

锅炉原煤仓可视化智能清仓防堵技术应用及经济性分析

王鹏程¹, 肖 凡^{2,3}, 王 珂¹, 李丽锋¹, 张 缙³, 杨海瑞³

(1. 山西河坡发电有限责任公司, 山西 阳泉 045000; 2. 太原理工大学 电气与动力工程学院, 太原 030024;
3. 清华大学 能源与动力工程系, 北京 100084)

摘要:近年来中国经济形势下行,火力发电厂的经营形势也随之严峻,为了进一步降低发电成本,许多火电厂会掺烧煤泥和湿分高的劣质煤。但是在掺烧过程中,原煤仓会出现粘煤、堵煤、下煤不顺畅等问题,严重影响机组安全稳定运行。因此对某 350 MW 超临界循环流化床机组堵煤、粘煤等问题进行了分析,并针对此进行了一系列技改且取得了明显的效果,达到了清仓、防堵的目的,同时,经济效益也得到提升。

关键词:原煤仓;掺烧;堵煤;经济性

中图分类号:TK11 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2021)01-0253-05

由于火电经营形势严峻,许多火电厂通过掺烧煤泥和湿分高的劣质煤来降低燃料成本^[1]。传统的原煤仓在储存原料过程会受到原煤含水量的影响,一些含水量较高的原煤在下放过程中容易粘连在原煤仓的出口内壁上,这种问题在煤泥等湿度较大的燃料作为原煤的给煤仓上更为突出。

原煤仓作为煤粉进入炉膛的入口,其可靠性在给煤过程中显得极为重要。一旦发生堵煤问题,必然影响煤粉的正常输入,锅炉的连续安全运行就会受到威胁。

从经济性角度分析,原煤斗堵煤粘煤会导致煤仓有效容积减小,上煤时间会加长,会使输煤系统电耗增加^[2],而输煤人员工作时间也延长,用工资金也会增加。而原煤仓堵煤现象有时会导致降负荷甚至停机事件因而也会造成一定的经济损失,同时,如果不解决堵煤问题,原煤仓对于燃料适应性差,会相应提高燃料成本。从安全角度分析,原煤仓粘煤增多会导致棚煤断煤,而循环流化床锅炉炉膛燃烧区是正压区域,所以如果断煤时不能及时上煤,烟气会反窜至给煤机、原煤仓,会造成给煤机皮带着火烧损甚至引起火灾。

原煤仓粘煤、堵煤的原因一般从煤质特性及

仓体结构两方面进行分析^[3-5],现主要针对由于原煤仓仓体结构所导致的堵煤进行分析,并针对性地进行技改,同时,还对其进行了一系列经济性计算分析。

1 原煤仓现存问题

1.1 给煤机皮带烧损隐患

近几年受到燃料成本影响,会采取掺烧煤泥和湿分高的劣质煤等措施,但是湿度高的煤很容易导致粘煤增多,原煤仓发生棚煤断煤。CFB(Circulating fluidized bed)锅炉炉膛燃烧区域是正压运行,所以如果断煤时不能及时补上,就会使得落煤筒、给煤机、原煤仓形成烟气走廊,烟气会反窜至给煤机、原煤仓内,造成给煤机皮带着火烧损。如果事故处理不及时,还有可能引起原煤仓火灾。

1.2 仓体结构不合理

对于如图 1 所示三种形状的煤斗,它们粘煤、堵煤情况是不一样的。对于双曲线形煤斗,其上部曲线收缩较快,下部曲线收缩较缓,煤斗上部开口较大,曲线收缩较快对于煤颗粒下降的影响不大,而在煤斗下部曲线收缩变缓,下部内壁对煤的摩擦也较小,这样对上部煤块的支撑也较小,所以不容易产生棚煤,因此双曲线形煤仓适应煤种变化的能力

收稿日期:2020-08-19

基金项目:山西省重点研发项目计划项目(201903D421009);华能集团总部科技项目“基础能源科技研究专项”(HNKJ20-H50)KTHT-U20GJJS06。

作者简介:王鹏程(1979—),男,山西阳泉人,山西河坡发电有限责任公司,发电部副经理,硕士研究生,研究方向:循环流化床机组发电技术;通讯作者:杨海瑞(1972—),男,北京人,教授,研究方向:循环流化床燃烧。

较强^[6]。而我公司采用的棱台形煤斗与双曲线形煤斗恰恰相反,上部收缩较缓,下部急剧收缩,是最容易发生棚煤和煤流停滞现象。

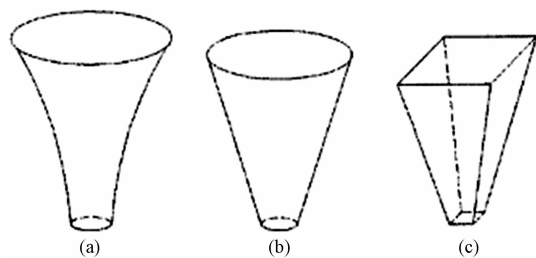


图 1 不同形状的煤斗

1.3 原煤仓倾斜度不够根据设计和实践经验,原煤斗煤仓壁和水平面夹角小于 70° 的情况下^[7],堵煤粘煤现象容易发生。煤斗中间部分的夹角是 69° ,从历次停炉清理原煤仓的实际情况看,“倒三角形”仓壁粘煤比较严重,尤其是“倒三角形”与原煤仓前后壁之间粘煤较多,但夹角为 85° 的仓壁侧几乎无积煤。

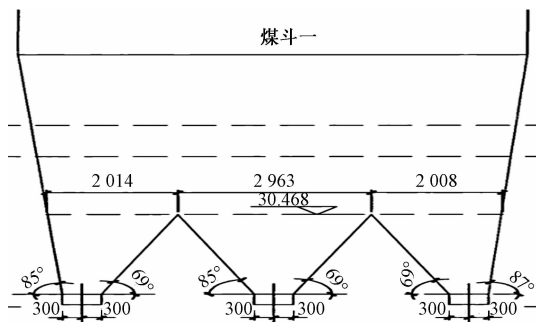


图 2 煤斗结构简图

由于煤斗中间部分的夹角小(69°),导致“倒三角形”两侧受力面上单位面积承受的原煤压力大,发生壁面积煤的概率增大,并逐步演变成“棚煤”,如图 3 所示。

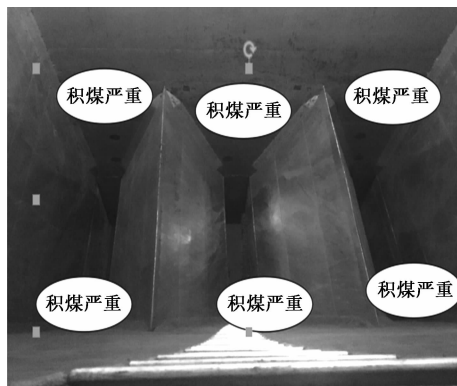


图 3 棚煤示意图

2 现有疏通技术

现有的原煤仓清堵方案有人力破堵,以及借助仓壁振打器、空气炮、仓壁液压疏通装置等破堵。

2.1 人工破堵

人力破堵通常包括捅煤孔捅煤、大锤敲击堵煤位置以及在易堵煤处仓外设置撞钟式重锤等方法来破拱。这种方法比较消耗人力,且会对仓壁造成较大破坏,并且捅煤时在现场会有大量的煤泥以及原煤堆积,会造成严重污染,并且长时间高空作业会使工作人员存在安全隐患^[8]。

2.2 仓壁振打器

仓壁振打器与人工击打的破堵原理相同,粘接在仓壁上的煤由于仓壁震动会逐渐从那个仓壁上脱离,从而达到破堵目的。然而实践证明,其位置必须设在结拱的位置才可以有效发挥作用,并且只借助仓壁振打器是不够的,往往需要结合使用人力破堵才可以起到作用,且仓壁极易被振动器破坏^[9]。

2.3 空气炮方式

空气炮中的主要部件包括储气罐、电磁速关阀以及控制系统等,其工作介质是压缩空气。当电磁速关阀快速打开的时候,储气罐内的压缩空气由于受到压差作用而后形成高速喷射的强烈气流,具有高动能的空气会直接冲击仓内堵塞部位,从而使煤粒在重力作用下重新流动起来。空气炮必须作用在结拱的位置才能发挥作用^[10]。由于原煤仓的结拱、堵塞位置随煤质等原因会发生变化,堵塞位置并不确定且其也处于不断变化当中,在生产过程中,空气炮如果处于结拱位置上方时反而会使煤越振越密实。因此此方法也并不能有效破堵,同时以上各方法均需工人在现场进行操作,导致人力资源还是得不到有效利用,经济效益难以提升。

3 疏通方案的优化处理

3.1 仓壁振打器控制

每台锅炉的原煤斗配备多台高效电磁振打器,分别布置在原煤斗的中下部。就地配置控制柜的同时,将原煤斗的振打器控制接入 DCS 画面,进行远程控制,并且每个给煤口振打器均可单独远程操控。振打器的控制设定为手动、自动两种模式,正常时投入振打自动,运行人员根据煤质情况设置振打动作的间隔时间。在紧急情况下,可以在 DCS 画面上进行手动连续振打。

3.2 加装疏通孔

原煤斗在标高 30 m 以下段加装了人工疏通孔,应对煤斗粘煤、堵煤。给煤机加装高效检修孔,

比以前的检修孔更大更方便疏通粘煤,提高了疏通效率,减少了劳动强度。

3.3 使用空气炮

在原煤斗合适位置安装了多台电磁空气炮。空气炮瞬间爆发力巨大,对原煤斗内壁的粘煤有着极强的清理作用,但是在位置选取上要避免损坏煤斗下口的给煤机皮带等设备。

3.4 煤仓可视化和雷达波煤位计

原煤仓顶部安装高清红外摄像头,将信号接入 IVMS 系统,可以实现电厂控制室实时监控。雷达波煤位探测器位于原煤仓顶部,能够利用雷达波探测煤位高度,并将煤位信息传回 DCS 控制系统。

3.5 优化仓壁振打器和空气炮数量和位置

经过反复精准计算,根据原煤仓结构和粘煤情况,确定原煤仓外壁上仓壁振打器和空气炮的数量和位置,保证充分发挥设备作用。

3.6 技术集成实现清仓、防堵功能

通过技术突破,实现了振打器和空气炮的 DCS 远程实时控制;把振打器和空气炮分区域控制,每个区域其作用不同。在实际生产实践中,制定了一套科学合理规范的清仓、防堵技术方案。

4 应用效果及经济性分析

4.1 机组概况

锅炉型号 DG1184/25.31-II 1, 配套 350 MW 超临界汽轮发电机组。锅炉为超临界参数变压运行直流锅炉,单炉膛、半露天 M 形布置、平衡通风、一次中间再热、循环流化床燃烧方式。10 个给煤口在前墙水冷壁下部收缩段沿宽度方向均匀一字排开。对应布置了 10 台称重式皮带给煤机。分别由 4 个原煤斗(两个几何容积 655 m³ 的大仓,两个几何容积 409 m³ 的小仓)供应原煤,如图 4 所示。

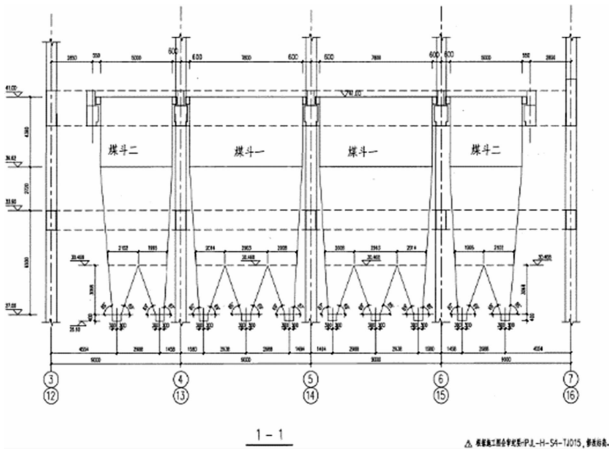


图 4 原煤仓

4.2 应用效果

通过空气炮+振打器+煤仓可视+降煤位运行组合措施,按照既定技术方案,将煤仓的粘煤逐层剥离,保证了原煤斗正常顺利工作。通过坚持措施执行,成功应对了雨季煤湿和煤泥掺烧等恶劣工况。

#1 炉 #2 原煤斗清仓试验前后对比情况(该原煤仓供应 #2、#3、#4 给煤机)见表 1 和表 2。

表 1 清仓前运行情况

试验项目	内容	备注
试验工况	时间:2019 年 3 月 13 日,平均负荷:280 MW,用煤量 205 t/h,6:00 输煤卡煤,煤斗满煤位;12:50 降煤位结束,共用时 6 小时 50 分钟	用时 6 小时 50 分钟
#3 给煤机工况	11:14 对应煤斗走空,停止该给煤机运行。期间共运行煤量 87 t	5 小时 14 分钟,煤斗走空
#4 给煤机工况	12:50 加煤,未拉空。期间运行煤量 134 t	即将走空煤位
#5 给煤机工况	12:50 加煤,未拉空。期间运行煤量 147 t	即将走空煤位

注: #1 炉 #2 原煤斗降煤位期间共运行原煤量 368 t。

表 2 清仓后运行情况

试验项目	内容	备注
试验时间	时间:2019 年 5 月 10 日,平均负荷:228 MW,用煤量 161 t/h,2019 年 5 月 13 日 3:00 卡煤,煤斗满煤位;19:30 清仓结束,共用时 16 小时 30 分	用时 16 小时 30 分钟
#3 给煤机工况	19:30 煤斗走空,停止该给煤机运行。期间共运行煤量 287 t	用时 16 小时 30 分钟,煤斗走空
#4 给煤机	19:30 加煤,未拉空。期间运行煤量 261 t	即将走空煤位
#5 给煤机	19:30 加煤,未拉空。期间运行煤量 236 t	即将走空煤位

注: #1 炉 #3 原煤斗降煤位期间共运行原煤量 784 t。

容积为 655 m³ 的原煤仓,理论储煤量在 900 t 左右,由于粘煤的存在,有效容积不足 500 t。具体情况如图 5 所示。

通过清仓措施, #1 炉 #2 原煤斗最长时间拉斗清仓 16 小时 30 分钟,走煤量 784 t。基本上恢复



图 5 原煤斗降煤位前粘煤画面

了原煤仓的正常容积量,并且保证了原煤仓的正常运行,效果从图 6 可见。



图 6 清理粘煤后画面

4.3 经济性分析

2019 年,成功实施了火电厂原煤仓可视化智能自动清仓防堵技术,按照本技术方法对河坡公司的原煤仓进行了技改,取得了非常明显的效果。

1)通过一系列技改,原煤仓粘煤、堵煤现象基本消除,保证了机组稳定运行,避免了因为堵煤、棚煤引起的烧皮带、降负荷甚至停机事件,按照一年每台机组避免两次降负荷事件计算,挽回资金 $150\text{ MW}\times 2\text{ h}\times 2\text{ 台}\times 0.34\text{ 元/kW}\cdot\text{h}\times 2\text{ 次}=40.8\text{ 万元}$ 。

2)增强了原煤斗对煤种的适应性,降低了火电厂对燃煤的要求门槛,降低了燃料成本,电厂经营能力也因此得到提高。

3)由于技改效果良好,原煤斗粘煤情况消失,煤仓有效容积增大,上煤时间缩短,输煤系统运行时间由原先的 20 h/d ,下降至现在 8 h/d ,输煤系统每小时耗电约 $0.42\text{ 万 kW}\cdot\text{h}$,一年节约用电约 $0.42\text{ 万 kW}\cdot\text{h/h}\times 12\text{ h}\times 300\text{ d}=1\,512\text{ 万 kW}\cdot\text{h}$ 。节约资金: $1\,512\text{ 万 kW}\cdot\text{h}\times 0.34\text{ 元}=514.08\text{ 万元}$ 。

4)上煤时间的缩短,输煤人员劳动强度大大降低,输煤班组倒班更改为两班倒,减少劳动力 12 人,每年节约用工资金 $12\text{ 人}\times 3.6\text{ 万元/年}=43.2\text{ 万元}$ 。

5 结论

针对某 350 MW 循环流化床机组的粘煤、堵煤原因进行分析,并针对该问题进行了一系列技改,还对该技术的经济性进行了计算分析。结果表明,实施技改后,每年可节约资金 598.08 万元,经济价值巨大!为同类型锅炉提供了很好的推广借鉴价值及意义!

参考文献

- [1] 王波,韩文录,郑秀平.循环流化床锅炉原煤仓堵煤原因分析及处理[J].山东工业技术,2018(23):207.
- [2] 宋卫,李习臣.煤仓堵煤的影响因素分析和处理方案[J].能源工程,2009(5):60—63.
- [3] 董成波,张喜来,杨星利,等.电站锅炉原煤仓堵煤的原因分析及预防措施[J].科技资讯,2012(36):130.
- [4] 刘小川,邱代林.燃煤火力发电厂原煤斗堵煤问题的分析及对策[J].能源与节能,2013(12):65—66,161.
- [5] 戴润民,杨寒松,郝娜,等.田庄选煤厂原煤仓堵仓原因及解决办法[J].煤矿机械,2013,34(1):212—214.
- [6] 徐金苗,吴阿峰,李伟科,等.燃煤电厂原煤仓防堵煤设计研究[J].南方能源建设,2019,6(1):92—97.
- [7] 火力发电厂制粉系统设计计算技术规定:DL/T 5145—2012[S],2012.
- [8] 申健,韩净言.回转式煤仓清堵装置在火力发电厂中的应用[J].河南电力,2013,41(3):43—44,47.
- [9] 李军民,刘翔宇,李世岭.CFB 锅炉原煤仓防治堵煤办法研究[J].煤炭与化工,2013,36(12):70—72.
- [10] 刘猛.火力发电厂原煤仓堵煤治理综合研究[J].科技创新导报,2010(12):109.

The Technology of Visualized Intelligent Clearance、Anti-blocking
of Raw Coal Bunker in Boiler and Its Economic Analysis

WANG Peng-cheng¹, XIAO Fan^{2,3}, WANG Ke¹, LI Li-feng¹, ZHANG Man³, YANG Hai-rui³

(1. Shanxi Hepo Power Plant Co. , Ltd, Yangquan Shanxi 045000, China; 2. College of Electrical and Power Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China; 3. Department of Energy and Power Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: In recent years, the national economic situation has been declining, and the operating situation of thermal power plants has also become severe. In order to further reduce the cost of power generation, many thermal power plants will mix inferior coal with slime and high wet powder. However, during the blending process, the raw coal bunker will have problems such as sticking coal, blocking coal, and unsmooth coal, which seriously affect the stable and safe operation of the unit. Threfore the problems of coal blocking and sticking of a 350 MW supercritical circulating fluidized bed unit was analyzed and a series of technical transformations to achieve this was carried out, achieving the purpose of clearance and anti-blocking. At the same time, economic benefits have also been improved.

Key words: raw coal bunker; blending; coal blocking; economic benefits

(上接第 202 页)

Study on the Unloading Modulus of Soft Soil under Excess Pore Water Pressure

LI Jun-jie^{1a}, HUANG Wei^{1a,b}, LIU Dong-yan^{1a}, ZHOU Hai-ying², MOU Ya-qing^{1a},
WU Xu-heng^{1a}, ZHOU Yu-ni^{1a}

(1. a. School of Civil Engineering and Architecture; b. Chongqing Key Laboratory of Energy Engineering Mechanics & Disaster Prevention and Mitigation, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing 401331, China;
2. CISDI Engineering Co. , Ltd. , Chongqing 401331, China)

Abstract: The unloading modulus of soft soil is an important parameter in foundation pit design and numerical analysis. However, the influences of excess pore water pressure and unloading ratio on the unloading modulus of soft soil are ignored in foundation pit excavation and design in water-rich soft soil area, which results in the deviation between the numerical analysis results of foundation pit engineering and the actual engineering. A series of K_0 consolidated undrained triaxial unloading tests were carried out using TSZ fully automatic stress-controlled triaxial apparatus for the study of silty soft soil in Shenzhen, to obtain the calculation formula of unloading modulus of soft soil under different conditions of excess pore water pressure and unloading ratio. The results show that the initial unloading modulus increases with the consolidation confining pressure increasing and the excess pore water pressure has a weakening effect on the unloading modulus of soft soil. Based on Duncan-Chang model, the tangent deformation modulus E_{tu} considering unloading stress path and the tangent deformation modulus E_{tu} considering excess pore water pressure are deduced. The formula of soft soil unloading modulus is of practical value to the numerical analysis of foundation pit.

Key words: soft soil; unloading modulus; unloading ratio; excess pore water pressure