

燃煤电厂循环流化床锅炉脱硫效率的 监测方法比较

邱立莉

(中国环境监测总站, 北京 100012)

摘要:介绍了循环流化床锅炉的脱硫机理和目前对循环流化床锅炉脱硫效率的两种监测方法,并对比分析了两种方法所得的脱硫效率的误差,对循环流化床锅炉脱硫效率监测方法的选取提出了建议。

关键词:循环流化床锅炉;脱硫效率;监测

中图分类号:X703

文献标识码:B

文章编号:1006-8759(2011)01-0060-02

我国的电力工业是国民经济发展的基础产业,在我国,电力生产主要以燃煤火力发电为主,由于燃煤发电的直接污染较大,特别是SO₂的排放。SO₂的排放是造成酸雨的主要原因,为了通过炉内燃烧技术的改进,降低SO₂排放量,我国从20世纪60年代开始对循环流化床锅炉进行研究,并在90年代以后和外国公司联合研究并取得了较大的发展,循环流化床锅炉以其可通过在炉内加石灰石脱硫来减少锅炉烟气中二氧化硫排放量的特点,被称为“环保型锅炉”,并在全国广泛应用。据统计,国内新建的中小热电项目中,越来越多锅炉均采用循环流化床锅炉,目前我国循环流化床锅炉正朝大型化发展,锅炉容量从最初的35 t/h发展到现在的1 025 t/h,四川白马电厂300 MW循环流化床示范工程的正式投运,为我国大型化循环流化床锅炉的广泛应用奠定了基础。

1 循环流化床锅炉的脱硫效率

1.1 循环流化床锅炉的基本流程

典型循环流化床锅炉基本流程为:煤和脱硫剂送入炉膛后,迅速被大量惰性高温物料包围,着火燃烧,同时进行脱硫反应,并在上升烟气流的作用下向炉膛上部运动,对水冷壁和炉内布置的其他受热面放热。粗大粒子进入悬浮区域后在重力及外力作用下偏离主流,从而贴壁下流。气固混合物离开炉膛后进入高温旋风分离器,大量固体颗粒(煤粒、脱硫剂)被分离出来回送炉膛,进行循

环燃烧。未被分离出来的细粒子随烟气进入尾部烟道,以加热过热器、省煤器和空气预热器,经除尘器排至大气。

1.2 循环流化床锅炉的脱硫机理

煤中的硫以四种形态存在,即黄铁矿硫(FeS₂)、硫酸盐(CaSO₄·2H₂O、FeSO₄·2H₂O)、有机硫(C_xH_yS_z)和元素硫。其中黄铁矿硫、有机硫和元素硫占煤中硫份的90%以上,是可燃硫。煤在燃烧过程中,所有的可燃硫都在受热过程中从煤中释放出来。煤加热至400℃时开始首先分解为H₂S,然后逐渐氧化为SO₂。其化学方程式为:H₂S+O₂→H₂+SO₂。

循环流化床燃烧过程中最常用的脱硫剂就是石灰石,石灰石通过脱硫剂添加系统以高速气流的方式从石灰石管道进入炉膛,发生煅烧分解反应:CaCO₃→CaO+CO₂。

产生的氧化钙与二氧化硫反应变成硫酸钙,从而完成脱硫过程。脱硫反应方程式为:CaO+SO₂+1/2 O₂→CaSO₄

1.3 循环流化床脱硫效率的影响因素

(1) Ca/S 摩尔比的影响

Ca/S 摩尔比是影响脱硫效率的首要因素,脱硫效率在Ca/S 低于2.5时增加很快,而继续增大Ca/S 比或脱硫剂量时,脱硫效率增加得较少。循环流化床运行时Ca/S 摩尔比一般在1.5~2.5之间。

(2) 床温的影响

床温的影响主要在于改变了脱硫剂的反应速

度、固体产物分布及孔隙堵塞特性,从而影响脱硫效率和脱硫剂利用率。床温在 900 ℃左右达到最高的脱硫效率。

(3) 粒度的影响

采用较小的脱硫剂粒度时,循环流化床脱硫效果较好。

(4) 氧浓度的影响

脱硫与氧浓度关系不大,而提高过量空气系数时脱硫效率总是提高的。

(5) 床内风速的影响

对一定的颗粒粒度,增加风速会使脱硫效率降低。

(6) 循环倍率的影响

循环倍率越高,脱硫效率越高。

(7) SO₂ 在炉膛停留时间的影响

脱硫时间越长对效率来说越不利,应该保证 SO₂ 在床内停留时间不少于 2~4 min。

(8) 负荷变化的影响

当循环流化床负荷变化在相当大的范围内时,脱硫效率基本恒定或略有升降。

(9) 其它因素的影响

增加床压压力可以改善脱硫效率,并且能够提高硫酸盐化反应速度。

(10) 给料方式的影响

石灰石与煤同点给入时脱硫效率最高。

有资料显示,循环流化床锅炉在运行良好的状态下,脱硫效率可以达到 90%以上。

综上所述,循环流化床锅炉脱硫过程为炉内脱硫,且影响脱硫效率的因素较多,运行状态的波动会导致脱硫效率的不同。因此,如何准确地监测燃煤电厂循环流化床锅炉的脱硫效率,对及时考核和监督脱硫设施的运行状况具有重要意义。

2 循环流化床锅炉脱硫效率的两种监测方法

一般情况下,脱硫效率是根据脱硫装置进口和出口二氧化硫排放量的同步监测值进行计算得出的,而循环流化床锅炉独特的炉内脱硫方式使得进口二氧化硫排放量的监测不能与出口同步,使得脱硫效率的监测存在一定的误差。目前验收监测中所采用的脱硫效率监测方法有两种:物料衡算法和实测法。

2.1 物料衡算法

$$\text{脱硫效率 } \eta_1 = (G_1^* - G_2) / G_1^* \times 100\%$$

其中,二氧化硫产生量 G_1^* (kg/h) = 燃煤量 T (t/h) × 1 000 × 煤的含硫率 S % × 0.8 × 2,二氧化硫排放量 G_2 (kg/h) 为脱硫系统正常运行(加脱硫剂)时实际监测值。

2.2 实测法

$$\text{脱硫效率 } \eta_2 = (G_1 - G_2) / G_1 \times 100\%$$

其中,二氧化硫排放量 G_1 (kg/h) 为脱硫系统未运行(不加脱硫剂)时实际监测值,二氧化硫排放量 G_2 (kg/h) 为脱硫系统正常运行(加脱硫剂)时实际监测值。

3 监测结果比较

根据 2007 年~2008 年经国家验收的 11 个燃煤电厂共 24 台循环流化床锅炉脱硫效率的两种方法监测结果可知,物料衡算法所得脱硫效率 η_1 与实测法所得脱硫效率 η_2 的误差在 -5.4%~10.1% 之间, η_1 低于 η_2 的数据占 33%, η_1 高于 η_2 的数据占 76%。

表 1 2007~2008 年 11 个项目共 24 台循环流化床锅炉脱硫效率监测结果对比表

指标	耗煤量 T / (t·h ⁻¹)	脱硫效率 S / %	排放量 G ₁ / (kg·h ⁻¹)	排放量 G ₂ / (kg·h ⁻¹)	脱硫效率 η_1 / %	脱硫效率 η_2 / %	η_1 与 η_2 的误差 / %	
1	10.6	0.58	98.6	20.2	129.2	79.5	84.4	-4.8
2	10.1	0.58	93.8	14.5	105.3	84.6	86.3	-1.7
3	10.3	0.58	95.4	13.3	124.8	86.1	89.3	-3.3
4	47.0	1.65	1 240.8	260.8	1 654.8	79.0	84.2	-5.3
5	45.0	1.65	1 188.0	273.9	1 549.7	76.9	82.3	-5.4
6	99.7	0.93	1 483.5	135.5	2 057.0	90.9	93.4	-2.5
7	100.0	0.93	1 488.0	220.8	1 758.5	85.2	87.4	-2.3
8	61.6	0.82	808.2	22.5	461.0	97.2	95.1	2.1
9	61.6	0.82	808.2	6.4	407.0	99.2	98.4	0.8
10	80.2	1.00	1 282.6	179.5	1 381.0	86.0	87.0	-1.0
11	80.2	1.00	1 282.6	168.7	1 208.1	86.8	86.0	0.8
12	109.0	2.10	3 662.4	100.2	1 596.4	97.3	93.7	3.5
13	218.0	2.10	7 324.8	148.8	1 686.3	98.0	91.2	6.8
14	64.8	1.62	1 679.6	93.3	738.0	94.4	87.4	7.1
15	45.0	1.62	1 166.4	97.1	766.0	91.7	87.3	4.4
16	26.0	0.52	216.3	28.0	156.0	87.1	82.1	5.0
17	26.0	0.52	216.3	17.9	118.8	91.7	84.9	6.8
18	26.0	0.52	216.3	28.9	123.0	86.6	76.5	10.1
19	158.5	3.10	7861.6	192.8	3222.5	97.5	94.0	3.5
20	105.0	1.35	2 268.0	6.2	273.6	99.7	97.7	2.0
21	105.0	1.35	2 268.0	3.5	281.6	99.8	98.8	1.1
22	105.0	1.35	2 268.0	3.4	274.8	99.8	98.8	1.1
23	59.5	0.93	885.4	138.5	755.3	84.4	81.7	2.7
24	59.5	0.93	885.4	148.0	766.3	83.3	80.9	2.3

(下转第 40 页)

安装了12台增氧机,在此反应器内进行絮凝、沉淀,以确保溢流坝出水达标。同时,在投加生石灰时,采用先对生石灰进行水解,然后向河道中投加石灰水上清液,以减少矿井水中悬浮物,提高处理效率,尽可能地缩短河道反应时间。

2 应急处置效果

通过该工程实践,出水水质有较大改善,现分别以2010年三个矿井连续数天出水中的铁、锰的监测数据(表1)为例来阐述应急处置工程实施的效果。

表1 总铁、总锰的去除效果

韩桥矿				旗山矿				白集矿						
日期	总铁 $/(mg \cdot L^{-1})$	总锰 $/(mg \cdot L^{-1})$	总铁去 除率/%	总锰去 除率/%	日期	总铁 $/(mg \cdot L^{-1})$	总锰 $/(mg \cdot L^{-1})$	总铁去 除率/%	总锰去 除率/%	日期	总铁 $/(mg \cdot L^{-1})$	总锰 $/(mg \cdot L^{-1})$	总铁去 除率/%	总锰去 除率/%
2.23	0.415	0.874	99.37	86.24	3.1	0.49	0.17	99.24	98.05	3.1	0.03	0.1	99.97	98.02
2.24	0.343	0.068	99.65	99.23	3.4	0.22	0.06	99.6	99.48	3.12	0.08	0.02	99.77	99.61
2.26	0.05	0.06	99.96	99.26	3.5	0.14	0.01	99.77	99.88	3.15	1.42	0.6	95.68	85.92
2.27	0.12	0.26	99.91	97.03	3.7	0.32	0.08	99.07	99.08	3.18	0.39	0.2	99.01	95.98
3.1	0.9	0.45	99.30	95.07	3.10	0.22	0.04	99.77	99.34					

由表1看出,三个矿井的总铁、总锰去除率均在95%以上;且处理之后的总铁浓度小于6 mg/L,总锰浓度小于4 mg/L,满足《煤炭工业污染物排放标准》(GB20426-2006)中规定的矿井水的排放限值。

根据以上分析结果,徐州矿务集团对韩桥矿、旗山矿和白集矿外排水应急处置工程的实施,科学合理,在短时间内实现外排水可控可治,成效显著,为矿井的抢险救灾创造了外部条件。

3 结语

为了尽快实施应急响应,本工程实践中所使

(上接第61页)

4 结论与建议

4.1 结论

(1)物料衡算法所得脱硫效率 η_1 与实测法所得脱硫效率 η_2 的误差基本10%之内,物料衡算法所得脱硫效率 η_1 高于实测法所得脱硫效率 η_2 的情况相对偏多。

(2)实测法中二氧化硫排放量 G_1 的监测要待

用的工程材料坚持易于获取、就地取材、自行加工制作的原则,自制加药系统和曝气装置,生产周期短,简便易行,费用节省,又取得了较好处理效果。大水量酸性矿井水的应急处置应尽可能利用现有的塌陷区、排水渠及小河道进行加药(提高pH)、曝气和反应,节省时间,可将对环境危害的影响降至最小。本工程采用采煤塌陷地、矿内排水渠、附近的鱼塘及河道作为外排矿井水应急处置场所,体现了因地制宜的原则和应急处置的特点,在应急状态下实现了特大水量酸性矿井外排水的可控可治,是对传统酸性矿井水处理模式的创新。

脱硫系统停止运行稳定后进行,因此实测法数据获得的历时较长,物料衡算法相对简单快捷。

4.2 建议

(1)验收监测时,根据实测法所得脱硫效率 η_2 来考核电厂环保设施的运行效果。

(2)监督监测时,可采用物料衡算法尽快得出脱硫效率,10%之内的误差可供参考。