棒形悬式复合绝缘子结构设计优化[*1]

王兴宇

(内蒙古包钢钢联股份有限公司动供总厂,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 针对输电线路所用110 kV棒形悬式复合绝缘子在运行中存在的问题,设计优化复合绝缘子结构。在满足规范及技术参数要求的前提下,通过改变复合绝缘子伞裙的结构和尺寸,来提高复合绝缘子的憎水性能和防覆冰性能,进一步提高其防污、耐污能力,保障输电线路可靠、稳定运行。

关键词: 棒形悬式复合绝缘子; 伞裙; 憎水性; 防覆冰性

中图分类号: TM216 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2018)02-0092-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2018.02.025

Structural Design Optimization of Rod Suspension Composite Insulator

WANG Xing-yu

(*Dynamic Supply Plant of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp., Baotou* 014010, *Inner Mongolia, China*)

Abstract: In view of the problems existing in the operation of 110 kV rod suspension composite insulators used in electric transmission lines, the structure of composite insulators is designed and optimized. Under the premise of meeting the requirements of specification and technical parameters, through changing the structure and size of composite insulator umbrella skirt, the hydrophobicity performance and anti-icing performance of the composite insulator are improved, and the anti-fouling and anti-pollution performance are further improved, which ensures the reliable and stable operation of electric transmission lines.

Key words: rod suspension composite insulators; umbrella skirt; hydrophobicity performance; anti-icing performance

棒形悬式复合绝缘子(以下简称"复合绝缘子")的优点是质量小、防污性能优良、生产和交货时间短及对外破坏的抵抗力强,它不存在瓷绝缘子的零值率问题,也不存在玻璃绝缘子的自爆率问题,同时它还有优越的抵抗机械冲击负荷的能力,可缩短输电线路的重建工期,并可降低工程造价。虽有上述诸多优点,但由于目前复合绝缘子的伞裙结构与伞裙直径大小搭配不合理,不能有效地提高憎水性能和防覆冰性能,保障线路可靠、稳定运行。尤其是位于麦尔兹窑、水处理高湿区、高炉炼铁区等复杂、恶劣、混合工况下的普通输电线路复合绝缘子,本身受气候影响就会出现降解、憎水性丧失快等变化,因此,当自然界恶劣的雨雪天气与上述特殊区域环境相迭加时,就会使长期处于该运行环境下的复合绝缘子降解、憎水性丧失快等变化放大,加快并加剧。例如,动供总厂所辖110 kV中北线路末端塔被

* 收稿日期: 2018-01-25

作者简介: 王兴宇(1983-),男,内蒙古包头市人,工程师,现从事架空输电线路和电力电缆技术管理工作。

冷却水塔环绕，长期处于水处理高湿区。在雨雪天气时，除受自然天气影响外，铁塔、导线、复合绝缘子还被水汽、雾气包围，在此共同作用下，复合绝缘子沿首端向末端出现飞弧短接、局部树枝状放电现象，爬电呈现通道贯通趋势。

1　影响复合绝缘子寿命的主要因素

1.1　憎水性

憎水性是固体材料的一种表面性能，水在憎水性的固体表面形成的一种相互分离的水滴或水珠状态，而不是连续的水膜或水片状态[1]，也是复合绝缘子的一项重要技术指标，其变化特性会随着季节的变化而变化，即冬季复合绝缘子的憎水性会发生下降甚至丧失，冬季过后，随着季节的变更，不同的复合绝缘子体现出不同的憎水性恢复速度和恢复能力；降雨同样会影响憎水性，尤其是春季第一场雨，在降雨过程中会使憎水性下降，特别是伞裙最为明显，原因是没有相邻伞裙的阻挡效应，湿沉降更充分；硅橡胶材料在湿应力下憎水性会下降，尤其是在大部分工业高湿区绝缘子表面污层的可溶性盐离子中 Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} 占有相当比重的情况下，水和盐分存在的情况下伞裙表面被水解氧化，硫酸钙逐渐溶于水中促进了硅橡胶的水解反应，从而会加速其憎水性的下降[2]。

1.2　防覆冰性

复合绝缘子在覆冰的情况下，由于伞间距离较小、伞径较小，冰棱很容易桥接部分伞裙，缩短爬电距离，使得大部分电压由复合绝缘子高压端附近处冰棱与伞裙间的空气间隙承担，并使得这些空气间隙场强迅速增大，使得局部电弧极易贯穿绝缘子而形成闪络，通常称为冰闪。与此同时也会使绝缘子憎水性局部丧失难以恢复。

2　优化前复合绝缘子存在的问题

优化前的复合绝缘子结构高度为（1 445 ± 20）mm，伞间最小距离 C 为（80 ± 5）mm，大伞直径为（130 ± 5）mm，小伞直径为（100 ± 5）mm，伞裙结构为双伞结构，如图 1 所示。这种伞裙结构下，由于伞间距离较小、伞径也较小，使得相邻伞裙的阻挡效应减小甚至是丧失，湿沉降更加充分，导致伞裙的憎水性下降，且其恢复速度及恢复能力也会受到影响；也使得防覆冰性能有所下降。

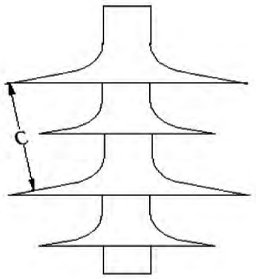
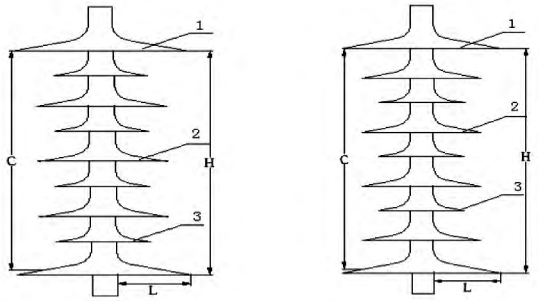


图 1　优化前复合绝缘子结构单元

3　复合绝缘子结构设计优化思路

针对优化前的复合绝缘子存在的问题，在不改变复合绝缘子芯棒、金具的结构和材料，伞裙护套材料的情况下，通过改变复合绝缘子伞裙结构、尺寸以提高其憎水性能和防覆冰性能，从而提高绝缘子的防污、耐污能力，使输电线路能够可靠、稳定运行。具体思路如下：

（1）增加复合绝缘子伞裙结构，由优化前的双伞结构增加为三伞结构，即大伞、中伞、小伞，如图 2 所示。



（a）一型结构单元　　（b）二型结构单元

1 – 大伞；2 – 中伞；3 – 小伞；C – 伞间最小距离；H – 大伞伞间距；L – 伞间伸出量

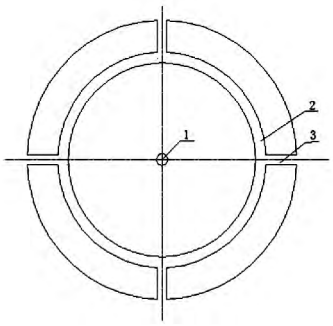
图 2　优化后复合绝缘子结构单元

（2）改变伞径形成伞径各异的伞裙结构单元，使复合绝缘子每个结构单元均为大伞 – 中伞 – 小伞结构，根据复合绝缘子结构高度由多个结构单元组成，并使上述三种伞型直径具有明显的差别。

（3）同时，为了保持泄露距离，考虑增加大伞伞径和伞间距。但是，简单、盲目地通过增加大伞伞径和伞间距来提高复合绝缘子电气性能是不可取的，大伞伞径选取过大将会导致沿泄漏路径的单位电导迅速增加，使得泄漏电流过大，从而降低了其电气特性；另外一方面，大伞伞径过大或不同伞径伞数过多，会使得伞间距与各伞间伞伸出之比达不到自洁

性要求;伞间距过大也会使得复合绝缘子结构高度提高,给输电线路杆塔设计带来困难。

(4)除了三种伞型直径的明显差异外,还在伞裙表面增加1条以上环形沟槽,并从环形沟槽向伞裙边沿连通4条以上平均排列的带状沟槽,如图3所示。这样,不仅增强了相邻伞裙间的阻挡效应,提高了绝缘子的憎水性能与防覆冰性能,还大大的增加了绝缘子的爬电距离,防污性能,避免因自然天气或人为工况产生的拉弧、闪络现象的产生,延长绝缘子的使用寿命,避免因绝缘子性能下降或丧失对电网、用户造成的不良影响,同时减少了人员维护量,降低了维护成本。



1 – 芯棒;2 – 环形沟槽;3 – 带状沟槽

图3 伞裙表面结构

经过上述结构、尺寸改变之后,复合绝缘子的结构包括芯棒和多个绝缘子伞裙,绝缘子伞裙套装在芯棒上,绝缘子包括伞径不同的大伞、中伞、小伞,大伞布置在棒形悬式复合绝缘子的外侧,中伞和小伞布置在两个大伞之间,并且中伞和小伞互相交错布置,使相邻伞裙上带状沟槽沿芯棒方向交错排列。

4 设计优化实例

根据思路,设计优化成品复合绝缘子为三伞结构,即大伞、中伞、小伞,并且由多个结构单元构成,每个结构单元由大伞、中伞、小伞相互交错布置。现将结构单元实例优选如下:

(1)实例一:复合绝缘子每个结构单元包括2个大伞,3个中伞,4个小伞,其中2个小伞分别与2个大伞相邻,具体结构形式为:大伞 – 小伞 – 中伞 – 小伞 – 中伞 – 小伞 – 中伞 – 小伞 – 大伞,具体结构形式如图2(a)所示。

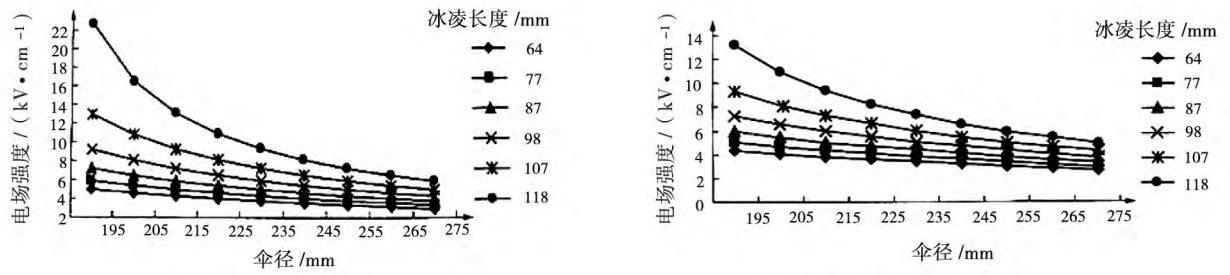
(2)实例二:复合绝缘子每个结构单元包括2个大伞,4个中伞,3个小伞,其中2个中伞分别与2个大伞相邻,具体结构形式为:大伞 – 中伞 – 小伞 – 中伞 – 小伞 – 中伞 – 小伞 – 中伞 – 大伞,具体结构形式如图2(b)所示。

成品复合绝缘子可根据其结构高度进行配置上述实例。根据DL/T 864—2004标称电压高于1 000 V交流架空线路用复合绝缘子使用导则[2]要求,选取大伞直径为(240 ± 5) mm,中伞直径为(130 ± 5) mm,小伞直径为(100 ± 5) mm,芯棒直径为(20 ± 3) mm。大伞伞间距为 H = (315 ± 5) mm,伞间最小距离为 C = (310 ± 5) mm,伞间伸出为 L = (115 ± 5) mm。

众所周知,线路清洁绝缘子的沿面电场分布主要由导线、杆塔排列布置和绝缘子伞裙结构决定。因此,在忽略杆塔和导线对绝缘子表面电场分布影响情况下,利用有限元法建立覆冰绝缘子的电场模型,研究绝缘子伞裙结构对沿面电场分布,其电位分布满足:

$$\frac{1}{r}\times\frac{\partial}{\partial r}\left[(\rho+j\omega\varepsilon)\ \frac{\partial\varphi}{\partial r}\right]+\frac{\partial}{\partial z}\left[(\rho+j\omega\varepsilon)\ \frac{\partial\varphi}{\partial z}\right]=0$$

通过对电场建模、仿真可知,沿面电场分布随冰凌长度、伞径、大伞伞间距变化如图4所示。



(a)大伞伞间距为150 mm (b)大伞伞间距为160 mm

图4 沿面电场分布与伞径、大伞伞间距变化的关系

根据上述分析，可知：

(1) 复合绝缘子的伞型结构对其电场分布影响很大，尤其是覆冰状态下复合绝缘子的沿面电场分布，因此对复合绝缘子伞型进行改造有助于改善复合绝缘子的电场分布，提高复合绝缘子防覆冰性。

(2) 伞径和大伞伞间距对处于同等环境下复合绝缘子电场分布影响明显，随着伞径的增加，其沿面电场分布均匀，最高场强也随着伞径的增加而减小，其自洁性也得到了保证，憎水性也得到了提高。但当伞径超过 245 mm 后，这种趋势变缓，同样，伞间距的增加也可起到上述作用。

5　应用效果

将设计优化后的复合绝缘子，与原有复合绝缘子在同一高污染环境下一并挂网运行，在雨、雪等高湿气象条件下时，观察发现复合绝缘子表面的局部树枝状放电情况减弱甚至消失，很好的抑制了相邻伞裙间的飞弧短接，而局部放电的绝缘子表面电弧烧伤痕迹减弱或消失，进而提高了复合绝缘子的憎水性能和防覆冰性能。

目前，在所辖 32 条 110 kV 架空输电线路中，累计挂网棒形悬式复合绝缘子 3 500 余支，运行达 4 年以上，在复合绝缘子表面未发现树枝状放电现象，未发生因复合绝缘子闪络而造成输电线路跳闸，影响公司生产的重大事故。

6　结束语

在满足规范设计要求的情况下，通过对输电线路用 110 kV 复合绝缘子结构设计优化并投入使用，既提高了复合绝缘子的憎水性和防覆冰性，又抑制了绝缘子伞裙间的飞弧短接现象，进而避免了闪络造成输电线路跳闸事故发生，保障线路可靠、稳定运行，同时还节省了可观的人工及设备维护成本。

参　考　文　献

[1] DL/T 864—2004，标称电压高于 1 000 V 交流架空线路用复合绝缘子使用导则 [S].

[2] 阎东，卢明，等. 输电线路用复合绝缘子运行技术及实例分析 [M]. 北京：中国电力出版社，2008.

(上接第 72 页)

3　结论

(1) 由于混晶及珠光体偏析带的存在，再加上晶界上析出渗碳体的共同作用导致钢板在冲压时发生开裂。

(2) 改善中心带状偏析，可采用电磁搅拌和轻压下技术提高连铸坯质量，同时采取控轧控冷措施来减少中心带状组织。

(3) 轧后增加冷却速度，减少三次渗碳体析出，可改善冲压开裂。

参　考　文　献

[1] 郭子峰，张世琦，冯军，等. 首钢汽车结构用热轧酸洗板 SAPH440 的开发 [J]. 首钢科技，2014(6)：8－13.

[2] Q/BG 560—2014，汽车结构用热连轧钢带和钢板 [S].

[3] GB/T 13299—1991，钢的显微组织评定方法 [S].

[4] 李萧，杨平，林瑞民，等. 低碳冲压钢板桔皮缺陷的成因 [J]. 北京科技大学学报，2010，32(5)：589－593.

[5] 赵新凯，刘江伟，刘西峰，等. 传统流程冷轧低碳铝镇静钢深冲性能分析 [J]. 钢铁，2010，45(8)：85－88.