



攀钢转炉提钒冷却制度的确立

张大德 张玉东

(攀钢提钒炼钢厂)

摘要 在理论计算的基础上,结合生产实践,通过对冷却强度、冷却剂种类、冷却剂加入时间等的分析,介绍了适合攀钢含钒铁水提钒的冷却制度及应用效果。

关键词 转炉提钒 冷却制度 冷却剂

炼钢

1 引言

火法提钒的方式主要有雾化提钒、转炉提钒、槽式提钒及摇包提钒等,攀钢过去一直采用雾化提钒。

由于转炉提钒具有通过能力大、成渣质量易于控制、具有炉顶料仓系统而使冷却方式更为灵活等一系列优势,1995年8月,攀钢以转炉提钒工艺取代了雾化提钒工艺,从而为理顺炼钢前后工序的匹配奠定了基础,

也为改善冷却方式提供了可能。

本文介绍了攀钢采用转炉提钒后冷却制度的建立情况,并对现行冷却制度进行了分析。

2 冷却量的理论计算

攀钢含钒铁水条件与其他厂家相比差异较大,主要表现在钒低、硅低、温度低,见表1。因此,不能照搬其他厂家转炉提钒的冷却方式,而应从理论上进行计算。

表1 国内外各提钒厂家铁水成分对比

厂家	公称容量/t	吹钒方式	C	Si	Mn	P	S	V	Ti	温度/℃
攀钢	120	纯氧顶吹	4.40	0.12	0.19	0.057	0.013 ¹⁾	0.322	0.11	1250
马钢二炼钢 ^[1]	20	纯氧顶吹	4.30	0.64	0.14	0.191	0.034	0.25	0.30	1250~1300
承钢二炼钢 ^[1]	20	纯氧顶吹	4.30	0.44	0.10	0.097	0.046	0.537	0.55	1280~1320
下塔吉尔厂 ^[2]	160	纯氧顶吹	4.0~4.5	0.20~0.25	0.27~0.33	0.025~0.08	0.035	0.45~0.48	0.15~0.25	1300

注:1)指脱硫铁水含硫

对于冷却剂加入量的理论计算,其依据是热平衡原理,公式如下^[3]:

$$m_{冷} = m_{铁} [\Delta x_c q_c + \Delta x_s q_s + \dots + \Delta x_v q_v - (C_{铁} + 3.2\% C_{渣})(t_{半} - t_{铁})] / q_{冷}$$

式中 $m_{冷}$ —所有加入冷却剂的量,kg;

$m_{铁}$ —铁水量,kg;

$\Delta x_i q_i$ —铁水中元素氧化量与其热效应的积, $\times 4.187$ kJ/kg;

$C_{铁}, C_{渣}$ —铁水及炉渣的比热, $\times 4.187$

kJ/kg·K;

$t_{半}, t_{铁}$ —铁水、半钢温度,℃;

$q_{冷}$ —冷却剂的热效应, $\times 4.187$ kJ/kg;

3.2%—实际产渣率按3.2%计算。

根据攀钢铁水条件计算,冷却剂理论加入量为142.6kg铁块/tFe¹⁾。

3 冷却剂的选择

用作提钒冷却剂的种类繁多,主要有含

钒生铁块、废钢、废钒渣、氧化铁皮、铁矿石等。国内外及攀钢初设的冷却方式如表2所示。

表2 国内外不同厂家的冷却方式

厂 家	冷却剂种类
下塔吉尔 ^[2]	轧钢氧化铁皮+钒渣磁选金属铁
承钢二炼 ^[1]	铁块+酸性球团矿
马钢二炼 ^[1]	铁块+废渣、铁皮
攀钢	生铁块+(矿石、铁皮、河沙)

经过几年的摸索,攀钢120t转炉提钒工艺采用了如表3所示的冷却剂种类。从表3可看出,无论在什么阶段,都将生铁块作为一种必备的冷却剂,这是因为生铁块不仅可以作为冷却剂,而且在增加半钢产量的同时还可以回收一部分钒。实践经验表明,含钒生铁块的单耗控制在40kg/tFe较为理想。

4 冷却强度对吹钒的影响

冷却剂加入量的大小对吹钒结果有重要影响。文献[3]报道在10t转炉上考察过铁皮加入量与半钢残钒的关系,其关系可用下式表示:

$$[V]_{\text{残余}} = -0.00088Q_{\text{铁皮}} + 0.057$$

式中 $Q_{\text{铁皮}}$ —铁皮加入量,kg/t;

$[V]_{\text{残余}}$ —半钢残钒量,%。

表3 攀钢各阶段采用的冷却剂种类

年份	方案	备注
1995~1996	生铁块+铁皮+石英砂	由于初设(表2)选用矿石的硫含量太高
1996~1997	生铁块+(铁皮、污泥球)+石英砂	由于铁皮成鳞片状,质轻,易于被风机抽走,故改制成球状
1997~	生铁块+复合球	由于石英砂粒度控制不好制定,粒度稍大($\geq 6\text{mm}$)则在吹钒过程中不易熔化,易在钒渣中形成“白点”,粒度太小则料仓下料量不易控制,容易造成钒渣中 SiO_2 超标,故将其与污泥球合制

据上式,要使残钒含量在0.02%以下,铁皮加入量应在42kg/tFe以上。实践表明,冷却剂加入量亦非越多越好,特别是单一加入过多的铁皮对钒渣中 V_2O_5 品位及半钢[C]、温度等影响较大。表4是生产中统计出的在正常加入生铁块的情况下铁皮消耗过多时钒渣及半钢质量情况。

为寻求适宜的冷却强度控制,进行了三种冷却方案的对比试验,结果见表5。从表5可见,随着冷却强度的逐渐增大,半钢[V]逐渐降低,钒氧化率逐渐升高,并已超过雾化提钒的水平,但与下塔吉尔钢厂相比还有一定

表4 工业生产条件下铁皮量加入过大的影响

生铁块量/ t·炉 ⁻¹	铁皮量/ t·炉 ⁻¹	钒渣成分/%			半钢情况	
		V_2O_5	TFe	[C]/%	碳烧损率/%	温度/°C
5~6	3.5~4.2	15.46	41	3.35	28	1360

表5 三种不同冷却方案下的指标比较

	冷却当量(生铁块)/kg·炉 ⁻¹	半钢碳/%	半钢钒/%	半钢温度/°C	碳氧化率/%	钒氧化率/%	钒渣成分/%	
							V_2O_5	TFe
方案1	110.0	3.46	0.059	1404	21.9	82.6	19.1	31.6
		2.60~4.06	0.019~0.083	1359~1457	8~36	68.8~92.3	8.4~26.4	21.4~39.2
方案2	121.1	3.64	0.054	1388	17.8	82.5	19.6	30.6
		3.19~4.06	0.039~0.083	1325~1452	16.1~34.5	71.4~93.2	14.9~24.2	23.8~34.5
方案3	126.7	3.16	0.041	1377	25.8	89.5	18.27	33.4
		2.61~4.42	0.019~0.091	1350~1400	20~36	78.1~95.4	10.06~24.6	27.8~34.5

注:分子—平均值,分母—波动范围

的差距(方案3[V]_{残余}=0.04%),同时在535喷头供氧的情况下,方案3的[C]氧化率较方案1,2高。因此,要进一步降低[V]_{残余},冷却当量值还应调整。

根据生产实践,将半钢残钒控制在0.02%~0.04%,单一铁皮量控制在32 kg/tFe,总冷却当量按生铁块计算控制在140 kg/tFe较为理想,见表6。

由表6可见,冷却总量控制最小为1995

年,最大为1997年;半钢[V]呈逐年降低,钒氧化率逐年升高;[C]基本上能稳定在3.5%~3.6%;半钢温度除1995年由于冷却强度严重不足偏高外,其余各年平均温度均能稳定在1374~1380℃之间。从冷却强度的控制来看,当其在140 kg/tFe左右时能得到较好的钒渣V₂O₅品位、较低的TFe及适宜的产渣率,这与理论计算值142.6 kg/tFe较吻合。

表6 各阶段工业生产条件下不同冷却当量的冷却效应

	总冷却当量(生铁块)/kg·(tFe) ⁻¹	实物产渣率/%	钒渣折合系数	半钢碳/%	半钢钒/%	半钢钒<0.05%的比例/%	钒氧化率/%	钒渣成分/%		终点半钢温度/℃	纯吹氧时间/s
								TFe	V ₂ O ₅		
1995年 6~12	91.85 83.13~98.01	2.69		3.55	0.054		81.44	35.41 30.08~40.69	17.59 10.29~20.76	1390 1340~1442	
1996年 1~12	131.64 102.4~159.87	3.22	1.07	3.59	0.043		85.27	34.43 28.73~38.40	16.50 11.92~18.91	1381 1364~1390	400
1997年 1~12	150.98 108.52~192.98	3.32	1.13	3.51	0.041	80.52	86.04	35.67 29.46~40.13	15.56 12.4~16.80	1371 1300~1467	351
1998年 1~10	141.99 153.98~122.89	3.0	1.40	3.54	0.028	93.06	90.51	32.18 26.7~39.37	17.23 14.21~25.20	1378 1307~1412	393

注:分子—平均值,分母—波动范围

5 冷却剂的加入时间

冷却剂的加入时间对钒、碳氧化率有较明显的影响,攀钢120t提钒转炉吹钒时间与碳、钒的变化情况见图1。

从图1可看出:①脱钒贯穿于整个提钒过程,但在不同吹钒期,脱钒速率不同,且相差很大,吹钒前期,脱钒速率很快,中后期变慢。吹钒前期(吹钒开始至2分50秒),熔池呈现出“纯提钒”特征,脱钒量占总量的70%;②吹钒前期,脱碳较少,中后期脱碳速率明显加快,此时,钒已大多氧化完毕([V]约为0.06%~0.09%),氧只能与铁水中的碳进行反应,后期碳的氧化大约占碳氧化总量的70%左右。

以上分析可看出,要“去钒保碳”,提钒冷却剂尤其是含氧化铁较多的冷却剂应在前期加完,避免提钒后期造成碳的过多氧化。根据实践经验,所有冷却剂在吹钒开始后3min

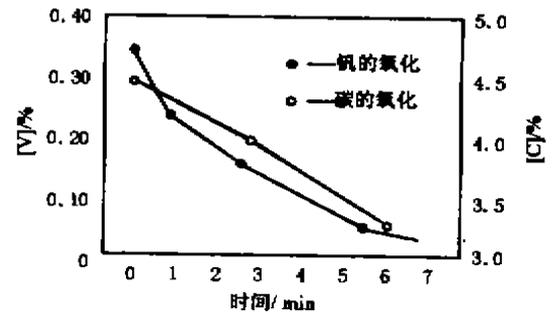


图1 吹钒时间与半钢碳、钒氧化的关系

内全部加完有利于发挥其冷却效应,保证钒的氧化。攀钢120t氧气顶吹转炉的吹钒时间现为5.5~7min。如果在提钒前2min内还继续加入氧化性高的冷却剂,不仅不能发挥其冷却效应,而且还会使钒渣中的氧化铁含量增加。试验表明,如果在4~5min以后再加入复合球,不仅渣中TFe含量高达40%以上,而且钒渣中甚至还夹杂有未熔的冷却

剂球团。

6 冷却剂中杂质含量的要求

对于加入炉内的冷却剂,要求其杂质含量越低越好。由于进入炉内的杂质是在钒渣

与半钢中分配,所以,凡是影响到钒渣与半钢质量的杂质应尽可能在入炉前除掉,即将S,P,CaO控制在最低。表7是几种主要的冷却剂的成分要求。

表7 目前攀钢提钒转炉使用冷却剂的成分要求

	C	Si	Mn	V	Ti	S	P	CaO	TFe	SiO ₂	MFe	V ₂ O ₅
含钒生铁块	4.31	0.10	0.26	0.324	0.097	0.065	0.059					
铁皮(复合球)						<0.046	<0.051	<0.5	≥62	8~10 ¹¹		0.24
石英砂						<0.01	<0.017	<0.5		95.53		
废钒渣								1.4~2.2	31~40	16~18	52	10~17

注:1)指复合球中的SiO₂含量

7 现行冷却强度下的转炉提钒效果

根据以上分析,将总冷却量控制在140 kg/tFe左右,固定生铁块(兑铁后即加入40 kg/tFe)调整复合球或铁皮量,规定在3 min内将冷却剂全部加完。

7.1 钒氧化率

根据钒氧化率的计算公式 $\eta_{\text{氧}} = \{([V]_{\text{铁水}} - [V]_{\text{半钢}}) / [V]_{\text{铁水}}\} \times 100\%$ 可知,当 $[V]_{\text{铁水}}$ 越高或者 $[V]_{\text{半钢}}$ 越低,都会得到较高的钒氧化率。所以,相对其他厂家,攀钢在铁水含钒量并不高的情况下能将残钒降到0.028%以下的水平,钒氧化率达到90%以上,证明现行的冷却剂方案可行。表8是国内几家提钒厂家的情况对比^[5]。

表8 国内外各厂家铁水钒、半钢钒及钒氧化率的对比

厂家	铁水含钒	半钢含钒	钒氧化率
攀钢(转炉提钒)	0.32	0.028	90.51
下塔吉尔	0.45~0.48	0.02~0.04	≥90
丘索夫	0.48~0.55		
南非海威尔德	1.22	0.02~0.04	>93
新西兰钢铁厂	0.45	0.06~0.08	82~86
承德钢厂	0.52~0.57	0.04~0.08	87.8
马鞍山钢厂	0.2~0.29	0.11	68.9
攀钢(雾化提钒)	0.34	0.05~0.07	85~88

7.2 钒回收率

从高炉铁水到商品钒渣(经过破碎、磁选

后的成品渣),其钒的收得率称为该阶段钒回收率。由于在渣铁分离过程中钒渣流失较大,达14%,所以攀钢雾化提钒的回收率不高,仅为68%~73%。在转炉提钒工艺中,由于冷却方式不同,渣中TFe较雾化法低10%左右,MFe低7%~9%,从而减少了渣铁分离的难度,钒回收率可达80.2%以上。

但相对于国外其他生产钒渣的厂家,攀钢转炉提钒的钒回收率还相对较低(见表9^[5]),因此,减少转炉钒渣在出钢过程及磁选、破碎中的流失,是进一步提高钒回收率的有效措施。

表9 攀钢与其他厂家的钒回收率对比

厂家	钒回收率
攀钢(转炉提钒)	80.2
攀钢(雾化提钒)	68~73
下塔吉尔	82~84
南非(摇包提钒)	82
中国承钢	77.6

7.3 半钢碳、温度及钒渣中V₂O₅, TFe和MFe

表10^[5]列出了国内外钒渣生产厂家半钢和钒渣的主要技术指标。由表可见,与其他厂家相比较,攀钢转炉提钒的半钢碳比马钢低(这与马钢的铁水[Si]高,[Si]优先氧化有关),比其他几家稍高,半钢温度与其他几家相当。钒渣中V₂O₅除比南非摇包法低之外

表 10 国内外主要钒渣生产厂家半钢和钒渣的技术指标

厂家	半钢碳/%	半钢温度/℃	钒渣 V_2O_5 /%	钒渣 TFe/%	钒渣 MFe/%
攀钢(转炉提钒)	3.57	1375	18.06	31.18	15.2
攀钢(雾化提钒)	3.5~3.8	1370	17~22	38~43	19~22
中国承钢	3.17	1400~1420	12~15	34.6	21.8
马钢二炼	3.95	1273~1437	9.6		13.2
下塔吉尔	3.0~3.26	1370~1410	15~22	26~32	9~12
南非(摇包提钒)		1270~1400	23~25	29	

(南非铁水含钒高达 1.22%),比另外几家稍高。与下钢比较,攀钢转炉提钒工艺在降低 MFe 及 TFe 上还有待继续研究。

8 结论

(1)攀钢转炉提钒的冷却制度宜采用铁块+调温剂的冷却方案,其冷却强度按铁块计算,控制在 140 kg/tFe 左右较为理想。

(2)由于高炉罐装铁量的波动,造成入提钒炉的铁水装入量波动较大(80~145 t),给提钒过程定量调配冷却剂带来不便,稳定铁水装入量是该工艺必须继续研究的课题。

(3)目前使用的冷却方案的成本较高,应寻求一种更为经济的冷却剂来充当提钒冷却材料。

参 考 文 献

- 1 潘树范.国内外氧气顶吹转炉提钒现状及对攀钢转炉提钒有关问题的探讨.钢铁钒钛,1995,16(1):13
- 2 攀钢赴苏联考察团.赴苏联考察转炉提钒工艺的报告,1991
- 3 攀钢钢研院.吹钒理论与实践,1976
- 4 攀钢提钒炼钢厂,攀钢钢研院.转炉提钒第一次联动试验,1995
- 5 攀钢提钒炼钢厂,攀钢钢研院.转炉提钒攻关总结,1998

编辑 龙朝明

(收稿日期 1999-01-04)