



电子·教育



中等职业学校电子信息类教材 电气运行与控制专业

# 工厂供电

姚锡禄 主编  
陆亚民 主审



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

中等职业学校电子信息类教材(电气运行与控制专业)

# 工厂供电

姚锡禄 主编  
陆亚民 主审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书是根据2001年教育部审定的中等职业学校重点建设专业之一的“电气运行与控制”专业中“工厂供电”课程“教学指导方案”编写的。

本书共分十章,首先介绍工厂供电工作意义、要求及任务,扼要讲述供电相关的基本知识,然后分别介绍工厂供电系统的主要电气设备;供电系统的线路和结构;负荷计算和短路概念;电器和导体的选择;继电保护装置及二次系统;防雷、接地及电气安全;电气照明技术;电能的节约;工厂供电系统的运行、维护与检验。

根据“教学指导方案”要求及中等职业教育特点,本书加强了工厂供电系统运行维护方面的内容,突出“安全”教育,强调操作规范,重在培养学生的职业技能。为便于学生更好地掌握知识,每章末附有思考题和习题,在书末附有工厂供电实验指导书和部分习题答案。书中注意贯彻我国最新的规范和标准。

本书可作为电气运行与控制专业的教材,亦可供有关工程技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

## 图书在版编目(CIP)数据

工厂供电/姚锡禄主编. --北京:电子工业出版社,2003.6

中等职业学校电子信息类教材·电气运行与控制专业

ISBN 7-5053-8221-7

I. 工… II. 姚… III. 工厂—供电—专业学校—教材 IV. TM727.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第046163号

责任编辑:陈晓明 特约编辑:李双庆

印刷者:北京季峰印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:13.5 字数:346千字

印 次:2004年7月第2次印刷

印 数:3000册 定价:18.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至zlt@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至dbqq@phei.com.cn。

# 前 言

2000年教育部制定了《中等职业学校专业目录》，并在目录中确定了83个重点建设专业，“电气运行与控制”为重点建设专业之一。这样就将现存各行业机电类的“自动化”，“电气化”等专业，统一归口，均纳入在“电气运行与控制”专业范畴内。

“工厂供电”是“电气运行与控制”专业的一门主干课程。我们在总结这些年来讲授这门课程的经验基础上，听取了部分工厂一线工程师和工人师傅的意见，完全按照上述的“教学指导方案”编写了这本《工厂供电》教材。本书深入浅出地讲述了工厂供配电系统结线方式、控制与保护的基本环节和电力设备的安装检修、运行维护以及选择校验计算等方面的基本知识。重点强调了电力系统“安全”运行的重要性，详细地介绍了供配电系统运行、维护和检修的操作规程，着重培养学生的“安全意识”和职业技术能力，使学生具备中级以上维修电工及内外线电工的知识水平。本课程实践性很强，在讲授此课程时应理论联系实际，充分运用现场教学，实践教学，多媒体电化教学等手段，以求收到最好的教学效果。建议授课时数为80学时。为了便于教学，书中标有\*号的章节，可安排选讲或自学内容。本书第1、4章由天津市第一轻工业学校姚锡禄编写，第2、7章由安徽国防科技工业学校任启宏编写，第3、8章由安徽能源科技工业学校姚成秀编写，第5章由安徽轻工业学校李治国编写，第6章由天津市第一轻工业学校陈晖编写，第9章由安徽建材工业学校黄琪编写，第10章由上海新侨技术学院俞波编写。本书主编为姚锡禄，全书由姚锡禄统稿，书中附录的实验指导书由陈晖编写。全书由天津市第一轻工业学校陆亚民主审。在编写过程中天津市冶金总公司高级工程师朱作禄，天津市第二自行车厂电气工程师杨建平提出许多宝贵意见，2002年4月在杭州召开的“电气运行与控制专业”系列教材编写大纲研讨会上，与会专家程周、张涛、饶庆和、吴国经、荣俊昌等对本书编写亦提出了建设性意见，在此一并表示衷心感谢。

由于我们业务水平有限，本教材难免有错误和不当之处，恳请读者批评指正。

编者

2002年12月

# 目 录

<b>第 1 章 工业企业供电概论</b> .....	(1)
1.1 工厂供电的意义、要求及课程任务 .....	(1)
1.2 工厂供电系统及其电源和负荷 .....	(1)
1.2.1 工厂供电系统 .....	(1)
1.2.2 工厂的电力负荷 .....	(5)
1.3 电力系统的电压 .....	(6)
1.3.1 概述 .....	(6)
1.3.2 三相交流电网和电力设备的额定电压 .....	(6)
1.3.3 电压偏差和电压调整 .....	(8)
*1.3.4 电压波动和闪变及其抑制 .....	(9)
*1.3.5 电网谐波及其抑制 .....	(10)
1.3.6 工厂高、低压配电电压的选择 .....	(11)
1.4 电力系统的中性点运行方式 .....	(12)
1.4.1 概述 .....	(12)
1.4.2 中性点不接地的电力系统 .....	(14)
1.4.3 中性点经消弧线圈接地的电力系统 .....	(15)
1.4.4 中性点直接接地的电力系统 .....	(16)
思考题与习题 .....	(16)
<b>第 2 章 工厂供配电系统的主要设备</b> .....	(18)
2.1 工厂供配电系统电气设备的分类 .....	(18)
2.2 电气设备中的电弧问题 .....	(18)
2.2.1 电弧的产生和熄灭 .....	(18)
2.2.2 电气设备中常用灭弧方法 .....	(19)
2.3 高压一次设备 .....	(21)
2.3.1 高压熔断器 .....	(21)
2.3.2 高压开关电器 .....	(22)
2.4 低压一次设备 .....	(27)
2.4.1 低压熔断器 .....	(27)
2.4.2 低压开关设备 .....	(29)
2.5 电流互感器和电压互感器 .....	(31)
2.5.1 电流互感器 .....	(32)
2.5.2 电压互感器 .....	(34)
2.6 高、低压成套配电装置 .....	(36)
2.6.1 高压开关柜 .....	(36)

2.6.2	低压配电屏 .....	(37)
2.6.3	动力和照明配电箱 .....	(38)
2.7	电力变压器 .....	(38)
2.7.1	电力变压器的结构 .....	(38)
2.7.2	电力变压器的联接组别 .....	(38)
	思考题与习题 .....	(40)
<b>第3章</b>	<b>工厂供配电系统的结线和结构</b> .....	<b>(41)</b>
3.1	工厂变电所的主结线方案 .....	(41)
3.1.1	概述 .....	(41)
3.1.2	主结线方案的设计原则 .....	(41)
3.1.3	工厂变电所常用的主结线方案 .....	(42)
3.1.4	变电所典型主结线举例 .....	(50)
3.2	工厂变配电所的结构与布置 .....	(52)
3.2.1	变配电所的总体布置 .....	(52)
*3.2.2	变配电所的结构 .....	(53)
3.3	电力线路的结线方式 .....	(58)
3.3.1	高压线路的结线方式 .....	(58)
3.3.2	低压线路的结线方式 .....	(59)
*3.4	电力线路的结构与敷设 .....	(60)
3.4.1	架空线路的结构与敷设 .....	(60)
3.4.2	电缆线路的结构与敷设 .....	(66)
3.4.3	车间线路的结构与敷设 .....	(70)
	思考题 .....	(71)
<b>第4章</b>	<b>负荷计算和短路计算</b> .....	<b>(73)</b>
4.1	电力负荷曲线的有关概念 .....	(73)
4.1.1	工厂用电设备的工作制 .....	(73)
4.1.2	工厂的负荷曲线 .....	(74)
4.1.3	与负荷曲线和负荷计算有关的物理量 .....	(75)
4.2	用电设备组计算负荷的确定 .....	(76)
4.2.1	概述 .....	(76)
4.2.2	用电设备组计算负荷的确定 .....	(76)
4.3	工厂计算负荷的确定 .....	(79)
4.3.1	概述 .....	(79)
4.3.2	按逐级算法确定工厂的计算负荷 .....	(79)
4.3.3	按需要系数法确定工厂计算负荷 .....	(79)
4.3.4	按年产量或产值估算工厂计算负荷 .....	(80)
4.3.5	工厂的功率因数、无功补偿及补偿后的工厂计算负荷 .....	(80)
4.4	尖峰电流及其计算 .....	(84)
4.4.1	概述 .....	(84)
4.4.2	单台用电设备尖峰电流的计算 .....	(84)

4.4.3	多台用电设备尖峰电流的计算	(84)
4.5	短路及短路电流的有关概念	(85)
4.5.1	短路的有关概念	(85)
4.5.2	无限大容量电力系统三相短路的概念	(86)
4.6	短路电流的计算方法及目的	(89)
	思考题与习题	(89)
<b>第5章</b>	<b>电器和导体的选择与校验</b>	<b>(91)</b>
5.1	电力变压器的容量和过负荷能力	(91)
5.1.1	电力变压器的额定容量与实际容量	(91)
5.1.2	电力变压器的正常过负荷能力	(92)
5.1.3	电力变压器的事事故过负荷能力	(92)
5.2	工厂变电所主变压器台数和容量的选择	(93)
5.2.1	工厂变电所主变压器台数的选择	(93)
5.2.2	工厂变电所主变压器容量的选择	(93)
5.3	高、低压电器的选择	(94)
5.3.1	高、低压熔断器的选择	(94)
5.3.2	低压开关设备的选择	(95)
5.3.3	高压开关设备的选择	(97)
5.4	工厂电力线路的选择	(97)
5.4.1	概述	(97)
5.4.2	按发热条件选择校验导线和电缆的截面	(98)
5.4.3	按经济电流密度选择导线和电缆的截面	(101)
	思考题与习题	(101)
<b>第6章</b>	<b>继电保护装置及二次回路</b>	<b>(102)</b>
6.1	继电保护装置的任务和要求	(102)
6.1.1	继电保护装置的任务	(102)
6.1.2	继电保护装置的基本要求	(102)
6.2	常用的保护继电器	(103)
6.2.1	概述	(103)
6.2.2	电磁式电流继电器	(104)
6.2.3	电磁式时间继电器	(105)
6.2.4	电磁式信号继电器	(106)
6.2.5	电磁式中间继电器	(107)
6.2.6	感应式电流继电器	(107)
6.3	工厂高压线路的继电保护	(111)
6.3.1	概述	(111)
6.3.2	保护装置的结线方式和操作电源	(111)
6.3.3	过电流带时限的保护	(112)
6.3.4	电流速断保护	(115)
*6.3.5	单相接地保护	(115)

6.4	电力变压器的继电保护 .....	(116)
6.4.1	概述 .....	(116)
6.4.2	保护装置的结线方式及其低压侧单相短路保护 .....	(117)
6.4.3	变压器的过电流保护、电流速断保护和过负荷保护 .....	(119)
6.4.4	变压器的瓦斯保护 .....	(120)
6.5	断路器的控制回路和信号系统 .....	(123)
6.5.1	概述 .....	(123)
6.5.2	采用手力操动机构的断路器控制回路及其信号系统 .....	(123)
6.5.3	采用电磁操动机构的断路器控制回路及其信号系统 .....	(124)
6.5.4	采用弹簧操动机构的断路器控制回路及其信号系统 .....	(125)
6.6	绝缘监察装置和测量仪表 .....	(126)
6.6.1	绝缘监察装置 .....	(126)
*6.6.2	电气测量仪表 .....	(126)
6.7	工厂供电系统二次回路结线图 .....	(128)
6.7.1	概述 .....	(128)
6.7.2	二次回路结线图的基本绘制方法 .....	(128)
	思考题与习题 .....	(130)
<b>第7章</b>	<b>防雷、接地及电气安全 .....</b>	<b>(131)</b>
7.1	过电压与防雷 .....	(131)
7.1.1	过电压 .....	(131)
7.1.2	雷电及其危害 .....	(132)
7.1.3	防雷装置 .....	(132)
7.1.4	防雷措施 .....	(136)
7.2	电气设备接地 .....	(137)
7.2.1	人体触电的原因及危害 .....	(138)
7.2.2	直接接触防护和间接触电防护 .....	(138)
7.2.3	接地及接地保护 .....	(138)
7.3	电气安全 .....	(142)
7.3.1	安全用电一般措施 .....	(142)
7.3.2	安全用电的技术措施 .....	(143)
7.3.3	安全用电的组织措施 .....	(143)
7.3.4	触电急救处理 .....	(144)
7.3.5	电气防火和防爆 .....	(144)
	思考题与习题 .....	(145)
<b>第8章</b>	<b>工厂的电气照明 .....</b>	<b>(147)</b>
8.1	常用的电光源和灯具 .....	(147)
8.1.1	工厂常用的电光源 .....	(147)
8.1.2	工厂常用灯具及布置 .....	(151)
8.2	照明供电系统及其选择 .....	(157)
8.2.1	照明供电系统 .....	(157)



8.2.2 照明供电系统导线截面的选择 .....	(159)
思考题与习题 .....	(162)
<b>第9章 工厂的电能节约 .....</b>	<b>(163)</b>
9.1 电能节约的意义 .....	(163)
9.2 工厂电能节约的一般措施 .....	(163)
9.3 无功功率的人工补偿 .....	(165)
9.3.1 并联电容器的接线 .....	(165)
9.3.2 并联电容器的补偿方式 .....	(166)
9.3.3 并联电容器在运行中的一些规定及注意事项 .....	(167)
思考题 .....	(169)
<b>第10章 工厂供配电系统的运行、维护与检修 .....</b>	<b>(170)</b>
10.1 工厂变配电所的运行维护 .....	(170)
10.1.1 变配电所的值班 .....	(170)
10.1.2 变配电所的送电和停电操作 .....	(172)
10.1.3 电力变压器的并列运行 .....	(174)
10.1.4 电力变压器的运行维护 .....	(174)
10.1.5 配电装置的运行维护 .....	(176)
10.2 工厂电力线路的运行维护 .....	(176)
10.2.1 架空线路的运行维护 .....	(176)
10.2.2 电缆线路的运行维护 .....	(177)
10.2.3 车间配电线路的运行维护 .....	(178)
*10.3 变配电所主要电气设备的检修、试验 .....	(180)
10.3.1 电力变压器的检修、试验 .....	(180)
10.3.2 配电装置的检修、试验 .....	(186)
10.3.3 避雷器的试验 .....	(186)
10.3.4 接地装置的试验 .....	(187)
10.4 工厂电力线路的检修、试验 .....	(188)
10.4.1 工厂电力线路的检修 .....	(188)
10.4.2 工厂电力线路的试验 .....	(191)
思考题 .....	(192)
<b>附录 工厂供电实验指导书 .....</b>	<b>(194)</b>
实验须知 .....	(194)
实验一 高压电器的认识实验 .....	(195)
实验二 低压电器的认识实验 .....	(196)
实验三 定时限过电流保护实验 .....	(198)
实验四 反时限过电流保护实验 .....	(200)
实验五 电缆绝缘电阻的测量及故障的探测分析 .....	(202)
习题参考答案 .....	(203)
<b>参考文献 .....</b>	<b>(204)</b>

# 第1章 工业企业供电概论

本章概述工厂供电的一些基本知识和基本问题。首先说明工厂供电的意义、要求及本课程的任务，然后简介典型的各类工厂供电系统，电力系统的基本知识，重点论述关系到供电系统全局的两个基本问题，即电力系统的电压和电力系统的中性点运行方式。

## 1.1 工厂供电的意义、要求及课程任务

工厂供电，就是指工厂所需电能的供应和分配，亦称工厂配电。电能是现代工业生产的主要能源和动力，也是最清洁的能源之一。电能的输送和分配既要简单经济，又要便于控制、调节和测量，既要有利于实现生产过程自动化，更要有利于环境保护。高新技术的应用，更依赖可靠优质的电力供应。因此，电能在现代工业生产及整个国民经济生活中应用极为广泛。

工业生产应用电能和实现电气化以后，能大大提高生产效率，提高产品质量。但是，工厂的电能供应如果突然中断，则将对工业生产造成严重的后果，甚至可能发生重大的设备损坏事故或人身伤亡事故。可见搞好工厂供电工作对于保证工业生产的正常进行和实现工业现代化具有十分重大的意义。

工厂供电工作要很好地为工业生产服务，切实保证工厂生产和生活用电的需要，并做好节能工作，就必须达到以下基本要求。

(1) 安全。电力运行中安全永远是第一位的，因此在电能的供应、分配和使用中，不能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频率和波形等质量的要求。

(4) 经济。供电系统的投资要少，运行费用要低，并尽可能地节约电能和减少有色金属消耗量。

供电工作应合理地处理局部和全局、当前和长远等关系，随着国民经济的发展，大型电力项目投入运行以后，电力供应愈来愈充裕。但仍要求我们必须有全局观点，统筹兼顾，合理开发，长远发展。

本课程的任务，主要是讲述中小型机械类工厂内部的电能供应和分配问题，并讲述电气照明，使学生初步掌握中小型工厂供电系统和电气照明运行维护及简单设计计算所必需的基本理论和基本知识，为今后从事工厂供电技术工作奠定一定的基础。本课程实践性较强，学习时应注重理论联系实际，培养实际应用能力。

## 1.2 工厂供电系统及其电源和负荷

### 1.2.1 工厂供电系统

工厂供电系统是指工厂所需的电力电源从进厂起到所有用电设备电源入端止的整个电路。

大部分中小型工厂<sup>①</sup>的电源进线电压为 10kV（或 6kV），某些大中型工厂的电源进线电压可为 35kV 及以上，某些小型工厂可以直接采用低压进线。所谓“低压”是指低于 1kV 的电压，一般来说 1kV 以上的电压称为“高压”<sup>②</sup>。下面介绍几种典型的工厂供电系统。

### 1. 具有高压配电所的工厂供电系统

图 1.1 是一个典型的中型工厂供电系统图<sup>③</sup>，图 1.2 是其平面布线图。为使图形简明，系统图、布线图及后面课程中涉及的主电路图，一般都只用一根线来表示三相线路，即绘成“单线图”的形式，此处绘出的系统图未绘出其中的开关电器，但示意性地绘出了高、低压母线上和低压联络线上装设的开关。

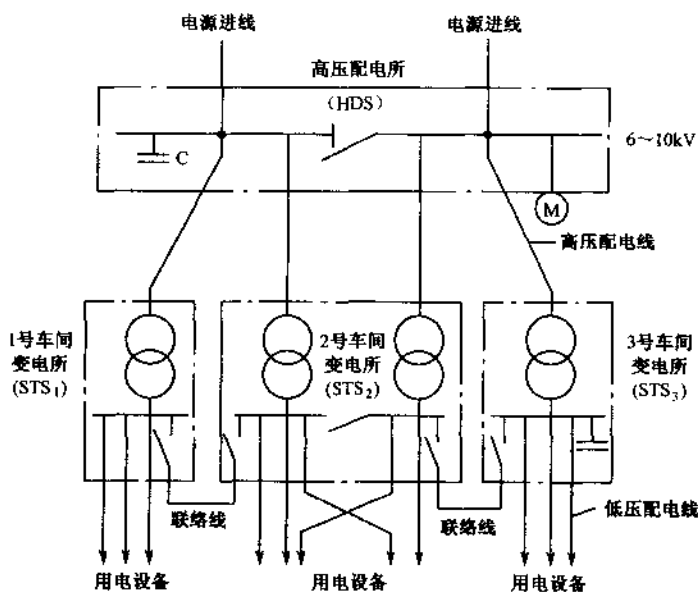


图 1.1 具有高压配电所的工厂供电系统图

从图 1.1 可以看出，该厂的高压配电所有两条 10（或 6）kV 的电源进线，分别接在高压配电所的两段母线上。所谓“母线”就是用来汇集和分配电能的导体，又称“汇流排”。这种利用一台开关分隔开的单母线结线形式，称为“单母线分段制”。当一条电源进线发生故障或进行检修而被切除时，可以闭合分段开关而由另一条电源进线来对整个配电所的负荷供电。这种具有双电源的高压配电所最常见的运行方式是：分段开关正常工作情况下是闭合的，整个配电所由一条电源进行供电，通常来自公共高压配电网络；而另一条电源进线则作为备用，通常

① 从供电的角度来说，凡总供电容量小于  $1000\text{kV}\cdot\text{A}$  的工厂可视为小型工厂；大于  $1000\text{kV}\cdot\text{A}$  而小于  $10000\text{kV}\cdot\text{A}$  的工厂可视为中型工厂； $10000\text{kV}\cdot\text{A}$  以上的工厂可视为大型工厂。

② 这里所谓的“低压”、“高压”是从设计制造的角度来划分的。如果从电气安全的角度，则按我国电力行业标准 DL408-91 规定：“低压”为设备对地电压低于 250V 者；“高压”为设备对地电压高于 250V 以上者。

③ 按 GB6988-86《电气制图》定义：“系统图”是用符号或带注释的框概略表示系统或分系统的基本组成、相互关系及其主要特征的一种简图；而“电路图”是用图形符号并按工作顺序详细表示电路、设备或成套装置的全部基本组成和连接关系而不考虑其实际位置的一种简图。

是从邻近单位取得备用电源。

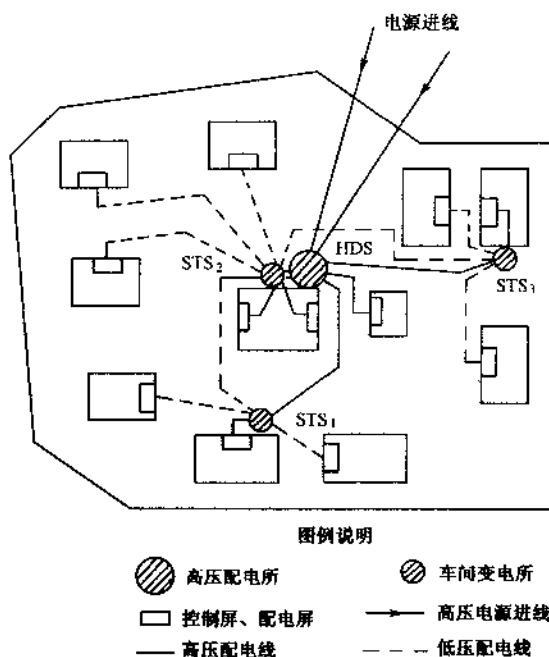


图 1.2 图 1.1 所示工厂供电系统的平面布线图

该高压配电所有四条高压配电线，供电给三个车间变电所。车间变电所装有电力变压器，将 10（或 6）kV 高压降为低压用电设备所需的 220/380V 电压<sup>①</sup>，这里的 2 号车间变电所中的两台电力变压器分别由配电所的两段母线供电；而其低压侧也采用单母线分段制，从而使供电可靠性大大提高，各车间变电所的低压侧，都设有低压联络线使之相互连接，以提高供电系统运行的可靠性和灵活性。此外该配电所有一条高压配电线，直接供电给一组高压电动机；另有一条高压配电线直接连接一组高压并联电容器。3 号车间变电所的低压母线上也连接有一组低压并联电容器，这些并联电容器都是用来补偿系统的无功功率，提高功率因数用的。

## 2. 具有总降压变电所的工厂供电系统

图 1.3 是一个比较典型的具有总降压变电所的大中型工厂供电系统的系统图。总降压变电所有两条 35kV 以上的电压经该所电力变压器降为 10（或 6）kV 的电压，然后通过高压配电路将电能送到各车间变电所，车间变电所又经电力变压器降为一般低压用电设备所需的 220/380V 的电压。为了补偿系统的无功功率和提高功率因数，通常在 10（或 6）kV 的高压母线上或 380V 的低压母线上接入并联电容器。

## 3. 高压深入负荷中心的工厂供电系统

如果当地的电源电压为 35kV，而厂区环境条件和设备条件又允许采用 35kV 架空线路和较经济的电气设备时，则可考虑采用 35kV 作为高压配电电压，35kV 线路直接引入靠近负荷

<sup>①</sup> 按 GB156-93《标准电压》规定：电压“220/380V”中的 220V 为三相交流系统的相电压，380V 为线电压。

中心的车间变电所，经电力变压器直接降为低压用电设备所需的电压，如图 1.4 所示。这种高压深入负荷中心的直配方式，可以节省一级中间变压过程从而简化了供电系统，节省了设备费用，降低了电能损耗和电压损耗，提高了供电质量。但此类供电系统对安全条件要求得更严格，为确保安全供电，要求厂区必须有满足 35kV 架空线路的“安全走廊”，对厂区建筑密度、堆积物等也有要求。这种供电系统比较适用于远离城市中心、厂区建筑分散的大型工厂。

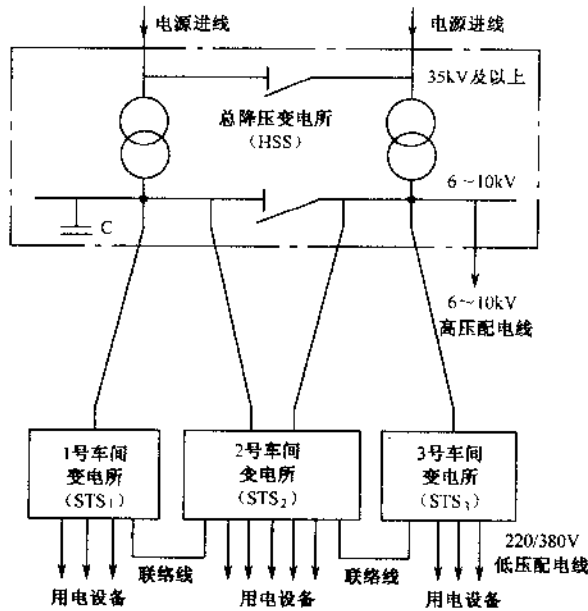


图 1.3 具有总降压变电所的工厂供电系统图

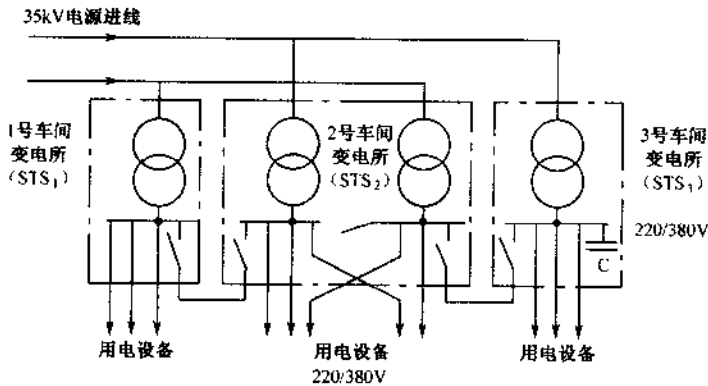


图 1.4 高压深入负荷中心工厂供电系统图

#### 4. 只有一个变电所或配电所的工厂供电系统

对于小型工厂，由于所需容量一般不大于  $1000\text{kV}\cdot\text{A}$  或稍多，因此通常只设一个降压变电所，将  $6\sim 10\text{kV}$  电压降为低压用电设备所需的电压，如图 1.5 所示。

如果工厂所需容量不大于  $160\text{kV}\cdot\text{A}$  时，一般采用低压电源进线，因此工厂只需设一低压配电间，如图 1.6 所示。

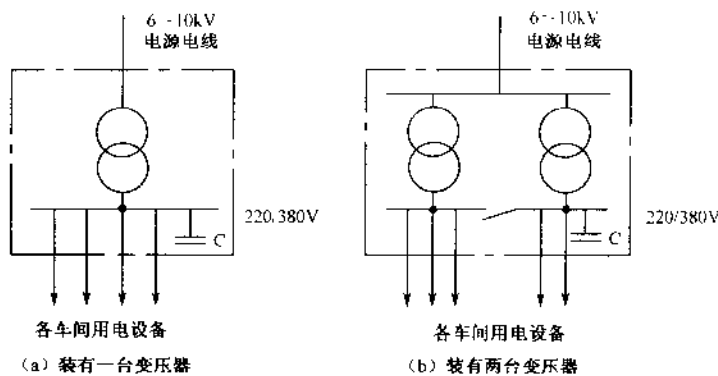


图 1.5 只设一个降压变电所的工厂供电系统图

由以上分析可知，配电所的任务是接受电能和分配电能；而变电所的任务是接受电能、变换电压和分配电能。两者的区别在于变电所装有或没有装电力变压器。

### 1.2.2 工厂的电力负荷

电力负荷有两个含义：一是指用电设备或用电单位（用户）；另一是指用电设备或用户所消耗的电功率或电流。下面所讲的电力负荷是指的前者。

#### 1. 电力负荷的分级

电力负荷根据其对供电可靠性的要求及中断供电在政治上、经济上所造成损失或影响的程度分为三级：

(1) 一级负荷。符合下列情况之一时，应为一级负荷。

a. 中断供电将造成人身伤亡时。

b. 中断供电将在政治上、经济上造成重大损失时，例如重大设备损坏，大量产品报废，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生产过程被打乱需要很长时间才能恢复时。

c. 中断供电将影响有重大政治、经济意义的用电单位的正常工作时，例如重要交通枢纽，重要通信枢纽，重要宾馆，大型体育场馆，经常用于国际活动的大量人员集中的公共场所，例如港口、车站、机场等用电单位中的重要电力负荷。

在一级负荷中，当中断供电时将发生中毒、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，应视为特别重要的负荷。

(2) 二级负荷。符合下列情况之一时，应为二级负荷。

a. 中断供电将在政治、经济上造成较大损失时，例如主要设备损坏、大量产品报废、连续生产过程被打乱需较长时间才能恢复、重点企业大量减产时。

b. 中断供电将影响重要用电单位的正常工作时，例如交通枢纽、通信枢纽等用电单位中的重要电力负荷，以及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的公共场

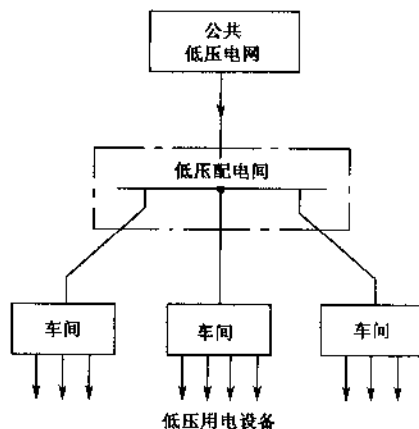


图 1.6 低压进线的小型工厂供电系统

所秩序混乱时。

(3) 二级负荷。不属于一级和二级负荷者应为三级负荷。

## 2. 各级电力负荷对供电电源的要求

(1) 一级负荷对供电电源的要求：一级负荷属重要负荷，应由两个独立电源供电。当一个电源发生故障时，另一个电源不应同时受到损坏。一级负荷中特别重要的负荷，除有两个独立电源外，尚应增设应急电源，并严禁将其他负荷接入应急供电系统。可作为应急电源的电源有：

- a. 独立于正常电源的发电机组。
- b. 供电网络中独立于正常电源的专用的馈电线路。
- c. 蓄电池。
- d. 干电池。

(2) 二级负荷对供电电源的要求：二级负荷也属重要负荷，但其重要程度次于一级负荷。二级负荷宜由两个回路供电，供电变压器也应有两台。在其中一个回路或一台变压器发生常见故障时，二级负荷不致中断供电，或中断后能迅速恢复供电。只有当负荷较小或者当地供电条件困难时，二级负荷可由一个回路 6kV 及以上的专用架空线路供电。这是考虑架空线路发生故障时，较之电缆线路发生故障时易于发现且易于检查和修复。当采用电缆线路时，必须采用两根电缆并列供电，每根电缆应能承担全部二级负荷。

(3) 三级负荷对供电电源的要求：由于三级负荷为不重要的一般负荷，因此它对供电电源无特殊要求。

## 1.3 电力系统的电压

### 1.3.1 概述

电力系统中的所有电气设备都是在一定的电压和频率下工作的。电气设备在其额定电压和频率下工作时，其综合的经济效果最好。频率和电压是衡量电能质量的两个基本参数。

我国采用的工业频率（简称工频）为 50Hz，频率偏差范围一般规定为  $\pm 0.5\text{Hz}$ 。如果电力系统容量达 3000MW 及以上时，则频率偏差范围为  $\pm 0.2\text{Hz}$ 。频率的调整主要依靠发电厂来调节发电机的转速。对于工厂供电系统来说，提高电能质量主要是提高电压质量和供电可靠性的问题。电压质量不只是指对额定电压来说是电压偏高或偏低即电压偏差的问题，而且包括电压波动以及电压波形是否畸变，即是否含有过多的高次谐波成分的问题。

### 1.3.2 三相交流电网和电力设备的额定电压

按照国家标准 GB156-93《标准电压》规定，我国三相交流电网和发电机的额定电压如表 1-1 所示。

(1) 电网（线路）的额定电压。电网的额定电压等级是国家根据国民经济发展的需要和电力工业的水平，经全面经济分析后确定的。它是确定各类电力设备额定电压的基本依据。

(2) 用电设备的额定电压。线路运行时要产生电压降，即电压损耗，所以线路上各点的电压都略有不同，如图 1.7 中的虚线所示。成批生产的用电设备，只能按线路的额定电压来制造，而不用考虑线路上的电压损耗。因此用电设备的额定电压规定与同级电网的额定电压相同。

(3) 发电机的额定电压。由于电力线路允许的电压偏差一般为 $\pm 5\%$ ，即整个线路允许有10%的电压损耗值，线路首端（电源端）的电压可较线路额定电压高5%，而线路末端则可较线路额定电压低5%，如图1.7所示。所以发电机额定电压规定高于同级电网额定电压5%。

表 1-1 我国三相交流电网和电力设备的额定电压（据 GB156-93）

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	0.38	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, 15.75, 18, 20, 22, 24, 26	13.8, 15.75, 18, 20, 22, 24, 26	
	35		35	38.5
	66		66	72.6
	110		110	121
	220		220	242
	330		330	363
	500		500	550

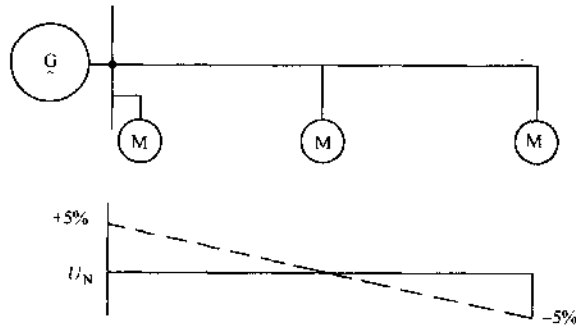


图 1.7 用电设备和发电机的额定电压说明

(4) 电力变压器的额定电压。

a. 电力变压器一次绕组的额定电压。分两种情况：

- 当变压器直接与发电机相连时，如图1.8中的变压器 $T_1$ ，其一次绕组额定电压应与发电机额定电压相同，即高于同级电网额定电压5%。

- 当变压器不与发电机相连，而是连接在线路上时，如图1.8中的 $T_2$ ，则可看作是线路的用电设备，因此其一次绕组额定电压应与电网的额定电压相同。

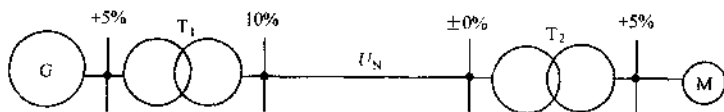


图 1.8 电力变压器的额定电压说明



b. 电力变压器二次绕组的额定电压。亦分两种情况：

● 变压器二次侧供电线路较长（如较大的高压电网）时，如图 1.8 中的  $T_1$ ，其二次绕组额定电压应比相连电网额定电压高 10%，其中 5% 是用于补偿变压器满负荷运行时绕组内部约 5% 的电压损耗，这是因为变压器二次绕组的额定电压是指变压器一次绕组加上额定电压时，二次绕组开路的电压，带负载运行时其内部必有电压损耗；此外变压器满负荷运行时输出的二次电压还要高于所连电网额定电压 5%，以补偿线路上的电压降。

● 变压器二次侧供电线路不长（如低压电网或直接供电给高低压用电设备）时，如图 1.8 中的  $T_2$ ，其二次绕组额定电压只需高于所连电网额定电压 5%，仅考虑补偿变压器满负荷运行时绕组内部 5% 的电压损耗。

### 1.3.3 电压偏差和电压调整

#### 1. 电压偏差

用电设备端子处的电压偏差  $\Delta U$  是以设备端电压  $U$  与设备额定电压  $U_N$  差值同  $U_N$  的百分值来表示的，即

$$\Delta U\% = [(U - U_N) / U_N] \times 100$$

电压偏差对设备的工作性能和使用有很大影响。

对感应电机和同步电机来讲，由于转矩与端电压平方成正比（ $M \propto U^2$ ）。当端电压比额定电压低 10% 时，其实际转矩只有额定转矩的 81% 左右，而负荷电流将增大 5%~10% 以上，温升将增高 10%~15% 以上，绝缘老化程度将比规定增加一倍以上，从而明显地缩短电机寿命。当其端电压偏高时，负荷电流和温升也将增加，绝缘相应受损，对电机不利。

电压偏差对照明灯具也有影响，端电压偏低将使发光效率降低，照度降低，影响视力；而电压偏高又缩短了灯具的寿命。

国家标准 GB12325-90《供配电系统设计规范》规定：正常运行情况下，用电设备端子处电压偏差的允许值要符合下列要求：

- a. 电动机为  $\pm 5\%$ 。
- b. 照明：在一般工作场所为  $\pm 5\%$ ；对于远离变电所的小面积一般工作场所，难以满足要求时，可为  $+5\% \sim -10\%$ ；应急照明、道路照明和警卫照明等为  $+5\% \sim -10\%$ 。
- c. 其他用电设备，当无特殊规定时为  $\pm 5\%$ 。

#### 2. 电压调整

为了满足用电设备对电压偏差的要求，供电系统必须采用相应的电压调整措施。

(1) 正确选择无载调压型变压器的电压分接头或采用有载调压型变压器。我国工厂供电系统中应用的 6~10kV 电力变压器一般为无载调压型，其高压绕组有  $U_{1N} \pm 5\%$  的电压分接头，并装设有无载调压分接开关，如图 1.9 所示。如果设备端电压偏高，则应将分接开关换接到  $+5\%U_{1N}$  的分接头，以降低设备端电压。如果设备端电压偏低，则应将分接开关换接到  $-5\%U_{1N}$  的分接头，以升高设备端电压。但是换接电压分接头必须停电进行，因此不能频繁操作。如果用电负荷中有的设备对电压要求严格，采用无载调压型变压器满足不了要求，而单独装设调压设备在技术经济上不合理时，可采用有载调压型变压器，使之在正常运行过程中自动调整电压，保证设备端电压的稳定。