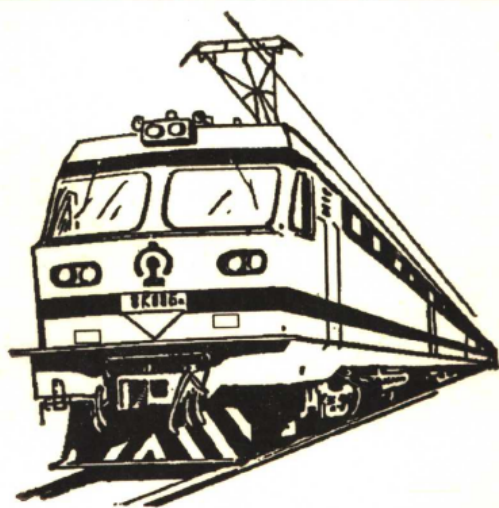


● 高等学校专修科教材

电气化铁道供变电工程

华东交通大学 林秀海 主编



中国铁道出版社

U22
002

高等学校专修科教材

电气化铁道供变电工程

华东交通大学 林秀海 主编
西南交通大学 贺威俊 主审

中国铁道出版社

1996年·北京

(京)新登字 063 号

图书在版编目 (CIP) 数据

电气化铁道供变电工程/林秀海主编. —北京: 中国铁道出版社, 1996

高等学校专修科教材

ISBN 7-113-02377-0

I. 电… I. 林… II. 电气化铁道-供电-技术-高等学校-教材 N. U223

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 16495 号

内 容 简 介

本书系统地介绍了电气化铁道供变电工程中电气主接线、高压电气设备、控制信号电路和设备选择方法; 供电系统故障分析和各种短路故障计算方法等。

本书系铁道电气化专业 (专科) 教材, 同时可作为该专业的函授和夜大教材, 也可供铁道电气化工程技术人员通用参考。

高等学校专修科教材

电气化铁道供变电工程

华东交通大学 林秀海 主编

中国铁道出版社出版发行

(北京市宣武区南菜园街甲 72 号)

责任编辑 张永国 封面设计 马 利

北京市燕山联营印刷厂印

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 15.75 字数: 383 千

1996 年 11 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 1—2000 册

ISBN7-113-02377-0/U·675 定价: 12.50 元

前 言

《电气化铁道供变电工程》是根据铁道部教卫司审批的铁道电气化专业(专修科)教材编写计划编写的,是铁道电气化专业的必修课。授课时数为75~85学时。

本教材根据专修科培养目标要求,在理论方面以够用为宜,尽可能结合我国现有电气化铁道牵引变电所主接线、电气设备和控制线路等实际设备讲述,教材中还增加了AT供电方式接线和其它新技术应用。

本书由华东交通大学林秀海副教授主编,西南交通大学贺威俊教授主审。编写分工如下:绪论、第一、二、四、五、八章和第三章第六节由林秀海编写;第三章一至五节、七至十一节和第六章由西南交通大学张秀峰编写;第七章由铁道部昌平机车车辆机械厂郑敏编写。第一、二、四、五、七、八章和第三章第六节的图由南昌铁路机械学校邹振洪绘制。

本教材在编写过程中,南昌水电段蒋经武高级工程师、华东交通大学童春辉教授、陈剑云副教授对书稿提供宝贵意见,特此致谢。

编 者

1996年5月

目 录

绪 论	(1)
第一章 电力系统及电力牵引供电系统	(3)
第一节 电力系统	(3)
第二节 电力系统的工作状态	(4)
第三节 电力牵引供电系统	(8)
第二章 牵引变电所主接线与配电装置	(10)
第一节 概 述	(10)
第二节 牵引变电所一次侧电气主接线	(14)
第三节 牵引变电所牵引侧电气主接线	(17)
第四节 牵引变电所电气主接线举例	(19)
第五节 牵引变电所配电装置	(25)
第三章 牵引变电所的电气设备	(43)
第一节 电气设备的用途及分类	(43)
第二节 电弧的形成和熄灭的物理过程	(44)
第三节 交、直流电弧	(49)
第四节 开关设备的触头	(53)
第五节 高压断路器的工作原理	(60)
第六节 高压断路器的运行	(72)
第七节 高压断路器的操动机构	(81)
第八节 组合电器	(87)
第九节 隔离开关及其操动机构	(88)
第十节 电压互感器	(95)
第十一节 电流互感器	(102)
第四章 供电系统对称短路故障的分析计算	(108)
第一节 概 述	(108)
第二节 标么值	(109)
第三节 网络化简	(115)
第四节 三相短路电流的分析计算	(118)
第五节 三相短路电流实用算法	(123)
第五章 电力系统不对称短路故障的分析计算	(130)
第一节 对称分量法及其应用	(130)
第二节 电气元件的序阻抗	(133)
第三节 不对称短路故障的分析计算	(137)
第四节 牵引供电系统短路故障的分析计算	(148)

第六章 电气设备的选择	(162)
第一节 导体的发热和短路电流热效应.....	(162)
第二节 短路电流的电动力.....	(168)
第三节 电气设备选择的一般原则.....	(171)
第四节 母线、绝缘子和电力电缆的选择	(175)
第五节 开关电器的选择.....	(184)
第六节 互感器的选择.....	(187)
第七章 牵引变电所的控制、信号与监测电路	(192)
第一节 二次电路概述.....	(192)
第二节 断路器的控制和信号电路.....	(198)
第三节 中央信号装置电路.....	(202)
第四节 测量和监察电路.....	(205)
第五节 自用电系统.....	(208)
第八章 牵引变电所防雷保护和接地装置	(220)
第一节 牵引变电所的防雷.....	(220)
第二节 牵引变电所的接地装置.....	(228)
附表	(238)
主要参考资料	(244)

绪 论

我国第一条电气化铁路——宝成线，宝鸡至凤州段于1961年8月15日胜利建成通车。当时经深入研究和论证，并吸取世界各国电气化铁路的先进经验，确定采用额定电压为25kV单相工频交流供电制，为我国电气化铁路的发展创造了有利的条件。30多年来，虽然经历过一些曲折，但我国电气化铁路建设，已经取得了较大成就。特别是在党的十一届三中全会以后，有了突飞猛进的发展，在1981年至1990年的10年间，共修建电气化铁路5271km，是前20年修建电气化铁路总和的3.1倍，截至1992年底，全国铁路电气化里程已达8760多公里，承担铁路运输总周转量的比重约五分之一。

近年来，我国铁路电气化在采用新技术方面也有了很大的发展。如牵引供电、牵引变电所、接触网和防干扰等方面推广应用了新技术和新设备，特别是在改革开放的十多年来，利用外资引进了先进技术和设备，我国铁路电气化技术水平有较大的提高。如为适应京秦线运量大，牵引定数高等特点，首次采用带馈电线的自耦变压器的供电系统，即AT供电方式，并从日本引进了成套设备，1985年建成交付运营以来，效果良好。通过引进、试验和运营，现已全面掌握了这种供电方式的设计、安装和运营，并在大秦线上创造性地采用了三相三线圈“十字交叉”接线和取消变电所馈线AT的型式。AT供电方式，世界上是在70年代末和80年代初才发展起来的，这方面与世界先进水平差距并不大。另外，在牵引变压器接线形式、主变压器备用方式、电容补偿装置、馈线断路器、继电保护装置、远动控制装置及接触网技术等方面也有很大改进和发展；在大秦线上广泛使用了以微机控制为主的先进技术设备，如牵引供电与电力供电合一的多微机远动控制系统，光缆数字通信系统，400MHz无线列车调度及微机化调度集中系统等。

根据1986年5月国务院颁发的《十二个领域技术政策》的精神，铁道部对1988年颁发的《铁路主要技术政策》于1993年进行了修订补充。在牵引动力改革上，进一步明确了要“大力发展电力牵引；合理发展内燃牵引，提高电力牵引承担换算周转量的比重。管好用好蒸汽机车。”“在主要繁忙干线、高速铁路、运煤专线及长大坡道、长隧道地区等线路上，应采用电力牵引”。随着改革开放的深化，我国经济建设突飞猛进的发展，运量和运能的矛盾日益尖锐，开行重载、高速列车，势在必行。我国已在大秦线开行重载(万t)列车试验成功，并在广(州)—深(圳)线已开行准高速(160km/h)列车，逐渐积累经验，拟在经济发达、客货运输特别繁忙的沿海地区修建高速(200~300km/h)客运专线。随着国民经济的发展，为了满足工农业产品增长幅度的需要，每年以1000多公里的速度修建电气化铁路，合理布局。预计到本世纪末，我国电气化铁路长度占全国铁路营业里程(即电化率)达到25%~30%，承担周转量的比重占50%左右。以上电气化铁路发展规划是可以实现的，根据测算，到本世纪末，电气化铁路用电量仅占全国总发电量的1.9%，不存在与其它工业争电的问题。在电力机车生产方面，已形成四、六、八轴电力车型谱化、系列化和标准化的主产品结构，完全可以满足不同地域，不同运量等级电气化铁路的需要，不必再从外国进口电力机车了。

电力牵引优越性主要表现在以下几点：

1. 电力牵引符合国家能源政策。能源是现代化国家发展的基础,世界的能源尤其是煤炭和石油的消耗、生产和贮藏的状况已出现危机。我国能源工业的发展,以电力为中心,积极发展火电,大力开发水电,有重点有步骤地建设核电站,充分发挥我国水电优势,积极发展坑口电厂和热电厂联产,加强电网建设。因此,发展电力工业,增加发电量仅是投资问题,而增加产油量不仅存在投资问题,还存在资源问题。根据国家能源工业发展发电量 1990 年比 1980 年增长 105%,而原煤生产增长 66%,原油生产增长为 32%;根据规划到本世纪末,发电量比 1990 年增长为 78.9%,而原煤生产仅增长为 28.4%,原油生产争取较大增长。铁路是耗能大户,因此,发展电力牵引符合国家能源政策。从降低能源消耗方面,电力牵引能显著的节省燃料,电力牵引的热效率为 30%,优于内燃牵引(为 20%),更优于蒸汽牵引(只有 5%~7%)。

另外,电力牵引运输成本为最低,根据 1990 年全路运输业务决算报告,以总重万吨公里为单位分别对蒸汽、内燃和电力牵引三种机务成本计算,以电力牵引为 100%,内燃牵引则高出 36.9%,蒸汽牵引高出 35.1%。其大修费,内燃机车比电力机车(含供电设备大修)高出 197.3%,蒸汽机车比电力牵引高出 60.3%。

2. 电力牵引可提高列车牵引重量。从表 1 中可以看出,电力机车不论是以起动限制的牵引重量,或在限坡上以计算速度运行时的牵引重量,都比内燃、蒸汽机车大得多。

3. 电力机车牵引运行速度高。电力机车的计算速度比内燃机车、蒸汽机车高一倍以上。采用电力牵引后,增大牵引重量和提高运行速度,在自动闭塞区间有条件缩短列车追踪间隔时间,从而提高线路通过能力。我国第一条电气化铁路宝成线,电气化后输送能力提高了四倍;石太线电气化后年输送能力上行提高了 38.1%,下行提高了 70.3%;丰沙大线,电气化后输送能力提高了一倍。

表 1 各种机车在不同限制坡度上的牵引重量

机 型	电力机车		内燃机车		蒸汽机车	
	SS ₁	SS ₄	美进口 ND ₅	东风 ₄	前进	建设
牵引重量						
计算起动牵引力(kN)	497	640	459	409.5	284	223
起动牵引重量(t)	4‰	5 300	6 900	4 950	4 400	2 850
	6‰	4 200	5 400	3 860	3 450	2 200
在限坡上以计算速度匀速运行时的牵引重量(t)	4‰	6 150	8 200	6 900	5 750	4 450
	6‰	4 450	6 050	4 950	4 100	3 150
					2 450	

4. 电阻制动增强了列车运行的安全度。电力机车设有电阻制动,在长大下坡道调速时,以电阻制动为主,空气制动为辅,控制列车按限速要求恒速运行,两种制动系统配合使用,保证列车的安全运行。由于电阻制动的投入,减少空气制动的次数,减少了闸瓦的磨耗,另方面提供了充风缓解时间,提高了列车运行的安全度。

5. 保护环境,改善司乘人员及客运条件。蒸汽机车排放的烟尘,内燃机车排放的油气,尤其在长大隧道内运行,窒息呛人情况严重。改用电力机车牵引时这种现象就不复存在,电力牵引不仅减少对环境污染,而且改善了乘务员劳动条件和旅客旅行条件。

6. 易于实现自动化。随着电子技术、计算机技术和自动化控制理论的发展,由于电气量本身易于实现控制和调节,电力牵引系统的自动化程度越来越高。

第一章 电力系统及电力牵引供电系统

第一节 电力系统

我国电气化铁道的电能是由电力系统供给的,因此,对电力系统及其工作情况,应有所了解。

电力系统是由发电厂、输电线路、变配电和用户组成,如图 1-1 所示。由发电厂中发电机所产生的电能,经过输电线路送到配电系统,再由配电线路把电能分配到负荷用户。

发电厂是把其他能源转变为电能。用于工业的其他能源是水力、火力(煤、天然气、油等)和原子能。其他如太阳能、地热、风力和潮汐等还处于小容量发电阶段。一般地讲,输送电能的容量越大,输送的距离越远,在经济上和技术上要求输电线路的电压就越高。目前

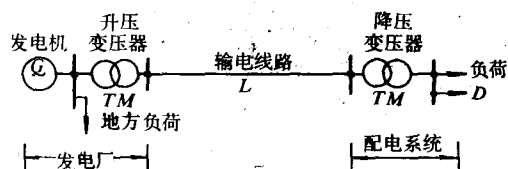


图 1-1 电力系统接线图

世界上投入运行的输电线路电压在 110kV~750kV,正在试验研究更高级电压是 1100kV 和 1500kV,架空线的输送容量大致和线路电压的平方成正比(见表 1-1)。

表 1-1 架空线路的电压、容量和输送距离

线路电压(kV)	输送容量(MVA)	输送距离(km)
110	10~50	50~150
220	100~500	100~300
330	200~800	200~600
500	1000~1500	150~850
750	2000~2500	500 以上

电力系统的构成,如图 1-2 所示,其中包括水力发电厂、火力发电厂、输电系统、配电系统和负荷用户等。

水力发电厂一般远离负荷中心,通过超高压输电线(一般为 220kV~330kV 或更高电压)将电能输送到负荷中心。两个火力发电厂通过高压输电线(如 110kV)连成网,提高系统的电压水平、运行可靠性和经济性,牵引变电所电能是由 110kV 电网引入。

按电力用户的种类和要求供电连续性,一般将用户分成三级。

一级负荷:重要负荷,对这类负荷若供电中断,将导致生命危险、损坏设备;产品报废;使生产、生活混乱;给国民经济造成重大损失。

二级负荷:重要负荷,对这类负荷若供电中断,会造成大量减产;工业企业内部交通运输停顿;城市中大部分居民的正常生活受到严重的影响。

三级负荷:不属于一级或二级的负荷,如附属企业、附属车间和非生产性单位。

一级负荷是不能中断供电的,所以应由两个独立电源供电。一个电源供电;另一个电源备用,当供电的电源发生故障时,另一个备用电源自动投入运行,保证向一级负荷不间断地供电。二级负荷是否设备用电源,视其重要程度而定。三级负荷不设备用电源。

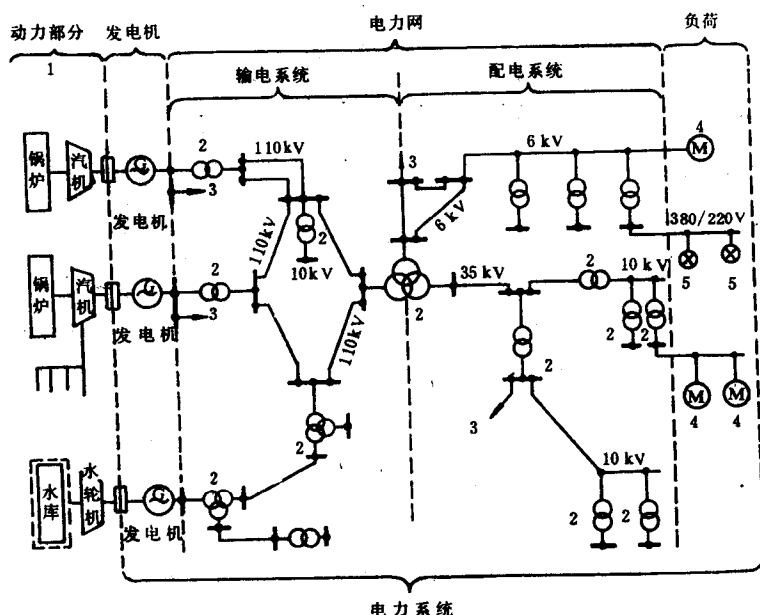


图 1-2 电力系统及电力网

1—动力部分;2—变压器;3—负荷;4—电动机;5—电灯。

电力牵引负荷是用电能作为铁路运输牵引动力的能源,是属于一级负荷。因此,牵引变电所采用双回高压输电线路或环形网络供电。

第二节 电力系统的工作状态

牵引变电所在运行中,可能处于两种不同的状态,即正常工作状态和不正常工作状态。正常工作状态是指牵引变电所的设备处于顺利地向所负担的供电区的牵引负荷供电的状态,这时馈电线上或动力负荷的电流值都没有超过各电气设备的额定数值,变电所和接触网一切都按预定的情况运行着。至于超负荷运行,过电压或电气设备的某些部分发生短路等,通称为不正常工作状态。当电气设备处于不正常工作状态时,应立即切断电源,否则就会造成电气设备的严重损坏或构成对运行人员的严重伤害,这种状态一般称为事故状态;另一种不正常工作状态称为故障状态,这种状态不必切除电源,只及时向运行人员发出警告信号提请注意,允许运行人员在不影响供电工作的情况下检查和排除故障。

牵引负荷的变化程度是很剧烈的,这是因为在一个供电区内运行的列车数目常常变化,且各列车在运行中受到不断变化的阻力影响,如受坡道、弯道及电力机车手柄位置不断变化;列

车编组(重载或一般列车)和电力机车配置数目不尽相同;致使供电区馈线每小时、每日、每月的实际瞬时(有效值)负荷都是不同的,且波动幅度可达到日平均负荷几倍。根据运行经验得知,负荷的不均匀系数,即最大小时负荷与日平均负荷之比:电力机车牵引的单线区段,比值为1.3~2.0;复线区段为1.2~1.7;紧密运行的市郊电动车组牵引的复线,比值为1.4~1.6。

三相电力系统的中性点状态,也对供电系统的工作状态产生影响。电力系统的中性点是否接地,是由多方面的因素决定的。就我国的电力系统的中性点有两种接地方式:其一是系统的中性点与地绝缘或经高阻抗接地系统,称为小电流接地系统;其二是系统的中性点直接接地,或经低阻抗接地,称为大电流接地系统。现分别论述这几种接地状态。

一、中性点绝缘的三相系统

中性点绝缘的三相系统如图1-3所示。沿导线全长存在导线与地、与导线之间均匀分布的电容,为简化分析,忽略导线之间分布电容,导线与地之间的均匀分布电容以集中电容 C 代替。

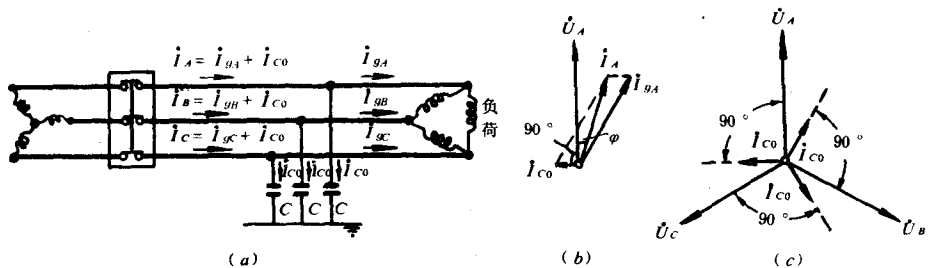


图1-3 中性点绝缘的三相系统(正常工作状态)

正常状态时,电网各相对地电压 U_A 、 U_B 与 U_C 是对称的,并等于装置的相电压。中性点对地电位为零。电源各相电流 I_A 、 I_B 及 I_C 分别等于负荷电流 I_{gA} 、 I_{gB} 及 I_{gC} 和相对地电容电流 I_{c0} 的矢量和如图1-3(b)。三相对地电容电流的矢量和为零如图1-3(c),故地中没有电容电流流过。

当发生一相金属性接地故障时如图1-4所示(C 相接地),故障相对地电压等于零,可以看作在三个对称的相电压上叠加与接地相电压 $\dot{U}_C$ 大小相等而方向相反的零序电压 $\dot{U}_{A0}$ 、 $\dot{U}_{B0}$ 、 $\dot{U}_{C0}$,其结果为:

$$\dot{U}'_A = \dot{U}_A + \dot{U}_{A0} \quad (1-1)$$

$$\dot{U}'_B = \dot{U}_B + \dot{U}_{B0} \quad (1-2)$$

$$\dot{U}'_C = \dot{U}_C + \dot{U}_{C0} = 0 \quad (1-3)$$

从图1-4(b)矢量图可知:

$$U_A = U_B = \sqrt{3} U_A$$

$$\text{而 } \dot{U}'_A = \dot{U}'_B \angle 60^\circ$$

$$\dot{U}'_{AB} = \dot{U}'_A - \dot{U}'_B = \dot{U}_{AB} \quad (1-4)$$

$$\dot{U}'_{BC} = \dot{U}'_B - \dot{U}'_C = \dot{U}_{BC} \quad (1-5)$$

$$\dot{U}'_{CA} = \dot{U}'_C - \dot{U}'_A = \dot{U}_{CA} \quad (1-6)$$

因此,中性点绝缘的三相电力系统,一相金属性接地,其相间电压(线压)不变,仍可向用户正常供电。故障相对地电压(相电压)为零,非故障相对地电压增大 $\sqrt{3}$ 倍。因而,其相对地电容电流也增大 $\sqrt{3}$ 倍,而故障相对地电流是正常状态下的电容电流的三倍。证明如下:

$$I_{CA} = \sqrt{3} I_{C0}; I_{CB} = \sqrt{3} I_{C0}$$

由图 1-4 可知:

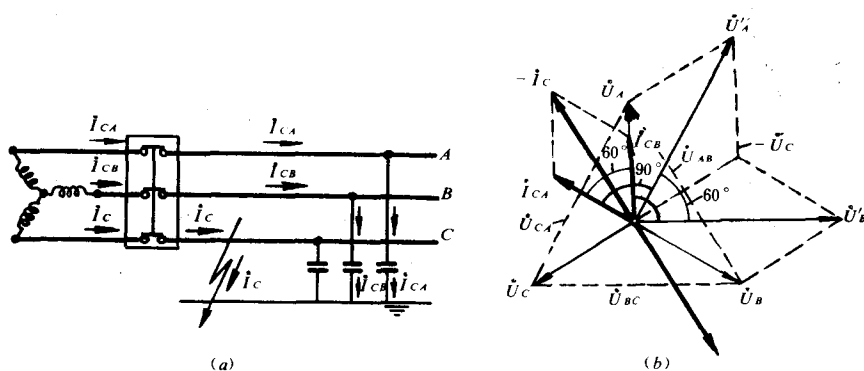


图 1-4 中性点绝缘的三相系统(C 相接地情况)

$$I_C = -(I_{CA} + I_{CB}) \quad (1-7)$$

因为

$$I_C = \sqrt{3} I_{CA}$$

而

$$I_{CA} = \sqrt{3} I_{C0}$$

则

$$I_C = \sqrt{3} \cdot \sqrt{3} I_{C0} = 3 I_{C0} \quad (1-8)$$

若已知每相对地电容为 C , 其相电压为 U_x , 则接地电流 I_C 为

$$I_C = 3 U_x \omega C \quad (1-9)$$

式中 ω ——交流电流的角频率。

接地电流 I_C 也可用下式求其近似值:

$$\text{架空线路: } I_C = \frac{U_{x \cdot x} \cdot l}{350} (\text{A}) \quad (1-10)$$

$$\text{电缆线路: } I_C = \frac{U_{x \cdot x} \cdot l}{10} (\text{A}) \quad (1-11)$$

式中 $U_{x \cdot x}$ ——三相线路的线间电压(kV);

l ——线路长度(km)。

中性点绝缘的三相系统,一相接地虽不破坏三相系统相间电压对称供电状态,可继续运行,但不能持续运行,因为接地点处可能产生断续电弧,发生内部过电压,其数值可达 2.5~3 倍的相电压,导致电网绝缘薄弱处击穿。另外,如果一相接地持续运行,还可能发生另一相接地,形成电网的两相短路接地。因此,中性点绝缘的三相系统,单相接地时虽允许继续运行,但需要发出预告信号,让运行人员及时排除故障,恢复系统正常运行。

在 6~15kV 电网及 20~35kV 电网中,其接地电流 $I_C < 10\text{A}$ 时,采用中性点绝缘的三相系统。

二、中性点经消弧线圈接地的三相系统

中性点绝缘的三相系统中,单相接地电流大于允许值时,接地点可能产生断续电弧,导致绝缘的击穿。为了减小接地点的接地电流,在变压器中性点与大地之间接入一个大电抗的消弧线圈,如图 1-5 所示。

在正常工作时,因电源对称,三相对地电容值相等,所以没有电流流过消弧线圈,中性点对地电位为零。当发生金属性单相(如 C 相)接地时,消弧线圈处于相电压作用下,并有电感电流 I_L 流过消弧线圈和接地点,这时流过接地点的电流有电感电流 I_L 和单相接地电容电流 I_C 的矢量和,如图 1-5(b) 所示。从矢量图知, I_L 与 I_C 的相角差 180° ,故接地点 I_L 和 I_C 相抵消(称补偿),使接地点的电流变小或等于零,这样就避免了上述可能发生的危害。

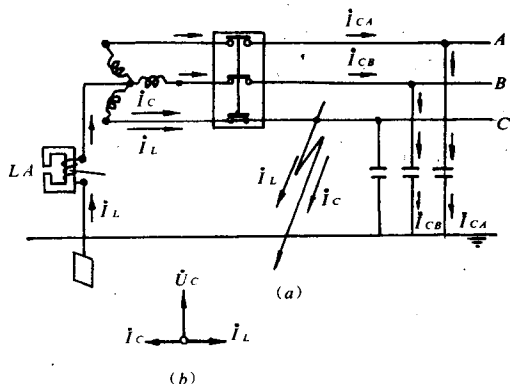


图 1-5 中性点经过消弧线圈接地的三相系统

中性点经消弧线圈接地,当发生一相金属性接地时,接地相对地的电压为零,非故障对地的电压值升高 $\sqrt{3}$ 倍,与中性点绝缘的三相系统相同,这种系统各相对地的绝缘按线电压考虑。

根据消弧线圈的电感电流对接地电容电流补偿程度的不同,有三种补偿方式。

- (1) 全补偿: $I_L = I_C (\frac{1}{\omega L} = 3\omega C)$, 接地点电流为零,称为全补偿。
- (2) 欠补偿: $I_L < I_C (\frac{1}{\omega L} < 3\omega C)$, 接地点尚有未补偿的电容性电流,称为欠补偿。
- (3) 过补偿: $I_L > I_C (\frac{1}{\omega L} > 3\omega C)$, 接地点具有多余的电感性电流,称为过补偿。

习惯上多采用过补偿方式运行,这样可避免系统可能发生的电压振荡。消弧线圈需要留有 25% 的裕度,其容量 Q_{xh}

$$Q_{xh} = 1.25 I_C U_{xg} \quad (1-12)$$

式中 I_C ——该系统单相接地时的接地电容电流(A);

U_{xg} ——系统的工作相电压(kV)。

根据运行经验,这种系统在单相接地时可继续运行一段时间(一般不超过 2h),需给出预告信号,让运行人员排除故障,恢复系统正常运行。

消弧线圈是个具有铁心的电感线圈,电阻小而电抗很大,铁心与线圈均浸在变压器油中,铁芯柱有很多间隙,间隙中填着绝缘纸板,为了避免磁饱和,使电抗值稳定、补偿电流与电压成比例,因而消弧线圈能保持有效消弧作用。

由于系统中的电容电流随运行方式变化,消弧线圈有许多分接头,如图 1-6 所示,用来调整

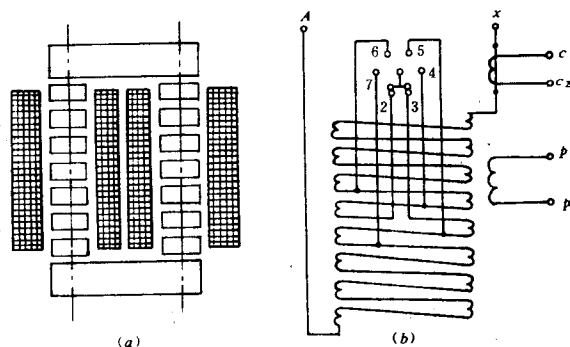


图 1-6 消弧线圈铁芯断面、线圈分接点

线圈的匝数,改变电抗值,调节消弧线圈的电感电流,以补偿接地电容电流,达到消弧目的。

三、中性点直接接地的三相系统

中性点直接接地的三相系统,在任何状态下均保持中性点与地相同的零电位,当发生单相接地时,造成单相短路,会有很大短路电流流过接地点如图 1—7。短路电流起动继电保护装置,使断路器动作切除故障。这种系统发生单相接地时,非故障相电压不会升高,因而各相对地绝缘水平可以低些,降低电力网建设费用。因此,在 110kV 及更高的超高压电力网均采取中性点接地方式。当单相短路电流过大时,在中性点与地之间接入很小电抗,降低短路电流数值,使开关和断路器的容量减小,提高系统运行的稳定性。

在中性点直接接地的三相系统中,发生单相接地时,由于继电保护装置动作,断路器跳闸而中断供电,相应地降低了供电的可靠性。为此,这种系统中都安装有自动重合闸装置,一旦断路器跳闸后,相隔很短时间,自动重合闸装置动作,使断路器重合,如果故障是暂时性的,则断路器重合成功而恢复供电。如果故障是永久性的,则断路器重合失败,自动重合闸装置不再动作,中断供电,等排除故障后,才能恢复供电。运行经验表明,三相系统发生单相接地故障,大部分是暂时性的,自动重合闸成功率较高,是提高供电可靠性的有效措施。

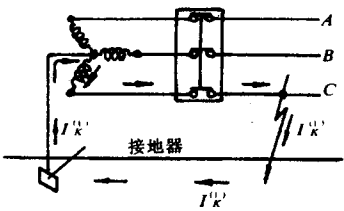


图 1—7 中性点直接接地的三相系统

第三节 电力牵引供电系统

用电能作为铁路运输牵引动力能源的牵引方式叫做电力牵引。它的牵引动力是电力机车。因而,必需在电气化铁道沿线,设置一套完善的、不间断的向电力机车供电的设备。由这种设备构成的供电系统叫做电力牵引供电系统。

图 1—8 表示电力牵引供电系统构成方式,其各部分的功能如下。

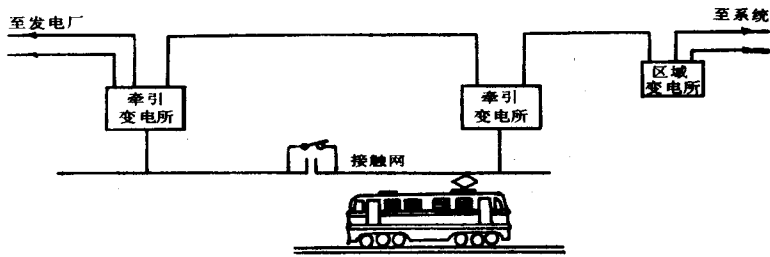


图 1—8 电力牵引供电系统

牵引变电所:把电力系统供应的电能变为适合电力机车牵引要求的电能。

接触网:是一种悬挂在电气化铁道上方的单导线或多导线,它们与铁道轨顶保持一定距离并组成链形或简单悬挂的输电网。与电力机车的受电弓滑动接触,将电能送入电力机车,驱动牵引电动机完成牵引列车工作。

馈电线:连接牵引变电所和接触网的导线。

轨道:电气化铁路的轨道,除具有列车的导轨作用外,还具有导通回流的功能。

回流线:连接轨道和牵引变电所的导线,把轨道中的回路电流导入牵引变电所。

通常把接触网、馈电线、轨道和回流线称为牵引网。电力牵引供电系统是由牵引变电所和牵引网构成。由电力系统或区域变电所引出专用的高压输电线路向牵引变电所供电。通常把这种专用高压输电线路和电力牵引供电系统称为电气化铁道供电系统。

第二章 牵引变电所主接线与配电装置

第一节 概 述

一、牵引变电所

牵引变电所的作用是将电力系统送来的三相高电压的电能变换成适合于电力机车需要的电能。不同电流制的电气化铁道,其牵引变电所的结构也不同:直流制的电气化铁道,其牵引变电所的功能为降压(将高电压经变压器变换为低电压)、变流(经整流装置将三相交流电变换为直流),供给直流电力机车牵引用电能;低频单相交流制的电气化铁道,其牵引变电所的功能为降压和变频(将电力系统的三相交流 50Hz 的电经变频装置变换为低频如 25Hz 或 $16\frac{2}{3}$ Hz 的电),供给低频电力机车牵引用电能;工频单相交流制电气化铁道的牵引变电所,其功能是降压和分相,供给工频单相交流电力机车用电。我国电气化铁道采用工频单相交流制,其电压为 25kV。本教材以工频单相交流制牵引变电所为重点进行阐述。

工频单相交流牵引变电所,按其主变压器的接线方式,可分为:

1. 三相牵引变电所

主变压器为三相双绕组,当地区三相动力负荷较大时,也可以采用三相三绕组变压器。图 2-1 为三相牵引变电所原理接线图。通常主变压器原边绕组接成星形接线方式,次边绕组接成三角形接线方式(Y, d),三角形绕组的一个角接轨道,另两个角分别接入接触网的两个相邻的区段。三相牵引变电所的优点是变压器的次边绕组即牵引侧仍然保持三相电压,为所内提供三相自用电和地区三相电力负荷的电源;它比单相牵引变电所的负序电流对系统的影响小。但其变压器利用率较低。

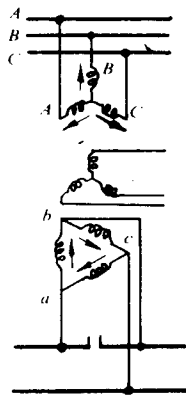


图 2-1 三相牵引变电所原理接线

2. 单相牵引变电所

牵引变电所采用一台或两台单相主变压器。图 2-2 为开口三角形原理接线图,这种牵引变电所设置两台单相变压器,其原边和次边绕组均接成开口三角形(V/V)接线方式,有两个开口端和一个公共端。原边的开口三角形接入三相高压电力网,次边的开口三角形的公共端接轨道,两个开口端分别接馈电线,联接相邻的接触网区段。该牵引变电所有三相电源供给地区负荷,接线简单,主变压器利用率高(100%),负序电流不对称系数(负序电流与正序电流之比)与三相牵引变电所相同,其投资比三相牵引变电所小。

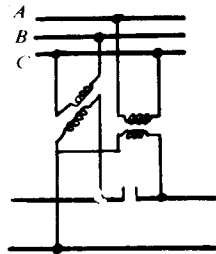


图 2-2 单相牵引变电所 V/V 接线原理

图 2-3 是单相牵引变电所采用一台单相变压器的接线图,其原边绕组接三相电力系统中的两相,次边绕组一端接轨道,另一端经馈电线

与接触网相连,习惯上将接触网分别接两个相邻供电区段,以提高供电灵活性。该牵引变电所主变压器容量利用率高(100%),投资小,接线简单,但负序电流不对称系数高,无三相动力负荷。

3. 三相-二相牵引变电所

三相-二相牵引变电所原理接线如图 2-4 所示。它由两台单相变压器构成,一台变压器原边绕组(高绕组)AO 的一端 O,与另一台变压器的原边绕组(底绕组)BC 的中点 O 相连,接成倒 T 形,其三个出线端接入电力系统的三相电网。底绕组的原边匝数为 W_1 ,高绕组的原边绕组的匝数为 $\sqrt{3}/2W_1$ 。两台变压器次边绕组连成相位差为 90° 的开口三角形接线,其公共端接钢轨,其两个开口端接馈电线,并分别接入相邻接触网区段,次边绕组的匝数相等(均为 W_2)。当两个供电臂负荷相等时,反映到原边的三相电流是对称的。实际上,两个供电臂负荷不一定是相等的,但其负序电流不对称系数也大为降低。这种牵引变电所主变压器接线方式,不能从变压器原边引出三相的中性点,当单相接地运行时,主变压器的绝缘应加强,另外,主变压器容量利用率较低,变电所接线复杂,投资较大。

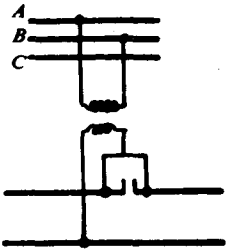


图 2-3 单相牵引变电所原理接线

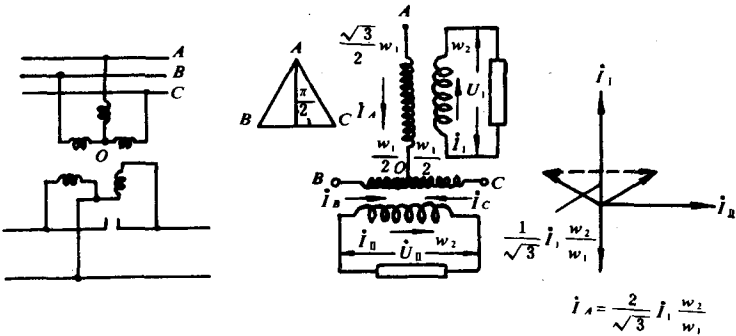


图 2-4 三相-二相牵引变电所原理接线

三相-二相牵引变电所尚有多种变压器的接线方式,可参阅有关资料。

二、分 区 亭

为提高电气化铁道供电的灵活性和可靠性,在两个相邻牵引变电所形成的供电区中间加设的供电设备,称为分区亭。

分区亭的作用:可以使两相邻的供电区段实现并联工作或单独工作。当相邻牵引变电所发生故障,而不能继续供电时,可以闭合分区亭的断路器,由非故障的牵引变电所实行越区供电;当两边供电的供电区发生牵引网短路时,可由分区亭的断路器切除事故点所在的半个供电区,非事故段仍可照常供电。

分区亭的结构有多种型式,图 2-5 是单线区段分区亭的原理接线。当断路器 QF 在闭合位置,在供电区的任一段发生短路故障时,继电保护装置动作,使断路器 QF 跳闸,切除故障点所在的一半供电区,非故障的那一半供电区仍可继续供电,达到缩小故障范围的目的。分区亭