

复合绝缘子紫外辐射加速老化的试验方法

李国芳¹ 覃永雄¹ 杨瑞¹ 费勇¹ 郭文义² 董鹄¹ 虞澜¹

¹(昆明理工大学 材料科学与工程学院 昆明 650093)

²(南方电网科学研究院 特高压工程技术(昆明)国家工程实验室 嵩明 651700)

摘要 为了研究复合绝缘子高温硫化(HTV)硅橡胶紫外辐射老化特性,以我国高海拔(云南)地区日光中的紫外光和可见光能谱和辐射强度为依据,参照相关标准,设计并搭建了光谱成分和功率密度可调的紫外辐射老化试验箱,并对试验箱的辐射量与云南地区户外条件下的辐射量作了等价计算。进行了HTV硅橡胶紫外辐射(250–500 h)加速老化试验和户外自然老化试验。通过两种老化试验前后试样的扫描电镜(SEM)测试结果的一致性来评价紫外辐射加速老化试验方法的可行性。结果表明,紫外辐射加速老化和户外自然老化后试样表面均出现了平整度下降,孔洞和颗粒数增加,试样发生了老化。在有效辐射总量相当的条件下,两种老化试验条件下HTV硅橡胶老化程度相当。紫外辐射加速老化试验可再现性强,大大缩短了试验时间,操作简单,并为HTV硅橡胶紫外老化性能的研究提供了较好的平台,用于HTV硅橡胶加速老化试验研究是切实可行的。

关键词 复合绝缘子,高海拔地区,紫外加速老化,户外自然老化,扫描电镜

中图分类号 TM216, TL13

DOI: 10.11889/j.1000-3436.2015.rnj.33.030301

作为特高压输电线路支撑导线和防止电流回地的绝缘控件,绝缘子必须具备优异的电气性能。高温硫化硅橡胶(HTV)复合绝缘子由于具有耐污闪性能强、质量轻及耐高低温等优点,在国内外得到广泛应用^[1–6]。我国的高海拔地区约占全国面积1/2以上,紫外线辐射强度大,年太阳紫外线辐射总量远高于平原地区,而到达地球表面的紫外线主要为长波紫外线^[7–8]。强紫外辐射是导致复合绝缘子外套材料HTV硅橡胶老化的主要原因,老化使复合绝缘子电气性能丧失,引发输电线路大面积闪络等恶性事故^[1,4–5]。随着使用年限的增加,由HTV硅橡胶老化特别是紫外老化引发的事故日渐增多^[1,4]。

针对我国高海拔地区运行的HTV硅橡胶复合绝缘子紫外老化问题,国内学者普遍以氙灯作为光源进行紫外辐射加速老化试验,但相对于其他光源,氙灯并不能完全很好地模拟长波紫外辐射对HTV硅橡胶的老化作用^[9–10]。一种好的人工加速老化试验方法必须具有等价性、可重复性和可再现性。其中,等价性是加速老化的第一要求,要反映真实的老化过程^[11]。

基于上述问题,本文参照国际电工委员会标准IEC-61109-2008的实验方法及参数,自行设计并搭建可调式紫外老化试验箱,以紫外线高压汞灯为光源,通过调制辐射光来模拟日光中的长波紫外和可见光对HTV硅橡胶的老化作用,并对试验箱中的紫外和可见光与户外条件下的紫外和可见光对试样老化作用的辐射量做了等价计算;对HTV硅橡胶进行了试验箱紫外辐射加速老化试验,同时进行户外自然老化试验;对试验前后试样进行了扫描电子显微镜(Scanning electron microscopy, SEM)观察,通过紫外辐射加速老化试验和户外自然老化试验前后试样表面形貌变化情况,评价紫外辐射加速老化试验方法的可行性。

1 高海拔地区户外紫外线辐射情况

太阳辐射到达地球大气上界,紫外辐射(100–400 nm)占总辐射量的8%^[10],其中长波紫外(UVA, 320–400 nm)约占6%,中波紫外(UVB, 290–320 nm)约占1.5%,而占0.5%的短波紫外(UVC, 100–290 nm)几乎完全被臭氧层吸收而不能

基金资助:南方电网公司科技项目(k201016)和国家自然科学基金项目(51262016)资助

第一作者:李国芳,女,1987年12月出生,2010年毕业于昆明理工大学材料学院,现为昆明理工大学材料学院硕士研究生,研究方向为高电压绝缘技术及复合绝缘子运行特性, E-mail: liguofang2013@sina.com

通讯作者:虞澜,博士,教授,博士生导师, E-mail: yulan000@hotmail.com

收稿日期:初稿 2015-01-26;修回 2015-03-31

到达地面。经地球大气对紫外辐射的吸收,到达地球表面的紫外线主要为长波部分,其仅占太阳光谱辐射量的 1%–2%^[7-8]。到达地球的太阳辐射能量如图 1 所示^[12]。

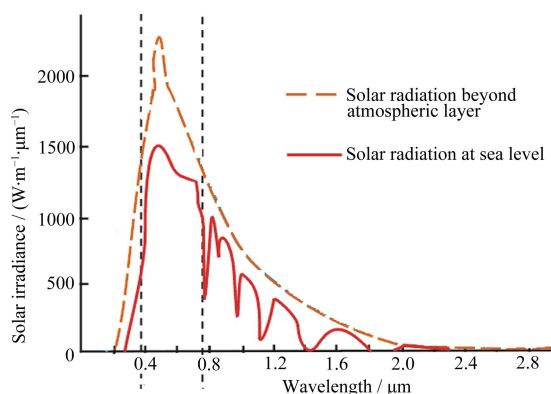


图 1 太阳光谱图
Fig.1 Spectrum diagram of solar

云南地区(平均海拔约 1900 m)空气相对稀薄,透明度高,对紫外辐射的散射和吸收相对较少,紫外线辐射强度较大,年太阳辐射总量约为 6000 MJ/m²,其中紫外线约占 3%,可见光(400–700 nm)约占 46%^[13-15]。为了模拟云南地区紫外和可见光对复合绝缘子的老化作用,本文设计并搭建了可调式紫外辐射老化试验箱。

2 HTV 硅橡胶紫外辐射加速老化试验方法的建立

2.1 光源的选择和光谱调制

本文依据云南地区日光中的紫外能谱和辐射强度,选择北京天脉恒辉光源电器有限公司生产的 GY-1000 型 1 kW 紫外线高压汞灯为光源,模拟户外长波紫外光和可见光对 HTV 硅橡胶的老化作用。紫外线高压汞灯的光谱见图 2 曲线 a^[16],曲线 b 为 4 mm 厚普通玻璃辐射光透过率。试验通过石英玻璃和普通玻璃的滤光片组合来调制光谱,实验过程中石英玻璃吸收(65–80)%红外光,而 95%以上的紫外光和可见光能透过石英玻璃^[17];普通玻璃可完全阻挡和过滤 320 nm 以下的短波和中波紫外光,而大部分长波紫外和可见光可透过普通玻璃^[17-18],故调制后的辐射光主要为长波紫外和可见光,波长范围为 320–750 nm。虽然可见光的光子能量相对较小,不足以切断 HTV 橡胶中化学键,但在试验过

程中其辐射功率密度大,对橡胶紫外老化有一定的促进作用,因此不可忽略,而户外条件下可见光辐射功率密度很小,对 HTV 硅橡胶老化作用相对微弱得多^[15,19]。我们处理为户外可见光的作用衰减到 1/5。

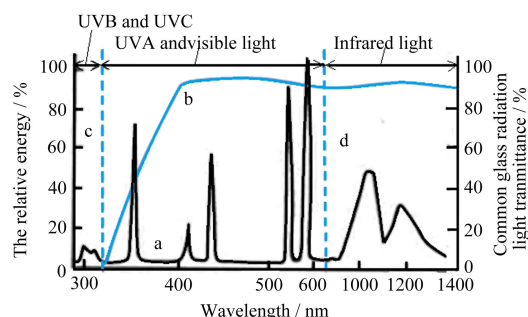


图 2 高压汞灯调制后的光谱图
Fig.2 Spectrum diagram of high pressure mercury lamp after modulation

2.2 设备搭建

可调式紫外辐射老化试验箱要实现对试验的辐射光成分和功率密度、辐射时间、温度、气氛和安全等的基本控制。试验箱基本结构见图 3。

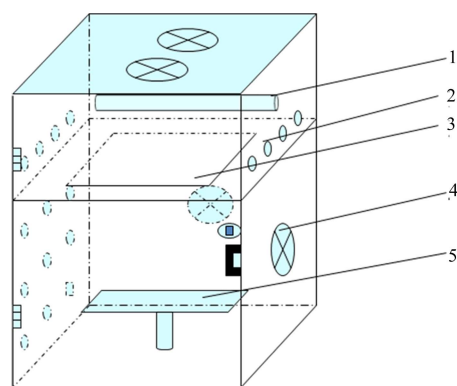


图 3 可调式紫外老化试验箱的基本结构图
Fig.3 Structure diagram of adjustable ultraviolet aging experimental box: 1. high pressure mercury lamp 2. vents 3. filters 4. Fans 5. sample platform

2.2.1 光源系统

1 kW 紫外线高压汞灯和滤光片组合:石英玻璃(3 mm)+普通玻璃(4 mm)。

2.2.2 样品试验室

样品台和支架,通过调节样品台高度调制辐射光的功率密度。

2.2.3 温度和气氛控制系统

由于云南地区气温主要在 10–30 ℃ 范围^[20]，而灯管表面温度高达 700 ℃ 左右，因此必须严格控制试验箱温度，本文通过石英玻璃吸收辐射光中的红外部分和风扇通风降低试样处温度，试验温度为 (33±5) ℃。紫外光辐射产生的臭氧对 HTV 橡胶老化的影响不可忽略^[21]，风扇增加试验箱内空气流动可减少臭氧浓度。

2.2.4 时间控制系统

紫外线灯的辐射时间决定了总辐射量，时间的严格控制显得尤其重要，时间控制器可自动开启和

关闭，并可以设定总试验时间。

2.2.5 安全控制系统

紫外高压汞灯辐射强度极强，长期辐射会损害皮肤和眼睛，所以紫外线灯在箱门开启时会自动关闭。另外还有断路器，以防止电流过载和触电。

表 1 为国际电工委员会 IEC-61109-2008 标准、云贵高原地区户外条件以及国内外参照 IEC-61109-2008 标准进行的紫外辐射加速老化试验的方法及参数，本文参照上述试验参数及户外条件确定紫外辐射加速老化试验相关参数。

表 1 各试验方法参数对比
Table 1 Experimental parameters in IEC standard and different tests

	云贵高原地区 户外条件 Yun-gui plateau area outdoor conditions	IEC-61109-2008 标准 IEC-61109-2008 standard	国外紫外 加速老化试验 ^[22] Foreign UV accelerated aging test ^[22]	国内紫外 加速老化试验 ^[19] Domestic UV accelerated aging test ^[19]	本试验 This experiment
紫外功率密度 UV Power density / mW·cm ⁻²	1.7±0.1* (UV)	90 (UV)	20 (UV)	55±5 (UV & visible light)	57±3 (UV & visible light)
试验时间 Test of time / h	—	2496	4000	1000	500
温度 Temperature / ℃	20±10	50	60±2	65±5	33±5
湿度 Humidity / %	74±10	98	50±3	30±2	42±3

注：*，按到达地面的紫外线占太阳总辐射量的 3% (云南地区太阳总辐射量为 6000 MJ/m²)，日照 8 h 计算。
Note: *, Ultraviolet radiation that reaches the ground is 3% of the solar total radiation, sunshine time is 8 h.

3 老化试验

3.1 紫外辐射加速老化试验参数的测量

可调式紫外辐射老化试验箱是通过调节样品台高度来调制辐射光功率密度的。试验采用美国 Coherent 公司 210 POWER METER 功率计测量样品台处辐射功率密度，测量范围为 0–10 W，误差为 0.01 W，功率计探头响应波长为 300 nm–30 μm，探头感应面积为 2.54 cm²；采用 SMART/SENSOR AR847 分体式温湿度计测量温度和湿度；臭氧浓度采用杭州陆恒生物科技有限公司生产的臭氧检测试纸测量，测量范围 0–40 mg/m³，测量误差±1 mg/m³。参照表 1 的试验参数，以及经过多轮试验摸索，确定样品台至灯的距离为 41 cm，样品台处的功率密度 E_0 为 (57±3) mW/cm²，温度为 (33±5) ℃，湿度为 (42±3)%，样品台处臭氧浓度约为 5 mg/m³。

3.2 户外自然老化和紫外辐射加速老化辐射量的等价性计算

根据云南地区紫外和可见光占总辐射量百分比，按式(1)计算户外可见和紫外光的年辐射量 E_1 ：

$$E_1 = H \times (3\% + 46\% \times \frac{1}{5}) \quad (1)$$

式中， E_1 为户外可见光和紫外线的年辐射量， H 为户外年太阳辐射总量(MJ/m²)，计算结果 E_1 为 732 MJ/m²。

试验箱样品台处功率密度为 (57±3) mW/cm²，按照图 2 所示的光谱图，经过石英玻璃和普通玻璃过滤后到达样品台处的紫外和见光约占 70%，按照式(2)计算 500 h 紫外和可见光的辐射量 E_2 为 718 MJ/m²：

$$E_2 = 500 \times 3600 \times 57 \times 70\% \quad (2)$$

户外条件下,紫外和可见光的年总辐射量为 732 MJ/m^2 ,与紫外辐射加速老化试验箱内紫外和可见光 500 h 总辐射量 718 MJ/m^2 相当,即试验箱辐射 500 h 相当于户外一年的老化作用。

3.3 紫外辐射加速老化试验

选用国内 A 厂家(A 系列)的 HTV 硅橡胶片,尺寸 $40 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$,及 B、C 厂家(B、C 系列)的 HTV 硅橡胶,尺寸均为 $336 \text{ mm} \times 50 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$;分别用无水乙醇和去离子水擦洗试样表面,晾干,置于样品台处,进行 250–500 h 的紫外辐射。

3.4 户外自然辐射老化试验

户外自然辐射老化试验在国家工程技术(昆明)特高压工程实验室基地按 GB/T3511-2001^[23]进行。采用与紫外辐射加速老化试验相同厂家(A 系列)同批次生产的 HTV 硅橡胶,尺寸 $150 \text{ mm} \times 60 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$;分别用无水乙醇和去离子水擦洗试样表面,晾干。试验时将试样置于暴露架(不带电)上,暴露架面朝正南,如图 4 所示。

经自然气候因素如日光、温度、水分等综合作用的作用,试验时间为 4380 h(半年)和 8760 h(1 年),年平均气温 20°C 左右。

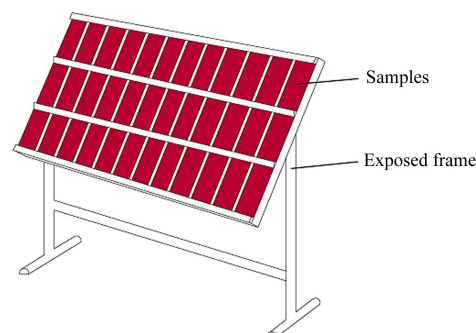


图 4 A 系列试样户外自然老化试验示意图
Fig.4 Sketch of outdoor nature ageing samples from factory A

4 HTV 硅橡胶的紫外辐射加速老化与户外自然辐射老化试验的 SEM 测试结果评价

为了评价 HTV 硅橡胶紫外辐射加速老化对户外自然老化的模拟效果,采用 PHILIPS/XL30ESEM-TMP 扫描电镜观察两种试验条件下试样表面形貌变化。

图 5(a)、(b)、(c)分别为新品和紫外辐射加速老化 250 h 和 500 h 后试样表面放大 500 倍 SEM 照片。图 6(a)、(b)、(c)分别为新品和户外自然辐射老化 4380 h 和 8760 h 后试样表面放大 500 倍 SEM 照片。

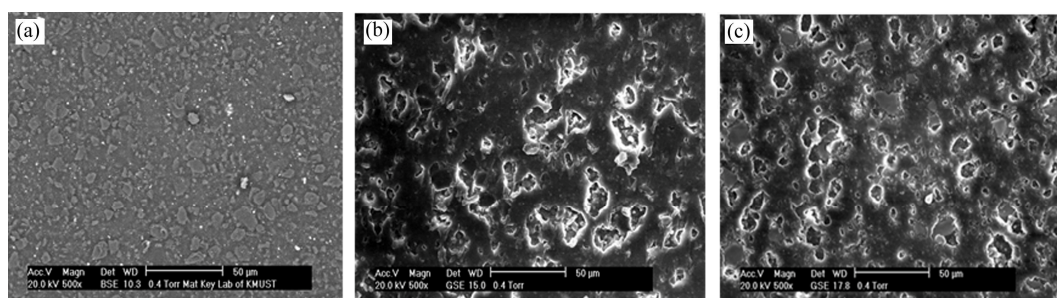


图 5 A 系列试样紫外辐射加速老化试验 SEM 照片
Fig.5 SEM images of ultraviolet accelerated ageing samples from factory A
(a) new sample (b) irradiated for 250 h (c) irradiated for 500 h

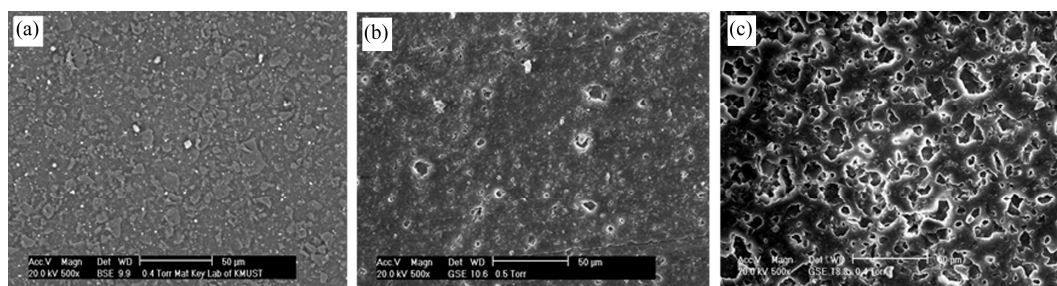


图 6 A 系列试样户外自然老化试验 SEM 照片
Fig.6 SEM images of outdoor nature ageing samples from factory A
(a) new sample (b) aged for 4380 h outdoors (c) aged for 8760 h outdoors

由图 5 和图 6 可知,新品表面平整,衬度均匀,无裂痕和孔洞;紫外辐射加速老化和户外自然老化试验后试样表面都出现了平整度下降,大量孔洞且内部颗粒外露,且随着辐射时间的增加,老化变得更严重,说明两种试验条件下试样老化规律一致;在有效辐射量相当的条件下,紫外加速老化(500 h)和户外自然老化(8760 h)试验后试样老化程度相当。户外自然老化过程中试样表面孔洞和颗粒数较紫外加速老化试验多,老化稍微剧烈一些,这可能是由于户外自然老化过程中试样不仅受到紫外光的作用,还受到温度、水分、工业污秽、酸雨等其他环境因素的影响^[24-27]。

5 结论

在紫外和可见光有效辐射总量相当的条件下,紫外辐射加速老化和户外自然老化试验后试样表面都出现了平整度下降,颗粒和孔洞数增加,填充物外露,二者老化规律一致且老化程度相当,两种试验具有较好的等价性。

可调式紫外老化试验箱能够较好地模拟日光紫外对 HTV 硅橡胶的老化作用,能够实现两种试验条件下试验结果的一致性,以此进行紫外加速老化试验研究是可行的,该方法可再现性强,操作简单且大大缩短了试验时间。

紫外加速老化试验方法为 HTV 硅橡胶紫外老化性能的研究提供了较好的平台,对其在特高压输电线路大面积挂网应用具有重大的意义。

参考文献

- 1 邱志贤. 高压复合绝缘子及其应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
QIU Zhixian. High voltage composite insulator and application [M]. Beijing: Electric Power Press, 2005.
- 2 Samuel A, Frank S, Konstantin O P. Improved silicone rubbers for the use as housing material in composite insulators [J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2012, **19**(1): 209- 211.
- 3 关志成, 张福增, 王新, 等. 特高压直流输电线路外绝缘设计和绝缘子选型[J]. 高电压技术, 2006, **32**(12): 120-124.
GUAN Zhicheng, ZHANG Fuzeng, WANG Xin, *et al.* Consideration on external insulation design and insulator selection of UHVDC transmission lines [J]. High Voltage Engineering, 2006, **32**(12): 120-124.
- 4 李政敏, 胡琰锋. 输变电工程中的复合绝缘子综述[J]. 西北电力技术, 2006, **34**(2): 34-36.
LI Zhengmin, HU Tanfeng. The introduction of composite insulator in power transmission and transformation engineering [J]. North West China Electric Power, 2006, **34**(2): 34-36.
- 5 杨成. 复杂环境下硅橡胶绝缘子老化与闪络现象研究[D]. 天津. 天津大学, 2008: 1-5.
YANG Cheng. Surface deterioration and flashover phenomenon of silicone rubber insulator under multi-environments [D]. Tianjin. Tianjin University, 2008: 1-5.
- 6 宿志一, 殷禹, 周军, 等. 特高压交直流线路用复合绝缘子及其可靠性[J]. 高电压技术, 2009, **35**(10): 2331-2333.
SU Zhiyi, YIN Yu, ZHOU Jun, *et al.* Reliability of composite insulators used for UHV AC/ DC transmission lines[J]. High Voltage Engineering, 2009, **35**(10): 2331-2333.
- 7 王晶, 候红英. 青岛地区太阳紫外线辐射研究[J]. 中国海洋大学学报, 2006, **36**(4): 671-676.
WANG Jing, HOU Hongying. Research of sola ultraviolet radiation in the Qingdao region [J]. Periodical of Ocean University of China, 2006, **36**(4): 671-676.
- 8 吴兑. 太阳紫外线辐射及其生物效应[J]. 气象, 2001, **26**(4): 54-55.
WU Dui. Surface sunny ultraviolet radiation and biology effect [J]. Meteorological, 2001, **26**(4): 54-55.
- 9 庄海仁, 何文生, 林玛丽. 国内外实验室光源加速老化试验设备[J]. 合成材料老化与应用, 2007, **36**(4): 48-50.
ZHUANG Hairen, HE Wensheng, LIN Mali. Domestic and foreign laboratories light source accelerated aging test equipment [J]. Synthetic Materials Aging and Application, 2007, **36**(4): 48-50.
- 10 胡行俊. 紫外光与合成材料的光老化[J]. 装备环境工程, 2006, **3**(2): 38-41.
HU Xingjun. UV irradiation and photo-aging of synthetic materials [J]. Equipment Environmental Engineering, 2006, **3**(2): 38-41.
- 11 殷禹, 梁曦东, 李庆锋, 等. 复合绝缘子的人工加速老化试验[J]. 电网技术, 2006, **30**(12): 69-74.
YIN Yu, LIANG Xidong, LI Qingfeng, *et al.* Artificial

- accelerated ageing test of composite insulators [J]. Power System Technology, 2006, **30**(12): 69-74.
- 12 李申生. 太阳常数与太阳辐射的光谱分布[J]. 太阳能, 2003, **4**: 5-6.
LI Shensheng. Solar constant and the spectral distribution of solar radiation [J]. Solar Energy, 2003, **4**: 5-6.
- 13 周平, 陈宗瑜. 云南高原紫外辐射强度变化时空特征分析[J]. 自然资源学报, 2008, **23**(3): 490-491.
ZHOU Ping, CHEN Zongyu. Analysis of the spatio-temporal characteristics of UV-B strength change over the Yunnan plateau [J]. Journal of Natural Resources, 2008, **23**(3): 490-491.
- 14 郑小波, 王学锋, 罗宇翔, 等. 1961-2005 年云贵高原太阳辐射变化特征及其影响因子[J]. 气候与环境研究, 2011, **16**(5): 657-664.
ZHENG Xiaobo, WANG Xuefeng, LUO Yuxiang, *et al.* Variation characteristics of global radiation and the associated climatic factors over Yunnan-Guizhou Plateau in the southwestern part of China for 1961-2005 [J]. Climatic and Environmental Research, 2011, **16**(5): 657-664.
- 15 赵翻选, 赵书荣, 王联章, 等. 高海拔地区紫外辐射对硅橡胶复合绝缘子老化的影响[J]. 华北电力技术, 2009(3): 10-13.
ZHAO Hexuan, ZHAO Shurong, WANG Lianzhang, *et al.* Influence of UV-irradiation on degradation of silicone rubber composite insulators in high-altitude regions [J]. North China Electric Power, 2009(3): 10-13
- 16 江文杰. 光电技术[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 60.
JIANG Wenjie. Photoelectric technology [M]. Beijing: Science Press, 2008: 60.
- 17 赵彦钊, 殷海荣. 玻璃工艺学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 142-144.
ZHAO Yanzhao, YIN Hairong. Glass technology [M]. Beijing: Press of Chemical Industry, 2006: 142-144.
- 18 石中玉. 紫外线光源及其应用[M]. 北京: 轻工业出版社, 1984: 138.
SHI Zhongyu. Ultraviolet light source and its application [M]. Beijing: Press of Light Industry, 1984: 138.
- 19 刘云鹏, 王秋莎, 律方成, 等. 紫外辐射对高温硫化硅橡胶性能影响初探[J]. 高电压技术, 2010, **36**(11): 2634-2638.
LIU Yunpeng, WANG Qiusha, LYU Fangcheng, *et al.* Influence of UV radiation on HTV silicon rubber performance [J]. High Voltage Engineering, 2010, **36**(11): 2634-2638.
- 20 马振锋, 彭骏, 高文良, 等. 近 40 年西南地区的气候变化事实[J]. 高原气象, 2006, **25**(4): 633-635.
MA Zhenfeng, PENG Jun, GAO Wenliang, *et al.* Climate variation of southwest china in recent 40 years [J]. Plateau Meteorology, 2006, **25**(4): 633-635.
- 21 李敏. 硅橡胶材料臭氧老化的研究[D]. 北京. 华北电力大学, 2009: 1-4.
LI Min. The ozone aging research of Silicone rubber material [D]. Beijing. The University of North China Electric Power, 2009: 1-4.
- 22 Chang-Su H, Bok-Hee Y, Sang-Youb L. Degradation in silicone rubber used for outdoor insulator by UV radiation [C]. Properties and Applications of Dielectric Materials, 2000: 367-370.
- 23 国家质量监督检验检疫局. GB/T 3511-2001[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
General Administration of Quality Supervision. GB/T3511-2001 [S]. Beijing: Chinese Standard Press, 2001.
- 24 Hee-Youn B, Chang S. Surface degradation of HTV silicone rubber and EPDM used for outdoor insulators under accelerated ultraviolet weathering condition [J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2005, **12**(5): 1021-1024.
- 25 Seog-Hyeon K, Edward A, Reuben H, *et al.* Chemical changes at the surface of RTV silicone rubber coatings on insulators during dry-band arcing [J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2004, **1004**: 113-115.
- 26 Rajin V, Udayakumar K. Degradation of silicone rubber under AC or DC voltages in radiation environment [J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2009, **3**(16): 837-838.
- 27 祁黎, 颜景莲, 欧阳旭丹, 等. 复合绝缘子硅橡胶材料老化试验研究[J]. 电网技术, 2006, **30**(12): 91-94.
QI Li, YAN Jinglian, OUYANG Xudan, *et al.* Research on ageing test of silicone rubber material for composite insulators [J]. Power System Technology, 2006, **30**(12): 91-94.

Accelerated aging test method for ultraviolet radiation of composite insulators

LI Guofang¹ QIN Yongxiong¹ YANG Rui¹ FEI Yong¹
GUO Wenyi² DONG Kun¹ YU Lan¹

¹(Faculty of Materials Science and Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

²(Construction of National Engineering Laboratory for UHV Engineering Technology (Kunming),
Scientific Research Institute of China Southern Power Grid, Songming 651700, China)

ABSTRACT The purpose of this paper is to provide a new experimental method for studying the ultraviolet ageing properties of high temperature vulcanization (HTV) silicone rubber for composite insulators. Combined with relevant standards and the ultraviolet and visible light spectrum and radiation intensity of solar in the high altitude (Yunnan) area in our country, the ultraviolet radiation ageing experimental box featured the adjustable spectral components and power density was designed and set up. The equivalent calculations of the ultraviolet and visible light radiation quantity, by which the samples were aged, were carried out between outdoor natural ageing and ultraviolet accelerated ageing. Ultraviolet accelerated ageing (250–500 h) and outdoor natural ageing tests were carried out at the same time. Scanning electron microscopy (SEM) was used to evaluate the feasibility of ultraviolet accelerated ageing test. The results showed that samples both after outdoor natural ageing tests and ultraviolet accelerated ageing tests, exhibited decline of surface flatness of HTV silicon rubber, increase of voids and grains and further cross-link or oxidization of surface functional groups, all of which illustrated that HTV silicone rubber aged. The ageing extent of HTV silicone rubber is equal between the two kinds of tests under the same effective radiation amount. The method of ultraviolet accelerated ageing test shorten the testing time has very good equivalence and reproducibility and its operations are also simple, and provides a good platform for the research of HTV silicone rubber ultraviolet ageing performance, which is very feasible for researching on the accelerated ageing test of HTV silicone rubber.

KEYWORDS Composite insulator, High altitude regions, Ultraviolet accelerated ageing, Outdoor natural ageing, Scanning electron microscopy

CLC TM216, TL13