

湿式泵送喷射施工技术在首钢的应用

吴松根 曹 勇
首钢技术研究院 北京 100041

摘 要 介绍了合作开发及引进的湿式泵送喷射设备的特点、施工工艺、施工注意事项以及它们在首钢连铸中间包、加热炉和鱼雷罐等冶金设备上的应用情况。

关键词 湿式泵送喷射 施工技术 中间包 加热炉 鱼雷罐

湿式泵送喷射施工技术是耐火浇注料机械化施工的一项新技术,其特点是将耐火混合料预先搅拌成能泵送的拌和料,借助高压泵和料管将拌和料输送到喷枪处(在喷枪上有添加外加剂和高压空气的系统),由喷枪操作人员实施喷补造衬或修补。此项技术具有施工时不需要模板或胎具,无粉尘,材料回弹率低(附着率≥95%),劳动强度低,效率高,可远距离泵送,机械化施工,施工体性能与振动成型浇注料相近等优点。在发达国家,该技术已在多种窑炉和热工设备上得到应用,取得了较好效果。在我国,由于泵送设备的原因,该项技术仍处于探索阶段。首钢从2001年开始,与国内专业的耐火材料施工设备制造商、高等院校和耐火材料制造商合作,共同研发该技术。本文介绍了合作开发的DX-PZS-1型和引进的BK-250E型湿式泵送喷射设备概况和它们在首钢中间包永久衬、加热炉以及鱼雷罐上的应用情况。

1 湿式泵送喷射设备概况

1.1 研制的湿式泵送浇注-喷射设备

设备设计要求:1)既可泵送浇注施工,又可喷射施工;2)最大限度地满足耐火浇注料对临界颗粒尺寸的要求;3)既能使用普通的不含钢纤维的浇注料,也能使用含钢纤维的浇注料;4)能够精确地控制浇注料的加水量;5)能够精确地控制絮凝剂的添加量;6)有利于施工过程中故障的修理和施工完成后管路的清洗;7)最大限度地减少人力操作。

开发的DX-PZS-1型湿式泵送浇注-喷射设备的特点为:可采用连续搅拌与泵送联合控制的给料方式,增设了反泵功能,便于切换施工模式、处理故障和清洗管路,能泵送或喷射含钢纤维的浇注料,最大输料粒度可达8 mm(喷射)和15 mm(泵送)。表1是DX-PZS-1型湿式泵送浇注-喷射设备与国外同类

设备的指标比较。
表1 DX-PZS-1型湿式泵送浇注-喷射设备与国外同类设备的指标比较

Table 1 Comparison between wet casting-spraying machine DX-PZS-1 and similar device made abroad

项 目	DX-PZS-1 型	国外综合指标 ^[1-2]
泵的形式	双缸活塞泵	双缸活塞泵
活塞直径×冲程/mm	100×500	(80~120)×500
最大泵压/MPa	15	3~15
水平输送距离/m	120	78~158
扬程/m	30	10~60
配管内径/mm	φ50	φ(40~50)
泵送速率/(t·h ⁻¹)	4~10	6~12
速凝剂泵压/MPa	1~5	-
泵送喷射加水量/%	6.0±0.5	7~9
电机功率/kW	15	7.5~23
搅拌方式	连续搅拌	间歇式搅拌

1.2 引进的湿式泵送喷射设备

引进日本的BK-250E湿式泵送喷射设备的常规性能参数见表2。

表2 BK-250E湿式泵送喷射设备的主要性能参数
Table 2 Technical data of wet spray-gunning machine BK-250E made by Japan

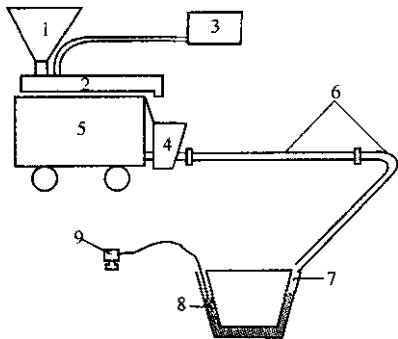
设备外形尺寸(长×宽×高)/mm	2950×1830×1400
材料泵送压力/(kg·cm ⁻²)	90
泵送距离(水平×垂直)/m	100×30
搅拌机容积/L	140
出料罐容积/L	225
出料量/(m ³ ·h ⁻¹)	<1.7
促凝剂输出量/(mL·min ⁻¹)	0.1~1.0
出料罐排出口内径/mm	76
料管直径/mm	38~50
设备质量/kg	1450

* 吴松根,男,1966年生,硕士,高级工程师。
E-mail: wsgwwb@163.com
收稿日期: 2005-08-24
编辑: 周丽红

2 湿式泵送浇注 - 喷射施工工艺

2.1 湿式泵送浇注 - 喷射施工过程

图 1 为湿式泵送浇注施工示意图。当泵送浇注施工时,先连接物料输送管路和设备电控系统线路,然后将浇注料投放于料仓中并开机,浇注料进入搅拌笼内,水泵自动开启并通过搅拌笼的进水口向笼内注水,浇注料在搅拌笼内混合均匀后进入料斗,料斗内的湿料贮存到超过输料缸后启动压缩泵,管路将料斗内的湿料输送至施工部位。根据所使用浇注料的特性,实施自流浇注施工,或振动浇注施工,至浇注料泛浆。脱模后养护烘烤,最后投入使用。



1 - 料仓; 2 - 搅拌笼; 3 - 水泵; 4 - 料斗; 5 - 压缩泵; 6 - 管路;
7 - 施工部位; 8 - 施工体; 9 - 震动器

图 1 湿式泵送浇注施工示意图

Fig.1 Engineering scheme of wet spray-gunning casting machine

图 2 为湿式泵送喷射施工示意图。当泵送喷射施工时,物料到达喷枪口之前的操作与泵送浇注施工方法相同。物料至喷枪口后,与压缩空气和絮凝剂在喷枪口处混合,再借助压缩空气将物料喷射到施工面上。絮凝剂促使浇注料快速凝固,牢固粘附于施工面上,减少回弹。施工体完成喷射后进行养护,烘烤后投入使用。这两种施工技术对远距离或高的作业点,以及不易支、拆模具的部位具有明显的优势。

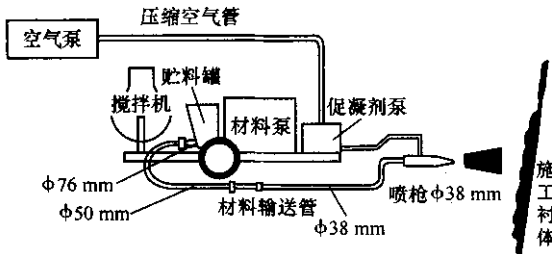


图 2 湿式泵送喷射施工示意图

Fig.2 Engineering scheme of wet spray-gunning machine

2.2 湿式泵送喷射施工注意事项

- (1) 湿式泵送喷射料临界颗粒为 8 mm,控制自流值在规定范围内,且具有良好的粘结性和保水性。
- (2) 确认料斗(仓)和管路内无异物,促凝剂控制系统和水控制系统流量符合设计要求,管路无死弯,输送畅通无阻。

(3) 确认电压在施工设备规定的允许范围内,压力控制器的动作压力与输送距离等参数相适应。

(4) 喷射前,清理干净残衬断面。

(5) 喷射手在操作时,应尽量使喷嘴与受喷面垂直,并呈螺旋形转动,均匀喷射至受料面。凹凸不平处应及时补平。

(6) 喷射施工应保持连续。

(7) 发生故障时,应及时启用设备的暂停保护装置,以避免设备再启动时发生堵塞。

(8) 喷射施工结束后应立刻对材料管道、搅拌机、储料罐、活塞泵及喷射机外侧进行彻底清理,将未用完的促凝剂放出,并放水冲洗促凝剂罐及输送管。清理完毕后切断电源,经全面检查确认无误后方可拆装机器。

3 应用

3.1 在中间包上的应用

中间包永久衬采用 DX - PZS - 1 型湿式泵送浇注 - 喷射设备进行施工。加水量为 6% ± 0.5%,促凝剂加入量根据现场情况调节(在取值范围内),最大加入量不超过 1%。施工过程连续,无堵塞,施工作业时间较传统的节省 30%。施工时物料不流淌,无滑落和坍塌,喷射层厚度为 30 ~ 900 mm。

中间包永久衬采用振动浇注施工时,大修 1 次,可使用 30 ~ 40 次;小修 1 次,可使用 15 次。采用湿式泵送浇注或湿式喷射施工技术后,泵送浇注的中间包平均寿命达 39 次,最高 48 次;喷射修补中间包的平均寿命 16 次,最高 27 次。表 3 为中间包永久衬用含钢纤维的湿式泵送喷射料的性能指标。

表 3 中间包永久衬用湿式泵送喷射料的性能指标
Table 3 Technical data of wet spray-gunning castable for permanent lining of tundish

处理条件	体积密度/ (g · cm ⁻³)	耐压强度/ MPa	抗折强度/ MPa	线变化率/ %
100 °C 16 h	2.61	78.6	12.42	-
1000 °C 3 h	2.62	78.4	15.76	-0.23
1500 °C 3 h	2.58	105.1	23.31	-0.02

3.2 在加热炉上的应用

首钢 4 座加热炉内衬均采用 DX - PZS - 1 型湿式泵送浇注 - 喷射设备进行喷射修补。修补至今,最长的已使用 2 年多,没有发现问题。喷射料与旧衬结合良好,喷射层没有剥落、掉块和大裂纹,只在局部发现少量微细裂纹,不影响加热炉的继续使用。

实践表明:采用喷射修补,省去了传统浇注施工法中需拆除炉顶、支拆模具的麻烦,避免了采用其他方法施工可能造成的炉顶的损耗。另外,还避免了采

用模板支撑时因炉底不平整存在缝隙而导致的浇注过程中的漏料现象。从使用情况看,只要喷射人员具有必要的喷射施工经验,促凝剂量控制得当,就可以获得致密性良好的喷射衬体。表4为加热炉内衬用湿式泵送喷射料的性能指标。

表4 加热炉内衬用湿式泵送喷射料的性能指标
Table 4 Technical data of wet spray-gunning castable for lining of heating furnace

处理条件	体积密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	耐压强度/ MPa	抗折强度/ MPa	线变化率/ %
100 ℃ 16 h	2.85	105	16.65	—
1000 ℃ 3 h	2.82	148	25.04	-0.18
1500 ℃ 3 h	2.80	170	25.26	-0.02

3.3 在鱼雷罐上的应用

鱼雷罐内衬采用日本引进的BK-250E型湿式泵送喷射设备施工。表5为鱼雷罐车内衬用湿法喷射料的理化性能^[3]。

表5 鱼雷罐车内衬用湿法喷射料的理化性能
Table 5 Technical data of wet spray-gunning castable for torpedo lining

化学组成(w)/%	Al ₂ O ₃	64
	SiO ₂	14
	SiC	14
体积密度($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	110 ℃ 24 h	2.60
	1450 ℃ 3 h	2.60
耐压强度/MPa	110 ℃ 24 h	86
	1450 ℃ 3 h	97
抗折强度/MPa	110 ℃ 24 h	11.5
	1450 ℃ 3 h	12.8
线变化率/%	1450 ℃ 3 h	+0.24

鱼雷罐砖衬通常在使用700次后进行湿法喷射修补。施工从锥环开始,重点修补冲击区、锥环与主环交界处。喷射修补厚度平均80 mm,其中,冲击区和罐口两侧上部厚度约100 mm,每次修补用料约10 t。喷射施工完成后,根据环境温度(理想温度5~30 ℃)的不同,应在自然条件下养护24~72 h,然后按图3所示烘烤曲线进行烘烤。当施工厚度>150 mm时,养护时间应适当延长。从修补使用后材料的残留情况看,Al₂O₃-SiC-C质湿法喷射料在使用中的抗铁水冲刷、侵蚀性能良好,其侵蚀速率每次为

0.25~0.48 mm。其中,锥环部位主要是铁水和渣的侵蚀,侵蚀程度较小;冲击区、罐口、锥环及柱环交界处侵蚀以冲刷、熔蚀和氧化为主,侵蚀相对严重。3次修补后的罐龄达到1200次。

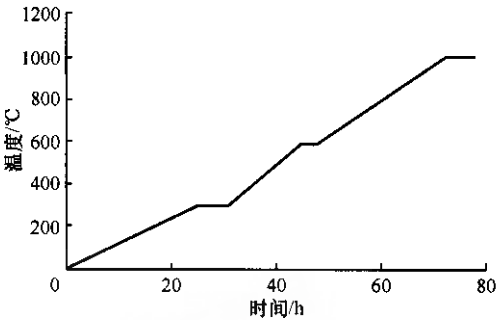


图3 湿式喷射料的烘烤曲线
Fig.3 The firing - curve of wet spray-gunning castable

4 结论

(1)开发的DX-PZS-1型湿式泵送浇注-喷射设备,具有连续搅拌与泵送联合控制给料系统,并实现一机两用功能,可在同一现场依据不同施工要求适时切换为泵送浇注或喷射两种模式。

(2)在首钢中间包永久衬和加热炉内衬上应用湿式泵送喷射施工技术,缩短施工作业时间30%以上,使用效果均达到或超过了振动浇注料和自流浇注料。

(3)湿法泵送喷射施工技术用于修补鱼雷罐内衬,加水量小,施工方便,易操作,效率高,无粉尘,使用效果好。

(4)采用引进日本的BK-250E型设备进行Al₂O₃-SiC-C喷射料施工时无堵塞,附着率高(回弹率≤5%),衬体结构均匀、致密,喷射衬体的性能与原浇注料接近。

参考文献

[1] 李再耕,王战民.不定形耐火材料最新技术介绍.99'全国不定形耐火材料学术会议论文集,长兴,1999 2-19
[2] 李再耕,王战民.喷射耐火材料新技术进展.2001 全国不定形耐火材料学术会议论文集,青岛 2001 35-53
[3] 陶绍平,杨彬,叶方保.湿法泵送喷射技术的研究与其在鱼雷罐上的应用.首钢科技 2005 (3):15-19

Application of wet spraying technique in Shougang/Wu Songgen ,Cao Yong//Naihuo Cailiao. - 2006 ,40 (2) :104

The characteristics ,installation technology and technique requirement of the wet spraying machine are introduced. Meanwhile ,its applications in the tundish ,reheating furnace and torpedo car in Shougang are also described.

Key words :Wet spraying ,Installation technique ,Tundish ,Reheating furnace ,Torpedo car

Author 's address :Shougang Research Insititue of Technology ,Beijing 100041 ,China