



# 水轮机叶片模样玻璃钢力学性能改进的研究

■ 王世滨, 李鹏

大型水轮机叶片模样的制作是水轮机叶片铸件生产的第一道工序,其表面质量与型线的准确程度直接影响到了大型水轮机叶片生产的最终质量,且大型水轮机模样表面的玻璃钢质量直接影响到了整体模样的力学性能。

## 1. 现存问题

由于不饱和聚酯固化时收缩应力大,在固化时会放热并产生很大的残余应力,所以叶片在使用过程中往往在其结构薄弱的区域会发生一定的变形,如叶片突出尖角的末端区域。

## 2. 解决措施

通过添加无机刚性材料实心玻璃微珠,既可降低不饱和聚酯

玻璃钢反应过程的放热程度,消除不饱和聚酯玻璃钢的残余应力,还可降低玻璃钢使用成本。

增强机理:通过添加适量填料可以达到增量填充和补强填充两种作用,其中增量填充是为了降低制品的成本,补强填充可以改善制品的力学性能。其中球状无机刚性材料填料玻璃微珠具有加工流动性好,制品表面光泽度高,可增加制品刚度、耐热性,以及内部应力小等特点,是玻璃钢制品首选的添加材料。

无机刚性填料(RIF)增强机理首先是由于复合树脂材料受力变形时,在RIF周围产生应力集中效应,引发其周围基体屈服(如空穴、银纹、剪切带等),

这种基体屈服将吸收大量的变形能量,起到增韧的作用,并且当裂纹RIF时,会产生钉孔-攀越或者钉孔-裂纹二次引发效应,使裂纹扩展的阻力增大,消耗变形能量,从而阻碍裂纹的扩展。

## 3. 材料与方法

试验首先将密度为 $1.15\text{g/cm}^3$ 不饱和聚酯树脂与比例为2%的固化剂、3%的促进剂进行混合,搅拌均匀后向其中添加一定比例,密度为 $1.48\text{g/cm}^3$ 的600目活性硅微粉与密度为 $1.37\text{g/cm}^3$ 的325目玻璃微珠,搅拌均匀后迅速涂刷单层 $0.4\text{mm}$ 厚的无碱玻璃纤维布,共涂刷16层,待1h固化后制成厚度为 $6.5\text{mm}$ 填

一种新的思路,也许会取得意想不到的效果。

通过本文的研究,可以得到以下结论:

(1)对5CrMnMo钢,采用低C、Si,高Mn、Cr、Mo的合金成分,或者Mn含量大幅降低,Cr含量大幅增加,均可使铸件的铸造工艺性增强。

(2)对5CrNiMo钢,采用低C、Si、Ni、Mo,中Mn,高

Cr的合金成分可以极大地改善铸造工艺性能。

(3)对于极其重要且多次使用的辅具,建议使用5CrNiMo钢种,其铸造工艺性要优于5CrMnMo钢。

(4)对于该两种材质的铸件,内控成分可按推荐值进行控制,可以改善其铸造性能,同时浇注温度控制在 $1530\sim 1540^\circ\text{C}$ 为宜。

(5)通过5CrMnMo钢实际生产铸件工艺与最优成分工艺的比较,发现当采用最优成分工艺时,其热裂纹倾向得到了极大的降低。

作者简介:许诺、田涛,天津重型装备工程研究有限公司。

MW 20160602

料，比例分别为10%、15%、20%的活性硅微粉/不饱和聚酯树脂玻璃钢复合材料与添加比例为20%、40%、60%的实心玻璃微珠/不饱和聚酯树脂玻璃钢复合材料，并按国家标准GB/T1451—2005加工成尺寸为250mm×80mm×6.5mm的试块，并测试其弯曲弹性模量与静曲强度。

#### 4. 结果与分析

弯曲弹性模量的物理意义是反映材料抵抗变形的能力，静曲强度物理意义是反映材料抵抗断裂的能力，在一定程度上二者可综合反映出材料的韧性，并且对于玻璃钢实际应用过程，弯曲弹性模量更是此次试验重点测试的物性。

试验试块测试数据见附表。从附表可知，纯不饱和聚酯树脂玻璃钢的弹性模量为9190MPa，静曲强度为167.9MPa，最大载荷为976.7N。

对于活性硅微粉/不饱和聚酯树脂玻璃钢复合材料，当活性硅微粉添加比例为15%时，弯曲弹性模量为11670 MPa，静曲强度为202.3 MPa，其弯曲弹性模量均高于活性硅微粉添加比例为10%、20%的弹性模量，其弹性模量和静曲强度与纯不饱和聚酯树脂玻璃钢相比分别提高21%、17%。

对于实心玻璃微珠/不饱和聚酯树脂玻璃钢复合材料，当实心玻璃微珠添加比例为20%时，弯曲弹性模量为13150MPa，静曲强度为261.9MPa，其弯曲弹性模量均高于实心玻璃微珠添加比例为40%、60%的弹性模量。并且

其弹性模量和静曲强度与纯不饱和聚酯树脂玻璃钢相比分别提高30%、35.9%。

由附表还可知，添加比例为20%的实心玻璃微珠/不饱和聚酯树脂玻璃钢复合材料的弹性模量与静曲强度均高于添加比例为15%的活性硅微粉/不饱和聚酯树脂玻璃钢复合材料。

由实际操作过程可知，当活性硅微粉添加比例超过10%时就会出现树脂黏度增加、玻璃纤维布浸润困难的现象，从而增加操作

困难。由于实心玻璃微珠润滑性良好，实际操作过程中并未出现浸润困难的现象，但由于其在树脂中流动性大，当添加比例大于20%时会发生实心玻璃微珠沉降的现象，造成填料分布不均，从而造成力学性能降低的现象。

综上所述，当添加比例为20%的实心玻璃微珠/不饱和聚酯树脂玻璃钢复合材料的力学性能要优于活性硅微粉/不饱和聚酯树脂玻璃钢复合材料，并且更适合实际生产操作。

试验测试数据表

| 填料类别       | 添加比例<br>(质量分<br>数, %) | 试块性能                     |                   |                  |
|------------|-----------------------|--------------------------|-------------------|------------------|
|            |                       | 弯曲弹性模量平均值<br>/MPa (↑或↓%) | 静曲强度平均值<br>/MPa   | 最大载荷<br>/N       |
| 活性<br>硅微粉  | 10                    | 10470<br>(↑12)           | 217.7<br>(↑23)    | 1002.5<br>(↑2.6) |
|            | 15                    | 11670<br>(↑21)           | 202.3<br>(↑17)    | 1053<br>(↑7.2)   |
|            | 20                    | 11290<br>(↑18.6)         | 213.5<br>(↑21)    | 1195<br>(↑18)    |
| 实心玻<br>璃微珠 | 20                    | 13140<br>(↑30)           | 261.9<br>(↑35.89) | 1450<br>(↑32.64) |
|            | 40                    | 8770<br>(↓4.8)           | 161.1<br>(↓4.2)   | 1050<br>(↑6.98)  |
|            | 60                    | 7220<br>(↓27)            | 183<br>(↑8.24)    | 1378<br>(↑29.12) |
| 纯不饱和聚酯树脂   | 0                     | 9190                     | 167.9             | 976.7            |

注：括号内数据为改性后玻璃钢与改性前玻璃钢弯曲性能提高或降低的百分比。

#### 5. 结语

(1) 与纯不饱和聚酯树脂玻璃钢相比，当活性硅微粉添加量为15%时，不饱和聚酯树脂玻璃钢复合材料的弯曲弹性模量可提高21%；当实心玻璃微珠添加量为20%时，不饱和聚酯树脂玻璃钢复合材料的弹性模量可提高30%。

(2) 从现场操作性与树脂浸润性方面来看，添加量为10%

的活性硅微粉/不饱和聚酯树脂玻璃钢复合材料与添加量为20%的实心玻璃微珠/不饱和聚酯树脂玻璃钢复合材料更适合实际手工操作。

(3) 综合比较，添加比例为20%的实心玻璃微珠/不饱和聚酯树脂玻璃钢复合材料的力学性能与节约树脂含量要优于活性硅微粉/不饱和聚酯树脂玻璃钢复合材料，并且更适合实际生产操作。

作者简介：王世滨、李鹏，哈尔滨电机厂有限责任公司。

MW 20160418