攀钢高炉喷吹煤粉的物化性能的研究*

执笔 晏 伟

（北京钢铁学院）

在实验室条件下，对渡口地区三个煤矿共七个煤种的物理化学性能（包括煤的成分和煤的可磨性、爆炸性、着火点、灰熔点等）和燃烧性能进行了分析和测定，结果表明，攀钢高炉喷煤以采用红坭1#、红坭岔河井、红果南和红果北几个煤种较为适宜。

为给攀钢高炉喷吹煤粉提供煤源选择的依据，我们受攀钢的委托，对渡口地区三个煤矿共七个煤种的物理、化学性能进行了研究，其结果综述如下：

一、煤粉的物化性能

（一）化学性能

各种煤的化学成份见表1。从表1可以看出，务本煤的灰份较高（>20%），固定碳低。显然，喷吹这种煤时置换比较低，会增加高炉渣量和燃料比，对高炉冶炼和经济效益不利。红坭1#灰份较低（<10%），固定碳>80%，同时含H_2也高些，这种煤喷入高炉，估计置换比较高，经济效益较大。但红坭2#则相反，灰份高，固定碳低。红坭1#与红坭2#系同一种煤，而其化学成份相差极大，这是否与采样有关，尚需进一步研究。

各种煤的化学成份 表1

煤种	灰份 %	水份 %	挥发份 %	挥发份 可燃基,%	固定碳 %	硫 %	氢 %
务坭本	23.71	0.65	6.98	9.23	68.66	0.44	3.01
红 1#	10.11	0.28	8.55	9.50	81.06	0.58	3.59
红坭2#	18.66	0.58	8.56	10.6	72.2	0.54	3.3
红坭卷子坪	15.54	0.44	5.37	6.4	78.65	0.54	2.8
红坭岔河井	8.02	1.59	10.20	11.3	80.19	0.54	3.74
红果南	12.8	1.24	7.54	8.8	78.42	0.66	3.39
红果北	9.54	5.42	5.86	6.9	79.18	0.66	3.26

从煤种的工业分析来看，攀钢高炉喷吹煤粉采用红坭1#、红坭岔河井、红果南和红果北四种煤较为适合。这几种煤含S都较低，含H_2为3.2～3.7%；各种煤都含有碱金属，但务本煤含量相对要高一些，K_2O+Na_2O在灰份中约为3.8%（表2）。如每吨铁喷煤100kg，则每吨铁炉料只增加碱金属约0.89kg(用务本煤时)。显然碱金属对冶炼的影响不大。

（二）物理性能

煤的物理性能主要有可磨性、着火点、真比重、堆比重、爆炸性、灰熔点等。我们对上述几种性能作了测定，测定结果列于表3。

1.可磨性

煤的可磨性标志着磨煤的难易程度，在设计、改革制粉系统时，或在生产中估计磨煤机的出力、耗电量以及对不同程度的煤要求磨煤机的出力时，都需要测定煤的可磨性。煤的可磨性系数是采用哈特葛罗夫（Hardgrove）法测定的。

* 参加试验的主要人员有：晏伟、任大宇、颜飞、周振庄、杨天钧

不同煤种的灰份分析　　表2

煤种	SiO_2 %	Al_2O_3 %	MgO %	CaO %	Fe_2O_3 %	K_2O+Na_2O, %	P_2O_5 %
务本	43.19	23.77	5.17	13.43	10.67	3.76	0.81
红泥1*	50.86	27.64	5.63	1.89	10.99	2.99	0.37
红泥2*	52.93	26.8	4.56	3.40	9.48	2.85	0.63
红泥卷子坪	52.48	24.34	3.68	8.76	7.37	3.37	0.16
红泥岔河井	58.03	24.8	4.8	3.97	7.07	1.34	0.29
红果南	55.29	32.81	2.23	0.8	6.34	2.53	0.96
红果北	50.66	33.55	5.31	1.72	6.79	1.97	0.79

不同煤的物理性能　　表3

煤种	可磨性 H.I	着火点 ℃	真比重 kg/m³	堆比重, kg/m³ −60目	堆比重, kg/m³ −200目	爆炸性 mm	灰熔点 ℃
务本	119	397	1.493	0.673	0.486	12	1299
红泥1*	84	391	1.425	0.612	0.417	35	1397
红泥2*	66	399	1.467	0.683	0.447	15	1394
红泥卷子坪	129	410	1.508	0.677	0.495	10	1352
红泥岔河井	112	378	1.419	0.653	0.453	16	1387
红果南	75	404	1.428	0.655	0.457	15	1572
红果北	116	410	1.432	0.635	0.446	15	1490

可磨性系数可由下式算得：

$$H.I=13+6.93W$$

式中，W—磨完后−200目煤粉的重量

渡口地区几种煤的可磨性系数为60—129(表3)。哈氏可磨性系数（Hardgrove Index）是以美国滨州的煤作标准（H.I=100)。这种煤比较软，相当于我国峰峰煤的可磨性（H.I～100）。我国阳泉煤的H.I～64。所以攀钢试验的七种煤的可磨性系数均大于阳泉煤，其中务本、红泥卷子坪、红泥岔河井和红果北等煤的H.I几乎为阳泉煤的两倍，也就是说，同样能力的磨煤机，在粒度组成相似的情况下，磨渡口地区煤的出力要提高一倍左右。

另外，据美国煤种的可磨性试验结果表明，无烟煤H.I较小（～34)，烟煤的H.I较大（～50—68，一般为30—100)，也就是说烟煤的H.I较无烟煤大。渡口地区的煤种均为无烟煤，其H.I均大于一般烟煤的H.I。例如苏州钢铁厂喷吹的高挥发份的夹河烟煤（H.I～69）远低于上述几种无烟煤的H.I。由此可见，渡口地区的煤种的可磨性是一个特例。所以，煤的可磨性的大小单纯以挥发份高低来划分是不确切的。

2.爆炸性

煤粉的爆炸性一般是采用长管式爆炸性试验装置来测定的。试验时，取1g−200

目煤样装入试样喷射管，然后喷到玻璃管内温度为1000℃的火源上，产生返回的火焰长度（单位：mm）作为衡量爆炸性的强度。渡口地区煤种的返回火焰长度～10—35mm（表3），因而它们仍有着火爆炸的危险。在生产中应注意安全，切不可疏忽大意，特别是布袋、喷吹罐以及磨煤机出口必须严格控制温度，并应装有报警装置，以防未然。

3.着火点

测量着火点是采用我院设计的煤粉着火点测定仪测试的。它的特点是测出温度较一般的方法准确，时间短，每测一个煤种的着火点只需五分钟左右，并且采用电子数字显示和记忆。渡口地区煤种的着火点在378—410℃范围内（表3），与一般无烟煤的着火点范围差不多。煤的着火点与其所含挥发份有关。图1系渡口地区煤的着火点与挥发份的关系。其关系式为：

$$T = 445 - 6.2V$$

式中，T—煤的着火点，℃

V—煤中挥发份量，%

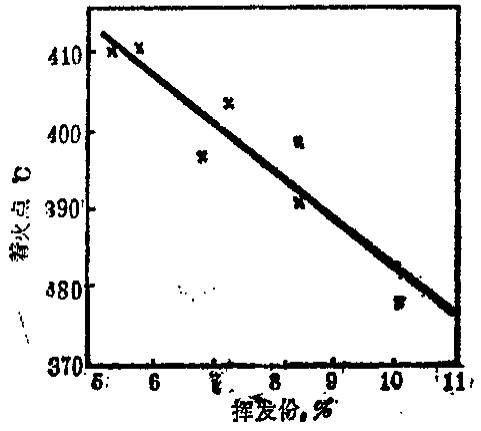


图1 渡口地区煤的着火点与其所含挥发份的关系

上式只适用于渡口地区煤种。测定着火点的益处是：在干燥过程中干燥气氛的温度控制允许高一些，以利于煤粉的干燥。但着火点高的煤不如着火点低的煤容易燃烧。

4.灰熔点

煤的灰熔点（即灰份熔化温度）的高低对煤粉加快气化燃烧有关。对高炉喷吹来说，希望煤灰熔点愈高愈好，这样可避免在高温的风口内和喷嘴前产生渣化，而影响煤完全燃烧，破坏风口等。

表3列出了渡口地区的七种煤的灰熔点。由表3可以看出，务本煤的灰熔点较低（约为1299℃），红果南最高（约为1572℃）。煤的灰熔点与其灰份的酸度R有关，R越大，灰熔点越高。图2系攀钢煤的灰熔点与其R的关系。其关系式为：

$$T_{灰} = 1295 + 10.2R$$

式中，$T_{灰}$—煤的灰熔点，℃

R—酸度（$R = \frac{SiO_2 + Al_2O_3}{CaO + MgO}$）

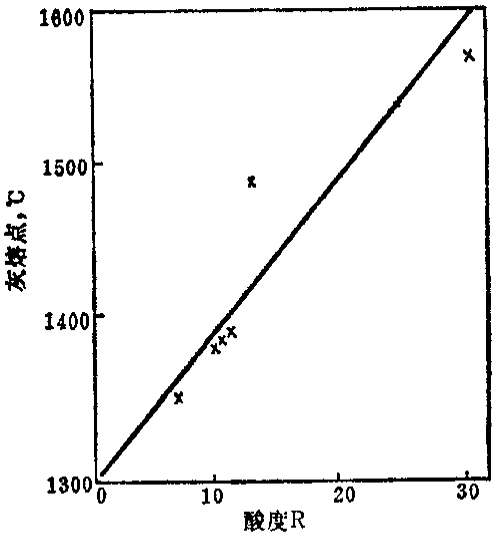


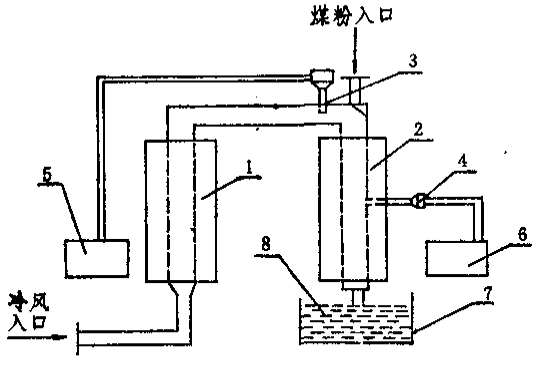
图2 灰熔点与酸度R的关系

实际上，由于煤灰是各种成份的矿物质组成的混合物，这种混合物只有一个由软化到熔化的温度区间，而且在高温下形成固熔体。因此从高炉喷吹的角度来看，应该要求软化温度愈高愈好。但这一问题还需要进一步研究。

二、煤粉的燃烧性能

高炉喷煤要求入炉煤粉尽量完全燃烧，特别是攀钢高炉冶炼钒钛磁铁矿，要求更高，因为未燃烧尽的碳进入炉渣，将使炉渣粘度增加，影响高炉生产。因此，对喷吹煤粉燃烧性能的研究就显得十分重要。

根据现有条件和要求，我们装备了一套试验装置（图3）。试验的煤种为红果北、红坭1*以及红坭卷子坪三种。每立方米风喷吹燃料为45g，这大致相当于每吨铁喷吹60kg燃料时每立方米热风含煤粉的量。煤粉粒度分为3级，即150—200目，200—300目，＜300目。由于风温损失大，只能控制在700℃左右。空气中含氧量为23.3—27.5%，燃烧的温度控制在1000℃左右。



1—加热送风的电炉　2—煤粉燃烧炉　3—热电偶（测风温）4—热电偶（测燃烧炉温度）
5、6—高温计　7—收集灰尘水箱　8—水

图3　测定煤粉燃烧性能装置示意图

试验时以约6m³/h的风量经热风炉（1）加热后进入内径为φ40mm、高为1000mm的立式燃烧炉（2），煤粉由燃烧炉的顶部加入；燃烧炉用电加热到1000℃，煤粉在炉内燃烧后的产物进入炉子下部水池，燃烧残余灰尘被池内的水收集，然后分析水池沉淀物的碳和灰份，算出可燃部分的燃烧率。

表4系三种煤在不同粒度下的燃烧率。试验时，红果北的煤燃烧火焰明亮而稳定，红坭1*不稳定，红坭卷子坪的火焰稍弱。但在这次试验中，粒度与燃烧率的关系并不明显，其原因可能与气流速度控制不稳、残灰沉淀不均匀以及取样误差等有关。

不同煤的燃烧率　　表4

煤种 \ 粒度 燃烧率	150～200目	200～300目	－300目
红果北	41.97%	41.66%	59.25%
红坭1*	35.66%	26.43%	31.48%
红坭卷子坪	2.24%	34.19%	26.54%

富氧送风对燃烧率的影响比较明显。图4系富氧对红果北煤的燃烧率的影响。由图4可以看出，燃烧率随风中氧的浓度增加而提高，它们之间的关系如图4所示。其关系式为：

$$I = 7.44 \times 10^{-2} \times e^{7.95[O_2]}$$

式中，I—燃烧率，%

$[O_2]$—空气中含氧量，%

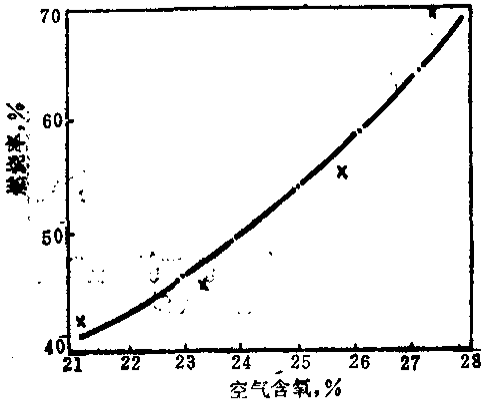


图4　煤的燃烧率与空气中含氧量的关系

三、结　语

1.根据上述各种煤的物化性能的鉴定和比较，攀钢高炉喷吹煤粉以下列几种煤为宜，即：红坭1*，红坭岔河井、红果南和红果北。因为它们的灰份较低，固定碳高，含H_2也相对高一些。从物理性能来看，在这些煤中，红坭岔河井和红果北的煤可磨性系数较高，这对保证煤的粒度、磨煤机出力和节约电能有利；但从对高炉喷吹的质量来看，似应以红果南和红果北的煤为好，因为它们的灰熔点高，不易在风口或喷嘴附近渣化。此外，红坭岔河井和红果北含碱金量最低，有利于高炉炼铁。因此，在这四种煤中又以红果北的煤为最好（表5）。

2.从燃烧率来看，以红果北的煤质量相对地好一些，但燃烧率偏低，其主要原因是炉温偏低，风温也较低。富氧送风对煤的燃烧率的影响效果十分明显，火焰明亮，温度上升，燃烧率提高。可以预计，攀钢高炉喷煤在采用富氧送风、风温为1000—1100℃以及喷吹量为50 kg的情况下，做到煤粉完全燃烧是有可能的。

3.渡口地区的煤种均具有弱爆炸性，因此，在使用过程中，仍应认真考虑安全喷吹的问题，以避免发生事故。

推荐喷吹用四种煤的主要特性　　表5

煤　种	灰　份 %	灰份含碱金属，%	可磨性 H.I	爆炸性 mm	灰熔点 %	燃烧性—在200—300目、风温700℃时的燃烧率，%
红　坭　1*	10.11	2.99	84	35	1397	26.43
红坭岔河井	8.02	1.34	112	16	1387	—
红　果　南	12.8	2.53	75	15	1572	—
红　果　北	9.54	1.97	116	15	1490	41.66