

富氧浓度对铜冶炼底吹吹炼的影响

张理勤, 俞伟, 黄进, 王晓春, 谢云, 杨俊奎

(青海铜业有限责任公司, 青海 西宁 810000)

[摘要] 铜钼底吹吹炼技术已成为目前铜冶炼的一种发展趋势, 冶炼工艺有全热料、冷热混合料和全冷料之分, 不同的原料炉内热平衡不同, 入炉气体的富氧浓度也不一样。青海铜业有限责任公司是国内第一家采用全冷料连续吹炼造铜工艺的冶炼企业, 本文以该公司生产实践数据为基础分析富氧浓度对铜冶炼底吹吹炼的影响。结果表明: 提高单只氧枪的有效风量、减少氧枪使用数量、控制富氧浓度 36%~38%, 是延长氧枪寿命、缩短停炉更换氧枪时间的重要措施; 通过合理的富氧浓度可控制合适的三相厚度, 确保吹炼炉各项生产指标合格; 建议冷态铜钼吹炼、热态铜钼吹炼、冷热态铜钼混合吹炼分别对应的富氧浓度为 36%~38%、28%~32%、31%~34%。

[关键词] 铜钼底吹吹炼; 富氧浓度; 入炉原料; 氧枪数量; 有效风量; 热平衡; 氧枪寿命; 三相厚度

[中图分类号] TF811; TF803.11 [文献标志码] B [文章编号] 1672-6103(2021)03-0034-05

DOI:10.19612/j.cnki.cn11-5066/tf.2021.03.006

铜钼底吹吹炼技术是近些年发展起来的炼铜技术, 因其具有原料适应性强、连续进料、低空污染小、动力学反应充分等优势, 成为目前铜冶炼的一种发展趋势^[1]。铜钼底吹吹炼技术采用的原料有全热料、冷热混合料和全冷料工艺, 不同的原料工艺炉内热平衡不同, 所以富氧浓度也不一样。

已投产的包头华鼎铜业、河南灵宝冶炼有限公司采用冷热混合加料工艺, 富氧浓度控制在 25%~28% 之间, 氧枪寿命在 30~40 d 之间。青海铜业有限责任公司(以下简称“青海铜业”)是国内第一家采用全冷料连续吹炼造铜工艺的冶炼企业, 熔炼炉液态铜钼经冷却破碎后经鳞板输送机输送至皮带再进入底吹吹炼炉。由于该工艺采用全冷料进料方式, 故炉内热平衡容易控制, 有效避免了吹炼炉因炉内温度操控不当、渣型控制不当而导致的喷炉现象。青海铜业吹炼炉规格为 $\Phi 4\text{ m} \times 20\text{ m}$, 内衬 460 mm 厚镁铬砖, 设计 11 支单排氧枪(氧枪角度 15°), 铜

口、渣口分别设在炉体东西端头。

富氧浓度主要是控制入炉气体流量和氧气浓度, 本文从富氧浓度对氧枪寿命和富氧浓度对不同原料工艺铜冶炼的影响进行阐述, 以为同行提供参考。

1 富氧浓度对氧枪寿命及炉寿的影响

1.1 生产基本情况

青海铜业底吹吹炼炉氧枪设计有 11 支, 现使用 7 支(2#渣口, 3#、4#、5#、9#、10#、11#铜口), 外管采用氮气保护, 内管通入压缩空气和氧气的混合气体。生产过程中氧浓度在 36%~43% 之间进行调整。

在不同氧浓度条件下, 保持氧枪压力 0.9~1.1 MPa、投料量 19~22 t/h, 吹炼炉转炉时间为 3 d/次的条件下, 分析氧浓度对氧枪寿命的影响。当氧浓度控制在 40%~43% 时, 氧枪烧损严重, 氧枪端头呈现火红状; 当氧浓度控制在 37%~39% 之间时, 氧枪烧损程度变轻, 氧枪端头呈现暗红状; 当氧浓度控制在 34%~36% 之间时, 氧枪基本无烧损, 仅出现部分堵塞现象, 端头基本呈现氧枪本色, 无火红状及暗红状。不同氧浓度条件下氧枪烧损程度见图 1。

1.2 影响氧枪寿命的影响因素及改进措施

氧枪的烧损情况与蘑菇头有重要关系。处于热力学、动力学平衡状态的“蘑菇头”大小合适时不仅

[收稿日期] 2020-11-26

[作者简介] 张理勤(1976—), 男, 青海西宁市人, 毕业于青海大学冶金工程, 冶金助理工程师, 主要从事有色金属冶炼方面的工作。

[基金项目] 青海省重大科技专项(2018-GX-A7)

[引用格式] 张理勤, 俞伟, 黄进, 等. 富氧浓度对铜冶炼底吹吹炼的影响[J]. 中国有色冶金, 2021, 50(3): 34-38.



图1 不同氧浓度条件下氧枪烧损程度

能保证送气量,还能保护和延长氧枪寿命^[2]。氧枪端头稳定蘑菇头的长成与气体流量有直接关系,随着氧浓度减小,氧枪通过的气体总流量增大,气体带入炉内的冷空气增多,有利于满足蘑菇头稳定生成的热力学平衡条件,能生成孔隙率、大小合适的蘑菇头,保护氧枪。

青海铜业使用的氧枪直径为 $\phi 51$ mm,氧枪内管留有10个通气孔道,单支氧枪气体通量为 $800 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 。当有效通气面积减小时,氧枪气体压力增大,氧枪蘑菇头生长不规则,无法满足蘑菇头稳定生成的条件,氧枪易堵塞、烧损^[3],同时,还会造成吹炼炉产能受限;另外,高压气体使得炉内动力学条件过于剧烈,易造成炉衬侵蚀严重、下料口喷溅等问题。

氧枪蘑菇头生长不规则,蘑菇头细长,使得富氧气体的穿透区缩短,会引起液面搅动强烈、喷溅严重、冲刷炉顶,造成渣线区域、炉顶区域炉砖侵蚀严

重等问题^[4]。青海铜业吹炼炉于2018年7月份开炉生产,2019年1月份下料口区域由于炉顶砖高温侵蚀、炉壳发红,被迫停产检修;2019年4月份由于氧枪区域、炉顶区域炉砖侵蚀严重,炉壳发红再次停炉中修,重新砌筑耐火砖。

针对上述问题,青海铜业通过改变氧枪通气管道的数量对氧枪进行了改进,改进后的单支氧枪气体通量为 $1700 \text{ Nm}^3/\text{h}$,降低了富氧浓度,增大了氧枪流量,创造了满足蘑菇头稳定生成的条件。便于技术人员在氧枪气体压力、富氧浓度、气体流量、热平衡四者之间寻求最佳的平衡点,延长氧枪寿命,减缓由于蘑菇头不规则、氧枪烧损、气体压力过高而引发的炉衬侵蚀问题^[5]。改进后的氧枪烧损情况逐步改善,蘑菇头形状逐渐趋于规则,氧枪使用寿命提升,炉体有效运转率提高。氧枪改进前后相关参数对比见表1;氧枪改进前后的蘑菇头形状对比见图2。

表1 氧枪改进前后相关参数对比表

参数	通道数量/ 个	内通道 面积/ mm^2	外通道 面积/ mm^2	气体压 力/ MPa	流量/ $\text{Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	氧浓/ %	氧枪烧损/ cm	氧枪 寿命/d	蘑菇头形状
改进前	11	343	207	1.15	1200	43	8~15	7	细长、呈笋状、连成一片
改进1	7	403	236	1.01	1500	39	5~8	12	扁平、蘑菇状,不规则形状
改进2	7	514	340	0.89	1700	36	0~3	30	扁平、蘑菇状,规则形状

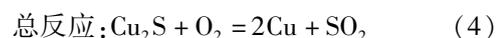
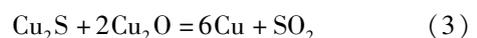
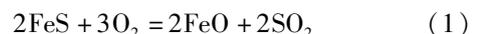
2 富氧浓度对“三相”厚度的影响

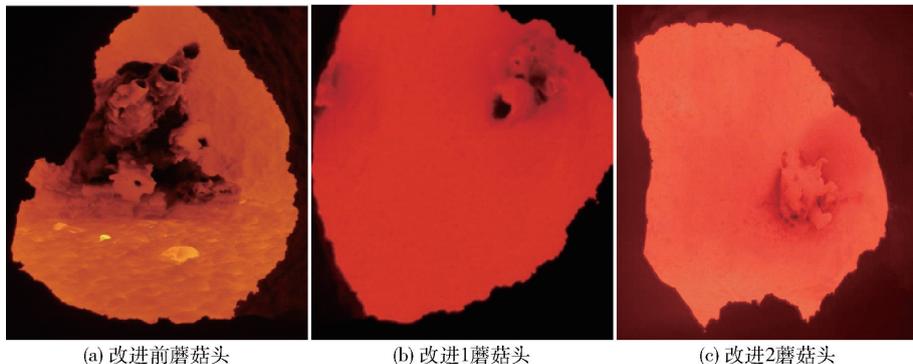
2.1 吹炼基本反应原理

富氧浓度的改变直接影响炉内热平衡,氧浓度越高,热力学反应越激烈。硫化物反应 $\Delta G\theta - T$ 关系图如图3所示^[6]。

根据热力学平衡图,铜硫反应首先是FeS氧化,

当铜硫中的FeS被氧化至含Fe 1%以下时, Cu_2S 才会被氧化造铜^[7],具体化学反应见式(1)~(4)。



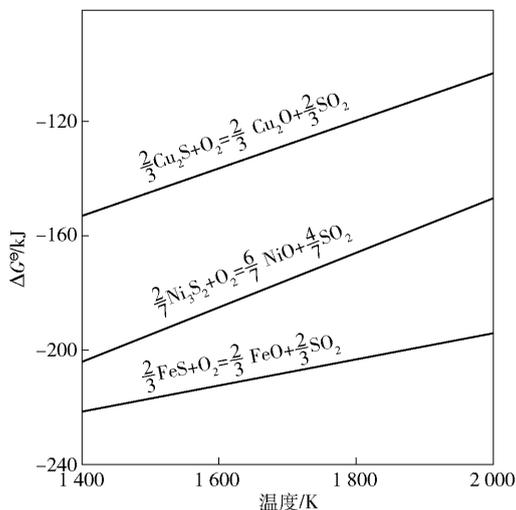


(a) 改进前蘑菇头

(b) 改进1蘑菇头

(c) 改进2蘑菇头

图2 氧枪改进前后的蘑菇头形状对比

图3 硫化物与氧化物反应的 $\Delta G^\theta - T$ 关系图

2.2 富氧浓度对三相的影响

在生产过程中,三相自炉体底部至熔液表面依次为粗铜相、铜铈相、渣相。生产初期富氧浓度控制在38%左右,投料量稳定在20 t/h左右,粗铜层约500~600 mm、铜铈层200~300 mm、渣层250~350 mm。由于炉顶定量给料秤计量失衡,造成实际入炉

物料偏大,炉内温度偏低。为保证顺利放渣,提高炉内冶炼温度,在实际操作过程中,常提高富氧浓度至45%左右,此时造成炉内泡沫渣增多,粗铜过吹,吹炼渣含铜偏高。

由于富氧浓度的变化,铜铈入炉量与炉内铜铈反应速率之间的动态平衡被打破^[8],此时由于热力学反应剧烈,富氧气体穿透粗铜层与铜铈层促使反应速率加快,铜铈层逐渐变薄最终消失。随着铜铈层消失,富氧气体直接穿透粗铜层作用于渣层,此时渣层氧势升高,铜铈中的FeS大量被氧化成磁性渣,造成炉内泡沫渣增多。为避免炉内因磁性渣的增多而引起喷炉的危险,块煤的投入量由0.3 t/h增加至0.5 t/h,使得生产成本上升。另一方面,由于铜铈层的消失,炉内粗铜沉降过度区变短甚至消失,磁性渣的增多引起渣性发黏,造成渣铜不分,最终引起渣口放渣时带出大量的粗铜,在渣包包底形成大量的包底铜,平均品位达到94%,造成吹炼炉直收率不到90%。两相操作时渣包包底铜形貌如图4所示。

为重新恢复至三相操作的动态平衡状态,首先需要保证炉顶定量给料秤的稳定,控制合适的氧料比,保证粗铜品位。另一方面,保持炉内粗铜层在



(a) 吹炼渣包包底铜横截面

(b) 吹炼渣包包底铜

图4 渣包包底铜形貌

500~600 mm,降低富氧浓度至34%~35%,降低炉内反应速率,稳定操作。每小时从三相测量口测量一次液位,根据铜层生成情况逐步调整工艺操作。待铜层厚度达到200~300 mm时,提高富氧浓度至38%左右,稳定操作,保持炉内动态平衡。重新恢复三相操作后,现阶段粗铜层厚度600~700 mm,铜层200~250 mm,渣层150~250 mm。

3 富氧浓度对冷、热态铜钼吹炼的影响

3.1 冷、热态铜钼吹炼的区别

冷、热态铜钼在冶炼过程中主要有两方面的不同,一方面表现为冶炼成本,另一方面表现为工艺控制难易程度。

青海铜业采用冷态铜钼入炉操作,期间热态铜钼经渣包运输至缓冷场自然缓冷10 h,再水冷50 h,然后经三级破碎后经皮带输送入炉。冷态铜钼入炉操作会造成低空污染,而且增加了水处理、破碎、人工、渣包运输及维护、渣包车的维护及购置等各项成本,还会造成铜钼热量损失。但冷态铜钼入炉可以最大限度地避免吹炼炉因热平衡控制不稳而导致的工艺控制方面的安全隐患。

热态铜钼入炉可以节约以上各项成本,但对冶炼工艺控制要求更精准,提升了对技术人员素质的要求。

3.2 冷、热态铜钼吹炼富氧的控制

冷、热态铜钼吹炼过程中,冷态铜钼可以通过定量给料秤准确计量下料量,热态铜钼可通过铜钼产率计算铜钼量,因而在保持合适的氧料比的情况下对吹炼渣含铜、粗铜品位等方面基本无影响^[9]。

对炉内热平衡的精准控制、热平衡的调节主要通过富氧浓度调控。冷态铜钼因入炉后熔化会吸热,因此为保证与热态铜钼同样的反应速率,需较高的富氧浓度^[10]。较高的富氧浓度促使反应向右加速进行,同时减少了烟气带走的热量,为冷态铜钼熔化、反应提供了较多的热量^[11],一般控制富氧浓度在36%~38%之间。热态铜钼入炉本身带有大量的热量,入炉后增加了炉内热量,直接参与氧化反应,此时反应迅速,应降低富氧浓度,一般控制在28%~30%之间。当热态铜钼停止入炉5~10 min后可适当提高富氧浓度2%~3%,避免因炉内热平

衡瞬间被打破而造成平衡失控,进而引发冒炉甚至喷炉,应逐步提高氧浓,平稳过渡至稳定生产状态。

4 结论

1)改进氧枪结构可延长氧枪寿命,提高开工率。由于氧枪砖限制,吹炼炉单只氧枪有效通气面积小,使用氧枪数量多,易引起吹炼炉氧枪堵塞、损坏,更换氧枪时间较长。提高单只氧枪的有效通量、减少氧枪使用数量、控制富氧浓度36%~38%,是延长氧枪寿命、缩短停炉更换氧枪时间的重要措施。

2)控制合理的富氧浓度,采用三相操作进行生产有利于提高铜的直收率,降低生产成本。三相厚度对于控制粗铜品位、渣铜分离有其重要的意义,通过合理的富氧浓度控制合适的三相厚度:粗铜层500~600 mm、铜层200~300 mm、渣层250~350 mm,确保吹炼炉各项生产指标合格。

3)对于不同的冷热比例的铜钼原料,控制不同的富氧浓度,可满足炉内热平衡条件。不同的富氧浓度对于炉内热平衡有不同的影响,建议冷态铜钼吹炼、热态铜钼吹炼、冷热态铜钼混合吹炼分别对应的富氧浓度为36%~38%、28%~32%、31%~34%,具体控制条件应视生产情况而定。

[参考文献]

- [1] 袁俊智,王新民. 华鼎铜业双底吹连续炼铜的生产实践[J]. 有色设备, 2017,32(6): 2.
- [2] 王书晓,余跃. 铜底吹炉氧枪出口端蘑菇头生成过程水模试验研究[J]. 有色金属(冶炼部分), 2016(11): 2-3.
- [3] 余跃,温冶,刘训良. 富氧底吹炼铜炉关键技术研究[J]. 有色金属(冶炼部分), 2013(4): 14-15.
- [4] 胡立琼. 氧气底吹炼铜炉的设计[J]. 中国有色冶金, 2010, 39(1): 17-18, 37.
- [5] 郭学益,王松松,王亲猛. 氧气底吹炼铜模拟软件SKSSIM开发与应用[J]. 有色金属科学与工程, 2017,8(4): 1-6.
- [6] 孙福涛. 浅析铜钼吹炼[J]. 新疆有色金属, 2013, 36(3): 69-72.
- [7] 彭容秋. 铜冶金[M]. 长沙:中南大学出版社, 2004.
- [8] 周雍茂. 冰铜吹炼过程的热力学分析[J]. 湖南有色金属, 1988(5): 32-35, 10.
- [9] 刘素红. 铜钼底吹连续吹炼的运行实践[J]. 有色金属(冶炼部分), 2016(12): 18-19.
- [10] 高长春. 氧气底吹熔炼氧枪浅析[J]. 中国有色冶金, 2006, 35(6): 13-17, 59.
- [11] 李东波,梁帅表,蒋继穆. 现代氧气底吹炼铜技术[M]. 北京:冶金工业出版社, 2019.

Influence of enriched oxygen concentration on bottom blowing in copper smelting

ZHANG Li-qin, YU Wei, HUANG Jin, WANG Xiao-chun, XIE Yun, YANG Jun-kui

Abstract: Copper matte bottom blowing technology has become a current development trend in copper smelting industry. The smelting process is divided into fully hot material, cold and hot mixture material and fully cold material. The heat balance in the furnace is different for different raw materials, and the oxygen concentration of the gas entering the furnace is different. Qinghai Copper Industry Co., Ltd. is the first domestic smelting company that adopts continuous blowing process treating the full-cooled raw material for copper production. This article analyzes the influence of oxygen concentration on the bottom blowing of copper smelting based on the company's production practice. The results show that increasing the effective flux of a single oxygen lance, reducing the number of oxygen lances, and controlling the oxygen concentration of 36% to 38% are important measures to prolong the life of the oxygen lance and shorten the time for shutting down and replacing the oxygen lance; a reasonable oxygen concentration should be used to control the appropriate three-phase thickness to ensure that all production indicators of the converting furnace. It is recommended that the oxygen-enriched concentration corresponding to cold copper matte blowing, hot copper matte blowing, and cold and hot copper matte mixed blowing is 36% ~ 38%, 28% ~ 32%, 31% ~ 34%.

Key words: copper matte bottom blowing; oxygen concentration; raw materials; number of oxygen lances; effective flux; heat balance; oxygen lance life; three-phase thickness

新一代智能化自动剥片机器人研发项目攻克国内难题 矿冶集团荣获工信部创新优胜成果

5月20~23日,在第五届世界智能大会期间,工信部主办了中国人工智能创新发展高峰论坛暨揭榜优胜成果发布会,八大揭榜方向的48个项目获得首批人工智能产业创新揭榜优胜成果。矿冶集团“新一代智能化自动剥片机器人的研发及产业化应用”名列其中。

2018年底,工信部开始组织实施新一代人工智能产业创新重点任务揭榜工作,目的是遴选一批掌握关键核心技术、具备较强创新能力的创新主体,在人工智能主要细分领域选拔领头羊、先锋队。项目按照“揭榜挂帅”工作机制,突破人工智能产业发展短板瓶颈,树立领域标杆企业,培育创新发展的主力军,加快我国人工智能产业和实体经济深度融合,促进创新发展。

矿冶集团新一代智能化自动剥片机器人研发项目成功揭榜后,对湿法炼锌剥片关键设备结构进行了全面升级优化,并重点对智能剥片机器人技术进行研究,包括基于机器视觉的预剥离智能控制技术研究、不良板图像智能识别与智能剔板补板控制技术研究、设备剥片作业自适应控制技术研究等,攻克了国内锌电解剥片成功率不高、作业效率低、需要大量人力辅助作业的难题。新一代智能全自动剥片机器人及配套系统设备,实现阴极板智能传输、智能预开口、智能剥片、智能刷洗、智能剔板补板、智能码垛称重等各项作业流程智能化控制运行。目前,该设备在新疆紫金有色金属有限公司实现工业应用。

(资料来源:中国有色金属学报)