耐火浇注料泵送浇注和湿式喷射施工技术开发

曹勇[1)] 陈辽原[1)] 黄细阳[1)] 王晓彬[2)] 王小平[2)]
张腾[2)] 吴晓[3)] 刘百宽[3)] 刘建兴[3)]
1）首钢总公司 2）北京东兴喷射机械有限公司
3）濮阳濮耐高温材料有限公司

摘 要 泵送浇注和湿式喷射技术是耐火浇注料机械化施工的一项新技术。首钢总公司联合国内专业施工机具设计制造商和耐火材料制造商，经过两年多的开发，实现了施工机械国产化和耐火浇注料的泵送和喷射,尤其是含钢纤维浇注料的泵送和喷射。并在首钢中间包永久衬和轧钢加热炉应用，取得良好的使用效果，缩短施工时间30%以上。

关键词 耐火浇注料 钢纤维 泵送浇注 湿式喷射 修补

1 前言

随着不定形耐火材料施工技术向省时、省工、省力和机械化、高效化发展，以及国产机械化施工机具的进步，带动并促进了我国耐火浇注料泵送/湿式喷射技术的开发。目前国外已公开报道了该技术在中间包、钢包、铁沟、回转窑、焚烧炉等多部位的应用实例[1~4]。而国内，耐火材料应用领域还没有规模采用这项技术，也没有发现研究该技术的公开报道。

首钢于2001年开始，联合了国内专业的施工机具设计制造商和耐火材料制造商共同研发该技术，经过两年多的努力,在国内率先开发成功连续搅拌与泵送联合控制给料系统的耐火浇注料泵送/湿式喷射成套设备和工艺，并采取有效措施，实现了含钢纤维浇注料的喷射工艺。

本文概述了国产DX-PZS-1型喷射－浇注机、泵送浇注/湿式喷射工艺、泵送/喷射料(包括含钢纤维浇注料)在中间包永久衬、轧钢加热炉的应用情况。

2 技术背景

常规的耐火浇注料施工需要使用模具或模胎，模具的安装和拆除本身就是一件成本高而且费时费力的工序，使浇注施工的辅助工作量和劳动强度都较大，也不利于进行维护性修补。另外，浇注料加水量控制由于现场条件所限，或某些主观原因常常未能做到严格准确，其结果是实际施工用水量高于技术要求值，严重时甚至导致浇注料颗粒与细粉产生分离，使浇注衬体组织结构不均一，影响了浇注衬体优良性能的发挥。而在一些特殊施工部位，如：较高的作业点、较狭窄的作业空间、管道和支柱密布的施工位等等，无论是振动浇注施工，还是自流浇注施工，浇注料输送线和输送时间被无形延长，费时费力，并间接或直接地影响浇注料的施工质量。而目前常用的干法喷补工艺，由于物料与水混合的时间极其有

限，存在喷补层薄、密度低、粉尘高、回弹大等缺点，其应用效果并非最理想的。

泵送浇注和湿式喷射技术则是将低水分的浇注料经泵和管路，水平或垂直地压送到处于远距离、高空、深坑或狭小的施工位，实施有模浇注或无模喷射的一种机械化施工方法。具有工序简单，机动灵活，操作方便，快速、及时、保证质量和降低劳动消耗的优势，具有广泛的适应性。

3 DX-PZS-1 型喷射－浇注机

基于泵送浇注和湿式喷射施工技术的优势，并结合首钢二炼钢厂中间包使用含钢纤维的浇注料的实际情况，要求国产化喷射－浇注机必须满足如下的条件：①即可泵送浇注施工，又能喷射施工；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、不含钢纤维浇注料，也能使用含钢纤维浇注料；④能够精确地控制浇注料加水量；⑤能够精确地控制絮凝剂添加量；⑥有利于施工途中故障修理和施工完毕的管路清洗；⑦最大限度地减少人力操作环节。

图 1 即是国产 DX-PZS-1 型喷射－浇注机。其突出特点在于：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、清洗管路；能泵送/喷射含钢纤维的浇注料，最大输料粒度可达 8mm(喷射)～15mm(泵送)。表 1 是国产 DX-PZS-1 型喷射－浇注机与国外同类机器综合指标比较。

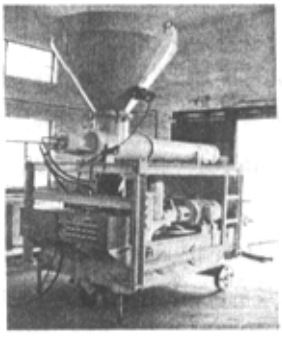

图 1 喷射—浇注机构造图

表 1 国产 DX-PZS-1 型喷射－浇注机与国外同类机器综合指标比较

	国外指标(综合)	DX-PZS-1 型
泵	双缸活塞泵	双缸活塞泵
活塞尺寸 mm×冲程 mm	80～120×500	100×500
最大泵压，MPa	3～15	15
水平输送距离，m	78～158	120
扬程，m	10～60	30
搅拌方式	间歇式搅拌	连续搅拌与泵送联合控制
配管内径，mm	φ40～50	φ50
泵送速率，t/h	3～4/6～12/7～9/4～10	4～10
速凝剂泵压	/	1～5Mpa
泵送/喷射水量，%	7～9	6.0±0.5
电机功率，kw	7.5～23	15

4 浇注料泵送／喷射工艺

泵送浇注和湿式喷射使用同一台喷注机。工艺概要如图 2 和图 3 所示。

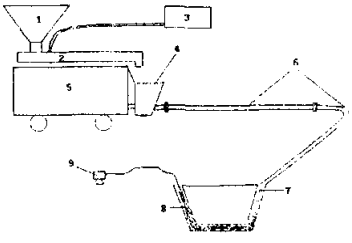

图 2 泵送浇注施工工艺概要图

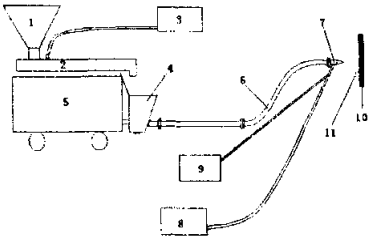

图 3 式喷射施工工艺概要图

泵送浇注施工法，如图 2 所示。投放浇注料于料仓 1 中，完成设备电控系统线路联接，以及物料输送管路的联接。开机后，浇注料进入搅笼 2，搅龙外壳上有一进水口，在设备开机的同时，水泵 3 自动开启，向搅笼内注水，浇注料在搅笼内被调和成具有一定自流值的湿浇注料，进入料斗 4 贮存。待料斗 4 内的湿料贮存到超过输料缸后，启动泵 5，通过管路 6 输送料斗 4 内的湿浇注料至施工位 7 。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，大量气泡排出为止。脱模后，继续养护后，进行烘烤，投入使用。

湿式喷射施工法，如图 3 所示。浇注料到达喷枪 7 之前的操作与泵送浇注相同。浇注料至喷枪 7 后，与压缩空气 8 和絮凝剂 9 在喷枪 7 处混合，再借助压缩空气 8 将浇注料喷射成型于待施工面上，絮凝剂 9 在短时间内使浇注料丧失流动性，并粘附于施工面上，不流淌，不滑落。养护后，进行烘烤，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。

在实施泵送浇注和湿式喷射时，还应注意：

- 泵送浇注的耐火浇注料临界颗粒不大于 15mm，喷射浇注料临界颗粒不大于 8mm，控制自流值在规定范围,且具有良好的粘聚性和保水性。
- 确认料斗内（仓）和管路内无异物和，絮凝剂控制系统和水控制系统流量符合设计要求，输送畅通无阻。
- 确认电压在施工机具规定的允许范围内，压力控制器的动作压力与输送距离等参数相适应。
- 确认管路无死弯和憋劲现象。
- 开始施工前，使用润滑剂润湿管路，以利于浇注料的引出。
- 喷射前，清理干净残衬断面，确认没有浮灰或松动的料块。
- 喷射手在操作喷嘴时，应尽量使喷嘴与受喷面垂直，并呈螺旋形转动，均匀喷射至受喷面。凹凸不平处应及时补喷至平整，或及时人工抹平。
- 喷射施工应尽可能连续，确因故不能连续时，要及时启用设备的暂停保护系统，以防止设备再启动时发生堵塞。

5 含钢纤维浇注料的泵送 / 喷射

根据目前所掌握的公开资料看，没有发现使用含钢纤维浇注料进行泵送/喷射施工的试验报道。文献[5,6]中虽然提及了在浇注料中可以含有金属纤维，但在其实施例和对比例中却没有具体的实例。而二炼钢中间包永久衬使用的浇注料恰恰含有钢纤维，因此，有必要考察泵送浇注和湿式喷射技术对钢纤维浇注料的适用性。

钢纤维浇注料的泵送和喷射较常规的无钢纤维浇注料要困难得多，这主要是由于浇注料内的钢纤维无序排列和团聚使浇注料在管路内输送难度加大，严重时导致无法输送。现场试验显示，当采用常规的方式输送含钢纤维的浇注料时，很容易在浇注料被输送到一半时发生堵塞，并导致输料管路破裂。我们从设备和材料两方面做了必要改进和调整，使钢纤维浇注料的泵送和喷射得以顺畅、无堵塞地连续进行。钢纤维浇注料的成功输送和喷射拓宽了该技术的应用范围。

6 现场试验

2001 年 9 月完成国产 DX-PZS-1 型喷射—浇注机安装、调试。2001 年 12 月起，开始使用浇注料在 DX-PZS-1 型喷射－浇注机上进行试泵送/喷射，并修正试验室获得的参数。2002 年 4 月起，使用钢纤维浇注料在首钢第二炼钢厂中间包永久衬上进行喷射修补试验和新衬的泵送浇注试验，2003 年 1 月开始对轧钢加热炉内衬实施喷射修补。表 2 是采用泵送浇注和湿式喷射施工法施工的中间包永久衬浇注料的实测性能值，表 3 是为加热炉内衬浇注料的实测性能值。图 4 是中间包永久衬泵送浇注/喷射施工(含钢纤维浇注料)的照片。图 5 是加热炉衬的喷射修补照片

表 2　中间包永久衬泵送浇注和湿式喷射用含钢纤维浇注料

	体积密度,g/cm³	耐压强度,Mpa	抗折强度,Mpa	线变化率,%
100℃ × 16h	2.61	78.6	12.42	
1000℃ × 3h	2.62	78.4	15.76	-0.23
1500℃ × 3h	2.58	105.1	23.31	-0.02

表 3　加热炉内衬喷射浇注料

	体积密度,g/cm³	耐压强度,Mpa	抗折强度,Mpa	线变化率,%
100℃ × 16h	2.85	105	16.65	
1000℃ × 3h	2.82	148	25.04	-0.18
1500℃ × 3h	2.80	170	25.26	-0.02

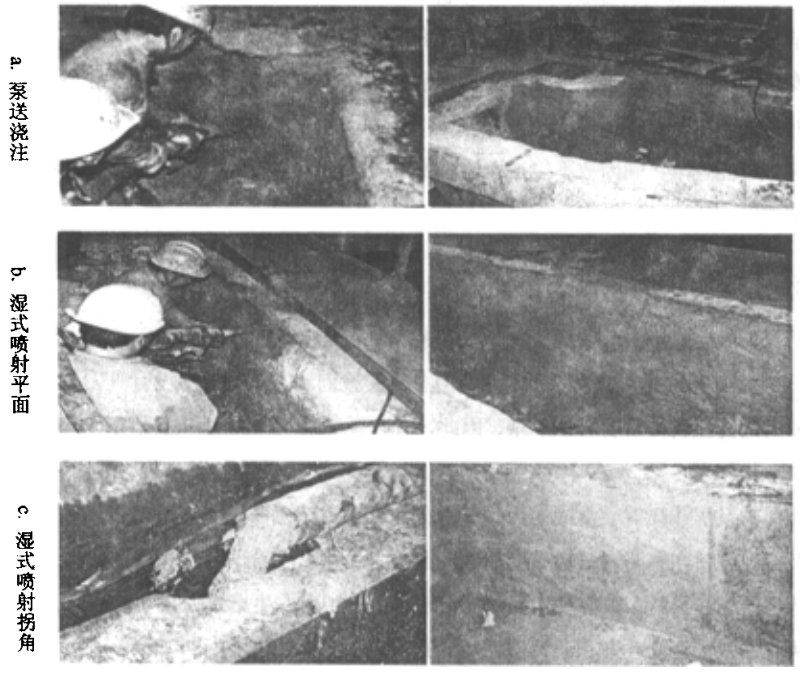

图 4　泵送浇注和湿式喷射施工图片

施工中加水 6±0.5%，速凝剂掺量在取值范围内根据现场情况调节，最大掺量不超过 1%。施工过程连续，无堵塞。施工作业时间较传统施工工艺节省 30%；湿式喷射施工不流淌、无滑落和坍塌。喷射层厚度可在 30～900mm 范围任意控制，没有坍塌现象。

统计中间包永久衬泵送浇注和喷射修补使用情况。原振动浇注施工模式，中间包永久衬使用寿命：大修包 30～35 次，小修包 15 次。采用泵送浇注/湿式喷射技术后，泵送浇注的大修包平均寿命 39 次，最高 48 次；喷射修补包平均寿命 16 次，最高 27 次。达到或超过了浇注料和自流浇注料的水平。

a 施工部位　　b 喷射修补

图 5　加热炉衬喷射修补施工图片

首钢四座加热炉内衬实施喷射修补效果显示，使用 19 个月、14 个月、8～9 个月来，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，认为不会影响加热炉的使用。而且，由于采用无模喷射修补，省去了传统浇注施工法中需拆除炉顶支拆模具的麻烦，降低了炉顶的损耗。另外，还避免了炉底不平整，模板支护无法严丝合缝而造成的浇注过程漏料现象。从使用的情况看，只要喷射操作手具有必要的喷射施工经验，速凝剂量控制得当，就可以获得致密良好的喷射衬体。

7　结论

(1) 成功开发了具有连续搅拌与泵送联合控制给料系统的耐火浇注料泵送/湿式喷射成套设备(DX-PZS-1 型喷射－浇注机)和工艺。其一机二用功能，可在同一现场依据不同施工要求适时切换为泵送和喷射两种模式。

(2) 使用 DX-PZS-1 型喷射－浇注机，采取有效措施，实现了含钢纤维浇注料的泵送/喷射。

(3) 在首钢中间包永久衬和加热炉内衬应用，缩短施工作业时间 30%以上，使用效果达到或超过了振动浇注料和自流浇注料的水平。

参考文献

(1)钟香崇.展望新一代优质高效耐火材料.耐火材料,2003,37(1):1～10

(2)李再耕.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,1999:2～19

(3)李再耕.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.2001:35～53

(4)周宁生,胡书禾,张三华.不定形耐火材料发展的动态.耐火材料,2004,38(3):196～203

(5)中国专利:CN1214031A

(6)中国专利:CN1121907A