

燃用印尼煤对直吹式制粉系统运行及锅炉经济性影响分析

白 健，周志高

(江苏射阳港发电有限责任公司，江苏 射阳 224346)

摘 要：本文从某公司#5炉2011年10月中下旬开始掺烧印尼煤至2012年4月份这段时间，针对燃用高挥发分的印尼煤时对直吹式制粉系统的安全问题，分析了煤粉在磨煤机内爆炸的原因及其影响因素，并提出了防止直吹式制粉系统爆炸的具体措施，防止了燃用印尼煤时制粉系统异常情况的出现，保证了制粉系统运行的安全性及锅炉的经济性，对同类型锅炉的运行调整具有一定的参考、推广价值。

关键词：印尼煤；制粉系统；安全性；经济性

0 引言

印尼煤炭资源非常丰富，据印尼能矿部统计，其印尼煤资源储量达 900 亿 t，其中有 54 亿 t 可商业开采。据美国能源署统计，印尼是世界上第四大煤炭储存国。近年来国家对煤矿的安全生产整顿力度进一步加大，煤炭行业矿难得到有效抑制，但随之而产生的高煤价自然就转嫁到发电厂，同时国家对节能减排工作的力度也是前所未有的严厉。作为发电企业来讲采购煤源由相对单一型向多种混合型过渡，以合理控制煤价成本是当务之急。当前随着印尼煤出口至我国的量越来越多，因印尼煤有其价格上的优势，故在全国大型火力发电厂有较大的使用前景，但印尼煤属于高挥发煤种，从开采、运输、存储、使用等各个环节均存在自燃、爆炸的危险。

1 设备概况与设计煤种特性

1.1 #5 炉设备概况简介

#5 炉为东方锅炉厂设计、制造型号为 DG2060/26.15-II2 的超超临界参数、变压运行直流炉，一次中间再热、单炉膛、前后墙对冲燃烧，尾部烟气挡板调温、平衡通风、露天岛式布置、固态排渣、全钢构架、全悬吊结构 II 型锅炉，采用三分仓回转式空气预热器。制粉系统为中速磨煤机直吹式正压冷一次风制粉系统，配 6 台中速磨煤机，装设 36 只旋流式低 NO_x 燃烧器。

1.2 #5 炉主要设计参数

#5 炉主要设计参数见表 1。

1.3 #5 炉设计和校核煤种的特性指标

#5 炉设计和校核煤种的特性指标见表 2。

表 1 #5 炉主要设计参数

名称 (BMCR/BRL)	数值
最大连续蒸发量/(t/h)	2060/1956.8
过热器出口蒸汽压力/ MPa	26.15/26.03
过热器出口蒸汽温度/℃	605
再热器入口蒸汽压力/ MPa	5.33/5.04
再热器出口蒸汽压力/ MPa	5.14/5.04
再热器出口蒸汽温度/℃	603
再热蒸汽流量/(t/h)	1659.1/1571
省煤器入口给水温度/℃	297/288

表 2 #5 炉设计和校核煤种的特性指标

项目名称	设计煤种	校核煤种	
		煤种 1	煤种 2
收到基碳分 Car /%	54.2	54	58.56
收到基氢分 Har /%	3.47	2.9	3.36
收到基氧分 Oar /%	3.41	4.5	7.28
收到基氮分 Nar /%	0.96	1.00	0.79
收到基硫分 Sar /%	1	1.60	0.63
收到基灰分 Aar /%	28.86	28.0	19.77
全水分 Mar /%	8.1	8.0	9.61
无灰干燥基挥发分 Var /%	26.396	22.188	32.314
收到基低位发热量 Q _{net,ar} /(kJ/kg)	21040	21000	22440
哈氏可磨性系数 HGI /%	70	80	55

2 印尼煤与设计煤种指标特性分析对比

公司燃用的印尼煤煤质指标大致如下：发热量在 15700 kJ 左右、挥发分 45%左右、含硫量 0.45%左右、灰分在 10%以内、全水分在 32%左右。

显然发热量明显较设计或校核煤种低，经过粗略计算要低 5234kJ，机组携带负荷的能力受到一定限制。全水分高达 32%，通过运行发现磨煤机的进口温度很难控制在 220℃以下，磨煤机的出力受到一定影响，同时要保持较高的磨煤机出口风速则要额外增加进入磨煤机的风量，无形中造成了对喷燃器、粉管道的加剧磨损。印尼煤与设计煤最使得锅炉接受困难的是其挥发分较高，一般由此大型锅炉

燃烧印尼煤所衍生出来的主要矛盾就是锅炉制粉系统的安全问题，尤其是的自燃、爆炸一系列的安全考量。

3 煤粉自燃或爆炸的原因、影响因素分析

3.1 煤粉自燃或爆炸的原因

煤粉自燃或爆炸的原因主要是煤缓慢氧化导致煤的热解，产生可燃气，其与空气混合达到一定比例后遇火发生连锁反应。煤粉爆炸的过程是悬浮在空气中的煤粉强烈燃烧过程。

3.2 影响煤粉爆炸的因素

3.2.1 煤质特性

煤质特性中影响煤粉爆炸的主要因数是挥发分，对于 $V_{daf} < 10\%$ 的煤粉几乎不会发生爆炸，当 $V_{daf} > 20\%$ 时，极易爆炸，当 $V_{daf} = 40\%$ 时，堆积煤粉的着火温度仅为 170°C ，一次风管内沉积就会发生爆炸。实际上除了煤的挥发分外，煤的含硫量、水分、固定碳、及其他元素成分均与爆炸特性有关，判断煤粉爆炸的准则是爆炸性指数较为准确。一般爆炸性指数 < 1 时煤粉很难爆炸，当 $1 < \text{爆炸性指数} < 3$ 时煤粉具有中等爆炸性，当爆炸性指数 > 3 时煤粉极易爆炸，而爆炸性指数越高煤粉就越容易爆炸。

3.2.2 煤粉温度

对于中速磨直吹式制粉系统，磨煤机最高出口温度可由下式计算： $T = 5/3 (82 - V_{daf}) \pm 5$ 。

当 $V_{daf} > 40\%$ 时， $T < 70^{\circ}\text{C}$ ，磨煤机出口温度过高会导致分粉混合物爆炸；温度过低亦会造成煤粉结露而结块、沉积的现象，最终堵塞粉管形成局部燃烧而爆炸。

3.2.3 煤粉细度

煤粉颗粒 $dp > 200\mu\text{m}$ 时几乎不爆炸，当 $dp < 75\mu\text{m}$ 时，爆炸的危险性就会大大增加，对于#5 炉的设计和校核煤种应选取： $R_{90} = 4 + 0.5nV_{daf}$ 。

公式中 n 为煤粉的均匀性指数，中速磨煤机一般取 $n = 1$ 。

照上述公式计算在 $V_{daf} = 33\% \sim 38\%$ 左右时， $R_{90} = 20\%$ 上下； $V_{daf} = 40\% \sim 43\%$ 左右时， $R_{90} = 25\%$ 上下。此数值确好与化常班提供的煤灰报表中印尼煤的数据相对应。

3.2.4 煤粉浓度

当煤粉和空气的比例达到一定的浓度，一旦有火源就会发生煤粉爆炸。一般煤粉浓度大于 $3 \sim 4$

$\text{kg(煤粉)}/\text{m}^3(\text{空气})$ 或小于 $0.32 \sim 0.47 \text{ kg(煤粉)}/\text{m}^3(\text{空气})$ 时不易引起爆炸，只有其浓度在 $1.2 \sim 2.0 \text{ kg(煤粉)}/\text{m}^3(\text{空气})$ 最易发生爆炸。

根据克拉伯龙方程 $PV = nRT$ (T 是开尔文温度； 0°C 绝对标准大气压下空气密度为 $1.293\text{kg}/\text{m}^3$)，可以计算得出#5 炉磨煤机进口温度在 230°C 左右时，磨煤机风量在正偏置 $0 \sim 15$ 的情况下，制粉系统煤粉浓度在 $0.3 \sim 0.6 \text{ kg}/\text{m}^3$ 范围内变动，因此存在爆炸的危险。见表3。

表3 引起煤粉爆炸浓度及爆炸极限

燃料	烟煤	褐煤	泥煤
最低浓度/ (kg/m^3)	0.32~0.47	0.21~0.25	0.16~0.18
最高浓度/ (kg/m^3)	3~4	5~6	13~16
最易爆炸浓度/ (kg/m^3)	1.2~2	1.7~2	1~2
爆炸最大压力/MPa	0.13~0.17	0.31~0.33	0.3~0.35
最低氧/%	19~14	18~12	16

3.2.5 印尼煤爆炸特性与制粉系统调整分析

由公司燃用的印尼煤煤质指标情况可以得出该煤种的爆炸指数远高于之前在#4 炉燃烧的蒙煤、神化煤及其他各类挥发分相当的煤种。根据磨煤机出口温度计算公式可以算出#5 炉磨煤机出口温度的控制范围在 $60^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ 之间，根据挥发分的高低进行调整。煤粉细度的调节往往是通过改变磨煤机出口粗粉分离器的折向挡板开度来实现，根据煤粉细度公式(R_{90})可以得出设计或校核煤种大约在 15% 左右，而在燃烧印尼煤时则要维持在 20% 以上较好，这样可以由此来调整挡板的开度来满足要求。正常为保证磨煤机的进口温度、磨煤机出口风速在合适范围往往需要增加磨煤机的风量来实现。

4 燃烧印尼煤防止制粉系统发生异常情况的措施

公司自开始燃烧印尼煤至今没有发生任何的制粉系统及附属设备的自燃、爆炸等异常情况，这主要在运行中采取了针对性较强的技术措施。

4.1 运行调整

掺烧前调整相应磨煤机粗粉分离器折向挡板开度，使得煤粉细度维持在 $R_{90} = 25\% \sim 30\%$ 之间。

运行中根据不同挥发分严格控制磨煤机出口温度在 $60^{\circ}\text{C} \sim 75^{\circ}\text{C}$ 之间，同时酌情控制磨煤机的进口温度在 $210^{\circ}\text{C} \sim 250^{\circ}\text{C}$ 之间。

加强对掺烧印尼煤磨煤机的电流、一次风量、

进口风压、出口风速（一般控制在 28~32 m/s）等参数的监视，当发现一次风量、风速降低而入口风压、通风阻力升高时，则开大冷、热风门，提高一次风机出力，此时如磨煤机入口一次风量仍然有下降趋势，则应迅速降低给煤量，对磨煤机进行通风吹扫，直至各项参数恢复正常。

4.2 启、停磨操作

磨煤机正常运行方式为 C、D、B、E 四台磨加 A 或 F 磨运行，定期工作时，不停用印尼煤掺烧磨煤机，无特殊情况尽量保证该套制粉系统运行。

掺烧印尼煤的磨煤机如计划停运或检修时，应提前一天通知燃料部进行非高挥发份煤置换。

在启磨前或停磨后，均用冷一次风对制粉系统单根管道吹扫，且时间不低于 5 min；停磨吹扫结束后，严密关闭该制粉系统的各风门挡板，保证磨煤机出口温度低于 50℃。在启磨、停磨抽粉过程中，严禁突然开大或关小风门，风门调节应缓慢进行。

开启备用磨前，如发现磨煤机出口温度不正常升高，应暂停启磨工作，必要时投用消防蒸汽，只有在故障消除后，方可继续进行开磨操作。

5 燃烧印尼煤对锅炉经济性的影响分析

5.1 锅炉小指标的影响

#5 锅炉掺烧印尼煤前、后，锅炉运行的工况没有太大的变化，同时汽温、排烟温度等锅炉主要的经济小指标没有多大的改变。见表 4。

表 4 掺烧印尼煤前、后主要经济小指标对比表

#5 炉相关小指标水平 (月平均值)	掺烧印尼煤前	掺烧印尼煤后
主汽温/℃	598.19	598.29
再热器温/℃	597.62	598.68
飞灰含碳量/%	2.19	1.79
排烟温度/℃	124	128
引风机电耗/%	0.623	0.625
送风机电耗/%	0.142	0.135
一次风机电耗/%	0.536	0.565
磨煤机电耗/%	0.335	0.355

从锅炉小指标影响来看，只有一次风机、磨煤机的电耗以及排烟温度有所上升，而其它均与印尼煤掺烧前后相差无几。

5.2 环保方面的影响

目前国家对火力发电企业的环保要求越来越高，烟囱进口排放 NO_x 及 SO₂ 有着相当高的标准。

从半年来这两个数据的统计来看，#5 机组完全能够适应国家严格的排放要求，不存在超标排放而引发环保不安全事件的现象。

6 结束语

印尼煤较其他煤种具有高挥发分、高含水量的特点，因此在燃烧印尼煤时应强化对制粉系统的防爆要求，在真正燃烧印尼煤前要经过前期调研学习、相应的小规模的调整试验方可长期进行印尼煤的燃烧。从公司半年多的燃烧情况来看，只要措施正确，运行人员调整得当，印尼煤挥发分控制在 45% 之内制粉系统的安全性还是能够得到保证的。

在煤炭市场供应紧张的情况下，把印尼煤作为一种资源的战略选择是首当其冲的，它从锅炉运行的综合衡量是具有一定的优势，因为毕竟煤价有一定的优势，加之从其它经济指标、安全、环保等综合的经济效益来讲还是占得先机，但由于公司投产时间较短，煤耗、厂用电率等指标还需要进一步的优化调整，故在如何印尼煤掺烧的综合经济效益上还有较多的工作要去做。

参考文献：

- [1] DL/T5145-2002, 火力发电厂制粉系统设计计算技术规定[S].
- [2] 岑可法,周昊,池作和.大型电站锅炉安全及优化运行技术[M].北京:中国电力出版社,2003.
- [3] 射阳港发电有限责任公司.射阳港发电有限责任公司印尼煤燃烧技术报告[Z]. 射阳:射阳港发电有限责任公司,2011.

作者简介：

白 健（1972-），男，江苏盐城人，助理工程师，从事火力发电厂锅炉运行管理工作，E-mail：xiaoyi760123@163.com；
周志高（1973-），男，江苏盐城人，助理工程师，从事火力发电厂集控运行工作，E-mail：zhouzhigao_8941@sina.com。