



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

工厂供电技术

第三版

● 李友文 主编



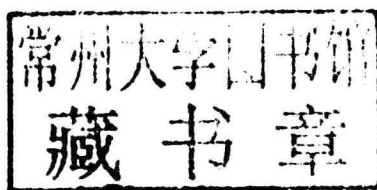
化学工业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

工厂供电技术

第三版

李友文 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书以工学结合、项目引导、教学做一体化的原则进行编写,打破了原有教材分成若干个独立章节的编写模式,采用以应用为主线,通过设计不同的项目和实例,将理论知识融入到每一个实践操作中;以强调职业能力的培养、职业技能的提高来设计教材的结构、内容和形式;以实训项目为主线,紧密结合各类工厂的实际情况来编写。

本书从高职高专课程改革出发,围绕工厂供电技术的核心——变电所供电,以“工厂变电所供电”为总项目,下分六个子项目:变电所供电基础部分、变电所供电计算技能、变电所供电设备选择、变电所供电系统保护、变电所供电设备运行、变电所供电系统电气设计;以工作项目为载体,以工作任务为驱动,将理论与实践有机结合,使学生在体验模拟完成工作任务的过程中掌握工厂变电所供电的知识和技能。

本书可作为高职高专院校电类专业,工业电气化技术、工业企业电气化、工业电气自动化、机电应用技术、机电一体化等专业的教材,还可供中等职业学校、技工学校同类专业学生选用,也可供从事电气自动化技术的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工厂供电技术/李友文主编. —3版. —北京:化学工业出版社, 2012.5

(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)

ISBN 978-7-122-14081-4

I. 工… II. 李… III. 工厂-供电-高等职业教育-教材 IV. TM727.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第074410号

责任编辑:张建茹

文字编辑:吴开亮

责任校对:宋 玮

装帧设计:韩 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张9 $\frac{3}{4}$ 字数254千字 2012年8月北京第3版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:24.00元

版权所有 违者必究

前言

本教材按照教育部要全面提高高职教育教学质量,切实提高“加强素质教育,加强专业改革,加强课程建设,加强模式改革的自觉性,真正把课程建设与改革作为提高教学质量的核心和重点,改革教学方法和手段,融‘教、学、做、’为一体”的精神,在原教材《工厂供电》第二版[化学工业出版社 2005 年]的基础上,以理论知识与实践操作并重的《工厂供电》课程为依据,结合高职高专进行课程改革的“项目化教学”而重新编写的通用教材。

本教材以工学结合、项目引导、教学做一体化的原则进行编写,打破了原有教材将基本原理、基本指令,基本应用分成若干个独立章节的编写模式,采用以应用为主线,通过设计不同的项目和实例,将理论知识融入到每一个实践操作中;以强调职业能力的培养、职业技能的提高来设计教材的结构、内容和形式;以实训项目为主线,紧密结合各类工厂的实际情况,充分体现了职业教育的应用特色和能力本位,突出了人才应用能力及创新素质的培养。

本教材从高职高专课程改革的“项目化教学”出发,围绕工厂供电技术的核心——变电所供电,以“工厂变电所供电”为总项目,以变电所供电基础部分、变电所供电计算技能、变电所供电设备选择、变电所供电系统保护、变电所供电设备运行、变电所供电系统电气设计等为子项目,以工作项目为载体,以工作任务为驱动,将理论与实践有机结合,使学生在体验模拟完成工作任务的过程中掌握工厂变电所供电的知识和技能。

本教材在编著过程中,得到了沈阳理工大学应用技术学院王艳秋教授的亲历合作,共同编写了相关项目的内容。辽宁工业大学成人教育学院梁清华教授、沈阳理工大学应用技术学院梁爽教授、辽宁石化职业技术学院金沙副教授等专家对教材的编著提供了友情支持与大力协作,在此表示衷心的感谢。

本教材在出版过程中得到了化学工业出版社的大力支持和协作,在此致以衷心的感谢。

由于编著者水平有限,书中难免存在不妥之处,恳切希望使用本书的师生和广大读者批评指正。

编著者

2012.02

目录

项目 1 变电所供电基础部分	1
任务 1.1 供电系统	1
任务 1.2 额定电压	3
任务 1.3 电气主接线	5
任务 1.4 供电线路	11
习题 1	16
项目 2 变电所供电计算技能	18
任务 2.1 电力负荷计算	18
任务 2.2 尖峰电流计算	26
任务 2.3 短路电流计算	27
习题 2	36
项目 3 变电所供电设备的选择	38
任务 3.1 高低压电气设备	38
任务 3.2 电气设备选择及校验	50
任务 3.3 导线截面选择及校验	57
习题 3	64
实验须知	65
实验 1 高压电器的认识实验	65
实验 2 低压电器的认识实验	66
实验 3 电力电缆绝缘电阻的测量及故障探测	68
项目 4 变电所供电系统保护	70
任务 4.1 供电线路带时限过电流保护	70
任务 4.2 电力变压器的继电保护	80
任务 4.3 变电所防雷接地保护	83
习题 4	97
实验 4 定时限过电流保护实验	98
实验 5 反时限过电流保护实验	100

项目 5 变电所供电设备运行	102
任务 5.1 变压器的经济运行	102
任务 5.2 变电所倒闸操作	104
习题 5	112
项目 6 变电所供电系统电气设计*	113
任务 6.1 变电所电气设计概述	113
任务 6.2 变电所电气设计示例	115
习题 6	124
附录 1 工厂供电常用技术数据表	125
附录 2 部分习题参考答案	146
参考文献	148

项目 1 变电所供电基础部分

任务 1.1 供电系统

【知识目标】 掌握工厂供电系统的组成及基本要求

【能力目标】 掌握工厂供电系统类型的能力

【学习重点】 工厂供电的基本要求及供电系统类型

电能是现代工业生产的主要能源和动力。工厂所需要的电能，绝大多数是由公共供电系统供给的。工厂供电就是指工厂所需电能的供应和分配问题。

1.1.1 电力系统的基本概念

由发电厂、电力网和电能用户组成的一个发电、输电、变配电和用电的整体，称为电力系统，如图 1-1 所示。

电力系统中的各级电压线路及其联系的变配电所，称为电力网。

电力网的作用是将电能从发电厂输送并分配到电能用户。

(1) 发电厂 发电厂是将自然界蕴藏的多种形式的能源转换为电能的特殊工厂。

(2) 变配电所

变电所是接受电能、变换电压和分配电能的场所。

变电所	{ 升压变电所	将低电压变换为高电压，一般建在发电厂。
	{ 降压变电所	将高电压变换为低电压，建在用电负荷中心。
	{ 工厂变电所	一般为降压变电所，建在工厂内部。

配电所只用来接受和分配电能，不承担变换电压的任务。

(3) 电力线路

电力线路作用是输送电能，并把发电厂、变配电所和电能用户连接起来。

电力线路	{ 输电线路	(电压在 35kV 及以上)，主要是架空线路。
	{ 配电线路	(电压 10kV 及以下)，为架空线路或电缆线路。
	{ }	按其传输电流的种类又可分为交流线路和直流线路。

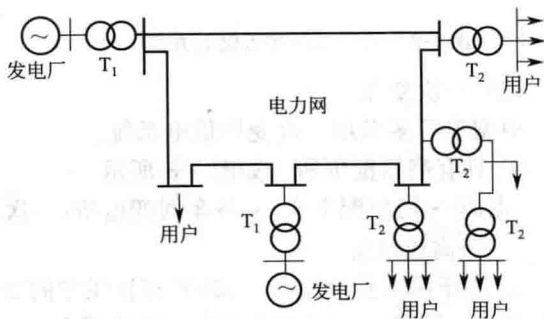


图 1-1 电力系统示意图

T₁—升压变压器；T₂—降压变压器

一切消费电能的用电设备均称为电能用户。电能用户又称电力负荷。

③ 仅一个变电所 小型工厂用电较少, 只设一个变电所, 如图 1-5 所示。

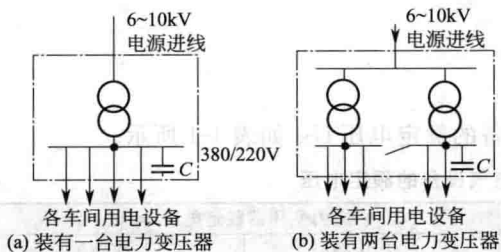


图 1-5 只有一个降压变电所的工厂供电系统

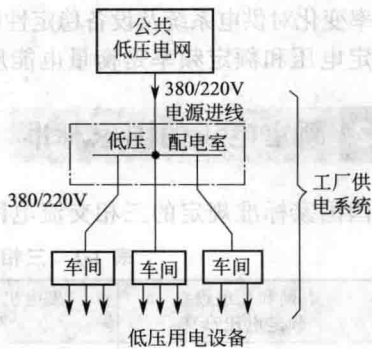


图 1-6 低压进线的小型工厂供电系统

6~10kV 线路→低压变电所→低压设备

(3) 低压供电 小型工厂由公共电网取得低压电源，经工厂低压配电室，向车间低压设备供电，如图 1-6 所示。

380/220V 电源进线→低压配电室→低压设备

1.1.3 对工厂供电的基本要求

- 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。应满足电能用户对供电可靠性的要求。
- ③ 优质。应满足电能用户对电压质量和频率等方面的要求。
- ④ 经济。应使供电系统投资少、费用低，节约电能，减少有色金属的消耗量。

任务 1.2 额定电压

【知识目标】 掌握供电系统电压与供电质量，合理确定额定电压

【能力目标】 具有确定工厂供电系统各环节额定电压的能力

【学习重点】 工厂供电系统的额定电压

1.2.1 供电质量的主要指标

(1) 额定电压

指用电设备处在最佳运行状态的工作电压。当用电设备两端的电压与额定电压差别较大时，将对用电设备产生较大危害。

(2) 额定频率

中国采用的额定工业频率（简称工频）为 50Hz。

频率变化对供电系统及设备稳定性影响很大,中国规定允许频率变化范围是 $50\text{Hz} \pm 0.5\text{Hz}$ 。
额定电压和额定频率是衡量电能质量的重要指标。

1.2.2 额定电压的国家标准

中国国家标准规定的三相交流电网和电气设备的额定电压 U_N 如表 1-1 所示。

表 1-1 三相交流电网和电气设备的额定电压

分类	电网和用电设备 额定电压/kV	发电机额定电压 /kV	电力变压器额定电压/kV	
			一次绕组	二次绕组
低压	0.22	0.23	0.22	0.23
	0.38	0.40	0.38	0.40
	0.66	0.69	0.66	0.69
高压	3	3.15	3 及 3.15	3.15 及 3.3
	6	6.3	6 及 6.3	6.3 及 6.6
	10	10.5	10 及 10.5	10.5 及 11
	—	13.8, 15, 17.5, 18, 20	13.8, 15, 17.5, 18, 20	—
	35	—	35	38.5
	63	—	63	69
	110	—	110	121
	220	—	220	242
	330	—	330	363
	500	—	500	550

(1) 电力线路的额定电压

它是确定各类用电设备额定电压的基准。

(2) 用电设备的额定电压 (图 1-7)

按线路的额定电压 U_N (即平均电压) 来确定。即用电设备的额定电压与同级电力线路的额定电压是相等的。

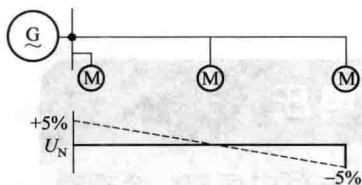


图 1-7 用电设备和发电机的额定电压

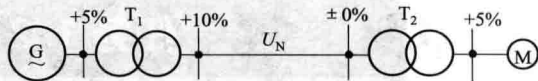


图 1-8 电力变压器的额定电压

(3) 发电机的额定电压 (图 1-8)

应高于电力线路额定电压 5%，以补偿线路的电压损耗。

(4) 电力变压器的额定电压

① 一次绕组 T_1 与发电机相连，为升压变压器，其一次绕组 U_N 与发电机 U_N 相同，即高于线路 U_N 5%。

T_2 与电力线路相连，为降压变压器，将 T_2 看作是用电器，其一次绕组 U_N 应与电力线路 U_N 相同。

② 二次绕组 T_1 二次侧所接线路如果很长 (例如较大容量的高压线路)，则 T_1 二次绕组的 U_N 要比所接线路 U_N 高 10%，用以补偿较长线路的电压损耗。

T_2 二次侧所接线路较短 (例如低压线路或直接供电给高、低压用电设备的线路)，则 T_2 二次绕组的 U_N 只需比所接线路 U_N 高 5%，用以补偿较短线路的电压损耗。

综上所述，在同一电压等级中，供电系统中各个环节 (发电机、变压器、电力线路、用电设备) 的额定电压 U_N 数值并不都相同。

1.2.3 工厂供电电压的选择

(1) 高压配电电压的选择

工厂供电系统的高压配电电压,主要取决于当地供电系统电源电压以及工厂高压用电设备的电压和容量等因素。

① 大中型工厂,设备容量在 $2000 \sim 50000 \text{ kV} \cdot \text{A}$ 、输电距离在 $20 \sim 150 \text{ km}$ 以内的,可采用 $35 \sim 110 \text{ kV}$ 电压供电。

② 中小型工厂,设备容量在 $100 \sim 2000 \text{ kV} \cdot \text{A}$ 、输电距离在 $4 \sim 20 \text{ km}$ 以内的,可采用 $6 \sim 10 \text{ kV}$ 电压供电。

③ 对于采用 $6 \sim 10 \text{ kV}$ 电压的工厂,应首选 10 kV 。

- 输送功率和距离一定时,电压越高,可减小导线截面,电压质量容易保证。
- 10 kV 较之 6 kV 输送的功率更大,输送的距离更远,而且更易适应今后的发展。
- 10 kV 开关设备与 6 kV 开关设备在规格上是基本相同的,因此投资增加很少。
- 从供电的安全性和可靠性来说, 10 kV 与 6 kV 相差无几。

(2) 低压配电电压的选择

低压电源通常采用 $380/220 \text{ V}$ 。其中 380 V 为三相动力电源, 220 V 为单相电源。

任务 1.3 电气主接线

【知识目标】 掌握不同主接线的适用范围,读懂主接线

【能力目标】 读懂变电所电气主接线及车间动力电气平面布线图

【学习重点】 电气主接线的形式和适用范围

电气主接线图是指由各种主要电气设备按一定顺序连接而成的接受和分配电能的总电路图。

1.3.1 对电气主接线的基本要求

- ① 安全。符合有关技术规范的要求,能充分保证人身和设备的安全。
- ② 可靠。保证在各种运行方式下,能够满足负荷对供电可靠性的要求。
- ③ 灵活。适应系统所需要的运行方式,操作简便,并能适应负荷发展。
- ④ 经济。在满足上述前提下,力求投资省、费用低,并为发展留有余地。

1.3.2 电气主接线的基本形式

电气主接线以单线图形式表示,仅在个别情况下,当三相电路中设备不对称时,则局部

用三线图表示。

电气主接线应按国家标准的图形符号和文字符号绘制。表 1-2 列出工厂变电所主接线的主要电气设备符号。

表 1-2 变配电所主要电气设备符号

设备名称	文字符号	图形符号	设备名称	文字符号	图形符号
变压器	T		隔离开关	QS	
断路器	QF		熔断器	FU	
负荷开关	Q		跌落式熔断器	FU	
母线	W (WB)		电抗器	L	
电流互感器	TA		电容器	C	
避雷器	F		电动机	M	

1.3.2.1 单母线接线

所谓母线，即汇集和分配电能的金属导体。由一条母线将电气设备（主要是断路器或隔离开关）按一定顺序连接的线路称为单母线接线。

断路器的作用：切断负荷电流或短路故障电流。

隔离开关作用：母线侧隔离开关隔离母线电源，线路侧隔离开关隔离线路电源，用来保证工作人员安全。

(1) 单母线不分段接线（图 1-9）

优点：电路简单、使用设备少、费用低。

缺点：工作可靠性和灵活性较差。

适用范围：容量较小和对供电可靠性要求不高的中小型工厂。

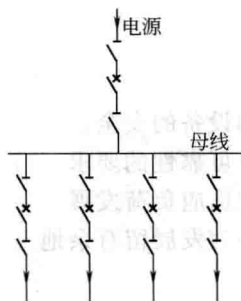


图 1-9 单母线不分段接线

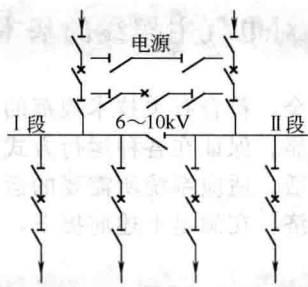


图 1-10 单母线分段接线

(2) 单母线分段接线（图 1-10）

单母线分段是根据电源数目,把母线用隔离开关或断路器分成多段。

优点:工作可靠性和灵活性,较不分段接线有较大提高。

缺点:某段母线检修(或故障)时,该段母线停电。

适用范围:具有两条电源进线,采用单母线分段接线较为优越。

① 用隔离开关分段 母线检修时可分段进行,当母线发生故障时,经过倒闸操作可切除故障一段,保证另一段不停电,故比单母线不分段接线提高了可靠性。

② 用断路器分段 分段断路器除具有分段隔离开关的作用外,还可在母线和隔离开关故障时自动断开,切除故障段母线,保证正常段母线不停电,即提高了运行可靠性。

1.3.2.2 双母线接线(图 1-11)

双母线接线,两条母线互为备用,具有较高的可靠性和灵活性。

适用范围:大型工厂总降压变电所 35~110kV 母线系统和企业具有高压负荷或有自备发电厂的 6~10kV 的母线系统。

双母线接线有以下两种运行方式:

① 一组母线工作(带电),另一组母线备用(不带电,即明备用),母线联络断路器正常时是断开状态。

② 两组母线同时工作(都带电),也互为备用(即暗备用),此时母线联络断路器及母线联络隔离开关均为闭合状态。

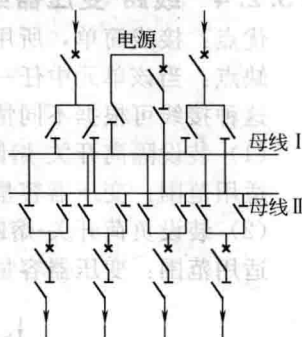


图 1-11 双母线接线

1.3.2.3 桥式接线

桥式接线特点是在两条电源进线之间有一条跨接的“桥”。它比双母线接线简单,可减少断路器的数量。

适用范围:具有双电源进线、双变压器的总降压变电所,可采用桥式接线。

(1) 内桥接线(图 1-12)

内桥特点是跨接桥靠近变压器侧,省掉变压器回路断路器,仅装隔离开关。

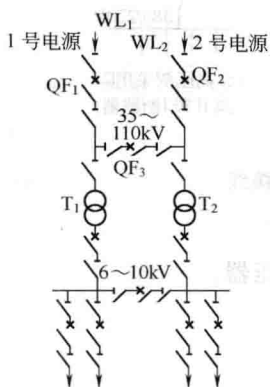


图 1-12 内桥式接线

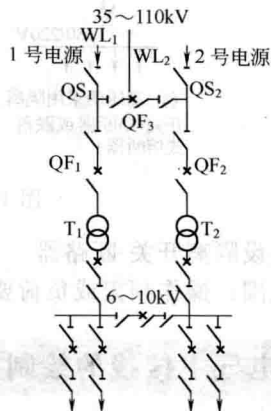


图 1-13 外桥式接线

优点:可提高供电线路改变运行方式的灵活性。

① 当检修任一进线或线路断路器时,另一线路和两台变压器仍可继续供电(例如,当检修线路 WL₁ 时,把断路器 QF₁ 断开,此时变压器 T₁ 可由线路 WL₂ 经过跨接桥继续供电,而不至于停电)。

② 任一进线故障时,仅断开故障线路,而其他线路继续正常工作。

缺点：当变压器检修（故障）时，须经复杂的倒闸操作后，才能恢复供电。

适用范围：供电线路较长，线路检修机会较多，且变压器不需经常切换的总降压变电所。

(2) 外桥接线（图 1-13）

外桥接线的特点是跨接桥靠近线路侧，省掉进线断路器，进线仅装隔离开关。

优点：对变压器的切除和投入较方便。任一变压器故障时，只须切除故障变压器，保证两条线路继续正常工作。

缺点：对电源进线回路操作不方便。任一供电线路故障时，须经复杂的倒闸操作后，才能恢复供电。

适用范围：电源线路较短，故障检修机会较少，但变电所负荷变动较大，且需经常切换变压器的总降压变电所。

1.3.2.4 线路-变压器组单元接线（图 1-14）

优点：接线简单，所用电气设备少，配电装置简单，占地面积小，投资省。

缺点：当该单元中任一设备故障或检修时，全部设备将停电。

这种接线可根据不同情况，在变压器高压侧装设不同的开关电器。

(1) 装设隔离开关-熔断器（或跌落式熔断器）

适用范围：变压器容量 $\leq 500 \text{kV} \cdot \text{A}$ ，且其低压侧装设低压断路器的三级负荷。

(2) 装设负荷开关-熔断器

适用范围：变压器容量 $> 500 \text{kV} \cdot \text{A}$ 的三级负荷。

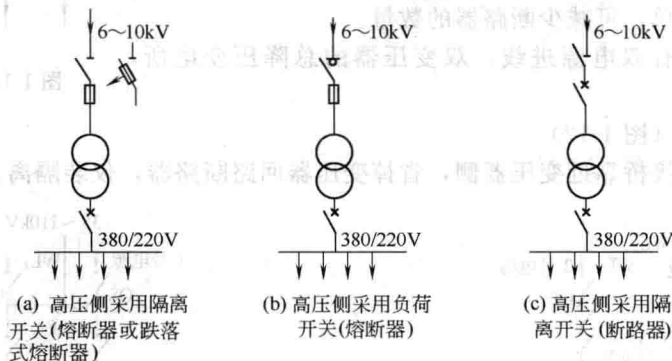


图 1-14 单台变压器的变电所主接线

(3) 装设隔离开关-断路器

适用范围：操作频繁或负荷要求供电可靠性较高的变压器。

1.3.3 电气主接线的绘制

(1) 系统式主接线（图 1-15）

系统式主接线中所有元件均只示出其相互连接关系，而不考虑具体安装位置。主要用于变电所内主接线挂图，供电设计也采用这种主接线。

(2) 装置式主接线（图 1-16）

装置式主接线中的所有元件按其安装位置的相互关系绘制。主要用于供电设计、作为安装施工图纸以及变电所内主接线挂图。

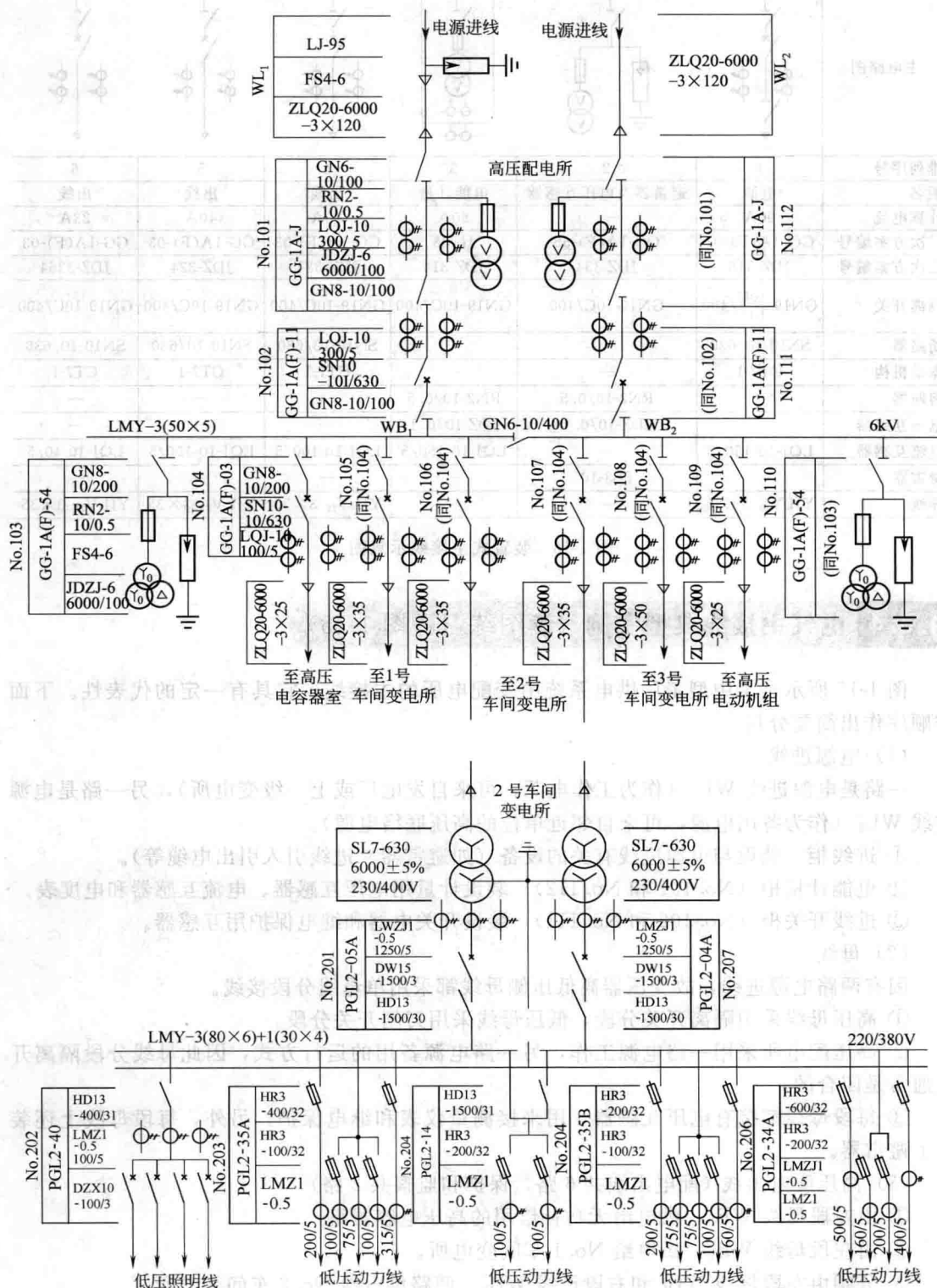


图 1-15 高压配电所及其附设 2 号车间变电所的主接线

主电路图						
排列序号	1	2	3	4	5	6
柜名	电源	避雷器及电压互感器	电能计量	出线	出线	出线
计算电流	90A	—	90A	40A	40A	23A
一次方案编号	GG-1A(F)-07	GG-1A(F)-55	JL-03	GG-1A(F)-03	GG-1A(F)-03	GG-1A(F)-03
二次方案编号	JDZ-316	JDZ-334	JDZ-314	JDZ-324	JDZ-324	JDZ-3264
隔离开关	GN19-10C ₁₀ /400	GN19-10C/400	GN19-10C/400	GN19-10C/400	GN19-10C/400	GN19-10C/400
断路器	SN10-10/630	—	—	SN10-10/630	SN10-10/630	SN10-10/630
操动机构	CT7-I	—	—	CT7-I	CT7-I	CT7-I
熔断器	—	RN2-10/0.5	RN2-10/0.5	—	—	—
电压互感器	—	JDZ-10/0.1	JDZ-10/0.1	—	—	—
电流互感器	LQJ-10-150/5	—	LQJ-10-150/5	LQJ-10-100/5	LQJ-10-100/5	LQJ-10-40/5
避雷器	—	FS3-10	—	—	—	—
导线	YJLV ₂₉ -3×95	—	—	YJLV ₂₉ -3×35	YJLV ₂₉ -3×35	YJLV ₂₉ -3×35

图 1-16 装置式主接线示意图

1.3.4 电气主接线典型实例（读图练习：图 1-15）

图 1-15 所示是某中型工厂供电系统中变配电所的主接线，它具有一定的代表性。下面按顺序作出简要分析。

（1）电源进线

一路是电源进线 WL_1 （作为工作电源，可来自发电厂或上一级变电所），另一路是电源进线 WL_2 （作为备用电源，可来自邻近单位的高压联络电源）。

① 进线柜 装设与电源进线有关的设备（如避雷器、进线引入引出电缆等）。

② 电能计量柜（No. 101 和 No. 112） 装设计量用电压互感器、电流互感器和电度表。

③ 进线开关柜（No. 102 和 No. 111） 装设开关电器和继电保护用互感器。

（2）母线

因有两路电源进线，故变压器高低压侧母线都采用单母线分段接线。

① 高压母线采用隔离开关分段，低压母线采用刀闸开关分段。

② 高压配电所采用一路电源工作，另一路电源备用的运行方式，因此母线分段隔离开关通常是闭合的。

③ 每段母线都接有电压互感器，用来接测量仪表和继电保护。另外，每段母线上还装设了避雷器。

（3）高压配电出线（配电出线共 6 路，保护和监察共 2 路）

① 由左段母线 WB_1 ，供电给无功补偿用的高压电容器组。

② 由左段母线 WB_1 ，供电给 No. 1 车间变电所。

③ 分别由左段母线 WB_1 和右段母线 WB_2 ，两路供电给 No. 2 车间变电所。

④ 由右段母线 WB_2 ，供电给 No. 3 车间变电所。

⑤ 由右段母线 WB_2 ，供电给 6kV 高压电动机组。

⑥ 分别由左段母线 WB_1 和右段母线 WB_2 ，分别供电给两段母线的避雷器、绝缘监察柜 (No. 103 和 No. 110)。

由于配电出线为母线侧来电，因此只需在断路器的母线侧装设隔离开关，就可以保证断路器和出线的安全检修。

(4) 2 号车间配电

① 该车间变电所是由 $6\sim 10\text{kV}$ 降至 $380/220\text{V}$ 的终端变电所。

② 该车间变电所采用双电源、双变压器供电，说明其一、二级负荷较多。

③ 低压侧母线 ($380/220\text{V}$) 采用单母线分段接线，并装有中性线。

④ 低压母线后的配电，采用 5 台 PGL2 型低压配电屏 (No. 202~No. 206)，配电给动力和照明。

任务 1.4 供电线路

【知识目标】 掌握高低压线路的接线方式

【能力目标】 读懂变电所高低压接线方式

【学习重点】 工厂供电线路

1.4.1 高压线路的供电方式

(1) 单电源供电方式

单电源供电有放射式和树干式两种 (图 1-17 和图 1-18)，两种接线的性能对比如表 1-3 所示。

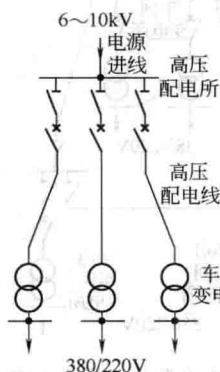


图 1-17 单电源放射式线路

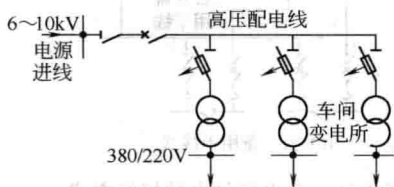


图 1-18 单电源树干式线路

(2) 双电源供电方式

双电源供电方式有双放射式、双树干式和公共备用干线式等。

① 双放射式 即一个用户由两条放射式线路供电，如图 1-19(a) 所示。一条线路故障或检修时，用户可由另一条线路保持供电，因此其供电可靠性高，多用于对容量大的重要负荷供电。

② 双树干式 即一个用户由两条不同电源的树干式线路供电，如图 1-19(b) 所示。对