

DIANQIHUATIELU
XINHAOSHEBEI

电气化铁路信号设备

林瑜筠
张秉涛 主编
熊五利
吕永昌 主审

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



电气化铁路信号设备

林瑜筠 张秉涛 熊五利 主编
吕永昌 主审

中 国 铁 道 出 版 社

2006年·北 京

内 容 简 介

本书介绍电气化铁路的信号设备及其维修方法。包括电气化铁路基本知识,电气化区段信号设备的特点,电气化区段所用 25 Hz 相敏轨道电路和 25 Hz 轨道电源,电气化区段作业安全等五部分。

本书是为电气化铁路信号维护人员掌握信号设备基本知识和从事信号维护基本技能而编写的,可作为信号技术培训用书,也可供大、中专铁路信号专业师生教学参考。

图书在版编目(CIP)数据

电气化铁路信号设备/林瑜筠,张秉涛,熊五利主编.
北京:中国铁道出版社,2006.10
ISBN 7-113-07495-2

I. 电… II. ①林…②张…③熊… III. 电气化
铁道—铁路信号—信号设备 IV. U284.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 124513 号

书 名:电气化铁路信号设备

作 者:林瑜筠 张秉涛 熊五利 等

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)

策划编辑:魏京燕

责任编辑:魏京燕

封面设计:陈东山

印 刷:中国铁道出版社印刷厂

开 本:787×1092 1/32 印张:4.5 字数:99 千

版 本:2006 年 11 月第 1 版 2006 年 11 月第 1 次印刷

印 数:1~5 000 册

书 号:ISBN7-113-07495-2/TP·2067

定 价:11.60 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,请与本社发行部调换。

前 言

电力牵引是目前世界上最理想的铁路牵引动力方式,高速铁路、城际客运专线、城市轨道交通无不采用电力牵引,电气化铁路是铁路现代化的发展方向。目前,我国主要铁路干线大部分已实现了电气化,电气化铁路已经超过 20 000 km,居世界第三位。在铁路的跨越式发展中,电气化铁路将获得更迅速的发展,规划到 2020 年,电气化铁路将占 50%。

电气化铁路对信号设备有强烈的电气化干扰,电气化对信号设备的影响主要是牵引电流对信号设备的干扰,接触网对信号机也有所影响,还存在危险电压对维修操作人员的人身安全的影响。必须采取措施,减轻这些影响。电气化区段的信号设备必须具备抗电气化干扰的能力。因此,电气化区段轨道电路的制式、高柱信号机的安装、信号电缆的敷设、地线的设置,都不同于非电气化区段。

电气化改造对信号设备影响最大的是轨道电路,原非电气化所用的站内轨道电路不能在电气化区段使用,必须采用能抗电气化干扰的轨道电路。除了为信号显示良好而选择信号机位置较困难以外,还应处理好信号机的设置位置与接触网电分段的关系。电气化区段对于地下信号电缆有较大影响,应采取相应措施,保证信号电缆在电气化环境中正常使用。电气化区段应设置贯通地线。

在电气化区段,接触网的高电压、钢轨中流通的牵引电流以及两侧钢轨之间的不平衡电流,都是对信号维修人员人身安全的巨大威胁。因此,在电气化区段作业特别要注意安全。

在电气化区段工作的信号维修人员必须了解电气化铁路,

熟悉电气化铁路的信号设备,掌握电气化铁路及电气化铁路信号设备的基本知识和从事信号设备维修的基本技能。在最近京沪铁路等电气化改造的技术培训中,我们深感缺乏适用教材,因此编写了本书,期望对于广大信号维修人员有所帮助。

本书首先根据信号维修的实际需要,介绍电气化铁路的基本知识,主要是与信号设备关系密切的接触网。接着,介绍电气化铁路牵引电流对信号设备的干扰,电气化区段的轨道电路,电气化区段的信号机,电气化区段的信号电缆地线,以及吸上线、回流线与钢轨连接的基本要求。然后,重点介绍 25 Hz 相敏轨道电路的组成、工作原理、维修和故障处理,以及 JXW25 型电子相敏轨道电路、GX·J-25 型电子相敏轨道电路、25 Hz 轨道电源屏、电子变频的 25 Hz 交流模块的结构和工作原理。最后,介绍电气化区段的作业安全。

本书着重介绍具有电气化区段特点的信号设备的有关内容,未介绍信号设备的共同内容,欲了解有关情况,请参阅其他书籍。

本书由南京铁道职业技术学院林瑜筠主编,济南铁路局电务处张秉涛、南昌铁路局电务处熊五利副主编,上海铁路局电务处吕永昌主审。其中:林瑜筠策划,对全书进行统稿,且编写第一章;张秉涛编写第二章;熊五利编写第三章;南京铁道职业技术学院徐彩霞编写第四章、第五章;南京电务段汪东晓、徐木根参加了编写。

由于资料难以搜集齐全,再加上编者水平所限,时间仓促,书中不免有错误、疏漏、不妥之处,恳望读者批评指正,以不断提高本书水准。

在本书编写过程中,得到全路不少单位和同仁的支持和帮助,于此一并表示感谢。

编 者

2006 年 8 月

目 录

第一章 电气化铁路	1
第一节 电气化铁路概述	1
第二节 牵引供电系统	9
第二章 电气化区段的信号设备	24
第一节 牵引电流对信号设备的干扰	24
第二节 电气化区段的轨道电路	25
第三节 电气化区段的信号机	40
第四节 电气化区段的信号电缆	45
第五节 地线以及吸上线、回流线与钢轨连接	51
第三章 25 Hz 相敏轨道电路	59
第一节 电气化区段的轨道电路制式	59
第二节 25Hz 相敏轨道电路技术要求	61
第三节 25 Hz 相敏轨道电路	62
第四节 JXW25 型电子相敏轨道电路	98
第五节 GX·J-25 型电子相敏轨道电路	103
第四章 25 Hz 轨道电源	110
第一节 25 Hz 轨道电源屏	110
第二节 电子变频的 25 Hz 交流模块	125
第五章 电气化区段作业安全	128
第一节 电气化区段作业安全	128
第二节 防止电击伤	132
参考文献	135

第一章 电气化铁路

在铁路运输中,采用电力牵引可以较大程度地提高运输能力,显著地节约能源。电气化是铁路现代化的主要标志之一。

第一节 电气化铁路概述

一、电气化铁路及其优越性

采用电力牵引的铁路称为电气化铁路,电气化铁路的牵引动力是电力机车。

在提高铁路运输能力、改善铁路运营管理、合理利用资源和保护生态环境方面,电力牵引是目前世界上最理想的铁路牵引方式,是铁路现代化的发展方向。目前世界各国的高速铁路几乎都采用电力牵引。

蒸汽机车和内燃机车都是用热能作为动力,而且这种热能都是由机车本身装载的燃料燃烧后产生的。电力机车则不同,它用电能作动力,这种电能不是由机车本身产生的,而是由发电厂发电后经由高压输电线路输送来的,而发电厂可利用自然界的各种能源生成电能。诸如:火力、水力、核能、风力、太阳能和潮汐等,发电后输入高压电网,电力机车即可从牵引变电所、接触网中获取电能,使之牵引列车运行。所以,电力机车所需要的电能,可以由很多形式的能量转换而来。不管是哪一种能量,电力机车都能利用由它转换的电能来运行。

电力机车的主要优点是:功率大、热效率高、速度快、运载能力强、运行可靠。

由于电力机车的能量来自外部的供电系统,易于制造大功率的机车,因而具有较强的运载能力。这对机车启动、牵引重载列车和通过长大坡道非常有利。由于电力机车的运载能力强,启动和限速的问题已不复存在。

因电力机车本身不设原动机,不烧煤、不燃油,可使机车乘务人员和沿线养护人员的劳动条件得到改善,也为广大旅客创造了舒适的旅行环境。

电气化铁路虽有许多优点,但也有不足之处。修建电气化铁路的一次性投资较大(虽投资回收期较快),采用工频交流 25 kV 供电制式对铁路沿线的弱电设备有干扰,在运营中需要开“天窗”维修等。今后随着科学技术的不断进步和运营管理经验的积累,这些问题将会逐步地改善和解决。

二、电力牵引的电流制式

电气化铁路的电流制式,是指电气化铁路牵引网中采用的电流种类。在整个电力牵引的发展历程中,经历了由低压直流、三相交流、低频单相交流到工频单相交流的演变过程。可分为四种电流制式。

1. 直流制

直流制是电气化铁路最早采用的一种电流制式。

直流牵引有电动机易于调速、牵引性能良好、机车构造简单、对通信干扰小等优点,但它需要在牵引变电所设置整流设备,将交流电变成直流电后向电力机车供电,因而使牵引变电所结构复杂,设备昂贵。牵引网由于受牵引电动机端电压的限制,电压不能太高,故牵引网的电流很大,接触网的等效截面也很大,有时竟达 $600 \sim 800 \text{ mm}^2$ 。为了节省有色金属和保

证牵引网的电压水平,不得不缩小牵引变电所之间的距离,一般控制在 20 km 左右。这样,随着牵引变电所的数量增多,建设投资和运营费用也随之增高。

直流制的另一个问题是它的漏泄电流对沿线地下金属设施的腐蚀比较严重,需要采取防护措施。由于运量及安全等因素,一般在矿山、城市轨道交通中采用直流制式。

2. 低频单相交流制

低频单相交流制发展得比较早。现普遍使用 15 kV, $16\frac{2}{3}$ Hz 的低频单相交流制。低频单相交流制可以提高接触网的电压,增加牵引变电所之间的距离,减小接触网线的有效截面。但由于设备复杂,其经济效果不如直流制。

3. 三相交流制

它具有牵引变电所和机车设备简单、维修方便的优点,但由于异步电动机调速困难,接触网结构复杂且不安全,故三相交流制仅在个别国家采用。

4. 单相工频交流制

单相工频交流制是 20 世纪 50 年代开始起步的,由于技术、经济上的优越性因而发展很快,世界各国均相继采用。

单相工频 25 kV 交流制的主要优点有:

①牵引供电系统比其他电流制式的结构简单。变电所由电力供电系统供电,经降压后直接接到接触网上,因而变电所内设备简单。

②可以大幅度地提高接触网的电压,从而增大了牵引变电所之间的距离,减少了变电所的数量,缩小了接触网的有效截面,减轻重量,节约用铜,简化了接触网的结构,降低了牵引网中的功率损失。这样不仅减少了电气化铁路的建设资金,而且也降低了运营费用。

③由于电力机车采用变压器调压,牵引电动机全部并联运转,可以防止轮对空转,提高了电力机车的黏着系数,改善牵引性能。由于网压提高,工作电流减小,可以采用大功率高速电力机车,因而用电力机车牵引可以多拉快跑,爬坡时的运载能力尤为明显。

④交流牵引网中的地下电流,对地下金属管线的腐蚀作用比直流制式小得多。

三、电力牵引的供电方式

电力牵引给铁路信号设备带来了较大的强电干扰,若不能有效地防止和排除电力牵引的种种干扰,就不能保证行车安全和提高运输效率。为此,在电力牵引供电制式方面必须采取防干扰措施。

电力牵引的供电方式有 TR 供电方式、BT 供电方式、AT 供电方式等。

1. TR 供电方式

我国早期的电气化铁路采用直接供电制式(简称 TR 供电方式),是在牵引网中不加任何防护措施的一种供电方式。它的一根馈线接在接触网(T)上,另一根馈线接在钢轨(R)上。供电回路最简单,投资也省,牵引网阻抗较小,能耗较低。供电距离单线线路可达 30 km 左右,双线线路可达 25 km 左右。

TR 供电方式,在列车运行时,机车由接触网受流,牵引电流经钢轨和大地流回牵引变电所,对轨道电路产生干扰;牵引电流在悬挂的接触网周围产生强大的交变磁场,对其附近的弱电设施及电线路产生相当大的电磁影响,钢轨电位较高。

还有一种是直供加回流线制式(简称 TR-NF 供电方式),在牵引网中增设回流线(NF)。这样,牵引电流一部分经钢轨

和大地流回牵引变电所,大部分经回流线流回牵引变电所。其较直供方式略有改进,对外界的干扰有所减少。

2. BT 供电方式

BT 供电方式是吸流变压器供电方式的简称,是在牵引网中架设有吸流变压器-回流线装置的一种供电方式。吸流变压器是一种容量为数百千伏安的特种电力变压器,变比为 1:1。它的 I 次绕组串接在接触网(T)中,Ⅱ次绕组串接在专为牵引电流流回牵引变电所而特设的回流线(NF)中,所以也称吸流变压器-回流线供电方式(简称吸-回方式),如图 1-1 所示。

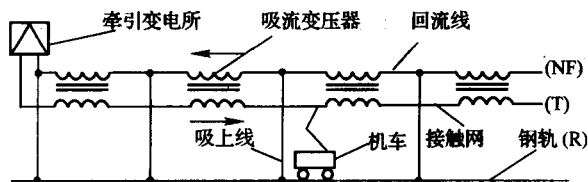


图 1-1 BT 供电方式

在两个吸流变压器中间用吸上线将钢轨与回流线连结起来,构成电力机车负荷电流由钢轨流向回流线的回路。两个吸流变压器之间的距离称为吸流变压器区段,一般长为 2~4 km。

通过吸流变压器 I、Ⅱ次绕组之间的互感耦合作用,迫使本来由钢轨和大地返回牵引变电所的牵引电流,大部分改经回流线返回牵引变电所,从而减小了对轨道电路的强电干扰。当吸流变压器的 I 次绕组流过牵引电流时,在其Ⅱ次绕组中由吸上线使牵引电流回流从钢轨流入回流线。吸流变压器的变比为 1:1;接触网与回流线中流过的电流又大致相等且方向相反(相位差 180°),两者所产生的磁场大部分互相抵消,故减轻了对邻近的弱电设施及电线路的电磁影响。

但是 BT 供电方式的干扰影响仍然存在,由于吸流变压器需要励磁电流,它等于变压器 I 次侧电流与 II 次侧电流的几何和。励磁电流的存在不仅是使 I 次侧电流与 II 次侧电流大小不等,而且相位也小于 180° 。由于励磁电流只流经接触网而不流经回流线,所以存在着励磁电流对周围电气设备、电线路的干扰。再则,在接触网发生短路故障时,通过吸流变压器的电流急剧增加,吸流变压器的铁芯饱和,使吸流变压器的防护效果显著降低。

我国电气化铁路中 BT 供电方式应用较广,但这种供电方式由于在接触网中串联了吸流变压器,接触网的阻抗比直接供电方式大 50% 左右,能耗较大。供电距离也较短,单线一般为 25 km 左右,双线一般为 20 km 左右,投资也比直接供电方式大。

3. AT 供电方式

AT 供电方式是自耦变压器供电方式的简称,是在接触网上与正馈线之间并联接入一台自耦变压器,其中性点与钢轨相接。每隔 10 km 左右设置一台自耦变压器,它将牵引网的供电电压提高一倍,而供给电力机车的电压仍为 25 kV,其工作原理如图 1-2 所示。

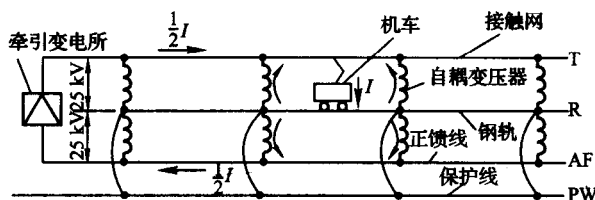


图 1-2 AT 供电方式

电力机车由接触网(T)受电后,牵引电流一般由钢轨(R)流回,由于自耦变压器的作用,钢轨上的回流经自耦变压

器绕组和正馈线(AF)流回变电所。当自耦变压器的一个绕组流过机车电流时,其另一个绕组感应出电流供给电力机车,因此实际上当机车负荷电流为 I 时,由接触网(T)和正馈线(AF)供给的电流为 $I/2$,负荷电流 I 是由自耦变压器感应电流供给的。

对于列车负荷来说,由牵引变电所至第一个自耦变压器之间是由接触线与正馈线的平衡回路供电的,在两个自耦变压器的区段内,列车负荷是由两个自耦变压器并联供电的,牵引负荷电流在接触网和正馈线中的方向相反。故选择适当的AT间距,就能达到与BT供电方式同样的防干扰效果。其次,当接触网短路时,不会造成自耦变压器的铁芯饱和而导致防干扰效果的严重恶化。

AT牵引网中钢轨与保护线(PW)并联的连接线一般接在扼流变压器的中性点上。设置防护线的作用是:

- ①减小了钢轨中的牵引电流,降低了钢轨电位;
- ②接触网支柱地线一般连接在防护线上,不再与钢轨直接相连,从而改善了轨间对地电阻的不平衡程度;
- ③保护线起屏蔽线的作用,选择适当的截面和安装位置,可降低牵引网的磁影响。

自耦变压器的中点与扼流变压器的中性点相连,并通过放电器接地。在正常情况下,放电器抑制了地电流;在短路情况下,放电器间隙放电,又可抑制钢轨电位的上升。

AT供电方式是20世纪70年代才发展起来的一种供电方式,除具有良好的防干扰性能外,由于供电电压高、电流小、供电回路阻抗低、电能损耗小、供电距离长(可达40~50 km),减少了牵引变电所和输电线路的数量,也减少了电力系统对电气化铁路供电的工程投资。并且接触网不需要像BT方式那样分段,改善了运营条件,适合于高速、重载等大电

流机车运行。

4. CC 供电方式

同轴电缆供电方式(简称 CC 供电方式),是一种新型供电方式。它的同轴电力电缆沿铁路线路敷设,内部芯线作为供电线与接触网相连,外部导体作为回流线与钢轨相接。每隔 5~10 km 作为一个分段,如图 1-3 所示。由于馈电线与回流线在同一电缆中,间隔很小,而且同轴设置,使互感系数增大。由于同轴电力电缆的阻抗比接触网和钢轨的阻抗小得多,因此牵引电流和回流几乎全部经由同轴电力电缆中流过。

由于电缆芯线与外层导体电流相等,方向相反,两者形成的磁场相互抵消,对附近的电气设备和电线路几乎无干扰。由于阻抗小,因而供电距离长。但由于同轴电缆价格昂贵,投资大,故仅在一些特别困难的区段采用。

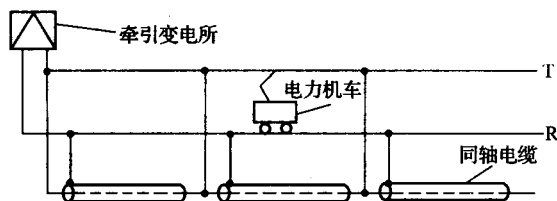


图 1-3 同轴电力电缆供电方式

四、我国电气化铁路的发展

我国第一条干线电气化铁路始建于 1958 年 6 月 15 日,位于宝成线宝(鸡)凤(州)段,全长 91 km,1961 年 8 月 15 日建成通车。宝凤段电气化铁路的建成开通,填补了我国干线电气化铁路的空白,结束了我国干线无电气化铁路的历史,揭开了铁路建设史上新的一页。为我国牵引动力的改革指明了方向,创造了良好的开端。

然而由于当时国民经济调整,基本建设战线缩短,再加上人们对电气化铁路在提高运输能力、促进国民经济发展中的重大作用认识不足等原因,我国电气化铁路发展较慢。直到1977年,第二条电气化铁路才得以修建完成。改革开放以后,随着我国国民经济的发展,电气化铁路有了飞速的发展,年平均建成约为600 km,尤其是1985年一年内就有1 148 km建成交付运营,建设速度之快,是前所未有的。此后,随着既有铁路的电气化改造步伐加快,电气化铁路的比重不断提高。

目前,我国主要铁路干线大部分已实现了电气化,电气化铁路已经超过20 000 km,居世界第二位。在铁路的跨越式发展中,电气化铁路将获得更迅速的发展,规划到2020年,电气化铁路将达50 000 km,占总营业里程的50%。

第二节 牵引供电系统

由于电力机车本身无原动力装置,因此在电气化铁路沿线必须设置一套完善的、不间断地向电力机车供电的设备。

电气化区段的供电系统包括外部设备(电站和输电线路,即电源部分)、牵引变电所、接触网,如图1-4所示。除了电源部分外,即为电气化铁路的牵引供电系统。

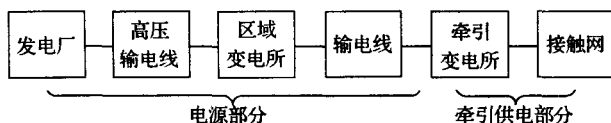


图1-4 电气化铁路供电结构方框图

一、牵引供电系统

牵引供电系统主要由牵引变电所和牵引网两大部分组成。牵引变电所的主要设备是变压器。牵引网主要由接触

网、馈电线、轨道和回流线组成。牵引供电系统的供电原理如图 1-5 所示。

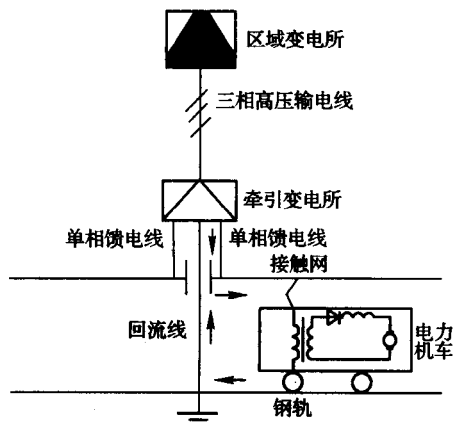


图 1-5 牵引供电系统供电原理

牵引供电系统将供电部门送来的三相高压交流电，转变为适应于电力机车工作的单相高压交流电，通过电力机车受电弓与接触网的接触导线滑动接触，将单相交流电引至电力机车主变压器的高压线圈，工作后的电流经车体、轮对、轨道经由回流线回到牵引变电所。

二、牵引变电所

1. 牵引变电所的任务

对电力系统供电部门而言，电气化铁路的牵引负荷是一级负荷，要求供电有最大的可靠性，供电部门一般采用 110 kV 或以上的双回路三相高压交流电能输送到牵引变电所，并保证每路输电线所需的全部负荷供电。牵引变电所通常也设置两台变压器及两条回路输电线向牵引网供电，以保证当一

路输电线故障或检修时,另一回路输电线担当输电任务,不会引起牵引变电所中断供电。

牵引变电所的任务是将供电部门送至的三相高压(110 kV 或以上)交流电的电压降低(到 25 kV),并以单相交流电的形式把电能经馈电线送至接触网。

2. 牵引变电所的接线原理

供电部门输送的三相高压(110 kV 或以上)交流电,经牵引变电所变压器降至 25 kV 后,将三相电源中的一相接至轨道,另两相分别接至牵引变电所两侧的接触网上。

根据牵引变压器的类型不同,牵引变电所也有几种形式,目前主要有三相牵引变电所和单相牵引变电所两种。三相牵引变电所内采用的是三相牵引变压器。单相牵引变电所根据牵引变压器的接线方式又有纯单相和 V 型接线两种。三相牵引变电所是我国电气化铁道目前采用最多的形式。

三相牵引变电所的接线原理如图 1-6 所示,高压侧接线为星形,低压侧接线为三角形,称为星形—三角形连接,以“Y,dn”来表示。低压侧的一角 c 和钢轨(大地)连接,另外两角 a 与 b 接至牵引变电所两侧的接触网上。因此两侧接触网对钢轨是不同相位的单相电。三相牵引变电所供电可靠,操作简便。

单相牵引变电所中

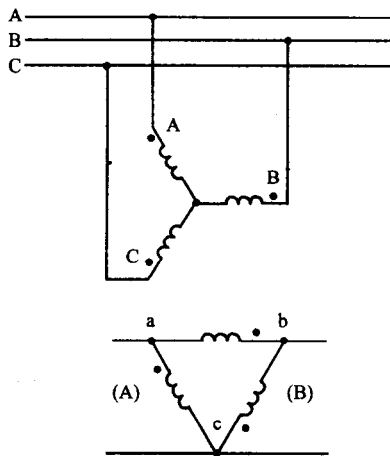


图 1-6 Y,dn 接线原理图