

高速铁路管理人员和专业技术人员培训教材



专业关键技术教材

高速铁路牵引 变电所技术

◎ 中国铁路总公司

GAOSU TIELU QIANYIN
BIANDIANSUO JISHU

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

专业关键技术教材

高速铁路牵引 变电所技术

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,是供电专业关键技术教材。全书共七章,主要内容包括:高速铁路牵引变电所技术概述;电气主接线;牵引变压器;牵引变电所一次设备;牵引变电所二次设备;牵引变电所防雷接地;牵引变电所设计等。

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的管理人员学习,对各类职业院校相关师生学习有重要参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

高速铁路牵引变电所技术/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 978-7-113-17439-2

I. ①高… II. ①中… III. ①高速铁路—电气化铁道—
牵引变电所—技术培训—教材 IV. ①U238②U224

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 242549 号

高速铁路管理人员和专业技术人员培训教材

书 名: 高速铁路牵引变电所技术
作 者: 中国铁路总公司

责任编辑:侯跃文 编辑部电话:(路)021-73421 电子信箱:tdpress@126.com
(市)010-51873421

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:北京市昌平开拓印刷厂

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:11.75 字数:290 千

书 号:ISBN 978-7-113-17439-2

定 价:40.00 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

Preface

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。

本书为供电专业关键技术教材《高速铁路牵引变电所技术》。全书共七章,主要包括:高速铁路牵引变电所技术概述;电气主接线;牵引变压器;牵引变电所一次设备;牵引变电所二次设备;牵引变电所防雷接地;牵引变电所设计等。

本书由解绍锋主编,安英霞、金柏泉、陈小川主审,参加编写的人员有:解绍锋(第一章、第二章),熊列彬(第五章),张丽(第三章、第七章),高波(第六章),高波和陈金强共同完成了第四章,全书由解绍锋统稿。参加审定的人员有:陈修延、陈红英、宋新江、范华、张韬、李轶群、徐波、毕赞、陆云、左平、张忠权、左光联、王颢、张本川。本书编写过程中,还得到了中国铁路总公司、各

铁路局、各设计院的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

Contents 目 录

第一章 概 论	1
第一节 牵引供电系统简介	1
第二节 牵引供电系统外部电源	6
第三节 牵引变电所设备概述	10
第二章 电气主接线	11
第一节 概 述	11
第二节 牵引变电所主接线形式	12
第三节 开闭所、分区所和 AT 所主接线	20
第四节 牵引变电所主接线可靠性	22
第三章 牵引变压器	25
第一节 概 述	25
第二节 常用牵引变压器接线方式	25
第三节 高速铁路牵引变压器接线方式	34
第四章 牵引变电所一次设备	37
第一节 概 述	37
第二节 高速铁路高压电气设备	38
第三节 高压电气设备试验技术	50
第四节 高压电气设备在线监测与故障诊断	63
第五节 高压电气设备故障案例分析	82
第五章 牵引变电所二次设备	89
第一节 综合自动化系统	89

第二节	安全监控系统	94
第三节	交、直流电源	101
第四节	综合自动化系统的网络通信	105
第五节	微机保护基本原理	117
第六节	综合自动化系统的试验及检修	127
第七节	接触网故障测距	136
第六章	牵引变电所防雷接地	142
第一节	概 述	142
第二节	牵引变电所的直击雷防护	142
第三节	牵引变电所的间接雷防护	146
第四节	牵引变电所二次系统防雷保护	148
第五节	牵引变电所接地	155
第七章	牵引变电所设计	158
第一节	牵引变压器容量计算与选择	158
第二节	牵引变电所高压电气设备的选择	161
参考文献		179

第一章 概 论

第一节 牵引供电系统简介

一、牵引供电系统的构成

现代电力牵引普遍以公用电网配电,取用经变换的单相电。在我国,矿山电力牵引、城市电车和地下铁道或轻轨交通都采用直流制,电压从 450 V 到 3 000 V 不等;电气化铁路都采用工频(50 Hz),额定电压为 27.5 kV 或 55 kV (2×27.5 kV)的单相交流制。

牵引供电系统的构成简化图如图 1-1 所示。相对牵引供电系统而言,通常把为其供电的电力系统称为外部电源。牵引供电系统主要由牵引变电所和牵引网组成。

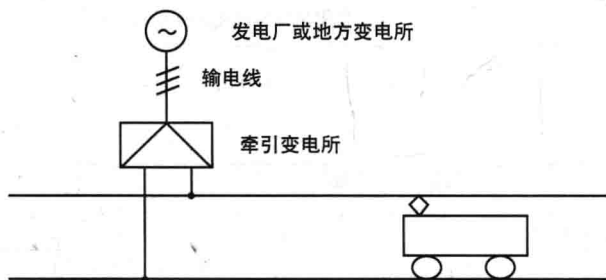


图 1-1 牵引供电系统的构成简化图

牵引变电所:其作用是将电力系统供应的电能转变为适于电力牵引及其供电方式的电能,其中的核心元件是牵引变压器,并设有备用。

牵引网:由馈(电)线、接触网、轨(地)、回流线等组成牵引供电网(回路),完成对电力机车的送电任务。

分相绝缘器:又称电分相,串接在接触网中,目的是把两相不同的供电区分开,并使机车光滑过渡,主要用在牵引变电所出口处和分区所处。

分段绝缘器:又称电分段。分为纵向电分段和横向电分段,前者用在线路接触网上,后者用于站场各条接触网之间。

供电分区:正常供电时,由牵引变电所馈线到接触网末端的供电线路组成,也称为供电臂。

电力机车:通过牵引电机及其变换和控制机构,将电能转化为可用机械能,牵引列车运行。

我国电力机车目前主要包括交—直型和交—直—交型两种。

交—直型电力机车从接触网取得 25 kV 工频单相交流电,经车载变压器降压,采用相控

整流方式向直流牵引电动机供电。交—直型电力机车工作原理如图 1-2 所示。

交—直—交型电力机车采用基于 IGBT 等大功率电力电子器件的变流器和脉宽调制整流技术,使电流波形逼近正弦波,且电流与电压的相位基本同步。所以,交—直—交型电力机车的低次谐波含量很小、功率因数高。交—直—交型电力机车工作原理如图 1-3 所示。

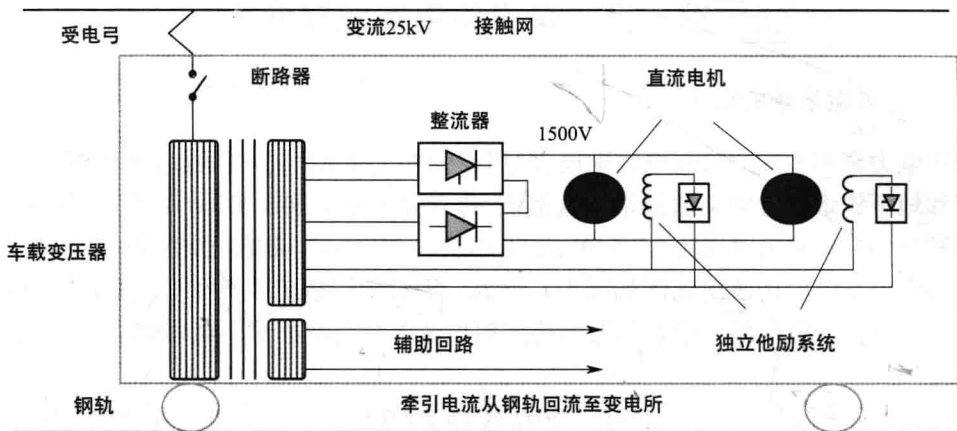


图 1-2 交—直型电力机车原理图

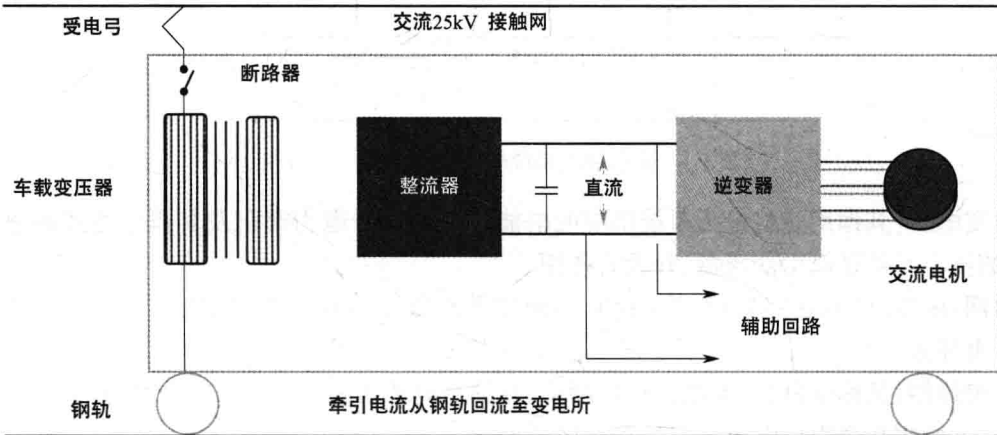


图 1-3 交—直—交型电力机车原理图

二、牵引供电系统供电方式

按照牵引网设备类型,交流牵引供电系统的供电方式包括直接供电方式、BT(吸流变压器)供电方式、AT(自耦变压器)供电方式和 CC(同轴电缆)供电方式。

1. 直接供电方式

直接供电方式是一种最简单的供电方式,它分两种形式,一种称为基本型,如图 1-4 所示,其牵引网结构最简单,仅由接触线 C 和钢轨 T 组成,投资最小,但钢轨电位较高,对通信

线的感应干扰最大,主要适用于通信线路(主要是明线)较少或很易将受扰通信线迁改径路的场合。

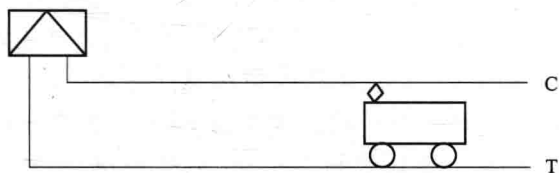


图 1-4 直接供电方式(基本型)

基本型的改进方式是在钢轨上并联架空回流线 R ,其并联点一般相距 $5 \sim 6 \text{ km}$,如图 1-5 所示。这能使钢轨电位大为降低。因屏蔽作用,使通信线的干扰得到较好抑制,能降低感应干扰 30% 左右,还能降低牵引网阻抗,使供电臂延长约 30%。

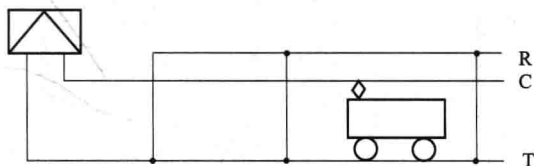


图 1-5 直接供电方式(带回流线)

2. BT 供电方式

这种供电方式分为有回流线形式和无回流线形式两种,分别如图 1-6 和图 1-7 所示。如图 1-6 所示有回流线形式的 BT 供电方式可称为 BT—回流线方式,如图 1-7 所示的无回流线的 BT 供电方式可称为 BT—钢轨方式。

BT—回流线方式采用变比为 $1:1$ 的吸流变压器,一次绕组串接在接触网(C)中,二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(R)中。在两个吸流变压器中间用吸上线将钢轨与回流线连接起来,构成电力机车负荷电流由钢轨流向回流线的通路。由于接触网与回流线空间距离较小,流过的电流大致相等,方向相反,因而大大降低了对邻近通信线路的干扰。在没有设置回流线的区段,可使用 BT—钢轨方式。

BT 方式增加了牵引网结构的复杂性,提高了造价。因牵引网阻抗变大,供电臂长度将减小,约为直接供电(基本型)方式的 $3/4$ 。另外,因存在 BT 分段(火花间隙 G),所以不利于高速、重载等大电流运行,但 BT 方式的钢轨电位低,抑制通信干扰的效果很好,其中 BT—回流线方式比 BT—钢轨方式效果好。

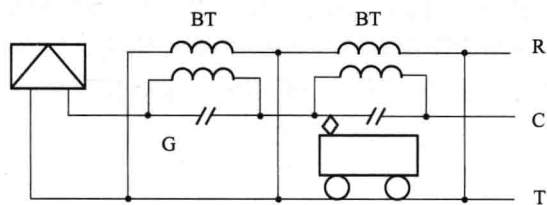


图 1-6 BT 供电方式(BT—回流线方式)

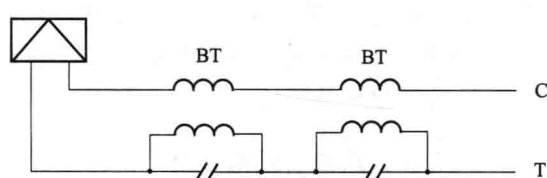


图 1-7 BT 供电方式(BT—钢轨方式)

3. AT 供电方式

AT 供电方式如图 1-8 所示,这里的回流线为负馈线 F。AT 并联于牵引网中,不仅克服了 BT 串入网中产生 BT 分段的缺陷,还使供电电压成倍提高,牵引网阻抗减小,供电距离增大,约为直接供电方式的 170% ~ 200%,网上电压损失和电能损失都小,因此,AT 供电方式是一种适于高速、重载等大电流运行的牵引供电方式。一般 AT 间隔约 10 km,AT 供电方式的钢轨电位较低,抑制通信干扰的效果与 BT—回流线方式相近,但投资要高一些。AT 供电方式最早在日本山阳新干线上应用,后来法国、美国(25 Hz)、中国等相继采用。

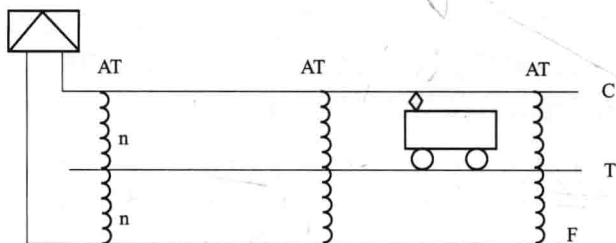


图 1-8 AT 供电方式

4. CC 供电方式

CC 供电方式是一种新型的供电方式。它的同轴电力电缆(CC)沿铁路线路埋设,内部芯线作为供电线与接触网 C 连接,外部导体作为回流线与钢轨 T 相接,每隔 5 ~ 10 km 做一个分段,如图 1-9 所示。CC 供电方式的优点是:馈电线与回流线在同一电缆中,间隔很小,而且同轴布置,使得互感系数增大;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从同轴电力电缆中通过;电缆芯线与外层导体电流相等,方向相反,二者形成的磁场相互抵消,对邻近的通信线路几乎无干扰,吸流效果和抑制通信干扰的效果均优于 BT 和 AT 供电方式。CC 供电方式牵引网阻抗和供电距离与 AT 方式相近,钢轨电位较低,接触网结构简单,对净空要求低,宜于重载、高速等大电流运行。但同轴电缆的造价太高,限制了它的广泛应用。

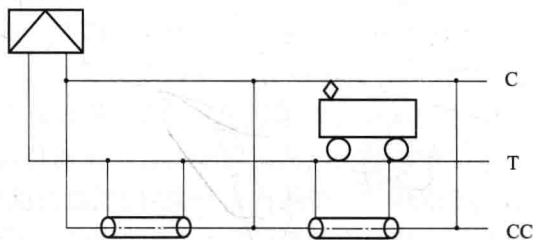


图 1-9 CC 供电方式

交流电气化铁路对邻近电气设备的电磁干扰主要是由于接触网与大地回路对通信线关于大地的不对称引起的。如果能实现由对称回路向电力机车供电,就可以大大减轻对邻近设备的电磁干扰。采用 BT、AT、CC 等供电方式就是为了提高供电回路关于大地的电气对称性。目前,我国电气化铁路在对电磁兼容有要求的地段多采用 AT 和带回流线的直接供电方式,特别是城镇附近。

三、高速铁路牵引供电系统

由于高速铁路牵引负荷与普速铁路存在差异,因此对高速铁路牵引供电系统提出了更

高要求。

高速铁路中列车运行速度高,空气阻力大(试验表明空气阻力随速度呈几何级数增长),列车牵引力主要克服空气阻力运行。因此,在高速条件下列车的单位能耗将大大增加,单台电力机车的功率亦将显著增大,牵引负荷很大。列车维持高速运行时,需要持续从接触网取得电能。所以,高速列车负载率高,受电时间长。

高速铁路具有显著的时段特征。在早、晚时段和节假日的高峰客流期,根据客流量需要,可能组织大编组、高密度运输,甚至在短时形成紧密追踪,牵引负荷集中特征明显。牵引供电系统应具有应对各种集中负荷供电的能力和条件。

在出现某一牵引变电所解列退出供电的情况下,往往采用由两相邻牵引变电所越区进行供电,因此越区供电能力要求提高。为了尽量减少越区供电对运输能力和准点率的影响,应避免过多的限制列车数量或降低列车速度,这样会相应加大两相邻牵引变电所的供电负荷;特别是要求电力系统具有较大的短路容量,满足超长距离供电需要。

综上所述,高速铁路由于可靠性要求高、列车速度高、牵引电流大,要求供电系统的供电质量和接触网受流质量都要高,并应尽量减少电分相、电分段的数量。BT 供电方式虽然在电磁干扰的屏蔽方面性能较好,但由于其对高速列车运行的安全性及列车速度影响明显,因此不适合高速铁路电力牵引。

目前,各国高速铁路大多采用 AT 供电方式和带回流线的直接供电方式。带回流线的直接供电方式和 AT 供电方式特点如下。

1. 带回流线的直接供电方式

带回流线的直接供电方式是在接触网支柱上架设一条与钢轨并联的回流线,利用接触网与回流线之间的互感作用,使钢轨中的电流尽可能地由回流线流回牵引变电所,从而可以部分抵消接触网对邻近电气设备的干扰。带回流线的直接供电方式基本原理如图 1-5 所示。

带回流线的直接供电方式牵引网阻抗比直接供电方式稍大,因此变电所间距小,相应地电分相数量多,电磁干扰的防护效果不如 BT、AT 供电方式。但牵引网结构简单,可用在对电磁兼容要求不高的地区。鉴于目前通信系统大部分已光缆化,其抗干扰特性有很大不同,带回流线的直接供电方式已能满足一般情况下的电磁兼容要求,而基础设施投资较省。总体上看,带回流线的直接供电方式的一些技术指标介于 BT 和 AT 之间,也是高速电气化铁路可选择的供电方式之一。

2. AT 供电方式

AT(自耦变压器)供电方式是每隔 10 km 左右,在接触网与钢轨之间并联接入一台自耦变压器,其中性点与钢轨相连。自耦变压器将牵引网的电压提高一倍,而供给电力机车的电压仍为 25 kV。AT 供电方式基本原理如图 1-8 所示。

AT 供电方式变电所间距大,可大大减少电分相数量,并且牵引网阻抗小,能显著减小牵引网电压损失,改善供电质量,保证列车高速运行。AT 供电方式变电所间距大,可密切配合电力系统向电气化铁路供电的外部电源的选择,降低外部电源工程造价。另外 AT 供电方式对邻近通信设施及电气设备的影响较小,防护效果与 BT 供电方式相当。我国高速铁路普遍采用 AT 供电方式。

第二节 牵引供电系统外部电源

一、外部电源供电方式

外部电源的供电方式是指电力系统与牵引变电所的连接方式,它取决于牵引负荷的用电等级和电力系统的分布情况。TB/T 10009—2005《铁路电力牵引供电设计规范》规定:“电力牵引应为一、二级负荷,牵引变电所应有两路电源供电,当任一路故障时,另一路仍应正常供电。”其中两路电源可来自不同的地区变电所或同一地区变电所的不同母线。

外部电源的供电方式以保证供电可靠性为原则,同时注意电源容量及经济性。外部电源的供电方式主要有以下几种。

1. 环形(双侧)单回路供电方式

环形(双侧)单回路供电使牵引变电所在一次侧与电力系统联成环形网,如图 1-10 所示。这种方式比较经济,也可较好地满足供电可靠性要求,当任一路输电线或一侧电源故障时都不影响牵引变电所的正常供电。

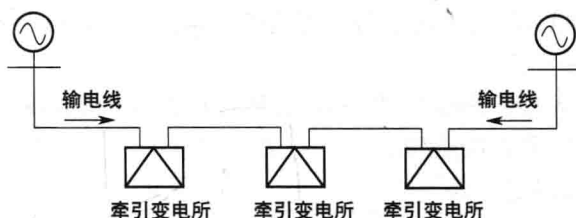


图 1-10 环形(双侧)单回路供电方式

2. 环形(双侧)双回路供电方式

这种供电方式中,电源来自电力系统的两个地区变电所,给铁路供电的输电线是联络这两个地区变电所的通路。根据可靠性的要求,采用双路输电线,各路输电线的容量应不少于相关牵引变电所容量之和。如图 1-11 所示,牵引变电所 1 和牵引变电所 3 采用了环形(双侧)双回路供电方式,牵引变电所 2 采用了环形(双侧)单回路供电方式。

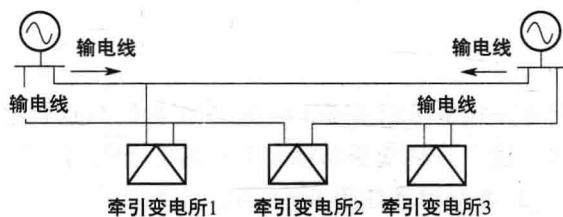


图 1-11 环形(双侧)双回路供电方式

很明显,牵引变电所 1 和 3 的供电可靠性更好。尽管如此,当一路输电线或一侧电源分别故障仍不会导致牵引变电所 2 失电。

3. 单电源(单侧)双回路供电方式

单电源(单侧)双回路供电方式是由一个地区变电所给多个牵引变电所供电,为保证供电可靠性,应采用双回路或双回输电线,如图 1-12 所示。

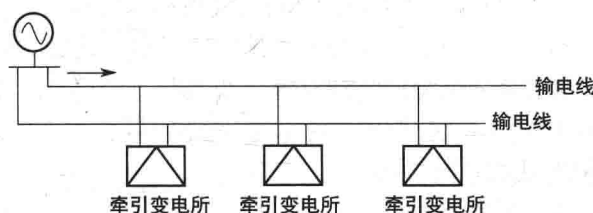


图 1-12 单电源(单侧)双回路供电方式

当给铁路供电的输电线路不负担其他用户时,常称这种供电网为铁路专用线。当铁路专用线较长时,为缩小一次侧输电线的故障范围,可在适当位置选择一个牵引变电所,在此时输电线进行分段,此时此处称为支柱牵引变电所。

4. 放射供电

当几个牵引变电所距离电源较近并且比单边供电更经济时,可采用放射供电方式,如图 1-13 所示。

应当指出,国内现行电网模式中,有更高一级电网时,往往不再使低一级电网结环运行。因此,在目前 220 kV 及更高电压等级广泛形成的情况下,当采用 110 kV 或 220 kV 系统给铁路牵引供电时,就较少采用环形(双侧)供电方式,而多用单侧供电方式或带有备用开关的双侧供电方式及放射供电方式等。另外,实际电力系统的电源与牵引变电所的布局是各式各样的,相对一条电气化铁路来说,外部电源的供电方式也往往是多样的。

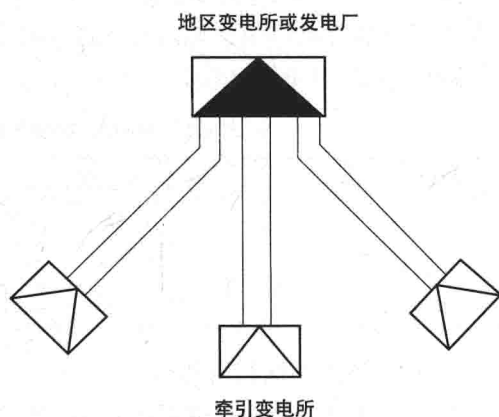


图 1-13 放射供电

二、电源供电能力与电气化铁路运行可靠性

1. 电源供电能力

外部电源供电能力,即供电容量,一般用短路容量来衡量。短路容量是指三相短路时系统等效电源供给短路点处的容量。

把电力系统元件的电抗归算到统一的基准容量后,便可以应用等效发电机原理将网络化简,得出电力系统到牵引变电所进线点的总电抗标么值 $X_{*\Sigma}$ 。电力系统在牵引变电所进线点短路时的短路容量为式(1-1):

$$S_d = \frac{S_j}{X_{*\Sigma}} \quad (1-1)$$

式中 S_j ——基准容量(MV·A);

$X_{*\Sigma}$ ——电力系统的等效电抗标么值。

电力系统的短路容量,是选择牵引变电所牵引变压器与开关等电力设备所必需的重要参

数,同时也是估计电力系统负荷能力的重要依据。电力系统的短路容量同电力系统的发电容量有关,还同负载所在地点有关。一般电力系统的发电容量越大,短路容量越大;负载距离电力系统电源越近,短路容量也越大。负载点距离电力系统电源的远近,可用等效输电线长度来表示。由于实际中一般不是用一条输电线将一个单一的发电厂连通,所以等效输电线长度只是从概念上表示负载与电力系统电源的“电距离”。当负载点距离电力系统电源较近时,短路容量受系统容量的影响才较大;反之,距离电源越远,短路容量受系统容量的影响越小。

输电线阻抗标么值为式(1-2):

$$X_* = X \frac{S_j}{U_j^2} \quad (1-2)$$

式中 X ——线路实际阻抗;

U_j ——线路电压基准值。

由式(1-2)可知,输电线阻抗同电压的平方成反比。因而提高输电线的电压等级,可提高电力系统的短路容量。电气化铁路主要采用 110 kV 及以上电力系统供电,其输送容量和输送距离如表 1-1 所示。

表 1-1 110 kV 及以上电力系统输送能力与输送距离

额定电压(kV)	输送容量(MW)	输送距离(km)	适用范围
110	10 ~ 50	50 ~ 150	省区级配电网、联合输电网
220	100 ~ 500	100 ~ 300	省区级配电网
330	200 ~ 1 500	200 ~ 600	省区级配电网、联合输电网

2. 电气化铁路运行可靠性

可靠性是指一个元件或系统在预定时间内,在规定的条件下完成规定功能的能力。电力系统可靠性可定义为向用户提供质量合格的、连续的电能的能力。所谓质量合格,就是指电能的频率和电压必须保持在规定的范围内。随着电力系统不断向高电压、远距离、大容量的方向发展,现代社会生产、生活对电能连续供给的要求也不断提高,在提高经济性的同时,安全可靠的问题也随之突出起来。为了预防重大事故的发生,可靠性的研究是非常必要的,也是具有现实意义的。

电力系统元件故障是由许多具有随机性质的因素所决定的,故可视为随机事件,从而决定了可靠性分析必须以概率论为基础。

电气化铁路是电力系统的一种重要的特殊负荷。电气化铁路牵引负荷是单相负荷。由于高速、重载电气化铁路牵引负荷波动剧烈,对系统的负序影响也将更加严重,因而应尽量增大牵引变电所受电点处的短路容量,减小该处的三相电压不平衡程度和对其他负荷的影响。在高速、重载铁路使用交—直型电力机车时,还存在对电力系统的谐波影响问题。同样,为减小电压畸变,应选择尽量大的短路容量。在实际工程中,受到电网接线、投资等因素影响,不可能无限制地提高系统的短路容量;同时,也没有这个必要。

中断用户供电,会使生产停顿、生活混乱,甚至危及人身和设备的安全,给国民经济和社会生活造成极大损失。停电给国民经济造成的损失远远超过电力系统少售电量造成的损失。一般认为,由停电引起的国民经济损失平均值为少售电量引起的损失的 30 ~ 40 倍。因

此,电力系统运行的首要任务是满足用户对供电可靠性的要求。

为了保证对电气化铁路的不间断供电,针对外部供电电源,首先要考虑牵引变电所供电的可靠性,即尽可能设置备用电源或实现环形(双侧)供电;其次要使电功率的损耗小,并尽可能减少投资。从供电的可靠性出发,牵引变电所应尽量采用环形供电或双侧供电。但是,如果牵引变电所不能从两侧取得电源时,也可以采用一侧供电方式,但必须设双回路输电线以保证供电的可靠性。当这两回输电线路连接到同一变电所时,这两回输电线路必须接至不同的分段母线上。

铁路建设一般分为近期及远期规划。一般运行设备通常按近期需要配置,但基础设施,包括牵引供电系统,都要按远期线路能力一次规划建设到位。因此,无论是牵引供电系统本身,还是给其供电的电力系统,都需要满足任何高峰负荷的需要,满足铁路中远期规划发展的条件。

三、我国高速铁路外部电源

我国电气化铁路牵引供电系统的外部电源来自国家公用电网。电气化铁路的供电是在铁路沿线建立若干个牵引变电所,将 110 kV 或 220 kV (西北地区为 330 kV) 进线电压经牵引变压器降为 27.5 kV 或 55 kV (2×27.5 kV) 后通过牵引网向电力机车供电。电力机车采用 25 kV 单相工频交流电压,经全波整流后驱动直流牵引电动机,或经交—直—交变换驱动异步电动机,使电力机车在架空接触导线和钢轨之间行驶。

我国电气化铁路普遍采用 110 kV 进线,这是历史的产物,一直沿用了四十多年。近年来,情况有了很大的变化。一方面,电力部门在电网建设和改造上取得了巨大的成就,目前我国电网总装机容量和发电容量均居世界第二位;110 kV 电网已由省级调度下放到地、县级,向高压配电网转化,一些地区把 220/110/35/10 kV 简化为 220/110/10 kV 或 220/35/10 kV 电力构架;作为主干通道的 220 kV 电网的建设得到加强;同时,电力部门对电能质量问题越来越重视,对用户提出了严格要求。另一方面,电气化铁路的发展也有目共睹,目前我国铁路电气化 4.6 万 km,牵引变电所的变压器安装容量由 $(2 \times 10) \sim (2 \times 20)$ MV·A 发展到目前的 40 ~ 75 MV·A 甚至更高。因此铁路部门和电力部门相关专家提出了电气化铁路采用 220 kV 进线的方案并进行了论证。优先推荐 220 kV 进线供电方案主要基于以下几点:

① 220 kV 的供电可靠性高于 110 kV 电压等级,与高速铁路的高可靠性相匹配。

② 220 kV 的供电容量高于 110 kV 电压等级,与高速铁路的供电需求相匹配。

③ 大量新建的客运专线和高速铁路全部采用先进的交—直—交牵引方式,功率因数接近 1,谐波含量大大降低,不再对电网构成威胁。

但是,应该指出的是,由于公共连接点的电压畸变率、电压不平衡度、电压波动与短路容量成反比,且 220 kV 母线的短路容量一般比 110 kV 的高,若牵引变电所采用 220 kV 进线,虽然理论上可以使电压总谐波畸变率和三相电压不平衡度降低,但实际上牵引供电系统本身并没有削减任何谐波和负序电流,只是改变了谐波和负序电流在电力系统中的分配和流动方式,谐波和负序电流依然存在于电力系统中。且从牵引供电系统的角度来看,220 kV 变压器在绝缘和抗短路冲击方面的要求比 110 kV 变压器要高,即使容量相等,成本要增高;220 kV 断路器较之 110 kV 断路器,不仅绝缘强度提高,断流容量也增大,其成本自然增高;同样,从地方变电所或发电厂到牵引变电所的 220 kV 铁路专用线成本也比 110 kV 的高。因

此,牵引变电所采用 220 kV 进线会使变电所的造价有所增加。由于我国西北地区没有 220 kV 电网,故采用 330 kV 系统。

鉴于上述原因,牵引变电所具体以哪一级电压等级接入,应根据送电容量、送电距离以及负荷性质等,结合沿线电网的具体情况来进行科学的论证。

第三节 牵引变电所设备概述

为保证安全供电和运行需要,电气化铁路牵引变电所中设有各种类型设备。按照设备功能特点可分为一次设备和二次设备。一次设备指牵引变电所中实现变换和传递电能的设备和载流导体,如变压器、断路器、隔离开关等。二次设备指对一次设备进行控制、监测和保护,以保证其正常、安全运行的设备,也称二次系统。

一、牵引变电所一次设备

牵引变电所一次设备包括变换和传递电能设备、开关电器、过电压抑制装置与接地装置、补偿设备、互感器等。

1. 变换和传递电能设备。如牵引变压器、所用电变压器、载流导体(如母线、电缆)等。
2. 开关电器。包括断路器、隔离开关、负荷开关等。它们的作用不尽相同,但都用于正常或故障时将电路闭合、断开或隔断。
3. 过电压抑制装置与接地装置。前者如避雷器、防雷线圈、放电器(间隙或阻容回路),后者为工作接地或保护人身安全的保护接地网系统。
4. 补偿设备。如并联无功补偿电容器、静止无功补偿器(SVC)、静止无功发生器(SVG)、滤波器等,用于改善牵引变电所电能质量。
5. 互感器。包括电压互感器、电流互感器,它们将一次电路的高电压、大电流变换为测量仪表、继电保护适用的量值。

二、牵引变电所二次设备

牵引变电所二次设备主要包括综合自动化系统、安全监控系统和交一直流系统等。

1. 综合自动化系统。综合自动化系统将变电所的二次设备(包括测量仪表、信号系统、继电保护、自动装置和远动装置等)经过功能的组合和优化设计,利用先进的计算机技术、现代电子技术、通信技术和信号处理技术,实现对全站设备的自动监视、自动测量、自动控制和保护,以及与调度通信等综合性的自动化功能。
2. 安全监控系统。安全监控系统是牵引变电所安全运营的重要设备之一,它既可作为变电所综合自动化系统的一个组成单元,也可作为一套完整的独立安全监控系统。安全监控单元由一个监控中心、所辖的多个被控站(前端设备)以及通信信道组成。各被控站将采集的信号通过铁路信道发送到监控中心。
3. 交一直流系统。包括交流电源、蓄电池组、充电系统、不间断电源装置等,用来供给控制、保护和事故照明的操作电源与直流用电。