

# 消失模用新型水基快干涂料工艺性能的研究

高天娇, 姜延春, 尹绍奎, 李玲, 谭锐, 于瑞龙

(沈阳铸造研究所有限公司, 高端装备轻合金铸造技术国家重点实验室, 辽宁沈阳 110022)

**摘要:** 分析了铸铁件消失模用新型环保水基快干涂料的涂层硬化性能。通过对比试验, 研究了该涂料与普通铸铁件消失模用水基涂料在热风下的干燥速度、强度、抗吸湿性等性能。结果表明: 铸铁件消失模用新型环保水基快干涂料的涂层, 在热风烘干下的干燥速度超过国内同类产品; 涂层热风干燥后强度高, 抗裂性和抗吸湿性优异, 透气性良好。

**关键词:** 消失模铸造; 水基涂料; 快干原理; 铸铁件

由于消失模铸造采用干砂造型, 不仅减少了铸件落砂、清理的工作量, 而且旧砂回收率在95%以上, 模具尺寸精度高, 既节约成本, 又能提高铸件质量。低温下EPS对环境完全无害, 浇注时排放的有机物量很少, 而且排放时间短, 地点集中且易于收集、净化, 噪声、粉尘的危害相较于传统铸造明显减少。因此, 使用消失模生产工艺是推动传统铸造生产企业向绿色环保铸造生产转型的一种容易实现并且非常有效的手段。但是消失模用水基涂料的常温性能限制了消失模铸造技术的进一步推广。目前, 在消失模铸造过程中使用的水基涂料, 热风烘干涂层的时间较长, 一般温度控制在50~60℃, 风力0.4~0.7 m/s, 湿度 < 30%, 干燥房内的烘干时间10 h左右<sup>[1]</sup>。

目前, 关于水基快干涂料的研究大多集中在砂型铸造技术中, 消失模用水基快干涂料的研究非常少, 砂型铸造用水基涂料与消失模铸造用水基涂料在常温及高温性能方面都有很大的不同。

本研究针对铸铁件用消失模的铸造工艺, 研制出一种低温热风烘干时间较短、透气性良好、强度高、抗吸湿性优异的消失模水基快干涂料, 节约了生产企业的能源消耗, 大大缩短了消失模铸造的生产周期。

## 1 试验材料和方法

### 1.1 试验用对比涂料

本研究中使用的对比涂料为本公司生产并市场化的铸铁件用普通水基涂料, 其配方如表1所示。其中, 耐火骨料的粒度如表2所示。

### 1.2 试验配方

表3为本研究的消失模用新型快干水基涂料的配比。耐火骨料的种类、加入量及粒度与对比涂料相同, 如表2。

### 1.3 性能测试方法

涂层强度的测定: 使用涂料表面强度测试仪测定表面强度(图1)。首先将制备好的涂料涂覆在圆柱型基体试样上, 涂层厚度为1.2~1.5 mm, 经150℃±5℃烘干, 冷却后把试样夹持在仪器的夹具上。将旋转圈数设为10, 打开仪器开始测量。通过测量仪所刮下涂料质量的多少, 可以对涂料强度的强弱进行判断。质量大则强度低, 质量小则强度高。

作者简介:

高天娇(1987-), 女, 硕士, 从事铸造涂料相关的研发工作。E-mail: 13940072746@126.com

通讯作者:

姜延春, 男, 研究员, 博士生导师。E-mail: louych@chinasrif.com

中图分类号: TG221

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2020)05-0485-05

基金项目:

辽宁省“兴辽英才计划”项目(XLYC1802102)。

收稿日期:

2019-09-09 收到初稿,

2019-11-18 收到修订稿。

表1 铸铁件消失模用普通水基涂料的配比

Table 1 Formulation of conventional water based coating for casting iron LFC

耐火骨料					悬浮剂	粘结剂	透气助剂	减水剂	消泡剂	润湿剂	防腐剂	溶剂
莫来石粉	高铝砂	石英粉	云母粉	磷片石墨	钠基膨润土	聚乙烯醇	纤维	聚羧酸	DZ-200	SI-360	BC-1	水
25	15	40	10	10	2.5	2	0.5	0.4	0.6~1	0.6~1	1	25~28

表2 铸铁件消失模用普通水基涂料中耐火骨料的粒度

Table 2 Granularity of refractory aggregates in normal water based coating for casting iron LFC

莫来石	高铝砂	石英粉	云母粉	磷片石墨
200	140	200	140	100

表3 铸铁件消失模用新型水基快干涂料的试验方案

Table 3 Formulation of new-type quick-drying water based coating for iron casting LFC

耐火骨料					悬浮剂	粘结剂	快干剂	透气助剂	减水剂	消泡剂	润湿剂	防腐剂	溶剂
莫来石粉	高铝砂	石英粉	云母粉	磷片石墨	改性硅酸镁铝+ 钠基膨润土	聚乙烯醇+ 改性硅酸盐	高铝酸盐	有机纤维	聚羧酸	DZ-200	SI-360	BC-1	水
25	15	40	10	10	2.5	2	3~8	0~2.5	0.4	0.6~1	0.6~1	1	25~28

抗裂性能测定：用毛刷将待测涂料涂刷在聚苯乙烯泡沫试样上，涂层1.2~1.5 mm厚，放入55℃的烘箱中。待试样完全烘干后，观察其开裂情况。涂料抗裂等级如表4所示。

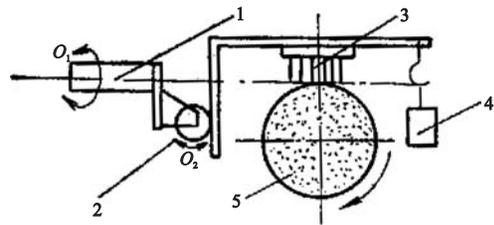
高温透气性的测定：将140目不锈钢丝网用厚度为2 mm的不锈钢片压紧固定在试样筒上，然后涂刷涂料至与压片厚度相同，用刮板刮平顶部，放入烘干箱中烘干1 h，冷却至室温后将其送入1 200℃的高温炉中，保温5 min，冷却后放入干燥皿中待用。在试样筒内圈和上部各粘上一圈嵌条，防止漏气，然后将试样放在上面，用同口径模子将试样片压紧。将试样筒放在透气性测试仪上进行测量，所得数据，即为高温透气性值，测试原理见图2。

## 2 试验结果与讨论

### 2.1 水基快干涂料的快干原理

在消失模用水基涂料中，影响其常温干燥速度的因素主要是溶剂水的含量。本研究中的水基快干涂料从减少溶剂水含量和加快溶剂水的挥发速度入手，一方面是加入减水剂，减少溶剂含量，同时选择固含量高的粘结剂，另一方面是选择快干剂。

本研究选择的高效减水剂为聚羧酸，未加入减水剂时，骨料颗粒和其他助剂颗粒形成团聚结构，颗粒与颗粒之间未被分散，大量自由水处于封闭空间，涂料粘度非常大。当加入适量减水剂后，减水剂与颗粒接触，快速吸附于颗粒表面并产生分散作用，团聚结构被分散，自由水被释放，涂料粘度降低，流变性能提高。因此，在达到相同使用粘度和流变状态的情况



1, 2.可转小轴 3.针布刷 4.荷重砝码 5.涂料试样

图1 涂层强度测定仪原理图

Fig.1 Schematic diagram of coating strength tester

表4 涂料抗裂等级

Table 4 Crack resistant levels

抗裂等级	抗裂性
I	平面、拐角处均无裂纹
II	平面处无裂纹，拐角处少量不连续细小裂纹
III	平面处有少量不连续细小裂纹，拐角处有连续细小裂纹
IV	平面处有连续裂纹，拐角处有网状大裂纹

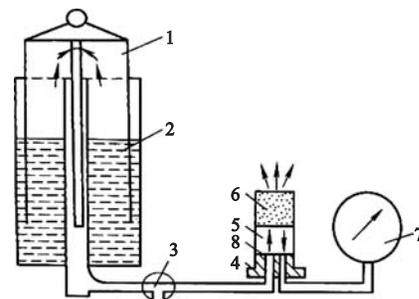
1.气钟 2.水筒 3.三通阀 4.试样座 5.试样筒 6.标准试样  
7.微压表 8.阻流孔

图2 透气性测定仪原理图

Fig. 2 Schematic diagram of permeability tester

下,加入减水剂的涂料比无减水剂的涂料所需的溶剂水含量要低。

本研究选择的高固含量粘结剂为改性硅酸盐,固含量在43%~45%,该粘结剂的特性就是成膜速度快,而且可以提高粘结剂膜的致密程度和强度,进而改善涂层的抗吸湿性。

水基快干涂料在常温、常压、通风良好的条件下,浸涂上1.0~1.5 mm的涂层后,放入低温热风烘干箱。由于涂层与空气接触的面积增大,在热风气流的作用下,涂料中的稀释剂水和粘结剂中的自由水开始蒸发,涂层产生脱水现象。涂层中的快干剂高铝酸盐与溶剂水的接触面积增加,水化活点增加,其中的 $\text{Ca}^{2+}$ 与水充分接触开始发生水化反应,然后生成不溶于水、耐高温且化学性能稳定的水化铝酸盐,而且该水化反应不可逆<sup>[2-3]</sup>,不会影响涂层的抗吸湿性。随着涂层存放时间的持续和水化反应的作用,粘结剂中的无机物固含量进一步增加,物理硬化随之发生。硬化后的改性硅酸盐形成稳定的 $\text{SiO}_2$ 网状骨架,耐火骨料和水化产物在网状骨架中紧密交织,涂层强度逐渐形成。

## 2.2 消失模用水基涂料中粘结剂对涂料性能的影响

### 2.2.1 粘结剂对消失模用水基涂料干燥时间和涂层强度的影响

本研究中消失模用普通水基涂料的粘结剂为聚乙烯醇水溶液,固含量为10%,消失模用快干水基涂料选择的粘结剂为聚乙烯醇水溶液和改性硅酸盐,改性硅酸盐的固含量较高,其特性是很容易包覆在骨料表面,成膜速度快。两种粘结剂的复配可以进一步加快涂层的成膜速度,提高涂层的强度和致密程度,同时获得更好的抗吸湿性。但改性硅酸盐含量不能过高,否则会降低涂料的透气性、增大涂料残留量。在固定粘结剂加入量总和为2% (粘结剂固含量占耐火骨料的质量分数)的条件下,改性硅酸盐加入量为0、0.2%、0.4%和0.6%,对比改性硅酸盐的不同加入量对涂料干燥时间和涂层强度的影响。

图3和表5是对比涂料在热风条件下烘干过程中含水率和涂层磨损量的变化,涂层质量不再发生变化后的第一时间点即为涂层干燥所需要的时间;涂层表面目测无水分痕迹之后开始测量磨损量,涂层磨损量达到最低并不在发生变化后的第一时间点即为涂层获得的最终强度,通过这两个指标可以确定涂料的热风干燥时间和干燥后涂层强度水平。

从数据可知,涂料中粘结剂为聚乙烯醇时,热风烘干7 h后涂层含水率不发生变化,涂层磨损量在烘干7 h后不再发生变化,即涂层的烘干时间为7 h。当改性硅酸盐加入量为0.2%时,热风烘干6.5 h后涂层含水率不再发生变化,涂层磨损量在烘干6.5 h后不再发生变化;当加入

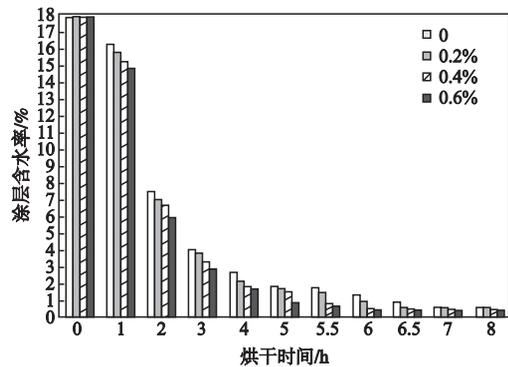


图3 改性硅酸盐不同加入量下的涂层含水率随烘干时间变化  
Fig. 3 Effect of drying time on moisture content of coatings with different amounts of modified silicate binder

表5 改性硅酸盐不同加入量下涂料在热风烘干过程中的磨损量变化

Table 5 Abrasion loss of coatings with different amounts of modified silicate binder during drying

烘干时间/h	涂层磨损量/g			
	加入量 0	加入量 0.2%	加入量 0.4%	加入量 0.6%
3	5.97	5.66	5.21	4.78
4	4.59	4.31	4.02	3.26
5	3.98	3.76	3.1	2.05
5.5	3.51	3.11	2.11	1.23
6	2.82	2.21	0.84	0.71
6.5	1.94	0.98	0.84	0.71
7	1.26	0.98	0.84	0.71
8	1.26	0.98	0.84	0.71

量为0.4%和0.6%时,热风烘干6 h后涂层含水率不再发生变化,涂层磨损量在烘干6 h后不再发生变化。

改性硅酸盐的成膜速度较快,涂层发生物理硬化的过程逐渐缩短,当改性硅酸盐加入量为0.4%时,比加入量为0时的烘干时间缩短1 h。从涂层的磨损量可知,随着改性硅酸盐加入量的增加,磨损量减少,涂层强度增加。

### 2.2.2 粘结剂对消失模用水基涂料涂层透气性的影响

消失模涂料在高温浇注过程中,应具有一定的透气性,其透气性在很大程度上会影响金属的充型和铸件的质量。浇注过程中产生的气体需要通过涂层排出,以降低气孔、夹渣等缺陷的发生几率。如果涂层透气性过低,气体压力高,阻碍金属液流动和填充,容易造成缺肉、气孔等缺陷<sup>[4]</sup>。

本研究中选择的改性硅酸盐属于无机粘结剂。无机粘结剂成膜性能好,涂层强度高,耐高温性能优异,但加入量过高会影响涂层的透气性。在涂料中固定粘结剂加入量总和为2% (粘结剂固含量占耐火骨

料的质量分数)的条件下,改性硅酸盐加入量为0、0.2%、0.4%和0.6%,对比不同加入量对涂层透气性的影响,结果如图4所示。

由图4可知,当改性硅酸盐的加入时,涂层的高温透气性明显下降,随着加入量的增加,透气性随之降低。根据改性硅酸盐对涂层热风烘干速度、强度和高温透气性的综合影响,我们选择改性硅酸盐的加入量为0.4%。

## 2.3 水基快干涂料中快干剂对涂料性能的影响

### 2.3.1 水基快干涂料中快干剂加入量的确定

本研究中快干剂的加入量对干燥速度有很大影响,加入量越多,水化活点越多,干燥速度会越快。由于消失模涂料的涂层厚度比较大,过快的干燥速度使涂层急速收缩,残余应力得不到充分释放,非常容易引起涂层开裂。同时,水化反应的产物具有较高强度,但韧性较低<sup>[4]</sup>,使涂层脆性提高。因此,快干剂的加入量要适中,既要保证涂层抗开裂性能良好,又能满足一定的干燥速度。表6为快干剂不同加入量时涂层的裂纹等级及所需的干燥时间,快干剂加入量为占骨料比重的质量分数。

由表6数据可知,随着快干剂加入量的增加,涂层热风干燥时间缩短,但是裂纹等级提高,出现裂纹的几率和裂纹恶劣情况增加。在本研究中,选择快干剂加入量5%,既能满足较快的烘干速度,又能保证涂层具有优秀的抗裂性能。

### 2.3.2 水基快干涂料的热烘干速度及强度

通过考察水基快干涂料和普通涂料在热风条件下烘干过程中水分含量和涂层磨损量的变化,确定水基快干涂料的热风干燥速度和干燥后涂层强度水平。

用毛刷将铸铁件消失模用的水基快干涂料和普通粘结剂水基涂料均匀涂刷在试验泡沫上,涂层湿厚度在1.2~1.5 mm,在热风烘干条件下(温度55℃,风力0.5 m/s,湿度<30%)记录不同时间点水分含量的变化。当水分含量不再变化的时候,测试涂层的磨损量,结果如图5和表7所示。

由图5和表7数据可知,热风烘干条件下,水基快干涂料的干燥时间为2.5 h,普通水基涂料的干燥时间为7 h,相对应时间点的磨损量也基本不发生变化。快干涂料的涂层磨损量要少于普通涂料的涂层磨损量,说明快干涂料的强度比普通水基涂料的强度要好,抗铁液冲刷性能好。

## 2.4 水基快干涂料的透气性

本研究中选择的粘结剂有两种,聚乙烯醇属于有机粘结剂,改性硅酸盐属于无机粘结剂。无机粘结剂成膜性能好,耐高温性能优异,但会影响涂层的透气

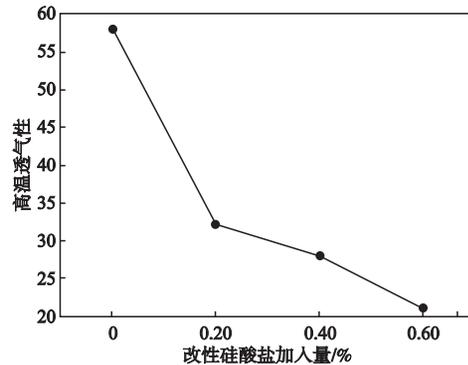


图4 改性硅酸盐不同加入量下的涂层高温透气性的变化  
Fig. 4 Variation of heat permeability of coatings with different amounts of modified silicate binder

表6 快干剂不同加入量对水基快干涂层裂纹及干燥时间的影响

Table 6 Effects of different amounts of quick-drying agent on crack and drying time

快干剂加入量/%	裂纹等级	热风干燥时间/min
3	I	312
4	I	220
5	I	150
6	III	123
7	III	114
8	IV	86

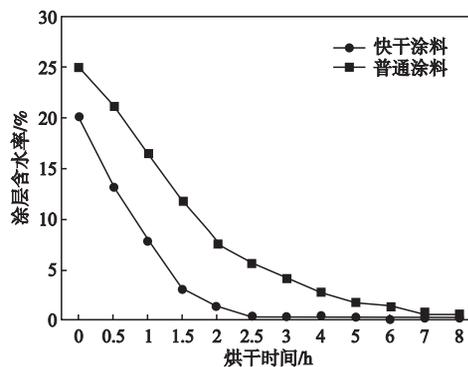


图5 快干涂料与普通涂料涂层含水率随烘干时间变化  
Fig. 5 Effect of drying time on moisture content of quick-drying coating and conventional coating

表7 水基快干涂料及普通消失模涂料在热风烘干过程中的磨损量变化

Table 7 Abrasion loss of quick-drying coating and normal coating during drying

烘干时间/h	快干涂料磨损量/g	普通涂层磨损量/g
2	1.57	
2.5	0.33	
3	0.33	5.97
7	0.33	1.26
8	0.33	1.26

性。且快干剂水化反应生成的产物属于物相稳定的无机物，耐高温性能良好，浇注时不会烧失，会影响涂层的透气效果。本研究中的有机粘结剂在高温下可分解形成一些孔隙，可以增加涂料的高温透气性，但过量的有机粘结剂会影响涂料的涂挂性和流淌性。为了进一步提高透气性，本研究选择加入一种有机纤维作为透气助剂，该有机纤维在高温下可烧失，细小的纤维均匀分布在涂层中，形成立体网状骨架结构，把耐火骨料等颗粒隔开，避免了密集排列，增加间隙。高温浇注时，有机纤维烧失后会留下透气通道，提高气体逸出效率，降低缺陷的产生。

由于有机纤维属于疏松、多孔的结构<sup>[5]</sup>，如果加入量过多会使涂层强度降低，带来铸件缺陷，严重时甚至会导致涂层塌箱。因此，有机纤维的加入量要适中，提高涂层高温透气性的同时保证具有较好的强度。表8为不同有机纤维加入量下高温透气性和涂层的磨损量，有机纤维加入量为耐火骨料的质量分数。

由表8数据可得，随着有机纤维的加入，高温透气性大幅度提高，加入量越多，透气性越高，相应的涂层磨损量也增加，涂层强度降低。综合各项性能要求，选择有机纤维加入量为1%，可得到不错的透气性，同时强度略降低，仍能满足生产条件要求。

#### 参考文献:

- [1] 潘强. 消失模铸钢水基涂料的研制与应用 [D]. 兰州: 兰州理工大学, 2012.
- [2] 王景然. 硅微粉对含尖晶石的高铝水泥水化性能和显微结构的影响 [C]//第十九届全国高技术陶瓷学术年会摘要集. 2016: 142-143.
- [3] 朱伯铨, 宋雅楠, 李享成, 等. 含镁铝尖晶石的铝酸钙水泥的水化过程研究 [J]. 稀有金属材料与工程, 2015 (S1): 261-263.
- [4] 李大明. 消失模铸造水基涂料的工艺性能研究 [D]. 西安: 西安理工大学, 2009.
- [5] 沈荣熹, 王璋水, 崔玉忠. 纤维增强水泥与纤维增强混凝土 [M]. 化学工业出版社, 2006.

表8 不同有机纤维加入量下高温透气性及磨损量  
Table 8 Heat permeability and abrasion loss of quick-drying coatings with different amounts of organic fiber

有机纤维加入量/%	透气性	磨损量/g
0	28	0.83
0.5	84	1.08
1	126	1.58
1.5	143	2.47
2	168	3.1
2.5	185	5.41

### 3 结论

(1) 铸铁件用消失模水基快干涂料的快干途径是减少溶剂水含量和加快溶剂水的挥发速度，在固含量高的粘结剂和快干剂的共同作用下，可以加快溶剂水的挥发。

(2) 快干剂加入量为5%时，可以获得优秀的抗裂性能，快干涂料的低温热烘干时间为2.5 h，普通消失模涂料为7 h；完全干燥后，快干涂料的强度优于普通涂料。

(3) 有机纤维的加入有助于提高快干涂料的高温透气性，但涂层干燥后强度会略有下降，经试验对比，有机纤维的最佳加入量为1%。

## Study of New-Type Quick-Drying Water Based Coating for LFC

GAO Tian-jiao, LOU Yan-chun, YIN Shao-kui, LI Ling, TAN Rui, YU Rui-long

(Shenyang Research Institute of Foundry Co., Ltd., State Key Laboratory of Light Alloy Foundry Technology for High-End Equipment, Shenyang 110022, Liaoning, China)

#### Abstract:

The study researched solidification characteristics of a new-type quick-drying water-based coating for casting iron LFC, and the drying velocity under the hot wind, strength and anti-moisture absorption of the new-type quick-drying water-based coating were tested. The results show that the new-type quick-drying coating has faster drying velocity under the hot wind than domestic like products and good resistance to stress cracking as well as low moisture absorption. In addition, the strength of the coating after drying is higher and the permeability is also better compared with the conventional water based coating for casting iron LFC.

#### Key words:

LFC; water-based coating; principle of quick drying; iron casting