

低钒铁水提钒炼钢工艺分析

万朝明 易邦伦 钟正华
(攀钢集团成都钢钒有限公司,成都 610303)

【摘要】 阐述了攀成钢公司转炉炼钢厂进行低钒铁水提钒工艺及应用情况。通过对冷却剂加入量、过程温度控制、吹炼时间等工艺参数的有效控制,可以使钒渣品位达到8%以上,半钢[V]在0.050%以下,从而达到钒资源的有效利用。

【关键词】 低钒铁水 提钒 炼钢 工艺

TECHNOLOGY OF VANADIUM EXTRACTION FROM LOW VANADIUM MOLTEN IRON

Wan Chaoming Yi Banglun Zhong Zhenghua
(Pangang Group Chengdu Steel & Vanadium Co., Ltd, Chengdu 610303, China)

[Abstract] The technology of vanadium extraction from low vanadium molten iron in the converter mill of PGG CSST is elaborated. By effectively regulating the coolant amount, process temperature and blowing time etc, the grade of vanadium slag can be controlled to higher than 8% and that of semi-steel [V] to lower than 0.050%, which will realize an efficient utilization of vanadium.

[Key words] low vanadium molten iron, vanadium extraction, steel making, technology

1 条件与方法

1.1 采用的工艺流程

提钒生产采用的工艺流程见图1。

1.2 铁水质量

含钒铁水条件见表1。

1.3 生铁块成分

提钒冷却用生铁块为我公司的铁水铸块,其成分见表2。

1.4 铁皮球成分

铁皮球冷却剂的成分见表3。由表3可见,铁皮球质量符合要求。

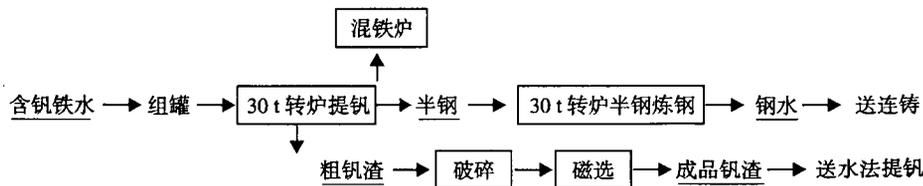


图1 30 t 转炉低钒铁水转炉提钒生产工艺流程

表1

含钒铁水质量

	C/%	Si/%	Mn/%	P/%	S/%	V/%	温度/℃
平均	4.26	0.24	0.33	0.131	0.054	0.205	1256
最小~最大	3.75~4.67	0.1~0.5	0.20~0.43	0.11~0.16	0.025~0.146	0.155~0.248	1206~1305

作者简介:万朝明,男,工程师。

表 2 生铁块分析结果

	C/%	Si/%	Mn/%	P/%	S/%	V/%
生铁块	4.16	0.25	0.326	0.129	0.053	0.185
要求					≤0.070	≥0.160

表 3 铁皮球成分

	CaO/%	SiO ₂ /%	TFe/%	样本/个
铁皮球	1.16	5.12	61.1	6
技术要求	≤2	≤7	≥60	

1.5 方法

在混铁炉铁水量约 150 t 时,高炉铁水翻入铁水包后直接进 30 t 转炉提钒。前 2 炉洗炉,出 1 次炉渣且单独堆放,从第 3 炉起每 2~3 炉出 1 次钒渣。半钢[S]≥0.060% 进混铁炉,反之直接冶炼,半钢直接冶炼采用硅铁和碳化硅提温,加复合造渣剂造渣。

钒渣经破碎、磁选后,分级堆放。成品钒渣和绝废渣量分别计重。

2 低钒铁水转炉提钒工艺制度

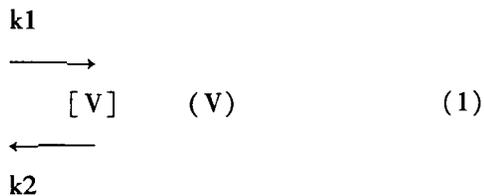
我公司低钒铁水提钒,既无工业实例,又无资料参考,难度很大,而铁水硫高、硅高、钒低,又未经过铁水预处理,直接增加铁水提钒难度。另外,低钒铁水[Si+Ti]偏高,又将直接影响钒氧化率、钒回收率,进一步增大提钒的难度。

2.1 装入量

根据攀钢提钒炼钢厂提钒经验,考虑到生铁块的加入量,每炉铁水装入量为 25~27 t,总装入量控制在 28~30 t。

2.2 半钢温度控制

铁水提钒是一项选择性氧化技术。它要求保碳脱钒,将[V]降至 0.05% 以下。但吹钒过程是钒的氧化还原过程。根据计算,低钒铁水的碳钒选择性氧化转化临界温度为 1313.7℃。可见,提钒的终点半钢温度不宜过高。提钒过程前期以钒氧化为主,后期以钒还原为主,吹钒反应可表示为:



式中 k1——钒正向反应常数;

k2——钒逆向反应常数。

吹钒反应速率可表示为:

$$\left(-\frac{d[V]}{dt}\right)_e = \left(-\frac{d[V]}{dt}\right)_正 + \left(\frac{d[V]}{dt}\right)_逆 \quad (2)$$

当吹钒处于正逆反应相等的临界状态时,作为吹钒结束, [V] = [V]_终

$$\left(-\frac{d[V]}{dt}\right)_e = 0 \quad (3)$$

根据热力学数据计算

$$\ln k1 = -3479.453/T + 4.3471 \quad (4)$$

$$\ln k2 = -26465.72/T + 10.41655 \quad (5)$$

根据李祖树等研究结果

$$\left(-\frac{d[V]}{dt}\right)_逆 = k2 \quad (6)$$

$$\left(-\frac{d[V]}{dt}\right)_正 = k1[V] + C1 \quad (7)$$

式中 C1——常数,与温度(T)有关;

T——温度/K。

根据式 2 至式 7,以及李祖树等的计算,不同温度时,提钒半钢[V]见表 4。

表 4 半钢温度与 [V]_终 的对应值

温度/℃	1250	1300	1350
[V] _终 /%	0.180	0.075	0.042

根据表 4, [V]_终 ≤ 0.042% 时,终点半钢温度为 1350℃。

另外,吹钒温度过高时,钒正向氧化反应较快,但钒逆向还原反应更快,铁水[V]氧化至最低点后又会回钒,因此,终点半钢温度也不应过高,最高不应超过 1400℃。

考虑到提钒半钢要进行转炉炼钢,为保证半钢炼钢热源较为充足,从保碳脱钒角度考虑,确定提钒终点半钢温度为 1340~1400℃,且一般按 1360~1390℃ 来控制。

2.3 供氧制度

供氧压力:0.6~0.65 MPa,流量 3600~3800 Nm³/h,供氧强度 2.0~2.26 Nm³/min·t。吹氧时间 5~6.5 min。

枪位:采用“中(0.7 m,吹氧 1 min) - 高(0.8 m,吹氧 2.5 min) - 低(0.6 m,吹氧至结束)”的模式操作。

2.4 冷却制度

采用“加铁皮球和生铁块调整炉内温度的方式”来控制熔池温度,生铁块加入量 2.5~4.5 t/炉,铁皮球用量 0.3~0.6 t/炉,铁皮球开吹 ~1/2,其余在吹氧 3 min 内加毕。

2.5 出钢、出渣

吹炼终点时,从出钢口挡渣出尽半钢,出钢时间 ≥ 2.5 min,再从炉口出钒渣。前 2 炉洗炉渣出 1 次且单独堆放,从第 3 炉起每 2~3 炉出 1 次钒渣。

出半钢过程中,在包内加 200 kg 碳化硅脱氧出钢。

3 半钢炼钢工艺制度

3.1 半钢炼钢工艺特性

提钒后的半钢炼钢,与铁水相比,半钢中硅、锰等成渣元素少,影响炼钢初期渣的形成,造成过程渣成分及炼钢后期炉渣熔点、粘度等较难达到冶炼连铸钢水的要求。因此,为了使初期渣尽早形成,过程渣化透,保证炼钢的有效脱磷和连铸钢水的质量及温度要求,造渣要实现造渣材料合理配加的操作模式与终点控制模式。

3.2 半钢炼钢工艺要点

根据半钢炼钢工艺特点,结合试验经验,确定了半钢炼钢工艺要点。

(1) 物流操作: $[S] \leq 0.060\%$ 的半钢送 30 t 炼钢,否则,翻入 600 t 混铁炉。

(2) 装入制度:总装入量按 29~30.5 t 进行控制。

(3) 造渣工艺:(a) 为保证半钢炼钢脱磷的技术要求,钢渣总渣量控制在 11% 左右;外加渣量按半钢炼钢造渣渣系进行控制,转炉终点钢渣的主要成分:CaO38~45%, SiO_2 10~12%,MgO10~12%,TFe22% 以下,转炉终点渣碱度 3.5~4.5;溅渣护炉按现有规程执行。

(b) 石灰、轻烧白云石、复合造渣剂的加入量和加入方法:石灰加入量 1.0~1.5 t/炉;轻烧白云石加入量按 0.8~1.2 t/炉。采用单渣法分二批加入造渣材料。石灰和轻烧白云石分别按总量的 1/2~2/3 在第一批料中加入,剩余的石灰量在初期渣形成后分 2~3 批次加入转炉炉内。

(c) 复合造渣剂 0.2~0.5 t/炉,在加第一批造渣材料时全部加入。复合造渣剂要压成球状,粒度为 15~35 mm.,可由炉顶料仓加入。

(4) 供氧工艺制度:氧枪采用恒氧压变枪位操作。氧气工作压力为 0.85~1.0 MPa,枪位按 0.8~1.5 m 控制。

(5) 钢水终点温度控制

(a) 根据连铸温度要求进行转炉终点温度控

制,转炉终点[C]控制在 0.04%~0.10% 之间。

(b) 如果终点温度不足,可加硅铁 50~100 kg/炉。

(6) 脱氧合金化制度:按《炼钢总厂 30 吨转炉工艺技术操作规程》执行。

4 低钒铁水提钒生产结果

2009 年 1 月至 7 月,共提钒 876 炉,产粗钒渣 936.8 t。实际的主要工艺参数为:铁水量 26.2 t(25~27.2 t),生铁块 3.1 t(2~4.5 t),铁水温度 1256℃(1206~1305℃),吹氧时间 5.6 min(5~6.5 min),氧压 0.65 MPa,铁皮球 360 kg(300~600 kg),出钢加 75% SiC 200 kg。出钢时间 2.5~5.0 min。

4.1 半钢碳含量

半钢碳含量平均 3.4%,范围 2.94%~4.02%,分布见图 2。根据图 2,半钢[C] $\geq 3.2\%$ 者占 85%。说明保碳操作较为合理。

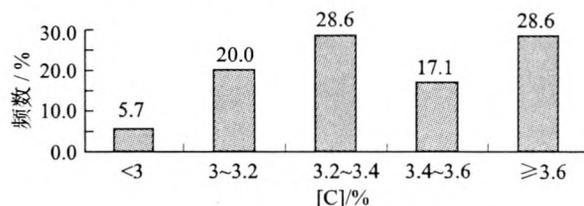


图 2 半钢碳含量分布

4.2 半钢温度

由于铁水到转炉后无铁水成份,只能根据上一炉的温度情况确定生铁块量,并且是先进铁水再测温,生铁块的重量已无法改变,只能用铁皮球来调整温度。因铁水[Si]存在一定的波动,再加上温度控制水平参差不齐,半钢温度控制存在一定的波动,总体上控制较好,平均 1373℃,范围 1331~1418℃,其分布见图 3。根据图 3,半钢温度控制在试生产要求的 1340~1400℃ 者占 82%。

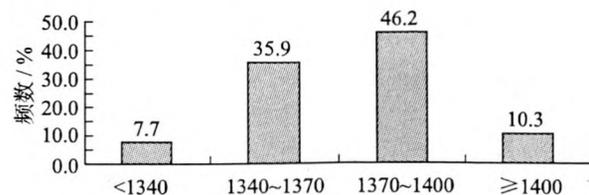


图 3 半钢温度分布

4.3 半钢钒含量

共分析 49 个半钢钒,平均 0.042%,范围 0.010%~0.111%,>0.050% 占 22%。由于受铁水成份、生产条件和技术水平的影响,部分炉次的半

钢[V]出现偏高,其分布情况见图4。

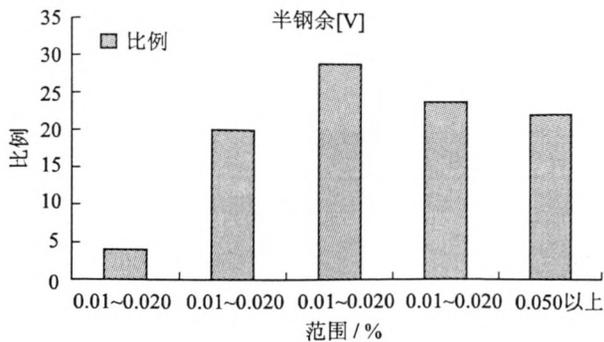


图4 半钢[V]含量分布

4.4 钒渣质量

钒渣质量表5。由表5可见,①钒渣品位一般,钒渣品位达到8.38%。因年初铁水[V]低。铁水带渣量较大,又未经过脱硫扒渣处理。铁水[Si]含量偏高,在~0.25%。②钒渣中TFe为~38%,高于攀钢复吹条件下27%左右的水平,比承钢、西昌新钢30t转炉提钒的钒渣TFe(30%~35%)高。主

要是提钒用炼钢氧枪,而不是专用氧枪,另外吹炼枪位控制存在问题,未严格按提钒操作规程执行。③渣中CaO较高,达3.66%。主要因铁水带高炉渣,以及每次连续提钒炉数偏少,只有~13炉。

表6 钒渣质量

	V ₂ O ₅	CaO	SiO ₂	样本/炉
平均	8.38	3.66	16.3	39
max	11.76	12.79	22.9	
min	5.67	1.7	9.75	

4.5 钒氧化率

按照铁水钒含量0.205%计算,钒氧化率平均80%。

4.6 与国内外已有的同类技术综合对比

从铁水中提钒,主要有转炉提钒、摇包提钒和铁水罐提钒。国内外各铁水提钒生产企业主要技术指标对比见表6。比较看,从[V]为0.205%的低钒铁水中提钒,国内外尚无先例,半钢余钒为0.042%,处于一般水平。

表6 国内外各铁水提钒生产企业主要技术指标对比

企业	铁水[V]/%	半钢余钒/%	半钢[C]/%	钒氧化率/%	钒回收率/%
中国承钢	0.4~0.5	0.04~0.08	3.17	87.8	77.6
中国马钢	0.25	0.08	3.95	68.0	
中国西昌410厂	0.30	0.06	3.6	80.0	73
中国攀钢	0.28	0.03	3.57	89.3	82
俄罗斯下钢	0.45~0.55	0.02~0.04	3.0~3.26	≥90	82~84
俄罗斯丘索夫冶金工厂	0.50~0.55	0.04	3.4~3.8	>92	85
南非海非尔德	0.8~1.0	0.07	3.2~3.5	>93	82
新西兰钢铁公司	0.49	0.19	3.2~3.5	61	38
本项目	0.207	0.029	3.40	86	

5 提钒的经济性分析

5.1 转炉提钒部分的钒渣生产成本

根据铁水提钒和半钢冶炼增加成本计算,每炉钒渣生产成本3490.29元(表7),按2009年提钒结果,1炉钒渣可以磁选精钒渣800kg,1t精钒渣成本为=3490.29/0.8=4362.86(元)。

5.2 低品位钒渣水法提钒成本

根据低品位钒渣水法提钒试验结果,生产1tV₂O₅的单耗为16t标渣,水法提钒的物料加工成本为2.3万元。

5.3 低钒铁水提钒工艺生产V₂O₅的成本

低钒铁水提钒工艺生产1tV₂O₅的成本为:

16×4362.86÷10000+2.3≈9.28万元。

表7 攀成钢30t转炉提钒成本和半钢冶炼增加成本计算

项目	单位	单价	炉单耗	炉成本/元
原材料	金属料	元/t	2430	1329.21
	铁皮球	元/t	1550	604.5
	SiC	元/t	2500	500
	复合造渣剂	元/t	700	315
	耐火材料	元/吨钢	12	324
	燃料动力	氧气	元/m ³	0.6
压缩空气				3.68
水				31.59
电		0.63		57.8
氮气				5.46
天然气				1.6
生产运行成本	提取大修基金			21.99
	折旧费			29.83
	其它费用			68.03
	合计			3490.29

(下转第23页)

计算机与高炉上料计量磅之表之间的数据自动采集。因此可保证高炉上料数据的准确、可靠。

3、数据安全、可靠

系统采用数据库 Microsoft SQL Server2000 做为数据平台进行高炉上料计量数据管理。可以避免数据损坏、丢失等问题。

4、提供灵活的数据统计、分析功能
可按要求生成日报、月报、季报、年报等统计报表,并提供报表的 Excel 输出功能。

5、提供图表数据统计、分析功能
可按要求生成历史数据分析图表、当前上料数据的波形图等。

6、系统数据安全控制

应用软件对数据库操作和数据库访问进行权限控制。

数据备份是保证数据安全的又一重要手段,本系统采用每天硬盘自动备份和定期外部光盘备份。

7、远程监控功能

实现远程对高炉上料计量数据的监控管理功能。

6 结束语

在高炉上料计量自动计量管理系统设计中使用数据自动采集、数据自动处理、数据库、网络通讯等多项技术,使整个系统实时高效运行,系统完成后,将公司的计量管理提升到了一个新的高度,为炼铁厂成本核算提供基础数据,为分厂生产经营提供坚实决策依据,同时为今后公司的 ERP 系统提供了真实准确、有效及时的基础数据。

参考文献

- 1.《I-70171-70181-7019 M-7017M-7018 M-7019 系列用户手册》.
2. Dynamic Link Library(DDL) for DCON(I-7000/8000/87K) Series Modules.

(上接第 7 页)

5.4 低钒铁水提钒的预测效益

按当前 1 t V₂O₅ 的市场价 12 万元计算,攀成钢低钒铁水提钒工艺生产 1 t V₂O₅ 的效益为 2.72 万元。

根据我公司 2009 年计划,预计生产钒渣 5000 t,实际完成精钒渣大约为 1000 t,预计年效益 = 1000/16 × 2.72 = 170(万元)。

6 存在的问题

(1) 由于铁水[S]高,80%以上的半钢无法直接冶炼而进混铁炉,造成提钒生产节奏缓慢。

(2) 由铁水条件、转炉生产条件制约和经验的不足,钒渣品位不高。

7 结论

(1) 低钒铁水提钒生产取得了较好的冶金效

果,确定了提钒炼钢工艺模式,并提出了今后在提钒炼钢生产实践中,需要进一步完善的工作。

(2) 铁水提钒的保碳脱钒操作较为成功,半钢[C]3.4%, [V]0.042%。在铁水[V]0.205%条件下,钒渣品位 8.38%, TFe ~ 38%, 钒渣品位偏低, Tfe 高有待解决。钒渣中 CaO 达 3.66%, 主要是铁水带高炉渣,以及每次提钒炉数少。钒氧化率平均 80%, 与国内先进指标有一定差距。

(3) 半钢炼钢的造渣工艺控制较好,由于铁水[S]高,半钢直接冶炼的炉次少。

(4) 经济评估分析表明,现钒市场条件下,我公司铁水提钒收到一定的效果。

参考文献

1. 黄道鑫. 提钒炼钢[M]. 北京:冶金工业出版社,2002.