

宁钢高炉喷吹煤配煤结构探究

刘维勤¹,陈洪¹,吴雨²,王平²,俞书才²

(1. 宁波钢铁股份有限公司 炼铁厂,浙江 宁波 315807;2. 安徽工业大学 冶金工程学院,安徽 马鞍山 243032)

摘要:制定合理的配煤方案对改善喷煤效果、降低燃料成本具有重要意义。以宁钢高炉5种喷吹煤及混合煤为实验原料,进行煤粉可磨性、着火点、煤灰熔融性和热重分析实验,分析各种煤粉的基础性能。在此基础上,调整煤粉配煤成分,确定经济高效的喷吹煤配煤结构。结果表明:配煤应以烟煤为主,稳定低挥发无烟煤配比,适当调整中挥发无烟煤的比例;在烟煤配比(质量分数) $\geq 35\%$ 的条件下,煤粉挥发分质量分数控制在目标值18%左右,既能满足喷煤安全生产的需求,又能满足高炉生产对喷吹煤成分指标的要求。

关键词:高炉喷吹;煤粉性能;配煤结构

中图分类号:TF 05 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1671-7872.2017.01.002

A Study of Pulverized Coal Blending Structure of Blast Furnace Injection in Ningbo Steel

LIU Weiqin¹, CHEN Hong¹, WU Yu², WANG Ping², YU Shuca²

(1. Iron Works, Ningbo Iron and Steel Limited by Share Ltd., Ningbo 315807, China; 2. School of Metallurgical Engineering, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243032, China)

Abstract: Generating a reasonable coal blending scheme is of important significance for improving the effect of pulverized coal injection and reducing fuel cost. Taking five kinds of pulverized coal and mixed coal of blast furnace in Ningbo Steel as the materials, experiments of pulverize coal grindability, ignition, ash fusibility and thermal gravimetric analysis were carried out, the performances of various coal were analyzed. On this basis, the pulverized coal blending components were adjusted to determine the economic and efficient coal blending structure. Results show that coal blending should be based on bituminous coal, the ratio of low volatile anthracite should be stabilized, the proportion of volatile anthracite should be advisably adjusted. In condition of bituminous ratio more than 35% (mass fraction), the pulverized coal volatile should be controlled in the target value about mass fraction of 18%, which can not only meet the needs of safe production of coal powder injection, but also can meet the requirements of blast furnace production to the composition index of coal injection.

Key words: blast furnace injection; performance of pulverized coal; coal blending structure

随着高炉向大型化发展,大喷煤、高风温、高富氧已成为高炉技术进步的主流。高炉喷吹以煤代焦,可缓解焦煤的资源短缺,降低生铁成本,具有良好的经济效益和社会效益,是改变高炉能源结构的关键技术,也是一项有效的节能措施。为满足高炉喷吹用煤的工艺要求,要求高炉喷吹用煤具备发热值高、易磨、燃烧性能好、灰分和硫分低等特点。随着高炉喷煤量的提高,合理的配煤结构对稳定生产、降焦节能的作用越来越重要^[1-2],其中煤种选择及质量控制直接影响喷吹用煤的煤质^[3]。目前,国内外主要以烟煤比例或挥发分高低为依据确定高炉喷吹的配煤方案,无统一标准^[4]。如郁建宁^[5]实验研究得出,马钢2 500 m³高炉喷吹适宜的配煤结构为质量分数50%的永城青町煤(无烟煤)配加质量分数为50%的神府煤(烟煤);黎均红等^[6]基于重钢高炉

收稿日期:2016-08-22

基金项目:国家自然科学基金项目(51474002)

作者简介:刘维勤(1964—),男,浙江宁波人,高级工程师,主要研究方向为高炉炼铁。

喷吹煤种的特性与其冶炼制度,对喷吹对高炉冶炼过程和产品质量的影响进行了研究,结果表明,重钢喷吹煤合理组成为烟煤质量分数为45%~50%、无烟煤质量分数为50%~55%,且烟煤质量分数为45%~50%时,反应指数最高;马新林等^[7]基于酒钢高炉优化喷煤实践,提出改质煤用于高炉喷吹,配加质量分数达20%,替代部分价格较高的无烟精煤,并逐步提高了动力煤配比,动力煤配比由25%(质量分数,下同)最高提高到52%。但由于煤源产地、开采方法、运输方式的不同,马钢、重钢、酒钢高炉喷吹的配煤方案不完全适宜于宁钢。因此,笔者根据宁钢具体生产实践,提出一套符合自身的配煤方案并用于指导高炉喷煤,这对优化喷煤效果、改善高炉喷煤比、提高资源综合利用具有重要的意义。

1 实验原料及方法

1.1 实验原料

实验原料取自宁钢高炉5种喷吹煤及混合煤,其中喷吹煤分别为烟煤、低挥发无烟煤、中挥发无烟煤1、中挥发无烟煤2、中挥发无烟煤3。将煤样品置于鼓风干燥箱内105℃条件下干燥4h后,破碎、筛分,选择粒度在0.074~0.038mm之间的样品进行工业分析,结果见表1。表中:Vdaf为干燥无灰基挥发分;Vd为干燥基挥发分;Mt为全水分;Ad为干燥基灰分;Std为全硫(空气干燥基);Fcd为固定碳; Q_d 为单位热值。

表1 宁钢高炉原煤成分(w%)

Tab.1 Composition of raw coal of Ningbo Steel (w%)

煤种	Vdaf	Vd	Mt	Ad	Std	Fcd	Q_d /(MJ/kg)
烟煤	34.21	32.39	14.51	5.31	0.44	62.30	30.08
低挥发无烟煤	3.24	2.85	11.27	12.07	0.61	85.08	29.08
中挥发无烟煤1	8.79	7.83	9.36	10.86	0.50	81.30	30.97
中挥发无烟煤2	10.79	9.70	7.95	10.13	0.47	80.18	31.74
中挥发无烟煤3	12.59	11.42	9.58	9.31	0.32	79.27	30.80

1.2 实验方法

1.2.1 煤粉喷吹特性的测定

煤粉的可磨性、着火点、灰熔融性等煤质特性是高炉喷煤的重要参考指标。煤粉的可磨性指数是估算煤粉制备难易程度及其耗电情况的基本参数,常用来表征煤粉的可磨性。实验中采用哈氏可磨系数哈磨指数测定仪测定煤粉的可磨性指数,指数越高表明煤粉越易磨。采用GB/T18511—2001《煤的着火温度测定法》中亚硝酸钠法测定煤粉爆炸性,将5种煤粉试样置于微型电炉的铂片上,通电逐渐升温,用光电管和微机系统测定煤粉体积突然膨胀或升温速度突然增加时的温度,此时的温度为煤粉的着火温度,即着火点。

煤灰熔融性即煤中矿物质在高温下的熔融性能,主要以变形温度(DT)、软化温度(ST)、半球温度(HT)和流动温度(FT)等4种温度为性能参数指标。其中变形温度、软化温度、半球温度和流动温度分别为试样高度收缩10%,30%,50%和80%时的温度。测定5种喷吹煤及混合煤试样上述4种温度,对其煤灰熔融性进行分析。

1.2.2 煤粉燃烧性实验

热重实验是研究煤粉燃烧性的重要手段之一^[8]。采用北京光学仪器厂WCT-2型微机差热天平对6种煤粉样品进行热重实验。实验开始前通入流量为100 mL/min的空气5 min,使反应器内气体流量稳定。为消除质量对气体扩散的影响,煤样质量均为5 mg,将煤粉样品置于差热天平的坩埚,以15℃/min的升温速率由室温升至900℃。实验过程中各煤粉样品质量变化情况由计算机实时记录,并通过数据处理得到煤样失重曲线(TG曲线)和失重速率曲线(DTG曲线)。

2 实验结果和分析

2.1 宁钢高炉喷吹煤性能

2.1.1 煤粉的可磨性、着火点

表2为6种煤粉的哈氏可磨指数(HGI)、着火点检测结果。由表2可看出:中挥发无烟煤3的HGI最高,其他煤粉HGI由低到高的顺序依次为低挥发无烟煤、中挥发无烟煤2、混合煤、烟煤、中挥发无烟煤1;烟煤着火点最低,其他煤粉着火点由低到高的顺序依次为混合煤、中挥发无烟煤2、中挥发无烟煤1、中挥发无烟煤3、低挥发无烟煤。煤粉的可磨性指数越高表明煤粉越易磨。煤粉的着火点越低,煤的燃烧性好反应性强,可使喷入高炉的煤粉能在有限的空间和时间内尽可能多地气化,越易充分燃烧,但是着火点较低时,制粉和喷吹不安全,必须用氮气保护。由此可知:从可磨性来看,应优先选择中挥发无烟煤3;从着火点来看,应优先选择烟煤。

2.1.2 煤粉的灰熔融性

表3为6种煤粉的灰熔融性测定结果。由表3可看出,中挥发无烟煤2的变形温度最高,其他煤粉变形温度由低到高的顺序依次为低挥发无烟煤、烟煤、混合煤、中挥发无烟煤1(中挥发无烟煤3膨胀前未测到变形温度)。从煤粉开始软化到完全熔融是一个温度区间,对于高炉喷吹用煤而言,如果煤灰的熔融温度太高,会导致燃烧成本增加;如果煤灰的熔融温度太低,在高炉内容易结渣,可能发生不正常燃烧而影响高炉冶炼。故高炉喷吹一般要求煤灰熔点高于高炉风口区的温度,以防止煤粉在风口区结渣而影响高炉运行。

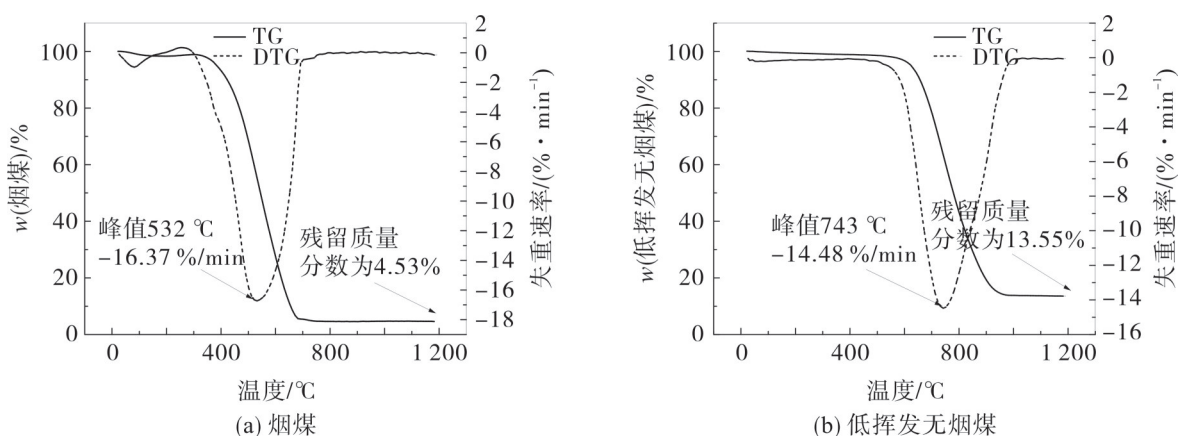
表3 不同煤粉灰熔融性的测定结果

Tab. 3 Measurement results of ash fusibility of different pulverized coals

煤种	变形温度/℃	软化温度/℃	半球温度/℃	流动温度/℃	膨胀起始温度/℃	最大膨胀温度/℃	完全融化温度/℃
烟煤	1 170	1 180	1 195	1 205			
低挥发无烟煤	1 110				1 125	1 180(260%)	1 370
中挥发无烟煤1	1 190				1 295	>1 400(1 375,170%)	>1 400
中挥发无烟煤2	1 330	>1 400	>1 400	>1 400			
中挥发无烟煤3					1 260	1 350(110%)	>1 400
混合煤	1 185				1 245	1 340(130%)	>1 400

2.1.3 煤粉的热重分析

图1为6种煤粉的热重分析结果。图中: TG 曲线为煤粉失重曲线; DTG 曲线为煤粉失重速率曲线。



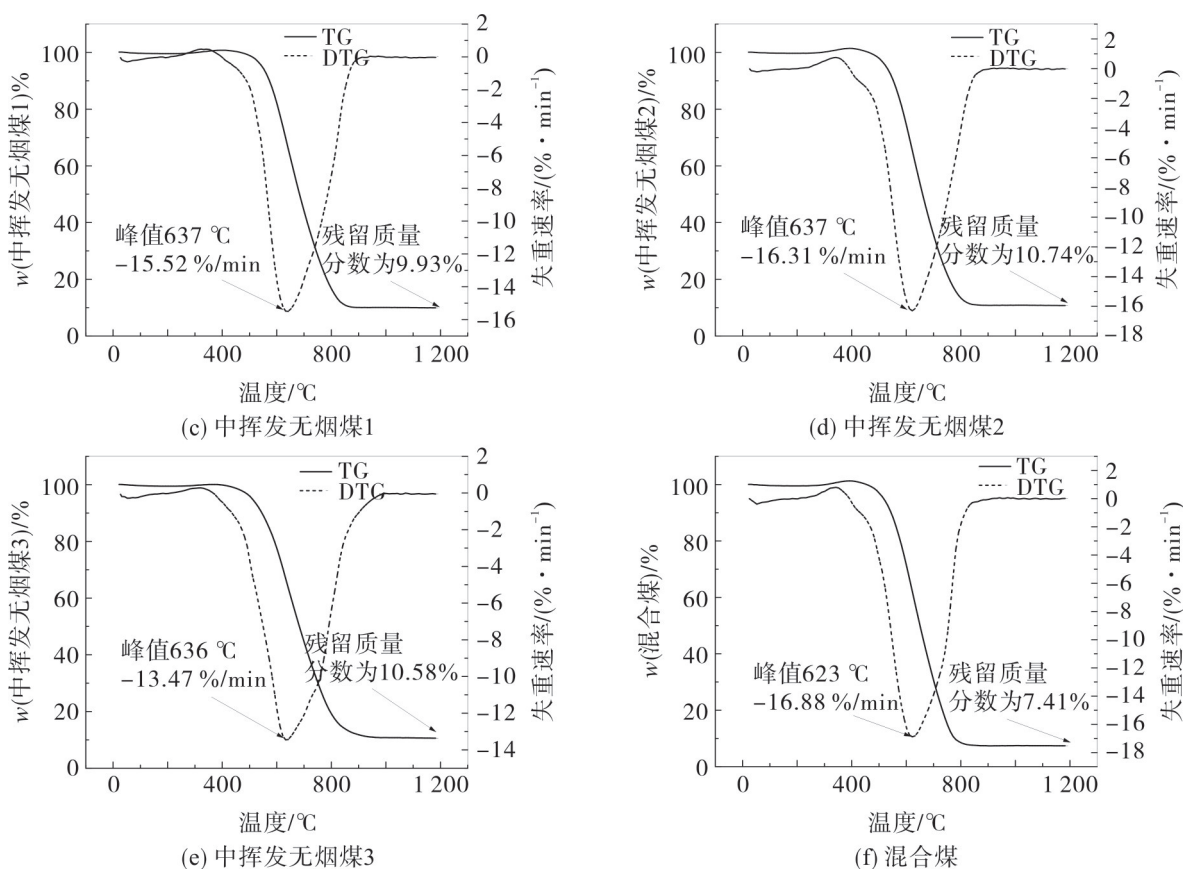


图1 热重分析结果

Fig. 1 Results of the thermal gravimetric analysis

由图1可看出:6种煤粉的DTG曲线均出现一个峰值,这是由于煤种的挥发分分解燃烧与固定碳的燃烧叠加在一起所致^[9]。综合图1的结果可得表4。峰值温度表征煤粉燃烧最快时的温度,峰值温度越低对煤粉燃烧越有利。由表4中可知:烟煤、低挥发无烟煤、中挥发无烟煤1、中挥发无烟煤2、中挥发无烟煤3、混合煤的DTG曲线峰值温度分别为532,743,637,621,636,623 °C,6种煤种的峰值温度大不相同,其中烟煤的峰值温度最低,说明烟煤更易燃烧;低挥发无烟煤峰值温度最高,表明该种煤不易燃烧;中挥发无烟煤3与中挥发无烟煤2很接近;中挥发无烟煤1与混合煤很接近。

峰值变化率为煤粉燃烧最快时的速率(负值表示质量减少,该数值越低速率越快),峰值变化率越大煤粉越易充分燃烧。由表4可知:6种煤粉中,中挥发无烟煤3变化率最小,烟煤与中挥发无烟煤3比较接近,二者更易充分燃烧;中挥发无烟煤2、中挥发无烟煤1、低挥发无烟煤次之;混合煤充分燃烧程度最差。

残留质量一定程度代表煤粉灰分含量,煤粉残留质量越低越好。由表4可知,6种煤粉中,烟煤的残留质量分数最低,其他煤粉残留质量分数由低到高的顺序依次为中挥发无烟煤3、中挥发无烟煤1、混合煤、中挥发无烟煤2、低挥发无烟煤。

燃烬温度为煤粉燃烧殆尽时的温度,该温度越低越能保证煤粉充分燃烧。由表4可知,6种煤粉中,烟煤的燃烬温度最低,混合煤与低挥发无烟煤的燃烬温度比较接近,3种中挥发无烟煤的燃烬温度也比较接近。

综合上述分析表明,在不考虑可磨性的前提下,6种煤粉中烟煤最适合喷吹,中挥发无烟煤3稍优于中挥发无烟煤2,中挥发无烟煤2优于中挥发无烟煤1,中挥发无烟煤1优于混合煤,低挥发无烟煤最

表4 主要实验结果对比

Tab. 4 Comparison of main experimental results

煤种	峰值温度/°C	峰值变化率/(%/min)	w(残留煤粉)/%	燃烬温度/°C
烟煤	532	~16.73	4.53	762
低挥发无烟煤	743	~14.48	13.55	992
中挥发无烟煤1	637	~15.52	9.93	892
中挥发无烟煤2	622	~16.31	10.74	882
中挥发无烟煤3	623	~16.88	7.41	872
混合煤	636	~13.47	10.58	982

不适宜喷吹的。

3 宁钢高炉喷吹配煤结构的调整

依据煤粉的可磨性、着火点、灰融熔性以及热重实验结果,确定配煤结构的思路为以烟煤为主,稳定低挥发无烟煤配比,适当调整中挥发无烟煤的使用比例。

3.1 喷吹煤配煤方案

根据上述配煤思路,结合生产实际(烟煤供应紧张,烟煤库存不足),为减少喷吹煤成分的波动,稳定生产,多次进行配比调整试验。制定6种配煤方案,烟煤为总喷煤量的15%~42%(质量分数)。其中添加的CDQ粉为干熄焦除尘灰,是布袋除尘器收集的干熄焦烟尘悬浮物,可少量使用(质量分数应小于5%)参与高炉喷煤,以降低喷煤成本。表5,6分别为配煤结构调整期间的调整方案及各方案混合煤粉的成分。

表5 6种配煤方案中各种煤粉比例

Tab. 5 Ratio of various pulverized coal of 6 kinds of coal blending scheme

配煤方案	w(烟煤)/%	w(低挥发无烟煤)/%	w(中挥发无烟煤2)/%	w(中挥发无烟煤1)/%	w(CDQ粉)/%	备注
调整方案1	42	12	20	23	3	
调整方案2	15	7	20	55	3	
调整方案3	25	7	30	35	3	
调整方案4	30	7	30	30	3	调整2 d
调整方案5	35	10	10	42	3	
调整方案6	40	12	15	30	3	

表6 6种配煤方案中混合煤粉成分指标(w/%)

Tab. 6 Composition index of mixed coals of 6 kinds of coal blending scheme (w/%)

配煤方案	Vdaf	Vd	Mt	Ad	S	Fcd
调整方案1	19.09	17.69	9.88	9.07	0.55	73.24
调整方案2	11.41	10.44	9.93	9.89	0.54	79.67
调整方案3	14.43	13.29	9.92	9.55	0.54	77.17
调整方案4	15.74	14.63	9.91	9.03	0.49	76.34
调整方案5	16.20	15.13	10.43	8.80	0.50	76.08
调整方案6	18.58	17.31	9.90	8.80	0.51	73.89

从表5可发现如下规律:烟煤配比由其质量分数由15%提高至42%,随着其配比的提高,煤粉挥发分质量分数由10.44%递增到17.69%;煤粉固定碳质量分数呈递减,由最高79.67%降低到73.24%;煤粉灰分质量分数逐步降低,由9.89%降为8.80%,且烟煤质量分数达到35%以后接近一个谷底;烟煤质量分数继续增加至42%,灰分反而有所上升,与使用同一批次灰分比较高的中挥发无烟煤2(同一配比,中挥发无烟煤1,2 Ad质量分数分别为10.08%,10.67%)配比增加有关;煤粉硫分变化不多,质量分数最高与最低仅差0.06%;混合煤水分与进厂物料含水有关。

3.2 配煤方案调整对高炉燃料比的影响

调整煤比后,高炉燃料消耗指标发生的变化如图2,表7。由图2,表7可以看出,调整期间,高炉燃料比随烟煤配比增加呈先下降后上升的趋势。烟煤比例增加初期,混合煤粉燃烧性能改善,燃烧率提高,煤粉的综合利用率提高,导致燃料比下降;烟煤比例继续升高,尽管燃烧性继续改善,但混合煤粉的

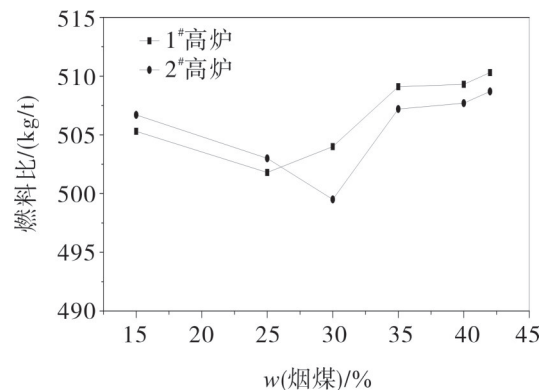


图2 配煤结构调整期间高炉燃料比变化趋势

Fig. 2 Trend of blast furnace fuel ratio during the adjustment of coal blending structure

固定碳下降成为主要矛盾,造成燃料比反而上升。

表7 配煤结构调整期间高炉燃料消耗

Tab. 7 Fuel consumption of blast furnace during the adjustment of coal blending structure

配煤方案	1#高炉			2#高炉				
	产量/t	焦比(含焦丁)/ (kg/t)	煤比/ (kg/t)	燃料比/ (kg/t)	产量/t	焦比(含焦丁)/ (kg/t)	煤比/ (kg/t)	燃料比/ (kg/t)
调整方案1	5 965.20	307.2+30.0	173.1	510.3	6109.58	299.5+30.3	178.90	508.7
调整方案2	5 965.95	304.8+30.0	170.5	505.3	6135.03	297.5+32.0	177.20	506.7
调整方案3	6 043.22	299.0+30.0	172.8	501.8	6112.64	297.2+32.0	173.83	503.0
调整方案4	6 028.70	300.0+30.0	174.5	504.0	6187.58	299.0+31.0	169.50	499.5
调整方案5	5 990.40	309.6+30.0	169.5	509.1	6111.94	301.8+30.1	175.30	507.2
调整方案6	5 915.78	311.3+30.0	168.0	509.3	6176.45	303.7+32.0	172.00	507.7

3.3 配煤方案调整对煤粉可磨性的影响

受制于现场条件,配煤结构调整过程中没有取样进行可磨性指数的测定,但煤粉的中速磨出力能够直接体现混合煤粉的可磨性。表8为配煤结构调整后1#、2#中速磨煤机的制粉出力变化情况。由表8可以看出,2台中速磨煤机呈相同的变化规律,制粉出力与中挥发无烟煤1配比变化有关,中挥发无烟煤1配比高,制粉出力降低明显,尤其是烟煤质量分数为15%、中挥发无烟煤1质量分数为55%时,综合制粉出力最低,1#中速磨煤机制粉出力仅57.39 t/h,2#中速磨煤机制粉出力仅55.28 t/h。该现象与前文所述的中挥发无烟煤1可磨性指数情况不相符,中挥发无烟煤1作为单一煤种,可磨系数能够满足中速磨煤机制粉出力的要求,但与其他煤种混合后,中挥发无烟煤1可磨系数反而降低,混合煤在可磨性方面也存在优劣互补的问题。

表8 配煤结构调整后中速磨煤机制粉出力情况

Tab. 8 Output of Medium-speed coal mill pulverizing after the coal blending structure adjustment

配煤方案	w(烟煤)/%	1#制粉出力/(t/h)	2#制粉出力/(t/h)	w(中挥发无烟煤1)/%
调整方案1	42	67.56	68.57	23
调整方案2	15	57.39	55.28	55
调整方案3	25	60.61	60.39	35
调整方案4	30	63.64	62.20	30
调整方案5	35	56.39	58.10	42
调整方案6	40	56.78	58.84	30

采用配煤调整方案5,1#中速磨煤机制粉出力最低,说明水分对中速磨煤机制粉出力的影响客观存在。原煤水分高主要影响磨煤机的携带输送能力及磨煤机的干燥出力。若需煤粉水分低,而原煤水分含量较高,则磨煤机干燥出力降低,为维持正常的干燥出力,只能降低制粉出力。并且,原煤水分含量很高时,容易造成配煤仓堵料、原煤仓悬料、给煤机下煤管黏煤等问题,严重时,还会危及整个制粉系统安全运行。宁波地区雨季长,台风多,易吸水的煤种雨天堵料悬仓严重,生产组织难度大。水分增加会增加煤的团聚性,一般来说,烟煤的团聚性和吸水性较无烟煤强。宁钢原煤中,特低灰烟煤、低挥发无烟煤团聚性和吸水性较中挥发无烟煤2和中挥发无烟煤1强,为保证在一定煤粉水分下制粉出力能满足要求,必须加强对特低灰烟煤、低挥发无烟煤的水分控制及配比控制。

因此为保证一定制粉出力,无烟煤中中挥发无烟煤2应占一定比例,同时应对可磨性差的干熄焦除尘灰比例加以控制。

3.4 配煤方案调整对未燃煤粉的影响

高炉喷吹煤粉的关键问题是如何提高煤粉的燃烧率^[10-11],随喷煤量的增加,这个问题愈显突出。煤粉在风口燃烧区的停留时间非常短,氧的供给量严重不足,不可能燃烧完全,从而相当一部分煤粉以未燃煤粉的形态存在。未燃煤粉不管在高炉的什么位置,都可能给高炉冶炼带来不利影响,甚至影响到高炉的顺行^[12]。图3是宁钢2#高炉近年来煤比与瓦斯灰含碳量的变化曲线。由图3可以看出,瓦斯灰C含量变化出现2种走

势,一部分随煤比变化而变化,随煤比增加而增加;个别阶段出现与煤比变化相反的趋势,这与配煤结构有关,在这个阶段,配煤结构正常由4种原煤变成3种,说明宁钢高炉4种原煤配比的混合煤燃烧率好于3种原煤配比燃烧率,故在资源供给允许的条件下,尽可能维持4种原煤配比,以降低未燃煤粉对高炉的影响。

3.5 喷吹煤配煤方案的优化

在高炉顺行、产量稳定的情况下,降低喷煤成本。从成本角度出发,烟煤价格较低,其比例上升有助于混合煤粉单价降低。但比例过高会因固定碳下降出现高炉燃料比升高,反而燃料消耗升高的情况。烟煤比例最终控制多少合适,关键看综合燃料成本如何变化。

按照自产干熄焦60%(分量分数),外购焦40%(质量分数)及配煤结构调整期间的价格测算6种配煤结构燃料成本,结果如表9。从表9可以看出,燃料成本在烟煤配比30%(分量分数)出现一个低谷,燃料成本最低,此阶段由于试验时间短,数据存在一定的偶然性。但从数据变化趋势看:在烟煤供给不足的情况下,配煤结构烟煤(分量分数)稳定在30%~35%范围内时,成本比较合理;在烟煤供给稳定的情况下,烟煤配比稳定在40%(分量分数)以上有利于燃料成本的下降。

表9 配煤结构调整后燃料成本

Tab. 9 Fuel cost of coal after blending structure adjustment

配煤方案	1#高炉				2#高炉				全厂
	焦比/(kg/t)	煤比/(kg/t)	燃料比/(kg/t)	燃料成本/元	焦比/(kg/t)	煤比/(kg/t)	燃料比/(kg/t)	燃料成本/元	燃料成本/元
配煤调整1	337.2	173.1	510.3	543.15	329.8	178.9	508.7	538.32	540.74
配煤调整2	334.8	170.5	505.3	550.75	329.5	177.2	506.7	549.67	550.21
配煤调整3	329.0	172.8	501.8	541.05	329.2	173.8	503.0	542.11	541.58
配煤调整4	330.0	174.5	504.0	541.31	330.0	169.5	499.5	537.44	539.38
配煤调整5	339.6	169.5	509.1	546.55	331.9	175.3	507.2	541.47	544.01
配煤调整6	341.3	168.0	509.3	545.24	335.7	172.0	507.7	541.29	543.27

配煤方案调整从2013年始,本着降本增效,且以烟煤为主,稳定低挥发无烟煤配比,适当调整中挥发无烟煤为原则。烟煤质量分数从初期的37.84%逐渐提高到40.95%,低挥发无烟煤质量分数亦从初期的9.92%提高到14.93%,具体配煤比例调整如表10。

表10 2013—2015年喷吹煤方案调整

Tab. 10 Adjustment of coal injection scheme from 2013 to 2015

时间	w(烟煤)/%	w(低挥发无烟煤)/%	w(中挥发无烟煤1)/%	w(中挥发无烟煤2)/%	w(其他无烟煤)/%	w(CDQ粉)/%
2013年	37.84	9.92	30.29	8.46	10.28	3.21
2014年	36.27	6.87	34.95	10.93	7.81	3.17
2015年	40.95	14.93	29.27	9.01	1.83	4.02

通过多次配比调整试验,确定混合煤灰分和挥发分成分的控制范围,以此为基准,参考进厂原煤成分和库存的变化,综合考虑各方因素,确定配煤结构调整基准,如表11。宁钢原煤配比按表11所示基准进行优化调整,运行结果表明,宁钢的喷吹煤成本及铁水成本竞争力在行业中稳中提升,喷吹煤成本从高于行业24.12元/t降低到高于行业2.18元/t,铁水成本从高于行业101元/t降低到低于行业117元/t,进步显著。

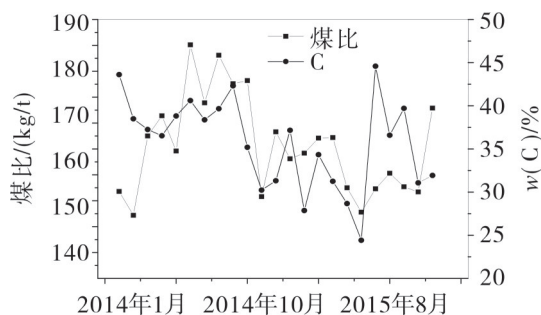


图3 2014—2015年2#高炉煤比与瓦斯灰含碳量变化

Fig. 3 Change of coal ratio and gas ash content of the blast furnace 2# from 2014 to 2015

4 结 论

1) 煤粉的可磨性、着火点、灰熔融性以及热重实验结果表明,烟煤在不考虑可磨性的前提下最适合喷吹,并在高炉喷煤方案调整后的工业实践中得到证明。宁钢高炉配煤结构调整的思路为以烟煤为主,稳定低挥发无烟煤配比,适当调整中挥发无烟煤的使用比例。

2) 多次配煤方案调整表明,在烟煤配比 $\geq 35\%$ (质量分数)的条件下,高炉喷吹煤粉挥发分质量分数目标值控制在18%左右,能满足喷煤安全生产的需求。通过配煤结构的优化调整,配煤成本显著下降,经济效益提升明显。

表 11 混合煤灰分和挥发分目标值控制范围

Tab. 11 Control range of target value of mixed coal ash and volatile

$w(\text{烟煤})/\%$	$w(\text{混合煤灰分})/\%$	$w(\text{混合煤挥发})/\%$
≥ 35	9.5	18, 上限 18.5
< 35	≤ 10	17.5

参考文献:

- [1] RAYGAN S, ABDIIZADEH H, RIZI A E. Evaluation of four coals for blast furnace pulverized coal injection[J]. Journal of Iron & Steel Research International, 2010, 17(3):8-20.
- [2] 孟庆波. 采用配煤炼焦新技术稳定提高焦炭质量[C]//中国金属学会 2007 年高炉炼铁用焦炭质量技术研讨会. 牡丹江:[出版社不详],2007:357-362.
- [3] 王培平,陈旺生,韩军,等. 高炉喷吹煤评价及配比优化[J]. 工业安全与环保,2012, 38(6):91-93.
- [4] 晏伟. 高炉喷吹煤粉[J]. 炼铁,1983(2):70-76.
- [5] 郁建宁. 马钢 2 500 m³高炉烟煤无烟煤混合喷吹的研究[D].唐山:河北理工大学,2005.
- [6] 马新林,蔡浩. 酒钢高炉优化喷煤实践[J]. 炼铁,2015(5):51-54.
- [7] 黎均红. 重钢高炉喷煤优化与实践研究[D]. 重庆:重庆大学,2007.
- [8] 常健,苏步新,张建良,等. 煤粉添加高炉除尘灰混合燃烧特性及动力学研究[J]. 过程工程学报,2012, 12(2):239-245.
- [9] 闵凡飞,张明旭,朱惠臣. 煤工业分析和燃烧特性的 TG-DTG-DTA 研究[J]. 煤炭科学技术,2004, 32(11):51-54.
- [10] KIM J K, PARK S U, LEE H D, et al. Combustion of high coking Moolarben coal as a blended fuel of pulverized coal fired plants using 100 kg/h test furnace[J]. Journal of Industrial & Engineering Chemistry, 2016, 34:233-243.
- [11] 徐润生,张建良,王广伟,等. 提质煤与高炉喷吹用烟煤混合燃烧特性及动力学分析[J]. 重庆大学学报,2015, 38(2):1-10.
- [12] 刘新,陈星秋. 未燃煤粉在高炉内的分布特性的实验研究[J]. 东北大学学报(自然科学版),2000, 21(1):177-180.

责任编辑:何莉