

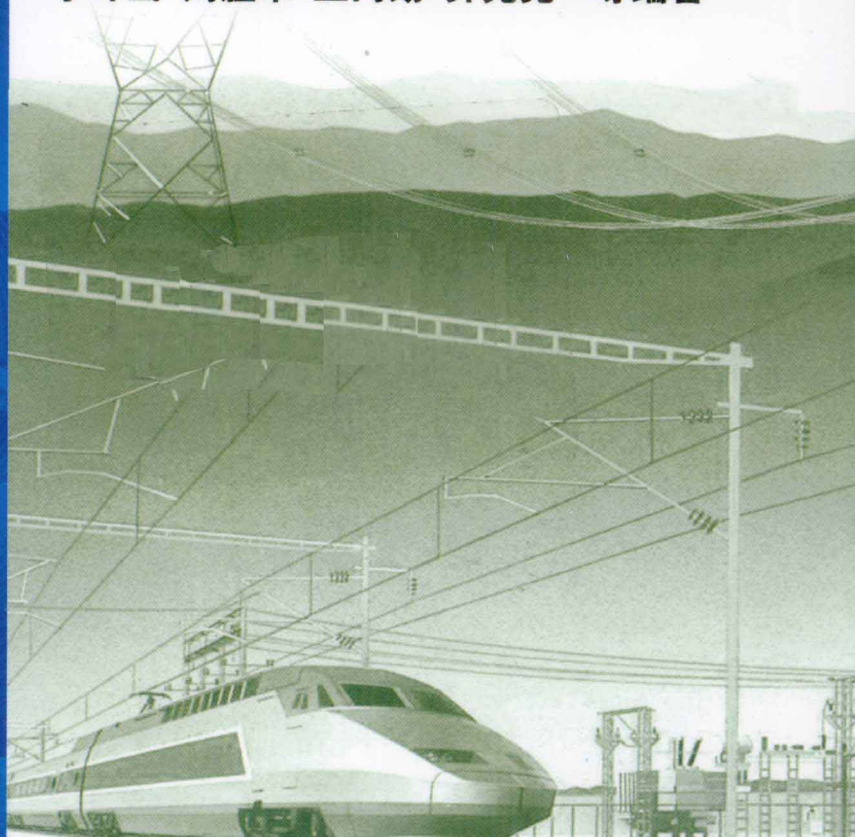
Electric Railway Power Supply
and Power Quality

电气化铁路**供电** 与电能质量

于坤山 周胜军 王同勋 乔光尧 等编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



中国电力科学研究院专著出版基金资助

Electric Railway Power Supply
and Power Quality

电气化铁路供电 与电能质量

于坤山 周胜军 王同勋 乔光尧 等编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书在大量调研和科研工作的基础上,结合我国电气化铁路的实际情况,全面、系统地论述了电气化铁路供电系统与供电电能质量。全书共7章,主要内容有:电气化铁路供电系统的各个组成部分,包括电气化铁路的供电电源、牵引供电系统及电力机车的原理介绍及现状调研;电气化铁路负荷的主要电能质量特性及实测案例;谐波和负序对电力一次、二次及用电设备的影响及典型案例;电气化铁路负荷接入系统时与供电电源的相互要求及接入系统设计时所需考虑的主要内容;电气化铁路电能质量监测系统的设计原则、架构、系统功能、数据通信要求;电气化铁路电能质量评估方法和评估流程;各种电气化铁路电能质量治理措施等。

本书可供从事电气化铁路供电研究的技术人员,电网和电气化铁路供电规划、设计、施工、运行人员,大学相关专业本科和研究生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

电气化铁路供电与电能质量/于坤山等编著. —北京:中国电力出版社,2010.12

ISBN 978-7-5123-1266-1

I. ①电… II. ①于… III. ①电气化铁道-供电 IV. ①U223

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第261806号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2011年2月第一版 2011年2月北京第一次印刷

710毫米×980毫米 16开本 16.75印张 282千字

印数0001—3000册 定价35.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言

在全球经济向低碳模式转变的大背景下,发展低碳交通成为各国的必然选择,电气化铁路以其独特的技术经济特征,在国际上被誉为“绿色交通工具”。电气化铁路在节能、减排、降耗方面具有显著优势,高速铁路的诞生和成功,更是让世界重新审视铁路的价值。

根据我国《中长期铁路网规划(2008年调整)》和工程建设进度,2010年全国铁路营业里程达到9万km以上,其中客运专线约7000km,复线率、电化率均达到45%以上;到2020年全国铁路营业里程达到12万km以上,复线率和电化率分别达到50%和60%以上。为实现此目标,我国正大力推进机车车辆现代化,积极发展高速动车组技术,到2020年电力机车承担运输工作量的比重将达到80%以上。2010年12月3日“和谐号”CRH380高速动车组列车在京沪高铁枣庄—蚌埠试验运行的最高时速达到了486.1km,让世人为之振奋。

随着高速铁路和客运专线的快速发展,电气化铁路对牵引供电提出了更高的要求。高速铁路和客运专线普遍采用交流传动机车,该类机车负荷具有单相性、非线性、随机波动性以及再生制动的特点,会引起公共连接点三相电压不平衡、谐波、电压波动等电能质量问题。在满足电气化铁路快速发展对供电的需求,支持国家电气化铁路建设的同时,确保电网的安全经济运行,实现铁路与电网互利双赢、和谐发展是铁路与电力部门双方的共同责任。2006年国家电网公司及时设立了“电铁供电关键技术研究”重大科技项目(合同号:SGKJ[2007]102号),从电气化铁路供电前期研究、电气化铁路供电基础理论研究、牵引供电规划与设计技术研究、电气化铁路电能质量控制关键技术研究、电能质量测量、监测与评估技术研究、电气化铁路供电标准及规范研究七个方面对电气化铁路供电技术进行全方位研究。该项目由中国电力科学研究院承担,广泛联合各方力量,组织国内相关科研、大专院校、设计院等单位共同参与。

本书在总结该重大科技项目的研究成果的基础上,结合我国电气化铁路的实际情况,全面、系统地论述了电气化铁路供电系统及电能质量。全书共分7章,

第1章介绍牵引供电系统及电力机车的基本概念、分类、原理及现状调研情况；第2章介绍电气化铁路负荷的主要电能质量特性及实测案例；第3章介绍谐波和负序对电力一次、二次及用电设备的影响及典型案例；第4章介绍电气化铁路负荷接入系统时与供电电源的相互要求及接入系统设计时所需考虑的主要内容；第5章介绍电气化铁路电能质量监测系统的设计原则、架构、系统功能、数据通信要求；第6章介绍电气化铁路电能质量评估流程和评估方法；第7章介绍各种电气化铁路电能质量治理措施。

本书由教授级高级工程师于坤山拟定大纲，并编写了绪论和第一、四章；其它各章的编写者分别为：第二章，周胜军高级工程师；第三章，刘颖英博士；第五章，王同勋博士后；第六章，丁宁工程师；第七章，乔光尧工程师。中国电力科学研究院研究生张冲同学承担了本书的插图绘制。全书由于坤山负责统稿。

现代电力电子技术、新能源技术、新材料技术以及信息化技术的发展都有可能引发机车的技术革命，这一领域的许多电能质量问题仍在继续研究和探讨之中。例如，大功率交流传动机车技术的应用克服了以往直流机车低次谐波含有率高、功率因数低的缺点，但交流机车会产生高次谐波并采用再生制动技术，使得高次谐波谐振问题以及再生制动所带来的过电压、稳定问题等成为人们所关注的重点。目前国内外已经出版了一些有关电能质量的书籍，但专门针对电气化铁路供电电能质量的书籍甚少。加之编写时间仓促，本书不完善的地方在所难免，错误之处还请读者见谅并提出宝贵意见。希望本书能满足目前从事电气化铁路供电研究的技术人员，电网和电气化铁路供电规划、设计、施工、运行人员的需要，同时能够为大学相关专业本科和研究生提供参考。

本书得到了中国电力科学研究院科技专著出版基金的资助。谨在此书完成之际，对国家电网公司科技部以及共同参与“电铁供电关键技术研究”项目的清华大学、华北电力大学、河北省电力公司、甘肃省电力公司、山西省电力公司、北京交通大学、西南交通大学、铁三院、南自院等单位表示衷心感谢！为了尽快完成本书，几位编写者利用晚上、周末加班加点，放弃了许多与家人团聚的日子，正因为他们付出的辛劳得以使本书如期完成，在此深表谢意！

本书使用的主要符号说明

量的名称	量的符号	单位名称	单位符号
电流	I	安培	A
电压	U	伏特, 千伏	V, kV
电阻	R	欧姆	Ω
电抗	X	欧姆	Ω
阻抗	Z	欧姆	Ω
导纳	Y	西 [门子]	S
电导	G	西 [门子]	S
电容	C	法 [拉]	F
电感, 自感系数	L	亨 [利]	H
互感系数	M	亨 [利]	H
单位长度电阻	r	欧姆每千米	Ω/km
单位长度电抗	x	欧姆每千米	Ω/km
单位长度阻抗	z	欧姆每千米	Ω/km
单位长度自感系数	l	亨 [利] 每千米	H/km
单位长度互感系数	m	亨 [利] 每千米	H/km
视在功率	S	千伏安, 兆伏安	kVA, MVA
有功功率	P	千瓦, 兆瓦	kW, MW
无功功率	Q	千乏, 兆乏	kvar, Mvar
频率	f	赫兹	Hz
角频率	ω	弧度每秒	rad/s
相位	θ, φ, ψ	度	°
长度, 距离	L, l	米, 千米	m, km
半径	r, R	毫米, 厘米, 米	mm, cm, m
直径	d, D	毫米, 厘米, 米	mm, cm, m
差、损失、损耗	Δ, δ		

续表

量的名称	量的符号	单位名称	单位符号
谐波次数	h		
总谐波畸变率	THD	%	
不平衡度	ϵ	%	
电话谐波波形因数	$THFF$	%	

下角标

下标符号	中文含义	英文含义	
$F、f$	馈电线	feeder	
R	轨道	rail	
+ (P)	正序	positive sequence	
- (N)	负序	negative sequence	

电气设备文字符号

符号	中文名称	英文名称
AT	自耦变压器	Auto Transformer
BT	吸流变压器	Booster Transformer
CC	同轴电力电缆	Coaxial Cable
F	馈电线，正馈线	Feeder
L	电抗器	Reactor
SS	牵引变电站	Substation
T	变压器	Transformer
T	接触网	Trolley Line
T ^①	晶闸管	Thyristor
4QC	四象限变流器	4 Quadrant Converter
SP	分区亭	Section post
D ^①	二极管	Diode
G	绝缘栅双极型晶体管	InsulatedGate Bipolar Transistor

① 本书中，为了便于与其它设备的文字符号区分，晶闸管、二极管的文字符号用 VT、VD 表示。

目 录

前言

绪论	1
----	---

第 1 章 电气化铁路供电系统及电力机车	6
----------------------	---

1.1 概述	6
1.2 供电电源	7
1.3 牵引供电系统	13
1.4 电力机车	33

第 2 章 电气化铁路负荷的电能质量特性	49
----------------------	----

2.1 概述	49
2.2 谐波特性	49
2.3 负序特性	75
2.4 电压偏差	83
2.5 电压波动	84
2.6 测试案例	86

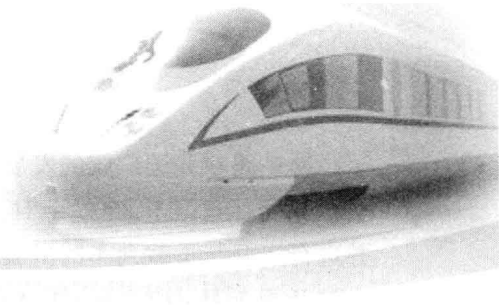
第 3 章 谐波和负序对电力设备的影响	95
---------------------	----

3.1 概述	95
3.2 对电力一次设备的影响	95
3.3 对电力二次设备的影响	111
3.4 对用电设备的影响	129

第 4 章 电气化铁路牵引站接入系统技术	131
----------------------	-----

4.1 概述	131
4.2 电气化铁路负荷对供电电源的要求	131

4.3	电力系统对电气化铁路负荷的要求	144
4.4	电气化铁路接入系统设计	145
第5章	电气化铁路电能质量在线监测	151
5.1	概述	151
5.2	电气化铁路电能质量监测系统需求	151
5.3	监测系统架构	152
5.4	电能质量测量方法	154
5.5	监测系统的基本要求	163
第6章	电气化铁路电能质量评估	167
6.1	概述	167
6.2	评估工作流程	167
6.3	资料收集	168
6.4	现场测试	169
6.5	监测评估	169
6.6	预测评估	174
6.7	牵引供电系统的建模与仿真计算	178
第7章	电气化铁路电能质量治理	203
7.1	概述	203
7.2	牵引侧电能质量治理措施	204
7.3	系统侧电能质量治理措施	223
7.4	同相供电系统	242
参考文献		253



绪 论

一、电气化铁路的发展历程

1842年,苏格兰人R·戴维森造出了世界上第一台标准轨距电力机车。1879年5月31日德国柏林世界贸易博览会展出了德国人W·V·西门子设计制造的能乘坐18人的敞开式“客车”的电力机车,这是电力机车的首次成功试验。1881年,法国巴黎展出了第一条由架空导线供电的电车线路,为提高供电电压、采用大功率牵引电动机创造了条件。1895年,美国在巴尔的摩—俄亥俄间5.6km长的隧道区段修建了直流电气化铁路。1903年,德国的三相交流电力机车创造了210km/h的高速纪录。

1958年,我国第一条电气化铁路宝成线的宝鸡—凤州段(长93km)开工,并于1961年8月15日投运。经过50年的建设和发展,我国已先后建成宝成、石太、陇海、大秦、京广、哈大、京沪、胶济、沪杭、浙赣、京津城际等80多条电气化铁路。截至2009年底,我国铁路营业里程已达8.6万km,跃居世界第二位;复线率、电气化率分别由2002年的33.3%、25.2%提高到2009年的38.8%、41.7%,路网规模和质量均大幅提高。

为应对2008年席卷全球的金融危机,我国决定在铁路建设上将投资20 000亿元以拉动内需。2008年,国家发展与改革委员会印发的《中长期铁路网规划(2008年调整)》指出:2020年,全国铁路营业里程规划目标由10万km调整为12万km以上,电气化率由50%调整为60%以上;客运专线建设目标由1.2万km调整为1.6万km以上;规划建设新线由1.6万km调整为4.1万km。

电气化铁路在我国的发展不仅体现在里程和电气化率上,更体现在技术的先进性上。2010年12月3日“和谐号”CRH380高速动车组列车在京沪高铁枣庄—蚌埠试验运行,最高时速达486.1km。目前,我国在建的客运专线已超过5000km,规模超过了目前全世界已经建成的所有高速铁路的总里程,充分展示

了高速铁路在我国广阔的发展空间和巨大的发展潜力。此外，为缓解电煤运输的紧张局面，我国于 2005 年对大同一秦皇岛电气化铁路完成了 2 亿 t 扩能改造，并进行了开行重载列车的试验，并于 2008 年完成了 4 亿 t 改造。目前大秦铁路主要开行 1 万 t 和 2 万 t 的重载列车，年运量居世界首位。

二、我国电气化铁路技术的发展历程

我国电气化铁路技术的发展走的是引进消化与自主创新相结合的道路。20 世纪五六十年代建设初期，主要依靠从苏联学来的基础技术，通过自力更生逐步建立了我国的电气化铁路技术体系。然而，在改革开放之前，发展一直比较缓慢，主要局限在隧道多、坡度大的山区铁路。改革开放后，电气化铁路的发展步伐逐步加快，开始从山区向平原、由标准低的边远地区铁路向主要长大干线、重载、高速发展。20 世纪 80 年代，从日本、欧洲引进了当时较先进的 6K、8K 直流电力机车，并在京秦线上引进了日本的自耦变压器（AT）供电方式。随后，这种供电方式被用在我国自主设计修建的重载铁路——大秦铁路上，当时设计年运量 8000 万 t。20 世纪 90 年代末，引进了德国的设计技术，在我国东北修建了第一条电气化铁路——哈大铁路。为适应经济、社会发展形势，我国铁路在 21 世纪之交先后完成了 6 次提速，并从 2004 年开始大力修建高速电气化铁路。经过近 50 年的不断发展，我国电气化铁路逐步形成了自己的技术特色。

在电力机车装备方面，从最早模仿试制引燃管电力机车，到自主开发出韶山（SS）系列直流传动电力机车，再到 AC4000、中原之星、中华之星等交流传动电力机车或动车组、CRH 系列高速动车组和 HX_D 系列大功率电力机车，机车装备技术经历了突飞猛进的发展。电力机车的功率也从 4200kW 提高到了 19 200kW，8 辆编组时速 350km 的动车组牵引功率达到 8800kW，16 辆编组动车组的轮轴功率达到 19 200kW。目前，我国电气化铁路的牵引动力设备正处在从直流传动到交流传动的转变期，目前国内已经停止了直流电力机车的研发，几大机车供应厂家均在全力消化吸收、联合设计生产新型交流传动电力机车或动车组。可以预计，在未来的 15~20 年时间内，直流机车将逐步退出运行。

三、电气化铁路供电简述

为保证电气化铁路的供电可靠性，铁路沿线的牵引站均须设置两回独立进线。目前采用的进线电压等级有 110kV 和 220（330）kV。220kV 电压等级在哈大线开始采用，主要由于东北电网沿线没有 110kV 电压等级；330kV 电压等级在西北地区郑西客运专线开始采用，主要由于郑西线经过该地区时没有 220kV

电压等级，而 110kV 电压等级又不满足供电要求。在牵引站内，一般设置两台主变压器，正常时，一台主供，一台备用。采用的牵引变压器接线形式多种多样：有单相 I/i 接线、单相 V/v 接线、三相 V/v 接线、三相星形三角形（YNd11）接线、Scott 接线、三相星形（曲折）延边三角形接线，在我国台湾省还采用了 Le Blanc 接线。其中，为适应 AT 牵引网的需要，还演化出了 V/x 接线和交叉交叉接线。可以说，我国采用的牵引变压器接线方式在世界上最多，从掌握的资料上看，目前只有日本新干线的 Modified Woodbridge 接线在我国尚未被采用。我国目前应用的牵引变压器容量主要有 20、25、31.5、40、50、63、75MVA 等级，最大的为 80MVA，未来还有可能达到 180MVA。

按照接触网供给机车的电流制式，电气化铁路供电制式可分为直流制和交流制两种（交流制中又分单相交流、三相交流）。目前世界电气化铁路主要有以下三种供电制式：① 1.5kV、3kV 直流制；② 15kV 16.67Hz 低频单相交流制；③ 25kV 工频单相交流制。在发展之初，我国就确立了以 25kV 工频单相交流制作为我国干线电气化铁路的标准制式。相比于其它两种制式，25kV 工频单相交流制更能满足高速、重载、大运量、长距离运输对牵引动力的需求。目前，我国干线电气化铁路全部采用 25kV 工频单相交流制，这对建立我国牵引供电设备、机车车辆设备标准体系、促进相关工业的健康快速发展起到了极大的推进作用。

在牵引网供电方式上，世界上主要有五种方式：①直接供电方式；②吸流变压器（BT）供电方式；③带回流线的直接供电方式；④自耦变压器（AT）供电方式；⑤同轴电缆供电方式。目前我国用得最多的是方式③和方式④，方式①和方式②在早期用得较多。

四、电气化铁路供电电能质量问题

电气化铁路负荷的特殊性决定了牵引供电系统具有不同于一般三相电力系统的特征。对于供电给牵引站的三相对称的电力系统来说，电气化铁路负荷具有非线性、不对称性和波动性的特点。

电力机车的供电和驱动方式决定了电气化铁路具有大功率单相整流负荷的特性。单相负荷与三相电源之间电气结构的差异性决定了牵引站拓扑结构的三相不对称性，无论是交直型机车还是交直交型机车，都将不可避免地产生负序电流。电气化铁路负荷为两相或单相不对称的谐波负荷，因此其产生的谐波电流经牵引变压器的变换后注入电力系统的谐波电流为三相不平衡谐波。三相不平衡谐波电流经分解后，除基波正序电流是由系统向电气化铁路馈供的电流外，所有谐波电

流以及基波负序电流均由电气化铁路产生后注入系统,使电网电压波形发生畸变并且造成电网三相电压不平衡。由前述可知,重载和高速将是我国铁路发展的重点,随着高速路网的建成,主要铁路干线将逐步实现客货分流。电气化铁路则呈现出负荷功率增大、供电能力和供电可靠性要求提高等趋势。实现客货分线后,对于部分大量使用交直型电力机车的货运线路,在一段时间之内,电能质量问题仍会比较突出;而客运专线的电能质量问题则呈现出新的特点,负序和高次谐波将成为主要问题。交流传动高速列车的出现虽然会使谐波问题大为缓解,但高次谐波和负序问题却可能会因高速铁路牵引功率增大而变得更为突出。

牵引负荷随着运输组织方案、供电臂内列车的数量和每一列车的运行状态随机波动,牵引站高峰小时负荷可能达到160MVA,具有明显的短时集中负荷特征,这也是造成电网电压波动的主要原因之一。由于电气化铁路线路条件多变,行进过程中会由于线路坡度、弯道半径、气象条件等因素使得列车所遇到的阻力不断变化,机车将频繁地在启动、加速、惰行、制动等工况间转换,这将导致牵引负荷的大小在时间上表现出不均衡的特性。此外,在节假日、铁路故障后恢复行车等特殊情况下,也会出现列车紧密追踪的情况。变化剧烈的大功率牵引负荷在电网薄弱时容易引起较大的电压偏差,造成电压波动,对电网及牵引供电系统本身都会造成不良影响,也应引起足够的重视。

综上,电气化铁路负荷注入电网的谐波电流和负序电流可能会影响电力系统的安全稳定运行,对电力系统发电、输电、配电、用电各环节的电力设备将产生影响。

五、电气化铁路电能质量监测、评估、治理状况

我国自20世纪80年代起,在全国范围内逐步开展以谐波监测为主要内容的电能质量技术监督工作,监测方式为单点非在线方式,测试手段以进口的便携式谐波分析仪为主。随着谐波监测工作的深入开展,人们对电能质量的认知程度逐步提高,对电能质量监测提出了新的需求和要求。常规的非在线式电能质量监测开始向在线式监测过渡,单点监测逐步发展为以网络通信为基础的多点监测网络。从2003年开始,部分网省公司如浙江、上海、江苏、福建、山西、安徽等先后建立了全省的电能质量监测系统。2010年,辽宁、江西、河南等电力公司依托国家电网公司科技项目“电气化铁路集中地区电能质量监测系统示范工程”,建立了针对普通电气化铁路负荷的电能质量监测系统。对于电气化铁路线路而言,目前的监测系统大多集中在一个省内,比较分散,没有系统全面的进行监

测，国内尚未开展对整条铁路线进行跨省跨地区的监测。

国内关于电气化铁路电能质量评估方法的研究很多，但研究的内容相互孤立，能够应用于实际工程的方法不多且评估方法参差不齐。一般均局限在某一区域电网内的一至几个牵引站进行，甚至只针对单个牵引站进行，不考虑多个站同时接入的影响。目前只有中国电力科学研究院开展的“京沪高速铁路接入电网电能质量评估”项目首次系统地、完整地对整条高速铁路接入电网的电能质量指标进行评估，包括谐波、负序、电压偏差、电压波动、电压暂降等内容，完整地建立了一套从数据采集、模型建立及验证到分析评估的方法体系。

在电气化铁路谐波治理方面，我国早期主要是在牵引站供电臂安装无功补偿兼滤波装置，以避免低功率因数问题所带来的附加电费，这种方式在普通电气化铁路牵引站应用较多。随着技术的发展，为了解决固定补偿不能灵活调节的问题，各种单相动态无功补偿装置包括晶闸管控制电抗器（TCR）、晶闸管投切滤波器（TSF）、晶闸管投切电容器（TSC）、磁控式电抗器（MCR）等得到了越来越多的应用。这些装置以动态补偿无功、提高功率因数为主，还能部分解决3次和5次谐波及负序问题，主要安装在以运行直流机车为主的普通电气化铁路上。

而针对负序问题的治理方法主要是采用平衡变压器，这一方式在京沪线、大秦线等线路上得到应用，但由于电力机车具有随机波动性的特点，平衡变压器只能在一定程度上减少注入系统的负序电流。相比之下，三相 SVC（静止无功补偿）技术和两相式 STATCOM（静止同步补偿器）技术是治理负序的有效措施，并且在为数不多的电气化铁路线路上得到了应用。此外，同相供电系统是综合解决电气化铁路谐波、负序和无功等电能质量问题的理想方式，能使供用电双方获得理想的经济、技术效益。

第 1 章

电气化铁路供电系统及电力机车

1.1 概 述

电气化铁路 (Electric Railway) 是指采用电力牵引的铁路。目前我国电气化铁路可分为货运专线电气化铁路、客货共线电气化铁路和客运专线电气化铁路。我国客运专线都是时速 250km 以上的铁路系统。根据国际铁道联盟定义:“高速铁路”是指提速改造后 200km 以上、新建时速 250km 以上的铁路系统,因此我国客运专线属于高速铁路。

电气化铁路是由供电系统和电力机车组成的,其结构如图 1-1 所示。其中,供电系统包括供电电源和牵引供电系统两部分。以牵引变电站(简称牵引站)高压进线门型架为界,门型架以外为供电电源,归属电力部门;门型架以内为牵引供电系统,归属铁路部门。供电电源包括为牵引供电系统供电的电力系统变电站及其高压输电线,牵引供电系统则包括牵引站和牵引网两部分。电力机车是铁路运输的牵引动力,电力机车本身不携带能源,靠接受牵引网送来的电流,通过车载变流器由牵引电动机驱动车轮。电力机车具有功率大、热效率高、速度快、过载能力强和运行可靠等主要优点,特别适用于运输繁忙的铁路干线和隧道多、坡度大的山区铁路。

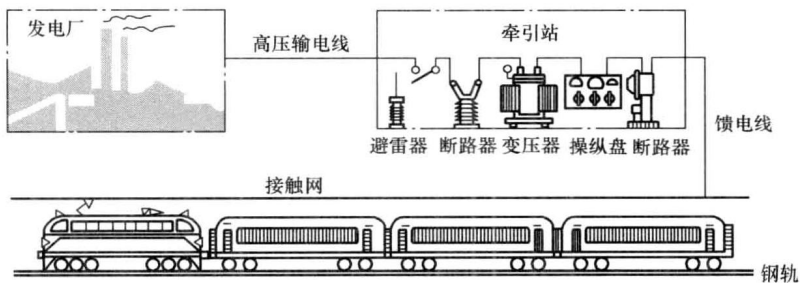


图 1-1 电气化铁路结构示意图

1.2 供 电 电 源

电气化铁路用电量较大,我国电气化铁路牵引站的电源均来自电力系统变电站,因此电力系统变电站及其高压输电线构成了电气化铁路的供电电源。从保证电气化铁路安全可靠用电的角度考虑,供电电源主要涉及供电电压等级及供电方式两个主要方面。

1.2.1 供电电压等级

目前我国电力系统为电气化铁路牵引站供电的电压等级有 110、220kV 和 330kV 三种,以 110kV 和 220kV 电压为主。其中西北地区电气化铁路牵引站供电电压主要为 110kV,个别牵引站采用 330kV 电压供电;东北地区全部采用 220kV 电压供电;华北、华东、华中地区牵引站采用 110kV 和 220kV 两个电压等级,以 110kV 电压为主。国家电网公司供电范围内 110kV 供电和 220kV 供电的牵引站在各地区的分布情况如图 1-2 所示。

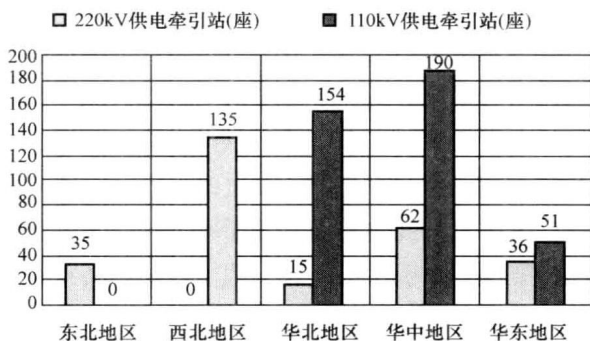


图 1-2 国家电网供电范围内各地区
不同电压供电牵引站分布图

采用 110kV 电压供电的牵引站主要集中在普通电气化铁路中,如京沪电气化铁路、京广电气化铁路、宝成铁路、陇海线等;也有部分线路采用 220kV 电压供电,例如哈大电气化铁路、沟海线电气化铁路、胶济电气化铁路、沪杭电气化铁路、浙赣电气化铁路等。客运专线由于速度快、机车功率更大、持续受电时间长,对供电可靠性要求更高,同时对电网的三相不平衡影响也更严重,因此绝大多数牵引站主要采用短路容量更大的 220kV 电压供电,例如武广客专、沪宁城际客专、京津城际客专、郑西客专部分牵引站、石太客专、合武客专、合宁客专等均采用 220kV 电压供电,郑西客专姚家寨牵引站和赵家坪牵引站采用 330kV 电压供电。新建的客运专线和高速铁路,例如京沪高铁、哈大客运专线、京武高铁等,绝大多数牵引站也将采用 220kV 电压供电。

截至 2010 年 7 月, 国家电网公司供电范围内为在运的 680 座牵引站供电的系统变电站共 724 座, 其中 500kV 变电站 5 座, 主要分布在华中和华东地区; 330kV 变电站 23 座, 主要分布在陕西、甘肃、宁夏等西北地区; 220kV 变电站 481 座; 110kV 变电站 215 座。

1.2.2 电网向牵引站的供电方式

为了保证电气化铁路安全可靠供电的要求, 牵引站均采用双路电源供电。电气化铁路对两路电源的要求是, 当发生故障时两路电源不应同时受到损坏。这两路电源可以由电力系统中不同的区域变电站供电, 也可以是同一区域变电站供电。当由同一区域变电站供电时, 该变电站所有设备均应有备用, 如进线、母线、220kV 降压至 110kV 的主变压器等至少应有双回, 不致因发生故障而影响供电。当由不同的区域变电站供电时, 这些不同的区域变电站原则上也不能是单一电源。

电网向牵引站的供电方式应考虑三方面的因素: 供电电源的来源方式、高压输电线路的架设方式和牵引站的引入线方式。究竟采用哪种供电方式, 要综合考虑当地电网的情况、经济性和供电可靠性等因素。我国电网给牵引站供电的双电源来源方式可分为来自同一变电站的不同母线双电源和来自不同变电站的双电源两种; 高压输电线路架设方式原则上采用单回路架设, 特殊情况下也有采用同塔双回路架设; 牵引站引入线方式主要包括桥接线和双 T 接线两种。

1.2.2.1 供电电源的来源方式

电网向牵引站供电的双路电源来源方式, 可分为来自同一变电站的不同母线双电源和来自不同变电站的双电源两种。其中, 每种双电源的供电方式又分为独立双电源专供、一主供一 T 接和双 T 接三种。

(1) 来自同一变电站的不同母线双电源方式。

1) 独立双电源专供方式。来自同一变电站不同母线的独立双电源是指牵引站的电能是由电力系统中的一个变电站(发电厂)送来的, 但双回路取自不同的母线, 如图 1-3 所示。图中, A1、A2、A3 为发电厂, B1、B2、B3 为地区变电站, C 为牵引站, 牵引站通过两路 110kV (220kV) 输电线路接到发电厂 A1 的 110kV (220kV) 母线。发电厂 A1 通过两路 110kV (220kV) 输电线接到地区变电站 B1 的 110kV (220kV) 母线。地区变电站 B2 还通过单回 110kV (220kV) 输电线从发电厂 A2 获得电能, 发电厂 A2 还通过两回 110kV (220kV) 输电线路送电到地区变电站 B3。地区变电站 B3 采用三绕组变压器, 其 35kV 母线与发电厂 A3 连接。由于牵引站 C 与发电厂 A1 的电距离要比与发