

# 水轮发电机组 VPI 定子线圈制造工艺分析

岳斌

(哈尔滨电机厂有限责任公司 黑龙江哈尔滨 150040)

摘要:水轮发电机组 VPI 定子线圈是哈电产品,其结构为波绕式,电子线圈的额定电压为 13.8 千伏。此项产品采用真空压力浸漆少胶整浸结构,和常规水轮发电产品相比,生产和制造工艺具有一定的区别,因此不能采取常规产品生产制造方法,例如热压模等方法。因此根据实际情况在工具和工艺方面进行改善,使用 VPI 定子线圈专用的成型胶化模和烘压模具,并对铲头封焊结构进行改良,才能生产出符合标准的线圈。本文对水轮发电机组 VPI 定子线圈制作工具进行详细分析。

关键词:水轮发电机组;真空压力浸漆;定子线圈;制造工艺

真空压力浸漆简称为 VPI,这项技术在国外应用广泛,至今为止相关技术例如设备、材料和工艺等已经较为成熟。哈电积极引入并应用 VPI 技术,填补了这一技术的市场空白,通过对其进行研究,结合公司实际情况在制造工艺、材料选取、模具设计等方面进行了积极的优化和改革。

## 一、水轮发电机组 VPI 定子线圈制造分析

### (一) 改进导线模具工艺

VPI 型定子线圈是以秘鲁成型胶化膜为基础进行了适当调整,将定侧铁和活侧铁加装到模具的端部,将侧铁长度进行延展,使其达到线圈绝缘末端位置处,同时还增添了端部上压条,能够使其长度匹配于侧铁的长度。在位于端部的活侧铁和定侧铁上钻出孔洞,并同时加装电热管,利用加热的方式实现端部固化。模具端部活侧铁的引线上存在 R 型位置,因此会对导线成型造成一定的影响,因此在提制模具过程中,活侧铁必须装配可拆装结构,这样操作不但不会对导线成型造成影响,同时还能确保导线质量不会受到后续端部胶化和引线铲头的影响<sup>[1]</sup>。以拉伸式成型模为基础形成原成型胶化膜,没有明确端部直线的定位,此种产品的直线长度是 220cm,因此对端部施加压力时,容易导致发生直线变形,因此需要对成型胶化膜进行适当的改进,可以在模具的直线适当位置上加装定测特及长活侧铁。进行改进后,端部固化效果更加充分,会显著提高导线刚性,能够保证导线型线保持一致,能够明显提高导线质量。通过进行下线和电性能试验,通过试验结果能够验证上述改善效果。

### (二) 分析和研究 VPI 型定子线圈绝缘包扎

和传统多胶云母带包扎相比,VPI 型定子线圈的线圈主绝缘材料使用少胶云母带,多胶带和少胶带具有一定差异,少胶带单位面积胶含量相比多胶云母带要低,韧性也要差一些,如果转速或是包装盘张力选择不合理,那么云母带包扎过程中容易导致胶带上的云母整片脱落或是飞粉,会对最终的绝缘性能造成一定影响<sup>[2]</sup>。线圈烘压过程中,端部的定型效果主要利用热缩带实现,和使用模具压型的效果相比存在明显的差异,会导致端部尺寸均匀性较差。包扎使用多胶云母带和少胶云母带存在明显的差异,确定线圈主绝缘的包扎工艺需要以产品首件期间具体情况为基础。通过测试和对比首件不同压力 and 不同部位的包扎层数,能够确定线圈在利用少胶云母带包扎过程中各部位的包带参数,详见表 1。试验时,如果主绝缘包扎张力 < 40N,直线会打褶。为了确保导线能够和少胶云母带完全贴合,需要将第一层云母带反包,通过实验证明,反包云母带时,包带机张力=40N。

表 1

项目	包带参数
包带张力	40N-50N
直线转速	220r/min
直线角转速	160 r/min
端部转速	220 r/min
叠包比	48-%

## 二、真空压力浸渍工艺分析

哈电制造的水轮发电机组 VPI 型定子线圈烘压模具是参考国外成熟技术的烘压模具并进行改进制造的烘压模具。上下两层各有一套模具,每一套模具能够同时对 10 支线圈进行烘压,一炉可以同时生产出 20 支线圈,具有极高的生产效率。

### (一) 确定定制线圈真空压力禁止工艺参数

进行首件多次试验后明确线圈真空压力浸渍个工艺最佳参数详见表 2。

表 2

序号	工序	工艺参数	
1	浸罐一次抽真空	10Pa	
2	浸罐一次保真空	240min	
3	输漆	浸罐前部液位	475mm
		浸罐后部液位	0mm
4	浸罐二次抽真空	上限	30Pa
		下限	20Pa
5	浸罐二次保真空	10min	
6	浸罐一次加压	上限	320KPa
		下限	300KPa
7	浸罐一次保压	30min	
8	浸罐二次加压	上限	620KPa
		下限	600KPa
9	浸罐二次保压	240min	
10	浸罐一次泄压	200KPa	

确定定子线圈单面绝缘厚度是 3.25 毫米,后经过详细检查并通过电性能试验,能够证明线圈已经被无溶剂浸渍漆完全浸透,浸渍效果良好,批量生产时应用此项工艺参数,经过检测全部产品均符合标准。

### (二) 确定 VPI 型定子线圈端部制造工艺

传统热压模具结构直线和端部一体,利用线圈端部的整体压力,能够确保端部截面尺寸和型线标准,VPI 烘压模具线圈端部处于没有压力的悬空状态,因此必须要采取合理措施才能确保端部截面尺寸和型线的准确性。通过多次反复试验,最终确定了最为可行的端部垫包措施,将一层铁皮垫放于线圈端部,还要在模具和铁皮接触位置垫放铜制垫片,确保线圈直线末端可以均匀过度,能够确保对热缩带进行包扎时,线圈端部大面和小面能够均匀受力<sup>[3]</sup>。

### (三) 确定 VPI 型定子线圈烘压工艺

通过首件实验能够确定直线加压的工艺,加压时需要按照从中间向两端顺序加压,加压顺利具体为:侧压初压为 20 兆帕;上压初压为 40 至 50 兆帕;侧压全压为 65 至 70 兆帕;上压全压也为 65 至 70 兆帕。达到标准压力后,还需要持续 20 到 30 分钟,直线内流胶完毕之后,再对直线补加 70 兆帕的侧压。烘炉能够自动控温,可以将升温速度控制在每分钟 3 到 5 度,升温到 145 度后不再加热,保温十小时后自动断电。台车在炉内降温,炉内温度降到 90 度时开出烘炉台车,在室温状态下进行降温,线圈温度到达 60 度至 70 度是烘炉可以进行卸模。

VPI 型水轮发电机定制线圈在全员上下的积极参与和努力下制造成功,并能共进行连续生产,线棒的截面尺寸、几何形状以及电气性能等都符合公司质量控制标准,同时还通过了定制线圈行业鉴定,表明定制线圈质量水平已经完全符合合同文件的规定标准<sup>[4]</sup>。两台定子线圈已全部下线,并且经过实践证明能够获得良好的使用效果。

### 结束语

哈电水轮发电机定子线圈制造获得成功,同时也总结出一套完善的 VPI 型定子线圈的制造工艺,同时进一步完善和改进 VPI 型定子线圈工装磨具,能够不断提高产品质量,同时也获得了良好的经济效益和社会效益。哈电公司能够生成 VPI 线棒和模压线棒,经过不断努力显著提升了生产效率,从而大大提升了公司的市场竞争力。

### 参考文献:

- [1] 郑伟,付强,陈阳. 定子线棒 VPI 用绝缘材料国产化研究[J]. 中国新技术新产品,2019(08):54-55.
- [2] 张鹏,毛继业. 国产化 20kV 等级单只 VPI 定子线棒的开发[J]. 绝缘材料,2018,051(002):1-5,11.
- [3] 郭晓明,张韵曾,唐浩宇. 电机定子绕组浸漆工装装置技术分析[J]. 黑龙江科技信息,2018(03):191-192.
- [4] 皮如贵,胡波,梁智明,等. 电机定子线圈真空压力浸渍过程理论探讨[J]. 绝缘材料,2018(8):50-55.