

# 复合绝缘子金具压接技术研究

陈巧玲<sup>1</sup> 司文凯<sup>2</sup> 司晓闯<sup>3</sup> 王宝元<sup>4</sup> 李壮优<sup>5</sup>

1. 411524199201036023 2. 411023199405186011 3. 410422198410106055

4. 410426199506093519 5. 460003198708192417

**【摘要】**复合绝缘子具有了强度高、重量轻以及不易破碎等特点,已经广泛应用到架空输电线路当中,主要起支撑、悬挂以及电气绝缘的作用。文章主要是研究金具尺寸和性能偏差对压接质量所造成的影响。

**【关键词】**压接; 复合绝缘子

## 引言

复合绝缘子具有成型工艺简单、憎水性优异、韧性好、重量轻等特点,相对于瓷绝缘子和玻璃绝缘子有更大的优势,特别是在重污秽地区需要大爬距绝缘子时,选用复合绝缘子既可缩短绝缘子串长,减少塔窗尺寸,又可显著降低铁塔造价和减轻铁塔负担,在特高压交、直流电网已经大量应用。

棒型悬式复合绝缘子由芯棒、伞裙护套、端部金具部分组成;芯棒为整体拉挤型实心结构的玻璃纤维增强环氧树脂浸渍棒,主要起机械作用。伞裙和护套为高温硫化硅橡胶,主要起绝缘和保护芯棒的作用。端部金属附件为铸钢材质,主要作用是连接绝缘子和支撑物,再利用连接区域来传输负荷。

引拔棒与金具合理的连接结构保证了悬式绝缘子的优秀的机械性能,在金具连接时通过探索不同的压接模具及压接压力、压接时间、压接模具尺寸等参数确定金具与引拔棒的连接形式。

棒形悬式复合绝缘子能不能承受机构负荷,与芯棒、两端金具的连接区结构有很大关系。通过连接区各部件之间传递负荷,发挥承载力,影响着绝缘子的机械性能。

## 1 复合绝缘子压接技术的工作原理、关键点和影响因素

复合绝缘子的芯棒和两端金属附件是它承载负荷的主要组件,它们之间是通过专用环形压接设备压接连接在一起的。具体过程就是:金具内径制成与芯棒外径相匹配的圆柱形腔,利用压接设备在金具外表面施加一定的压力,使金具产生塑性变形并压紧在芯棒表面,从而使复合绝缘子具备较强的机械负荷。因此,压接的质量与一些因素息息相关,譬如:金具棒尺寸和性能;芯

棒尺寸和性能;压接模具设计方式;压接工艺控制等。因不同厂家的芯棒性能参数基本一致,对结果影响很小,本文主要研究金具尺寸和性能偏差、压接工艺对压接质量的影响。

## 2 金具尺寸和性能偏差对压接质量的影响

### 2.1 金具所用材料的机械性能

压接连接界面金具塑变的连接机理表明,金具部件所用材料必须是塑性金属材料。要保证界面结构机械连接性能的稳定性,应对金属部件的屈服极限和受压收缩率等主要塑性变形参数进行合理的选择。如果从压接连接界面机械传递机理来分析,则应选择屈服极限稍低的金具部件材料,这样金具部件既容易实现界面连接的机械性能,降低组装设备容量,也可以避免因环温引起界面部件温度升高对其连接性能的影响。但由于受金具两端球窝或球头结构形状及拉伸强度的限制,金具部件材料的屈服极限不可能选择很低。至于金具部件材料的受压收缩率,如果从界面组装过程中金具塑变刚度使得塑变部位的反向位移应尽量减少的角度来考虑,则金具部件采用受压缩率小的塑性材料为宜,但通常受压缩率小的塑性材料的屈服极限反而升高,这就违背了金具部件材料的屈服极限选择规律。由此,金具部件材料的屈服极限和受压收缩率,必须根据它们在界面结构组装和运行过程中所起的作用,综合考虑各种因素相互影响的程度,找出最佳配合关系后合理确定。另外需要指出的是,由于复合绝缘子两端金具头部分别存在着复杂结构形状的球窝和脖颈极细的球头,其金具成型不可能采用相同成形工艺,这就给金具部件材料屈服极限和受压收缩率带来一定差别,因此需要在金具部件选材和成形工艺上尽量减少差异。目前常用的金具材料主要为45号钢、铸铝合金、Q345等。

## 2.2 金具部件塑变部位厚度

压连接界面的金具部件是靠塑性变形部位产生塑压与芯棒连接的,其金具部件塑变厚度将成为界面结构连接最关键的参数,选择适当才能够保证界面结构连接的稳定性。金具部件的塑变部位内径是由界面结构芯棒部件的直径决定的,是不能改变的固定尺寸,因而金具部件塑变部位的所需厚度只能靠改变其外径尺寸来实现。至于金具部件塑变部位的厚度选择范围,应首先以金具部件在产品承受平均拉伸极限载荷时,其界面拉伸应力不大于金具部件材料的屈服极限来确定金具部件塑变部位的最小极限厚度。至于金具部件塑变部位的最大厚度极限,应遵循厚壁圆筒增加厚度不宜过大的原则要求,考虑到界面组装时金具部件塑变部位内圆表面受压瞬间的收缩量不应超过规定值,在金具部件塑变部位沿厚度塑性变形应力趋于合理分布的基础上进行选择。

设复合绝缘子额度拉伸负荷为 $F$ ,金具内孔(等于芯棒直径)为 $\phi$ ,金具屈服强度 $\sigma_s$ ,金具压接部位拉伸负荷为 $F_b$ ,金具压接部位壁厚为 $d$ 。

$$\text{则 } F_b = \sigma_s [\pi (\phi/2+d)^2 - \pi (\phi/2)^2]$$

$$\text{令 } F_b = F$$

$$\text{有 } F = \sigma_s [\pi (\phi/2+d)^2 - \pi (\phi/2)^2]$$

计算得出金具压接部位最小极限厚度 $d_{\min}$ 。若金具设计安全系数为 $U$

$$\text{则有 } FU = \sigma_s [\pi (\phi/2+d)^2 - \pi (\phi/2)^2] U$$

$$\text{计算得出金具压接部位最大极限厚度 } d_{\max}。$$

金具部位塑变部位的实际厚度除了在确定厚度范围内进行选用外,还要通过界面结构实际试装加以验证。

## 2.3 金具筒形内圆尺寸公差以及内表面粗糙度

金具部件与芯棒配合的内圆尺寸公差和形状公差直接关系到界面连接的性能,必须合理选择。压连接界面结构的机械传递,是靠塑压金具部件筒形内圆表面粗糙度,即靠在芯棒表面形成的粘接结点剪切分力和犁削分力来实现的,因此金具筒形内圆表面加工时必须有一定的粗糙度。其具体数值,应以与配合的芯棒表面脱模剂和树脂可能出现的最大厚度为基准。

设复合绝缘子额度拉伸负荷为 $F$ ,芯棒直径为 $\phi$ ,芯棒拉伸破坏应力为 $\sigma$ ,芯棒截面积 $S$ ,芯棒半径 $R$ ,芯棒拉伸负荷为 $F_a$ 。

$$\text{则 } \sigma = 1500 \phi^{-0.32}$$

$$F = \sigma s = 1500 \phi^{-0.32} \pi R^2$$

若芯棒设计安全系数为 $E$ 有:

$$F_a = FE = 1500 \phi^{-0.32} \pi R^2$$

计算得出芯棒直径 $\phi$ 。得出芯棒直径后,金具内孔尺寸确定,再根据机械加工精度和装配要求给出适当

的公差范围。

## 2.4 金具部件与芯棒连接塑变长度及接触位置

金具部件与芯棒采用压接组装所形成的连接界面中,相互传递最大载荷的部位是在金具内圆表面与芯棒表面的接触层。芯棒纤维的成型工艺及芯棒承受的受力方向使承担最大载荷的薄弱部位出现在纤维间的树脂层,树脂将承受剪切应力的作用。因此,应以芯棒表面树脂剪切允许应力来确定金具部件塑变部位与芯棒的配合长度。对于金具部件与芯棒配合塑变接触的形式,应考虑在芯棒端部留一定长度的非塑变接触部位,以避免组装时损坏芯棒端头的完整性,影响界面结构的正常连接性能,同时也有利于提高芯棒在界面结构承载剪切的能力。至于芯棒与金具部件塑变配合的其它部位,也应采取有差异的组装工艺分段实现。这样可以有效的利用芯棒材质结构的性能来降低界面结构薄弱环节的影响,提高界面的连接性能。

## 3 压接工艺研究

本文以直径18mm芯棒压接为例研究压接工艺。

整个过程总体分为三大部分:

- 扣压完成后直接测拉力,摸索压力值与拉力值之间关系曲线;
- 扣压后模拟硅橡胶伞裙注射生产工序,受热后测试拉力,研究温度对拉力值的影响;
- 受热后按第一次压力值进行二次扣压,扣压后测拉力值;
- 根据a、b、c的结果给出满足70kN拉力的压力值范围。

### 3.1 第一组试验

模具内径28mm,压接压力值6~22MPa,保压时间6s,金具压接之后直接进行拉脱试验。拉力值与压力值关系曲线如图所示。

拉力值与压力值对应曲线

由芯棒拉脱情况和曲线可以看出:

- 在一定范围内,拉力值随着压力值的增大而逐渐增大,增速成变缓趋势。随着压接力的增加,芯棒表面的损伤程度逐渐加深,抵消了一部分表面压力增加产生的静摩擦力。
- 压力值自8MPa起实际拉力值达到规定拉力值(SML)1.5倍安全系数的要求,当压力值达到22MPa时,芯棒拉断,拉力值大幅下降,前期在压接过程中已经明显听到芯棒压断的声音。
- 破坏形式均为芯棒从金具内孔中拉脱。

### 3.2 第二组试验

在悬式绝缘子硅橡胶伞裙注射成型时,压接部位

的一部分同样需要放置在模具中受热, 根据第一组试样的试验结果, 选择压力值为 8MPa 和 12MPa 的试样各 6 支进行热烘处理, 热烘温度 120℃, 热烘时间 5 小时, 热烘后进行拉力测试, 8MPa 压接力下平均拉脱值 98.48kN, 12MPa 压接力下平均拉脱力值 108.24kN, 相对于第一组试样拉脱力值均出现了不同程度的下降, 8MPa 压接力下拉脱力值下降 6.3%, 12MPa 压接力下拉脱力值下降 11.5%, 破坏形式均为芯棒从金具内脱出。测试结果如下表所示。

序号	压力值 (kN)	
	8MPa	12MPa
1	95.84	117.20
2	90.96	98.94
3	108.64	108.58
均值	98.48	108.24
与前对比	6.3%	11.5%

### 3.3 第三组试验

对热烘后的绝缘子进行二次压接, 压力值、保压时间与前期第一次相同, 压接完成后进行拉力试验, 破坏形式均为芯棒从金具内脱出, 8MPa 压接力下平均拉脱值 137.44kN, 12MPa 压接力下平均拉脱力值 145.06kN, 相对于第一组试样拉脱值同比提高了 30.7% 和 18.5%, 补压后强度得到了恢复和提高。由于试验结果如下表所示。

序号	压力值 (kN)	
	8MPa	12MPa
1	130.26	146.02
2	142.80	148.88
3	139.36	140.30
均值	137.44	145.06
与前对比	30.7%	18.5%

### 3.4 小结

从试验结果可以看出, 在满足 1.5 倍规定机械负荷 SML 和尽量减少压接过程中对芯棒的损伤的前提下, 压接力选择 8MPa ~ 12MPa 比较合适; 热烘会降低压接

处的拉脱力值, 伞裙注射成型过程中短时间受热对压接处拉脱力的影响有限。如果在批量生产过程中无硅橡胶伞裙二段硫化工序的情况下, 可不进行二次补压, 亦基本满足使用要求; 二次压接可以使金具进一步发生塑性变形, 金具内壁与芯棒表面的接触面积和对芯棒表面的正压力更大, 从而进一步提高了拉脱力。

### 结语:

复合绝缘子利用两端附件进行压接, 连接可靠安全, 应力均匀, 且芯棒与金具的握力更强, 又不容易损害芯棒玻璃纤维, 确保了产品机械强度更稳定, 又有效发挥了芯棒拉伸强度高的优点。

金具尺寸和性能偏差对压接质量的影响很大, 在实际生产中需要综合考虑规定机械负荷、材料屈服强度、安全许用应力等条件并结合反复的试验验证确定金具的尺寸在批量生产过程中无硅橡胶伞裙二段硫化工序的情况下, 可不进行二次补压, 亦基本满足使用要求; 二次压接可以使金具进一步发生塑性变形, 金具内壁与芯棒表面的接触面积和对芯棒表面的正压力更大, 从而进一步提高了拉脱力。

### 【参考文献】

- [1] 张锐, 吴光亚, 袁田等. 我国复合绝缘子关键制造技术的发展与展望 [J]. 高电压技术, 2007, 33(1): 106-110.
- [2] 张福林. 复合绝缘子压接连接界面机械性能的分析及结构参数的确定 [J]. 电网技术, 2001(1): 47-48.
- [3] 袁骏. 特高压线路用复合绝缘子的机械性能 [J]. 电网技术, 2006(12): 29-32.
- [4] 丁京玲. 棒形悬式复合绝缘子金属附件连接区机械性能的研究 [J]. 电瓷避雷器, 2006(1): 7-11.