

中心孔加周边孔氧枪供氧提钒试验研究

陈炼^{1*}, 周遵传², 吴晨辉¹, 张彦恒², 付新瑞²

1.攀钢集团攀枝花钢铁研究院有限公司, 攀枝花 617000; 2.攀钢集团西昌钢钒有限公司, 西昌 615032

Experimental Study on Vanadium Extraction With Oxygen Supply By Central-hole and Peripheral-hole Lance

Chen Lian^{1*}, Zhou zunchuan², Wu Chenhui¹, Zhang Yanheng², Fu Xinrui²

2. Pangang Group Panzhihua Iron and Steel Research Institute Co., Ltd, Panzhihua, 617000, China

3. Pangang Group Xichang Steel and Vanadium Co., Ltd, Xichang, 615032, China

1. 前言

转炉提钒是一个对动力学要求较为严格的工艺, 只有良好的渣金反应才能够实现钒的高效氧化。西昌钢钒 200t 提钒转炉炉型为矮胖型, 熔池上表面积大、炉口大, 氧枪设计夹角 12°、氧气流量 20000Nm³/h, 这就造成氧气射流的冲击动力较小, 冲击深度不到熔池深度的一半。国内对提钒氧枪的研究主要集中在喷孔夹角等方向^[1,2], 项目组尝试过优化 4 孔氧枪喷孔夹角、设计大流量氧枪、3 孔小夹角氧枪等, 但效果都不明显, 半钢钒含量一直未得到有效控制。结合提钒过程规律、氧枪射流特性, 制定了中心孔加周边孔的新喷头设计。并在工业现场开展了“3+1”、“4+1”孔提钒氧枪试验, 探索提高氧气射流冲击力、减少氧气流量对转炉提钒生产的影响规律, 为后续提钒氧枪及提钒工艺参数优化工作的开展提供依据。

2. 实验方案

2.1. 氧枪参数设计

通过对提钒过程耗氧量、供气压力等进行验算, 设计出两个中心孔+周边孔的氧枪喷头, 参数见表 1, 通过对氧气射流对熔池冲击深度、冲击面积的比例进行核算, 冲击深度和冲击面积明显改善(图 1 和图 2)。

表 1 试验氧枪喷头参数
Table1 Parameters of test oxygen lance

喷孔数 /个	3+1 孔	4+1 孔
马赫数 /Ma	中心 2.05, 圆周 2.03	中心 2.05, 圆周 2.03
周边喷孔夹角 /°	12	12
中心孔喉口直径 /mm	38.4	35.1
中心孔出口直径 /mm	51	46.5
周边孔喉口直径 /mm	33.9	30.4
周边孔出口直径 /mm	44.6	40
氧气流量 /Nm ³ ·h ⁻¹	22000	22000
工作压力 /MPa	0.8-0.85	0.8-0.85

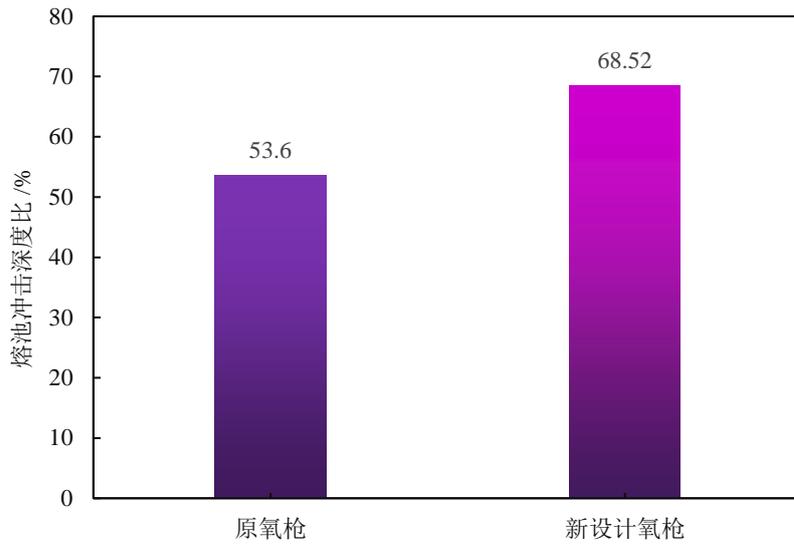


图 1 熔池冲击深度对比

Fig.1 Comparison of impact depth of molten pool

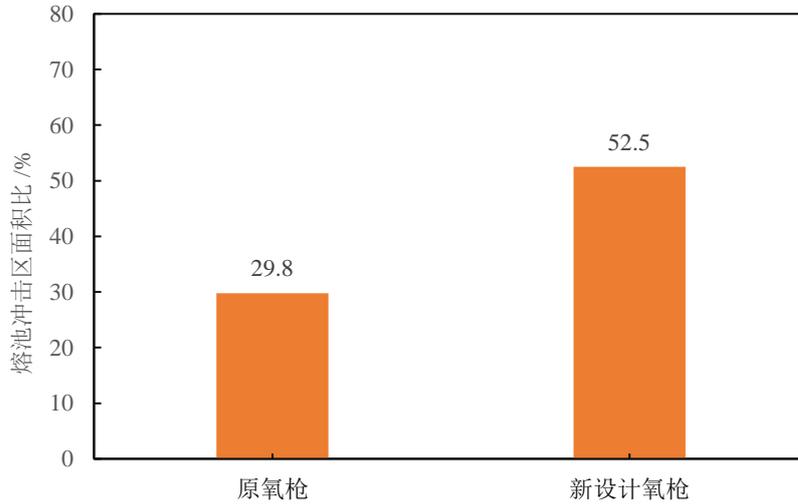


图 2 熔池冲击区面积对比

Fig.2 Comparison of impact zone of molten pool

2.2. 实验流程

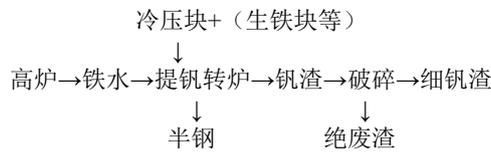


图 3 试验采用的工艺流程

Fig.3 Technological process of test

试验的工艺流程不变（图 3），试验主要对相关提钒工艺参数进行调整，并对试验期间的铁水、半钢、钒渣质量进行监控。为了保证试验过程安全受控、完全体现氧枪喷头对提钒效果的影响，试验期间操作人员必须严格执行对氧枪使用、取样、测温所提出的要求。

2.3. 操作要点

新枪头的供氧流量控制在 20000~22000Nm³/h，具体方案见表 2 所示。

表 2 试验方案

Table2 Test scheme

供氧流量 /Nm ³ ·h ⁻¹	最低枪位控制 /m	试验炉数 /炉
20000	1.60	100
20000	1.70	100
22000	1.70	100
22000	1.80	100

每种氧枪喷头均需要进行 4 个方案的试验，每个供气试验方案在执行过程中，必须都严格执行冷却制度及温度制度要求。在完成表 1.3 所有方案的试验炉数后、新的方案下发前，操作人员可根据自身习惯和认识自行控制。

3. 结果与分析

试验期间的铁水条件及主要工艺参数见表 3。首先，在铁水温度方面，对比炉次的平均温度为 1302℃，3+1 孔氧枪铁水温度总体对比炉次低、4+1 孔氧枪试验期间铁水温度总体对比炉次高；对比炉次与 1+3 孔氧枪试验氧枪炉次的铁水中硅含量基本相当均在 0.20%左右，1+4 孔氧枪试验氧枪炉次的铁水中硅含量基本相当均在 0.20%以下；铁水碳、钒含量基本相当。

在提钒过程参数控制上，供氧流量为 20000Nm³/h 的四个方案与对比炉次基本相当，供氧流量为 22000Nm³/h 的四个方案对比炉次略短 10s 左右的供养时间。在冷却剂的使用上，3+1 孔氧枪试验炉次在冷压块用量上对比炉次略高，但生铁块单耗降低了 3~10kg/tFe，总体冷却强度是低于对比炉次的；4+1 孔氧枪试验炉次在冷压块用量上对比炉次高 1~7kg/tFe，生铁块单耗降低了 10kg/tFe 以上。从冷却制度上看，试验炉次提高了冷压块的比例、减少了生铁块的比例。

表 3 铁水条件及冶炼参数

Table3 Iron conditions and smelting parameters

类型	铁水温度/℃	入炉 C/%	入炉 V/%	入炉 Si/%	吹氧时间/min	冷却剂单耗/kg·tFe ⁻¹	生铁块单耗/kg·tFe ⁻¹	
对比	1302.35	4.30	0.269	0.239	5.80	37.16	27.17	
3 孔	1#	1297.45	4.16	0.265	0.185	5.73	37.25	19.69
	2#	1305.72	4.20	0.274	0.194	5.82	39.28	24.64
	3#	1285.00	4.18	0.285	0.212	5.67	37.27	19.92
	4#	1305.48	4.19	0.275	0.190	5.56	39.14	18.51
4 孔	1#	1284.85	4.23	0.280	0.212	5.72	38.40	14.26
	2#	1306.53	4.32	0.274	0.198	5.76	44.97	9.85
	3#	1307.70	4.25	0.284	0.183	5.47	44.44	14.64
	4#	1308.60	4.24	0.287	0.176	5.68	41.77	18.83

表 4 为生产现场统计的半钢成分、温度及计算的元素氧化率。从半钢成分看，3+1 孔氧枪的四个方案平均碳含量均小于对比炉次，4+1 孔氧枪在 20000Nm³/h 时碳含量对比比高、22000Nm³/h 的方案半钢碳含量对比比低；但反应碳损失多少的碳烧损率却是 3+1 孔氧枪最低，其四个方案的碳烧损率均小于 18%，与对比炉次相比降低了 1~2 个百分点；4+1 孔氧枪的碳烧损率呈逐渐升高的趋势，除了最后一个方案外，其余方案的碳烧损率均小于对比炉次；两种喷头在相同氧气流量下都显示出枪位越高碳烧损率越高的规律。

表明枪位越低、冲击面积越小碳的烧损率越低，3+1 孔氧枪在相同枪位条件下增加氧气流量不会升高碳烧损率，4+1 孔氧枪在相同枪位条件下增加氧气流量会使得碳烧损率升高。

所有方案的钒氧化率均比对比高，表明中心孔氧枪在提高氧气射流对熔池的搅拌后，钒的氧化效率得到提高。3+1 孔氧枪在流量 22000Nm³/h 时，钒氧化率达到了 86%以上，在对比炉次的基础上提高了 5.5 个百分点。

表 4 半钢成分及元素氧化率
Table4 Semi-steel composition and elemental oxidation rates

方案	半钢 C/%	半钢 V/%	半钢温度/°C	碳烧损率/%	钒氧化率/%
对比	3.51	0.046	1363.72	18.43	82.90
3 孔	1#	3.48	1357.39	16.52	82.99
	2#	3.50	1360.99	16.65	83.59
	3#	3.48	1358.96	16.57	86.30
	4#	3.46	1361.38	17.56	86.08
4 孔	1#	3.52	1358.49	16.94	83.36
	2#	3.56	1356.12	17.43	84.19
	3#	3.47	1358.25	18.26	83.45
	4#	3.41	1359.65	19.57	83.15

综上，3+1 孔氧枪在减少碳烧损、降低半钢钒含量、控制钒渣 TFe 含量方面效果明显，4+1 孔氧枪降低半钢钒含量效果不明显、碳烧损有所恶化，3+1 孔氧枪体现了较佳的综合控制水平。

4. 结论

(1)3+1 孔氧枪可以有效降低碳烧损、降低半钢钒含量，适合 200t 提钒转炉。

(2)4+1 孔氧枪降低半钢钒含量效果不明显、碳烧损有所恶化，不利于 200t 提钒转炉。

(3)3+1 孔氧枪在 22000Nm³/h、1.8m 枪位下半钢钒含量最低(0.038%)、碳烧损率最低(17.56%)，可以在优化参数后进行扩大试验。

参考文献

- [1] 吕明, 魏鑫燕, 朱荣, 等. 旋流氧枪在提钒转炉上的应用[J]. 钢铁,2016, 46(6):36-41.
- [2] Fuhai Liu, Dongbai Sun, Rong Zhu, et al. Effect of side-blowing arrangement on flow field and vanadium extraction rate in converter steelmaking process[J]. ISIJ International, 2018(58),5: 852-859.