

接触网覆冰绝缘子的多物理场分析及伞裙结构优化

赵多青¹, 曾 杰¹, 许中平², 郭 翔², 金维刚³, 周良松⁴

(1. 国网西藏电力有限公司, 西藏 拉萨 850000; 2. 北京国网信通埃森哲信息技术有限公司, 北京 100031; 3. 国家电网公司华中分部, 湖北 武汉 430077; 4. 华中科技大学 电气与电子工程学院 强电磁工程与新技术国家重点实验室, 湖北 武汉 430074)

摘 要:青藏高原干燥寒冷的环境易使铁路接触网绝缘子覆冰,造成严重的冰闪事故。为研究接触网覆冰绝缘子的运行状态,根据青藏线格尔木站冬季的环境特点,建立接触网腕臂绝缘子二维覆冰模型,并以瓷绝缘子XP-160和复合绝缘子FXBW-110/100为对照,通过静电场和焦耳热场仿真分析了不同类型覆冰绝缘子空间电场分布及表面温度分布特点,最后对绝缘子伞裙结构进行优化。结果表明:随着冰层厚度增加、冰棱长度增长,各绝缘子场强逐渐增大,表面温度不断上升。当绝缘子被冰棱桥接时,场强减小,略低于洁净绝缘子场强。腕臂绝缘子倾斜布置时倾角增加会导致电场增加,但对温度影响较小,在安装时可以减小斜腕臂倾角。使用一大两小伞裙结构绝缘子能有效降低场强增加,抑制温度上升。

关键词:腕臂绝缘子;覆冰;静电场;焦耳热场;物理场耦合;有限元仿真

中图分类号:TM216 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-9239(2022)07-0078-09

DOI:10.16790/j.cnki.1009-9239.im.2022.07.012

Multi-physical Field Analysis and Shed Structure Optimization of Ice-covered Insulators in Catenary

ZHAO Duoqing¹, ZENG Jie¹, XU Zhongping², GUO Xiang², JIN Weigang³, ZHOU Liangsong⁴

(1. State Grid Tibet Electric Power Co., Ltd., Lasa 850000, China;

2. Beijing State Grid Xintong Accenture Information Technology Co., Ltd., Beijing 100031, China;

3. Central China Branch of State Grid Corporation of China, Wuhan 430077, China;

4. State Key Laboratory of Advanced Electromagnetic Engineering and Technology, School of Electrical and Electronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: The dry and cold environment of the Qinghai-Tibet Plateau is easy to make the insulators of railway catenary ice-coated, causing serious ice flash accidents. To study the operating status of ice-coated insulators in catenary, a two-dimensional ice-coated model of cantilever insulators was established according to the winter environmental characteristics of Golmud station on the Qinghai-Tibet railway, and the porcelain insulator XP-160 and composite insulator FXBW-110/100 were used as contrast. The spatial electric field distribution and surface temperature distribution characteristics of different types of ice-coated insulators were analyzed by electrostatic field and Joule heat field simulation. Finally, the shed structure of the insulator was optimized. The results show that as the thickness of ice layer and the length of ice crystal increase, the field intensity of each insulator increases gradually, and the surface temperature continues to rise. When the insulator is bridged by the ice crystal, the field intensity decreases, which is slightly lower than the field intensity of clean insulator. The increase of arrangement angle for the cantilever insulator will lead to the increase of electric field, but it has little effect on the temperature.

收稿日期:2021-08-06 修回日期:2021-10-13

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51777082)

作者简介:赵多青(1972-),男(汉族),甘肃武威人,高级工程师,主要从事电网一次设备生产运维、生产技术管理等研究工作。

Therefore, the arrangement angle of cantilever insulator should decrease during installation. The insulators with one large and two small shed structure can effectively reduce the increase of field intensity and suppress the temperature rise.

Key words: cantilever insulator; ice-coated; electrostatic field; Joule heat field; physical field coupling; finite element simulation

0 引言

接触网为铁路运输业电力机车的牵引提供着源源不断的动力,是电力运输中不可或缺的一部分。而绝缘子在保证电力正常供给、减小输电事故方面起着重要的作用。青藏线全长1 956 km,平均海拔在4 000 m以上^[1],所经之地气候恶劣,冬季干冷,易形成绝缘子覆冰,造成绝缘子绝缘性能下降,导致闪络事故频发^[2]。何昱燊等^[3]通过绝缘子自然覆冰试验发现绝缘子长串的交流闪络电压随盐密、冰重的增加而逐渐下降,且覆冰程度改变了绝缘子串的电场分布。在绝缘子长串自然覆冰的放电过程中,电弧熄灭重燃现象明显,飘弧现象严重。赵佳尧^[4]通过覆冰试验发现不同的环境参数对覆冰的形状、厚度及冰棱长度有较大的影响。张志劲等^[5]以XP-160悬式绝缘子为研究对象,分别通过人工覆冰和自然覆冰试验得到了覆冰绝缘子闪络电压的影响因素,比较发现两种覆冰方式对闪络电压的影响不大。胡琴等^[6]对复合绝缘子进行人工覆冰试验,发现绝缘子伞形结构在一定程度上会影响绝缘子覆冰增长特性,且自然覆冰和人工覆冰时得到的结果一致。

为了减小试验带来的误差,尽可能地节省成本,蒋兴良等^[7]利用仿真软件Fluent研究了复合绝缘子杆径、伞间距、伞倾角等参数对绝缘子等效直径的影响,为覆冰地区绝缘子结构优化提出了合理建议;黎卫国^[8]利用ANSYS仿真软件对不同覆冰状态下220 kV/500 kV复合绝缘子的电位电场分布进行研究,得到了电位电场的分布规律,并提出了均压环的推荐使用参数;陆佳政等^[9]建立了220 kV绝缘子覆冰有限元仿真,通过计算得到了优化后的绝缘子伞裙结构,有效缓解了重覆冰状态下绝缘子的电场畸变。

本研究以青藏铁路格尔木站接触网运行绝缘子为对象,分别建立瓷绝缘子XP-160、复合绝缘子FXBW-110/100及腕臂绝缘子FQB-25/12覆冰模型,通过有限元仿真分析不同冰层厚度、冰棱长度以及腕臂绝缘子冰棱生长角度对绝缘子空间电场分布及表面温度分布的影响,并根据绝缘子热电特性对腕臂绝缘子伞裙结构进行优化,为接触网腕臂布置

方式提供理论依据,对重覆冰地区接触网绝缘子选型提供方案。

1 建立模型

1.1 绝缘子模型

选择3种不同的绝缘子作为仿真对象,各绝缘子结构参数如表1所示,其中 H 为绝缘子结构高度, h 为绝缘子干弧距离, L 为绝缘子爬电距离, D 代表伞裙直径。

表1 绝缘子基本结构参数

Tab. 1 Basic structural parameters of insulators

型号	H/mm	h/mm	L/mm	D/mm
XP-160	155	155	305	255
FXBW-110/100	1 180±20	1 000	3 200	150/115
FQB-25/12	760±20	616	≥1 600	192/140

瓷质绝缘子XP-160和复合绝缘子FXBW-110/100作为对照组,复合腕臂绝缘子FQB-25/12作为研究的主要对象。图1给出了3种绝缘子的简化结构图。

1.2 参数设置

瓷质绝缘子与复合绝缘子主要体现在结构和材料的不同,为了研究不同材质、不同结构及布置方式下绝缘子的覆冰特性,建立静电场、电流场与固体传热场相耦合的多物理场,对覆冰绝缘子进行仿真模拟,计算使用到的各项参数如表2所示^[9-10],表中 ρ 为密度, ϵ_r 为相对介电常数, σ 为电导率, C_p 为恒压热容, λ 为导热系数。空气的动力黏度为1.67 N·s/m²。

2 仿真计算

本文以青藏铁路格拉线为研究背景,通过文献[11]及现场调研发现,格尔木市冬季平均气温在-3℃左右,冬季风速为3 m/s。根据文献[11]设置风速为3 m/s、温度为-3℃时不同结冰时间下绝缘子表面冰厚及冰棱长度,如表3所示。表3中,悬式瓷绝缘子XP-160为三片串连接,当其表面冰层厚度为20 mm,冰棱长度为85.5 mm时,冰棱桥接整个绝缘子;当复合绝缘子FXBW-110/100绝缘子冰层厚度

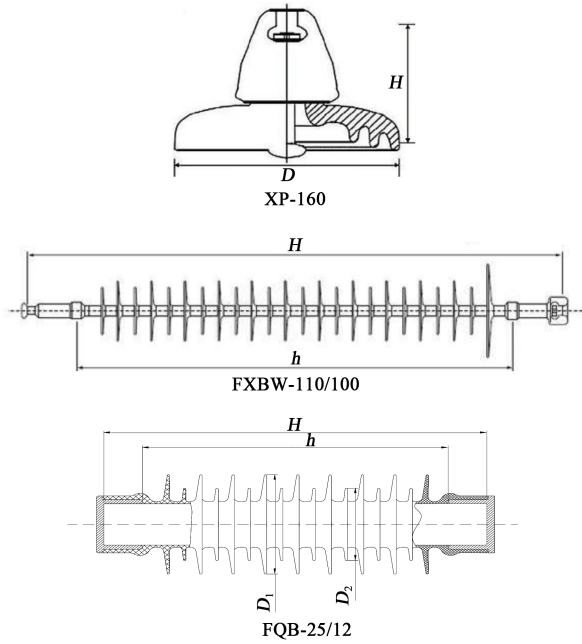


图1 绝缘子结构图

Fig.1 Structure chart of insulators

表2 仿真参数

Tab.2 Simulation parameters

材料	$\rho/(g/cm^3)$	ϵ_r	$\sigma/(S/m)$	$C_p(J/(kg\cdot K))$	$\lambda/(W/(m\cdot K))$
金具	7.3×10^3	10^7	10^6	460	49.9
硅橡胶	0.97×10^3	3.5	10^{-12}	1 460	0.16
芯棒	2.5×10^3	3.0	10^{-12}	794.2	1.09
陶瓷	2.7×10^3	6.0	10^{-10}	850	10-2
冰	0.92×10^3	75	10^{-6}	2 100	2.22
空气	1.342	1	0	1.004	0.024

达到9 mm,冰棱长度为72 mm时,冰棱桥接整个伞裙。而腕臂复合绝缘子的布置图如图2所示,可以看出腕臂绝缘子分为平腕臂及斜腕臂绝缘子,平腕臂与地面平行布置,斜腕臂与地面存在一定的夹角 α ,其大小可调,在建立覆冰模型时不考虑其桥接状态。

2.1 静电场模型

建立不同绝缘子静电场二维简化模型,采用有限元法利用COMSOL Multiphysics仿真软件进行计算。为了方便采集相同的特征量,在二维模型的空气域中设置截线,通过对截线上的数据进行比较,分析得到绝缘子的覆冰特性。

三片串瓷质绝缘子XP-160的二维简化模型如图3所示。图3中,冰层覆盖在绝缘子表面,冰棱向下生长,图3(a)是根据文献[12]对冰棱尖端作锥化处

表3 不同类型的绝缘子覆冰

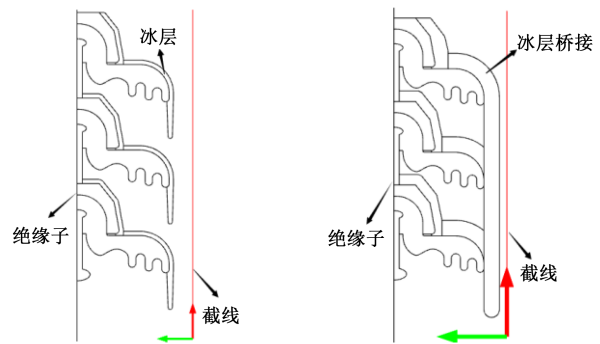
Tab.3 Different types of insulator icing

绝缘子类型	冰层厚度/mm	冰棱长度/mm
XP-160	0	0
	9	52.7
	20	85.5
FXBW-110/100	0	0
	3	7
	6	14
	9	21
	9	72
FQB-25/12	0	0
	3	13
	6	26



图2 腕臂绝缘子布置图

Fig.2 Layout of cantilever insulator



(a)冰厚=9 mm,冰长=52.7 mm (b)冰厚=20 mm,冰棱桥接

图3 XP-160覆冰绝缘子二维模型

Fig.3 Two-dimensional model of XP-160 iced insulators

理,即上粗下细;图3(b)冰棱桥接三片绝缘子,冰层覆盖整个绝缘子串。根据绝缘子额定运行线电压为35 kV,则相电压为20 kV,峰值电压为29 kV。设置钢脚处电压为29 kV,钢帽处电压为0。对不同覆冰状态下的绝缘子表面电场进行计算,结果如图4所示。

从图4可以看出,随着冰棱长度的增加,绝缘子

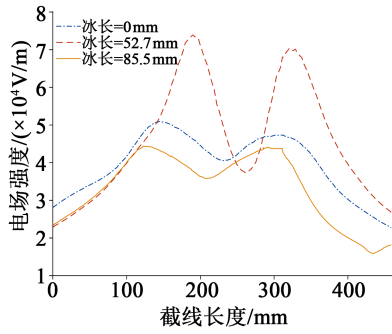


图4 XP-160绝缘子覆冰时电场分布

Fig.4 Electric field distribution of XP-160 insulators during icing

表面电场强度随之增加,说明冰棱生长改变了电场分布,使绝缘子的电场发生了畸变。冰长为52.7 mm的绝缘子场强最大点比洁净绝缘子高 2.256×10^4 V/m。但当冰棱完全桥接绝缘子时,电场强度反而下降,低于洁净绝缘子场强。这说明冰棱在冰尖处的电场较大,容易产生尖端放电,导致冰闪,降低了绝缘子的绝缘性能;而桥接之后的覆冰绝缘子发生局部放电的可能性较小,在一定程度上增强了绝缘子的绝缘性能。

复合悬式绝缘子FXBW-110/100的二维简化模型如图5所示,绝缘子额定线电压为110 kV,则相电压为64 kV。设置底部高压端电压为峰值电压90 kV,顶部低压端为0 kV。

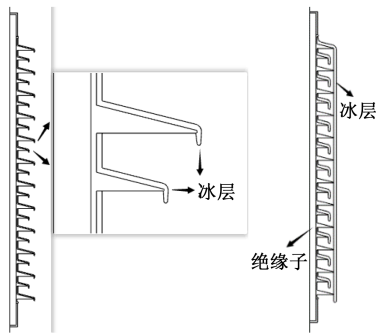


图5 覆冰绝缘子及冰棱桥接

Fig.5 Iced insulators and ice crystal bridge

图5中,FXBW-110/100绝缘子为一大一小伞裙结构,表面被冰层覆盖,冰棱向下竖直生长,冰层厚度及冰棱长度如表3中所示。冰棱尖端已作锥化处理,当冰棱桥接绝缘子时连接所有大伞裙。对不同覆冰状态下绝缘子表面电场进行仿真计算,结果如图6所示。

从图6可以看出,随着冰棱长度增加,绝缘子表面电场强度也随之增加,电场畸变率上升;当绝缘子整体被冰棱桥接时,表面电场强度下降,与洁净

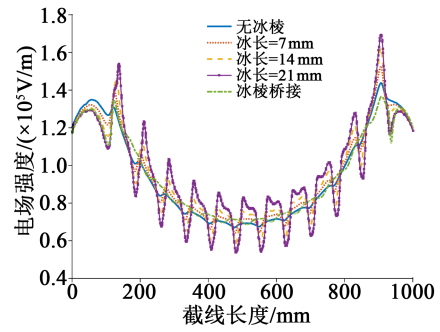


图6 FXBW-110/100绝缘子覆冰时电场分布图

Fig.6 Electric field distribution of FXBW-110/100 insulator during icing

绝缘子电场相比略小,这一点和瓷绝缘子XP-160覆冰时的电场特性基本一致。

腕臂绝缘子FQB-25/12的覆冰模型如图7所示,图中绝缘子表面冰层厚度分别为3、6、9 mm,表面冰层为均匀覆盖,未出现冰棱生长情况。根据格拉线牵引供电系统选择带回流线的直接供电方式,则接触网腕臂绝缘子额定运行电压为25 kV,最大运行电压为29 kV,峰值电压为41 kV。即顶部高压端电势为41 kV,底部接地。对不同冰层厚度覆盖的腕臂绝缘子空间电场进行计算,结果如图8所示。

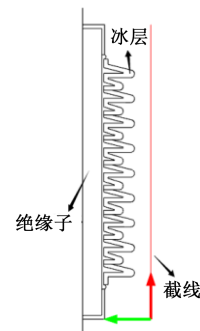


图7 覆冰腕臂绝缘子

Fig.7 Iced cantilever insulators

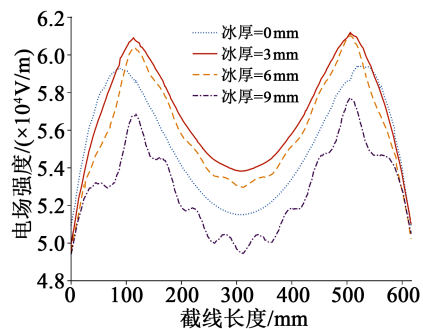


图8 冰层厚度对空间电场的影响

Fig.8 Effect of ice layer thickness on the space electric field

从图8可以看出,当绝缘子表面冰层厚度增加时,截线处的空间电场强度随之降低,且下降幅度先减小后增大,说明随着冰层厚度增加,绝缘子的空间电场强度会降低,但与洁净绝缘子电场相比,冰层厚度为3 mm和6 mm时的空间场强均大于洁净绝缘子。当冰层厚度为9 mm时,绝缘子的空间场强最小,冰层的存在改变了绝缘子空间场强,在冰层较薄时增加了空间场强,使场强畸变率上升,降低了绝缘子的绝缘性能,而在冰层较厚时空间场强下降,此时绝缘子的绝缘性能较好,出现局部放电的可能性较小。故在重覆冰情况下腕臂绝缘子的绝缘性较好,而在轻覆冰时需要及时除冰,保证线路的正常供电。

在冰棱生长的情况下,腕臂绝缘子覆冰状态如图9所示。图9(a)为平腕臂绝缘子,腕臂平行布置,冰棱生长方向与绝缘子径向相垂直,而图9(b)的斜腕臂冰棱方向与径向呈一定的夹角 α ,与腕臂倾角相同,在腕臂安装过程中 α 大小根据实际安装情况而定。

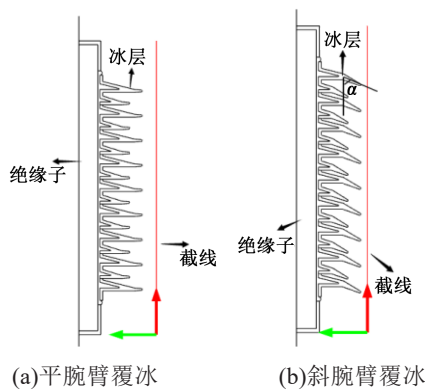


图9 二维腕臂覆冰绝缘子

Fig.9 Two-dimensional cantilever iced insulators

对有冰棱存在的腕臂绝缘子空间电场进行仿真计算,结果如图10所示。从图10可以看出,当绝缘子水平布置时,其空间电场随冰棱长度的增加而增加,但相差不多。当绝缘子倾斜布置时,空间场强也随冰棱长度增加而增加,和水平布置时的场强变化情况一致。但绝缘子倾斜布置时的场强整体大于水平布置的绝缘子,即在重覆冰情况下斜腕臂绝缘子的绝缘性更差,容易产生局部放电,造成冰闪。

根据文献[13-14],接触网腕臂布置角度在一定范围内可调节,改变斜腕臂的安装角度得到不同角度下的绝缘子空间电场分布,如图11所示。

图11中,腕臂安装角 α 分别为 60° 和 65° ,冰棱长度分别为13 mm和26 mm。从图11可以看出,当

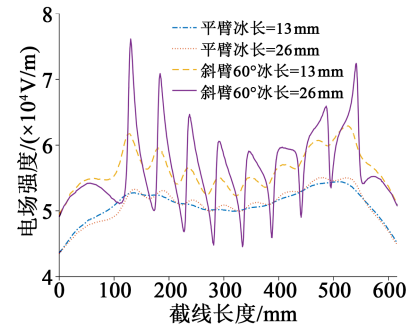


图10 不同布置方式下绝缘子空间电场分布

Fig.10 Electric field distribution of insulators in different layout

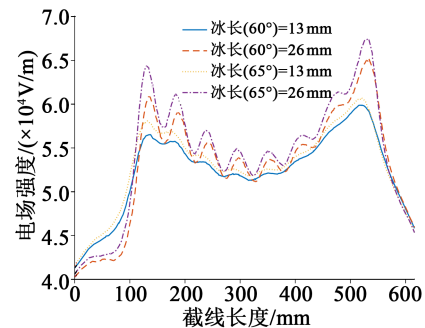


图11 斜腕臂不同布置角度下的绝缘子空间电场分布

Fig.11 Spatial electric field distribution of insulators with different arrangement angles of inclined cantilever

腕臂安装角度增大时,绝缘子空间电场强度也相应增加;增加冰棱长度,空间场强也会增加。绝缘子空间电场强度从大到小依次为 $\alpha=65^\circ$ 、 $L_{\text{冰棱}}=26$ mm, $\alpha=60^\circ$ 、 $L_{\text{冰棱}}=26$ mm, $\alpha=65^\circ$ 、 $L_{\text{冰棱}}=13$ mm, $\alpha=60^\circ$ 、 $L_{\text{冰棱}}=13$ mm。由此可得在重覆冰地区腕臂安装时倾斜角应尽可能小,才能降低绝缘子冰闪的概率,保证绝缘子的可靠运行。

2.2 热电耦合场模型

当绝缘子中流过泄漏电流时,电流的焦耳热效应使得绝缘子有热量产生,通过固体传热导致热量遍布整个绝缘子。对稳恒电流场和固体传热场耦合可以得到覆冰绝缘子的温度分布情况。廖嘉骏等^[15]利用ANSYS软件仿真分析绝缘子融冰水膜对电场分布的影响,发现水膜的存在会影响绝缘子的电场分布;蒋兴良等^[16]利用COMSOL软件仿真分析冰凌尖端水滴及覆冰滴水过程对绝缘子的影响,揭示了电场、染污方式和染污程度对覆冰绝缘子离子分布的影响规律。因此研究热电耦合状态下覆冰绝缘子的温度场分布,可以及早判断绝缘子融冰位置,防止绝缘子冰闪。

对热电耦合的XP-160、FXBW-110/100、FQB-25/12覆冰绝缘子温度场进行仿真分析,结果如图

12~15所示。

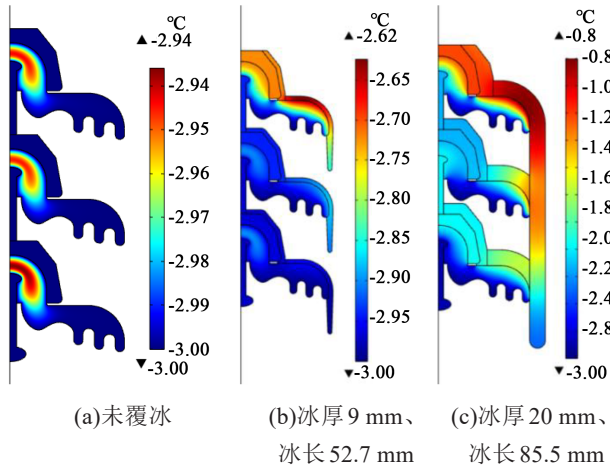


图 12 XP-160 绝缘子覆冰温度分布
Fig.12 Temperature distribution of ice-covered XP-160 insulators

根据图 12~15, 3 种类型的绝缘子温度场分布结果如表 4 所示, 表中 ΔT_1 为最小温差, 即绝缘子表

面最低温度与环境温度 -3°C 的差值; ΔT_2 为最大温差, 即表面最高温度与环境温度的差值。

从图 12 和表 4 可以看出, XP-160 绝缘子表面覆冰时温度发生了明显变化。绝缘子未覆冰时在钢帽下方瓷质部分温度出现上升, 高出环境温度 0.06°C 。覆冰后随着冰厚增加, 冰棱增长, 最上片绝缘子钢帽处温度明显上升, 下面两片绝缘子温度也逐渐升高, 而钢帽处的温度变化速率快于瓷质伞裙和钢脚。冰层桥接后绝缘子温度变化增大, 第一片绝缘子钢帽处温度达到 -0.8°C , 最低温度也略有上升。这说明随着冰层厚度增加, 覆冰越严重, 绝缘子温度上升越高。对于温度达到 0°C 以上的部位将会出现融冰, 而冰水的出现则会导致绝缘子性能降低、易冰闪等情况。

从图 13 和表 4 可知, 对于 FXBW-110/100 复合绝缘子, 在未覆冰时绝缘子温度未发生变化, 而覆冰之后随着冰层厚度增加及冰棱增长, 绝缘子最低温度和最高温度都有所上升, 其中第一片伞裙温度变化最明显, 其次为第二、三片伞裙和最后一一片伞

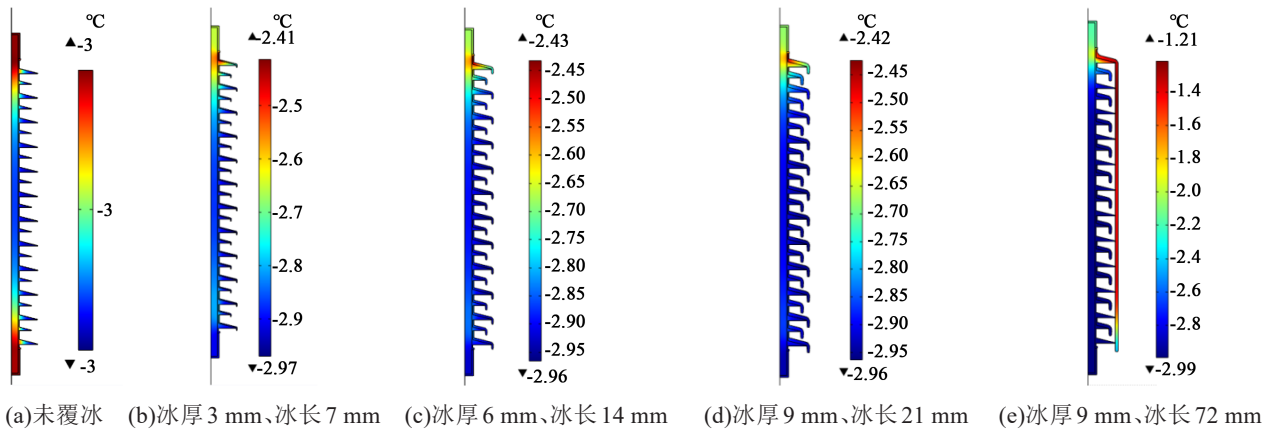


图 13 FXBW-110/100 绝缘子覆冰温度分布
Fig.13 Temperature distribution of ice-covered FXBW-110/100 insulators

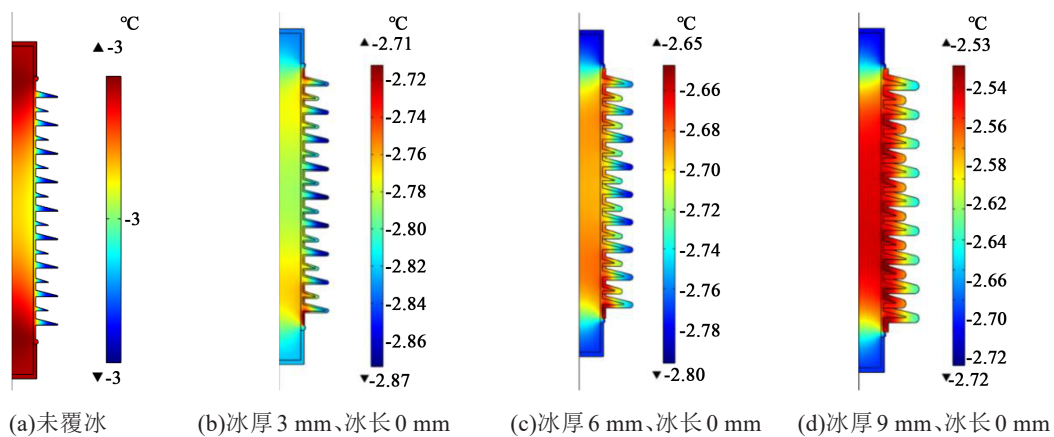


图 14 平腕臂绝缘子覆冰温度分布
Fig.14 Temperature distribution of ice-covered cantilever insulators

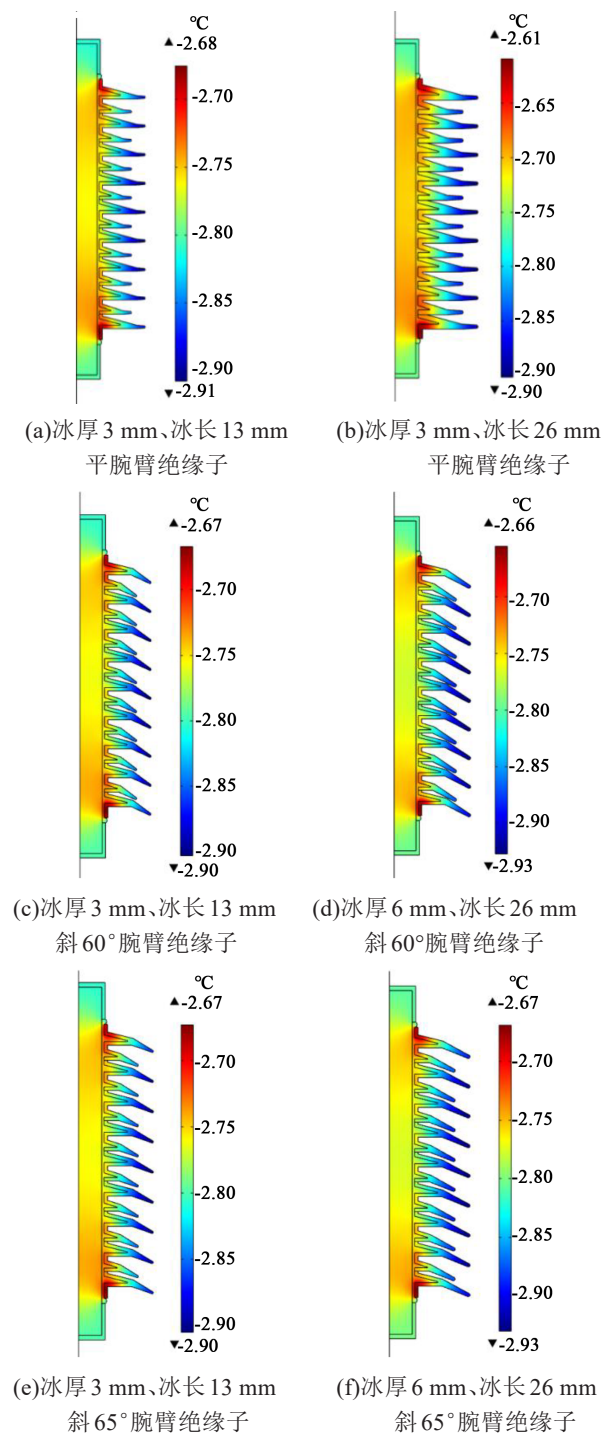


图 15 不同布置角度腕臂绝缘子覆冰温度分布

Fig.15 Temperature distribution of ice-covered cantilever insulators with different arrangement angles

裙, 呈现“低压端高, 高压端次之, 中间最低”的温度变化特点。当冰凌桥接绝缘子伞裙后, 发现绝缘子最高温度继续升高, 而最低温度反而下降, 绝缘子顶端伞裙温度最高, 达到 -1.21°C , 而冰棱末端温度也有上升, 末端伞裙温度未有变化。说明覆冰越严重, 温度变化越明显, 在第一片伞裙处最易出现融

冰情况, 接下来是绝缘子末端伞裙, 而一般情况下绝缘子中间的冰层融化最慢。

从表 4 可知, 对于平腕臂绝缘子, 未覆冰时绝缘子表面温度未发生变化, 而随着冰层厚度增加, 最低温度和最高温度皆有所上升, 当冰层厚度达到 9 mm 时, 最高温度达到 -2.53°C 。从图 14 中平腕臂绝缘子表面温度分布来看, 平腕臂绝缘子的温度分布呈现“两端大、中间小”的特点, 最高温度都出现在第一片和最后一片伞裙上, 意味着冰层将首先从这两部分开始融化, 即这两个位置的伞裙最易出现局部放电等情况。

从图 15 可知, 平腕臂表面覆冰后温度随覆冰程度增加而增加, 温度分布也呈“两端高、中间低”的特点; 斜腕臂的温度变化和分布特点也基本一致。随着斜腕臂倾斜角的增加温度变化不明显, 说明增大腕臂倾角, 不会使绝缘子表面冰层的融化速率加快。故在安装腕臂时腕臂倾角的大小不会影响绝缘子覆冰时的绝缘性能。

3 腕臂绝缘子伞裙优化

为了减轻腕臂绝缘子覆冰后对接触网供电造成的损害, 需要对已有的伞裙结构进行优化。现阶段腕臂绝缘子多以一大一小伞裙为主, 在优化时建立伞裙结构为均匀伞裙、一大两小伞裙的绝缘子模型, 如图 16 所示。

对不同伞裙结构的覆冰绝缘子空间电场进行仿真计算, 结果如图 17 所示, 冰层厚度为 6 mm, 冰棱长度为 26 mm。

从图 17 可以看出, 均匀伞裙结构的绝缘子电场分布较对称, 场强畸变小于一大一小伞裙和一大两小伞裙结构绝缘子。当场强达到 10^6 数量级时绝缘护套才有可能发生局部放电, 和仿真结果相比, 在重覆冰条件下 3 种伞裙结构的绝缘子绝缘性能都能保证绝缘子正常运行, 不会影响接触网正常供电。

对三种结构的斜腕臂覆冰绝缘子空间电场进行仿真分析, 结果如图 18 所示, 冰层厚度为 6 mm, 冰棱长度为 26 mm, 腕臂倾角为 60° 。

从图 18 可以明显看出, 均匀伞裙结构的斜腕臂绝缘子电场强度高于其他两种伞裙结构的绝缘子场强, 而一大两小伞裙结构绝缘子与一大一小伞裙结构绝缘子相比场强畸变较小, 在重覆冰地区不易发生冰闪, 绝缘性能更好。

考虑到绝缘子覆冰后的温度变化, 对不同伞裙结构的绝缘子温度场进行仿真计算, 结果如图 19 所示。从图 19 可以看出, 3 种伞裙结构的绝缘子中, 一大两小伞裙结构绝缘子表面最高温度低于其他两

表4 覆冰绝缘子表面温度
Tab.4 Surface temperature of iced insulator

绝缘子类型	冰厚/mm	冰长/mm	$T_{max}/^{\circ}C$	$T_{min}/^{\circ}C$	$\Delta T_1/^{\circ}C$	$\Delta T_2/^{\circ}C$	
XP-160	0	0	-2.94	-3.00	0	0.06	
	9	52.7	-2.62	-3.00	0	0.38	
	20	85.5	-0.80	-3.00	0	2.20	
FXBW-110/100	0	0	-3.00	-3.00	0	0	
	3	7	-2.41	-2.97	0.03	0.59	
	6	14	-2.43	-2.96	0.04	0.57	
	9	21	-2.42	-2.96	0.04	0.58	
	9	72	-1.21	-2.99	0.01	1.79	
FQB-25/12	平腕	0	0	-3.00	-3.00	0	0
		3	0	-2.71	-2.87	0.13	0.29
		6	0	-2.65	-2.80	0.20	0.35
		9	0	-2.53	-2.72	0.28	0.47
		3	13	-2.68	-2.91	0.09	0.32
	斜腕(60°)	6	26	-2.61	-2.90	0.10	0.39
		3	13	-2.67	-2.90	0.10	0.33
		6	26	-2.66	-2.93	0.07	0.34
		3	13	-2.67	-2.90	0.10	0.33
斜腕(65°)	6	26	-2.67	-2.93	0.07	0.33	

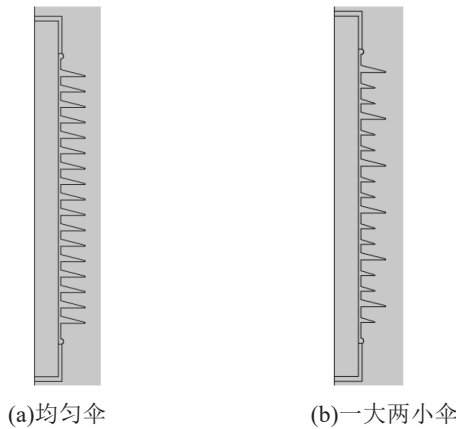


图16 不同伞裙结构

Fig.16 Different shed structures

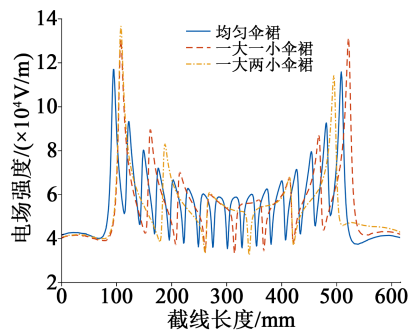


图17 不同伞裙结构的覆冰绝缘子电场分布

Fig.17 Electric field distribution of iced insulators with different shed structures

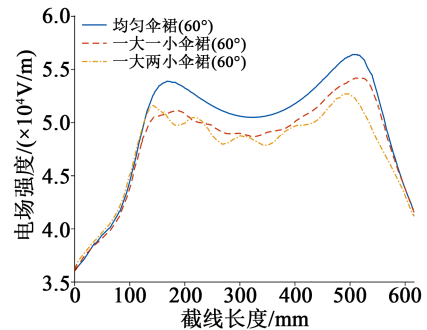


图18 不同伞裙结构的斜腕臂绝缘子电场分布

Fig.18 Electric field distribution of cantilevered insulators with different shed structures

种绝缘子,而均匀伞裙结构绝缘子表面温度最高,达到1.15℃,相差0.55℃。说明均匀伞裙结构绝缘子覆冰时温度变化最明显,容易产生融冰水,增加了绝缘子冰闪的可能性,相比之下一大两小伞裙结构绝缘子更加适合在平腕臂重覆冰条件下使用。

对斜腕臂不同伞裙结构的绝缘子表面温度场进行计算,结果如图20所示。从图20可以看出,3种绝缘子最低温度基本相同,而最高温度有一定差距,一大两小伞裙绝缘子最高温度为-0.31℃,低于均匀伞裙与一大一小伞裙绝缘子,结果和平腕臂绝缘子覆冰相同。因此在斜腕臂覆冰条件下一大两小伞裙结构的绝缘子性能更佳,闪络的可能性更小。

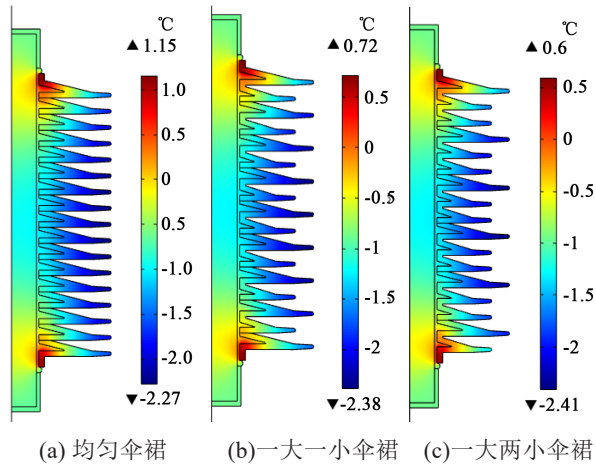


图 19 平腕臂绝缘子覆冰温度分布

Fig. 19 Temperature distribution of flat cantilever insulator with icing

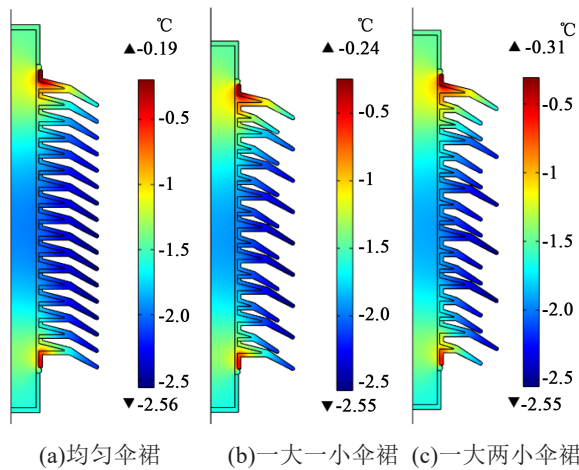


图 20 斜腕臂绝缘子覆冰温度分布

Fig. 20 Temperature distribution of inclined cantilever insulator with icing

4 结论

针对青藏线格尔木站环境特点,建立了接触网腕臂绝缘子静电场及热电耦合场覆冰模型,通过与其他两种覆冰绝缘子相比,得到如下结论:

(1)覆冰瓷绝缘子与复合绝缘子随冰层厚度和冰棱长度增加,绝缘子空间场强逐渐增大,出现冰棱桥接时绝缘子场强明显减小。腕臂绝缘子场强随覆冰程度增加而增大,但当冰层达到一定厚度时,再增加覆冰厚度,场强可能低于未覆冰绝缘子的场强。

(2)瓷绝缘子覆冰后温度自上而下逐渐降低,钢帽处温度变化最明显;复合绝缘子覆冰后呈现低压端温度最高、高压端温度次之、中部温度最低的

分布特点;腕臂绝缘子覆冰后温度分布呈现“两端高、中间低”的特点。3种绝缘子温度都随覆冰程度增加而上升。

(3)随着绝缘子倾角增加,绝缘子场强增大,但温度变化不明显。因此在重覆冰地区建议在腕臂安装时可以减小腕臂倾角,对保证线路正常供电有一定帮助。

(4)对重覆冰地区腕臂绝缘子伞裙结构进行优化,仿真发现均匀伞裙结构的平腕臂绝缘子场强最小,斜腕臂绝缘子中一大两小伞裙结构的绝缘子场强最小;在温度场中一大两小伞裙绝缘子温度变化最小。因此,对重覆冰地区腕臂绝缘子伞裙结构应选择一大两小伞裙,可有效降低覆冰绝缘子冰闪事故的发生概率。

参考文献:

- [1] 孟红. 青藏铁路:世界屋脊上的神奇“天路”[J]. 党员文摘, 2019(11):38-40.
- [2] 侯永明, 韩飞雪. 电气绝缘子覆冰对电气设备安全运行的危害分析[J]. 能源科技, 2020, 18(8):55-59.
- [3] 何昱桑, 张志劲, 傅海涛, 等. 自然环境下覆冰绝缘子长串交流闪络电压及电弧发展现象[J]. 电网技术, 2021, 45(7):2904-2912.
- [4] 赵佳尧. 悬式绝缘子(短)串自然覆冰交流闪络特性[D]. 重庆:重庆大学, 2019.
- [5] 张志劲, 程洋, 赵佳尧, 等. XP-160绝缘子串人工与自然覆冰交流闪络特性[J]. 高电压技术, 2018, 44(9):2777-2784.
- [6] 胡琴, 汪诗经, 杨红军, 等. 不同伞形结构复合绝缘子覆冰增长特性研究[J]. 电网技术, 2016, 40(7):2236-2243.
- [7] 蒋兴良, 潘杨, 汪泉霖, 等. 基于等效直径的复合绝缘子覆冰特性与结构参数分析[J]. 电工技术学报, 2017, 32(7):190-196.
- [8] 黎卫国. 交流复合绝缘子覆冰电位电场仿真研究[D]. 广州:华南理工大学, 2012.
- [9] 陆佳政, 谢鹏康, 方针, 等. 重覆冰条件下防冰防雷绝缘子电场仿真与伞裙优化[J]. 电力自动化设备, 2018, 38(3):199-204.
- [10] 屠晔炜, 夏强峰. 220kV瓷绝缘子(XP-160)串的空间电场分布特性及其影响因素仿真分析[J]. 高压电器, 2012, 48(3):67-74.
- [11] 祁贵明, 王发科, 贺海成, 等. 格尔木地面、低空风场特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(6):118-120.
- [12] 胡玉耀. 悬式绝缘子湿增长动态覆冰模型及闪络电压预测研究[D]. 重庆:重庆大学, 2017.
- [13] 罗健. 高速铁路接触网系统参数及腕臂和定位装置优化研究[D]. 成都:西南交通大学, 2017.
- [14] 张跃新. 高速电气化铁路接触网施工技术研究[D]. 成都:西南交通大学, 2006.
- [15] 廖嘉骏, 阳林, 郝艳捧. 融冰期110kV覆冰复合绝缘子电场仿真研究[J]. 高压电器, 2015, 51(3):47-54.
- [16] 蒋兴良, 胡玉耀, 汪泉霖, 等. 覆冰绝缘子导电离子分布规律[J]. 电工技术学报, 2017, 32(15):199-206.