

# Test method and parameter optimization of electrical insulation material

Zhaoran Han

Zhejiang Zheneng Jiaxing offshore Wind Power Generation Co., Ltd., Jiaxing, Zhejiang, 314050, China

## Abstract

Electrical insulation materials play a critical role in fields such as power and electronics, where their electrical performance directly impacts the stability and safety of electrical equipment. This study aims to explore the testing methods and parameter optimization of electrical performance in insulation materials, with a focus on analyzing common testing technologies, parameter settings, and optimization strategies. By systematically testing the electrical performance of electrical insulation materials and combining experimental data, the material formulation, manufacturing processes, and surface treatment technologies are optimized to improve the electrical performance and long-term stability of the materials. This paper also discusses the impact of various external factors on electrical performance and how optimizing test parameters can enhance the precision and reliability of the testing process. The results demonstrate that optimizing testing methods and parameters is of great significance for improving the performance of electrical insulation materials, which can effectively enhance the operational efficiency and safety of electrical equipment.

## Keywords

electrical insulation materials; electrical performance; testing methods; parameter optimization; material optimization

# 电气绝缘材料电性能测试方法与参数优化研究

韩照然

浙江浙能嘉兴海上风力发电有限公司, 中国·浙江 嘉兴 314050

## 摘要

电气绝缘材料在电力、电子等领域中扮演着至关重要的角色,其电性能的优劣直接影响到电气设备的稳定性与安全性。本研究旨在探讨电气绝缘材料的电性能测试方法与参数优化,重点分析常见的测试技术、参数设置以及优化手段。通过对电气绝缘材料的电性能进行系统性测试,结合实验数据,优化材料配方、制造工艺和表面处理技术,从而提高材料的电性能和长期稳定性。本文还介绍了不同外部因素对电性能的影响,以及如何通过优化测试参数来提高测试的精度和可靠性。研究表明,优化测试方法和参数对提高电气绝缘材料的性能具有重要意义,能够有效提高电气设备的运行效率和安全性。

## 关键词

电气绝缘材料;电性能;测试方法;参数优化;材料优化

## 1 引言

电气绝缘材料作为电力工程和电子设备中不可或缺的组成部分,广泛应用于电缆、变压器、开关设备等领域。随着科技的进步,对电气绝缘材料的要求不断提高,特别是在高电压、大电流及特殊环境下的应用中,绝缘材料的电性能至关重要。电气绝缘材料的电性能不仅决定其耐压、耐热、耐电场的能力,也影响到设备的稳定运行和使用寿命。为了评估和优化这些材料的电性能,研究人员采用了多种测试方法,如常规的直流电压测试、高频测试等。然而,这些测试方法往往存在一定的局限性,因此,如何通过优化测试参数,

提升测试精度与可靠性,成为当前研究的一个重要方向。本研究通过分析现有的测试技术,探索适用于不同电气绝缘材料的优化方法,力求提高其电性能和应用效果。

## 2 电气绝缘材料电性能的基本概述

### 2.1 电气绝缘材料的定义与分类

电气绝缘材料是指能够阻止电流流动的物质,它们在电气设备中用于隔离电导体与其他部件或环境,以防止电流泄漏。按材料的组成与性质,电气绝缘材料可分为固体、液体和气体三大类。固体绝缘材料常见的有塑料、橡胶、陶瓷、玻璃等,这些材料具有较高的机械强度和稳定的电性能,广泛用于电缆、电机等设备中。液体绝缘材料一般用于变压器油和冷却系统中,具有良好的介电强度和热稳定性。气体绝缘材料则常用于高电压设备中,如SF<sub>6</sub>气体在气体绝缘变

【作者简介】韩照然(1989-),男,蒙古族,中国内蒙古赤峰人,本科,工程师,从事电气工程研究。

压器中的应用。不同类型的电气绝缘材料具有不同的性能特点，选择合适的材料对于确保设备的电气安全与稳定性至关重要<sup>[1]</sup>。

## 2.2 电性能的关键指标

电气绝缘材料的电性能主要通过介电强度、介电常数、体积电阻率、击穿电压等指标来衡量。介电强度是指材料能够承受的最大电场强度，单位通常为 kV/mm。介电常数反映材料对电场的响应能力，影响电场分布与能量储存。体积电阻率则表示材料对电流流动的阻碍能力，体积电阻率越高，材料的绝缘性能越强。击穿电压是指在特定条件下材料发生电击穿的最低电压，击穿电压的高低直接影响到绝缘材料的耐高压能力。此外，绝缘材料的电导率和介质损耗因子也属于电性能的关键指标，这些参数决定了材料在实际应用中的可靠性与安全性。

## 3 电气绝缘材料的电性能测试方法

### 3.1 常规电气性能测试方法

常规的电气性能测试方法主要包括直流电压测试、交流电压测试与电阻率测试。直流电压测试通过施加一定的直流电压，测量电气绝缘材料的电流泄漏量，从而评估其电气绝缘能力。一般情况下，电流泄漏量应低于  $1\mu\text{A}$ ，以确保材料具有良好的绝缘性能。交流电压测试通常用于高电压设备中，测试材料在交流电压下的电气性能。实验表明，在 50Hz 交流电压下，材料的击穿电压通常可达 1000V 以上。电阻率测试则是测量材料对电流流动的阻抗，体积电阻率常见的标准值为  $10^{12}\Omega\cdot\text{cm}$  至  $10^{16}\Omega\cdot\text{cm}$ ，较高的电阻率表示材料的绝缘效果较好。此外，测试结果还可通过实验数据分析，判断材料在长期使用中的稳定性和适应性。

### 3.2 高频电性能测试方法

随着技术进步，电气绝缘材料的高频电性能测试逐渐成为重要的评估手段。高频电性能测试主要通过网络分析仪测量材料的反射系数、传输系数及介电常数等参数。常见的测试频率范围为 1MHz 至 1GHz。材料的介电常数在高频下通常较低，这对电气设备的传输性能和抗干扰能力至关重要。实验数据显示，频率从 100MHz 增加至 1GHz 时，某些材料的介电常数由 5 下降至 3，表明该材料在高频环境下具有较好的电气性能。在高频测试中，材料的损耗因子也是一个重要指标，损耗因子越小，表示材料的高频性能越好，适用于高速电路和射频应用领域。

## 4 电气绝缘材料电性能的影响因素

### 4.1 材料成分对电性能的影响

电气绝缘材料的电性能受其成分的显著影响。不同的原料和添加剂会改变材料的电气性能。例如，聚乙烯 (PE) 和聚丙烯 (PP) 这类材料具有较高的电阻率，通常为  $10^{15}\Omega\cdot\text{cm}$  到  $10^{18}\Omega\cdot\text{cm}$ ，适用于低电压应用。而在高电压环境下，掺入如硅胶或氟化物的复合材料通常会显

著提高其介电强度和耐高压能力，击穿电压可以达到 50kV 以上。此外，添加如石墨、碳黑等导电性材料会增加材料的电导率，降低其绝缘性能，广泛应用于需要导电性能的复合材料中。研究表明，通过改变材料的化学组成和混合比例，可以在保证其绝缘性能的基础上，使其具有更高的抗击穿电压和更长的使用寿命。例如，某些改性聚合物的体积电阻率达到  $10^{16}\Omega\cdot\text{cm}$ ，表现出良好的耐高压性能<sup>[2]</sup>。

### 4.2 温度与湿度对电性能的影响

温度与湿度是影响电气绝缘材料电性能的重要因素。温度升高时，材料内部的分子运动增加，导致其电导率上升，绝缘性能下降。例如，当温度达到 80°C 时，聚乙烯的体积电阻率可能下降约 30%。在高温环境下，某些材料的介电常数也会发生变化，使其电气性能受到影响。湿度对电气绝缘材料的影响尤为显著。水分渗透到材料内部后，会改变其电导率和击穿电压，尤其是在高湿环境下，材料的电绝缘性降低较为明显。实验数据显示，当相对湿度达到 90% 以上时，材料的电阻率通常下降 20% 至 30%，其击穿电压也可能减少 10kV 以上。因此，温度和湿度的变化必须被充分考虑，尤其在高湿、低温环境中使用的绝缘材料需要具备更强的抗湿性能和温度适应性。

### 4.3 外部电场和电流对电性能的影响

外部电场和电流对电气绝缘材料的电性能有着重要影响。电场强度的增大会导致材料内部电荷的积累和电流泄漏，最终可能导致击穿。例如，在高电场下，材料的介电强度可能下降 10% 至 15%。高电场作用下，部分绝缘材料的击穿电压从 60kV 下降至 50kV，表明其电气性能受到了影响。电流通过材料时，电流的大小和频率对电气绝缘材料的影响也十分显著。在高频电流作用下，材料的介电常数和损耗因子往往会增大，导致其电性能恶化。实验数据显示，在 1MHz 的高频电流下，某些材料的损耗因子从 0.001 上升到 0.005，表明材料在高频环境中的电气性能明显下降。因此，外部电场和电流的作用需要在材料选择和应用中得到充分考虑，以确保材料在实际工作环境中的电气性能稳定。

## 5 电气绝缘材料电性能的优化策略

### 5.1 材料配方的优化

电气绝缘材料的电性能可以通过优化其配方来显著提升。通过调整基础材料的种类、比例和掺入不同的填料，能够改善其耐压性、介电强度及热稳定性。例如，在聚乙烯中加入适量的二氧化硅或氟化物，可以提高其抗击穿能力和耐高压性能，使其在高压环境下的使用寿命延长 20% 以上。对于某些高压应用领域，采用含氟的聚合物材料可以有效提高其电气性能，尤其在极端条件下表现出较强的绝缘性能。此外，改变材料的聚合度和交联度也有助于提升其电性能。通过调节不同的聚合反应条件，能够优化材料的分子结构，提高其电阻率和击穿电压，使其更适合高压、复杂环境下的

使用<sup>[3]</sup>。

## 5.2 制造工艺的改进

制造工艺直接影响到电气绝缘材料的电性能。改进材料的加工工艺，能够有效提高其表面光滑度、致密性和内部结构的均匀性，从而增强材料的绝缘性。例如，通过提高挤出工艺中的温度和压力，可以使材料分子更加均匀地排列，减少气泡和杂质的存在，进而提升材料的介电强度。采用优化的注塑工艺，也能有效降低材料的内部缺陷，提高其电性能。在高频应用中，通过精确控制工艺参数，还能降低材料的损耗因子，使其在高频条件下表现出更优越的电气性能。实验表明，经过优化后的材料在击穿电压、绝缘电阻等方面的表现提高了15%以上。

## 5.3 表面处理与添加剂的使用

表面处理和添加剂的使用是优化电气绝缘材料电性能的有效手段。通过表面处理，可以改善材料的界面特性和表面光洁度，减少表面缺陷，降低击穿电场强度。例如，表面涂覆一层金属氧化物薄膜，能够显著提高材料的抗击穿电压，并有效抑制表面电荷的积累，减少电场集中效应。添加剂的选择同样影响材料的电性能。抗氧化剂、紫外线吸收剂等添加剂的使用能够延长材料的使用寿命，改善其耐高温、耐湿性。在电气绝缘材料中加入微量的氟化物或聚合物改性剂，能够有效提升其介电强度和耐高压能力。实验结果显示，使用这些添加剂后，材料的击穿电压和介电常数改善了20%以上，显著提高了其电气性能。

# 6 电气绝缘材料电性能测试标准与质量控制

## 6.1 测试标准与规范

电气绝缘材料的电性能测试需要遵循一定的标准与规范，以确保测试结果的准确性与可比性。国际电工委员会（IEC）和国家标准化组织（如GB标准）制定了一系列关于电气绝缘材料测试的标准。例如，IEC 60243-1标准规定了用于测试绝缘材料击穿电压的试验方法，确保测试的统一性和可靠性。在中国，GB/T 1408.1-2006标准规定了电气绝缘材料的介电强度测试方法，涵盖了直流和交流电压测试的要求。此外，ISO 9001质量管理体系标准也被广泛应用于电气绝缘材料的生产和测试过程中，确保每一批材料的电性能符合预定的质量标准。这些标准和规范不仅为生产和测试提供了明确的操作指南，也为材料的应用提供了技术依据。

## 6.2 质量控制措施与检测技术

为了确保电气绝缘材料的电性能达到要求，质量控制措施与检测技术是必不可少的。首先，原材料的选择和进料

检验至关重要，只有符合质量标准的原料才能保证最终产品的性能。生产过程中的过程控制同样重要，包括控制加工温度、压力等工艺参数，避免产生缺陷或性能不一致的材料。对于成品材料，采用先进的检测技术进行电性能测试，例如使用高精度的电压测试仪器和频率分析仪，精确测定材料的介电强度、体积电阻率和介电常数等关键指标。同时，采用环境模拟设备，进行温湿度、压力等外部条件变化下的性能检测，确保材料能够在极端环境下保持稳定的电性能。此外，应用统计学方法对检测数据进行分析，建立质量管理体系，确保产品质量符合标准要求，减少次品率。

## 6.3 电气绝缘材料的测试数据分析与评估

电气绝缘材料的测试数据分析与评估是确保材料性能达标的关键环节。在测试过程中，首先要对测试数据进行初步筛选，剔除异常数据，确保数据的代表性和可靠性。数据的统计分析可以采用均值、标准差等方法，对不同批次材料的电气性能进行比较，评估其稳定性和一致性。为了深入分析材料的电性能，可以通过回归分析等方法，研究材料电性能与环境因素（如温度、湿度等）的关系，从而优化材料配方与生产工艺。在评估阶段，需根据测试结果与标准要求进行比对，确保材料的电气性能达到预定标准。如果测试数据不符合标准要求，则需要进行工艺调整或原料替换，直到满足性能要求。通过科学的测试数据分析与评估，能够有效提升电气绝缘材料的质量和性能。

# 7 结语

电气绝缘材料的电性能对各类电气设备的稳定性与安全性至关重要。通过对电气绝缘材料的电性能测试方法及参数优化的探讨，可以看出，材料成分、外部环境以及测试技术的不断改进，对提高绝缘材料的性能起到了积极作用。优化材料配方、改进生产工艺及合理使用添加剂，有助于提升材料的击穿电压、介电常数等关键电性能指标。随着技术的不断进步和材料科学的创新，电气绝缘材料的性能测试和优化方法将不断完善，推动电气行业向更高效、更安全的方向发展。

## 参考文献

- [1] 张丽,吴敏英,李智,孙文星,付强,唐念,林木松,孙宇.填料硅微粉含量及固化参数对环氧树脂绝缘材料电气性能的影响研究[J].广东化工,2025,52(15):1-4.
- [2] 樊艳.基于PLC的高压电气绝缘材料性能测试装置研究[J].电气技术与经济,2025,(07):13-15.
- [3] 雷霆,闫国兵,钟力强,王流火,王柯.基于Matlab的绝缘材料电气性能测试系统设计[J].计算机测量与控制,2020,28(07):24-28+85.