

技工学校教材

水电站电气一次部分

浙江水电技工学校 应明耕 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

1006624

技 工 学 校 教 材

水电站电气一次部分

浙江水电技工学校 应明耕 主编

中国水利水电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

水电站电气一次部分/应明耕主编. —北京: 中国水利水电出版社, 2000. 1
技工学校教材

ISBN 7-5084-0272-3

I. 水… II. 应… III. 水力发电站-机电设备-一次系统-技工学校-教材
IV. TV734

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 02929 号

书 作 出	名 者 版	技工学校教材 水电站电气一次部分 浙江水电技工学校 应明耕 主编 中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部)
发 经	行 售	新华书店北京发行所 全国各地新华书店
排 印 规 版 印 定	版 刷 格 次 数 价	中国水利水电出版社微机排版中心 水利电力出版社印刷厂 787×1092 毫米 16 开本 11.5 印张 264 千字 2000 年 9 月第一版 2000 年 9 月北京第一次印刷 0001—2100 册 12.10 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

内 容 提 要

本书主要介绍小型水电站电气一次部分的电气主接线和配电装置的分析和应用、地方电力网的基本概念、电力系统短路分析、高低压电气设备的工作原理和应用、小型水电站的过电压保护和接地等方面的知识。

本书为技工学校“水电站机电运行与检修”专业的电气一次部分教材,可作为职工中专相关专业的教学用书,也可作为小型水电站电气运行工与检修工的培训教材,还可供从事小型水电站与地方电力网设计、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。

前 言

本书根据水利部人教司 1997~2000 年技工学校水利水电类专业教材选题和编审出版规划,并按全国水利水电技工学校教育研究会审定的教材编写提纲编写,可作为“水电站机电运行与检修”专业的电气一次部分教材。

本书从胜任岗位职责的实际出发,以“必须”和“够用”为度,突出了针对性和实用性,阐述的小型水电站电气一次部分内容,既有一定的理论基础,又有一定的实际知识。理论性内容以掌握概念、强化应用为主,知识面浅而宽。此外,本书结合我国的小水电发展,重点介绍已使用的新设备、较为成熟的新技术,对仍在使用的旧型设备也作了适当的介绍。

本书第一、二、四、五章由广东水利电力职业技术学院薛必银编写;第六、七、八章由浙江水电技工学校朱达凯编写;第十一、十二章由安徽水利技工学校宋天武编写;第三、九、十章由浙江水电技工学校应明耕编写,并担任本书主编。广东水利电力职业技术学院司徒海祺担任本书主审。

本书在编写过程中一直得到水利部人教司和全国水利水电技工学校教育研究会的关心和支持,各兄弟学校的同行教师对本书的编写提出了不少宝贵意见,在此深表感谢。

本书部分章节的内容可结合实践性教学环节讲授。根据不同的专业、不同的培养目标和层次,某些章节的内容还可作适当取舍。

由于编者的学识和经验有限,编写时间仓促,书中可能有不少缺点错误,恳请广大读者批评指正。

编 者

1999 年 3 月

64503/2

目 录

前 言

第一章 水电站及电力系统概述	1
第一节 电力工业发展简述	1
第二节 发电厂的类型及其生产过程	2
第三节 电力系统简介	3
第四节 水电站电气设备概述	5
思考题	8
第二章 电力系统中性点运行方式	9
第一节 中性点不接地系统	9
第二节 中性点经消弧线圈接地系统	12
第三节 中性点直接接地系统	14
第四节 中性点运行方式的比较和应用范围	15
思考题	16
第三章 水电站电气主接线及厂用电接线	17
第一节 概述	17
第二节 小型水电站电气主接线基本形式	19
第三节 小型水电站电气主接线实例分析	23
第四节 小型水电站厂用电接线	25
思考题	28
第四章 地方电力网	29
第一节 电力网和电力系统概述	29
第二节 电力网元件参数及元件损耗	34
第三节 电力网功率损耗和电能损耗	39
第四节 电力网电压调整	41
思考题	46
第五章 电力系统短路	48
第一节 短路的基本概念	48
第二节 短路电流计算的程序	49
第三节 无限大容量电力系统供电电路内的三相短路	52
第四节 发电机供电电路内的三相短路	55
第五节 短路电流的限制	58
思考题	59
第六章 电弧的基本理论与电气触头	60

第一节	电弧的形成和熄灭	60
第二节	交流电弧的熄灭	62
第三节	电气触头	65
思考题		69
第七章	水电站开关电器	70
第一节	熔断器	70
第二节	低压开关	78
第三节	高压隔离开关及其操动机构	87
第四节	高压断路器及其操动机构	92
思考题		110
第八章	绝缘子、母线及电缆	111
第一节	绝缘子	111
第二节	母线	114
第三节	电力电缆	116
思考题		121
第九章	互感器	122
第一节	概述	122
第二节	电流互感器的工作原理及接线方式	122
第三节	电流互感器的结构原理和类型	124
第四节	电压互感器的工作原理及接线方式	128
第五节	常用电压互感器的类型和构造	130
第六节	互感器的正确选用及注意事项	132
思考题		133
第十章	水电站配电装置	134
第一节	概述	134
第二节	屋内配电装置	137
第三节	屋外配电装置	145
思考题		148
第十一章	接地与接地装置	149
第一节	概述	149
第二节	接地装置及接地电阻的测量	153
思考题		159
第十二章	过电压保护	160
第一节	概述	160
第二节	防雷保护装置	162
第三节	小型水电站防雷保护	170
思考题		175

第一章 水电站及电力系统概述

第一节 电力工业发展简述

一、我国电力工业发展概况

电力工业属于能源工业。能源分为一次能源和二次能源。直接从自然界取得的能源称为一次能源，如煤、石油、天然气、水能等。二次能源是一次能源经过加工、转变后得到的产品，如电能等。电能具有便于输送、分配、使用以及极易转变成其他形式的能量等特点，现已作为现代社会生产的动力被广泛使用。同时，由于现代电力科学的发展，在生产过程现代化以及人民生活水平提高方面，电能的应用已达到相当高的水平。可以说在现代生活的一切领域，电能已经成为不可缺少的二次能源。电力是工业的先行，是衡量一个国家国民经济发展水平的重要标志。为了加快我国社会主义经济建设，实现跨世纪的宏伟目标，电力工业必须有一个较高的发展速度。

解放前，旧中国的电力工业非常落后，全国电力总装机容量仅 185 万 kW，年发电量只有 43.1 亿 kW·h。发电厂大多数集中在东北和沿海的几个大城市，设备陈旧，类型庞杂，效率低，电能的规格也不能统一。

中华人民共和国成立以来，随着国民经济的恢复和发展，特别是改革开放以来，我国的电力工业得到了迅速的发展。到 1996 年底，全国电力装机总容量已达 23654 万 kW，到 1997 年底，年发电量已达 11132.86 亿 kW·h，均跃居世界第二位。

我国目前已能制造 60 万 kW 的汽轮发电机组和 32 万 kW 的水轮发电机组，最高输电电压等级为 500kV，750kV 超高压直流输电线路正在研制和设计中。除了继续兴建大型的坑口火电站外，我国正在兴建目前世界上最大的水电站——长江三峡水电站；除已建成的大亚湾核电站和秦山核电站一期外，我国还在兴建秦山核电站二期和广东岭澳核电站。我国电力工业正以前所未有的发展速度向前发展，成为国民经济发展的强大动力。

我国是能源丰富的国家，仅水电资源可开发的就有 3.78 亿 kW，居世界首位。此外，我国的煤、石油、天然气等资源的蕴藏量也很丰富。虽然我国的年发电量在世界排位较前，但人均用电量还是比较低。而且，能源开发在结构上还不是很合理，开发和利用的效益还有待提高。这些都是摆在电力工作者面前的光荣而艰巨的任务。

二、我国小水电发展概况

1986 年 4 月在我国杭州召开的国际小水电会议上对小水电作了如下的定义。小水电的含义包含着两个方面的内容：一是小水电的范畴，这是就有利于加强小水电的管理而言的；二是水电站装机容量的划分，这是就有利于加快小水电的建设而言的。

中国小水电的范畴，是指在一个县的范围内，其发电、供电和用电的统一，小水电的建设和管理的统一，电站、线路、负荷的同步发展，构成了中国小水电范畴的具体含义。小水电装机容量的划分，目前系指单机容量 6000kW 及以下，电站装机容量 1.2 万 kW 及以下。以小水电供电为主要电源的地方电力网，电压等级主要为 35、10kV 及 0.38kV。电站

和配套的小电网构成了小水电的具体含义。

我国小水电资源十分丰富,据普查,全国小水电资源理论蕴藏量为 1.5 亿 kW,其中可开发的为 0.7 亿 kW。自中华人民共和国成立以来,小水电及地方电网的发展速度快、规模大,其数量和容量均居世界首位。每年平均新增小水电装机容量 50 万 kW 以上,到 2000 年,小水电总装机将达到 2400 万 kW。小水电作为一种较有效和较实际的地方能源,在实现地方现代化尤其是农村电气化的进程中起到重要作用,特别是山区电气化,多数是以小水电为主要电源的。

我国一贯重视和支持小水电建设,制定了相应的一整套发展小水电的政策,并不断完善。近年来,又推行了“三自”政策,即“自建、自发、自用”,明确规定地方政府、企业或当地居民投资建造小水电站后有权管理电站,自用所发电量。这一政策使得小水电的发展充满活力,与之相适应的设备制造部门也得到发展。目前,生产小型水轮发电机组的厂家有 100 个左右,年生产容量达 100 万 kW 以上。在人才培养方面,全国现有二十多所中等专业学校和数十所技工学校开设小水电专业。所有这一切,必将使我国小水电事业进入一个蓬勃发展的新时期。

第二节 发电厂的类型及其生产过程

一、发电厂类型

发电厂是将自然界蕴藏的各种一次能源转换为电能(二次能源)的工厂。

发电厂按它所利用的能源不同,可分为水力发电厂、火力发电厂、核能发电厂以及风力发电厂、地热发电厂、太阳能发电厂、潮汐发电厂、沼气发电厂等类型。目前,电力系统主要由火力发电厂、水力发电厂以及核能发电厂等组成。

二、水力发电厂及其生产过程

水力发电厂是利用水流的位能来生产电能。当控制水流的闸门打开时,水流沿着压力管道进入水轮机蜗壳室,冲动水轮机,带动发电机发电。其能量转换过程是:水流位能→机械能→电能。由于水电站的发电容量与水电站所在地上下游的水位差(即落差,也称水头)和流过水电站水轮机的水量(即流量)的乘积成正比,所以建设水电站,必须用人工的办法来提高水位。最常用的办法,就是在河流上建筑一个很高的拦河坝,形成水库,提高上游水位,使坝的上下游形成尽可能大的落差,电站就建在堤坝的后面。这种水电站叫做堤坝式水电站,我国一些大型水电站属于这种类型。另一种提高水位的办法,是在具有相当坡度的弯曲河段上游筑一低坝,拦住河水,然后利用沟渠或隧道,将水直接引至建在河段末端的水电站。这种电站称为引水式水电站。还有一种电站,由高坝和引水渠道分别提高一部分水位,是上述两种电站的综合,称为混合式水电站。上述水电站的分类是按集中落差的方式来划分的。按主厂房的位置和结构来划分,可分为坝后式、坝内式、河床式、地下式等数种。按运行方式划分,还可分为有调节水电站、无调节(径流式)水电站和抽水蓄能电站。抽水蓄能电站是利用夜间用电低谷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。

水力发电有如下特点:

(1) 综合利用、梯级开发。开发水电可使发电、防洪、灌溉、航运、给水、渔业等各方面的任务得到合理解决，综合利用。还可以因地制宜，将整条河流分成若干河段，分别修建水力枢纽，施行梯级开发。

(2) 生产效率高、发电成本低。中小型水电厂的发电效率约为 80%~90%，而火电厂的发电效率仅 30% 左右，故水力发电能做到高效率地使用一次能源。水电站使用的是河流中年复一年、再生不竭的水资源，不需要消耗燃料，从而节省开采和运输燃料的资金和劳力。

(3) 机组启动快，宜担任调峰、备用任务。水电机组从静止状态启动到满负荷运行，正常情况下只需 4~5min，特殊情况下还可以缩短到 1min 左右；而火电机组则往往需要数小时，而且机组参数越高，容量越大，所需时间越长。故水电机组能适应负荷的急剧变化，宜承担电网的尖峰负荷，承担调峰任务。

(4) 有利于环境保护。水电站生产用水可以回收，对环境不会造成化学污染和热污染。合理设计的水电站还可以美化环境，改善生态。

(5) 投资大、工期长。修建水电站的施工工程量大，需修建高坝等建筑物，而且常常要淹没大片土地，需进行移民、搬迁企业、改建道路及砍伐森林等代价昂贵的工作。因此，开发水电与火电相比，投资大，建设周期长。

(6) 受自然条件影响大。水电站生产、建设都受自然条件的限制。河流的水文、地理、地质条件各不相同，水电开发必须因地制宜。随季节和气象条件的改变，水电站发电所依靠的降雨量也是变化的。因此，水电厂的发电量受自然条件影响较大。

三、火力发电厂及其生产过程

火力发电厂是利用燃料的化学能来生产电能。我国的火电厂以燃煤为主。为了提高燃料的效率，现代火电厂都把煤块粉碎成煤粉燃烧。煤粉在锅炉的炉膛内充分燃烧，将锅炉内的水加热成高温高压的水蒸气，推动汽轮机转动，使与它联轴的发电机旋转发电。其能量转换过程是：燃料的化学能→热能→机械能→电能。现代火电厂一般都考虑了“三废”（废渣、废水、废汽）的综合利用，不仅发电，而且供热。这种兼供热能的火电厂，称为热电厂或热电站。

四、原子能（核电）发电简介

原子能发电厂又称核能发电厂，简称为核电厂。它主要是利用原子核的裂变能来生产电能。它的生产过程与火电基本相似，只是以核反应堆（俗称原子锅炉）代替了燃煤锅炉，以少量的核燃料代替大量的煤炭。其能量转换过程是：核裂变能→热能→机械能→电能。由于核能是极其巨大的能源，而且核电站的建设具有重要的经济价值，所以世界上很多国家都很重视核电站的建设，核电发电量的比重正在逐年增长。我国也确定要适当发展核电的政策，并已兴建了广东大亚湾核电站（180 万 kW）和浙江海盐秦山核电站（30 万 kW）。还有一些核电站正在建设中，如 1996 年 6 月已开工的秦山核电站二期工程，计划建成两台 60 万 kW 的机组；1997 年 5 月开工的广东岭澳核电站，计划建成两台 100 万 kW 的机组等。

第三节 电力系统简介

为了充分利用动力资源，在有水力资源的地方建造水电站，在有燃料资源的地方建造

火电厂，以减少燃料运输，降低发电成本。但是这些有动力资源的地方，往往离用电中心较远，所以必须用高压输电线路进行远距离输电，如图 1-1 所示。

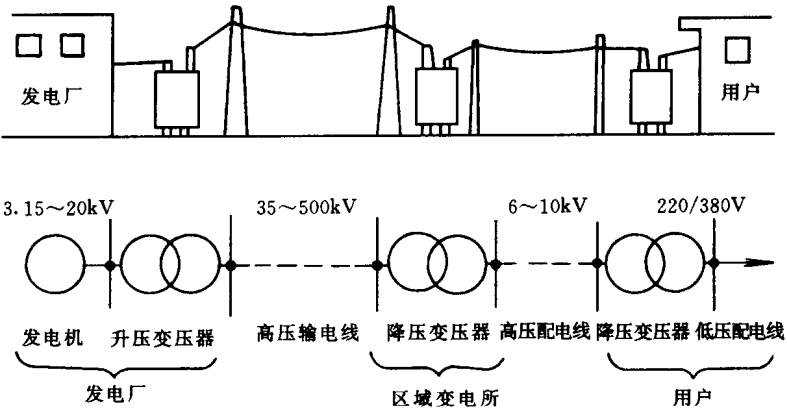


图 1-1 从发电厂到用户的送电过程示意图

由各种电压的电力线路将一些发电厂、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，叫做电力系统。图 1-2 是一个电力系统原理性电路图。图中核电

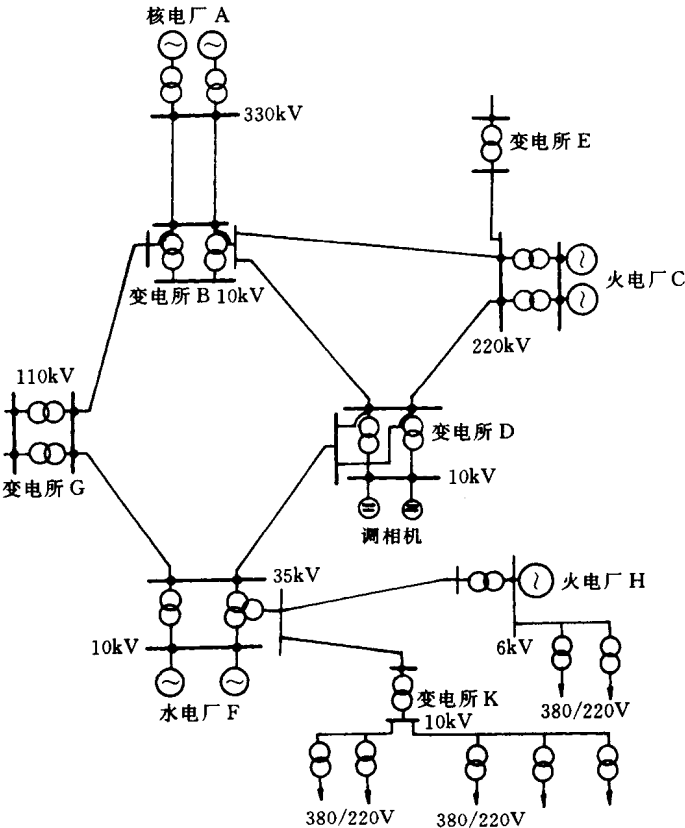


图 1-2 电力系统原理性电路图

站 A 大量的电能经过 330kV 超高压输电线路送到枢纽变电所 B。变电所 B 装设两台自耦变压器，与 220kV 及 110kV 系统联系，并用 10kV 电压给变电所附近用户供电。220kV 系统中包含有变电所 B、火力发电厂 C 和变电所 D，220kV 输电线路构成一环形电网以提高供电可靠性。变电所 D 可以从核电厂 A 及火电厂 C 取得电源。火电厂 C 还给变电所 E 供电。变电所 D 与水电厂 F、变电所 B 之间用 110kV 输电线路连接，110kV 输电线路也构成一环形电网。变电所 D 的 10kV 母线上还装有两台调相机，供给本地区的无功负荷，可以减小从发电厂 A 及 C 送来的无功功率，从而降低了线路损耗。

水电厂 F 是地方性电厂，周围有集中的工业负荷，该电厂可满足附近工业负荷的需求。火电厂 H 是地方性小厂，主要用 6kV 电压给附近用户供电，并用 35kV 输电线路与水电厂 F 联系。水电厂 F 还用 35kV 输电线路送电给地区变电所 K。

10kV 及以下的配电线路（图中仅画出一部分），送电给各用户，用户再用配电变压器将电压降为 380/220V 供动力和照明用电。

建立统一电力系统的作用：

(1) 可以充分利用动力资源和充分发挥各类电厂的作用。各类型电厂只有并入系统才能实现经济运行；夏季丰水期可以让水电厂担任基本负荷尽量多发电，冬季枯水期可让水电厂担任系统的尖峰负荷，而让容量大、效率高的火电厂担任基本负荷。这样可以提高整个系统运行的经济性，充分利用水利资源，减小火电厂煤耗。

(2) 可以减小备用容量。例如孤立运行的发电厂为了代替损坏或检修机组的工作，必须装设各自的备用机组，因而所需要的总备用容量很大。建立系统后，就不必在每个发电厂中都装备用机组，只需在系统中有公用的备用机组（备用容量）就可满足各电厂的要求，因而减小了设备的投资。

(3) 可以大大提高供电的可靠性。因为当一个电厂发生故障时，其所带负荷可以分配给其他发电厂。

电力系统运行的基本要求：

(1) 保证完成国家的生产计划，满足最大负荷需要。

(2) 保证供电的可靠性。

(3) 保证供电质量。即保证电力系统的频率和电压不超出规定的容许变动范围（频率不得超过 $\pm 0.5\text{Hz}$ ，电压不得超过 $\pm 5\%$ ）。

(4) 保证运行经济合理。

(5) 保证运行人员和设备的安全。

电力系统是一个十分复杂的系统，其中任何一个环节出现不正常运行情况或发生故障，都会影响整个系统的正常工作，为此必须设置统一的中心调度机构进行指挥，以保证满足电力系统基本要求。

第四节 水电站电气设备概述

为了便于学习本书以后章节，下面对发电厂和变电所的电气设备及其一些基本概念作一简单介绍。

一、主要电气设备分类及其用途

水电站一次系统的主要工作是生产、输送和分配电能。运行人员必须根据水库管理和负荷变化等方面的要求，启动、调整和停止机组；完成改变运行方式所必须的各种切换操作；不间断地监视主要设备的工作，及时地发现事故、故障以及工作中的错误并采取相应的措施加以解决；周期性地检查和维护主要设备，定期检修设备，以确保设备运行时安全可靠。根据生产上的要求，水电站一次系统装设有下列主要电气设备。

(一) 一次电气设备

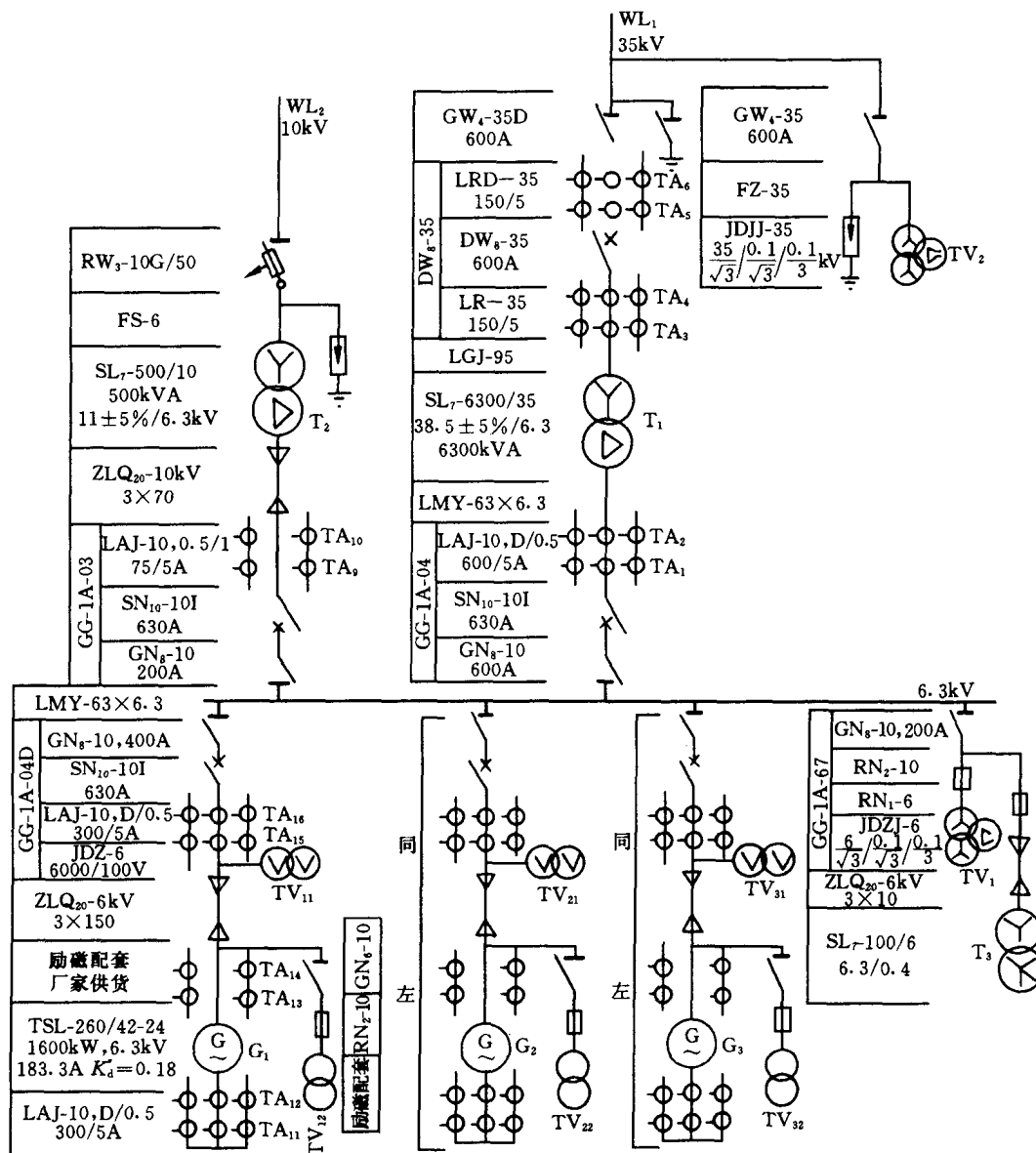


图 1-3 水电站电气主接线全图

用于生产、转换、传输和分配电能的设备称为一次设备。包括发电机、变压器、断路器、隔离开关、低压开关、母线、电力电缆、电抗器、避雷器、熔断器、电流互感器、电压互感器等。

(二) 二次电气设备

凡是对一次设备的工作进行监察、测量和控制保护的设备都属于二次设备的范围。例如仪表、继电器、自动控制设备、信号设备及控制电缆等都属于二次设备。

二、电路图的分类及其举例

水电站一次系统中，各种电气设备根据工作的需要和它们的作用，依一定的次序用导线连成的电路称为电气接线图或电路图。其中一次设备连成的电路称为电气主接线或一次电路，它大体上能表示电能的生产、汇集和分配的电气全过程，构成发电站的主体。二次设备连成的电路称为二次电路。

电路图用一定的图形符号描绘成三线图或单线图，主接线通常画成单线图形式。下面以某水电站主接线图为例，说明各种主要电气设备的连接情况，如图 1-3 所示。

图 1-3 所示为一座装有三台发电机的水电站，电能通过主变送入 35kV 电网，近区变用 10kV 电压等级向近区供电。在水电站中，发电机 6.3kV 电压配电装置、厂用变压器、低压厂用配电装置，一般安装在副厂房内，有的则装在主厂房内发电机附近。升压变压器、高压配电装置通常在户外安装，称为户外配电装置。而电气主接线上要求的二次系统设备，通常装在专门的主控室内。图中一些内容将在后续的章节中逐步地学习到，主要一次设备的图形符号和文字符号见表 1-1。

表 1-1 主要一次设备的图形符号和文字符号

序号	设备名称	图形符号	文字符号	序号	设备名称	图形符号	文字符号
1	交流发电机		G 或 GA	7	自耦变压器		T 或 TA
2	直流发电机		G 或 GD	8	电抗器		L
3	交流电动机		M 或 MA	9	分裂电抗器		L
4	直流电动机		M 或 MD	10	避雷器		F
5	双绕组变压器		T 或 TM	11	火花间隙		F
6	三绕组变压器		T 或 TM	12	电力电容器		C

续表

序号	设备名称	图形符号	文字符号	序号	设备名称	图形符号	文字符号
13	整流器		U	22	断路器		Q 或 QF
14	电流互感器		TA	23	负荷开关		Q
15	双绕组电压互感器		TV	24	具有自动释放的负荷开关		Q
16	三绕组电压互感器		TV	25	接触器		K 或 KM
17	输电线路		W	26	具有自动释放的接触器		K 或 KM
18	母线		W	27	低压断路器		QF
19	电缆终端头		W	28	熔断器		F 或 FU
20	隔离开关		Q 或 QS	29	跌落式熔断器		FU
21	隔离插头和插座		Q 或 QS	30	接地		

思 考 题

1. 发电厂有哪些类型？
2. 水电站按水头聚集方式划分有哪些基本类型？
3. 试述水电站的生产过程。
4. 为什么要建立统一的电力系统？
5. 电力系统运行必须满足哪些基本要求？
6. 何谓一次电气设备、二次电气设备？
7. 熟悉并掌握主要一次设备的图形符号和文字符号。

第二章 电力系统中性点运行方式

电力系统中性点是指三相绕组作星形连接的发电机或变压器的中性点。我国电力系统中性点运行方式主要有：中性点不接地、经消弧线圈接地、直接接地等。前两种由于发生单相接地时接地电流小，称为小接地电流系统；后一种由于单相接地时（单相短路）接地电流很大，故称为大接地电流系统。

电力系统中性点的运行方式不同，系统的技术特性也不同。因而，它对供电的可靠性、系统的过电压和绝缘配合、继电保护和自动装置的正确动作、通信的干扰等均有很大的影响。下面我们分别讨论这三种电力系统中性点的运行方式。

第一节 中性点不接地系统

在三相电力架空线路中，每两相导线之间及各相导线与地之间都存在电容，电容的大小决定于线路的结构及长度。这种电容沿导线全长均匀分布，当线路带电时则在上述分布电容中有电容电流流过。为了便于讨论，假设三相系统是对称的，并将每相导线与地之间沿线路全长均匀分布的电容用连接在线路中央的集中电容 C 代替，如图 2-1 (a) 所示。各相之间的电容及由它所决定的电容电流对我们讨论的结果没有影响，在此不作讨论。图 2-1 (a) 中左侧为电源，它可以是发电机的三相绕组，也可能是变压器的二次侧三相绕组。

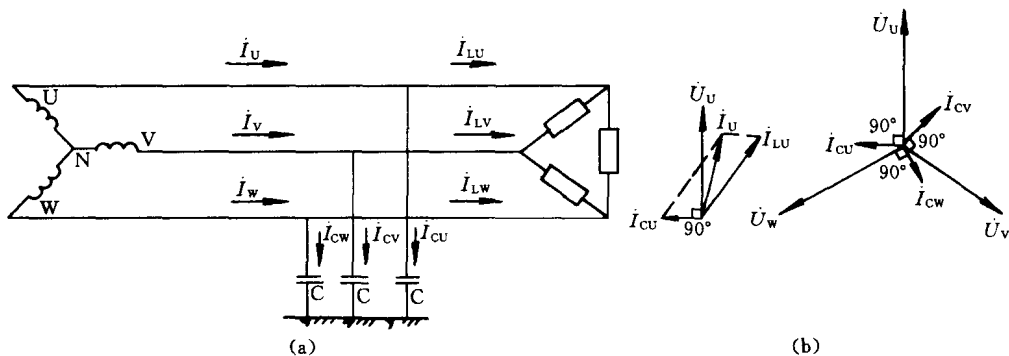


图 2-1 中性点不接地系统的正常工作状态

(a) 电路图；(b) 向量图

一、中性点不接地系统正常运行

正常运行时，各相对地的电压是相电压，相电压 $\dot{U}_u, \dot{U}_v, \dot{U}_w$ 对称，数值 U_{xg} 。如线路经过完善的换位，三相对地电容是相等的，则各相对地电容电流也是对称的，如图 2-1 (b) 中 $\dot{I}_{CU}, \dot{I}_{CV}, \dot{I}_{CW}$ 。电源各相电流 $\dot{I}_U, \dot{I}_V, \dot{I}_W$ 分别等于负荷电流 $\dot{I}_{LU}, \dot{I}_{LV}, \dot{I}_{LW}$ 与各相对地电容电流的向量和，如图 2-1 (b) 所示，设各相负荷对称，负荷电流相等，又因为三

相对地电容电流对称, 故各相负荷电流与电容电流的向量和等于零, 地中没有电容电流通过, 系统中性点的电位为零。

实际上, 由于架空线路的导线排列不对称、换位不完全等原因, 各相对地电容是不完全相等的。此外, 负荷也很难绝对平衡, 所以在正常运行时, 中性点的电位可能不为零, 会发生中性点位移的现象。但这并不影响我们后面讨论的结论。

二、单相接地故障

某一相导线与地之间的绝缘受到破坏, 称为单相接地故障。若接地处相线与地之间的电阻为零, 就称为完全接地或金属性接地, 否则称为不完全接地。

(一) 单相完全接地 (金属性接地)

当一相发生完全接地故障时, 如图 2-2 (a) 所示。假设 W 相发生完全接地, 这时故障相对地的电压 $\dot{U}_w$ 变为零, 中性点的对地电压变为相电压, 非故障两相对地电压值升高到 $\sqrt{3}$ 倍, 即变为线电压。

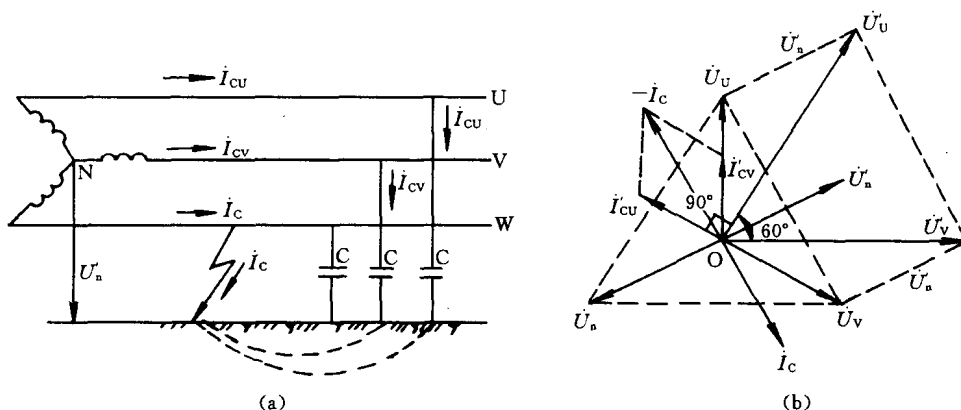


图 2-2 中性点不接地系统的单相接地 (未计入负荷电流)

(a) 接线图; (b) 向量图

令中性点对地电压为 $\dot{U}'_n$, 则可写出电压方程式

$$\dot{U}_w + \dot{U}'_n = 0$$

由此得到

$$\dot{U}'_n = -\dot{U}_w$$

此时, U 相对地的电压为 $\dot{U}'_u$, 它等于 U 相电压加中性点电压, 即

$$\dot{U}'_u = \dot{U}_u + \dot{U}'_n = \dot{U}_u - \dot{U}_w$$

V 相对地的电压为 $\dot{U}'_v$, 它等于 V 相电压加中性点电压, 即

$$\dot{U}'_v = \dot{U}_v + \dot{U}'_n = \dot{U}_v - \dot{U}_w$$

图 2-2 (b) 为 W 相发生完全接地时的向量图。由图可见 $U'_u = U'_v = \sqrt{3}U_u$, $\dot{U}'_u$ 与 $\dot{U}'_v$ 之间的夹角为 60° 。这是中性点不接地的三相系统发生单相接地故障时各相对地电压的变化。