● 装备技术 Equipment Technology ●

DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.05.018

120 t 转炉冶炼枪位的探讨与实践

崔晓梅[1],韦东清[2]

(1. 安徽冶金科技职业学院,安徽 马鞍山 243000;2. 飞马智科技术有限公司,安徽 马鞍山 243000)

摘 要:通过理论分析与工业试验研究硅含量、碳含量以及铁液温度等对 120 t 转炉炼钢枪位的影响。结果表明,对转炉冶炼枪位影响最大的因素是铁液中的原始硅含量。一般情况下,铁液中原始硅含量越高,过程枪位控制就越高。铁液中的碳含量和铁液温度对枪位也有影响,高碳铁液冶炼枪位比低碳铁液枪位要高出 100 mm 左右。如果铁液前期温度低,并且硅含量偏低前提下,4 min 之前需要降枪至 1 600 mm,否则渣中 FeO 过高,在 5 min 左右炉内会发生喷溅事故。

关键词:枪位;炉渣;事故;成分;温度

中图分类号:TF713 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-8365(2020)05-0486-04

Discussion and Practice on Oxygen Lance Height in 120 t Converter

CUI Xiaomei[1], WEI Dongqing[2]

(1. Anhui Vocational College of Metallurgical Science and Technology, Maanshan 243000, China; 2. Feima Zhike Technology Co., Ltd., Maanshan 243000, China)

Abstract: The influence of silicon and carbon content, and molten iron temperature on oxygen lance height of 120 t convert was studied by theoretic analysis and industrial test. The results show that the primary silicon content in molten iron is the most important factor affecting oxygen lance height. In general, the higher the original silicon content, the higher the oxygen lance height from the level of liquid iron bath. The carbon content and temperature of liquid iron also have effect on oxygen lance height. The oxygen lance height for high-carbon molten iron is about 100 mm higher than that for low-carbon molten iron. If temperature is low in the early stage and silicon is low, the oxygen lance height should be lowered to 1 600 mm before 4 min, otherwise the excessive FeO in slag will lead to spillage accident in the furnace within 5 min.

Key words: oxygen lance height; slag; accident; composition; temperature

目前,转炉炼钢作为我国主要的炼钢手段,其炼钢原料主要是铁液与废钢,其铁液占到 70%以上,其冶炼过程热量主要来源靠氧枪顶吹氧气与钢液中 C、Si、Mn 等元素氧化反应放热供应,而不同的氧枪枪位(喷头至静止金属熔池液面的距离)其钢液的冲击面积与冲击深度也不尽相同。整个转炉炼钢操作是否顺畅关键在于氧枪枪位的控制,目前研究转炉冶炼枪位的方法比较多,利用 Fluent 软件对 100 t 转炉超音速氧枪射流流场的速度进行[2];通过采用数值与冷态水相互印证的手段[1],得出结论研究了高马赫数氧枪位在 1.6~2.2 m 冲击深度适中,熔池混匀效果最好;但他们都没有给出各个冶炼阶段枪位的详细具体操作。转炉冶炼过程中枪位包括化渣枪位、基本吹炼枪位和拉碳枪位;采用 T-S 确定性模糊推理对氧枪枪位连续调节[3],不能取得枪位操作的精确效果;在音平控渣系统基础上,开发氧枪枪位自动控制专家系统,对喷溅、"返干"进行预测[4],但并没找出转炉枪位操作的具体规律以及相关的影响因素。本文从主要配料即铁液条件着手,在某炼钢厂 120 t 转炉进行工业试验,建立不同条件下氧枪枪位与渣中 ω(FeO)的动态模型,分析研究转炉冶炼枪位受铁液各条件因素影响,掌握冶炼过程中不同铁液条件下枪位操作规律,为转炉炼钢生产自动化顺畅进行奠定良好的基础。

1 试验条件及方法

某钢厂 120 t 顶底复吹转炉冶炼 Q460 钢,氧气流量 480 $m^3 \cdot min^{-1}$,氩气流量 8.40 $m^3 \cdot min^{-1}$,冶炼 Q460 钢的目标条件和内控化学成分列于表 1 和表 2,除石灰以外相对固定渣料的加入量列于表 3,其

表1 Q460钢的目标条件

Tab.1 Target conditions of steel Q460

出钢温度/℃	提枪碳含量(%)	成品{C}目标值(%)
1 650~1 670	0.03~0.05	0.16

收稿日期:2020-01-08

基金项目:安徽高校自然科学研究项目(KJ2019A1147)

作者简介:崔晓梅(1979-),女,江苏连云港人,硕士,高级工程师.研究方向:钢铁冶金.电话:13515555730,E-mail:76955643@qq.com

表 2 Q460 钢的内控成分 w(%)
Tab.2 Internal control composition of steel Q460

C	Si	Mn	P	S	Nb	Ti
0.14~0.18	0.30~0.50	1.35~1.45	≤0.025	≤0.015	0.025~0.035	0.005~0.010

表 3 固定渣料量
Tab.3 Fixed amount of slag

渣 料	石灰	白云石	镁球	铁矿石
总重量 /kg	-	1 000	800	2 000

中铁矿石一般加入 2 000 kg 左右，冷却效应按每 100 kg 降 3 ℃左右进行控制；渣料中的石灰加入量主要受铁液中硅含量影响比较最大，石灰加入量与铁液中硅含量的关系如下：

$$石灰加入量=\frac{2.14[\%Si]}{\%CaO_{有效}}\times R\times 1\,000 \quad (1)$$

试验通过改变主金属料中铁液条件即铁液原始成分及温度来研究转炉炼钢过程枪位的变化规律，试验铁液条件如表 4，共有 15 个炉次。

表4 试验炉次及其铁液成分和温度
Tab.4 Composition and temperature of test molten iron

炉 次	铁液成分(%)					铁液温度 T/℃
	C	Si	Mn	P	S	
炉次 1	4.70	0.75	0.40	0.12	0.032	1 325
炉次 2	4.60	0.75	0.35	0.10	0.028	1 320
炉次 3	4.60	0.55	0.40	0.10	0.026	1 320
炉次 4	4.55	0.55	0.34	0.11	0.028	1 325
炉次 5	4.40	0.35	0.40	0.10	0.034	1 315
炉次 6	4.45	0.33	0.34	0.11	0.030	1 310
炉次 7	4.50	0.25	0.30	0.10	0.032	1 320
炉次 8	4.45	0.23	0.35	0.11	0.026	1 315
炉次 9	3.60	0.60	0.30	0.09	0.030	1 320
炉次 10	4.80	0.60	0.54	0.12	0.028	1 324
炉次 11	4.40	0.35	0.30	0.12	0.025	1 260
炉次 12	4.50	0.35	0.28	0.11	0.033	1 380
炉次 13	4.75	0.90	0.60	0.10	0.025	1 370
炉次 14	4.70	0.80	0.45	0.10	0.035	1 320
炉次 15	4.60	0.30	0.30	0.12	0.028	1 255

2　出现的异常及分析

2.1　渣易化不透

试验炉表 4 炉次 13 时，此炉比较特殊，是高碳、高硅、高温三高铁液，铁液废钢比为 100:20；开吹枪位 2 000 mm，20 s 后下降为 1 900 mm，270 s 后变枪位；渣料中石灰加入总量为 8 000 kg，其余渣料按表 3 数据加入，此时渣中 FeO 与钢水中[P]关系如图 1 所示。可以看出，4 min 内渣中 ω(FeO)<15%，炉子冶炼前期一直没有出现化渣形象，从 2 min 至 4 min 之间磷也一直保持在 0.033%，没有变动，脱磷效果很差。说明高碳、高硅、高温铁液要使其快速化渣及脱磷效果，前提要把渣中氧化亚铁提升上去，这就要求非常高的氧枪枪位吹炼操作，同时第二批料中要多补些铁矿石来促进化渣。

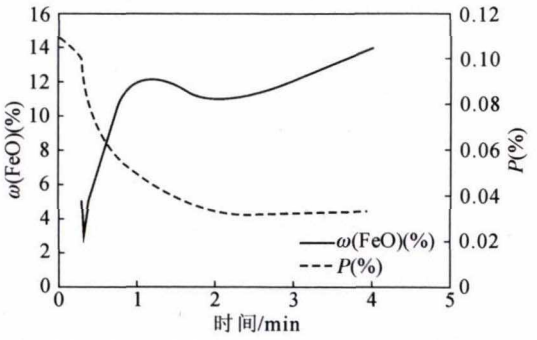


图 1 渣化不透渣中 ω(FeO)与钢中[P]曲线
Fig.1 Curve of ω(FeO)in slag and [P] in liquid steel

2.2　“返干”事故

试验铁液表 4 炉次 14 时，此炉是高碳、高硅即两高铁液，冶炼枪位操作带来的影响见图 2、图 3。可以看出，当枪位降为 1.5 m 低枪位时，渣中 ω(FeO)急剧下降，6 min 后喷出金属小颗粒，即出现“返干”现象；在“返干”过程中，P 含量从原来的 0.013%上升至 0.049%(见图 3)，超出要求的规格范围。由图中 3 得知“返干”会直接导致钢水回磷，从而使钢水磷成分超标，若要避免“返干”现象发生，说明高碳、高硅铁液冶炼中期不适合低枪位吹炼，其过程枪位需重新调整。

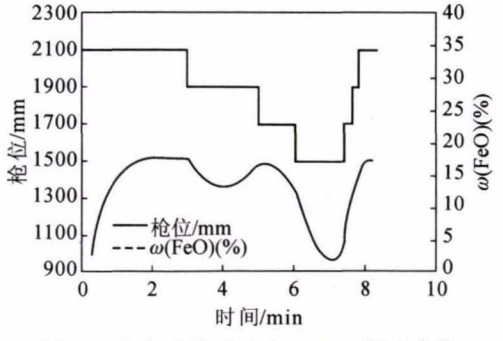


图 2 “返干”枪位对渣中 ω(FeO)影响曲线
Fig.2 Influence of oxygen Lance height on ω(FeO) during ‘slag getting dry’

2.3　喷溅事故

试验铁液表 4 冶炼炉次 15 时，此炉是低硅、低温双低铁液；采用 2.0 m 高枪位操作时，化渣后，渣中 ω(FeO)>25%，且一直居高不，4 min 后出现了严重的喷溅事故，此事故容易造成大量铁损及设备损害。从试验得知低硅、低温双低铁液转炉冶炼过程中

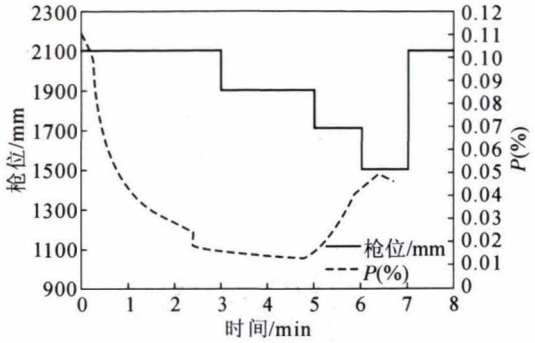


图 3 “返干”枪位对钢水中磷含量影响曲线

Fig.3 Influence of oxygen Lance height on [P] during ‘slag getting dry’

不宜一直采用高枪位操作，试验出现异常时需立即加入适量的压喷剂白云石(或石灰)，并调整合适位置的操作枪位继续冶炼。

3 转炉冶炼枪位与铁液条件关系的研究结果与讨论

通过对表 4 中各种铁液条件进行试验，为了避免出现异常，保证钢水正常的脱磷、脱硫等冶炼效果，经过反复试验各种炉次，探索出不同的铁液条件下相应的转炉冶炼枪位操作规律。

3.1 铁液中硅含量的影响

石灰的加入量主要受炉料中硅含量的影响，尤其受铁液中硅含量影响最大，其铁液中硅含量越高，冶炼过程中渣的碱度就容易降低过快，要保持合适的渣碱度来提高钢水脱磷能力，就必须增加相应的石灰量，石灰加入量即渣量增，渣面上涨，化渣困难，若要保证快速化渣以及脱磷效果，此转炉炼钢就必须采用合适的操作枪位。

(1)低–高–低冶炼枪位操作　低–高–低冶炼枪位操作是针对高硅或偏高硅的铁液，试验表 4 铁液条件从炉次 1 至炉次 4(见图 4)，开吹较低枪位为快速提温，而后高枪位化渣，渣化好后降枪进行脱磷、脱碳操作，为了防止渣中 ω(FeO)下降过快出现的“返干”现象，总体枪位操作是采用高枪位冶炼，尤其对于炉次 1 与炉次 2 高硅铁水 (0.75% Si)，要一直保持高枪位(2 000 mm 左右)吹炼，直到吹炼结束前 150 s 开始持续降枪操作，如图 4(a)；图 4(b)是炉次 3 与炉次 4 的铁液冶炼枪位操作。比较得知，铁液中硅含量每降低 0.20%，相应的冶炼枪位也跟着至少下降 100 mm 左右。

(2)高–低–低冶炼枪位操作　高–低–低冶炼枪位操作是针对低硅或偏低硅的铁液，试验铁液从炉次 5 至炉次 8(见图 5)，开吹较高枪位(1 800~1 900 mm)来提升渣中氧化亚铁含量，以至达 25%至 30%之间，促进其渣料快速熔化，为了防止喷溅事故的发生，然后进行持续降枪操作；图 5 中Ⅰ线段低硅 0.25%左右(试样炉次 7 与 8)枪位操作，冶炼中期枪位控制在 1 400 mm 左右，后期枪位降为 1 300 mm；图 5 中Ⅱ线段偏低硅 0.35%左右(试样炉次 5 与 6)冶炼操作枪位，相比较Ⅰ线段冶炼枪位提高了 100 mm 左右，说明铁液中硅含量越高，枪位也相应跟着提高；与此同时研究发现硅相近情况下，如碳左右变动 0.05%，温度左右变动 5 ℃，对转炉冶炼枪位操作影响不太大。

3.2 铁液中碳影响研究分析

转炉冶炼脱碳速度受许多因素影响，碳含量越高，转炉钢水上熔渣–铁液的脱碳速率越快，即发生反应(2)。渣中 FeO 消耗增加，渣中 FeO 容易降低，为了避免因渣中 FeO 过低而出现的“返干”现象，通过改变枪位操作控制渣中合适的 FeO 含量；通过试验表 4 中试样炉次 9 与炉次 10，冶炼过程中的操作枪位如图 6 所示。可以看出，转炉中、前期冶炼中高碳(4.8%)铁液枪位比低碳(3.6%)铁液枪位要高出 100 mm 左右。

$$[C]+FeO=CO+[Fe] \quad (2)$$

3.3 铁液极端温度的影响

脱碳化学反应的吉布斯自由能：$\triangle rG_m^{\theta}$= 98 799-90.76T，$\triangle rG_m^{\theta}$ 与温度成反比，当铁液温度越低，$\triangle rG_m^{\theta}$ 越大，化学反应越慢，即钢渣界面脱碳速

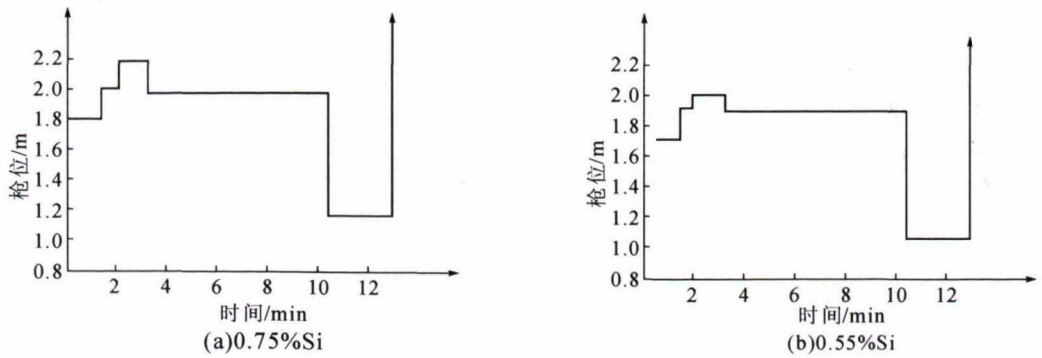


图 4 低–高–低操作枪位

Fig.4 Operation by low-high-low height of oxygen Lance

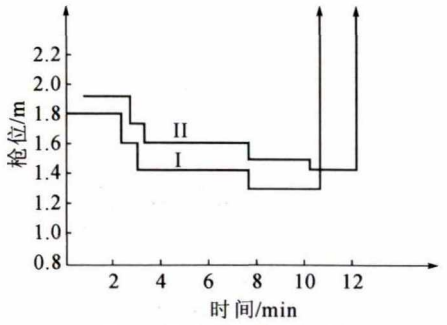


图 5 高–低–低操作枪位

Fig.5 Operation by high-low-low height of oxygen Lance

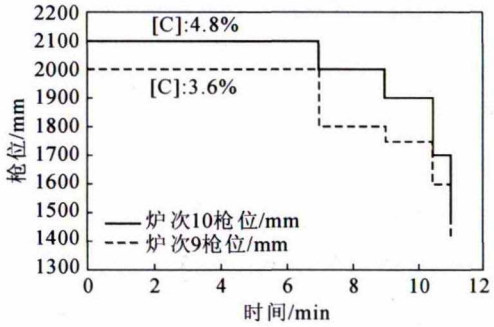


图 6 碳成分对枪位的影响

Fig.6 Influence of carbon content on oxygen Lance height

度(3)很慢，消耗渣中 FeO 少，相对反应(4)渣中 FeO 容易增加过快，容易发生喷溅事故，就要采用比较低的枪位操作。同样相反，温度过高，渣中 FeO 越低，容易出现“返干”现象，可以通过提高枪位来增加渣中 FeO 含量。

钢渣界面脱碳反应式：

$$FeO+[C]=[Fe]+\{CO\} \quad (3)$$

$$O_2+2[Fe]=2FeO \quad (4)$$

图 7 为冶炼枪位与渣中 ω(FeO)变化曲线(炉次 11)。可以看出，保证正常冶炼情况下，由于原始偏低硅铁液温度只有 1 260 ℃，转炉总体冶炼操作采用低枪位，特别达 4 min 时需降枪至 1 600 mm，才能控制好渣中合适的 ω(FeO)含量，否则 5 min 左右定会在炉内发生喷溅事故。

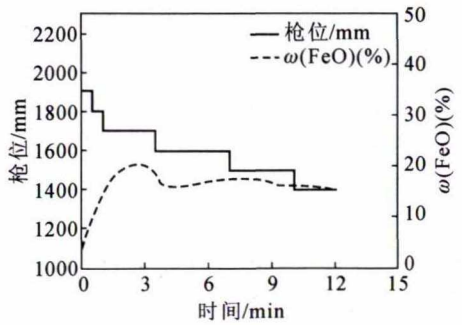


图 7 低温冶炼枪位和渣中 ω(FeO)曲线

Fig.7 Curve of ω(FeO) in slag and oxygen Lance height during low temperature smelting

图 8 为冶炼枪位与渣 ω(FeO)变化曲线(炉次 12)。可以看出，冶炼温度为 1 380 ℃的高温铁液，要

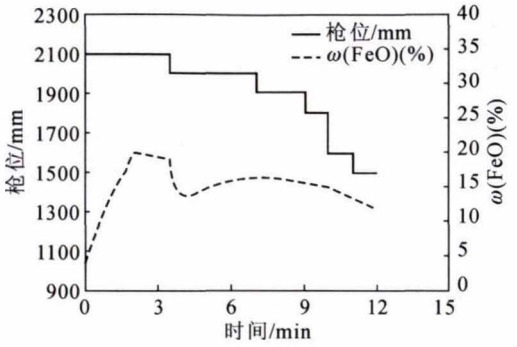


图 8 高温冶炼枪位与渣中 ω(FeO)曲线

Fig.8 Curve of ω(FeO) in slag and oxygen Lance height during high temperature smelting

保证生产顺畅进行，转炉前、中期冶炼必须一直采用高枪位(≥1 900 mm)操作，直到吹炼结束前 3 min 左右方可持续降枪。

4 结论

(1)铁液中硅含量对转炉冶炼枪位影响最大，一般铁液中硅含量越高，开吹枪位就越高，对于高硅铁液(0.70%~0.90%)，因加入渣料量多，为了防止炉渣“返干”，要一直保持高枪位(2 000 mm 左右)吹炼，一般在吹炼结束前 150 s 左右开始持续降枪操作；低硅铁液(~0.20%)开吹枪位一般在 1 800~1 900 mm，冶炼中期枪位控制在 1 400 mm 左右。

(2)铁液其他条件相近情况下，高碳(4.8%)铁液化渣枪位比低碳（3.6%）铁液化渣枪位要高出 100 mm 左右。

(3)对于偏低硅铁液，如果前期温度低，4 min 需要降枪至 1 600 mm，否则 5 min 左右炉内会有喷溅事故发生；对于高温铁液，要保生产顺畅进行，转炉前、中期冶炼必须一直采用较高枪位(≥1 900 mm)操作，直到吹炼结束前 3 min 左右方可持续降枪。

参考文献：

[1] 张燕超，张彩军，王博，等. 高马赫数氧枪枪位对 100 t 转炉自动炼钢熔池流速的影响[J]. 炼钢，2019，35(2)：1-10.

[2] 李三三. 100 t 转炉用炼钢四孔氧枪射流数值研究[J]. 冶金能源，2015(3)：33-35.

[3] 谢书明，柴天佑. 转炉炼钢氧枪枪位控制[J]. 冶金自动化，1999(2)：12-15.

[4] 耿淑华，陈嘉颖，祝新发. 转炉炼钢氧枪枪位自动控制专家系统的实验室研究[J]. 上海金属，2002(5)：14-16，10.

[5] 黄希祜. 钢铁冶金原理[M]. 北京：冶金工业出版社，2013.

[6] 高泽平. 炼钢工艺学[M]. 北京：冶金工业出版社，2006.

[7] 郭强，杨西银. 莱钢 25 t 氧气顶吹转炉枪位控制实践与优化[J]. 莱钢科技，2002(6)：13-16.

[8] 郑丽君，张国栋，刘海啸. 合成精炼渣对钢水脱硫作用的研究[J]. 冶金能源，2009，28(3)：8-11.