

交 通 行 业 高 职 高 专 规 划 教 材

港口供配电系统 运行与维护

主 编 井延波 郝兰英
副主编 李伟忠 李洪涛
主 审 徐先弘



大连海事大学出版社

交通行业高职高专规划教材

港口供电系统 运行与维护

主 编 井延波 郝兰英

副主编 李伟忠 李洪涛

主 审 徐先弘

大连海事大学出版社

©井延波 郝兰英 2015

图书在版编目(CIP)数据

港口供配电系统运行与维护 / 井延波, 郝兰英主编. — 大连: 大连海事大学出版社, 2015. 4

交通行业高职高专规划教材

ISBN 978-7-5632-3158-4

I. ①港… II. ①井… ②郝… III. ①港口-供电系统-电力系统运行-高等职业教育-教材②港口-配电系统-电力系统运行-高等职业教育-教材③港口-供电系统-维修-高等职业教育-教材④港口-配电系统-维修-高等职业教育-教材 IV. ①U653.95

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 079890 号

大连海事大学出版社出版

地址:大连市凌海路1号 邮编:116026 电话:0411-84728394 传真:0411-84727996

<http://www.dmupress.com> E-mail: cbs@dmupress.com

大连住友彩色印刷有限公司印装

大连海事大学出版社发行

2015年4月第1版

2015年4月第1次印刷

幅面尺寸:185 mm × 260 mm

印张:18.5

字数:453 千

印数:1 ~ 1000 册

出版人:徐华东

责任编辑:张 华

责任校对:华云鹏 杨 洋

封面设计:王 艳

版式设计:解瑶瑶

ISBN 978-7-5632-3158-4

定价:39.00 元

内 容 提 要

本书是高职高专交通行业规划教材,主要适用于港口电气技术、电气自动化技术、电气技术、供配电技术等专业,也可作为专业技能培训教材和工程技术人员参考资料。

本书在编写时引用最新的国家(行业)标准,做到教材引用知识尽量为最新规定,引用供电公司安全操作规程,在能力训练中以企业的现行操作规范为标准。采用项目化编写,理论与实践的结合切实便于掌握供配电设备的专业理论知识及设备检查维护的职业技能。全书分为7大项目:供配电所的认识、高低压配电装置的运行维护、供配电线路敷设及检修、供配电系统的继电保护运行分析、供配电系统二次回路安装及检修、供配电设备安全操作及维护和供配电设备选型。

交通行业高职高专规划教材

编 委 会

主 任：宋士福

副 主 任：杨巨广

委 员：(以姓氏笔画为序)

仇桂玲 刘水国 刘俊泉 刘祥柏 苏本知

张来祥 周灌中

编写组成员：(以姓氏笔画为序)

王 峰 井延波 孙莉莉 李风雷 李永刚

李君楠 吴广河 吴 文 佟黎明 张 阳

范素英 郑 渊 赵鲁克 郝 红 徐先弘

徐奎照 郭梅忠 谭 政

前 言

本书是交通行业高职高专规划教材,主要适用于港口电气技术、电气自动化技术、电气技术、供配电技术等专业,也可作为专业技能培训教材和工程技术人员参考资料。

本教材的特色有:

一、前瞻性和新颖性

本书引用最新的国家(行业)标准,及时更新参考的内容,做到教材引用知识为最新规范规定,与标准接轨。例如项目一中引用《供配电系统设计规范》GB 50052—2009、《低压配电设计规范》GB 50054—2011、《电能质量供电电压偏差》GB/T 12325—2008 等,并用《20 kV 及以下变电所设计规范》GB 50053—2013 代替《10 kV 及以下变电所设计规范》GB 50053—1994 规定内容。

本书所讲述的电气设备,尽量选用最新产品,着重介绍干式变压器、真空断路器、低压配电系统应用的模数化断路器和漏电保护器等。

二、实用性

本书为校企合作编写,引用青岛港供电公司安全操作规程,对维修电工、值班电工、内外线工等工种的规范操作进行规定,在能力训练中尽量以企业的现行标准要求学生。如在项目二中引用了 35 kV SF9-12500/35/10 变压器安全操作规程、YB 系列箱变安全操作规程、电容器安全操作规程等。本书大量引用规范和技术书册中的表格,如附录中附表 18、19、20 引用自《工业与民用配电设计手册(第三版)》等,便于学习和查阅。

三、突出能力训练

本书采用项目化编写,以任务为驱动,理论与实践的结合切实便于掌握供配电设备的专业理论知识及设备检查维护的职业技能,提高学生的实践动手能力。本书主要包括七大项目:供配电所的认识、高低压配电装置的运行维护、供配电线路敷设及检修、供配电系统的继电保护运行分析、供配电系统二次回路安装及检修、供配电设备安全操作及维护、供配电设备选型。七大项目总共二十一个任务,各任务按“知识准备、能力训练、巩固练习”的顺序设计,各个任务按由简到繁的思路进行,以典型项目为基础,以课程的定位及设计思路、课程目标、基于过程系统化课程实施三方面为依据制定课程标准。在巩固练习部分,添加应用分析题,提高学生解决问题的能力。

本书由井延波、郝兰英担任主编。井延波负责全书统稿并编写项目二、项目三、项目六和附录等部分,郝兰英负责编写项目一、项目四、项目五、项目七等部分。李伟忠和李洪涛参与部分项目的编写工作并在各项目能力训练编写过程中提供了宝贵的经验和资料。本教材由徐先弘担任主审。

另外,管成程、郑源、苏本知在教材审定中提出了宝贵建议,青岛港集团有限公司在教材编写过程中给与了大力支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢!

由于编者的水平有限,书中的疏漏和不妥之处在所难免,敬请读者不吝赐教,编者感激之至!

编 者

2014 年 12 月

目 录

项目一 供配电所的认识	(1)
任务一 供配电系统的认识	(1)
任务二 用户变配电所的认识	(8)
任务三 供配电技术指标分析	(19)
任务四 电力系统的中性点运行方式分析	(23)
项目二 高低压配电装置的运行维护	(31)
任务一 高压配电装置的运行维护	(31)
任务二 低压配电装置的运行维护	(51)
任务三 电力变压器与互感器的运行维护	(66)
项目三 供配电线路敷设及检修	(92)
任务一 供配电线路敷设	(92)
任务二 供配电线路检修	(106)
项目四 供配电系统的继电保护运行分析	(113)
任务一 继电保护的认知	(113)
任务二 3 ~ 66 kV 供配电线路的继电保护分析	(127)
任务三 电力变压器的继电保护分析	(137)
项目五 供配电系统二次回路安装及检修	(148)
任务一 二次回路电源安装操作	(148)
任务二 高压断路器控制回路运行操作	(155)
任务三 供配电系统的测量监视及自动化	(161)
项目六 供配电设备安全操作及维护	(170)
任务一 电气设备接地装置安装及测量	(170)
任务二 电气安全操作及防护	(188)
任务三 倒闸操作	(197)
任务四 供配电设备巡检及维护	(206)

项目七 供配电设备选型	(222)
任务一 供配电系统的负荷确定	(222)
任务二 高低压供配电设备的选型校验	(240)
附录	(260)
参考文献	(283)

项目一 供配电所的认识

任务一 供配电系统的认识

【知识准备】

供配电系统包括工业企业供配电系统和民用建筑供配电系统,它是电能的用户,也是电力系统的组成部分。

一、电力系统

电能是现代工业生产和社会生活中的主要能源和动力,电能的生产、输送、分配和使用的全过程是在同一瞬间实现的。电能广泛应用于国民经济、社会生产和人民生活的各个方面。绝大多数电能都由电力系统中发电厂提供,为了充分利用动力资源,降低发电成本,发电厂往往远离城市和电能用户,例如,火力发电厂大都建在靠近一次能源的地区,水力发电厂建在水利资源丰富的远离城市的地方,核能发电厂厂址也受种种条件限制,设置在远离城市的地方。因此,这就需要输送和分配电能,将发电厂发出的电能经过升压、输送、降压和分配,最后送给用户使用,这样由发电厂、变电所、电力线路和电能用户组成了一个整体,即电力系统,如图 1-1-1 所示。

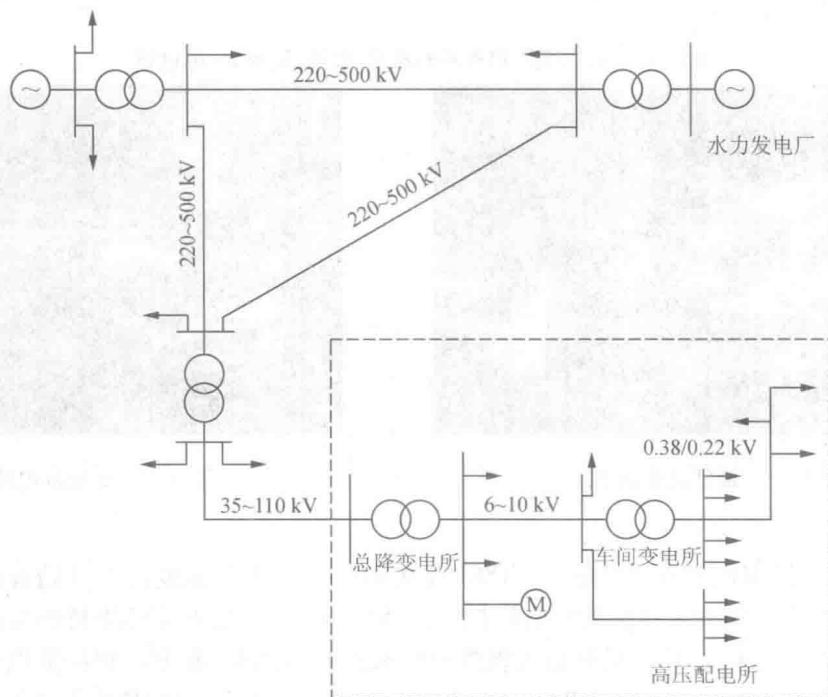


图 1-1-1 电力系统示意图

从发电厂到用户的发电、变电、输电、配电过程如图 1-1-2 所示。发电厂将一次能源变为电能,根据一次能源的不同,可分为火力(图 1-1-3)、水力(图 1-1-4)、风力、原子能、太阳能等发电厂。为了实现电能的远距离输送,将电能分配到用户,需要将发电机输出电能的电压等级进行多次变换。用于接受电能、变换电压和分配电能的场所称为变电所,仅用于接受和分配电能的场所称为配电所。根据变电所在电力系统中所承担任务和性质的不同,变电所可分为升压变电所和降压变电所。升压变电所多建在发电厂内,降压变电所常建在用电区域。降压变电所根据其在电力系统中的地位和作用不同,分为枢纽变电站、地区变电所和用户变电所。电力线路把发电厂、变电所和用户连接起来,起到输送、分配电能的作用。一般将 220 kV 及以上的电力线路称为输电线路,110 kV 及以下的电力线路称为配电线路。消耗电能的用电单位均称为电能用户。

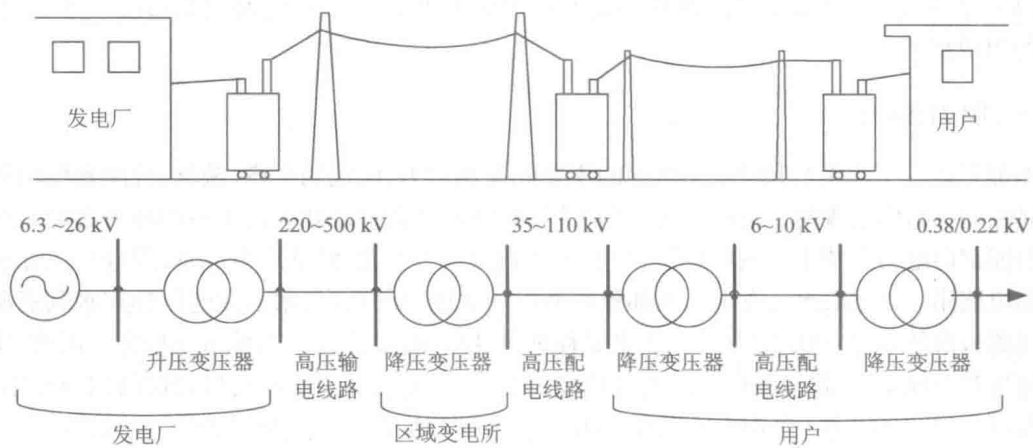


图 1-1-2 从发电厂到用户的发电、变电、输电、配电过程



图 1-1-3 浙江北仑发电厂

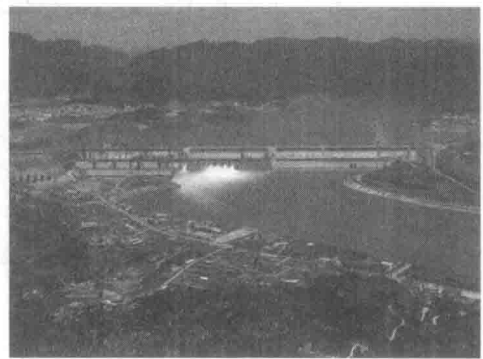


图 1-1-4 三峡水电站

1. 发电厂历史

发电厂的发展起始于直流发电站。1881 年美国的著名发明家爱迪生开始筹建中央发电厂,1882 年总共有两座初具规模的发电厂投产。1881 年 1 月,伦敦荷陆恩桥的爱迪生公司开始发电,供应圣马厂邮局、桥西的城市大教堂和桥头旅馆等用电,发电厂利用蒸汽机驱动直流发电机,电压为 110 V,电力可供 1 000 个爱迪生灯泡用。同年末,纽约珍珠街爱迪生公司发电厂也装上了同型机组,内装 6 台发动机,可供 6 000 个爱迪生灯泡用电。后来,人们在俄国彼

得堡(圣彼得堡别称)建立水上发电站,该发电站建在驳船上,为涅夫斯基大街照明供电。

2. 电力传输的种类

在电力的生产和输送问题上,早期曾有过究竟是直流还是交流的长年激烈争论。爱迪生主张用直流,人们也曾想过各种方法,扩大直流电的供电范围,使中小城市的供电情况有了明显改善。但对大城市的供电,经过改进的直流电站仍然无能为力,代之而起的是交流电站的建立,因为要作远程供电,就需增加电压以降低输电线路中的电能损耗,然后又必须用变压器降压才能送至用户。直流变压器十分复杂,而交流变压器则比较简单,没有运动部件,维修也方便。美国威斯汀豪斯公司的工程师斯坦利研制出了性能优良的变压器。1886年该公司利用变压器进行交流供电试验获得成功,1893年威斯汀豪斯公司承接为尼亚加拉瀑布水力发电计划提供发动机的合同,事实证明必须用高压交流电才可实现远距离电力输送,从而结束了长时间的交、直流供电系统之争,交流电成为世界通用的供电系统。

3. 中国电力网分布情况

中国电网按地区分为东北电网、华北电网、西北电网、西藏电网、华中电网、南方电网、华东电网和东湾电网。中国南方电网有限责任公司,总部设在广州,所辖区域为广东、广西、云南、贵州和海南五省(区)。中国国家电网有限责任公司,总部设在北京,管理五大区域电网公司,24家省、直辖市自治区电力公司,具体如下:

(1)华北电网公司:北京电力公司、天津电力公司、河北电力公司、山西电力公司、山东电力公司。

(2)华中电网公司:湖北电力公司、湖南电力公司、江西电力公司、河南电力公司、四川电力公司、重庆电力公司。

(3)华东电网公司:上海电力公司、江苏电力公司、浙江电力公司、安徽电力公司、福建电力公司。

(4)西北电网公司:陕西电力公司、甘肃电力公司、宁夏电力公司、青海电力公司、新疆电力公司。

(5)东北电网公司:辽宁电力公司、吉林电力公司、黑龙江电力公司。

4. 电力系统的分类管理

在我国,发电和升压变电部分属于发电厂管理。高压输送线路、区域变电所和高压配电线路属于地区供电局管理。厂内总降压变压器、高压配电线路、车间降压变压器和低压配电线路属于用户管理。

二、供配电系统

各类电能用户为了接受从电力系统输送来的电能,就需要有一个内部的供配电系统。内部供配电系统是指从电源线路进用户起到高、低压用电设备止的整个电路系统,它由高压及低压配电线路、变电所(包括配电所)和用电设备组成。图1-1-5是工厂供配电系统结构框图。

总降压变电所是企业电能供应的枢纽。它将35~110 kV的外部供电电源电压降为6~10 kV高压配电电压,供给高压配电所、车间变电所和高压用电设备。

高压配电所集中接受6~10 kV电压,再分配到附近各车间变电所或建筑物变电所和高压用电设备。一般负荷分散、厂区大的大型企业设置高压配电所。

配电线路分为6~10 kV厂内高压配电线路和380/220 V厂内低压配电线路。高压配电

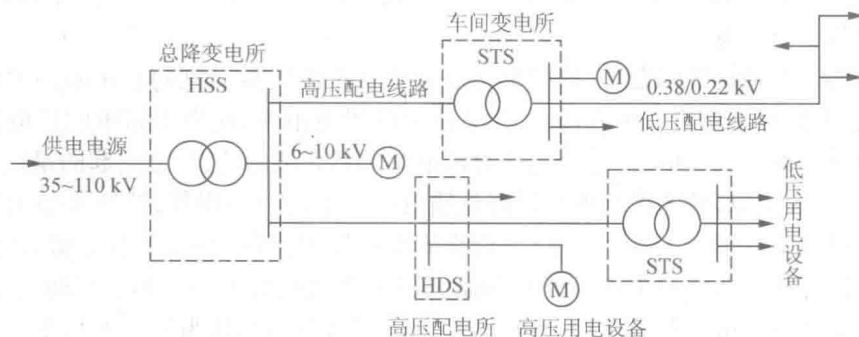


图 1-1-5 工厂供配电系统结构框图

线路将总降压变电所与高压配电所、车间变电所或建筑物变电所和高压用电设备车接起来。低压配电线路将车间变电所的 380/220 V 电压送各低压用电设备。

车间变电所或建筑物变电所将 6~10 kV 电压降为 380/220 V 电压,供低压用电设备用。

供配电系统的构成与其负荷的重要性及大小因素有关。依据《供配电系统设计规范》GB 50092—2009 规定如下。

1. 按对供电可靠性要求的负荷分类

用户有各种用电设备,它们的工作特征和重要性各不相同,对供电的可靠性和供电的质量要求也不同。因此,应对用电设备或负荷分类,以满足负荷对供电可靠性的要求,保证供电质量,降低供电成本。我国将电力负荷按其对于供电可靠性的要求及中断供电在政治上、经济上造成的损失或影响的程度划分为三级。

(1) 一级负荷

一级负荷为中断供电将造成人身伤亡者;中断供电将在政治上、经济上造成重大损失者,如重大设备损坏、重大产品报废、用重要原料生产的产品大量报废,国民经济中重点企业的连续性生产过程被打乱而需要长时间恢复等;中断供电将影响有重大政治、经济影响的用电单位的正常工作的负荷。

在一级负荷中,当中断供电将发生中毒、爆炸和火灾等情况的负荷,以及特别重要场所的不允许中断供电的负荷,称为特别重要的负荷。

一级负荷应由两个独立电源供电。所谓独立电源,就是当一个电源发生故障时,另一个电源应不致同时受到损坏。在一级负荷中的特别重要负荷,除上述两个独立电源外,还必须增设应急电源。为保证对特别重要负荷的供电,严禁将其他负荷接入应急供电系统。应急电源一般有:独立于正常电源的发电机组、干电池、蓄电池、供电网络中有效地独立于正常电源的专门馈电线路。

(2) 二级负荷

二级负荷为中断供电将在政治上、经济上造成较大损失者,如主要设备损坏、大量产品报废,连续性生产过程被打乱需较长时间才能恢复,重点企业大量减产等;中断供电系统将影响重要用电单位正常工作的负荷者;中断供电将造成大型影剧院、大型商场等较多人员集中的重要公共场所秩序混乱者。

二级负荷应由两回线路供电,供电变压器亦应有两台(两台变压器不一定在同一变电所)。做到当电力变压器发生故障或电力线路发生常见故障时,不致中断供电或中断后能迅速恢复。

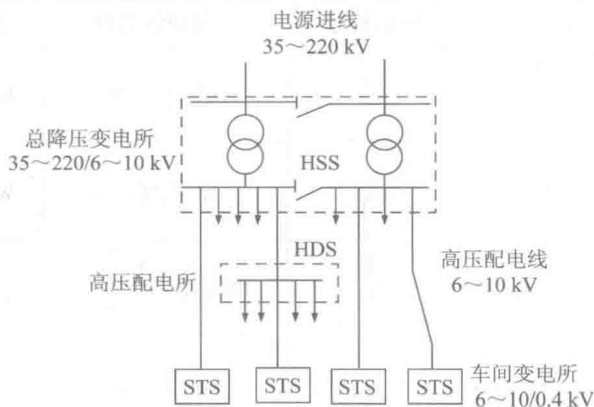
(3) 三级负荷

三级负荷为不属于一级和二级负荷者。对一些非连续性生产的中小型企业,停电仅影响产量或造成少量产品报废的用电设备,以及一般民用建筑的用电负荷等均属三级负荷。

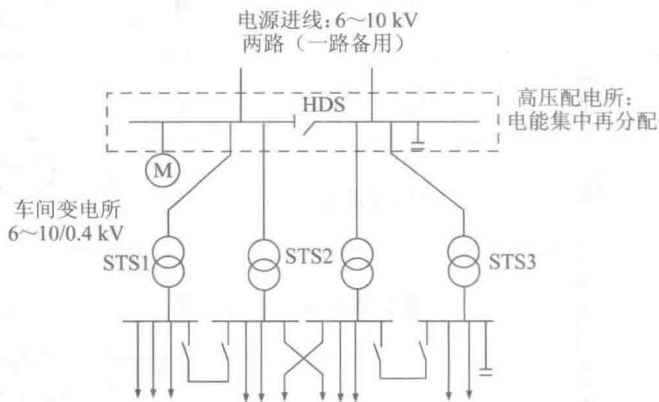
三级负荷对供电电源没有特殊要求,一般由单回电力线路供电。

2. 按容量大小的用户分类

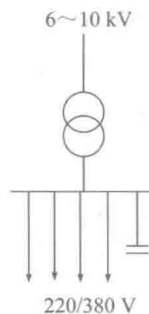
根据供电容量的不同,用户还可以分为大型、中型和小型用户。通常大型企业都设总降压变电所,中小型企业仅设全厂 $6 \sim 10 \text{ kV}$ 变电所或配电所,某些特别重要的企业还设自备发电厂作为备用电源。图 1-1-6 为几种用户供配电系统示意图。



(a) 大型用户的供配电系统图



(b) 中型用户的供配电系统图



(c) 小型用户的供配电系统图

图 1-1-6 用户供配电系统示意图

3. 供配电系统的基本要求

供配电系统的设计与运行应达到以下基本要求：

(1) 安全。在电能的供应、分配和使用中,不应发生人身事故和设备事故。

(2) 可靠。应满足用电设备对供电可靠性的要求。

(3) 优质。应满足用电设备对电压和频率等供电质量的要求。

(4) 经济。供配电应尽量做到投资省,年运行费低,尽可能减少有色金属消耗量和电能损耗,提高电能利用率。

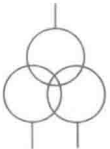
应当指出,上述要求不但互相关联,而且往往互相制约和互相矛盾。因此考虑满足上述要求时,必须全面考虑,统筹兼顾。

【能力训练】

1. 调研学院变配电所,画出学院供配电系统结构框图。

2. 表 1-1-1 是常用电气设备的符号表,根据电气设备符号表,写出图 1-1-7 中对应各设备的文字名称。

表 1-1-1 常用电气设备符号

电气设备名称	文字符号	图形符号	电气设备名称	文字符号	图形符号
刀开关	QK		母线(汇流排)	W 或 WB	
熔断器式刀开关	QKF		导线、线路	W 或 WL	
断路器(自动开关)	QF		电缆及其终端头		
隔离开关	QS		交流发电机	G	
负荷开关	QL		交流电动机	M	
熔断器	FU		单相变压器	T	
熔断器式隔离开关	FD		电压互感器	TV	
熔断器式负荷开关	FDL		三绕相变压器	T	
阀式避雷器	F		三绕组电压互感器	TV	
三相变压器	T		电抗器	L	
电流互感器(具有一个二次绕组)	T		电容器	C	
电流互感器(具有两个铁芯和两个二次绕组)	TA		三相导线		

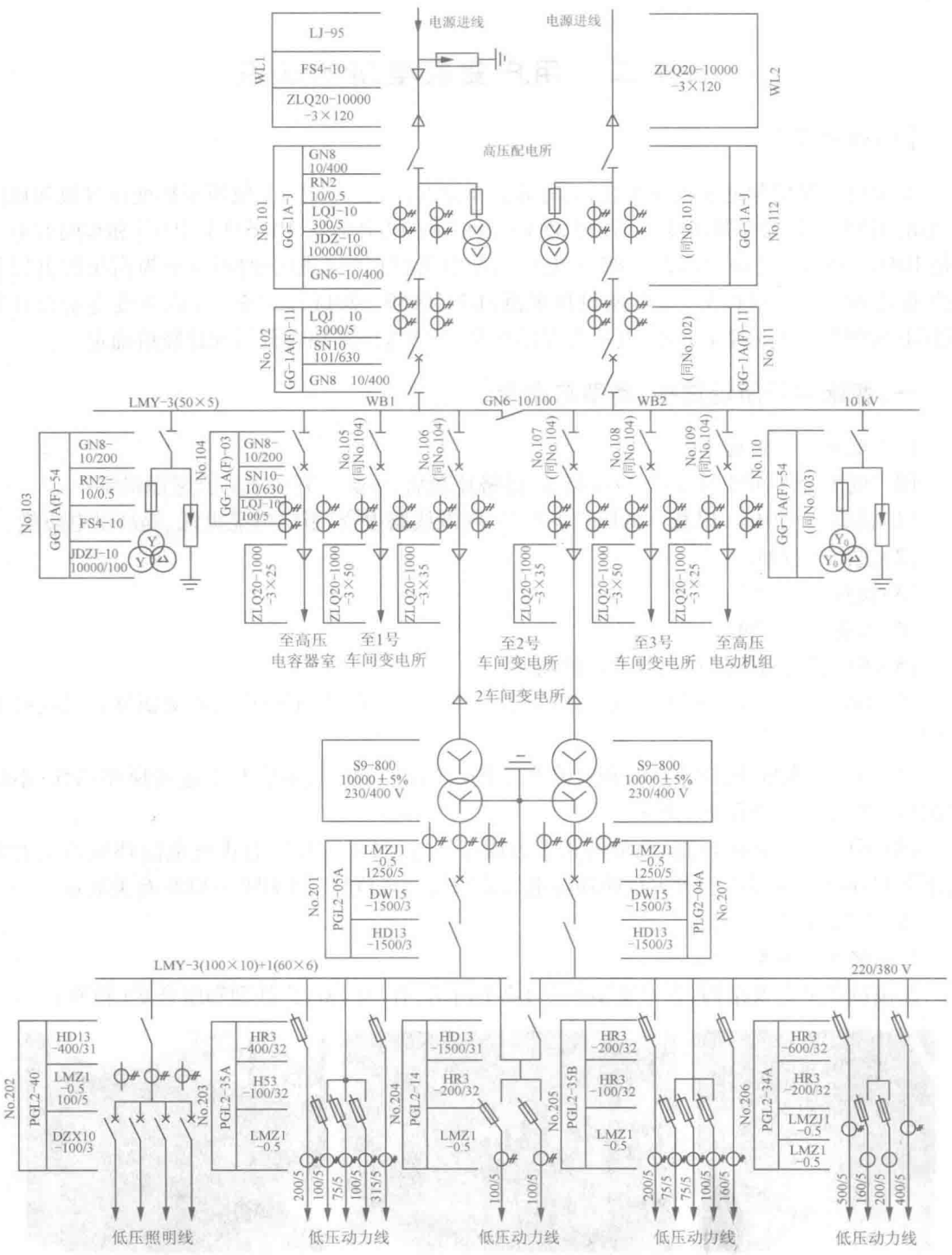


图 1-1-7 某工厂的供配电系统图

任务二 用户变配电所的认识

【知识准备】

变配电所是供配电系统的枢纽,具有非常重要的作用。其中,变电所根据变压等级和规模大小的不同,又分为总降压变电站[把 35 kV 及以上的电压降为 10(6)kV 电压]和车间变电所[把 10(6) kV 的电压降为 220/380 V 电压];配电所根据配电电压的不同分为高压配电所和低压配电所。《35 ~ 110 kV 变电所设计规范》GB 50059—2011、《20 kV 及以下变电所设计规范》GB 50053—2013 规定,变配电所布置经技术、经济等因素综合分析和比较后确定。

一、变配电所所址选择、类型与布置

1. 变配电所所址选择

用户变配电所所址的选择,应经技术、经济比较后,根据下列要求综合考虑确定:

- (1) 接近负荷中心,以减小低压供电半径、降低线路投资、节约电能损耗、提高供电质量。
- (2) 进出线方便。
- (3) 接近电源侧。
- (4) 设备运输方便。
- (5) 不应设在有剧烈振动或高温的场所。
- (6) 不宜设在多尘或有腐蚀性气体的场所,当无法远离时,不应设在污染源盛行风向的下风侧。
- (7) 不应设在厕所、浴室或其他经常积水场所的正下方,且不宜与上述场所相贴邻;不应设在地势低洼和可能积水的场所。
- (8) 不应设在有爆炸危险环境的正上方或正下方,且不宜设在有火灾危险环境的正上方或正下方;应符合《爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范》GB 50058—2008 有关规定。
- (9) 节约用地。

2. 变配电所类型

其按设置地点及结构,基本类型如图 1-2-1 所示,有户内型、户外型和组合式(箱变)。

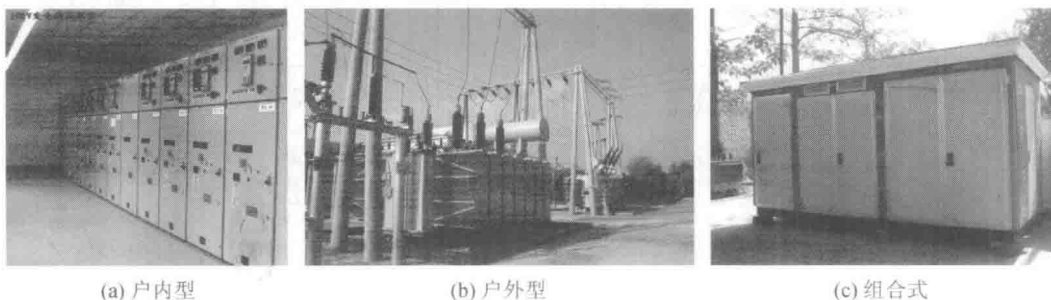


图 1-2-1 变配电所类型

3. 用户 20 kV 变电所按其位置分类

用户 20 kV 变电所按其所建位置分类,有附设变电所、车间变电所、户外预装式变电站或

露天、半露天变电所等,如图 1-2-2 所示。GB 50053—2013 规定,变电所类型的选择应符合:

(1) 负荷较大的车间和动力站房,宜设附设变电所、户外预装式变电站或露天、半露天变电所;

(2) 负荷较大的多跨厂房,负荷中心在厂房的中部且环境许可时,宜设车间内变电所或预装式变电站;

(3) 高层或大型民用建筑内,宜设户内变电所或预装式变电站;

(4) 负荷小而分散的工业企业,民用建筑和城市居民区,宜设独立变电所或户外预装式变电站,当条件许可时,也可设附设变电所;

(5) 城镇居民区、农村居民区和工业企业的生活区,宜设户外预装式变电站,当环境允许且变压器容量小于或等于 400 kVA 时,可设杆上式变电站。

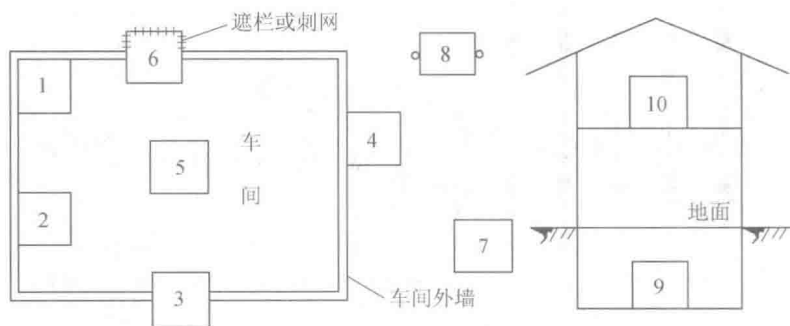


图 1-2-2 20 kV 变电所位置分类图

1、2—内附式；3、4—外附式；5—车间内式；6—露天或半露天式；7—独立式；8—杆上；
9—地下式；10—楼上式

4. 变配电所的总体布置

(1) 保证运行安全。①户内变电所的每台油量为 100 kg 及以上的三相油浸式变压器,应设在单独的变压器室内,其门应朝马路开。②高压电容器柜一般也应装设在单独的电容器室内,低压电容器柜可与低压开关柜同室布置,但容量较大时也应单独设室。③电容器室、配电室的门应向外开或双向开启。④变配电装置要有足够的安全净距和操作维护通道。⑤变配电所应设置防止雨、雪和小动物从采光窗、通风窗、门、电缆沟等进入室内的设施。⑥变配电所还应考虑防火、通风等要求。

(2) 节约土地与建筑费用。若高压开关柜量少时,可和低压开关柜同室布置。高压配电所应尽量与邻近的车间变电所合建。

(3) 适应发展要求。高低压配电室内,宜留有适当数量配电装置的备用位置。变压器室应考虑到扩建时有更换大一级容量变压器的可能。

二、变配电所主接线图的形式

变配电所的主接线是供配电系统中为实现电能输送和分配的一种电气接线,对应的接线图叫主接线图,或主电路图,又称一次电路图、一次接线图。虽然电力系统是三相系统,但通常电气主接线图采用单线来表示三相系统,使之更简单、清楚和直观。

主接线图根据其作用的不同,有两种形式:系统式主接线图和装置式主接线图。图 1-2-3 和图 1-2-4 分别表示同一个户外成套变电所的系统式主接线图和装置式主接线图。