

防污闪 RTV 硅橡胶喷涂施工的质量管控

张佰庆, 崔艳东, 童维占

(江苏省电力公司检修分公司, 徐州市建国西路 111 号 221000)

摘要: 防污闪硅橡胶是具有 RTV 工艺特性的特种功能的液态涂料, 而真正具有防污闪功能的却是其固化后的涂层。液态涂料转化为固化涂层的过程——即喷涂施工——显然是防护质量的重要一环。现行标准中对施工的规范性条款制订的较少, 加之施工队伍参差不齐, 因此, 每个/次现场喷涂形成的涂层质量不尽相同。本文通过多年的现场监管实践, 总结出防污闪硅橡胶喷涂施工中必须管控的关键节点, 从而提高喷涂施工的过程质量和最终涂层质量。

关键词: 防污闪 RTV 硅橡胶; 喷涂; 质量; 管控

0 引言

随着经济的发展, 环境的恶化, 防污闪已经成为电力系统越来越重要的一个课题, 作为防污闪有效手段之一的 RTV 硅橡胶技术目前也已越来越广泛地应用于电力生产中, 如何控制好 RTV 硅橡胶喷涂施工过程中的各个环节, 做好质量管控, 已经作为一个尤为迫切需要解决的课题摆在电力运检单位面前。

1 防污闪 RTV 硅橡胶的特性

电力防污闪 RTV 硅橡胶在现实中被口语化为 RTV、PRTV。这确实是应该纠正的。RTV (Room temperature vulcanized) 实际上是指一种硫化体系或硫化工艺, 意即常温即可硫化的。具有这种工艺特性的涂料林林种种, 根据应用不同而化学成份不同, 最终产品的功能特性也就不同。电力防污闪 RTV 硅橡胶是个专有名词, 简单地说, 是应用于电力设备外绝缘的、具有防污闪功能的、常温条件即可发生硫化化学反应的特种硅橡胶。RTV 是定语, 硅橡胶是主语。同理, PRTV (Permanent-Room-Temperature-Vulcanized), 即长效的 RTV 仍只是定语。

硅橡胶成品存在形式是固态的, 应用于电力的硅橡胶制品也是首先以固态的形式问市的。上世纪五十年代发明了高温硫化固态挤压浇筑工艺 (即 HTV 工艺的硅橡胶), 这种高温硫化工艺可以直接把固态的硅橡胶材料制作出硅橡胶成品, 如电缆附

件、插头等。之所以又发明了常温硫化工工艺的液态硅橡胶 (即 RTV 工艺的硅橡胶), 是为了满足在任意现场和对特异形状工件现场成型的实际应用需求。随着科技的进步, 六十年代末双组份技术问世, 二十年后单组份技术诞生并在今天得到普遍运用。

这样, 可用于任何现场成型的电力防污闪 RTV 硅橡胶即以液态形式提供。从硅矿石中提取硅元素开始, 以硅氧键 (Si-O) 为主链, 再将满足电力防污闪性能的功能材料的分子重新与主链排列, 侧基 (分子链正上方) 排列着致密的具有憎水功能的甲基基团 (CH_3), 此时分子链的端基是保持硅橡胶于液态的特种交联剂 (醋酸技术、肟技术、醇技术、以及最新诞生的水技术), 逐道工艺混炼, 形成分子链尚未封端的聚二甲基硅氧烷。当现场喷涂时, 在常温条件下 (-20°C 以上), 雾化后的涂料充分吸收空气中的水分子, 与水分子中的氢基反应形成羟基置换在分子链的端基, 脱掉交联剂的涂料按照工件实际形状缩聚成膜, 固态的硅橡胶完整牢固地将工件表面包裹防护。最终的端羟基聚二甲基硅氧烷分子链形成稳定有序的四点网状交联结构, 这层固态的硅橡胶涂层才是硅橡胶成品, 在未来长期、恶劣的环境中担当防污闪重任。

综上所述, 电力生产单位采购的电力防污闪 RTV 硅橡胶实际是半成品, 而距离防污闪涂层的形成还有一半的路要走, 这一半就是施工。涂料的性能、质量是重要的, 同样重要的就是从涂料变成涂层的施工。如果从复杂程度来说, 提供涂料简单, 而施工涉及的管控节点则复杂得多。

2 喷涂施工的现行标准

运检单位现场管控执行两个依据，其一是，DL/T627-2004《绝缘子用常温固化硅橡胶防污闪涂料》，在第9条《施工要求》中规定了4条（段）；其二是，国家电网建运[2006]1022《国家电网公司跨区电网输变电设备外绝缘用防污闪涂料使用指导原则》（试行），在第7条《施工》中进一步细化，列了10条。标准和指导原则主要侧重涂料，对施工仅提出了基本技术要求。

而面临不同施工单位、不同工况的喷涂现场，运检单位必须对任何施工细节把关，包括质量、安全，压力巨大。

实践总结，对喷涂施工中几个关键的硬件和软件把住关，则可将过程质量和最终涂层质量控制住。

3 喷涂施工现场应管控的关键节点

3.1 对喷涂设备与工艺的前置管控

由于电力防污闪 RTV 硅橡胶的最后一道化学反应是在喷涂的瞬间完成的。因此，喷涂工艺应有严格的专业化控制，包括喷涂设备、雾化程度、涂料压力、辅气压力、喷嘴选择、每秒流量、喷涂遍数等等，这些都是保证化学反应完全、充分的必要条件。即便是相同的涂料，如果用不同的喷涂设备、不同的工艺将导致 RTV 硅橡胶固体涂层质量不同。

对比实践中两种不同设备与工艺，可以看到完全不同的两种喷涂质量和涂层质量。

一种是空气喷涂技术，即柴油/电动空压机+油水过滤罐+空气喷枪。

空压机产压 0.8MPa 的压缩空气，从 $\Phi 2.5\text{mm}$ 口径的空气喷枪枪嘴以高流速释放，使枪嘴周围形成局部真空，涂料被压缩空气吸入真空空间膨胀释放，并随前进的气流带至工件表面。出料量大、出料颗粒也大，雾化不充分则导致涂料硫化不充分，所以易于堆积、流淌。

由于是靠气流将雾化涂料带到工件表面，所以固化涂层的附着力也要差。

同时，气流带出的雾化涂料无控制措施，喷嘴口径又大，除了工件两侧直接飘散外，进入工件的反溅雾滴同样没有控制，以浅锅状反弹，所以不仅污染大（非喷涂部位污染、空气污染、地面污染），而且涂料现场实际损失很多。从权威的设备制造商公开的资料看，空气技术的涂料利用率平均约 35%。

另一种是高压辅气技术，即动力、喷涂泵、空压机一体机或分体机。

高压喷涂泵将涂料本身加压至 8-25MPa 的高压（根据输送距离、工件尺寸、喷涂进度调压），在等圆直径 0.33mm 口径、流量和宽幅可调的高压辅气喷枪枪嘴扁平释放，释放的涂料因膨胀而雾化为粒径 $0.2\mu\text{m}$ 的气雾，使涂料最大面积和体积地与空气中水分子充分硫化反应，所以，缩聚的涂层表面均匀、致密、光洁。压迫力使固化后的涂层附着力强劲，这也是保证涂层长久寿命的重要因素之一。

空气泵提供 0.3-0.4MPa 的低压力空气辅气系统，可再次辅助枪嘴释放出的涂料雾化（即双生雾化），雾化效果进一步增强。同时，构造独特的高压辅气喷枪风帽的喷孔，喷出涡流旋转的环流气幕包裹着雾化的涂料以扁平的火苗状喷向工件，深入各种位置，并且该辅气抑制了遇阻反弹的气雾，所以，飘散的涂料气雾很小、污染很小，当然，涂料损失也就很少，附着率（即涂料利用率）高。从同一的权威设备制造商公开资料看，高压辅气技术的涂料利用率平均约 80%。

虽说都是喷涂工艺，但两者的喷涂质量和最终涂层质量相差甚大。因此，负责现场监管的运检单位首先要前置性控制施工单位对喷涂设备和工艺的使用。

3.2 对喷涂工序的过程管控

清洁被喷涂工件——非喷涂部位包裹——喷涂——自检与消缺是喷涂施工的具体细节。对过程管控到位将确保喷涂质量和最终涂层质量。

（1）清洁被喷涂工件

新绝缘子表面有油脂、标签等非常规状态，必须清除，运行的绝缘子表面总会积污，要保证涂层质量必须将工件表面清洁。这是非常重要的前提性环节，直接关系到涂层与绝缘子基材的附着力，附着力直接关系到绝缘子涂层长久野外运行寿命。

要根据现场实际来控制清洁的工序。如工件数量多、停电周期长、作业人员充裕，则要求施工单位专门安排擦拭班组，和喷涂班组形成阶梯式推进。反之，则要求喷涂专责人员自己负责擦拭。

五指手套、干棉布非常适合一般积污的绝缘子，对特别严重的结垢，链式柔性钢丝球、使用清洗喷涂设备用的清洗剂也是必要的辅助手段，对于江苏部分的重污染地区，水清洗是喷涂之前的必备工序，

并要严格加以现场验收。

对变电设备的直立式支柱绝缘子,每50cm为一个工位;而耐张及悬垂绝缘子每4片为一个工位,内沿、外沿逐片清洁,不留污垢。

(2) 非喷涂部位包裹

对法兰、线夹、电晕圈、绝缘子金具等非喷涂部位采取包裹以防止污染。

包裹的步骤紧跟清洁工序,避免重复上下设备。

包裹材料要使用吸附力大的保鲜膜、自粘胶带。

按顺序缠绕,保证没有遗漏处,而且边角缠牢,严禁松散飘散。

(3) 喷涂

温度-20℃以上,湿度20-80%,风力小于五级的环境条件下均可开展喷涂作业。

将喷涂泵压力设定在8MPa,空压泵出气阀压力调至0.3MPa,枪嘴根据工件大小选择,一般为30°角、距工件40cm的扇宽30cm的常用枪嘴,边试喷边微调喷枪后的调节按钮,待涂料雾化的火苗形状最佳后锁定压力。

喷涂于清洗程序一样,仍旧是按工位实施,在每一个工位先内沿后外沿围绕绝缘子逐层多遍喷涂。

尤其第一遍涂层一定要薄,肉眼可见类似透明的雾液附着在工件表面即可。薄的涂层迅速指干,则后层更易于附着。正常气象条件下,7-8遍时湿膜将达到0.7-0.8mm,固化后即可达到0.4mm,当颜色逐渐显现出硅橡胶特定颜色,完全覆盖工件基底颜色后,示意地面设备工程师查验本工位喷涂质量。

等圆直径0.33mm的高压辅气喷枪每秒流量不足0.01L,膨胀的涂料呈现为雾状,能最大限度地和空气中水分子发生反应,脱掉交联剂后的固化涂层则每秒附着量更少,指干更快,不易堆积、流淌,而且逐层多遍的附着使涂层致密、细腻,附着力也比较强。

涂层的厚度、均匀度、附着力是保证涂层长久寿命的重要因素。尤其在强风、强沙、温差大、紫外线强、污染严重的地区更显得重要。

(4) 检查与消缺

地面的设备工程师、安全监护人员、喷涂专责人员三个岗位为一作业组,本作业组的质量本作业组全员负责。

1) “三步自检消缺”是现场管控的重要工序。

“工位自检消缺”:绝缘子清洁、包裹、喷涂都按照“工位”循序渐进地实施。当喷涂专责完成一个工位的喷涂,认为无误后不能移动,示意或利用对讲系统通知地面设备工程师协助查验,地面设备工程师在多个角度用肉眼和望远镜检查绝缘子涂层和金具,发现不足之处通知喷涂专责消缺,保证喷涂一次成功。无误后,喷涂专责移动至下一工位。“工位自检消缺”是所有自检验收中最重要的基础环节。

“整支/串自检消缺”:同样,整支变电设备支柱或整串线路绝缘子喷涂完成后,喷涂专责不能移动,与地面设备工程师对整支/串的上下沿进行整体检查,不足之处直接处理。

“整间隔/塔自检消缺”:当整个间隔或整基塔全部喷涂结束后,所有喷涂专责不能移动,通知现场负责人和技术负责人对整个间隔/塔进行内部验收。发现问题及时处理,整个间隔/塔无误后,喷涂专责方可拆除自用地线,离开喷涂设备。

“三检”制度不仅保证了喷涂和涂层质量,还减少了重复劳动而带来的安全隐患。

2) 竣工验收是现场管控的必备工序

经过“三步自检”合格后,施工单位申请竣工验收,运检单位组织人员对工程质量进行最后的竣工验收,以便查漏补缺,确保工程质量。

4 喷涂施工现场管控的创新延伸

由于电力设备多处于野外,特别是输电线路,运行环境复杂,许多施工中的新问题层出不穷。例如绝缘子串存在个别不易喷涂到位的死角、或即使喷涂到位也无法自检、野外施工环境污染造成的政策处理等等问题。运检单位管控现场不应局限于管控已出现的问题,对可能出现的问题提前进行预防和防范更有价值。针对现场实际,督促和指导施工单位积极开展技术创新是将管控向现场施工前延伸的有效手段。

(1) 针对大盘径的两联、四联、八联绝缘子串,下侧难以喷涂到位,鼓励施工单位进行电动自升降车和耐张串移动行走架的研制与应用,这样,绝缘子上下各配一名喷涂专责,同工位同时喷涂上下沿,不仅大幅度地提高了喷涂效率和质量,而且避免了单人强行探身喷涂的安全隐患。

(2) 针对喷涂耐张串不易观察下沿喷涂质量的

情况,鼓励施工单位对自检镜的研制与应用,不锈钢或玻璃镜面的自检镜简单且易携带,每一个工位喷涂完成后,喷涂专责拉开自检镜软绳,打开自检镜查看底沿是否均匀、完全覆盖,自检完成后示意地面辅助人员检验,地面设备工程师全方位检查后通知消缺位置直至全部合格,向下一个工位移动。

(3) 针对包裹绝缘子金具的保鲜膜或胶带易松散飘散而且易发生遗落在绝缘子上的情况,鼓励施工单位使用专用的弹性抱箍,每个工位4片绝缘子,则在金具上卡4个防污染弹性抱箍,不仅可重复使用、节省包和拆时间,且易于记住自己领用、使用、交回的数量而避免遗漏在绝缘子上。

(4) 针对防污闪涂料喷涂时会有滴落并由此引发纠纷的情况,鼓励施工单位在特种场所使用改装的防滴落雨伞,在城市市区道路旁、在野外农田、果园、水产养殖附近喷涂时,喷涂专责携带木柄有搭扣的防滴落雨伞,扣挂在绝缘子金具上,随工位移动。既防止了污染,也防止了可能的纠纷。

(5) 针对运行站(线)实施喷涂时停电成本、配合支出、施工安全等等问题,对于有必要进行RTV防污闪的站(线),运检单位应积极建议主管部门对基建站(线)投运前安排喷涂施工,既利于提高喷涂质量,又最大限度地减少安全隐患。

5 结论

(1) 防污闪 RTV 硅橡胶涂料的现场硫化特性决定了施工是形成涂层的重要环节。

(2) 随着防污闪喷涂任务日益增多,运检单位对施工现场的管控压力随之增大,积极有效的管控是保证喷涂质量和最终涂层质量的必要手段。

(3) 管控要前置,首要的管控是喷涂设备及

其工艺的选择,这是保证喷涂质量和最终涂层质量前提。

(4) 按照施工工序对现场各个环节进行过程的细节管控,每个环节都决定了喷涂质量和涂层质量。

(5) 运检单位对施工现场的管控并不仅仅局限于发现已发生的问题,更有价值的管控应延伸至解决实际问题的创新措施方面。

参考文献:

- [1] 朱可能,关志成,贾志东.RTV硅橡胶涂料防污闪技术及其在天津电网中的应用[J].中国电力,2002(05).
- [2] 黄玲,文习山. RTV涂层和增爬裙对绝缘子电场分布的影响[J]. 高电压技术,2007(3).
- [3] 贾丽,杨再文,刘华飞,等.改性 $Mg(OH)_2$ 对脱醇型RTV硅橡胶性能的影响[J]. 有机硅材料,2005(2).
- [4] 陈浩,石和平,杨爱民.RTV防污闪涂料在导线防覆冰中的应用[J]. 河南电力,2006(3).
- [5] 邹德荣,王宏,刘桂生. LDA/Kevlar对RTV硅橡胶绝热层材料性能影响[J]. 含能材料,2001(1).

作者简介:

张佰庆(1978-),男,江苏沛县人,工程师,常年从事输电线路运检及带电作业工作;

崔艳东(1979-),男,河北衡水人,工程师,从事输电线路运检工作;

童维占(1982-),男,湖北鄂州人,助理工程师,从事输电线路运检工作。