

转炉高效低成本冶炼关键技术工艺实践

麻成成 丁顺 吴康业

盐城市联鑫钢铁有限公司

摘要: 在激烈市场竞争中企业生存下来的关键指标是生产成本, 高效炼钢技术成了钢铁企业降低生产成本的重要措施。精准控制技术是高效炼钢的精髓, 能最大限度地提高炼钢工序生产节奏, 提高生产作业率, 降低生产成本。对转炉生产过程中影响冶炼周期的相关因素进行了深入分析, 提出了修改顶吹氧枪参数、应用TCO转炉投弹式检测技术等方法。实践表明, 通过对氧枪参数的修改, 可有效地加强熔池搅拌, 降低供氧时间; 同时通过调整出钢口参数和应用TCO转炉投弹式检测技术, 使得冶炼周期控制在20min左右, 较技术改造之前下降了4.5min。而且, 通过应用化渣剂、优化炉料结构并配合高效炼钢生产组织方法, 促使钢铁料消耗、渣料消耗、生产成本得到有效地改善。

关键词: 转炉; 技术改造; 高效; 低成本

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6261.2022.08.119

一、前言

为贯彻国家的可持续发展战略, 必须大力推行清洁生产, 降低生产过程的能源消耗、提高炼钢产品自身质量、创新炼钢工艺技术从而实现转型升级, 这是我国由钢铁大国转变成钢铁强国、改粗放型经营为集约型经营、变外延式发展为内涵式发展、实现钢铁工业持续发展的根本途径。在此背景条件下, 以节能降耗实现低成本高效化生产, 成为炼钢生产的主要内容。

同时转炉是炼钢厂成本控制的最重要的工序, 钢铁料消耗占转炉炼钢成本的80%, 因此在当前原材料价格上涨, 钢铁市场严峻的形势下, 研究高效低成本转炉炼钢冶炼工艺, 实现冶炼周期缩短提升冶炼效率, 降低转炉钢铁消耗和熔剂消耗, 实现高效低成本转炉炼钢, 是提升企业市场占有率和企业竞争力的重要途径。目前, 联鑫钢铁炼钢厂现有2座氧气顶吹转炉, 转炉平均冶炼周期为24.5min。针对转炉冶炼周期长的实际情况, 采取优化氧枪喷头参数、应用TCO转炉投弹式检测技术等措施。生产实践表明, 吹氧时间缩短2.2min, 转炉冶炼周期缩短4.5min, 达到20min左右。同时, 通过应用化渣剂、优化炉料结构并配合高效炼钢生产组织方法, 促使转炉冶炼实现了低成本生产。转炉生产成本和效率明显提高, 对国内同类型转炉具有明显的借鉴意义。

二、优化氧枪结构

(一) 改造前的氧枪结构

供氧是氧气转炉炼钢整个吹炼过程的中心环节, 对去除钢中有害杂质和元素非常重要。氧枪是转炉吹氧设备中关键性部件, 氧枪能把氧气通过强压喷进熔池中, 达到提高钢水温度、除碳及去夹杂的目的。喷头是构成氧枪的重要部件, 氧枪喷头不但要求冶金效果好, 而且

要有较高的高温耐蚀性和抗变形能力。

我公司采用的氧枪结构为四孔拉瓦尔型。拉瓦尔喷嘴由收缩段、喉口段和扩张段构成, 喉口处于收缩段和扩张段的交界。拉瓦尔喷头可以有效地把氧气压力转变为动能, 并可获得比较稳定的超音速流股, 有利于液体金属的搅拌, 可以获得良好的脱碳除磷效果以及金属收得率。因而拉瓦尔喷头得到了广泛的应用。改造前的氧枪供氧强度较小, 吹炼时间偏长, 不利于熔池的搅拌, 影响吹炼终点氧含量, 增加钢铁料的同时增加了脱氧合金的消耗。改造前的氧枪喷头结构如图1所示。

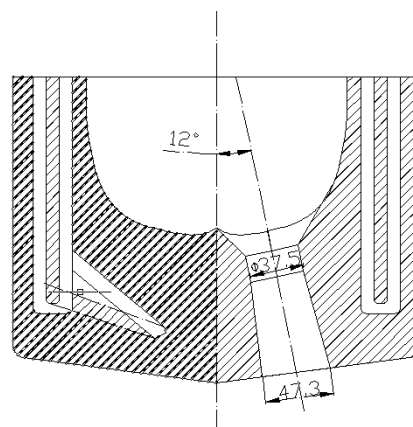


图1 改造前的氧枪喷头结构

(二) 氧枪结构优化

1) 喉口直径。马赫数过大, 易出现喷溅现象, 增加热量损失、渣铁料消耗及铁损, 且易损坏转炉炉衬和炉底; 马赫数较低时, 氧气射流搅拌作用减弱, 氧气利用率降低, 渣中含铁增高, 亦引起喷溅。综合考虑, 为缩短供氧时间、提高喷头使用寿命, 减少喷溅。取马赫

数2.1。适当提高供氧强度，增加喉口直径，计算得新喷头喉口直径为40.4mm。

2) 出口直径。根据马赫数和 Related 经验数据，可计算新喷头出口直径为51.4mm。

3) 中心倾角。氧气流股对熔池有一定的冲击深度和冲击面积，在保证冲击深度的前提下，适当减少喷头中心倾角，冲击面积减小，减少氧气流股对炉壁的冲刷，有利于提高转炉炉衬寿命。因此，新喷头的中心倾角较原喷头减少 0.5° ，即确定为 11.5° 。改造后的氧枪参数如表1所示，改造后的氧枪喷头结构如图2所示。

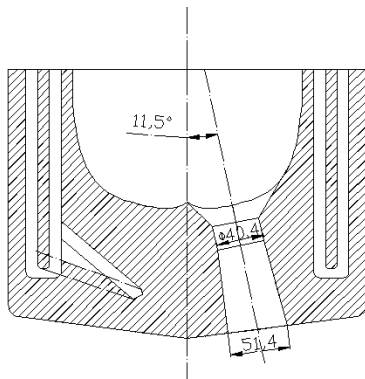


图2 改造后的氧枪喷头结构

表1 改造后的氧枪参数

喉口直径	出口直径	中心倾角	总高	马赫数
Φ 40.4mm	Φ 51.4mm	11.5°	295mm	2.1

三、应用TCO转炉投弹式检测技术

TCO转炉投弹式检测技术是一项新型的转炉炼钢过程快速自动检测技术，是继转炉应用副枪自动检测后研发的一项新型技术，主要解决副枪设备一次性投资和维修成本较高并要求转炉炉口直径和炉口上部空间较大，较小公称容量转炉由于以上因素无法甚至根本不能安装副枪的难题，其原理是在炉内钢水需要检测时在不倒炉停吹的情况下由TCO投掷设备自动投入到炉内钢水中，大约10秒钟检测出当前钢水温度及当前钢水含碳量，所测得的数据在仪表屏幕和室外大屏幕上显示后设备当即自动复位。

开始投弹时，将探头前端金属头从高空中沿着自由运动轨迹，击穿渣层，进入钢水30-40cm，通过铂管和热电偶分别测出钢水中氧电势和温度，再由耐高温阻燃导线把数据传出并在计算机中显示，氧活度的测定原理是基于一种氧化锆电化学电池应用。以氧化锆为基体，

氧化镁为稳定剂的固体电解质，由参比极为铬和三氧化二铬(Cr+Cr₂O₃)和被测熔体金属电极组成的氧浓差电池，可直接测定熔体金属的氧活度，氧浓度差电池的电动势与钢水温度和氧含量的关系服从“能斯特”定律。

$$E = -\frac{RT}{4F} \ln \frac{P_{O_2(CrO_3)}}{P_{O_2(钢水)}}$$

式中：E为两极间电动势； $P_{O_2(钢水)}$ 为含氧钢水的平衡氧分压； $P_{O_2(CrO_3)}$ 为参比极(Cr+Cr₂O₃)的平衡氧分压。美国E. N. 公司根据上述公式总结的经验公式为：

$$\lg a[O] = 1.36 + 0.0059(E + 0.54(T - 1550) + 0.0002E(T - 1550))$$

式中：a[O]为氧活度；E为氧电池电动势；T为钢水温度。实测时，同时测出定氧探头电动势及钢水温度，即可计算出钢水中的氧活度。

定碳的工作原理，在转炉冶炼终点时，钢液中的C含量和O含量有很强的对应关系，即钢中的C×O为一常数E， $E = C \times O$ 。在不同的容量的炼钢炉中，采用的冶炼方式也不同，得到的实际经验公式也不同。B. H雅沃斯基根据试验研究，得出关系经验公式为：

$$[\%C] = \frac{0.00317}{[\%O] - 0.0063}$$

通过得到的氧活度可通过上式计算出碳含量。

该技术在我公司炼钢厂转炉车成功投入后，常规生产条件下转炉冶炼周期缩短2.3分钟，每天节省冶炼生产时间为128分钟；减少了倒炉时的温降损失，节省能源消耗；不倒炉检测能减轻对炉衬的侵蚀，提高了炉衬寿命及相关耐材使用周期；取代了炉前倒炉人工测温、取样，这样可以显著改进操作人员工作条件和劳动强度，炉前操作人员可以远离对着倾动转炉炉口方向恶劣而危险的操作环境。

四、推进转炉化渣剂应用

转炉冶炼使用铁水Si≤0.35%时，冶炼过程化渣困难，化渣不透，需要通过高枪位化渣，增加了渣中氧化亚铁的含量，铁的吹损增加，还会因为化渣不良出现P高事故，导致成分出格出现废品。通过使用化渣剂，使炉渣矿物质的相增加，通过原子半径比较小的矿物质，渗透石灰，促进石灰的熔化，加速前期炉渣的熔化速度，通过现场跟踪加入化渣剂在吹炼40"之内就可以起渣，确保前期炉渣碱度的快速提升，起到保温和快速去磷并减轻前期渣对炉况的侵蚀。在铁水硅含量较低时每炉加入100-300kg化渣剂，能提高化渣效果，避免采用高枪位提高渣中氧化亚铁的方式化渣，减少渣中铁损，降低P高事故和钢铁料消耗。综合吨钢石灰消耗

25.11kg/吨,轻烧白云石吨钢消耗11.54kg/吨,镁球吨钢消耗2.32kg/吨,总渣料38.97kg/吨,在吨钢总渣料消耗控制在40公斤以内,其包样和终点磷、硫全部合格,使用过程中保证了产品质量。

五、优化炉料结构,实现少渣冶炼工艺

在保证废钢质量和回收率的情况,搭配使用不同级别废钢,加强废钢分类分级的管理,选择最佳废钢配比,实现废钢性价比最高,按成本最优控制入炉料,同时降低铁耗,提升产量;推进转炉留渣和少渣操作,提高石灰质量,要求 $\text{CaO} \geq 90\%$ 、 $\text{SiO}_2 < 2.5\%$ 、 $\text{S} < 0.1\%$ 、 $\text{P} < 0.02\%$ 、粒度10-50mm,灼减 $\leq 9\%$ 、活性度 $> 350 \text{ ml/4N-CH1}$,为实现少渣冶炼提供条件。冶炼过程合理控制碱度,减少石灰使用量,提高操作护炉水平,合理控制转炉轻烧和镁球的使用量,降低轻烧、镁球单耗;根据铁水条件合理配置废钢,保证转炉热平衡,减少因热富余量过大加冷料降温。

六、高效的炼钢生产组织

通过对炼钢工序调查分析发现,影响炼钢生产顺行的突出问题是工序间的协调与配合。炼钢生产经常出现上下工序环节之间不协调,相互制约,如冶炼环节等铁水和废钢入炉、等钢包和渣盆出钢倒渣、等连铸浇钢、铁水装入量和废钢量不稳定、铁水温度和成份波动大等诸多问题,都严重制约着冶炼能力的发挥。

高铁高效运行的关键是运行速度精确控制、准时到站、精确定位技术。准时、精确定位的生产组织技术消除了冶炼环节等铁水和废钢、等钢包和渣盆出钢倒渣、等连铸浇钢不协调问题,精确控制铁水装入量、废钢量、铁水温度和成份等稳定,精准控制不同冶炼时段的供氧强度,缩短冶炼周期,以此实现冶炼终点温度、成份目标准确,最大限度提升炼钢作业效率。通过开发高炉出铁过程中动态铁水计量系统和冶炼过程变枪位、变流量的冶炼方法并配合炼铁、炼钢生产工序各环节准时、定位、定量生产组织调度,实现了转炉炼钢的高效化。

炼钢前端高炉工序:通过高炉精准控制冶炼方式保证铁水成份、温度满足炼钢快速冶炼需求,开发了高炉出铁过程中动态铁水计量和信息传递系统,准确控制每包铁水量,通过科学合理的高炉出铁时间、频次和出铁量保证铁水准时、定量供给炼钢。高炉铁水主要控制指标:铁水动态计量信息即时传送到高炉出铁控制室,控制室依据计量数据下达更换铁水包和封堵铁口指令;计量、成份和温度信息即时传递到炼钢冶炼控制室,控制

室依据铁水成份、重量、温度等信息调整冶炼操作。

炼钢工序:在转炉出钢过程中,行车吊运铁水、废钢入炉料提前1min到达指定位置等待装炉,出钢前1min钢包、渣盆到达出钢位置。转炉冶炼环节,接班测量氧枪枪位,确保冶炼枪位准确;开发了冶炼过程变枪位、变流量的冶炼方法(按前、中、后期三阶段适时调整供氧强度和枪位高度),缩短了吹炼时间,确保最佳冶炼效果;开发了钢水成份、重量、温度传递系统,相关信息即时传递到铸机操作控制室;利用投弹技术测量终点钢水C、S含量和温度,去除终点倒炉测温、取样环节;采取钢包保温措施,确保低温出钢大包钢水温度符合连铸拉钢要求。冶炼依据装入量、铁水成份、废钢量等信息,适时调整枪位高度和供氧强度,缩短吹凉时间,确保最佳冶炼效果。枪位前期1.4m、中期1.6-1.8m、后期1.0m;供氧量前期 $25000 \text{ m}^3/\text{h}$ 、中期 $23500-24000 \text{ m}^3/\text{h}$ 、后期 $25000-26000 \text{ m}^3/\text{h}$ 。成品成份、重量、温度等信息即时传递到铸机控制室。

结论

针对炼钢厂转炉供氧时间长问题,优化了原氧枪喷头参数,包括喉口直径、出口直径、中心倾角等参数,优化后,减少氧气流股对炉壁的冲刷,改善了前期化渣效果。吹炼终点供氧强度增加,加强了熔池的搅拌,供氧时间缩短约2.2min;此外,TCO转炉投弹式检测技术的应用,有效地缩短了转炉终点倒炉测温、取样的时间,同时减少了温降损失并减少操作人员在恶劣危险环境下的作业时间。综上所述,通过对转炉生产过程中影响冶炼周期的相关因素即修改顶吹氧枪参数、应用TCO转炉投弹式检测技术等方法。有效地降低了供氧时间和测温取样时间,较技术改造之前下降了4.5min,使得冶炼周期控制在20min,较技术改造之前下降了4.5min,攻克了冶炼周期较长的问题。同时通过转炉化渣剂应用、优化炉料结构,实现少渣冶炼工艺,优化过程动态控制氧量和枪位,执行变氧操作,控制转炉吹炼过程喷溅,终点确保低枪位时间,提高终渣控制能力。实现了熔剂消耗 $\leq 40 \text{ kg/t}$ 、钢铁料消耗 $\leq 1058 \text{ kg/t}$ 。

参考文献

- [1] 邓勇,韩宝,戴雨翔.马钢转炉低成本冶炼及终点控制研究[J].江西冶金,2022,42(05):59-63.
- [2] 纪林华.高炉低成本冶炼的工业研究[J].现代冶金,2021,49(03):70-72.
- [3] 孟祥斌.中小转炉炼钢成本控制及预测模型研究与开发[D].燕山大学,2020.