

输电线路复合绝缘子均压环分析

戴永龙, 白少锋

(镇江供电公司, 江苏 镇江 212000)

摘 要: 由于复合绝缘子所特有的长棒式阻性型结构, 均压环对于复合绝缘子的正常运行有重要影响; 但是目前尚无复合绝缘子均压环的国家标准, 均压环在实际应用中存在不少问题, 本文结合现场实例, 简要分析了均压环的作用及影响均压环作用的因素, 并列举了均压环施工、运行中普遍存在的问题, 最后针对这些问题提出一些改进措施。

关键词: 输电线路; 复合绝缘子; 均压环

1 问题的提出

由于复合绝缘子具有的强度高, 重量轻、耐污闪性能优良、运行维护方便等明显的优点, 目前在35kV~500kV 等各个电压等级得到广泛的使用, 特别是在江苏等经济发达、污秽较为严重的地区, 合成绝缘子已经成为直线杆塔绝缘子的首选, 在镇江500kV 江晋、江陵线长江大跨直线跨越塔上, 也第一次将42t 合成绝缘子用在跨越档距超过1800 米的大型跨越上。由于复合绝缘子所特有的长棒式阻性型结构, 在高电压等级的线路上使用时必须使用均压环来改善其表面的电场分布, 但是目前复合绝缘子无均压环制造、尺寸和罩入距尺寸的国家标准, 因此现场使用的均压环样式五花八门, 安装方式各异, 在施工、验收、挂网运行中出现不少问题, 本文从实际应用角度对复合绝缘子均压环进行分析, 结合现场运行经验提出优化的均压环配置方案。

2 合成绝缘子均压环作用简析

众所周知, 绝缘子的电压分布与其自身的对地电容量有关, 对地电容量大的绝缘子电压分布趋于平均, 反之则不均匀。复合绝缘子较之瓷或玻璃绝缘子的对地电容小, 所见电压的分布极不均匀。有关实验结果表明, 110kV 复合绝缘子最高电场强度与最低电场强度间, 其差异达3 倍以上。这种电压的不均匀分布, 电压等级越高, 表现愈加明显。理论计算表明, 在电压超过330kV, 整支合成绝缘子其靠近带电端的电场强度, 已经超过了空气的击穿强度[空气临界场强 $\approx 30 \text{ kV/cm}$ (幅值)]。因此,

在110kV 及以上的线路上应适当配置均压环来使复合绝缘子表面的电场强度更加均匀^[1]。常见复合绝缘子均压环安装示意图见图1。

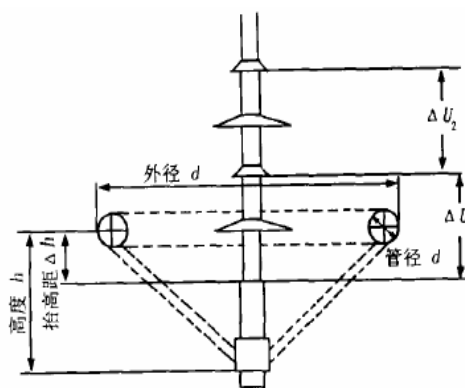


图1 均压环安装示意图

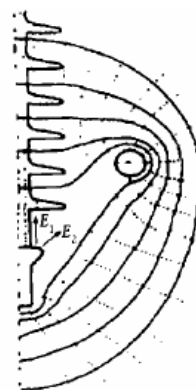


图2 复合绝缘子高电位侧电场分布模拟图

加装均压环后绝缘子高压端电场分布见图2, 最大场强从高压电极与第一个伞盘间移到了保护环的外侧, 最大场强值也显著降低, 电场分布趋于均匀, 可见加装均压环是改善复合绝缘子电场分布的

有效措施^[2]。

除此之外，合成绝缘子上配置均压环，除了具有均压效果外，还可起到引弧作用，线路上生产的放电闪络发生两环之间，保护合成伞裙表面不被灼伤；同时还具有减弱端部局部电晕的作用，兼顾重锤作用的配重均压环，以及考虑在雷击频繁地区防雷的需要^[3]。

3 影响复合绝缘子均压环作用因素分析

虽然均压环能改善复合绝缘子的整体分布电压，明显地降低芯棒、金具连接处的场强，但其效果还是没有盘形绝缘子串分布的均匀。均压环对复合绝缘子分布电压的改善效果主要受以下几个因素的影响：

3.1 均压环形状及材料的影响

均压环的形状一般有圆形环（环的材料为圆形铝合金）、圆形并有一开口（材料同前）、圆形开口羊角环（材料同前）、圆形并有一开口（材料带状铝）等。实验证明：采用开口均压环的放电电压比整个圆环均压环的电压值稍低；采用开口羊角的均压环放电电压的分散性稍大。所以圆形均压环对改善电压分布效果最佳，这也是目前多数厂家都采用圆形均压环的原因。

3.2 均压环的半径大小的影响

均压环的环半径 R 越大越能降低平均场强，使电场分布电压更均压，但环半径 R 太大，造成塔头间隙同时增大。而均压环的半径 R 太小，会使距高压侧 10% 的绝缘距离处场强有增大的趋势，所以常见均压环尺寸见下表

表 1 常见均压环尺寸表

电压等级	110kV	220kV	330-500kV	750kV
安装规格	接地端-无	接地端 - $\phi 250$	接地端 - $\phi 350$	接地端 - $\phi 440$
	高压端	高压端	高压端	高压端
	- $\phi 250$	- $\phi 305$	- $\phi 370$	- $\phi 440$

3.3 均压环的环管直径的影响

绝缘子串的高压端均压环管半径 r 越大越能降低装环侧的端部场强和平均场强，当管半径 $r > 10\text{mm}$ 时，端部场强可降低至空气击穿场强以下。

3.4 均压环的罩入距影响

试验证明均压环罩入伞群的距离与降低改善场强有很大的关系，当均压环的罩入距 $\Delta h \approx 0$ ，均压环开口平面处的芯棒、金具连接处将承受最大场强，如果该场强值超过空气击穿场强时，将发生较

严重的电晕放电，将会引发复合绝缘子芯棒断裂掉串事故；但是若均压环罩入距太深，虽然整支绝缘子的电压分布变均压些，但它会缩短复合绝缘子的干弧距离，降低绝缘子串的雷电冲击放电电压^[1]。

4 复合绝缘子均压环在施工、运行、设计中常见问题

鉴于以上对于复合绝缘子均压环重要作用的介绍以及影响均压环的几个因素的分析，下面我们就列举均压环在施工、运行中常见的问题。

4.1 均压环在施工中常见问题

4.1.1 均压环歪斜

在线路施工中，由于圆环型铝制均压环较为柔软，容易发生变形，加之线路工人普遍素质不高，安装时野蛮施工导致均压环歪斜严重，甚至变形损坏（如图 3），这些就极大的影响复合绝缘子的电场分布。使均压环不能发挥应有的作用。



图 3 110kV 索普线跳线均压环跳线歪斜并反装

4.1.2 均压环安装位置错误或不到位

虽然均压环安装非常简单，但是在验收过程中经常发现有些施工单位对均压环进行错误地安装，当均压环安装位置不正确时不仅不能对合成绝缘子起到均压作用，还将对线路运行产生严重地负面影响。常见的均压环安装位置错误见图 4 和图 5，均压环正确的安装位置是在绝缘子金属杆部分，但是由于施工人员电气知识的缺乏及对安装位置要求的了解，将均压环装到了硅橡胶的胶皮上。通过对 110kV 复合绝缘子用有限元软件进行分析，正确安装时由于均压环的均压作用，高压端伞裙护套表面空间最大场强仅为 0.285kV/mm 而采用错误的安装方式时，从电场分布曲线我们可以看出在伞裙护套、空气、安装均压环金具三种介质交界处，电场畸变较为严重，其最大场强达到了 1.4kV/mm ，远远超

过了硅橡胶表面能承受的最大场强 0.45kV/mm ，通过紫外测温可以发现图 6 中的放电现象，高压端的强电场加速了复合绝缘子有机硅橡胶的老化导致了硅橡胶憎水性的消失并出现放电烧蚀，会进一步引发复合绝缘子局部放电甚至全面闪络^[4]，极大的影响复合绝缘子的使用寿命。



图 4 均压环反装及安装位置错误图



图 5 均压环安装位置错误图

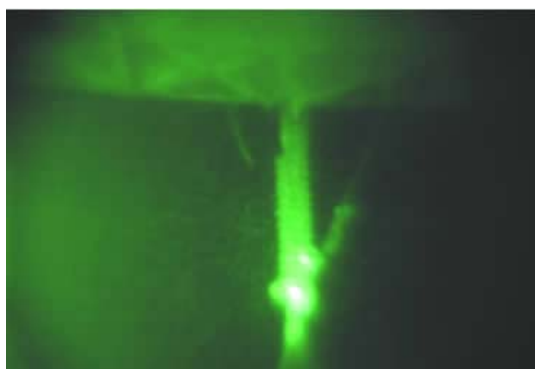


图 6 紫外测温显示安装位置错误时放电图

4.1.3 均压环反装

复合绝缘子均压环若反装，反装后使高压侧金具端部场强比正确安装时增大 2.18 倍，当线路有时在最高相电压运行时，可能造成高压侧芯棒护套与金具端头连接处会出现强烈的可见电晕放电，并形成刷状放电。如长期在此状况下运行，将会加速端部界面密封胶的电蚀、开裂或树枝贯通穿孔。因此

线路运行单位必须重视复合绝缘子均压环的罩入距和正确安装等情况。



图 7 典型的均压环反装图

4.2 复合绝缘子均压环运行问题分析

4.2.1 均压环脱落

由于均压环都是靠螺栓紧固在复合绝缘子上，在线路长期运行中，由于螺栓安装不紧固，以及如图 5 中用铝丝代替螺栓的情况，在风振动等因素的影响下，造成均压环的脱落，如图 8。



图 8 220kV 石金线线路上均压环掉落图

4.2.2 均压环击穿

复合绝缘子在运行过程中遭遇雷电过电压或由于异物造成绝缘子放电时，由于均压环导电率高，通常会通过均压环进行放电，导致均压环被烧蚀出孔洞甚至断裂。



图 9 220kV 绍普线均压环雷击放电击穿图

5 结论

(1) 复合绝缘子均压环虽然结构简单, 但有着极其重要的作用, 必须严格重视均压环的设置、安装、运行维护问题;

(2) 使用复合绝缘子的线路在施工前, 要认真核对绝缘子厂家给出的均压环安装图纸, 并对施工人员进行培训, 提高安装质量, 防止出现文章中所出现的装反、安装歪斜、螺栓紧固不够、罩入距不够的问题; 在工程验收时要严格把关, 做到零缺陷投运; 在平时的运行工作中也要及时的发现均压环的缺陷, 对掉落、损坏的均压环进行及时的更换、补充。

(3) 根据是施工、运行的实际经验, 复合绝缘子生产厂家应从以下几点改进均压环: ①使用硬度高的铝合金材料, 减少在均压环施工中歪斜损坏; ②改进均压环的形状, 使均压环有明确的上下碗口朝向, 避免目前有些均压环朝向难以分辨的情况; ③在绝缘子芯棒金属部分设置明确的均压环安装位置印记或卡槽, 保证均压环罩入距符合要求。

(4) 由于现在复合绝缘子的大规模使用, 国

家或行业要尽快出台复合绝缘子均压环相应的国家标准, 对均压环的材质、半径、罩入距等提出明确的质量标准要求, 改变目前复合绝缘子均压环配置的乱象, 使生产、设计、施工、运行单位在均压环设置上有明确、统一的标准。

参考文献:

- [1] 应伟国. 架空线路状态运行检修技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
- [2] 毛风麟, 王雪松. 复合绝缘子均压环对电场分布的影响 [J]. 高电压技术, 2000, 26 (4): 40-42.
- [3] 陈树挺, 李日隆. 复合绝缘子均压环应用研究 [J]. 电瓷避雷器, 2004, (3): 8-10.
- [4] 卢明, 阎东, 杨庆, 等. 均压环安装错误对电场分布的影响 [J]. 电瓷避雷器, 2010, (2): 1-3.

作者简介:

戴永龙 (1971—), 男, 江苏镇江人, 助理工程师, 从事输电线路运行检修工作;

白少锋 (1983—), 男, 陕西汉中, 助理工程师, 从事高压输电线路日常运行维护等管理工作。