

国家示范性高等职业院校建设规划教材

水电厂电气一次系统及运行

孙兰凤 主编
袁兴惠 主审

SHUIDIANCHANG DIANQI YICI XITONG JI YUNXING



黄河水利出版社



国家示范性高等职业院校建设规划教材

水电厂电气一次系统及运行

主 编 孙兰凤

副主编 龚在礼 张丽娟

主 审 袁兴惠

黄河水利出版社

郑州·

内 容 提 要

本书是国家示范性高等职业院校建设规划教材,是为满足国家示范性高职院校四川电力职业技术学院重点建设项目水电站动力设备与管理专业建设的需要,根据教育部水电站动力设备与管理专业及专业群人才培养方案和水电厂电气一次系统及运行课程标准编写而成的。本书是按照行动导向、项目化教学的新的教育理念编写的教材,主要内容包括:电力系统认知及运行、高低压开关电器认知及运行、其他高压电器及运行、电气一次系统及运行、电力系统过电压保护、电力系统频率与电压调节、电气安全用具与触电急救等七个项目,以及拓展知识。

本书适合高职高专院校水电站动力设备与管理专业教学使用,亦可作为本、专科函授及电力类在岗技术人员的培训教材,还可供从事发电厂电气一次部分设计工作的工程技术人员学习、参考。

图书在版编目(CIP)数据

水电厂电气一次系统及运行/孙兰凤主编. —郑州:
黄河水利出版社, 2014. 5
国家示范性高等职业院校建设规划教材
ISBN 978 - 7 - 5509 - 0803 - 1

I. ①水… II. ①孙… III. ①水力发电站 - 一次
设备 - 高等职业教育 - 教材 IV. ①TV734

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 096888 号

组稿编辑:王路平 电话:0371 - 66022212 E-mail:hhsllwlp@163.com

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 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:hhslebs@126.com

承印单位:郑州文华印务有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:19

字数:440 千字

印数:1—1 000

版次:2014 年 5 月第 1 版

印次:2014 年 5 月第 1 次印刷

定价:42.00 元



前言

本书是根据《教育部关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号)、《教育部关于推进高等职业教育改革创新引领职业教育科学发展的若干意见》(教职成[2011]12号)等文件精神,在全国水利水电高职教研会指导下,用中央财政安排的“支持高等职业学校专业建设”项目经费组织编写的教材。

本套教材以学生能力培养为主线,以工作任务为载体,融“教、学、练、做”为一体,适合开展项目化教学,体现实用性、实践性和创新性的特色,是一套紧密联系生产实际的高职高专教育精品规划教材。

本书是国家示范性高职院校四川电力职业技术学院重点建设项目水电站动力设备与管理专业建设成果之一。

本书针对专业课程体系对课程进行系统优化设计,根据岗位知识技能对课程的要求,充分考虑课程在专业人才培养中的地位、作用以及与其他课程的前后衔接,以水电厂运行值班员职业能力培养为重点,突出高职教育的职业性、实践性和开放性特色。通过召开实践专家座谈会,进行职业分析,归纳典型工作任务转化为学习领域,设计出学习项目。同时,分析水电厂运行值班员所需的职业能力,确定学习内容,并融入水电厂运行值班员职业资格证书要求的能力,实现双证融通。课程以电气设备为载体,按平行关系排列学习项目,按照任务教学加上各种方式的实训,实施理实一体的教学。

本书由四川电力职业技术学院承担编写工作,编写人员及编写分工如下:项目1,项目2,项目3的任务3.2,项目4的任务4.1中的4.1.1、4.1.2、4.1.3,任务4.3,项目7及拓展知识I由孙兰凤编写;项目3的任务3.1,项目5,项目6由张丽娟编写;项目4的任务4.1中的4.1.4,任务4.2,拓展知识II由龚在礼编写。本书由孙兰凤担任主编,并负责全书统稿;由龚在礼、张丽娟担任副主编;由四川水利职业技术学院袁兴惠担任主审。

由于编者水平有限,书中难免存在不足和疏漏,欢迎读者提出宝贵意见。

编者

2013年10月



目 录

前 言

项目 1 电力系统认知及运行	(1)
任务 1.1 发电厂认知	(1)
任务 1.2 电力系统认知	(5)
任务 1.3 电力系统短路电流分析	(19)
任务 1.4 中性点的不同运行方式分析	(28)
项目 2 高低压开关电器认知及运行	(39)
任务 2.1 电气触头及电弧认知	(39)
任务 2.2 断路器及运行	(55)
任务 2.3 隔离开关及运行	(84)
任务 2.4 熔断器及运行	(96)
拓展知识 I 低压开关电器及运行	(102)
项目 3 其他高压电器及运行	(115)
任务 3.1 互感器	(115)
任务 3.2 母线、电缆及绝缘子运行维护	(135)
项目 4 电气一次系统及运行	(150)
任务 4.1 电气主接线分析	(150)
任务 4.2 厂用电接线分析及厂用配电柜认知	(212)
任务 4.3 电气设备倒闸操作	(226)
项目 5 电力系统过电压保护	(244)
任务 5.1 外部过电压及保护措施	(244)
任务 5.2 内部过电压及保护措施	(254)
项目 6 电力系统频率与电压调节	(260)
任务 6.1 有功功率和频率的调节	(260)
任务 6.2 无功功率和电压的调节	(264)
项目 7 电气安全用具与触电急救	(271)
任务 7.1 电气安全工器具	(271)
任务 7.2 人身触电急救	(276)
拓展知识 II 人体触电及接地与接零	(285)
参考文献	(297)



项目1 电力系统认知及运行

◆项目描述

本项目主要培养学生认识不同发电厂的生产过程和特点,同时能叙述水电厂的基本设备及水力发电的生产过程;能分析水电厂电力系统的构成及电气设备的分类,能叙述电气设备的主要参数指标;能进行中性点接地方式的比较和分析;对短路的类型、危害、防止措施进行分析及进行短路电流的计算。

◆教学目标

1. 知道发电厂的类型,能分析不同发电厂的工作过程及工作特点;
2. 知道电力系统的构成、电气一次及二次设备的组成及主要参数;
3. 能分析电力系统的特点及对电力系统的要求,能分析主要的额定参数;
4. 能进行中性点接地方式的比较和分析;
5. 知道短路的类型、危害及防止措施,能进行短路电流的计算。

◆教学环境

相关电厂、电气相关的实训室、多媒体课件、相关的视频资料。

任务1.1 发电厂认知

◆教学目标

1. 知识目标

- (1) 知道发电厂的类型、工作过程及特点;
- (2) 熟知水电厂的基本设备及水力发电的生产过程。

2. 能力目标

能叙述不同发电厂的生产过程,分析其基本结构及特点。

◆任务描述

分析水电厂的生产过程,要求叙述电厂基本的结构组成,绘制各组成的连接图并说明生产过程。

◆任务准备

- (1) 安全帽、手电筒;
- (2) 熟悉安全注意事项,注意现场设备勿误触碰,注意高压设备间隔;
- (3) 相关的水力发电厂、火力发电厂等的影像、视频资料。

◆相关知识

发电厂是电力系统的电力生产环节,其作用是把自然界演化生成的各种形式的一次能源(如煤炭、石油、天然气、水利等)转变成二次能源——电能。

发电厂按所采用的一次能源划分,目前主要有火力发电厂、水力发电厂、核能发电厂、风力发电厂、潮汐发电厂、地热发电厂、垃圾发电厂、沼气发电厂等多种类型。我国电力工业目前装机容量最多的主要是火力发电厂和水力发电厂。发电厂按其装机容量和供电范围分类,又分为区域发电厂、地方发电厂和用户自备电厂。

下面主要介绍水力发电厂、火力发电厂和核能发电厂。

1.1.1 水力发电厂

水力发电厂(简称水电厂),是将水的位能和动能转换为电能的工厂。水流冲击水轮机旋转,带动发电机发电,图 1-1 为几种水力发电厂的示意图。

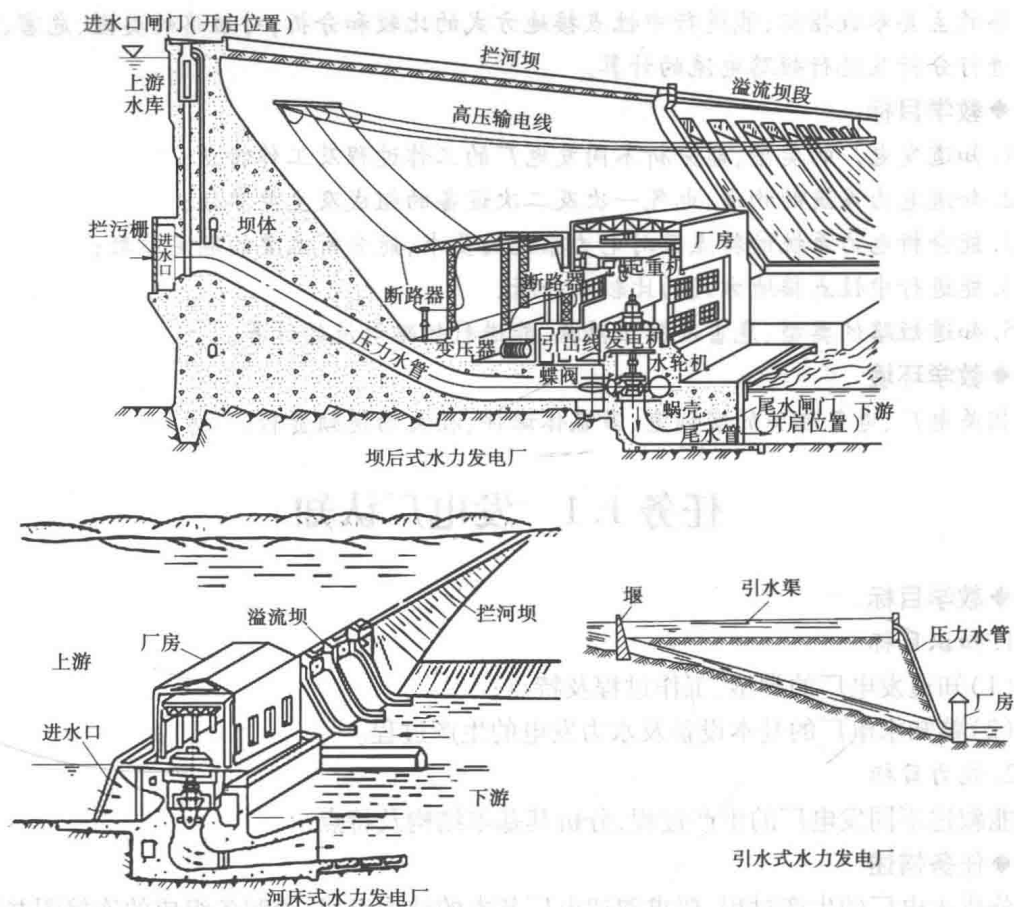


图 1-1 水力发电厂

按取水方式的不同,可分为以下三种:

(1) 堤坝式水电厂。在河流的适当位置修建堤坝,形成水库,利用坝的上下游水位的落差,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,这种电厂只能按天然江河的水流量及水位落差来发电,受季节影响较大。

(3)抽水蓄能电站。这是一种特殊形式的水电厂,如图 1-2 所示,由高落差的上、下游水库和水轮机-发电机-水泵的可逆机组组成。

当系统处于低谷负荷时,机组以电动机-水泵方式工作,吸收电力系统的有功功率将下游的水抽至上游水库蓄存起来,把电能转换为水能,这时它是用户,相当于将交流电能以水的位能的形式蓄存起来,用以改善电力系统的运行调度。当系统处于高峰负荷时,机组按水轮机-发电机方式运行,使所蓄的水用于发电,以满足调峰需要,这时它是发电站。

抽水蓄能电站是电力系统的填谷调峰电源,可以做调频、调相和系统的备用容量,一般可与发电出力较稳定的核电站配合设置。

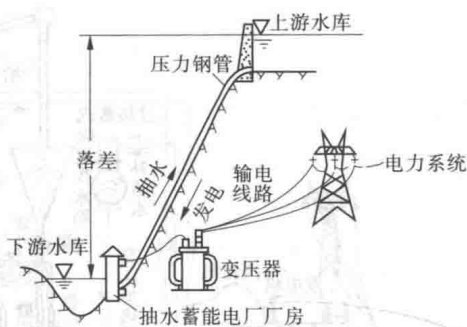


图 1-2 抽水蓄能电站

1.1.2 火力发电厂

火力发电厂是利用燃料(如煤、石油、天然气)的化学能来生产电能,按其作用分为凝汽式发电厂和供热式发电厂两种类型。

1.1.2.1 凝汽式发电厂(通常称为火电厂)

只生产电能的火电厂称为凝汽式发电厂,其生产过程如图 1-3 所示。将天然化石的化学能通过炉内燃烧的方式转变为热能,加热锅炉中的工质水使之变为高温、高压的蒸汽,在汽轮机内膨胀做功推动汽轮机转子,使之转变为旋转机械能带动发电机发电。在汽轮机内做完功的乏汽经凝汽器放出大量的汽化潜热后凝结为水,通过加热器加热、给水泵升压后,再次送入锅炉汽包内循环使用。

凝汽式发电厂由于在凝汽器内,大量做过功的乏汽的汽化潜热被循环冷却水冷凝带走,因此热效率较低,只有 30%~40%,为避免长距离的煤运输,适宜建在燃料产地,称为坑(矿)口电厂。

1.1.2.2 供热式发电厂(通常称为热电厂)

既担任发电任务,同时具有向用户供热负荷(蒸汽、热水)作用,建于供热用户负荷中心的火电厂,称为热电厂。将部分做过功的蒸汽从汽轮机某段抽出供给热用户的,称为抽汽式热电厂,这类热电厂的发电负荷不受热用户负荷的影响,由于避免了部分蒸汽排入凝汽器,热损失减小,热经济性好于凝汽式电厂。另一类热电厂称为背压式电厂,其所有乏汽在较高的压力、温度下全部供给热用户,避免了所有排汽热损失,因此其热效率最高,但发电量受热负荷变动的控制,热用户也具有选择性,其使用范围远小于抽汽式热电厂。

1.1.3 核能发电厂

核能发电厂通常称为核电站,或原子能发电厂。以核反应堆取代火电厂的锅炉装置,

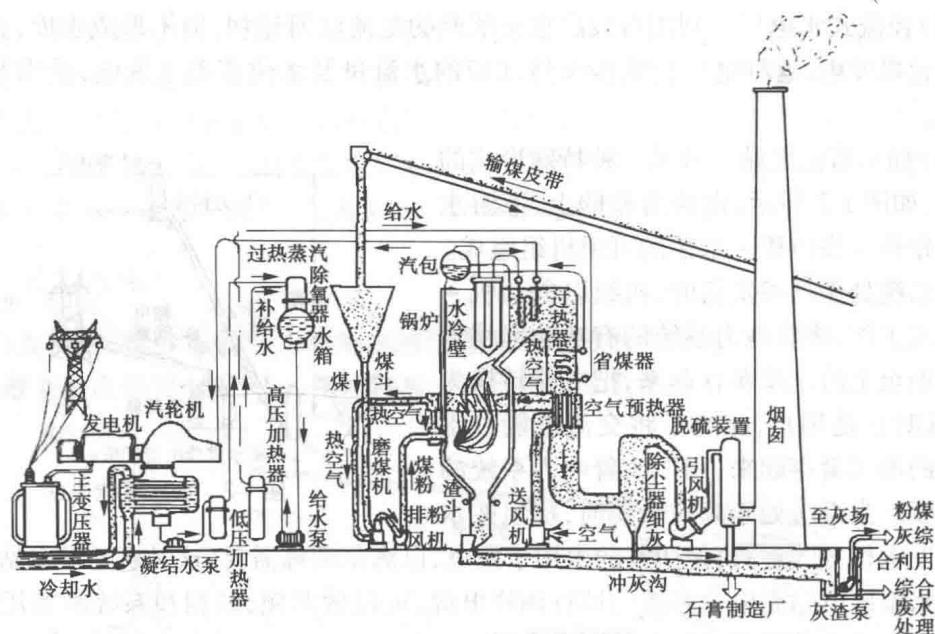


图 1-3 凝汽式发电厂生产流程

如图 1-4 所示。反应堆采用铀 235 为原料,水、重水或石墨等作为快中子减速剂,铀在慢中子的撞击下产生链式反应,分裂原子核,放出能量,加热水成为高温高压蒸汽,冲动汽轮机再带动发电机工作。



图 1-4 大亚湾核电厂

核电站的单元容量由核反应堆的安全性因素决定。由于核电生产特点的要求,核电站在系统中承担基本负荷,设备年利用小时数在 6 500 h 以上。

由于原子裂变释放的能量巨大,所以核电厂消耗的核燃料很少,因而经济效益很高。

远离负荷中心的大容量的凝汽式火力发电厂、水力发电厂,由于容量较大,输电距离较远,所以把电压升高到 500 kV 甚至更高电压后经线路送出。中型发电厂的电能升压至 220 kV 后由输电线路送到变电站,并通过线路与 220 kV 电网相联系。热电厂由于要兼供热,所以建在用户附近,它除了可用 10 kV 发电机电压直供给附近地区用电,也可通过升压变压器升高到某一个或两个电压等级向电网送电。



◆任务实施

- (1) 实习联系: 实习地点落实、时间确定、车辆联系;
- (2) 实习动员: 安全教育、纪律教育、实习任务布置;
- (3) 入厂安全教育: 安全规程学习与考试;
- (4) 认识电厂中发电、变电、送电环节, 拍照记录;
- (5) 水机部分结构认识, 拍照记录;
- (6) 电气部分结构认识, 拍照记录;
- (7) 辅助设备及系统认识, 拍照记录;
- (8) 各主要部件名称、作用, 部件之间的相对位置描述。

◆思考问题

- (1) 水电厂的生产过程是怎样的?
- (2) 水电厂的主要设备有哪些? 各有什么作用?

◆任务评价

- (1) 评价内容。

实际操作: 学生拍照记录现场对应的全部设备, 写出各设备的名称及作用。教师自行设计考核表格与评分标准, 通过考核学生拍照记录、设备名称与作用表述, 进而考核学生对水电厂设备的熟知情况和工作原理的掌握程度。

解答思考问题: 学生解答思考问题, 学生自评、互评, 老师审定成绩。

职业素质养成考核: 遵守安全规章制度, 遵守纪律、吃苦耐劳, 一丝不苟地工作, 与团队成员、教师和工厂师傅进行有效的沟通, 协作共事等。

- (2) 成绩构成。

实际操作 40%, 解答思考问题 40%, 职业素质 20%。

任务 1.2 电力系统认知

◆教学目标

1. 知识目标

- (1) 知道电力系统的组成及特点;
- (2) 知道变电站、电力网的类型;
- (3) 知道电气设备的分类及主要参数。

2. 能力目标

- (1) 能用图形描述电力网、电力系统、动力系统之间的关系, 能分析电力系统的特点;
- (2) 能叙述主要的一次设备, 能分析一次设备的主要参数。

◆任务描述

分析电力系统的组成及特点; 在水电厂认识常规的电气一次设备。

◆任务准备

- (1) 安全帽;
- (2) 熟悉安全注意事项, 注意现场设备勿误触碰, 注意高压设备间隔;

(3)相关的电力系统的影像、视频资料。

◆相关知识

1.2.1 变电站

变电站是汇集电源、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,主要用来变换电压、输送电能、分配电能,其关键设备是主变压器。

设于发电厂端连接发电机出线,再将发电机输出电压升高后通过高压输电线路送入电网的变电站称为升压变电站;设于输配电线路受电端的变电站称为降压变电站。

根据在电力系统中的地位和作用,变电站可分为以下几类:

(1)枢纽变电站。位于电力系统的枢纽点,电压等级一般为 330 kV 及以上,对于保证电网的稳定、可靠运行,其地位十分重要,如发生事故将造成大面积停电,或系统瓦解。其特点是联系电源多、出线回路多、变电容量较大。

(2)中间变电站。位于发电厂和负荷中心之间,与系统主干环线或主要干线连接,电压等级一般为 220 ~ 330 kV,汇集 2 ~ 3 个电源和若干线路,从这里可以转送一部分高压负荷,或抽引一部分负荷,降压向附近地区供电,若停电将引起区域电网解列。

(3)地区变电站。它是一个地区或一个中、小城市的主要变电站,电压等级一般为 110 ~ 220 kV,全站停电后将造成该地区或城市供电的紊乱。

(4)企业变电站。它是大中型企业的专用变电站,电压等级一般为 35 ~ 220 kV,1 ~ 2 回进线。

(5)终端变电站。它只是负责供应一个局部地区的负荷,而不承担转送功率。位于配电线路的终端,接近负荷区域,高压侧为 10 ~ 110 kV 引入线,经降压后向用户供电。

1.2.2 电力线路

电力线路按结构可分为架空线路和电缆线路两大类。

(1)架空线路。将导线通过杆塔架设在户外地面上空,由导线、杆塔、避雷线、绝缘子和金具等元件组成。

(2)电缆线路。一般用在变压器配电线路出线、水下线路、污染严重的地区和因建筑拥挤或要求美观的城市配电线路等处,一般埋在地底下的电缆沟或管道中,它由导线、绝缘层、保护层等构成。

1.2.3 电力网

电力系统中由升压和降压变电站通过输配电线路连接起来的部分(不包括用户的用电设备及低压接户线设备)称为电力网,包括送电、变电、配电三个部分。

电力网按其其在电力系统中的不同作用,分为输电网和配电网。

(1)输电网。

以高电压、超高电压输电线路将发电厂与变电站、变电站与变电站之间连接起来的送电网络称为输电网,它是电力网中的主网架。电网中通常把 330 ~ 750 kV 的电压称为超高压,而把 750 kV 及以上的电压称为特高压。

(2)配电网。

直接将电能送到用户的网络称为配电网。配电网的电压因用户的需求而定,因此又分为高压配电网(35~220 kV)、中压配电网(3~10 kV)、低压配电网(220 V、380 V)。

电力网按其供电范围、电压高低可分为地方电力网和区域电力网。

(1)地方电力网。电压等级一般不超过110 kV,供电距离多在100 km以内,主要是一般城市、工矿区、农村的配电网络。

(2)区域电力网。把范围较广地区的发电厂联系起来,且输电线路长、电压高、传输功率大,用户类型也较多。目前我国,区域电力网的电压都在110 kV以上,包括330 kV及以上的超高压,基本上各省都形成了跨省(区)的多个大电力网。

电力网按结构特征分为开式电力网(又称为无备用网络)、闭式电力网(又称为有备用网络)两种,如图1-5所示。

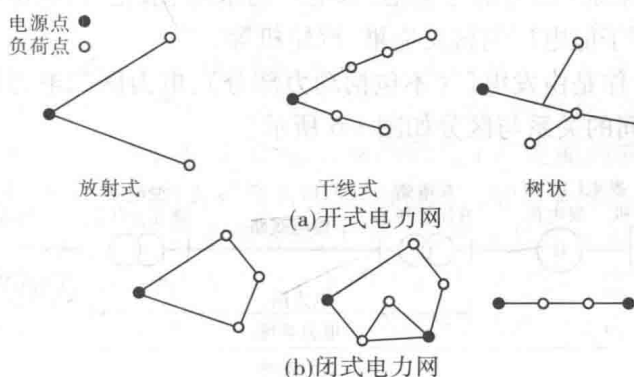


图1-5 开式、闭式电力网示意图

用户只能从单方向获得供电的称为开式电力网(无备用网络);能从两个或两个以上方向获得供电的称为闭式电力网(有备用网络)。

电力网中当输送的功率一定时,输电电压愈高,线路上的电流就愈小,从而线路上的电压损耗和功率损耗就愈小,电力可有效传输的距离就愈长。而且,线路上的电流小,所需导线载流部分的截面积就小,可以节省线路投资。同样,在相同的电流下,提高电压,就能提高输送功率。所以,一般说来传输功率愈大,输送距离愈远,则选用较高的电压等级较为有利。但是,电压愈高,对绝缘的要求就愈高,结果导致投资增加。综合考虑以上各方面的因素,对应于某一输送容量和输送距离,应采用一个较为经济合理的输电电压。

我国电力网所用电压等级的输电线路距离、输电容量如表1-1所示。

表1-1 架空线路的输送能力

额定电压(kV)	输送容量(MVA)	输送距离(km)	额定电压(kV)	输送容量(MVA)	输送距离(km)
3	0.1~1.0	1~3	110	10~50	50~150
6	0.1~1.2	4~15	220	100~500	100~300
10	0.2~2	6~20	330	200~800	200~600
35	2~10	20~50	500	1 000~1 500	150~850
60	3.5~30	30~100			

1.2.4 电力系统

1.2.4.1 构成

1. 电力系统的构成

随着发电厂的数量和容量不断增加,为了提高供电的可靠性和经济性,把地理上分散的发电厂通过各种电压等级的输、配电线路、升压和降压变电站等相互连接形成一个整体,供电给电力用户时,就形成了现代电力系统。因此,电力系统是由发电厂、升压变电站、输配电线路、降压变电站及用户用电设备有机连接起来的统一整体,它涵盖了发电、输电、配电及用电的全过程。

2. 动力系统的构成

电力系统加上发电厂中驱动发电机转动的动力部分、供热以及用热设备,统称为动力系统。发电厂(电力系统)动力部分包括:水电厂的水库、水轮机;火电厂的锅炉、汽轮机、燃气轮机、热网等;原子能电厂的核反应堆、汽轮机等。

电力系统也可看作是由发电厂(不包括动力部分)、电力网和电力用户用电设备所组成的整体,这三者之间的关系与区分如图 1-6 所示。

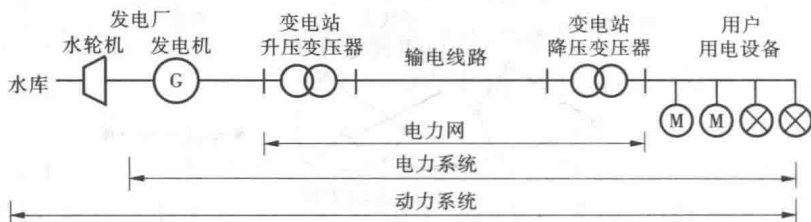


图 1-6 动力系统与电力系统、电力网关系示意图

1.2.4.2 电网互联的优越性分析

实践证明,当各孤立运行的发电厂通过电力网连接起来形成并联运行的电力系统后,使发电、供电和用电连接成为整体,在技术和经济上将带来很大好处,主要表现为:

(1) 提高电网运行的可靠性。在结构合理的电力系统中,由于是多电源联合供电,机组台数多,即使个别机组或电源发生故障,其他机组或电源仍可以在出力允许的情况下多带负荷;一条输电线路发生故障时,用户还可以从系统的其他部分获得电源,从而提高供电的可靠性。

(2) 提高电能质量。电能质量用频率、电压的波形和电压来衡量,其数值应按规定要求,保持在一定的允许变动范围内。由于电力系统容量大,负荷波动所引起的频率和电压波动就会减小,电能质量就可以提高。

(3) 减少系统中的总装机容量。电力系统供电的各电力用户的最大负荷是不会同时出现的,因此系统中最大综合负荷总小于各用户最大负荷的总和。由于系统中最大综合负荷降低,也就可以相应地减少系统的总装机容量。为了保证对用户的可靠供电,无论是孤立电厂还是电力系统,都需要检修备用和事故备用容量。在孤立电厂中,备用容量不应小于电厂最大机组的容量(可占电厂总容量的 30% ~ 40%)。而在电力系统中,所有发电



厂连接在一起并联运行,由于各发电厂的机组互为备用,可以错开检修时间,备用容量只需系统总容量10%~15%,即不小于系统中最大一台机组容量即可。显然,此时电力系统的备用容量比各孤立电厂备用容量的总和小,即系统总装机容量可以减小。

(4)可以装设大容量机组,推动技术进步和设备升级。形成电力系统后,由于总负荷的增大,因此可以装设大容量机组。大容量机组效率高,每千瓦投资以及维护费用都比多台小机组经济得多。但是,电力系统中所采用的最大机组容量,以不超过总装机容量的15%~20%为宜。

(5)能够充分利用动力资源。如果不形成电力系统,很多能源难以得到充分利用。例如,水力发电厂的出力取决于河流的来水情况,而水流情况是多变的,很难与电力负荷相适应,往往枯水季节出力不足,而在丰水季节却要弃水。当水电厂投入电力系统后,它的运行情况就可以与火电厂相互调剂组合。在丰水季节,可以让水电厂尽量多发电以减少火电厂的出力,节省燃料;而在枯水季节则让水电厂担负尖峰负荷,火电厂担负固定的基本负荷。这样既充分利用了水能资源,又提高了火电厂的运行效率,降低了煤耗。

(6)提高运行的经济性。形成电力系统后除了充分利用动力资源,在系统中还可以经济合理地分配各机组或各发电厂之间的负荷,使运行经济性好、效率高的机组多带负荷,而效率低、发供电成本高的机组少带负荷,从而降低生产电能的成本。

从上可知,形成并联运行的电力系统有明显的优越性,能显著提高运行的可靠性与经济性。但是随着电力系统的扩大及联系的增强,由于一处发生故障而波及广大地区的情况也越易发生,另外,系统短路电流也随着系统容量的增大而不断增加,甚至达到设备不能允许的程度,因此系统联系的增强也将是有限度的,并不意味着在所有场合下都是系统规模越大越好。

1.2.4.3 电力系统的特点分析

(1)电能的生产与消费具有同时性。由于电能生产和消费是一种能量形式的转换,要求生产与消费同时完成,迄今为止仍未能解决经济、高效的电能大容量贮存问题,因此电能难以贮存,是它的最大特点。因而,在电力系统运行时就要求经常保持电源和负荷的功率平衡,在规划设计时则要求确保电力先行,否则其他工厂即使建成也无法投产。再者,发电和用电同时实现,使电力系统中的各个环节之间具有十分紧密的相互依赖关系,无论是转换能量的原动机或发电机,或是输送、分配电能的变压器、输配电线路,还是用电设备等,只要其中任何一个元件故障,使正常的供需平衡被打破,将使系统运行的稳定性遭到破坏及发生事故,使电力系统和国民经济造成重大损失。

(2)电能生产与国民经济各个部门和人民生活有着极为密切的关系,电能的供应中断或不足,不仅将直接影响生产和人民生活,甚至可能造成严重的社会不稳定性或灾难性后果。

(3)电力系统的过渡过程十分短暂,电磁变化过程非常迅速。由于电能以光速传播,所以运行情况发生变化所引起的电磁和机电过渡过程是非常短暂的。电力系统的正常操作、用户电力设备的启停或负荷增减都是很快的,电力系统中出现的故障更是极其短暂的,往往用微秒、毫秒或秒来计量。因此,不论是正常运行时所进行的调整和切换等操作,还是故障时为切除故障,或为了把故障限制在一定范围内以迅速恢复供电所进行的系列操作都要求十分快速地完成,仅靠人工是不能达到效果的,甚至是不可能的,必须采用各



种自动装置来迅速而准确地完成各项调整和操作任务。电力系统的这个特点给运行、操作等带来了许多复杂的问题。

(4) 电力系统的地区性特点较强。由于电力系统的电源结构、资源分布情况与特点有关,而负荷结构却与工业布局、城市规划、电气化水平有关,至于输电线路的电压等级、线路配置等则与电源和负荷间的距离、负荷的集中程度等有关,因而各个电力系统的组成情况不尽相同,甚至可能很不一样。例如,有的系统是以水电为主,而有的系统则是以火电为主(或完全没有水电);有的系统电源与负荷距离近,联系紧密,而有的系统却正好相反,等等。因此,在系统规划设计与运行管理时,应从实际出发,针对地区的特点建设结构合理、技术先进的电力系统和管理运行。

1.2.4.4 对电力系统的要求

从电力系统的上述特点出发,根据电力工业在国民经济中的地位和作用,对电力系统有下列基本要求。

1. 保证供电的可靠性

可靠性指标是以统计时期内的实际供电时间与统计时间的比值来衡量的,其中停电时间包括事故、计划检修及临时性停电用时。不同性质的用电负荷,其要求不同。运行经验表明,为保证供电的可靠性,首先,要保证系统各元件工作的可靠性,这就一定要保证电力设备的产品质量,努力搞好设备的正常运行与维护。其次,要提高运行水平和自动化程度,防止误操作的发生,在事故发生后应尽量防止事故扩大等。

电力用户的用电设备所取用的功率称为用电负荷,按其重要性和对供电可靠性的要求及突然中断供电所引起的损失程度,通常分为三类:

(1) I类负荷。对I类负荷突然停电时,将造成人员伤亡,重大设备损坏,重要产品出现大量废品,引起生产混乱,交通枢纽、干线受阻,重要城市供水、通信、广播中断等,造成巨大经济损失或重大政治影响。I类负荷是最重要的电力用户,必须有两个独立电源供电,即要求有很高的供电可靠性。

(2) II类负荷。对II类负荷突然停电时,会造成大量减产、停工,生产设备局部破坏,局部地区交通阻塞,城市居民的正常生活被打乱等。II类负荷也是重要负荷,应尽量用两回线路供电,且两回线路应引自不同的变压器或母线段,确有困难时,允许由一回专用线路供电。

(3) III类负荷。不属于前两类负荷的均属于III类负荷。此类负荷短时停电造成的损失不大,属于一般电力用户,可以用单回线路供电。

无备用接线的用户只有一个电源,其简单、经济、运行方便,但供电可靠性差,所以一般不能用于对I、II类负荷的供电。有备用接线的用户有两个或两个以上的电源对其供电,供电可靠,能保证对I、II类负荷的供电,但运行操作和继电保护较复杂,投资费用也较大。

当发生事故需要对用户拉闸限电时,应根据电力负荷对供电可靠性的要求,先保证I类负荷,再保证II类负荷,最后保证III类负荷。当系统发生事故,出现供电不足的情况时,就应当首先切除III类负荷,以保证I、II类负荷的用电。通常,对I、II类负荷都设置有两个或两个以上的独立电源,以便在任一电源故障时,保证供电不致中断。

另外,根据各时期的政策和季节的要求还可以分为优先保证供电的重点负荷、一般性



供电的非重点负荷、可以暂时限制或停止供电的负荷。

2. 最大限度地满足用户的用电需要,为国民经济各个部门提供充足的电力

为此,首先,应按照电力先行的原则,作好电力系统发展的规划设计,认真搞好电力工业的建设,以确保电力工业的建设优先于其他的工业部门。其次,还要加强现有电力设备的运行与维护,以充分发挥潜力,防止事故的发生,减少限电。

3. 保证良好的电能质量

电能质量的指标主要是频率、电压及波形。当这些指标不符合电气设备的额定值要求时,会影响设备的正常工作,造成用户产品质量下降或产品报废、设备损坏,甚至危及人身安全。

1) 频率

我国规定的工频交流电的频率指标为 50 Hz,供电电源频率缓慢变化的现象称为频率偏差,即

$$\Delta f = f - f_e$$

式中 f ——实际供电频率,Hz;

f_e ——额定频率,Hz。

大容量系统允许频率偏差为 ± 0.2 Hz,中小容量系统允许频率偏差为 ± 0.5 Hz,由于用户冲击引起的频率变化一般不得超过 ± 0.2 Hz。

2) 电压

在某一时段内,电压幅值缓慢变化而偏离额定值的程度为电压偏差,用实际值与额定值之差或其百分数表示,即

$$\Delta U = U - U_e$$

式中 U ——检测点电压实际值,V;

U_e ——检测点电网电压的额定值,V。

电压允许变化的范围见表 1-2。

表 1-2 电压的允许变化范围

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

另外,还有电压波动、闪变以及衡量三相电压的不平衡度的负序电压系数等指标。

3) 波形

谐波是由于电力系统中存在大量非线性阻抗特性的设备引起的,即存在大量的谐波源,造成供电电压、电流正弦波形的畸变,使实际供电电压、电流不再是正弦波。电能质量控制主要对电压正谐波畸变率进行限制,因此应尽力消除和避免电力系统中的各种谐波产生源,保证交流电的电压波形畸变不超过规定的范围。

4. 保证电力系统运行的稳定性

电力系统发生局部的短路事故等情况下,如果因为系统的稳定性较差,使事故扩大导

致整个系统瓦解,会造成长时间的大面积停电。因此,整个系统的自动装置的灵敏可靠、合理地调度和迅速地处理事故,是对系统稳定性的要求。

5. 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、厂用电率和线损率,使这三个指标达到最小。另外,合理的规划设计、良好的设备管理水平和运行水平以及整个系统的经济调度,都是实现电力系统经济运行的必要条件。

综上所述,保证对电力用户不间断地供给充足、可靠、优质和廉价的电能,就是电力系统的基本要求和任务。

1.2.5 电气设备

发电厂电气部分的工作主要有:

- (1) 根据负荷变化的要求,启动、调节和停止机组;
- (2) 对电路进行必要的切换;
- (3) 监视主要设备的工作,周期性地检查和维护主要设备;
- (4) 定期检修设备,迅速消除故障等。

1.2.5.1 一次设备和系统

1. 一次设备

直接参与生产、输送和分配电能的电气设备称为一次设备,主要有:

(1) 能量转换设备。如发电机、变压器、电动机等,其中发电机和主变压器是电站的核心,简称主机主变。

(2) 开关设备。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称为开关电器。开关电器有以下几种:

① 断路器(俗称开关)。断路器不仅能接通或断开电路正常的负荷电流,也能关合或断开过负荷电流或短路电流,是作用最重要、结构最复杂、功能最完善的开关电器,是电力系统中最重要操作和保护电器。

② 熔断器。熔断器不能接通或断开负荷电流,专用于断开故障短路电流,切除故障回路。

③ 负荷开关。不足以断开短路电流。用来接通或断开电路的正常工作电流和过负荷电流,但其灭弧能力有限,不能用来接通或断开短路电流,还可用来在检修设备时隔离电源。

④ 隔离开关(俗称刀闸)。主要用于设备或电路检修时隔离电源,造成一个可见的、足够的空气间距;或者进行电路的切换操作及接通或断开小电流电路。它一般只有在电路断开的情况下才能操作,在各种电气设备中,隔离开关的使用量是最多的。

断路器和熔断器都能在电路故障时断开一定的短路电流以切除故障电路,故称为保护电器。断路器和负荷开关能接通和断开一定的负荷电流,称为操作电器。隔离开关没有灭弧能力,不能断开负荷电流,若在负荷电流下错误地切开隔离开关,叫带负荷拉闸,会引起电弧短路,是一种严重的误操作,应避免。

⑤ 低压开关电器。包括刀开关、组合开关和低压断路器等。

(3) 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连接起来,