

“全三脱”转炉工艺条件下干法除尘卸爆 控制技术的应用与实践

李金柱，郭小龙

(首钢京唐钢铁联合有限责任公司 炼钢部，河北 唐山 063200)

摘要 转炉干法除尘在提高除尘效率、增加煤气回收、节水、节电等方面的优势越来越显著。所以，目前在国内外转炉炼钢中被普遍采用。本文着重对首钢京唐公司 300t 转炉本体在采用“两步法”炼钢的特殊工艺情况下，干法除尘系统卸爆技术的研究及实践应用的介绍。

关键词 300t 转炉 干法除尘 卸爆控制 技术研究

study and practice of Dry Dedusting pressure-relief control Technology under the condition of full-pretreatment converter process

Li Jinzhu, Guo Xiaolong

Abstract Converter dry dedusting system showed more significant advantages in improving dedusting efficiency and in increasing gas recovery, water saving, electricity saving and so on. Therefore, Dry Dedusting System is widely used currently by converter steelmaking at home and abroad. This article emphasizes introducing the study and practice of Dry-Dedusting pressure-relief control Technology under the condition of full-pretreatment converter process in Shou Gang Jing Tang Company

Key words 300t BOF; dry dedusting; pressure-relief control ; study and practice

1 前言

转炉炼钢采用干法静电除尘是 20 世纪 60 年代末开发成功的除尘新技术，近年来国内外转炉采用干法除尘的钢厂在逐渐增多，干法除尘相比较湿法除尘在降低能耗、减少占地、改善环境、降低运行成本、烟尘再利用等方面具有十分显著的优势。

京唐公司作为国家“十一五”计划中建设的大型国有钢铁企业，在打造高效洁净化生产平台的前提下，引入了“全三脱”式的两步炼钢以及相配套的转炉干法除尘技术。“全三脱”工艺下脱碳炉冶炼时，理论分析认为在没有硅、锰等元素情况下，冶炼开始后很快进入碳氧反应期，此时对于配套的转炉干法除尘卸爆的控制难度会非常的大。怎么将“全三脱”工艺与干法除尘技术有机的结合起来并实现稳定安全的运行，成为了当时重要的研究工作。

为此，首钢京唐钢铁公司于 2006 年对德国蒂森—克鲁伯公司的 Beckerwerth、奥地利奥钢联的 Linz 等欧洲较早使用转炉干法除尘技术的钢厂进行调研。调研结果认为常规转炉炼钢流程采用干法除尘已趋于成熟、完善，欧洲钢厂除尘系统卸爆发生率已能够保证正常生产，虽然欧洲没有“全三脱”冶炼模式，但

通过交流后认为可以开发出适合“全三脱”冶炼模式的干法除尘控制模式。对于卸爆的控制欧洲钢厂基本都是通过延长“前烧期”和开吹后采用较小氧流量控制方法，已基本能够杜绝此类卸爆发生，这对于京唐钢铁公司脱碳转炉采用干法除尘防止卸爆，具有非常好的借鉴意义。

2 京唐 300t 转炉干法除尘的特点

2.1 “全三脱” 洁净钢两步法生产工艺

所谓“全三脱”就是对铁水进行脱硫、脱硅、脱磷预处理，该冶炼工艺 20 世纪 80 年代由日本最早提出并实施，取得了很好的应用效果。在装入脱碳转炉之前首先对铁水进行脱硫、脱硅、脱磷“全三脱”预处理，可以最大限度地降低钢水中的硫、磷含量，为生产高品质洁净钢奠定基础。

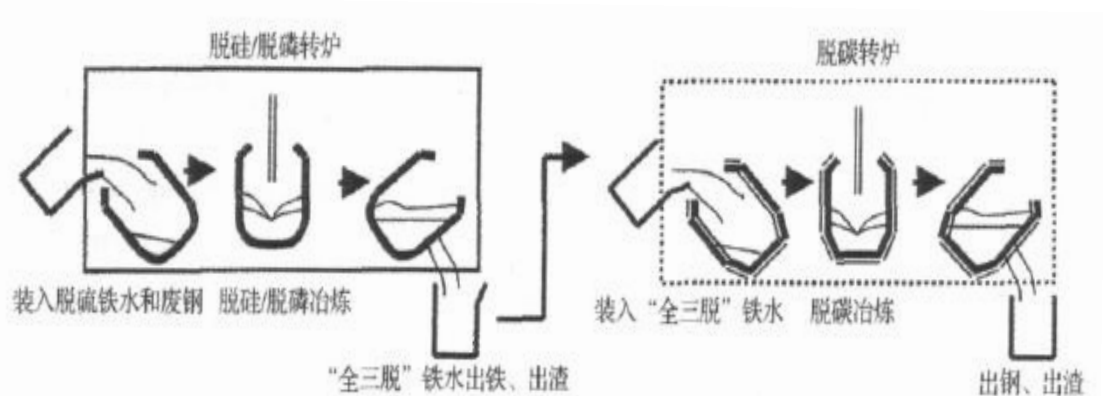


图 2-1 “全三脱”条件下转炉炼钢工艺流程

与转炉常规冶炼工艺相比，由于铁水采用“全三脱”预处理工艺，转炉冶炼的主要功能被简化为脱碳和升温，因此转炉冶炼周期缩短，由常规冶炼的 36~38min 缩短到 30min 以下；可以实现转炉的高效快速冶炼和少渣冶炼，实现优质洁净钢生产。图 2-1 是典型的“全三脱”条件下转炉炼钢工艺流程。

与普通铁水常规吹炼相比，对“三脱”铁水在脱碳转炉开始吹炼后，由于没有 Si、Mn 氧化期，脱碳速率会明显升高，开吹后炉气量会明显增加。“三脱”铁水转炉吹炼的这一特点可能会造成干法除尘系统卸爆频率显著增加。同时，铁水经过“全三脱”预处理以后，脱碳转炉冶炼的供氧制度、造渣制度、温度控制、钢铁料装入等操作制度也需要进行相应调整，这种冶炼工艺的改变又会影响转炉煤气除尘系统的应用方式方法。

2.2 “全三脱” 冶炼条件下干法除尘防卸爆理论分析

首钢京唐钢铁公司转炉炼钢采用“全三脱”两步法冶炼，对“三脱”处理后铁水进行吹炼，开吹后的炉气量和炉气中的 CO 含量是否会显著增加？如采用干法除尘是否会显著增加卸爆发生频率。以下以表 2-1 给出的普通铁水和“三脱”铁水为例，对此加以理论分析。

表 2-1 普通铁水与“三脱”铁水成分表

转炉工艺	废钢比	金属炉料成分%			
		C	Si	Mn	P

常规冶炼	10%	4.0-4.5	<0.40	<0.40	0.1
“全三脱”冶炼	0	3.5	<0.05	<0.20	<0.035

2.2.1 “脱碳转炉”吹炼前期炉气量变化

取普通铁水常规吹炼时间为 15min，供氧速率为 3.30Nm³/min/t。再取“三脱”铁水吹炼时间为 12min，供氧速率为 3.80Nm³/t。取常规铁水吹炼开始后 Si、Mn 氧化期为 3min，期间所供氧气量为 9.9Nm³/t，用于氧化 Si 的氧气量为 3.19Nm³/t，用于氧化 Mn（Mn 含量由 0.45%降低至 0.25%）的氧气量为 0.40Nm³/t。在 Si、Mn 氧化期用于氧化 Si 和 Mn 的氧气量总计为 3.59Nm³/t。在对“三脱铁水”进行吹炼时，由于开吹后没有 Si、Mn 氧化期，原用于氧化 Si、Mn 的 3.59Nm³/t 氧气即可参加脱碳反应，假定其中 80%参加脱碳生成 CO，20%脱碳生成 CO₂，则可以生成 5.74Nm³/t 的 CO 气体，0.718Nm³/t 的 CO₂ 气体。

以上计算表明，与普通铁水常规吹炼相比，“三脱”铁水在开吹后 3min 时间内，每吨钢大约可多生成 5.74Nm³CO 气体和 0.718Nm³的 CO₂ 气体，共计约多生成 6.458 Nm³ 炉气。

2.2.2 “三脱”铁水吹炼前期，炉气 CO/CO₂ 成分的变化

脱碳反应产物 CO 与 CO₂ 比率与反应温度、钢水成分等工艺因素有很大关系，其化学反应可表示为：



$$G^\circ = 143906 - 129.84T$$

$$\log \frac{p_{CO}^2}{p_{CO_2}} = 6.79 - \frac{7523}{T} + \log(a_{[C]}) \quad (2)$$

(2) 式中，PCO: CO 气体分压，PCO₂: CO₂ 气体的分压，a[C]: 铁液中[C]的活度，a[C]=f[C][%C]。

由 (2) 式可以看到，炉气中 CO/CO₂ 比率与反应温度和铁液中碳的活度有关，即温度和碳的活度愈高，炉气中 CO 比率愈高。铁液中[C]的活度系数 f[C]可由 (3) 式算出，其中的组元活度相互作用系数由表 4 获得。

$$\log(f_{[C]}) = e_c^c \cdot [%C] + e_c^{Si} \cdot [%Si] + e_c^{Mn} \cdot [%Mn] + e_c^P \cdot [%P] \quad (3)$$

表 2-2 计算所用相关组元活度相互作用系数

e_c^c	e_c^{Si}	e_c^{Mn}	e_c^P
0.14	0.08	-0.012	0.051

以表 2-1 中给出的普通铁水和“三脱”铁水转炉吹炼金属炉料的化学成分为例，对吹炼前期炉气中 CO/CO₂ 比率进行计算。由 (2) 式计算得出的普通铁水常规冶炼和“三脱”铁水冶炼，吹炼前期脱碳反应平衡时，炉气中 CO/CO₂ 比率。

表 2-3 普通铁水和“三脱”铁水吹炼前期炉气 CO/CO₂ 比率计算结果

转炉工艺	废钢比	金属液				温度	f[C]	$\frac{p_{CO}^2}{p_{CO_2}}$
		C	Si	Mn	P			

普通铁水	10%	4.0-4.5	<0.40	<0.40	0.1	1270℃	4.26	1487
三脱铁水	0	3.5	<0.05	<0.20	<0.035	1270℃	3.02	865

表 2-3 给出的计算结果表明，与普通铁水常规吹炼相比，对“三脱”铁水进行吹炼，由于吹炼前期熔池温度差别不大，而“三脱”铁水中碳活度有较显著降低，因此使得“三脱”铁水吹炼前期炉气中 PCO/PCO_2 不仅没有增加，反而会有较明显减少。这也表明，“三脱”铁水吹炼采用干法除尘，不会因为前期炉气中 CO 含量偏高导致卸爆增加。

2.3 卸爆问题的分析及解决

尽管在投产前做了充分准备，包括理论分析、国外钢厂调研、国内钢厂调研等，同时制定了脱碳转炉煤气干法除尘系统防卸爆的基本控制方法，但是京唐公司在投产初期的五个月内每月的卸爆率仍在 8% 左右，最高一个月卸爆次数高达 18 次，对生产稳定及设备、人员的安全造成了影响。

通过通过统计分析 & 现场跟踪观察，京唐公司卸爆主要发生在脱碳转炉开吹的操作上，前烧期短碳氧反应快，烟气中 CO 含量上升速度快造成卸爆，印证了投产前的担心。针对此情况，依据对国内外钢厂调研结论，把握延长开吹“前烧期”的思想，通过调整氧气流量、氧枪枪位、加料时机、降罩时机等操作，脱碳转炉卸爆很快得到控制解决。

3 应用实践

经历投产初期的频繁卸爆以及后来的逐渐控制解决，通过不断的总结、完善，形成了固化的具有京唐特色的防卸爆操作模式，根据上述原则和理论研究，自主开发了基于理论研究的计算软件。通过设计脱碳转炉开吹操作条件，制定了在 1.5min 内可以稳定形成惰性气体流的操作制度，并绘制了在此操作模式下的转炉煤气曲线，用于指导转炉冶炼。全年煤气卸爆率已经降低到 0.15% 左右，并且控制状态稳定。图 3-1 给出了从投产至今煤气卸爆情况。

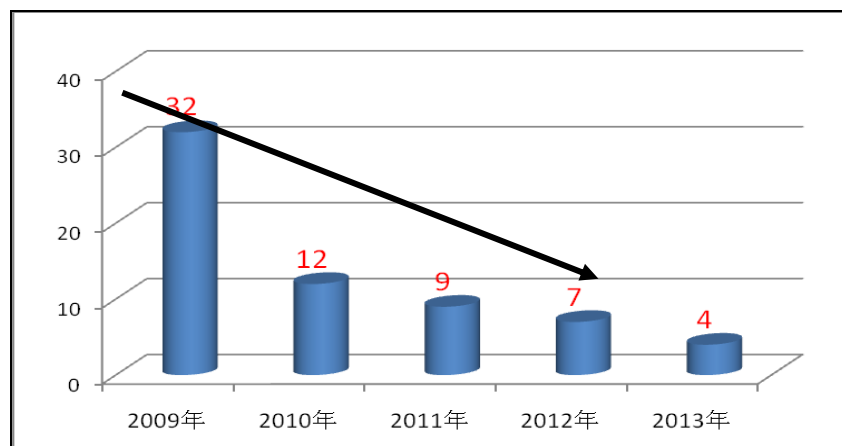


图 3-1 京唐公司各年干法卸爆控制情况

4 结语

京唐钢铁公司炼钢采用“全三脱”工艺同时配套干法除尘技术，脱碳转炉吹炼前期碳氧期提前，烟气

中 CO 含量升高速率很快。通过延长系统“前烧期”以及合理调整开吹氧气流量、枪位等操作，有效的控制和解决了“全三脱”工艺条件下干法除尘系统的卸爆难题。截止目前，京唐公司干法卸爆率稳定控制在 0.14%左右，干法系统卸爆控制达到世界先进水平。

参考文献

- [1] 张德国, 魏钢, 张宇思. 欧洲转炉干法除尘技术调研及京唐“三脱转炉”应用分析. 2007 年中国钢铁年会论文集, 2007.10.
- [2] 张福明, 张德国, 张凌义, 韩渝京, 程树森, 闫占辉. 大型转炉煤气干法除尘技术研究与应用[M]. 钢铁, 2013, 48(2): 3.
- [3] 殷瑞钰. 关于高效率低成本洁净钢平台的讨论—21 世纪钢铁工业关键技术之一 [J]. 炼钢, 2011, 27(1): 1.
- [4] 张春霞, 殷瑞钰, 秦松等. 循环经济中的中国钢厂 [J]. 钢铁, 2011, 46(7): 1.
- [5] Fingerhut W. 转炉干法除尘技术最新进展及市场动态 [J]. 李晓强, 译. 世界钢铁, 2008(5): 12.
- [6] 潘秀兰, 常桂华, 冯士超等. 转炉煤气回收和利用技术的最新进展 [J]. 冶金能源, 2010, 29(5): 37.
- [7] 张堃. 转炉煤气干法除尘回收技术展望 [J]. 冶金动力, 2009, 133(3): 71.