



“十二五”国家重点出版物出版规划项目

GAOSU TIELU LIECHE YUNXING KONGZHI JISHU
-ZPW-2000 XILIE WUJUEYUAN GUIDAO DIANLU XITONG

高速铁路列车 运行控制技术

——ZPW-2000系列无绝缘轨道电路系统

□ 李文涛 主编

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

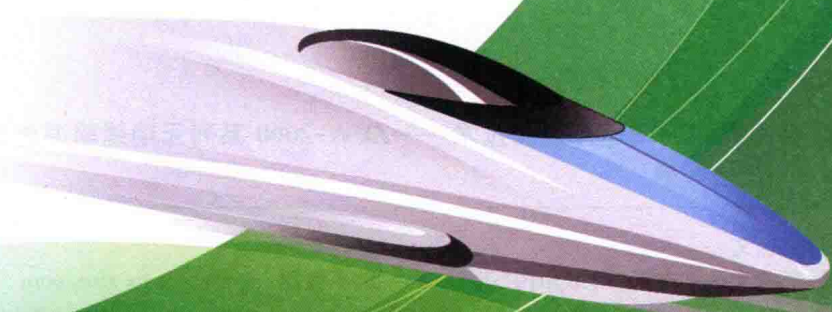


“十二五”国家重点出版物出版规划项目

高速铁路列车运行控制技术

——ZPW-2000系列无绝缘轨道电路系统

李文涛 主编



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

本书通过对 ZPW-2000 系列无绝缘轨道电路系统技术攻关与创新工作的总结和凝炼,从基础理论、工程设计、相关专业接口和现场案例等方面进行深入浅出、全面系统的介绍,使我国从事高速铁路研究开发、工程实施、运营维护、使用管理等相关技术人员,能够更加深入地了解 and 掌握 ZPW-2000 系列无绝缘轨道电路系统的工作原理、关键技术和相关技术规范。

本书可供高速铁路相关专业技术人员、运用和管理人员学习,对各类职业院校相关师生也有重要的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

高速铁路列车运行控制技术:ZPW-2000 系列无绝缘轨道
电路系统/李文涛主编. —北京:中国铁道出版社,2017.2
ISBN 978-7-113-22539-1

I. ①高… II. ①李… III. ①高速铁路-列车-运行-控制
系统-研究 IV. ①U284.48

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 277884 号

书 名:高速铁路列车运行控制技术——ZPW-2000 系列无绝缘轨道电路系统
作 者:李文涛 主编

策 划:崔忠文
责任编辑:崔忠文 电话:(市)010-51873146 电子信箱:dianwu@vip.sina.com
(路)021-73146

封面设计:崔丽芳
责任校对:焦桂荣
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:中国铁道出版社印刷厂

版 次:2017 年 2 月第 1 版 2017 年 2 月第 1 次印刷

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:14.5 字数:348 千

书 号:ISBN 978-7-113-22539-1

定 价:55.00 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

《高速铁路列车运行控制技术》 编写委员会

主 编 刘朝英

副主编 覃 燕

成 员(按姓氏笔画排序)

李文涛 李 凯 郑 升 袁湘鄂

莫志松 曹 玉 靳 俊

序

近年来,我国高速铁路快速发展,取得了举世瞩目的成就。高速铁路列车具有运行速度快、追踪间隔时间短的显著特点。为确保行车安全,必须采用高可靠、高安全的列车运行控制系统。

中国列车运行控制系统(简称 CTCS)技术体系是充分吸取了国际列控系统的先进经验,并结合中国国情进行系统集成创新的成果,具有自主知识产权,其技术水平已跨入世界先进行列。

CTCS 既包括地面设备,也包括车载设备,是车地一体化的综合控制系统。支撑 CTCS 的主要设备包括:CTCS-3 级、CTCS-2 级列控车载设备,调度集中设备,轨道电路设备,计算机联锁设备,无线闭塞中心(RBC),列控中心(TCC),临时限速服务器(TSRS)等。列控地面设备根据联锁进路信息、列车追踪信息、允许速度信息、线路坡度信息等形成列车行车许可,由列控车载设备控制列车安全运行。CTCS 在应用中不断成熟和完善,为我国高速铁路的快速发展创造了条件。我国高速铁路按照 200~250 km/h 高速铁路信号系统以 CTCS-2 级列控系统为主,250~350 km/h 高速铁路信号系统以 CTCS-3 级列控系统为主进行规划建设。

为了完整地呈现中国列车运行控制系统技术体系,反映铁路科研人员长期辛勤耕耘的创新成果,我们编写了《高速铁路列车运行控制技术》,使我国从事高速铁路研究开发、工程实施、运营维护、使用管理等相关技术人员,能够更加深入地了解中国列车运行控制系统的基础理论、关键技术、工程实践和相关技术规范。

《高速铁路列车运行控制技术》包括五个分册,分别是《调度集中系统》《CTCS-3 级列车运行控制系统》《CTCS-2 级列车运行控制系统》《ZPW-2000 系列无绝缘轨道电路系统》《计算机联锁系统》。

高速铁路列车运行控制技术凝聚着一大批科研、建设、运营工作者的智慧和汗水。谨以此书,献给为中国高速铁路列车运行控制技术创新拼搏奉献的同志们。

编写委员会
2016 年 10 月

前 言

我国是传统应用轨道电路的国家。2002年12月,在中国召开的国际铁路联盟(UIC)大会上,铁道部向世界宣布发展中国列车运行控制系统(简称CTCS)的规划,明确采用轨道电路实现列车占用检查,并传送动态实时信息的整体发展框架,在我国普速铁路和高速铁路上全面使用轨道电路设备。

ZPW-2000系列无绝缘轨道电路系统作为CTCS的重要基础安全设备之一,在我国列车运行控制系统中具有十分重要的作用,起到列车占用检查、列车完整性检查、断轨检查以及向列车传递行车命令的关键作用,为保障铁路行车安全和提高行车效率做出重要贡献。

本书通过对ZPW-2000系列无绝缘轨道电路系统技术攻关与创新工作的总结和凝炼,旨在从基础理论、工程设计、相关专业接口和现场案例等方面进行深入浅出、全面系统的介绍,使我国从事高速铁路研究开发、工程实施、运营维护、使用管理等相关技术人员,能够更加深入地了解 and 掌握ZPW-2000系列无绝缘轨道电路系统的工作原理、关键技术和相关技术规范。

本书由李文涛主编,赵自信主审。具体编写分工如下:

第一章由徐宗奇、李文涛、王智新、李智宇、刘志明编写;

第二章和第三章由李文涛、王智新、刘志明、张璐编写;

第四章由王智新、刘锐东、高斌编写;

第五章由邓迎宏、肖彩霞、周明晰编写;

第六章由王连福、李明兵、张平编写;

第七章由李文涛、王智新、阳晋、刘志明编写;

第八章由徐宗奇、李智宇、杨晓峰编写。

参加审定的人员有:周新生、乔志超。

特别感谢铁路信号专家赵自信前辈,他在轨道电路及相关研究领域孜孜以求,贡献了毕生的精力,并对本书提出很多宝贵意见。另外,本书还得到北京全路通信信号研究设计院集团有限公司李建清、任国桥、张小群、孙国营等专家的大力支持和帮助,在此一并表示衷心感谢!

我国高速铁路技术发展迅速,编者的水平及精力有限,因此本书内容不全面、不恰当甚至错误在所难免,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

2016年10月

目 录

第一章 轨道电路基本工作原理.....	1
第一节 轨道电路发展过程和技术特点.....	1
第二节 轨道电路的分类.....	3
第三节 无绝缘轨道电路原理.....	4
第四节 ZPW-2000 系列无绝缘轨道电路系统发展过程	12
第五节 ZPW-2000 系列无绝缘轨道电路系统技术要求	13
第二章 ZPW-2000A 型无绝缘轨道电路系统概述.....	18
第一节 ZPW-2000A 型无绝缘轨道电路系统构成	18
第二节 ZPW-2000A 型无绝缘轨道电路系统框图	24
第三节 ZPW-2000A 信号频率的选择	28
第四节 ZPW-2000A 型无绝缘轨道电路系统安全性	34
第五节 ZPW-2000A 型无绝缘轨道电路系统抗干扰	41
第六节 ZPW-2000A 型无绝缘轨道电路系统可靠性	42
第七节 ZPW-2000A 型无绝缘轨道电路系统的发展	43
第三章 ZPW-2000A 型无绝缘轨道电路系统工作原理.....	45
第一节 电气绝缘节	45
第二节 发送器	57
第三节 接收器	69
第四节 通信接口板	82
第五节 衰耗器及衰耗冗余控制器	85
第六节 电缆模拟网络	99
第七节 补偿电容.....	102
第八节 站内匹配单元.....	103
第九节 扼流变压器.....	104
第十节 内屏蔽铁路数字信号电缆.....	105
第十一节 系统防雷.....	110
第十二节 监测维护系统.....	115
第四章 ZPW-2000A 型无绝缘轨道电路系统工程设计	120
第一节 电源及设备配置.....	120

第二节	轨道电路的频率布置	122
第三节	调谐区设计	123
第四节	轨道电路区段极限长度设计	123
第五节	补偿电容设计	125
第六节	道岔区段设置原则	127
第七节	电缆应用原则	129
第八节	横向连接的设置	132
第九节	站内回流设置要求	133
第十节	防雷设计	133
第十一节	多线并行区段工程设计	134
第十二节	其他应用接口设计	136
第十三节	安全应用限制条件	138
第五章	ZPW-2000R 型无绝缘轨道电路系统	140
第一节	ZPW-2000R 型无绝缘轨道电路系统组成及特点	140
第二节	ZPW-2000R 型无绝缘轨道电路系统安全性、可靠性	141
第三节	ZPW-2000R 型无绝缘轨道电路系统抗干扰	143
第四节	ZPW-2000R 型无绝缘轨道电路系统工作原理	143
第五节	ZPW-2000R 发送器工作原理及其冗余设计	147
第六节	ZPW-2000R 接收器工作原理及其冗余设计	148
第七节	ZPW-2000R 型无绝缘轨道电路系统防雷设计	149
第八节	ZPW-2000R 监测维护系统	150
第九节	ZPW-2000R 型无绝缘轨道电路系统工程化设计原则	150
第六章	ZPW-2000S 型无绝缘轨道电路系统	160
第一节	ZPW-2000S 型无绝缘轨道电路系统组成及特点	160
第二节	ZPW-2000S 型无绝缘轨道电路系统安全性、可靠性	166
第三节	ZPW-2000S 型无绝缘轨道电路系统抗干扰	168
第四节	ZPW-2000S 型无绝缘轨道电路系统工作原理	168
第五节	ZPW-2000S 发送器工作原理	171
第六节	ZPW-2000S 接收器工作原理	172
第七节	ZPW-2000S 型无绝缘轨道电路系统冗余设计	173
第八节	ZPW-2000S 型无绝缘轨道电路系统防雷设计	174
第九节	ZPW-2000S 监测维护系统	174
第十节	ZPW-2000S 型无绝缘轨道电路系统工程化设计原则	176
第七章	ZPW-2000 系列无绝缘轨道电路系统与相关专业接口设计	180
第一节	高速铁路站场设置回流“断点”	180
第二节	轨道电路低道床电阻问题	183

第三节 分路不良·····	192
第八章 ZPW-2000 系列无绝缘轨道电路系统故障分析及典型故障案例 ·····	195
第一节 故障分析·····	195
第二节 典型故障案例·····	204
参考文献·····	220

第一章 轨道电路基本工作原理

第一节 轨道电路发展过程和技术特点

一、发展过程

1825年,第一条铁路在英国诞生。很长一段时间,为了防止列车发生追尾,列车运行安全控制采用时间间隔制和空间间隔制两种方法。时间间隔制是在先行列车开出后,经过一定时间再开出续行列车的的方法。由于该方法需司机长时间集中注意力,在安全上没有保证。空间间隔制是在列车已到分界点后,再发出续行列车的的方法。该方法在很长一段距离内(如站间闭塞)只允许一列车运行,列车通过能力低。

根据铁路运输安全和效率的需要,不断出现了各种类型的轨道电路,典型轨道电路如图 1-1所示。

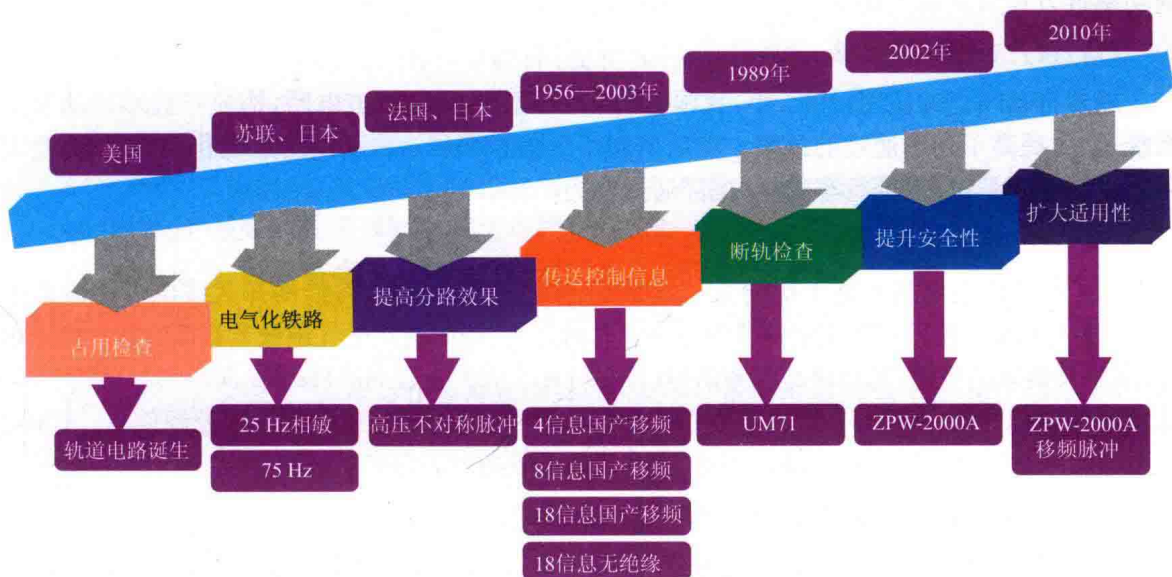


图 1-1 轨道电路发展的典型类型

(一) 轨道电路的诞生

随着列车对数的增加和运行速度的提高,火车事故率开始增加,不能明确反映列车空闲与占用轨道是导致火车事故频发的主要因素。为了检查列车占用钢轨线路状态,1870年美国鲁滨孙发明了开路式轨道电路,次年,开路式轨道电路得到了应用。由于开路式轨道电路在故障—安全上没有保证,1872年鲁滨孙成功研制闭路式轨道电路,并且具备断轨检查功能。图 1-2为鲁滨孙宣传轨道电路能够检查断轨的广告明信片。



图 1-2 鲁滨孙宣传轨道电路能够检查断轨的广告明信片

(二) 25 Hz 相敏和 75 Hz 轨道电路

闭路式轨道电路很快应用到多条铁路线上。1900 年前后,直流电气化铁路出现,但是由于直流轨道电路抗干扰能力差,出现了交流轨道电路,典型的有 25 Hz 相敏和 75 Hz 等轨道电路。

(三) 高压不对称脉冲轨道电路

在不常走车的站内轨道电路区段,钢轨形成的铁锈使轮轨间接触电阻增大,造成分路不良。1953 年开始,法国和日本相继研制高压脉冲轨道电路,通过高压脉冲击穿轮轨间锈层(瞬间功率近万瓦),从而大幅度改善轨道电路分路不良。

(四) 国产移频轨道电路

随着自动闭塞的应用,1965 年,我国研制成功 4 信息移频轨道电路,构成三显示自动闭塞系统,大大提高了列车通过的效率。随后研制了 8 信息四显示自动闭塞系统和 18 信息速差式移频自动闭塞系统,保证行车安全,提高通过能力。

(五) UM71 无绝缘轨道电路

为了提高轨道电路的抗干扰能力,实现断轨检查功能,1990 年,借助郑武线电气化改造工程,我国从法国引进 UM71 无绝缘轨道电路。其特点为:用调谐式电气绝缘节替代原有机械绝缘节,满足长钢轨的应用;选择较高载频信号(1 700 Hz、2 000 Hz、2 300 Hz 和 2 600 Hz);采用 18 个低频信息(从 10.3~29 Hz,以 1.1 Hz 间隔递增),分别代表不同的速度和间隔控制信息。UM71 轨道电路制式符合我国铁路运输高密度、高速度和重载的发展方向。

(六) ZPW-2000 系列无绝缘轨道电路系统

ZPW-2000 系列无绝缘轨道电路系统(亦含 UM71、UM71-98 等法国引进部分)成为我国轨道电路的统一制式,包括 ZPW-2000A、ZPW-2000R、ZPW-2000S 等类型。

在对 UM71 轨道电路引进、消化、吸收和再创新的基础上,2002 年,我国成功研制 ZPW-2000A 型无绝缘轨道电路系统,并通过铁道部鉴定。该轨道电路特点为:解决全程断轨检查、调谐单元断线检查、抗拍频干扰和减小调谐区分路死区等安全技术难题;延长轨道电路传输长度;研发 SPT 数字信号电缆,增加电缆传输距离;构成发送、接收双机冗余系统。在系统的安全性、可靠性、可维修性及降低工程造价方面达到国际先进水平。

ZPW-2000R 型无绝缘轨道电路系统由黑龙江瑞星科技股份有限公司研制,2001 年初完成系统总体方案的论证,2002 年初完成第一套工程样机,后通过铁道部审查,获得推广应用。



ZPW-2000S 型无绝缘轨道电路系统是和利时系统工程公司引进 UM2000(安萨尔多公司)的国产化产品。通过中国铁路总公司审查,获得推广应用。

(七)ZPW-2000A 型移频脉冲轨道电路系统

当前,我国区间采用 ZPW-2000A 型无绝缘轨道电路系统,既有线站内主要采用 25 Hz 相敏轨道电路,高速铁路站内主要采用一体化 ZPW-2000A 型无绝缘轨道电路系统,但一体化 ZPW-2000A 型无绝缘轨道电路系统存在以下问题:

- (1)钢轨锈层造成分路不良;
- (2)绝缘破损不能检查,造成机车信号越区传输,信号升级;
- (3)道岔分支并联跳线缺失后,存在弯股丧失占用检查问题;
- (4)站内侧线采用“一头堵”方式,回路故障时,钢轨上高电压造成人身伤亡事故、烧损设备及影响行车安全;
- (5)站内侧线采用“一头堵”方式,可造成大功率机车通过回流切断点拉弧灼伤钢轨和绝缘节现象。

为解决上述问题,北京全路通信信号研究设计院研制了脉冲和移频混合信号的 ZPW-2000A 型移频脉冲轨道电路。2010 年上道试验,2015 年通过中国铁路总公司审查。

二、技术特点

轨道电路系统于 19 世纪 70 年代产生,拉开了铁路信号自动化控制的序幕,至今 140 多年时间里,经历从机械→电气→电子等发展阶段,具备如下特点:

- (1)系统结构简单:操作简单,易于设计、安装、调试和维护。
- (2)实时不间断检测:实时地反映列车占用状态。
- (3)环境适应性强,满足连续不间断工作。
- (4)中断后快速启动:失电后可以迅速重新启动,不需人为干预。
- (5)固有的“故障—安全”特性:其工作符合“故障—安全”原则。
- (6)准确定位:以机械绝缘节或电气绝缘节为界,定位边界准确。
- (7)实时连续上传信息:通过钢轨给机车信号实时连续地传递信息。
- (8)钢轨断轨检查:可以实时检查钢轨断轨。

由于具备上述特点,在信息化程度高度发达的今天,轨道电路具有不可替代的技术优势,法国、日本、澳大利亚、美国、英国、韩国及俄罗斯等国家均在普速和高速铁路上广泛使用该项技术。

我国是传统应用轨道电路的国家,2002 年 12 月,在中国召开的国际铁路联盟(UIC)大会上,铁道部向世界宣布发展中国列车运行控制系统(简称 CTCS)的规划,明确采用轨道电路实现占用检查,并传送动态实时信息的整体发展框架,在我国普速和高速铁路全面使用轨道电路。

第二节 轨道电路的分类

轨道电路分类方式很多,包括按照接线方式、供电性质、牵引方式、安装位置、绝缘方式和用途等,具体分类如下。

1. 按接线方式,可分为闭路和开路式。

- (1)闭路式轨道电路。平时轨道继电器吸起,有车时轨道继电器落下,能检查轨道电路完

整和设备状态,符合信号设备的“故障—安全”原则,目前大部分轨道电路采用该方式。

(2)开路式轨道电路。平时轨道继电器落下(电路处在开路状态),有车时轨道继电器吸起,不能检查轨道电路完整和设备状态,不符合信号设备的“故障—安全”原则,只能在有特殊要求的场合进行应用,如道口出清、半自动到达等区段。

2. 按信号传输电流性质,可分为直流、交流。

(1)直流轨道电路。在轨道电路中传输的是直流信号电流。直流轨道电路因所传输的是连续或断续直流,分为连续式(如 JWXC-2.3)和脉冲式(如高压脉冲)两种。

(2)交流轨道电路。在轨道电路中传输的是交流信号电流。常用的交流连续式轨道电路有 JZXC-480、25 Hz 相敏、移频、UM71、ZPW-2000;交流断续式轨道电路有交流计数、微电子交流计数等。

3. 按牵引方式,可分为电气化区段和非电气化区段。

(1)电气化区段轨道电路。在轨道中传输的既有信号电流,还有牵引电流,所以轨道电路应具有防牵引电流干扰的措施。目前 25 Hz 相敏、25 Hz 交流计数、高压脉冲、国产移频和 UM71、ZPW-2000 等都可以在电气化区段使用。

(2)非电气化区段轨道电路。轨道电路为 50 Hz 工频正弦信号,只能用于非电力牵引区段。如 JWXC-480 交流连续式轨道电路和 50 Hz 交流计数轨道电路等。

4. 按设备安装位置,可分为分散式和集中式。

(1)分散式安装。主要设备都安放在现场轨道旁,分散式安装特点是投资少,但是工作环境差、维修不方便。

(2)集中式安装。除了信号机、轨道箱外,发送、接收等设备均安放在机械室内,用信号传输电缆连接室内外设备。因其主要设备放在室内,工作环境稳定、维修方便,得到广泛的应用,如国产移频、ZPW-2000 等。

5. 按有无绝缘,可分为有绝缘轨道电路和无绝缘轨道电路。

(1)有绝缘轨道电路。相邻轨道电路间采用机械绝缘节隔离,绝缘节包括胶粘和尼龙绝缘等,目前,站内轨道电路大部分采用该方式。

(2)无绝缘轨道电路。相邻轨道电路间采用电气绝缘节隔离,电气绝缘节包括谐振式和自然衰耗式等,主要运用在闭塞区间,如 UM71、ZPW-2000 移频等。

6. 按用途,可分为站内、区间、驼峰和道口轨道电路。

(1)站内轨道电路。适用于站内的主要有 25 Hz 相敏、高压脉冲和 ZPW-2000 等制式。站内轨道电路还可分为无岔区段、有岔区段和股道三种。

(2)区间轨道电路。适用于区间的主要有国产移频、UM71 和 ZPW-2000 等制式。

(3)驼峰轨道电路。适用于驼峰峰下制动部位道岔区段的 JWXC-2.3 型闭路式轨道电路。

(4)道口轨道电路。适用于铁路与公路的平交道口接近报警或离去解除报警。适用于道口报警的主要有 DK·SW、DK·Y3 道口控制器和道口计轴装置等。

第三节 无绝缘轨道电路原理

一、无绝缘轨道电路的产生

近年来,随着铁路运输事业的发展,运行线路行车密度、速度及承载重量不断提高。为

了减少线路行车阻力、噪声、振动,减少轮轨间机械磨损,提高旅客乘车舒适度,减少维修,提高线路质量和寿命等诸多因素,长轨无缝线路在新线建设和既有线改造中得到大面积应用。

为防止对钢轨的切割,世界各国对无绝缘轨道电路的研究和应用有了长足进展。

二、无绝缘轨道电路的原理及类型

无绝缘轨道电路按原理可分为两大类。

第一类是电气隔离式,又称谐振式。它是在轨道电路的分界处,采用电容和一部分钢轨的电感构成谐振回路。另外相邻轨道电路采用不同频率的信号电流,使轨道电路电气隔离。

第二类是自然衰耗式,又称叠加式。它是利用轨道电路的自然衰耗,相邻轨道电路采用不同频率的信号电流,利用在轨面外进行滤波的原理使相邻轨道电路的工作互不影响。

ZPW-2000 系列无绝缘轨道电路属于电气隔离式轨道电路,下面主要介绍电气隔离式轨道电路原理,简要介绍自然衰耗式轨道电路原理。

(一) 电气隔离式无绝缘轨道电路及其演变过程

1. 电气分隔接头的构成和原理

无绝缘轨道电路的电气分隔接头,对相邻两轨道电路的隔离是依据对偶原理,类似于有绝缘轨道电路的轨端绝缘。图 1-3 是有绝缘轨道电路的轨端机械绝缘,在相邻轨道电路交界处的电气参数为:阻抗 $Z=\infty$,电流 $I=0$ 。它的对偶电路是导纳 Y 对应阻抗 Z ,电压 V 对应电流 I ,这两者互相转换所建立的关系是完全相同的。

对比图 1-3 机械绝缘接头的轨道电路,其对偶电路如图 1-4 所示。它就是电气隔离式无绝缘轨道电路的构成原理。在图 1-4 中,用短路线代替机械绝缘接头,因而两相邻轨道电路交界处的电气参数是:用 $Y=\infty$ 来代替 $Z=\infty$,用 $V=0$ 来代替 $I=0$ 。

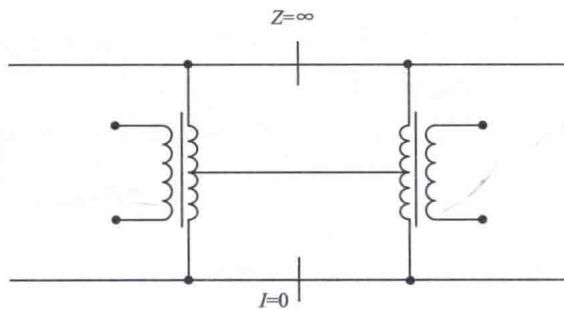


图 1-3 轨端机械绝缘节

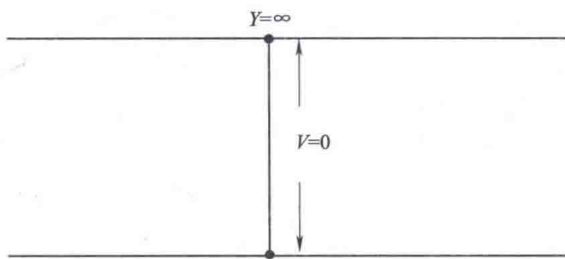


图 1-4 轨端机械绝缘节的对偶电路

仅用一根短路线来代替机械绝缘接头,这种无绝缘轨道电路是无法应用的。因为它虽然满足相邻两轨道电路的隔离,可是 $V=0$,不能传输能量,不满足能量传输的要求。可用的电气分隔接头应具备条件:

(1) 电气分隔接头的隔离性要好,界限必须分明,隔离区段的长度应尽量短。

(2) 电气分隔接头(隔离区段)内不满足分路灵敏度要求的死区段应尽量短,至少要小于最短车辆两对轮轴之间的距离。

- (3) 两相邻轨道电路间应无信号干扰,或虽存在干扰信号,但不影响本轨道电路正常工作。
- (4) 轨道电路的独立性要强,相邻轨道电路分路,不能影响本区段正常工作。
- (5) 分路灵敏度要高。
- (6) 信号传输效率要高,应具有足够的传输长度。
- (7) 设备简单可靠。
- (8) 对有机车信号信息的轨道电路,应满足机车信号连续工作。

2. 最原始的无绝缘轨道电路

其典型代表为 FS2500 型无绝缘轨道电路。

最简单的电气隔离式无绝缘轨道电路的原理电路如图 1-5 所示,通过电缆短路线隔离两边区段,同时短路线构成两边区段的零点,电容和钢轨构成极点。

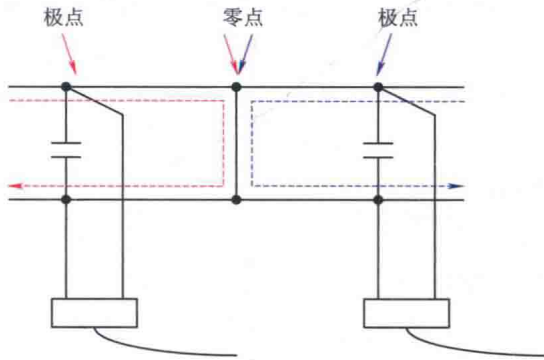


图 1-5 电气隔离式无绝缘轨道电路原理示意图

图 1-6 中, A、B 区段轨道电路的分界处是电气分隔接头。在 cd 处装设电缆短路线,在两侧 ab 和 ef 处各装设一个电容 C_1 和 C_2 。A 和 B 轨道电路利用 cd 处两钢轨间的短路线进行隔离。A 和 B 轨道电路分别发送频率为 f_1 和 f_2 信号电流。电容 C_1 接 A 轨道电路的发送器,电容 C_2 接 B 轨道电路的接收器。

电容 C_1 和 acdb 回路中的钢轨电感 L_{ac} 、 L_{db} 及短路线的电感 L_{cd} 构成并联谐振电路,并联阻抗的频率特性如图 1-7 中曲线 a 所示。由曲线 a 可知:在信号的频率为 f_1 时,电容两端的阻抗 Z_{ab} 呈现高阻抗。因此轨道电路发送器 FSA 发送频率为 f_1 的信号,在 ab 两点间得到高的电压。该信号电流沿着 A 轨道电路向接收端传输。

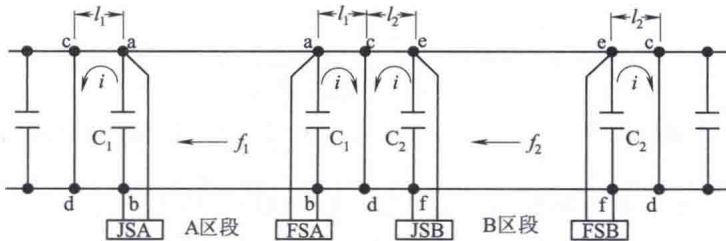


图 1-6 简单的电气分隔接头

电容 C_2 和 ecdf 回路中的钢轨电感 L_{ec} 、 L_{fd} 及短路线的电感 L_{cd} 构成并联谐振电路,并联阻抗的频率特性如图 1-7 中曲线 b 所示。由曲线 b 可知:在信号的频率为 f_2 时,电容 C_2 两端的阻抗 Z_{ef} 呈现高阻抗。因此沿着 B 轨道电路,从发送端传输来频率为 f_2 的信号电流,在电容 C_2

两端 ef 形成高的电压,被接收器 JSB 接收,动作轨道继电器。

A 轨道电路接收端与接收器 JSA 相连,和 B 轨道电路相同;B 轨道电路发送端与发送器 FSB 相连,和 A 轨道电路相同,其工作原理同上述电气分隔接头。一般说来,隔离区段 l_1 和 l_2 的长度随信号频率 f_1 和 f_2 的提高而缩短。

图 1-6 这种简单的无绝缘轨道电路,在区间内采用时,车辆在 cd 短路线附近不能得到可靠分路,且影响机车对移频信号的接收。

3. S 形跳线的谐振隔离式无绝缘轨道电路

对于图 1-8 中①所示的无绝缘轨道电路存在分路死区长的缺点,进行了演化。②是将电缆短接线斜拉,这样并不改变①的电气特性。为了消除分路死区,将两个调谐区向中心靠拢,即演变到③。而斜拉线的方式仅仅是一个分析过程,因为这种连线方式,造成调谐区内参与谐振的电感大幅下降,为了保持该电感,将斜线方式改为当前 S 棒式的连接方式,进而最终演化成④中带有 S 形跳线的谐振隔离式无绝缘轨道电路。

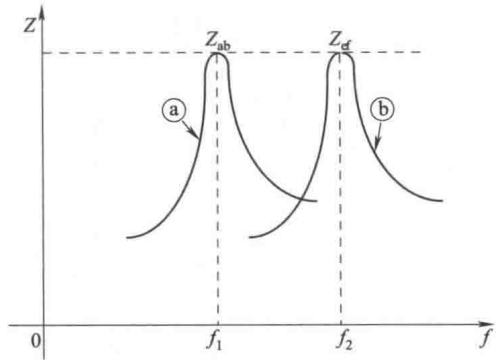


图 1-7 简单电气分隔的并联阻抗频率特性

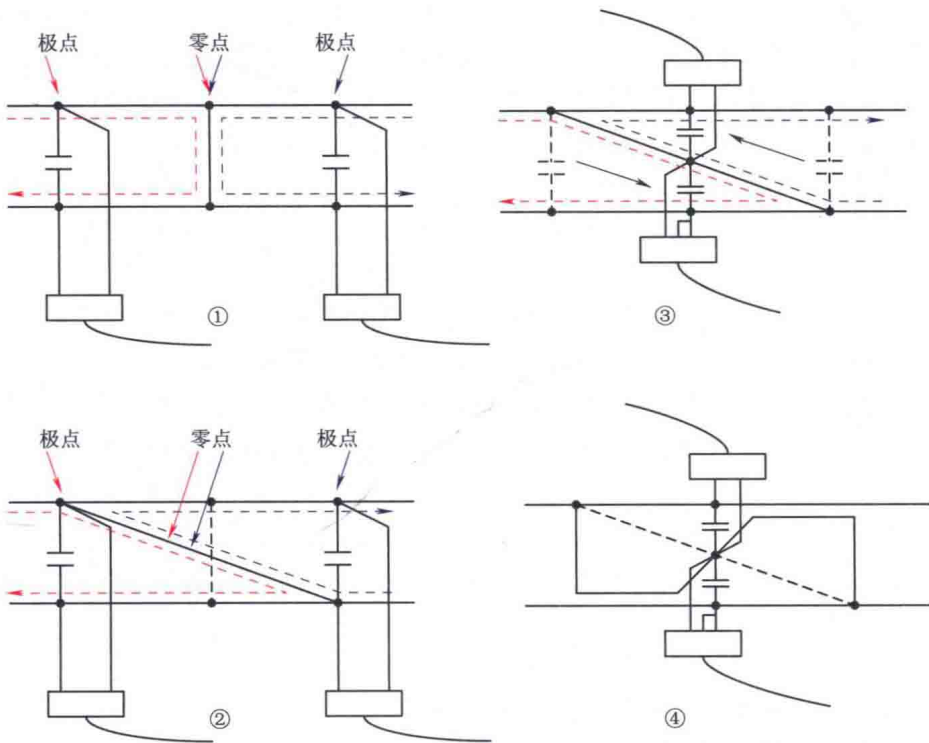


图 1-8 S 形跳线的谐振隔离式无绝缘轨道电路原理示意图

下面对 S 形跳线的谐振隔离式无绝缘轨道电路工作原理做一简要说明。如图 1-9 所示,考虑减小 S 形轨道跳线对机械化养路作业的影响,S 形跳线采用下列走线方式:从第 I 钢轨的焊接点 a 开始,沿着轨枕到第 II 钢轨的腰部 a' 点,拐弯沿着钢轨 II 的腰部到 c 点,又拐弯沿着轨枕到钢轨 I 的腰部 b 点,再拐弯沿着钢轨的腰部到 d' 点,再拐弯沿着轨枕到钢轨 II 的焊接点 d。

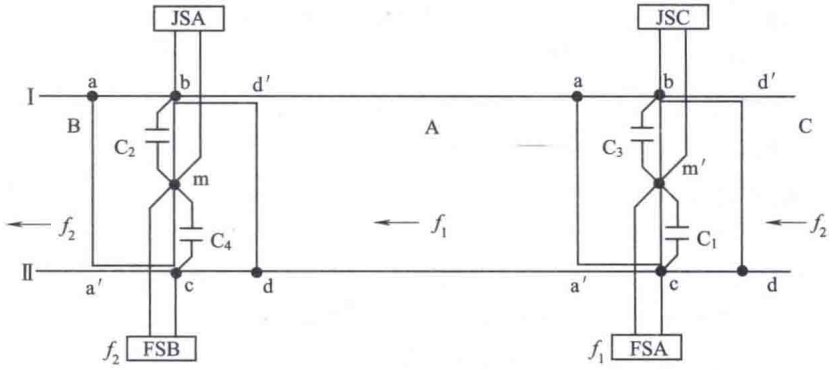


图 1-9 具有 S 形线的电气分隔接头

A 轨道电路的发送器 FSA 和接收器 JSA 采用如下斜对角线的连接方式:发送器 FSA 相连的谐振槽路在 A 轨道电路的右下角,由电容 C_1 、钢轨 II 的一段 cd 和一段连接线 dm' 等部件组成;它由电容 C_1 、 cd 段钢轨 II 的电感 L_{cd} 、 dm' 段连接线电感 $L_{dm'}$ 及它们之间的互感 M_{cm} 构成谐振频率为 f_1 的并联谐振槽路。因此发送电容 C_1 两端呈现高阻抗;A 轨道电路发送器 FSA 产生频率为 f_1 的信号,在电容 C_1 两端相连的两点 $m'c$,也即在发送端轨面 ac 两点形成较高电压;此 f_1 信号沿着 A 轨道电路向接收端传输。接收器相连的谐振槽路在 A 轨道电路的左上角,由电容 C_2 、钢轨 I 的 ba 和一段连接线 am 等部件组成;电容 C_2 、 ba 段钢轨电感 L_{ba} 、 am 段连接线电感 L_{am} 及它们二者之间互感 M_{am} 构成谐振频率为 f_1 的并联谐振槽路。因此接收电容 C_2 两端呈现高阻抗,沿着 A 轨道电路传输来的 f_1 信号,在电容 C_2 两端相连的 bm 两点,也即接收端轨面 bd 两点,有较高电压,从而被接收器 JSA 接收,动作轨道继电器。

B、C 轨道电路的发送器 FSB、FSC 和接收器 JSB、JSC 的连接方式与 A 轨道电路相同。不同的是 B、C 轨道电路发送和接收的是频率为 f_2 的信号。A 和 B、C 轨道电路除了利用不同频率的信号互相隔离外,还采用 S 形短路跳线,使它们彼此隔离。

S 形轨道跳线的长度等于 ab 加 bd ,随着信号频率的增加而减小。在电气隔离区段内无死区段,但有分路重叠区段。分路重叠区段的最大长度为 ad' 和 $a'd$ 。在分路重叠区内机车信号将收到两种载频信号。由于 S 形轨道跳线把两根钢轨短路起来,使轨道电路不平衡系数大大减少,减少了电气化干扰。S 形跳线置于道心,大截面电缆妨碍养路作业。另外该电气绝缘节区段间隔系数较低。

该方式优点:调谐区牵引电流平衡性能良好,无分路死区以及电路结构简单。

该方式缺点:相邻区段间隔性能较差。对于有机车信息的该轨道电路,重叠分路区的提前分路可形成机车接收禁止信息。

4. 电气分隔式无绝缘轨道电路

对 S 形跳线的谐振隔离式无绝缘轨道电路的缺点,另一种改进方法是用空芯线圈代替两根钢轨间的短路线,在空芯线圈的两侧各装设一个谐振单元。其原理电路如图 1-10 所示。

在电气分隔接头中间装设空芯线圈 L_s ,主要起平衡牵引电流的作用,因为它对 50 Hz 牵引电流的阻抗很小,相当于短路,而对音频信号的阻抗较大。A 轨道电路的发送器 FSA 发送频率为 f_2 的信号。B、C 轨道电路发送器 FSB、FSC 发送频率为 f_1 的信号,且 $f_1 < f_2$ 。谐振电路 L_1 、 C_1 构成串联谐振,谐振频率为 f_2 ,串联谐振阻抗很小,只有千分之几欧姆。因此频率为 f_2 的信号在 EF 和 $E'F'$ 处相当于短路,使在 A 轨道电路中的 f_2 信号电流不能混入 B、C 轨道电