

# 空心复合绝缘子注射成型测试与分析

苏西庆<sup>1</sup>, 鲁如东<sup>2</sup>

[1. 德科摩橡塑科技(东莞)有限公司, 广东 东莞 523118; 2. 中工国际工程股份有限公司, 北京 100080]

**摘要:**根据空心复合绝缘子成型特点和检验要求,介绍了大型橡胶注射机上的产品试制,分别从锁模力检测、注射塑化测试以及试制产品主要缺陷等几个方面进行论述。通过测试,为系列机型的开发设计提供了试验数据,同时针对试验过程中出现的问题和产品缺陷提出了相应的改进方案。

**关键词:**橡胶注射成型;空心复合绝缘子;锁模力;注射塑化

**中图分类号:**TQ330.4<sup>+</sup>6;TQ336.4<sup>+</sup>1 **文献标志码:**B **文章编号:**1000-890X(2012)08-0503-04

复合绝缘子因其优异的耐污闪性能被越来越广泛地应用到输电线路中,特别是特高压输电线路,目前基本上均采用复合绝缘子。目前,市场对超(特)高压空心绝缘子与电站电器绝缘子产品的需求量越来越大<sup>[1]</sup>。

作为电力设备的配套产品,复合绝缘子广泛应用于断路器的支柱、灭弧室套管、封闭组合电器出线套管以及电流互感器套管、电压互感器套管等。如图1所示,空心复合绝缘子主要由3个部件组成:起安装连接作用的端部法兰、内绝缘并承担机械负荷的环氧玻璃钢绝缘管、保护绝缘管并提供爬电距离的高温硫化硅橡胶外绝缘伞群护套。复合绝缘子的主要性能特点有:①耐污性高。硅橡胶具有较强的憎水性能,污闪电压高,在重污秽地区运行可以不用清扫,免维护,是目前最理想的高压输电电线用绝缘子。②湿闪电压高,对内过电压绝缘水平高。③不易破碎,无零值绝缘子,损耗少,运行可靠、性能高。④体积和质量小,运输、安装和维护方便。⑤耐腐蚀性能强。复合绝缘子要求尺寸符合图样规定,没有管或端部破坏、拉出,偏心符合规定的预定水平,染料渗透显示伞套或界面上没有裂纹<sup>[2]</sup>。

本工作通过试制试验分析,对生产空心绝缘子时出现的问题进行总结,以为改进机器和调整生产工艺、提高空心绝缘子的成品合格率提供

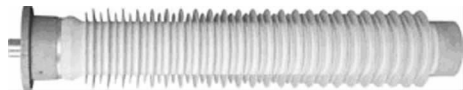


图1 空心复合绝缘子

参考。

## 1 锁模力检测

锁模力的作用是锁紧硫化模具,防止模具在胶料注射和硫化过程中被模腔内的胶料顶开。锁模力的大小对橡胶制品的尺寸精度和质量影响极大。锁模力计算如下:

$$p = nS\bar{p}$$

式中  $p$ ——锁模力;

$n$ ——安全系数(1.10~1.25);

$S$ ——橡胶制品在模型分型面上的有效投影面积;

$\bar{p}$ ——模腔中胶料的平均压力。

在整个注压过程中,胶料在模腔中的压力是变化的,模内压力在模腔中的分布也是不均匀的,其大小与注射压力、胶料粘度、喷嘴和模腔结构形状有关。通常用平均值作为模腔的计算压力(又称平均模内压力),通过类比的方法,在 DKM-RL1200 型橡胶注射机上进行 110 kV 空心绝缘子制品进行充模压力试验(试验结果见表1),获取高温硫化硅橡胶实际需要制品成型压力数值,为以后生产设计提供依据。

利用 Moldflow 软件将材料的粘度模型导入 Moldflow 材料数据库中对橡胶注射流道系统的

**作者简介:**苏西庆(1976—),男,安徽阜阳人,德科摩橡塑科技(东莞)有限公司工程师,学士,主要从事橡塑机械设计及研发工作。

表 1 充模压力试验结果

| 锁模油压/<br>MPa | 实际锁模<br>力/MN | 模具型腔压<br>力/MPa | 制品外观             | 注射时间/<br>min | 结论           |
|--------------|--------------|----------------|------------------|--------------|--------------|
| 9.0          | 5.57         | 12.74          | 2 段伞叶严重缺胶,合模飞边较大 | 5.3          | 锁模压力低于成型压力   |
| 10.0         | 6.18         | 13.22          | 伞尖 3 处未充满,少量合模飞边 | 5.4          | 锁模压力接近制品成型压力 |
| 10.7         | 6.62         | 14.16          | 制品完好,少量合模飞边      | 5.5          | 锁模压力等于制品成型压力 |
| 11.2         | 6.93         | 14.82          | 制品完好,少量合模飞边      | 5.5          | 锁模压力有富余      |

锁模力要求进行分析(工艺参数为:模具温度 140 ℃,熔体温度 70 ℃,注射时间 300 s,交联时间 300 s,填充比例 充填至 99%),获得了充模时间、充模压力(见图 2)、充模过程等数据。与试验数据对比后,获得生产 220 kV 等级别在平均充模压力为 12 MPa、对比试验模腔压力为 14.16 MPa、推荐使用模腔压力为 14.0 MPa 时的空心复合绝缘子所用橡胶注射机的锁模力级别如表 2 所示。

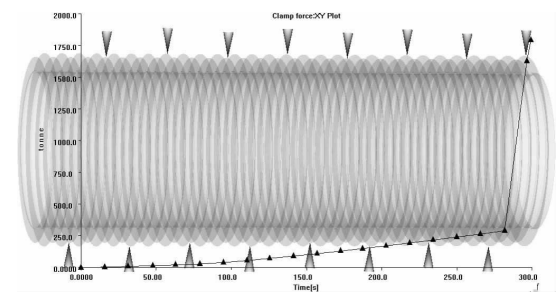


图 2 Moldflow 软件模拟充模时间和充模压力结果

表 2 不同级别复合绝缘子推荐注射机锁模力级别

| 项 目                   | 绝缘子级别/kV |                      |       |       |
|-----------------------|----------|----------------------|-------|-------|
|                       | 550      | 550                  | 330   | 220   |
| 成型次数                  | 1        | 2                    | 1     | 1     |
| 正投影面积/cm <sup>2</sup> | 27 869   | 14 771 <sup>1)</sup> | 13631 | 9 560 |
| 所需锁模力/MN              | 39.02    | 20.68                | 19.08 | 13.38 |
| 注射机锁模力/MN             | 42       | 24                   | 24    | 16    |

注:1)投影面积因厂家不同有所不同,此数值为两次成型第 1 模数据,约占总投影面积的 53%。

2 注射塑化测试

注射机塑化的作用是将胶料塑化后平稳有序地注入模具型腔,并在填充和硫化过程中将压力充分地传到制品的各部位。注射塑化系统的位置、形状和尺寸,注射压力、注射塑化时间和速度等都直接影响到制品的质量,制品缺胶、气孔等缺陷与注射塑化系统也有很大关系。

根据 110 kV 空心绝缘子制品尺寸,确定型

腔布置和浇口开设部位对称、注嘴采用上下 8 点交叉错位等间距的方式,注嘴直径 11 mm。在试验中,通过调整螺杆转速、系统压力、注射背压和注射速率等工艺参数进行测试分析,经过多次试验,总结了比较合理的注射塑化工艺参数,部分试验数据如表 3~5 所示。

从注嘴和流道温度可以看出,注射温度控制精度可以达到±1 ℃,可使流道内的胶料流动性一致,最终保证各个注嘴注射胶量的稳定性和一致性。热板温度变化也较小,在硅橡胶硫化温度控制范围内。通过测试,对温控装置进一步改进,把控制 8 个注嘴的 0.75 kW 温油泵由 1 个增加为 2 个,减小了注嘴内的温油串联阻力,使温油流动加快,更好地提高温度控制效率。从注射量测

表 3 注射塑化测试温度 ℃

| 注嘴 | 喷嘴 | 流道 | 上热板 |
|----|----|----|-----|
| 1  | 59 | 61 | 156 |
| 2  | 56 | 61 | 156 |
| 3  | 55 | 61 | 156 |
| 4  | 54 | 61 | 157 |
| 5  | 63 | 61 | 156 |
| 6  | 62 | 62 | 157 |
| 7  | 61 | 62 | 155 |
| 8  | 59 | 62 | 154 |

表 4 注射量测试结果 kg

| 注嘴                       | 第 1 次 | 第 2 次 | 第 3 次 |
|--------------------------|-------|-------|-------|
| 1                        | 1.534 | 1.546 | 1.557 |
| 2                        | 1.482 | 1.490 | 1.489 |
| 3                        | 1.445 | 1.444 | 1.443 |
| 4                        | 1.506 | 1.488 | 1.476 |
| 5                        | 1.567 | 1.537 | 1.520 |
| 6                        | 1.532 | 1.524 | 1.524 |
| 7                        | 1.495 | 1.500 | 1.499 |
| 8                        | 1.587 | 1.596 | 1.611 |
| 压力/MPa                   | 10    | 10    | 10    |
| 注嘴偏差/g                   | 142   | 152   | 168   |
| 速率/(mL·s <sup>-1</sup> ) | 444   | 444   | 444   |

注:注射容积为 8 L。

表 5 塑化能力测试结果 kg

| 注嘴                          | 第 1 次   | 第 2 次   | 第 3 次   |
|-----------------------------|---------|---------|---------|
| 1                           | 4. 225  | 4. 126  | 4. 128  |
| 2                           | 4. 410  | 4. 357  | 4. 367  |
| 3                           | 4. 178  | 4. 139  | 4. 195  |
| 4                           | 4. 080  | 4. 176  | 4. 166  |
| 5                           | 4. 240  | 4. 076  | 4. 110  |
| 6                           | 4. 490  | 4. 451  | 4. 471  |
| 7                           | 4. 280  | 4. 226  | 4. 264  |
| 8                           | 4. 286  | 4. 300  | 4. 340  |
| 合计                          | 34. 209 | 33. 851 | 34. 041 |
| 塑化时间/s                      | 480     | 315     | 250     |
| 螺杆转速/(r·min <sup>-1</sup> ) | 42. 0   | 64. 5   | 81. 5   |
| 塑化能力/(kg·h <sup>-1</sup> )  | 256     | 390     | 490     |

注:实际塑化压力为 11.0 MPa,背压为 0.8 MPa<sub>a</sub>。

试数据看,3 次注射量平均 12.130 kg,最大偏差为 29 g,偏差率为 0.239%,保证了胶料充模的均实性。在注射过程中,注射压力不宜过高,否则容易产生毛边和气泡,并使制品脱模困难;注射压力也不宜过低,否则会使注射时间延长,胶料温升减小,甚至有可能使胶料不能注满模腔,影响制品质量和精度。在实际使用中,可以根据具体胶料配方调整注射速率。从塑化能力测试数据看,通过调整螺杆转速,可以大幅度调整塑化能力,在规定成型周期内(主要是硫化时间,一般情况下,生产 110~550 kV 空心复合绝缘子硫化时间约为 30 min)满足不同型号复合绝缘子的生产需求。

3 主要缺陷

3.1 缺胶和溢胶

缺胶和溢胶产生的原因主要是胶料注射量不准。在试制过程中计算胶料和实际注射需求胶料有偏差,一般在第 1 次试制时采用大于计算值的胶量,通过对溢出胶料称量后调节至适当的注射胶量。缺胶的其他原因有可能是注射机注射压力不足、注射速度与压力不匹配、注射嘴口堵塞、胶道堵塞或注嘴中心度调节不当造成阻力过大而使压力消耗。模具方面存在的问题可能有:①模具局部或整体的温度过低造成入料困难,应适当提高模温;②模具的流道过小造成压力损耗,过大时会出现注胶无力,模具过于粗糙也会造成注胶不足,应适当设置流道大小,主流道与分流道及浇口之间或本身转弯处应有适当的圆弧过渡;③模具排气不良。进入型腔的胶料受到来不及排走的气

体压力阻挡而造成充填不满,此时,可以充分利用螺杆缝隙排气或降低锁模力利用分型面排气,必要时需开设排气沟道或气孔。针对既有缺胶又有溢胶的情况,应主要检查系统压力是否符合要求,检查模具加工或调整是否平行,检查各个流道、浇口是否一致,检查模具排气是否良好。若多次注射成型接驳处溢胶,除检查注胶量是否过大、模具接驳配合尺寸是否恰当外,还应将产品接驳处的橡胶削成锥形面并打磨平整,以利于胶料粘合。

3.2 伞裂

伞裂是指橡胶伞裙从绝缘子上撕裂或脱落下来,如图 3 所示。造成伞裂的原因如果是胶料太脆,应调整配方使胶料柔韧性好。若伞裙粘模、不好脱模造成扯裂,应在模具上涂或喷脱模剂,但需注意喷涂脱模剂时要均匀适量,避免过多时发生伞叶缺胶或不硫化。若飞边太厚脱模造成裂伞,应适当减小胶量。若过硫造成伞裂,需检查是否硫化剂过多,可以通过提高注射速度、缩短硫化时间和降低导热油温度等进行调整。若脱模操作不正确拉裂伞裙,应规范注射操作工艺流程,要求硫化工序完成后,首先将模具两端定位装置松开,点动开模,并注意伞裙的粘合情况,再用手将伞裙逐一拉松动,直至取出,在此过程切忌用力过大或开模过快,以免造成拉坏伞裙或拉裂芯管。



图 3 绝缘子伞裂示意

3.3 偏心和窜棒

空心复合绝缘子要求伞套偏心度符合一定要求,纤维管不能有破裂现象,因此在注射过程中应采取相应措施避免发生偏心和窜棒现象。防止窜棒主要是应设计合理的定位装置,以防止纤维管发生轴向窜动。偏心发生的原因有模具销松动或

顶不到位、接头不平衡、胶料调整不平衡等,这些均可以通过修整相关零件避免。需注意的是芯棒直线度和强度不足的问题。芯棒是为避免纤维管在注射时受高压破损而在纤维管内部起支撑作用的钢制件。芯棒直线度不足就会直接导致绝缘子偏心,芯棒强度不足也会导致偏心。在注射过程中,芯棒强度不足时受高压作用会发生形变,且注射时近注嘴区和远注嘴区的胶料压力又因压力降而有区别,因而芯棒在各方向的变形量也不一样。芯棒变形还会使胶料在变形量大的方向受到的阻力增大,造成夹气或有的地方未充满。在我公司为某公司生产的 DKM-RA2400 型注射机上进行空心复合绝缘子试模时,就出现了比较严重的偏心现象(见图 4)。经检验,主要是芯棒内部支撑板较少而且单薄造成芯棒外径偏心比较大,重新加工增强芯棒后,效果良好。



图 4 绝缘子偏心示意

### 3.4 气泡

绝缘子出现气泡的现象如图 5 所示。气泡缺陷发生的原因比较复杂,有胶料、模具方面也有注射机方面的因素,主要有以下几种原因:①原材料受潮;②胶料太软或停放时间不够;③没有按工艺炼胶,胶料中小分子物质没有充分挥发掉;④锁模力过小;⑤注射速率和注射压力过低;⑥模具排气、溢胶槽太小或受堵;⑦模具温度不平衡;⑧偏心造成气泡等。在设计前期,曾尝试使用耐热橡

胶作密封件然后用抽真空的方法解决气泡问题,后来发现该方法操作比较麻烦且橡胶密封条容易损坏,效果也不是很明显,其后开发的注射机没有采用此方法。在 DKM-RL900 型注射机上试制 110 kV 空心绝缘子时,前期制品上总会存在几处气泡,尽管使用了包括抽真空等多种方法也不能彻底解决。后来只使用单边 4 个注嘴注射,效果理想。但并非所有注射机都需要采用单边注射的方法才能解决气泡问题,因此注射位置和气泡发生的关系还需作进一步的理论和试验分析。

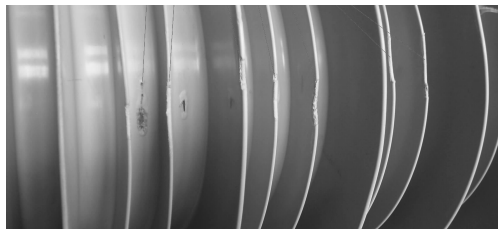


图 5 绝缘子出现气泡的现象

## 4 结语

(1)通过检测分析,DKM-RL 系列橡胶注射机的主要工艺参数可以满足 110~1 000 kV 空心复合绝缘子的生产需求。

(2)分析空心复合绝缘子试制过程中产生缺陷的原因并提出了相应的解决措施,为空心复合绝缘子批量生产提供质量保障以及快速排除缺陷和故障的方法。

## 参考文献:

- [1] 关志成,彭功茂,王黎明,等. 复合绝缘子的应用及关键技术研究[J]. 高电压技术,2011,37(3):513-519.
- [2] 苏西庆. 空心复合绝缘子注射模设计[J]. 模具工程,2010(8):71-73.

收稿日期:2012-02-23

## 橡胶滚轮及其加工方法

中图分类号:TQ336.4+1 文献标志码:D

由曾华良申请的专利(公开号 CN 102478050A,公开日期 2012-05-30)“橡胶滚轮及其加工方法”,涉及的橡胶滚轮由轴承和包裹在轴承外圈外圆面的同心橡胶层组成,外圆面为粗糙表面或具有凹槽或凸起。其加工方法为:(1)制

备轴承外圈、滚子、内圈、保持架和防尘圈;(2)在轴承外圈的外圆面包覆橡胶层,硫化;(3)车加工橡胶层外表面;(4)组装。该方法直接在轴承外圈的外圆面上包裹橡胶层,可节省原料、降低成本,且省略铁芯或铝芯后,轴承的规格相应增大,承载力增大,使用寿命延长。

(本刊编辑部 马 晓)