

电线电缆导体直流电阻测试影响因素分析

周亚玲

(无锡工艺职业技术学院, 江苏 宜兴 214200)

摘要 导体直流电阻作为电线电缆产品重要的电性能指标, 精准测量对电线电缆产品质量控制和成本控制具有非常重要的意义。导体直流电阻的测试值易受测试环境温度、设备精度、测试者经验等因素的影响而产生误差导致误判。本文通过设计试验分析恒温时间和夹具夹紧力对试验结果的影响, 通过试验数据分析, 推荐 25 mm² 的试样恒温放置 40 min, 70 mm² 的试样恒温放置 90 min, 240 mm² 的试样恒温放置 180 min; 在大截面铝导体测试时推荐在夹具刀口与试样刚好接触后再转半圈可以得出相对准确的试验数据。

关键词 电线电缆; 导体直流电阻; 测试原理; 样品放置时间; 夹紧力

基金项目: 2024年无锡市职业技术教育学会研究课题——“新质生产力背景下高职现场工程师培养的挑战与策略”研究成果(课题编号: wxzj24B03)。

中图分类号: TM246; TM934.1

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)12-0010-03

电线电缆被誉为工业的血管和神经, 在现代社会中具有重要的地位和作用。导体直流电阻是考核电线电缆电性能的重要指标之一, 其值应小于相关标准中的规定值。导体直流电阻值越大, 电缆载流量越小, 线路损耗越大, 电缆发热量也随之增大, 容易引起火灾, 对人民的生命财产造成威胁。同时, 导体成本占电线电缆产品成本的60%左右, 在电线电缆产品成本中占比最大。因此, 各电线电缆生产企业均需精准控制电阻水平, 避免不合格品产生或质量过剩影响成本。然而, 导体直流电阻在测试过程中容易受到测试环境、测试设备、测试方法等各方面因素的影响, 导致误差较大的试验数据^[1]。因此, 研究电线电缆导体直流电阻测试影响因素, 对电线电缆产品质量控制和成本控制都有重要的意义。

1 电线电缆导体直流电阻测试原理概述

电线电缆导体直流电阻的测试原理主要基于欧姆定律, 即电阻 R 、电压 U 与电流 I 之间的关系为:

$$R=U/I \quad (1)$$

在测试过程中, 主要采用单臂电桥法(惠斯登电桥)及双臂电桥法(开尔文电桥)。双臂电桥法的准确度高于单臂电桥法, 单臂电桥法可以消除伏安法带来的系统误差, 但不能消除导线电阻和接触电阻对测量结果的影响, 双臂电桥法可消除导线电阻和接触电阻的影响。依据 GB3048.4-2007 规定, 双臂电桥法测量范围为(2×10⁻⁵~99.9)Ω, 单臂电桥法测量范围为(1~99.9)Ω及以上。

2 电线电缆导体直流电阻测试过程

2.1 测试环境控制

为确保测试结果的准确性, 测试环境需严格控制, 主要包括以下几个方面:

1. 温度控制: 温度是影响导体电阻的重要因素, 通常需将测试环境温度稳定在标准规定的范围内, 型式试验应将温度控制在(15~25)℃内, 在试验过程中, 环境温度波动应不超过±1℃; 例行试验应将温度控制在(5~35)℃之间^[2]。并记录实际测试温度, 以便后续进行温度修正。

2. 湿度控制: 避免过高或过低的湿度对测试结果造成影响, 一般要求环境湿度不超过85%。

3. 电磁干扰防护: 测试现场应远离强电磁场源, 如大型电机、变压器等, 以减少外界电磁干扰对测试结果的影响。

4. 防振动处理: 测试设备应置于能防止振动的测试环境中, 避免因振动干扰测试设备导致误差。

2.2 测试设备选择

根据被测试样型号规格预估测量值, 正确选择电桥型号及测量系统, 包含标准电阻、直流电源、检流计、四端夹具等。夹具应确保试样与测试设备间良好接触, 减少接触电阻对测试结果的影响。本文使用的设备是型号为 QJ36B-2 的数字电桥。

2.3 试样制备

1. 取样: 根据标准要求, 从待测电线电缆中截取足够长度的导体作为试样, 通常取 1.4 m, 试样有效长

度为 1 m。大截面铝导体推荐根据截面积大小来确定试样长度，截面为 95 ~ 185 mm² 通常取 3 m，截面为 240 mm² 及以上取 5m。如有争议，截面为 185 mm² 及以下取 5 m，截面为 240 mm² 及以上取 10 m。

2. 制样：去除试样两端与测量系统相连接部分的外层结构，露出导体。试样端头剥除外层覆盖物的时候，不能损伤导体，特别是小截面导体和多股绞合的柔软导体。

3. 端头处理：去除试样端头表面的油污、氧化层等，保持试样端头表面干净。测量大截面铝导体时，在样品端头要压接（铝鼻子），且其电位电极应采用直径 0.7 ~ 1.0 mm 的软铜丝在绞线外紧密绕两圈后打结，以防松动。

4. 试样校直：如有需要将试样校直，应确保试样即不弯曲也不发生延伸。

2.4 测试步骤

1. 试样的条件化处理：测试前，应将制备好的试样放置于恒温恒湿防振的标准试验环境中足够长时间，使试样的温度和试验环境温度达到平衡，通过测量环境温度代替试样温度。

2. 温度测定：测试环境温度时温度计离地面至少 1 m，离试样不超过 1 m 且与试样大致处于同一高度，离墙不小于 10 cm。

3. 设备运行检查：根据不同型号规格的设备操作要求对设备进行相应的调零、校准、灵敏度调节等操作^[3]。

4. 线路连接：将试样与四端夹具连接，试样与夹具的刀口接触即可。

四端夹具电流端 C1、C2，电位端 P1、P2 与电桥对应电流端 C1、C2，电位端 P1、P2 相连。

5. 测试：闭合直流电源，待电桥平衡（检流计的指针指向零）后读取测试数据，记录至少四位有效数。当试样的电阻小于 0.1 Ω 时，应将开关换向，用相反方向电流再测量一次，取二位读数的平均值。对细微导体测量时，应选择适当的电流密度进行测量，避免因电流密度过大产生温升，一般铝芯不大于 0.5 A / mm²，铜芯不大于 1 A / mm²。可使用“1:1.41”两个倍率电流进行测试，误差不超 0.5% 则认为未产生温升。

6. 数据处理：根据 GB3048.4-2007 中的标准温度下单位长度电阻值换算公式（2），将实测电阻值修正至标准温度（通常为 20 °C）下的值。

$$R_{20} = \frac{R_x}{1 + \alpha_{20}(t - 20)} \cdot \frac{1000}{L} \quad (2)$$

7. 结果判定：依据相关产品标准要求，将测试结果与标准值或设计要求进行对比，判定样品导体直流电阻是否合格。

3 电线电缆导体直流电阻测试影响因素分析

导体直流电阻测试过程中受到试验环境温湿度、测试设备精度、测试人员经验等方面多重因素的影响。因导体的结构、材质、截面不同，影响因素也有所不同，准确测量导体直流电阻存在一定难度。我们将通过以下两个案例来分析导体直流电阻测试中关键的影响因素^[4]。

3.1 样品放置时间对导体直流电阻的影响

样品放置时间对电线电缆导体直流电阻的影响主要体现在导体温度与环境温度之间的平衡关系上。在电线电缆导体直流电阻的检测中，确保导体温度与环境温度达到稳定平衡是至关重要的，这是因为导体温度是影响导体直流电阻的关键因素之一，在实际检测过程中，检测人员往往为了追求工作效率，在样品放置时间不足以使样品温度与环境温度平衡的情况下，直接将环境温度等同于导体温度，忽略了两者的温差，导致误差^[5]。比如，铝导体温度为 21 °C，环境温度为 20 °C，通过公式（2）换算后误差为 0.4%，超过了 GB/T3048-2007 允许测量误差在 ±0.3% 的范围^[6]。

3.1.1 试验设计

在同一个标准化试验室里，同一个测试人员，使用同一台设备，在同一批试样上，分别对截面积为 25 mm²、70 mm² 和 240 mm² 的铝导体进行不同放置时间段的导体直流电阻测试，测试数据见表 1 至表 3。

表 1 25 mm² 导体不同放置时间直流电阻测试数据表

试样标称截面 (mm ²)	20 °C 标准最大电阻值 (Ω/km)	试样放置时间 (min)	20 °C 实测电阻值 (Ω/km)
25 mm ²	0.727	20	0.72216
		30	0.71977
		40	0.71652
		50	0.71638
		60	0.71627
		70	0.71619

表 2 70 mm² 导体不同放置时间直流电阻测试数据表

试样标称截面 (mm ²)	20 °C 标准最大电阻值 (Ω/km)	试样放置时间 (min)	20 °C 实测电阻值 (Ω/km)
70 mm ²	0.268	60	0.26230
		70	0.26184
		80	0.25931
		90	0.25549
		100	0.25544
		110	0.25521

表3 240 mm² 导体不同放置时间直流电阻测试数据表

试样标称截面 (mm ²)	20 °C 标准最大电阻值 (Ω/km)	试样放置时间 (min)	20 °C 实测电阻值 (Ω/km)
240 mm ²	0.0754	120	0.07492
		150	0.07458
		180	0.07425
		210	0.07423
		240	0.07419
		270	0.07420

3.1.2 数据分析

通过对表1至表3的数据分析,我们发现导体直流电阻的数值随着试样放置时间的增加而呈下降趋势,最终趋于稳定。在每一组试验中,只有试样放置时间这一条件发生变化,结合公式(2),可以得出试样放置时间影响导体的实际温度,进一步影响测试数据。因此,为了确保检测结果的准确性和可靠性,需要按照相关标准和规范要求,在适当的温度和环境条件下放置足够长的时间,使导体温度与环境温度达到稳定平衡。放置时间与导体截面积相关,随着截面积的增大,放置时间增加。

通过上述试验数据分析,推荐25 mm²的试样放置40 min,70 mm²的试样放置90 min,240 mm²的试样放置180 min。

3.2 夹具的夹紧力对大截面铝导体直流电阻的影响

大截面铝导体直流电阻测试一直是企业比较关注的问题。此类导体在测试中通常受到夹具形状、夹紧力、端头形式及电流引入方式的影响,从而导致测试数值忽大忽小,难以正确判定产品直流电阻是否合格^[7]。主要原因在于铝线在空气中容易氧化,形成一层氧化膜包覆在表面,导致测试电流不能均匀的流过试样的每一根单丝。针对这一情况,目前企业普遍采用压接铝鼻子的方法来处理。

另外,在测试过程中还要求电位电极和电流电极均与试样紧密接触,这需要考虑夹具夹紧力大小这一因素。

3.2.1 试验设计

以185 mm²的大截面铝导体为案例,在同一个标准化试验室里,同一个测试人员,同一台试验设备,在同一段试样上,在试样与夹具刀口“接触即可”的情况下进行5次测试,在试样与夹具刀口接触后“再紧半圈”的情况下进行5次测试,数据见表4。

3.2.2 数据分析

通过对表4的数据进行分析,发现在试样与夹具“接触即可”的情况下,测试的最大值与最小值相差0.038;而试样与夹具刀口接触后“再紧半圈”的情况下这组数据最大值与最小值相差0.009,离散度明显比接触即可那一组数据小很多,后期经过多次试样验证,发现该组数据基本是可信的。因此,在大截面铝导体测试时推荐在夹具刀口与试样刚好接触后再转半圈可以得出相对准确的试验数据。

表4 185 mm² 导体直流电阻测试数据表

测试次数	20 °C 标准最大电阻值 (Ω/km)	接触即可的电阻值 (Ω/km)	接触后加半圈的电阻值 (Ω/km)
1	0.164	0.181	0.149
2		0.162	0.151
3		0.143	0.155
4		0.168	0.152
5		0.147	0.158

4 结束语

电线电缆产品型号规格较多,不同材质、规格、结构的导体在直流电阻测试中有不同的难点,需要从取样、制样、测试环境条件与设备、测试方法等多个环节进行综合考虑和控制。本文通过设计试验,分析样品放置时间和夹具夹紧力大小与试验结果之间的关系,为企业导体直流电阻控制工作提供有效参考。

参考文献:

- [1] 曹卫卫. 电线电缆导体直流电阻检测过程中的问题与处理对策[J]. 机械工程与自动化,2022(01):150-151.
- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T3048.4—2007 电线电缆电性能试验方法 第4部分:导体直流电阻试验[S].2007.
- [3] 游龙. 基于电线电缆导体直流电阻检测问题及改进方法研究[J]. 电气技术与经济,2023(01):83-85.
- [4] 田战玲. 电线电缆导体直流电阻试验要点及影响因素[J]. 价值工程,2020,39(10):270-271.
- [5] 谢莉杰. 大截面铝导体电缆导体直流电阻测量不确定度评定与分析[J]. 计量与测试技术,2022(06):49.
- [6] 郑翔宇,秦云汉. 浅谈温度对导体线芯直流电阻的影响[J]. 电器工业,2021(03):77-78.
- [7] 初庆林,龙芹,李勇. 电线电缆导体直流电阻测量不确定度来源分析[J]. 电工技术,2019(20):60-62.