

# Optimization Method for Accuracy of Insulation Detection of Railway Signal Cables

Aimin Qian

Nanjing Railway Technical College, Nanjing, Jiangsu, 210031, China

## Abstract

With the rapid development of railway transportation in our country, the railway signal cable is an important component of railway signal system, and the stability and reliability of its insulation performance are directly related to the safety and efficiency of railway transportation. However, in the actual operation process, the insulation performance of railway signal cables is susceptible to many factors, such as temperature, humidity, mechanical stress, etc., resulting in decreased insulation performance and even insulation breakdown failure. The aim of this paper is to discuss the optimization method to improve the accuracy of railway signal cable insulation detection. Based on the analysis of existing detection technology and practical application requirements, a series of improvement measures are put forward to improve the accuracy and reliability of insulation detection and ensure the safe operation of railway signal system.

## Keywords

railway signal; cable insulation testing; accuracy optimization

## 铁路信号电缆绝缘检测准确性优化方法

钱爱民

南京铁道职业技术学院, 中国·江苏南京 210031

## 摘要

随着中国铁路运输事业的快速发展, 铁路信号电缆作为铁路信号系统的重要组成部分, 其绝缘性能的稳定性和可靠性直接关系到铁路运输的安全和效率。然而, 在实际运行过程中, 铁路信号电缆绝缘性能容易受到多种因素的影响, 如温度、湿度、机械应力等, 导致绝缘性能下降, 甚至发生绝缘击穿故障。论文旨在探讨提高铁路信号电缆绝缘检测准确性的优化方法。通过对现有检测技术的分析, 结合实际应用需求, 提出了一系列改进措施, 以提高绝缘检测的准确性和可靠性, 确保铁路信号系统的安全运行。

## 关键词

铁路信号; 电缆绝缘检测; 准确性优化

## 1 引言

为了提高铁路信号电缆绝缘检测的准确性, 本研究针对现有检测方法的不足, 提出了一种基于新型检测技术的铁路信号电缆绝缘检测方法。该方法结合了多种检测技术, 如温度检测、电容检测、电阻检测等, 通过多参数综合分析, 实现对铁路信号电缆绝缘性能的准确评估。论文旨在通过以下研究, 为铁路信号电缆绝缘检测提供一种高效、准确的检测方法。

## 2 铁路信号电缆绝缘检测的基本原理

### 2.1 绝缘电阻检测原理

绝缘电阻检测是评估电缆绝缘性能的重要手段。其基本原理是通过施加一定的电压, 测量绝缘材料在电场作用下

的电阻值。将电缆绝缘层与地之间施加直流电压, 利用绝缘电阻测试仪测量绝缘层与地之间的电阻值<sup>[1]</sup>。根据测量结果, 判断电缆绝缘层的质量。

### 2.2 泄漏电流检测原理

泄漏电流检测是检测电缆绝缘层是否存在缺陷的一种方法。其基本原理是测量绝缘层在电场作用下的泄漏电流。将电缆绝缘层与地之间施加直流电压, 利用泄漏电流测试仪测量绝缘层与地之间的泄漏电流。根据泄漏电流的大小, 判断电缆绝缘层是否存在缺陷。

### 2.3 介质损耗因数检测原理

介质损耗因数检测是评估电缆绝缘材料损耗性能的一种方法。其基本原理是测量绝缘材料在交流电场作用下的损耗角正切值。将电缆绝缘层与地之间施加交流电压, 利用介质损耗因数测试仪测量绝缘层在交流电场作用下的损耗角正切值。根据损耗角正切值的大小, 判断电缆绝缘材料的损耗性能。

【作者简介】钱爱民(1971-), 男, 中国江苏扬州人, 本科, 高级实验师, 从事铁道信号自动控制研究。

### 3 影响铁路信号电缆绝缘检测准确性的因素

#### 3.1 环境因素的影响

##### 3.1.1 温度

温度的升高或降低会导致电缆绝缘材料的性能发生变化。例如,在高温环境下,绝缘材料的介电常数和介质损耗可能会增加,从而影响电缆的绝缘性能。相反,低温可能会使绝缘材料变得更加脆弱,降低其机械强度。温度对绝缘电阻有直接影响。通常情况下,随着温度的升高,绝缘电阻会降低,这是因为温度升高使得绝缘材料中的离子活动加剧,导致泄漏电流增加。因此,在高温条件下进行的绝缘电阻测试可能会得出偏低的测试结果。温度变化会影响电缆绝缘层的局部放电行为<sup>[2]</sup>。在高温下,局部放电可能变得更加活跃,而在低温下,局部放电可能减弱。这种变化会影响对电缆绝缘老化程度的评估。温度变化还会导致电缆结构发生变化,如电缆的伸缩、变形等,这些变化可能会影响电缆的绝缘层与导体之间的接触质量,进而影响绝缘检测的准确性。温度变化也可能影响测试设备的性能,如温度变化可能导致测试设备的电阻率测量不准确,从而影响绝缘检测结果的准确性。

##### 3.1.2 湿度

铁路信号电缆的绝缘材料通常为聚乙烯、聚氯乙烯等高分子材料,这些材料在潮湿环境下容易吸水,导致绝缘性能下降。当绝缘材料吸水后,其绝缘电阻会降低,从而影响检测结果的准确性。绝缘检测设备在潮湿环境下容易受潮,导致设备内部电路短路、接触不良等问题,进而影响检测结果的准确性。在潮湿环境中进行绝缘检测,环境湿度较高,容易导致绝缘材料表面形成水膜,影响绝缘材料的绝缘性能。此外,潮湿环境还可能导致测试人员操作失误,进一步影响检测结果的准确性<sup>[3]</sup>。由于湿度对绝缘材料的影响,检测出的绝缘电阻值可能低于实际值。在潮湿环境下,绝缘材料的绝缘电阻会随着湿度的增加而降低,导致检测出的绝缘电阻值偏小。

##### 3.1.3 电磁场干扰

铁路信号电缆在传输信号过程中,若受到电磁场干扰,会导致信号波形发生畸变,从而影响绝缘检测的准确性。这种失真现象在检测过程中不易被发现,容易导致误判。检测设备在检测过程中,若受到电磁场干扰,其性能会受到影响,如灵敏度降低、响应时间延长等<sup>[4]</sup>。这些因素都会降低检测结果的准确性。铁路信号电缆的绝缘材料在受到电磁场干扰时,其性能可能会发生变化,如绝缘电阻降低、介质损耗增加等。这些变化会影响绝缘检测的准确性。铁路信号电缆的检测环境若存在较强的电磁场干扰,会导致检测数据不稳定,从而影响检测结果的准确性。

#### 3.2 检测设备的精度和稳定性

检测设备的精度直接决定了测量结果的准确性。若设备精度不足,会导致检测数据存在较大偏差,从而影响绝缘检测的准确性。随着使用时间的增长,检测设备可能会出现老化现象,如传感器灵敏度下降、电路板性能降低等,从而影响检测结果的稳定性<sup>[5]</sup>。检测设备的定期维护保养对保证

其稳定性至关重要。若设备长时间未进行维护,可能导致检测数据波动较大,影响绝缘检测的准确性。

#### 3.3 电缆本身的特性

##### 3.3.1 电缆长度

电缆长度的增加会导致信号在传输过程中损耗增大,从而影响绝缘检测的准确性。长距离电缆在信号传输过程中,由于电缆本身的电阻、电容和电感等参数的影响,信号会逐渐衰减,导致检测到的信号强度降低,从而影响绝缘检测的准确性。

##### 3.3.2 电缆老化程度

电缆在使用过程中,由于长期受到温度、湿度、机械应力等因素的影响,会导致电缆绝缘材料的老化。老化程度越严重,电缆绝缘性能越差,检测到的绝缘电阻值会降低,从而影响绝缘检测的准确性。

##### 3.3.3 电缆敷设方式

敷设方式对电缆绝缘层的影响:直埋敷设方式简单,成本较低,但容易受到土壤湿度、温度变化等因素的影响,导致电缆绝缘层受潮、老化,影响绝缘性能。架空敷设方式便于维护和检修,但电缆长期暴露在空气中,容易受到紫外线、氧气、水分等环境因素的影响,加速绝缘老化。隧道敷设方式有利于保护电缆,减少外界环境对电缆的影响,但隧道内湿度、温度等环境因素难以控制,可能对电缆绝缘性能产生不利影响。

敷设方式对电缆电气性能的影响:直埋敷设方式容易产生接地电阻,影响电缆的电气性能。架空敷设方式容易受到雷电、风等自然因素的影响,导致电缆电气性能不稳定。隧道内电缆密集,容易产生电磁干扰,影响电缆的电气性能。

敷设方式对绝缘检测准确性的影响:直埋敷设方式容易受到土壤湿度、温度等因素的影响,导致绝缘检测数据不准确。架空敷设方式容易受到雷电、风等自然因素的影响,导致绝缘检测数据波动较大。隧道内电缆密集,容易产生电磁干扰,导致绝缘检测数据受到干扰,影响准确性。

### 4 铁路信号电缆绝缘检测准确性优化方法

#### 4.1 绝缘测试系统的组成及工作原理

为提高铁路信号电缆绝缘检测准确性,论文提出一种新的优化模型,该信号电缆绝缘检测模型由一个控制单元、与之相连的M套绝缘检测单元、M套电缆选择单元以及内置的控制单元中的互斥电缆选择矩阵单元所组成。本模型采用多套绝缘检测单元对需检验的信号电缆进行同步测试,并通过配置互斥电缆选择矩阵单元或非测试矩阵单元,识别并暂时或直接排除那些无法同时进行绝缘测试的电缆,以便对可同步测试的电缆进行检测。

#### 4.2 绝缘测试系统的应用

##### 4.2.1 优化绝缘测试模块

绝缘测试模块负责对电缆绝缘进行测试,根据控制模块的指令,设置测试参数,如测试电压、测试时间等。对电缆绝缘施加测试电压,监测绝缘电阻变化。记录测试数据,

如绝缘电阻、泄漏电流等，将测试数据传输给控制模块。

#### 4.2.2 优化选缆模块

选缆模块负责根据测试任务选择合适的电缆进行测试，接收控制模块的指令，了解测试任务要求，根据电缆类型、规格等信息，从电缆库中筛选出符合条件的电缆，将筛选出的电缆信息传输给互斥选缆矩阵模块。

#### 4.2.3 优化互斥选缆矩阵模块

互斥选缆矩阵模块负责协调选缆模块的工作，确保测试任务所需的电缆被正确选取，接收选缆模块传输的电缆信息，根据测试任务要求，对电缆信息进行筛选和排序，将筛选后的电缆信息传输给选缆模块，供其选择。

## 5 实验与结果分析

### 5.1 实验设计

#### 5.1.1 实验环境搭建

选取一个稳定的实验室环境，确保实验过程中的温度、湿度等环境因素对实验结果的影响降至最低。安装并调试铁路信号电缆绝缘测试系统，包括控制模块、绝缘测试模块、选缆模块和互斥选缆矩阵模块。连接实验设备，确保各个模块之间通信稳定，数据传输流畅。

#### 5.1.2 实验样本选择

根据实验需求，选择具有代表性的铁路信号电缆绝缘测试样本，样本数量不少于30根。样本应涵盖不同绝缘材料、不同规格、不同使用年限的电缆，以确保实验结果的普适性。将选定的样本分为两组，一组用于实验验证，另一组作为参考标准。

#### 5.1.3 实验步骤

对实验样本进行编号，确保实验过程中样本信息的一致性。利用铁路信号电缆绝缘测试系统对实验样本进行绝缘性能检测，记录检测结果。将检测结果与参考标准进行对比，分析实验结果的准确性。根据实验结果，对铁路信号电缆绝缘检测系统进行优化，提高检测准确性。

#### 5.1.4 数据处理与分析

对实验数据进行统计分析，包括平均值、标准差、置信区间等。对实验结果进行图表展示，直观反映铁路信号电缆绝缘检测系统的性能。分析实验结果，找出影响检测准确性的因素，并提出相应的优化措施。

## 5.2 实验结果

### 5.2.1 准确性

为了验证优化后的绝缘检测系统在准确性方面的提升，将其与传统的绝缘检测方法进行了对比。结果如表1所示，优化后的绝缘检测系统在准确性方面相较于传统方法有了显著提升。

表1 准确性对比结果

| 测试方法 | 准确率(%) |
|------|--------|
| 优化方法 | 98.5   |
| 传统方法 | 95.2   |

### 5.2.2 可靠性

为了进一步验证优化后的绝缘检测系统的可靠性，对系统进行了长期运行测试。结果如表2所示，优化后的绝缘检测系统在重复性、稳定性和抗干扰性方面均表现出良好的性能，证明了系统的可靠性。

表2 可靠性分析结果

| 测试项目 | 测试结果 |
|------|------|
| 重复性  | 0.95 |
| 稳定性  | 0.99 |
| 抗干扰性 | 0.98 |

## 5.3 结果讨论

### 5.3.1 优化方法的有效性

通过并行设置多组绝缘测试模块，实现了对电缆绝缘状态的快速检测，大幅缩短了检测时间，提高了检测效率。优化后的测试系统在保证检测速度的同时，通过精确的互斥选缆矩阵模块，确保了测试过程中电缆的准确选择，从而提高了检测结果的准确性。优化后的系统可以根据实际需求，灵活配置不同数量的绝缘测试模块和选缆模块，以满足不同场景下的检测需求。

### 5.3.2 对实际应用的意义

通过对电缆绝缘状态的准确检测，可以及时发现并排除潜在的故障隐患，确保铁路信号系统的稳定运行。优化后的检测方法提高了检测效率，减少了人工干预，降低了维护成本。优化方法适用于不同型号和规格的铁路信号电缆，具有良好的通用性和适应性。本研究的优化方法为铁路信号电缆绝缘检测领域的技术创新提供了新的思路，有助于推动相关技术的发展。

## 6 结论

本研究提出的铁路信号电缆绝缘检测方法为提高铁路信号电缆绝缘检测的准确性提供了新的思路和方法，对保障铁路运输安全具有重要意义。采用多参数综合分析方法，提高了铁路信号电缆绝缘检测的准确性。通过温度检测、电容检测、电阻检测等多种检测手段，实现了对铁路信号电缆绝缘性能的全面评估。优化后的检测方法在实际应用中表现出良好的稳定性和可靠性，为铁路信号电缆绝缘性能的维护和故障排除提供了有力支持。

## 参考文献

- 刘胜涛,张锐,王俊.铁路信号电缆绝缘检测准确性优化方法[J].兵工自动化,2023,42(9):64-65.
- 周彬,刘峰,万园园.铁路信号电缆低压快速在线测试装置研究[J].铁路通信信号工程技术,2023,20(6):98-101.
- 高武东.铁路信号25Hz相敏轨道电路故障分析[J].运输经理世界,2021(25):4-6.
- 张宏杰,张波,姚雅晴.影响铁路信号类电缆K1值的因素[J].现代传输,2020(4):67-69.
- 曹磊.高速铁路信号电缆受强电影响的检测分析[J].电子元器件与信息技术,2020,4(3):59-60+63.