

# 信息型轨道电路补偿电容在重载铁路中的应用

蒋建波

国能新朔铁路有限责任公司大准铁路分公司 内蒙古 鄂尔多斯 010300

**摘要:** 在ZPW-2000A轨道电路系统中,补偿电容是一个非常重要的器件,通过补偿电容补偿钢轨传输的信号,以增强信号的传输距离。补偿电容安装在室外,工作环境比较恶劣。尤其是在重载线路中,不仅受到温度变化影响,还有震动、煤渣灰尘、融雪剂、抑尘剂等腐蚀影响,这大大加速了补偿电容的劣化过程。而对补偿电容的监测方法还是传统的人工定点测试,监测效率较低。随着监测技术的发展,采集传感设备、无线传输技术已成熟应用。本文介绍了某重载线路依据自身要求采用信息型的补偿电容并将电容信息接入监测系统的研究应用情况进行描述。包括系统实现方案、现场安装应用情况等。为重载铁路监测系统向数智化发展提供技术经验。

**关键词:** 轨道电路; 监测; 补偿电容

**引言:** ZPW-2000A轨道电路系统中,补偿电容是一个非常重要的器件,其使用数量巨大平均每80米需要安装一套。而补偿电容故障在电务设备故障统计中也较多。因其安装在室外且安装位置分散,当前还是传统的人工使用专用测试设备进行现场测量检查,导致维修维护的工作量巨大。一旦故障只能逐一进行测试排查,故障处理难度大。针对现有问题痛点,依托现有成熟的采集传感技术设备、无线传输技术的成熟应用,选用信息型补偿电容改善当前的问题痛点。

## 1 系统实现方案

ZPW-2000A轨道电路系统是当前我国铁路轨道制式的主要产品。在高铁、普速以及重载铁路广泛引用。主要完成对轨道电路区段的空闲、占用的检查,通过18种低频信号向列车发送控制信息。当轨道电路一旦发生故障时,区段信息判断为占用信息,列车禁止进入该区段,并使列车安全停车。故障处理的恢复时间的快慢严重影响铁路运营的效率。ZPW-2000A轨道电路智能诊断系统也已安装部署超过4000站,应用成熟广泛。本文中某重载铁路使用ZPW-2000A轨道电路,并改造完成增设ZPW-2000A轨道电路智能诊断系统,具备11段故障分区定位功能,11段区域包括:

- 1 室内发送端方向切换电路区域;
- 2 发送端模拟网络;
- 3 室外发送端电缆通道;
- 4 室外发送端调谐区、调谐匹配单元;
- 5 发送端调谐匹配单元钢轨引接线;
- 6 主轨线路;
- 7 接收端调谐匹配单元钢轨引接线;
- 8 室外接收端调谐区、调谐匹配单元;

- 9 室外接收端通道;
  - 10 接收端模拟网络;
  - 11 室内接收端方向切换电路区域。
- 如下图1所示:

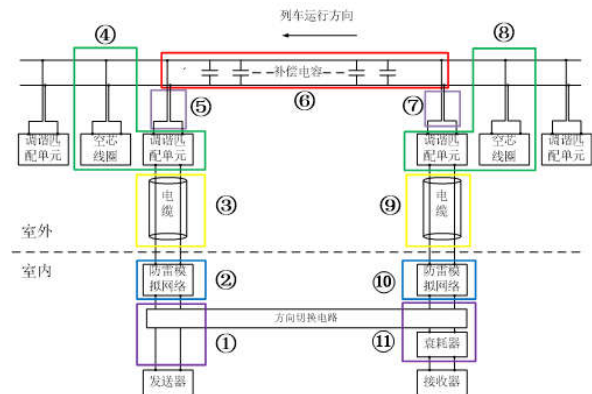


图1 ZPW-2000A轨道电路11段故障分区定位图

### 1.1 原则

1.1.1 在现有重载铁路ZPW-2000A轨道电路监测环境下,不影响既有监测功能结合现场实际应用需求进行应用研究。

1.1.2 室外不需要新增设信号电缆和其他线缆。

1.1.3 依据铁路公司信息通信安全要求,对传输数据进行安全防护。

### 1.2 系统方案

在现有ZPW-2000A轨道电路智能诊断系统中增加轨道电路补偿电容的信息采集功能,并通过无线传输的方式将数据传至智能诊断系统<sup>[1]</sup>。

#### 1.2.1 信息型补偿电容

NB-IoT即窄带物联网,是基于蜂窝网络构建的低功耗广域网技术,专为低速率、小数据量、低功耗的物联

网场景设计，是万物互联网络的重要分支。其核心优势显著，覆盖能力突出，相比现有网络增益20dB，可覆盖入地下车库、偏远地区等信号弱区并支持超万级终端接入。因此该物联网技术适用于重载铁路沿线网络环境<sup>[2]</sup>。

同时，为适用现有基于中国电信VPDN虚拟安全数据网，本信息型补偿电容采用中国电信自研基于低功耗NB-IoT物联网技术的安全数据传输模组，更完善的保证数据安全无线传输，信息型补偿电容能够对补偿电容电压、电流等数据进行采集。其通过感应线圈感应钢轨自身存在的电流，并存储到超级电容中，实现智能化补偿电容自充电<sup>[3]</sup>。无需单独新增设供电和信号线缆。



图2 信息型补偿电容实物图

1 电容值精度： $\pm 5\%$ ；

2 通信方式：NB-IoT与物联网平台；

3 供电方式：通过感应线圈感应钢轨自身存在的电流，并存储到超级电容中，实现智能化补偿电容自充电。

### 1.2.2 数据安全传输

中国电信VPDN（虚拟专用拨号网络）是基于宽带互联网构建的虚拟专有网络业务，依托运营商IP网、两级业务管理中心及拨号接入系统，为企业、政府等机构提供远程安全接入方案。该技术以L2TP隧道协议为核心，结合对称与非对称加密技术，在公共网络中搭建独立加密通道，数据传输最大下行速率可达300Mbps，同时通过RADIUS协议实现两次身份认证，有效防范数据窃取与非法访问。其具备便捷、可靠、自助管理等特点。可应用于物联网数据采集、专网安全传输等领域，是兼顾安全性与经济性的远程网络接入方案<sup>[4]</sup>。

本文所述的某重载铁路运营公司已完成基于中国电信VPDN虚拟安全网络的布设，信息型补偿电容数据安全传输依托现有安全网络进行研究应用。

信息型补偿电容数据安全传输通过中国电信VPDN虚拟网络数据安全加密传输技术从现场每一个信息型补偿电容获取电容数据信息，经过中国电信专网及核心设备接入重载铁路数据私有网络，并通过网闸进行物理隔离。在私有网络中建立信息型补偿电容数据私有数据服

务器对通过中国电信VPDN网络收到的电容数据进行数据解析并将数据转发给诊断主机进行算法处理<sup>[5]</sup>，以此保证数据传输安全及数据使用安全。

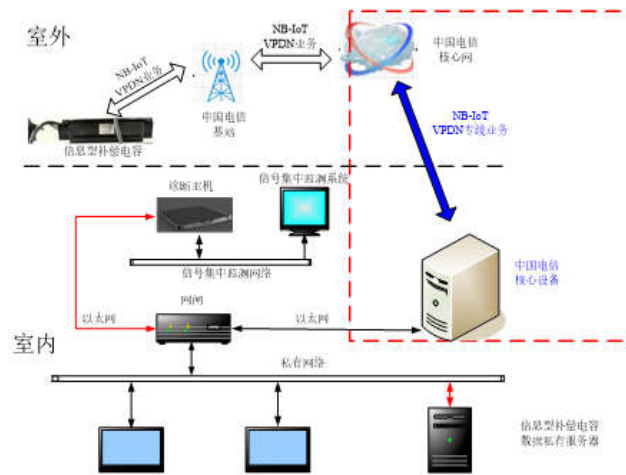


图3 数据传输安全网络示意图

### 1.3 现场安装

现有ZPW-2000A轨道电路补偿电容现场在安装铁路线路轨枕预留的安装位置准确安装，因此信息型补偿电容按照现有安装位置尺寸可在原位置进行点对点位置替换安装方便。



图4 原补偿电容与信息型补偿电容现场安装对比图

### 1.4 现场应用情况

智能型补偿电容在某重载铁路线进行现场应用试验，对原有电容进行了替换。并在现有ZPW-2000A智能诊断系统中增加了补偿电容的故障判断内容。以其中一个区段为例进行了现场测试。现场使用轨道电路移频表测试补偿电容容值与系统显示值进行对比。补偿电容测试情况及智能诊断系统显示电容情况如表1：

表1

补偿电容	现场测试值 (uF)	诊断软件显示值 (uF)
C20	39.2	40.2
C19	39.5	39.1
C17	40.3	40.7

续表:

补偿电容	现场测试值 (uF)	诊断软件显示值 (uF)
C16	39.5	39.4
C15	39.5	39.7
C14	39.7	39.9
C12	39.7	41.2
C11	38.7	40.2
C10	39.9	39.4
C8	39.9	41.5



图6 补偿电容现场测试情况图

模拟补偿电容断线情况, 智能诊断系统补偿电容故障报警如表2。

表2

位置	智能化补偿电容采集值	标准值	说明
C12	39.7uF	40 uF	正常
C12	0	40 uF	电容断线
C15	39.5 uF	40 uF	正常
C15	0	40 uF	电容断线
C17	40.3 uF	40 uF	正常
C17	0	40 uF	电容断线

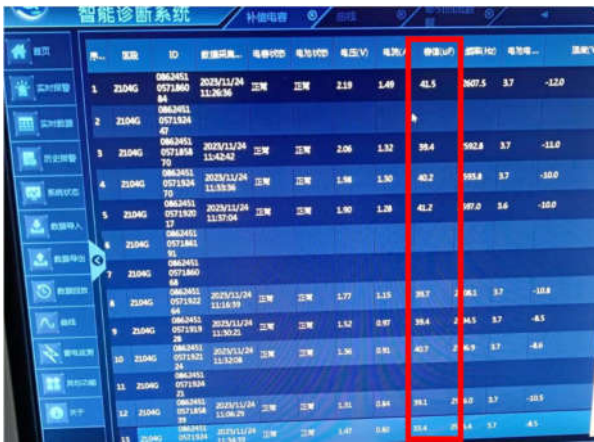


图5 工电接口智能诊断软件电容值显示图

ZPW-2000A轨道电路智能诊断系统报警如图7所示:



图7 智能化补偿电容报警

结束语

信息型补偿电容通过使用VPND虚拟网络技术、NB-IoT物联网技术及高精度传感采集技术, 实现了对补偿电容的电压、电流等的数据采集, 并能够在ZPW-2000A轨道电路智能诊断系统中实现补偿电容的状态显示及故障报警, 以帮助维护人员对补偿电容的日常维护检查及故障判断。相比较传统的人工逐一到现场进行测试的方式, 能够大大的改善补偿电容的维护维修效率。

参考文献

[1]徐杨. 基于NB-IoT通信的铁路供配电系统故障数据识别技术研究[J]. 通信电源技术,2026,43(1):228-230. DOI:10.19399/j.cnki.tpt.2026.01.076.

[2]聂士展. 无线VPDN技术在自然资源移动执法系统中的应用浅析[J]. 网络安全和信息化,2024(8):63-65.

[3]韩雅芳. 补偿电容断线对轨道电路工作状态的影响研究[J]. 铁路通信信号工程技术,2020,17(z1):128-131. DOI:10.3969/j.issn.1673-4440.2020.Z1.029.

[4]北京全路通信信号研究设计院集团有限公司. 一种基于树形拓扑网络的补偿电容在线监测系统及方法:CN202410297495.2[P].2024-06-14.

[5]胡建华,宿志国,许明. 雷电监测装置在轨道电路智能诊断系统中的应用[J]. 铁路通信信号工程技术,2022,19(z1):132-136. DOI:10.3969/j.issn.1673-4440.2022.Z1.029.