压蒸汽推动汽轮机组发电的电厂。目前世界上已投入运行的有 200 多座,预计今后核电站将成为主要电源之一。

电力网按供电范围、输送功率和电压等级分为地方电力网和区域电力网。地方电力网一般电压等级为 110 kV 及以下。区域电力网则为 110 kV 以上,供电范围广,输送功率大。10 kV 及以下的电力网一般称为配电网。电力网按结构特征又分开式电力网和闭式电力网两种。凡用户只能从单方向得到供电的叫开式电力网;用户可从两个或两个以上方向得到供电的叫闭式电力网。按电压等级电力网分为低压(1 kV 及以下)、高压(1 ~ 330 kV)、超高压(330 ~ 1 000 kV)和特高压(1 000 kV 以上)几种。

变电所是电力网的重要组成部分,它是汇集电源、升降电压和分配电力的场所,是联系发电厂和用户的中间环节。变电所有升压和降压之分。升压变电所通常是发电厂的升压站部分,紧靠发电厂。降压变电所通常远离发电厂而靠近负荷中心。根据变电所在电力网结构中所处的地位和供电的范围分为区域变电所、地方变电所和终端变电所等。区域变电所在大型电力网中又有枢纽变电所、中间变电所和地区变电所之分。

电力线路也是电力网的重要组成部分,它担负着输送电能和分配电能的任务。由电源向电力负荷中心输送电能的线路,称为输电线路或送电线路,其电压等级一般在 35 kV 及以上。主要担负分配电能任务的、电压较低的线路,称为配电线路。

二、电力系统的优越性

把孤立运行的发电厂通过电力网连接起来形成电力系统后,将在技术经济上带来很大好处,现分析如下。

(一) 提高了供电的可靠性

系统中一个发电厂发生故障时,其他发电厂照样可以向用户供电;一条输电线路发生故障时,用户还可以从系统中的不同部分取得电源。因此,具有合理结构的电力系统的可靠性大为增高。

(二) 提高了供电的稳定性

电力系统容量较大,个别大负荷的变动即使有较大的冲击,也不会造成电压和频率的明显变化。小容量电力系统或孤立运行电站则不同,较大的冲击负荷很容易引起电网电压和频率的较大波动,影响电能的质量。严重的甚至将系统冲垮,即系统或机组间解裂,造成整体供电中断。

(三) 提高了发电的经济性

联成和扩大电力系统可获得多方面的经济效益。

1. 充分利用动力资源

如果没有电力系统,很多能源就难以充分利用。在电力系统中可实现水电和火电之间的相互调济,丰水期可多发水电,少发火电,节约燃料;枯水期则多发火电以补充水电。

2. 提高发电的平均效率和其他经济指标

只有在大的电力系统内才能采用大容量的机组,从而获得较高的发电效率、较低的相对投资和较低的运行维护费用。此外,在电力系统内,在各发电厂之间可以合理地分配负荷,可以让效率高的机组多发,在提高平均发电效率上实现经济调度。

3. 减小总装机容量

电力系统中的综合最大负荷常小于各发电厂单独供电时各片最大负荷的总和。这是因为不同地区间负荷性质的差别、负荷的东西时差和南北季差等,有利于错开各地区的高峰负荷,导致减小系统中的综合最大负荷,从而减小了总工作容量。另外,各发电厂的机组之间可以相互备用,还可以错开检修时间,减小备用容量。

系统总装机容量(等于工作容量加备用容量)的减小,降低了电站的综合投资和电能生产费用。

三、对电力系统运行的基本要求

由于电能不能储存,电力流程与其他产品的流程相比具有不同的特点。电能的生产、分配、输送、再分配直至消费必须在同一时刻完成,这就是电力流程的连续性。根据这一特性,要使电力流程的最后环节——电能的消费得以维持,就必须随时保证电力流程的消费前环节不致中断。

基于电能的上述特点和电力工业在国民经济中的作用与地位,电力系统应满足下述基本要求。

(一) 保证供电的安全可靠

确保用户能够随时得到供电,叫做电力系统的可靠性。

电力系统因故停电会给工农业生产和人民生活带来不同程度的损失,可能使产量下降,产品报废,生产计划不能完成,生活受到干扰;严重的可导致设备损坏和人身伤亡。例如炼钢厂高炉停电 30 min,钢水就要凝固,使高炉报废;电解铝厂停电 15 min 会使电解槽遭到破坏;矿井和医院停电还可能带来人身事故。总之,停电对用户造成的经济损失很难具体统计,平均约为停电电价的 50 倍。通常按重要性将用户分为 I、II、III 三类加以区别对待,以保证其相应的供电可靠性。

为了保证可靠性,必须做到安全生产和安全用电。为此,要保证电力系统中各元件的质量,及时搞好设备的正常维护及定期的检修与试验;加强和完善各项安全技术措施,提高电力系统的运行和管理水平,杜绝可能发生的直接或间接的人员责任事故。

(二) 保证电能质量

衡量电能质量的指标是波形、频率和电压。通常要求电力系统的供电电压(或电流)的波形为严格的正弦形,发电机和变压器的设计制造部门已考虑了这一要求,但在电能输

送和分配过程中也要不使波形发生畸变,避免或消除再出现一些谐波源。通常系统运行中所说的电能质量主要指频率和电压两个指标。当频率和电压超过允许范围(见表1-1和表1-2)时,可能造成企业减产,出次品、废品,影响用电设备的安全运行,甚至引起人身设备事故。频率主要取决于电力系统中有功功率的平衡,电压则取决于无功功率的平衡,可通过调频、调压和无功补偿等措施来保证频率和电压的稳定。

表 1-1 我国电网频率允许偏差值

| 运行情况 | | 允许偏移值(Hz) |
|------|-----------|-----------|
| 正常运行 | 中小容量电网 | ± 0.5 |
| | 大容量电网 | ± 0.2 |
| 事故运行 | 30 min 之内 | ± 1 |
| | 15 min 之内 | ± 1.5 |
| | 绝对不允许 | -4 |

表 1-2 我国对用户供电电压的允许变化范围

| 线路额定电压 U_N | 正常运行电压允许变化范围 |
|--------------|-------------------------|
| 35 kV 及以上 | $\pm 5\% U_N$ |
| 10 kV 及以下 | $\pm 7\% U_N$ |
| 低压照明及农业用电 | $(+5\% \sim -10\%) U_N$ |

(三) 完成足够的发电功率和发电量

根据电力对国民经济的强烈制约作用,电力必须先行。因此,电力系统要超前搞好规划设计,不断增加投入;同时也要充分挖掘设备潜力,最大限度地向用户提供需要的电力。

(四) 保证电力系统运行的经济性

要使电能在生产、输送和分配过程中效率高、损耗小、成本低,必须降低一次能源消耗率(每千瓦时的煤耗、油耗或水耗)、厂用电率和线损率,使这三个指标达到最小,这便是经济运行。电能成本的降低不仅节省了能源,还将有助于用户生产成本的降低,因而给整个国民经济带来效益。要实现经济运行,除进行合理规划设计外,还须对整个系统实施最佳经济调度。

总之,保证对用户不间断地供给充足、优质而又经济的电力,是电力系统的基本任务。

第三节 水电站电气设备概述

一、主要电气设备简介

水电站是利用水能生产和分配电能的工厂,通常装设下述主要电气设备。

(一) 一次设备

直接参与生产和分配电能的电气设备称为一次设备,它通常包括以下五类。

1. 能量转换设备

如发电机、变压器、电动机等。发电机和主变压器是电站的主体,简称主机主变。

2. 开关设备

这类电器用于电路的接通和开断。按作用及结构特点,开关电器又分为以下几种:

(1)断路器。不仅能接通和开断正常的负荷电流,也能开断短路电流。它是作用最重要、功能最完善的开关电器。

(2)熔断器。可用于开断过负荷电流或短路电流,切除故障回路。

(3)负荷开关。允许带负荷接通和开断电路,但其灭弧能力有限,不足以开断短路电流。将负荷开关和熔断器串联在电路中便大体上相当于断路器的功能。

(4)隔离开关。主要用于设备或电路检修时隔离电源,造成一个可见的、足够的空气距离。

按功能又将开关电器分为保护电器、操作电器和隔离电器三类。在电路故障时能开断一定的短路电流以切除故障电路的,称为保护电器;能接通和开断一定的负荷电流的,称为操作电器;不能开断负荷电流,起隔离电源作用的,称为隔离电器。熔断器纯属保护电器;隔离开关是隔离电器;负荷开关为操作电器,有时也兼作隔离电器;断路器则既是保护电器,又是操作电器。

3. 载流导体

该类设备有母线、绝缘子和电缆等,用于电气设备或装置间的连接,通过强电流传递功率。母线是裸导体,需要用绝缘子支持和绝缘。电缆是绝缘导体,并具有密封的封包层以保护绝缘层,外面还有销装或塑料护套以保护封包。

4. 互感器

互感器分为电压互感器和电流互感器等,分别将一次侧的高电压或大电流按变比转变为二次侧的低电压或小电流,以供给二次回路的测量仪表和继电器。

5. 电抗器和避雷器

电抗器主要用于限制电路中的短路电流,避雷器则用于限制电气设备的过电压。

(二) 二次设备

对电气一次设备、机械设备及水工建筑物等的工作状况进行监测、控制和保护的辅助性电气设备,称为二次设备。例如各种电气仪表、继电器、自动控制设备、信号及控制电缆等。二次设备不直接参与电能的生产和分配过程,但对保证主体设备正常、有序地工作和发挥其运行经济效益,起着十分重要的作用。

二、电气设备的额定参数

用以表明电气设备在一定条件下的长期工作最佳运行状态的特征量的值叫做额定参数。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。

(一) 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等级,如表 1-3 所示。

表 1-3 我国交流额定电压等级(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 |
| — | 13.8 | — | 13.8 | — |
| — | 15.75 | — | 15.75 | — |
| 35 | | 35 | | 38.5 |
| 60 | | 60 | | 66 |
| 110 | | 110 | | 121 |
| 220 | | 220 | | 242 |
| 330 | | 330 | | 363 |
| 500 | | 500 | | 550 |
| 750 | | 750 | | 825 |
| 1 000 | | 1 000 | | 1 100 |

一般 110 kV 以上电压等级电网电压级差不应小于 2 倍,110 kV 以下电压等级电网电压级差不应小于 3 倍。

1. 用电设备和电力网的额定电压

我国用电设备的额定电压与电力网的额定电压是相等的。下面用图 1-2 来说明它们之间的关系。

设发电机在额定电压下运行,供电给电力网 a 、 b 部分。由于线路有电压损失,负荷 1~4 点将接受到不同的电压,线路首端电压 U_a 大于末端电压 U_b ,而且由于负荷是变化的,电力网中各点电压也非恒定不变。实际上电力网各点电压随距离和时间而变,但设备的额定电压不可能按上述变化的电压来制造,设备生产必须标准化,用电设备的额定电压只能力求接近于实际的工作电压。一般规定,用电设备的工作电压允许在额定电压的 $\pm 5\%$ 范围内变动,而沿线的电压降一般允许为 10%。因此,若取电力网首端和末端电压的算术平均值,即 $U_N = (U_a + U_b)/2$ 作为用电设备的额定电压,就能满足上述要求,这个电压也就是电力网的额定电压。

2. 发电机额定电压

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 $U_{GN} = 1.05U_N$,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。

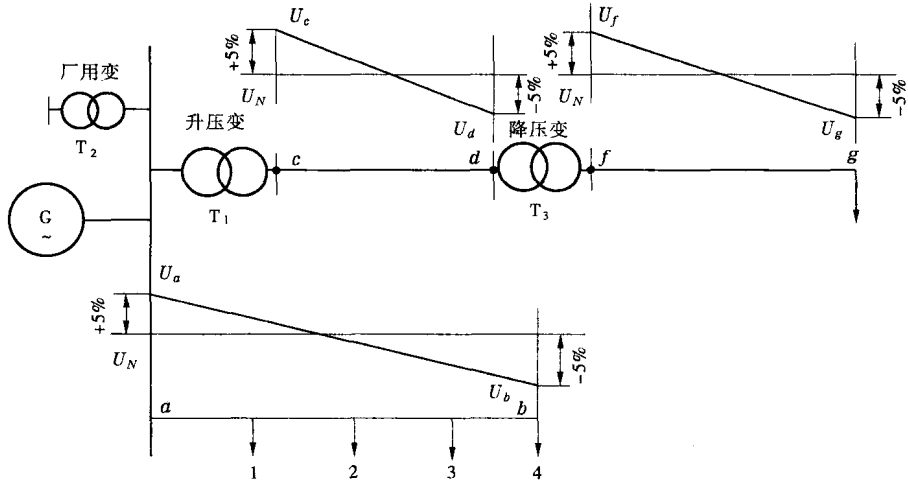


图 1-2 电力网的电压变化

3. 变压器额定电压

(1) 升压变压器的原绕组通常与发电机电压相连,其额定电压 U_{T_1} 应与发电机额定电压 U_{GN} 相等,即 $U_{T_1} = U_{GN}$ 。副绕组接电力网首端,其额定电压 U_{T_2} (通常指空载电压) 比电力网额定电压 U_N 高 10%,即 $U_{T_2} = 1.1U_N$;变压器满载时其绕组本身损失电压约 5%,故副边实际工作电压高出电网额定电压 5% 左右。

10 kV 及以下电压等级的变压器的阻抗压降在 7.5% 以下,若线路短,线路上压降小,其副绕组额定电压可取 $1.05U_N$,见表 1-3。

(2) 降压变压器的原边绕组可能接在线路的始端、末端或沿线上。

站用变压器 T_2 接于发电机母线上,其原边绕组额定电压取为发电机额定电压 U_{GN} ,即 $U_{T_1} = U_{GN} = 1.1U_N$ 。

原边绕组接在线路末端或沿线上,原边绕组额定电压一般取为电网额定电压 U_N 。

实际使用时可改变升压或降压变压器的分接头位置,在一定范围内调整电压变比以适应原边和副边电压的要求。但因升压变压器和降压变压器的电压比差别较大,一般不能互相代用。

(二) 额定电流和额定容量

电气设备的额定电流是指周围介质在额定温度时,其绝缘和载流导体及其连接的长期发热温度不超过极限值所允许长期通过的最大电流值。

我国采用的周围介质额定温度如下:

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 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$,少数电器的取为 $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

开启式空气冷却的发电机进入机内的额定空气温度为 $35\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

敷设在空气中的母线、电缆和绝缘导线等为 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (或 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$)。

埋设地下的电力电缆的额定泥土温度为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (或 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$)。

额定容量的规定条件与额定电流同。变压器额定容量用视在功率表示。发电机额定

容量常用有功功率表示,也可用视在功率表示。电动机也多用有功功率表示。这是因为发电机的原动机和电动机的负载多用有功功率表示。用有功功率表示时,还须表示出其额定功率因数。

思考题与习题

1. 电力系统有哪些优越性? 电力系统运行要满足哪些基本要求? 电能质量的主要指标是什么?

2. 什么叫一次设备和二次设备? 开关电器有哪些主要类别,其功能有何差异?

3. 用电设备、发电机和变压器的额定电压是如何确定和配合的? 试确定图 1-3 中的用电设备、发电机和变压器的额定电压。图中已标出电力网的额定电压等级。

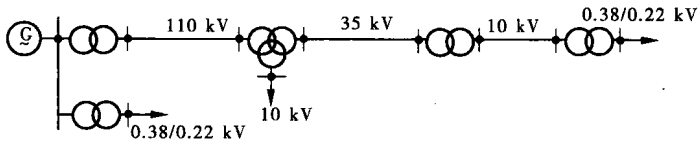


图 1-3 习题 3 的电路图

第二章 电力系统中性点的运行方式

内容提示 重点掌握中性点不同运行方式的特点及应用,能够绘制中性点不接地系统发生单相接地故障时,各相电流及电压的变化向量图。

电力系统的中性点实际上是指系统中发电机和变压器的中性点。我国电力系统目前所采用的中性点运行方式主要有四种,即中性点不接地、中性点经消弧线圈接地、中性点经高电阻接地和中性点直接接地。中性点不接地和中性点经消弧线圈接地、中性点经高电阻接地称为中性点非直接接地系统,常称小接地短路电流系统;中性点直接接地系统称大接地短路电流系统。下面就这几种运行方式,分别加以讨论。

第一节 中性点不接地系统

中性点不接地系统亦称中性点绝缘系统。

图 2-1(a)所示为中性点不接地的三相对称系统。 \dot{U}_u 、 \dot{U}_v 、 \dot{U}_w 为三相对中性点电压(电源相电压), \dot{U}_N 为中性点对地电压,各相对地电压为

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{u0} &= \dot{U}_u + \dot{U}_N \\ \dot{U}_{v0} &= \dot{U}_v + \dot{U}_N \\ \dot{U}_{w0} &= \dot{U}_w + \dot{U}_N \end{aligned} \right\} \quad (2-1)$$

各相对地的电容用集中电容 C_u 、 C_v 、 C_w 表示,在各相对地电压的作用下,各相对地电容电流为

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_{Cu} &= j\omega C \dot{U}_{u0} \\ \dot{I}_{Cv} &= j\omega C \dot{U}_{v0} \\ \dot{I}_{Cw} &= j\omega C \dot{U}_{w0} \end{aligned} \right\} \quad (2-2)$$

一、中性点不接地系统的正常运行

正常运行时,三相对称,即 $\dot{I}_u + \dot{I}_v + \dot{I}_w = 0$, $\dot{I}_{Cu} + \dot{I}_{Cv} + \dot{I}_{Cw} = 0$, 所以 $\dot{U}_N = \dot{U}_0 = 0$, 则各相对地电压为各相电源的相电压,各相对地电容电流大小相等 ($I_{Cu} = I_{Cv} = I_{Cw} = \omega C U_u$), 相位各相差 120° 。电流、电压相量图见图 2-1(b)、(c)。