

转炉内衬新型湿法遥控喷补技术

邓乐锐 董战春 章荣会

(北京联合荣大工程材料有限责任公司 北京 怀柔 101400)

摘要: 通过对湿法喷射设备的改进和对镁硅质自流料性能的调整,实现了镁硅质自流料的喷射施工。该项技术应用到转炉内衬修补上,与传统湿法喷补和目前国内普遍采用的半干法喷补技术相比具有需水量极低,喷补层结构致密,使用寿命高等优点;与干法喷补料(树脂、沥青结合)相比,烧结过程不会产生有毒气体,绿色环保。预计会有良好的发展前景。

关键词: 转炉; 遥控; 湿法喷补

New Remote Shotcrete Gunning-repair Technology for Converter Lining

Denglerui Dongzhanchun Zhangronghui

(Beijing Allied Rongda Engineering Material Co.,Ltd. Beijing 101400,China)

Abstract: Through the improvement of wet-gunning equipment and the adjustment of magnesium and silicon self-flowing material's performance, the magnesium and silicon self-flowing material shotcrete construction is realized. The technology is applied to repair converter lining, and compared with traditional wet gunning-repair and semi-dry gunning generally used in China at present the technology has such advantages as low water demand, compact gunning-repair structure and long service life; compared with dry spraying-repair materials (bonded by resin and asphalt), none toxic gases will be produced during its sintering process, as a result it is green environmental protection. It is expected to have good development prospect.

Key words: converter; telecontrol; wet gunning-repair

1. 前言

为了延长转炉寿命,对转炉进行喷补已经有近 50 年的历史,喷补技术在实践中不断得到改进。喷补方法先后出现过湿法,干法,半干法和火焰喷补法。各种方法都有其特点,都在不同程度上延长了转炉寿命^[1]。

传统的湿法喷补技术由于喷补料浆水分太高,既对炽热砖衬有损害,又因水分快速挥发导致喷补层气孔率高、强度低、抗渣性差等^[1]。基本已被半干法取代。目前,国内转炉喷补大多为半干法喷补,该法因设备简单,操作方便而得到了较大范围的推广。但由于该喷补料多以磷酸盐或硅酸盐作为结合剂,导致材料高温性能劣化,耐侵蚀性能差,需要频繁进行炉况维护,影响耐火材料消耗和转炉作业率^[2]。同时,半干法也存在和传统湿法喷补同样的需水过多的问题。干式喷补料以沥青或树脂等有机物做结合剂,并加入抗氧化剂,无需加水,直接喷补到热的炉衬上即可达到良好的粘接效果,不但很好的解决了传统湿法和半干法水分过多和添加无机盐带来的不良影响,也较好的满足了转炉炉况维护要求,保证转炉生产高效率稳定运行,可大幅降低耐火材料消耗,提高生产作业率^[3-4]。但存在沥青或树脂烧结过程中烟气毒害问题。火焰喷补技术克服了含水喷补料中水分对炽热炉衬的损坏作用,具有附着率高、耐蚀性、抗渣性好等优点^[5]。同时也避免了烧结过程的烟气毒害问题。在俄罗斯、日本等国被普遍采用,取得了显著的经济效益^[5-6]。但该技术在国内目前还处于设备和工艺完善阶段,离实现工业应用还有较长的路要走。

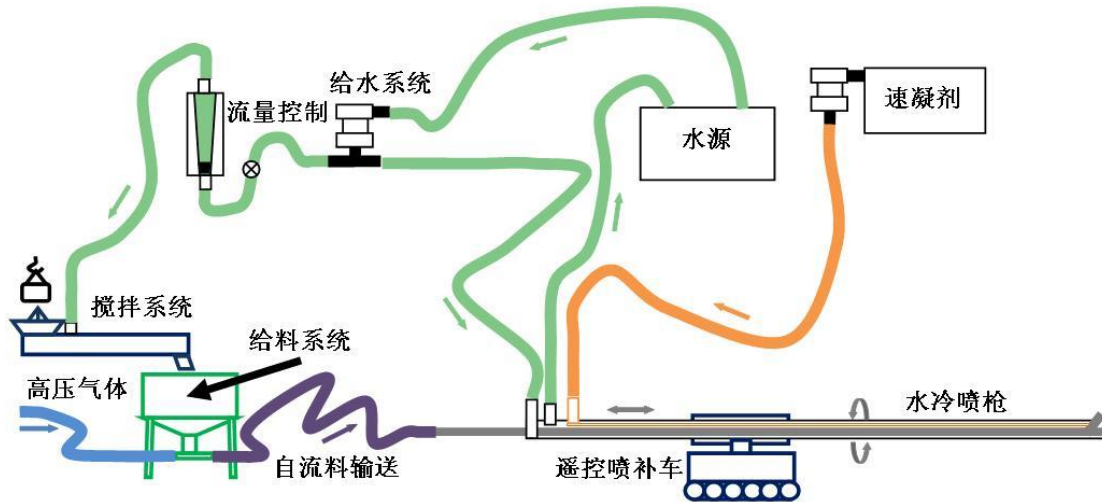
鉴于耐火浇注料的湿式喷射施工技术具有显著优势,近年来得到广泛关注,并在很多项目中得到应用,取得了满意的效果,具有很好的发展前景^[7-10]。我们对其加以改造,研制了适用与转炉喷补的转炉内衬新型湿法遥控喷补技术。该项技术能够对预先搅拌好的自流料进行远距离气体输送;在枪头部位引入速凝剂,与自流料混合后使自流料丧失流动性,能够和炉衬粘接,基本无反弹;自流料采取微粉结合,并添加高效减水剂,使其搅拌需水量降至5%以下。

2. 新型湿法遥控喷补装置

该装置能够把自流料按照给定的加水量搅拌好,连续放入料斗中;料斗连接分配装置,该分配装置能够持续均匀地把自流料分配到输送管道里,并被高压气体吹送出去;输送管道一头连接高压气源,另一头连接喷枪;靠近喷枪部位引入速凝剂;喷枪前进、后退及旋转和喷补车前进、后退及转向均可遥控操作完成。整套装置示意图如图1所示:

图1 新型湿法遥控喷补装置示意图

Fig. 1 The sketch of the New Remote Shotcrete Gunning-repair devices



3. 材料研制

3.1. 试验原料及配方

粗颗粒和中颗粒骨料使用中档镁砂,细颗粒骨料和细粉使用高纯镁砂,结合剂使用硅微粉,另外添加适量烧结剂和减水剂,各主要材料技术指标见表1.

表1 主要原料的理化指标

Table 1 Physical properties and chemical compositions of starting materials

项目	化学成分/%						体积密度 g/cm ³
	MgO	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	LOI	
中档镁砂	94.75	1.56	2.15	0.92	0.41	0.21	3.18
高纯镁砂	97.05	1.28	0.70	0.71	0.1	0.16	3.26
硅微粉	0.5	0.31	95.68	0.051	0.13	1.96	-

喷射料要求具有良好的自流性能,才能满足在极短时间内迅速填充分配器的某一单元,以被顺利输送至送料管道中的要求。根据安德烈森紧密堆积原理,选取 $q=0.25$,原料最大粒径选择为 $D_{max}=5\text{mm}$,骨料部分采用三级级配,分别为5-3mm,3-1mm和1-0mm。确定基础试验方案如表2所示。

表 2 试验配方

Table 2 Formulation of specimen

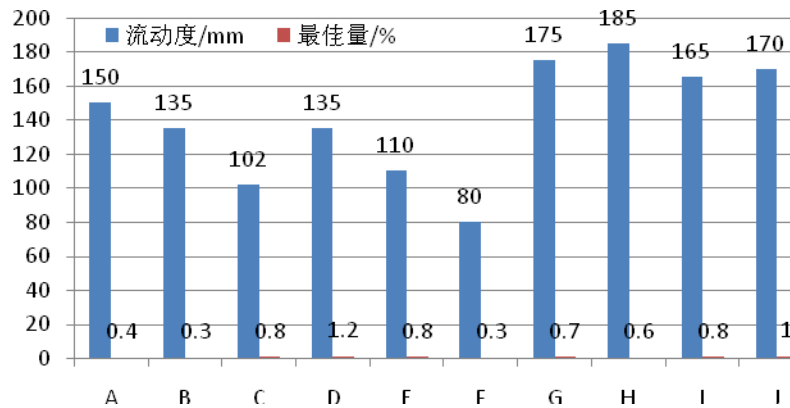
原料	粒度	0#
中档镁砂	5-3mm	12
	3-1mm	23
高纯镁砂	1-0.074mm	30
	200目	28.5
硅微粉		6
烧结剂		0.5
防爆纤维		0.06

3.2. 分散剂的选择

由于镁硅质自流料料浆特性完全不同于铝酸盐结合低（超低）水泥自流料，对于其分散剂的选择缺乏足够的参考资料。为此，在固定加水量为 20%的条件下，我们对六类共十种分散剂均作了浆体流动度性能对比，各种分散剂均在推荐加量范围左右找出其流动度最大时加量记为其最佳加量。浆体流动度试验模具采用内径 30mm，高 50mm 的圆筒。各种分散剂在粉料中最佳加量及对应的浆体流动度如图 2 所示。

图 2 粉料中分散剂最佳加量及流动度

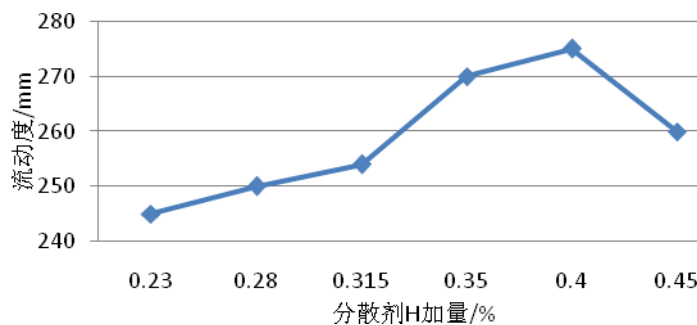
Fig. 2 Best addition of dispersants in powder and its fluidity



根据上述结果，分散剂最终选定 H。按照 0#方案，通过加量试验，确定分散剂在自流料中的最佳加量。考虑到添加骨料颗粒后分散剂用量会有所增加，我们即以粉料加量的 1.5 倍加量 ($0.6\% \times 35\% \times 1.5 = 0.315\%$) 作为基础，在其周围寻找其在自流料中的最佳加量。试验加水量固定在 5.2%。流动度检测采用 GB/T2419-2004 所规定的标准设备，记录自流料自流铺展 1min 时直径记为其自流流动度。试验结果如图 3 所示。

图 3 分散剂 H 加量对自流料流动度的影响

Fig. 3 Effect of H addition on the fluidity of self-flowing materials



根据上述试验结果，最终确定了分散剂 H 的最佳加量为 0.4%。

3.3. 颗粒级配

确定分散剂 H 加量为 0.4%，在 0# 方案基础上，考察了材料颗粒级配对自流料流动度的影响。试验方案及结果如表 3 所示。

表 3 颗粒级配对流动度的影响

Table 3 Effect of grain composition on fluidity

原料	粒度/mm	0#	1#	2#	3#	4#
中档镁砂	5-3	12	17	23	17	17
	3-1	23	18	12	23	14
高纯镁砂	1-0	30	30	30	25	34
其它				35		
加水量/%				5		
流动度/mm		240	265	270	255	245

根据上述试验结果，后续试验均按照 2# 方案来确定材料的颗粒级配。

3.4. 硅微粉加量

确定分散剂 H 加量为 0.4%，颗粒级配按照 2# 方案执行，试验了硅微粉加量对自流料流动度的影响，试验方案及结果如表 4 所示。

表 4 硅微粉加量对流动度的影响

Table 4 Effect of Microsilica addition on fluidity

原料	5#	6#	7#	8#	9#	10#	
硅微粉	6.5	6	5.5	5	4.5	4	
其它	93.5	94	94.5	95	95.5	96	
加水量/%				4.8			
流动度/mm		220	230	240	255	270	250

根据上述试验，最终确定 9# 方案为喷射料方案。根据该方案制作试样，并和其它几种喷补料做了性能对比，结果如表 5 所示。

表 5 几种喷补料性能对比

Table 5 Properties contrast of several gunning-repair materials

项目	半干法喷补料	干法喷补料	湿式喷射料	
体积密度/(g/cm ³)	110℃×24h	2.37	2.46 (250℃)	2.84
	1600℃×3h	2.36	2.47	2.84
耐压强度/Mpa	110℃×24h	24	32 (250℃)	74
	1600℃×3h	27	34	59
线变化率/%	1600℃×3h	-2.05	-1.42	-0.58

3.5. 速凝剂的选择

速凝剂的选择对于喷射料的施工性能和使用性能具有重要的影响。速凝剂要求能够在极短的时间内与喷射料发生反应，使喷射料瞬间丧失流动性，能够与喷补面粘接，不流淌，反弹量尽量小。同时还应避免带入有害杂质，以防止对喷射料使用性能产生不良影响。

我们首先试验了在铝酸钙水泥结合喷射料上广泛使用的几种速凝剂，包括铝酸钠、聚合氯化铝、氯化钙、水玻璃、硅溶胶（包括酸性、碱性）、硫酸铝、聚丙烯酰胺等。试验结果表明，该类速凝剂并不适用与镁硅质体系中，它们均能够在一定程度上影响喷射料的流动性，但并不能促进其硬化。为此，我们进行了新的筛选试验。最终筛选出了以三种有机酸混合物的饱和溶液为速凝剂的方案。当其加量为 0.5% 时即能达到良好的促凝效果，且对材料使用性能无不良影响。

4. 结论

通过对现有设备的改进,实现了转炉内衬湿法喷射修补遥控操作,该装置操纵灵活,能够满足现场全方位,多角度的修补要求。极大的改善了炉前作业环境,降低了工人劳动强度,提高了修补效果。具有显著的社会效益和经济效益。

分散剂的选择对镁硅质自流料具有至关重要的作用。相同加水量条件下,分散剂 H 对流动性的改善效果更加明显一些。

合理的颗粒级配对提高材料流动度具有较为明显的效果。

适当的硅微粉加量,能够改善材料流动性。

铝酸钙水泥结合喷射料普遍采用的速凝剂,并不适用于镁硅质体系。研制的三种有机酸混合物的饱和溶液能够起到对镁硅质料速凝的作用,且不影响材料使用性能。

参考文献

- [1] 王习东. 转炉喷补技术及其发展[J]. 华东冶金学院学报, 1995, 12 (2): 117-121.
- [2] 汪邦忠. 转炉干式喷补工艺的应用[J]. 安徽工业大学学报, 2005, 22 (4): 715-717.
- [3] 任冰. 转炉用干法喷补料的研制与应用[J]. 安徽冶金科技职业学院学报, 2009, 19 (1): 16-18.
- [4] 刘景林. 转炉用碳结合喷补料的开发[J]. 耐火与石灰, 2010, 35 (2): 38-43.
- [5] 王习东, 张卫东. 炼钢炉火焰喷补工艺参数的试验研究与优化[J]. 耐火材料, 2002, 36 (6): 318-321.
- [6] 王春杰, 常君辰. 火焰喷补机的研制前景[J]. 江苏冶金, 2000, (6): 63-64.
- [7] 廖建国. 不定形耐火材料施工的新方法[J]. 鞍钢技术, 2000, (3): 42-46.
- [8] 徐健. 新型湿式致密质喷补浇注料[J]. 国外耐火材料, 1999, (11): 66-67.
- [9] 桂明玺. 喷涂技术的发展和今后的动向[J]. 国外耐火材料, 2001, (2): 3-10.
- [10] 廖建国. 新型湿式高密度浇注料的施工方法[J]. 国外耐火材料, 2000, (4): 17-20.
- [11] 刘凤霞. 自流耐火浇注料的喷注施工[J]. 国外耐火材料, 1999, (7): 20-27.
- [12] 郭飞. 高温下转炉修补用新型喷补方案[J]. 国外耐火材料, 2000, (6): 49-52.
- [13] 王诚训, 张义先. 碱性喷补料及其优化[J]. 国外耐火材料, 2000, (3): 8-14.