

大口径球墨铸铁管热模涂料喷涂质量改进措施

暴延强¹, 梅燕娜¹, 林雪川¹, 刘俊锋², 张俊杰²

(1. 广东新兴铸管有限公司, 广东阳江 529600; 2. 新兴河北工程技术有限公司, 河北邯郸 056000)

摘要: 介绍了大口径球墨铸铁管热模喷涂的涂料组成、配制及生产中喷涂可能存在的问题。针对公司大口径球墨铸铁管热模喷涂效率较低的现状, 对现有喷涂系统进行整改升级, 包括空压风系统升级、选择合适的喷嘴、整改设备及工装。进行相应的试验, 最终提高喷涂效率, 缩短喷涂时间, 提高了喷涂质量。

关键词: 大口径球墨铸铁管; 热模喷涂; 喷嘴; 空压风系统

大口径球墨铸铁管是大型输水工程的首选管材, 随着球墨铸铁管越来越广泛的被应用于国家重点输水、输气工程和出口国际市场, 尤其是大口径的产品已经和国际上先进水平产品同台竞技, 近些年需求量在不断地快速增加。面对世界各地的大量订单, 产能问题的矛盾日益凸显, 除了增加生产线以外, 要在企业内部进行挖掘, 提高生产效率, 降低废品率。大口径球墨铸铁管生产需热模喷涂涂料层约 1 min, 所以提高大口径球墨铸铁管热模涂料喷涂效率具有相当大的现实意义。

1 热模涂料及喷涂问题

1.1 涂料的组成

热模涂料喷涂的涂料主要是由硅藻土(耐火骨料)、钠基膨润土(粘结剂和悬浮剂)、水(载体)和其他辅助材料。硅藻土主要以SiO₂为主, 且含量必须≥90%, 发气量低2.0~5.8 mL、悬浮性好97%~99%, 热导率很低0.12~0.15, 具有很好的绝热性能, 适中附着强度和高温强度, 从而减少铁液对管模的热冲击, 防止粘型以提高管模的使用寿命, 同时使铸管容易脱型和清理残留涂层^[1]。

钠基膨润土具有吸湿性, 吸水速度慢, 吸水率和膨胀倍数大, 胶体悬浮液触变性、粘度、润滑性和热稳定性性好, 有较高的可塑性和较强的粘结性; 热湿拉强度高, 还可以防止耐火骨料的沉淀; 其使用价值和经济价值较高^[2]。

1.2 涂料的配制

将膨润土与水按照一定的比例配比, 放入泥浆罐中, 边加边搅拌, 至少搅拌 6 h, 制成泥浆; 按照涂料配比, 向搅拌罐中依次加入水、泥浆、硅藻土。硅藻土要缓慢加入, 防止硅藻土沉在罐底。搅拌 10 min 后, 用刮板将罐周围粘附硅藻土刮下, 再重新搅拌。涂料搅拌 30 min 后, 加水调其粘度待用^[3-4]。

大口径球墨铸铁管由于在生产不同管径时, 其离心机转速不同, 所以铁液对管模内涂料的冲刷强度也不同, 即涂料的配比以及粘稠度也要发生变化。一般情况下, 管径小的涂料中膨润土较高, 强度较大; 管径大的涂料中膨润土少一些, 强度稍差。通常用 T6 杯来衡量涂料的粘稠度, 一般在 11~17 s。

1.3 喷涂问题

当管模温度冷却到 180~240 °C 时, 进行喷涂。温度过高或过低, 都会导致喷涂

作者简介:

暴延强(1985-), 男, 工程师, 主要研究方向为铸造。电话: 17728779738, E-mail: baoyanqiang@163.com

通讯作者:

张俊杰, 男, 硕士, 高级工程师。电话: 13373002058, E-mail: zjj128934@126.com

中图分类号: TG233

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2023)09-1209-04

收稿日期:

2022-10-10 收到初稿,
2023-01-17 收到修订稿。

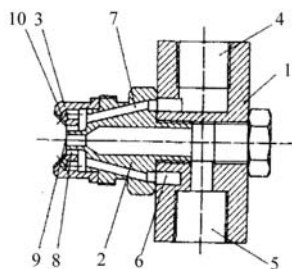
质量问题, 从而造成管身外表面缺陷, 包括重皮、多肉、粘型等。

喷涂车走速要和管模转速相匹配, 否则会造成螺旋线、涂料堆积、涂料分布不均匀等缺陷。

喷嘴角度问题: 理论上喷嘴最佳喷涂方向为沿管模圆心竖直向下。喷涂过程中喷涂扇面可以更加均匀的作用到管模上, 喷涂更加均匀, 不会造成薄厚不一的情况。

2 喷嘴的选择

根据喷嘴的形状和喷射特点, 喷嘴可以分成许多类型, 主要有压力喷嘴、旋转喷嘴、空气助力喷嘴、喷气喷嘴、气泡喷嘴、汽哨喷嘴、超声喷嘴、静电喷嘴等。根据不同喷嘴的特点, 结合热模喷涂实际生产情况, 涂料通过发送罐压力或螺杆泵经涂料管道输送到喷嘴处, 喷涂风压将涂料打散成细小的雾滴, 喷涂到管模内表面。故空气助力喷嘴比较适合大口径球墨铸铁管喷涂^[5-7], 如图1所示。



1. 喷嘴本体 2. 液体帽 3. 空气帽 4. 压缩空气进口 5. 涂料入口
6. 气体帽 7. 压缩空气通道 8. 压缩空气出口 9. 涂料出口
10. 改变涂料雾化形状的压缩通道

图1 空气助力喷嘴
Fig. 1 Air assisted nozzle

结合现场生产实际情况, 选择了某喷嘴生产公司的空气雾化喷嘴进行试验。该喷嘴具有二次雾化, 雾化效果好, 喷嘴流量较大。

按照喷涂厚度0.8 mm计算, 喷涂所需涂料的体积为:

$$V=10^{-3} \pi (D-2H) dh \quad (1)$$

式中: V 为喷涂体积, cm^3 ; D 为管身外径, mm ; H 为管子壁厚, mm ; d 为管长, mm ; h 为喷涂厚度, mm 。

喷涂时间按照2 min计算, 喷涂流量:

$$Q=\frac{Vt10^{-6}}{60} \quad (2)$$

式中: Q 为喷涂流量, L ; V 为喷涂体积, mm^3 ; t 为喷涂时间, min 。

由公式(1)、(2)得大口径球墨铸铁管主要管型喷涂体积和喷涂流量, 见表1。

表1 喷涂体积和喷涂流量
Table 1 Volume and flow of spraying

管型	喷涂厚度 /mm	喷涂体积 / cm^3	喷涂时间 /min	喷涂流量 / $(\text{L} \cdot \text{h}^{-1})$
DN1200		18 915 510		567
DN1400		22 057 796		661
DN1600	0.8	25 184 633	2	756
DN1800		28 326 919		850
DN2000		34 596 042		944

按照该公司提供的产品资料, 该款喷嘴最大喷涂流量为1 158 L/h, 2个喷嘴的理论最大喷涂流量可满足喷涂要求。结合现场实际生产情况, 如果使用最大喷涂流量, 一是雾化会产生问题, 二是喷涂容易产生小坑, 影响管子外观质量。因此, 需要在满足现场生产, 满足管子质量的前提下, 对喷涂的最大喷涂流量进行相关试验, 找到符合现场实际生产的喷涂流量。

3 喷涂试验及喷涂空压风系统升级改造

目前大口径球墨铸铁管喷涂是制约生产节奏的一个重要因素之一。为了提高喷涂效率, 缩短喷涂时间, 提高喷涂质量, 进行相关喷涂试验。

3.1 单喷嘴试验

按照正常生产时的喷涂参数, 进行单喷嘴试验, 具体数据如表2所示。

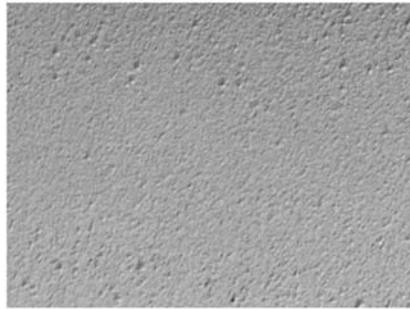
表2 单喷嘴喷涂试验数据
Table 2 Data of spraying test with single nozzle

喷嘴	管模 温度/ $^{\circ}\text{C}$	喷涂 循环	喷涂 时间/min	喷涂 厚度/mm	涂层 质量
空气雾 化喷嘴	180~240	4	6.2	0.8~1.0	较差
	180~240	8	11.7	0.8~1.0	较好

按照4个循环喷涂, 喷涂厚度符合质量要求, 但是涂层质量较差, 且伴有少量的涂料豆和涂料滴流。分析原因主要是喷涂流量大, 喷涂风压无法全部进行雾化。

按照8个循环喷涂, 将涂料流量减半, 喷涂厚度、粗糙度均符合质量要求, 雾化效果较好, 无涂料豆等缺陷, 喷涂试验后进行浇注, 试验管外观质量符合质量要求。

针对单喷嘴试验, 结合理论分析, 如果使用4个及以上同类型喷嘴, 喷涂时间控制在3.5 min (含调整雾化时间), 短于实际生产的6.2 min。由于只使用1个



(a) 4循环喷涂表面质量



(b) 8循环喷涂表面质量

图2 喷涂质量对比

Fig. 2 Spraying quality comparison

喷嘴进行喷涂试验, 试验数据的准确性有待进一步验证。

3.2 多喷嘴试验

将喷嘴全部替换为某著名喷嘴生产公司的空气雾化喷嘴, 共7个, 进行多喷嘴喷涂试验, 具体数据如表3所示。试验经过多次优化, 喷涂时间由原来的6.2 min, 缩短到3.8 min, 喷涂厚度、粗糙度均符合质量要求, 喷涂后进行浇注, 试验管外观质量符合质量要求。

表3 多喷嘴喷涂试验数据

Table 3 Data of spraying test with several nozzles

喷嘴 数量/个	管模 温度/℃	喷涂 循环	喷涂 时间/min	喷涂 厚度/mm	涂层 质量
7	180~240	4	3.8	0.5~0.7	较好

3.3 喷涂空压风系统升级改造

为了进一步缩短喷涂时间, 通过对喷涂试验的分析, 制定出相应的解决方案: 对喷涂系统进行整改, 主要是对现有喷涂的空压送气系统升级, 减少空压气输送过程中的损耗。

将2根DN20管道通过升级整改为1根DN80管道, 减少管道的沿程压力损失, 根据《给水排水设计手册》中, 通风管道的沿程压力损失可通过圆形风管的风量公式(3)计算。

$$L=900\pi d^2v \quad (3)$$

式中: L 为风量, m^3/h ; d 为风管内径, m ; v 为风速, m/s 。

单位管长沿程压力损失 ΔP_m 按公式(4)计算:

$$\Delta P_m = \frac{\lambda v^2}{d^5} \rho \quad (4)$$

式中: λ 为摩擦阻力系数; ρ 为空气密度, kg/m^3 ; d_e 为风管当量直径, m 。

对于圆形风管:

$$d_e = d \quad (5)$$

从稳压罐中引出1根 $\Phi 20$ mm的液压胶管的总风量

为 L_1 , 风速为 v_1 , 单位管长沿程压力损失为 ΔP_{m1} , 整改之前为2根 $\Phi 20$ mm的液压胶管, 总风量为 $2L_1$; 从稳压罐中引出1根 $\Phi 80$ mm的液压胶管总风量为 L_2 , 风速为 v_2 , 单位管长沿程压力总损失为 ΔP_{m2} 。 L_1 、 L_2 由式(6)(7)计算。

$$L_1 = 900\pi d_1^2 v_1 \quad (6)$$

$$L_2 = 900\pi d_2^2 v_2 \quad (7)$$

整个喷涂风管系统是从储气罐进气, 从喷嘴出气的。当喷涂过程稳定时, 整个喷涂风管系统的进风量 and 出风量一定是相等的, 而不管风管系统是由1个大口径管道还是由若干小口径管道组成。所以可以认为 $2L_1=L_2$, 从而由公式(6)、(7)推出

$$v_1 = 8v_2 \quad (8)$$

单位管长沿程压力损失分别为:

$$\Delta P_{m1} = \frac{\lambda v_1^2}{d_e^5} \rho \quad (9)$$

$$\Delta P_{m2} = \frac{\lambda v_2^2}{d_e^5} \rho \quad (10)$$

将公式(8)分别代入到(9)、(10)中可得:

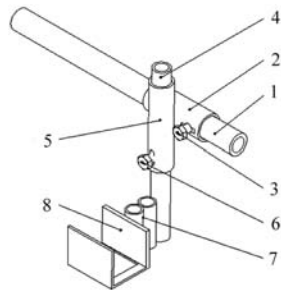
$$\Delta P_{m1} = 256\Delta P_{m2} \quad (11)$$

2根 $\Phi 20$ mm管时总的沿程压力损失为 $P_1 = \Delta P_{m1} \times 2l$, 而1根 $\Phi 80$ mm管时总的沿程压力损失为 $P_2 = \Delta P_{m2} \times l = \frac{1}{256} \Delta P_{m1} \times l = \frac{1}{281} P_1$, 即 $P_1 = 128P_2$ 。因此, 引出2根 $\Phi 20$ mm管的沿程压力损失是引出1根 $\Phi 80$ mm管的沿程压力总损失的128倍。

对喷涂架进行升级整改, 使喷嘴可进行前后上下及多角度调整, 如图3所示, 这样可以根据生产不同的管型, 将喷嘴调整到最佳距离和最佳角度, 从而达到更高的喷涂效率, 更好的喷涂效果。

3.4 升级改造后喷涂试验

喷涂系统整改后再次进行多喷嘴喷涂试验, 具体数据如表4所示。喷涂系统整改后, 对喷涂工艺进行相应的调整, 包括喷涂车走速、管模转速、罐压、风压



1. 横向连接管 2. 横向滑动旋转套管 3. 固定机构 4. 纵向滑动旋转连接管 5. 纵向连接套管 6. 固定机构 7. 连接组件 8. 喷嘴放置组件

图3 整改后的喷涂架示意图

Fig. 3 Schematic diagram of a single nozzle of the rectified spraying rack

等, 喷涂时间由原来的3.8 min, 缩短到2.7 min, 喷涂厚度、粗糙度均符合质量要求, 喷涂后进行浇注, 试

表4 整改后多喷嘴喷涂试验数据

Table 4 Data of spraying test with the rectified several nozzles

喷嘴数 量/个	管模 温度/℃	喷涂 循环	喷涂 时间/min	喷涂 厚度/mm	涂层 质量
3	180~240	2	2.7	0.5~0.7	较好

验管外观质量符合质量要求。

4 结论

(1) 通过选择合适的喷嘴, 将喷涂时间由6.2 min 缩短到3.8 min, 雾化效果较好, 没有涂料豆等缺陷, 喷涂厚度、粗糙度、浇注的试验管均符合质量要求。

(2) 通过对喷涂系统的升级整改, 将喷涂时间由3.6 min 缩短到2.7 min, 雾化效果较好, 喷涂厚度、粗糙度、浇注的试验管均符合质量要求。

参考文献:

- [1] 刘志明, 张鸿俭, 李巨文, 等. 硅藻土及其在铸造绝热涂料中应用的研究 [J]. 铸造, 1999 (2): 9-14.
- [2] 膨润土专题资料. <https://www.doc88.com/p-771897027275.html>.
- [3] 金美余, 樊明峰, 张冰成, 等. 硅藻土涂料在热模法离心机铸造球铁管中的应用 [J]. 特种铸造及有色合金, 2011 (1): 67-69.
- [4] 范英俊. 离心球墨铸铁管工艺及装备 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2001.
- [5] 喷涂原理. <https://wenku.baidu.com/view/ab0b1c80bceb19e8b8f6bae6.html>.
- [6] 范英俊, 张伯明, 胡家骢, 等. 涂料热模法大口径 (DN1800~2200 × 8000 mm) 离心球墨铸铁管制造技术 [C]//第二届铸造新材料、新工艺、新技术学术研讨暨经验交流会论文集, 2001: 58-63.
- [7] 侯凌云. 喷嘴技术手册 [M]. 2版. 北京: 中国石化出版社, 2007.

Quality Improvement Measures of Hot-Mould Coating Spraying for Large Diameter Ductile Iron Pipes

BAO Yan-qiang¹, MEI Yan-na¹, LIN Xue-chuan¹, LIU Jun-feng², ZHANG Jun-jie²

(1. Guangdong Xinxing Ductile Iron Pipe Co., Ltd., Yangjiang 529600, Guangdong, China; 2. Xinxing Hebei Engineering&Research Inc., Ltd., Handan 056000, Hebei, China)

Abstract:

The paint composition, preparation and possible problems of spraying in the production of hot-mould coating spraying of large diameter ductile iron pipes were introduced. In view of the current situation with lower efficiency of the company's hot-mould coating spraying of large diameter ductile iron pipes, the existing spraying system was upgraded, including upgrading of air pressure system, selecting the appropriate nozzle, rectifying equipment and tooling. The corresponding tests were carried out to improve spraying efficiency, shorten spraying time and improve spraying quality.

Key words:

large diameter ductile iron pipes; hot-mould coating spraying; appropriate nozzle; air pressure system