

利用分离器的转速来控制制粉系统爆燃的分析

彭巧平，雷茂云

(华能金陵发电有限公司，南京市栖霞区经济开发区江乘大道 8# 210034)

摘 要：本文主要以某电厂#1、#2 炉制粉系统频繁发生爆燃事故为背景，简要地述说了该厂制粉系统的概况，系统地阐述了直吹式制粉系统产生爆燃的原因、现象以及该厂为了预防和制止爆燃的发生所采取的措施。在利用分离器的转速偏置来控制制粉系统爆燃事故的发生方面已经取得了一定的效果，也同时为国内发生相似事故的同类机组提供可借鉴的经验。

关键词：锅炉；制粉系统；爆燃；分离器；控制

0 前言

火电企业始终是以安全为基础、以效益为中心，使盈利目标为最大化。火电厂的成本70%以上用于购买煤炭，目前煤炭的价格依然居高不下，着力降低燃料成本，确保盈利目标成为各发电企业的首选。使用设计煤种大多价位较高，印尼煤价格相对更便宜，有着很好的经济性，掺烧印尼燃已是各火力发电厂的一种大趋势。加大对经济煤种的掺配比例成为眼下各发电企业的通行做法。由于经济煤种大多水分大、挥发分高，给制粉系统的安全运行带来了很大的威胁。也直接影响到机组的安全、稳定、经济运行。某电厂近期由于加大了对燃用经济煤种掺烧的力度，#1和#2炉的制粉系统频繁发生爆燃事故，从11月份到12月初的最近一段时间#2炉就共发生了9次制粉系统爆燃事故，大大增加了运行人员的工作压力。

1 锅炉概况

表 1 设计及校核煤种参数

名称及符号		单位	设计煤种 (神府东胜煤)	校核煤种 (混煤)
工 业 分 析	收到基全水分 Mar	%	14	8.52
	空气干燥基水分 Mad	%	8.49	
	收到基灰分 Aar	%	11	22.86
	收到基挥发分 Var	%	27.33	22.83
	收到基固定碳 FCar	%	47.67	45.7
收到基低位发热量 Qnet,ar		kJ/kg	22760	21120
灰熔 融性	变形温度 DT	℃	1130	1110
	软化温度 ST	℃	1160	1190
	流动温度 FT	℃	1210	1270

某电厂二期工程锅炉是由哈尔滨锅炉厂有限责

任公司引进日本三菱重工业株式会社技术制造的超超临界变压运行直流锅炉，型号为HG-3100/27.46-YM3。采用Ⅱ型布置、单炉膛、低NOX PM主燃烧器和MACT燃烧技术、反向双切圆燃烧方式。锅炉采用平衡通风、露天布置、固态排渣、全钢构架、全悬吊结构，设计煤种为神府东胜煤，校核煤种为混煤。见表1。

2 制粉系统介绍

该厂制粉系统采用为HP1163/Dyn型中速磨煤机直吹式制粉系统，每炉配6台磨煤机，5台运行，1台备用，每台磨供一层共8只燃烧器，从原煤仓下来的煤经给煤机输送至磨煤机内进行磨制成煤粉，经一次风混合成风、粉混合物，每台磨煤机出口引出4根煤粉管道至炉前经煤粉分配器分成8根煤粉管道，炉前煤粉分配器保证煤粉的均匀分配。在八角煤粉燃烧器前，煤粉管道经过浓淡分离器进行二次分配后接入煤粉喷嘴送往各燃烧器。

在BMCR工况下，煤粉主管道的流速为25m/s，煤粉支管道的流速为23.7m/s。在30%BMCR工况下，煤粉主管道的流速为18.1m/s，煤粉支管道的流速为17.2m/s。

磨煤机为碗式磨煤机，原煤落入磨碗后，通过转动的磨辊与磨碗衬板的研磨成粉与一次风混合冲击固定在分离器体上的固定折向板。颗粒小且干燥的煤粉仍逗留在气流中并被携带沿着折向板上升至分离器，大颗粒煤粉则回落至磨碗被进一步碾磨，分离器体下部的折向板使煤粉在碾磨区域进行了初级分离。

煤粉和气流上升,通过分离器体进入旋转的叶片式转子,当气流接近转子时,气流中的煤粒因受到转子的撞击,较大的煤粒就会被转子抛出,而较小的煤粒则被允许通过转子,并离开分离器进至煤粉管道,那些被抛出的煤粒则返回至磨碗被重新研磨,动态分离器利用空气动力学和离心力将细煤粉从粗煤粒中分离出来,确保所需的煤粉细度,改善了锅炉燃烧状况,提高了燃烧热效率。动态分离器上装有旋转叶片装置,叶片顺时针方向旋转,支承在固定于磨煤机外部的轴承装置上。转子包含用于颗粒分离的叶片和原煤落煤管。分离器的传动方式为通过变频电机和减速器的带传动,动态分离器的转速取决于给煤速度,当给煤机速度加快时,分离器转速也加快。电机转速范围 500-1500rpm,转子速度 30.2-90.7rpm。煤粉细度的调整主要是通过调节折向门开度和改变分离器转速来完成的,如图 1 所示。

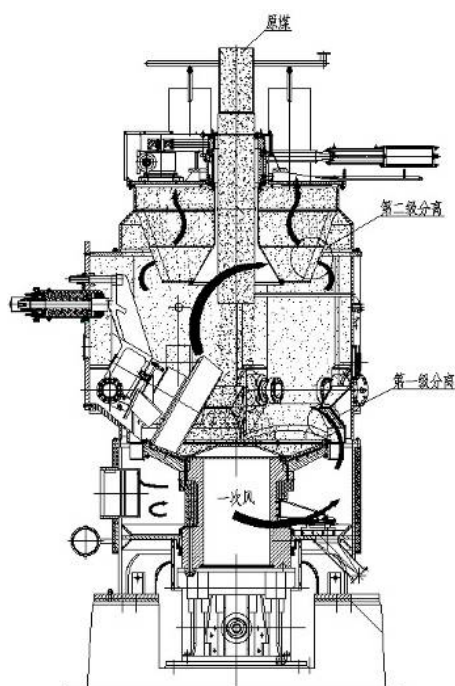


图 1 制粉系统工作原理图

3 制粉系统爆燃的原因分析

煤粉在管道内的流动中,对煤粉颗粒运动轨迹产生影响的力主要是气流曳引阻力, Basset力, 旋转升力以及颗粒重力。气流的脉动对煤粉颗粒运动轨迹的影响是:脉动的相对振幅越大,颗粒随气流上下波动的范围就越大。颗粒直径大小对脉动的影响也不同,实验室表明:当颗粒直径很小时 $D=1\mu\text{m}$,

煤粉完全随气流飘扬;随着颗粒直径的增大,脉动运动受到重力的作用而衰减,当 $D=100\mu\text{m}$ 基本上随气流脉动很小,在重力作用下而慢慢沉降;在脉动湍流运动中, Basset将是很重要的力。颗粒旋转时对运动轨迹的影响也是相当大的,试验证明:当 $n=500\text{rpm}$ 时,颗粒在重力的作用下,很快的下沉,当 $n=1000\text{rpm}$ 时,颗粒受到很大的升力,它起着阻碍颗粒沉降的作用;各种计算的结果也表明煤粉在管道内流动而不沉降,旋转升力是其中重要的因素之一。

当煤粉浓度增加、风速降低、煤粉的颗粒变大等管道下部将出现断续的煤粉沉积,气体阻力将大幅度增加输送能力下降,会造成输送管道一定程度的堵塞,“气体反吹”。对于高硫和高挥发分的煤粉而言,就很容易产生自、燃自爆的可能。

理论上一般要求煤粉输送量与输送风的质量比(又称煤粉输送率)煤粉与输送风的质量比为2.5:1左右,管道风速通常控制在 $25\sim 30\text{ m/s}$,管道风速下降会造成堵塞输送状态,严重会发生堵塞,制粉系统的流量和压力大幅度波动。

由于设计煤种与实际燃用煤种偏差较大。特别是印尼煤的 Var 挥发分含量极高,常常达到 35%左右,所以在运行期间一旦一次风量、风压以及分离器的转速偏低就非常容易在制粉系统内出现积粉爆燃事故。在实际运行的过程中,磨煤机系统着火的迹象主要表现有:

- 1) 磨煤机出口温度无故迅速升高。
- 2) 一次风流量迅速下降。
- 3) 磨煤机或煤粉管道油漆剥落。

在实际运行的过程中制粉系统爆燃的原因主要有以下一些:

1)为了降低制粉电耗使磨煤机在低通风量下运行,当通风量低到可能使煤粉从气流中沉淀出来的程度,煤粉移动缓慢导致温度上升,这种情况导致煤粉管道堵塞着火。

2)石子煤中煤的含量过多,煤会堵塞石子煤排出或者石子煤排放不畅,在侧机体内堆积起来没有及时处理造成磨煤机着火爆燃。

3)磨煤机在出口温度低于规定值下持续运行,煤不能获得充分的干燥以致粘附在磨煤机内部和煤粉管中,使煤粉管堵塞以及导致磨煤机/煤粉管着火。

4)磨煤机在出口温度高于规定值的工况下持续运行,使挥发份从煤中逸出,从而使磨煤机着火。

5)外来杂物,例如纸片、破布、稻草和木屑等,这些东西不易磨碎,一旦混杂在所供的原煤中间进入系统中会堆积起来可能着火。

6)在磨碗上积煤过多。煤粉可能在耐磨衬板上气流不能达到的区域里堆积起来。煤也会被外来杂物阻挡而堆积起来。

7)不正确或异常的操作。

8)从已经着火的原煤仓里的煤进入磨煤机里,在这种情况下,运行时必须特别谨慎。

9)磨高挥发份的磨煤机在停磨过程中吹扫风量或吹扫时间不足,系统内有沉积的煤粉没有吹扫干净。

10)磨煤机跳闸后,挥发份积聚在磨内部,重新启动前没有充分的吹扫可燃气体,引发自燃爆炸。或者磨煤机停止过程没有将磨内煤粉吹干净,或磨煤机跳闸后长期没有启动,挥发份存在磨煤机里发生自燃或爆炸。

11)可调缩孔的结构不合理,磨煤机出口可调缩孔芯板与壳体的间隙过大,导致机组在运行期间煤粉通过缝隙进入壳体内部,经过长期的日积月累,堆积在空腔的积粉——尤其是高挥发分的印尼煤,非常容易自燃爆炸。

因此,对于我们运行人员来说,一般常见的制粉系统发生爆燃的主要原因主要就是以上一些。由于煤粉的沉积,当温度和浓度达到煤粉的爆炸点时而发生爆燃事故。

4 利用分离器的转速来控制制粉系统爆燃的分析

某电厂自从2009年底第一台机组通过168至今已三年多了,但是制粉系统的爆燃在过去的三年并不多见,在2010年曾经发生过两次,但那两次主要是由于长时间的一次风压和一次风量过低导致一次风管积粉自燃而引起,自从把一次风压的低限提高以后就再也没有发生过制粉系统爆燃的事情。最近由于来煤品种的多样,各种成份偏离设计值较大,特别是近期#1和#2炉的制粉系统频繁发生爆燃事故,从11月份到12月的最近一段时间#2炉就共发生了9次制粉系统爆燃事故,给我们运行人员的工作带来了很大的压力,从这几次制粉系统爆燃的分

析中可以从根本上来说是由于燃烧印尼煤的缘故,即煤种的因素。既然煤种是我们运行人员无法改变得了的,那我们只有从运行的操作手段上去分析看看是否可以避免此类事故的发生。

最近上仓的煤种见表2。

表2 某电厂配煤单(2012年11月18-19日)

序号	煤种	加仓作业方案					#2炉(仓)
		热值/(kJ/kg)	硫分/%	挥发分/%	灰分/%	水分/%	
1	南非煤	22601	0.73	23.1	19.97	7.31	B E
2	印尼煤	15739	0.12	31.57	3.61	36.01	DF
3	神混煤	22580	0.34	27.31	11.91	15.27	A C
加权平均	#2炉	20307	0.4	27.33	11.83	19.53	

从表2中我们可以知道上仓的煤种与设计煤种各成分的值差别较大,特别是印尼煤不仅挥发分高而且水分也大。运行规程规定磨出口风粉混合物的温度在83℃,而磨制印尼煤的出口温度一般只能在60℃左右,#2炉18日和19日连续两天D磨发生了爆燃事故,D磨和F磨的上仓煤种为印尼煤,爆燃制粉系统参数变化曲线如图2~5所示。

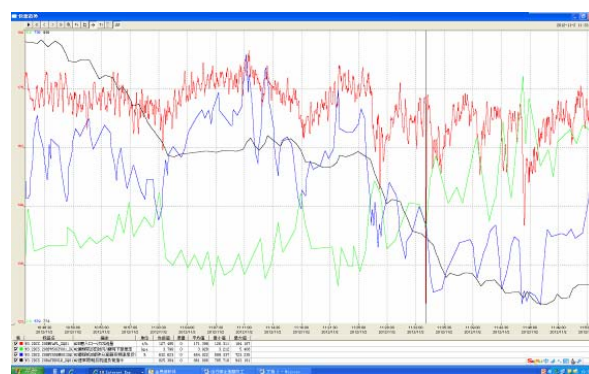


图2 D磨爆燃时的一次风量、风压、负荷、分离器转速变化曲线

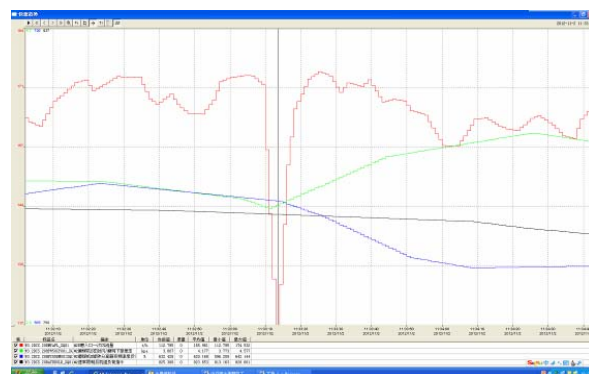


图3 D磨爆燃时的一次风量、风压、负荷、分离器转速变化曲线放大图

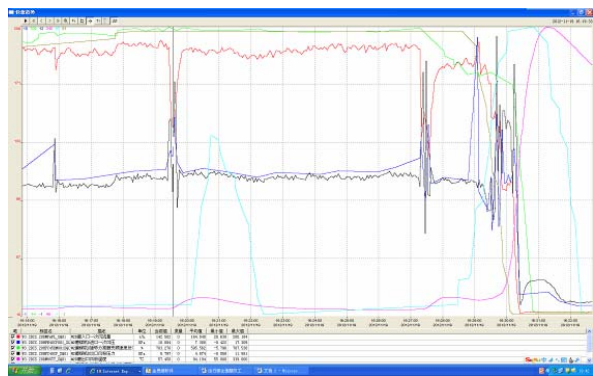


图 4 D 磨爆燃时的一次风量、风压、负荷、分离器转速变化曲线

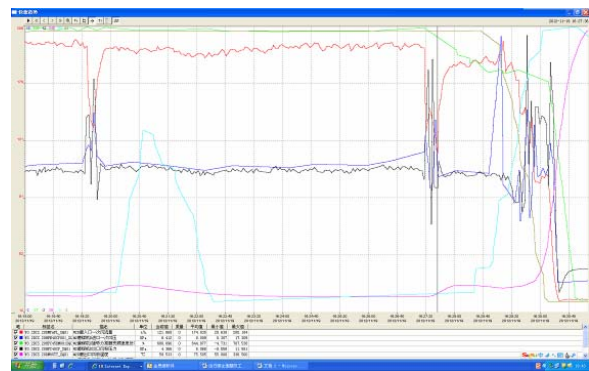


图 5 D 磨爆燃时的一次风量、风压、负荷、分离器转速变化曲线

从图 2 和图 3 中可以看到该制粉系统爆燃时只有一次风量变化较大短暂到 0 后又自动恢复到正常值,制粉系统的其他参数没有出现较大幅度的变化,一般这种爆燃系统内的各项参数能自动恢复到正常

的数值,对制粉系统的影响不大。这也说明系统内的积粉不多发生爆燃的威力不大,没有对系统产生破坏性的影响。

从对图 4 和图 5 中可以看到该制粉系统爆燃时一次风量到 0,出口温度迅速升高最高到达 230℃,在爆燃前一次风压曾经有过两次较大幅度的上升,说明一次风管有较严重的积粉。发生爆燃的威力较大,对系统产生了破坏性的影响。运行人员不得不紧急停磨进行灭火处理。

从对图2、图3、图4、图5中参数曲线的分析,可以有下面一个共同的特点:发生爆燃的情况就是在机组降负荷的过程中或者制粉系统减出力的过程中,从制粉系统的工作原理和制粉系统控制的理论中我们可以知道:无论是机组降负荷还是制粉系统减出力最终都是伴随着系统风量和分离器转速的下降,也就意味着一次风流动状态发生了变化,在前面煤粉沉降的原因的分析中我们也可以知道煤粉在管道内的流动中气流的脉动和分离器的转速对煤粉颗粒运动轨迹产生了很大的影响,朝着有利于煤粉沉积的方向转化。使煤粉颗粒沉降下来,表3为11月份与12月份(到6日为止)#2炉制粉系统爆燃情况的统计和分析,从表中我们也可以看出,几次爆燃的事故的发生也说明了一旦煤粉颗粒的气流曳引阻力,Basset力,旋转升力发生变化煤粉颗粒就会沉积,严重时就会发生自燃爆炸的事故。

表3 11月份与12月份(到6日为止)#2炉制粉系统爆燃情况一览表

日期	时间	磨层	负荷变动情况	制粉系统参数变动情况	处理情况
11.2	11: 30	A、B、E	降负荷(870\801)的过程中	风量短暂到零,在三台磨中E磨的分离器转速变动较大(700\600)	没有停磨
11.16	14:11	B	由满负荷降至\970的过程中	风量短暂到零,参数无明显变化。	没有停磨
11.18	7: 04	D	降负荷(910\870)的过程中	风量短暂到零,分离器的转速由660RPM\590RPM,其他参数无明显变化。	停磨
11.19	16: 26	D	在加负荷的过程中(767\900)	风量短暂到零,一次风压在05分、14分、18分产生三次异动。	停磨,出口温度最高达338℃
11.25	7: 44	B	降负荷的过程中(730\660)	风量短暂到零,在此之前一次风压(9.0\6.7)和分离器的转速(677\583)。	停磨
11.27	9: 40	C	在加负荷的过程中(800\982)	风量短暂到零,参数无明显变化。分离器的转速在固定值670RPM	没有停磨
11.28	22: 42	F	降负荷的过程中(824\747)	风量短暂到零,参数无明显变化。	没有停磨
12.1	20: 47	B	负荷无明显变化	风量短暂到零,但磨是在降出力的过程中。	停磨
12.5	22:04	B	降负荷的过程中(975\850)	风量短暂到零,在20:04时,一次风压曾由7\20kPa,在爆燃前、后分离器的转速也有一定的变化。	停磨

5 分离器的转速来控制效果分析

既然制粉系统的爆燃是由于一次风流动状态发生了变化，也就是气流曳引阻力，Basset 力，旋转升力发生了变化，朝着有利于煤粉沉积的方向转化而引起的积粉爆燃，那么就应当通过试验来检验这一分析结论。基于对制粉系统爆燃的初步分析制定了试验方案，方案一：将制粉系统的分离器转速固定在 700rpm（由于我厂旋转分离器设计最低转速为 630rpm）；方案二：分离器的转速继续投自动（转速与给煤量的关系曲线如图 6），在降负荷或制粉系统减出力的时候手动调节分离器转速偏差使得制粉系统在减出力的过程中分离器的转速尽量变化较小或者不让它发生变化也 就是在制粉系统减出力的过程中保持分离器的转速不变以保证颗粒的旋转升力；为了加大考验的力度，上仓煤种的挥发分比先前发生爆燃过煤种的挥发分还要高。上仓的煤种见表 4。

表 4 华能金陵电厂配煤单

序号	煤种	热值 /(kJ/kg)	硫分 /%	挥发分 /%	灰分 /%	水分 /%	#2 炉 (仓)
1	平混	21600	1.11	27.4	20.28	9.34	AD
2	印尼煤	15751	0.23	31.22	6.62	33.91	CF
3	印尼煤	22463	0.32	36.83	5.74	17.53	BE
加权平均	#2 炉	20106	0.57	31.73	11.17	19.63	

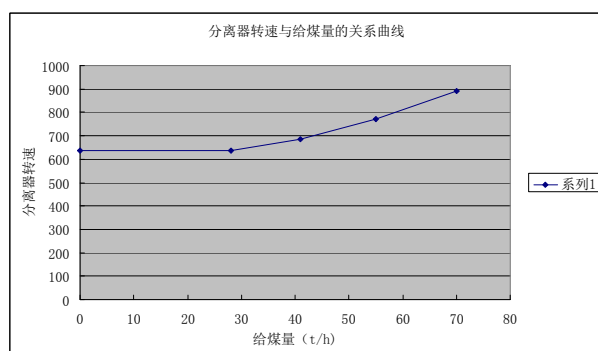


图 6 分离器转速与给煤量的关系曲线

经过二种方案的试验，制粉系统运行近一个月以来没有发生一起爆燃事故，试验的曲线如图 7 所示。

从图 7 我们可以看出，无论是方案一还是方案二中制粉系统各项参数运行平稳，没有较大的波动。说明最近一段时间发生的制粉系统爆燃事故主要就是由于在机组降负荷的过程中或者制粉系统减出力的过程中造成分离器的转速下降较快，磨出口颗粒

的温度较低使得气流曳引阻力，Basset 力，旋转升力发生变化从而使一次风流动状态发生了变化，朝着有利于煤粉沉积的方向转化而引起积粉，高挥发分的煤粉在管道内沉积自然而引起爆燃，两种方案通过有效地控制分离器的转速完全避免了爆燃事故的发生。

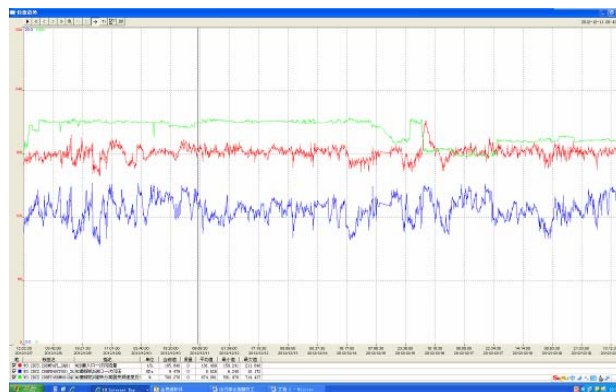


图 7 制粉系统一次风量、风压、负荷、分离器转速变化曲线

两种方案的试验我们不仅掌握了避免发生制粉系统爆燃手段，而且在试验的过程中经过我们的比较还可以发现方案二要比方案一运行经济，制粉电耗要小（图 8），燃烧损耗也肯定比方案一小。但方案一比方案二操作要简单，运行方便。方案一在设施的过程中煤粉的细度没法控制，由于是固定转速在制粉系统出力大的时候煤粉细度就粗，带来的是燃烧损耗较大。在制粉系统出力小的时候就增加了制粉电耗。而方案二不仅可以有效地降低制粉电耗而且在运行的过程中还能控制煤粉的细度，燃烧损失也较小。综合两种方案建议在以后的运行中优先采用分离器转速投自动加正偏置，在制粉系统降出力的过程中调节分离器转速偏差的方法来实现防止制粉系统爆燃的情况发生。

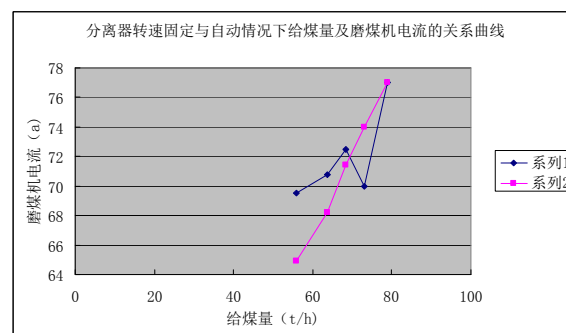


图 8 系列 1 为分离器固定转速，系列 2 为分离器自动转速曲线

6 结论

通过对磨煤机旋转分离器转速运行控制上的实验总结,在以后制粉系统运行的过程中应当采用分离器转速投自动,在制粉系统降出力的过程中调节转速偏差的方法使得分离器的转速变化较小使得气流曳引阻力, Basnet 力, 旋转升力保持最小的变化来实现防止制粉系统爆燃的情况发生。这不仅消除了积粉导致的频繁爆燃问题,而且解决了燃用经济煤种的一个突出问题,在经过近一个月的实践检验,使用的效果极好,解决了磨制劣质煤的安全性和经济性,为实现大量掺烧印尼煤提供了技术保证。在给电厂带来巨大经济效益的同时,也节约了我国大量的煤炭资源,社会效益和意义重大。由于控制分离器的转速对于运行来说比较容易操作工作量也不大,作用效果明显,对同类机组也具有借鉴作用。

参考文献:

[1] 华能金陵电厂.华能金陵电厂主机运行规程(第一

版)[Z].2009.

[2] 华能金陵电厂.华能金陵电厂辅机运行规程(第一版)[Z].2009.

[3] 哈尔滨锅炉厂.华能金陵电厂制粉系统说明书[Z].2008.

[4] 岑可法.煤粉颗粒在气流中的受力分析及其运动轨迹的分析[J].浙江大学学报, 1987(6).

[5] 陆秉权,何世葆,张淑苓.煤粉输送管道的参数优化[J].水利工程,2005(4):7-10.

作者简介:

彭巧平(1968-),男,江苏溧水人,本科,工学学士,工程师,现从事运行工作, E-mail: nan_0011@163.com。