

ISSN 1673-4440
CN 11-5423/U

中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊; RCCSE中国准核心学术期刊; 日本科学技术振兴机构数据库 (JST) 收录期刊; EBSCO学术数据库收录期刊; 中国核心期刊 (遴选) 数据库收录期刊; 中国学术期刊 (光盘版) 全文收录期刊; 中文科技期刊数据库 (全文版) 收录期刊; 中国学术期刊影响因子年报统计源期刊; 超星期刊域出版平台全文收录

铁路通信信号工程技术

Railway Signalling & Communication Engineering

主办单位: 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司

2023.11 第20卷

(2023)京新出刊增准字第(295)号



封面摄影: 方瑞

铁路通信信号工程技术

RAILWAY SIGNALLING & COMMUNICATION ENGINEERING

主管单位 Administrated by:

中国铁路通信信号集团有限公司 China Railway Signal & Communication Group Co., Ltd.

主办单位 Sponsored by:

北京全路通信信号研究设计院集团有限公司 CRSC Research & Design Institute Group Co., Ltd.

主编 Editor in Chief:

徐宗奇 Xu Zongqi

执行主编 Executive Editor:

李智宇 Li Zhiyu

编辑部主任 Director of Editorial Office:

李照敬 Li Zhaojing

责任编辑 Editor in Charge:

王丹丹, 陈超, 贯一琦 Wang Dandan, Chen Chao, Guan Yiqi

网络编辑 Web Editor:

赵月 Zhao Yue

英文编辑 English Editor:

王冲 Wang Chong

本期特约编辑 Contributing Editor of This Issue:

张威, 扈瑞峰 Zhang Wei, Hu Ruifeng

编辑出版 Edited and Published by:

《铁路通信信号工程技术》编辑部 Editorial Office of *Railway Signalling & Communication Engineering*

地址 Address

北京市丰台科技园区汽车博物馆南路1号院 Block No.1, Qichebowuguan Nanlu, Fengtai Science Park, Fengtai District, Beijing, China

邮编: 100070 Postcode: 100070

邮箱: rsce@crscd.com.cn E-mail: rsce@crscd.com.cn

网址: <https://rsce.crscd.com.cn> URL: <https://rsce.crscd.com.cn>

编辑电话 Edition Tel:

010-51865951; 010-51865957 010-51865951; 010-51865957

广告电话 Advertisement Tel:

(010)-53110618 (010)-53110618

邮发代号: 80-532 Distribution Code: 80-532

中国标准连续出版物号 China Standard Serial Number:

ISSN 1673-4440 ISSN 1673-4440

CN 11-5423/U CN 11-5423/U

国际标准连续出版物号 International Standard Serial Number:

ISSN 1673-4440 ISSN 1673-4440

广告代理 Advertising Agency:

北京今日中铁广告有限责任公司 Beijing Jinrizhongtie Advertising Co., Ltd.

印刷 Printed by:

北京联合互通彩色印刷有限公司 Beijing Lianhehutong Print Co., Ltd.

广告发布登记 Advertising License No.

京丰市工商登字 20170003 号 BFGSG 20170003

定价: 10.00 元/期 Price: ¥10 Yuan Per Copy



月刊 Monthly

第20卷增刊1 Vol.20 Supplement 1

出版: 2023年11月25日 Published on: 11/25/2023

创刊: 2004年 First Issue: 2004

高级顾问: 倪光南院士

刘尚合院士

陈维江院士

Senior Consultants:

Ni Guangnan: Member, Chinese Academy of Engineering

Liu Shanghe: Member, Chinese Academy of Engineering

Chen Weijiang: Member, Chinese Academy of Sciences

主任委员: 张啸林

委员: (按姓氏笔画排序)

马丽兰 王兴中 尹福康 石先明 邢毅
刘岭 刘朝英 江明 杨岗 肖培龙
何涛 张苑 张志辉 张晓莉 罗松
周宪宝 赵晓东 钟章队 姜永富 徐中伟
徐宗奇 郭进 唐涛 曹玉 覃燕

本刊入选数据库:

中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊;

RCCSE 中国准核心学术期刊;

日本科学技术振兴机构数据库 (JST) 收录期刊;

EBSCO 学术数据库收录期刊;

中国核心期刊 (遴选) 数据库收录期刊;

中国学术期刊 (光盘版) 全文收录期刊;

中文科技期刊数据库 (全文版) 收录期刊;

中国学术期刊影响因子年报统计源期刊;

超星期刊域出版平台全文收录



<https://rsce.crscd.com.cn>

扫码打开期刊官网,
阅读、下载本刊内容

声明: 1. 本刊对发表的文章拥有出版电子版、网络版版权, 并拥有与其他网站交换信息的权利。本刊支付的稿酬已包含以上费用。若作者不同意自己的稿件以上述或其他形式被引用, 请事先声明, 否则视为同意。
2. 本刊文章版权所有, 未经书面许可, 不得以任何形式转载。

铁路通信信号工程技术 目次

维修技术交流

RBC边界区段改方闪红光带问题分析与处理措施研究	邢毅	1-3
轨道电路进路不解锁问题分析与处置	洪福庆	4-6
轨道电路串频干扰原因分析及对策	陈波	7-12
正线高压脉冲轨道区段掉码问题的分析	吴坚	13-17
降低站内无轨道电路区段不平衡牵引电流干扰问题探讨	龚书锦, 陈志忠	18-22
关于ZPW-2000A/K型轨道电路雨季“红光带”及道床漏泄整治技术方案研究	庞涛, 兰瑶, 纪英杰	23-27
兰新客专哈密站道床漏泄引起区段红光带调查分析	陈韵涵	28-31
中老铁路分路不良分析与优化调整	刘国先	32-35
ZPW-2000轨道电路与QJK-JS结合问题分析	吴伟华	36-41
利用轨道电路监测数据分析供电作业车占用丢失方法	赵建达	42-46
ZPW-2000R移频自动闭塞及站内电码化调试方法	孙艺	47-49
ZPW-2000A轨道电路分路超限报警问题案例分析	张良军	50-53

功能性能优化

轨道电路室外设备测试装置优化研究	范思阳, 李炳杰, 刘德州	54-57
高铁车站股道分割及工程设计相关问题探讨	廖逸玫, 孙鸣蔚, 杨扬	58-62
基于Hanning窗四谱线插值FFT的轨道电路信号解析研究	温术来	63-69
ZPW-2000A移频脉冲轨道电路在普铁上的应用	张家萌	70-75
ZPW-2000R轨道电路通信数据分析方法设计与工具实现	任飞, 韩安平, 黄春雷, 郭虹利, 吴渊	76-80
ZPW-2000轨道电路在分相区设置区段长度的分析	陈名宝, 张改, 孙宁先, 王连福	81-83
轨道电路智能运维技术	李夏洋	84-86
站内室外设备监测光纤传输方案探究	国勇, 王雪亮	87-89
轨道电路设备CAN总线自动脱离功能的设计与实现	李自生, 任国桥	90-95

可靠性研究

基于二乘二取二结构的多点冗余系统设计方案	张龙, 黄春雷, 郭虹利	96-99
ZPW-2000A轨道电路小轨道抗干扰能力优化研究	马斌	100-104
基于ZPW-2000G轨道电路受端电缆侧小轨监测电压波动的优化处理	陈森, 谢永昌	105-110
ZPW-2000A轨道电路室外设备调谐参数的选配方法与实现	李炳杰	111-113
一种ZPW-2000轨道电路室外监测设备远程配置方案	武沛, 李晗, 刘希高, 廖理	114-116
轨道信号干扰分析仪的特点及应用	杜晓鑫	117-121
全电子联锁车站接近区段电码化发码延迟的解决方案	张夫松	122-127
关于京沪线济南南站特殊电码化电路的研究	李浩	128-131

CONTENTS

Maintenance Technical Exchange	
Analysis and Treatment Measures for Problem of Flashing Red-light Strap during Direction Change in RBC Boundary Sections	Xing Yi 1-3
Analysis and Handling of Missing Release of Track Circuit Route Release	Hong Fuqing 4-6
Analysis of Causes and Countermeasures for Frequency Interference to Track Circuits	Chen Bo 7-12
Analysis of Code-missing in High-voltage Pulse Track Sections of Main Lines	Wu Jian 13-17
Discussion on Reducing Interference of Unbalanced Traction Current in Sections without Track Circuits within Stations	Gong Shujin, Chen Zhizhong 18-22
Study on Technical Scheme for Resolving Red-light Strap and Ballast Leakage for ZPW-2000A/K Track Circuits During Rainy Season.....	Pang Tao, Lan Yao, Ji Yingjie 23-27
Investigation and Analysis of Red-light Straps in Sections Caused by Ballast Leakage in Hami Railway Station of Lanzhou-Urumqi High-speed Railway	Chen Yunhan 28-31
Analysis and Optimization of Bad Shunting on China-Laos Railway	Liu Guoxian 32-35
Analysis of Combination of ZPW-2000 Track Circuit and QJK-JS	Wu Weihua 36-41
Method for Analyzing Occupation Loss of Power Supply Operation Vehicle by Utilizing Track Circuit Monitoring Data	Zhao Jianda 42-46
Methods for Debugging ZPW-2000R Frequency-shift Automatic Block and Track Circuit Coding in Station	Sun Yi 47-49
Case Analysis of ZPW-2000A Track Circuit Shunting Overrun Alarm Problem	Zhang Liangjun 50-53
Function & Performance Optimization	
Research on Optimization of Test Device for Track Circuit Outdoor Equipment	Fan Siyang, Li Bingjie, Liu Dezhou 54-57
Discussion on Track Segmentation Scheme and Engineering Design for High-speed Railway Stations	Liao Yimei, Sun Mingwei, Yang Yang 58-62
Track Circuit Signal Analysis Based on Hanning Window Four-spectrum-line Interpolation FFT	Wen Shulai 63-69
Application of ZPW-2000A Frequency-shift Pulse Track Circuits in Conventional Railways	Zhang Jiameng 70-75
ZPW-2000R Track Circuit Communication Data Analysis Method Design and Tool Implementation	Ren Fei, Han Anping, Huang Chunlei, Guo Hongli, Wu Yuan 76-80
Analysis of Setting Length of Track Sections of ZPW-2000 Track Circuits in Neutral Zones	Chen Mingbao, Zhang Gai, Sun Ningxian, Wang Lianfu 81-83
Intelligent Operation and Maintenance Technology for Track Circuits	Li Xiayang 84-86
Exploration of Optical Fiber Transmission Scheme for Outdoor Equipment Monitoring in Stations	Guo Yong, Wang Xueliang 87-89
Design and Implementation of Function of Automatic Detachment from CAN Bus for Track Circuit Equipment	Li Zisheng, Ren Guoqiao 90-95
Reliability Research	
Design Scheme of Multipoint Redundant System Based on 2×2-out-of-2 Structure	Zhang Long, Huang Chunlei, Guo Hongli 96-99
Research on Optimization of Anti-interference Ability of Short Track Circuits of ZPW-2000A Track Circuits	Ma Bin 100-104
Optimization Scheme for Monitoring Voltage Fluctuations in Short Track Circuits on Receiving-end Cable Side of ZPW-2000G Track Circuits.....	Chen Miao, Xie Yongchang 105-110
Method and Implementation of Selection and Matching of Tuning Parameters for ZPW-2000A Track Circuit Outdoor Equipment.....	Li Bingjie 111-113
Remote Configuration Scheme of Outdoor Monitoring Equipment for ZPW-2000 Track Circuits	Wu Pei, Li Han, Liu Xigao, Liao Li 114-116
Characteristics and Application of Track Signal Interference Analyzer	Du Xiaoxin 117-121
Solution to Delay of Code Sending in Approach Section of Stations with All-electronic Interlocking	Zhang Fusong 122-127
Research on Special Encoding Circuit of Jinan South Station on Beijing-Shanghai Line	Li Hao 128-131

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.Z1.001

RBC边界区段改方闪红光带问题 分析与处理措施研究

邢毅

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

摘要: 在调谐区纳入列控中心控制检查过程中发现 RBC 边界区段改方产生红光带问题, 结合小轨状态占用条件和改方红光带原因分析, 提出修改接收器小轨道吸起延时时间解决方案, 满足了小轨占用状态小于列控中心判断小轨状态的容忍时间, 解决了改方后 RBC 边界区段闪红光带问题。

关键词: RBC 边界; 改方过程; 延时吸起; 红光带

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)Z1-0001-03

Analysis and Treatment Measures for Problem of Flashing Red-light Strap during Direction Change in RBC Boundary Sections

Abstract: During the process of incorporating the tuning zone into the control and inspection of the train control center, a red-light strap issue arose in the RBC boundary section during the direction change process. Based on the analysis of the occupancy conditions of the small track and the reasons of the red-light strap in direction change, a solution is proposed to modify the delay time of the receiver's small track circuit pick-up. This solution meets the requirement that the occupancy status of the small track is shorter than the tolerance time for TCC determining the small track occupancy status. This solution can solve the problem of flashing red-light straps in the RBC boundary sections after the direction change.

Keywords: RBC boundary section; direction change process; delayed pick-up; red-light strap

1 概述

根据《关于实施 RBC 边界轨道电路延时吸起调整的通知》(运基信号函 [2011]589 号) 和《RBC 边界轨道区段及其并机运用区段接收器应用说明》要求, 为解决 RBC 存在的“当前车越过 RBC 边界, 由于 RBC 边界两侧轨道电路占用信息传输延时, 前车出现‘飞车’, 导致后车的行车许可有可能短时越过前车。”的隐患, 提出在已开通的 CTCS-3 高铁

线路中采用“修改 RBC 边界处轨道电路接收器的软件参数, 将轨道出清延迟参数在现有基础上增加 12 s。”的解决方案, 同时并机所在区段接收器采用长延时接收器解决接收器冗余问题, 提升可用性。

调谐区纳入控制检查后, 根据《列控中心技术条件》(Q/CR 817-2021) 第 6.2.2 条规定: 轨道区段的主轨道和小轨道分设接收器情况下, 本轨道区段对应方向有小轨道时, 仅当主轨道通信状态、主轨继电器状态和小轨通信状态均空闲时, TCC 判断

本轨道区段为空闲，否则判断本轨道区段为占用状态，如图 1 所示。

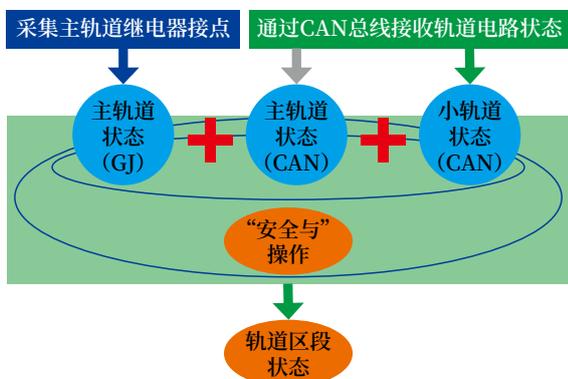


图1 轨道区段判断原则

调谐区纳入列控中心控制检查后，RBC 边界区段改方过程中出现区段闪红光带情况，本文通过对小轨道占用条件及改方过程时序进行研究分析。

2 轨道电路小轨道状态占用条件分析

2.1 载频编码与小轨道接收载频不一致导致占用

列控中心向轨道电路接收器发送的小轨道载频编码命令，作为小轨道载频依据，该条件由列控中心根据区间逻辑方向控制输出。

接收器实际收到的小轨道移频信号，由列控中心驱动的区间区段方向继电器（FQJ）接点控制和影响。

接收器通过调谐区收到的小轨道载频信号与列控中心发送的小轨道载频编码命令校核，当两者不一致超过 2 s 时，接收器输出占用状态。

2.2 小轨道电压低导致占用

若接收器接收到信号强度低于门限（含机械绝缘节无信号条件）时，接收器判定小轨道占用，输出占用状态。

3 改方红光带原因分析

3.1 改方过程小轨道占用情况分析

目前 RBC 切换边界的轨道电路接收器带有延时，考虑到接收器主并机工作关系，通常会导致 RBC 边界 4 段轨道电路的接收器都带有延时功能，

RBC 边界通常位于集中区。

以图 2 所示的甲站、乙站间 RBC 移交为例，RBC 移交边界位于 84AG 与 66CG 间，其中 84BG 载频为 2600-1，84AG 载频为 2000-1，66CG 载频为 2600-2，66BG 载频为 2000-2。84AG、66CG 接收器均带延时功能。

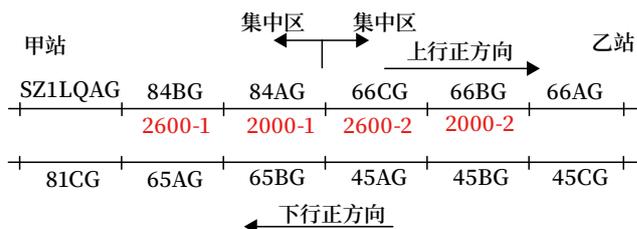


图2 线路示意

当上行区间方向为正向（甲站至乙站）时，84AG 接收器主轨载频为 2000-1、小轨载频为 2600-1，66CG 接收器主轨载频为 2600-2，小轨载频为 2000-1。

当区间方向由正向改为反向时，改方过程中一定会出现短暂的“双接”过程，如图 3 所示。

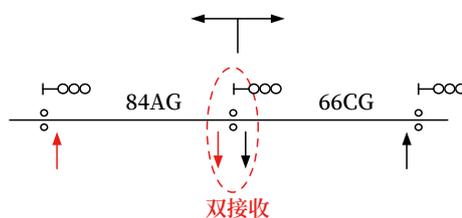


图3 改方过程边界区段双接收示意

改方过程中两个列控中心控制的边界区段出现双接情况，导致小轨道电压降低，当出现极值小于接收器小轨道落下门限时，小轨因电压低出现占用。

甲站列控中心逻辑方向到位必须等待甲站改方成功的信息，所以对于甲站来说，轨道电路 FQJ 动作要快于逻辑方向。由于甲站列控中心驱动 ZGFJ、FGFJ → FJ 动作 → FQJ 动作在前，甲站列控中心区间逻辑方向要等待甲站改方成功信息，所以存在 84AG 轨道电路 FQJ 动作到位，但 84AG 接收器的小轨道载频认为 2600-1 的情况。当 FQJ 动作到位，84AG 接收器从钢轨收到小轨载频与小轨载频编码命令不一致，当持续时间大于 2 s，接收器输出小

轨占用状态。

3.2 改方过程时序分析

根据《列控中心技术条件》(Q/CR 817-2021)第 6.2.9 条规定：启动改方至改方结束后 5 s 内，列控中心不检查小轨状态，即 5 s 后才进行通信与的判断。

正向改方时， T_0 时刻开始改方，甲站先行改方，FQJ 继电器开始动作，此时边界区段 84AG 的发送端与接收端切换，84AG 和 66CG 间出现双接收小轨道电压降低和改方从钢轨收到小轨载频与小轨载频编码命令不一致情况，小轨道状态落下。

如图 4 所示，甲站改方成功后，乙站开始改方， T_1 时刻改方成功，此过程列控不检查小轨道状态，不产生红光带。

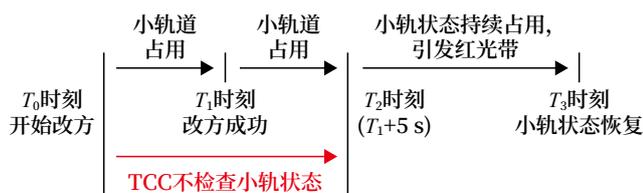


图4 改方过程时序

T_1 - T_2 时刻：改方成功后，5 s 内列控不检查小轨状态，不产生红光带。

T_2 - T_3 时刻：因 RBC 延时接收器具有延时吸起功能，改方成功 5 s 后小轨仍占用，此时列控判断轨道区段占用，引发红光带。

T_3 时刻：延时吸起结束，小轨状态恢复，红光带消失。

4 解决方案

RBC 边界处轨道电路接收器主轨保持 12 s 出清延迟参数，解决 RBC 存在“当前车越过 RBC 边界，由于 RBC 边界两侧轨道电路占用信息传输延时，前车出现‘飞车’，导致后车的行车许可有可能短时越过前车。”的安全隐患。对 RBC 延时接收器的小轨延时吸起时间进行修改，满足小轨道吸起时间为 2.3 ~ 2.8 s 的要求。对 RBC 延时接收器小轨道延时吸起修改后，满足了小轨占用状态小于列

控中心改方过程判断小轨状态容忍时间 5 s 的要求，解决改方后 RBC 边界区段闪红光带问题。

5 结论

改方时边界区段出现双接收现象小轨出电压下降和接收器从钢轨收到小轨载频与小轨载频编码命令不一致超过 2 s，导致小轨道状态占用。由于 RBC 延时接收器吸起时间较长，小轨占用状态一直延续到列控的容忍时间之后，出现闪红光带，延时吸起结束，小轨状态恢复，红光带消失。RBC 边界处轨道电路接收器主轨保持 12 s 出清延迟参数，对小轨延时时间进行修改，满足了小轨占用状态小于列控中心判断小轨状态的容忍时间，解决改方后 RBC 边界区段闪红光带问题。

参考文献

- [1] 中国铁路总公司. ZPW-2000A 型无绝缘移频自动闭塞系统 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2013.
- [2] 赵怀东. ZPW-2000A 型自动闭塞设备安装与维护 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2012.
- [3] 北京全路通信信号研究设计院. ZPW-2000A 无绝缘移频自动闭塞系统技术培训教材 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2010.
- [4] 王志富. RBC 移交运营场景分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2013, 10 (5): 1-3.
- [5] 王成. 广深 I, II 线站界区段红光带问题分析及解决方法 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (Z1): 11-14.
- [6] 丁道富, 王先帅. RBC 边界轨道电路改方后信号异常关闭问题分析 [J]. 铁道通信信号, 2022, 58 (8): 50-53.
- [7] 陈波. ZPW-2000A 轨道电路改方过程闪红光带原因分析及对策 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (Z1): 52-55.
- [8] 喻矿强. ZPW-2000A 轨道电路闪红光带原因分析 [J]. 铁道通信信号, 2011, 47 (9): 37-38.

(收稿日期: 2023-06-12)

(修回日期: 2023-09-26)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.Z1.002

轨道电路进路不解锁问题分析与处置

洪福庆

(中国铁路上海局集团有限公司, 上海 200071)

摘要: 遇站内轨道电路不满足三点检查条件时, 触发进路光带漏解锁是保障行车安全的被动防护手段。造成不满足三点检查的原因复杂, 本质是GJ状态变化不满足联锁条件, 如分路不良、GJ继电器延时特性变化等。从两起典型案例入手, 重点对非分路不良造成的光带漏解锁问题进行剖析, 归纳总结此类问题的处置要点, 以期举一反三, 降低光带漏解锁对行车安全构成的威胁。

关键词: 站内轨道电路; 光带漏解锁; 非分路不良

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)Z1-0004-03

Analysis and Handling of Missing Release of Track Circuit Route Release

Abstract: When a track circuit in the station does not meet the three-point inspection conditions, the missing release of the route a light strap is triggered as a passive protection method to ensure train operation safety. The reasons for not meeting the three-point inspection are complex, essentially due to changes in Relay GJ status that do not meet interlocking conditions, such as bad shunting, changes in Relay GJ delay characteristics, etc. Starting from two typical cases, this paper focuses on analyzing the problem of missing releasing of the route a light strap caused by non bad-shunting defects, summarizing the key points for handling such problems, in order to draw inferences and reduce the threat of such missing release to train operation safety.

Keywords: track circuit in station; missing release of route light strap; non bad-shunting fault

列车在站内接、发车进路运行时, 联锁采集相关GJ继电器条件, 前后相邻区段不满足先占用、后出清条件时, 触发站内轨道电路光带漏解锁防护。在实际运用中, 因分路不良、继电器动作时序、站联传输时序等因素, 均可产生进路遗留光带问题, 严重干扰行车秩序, 威胁行车安全。本文透过两例典型案例分析, 提供一些处置方法与思路。

1 案例一 进(出)站口轨道电路制式不一致造成进路不解锁

1.1 现象

某站电力机车通过后, 发车进路末端23DG遗留白光带, 复查轨道电路占用残压正常, 如图1所示。

1.2 分析

故障时, 单机正以76 km/h由站内发车开往区间, 先后占用发车进路上的最后区段23DG(25 Hz

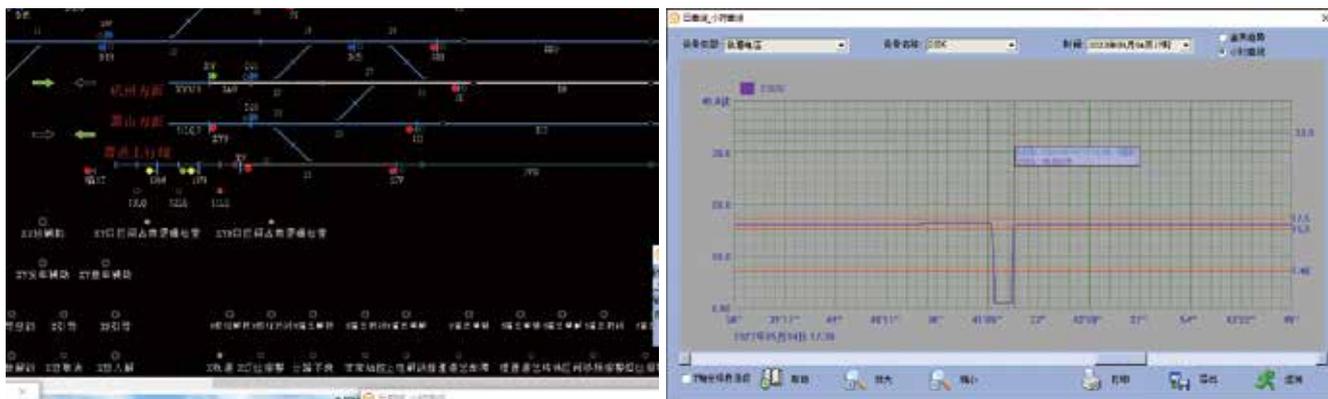


图1 遗留光带情况

制式)及区间第一个区段S1LQG(ZPW-2000制式),23DG出清后遗留白光带。经分析情况如下:

1) 单机占用时,两个区段残压均正常,没有分路不良现象;

2) 23DG区段的GJ复示继电器型号JWXC-H310(缓放 0.8 ± 0.1 s,缓吸 0.4 ± 0.1 s),S1LQG区段的QGJ继电器型号为JWXC-1700;

3) 机车轮对长16.26 m,速度为76 km/h(21.11 m/s),整体通过23DG/S1LQG绝缘节时间为 $16.26\div 21.11=0.77$ s;

4) 联锁固定采集周期为0.25 s。

综上所述,机车在压上23DG/S1LQG绝缘节时刻开始记录起,两个轨道区段的GJ状态变化情况如下。

1) 在机车0.77 s出清本区段后,23DG区段轨道继电器开始0.4 s缓吸,故23DG轨道继电器吸起总时间为 $0.77+0.4=1.17$ s。

2) 同时,S1LQG区段接收器状态为占用,考虑到ZPW·J型接收器落下延时应 ≤ 2 s及联锁采集周期,在最不利条件下,S1LQG轨道继电器落下总时间为 $2+0.25=2.25$ s。

3) 23DG轨道继电器吸起总时间1.17 s < S1LQG轨道继电器落下总时间2.25 s,出现联锁控显界面23DG红光带先出清,S1LQG红光带后出现,不满足三点检查条件的情况。

1.3 建议措施

针对上述情况,当各器材特性符合技术要求,

遇站内25 Hz轨道电路GJ继电器缓吸时间短、区间轨道电路接收器落下延时时间长、联锁不在采集周期内等情况,在最不利条件下,会造成列车跨压不同制式轨道电路产生光带漏解锁。

为解决上述问题,需考虑站内最末区段吸起滞后于前方区间离去区段,或者考虑站内最后一个区段GJ采集电路增加前方区段GJ状态条件。通过分析区间逻辑检查及联锁采集电路,CZJ落下反映了车站发车进路末区段的列车占用状态,如图2所示。

在FSJ继电器落下及23DG占用时,CZJ落下。CZJ再吸起需检查QGJF落下条件,须待列车出清23DG,占用1LQ、1LQJLJ失磁后恢复励磁并自闭。因此,在联锁采集电路里,23DG空闲采集条件增加CZJ吸起接点,若在1LQ占用滞后于23DG吸起时,联锁仍判定23DG占用,如图3所示。

2 案例二 单机运行进路不解锁

2.1 现象

某站57603次单机通过后1AG遗留白光带,复查轨道电路残压均正常。

2.2 分析

产生光带漏解锁的相关两个区段在半自动闭塞线路,X2JBG、1AG均为25Hz轨道电路,两个区段的GJ复示继电器型号均为JWXC-H310。根据机车数据,57603次列车经过X2JBG/1AG绝缘节速度为43.89 m/s,机车轮对长16.06 m(车长22.75 m),计算通过绝缘节时间为 $16.06\div$

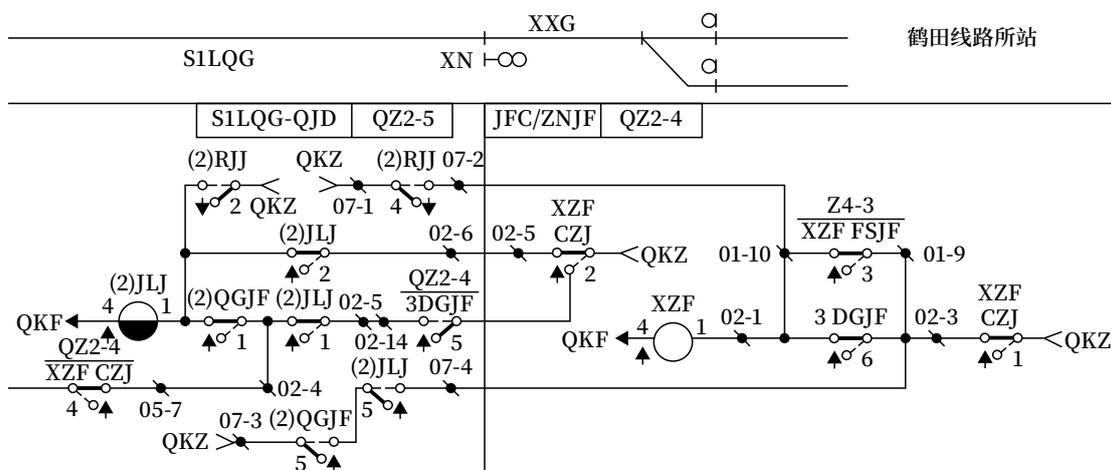


图2 CZJ励磁电路

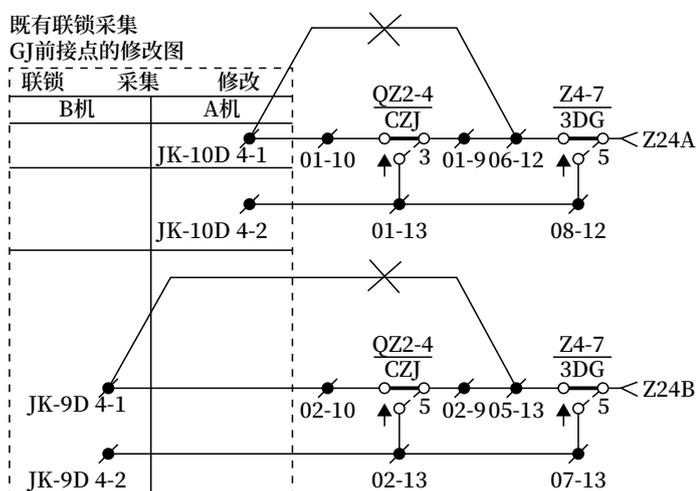


图3 联锁采集电路

43.89=0.37 s。

从机车压上 X2JBG/IAG 绝缘节起，IAG 轨道继电器开始缓放，机车完全通过绝缘节后，X2JBG 轨道继电器开始缓吸。

根据 JWXC-H310 型继电器特性（缓放 0.8±0.1 s，缓吸 0.4±0.1 s），X2JBG 轨道继电器在 0.4+0.37=0.77 s 后吸起；此时 IAG 轨道继电器仍处于 0.8 s 内的缓放时间，并未落下。

通过现场调阅联锁维修机数据，IAG、X2JBG 开关量变化时间同步，因此造成三点检查不满足遗留白光带问题，如表 1 所示。

2.3 建议措施

通过分析，非轨道电路分路不良造成的进路光

表1 联锁维修及开关量动作时序

轨道区段	列车运行方向	
	开关量状态	时间
X2JBG	↓	11:29:23.062
IAG	↓	11:30:01.453
X2JBG	↑	11:30:01.453
1DG	↓	11:30:03.078
IAG	↑	11:30:03.500
IG	↓	11:30:05.312
IDG	↑	11:30:05.515
IG	↑	11:30:29.890

带不解锁，解决措施可从以下几个方面考虑。

1) 增加联锁判断光带不解锁的时机。对后方区段的光带不解锁判断时长在 1 s 范围内进行适当延长，减少因动作时序差造成的不解锁问题。

2) 增加时间继电器。如 JSBXC1-870B01 单片可编程时间继电器，增加吸起延时，改善继电器动作时序问题造成的前后相邻两个区段同出清同占用、未占用先出清等问题。

3) 接收端由二元二位继电器改为微电子接收器，优化动作时序。

3 总结

综上所述，非分路不良原因遗留光带，是否满足三点检查取决于列车通过绝缘节时间（轴长、速度）、每个区段继电器缓吸缓放特性和联锁采集周期

（下转 46页）

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.Z1.003

轨道电路串频干扰原因分析及对策

陈 波

(中国铁路成都局集团有限公司宜宾工电段, 四川宜宾 644018)

摘要: 结合几起典型轨道电路串频干扰案例, 分析端子线头短路、线路并行、牵引回流不畅、施工工艺标准、股道单端发码等技术原因, 提出改进设计源头控制, 规范施工工艺标准, 既有线设备测试整治等措施, 解决轨道电路串频干扰机车信号的问题, 为设计、施工、维护管理提供参考借鉴。

关键词: 轨道电路; 串频干扰; 越区传输; 磁场耦合; 单端发码

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)Z1-0007-06

Analysis of Causes and Countermeasures for Frequency Interference to Track Circuits

Abstract: Based on several typical cases of interference to track circuits caused by interfering frequencies, this paper analyzes the technical reasons such as short circuit at the ends of wires at the terminals, parallel lines, poor traction return current, construction process standards, and single-end code sending of tracks. Measures such as improving control at the design source, standardizing construction process standards, and testing and rectifying existing line equipment are proposed to solve the problem of interference between track circuits and locomotive signals, providing reference for design, construction, and maintenance management.

Keywords: track circuit; interference between frequencies; transmission across sections; magnetic field coupling; single-end code sending

轨道电路作为为列车控制系统提供地面信息的最重要的基础设备, 为保证列车的运行安全、高速、平稳、舒适, 提供了可靠保障。但是轨道电路的钢轨通道采用开放式结构, 易受外部环境及施工等因素影响, 在施工验收、动态检测和日常运营维护中发现还有大量有规律和无规律的工作频率干扰, 对列车运行产生不利影响, 甚至发生司机根据邻线干扰信号, 错误开车冒进出站信号、进入区间等险性行车事故。

本文结合动态检测和日常维护中系列轨道电路串频干扰案例, 经过机理分析、现场排查, 找出了

正常与非正常干扰的原因、干扰量值、干扰的危险性, 做出理论分析, 针对性提出解决方法和措施, 彻底消除安全隐患, 从而保证轨道电路安全稳定工作, 减轻现场维护人员的工作压力。

轨道电路串频干扰主要分为邻线干扰和邻区段干扰两大类, 还包括牵引回流对轨道电路串频干扰等因素的影响。

1 并行区段邻线干扰

邻线干扰是相邻股道或上/下行并行线路间,

通过相邻线路回路间的电感耦合、轨条间的电容耦合及轨条间道砟电阻漏泄传导形成的干扰。对于ZPW-2000轨道电路，并行干扰是客观存在的。如果都是移频区段，则信干比是符合技术条件的。但在特殊情况下，无码区段受到的移频干扰信号仍将干扰机车信号车载设备。

1.1 股道并行发码串频干扰

在股道存在单端发码方式，当列车在股道折返作业时，在未开发信号前，本务端将无码，容易受到干扰。如图1(a)所示，曾发生邻线开放出发信号、本线收到邻线干扰的双黄码，两个股道的列车同时向一组道岔开车的安全事故，所幸ATP经过出站应答器时触发紧急制动，未造成侧面冲撞的严重后果。

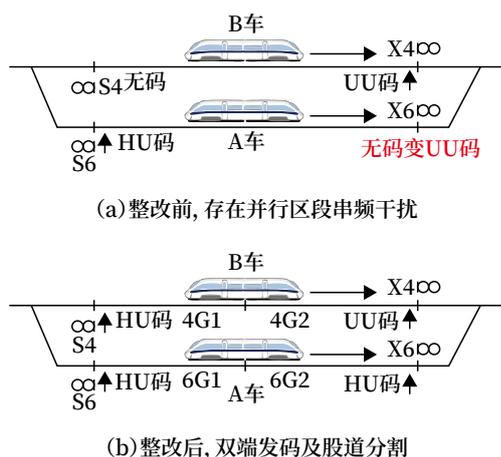


图1 股道并行区段串频干扰整治示意

如图1(b)所示采取股道中部分割方案，在列车正常进入股道的第二个区段时，设计电路对股道第一个区段实施发码转向，确保在未开放反向出站信号机的情况下，股道第一个区段发送HU码，邻线干扰信号远小于本区段发送的正常信号，对18节重联或长编动车组运行时，能有效防止股道邻线并行区段干扰，彻底消除安全隐患。

同时在确保设备运用可靠的前提下，对既有线单端发码股道及其相邻区段入口电流进行调整，将入口电流值靠下限进行调整。2 600 Hz调整后入口电流应不低于550 mA、不高于1.1 A，1 700 Hz、2 000 Hz、2 300 Hz调整后入口电流应不低于

600 mA、不高于1.2 A，保证调整后邻线干扰信号电流不超过100 mA。

新建、在建和改建的普速铁路电码化的工程设计，应严格按照《国铁集团工电部关于普速铁路车站股道电码化采用双端发码的通知》（工电通号电[2020]49号）的要求，普速铁路车站股道电码化应采用两个发送器双端同时发码进行设计、施工和验收开通。设计部门应充分考虑8辆编组动车组长度、车载设备轨道电路天线位置差异及停车位置，在股道中部分割时，要缩短股道区段长度和优化载频配置，分割绝缘节应尽量设置在相同位置，动车折返换端后车载接收天线位置与中部绝缘节位置错开，确保车载设备能正常接收地面信息。

1.2 道岔区段与区间区段并行串频干扰

如图2所示，某站动车组在发车进路内无码区段收到地面偶发性载频2000-2、低频11.4 Hz的移频信号，列控车载设备接收并处理，ATP输出紧急制动造成停车，车载数据显示在L2DG内80~150 m处收到干扰信号。

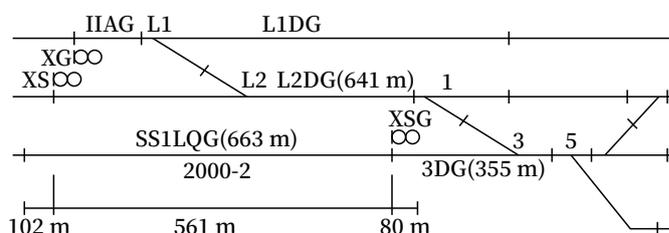


图2 道岔区段与区间区段并行串频干扰示意

L2DG长度641 m，25 Hz 相敏轨道电路预叠加电码化，设有7个80 μF 补偿电容。SS1LQG长度663 m，载频2000-2。L2DG与SS1LQG并行561 m。动车组经L1/L2#道岔反位发车，道岔区段不发码。

现场测试L2DG轨面，电压50~80 mV，载频2000-2，低频11.4 Hz。关闭SS1LQG发码设备后，L2DG轨面无2000-2载频电压。现场拆除L2DG内全部补偿电容，测试轨面无干扰载频。后续利用该站改造施工，将L2DG分割成两个区段，均不设置补偿电容，该问题得到彻底解决。

1.3 道岔区段与站内股道并行串频干扰

如图3所示,某站6G接车时,在道岔区段错误收到HU码后又无码,导致LKJ自停,车载数据显示在12-18DG内收到2000 Hz干扰信号。

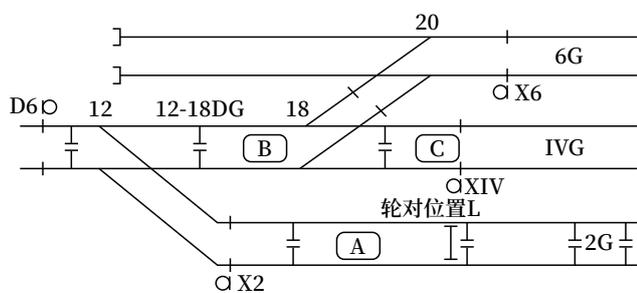


图3 道岔区段与股道并行串频干扰示意

12-18DG长度366 m,25 Hz相敏轨道电路预叠加电码化,设有3个补偿电容。2G为2000-2移频电码化,2G与12-18DG并行140 m。列车经18/20[#]道岔反位进入6G接车,道岔区段不发码。全程路基有砟,现场无其他可疑干扰媒介。在2G未占用时,测试2G轨面无2000 Hz移频信号,12-18DG轨面也无移频信号。当模拟2G轨面分路时,X2处为发送端,向2G轨面发送2000-2移频信号。当在2G不同地点分路时,同时测试12-18DG轨面,2000-2载频电压幅值为0~120 mV,最大值在距XII信号机140 m处分路时。

当轮对在2G轨面L处时,钢轨电感与补偿电容C形成2000 Hz并联谐振,并且在X2处送端发码电流最大,在谐振槽路A内形成的谐振电流达6~7A。该谐振电流形成强大的振荡磁场,正好被12-18DG内的B、C谐振槽路接收,形成干扰源。通过拆除12-18DG补偿电容,获得较好效果。

2 相邻区段串频干扰

邻区段干扰是同线路两相邻区段间,如股道载频串入道岔区段或电气绝缘节越区传输形成的干扰。

2.1 股道与相邻道岔区段串频干扰

如图4所示,某站上行1G出发时,机车信号串红黄码。设备基本情况,IIG为正线,1G为侧线,1[#]道岔区段为一送双受区段,道岔极性绝缘为

曲股分割,靠近1G为主受1DG,靠近IIG为一受1DG1。办理正线发车进路时,道岔区段发码码序与1LQ区段一致;办理接车进路时,道岔区段发码码序与IIG区段一致。1G接发车时,道岔区段不发码。分析车载数据,当机车越过S1出发信号机进入道岔区段时,机车信号显示半红半黄灯,车载设备错误接收到HU码,之后机车信号显示红灯,接收到H码,并输出停车信号。

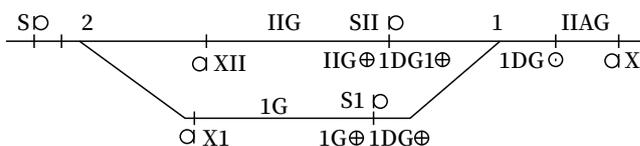


图4 道岔区段串频干扰示意

结合信号平面图及设备里程分析,当机车越过S1出发信号机持续接收到HU码约50~60 m,与1DG \oplus 至1[#]道岔极性绝缘节距离相当。从发码原理看,区段被列车轮对短路,迎着列车运行方向发码,车载设备才能正常接收地面发码信息。从串码信息的走向看,因1DG为一送两受区段,可从1DG1 \oplus 、1DG \ominus 、1DG \oplus 三个方向向机车信号接收线圈传输信号。首先排除主受,因是背向列车运行方向的,机车一旦压入信号即被轮对短路,不会再持续接收到干扰载频。若是送端发码,虽然迎着列车运行方向,但是1DG整个区段长度约100 m,而干扰信号只持续了50~60 m距离,也不符合实际。若从1DG1 \oplus 向1DG区段串入,通过极性绝缘后的3.6 m跳线迂回到主受,也同样迎着机车发码,列车压过极性绝缘节后不能再接收干扰信号,与车载数据分析一致。综合分析确认,串码信息源从1G的S1发送盒,经1DG1 \oplus ,通过极性绝缘后的3.6 m跳线迂回到1DG \oplus 。

对于故障点的查找,需开放上行向1G接车信号,占用1G,此时S1发送盒开始发送HU码。在机械室分线盘,首先测试1G \oplus 端子,有26 Hz的HU码移频信号;然后分别在1DG1 \oplus 、1DG \oplus 处测试入口电流,均有HU码移频信号,但1DG1 \oplus 处HU码电流值明显高于1DG \oplus ;最后甩开分线

盘 1DG1 ⊕ 端子电缆，测试软线侧仍然有 HU 码干扰信号，而电缆侧无信号，1DG ⊕ 端子上再无 HU 码信号，至此可判断故障点在室内。进一步查找分析，因近期开展综合防雷配线整治，1G ⊕ 与 1DG1 ⊕ 软线线头毛刺短接，1G 的 HU 码信息通过 1DG1 ⊕ 电缆串入 1DG。处理后监测各部数据正常，未再发生串码现象，彻底消除安全隐患。

2.2 电气绝缘节越区传输干扰

电气绝缘节的安设要防止相邻区段信号越区传输，隔离系数 K 是衡量隔离工作性能的一个重要指标，其比值 $K=U_1/U_2$ ， U_1 为本区段发送（接收）端调谐单元处加载的 0.6 ~ 4.5 V 移频信号电压， U_2 为相邻区段接收（发送）端调谐单元处的移频信号电压。相关参数标准要求，越区干扰电压值上限 200 mV，隔离系数 1 700/2 000 Hz 大于 15、2 300/2 600 Hz 大于 20。

分析邻区段越区传输干扰原因，调谐单元器材性能指标、钢包铜引接线指标及施工安装工艺标准等都会影响隔离系数 K ，前方区段发送电平功率、机车轮对接触电阻、区段道床电阻、钢包铜引接线与钢轨连接塞钉接触电阻等，也是产生越区传输干扰的重要因素。钢包铜引接线施工安装工艺对隔离系数影响的案例，某站 2AG 载频 2 000 Hz、补偿电容共 17 个，前方区段 4CG 载频 2 600 Hz、补偿

电容共 10 个，动检车在 2AG 第 14 个补偿电容处检测到 2 600 Hz 的干扰幅值 380 mV，在线测试调谐单元端子电压、电流、极阻抗、零阻抗值均在指标范围内。

现场检查发现钢包铜引接线过长、存在盘绕现象，靠近箱盒处未尽量分开，绑扎未按照四根线平行并拢布设安装后连接至钢轨。引接线过长有效电阻增大，线间互感因素使线的感抗加大、与调谐单元的指标不匹配，改变了并联谐振点与串联谐振点，电气绝缘节的隔离特性受影响，最终产生越区传输干扰。通过更换钢包铜引接线并按照标准施工工艺布设固定，整治前后测试 2AG 发送、4CG 接收轨面电压，计算对比隔离系数，2 000 Hz 由 17.7 上升为 20.4，2 600 Hz 由 10.7 上升为 37.5，测试 2AG 越区 2 600 Hz 的干扰幅值降为 22.9 mV，彻底消除了故障隐患。

2.3 轨道电路“第三轨”影响

轨道电路除两根钢轨外，因牵引回流切断点设置不当、钢轨单边接地等原因，还有第三个通道产生电流，形成轨道电路“第三轨”，不仅影响轨道电路正常工作，也会造成机车信号串码。如图 5 所示，在 1G 有车占用，列车通过 IIG 越过出发信号机时，在道岔区段会接收到 1G 的 HU 码（图中虚线所示）。

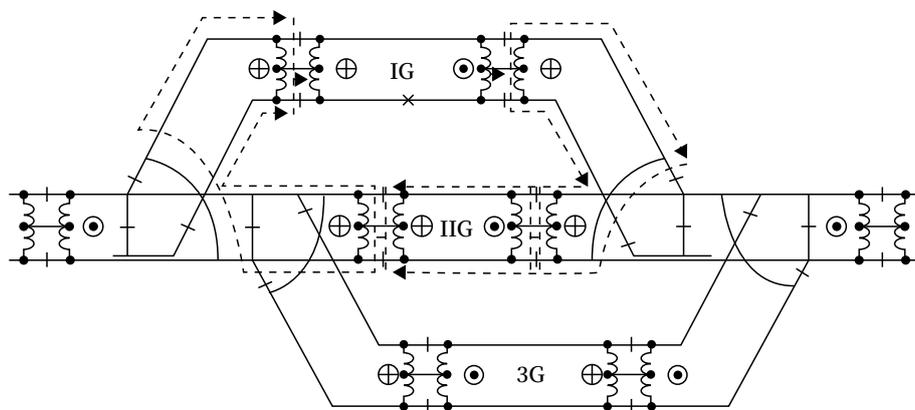


图5 轨道电路“第三轨”迂回电路示意

通过集中监测调阅分析轨道电路日曲线，判断轨道电路是否形成“第三轨”。当整个曲线不平稳或

有车占用但分路不良时，对室外两根钢轨分别测试对地电压，有超过 0.5 V 的压差说明轨道电路存在

“第三轨”。

查找形成“第三轨”的原因，应重点检查供电横向连接线和吸上线，工务地锚桩安设及绝缘扣件是否接地、是否有待更换长轨与既有钢轨接触、桥梁护栏是否与钢轨连接，电务牵引回流切断点设置、股道一端扼流变压器中心连接板是否按规定断开，车辆有无红外探测装置，有无外界施工临时设施设备影响等。

针对同一轨道箱内有多个轨道电路区段设备时出现相互干扰的情况，存在机车信号与地面信号不一致和信号升级的风险，需开展轨道电路箱盒内部防串码整治工作。首先通过图纸和现场核对，确定放置有多个轨道电路区段设备的箱盒。然后现场进行串码测试，将干扰信号产生的短路电流大于 30 mA 且存在串码干扰可能的箱盒纳入整治范畴。

轨道电路“第三轨”的整治措施，首先对箱盒内不同轨道区段的配线分把，分开进行绑扎、沿不同径路走线，原则上不动配线，尽量保持美观。其次调整箱盒内器材安放位置，将限流电阻放置在两轨道变压器之间，增加两轨道变压器的间隔距离，或者调整其中一个变压器的摆放方向，由互为平行变为垂直。在上述措施仍不能有效防控干扰时，采用分箱盒的方式，将轨道区段设备单独设轨道箱放置。后续新建线路和站改施工项目，一个轨道区段设备应单独箱盒放置，不得出现同一轨道箱盒放置多个轨道电路区段设备的情况。

3 牵引回流对轨道电路串频干扰的影响

3.1 渡线道岔回流切断点设置不当谐波干扰

如图 6 所示，某站 10/12[#] 道岔 (18 号) 曲股渡线为牵引回流通道，道岔结构使得牵引回流存在 20 ~ 50 m 的流向相反不平衡区域，两道岔间渡线加装回流点导致牵引回流不平衡区域增加，200H 型动车组在 CTCS-0 区段运行时，STM 接收到牵引回流中移频干扰谐波，造成 ATP 制动停车。经测试分析可知，在两道岔间 92.5 m 范围内两轨中，牵引回流严重不平衡 (左轨 77.2 A、右轨 52.4 A)，在

分线盘送端 2 000 Hz 干扰信号电压幅值 9.1 V，受端干扰信号幅值 6.8 V。在断开 10/12[#] 渡线绝缘节处中间连接板，SJ-SH 处加装横向连接线，使牵引回流通道直接从正线回流，送端干扰信号电压幅值降为 1.5 V (下降 83%)，受端干扰信号幅值降为 1.8 V (下降 73%)，未再发生动车停车故障。

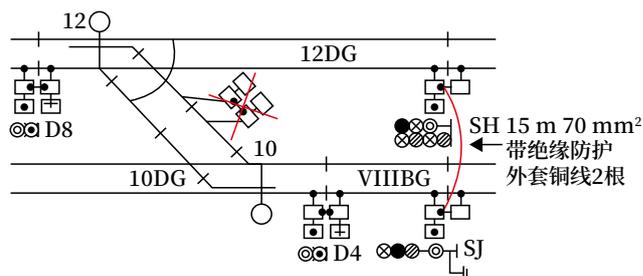


图6 渡线道岔回流通道整治示意

3.2 供电馈线磁场耦合谐波干扰

如图 7 所示，某动车所供电 27.5 kV 供电馈线邻近轨道电路区段敷设，其馈线中大电流产生的频率 1 750 Hz 干扰谐波信号，通过空间磁场耦合至邻近轨道电路区段，动车组 STM 接收该干扰频率造成制动停车故障。在受干扰轨道电路区段轨面测试，干扰电压幅值为 227 ~ 1 493 mV；在分线盘接收端测试，干扰电压幅值为 6 436 ~ 42 326 mV。利用单端接地的 U 型铁皮对供电馈线进行屏蔽，轨道电路区段轨面干扰电压降为 3 ~ 81 mV (最大值下降 91%)，分线盘接收端干扰电压降为 80 ~ 2 284 mV (最大值下降 94%)，解决了动车组 STM 接收空间电磁干扰导致停车故障。

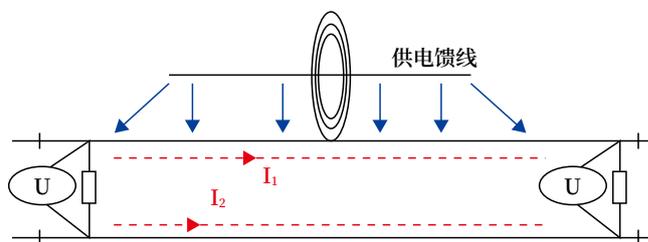


图7 某动车所供电馈线干扰原理示意

3.3 牵引回流经道岔折角回流干扰

道岔曲股是牵引回流通道，道岔曲股切割绝缘至岔心段有 20 ~ 50 m 不等长度存在相反方向的

牵引回流，如图 8 (a) 绿线所示。该道岔是拼装岔心，其容性放大了牵引回流的谐波幅值，200H 动车组受 2 000 Hz 谐波干扰信号导致停车。如图 8(b) 红线所示，参照 ZPW-2000A 轨道电路道岔区段施工标准图，在拼装岔芯处加装并联短跳线，问题得以解决。

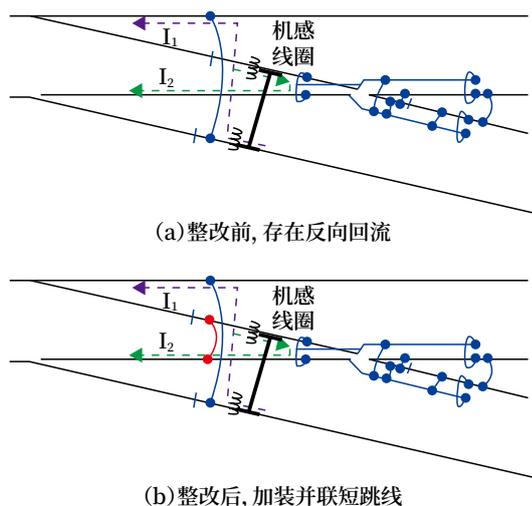


图8 道岔岔心段折角回流整治示意

4 ZPW-2000轨道电路工频谐波干扰

在检测车检测过程中，发现某高铁站上行一离去区段 S1LQG 有最大值 240 mV 的 2 000 Hz 干扰信号，现场实测干扰值 210 mV 左右。

经了解，在检测出干扰前，信号专业、接触网专业无更换器材、改变结构的施工维修作业，工务部门进行了道床清筛及增添石砟等作业。现场检查发现，存在钢轨两侧石砟堆埋过高、钢轨埋设于石砟中、石砟碰轨底等情况，形成涡流效应。与 S1LQG 并行的 SS1LQG、19DG 前期也存在工频谐波干扰及石砟掩埋钢轨的特点，联系工务专业对石砟进行清理整平后，干扰值大幅下降，隐患基本消除。

5 电缆芯线使用不规范影响

做好源头控制，设计、施工时对芯线的使用严格按照《普速铁路信号维护规则》《高速铁路信号维护规则》《ZPW-2000 轨道电路技术条件》等相关技

术规范的要求执行。电缆使用应满足相关要求，两个频率相同的发送与接收不能使用同一根电缆，两个频率相同的发送不能设置在同一屏蔽四线组内，两个频率相同的接收不能设置在同一屏蔽四线组内，电缆中各发送、各接收线对必须按四芯组对角线成对使用。

备用芯线必须成对更换，发送的备用芯线替换某一载频线对后，备用四芯组中不得再替换相同载频的线对；接收的备用芯线替换某一载频线对后，备用四芯组中不得再替换相同载频的线对；更换后必须标注其他备用芯线的使用限制要求。否则将造成串码或导致轨道电路失去分路防护。

6 结束语

通过上述分析可知，对于施工验交、动态检测和日常运营中发现的轨道电路串频干扰，深入分析原因，找准故障点并正确处置，是能够有效消除设备缺陷和安全隐患的。在设计、施工、验收、维修运营中，参照上述措施和建议执行，就能确保行车效率和运行安全。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家铁路局. ZPW-2000 轨道电路设备: TB/T 3532-2018 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2018.
- [2] 中华人民共和国国家铁路局. ZPW-2000 轨道电路技术条件: TB/T 3206-2017 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
- [3] 中国铁路总公司. 普速铁路信号维护规则: 铁总运 [2015] 238 号 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2015.
- [4] 中国铁路总公司. 高速铁路信号维护规则: 铁总运 [2015] 322 号 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2015.
- [5] 中国国家铁路集团有限公司. 国铁集团工电部关于普速铁路车站股道电码化采用双端发码的通知: 工电通号电 [2020] 49 号 [S]. 北京: 中国国家铁路集团有限公司, 2020.

(下转 53 页)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.Z1.004

正线高压脉冲轨道区段掉码问题的分析

吴 坚

(中国铁路广州局集团有限公司长沙电务段, 长沙 410001)

摘要: 通过对不对称高压脉冲轨道电路原理和相关特性的研究, 结合轨道电路和电码化电路的动作原理, 利用时序图以及现场监控监测设备记录等, 着重分析正线不对称高压脉冲轨道电路掉码问题发生的原因、时机, 并提出解决相邻两区段为不对称高压脉冲轨道电路和 25 Hz 相敏轨道电路时机车掉码问题的方案和措施, 为类似问题提供指导或借鉴。

关键词: 轨道电路分路不良; 不对称高压脉冲轨道电路; 25 Hz 相敏轨道电路; 相邻; 掉码

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)Z1-0013-05

Analysis of Code-missing in High-voltage Pulse Track Sections of Main Lines

Abstract: Through the research on the principle and relevant characteristics of asymmetric high-voltage pulse track circuits, combined with the action principle of track circuits and coding circuits, using the time sequence diagram and the records of on-site monitoring equipment, this paper emphatically analyzes the causes and timing of the code-missing problem of asymmetric high-voltage pulse track circuits on the main lines. The scheme and measures to solve the problem of locomotive code-missing when the two neighbouring sections use asymmetrical high-voltage pulse track circuit and 25 Hz phase-sensitive track circuit are proposed to provide guidance or reference for similar problems.

Keywords: bad shunting of track circuit; asymmetrical high-voltage pulse track circuit; 25 Hz phase-sensitive track circuit; neighbouring; code-missing

轨道电路分路不良俗称“压不死”“丢车”“飞车”或“白光带”, 即当列车进入某一轨道区段时, 对应区段的轨道继电器仍处在吸起状态或时吸时落状态, 控制台上会错误的显示无车占用, 此时该轨道电路已失去了对轨道区段占用状态的检查功能。当这样的情况发生时, 行车调度人员就会误认为该区段内无车便办理行车操作, 极易造成列车冲撞、挤岔、脱轨等严重的行车事故。

不对称高压脉冲轨道电路是主要用于解决轨道

电路分路不良的一种轨道电路制式, 在普速铁路有较多应用。系统由脉冲发送设备、传输通道、脉冲接收设备等连接而成的闭路系统, 轨道电路内传输不对称脉冲信号。该轨道电路系统采用不对称的高压脉冲信号实现击穿钢轨锈层, 有效降低列车轮对与钢轨接触电阻, 分路时使接收端电压急剧降低, 从而使轨道继电器可靠落下, 以此来有效解决轨道电路分路不良的问题, 减小行车安全隐患。但是普速铁路各站分路不良改造上道使用不对称高压脉冲

轨道电路后，在现场实际运维过程中也发生了一些问题。结合一例正线分路不良区段采用高压脉冲轨道电路存在的机车信号掉码问题进行深入分析，提出解决问题的方案和措施，以此为从事研究开发、工程实施、运营维护、使用管理等相关技术人员提供借鉴。

1 问题提出

某站在车站计算机联锁大修项目中，正线间的渡线道岔区段存在分路不良问题。为解决正线渡线道岔轨道电路分路不良问题，相关区段采用不对称高压脉冲轨道电路。如图1所示，2DG和8DG采用不对称高压脉冲轨道电路，IIBG和10DG采用25 Hz相敏轨道电路。

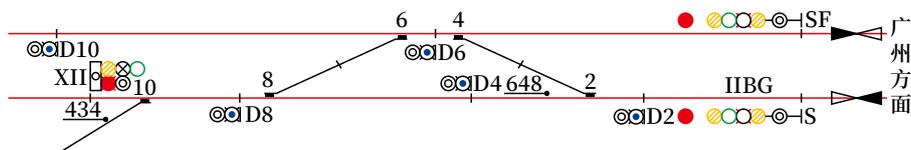


图1 车站信号平面布置示意(局部)

某次车站办理单机上行正线通过进路作业时，列车进入2DG后，司机反映车载机车信号设备未收到地面电码化信号，出现“白灯”掉码现象，列车进入正线II股道后才恢复收到地面电码化信号。由于掉码问题会引起列车自动停车，对运输生产影响较大。因此，找出问题发生原因并采取有效措施解决问题迫在眉睫。

2 原因分析

本次发生掉码问题是单机正线通过进路，现象为列车在道岔区段开始掉码，进入正线股道后恢复正常收到电码化信号。该站原采用四线制闭环电码化，正线接车进路各区段、股道分设电码化发送器，车站计算机联锁设备大修后采用四线制预叠加电码化，接车进路各区段和正线股道采用了同一个电码化发送器。通过分析车站电码化的相关原理，重点分析可能引起掉码的原因如下。

- 1) 室内、外电码化相关器材不良故障等。
- 2) 掉码区段电码化发送传输通道出现断线故障。
- 3) 掉码区段GCJ励磁电路断线导致该GCJ无法励磁。
- 4) 因轨道电路分路不良原因导致GJ未落下，GCJ无法吸起使电码化信号无法送到轨面。
- 5) JMJ因故落下，切断GCJ励磁电路和电码

化发送传输通道。

针对上述分析原因，现场结合信号集中监测系统、机车信号远程监测系统等监测监控手段开展逐一排查。

1) 现场对室内、外相关电码化设备、器材进行检查、测试，相关设备、器材均正常，未发生材质不良或电气特性异常情况；接车进路中各区段电码化传输通道、GCJ配线检查也未发现断线情况；同时通过信号集中监测系统回放、实时监测和机车信号远程监测回放、实时监测等，后续各列车通过时均未发生掉码。实际观察、监测电码化发送传输通道电压、GCJ励磁电路也均正常。根据以上检查、测试，可排除第1种、第2种、第3种原因。

2) 通过分析车站电码化电路原理，在接车进路办理后，列车占用IIBG时2DG已经预发码，此时即使2DG因分路不良GJ不落时，2DG-CJ仍能励磁，电码化信号仍能发送到2DG轨道区段钢轨上。虽然因分路不良原因可能出现由于短路电流小未能达到机车信号的门限值导致车载机车信号设备无法正常接收地面电码化信号，但是通过信号集中监测系统调阅轨道电路电压曲线和开关量记录，以及后续通过列车未掉码均证明2DG正线直股部分未发生轨道电路分路不良。

3) 分析GCJ励磁电路、电码化传输通道电路，

上述二电路中均接有JMJ吸起接点，一旦JMJ的励磁条件和自闭条件均断开因故落下，则切断GCJ励磁电路和电码化传输通道，并且只有正线股道的GCJ和传输通道不受JMJ影响。JMJ提前落下则会导致接车进路收不到电码化信号而列车进入正线股道后能正常接收到电码化信号。

通过以上分析，现场重点对JMJ电路进行分析

和查找。通过计算机联锁维修机和信号集中监测系统的相关记录，在接车进路道岔区段出现掉码时，JMJ状态确实是由励磁状态变成落下状态，从而导致办理接车进路作业时出现“掉码”。为彻底查明原因，解决“掉码”的问题，还需进一步分析造成JMJ提前落下的根源才能有针对性地制定解决问题的方案和措施。JMJ电路如图2所示。

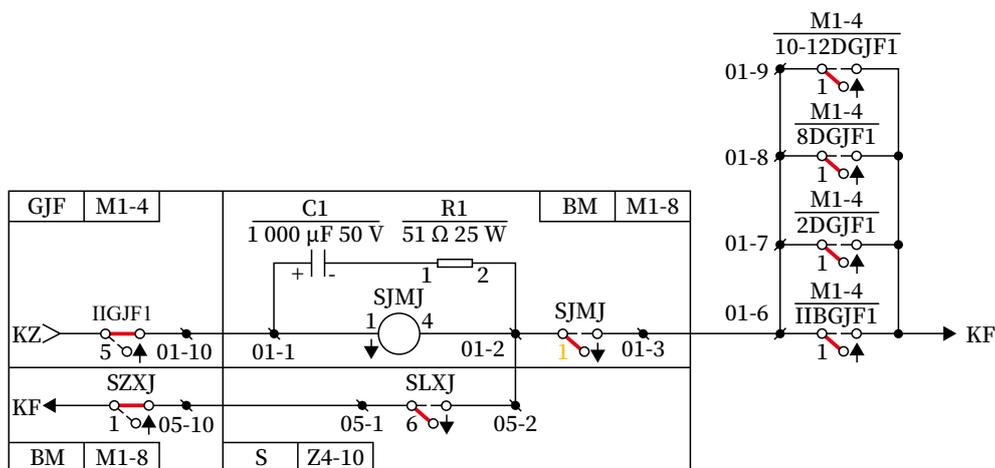


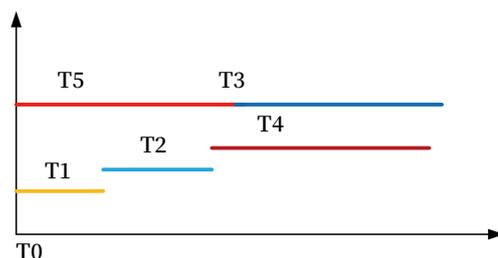
图2 JMJ励磁电路原理

在图2中，当列车越过进站信号机后，JMJ依靠接车进路的各区段GJF后接点保持自闭，只要任何一个区段占用GJF落下，JMJ都能够保持吸起状态，而且JMJ还并联了RC阻容缓动电路，缓放时间约1.5~2s。一般情况下，由于JMJ的缓放时间充足，各区段吸起落下的时间差不会造成JMJ落下。考虑到不对称高压脉冲轨道电路与25Hz相敏轨道电路两种不同制式的轨道电路时间特性的不同，确实存在时间差。为此，需要分析JMJ落下是否与两种制式轨道电路时间差有关，针对此过程绘制了时序图，如图3所示。

根据时序图可知，当 $T3+T5 > T1+T2+T4$ 时，JMJ无法保证维持吸起；反之，则JMJ能够依靠RC阻容缓动电路维持吸起状态。

本站所在线路为普速铁路，最高运行速度为120 km/h。单机轴距按最小机车轴距11 m计算。因此， $T1=11 \div (120 \div 3.6) = 0.33$ s。

IIBG接收端采用二元二位继电器，动作时间



注：T0为列车第一轮对压入2DG的瞬间，是本次分析的初始时间
T1为单机前后轮对以最高速度越过绝缘节的时间
T2为IIBG GJ的吸起延时时间
T3为2DG GJ的落下延时时间
T4为JMJ的缓放时间
T5为列车第一轮对压入2DG后轨道电路接收器的反应时间

图3 正线不对称高压脉冲轨道电路掉码时序

约0.1 s；后续轨道继电器（GJF）为JWXC-H310型继电器，缓吸时间为 0.4 ± 0.1 s。因此，IIBGGJF恢复时间T2取最不利值为0.4 s。

根据《轨道电路系统不对称高压脉冲轨道电路》(TB/T 3553-2019)的要求，不对称高压脉冲轨道电路接收设备的吸起时间为2~2.5 s，落下时间为1~1.5 s。计算时按最不利条件考虑，加上GJ动作时间约0.1 s，因此T3取1.6 s。

JMJ 的 RC 阻容缓动电路延时落下时间 (T4) 理论计算值约为 2 s, 但该数值随着电容的逐渐劣化而变小。本站 2DG 轨道区段出现掉码问题时对该 RC 阻容盒进行了时间测试, 实测时间为 1.65 s。因此 T4 按 1.65 s 考虑。

T5 不是定值, 该数值与轮对分路情况和不对称高压脉冲信号的占空比有关。自轮对越过绝缘节压入本区段, 只有形成分路被轨道电路接收端检测到, 接收端反应延时方能开始计时, 这个时间与轮对是否能够快速形成分路有关, 因此不是定值。另外不对称高压脉冲每秒约 3 个脉冲信号, 每个脉冲信号周期内, 峰头峰尾仅 15 ms 左右, 其他约 0.3 s 时间内没有脉冲信号。若轮对越过绝缘节时刚好上一个脉冲信号刚结束, 那么大约需要 0.3 s 接收器才能检测到脉冲信号被分路。若按较为不利的条件考虑, T5 约为 0.4 ~ 1 s。

因此, 综合上述条件, $T1+T2+T4=0.33+0.4+1.65=2.38$ s; $T3+T5=1.6$ s + (0.4 ~ 1 s) = 2 ~ 2.6 s。

根据上述计算, 一般情况下 JMJ 能够通过 RC 阻容缓动电路的延时时间保证接车进路整个过程 JMJ 保持励磁吸起。但是在特殊情况下, 接收器反应时间受外界影响增加, 且电容存在着逐步劣化的现象, 确实有可能出现正线不对称高压脉冲轨道电路区段在列车压入分路时轨道继电器尚未落下, JMJ 缓放时间已结束, 从而导致 JMJ 提前落下发生“掉码”的问题。

3 解决措施

根据以上原因分析和理论计算, 可以从 T1 ~ T5 这 5 个时间因素分析解决问题的关键所在。

1) T1 受影响的因素是机车轴距和线路运行允许速度, 为避免再次出现此类问题, 必须按最不利因素考虑, 这两个因素我们无法改变。因此, 通过改变 T1 来解决此问题不能实现。

2) T2 是 25 Hz 相敏轨道电路的轨道继电器恢复时间, 这个时间可以通过增加缓吸电路来进行调

整。本站为了解决正线上高压脉冲轨道电路与 25 Hz 相敏轨道电路两种不同制式轨道电路的“漏解锁”问题, IIBG 计算机联锁的轨道复示继电器 GJF1 已经增加了缓吸电路, 因为, 增加缓吸电路改变 25 Hz 相敏轨道电路的轨道复示继电器的恢复时间是有成熟应用先例的。本站电码化轨道复示继电器 GJF2 直接采用二元二位继电器吸起接点带动励磁, 因此 IIBG 电码化轨道复示继电器 GJF2 没有缓吸。

3) T3 为不对称高压脉冲轨道电路的落下延长时间, 该时间特性为《轨道电路系统不对称高压脉冲轨道电路》(TB/T 3553-2019) 规定, 不能改变。

4) T4 是 JMJ 的缓放时间, 通过 RC 阻容缓放电路实现, 采用的电容容值不同, 缓放时间也会有所不同, 因此, 可以通过调整电容容值增加缓放时间。

5) T5 前文已经分析, 受轮对分路情况和列车第一轮对越过绝缘节的时机影响, 无法人为干预。

综上所述, 可以通过增加 T2 或 T4 的时间来解决正线不对称高压脉冲轨道电路“掉码”问题。根据以上分析, 提出 2 个解决问题的方案:

解决方案一: 计算机联锁电路中 IIBG 轨道复示继电器电路已经增加一个 GJRF 继电器, 该继电器采用二元二位继电器接点带动, 同时设置的缓吸不缓放的电路原理如图 4 所示。因此, 电码化复示继电器 GJF2 励磁电路改为由 GJRF 的接点带动, T2 时间在原来的基础上约增加 1 s, 电码化复示继电器 GJF2 励磁电路如图 4 所示。因此, $T1+T2+T4=3.38$ s > $T3+T5=2 \sim 2.6$ s。

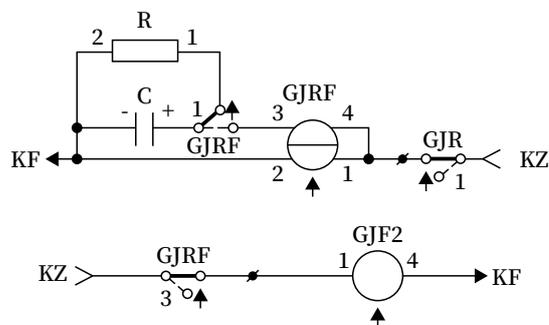


图4 正线不对称高压脉冲轨道电路相邻区段电码化GJF2励磁电路

解决方案二：JMJ 继电器 RC 阻容缓动电路电容容值修改为 $1\ 470\ \mu\text{F}$ ， T_4 约增加 $1\ \text{s}$ ，因此 $T_1+T_2+T_4=3.38\ \text{s} > T_3+T_5=2 \sim 2.6\ \text{s}$ 。

本站为既有运营线路，且 IIBG 既有已经有缓吸电路，为彻底解决问题，采用修改电码化复示继电器励磁电路接点相对更可靠简单易行。因此，现场采用方案一解决了单机通过时机车信号“掉码”的问题。

4 结束语

目前，不对称高压脉冲轨道电路已在全路的分路不良区段广泛应用，分路不良整治效果比较显著，由于过多的“不确定”因素，单纯利用轨道电路技术不能彻底解决“分路不良”问题。本次正线采用不对称高压脉冲轨道电路后机车信号“掉码”的问题就是多个因素叠加引起的，这也是为何全路大量不对称高压脉冲轨道电路与 $25\ \text{Hz}$ 相敏轨道电路相邻时发生“掉码”的问题非常少。但是两种不同制式、特性的轨道电路相邻时，确实在特殊情况下存在诸如“漏解锁”“掉码”等情况，甚至有扼流变压器引接线断线得不到检查的可能。

因此，建议在运营维修管理中需建立完善的分路不良管理机制，明确责任分工，特别是须注意发挥监控监测设备的作用，定期查对、分析有关预警信息，发现不良苗头要高度重视，积极分析原因、采取有效举措，防范于未然。同时，也希望各产品研发、设计、施工单位等需多开展技术攻关，尽量

从源头上解决现场可能存在的问题。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家铁路局. 轨道电路系统不对称高压脉冲轨道电路：TB/T 3553-2019[S]. 北京：中国铁道出版社，2019.
- [2] 陈玉泉. 不对称高压脉冲轨道电路与 $25\ \text{Hz}$ 相敏轨道电路相邻存在的问题及解决[J]. 铁道通信信号，2015，51(9)：32-34.
- [3] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路信号设计规范：TB 10007-2017[S]. 北京：中国铁道出版社，2017.
- [4] 中华人民共和国国家铁路局. 轨道电路通用技术条件：TB/T 2852-2015[S]. 北京：中国铁道出版社，2015.
- [5] 刘立冰. 不对称高压脉冲轨道电路的应用与改进[D]. 兰州：兰州交通大学，2016.
- [6] 张海旭. 自动调压型不对称高压脉冲轨道电路研究[J]. 铁路通信信号工程技术，2020，17(11)：29-34.
- [7] 刘曦. 电化区段高压脉冲轨道电路干扰机车信号分析[J]. 铁路通信信号工程技术，2022，19(7)：96-101.
- [8] 刘安波，王双. 不对称高压脉冲轨道电路典型案例的分析与探讨[J]. 铁路通信信号工程技术，2021，18(Z1)：99-102.

(收稿日期：2023-05-07)

(修回日期：2023-09-21)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.Z1.005

降低站内无轨道电路区段不平衡牵引电流干扰问题探讨

龚书锦, 陈志忠

(中国铁路南昌局集团有限公司福州电务段, 福州 350011)

摘要: 在动车组的走行径路上, 存在部分未设置轨道电路的区段, 如动车所进站口附近的踏面检测设备处、客整所内存车线等。由于未设置轨道电路, 无法监测钢轨线路的连接状态以及钢轨对地电阻。在不利条件下不平衡牵引电流中的高次谐波信号干扰动车组车载设备, 甚至造成停车问题。本文通过现场测试和数据分析, 确定两种案例造成动车组停车的原因, 并提出采用优化牵引回流、降低谐波干扰的解决方案。

关键词: 无轨道电路; 不平衡; 谐波干扰; 优化回流

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)Z1-0018-05

Discussion on Reducing Interference of Unbalanced Traction Current in Sections without Track Circuits within Stations

Abstract: On the traveling route of the EMU, there are some sections without track circuits, such as the location of tread detection equipment near the entrance of an EMU station and the train lines used for storing trains in the passenger car servicing depot. Due to the absence of track circuits, it is not possible to monitor the connection status of rail lines and rail resistance to ground. Under unfavorable conditions, the high harmonic signal in unbalanced traction current disturbs the train-borne equipment of EMU and even causes the train to stop. Through field test and data analysis, this paper determines the reasons behind two cases of EMU stopping, and puts forward a solution to optimize the traction backflow and reduce harmonic interference.

Keywords: section without track circuit; unbalanced; harmonic interference; optimized backflow

轨道电路作为铁路信号的基础设备之一, 发挥着列车占用检查、向车载设备提供行车许可信息作用的同时, 可以间接反映出牵引电流在钢轨线路的回流状态。不平衡牵引电流是由于两根钢轨及附属物(扼流变压器的牵引线圈、钢轨连接线等)的阻抗不平衡、钢轨对地电阻不一致等所造成的, 干扰车载设备正常运行, 严重时甚至会烧损铁路信号设备, 严重影响铁路运输安全和效率。设置轨道电路

时, 通过通道传输至室内设备的特性以及电压监测系统, 可以直观表征出不平衡牵引电流的干扰; 但未设置轨道电路的区段, 如线路上安装其他检测设备导致无法设置轨道电路的、部分停车线等, 就无法监测分析不平衡牵引电流的干扰。

1 典型案例

案例 1: 轮缘踏面检测设备安装造成的干扰

2023年1月31日,某次动车组运行至厦门北走行线厦门北动车所106#道岔处(104-106DG)ATP触发制动异常停车。故障原因为部分动车组运行至距离I-XIVAG轨道区段50m处开始接收信号,在踏面检测设备上车载设备收到地面短暂的干扰信号,频率为1700Hz、无有效低频信息,异常信号不符合解码条件,触发最大常用制动。

厦门北动车所全站设计为不对称高压脉冲轨道电路,其中在104-106DG靠近区间侧50m处安装有轮缘踏面检测设备,如图1所示。



图1 轮缘踏面检测设备示意

案例2: 停车线信号干扰造成停车

2022年9月21日,某次动车组在京九线赣州

客车整备所存车线2开出后因ATP触发制动异常停车。经分析故障原因为赣州客车整备所存车线2出现不稳定的2000Hz地面载频,车载设备收不到稳定的低频信息,STM单元持续向VC主机报低频无效并超过10s未恢复正常接码,双系VC主机报“STM信息不合理”,导致VC主机双系宕机,触发制动造成停车。

2 原因分析

电力机车主变压器在整流换相过程中产生大量稳态50Hz及其谐波电流分量。铁道行业标准TB/T 3073中规定的牵引电流谐波比例数据,其中2700Hz及以下(包含目前车载设备所有接收频率范围)占比如表1所示。

当两根钢轨阻抗保持一致,对地电阻基本相等,牵引电流在钢轨中传输处于平衡状态时,按照《普速铁路信号维护规则》(铁总运[2015]238号)“13.3.2轨道电路应能防护牵引电流的基波、谐波干扰,应采用非工频、双轨条轨道电路,并应能适

表1 牵引电流各次谐波比例数据

牵引电流谐波次数	谐波频率 / Hz	占百分比 / %	牵引电流谐波次数	谐波频率 / Hz	占百分比 / %	牵引电流谐波次数	谐波频率 / Hz	占百分比 / %
1	50	97.3	19	950	0.72	37	1 850	0.175
2	100	0.45	20	1 000	0.24	38	1 900	0.050
3	150	19.88	21	1 050	0.63	39	1 950	0.13
4	200	0.53	22	1 100	0.13	40	2 000	0.04
5	250	9.74	23	1 150	0.56	41	2 050	0.096
6	300	0.41	24	1 200	0.1	42	2 100	0.043
7	350	5.11	25	1 250	0.46	43	2 150	0.076
8	400	0.36	26	1 300	0.086	44	2 200	0.047
9	450	2.76	27	1 350	0.385	45	2 250	0.068
10	500	0.34	28	1 400	0.08	46	2 300	0.050
11	550	1.64	29	1 450	0.346	47	2 350	0.078
12	600	0.34	30	1 500	0.09	48	2 400	0.054
13	650	0.99	31	1 550	0.34	49	2 450	0.087
14	700	0.32	32	1 600	0.094	50	2 500	0.058
15	750	0.74	33	1 650	0.308	51	2 550	0.076
16	800	0.32	34	1 700	0.09	52	2 600	0.070
17	850	0.70	35	1 750	0.249	53	2 650	0.093
18	900	0.27	36	1 800	0.075	54	2 700	0.065

应最大牵引电流和牵引电流纵向不平衡系数不大于 5% 的条件。”标准；要求不平衡系数不超过 5%，此时牵引电流基波及其高次谐波在钢轨中传输属于共模信号，顺着钢轨同方向传输，车载设备接收线圈接收到的干扰信号方向相反、在线圈上相互抵消，不会影响车载设备的正常运行。当不平衡牵引电流过大，高次谐波含量幅值超过车载设备解码门限时，

会造成车载设备错误解码，但无法解析出有效低频而触发制动。

2.1 案例1原因分析

调看厦门北动车所当时停车的车载 CF 卡数据，如图 2 所示，发现在停车时收到了连续载频不稳定的高次谐波干扰信号，无低频信息。



图2 停车车载CF卡数据

轮缘踏面检测设备直接安装在钢轨上，在钢轨纵向两侧均加装了机械绝缘节，与轨道电路保持绝缘隔离，轨道电路采用双股跳线连通，电路连接如图 3 所示。

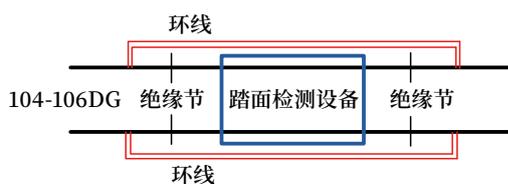


图3 厦门北动车所踏面检测设备电路连接

利用天窗点内机车升弓条件，测试安装轮缘踏面检测设备处钢轨的对地电阻不平衡系数。采用绝缘在线测试仪测试各部绝缘性能良好，短路如图 3 中左侧两个绝缘节，测试流经短路线上的 50 Hz 工频电流不平衡系数达到 74%，即当动车组压入轮缘踏面检测设备上时，存在较大的不平衡信号干扰，造成车载设备收到干扰信号而触发制动。

2.2 案例2原因分析

赣州客整所存车线 2 与 D123G 之间的连线如

图 4 所示。

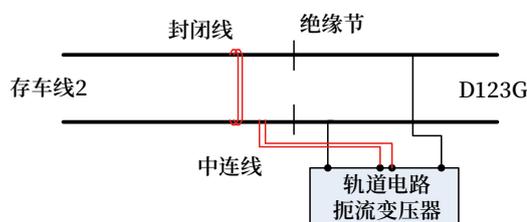


图4 赣州客整所存车线2连接示意

存车线在绝缘节附近采用封闭线短接，单根钢轨再与 D123G 扼流变压器的中心点连接。动车组升弓时，在 D123G 与存车线 2 之间的中连线上测试移频分量，其中 1 700 Hz 信号 0.26 A、2 000 Hz 信号 0.09 A、2 300 Hz 信号 0.13 A、2 600 Hz 信号 0.16 A。

移频表选用工频档位测试，在封闭线上测试 50 Hz 电流为 12.74 A，再测试扼流变中连线上的 50 Hz 电流、读数为 15.39 A。按照现场电路连接，封闭线上的工频牵引电流应为扼流变中连线上的一半。按照标准规定的不平衡系数计算方法如公式所示。

$$\eta = \frac{|i_1 - i_2|}{i_1 + i_2} = (12.74 - 2.65) / (12.74 + 2.65) = 0.6556$$

通过计算得出存车线 2 的牵引不平衡系数达到 65.56%，过大的不平衡造成车载设备错误解码，动车组触发制动停车。

3 整治方案及效果

针对干扰的防护，一般采用“疏通”或“截断”干扰源两种方案。在上述两种案例中，无法保证两根钢轨对地电阻的一致性，因此无法采用“截断”干扰源的手段进行防护，只能尽可能疏通牵引电流回路，尽可能实现双轨回流，降低干扰幅值。

3.1 案例1整治方案

在厦门北动车所轮缘踏面检测设备处采用双根短路线连通两根钢轨并接地，同时在临近的 104-106DG 靠近踏面检测设备绝缘处增设空扼流变压器，沟通踏面检测设备处的牵引回流通路。电路连接如图 5 所示。

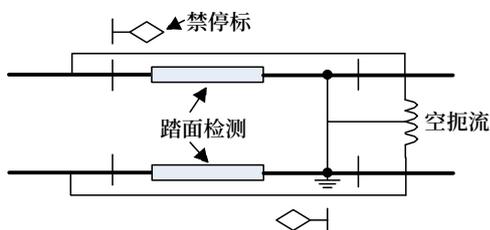


图5 设备连接电路1

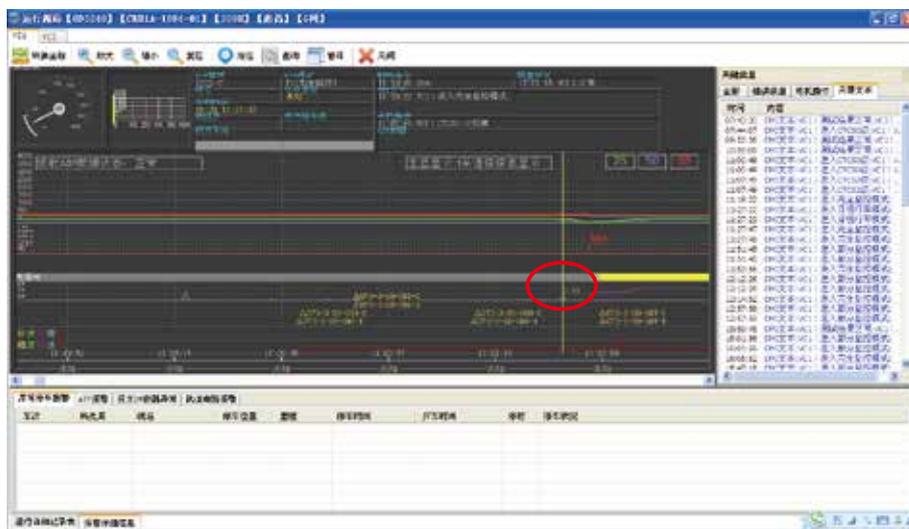


图7 干扰时车载数据显示

3.2 案例2整治方案

赣州客整所同样采用增加封闭线的办法，在停车线 2 未设置轨道电路的区域，每隔 100 m 增加一对钢轨封闭线，提高钢轨的回流能力。同时在尽头处增加一台空扼流变压器，并在空扼流变压器中心点接地处理，保证双向回流，降低不平衡牵引电流对车载设备的干扰。电路连接如图 6 所示。

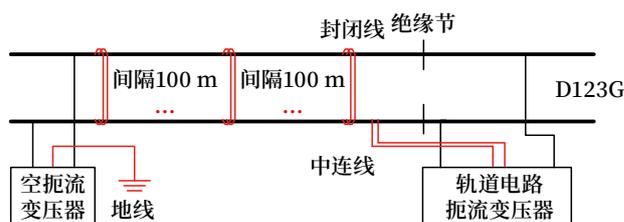


图6 设备连接电路2

3.3 整治效果验证

厦门北动车所轮缘踏面检测设备处整治前，动车组收到 1 700 Hz 干扰载频幅值为 660 mV，车载数据如图 7 所示。

设备整治后，动车组经过时干扰信号已消失，车载设备再未收到过类似干扰信号。车载数据如图 8 所示。

赣州西客整所停车线 2 整治后，同样车载设备运行良好，再未发生过干扰造成动车组停车的问题。

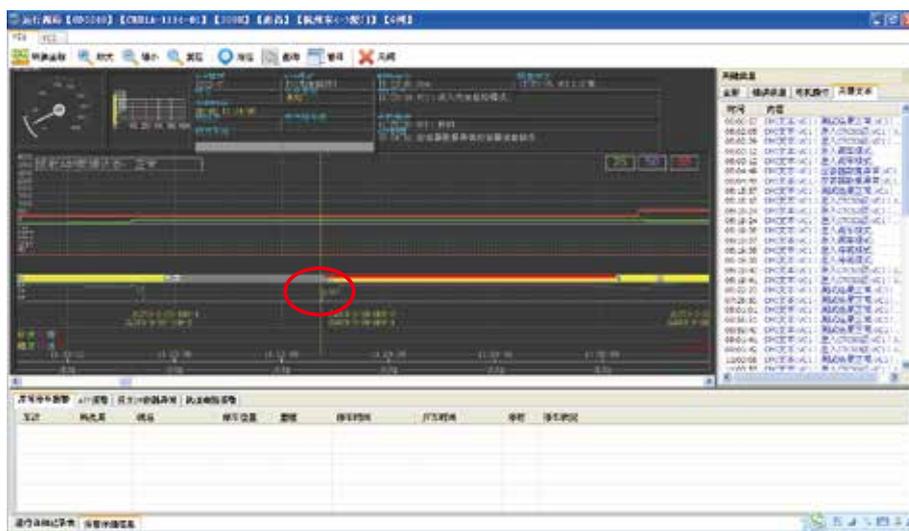


图8 整改后车载数据显示

4 结束语

不平衡牵引电流是铁路信号设备的主要干扰源之一。设置轨道电流区段增加了多种抑制及疏通措施,如扼流变压器中增加了适配器,降低了牵引回路中的不平衡性。对于未设置轨道电路区域的干扰,整体采用疏通牵引电流的方案进行解决,保证铁路信号设备安全稳定运行。

如何降低其对车载设备的干扰,借鉴本文所提到的两种典型案例,现场维护方面需要重点检查未设置轨道电路区段的钢轨导电连接情况、钢轨对地情况,尽量保证其特性良好。设计方面应尽可能考虑减少“未设置轨道电路区段”的存在,将动车走行径路设置成轨道电路区段,抑制不平衡干扰的同时可以通过电路检测牵引电流的不平衡系数。

参考文献

[1] 乔志超,魏子钧,杨轶轩.牵引电流谐波对轨道电路接收电压影响分析[J].中国铁路,2023(1):103-109.
[2] 张丽艳,梁世文,李鑫,等.新型电缆贯通

供电系统载流机制[J].西南交通大学学报,2021,56(3):650-658.

[3] 雷阳成.强化牵引供电设备系统能力的思考[J].铁道运营技术,2022,28(1):25-27.
[4] 杨世武,陈炳均,陈海康.轨道电路对分相区暂态牵引电流干扰的抑制方法[J].西南交通大学学报,2019,54(6):1332-1341.
[5] 黄石柱,李建华,赵娟,等.电气化铁路牵引变电所概率谐波电流的仿真计算[J].电力系统自动化,2002,26(5):26-31.
[6] 魏子钧.铁路信号设备不平衡牵引电流抗扰度测试平台研究[D].北京:北京交通大学,2022.
[7] 田建兆.铁路信号设备抗电气化不平衡牵引电流干扰测试与处理平台研究[D].北京:北京交通大学,2016.
[8] 李新坡.不平衡牵引电流对轨道电路干扰的研究[D].北京:北京交通大学,2011.

(收稿日期:2023-05-22)

(修回日期:2023-09-21)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.Z1.006

关于ZPW-2000A/K型轨道电路雨季“红光带”及道床漏泄整治技术方案研究

庞涛, 兰瑶, 纪英杰

(中国铁路成都局集团有限公司达州电务段, 四川达州 635002)

摘要: 通过选取兰渝线 ZPW-2000A/K 型轨道电路道床漏泄严重情况和“红光带”状况的轨道电路区段, 通过搭建轨道电路仿真计算模型与实地采样对比测试验证分析在 25 μ F 和 50 μ F 两种补偿电容配置下的轨道电路常规性能, 评估两种配置下 ZPW-2000A/K 型轨道电路对低电阻道床的适应能力, 研究增强 ZPW-2000A/K 型轨道电路在低电阻道床漏泄环境下运行能力的有效方法。

关键词: 整治实践与思考; 道床漏泄及红光带; ZPW-2000A/K 型轨道电路; 补偿电容配置; 增强运行能力

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)Z1-0023-05

Study on Technical Scheme for Resolving Red-light Strap and Ballast Leakage for ZPW-2000A/K Track Circuits During Rainy Season

Abstract: By selecting the sections of the Lanzhou-Chongqing Railway equipped with ZPW-2000A/K track circuits experiencing serious ballast leakage and "red-light strap" condition, a simulation calculation model of the track circuits is built and compared with field sampling to verify and analyze the regular performance of the track circuits by performing tests under the two compensation capacitor configurations: 25 μ F and 50 μ F. For both of the configurations, the adaptability of ZPW-2000A/K track circuits to low-resistance ballast is evaluated, and a scheme is proposed to effectively enhance the operation capability of ZPW-2000A/K track circuits under low-resistance ballast leakage conditions.

Keywords: practice and reflection on remediation; ballast leakage and red-light strap; ZPW-2000A/K track circuit; compensation capacitor configuration; operational capability enhancement

铁路信号是组织列车运行、保障列车安全、提升铁道运输效率的重要技术, 随着铁路运输向着高速、高密度的方向发展, 目前自动闭塞区间轨道电路均主要采用法国 UM71 无绝缘轨道电路和国内自主研发开发的 ZPW-2000A 型无绝缘移频轨道电路, 以及在此基础上改进而来的 ZPW-2000A/K 型轨道电路。ZPW-2000A/K 型轨道电路作为高速铁路的重要组成部分, 在实际运用中由于线路情况的变化,

部分区段道床电阻变化大, 雨季道床漏泄情况严重, 导致道床电阻急剧下降, 严重时轨道电路出现“红光带”故障, 对铁路行车安全带来较大影响。

目前针对 ZPW-2000A/K 型轨道电路漏泄的主要处置方法为: 一是对漏泄区段出具新的调整表, 通过调整接收电平级升高主轨输出电压的方式避免漏泄过大引发“红光带”隐患; 二是通过对道床道砟、枕木扣件附着物进行定期清理, 减少道床漏泄; 三

是通过长大区段进行区段分割，减少区段长度降低漏泄程度。目前的方法要么工作量较大且效果不够，要么工程复杂投入巨大。

本文通过选取兰渝线 ZPW-2000A/K 型轨道电路因道床漏泄发生“红光带”隐患的区段，进行实地采样对比测试分析验证，找到增强 ZPW-2000A/K 型轨道电路在低电阻道床漏泄环境下适应能力的简单有效的方法。

1 主要研究内容及研究方法

由于高速铁路道床漏泄电阻值一般不小于 $2 \Omega \cdot \text{km}$ ，采用 ZPW-2000A/K 型无绝缘轨道电路，道床电阻一般按照 $3 \Omega \cdot \text{km}$ 设置调整表，部分长大隧道按照 $2 \Omega \cdot \text{km}$ 设置调整表，补偿电容均采用 $25 \mu\text{F}$ 全封闭电容 (ZPW.CBGM) 进行设置。普铁线路采用 ZPW-2000A 型无绝缘轨道电路，道床电阻一般按照 $1 \Omega \cdot \text{km}$ 设置调整表，补偿电容按照 $50 \mu\text{F}$ 等进行配置。

目前兰渝线轨道电路配置按照高铁进行配置，采用 ZPW-2000A/K 型轨道电路，补偿电容为 $25 \mu\text{F}$ 。轨道电路区段均采用 V3.0 型调整表进行调整。通过以典型区段长度 $1\ 350 \text{ m}$ 为例，搭建轨道电路仿真计算模型计算分析两种配置下的轨道电路常规性能，并选取兰渝线 ZPW-2000A/K 型轨道电路区段现场实验验证分析，评估两种电容配置下 ZPW-2000A/K 型轨道电路的低电阻道床适应能力。

2 ZPW-2000A/K型轨道电路性能测试分析试验

2.1 通过以典型区段长度 $1\ 350 \text{ m}$ 为例，搭建轨道电路仿真计算模型，分析两种电容配置下的轨道电路对低电阻道床适应性能

2.1.1 轨道电路分路性能分析

按照不同最低道床电阻进行调整，仿真计算得到无穷大道床时的分路残压如图 1 所示，其中最低道床电阻较高时，高铁的 $25 \mu\text{F}$ 配置残压更低，但在最低道床电阻较低时，如在 $1.2 \Omega \cdot \text{km}$ 及以下时，高铁的 $25 \mu\text{F}$ 配置和普铁的 $50 \mu\text{F}$ 配置分路残

压则比较接近，无明显差异。

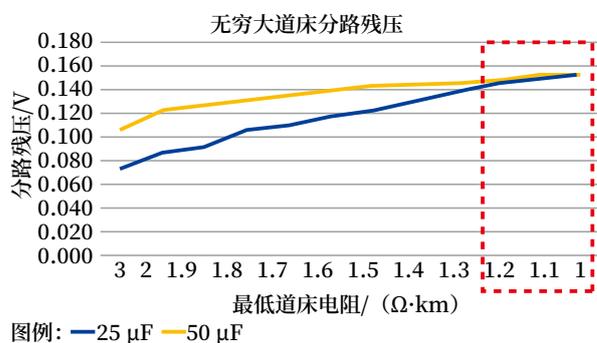


图1 两种电容配置下分路残压性能

2.1.2 机车信号电流性能分析

机车信号电流最不利条件在道床电阻最低时取得，不同道床电阻下的最小机车信号电流如图 2 所示，其中道床电阻较高时，高铁的 $25 \mu\text{F}$ 配置机车信号电流略高；道床电阻较低时，普铁的 $50 \mu\text{F}$ 配置机车信号电流略高，但均能满足标准要求。

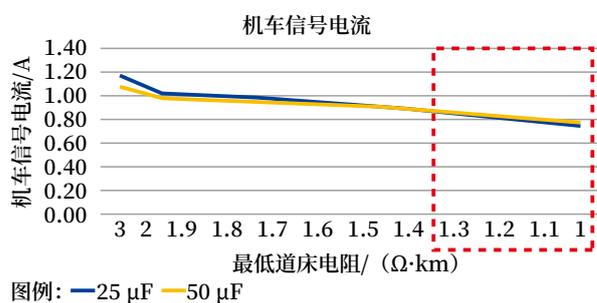


图2 两种电容配置下机车信号电流性能

2.1.3 调整电压变化范围性能分析

按照不同最低道床电阻进行调整后，随着道床电阻降低，轨道电路轨出电压会产生一定程度衰减下降。以无穷大的理想道床电阻为基准，仿真计算无穷大→最低道床电阻的轨出电压变化情况如图 3 所示，相比高铁 $25 \mu\text{F}$ 配置，普铁 $50 \mu\text{F}$ 配置下轨出电压变化范围、衰减比例更小。

2.2 选取兰渝线轨道电路现场采样对比验证分析，评估两种电容配置下 ZPW-2000A/K 型轨道电路的低电阻道床适应能力

2.2.1 试验测试区段概况

选取兰渝线道床漏泄区段 7483 中继站 7476G

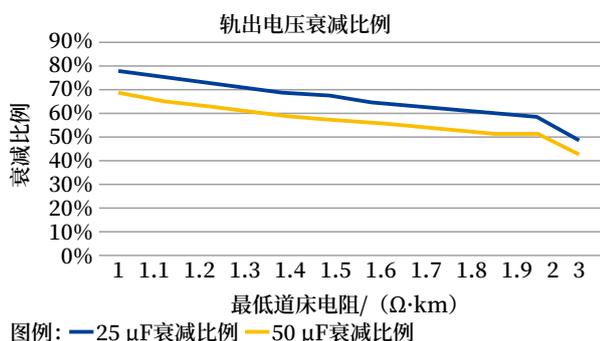


图3 两种电容配置下主轨输出电压衰减比例

区段基本信息				区段类型信息											
站名	区段名称	长度 (km)	频率 (kHz)	接收器	发送器	接收器	发送器	接收器	发送器	接收器	发送器	接收器	发送器	接收器	发送器
1
2

图4 试验区段参数信息

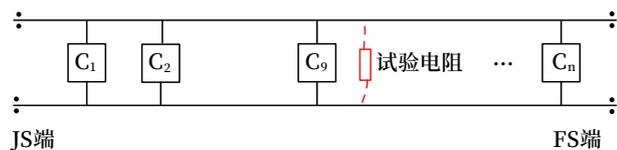


图5 试验原理

区段及 7881 中继站 7922AG 进行普铁 50 μF 和高铁 25 μF 两种配置下的采样对比验证分析，验证分析结果。试验区段参数信息如图 4 所示。

2.2.2 现场试验方法

利用并联电阻法进行低道床模拟试验，重新调整接收电平级后测试不同高低道床条件下的轨输出电压衰减情况，如图 5 所示。

表2 7922AG短区段试验情况数据

电容类别	功出等级	接收等级	主轨入电压 / V		主轨出电压 / mV		衰减比例 / %
			低道床	高道床	低道床	高道床	
25 μF	3	32	1.424	1.936	391	531	26
50 μF	3	32	1.510	1.835	403	494	18

2.2.4 模拟仿真与测试试验效果分析

通过理论仿真分析和现场测试，形成初步结论如下。

1) 在低道床情况下，普铁 50 μF 配置相比高铁 25 μF 配置，轨道电路常规性能相近，25 μF 补偿电容的主轨输出电压衰减比例大于采用 50 μF 补偿电容，且长区段电压衰减比例大于短区段。

2) 在低道床情况下，目前调整配置下长区段调整电压会低于 240 mV，不能满足一次调整，短区段仍可以满足一次调整。

2.2.3 现场实测试验情况

根据测试试验情况，在模拟低道床电阻条件下，将主轨输出电压调整至相同值时，取消模拟低道床试验电阻恢复高道床电阻后，各电压及衰减情况如表 1、2 所示。

表1 7476G长区段试验情况数据

电容类别	功出等级	接收等级	主轨入电压 / V		主轨出电压 / mV		衰减比例 / %
			低道床	高道床	低道床	高道床	
25 μF	1	37	0.872	2.420	275	766	64
50 μF	1	45	0.735	1.670	272	632	57

3 选取兰渝线轨道电路现场实地运用验证分析，评估两种电容配置下ZPW-2000A/K型实际适应能力

3.1 试验测试区段概况

选取兰渝线道床漏泄区段 7483 中继站 7476G

区段, 7881 中继站 7922AG, 中继 6912 站 6904G, 中继 6096 站 6086AG, 进行普铁 50 μF 和高

铁 25 μF 两种配置下的上道运用试验, 验证分析结果, 上道实际运用试验区段参数信息如图 6 所示。

区段	区段基本信息				线路类型信息											
	名称	长度	频率	阻抗												
1	25 μF	250m	2000Hz	200	25 μF	250m	2000Hz	200	25 μF	250m	2000Hz	200	25 μF	250m	2000Hz	200
2	50 μF	250m	2000Hz	200	50 μF	250m	2000Hz	200	50 μF	250m	2000Hz	200	50 μF	250m	2000Hz	200
3	50 μF	250m	2000Hz	200	50 μF	250m	2000Hz	200	50 μF	250m	2000Hz	200	50 μF	250m	2000Hz	200
4	50 μF	250m	2000Hz	200	50 μF	250m	2000Hz	200	50 μF	250m	2000Hz	200	50 μF	250m	2000Hz	200

图6 上道实际运用试验区段参数信息

3.2 运用试验效果分析

选取兰渝线道床漏泄区段 7483 中继站 7476G 区段, 7881 中继站 7922AG, 中继 6912 站 6904G, 中继 6096 站 6086AG, 进行普铁 50 μF 和高铁 25 μF 两种配置下的上道运用试验, 进一步验证分析结果。

7483 中继站 7476G 区段在更换电容前漏泄情况较为严重, 主轨出电压下降幅度较大, 进行高铁 25 μF 电容更换为普铁 50 μF 电容后主轨出电压下降幅度有明显好转, 更换电容前后结果对比如图 7、8 所示。

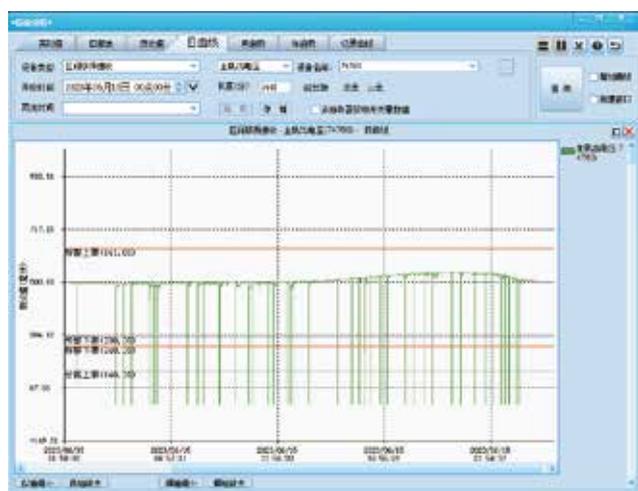


图8 更换电容整治后7483中继站7476G区段雨天漏泄情况

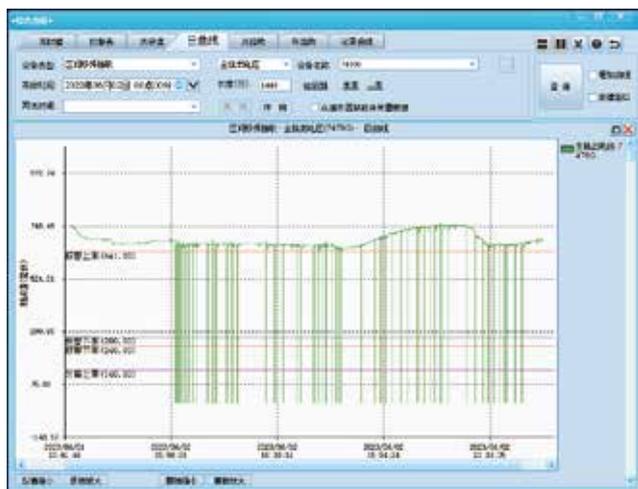


图7 更换电容整治前7483中继站7476G区段雨天漏泄情况

4 技术原理分析

由于钢轨对于 1 700 ~ 2 600 Hz 的轨道电路信号, 呈现较强的感性, 从而使信号在传输过程中产生很大的损耗。为了避免感性损耗, 所以采取了

补偿电容的方式, 补偿电容理论计算公式如下, 理论上道床电阻越小补偿电容容值越大, 因此道床较低的普铁选用容值较高的 50 μF , 而道床较好的高铁选用 25 μF 。

$$C = \min\{\text{衰耗常数}\} = \frac{1}{R_d} \cdot \frac{L}{R}, \text{ 其中 } R_d \text{ 为道床电阻;}$$

具体来说, 建立带补偿电容的轨道电路的钢轨等效 T 型四端网络如图 9 所示。

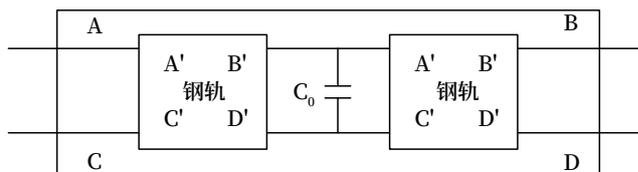


图9 四端口网络

经过矩阵变化, 可以计算出包括补偿电容 C_0 在内的“钢轨 + 电容 + 钢轨”四端网络的系数 A 、 B 、

C、D:

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A' & B' \\ C' & D' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & B \\ j\omega C_0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A' & B' \\ C' & D' \end{bmatrix}$$

等效的轨道电路传输常数记作 g , 特性阻抗 Z'_c 。

因为钢轨四端网系数 $A' = D'$, T型等效四端网络的系数可以表示为:

$$A = D = A'^2 + A'B'(j\omega C_0) + B'C' = chg$$

$$B = A'B' + B'^2(j\omega C_0) + B'D' = Z'_c shg$$

$$C = A'C' + A'D'(j\omega C_0) + C'D' = shg/Z'_c$$

由此可以推出 $Z'_c = \sqrt{\frac{B}{C}}$, $chg = A$, $shg = \sqrt{BC}$

由数学关系式 $chg + shg = e^g$ 可以得到传输常数

g 与四端网络系数的关系为 $e^g = A + \sqrt{BC}$

$$g = \ln(A + \sqrt{BC}) = \beta' + j\alpha'$$

所以, 补偿间距为 m 的带补偿电容轨道电路的固有衰耗为:

$$b_m = 8.686\beta'$$

每公里集中电容补偿网络的轨道电路衰耗常数

$$b_j = 8.686 \frac{\beta'}{m}$$

以 2 600 Hz 为例, 计算得到每公里带补偿电容的轨道四端网络的衰耗常数 b_j 如表 3 所示。

表3 补偿电容的轨道四端网络的衰耗常数

道床电阻	25 μF 补偿电容	50 μF 补偿电容
1 $\Omega \cdot \text{km}$	$b_j = 12.2$	$b_j = 11.8$
1 000 $\Omega \cdot \text{km}$	$b_j = 3.7$	$b_j = 5.8$

由计算得到的衰耗常数可知: 对于 1 $\Omega \cdot \text{km}$ 道床条件下, 补偿电容为 25 μF 、50 μF 的衰耗常数 b_j 相差较小; 而 1 000 $\Omega \cdot \text{km}$ 道床条件下, 补偿电容 25 μF 的衰耗常数 $b_j <$ 补偿电容 50 μF 衰耗常数。

损耗常数越小, 经钢轨传输后的接收端电压值越大, 即无穷大道床条件下, 25 μF 配置接收端电压更高, 所以按同一低道床统一调整为 240 mV 后, 采用 25 μF 补偿电容的电压衰减比例要大于采用 50 μF 补偿电容。

5 结束语

通过理论仿真分析、现场模拟试验及上道运用

情况, 可以初步得出, 在低道床情况下普铁 50 μF 电容配置相比高铁 25 μF 电容配置, 轨道电路常规性能相近, 轨出电压变化范围、衰减比例更小。初步验证了通过改变电容配置可以增强 ZPW-2000A/K 型轨道电路低电阻道床漏泄情况下的运行能力。ZPW-2000A/K 型轨道电路雨季“红光带”及道床漏泄区段隐患可通过改变电容配置的方式开展整治。

参考文献

- [1] 余立伟. UM71 无绝缘轨道电路红光带及道床漏泄整治实践与思考 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2016, 14 (4): 98-101.
- [2] 赵土旗. 解决 UM71 轨道电路雨季“红光带”的技术探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2002, 4 (5): 16-17.
- [3] 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 客专 ZPW2000A 轨道电路 V1.1 [Z]. 北京: 北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 2009.
- [4] 中国铁路总公司, ZPW2000A 型无绝缘移频自动闭塞系统 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2013.
- [5] 中华人民共和国国家铁路局. ZPW-2000 轨道电路技术条件: TB/T 3206-2017 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
- [6] 中华人民共和国国家铁路局. ZPW-2000 轨道电路设备: TB/T 3532-2018 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2018.
- [7] 卢江, 温术来. ZPW-2000A 轨道电路红光带自恢复故障典型案例研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (Z1): 15-18.
- [8] 张会志, 谢耀元. 简析沪昆线站联集中区轨道电路红光带故障与解决方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (Z1): 143-148.

(收稿日期: 2023-06-19)

(修回日期: 2023-09-21)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.Z1.007

兰新客专哈密站道床漏泄引起区段红光带调查分析

陈韵涵

(中国铁路乌鲁木齐局集团有限公司科技和信息化部, 乌鲁木齐 830011)

摘要: ZPW-2000A 轨道电路在铁路信号系统中运用的十几年里, 以其故障导向安全为基本前提, 其稳定的工作性能得到电务部门的一致认可。但近年来, 伴随铁路大发展, 轨道电路系统需在全国各种复杂环境中稳定运行, 其中道床漏泄电阻大小影响轨道电路稳定运行, 严重的道床漏泄将会引起区段红光带, 影响列车运行, 就此提出了相应的建议及方案。

关键词: ZPW-2000A 轨道电路; 道床漏泄电阻; 分析

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)Z1-0028-04

Investigation and Analysis of Red-light Straps in Sections Caused by Ballast Leakage in Hami Railway Station of Lanzhou-Urumqi High-speed Railway

Abstract: Over the past decade, ZPW-2000A track circuits have been used in railway signal systems, with the fail-safe principle as the basic premise, and their stable working performance has been unanimously recognized by the signal & telecommunication departments. However, in recent years, with the rapid development of railways, the track circuit systems need to operate stably in various complex environments across China. The value of the leakage resistance of the ballast affects the stable operation of the track circuits. Severe ballast leakage will cause red-light straps to occur in the sections, affecting train operation. Therefore, corresponding suggestions and solutions are proposed.

Keywords: ZPW-2000A track circuit; leakage resistance of ballast; analysis

1 问题描述

2015年4月3日、4月17日, 因降雨降雪, 兰新客专哈密站多区段轨出电压下降, 其中4月3日8G、9G、10G、12G出现红光带, 4月17日10G出现红光带, 均为自然恢复。

2 问题分析及现场调查

2.1 轨出电压曲线的调阅

调阅两次降雨均出现红光带的10G轨道电路

监测记录, 发现区段正常调整状态下轨出电压在310 mV左右。4月17日08:00降雨后, 在08:50轨出电压最低降至150 mV左右, 发生红光带, 至4月18日08:00, 轨出电压自然恢复至310 mV。轨出电压曲线如图1所示。

调阅12G等其他轨出电压下降严重区段, 均为雨后轨出电压迅速下降, 雨停后轨出电压缓慢回升, 符合由于降雨导致道床电阻降低引起轨道电路轨出电压变化的特征。

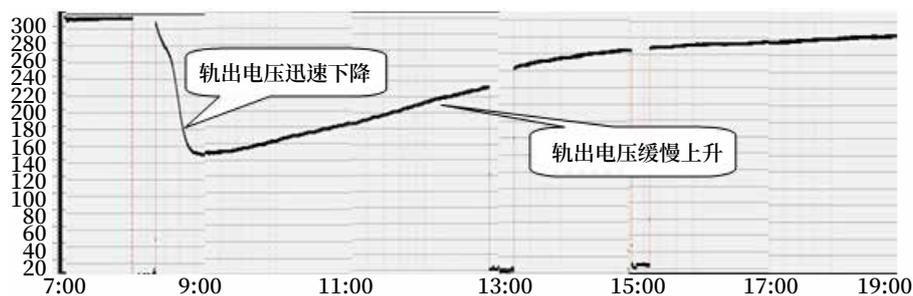


图1 全生命周期健康管理技术路线

2.2 漏泄区段统计

调阅哈密站内全部股道区段降雨时段监测数据, 如表 1 所示。

表1 轨出电压降低区段统计

区段名称	道床	区段频率	正常轨出电压 /mV	雨天轨出最低电压 /mV	降低比例 /%
10G	宽枕	1700	313	150	52
13G	宽枕	2600	380	240	37
1G	宽枕	2300	325	220	32
3G	宽枕	2600	395	286	28
9G	宽枕	2300	318	260	18
12G	宽枕	1700	300	250	17
2G	宽枕	1700	328	280	15
VG	III 型	2600	415	357	14
IVG	III 型	1700	402	354	12
VIG	III 型	2000	405	368	9
17G1	III 型	2300	322	300	7
11G	III 型	2300	340	318	6
16G1	III 型	2000	368	347	6



图2 10G线路情况

2.3 室外线路调查情况

对 10G 室外线路情况进行调查。

10G 为有砟路基, 轨枕类型主要为宽枕, 两端为 IIIA 型轨枕 (距发送端约 20 m, 距接收端约 50 m)。宽枕下方为石砟, 枕间铺设胶皮条。扣件系统中轨距挡板为铸铁, 挡板座为绝缘材料。道床无明显污染。线路情况如图 2 所示。

据现场人员反应, 雨水天气下, 宽枕区段雨水

易集聚, 在胶皮条下的积水蒸发较慢。

2.4 道床电阻测试

在晴好天气的条件下, 使用 ME0802 轨道参数测试装置, 对 10G 道床电阻进行了测试, 测试数据如表 2 所示。

10G 区段道床电阻为 $8.5 \Omega \cdot \text{km}$ 左右, 良好线路的道床电阻一般为 $> 20 \Omega \cdot \text{km}$ 。

表2 10G道床电阻测试结果

测试序号	测试地点	长度 1/m	阻抗 1/ Ω	角度 1/ $^\circ$	长度 2/m	阻抗 2/ Ω	角度 2/ $^\circ$	道床电阻 / $\Omega \cdot \text{km}$
1	哈密站	100	3.971 77	84.920 4	200	8.081 19	79.209	8.5
2	10G	100	3.973 32	84.844 8	200	8.081 59	79.213 9	8.6

2.5 扣件系统绝缘测试

为了确认道床电阻在晴好天气与雨天的变化情况，在 10G 选取均匀间隔的 6 处宽枕，拆除扣件，在晴好天气下及模拟雨水条件，使用绝缘摇表与 M14 机械万用表测试轨枕道钉间的绝缘电阻。

测试条件：将 10G 发送端 E1E2 断开，同时关闭送端、送端 BPLN 站内匹配变压器短路器开关。

测试情况如图 3 所示。

拆除左右轨四处扣件，保留道钉。测试两两道钉间的电阻；



图3 现场测试情况

拆除左右轨四处扣件，保留道钉，道床上洒水，模拟雨水条件下测试两两道钉间的电阻。

测试结果如表 3 所示。

表3 道钉间绝缘电阻测试结果

序号	区段	测试条件	1、2 间电阻	3、4 间电阻	1、3 间电阻	1、4 间电阻	2、3 间电阻	2、4 间电阻	仪表
第 1 处	10G	正常	40 mΩ	150 mΩ	150 mΩ	30 mΩ	200 mΩ	40 mΩ	摇表
		洒水	2.4 kΩ	4 kΩ	3.1 kΩ	3.6 kΩ	3.5 kΩ	3.5 kΩ	机械万用表
正常		50 mΩ	20 mΩ	25 mΩ	25 mΩ	40 mΩ	40 mΩ	摇表	
洒水		30 kΩ	44 kΩ	30 kΩ	11 kΩ	10 kΩ	45 kΩ	机械万用表	
正常		110 mΩ	25 mΩ	40 mΩ	40 mΩ	100 mΩ	100 mΩ	摇表	
洒水		24 kΩ	30 kΩ	20 kΩ	35 kΩ	10 kΩ	25 kΩ	机械万用表	
第 4 处	正常	7 mΩ	30 mΩ	20 mΩ	20 mΩ	15 mΩ	20 mΩ	摇表	
	洒水	2.6 kΩ	4 kΩ	3.7 Ω	3 kΩ	3.5 kΩ	3 kΩ	机械万用表	
第 5 处	10G	正常	0 Ω	7 mΩ	10 mΩ	0 Ω	10 mΩ	0 Ω	摇表
			9 kΩ	—	—	3 kΩ	—	3.4 kΩ	机械万用表
		洒水	4 kΩ	4 kΩ	5.5 kΩ	2.5 kΩ	1.8 kΩ	2.5 kΩ	机械万用表
第 6 处	正常	20 mΩ	25 mΩ	20 mΩ	25 mΩ	20 mΩ	25 mΩ	摇表	
	洒水	19 kΩ	14 kΩ	11 kΩ	11 kΩ	25 kΩ	25 kΩ	机械万用表	

晴好天气下，道钉间电阻为 10 M、100 M 级。洒水喷淋后，道钉间电阻降至 10 kΩ、1 kΩ 级，最低降至 1.8 kΩ，以此估算道床电阻在雨水条件下为 1 Ω·km 数量级。

3 道床电阻计算

根据区段出现红光带时的数据记录，计算道床漏泄电阻。

3.1 计算条件

两端机械绝缘节

钢轨参数：有砟路基参数

电缆长度：10 km

引接线：2 m、3.7 m 单线参数

变压器：TAD

发送电平级：按实测功出电压

接收电平级：按实际接收电平级、实测轨出电压

电容容值和数量：按实际配置。

3.2 区段信息与测试数据

10G 区段信息如表 4 所示。

表4 10G区段现场配置信息

序号	区段名称	载频	长度 / m	电容数量	功出 / V	接收电平级	轨出 min / mV
1	10G	2000-1/ 1700-1	640	7	38.5	29	150

3.3 仿真计算结果

利用计算机仿真软件计算 10G 雨天的道床电

阻, 仿真计算结果表明, 10G 区段道床电阻计算值为 $1 \Omega \cdot \text{km}$ 。

4 道床电阻分析

一定的轨道电路道床漏泄电阻值 (R_d 值) 是满足轨道电路一次调整的重要条件。 R_d 值越大表征两轨条间的漏泄越小; R_d 值越小表征两轨条间的漏泄越大。 R_d 低于规定值时, 轨道电路即不能满足一次调整。

钢轨线路通过扣件系统、钢轨垫板将两轨条固定于轨枕上, 有砟路基上用道砟掩埋轨枕, 如图 4 所示。

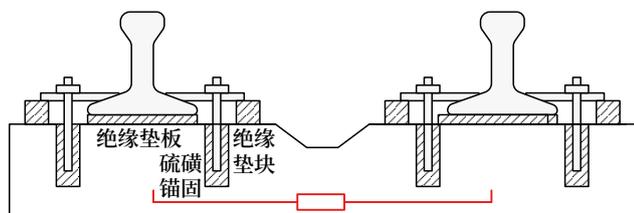


图4 扣件系统

根据现场模拟测试及红光带时刻数据计算, 哈密站站内股道宽枕区段在雨水状态下道床漏泄电阻在 $1 \Omega \cdot \text{km}$ 左右。在《高速铁路设计规范》(TB10621-2009) 中, 要求站内有砟路基区段的道床电阻不小于 $2 \Omega \cdot \text{km}$ 。

5 结论及建议

5.1 结论

哈密站宽枕股道区段在雨水天气下导致区段道床漏泄严重, 造成轨道电路轨出电压降低, 进而引发区段红光带。

5.2 建议

将哈密站站内宽枕轨道区段的钢轨扣件系统增设二次绝缘。二次绝缘系统除了依靠轨底垫板和道钉螺栓绝缘外, 增设了绝缘垫块二次保证钢轨的对地绝缘, 如图 5 所示。

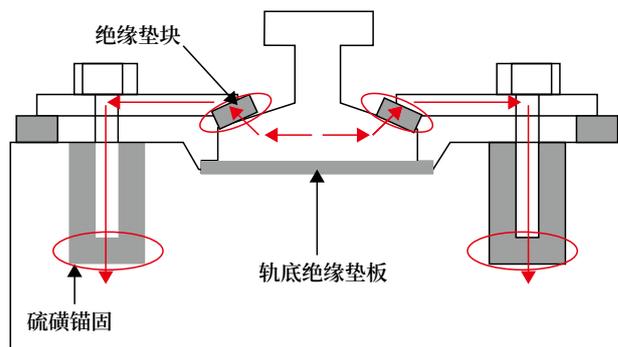


图5 设置绝缘垫块示意

参考文献

- [1] 林瑜筠. 区间信号自动控制 [M]. 北京, 中国铁道出版社, 2007.
- [2] 王保松. 既有线 ZPW-2000A 轨道电路道床漏泄改进措施探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (Z1): 9-14.
- [3] 费锡康. 无绝缘轨道电路原理及分析 [M]. 北京, 中国铁道出版社, 1993.
- [4] 杨轶轩. ZPW-2000A 轨道电路道床漏泄区段改进措施研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16 (Z1): 69-73, 93.
- [5] 王保松. 大秦重载铁路 ZPW-2000A 轨道电路低道床现状分析及建议 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2018, 15 (6): 61-64.
- [6] 王保松. 低道床电阻轨道电路传输分析及解决方案 [J]. 铁道通信信号, 2021, 57 (6): 58-61.
- [7] 余定国. 道床电阻与 ZPW-2000G 轨道电路设置的分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (6): 107-111.
- [8] 许明, 邹俊杰, 饶欢, 等. 使用高强度绝缘轨距挡板改善 ZPW-2000A 轨道电路低道床问题的应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17 (Z1): 132-137.

(收稿日期: 2023-06-28)

(修回日期: 2023-09-21)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.Z1.008

中老铁路分路不良分析与优化调整

刘国先

(中国铁路昆明局集团有限公司工电检测所, 昆明 650011)

摘要: 分析了中老铁路 25 Hz 相敏轨道电路分路不良的主要原因, 介绍了轨道电路优化调整方法及实施效果。

关键词: 中老铁路; 分路不良; 优化调整; 轨面电压; 分路灵敏度

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)Z1-0032-04

Analysis and Optimization of Bad Shunting on China-Laos Railway

Abstract: This paper analyzes the main reasons for bad shunting of 25 Hz phase-sensitive track circuits on China-Laos Railway, and introduces the methods for optimizing and adjusting the track circuits and their implementation effects.

Keywords: China-Laos railway; bad shunting; optimization and adjustment; rail surface voltage; shunting sensitivity

1 概述

25Hz 相敏轨道电路具有抗干扰能力强、工作稳定、运用可靠的优点, 中国国内普速区段超过 90% 的站内轨道电路均采用此类型轨道电路; 缺点是轨面电压低、分路不良问题较为突出, 属于世界性难题。列车运行过程中发生分路不良, 会导致机车信号掉码或上码慢、联锁进路遗留白光带、区间逻辑检查设备“占用丢失”报警、CTC 设备“信号非正常关闭”报警等; 列车停留过程中发生分路不良, 可能导致联锁失效, 造成后续车站作业过程中道岔挤岔、车辆脱线、侧面冲突等事故。

中老铁路 2021 年 12 月 3 日开通运营初期和进入雨季初期, 多次收到因分路不良导致的机车信号上码慢、进路遗留白光带等信息, 电务专业扎实开展了轨道电路分路不良优化调整, 取得了明显的效果, 本文把具体调整方法进行介绍, 希望能够为现

场维护提供借鉴。

2 中老铁路 25 Hz 相敏轨道电路运用概况

中老铁路研和至磨憨至万象站内轨道电路均采用 25 Hz 相敏轨道电路, 共 1 141 区段, 其中研和至磨憨 651 区段, 施工阶段采用轨面涂镀防锈导电金属 (简称涂镀) 技术措施解决分路不良 198 区段, 2021 年 12 月 2 日纳入分路不良管理 259 区段; 磨丁至万象南 490 区段, 采用涂镀 51 区段, 2021 年 12 月 2 日纳入分路不良管理 179 区段。

中老铁路自 2021 年 12 月 3 日开通至 2022 年 6 月 30 日, 电务系统共收到故障及安全信息 27 件, 其中磨万段 19 件、玉磨段 8 件; 按设备分, 轨道电路 20 件、道岔 5 件、信号机 1 件、CIR 设备 1 件。

20 件轨道电路故障信息按类型分, 25 Hz 轨道电路 18 件, ZPW-2000 轨道电路故障 2 件。

18 件 25 Hz 轨道电路故障信息按区域分, 磨万段 17 件、玉磨段 1 件; 按原因分, 设备器材被盗 13 件, 分路不良导致机车信号掉码 3 件, 雷击 1 件, 闸瓦熔渣短路钢轨绝缘 1 件。

3 中老铁路 25 Hz 相敏轨道电路分路不良原因分析

3.1 中老铁路 25 Hz 相敏轨道电路分路不良案例

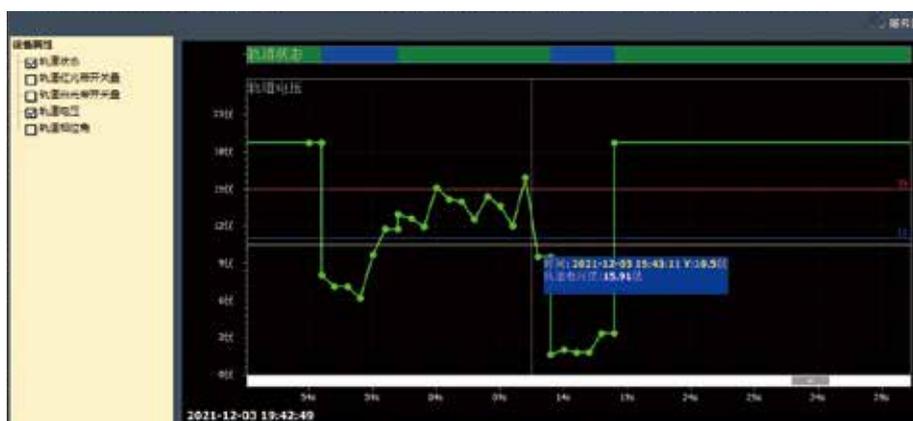


图1 中老铁路分相区轨道电路分路不良典型曲线

分析 LKJ 数据及现场检查, 该区段长 772 m, 公里标 3.349 ~ 2.577 km, 处于直线段, 坡度为 0, 海拔 180 m, 其中 2.519 ~ 2.815 km 为分相区, 轨面锈蚀严重如图 2 所示, 轨面电压 0.49 V。



图2 万象站 S1JG 区段轨面锈蚀严重

2) 2022 年 3 月 31 日 05:59, 30002 次运行至万荣站 S2JG 区段, 机车信号双黄灯掉白灯, 持续 5 s 后恢复正常。

分析 30002 次为单机运行。

分析集中监测数据, 万荣站 S2JG 区段当日过

1) 2021 年 12 月 16 日 07:32, 40006 次运行在万象站 S1JG 区段, 机车信号掉码 15 s 后自动恢复。

分析 40006 次为单机运行。

分析集中监测数据, 万象站 S1JG 区段当日过车 4 趟, 轨道继电器调整电压 20.9 V, 分路残压最高 17.02 V, 确认机车信号掉码原因为轨道电路分路不良。中老铁路分相区轨道电路分路不良典型曲线如图 1 所示。

车 6 趟, 轨道继电器调整电压 20.6 V, 分路残压最高 14.56 V, 确认机车信号掉码原因为轨道电路分路不良。

分析 LKJ 数据及现场检查, 该区段长 790 m, 公里标 121.449 ~ 122.239 km, 处于直线段, 坡度为 0, 其中 121.780 ~ 122.071 km 为分相区, 轨面锈蚀严重, 轨面电压 0.49 V。

3) 2022 年 5 月 9 日 07:16, 50002 次运行至万象站 5G 停车过程中机车信号红黄灯变红灯, 30 s 后恢复正常。

分析 50002 次为单机, 接车过程中惰行。

分析集中监测数据, 万象站 5G 区段当日接车 1 趟, 轨道继电器调整电压 20.49 V, 分路残压最高 13.32 V, 确认机车信号掉码原因为轨道电路分路不良。

现场检查, 该区段处于直线段, 轨面电压 0.48 V, 雨后的轨面锈蚀严重。

3.2 中老铁路25 Hz相敏轨道电路分路不良原因

导致分路不良的根本原因是轨面锈蚀和轨面电压低,通过上述案例的调查分析,总结出中老铁路分路不良的主要因素如下。

- a. 列车密度较小,轨面锈蚀严重。
- b. 热带季风气候和低海拔影响,轨面存在氧化层。
- c. 列车通过分相区或惰行进站,无牵引回流辅助击穿轨面氧化层。
- d. 轨面电压低,0.48 V的轨面电压难以击穿轨面半导体氧化层。

4 开展轨道电路优化调整,提高分路灵敏度

4.1 分路不良解决方案

各国解决轨道电路分路不良的常见措施如下。

1) 人工或技术手段解决轨面锈蚀

一是钢轨表面清洁,如轨面打磨除锈;二是采取喷涂、熔覆堆焊、熔覆合金和涂镀技术,其中喷涂、熔覆堆焊技术在2010年以前停止使用,熔覆合金技术根据工电通号电(2021)93号文于2021年5月停止使用;三是采取轨道电路分路助手,如在车体上增加换线感应设备向钢轨感应高频能量击穿轮轨接触锈层,或增加计轴设备;四是利用列车轨道整治。

2) 提高轨面电压,提高分路灵敏度

一是采用3 V化25 Hz轨道电路,使轨面电压大于3 V;二是采用高压脉冲轨道电路,使轨面电压大于50 V;三是采用高压脉冲移频轨道电路,轨面电压大于100 V。高压脉冲轨道电路抗干扰能力稍差,一般用在非发码进路、非油库线路上。

中老铁路分路不良的4个因素中,a项将随着列车对数的增加逐步改善;b、c项属客观实际,无法改变;我们决定从d项因素寻求对策,在不违反技术条件前提下,采取轨道电路优化调整,提高轨面电压,提高分路灵敏度的解决方案。

4.2 中老铁路轨道电路优化调整实施

组织开展轨道电路优化调整,提高轨面电压,减少临界分路不良。分析多次调整试验数据,总结

出轨道电路优化调整方法及流程如下。

1) 室内HF4-25防护盒按照HF2-25型连接调整线。

2) 合理调整适配器匝数,分路不良的短区段,适配器匝数稍高,一般调整在424N左右。

3) 调整BMT(电码化区段)或送端轨道变压器(非电码化区段),并再次微调防护盒、适配器,使电子接收器轨道接收端相位为 $88^{\circ}\sim 95^{\circ}$ 、电压为16~18 V。调整后持续分析轨道电压曲线,调整电压在道床漏泄最大情况下不得低于调整表中 U_{jmin} 的值。

4) 分路不良的一送一受区段,受端增加 $4.4\ \Omega$ 变阻器并合理调整电阻值,以提高轨面电压,提高分路电阻和接收端阻抗。

5) 调整完毕,再次复核BMT(非电码化区段送端轨道变压器)输出电压、断轨残压、分路残压和机车信号入口电流,确保轨道电路同时满足供电余量、断轨检查功能和机车信号接收灵敏度要求,不满足条件时立即恢复既有调整状态。

2021年12月至2022年9月,组织完成分路残压大于10 V的玉磨段189区段、磨万段112区段轨道电路优化调整,其中处于分相区和分路残压大于12.5 V的玉磨段23区段、磨万段12区段采取室外受端增加 $4.4\ \Omega$ 变阻器的调整措施。

5 效果检查

5.1 分路效果改善情况

采取以上优化调整方法后,中老铁路分路效果得到显著改善,分路残压大幅下降,达到标准,分相区轨道区段分路残压曲线整治前后对比如图3所示。

5.2 分路不良管理区段变化情况

至2023年6月25日,玉磨段纳入分路不良管理的区段数,由优化调整前的259下降至111个,下降率57.14%;磨万段纳入分路不良管理的区段数,由优化调整前的179下降至84个,下降率53.07%。

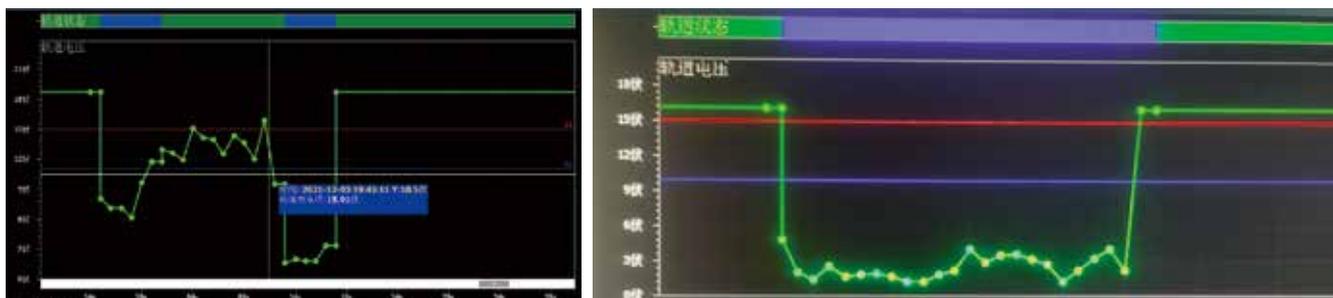


图3 分相区轨道区段分路残压曲线整治对比

5.3 分路不良安全信息变化情况

2022年6月25日至2023年6月25日,中老铁路共收到电务故障信息11件,其中轨道电路7件,分路不良信息为0,实现了通过轨道电路优化调整提高分路灵敏度减少分路不良的目的。

6 中老铁路分路不良管理展望

中老铁路轨道电路受车流、热带季风气候和低海拔的影响,分路不良情况比较突出,经过电务维护人员的优化调整,分路不良得到显著改善。随着中老铁路“一带一路”示范作用的逐步凸显及列车对数、货运量的逐步增加,轨面锈蚀的情况逐步好转,轨道电路分路不良区段将会进一步减少。但分路不良风险依然是中老铁路尤其是雨季防范的重点,电务部门在日常维护工作中要认真落实集中监测分析制度,加强技术攻关,进一步改善分路不良;行车部门须严格落实接/发车和调车作业安全措施;各级部门到生产一线要加强分路不良管理的检查指导,严防分路不良导致的挤岔、脱轨、侧面冲突等风险,坚决把中老铁路维护好。

参考文献

[1] 中华人民共和国铁道部. 轨道电路通用技术条

件:TB/T 2852—1997[S]. 北京:中国铁道出版社,1997.

[2] 中华人民共和国铁道部. 25 Hz 相敏轨道电路技术条件:TB/T 2853—1997[S]. 北京:中国铁道出版社,1997.

[3] 中国铁路总公司. 铁路信号维护规则技术标准[S]. 北京:中国铁道出版社,2015.

[4] 北京全路通信信号研究设计院有限公司. 基于轨道电路解决分路不良的技术研究[R]. 北京:北京全路通信信号研究设计院有限公司,2008.

[5] 陈建译,陈习连. 25 Hz 相敏轨道电路技术与运用[M]. 北京:中国铁道出版社,2016.

[6] 韩笑. 97型25 Hz相敏轨道电路故障诊断流程分析与系统设计[J]. 科学技术创新,2023(2):87-90.

[7] 周明君. 电化区段特殊位置25 Hz相敏轨道电路的分析[J]. 铁路通信信号工程技术,2022,19(4):77-80.

[8] 董玉玺,娄胜清,卢迎飞,等. 改进型25Hz相敏轨道电路的研究及实现[J]. 铁道通信信号,2022,58(1):12-15.

(收稿日期:2023-06-25)

(修回日期:2023-09-21)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.Z1.009

ZPW-2000轨道电路与QJK-JS结合问题分析

吴伟华

(中国铁路南宁局集团有限公司, 南宁 530022)

摘要: ZPW-2000 轨道电路和 QJK-JS (区间综合监控系统) 作为信号系统的重要组成部分, 前者能够实时追踪和监测列车运行位置, 后者实现列车在区间运行“三点”检查, 都是保障列车安全运行的重要装备, 其稳定性、可靠性与列车运行安全和正常秩序息息相关。通过对 ZPW-2000 轨道电路与 QJK-JS 结合问题案例进行分析, 提出施工质量源头控制措施, 把问题解决在设备开通运营前, 保证 ZPW-2000 轨道电路稳定、可靠投入使用, 保障列车运行安全。

关键词: ZPW-2000 轨道电路; QJK-JS; 联锁试验; 图纸审查; 验收; 应急; 维护

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)Z1-0036-06

Analysis of Combination of ZPW-2000 Track circuit and QJK-JS

Abstract: As an important part of the signal system, ZPW-2000 Track circuit and QJK-JS (section integrated monitoring system), the former can track and monitor the running position of the train in real time, and the latter can realize the released by checking three sections for the train running in the section. Both are important equipment to ensure the safe operation of the train. Their stability reliability is closely related to the safety and normal order of train operation. This paper analyzes the case of the combination of ZPW-2000 Track circuit and QJK-JS, proposes the control measures of construction quality source, solves the problem before the equipment is put into operation, ensures the stable and reliable use of ZPW-2000 Track circuit, and ensures the safety of train operation.

Keywords: ZPW-2000 track circuit; QJK-JS; interlocking test; drawing review; acceptance; emergency response; maintenance

1 设备概况

A、B 站为普速铁路中间站, 原为单线, 增建二线后, 两站间改为四显示自动闭塞, 上、下行线均划分为 6 个闭塞分区, 设置 6 架通过信号机, 如图 1 所示。两站均采用计算机联锁, 站间采用 QJK-JS (区间综合监控系统) 完成“三点”检查, 并负责改变运行方向操作及传递站间联系信息; 通过 QJK-JS 系统与 ZPW-2000 系列轨道电路结合, 解决了传统 ZPW-2000 系列轨道电路在区间改变运行

方向时闭塞分区闪红光带问题。

2 问题描述

2.1 问题现象

A 站值班员发现下行列车 23235 次通过 13G, 出清 15G 并进入 17G 后, CTC 终端显示 13G 红光带无法恢复, 同时控制台出现移频报警, 遂通知电务处理。13G 长度为 1 350 m, 使用 2300-2 载频, 为 A、B 站间下行线 A 站管辖第二个闭塞分区。如图 2 所示。

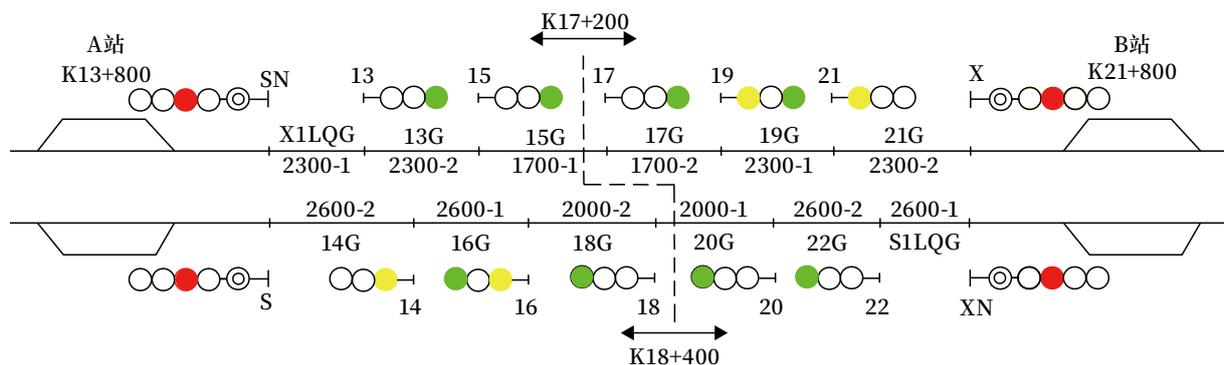


图1 两站间区间设备平面布置

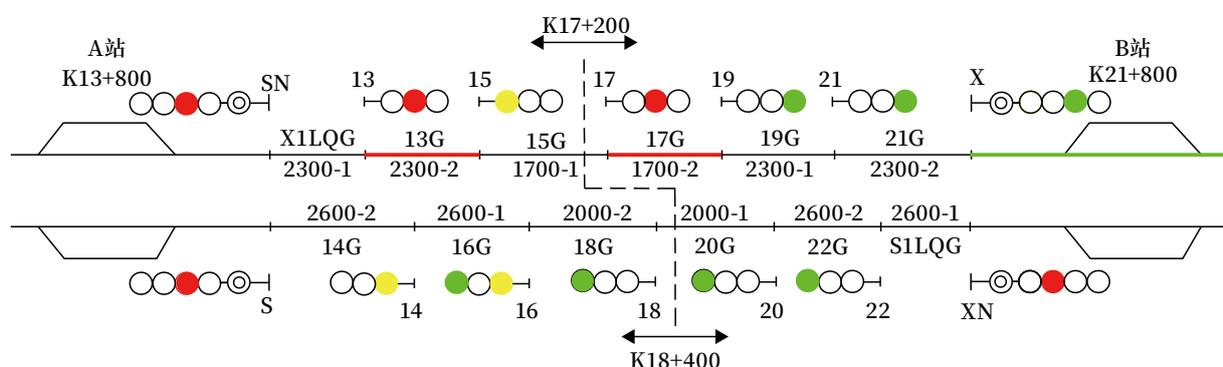


图2 红光带故障示意

2.2 问题处理

1) 经检查,发现13G主、备发送器和接收器工作正常,移频报警是因为15G接收器工作灯熄灭,呈故障状态,但并机接收器(15G与18G接收器互为并机)工作正常。测试13G的轨入、轨出1、轨出2、GJ(Z)、GJ(B)、GJ、XG(Z)、XG(B)、XG电压均正常,但XGJ电压为0V;测试15G的XG(Z)、XG(B)、XG电压为0V、13V、13V,电压不正常。初步判断故障原因为15G主机接收器故障,并机接收器(18G接收器)性能不良,导致13G缺少XBJ条件,在列车出清后遗留红光带。

2) 处置时,更换15G接收器后,13G红光带消失,移频报警恢复。测试13G-XGJ电压,已恢复至24V,与平时测试值一致;测试15G的XG(Z)、XG(B)、XG电压已恢复正常值;同时,对设备状态和其他参数也进行了检查、比对,发现均已恢复正常;但为保险起见,将18G接收器一并更换后,恢复设备正常使用。

3 问题排查

3.1 排查过程

1) 将故障时换下的15G接收器倒回试验,发现接收器无法正常工作,可以确认接收器已故障。

2) 将故障时换下的18G接收器倒回试验,发现接收器工作状态正常,13G未出现红光带。测试15G-XG及13G-XGJ电压,发现:

a. 15G、18G接收器均正常时,15G-XG为26V,13G-XGJ为24V。

b. 断开15G接收器工作电源,模拟接收器故障,测试15G-XG电压为13V,与故障时一致,但13G-XGJ为24V,与故障时不一致;将接收器倒换到其他区段试验,不管单机工作还是主并机同时工作,XG电压均正常;将其他区段正常接收器倒至18G上试验,主并机工作时XG电压均正常,单机工作时XG电压下降至13V,与红光带故障时一致。可以确认,18G接收器良好。具体情况如表1所示。

表1 13G-XBJ、15G-XG电压测试记录

序号	15G 接收器空开	18G 接收器空开	15G-XG (Z) 电压 /V	15G-XG (B) 电压 /V	15G-XG 电压 /V	13G-XBJ 电压 /V	13G 的状态
1	合上	合上	26	26	26	24	正常
2	断开	合上	0	13	13	24	正常
3	合上	断开	13	0	13	24	正常
4	断开	先断开再合上	0	13	13	0	红光带
5	先断开再合上	断开	13	0	13	0	红光带

c. 从表1数据可以看出, 15G接收器主、并机工作正常时, XG电压不会降低; 15G接收器主机或并机只有1个正常(即接收器单机工作)时, 则XG电压会降低至13V; 此时13G-XBJ如有24V, 则13G不会出现红光带; 如先出现红光带, XBJ已为0V, 此时再恢复单机工作则13G红光带无法恢复。

3) 在排查过程中, 还发现另外一个问题: 当断开15G主机接收器工作电源时, 15G出现红光带, 观察18G接收器(15G并机)虽工作正常, 但显然并机部分没有起作用。

4 原因分析

4.1 15G-XG电压下降问题分析

1) 通过分析电路发现, 13G、15G为A、B站间边界闭塞分区, 为解决改方时闪红光带问题, 与QJK-JS结合时修改了闭塞分区电路, 增加了XGJ1

继电器。15G-XG条件不再直接回送至13G-XGJ, 而是送至新增的XGJ1继电器1-2线圈, 驱动XGJ1继电器。XGJ1继电器吸起后, 通过第3、4组前接点将24V电源送至13G-XBJ, 作为XBJ条件。XGJ1继电器的3-4线圈则由GFZTJ(改方状态继电器)驱动, 在改方过程中使XGJ1保持吸起, 避免闭塞分区闪红光带, 如图3、4所示。

2) 从图3可以看出, 15G的XGJ和XGJ1继电器型号为JWXC-1700, JWXC-1700为电压型继电器, 可靠吸起值为直流16.8V。

3) 结合表1数据和图3电路, 当15G-XG电压为13V时, 15G-XGJ1如原在吸起状态, 则保持吸起, 13G-XGJ有24V电压, 不会出现红光带; 15G-XGJ1如原在落下状态, 则无法重新吸起, 造成13G-XGJ无电压, 导致13G红光带无法恢复。

4) 经过比对, 可以看出: 15G新增的XGJ1继

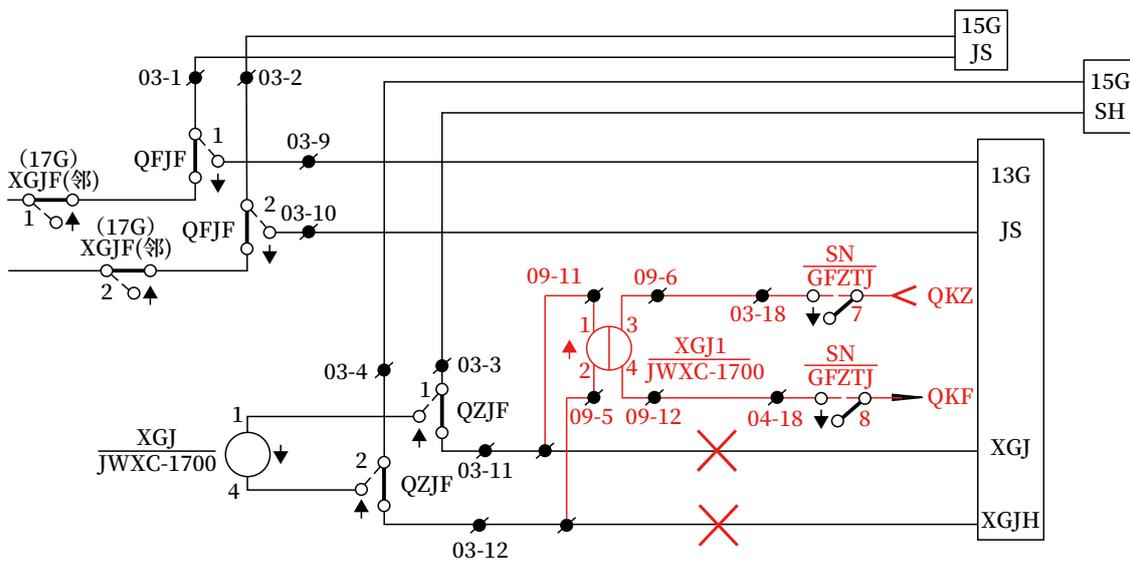


图3 15G XGJ1电路

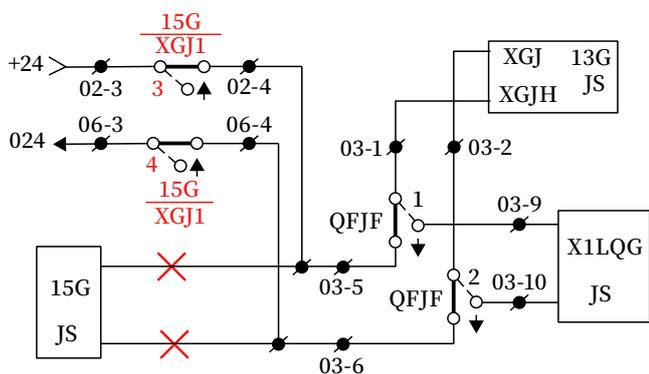


图4 13G XGJ电路

电器在使用上与XGJ有较大差别，XGJ为1-2、3-4线圈串联使用，XGJ1为分圈使用，负载阻抗较串联方式下降一半。根据衰耗器负载阻抗匹配特性，负载阻抗下降可能造成输出功率不足，最终导致输出电压下降。

5) 验证

a. 模拟单接收器使用，测试同为分圈使用的X1LQG-XGJ线圈电压为13V，而线圈串联使用的18G-XBJ线圈电压为26V。

b. 修改15G-XGJ1继电器线圈为串联，测试线圈电压恢复至26V，测试15G-XG电压恢复为26V。

c. 结论：通过以上测试、验证，可以确认XGJ1继电器分圈，负载阻抗降低（由1700Ω降为850Ω）导致衰耗器输出电压低为问题的真正原因。

4.2 18G断开15G接收器工作电源15G出现红光带问题分析

1) 15G为边界区段，其XBJ条件由邻站回送至XBJ（邻）继电器，本站通过XBJF（邻）前接点将+24V电源送至15G接收器主机和18G接收器并机，作为XBJ条件。

2) 断开15G接收器工作电源，测试15G-XBJ电压为0V，说明15G因主、并机均缺少XBJ条件而导致红光带。

3) 经过测试和配线检查，发现15G-XBJF（邻）前接点使用的+24V电源（送至15G接收器主机和18G接收器并机的XBJ条件）错误从15G接收器工作电源接引，当断开15G接收器电源时，会导致15G接收器主机和18G接收器并机均失去XBJ条件而停止工作，出现红光带，如图5所示。

5 应对措施

5.1 针对XGJ1继电器分圈使用问题

1) 修改15G-XGJ1继电器电路，将分线圈使用修改为串联线圈使用，如图6所示。

2) 修改13G-XBJ条件回送电路，将GFZTJ前接点与XGJ1前接点并联，改方时持续为13G提供XBJ条件，避免其出现闪红光带，如图7所示。

5.2 针对15G接收器主机和18G接收器并机XBJ条件使用电源问题

此XBJ条件电源需满足接收器主、并机独立工作要求，应使用本区段衰耗器并联主、并机接收器工作电源后输出的+24V，从C10（02-11）处接

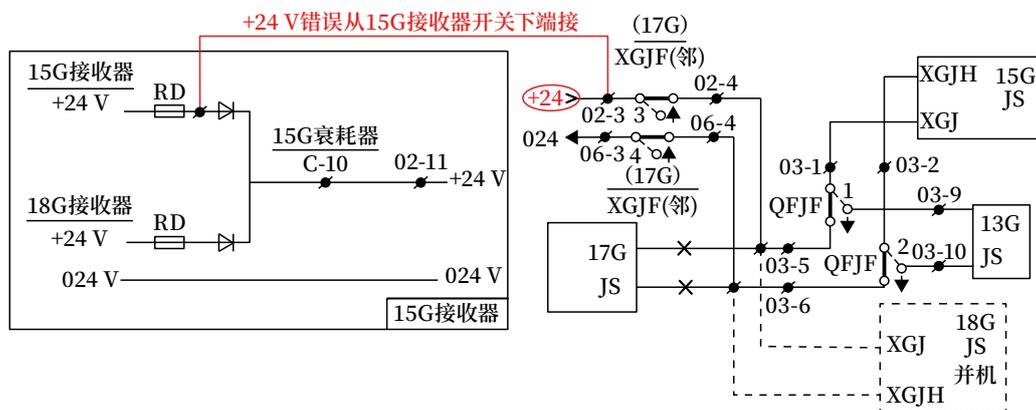


图5 15G接收器主机和18G接收器并机XBJ条件电源连接

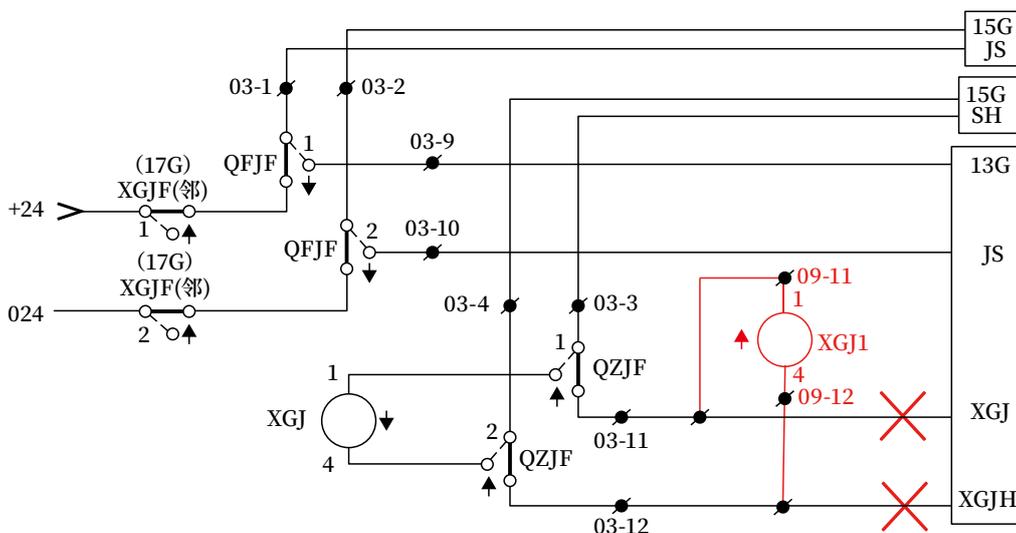


图6 15G XGJ1电路修改

在相同问题，经联系设计单位修改图纸并全部实施后，问题得到彻底克服。

6 几点建议

6.1 严把图纸设计关

建议 ZPW-2000 轨道电路、QJK-JS 系统设备厂家向设计单位提供技术图纸时，应对定型电路和需配套使用的器材作详细说明，对图中未标出具体引出位置各种电源应说明类型或指定引接位置；设计单位应严格按照设备厂家提供的技术图纸和说明进行设计，需修改定型电路、优化技术图纸或更换替代器材时，应征得设备厂家技术人员同意。

6.2 严把图纸审查关

施工、项目管理以及接管单位应组织专业人员

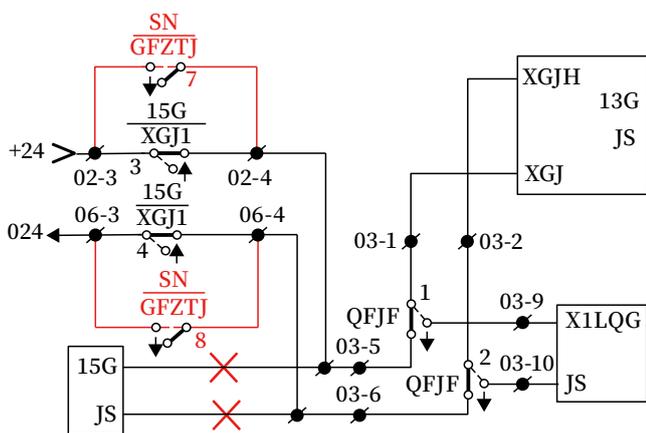


图7 13G XGJ电路修改

引，如图 8 所示。

5.3 针对本站、本线其他站问题

全面排查 A、B 站其他闭塞分区，以及本线同属增建二线工程的其他车站，发现边界闭塞分区均

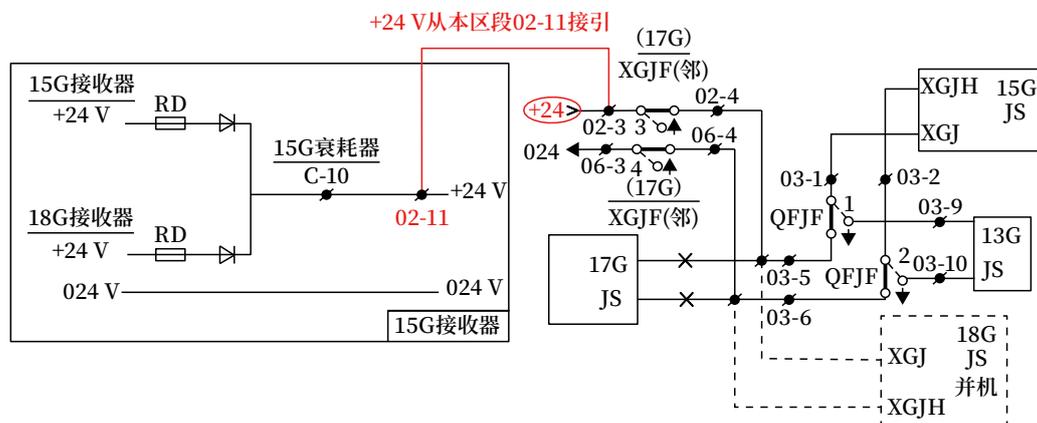


图8 15G接收器主机和18G接收器并机XBJ条件电源连接修改

严格审查施工图纸,对新增设备,特别是本单位管内首次使用的设备应详细审查,彻底弄清电路原理;对 ZPW-2000 轨道电路、QJK-JS 系统等系统间结合电路,应仔细核对设备、器材类型,确保系统间结合电路图纸正确。

6.3 严把施工质量关

施工单位应加强管理,监理单位加强检查,接管单位应提前介入,对 ZPW-2000 轨道电路室内外施工须安排专业人员盯控,包括设备安装,确保设备安装正确;在进行放线、配线、焊线作业时,应一人作业一人核对,确保配线正确,质量、工艺达到要求,确保施工质量。

6.4 严把验收质量关

监理及接管单位要把好验收质量关,将安全隐患消除在设备开通上线运用前。验收时,除验收施工单位工作质量和测量对地绝缘等参数外,还需按照图纸逐一核对各种设备配线,对 ZPW-2000 轨道电路、QJK-JS 等出厂定型设备配线也需核对,由专人负责检查,确保配线图物一致,检查、验收资料要记名存档备查。

6.5 严把联锁试验关

接管单位应把好设备开通前的联锁试验关,落实联锁纪律要求,按照规定项目进行彻底试验,试验项目未完成、联锁关系未百分之百正确,严禁开通使用;对 ZPW-2000 轨道电路,除规定试验联锁关系项目外,还应对发送器、接收器工作电源和主、并机接收器工作时各部电气参数进行测试检查,确保设备联锁关系正确,电气特性符合标准。

6.6 严把日常维护关

接管单位是最终设备管理单位,在开通前应充分利用施工介入、检查、验收等有利时机,开展人员学习培训,熟悉新设备性能特点及维护要求,提高开通后设备的维护质量;同时,要针对新设备、新技术可能出现的疑难问题进行预判,建立完善应急预案,一旦发生故障,应尽快处理好恢复行车。

参考文献

- [1] 胡飞龙. ZPW-2000A 型轨道电路设备原理与应用 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2016.
- [2] 陈祥鹤. ZPW-2000A 系统故障排查处理 [J]. 中国新技术新产品, 2019 (23): 87-88.
- [3] 马进华. ZPW-2000A 型无绝缘移频自动闭塞轨道电路故障分析 [J]. 电子制作, 2013 (6): 17.
- [4] 吉王毅. ZPW-2000A 自动闭塞站间联系电路改进 [J]. 科技与企业, 2015 (4): 196.
- [5] 赵毅仁. 沪昆线 QJK-JS 型区间综合监控系统维护技术的研究 [J]. 中国新通信, 2016, 18 (11): 48-50.
- [6] 中华人民共和国国家铁路局. ZPW-2000 轨道电路技术条件: TB/T 3206-2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
- [7] 康特立. ZPW-2000A 型无绝缘移频自动闭塞进站口单区段轨道电路故障分析 [J]. 内蒙古科技与经济, 2008 (2): 75, 78.

(收稿日期: 2023-07-13)

(修回日期: 2023-09-21)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.Z1.010

利用轨道电路监测数据分析供电作业车 占用丢失方法

赵建达

(国能新朔铁路有限责任公司大准铁路分公司, 内蒙古自治区鄂尔多斯 010300)

摘要: 介绍某线区间上行线供电作业车发生占用丢失的概况。利用轨道电路监测系统数据并结合现场调查的情况、轨道电路调整情况、区段测试情况, 供电作业车与重载列车分路对比进行分析, 并对占用丢失的原因进行分析, 提出了处理措施及建议。

关键词: 轨道电路; 占用丢失; 故障分析

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)Z1-0042-05

Method for Analyzing Occupation Loss of Power Supply Operation Vehicle by Utilizing Track Circuit Monitoring Data

Abstract: This paper introduces an overview of the occupation loss of the power supply operation vehicle on the up line of a certain line section. By using the data from track circuit monitoring system and combining it with the field investigations, the adjustments to track circuits, the section tests, and the comparison between the shunting of the power supply operation vehicle and the heavy haul train, this paper analyzes the causes of the occupation loss, and puts forward the treatment measures and suggestions.

Keywords: track circuit; occupation loss; fault analysis

1 问题描述

某供电作业车在某线区间运行时, 发生占用丢失的情况, 分路残压超过 140 mV。调取轨道电路监测数据显示, 供电作业车经过发生占用丢失的区段, 前次重载列车经过该次占用丢失区段时, 未出现占用丢失情况, 后次重载列车经过该次占用丢失区段时,

也未出现占用丢失情况。具体统计情况如表 1 所示。

2 故障分析

2.1 供电作业车调查情况

供电作业车为单机列车如图 1 所示, 车辆自身重量较轻, 轮对有锈蚀情况, 轮对与钢轨踏痕存在不完全接触的情况。

表1 统计发生占用丢失区域区段分路残压情况

列车	中继站										
	2253G	2239G	2227G	2215G	2203G	2189G	2177BG	2177AG	2165G	2153G	2139G
供电作业车	正常	206 mV/ 占用丢失	180 mV/ 占用丢失	212 mV/ 占用丢失	223 mV/ 占用丢失	179 mV/ 占用丢失	正常	185 mV/ 占用丢失	正常	正常	正常
重载车	正常	正常	正常	正常	正常	正常	正常	正常	正常	正常	正常



图1 供电作业车轮对情况

2.2 轨道电路监测系统数据分析

调阅轨道电路监测数据，发现本次供电作业车经过占用丢失区域时，轨道电路分路残压曲线基本相同，因此选择中继站处供电作业车运行的监测数据进行分析，情况如下。

1) 区段分路残压曲线

a. 供电作业车占用丢失轨道电路区段分路情况

供电作业车依次通过 2227G、2215G、2203G，3 个区段的分路曲线如图 2 所示，在 3 个区段均出

现分路残压升高情况。

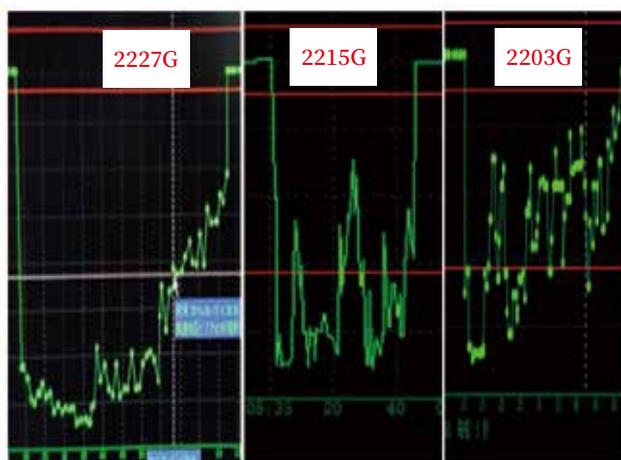


图2 供电作业车依次通过区段分路残压情况

2227G、2215G、2203G 这 3 个占用丢失区段的残压最高 223 mV，最小残压 180 mV，轮对在出清本区段时，轮对减少残压升高。

b. 重载列车经过占用丢失区域时轨道电路区段分路情况

重载列车通过时，对应各区段分路正常，如图 3 所示。

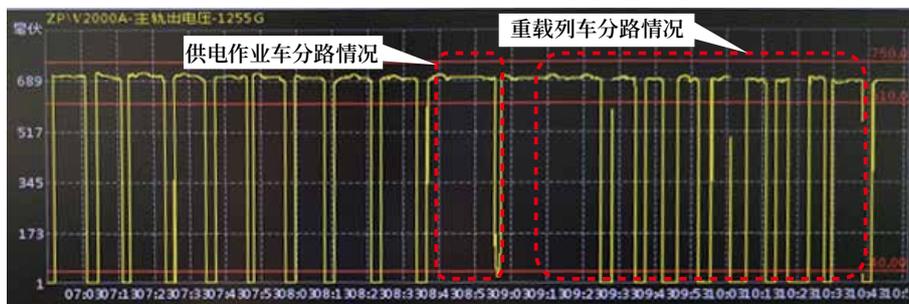


图3 重载列车与轨道作业车经过区段时情况

重载列车在进入轨道电路各区段时，分路残压低于供电作业车。

c. 小结

2227G、2215G、2203G 在供电作业车经过时，均出现轨道电路分路残压高的情况，在其前次和后次重载列车经过此 3 个区段时，均能正常分路。相较于供电作业车，重载列车重量大、轮对多，在同一段内分路情况更好。

2) 区段功出电流曲线

区段分路残压高时的发送器功出电流变化幅度，

明显低于区段残压低时的功出电流变化幅度。

小结：功出电流变化大小能反应区段轨面分路电阻情况，功出电流变化越大，分路电阻越小。

3) 区段小轨出电压曲线

供电作业车进入本区段的小轨道时，小轨道也未出现占用情况，反映出分路电阻大的现象。小轨出电压在列车进入小轨道时不能被有效短路，小轨出电压无明显占用曲线，分路电阻较大。供电作业车分路不良时正常占用的区段小轨出如图 4 所示。

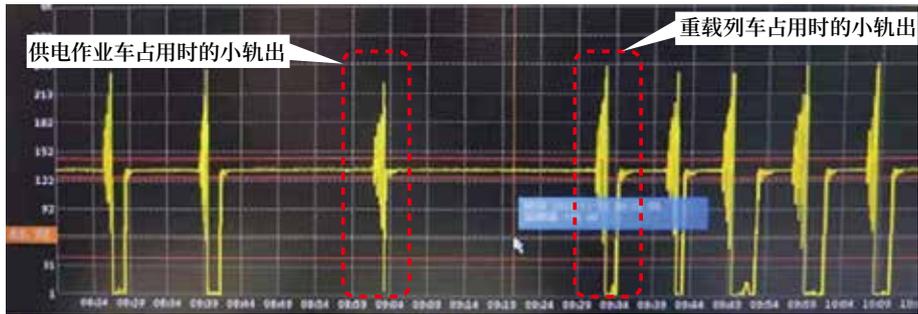


图4 供电作业车分路不良时与正常占用的区段小轨出情况

2.3 现场调查

利用天窗点对出现占用丢失现象较严重的2203G进行了现场调查。

1) 气候情况

供电作业车占用丢失时晴天，道床情况良好。

2) 钢轨情况

钢轨为60 kg规格钢轨，钢轨踏面光亮，未见生锈情况。

供电作业车分路不良时钢轨如图5所示。



图5 供电作业车分路不良时钢轨情况

2.4 轨道电路调整情况

占用丢失轨道区段调整情况如表2所示。

表2 占用丢失轨道区段调整情况

序号	区段	载频/Hz	区段长度/m	发送等级	实际接收等级	调整表接收等级	是否占用丢失
1	2239G	2 300	1 258	3	93	63	是
2	2227G	1 700	1 258	3	98	91	是
3	2215G	2 300	1 210	3	83	60	是
4	2203G	1 700	1 225	3	118	86	是
5	2189G	2 300	1 350	3	58	61	是
6	2177BG	1 700	1 240	3	72	91	否
7	2177AG	2 300	735	4	65	54	是
8	2165G	1 700	1 300	3	87	95	否
9	2153G	2 300	1 280	2	64	63	否
10	2139G	1 700	1 320	3	88	95	否

1) 接收电平调整情况

a.2239G、2227G、2215G、2203G以及2177AG的接收电平高于调整表接收电平，全部出现占用丢失；

b.2177BG、2165G、2153G、2139G的接收电平等级与调整表电平等级基本一致或低于调整表电平等级，区段分路正常。

2) 分路不良区段电缆的补偿情况

分路不良区段电缆补偿情况如表3所示。

调查发现2227G、2215G实际电缆长度和补偿电缆长度没有达到电缆总长度10 km的标准，因此也导致轨道电路轨出值在同等条件下轨出值偏高，相对应的分路残压也会偏高。

2.5 区段测试情况

1) 区段调整分路情况

使用扭矩扳手将0.15 Ω分路线固定在2203G

表3 分路不良区段电缆补偿情况

序号	区段	线路类型	电缆情况				电缆总长 /km	
			信号电缆长度 /km		补偿电缆长度 /km		发送端 /km	接收端 /km
			发送端 /km	接收端 /km	发送端 /km	接收端 /km		
1	2227G	有砟路基	3.71	5.06	4.5	4.5	8.2	9.5
2	2215G	有砟路基	2.27	3.58	6.5	5.5	8.2	9.0

区段钢轨上，在距离发送端 30 m 处进行分路，情况如表 4 所示。

表4 分路残压测试情况

测试项目	分路残压 /mV
0.15 Ω 分路	145

2203G 区段轨道电路 0.15 Ω 标准分路电阻分路时，残压为 145 mV，分路残压偏高，容易出现占用丢失。

2203G 现场分路测试如图 6 所示。

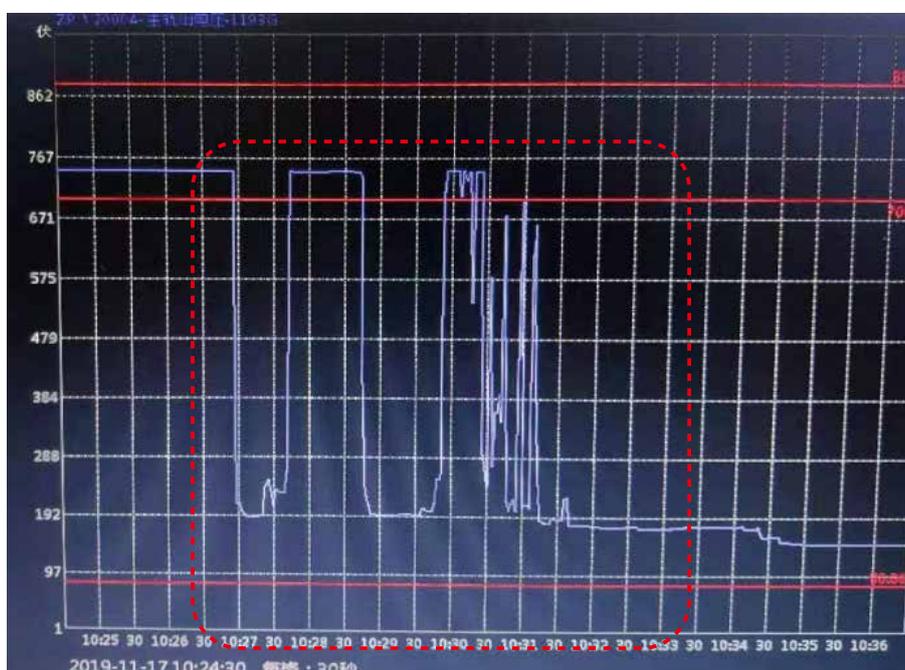


图6 2203G现场分路测试情况

2) 小结

由于 2203G 区段接收电平级比调整表接收电平级高，导致标准分路电阻分路时，残压达到了 145 mV，超出《普速铁路信号维护规则技术标准》要求的分路残压不应大于 140 mV 的上限，易造成分路不良现象。

2.6 供电作业车与重载列车分路对比分析

关于分路电阻如下分析：

单轴分路电阻 = 轮轴电阻 + 轮轨接触电阻

$$\text{列车分路电阻} = \frac{\text{单轴分路电阻}}{\text{轴数}}$$

供电作业车分路电阻等效图及分路性能示意图 7 所示。

对于供电作业车，重量轻轮对少以 4 根为例。对于重载列车以 100 节车厢轮对数量为 400 根进行对比。供电作业车的分路电阻约为重载列车分路电阻的 100 倍。因此，在分路时重载铁路列车的分路电阻值会远小于供电作业车的分路电阻值，在同一个轨道电路区段或区间内供电车更容易出现分路不良得情况。

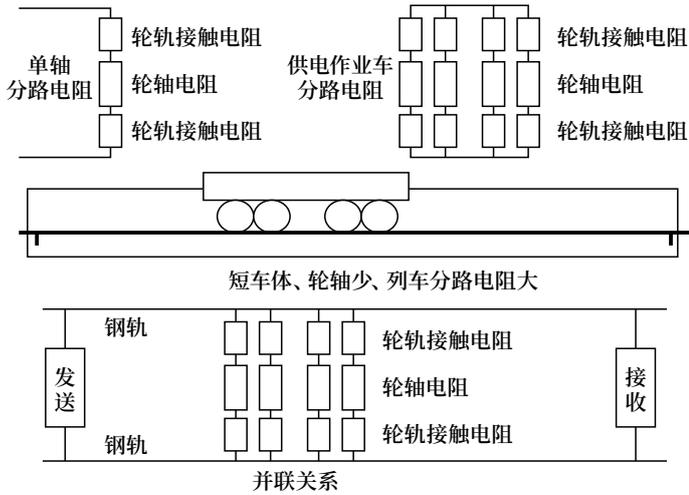


图7 供电作业车分路电阻等效图及分路性能示意

3 结论

1) 供电作业车重量轻、轮对少，分路电阻较大。因此，作业车更容易发生分路不良。

2) 2227G、2215G、2203G 等区段轨道电路接收电平级调整偏高，导致供电作业车通过时分路残压过高，出现占用丢失。

(上接 6 页)

等因素。通过优化电路结构、增加时间继电器、增加漏解锁区段 GJ 状态软件延时判断等，在确保安全情况下进行软、硬件逻辑的优化，可降低不解锁问题发生率，减少对运输的干扰。

参考文献

[1] 中华人民共和国国家铁路局. 轨道电路系统 25 Hz 相敏轨道电路: TB/T 2853-2018[S]. 北京: 中华人民共和国国家铁路局, 2018.
 [2] 中华人民共和国国家铁路局. ZPW-2000 轨道电路技术条件: TB/T 3206-2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
 [3] 中国铁路总公司. ZPW-2000 系统无绝缘轨道电

4 措施及建议

针对出现的分路残压较高情况，建议按照 ZPW-2000A 轨道电路调整表进行标准轨道电路调整，降低分路不良发生概率。

参考文献

[1] 徐宗奇. ZPW-2000A 轨道电路分路不良技术分析与研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16 (Z1): 53-58.
 [2] 许明. ZPW-2000A 轨道电路设备间通信故障处理方法浅析[J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16 (Z1): 100-105.
 [3] 谢文磊, 李言. ZPW-2000A 轨道电路占用丢失问题的分析与探讨[J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (9): 104-106, 111.

(收稿日期: 2023-07-17)

(修回日期: 2023-09-11)

路设备: Q/CR 489-2015[S]. 北京: 中国铁路总公司, 2015.

[4] 中国铁路总公司. 自动闭塞区间继电式逻辑检查技术条件: Q/CR 603-2017[S]. 北京: 中国铁路总公司, 2017.
 [5] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路车站计算机联锁技术条件: TB/T 3027-2015[S]. 北京: 中华人民共和国国家铁路局, 2015.
 [6] 中华人民共和国国家铁路局. 轨道电路通用技术条件: TB/T 2852-2015[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2015.

(收稿日期: 2023-05-18)

(修回日期: 2023-09-21)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.Z1.011

ZPW-2000R移频自动闭塞及站内电码化 调试方法

孙 艺

(中国铁路武汉局集团有限公司襄阳电务段, 湖北襄阳 441100)

摘要: ZPW-2000R 无绝缘移频自动闭塞是辅助调度来进行地面线路行车许可信息、实现列车占用检查的设备, 其是否可以平稳安全的运行直接影响到调度的效率及铁路的安全性。探讨了一些关于 ZPW-2000R 移频自动闭塞及站内电码化的调试方法。

关键词: ZPW-2000R; 移频自动闭塞; 站内电码化; 调试方法

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)Z1-0047-03

Methods for Debugging ZPW-2000R Frequency-shift Automatic Block and Track Circuit Coding in Station

Abstract: ZPW-2000R automatic block with jointless shift frequency is an auxiliary dispatching device to carry out trackside Movement Authority information of lines and to realize train occupancy check. Whether it can run smoothly and safely directly affects the dispatching efficiency and railway safety. This paper discusses some methods for debugging ZPW-2000R frequency-shift automatic block and track circuit coding in station.

Keywords: ZPW-2000R; frequency-shift automatic block; track circuit coding in station; debugging method

1 概述

随着国内社会的进步和经济的发展, 国内的交通运输业也得到了长足发展。国内的交通运输主要是依靠铁路、飞机、汽车三种不同的交通形势来进行。其中, 铁路在国内的交通运输方式中应用的最早且目前覆盖率最高, 可以说铁路已经成为国内长途运输中最为常用的一种交通运输方式。铁路的经济性能良好, 在三种不同交通运输工具中铁路的运输成本最低, 并且在效率和稳定性方面都有着不错的表现。但对庞大的铁路系统进行调度工作也是极为复杂的工作。

ZPW-2000R 无绝缘移频自动闭塞是辅助调度来进行地面线路行车许可信息、实现列车占用检查的设备, 其是否可以平稳安全的运行直接影响到调度的效率及铁路的安全性。但目前国内对于 ZPW-2000R 移频自动闭塞及站内电码化调试方法研究还不够透彻。因此, 本文探讨了一些关于 ZPW-2000R 移频自动闭塞及站内电码化的调试方法。

2 ZPW-2000R移频自动闭塞及站内电码化系统的作用

ZPW-2000R 移频自动闭塞及站内电码化系统

其本身是由国内从法国引进而来的，该系统是为了国内的高铁建设而引进的，它对国内铁路运输的高效、高速、高安全性提供了保障。ZPW-2000R 移频自动闭塞及站内电码化系统是一套在国际上也处在优势地位的先进列车运行指挥系统，其不仅具有着其他列车运行指挥系统所具备的优点，还可以实现对整个列车行驶过程中的电气折断进行检查，以防止各类因为电气原因引起的安全事故，并且其对于分路死区的检查精确到了 5 m。这样的精确度使得由于分路死区所引发的事故率大大降低。因此，如何对 ZPW-2000R 移频自动闭塞及站内电码化系统进行调试，使其功能更加稳定和精确是国内铁路部门的当务之急。

3 调试实施方案

对 ZPW-2000R 移频自动闭塞及站内电码化系统的调试工作，本文从设备调试程序、设备调试内容、站内电码化调试、信号机单点试验、室内室外设备单点试验及整体排空试验来具体进行详细说明。

3.1 设备调试程序

对于 ZPW-2000R 移频自动闭塞站内电码化系统的调试工作而言，需要按照一定的程序进行，而不是由调试人员随意制定。调试程序应该按照一定规律进行从始至终地进行调试。设备调试程序具体分为以下 3 步。

- 1) 调试站内电码化设备、校准轨道电路模拟盘、对发送数据进行测试、进行联锁试验；
- 2) 对室内、室外设备进行单点试验：单点试验包括室内设备的模拟试验、室外设备的审核校对、信号机单机送电试验，检查室内室外设备连接；
- 3) 排空试验，整体调试原设备与新连接的设备。

3.2 设备调试内容

设备调试的内容要比设备调试的程序更加具体。室外设施调试主要是对设施的可靠性进行测验之后进行必要的调试。其主要包括以下 3 个方面。

- 1) 通道的导通测试：确保各个通道正常通畅；

接着是对各类室外设备进行校对和核查，以确保设备处于正常运行状态；然后是进行各类设备的单独送电试验，这是为了确保每个设备都没有故障，因为一旦整体送电后设备出现细微问题很难被察觉，只有通过单独送电试验才能准确找到问题所在。

2) 联锁系统试验：联锁系统对于铁路的安全性至关重要，可以说是必不可少的程序。因此，对联锁系统的试验也应该给予足够的重视。联锁试验主要包括核对信号、检查调谐区断路、灯丝断线报警、信号灯降级显示、红灯灭灯前移、轨道电路室内信号测试、方向电路测试、模拟列车运行时相关信号测试等。

3) 排空试验：在“天窗”点内，将钢轨与室外轨道电路设备连接，并按照正式运行的方式进行联锁试验。这个过程是为了确保设备在实际运行中的稳定性和可靠性。

总之，设备调试的内容非常具体，包括室外设施调试、联锁系统试验和排空试验等多个方面。这些调试工作对于保证设备的正常运行和铁路的安全性至关重要。

3.3 站内电码化调试

站内电码化调试分为以下 3 步：

- 1) 根据轨道区段的设计图纸制作模拟盘。在这个过程中，使用模拟开关来控制轨道电路区域内的继电器；
- 2) 将轨道电路的主、备发送器电源逐一打开，测试功出电压、功出载频和低频信息；
- 3) 通过移动模拟开关控制来模拟列车接、发车进路。同时测试本区段的发码信息以及邻区段的预叠加发码信息，检查相关进路内 DGCJ 动作的时机。

3.4 室内、室外设备单点试验

室内、室外设备的单点试验分为以下 4 步：

- 1) 根据调整表将每个区段的发送电平级、接收电平级逐一配好，并将电缆补偿至 10 km；
- 2) 将每一个设备分别接入电源，并在 5 s 后启动。启动后，检查接收盒的工作状态，主要检查指

标是指示灯是否正常点亮；

3) 拨动上、下行信号机按钮，分别测试直股接车、侧线接车、引导接车、直股通过等状态下载频和低频信息；

4) 拨动各区段按钮，核对各区段的信息是否正确，并将所有测试结果进行记录。

3.5 整体排空试验

整体排空试验是整个调试阶段的最后一个阶段，该阶段的前提是引入新设备到系统中。排空试验的目的是为了排除一切可能干扰新设备状态的因素，在确保没有任何可能影响新设备状态的因素后，将新设备临时接入钢轨进行试验，具体分为2步。

1) 检查新设备是否能够满足联锁系统的要求，并在必要时与其他设备协调工作；

2) 在测试完成后，对各种数据进行总结，如入口短路电流应满足表1要求。

表1 钢轨最小短路移频电流

载频 /Hz	最小钢轨短路电流 /mA
1 700	500
2 000	500
2 300	500
2 600	450

4 结论

ZPW-2000R 移频自动闭塞及站内电码化调试对于铁路运行系统的可靠性和安全性都有着极为重要的意义，应当深切地意识到国内目前铁路的发展已经由原本的大规模普及向效率、安全方向倾斜，

高铁技术的出现使得国内铁路事业发生了颠覆性地变化，也是未来国内铁路发展的必然趋势。因此，我们必须对 ZPW-2000R 移频自动闭塞及站内电码化调试工作更加重视，从而确保国内高铁的运行效率和安全性。

参考文献

- [1] 张立东. ZPW-2000A 移频自动闭塞施工的重点和难点 [J]. 中国科技财富, 2009 (8): 73, 76.
- [2] 马进华. ZPW-2000A 型无绝缘移频自动闭塞轨道电路故障分析 [J]. 电子制作, 2013 (6): 17.
- [3] 赵自信. ZPW-2000A 无绝缘移频自动闭塞系统的技术综述 [J]. 铁路通信信号设计, 2003 (Z1): 12-19.
- [4] 梁晓露. ZPW-2000A 无绝缘移频自动闭塞模拟试验 [J]. 科学之友, 2008 (5): 124-125.
- [5] 中国铁路总公司. 高速铁路信号维护规则技术标准部分 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2016.
- [6] 李实. ZPW-2000R 型无绝缘移频自动闭塞系统 [J]. 铁道通信信号, 2007, 43(9): 21-22.
- [7] 蔡伟红, 姜军, 赵拂明. ZPW-2000R 无绝缘移频自动闭塞系统 [J]. 铁道通信信号, 2013, 49(11): 40-41.
- [8] 樊锋刚. 浅谈 ZPW-2000R 移频自动闭塞模拟试验方法 [J]. 城市建设理论研究, 2012(8): 1-5.

(收稿日期: 2023-06-28)

(修回日期: 2023-09-21)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.Z1.012

ZPW-2000A轨道电路分路超限报警问题 案例分析

张良军

(中国铁路武汉局集团有限公司武汉电务段, 武汉 430023)

摘要: 对某车站出现的分路超限报警问题作为典型案例, 通过现场的模拟分路测试与数据监测, 分别从时域与频率两方面对列车分路超限报警问题进行了分析, 将调整、正常分路与分路超限三种情况的功出电压、轨面电压、主轨入和主轨出电压波形进行了对比, 最终得出故障原因及改进方案。

关键词: 分路超限; 时域分析; 频谱分析

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)Z1-0050-04

Case Analysis of ZPW-2000A Track Circuit Shunting Overrun Alarm Problem

Abstract: Taking the shunting overrun alarm problem in a station as a typical case, through on-site simulation shunting test and data monitoring, the train shunting overrun alarm problem is analyzed in terms of both time domain and frequency. The power output voltage, rail surface voltage, main rail input and main rail output voltage waveforms are compared for three scenarios, including adjustment, normal shunting and shunting overrun. Finally, the cause of the fault is determined and the improvement plan is proposed.

Keywords: shunting overrun; time domain analysis; frequency spectrum analysis

1 概述

轨道电路是高铁控制系统的重要组成部分, 其作为检查列车占用的关键信号设备, 关系到高铁的行车安全和运输效率^[1-2]。当列车分路时, 若分路电压超过分路门限值, 则会发生报警。在列车正常分路时若产生分路超限报警, 则会降低铁路运输效率。针对某车站站内 1G 列车正常分路时的分路超限报警问题, 将其作为典型案例进行分析。

2 案例

某车站 1G 每天停靠 5 趟列车的时间分别为 09:51、10:46、13:43、20:40、22:43。其中 09:51 的列车每次停靠时主轨出分路超上限报警、13:43 的列车偶发主轨出分路超上限报警。

3 现场测试

3.1 模拟分路测试

在现场进行分路测试, 在发送端和接收端分别

进行 $0.15\ \Omega$ 分路电阻分路，并记录数据，如表 1 所示。

表1 分路测试

分路位置	分路残压 /mV
送端	43.2
受端	38.5

由上表数据可以得出，在分路正常时，轨面送端与受端的分路残压在 $30 \sim 40\ \text{mV}$ 左右，不会产生分路超限报警。

3.2 分路数据监测

在衰耗器面板上分别用无线干扰监测智能分析仪与 ME2000P 接入轨道电路系统中，并对功出电压、轨面受端电压、轨入电压和轨出电压进行测试。

4 故障数据分析

4.1 时域曲线分析

1) 室内功出、轨入、主轨出电压

室内监测情况如图 1 所示。由图 1 可得，此车站 1G 在 09:50、10:43 和 13:32 进行了三次分路。功出电压曲线始终保持平稳，不随分路的情况而波动。轨入曲线和主轨出电压都随着分路的发生而降低，然而在分路期间发生了残压升高的现象。



图1 室内功出、轨入、主轨出电压曲线

在第一次分路的电压情况曲线如图 2 所示。在分路期间，产生残压的波动，在 10:02 和 10:04 分别达到两个峰值。在 10:02 时，主轨出电压且 $308\ \text{mV}$ ，在 10:04 时，主轨出电压为 $300\ \text{mV}$ 。

从中可以看出：

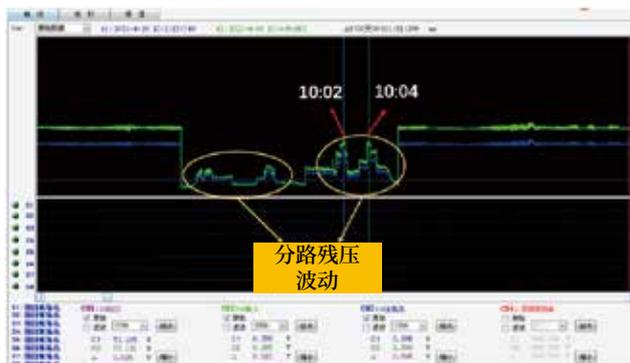


图2 第一次分路室内功出、轨入、主轨出电压曲线

a. 分路残压超过标准值 $153\ \text{mV}$ 的分路门限，因此会发生分路超限报警。

b. 主轨出电压甚至超过轨道电路吸起门限 $240\ \text{mV}$ 但 GJ 没有吸起，没有出现占用丢失，说明该信号不是轨道电路信号。

2) 受端轨面电压

轨面电压曲线如图 3 所示。由受端轨面电压监测曲线可看出，在 09:50、10:43 和 13:32 进行了 3 次分路。

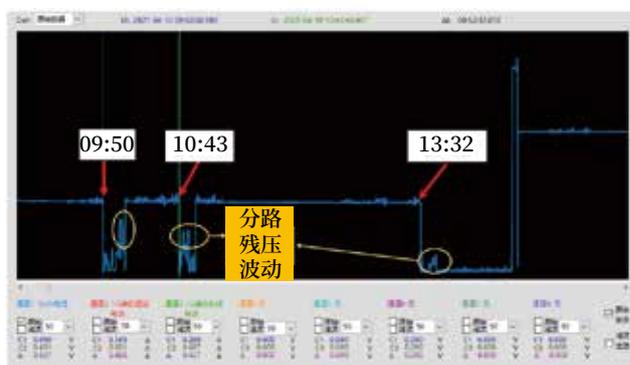


图3 受端轨面电压曲线

由上图可得，第一次分路的分路残压最高，因此，在进行第一次分路时会因分路超限而产生报警。在 10:02 与 10:04 时，分路残压分别达到 $471\ \text{mV}$ 与 $481\ \text{mV}$ ，第一次分路残压曲线如图 4 所示。

综上，功出电压稳定，而室内的主轨入与主轨出电压、室外的受端轨面电压同步波动，说明该波动来源于室外，与轨道电路发送端无关。

4.2 频域分析

1) 轨道电路正常信号

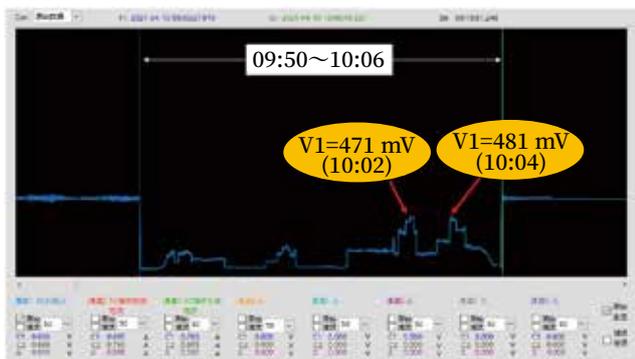


图4 第一次分路受端轨面电压曲线

轨道电路正常信号为 FSK 信号，移频信号的频谱是以载频为中心，以调制频率为间隔向两边展开，调制频率越高，其频谱就越分散，信号的频带就越宽。ZPW-2000 轨道电路的调制 m 较小，所以其频谱属于单峰谱的情形^[3-5]。此车站的频域波形为关于中心载频（1G 载频为 1 701.4 Hz）对称分布的边频分量，两相邻边频的间隔等于低频值（1G 低频为 26.8 Hz），如图 5 所示。

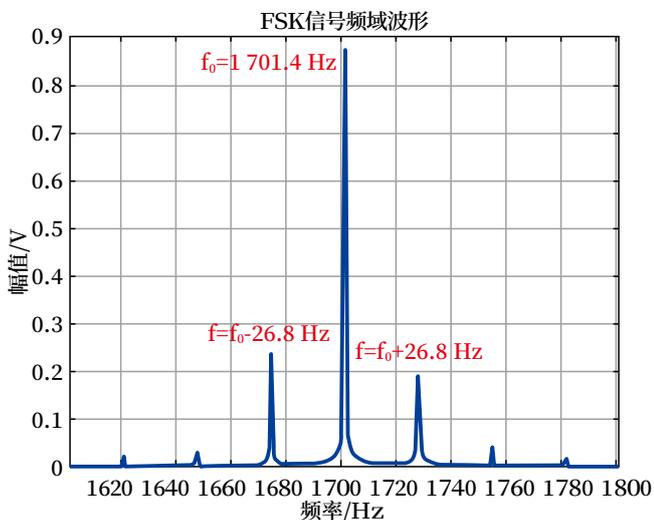


图5 轨道电路正常频域信号

当轨道电路未进行分路时（09:35），功出、轨入、主轨出的频域如图 6 所示。由图 6 可看出，系统在 1 701.4 Hz 处的分量最大，在 1 674.6 Hz 和 1 728.2 Hz 处的分量次之。

通过分析调整状态时的轨出和轨面电压频域波形，可见其波形与理论波形相同，都具有明显 FSK



图6 未分路时功出、轨入、主轨出频域

信号特征。

2) 分路正常时信号特征分析

当轨道电路分路正常时（09:55），室内功出、轨入、主轨出电压的频域如图 7 所示。由图 7 可看出，室内功出电压在 1 701.4 Hz 处具有最大分量，轨入、主轨出及受端轨面电压均很小接近于 0。



图7 分路正常时功出、轨入、主轨出频域

3) 报警时刻信号特征分析

当轨道电路分路报警时（10:04），室内功出、轨入、主轨出的频域如图 8 所示。由图 8 可看出，室内功出电压在 1 701.4 Hz 处具有最大分量，轨入及主轨出在 1 750 Hz 下出现最大的分量，且轨入电压分量为 383 mV。

由上述分析可得，分路报警时的信号特征不是轨道电路 FSK 信号，是工频的 35 次谐波（1 750 Hz）。

4.3 小结

通过分析报警时刻的室内外波形频谱，并与正



图8 分路报警时功出、轨入、主轨出频域

常的轨道电路 FSK 信号对比, 得出此车站内的轨道电路系统正常工作, 没有产生故障, 引起报警的该信号是 1 750 Hz 的牵引谐波 (35 次工频谐波)。

5 结论

通过上述分析可知, 某车站 1G 的分路时超限报警问题不是轨道电路自身故障引起的, 而是由室外的 1 750 Hz 的牵引谐波分量引起的。

由于监测曲线取的是带内信号 (± 50 Hz) 的有效值, 所以该信号会引起监测曲线波动; 但该信号不具备 FSK 信号特征, 接收器不会识别, 不会导致轨道继电器吸起。

解决此分路超限问题需要查找干扰源, 干扰源可能来源有: 牵引网、电力机车、与钢轨长距离其并行的供电电缆等。

参考文献

- [1] 赵自信. ZPW-2000A 无绝缘移频自动闭塞系统的技术综述 [J]. 铁路通信信号设计, 2003 (S1): 12-19.
- [2] 杨仲卿. 轨道电路分路残压定压测试器校准方法探讨 [J]. 铁道技术监督, 2007, 35 (6): 30-32.
- [3] 郭红星. 轨道电路 FSK 移频信号参数检测方法研究与实现 [D]. 西安: 西安工业大学, 2011.
- [4] 赵胜凯, 邱宽民, 赵明. 在调幅干扰下的 UM71 轨道电路信号的频域识别 [J]. 铁道学报, 2001, 23 (2): 109-111.
- [5] 陈姝姝, 田慕琴, 宋建成. 基于 FSK 的 ZPW-2000A 轨道电路仿真研究 [J]. 现代电子技术, 2018, 41 (20): 57-59, 64.
- [6] 中华人民共和国国家铁路局. ZPW-2000 轨道电路技术条件: TB/T 3206-2017 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
- [7] 宋秀秋. 轨道电路分路不良问题应对策略 [J]. 减速顶与调速技术, 2021 (3): 10-11, 16.
- [8] 崔勇, 唐乾坤, 杨世武. 基于调整表优化的轨道电路牵引电流干扰防护研究 [J]. 铁道学报, 2018, 40 (12): 71-80.

(收稿日期: 2023-06-20)

(修回日期: 2023-09-21)

(上接 12 页)

- [6] 中华人民共和国国家铁路局. 高速铁路设计规范: TB 10621-2014 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2015.
- [7] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路信号设计规范: TB 10007-2017 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
- [8] 中华人民共和国铁道部. 铁路车站电码化技术条件: TB 2465-2010 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2010.

- [9] 中国国家铁路集团有限公司. CTCS-3 级列控车载设备技术规范: Q/CR 744-2020 [S]. 北京: 中国国家铁路集团有限公司, 2020.
- [10] 黄晓东, 朱伟. ZPW-2000 无绝缘轨道电路邻线干扰分析与处置 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17 (3): 101-104.

(收稿日期: 2023-03-23)

(修回日期: 2023-09-07)

轨道电路室外设备测试装置优化研究

范思阳¹, 李炳杰¹, 刘德州²

(1. 北京铁路信号有限公司, 北京 102613;

2. 中国船舶集团有限公司系统工程研究院, 北京 100048)

摘要: 目前, 用于轨道电路室外设备的测试装置种类繁多、部分测试装置年份较长, 经常出现故障, 极大地影响了生产效率。基于实际生产、测试中遇到的一些问题, 提出了一种针对轨道电路室外设备的集成优化测试装置, 可以将多种产品的测试功能, 简化集成在一个装置中, 通过简单、可视化的操作, 完成对轨道电路 11 种室外设备的测试工作。本装置测试结果经第三方机构计量认证后, 与原测试数据对比, 证实了该装置数据测量的准确性。本优化装置不仅使测试变得方便快捷, 更节省了测试时间与测试成本, 提高了生产效率。

关键词: 室外设备; 测试装置; 改进优化

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)Z1-0054-04

Research on Optimization of Test Device for Track Circuit Outdoor Equipment

Abstract: At present, there are many types of test devices available for outdoor products of track circuits. However, some of these test devices are old and frequently experience breakdowns, which greatly affect the production efficiency. Based on some problems encountered in actual production and testing, this paper presents an optimized device for testing outdoor products of track circuits. The test contents of several different products are simplified and integrated into one device. Through simple and visual operations, the tests for 11 types of outdoor equipment of track circuits are completed. The accuracy of the device's data measurement is verified by comparing the data with manual test data and third-party measurement verification. The optimized device not only makes the tests convenient and fast, but also saves the test time and costs, and improves the production efficiency.

Keywords: outdoor equipment; test device; improvement and optimization

1 概述

轨道电路是高铁信号系统的重要组成部分, 因运用环境的特殊性, 大部分室外设备具有不可监测、不易更换、不可维修的特点^[1]。室外设备主要包括调谐匹配单元、空心线圈、机械绝缘节空心线圈、

站内防雷匹配变压器、补偿电容、可带适配器的扼流变压器和适配器等^[2]。在生产制造和设备检修过程中, 常需要对这些设备进行检测。

针对生产测试中遇到的问题, 本文对调谐匹配单元、空心线圈、机械绝缘节空心线圈、站内防雷匹配变压器四部分共 11 种室外设备测试装置进行

了优化。此优化装置不仅使测试变得方便快捷，更节省了测试时间与测试成本，提高了生产效率。

2 现有室外设备检测方法

现有室外设备的测试装置均是单独开发且种类繁多，相互之间硬件无法共用，数据无法共享，已经不能满足产品批量测试的发展需求。因大部分室外设备都是由电感、电容、电阻、变压器等电气元件组成，所以，这些设备的测试内容主要包括阻抗测量、电压测量、电流测量、接点测量和温度测量等^[3]，具体的测试方法如下。

2.1 调谐单元和AB电感检测

如图1所示，调谐匹配单元由调谐单元、匹配单元和电感组成。设备出厂时，A、B间使用铜引接片连接。该调谐匹配单元用于机械绝缘节处时，须拆除A、B间铜引接片；用于电气绝缘节处时，须保持A、B间的铜引接片连接^[4]。调谐单元的测试是由法国 STA-200、STA-300 设备通过与 $0.1\ \Omega$ 标准电阻对比的方法，测量 V2、V3 两点间的电抗，完成调谐单元的极阻抗和零阻抗的检测。AB 电感是 ZPW-2000A 型轨道电路特有的参数，STA-200、STA-300 设备无法对其进行测试，目前主要由 TD1250 频响分析仪、功率放大器及相应的测试工装完成其实部与虚部的检测。

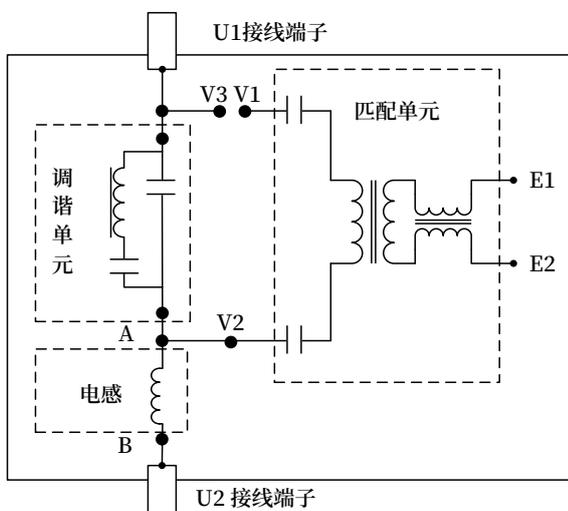


图1 调谐匹配单元原理

由上文可知，调谐单元和 AB 电感的检测至少需要 4 种测试装置，且 STA-200、STA-300 设备较为陈旧，每组数据的测试时间较长，功率放大器的放大倍数有限，且不可调节，已经不满足大批量、高效率的测试要求。

2.2 匹配单元检测

匹配单元分为站内防雷匹配变压器和防雷匹配变压器，两者测试原理相同。仅以站内防雷匹配变压器为例，说明测试方法，如图2所示。

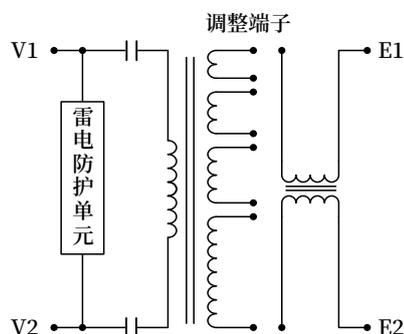


图2 站内防雷匹配变压器原理

该匹配单元中匹配变压器变比可调，根据站内道岔布置和载频信号的频率，依据调整表进行设置^[5]。V1、V2 连接轨道侧，E1、E2 连接电缆。匹配单元的变压器变比多为 1:9、1:12 和 1:13.5。匹配单元的测量由信号发生器、功率放大器及相应的测试工装完成，分别测量 40 Hz 和 2 000 Hz (1:9、1:13.5) / 2 600 Hz (1:12) 时，电缆侧的电压值。

与调谐单元测试遇到的问题类似，功率放大器放大倍数有限，且不可调节。测试工装体积庞大，携带不变，已经不满足高效率生产、测试的需求。

2.3 空心线圈和机械绝缘节空心线圈检测

空心线圈和机械绝缘节空心线圈的测量方法相似，都等同于一段电感的测量。将频响分析仪设置为固定的输出频率，空心线圈为 1 592 Hz，机械绝缘节空心线圈根据设备类型，选择相应的测试频率，可为 1 700 Hz、2 000 Hz、2 300 Hz、2 600 Hz 和 1 592 Hz。调整频响分析仪的输出电压，使通过 $0.1\ \Omega$ 无感标准电阻上的电流符合 $2\ \text{A} \pm 0.5\ \text{A}$ ；读取频响分析仪显示的实部、虚部折

算出电感、电阻值^[6]。

3 ME8500优化装置

由现有的测试方法可知，轨道电路调谐匹配单元、空心线圈、机械绝缘节空心线圈、站内防雷匹配变压器的测试，可以归结为归零阻抗、极阻抗、匹配单元、AB 电感及阻抗的测试。结合实际生产测试需求，本文设计了一套室外设备测试的优化装置，由麦科信公司生产，型号为 ME8500，可测试的产品明细如表 1 所示。

表1 ME8500可测调试产品明细

序号	产品名称	产品型号
1	调谐匹配单元	ZPW·PT/PT2-1700/2000/2300/2600
2	调谐单元	ZPW·T-1700/2000/2300/2600
3	防雷匹配变压器	ZPW·BPL
4	站内防雷匹配变压器	ZPW·BPLN
5	空心线圈	ZPW·XK
6	大电流空心线圈	ZPW·XKD
7	机械绝缘节空心线圈	ZPW·XKJ-1700/2000/2300/2600
8	大电流机械绝缘节空心线圈	ZPW·XKJD-1700/2000/2300/2600
9	有砟补偿调谐单元	有砟 ZPW·TB-1700/2000/2300/2600
10	无砟补偿调谐单元	无砟 ZPW·TB-1700/2000/2300/2600

3.1 设备组成

ME8500 轨旁传输设备测试装置包含设备明细如表 2 所示。

表2 ME8500包含设备明细

序号	设备名称	数量
1	测试装置主机	1
2	测试接口工装	1
3	4 芯直通线缆	1
4	6 芯直通线缆	1
5	4 芯鳄鱼夹线缆	1
6	5 芯开尔文夹线缆	1
7	负载切换遥控盒	1
8	电源线	1
9	USB 数据线	1
10	计算机	1

各设备连接方式如图 3 所示。

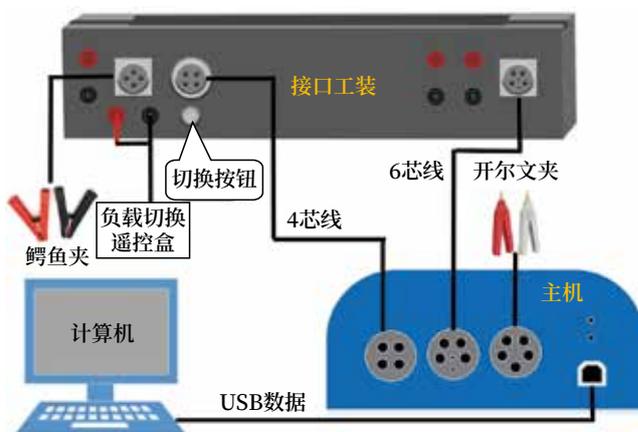


图3 ME8500轨旁传输设备测试装置各设备连接示意

3.2 测试方法

测试软件分为 3 个界面：分别为主页面如图 4 所示、测试信息填写页面如图 5 所示和测试页面如图 6 所示。



图4 ME8500测试软件主页面

主页面用来选择测试产品的型号和模式，可供选择的型号有 11 种（PT 和 PT2 测试方法完全相同），模式有两种，分别为：T- 测试模式和 D- 测试模式，针对不同的需求，进行出厂测试和调试检修。其中，测试部分还包括历史记录，可以查看以往的测试记录，避免了数据丢失的风险。

测试信息填写页面包含产品信息、测试项目和测试信息 3 个部分。其中，产品信息包含产品编号、版本号、测试频率和性能指标等功能。测试项目即归纳的 4 种测试类型：匹配变压器测试、调谐阻抗

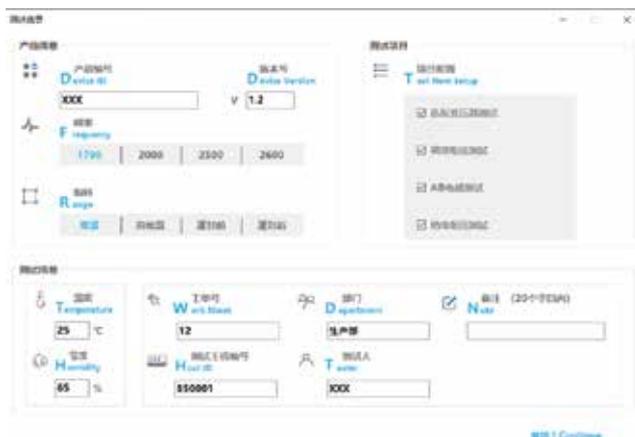


图5 ME8500测试信息填写页面



图6 ME8500调谐单元测试页面

测试、AB 电感测试和绝缘耐压测试，这 4 种测试类型，既可以单选，又可以多选，可以从不同角度，不同维度，对室外设备进行测试，提高了测试效率，满足了不同产品的测试需求。测试信息除了温度、湿度等环境要求，还增加了测试主机编号、工单号、部门、测试人及备注信息等便捷生产的要素，让测试追溯变得有迹可循。

按图 3 所示连接各设备，选择需要测试的设备并填写对应信息，点击设备上的“开始测试”按钮，按软件提示开始测试。如图 6 所示，即为调谐单元

的测试页面。测试完成后，测试报告以 PDF 格式存储于电脑指定位置，也可以转化成 EXCEL 格式，接入 MES，方便生产管理。需要说明的是，测试 BPLN 时，“切换按钮”处于按下状态，测试其他设备时，该按钮处于提起状态。

4 ME8500装置准确性验证

以测试调谐单元为例，将 ME8500 装置测试数据与原手动测量工装数据进行对比，结果如表 3 所示。

表3 ME8500与手动测量数据对比

序号	设备名称	1250+ 功放		ME8500		差值	百分比 /%		
		测试项	测试值	测试项	测试值				
1	ZPW-T-1700	极阻抗	实部 /mΩ	15.72	极阻抗	实部 /mΩ	15.73	0.01	0.06
			虚部 /mΩ	-364.22		虚部 /mΩ	-365.02	-0.80	0.22
		零阻抗	实部 /mΩ	16.22	零阻抗	实部 /mΩ	16.16	-0.06	-0.37
			虚部 /mΩ	-42.34		虚部 /mΩ	-41.97	0.37	-0.87
2	ZPW-T-2000	极阻抗	实部 /mΩ	22.92	极阻抗	实部 /mΩ	22.77	-0.15	-0.65
			虚部 /mΩ	-423.01		虚部 /mΩ	-425.43	-2.42	0.57
		零阻抗	实部 /mΩ	23.01	零阻抗	实部 /mΩ	22.84	-0.17	-0.74
			虚部 /mΩ	-47.24		虚部 /mΩ	-48.30	-1.06	2.24
3	ZPW-T-2300	极阻抗	实部 /mΩ	33.94	极阻抗	实部 /mΩ	33.88	-0.06	-0.18
			虚部 /mΩ	-482.27		虚部 /mΩ	-483.39	-1.12	0.23
		零阻抗	实部 /mΩ	19.47	零阻抗	实部 /mΩ	19.39	-0.08	-0.41
			虚部 /mΩ	-30.23		虚部 /mΩ	-30.11	0.12	-0.40
4	ZPW-T-2600	极阻抗	实部 /mΩ	43.99	极阻抗	实部 /mΩ	43.68	-0.31	-0.70
			虚部 /mΩ	-539.37		虚部 /mΩ	-540.35	-0.98	0.18
		零阻抗	实部 /mΩ	22.56	零阻抗	实部 /mΩ	22.40	-0.16	-0.71
			虚部 /mΩ	-37.18		虚部 /mΩ	-36.57	0.61	-1.64

(下转 104页)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.Z1.014

高铁车站股道分割及工程设计相关问题探讨

廖逸玫, 孙鸣蔚, 杨 扬

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

摘要: 为降低高铁车站相邻股道间的邻线干扰问题, 对既有未分割的股道采用股道分割方案。通过研究股道间邻线干扰机理、车载感应原理, 并结合邻线干扰仿真分析手段, 提出切割区段长度及工程设计相关建议。

关键词: 股道分割; 轨道电路; 邻线干扰; 工程设计

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)Z1-0058-05

Discussion on Track Segmentation Scheme and Engineering Design for High-speed Railway Stations

Abstract: In order to reduce the interference between adjacent tracks in high-speed railway stations, a track segmentation scheme is adopted for the existing undivided tracks. This paper studies the mechanism of adjacent line interference between tracks and the principle of on-board induction, and incorporates the simulation and analysis of adjacent line interference to put forward the design requirements for the length of the segmented sections and the relevant suggestions for engineering design.

Keywords: track segmentation; track circuit; adjacent line interference; engineering design

1 背景

国内高速铁路已运行多年, 随着建设里程的不断增加, 对高铁信号系统安全性提出了更高要求。高铁车站股道采用移频轨道电路, 客观存在机车信号邻线干扰问题。按照设计规范, 当股道长度不超过 650 m 时, 只设置一段轨道电路, 不满足列控中心(以下简称 TCC)股道双端发码条件。列车股道停车换端作业时, 当进路未办理前列车发车端处于轨道电路无码状态, 此时易受到邻线干扰, 存在机车信号误动风险。

2020 年开始, 国内在总结多年高铁运用经验的基础上, 开展高铁信号设备安全专项整治工作。其中, 增加车站股道双端发码功能是整治工作中的一

项重要内容, 同时, 股道分割是实现股道双端发码的关键技术措施, 分割后通过增加设备配置实现股道双端发码功能, 降低站内区段邻线干扰风险。

2 原理分析

2.1 邻线干扰的原理

轨道电路的邻线干扰是指当相邻线路间存在电感耦合后, 邻线的传输信号输入本区段轨道电路, 当邻线的传输信号超过本区段的信号设备其门限值后, 会干扰本区段信号设备, 可能影响正常行车。如图 1 所示, 相邻的轨道区段为回路 1、回路 2, 回路 1 会在回路 2 中产生的磁感线, 该磁感线会在每一段钢轨和补偿电容中又构成小回路, 回路 2 中的小回路会产生方向相同的感应电流 I_x , 回路 2 中

各个幅值和相位不同的感应电流 I_x 叠加后，就形成了干扰电流^[1]。

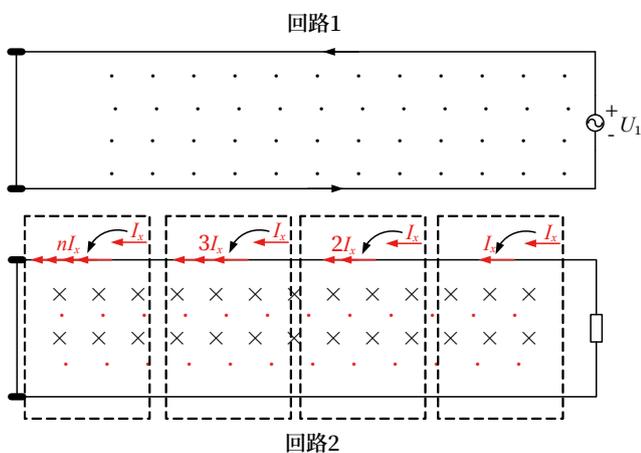


图1 干扰示意

当列车在被邻线干扰的区段运行时，列车轮对与发送端间的钢轨电感 L 和补偿电容 C 会形成一个阻容电路，如图 2 所示。



图2 电路原理

当列车运行到特定位置， L_1 的阻抗与 C 、 L_2 的阻抗相等时，会出现整个回路的阻抗最小，干扰电流最大的情况，如图 3 所示。

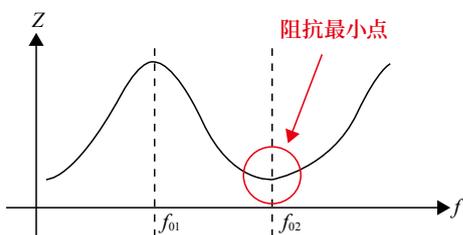


图3 阻抗变化

与邻线干扰相关因子较多，但空间耦合能力最为复杂，受线路类型、线间距、站台钢筋、附近金属环境等影响，因此，在高铁车站复杂环境条件下，为准确掌握干扰量值，需进行现场测试排查。

2.2 车载感应原理

机车信号车载系统设备主要由机车信号车载主

机、机车信号机、机车信号双路接收线圈组成。机车信号双路接收线圈将接收到的信息传输至机车信号主机中，经主机解码后得到对应的低频调制信息，点亮机车信号机的对应灯位，获得列车限速信息，同时将得出的结果、实时的信号波形传送给运行监控装置，实现对列车运行的控制。当出现邻线干扰电流耦合到本线的情况时，钢轨中除了本线的信号电流，还有各种因素导致的干扰电流，并进入机车信号主机参与信号的处理，影响低频信息解调的准确性。

机车产生干扰电流的过程如图 4 所示，需存在干扰源区段；干扰源在被干扰区段形成干扰电压；干扰电压形成干扰电流。

对于单端发码的股道，在列车折返发车且进路未建立时，司机换端车载设备处于部分工作模式，因此时无码，可能发生接收相邻线路干扰信号而误动的问题，故提出了采用切割股道方式以实现双端发码的方案。若车停在股道时，已经在跨压两段轨道电路，不会造成收不到本轨道区段信息的情况。

3 区段分割长度

3.1 最大区段长度

为研究轨道区段长度与邻线干扰间的关系，对区段错位和对位情况下的邻线干扰进行仿真。

3.1.1 区段错位情况下的邻线干扰仿真

以高铁站内股道 400 m 为例进行分析，主串区段与被串区段相对位置关系依次遍历错位 -350 m、-300 m……-50 m、0 m（对位）、错位 50 m……300 m、350 m，如图 5 所示。

根据主串与被串区段的位置关系，计算被串区段的邻线干扰最大值，如图 6 所示。

由仿真结果可以得出结论，在主串区段与被串区段长度均为 400 m 的情况下，区段错位越大干扰电流越小，区段错位越小干扰电流越大。

3.1.2 区段对位情况下的邻线干扰仿真

以高铁站内股道 650 m 为例进行分析，在区段对位同步分路的条件下，分别仿真计算不同频率间干扰，仿真结果如图 7 所示。

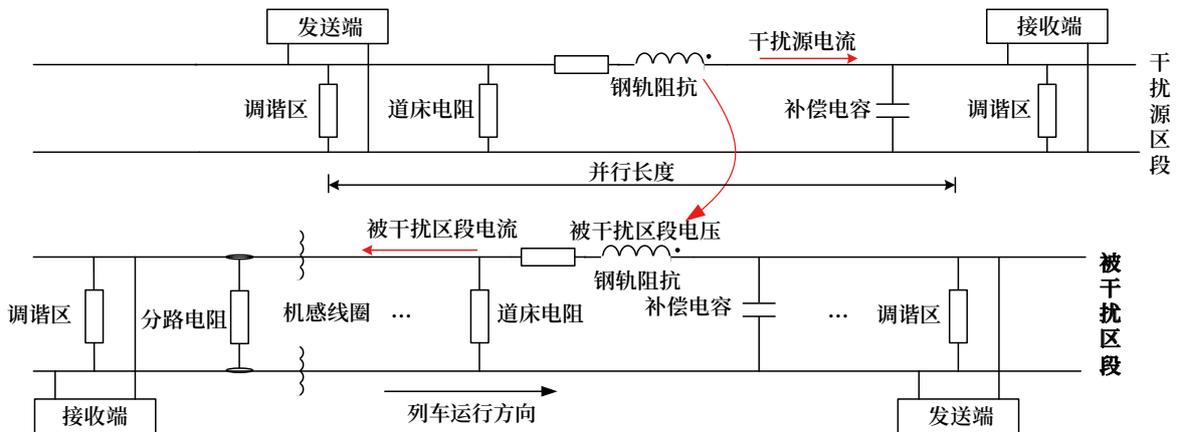


图4 产生干扰电流路径

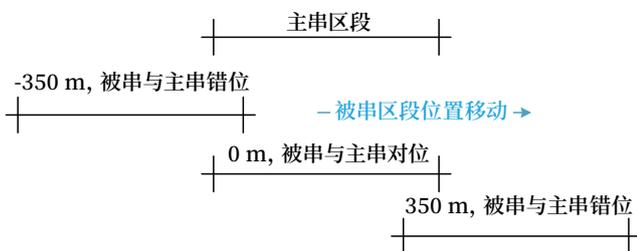


图5 主串区段与被串区段错位关系示意

主串为 2 600 Hz 时，在被串 2 000 Hz 区段干扰最大值出现在 320 m 位置。主串为 2 300 Hz 时，在被串 1 700 Hz 区段干扰最大值出现在 380 m 位置。主串为 2 000 Hz 时，在被串 2 600 Hz 区段干

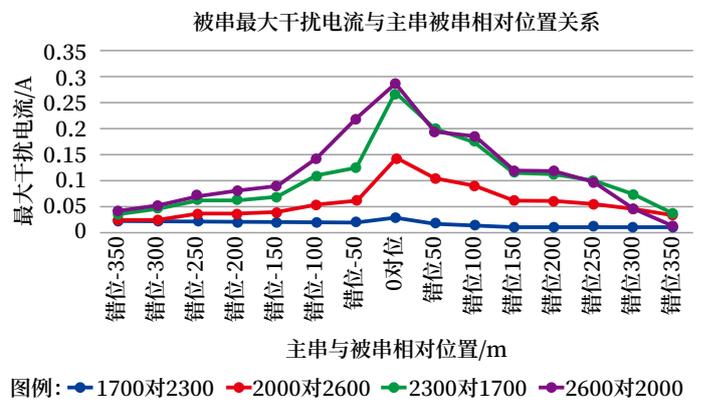


图6 主串与被串区段相对位置对干扰电流最大值的影响

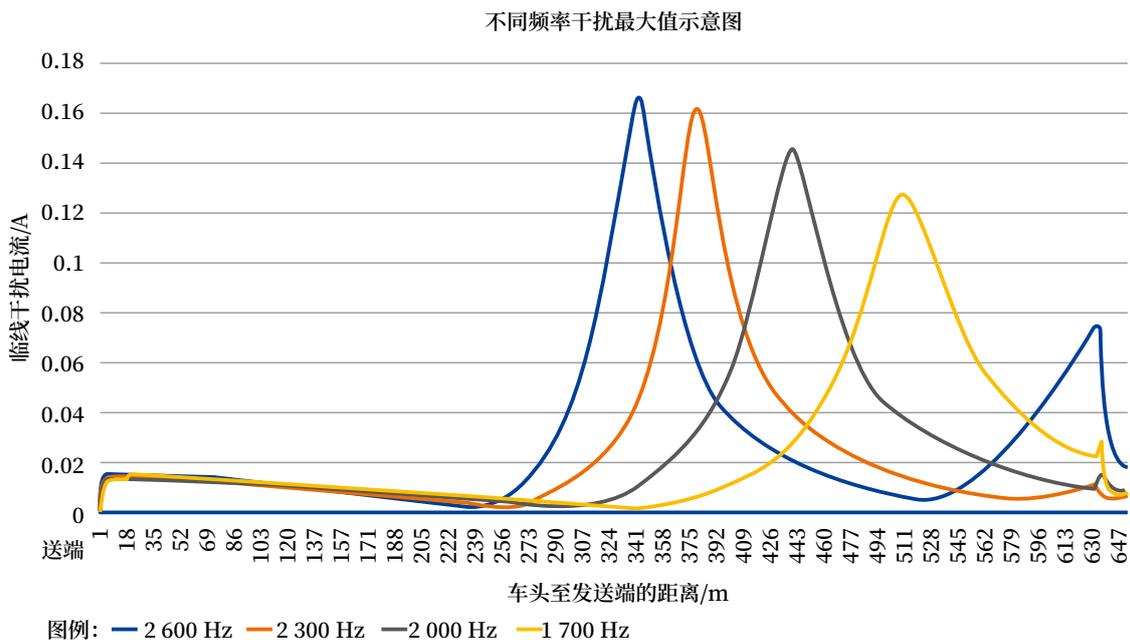


图7 股道区段四种载频干扰趋势

扰最大值出现在 440 m 位置。主串为 1 700 Hz 时,在被串 2 300 Hz 区段干扰最大值出现在 520 m 位置。2 600 Hz 对 2 000 Hz、2 300 Hz 对 1 700 Hz、2 000 Hz 对 2 600 Hz、1 700 Hz 对 2 300 Hz,干扰电流最大值随着频率降低,出现的位置距离送端越来越远。

综上,为保证邻线干扰电流量低于机车信号可靠落下值,可将区段进行切割,切割后区段长度尽量控制在 400 m 以下。

3.2 最小区段长度

根据《铁路信号设计规范》(TB 10007-2017),采用 ZPW-2000 系列轨道电路时,轨道区段长度不得小于列车按设计速度运行时车载信号设备可靠工作所需的最小长度 L_{\min} ,

$$L_{\min} = V_{\max} \times t + L_{\text{余}}$$

其中, V_{\max} : 轨道区段的线路设计速度, m/s;

t : 车载信号设备响应时间的最大值, s; 取 2.5 s;

$L_{\text{余}}$: 余量, m, 取 20 m。

根据以上计算公式,站在几种典型的速度下,区段最小长度如表 1 所示。

表1 不同速度下区段最小长度

线别	速度/(km/h)	区段最小长度/m
正线	350	263
	300	228
	250	193
	200	159
	160	131
	120	103
侧线	80	76
	45	51
	30	41

4 工程设计相关建议

根据以上邻线干扰的分析,对既有未采取分割措施的高铁股道一体化轨道电路,全部实施分割,配套修改列控中心,实现股道双端发码,消除列车换端无码问题,提高本线机车信号抗邻线干扰能力。同时,轨道电路分割后可有效降低发送功率,减少

对邻线干扰的影响。

4.1 分割绝缘节设置建议

根据以上对区段长度的分析,分割绝缘节设置原则如下。

1) 在设有站台的股道,保证最短编组动车停稳后列车跨压 2 个轨道区段,以满足动车组换端后立即上码的需求。即停车标距离切割绝缘节长度 ≤ 列车车窗至最后一节车长。考虑各型动车最短 8 编组长度,绝缘节位置原则上设在距离该股道主要接车端停车标 ≤ 180 m 处。

2) 为减小邻线干扰,不设站台的邻线也需进行股道分割,两股道间无站台间隔时,若两股道轨道电路载频完全相同,两股道分割绝缘节位置宜对齐设置。困难情况下两股道分割绝缘节位置需差置时,差置长度遵循如表 2 所示。

表2 不同线间距下邻线间同频率轨道电路差置长度最大允许值

序号	线间距/m	邻线间同频率轨道电路差置长度最大允许值/m
1	5	60
2	5.5	80
3	6	100

3) 绝缘节设置地点应避免短编动车组换端后,机车信号天线位于绝缘节上方,否则会影响 ATP 车载设备上电自检;绝缘节位置距离既有钢轨焊缝不小于 20 m。

4) 绝缘节宜设于相邻两个补偿电容中间适当位置,满足电容利旧需求。

5) 分割后的区段满足最小区段长度设计要求,且区段长度建议不超过 400 m。

6) 为避免修改相邻区段载频,新增的区段基准载频与既有股道载频保持一致,频偏按照 -1, -2 载频错开布置。

4.2 涉及工程内容

4.2.1 信号专业工程内容

1) 敷设室外电缆

新增干线电缆以及较长的支线电缆采用 SPTYWPL23 型信号电缆,支线电缆采用

SPTYWPA23 型信号电缆。电缆芯线中的线对应采用星绞组，并成对使用。电缆中有两个及以上相同基准载频的发送线对，或有两个及以上相同基准载频的接收线对时，该电缆采用内屏蔽铁路数字信号电缆。

2) 室外电缆防护

新增信号电缆设置钢管防护引至既有干线电缆槽。每个分割点处的 2 根分支电缆设置一根外径 100 mm 的热镀锌钢管防护。无砟区段钢管置于靠近无砟轨道板底座的封闭层上面，每隔 500 mm 设一处 U 型卡固定，钢管需保证不移位、不断裂、不变形；有砟区段将路基表层开挖至少 300 mm，将钢管埋设并固定。

3) 电缆过轨防护

优先利用既有站台端部或者出站信号机处的电缆井及过轨管实现分支电缆的过轨。既有过轨管或电缆井不能满足需要时，无砟区段采用在两轨道板间板缝内敷设过轨管的方式，有砟区段采用新敷设过轨钢管的方式。

4) 轨道电路设备

室外在新增绝缘节两端，新增与既有轨道电路相匹配的轨道电路设备，包括调谐匹配单元、机械绝缘节空心线圈、带适配器的扼流变压器及相关箱盒、基础等。

室内需增加 ZPW-2000 系列轨道电路设备，包括发送器、接收器、衰耗器和防雷模拟网络。

新增轨道电路室内外设备以及配套器材，应利用既有机柜空闲位置，同型号的电码化、一体化区段可同柜设置，不足时可新设组合或机柜。当新增 3 架及以上轨道电路综合柜时，需新增通信线缆与监测维护机连接；当新增移频柜时，每柜需新增通信线缆。新增机柜需按要求接地。

5) 新增继电器组合并配套修改电路

新增区段新增 FQJ、GJ 继电器，新增 FQJ 及 GJ 列控驱采电路，修改 GJ 联锁采集电路，修改移频柜停电监督电路。

6) TCC 修改

TCC 需增加轨道电路数据配置和修改维护终端数据，新增 FQJ 继电器的驱动采集接口以及 TCC 与轨道电路的通信接口。

7) 电源屏修改

根据设备用电量使用情况，新增移频柜电源及轨道电路监测电源。

8) 信号集中监测修改

利旧改造既有信号集中监测站机，增加新增区段的监测数据。

9) 与其他专业接口

轨道专业在相应位置增设胶结绝缘节，根据实际情况考虑无缝线路应力放散。

5 结论

本文通过研究轨道电路邻线干扰机理，分析车载感应原理及机车信号感应标准，并结合邻线干扰仿真分析手段，提出采用高铁车站股道分割的方式，可降低站内区段邻线干扰的风险。并依据仿真给出切割区段长度设计要求，并提出了股道分割工程设计建议以及工程内容，对解决高铁车站邻线干扰问题具有实际指导意义。

参考文献

- [1] 李智宇. 轨旁列控设备电磁干扰及防护研究[D]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2022.
- [2] 铁道部科学技术司. JT-C 系列机车信号车载系统设备技术规范(暂行)[S]. 北京: 铁道部科学技术司, 2006.
- [3] 毕艳红, 程荫杭. 机车信号邻线干扰分析[J]. 北方交通大学学报, 2000, 24(5): 25-30.
- [4] 刘同爽, 张开封. 车站移频股道电码化机车信号防干扰技术探讨[J]. 铁道通信信号, 2005, 41(7): 11-12.
- [5] 王智新. 高铁隧道内轨道电路邻线干扰调查分析[J]. 铁路通信信号工程技术, 2018, 15(7): 68-71.
- [6] 李文涛. 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[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.

(收稿日期: 2023-06-21)

(修回日期: 2023-09-21)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.Z1.015

基于Hanning窗四谱线插值FFT的 轨道电路信号解析研究

温术来

(北京铁路信号有限公司, 北京 102613)

摘要: 移频信号是 ZPW-2000A 轨道电路系统关键特征之一, 对其高精度解析具有重要意义。基于移频轨道电路信号特点, 提出一种基于时域加窗、频域插值的高精度解析算法, 并应用模拟仿真的方法进行验证研究。研究结果表明, 通过时域加窗处理可有效改善常规 FFT 中出现的频谱泄漏问题, 进一步在频谱中插值可提高信号解析精度。通过本算法解析移频轨道电路载频最大误差为 0.000 32 Hz, 解析调制频率最大误差为 0.002 63 Hz, 以上误差范围均能够满足对轨道电路信号解析要求。

关键词: 轨道电路; 四谱线插值; 快速傅里叶变换; 移频信号

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)Z1-0063-07

Track Circuit Signal Analysis Based on Hanning Window Four-spectrum-line Interpolation FFT

Abstract: Frequency-shift signal is one of the most important features of ZPW-2000A track circuit system, and high-accuracy analysis of the signal is of great significance. Based on the characteristics of the signal, a high-accuracy FSK signal parameter algorithm is put forward in this paper based on time domain window function and frequency domain interpolation method, and the algorithm is verified through simulation. Results show that using windows in time domain of the signal can reduce the spectral leakage resulting from traditional FFT method, and further interpolation in frequency domain is used to improve the accuracy of signal parameter analysis. By using the proposed algorithm to analyze frequency-shift track circuits, the maximum error of the carrier frequency is 0.000 32 Hz and the maximum error of the modulation frequency is 0.002 63 Hz. These errors are within the acceptable range for analyzing track circuit signal parameters.

Keywords: track circuit; four-spectrum-line interpolation; FFT; frequency-shift signal

1 概述

ZPW-2000A 移频轨道电路系统是目前国内应用极为广泛的铁路信号产品, 是实现列车运行间隔自动调整的基础设备。该系统主要特点之一是采用移频键

控信号作为机车信号以实现远距离传输及抗干扰的目的^[1-2]。移频轨道电路信号特征值解析一直为该领域研究人员的热点问题之一。现场多年应用经验表明, 实现对移频信号的高精度解析对轨道电路产品监测诊断、故障预判及排查具有显著的意义。

目前来说加窗插值 FFT 技术是进行信号解析的常用方法之一, 该技术主要是在常规 FFT 基础上, 在时域上加窗、频域上插值的方法对信号实现特征值解析。潘文等^[3]较早提出在电力谐波领域应用加窗插值 FFT 技术, 认为窗函数能较好地抑制整数次及非整数次的谐波泄漏; 赵文春等^[4]则具体讨论了 Black-Harris 窗的插值算法, 建立的算法模型可提高泄漏程度较严重时的计算精度。这些研究结果表明窗函数类型对信号解析具有积极影响。在谱线插值方面, 有双谱线插值、三谱线插值及四谱线插值等, 如张俊敏等^[5]提出四谱线插值 FFT 电力谐波算法, 认为四谱线插值比常用双谱线和三谱线插值具有更高的精度; 薛萍^[6]则提出凯塞窗四谱线插值 FFT 算法模型, 获得更优良的电力谐波解析精度。从研究成果来看, 加窗插值 FFT 技术在信号解析方面具有显著的优势, 但目前该方法主要集中在电力谐波分析方面^[7-9], 而在移频轨道电路信号领域相对较少。

鉴于此, 本文提出一种基于 Hanning 窗的四谱线插值 FFT 算法模型, 对移频轨道电路信号进行分析研究, 通过 Hanning 窗消除信号频谱泄漏的影响, 在频谱上以特征频率点为中心, 进行四谱线插值以提高信号特征值解析精准度, 实现了对移频信号中心频率、调制频率及幅值的解析, 具有积极效果。

2 移频轨道电路信号及四谱线插值FFT算法

2.1 移频信号原理分析

设键控信号为调制信号 $f(t)$, 周期为 T , 时间表示为:

$$f(t) = \begin{cases} A & -\frac{T}{4} < t < \frac{T}{4} \\ -A & \frac{T}{4} < t < \frac{3T}{4} \end{cases} \quad (1)$$

式中 A 为方波的振幅。

经 $f(t)$ 调制后, 移频信号的角频率偏移量 $\Delta\omega$ 为

$$\Delta\omega = kA \quad (2)$$

其中, k 代表移频器的灵敏度, Hz/V。

移频信号中心角频率为 ω_0 , 则瞬时角频率变化为:

$$\omega(t) = \begin{cases} \omega_0 + \Delta\omega & -\frac{T}{4} < t < \frac{T}{4} \\ \omega_0 - \Delta\omega & \frac{T}{4} < t < \frac{3T}{4} \end{cases} \quad (3)$$

移频信号瞬时相位 $\theta(t)$ 为:

$$\theta(t) = \int \omega(t) dt = \omega_0 t + \int kf(t) dt = \omega_0 t + g(t) \quad (4)$$

式中

$$g(t) = \int kf(t) dt = \begin{cases} \Delta\omega t & -\frac{T}{4} < t < \frac{T}{4} \\ \Delta\omega(\frac{3T}{4} - t) & \frac{T}{4} < t < \frac{3T}{4} \end{cases} \quad (5)$$

移频信号频谱表达式:

$$S(t) = \frac{A_0}{\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left[\frac{\sin \frac{\pi}{2}(m-n)}{m-n} + (-1)^n \frac{\sin \frac{\pi}{2}(m+n)}{m+n} \right] \times \cos(\omega_0 + n\omega_1) \quad (6)$$

式中, A_0 为移频信号振幅; $m = \Delta\omega/\omega_1$ 为移频指数; $\omega_1 = \frac{2\pi}{T}$ 为调制信号角频率。

由式 (6) 可知, 移频信号频谱结构是由载波中心频率及左右对称边频分量组成。边频分量与 n 值有关, 边频为 $\omega_0 + n\omega_1$ 和 $\omega_0 - n\omega_1$, 各边频分量振幅与移频信号振幅 A_0 的比值成为相对幅度^[1]。移频信号的相对幅值如表 1 所示。

2.2 轨道电路信号特点

以 ZPW-2000A 轨道电路系统为例, 主要采用 FSK 方法对信号进行调制以提高其传输性能, 并且有效应对复杂的工作环境, 从而增强整体系统的安

表1 移频信号的相对幅度

频率分量	载波中心频率	奇次边频分量	偶次边频分量
相对幅度	$\left \frac{2}{m\pi} \sin \frac{m\pi}{2} \right $	$\left \frac{2m}{\pi(m^2 - n^2)} \cos \frac{m\pi}{2} \right $	$\left \frac{2m}{\pi(m^2 - n^2)} \sin \frac{m\pi}{2} \right $

全可靠性。该系统信号特点如下：

上行中心频率：(1 700 + 1.4) Hz；(1 700 - 1.3) Hz；(2 300 + 1.4) Hz；(2 300 - 1.3) Hz。

下行中心频率：(2 000 + 1.4) Hz；(2 000 - 1.3) Hz；(2 600 + 1.4) Hz；(2 600 - 1.3) Hz。

调制频率：10.3 ~ 29 Hz，以 1.1 Hz 为等差数列，共 18 种。

频偏：11 Hz。

2.3 四谱线插值FFT解析算法

假定信号 $x(t)$ 频率为 f_0 ，振幅为 A ，初始相位为 φ_0 ，则信号数学表达式为：

$$x(t) = A \cos(2\pi f_0 t + \varphi_0) \quad (7)$$

对其以采样频率 f_s 进行均匀采样处理，得到一系列离散信号，其表达式为：

$$x(n) = A \cos(2\pi n f_0 / f_s + \varphi_0) \quad (8)$$

其中 $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$ ， N 为采样点数。

将上述离散信号 $x(n)$ 进行加窗 $w(n)$ 处理后得到 $x_w(n) = x(n) \cdot w(n)$ ，并将 $x_w(n)$ 进行连续傅里叶变换得：

$$X_w(f) = \frac{A}{2j} e^{j\varphi_0} W\left[\frac{2\pi}{f_s}(f - f_0)\right] - \frac{A}{2j} e^{-j\varphi_0} W\left[\frac{2\pi}{f_s}(f + f_0)\right] \quad (9)$$

上式中忽略负频点，同时将频谱离散化处理得到加窗信号离散频谱形式：

$$X_w(k\Delta f) = \frac{A}{2j} e^{j\varphi_0} W\left[\frac{2\pi}{f_s}(k\Delta f - k_0\Delta f)\right] = \frac{A}{2j} e^{j\varphi_0} W\left[\frac{2\pi}{N}(k - k_0)\right] \quad (10)$$

式中， $\Delta f = \frac{f_s}{N}$ 为频率分辨率。当 $k_0 \neq k$ 时，由

$$\eta = \frac{|W[\frac{2\pi}{N}(-\alpha + 1.5)]| + 2|W[\frac{2\pi}{N}(-\alpha + 0.5)]| - 2|W[\frac{2\pi}{N}(-\alpha - 0.5)]| - |W[\frac{2\pi}{N}(-\alpha - 1.5)]|}{|W[\frac{2\pi}{N}(-\alpha + 1.5)]| + 2|W[\frac{2\pi}{N}(-\alpha + 0.5)]| + 2|W[\frac{2\pi}{N}(-\alpha - 0.5)]| + |W[\frac{2\pi}{N}(-\alpha - 1.5)]|} \quad (12)$$

依据该函数关系，在 $\alpha \in (-0.5, 0.5)$ 范围内，以一定步进间隔对 α 进行取值，同时得出相应的 η 值，最终获得系列数对 (α_i, η_i) 。对该系列数对进行多项式拟合得出 $\alpha = f^{-1}(\eta)$ 函数关系式即可对信号

$$A = \frac{2(X_1 + 2X_2 + 2X_3 + X_4)}{|W[\frac{2\pi}{N}(-\alpha + 1.5)]| + 2|W[\frac{2\pi}{N}(-\alpha + 0.5)]| + 2|W[\frac{2\pi}{N}(-\alpha - 0.5)]| + |W[\frac{2\pi}{N}(-\alpha - 1.5)]|} \quad (14)$$

于栅栏效应的存在，信号频率不能准确地表示。当信号频率不能准确获取时，信号幅值亦出现偏差。因此需要提出加窗插值算法模型准确获取信号频率及信号幅值。Hanning 窗四谱线插值算法模型介绍如下。

如图 1 所示，设定信号频率点为 k_0 ，幅值为 A ，令 k_0 紧邻的最大谱线及次大谱线的频率点分别为 k_2 及 k_3 ，外围两条谱线频率点为 k_1 及 k_4 ，则有 $k_4 = k_2 + 2$ ， $k_3 = k_2 + 1$ ； $k_1 = k_2 - 1$ 。根据式 (10) 这四条谱线幅值分别为： $X_1 = |X_w(k_1\Delta f)|$ ， $X_2 = |X_w(k_2\Delta f)|$ ， $X_3 = |X_w(k_3\Delta f)|$ ， $X_4 = |X_w(k_4\Delta f)|$ ，则有：

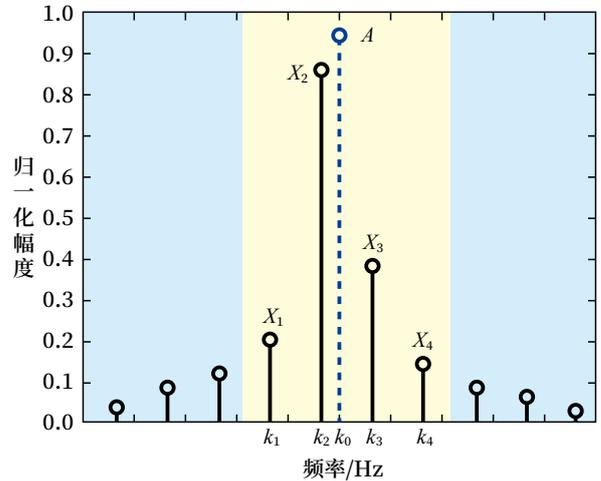


图1 信号频谱的栅栏效应

$$\eta = ((2X_3 + X_4) - (2X_2 + X_1)) / (X_1 + 2X_2 + 2X_3 + X_4) \quad (11)$$

引入参数 $\alpha = k_0 - k_2 - 0.5$ ， $\alpha \in (-0.5, 0.5)$ ，构造函数式 $\eta = f(\alpha)$ 如下：

频率值及对应幅值进行修正。

信号修正频率值：

$$f_0 = k_0\Delta f = (\alpha + k_2 + 0.5)\Delta f \quad (13)$$

信号修正幅值为：

进一步在式 (14) 中令

$$g(\alpha) = \frac{2N}{\left|W\left[\frac{2\pi}{N}(-\alpha+1.5)\right]\right| + 2\left|W\left[\frac{2\pi}{N}(-\alpha+0.5)\right]\right| + 2\left|W\left[\frac{2\pi}{N}(-\alpha-0.5)\right]\right| + \left|W\left[\frac{2\pi}{N}(-\alpha-1.5)\right]\right|} \quad (15)$$

则式 (14) 可简化为

$$A = N^{-1}(X_1 + 2X_2 + 2X_3 + X_4)g(\alpha) \quad (16)$$

上述推导可知, 依据信号在时域上加窗处理后进行 FFT 得到频谱图。通过频谱图中谱线特征值, 在得到 α 及 $g(\alpha)$ 的基础上即可求得修正后的信号频率值及幅值。

本文中选取汉宁窗函数对信号时域加窗处理, 作为一种常见的余弦窗函数, 其时域表达式为:

$$w(n) = 0.5 - 0.5\cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right) \quad (17)$$

则频谱表达式为:

$$W(k) = W_R(k) - 0.5W_R(k+1) - 0.5W_R(k-1) \quad (18)$$

式中, $W_R(k) = \frac{\sin(k\pi)}{\sin(\frac{k\pi}{N})} e^{-jk\pi}$ 为矩形窗频谱函数式, 将之代入上式, 得:

$$W(k) = e^{-jk\pi} \sin(k\pi) \sum_{m=0}^1 \left[(-1)^m \frac{a_m}{2} \frac{\sin(2\frac{k\pi}{N})}{\sin(\frac{\pi(k-m)}{N}) \sin(\frac{\pi(k+m)}{N})} \right] \quad (19)$$

当 N 值足够大时, 上式可简化为:

$$W(k) = 0.5kN\sin(k\pi) \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{k^2-1} \right) e^{-jk\pi} \quad (20)$$

由上述方程式 (12) 及 (20) 联立, 在 $\alpha \in (-0.5, 0.5)$ 范围内以一定间隔步进 0.01 取值, 得到系列数对 (α_i, η_i) 。对系列数对进行多项式拟合, 令多项式拟合最高幂次设为 5, 则最终得到多项式方程如下:

$$\alpha = 0.086\eta^5 + 0.183\eta^3 + 1.130\eta \quad (21)$$

$$g(\alpha) = 0.047\alpha^4 + 0.276\alpha^2 + 1.071 \quad (22)$$

将拟合多项式方程代入式 (13) 及 (16), 即可求得精确的信号频率及幅值。

3 仿真验证及结果分析

移频轨道电路信号产生示意图及加窗时域如图 2 所示。图 2 中 (a) ~ (c) 为移频轨道电路信号产生

示意图, 该信号是通过调制方波信号对载波进行调制, 形成幅值不变, 但频率则随调制信号在两种频率间交替变化的移频信号, 其变化频率即为调制频率。图 (b) 则为瞬时相位的变化, 可见该瞬时相位为一呈周期性变化的三角波, 其周期与调制方波信号周期一致。图 (d) 为移频信号在时域上加 Hanning 窗后的波形图。从图中可以看出, 该波形包络具有明显的余弦窗特点, 信号幅值由中心向两边递减。

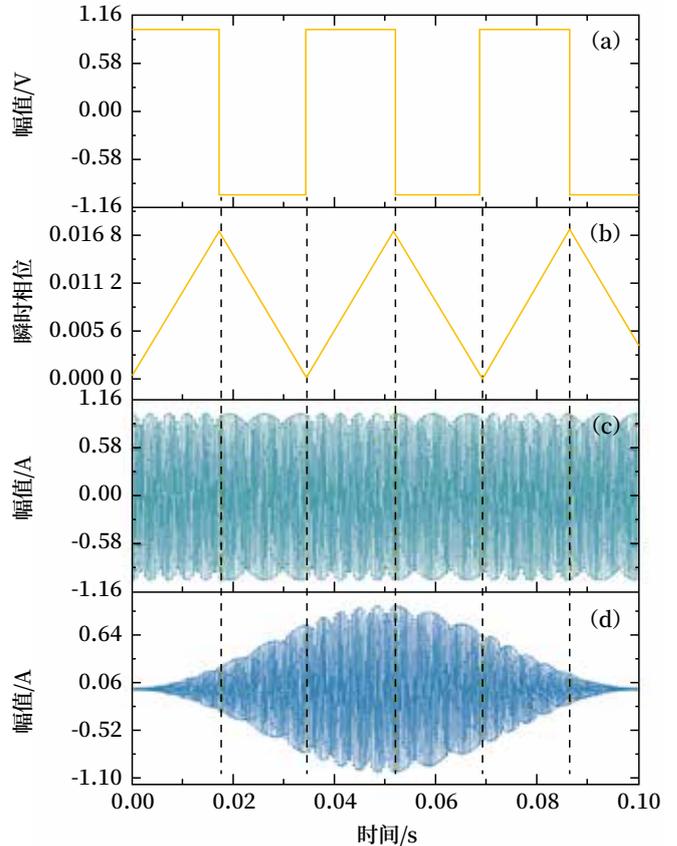


图2 移频轨道电路信号产生示意图及加窗时域

图 3 为调制频率对移频轨道电路信号频谱结构的影响。由图中可以看出, 移频轨道电路信号频谱包括中心频率峰及左右边频峰, 且左右边频峰以中心频率峰为中心呈轴对称分布。由该频谱图中还可以看出, 左右第一边频峰所在频点与中心频率峰频点差值即为调制频率。随调制频率的增加, 左右第

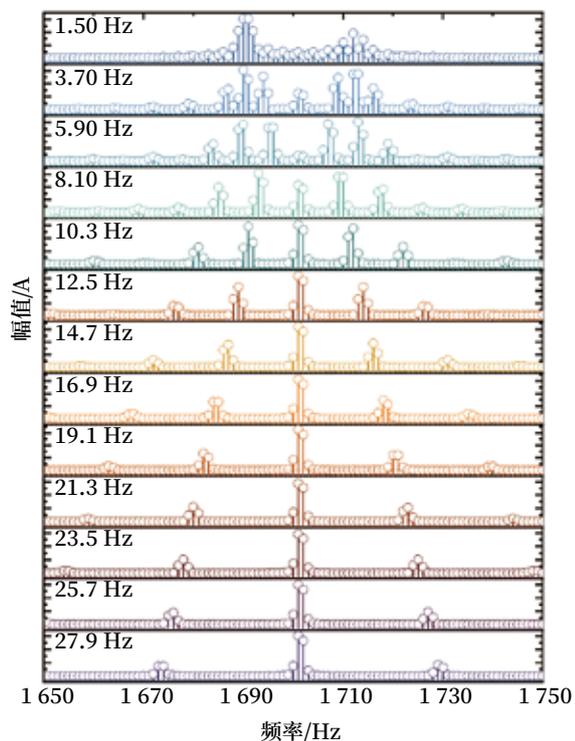


图3 调制频率对移频轨道电路信号频谱结构的影响

一边频峰与中心频率峰之间的距离逐渐增加；而中心频率峰值则随调制频率的增加逐渐增加，边频峰值则逐渐降低。进一步从图 3 中可看出，当调制频率为 10.3 Hz 时，中心频率峰值与左右第一边频峰值基本一致；当调制频率继续降低时，中心频率峰值则逐渐低于左右第一边频峰值，直至基本消失。从频谱结构来看，移频轨道电路信号在中心频率、调制频率及幅值方面均具有显著的辨识度，因此在现场复杂应用工况下，对工频谐波及邻近区段轨道电路信号有较强的抗干扰效果。

由上述可知，移频轨道电路信号加 Hanning 窗后在时域上由图 2 (c) 的矩形结构转变为图 2 (d) 的余弦结构，具有明显的截取效果。Hanning 窗对移频信号频谱的影响则如图 4 所示。该图为调制频率分别在 10.3 Hz、19.1 Hz、22.4 Hz 及 29 Hz 时 Hanning 窗处理前后对信号频谱结构的影响。当未采用窗函数处理时，在不同调制频率下移频轨道电路信号频谱均出现频谱泄漏情况，这是

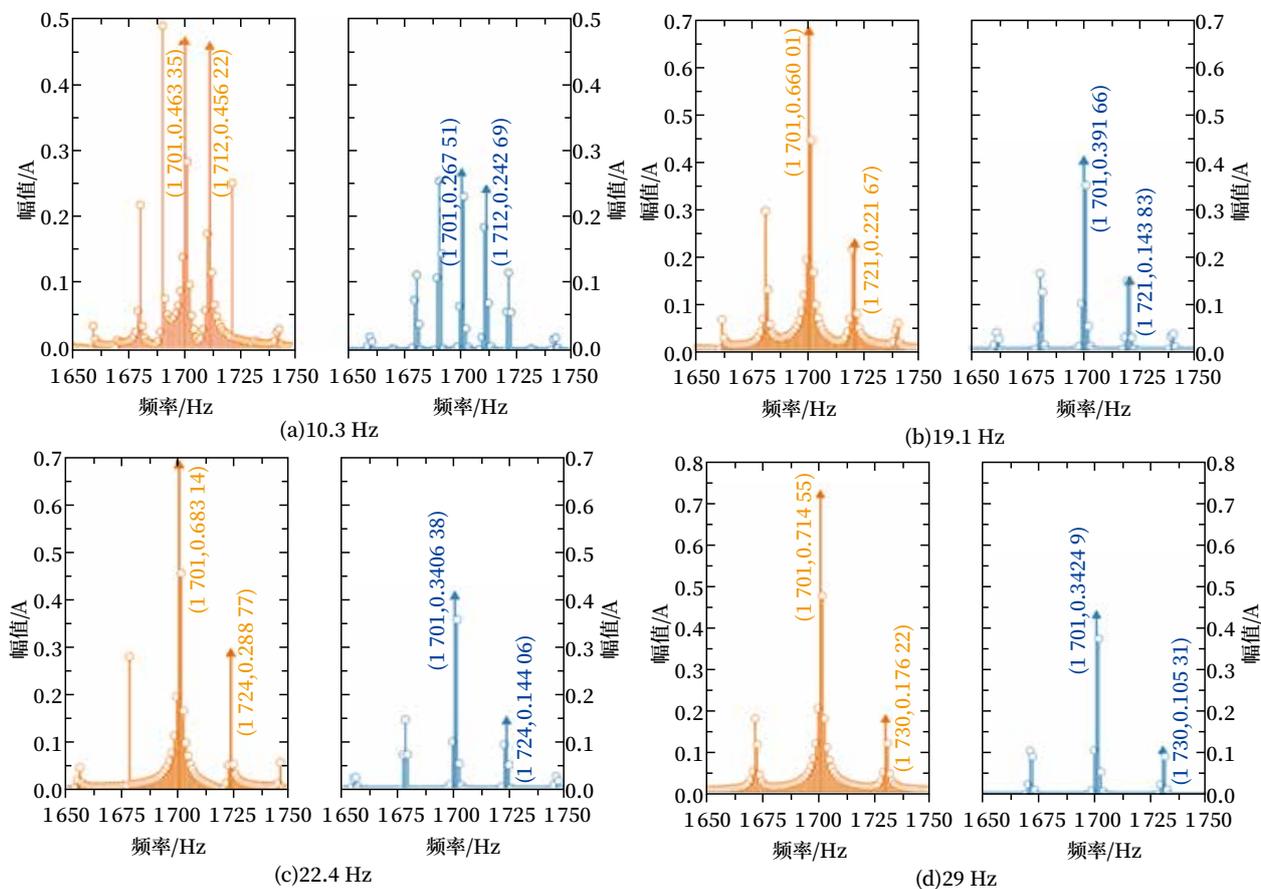
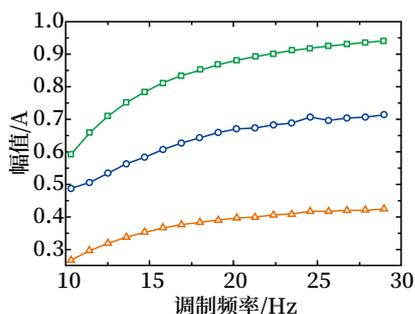


图4 窗函数对移频轨道电路信号频谱的影响

由于对信号采集的截断效应所致；对信号进行加窗处理后，中心频率峰及边频峰宽度明显变窄，这种频谱泄漏情况则明显得到改善。

Hanning 窗对移频信号中心频率峰值影响则如图 5 所示。



图例：—■— 理论值 —●— 直接FFT —▲— 加窗FFT

图5 不同调制频率下处理方式对移频轨道电路信号载频幅值解析的影响

移频信号未采用窗函数处理直接进行 FFT，其中心频率峰值低于理论值，该峰值降低则是频谱泄漏的结果，其中理论值则由表 1 中公式计算所得。

当采用窗函数处理后，中心频率峰值则进一步降低。结合图 4、5 来看，Hanning 窗处理可有效消除信号截断效应带来的频谱泄漏问题，降低中心峰及边峰宽度，这是精确分析轨道电路信号频率的前提，但窗函数处理给信号幅值带来了较大变化，因此要考虑加窗之后对信号幅值进行修正。

移频轨道电路信号解析主要是实现对载频、调制频率及幅值等特征值高精度分析。加窗插值 FFT 处理方法对轨道电路信号载波中心频率影响如表 2 所示。经过加窗处理而未采用插值处理得到的载频与实际值存在较大的误差，为 0.3 Hz 和 0.4 Hz；加窗插值处理得到的载频误差最大约为 0.000 32 Hz，可见加窗插值处理方法可大幅提高移频轨道电路信号载频的解析精度。图 6 则是在不同调制频率下加窗插值处理方法对移频轨道电路信号幅值解析的影响。如图 6 所示，通过加窗插值处理可实现对信号幅值的精确解析，在不同调制频率下与理论值相比，解析相对误差最大值仅约为 0.421%。

表2 加窗插值FFT处理方法对轨道电路信号载频解析影响

载频值 /Hz	处理后 /Hz	处理后 /Hz	处理后误差 /Hz	处理后误差 /Hz
1 698.7	1 699.0	1 698.699 784 256 46	0.3	0.000 315 744
1 701.4	1 701.0	1 701.399 698 141 50	0.4	0.000 301 859
1 998.7	1 999.0	1 998.699 686 696 31	0.3	0.000 313 304
2 001.4	2 001.0	2 001.399 704 087 81	0.4	0.000 295 912
2 298.7	2 299.0	2 298.699 685 518 77	0.3	0.000 314 481
2 301.4	2 301.0	2 301.399 700 296 20	0.4	0.000 299 704
2 598.7	2 599.0	2 598.699 688 284 59	0.3	0.000 311 715
2 601.4	2 601.0	2 601.399 699 885 47	0.4	0.000 300 115

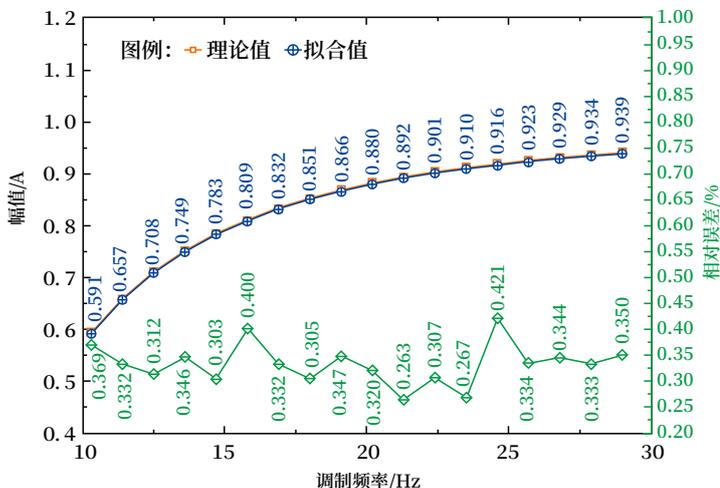


图6 加窗插值处理对移频轨道电路信号载频幅值解析的影响

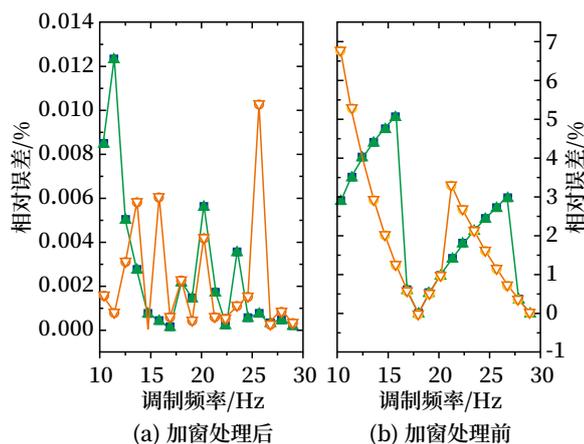
加窗插值方法对移频轨道电路信号调制频率解析情况如表 3 所示。通过对轨道电路 18 种调制频率解析结果表明，加窗插值方法对调制频率解析最大误差 0.002 63 Hz，而未加窗插值方法解析的最大误差为 0.7 Hz。加窗插值处理对移频轨道电路信号调制频率解析相对误差的影响如图 7 所示。相对误差随调制频率的增加呈波动变化。另外发现相对误差与载频相关，如当载频为 1 701.4 Hz 及 2 301.4 Hz 时不同调制频率下相对误差保持一致。

4 结论

本文提出一种基于 Hanning 窗四谱线插值的

表3 加窗插值方法对移频轨道电路信号调制频率解析情况

调制频率	处理前	处理后	处理前误差	处理后误差
10.3	11	10.300 158 81	0.7	1.59E-04
11.4	12	11.400 093 91	0.6	9.39E-05
12.5	13	12.499 607 55	0.5	3.92E-04
13.6	14	13.600 784 45	0.4	7.84E-04
14.7	15	14.699 992 69	0.3	7.31E-06
15.8	16	15.800 950 56	0.2	9.51E-04
16.9	17	16.900 099 25	0.1	9.92E-05
18.0	18	17.999 582 78	0.0	4.17E-04
19.1	19	19.100 088 22	0.1	8.82E-05
20.2	20	20.199 148 24	0.2	8.52E-04
21.3	22	21.300 124 47	0.7	1.24E-04
22.4	23	22.400 119 51	0.6	1.20E-04
23.5	24	23.500 254 44	0.5	2.54E-04
24.6	25	24.600 380 67	0.4	3.81E-04
25.7	26	25.697 371 08	0.3	2.63E-03
26.8	27	26.800 083 46	0.2	8.35E-05
27.9	28	27.900 256 71	0.1	2.57E-04
29.0	29	29.000 085 91	0.0	8.59E-05



图例: ■-1 701.4 Hz ◇-1 998.7 Hz ▲-2 301.4 Hz ▼-2 598.7 Hz

图7 加窗插值处理对移频轨道电路信号调制频率解析相对误差的影响

算法模型用于对移频轨道电路信号进行解析,并通过模拟仿真的方法予以验证。研究表明,对移频轨道电路信号时域上加窗处理可有效改善传统FFT存在的频谱泄露问题,在频谱中进行插值可提高信号特征值解析精度。经过本文提出的信号特征值算法,可实现移频轨道电路载频解析最大误差为0.000 32 Hz,调制频率解析最大误差为0.002 63 Hz,误差范围能够满足对轨道电路信号解析要求。

参考文献

- [1] Yang S.W., Zhu B., C. Roberts, et al.. Feature-based solution to harmonics interference on track circuit in electrified heavy haul railway [J]. IEEE International Conference on Intelligent Rail Transportation, 2014.
- [2] Jin Y., Zheng X.F., Ding T.F.. A high-accuracy parameter estimation algorithm for jointless frequency-shift track circuit[J]. International Colloquium on Computing Communication Control& Management, 2008 : 750-753.
- [3] 潘文, 钱俞寿, 周鹤. 基于加窗插值FFT的电力谐波测量理论-(I)窗函数研究[J]. 电工技术学报, 1994, 1: 50-54.
- [4] 赵文春, 马伟明, 胡安. 电机测试中谐波分析的高精度FFT算法[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(12): 83-92.
- [5] 张俊敏, 刘开培, 汪立, 等. 基于四谱线插值FFT的谐波分析快速算法[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(1): 139-145.
- [6] 薛萍, 王亚彬, 姚娟, 等. 凯塞窗四谱线插值FFT的电力谐波分析方法[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2018, 23(2): 53-57.

(下转 80页)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.Z1.016

ZPW-2000A移频脉冲轨道电路在普铁上的应用

张家萌

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

摘要: 国内普速铁路站内轨道电路绝大部分采用 25 Hz 轨道电路,但在运用维护中也逐渐暴露出分路不良、轨道电路和电码化“两层皮”等亟需解决的问题。ZPW-2000A 移频脉冲轨道电路集成移频和脉冲两种轨道电路的优点,用两种信号的优势解决站内轨道电路顽疾。论证了 ZPW-2000A 移频脉冲轨道电路在普铁上应用的可行性。

关键词: 普速铁路; 25 Hz 轨道电路; 移频脉冲; 适应性分析

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)Z1-0070-06

Application of ZPW-2000A Frequency-shift Pulse Track Circuits in Conventional Railways

Abstract: At present, the vast majority of track circuits in the stations of conventional railways in China are 25 Hz track circuits. However, in their usage and maintenance, they have gradually exposed problems that need to be solved, such as bad shunting, and the "two-layer approach" to the coding of track circuits. ZPW-2000A frequency-shift pulse track circuits integrate the advantages of both frequency-shift track circuits and pulse track circuits, using the advantages of both types of signals to solve the persistent problem of track circuits in the station. This article demonstrates the feasibility of applying ZPW-2000A frequency-shift pulse track circuits in the conventional railway stations.

Keywords: conventional railway; 25 Hz track circuit; frequency-shift pulse; adaptive analysis

1 普速铁路站内轨道电路应用现状

国内普速铁路站内轨道电路绝大部分采用 25 Hz 轨道电路,运用至今已超过 40 年,在国内铁路建设历程中发挥了重要作用,但在运用维护中也逐渐暴露出一些亟需解决的问题:

- 1) 分路不良;
- 2) 钢轨引接线断线及钢轨电气隔离检查能力不足;
- 3) 谐波干扰及机车掉码问题;

4) 轨道电路和电码化“两层皮”,设备数量多、调整困难。

其中,分路不良是目前最严重的问题。2008 年铁道部运输局印发的《站内轨道电路分路不良整治实施指导意见》中指出,提出包含轨道电路方案在内的共 4 种整治方案:

- 1) 轨道电路方案: 3 V 化相敏轨道电路、UI 型轨道电路、高压脉冲轨道电路等;
- 2) 轨面熔覆堆焊方案;
- 3) 监控盒方案;

(4) 计轴方案。

目前，既有线常用计轴来解决分路不良问题。但计轴相比轨道电路具有以下缺点。

- 1) 无法检测钢轨断轨；
- 2) 由于其他铁磁材料在磁头上的动作可能造成错误计轴，可靠性差；
- 3) 无发码功能，在发码区段需要叠加电码化设备，设备数量多维护复杂。

2 移频脉冲轨道电路特点

通号设计院研制的 ZPW-2000A 移频脉冲轨道电路，通过技术手段一揽子解决站内分路不良、机车信号掉码、谐波干扰、拉弧烧绝缘等问题。

移频脉冲轨道电路集成移频和脉冲两种轨道电路的优点，用两种信号的优势解决站内轨道电路顽疾。

2.1 系统特征

移频脉冲轨道电路的最主要特征是同时发出两种信号，同时接收处理两种信号，在室内集中调整，解决了电码化叠加“两层皮”的问题。

接收设备应能同时处理脉冲信号和移频信号，两个信号均符合调整状态条件时，判轨道空闲；任意一个信号符合分路状态时，判轨道占用。

2.2 系统结构特点及设备配置

移频脉冲轨道电路系统具有如下特点。

- 1) 属于 ZPW-2000A 轨道电路的一种；
- 2) 室外设备筒统化，仅有扼流变压器；
- 3) 保持与其他系统设备接口不改变；
- 4) 保持电缆使用不改变。

2.3 技术特点

1) 轨面电压高击穿效果

发送器输出脉冲峰头电压范围为 600 ~ 700 V。轨面电压能达到 100 V，对钢轨锈层击穿效果如图 1 所示。

2) 实现双向回流

通过回流电抗器连通侧线“一头堵”，实现侧线双端回流，解决轨头、绝缘节拉弧烧损。利用其通



图1 脉冲对钢轨击穿效果

工频隔移频特性，保证断线、断轨检查性能。

3) 防谐波干扰和机车掉码

移频脉冲中的脉冲信号不影响移频信号的连续性，解决了高压脉冲叠加电码化时掉码问题。

3 移频脉冲轨道电路在普铁应用适应性分析

目前，ZPW-2000A 移频脉冲轨道电路在高铁站内与动车所均有所应用，但尚未在普铁中应用。移频脉冲轨道电路在普铁应用时，有如下适应性问题。

3.1 一送多受区段钢轨电气检查

目前，普铁站内使用 25 Hz 轨道电路存在大多一送多受区段。移频脉冲轨道电路也可采用一送一受、一送两受、一送三受的方案，实现道岔区段空闲检查，和除下图红框外的钢轨电气断离检查。对于道岔尖轨部分，为目前所有轨道电路的断轨检查盲区。

3.2 大牵引电流适应性

普速重载铁路中牵引电流较高铁 1 000 A 的要求有所增加，因此，在大牵引电流时，根据该容量及《铁路信号设备牵引电流抗扰度试验方法第 1 部分：轨道电路设备》(Q/CR 628.1-2017) 对移频脉冲轨道电路进行测试，在 1 600 A 牵引电流下考虑不平衡度为 10% 时，能够正常运用。

3.3 低道床和电缆长度适应性

普速股道区段长度长，室外电缆也长，且需要适应 $1 \Omega \cdot \text{km}$ 甚至 $0.6 \Omega \cdot \text{km}$ 道床电阻，因此，综合考虑普速站内道床电阻条件和车站控制距离情况。对不同道床电阻、不同电缆长度下的区段极限长度要求如表 1 所示。

4 移频脉冲轨道电路应用方案

4.1 电路原理

一送一受区段电路原理如图 2 所示。每个区段

表1 移频脉冲普速低道床长电缆区段长度适应

电缆长度 / m	道床电阻 / ($\Omega \cdot \text{km}$)	股道及无岔区段极限长度 / m	道岔区段极限长度 / m
750	0.6	600	350
	1	650	350
1 000	0.6	500	350
	1	650	350
1 500	0.6	400	350
	1	550	350

包括 2 台发送器 (1 主 1 备)、1 台接收器、1 台衰耗冗余控制器、2 台防雷模拟网络盘, 室外送、受端机械绝缘节各设置 1 台扼流变压器。

一送两受区段电路原理如图 3 所示。每个区段包括 2 台发送器 (1 主 1 备)、2 台接收器、2 台衰耗冗余控制器、3 台防雷模拟网络盘, 室外送、受端机械绝缘节各设置 1 台扼流变压器。

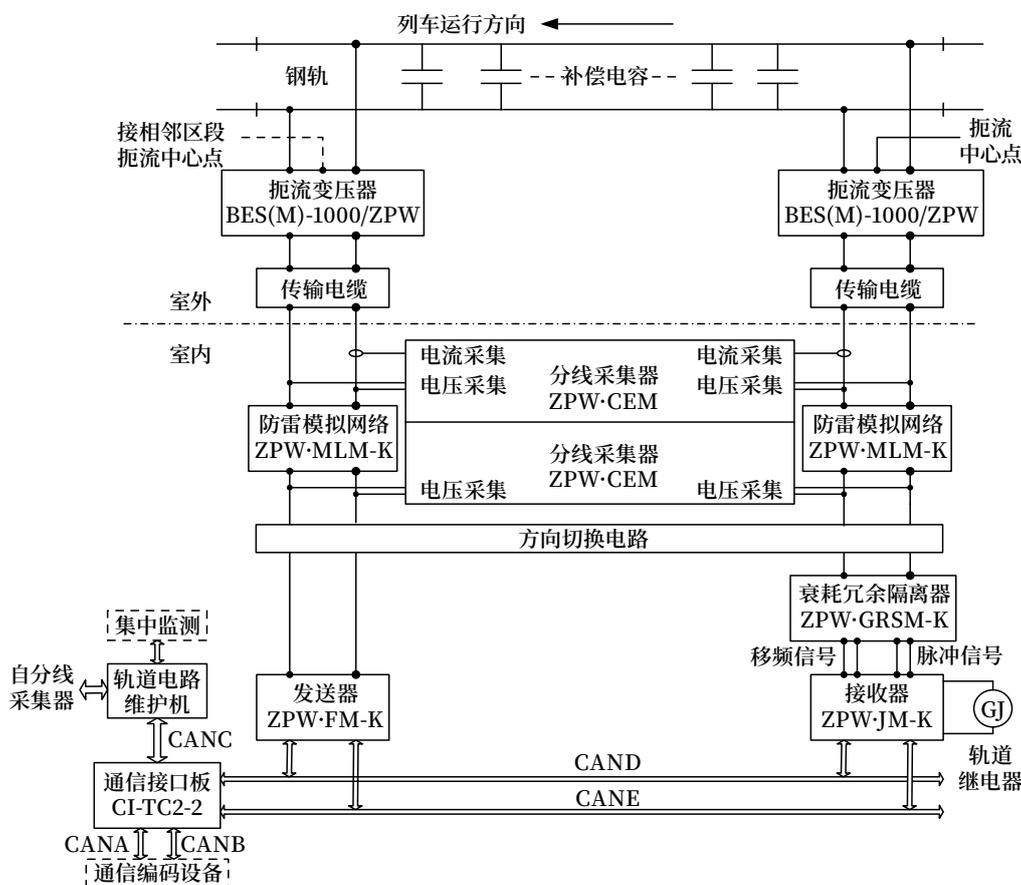


图2 移频脉冲轨道电路普速一送一受区段原理

4.2 具体运用方案

1) 移频柜布置方案

将一送一受、一送两受区段分设在不同的移频柜内。一送一受区段时, 同一槽道内上、下两个区段接收器互为备用关系, 布置如图 4 所示。

一送两受区段时, 同一槽道内上部位置安装发送器和接收端 1 所用的接收器, 下部位置安装接收端 1 所用的接收器, 两台接收器互为备用关系, 布

置如图 5 所示。

2) 接口柜布置方案

将一送一受、一送两受的发送端与接收端 1, 放置在模拟网络组匣中, 同时增加分线采集器完成各模拟量的采集功能, 每层可放置 3 个区段, 如图 6 所示。

将一送两受的接收端 2 放置在其他模拟网络组匣中, 同时增加分线采集器完成受端电缆侧、设备

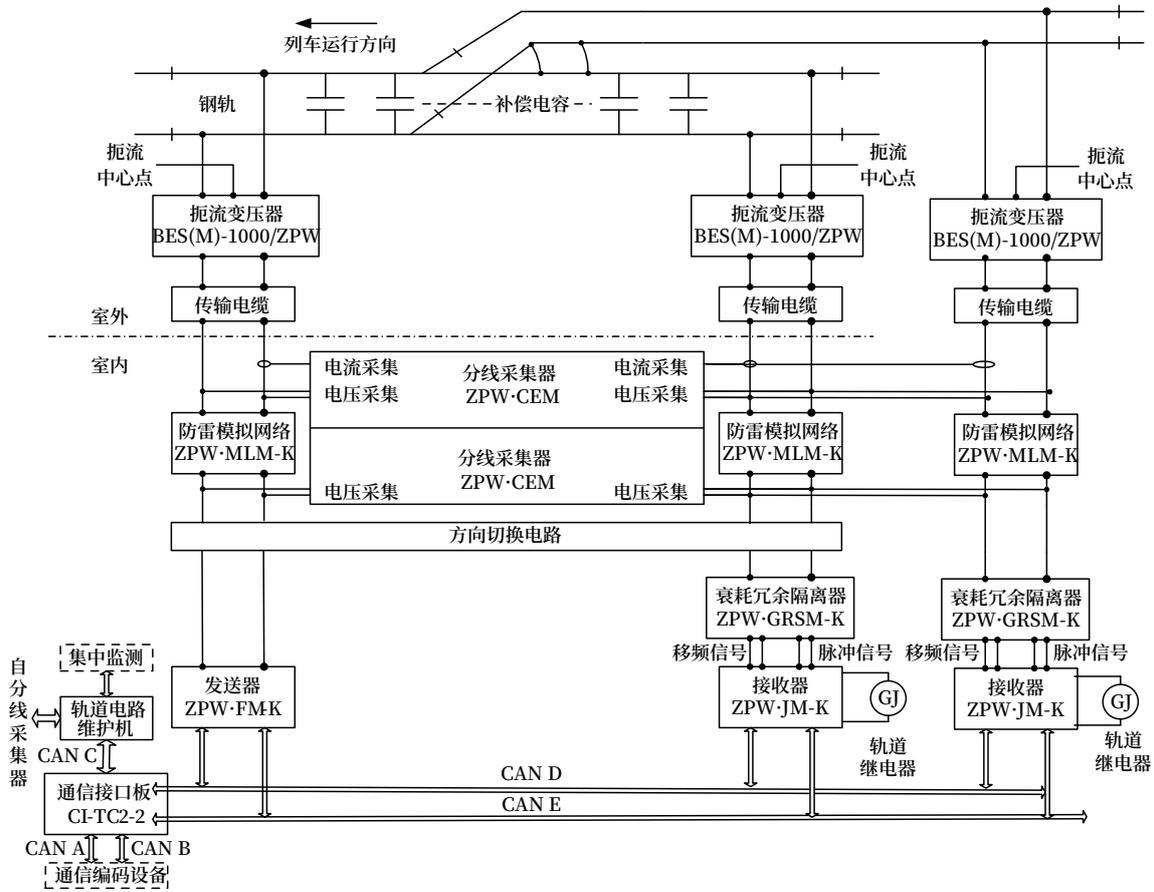


图3 移频脉冲轨道电路普速一送两受区段原理

设备名称	YP (正面)				
主发送器	1ZFS	3ZFS	5ZFS	7ZFS	9ZFS
	ZPW·FM-K	ZPW·FM-K	ZPW·FM-K	ZPW·FM-K	ZPW·FM-K
备发送器	1BFS	3BFS	5BFS	7BFS	9BFS
	ZPW·FM-K	ZPW·FM-K	ZPW·FM-K	ZPW·FM-K	ZPW·FM-K
接收器	1JS	3JS	5JS	7JS	9JS
	ZPW·JM-K	ZPW·JM-K	ZPW·JM-K	ZPW·JM-K	ZPW·JM-K
站内衰耗冗余隔离器	1RS	3RS	5RS	7RS	9RS
	ZPW·GRSM-K	ZPW·GRSM-K	ZPW·GRSM-K	ZPW·GRSM-K	ZPW·GRSM-K
站内衰耗冗余隔离器	2RS	4RS	6RS	8RS	10RS
	ZPW·GRSM-K	ZPW·GRSM-K	ZPW·GRSM-K	ZPW·GRSM-K	ZPW·GRSM-K
主发送器	2ZFS	4ZFS	6ZFS	8ZFS	10ZFS
	ZPW·FM-K	ZPW·FM-K	ZPW·FM-K	ZPW·FM-K	ZPW·FM-K
备发送器	2BFS	4BFS	6BFS	8BFS	10BFS
	ZPW·FM-K	ZPW·FM-K	ZPW·FM-K	ZPW·FM-K	ZPW·FM-K
接收器	2JS	4JS	6JS	8JS	10JS
	ZPW·JM-K	ZPW·JM-K	ZPW·JM-K	ZPW·JM-K	ZPW·JM-K

图4 一送一受移频柜布置

框架名称		YP (正面)				
主发送器	1ZFS	2ZFS	3ZFS	4ZFS	5ZFS	
	ZPW·FM-K	ZPW·FM-K	ZPW·FM-K	ZPW·FM-K	ZPW·FM-K	
备发送器	1BFS	2BFS	3BFS	4BFS	5BFS	
	ZPW·FM-K	ZPW·FM-K	ZPW·FM-K	ZPW·FM-K	ZPW·FM-K	
接收器	1JS	2JS	3JS	4JS	5JS	
	ZPW·JM-K	ZPW·JM-K	ZPW·JM-K	ZPW·JM-K	ZPW·JM-K	
站内衰耗冗余隔离器	1RS	2RS	3RS	4RS	5RS	
	ZPW·GRSM-K	ZPW·GRSM-K	ZPW·GRSM-K	ZPW·GRSM-K	ZPW·GRSM-K	
站内衰耗冗余隔离器	1RS	2RS1	3RS1	4RS1	5RS1	
	ZPW·GRSM-K	ZPW·GRSM-K	ZPW·GRSM-K	ZPW·GRSM-K	ZPW·GRSM-K	
主发送器						
备发送器						
接收器	1JS1	2JS1	3JS1	4JS1	5JS1	
	ZPW·JM-K	ZPW·JM-K	ZPW·JM-K	ZPW·JM-K	ZPW·JM-K	

图5 一送两受移频柜布置

2	2-1 电缆侧电压 / 电流采集	2-2 FS	2-3 JS	2-4 FS	2-5 JS	2-6 FS	2-7 JS	2-8 设备侧电压
	ZPW·CEM	ZPW·MLM-K	ZPW·MLM-K	ZPW·MLM-K	ZPW·MLM-K	ZPW·MLM-K	ZPW·MLM-K	ZPW·CEM
1	1-1 电缆侧 / 设备侧电压	1-2 FS	1-3 JS	1-4 FS	1-5 JS	1-6 FS	1-7 JS	1-8 设备侧电压
	ZPW·CEM	ZPW·MLM-K	ZPW·MLM-K	ZPW·MLM-K	ZPW·MLM-K	ZPW·MLM-K	ZPW·MLM-K	ZPW·CEM

图6 一送一受接口柜布置

侧的模拟量采集功能，每层可放置6个接收端，如图7所示。

3) 钢轨极性交叉设置方案

为实现机械绝缘节破损检查，各轨道区段需满

3	3-1 电缆侧电压 / 电流采集	3-2 1FS	3-3 1JS	3-4 2FS	3-5 2JS	3-6 3FS	3-7 3JS	3-8 设备侧电压
	ZPW·CEM	ZPW·MLM-K	ZPW·MLM-K	ZPW·MLM-K	ZPW·MLM-K	ZPW·MLM-K	ZPW·MLM-K	ZPW·CEM
2	2-1 电缆侧电压 / 电流采集	2-2 4FS	2-3 4JS	2-4 5FS	2-5 5JS	2-6 6FS	2-7 6JS	2-8 设备侧电压
	ZPW·CEM	ZPW·MLM-K	ZPW·MLM-K	ZPW·MLM-K	ZPW·MLM-K	ZPW·MLM-K	ZPW·MLM-K	ZPW·CEM
1	2-1 电缆侧 / 设备侧电压	1-2 1JS1	1-3 2JS1	1-4 3JS1	1-5 4JS1	1-6 5JS1	1-7 6JS1	1-8
	ZPW·CEM	ZPW·MLM-K	ZPW·MLM-K	ZPW·MLM-K	ZPW·MLM-K	ZPW·MLM-K	ZPW·MLM-K	

图7 一送两受接口柜布置

足钢轨极性交叉设置。

两个区间间极性交叉时，扼流变压器引接线设

置如图 8 所示。扼流变压器引接线脉冲信号极性设置原则如下。

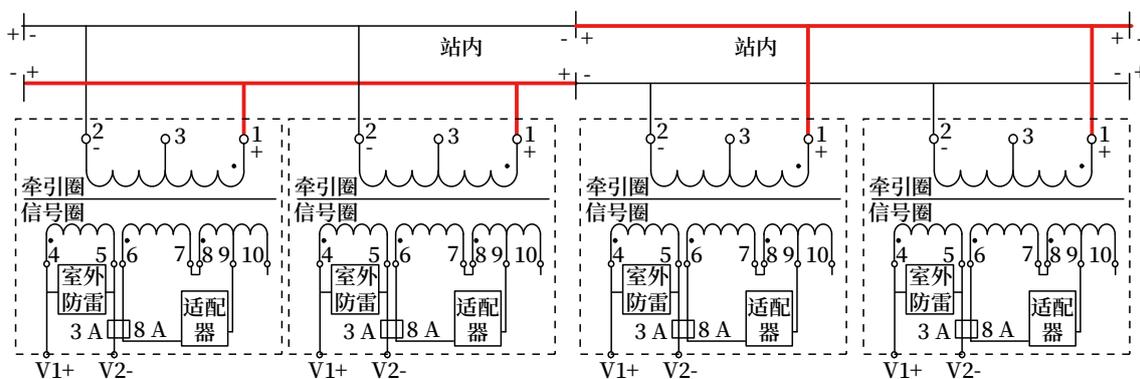


图8 扼流变压器安装示意

扼流钢轨侧 1 端子为 +，2 端子为 -；扼流设备侧 V1 为 +，V2 为 -。

5 结论

在普铁站内使用移频脉冲轨道电路，可以有效改善分路不良，并解决了电码化叠加“两层皮”的问题，且移频脉冲轨道电路设备数量少，便于维护。在应用过程中，虽然存在一送多受区段钢轨电气检查、大牵引电流、低道床与电缆超长等问题，但移频脉冲轨道电路均可通过技术手段进行适应。因此，在普铁站内使用移频脉冲轨道电路可行，且具有极高的性价比。

参考文献

- [1] 中国铁路总公司. 高速铁路信号维护规则技术标准部分 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2016.
- [2] 中国铁路总公司. ZPW-2000A 型无绝缘移频自动闭塞系统 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2013.
- [3] 中国铁路总公司. ZPW-2000A 移频脉冲轨道电路暂行技术条件 [S]. 北京: 中国铁路总公司, 2014.
- [4] Yang Yixuan, Qiao Zhichao, Yin Huiyuan, et al. Influence of Temperature on the Transmission Performance of Track Circuit in High-speed Railway[C]. 2018 2nd International Conference on Functional Materials and Chemical Engineering, ICFMCE, 2018.
- [5] 任军, 鲁恩斌. ZPW-2000A 移频脉冲轨道电路系统研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2015, 12 (3): 10-14.
- [6] 张博. 回流电抗器在解决高铁站内轨端绝缘烧损中的应用 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16 (Z1): 16-19.
- [7] 李文涛, 杨轶轩, 阳晋. 高速铁路轨道电路技术创新与实践 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16 (Z1): 1-5.
- [8] 李恒. ZPW-2000A 移频脉冲轨道电路与 ZPW-2000A 轨道电路的差异性研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (3): 29-32.

(收稿日期: 2023-06-13)

(修回日期: 2023-09-21)

ZPW-2000R轨道电路通信数据分析方法设计与工具实现

任 飞¹, 韩安平¹, 黄春雷², 郭虹利¹, 吴 渊¹

(1. 中国铁道科学研究院集团有限公司, 北京 100081;

2. 黑龙江瑞兴科技股份有限公司, 哈尔滨 150030)

摘要: 通信编码 ZPW-2000R 轨道电路实时记录并存储全部通信原始数据用于设备维护及故障分析。然而通信数据抽象繁杂, 直接分析数据难度较大。针对此问题, 设计了一种通信数据的有效分析方法, 并利用该方法开发了分析工具软件, 能够自动实现数据的解析、分析, 以及可视化显示, 显著提高了现场维护效率。

关键词: ZPW-2000R 轨道电路; 通信数据; 分析方法; 工具

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)Z1-0076-05

ZPW-2000R Track Circuit Communication Data Analysis Method Design and Tool Implementation

Abstract: ZPW-2000R track circuit with communication codes records and stores all original communication data in real time for equipment maintenance and fault analysis. However, due to the abstract and complex nature of communication data, it is difficult to directly analyze the data. To address this issue, an effective analysis method for communication data is designed, and an analysis tool software is developed using this method, which can automatically parse and analyze data, as well as present visual display, significantly improving on-site maintenance efficiency.

Keywords: ZPW-2000R track circuit; communication data; analysis method; tool

1 概述

通信编码 ZPW-2000R 轨道电路在国内高速铁路区段广泛应用。该类型轨道电路利用通信盘实现与列控中心的接口通信^[1]。通信盘在完成其核心通信接口功能外, 会实时将通信交互的全部原始数据通过以太网发送至维护机进行记录存储。记录通信原始数据能够从源头准确地描述整个通信过程以及系统关键数据和运行状态的变化, 为故障后的原因

排查提供了重要的数据基础。

然而轨道电路通信数据量大且协议格式复杂多样, 数据分析工作需要维护人员熟练掌握各种协议内容及原理, 并结合不同时刻、不同类型的数据进行综合研判, 其过程复杂低效, 对专业能力要求较高。因此, 亟需设计一种能够指导和辅助维护人员完成通信数据分析的有效方法和工具, 降低维护人员数据分析难度及工作量, 提高分析效率和故障定位的精准度。本文基于 ZPW-2000R 轨道电路通信

数据特点,设计了一种以事件为描述单位,采用同类数据和事件关联数据相结合的通信数据分析方法。同时,利用该方法开发了ZPW-2000R轨道电路通信数据分析工具软件,实现了对通信数据的自动分类解析及综合分析。

2 通信结构及流程

ZPW-2000R轨道电路通信盘(简称TCU)与列控中心间为CAN总线接口,与轨道电路移频柜间为Profibus(DP)总线接口,通信盘负责完成两种总线的通信接口及协议转换功能^[2]。其通信结构如图1所示。一次完整的通信交互过程为:列控中心向通信盘发送CAN协议格式的编码数据,通信盘接收数据后转换为DP协议格式数据,并依次发送至移频柜中的各发送器、接收器。发送器、接收器收到编码数据后,向通信盘返回DP协议格式的状态数据,通信盘接收汇总全部设备状态数据后转换为CAN协议格式数据,并发送至列控中心。

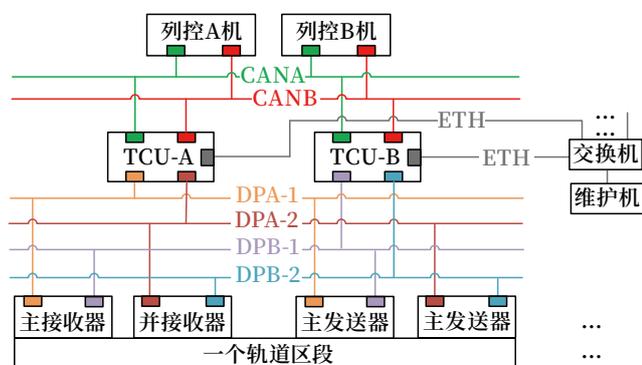


图1 ZPW-2000R轨道电路通信结构示意图

通信盘实时向维护机发送上述通信交互全过程的原始通信数据,以及与各通信对象的通信连接状态数据。维护机实时接收的信息,为缓解数据存储压力,维护机采用变化存储方式,并在存储时增加时间戳信息。本文基于维护机存储的通信数据信息,完成通信数据分析方法的设计与工具实现。

3 分析方法设计

上述分析发现,ZPW-2000R轨道电路通信数

据具有类型及协议格式多样,交互对象数量众多等特点。因此,通信数据的分析工作,首先要对繁杂的数据进行分类整理,按协议格式解析为能够理解的含义,然后在此基础上分析出每条记录信息背后产生的原因事件,包括正常的系统状态变化事件以及故障事件。

3.1 数据分类与解析

根据通信对象和数据流向的不同,可将通信数据分为6种基本类型:从列控中心接收CAN数据、向发送器发送DP数据、向接收器发送DP数据、从发送器接收DP数据、从接收器接收DP数据、向列控中心发送CAN数据。另外,还有通信连接状态数据。由于同类型数据的通信协议一致,可归为一组进行解析,并以时间序列进行排序。这种分类方式更能直观清晰表达各类数据的变化过程,便于后续的数据分析。数据的解析按照协议格式进行逐字节解析,并提取解析的关键信息用于后续的数据分析。各类型数据对应要解析的关键信息如表1所示。

表1 通信数据类型及对应解析的关键信息

数据类型	解析的关键信息
从列控中心接收CAN数据	TCU主/备类型、CANA/B类型、正/反码类型、各区段的载频及低频编码、数据包异常
向发送器发送DP数据	TCU主/备类型、区段编号、发送器主/备类型、载频及低频编码
向接收器发送DP数据	TCU主/备类型、区段编号、接收器主/并类型、载频编码
从发送器接收DP数据	TCU主/备类型、区段编号、发送器主/备类型、载频及低频编码、数据包异常
从接收器接收DP数据	TCU主/备类型、区段编号、接收器主/并类型、载频及低频编码、GJ状态、数据包异常
向列控中心发送CAN数据	TCU主/备类型、CANA/B类型、正/反码类型、各区段的GJ状态
通信连接状态数据	通信盘与全部通信对象间的通信连接状态(正常、中断)

3.2 同类数据分析

全部数据按类分组解析后,首先对同类数据进行分析。同一类型数据中,记录的每条数据都代表了此刻数据发生了变化,而变化前数据为上一条记

录内容。因此，将本条记录数据与其前一条数据比对，并标注出变化的关键信息，即可作为分析本条记录产生原因的重要特征数据。分析过程中，还要特别标注出故障相关数据，包括含有：通信中断、数据异常、非法字节等内容的数据。此类数据作为故障事件原因分析的关键特征数据。

3.3 关联数据分析

当一个事件发生后，可能会产生一系列连锁反应，导致在相近时刻相关的不同类型数据各自产生规律性变化，且具备一定的先后时序关系。因此，以事件为中心，将全部数据划分为不同事件所属的关联数据集，把关联数据集中关键信息的变化情况作为输入特征，有助于准确地识别所发生事件，防止无关数据干扰分析以及同一事件数据重复分析。

1) 关联数据集的划分。选择合适的时间阈值，将相近时刻（发生的时间差在时间阈值范围内）的标注了关键信息变化的不同类型数据归为一组，作为一个事件的关联数据集。正常事件导致的关联数据响应速度较快，阈值设置较小。而故障事件往往有延时处理机制，关联数据响应可能存在延时，阈值设置需相对较大。

2) 建立专家知识库。对可能出现的各种典型正常和故障事件对应的关联数据中关键信息变化规律进行总结归纳，建立专家知识库。下面列举几种常见事件进行说明。

事件 1- 列控发码改变：从列控接收数据中低频（或载频）信息变化→对应区段的向发送器 / 接收器发送数据中低频（或载频）信息变化→对应区段的从发送器 / 接收器接收数据中低频（或载频）信息变化。

事件 2- 某区段列车占用：对应区段的从接收器接收数据中 GJ 状态信息由空闲变为占用，低频信息由有变为无→向列控发送数据中对应区段状态信息由空闲变为占用。

事件 3- 某区段列车出清：对应区段的从接收器接收数据中 GJ 状态信息由占用变为空闲，低频信息由无变为有→向列控发送数据中对应区段状态信

息由占用变为空闲。

事件 4- 某接收器通信中断：通信连接状态数据中对应设备的通信连接状态信息由正常变为中断→向列控发送数据中对应区段状态信息变为通信故障。

事件 5- 某接收器通信恢复正常：通信连接状态数据中对应设备的通信连接状态信息由中断变为正常→向列控发送数据中对应区段状态信息由通信故障变为正常（占用或空闲）。

事件 6-CANA/B 总线通信中断：通信连接状态数据中对应总线的通信连接状态信息由正常变为中断→向全部发送器 / 接收器发送数据中载频、低频编码信息变为 0→从全部发送器 / 接收器接收数据中载频、低频、GJ 状态信息变为 0→向列控中心发送数据中全部区段状态信息变为通信故障。

事件 7-CANA/B 总线通信恢复正常：通信连接状态数据中对应总线的通信连接状态信息由中断变为正常→向全部发送器 / 接收器发送数据中载频、低频编码信息由 0 变为有效信息→从全部发送器 / 接收器接收数据中载频、低频、GJ 状态信息由 0 变为有效信息→向列控中心发送数据中全部区段状态信息由通信故障变为有效信息。

事件 8- 接收的数据包错误：接收数据包中“数据包错误”字节不为 0。

3) 关联数据集匹配分析。把待分析数据中各事件的关联数据集作为输入与专家知识库中内容依次进行匹配，当与某一事件的特征完全匹配，则输出判别为发生该类事件。另外，有可能多个事件在同一时刻或相近时刻发生，此时多个事件的数据会划分为同一个关联数据集，无法完全匹配某一事件。此时，将专家知识库内容依次与关联数据集的子集进行匹配，若匹配成功，则拆分出一个事件，剩余子集继续进行匹配，直至全部数据匹配完成。通信数据分析方法流程如图 2 所示。

4 应用与实现

应用上述分析方法，使用 C# 语言实现 ZPW-2000R 轨道电路通信数据分析软件的开发。该工具

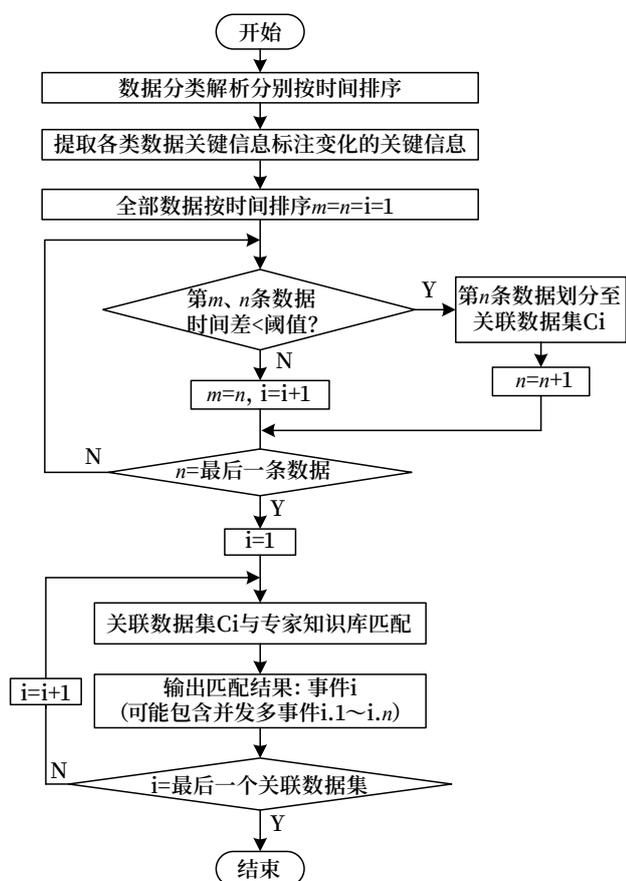


图2 ZPW-2000R轨道电路通信数据分析方法流程

软件采用界面可视化的方式，能够实现对通信数据自动分类并按协议格式解析，通过上下文内容比对

提取变化的关键信息，并对基于事件划分的关联数据集进行综合分析输出结果。

4.1 数据分类解析

将待分析时间段的通信数据文件导入分析软件。选择“数据分类解析”标签，数据分类解析功能界面如图3所示。分别对通信盘 A、B 系处理的通信数据，按 7 种数据类型，以时间序列显示根据每条数据解析出的关键信息。选中一条记录信息，在右侧可显示完整的原始数据及对应的解析内容。数据过滤器可以选择要解析的设备、区段、正反码、主备（并）机，便于对指定数据的分析。

4.2 数据分析

选择“数据分析”标签，可对选定范围的解析数据进行综合分析。分析结果以事件为单位，按时间顺序显示各时刻发生的事件内容。选中一条事件，右侧显示出其所属的全部关联数据集，并标注出关键数据信息的变化情况，如图4所示。

5 总结

本文以 ZPW-2000R 轨道电路与列控中心的通信数据作为研究对象，提出了一种通信数据的有效分析方法，并基于该方法开发了数据分析工具软件。该软件能够辅助维护人员进行通信数据的解析及原



图3 ZPW-2000R轨道电路通信数据分析软件-数据分类解析功能界面

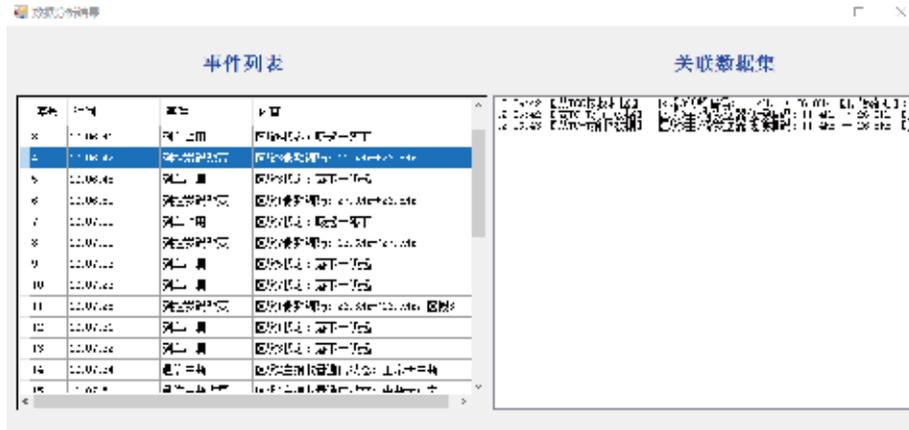


图4 ZPW-2000R轨道电路通信数据分析软件-数据分析界面

因事件的分析，显著提高了现场的设备维护效率及故障分析的准确性。

参考文献

[1] 中国铁路总公司. 高铁列控中心接口暂行技术规范: 铁总运 [2015]75 号 [S]. 北京: 中国铁路总公司, 2015.

[2] 郭虹利, 李逸峰, 任飞, 等. ZPW-2000R 轨道电路通信盘通信机制探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (Z1): 86-89.

[3] 中华人民共和国国家铁路局. ZPW-2000 轨道电路技术条件: TB/T 3206-2017 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.

[4] 谢伟金. ZPW-2000A 轨道电路与列控中心通信故障分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16 (Z1): 106-110.

[5] 吴渊, 韩安平, 任飞, 等. ZPW-2000R 轨道电路通信盘应用问题分析与对策 [J]. 铁道通信信号, 2022, 58 (9): 36-40.

[6] 郭虹利, 张龙, 韩安平, 等. 通信编码 ZPW-2000 轨道电路接口仿真测试平台的设计 [J]. 铁路计算机应用, 2022, 31 (12): 72-77.

[7] 李诗宇. 基于 ZPW-2000R 轨道电路的轨道状态智能识别研究 [D]. 郑州: 郑州航空工业管理学院, 2022.

[8] 徐治学, 李娟, 陈德伟. ZPW-2000R 轨道电路在灯丝故障下不能恢复空闲问题的分析与处理 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17 (Z1): 25-27.

(收稿日期: 2023-06-25)

(修回日期: 2023-09-21)

(上接 69页)

[7] 高云鹏, 滕召胜, 卿柏元. 基于 Kaiser 窗双谱线插值 FFT 的谐波分析方法 [J]. 仪器仪表学报, 2010, 31 (2): 287-292.

[8] 黄星宇, 罗萍萍, 谢琳宇, 等. 基于 Nuttall 窗的全相位傅里叶电力谐波检测 [J]. 水电能源科学, 2020, 38 (6): 192-195.

[9] Song X. W., Li D. M., Li Z. H., et al.. Harmonic

analysis and simulation study using triple-spectrum-line interpolation FFT algorithm[J]. International Conference on Materials Engineering and Information Technology Applications, 2015.

(收稿日期: 2023-06-01)

(修回日期: 2023-09-21)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.Z1.018

ZPW-2000轨道电路在分相区设置区段长度的分析

陈名宝, 张 改, 孙宁先, 王连福

(北京和利时系统工程有限公司, 北京 100176)

摘要: 列车运行在分相区时, 处于无电滑行状态, 若钢轨轨面生锈, 则无法通过牵引电流击穿锈蚀层, 使得 ZPW-2000 轨道电路易出现分路不良现象。针对分相区轨道电路的应用场景, 从信号抗干扰性、提高分路灵敏度等角度综合评估, 提出了分相区设置轨道区段长度的建议值, 为现场工程设计提供参考。

关键词: ZPW-2000 轨道电路; 分相区; 区段长度

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)Z1-0081-03

Analysis of Setting Length of Track Sections of ZPW-2000 Track Circuits in Neutral Zones

Abstract: When the train is running in a neutral zone, it is in a state of coasting without electrical power. If the rail surface is rusted, the traction current cannot break through the rust layer. Consequently, ZPW-2000 track circuits are prone to bad shunting. Aiming at the application scenarios of track circuits in the neutral zones, this paper comprehensively evaluates the problem from the perspectives of signal immunity and the improvement in shunting sensitivity, and puts forward the recommended values for setting the length of the track sections in the neutral zones, which provides reference for field engineering design.

Keywords: ZPW-2000 track circuit; neutral zone; length of track section

1 概述

分相区, 是电气化铁路的无电区间, 是将不同变电所供出的不同相位的电, 通过两个分相开关进行隔离, 以防止异相电短路并造成熔断接触网。机车在通过分相区时, 区内接触网无电; 而在通过分相区后, 列车接入稳定的另一相电压, 如图 1 所示。

机车通过分相区, 对轨道电路的影响如下:

1) 列车通过分相区, 牵引电流会出现“稳态 -

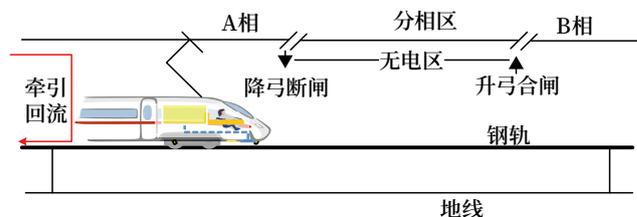


图1 电力机车过分相示意

脉冲 - 稳态”的变化, 产生励磁涌流现象^[1], 谐波干扰现象比较突出, 可能引起机车掉码现象。励磁涌流波形如图 2 所示。

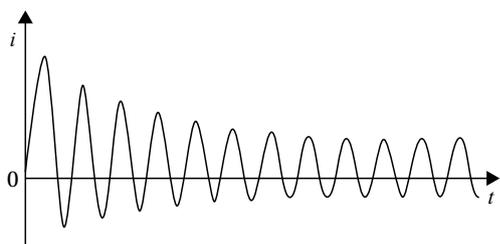


图2 励磁涌流示意

2) 轮对与钢轨接触时,若钢轨轨面生锈,正常情况下可通过牵引电流击穿锈蚀,改善分路不良现象;而列车运行在分相区时,处于无电滑行状态,无牵引电流击穿锈蚀,造成分路电阻较大,可能出现轨道电路分路不良的风险。

因此,针对上述影响,本文从电气抗干扰性、提高分路灵敏度两个方面研究分相区轨道电路的应用要求。

2 电气抗干扰性分析

列车在通过分相区的过程中,牵引电流会出现“稳态-脉冲-稳态”的变化,钢轨产生励磁涌流,呈震荡现象,产生较大的谐波干扰。谐波干扰叠加在移频信号上,若信噪比过小,则会使机车解码异常,引起掉码停车,影响列车运营。

根据《轨道交通机车车辆和列车检测系统的兼容性第2部分:与轨道电路的兼容性》(GB/T 28807.2-2017)^[2],为了保证ZPW-2000轨道电路和机车之间的兼容性,制定了机车运行所产生干扰电流的限值要求,如表1所示。

表1 ZPW-2000系列轨道电路对机车的谐波限值要求

频率 f_0 /Hz	带宽 Δf /Hz	干扰电流限值 I_0 /A	干扰时间 T /s
1 700	90	0.3	0.3
2 000	90	0.3	0.3
2 300	90	0.3	0.3
2 600	90	0.3	0.3

根据《铁路信号设备牵引电流抗扰度试验方法第2部分:车载轨道电路信息接收设备》(QCR 628.2-2018)表3、表5的要求^[3],可知车载可承受的信噪比约为2,如表2所示。

表2 车载接收器解码信噪比要求

载频/Hz	干扰信号/A	主要信号/A	信噪比
1 700	0.24	0.5	2.083
2 000	0.24	0.5	2.083
2 300	0.24	0.5	2.083
2 600	0.24	0.45	1.875

为了确保行驶在分相区内的机车,不因励磁涌流产生的谐波干扰影响机车解码,应满足车载设备解码信噪比要求,可通过提高钢轨上的机车电流来达到,所需的钢轨机车电流如表3所示。

表3 钢轨主信号机车电流计算

载频/Hz	干扰信号限值/A	车载接收信噪比	钢轨主信号机车电流/A
1 700	0.3	2	0.6
2 000	0.3	2	0.6
2 300	0.3	2	0.6
2 600	0.3	2	0.6

因此,分相区范围的轨道电路区段计算调整表时,钢轨最小机车电流阈值由0.5 A调整为0.6 A,能有效增加钢轨主信号的信噪比,可由原来的1.67提升至2。从而保证机车在分相区行驶时,降低谐波干扰的影响,确保机车解码正确。

3 分路灵敏度分析

分路灵敏度体现了轨道电路对轮轨接触阻抗的容忍度,分路灵敏度越高,则允许轮轨接触电阻越大,列车越能可靠占用。

列车在分相区无电滑行过程中,若钢轨踏面锈蚀严重,牵引电流无法通过轮轨接触击穿钢轨上的锈蚀,因而分路电阻值较大,轨道电路易出现分路不良的现象。

以某站1203AG为例,列车处于分相区行驶的时候,分路残压值普遍较高,触发了分路残压超限报警;而越过分相区,则分路残压恢复为正常的残压值。列车压入1203AG入口至列车牵引受电弓断电处(第一个空扼流处),分路残压呈递减规律,符合正常过车曲线特征;当列车驶过牵引受电弓断电处位置后,分路残压值逐渐升高;到列车过分相入口时,分路残压达到峰值点;此后分路残压值一

直处于较高状态，触发分路残压超上限报警，直至列车完全驶出分相区时，分路残压降至正常状态，如图3所示。

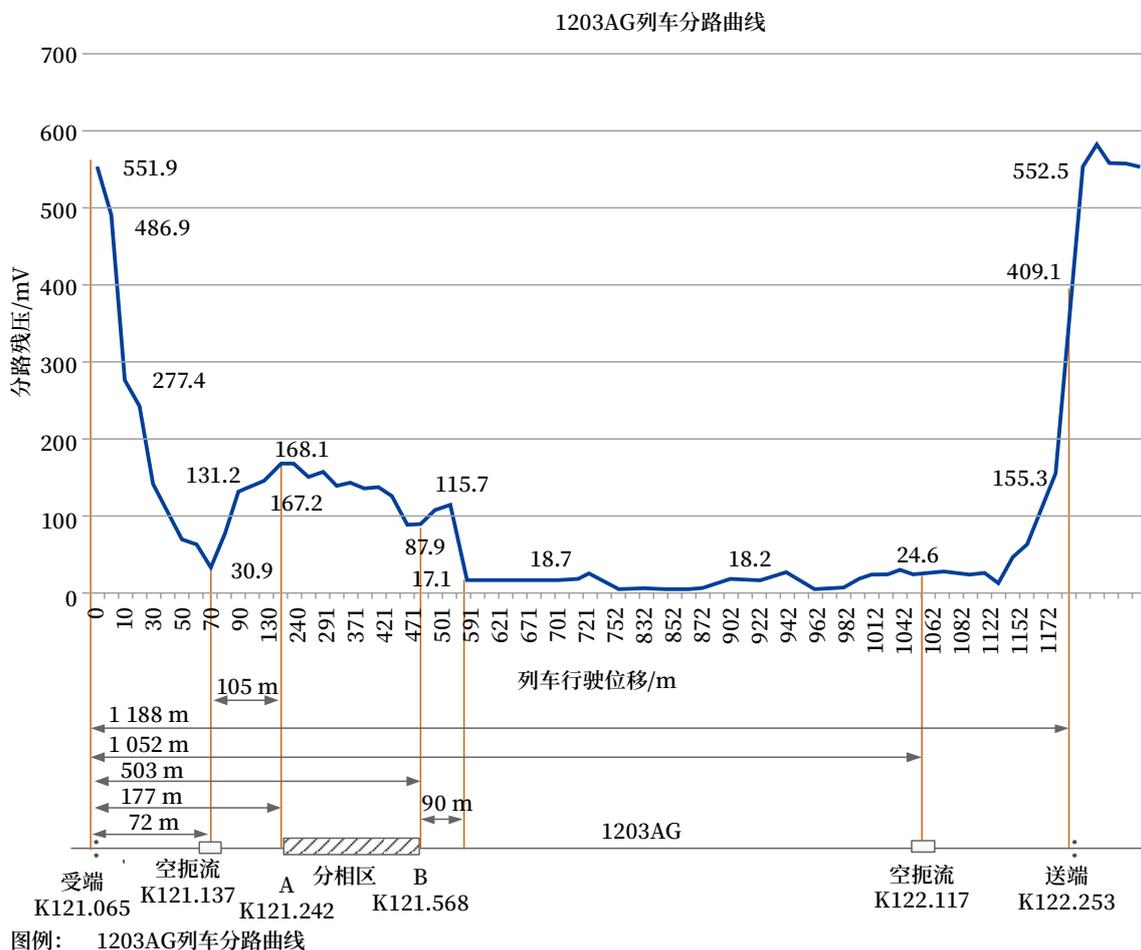


图3 分相区轨道电路过车位移计算

经理论计算现场轨道电路区段过车综合分路阻抗约为 0.4Ω ，远大于调整表设计的标准分路电阻 0.15Ω ，轨道区段的分路灵敏度较低，不能满足现场实际分路阻抗的要求。分路灵敏度低，可通过二次调整适当改善，即在调整表设计时，可适当提高分路电阻值来改善整个轨道区段传输通道的分路灵敏度，但相应地区段长度需适当缩小，以满足轨道电路调整状态、分路状态、机车电流的综合校核计算要求。

以1203AG为例，该区段长度为1172 m，通过轨道电路传输计算分析，该区段的分路灵敏度仅能提高至 0.2Ω ，而现场过车综合分路阻抗约为 0.4Ω ，仍无法解决分路残压超限的问题。只能通过钢轨表面除锈或喷涂、熔覆金属保护层来降低分路残压，改善分路不良现象。

因此，分相区轨道电路区段长度应适当考虑设计余量，在分路不良的情况下可通过提高分路灵敏度来进行二次调整，改善分路不良现象。

4 分相区轨道电路长度综合分析

针对分相区轨道电路存在的谐波干扰和分路不良现象，从信噪比和分路灵敏度两个维度评估，在计算分相区轨道电路的调整表时，设置最小机车电流阈值为 0.6 A 、分路电阻取值为 0.25Ω 。按上述设置在 $1.0 \Omega \cdot \text{km}$ 道砟电阻条件下，通过轨道电路传输理论计算分析，ZPW-2000系列轨道电路极限传输长度约为850 m。

(下转127页)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.Z1.019

轨道电路智能运维技术

李夏洋

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

摘要: 针对监测数据利用率低、故障诊断能力不足、运维智能化不足等轨道电路运维效率低的现状, 首先提出了基于数据和机理驱动故障诊断方法来提升故障诊断能力; 然后, 提出全生命周期健康管理技术体系来降低停车率, 提升运维效率; 最后, 对跨专业、跨系统综合运维问题进行探讨, 提出了建设综合运维平台的方案。

关键词: 智能运维; 故障诊断; 全生命周期健康管理; 轨道电路; 铁路信号系统

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)Z1-0084-03

Intelligent Operation and Maintenance Technology for Track Circuits

Abstract: To address the current problems of low efficiency of operation and maintenance of track circuits, such as the underutilization of monitor data, the inadequate ability of fault diagnosis and intelligent operation and maintenance that falls below expectations, this paper offers insights from three perspectives. Firstly, a method driven by data and mechanization is proposed to improve fault diagnosis ability. Secondly, a system of technology for full life cycle health management is designed to reduce train stoppage rates and improve the efficiency of operation and maintenance. Finally, comprehensive cross-subject and cross-system operation and maintenance technology is discussed, and a programme for establishing a comprehensive operation and maintenance platform is proposed.

Keywords: intelligent operation and maintenance; fault diagnosis; full life cycle health management; track circuit; railway signal system

1 概述

轨道电路作为铁路信号系统中最重要的基础设备之一^[1], 其能否正常工作, 能够直接影响运输效率和行车安全。轨道电路故障会降低运输效率, 甚至会带来灾难性后果, 为此保证轨道电路处于无故障工作状态具有非常重要的意义。由于轨道电路安置于车站及铁路沿线, 常年工作于室外, 易受环境影响, 所以故障高发。据统计轨道电路故障约占铁路信号设备故障总数的 36%, 是所有信号设备中故

障率最高的设备^[2]。由于其数量众多、分布广泛、环境恶劣、工况复杂、故障频发^[3]且处理时间长等特点, 成为影响铁路运营效率的主要难题。

国内轨道电路设备的运维主要依靠维护人员进行“计划维护”和“事后维修”, 该运维模式过于依赖维护人员对设备故障机理的认知把握和经验, 对维护人员的专业知识以及现场故障经验有很高要求。由于轨道电路设备使用量大导致检修工作人员工作量大, 且“天窗”时间紧张、维修人员水平参差不齐, 致使工作效率低下, 维修维护压力大。目前出

现的轨道电路监测、诊断产品，能够为工作人员提供一定的数据支持和维修维护建议，一定程度上缩短了故障排除时间，提高了轨道电路的运维效率。

随着轨道电路监测、诊断产品的推广应用，不仅一定程度上提高了运维效率，而且积累了大量实际运行的监测数据，但是在实际中，对这些监测数据的利用率低，缺乏对数据的深度挖掘。而且，监测、诊断产品存在故障诊断能力有待提高、运维智能化水平不足的问题，诊断系统技术体系不完善，还需结合维护人员的经验判断具体故障区域。另外，由于缺乏对轨道电路设备的故障预测和健康分析，国内都是实行“计划维护”和“事后维修”的运维策略^[4]，易造成“欠维护”或“过维护”，随着早期建设的线路陆续进入大修改造阶段，轨道电路故障预判、健康评估已逐步成为刚需。此外，现有的关于轨道电路的监测、诊断技术，主要针对轨道电路自身的设备和传输通道，对于轨道电路与其他专业、其他系统间结合部的故障诊断及运维仍需依赖维护人员。然而，工/电/供各专业维修人员专业边界明确，缺乏综合性维修人员，因此，轨道电路与其他专业、其他系统间结合部的运维成了轨道电路运维中的难题。

综上，如何高效、全面地实现轨道电路的智能运维对提高列车行车效率与行车安全具有重要意义。本文将从故障诊断、全生命周期健康管理、结合部运维几方面就轨道电路智能运维技术进行探讨。

2 基于数据和机理协同驱动轨道电路故障诊断技术

2.1 基于机理的故障诊断技术

基于机理的轨道电路故障诊断方法，利用“四端网络”“均匀传输线”等信号传输原理建立轨道电路的数学模型，然后利用“五点电压法”等理论对该数学模型进行逻辑分析，运用逻辑进行故障诊断分析，从而将故障定位到轨道电路传输通道的不同区域。该方法建立的数学模型为理想情形下的简化

模型，缺乏对外界环境变化、扰动等因素的考虑，对于实际复杂问题模型精确性较低，进而影响故障诊断的准确率。

2.2 基于数据驱动的故障诊断技术

基于数据驱动的轨道电路故障诊断方法主要包括神经网络、支持向量机、贝叶斯网络、模糊逻辑和粗糙集理论等，该方法通过对数据进行训练得到模型来进行故障诊断^[5-7]。但此类算法需要大量故障数据进行模型训练，而对于故障数据样本集中不涉及的故障类型，这些方法很难给出准确的诊断结果。

2.3 基于数据和机理协同驱动故障诊断技术

本文结合基于机理和数据的故障诊断算法的优点，提出并设计了一种基于数据和机理协同驱动的轨道电路故障诊断算法。如图1所示，具体步骤如下：

- 1) 基于信号传输原理，建立轨道电路数学模型；
- 2) 将采集的实际运行数据输入数学模型，将产生的输出与实际采集的输出对比，从而产生误差数据集；
- 3) 通过前馈神经网络训练误差数据集，得到数据驱动模型，利用该模型对轨道电路数学模型进行修正；
- 4) 根据不同的故障类型，基于健康参数值和不同边界条件，生成包含不同故障类型的数据集；
- 5) 将数据集中的参数值定义为输入向量，将故障类型或健康状态定义为输出，利用机器学习进行回归建模，得到轨道电路故障诊断模型；
- 6) 将轨道电路实时参数输入已训练的故障诊断模型，即可输出健康或故障类型，这样就实现了轨道电路的实时故障诊断。

3 全生命周期健康管理

轨道电路健康管理的关键技术包括运行状态监测、健康状态评估和剩余寿命预测等，因此轨道电路综合健康管理系统就是集关键技术于一体，目的是提高轨道电路系统设备故障维修的效率^[8]。图2为轨道电路全生命周期健康管理的技术路线。

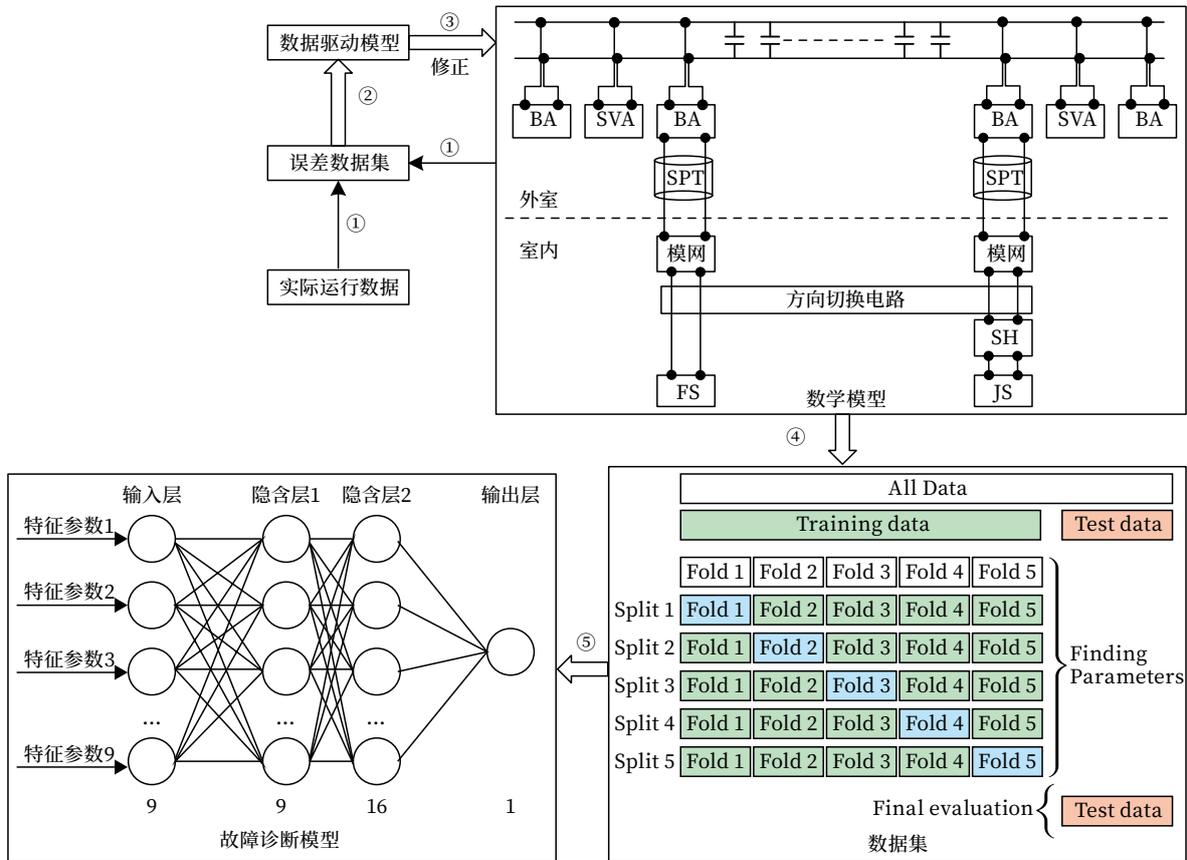


图1 基于数据和机理协同驱动故障诊断技术流程



图2 全生命周期健康管理技术路线

1) 采集关键位置的电压、电流等关键数据，设备的生产、维修更换信息，通过对以上信息进行处理，以获得设备当前的技术状态（如温度、湿度、电压、电流等）变化的曲线、参数等确切信息，实现对轨道电路状态监测。

2) 通过综合考虑 ZPW-2000A 轨道电路系统或设备的运行工况和各种状态信息，实现对轨道电路系统或设备健康状态的准确评估，评估结果显示系统或设备未来的健康趋势，健康状态等级分为：健康、亚健康、异常和故障。

3) 剩余寿命预测主要是对设备的剩余寿命进行分析与预测，根据设备当前状态，判断其距离大修或报废的时间。通过对设备剩余寿命的分析及预测，

达到延长设备使用时间，减少各种事故，减少设备维修费用的目的。

4) 重点考虑设备的故障影响，根据设备或系统的健康状态、剩余寿命及故障的特点，给出合适的维修维护方案。

4 跨专业、跨系统综合运维

对于轨道电路的故障诊断、维护技术的研究主要集中在轨道电路自身，对于跨专业、跨系统间的接口问题研究较少，是铁路信号系统运维的一大难题。目前，对于轨道电路工 / 电 / 供接口处缺乏有效的运维手段，如轨道电路传输通道中的钢轨、绝缘，与之连接的轨枕、道砟、牵引回流线，电气化铁路中对弱电系统恶劣的电磁环境等，因此，首先需要在工 / 电 / 供接口处增加关键采集点，为智能运维提供数据支撑。此外，对于其他信号系统影响

(下转 110页)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.Z1.020

站内室外设备监测光纤传输方案探究

国 勇, 王雪亮

(固安信通信号技术股份有限公司, 河北固安 065500)

摘要: 站内轨道电路咽喉区设备分散、区段数量多, 如室外设备监测采用既有电力载波通信系统, 工程应用中布线复杂, 电缆使用数量大, 提出一种适用站内轨道电路的光纤传输室外监测方案并进行可行性探究。

关键词: 轨道电路; 光纤传输; 室外监测

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)Z1-0087-03

Exploration of Optical Fiber Transmission Scheme for Outdoor Equipment Monitoring in Stations

Abstract: The throat area of the track circuits in a station features scattered devices and numerous sections. For example, the existing power carrier wave communication system is used for outdoor equipment monitoring, and the wiring in engineering application is complicated, with a large number of cables. This paper proposes an outdoor monitoring scheme of optical fiber transmission which is applicable to the track circuits in stations, and also analyzes its feasibility.

Keywords: track circuit; optical fiber transmission; outdoor monitoring

1 概述

ZPW-2000 移频轨道电路是当前国内应用最广泛的轨道电路系统, 是影响铁路运输安全的关键设备。室外监测系统通过监测轨旁电气特性, 主动定位故障设备, 排除故障原因, 在 ZPW-2000 轨道电路系统维护过程中起到了关键作用。区间轨道电路室外设备在轨旁依次排列, 目前应用的室外监测系统监测通信基本采用备用贯通电缆、以电力载波方式进行数据通信。而站内轨道电路设备分布分散, 咽喉区按上行、下行区分数量很多, 造成以既有电缆通信方式实现布线工程复杂且电缆造价高。在《ZPW-2000 区间轨道电路室外监测及诊断系统暂行技术条件》设备传输

要求中室外监测设备应具备电缆或光纤传输通信能力, 文章即以此为方向提出一种光纤传输方案的可行性分析。

2 问题现状

既有室外监测系统多采用备用贯通电缆、以电力载波方式进行数据通信, 标准要求电缆应上行与下行、发送与接收分缆设计, 不得在发送和接收电缆见交叉连通。按此要求, 如图 1 所示, 站内天窗如按咽喉区划分作业范围, 区分上行咽喉和下行咽喉, 需 10 对电缆芯线才能满足要求, 这将造成站内室外设备监测系统应用成本很高, 并且在既有线改造的情况下, 当出现备用电缆数量较少, 则不能支持芯线电缆的使用要求。

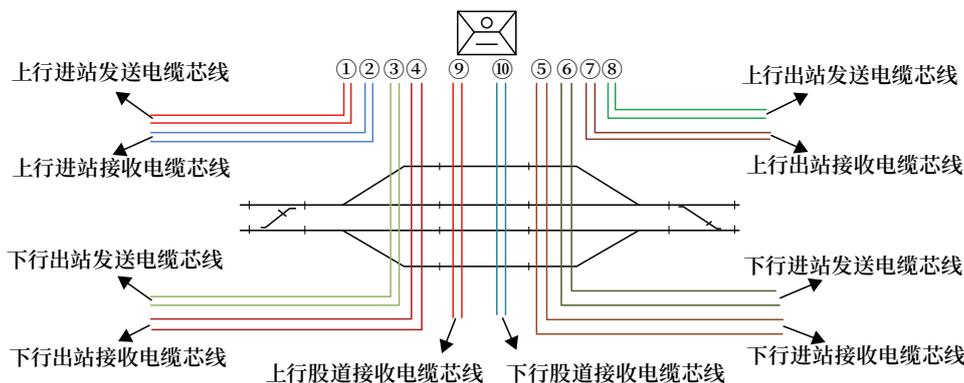


图1 站内监测线缆需求

3 光纤通信实现探究

3.1 应用结构分析

传统 PON 无源光网络系统结构如图 2 所示，其中的无源光网络组成设备包括光线路终端 (OLT)、无源分光器 (POS) 和光网络单元 (ONU)。OLT 与前端交换机用网线相连，转化成光信号，用单根光纤与用户端分光器互联，实现对用户端设备 ONU 的控制、管理、测距；ONU 通过 POS 与网络终端 OLT 取得联系，为用户侧终端设备提供接入网接口，ONU 的网络端是光接口，用户端是电接口。

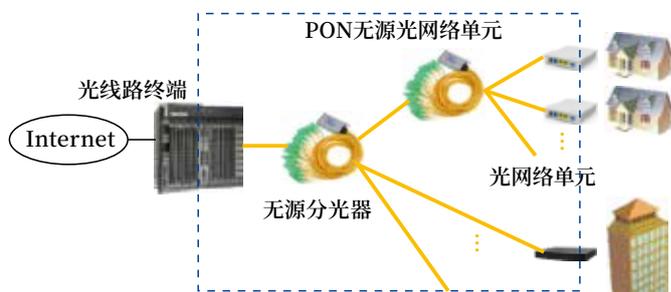


图2 无源光网络系统结构

用通信主机呼叫应答方式与终端分机进行通信，向下发送数据采用广播方式发送命令信息，终端分机配置唯一设备地址，设备依据协议地址识别是否响应命令信息，主机依次轮询取得本组内采集分机的状态信息。

3.2 光纤通信质量分析

《ZPW-2000 区间轨道电路室外监测及诊断系统暂行技术条件》中设备传输距离单总线不小于

室外监测光纤通信结构以无源光网络结构为基础进行改进设计，如图 3 所示。该方案改变传统 OLT 发起测距和为用户端分配带宽的功能，组成设备包括通信主机、一级无源分光器和采集分机，采

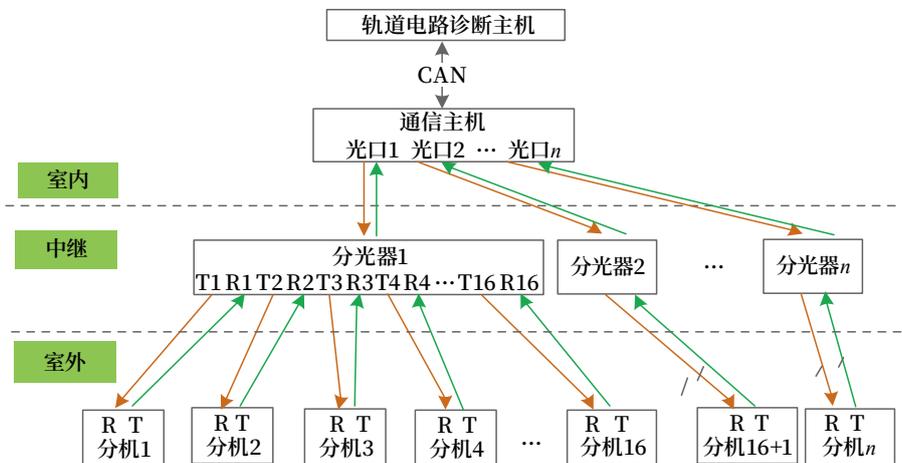


图3 光通信结构

15 km，室内设备与室外设备应保证在 15 km 内可靠通信。光纤信号质量主要取决于发送设备的光功率、线路衰减和分光器损耗，是否能够正常通信还要考虑接收端光模块的灵敏度，以一款工业级光模块为例，如表 1 所示。

表1 光模块参数

项目	通信距离	最小	最大
输出光功率	20 km	-14 dBm	-7 dBm
	40 km	-9 dBm	-3 dBm
光灵敏度	20 km/40 km	—	-36 dBm
通信速率	—	—	52 Mbit/s
工作温度	—	-40℃	+85℃

光纤通信衰减主要有分光器插损和线路衰减。光信号通过分光器从上行光接口转到下行光接口时，光信号强度将下降，从下行光接口转到上行光接口的时候同样如此。光衰减计算如图 4 所示，每多分一级将插损典型值约 3.5 dBm。

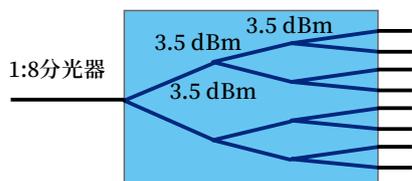


图4 分光器衰减

同时光纤通信线路衰减的典型值每公里约 0.35 dBm。以上工业级光模块为例，选用 20 km 型号的光模块作为接驱动和接收端，该通路光通信质量可进行如下计算： $-14 \text{ dBm} - 3.5 \text{ dBm} \times 4 - 15 \times 0.35 \text{ dBm} = -33.25 \text{ dBm}$ ，光信号到达接收端为 -33.25 dBm，接收端光模块光灵敏度要求保证 -36 dBm 才能稳定通信，所以满足基本的通信需求。实际在通信环境应用中还应考虑至少预留 2 dBm 的通信余量，以及光模块的分光通路间不平衡性，以保证在最不利条件下的稳定通信，所以最终应选用 40 km 型号的光模块才能达到 15 km 线路通信可靠性要求。

3.3 通信容量及效率分析

通信主机应至少设置 1 个 CAN 总线接口与轨道电路诊断主机通信，发送采集处理的数据。不少

于 10 个光纤通信接口分别对应连接无源分光器，来满足向下各节点的通信需求。为了提高通信效率、降低链路损耗和减少故障点，分光器设置应遵循：一是尽量采用一级分管；二是分光级数尽量不超过二级的原则。因此在满足向下通信节点需求的前提下，系统采用分光器一级中继方式，每台 1 分 16 光，与具备光通信功能的采集分机连接。可实现单台通信主机可传输不少于 160 个采集节点通信数据的容量。

通信主机的各个光纤接口相互独立，设计成可同时并行处理数据工作模式，保证通信效率。每路光纤接口通过轮询方式与 16 个节点采集分机实现数据交互，依据标准规定单台采集分机数据不超过 20 个字节，以光纤通信 52M 速率计算数据在物理链路中的通信时间很短，可忽略不计，处理器对单台采集分机呼叫应答过程的软件处理时间应达到 30 ms，即可实现一组 16 个节点数据通信周期 480 ms，满足《ZPW-2000 区间轨道电路室外监测及诊断系统暂行技术条件》(TJ/DW197) 中采样速率 500 ms 的指标要求。

3.4 对比分析

性能方面：既有室外监测系统采用电力载波方式进行数据通信，单点通信距离最长不超过 2 km，远距离通信主要靠节点中继方式，如相邻两个节点设备故障将影响中继效果，远端设备均可能通信中断，另外某个节点发生短路，这条线路的通信电平将被拉低，造成总线通信中断。光纤通信单总线点对点即可达到 15 km，采集分机与室内主机单独并接，线路间真正做到电气隔离设计，互不影响。

成本方面：光纤通信作为非电气信号传输不必考虑对轨道电路的干扰问题，无需进行送、受和上、下行分缆设计，尤其在站内区段应用对比电力载波通信方式电缆使用数量大大减少；采用无源分光器作为通信中继替代通信分机设备，成本也会相对减少。

4 总结

本文针对既有室外监测系统在站内轨道电路工
(下转 95页)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.Z1.021

轨道电路设备CAN总线自动脱离功能的设计与实现

李自生, 任国桥

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

摘要: 通信编码 ZPW-2000 轨道电路系统通过 CAN 总线传输编码信息, 满配情况下, 每条 CAN 总线上有 30 个 CAN 节点, 当某个 CAN 节点出现故障又不能及时脱离 CAN 总线会影响其他节点的数据收发, 影响整条 CAN 总线正常通信, 此类故障排查定位困难。针对该问题, 本文提出了轨道电路设备 CAN 总线自动脱离功能的设计实现方案, 利用设备中的双 CPU 进行设备内部电路自检, 当检测到 CAN 节点通信存在故障时自动脱离 CAN 总线, 从而提高系统 CAN 总线的可用性, 解决了 CAN 总线故障排查定位难的问题。

关键词: 轨道电路; CAN 总线; 自动脱离

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)Z1-0090-06

Design and Implementation of Function of Automatic Detachment from CAN Bus for Track Circuit Equipment

Abstract: ZPW-2000A dedicated track circuit system with communication codes utilizes CAN bus for transmitting encoded information. In a fully equipped configuration, a single CAN bus accommodates thirty CAN nodes. The high number of CAN nodes could lead to potential issues: if a CAN node experiences a malfunction and cannot detach from the CAN bus promptly, it might impact the data transmission of other nodes, thereby affecting the overall efficiency of the CAN bus communication. Identifying the root cause can also be challenging. To address these concerns, this paper presents a scheme for designing and implementing the automatic detaching function from the CAN bus of track circuit equipment, with the internal circuit self-check being fulfilled by using the dual CPUs in the equipment. When a communication fault is detected in the self-check of CAN nodes, the system will automatically detach from the CAN bus. This enhancement improves the availability of the system's CAN bus and facilitates troubleshooting of CAN communication issues.

Keywords: track circuit; CAN bus; automatic detaching

1 概述

通信编码轨道电路系统通过 CAN 总线传输载频低频信息及监测维护信息, CAN 总线具有传输速

率高, 可以高达 1 Mit/s; 抗干扰强, 和其他的总线相比, CAN 总线能够更好的面对外部的干扰而正常工作; 链接设备多, 一个总线上可以支持 110 个节点。基于上述优点 CAN 总线广泛应用于铁路、

汽车、轨道交通领域的数据传输中，但在实际应用中，一些元器件的偶发硬件失效导致 CAN 总线出现故障，常见的故障有 CAN 总线短路、对电源短路、对地短路、相互接反等，由于 ZPW-2000A 系统中 CAN 节点较多，故障排查难度大。

2 技术方案

2.1 客专发送器CAN总线介绍

ZPW-2000A 客专发送器总体设计方案如下：发送设备采用双机冗余设计，分为主发送器和备发送器，互为主备的发送器的硬件配置相同。发送设备接口连接关系如图 1 所示。

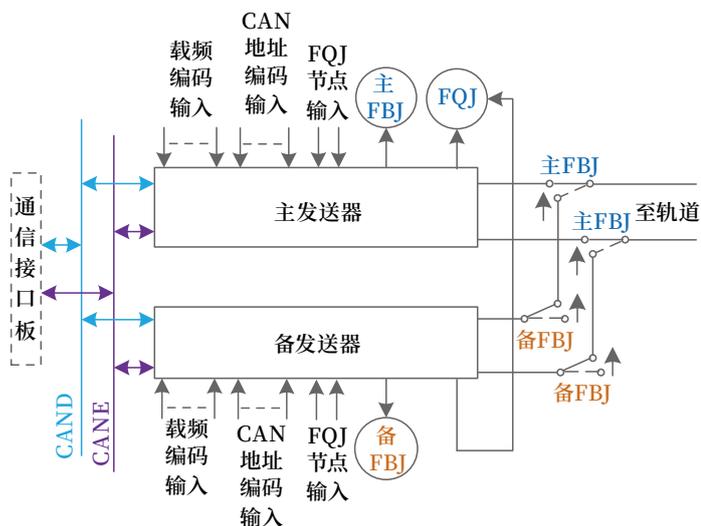


图1 发送设备接口连接示意

通信编码发送器通过 CAND 和 CANE 总线和通信接口板连接，根据 CAN 地址编码输入条件接收通信接口板转发的编码数据和同步帧，根据编码数据生成相应载频和低频的移频信号，发送器内部采用独立的两个 CPU 分别对关键数据进行检测，把移频信号送至轨道并输出驱动 FBJ 信号，同时把监测信息通过 CAND 和 CANE 总线上传到通信接口板。

通信编码发送器包含双 CPU，由双 CPU 组成“二取二”对编码条件、输出控制、输出反馈信息同时做出判断，并且判断正确后方可输出移频信号，同时输出 FBJ 驱动信号。每个 CPU 对应一组 CAN 通信地址和两个 CAN 通信接口，双 CPU 间通过串

口通信交互关键信息。通信编码发送器结构如图 2 所示。

从图 2 可知发送器两个 CPU 的 CAN 接口同时连接到外部 CAN 总线上，两个 CPU 的 CAN 都可以监听 CAN 总线上的数据，也能向 CAN 总线发送数据。

2.2 发送器CAN硬件设计

轨道电路系统运行在铁路线附近，现场有高电压、电磁干扰等为此 CAN 总线采取一定的隔离措施以保证 CAN 通信的稳定性和可靠性。光耦可以将 CAN 总线的信号隔离，避免干扰信号传播，同时也可保护 CAN 总线免受外界电压、电流的影响。具体的做法为光耦加在发射端和接收端从而实现信号的隔离传输。

增加光耦可以增加 CAN 总线的稳定性，但是偶发的光耦故障（光耦器件失效或断路），可能使 CAN 总线上出现非法数据给整个总线带来干扰。针对这一问题，结合发送器上有两个 CPU 都有 CAN 接口的特点，增加 CPU 两个 CAN 节点回路，通过开关来控制 CAN 节点是接到外部 CAN 总线或内部 CAN 通路。

电子开关有模拟电子开关及继电器两种。模拟电子开关可以控制电路的通断，但是没有回采电路，若出现故障不易及时发现，继电器具有灵敏度高，可以通过采集继电器的节点状态判断继电器控制成功与否。为此在开关切换电路采用继电器作为电子开关，通过继电器的切换实现 CAN 总线是在内部形成一个通路，或者作为总线上的两个节点。

在同一个 CPU 板上，CAN 总线通过继电器可以切到内部链接，或是外部链接，当切到内部连接时 CPU1 与 CPU2 形成一个 CAN 通路，可互发数据进行自检，检查正常时继电器切到外部，两 CPU 间 CAN 通路断开，形成 CAN 总线上的两个独立节点，其示意如图 3 所示。

2.3 发送器CAN自检软件设计

CAN 总线上的报文帧可分为数据帧、远程帧、错误帧、过载帧。数据帧用于发送节点向接收节点

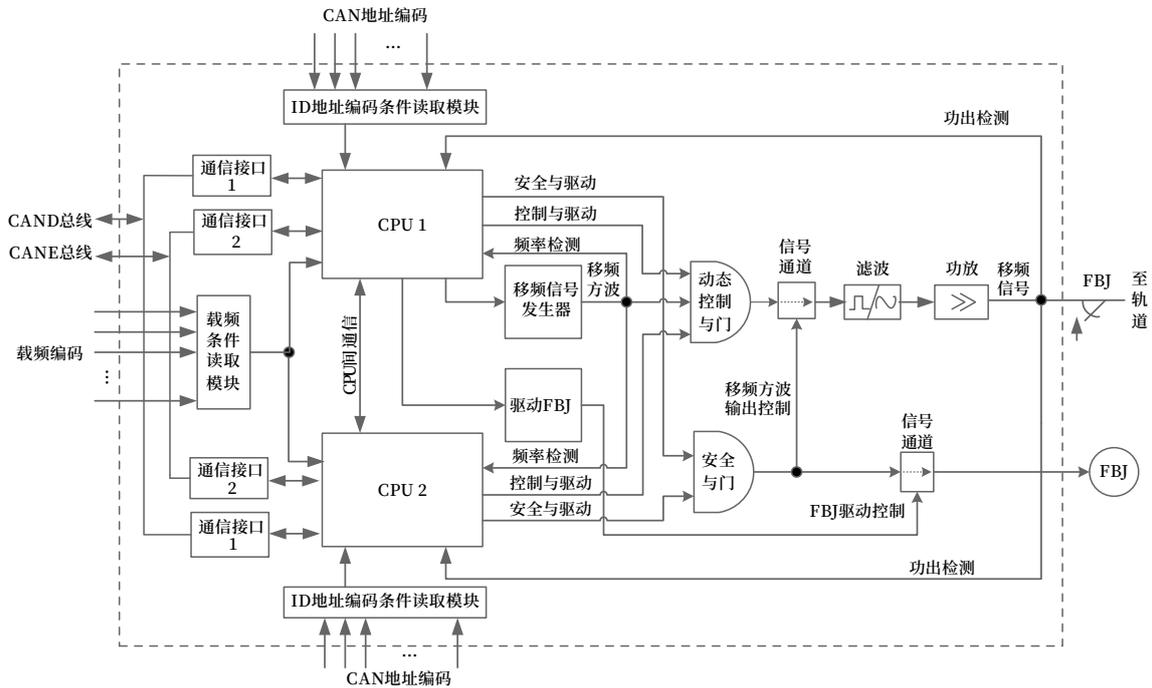


图2 客专发送器结构示意图

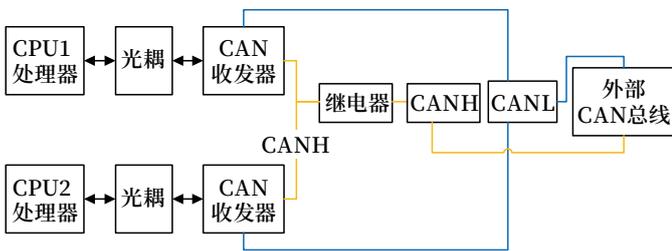


图3 客专发送CAN总线示意图

传送数据，远程帧用于接收节点向某个发送节点请求数据，错误帧用于当某个节点检测出错误时向其他节点通知错误的帧，过载帧用于接收节点向发送节点通知自身接收能力的帧；数据帧是使用最多的帧，但是错误帧是CAN自检的参考之一。

CAN的错误帧由CRC错误、位填充错误、应

答错误、位发送错误和格式错误组成；CRC错误是指接收节点计算的CRC值与发送节点CRC值不同；位填充错误指传输信号违反“位填充”规则；应答错误指发送节点在ACK阶段没有接收到应答信号；位发送错误是指发送节点在发送时总线电平与发送电平不同；格式错误指传输的数据帧格式与任何一种合法的帧格式不符。其示意如图4所示。

错误帧可以分为主动错误和被动错误，主动错误是指六个连续的显性电平位加上八个连续的隐性电平位就是处于主动错误；被动错误是指六个连续的隐性电平位加上八个连续的隐性电平位就是处于被动错误状态的节点发送，无论被动错误还是主动错误，当出现错误位是CAN错误寄存器都会记录

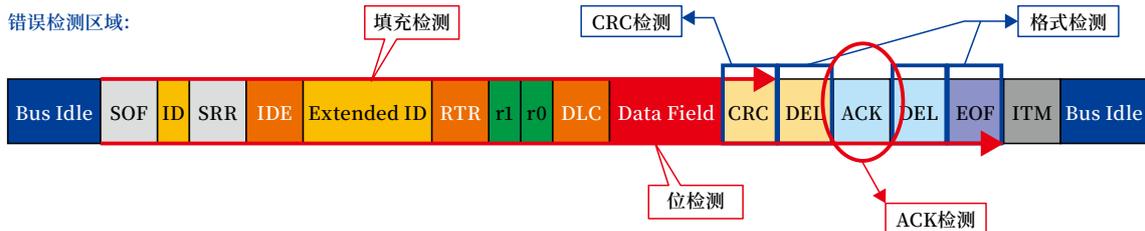


图4 错误帧示意图

错误标志。CAN 节点状态如图 5 所示。

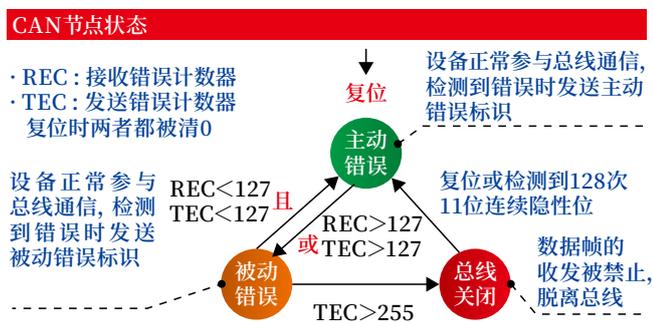


图5 CAN节点状态

发送器在软件设计上针对CAN总线的检查主要通过CAN错误寄存器检查及CAN总线长时间收不到数据两部分进行。

寄存器检查：当总线上存在异常时，CAN收发错误寄存器会增加，当程序监测到CAN收发寄存器存在错误时会启动CAN自检。

CAN数据中断：当1.5 s连续收不到有效的CAN编码信息时启动CAN自检。

自检流程：启动CAN自检后，CPU1会将CAN继电器切到内部使本发送器从CAN总线脱离，CPU1与CPU2形成一个封闭的CAN通路，CPU1通过控制继电器，并检查继电器的状态，当继电器切到CAN内部状态后，CPU1会给CPU2发送自检数据，CPU2接收到CPU1的自检数据后会给CPU1发送自检数据，若CPU1收到CPU2的自检数据，整个自检流程完成，继电器切换到外部。CPU1与CPU2形成CAN总线上两个独立的节点，若自检过程中出现异常，则自检失败，继电器不在打开，从而减少本节点对CAN总线的影响。自检流程如图6所示。

3 测试验证

CAN故障通常的原因有CAN线路短路、对地短路、对电源短路、相互接反，针对这几种故障进行测试验证。

3.1 CANH与CANL短路

当CANH与CANL短路时，CAN网络会关

闭，无法再进行通信。此时总线会检测到错误码发送器进入自检状态，继电器切到内部，但是短路的是外部CANH与CANL，自检完成后继电器还会切到外部，若此时继续短路发送器还进入自检状态，把短路取消发送器自检完成后继电器切到外部。CANH与CANL短路的总线波形如图7所示。

3.2 CANH对电源（正极）、对地短路

CANH对电源短路，短路点在CPU板上继电器内部，通过示波器可以看到示波器的波形如图8所示。

CANH对电源短路后CAN总线上检测出错误位，发送器进入自检状态，此时发送器继电器切到内部，短路点在继电器内部，自检中CPU1与CPU2还能检测到CAN错误，自检失败，本发送器脱离CAN总线，总线其他节点不受影响。

3.3 CANH对地短路

把CANH接地后观察到的示波器波形如图9所示。

CANH对地短路后，CAN总线上检测出错误位，发送器进入自检状态，此时发送器继电器切到内部，短路点在继电器内部，自检中CPU1与CPU2还能检测到CAN错误，自检失败，本发送器脱离CAN总线，总线其他节点不受影响。

3.4 1.5 s不发送数据测试

1.5 s内不给发送器发送正确的编码帧及同步帧信息，发送器进入自检状态，此时通路正常，自检完成后继电器打开符合预期。

4 总结

ZPW-2000A客专轨道电路发送器通过优化CAN电路设计增加CAN切换继电器，使CAN总线可以切换到内部形成一个单独回路或切换到外部形成两个总线节点，当发现总线有异常时，CAN自检程序能够快速诊断哪个节点出的问题并自动脱离CAN总线，大大降低了节点故障对系统的影响，能够解决单点故障排查难的现状，提高了总线的可用性，快速定位故障节点，提高了工作效率。

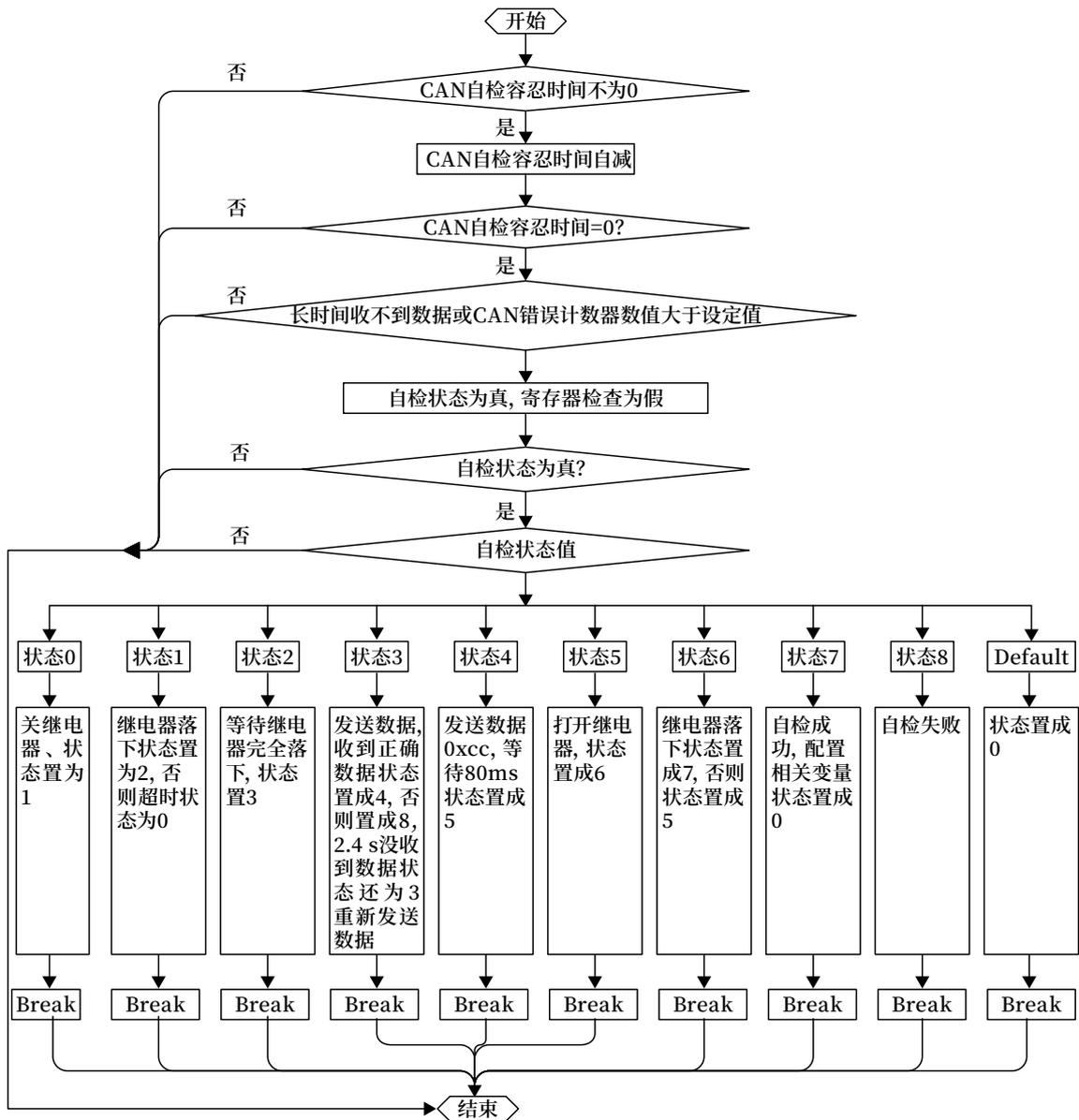


图6 客专发送CAN自检流程示意

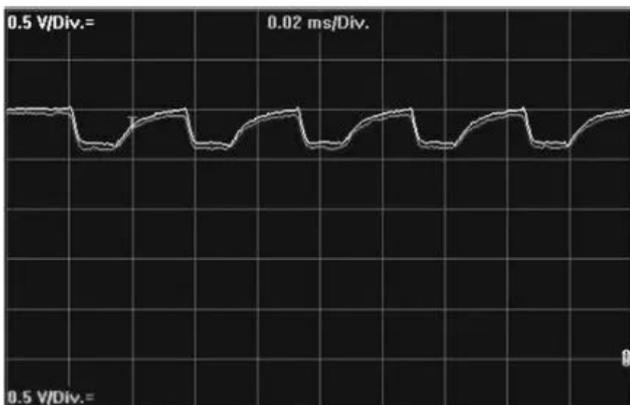


图7 CAN H与CAN L短路波形

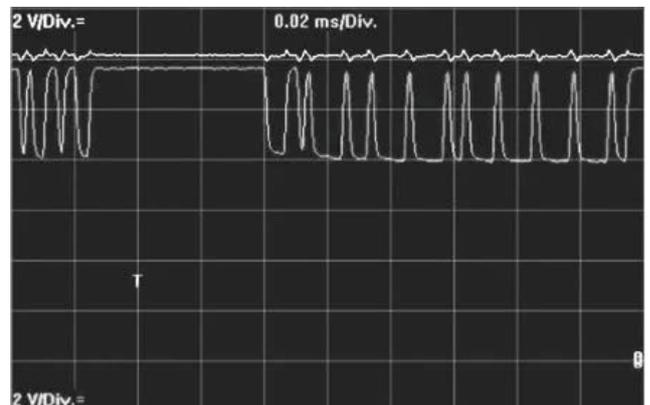


图8 CAN H对电源短路波形

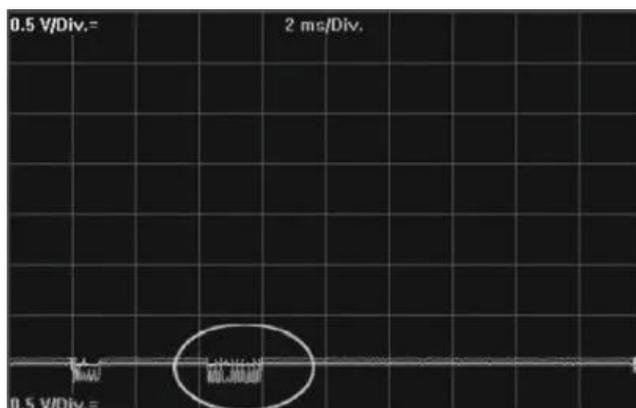


图9 CANH对地短路波形

参考文献

- [1] 李文涛, 阳晋, 裘志彬. ZPW-2000 系列无绝缘轨道电路继电接口电子化探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022 (6): 12-16, 27.
- [2] 黄蔚. 铁路信号系统发展研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2019 (6): 86-91.
- [3] 赵正元, 李庆诗, 夏艳华. ZPW-2000 轨道改方

电路中方向切换继电器故障的可靠性试验分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17 (Z1): 119-123.

- [4] 中国铁路总公司. ZPW-2000A 型无绝缘移频自动闭塞系统 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2013.
- [5] 董昱. 区间信号与列车运行控制系统 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2014.
- [6] 刘利芳. 区间信号自动控制 [M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [7] 中华人民共和国国家铁路局. ZPW-2000 轨道电路技术条件: TB/T 3206-2017 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
- [8] 郭虹利, 张龙, 韩安平, 等. 通信编码 ZPW-2000 轨道电路接口仿真测试平台的设计 [J]. 铁路计算机应用, 2022, 31 (12): 72-77.

(收稿日期: 2023-06-23)

(修回日期: 2023-09-21)

(上接 89页)

程应用中因道岔划分布线工程复杂、电缆使用数量大的问题, 以传统无源光网络和室外监测系统结构为设计基础, 遵循《ZPW-2000 区间轨道电路室外监测及诊断系统暂行技术条件》, 提出一种采用光纤传输的站内室外监测系统设计方案。从应用结构、光纤通信质量、通信容量及效率、性能和成本几方面进行了探究, 论证了该室外设备监测方案在站内轨道电路以及区间轨道电路实现均具有一定优势, 具备研制实现价值和可行性。

参考文献

- [1] 胡恩华, 徐宗奇, 等. ZPW-2000 区间轨道电路室外监测及诊断系统暂行技术条件 [S]. 中国铁路总公司, 2017.
- [2] 江尚军, 王增, 吴锦虹, 等. 新一代光缆通信网传输与组网技术分析 [J]. 光通信技术, 2022, 46 (6): 77-81.
- [3] 张新社, 于友成, 等. 光网络技术 [M]. 西安:

西安电子科技大学出版社, 2012.

- [4] 任军, 赵路平, 刘泉, 等. 一种站内轨道电路室外监测系统: CN202111459095. X [P]. 2022-01-21.
- [5] 刘喆. ZPW-2000 移频轨道电路室外监测技术研究 [D]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2016.
- [6] 金鹏, 莫小凡, 赵宇, 等. ZPW-2000 区间轨道电路室外监测及诊断系统测试平台研究 [J]. 铁道技术监督, 2019, 47 (10): 29-32.
- [7] 胡飞龙, 刘海东, 贾姣. 简析 ZPW-2000A 轨道电路室外设备监测系统原理架构及工程实施 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2018, 15 (12): 91-94, 112.
- [8] 潘长清, 李娜. 基于高速电力载波的移频轨道电路室外设备监测方案研究 [J]. 铁道通信信号, 2015, 51 (11): 3-5.

(收稿日期: 2023-06-30)

(修回日期: 2023-09-21)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.Z1.022

基于二乘二取二结构的 多点冗余系统设计方案

张 龙¹, 黄春雷¹, 郭虹利²

(1. 黑龙江瑞兴科技股份有限公司, 哈尔滨 150030;

2. 中国铁道科学研究院集团有限公司, 北京 100081)

摘要: 针对二乘二取二的高安全、高可靠等级系统, 介绍二乘二取二结构工作中系统同步和切机控制的原理, 通过研究分析, 提出一种多点冗余的系统设计方案, 描述了系统组成、双机之间工作关系、多点冗余之间连接关系、各冗余双机输出的切机方法。通过实践证明, 此种设计方案能够满足对于复杂、不间断、高稳定性场景的使用需求。

关键词: 二乘二取二; 系统同步; 切机控制; 多点冗余

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)Z1-0096-04

Design Scheme of Multipoint Redundant System Based on 2×2-out-of-2 Structure

Abstract: Focusing on 2×2-out-of-2 systems with a high level of safety and reliability, this paper introduces the principles of system synchronization and machine switching control in the operation of the 2×2-out-of-2 structure. Through research and analysis, a system design scheme of multipoint redundancy is proposed, and the system composition, working relationship between two machines, connection relationship between multipoint redundancy and the method for switching between the output of each of the redundant dual machines are described. Practice shows that this design scheme can meet the needs of complex, uninterrupted and high stability scenarios.

Keywords: 2×2-out-of-2; system synchronization; machine switching control; multipoint redundancy

1 概述

随着科学技术的发展, 二乘二取二结构被广泛应用到轨道交通、航空航天、冶金、核电、医疗等高安全、高可靠等级的安全苛求领域^[1], 该类应用通常要求系统结构复杂, 具有冗余结构和多机并行运行表决机制, 能够不间断运行, 同时运行安全、可靠、稳定^[2]。本文对二乘二取二结构中的系统同

步、切机控制等关键技术进行研究, 在工程应用中针对多系统协同工作, 且系统都应具有容错功能的需求, 提出一种基于二乘二取二结构的多点冗余系统设计方案。该方法能够很好的适用于多套冗余系统之间协同工作的场景。

2 二乘二取二平台结构

二乘二取二平台结构由两套相同的二取二平台

构成^[3]，通常称为A系与B系，每系二取二平台也是由两个相同的处理器构成，其中两个处理器运行的程序相同^[4]，运算的最终结果进行二取二比较输出，作为本系的运算结果。本系运算结果与另一系运算结果进行切机控制判断，保证无论在何种情况

下，最多只能保证有一系数据认定为满足要求向外输出，另一系数据作为备用或者判定为异常，禁止输出，当两系都出现异常情况，停止一切对外输出^[5]。如图1所示为二乘二取二平台结构^[6]。

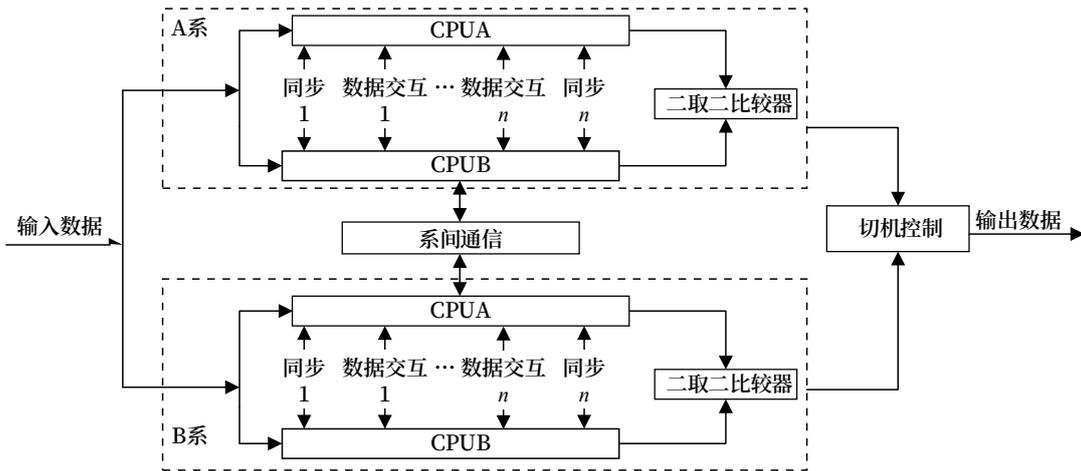


图1 二乘二取二平台结构

2.1 系统同步

系统同步是两个相同处理器运行相同程序时，二者之间进行数据交互和状态比对的方法，其实现方式通常可以分为任务级同步和时钟同步^[7]。系统同步要求两个处理器的运算对象、运行时间、运算数据在完全相同的情况下，最终表决输出结果才是可信的，因此，系统同步是二取二平台得以实现的关键^[8]。

2.2 切机控制

切机控制是针对两系二取二平台中，哪系运算结果作为向外输出的控制方法，其实现方法有基于通信方式^[9]、基于仲裁方式^[2]、基于硬件驱动和采集方式等。切机控制本身应遵循诸多的逻辑判定条件，如不能双系输出，在主用系出现异常，对备用系进行升主用系，备用系异常时，及时报警提示等，因此，切机控制的工作稳定性，直接影响双机热备系统的运行。

点冗余的系统设计方案，其由控制部分和执行部分构成，其中控制部分和执行部分是分别放置于不同位置，每部分分别是二乘二取二的双机热备^[10]的组成结构。方案原理框如图2所示。

3 总体设计结构

本文针对实际工程应用中的场景，提出一种多

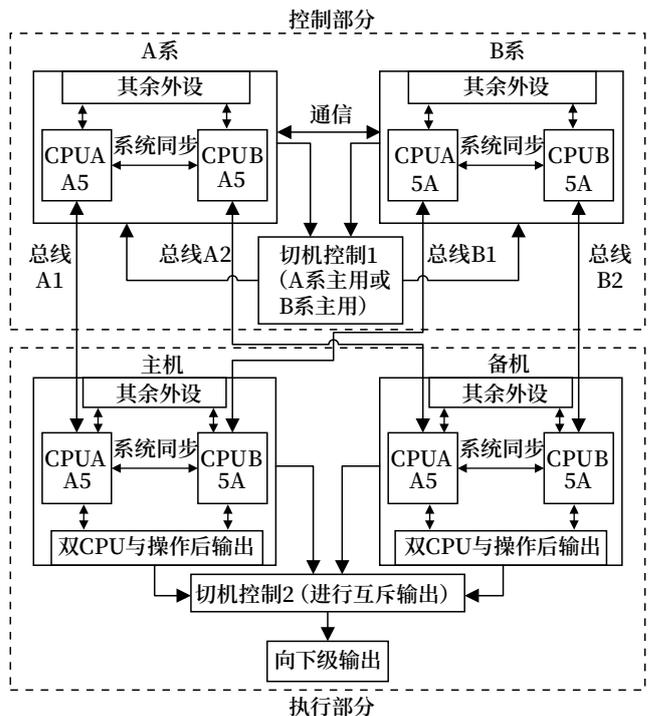


图2 二乘二取二双机热备系统结构

控制部分结构组成中，有两套完全相同的二取二平台，分别为 A 系和 B 系，两系的工作优先等级相同，谁都可以成为主用系或者备用系。每系中两个完全相同的 CPU 执行处理相同的运算，彼此间进行关键位置的多次系统同步操作，保证向外输出的信息是经过两个 CPU 相互独立运算后一致的结果，两系之间通过切机控制 1 结构进行连接，保证 A 系与 B 系之间只有一系是主用输出。两个 CPU 向外输出的数据信息中对应标志位均为十六进制数 A5，另外一系是备用，两个 CPU 向外输出的数据信息中对应标志位均为十六进制数 5A。

执行部分同样也是由两套完全相同的二取二平台组成，分别是主机和备机，主机和备机内部同样也是有两个相同的 CPU，两个 CPU 接收的数据信息中对应标志位分别是十六进制数 A5 和 5A，分别表示与控制部分的主用系或者备用系连接，接收到标志位为 A5 的 CPU，判定收到的数据是可用数据，与另一个 CPU 进行同步，向下执行双 CPU 的二取二运算，在正常工作状态下只有主机是向外进行输出。当主机出现异常情况下，主机停止输出，备机进行向外输出，当主机和备机都出现异常情况下，整个执行部分停止向外输出，主机和备机向外输出的抉择是通过切机控制 2 结构进行判定的。

控制部分和执行部分之间是通过 4 路相同总线 A1、A2、B1、B2 进行连接，具体的连接关系见系统结构框图。此种总线连接方式，能够保证在控制部分 A 系与 B 系有一系正常工作情况下，执行部分的主机或备机中有一个 CPU 接收数据标志位为 A5，系统能够正常运行，最终实现 4 路通信总线的冗余设计。

3.1 切机控制1设计

切机控制 1 采用硬件采集和通信结合的冗余方式进行设计，结构框如图 3 所示。

A 系与 B 系在初始上电后，二者都输出驱动，试图驱动具有互锁关系的 A 系与 B 系工作状态继电器，先驱动成功系继电器处于吸起状态，互锁关系使得另一系的工作状态继电器一直处于落下状态，

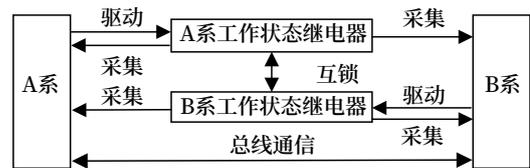


图3 切机控制1结构

两系同时分别采集 A 系与 B 系的工作状态继电器前后节点状态，最后逻辑判断驱动输出和采集继电器节点条件为吸起的为主用系，反之为备用系。因此此处是控制部分运算结果最后输出的关键部分，应严格、可靠的进行切机控制，故增加两系之间总线通信形式的切机控制方式，与前者驱动和采集继电器进行判断的方式构成冗余切机控制方式，即二者全部异常情况下控制部分向外输出无效数据，当两种切机控制方式都正常工作，而对于最终的主备用判断结果不一致情况，切机控制将进入无任何输出的保护状态，给出严重报警提示。当两种切机控制方式中有一种正常运行，另一种异常运行，如有驱动输出，无法正确采集到节点状态，无驱动输出，两系通信中断等，系统采用正常运行方式的结果最为冗余判定的最终输出结果，同时系统给出相应报警提示。如图 4 所示为切机控制 1 部分的软件执行流程。

3.2 切机控制2设计

切机控制 2 采用主机与备机分别驱动各自能表示自身工作状态的输出通道继电器，输出信号通过两个继电器节点间的逻辑关系方式进行输出，实现主机和备机的互斥输出，当主机和并机都出现异常情况下，执行部分停止向下输出信号，如图 5 为切机控制 2 的结构框。

4 总结

本文提出的基于二乘二取二结构的八点冗余系统设计方案，实现两个功能分配明确的二乘二取二系统的协同工作，其中控制部分和执行部分各自冗余的结构通过总线冗余的形式进行连接，满足复杂系统对于模块化设计，同时各个模块应具有冗余、容错、可靠的使用需求。对于文中提出的两种切机控制方式，可以在不同的应用场景中进行灵活使用，

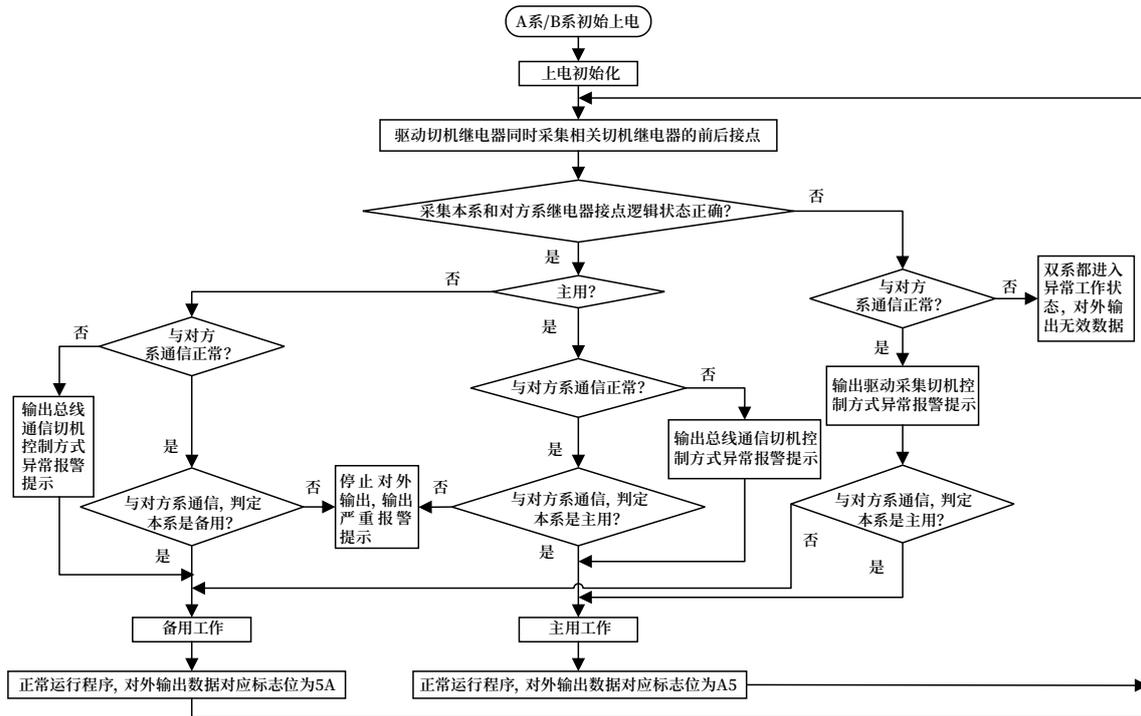


图4 切机控制1两系主备状态控制软件流程

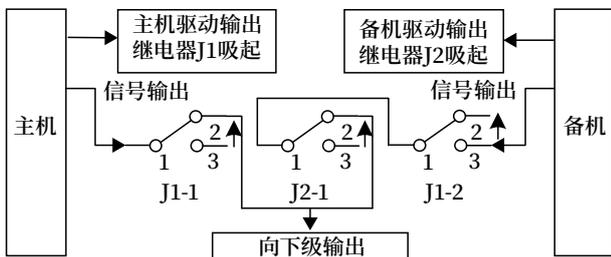


图5 切机控制2结构

同时，对于三个或更多的功能模块分配明确的复杂系统也可以使用多点冗余的系统设计方案。通过实践证明，此种设计方案能够满足对于复杂、不间断、高稳定性场景的使用需求。

参考文献

[1] 段武. 铁路信号的失效-安全及其基本原则 [J]. 铁道通信信号, 2016, 52 (7): 1-10.
 [2] 陈梅, 汪月乾, 张永贤, 等. 二乘二取二系统的同步表决安全机制研究 [J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2018, 18 (3): 10-12, 18.
 [3] 杨文阁, 刘杰. 二乘二取二安全计算机的设计与实现 [J]. 自动化技术与应用, 2019, 38

(10): 42-45.
 [4] 秦友伦, 袁强, 涂炯, 等. 一种基于双机热备系统的仲裁切换方案 [J]. 兵工自动化, 2015, 34 (8): 56-58.
 [5] 徐强. 基于二乘二取二计算机安全平台的设计与实现 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2011.
 [6] 魏臻, 许崇, 胡庆新. 计算机联锁系统二乘二取二结构的可靠性和安全性分析 [J]. 铁道通信信号, 2019, 55 (12): 1-5.
 [7] 沈浩. 基于双机热备的控制计算机系统研究与实现 [J]. 工业控制计算机, 2011, 24 (4): 29-30.
 [8] 徐效宁. 一种二乘二取二安全计算机的设计与实现 [J]. 铁道通信信号, 2010, 46 (3): 15-17.
 [9] 边庆. 二乘二取二安全计算机平台中倒机单元的设计与实现 [D]. 北京: 北京交通大学, 2012.
 [10] 段晓东. 双机热备技术研究 [J]. 网络安全和信息化, 2019 (11): 120-123.

(收稿日期: 2023-05-11)
 (修回日期: 2023-09-21)

ZPW-2000A轨道电路小轨道抗干扰能力优化研究

马 斌

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

摘要: 目前, 高铁线路将轨道电路调谐区小轨道纳入列控控制, 调谐区小轨道的状态也成为行车的重要依据。在应用过程中发现, 小轨出信号存在受干扰情况, 进而引发小轨输出电压波动较大的现象。针对该现象, 通过原理分析、实验室测试和现场验证等方式对小轨道电压波动原因进行分析, 提出 ZPW-2000A 轨道电路小轨道抗干扰能力优化方案, 改善了小轨道受干扰产生电压波动的问题。

关键词: 轨道电路; 小轨道; 抗干扰; 接地不良

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)Z1-0100-05

Research on Optimization of Anti-interference Ability of Short Track Circuits of ZPW-2000A Track Circuits

Abstract: At present, the short track circuits in the tuning zones of the track circuits have been included in the train control systems of high-speed railway lines, and the cleared and occupied status of the short track circuits in the tuning zones has also become an important basis for train operation. During the application process, it is found that the output signals of the short track circuits are interfered, leading to unstable output voltage of the short track circuits. To address this phenomenon, this paper analyzes the causes of voltage fluctuations in the short track circuits through principle analysis, laboratory tests and field verification. The scheme to optimize the anti-interference ability of the short track circuits of ZPW-2000A track circuits is proposed, and the problem of voltage fluctuations caused by disturbances in short track circuits is mitigated.

Keywords: track circuit; short track circuit; anti-interference; poor grounding

1 概述

随着高铁将调谐区纳入列控控制, 调谐区小轨道的空闲和占用已经成为行车的重要依据。在应用过程中发现, 存在小轨出信号受干扰的现象, 小轨输出电压波动既对现场维护产生影响, 而且当小轨输出电压波动过大时还可能影响系统对小轨状态判断,

小轨道状态纳入控制后可能引发“红光带”故障, 进而影响铁路运输效率。小轨道信号稳定性尤为重要, 因此需对加强移频柜内小轨道抗干扰能力进行优化研究。

2 小轨输出电压波动原因分析

由于小轨出电流较小为 μA 级, 易受干扰, 发

送、接收线缆屏蔽层单端接地，当由于布线、接地等原因出现线地间不平衡寄生电容时，可能会有微量信号耦合至小轨出电压通道，引起波动。小轨道传输通道原理如图 1 所示。

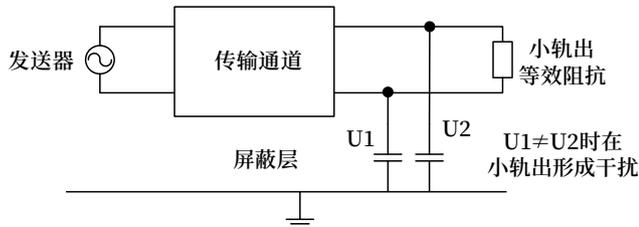


图1 小轨道传输通道原理

2.1 对地不平衡信号产生原理

在弱电的交流信号传输过程，通常使用扭绞线或扭绞屏蔽线如图 2 所示，其目的是在降低对外部电磁干扰影响同时，也降低外部干扰信号对自身的影响。

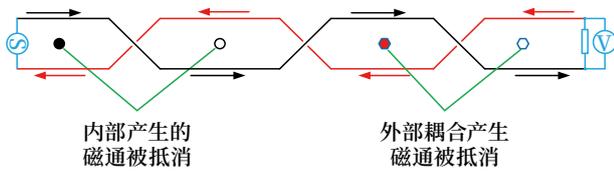


图2 扭绞线传输原理

在平衡信号系统中，双绞线自身产生磁通，以及外部电磁干扰信号在双绞线形成的磁通都会被抵消，即：作为干扰源系统，其对外产生的电磁辐射为零，不会对外产生干扰；作为被干扰信号系统，其通道中干扰信号量为 0，不会受到干扰。

在不平衡系统中：作为干扰源系统（发送端），系统对外产生的电磁辐射不为零，会辐射到周边信号设备（线缆）上，导致受辐射设备受到其信号的干扰影响；作为被干扰信号系统（接收端），外部电磁干扰信号会耦合到系统传输线缆上形成共模信号，由于系统自身存在不平衡，该共模信号在扭绞线上转变差模电压，干扰被干扰信号系统。

如图 3 所示，当干扰源系统（发送端）的通道两线对地电容不等 ($C_1 \neq C_2$) 时，干扰源系统会通过大地向被干扰系统辐射能量。若被干扰系统通道

两线对地电容相等 ($C_3=C_4$) 时， $I_1=I_2$ ，不在终端电阻 R 上产生电压；若被干扰系统通道两线对地电容不相等 ($C_3 \neq C_4$) 时， $I_1 \neq I_2$ ，在终端电阻 R 上会产生差模电压，形成干扰电压。

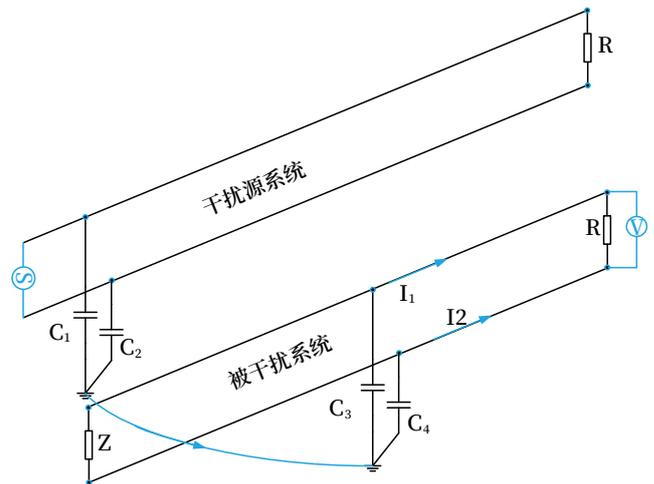


图3 干扰电压形成原理

2.2 小轨出受干扰途径分析

如图 4 所示，在机械室供电回路中存在干扰源，接收器与干扰源之间存在耦合电容 C_1 ，使接收器 XIN1 与 XIN2 间出现对地不平衡现象，干扰源信号通过电容 C_1 后，经过接收器小轨端入口阻抗，在小轨出信号线上形成差模电流，与小轨出信号线缆与屏蔽层间通过分布电容发生耦合，最终流入大地。

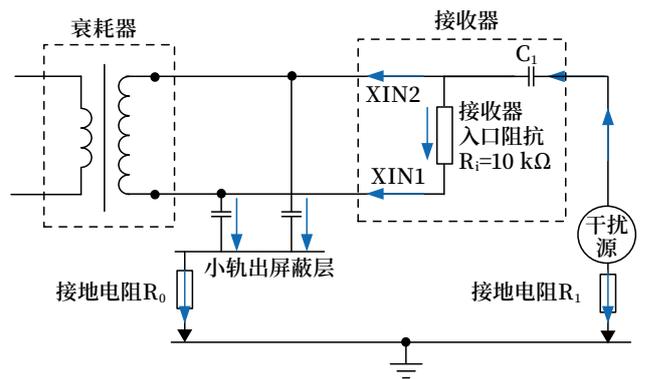


图4 设备线缆连接

因此，小轨出信号线屏蔽层接地后，为干扰信号电流提供了传导路径，且由于接收器小轨入口阻抗较高，干扰信号电流在接收器端形成干扰电压。

3 测试分析

在实验室对小轨出电压波动进行复现，进行了不同载频布置下移频柜有、无接地的对比测试，观察小轨出电压变化情况。同时对移频柜内断开通道内各接地位置，观察分析小轨出电压变化情况。

3.1 不同载频布置下移频柜有、无接地对比测试

1) 测试方法

在同一移频柜内按常规载频布置、同方向载频布置及最不利载频布置三种方式开展测试，如图 5、6、7 所示。

机柜位置	1	3	5	7	9
主轨载频	2600-1	2000-1	2600-2	2000-2	2600-1
小轨载频	2000-1	2600-1	2000-2	2600-2	2000-1
机柜位置	2	4	6	8	10
主轨载频	2300-1	1700-1	2300-2	1700-2	2300-1
小轨载频	1700-1	2300-1	1700-2	2300-2	1700-1

图5 常规载频布置

机柜位置	1	3	5	7	9
主轨载频	2000-1	2600-1	2000-1	2600-1	2000-1
小轨载频	2600-1	2000-1	2600-1	2000-1	2600-1
机柜位置	2	4	6	8	10
主轨载频	2600-1	2000-1	2600-1	2000-1	2600-1
小轨载频	2000-1	2600-1	2000-1	2600-1	2000-1

图6 同向载频布置

机柜位置	1	3	5	7	9
主轨载频	2000-1	2600-1	2600-1	2600-1	2600-1
小轨载频	2600-1	2000-1	2000-1	2000-1	2000-1
机柜位置	2	4	6	8	10
主轨载频	2600-1	2600-1	2600-1	2600-1	2600-1
小轨载频	2000-1	2000-1	2000-1	2000-1	2000-1

图7 最不利载频布置

将干扰源区段发送功出设置为 1 电平，关闭被测试小轨对应的发送器后，测试不同载频布置时第 1、2、5、6 位置的小轨出电压值。

2) 测试结果

移频柜有、无接地对比测试结果如表 1 所示。

1) 常规载频配置下，测试到小轨出的干扰信号在 10 ~ 26 mV 间变化，复现小轨出电压波动现象。

2) 移频柜是否接地对小轨出干扰电压影响较大。正常接地时，小轨出干扰电压约 26 mV；不接地时，小轨出干扰电压约 106 mV。

3) 相同载频区段数量越多，小轨出干扰电

表1 移频柜有、无接地对比测试结果

载频布置方式	测试区段位置	移频柜接地 / mV	移频柜不接地 / mV
常规载频布置	1	25	49
	2	10	21
	5	15	27
	6	13	17
同向载频布置	1	—	—
	2	16	53
	5	14	64
	6	10	47
最不利载频布置	1	26	106
	2	13	90
	5	16	76
	6	20	108

压越大。最不利载频配置时，测试到的干扰值约 108 mV。

3.2 通道接地点断开测试

1) 测试方法

通过断开通道内各接地点，从衰耗器小轨出塞孔进行测试，观察小轨出变化情况，测试内容如下。

- a. 断开移频柜接地；
- b. 断开发送功出线屏蔽层接地；
- c. 断开小轨出信号线屏蔽层接地。

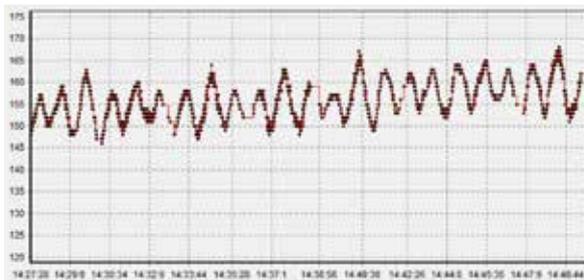
2) 测试结果

断开通道内各接地点测试结果如表 2 所示。

表2 断开通道内各接地点测试结果

试验编号	试验条件	小轨出电压波动值 /mV
1	正常状态下	±14
2	断开移频柜接地	±18
3	断开功出线屏蔽层接地	±10
4	断开小轨出信号线屏蔽层接地	±3

移频柜接地对抑制干扰有效，系统浮地后，干扰变大；断开功出线屏蔽层接地干扰幅度降低；切断小轨出屏蔽层，干扰大幅降低。



(a) 断开屏蔽层前

3.3 测试总结

根据分析和测试，总结出导致小轨出电压干扰波动的要素如下。

- 1) 接地电阻影响小轨出电压波动；
- 2) 小轨信号线屏蔽层接地受到地线上耦合干扰。

4 优化方案及验证

4.1 优化方案

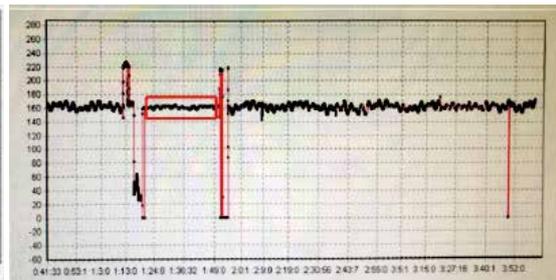
通过测试和分析，结合干扰要素，针对小轨出电压波动情况，采取共 2 个方面的解决方案，具体措施如表 3 所示。

表3 解决方案及具体措施

方案	解决方案	具体措施
1	移频柜可靠接地	满足不大于 1 Ω 的规范要求
2	断开干扰途径	对于受干扰小轨出电压变化较大的区段，断开小轨出屏蔽线的接地

4.2 现场验证

对现场存在小轨出电压波动的区段进行了断开干扰途径的试验验证，断开小轨出信号线屏蔽层接地前、后对比如图 8 所示。



(b) 断开屏蔽层试验

图8 断开小轨出屏蔽层对比分析

将小轨出信号线屏蔽层取消接地，小轨出电压波动幅度明显降低。

5 总结

为保证小轨道状态的稳定性，需确保移频柜可靠接地。对于受干扰小轨出电压变化较大的区段，建议可通过断开小轨出信号线屏蔽层的方式，有效降低对小轨出干扰。该方案实施后为验证对防雷和

电磁兼容性影响，进行了电磁兼容和防雷对比测试，均满足规范要求。

参考文献

- [1] 中国铁路总公司. 高速铁路信号维护规则技术标准部分 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2016: 48-54.
- [2] 中国铁路总公司. ZPW-2000A 型无绝缘移频自动

闭塞系统 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2013.

[3] 杨轶轩. 高速铁路区间轨道电路调谐区断轨检查纳入控制系统研究 [D]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2018.

[4] 李文涛, 杨轶轩, 阳晋. 高速铁路轨道电路技术创新与实践 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16 (Z1): 1-5.

[5] 焦名, 秦源. ZPW-2000A 小轨道状态纳入列控中心防护方案 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2017, 14 (4): 4.

[6] 束展逸. ZPW-2000A 轨道电路对调谐区故障防护能力的研究 [D]. 兰州: 兰州交通大学, 2023.

[7] 孟阔, 王天友. 西成客专轨道电路小轨输出电压波动分析及处理 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (Z1): 82-85.

[8] 刘国鹏. ZPW-2000A 轨道电路小轨电压异常判断分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (1): 95-100, 108.

[9] 王颖添. ZPW-2000A 轨道电路小轨电压异常情况分析 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2021 (9): 106-108.

(收稿日期: 2023-06-28)

(修回日期: 2023-09-21)

(上接 57页)

为了验证设备计量的准确性, 本文将 ME8500 装置送到第三方计量单位检测, 得到的器件校准结果误差率在 3‰ 以内, 符合测试要求。由表 3 可知, ME8500 装置测试指标与手动测试工装 (1250 频响分析仪 + 功率放大器 + 测试工装) 测试指标误差在 5% 以内, 符合轨道电路室外设备相应的调试检验要求。对其他 10 种型号的设备继续进行对比测试, 试验结果显示, 10 种设备型号均满足测量需求。

5 结束语

本文设计了一种轨道电路室外设备检测装置, 该装置结合实际生产中遇到的问题, 对现有测试方法进行了优化, 兼容了包括调谐匹配单元、空心线圈、机械绝缘节空心线圈、站内防雷匹配变压器等 11 种室外设备的测试, 使操作变得简单、可视化, 节省了测试时间, 达到了降本增效的目的。

参考文献

[1] 贾向武. 调谐匹配单元测试装置研究 [J]. 铁路通信信号工程技术. 2019, 16 (9): 40-43.

(收稿日期: 2023-05-01)

(修回日期: 2023-06-09)

[2] 北京全路通通信信号研究设计院有限公司. 客专 ZPW-2000A 轨道电路 [Z]. 北京: 北京全路通通信信号研究设计院有限公司, 2009.

[3] 胡飞龙. ZPW-2000A 型轨道电路设备原理与应用 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2018.

[4] 北京全路通通信信号研究设计院有限公司. ZPW2000 轨道电路工程设计说明 [Z]: 北京: 北京全路通通信信号研究设计院有限公司, 2014.

[5] 郭进. 铁路信号基础设备 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2010.

[6] 中国国家铁路集团有限公司. ZPW-2000 系列无绝缘轨道电路设备: Q-CR 489-2020 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2021.

[7] 代萌. ZPW-2000A 轨道电路信息调谐匹配单元数据配置探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (Z1): 60-65.

[8] 韩斌峰. ZPW-2000A 轨道电路信息型调谐匹配单元运用维护探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (Z1): 122-126.

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.Z1.024

基于ZPW-2000G轨道电路受端电缆侧小轨监测电压波动的优化处理

陈 淼, 谢永昌

(固安信通信号技术股份有限公司, 河北固安 065500)

摘要: 介绍基于 ZPW-2000G 轨道电路受端电缆侧小轨监测电压波动的优化处理。结合系统和设备原理, 对现场应用中的实际案例分析。通过优化敏感设备软件, 减少干扰信号对监测电压的影响, 并通过试验进行验证。

关键词: ZPW-2000G 轨道电路; 监测; 小轨波动; 分析; 优化; 验证

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)Z1-0105-06

Optimization Scheme for Monitoring Voltage Fluctuations in Small Track Circuits on Receiving-end Cable Side of ZPW-2000G Track Circuits

Abstract: This paper introduces an optimization scheme for monitoring voltage fluctuations in the small track circuits on the receiving-end cable side of ZPW-2000G track circuits. Taking into consideration the principles of the system and equipment, an actual case of on-site application is analyzed. By optimizing the software of the sensitive equipment, the influence of the interference signals on the monitoring voltage is reduced, and the scheme is verified through testing.

Keywords: ZPW-2000G track circuit; monitoring; fluctuations in small track circuits; analysis; optimization; verification

随着国内铁路运输的不断发展, 尤其是高速铁路的发展, 已经达到了世界先进水平。为了确保铁路列车的运行安全、高速、平稳和舒适, 其列车控制技术尤为重要。作为列车控制系统最重要的基础设备 ZPW-2000 系列轨道电路, 为列车的安全运行提供了可靠保障。监测数据为故障判断、定位的重要组成部分, 愈发受到重视, 监测数据的及时、准确尤为重要。

本论文结合 ZPW-2000G 型无绝缘轨道电路(以下简称 ZPW-2000G)现场一起因外界干扰而导致的集中监测异常报警案例, 经过现场排查、机理

分析, 通过优化采集设备软件算法排除带内干扰对监测数据的影响, 解决误报警。

1 概述

某普速线路 5414BG, ZPW-2000G 轨道电路电缆侧受端小轨信号带内能量波动较大, 导致电缆侧小轨监测电压变化范围较大, 无车辆经过时受端电缆侧小轨电压 738 mV, 过车前、后受端电缆侧小轨电压在 650 ~ 920 mV 间波动, 集中监测报警, 数据如图 1 所示。分析、查找小轨电压波动原因, 解决监测数据波动。

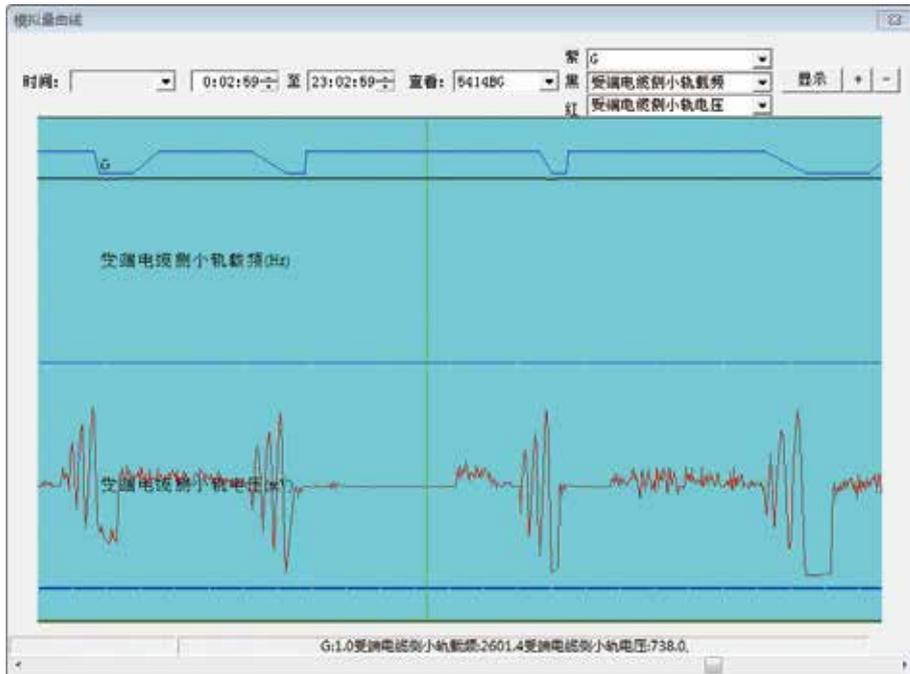


图1 5414BG监测小轨电压曲线

2 过程分析

2.1 信号系统干扰源

当信号监测设备中发现在列车运行过程中出现时有时无的无规律波动曲线，而在天窗点内消失，一般为谐波干扰的特征。采用具有频谱分析功能的波形采集记录设备进行采集和频谱分析，确认干扰信号的频谱特征。

牵引谐波是频率为工频 50 Hz 整数倍的正弦波，由工频牵引电流产生。牵引电流高次谐波总能量虽小，但分布广泛，且某些特定的高次谐波幅值较高，频率处在 ZPW-2000 轨道电路信号的频带内，导致受端电压曲线波动。

2.2 应用ME2000P分析监测数据

1) 监测内容

使用 ME2000P 采集 5414BG 区段室内电缆侧接收端数据，观测 5414BG 区段受端电缆侧小轨道电压曲线及信号频谱，分析小轨电压波动原因。

2) 数据分析

查看 ME2000P 采集到的数据，在车辆经过前、后受端电缆侧电压在 623 ~ 915 mV 间波动，如图 2

所示，与监测设备显示的电压基本一致。

对 ME2000P 采集到的数据进行傅里叶变换 (FFT)，分析信号频谱，受端电缆侧小轨电压正常和电压波动时信号频谱如图 3 所示。对比正常信号，在电压波动时，小轨有效信号频谱幅值未发生明显改变，而在 2 500 Hz、2 550 Hz、2 600 Hz、2 650 Hz、2 700 Hz 处存在幅值较高的牵引谐波信号。当列车驶离后，牵引谐波消失，该区段受端电缆侧小轨电压不再波动，验证了该区段的电压波动是由牵引谐波导致的。这些谐波相对于小轨信号来说，属于带内干扰，无法通过硬件或软件滤波来进行去除。

3 方案优化

3.1 方案说明

FSK 信号频谱以载频为中心，以低频为间隔向两边展开，频谱图呈现出 5 根峰的形式，可根据数据公式由信号电压计算出每根峰的幅值，该幅值与信号电压呈线性关系。FSK 信号受调谐区影响信号频谱发生一定改变，但在一定时间段内，调整状态下受端电缆侧小轨信号的频谱特征是保持不变的，

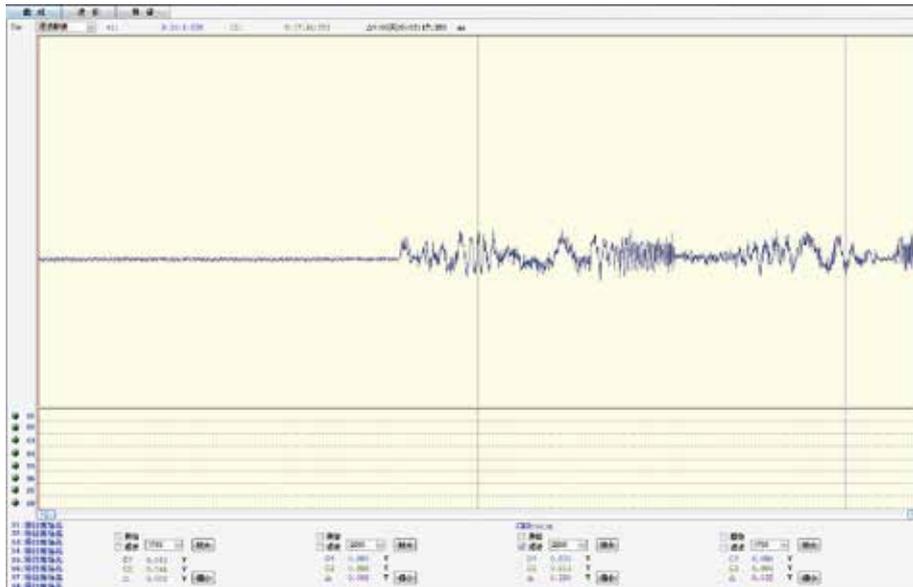


图2 5414BG小轨电压曲线

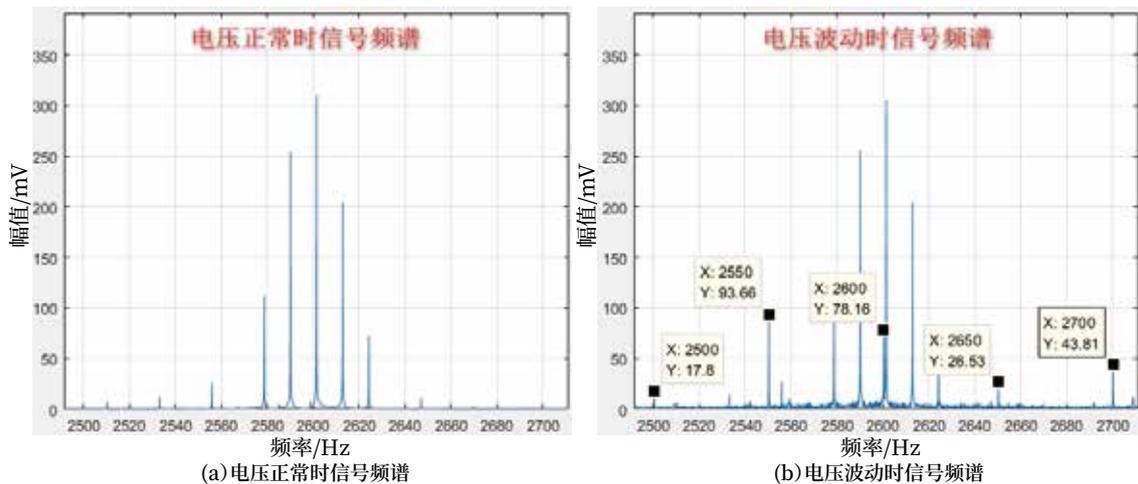


图3 受端电缆侧小轨电压信号频谱

并不受牵引谐波的影响。因此在小轨信号受牵引谐波影响，带内能量波动时，可通过信号频谱中保持不变或变化幅度较小的其他信息来进行电压计算。

分析 ME2000P 采集到的小轨信号频谱，信号的带内能量、一次边峰幅值和 5 根峰幅值的变化曲线，如图 4 所示。当受到牵引谐波影响时，带内能量、5 根峰幅值全部产生了大幅度的波动，一次边峰幅值的变化幅度较小且该幅值与信号电压呈线性关系，因此可通过一次边峰幅值计算 FSK 信号电压。

3.2 算法设计

每个区段调谐区实际参数存在一定偏差，因此

受端电缆侧小轨信号一次边峰幅值和信号电压的比值并不固定，需要单独进行计算。在信号未受到牵引谐波干扰时，计算出信号电压和的一次边峰幅值比值系数，此时通过带内能量计算信号电压；当信号受到牵引谐波干扰时，通过一次边峰幅值乘以比值系数的方式计算信号电压，排除牵引谐波对小轨道电压计算的影响。受端小轨电压优化后计算方法流程框如图 5 所示。

3.3 仿真实验

根据上述思路，对 MEP2000P 采集到的小轨数据进行相应的仿真实验，优化计算方法后受端

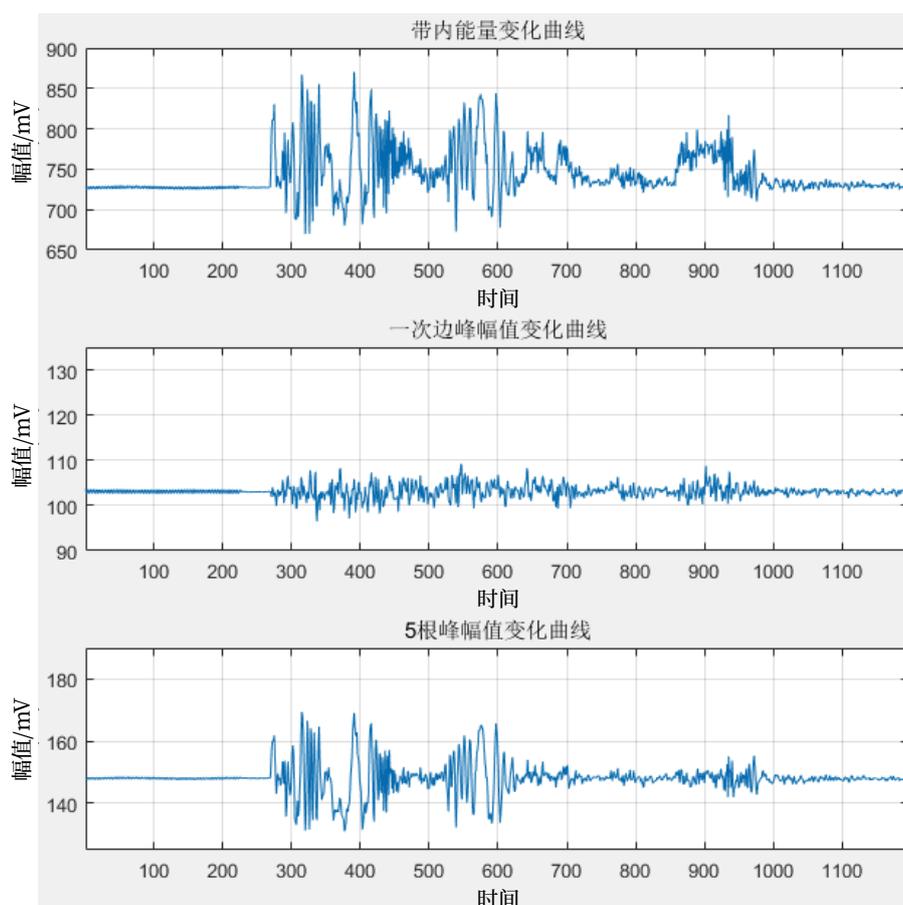


图4 信号频谱能量变化曲线

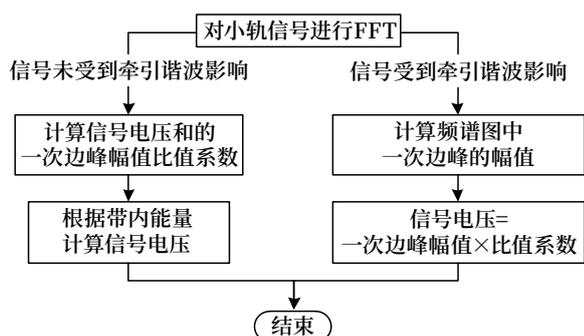


图5 受端小轨电压优化后计算方法流程

电缆侧小轨电压变化曲线与原有算法电压变化曲线对比如图 6 所示。无列车经过时，受端电缆侧小轨电压在 729 mV 左右，当受到牵引谐波干扰时，原算法计算小轨电压在 669.8 ~ 870.4 mV 之间波动，优化处理后监测设备计算小轨电压在 694.3 ~ 773.4 mV 间波动，波动幅度较原有算法大幅度减小。

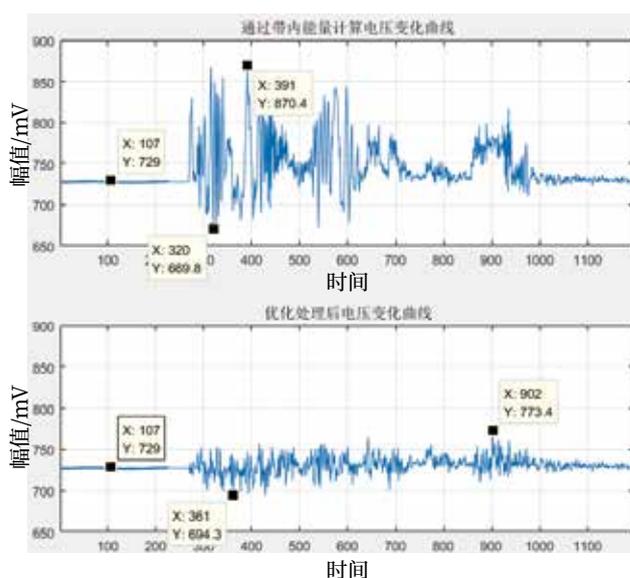


图6 受端电缆侧电压波动曲线对比

对其他多个小轨波动区段的 ME2000P 采集数据进行仿真实验，算法优化前、后受端电缆侧小轨

电压波动曲线对比如图 7 所示：①区段小轨电压 680 mV，波动范围由 544 ~ 978 mV 变更为 663 ~ 707 mV，②区段小轨电压 730 mV，波动范围由 683 ~ 856 mV 变更为 696 ~ 770 mV，③区段小轨电压 640 mV，波动范围由 561 ~ 786 mV 变

更为 603 ~ 665 mV，④区段小轨电压 530 mV，波动范围由 490 ~ 594 mV 变更为 514 ~ 550 mV 受端电缆侧小轨电压波动幅度大幅度减小。该算法可有效排除 50 Hz 谐波对电压计算的干扰，在有效反映 FSK 信号电压的同时避免触发集中监测报警。

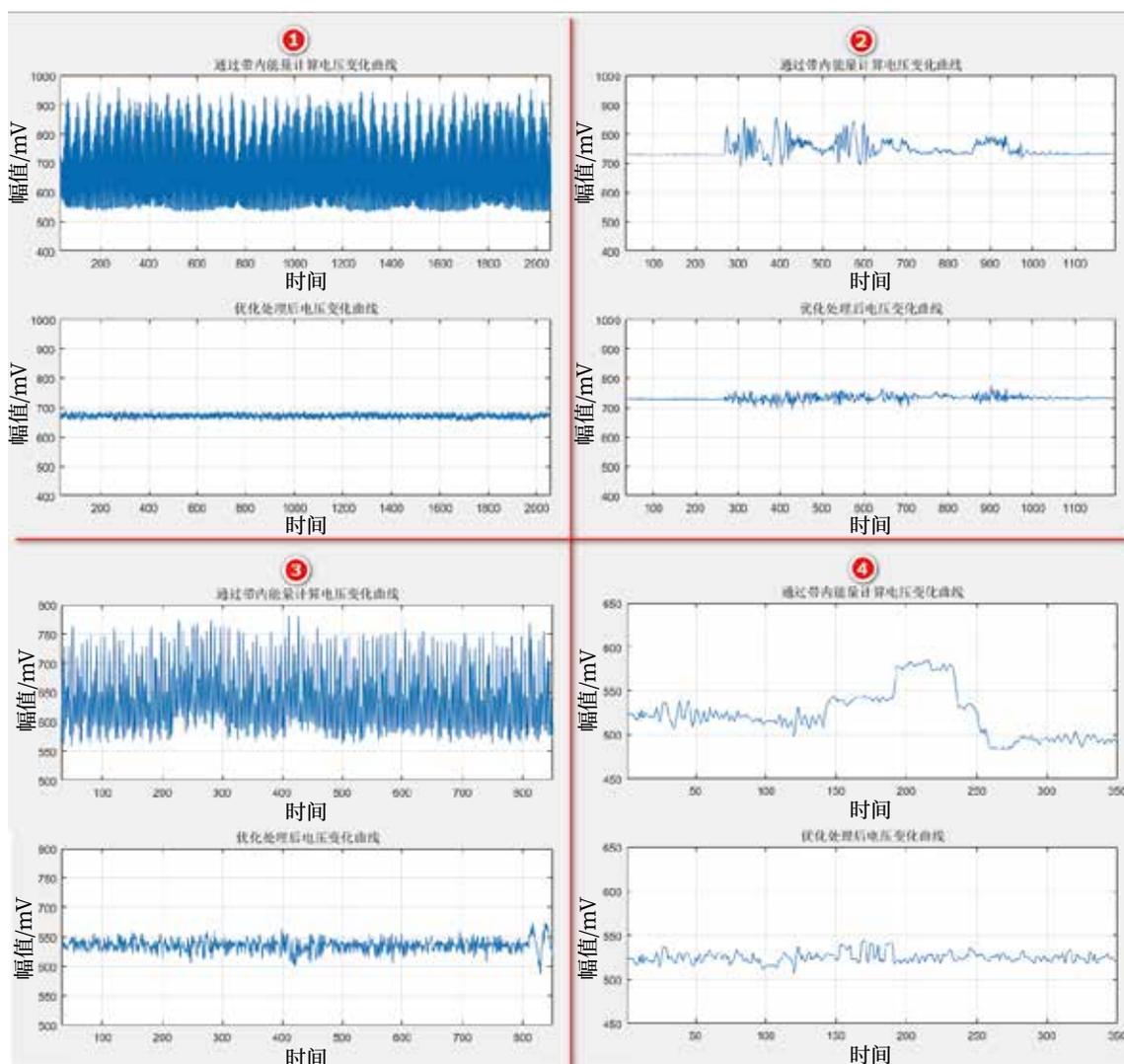


图7 受端电缆侧电压波动曲线对比

4 结束语

本研究主要根据 FSK 信号的频谱特征设计了相应算法来减少牵引谐波对 FSK 信号电压计算的影响，并通过仿真平台对现场采集数据进行了相关的仿真实验，实验结果表明该方法有效。该计算方法为 FSK 电压计算提供了一种新的思路，为后续监测

设备程序优化提供一定的借鉴与参考。

参考文献

- [1] 杨轶轩, 徐宗奇. ZPW-2000A 型轨道电路故障分析与处理 [M], 北京: 中国铁道出版社有限公司, 2019.
- [2] 胡飞龙. ZPW-2000A 型轨道电路设备原理与应用

[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2018.

[3] 中国国家铁路集团有限公司. 铁路信号集中监测系统技术条件: Q/CR 442-2020[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2020.

[4] 中国国家铁路集团有限公司. ZPW-2000 系列无绝缘轨道电路设备: Q/CR 489-2020[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2020.

[5] 中华人民共和国国家铁路局. ZPW-2000 轨道电路技术条件: TB/T3206-2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.

[6] John G. Proakis. 数字信号处理 - 原理、算法与应用 [M]. 4 版. 方艳梅, 译. 北京: 电子工业

出版社, 2014.

[7] 维纳·K·英格尔, 约翰·G·普罗克斯. 数字信号处理 (MATLAB 版) [M]. 4 版. 西安: 西安交通大学出版社, 2021.

[8] 唐敦辉. 关于 ZPW-2000A 轨道电路小轨输出电压呈正弦波动探讨 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19 (5): 101-103.

[9] 刘国鹏. ZPW-2000A 轨道电路小轨电压异常判断分析 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (1): 95-100, 108.

(收稿日期: 2023-06-30)
(修回日期: 2023-09-21)

(上接 86 页)

导致轨道电路故障的情形也很难及时有效处理, 这是因为轨道电路监测、诊断设备无法获得其他信号设备的运行状态信息。

综上, 建立一个综合智能运维平台, 将轨道电路、道岔转换、道岔融雪等关联紧密设备的监测数据上传至该平台, 实现数据共享, 利用故障诊断、全生命健康管理等技术, 实现综合运维, 可以提高包括轨道电路在内的相关信号系统的运维效率。

5 总结

本文通过对基于机理的和基于数据的故障诊断方法优缺点的分析, 结合两种方法的优点, 提出了针对轨道电路系统的故障诊断方法; 提出了适用于轨道电路的全生命周期管理技术体系, 可有效提升对轨道电路健康状态的运维能力, 实现从“计划修”和“事后修”到“状态修”的根本转变; 从轨道电路的角度出发提出建立综合运维平台来提升轨道电路运维效率, 该方案同时为提升整个铁路信号系统运维能力提供了解决方案。

参考文献

[1] 秦立朝. 轨道电路与电气化 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2008.

[2] 杨润霞. 25Hz 相敏轨道电路故障诊断系统的研究与设计 [D]. 兰州: 兰州交通大学, 2014.

[3] 陆晓峰. 轨道电路智能故障诊断方法研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2015.

[4] 黄赞武. 轨道电路故障预测与健康管 理关键技术研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2013.

[5] 郭玉生. 基于机器学习和数据同化的轨道电路故障诊断 [D]. 兰州: 兰州交通大学, 2020.

[6] 孙浩洋. 基于数据驱动的 ZPW-2000A 轨道电路故障预测方法的研究 [D]. 兰州: 兰州交通大学, 2020.

[7] 文武臣. 基于人工智能的 ZPW-2000A 轨道电路故障诊断方法研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (10): 35-39.

[8] 张凤霞. ZPW-2000A 轨道电路健康管理系统的研究 [D]. 兰州: 兰州交通大学, 2015.

(收稿日期: 2023-06-28)
(修回日期: 2023-09-21)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.Z1.025

ZPW-2000A轨道电路室外设备调谐参数的选配方法与实现

李炳杰

(北京铁路信号有限公司, 北京 102613)

摘要: ZPW-2000A 轨道电路调谐设备的参数主要由极阻抗和零阻抗组成, 极阻抗和零阻抗的实部在十几毫欧到几十毫欧范围内, 虚部在十几毫欧到几百毫欧范围内, 调谐设备内某个器件参数的微小偏差, 会使设备的阻抗数值产生数毫欧的变化。每台调谐设备在生产过程中, 需将极阻抗和零阻抗参数控制在指标范围内, 逐台生产、逐台调试的方法已不满足高效率生产的要求。找到正确的选配方法, 对实现调谐设备批量调试、生产尤为重要。

关键词: 调谐设备; 选配; 极阻抗; 零阻抗

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)Z1-0111-03

Method and Implementation of Selection and Matching of Tuning Parameters for ZPW-2000A Track Circuit Outdoor Equipment

Abstract: The parameters of ZPW-2000A track circuit tuning equipment are mainly composed of polar impedance and zero impedance. The real part of the polar impedance and zero impedance ranges between ten milliohms and dozens of milliohms, while the imaginary part ranges between ten milliohms and hundreds of milliohms. The small deviation of a device parameter in the tuning equipment will cause a change of several milliohms in the impedance value of the equipment. In the production process of each tuning equipment, the parameters of polar impedance and zero impedance need to be controlled within the specified range. The method of one-by-one production and commissioning no longer meets the requirements of efficient production. Finding the correct selection and matching method is particularly important for realizing batch debugging and production of tuning equipment.

Keywords: tuning equipment; selection and matching; polar impedance; zero impedance

1 概述

ZPW-2000A 轨道电路调谐设备, 是将钢轨电气分割的重要组成部分。为了便于产业化过程中, 大批量地对调谐设备进行单体调试, 系统设计者总结和归纳大量现场调谐区数据, 计算出了调谐设备

单体技术性能指标, 即产业化生产调试层面关注的调谐设备的“零阻抗”和“极阻抗”。如果在产业化过程对调谐设备调试时, 能够满足系统设计方提出的单体设备“零阻抗”和“极阻抗”指标要求, 也就间接地满足轨道电路系统层面调谐区的阻抗指标要求。调谐设备内部主要由电感、电容构成谐振,

对本区段信号频率呈现较大的阻抗,对相邻区段信号频率呈现较低的阻抗。由于每个电感间、每个电容间参数存在差异,为使每台调谐设备的技术指标均在同一个范围内,需要对每台设备进行“微调”,而这个“微调”的工作费时费力,为提高生产效率,需要找到高效率的方法完成单台调谐设备的调试。

2 调谐设备原理图

由于轨道电路传输信号包括 1 700 Hz、2 000 Hz、2 300 Hz 和 2 600 Hz 四种频率,故 ZPW·2000A 轨道电路调谐类设备也根据频率分为四种型号,以较为简单的 ZPW·T-1700 型调谐单元为例,原理如图 1 所示。

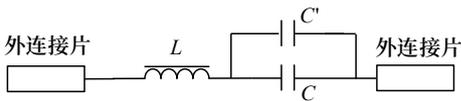


图1 ZPW·T-1700型调谐单元原理

其中 L 和 C 是用于形成谐振的调谐电感和调谐电容器,但由于生产工艺及成本因素,无法精确的将每个电容器 C 控制在同一容值,在 ZPW·T-1700 型调谐单元生产过程中,需要一些容值较小的补偿电容器 C' 与其并联,使调谐设备的阻抗虚部控制在

$$j\omega_0 L - j \frac{\frac{R_C^2}{\omega_0 C'} + \frac{1}{\omega_0^3 C^2 C'}}{\left(R_C + R_{C'}\right)^2 + \left(\frac{1}{\omega_0 C} + \frac{1}{\omega_0 C'}\right)^2} = \text{零阻抗虚部} \quad (1)$$

每台 ZPW·T-1700 型调谐单元极阻抗实部计算公式可等效为:

$$R + R_L + R' + \frac{R_C^2 R_{C'} + R_C R_{C'}^2 + \frac{R_C}{\omega_0^2 C'^2} + \frac{R_{C'}}{\omega_0^2 C^2}}{\left(R_C + R_{C'}\right)^2 + \left(\frac{1}{\omega_0 C} + \frac{1}{\omega_0 C'}\right)^2} = \text{零阻抗实部} \quad (2)$$

如果使用专用工装精准测试出电感器 L 与电容器 C 的参数,得出 R_L 、 R_C 与电感量 L 与容值 C 数值,即可通过公式 (1) 与公式 (2),计算出补偿电感器 C' 与实部补偿值 R' 的数值,再使用极阻抗参数对选配结果进行验证。

3.2 三元件调谐设备

以 ZPW·T-2300 型调谐单元为例,细化原理如图 3 所示。

指标范围内。同理,也无法控制每个电感 L 及电容器 C 的内阻在同一阻值,需要串联不同长度的连接线,而使调谐设备的阻抗实部控制在指标范围内。

3 调谐参数计算

3.1 两元件调谐设备

根据 ZPW·T-1700 型调谐单元内部器件连接情况,如果将器件内阻及连接线内阻看作不可忽略,可将图 1 更细化的表示,如图 2 所示。

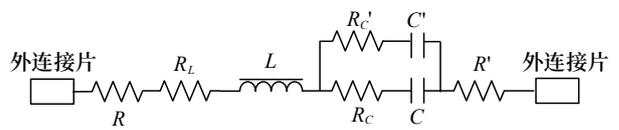


图2 ZPW·T-1700型调谐单元细化原理

其中 R 为内外连接片、内部定长连接线等固定电阻值,由于每台设备的连接片均一致,可视为每台设备的 R 为固定值。 R_L 为电感器内阻值, L 为电感器电感值。 R_C 为调谐电容器 C 的内阻值, $R_{C'}$ 为补偿电容器 C' 的内阻值。 R' 为实部补偿值,需要用若干长度的等阻线实现。

因此,根据阻抗计算公式,每台 ZPW·T-1700 型调谐单元零阻抗虚部计算公式可等效为:

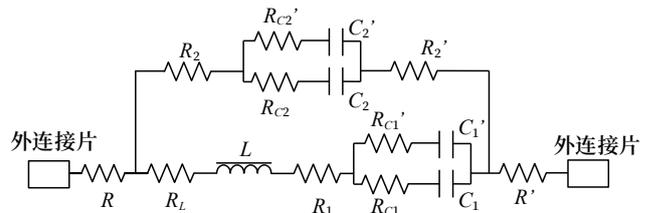


图3 ZPW·T-2300型调谐单元细化原理

三元件调谐设备比两元件调谐设备多出了并联电容器 C_2 , 其内阻与容值在小范围变化时,对调

谐设备整体零阻抗数值几乎无影响,因此,在阻抗计算时,需要将并联支路参数(即 R_2 、 R_2' 、 R_{C_2} 、 R_{C_2}' 、 C_2 与 C_2')设定为某一固定值,首先根据零阻抗指标、串联电感器 L 与串联电容器 C_1 的参数,计算出串联补偿电阻值 R' 与串联补偿电容器 C_1' 容值,再根据极阻抗参数,计算并联补偿电阻值 R_2' 与并联补偿电容器 C_2' ,本文对此不再赘述。

4 选配工装设计

为了将元件参数更精准地测试,需要使用四线检测法对各调谐器件进行测试。因此需设计专用测试工装,使用信号发生器通过工装对被测电感器、电容器以及 $1\ \Omega$ 标准电阻进行供电,通过信号检测装置分别测试各器件及标准电阻两端电压,经过对比计算即可得出电感器与电容器的参数;根据公式(1)与公式(2),通过将所测数据上传至上位机,计算出实部补偿值 R' 与补偿电感器 C' 的数值。由于补偿电容器在 $4\ \mu\text{F}$ 以下时,容值按照 $0.1\ \mu\text{F}$ 递进,而高于 $4\ \mu\text{F}$ 时,按照 $0.2\sim 0.3\ \mu\text{F}$ 递进,这会导致实际的补偿电容器无法与计算出的 C' 完全一致,此时需要就近选择某一补偿电容器,再进一步计算验证,对选配结果适当调整。选配系统原理如图4所示。

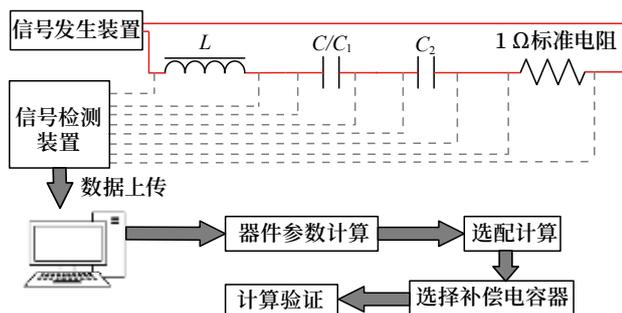


图4 接线原理

5 应用

根据以上理论基础,与某厂家合作研制了ME8310型调谐设备选配测试装置,该装置包含信号主机(用于产生信号及信号检测)、上位机、测试工装夹具与通信工装。目前,该选配装置已完成对2万台ZPW·PTX型信息调谐匹配单元的选配工

作,选配结果完全符合预期。生产人员可在ZPW·PTX型信息调谐匹配单元整机焊接前,确定所需的补偿电容与连接线缆长度,使其调谐部分一次焊接便可完成生产,共计节省5 000 h人时。

6 结束语

本文对轨道电路调谐设备参数计算方法进行了简单介绍,并根据计算方法设计完成了选配测试系统,在ZPW·PTX型信息调谐匹配单元产品上得到成功应用,使调谐设备的调试变得更高效、更智能化,极大地节省了生产、调试时间,达到了轨道电路调谐设备在产业化过程降本增效的目的。

参考文献

- [1] 胡飞龙,王忠斌,沈淼,等. ZPW-2000 轨道电路调谐单元生产工艺优化和器件配对实施[J]. 铁路通信信号工程技术, 2017, 14(2): 93-95, 98.
- [2] 贾向武. 调谐匹配单元测试装置研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16(Z1): 40-43.
- [3] 胡飞龙. ZPW-2000A 型轨道电路设备原理与应用[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2018.
- [4] 中国国家铁路集团有限公司. ZPW-2000 系列无绝缘轨道电路设备: Q-CR 489-2020[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2021.
- [5] 中华人民共和国国家铁路局. ZPW-2000 轨道电路设备: TB/T 3532-2018[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2018.
- [6] 方升炜. ZPW-2000A 轨道电路接收调谐单元开路故障分析及处理[J]. 上海铁道科技, 2016(3): 58-59, 118.
- [7] 代萌. ZPW-2000A 轨道电路信息调谐匹配单元数据配置探讨[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(Z1): 60-65.

(收稿日期: 2023-06-27)

(修回日期: 2023-09-21)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.Z1.026

一种ZPW-2000轨道电路室外监测设备 远程配置方案

武 沛, 李 晗, 刘希高, 廖 理

(北京和利时系统工程有限公司, 北京 100176)

摘要: 轨道电路室外监测及诊断系统在现场的大量使用, 对监测设备安装调试的便利性要求也随之升高。目前室外监测设备的配置多为室外逐点配置, 施工工作量大。研究了一种室外监测设备远程配置方案, 在室内即可完成配置工作, 极大地降低了现场施工工作量。

关键词: 轨道电路; 室外监测; 远程配置

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)Z1-0114-03

Remote Configuration Scheme of Outdoor Monitoring Equipment for ZPW-2000 Track Circuits

Abstract: With the extensive use of track circuit outdoor monitoring and diagnosis systems in the field, the requirements for convenient monitoring equipment installation and debugging have also become more stringent. At present, the configuration of outdoor monitoring equipment is mostly outdoor point-by-point configuration, and the construction workload is large. This paper studies a remote configuration scheme of outdoor monitoring equipment whose configuration can be completed indoors, greatly reducing the workload of on-site construction.

Keywords: track circuit; outdoor monitoring; remote configuration

1 概述

轨道电路室外监测系统采集分机由于分散安装在室外各个区段中, 需逐台配置地址来实现采集位置的确定与管理。目前常见的配置方法是在室外采集分机安装好后, 去室外逐点配置, 施工工作量较大。

本文研究一种基于采集分机唯一识别码的 PLC 组网技术, 实现采集分机地址的远程配置, 在室内即可对采集分机进行地址配置和管理, 方便现场施工与调试工作。

2 室外监测系统介绍

轨道电路室外监测系统采用了电力载波技术, 将监测信息通过电缆传回室内。室外监测系统包括室外监测通信处理机、室外监测通信分机、采集分机及传感器, 结构如图 1 所示。

采集分机及其传感器集成在调谐匹配单元中, 实现对轨道电路钢轨引接线、信号电缆等位置的信号采集。室外监测通信分机实现与采集分机和通信处理机的通信功能, 同时输出采集分机的工作电源。室外监测通信处理机负责将数据打包上传给诊断主机^[1]。

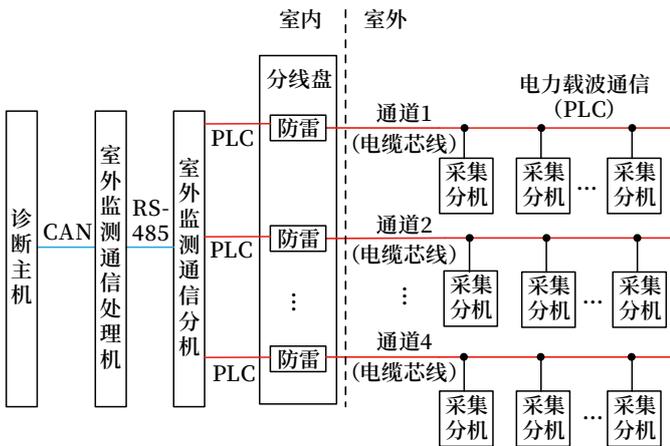


图1 室外监测系统结构

每条 PLC 总线挂载多台采集分机，并由室外监测通信处理机管理。采集分机所处的轨道区段、送受端的位置需通过分机不同的地址进行识别。

由于采集分机出厂时地址均为相同默认值，故现场施工及调试阶段必须对采集分机地址进行配置。

3 室外逐点配置方案

目前室外采集分机的地址配置多为室外逐点配置的方案^[2]，主要有以下几种方式。

1) 采用地址拨码方式，如图 2 所示，通过拨码实现地址配置，易出现拨码错误或拨码不到位的情况。



图2 地址拨码采集分机示意

2) 使用便携式配置工具，如图 3 所示。这种方式需使用专用设备进行地址配置，为保证配置时采集分机的唯一性，需断开采集分机原本的供电线，并在配置完成后恢复接线，施工较为繁琐。

3) 使用无线终端进行配置。采集分机需具备无线读写模块，通过 NFC 或其他无线方式对采集分机进行地址配置，采用该方案虽可省去现场配置时



图3 便携式采集分机地址配置工具

开启防护盒和接线等工作，但仍需去室外逐一配置地址。

以上所述采集分机地址配置方案各有特点，但都无法避免大量的室外施工工作量。

4 室内远程配置方案

室内远程配置方案是采用基于采集分机唯一识别码的 PLC 组网技术实现。组网原理如图 4 所示。

1) 室外监测通信处理机将收到的地址修改指令通过串口发送给室外监测通信分机；

2) 通信分机将接收到的串口信号转换为载波信号通过 PLC 总线下发给传输范围内所有的采集分机；

3) 当采集分机的唯一识别码与下发的地址修改指令中携带的识别码一致时，该采集分机响应地址修改指令并完成地址修改；

4) 完成地址修改后采集分机自动重启并重新组网；

5) 重新组网成功后，该采集分机即可中继信号将数据传输更远，最终完成 PLC 总线上所有采集分机的地址修改。

采集分机室内远程配置，首先在安装结束后对整条总线上所有采集分机进行组网通信，随后在室内进行逐个区段的上电，通过采集信号值的变化确认唯一识别码与区段、送受端的对应关系，根据该对应关系进行采集分机地址配置。室内远程配置流程如图 5 所示。

室内远程配置方案在采集分机安装完成后便无室外施工工作量，能快速、有效地完成整条总线分

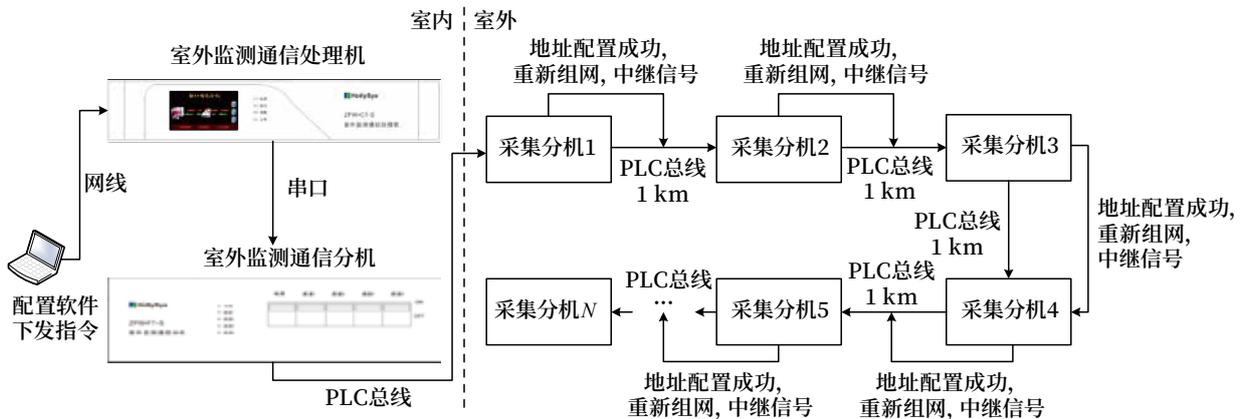


图4 PLC组网示意

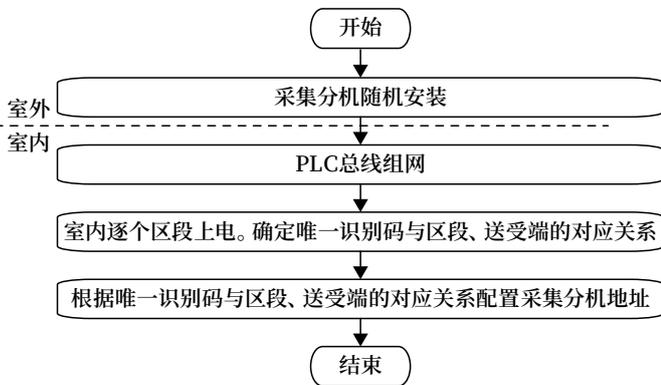


图5 室内远程配置流程

机地址的配置，减少了现场施工工作量。

5 结论

本文针对当前轨道电路室外监测设备地址配置方案存在的室外施工工作量大的问题，提出了采集分机室内远程配置方案，可高效便捷地完成地址配置工作，方便了现场施工与调试。

参考文献

[1] 中国铁路总公司. ZPW-2000 区间轨道电路室外监测及诊断系统暂行技术条件: TJ/DW197-2017[S]. 中国: 中国铁路总公司, 2017.

[2] 陈晔, 李虎, 冯博. ZPW-2000 轨道电路室外采集设备配置方式的探讨 [J]. 石家庄铁路职业技术学院学报, 2021, 20 (4): 26-29, 56.

[3] 中华人民共和国国家铁路局. ZPW-2000 轨道电路设备: TB/T 3532-2018 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2018.

[4] 中华人民共和国国家铁路局. ZPW-2000 轨道电路技术条件: TB/T 3206-2017 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.

[5] 金鹏, 莫小凡, 赵宇等. ZPW-2000 区间轨道电路室外监测及诊断系统测试平台研究 [J]. 铁道技术监督, 2019, 47 (10): 29-32.

[6] 蔡红标, 张雄. ZPW-2000 移频轨道电路室外监测系统开发 [J]. 铁道通信信号, 2013, 49 (6): 16-19.

[7] 刘喆. ZPW-2000 移频轨道电路室外监测技术研究 [D]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2016.

[8] 王国栋. ZPW-2000A 型移频轨道电路室外设备故障预警系统的研究与设计 [D]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2019.

(收稿日期: 2023-06-30)

(修回日期: 2023-09-21)

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4440.2023.Z1.027

轨道信号干扰分析仪的特点及应用

杜晓鑫

(中国铁路北京局集团有限公司北京西电务段, 北京 100044)

摘要: 结合轨道信号干扰分析仪特点和现场应用案例, 从轨道信号监测、曲线和频谱信息采集分析等方面, 论述轨道信号干扰分析仪在信号测试和现场故障定位过程中起到了重要的辅助作用, 为铁路信号工作人员处理信号问题提供了有力证据。

关键词: 轨道信号干扰分析仪; 应用案例; 信息采集分析

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)Z1-0117-05

Characteristics and Application of Track Signal Interference Analyzer

Abstract: Based on the characteristics of a track signal interference analyzer and on-site application cases, this paper discusses the important auxiliary role played by track signal interference analyzers in the process of signal testing and on-site fault location determination from the perspectives of track signal monitoring and the collection and analysis of information about curves and frequency spectra. This paper provides strong evidence for railway signal engineers to deal with signal problems.

Keywords: track signal interference analyzer; application case; information collection and analysis

1 概述

随着铁路高速发展, 铁路电务系统规模也不断扩大, 对保障电务系统设备安全、稳定长期运行的要求越来越迫切。轨道电路因钢轨分散装设、设备数量多且遍布室内外, 与列车、牵引供电、轨道、自然环境均有接口, 易受外部干扰导致故障频发, 因此需要一种能够实时长期监测、记录和分析的铁路信号分析仪器来配合铁路信号工作人员定位故障原因就显得十分必要。

2 轨道信号干扰分析仪特点

轨道信号干扰分析仪是铁路电务系统信号分析的专用检测、监测仪器, 不仅可用于室内、外轨道

电路设备偶发性故障监测, 还可以通过曲线、波形、频谱等方式深入分析干扰源特征, 以便于快速查找故障原因, 缩短故障排查时间。

轨道信号干扰分析仪自带操作系统、存储装置、采集功能以及电池供电功能, 可进行长期监测、实时采集并记录任何干扰和不正常情况的电压/电流信号曲线、波形、频谱等信息, 再现故障时现场设备实际运行数据, 便于现场故障的快速分析、处理, 如图1所示。

3 轨道信号干扰分析仪故障处理应用

轨道信号干扰分析仪作为信号分析的专用检测、监测仪器, 将其应用于现场环境中, 实时监测采集轨道电路传输的信号, 能够为铁路信号工作人员查

找故障原因、解决信号问题提供便利手段。



图1 轨道信号干扰分析仪操作界面

故障案例 1

1) 故障描述

2021年4月, XX次列车(车辆装备300H型ATP)于XX站X15G K2+008~K2+047范围内出现红黄码转无码, 触发制动停车故障现象。

X15G为25 Hz相敏轨道电路叠加ZPW-2000A电码化区段。从车载记录的TCR数据来看, 故障区段的波形信号忽大忽小, 1700 Hz处频域能量较小, 而1750 Hz处频域能量较大, 存在较大的工频干扰信号, 如图2所示。

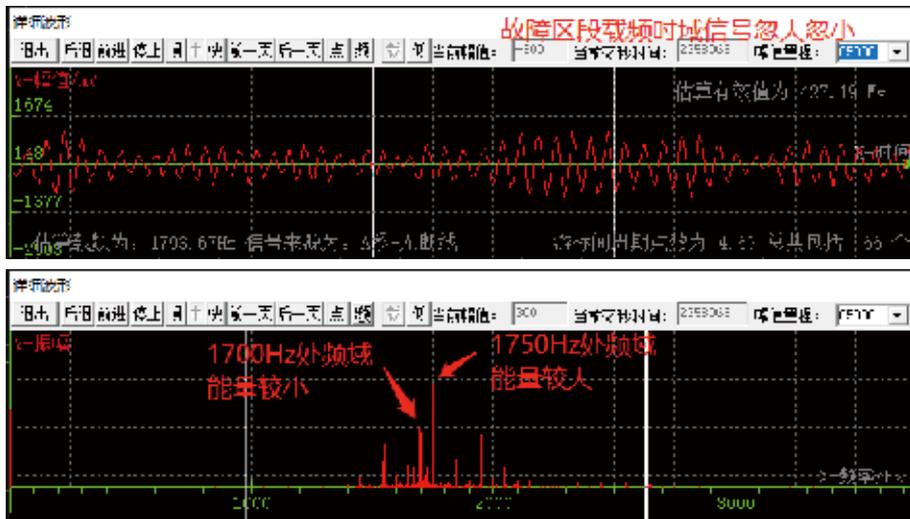


图2 车载TCR记录的波形和频谱数据

2) 干扰测试与分析

通过调查发现, 轨道电路传输通道正常, 分路电流满足机车信号灵敏度要求。为查找工频干扰信号来源, 使用轨道信号干扰分析仪采集室外钢轨线路上在无车运行、有车运行但未占用故障区段、有车占用故障区段时钢轨上传输的信号特征。

天窗点内无车时, 调阅分析仪采集的数据。从采集数据的频谱分析图可以发现仅有25 Hz轨道电路信号, 无带内谐波干扰信号。

有车运行但未占用X15G时, 干扰信号如图3所示。通过采集数据频谱分析图可以看出, 在有车经过时, X15G区段会在1700~2600 Hz、3600~4800 Hz、8400~9000 Hz频带内有较大的谐波干扰信号。

当列车占用X15G后, 在1700~2600 Hz频带内存在谐波干扰信号。此时本区段载频为1698.7 Hz, 低频为26.8 Hz, 在1650 Hz与1750 Hz附近处有较大的谐波分量, 几乎与1700 Hz信号幅值相近, 如图4所示。

根据上述分析结果, 确定车载TCR接收到的工频干扰信号是由于牵引电流谐波干扰所致。

利用轨道信号干扰分析仪频谱分析功能, 可以准确捕捉到轨道电路传输信号中各种频率的干扰信号, 为解决现场干扰故障提供分析依据。

故障案例 2

1) 故障描述

2022年10月, XX站XX次列车在3G下行发车, 越过X3信号机后机车信号由双黄灯掉白灯,

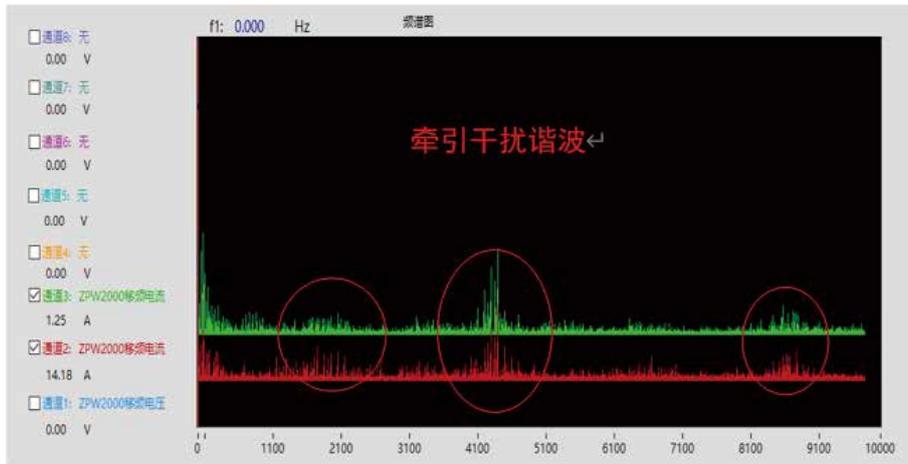


图3 有车运行但未占用X15G时分析仪采集的频谱数据

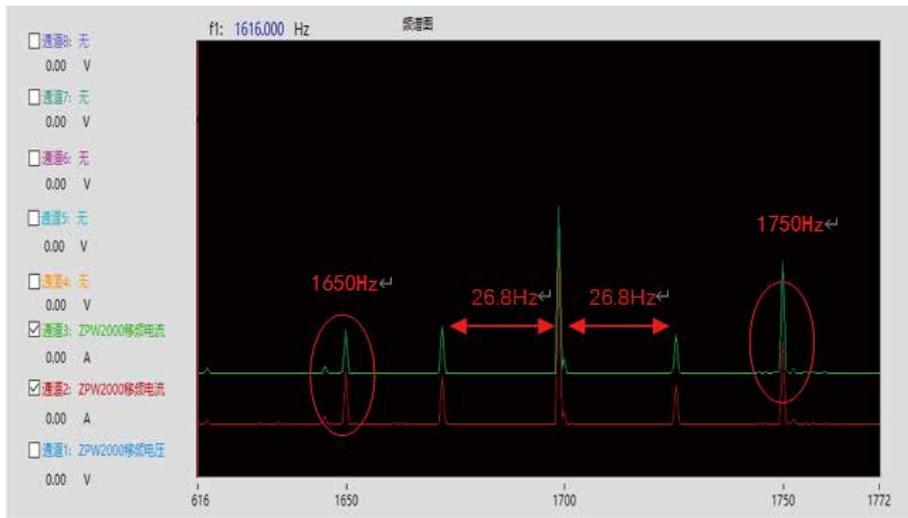


图4 有车占用X15G时分析仪采集的频谱数据

车载显示接收到短时载频 550 Hz、低频 20 Hz 的信号，司机做停车处理。该站为国产移频电码化区段，且故障发生时段，全站无发送 UU 码的情况。

从车载数据看到，列车进入 24DG 后，车载解析出包含有 550 Hz 的多种牵引电流奇次谐波信号，幅值较高，如图 5 所示。

2) 干扰测试与分析

使用轨道信号干扰分析仪对 24DG 室外发送端扼流变压器长、短引接线、中心连接点电流及电压进行监测采集，分析谐波是否为轨道电路信号的高次谐波。

有列车经过以及无列车经过时，采集的 24DG

频谱数据分别如图 6 所示。

根据频谱图数据分析，24DG 室外扼流变压器送端长 / 短钢轨引接线电流及中心连接点在过车时检测到 150 Hz、250 Hz、350 Hz、450 Hz、550 Hz 等谐波分量；无车时，不存在谐波分量。确定干扰信号为钢轨牵引回流产生的工频高次谐波。

故障案例 3

1) 故障描述

XX 站电气化动态检测车反向运行时检测出干扰信号，且在此干扰信号幅度较大的相应时段（比本区段信号幅度大），动检车出现掉码情况。

根据调查发现，动检车反向运行时，该区段供

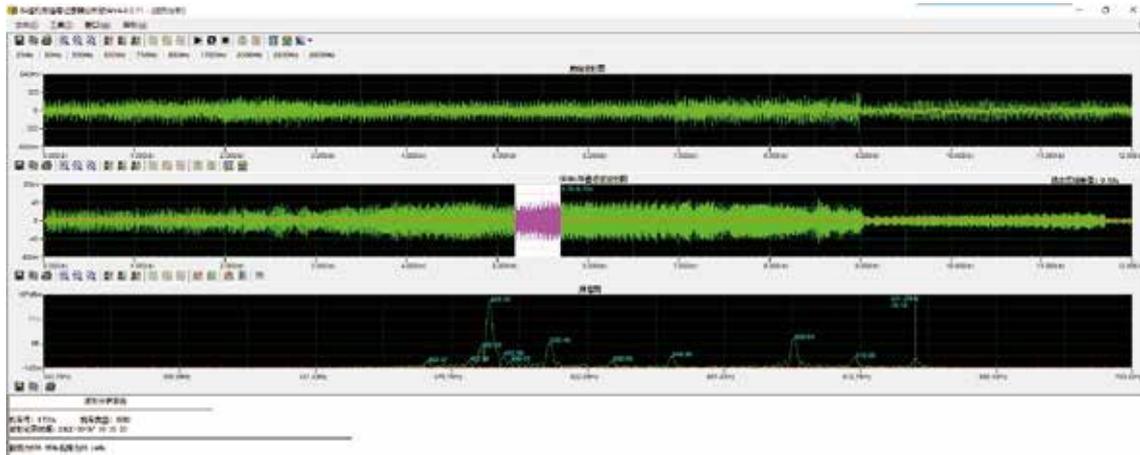


图5 车载记录的波形及频谱数据

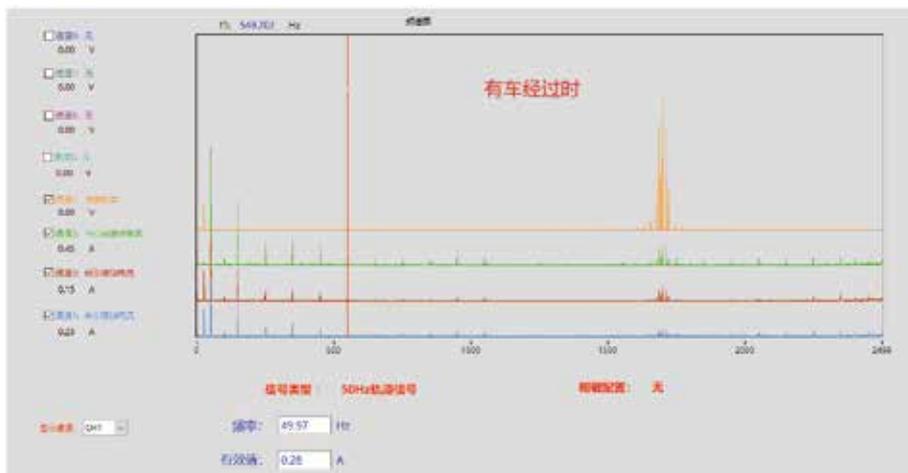


图6 有车经过时分析仪采集的频谱数据

电臂电缆上电流较大，出现较大频率为 2 600 Hz 的谐波能量，分路状态下，出现较大的干扰信号电流。需对供电臂和轨道电路通道中的干扰信号同时进行采集，确定干扰信号来源及耦合途径。

2) 干扰测试与分析

天窗点内，对受电端轨面电压、引接线电流、供电臂上的信号分布情况进行监测采集，采集结果如下。利用轨道信号干扰分析仪曲线和频谱分析功能可以看出，轨面、供电臂上均采集到了干扰信号，并准确分析出干扰信号频率在 2 550 ~ 2 650 Hz 之间，如图 7、8 所示。通过数据回放功能看到轨面、供电臂的干扰信号同时产生、消失。

判断干扰信号由于与钢轨并行的供电臂上的谐波干扰至钢轨线路产生。

4 结论

随着铁路高速发展，外部干扰因素增多，对信号采集的要求越来越高。轨道信号干扰分析仪具备实时采集、长期监测和曲线、频谱分析功能，为现场的室内外应用、故障处理、数据监测提供了极大的便利条件，便于现场故障快速分析和处理，提高铁路运输运行效率。

参考文献

- [1] 马春喜, 程荫杭. 便携式邻线干扰测量系统[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2005, 29(2): 280-283.
- [2] 冯勇鑫, 李昭, 周毅, 等. 电气化铁路轨道电

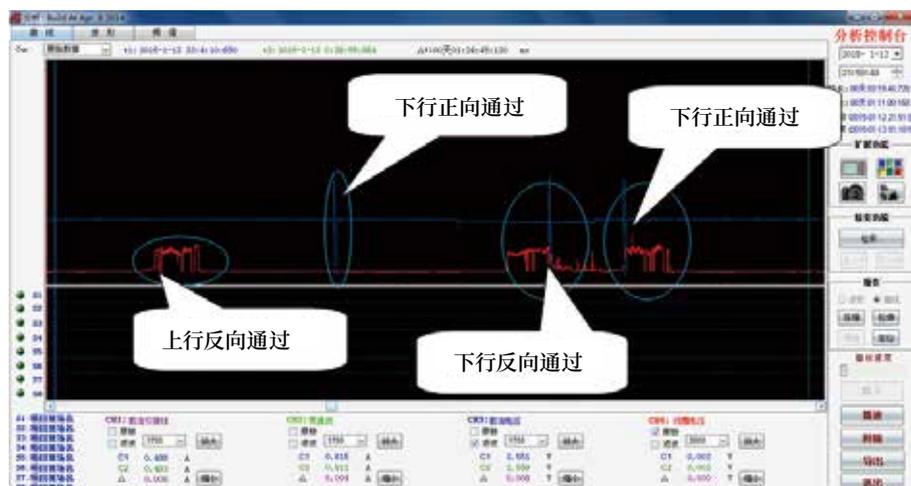


图7 列车正、反向运行时采集的干扰信号曲线

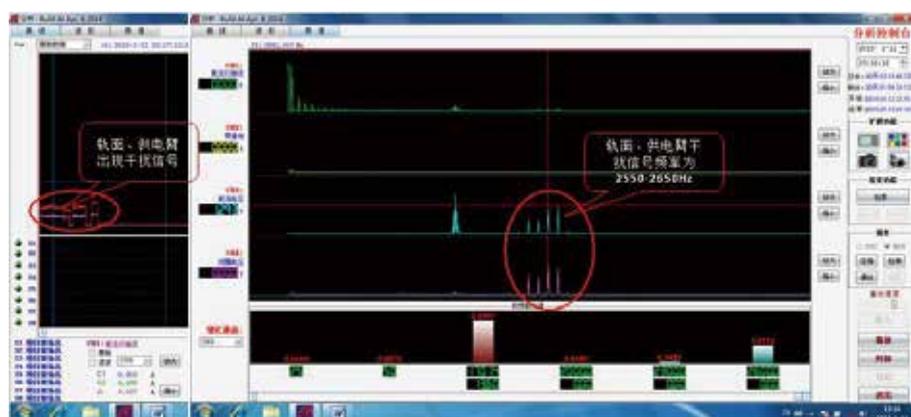


图8 在轨面、供电臂位置采集的频谱信号

- 路干扰信号检测新方法 [J]. 天津职业技术师范大学学报, 2013, 23 (3): 15-20.
- [3] 刘军业. 25Hz 轨道电路信号故障处理方法研究 [J]. 数字化用户, 2018, 24 (7): 101-101.
- [4] 刘学民. 电气化牵引电流对轨道电路干扰 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2015 (20): 2724-2725.
- [5] 叶海贵. 高铁 50 Hz 牵引电流干扰分析及查找的基本方法 [J]. 铁道通信信号, 2014, 50 (1): 35-37.
- [6] 李大春. 轨道电路干扰分析查找解决方案 [J]. 铁道通信信号, 2014, 50 (10): 22-24.
- [7] 唐乾坤. 轨道电路设备牵引电流干扰防护研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2018.
- [8] 张荃. 机车入库电路对附近轨道电路干扰问题研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18 (3): 101-104.

(收稿日期: 2023-06-28)

(修回日期: 2023-09-21)

全电子联锁车站接近区段电码化 发码延迟的解决方案

张夫松

(北京全路通信信号研究设计院集团有限公司, 北京 100070)

摘要: 与继电联锁接近区段占用发码的电码化上码时间相比, 全电子联锁上码时间延迟较大, 影响行车效率。为缩短全电子联锁上码时间, 阐述了一种全电子联锁的轨道电路模块和电码化模块间直连的网络连接解决方案。从网络结构, 通信协议, 耦合方式, 故障分析和具体实现等方面做了详细的介绍。该方案使电码化模块可以尽快响应接近区段占用发码的命令, 缩短上码时间, 满足现场车站的应用需求。

关键词: 全电子联锁; 电码化; 轨道电路; 发码时间

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)Z1-0122-06

Solution to Delay of Code Sending in Approach Section of Stations with All-electronic Interlocking

Abstract: Compared with the time it takes to encode the codes for sending in relay interlocking when the approach section is occupied, the time delay in encoding for the all-electronic interlocking is more substantial, which affects the efficiency of train operation. To shorten the encoding time for the all-electronic interlocking, this paper describes a network connection solution that enables a direct connection between the track circuit module and the Track Coding Switch (TCS) module for the all-electronic interlocking. The network structure, communication protocol, coupling method, fault analysis and specific implementation are introduced in detail. This solution enables the TCS module to respond to the command of code sending for the occupied approach section as soon as possible, shortens the encoding time, and meets the on-site application requirements of the stations.

Keywords: all-electronic interlocking; Track Coding Switch (TCS); track circuit; time of code sending

1 概述

全电子计算机联锁车站, 取消了轨道继电器和电码化设备的发码通道继电器, 由联锁主机根据轨道模块采集到的轨道状态, 经逻辑运算后, 通过电码化模块去控制电码化设备的发码通道。整个处理

过程需要经过轨道模块采集区段信息并上传联锁、联锁逻辑运算处理、联锁下发电码化模块控制命令、电码化模块响应输出等环节, 处理环节比继电电路增加较多, 且每个环节间均需要一定的通信处理周期, 导致机车从压入接近区段到接收到发码信息的时间远晚于原继电编码控制的时间, 不符合车站应

用的需求。本文提出一种解决方案,可以缩短全电子计算机联锁系统接近区段的电码化上码时间。

2 接近区段上码时间

2.1 全电子联锁上码时间

全电子计算机联锁车站根据现场软件和配置,测试接近区段有车占用后电码化模块上码时间。如图1所示,测试方法为断开轨道模块的输入信号来模拟车占用,轨道状态占用后联锁控制电码化模块输出移频信号。通过示波器测试2个信号(CH1、CH2)的时间差,即为区段占用到区段上码的时间,时间范围为1.9~2.3 s(该联锁车站的联锁通信周期为300 ms,周期更大时,测试时间会更大),如图2所示。

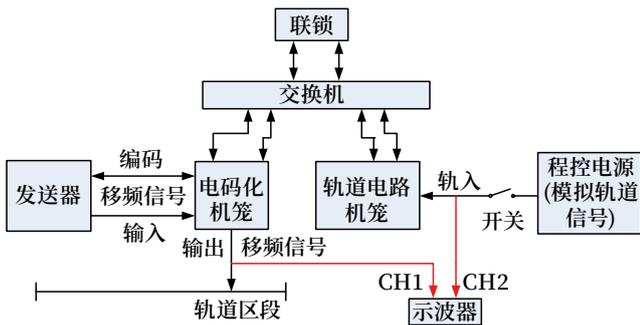


图1 全电子联锁上码时间测试连接

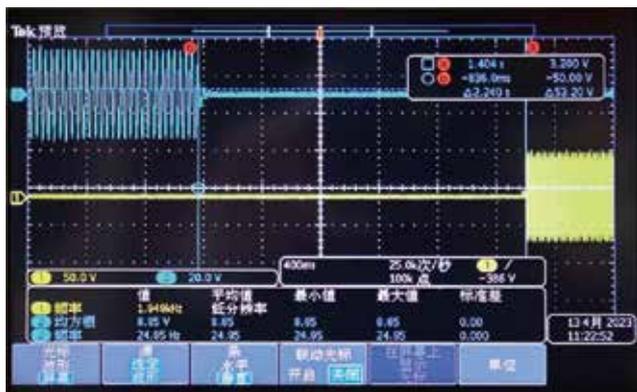


图2 全电子联锁上码时间测试结果

2.2 继电电路上码时间

如图3所示,继电电路上码时间分为两种情况。

25 Hz 相敏轨道电路接收器采用微电子接收器时,上码时间为 t_1 (微电子接收器处理时间 0.3 ~

0.5 s) + t_2 (JWXC-1700 的 GJ 落下时间不大于 0.03 s) + t_3 (25Hz 相敏轨道电路相关器材的影响时间不大于 0.06 s), 上码时间为 0.39 ~ 0.59 s。继电联锁上码时间测试结果如图4所示。

25 Hz 相敏轨道电路接收器采用交流二元继电器时,上码时间为 t_1 (交流二元继电器的落下时间为 0.066 s) + t_2 (GJF 的落下时间不大于 0.03 s) + t_3 (25 Hz 相敏轨道电路相关器材的影响时间不大于 0.06 s), 上码时间不大于 0.156 s。

因 97 型 25 Hz 相敏轨道电路接收器一般采用 JRJC1-70/240 型二元二位继电器,来反馈轨道电路的占用和空闲。使用继电联锁的方式搭建测试环境,采用示波器的 2 个通道测试 25 Hz 轨道信号降低时刻与移频信号出现时刻的时间差即为上码时间,时间为 0.15 ~ 0.17 s。

3 解决方案

基于既有全电子联锁车站的网络连接方式,修改轨道电路模块和电码化模块软件,使得轨道电路模块通过以太网直接将轨道电路区段状态发送给电码化模块处理,节省模块与联锁通信时间和逻辑处理时间,使得接近区段有车占用后电码化模块能够快速接通上码通道,缩短上码时间。

3.1 网络结构

全电子联锁逻辑部与电子执行单元(如电码化模块,轨道电路模块等模块)之间的通信由 100Base-Tx 以太网构成,通过交换机使每系电子执行单元均同时与两系逻辑部进行连接,形成冗余的信息传输网。其网络结构如图5所示。

轨道电路模块通过既有的以太网,直接将轨道状态发送给电码化模块处理。轨道模块 I 系通过 A 网发送数据给电码化模块 I 系,轨道模块 II 系通过 B 网发送数据给电码化模块 II 系。电码化模块接收到轨道电路模块数据后,进行双系交互,然后经过逻辑运算,执行命令输出。

3.2 通信协议

增加轨道电路模块和电码化模块间以太网发送 /

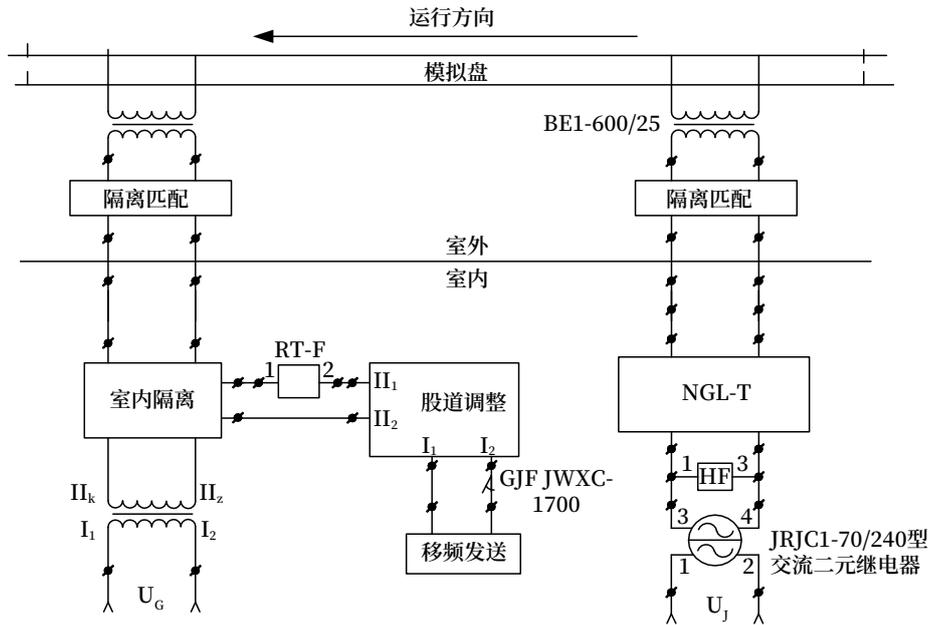


图3 继电器锁上码时间测试连接

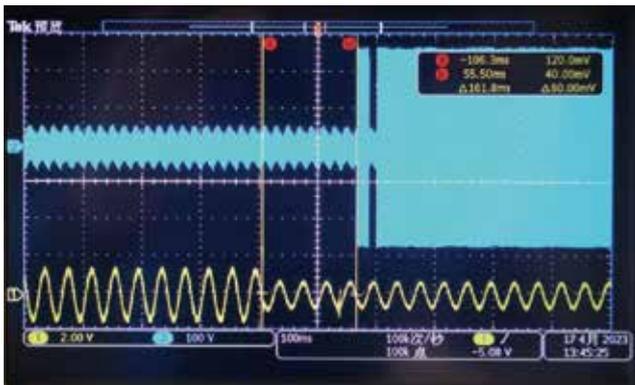


图4 继电器锁上码时间测试结果

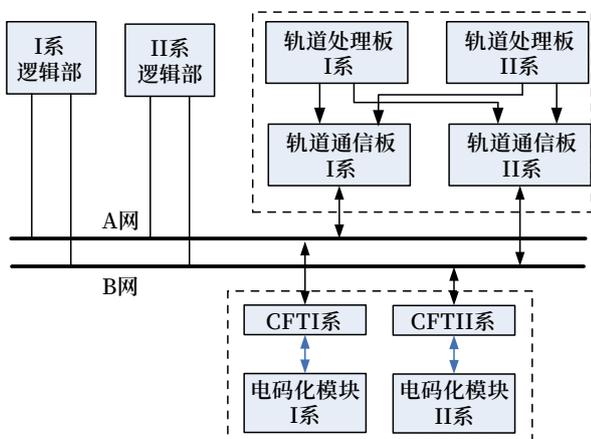


图5 全电子联锁网络结构

接收数据功能。为保证以太网总线的高效使用，轨道电路模块与电码化模块之间为单向通信，轨道模块将轨道区段信息周期性发送给电码化模块，电码化模块接收轨道电路模块传输的所有区段信息。

传输的数据以定周期、定长的方式发送，定周期是指轨道电路模块发送一次数据，定长是指每周期发送的数据长度固定。数据包格式如表1所示。

表1 通信协议

字段名称	大小 / 字节	备注
接口版本	2	数据接口版本
包序号	4	周期性传输交互
时间戳	4	时效性校验
源地址	2	轨道电路模块地址
目的地址	2	电码化模块地址
区段信息	4	所有区段信息
CRC32	4	数据完整性校验
总计	22	

通信协议是安全协议，须防住7种通信错误，如表2所示。

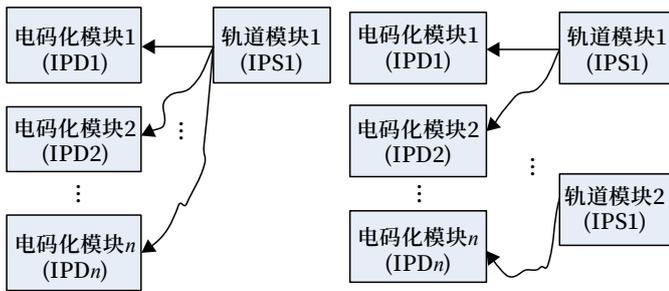
3.3 耦合方式

本方案解决接近区段占用发码上码时间慢的问题，综合电码化模块的控制能力，电码化模块与轨道模块之间的对应关系为以下几种情况。

表2 错误防御措施

威胁	防御措施			
	包序号	逻辑部的时间戳	源和目的标识	密码术CRC32
重复	√	√		
删除	√			
插入	√		√	
重排序	√	√		
损坏				√
延迟		√		
伪装				√

所有接近区段均设置在1个轨道模块内，如图6(a)所示。所有接近区段分布在多个轨道模块内，如图6(b)所示。



(a) 接近区段设置在1个模块内 (b) 接近区段设置在多个模块内

图6 通信耦合

为了减少网络上的数据量，尽量使得该类区段在工程设计容许情况下均设置在同一组轨道模块内。此使用需求须输出给信号工程设计者。如果确实由于站场划分、供电分区等原因，不能将同一组电码化模块控制的GCJ区段放置在一个轨道模块内。

此种方式需要一组电码化模块接收多个轨道模块的数据，数据来源众多，软件处理复杂，配置信息等成倍增加，此类情况通过增设电码化模块解决，保证电码化模块仅接收1个轨道电路模块数据，修改为如图7所示方式。

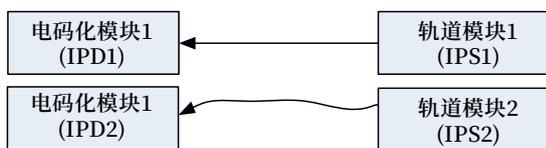


图7 电码化模块和轨道电路模块通信示意

本车站解决方案：每个电码化模块仅接收一个轨道电路模块的区段信息，每个轨道电路模块向多个电码化模块发送区段信息。轨道电路模块向每个电码化模块发送区段信息，由电码化模块的配置信息进行区段信息解读，电码化CJ命令转换。

3.4 通信故障

电码化模块一边与逻辑部通信，一边与轨道模块通信。为提高可用性，电码化模块与轨道电路模块通信中断时，采用听从逻辑部命令作为最终电码化GCJ命令使用的方案。

如图8所示，当轨道电路模块双系区段信息判决不一致时，发生轨道电路模块I系与电码化模块通信中断故障，因轨道电路模块无系间通信，电码化模块接收时即使进行了双系系间通信，也仅能收到轨道电路模块II系的数据。若此时轨道电路I系刚好判决为空闲，轨道电路II系判决为占用（双系有一系为空闲，为提高可用性，最终应为空闲），则电码化模块执行命令为区段占用的命令，控制GCJ吸起。为提高可用性，增加轨道电路模块双系系间通信。

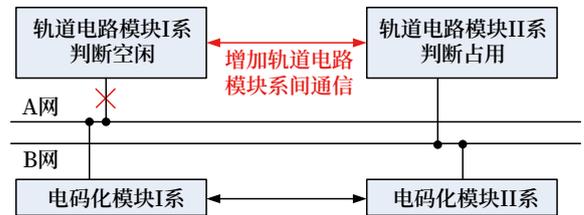


图8 通信故障

3.5 具体实现

本方案采用仅修改软件的方式，来实现轨道电路模块和电码化模块间直连。

- 1) 修改轨道电路模块处理板和通信板软件
 - a. 缩减通信板与处理板的通信周期，区段信息每96ms更新一次。
 - b. 增加配置数据功能。
 - c. 增加以太网数据通信链接、以太网发送数据功能。
 - d. 增加轨道电路模块双系系间数据交互功能。
 - e. 根据配置，将双系交互后的轨道电路模块的

所有区段信息依据模块间的通信协议打包，发送给指定的电码化模块。

2) 修改电码化模块软件

a. 增加配置数据功能。

b. 增加以太网数据通信链接、以太网接收数据功能。

c. 接收到轨道模块数据后，解析校验（包序号、CRC、逻辑部时间戳等）。

d. 双系交互 I 系和 II 系接收到的轨道电路模块数据，双系数据处理如表 3 所示。区段信息转换为指定电码化 GCJ 继电器命令，命令刷新输出。轨道电路模块双系数据，任一系为空闲，控制 GCJ 落下；双系无空闲时，任一系为占用，控制 GCJ 吸起。双系均为轨道电路通信故障，则认为区段故障，控制 GCJ 落下。

表 3 轨道双系数据处理

轨道电路 I 系数据	轨道电路 II 系数据	轨道最终判决状态	电码化控制 CJ 命令
占用	占用	占用	吸起
占用	空闲	空闲	落下
占用	通信故障	占用	吸起
空闲	占用	空闲	落下
空闲	空闲	空闲	落下
空闲	通信故障	空闲	落下
通信故障	占用	占用	吸起
通信故障	空闲	空闲	落下
通信故障	通信故障	通信故障	落下

e. 故障处理：电码化模块与轨道电路通信中断时，CJ 继电器处理逻辑如表 4 所示。

表 4 电码化模块故障处理

电码化与轨道电路模块通信	电码化与逻辑部通信	CJ 继电器处理逻辑
通信正常	通信正常	响应轨道电路命令
通信正常	通信中断	响应轨道电路命令
通信中断	通信正常	冗余后响应逻辑部命令
通信中断	通信中断	冗余后安全侧处理。报警切系。

3.6 上码时间

按照模块间直连通信周期为 $T=64\text{ ms}$ ，上码时

间理论分析如下。

a. 轨道电路模块电子接收器的应变时间不大于 0.5 s 。

b. 轨道电路模块内部通信板和处理板通信，通信板数据处理，系间通信，系内二取二，时间不大于 2 T 。

c. 模块间通信 1 T 。

d. 电码化模块接收数据，系间同步，系内二取二，命令转换及输出，时间不大于 2 T 。

总时间不大于 $0.064 \times 5 + 0.5 = 0.82\text{ s}$ ，该时间与联锁通信周期无关。与之前联锁通信周期为 300 ms 时上码时间为 2 s 相比，缩短 1.18 s 。

按照图 1 的全电子联锁上码时间测试连接图，测试解决方案实现后的真实上码时间，测试共计 10 次，上码时间不大于 1 s ，与理论分析基本一致。

3.7 其他选项

当联锁车站接近区段使用的轨道电路模块与电码化模块不具备以太网直接连接的条件，本文阐述的解决方案无法解决上码延迟的问题。在这里提出软硬件优化的一种方案，在电码化模块内部增加对 GJ 直接采集的硬件电路，采集 GJ 的前、后接点状态作为 GJ 占用的判决条件，以此来解决区段占用的快速发码。

4 实施效果

全电子联锁车站接近区段电码化上码方案在多个车站实施，现场实施效果验证了方案的可行性。相比继电器控制的电码化上码时间仍然慢约 0.5 s ，但相比优化前的全电子联锁车站接近区段上码时间 2 s ，有比较大的降幅，解决了列车越过信号机后，列车运行较长距离电码化才能上码变化的问题。

5 结束语

本文从全电子联锁和继电联锁电码化上码时间对比着手，基于现有全电子联锁的网络结构，提出一种轨道电路模块和电码化模块间直连的网络连接方案，

使电码化模块可以尽快响应接近区段占用发码的命令, 缩短上码时间, 满足现场车站的应用需求。

参考文献

- [1] 张涛, 杨卫东. 电码化执行单元在全电子计算机联锁系统中的工程应用 [J]. 铁道通信信号, 2018, 54(3): 28-30.
- [2] 林瑜筠. 铁路信号基础 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2014.
- [3] 安海军, 李建春, 李建清. 站内电码化预发码技术 [J]. 铁道通信信号, 2002, 38(12): 6-8, 25.
- [4] 陈光武, 范多旺, 魏宗寿. 基于二乘二取二

的全电子计算机联锁系统 [J]. 中国铁道科学, 2010, 31(4): 138-144.

- [5] 何涛, 范多旺, 魏宗寿, 等. 铁路车站信号计算机联锁全电子执行单元研究 [J]. 铁道学报, 2007(2): 118-121.
- [6] 喻柱, 郑天健, 王军权. CTC3.0 车站占线板的设计与实现 [J]. 铁道通信信号, 2018, 54(10): 28-30.
- [7] 付立民. 全电子联锁开发和应用研究 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17(3): 32-38.

(收稿日期: 2023-06-30)

(修回日期: 2023-09-21)

(上接 83页)

当分相区轨道电路因钢轨锈蚀严重存在分路残压过高时, 需进行二次调整来提高分路灵敏度, 改善分路不良现象。若综合过车分路阻抗为 0.3Ω , 则在 $1.0 \Omega \cdot \text{km}$ 道砟电阻条件下, 理论计算极限传输长度约为 650 m。

考虑工程设计余量, 分相区轨道电路区段长度设置建议不超过 600 m。即使在南方或沿海钢轨易生锈的地区, 出现分路不良现象, 也可通过二次调整提高分路灵敏度来改善分路不良。

5 结论

由于分相区的特殊应用环境, 在极端情况下, 分相区 ZPW-2000 轨道电路存在“机车信号掉码”或“分路不良”的风险。本文从电气抗干扰性、分路灵敏度两个维度进行评估分析, 提出了分相区轨道电路应增加调整余量, 适当缩短区段长度的建议, 在极端情况下, 可通过二次调整来满足现场应用要求。

参考文献

- [1] Cheng C K, Liang T J, Chen J F, et al. Novel Approach to Reducing the Inrush Current of a Power Transformer[J]. IEEE Transactions on, 2004,

32(3): 289-295.

- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 轨道交通机车车辆和列车检测系统的兼容性 第 2 部分: 与轨道电路的兼容性: GB/T 28807.2-2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [3] 中国铁路总公司. 铁路信号设备牵引电流抗扰度试验方法 第 2 部分: 车载轨道电路信息接收设备: Q/CR 628.2-2018[S]. 北京: 中国铁路总公司, 2018.
- [4] 中华人民共和国国家铁路局. ZPW-2000 轨道电路技术条件: TB/T 3206-2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
- [5] 张蓝芳. 考虑分相区的高速列车自动运行控制方法研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2020.
- [6] 王威. 高速铁路轨道区段长度对列车控制系统的影响 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2012, 9(2): 57-59, 68.
- [7] 孙小康. 过分相区弓网离线产生电磁骚扰的特性研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2018.

(收稿日期: 2023-06-30)

(修回日期: 2023-09-21)

关于京沪线济南南站特殊电码化电路的研究

李浩

(中国铁路济南局集团有限公司概预算审查所, 济南 250000)

摘要: 国内普速线站内和区间采用不同制式的轨道电路, 为了保证机车信号的连续性, 站内正线和股道采用电码化设备发码。根据现行铁路规范及技术标准分析京沪线济南南站既有上行经基本进路接车至 8G 特殊电码化电路中存在的问题, 提出相应解决方案, 通过电路改进保证机车信号显示与地面信号显示一致, 确保行车安全, 为今后类似项目的工程设计提供参考。

关键词: 机车信号; 特殊电码化; 解决方案

中图分类号: U284.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-4440(2023)Z1-0128-04

Research on Special Encoding Circuit of Jinan South Station on Beijing-Shanghai Line

Abstract: Different standards of track circuits are used in the stations and sections of China's conventional speed railways. In order to ensure the continuity of cab signals, the main line and track in the station use coded equipment to send codes. According to the current railway specifications and technical standards, this paper analyzes the problems in the existing upreceiving to 8G coded circuit of Jinan South Station of Beijing-Shanghai Line, and proposes corresponding solutions to ensure that the cab signal indication is consistent with the track side signal indication through circuit improvement, so as to ensure the safety of train operation and provide reference for the design of other projects in the future.

Keywords: cab signalling; special coding; solution

1 概述

京沪线济南南站站内为 25 Hz 相敏轨道电路, 区间为 ZPW-2000A 无绝缘移频自动闭塞轨道电路, 站内正线上的各轨道电路区段及侧线股道电码化电路为双发送器闭环电码化, 8G 设置 30[#]、36[#] 两组道岔, 36DG、30DG、14/30G 采用占用发码方式。当从济西方面接车至该站 8G, 基本进路为经 14[#] 道岔反位至 8G, 变通进路为经 14[#] 道岔定位、28/30[#] 道岔的反位至 8G。闭环电码化技术标准中, “侧向接

车, 当机车进入侧线股道时, 侧线股道发送器向列车发送 ‘-1’ 型的载频切换码 (25.7 Hz), 此时接收到载频切换信息后将机车锁定在接收单一载频频率状态。” 济西方面接车至该站 8G, 当列车经基本进路越过 X8-2 信号机后, 机车信号接收股道发送器 S8G1 发 2 s 的 “2000-1” 型 25.7 Hz 载频切换码, 再根据 S8 信号机状态发送 HU 码或者 UU 码。当列车越过 X8-1 信号机后, 机车信号又接收股道发送器 S8 发 2 s 的 “2600-1” 型 25.7 Hz 载频切换码, 再根据 S8 信号机状态发送 HU 码或者 UU 码。机车信号存在

两次接收到 2 s 载频切换码的情况，而 25.7 Hz 低频信息机车信号无点灯定义，机车第二次收到 25.7 Hz 载频切换码后，机车信号可能会出现红黄灯瞬间变

为红灯或双黄灯瞬间变为白灯的情况，机车信号显示与地面信号显示不一致，干扰运输组织，影响行车安全。济南南站上行接 8G 基本进路如图 1 所示。

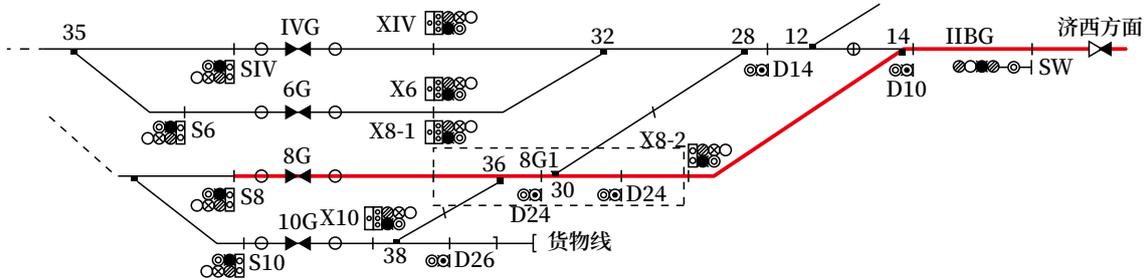


图1 济南南站上行接8G基本进路

2 电路分析

2.1 中岔电码化电路

中岔电码化电路中 36DG、30DG、14/30G 采用占用发码方式，电码化电路中增设 8G1J 继电器，用于中岔编码电路。8GJF 及 8G1J 继电器励磁电路如图 2 所示。

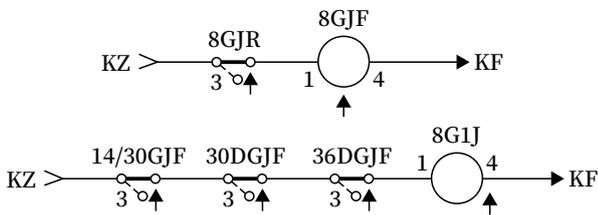


图2 8GJF及8G1J继电器励磁电路

2.2 转频继电器电路

8G 和 8G1ZPJ 转频继电器电路，ZPJ 励磁条件：当列车进入股道 8GJF ↓（或者 8G1J ↓），2 s 后 8GZPJ ↑（或者 8G1ZPJ ↑）；ZPJ 落下条件：列车出清 8G（或者 8G1）时，8GJF ↑（或者 8G1J ↑）后 8GZPJ ↓（或者 8G1ZPJ ↓）。8G ZPJ 继电器和 8G1ZPJ 继电器励磁电路如图 3 所示。

2.3 低频编码电路

2.3.1 S8G1发送器低频编码电路

1) 当列车通过基本进路（28/30[#]道岔 DBJ ↑）且 8G1 空闲 8G1J ↑时，此时 8G1ZPJ ↓，S8G1 发送器发送 2000-1 的 JC（F2 为 27.9 Hz）码；当列车进入 8G1 后，8G1J ↓、8G1ZPJ 缓吸 2 s，S8G1 发送器先发送 2000-1 的 ZP（F4 为 25.7 Hz）

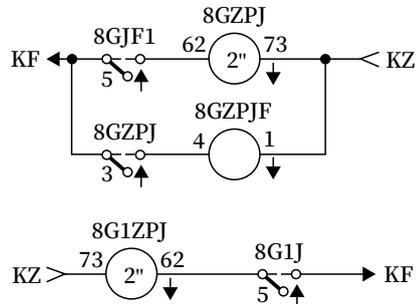


图3 8GZPJ继电器和8G1ZPJ继电器励磁电路

码；此时如果 S8 信号机未开放，S8G1 发送器接着发送 2000-1 的 HU（F3 为 26.8）码，如果 S8 信号机开放，则 S8G1 发送器发送 2000-1 的 UU（F11 为 18 Hz）码。

2) 当列车通过变通进路进入 8G1（即 28/30[#]道岔 DBJ ↓）后，S8G1 发送器发送 2000-1 的 JC 码。当列车进入 8G1 后，8G1J ↓、8G1ZPJ 缓吸 2 s，此时如果 S8 信号机未开放，S8G1 发送器接着发送 2000-1 的 HU 码，如果 S8 信号机开放，则 S8G1 发送器发送 2000-1 的 UU 码。S8G1 发送器低频编码电路如图 4 所示。

2.3.2 S8发送器低频编码电路

当 8G 空闲 8GJ ↑，此时 8GZPJF ↓，S8 发送器发送 2600-1 的 JC 码，当列车进入 8G 后，8GJF ↓、8GZPJF 缓吸 2 s，S8 发送器先发送 2 s 的 2600-1 的 ZP 码；此时如果 S8 信号机未开放，则 S8 发送器发送 2600-1 的 HU 码，如果 S8 信号机开放，则 S8 发送器发送 2600-1 的 UU 码。S8 发送器低频编码电路如图 5 所示。

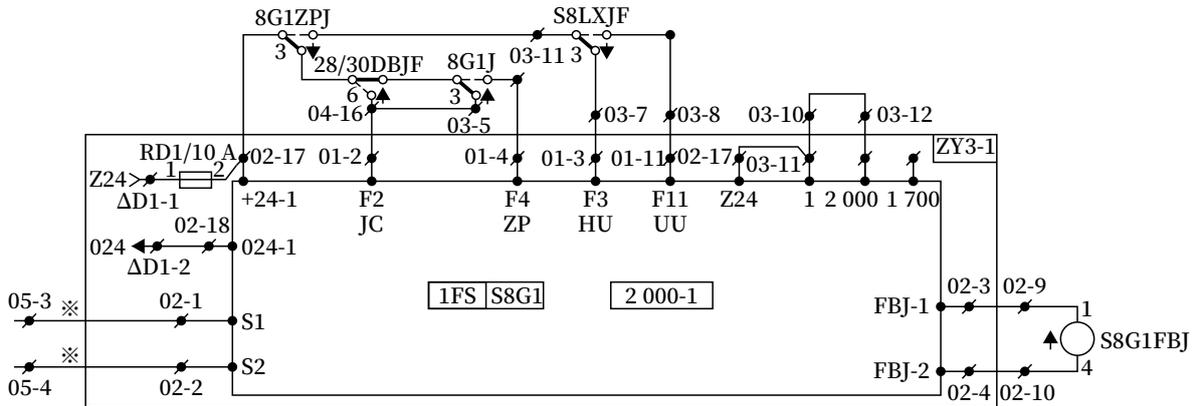


图4 S8G1发送器低频编码电路

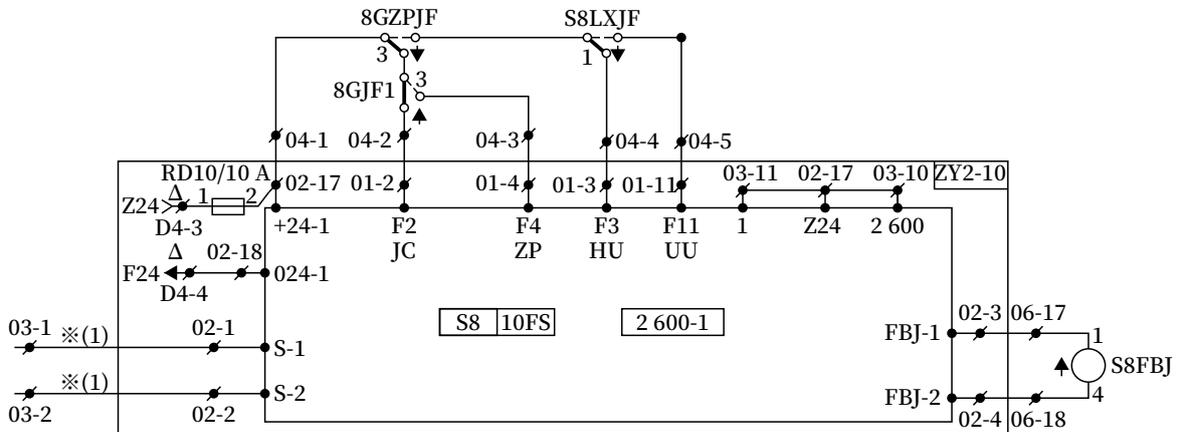


图5 S8发送器低频编码电路

3 存在问题

当列车从济西方面经基本进路接车至该站 8G, 列车进入 8G1 后车载设备先接收到 S8G1 发送器先发 2 s 的载频切换码, 再根据 S8 信号机的显示接收到 HU 码或者 UU 码; 当车进入 8G 后, 又接收到 S8 发送器发的 2 s 载频切换码, 后又根据 S8 信号机的显示接收到 HU 码或者 UU 码。在整个接车过程中机车信号出现两次接收到 2 s 载频切换码的情况, 根据《普速铁路信号维护规则—技术标准》机车信号接收信息应变时间规定:“接收移频时, 从有信息到无信息的应变时间不应大于 4 s”。25.7 Hz 低频信息机车信号无点灯定义, 根据不同机车车型的应变时

间, 当机车信号机车第二次收到 25.7 Hz 载频切换码后机车信号可能会出现红黄灯瞬间变为红灯或双黄灯瞬间变为白灯的情况, 对运输秩序产生一定的干扰。

4 改进建议

当从济西方面经基本进路接车至该站 8G, 取消 S8 发送器发 2 s 的载频切换码, 根据 S8 信号机的显示情况, 列车从 8G1 进入 8G, S8G1 发送器和 S8 发送器连续发相同低频码。当经过变通进路 (28/30[#] 的反位) 进入 8G 时 S8 发送器须发 2 s 的载频切换码, 然后根据 S8 信号机状态发送 HU 码或者 UU 码。

基于实现以上电路需求, 在 8GZPJ 电路中增加 8G1ZXJ 前接点 8G1ZXJ 励磁电路如图 6 所示。

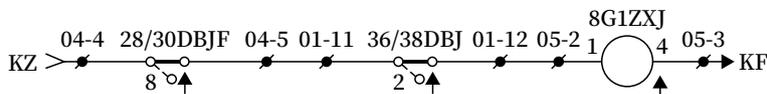


图6 8G1ZXJ继电器励磁电路

但存在一个特殊情况,如果是单机经基本进路接车至 8G 时,车停在 36DG 并且出清 30DG,30DG 满足三点检查并解锁。此时,当值班员将 28/30[#]道岔扳至反位时,机车信号会出现掉码的情况,为防止车没有完全进入 8G 时操纵道岔使机车信号收不到移频信息,在修改 8GZPJ 电路中串入 X8-1ZCJ 的后接点,X8-1ZCJ 常态 \uparrow ,进路建立时 X8-1ZCJ \downarrow ,当列车完全进入 8G 进路解锁时 ZCJ \uparrow 。当基本进路建立后 8GZXJ \uparrow 、X8-1ZCJ \downarrow ,2 s 后 8GZPJ 励磁 \uparrow (如图中红线所示)。当列车经基本进路进入 36DG,出清 30DG 后,此时 S8G1 发送器及 S8 发送器均发送 HU 码或者 UU 码,若此时操纵 28/30[#]道岔,8G1ZXJ \downarrow 后 8GZPJ 也能保持自闭(如图中绿线所示),直至列车进入 8G,进路解锁后 X8-1ZCJ \uparrow ,8GZPJ 又经既有的电路保持吸起(如图中蓝线所示)。8GZPJ 修改电路如图 7 所示。

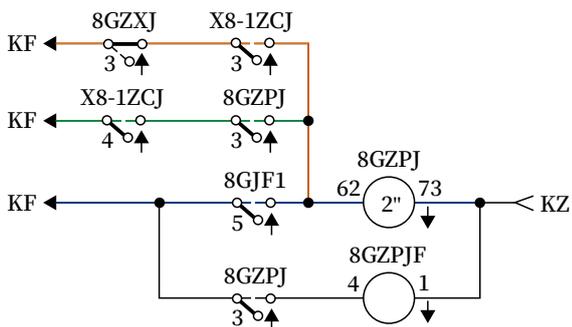


图7 既有8GZPJ修改电路

在图7中修改8GZPJ电路后会带来1个新问题,列车经基本进路接车至8G时,当列车进入8G1后,8G1J \downarrow 、8G1ZPJ缓吸2 s,S8G1发送器发送2000-1的ZP(F4为25.7 Hz)码,车载设备被锁定只接收2 000 Hz频率的低频信息,由于既有S8发送器的载频为2600-1,当列车从36DG进入8G后车载设备接收不到2 000 Hz的移频信息。因此,需要将既有的S8发送器的载频由2600-1修改为2000-1,如此,就可以保证列车从8G1进入8G机车信号的连续性。

1 结论

机车信号是一种能够自动复示列车运行前方地面信号显示的机车车载系统,它可以反应列车的运行条件,是保障铁路行车安全,提高铁路运行效率

的重要设备之一。在实际运用中,因为京沪线济南南站的特殊性和复杂性,既有S8电码化电路存在设计缺陷,本文通过分析既有电路,就电路存在的问题提出解决办法,这样既能保证列车经基本进路接车至8G时,车载设备只接收S8G1发送器发送的2 s的载频切换码,又能保证列车经变通进路接车至8G时,车载设备先接收到S8发送器发送的2 s载频切换码,然后再根据S8信号机显示接收HU码或者UU码,保证了经基本进路上行接车至该站8G时机车信号显示的连续性。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路信号设计规范: TB 10007-2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
- [2] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路车站电码化技术条件: TB/T 2465-2010[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2010.
- [3] 中国铁路总公司. 普速铁路信号维护规则: 铁总运[2015]238号[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2015.
- [4] 陈习莲, 董玉玺. 站内轨道电路叠加ZPW-2000(UM)系列四线制电码化[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2008.
- [5] 阮振铎. 铁路信号设计与施工[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2013.
- [6] 董昱. 区间信号与列车运行控制系统[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2008.
- [7] 杨景红. ZPW-2000A站内电码化电路存在问题分析与改进[J]. 铁道通信信号, 2014, 50(7): 27-28.
- [8] 张海东. 库尔勒下行到发场电码化特殊改频电路的改进[J]. 铁道通信信号, 2019, 55(2): 48-49.
- [9] 杨瑞宇. 带中岔股道的电码化电路特殊设计[J]. 铁道通信信号, 2022, 58(4): 21-25.
- [10] 任雅萍. 一种特殊站型电码化电路的设计[J]. 铁道通信信号, 2011, 47(7): 25-26.

(收稿日期: 2023-06-30)

(修回日期: 2023-09-21)

《铁路通信信号工程技术》

Railway Signalling & Communication Engineering

月刊



《铁路通信信号工程技术》由中国铁路通信信号集团有限公司主管，北京全路通信信号研究设计院集团有限公司主办，在铁路电务科研、设计、施工及维修等单位有较大影响，深得科技人员的好评。经国家新闻出版总署批准，自2005年12月起面向国内外公开发刊。国内统一连续出版物号：CN11-5423/U。国际标准连续出版物号：ISSN1673-4440。本刊是中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊；RCCSE中国准核心学术期刊；日本科学技术振兴机构数据库（JST）收录期刊；EBSCO学术数据库收录期刊；中国核心期刊（遴选）数据库收录期刊；中国学术期刊（光盘版）全文收录期刊；中文科技期刊数据库（全文版）收录期刊；中国学术期刊影响因子年报统计源期刊；超星期刊域出版平台全文收录；中国铁道学会通信信号分会指定期刊；国家新闻出版广电总局认定的A类学术期刊。

主要内容是围绕铁路和城市轨道交通通信信号技术方面的科研创新、重点工程、优秀设计、国内外先进技术进行论述、探讨和追踪报导；对广大通信信号科技人员、高等院校师生、施工单位和企业设计施工人员，在新技术研发和工程实践中总结的科技成果进行交流；及时报导相关政策信息、标准信息 and 科技发展动态等。设有：学术探讨、技术创新、重点工程、城轨交通、技术交流、知识讲座、综述·评述、国外信息、行业动态等栏目。

投稿方式：

期刊官网投稿：<https://rsce.crsced.com.cn>

邮箱投稿：rsce@crsced.com.cn

知网投稿：<http://www.tltx.cbpt.cnki.net/WKD>

地址：北京市丰台区科技园汽车博物馆南路1号院中国通号B座

邮编：100070

电话：010-51865951

传真：010-51841598

网址：www.crsced.com.cn

订阅方式：

邮局订阅：各地邮局均可办理订阅手续，邮发代号80-532

编辑部订阅：e-mail或电话至编辑部

订 价：每期10元，全年（12期）120元

ISSN 1673-4440
CN 11-5423/U

<https://rsce.crsced.com.cn>
扫码打开期刊官网，
阅读、下载本刊内容



邮发代号：80-532 国内定价：10元/期