

内 容 简 介

本书结合了作者多年的数据中心实际工作经验,根据高压运维技术人员上岗的基本要求,围绕数据中心供配电系统的电力知识和高压系统的操作特点,由浅入深地全面讲述了高压电气设备操作的安全要求,对高压巡视、操作等项目做了详细的图文解释。全书共分 13 章,包括安全生产管理、电力系统基本概念、电力变压器、互感器、高压电气、高压成套配电装置、高压电力线路、过电压保护与接地装置、继电保护与二次回路、变配电站安全保障、高压开关柜的倒闸操作、变配电站运行管理、高压安全用具等。

本书的编写以理论知识和原理解释“实用、够用”为原则,以职业岗位的需求和生产实际为主线,采用理论与实践相结合的教学模式,向读者讲授供配电领域数据中心的新设备和新技术。本书内容深入浅出、循序渐进,技能训练内容的设计贴近生产实际,力求在有限的篇幅内使读者把握实践操作要领,帮助读者理解并记忆所学的专业知识,最大限度地提升读者的专业技能,为读者终身职业生涯的发展搭建平台。

本书详细介绍了各类型高压电气的安全知识、操作技巧和运维经验,读者可以全面、快速地掌握数据中心高压运维的各项作业技巧和本领。本书可作为高职高专院校电气自动化技术、供配电技术、建筑电气工程技术和农村电气化技术等相关专业的教学用书,也可供从事供配电运行、管理工作的工程技术人员参考使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。举报:010-62782989, beiqinquan@tup.tsinghua.edu.cn。

图书在版编目(CIP)数据

数据中心高压供配电系统运维 / 汪俊宇, 叶社文, 嵇思齐主编. —北京: 清华大学出版社, 2023.8
(新基建·数据中心系列丛书)

ISBN 978-7-302-63789-9

I. ①数… II. ①汪… ②叶… ③嵇… III. ①数据处理中心—高压电器—供电系统—电力系统运行
②数据处理中心—高压电器—配电系统—电力系统运行③数据处理中心—高压电器—供电系统—维修④
数据处理中心—高压电器—配电系统—维修 IV. ① TP308

中国国家版本馆 CIP 数据核字 (2023) 第 101425 号

责任编辑: 杨如林

封面设计: 杨玉兰

版式设计: 方加青

责任校对: 胡伟民

责任印制:

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编: 100084

社 总 机: 010-83470000

邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm

印 张: 17.75

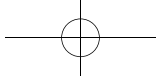
字 数: 432 千字

版 次: 2023 年 8 月第 1 版

印 次: 2023 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 69.00 元

产品编号: 096115-01



前言

2019年1月24日国务院正式印发的《国家职业教育改革实施方案》中明确提出，在职业院校、应用型本科高校启动“学历证书+职业技能等级证书”（即1+X证书）制度试点，鼓励学生在获得学历证书的同时，积极取得多类职业技能等级证书。

本书以满足我国高等职业教育和高等专科教育的需要为原则，以突出实践能力和职业能力为培养目标，围绕数据中心供配电系统的电力知识和高压系统运维的特点，紧密结合实际，除了包括传统教材的相应内容外，还系统地介绍了在实际工作中应用广泛而在传统教材中没有涉及的内容，如高压电气元件及成套配电装置、预装式变电站等，具体介绍了相应的标准、产品特性、技术参数、选用原则、维护方法等知识。

本书结合作者多年的实际工作经验，全面介绍了高压运维实际作业需要掌握的各项操作技能，包括高压安全用具与技术，变压器，高压电气，仪用互感器，继电保护装置与二次回路，架空线路及电力电缆，接地、接零及防雷保护，高压运维操作技术，高压开关柜的倒闸操作，高压供电图解等，并详细讲解了各类型高压电气的安全知识、操作技巧和运维经验。

本书内容丰富，浅显易懂，虽然强调基本知识的讲解，但理论以够用为原则，尽量降低专业理论知识的比重，注重实操能力的培养，突出重点，分散难点，力求使读者一看就懂、一学就会，突出供配电领域的新设备和新技术。同时为了便于阅读，本书在编写过程中注意图文并茂，力求做到文字简洁明快、结构直观清晰。为读者学习专业知识和职业技能，提高综合素质，增强适应岗位变化的能力和继续学习的能力打下一定的基础。

在本书的编写过程中，参考了许多相关书籍和文献资料，在此向所有参考文献的原作者致以诚挚的谢意！由于作者水平有限，加之数据中心供配电技术涉及的知识面广，实操性强，且智能化电气设备和供配电系统综合自动化技术发展迅速，书中难免有错漏与不足之处，诚望广大行业专家和工程技术人员批评指正。

作者

2022年6月

教学建议

章号	学习要点	教学要求	参考课时（不包括实训和机动学时）
1	了解从业人员安全生产的权利、义务和职责	介绍安全生产相关法律法规及标准规范，学习从业人员安全生产的权利、义务和职责	0.5
2	重点掌握各级负荷对供电电源的要求、供电电能的技术指标及中性点运行方式	了解并掌握电力系统的构成、供电系统概况、供电电能的技术指标、中性点运行方式、10kV变电所主接线	4.5
3	- 变压器的工作原理 - 变压器的接线组别和接线方式 - 变压器分接开关的使用 - 变压器的并列与解列运行 - 变压器的异常运行与故障分析	了解电力变压器在输配电线路中的作用、功能及重要性，重点掌握变压器的工作原理，了解变压器的结构、分类和基本参数，掌握油浸式和干式变压器的运行维护及故障分析	3
4	- 电压互感器和电流互感器的工作原理 - 电压互感器和电流互感器的接线方式 - 电压互感器和电流互感器的相关要求及常见故障分析与处理	了解互感器的定义、分类、作用和工作原理，掌握互感器的接线方式、使用要求及常见故障分析与处理	4
5	- 高压用电器的定义、符号表示、特点和作用 - 高压真空断路器的特点、运行与维护方法 - 高压断路器的操动机构 - 高压隔离开关的操作顺序	了解高压电器的基本知识、交流电弧的形成，掌握高压电器的灭弧原理，熟悉常用高压电器的功能、作用和主要技术参数，着重了解高压断路器的操动机构的分类和特点，掌握真空断路器的特点和运行维护方法	4
6	- 中置柜的五防功能 - 中置柜断路器的三个位置和四种状态 - KYN28 中置柜的四室 - 高压开关柜手车的操作方法	理解高压成套配电装置的含义，认识高压开关柜，了解高压开关的主要特点、组成和分类，掌握常用的固定式、移开式和高压环网柜以及预装式变电站的相关知识及基本配置	4

续表

章号	学习要点	教学要求	参考课时（不包括实训和机动学时）
7	- 高压架空线路和高压电力电缆线路的优缺点 - 高压电力电缆的基本结构、类型、敷设方式和注意事项 - 高压电力电缆的连接方法及截面载流量的选择 - 高压电力线路的安全管理	了解高压电力线路的种类、组成和特性，掌握高压架空线路和高压电力电缆线路的优缺点，掌握高压电力线路的运行维护和安全运行管理	3
8	- 防雷装置和接地装置的原理、组成和安装要求 - 电力线路及变配电所的防雷保护的要求和措施 - 防雷装置和接地装置的运行维护及注意事项	了解过电压及雷电的概念，掌握防雷装置和接地装置的原理、组成和安装要求，掌握电力线路及变配电所的防雷保护的要求和措施，掌握防雷装置和接地装置的运行维护及注意事项	3
9	- 变配电所事故跳闸的分析与判断 10kV 配电系统常用的继电保护的配置 - 直流屏的工作原理和构成	了解继电保护的基本任务、基本要求和组成，了解继电保护装置的原理结构和常用继电器的种类，掌握 10kV 变配电所的继电保护种类及自动装置，了解微机综合保护测控装置的特点、基本构成及运行管理，了解 10kV 变配电所二次回路的分类、操作，了解中央信号报警系统的作用以及二次回路在电气电路中的几种识图形式	4
10	- 变配电站停电、验电、挂接地线和悬挂标识牌的安全技术措施 - 变配电站的“七项”安全制度和在工作票填写的相关规定	了解变配电站值班人员的安全管理要求，掌握变配电站工作安全保障的技术措施、制度措施，掌握变配电站填写工作票的规定	2
11	- 变配电站高压开关柜倒闸操作的程序和方法，倒闸操作票的应用和填写 - 高压系统运行方案（以 1#、2# 市电电源为例）的倒闸操作 10kV 供配电逻辑控制的原则 10kV 及以下高低压配电装置倒闸操作的统一调度编号的含义	了解高压开关柜倒闸操作的基本知识、目的、内容和专用术语，掌握变配电站高压开关柜倒闸操作的程序、方法	4
12	变配电站断路器、隔离开关、负荷开关、电力变压器、互感器、母线和瓷瓶异常运行及事故处理的方法	了解保障变配电站安全运行的重要性，明确确保安全必须依靠组织和有针对性的规章制度，强调制度管理的重要性、规范性和延续性	2
13	- 基本绝缘安全用具 - 辅助绝缘安全用具 - 一般防护安全用具	认识高压安全用具，了解高压安全用具的组成、分类，掌握高压安全用具的使用方法、要求、注意事项和试验周期	2

目 录

第 1 章	安全生产管理	1
1.1	安全生产相关法律法规及标准规范	1
1.1.1	《中华人民共和国安全生产法》	1
1.1.2	《特种作业人员安全技术培训考核管理规定》	3
1.2	从业人员安全生产的相关规定	3
1.2.1	从业人员安全生产的权利	4
1.2.2	从业人员安全生产的义务	5
1.2.3	从业人员安全生产的职责	6
1.2.4	从业人员安全生产口诀	7
第 2 章	电力系统概述	9
2.1	电力系统简介	9
2.1.1	发电厂	9
2.1.2	电力网	11
2.1.3	变配电所	11
2.1.4	电能用户和电力负荷	11
2.1.5	电力系统运行的特点及要求	12
2.2	供配电系统概况	12
2.2.1	电力负荷的分级	12
2.2.2	各级负荷对供电电源的要求	13
2.2.3	供配电系统的构成	14
2.3	电力系统的电压	17
2.3.1	电压高低界限的划分	17
2.3.2	用户供配电系统电压的选择	17
2.3.3	供电电能的技术指标	18
2.4	电力系统的中性点运行方式	20
2.4.1	中性点不接地的运行方式	20

2.4.2	中性点经消弧线圈接地的运行方式	22
2.4.3	中性点经电阻接地的运行方式	22
2.4.4	中性点直接接地的运行方式	23
2.5	10kV 变电所及其电气主接线	23
2.5.1	变电所及其分类	24
2.5.2	变电所主接线	24
2.5.3	变配电所一次接线图常用的图形符号与文字符号	26
第 3 章	电力变压器	28
3.1	变压器的工作原理	28
3.2	变压器的分类及结构	30
3.2.1	变压器的分类	31
3.2.2	变压器的结构	32
3.2.3	变压器的型号和主要技术参数	37
3.2.4	变压器的接线组别和接线方式	39
3.2.5	变压器的安装	40
3.3	电力变压器的运行维护	42
3.3.1	油浸式变压器的运行维护	42
3.3.2	干式变压器的运行维护	43
3.3.3	电力变压器运行中应掌控的变量	45
3.3.4	变压器运行允许温度	47
3.3.5	变压器的并列与解列运行	48
3.3.6	变压器分接开关	50
3.4	变压器的异常运行与故障分析	54
3.4.1	油浸式变压器异常运行与故障分析	54
3.4.2	干式变压器异常运行与故障分析	56
第 4 章	互感器	58
4.1	电流互感器	58
4.1.1	电流互感器的结构原理	58
4.1.2	电流互感器的接线方式	59
4.1.3	电流互感器的类型	61
4.1.4	电流互感器的型号	61
4.1.5	电流互感器的额定参数	61
4.1.6	零序电流互感器	64
4.1.7	电流互感器二次侧的相关要求	65
4.1.8	电流互感器常见故障分析	66
4.2	电压互感器	67

4.2.1	电压互感器的基本结构原理	67
4.2.2	电压互感器的接线方式	68
4.2.3	电压互感器的类型和型号	71
4.2.4	电压互感器的额定参数	73
4.3	互感器运行中的巡视检查和故障处理	74
4.3.1	仪用互感器运行	74
4.3.2	电压互感器的熔断器保护	75
4.3.3	电压互感器的绝缘监察	78
4.3.4	电压互感器的常见故障及处理	79
第 5 章	高压电气	81
5.1	交流电弧	81
5.1.1	交流电弧的形成及熄灭	81
5.1.2	开关设备中常用的灭弧方法	82
5.2	高压电气的基础知识	83
5.2.1	高压电气的主要技术参数	83
5.2.2	高压电气操动机构	83
5.3	高压断路器	84
5.3.1	高压断路器的分类	84
5.3.2	高压断路器的主要技术参数	85
5.3.3	高压真空断路器	86
5.3.4	高压六氟化硫断路器	89
5.3.5	高压断路器的操动机构	90
5.4	高压负荷开关	92
5.4.1	FZN25-12 系列真空负荷开关	93
5.4.2	FLN36-12 六氟化硫高压负荷开关	94
5.5	高压隔离开关	95
5.5.1	隔离开关的用途及分类	95
5.5.2	户内式高压隔离开关	96
5.5.3	户外式高压隔离开关	97
5.5.4	高压隔离开关的安装	98
5.5.5	高压隔离开关运行中的巡视检查及事故处理	99
5.5.6	高压隔离开关的操作顺序	100
5.6	高压熔断器	100
5.6.1	户内式高压熔断器	100
5.6.2	户外式高压熔断器	102
5.6.3	高压熔断器的维护	104

第 6 章	高压成套配电装置	107
6.1	认识高压开关柜	107
6.1.1	高压开关柜的主要特点	107
6.1.2	高压开关柜的组成	108
6.1.3	高压开关柜的分类	108
6.2	开关柜的常用类型	109
6.2.1	GG1A-12 (F) 型固定式高压开关柜	109
6.2.2	XGN2-12 (Z) 型固定式高压开关柜	113
6.2.3	KYN28A-12 型移开式高压开关柜	117
6.2.4	高压环网开关柜	122
6.3	预装式变电站	126
6.3.1	组合式箱变与预装式箱变	126
6.3.2	YB 系列预装式变电站	127
6.3.3	箱式变电站的使用	128
第 7 章	高压电力线路	129
7.1	高压电力线路的种类	129
7.1.1	高压架空线路	129
7.1.2	高压电缆线路	130
7.2	高压架空线路的构成	131
7.2.1	电杆	131
7.2.2	横担和拉线	133
7.2.3	绝缘子和金具	134
7.2.4	导线	136
7.3	架空线路的安装、巡视检查与运行维护	137
7.3.1	架空线路的安装	137
7.3.2	架空线路的巡视检查和运行维护	143
7.4	高压电力电缆	144
7.4.1	高压电力电缆的基本结构	144
7.4.2	常用高压电力电缆的类型及适用范围	147
7.4.3	高压电缆截面的选择	147
7.4.4	高压电力电缆的敷设	148
7.4.5	高压电缆的连接	149
7.4.6	高压电力电缆的安全管理	151
第 8 章	过电压保护与接地装置	154
8.1	过电压及雷电的概念	154
8.1.1	过电压的形成	154

8.1.2	雷电的危害	155
8.2	防雷装置	156
8.2.1	接闪器	156
8.2.2	避雷器	157
8.2.3	避雷器的运行与维护	158
8.2.4	避雷器的主要故障分析	159
8.3	电力线路与变配电所的防雷保护	160
8.3.1	10kV 配电线路的防雷保护	161
8.3.2	变配电所的防雷保护	163
8.4	接地装置	165
8.4.1	人工接地极的制作安装要求	165
8.4.2	接地导体的最小截面	167
8.4.3	接地装置的敷设与连接	167
8.4.4	接地装置的检查及测量周期	169
第 9 章	继电保护与二次回路	170
9.1	继电保护的基本知识	170
9.1.1	继电保护的的任务	170
9.1.2	继电保护的要求	170
9.2	继电保护的原理及常用继电器	171
9.2.1	继电保护的基本工作原理	171
9.2.2	常用继电器	172
9.3	10kV 变配电所的继电保护及自动装置	178
9.3.1	10kV 配电系统的主要故障	178
9.3.2	10kV 配电系统常用继电保护种类	178
9.3.3	10kV 配电系统的保护配置	179
9.3.4	备用电源自投装置	182
9.4	微机综合保护测控装置	182
9.4.1	微机综合保护测控装置的特点	182
9.4.2	微机综合保护测控装置的基本构成	183
9.4.3	微机综合保护测控装置的基本功能	183
9.4.4	微机综合保护测控装置的软件设定	184
9.4.5	变配电室综合自动化系统的基本功能	184
9.4.6	监控系统（后台机）可反映的内容	184
9.4.7	保护装置的运行管理	185
9.5	10kV 变配电所二次回路	185
9.5.1	二次回路概述	186
9.5.2	二次回路分类	186

9.5.3	变配电室的操作电源	186
9.5.4	中央信号报警系统	187
9.5.5	认识二次回路图	188
9.6	变配电所事故跳闸的分析与判断	193
9.6.1	变压器事故跳闸的分析与判断	193
9.6.2	配电线路事故跳闸的分析与判断	193
9.6.3	其他事故跳闸信息的分析与判断	194
第 10 章	变配电站安全保障	195
10.1	变配电站值班人员安全管理要求	195
10.1.1	变配电站值班人员应具备的素质	195
10.1.2	变配电站值班人员的主要工作	195
10.1.3	变配电站的负责人和值班长应具备的条件	196
10.1.4	变配电站值班长和值班员的岗位职责	197
10.2	变配电站工作安全保障的技术措施	197
10.2.1	停电	197
10.2.2	验电	198
10.2.3	装设接地线	199
10.2.4	悬挂标示牌和装设临时遮栏	199
10.3	变配电站工作安全保障的制度措施	200
10.3.1	工作票制度	200
10.3.2	工作查活及交底制度	201
10.3.3	工作许可制度	201
10.3.4	工作监护制度	202
10.3.5	工作间断和工作转移制度	203
10.3.6	工作终结和送电制度	203
10.4	变配电站填写工作票的规定	204
10.4.1	填写第一种工作票的规定	204
10.4.2	填写第二种工作票的规定	205
10.4.3	口头或电话命令的工作	205
10.4.4	执行工作票的程序	206
第 11 章	高压开关柜的倒闸操作	208
11.1	倒闸操作的基本知识	208
11.1.1	电气设备状态	208
11.1.2	倒闸操作的目的是内容	209
11.2	倒闸操作的专用术语	209
11.2.1	电力系统设备的标准名称	209

11.2.2	电力系统的调度术语	210
11.2.3	电力系统的操作术语	211
11.3	变配电站倒闸操作的程序与方法	212
11.3.1	倒闸操作的基本规定	212
11.3.2	倒闸操作的程序	214
11.3.3	倒闸操作逻辑控制	216
11.4	倒闸操作票填写的内容及操作术语举例	218
11.4.1	倒闸操作票填写的内容及注意事项	218
11.4.2	倒闸操作票标准术语的应用举例	219
11.4.3	10kV 及以下高低压配电装置的调度操作编号原则	222
第 12 章	变配电站运行管理	225
12.1	变配电站的制度和运行维护管理	225
12.1.1	变配电站运行管理的职能	225
12.1.2	变配电站运行的主要制度	226
12.1.3	变配电站的运行工作	228
12.1.4	变配电站的维护工作	229
12.1.5	变配电站的培训工作	230
12.2	变配电站的设备管理	230
12.2.1	设备专责制管理	230
12.2.2	设备缺陷管理	230
12.2.3	设备检修计划管理	231
12.2.4	设备验收管理	232
12.2.5	变配电站设备设施的具体要求	233
12.3	变配电站的资料管理	233
12.3.1	变配电站规程和规章制度的管理	234
12.3.2	变配电站的技术资料	234
12.3.3	变配电站电气运行记录	235
12.4	变配电站异常运行及事故处理	236
12.4.1	配电装置异常运行及事故处理	236
12.4.2	断路器异常运行及事故处理	236
12.4.3	隔离开关异常运行及事故处理	237
12.4.4	负荷开关异常运行及事故处理	238
12.4.5	电力变压器异常运行及事故处理	238
12.4.6	互感器异常运行及事故处理	239
12.4.7	母线、支持瓷瓶异常运行及事故处理	240

第 13 章	高压安全用具	241
13.1	基本绝缘安全用具	241
13.1.1	高压设备的基本绝缘安全用具的组成	241
13.1.2	绝缘杆	242
13.1.3	绝缘夹钳	243
13.1.4	高压验电器	244
13.1.5	使用安全用具的通则	246
13.2	辅助绝缘安全用具	246
13.2.1	绝缘手套和绝缘靴（鞋）	247
13.2.2	绝缘垫和绝缘台	248
13.3	一般防护安全用具	249
13.3.1	携带型临时接地线	249
13.3.2	遮栏	251
13.3.3	标示牌	252
附 1	10kV 中置柜双路市电 + 双路柴发供配电运行方案	255
附 2	10kV 固定柜双路市电供配电运行方案	256
附 3	10kV 环网柜双路市电供配电运行方案	257
附 4	倒闸操作票示例	258
参考文献		267

第 2 章 电力系统概述

电能是由发电厂生产的，发电厂多建在二次能源所在地，一般距人口密集的城市和用电集中的工业企业很远，因此必须采用高压输电线路进行远距离输电，而且为了更经济合理地利用动力资源，减少电能损耗，降低发电成本，保障电能质量，提高供电可靠性，必须将一些发电厂、变配电站（所）和电能用户用各级电压的电力线路联系起来。

2.1 电力系统简介

发电厂把其他形式的能量（如燃煤产生的热能、水力的势能、核能等）转化为电能。电能的生产、输送、消耗是在同一瞬间（300 000km/s）完成的。我们将生产电能、变换电能、输送电能、分配电能、使用电能的各种电气设备所组成的联合系统称为电力系统。典型电力系统示意图如图 2-1 所示。

2.1.1 发电厂

发电厂是将自然界蕴藏的各种一次能源转换为电能（二次能源）的工厂。按其利用的一次能源不同，分为火力发电厂、水力发电厂、核能发电厂、风力发电厂、地热发电厂、太阳能发电厂和潮汐发电厂等类型。目前，我国以火力发电和水力发电为主，并大力发展核电及可再生能源发电。

1. 火力发电厂

火力发电厂是利用燃烧燃料（煤、石油和天然气等）所产生的热能发电，其主要设备有锅炉、汽轮机和发电机。无论是燃煤、燃油还是燃气的火力发电厂，从能量转换的角度分析，其生产过程是基本相同的，都是燃料燃烧产生的热能将锅炉中的水变成高温高压的蒸汽，推动汽轮机做功产生机械能，经发电机转变为电能，最后通过变压器升压后将电能送入电力系统。相对来讲，火力发电厂的特点是建造工期短、投资少，但燃料消耗量大，加上运费和大量用水，运行费用高，而且对空气和环境的污染大。

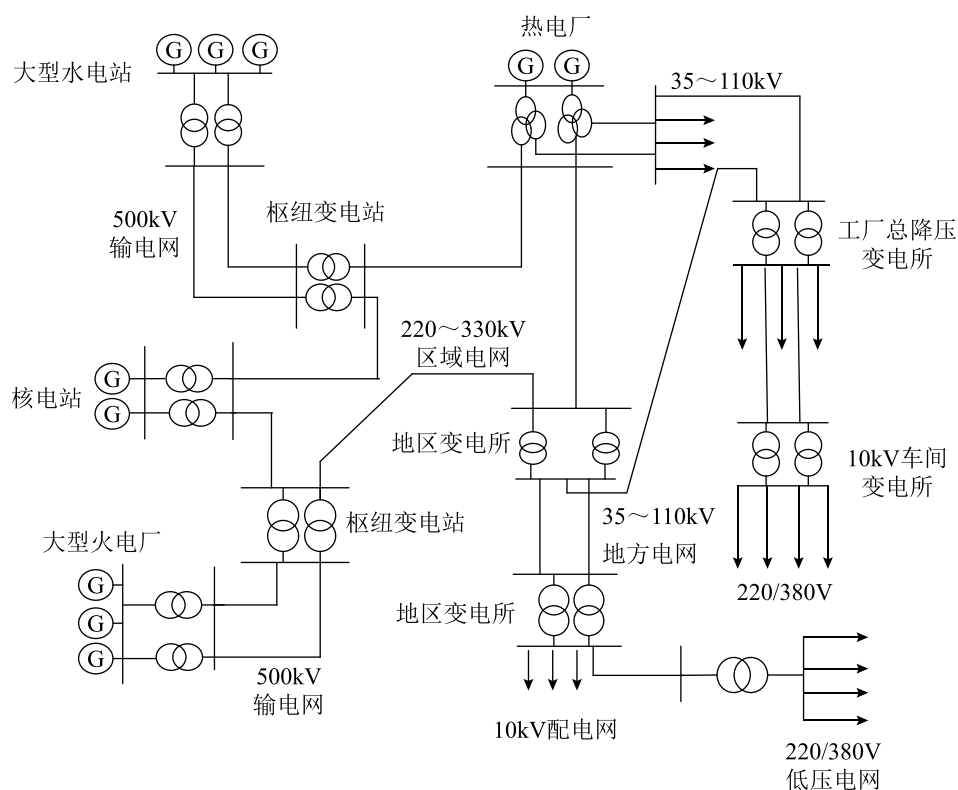


图 2-1 典型电力系统示意图

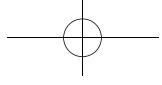
2. 水力发电厂

水力发电厂是利用江河水流的势能来产生电能，主要由水库、水轮机和发电机组成。水库中的水具有一定的势能，经引水管道送入水轮机推动水轮机旋转，水轮机与发电机联轴，带动发电机转子一起转动发电。水力发电厂的工程投资大、建造工期长，但水能是一种取之不尽、用之不竭、可再生的清洁能源，水力发电厂的发电效率高，成本低（一般只有火力发电厂成本的 $1/4 \sim 1/3$ ），而且水力发电往往是综合利用水资源的一个重要组成部分，兼有防洪、灌溉、航运和养殖等综合效益。

3. 核能发电厂

核能发电厂是利用受控核裂变反应所释放的热能，将水加热为蒸汽驱动汽轮机，再带动发电机旋转发电，其生产过程与火力发电厂基本相同，只是以核反应堆（俗称原子锅炉）代替了燃煤锅炉，以少量的核燃料代替了煤炭（ 1kg 铀裂变反应所释放的热能相当于 $2.7 \times 10^6\text{kg}$ 标准煤所产生的热能）。核电是清洁安全的能源，发展核电是我国今后解决能源问题和减少能源引起的温室气体排放的重要措施。截至 2022 年 12 月 31 日，我国运行核电机组共 55 台（不含台湾地区），发电量约占全国发电量的 4.98%。

除了上述三种发电方式之外，风能、太阳能、生物质能、地热能和海洋能等可再生



能源的进一步开发利用潜力巨大。我国已正式施行《中华人民共和国可再生能源法》，这一法律的实施将为今后我国可再生能源的开发开辟更加广阔的前景。

2.1.2 电力网

电力系统中各级电压的电力线路及其联系的变电所称为电力网，简称电网。电网是联系发电厂和用户的中间环节，习惯上往往以电压等级来区分，如 10kV 电网、110kV 电网等。

电网可按电压高低和供电范围大小分为区域电网和地方电网。区域电网的范围大，电压一般在 220kV 及以上；地方电网的范围小，最高电压一般不超过 110kV。用户供电系统就属于地方电网的一种。

另外，电网也可按其作用分为输电网和配电网。35kV 及以上的电网称为输电网，它的作用是将电能输送到各个地区或直接输送给大型用户。10kV 及以下的由配电线路和配电变压器所组成的电网称为配电网，它的作用是将电能分配给各类不同的用户。

2.1.3 变配电所

变电所的任务是接受电能、变换电压和分配电能，配电所的任务是接受电能和分配电能，但不改变电压。

变电所可分为升压变电所和降压变电所两大类。升压变电所一般建在发电厂，其主要任务是将低电压变换为高电压；降压变电所一般建在靠近负荷中心的地点，其主要任务是将高电压变换到一个合理的电压等级。根据降压变电所在电力系统中的地位和作用的不同，又可将其分为枢纽变电站、地区变电所和用户变配电所。

用户变配电所又分为 (35 ~ 110)/10kV 总降压变电所 (HSS)、10kV 配电所 (HDS)、10/0.4kV 变电所及 35/0.4kV 直降变电所。10/0.4kV 变电所在工业企业内又称为车间变电所 (STS)。10kV 配电所通常和某个 10/0.38kV 变电所合建，又称为配变电所。

2.1.4 电能用户和电力负荷

所有消费电能的单位均称为电能用户，从大的方面可分为工业电能用户和民用电能用户。从供配电系统的构成上来看，二者并无本质的区别。

电能用户中的用电设备称为电力负荷或电力负载。电力负荷有时也指电能用户本身，比如重要负荷、不重要负荷、动力负荷和照明负荷等。电力负荷还可指用电设备或用电单位所耗用的电功率或电流大小，比如轻负荷（轻载）、重负荷（重载）、空负荷（空载）和满负荷（满载）等。

2.1.5 电力系统运行的特点及要求

由于电力系统的发电和用电同时实现,使得电能的生产、输配和使用始终处于动态平衡,为维护这种平衡,提高输配电稳定性,保证用电质量和用电安全,电力系统运行应具备如下特点和要求。

1. 电力系统运行的特点

电力系统运行的特点主要有以下几个方面:

- (1) 电能生产、输送和消费的连续性。电能不能大量、廉价地储存,发电、输电、变电、配电及用电是同时进行的。若其中某一环节出现故障,都会影响电力系统的运行。
- (2) 电能生产的重要性。电力工业与国民经济、人们生活的关系极其密切,电能供应不足或中断,将直接影响经济发展和人们的正常生活,甚至会危及设备和人身安全。
- (3) 暂态过程的快速性。电力系统由于运行方式的改变而引起的电磁、机电暂态过程是非常短暂的。所以电力系统运行必须采取自动化程度高,且能迅速而准确动作的继电保护、自动装置和监测控制设备。

2. 电力系统运行的要求

根据以上的特点,电力系统(包括用户供配电系统)的设计与运行必须达到以下基本要求:

- (1) 安全。在电能的生产、输送、分配与使用中,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质量等方面的要求。
- (4) 经济。建设投资要少,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。

2.2 供配电系统概况

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。供配电系统的构成与其负荷的重要性及大小等因素有关。

2.2.1 电力负荷的分级

按照 GB 50052—2009《供配电系统设计规范》的规定,电力负荷根据供电可靠性

及中断供电（事故）在政治、经济上所造成的损失或影响的程度，分为一级负荷、二级负荷及三级负荷。

1. 一级负荷

一级负荷为中断供电将造成人身伤亡的，或者中断供电将在政治、经济上造成重大损失的，如造成重大设备损坏、重大产品报废、重要原料（较稀缺的工农业原料）生产的产品大量报废、国民经济中重点企业（中央各部委指定的大型骨干企业）的连续生产过程被打乱需要长时间才能恢复等。如矿井、电炉炼钢、电解槽、特种化工、医院手术室、重要交通枢纽、重要港口、重要宾馆、电台、高精尖科研部门、军事机关与基地等。

在一级负荷中，中断供电将发生中毒、爆炸和火灾等情况的负荷，以及特别重要的场所中不允许中断供电的负荷，应视为特别重要的负荷。比如，在工业生产中，正常电源中断时处理安全停产所必需的应急照明、通信系统、保证安全停产的自动控制装置等；在民用建筑中，大型金融中心的关键电子计算机系统和防盗报警系统，大型国际比赛场馆的记分系统以及监控系统等，国宾馆、国家级及承担重大国事活动的会堂等。

2. 二级负荷

中断供电将在政治、经济上造成较大损失的，或影响重要用户的正常工作，或造成公共场所秩序混乱的为二级负荷。比如，造成主要设备损坏、大量产品报废、连续生产过程被打乱需较长时间才能恢复以及重点企业大量减产等；其他如交通枢纽、通信枢纽、大型影剧院、大型商场和高层建筑等。

3. 三级负荷

三级负荷是不属于一级负荷和二级负荷的电力负荷。

2.2.2 各级负荷对供电电源的要求

在电力系统中，负荷指的是用电设备所消耗的功率或线路中流过的电流。为使供电工作达到安全、可靠、经济、合理的要求，根据负荷的重要性等级，各级负荷对供电电源的要求都有所不同。

1. 一级负荷对供电电源的要求

一级负荷要求由两个电源供电，当一个电源发生故障时，另一个电源应不至于同时受到损坏。有一级负荷的用电单位难以从地区电网取得两个电源，而有可能从邻近单位取得第二电源时，宜从邻近单位取得第二电源。

一级负荷中，对于特别重要的负荷，除具备上述两个电源外，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。供电系统的运行实践经验证明，从电网引接两回路电源进线加备用电源自动投入的供电方式，不能满足一级负荷中特别重要的负荷对供电可靠性及连续性的要求。因为所引接两回路电源在电网的上部应是并网的，所以无论从电网取几回路电源进线，也无法得到严格意义上的两个独立电源。电网的各种故障可能引起全部电源进线同时失去电源，造成停电事故。因此对一级负荷中特别重要的负荷要由与电网不并列的、独立的应急电源供电。

常用的应急电源包括独立于正常电源的发电机组、供电网络中独立于正常电源的专门馈电线路和蓄电池。大型企业中，往往同时使用几种应急电源来保证一级负荷中特别重要负荷的供电。

2. 二级负荷对供电电源的要求

二级负荷要求由两回路供电，供电变压器也应有两台（两台变压器不一定在同一变电所）。在其中一个回路或一台变压器发生故障时，二级负荷应不至于中断供电，或中断后能迅速恢复供电。当负荷较小或者当地供电条件困难时，二级负荷可由一回路 6kV 及以上的专用架空线路或电缆线路供电。当采用架空线路时，可为一回路架空线供电；当采用电缆线路时，应采用由两根电缆组成的线路供电，且每根电缆应能承受 100% 的二级负荷。

3. 三级负荷对供电电源的要求

三级负荷对供电电源无特殊要求。

2.2.3 供配电系统的构成

根据供电容量的不同，供配电系统可分为大型用户（10 000kVA 以上）、中型用户（1000 ~ 10 000kVA）和小型用户（1000kVA 以下）。

1. 大型用户供配电系统

在大型用户供配电系统中，电源进线电压一般为 35 ~ 110kV，经过两次降压。设置总降压变电所，先把 35 ~ 110kV 电压降为 6 ~ 10kV 电压，向高压用电设备和各车间变电所供电。车间变电所经配电变压器，再把 6 ~ 10kV 电压降为一般低压用电设备所需的电压（220/380V），对低压用电设备供电。此过程如图 2-2 所示。

2. 中型用户供配电系统

在中型用户供配电系统中，电源进线电压一般为 6 ~ 10kV，先由高压配电所集中，再由高压配电线路将电能分送到各车间变电所，或直接供给高压用电设备。

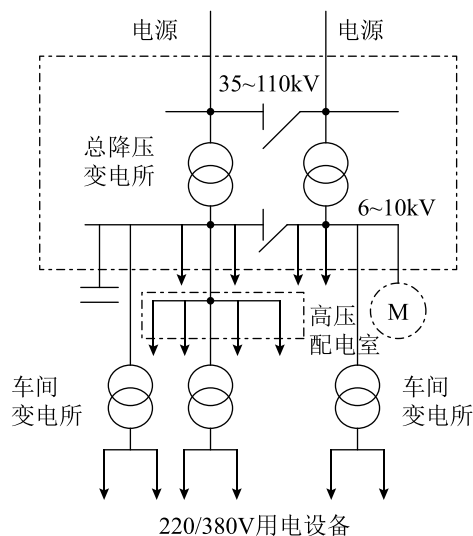


图 2-2 大型用户供配电系统

如图 2-3 所示的中型用户供配电系统有两条 $6 \sim 10\text{kV}$ 的电源进线，分别接在高压配电所的两段母线上。这两段母线间装有一个分段隔离开关，形成所谓的单母线分段制。当任何一条电源进线发生故障或进行正常检修而被切除后，可以利用分段隔离开关来恢复对整个配电所（特别是重要负荷）的供电。

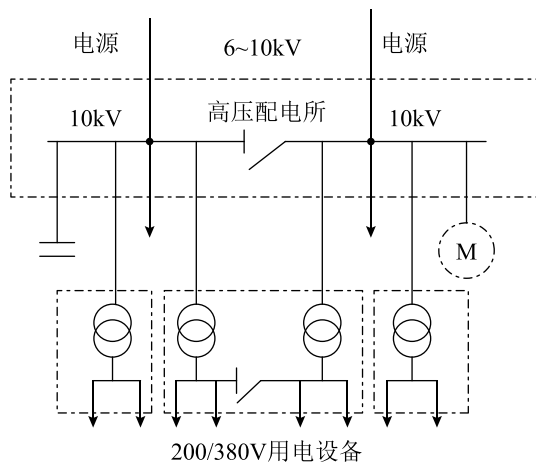


图 2-3 中型用户供配电系统

3. 小型用户供配电系统

小型用户供配电系统根据容量不同，一般可分为以下两种形式。

(1) 小型用户所需的供电容量一般不大于 $1000\text{kV} \cdot \text{A}$ ，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 2-4 所示。

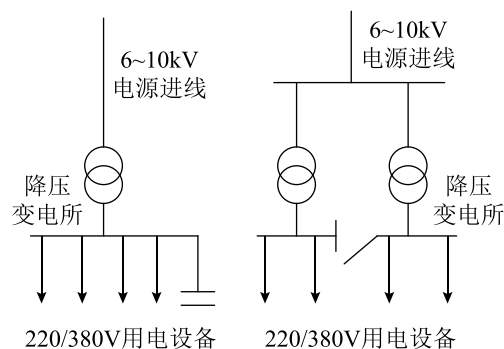


图 2-4 小型用户供配电系统（用户所需供电容量不大于 1000kV·A）

(2) 如果用户所需供电容量不大于 160kV·A，一般可采用低压电源进线，此时只需设一低压配电室，如图 2-5 所示。

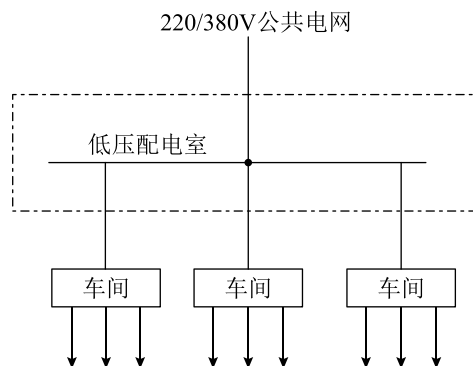


图 2-5 小型用户供配电系统（用户所需供电容量不大于 160kV·A）

4. 高压深入负荷中心的直配方式

如果厂区的环境条件满足 35kV 架空线路安全走廊要求，35kV 进线的工厂可以考虑将 35kV 进线直接引入靠近负荷中心的车间变电所，只经一次降压直接降为低压用电设备所需的电压。这种方式可以省去一级中间变压，简化了供配电系统，有利于节约有色金属，降低电能损耗和电压损耗，提高供电质量，如图 2-6 所示。

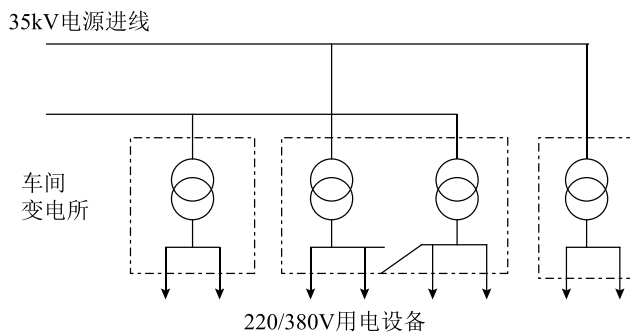
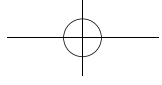


图 2-6 高压深入负荷中心的直配方式



2.3 电力系统的电压

为了使电力设备生产标准化、系列化并合理配套，电力系统中的发电机、变压器、电力线路及各种设备等，都是按规定的额定电压进行设计并制造的。电力设备在额定电压及额定频率下运行，其技术与经济性能最佳。

电压和频率是衡量电能质量的两个基本参数。在我国，交流电力设备的额定频率为50Hz，此频率通常称为工频。工频的频率偏差一般不得超过 $\pm 0.5\text{Hz}$ 。频率主要依靠发电厂来调整。对用户供配电系统来说，提高电能质量关键在于提高电压质量。

2.3.1 电压高低界限的划分

我国在设计、制造和安装规程上通常是以1000V为界限来划分电压高低的。一般规定：额定电压在1000V及以下者为低压；1000V以上者为高压。另外，习惯上称1~10kV或35kV为中压，35~110kV或220kV为高压，220kV或330kV及以上为超高压，1000kV及以上为特高压。

2.3.2 用户供配电系统电压的选择

供配电电压的高低，对电能质量及降低电能损耗均有重大影响。在输送功率一定的情况下，若提高供电电压，就能减少电能损耗，提高用户端的电压质量。但是，电压等级越高，对设备的绝缘性能要求也越高，投资费用会相应增加。因此，供配电电压的选择主要取决于用电负荷的大小和供电距离的长短。

1. 高压配电电压的选择

用户供配电系统的高压配电电压主要根据用电容量、用电设备特性、供电距离、供电线路的回路数、当地公共电网现状及其发展规划等因素，经技术经济分析后确定。通常采用6~10kV，从技术经济指标来看，最好采用10kV，分析如下：

(1) 在配电线路方面，在同样的输送功率和输送距离条件下，配电电压越高，线路电流越小，因而线路所采用的导线或电缆截面积越小，从而可降低线路的初投资和金属消耗量，且可减少线路的电能损耗和电压损耗。

(2) 在开关设备的投资方面，实际使用的6kV开关设备的型号规格与10kV的基本相同，因此采用10kV电压的投资不会比采用6kV电压增加多少。

(3) 在供电的安全性和可靠性方面，采用6kV与采用10kV基本无差别。

(4) 在适应发展方面，采用10kV更优于采用6kV。

表2-1列出了各级电压线路合理的输送功率和输送距离，从表中可以看出，采用

10kV 电压较采用 6kV 电压更适应于发展，输送功率更大，输送距离更远。

国家推荐标准 GB/T 156—2017《标准电压》规定，3kV、6kV 不得用于公共配电系统。

表 2-1 各级电压线路合理的输送功率和输送距离

线路电压 /kV	线路结构	输送功率 /kW	输送距离 /km
0.38	架空线	≤ 100	≤ 0.25
	电缆线	≤ 175	≤ 0.35
6	架空线	≤ 1000	≤ 10
	电缆线	≤ 3000	≤ 8
10	架空线	≤ 2000	6 ~ 20
	电缆线	≤ 5000	≤ 10
35	架空线	2000 ~ 10 000	20 ~ 50
66	架空线	3500 ~ 30 000	30 ~ 100
110	架空线	10 000 ~ 50 000	50 ~ 150
220	架空线	100 000 ~ 500 000	200 ~ 300

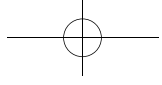
从发展趋势上看，高压配电电压采用 20kV 更具优越性。通过技术经济比较，20kV 替代 10kV 高压配电电压，更能增加供电能力、保证电压质量、降低电网的电能损耗以及节省电网的建设费用等。我国苏州已在新开发的工业园区内投入运行 20kV 高压配电。随着城镇配电网负荷密度的增加，采用 20kV 电压作为配电网的高压配电电压势在必行。当然，改造现有的 10kV 高压配电网，过渡到 20kV 高压配电，将是一项庞大的、长期的系统工程，10kV、20kV 高压配电电压可先期并存，逐步创造条件，积极推广应用。

2. 低压配电电压的选择

用户供配电系统的低压配电电压一般采用 220/380V。但某些用户负荷中心往往离变电所较远（例如矿井下），为保证负荷端的电压水平，宜采用 660V 或更高电压（如 1140V）配电。与 380V 配电电压相比，采用 660V 配电电压不仅可以减少线路的电压损耗，提高负荷端的电压水平，而且能减少线路的电能损耗，降低线路的有色金属消耗量和初投资，增加配电半径，提高供电能力，减少变电点，简化供配电系统，同时还能进一步扩大异步电动机的制造容量。因此提高低压配电电压有明显的经济效益，是节约电能的有效措施之一，这在世界各国已成为发展趋势。但是将 380V 升高为 660V，需要电力行业及其他相关行业的全面配合，短时间内很难实现。我国现在采用 660V 配电电压的工业，尚只限于采矿、石油和化工等少数行业。

2.3.3 供电电能的技术指标

随着国民经济的发展、科学技术的进步和生产过程的高度自动化，电网中各种非线性负荷及用户不断增长，各种复杂的、精细的、对电能质量敏感的用电设备越来越多。



上述两方面的矛盾越来越突出，用户对电能质量的要求也更高，在这样的环境下，由于所处立场不同，关注或表征电能质量的角度不同，人们对电能质量的定义还未能达成共识，但是对其主要技术指标都有较为一致的认识。衡量电能质量的主要指标是电压、频率、波形和供电的可靠性。

1. 电压

供电系统应保持额定电压向用户供电，用户受电端电压偏离额定值的幅度不应超过以下标准：

- (1) 35kV 及以上供电和对电压质量有特殊要求的用户为额定电压的 $+5\% \sim -5\%$ ；
- (2) 10kV 及以下高压供电和低压电力用户为额定电压的 $+7\% \sim -7\%$ ；
- (3) 低压照明用户为额定电压的 $+7\% \sim -10\%$ 。

实际供电电压偏离额定电压超过以上标准后，不但发电、供电和用电设备不再正常工作，而且损耗增大，甚至可能造成电气设备损坏、电力系统大面积停电的后果。因此供电部门应定期对用户受电端电压进行调查或测量，达不到指标时应及时采取措施。

北京地区电力网运行的额定电压等级为：高压——10kV、35kV、110kV、220kV、500kV；低压——220V/380V、380V/660V。

2. 频率

我国电力系统的额定频率为 50Hz，供电系统应按这个标称频率运行。允许的偏差为：电力网容量在 3000MW 及以上者为 $\pm 0.2\text{Hz}$ ；电力网容量在 3000MW 以下者为 $\pm 0.5\text{Hz}$ 。当运行频率低于标称值时，对发电、供电和用电设备都不利。

3. 波形

电力变压器非线性运行、投入电力电容器、使用整流设备和产生电弧的设备，都可能产生倍频的正弦波，即高次谐波。它会使电网的电压波形失真，发生畸变。用户使用大功率单相设备（如电焊机等）或电力系统中出现不对称故障，如中性点接地系统中的单相接地故障、相间故障等，都会使电力网三相电压不对称。我们要加强管理，将三相电压不对称控制在额定电压的 5% 以内。

4. 供电的可靠性

供电可靠性是指供电系统持续供电的能力，是考核供电系统电能质量的重要指标，反映了电力工业对国民经济电能需求的满足程度，已经成为衡量一个国家经济发达程度的标准之一。供电可靠性可以用如下一系列指标加以衡量：供电可靠率、用户平均停电时间、用户平均停电次数、系统停电等效小时数。

例如，全年供电时间 8760h，某电力用户全年平均停电时间 43.8h，停电时间占全

年时间的 0.5%，即供电的可靠率为 99.5%。

2.4 电力系统的中性点运行方式

电力系统的中性点是指作为供电电源的发电机和电力变压器的中性点。电力系统的中性点有三种运行方式：电源中性点不接地、中性点经阻抗（消弧线圈或电阻）接地、中性点直接接地。前两种统称为小接地电流系统，亦称中性点非有效接地系统，或中性点非直接接地系统；后一种称为大接地电流系统，亦称中性点有效接地系统。

电力系统电源中性点的不同运行方式会影响电力系统的运行，特别是在系统发生单相接地故障时有显著的影响，而且还将影响电力系统二次侧的继电保护及监测仪表的选择与运行。下面分别讨论中性点这几种运行方式的特点及应用。

2.4.1 中性点不接地的运行方式

中性点不接地的运行方式，即电力系统供电电源的中性点不与大地相接。图 2-7 所示为中性点不接地的电力系统正常运行时的电路图和相量图。

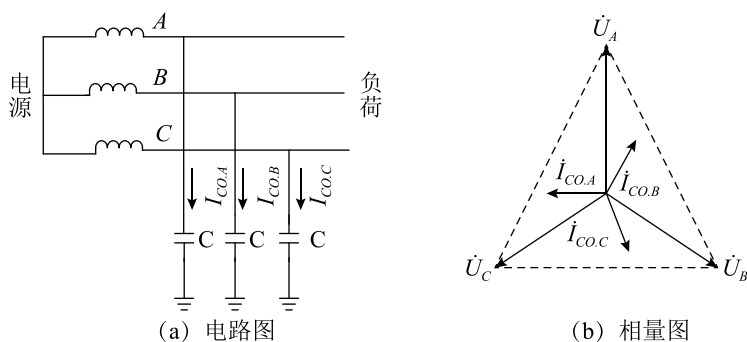


图 2-7 正常运行时的中性点不接地的电力系统

电力系统正常运行时，三相电压 $\dot{U}_A$ 、 $\dot{U}_B$ 、 $\dot{U}_C$ 对称，由于三相对地电容近似相等，所以通过三相对地电容的电流对称，其和为零。各相对地电压为其相电压。

当电力系统发生单相接地故障时（如 C 相接地），其电路图和相量图如图 2-8 所示。具体分析如下：

(1) 对地电压 C 相接地时，C 相对地电压为零，而 A 相对地电压 $\dot{U}'_A = \dot{U}_A - \dot{U}_C = \dot{U}_{AC}$ ，B 相对地电压 $\dot{U}'_B = \dot{U}_B - \dot{U}_C = \dot{U}_{BC}$ 。由图 2-8 (b) 可知，完好相（A、B 相）的对地电压由正常运行时的相电压升高为线电压，即升高为原对地电压的 $\sqrt{3}$ 倍。所以中性点不接地的电力系统对地电压，应按线电压来考虑。

(2) 电力系统的线电压由图 2-8 可知，电力系统发生单相接地时，线路的线电压

没有变化。

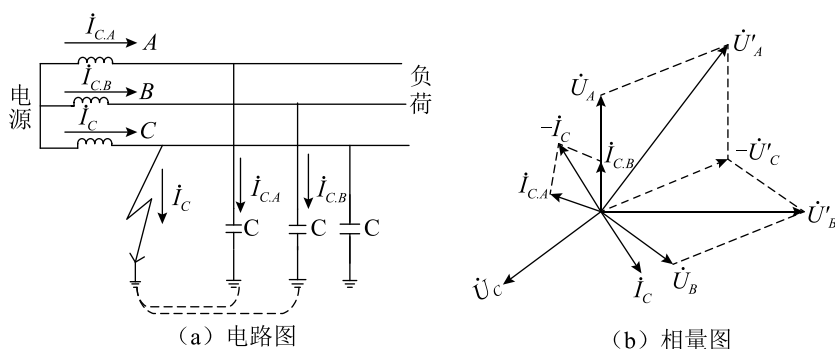


图 2-8 单相接地时的中性点不接地的电力系统

因此三相用电设备的正常工作不会受到影响，三相用电设备仍能照常运行（一般规定为 2h）。但是这种线路不允许在单相接地故障发生的情况下长期运行，因为如果再有一相发生接地故障，就会形成两相接地短路，短路电流很大，这是不允许的。因此在中性点不接地的电力系统中，应该装设专门的单相接地保护或绝缘监视装置，在发生单相接地故障时，给予报警信号，提醒供电值班人员注意，及时处理。当危及人身和设备安全时，单相接地保护装置则应动作于跳闸。

（3）系统的接地电流由图 2-8 可知，当 C 相接地时，系统的接地电流为：

$$\begin{aligned} \dot{I}_C &= -(\dot{I}_{C.A} + \dot{I}_{C.B}) \\ I_C &= \sqrt{3}I_{C.A} = \sqrt{3} \frac{U'_A}{X_C} = \sqrt{3} \frac{\sqrt{3}U_A}{X_C} = 3I_{CO} \end{aligned}$$

说明： $\dot{I}_{C.A}$ 、 $\dot{I}_{C.B}$ 分别为 A 相和 B 相流过电容的电流。

由上可知，单相接地时的接地电容电流为正常运行时每相对地电容电流的 3 倍，且 $\dot{I}_C$ 在相位上超前 $\dot{U}_C$ 90° 。

由于线路对地电容 C 不易准确确定，因此中性点不接地系统的单相接地电容电流通常采用下列经验公式计算：

$$I_C = \frac{U_N(l_{oh} + 35l_{cab})}{350}$$

式中： I_C 为系统的单相接地电容电流（A）； U_N 为系统的额定电压（kV）； l_{oh} 为同一电压 U_N 的具有电气联系的架空线路总长度（km）； l_{cab} 为同一电压 U_N 的具有电气联系的电缆线路总长度（km）。

由以上分析可知，当中性点不接地的电力系统发生单相接地故障时，由于没有良好的电流通路，接地电流很小，而且三相线电压仍然对称，三相用电设备可照常运行，这有利于提高供电的可靠性。目前我国 3 ~ 66kV 系统一般采用中性点不接地的运行方式。

2.4.2 中性点经消弧线圈接地的运行方式

在中性点不接地的电力系统中，当发生单相接地故障时，如果接地电流较大，将在接地点产生断续电弧，这就可能使线路发生电压谐振现象，从而使线路上出现可达相电压 2.5 ~ 3 倍的危险过电压，这可能导致线路上绝缘薄弱处的绝缘击穿。为了防止单相接地时接地点产生断续电弧，引起过电压，因此在单相接地电容电流 I_C 大于一定值（3 ~ 10kV 系统中 I_C 大于 30A，20kV 及以上系统中 I_C 大于 10A）时，电力系统的电源中性点必须采用经消线圈接地的运行方式。

电源中性点经消弧线圈接地的电力系统的电路图和相量图如图 2-9 所示。在正常情况下，三相系统是对称的，中性点电流为零，消弧线圈中没有电流通过。当电力系统发生单相接地时，如图 2-9 所示，流过接地点的总电流是接地电容电流 $\dot{I}_C$ 与流过弧线圈的电感电流 $\dot{I}_L$ 的相量和。由于 $\dot{I}_C$ 超前 $\dot{U}_C$ 90°，而 $\dot{I}_L$ 滞后 $\dot{U}_C$ 90°，所以与 $\dot{I}_L$ 在接地点互相补偿。如果消弧线圈电感选用合适，使接地电流减到小于发生电弧的最小生弧电流时，那么电弧就不会发生，从而也不会产生谐振过电压。

与中性点不接地的电力系统一样，中性点经消弧线圈接地的系统发生单相接地故障时，接地相对地电压为零，三相线电压不变，非故障相对地电压将升高 $\sqrt{3}$ 倍。三相线电压不变，三相用电设备可照常运行，但运行时间同样不允许超过 2h。

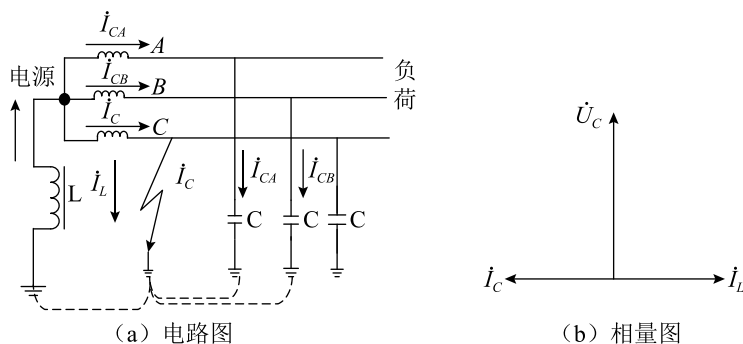
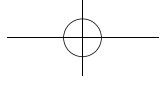


图 2-9 电源中性点经消弧圈接地的电力系统

2.4.3 中性点经电阻接地的运行方式

近年来，在北京地区推广 10kV 电网采用中性点经小电阻接地的供电方式，这主要是因为北京近年来电网发展迅速，配电线路越来越长，而且电力电缆应用的比例越来越大，这就造成在某些区域的电网对地电容电流数值超过数百安培。如果保持传统的三相三线中性点不接地的供电方式，一旦发生单相接地故障，电弧很难熄灭，还会使事故进一步扩大，所以这种方式已经失去了其原来的优点，而容易造成高压触电的缺点却日益严重。



中性点经小电阻接地是指在变压器中性点（或借用接地变压器引出中性点）串接一个电阻器，通过它使单相接地故障时弧光过电压中的电磁能量得到释放，从而使中性点电位降低，故障相恢复电压上升速度也减慢，最终抑制电弧的重燃和电网过电压的幅值，并使有选择性的接地保护得以实现。

2.4.4 中性点直接接地的运行方式

中性点直接接地的电力系统发生单相接地时，通过接地中性点形成单相短路，如图 2-10 所示。短路回路阻抗很小，短路电流相当大，因此在系统发生单相短路时短路保护装置应动作于跳闸，切除接地故障部分，使系统的其他部分恢复正常运行。

中性点直接接地的电力系统发生单相接地时，其他两个完好相的对地电压不会升高，这与上述中性点不接地的电力系统不同。因此，凡是中性点直接接地的系统中的供电、用电设备的绝缘只需按相电压考虑，而无须按线电压考虑。这对 110kV 及以上的超高压系统来说是很有经济技术价值的。因为高压电器特别是超高压电器，其绝缘问题是影响电器设计和制造的关键问题。电器绝缘要求的降低，直接降低了电器的造价，同时改善了电器的性能。

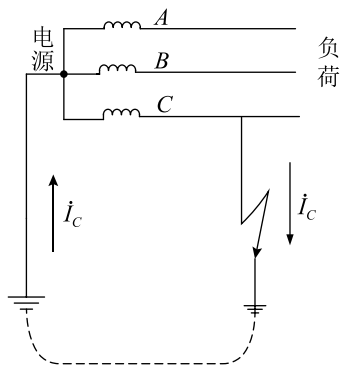


图 2-10 单相接地时的中性点直接接地的电力系统

因此，我国 110kV 及以上的超高压系统的电源中性点通常采用中性点直接接地的运行方式。在低压配电系统中，我国广泛采用的 TN 系统及在国外应用较广泛的 TT 系统，均采用中性点直接接地的运行方式，在发生单相接地故障时，一般能使保护装置迅速动作，切除故障部分，比较安全。如再加装漏电保护器，安全性能会更好。但北京地区 10kV 系统多采用中性点经小电阻接地的运行方式。

2.5 10kV 变电所及其电气主接线

变电所是电力系统的一个重要组成部分，由电器设备及配电网按一定的接线方式