

铁路职业教育铁道部规划教材

高压电气设备维护与检修

GAOYADIANQISHEBEIWEIHUYUJIANXIU

TIELU ZHIYE JIAOYU TIEDAObU GUIHUA JIAOCAI

杨扩武 主编

高职

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



铁路职业教育铁道部规划教材

(高 职)

高压电气设备维护与检修

杨扩武 主 编

董文海 主 审

中国铁道出版社

2008年·北京

内 容 简 介

本书为铁路职业教育铁道部规划教材。全书共十章,第一章介绍电力系统和电力牵引供电系统概述。第二章到第九章介绍牵引变电所的主要电气设备和配电装置,包括高压断路器及其操动机构;隔离开关及其操动机构;熔断器;互感器;绝缘子、母线及电缆;并联补偿电容;防雷与接地装置;主接线及配电装置。第十章介绍了牵引变电所值班运营和设备维护常识。

本书是高职院校电气化铁道供电专业学生用教材,也可作为高职供用电专业参考教材,同时还可作为从事电气化铁道供电专业的工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

高压电气设备维护与检修 / 杨扩武主编. —北京:中国铁道出版社,2008.8

铁路职业教育铁道部规划教材. 高职
ISBN 978-7-113-09123-1

I. 高… II. 杨… III. 高压电器—维修—高等学校: 技术学校—教材 IV. TM510.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 129753 号

书 名:高压电气设备维护与检修
作 者:杨扩武 主编

责任编辑:武亚雯 电话:010-51873133 电子信箱:td51873133@163.com
编辑助理:阚济存
封面设计:陈东山
责任校对:张玉华
责任印制:金洪泽 陆 宁

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

网 址:<http://www.tdpress.com>

印 刷:北京海淀五色花印刷厂印刷

版 次:2008年8月第1版 2008年8月第1次印刷

开 本:787mm×1092mm 1/16 印张:13.5 字数:340千

书 号:ISBN 978-7-113-09123-1/U·2309

定 价:26.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部调换。

电 话:市电(010)51873170,路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)63549504,路电(021)73187

前 言

本书由铁道部教材开发小组统一规划,为铁路职业教育规划教材。本书是根据铁路职业教育电气化铁道供电专业高职教学计划“高压电气设备维护与检修”课程教学大纲编写的,由铁路职业教育电气化铁道供电专业教学指导委员会组织,并经铁路职业教育电气化铁道供电专业教材编审组审定。

本教材共分十章,内容有:电力系统概述;高压断路器及其操动机构;隔离开关及其操动机构;熔断器;互感器;绝缘子、母线及电缆;并联补偿电容;防雷与接地;电气主接线及高压配电装置;牵引变电所运行及维护。教材中对牵引变电所主要电气设备的结构、工作原理、运行维护常识进行了阐述,并对牵引变电所值班运行、日常维护、检修作业常识进行了介绍。考虑到铁路企业的重组和改革,教材中对电力配电的一些主要设备也简单地作了介绍。

本书由西安铁路职业技术学院杨扩武主编,北京铁路电气化学校董文海主审。

本书在编写过程中,得到了陕西电力设计院、西安铁路局机务处、西安供电段、宝鸡水电段等单位的大力支持和帮助,在此深表谢意。

由于编者对电气化铁道供电设备资料了解有限,加上水平有限,不全面、不妥和错误在所难免,欢迎广大读者提出宝贵意见和建议。

编 者
2008 年 5 月

目 录

第一章 电力系统概述	1
第一节 电力系统概述	1
第二节 电力系统中性点的运行方式	3
第三节 电力牵引供电系统概述	7
复习思考题	14
第二章 高压断路器及其操动机构	15
第一节 电弧的形成、燃烧和熄灭	15
第二节 高压断路器概述	18
第三节 少油断路器	20
第四节 SF ₆ 断路器	29
第五节 真空断路器	41
第六节 断路器的操动机构	57
复习思考题	73
第三章 高压隔离开关及其操动机构	75
复习思考题	82
第四章 熔断器	83
第一节 熔断器的作用及工作原理	83
第二节 高压熔断器	85
第三节 低压熔断器	88
复习思考题	90
第五章 互感器	91
第一节 电流互感器	92
第二节 电压互感器	101
复习思考题	110
第六章 绝缘子、母线及电缆	111
第一节 绝缘子	111
第二节 母线	117
第三节 电缆	119
复习思考题	122
第七章 并联补偿电容	123
第一节 补偿电容的作用及工作原理	123

第二节 并联补偿电容的接线	125
第三节 并联补偿电容的保护	127
第四节 电容器的结构及运行维护	129
复习思考题	132
第八章 防雷与接地	133
第一节 雷电的放电过程	133
第二节 避雷针和避雷线的保护范围	135
第三节 避雷器	138
第四节 接地装置的基本概念	144
第五节 接地电阻的允许值	146
第六节 牵引变电所的接地装置	149
复习思考题	154
第九章 电气主接线及高压配电装置	155
第一节 电气主接线概述	155
第二节 牵引变电所一次侧的电气主接线	158
第三节 牵引侧电气主接线	165
第四节 牵引变电所电气主接线举例	169
第五节 高压配电装置	175
复习思考题	185
第十章 牵引变电所运营管理	186
第一节 牵引变电所的值班管理	186
第二节 牵引变电所的检修作业	199
第三节 牵引变电所常见故障处理	205
复习思考题	210
参考文献	210

第一章

电力系统概述

第一节 电力系统概述

电力系统是指由发电厂、输送线路、变配电设备和用电设备组成的进行电能生产、输送和应用的整体。

电力由于其生产、输送和应用较其他能源方便,因而在诸多能源中电力发展最快,应用最为广泛。电力系统的结构和发展与经济密切相关,地方经济的发展为电力系统提供了广阔的市场,必然促进电力系统的扩容发展,而电力系统丰富的电力资源和无处不到的网络又为经济发展提供了能源保障,必然促进企业的飞速发展。经济发达地区,电力系统也必然发达。

一个电力系统的组成可用图 1-1 表示。它由一个水电厂、两个火电厂和一个热电厂构成了动力系统,由 330kV 线路、220 kV 线路、110 kV 线路、35 kV 线路及诸变电所构成输变电力网,由 10kV 线路及配电所构成配电网。

电力系统主要包含以下几部分:

一、发电厂

发电厂将其他形式的能源转换为电能。根据转换能量的不同,发电厂分为火电厂、热电厂、风电厂、水电厂、核电厂等。

我国煤炭资源丰富,目前仍以燃煤为燃料的火电厂为主。这些电厂,早期多建在用电集中地区,由于电力输送成本较煤炭运输成本低廉,为提高经济性,近年来火电厂多建在煤炭基地附近,故称为“坑口”电厂。电厂若向用户兼供热能,则称为热电厂。

水电厂是将江河水位落差造成的势能转换为电能。我国水力资源丰富,而水力资源若不利用又不能保存,会白白浪费。在我国能源紧张的今天,发展水力发电是国家的优先选择。水力电厂一次性投资大,运行费用低廉。由于改革开放的成果,国家财力较为雄厚,为建设大水

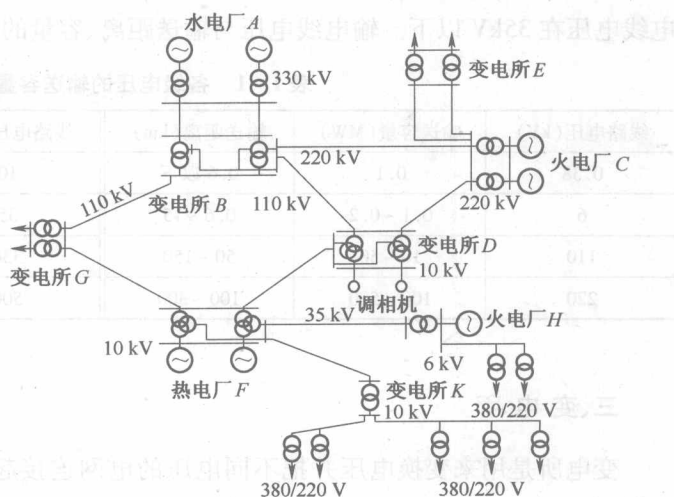


图 1-1 电力系统图

电厂提供了可能,近年来国家投资兴建的葛洲坝、三峡等一批大型水电站必将为国民经济的大发展发挥重大作用,也将造福于子孙万代。

核电厂是将原子核裂变时产生的核能转变为电能。核电厂的重要部分是核子反应堆和蒸汽发生器,相当于火电厂的蒸汽锅炉,其发电设备与火电厂相同,均为汽轮发电机。核电厂在安全运行状态下,是最卫生环保的发电厂,但一旦发生核泄漏,将造成不可估量的损失和严重的后果,所以在建设核电厂时要用大量资金建设公用辅助和防护设施,以确保人民生命财产安全。

风力电厂是将风力的动能转换为电能。由于能用于发电的风力资源很有限,因而风力发电厂在电力系统中所占的比重较小。

发电机考虑到并网的要求,一般采用三相同步发电机,输出电压多为 6.3kV 和 10.5kV。通常是经过升压后才并网输送的。

二、输 电 线

输电线是由导线及相应杆塔组成完成电网连接和电能输送的。输电线路的电压是按输送距离而确定的,输送距离远电压就高,反之电压就低。如连接几个地区或几个省的电压一般为 330~500kV;输送距离在一个省或一个地区的电压一般在 110~220 kV。用于分配电能的配电线电压在 35kV 以下。输电线电压与输送距离、容量的关系见表 1-1。

表 1-1 各级电压的输送容量与距离

线路电压(kV)	输送容量(MW)	输送距离(km)	线路电压(kV)	输送容量(MW)	输送距离(km)
0.38	0.1	0.6 以下	10	0.2~2.0	6~20
6	0.1~0.2	0.6~15	35	2.0~10	20~50
110	10~50	50~150	330	200~800	200~600
220	100~500	100~300	500	1 000~1 500	200~850

三、变 电 所

变电所是用来变换电压并把不同电压的电网连接起来的。变电所根据其作用不同分为三种:

1. 枢纽变电所

枢纽变电所也称中心变电所。它是具有 4 个及以上电源汇集,进行电能汇合和交换,通过主变压器将几个不同电压的电网连接起来,形成电力枢纽。

2. 地区变电所

具有两个及以上电源,负责向一个地区供电。

3. 终端变电所

它直接向用户提供电能。送入这类变电所的电能全是用户消耗的电能,而无与其他电网的电能交换。

四、电力网及其额定电压

通常将输电线和变电所组成的部分称为电力网。电力网的额定电压是由国家有关部门为

保证电力网规范发展和整体经济性而规定的电压。它属于国家标准。我们常说的 110 kV、35 kV、10 kV 均属于电力网额定电压。额定电压是指三相系统的线电压。电力网及用电设备的额定电压等级规定见表 1-2。

表 1-2 额定电压标准(kV)

用电设备额定电压	交流发电机额定端电压	变压器额定电压		备 注
		原绕组	副绕组	
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 11.0	
—	15.75	15.75	—	
25	—	25	27.5	仅用于牵引供电系统
35	—	35	38.5	
60	—	60	66	
110	—	110	121	
154	—	154	169	
220	—	220	242	
330	—	330	363	
500	—	500	550	

表 1-2 中用电设备额定电压就是电网额定电压,而发电机和变压器副绕组是为了保证用电器获得正常电压,抵消线路电压损耗而高了 5% ~ 10%。与发电机连接的升压变压器,由于其与发电机距离很小,电压损耗不大,故其原绕组也采用了发电机额定电压。

五、电力用户及类别

电力用户将电能转换为其他能量而消耗。根据用户对供电连续性的不同要求,一般分为三级。

一级负荷:重要负荷。这类负荷的供电中断,将给国计民生造成重大损失。故一级负荷要求有独立的双回路电源供电。电力牵引用户就属于这类用户。

二级负荷:一般负荷,这类负荷供电中断将给国计民生造成较大损失。这类负荷是否设备用电源,视具体条件而定。一般情况下应保证供电。

三级负荷:次要负荷,不属于一、二级负荷的用户,如附属性质的企业、车间;非生产性用户等,一般只设一回电源供电。

第二节 电力系统中性点的运行方式

电力系统的中性点,一般是指变压器、旋转电机星形绕组的中性点。中性点运行方式是指中性点是否接地,怎样接地。

中性点运行方式有中性点不接地、中性点经消弧线圈接地、中性点直接接地三种。通常将中性点不接地和经消弧线圈接地的系统,称为小电流接地系统;将中性点直接接地的系统称为

大电流接地系统。

中性点的运行方式不同,其技术特性和工作条件也不相同,这是一个影响到系统技术和经济,由多方面因素决定的综合问题,最直接的影响是绝缘结构和保护设置。

一、小电流接地系统

(一) 中性点不接地的三相电力系统

如图 1-2 所示,三相电力系统的中性点不接地。中性点对地处于绝缘状态。各相对地存在相等且均匀分布的电容。为简化分析,我们将其等效用一集中电容 C 代替,并忽略线间电容的影响,同时假定电力系统是一完全对称的三相系统。

正常运行时,电网各相对地电压 $\dot{U}_U$ 、 $\dot{U}_V$ 、 $\dot{U}_W$ 是对称的,由于输电线路经过完善的换位,三相对地的电容 C 是相等的,则各相的对地电容电流 $\dot{i}_{CU}$ 、 $\dot{i}_{CV}$ 、 $\dot{i}_{CW}$,也是对称的,由于三相对地电容电流幅值大小相等,相位互差 120° ,故其向量之和为零,所以地中无电容电流通过。中性点的电位为零,如图 1-2 所示。

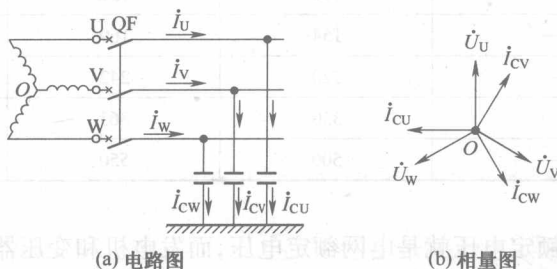


图 1-2 中性点不接地三相系统的正常工作状态

当三相系统发生单相接地故障时,如图 1-3 所示(设 W 相金属性接地),因 W 相金属性接地,故障相 W 相此时对地电压 $\dot{U}_W = 0$;这时中性点的电压 $\dot{U}'_O$ 不再是零,而成为 W 相电压的反相量即

$$\dot{U}'_O = -\dot{U}_W$$

此时非故障相 U 相对地电压 $\dot{U}'_U$ 为

$$\dot{U}'_U = \dot{U}_U + \dot{U}'_O = \dot{U}_U - \dot{U}_W = \sqrt{3}U_U \angle -30^\circ$$

显而易见,非故障相电压的幅值增至正常时相电压的 $\sqrt{3}$ 倍,相位差由原来的 120° 变为 60° 。

由于非故障相对地电压升高到 $\sqrt{3}$ 倍而成为线电压,所以非故障相的对地电容电流 $\dot{i}_{CU}$ 、 $\dot{i}_{CV}$ 也较正常运行时的 $\dot{i}_{CU}$ 、 $\dot{i}_{CV}$ 升高到 $\sqrt{3}$ 倍,即

$$I'_{CU} = I'_{CV} = \sqrt{3}I_{CU} = \sqrt{3}I_{CV}$$

而故障相因金属接地对地电压为零,电流为另两非故障相电容电流之和,即

$$\dot{i}'_W = -(\dot{i}'_{CU} + \dot{i}'_{CV}) = 3\dot{i}'_{CW}$$

也就是非故障相电流为故障相故障时电流的 $\sqrt{3}$ 倍,为正常时电流的 3 倍。

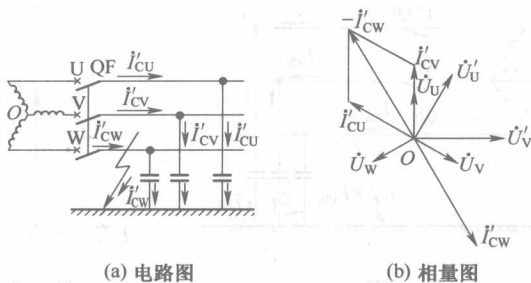


图 1-3 中性点不接地三相系统 W 相发生接地时的情况

若发生单相接地不是金属性接地,则非故障相对地电压比 $\sqrt{3}$ 倍小一些,故障相电流也比 3 倍电流要小一些。从安全可靠考虑,一般以金属性接地的恶劣条件为准进行相应处理。

从以上分析可见,中性点不接地系统发生单相接地故障时,非故障相的对地电压升高到 $\sqrt{3}$ 倍达线电压水平,因而此类系统的绝缘设计必须按线电压设计,使绝缘投资加大,成本提高了很多。但我们也看到,当发生单相接地故障时,系统线电压的对称状态并未遭到破坏,接到线电压上的电气设备仍可继续运行,但不允许长期运行。这是因为这种情况虽然一点接地未构成回路,却存在很大隐患,只要再有一点绝缘损坏而接地,则构成短路回路使故障扩大为事故。另外,因为接地电流在接地点处会因接触不良产生电弧,稳定电弧可能烧坏电气设备;断续电弧有可能使未故障相在绝缘薄弱处击穿而造成相间短路,产生的短路电流将严重损坏设备。因此,中性点不接地系统中发生一相接地时,一般只允许继续运行 2h,并且还需要设置专门的绝缘监察装置或继电保护装置,使工作人员及时知道一相接地故障的发生或者自动切除系统中发生接地故障的部分。

实用中,接地电流大于 5~10A 时,最容易发生断续电弧产生振荡过电压。这种过电压对 6~10kV 电压电网危害不大,但对 20kV 以上的电网,危害就严重了,因而 20kV 以上的电网,接地电流不得超过 10A。对 6~10kV 电网,当接地电流超过 30A 时,电流引起的稳定电弧会烧坏电气设备,因而 6~10kV 线路,接地电流不得大于 30A。

综上所述,通常只在电压为 20~60kV,接地电流 $I_C \leq 10A$ 或电压为 6~10kV,接地电流 $I_C \leq 30A$ 的高压电网和 1kV 以下的三相三线制电网中采用中性点不接地方式。

动力和照明混合使用的 380V/220V 配电系统,因要取用线、相两种电压,不能使用中性点不接地系统,而采用中性点直接接地的三相四线制方式。

(二) 中性点经消弧线圈接地的三相系统

在中性点不接地系统中,当单相接地电流超过上述规定时,应采取措施减小接地电流使其降至允许范围以内,因此三相系统中还可以经消弧线圈接地,其原理如图 1-4 所示。

三相系统正常运行时,中性点对地电压为零,消弧线圈中无电流产生。情况与中性点不接地系统完全相同。

当发生单相接地时,如 W 相接地,中性点对地电压为 $-\dot{U}_W$, W 相经大地、接地体、消弧线圈、中性点构成回路,消弧线圈将处于相电压下而有滞后相电压 90° 的电感电流 $\dot{I}_L$ 流过。由图 1-4(b)可知, $\dot{I}_L$ 与 $\dot{I}_C$ 方向相反,接地点流过的电流应是 $\dot{I}_L$ 和 $\dot{I}_C$ 的相量和。所以在接地点 $\dot{I}_L$ 与 $\dot{I}_C$ 起互相抵消作用,我们也称这种抵消作用为补偿。若适当选择消弧线圈的电感

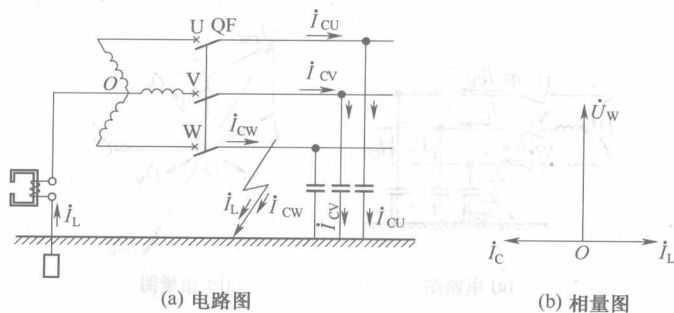


图 1-4 中性点经消弧线圈的接地三相系统

值,总可以使接地点的电流等于零或降在允许的范围内。

根据补偿的程度分为三种补偿状态:

1. 全补偿

适当选择消弧线圈的电抗值,可以使 $i_L = i_C$,使接地点的电流为零,这称为全补偿状态。从消弧方面看,这种状态最好。但实际中,这是一种电流谐振状态,回路极易产生过电压而损坏设备。所以一般不采用全补偿。

2. 欠补偿

适当选择消弧线圈电感值,使 $i_L < i_C$,接地点还有部分未补偿的电容电流流过,这种状态称为欠补偿状态。但实际中也不用这种状态,因为当部分线路被切除引起电容减少,又会使消弧线圈在某一时段又处于全补偿状态而产生过电压,危及设备安全。

3. 过补偿

适当选择消弧线圈的电感值,使 $i_L > i_C$,接地处有补偿过剩的电感电流流过,此时消弧线圈处于过补偿工作状态。这种方式既可使经短路点处的电流降到允许范围之内,又避免了因电流谐振而产生的过电压,因而得到了广泛的应用。

消弧线圈是一个具有多间隙铁芯的线圈,铁芯和线圈均装在充有变压器油的钢箱中,以保证线圈的绝缘和冷却性能,外形与变压器类似。消弧线圈电抗较大,可用调节铁芯气隙的方法和调节线圈匝数的方法改变电抗值。

二、大电流接地系统

中性点直接接地的三相系统属于大电流接地系统。

为了防止断续电弧引起过电压的另一种方法就是将中性点直接接地(一般接地电阻小于或等于 0.5Ω),以使中性点对地电压在任何情况下都为零,如图 1-5 所示。

中性点直接接地系统中,发生单相接地时,接地相直接经过地而形成单相短路,这一电流不是电容电流而是单相短路电流,数值很大,继电保护装置会立即动作,由断路器切断故障线路。

由以上分析可见,中性点直接接地的系统发生单

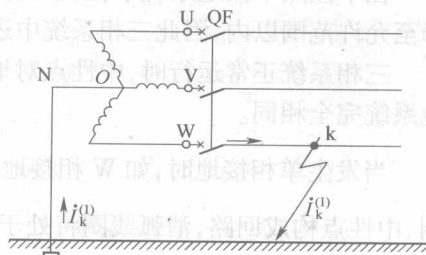


图 1-5 中性点直接接地三相系统

相接地时,不会产生间歇弧。同时因中性点电位被接地体钳位,中性点对地电压始终为零,非故障相电压不会因为其他相发生单相接地而升高。因而各相对地的绝缘水平只按相电压设计即可,这对于 110kV 及以上的电网而言,节省投资是非常可观的。

中性点直接接地系统在发生单相接地时,由于构成短路,故障线路很快会被切除,这就导致用户供电中断,不会像小电流接地系统那样还可以继续运行 2h。为了克服这一缺点,在中性点直接接地系统的线路保护上,普遍装设有自动重合闸装置,当发生单相接地时,保护装置动作,使断路器自动断开,经一定时间,待短路点电弧熄灭,绝缘恢复再在自动重合闸装置作用下断路器自动重合。若单相接地故障为瞬时性的,则线路接通后正常工作,用户供电得到恢复。若单相接地为永久性的,则继电保护再次启动快速将断路器断开。因为在实用中线路单相接地故障的大多数是瞬时性故障,重合的成功率是较高的。这就提高了供电的可靠性。

中性点直接接地系统发生单相接地时,短路电流很大,甚至超过三相短路电流,这必然要求选择更大容量电器而使投资加大,且短路电流过大残压过低会影响系统的稳定。为了限制单相接地短路电流,通常采用中性点经电抗器接地,如图 1-6 所示。

电抗器是一个空芯的线圈,其电阻值很小,在正常运行时,电阻和电抗不起作用,相当于短接而使中性点电位为零。当发生单相接地时,短路电流流经电抗器而受到限制,使单相短路电流小于三相短路电流,保证选择设备的经济性。

限制单相短路电流也可以采用系统中部分变压器中性点不接地而增大系统零序阻抗的作法。

综合前述,电压低的电网宜采用小电流接地系统,电压高的电网宜采用大电流接地系统。在我国实用中,110kV 及其以上电压的电网均采用大电流接地系统,而在 35kV 及以下电网均采用小电流接地系统。

动力和照明混合使用的 380V/220V 配电系统,因要取用线、相两种电压,不能使用中性点不接系统,而采用中性点直接接地的三相四线制方式。

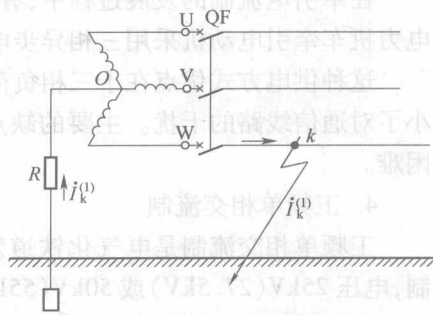


图 1-6 中性点经低电阻接地的三相系统

第三节 电力牵引供电系统概述

用电能作为铁路运输动力能源的牵引方式称为电力牵引。电气牵引的机械动力是电力机车。为电力机车不间断可靠供电的系统称之为电力牵引供电系统。电力牵引供电系统是由电力系统或发电厂用专用高压输电线路供电的。严格地讲,电力牵引供电系统属于电力系统的一部分,但由于其存在许多特殊的问题,且由于其与国家电力系统有明确的分界线(一般以 110kV 进线门形架为界),以及行政管辖相对独立,故常以电力牵引供电系统而单独分析。

一、牵引供电系统的电流制

电气化铁道供电有多种电流制供电方式,它们分别具有不同的优缺点。

1. 直流制

因电力牵引用的电力机车多采用机械性能好、调速方便的直流串励电动机,所以采用直流

制供电,简化了机车设备,提高了效率。但牵引变电所必须设整流设备,结构复杂了。同时因受电力机车牵引电动机额定电压影响,供电线路电压较低使牵引变电所间距减小,同时供电电流的加大增加了导线截面,增大了线路损耗。所以在我国电气化铁道中,未采用直流制。但在矿山、城市电车和地铁中得以广泛应用。

2. 低频单相交流制

为克服直流的缺陷,西欧一些国家采用低频单相交流制,频率为 $16\frac{2}{3}$ Hz,电压 11 ~ 15kV。虽然这种制式较直流有不少优点,但因其频率与工频存在差异,必须有与之配套的发电厂和供电系统,经济性、通用性不好,应用受限。

3. 三相交流制

在牵引电流制的发展过程中,有的国家如瑞士、法国等,还采用了 3.6kV 的三相交流制。电力机车牵引电动机采用三相异步电动机。

这种供电方式优点在于三相负荷完全平衡,大大减小了电力牵引对电力系统的影响,并减小了对通信线路的干扰。主要的缺点在于交流异步电动机的调速困难和电力机车三相受电困难。

4. 工频单相交流制

工频单相交流制是电气化铁道发展中的一种先进供电制。我国采用的是工频单相交流制,电压 25kV(27.5kV)或 50kV(55kV)。

工频单相交流制的主要优点如下:

(1)牵引供电系统结构简单。牵引变电所从电力系统获得的电能经过电压变换后,直接供给牵引网,不需要在牵引变电所中设置整流和变频设备,变电所结构大大简化。

(2)牵引供电电压增高,既可保证大功率机车的供电,提高机车的牵引定数和运行速度。又可使牵引变电所之间的距离延长,导线截面减小,建设和运营费用显著降低。

(3)交流电力机车的黏着性能和牵引性能良好。通过机车上变压器的调压,牵引电动机可以在全并联状态下工作,牵引电动机并联运行可以防止轮对空转,从而提高了黏着系数。

(4)与直流制比较,交流制的地中电流对地下金属的腐蚀作用小,一般可不设专门防护装置。

(5)与三相交流制比较,电力机车受电较为方便。

(6)与低频交流相比,社会效益好,不需专设低频发电厂和专用供电系统,只需由国家电力系统供电即可。

工频交流制存在的主要问题如下:

(1)单相牵引负荷将会在电力系统中形成负序电流,当电力系统容量较小时,负序电流影响更显得突出。

(2)电力牵引负荷是感性负载,功率因数低,特别是采用相控整流后,牵引电流变为非正弦波,出现较大的谐波电流,将使功率因数更低。

(3)牵引网中的单相工频电流及谐波电流将对沿线通信线路造成较大电磁干扰。

二、电力牵引供电系统的组成

电力牵引供电系统的主要作用,就是将从电力系统取得的电能,按要求的电压以单相的方式送给沿铁路线运行的电力机车。其构成如图 1-7 所示。

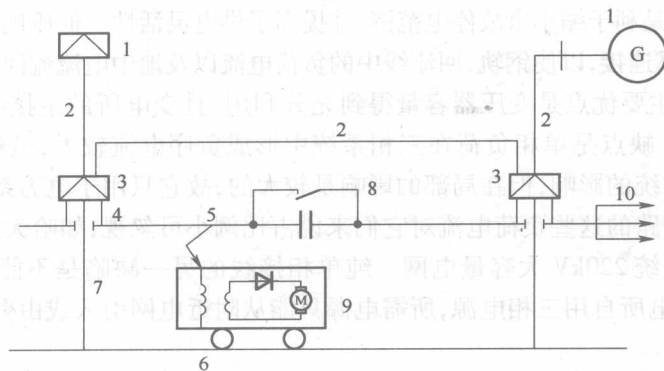


图 1-7 工频单相交流牵引供电系统示意图

1—区域变电所或发电厂;2—高压输电线;3—牵引变电所;4—馈电线;
5—接触网;6—钢轨;7—回流线;8—分区亭;9—电力机车;10—开闭所

电力牵引供电系统主要由如下几部分组成。

(一) 高压架空输电线

电力部门用 110kV 或 220kV (仅在哈大线用) 的高压输电线, 将电能送入牵引变电所。这一高压输电线是为牵引变电所供电的专线, 修建、维护均由电力部门负责, 铁路供电部门与电力部门责任的分界线是牵引变电所高压进线门形架。

(二) 牵引变电所

牵引变电所的作用是将电力系统引入的 110kV 或 220kV 三相交流电变换成 27.5kV 或 (2×27.5) kV 的单相交流电, 通过馈电线送至铁路线上的接触网, 供电力机车取用。有少数牵引变电所还承担向铁路地区工农业用户的 10kV 动力负荷供电。所以牵引变电所是接受和分配电能并改变电能电压的枢纽。是电力系统和电力机车之间的重要环节。它主要由牵引变压器和相应的配电装置构成。按照牵引变压器的类型不同, 有如下几种类型。

1. 单相牵引变电所

采用单相变压器的牵引变电所称为单相牵引变电所。

(1) 纯单相接线

单相变压器的高压侧(110kV 或 220kV)引出端为 A、X, 低压侧(27.5kV)引出端为 a、x。在实际应用时, 单相牵引变压器的高压端子 A、X 分别接至三相系统的两个相线上, 低压端子 a 接至牵引母线上, x 接至接地网和钢轨。

用于牵引变电所中的单相牵引变压器与一般的单相变压器是不同的。一般的变压器末端 X 总是接中性点, 因而绝缘是按半绝缘结构设计的, 而牵引变压器的 X 端是接三相系统的相线的, 故末端 X 绝缘和首端 A 绝缘等级应是一样的, 变压器绕组是按全绝缘结构要求。

纯单相牵引变电所中的两台单相变压器并联接线完全一样, 接线原理如图 1-8 所示。

两台变压器的高压绕组跨接相同的两相, 例如图中的 U、W 相。低压绕组的首端接牵引母线, 同时供给牵引变电所两侧的牵引负荷。相邻两段的接

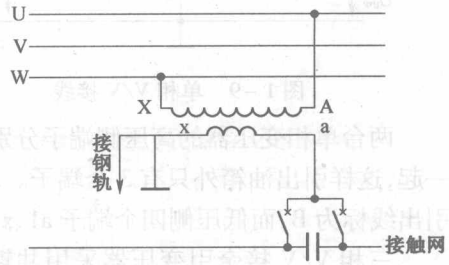


图 1-8 纯单相接线

触网绝缘分开,主要是利于缩小事故停电范围,并提高了供电灵活性。低压侧的末端与接地网和钢轨以及回流线可靠连接,以使钢轨、回流线中的负荷电流以及地中电流流回变压器。

纯单相接线的主要优点是变压器容量得到充分利用,且变电所的主接线简单,设备少,占地面积小,投资少。缺点是单相负荷在三相系统中形成负序电流较大,虽经换相连接在总体上,可减小对三相系统的影响,但在局部的影响是较大的,故它只用于电力系统容量较大,地方电网较发达地区,铁路的这些负荷电流对它们来说占比例小可忽视,如哈大线全部采用纯单相接线,且接入电力系统 220kV 大容量电网。纯单相接线的另一缺陷是不能实现双边供电,且牵引变电所中无变电所自用三相电源,所需电源只能从附近电网引入或由劈相机、单相—三相变压器等方式供给。

(2) 单相 V/V 接线

单相 V/V 接线原理图如图 1-9 所示。

单相 V/V 接线是两台单相变压器首端 A1、A2 分别接于不同的两个相线上如图中的 U、V 相,而末端 X1、X2 接于剩下的一个相线上成为公共端,如图 1-9 中 W 相。低压侧两个末端 x1、x2 为公共端,并接于接地网和钢轨及架空回流线,两个首端 a1、a2 分别接于两个牵引母线向牵引变电所两侧牵引网供电。

由于两个供电区段电压相位差 60° ,相邻接触网相对电压也为 27.5kV,必须采用分相绝缘。

单相 V/V 接线变电所的优点是变压器容量利用率高;可以供给变电所三相电源;可对牵引网实行双边供电。与纯单相比较,负序电流减小,对系统影响较小。这种接线在我国阳(平关)安(康)等线路广泛应用。

单相 V/V 接线的缺点是当一台变压器故障时,备用变压器投入倒闸作业复杂。因为实用中两台单相变压器只设一台备用变压器。故在倒闸过程中,变电所用三相电源受到影响。

(3) 三相 V/V 接线

三相 V/V 接线是将两台 V/V 接线的单相变压器安装在同一油箱内,相关部件进行了一些组合简化,其实质是两台单相变压器 V/V 接线。原理如图 1-10 所示。

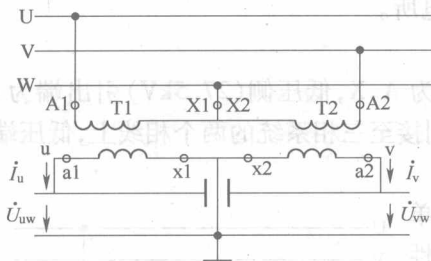


图 1-9 单相 V/V 接线

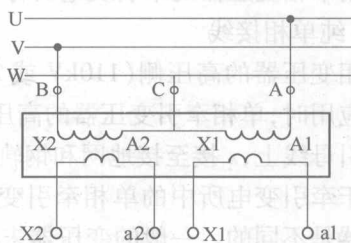


图 1-10 三相 V/V 接线

两台单相变压器的高压侧端子分别为 A1、A2、X1、X2,在变压器油箱内已将 X1 与 A2 连接在一起,这样引出油箱外只有 3 个端子。A1 引出线标为 A, X1 与 A2 引出一个公共端子标为 C, X2 引出线标为 B,而低压侧四个端子 a1、x1、a2、x2 分别引出油箱。可根据需要随意连接。

三相 V/V 接牵引变压器采用共轭式铁芯结构,即在传统的等截面三柱铁芯上,两个边柱分别为两台独立的单相变压器芯柱,可独立安放变压器绕组,将中间柱铁芯作为两台单相变压器的共轭回路,如图 1-11(a)所示。为了使中柱磁通与两边磁通相等,两边柱绕组的绕向相反,其实质是因 V/V 接后两个单相电压互差 60° ,两个绕组绕向相反后,一个磁通反向使其磁

通相差 120° , 类似于普通的三相变压器铁芯中磁通关系。

三相 V/V 接线变压器是在单相 V/V 接线基础上发展起来的新型结构。其在运行电气性能上类似于单相 V/V 接线, 但在结构上较单相 V/V 结构紧凑, 接线简单方便, 易于设立固定备用变压器。

2. 三相牵引变电所

牵引变压器采用三相变压器的变电所称为三相牵引变电所。

三相牵引变电所中, 一般都采用双绕组油浸式变压器作为牵引变压器(也称主变压器), 变压器的连接绕组为 Y_N, d_{11} 标准接线组。

如图 1-12 所示, 三相牵引变压器的高压侧接成 Y_N 接线方式, 三相绕组端子 A、B、C 分别接 110kV 电网的 U、V、W 相, 也可根据换相的要求接其他相; 中性点 N 通过隔离开关 QS 接地。其原因有两个:

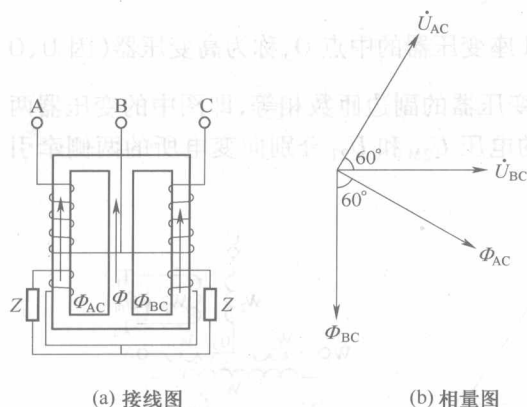


图 1-11 共轭式 V/V 接线原理图

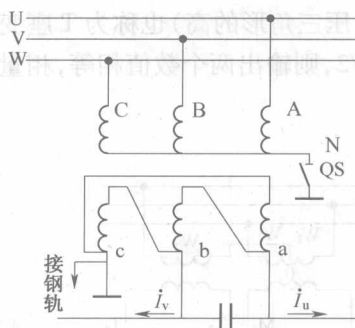


图 1-12 三相牵引变压器接线

(1) 110kV 电网属于中性点接地系统, 但并不是所有的变压器中性点都接地, 每有一个中性点接地, 都会构成一个零序电流的分支, 系统既要考虑有足够的接地点, 确保中性点的零电位, 又不能有更多的零序通道而增大单相接地短路电流。因而牵引变压器的中性点隔离开关平时是断开的, 何时闭合使中性点接地, 是要根据电力系统电力调度的命令来执行的。

(2) 在进行牵引变压器的切换时, 为防止操作过电压对牵引变压器的危害, 在变压器送电和停电操作的瞬间必须合上中性点接地隔离开关 QS。

变压器的低压侧绕组接成三角形, W 相端子接接地网和钢轨或回流线。a 端子和 b 端子分别接到牵引侧两相母线上, 分别向牵引变电所两侧的牵引网供电, 由于两侧电压相位差 60° , 所以两牵引网间存在 27.5kV 电压, 因此两相邻接触网上采用分相绝缘器。

需要指出的是: 在实际使用中, 三相变压器高压侧的中性点 N 都是经隔离开关 QS 接接地网的; 而端子 A、B、C 不一定与电力系统对应的 U、V、W 相连接, 而是按换相的要求接该接的相线, 端子标号不一定与系统相别相符。低压侧(牵引侧) W 相端子总是接接地网和钢轨或回流线, a 端子和 b 端子总是分别接至牵引母线 U 相与 V 相的。

采用三相 Y_N, d_{11} 接线的三相变电所有以下优点:

- (1) 变压器原边采用 Y_N 接线, 中性点引出接线方式与高压电网 110kV 相适应。
- (2) 变压器结构简单, 因中性点接地, 原边绕组可采用半绝缘结构, 使造价降低。
- (3) 与电力系统通用变压器除副边电压为 27.5kV 外, 其他无任何区别, 运用技术成熟, 安