

高速铁路管理人员和专业技术人员培训教材

 科普教材

高速铁路电力供电 知识读本

 中国铁路总公司

GAOSU TIELU DIANLI GONGDIAN
ZHISHI DUBEN

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

高速铁路管理人员和专业技术人员培训教材

科普教材

高速铁路电力供电 知识读本

中国铁路总公司

中国铁道出版社

CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

本书为中国铁路总公司组织编写的高速铁路管理人员和专业技术人员培训教材之一,是供电专业科普教材。全书共6章,主要包括:电力系统相关知识、铁路电力变配电所、电力线路及沿线箱式变电站、继电保护与变电所自动化系统、高速铁路供电调度自动化系统和武广高铁电力供电系统等。

本书适用于高速铁路供电专业技术人员培训,也可供高速铁路相关专业管理人员学习,对各类职业院校相关师生学习也有重要的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

高速铁路电力供电知识读本/中国铁路总公司编著.

—北京:中国铁道出版社,2014.6

高速铁路管理人员和专业技术人员培训教材

ISBN 978-7-113-17093-6

I. ①高… II. ①中… III. ①高速铁路-电力系统-教材 IV. ①U238

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 185389 号

书 名: 高速铁路管理人员和专业技术人员培训教材
 高速铁路电力供电知识读本
作 者: 中国铁路总公司

责任编辑:黄 璐 编辑部电话:(路)021-73138 电子信箱:tdpress@126.com
(市)010-51873138

封面设计:崔丽芳
责任校对:马 丽
责任印制:陆 宁 高春晓

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址:<http://www.tdpress.com>

印 刷:中煤涿州制图印刷厂北京分厂

版 次:2014年6月第1版 2014年6月第1次印刷

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:9.5 字数:234 千

书 号:ISBN 978-7-113-17093-6

定 价:33.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

前 言

党的十六大以来,在党中央、国务院的正确领导下,我国铁路事业得到了快速发展,目前,中国高速铁路运营里程已经位居世界第一。在建设和运营实践中,我国高速铁路积累了丰富的经验,取得了大量创新成果。将这些经验和成果进行系统总结,编写形成规范的培训教材,对于提高培训质量、确保高速铁路安全有着十分重要的意义。为此,中国铁路总公司组织相关专业的技术力量,统一编写了这套高速铁路管理人员和专业技术人员培训系列教材。

本套培训教材共分高速铁路行车组织、机务、动车组、供电、工务、通信、信号、客运 8 个专业,每个专业分为科普教材、专业关键技术教材和案例教材三大系列。科普教材定位为高速铁路管理人员普及型读物,对本专业及相关专业知识进行概论性介绍,学习后能够基本掌握本专业所需的基本知识、管理重点、安全关键;专业关键技术教材定位为高速铁路专业技术人员使用的学习用书,对本专业关键技术进行系统介绍,学习后能够初步掌握本专业新技术和新设备的运用维护关键技术。案例教材定位为高速铁路岗位人员学习用书,对近年来中国高速铁路运营实践中发生的典型案例及同类问题的处理方法进行总结归纳,学习后能为处理同类问题提供借鉴。

本书为供电专业科普教材《高速铁路电力供电知识读本》。全书共 6 章,主要内容包括:第 1 章概要介绍了电力系统的相关知识,简述了高速铁路电力供电系统的特点及与普速铁路的区别。第 2 章主要对铁路电力变配电所进行介绍,内容包括变配电所外部电源、电气主接线和高压设备。第 3 章介绍电力线路及沿线箱式变电站,着重介绍了高速铁路大量采用的电缆贯通线基本概念、补偿措施和单芯电力电缆金属护层接地方式,并对箱式变电站的分类、组成及特点做了说

Preface

明。第4章介绍了继电保护与变电所自动化系统,概要说明了继电保护的基本任务和相关保护原理,介绍了微机保护装置和变配电所自动化系统的组成。第5章介绍了高速铁路供电调度自动化系统,内容涉及调度自动化系统的基本概念、通信系统和调度端系统。第6章简要介绍了武广高铁电力供电系统。

本书由韩正庆主编,周伟、马珂、黄彦全主审。参加编写的人员有:韩正庆(第1章和第4章)、张丽(第2章)、易东(第3章1~3节)、邓军(第3章第4节)、刘军(第5章)、蒋明(第6章),全书由韩正庆统稿。参加审定的人员有:陈修正、陈红英、宋新江、范华、张韬、李轶群、徐波、牟赞、陆云、左平、张忠权、左光联、王颢、张本川。本书编写过程中,还得到了来自中国铁路总公司、各铁路局、各设计院多位专家的大力支持与帮助,在此一并表示衷心感谢!

由于近年来高速铁路技术发展较快,同时编者的水平及精力所限,本书内容不全面、不恰当甚至错误的地方在所难免,热忱欢迎使用本书的广大读者以及行业内专家学者对本书提出批评、指正意见,以便编者对本书内容不断地改进和完善。

编者

二〇一三年六月

目 录

1 概 述	1
1.1 电力系统概述	1
1.1.1 电力系统组成	1
1.1.2 供电电压的选择和调整	3
1.1.3 电力系统中性点运行方式	6
1.2 铁路电力供电系统	9
1.2.1 铁路供电方式	9
1.2.2 铁路负荷	11
1.3 高速铁路电力供电系统	11
1.3.1 高速铁路电力供电系统的构成	11
1.3.2 高速铁路用电负荷及供电要求	13
1.4 高速铁路电力供电系统与普速铁路的主要区别	14
2 变配电所	19
2.1 变配电所外部电源	19
2.2 变配电所电气主接线	19
2.2.1 电气主接线的基本要求	19
2.2.2 高速铁路配电所主接线	19
2.3 变配电所高压设备	22
2.3.1 电力变压器与调压变压器	22
2.3.2 电抗器	26
2.3.3 小电阻接地装置	26
2.3.4 GIS 高压开关柜	26
2.3.5 低压智能型模数化组合开关柜	33
3 电力线路及沿线箱式变电站	36
3.1 电力贯通线	36
3.1.1 电力电缆优缺点	37
3.1.2 电力电缆的种类	37
3.1.3 非磁金属铠装单芯铜芯电缆	40
3.1.4 高速铁路电力贯通线采用单芯电缆原因	41
3.1.5 高速铁路电力电缆敷设方式	42

Contents

3.2	电缆线路的补偿	43
3.3	单芯电力电缆金属护层接地方式	44
3.3.1	接地方式介绍	44
3.3.2	电缆护层保护器	46
3.3.3	单芯电缆贯通线护层接地方式选取	47
3.4	10/0.4 kV 箱式变电站	48
3.4.1	箱变的分类及常见结构	48
3.4.2	箱变的组成	49
3.4.3	箱变的主要技术特点	61
4	继电保护与变配电所自动化系统	63
4.1	故障与继电保护	63
4.2	对继电保护的要求	64
4.2.1	继电保护的 task 与保护范围	64
4.2.2	继电保护的 four 基本要求	66
4.3	继电保护基本原理	67
4.3.1	过电流保护	67
4.3.2	差动保护	70
4.3.3	瓦斯保护	71
4.3.4	自动重合闸	72
4.3.5	备用电源自动投入功能	74
4.4	微机保护装置	76
4.4.1	硬件系统	77
4.4.2	软件系统	78
4.4.3	提高微机保护装置可靠性的措施	79
4.5	变配电所自动化系统	81
4.5.1	系统概述	81
4.5.2	通信子系统	85
4.5.3	站控层子系统	98
4.5.4	铁路电力变配电所间隔层设备	104
5	高速铁路供电调度自动化系统	107
5.1	概 述	107
5.1.1	基本结构	107
5.1.2	主要任务	108
5.1.3	调度端主要性能指标	109

5.2 通信系统	109
5.3 高速铁路供电综合调度系统	112
5.3.1 系统总体构成	112
5.3.2 系统监控内容	113
5.3.3 调度端硬件构成	114
5.3.4 调度端平台软件	116
5.3.5 主要功能	117
5.3.6 远动通道	128
5.4 小 结	134

6 武广高铁电力供电系统简介	135
-----------------------------	------------

参考文献	144
-------------------	------------

1 概 述

与原煤、原油、天然气、水能、风能等自然界存在的一次能源不同,电是由电力工业加工转换后得到的二次能源。电力工业是国民经济的一个重要组成部分,它为工业、农业、交通运输和城市等提供能源。由于电能易于控制、输配简单、经济且便于转变成其他形式的能量(机械能、光能、热能、化学能等),电能已广泛应用到社会生产的各个领域和社会生活的各个方面。可以说,电是现代文明的血液,我们的生活和工作都离不开它。

铁路电力的主要作用是为铁路地面设施(除机车、动车动力电源外)提供供电电源,主要供电对象是铁路沿线信号、车站、调度指挥、通信、旅客服务等设施,是铁路运输的重要组成部分。随着铁路现代化发展的,自动闭塞信号、车站计算机联锁、调度集中、通信系统等设备大量使用,一旦突然停电,就可能造成运输阻塞,甚至造成列车颠覆、旅客伤亡等事故。因此,安全、可靠、经济、合理地电气化铁路供、配电是实现铁路运输安全、可靠的重要保证和基础。

为确保铁路电力的安全、可靠供应,铁路优先从国家电网取得有限、可靠的电源,并以贯通线形式自建供电网络,构成铁路电力系统,将电能分配、输送至铁路各个用电地点。

1.1 电力系统概述

1.1.1 电力系统组成

由发电机、变压器、变换器、电力线路及各种用电设备等联系在一起组成的统一整体称为电力系统。一个完整的电力系统由分布在各地各种不同类型的发电厂、升压和降压变电所、输电线路和电力用户组成,图 1-1 是一大型电力系统的示意图。该系统起着电能的生产、输送、分配和消费的作用。

(1) 发电厂

发电厂是生产电能的工厂,它是把非电形式的能量转换成电能。发电厂的种类很多,根据所利用能源的不同分为火力发电厂、水力发电厂、原子能发电厂、地热发电厂、潮汐发电厂,以及风力发电、太阳能发电等。为了获取能源方便,发电厂多数是建造在燃料、水力等资源丰富的地方。

(2) 变电所

变电所是变换电压和分配电能的场所,由电力变压器和配电装置所组成。它的类型除按升压、降压分类外,还可按设备布置的地点分为户外变电所和户内变电所及地下变电所等。若按变电所的容量和重要性又可分为枢纽变电所、中间变电所和终端变电所。枢纽变电所一般容量较大,处于联系电能系统各部分的中枢位置,地位重要,如图 1-1 中 A 为枢纽变电所。中间变电所则处于发电厂和负荷中心之间,从这里可以转送或抽引一部分负荷,如图 1-1 的变电所 B。终端变电所一般是降压变电所,它只负责供应一个局部地区或一个

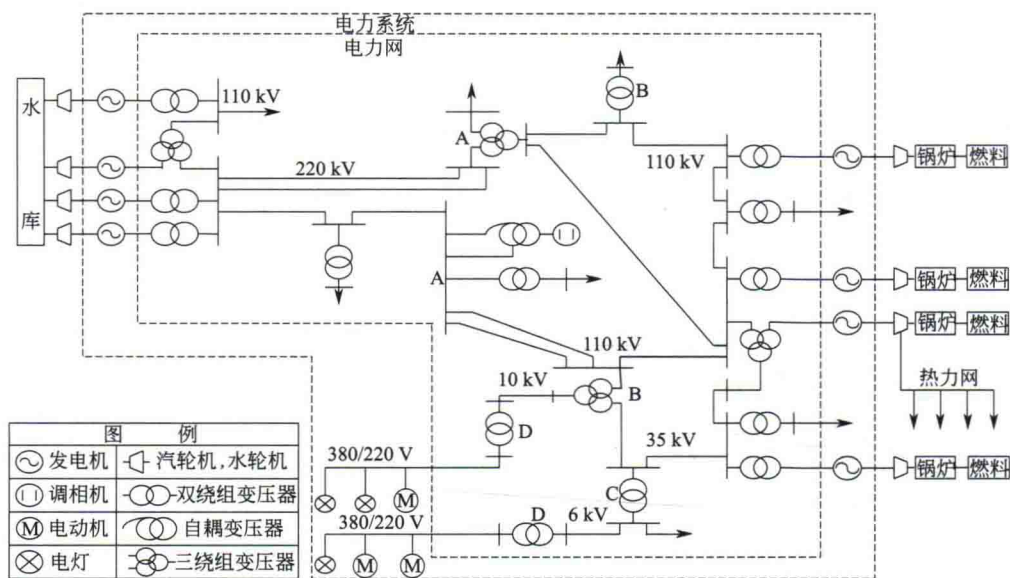


图 1-1 电力系统示意图

用户的负荷而不承担功率的转送,如图 1-1 所示的 C、D。对于仅装有受、配电设备而没有电力变压器的称为配电所。

(3) 电力网

电力网是联系发电厂和用户的中间环节,由变电所和各种不同电压等级的电力线路所组成。其作用是输送和分配电能。在电力网中包括输电网和配电网。输电网是将发电厂发出的电能升压后通过输电线送到邻近负荷中心的枢纽变电所。输电线还有联络相邻电力系统的作用。配电网则是将电能从高压变电所降压后分配到用户去的电力网部分。

一个大的电力网总是由许多子电力网发展、互联而成,因此分层结构是电力网的一大特点。一般的电力网可划分为输电网、二级输电网、高压配电网和低压配电网,如图 1-2 所示。

输电网一般由电压为 220 kV 以上的主干电力线路组成,它连接大型发电厂、特大用户以及相邻子电力网。二级输电网的电压一般为 110~220 kV,它上接输电网,下连高压配电网,是一个区域性的网络,连接区域性的发电厂和大用户。配电网是向中等用户和小用户供电的网络,6~35 kV 的称为高压配电网,1 kV 以下的称低压配电网。

随着对用电量和供电质量要求的不断提高,电力系统的规模日益扩大。组成大型电力系统有以下优点:

① 发电量不受地方负荷的限制,可以增大单台机组容量,充分利用地方自然资源,提高发电效率,降低电能成本。

② 利用各类电厂工作特点(水电站的多水和枯水季节、火电厂热能的充分利用),合理地分配负荷,使系统在最经济的条件下运行。

③ 可以在降低系统备用机组容量情况下,还能确保对用户供电的可靠性。

世界各国都在不断地扩大自己的电力系统,大多数工业发达国家,都建立了自己的全国统一电力系统,相邻国家间还建立了跨国联合电力系统。我国电力系统正在组织实施“一特四大”战略,即通过建设以特高压电网为骨干网架的坚强智能电网,促进大水电、大煤

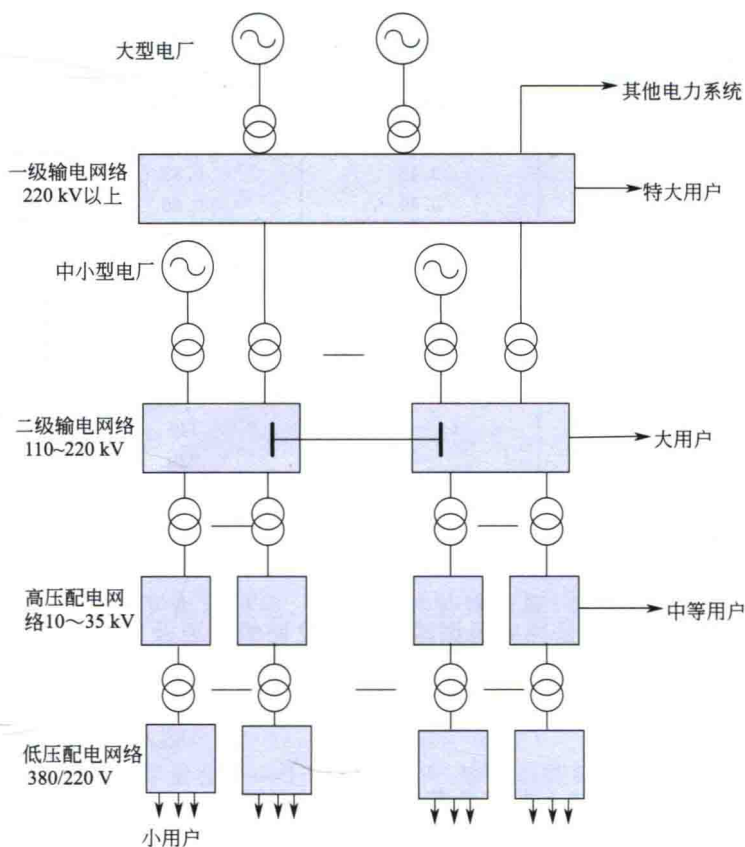


图 1-2 电力网的结构

电、大核电、大型可再生能源发电基地的集约化发展,实现更大范围内能源资源优化配置。其中,特高压是指交流 1 000 kV 及以上和直流正负 800 kV 以上的电压等级。特高压电网具有远距离、低损耗、大功率输送电能的特点,对于减少能源损耗、优化电网结构将发挥重大作用。我国首个 1 000 kV 晋东南—南阳—荆门特高压交流试验示范工程已经建成并运行。

大电力系统的优点是十分明显的,但应该看到,大电力系统内部相互之间的联系愈来愈紧密,自动化程度也愈来愈高,一旦系统内部发生故障而未及时排除,可能会涉及整个系统,造成大面积停电,其后果也是十分严重的。20 世纪 60 年代,欧美、日本等一些地区相继发生了大面积停电,造成了重大的经济损失。2003 年 8 月,美国东北部、中西部和加拿大南部发生的大面积停电,导致 100 多台发电机关闭,波及许多城市,给当地交通、通信和居民生活造成了严重影响。其中,仅美国纽约地区的停电就给美国经济造成了 300 亿美元的损失。因此,对大电力系统还需进行全面的,对系统内的紧密联系关系进行认真仔细的探讨,以保证电力系统的运行安全。

1.1.2 供电电压的选择和调整

1. 电力系统的额定电压

根据我国国民经济的发展,考虑到技术上和经济上的合理性,并使电气设备生产标准化和系列化,我国颁布的三相交流电网和电力设备额定电压的国家标准见表 1-1。

表 1-1 我国三相交流电网和电力设备的额定电压

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	0.4
	0.66	0.69	0.66	0.69
高压	3	3.15	3 及 3.5	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	13.8,15,75,18,20	—
	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

电力线路的额定电压等级是国家根据国民经济发展的需要及电力工业的水平,经全面技术经济分析后确定的,它是确定各类用电设备额定电压的基本依据。

(2) 用电设备的额定电压

用电设备运行时,电力线路上要有负荷电流流过,因而电力线路上引起电压损耗,造成电力线路上各点电压略有不同,如图 1-3 所示。但成批生产的用电设备,其额定电压不可能按使用地点的实际电压来制造,而只能按线路首端与末端的平均电压即电力线路的额定电压来制造。所以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。

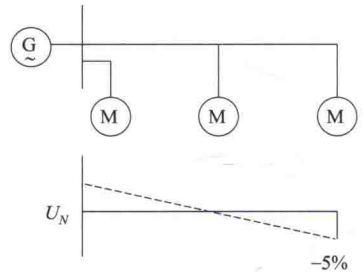


图 1-3 用电设备和发电机的额定电压

(3) 发电机的额定电压

由于同一电压的线路允许电压损耗为 $\pm 5\%$,即整个线路允许有 10% 的电压损耗,因此为了维持线路首端与末端平均电压的额定值,线路首端(电源端)电压应比线路额定电压高 5% ,而发电机是接在线路首端的,所以规定发电机的额定电压高于同等级线路额定电压 5% ,用以补偿线路上的电压损耗。

(4) 电力变压器的额定电压

① 电力变压器(以下简称为变压器)一次绕组的额定电压是指当变压器直接与发电机相连时(图 1-4 中变压器 T1),则

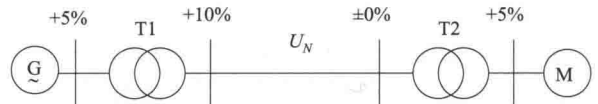


图 1-4 变压器的额定电压

其一次绕组的额定电压应与发电机额定电压相同,即高于同级线路额定电压 5% 。当变压器不与发电机相连而是连接在线路上时(图 1-4 中变压器 T2),则可将变压器看做是线路上的用电设备,因此其一次绕组额定电压应与线路额定电压相同。

② 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而二次绕组开路时的电压,即空载电压。而变压器在满载运行时,二次绕组内约有 5% 阻抗电压降。因此分两种情况:

a. 如果变压器二次侧供电线路很长(例如较大容量的高压线路),则变压器二次绕组额定电压一方面要考虑补偿变压器二次绕组本身 5% 的阻抗压降;另一方面还要考虑变压器满载时输出的二次电压要满足线路首端要高于线路的额定电压 5%,以补偿线路上的电压损耗。所以,变压器二次绕组的额定电压要比线路的额定电压高 10%,如图 1-4 中变压器 T1 所示。

b. 如果变压器二次侧供电线路不长(例如低压线路,或直接供电给高、低压用电线路),则变压器二次绕组的额定电压只需高于二次侧线路额定电压 5%,仅考虑补偿变压器内部 5% 的阻抗压降,如图 1-4 中变压器 T2 所示。

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

2. 供电电压的选择

供、配电电压主要取决于地区电网的电压、用电设备的总容量和输送距离等几个方面的因素。

对于一般无高压用电设备的小型工厂,设备容量在 100 kW 以下、输送电能距离在 600 m 以内的,可采用 380 V/220 V 电压供电。对于一些特殊车间,如潮湿、易燃、易爆等高度危险的厂房内,应根据有关规定,局部采用安全电压供电,并应采取相应的防爆措施。

对于中小型工厂,设备容量在 100~2 000 kW、输送电能距离在 4~20 km 以内的,可采用 6~10 kV 电压供电。

对于大中型工厂,设备容量在 1 000~5 000 kW、输送电能距离在 20~150 km 以内的,可采用 35~110 kV 电压供电。

低压配电电压的选择主要取决于低压用电设备的电压,一般采用 380 V/220 V。但某些场合宜采用 660 V 甚至更高的 1 140 V 作为低压配电电压,例如矿井井下。

对于生活用电基本上都采用 380 V/220 V 电压供电。

确定供电电压时,应对各种方案的技术和经济指标进行全面比较。在输送功率和距离一定时,选用电压越高,电压和电能损失就越小,电压质量越容易保证,导线可以选用较小截面,发展增容余地大。但是线路绝缘等级增高,塔杆尺寸加大,增加了一次性投资。所以要权衡各方面的利弊,选择比较合适的电压等级。

3. 供电电压偏差与调整

供电系统负荷的变化,使供电系统的电压损失也随着变化。负荷最大时,系统电压损失增大,用户端电压降低;负荷减小时,系统电压损失减小,用户端电压升高。当系统电压偏移超过允许值时,将导致用电设备运行特性恶化。

铁路电力供电允许的电压偏差为:

(1)从电力系统取得的 10 kV 及以下电源,应采取稳压措施,供至用电设备前的电源电压允许偏差值不得大于额定电压的 $\pm 5\%$ 。

(2)正常运行情况下,10 kV 线路自供电变压器二次侧出口至线路末端变压器一次侧入口的允许电压偏差值不得大于线路额定电压的 $\pm 5\%$ 。

(3)正常运行情况下,用电设备端子处电压偏差允许值(以用电设备额定电压百分数表示)应符合下列要求:

①电动机为 $\pm 5\%$ 。

②照明:一般工作场所为 $\pm 5\%$;当工作场所远离变电所难以满足上述要求时可为 $_{-10\%}^{+5\%}$;应

急照明、道路照明和警卫照明等为 $+5\%$ 。
 -10% 。

③其他用电设备当无特殊规定时为 $\pm 5\%$ 。

为保证较好的电压质量,满足用电设备对电压偏移的要求,可采用下列方法调整电压:

(1)正确选择变压器的变压比和分接头,使变压器的二次绕组输出电压高于用电设备的额定电压,高出的电压可以补偿线路的电压损失,使电压偏移不超出允许范围。

调压方式可分为无载调压和有载调压两种:

①无载调压。当供给变压器的电压不符合一次绕组的额定电压时,通过调整一次绕组上的分接头,可使二次绕组的电压接近额定电压。此种调压只适于具有停电条件的供给季节性用户的变配电所,或多台变压器并列运行且允许经常切换操作的变配电所。

②有载调压。为了保证连续供电和达到自动调压的目的,有条件的大中型工厂的总降压变配电所可安装有载调压变压器,以调整电压。铁路电力只有贯通线能够调整电网电压。

(2)合理选择导线截面积,减小系统阻抗,以减小线路电压损失。

(3)尽量使三相负荷平衡。三相负荷不平衡将产生不平衡电压,从而加大了电压偏移。

(4)可用并联电容器、同步调相机和静止补偿器改变供电系统无功功率的分布,减少线路的电压损失,提高用户端电压,以达到调压的目的。

1.1.3 电力系统中性点运行方式

电力系统的中性点是指发电机和变压器的中性点。考虑到电力系统运行的可靠、安全、经济及人身安全等因素,中性点常采用不接地、直接接地、经消弧线圈接地和经电阻接地等运行方式。

1. 中性点不接地方式

中性点不接地方式,即电力系统的中性点不与大地相接。电力系统的三相导线对地都有分布电容,这些电容在导线中引起了附加电流。在正常运行时,各相对地电容电流相位相差 120° ,其向量之和为零。所以中性点没有电流流过,对地电位亦为零。如图 1-5 所示。

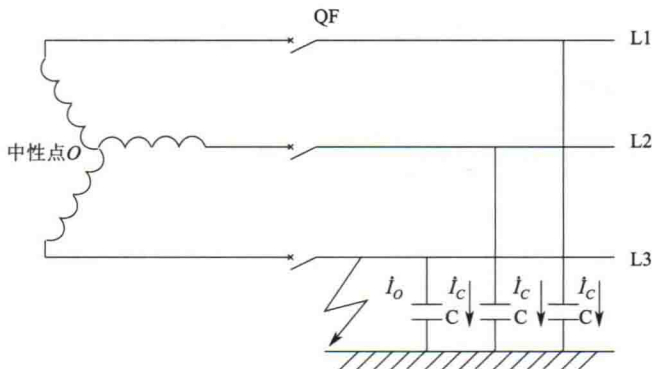


图 1-5 中性点不接地系统

优点:该方式结构简单、运行方便,不需要增加附加电力设备,发生单相接地时,三相用电设备能正常工作,允许暂时继续运行 2 h,单相接地故障电容电流 $I_c < 10$ A 时,故障点电弧可以自熄,熄弧后故障点绝缘自行恢复,供电可靠性相对较高,对通信干扰小。

缺点:系统发生金属性单相接地时,其他两相对地电压升高到线电压,是正常时的 $\sqrt{3}$ 倍,单相接地故障电容电流 $I_c > 10$ A 时,接地电弧难以自熄,可能产生间歇性弧光过电压,且持续

时间长,危及设备安全,因此对绝缘要求高,增加绝缘成本。

适用于单相接地故障电容电流 $I_c < 10$ A,供电线路以架空为主的线路。

2. 中性点直接接地方式

在电力系统中采用的中性点直接接地方式即把中性点直接和大地相接。这种方式可以防止中性点不接地系统中单相接地时产生的间歇电弧过电压。在这种系统中,发生单相接地时,短路点和中性点构成回路,产生很大的短路电流,使保护装置动作或熔断器熔丝熔断,以切除故障。因而又称这种系统为大电流接地系统。如图 1-6 所示。

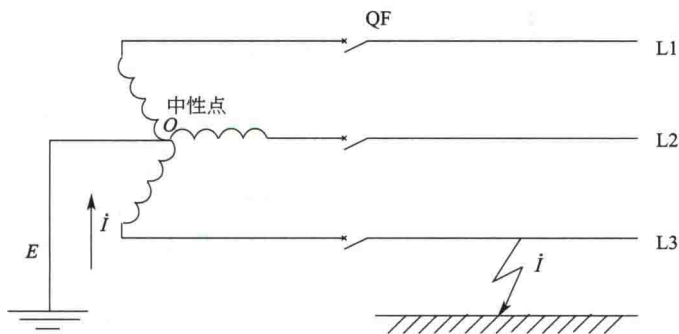


图 1-6 中性点直接接地系统

优点:该系统运行中若发生一相接地故障时,就形成单相接地短路,线路上将流过很大的短路电流,使线路保护装置迅速动作,断路器跳闸切除故障。大电流接地系统在发生单相接地故障时,中性点电位仍为零,非故障相对地电压基本不变,因此降低绝缘成本,保证设备安全。

缺点:发生单相接地故障时,不允许电网继续运行,防止短路电流造成较大的损失,因此可靠性不如小电流接地系统。其次中性点直接接地系统在运行中若发生单相接地故障时,其接地点还会产生较大的跨步电压和接触电压。第三,中性点直接接地系统单相接地故障时产生的接地电流较大,对通信系统的干扰影响也大,特别是当电力线路与通信线路平行走向时,由于耦合产生感应电压,对通信造成干扰。

3. 中性点经消弧线圈接地方式

在中性点不接地系统中,当单相接地电流超过规定数值时,电弧不能自行熄灭,一般采用经消弧线圈接地措施减小接地电流,使故障电弧自行消灭。这种措施叫中性点经消弧线圈接地方式。如图 1-7 所示。这种系统和中性点不接地系统在发生单相接地故障时,接地电流都较小,故通常统称为小电流接地系统。

优点:该方式有着中性点不接电方式的主要优点,同时在于其能迅速补偿中性点不接地系统单相接地时产生电容电流,减少弧光过电压的发生。因为消弧线圈是一个具有铁芯的可调电感,当电网发生接地故障时,接地电流通过消弧线圈时呈电感电流,对接地电容电流进行补偿,使通过故障点的电流减小到能自行熄弧的范围。而当电流过零而电弧熄灭后,消弧线圈尚可减少故障相电压的恢复速度,从而减少了电弧重燃的可能,有利于单相接地故障的消除。因而进一步提高了供电的可靠性。

缺点:中性点经消弧线圈接地系统的缺点主要在于零序保护无法检出接地的故障线路。当系统发生接地时,由于接地点残流很小,且根据规程要求消弧线圈必须处于过补偿状态,接地线路和非接地线路流过的零序电流方向相同,故零序过流、零序方向保护无法检测出已接地

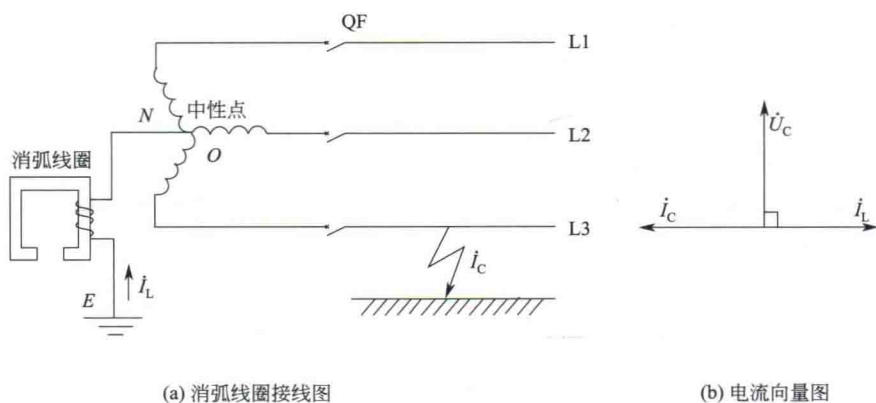


图 1-7 中性点经消弧线圈接地系统

的故障线路。其次，消弧线圈本身是感性元件，与对地电容构成谐振回路，在一定条件下能发生谐振过电压。第三，中性点经消弧线圈接地仅能降低弧光接地过电压的概率，还是不能彻底消除弧光接地过电压，也不能降低弧光接地过电压的幅值。

目前在 35~60 kV 的高压电网中多采用这种接地方式。在 35 kV 电网中，单相接地电流大于 5 A；在 6~10 kV 电网中，单相接地电流大于 30 A，其中性点均要求采用经消弧线圈接地方式。我国高速铁路少部分电力供电系统也采用这种接地方式。

4. 中性点经电阻接地

我国中性点经电阻接地的系统都是为了切除有故障线路，仍属于非直接接地系统，只是暂时过电压持续时间较短，绝缘水平可以按接地系统选取。无间隙金属氧化物避雷器的额定电压也按有效接地系统选择。中性点经电阻接地的方式有大电阻接地和小电阻接地两种。

(1)中性点经大电阻接地。对 1 s 或 2 s 以内选择切除故障线路的非直接接地系统，可采用大电阻接地，大电阻接入接地变压器中性点。

(2)中性点经小电阻接地。对电缆供电的系统，由于电容电流很大，采用消弧线圈接地困难时，可采用小电阻接地。在满足继电保护灵敏度的前提下尽量增大电阻值，以减小电阻的热容量。

优点：中性点经电阻接地系统是在中性点与大地之间接入一定电阻值的电阻。该电阻与系统对地电容构成并联回路，由于电阻是耗能元件，也是电容电荷释放元件和谐振的阻压元件，对防止谐振过电压和间歇性电弧接地过电压起到很大的作用。另外采用电阻接地方式的变电所当发生一相金属性接地后，其他相电压上升至线电压，接地跳开后，三相电压迅速恢复到正常值，接地点电流值由系统电容电流的大小和中性点电阻值共同决定。在发生非金属性接地时，受接地点电阻的影响，流过接地点和中性点的电流比金属性接地时有显著降低，同时，健全相电压上升也显著降低，零序电压值约为单相金属性接地的一半。由此可见，采用中电阻接地方式能在单相接地故障时产生限流降压作用，对设备绝缘等级要求较低，其耐压水平可以按相电压来选择。

缺点：中性点经电阻接地系统的缺点在于接地点的电流较大，当零序保护动作不及时或拒动时，将使接地点及附近的绝缘受到更大的危害，导致相间故障发生。此外当发生单相接地故障时，无论是永久性的还是非永久性的，均作用与跳闸，使线路的跳闸次数大大增加，影响了用户的正常供电，使其供电的可靠性下降。

5. 铁路贯通线路中性点接地方式的选择

长期以来我国普速铁路 10 kV 贯通线路采用架空方式为主,电缆线路为辅,调压器容量较小,电容电流小,一般情况下单相接地故障电容电流 $I_C < 30$ A。不接地系统的优点可以在单相接地情况下维持运行 2 h,而且在发生单相接地时三相线电压不变,能够可靠满足铁路运行需求,因此选用中性点不接地方式。

随着高速铁路建设发展,电力贯通线路大量使用电缆敷设,而且大部分供电臂全程采用电缆供电,调压器容量也增加了许多,这样使得系统单相接地电容电流不断增加,对系统中性点接地有了不同的需求,为此《高速铁路设计规范》对中性点接地方式做了明确的规定。

《高速铁路设计规范》12.2.9 明确规定经调压器供电的 10 kV 电力贯通线路,其系统中性点接地方式应综合考虑供电可靠性、线路形式、设备绝缘水平、继电保护要求和通信信号线路抗干扰要求等因素确定,并应符合下列规定:

(1)当系统单相接地故障电容电流不大于 30 A 时,中性点可采用不接地系统,故障电容电流通过中性点接地的电抗器补偿。

(2)当系统单相接地故障电容电流不大于 150 A 时,可采用小电阻接地方式或消弧线圈接地方式;当系统电容电流大于 150 A 时,宜采用小电阻接地方式。

(3)全电缆线路宜采用小电阻接地方式。

(4)小电阻接地方式的接地电阻宜按单相接地电流 200~400 A、接地故障瞬时跳闸方式选择。

1.2 铁路电力供电系统

铁路电力系统是由公共电网供电、铁路部门自行管理的电力网络,主要由铁路沿线变配电所(站)、贯通电力线路和自动闭塞电力线路、低压变配电系统及配套电力设施组成,担负着为铁路沿线运输生产和生活供电的任务。从大的范围来看,铁路电力系统工作于公共电网的末端,属于电力系统发电、输电、供电三个环节中的供配电环节。

1.2.1 铁路供电方式

我国普速铁路电力系统伴随着国家电网建设和铁路建设得到不断发展,从每个车站分别接引地方电源的“点式”供电,发展到站区、枢纽集中配电的“枢纽环形”供电;再发展到以自动闭塞、电力贯通线为骨架,辐射铁路区域内各级用户的“网络”供电,铁路电力系统的供电质量和可靠性不断增强,不再受单路电源停电、线路单点故障的影响。

(1)“点式”供电(50~80 年代初,见图 1-8)

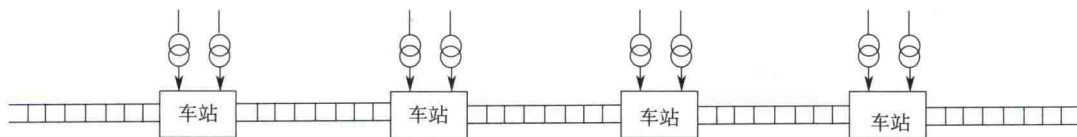


图 1-8 “点式”供电示意图

每个车站(或铁路用电负荷点)从地方电力部门接引电源。从整个铁路供电系统看,一是接取电源数量多,这么多的用电点均取得两路可靠电源比较困难;二是可靠性不高,不能保证所有电源均不停电。而铁路特点是即使一个站停电,整个铁路运输将受到影响。