

# ZPW-2000A 无绝缘轨道电路维护 与故障处理策略研究

张赞赞

中国铁路青藏集团有限公司, 青海 西宁 810007

DOI:10.61369/EPTSM.2026020032

**摘 要 :** ZPW-2000A 无绝缘轨道电路作为我国铁路信号系统的核心基础设备, 其性能的稳定性直接关系到列车运行安全和运输效率。本文深入剖析了 ZPW-2000A 轨道电路的工作原理、系统构成及其关键技术特性。结合现场维护实践, 系统地总结了其常见故障类型, 并创新性地提出了以“监测数据为导向、系统分析为核心、分层排查为方法”的故障处理体系。论文重点阐述了基于全程电压、电流等电气参数的故障诊断流程与定位方法, 并结合典型故障案例进行了实证分析。最后, 对智能化、数字化维护技术的发展趋势进行了展望, 旨在为现场维护人员提供一套科学、高效的维护与故障处理指导方案, 提升设备整体运用质量。

**关 键 词 :** ZPW-2000A; 无绝缘轨道电路; 故障诊断; 参数分析; 预防性维护; 铁路信号

## Research on Maintenance and Fault Handling Strategies for ZPW-2000A Non-insulated Track Circuit

Zhang Zanzan

China Railway Qinghai-Tibet Group Co., Ltd., Xining, Qinghai 810007

**Abstract :** The ZPW-2000A insulated-free track circuit, as the core infrastructure equipment of China's railway signaling system, the stability of its performance directly affects the safety of train operation and transportation efficiency. This paper deeply analyzes the working principle, system composition, and key technical characteristics of the ZPW-2000A track circuit. Based on on-site maintenance practice, it systematically summarizes the common fault types and innovatively proposes a fault handling system based on "monitoring data as the orientation, system analysis as the core, and hierarchical troubleshooting as the method". The paper focuses on the fault diagnosis process and location method based on the entire voltage and current electrical parameters, and conducts empirical analysis based on typical fault cases. Finally, it looks forward to the development trend of intelligent and digital maintenance technologies, aiming to provide a scientific and efficient maintenance and fault handling guidance plan for on-site maintenance personnel, and improve the overall application quality of the equipment.

**Keywords :** ZPW-2000A; insulated-free track circuit; fault diagnosis; parameter analysis; preventive maintenance; railway signal

### 一、绪论

#### (一) 研究背景与意义

随着中国铁路向着高速、重载、高密度的方向持续发展, 对信号系统的可靠性、安全性和实时性提出了前所未有的要求。轨道电路作为实现列车占用检测、传输行车控制信息的关键地面设备, 其技术性能至关重要。ZPW-2000A 型无绝缘移频轨道电路, 是在借鉴国外先进技术基础上, 结合我国国情自主研发的具有完全自主知识产权的重要成果。它以其优良的传输特性、可靠的分路性能和完善的故障-安全设计, 已全面替代传统有绝缘轨道电路, 成为我国普速铁路、高速铁路及城市轨道交通的绝对主流制式。

然而, ZPW-2000A 系统设备构成复杂, 涉及发送、接收、电缆、调谐匹配、补偿电容等多个环节, 且长期暴露于室外恶劣环境, 导致其故障类型多样、原因复杂。一旦发生故障, 若不能快速定位与处置, 将直接影响行车安全和运输秩序。因此, 深入研究其故障机理, 建立一套科学、系统、高效的维护与故障处理方法, 对于降低设备故障率、压缩故障延时、保障铁路运输安全畅通具有重大的理论与现实意义。

#### (二) 系统概述与工作原理

ZPW-2000A 轨道电路采用电气隔离方式构成无绝缘轨道电路区段。其核心工作原理是利用钢轨作为传输信道, 发送端产生特定中心频率 (1700Hz、2000Hz、2300Hz、2600Hz) 的低频调制 (Fc) 移频信号, 经钢轨传输至接收端。接收端对信号进行解

码、鉴别，以此来控制轨道继电器的状态，从而判断轨道区段的空闲与占用。系统主要由室内设备和室外设备两大部分构成（见图1）：

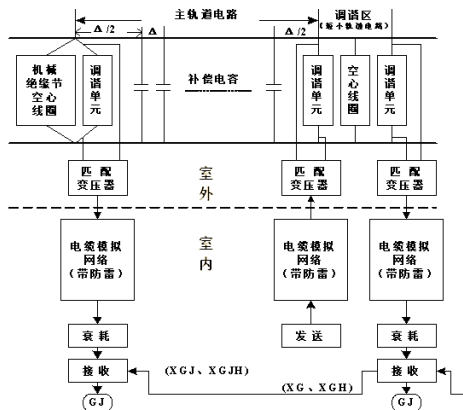


图1：ZPW-2000A 轨道电路系统结构示意图

室内设备：包括发送器、接收器、衰耗冗余控制器、电缆模拟网络等，完成信号的生成、发送、接收和初步处理。

室外设备：包括调谐匹配单元（BA）、空芯线圈（SVA）、补偿电容（C）、传输电缆及钢轨引接线等，负责实现电气隔离、阻抗匹配和信号能量的有效传输。

## 二、常见故障类型与原因分析

根据故障现象及影响范围，ZPW-2000A 轨道电路的故障可分为以下几大类：

### （一）“红光带”故障（轨道继电器失磁）

这是最常见的故障现象，表明系统判断该区段为“占用”状态。其根源在于接收器接收到的有效信号电平低于其可靠工作门限。具体原因可细分为：

发送通道故障：发送器无输出、发送通道电缆断线或混线、模拟网络故障、发送端调谐匹配单元（BA）损坏等，导致信号源中断。

接收通道故障：接收器故障、接收通道电缆及配线问题、接收端 BA 损坏、衰耗器故障等，导致信号无法有效送达接收器。

传输通道故障：这是室外部分的常见故障源。

钢轨参数异常：道床电阻（ $R_d$ ）严重下降（如雨季渗水、污染），导致信号过度衰耗。

补偿电容（C）失效：电容断线、失效或塞钉接触不良，破坏了信号的连续性传输，导致“电压波动”或“电压衰耗”。

调谐区元件故障：调谐单元（BA）或空芯线圈（SVA）损坏、引接线断股或接触电阻过大。

外界干扰：大电流冲击、不平衡牵引电流干扰、金属线搭接等。

### （二）轨道电路电压波动或异常

区段未出现稳定“红光带”，但接收电压在工作值与报警值之间波动，或明显偏离正常范围。此类故障通常是隐性故障的先兆。

主要原因：补偿电容性能渐变劣化、塞钉松动、道床电阻季节性变化或轻微不良、各种连接端子接触电阻不稳定等。

### （三）接收器“N+1”冗余系统倒换故障

冗余系统未能按设计在主机故障时自动无感切换至备机，或频繁发生非必要切换。

主要原因：主机与备机输出参数差异过大、倒换继电器或切换电路故障、两系电源不一致等。

## 三、系统性维护策略

为确保 ZPW-2000A 轨道电路长期稳定运行，必须坚持“预防为主，防治结合”的方针，建立多层次的立体化维护体系。

### （一）日常巡视与实时监测

微机监测系统调阅：这是现代维护的核心手段。每日必须调阅分析各轨道区段的主轨接收电压、小轨接收电压、发送功出电压/电流、电缆模拟网络侧电压等关键参数的日曲线、月曲线。（见图2）。

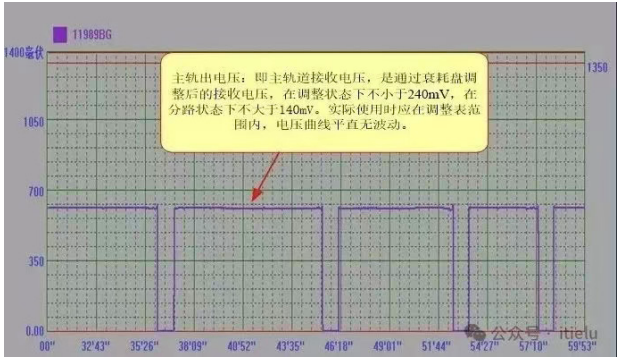


图2：主轨输出电压正常监测曲线

室外设备外观检查：定期巡视补偿电容、调谐匹配单元、引接线等是否完好，有无被盗、破损，塞钉是否紧固，防护设施是否有效。

### （二）定期检修与测试

严格按照检修规程执行月、季、年检。

电气特性测试：使用标准仪表（如 CD96-3Z 移频测试表）全面测试并记录每一区段的发送功出电压/电流、轨入电压、主轨输出电压、小轨输出电压等，与历史数据和标准范围比对。

补偿电容专项检查：利用电容测试仪或在线测试方法，定期检测补偿电容的容值及连接状态。

连接部件紧固与防腐：对所有的电缆接头、塞钉、端子进行紧固和防锈处理。

### （三）数据分析与预防性维护

建立设备健康档案：为每个区段建立包含历史测试数据、故障记录、环境因素的电子档案。

趋势预警：利用监测数据，对电压缓慢下降、电容容值渐变等趋势进行分析，在设备性能劣化至故障前提前预警并干预。

## 四、故障诊断与处理流程

当发生故障时，应遵循“先室内后室外、先电源后设备、先分析后动手”的原则，采用分层、分段的方法进行快速定位。

### （一）信息收集与初步判断

确认故障现象：是稳定红光带还是闪动？是整个区段还是部分？是否伴随其他区段异常？

调阅监测数据：立即查看故障时及故障前的各项电压、电流数据，这是判断故障方向最直接的依据。

询问与环境判断：了解故障发生时段是否有施工、暴雨、大风等特殊情况。

### （二）室内设备排查

检查冗余状态：确认发送器、接收器的主备机工作状态，尝试手动切换，判断是否单机故障。

测试关键点电压：

在衰耗冗余控制器面板测试“发送电源”、“接收电源”、“发送功出”“轨入”“轨出”等电压。

若“发送功出”电压正常而“轨入”电压为零或极低，则故障点可能在发送通道电缆或模拟网络。可通过在分线盘测量电缆侧电压进一步判断。

若“轨入”电压正常而“轨出”电压低，则故障可能在衰耗器或接收器本身。

### （三）室外设备故障定位（以发送端至接收端路径为线索）

若判断故障在室外，是处理难点。推荐采用“电压比较法”和“分段测试法”。

第一步：分线盘测试。区分是室内发送/接收通道故障，还是室外电缆及后续设备故障。

第二步：箱盒测试。在室外电缆盒或调谐匹配单元箱测试，比较电缆侧电压与钢轨侧电压。

若电缆侧电压正常，钢轨侧电压异常，则故障在调谐匹配单元（BA）或引接线。

若钢轨侧电压也正常，则故障在钢轨传输通道。

第三步：钢轨传输通道排查。这是最复杂的环节。

电压逐点测量法：从发送端开始，沿钢轨走向，使用变频电压表测量轨面电压，电压发生陡降的点即为故障点附近。常见于补偿电容连接线断线或电容失效处（见图3）。

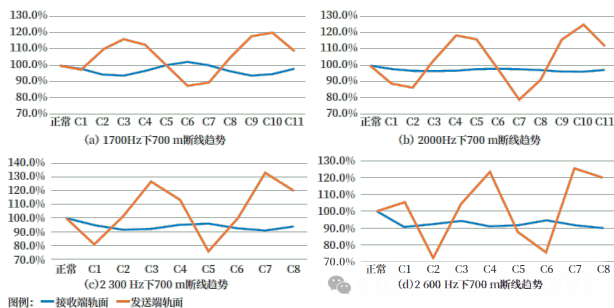


图3：补偿电容失效导致的轨面电压变化示意图

阻抗测量法：使用轨道电路故障诊断仪测量特定频率下的钢轨输入阻抗，与正常值比对，可辅助判断调谐区故障或道床电阻严重恶化。

## 五、典型故障案例与处理

案例一：主轨接收电压周期性缓慢下降至红光带

现象：某区段在雨季，微机监测显示主轨电压每日呈“勺”型波动（夜间回升，白天下降），最终在某日下午降至红光带。

分析与处理：此现象高度指向道床电阻（Rd）下降。白天升温，地表水分蒸发，道床表层电阻率下降。处理重点不在轨道电路设备本身，而是工务部门整治道床排水。电务部门可临时采取适当提高发送电平（在规程允许范围内）作为应急措施，但根本在于工电结合部整治。

案例二：区段电压无规律波动，偶发闪红光带

现象：调阅曲线发现轨出电压存在无规律的毛刺状波动。

分析与处理：此多为接触不良所致。重点排查：

补偿电容塞钉是否松动氧化。

各种引接线（钢轨引接线、箱盒引接线）的塞钉或螺栓连接处是否接触不良。

室内外接线端子是否松动。通过紧固、打磨接触面、更换不良部件处理。

案例三：主轨出电压为零，小轨出电压正常

现象：衰耗器面板“主轨出”电压为零，“小轨出”电压正常，“轨入”电压正常。

分析与处理：“轨入”正常说明室外发送通道及钢轨传输基本正常，信号已到达接收端。“小轨出”正常说明接收器对小轨信号的处理通道正常。故障高度集中在接收器的主轨信号处理通道或衰耗器的主轨输出部分。更换接收器或检查衰耗器内部相关电路即可解决。

## 六、维护技术发展展望

未来，ZPW-2000A 轨道电路的维护将向着“智能化、数字化、可视化”方向深度发展：

智能诊断专家系统：基于大数据和人工智能算法，融合监测数据、环境数据、历史维护数据，构建故障诊断模型，实现故障的自动预警、智能分析和定位建议。

在线测试与状态感知：开发集成化传感器，实现对补偿电容容值、引接线电阻、道床电阻等关键参数的在线实时监测。

数字孪生与仿真演练：构建轨道电路系统的数字孪生模型，用于模拟故障、培训人员、优化维护方案。

移动互联维护终端：通过专用 APP，实现监测数据移动查看、检修作业电子化流程、故障处理远程指导。

## 七、结论

ZPW-2000A 无绝缘轨道电路的维护与故障处理是一项系统工程，要求维护人员不仅熟悉设备原理和电路，更要善于运用微机监测数据进行分析，掌握科学的故障排查逻辑。本文提出的以数据驱动为核心的分层维护与诊断策略，强调了从“故障修”向

“预防修”、“状态修”的转变。通过严格执行日常监测、定期检修，并熟练运用分段电压测试等方法，能够有效提升故障处理效率，保障轨道电路的稳定可靠运行。面对未来挑战，积极拥抱智能化维护技术，将是提升电务维护现代化水平的必由之路。

## 参考文献

- [1] 中国铁路总公司. Q/CR 483-2016 ZPW-2000A 无绝缘轨道电路设备 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2016.
- [2] 林瑜筠, 刘湘国. 铁路信号基础 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2020.
- [3] 张铁增. ZPW-2000A 轨道电路原理、维护与故障处理 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2015.
- [4] 王瑞峰, 蒋大明. 基于大数据分析的轨道电路故障预测方法研究 [J]. 铁道学报, 2019, 41(8): 70-76.
- [5] 李国宁. ZPW-2000A 轨道电路典型故障案例分析与处理 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2021, 18(3): 45-49.