

电气产品的电气间隙和爬电距离试验分析

陆俊阳¹ 武博² 赵永刚¹ 陈大伟¹

(1. 甘肃电器科学研究院 2. 三峡新能源清水发电有限公司)

摘要：近年来，随着新能源、智能制造等技术的快速发展，电气产品的智能化、微型化成为主要发展方向，越来越多的智能化电气产品影响着我们的生活。同时，由于电气产品引发的触电、着火等危害也较为突出。因此，电气产品的安全性能设计尤为重要，电气间隙和爬电距离是其中最重要的环节。为了研究影响电气间隙和爬电距离的因素，本文结合接线端子电气间隙和爬电距离测量实例进行分析。

关键词：爬电距离；电气间隙；污染等级；安全

0 引言

在电气产业快速发展的今天，电气产品的安全性已经成为考核产品性能的重要指标，其质量直接关系到产品的可靠运行和人民的生命财产安全。在电气产品设计过程中首先考虑的是电气间隙和爬电距离，只有在满足最小电气间隙和爬电距离的前提下，才能保证产品的可靠运行。如果电气产品的电气间隙和爬电距离过小时，可能会造成短路、绝缘击穿、漏电等现象，从而影响产品的使用寿命以及威胁到人身安全。因此，电气产品的电气间隙和爬电距离测量被列为型式试验和出厂试验的必测项目，试验人员只有在正确评定影响电气间隙和爬电距离的因素的基础上，才能准确测量电气间隙和爬电距离。

1 电气间隙和爬电距离

1.1 电气间隙

电气间隙就是两个导电部件之间最短的直线距离^[1]。

通常产品的电气间隙根据材料的绝缘类型、绝缘材料的污染等级、产品适用场所的海拔高度以及周围的电场条件等因素来确定。

海拔高度：随着海拔高度增加，大气压强降低，电气产品的电气间隙随着海拔高度的增加也相应变大，产品在不同海拔高度下对应的电气间隙倍增系数如表1所示。

表1 海拔高度倍增系数对应表

海拔高度范围	倍增系数
≤2000m	1.0
2001~3000	1.14
3001~4000	1.29
4001~5000	1.48

电场条件：导电部件的布置直接影响电场强度的均匀性，均匀性不同的电场对电气间隙的要求不同，非均匀电场比均匀电场的电气间隙要求大^[2]。

1.2 爬电距离

基金项目：秦州区科学技术研究与开发项目（2024-SHFZG-1634）。

爬电距离是两导电部件之间沿绝缘材料表面的最短距离^[2]。

爬电距离主要与绝缘类型、污染等级、材料组别和工作电压有关。

绝缘类型主要分为基本绝缘、功能绝缘、附加绝缘和加强绝缘。

绝缘材料的材料组别根据相比漏电起痕指数 CTI 划分情况如表 2 所示。

表 2 材料组别划分表

材料组别	CTI
I	CTI $\geq$ 600
II	600>CTI $\geq$ 400
IIIa	400>CTI $\geq$ 175
IIIb	175>CTI $\geq$ 100
CTI 值的具体测试依据 GB/T4207 中的测试方法进行	

对电器产品使用环境的污染等级 GB/T14048.1—2012 进行详细说明。为了便于确定爬电距离和电气间隙，标准中对环境的污染等级规定为 4 级^[1]：

污染等级 1：无污染或仅有干燥的、非导电性的污染，该污染没有任何影响^[2]。

污染等级 2：一般仅有非导电性污染，或因凝露导致的短暂的导电性污染^[2]。

污染等级 3：有导电性污染或由于预期的凝露使干燥的非导电性污染变为导电性污染^[2]。

污染等级 4：持久的导电性污染，例如由于带电尘埃或雨、雪等引起的污染^[2]。

在实际应用中为了增大产品的电气间隙和爬电距离，会在绝缘材料表面增加槽或缝隙，从而来改变两个导电部件之间的电气间隙和爬电距离路径。根据标准规定，绝缘材料表面槽或缝隙的宽度小于 X 时，爬电距离直接从绝缘材料表面跨越，槽或缝隙的深度可忽略。 X 值的大小是根据污染等级确定的。表 3 为槽或缝隙宽度与污染等级的对应关系。

表 3 槽或缝隙宽度 X 的最小限值

污染等级	槽或缝隙宽度 X 的最小限值 (mm)
1	0.25
2	1.0
3	1.5
4	2.5

如果有关产品的电气间隙小于 3mm 时，则 X 值可减少至该电气间隙的 1/3^[3]。

2 电气间隙和爬电距离测量实例分析

2.1 样品描述

本次试验的样品为一个特制的接线端子，样品外观如图 1 所示。本次能力验证的样品已通过均匀性检验。

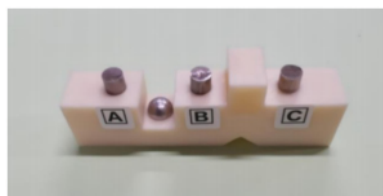


图 1 实物图

2.2 检测方法说明

1) 试验前，将样品放置在试验室环境温度中达到稳定状态。

2) 附件与主体间黏合固定，不易松动。

3) 设定样品污染等级为 2。试验过程中对样品造成的污染可忽略。

4) 直径 4mm 的金属圆柱体 A、B、C 为导体，金属导体顶端与接线端子上表面的距离为 5mm，金属导体底部嵌入接线端子下表面 2mm，如图 2 所示^[5]。

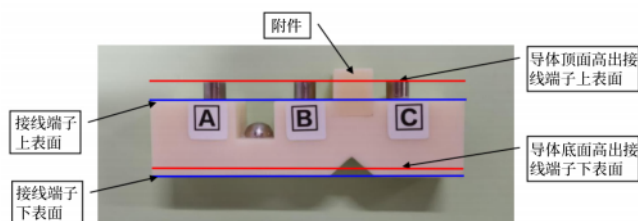


图 2 导体表面与接线端子平面高度示意图

5) 分别测量以下测试项目, 并绘制路径图。① 导体 A 与 B 之间沿接线端子上表面的电气间隙和爬电距离; ② 导体 B 与 C 之间沿接线端子上表面的电气间隙和爬电距离; ③ 导体 B 与 C 之间沿接线端子下表面的电气间隙和爬电距离。

2.3 本次计划依据的试验标准

GB/T 14048.1—2012、GB/T10963.1、GB/T16917.1、GB/T7251.1、GB/T12350、GB/T14711、GB/T15579.1、《CTL 决议单 590》等相关的标准。

2.4 电气间隙和爬电距离的测量方法及路径分析

2.4.1 导体 A 与 B 之间沿端子上表面的电气间隙和爬电距离测量路径

(1) 电气间隙测量路径

如图 3 所示, 导体 A 与 B 之间的电气间隙路径为: AB。经测量, 导体 A 与 B 之间的电气间隙 $AB=18.8\text{mm}$ 。

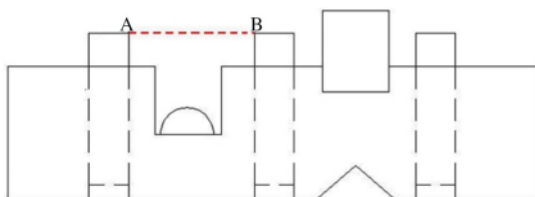


图 3 A 与 B 之间电气间隙测量路径示意图

(2) 爬电距离测量路径

如图 4 所示, 导体 A 与 B 之间的爬电距离路径为: $A_1D+DE+EF+GH+HI+IB_1$ 。经测量, 导体 A 与 B 之间的爬电距离 $A_1D+DE+EF+GH+HI+IB_1=29.64\text{mm}$ 。

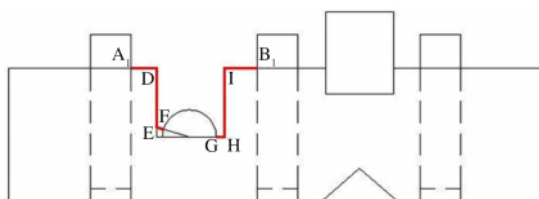


图 4 A 与 B 之间爬电距离测量路径示意图

2.4.2 导体 B 与 C 之间沿接线端子上表面的电气间隙和爬电距离测量路径

(1) 电气间隙测量路径

如图 5 所示, 导体 B 与 C 之间的电气间隙路径为: $B_2P+PQ+QC$ 。经测量, 导体 B 与 C 之间的电气间隙: $B_2P+PQ+QC=20.66\text{mm}$ 。

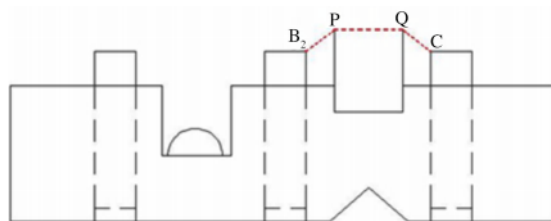


图 5 B 与 C 之间沿接线端子上表面电气间隙测量路径示意图

(2) 爬电距离测量路径

如图 6 所示, 导体 B 与 C 之间的爬电距离路径为: $B_3M+MP+PQ+QN+NC_1$ 。经测量, 导体 B 与 C 之间的爬电距离 $B_3M+MP+PQ+QN+NC_1=34.83\text{mm}$ 。

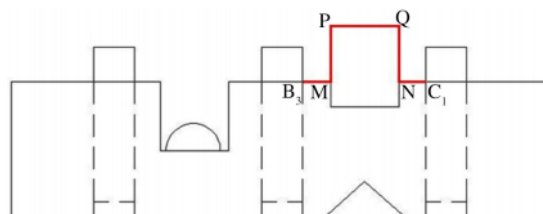


图 6 B 与 C 之间沿接线端子上表面爬电距离测量路径示意图

2.4.3 导体 B 与 C 沿接线端子下表面的电气间隙和爬电距离测量路径

(1) 电气间隙测量路径

如图 7 所示, 导体 B 与 C 之间的电气间隙路径为: $B_4B_5+B_5M_1+M_1N_1+N_1C_3+C_3C_2$ 。经测量, 导体 B 与 C 之间的电气间隙 $B_4B_5+B_5M_1+M_1N_1+N_1C_3+C_3C_2=22.8\text{mm}$ 。

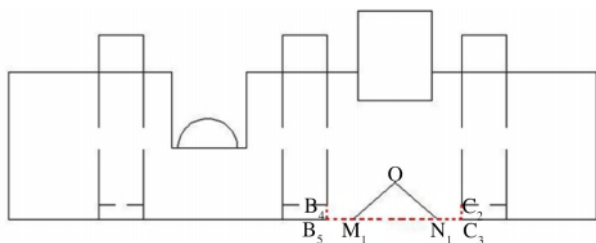


图 7 B 与 C 之间沿接线端子下表面电气间隙测量路径示意图

(2) 爬电距离测量路径

如图 8 所示, 导体 B 与 C 之间的爬电距离路径为: $B_4B_5+B_5M_1+M_1O+ON_1+N_1C_3+C_3C_2$ 。经测量, 导体 B 与 C 之间的爬电距离 $B_4B_5+B_5M_1+M_1O+ON_1+N_1C_3+C_3C_2=26.14\text{mm}$ 。

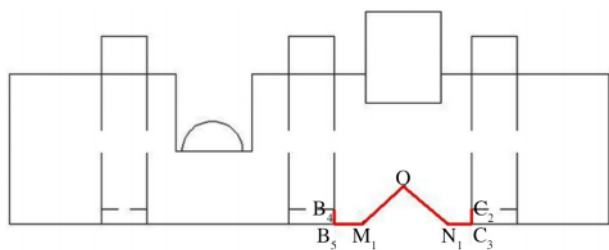


图 8 B 与 C 之间沿接线端子下表面爬电距离测量路径示意图

3 结束语

综上所述, 电气间隙和爬电距离直接关系到电气产品的安全可靠运行, 在测量过程中测量路径及测量方法的选择至关重要, 直接决定测量结果的准确性。在电气间隙和爬电距离的测量过程中, 要充分考虑标准中列出的可以进行跨接的各种特殊情况, 寻找电气

间隙和爬电距离的最短路径进行测量, 特别是要根据污染等级确定出最小跨接距离 X 值, 对于复杂的情况采取测量与计算相结合的方式获得最终结果。对于跨越不同平面的电气间隙和爬电距离的测量, 可以采用绘制样品立体图形的方式来绘制出电气间隙和爬电距离的最短路径, 再通过计算的方式确定最终结果。在电气间隙和爬电距离测量过程中, 要充分考虑环境污染等级、绝缘材料、额定绝缘电压等使用条件 and 环境因素的影响, 同时要根据被测产品的实际状况选择合适的测量工具, 从而确保测量结果的准确性^[5]。

参考文献

- [1] GB/T14048.1—2012 低压开关设备和控制设备 第 1 部分: 总则 [S]. 2013.
- [2] GB/T16935.1—2008 低压系统内设备的绝缘配合 第 1 部分: 原理、要求和试验 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [3] GB/T4207—2012 信息技术设备安全 第 1 部分: 通用要求 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [4] 陆俭国. 低压电器的试验与检测 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [5] 黄科. 印制板中爬电距离和电气间隙检测的探讨 [J]. 印制电路信息, 2013 (6): 56-60.

(收稿日期: 2024-05-17)