

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.01.016

燃煤电厂原煤仓防堵煤设计研究

徐金苗¹, 吴阿峰¹, 李伟科¹, 樊晓茹¹, 奉林²

(1. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 5106632, 中国;

2. 越南永新一期电力有限公司, 平顺 800000, 越南)

摘要: [目的]燃煤电厂制粉系统堵煤是一个行业难题,特别是原煤仓堵煤。目前市场上防堵煤技术种类繁多,但使用效果众说纷纭,文章旨在找到一个合适的防堵煤技术。[方法]分析了燃煤电厂制粉系统堵煤的原因;研究了双曲线型煤斗、不锈钢煤斗或内衬不锈钢设计、液压对开插板门、落煤管合理设计等防堵措施;重点针对旋转清堵机技术进行了调研。[结果]研究表明:旋转清堵机技术对于解决原煤仓堵煤有明显效果,但动静结合处均存在不同程度的润滑油泄露问题,需要对其密封型式、密封件等进行重点监控。[结论]各种防堵煤技术中旋转清堵机技术具有明显优势,值得推广使用。制粉系统防堵煤是一个综合工程,无论采用何种技术,都必须加强煤源、煤场的科学管理,实现入炉煤水分、粘度等指标的合理控制。

关键词: 堵煤; 旋转清堵机; 原煤仓; 落煤管; 双曲线煤斗

中图分类号: TM611; TK11

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2019)01-0092-06

Research on the Prevention of Coal Blocking in Power Plant Raw Coal Bunker

XU Jinmiao¹, WU Afeng¹, LI Weike¹, FAN Xiaoru¹, FENG Lin²

(1. Guangdong Electric Design Institute, Guangdong, Guangzhou 510663, China;

2. Vinh Tan 1 Power Company Limited, Phan Rang 800000, Vietnam)

Abstract: [Introduction] Coal blocking of pulverizing system is a big problem in power plant, especially for coal bunker. At present, there are many types of anti-blocking coal technologies on the market, but there are different opinions on the use effect. This paper aims to find a useful technology to prevent the coal anti-blocking. [Method] The paper studied the coal blocking reasons and same anti-blocking technologies, such as hyperbolic coal hopper, stainless steel hopper, hydraulic split board damper, reasonable design of falling coal pipe etc. The research focused on the technology of rotary blockage clearing machine. [Result] The results show that the technology has obvious effect on solving the problem of coal plugging in the coal bunker. But there are lubricating oil leakage at the joints between the static and dynamic parts, which shall be paid more attention on sealing selection. [Conclusion] The rotary blockage clearing machine technology in various anti-blocking coal technologies has obvious advantages and is worthy of popularization. The prevention of coal plugging in the pulverizing system is a comprehensive project. Regardless of the technology used, it is necessary to strengthen the scientific management of the coal source and coal yard to achieve the control of the moisture and viscosity of the coal into the furnace.

Key words: coal blocking; rotary blockage clearing machine; coal bunker; coal dropping pipe; hyperbolic coal hopper

燃煤电厂的动力煤来源广、品质复杂多变,有些原煤具有水份大、粘度高的显著特点。在原煤仓出料的过程中往往会有物料堵塞现象发生,严重影

响设备的正常工作。特别是大型火力发电厂配置直吹式制粉系统的原煤仓,一旦发生原煤仓堵塞,发电机组就要被迫紧急降出力甩负荷,甚至出现锅炉燃烧不稳造成大量投油,更严重的会造成锅炉熄火、机组非计划停运。原煤仓的堵煤问题成为一个电力行业的难题。

目前,防止堵煤的技术流派较多,各种防堵煤

收稿日期: 2018-09-10 修回日期: 2019-02-18

基金项目: 中国能建广东院科技项目“输煤除灰专业国际标准对标”(EX02561W)

设备的应用也较广泛,但是使用效果均不尽如人意。本文旨在从众多的防止堵煤技术中找到一种效果好的技术,进行技术推广,较好地解决行业中堵煤难题。

1 制粉系统堵煤原因

锅炉制粉系统堵煤一般发生在原煤仓、闸板门轨道处、给煤机进口位置,堵煤的型式一般有结拱、粘结、堵塞等。制粉系统堵煤主要三个方面原因,一是煤质本身特性,二是结构设计不合理,三是煤流接触面材质选择不合理。原煤的物理特性中,外水分^[1]、灰分、颗粒度^[2]、黏度四个参数决定了堵煤的难易程度。外水分越大,灰分越大,煤粒越细,黏度越高,则这种煤就越容易在制粉系统中发生堵塞。煤流在运动过程中任何部位的结构设计不合理均会导致堵煤现象发生。例如,煤仓内壁倾角、截面收缩率等不符合煤流运动规律;煤仓出口及给煤机入口设计不合理等。原煤在制粉系统中水平移动靠的是煤与接触面之间的摩擦力,在垂直向下运动中靠的是自重。特别是在煤仓中向下运动时,煤流与煤仓内壁形成摩擦力,越到煤仓下部,其截面积越小,垂直作用在运动面上的正向压力越大,当摩擦系数恒定时,摩擦力则越大。当摩擦力增大至一定程度时,则会粘滞住下落的煤颗粒,诱发堵煤。为了减小该摩擦力可以选用摩擦系数更小的材料,如内衬不锈钢。

电厂在实际生产过程中,由于受动力煤市场的影响,燃用一些低成本的劣质煤,甚至通过掺烧煤泥等来降低成本,获得更高利润。但这无疑增加了原料的湿度、粘度,极易造成制粉系统堵煤。

2 原煤仓防堵的现有措施及效果

原煤仓防堵的方法较多,且都有应用业绩,主要有以下几种:

1)原煤仓采用流线型设计(双曲线)

目前新建原煤仓大都采用此技术。双曲线型煤斗随着煤向出口的流动,斗壁的倾角加大,促使煤沿壁面流动的重力分力逐渐变大,重力在对壁面的挤压力分力逐渐变小,与锥型煤斗相比,其等效流动动力随煤的流动下降较慢。从原理上来说,这种形式的煤斗堵塞几率相对较小。但是,在实践中,当煤的含水量增加到一定值(尤其掺烧煤泥),其堵

塞的几率会迅速增加,不能彻底解决原煤仓堵塞的问题。

2)空气炮方式

空气炮由压力容器、充气及放气装置、喷射装置和程序控制装置等组成。压力容器以0.4~0.6 MPa(G)的压缩空气为工作介质。根据应用设备的结构特点及技术要求,设计配套喷射装置,并设定高能空气炮的工作程序,定时完成充压和放炮。压力容器内的压缩空气在瞬间以高速喷射造成爆炸效果,产生射流和震荡作用,把仓内架棚轰塌,形成煤流,以达到防堵、清堵的目的。

3)液压疏松机

液压疏松机采用液压传动,当收到启动信号后,电气控制系统则启动低合金高强度钢制作而成的疏松器,在煤仓内壁上下往复运动,达到疏松煤斗的作用。其最大优点是液压驱动与电气控制相结合,疏松力矩大,运行平稳。其缺点是在没有刮板的地方容易堵,尤其是在机器不工作的时候,刮板成为了结拱堵塞的内因。为了防止结拱堵塞机器必须24 h运转,能耗较大,且易漏油。

4)仓壁振动设备

它是以振动电机的高速旋转形成周期性高频振动,一方面是物料与仓壁脱离,另一方面使物料受交变速度和加速度,使其处于不稳定状态,克服物料的内摩擦力和聚集力,使物料顺利排出料仓口。工作原理简单,适用面广,但耗电量大,有的振动器若安装位置不合理,不但不能清堵,反而会使物料捣结实,振幅大时会破坏仓壁。

5)空气锤

空气锤在没通压缩气体的状态下,磁性锤头借助强磁性磁力紧紧地吸引在极板上,当电磁阀通电时,压缩空气($>3 \text{ kg/cm}^2$)流入空气锤内,当压力大于磁力时,锤头高速撞击基座,起冲击力传递给仓壁或直接敲击仓壁,产生振动,达到振落粉尘的目的,当电磁阀闭合排气后,锤头借助于弹簧的弹力返回,靠近极板时,磁力使锤头与极板又紧紧吸附在一起,锤头又恢复起始状态。这样就完成了一次冲击过程。该系统采用压缩空气作为动力源,节省电能,但防堵效果受限于空气锤安装的具体位置以及物料特性。

6)中心给料机

中心给料机对原煤仓内的物料按照“先进先出”

的原则进行卸料。中心给料机安装在原煤仓下，卸料臂整体安装在原煤仓内部，解决下料问题。根据电机不同的速度来控制卸料速度，通过对数曲线型卸料臂与物料的剪切，使物料持续向中心运动并卸出，卸料臂与原煤仓内壁相切，防止物料在原煤仓内固结搭桥。

中心给料机一般在循环流化床锅炉上使用，存在耗电量大、漏油、漏粉、检修不方便等问题。

7) 回转式清堵机

利用设备的回转和刮刀清除结拱，在机器不工作时易发生堵煤，必须 24 h 工作，设备能耗较大，动静结合部位易漏粉。回转式清堵机分为仓转式和刀转式两种。旋转清堵机的刮刀属易损件，需定期更换。本报告中涉及的旋转清堵机均指仓转式旋转清堵机。

8) 悬挂活震动式原料仓

下部料仓与上部原煤仓通过软连接，下部料斗可通过外壁仓壁振动器敲击小幅度晃动，从而防止料仓堵煤。该设备仅在发生堵煤时，启动仓壁振动器晃动煤斗，防堵煤效果尚可，缺点是下部料仓与上部原煤仓通过软连接部分容易漏粉，寿命不长。

3 调研情况

制粉系统防堵的技术种类众多，使用效果众说纷纭，近年来市场上又出现了旋转清堵机产品，为弄清楚其防堵效果、运行特点，对多个电厂项目进行了调研。

3.1 旋转清堵机生产厂家情况

旋转清堵机设备是一种新型产品，从 2008 年开始投入市场以来，截止目前共有约 10 家单位设计生产制造该产品。从技术流派上来讲，刀转式和仓转式清堵机的制造厂商各占一半，且各家都宣称有自己的专利技术。从制造厂商的地理分布来看，绝大多数为河南省的企业，有些企业虽然在其它地方，但是其技术和人员均是来源于河南。从价格来看，单台设备价格为 15 万元~30 万元，具体价格跟设备的配置有关。

3.2 旋转清堵机使用情况

3.2.1 电厂 A

该厂总装机容量为 2×300 MW，以发电为主同时为周边的厂矿企业供热。锅炉为东方锅炉厂生产的 W 型前后墙对冲炉。实际煤源来路较广，以煤

场配煤作为入炉煤。燃料为以无烟煤为主并掺烧一定量煤泥、褐煤 ($Mar = 22\%$)、烟煤 ($Mar = 6\%$)，入炉煤收到基平均水分约 16%，且煤质粘性较大。在全国发电动力煤源紧张时期，因燃料水分高、粘度大、性能不稳定，经常造成原煤仓堵煤现象，机组降负荷投油运行，且需要大量人工进行清堵。该厂 2014 年对 300 MW 容量的 3#炉 1#和 3#原煤仓进行了改造，即增加旋转清堵机设备。

改造前，原煤仓设有空气炮和煤斗疏松机设备。改造对应的原煤仓下部为圆锥形，并非双曲线结构，在圆锥体位置交错布置了 10 个空气炮装置。改造方案是将原煤仓锥形下料仓下部至给煤机进口壳体处部分全部割除，安装上旋转清堵机及对插式液动插板门。以前安装的空气炮由于不妨碍下煤因此并未完全拆除，目前主要用做对煤堆进行整形以便于煤量测量准确。

据当班值长反馈，该设备运行一年以来总体情况良好，仅发生过一次来煤水分大、颗粒度细，导致旋转筒仓无法旋转，电机电流过高自动保护跳机事故。当再次启动时，同样是电机电流过高保护跳机。最后通过人工捅煤的方法予以解决。该厂反馈，至 2014 年改造以来原煤仓堵塞问题基本得到解决，一是电厂对来煤水分进行控制，并在煤场根据不同煤的特性进行合理配煤，二是旋转清堵机设备起到了一定的作用。

从现场实际运行情况来看，旋转清堵机动静结合部位有密封油和煤粉的混合物有泄露现象(如图 1 所示)，不严重，有可能是密封油添加过多的原因。



图 1 旋转清堵机动静结合部漏润滑油

Fig. 1 Lubricating oil leakage at the joints between the static and dynamic parts of rotary blockage clearing machine

旋转仓壁为碳钢，该设备不投运仅作为煤仓使

用时容易粘煤, 现在实际运行中是一直保持旋转投运状态, 转速为 0.99 r/min。

3.2.2 电厂 B

2012~2015 年期间, 该厂的煤种以烟煤为主混合掺烧褐煤、煤泥等, 入炉煤收到基水分为 16%~20%。

根据 2011 年一季度实际运行统计数据, 一季度因原煤仓堵塞造成累计断煤次数达到 5 万 666 次, 平均每 2.5 min 就断煤一次, 助燃燃油量高达 1 362.07 t, 由于给煤机断煤次数多, 机组无法满足机组带高负荷需求, 平均负荷率仅能达到 66%, 最高负荷率不足 80%。

2011 年 7~9 月实施完成 #4 炉 1~3# 原煤仓改造工作, 因改造取得较好成效, 10 月初完成 #3 炉 1~3# 原煤仓改造工作。在 10 月、11 月 #4 机组实际运行中, 平均断煤次数 5 551.5 次, 比改前 5 月份的 1 万 377 1 次减少了 58.48%; 助燃油 42.986 t, 比改前上半年平均的 182.817 t 减少了 76.5%。

该厂原煤仓下料仓为圆锥型结构, 其本身的防堵效果较双曲线煤斗差。原来设计安装的空气炮并未全部拆除, 但由于空气炮压力大, 容易造成旋转清堵机密封处泄漏, 所以该厂禁止使用空气炮。

旋转清堵机设备总体使用效果较好, 未发生堵塞等故障。但从现场情况来看, 在密封处存在较严重的漏粉漏油现象, 如图 2、图 3 所示。该厂设备较早, 密封结构单一(O 型密封圈)使用后泄漏比较明显, 后来对密封进行了改造, 使用中间带羊毛毡的纯橡胶圈密封, 泄露问题得到了解决。旋转清堵机的刮刀属易损件, 每 3 年需进行更换。



图 2 旋转清堵机密封处漏油

Fig. 2 Lubricating oil leakage at the joints of rotary blockage clearing machine

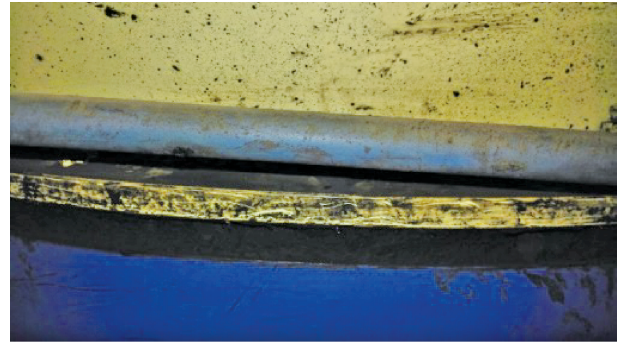


图 3 旋转清堵机密封处漏粉

Fig. 3 Pulverized coal leakage at the joints of rotary blockage clearing machine

造, 即由电动改为液压驱动, 利用原来煤斗疏松装置的油站供油。改造后, 使用效果良好。

该厂的原煤仓及旋转清堵机筒仓均为碳钢, 旋转清堵机必须一直投运, 否则容易出现煤仓堵塞现象。

3.2.3 电厂 C

该厂装机为 2×660 MW 等级超临界机组, 锅炉为 W 型前后墙对冲炉。1#、2# 机组分别于 2015 年 10 月、12 月 31 日完成 168 试运行。该厂设计煤、校核煤为无烟煤, 收到基水分 (Mar) 分别为 8%、9%。由于该厂属于近期新建项目, 原煤仓防堵措施只设计了旋转清堵机(河南众森产品), 未使用其它设备。

据电厂锅炉专工反馈, 1# 炉投运至 168 结束检查密封处未发现油迹及漏粉情况, 但发生了一次堵煤, 堵煤位置位于清堵机上部煤斗, 后由检修人员敲击原煤仓的仓壁后下煤正常; #2 炉 A 磨正在运行中, 也未发现油粉外漏现象。

该厂原煤仓下部为圆锥形下料仓, 较双曲线落煤斗防堵效果略差。该厂旋转清堵机安装位置偏高, 使得给煤机进口煤闸门出口至给煤机壳体之间的距离过长, 此处易成为堵煤风险点。该厂旋转清堵机密封型式较其它厂更为先进, 采用了宫型密封+铜密封+O 型橡胶圈密封结构, 且自动添加密封油。煤闸门采用独立液压推杆, 由独立的液压油站供油, 1 台油站供 2 台煤闸门, 油站有泄漏, 曾经发生过液压油站故障, 采用氮气瓶开启煤闸门。该厂未设计旋转清堵机的检修维护平台, 日常运行检修十分不便, 漏粉、漏油无法及时发现。

给煤机进口处的煤闸门仅对驱动方式进行了改

3.3 调研结果及存在问题

旋转清堵机设备的应用很好地解决了原煤仓堵塞问题,用户反馈良好,但在实际应用中仍然存在如下问题,需要进一步解决。

1) 旋转清堵机动静结合处的密封问题

从调研结果来看,旋转清堵机的密封漏油漏粉问题是一个共性问题,只是各个设备的严重程度略有区别。针对该问题,只有要求设备厂家选取更加科学的密封型式,如紧套迷宫、硬金属密封,控制密封件的精度等。另外,在密封油添加方面需要设备厂家实现自动添加,防止加油过多。

2) 旋转清堵机堵塞卡死问题

调研发现,电厂A、电厂C均出现了一次堵煤卡塞现象。究其原因主要是来煤水分大、粘度大。所以要完全避免旋转清堵机的堵塞卡死必须在煤场进行科学合理地配煤,严格控制入炉煤水分。

3) 旋转清堵机必须一直投运问题

设备厂家在进行技术介绍时是建议用户在来煤特性较好不易发生堵煤时就将设备停运,仅作为一个筒仓。调研下来发现,绝大多数电厂鉴于单台旋转清堵机的电机功率较小 $1.5\text{ kW} \sim 3\text{ kW}$,都是将该设备一直投运,否则很容易发生堵煤。

4 其它防堵措施

粉系统防堵煤需要从原煤仓结构、煤流接触面材质、落煤管口径及长度设计、运行等多个方面着力,没有一种技术可以一劳永逸,是多个方面的综合效果体现,其它防堵措施还包括如下几种。

4.1 双曲线煤斗设计

经调查研究,煤仓堵塞90%以上发生在下部煤斗出口以上 $1 \sim 2\text{ m}$ 的范围内。其主要原因:料仓卸料时,锥形仓内物料在竖直方向膨胀、水平方向压缩,应力呈被动塑性状态,随着料仓出口尺寸的减小,压力越来越大,煤颗粒之间及煤与筒壁之间的摩擦力增大,煤颗粒之间发生团聚,特征尺寸显著增大,所以堵塞主要发生在此段。将原煤仓下部设计成双曲线型式,可以有效减小煤流与原煤仓内壁之间的摩擦力。

4.2 不锈钢煤斗或内衬不锈钢设计

同样为了减小煤流与原煤仓内壁之间的摩擦力,可以采用不锈钢材料减少摩擦系数。一般,在原煤仓的倾斜壁面内衬不锈钢材料^[3]。在原煤仓矩

形段内壁同样会出现黏煤现场,可以设置 2 m 左右的不锈钢内衬。在原煤仓下部收缩段因摩擦力大,其内衬不锈钢运行多年后会出现磨损,在经济性允许的情况下可以将下部双曲线煤斗设计成不锈钢材质,效果更佳。

4.3 液压对开插板门

在原煤仓出口、给煤机进口设置有插板门用于给煤机检修时关断煤流。原来大多数设计为单向电动插板门,当该门关闭时插板会将煤流朝一个方向带动挤压,在插板门端部与插板之间易积煤,造成关不严密,同时电动执行机构的力矩有限。当采用对开插板门后,左右两片插板将煤流向落煤管中心带动,不会出现插板之间有煤关不严的现象,同时液动执行机构力矩更大。

4.4 落煤管的合理设计

在电厂运行中,原煤仓出口、给煤机进口间的落煤管位置也经常发生堵煤现象。落煤管材质须选用不锈钢材质;在保证燃煤准确落在给煤机皮带的前提下,给煤机入口截面积越大越好;落煤管的长度应尽量短。

4.5 设置干燥棚

对于降雨充足地区,电厂煤场内可设置干燥棚^[4],减少入炉煤水分,防止堵煤。

越南永新燃煤电厂一期BOT项目在制粉系统防堵煤方面综合采用了上述措施,即双曲线不锈钢金属煤斗、原煤仓矩形段内衬不锈钢、设置旋转清堵机、液压对开插板门、优化落煤管设计等,电厂1#机组运行约一年来,无论煤源和降水如何变化,均未发生制粉系统堵煤事故,防堵效果明显。

5 结论

1) 旋转清堵机在原煤仓防堵煤问题上具有明显效果,但是其动静结合处均存在不同程度的润滑油泄露问题,需对密封型式、密封件等进行重点监控。

2) 原煤仓下部的小煤斗需采用双曲线型结构设计,采用不锈钢材质或内衬不锈钢。

3) 液压对开插板门、落煤管合理设计、干燥棚设置对防堵煤有重要意义。

4) 制粉系统防堵煤是一个综合工程,无论采用何种防堵技术,都必须加强煤源、煤场的科学管理,实现入炉煤水分、粘度等指标控制。

参考文献:

- [1] 孔艳丽. 电厂原煤仓堵煤机理试验研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2013.
KONG Y L. Experiment study on coal blockage mechanism of raw coal bunker in power plant [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013.
- [2] 贾源. 锅炉原煤仓堵煤原因分析及应对措施 [J]. 华电技术, 2010, 32(增刊1): 35-36.
JIA Y. Cause analysis of coal bunker blockage and countermeasures [J]. Huadian Technology, 2010, 32(Supp. 1): 35-36.
- [3] 耿正玮. 锅炉制粉系统煤斗堵煤解决方案探讨 [J]. 云南电力技术, 2008, 36(5): 71-72.
GENG Z W. Discussion on coal bunker blockage solution of boiler pulverizing system [J]. Yunnan Electric Power, 2008, 36(5): 71-72.
- [4] 李德永, 袁树彬, 张铁铸, 等. 华能伊敏电厂原煤仓堵煤原因分析及解决方案 [J]. 中国科技纵横杂志, 2015, 226(22): 155-156.
LI D Y, YUAN S B, ZHANG T Z, et al. Cause analysis and solution of raw coal bunker blockage in Yimin Huaneng Power Plant [J]. China Science & Technology Overview, 2015, 226(22): 155-156.

作者简介:



徐金苗(通信作者)

1982-, 男, 湖北宜昌人, 高级工程师, 硕士, 主要从事发电厂热机专业设计研究工作 (e-mail) xujinmiao @ ge-di. com. cn。

XU J M

吴阿峰

1982-, 女, 山东青岛人, 高级工程师, 硕士, 主要从事发电厂热机专业设计研究工作 (e-mail) wuafeng @ ge-di. com. cn。

李伟科

1979-, 男, 广东梅县人, 教授级高级工程师, 学士, 主要从事热力发电与节能研究工作 (e-mail) liweike @ ge-di. com. cn。

樊晓茹

1973-, 女, 河南郑州人, 教授级高级工程师, 学士, 主要从事发电厂热机专业设计研究工作 (e-mail) fanxiaoru @ ge-di. com. cn。

奉林

1981-, 男, 四川绵竹人, 工程师, 东北电力学院学士, 从事火力发电厂锅炉专业技术管理工作 (e-mail) Lfreebird @ 163. com。

(责任编辑 郑文棠)

