

# 计轴与大秦线轨道电路共缆传输方案

李圆红, 姜山, 李鹏斐

(通号(西安)轨道交通工业集团有限公司北京分公司, 北京 100070)

**摘要:**为解决大秦铁路轨道电路分路不良、红光带等问题,提出计轴技术与轨道电路共缆传输方案。分析计轴技术在解决轨道电路问题中的应用潜力、设计系统的整体架构、设计关键模块以及明确系统工作流程;然后对关键部件进行设计,并结合现场情况提出相应的改造方案;最后对系统进行整体测试,验证系统的稳定性和可靠性。测试结果满足预期。该方案可为存在分路不良、红光带等问题的相关线路提供技术参考。

**关键词:**计轴技术;轨道电路;共缆传输;红光带;分路不良

**中图分类号:** U284.47 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)11-0100-05

轨道电路作为列车定位系统的重要基础设施,能够对列车的位置进行实时定位,是确保铁路线路安全运行的关键保障,其安全性和可靠性受到广泛关注<sup>[1]</sup>。大秦重载铁路线路作为重载电气化运煤专线,随着年运量逐年增加,其安全稳定的运行对国家发展十分重要。轨道电路作为大秦线铁路信号系统的设备,其造成的红光带、分路不良等问题,直接影响大秦线运输效率和安全。

## 1 概述

### 1.1 轨道电路存在的问题

大秦重载铁路线路存在道床漏泄过大、轨道电路绝缘破损、牵引电流不平衡等,会引起轨道电路红光带问题。此类问题不仅增加维护成本,导致列车运行延误,还可能导致安全事故<sup>[2-3]</sup>。

由于钢轨与车轮接触不良或钢轨表面氧化等原因,轨道电路经常出现分路不良问题<sup>[4]</sup>,造成的影响有:①在道岔系统中,由于判断不及时进行错误转换导致列车发生脱轨现象;②不能准确表示线路占用空闲状况,需要现场调车人员确认线路状况,才能放开空闲信号,进而增加调车时间<sup>[5-10]</sup>。

### 1.2 现有解决轨道电路问题应用技术分析

表1显示,现有解决轨道电路红光带、分路不良等问题的方法主要包括加强日常维护(轨面喷涂、3V化、高压脉冲)保证轨面干净整洁、调整轨道电路划分、增加计轴设备等。这些技术普遍存在成本

表1 解决轨道电路问题应用技术方法对比

解决方法	实施手段	缺点
加强日常维护	增加清筛次数,缩短清筛周期,降低道床污染	增大人员劳作强度
调整划分区段	分割原有区段,以提高轨道电路一次调整能力	破坏钢轨强度与完整性
增加计轴设备	利用计轴与轨道电路双系统降低红光带	增加电缆,实施难度大

高、维护复杂等问题<sup>[11-13]</sup>。

计轴技术以其独特的优势,为解决轨道电路问题提供了新的可能性。计轴设备通过检测车轮通过时的磁场变化来定位列车的存在和运行方向,计轴技术的高灵敏度和抗干扰能力减少了轨道区段牵引电流的干扰<sup>[14-15]</sup>。但由于计轴设备增加电缆,实施难度大,经济优势不明显,因此,本文旨在分析计轴技术在解决轨道电路问题中的应用,并提出计轴与轨道电路共缆传输的方案。

## 2 计轴叠加轨道电路共缆传输原理分析

轨道电路叠加计轴共缆传输系统如图1所示。本系统主要包括室外设备和室内设备。室外设备主要包括计轴传感器、传感器处理模块、计轴信号调制解调单元以及载波通信模块;室内设备主要包括载波通信模块、计轴信息处理模块以及其他辅助模块。轨道电路叠加计轴共缆传输系统在不改变既有轨道电路的情况下,通过在钢轨上安装计轴传感器,实现对列车通过信号实时检测,结合先进的

收稿日期: 2024-12-05

基金项目: 中国国家铁路集团有限公司科技研究开发项目(N2021G006)

作者简介: 李圆红(1994—),男,山西运城人,硕士,工程师,研究方向为铁路信号技术;姜山(1994—),男,河北唐山人,硕士,工程师,研究方向为铁路信号技术;李鹏斐(1988—),男,河北张家口人,硕士,工程师,研究方向为铁路信号技术。

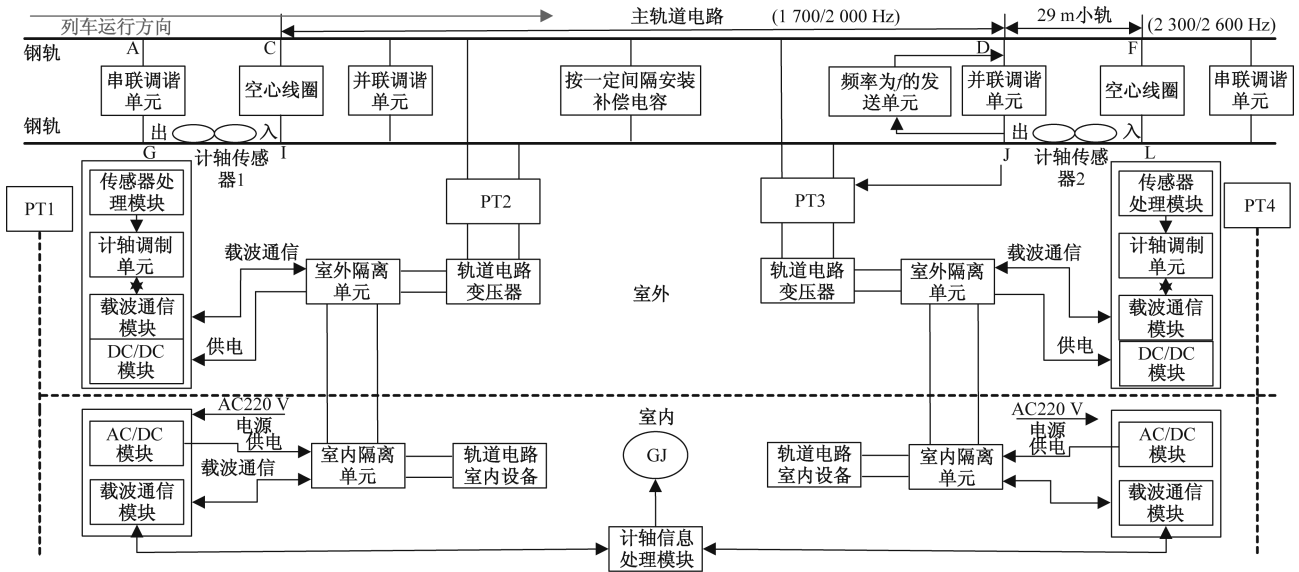


图1 轨道电路叠加计轴共缆系统

数据处理算法,使系统能够准确定位列车的存在和运行方向,并利用轨道电路既有线缆来传输计轴信号,及时反馈轨道区段占用空闲状态,从而提高铁路安全监控的整体效能。

如图1所示,在钢轨上传输的信号主要有牵引回流工频信号和轨道电路信号,其中空心线圈对于牵引回流信号表现为“零阻抗”,即相当于将牵引回流信号短接在钢轨两端,起到平衡牵引回流的作用。钢轨上轨道电路信号传输路径<sup>[16]</sup>如图1所示,串联谐振单元对于轨道电路的信号源为“零阻抗”,即A和G、F和L点,并联谐振单元对于轨道电路的信号源为“极阻抗”<sup>[17]</sup>,即C和I、D和J点。

针对钢轨上的设备对轨道电路信号传输特性影响和分析,参考空心线圈、串联谐振单元、并联谐振单元的设计原理,设计轨道电路和计轴信号共缆传输的隔离装置。隔离装置将计轴室外设备与轨道电路信号结合共同传输给室内计轴主机,这样在改造时就不需要改变轨道电路部分,同时又可以实现计轴室内外设备的连接和通信。

### 3 计轴叠加轨道电路共缆传输系统设计与方案

#### 3.1 室内外隔离装置设计

图2为室内外隔离装置内部示意图,隔离装置实现计轴信号、轨道电路信号以及室外设备供电需求的结合与分离。隔离装置内部模块功能如下:①L1和L2是抑制计轴高频信号进入轨道电路,但对于轨道电路的低频信号无影响;②C1和C2起到隔直通交的作用,防止室外供电电源进入轨道电路

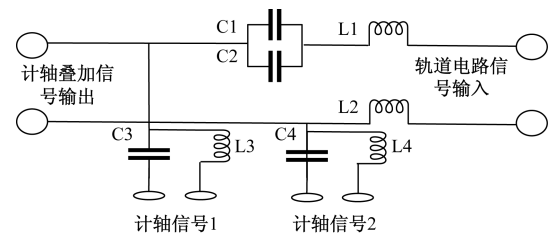


图2 室外隔离装置设计示意图

信号,进而损坏轨道电路设备,但对于轨道电路信号传输无影响;C1和C2并为冗余设计,可以实现当其中一个电容断路失效时,不影响传输线路的正常使用;③电路中的L3和C3、L4和C4分别组成并联谐振电路,其作用可以为计轴信号叠加到传输线路上提供通道,也可以抑制轨道电路信号进入计轴信号,影响计轴设备的正常运行。

#### 3.2 计轴系统设计

##### 3.2.1 室外设备

如图1所示在轨道电路小轨道调谐区中间放置计轴传感器,负责实现车轮探测。传感器主要是由一个发送线圈和两个接收线圈以及内部处理电路组成,当车轮通过时会改变发送线圈的磁场,进而影响接收线圈接收的磁场。通过对两个接收线圈感应的磁场进行处理来判断区段内是否有列车,并将磁场变化信号转换为电流信号传输给计轴室外设备。

室外设备的传感器处理模块通过接收传感器两个接收线圈的电流信号,将电流信号转换为电压信号,在经过信号采集电路滤除输入信号的干扰,

之后通过信号放大电路对输入信号进行放大,来满足处理器的电压采集范围。处理器将采集的信号与设定的阈值进行比较、分析判断传感器两个磁头的状态,并将得到的传感器状态通过光耦隔离输出。计轴调制单元通过实时采集光耦状态并进行数据处理,得到传感器的状态以及传感器通过的轴数,然后将传感器的状态和轴数通过电力载波通信模块传输给计轴室内设备。

### 3.2.2 室内设备

室内计轴信息处理模块根据区段配置读取本区段所有传感器检测点的状态,通过对本区段的驶入车轮数和驶出车轮数进行统计分析、比较,根据计入总轴数减去计出总轴数,计算区段总轴数,然后判断本区段占用空闲状态,进而输出相应的信号驱动轨接继电器。室内计轴信息处理模块正常工作状态下,区段总轴数为零,传感器未受阻且无异常情况,则本区段为空闲状态,此时不对。当区段处于占用状态时,处理模块实时采集复零继电器状态,判断有效后通过电力载波模块将复零命令发送给室外计轴设备进行轴数清零操作,恢复区段空闲状态。

### 3.3 计轴叠加轨道电路共缆传输系统智能监测软件设计

计轴智能诊断监测软件作为辅助设备功能如下:①可对站场情况进行配置,满足不同应用场景和特殊行车作业区,提高可扩展性;②界面对站场内计轴监测区段进行轴数、占用空闲状态显示,不可对计轴系统进行复位命令操作;③界面对监测区段内的各个计轴传感器状态进行实时显示,并对故障进行实时反馈和报警;④监测软件实现对监测数据的存储,存储空间应满足至少 30 d 的需求;⑤提供用户对历史数据的查阅功能,方便对历史故障进行分析处理,提高系统的维护性。

### 3.4 计轴叠加轨道电路共缆传输系统室外改造设计

室外改造主要是对室外调谐匹配单元进行改造,旨在实现室内发送的计轴信号与轨道电路信号的隔离,确保计轴信号能正确传输至计轴室外设备,同时轨道电路信号也能顺利送达轨道电路室外设备。如图 3 所示。改造步骤如下:首先将调谐匹配单元端子 A1/A2 的轨道电路线缆断开,再将断开的线缆连接到计轴室外设备端子 1/2 上;然后将过室外隔离模块之后将计轴设备的 3/4 端子连接到调谐匹配单元端子 A1/A2 端子上。

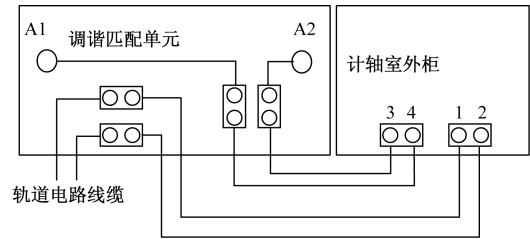


图 3 调谐匹配单元进行改造示意图

## 4 共缆传输系统技术特点

本系统满足即可工作在轨道电路为主、计轴设备为辅的方式,也可工作在计轴叠加轨道电路控制区段占用空闲状态的方式。计轴叠加轨道电路方式是在轨道电路出现红光带等问题时,现场工作人员确认故障区段无车,并通知调度人员,等待调度命令后,由工作人员手动倒入。

计轴叠加轨道电路方式主要技术特点如下:

①轨道电路区段的占用和空闲由计轴设备进行检查,轨道电路完成机车信号的传输;②不影响原有轨道电路区段的一切技术条件和标准,不影响轨旁信号灯的显示方式和内容。

轨道电路为主、计轴设备为辅的工作方式主要技术特点如下:①本区段的计轴设备保持正常工作,但其输出信号不作为控车命令;②当计轴系统由于外界干扰导致故障或其他错误指令使区段占用时,可使用操作盘复零钥匙进行复零命令,对干扰区段进行出清;③当轨道电路与计轴设备的继电器输出不一致时,应发出报警信号,通知工作人员进行检查。

计轴叠加轨道电路共缆传输系统可以有效解决由于道床漏泄过大、钢轨与车轮接触不良或钢轨表面氧化引起的轨道电路“红光带”和分路不良的问题,并且采用双系统双模式的运行方式不会对原有轨道电路产生影响,对现场的改造影响非常小,具有很大的应用潜力。

## 5 测试与验证

### 5.1 实验室验证

如图 4 所示,根据现场实际情况,在实验时搭建测试环境,实验环境包括室外部分和室内部分。室外部分设备包括轨道模拟盘、计轴传感器、计轴室外柜、站内匹配单元以及轨道电路的专用 SPT(内屏蔽铁路数字信号电缆)信号电缆;室内部分设备包括移频柜、接口柜、操作盘以及计轴室内柜。操作盘上应具备预复零操作开关、双系统切换开关、区段状态和故障指示灯。

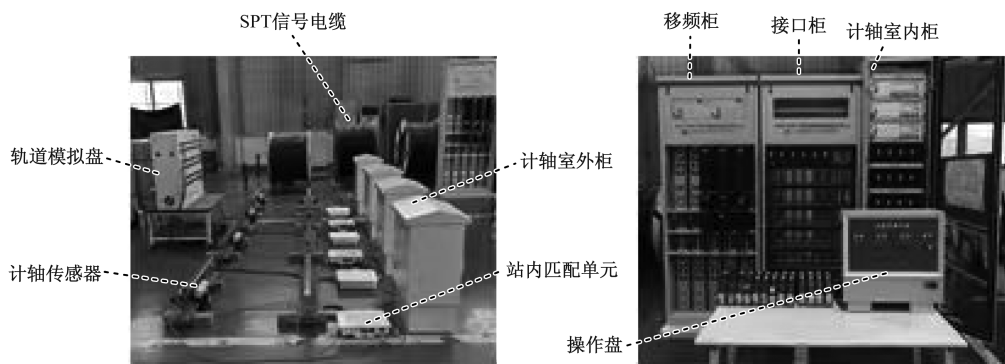


图4 实验室测试环境

根据搭建的环境对计轴叠加轨道电路系统进行功能和性能的测试。表2显示在各种测试条件下,系统均满足设计要求。

表2 计轴叠加轨道电路系统测试记录

测试内容	结果
室内外计轴设备建立连接时间小于1 min	满足要求
轨接继电器吸起落下时间小于1 s	满足要求
线缆10 km以内,室外远供电源衰减小于5%	满足要求
通道断开再次建立时间小于1 min	满足要求
趟车复零测试	满足要求
计轴传感器故障系统导向安全侧测试	满足要求
轨道电路功出、轨入短路对计轴无影响测试	满足要求
计轴对轨道电路传输通道阻抗影响小于1%	满足要求

### 5.2 现场验证

现场测试以大秦线袁树林一体化轨道电路试验站为主,如图5所示。现场电气参数为:载频2 300 Hz,发送电平10 V,接收电平146 V;实际电缆长度0.5 km,补偿长度9.5 km,补偿电容值为46  $\mu$ F。



图5 袁树林站室外改造现场

现场测试计轴在调整和分路不同叠加状态下轨道电路系统关键节点电气参数数据,研究计轴叠加状态对轨道电路的影响,探索计轴共缆叠加轨道电路系统现场应用的功能性、安全性和适用性,根据图6所示,现场试验结论如下:①在调整和分路状态下,本设计不影响轨道电路系统发送电源电压、接收电源电压、功出电压、设备侧电压、防雷侧电压、电缆侧电压、轨入电压、轨出电压、轨道继电器驱动电压;②当轨道电路隔离装置发生开路情况时,对轨道电路和计轴无直接影响,或系统导向安

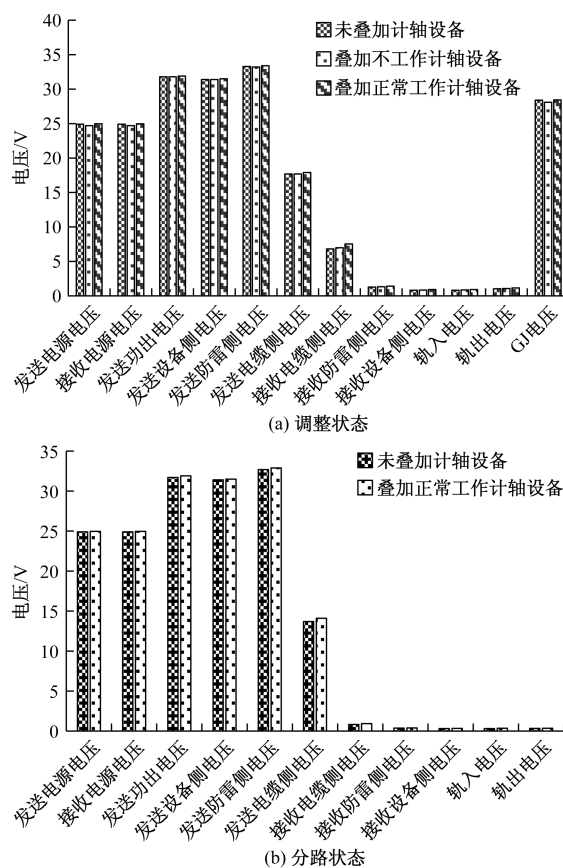


图6 计轴叠加状态下轨道电路参数数据

全测;③当轨道电路发生故障时,能及时切换到计轴系统并能有效地检查出轨道的占用和空闲。

## 6 结论

计轴技术为解决轨道电路分路不良、红光带等问题提供了新的思路。通过对现有技术的评估和改进,提出结合计轴技术的轨道电路共缆传输方案优化设计,能够有效提升铁路安全运行水平,为铁路运输安全提供更为坚实的保障。本方案有以下突出特点:①严格遵守铁路系统故障-安全的设计原则;②直接与现有轨道电路设备结合使用,节省大量的线缆费用,节约大量成本,性价比高;③室外设备模块化设计,改造简单成本可控,并且维护方便;④不受道床漏泄过大、钢轨表面氧化等问题的影响,可靠性高,抗干扰能力强。本方案的推广使用可以为存在分路不良、红光带等问题的铁路提供技术参照,同时也为铁路安全稳定运行提供可靠保证。

### 参考文献

- [1] 彭鹏,李夏苗,高醒.我国铁路货运量演化趋势及其运营对策[J].科技和产业,2017,17(10):5-10.
- [2] 李鹏斐,李隽鹏.大秦重载铁路计轴与轨道电路共缆传输方案研究[J].铁道通信信号,2024,60(2):40-46.
- [3] 车志霞,陈保平,燕延,等.铁路信号系统 ZPW-2000 轨道电路故障分析[J].自动化仪表,2017(9):99-102.
- [4] 冯小川,杨武东,范景腾.铁路无人区非集中区段断轨检测系统研究[J].铁道标准设计,2023,67(6):2-7.
- [5] 何贵洋,华泽玺.轨道电路分路不良解决方案分析[J].铁路计算机应用,2012,21(1):48-50.
- [6] 邵嘉声.站内 ZPW-2000A 一体化轨道电路低道床适应性研究[J].铁路通信信号工程技术,2022(11):1-5.
- [7] 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(6):61-64.
- [8] 李映红.高速铁路信号系统[M].2版.成都:西南交通大学出版社,2019.
- [9] 洪玲,武晓春.基于小波包的无绝缘轨道电路补偿电容故障特征分析[J].铁道科学与工程学报,2022,19(4):1111-1120.
- [10] 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.
- [11] 黄斌.高铁 ZPW-2000 型轨道电路传输特性及抗干扰性分析[J].系统仿真技术,2014,10(3):258-262.
- [12] 王明媚.关于短区间轨道电路改方闪红光带问题分析[J].铁路通信信号工程技术,2017,14(1):94-96.
- [13] 赵斌,张友鹏,魏蕾.轨道电路时域响应分析[J].铁道学报,2014,36(9):68-71.
- [14] 曲育德.电磁感应式计轴设备的常见干扰源与抗干扰方法研究[J].数字通信世界,2019(3):92-105.
- [15] 运基信号 446-2006 关于印发《计轴加轨道电路解决自动闭塞“红光带”方案的指导意见》的通知[R].北京:铁道部运输局,2006.
- [16] 李文涛,杨轶轩,叶洪友.高速铁路轨道电路调谐匹配单元故障分析与处理方法[J].铁路通信信号工程技术,2019,16(12):74-78.
- [17] 邢玉龙.面向预测性维护的轨道电路故障诊断及预测方法研究[D].北京:北京交通大学,2022.

## Co-cable Transmission Scheme for Axle Counting and Daqin Line Track Circuit

LI Yuanhong, JIANG Shan, LI Pengfei

(CRSC (Xi'an) Rail Transit Industry Group Co., Ltd. Beijing Branch, Beijing 100070, China)

**Abstract:** To solve the problems of poor branching and red light strip in the track circuit of Daqin Railway, a cable transmission scheme combining axle counting technology and track circuit is proposed. The potential application of axle counting technology in solving track circuit problems was analyzed, the overall architecture of the system was designed, key modules are identified, and the system workflow was clarified; Then the key components were designed and corresponding renovation plans were proposed based on the on-site situation; Finally, overall testing on the system was conducted to verify its stability and reliability, and test results that meet expectations were obtained. This plan can provide technical reference for related circuits with issues such as poor branching and red light bands.

**Keywords:** axle counter technique; track circuit; common cable transmission; red light band; poor shunt