



高炉燃料中 Al₂O₃ 的含量分析及其控制

夏红波¹, 张启锋¹, 高晋生²

(1 宝钢分公司 制造管理部, 上海 201900; 2 华东理工大学 能源化工系, 上海 200237)

摘要:分析了目前宝钢高炉炉料结构下燃料带入的 Al₂O₃ 负荷。重点分析了目前宝钢使用的炼焦煤、喷煤的 Al₂O₃ 含量, 得出了煤中 Al₂O₃ 含量与镜质组随机反射率、灰分的线性关系。通过提高配煤技术, 适当配些低变质程度煤, 以及特低 Al₂O₃ 含量的煤, 可以降低焦炭中 Al₂O₃ 含量。提高烟煤使用比例, 可以降低喷吹煤中 Al₂O₃ 含量。

关键词:高炉燃料; Al₂O₃; 炼焦煤; 喷吹煤

中图分类号: TF526

文献标识码: A

文章编号: 1004-4620(2008)04-0028-02

1 前言

一般矿石中的脉石和固体燃料灰分的主要成分是 SiO₂ 和 Al₂O₃, 它们的熔点高, 在高炉很难熔化。为使其顺利排出, 需要加入主要成分为 CaO 和 MgO 的熔剂, 与 SiO₂ 和 Al₂O₃ 形成低熔点的化合物或共熔体^[1]。为节能降耗和提高高炉利用率, 减少带入高炉的 Al₂O₃ 数量、控制 Al₂O₃ 负荷显得越来越重要。在保证总成本最优的前提下, 深入分析高炉燃料中 Al₂O₃ 的来源、负荷, 将有助于高炉矿石、炼焦及喷吹配煤的结构优化。

2 高炉炉渣中 Al₂O₃ 的负荷来源

高炉炉渣中 Al₂O₃ 的来源有矿石和燃料(包括焦炭、喷煤)。2006 年宝钢分公司高炉中 Al₂O₃ 的负荷见表 1。主原料带入的 Al₂O₃ 占 55.74%, 燃料占 44.26%。其中焦炭带入 30.66%, 燃料中焦炭是主要

表 1 高炉中 Al₂O₃ 的负荷测算

项 目	使用比 例/%	吨耗/ (kg·t ⁻¹)	Al ₂ O ₃ / %	带量/ (kg·t ⁻¹)	比例/ %
烧结矿	73.2	1 174.3	1.65	19.38	45.28
球团矿	7.1	113.1	0.35	0.39	0.91
精块矿	19.7	316.6	1.29	4.09	9.56
主原料计	100.0	1 604.1	1.49	23.86	55.74
焦炭		289.9	4.55	13.12	30.66
燃料 喷煤		208.0	2.85	5.82	13.60
小计					44.26
合计				42.79	100.00

的 Al₂O₃ 带入源。

3 煤中 Al₂O₃ 含量分析

3.1 炼焦煤中的 Al₂O₃ 含量分析

目前室式炼焦过程的最终温度约为 950 ~ 1 050 °C^[2], 远远达不到 Al₂O₃ 的沸点, 故炼焦煤中的 Al₂O₃ 全部转移到焦炭中。宝钢炼焦煤灰分中 Al₂O₃

表 2 炼焦煤中 Al₂O₃ 含量 %

品种	灰中 Al ₂ O ₃	灰分	煤中 Al ₂ O ₃
主焦煤	36.66	10.03	3.76
肥煤	37.51	9.74	3.79
气煤	31.51	7.17	2.59
瘦煤	37.41	10.11	3.97
1/3 焦煤	35.75	8.89	3.17

含量变化见表 2。

1) 强黏煤。强黏煤(主焦煤和肥煤)作为主要的炼焦配煤品种, 在配煤中的使用比例约占一半, 甚至更高, 其 Al₂O₃ 含量基本决定焦炭中 Al₂O₃ 含量的高低。2006 年宝钢用主焦煤的 Al₂O₃ 平均含量为 3.76%, 肥煤 Al₂O₃ 平均含量为 3.79%, 仅次于瘦煤。处于全国平均水平。

东北地区煤炭的灰分中 Al₂O₃ 含量特别低, 只有 20% ~ 30%。进口强黏煤不仅灰中 Al₂O₃ 含量低于国内强黏煤的平均水平, 同时灰分也属于较低的水平, 故煤中的 Al₂O₃ 数量更低。国内也有低灰强黏煤, 其灰分只有 6% ~ 7%, 低于一般强黏煤灰分约 10% 的水平。这类煤炭资源宝贵, 应有计划地开发利用。

2) 气煤。气煤的灰分是各类炼焦煤中最低的, 约 7%。气煤中的 Al₂O₃ 含量也是最低的, 平均为 2.59%, 远低于其他煤种。由于其配入量仅次于强黏煤, 对焦炭灰分中 Al₂O₃ 含量影响的权重较大。

3) 其他煤种。瘦煤中平均 Al₂O₃ 含量约在 4.0%。瘦煤的灰分和灰中 Al₂O₃ 含量是各类炼焦煤中最高的。1/3 焦煤中平均 Al₂O₃ 含量较气煤高, 较强黏煤和瘦煤低。

3.2 喷吹煤中 Al₂O₃ 含量分析

表 3 喷吹煤中的 Al₂O₃ 含量 %

品种	灰中 Al ₂ O ₃	灰分	煤中 Al ₂ O ₃
无烟煤	34.00	9.34	3.25
烟煤	17.38	6.03	1.05

喷吹煤中的 Al₂O₃ 含量见表 3。

收稿日期: 2008-03-31

作者简介: 夏红波, 男, 1975 年生, 1998 年毕业于华东冶金学院化工工艺专业; 2007 年获华东理工大学工程硕士学位。现为宝钢股份宝山分公司制造部工程师, 从事炼焦配煤技术工作。

喷吹煤灰分中 Al_2O_3 含量低的品种是烟煤,均低于18%,该类煤灰分也低,故煤中 Al_2O_3 含量极低,约为1.0%。无烟煤中只有宁夏内蒙地区的部分无烟煤以及部分进口无烟煤中 Al_2O_3 含量较低,该类煤灰分也低(约5%~7%)。其他无烟煤灰分的 Al_2O_3 含量均很高。

4 Al_2O_3 含量与镜质组反射率、灰分的关系

煤中 Al_2O_3 是与煤伴生的,研究表明,中国煤中铝与镜质组油浸随机反射率呈临界正相关^[3],其含量随煤化程度的增高而增加。图1为2006年宝钢用42种国内煤的 Al_2O_3 含量与镜质组反射率的一元回归方程,其相关系数经显著性检验,表明国内煤中 Al_2O_3 含

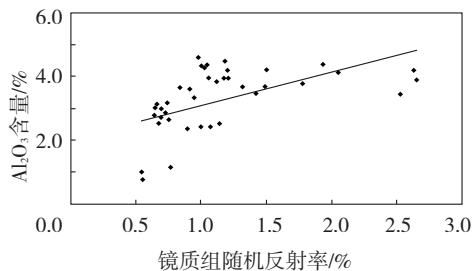


图1 国内煤 Al_2O_3 含量随镜质组随机反射率的变化趋势
量与镜质组反射率的线性相关关系特别显著^[4]。

2006年宝钢测定了42种国内煤的 Al_2O_3 含量及其干基灰分,相应关系见图2。线性相关系数为

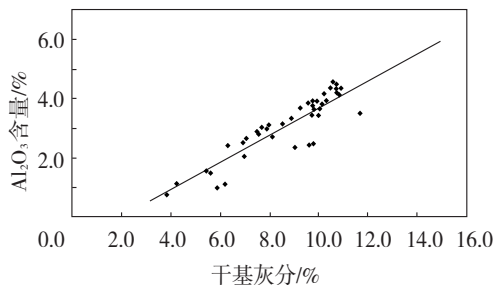


图2 国内煤 Al_2O_3 含量随煤灰分的变化趋势

0.90,表明煤灰分越高,煤中 Al_2O_3 含量越高。

5 宝钢高炉燃料中 Al_2O_3 含量的控制

5.1 焦炭、喷煤 Al_2O_3 含量控制实绩

图3是2006年宝钢一期焦炭 Al_2O_3 含量的控制实绩,全年平均值为4.53%,标准偏差为0.13%。图4是2006年宝钢1号高炉喷吹煤 Al_2O_3 含量的控制实

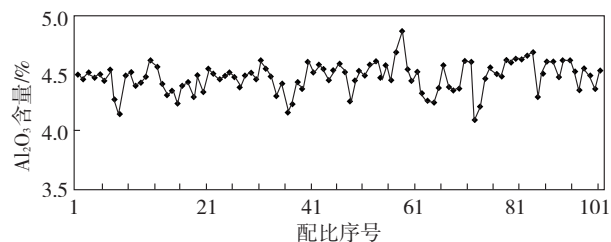


图3 2006年一期焦炭 Al_2O_3 含量的变化

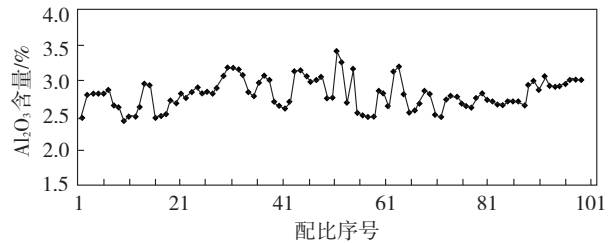


图4 2006年1号高炉喷煤 Al_2O_3 含量的变化

绩,全年平均为2.79%,标准偏差为0.21%。

5.2 降低高炉燃料中 Al_2O_3 含量的途径

根据2006年宝钢焦炭及喷吹煤 Al_2O_3 实际控制情况,提高喷吹煤比是降低高炉燃料中 Al_2O_3 含量的有效措施。降低进厂煤的灰分,能有效降低煤中 Al_2O_3 含量。通过降低灰分不仅能降低喷煤、焦炭的 Al_2O_3 含量,还能降低高炉燃料比。炼焦配煤在确保焦炭强度的前提下,通过多配低变质程度煤,能降低焦炭中 Al_2O_3 含量。喷吹煤中烟煤变质程度远较无烟煤低,其煤中 Al_2O_3 含量远低于无烟煤,因此提高喷煤中烟煤比例能有效降低喷煤的 Al_2O_3 含量。

5.3 进一步降低高炉燃料中 Al_2O_3 含量的措施

由于优质炼焦用强黏煤资源日趋紧缺,其灰分进一步降低的可能性不大,故该类煤中 Al_2O_3 含量降低的潜力不大。但目前国内强黏煤中 Al_2O_3 含量有个别地区在全国平均水平之下,如东北地区强黏煤。该类煤其成煤年代属晚侏罗纪,陆相成煤,其灰中 Al_2O_3 含量低于同变质程度国内其它地区煤。因此,要多开发不同地区强黏煤资源,合理搭配,充分利用各地区煤的优点。

目前进口的澳大利亚、加拿大煤中 Al_2O_3 含量低于同变质程度国内煤,在日常配煤中均匀使用,有助于控制焦炭、喷煤中 Al_2O_3 含量。

国内部分侏罗纪煤灰中 Al_2O_3 低于20%,而且该类煤灰分也低,致使该类煤中 Al_2O_3 含量低于1%。虽然该类煤没有黏结性,但在炼焦配煤中小批量使用降低 Al_2O_3 含量的作用明显。

6 结论

6.1 目前高炉炉料结构情况下,作为高炉燃料的焦炭带入的 Al_2O_3 约为30.66%,喷煤带入的 Al_2O_3 约为13.60%。在高炉 Al_2O_3 总负荷一定的前提下,控制并降低燃料中 Al_2O_3 含量,为矿石结构优化提供了进一步的空间。

6.2 煤中 Al_2O_3 含量与煤灰分呈线性相关,降低煤炭灰分也可有效降低煤中 Al_2O_3 含量。

6.3 宝钢用国内煤的 Al_2O_3 含量随镜质组反射率升高而增加。通过提高配煤技术,适当配些低变质程度煤,以及特低 Al_2O_3 含量的煤,可以降低焦炭中

出口高度高、热风出口处直径大、温度高、热风总管与热风围管不在同一高度的热风管道补偿问题。

5)其他。优化烧嘴结构、预燃室烧嘴角度及数量调整、耐火材料调整、蓄热室耐火材料区域分布调整、空煤气预热等方面进行改进。

4 顶燃式热风炉的发展

除莱钢从2001年起采用带预燃烧室的顶燃式热风炉外,天钢3 200 m³高炉、安阳3 200 m³高炉、通钢2 680 m³高炉、济钢1 750 m³高炉、杭钢1 260 m³高炉、南昌1 250 m³高炉、首秦1 260 m³高炉、山东石横1 080 m³高炉、重钢750 m³高炉、凌钢750 m³高炉、淮钢450 m³高炉、济源450 m³高炉等都采用带预燃烧室的顶燃式热风炉,正在设计和建设中的曹妃店5 500 m³高炉、重钢2 500 m³高炉和吉林建龙1 800 m³高炉、河南汉冶集团1 500 m³高炉、山东鲁丽集团1 080 m³高炉也采用了带预燃烧室的顶燃式热风炉,顶燃式热风炉在我国得到较快的发展。

随着我国高炉冶炼强度的提高和炼铁技术的进步,对热风温度提出了更高的要求,热风温度要达到1 200~1 250 ℃,甚至1 300 ℃,对热风炉结构的选择就更加重要。

带预燃室的顶燃式热风炉空气煤气混合均匀,

燃烧充分,拱顶温度和热风温度的温差小,气流分布均匀,热风温度高,在同等条件下,与内燃式热风炉相比,热风温度提高100 ℃,降低热风炉高度10%,降低投资10%。通过优化烧嘴结构、加强模拟分析、改进炉底结构,降低预燃室耐火材料的热震性,合理配置热风管道,合理选取过渡区高度,配置不同企业要求的烘炉燃烧器,可进一步完善现有结构,克服存在问题,达到理想效果。

参考文献:

- [1] 毛庆武,张福明,张建,等.首钢高炉高温技术进步[C]//中国金属学会.2007中国钢铁年会论文集(第3部分).北京:冶金工业出版社,2007:30.
- [2] 姚朝胜,黄东生.顶燃式热风炉的现状与发展[C]//中国金属学会.高温长寿命热风炉研讨会论文集.2005.
- [3] 王标华,黄素逸,戴方钦.顶燃式热风炉陶瓷燃烧器模型的数值模拟[J].冶金能源,2007,26(2):24-27.
- [4] 李超,李学华,贺友多,等.卡鲁金顶燃式热风炉预燃室和拱顶流动的数值模拟[J].科技情报开发与经济,2007,17(17):175-176.
- [5] 张炳哲,张欣欣,于帆,等.济钢顶燃式热风炉烟气分布研究[J].工业加热,2006,35(2):44-47.
- [6] 于帆,张欣欣,张炳哲,等.顶燃式热风炉燃烧室烧嘴角度的优化设计[C]//中国机械工程学会.第七届全国工业炉学术年会论文集.2006.
- [7] 郭敏雷,程树森,张福明,等.热风炉燃烧期格子砖温度分布计算[C]//中国金属学会.2007中国钢铁年会论文集(第3部分).北京:冶金工业出版社,2007:89.

Application and Development of Top-firing Hot Blast Stove

HUANG Dong-sheng, WANG Rong-en

(Shandong Province Metallurgic Engineering Co., Ltd., Jinan 250014, China)

Abstract: The application and development of top-firing hot blast stove is introduced. The existing problems for example high requiring for hot blast pipeline compensating and warp of rigid bottom structure etc, are analyzed. The improve measures and researching works for example pre-chamber with heal insulation wall, improving of bottom structure, suitably hot blast pipeline compensating and height of transition zone, burner for different factory requiring, adjusting burner angle and adjusting burner number etc, are proposed. The future of top-firing hot blast stove is good.

Key words: blast furnace; top-firing hot blast stove; hot blast pipeline; bottom structure of hot blast stove; burner

Al₂O₃含量。提高烟煤使用比例,可以降低(下转第32页)(上接第29页)

喷吹煤中Al₂O₃含量。

6.4 进口炼焦煤和部分进口无烟煤中Al₂O₃含量低于同变质程度国内煤,在价格合适的情况下,可以多配些进口煤,有助于降低配合煤的Al₂O₃含量,最终

降低高炉燃料中的Al₂O₃含量。

参考文献:

- [1] 夏幸明.钢铁生产概论[M].宝钢职工大学,1990:63.
- [2] 姚昭章.炼焦学[M].2版.北京:冶金工业出版社,1995:57.
- [3] 许琪,韩德馨,金奎励,等.煤中49种元素含量与煤岩组分和煤化程度的相关关系[J].中国矿业大学学报,1990,19(3):48-57.
- [4] 沈恒范.概率论与数理统计教程[M].4版.北京:高等教育出版

Analysis and Control of Al₂O₃ Contents in Blast Furnace Fuel

XIA Hong-bo¹, ZHANG Qi-feng¹, GAO Jin-sheng²

(1 Manufacturing Management Department of Baosteel Branch, Shanghai 201900; 2 Department of Chemical Engineering for Energy Resources, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237)

Abstract: The Al₂O₃ contents in Baosteel's blast furnace fuel were analyzed. It emphasized to analyze the Al₂O₃ contents in coking coal and PCI coal. It was revealed that the correlativity between vitrinite random reflectance and Al₂O₃ contents was linearity. And ash and Al₂O₃ contents were also lineate. By improving the technology of coal blending and blending coals of very low ash contents and very low Al₂O₃ contents, the Al₂O₃ contents in coke can be reduced. To increase the ratio of bituminous coal, the Al₂O₃ contents in PCI coal can be reduced.