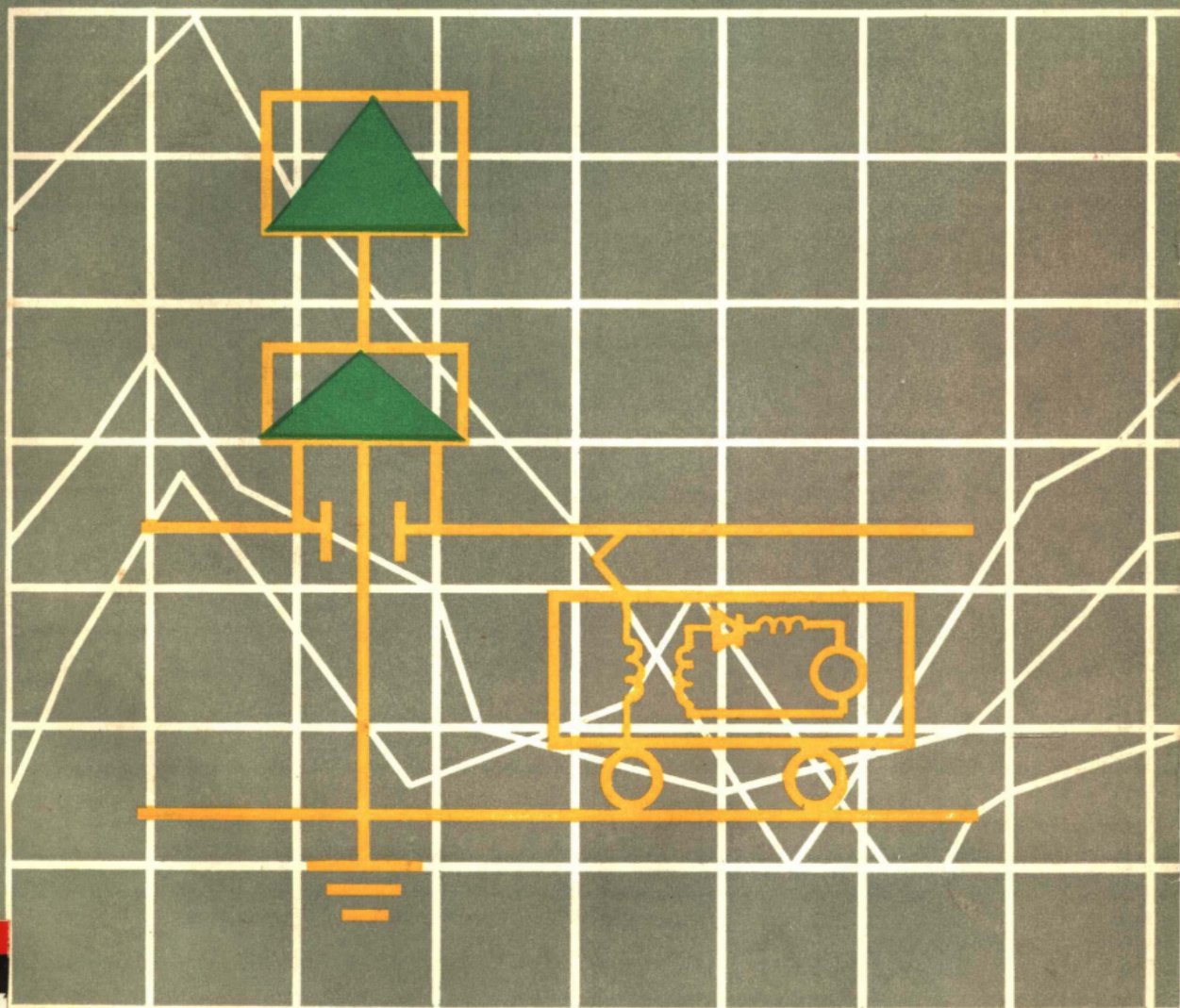


中等专业学校教材

电气化铁道供电系统

内江铁路机械学校 冯仁杰 主编

中国铁道出版社



U223.6
002

中等专业学校教材

电气化铁道供电系统

内江铁路机械学校 冯仁杰 主编
北京铁路电气化学校 胡正义 主审

中国铁道出版社

1997年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

这是一本介绍工频单相交流电气化铁道牵引供电系统基本原理、分析方法和供电计算的教材。全书共分八章,内容主要有牵引供电系统的组成及其调度与供电方式,牵引变电所供电方式,牵引变压器容量计算与选择,牵引网阻抗计算,牵引网、牵引变电所中的电压和电能损失计算,负序电流、牵引变电所的换相联接,牵引变电所中的无功功率补偿装置,谐波电流、交流牵引网对沿线通信线的影响。BT 和 AT 供电方式。书末还附有与上述内容相关的基础知识。

本书除作为中等专业学校铁道电气化专业的教材外,还可供从事电气化铁道工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电气化铁道供电系统/冯仁杰主编. —北京:中国铁道出版社, 1996
ISBN 7-113-02552-8

I.电… I.冯… II.电气化铁道-供电装置 IV.U223
.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 24708 号

中等专业学校教材

电气化铁道供电系统

内江铁路机械学校 冯仁杰 主编

*

中国铁道出版社出版 发行

(北京市宣武区右安门西街 8 号)

*

责任编辑 方 军 封面设计 薛小卉

北京市兴顺印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:14.25 字数:348 千

1997 年 5 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:1—5000 册

ISBN7-113-02552-8/U·707 定价:11.10 元

前 言

本书是根据铁道部制定的中等专业学校铁道供电专业教学计划及铁道部供电教学指导委员会的教材编写计划进行编写的。

本书为了适应电气化铁道的发展和新技术的应用,在原《铁道供电》教材的基础上,增加了如 AT、BT 供电,三相一二相牵引变电所,并联电容补偿装置,谐波电流的影响及其改善措施,微机计算牵引网阻抗等新内容。

本书共分八章及附录。第一、二、三、四、六章由内江铁路机械学校冯人杰编写,第五、七、八章由北京铁路电气化学校漆黔生编写,第四章的第四节由西安铁路运输学校杨玉飞编写,附录由内江铁路机械学校李鲁华编写。本书由冯人杰主编,北京铁路电气化学校胡正义主审。

本书在编写过程中,承蒙铁道部第二设计院电气化处、成都铁路局设计院供电室、铁道部科学研究院机辆所供电室、成都铁路局绵阳供电段技术室及铁道部建设司电气化处等单位的大力支持,在此表示衷心感谢。由于编者水平有限,书中有不妥之处望读者给予批评指正。

编 者

1996年3月

目 录

第一章 电气化铁道电流制与牵引供电系统	(1)
第一节 电气化铁道电流制.....	(1)
第二节 工频单相交流制牵引供电系统.....	(3)
第二章 牵引变电所	(7)
第一节 牵引变电所供电方式.....	(7)
第二节 三相牵引变电所	(11)
第三节 单相牵引变电所	(15)
第四节 三相—二相牵引变电所	(16)
第三章 牵引变电所容量计算与确定	(23)
第一节 计算条件	(23)
第二节 馈线电流	(24)
第三节 牵引变压器的计算容量	(31)
第四节 牵引变压器的校核容量	(35)
第五节 牵引变压器的安装容量	(38)
第四章 牵引网阻抗	(46)
第一节 牵引网电阻与阻抗	(46)
第二节 单线牵引网阻抗	(52)
第三节 复线牵引网阻抗	(63)
第四节 微机在阻抗计算中的应用	(73)
第五章 牵引供电系统电压损失	(83)
第一节 牵引网中的电压损失	(83)
第二节 牵引变压器的电压损失	(89)
第三节 电力系统电压损失和牵引供电系统的电压水平	(92)
第四节 改善供电臂电压水平的方法	(93)
第六章 牵引供电系统电能损失	(98)
第一节 牵引网电能损失	(98)
第二节 牵引变压器电能损失.....	(103)

第三节	减少牵引供电系统电能损失的措施·····	(106)
第四节	接触导线截面的选择·····	(108)
第七章	交流电气化铁道对电力系统的影响和改善措施·····	(111)
第一节	负序电流及其影响和改善措施·····	(111)
第二节	并联电容无功功率补偿·····	(119)
第三节	谐波电流及其影响和改善措施·····	(134)
第八章	交流电气化铁道对通信线路的影响及防护措施·····	(146)
第一节	交流电气化铁道对通信线干扰概述·····	(146)
第二节	危险电压影响·····	(146)
第三节	杂音干扰影响·····	(159)
第四节	防护交流牵引网对通信线路干扰的措施·····	(163)
附录 A	电力机车的谐波电流和功率因数·····	(196)
附录 B	有关的行车组织问题·····	(199)
附录 C	数学知识·····	(203)
附录 D	牵引供电系统的电气计算方法介绍·····	(218)

第一章 电气化铁道电流制 与牵引供电系统

第一节 电气化铁道电流制

电气化铁道采用什么样的电流制,这是关系到电气化铁道在技术、经济指标上是否具有优越性的重大原则问题,也是电气化铁道的建设和发展首先要考虑解决的问题。

我国从 50 年代初开始筹建电气化铁道,经过反复研究论证,结合国内外情况,确定采用工频单相交流制。这种电流制在技术上、经济上和电气化铁道发展建设上比直流制都有很大的优越性。

电气化铁道根据牵引网的电流种类,目前分为四种电流制:

一、直流制

这是电气化铁道最早采用的电流制。国外许多国家在一开始建设电气化铁道时,大多采用这种电流制。但近年来,由于工频单相交流制的发展,直流制所占比例已减少到 50% 以下。

直流制是指在接触网上采用直流供电,使用直流串激牵引电动机来驱动列车。它具有牵引性能良好,机车设备简单以及对通讯干扰小等优点。但直流制接触网上的电压受牵引电动机端压的限制,一般是由两台牵引电动机串联运转,来决定接触网上的电压,故其电压一般不超过 3000V。

由于直流接触网上的电压不高,要保证足够的功率输送给电力机车,牵引电流就很大,通常达到 2000A 左右。此时直流接触网导线截面就要选择很大,即使采用双接触导线和铜承力索都难以满足截面要求,在这种情况下,应增设加强导线。

为了保证牵引网的电压水平,牵引变电所间的距离相应也要缩短,这样变电所的数目就要增加。当接触网电压为 3000V 时,变电所的距离被限制在 20~30km 内。

直流牵引变电所从电力系统获得电能后,除了降压以外,还必需整流,因此不但增加了变电所的设备,而且结构也比较复杂。

从上述可知,直流制虽然有其优点,但消耗金属多,供电设备复杂,投资大,同时直流电有腐蚀金属的缺点,所以在我国铁道干线上都未采用。但在矿山、城市交通及地下铁道上考虑到安全及负荷较小,都仍采用直流制。矿山运输其电压为 1500V,城市电车电压为 650~800V,地下铁道电压为 720~820V。

二、低频单相交流制

低频单相交流制出现在本世纪初。目前,在世界上约占全部电气化铁道长度的 25%,特别是西欧一些国家采用较多。

低频单相交流频率及电压,在西欧国家采用 $16\frac{2}{3}$ Hz,电压为 15000V,美国采用 25Hz,电

压为 11000V。

牵引网电压的提高是低频单相交流(比直流制)的主要优点,从而接触网导线截面减小,变电所间距离增长,一般为 50~70km。

低频单相交流制的主要缺点,是其频率与工业频率不同,所以不能与工业供电系统统一。它一般由低频电源系统或铁路专设低频发电厂供电,也可以利用工频三相电源供电给集中的变频变电所,通过这些变电所,将三相改为单相,工频变为低频,并用单相高压线输电给各个牵引变电所。或者设置分散的变频变电所,将三相变为单相,同时降低频率。

总之无论采用何种供电方式,变频装置是必须的,因其设备复杂、效率低,经济效果并不比直流制好。我国是统一的工频三相电力系统,因而这种单相低频交流制是不适用的。

三、工频单相交流制

1932年在匈牙利首先使用这种电流制建成了第一条电气化铁道。随后由于该电流制技术经济上的优越性,在法国、日本、前苏联和印度等国家得到了广泛采用。

近 15 年来在世界电气化铁道中,该电流制的比重有了较大的增长,由原来的 4% 上升到 25%。

工频单相交流制的电压有 16kV(匈);25kV(法、中、俄)等几种,频率多为 50Hz,日本、美国为 60Hz。

工频单相交流制的优点主要表现在以下几方面:

(1)牵引供电系统比其它电流制结构简单。牵引变电所从电力系统获得电能后,经过电压变换(降压),就直接接到牵引网上,因而牵引变电所设备简单。由于牵引网电压的提高,在输送相同的功率情况下,牵引网中的电流相应地减小,所以牵引变电所之间的距离可以增长,从而使变电所数目减少。同时牵引网结构也较直流制简单。

(2)交流电力机车粘着性能和牵引性能良好。通过机车上变压器的调压,牵引电动机可以全并联状态下工作,牵引电动机并联运转可以防止轮对空转的恶性发展,从而提高了运用粘着系数。牵引网电压的提高,就可以采用大功率高速电力机车,牵引能力与爬坡速度可以大大提高。

(3)交流的地中电流,对地下金属的腐蚀作用不大,可不专设防护装置。

然而单相工频交流制也存在下列主要问题,为此需作相应的改善措施。

(1)单相牵引负荷在电力系统中引起负序电流。当电力系统容量较大时,影响并不显著,但当电力系统容量较小时,就要采取措施。常用的措施是牵引变电所实现“换向联接”,以及采用平衡变压器作牵引变压器。

(2)电力牵引负荷为一感性负荷,使得功率因数降低,同时牵引负荷也是一个非正弦性的负荷,因而能在电力系统中产生高次谐波。功率因数低、高次谐波都不符合电力系统的要求,为此,必须加设外偿装置(并联电容中串接电抗器),以提高功率因数和滤掉三次或三、五次谐波。

(3)牵引网和牵引网中的电流对沿线通讯线路的电磁干扰大,为减小对通讯线路的干扰,通常在牵引网中安装吸一回装置(BT 供电方式),或采用自耦变压器供电(AT 供电方式)等措施(BT、AT 供电方式的含义见本章第二节)。

由此可见,对通讯线路的改造任务十分繁重,所花的投资也很大,往往占电气化铁道供电系统总投资的 30% 左右。

四、三相交流制

三相交流制是在直流制之后产生的,它是应用两根接触导线和一根钢轨形成三相系统电路。机车采用三相异步电动机。这种电流制虽然具有牵引变电所和机车设备简单、电动机结构简单、维修方便的优点,但由于异步电动机调速困难,接触网结构复杂而且不安全,所以,目前这种电流制只在个别国家中采用。

由于三相异步电动机有着上述的优点,目前许多国家都在研究变频电力机车。变频机车是一种交-直-交系统的机车,具有功率大、速度高、 $\cos\varphi$ 近似等于1,并能将无功电流、通讯干扰减小到最小值的优点。

可以预见,采用自耦变压器供电方式的工频单相交流制,实现集中遥控调度,加上变频电力机车,就构成了一个较理想的电气化铁道。这是我国电气化铁道在今后较长一段时间里努力发展的方向。

第二节 工频单相交流制牵引供电系统

一、牵引供电系统及其原理

电气化铁道上的牵引动力是电力机车。它是一种非自给性的机车,所取用的电能,是由专设的一套供电装置供给。这一供电装置除了

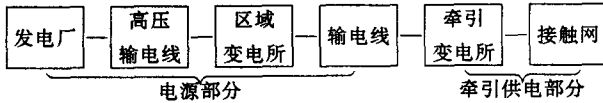


图 1-1 电力铁道供电的结构方框图

其电源(发电厂或区域变电所)外,统称电气化铁道供电系统。如果再除去专用高压输电线路,就称为牵引供电系统(参见图 1-1)。

牵引供电系统主要包括牵引变电所和牵引网两大部分。它一方面接受电力系统的电能,一方面将电能输送给电力机车。整个供电系统的结构,其主要单元可用图 1-1 的方框图来表示

电力系统都用三相高压输电,而电力牵引的供电多数采用双导线制,即接触网与钢轨形成双导线,接触网将电能馈给沿线运行的电力机车,经钢轨回流。一般路线很长,需要设置较多的牵引变电所,每一牵引变电所负责各自区段的馈电任务。

一次供电系统与牵引供电系统的原理电路图,见图 1-2。

图中 1 和 2 是电力系统的组成部分,通常称为电气化铁道的一次供电系统。相对牵引供电系统而言,也称外部供电系统。它由电力部门负责建造与管理。3~7 各部分统称电气化铁道的牵引供电系统,由铁路部门修建和管理。

由图可知,馈电线 4、接触网 5、钢轨 6 和回

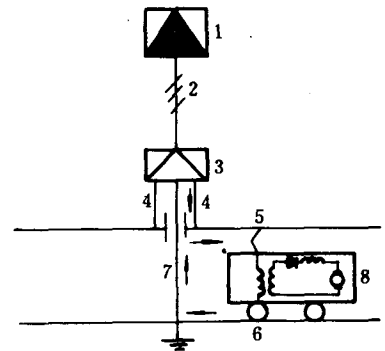


图 1-2 一次供电系统与牵引供电系统原理电路图
1—区域变电所;2—三相高压输电线;3—牵引变电所;
4—单相馈电线;5—接触网;6—钢轨;
7—回流线;8—电力机车。

流线7构成一个双导线馈电系统,并经由电力机车8形成一个电回路。习惯上,常把接触网、轨道、馈电线和回流线统称为牵引网,其中接触网和轨道为主体。因此,牵引供电系统是由牵引变电所和牵引网构成,接受电能后不断地向电力机车供电的一个完整的工作系统。

在上述牵引供电回路中流通的电流称为牵引电流。但因轨道与大地之间有导电的联系,因此牵引电流在流经电力机车后,有部分电流通过轨道进入大地,这部分电流以大地作为导体,然后经过牵引变电所的接地网流回牵引变电所的母线。通常由大地流回牵引变电所的电流称漏泄电流或叫地中电流,简称地回流。经由钢轨回流线流回的电流,简称轨回流。在地回流较大时,二者相差不大。

二、牵引供电系的调度方式

牵引供电系统为了保证不间断地可靠地向电力机车供电,必须要有一个统一指挥生产的中心——供电调度。它是运输调度的重要组成部分,它与行车调度、机车调度密不可分,组成铁路调度整体,以保证和维护按运行图组织正常行车。

各级供电调度是牵引供电设备运行检修的指挥中心,也是电气化铁路掌握信息的中心。

为充分发挥供电调度的作用,除了在管理上实行统一领导分级负责外,供电调度采用的方式是至关重要的。

供电调度采用的方式:主要有电话调度和远动调度两种。

电话调度即通过电话来实现供电调度的指挥与掌握信息的作用。我国现有电气化铁道的牵引供电系统调度,一般采用这种调度方式。

远动调度:是指供电调度所与被控端(牵引变电所或分区亭等)之间实现遥控、遥测、遥讯和遥调的总称。

远动调度是我国电气化铁道新兴起的一种供电调度方式,它是将计算机应用于远动技术方面的新技术。它比电话调度效率更高,近年来新建电气化铁路的干线区段多采用这种调度方式。

应该指出的是:随着计算机的迅速普及与应用,随着新技术的不断成熟和铁路发展的实际需要,调度管理将向自动化方向发展,即向以行车调度为中心,集中信号、电力、车辆等调度功能的综合牵引调度的自动化方面发展。

三、牵引供电系统的供电方式

牵引供电系统的供电方式,目前主要有直接供电、BT供电、AT供电三种。

1. 直接供电方式

指牵引网中没有安装任何变压器,牵引网直接向机车供电的一种方式,也称简单供电方式。

直供方式的送电导线是接触网,回流导线是钢轨和大地。由前可知地中电流将使接触网和钢轨中的电流大小不能相等,这就构成了牵引网的不对称供电回路。因而对邻近的通讯线路将产生严重的电磁干扰影响。

2. BT供电方式

BT供电方式是吸流变压器—回流线装置的简称。

BT供电方式是指牵引网中安装了变比1:1的电力变压器(吸流变压器)和回流线后,向

机车供电的一种方式。

吸流变压器的原边串接在接触网中,次边串接在回流线中。一般每隔 1.5~4.0km 装设 1 台 BT 于四跨锚段关节处。回流线与接触网架设同一支柱上,为了给列车电流提供一个返回回流线的通路,一般在相邻两吸流变压器的中点,用吸上线将回流线与钢轨联接起来。这样,牵引电流的途径就由接触网经吸流变压器原边到电力机车,由于吸流变压器的互感作用,到达机车后的电流,就可通过吸上线到回流线返回牵引变电所。

可见,BT 供电方式使接触网与回流线中的电流,不仅方向相反,而且大小接近相等,两者在通信线产生的磁感应影响,可基本相互抵消,故可有效地减小对邻近通讯线路的干扰影响。

3. AT 供电方式

AT 供电方式是自耦变压器供电方式的简称。

AT 供电方式是指在牵引网中安装了自耦变压器和正馈线后,向机车供电的一种方式。

自耦变压器绕组的两端,分别与接触网和正馈线相联结,其中性点与钢轨连结,接触导线与正馈线架设同一支柱上。从防护效果和投资经济综合考虑,AT 间的间距一般在 8~16km 左右。

AT 供电方式对通讯线路的防护原理与 BT 供电方式相似,即自耦变压器相当于吸流变压器的作用,AT 中点与钢轨的连接线——中性线相当于吸上线,正馈线相当于回流线,但正馈线是一高压线,回流线是一低压线,所以正馈线要通过绝缘子串悬挂在支柱的横担上。

AT 供电方式除了具有防干扰性能好外,还有供电质量高(供电电压为 $2 \times 25\text{kV}$,供电电流为列车负荷的一半)、牵引变电所数量少,减少输变电工程等特点,能适应高速、大功率电力机车的运行,是新兴起的具有很强生命力的一种供电方式。

AT 供电方式相比于直接供电方式、BT 供电方式,也存在着接触网结构复杂,维修不便,牵引变电所设备、接线复杂,继电保护复杂,在山区多隧道的线路施工困难等问题。

由于 AT 供电方式能满足高速、大功率机车运行的要求,国外很多的电气化铁道都采用 AT 供电。我国在大同——秦皇岛电气化铁道上首先采用 AT 供电,现已有一定的运行经验。按照我国铁路运输方针“重载高速”的要求,AT 供电方式将在我国的电气化铁道上不断地被采用并得到发展。

对于某一个电气化区段而言,采用何种供电方式,必需结合线路的实际状况和对通讯路的干扰情况等因素,从技术上、经济上全面地进行综合分析比较,才能因地制宜地正确、合理地选择好牵引供电系统的供电方式。

习 题

1. 划分电气化铁道电流制的依据是什么?
2. 为什么采用直流制时,接触网上的电压一般不超过 3000V? 而由此带来的缺点是什么?
3. 我国城市无轨电车、矿山电力机车、地铁为什么都采用直流制,而电气化铁道干线上却不采用直流制?
4. 分析说明工频单相交流制存在问题的原因,并指出相应的改善措施。
5. 什么是工频单相交流制的牵引供电系统? 其中牵引变电所与牵引网的作用是什么?
6. 画出工频单相交流制的一次系统和牵引供电系统的原理电路图。并按图指出:牵引电流、地回流、轨回流、牵引网及其主体。

7. 画出三相交流制的原理电路示意图,并说明该电流制在工厂企业内是否有应用价值。
8. 说明工频单相交流制牵引供电系统三种供电方式的含义。试画出 BT、AT 供电方式的原理电路图。
9. 怎样认识牵引供电系统调度的重要意义和与之相关的调度方式。今后调度方式的发展方向将会是什么?
10. 应当怎样才能正确、合理地选用牵引供电系统的供电方式。

第二章 牵引变电所

第一节 牵引变电所供电方式

牵引变电所对牵引供电系统来说是电源部分,但对电力系统而言则是用户。根据用户负荷的性质可分为三级负荷:一级负荷是指中断供电将造成人身事故、设备损坏,将产生废品,使生产秩序长期不能恢复,人民生活发生混乱等。二级负荷是中断供电将造成大量减产,将使人民生活受到影响。三级负荷是指不属于第一、二级的负荷,如工厂的附属车间、小城镇等。

电气化铁道的牵引负荷是一级负荷,有时也说重要负荷,因此,要求供电有最大的可靠性,即每个牵引变电所必须有两个独立电源保证不间断供电,或者由一个电源经两路输电线供电。这时每路输电线必须保证全部负荷的供电。

从牵引变电所既是用户又是电源这个角度考虑,必定有受电和输电两种情况。我们将受电的方式和输电的方式,统一称为牵引变电所的供电方式。

在受电方面,可分为送来与引进两种方式,即牵引变电所外部供电方式和牵引变电所引入线方式。

在输电方面,主要指牵引变电所向牵引网的供电,即牵引网的供电方式

综合起来,牵引变电所的供电方式是以牵引变电所为中心,可用“来”、“进”、“出”三个字作简单、概略的记忆,以便能重点的了解与掌握牵引变电所供电方式所包括的上述三种供电方式的含义。另外,从牵引变电所的供电任务来看,又分为集中供电和分散供电两种供电方式。这两种供电方式是牵引变电所的基本供电方式。

一、牵引变电所的外部供电方式

牵引变电所的外部供电方式是指电力系统的电力网或发电厂对牵引变电所送电所采用的方式。其供电方式与当地供电系统的分布状况、发电厂和区域变电所的位置以及它们的容量等因素有关。目前,在牵引变电所的基本供电(集中、分散供电)方式下,按电源多少及输电线的回数,可分为下列几种方式。

(一)集中供电方式

集中供电方式的牵引变电所(每个牵引变电所只单独完成所管辖供电臂的供电任务)通常设置两台变压器。其外部供电方式有:

1. 单电源供电

这时的牵引变电所只由一个方向的电源供电,但必须有两回输电线供电。两路输电线有各自的杆塔和走线,以保证一路发生故障时,牵引变电所不致中断供电。单电源供电的接线原理如图 2-1 所示。

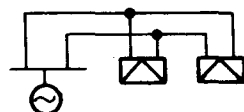


图 2-1 单电源供电

1—引入线;2—牵引变电所;3—输电线。

单电源供电适用于电力系统向牵引变电所专门供电的场合。

2. 双电源供电

牵引变电所同时由两个不同电源点供电。按输电线回数,又分为:

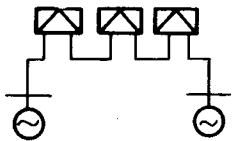


图 2-2 双电源单回路供电

(1)单回路供电 单回路供电的可靠性比单电源供电较高,其接线原理如图 2-2 所示。

当变电所接入数目在 2 个以上时应采用桥接线。它适用于电力系统的非主要功率传输线上。

(2)双回路供电 双回路的供电可靠性高,接线原理如图

2-3 所示。

双回路供电用于当线路 1 为电力系统的主要功率传输不能破口需另设线路 2 为电气化铁路专用线的场合。因此它除了供电可靠性高以外,还不影响电力系统的功率传输。

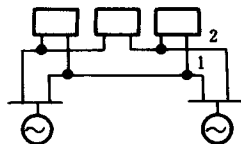


图 2-3 双电源双回路供电

3. 混合供电

其接线原理如图 2-4 所示。

混合供电适用于电源点较多的场合。它具有结合电力系统和牵引变电所具体情况灵活采用,使牵引变电所的接线在保证可靠性的基础上尽量简单的特点。

(二)分散供电方式

分散供电方式的牵引变电所(每个牵引变电所除了负责在正常时所辖供电臂的供电任务外,还能在事故或检修的情况下负担相邻变电所所辖供电臂的供电任务,即通常说的越区供电),一般可设置一台变压器。

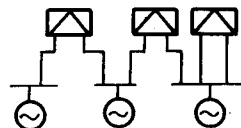


图 2-4 混合电源供电

当牵引变电所设置一台变压器时,其外部供电方式与集中供电方式的牵引变电所基本相同,也分为单电源、双电源(单回路、双回路)、混合电源三种方式,且其适用的场合也相同,但在接线原理电路上有差别,主要是输电线的回数及引入线不同,其接线原理如图 2-5 所示。

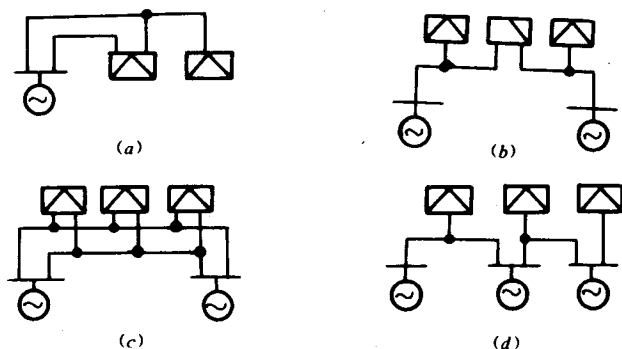


图 2-5 分散供电方式的牵引变电所外部供电方式

(a)单电源供电;(b)双电源单回路供电;(c)双电源双回路供电;(d)混合电源供电。

由图 2-5(a)可知,其主要特点是除了最后一个牵引变电所外其余的都需要双回输电线,但变电所数目不得超过 3 个。图 2-5(b)是两个变电所可采用一回进线,且可靠性较高。图 2-5(c)具有运行灵活、可靠性高的特点。变电所虽然两回进线,但引入线简单(中间变电所也可一回进线)。图 2-5(d)是变电所一般都可采用一回进线,且可靠性高。

需要指出的是目前牵引变电所的基本供电方式,主要采用集中供电方式。

二、牵引变电所引入方式

牵引变电所的引入线方式,即是牵引变电所的主接线。牵引变电所从电力系统的电力网引入三相高压电源,经牵引变压器降压后,再以单相方式将电能馈给牵引网,这是牵引变电所的主要作用。但牵引变电所采用何种引入方式,这需要从技术、经济、运行、外部供电方式、主变压器的接线方式等各方面加以综合比较后才能确定。总的来说,在满足供电可靠的前提下,尽量采用简单的引入方式。

目前我国采用集中供电方式的牵引变电所,其引入方式有以下三种:

1. “桥”接方式〔图 2-6(a)〕

“桥”接也称通过式接法,其特点是允许系统的功率穿越牵引变电所。“桥”接按中间横向母线的位置不同分为“内桥”与“外桥”两种接线。这两种接线的特点与应用以及接线原理图,可详见牵引变电所课程。

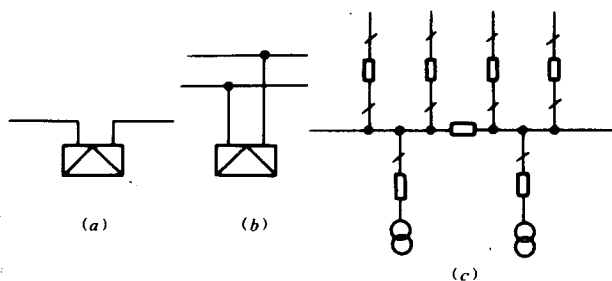


图 2-6 牵引变电所引入线的方式

(a)“桥”接方式;(b)“T”接方式;(c)单母线分段方式。

“桥”接适用于双电源供电和混合电源供电,在 35~220kV 的环形供电网络的电力系统中也得到了广泛的应用。

2. “T”接也称“双 T”接方式〔图 2-6(b)〕

“T”接方式的特点是外部负荷不进入牵引变电所。接线形式简单,比“桥”接减少设备、节省投资,线路继电保护也简单。目前,牵引变电所广泛采用这种接线方式。在运行方式上,如果两路电源进线不能同时供电,即两路进线中,一回主供,一回备供。当主供发生故障时,可用手动投入备供,这将发生几分钟至几十分钟的停电时间,为此,在重要的电气化区段,应采用自动投入或远动调度控制,否则应采用双回主供。

3. 单母线分段方式〔图 2-6(c)〕

这种方式通常是用在 110kV 侧两路电源引入线外,还有其它出线的牵引变电所。图示为用断路器分段的单母线接线。该方式的特点是运行方式灵活,设备检修方便,且允许外部负荷穿越牵引变电所,线路或主变压器发生故障时互不影响。当引入线回路在四回以上且较重要的场合,则常采用单母线分段带旁路母线的接线,其接线图可见《牵引变电所》一书的主接线。

三、牵引网的供电方式

牵引变电所是沿着电气化铁道区段分布的,每一个牵引变电所有一定的供电范围。而牵引变电所向牵引网的供电方式,主要是按牵引变电所的分布情况、供电臂的长短、线路状况以及供电的可靠性而定。通常分为单边供电和双边供电。

在相邻两个牵引变电所之间的接触网,为了使其安全、可靠地供电,通常在其中央处断开,即分成互相绝缘的两个部分。每一部分称为供电分区,一个供电分区的长度对应于线路的区间

数,约在1~5个区间范围内。

每个供电分区牵引网上的相序(如图2-7所示A、B、B、C和图2-8所示的A、C、C、B)主要是根据牵引变压器的接线方式而定。因此,对三相Y、 d_{11} 接线和单相V/V接线,接触网的分相电分段均设在变电所处,其余设电分段;单相接线的分相电分段设在变电所间供电分区的分界处。

1. 单边供电

采用这种供电方式时,每一个供电分区的接触网,只从一端的牵引变电所获得电源,此时的供电分区通常称供电臂。

(1)单线的单边供电 单线路单边供电的原理图,如图2-7所示。

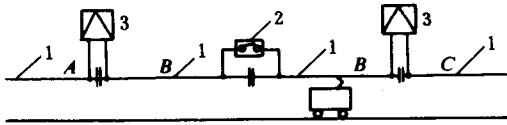


图 2-7 单线牵引网供电原理
1—供电分区;2—分区亭;3—牵引变电所。

图中在供电分区的末端,设置有断路器的分区亭,以便对接触网起到分段与保护作用,同时可实行越区供电。目前,在单线单边供电下已不设分区亭,而用两个分相绝缘器和一台隔离开关来代替分区亭。

(2)复线的单边供电 复线牵引网的供电方式目前都采用同相的单边供电,它有单边分开供电和单边并联供电两种方式。单边并联供电即在同一供电分区内,上行和下行的接触网在分区的末端联接起来,由同一相供电。其接线原理图如图2-8所示。

图中I和II分别表示为上行线和下行线, I_1 和 I_2 分别表示为上行接触网和下行接触网中流过的负荷电流,A、C、C、B为牵引网供电电源相位。从图中可以看到,在供电分区的末端利用分区亭的开关装置,可以将上下行接触网联通,使复线区段的接触网在供电分区内并联联接,故此种供电方式称并联供电,也称上、下行串联供电。并联供电,可以显著提高牵引网的电压水平,降低供电系统的电能损失。



图 2-8 复线牵引网并联供电原理

(3)越区供电 当某个牵引变电所发生故障或停电检修时,该变电所承担的供电臂供电任务,通过分区亭的开关关闭,由两侧相邻的牵引变电所负责进行越区供电。越区供电是一种不正常的供电。单线路单边供电的“越区供电”,如图2-9所示。

复线单边供电的越区供电,仍然通过分区亭来实现,如图2-8所示。通常在分区亭内装设四台断路器,两台负责并联供电,两台实行越区供电。

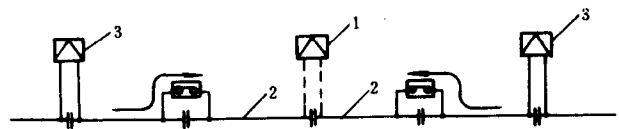


图 2-9 越区供电
1—故障牵引变电所;2—越区供电区间;3—正常牵引变电所。

在越区供电时,由于供电臂的延长,在其末端的电压就易出现电压降过大的情况。这时当牵引变电所采用集中供电方式时,则在进行供电计算的过程中,需要仔细地核算。采用分散供电方式的牵引变电所,由于该供电方式本身就考虑了越区供电的任务,所以就不需再进行核算。为使机车运行电压留有余地,在正常供电时最低电压为20kV,而在“越区供电”时,允许短时最低电压为19kV。如果不能满足

上述要求,应采取相应补偿措施,以保证供电质量,使运输不受影响。

单边供电是我国目前电气化铁道普遍采用的一种供电方式,其优点是牵引网发生故障时,只影响本供电臂,所以事故范围小,并且馈线保护及操作简单。但缺点是牵引网中电能损失与电压损失大,使供电电压的水平降低。

2. 双边供电

双边供电就是相邻两个牵引变电所同时以同相位的电源,从两端向它们之间的牵引网供电。为了达到供电可靠和缩小事故范围,以及实行双边供电,通常在区段中央处断开,与单边供电相仿,设置分区亭,通过分区亭内的开关设备,再将整个供电区段联接起来。其结线原理如图 2-7 所示。

双边供电目前在我国电气化铁道线上均未采用,其主要缺点是馈线和分区亭的保护以及开关装置都较复杂。优点是可以降低牵引网中的电能损失与电压损失,使牵引网的电压水平有较大的提高。另外对邻近通信线路的电磁感应的影响较小。

第二节 三相牵引变电所

三相牵引变电所是指变电所内采用的是三相牵引变压器,是我国电气化铁道目前采用最多的形式。

一、三相牵引变电所的接线方式

三相牵引变电所的接线方式,就是指牵引变压器的联接型式。为了减小电气化铁道对电力系统产生的负序电流影响,不但应对牵引变压器选取合理的接线组别,而且对各牵引变电所的进线应进行相序轮换(详见第七章)。目前我国投入运营的牵引变压器,都为双绕组三相油浸风冷式变压器,其结线组别为 Y, d_{11} 的型式,高压侧为 YN 接线,接到电压为 $110kV$ 的电网上,原边中性点装有接地开关,其切合由地方电力调度下令决定。当开关闭合时对电力系统而言就增加了一条零序保护的并联支路。通常开关是断开的,故高压侧 YN 接线实际是 Y 。低压侧三角形接是接到牵引变电所二次侧母线上,其额定电压为 $27.5kV$,它比牵引网额定电压 $25kV$ 高 10% 。接线原理图如图 2-10 所示。

图中牵引变压器的高压侧通过引入线联接到三相电力输电线上,低压侧的一角 c 端子接地轨,以便施工与维修方便。余下两角 a 与 b 分别接到 $27.5kV$ 的牵引侧母线上,并由此分别馈入牵引变电所两侧的牵引网。由于两侧牵引网电压相位不同,因此在接触网上必须互相绝缘,通常由分相绝缘器来实现。 I_a 、 I_b 分别为左右两侧牵引负荷。

目前,在设计中常采用简易的展式图,如图 2-11 所示。

图中约定

- (1)原、副边对应绕组相互平行;
- (2)原、副边对应绕组的同名端在同一侧;

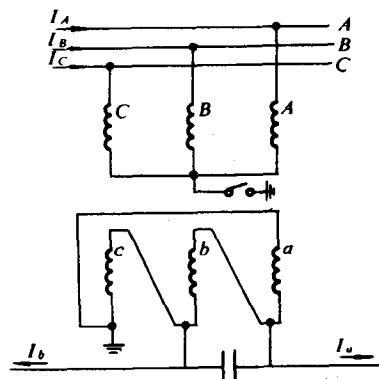


图 2-10 三相牵引变电所接线原理