

智能制造基础技术系列教材
“互联网+”新形态一体化教材

供配电技术

主编◎孙振勇 邹颖 孙莉



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

智能制造基础技术系列教材
“互联网+”新形态一体化教材

供配电技术

主编◎孙振勇 邹颖 孙莉



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本教材依据《国家职业技术教育改革实施方案》并结合岗、课、赛、证的要求介绍了供配电技术的一般原理和操作技术。本教材共分为10个项目,在各项目任务实施过程中,深入浅出、逐步递进地将电工作业人员持证上岗的基本要求,高、低压电气设备的组成及供配电技术的基本操作融入学习与操作中,并通过课后任务工单使学生把所学的知识与技能牢固掌握、巩固和提升,实现在“做中学”,在“学中做”。本教材既可作为电力技术类专业的教材,也可作为工程技术人员的培训教材和自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

供配电技术 / 孙振勇, 邹颖, 孙莉主编. — 上海:
上海交通大学出版社, 2024.2
ISBN 978-7-313-30193-2

I . ①供… II . ①孙… ②邹… ③孙… III . ①供电系
统—高等教育—教材 ②配电系统—高等教育—教
材 IV . ① TM72

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2024)第 034998 号

供配电技术

GONGPEIDIAN JISHU

主 编: 孙振勇 邹 颖 孙 莉

地 址: 上海市番禺路 951 号

出版发行: 上海交通大学出版社

电 话: 021-6407 1208

邮政编码: 200030

印 制: 北京荣玉印刷有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 787 mm × 1092 mm 1/16

印 张: 14.5

字 数: 320 千字

版 次: 2024 年 2 月第 1 版

印 次: 2024 年 2 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-313-30193-2

电子书号: ISBN 978-7-89424-562-5

定 价: 49.80 元

版权所有 侵权必究

告读者: 如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话: 010-6020 6144

前言

“供配电技术”是高等职业院校电力技术类专业的一门专业核心课程。为贯彻落实《国家职业技术教育改革发展实施方案》及“三全育人”的新时代职业技术教育发展新思想，教材在《中华人民共和国安全生产法》基础上，牢固树立“特种作业，安全第一”的安全理念，依据高等职业院校电力技术类专业教学标准的要求，通过校企合作，以项目任务驱动模式阐述内容。同时，为了更加突出思想性、实践性，编写时积极融入课程思政和1+X证书相关考试内容，落实“三全育人”的教育理念，由浅入深地突出“实践育人”和“安全育人”的先进教育思想。本教材具有以下特色。

一、融入课程思政，落实“三全育人”

本教材把理想信念、职业道德、工匠精神、奉献社会等思想政治元素融入课堂，突出职业技术教育为国家兴旺、为民族振兴培养人才的理念。同时，本教材还结合党的二十大相关内容，宣传大国工匠，弘扬新时代劳动精神，紧紧围绕“立德树人”根本任务，牢固树立为社会主义现代化强国培养有用人才的理想信念。

二、坚持“特种作业”持证先行，适应“1+X”证书制度

本教材严格落实《中华人民共和国安全生产法》，时刻强调“特种作业，安全第一”的基本要求，促进我国智能制造稳定、和谐发展。根据我国特种作业相关规范要求，高、低压电工考取特种作业操作证（高压电工作业证和低压电工作业证）是高、低压电工上岗的基础，也是上岗的第一次安全教育。教材内容以真实生产项目、典型工作任务和案例为载体来组织教学任务，以适应“1+X”证书的考证需求。

三、内容编排由浅入深，循序渐进，突出能力提升

本教材内容分三个层次，项目一讲述了电工持证上岗的相关法律法规，并介绍了特种作业考试的主要内容；项目二至项目八介绍了高、低压供配电的一般工作过程和操作技术；项目九和项目十主要介绍了供配电技术的安全管理和供配电安全条件的检查要点。

四、设置任务工单，强化学生实践动手能力

本教材增加了任务工单，用以对学生所学知识的检验与巩固。每一项目的任务工单都是对所学知识技能的再加工，同时增加了同学间的互评，起到了相互促进、共同提升的作用。

本书由孙振勇、邹颖、孙莉担任主编，黄闪闪、钱诚、曾祥涛、李兆平、贾荣斌担任副主编，张国豪、张靖轩、杨德锦参与编写。其中项目一由襄阳汽车职业技术学院李兆平

编写，项目二由襄阳汽车职业技术学院钱诚编写，项目三、项目十由襄阳汽车职业技术学院孙振勇编写，项目四、项目五由襄阳汽车职业技术学院黄闪闪编写，项目六由襄阳汽车职业技术学院邹颖编写，项目七由襄阳汽车职业技术学院孙莉编写，项目八由襄阳市安全生产宣传教育中心专家曾祥涛编写，项目九由襄阳市经济和信息化委员会安全技术专家贾荣斌编写。全书由孙振勇负责统稿，张国豪、张靖轩、杨德锦负责编排和校对。本书配有丰富的数字化资源，包含了电子课件（PPT）、试题库等，有需要者可致电 13810412048 或发邮件至 2393867076@qq.com 领取。

本书是由襄阳汽车职业技术学院与襄阳市安全生产宣传教育中心校企合作共同开发的教材，在此向相关人员表示感谢。由于编者水平有限，书中存在的不当之处，恳请广大读者批评指正。



目 录

项目一 特种作业的认知 / 1

任务一 了解特种作业及特种作业操作证考核规定	2
一、特种作业	2
二、特种作业操作证考核规定	5
任务二 熟知电工作业的基本知识	7
一、电工作业的定义	7
二、电工作业人员的安全职责	7
三、电气作业安全组织管理	7
四、电气作业安全组织措施	8
五、电气作业安全技术措施	10
拓展阅读 2020 年我国电力系统人身伤亡事故情况统计	12
思考与练习	14
项目总结	14
任务工单 特种作业高、低压电工操作票	15

项目二 供配电系统的组成与特点 / 17

任务一 认识电力系统的组成及其电压等级	18
一、电力系统的组成	18
二、电力系统的基本要求	19
三、电力系统的电压等级	19
任务二 了解电力系统中性点的运行方式	22
一、电力系统中性点运行方式的定义	22

二、中性点不接地的电力系统	22
三、中性点经消弧线圈接地的电力系统	23
四、中性点直接接地或经低阻抗接地的电力系统	25
任务三 了解工厂供配电系统的组成	25
一、工厂供配电系统的组成	25
二、工厂供配电系统电压的选择	28
任务四 参观学校供配电系统	28
一、参观学校变配电所及高、低压架空输电线路	29
二、参观学校低压配电系统	30
拓展阅读 了解我国配电网的发展	31
思考与练习	31
项目总结	32
任务工单 认识学校高、低压供配电系统	33

项目三 电力负荷及短路故障 / 35

任务一 认识电力负荷及负荷曲线	36
一、电力负荷的定义	36
二、电力负荷的分类	36
三、不同负荷对供电电源的要求	37
四、用电设备的工作制	38
五、负荷曲线	38
六、与负荷曲线有关的物理量	40
任务二 了解电力系统短路故障危害与防护	41
一、短路的概念	41

二、短路的类型	42
三、短路的后果	42
四、预防电力系统短路的措施	43
拓展阅读 错峰用电 自建储能	43
思考与练习	44
项目总结	44
任务工单 工厂供配电系统单相接地 故障的处理	45

项目四 供配电系统部件的工作原理与维护 / 47

任务一 掌握高压电气部件的工作原理 与维护	48
一、高压熔断器	48
二、高压隔离开关	49
三、高压负荷开关	50
四、高压断路器	51
五、成套电气装置	53
六、电力电容器	54
七、电压互感器	55
八、电流互感器	57
九、母线	59
任务二 掌握变压器的工作原理与 维护	61
一、变压器的工作原理	61
二、变压器的铭牌	61
三、变压器的连接组别	62
四、变压器台数的选择	63
五、变压器容量的选择	63
六、变压器的维护	64
任务三 掌握低压用电器的工作原理与 维护	64
一、开关电器	64
二、主令电器	65
三、低压断路器	66

四、低压熔断器	68
五、接触器	69
六、热继电器	70
七、时间继电器	71
任务四 掌握电工安全用具与应急救援 技术	73
一、电气安全用具	73
二、防护用具	75
三、安全用具的日常检查	77
四、电工安全标示牌	77
五、电工应急救援知识	79
拓展阅读 世界容量最大 110 kV 级户外 智能型干式变压器上线	83
思考与练习	83
项目总结	83
任务工单 1 电力变压器绝缘电阻的 测量	85
任务工单 2 高压开关柜的停、送电 操作 (KYN28-12 型)	87

项目五 工厂供配电线路的运行与维护 / 89

任务一 认识工厂变配电所的布置和 结构	90
一、变配电所总体布置要求	90
二、变配电所总体布置方案	90
三、变配电所的结构	91
四、变压器室的结构	94
五、高压电容器室的结构	95
六、值班室的结构	96
任务二 认识工厂变配电所电气 主接线	96
一、单母线接线方式	97
二、双母线接线方式	100
三、无母线接线方式	103

任务三 工厂供配电线路的运行与维护	105	二、两相一继电器式接线	130
一、架空线路	105	任务四 学习工厂供配电线路的继电保护	131
二、电缆线路	106	一、工厂供配电线路继电保护的设置	131
三、车间配电线路	108	二、带时限的过电流保护	131
任务四 掌握电气设备的倒闸操作	110	三、电流速断保护	133
一、电气设备的运行状态	110	四、单相接地保护	133
二、电气倒闸操作的基本原则	111	任务五 掌握电力变压器的继电保护措施	133
三、倒闸操作前应遵守的要求	111	一、常见电力变压器运行过程中的不正常状态	133
四、倒闸操作的注意事项	112	二、电力变压器继电保护的设置	134
五、倒闸操作制度及有关的规定	112	三、电力变压器的过电流、电流速断和过负荷保护	134
六、倒闸操作的实施过程及要求	113	四、电力变压器低压侧的单相短路保护	135
拓展阅读 特高压行业中的“大国工匠”	115	五、电力变压器的瓦斯保护	136
思考与练习	115	六、电力变压器纵联差动保护	138
项目总结	116	拓展阅读 世界最大特高压交流变压器研发成功	138
任务工单 工厂变配电所的倒闸操作	117	思考与练习	139
 		项目总结	139
项目六 供配电系统的过电流保护 / 121		任务工单 供配电系统继电保护装置的维护	141
任务一 了解过电流保护的方式	122	 	
一、过电流保护的分类和任务	122	项目七 供配电系统的接地、接零与漏电保护 / 143	
二、过电流保护的基本要求	122	任务一 认识供配电系统的接地保护	144
三、熔断器保护和断路器保护	123	一、接地的有关概念	144
任务二 了解常用保护继电器	125	二、电气设备接地装置的装设	145
一、常用保护继电器的分类	125	三、接地的类型	146
二、电磁式电流继电器	126	四、认识低压配电系统的接地形式	147
三、电磁式电压继电器	126	五、电气设备的接地装置	150
四、时间继电器	126		
五、电磁式中间继电器	128		
六、电磁式信号继电器	128		
七、感应式电流继电器	129		
任务三 了解继电保护装置的接线方式	130		
一、两相两继电器式接线	130		

任务二 认识供配电系统的接零保护	152
一、接零的概念	152
二、接零保护工作原理	152
任务三 认识供配电系统的漏电保护	153
一、漏电保护器的结构	153
二、漏电保护器的工作原理	154
三、漏电保护器的安装	157
四、漏电保护器在供配电系统中的正确使用	158
拓展阅读 了解我国超级工程之一——西电东送	159
思考与练习	159
项目总结	160
任务工单 学校供配电系统中的接地方式与漏电保护器的安装认知	161

项目八 供配电系统的防雷措施 / 163

任务一 了解过电压与防雷的概念	164
一、电力系统过电压的种类	164
二、雷电的形成及危害	165
任务二 认识工厂供配电系统的防雷装置	166
一、接闪器	166
二、避雷器	168
任务三 掌握供配电系统的防雷保护	171
一、架空线路的防雷保护	171
二、变配电所的防雷保护	172
三、设备防雷保护	175
拓展阅读 科技与创新——引雷技术	176
思考与练习	176
项目总结	176

任务工单 学校高、低压供配电系统防雷保护认知	178
-------------------------------	-----

项目九 工厂供配电系统的运行管理与事故处理 / 180

任务一 熟悉工厂供配电系统的运行管理措施	181
一、工厂供配电系统的安全环境管理措施	181
二、工厂供配电系统的技术管理	181
三、工厂供配电系统的运行调度管理	182
四、工厂供配电系统的班组管理	182
五、工厂供配电系统的设备管理	182
六、工厂供配电系统运行日志的规范化填写	182
任务二 掌握工厂供配电系统节约电能措施	186
一、节约电能的意义	186
二、节约电能的措施	186
三、工厂供配电系统功率因数的补偿方法	186
四、并联电容器组的投切操作	190
五、并联电容器组的巡查与维护项目	191
任务三 掌握工厂供配电系统事故处理方法	191
一、工厂供配电系统事故的分类	191
二、工厂供配电系统事故处理的原则	191
三、工厂供配电系统事故现场处理人员应具备的素质	192
四、工厂供配电系统事故处理的工作程序	192

五、工厂供配电系统事故处理的注意 事项	193	三、原因分析	203
六、变配电所低压主进线开关跳闸 事故处理操作	193	四、整改措施	203
七、变压器高压侧开关跳闸事故处理 操作	194	任务三 分析 KTV 触电死亡案例	204
拓展阅读 三峡输电工程意义深远	195	一、情况介绍	204
思考与练习	196	二、现场情况勘察	204
项目总结	196	三、原因分析	204
任务工单 变压器高压侧开关跳闸 事故处理（以杆上变压器 为例）	197	四、整改措施	205
 		任务四 分析易燃易爆化工企业电气 安全专项内容	206
项目十 供配电系统的电气安全 检查 / 200		一、企业供配电情况介绍	206
任务一 熟悉电气安全检查适用的 规范	201	二、诊断依据、路径	209
一、电气安全检查常用的规范汇总	201	三、电气伤害事故原因分析	209
二、不同类型企业适用的规范	201	四、电气隐患存在场所及类型	211
任务二 分析某砖厂触电死亡事故 案例	202	五、主要问题分析	214
一、事故经过	202	六、改善电气安全条件的建议	215
二、现场情况勘察	202	七、总结	215
		拓展阅读 电气火灾	215
		思考与练习	216
		项目总结	217
		任务工单 学校高、低压供配电系统 电气隐患诊断	218
		参考文献 / 220	



项目一

特种作业的认知

目标导航

知识目标

- ① 了解特种作业项目的分类。
- ② 熟知特种作业人员应具备的基本条件及相关的法律法规。
- ③ 了解特种作业操作证的考核项目、培训内容、学时要求、取证及复审规定等。
- ④ 熟知电工作业内容。
- ⑤ 熟悉电气作业安全组织管理。

技能目标

- ① 电工作业前能按规范执行停电、验电、接地、悬挂标示牌和装设遮栏等安全技术措施。
- ② 能按技术要求规范完成倒闸等操作。
- ③ 电工作业前能正确填写操作票并严格执行。

素质目标

- ① 通过学习特种作业法律法规，了解法律规范在电工作业中的指导作用。
- ② 通过学习特种作业的考试规定，明确理论与实践结合的重要性。
- ③ 通过学习电工作业的安全组织措施，明确制度在生产生活中的重要性。

项目概述

本项目首先介绍了特种作业项目的分类、特种作业人员考证应具备的基本条件与特种作业相关的法律法规，并以高、低压电工操作证为例，介绍了特种作业操作证的考核项目、培训内容、学时要求、取证及复审规定等；然后又介绍了电工的作业内容、电工作业人员的安全职责、电气作业安全组织管理、安全组织措施、安全技术措施，并以倒闸操作为例，介绍了倒闸技术要求及工作票填写规定。学习本项目时，应该把重点放在特种作业操作证的相关考核规定以及电工作业的常用技术要求和规范上。

掌握电气作业安全技术措施和工作票的填写，养成严格按规范和技术要求执行操作的良好习惯，有助于后面课程的学习。

任务一 了解特种作业及特种作业操作证考核规定

一、特种作业

1. 特种作业的定义

特种作业，是指容易发生事故，对操作者本人、他人的安全健康及设备、设施的安全可能造成重大危害的作业。

2. 特种作业范围

根据 2020 年发布的《特种作业目录（征求意见稿）》，特种作业包括 12 个类别，66 个操作项目（工种），具体如表 1-1 所示。

表 1-1 特种作业目录

序号	类别	操作项目（工种）
1	电工作业	低压电工作业
		高压电工作业
		电力电缆作业
		继电保护作业
		电气试验作业
2	焊接与热切割作业	熔化焊接与热切割作业
		压力焊作业
3	高处作业	登高架设作业
		悬空作业
		攀登作业
4	制冷与空调作业	制冷设备运行、安装、修理操作作业
		空调设备运行、安装、修理操作作业
5	煤矿安全作业	煤矿井下电气作业
		煤矿井下爆破作业
		煤矿安全监测监控作业
		煤矿瓦斯检查作业
		煤矿安全检查作业
		煤矿提升机操作作业
		煤矿采煤机操作作业

续表

序号	类别	操作项目（工种）
5	煤矿安全作业	煤矿掘进机操作作业
		煤矿瓦斯抽采作业
		煤矿防突作业
		煤矿探放水作业
		煤矿防冲作业
		煤矿无轨胶轮车操作作业
6	金属非金属矿山安全作业	金属非金属矿井通风作业
		尾矿作业
		金属非金属矿山提升机操作作业
		金属非金属矿山支护作业
		金属非金属地下矿山主排水作业
		金属非金属矿山无轨胶轮车操作作业
7	石油天然气安全作业	钻井司钻作业
		井下作业司钻作业
8	冶金（有色）生产安全作业	煤气作业
9	危险化学品安全作业	光气及光气化工艺作业
		氯碱电解工艺作业
		氯化工艺作业
		硝化工艺作业
		合成氨工艺作业
		裂解（裂化）工艺作业
		氟化工艺作业
		加氢工艺作业
		重氮化工艺作业
		氧化工艺作业
		过氧化工艺作业
		胺基化工艺作业
		磺化工艺作业
		聚合工艺作业
烷基化工艺作业		

续表

序号	类别	操作项目（工种）
9	危险化学品安全作业	新型煤化工工艺作业
		电石生产工艺作业
		偶氮化工艺作业
		化工自动化控制仪表作业
		危险化学品仓储作业
10	烟花爆竹安全作业	烟火药制造作业
		黑火药制造作业
		引火线制造作业
		烟花爆竹产品涉药作业
		烟花爆竹储存作业
11	有限空间安全作业	有限空间监护作业
12	应急救援作业	矿山救援作业
		危险化学品救援作业
		建筑物坍塌救援作业
		水域救援作业
		高空绳索救援作业
		直升机救援作业
13	应急管理部会同有关部门认定的其他作业	

3. 特种作业人员应具备的基本条件

根据《特种作业人员安全技术培训考核管理规定》第4条规定，特种作业人员应当符合下列条件。

(1) 年满18周岁，且不超过国家法定退休年龄。

(2) 经社区或者县级以上医疗机构体检健康合格，并无妨碍从事相应特种作业的器质性心脏病、癫痫病、美尼尔氏症、眩晕症、癔病（癔症）、震颤麻痹症（帕金森病）、精神病、痴呆症以及其他疾病和生理缺陷。

(3) 具有初中及以上文化程度（危险化学品、煤矿特种作业人员应当具备高中及以上文化程度）。

(4) 具备必要的安全技术知识与技能。

(5) 相应特种作业规定的其他条件。

4. 我国法律法规中对特种作业人员的要求

(1) 《中华人民共和国安全生产法》第 30 条规定：“生产经营单位的特种作业人员必须按照国家有关规定经专门的安全作业培训，取得相应资格，方可上岗作业。特种作业人员的范围由国务院应急管理部门会同国务院有关部门确定。”

(2) 《中华人民共和国安全生产法》第 97 条规定：“生产经营单位有下列行为之一的，责令限期改正，处十万元以下的罚款；逾期未改正的，责令停产停业整顿，并处十万元以上二十万元以下的罚款，对其直接负责的主管人员和其他直接责任人员处二万元以上五万元以下的罚款”，其中第（7）项规定“特种作业人员未按照规定经专门的安全作业培训并取得相应资格，上岗作业的”。

(3) 《中华人民共和国矿山安全法》第 26 条第 2 款规定：“矿山企业安全生产的特种作业人员必须接受专门培训，经考核合格取得操作资格证书的，方可上岗作业。”

(4) 《安全生产许可证条例》第 6 条第 5 项把“特种作业人员经有关业务主管部门考核合格，取得特种作业操作资格证书”作为企业取得安全生产许可证的必备条件之一。

(5) 《中华人民共和国消防法》第 21 条第 2 款规定：“进行电焊、气焊等具有火灾危险作业的人员和自动消防系统的操作人员，必须持证上岗，并遵守消防安全操作规程。”

(6) 《中华人民共和国消防法》第 67 条规定：“机关、团体、企业、事业等单位违反本法第十六条、第十七条、第十八条、第二十一条第二款规定的，责令限期改正；逾期不改正的，对其直接负责的主管人员和其他直接责任人员依法给予处分或者给予警告处罚。”

(7) 《工贸企业重大事故隐患判定标准》第 3 条规定：“工贸企业有下列情形之一的，应当判定为重大事故隐患”，其中第（2）项规定“特种作业人员未按照规定经专门的安全作业培训并取得相应资格，上岗作业的”。

二、特种作业操作证考核规定

1. 特种作业人员安全技术考试项目

《安全生产资格考试与证书管理暂行办法》第 9 条规定：“特种作业人员操作资格考试分为安全生产知识考试和实际操作考试。安全生产知识考试合格后，方可进行实际操作考试。安全生产知识考试在考试点进行，实行计算机考试，特殊情况经考试机构同意可采用计算机生成的纸质试卷考试。考试时间为 120 分钟，满分为 100 分，80 分以上为合格。实际操作考试应当在具备实际操作考试条件的考试点，采取现场实际操作或者仿真模拟操作等方式进行，满分为 100 分，80 分以上为合格。”第 10 条规定：“考试不合格的，允许补考 1 次。考试合格成绩有效期为 12 个月。”

2. 特种作业人员安全技术培训要求

特种作业人员安全技术培训应在相应的培训机构进行。低压电工作业培训 148 学时，高压电工作业培训 154 学时，复审培训一般要求不少于 8 学时。

3. 特种作业操作证取证规定

申请特种作业操作证的人员可以向任意从业所在地市（地）级以上发证机关或其委托的考试机构提出考核申请，实现取证、复审和换证，不受区域限制。依法依规经专门的安全作业培训并考核合格后，取得的特种作业操作证信息可实现全国联网，在全国范围内有效、通用和互认。

特种作业操作证有效期为 6 年，每 3 年复审一次（不含煤矿），每 6 年换发一次证书。特种作业操作证需要复审的，应当在期满前 60 日内，由申请人或者申请人的用人单位向原考核发证机关或者从业所在地考核发证机关提出申请。

4. 特种作业操作证

特种作业操作证分为旧版和新版。旧版操作证（以低压电工证为例）如图 1-1 所示，新版操作证（以电子版低压电工证为例）如图 1-2 所示。

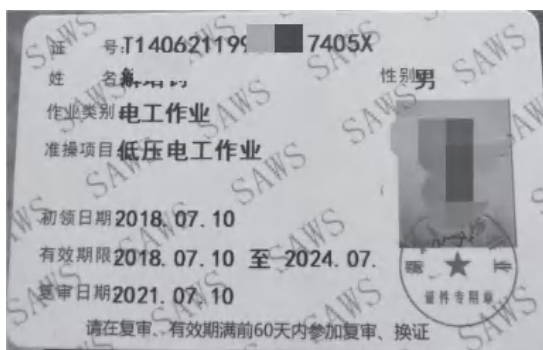


图 1-1 旧版低压电工操作证



图 1-2 新版低压电工操作证

任务二 熟知电工作业的基本知识

一、电工作业的定义

低压电工作业是指对 1 kV 以下的低压电气设备进行安装、调试、运行操作、维护、检修、改造施工和试验的作业；高压电工作业是指对 1 kV 及以上的高压电气设备进行运行、维护、安装、检修、改造、施工、调试、试验，以及对绝缘工、器具进行试验的作业。

二、电工作业人员的安全职责

- (1) 认真执行有关用电安全规范、标准、规程及制度，严格按照操作规程进行作业。
- (2) 负责日常现场临时用电安全检查、巡视和检测，发现异常情况及时采取有效措施，防止发生事故。
- (3) 负责日常电气设备、设施的维护和保养。
- (4) 负责对现场用电人员进行安全用电技术交底，做好用电人员在特殊场所作业的监护作业。
- (5) 积极宣传电气安全知识，维护安全生产秩序，有权制止任何违章指挥或违章作业行为。

三、电气作业安全组织管理

1. 管理人员和机构

电工属于特殊工种，一方面企业和单位应有专门的机构或人员负责电气安全工作，另一方面国家要求从事电气作业的电工，必须接受国家规定的培训、考核，合格者方可持证上岗。同时，在作业过程中应接受国家有关部门的安全生产监督。

2. 规章制度

为了保证检修工作，特别是为了保证高压检修工作的安全，必须坚持必要的安全工作制度，如工作票制度、工作许可制度、工作监护制度等。

3. 安全检查

安全检查是电工岗位的一项重要的工作内容，它是保证供配电系统正常工作的前提条件，意义重大。对于使用中的电气设备，应定期测定其绝缘电阻；对于各种接地装置，应定期测定其接地电阻；对于安全用具，如避雷器、变压器及其他保护电器，也应定期检查并进行耐压试验。

4. 安全教育

新入厂的人员要接受厂、车间、生产小组三级安全教育，要求掌握安全用电的知识。对于独立作业的电气人员，必须掌握电气装置在安装、使用、维护、检修过程中的安全要求，熟知电气安全操作规程，学会电气灭火的方法，掌握触电急救的技能，并取得特种作业人员操作证。

四、电气作业安全组织措施

在电气设备上工作，保证安全的组织措施有工作票制度、工作许可制度、工作监护制度及工作间断、转移和终结制度。

1. 工作票制度

在电气设备上工作，应填写工作票（见表 1-2）或按命令执行。

表 1-2 高压作业工作票

10 kV 高压开关柜送电操作票					
发令人		受令人		发令时间	2022 年 3 月 16 日 8 时 10 分
操作开始时间：2022 年 3 月 16 日 8 时 15 分			操作结束时间：2022 年 3 月 16 日 8 时 25 分		
操作任务		EGG-05 高压开关柜由检修转运行（送电）			
勾选已完成的操作项	顺序	操作项目	时	分	
√	1	拆除标志牌及护栏	8	15	
√	2	拆除已装设接地线一组 01	8	15	
√	3	检查已装设接地线一组 01 确已拆除	8	16	
√	4	将操作联锁机构指示手柄由检修位搬至操作位	8	16	
√	5	检查操作联锁机构指示手柄由检修位确已在操作位	8	16	
√	6	拉开 EGG-05 接地刀闸	8	17	
√	7	检查 EGG-05 接地刀闸确在断开位置	8	17	
√	8	合上电源侧隔离开关 EGG-05（母线侧）	8	18	
√	9	检查电源侧隔离开关 EGG-05 确已合上	8	19	
√	10	合上负荷侧隔离开关 EGG-05（母线侧）	8	19	
√	11	检查负荷侧隔离开关 EGG-05 确已合上	8	20	
√	12	合上断路器 EGG-05	8	20	
√	13	检查断路器 EGG-05 确已合上	8	21	
√	14	检查 EGG-05 红灯亮、绿灯灭	8	22	
√	15	检查机械位置（合）	8	22	
√	16	检查带电指示灯亮（A、B、C）	8	23	

续表

勾选已完成的操作项	顺序	操作项目	时	分
√	17	将操作联锁机构指示手柄由操作位搬至工作位	8	24
√	18	全面检查上述操作	8	25
		以及空白		
备注：已执行				
操作人：××× 监护人：××× 值班负责人：×××				

注：操作票为工作票种类之一，此处以 10 kV 高压开关柜送电操作票为例对工作票制度进行介绍。

2. 工作许可制度

工作票签发人员由熟悉人员技术水平、设备情况、安全工作规程的生产领导人或技术人员担任。工作负责人（监护人）可以填写工作票。工作负责人的安全责任：正确安全地组织工作，监督、监护工作人员遵守规程；负责检查工作票所列安全措施是否正确完备和值班员所做的安全措施是否符合现场实际条件；工作前对工作人员交代安全事项。工作许可人（值班员）不得签发工作票。工作许可人的职责范围：审查工作票所列安全措施是否正确完备，是否符合现场条件；检查停电设备有无突然来电的危险；对工作票所列的其他内容进行检查，即使发生很小的疑问，也必须向工作票签发人询问清楚，必要时应要求做详细补充。

工作许可人审查完工作票所列安全措施后，还应会同工作负责人到现场检查所做的安全措施，以手触试证明检修设备确无电压，对工作负责人指明带电设备的位置和注意事项，同工作负责人分别在工作票上签名。完成上述手续后，工作人员方可开始工作。

3. 工作监护制度

监护人应始终留在现场，对工作人员认真监护。监护内容：工作人员及所携带工具与带电体之间是否保持了足够的安全距离；工作人员站立是否合理；操作是否正确。监护人如发现工作人员操作违反规程，应及时纠正，必要时令其停止工作。若监护人不得不暂时离开现场时，应指定合适的人代行监护工作。

4. 工作间断、转移和终结制度

工作间断时，工作人员应从工作现场撤出，所有安全措施保持不动，工作票仍由工作负责人执存。每日收工，将工作票交回值班员。次日复工时，应征得值班员许可，取回工作票，工作负责人必须首先重新检查安全措施，确定符合工作票的要求后方可工作。

全部工作完毕后，工作人员应清扫、整理现场。工作负责人应先周密检查，待全体工作人员撤离工作地点后，再向值班人员讲清所修项目、发现的问题、试验结果和存在的问题等，并与值班人员共同检查设备状态，有无遗留物件，是否清洁等，然后在工作票上填

明工作终结时间，经双方签字后，工作方告终结。

只有在同一停电系统的所有工作票结束，拆除所有接地线、临时遮栏和标示牌，恢复常设遮栏，并得到值班调度员或值班负责人的许可命令后，方可合闸送电。已执行完毕的工作票，应保存 3 个月。

五、电气作业安全技术措施

保证检修安全的技术措施主要是指停电、验电、挂临时接地线、设置遮栏和标示牌等须按操作票完成的各项技术措施，完成过程中应有人监护，操作时工作人员应配用相应电压等级的安全用具。

1. 停电

工作地点必须停电的设备如下。

- (1) 待检修设备。
- (2) 与工作人员工作中正常活动范围的距离小于表 1-3 规定的设备。

表 1-3 工作人员工作中正常活动范围与带电设备的安全距离

安全距离 /m	电压等级 /kV
0.35	10 及以下
0.60	20 ~ 35
0.90	44
1.50	60 ~ 110
2.00	154
3.00	220
4.00	330

说明：在 44 kV 以下的设备上工作，如果安全距离大于表 1-3 的规定，但小于表 1-4 的规定，则允许加设安全遮栏的情况下，可以实行不停电的操作。

表 1-4 设备不停电时的安全距离

安全距离 /m	电压等级 /kV
0.7	10 及以下
1.00	20 ~ 35
1.20	44
1.50	60 ~ 110
2.00	154

续表

安全距离 /m	电压等级 /kV
3.00	220
4.00	330

(3) 带电部分在工作人员后面或两侧且无可靠安全措施的设备。将检修设备停电必须把各方面的电源完全断开(任何运行中的星形接线设备的中性点,必须视为带电设备),必须拉开刀闸,停电后使各方面至少有一个明显的断开点。与停电设备有关的变压器和电压互感器必须从高、低压两侧断开,防止向停电检修设备反送电。断开开关和刀闸的操作电源,刀闸操作把手必须锁住,并采取防止误合闸的措施。

2. 验电

对已停电的线路或设备,不论其经常接入的电压表或其他信号是否指示无电,均不得作为无电压的根据,应进行验电。

验电时,必须使用电压等级合适且合格的验电器,在检修设备的进出线两侧分别验电。验电前应先在有电设备上进行试验,以确认验电器良好。

验电必须戴绝缘手套。35 kV 以上的电气设备,在没有专用验电器的特殊情况下,可以使用绝缘棒代替验电器,根据绝缘棒端有无火花和放电声来判断有无电压。

3. 接地

当检验明确无电压后,应立即将检修设备接地并三相短路。这是工作人员在工作地点防止突然来电的可靠安全措施,同时设备断开部分的剩余电荷,亦可因接地而放尽。对于可能送电至停电设备的带电部分或可能产生感应电压的停电设备都要装设接地线,并应保证接地线挪动时仍符合安全距离的规定。

装设接地线必须两人进行。若为单人值班,只允许使用接地刀闸接地。装设接地线必须先接接地端,后接导体端,拆接地线的顺序相反。装拆接地线均应使用绝缘棒或戴绝缘手套。接地线应用多股裸软铜绞线,其截面不得小于 25 mm^2 。接地线在每次装设前应经过检查,损坏的接地线应及时修理或更换。禁止使用不符合规定的导线作接地或短路用。接地线必须用专用线夹固定在导体上,严禁用缠绕的方法进行接地或短路。

4. 装设遮栏和悬挂标示牌

遮栏属于能够防止工作人员无意识过分接近带电体,而不能防止工作人员有意识越过它的一种防护装置。在部分停电检修和不停电检修时,应将带电部分遮栏起来,以保证检修人员安全。

标示牌的作用是提醒人们注意安全,防止出现不安全行为。例如:室外高压设备的围栏上应悬挂“止步,高压危险”的警告类标示牌;一经合闸即送电到被检修设备的开关操作手柄上应悬挂“禁止合闸,有人工作”的禁止类标示牌;在检修地点应悬挂“在此工作”的提示类标示牌。

工作人员在工作中不得拆除或移动遮栏及标示牌，更不能越过遮栏工作。

拓展阅读

2020年我国电力系统人身伤亡事故情况统计

来自国家能源局消息，全国发生电力人身伤亡事故36起、死亡45人，事故起数同比增加1起，增幅3%；死亡人数增加5人，增幅13%，其中，电力生产人身伤亡事故23起，死亡24人，事故起数同比减少6起，降幅21%，占事故总起数的64%；死亡人数同比减少8人，降幅32%，占死亡总人数的53%；电力建设人身伤亡事故13起，死亡21人，事故起数同比增加7起，占事故总起数的36%；死亡人数同比增加13人，占死亡总人数的47%。2020年省级行政区域（部分）事故情况统计如图1-3所示。发生较大以上电力人身伤亡事故的省级行政区域有湖南省、山西省；发生3起以上电力人身伤亡事故的省级行政区域有内蒙古自治区、宁夏回族自治区、吉林省、湖南省、广西壮族自治区；死亡人数3人以上的省级行政区域有湖南省、内蒙古自治区、宁夏回族自治区、山西省、吉林省。

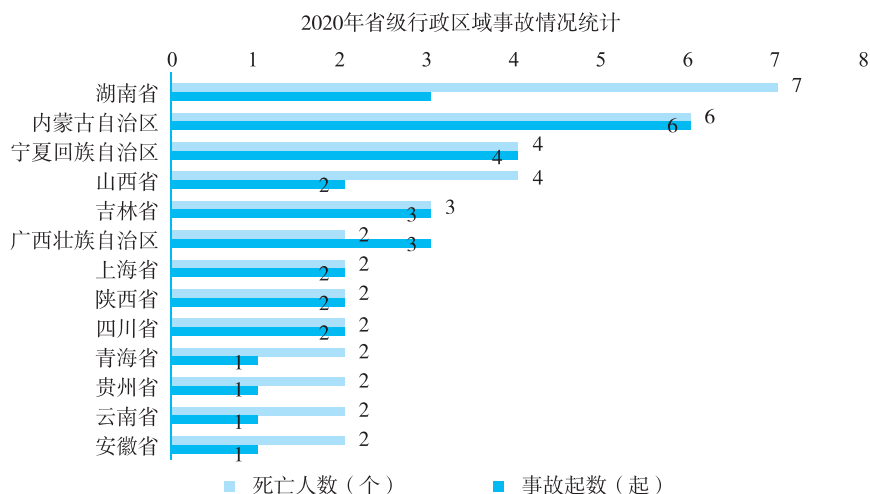


图1-3 2020年省级行政区域（部分）事故情况统计

按事故业主单位统计（见图1-4），2020年全国电力安全生产委员会企业成员单位发生电力人身伤亡事故25起，占全国电力人身伤亡事故起数的69%，其中国家电网发生2起较大电力人身伤亡事故；发生3起以上电力人身伤亡事故的单位有国家能源集团、中国华能；死亡人数3人以上的单位有国家电网、国家能源集团、中国华能。

从人身伤亡事故死亡原因来看，2020年人的不安全行为造成了32人死亡，物的不安全状态造成了13人死亡，占比关系如图1-5所示。

从事故类型来看（见图1-6），事故发生起数占比排在前三的事故类型为高处坠落、触电和物体打击，其中高处坠落造成了10起事故，触电造成了8起事故，物体打击造成了4起事故。

2020年业主单位事故死亡人数统计

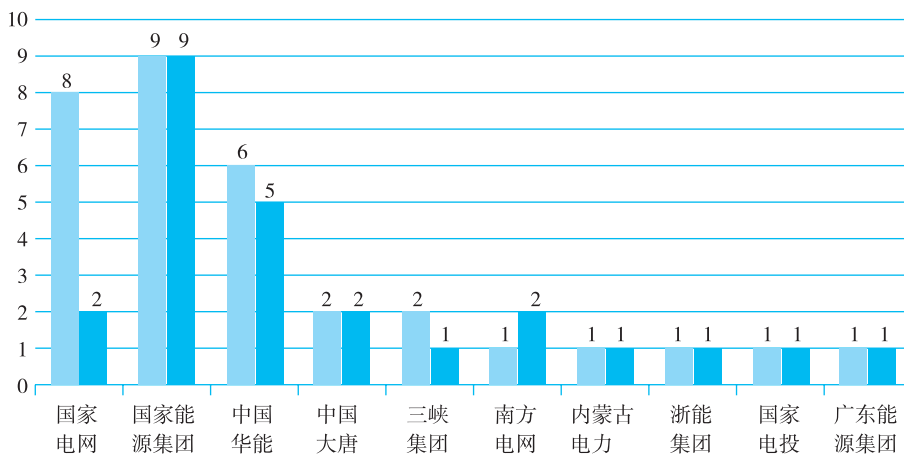


图 1-4 2020 年业主单位（部分）事故死亡人数统计

2020年各原因人身伤亡事故死亡人数占比（单位：%）

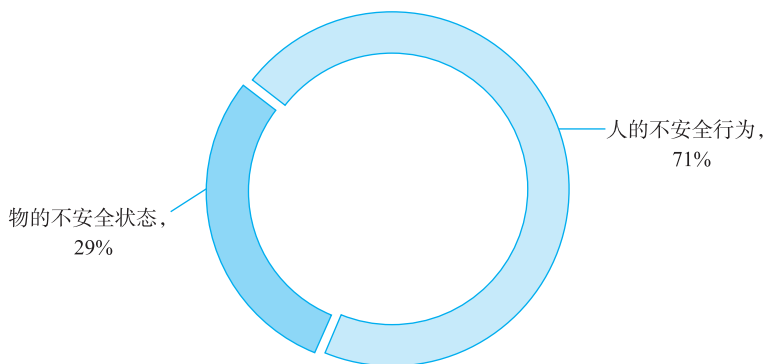


图 1-5 2020 年各原因人身伤亡事故死亡人数占比

2020年各类别人身伤亡事故起数占比（单位：%）

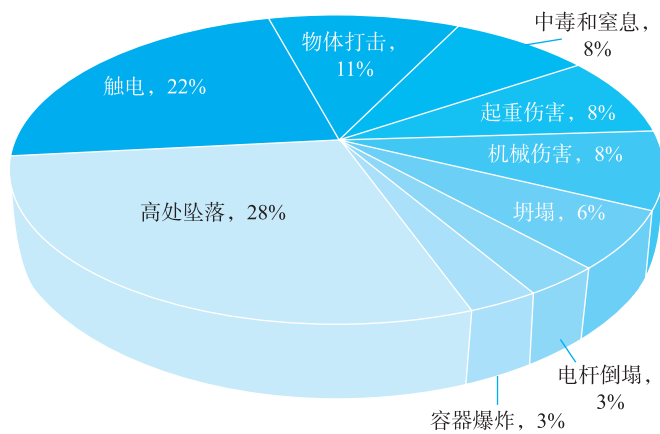


图 1-6 2020 年各类别人身伤亡事故起数占比

党的二十大报告中“安全”一词贯穿全篇，共出现了91次，创历届之最。报告明确指出，要统筹发展和安全，以新安全格局保障新发展格局，要推进安全生产风险专项整治，加强重点行业、重点领域安全监管，要着力化解系统性风险，加强风险动态管控，强化生产合理布局，对采掘接续紧张不报告、不落实限产或者停产措施、人为减少灾害治理工程、擅自缩减灾害治理时间、冒险组织生产的煤矿，坚决依法查处。要着力化解区域性风险，结合区域特点，精准研判重大安全风险，深挖根本性突出问题，深入攻坚。安全生产，是保证人民生产生活健康，保证国民经济高速发展的基本保障。

思考与练习

1. 电工的基本定义是什么？
2. 我国哪些法律法规对特种作业人员持证上岗提出明确要求？
3. 简述电气作业安全技术措施。

项目总结

本项目介绍了特种作业的分类及项目，特种作业相关的法律法规，低压、高压电工操作证的考核项目及学时要求、取证及复审规定，为以后取证上岗打下基础。

(1) 特种作业是指容易发生事故，对操作者本人、他人的安全健康及设备、设施的安全可能造成重大危害的作业，目前包括12个类别、66个操作项目（工种）。

(2) 与特种作业相关的法律法规有《中华人民共和国安全生产法》《中华人民共和国矿山安全法》《安全生产许可证条例》《中华人民共和国消防法》等。

(3) 特种作业人员操作资格考试分为安全生产知识考试和实际操作考试，满分为100分，80分以上为合格。特种作业人员安全技术培训应在相应的培训机构进行，低压电工培训学时148学时，高压电工培训学时154学时，复审学时不低于8学时。特种作业操作证有效期为6年，每3年复审一次。

(4) 电工作业是指对电气设备进行运行、维护、安装、检修、改造、施工、调试等作业（不含电力系统进网作业）。其中低压电工作业是指对1 kV以下的低压电气设备进行安装、调试、运行操作、维护、检修、改造施工和试验的作业；高压电工作业是指对1 kV及以上的高压电气设备进行运行、维护、安装、检修、改造、施工、调试、试验，以及对绝缘工、器具进行试验的作业。

(5) 在电气设备上工作，保证安全的组织措施有工作票制度、工作许可制度、工作监护制度及工作间断、转移和终结制度。

(6) 保证检修安全的技术措施主要是指停电、验电、挂临时接地线、设置遮栏和标示牌等须按操作票完成的各项技术措施，完成过程中应有人监护，操作时工作人员应配备相应电压等级的安全用具。

任务工单 特种作业高、低压电工操作票

任务名称		日期	
姓名		班级	
学号		实训场地	
一、安全与知识准备			
在本任务实施前，请准备操作票。			
二、计划与决策			
请根据任务要求，分析工作场景，确认工作票中是否存在工作环境安全的描述及设备操作技术安全的描述。			
1. 工作环境安全描述：			
2. 设备作业中的安全措施描述：			
三、任务实施			
1. 操作票填写注意事项。			
(1) 确认操作票的书写是否规范。			
(2) 操作过程是否经过模拟确认。			
(3) 作业环境安全是否确认。			
(4) 操作安全措施是否确认。			
(5) 作业完毕后现场是否清理确认。			

2. 在实施的过程中, 是否存在一些安全隐患? 请找出容易忽视的地方。

- (1) 现场围栏、标示牌是否规范。
- (2) 操作安全防护是否检查确认。
- (3) 操作工具是否经过检验。
- (4) 现场救援措施是否确认。
- (5) 现场管理安全是否合格。

3. 简述本任务的过程及注意事项。

- (1) 操作票的书写格式。

- (2) 操作票的管理。

四、检查与评估

根据完成本学习任务时的表现情况, 进行同学间的互评。

考核项目	评分标准	分值	得分
团队合作	是否和谐	5	
活动参与	是否主动	5	
安全生产	有无安全隐患	10	
现场 6S	是否做到	10	
任务方案	是否合理	15	
操作过程	1. 2. 3.	30	
任务完成情况	是否圆满完成	5	
操作过程	是否标准规范	10	
劳动纪律	是否严格遵守	5	
工单填写	是否完整、规范	5	
评分			

项目二

供配电系统的 组成与特点

目标导航

知识目标

- ① 掌握供配电系统的基本组成与电力传输要求。
- ② 掌握电力系统的电压等级。
- ③ 理解电力系统中性点的运行方式。
- ④ 掌握低压配电系统的接地形式。
- ⑤ 了解工厂供配电系统的组成与基本要求。

技能目标

- ① 能正确识读供配电系统图。
- ② 能现场正确识别供配电系统的接地方式。
- ③ 能正确认知供配电系统的基本元件的功能。

素质目标

- ① 通过认识电力系统的逐级构成，正确理解局部与全局的关系。
- ② 通过学习电力系统的可靠性要求，保持严谨认真的求知态度。

项目概述

本项目主要介绍了电力系统的组成、电力系统的电压等级、电力系统中性点的运行方式和工厂供配电系统的组成。学习本项目时，应该把重点放在对供配电系统构成的理解以及掌握电力系统中性点的运行方式。

学生可在老师带领下参观学校供配电系统，有助于后面课程学习。

任务一 认识电力系统的组成及其电压等级

一、电力系统的组成

随着经济的高速发展，电力的应用无处不在，太阳能发电、风力发电与传统水力发电和火力发电成功并网，构成了复杂而可靠的供配电系统。由发电厂、电网和用户组成的统一整体称为电力系统。图 2-1 展示了电能的生产、输送、分配和使用过程。

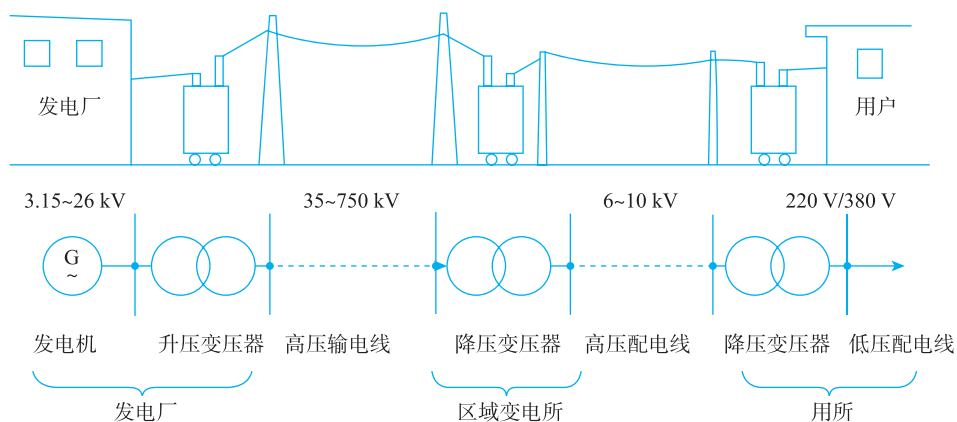


图 2-1 电能的传输与分配

大型电力系统如图 2-2 所示，即通过不同电压等级的电力线路，使发电厂、变电所和电力用户连接起来构成的一个发电、输电、变电、配电和用电的整体。发电厂和电力用户之间的输电、变电和配电的整体（包括所有变配电所和各级电压的线路）称为电网。

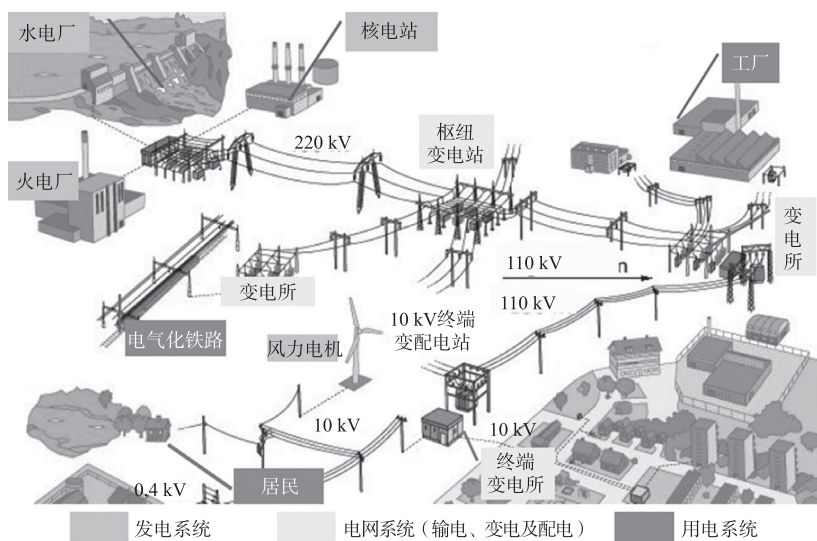


图 2-2 大型电力系统

电力系统各部分作用说明如表 2-1 所示。

表 2-1 电力系统各部分作用说明

序号	环节	作用说明
1	发电厂	发电厂是产生电能的根源，分为水力发电厂、火力发电厂、核能发电厂、风力发电厂、地热发电厂、太阳能发电厂等多种类型
2	变电所	变电所的主要作用是接受电能、变换电压和分配电能 变电所的主要设备有电力变压器、母线和开关设备等，电力变压器分为升压变压器和降压变压器
3	电力线路	电力线路的功能是输送电能，可分为输电线路和配电线路。输电线路主要承担高电压远距离电能传输任务；配电线路主要承担电能的分配任务
4	电力用户	电力用户（电能用户）指耗能的电气设备。电力用户是电力系统的一部分，也是电力系统主要服务对象

二、电力系统的基本要求

1. 可靠

供电的中断将造成生产停顿、生活混乱，甚至危及设备和人身安全，引起十分严重的后果，停电给国民经济造成的损失远超过电力系统本身的损失。因此，电力系统的运行首先必须满足安全可靠持续供电的要求。

2. 优质

电压、频率、波形是衡量电能质量的基本指标。良好的电能质量是指电压正常，偏移不超过给定值，如额定电压的 $\pm 5\%$ ；频率正常，偏移不超过给定值，如额定频率的 $\pm 0.2 \sim 0.5 \text{ Hz}$ ；波形不产生大的畸变，三相对称等。

3. 经济

电能生产的规模很大，降低每生产一度电所消耗的能源和降低输送分配过程中的损耗有极重要的意义。系统的经济运行符合可持续发展战略，能更好地建立节约型社会。

4. 环保

要实现电力系统与环境的和谐发展，减少污染。

三、电力系统的电压等级

电力系统中的所有设备都必须在特定的电压和频率下工作。我国三相交流电网和电力设备的额定电压（线电压）如表 2-2 所示。表 2-2 中变压器一、二次绕组的额定电压是依据我国电力变压器标准产品规格确定的。

表 2-2 我国三相交流电网和电力设备的额定电压 (线电压)

用电设备的 额定电压 /kV	交流发电机的额定电压 /kV	电力变压器的额定电压 /kV	
		一次绕组	二次绕组
0.38	0.40	0.38	0.40
0.66	0.69	0.66	0.69
3	3.15	3, 3.15	3.15, 3.3
6	6.3	6, 6.3	6.3, 6.6
10	10.54	10, 10.5	10.5, 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	72.5
110	—	110	121
220	—	220	242
330	—	330	363
750	—	750	825

注: 1. 变压器“一次绕组”栏内 3.15 kV、6.3 kV、10.5 kV 的电压适用于和发电机端直接连接的变压器。

2. 变压器“二次绕组”栏内 3.3 kV、6.6 kV、11 kV 的电压适用于阻抗百分比在 7.5% 及以上的降压变压器。

电力系统的额定电压如无特殊说明, 均为线电压。

1. 用电设备的额定电压

用电设备的额定电压就是电网的额定电压 U_N 。

2. 线路的额定电压

线路的额定电压与用电设备的额定电压 U_N 相同, 因此选用线路额定电压时只能参照设备规定的电压等级。

3. 发电机的额定电压

发电机的额定电压一般比同级电网的额定电压高出 5%, 即 $1.05 U_N$, 这是因为发电机一般都位于线路首端, 需要补偿线路上的电压损失。

4. 变压器的额定电压

变压器的额定电压与变压器一、二次侧有关。变压器一、二次侧的确定是以电能传输的方向来定的, 电能先到达的那侧即受功率侧为一次侧, 后到达的那侧即输出功率侧为二次侧。

1) 变压器一次侧额定电压

变压器一次侧额定电压按照“接谁同谁”的原则确定: 一次侧接线路, 则取线路额定电压 U_N ; 一次侧接发电机, 则取发电机额定电压 $1.05 U_N$ 。

2) 变压器二次侧额定电压

变压器二次侧额定电压通常取 $1.1 U_N$ ，其中 5% 用于补偿变压器满载供电时一、二次绕组上的电压损失，另外 5% 用于补偿线路的电压损失。

但在这两种情况下变压器二次侧额定电压取 $1.05 U_N$ ，一是变压器漏抗较小（变压器短路电压百分值 $U_k\% < 7.5$ ），二是变压器二次侧直接与用电设备相连。

关于分接头的补充说明：为了调节电压，双绕组变压器的高压侧绕组和三绕组变压器的高、中压侧绕组都设有几个分接头供选择使用。变压器的额定电压比是指主抽头的额定电压比；实际电压比是指实际所接分接头的额定电压比。

【例 2-1】如图 2-3 所示的电力系统，各级电网的额定电压已标注。

求：（1）电力系统各元件的额定电压；

（2）设变压器 T_1 工作于 +2.5% 抽头， T_2 工作于主抽头， T_3 工作于 -5% 抽头，求这些变压器的实际电压比。

说明：电力系统额定电压如无特殊说明，均为线电压。

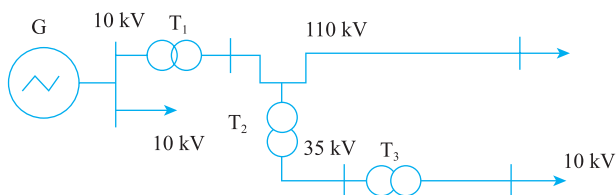


图 2-3 电力系统

解：（1）G：10.5 kV； T_1 ：10.5/121 kV； T_2 ：110/38.5 kV； T_3 ：35/11 kV

电力线路的额定电压与图 2-3 中所示各级电网的额定电压相同。

（2） T_1 ： $KT_1 = (1 + 0.025) \times 121 / 10.5 = 124.025 / 10.5$

T_2 ： $KT_2 = 110 / 38.5$

T_3 ： $KT_3 = (1 - 0.05) \times 35 / 11 = 33.25 / 11$

【例 2-2】图 2-4 中已经标明各级电网的电压等级，试写出图 2-4 中发电机和电动机的额定电压以及变压器的额定电压比；若变压器 T_1 工作于 +2.5% 抽头， T_3 工作于 -5% 抽头，试写出 T_1 、 T_3 的实际电压比。

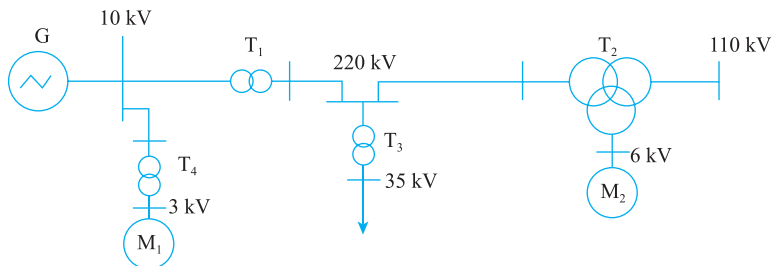


图 2-4 电力系统

解: $G: 10.5 \text{ kV}; M_1: 3 \text{ kV}; M_2: 6 \text{ kV}$

$T_1: 10.5 / (220 \times 1.1) = 10.5 / 242$

$T_2: 220 / (110 \times 1.1) / (6 \times 1.05) = 220 / 121 / 6.3$

$T_3: 220 / (35 \times 1.1) = 220 / 38.5$

$T_4: 10.5 / (1.05 \times 3) = 10.5 / 3.15$

若变压器 T_1 工作于 +2.5% 抽头, T_3 工作于 -5% 抽头, T_1 的实际电压比为 $10.5 / (220 \times 1.1 \times 1.025) = 10.5 / 248.05$; T_3 的实际电压比为 $(220 \times 0.95) / (35 \times 1.1) = 209 / 38.5$ 。

任务二 了解电力系统中性点的运行方式

一、电力系统中性点运行方式的定义

电力系统中性点即发电机和变压器的中性点, 其运行方式直接影响电网的绝缘水平、保护的配置、系统供电的可靠性和连续性、对通信线路的干扰, 以及发电机和变压器的安全运行等。

二、中性点不接地的电力系统

中性点不接地的电力系统在正常运行时的电路图和相量图如图 2-5 所示, 三相交流电正序为 U、V、W。我国非煤矿山等潮湿环境的电力系统一般采用中性点不接地的运行方式。

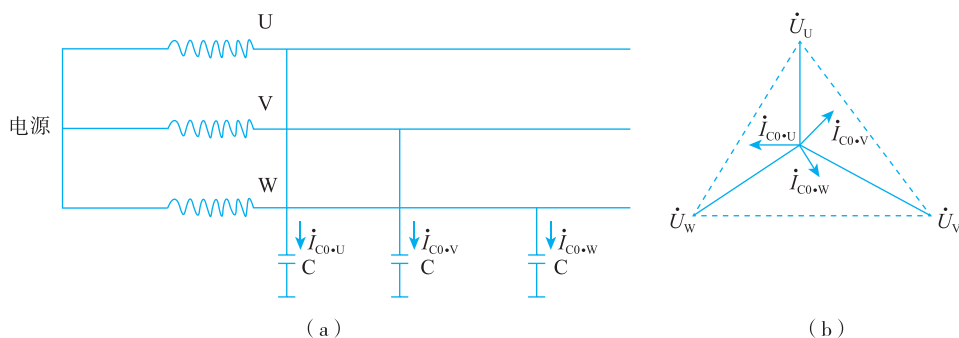


图 2-5 中性点不接地的电力系统在正常运行时的电路图和相量图

(a) 电路图; (b) 相量图

1. 系统正常运行时

系统正常运行时, 三个相的相电压 U_u 、 U_v 、 U_w 是对称的, 三相对地电容电流 I_{C0} 平衡, 如图 2-5 (b) 所示。相量和为零, 没有电流流进大地, 各相的对地电压就是各相的相电压。

2. 系统发生单相接地故障时

若 W 相接地，如图 2-6 (a) 所示。另外的 U、V 两相对地电压将由原来的相电压升高到线电压，即升高为原对地电压的 $\sqrt{3}$ 倍，如图 2-6 (b) 所示。系统的接地电流（电容电流） I_c 应为 U、V 两相对地电容电流的相量和。由图 2-6 (b) 的相量图可知， $I_c = 3 I_{C0}$ ，即一相接地的电容电流为正常运行时每相对地电容电流的 3 倍。

3. 系统发生不完全接地时

当系统发生不完全接地（经一定的接触电阻接地）时，故障相对地电压值将大于零而小于相电压，而其他完好的两相的对地电压值则大于相电压而小于线电压，接地电容电流值也比完全接地时略小。此时三相用电设备正常工作不受影响，这种线路不允许在单相接地故障情况下长期运行（规定单相接地后带故障运行时间最长不超过 2h），因为如果再有一相发生接地故障，就会形成两相接地短路，这时的短路电流很大，这是绝对不允许的。因此，在中性点不接地的电力系统中，应装设专门的单相接地保护或绝缘监视装置。在系统发生单相接地故障时，单相接地保护装置给予报警信号，提醒供电值班人员注意，并及时处理。当单相接地故障危及人身安全或设备安全时，单相接地保护装置应动作于跳闸。

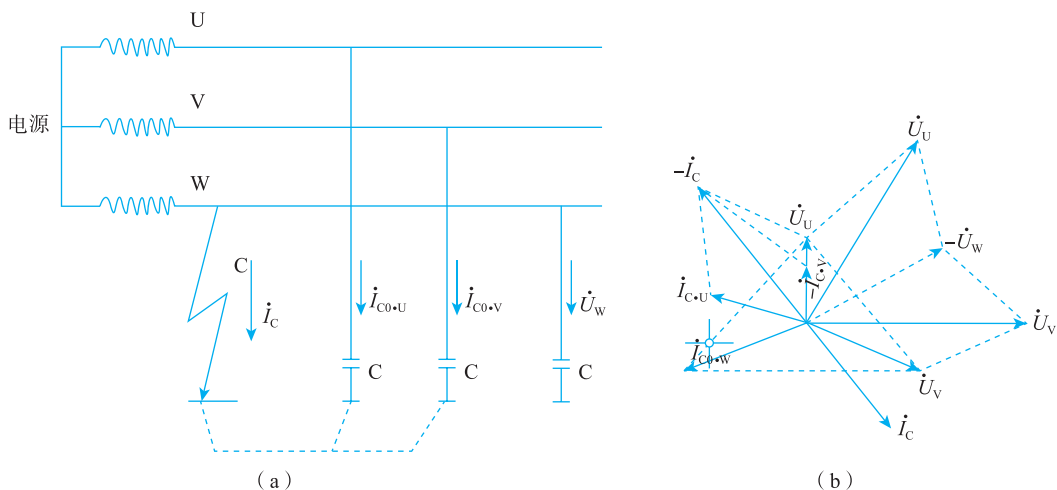


图 2-6 中性点不接地的电力系统在发生单相接地故障时的电路图和相量图

(a) 电路图；(b) 相量图

三、中性点经消弧线圈接地的电力系统

当中性点不接地系统发生单相接地短路时，若接地电流较大，则可能形成周期性闪弧，其值可以达到相电压 2.5 倍以上，会危及与接地点有直接电气连接的整个电网，造成绝缘较为薄弱的部位被击穿而发生两相短路。此时电源中性点必须采取经消弧线圈接地的

运行方式。

我国 35 kV ~ 60 kV 的高压电网大多采用中性点经消弧线圈接地的运行方式。若消弧线圈能正常运行，则其是消除因雷击等原因而造成瞬间单相接地故障的有效措施之一。

图 2-7 所示为消弧线圈实物。

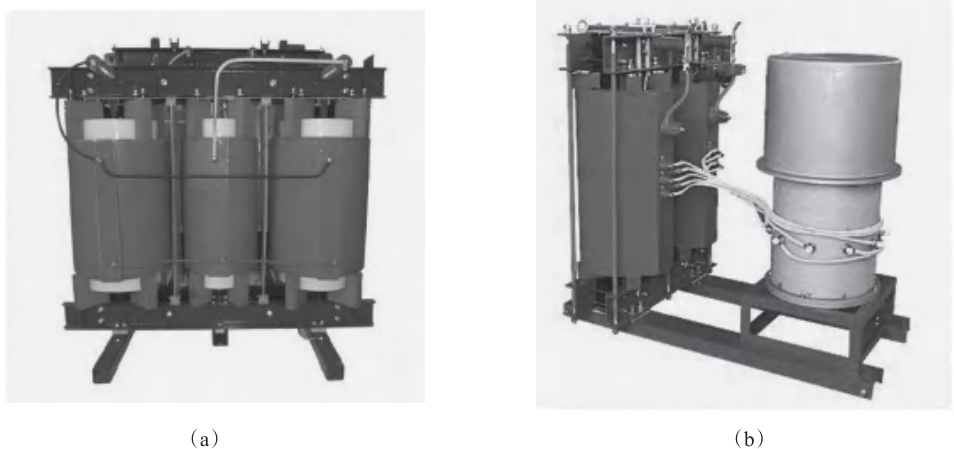


图 2-7 消弧线圈实物

(a) 调匝式消弧线圈；(b) 偏磁式消弧线圈

图 2-8 为电源中性点经消弧线圈接地的电力系统发生单相接地时的电路图和相量图。

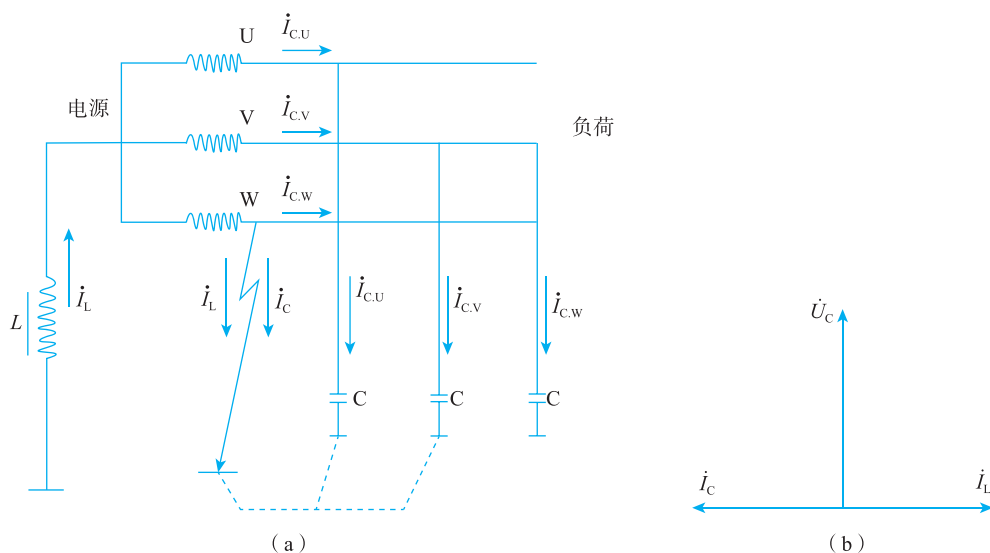


图 2-8 中性点经消弧线圈接地的电力系统发生单相接地故障时的电路图和相量图

(a) 电路图；(b) 相量图

当 W 相发生单相接地故障时（见图 2-8），流过接地点的电流是接地电容电流 I_c 与流过消弧线圈的电感电流 I_L 之和。从相位关系来看，由于 I_c 超前 U_c 90° ，而 I_L 滞后 U_c 90° ，

所以 I_L 与 I_C 在接地点互相补偿。当 I_L 与 I_C 的量值差小于发生电弧的最小起弧电流时，电弧就不会发生，从而也不会出现谐振过电压。

在中性点经消弧线圈接地的三相系统中，允许在发生单相接地故障时短时间内（一般规定不超过 2h）继续运行，此时保护装置应能及时发出单相接地报警信号通知值班人员处理故障。当单相接地故障危及人身和设备的安全时，保护装置应动作于跳闸。

中性点经消弧线圈接地的电力系统在发生单相接地故障时，其两相对地电压也要升高到线电压，即升高到原对地电压的 $\sqrt{3}$ 倍。

四、中性点直接接地或经低阻抗接地的电力系统

中性点直接接地的电力系统发生单相接地故障时的电路图如图 2-9 所示，由于其他完好的两相的对地电压不会升高至线电压，所以中性点直接接地系统对供电设备的绝缘只需按相电压考虑，这对 110 kV 及以上的超高压系统具有极高的经济价值。我国 110 kV 及以上的超高压系统通常都采取中性点直接接地的运行方式。在低压 220/380 V 的配电系统中，广泛采用的是 TN 系统（具体见项目七任务一），即中性点直接接地系统。

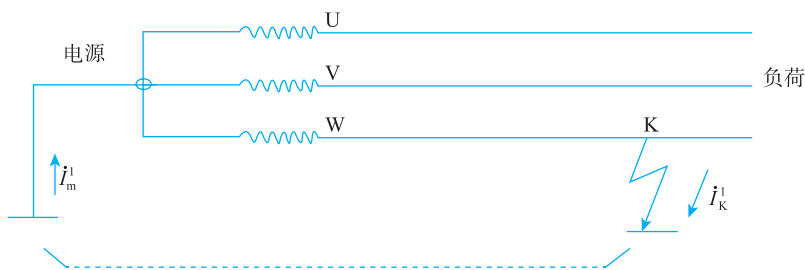


图 2-9 中性点直接接地的电力系统发生单相接地故障时的电路图

中性点经低阻抗接地的运行方式主要用于我国城市电网的电缆线路。它必须装设单相接地保护装置。当电网发生单相接地故障时，保护装置应动作于跳闸，迅速切断故障线路，同时系统的备用电源投入装置动作。启动备用电源，及时恢复对重要负荷的供电。

任务三 了解工厂供电系统的组成

一、工厂供电系统的组成

1. 工厂供电系统架构

一般中型企业的电源进线电压是 10 kV。10 kV 高压进入高压配电所，将 10 kV 高压依次配送至各个车间变电所。车间变电所内装有电力变压器，将 10 kV 的高压变换为 220/380 V

的低压。若工厂拥有 10 kV 的高压用电设备，则由高压配电所直接以 10 kV 对其供电。

中型工厂供配电系统简图如图 2-10 所示，图中的高压配电所有四条高压配电出线，供电给三个车间变电所。其中，1 号车间变电所和 3 号车间变电所各装有一台配电变压器，而 2 号车间变电所装有两台配电变压器，并分别由两段母线供电，其低压侧又采用单母线分段制。因此，对重要的低压用电设备可由两段低压母线交叉供电。各车间变电所的低压侧均设有低压联络线并相互连接，以提高供电系统运行的可靠性和灵活性。此外，该高压配电所有两条高压配电线路，其中一条直接供电给一组高压电动机，另外一条高压配电线路直接与一组高压并联电容器相连。3 号车间变电所的低压母线上也连接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、提高功率因数的。

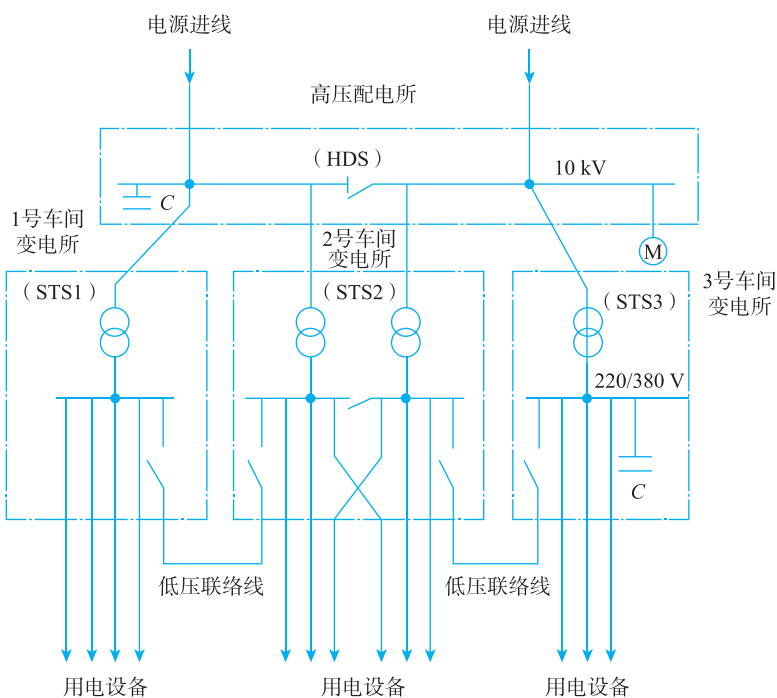


图 2-10 中型工厂供配电系统简图

2. 35 kV 及以上进线的大中型工厂供配电系统

对于大型工厂及某些电源进线电压为 35 kV 及以上的中型工厂，通常需要经过两次降压，先由总降压变电所的电力变压器将 35 kV 降为 6 kV ~ 10 kV 的配电电压，然后再将 6 kV ~ 10 kV 的高压送到各车间变电所，也有的经过高压配电所再送到车间变电所。车间变电所装有配电变压器，将 6 kV ~ 10 kV 的电压降为 220/380 V。具有总降压变电所的工厂供配电系统简图如图 2-11 所示。

3. 小型工厂供配电系统

对于小型工厂，其供电容量一般不大于 1000 kVA，因此通常只设置一个降压变电

所，将 $6\text{ kV} \sim 10\text{ kV}$ 电压降为 $380/220\text{ V}$ 电压，如图 2-12 (a) 所示。若供电容量小于 160 kVA ，一般采用 $380/220\text{ V}$ 供电。

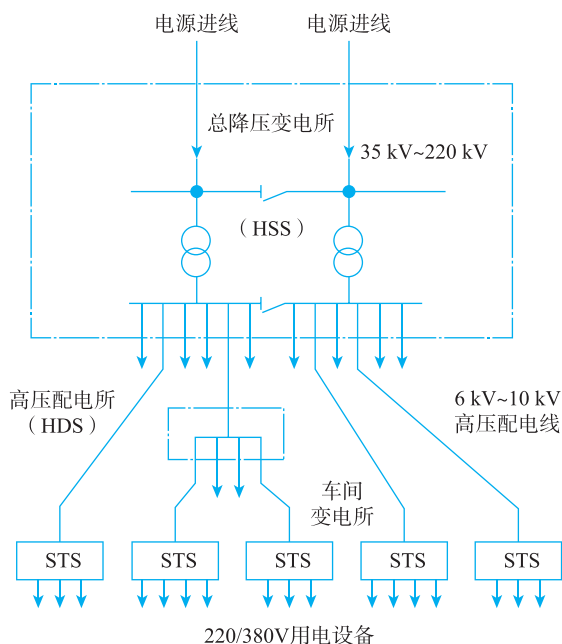


图 2-11 具有总降压变电所的工厂供配电系统简图

如果工厂所需容量不大于 160 kVA ，则可采用低压电源进线，因此工厂只需设置一个低压配电间即可，如图 2-12 (b) 所示。

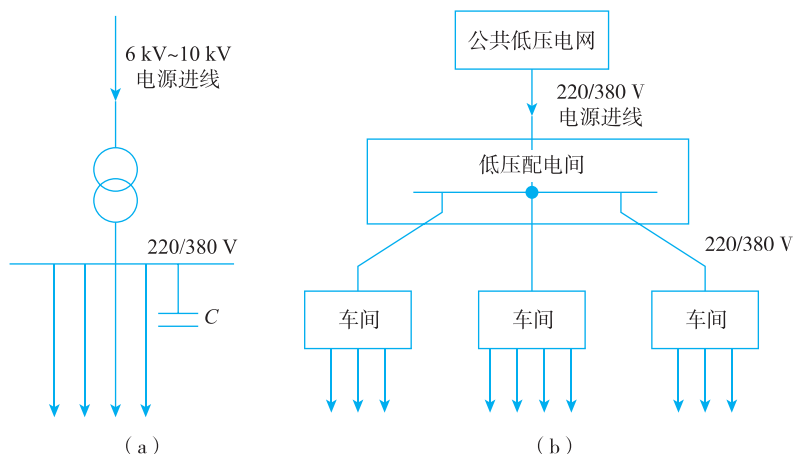


图 2-12 低压进线的小型工厂供配电系统简图

从以上分析可知，工厂供电中配电所的主要任务是接受和分配电能，不改变电压。而变电所的任务是接受电能、变换电压和分配电能。所以，工厂供配电系统是指从电源线路进厂到用电设备进线端的整个电路系统，包括工厂的变配电所和所有的高、低压供配电线路。

二、工厂供配电系统电压的选择

1. 工厂供电电压的选择

工厂供电电压的选择主要取决于当地电网的供电电压等级，同时还要考虑工厂用电设备的电压、容量和供电距离等因素。由于在相同的输送功率和相同的输送距离条件下，线路电压越高，线路电流就越小，因此线路采用的导线或电缆截面就越小，从而可减少线路的初期投资和有色金属消耗量，且可降低线路的电能损耗和电压损耗。

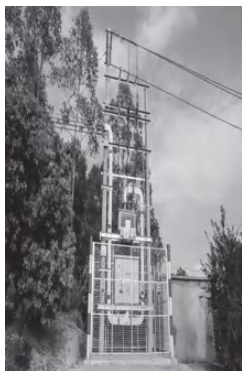
在我国供配电系统中，1 kV 以下的电压称为低压，1 kV 以上的电压称为高压，国家电网供电的额定电压（单位：kV）有 0.22、0.38、0.66、10、35、66、110、220、330、550、750。

2. 工厂高压配电电压的选择

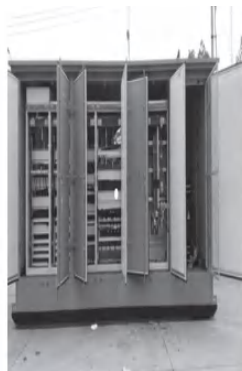
工厂高压配电电压的选择主要取决于工厂高压用电设备的电压、容量、数量等因素。工厂采用的高压配电电压通常为 10 kV。若工厂拥有相当数量的 6 kV 用电设备，或者供电电源电压就是 6 kV，则可考虑采用 6 kV 作为工厂高压配电电压。若 6 kV 用电设备的数量不多，则应选择 10 kV 作为工厂高压配电电压，而 6 kV 高压设备则可通过专用的 10/6.3 kV 的变压器单独供电。

任务四 参观学校供配电系统

学校现有的供配电设备如图 2-13 所示。送电顺序为由 10 kV 高压进线，分配到高压变压器 10 kV/380 V/220 V，再由一级配电房依次分配给学校各个办公区的二级配电室，二级配电室再分配至各个教室及办公场所形成三级配电网，最终形成三级配电与二级漏电保护的供配电系统。学生通过现场参观，可对学校供配电系统有初步的了解，能认识和熟悉一些高、低压电气设备和相关的规章制度，从而提高安全用电的意识。根据具体条件，完成下列参观任务。



10 kV 高压架空线及户外变压器



箱式变压器及低压配电系统

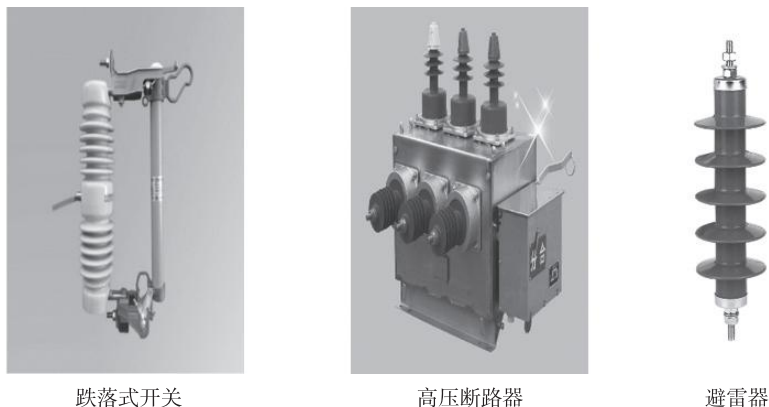


图 2-13 学校现有的供配电设备

一、参观学校变配电所及高、低压架空输电线路

1. 参观内容

参观内容为学校变配电所（包含户外变压器及箱式变压器）及高、低压架空输电线路。

2. 参观目的

- (1) 了解和熟悉学校变配电所的基本概况，认识不同的高压电气设备及高、低压架空输电线路的架设方式和要求。
- (2) 了解学校高压配电室、变压器室、低压配电室和电容器室等的布置。
- (3) 了解各开关柜的作用，能辨认变配电所电气设备的外形和名称。
- (4) 熟悉学校变配电所安全操作常识，了解 10 kV 配电线路的运行管理及相关规章制度。
- (5) 熟悉高、低压架空输电线路的结构、形式。
- (6) 初步尝试看学校变配电所图纸等资料。
- (7) 了解学校变配电所常用的操作工具、检修工具与仪表。
- (8) 了解学校变配电所运行值班人员的工作职责、工作程序、职业守则和规章制度等。

3. 参观方式

首先听取学校变配电所运行值班负责人或电气工程师介绍学校变配电所的基本概况，以及学校变配电所运行管理的规章制度和操作规程，特别是倒闸操作的基本要求和操作程序，然后由运行值班负责人或电气工程师带领学生参观高压配电室、低压配电室、变压器室等。

4. 参观注意事项

参观时一定要服从指挥，注意安全，未经许可不得进入禁区，决不允许摸、动任何

开关按钮，严防发生意外。参观时必须穿工作服和绝缘鞋，戴安全帽，做好相应的安全措施。

二、参观学校低压配电系统

1. 参观内容

参观内容为学校三级低压配电系统，如图 2-14 所示。



图 2-14 学校三级低压配电系统

2. 参观目的

(1) 了解和熟悉学校低压配电系统的基本概况，认识各种低压电气设备，以及教学楼动力、照明线路的架设方式和要求。

(2) 能正确分析学校低压配电系统的接地形式。

3. 参观方式

首先听取学校变配电所运行值班负责人或电气工程师介绍学校低压配电系统的基本概况，以及相关的规章制度和操作规程，特别是安全注意事项，然后由运行值班负责人或电

气工程师带领参观学校低压配电系统。

4. 参观注意事项

参观时一定要服从指挥，注意安全，未经许可不得进入禁区，决不允许摸、动任何开关按钮，严防发生意外。参观时必须穿工作服和绝缘鞋，戴安全帽，做好相应的安全措施。

对于有条件的学校，还可带领学生参观大型室外变电所（站），或让学生到变配电所跟班实习3~4天，利于学生对学校供配电系统有比较全面深入地了解。

拓展阅读

了解我国配电网的发展

配电网是指从输电网或地区发电厂接受电能，并通过配电设施就地分配或按电压逐级分配给各类用户的电力网。配电网主要由架空线路、电缆、杆塔、配电变压器、隔离开关、无功补偿器等组成，在电力网中起重要的分配电能作用。配电网可分为高压配电网（35 kV~110 kV）、中压配电网（65 kV~10 kV）、低压配电网（220 V~380 V）。在负载率较大的特大型城市，也有220 kV配电网。按供电区的功能可分为城市配电网、农村配电网和工厂配电网等。我国的能源互联网发展历经1970—2003年的概念孕育、2004—2013年的初步研究、2014—2016年的启航出发、2017—2019年的试点示范，以及2020年“双碳”目标到如今的多元化发展五个阶段。

配电网将成为新型电力系统建设的主战场，瞄准“双碳”战略目标的实现，配电网会发生重大变革，将通过设备层、网络层、平台层、应用层关键技术与装备的革新，转变为资源聚合、优化、交换，以及各利益主体平等交易的平台型基础设施，支撑现代能源体系的加速构建。

“双碳”目标正是响应党的二十大对推动绿色发展，促进人与自然和谐共生的要求。实现碳达峰、碳中和是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革。立足我国能源资源禀赋，坚持先立后破，有计划分步骤实施碳达峰行动。深入推进能源革命，加强煤炭清洁高效利用，加大油气资源勘探开发和增储上产力度，加快规划建设新型能源体系，统筹水电开发和生态保护，积极安全有序发展核电，加强能源产供储销体系建设，确保能源安全。

思考与练习

1. 工厂供配电有哪些基本要求？
2. 电力系统由哪几个部分组成？
3. 我国电网的额定电压等级有哪些？
4. 说明工厂供配电系统的任务及主要组成。

5. 电力系统的部分接线如图 2-15 所示, 各级电网的额定电压已标示于图中, 设变压器 T_1 工作于 +2.5% 的抽头, T_2 工作于主抽头, T_3 工作于 -5% 抽头, 这些变压器实际电压比是 ()。

- A. T_1 : 10.5/124.025; T_2 : 110/38.5; T_3 : 33.25/11
 B. T_1 : 10.5/121; T_2 : 110/38.5; T_3 : 36.5/10
 C. T_1 : 10.5/112.75; T_2 : 110/35; T_3 : 37.5/11
 D. T_1 : 10.5/115.5; T_2 : 110/35; T_3 : 37.5/11

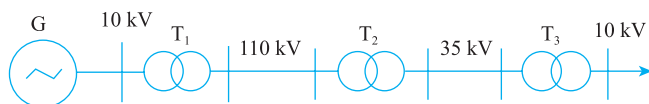


图 2-15 电力系统的部分接线

项目总结

本项目介绍了工厂供配电系统基本要求、电力系统的组成与要求以及电力系统的电压等级、电力系统中性点的运行方式、低压配电系统的接地形式和工厂供配电系统的构成, 主要内容如下。

(1) 工厂供配电系统的基本要求是保证供电安全可靠、良好的电能质量、灵活的运行方式, 以及具有经济性和环保。

(2) 电力系统是通过各级电压的电力线路, 将发电厂、变配电所和电力用户连接起来的一个发电、输电、变电、配电和用电的整体。

(3) 电力系统的电压包括电力系统中各种供电设备、用电设备和电力线路的额定电压。

(4) 电力系统中性点的运行方式有中性点不接地、中性点经消弧线圈接地和中性点直接接地或经低阻抗接地。

(5) 工厂供配电系统主要由外部电源系统和工厂内部变配电系统组成。一般中型工厂的电源进线电压是 6 kV ~ 10 kV。电能先经高压配电所分送至各个车间变电所, 再由车间变电所将电压降为一般低压用电设备所需的电压。

任务工单 认识学校高、低压供配电系统

任务名称		日期	
姓名		班级	
学号		实训场地	
一、安全与知识准备			
<p>在本任务实施前，请准备操作票，并报请上级领导批准。操作票的内容：</p>			
二、计划与决策			
<p>请根据任务要求，确定所需要的检测仪器、工具，制定详细的作业计划。</p> <p>1. 检测仪器与工具校验步骤：</p> <p>2. 作业中的安全措施：</p>			
三、任务实施			
<p>1. 学校供配电系统构成认知。</p> <p>(1) 供配电系统的高压构成认知：</p> <p>(2) 供配电系统低压构成认知：</p>			