包钢高炉有害元素现状及其控制分析*[1]

郑占斌

(内蒙古包钢钢联股份有限公司炼铁厂,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章针对包钢炼铁厂高炉入炉有害元素碱金属、锌、硫、磷负荷等进行了详细的计算分析,摸清了各高炉入炉有害元素的主要来源及所占比重。从理论上阐述了有害元素对高炉冶炼产生的影响,并根据包钢原料条件提出了相应的有害元素控制措施,为包钢炼铁生产中有害元素的控制提供技术指导。

关键词: 高炉; 碱金属; 锌负荷; 控制措施

中图分类号: TF54 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009 - 5438(2019)01 - 0019 - 05

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2019.01.006

Current Situation and Control Analysis for Harmful Elements in Blast Furnace of Baotou Steel

Zheng Zhan - bin

(*Iron - making Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In this paper, the loads of harmful elements such as the alkali metal, zinc, sulfur and phosphorus in blast furnace of Iron - making Plant of Baotou Steel are calculated and analyzed in detail. Besides, their main sources and proportion in each blast furnace are found out. The influences of them on blast furnace process are expounded theoretically and the corresponding control measures for them are put forward according to the raw material condition of Baotou Steel, which could provide the technical guidance for controlling them in iron making process of Baotou Steel.

Key words: blast furnace; alkali metal; zinc load; control measures

冶炼优质生铁需要铁矿石中硫、磷、碱金属、锌、砷、锡等有害元素杂质含量尽可能少,原燃料中的碱金属、锌等有害元素在高炉内的循环富集给高炉生产操作带来不利影响,减少原燃料中的有害元素含量不但可以减轻其对焦炭、烧结矿和球团矿质量的影响,减少高炉熔剂的用量和渣量,而且可减轻炼钢铁水预处理工作量,并为冶炼纯净钢和洁净钢创造条件。

包钢炼铁厂目前有 5 座高炉,总容积 11 400 m^3,近几年通过不断的技术改造和创新,在冶炼特殊矿方面,各项技术经济指标有了质的飞跃和提高,但同国内同类型先进高炉相比仍有一定差距。由于受包钢所掌握资源限制,高炉使用原料品种复杂繁多,使得入炉原料有害元素负荷呈现明显的上升趋势。为了避免高炉入炉料有害元素对高炉冶炼造成影响,我厂从基础工作做起,严把原料关,严格控制入炉各种有害元素含量,通过精细管理,达到高炉生产顺行、高产的目的。

* 收稿日期: 2018 - 05 - 30

作者简介: 郑占斌(1982 -),男,内蒙古锡林郭勒盟太仆寺旗人,工程师,现从事高炉生产管理工作。

1 包钢高炉碱金属分析控制

1.1 高炉入炉碱金属负荷分析

按照大型高炉有害元素控制标准，入炉原燃料带入碱负荷应小于2.2 kg/t，很多高炉由于自身原料的特点，入炉负荷早已超出了行业控制标准。

表1 2017年包钢炼铁厂高炉入炉碱负荷 kg/t

炉号	烧结带入	球团带入	澳矿带入	焦炭带入	煤粉带入	入炉碱负荷
1#高炉	3.638	0.870	0.077	0.894	0.276	5.599
3#高炉	3.876	0.790	0.081	1.147	0.245	5.844
4#高炉	3.506	0.989	0.060	0.739	0.295	5.461
5#高炉	3.652	0.787	0.073	0.895	0.286	5.545
6#高炉	3.569	0.954	0.058	0.830	0.287	5.569

根据表1可知，包钢炼铁厂高炉入炉碱负荷主要由烧结矿带入，占比约65.08%，球团矿带入量占比约15.70%，焦炭带入量占比16.03%。

1.2 碱金属对高炉的危害

(1) 破坏焦炭质量，影响炉矿顺行。碱金属的吸附首先从焦炭的气孔开始，而后逐步向焦炭内部基质扩散，随着焦炭在碱金属蒸汽内暴露的时间延长，碱金属的吸附量逐渐增多，向焦炭基质部分扩散的碱金属会侵蚀到石墨晶体内部，破坏原有的层状结构，产生层间化合物，使焦炭产生较大的体积膨胀，导致焦炭破碎，焦炭反应性增加，反应后强度降低，炉况顺行度变差[1-2]。

(2) 破坏烧结矿、球团矿质量，影响炉矿顺行。主要表现在烧结矿中的碱金属使烧结矿的中温还原粉化率增加，从而影响高炉料柱的透气性，对高炉顺行造成影响。此外，碱金属时会使软熔温度区间变宽，导致压差相应升高，渣铁滴落困难，对高炉冶炼不利。主要体现在对球团矿还原膨胀率的影响。造成高炉料柱透气性变差，高炉难行[3-4]。

(3) 造成炉缸、炉底侵蚀速度加快。碱金属易在炉内循环富集，液态碱金属碳酸盐沿碳砖砖缝进入碳砖里与碳发生反应，生产的碱金属蒸汽沿空隙进一步向碳砖内部渗入并通过晶格扩张，碱金属与碳作用形成的层间化合物，引起膨胀，导致碳砖组织的破坏。其次，碱金属能降低高炉内碳被CO_2氧化的温度，在没有碱金属的存在时，反应在1 000 ℃以上才能剧烈进行，当有碱金属存在时，反应在900 ℃就开始剧烈进行，且氧化速率提高几倍，从而加速碳砖的化学侵蚀。最后，在炉缸845～900 ℃的温度区域产生一富碱层，该碱层是由含碱金属蒸汽的炉缸煤气在上述温度范围冷凝分离出来的高浓度碱溶液，这种碱溶液会使炉缸碳砖体在竖直方向和水平方向都产生较大的体积膨胀，导致炉缸碳砖产生环缝，造成炉缸的恶行膨胀。

(4) 碱金属对高炉的另一个危害就是造成高炉结瘤。碱金属被认为是造成高炉结瘤的主要因素之一。在高炉上部氰化物被氧化并在炉衬表面逐渐形成一层粘稠的碱金属渣，炉料中的细小颗粒就粘附在它上面，最后，粘稠的渣相吸收更多碱金属并结晶出硅铝酸钾，形成炉瘤。但基本都跟碱金属在高炉内的循环富集有关。特别是在入炉碱金属负荷较高的时候尤为明显。

1.3 碱金属危害的控制措施

(1) 严把原燃料质量，保证入炉碱负荷达到允许的范围。目前包钢炼铁主要的铁料是白云鄂博铁矿，其中K、Na含量较高，为了降低碱金属入炉量，必须严格控制白云鄂博铁矿的配加比例。

(2) 高炉操作采用高压控制手段。通过提高炉顶压减少碱金属的气化量，减少循环富集，从而通过炉渣带出的碱金属量增加。

(3) 增加烧结矿中MgO含量。考虑到碱金属对高炉带来许多不利因素，通过提渣中MgO含量可降低渣中K_2O、Na_2O活度，提高炉渣排碱能力。

(4) 控制好炉渣碱度。通过降低炉渣碱度到1.05～1.10之间，炉渣流动性良好，对排碱有利。

(5) 合理控制气流分布。根据冷却壁、炉衬温度的变化情况以及炉况表现，通过疏松边缘等措施，防止炉墙结厚，同时及时调整负荷，减少粘结物对高炉生产的影响。

根据对入炉烧结矿、球团矿、澳矿、燃料以及熔剂中碱金属含量的调研分析得出目前包钢高炉入炉平均碱金属负荷为5.5 kg/t，远高于标准入炉碱金

属负荷 3 kg/t 的水平，因此，入炉碱金属负荷必须加以稳定控制。

2　包钢炼铁厂高炉锌元素分析控制

2.1　高炉入炉锌负荷分析

根据对入炉烧结矿、球团矿、澳矿、燃料以及熔剂中锌含量的调研分析得出目前包钢高炉入炉平均锌负荷为 1.0 kg/t，远高于标准入炉锌负荷 0.15 kg/t的水平。

表 2　2017 年包钢炼铁厂高炉 Zn 负荷　　kg/t

炉号	烧结带入	球团带入	澳矿带入	煤粉带入	焦炭带入	入炉 Zn 负荷
1#高炉	0.740	0.537	0.016	0.004	0.015	1.309
3#高炉	0.730	0.411	0.016	0.004	0.015	1.175
4#高炉	0.388	0.342	0.013	0.004	0.012	0.755
5#高炉	0.758	0.480	0.016	0.005	0.015	1.268
6#高炉	0.393	0.285	0.012	0.004	0.017	0.705

根据表 2 分析可知，包钢炼铁厂高炉入炉 Zn 负荷主要由烧结矿和球团矿带入，其中烧结矿带入占比约 57.11%，球团矿带入占比约 39.92%。

2.2　锌对高炉的影响

锌对高炉生产带来的危害主要有造成结瘤、侵蚀炉衬、破坏铁矿石和焦炭的冶金性能三个方面。

(1) 造成高炉结瘤。ZnO 蒸汽在上升过程中，ZnO 会冷凝粘结在上升管、下降管、炉喉及炉身上部砖衬上，导致炉顶压力异常，严重时使煤气管道受损。冷凝粘结在砖衬上形成高 Zn 尘垢，这些高 Zn 尘垢在条件具备时就转变为高 Zn 炉瘤。这些锌炉瘤含 ZnO 一般都在 60% 以上，部分 Zn 炉瘤的 ZnO 含量可以达到 90% 以上。这些 Zn 瘤破坏炉料的下降和煤气流的上升，使煤气分布失常，导致炉况失常。Zn 瘤滑落时又会引起风口灌渣和烧坏。

(2) 侵蚀炉衬。渗入炉衬砌缝和孔隙中的 ZnO 蒸汽沉积氧化，体积膨胀使砖衬受到破坏甚至炉壳开裂。单就对炉衬的侵蚀来说，Zn 对炉衬的侵蚀作用远小于碱金属对炉衬的侵蚀作用。

(3) 破坏铁矿石和焦炭冶金性能。渗入铁矿石和焦炭的孔隙中 Zn 蒸汽沉积氧化成 ZnO 后，一方面由于体积的膨胀(锌的密度为 7.13 g/m^3，氧化锌的密度 5.789 g/m^3) 会增加铁矿石和焦炭的热应力，破坏铁矿石和焦炭的热态强度，使烧结矿和球团矿的低温还原粉化指数 ($RDI_{-3.15}$) 有所提高，焦炭的反应后强度(CSR) 有所降低。同时也会堵塞铁矿石和焦炭的孔隙，恶化高炉料柱的透气性，给高炉冶炼带来不利的影响。

2.3　高炉锌危害的控制措施

(1) 严把原料质量关。含铁原料的进厂和入炉把关是控制各种有害元素最有效的办法，在原料的采购过程中，应按供货质量标准要求对原料中的 Zn 含量进行严格控制，以降低进厂原料中的锌含量。根据调研分析巴润矿、自产矿中锌含量较高，在后期的优化配矿中应该考虑合理利用锌含量较高的铁料，从而达到稳定炉料中锌的入炉量。

(2) 含铁尘泥的合理处理。烧结生产中将高炉布袋除尘灰等含锌较高的冶金尘泥开路外排，不再返回烧结配料中使用，切断它们在烧结和炼铁内部的循环。合理调整和控制高炉重力除尘灰、炼钢污泥在烧结混匀料中的配入时机和条件。通过对含锌成分较高的循环杂料阶段性外排或控制使用，就从根源上控制住锌的主要来源，会大大减轻高炉自身的锌循环富集程度，从而避免给高炉造成严重危害。

(3) 提高入炉矿的冶金性能。通过优化生产工艺和配料结构，提高烧结矿、球团矿的强度，加强原燃料筛分，减少粉末入炉，能缓解锌对高炉原料的破坏作用，为改善高炉料柱透气性和炉况顺行提供了物质基础，有利于高炉减轻锌元素危害。

3　高炉硫元素分析控制

3.1　高炉入炉硫负荷分析

表3 2017年包钢炼铁厂高炉S负荷 kg/t

炉号	烧结带入	球团带入	澳矿带入	煤粉带入	焦炭带入	入炉S负荷
1#高炉	0.420	0.074	0.031	0.540	4.015	5.002
3#高炉	0.443	0.060	0.044	0.487	5.106	5.323
4#高炉	0.340	0.066	0.025	0.524	3.523	4.414
5#高炉	0.418	0.060	0.029	0.562	4.014	5.007
6#高炉	0.346	0.063	0.024	0.505	3.954	4.831

根据表3分析可知，包钢炼铁厂高炉入炉S负荷主要由焦炭带入，占比约83.60%，煤粉带入占比约10.3%，烧结矿带入占比约8.0%。

3.2 硫对高炉冶炼的影响

硫对高炉的主要影响是硫含量增加，焦炭消耗增加，原燃料中硫含量每增加0.1%，熔剂和焦炭的消耗就要增加1.2%～2.0%，高炉铁水产量降低2%。

3.3 高炉硫危害的控制措施

(1) 严把焦炭质量关，严格控制焦炭配合煤中硫含量的控制上限。

(2) 适当提高炉渣碱度和控制适应的炉渣成分，CaO、MgO均对脱硫有利，而SiO_2和Al_2O_3均不利于脱硫反应。因此，提高炉渣碱度有利于脱硫效率的提高。

(3) 提高温度。由于脱硫是吸热反应，保持适宜的炉缸温度，促进脱硫的吸热反应和离子扩散，有利于脱硫效率的提高。

4 高炉入炉磷元素分析控制

4.1 高炉入炉磷负荷分析

根据对入炉烧结矿，球团矿，澳矿，燃料以及熔剂中磷含量的调研分析得出目前包钢高炉入炉平均磷负荷为1.5～1.7 kg/t，国标要求生铁中磷含量0.15%以下，国内大部分高炉磷含量控制在0.12%以下。

表4 2017年包钢炼铁厂高炉入炉P负荷 kg/t

炉号	烧结带入	球团带入	澳矿带入	煤粉带入	焦炭带入	入炉P负荷
1#高炉	0.835	0.141	0.136	0.089	0.447	1.603
3#高炉	0.848	0.106	0.165	0.121	0.474	1.614
4#高炉	0.914	0.145	0.110	0.107	0.362	1.615
5#高炉	0.801	0.121	0.129	0.088	0.448	1.559
6#高炉	0.923	0.143	0.105	0.118	0.398	1.665

根据表4分析可知，包钢炼铁厂高炉入炉P负荷主要由烧结矿和焦炭带入，其中烧结矿带入占比约为53.61%，焦炭带入占比约为26.46%，球团带入量占比约8.14%，澳矿带入量占比约8.01%，煤粉带入量占比约6.48%。

4.2 磷元素对高炉冶炼的影响

磷对钢材来说也是常见有害元素之一，它使钢材产生“冷脆性”。铁矿石中的磷，在高炉冶炼时100%进入生铁，烧结也不能脱磷，控制生铁含磷量主要是靠控制铁矿石含磷量。脱磷只能通过炼钢来进行，增加了炼钢的脱磷成本。因此，铁矿石含磷越低越好。

4.3 高炉磷元素控制措施

控制生铁含磷量主要是靠控制铁矿石含磷量。由于P在炼铁工艺中基本不能去除，可以认为进入生铁中的P全部由原燃料带入，因此主要考虑从控制原燃料中的P含量来控制生铁中的P含量，烧结矿占入炉P负荷的50%～60%，主要考虑降低烧结矿P含量来降低生铁P含量。

5 结论

(1) 针对包钢高炉各入炉有害元素种类多、含量高的问题，建议包钢炼铁生产主要以稳定原料质量为主，做好前期来料监控，通过合理有效的配矿来

稳定各高炉有害元素的入炉水平。

(2) 针对包钢高炉入炉碱负荷、硫负荷高，且存在炉渣脱硫排碱矛盾的问题，建议包钢炉渣碱度控制在 1.05 ~ 1.10 之间，操作上尽量按 1.08 控制，以便可以取得良好的炉渣脱硫排碱的效果。

(3) 高炉操作上，应尽量控制好中心和边缘两股气流稳定炉况，在高 Zn 负荷条件下，以便能更好的通过煤气流实现炉内 Zn 负荷的降低排出工作，同时日常生产中，要严密监控风口工作状态，避免由于 Zn 的富集造成风口损坏进而造成不必要的生产事故。

参 考 文 献

[1] 吕晓芳，刘玉江. 关于高炉有害微量元素的控制 [J]. 南方金属，2008，(6)：21 - 23.

[2] 吕桂双，张波波，刘永新，等. 碱金属对焦炭热性能的影响 [J]. 河北冶金，2007，(2)：26 - 28.

[3] 徐君，赵俊国，李超，等. 碱金属氧化物对焦炭高温热性能的影响研究 [J]. 河南冶金，2008，16(3)：5 - 6.

[4] 刘伟. 高炉碱金属行为的研究 [D]. 武汉：武汉科技大学，2004.

(上接第 11 页)

6.2　效益分析

2018 年主采场穿孔超深优化实验爆区共 27 区，与 2017 年同期相比，减少穿孔超深 0.5 ~ 1.0 m，取得效益及数据总结整理如下：

(1) 提高穿孔延米单耗 4.1 t/m；减少了废孔率，提高穿孔效率 7% ~ 10%，降低穿孔费用 36 万元。

(2) 降低爆破炸药单耗 11.7 t/kg；减少炸药使用费用 93 万元；降低大块二次破碎费用 64 万元。

(3) 爆区振动测量仪采集数据分析，减少爆破振动 8% ~ 13%，提高炸药爆破有用功；提高了采场边坡稳定性。

(4) 降低穿孔超深可减少水孔数量 12% ~ 30%；减少了水炸药的使用量，同重量粒状铵油炸药比乳化炸药在 310 mm 炮孔药柱高度提升 25%，药包分布更为合理，提高了爆区整体破碎效果，同时降低了炸药单耗。

(5) 提高爆破设计及施工管理的精细化、定量化程度，实现了爆破质量的稳定性及可操作性目标。

(6) 采场台阶底板平整度提高为 (±0.5) m/200 m；与设计标高基本相符。

7　结论

(1) 优化穿孔超深降低了穿、爆成本，减弱爆破地震危害，解决了底板浮碴厚且厚薄不均匀问题，严格执行设计标高，改善了采场面貌，降本增效效果显著，有力的提升了矿山核心竞争力。

(2) 超深的优化应与孔网参数的优化紧密结合，且根据岩性变化实时调整，对穿孔和爆破施工质量要求较高，只有持之以恒、持续改进，才能形成良性工艺循环，取得更大的经济和社会效益；实施经验具有较大的推广价值。

参 考 文 献

[1] GB6722 — 2014，爆破安全规程 [S].

[2] 魏格平. 昊达露天煤矿台阶爆破振动影响因素及减振实验 [J]. 工程爆破，2017 (5)：33 - 37.