

防磨导流板技术在循环流化床锅炉上的应用

闫晓伟

(中煤陕西榆林能源化工有限公司, 陕西 榆林 719000)

摘要:为解决循环流化床锅炉水冷壁泄漏问题,本文研究了水冷壁磨损原理,对几种典型防磨技术进行介绍,并以某电站防磨导流板技术应用为例,研究该技术的实施方案和应用效果;提出防磨导流板技术是一种工艺简单、实用性强的水冷壁防磨技术的观点,以期为同行业相关技术人员提供参考。

关键词:循环流化床锅炉;水冷壁;磨损;防磨导流板

中图分类号:X773

文献标识码:A

文章编号:1004-7344(2021)27-0172-03

1 研究背景

循环流化床锅炉是具有高效率、低污染特点的一种燃烧设备,它的燃料适用范围广,燃烧稳定,燃烧效率高,且相比其他燃煤锅炉,它的 SO_x 、 NO_x 等大气污染物排放低,所以循环流化床锅炉在能源、化工、金属冶炼等企业得到广泛应用。循环流化床锅炉有大量成功的应用案例,在行业内被公认为是最有发展前景的锅炉类型之一,因此该炉型也成为燃煤电站锅炉的一大发展趋势。中国是世界上在发电行业使用循环流化床锅炉最多的国家,据统计中国已经投用的循环流化床电站锅炉有三千余台。但是这种锅炉仍然存在一些问题,如炉膛内部磨损泄漏,耐火材料磨损脱落和炉管超温爆管等问题。在科研机构、设备厂家以及使用单位的不懈努力下,通过优化改造、技术升级,循环流化床锅炉的连续运行时间越来越长,产生的效益越来越好,但由于其特殊的工作原理,自诞生以来就存在磨损量大,尤其是水冷壁磨损大的问题,经常导致泄漏停炉,因此采用必要的防磨技术,就成了提高锅炉运行周期的关键课题之一。

2 循环流化床锅炉的运行特点及磨损情况

循环流化床锅炉的基本原理是采用流态化的物料燃烧方式,主要设备结构分为燃烧室(即炉膛,包括炉膛的密相区和稀相区)、物料循环系统(主要包括分离器和返料器)两大部分。循环流化床锅炉的燃烧室受热面采用膜式水冷壁形式,底部安装布风板,在运行时,大部分燃料主要在炉膛内进行燃烧。炉膛四壁是由水冷壁构成的受热面,大约一半的由燃料产生的热量在炉膛内完成的换热过程。

循环流化床锅炉工作过程中,燃料煤首先被筛分破碎,加工成符合锅炉设计要求粒度范围的煤粒,然后通过给煤设备,由播煤风吹进炉膛密相区,炉膛内的物料(主要由燃料煤、灰渣、石灰石脱硫剂等组成)在一次风的快速流化作用下,形成流化态进行燃烧,较大的物料颗粒在炉内形成内循环,较细的物料颗粒随着烟气穿过炉膛烟窗后进入旋风分离器分离,烟气携带一部分飞

灰从分离器的中心筒进入后续烟道经过处理后由烟囱排出,烟气中大部分物料沉降到连接在下方的返料器,又经返料器回到炉膛密相区,继续参与燃烧,按照这一过程多次循环。物料进行循环的过程中,会对锅炉的各部位产生剧烈的磨损,磨损导致锅炉泄漏,这就成为影响锅炉长周期运行的最大问题之一。一般在水冷壁、各孔门、测点、金属与浇注料结合部位、省煤器、炉膛风口、返料口和进煤口等部位,都是容易磨损的位置。

根据陕西某电站统计,在其循环流化床锅炉非计划停运的事件中,磨损泄漏所导致的原因中占80%以上,而其中,水冷壁的磨损泄漏又占了绝大部分。因此,防止水冷壁磨损泄漏,就成为决定循环流化床锅炉能否长周期运行的关键点。本文重点对水冷壁防磨的问题进行分析,并对一种水冷壁防磨技术的应用进行探讨。

3 循环流化床锅炉水冷壁磨损原理

根据循环流化床锅炉的基本工作原理,要使燃料煤能够充分燃烧,从锅炉底部布风板垂直向上的一次风即流化风,必须保证足够的速度和刚度,使煤和空气充分混合,燃烧产生的烟气夹带着物料(主要是煤、灰渣和石灰石脱硫剂)一边燃烧一边向上运动,形成流化态。根据已有的研究表明,循环流化气固流动的基本特征主要表现为局部结构上的物料颗粒发生团聚现象及整体结构上颗粒浓度和速度的不均匀分布。炉膛中心区域的流化风速高,而靠近炉墙区域的流化风速低,这就导致中心区域物料颗粒团会随着气流向上运动且向炉墙处偏移,使中心区域浓度逐渐降低;而靠近炉墙区域的物料团浓度会增大,并沿炉墙水冷壁向下流动(俗称贴壁流)。这样的物料流场分布就会产成在中心区域向上流动,而在水冷壁区域向下流动的“环—核”流动形式,贴近水冷壁向下流动的物料颗粒从上部到下部浓度和速度逐渐增大,物料颗粒的贴壁流动就会造成炉墙水冷壁管磨损,如图1所示。

炉膛内物料的这种循环流动形式,虽然强化了炉内的传热,

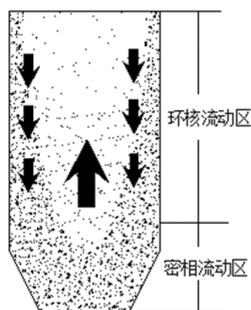


图1 炉堂内部物料流动

延长了固体物料在炉内的停留时间，有助于锅炉的温度场均匀和燃料燃烧，但是加剧了水冷壁表面的磨损。而且，贴壁流动的物料颗粒团下降过程中，由于受到向上运动的气流和物料扰动，又会产生涡流、回旋、斜切等复杂的运动方式，可能对水冷壁管正面、侧面各个方向造成冲击磨损；在水冷壁存在凹凸部位的区域，如测点、观察孔、浇注料交接位置，由于贴壁流动的物料突然转向，导致物料冲击水冷壁，并可能形成涡流，进一步造成磨损。

另外，在炉膛出口烟窗位置，由于烟气流动发生转向，大量的物料颗粒在离心力和惯性作用下，会以斜向上的运动方向掠过水冷壁，造成水冷壁侧面局部磨损，这也是水冷壁上部磨损的主要表现形式。

在循环流化床锅炉实际运行时，越靠近炉膛下部，颗粒的直径越大，浓度越高，磨损越剧烈；不同炉膛的高度位置贴壁流的流速不同，越往下方流速越高，磨损量越大。如果燃用高灰分及矸石含量高的劣质煤，这种磨损将更严重。

研究机构给出的锅炉受热面磨损量经验计算公式为：

$$E=f_1f_2CV^{3.5} \quad (1)$$

式中： E -磨损量； f_1 -物料颗粒特性系数； f_2 -受热面布置形式及冲刷方式系数； C -物料（飞灰）浓度； V -速度。

根据式(1)，在煤种和受热面不变的前提下，受热面磨损量与物料流速的3.5次方成正比例关系，和物料（飞灰）浓度成正比例关系，说明磨损量与物料浓度和流速关系密切，若采取措施降低物料浓度和流动速度，即可以达到减少磨损量的目的。

4 典型水冷壁防磨技术介绍

4.1 防磨导流板技术

防磨导流板也称防磨隔板、防磨格栅，它分为横板和竖板两种，横板根据水冷壁外形尺寸加工成带弧形的仿形板；竖板一般为长方形。导流板材质选用耐高温、耐磨损的合金材料铸造而成。横板和竖板分别在水冷壁表面沿水平和垂直方向焊接在水冷壁鳍片上（不与管子焊接），形成网格式格栅，降低水冷壁表面流动的物料颗粒速度，阻断贴壁流，疏导水冷壁表面物料的流动循环，减少物料流与管子表面接触，并在管子表面流场消除局部涡流，以达到防磨目的。

4.2 金属喷涂技术

金属喷涂技术采用超音速火焰或电弧喷涂工艺，其使用燃气燃烧或电弧为热源，把粉末状或丝状的特殊金属材料进行加热，达到半熔融或熔融的状态后，依靠压缩空气或燃气压力，以超音速气流将熔融态的金属雾化，喷到水冷壁表面，形成厚度0.3~0.8mm范围内的金属涂层，从而达到保护水冷壁表面的目的。

4.3 多阶防磨梁技术

防磨梁，是使用耐磨耐火可塑料沿水冷壁横向制作的一条凸台，通过焊接在水冷壁上的抓钉（锚固钉）将其固定。多阶防磨梁技术就是按照设计好的间距，布置多条防磨梁，来降低贴壁流动的物料浓度和速度，从而减少水冷壁管磨损。

4.4 激光熔覆技术

激光熔覆技术以激光为热源，在被熔覆水冷壁表面上涂抹作为焊材的金属粉末，通过激光辐照使金属粉末与水冷壁表面薄层同时发生熔化，然后快速冷却，凝固形成均匀且厚度可控的耐磨合金层，从而达到水冷壁防磨的目的。

4.5 几种防磨技术的优缺点

防磨导流板技术的优点为：安装简单，因其只是焊接在水冷壁鳍片上，对水冷壁管子无损伤，施工工期极短，成本低，防磨效果好。缺点为：对导流板的材质和施工质量要求较高，若导流板材质不良或施工质量不良，会导致变形脱落，反而增加水冷壁的局部磨损。

金属喷涂技术的优点为：施工方便，对水冷壁无损伤，不受炉膛空间、被喷涂对象外形限制，在水冷壁任何位置均可使用。缺点为：对施工质量要求较高，防磨效果一般，根据陕西某电站实际应用，喷涂层在不同水冷壁区域寿命为3~12个月不等，喷涂施工质量不良时还产生开裂、剥离现象。

多阶防磨梁技术优点为：防磨效果好，寿命长，施工工艺简单。缺点为：施工工作量较大，且因需焊接大量抓钉、砌筑大量耐磨耐火材料，由于耐磨耐火材料导热性相对水冷壁差距较大，对锅炉效率有一定影响；另外由于防磨梁尺寸较大，原锅炉设计的电动检修升降平台将不能再使用，为后续水冷壁检查检修带来困难。

激光熔覆技术优点为：耐磨强度高，不会发生脱落，不会对锅炉效率产生不利影响。缺点为：成本高，施工不易施工，一般仅适用于工厂加工，现场局部替换的方式。

陕西某电站480t/h循环流化床锅炉选用防磨技术时，对多个企业进行了考察调研后，根据自身现场条件，从工期的紧迫性、经济成本、施工难度、对锅炉运行的影响，以及对后期检修维护工作的影响等方面进行综合考虑，采用防磨导流板技术，取得良好的效果。

5 防磨导流板防磨原理

根据上文分析水冷壁磨损机理，磨损量与物料浓度、流速关系密切，当然也与运行工况有关。防磨导流板技术本着“疏导”物料循环，通过在炉膛四壁分层加装横向、竖向板子，形成格栅式防护，多层主动阻挡物料贴壁流动，降低其速度；阻挡高速运动的物料颗粒形成的涡流，与水冷壁发生高速的接触摩擦；阻挡各个方向运动的物料流对水冷壁管的直接冲击；使物料与水冷壁管发生隔离，避免接触导致磨损，这样就起到了治标治本的作用。防磨导流板技术的防磨原理可总结如下：

(1)破坏稳定的边壁区物料流场，阻挡物料涡流、斜向物料流对水冷壁管正面及侧面的冲击磨损，减少颗粒与水冷壁接触的机会。

(2)贴壁物料流受到横向导流板阻挡，从导流板溢出，物料流依然沿垂直水冷壁管表面及管间鳍片向下流动，但会减少紧贴

表面的物料浓度,贴壁流对导流板下的垂直水冷壁管的磨损也大大减少。

(3)贴壁流流经横向导流板后,会自然积存一部分灰,并形成一个斜面,后续流下的物流作用到积灰上,顺着积灰的斜面流动,不会因受到导流板阻挡,产生冲击和转向,对水冷壁管产生磨损。

(4)根据检查水冷壁发生侧面磨损的位置,有针对性地在发生侧磨的位置安装竖向防磨导流板后,阻挡气流携带物料对水冷壁侧面的冲击磨损。

(5)流动的物料颗粒运动到防磨板处时,其受阻后速度被降低到零,然后才能重新开始流动。多层布置的防磨板使物料颗粒流动速度大大降低,减小了对水冷壁的磨损。

(6)防磨导流板虽然阻挡了贴壁物流,一定程度上减弱物料流与水冷壁的换热,但因其是金属材质,导热性良好,对热传导又能起到一定的增强作用,所以不会对锅炉水冷壁换热和锅炉负荷能力产生较大的负面影响。

6 技术应用及效果

防磨导流板技术已被多家发电厂应用,以陕西某电站 480t/h 循环流化床锅炉防磨导流板应用为例,简单说明技术应用方案及应用效果。

6.1 水冷壁防磨导流板整体设计

根据前文分析,越靠近炉膛下部,磨损越剧烈,炉膛下部磨损速率远高于上部。因此在炉膛水冷壁卫燃带向上加装多层横向防磨板,防磨板间距由小到大,即防磨板密度随物料浓度和磨损程度变化,在水冷壁下部大,向上逐渐减小。向上依次分别间距为 200mm、400mm、600mm、800mm、1000mm (最大不超过 1000mm);为防止旋流、斜切、横向等复杂运动方式的物料颗粒对水冷壁管侧面造成冲刷。在水冷壁垂直(纵向)方向加装防磨板阻挡物料冲刷管子,从炉膛墙角处开始第一道 5 根管,第二道 10 根管,从第三道开始每道间距在 10~15 根管之间(最多不超过 15 根)。在具体施工时,根据勘测水冷壁实际磨损情况,相应地在竖向、横向进行防磨板安装调整。

6.2 特殊位置的防护

两烟窗口下方涡流裹挟的物料量大、速度性易形成严重的局部磨损。所以在炉膛两烟窗下方需要加密装设防磨板,间距 300~500mm。由于旋风分离器的作用,烟窗横向、斜向风速大,两烟窗中间水冷壁管容易造成侧面磨损;在炉膛两烟窗中间对防磨板在横向和纵向均要加密安装。横向安装的防磨板间距 600~800mm。纵向安装的防磨板间距在 3~12 根管之间,最多高不超过 12 根管,示意图如图 2 所示。

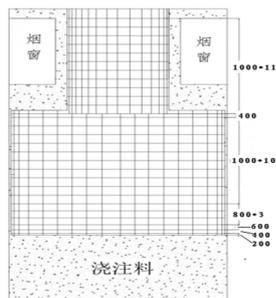


图2 水冷壁防磨导流板安装布置

吊屏穿墙管处浇注料过渡区域和下部安装焊缝,也是磨损较严重的区域,需要在穿墙处周围考虑加密防护。

6.3 防磨板的焊接安装方法

防磨板使用含碳量低, Cr、Ni 含量高的合金材质,可长期在 1200℃ 的高温环境下使用,耐磨性强,导热性好,横向板采用仿形结构,能够与水冷壁可靠配合,并预留 2mm 左右间隙,不影响水冷壁管膨胀;竖向板一般为长方形,板子长约 20cm,宽约 6cm,焊接时防磨板之间采用鱼鳞式自然搭接,保证每一片防磨板能够自由膨胀,不脱落。焊点位置全部在水冷壁管之间的鳍片上,不与管子焊接,防止对管子造成损伤,如图 3 所示。

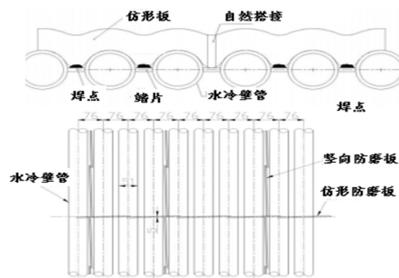


图3 防磨板安装方式

6.4 安装工期

防磨板安装简便,施工周期短,成本低。以 480t/h 锅炉为例,配合使用电动检修升降平台,6 个工人在炉内同时施工,施工工期仅需 5d。

6.5 使用效果

在该电站应用防磨导流板技术后,水冷壁管磨损量大大减少,原来水冷壁频繁磨损泄漏,每 3 个月整体测厚 1 次,水冷壁管子磨损量在 1mm 以上,每次检修需更换大量水冷壁管。实施防磨导流板技术后,锅炉运行按 3 个月为一检查周期,基本无明显磨损;按 6 个月为一检查周期,实测磨损量仅 0.1mm;运行 1 年,检查防磨板无开焊脱落情况,变形量不大;对锅炉运行无明显不良影响。总体效果良好,起到了对水冷壁防磨保护效果,大大减少水冷壁的泄漏概率。

7 结语

流化床锅炉受热面磨损量与物料浓度和流速关系密切,应用防磨导流板技术可以有效阻挡物料对水冷壁的冲刷磨损,减少水冷壁的磨损,延长水冷壁管的寿命,经长期应用观察,效果良好,达到水冷壁防磨目的,且施工简单,成本低,是一种经济实用的循环流化床锅炉水冷壁防磨技术。

参考文献

- [1] 黄中.循环流化床锅炉优化改造技术[M].北京:中国电力出版社,2019.
- [2] 杨建华.循环流化床锅炉设备及运行[M].北京:中国电力出版社,2017.
- [3] 段东涛,李秋成.循环流化床锅炉的防磨梁设计与应用[J].工程技术,2018(12):186.
- [4] 李宝伟,孟焱鑫,靳权成,等.循环流化床锅炉水冷壁防磨导流板的应用[J].资源节约与环保,2019(10):50.

收稿日期:2021-06-02

作者简介:闫晓伟(1985—),男,汉族,河北怀安人,本科,工程师,研究方向为设备管理与维护。