

大型 CFB 锅炉高温分离器耐磨砖墙存在问题及改进措施

代泽华¹⁾ 龚莲辉¹⁾ 龚兴利¹⁾ 营利萍²⁾ 辛胜伟³⁾

1) 四川白马循环流化床示范电站有限责任公司 四川内江 641005

2) 无锡市宜刚耐火材料有限公司 江苏宜兴 210000

3) 神华集团循环流化床技术研发中心 陕西西安 710065

摘要:针对白马公司 300 MW 高温绝热式分离器长时间运行后出现膨胀缝和耐火砖缝间隙增大,高温烟气、物料进入墙体内,造成墙体耐磨砖大面积脱落,导致分离器壳体超温、壳体发红等问题,提出了改进措施。先在外筒壁上焊接耐热锚固件,再在保温层铺设 250 mm 厚的轻质保温可塑料,工作层铺设 150 mm 厚的 SiC 耐磨可塑料;优化施工,在分离器直段与顶部、入口烟道等区域接口处设计膨胀缝,严格按烘炉升温曲线进行烘炉。经改进后的高温绝热式分离器使用 5 年,再无壳体发红现象,改进效果明显。

关键词:高温绝热式分离器;耐磨砖;耐磨可塑料;膨胀缝;Y 型抓钉;靶区

中图分类号:TK17

文献标识码:A

文章编号:1001-1935(2021)03-0235-05

DOI:10.3969/j.issn.1001-1935.2021.03.013

循环流化床(CFB)锅炉旋风分离器是锅炉的关键部件,主要作用是将大量高温固体物料从气流中分离出来,送回炉膛,以维持炉膛内的快速流化状态,保证燃料和脱硫剂多次循环燃烧反应,达到理想的燃烧效率和脱硫效果^[1-3]。因此,循环流化床锅炉旋风分离器的性能优劣及运行的稳定性,将直接影响整个锅炉的效率及运行寿命。在 CFB 锅炉的燃烧工况下,固体颗粒对受热面的磨损,一直是制约 CFB 锅炉经济运行和发展的关键问题。CFB 锅炉内部存在不同速度、不同角度、不同浓度的高温物料,它们以各种形式作用于内衬,加之腐蚀性气体和其他介质的存在,形成了复杂的磨损过程^[4-5]。

随着循环流化床锅炉大型化的发展,对旋风分离器内部耐磨结构有更高的要求,它不但要能处理大容量的烟气,还要在高温、高速磨损等恶劣环境中可靠、稳定运行^[6-7]。因此,设计、优化、改进高温旋风分离器耐磨内衬结构,提高分离器耐磨性和抗冲击性,提高锅炉可用率,在大型循环流化床锅炉上发挥其更大作用,有着特别重要的意义。

应用最多的旋风分离器,有技术成熟、造价相对较低等优势^[8]。白马公司引进的 300 MW 循环流化床锅炉采用了 4 台绝热式高温旋风分离器,对称布置在锅炉的两侧。旋风分离器由中心筒、顶盖、上部圆筒体和下部锥体组成。中心筒采用高温不锈钢钢板卷制而成,顶盖、上部圆筒体和下部锥体由碳钢板卷制而成。分离器运行温度 900 °C,内部受到高温烟气冲刷,易磨损。因此,在顶盖、上部圆筒体和下部锥体等区域内壁采用保温+耐磨材料,总厚度 400 mm。旋风分离器内烟气流体的动力来源于引风机产生的负压,在中心筒内的负压大于分离器烟气进口的负压,烟气进入旋风分离器后旋转下行,再经中心筒上行排出。在旋转的过程中,较大的颗粒在中心外层,对上部圆筒体冲击较大,循环灰的浓度大,加之分离器入口处的烟气流速达到 29 m·s⁻¹。因此上部圆筒体内壁磨损严重。经过多年的运行,发现分离器上部圆筒体烟气进口正对侧位置(靶区)磨损最严重,说明烟气颗粒在此位置的冲击比其他位置的多,形成了旋涡。

该绝热分离器在直段和锥段全部采用保温砖 +

1 分离器工作原理及耐磨层结构

绝热式高温旋风分离器是目前循环流化床锅炉

* 代泽华:男,1974 年生,工程师。

E-mail: zehua.dai@chnenergy.com.cn

收稿日期:2020-09-03

编辑:张子英

耐磨砖砖墙结构,靶区采用了保温砖+高强高铝耐磨砖。分离器顶部耐磨砖不容易固定,采用耐磨喷涂料+保温喷涂料,老鹰嘴等异型区域采用保温浇注料+耐磨浇注料。分离器体积大,直径8 750 mm,高度17 348 mm。一台分离器仅绝热保温砖、耐磨砖总质量就达350 t。

2 绝热式分离器砖墙耐磨结构存在的问题

绝热式分离器砖墙耐磨结构采用锚固件与壳体焊接,通过锚固件将锚固砖固定。锚固件一般垂直布置在靶区和水平布置在直段与锥段交接处。整个分离器直段和锥段砖墙靠楔形砖砖相扣围成圆形。运行过程中主要存在问题为:

(1) 砖缝增大造成耐磨砖脱落。耐磨砖的灰缝饱满度要求必须大于90%,灰缝控制在1.5~2 mm^[3]。因机组长期运行冲刷磨损,造成砖缝过大,导致物料先磨损砖缝内灰浆继而影响到耐磨砖墙体的整体稳固性,导致耐磨砖大量脱落甚至砖墙倒塌。

(2) 膨胀缝破坏,缝区耐磨砖断裂。在分离器筒体直段与顶部、直段与锥段、入口烟道与直段等区域砖墙体设计安装了集中膨胀缝。CFB锅炉在高温下运行和频繁启停过程中,炉内温度变化较为频繁,造成循环冷热冲击。同时,炉内存在大量较复杂的高温气固两相流动,这些高速运动的高温固体粒子在动能的作用下对分离器集中膨胀缝形成不间断的强力冲刷。分离器内,一方面大量高速运动的高温固体粒子不断冲刷耐磨砖而使其破坏;另一方面因炉内温度波动、热冲击及机械应力等造成耐磨材料产生裂纹和剥落,造成耐磨砖膨胀缝增大,缝区域耐磨砖断裂或墙体内凸,使得分离器内墙体大面积脱落。

(3) 分离器壳体腐蚀,锚固件断裂。烟气中的SO₂通过砖缝渗透到金属壳体,造成壳体腐蚀严重,固定支撑件与钢板断裂、脱离,造成墙体倾斜、倒塌。

(4) 卸载托板高温变形,造成砖墙间隙大。在分离器水平段安装卸载托板,托板采用310S不锈钢板制作,长期高温运行,卸载托板变形严重,高温物料通过间隙容易进入墙体内,使墙体内凸严重,造成墙体垮塌。

砖缝增大,锚固件断裂,卸载托板高温变形,膨胀缝破坏等因素容易造成砖墙体松动、脱落,甚至垮塌,从而导致分离器壳体超温、壳体发红。同时大量脱落的耐磨砖堆积在回料器内,造成回料器内堵塞,管道

压力高,返料物不能回到外置床内,造成外置床内高温再热器、中温过热器气温温度低,严重影响机组安全运行,甚至造成停机。

3 采取的措施

分离器内衬工作层要求具有耐高温、高耐磨、抗冲击、抗热震等性能,保温层要求具有耐高温、线变化率小、热导率低等,以适应分离器的运行工况^[9]。

3.1 耐磨及保温材料选取

工作层采用SiC耐磨可塑料,其物理性能见表1。可见,该可塑料具有优良的耐磨性能、较高的耐压强度和抗折强度、较低的气孔率、好的抗热震性、抗氧化性和抗腐蚀性。安装操作简便,适应于任何形状表面的施工。在靶区部位施工时,要求在耐磨可塑料中添加不锈钢纤维,以增强可塑料的整体结构强度并提升墙体的抗剥落能力。保温层采用轻质保温可塑料,其物理性能见表2。

表1 SiC耐磨可塑料的物理性能

项目	指标	
耐火度/℃	≥1 790	
使用温度/℃	1 500	
热导率(850℃)/(W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	2~2.5	
可塑性指数/%	25~40	
线变化率/%	110℃保温3h	-0.4
	815℃保温3h	-0.2
	1 100℃保温3h	-0.1
耐压强度/MPa	110℃保温3h	>80
	815℃保温3h	>90
	1 100℃保温3h	>110
抗折强度/MPa	110℃保温3h	>10
	815℃保温3h	>15
	1 100℃保温3h	>20
体积密度/(g·cm ⁻³)	2.50~2.60	
磨损量/cm ³	<5	
显气孔率/%	<17	
氧化后质量损失率/%	1 100℃	<0.2
	水冷,900℃	>30
抗热震性/次	水冷,1 350℃	>60

表2 轻质保温可塑料的物理性能

项目	指标	
耐火度/℃	≥1 400	
可塑性指数/%	25~40	
线变化率/%	815℃保温3h	-0.8
耐压强度/MPa	815℃保温3h	>5
体积密度/(g·cm ⁻³)	1.0~1.2	

3.2 锚固件选取及焊接

金属锚固件既作为炉墙内衬的质量支撑件又起

到了水平抓固的作用,将不定形耐磨保温材料牢固固定于分离器壳体上,有效防止耐磨材料脱落。金属锚固件采用了材质为310S、尺寸395 mm×40 mm×4 mm、规格为Y型扁钢连体抓钉,典型部位每平方米33件,上下排错列排布,转角部位加密布置。锚固件典型布置图见图1。在分离器壳体内壁按150 mm×200 mm典型间距焊接材质310S Y395型耐热抓钉,要求双面焊接,焊缝高4 mm。

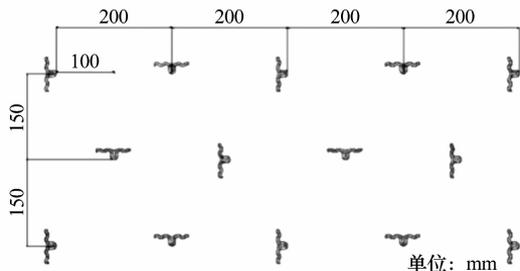


图1 金属锚固件典型布置图

3.3 内衬施工

(1)内衬结构:保温层施工250 mm厚的轻质保温可塑料,耐磨层施工150 mm厚的SiC耐磨可塑料。靶区区域耐磨层采用加钢纤维的SiC耐磨可塑料。可塑料必须逆气流方向施工,防止施工缝和气流贯穿

冲刷。

(2)膨胀缝设置:耐磨可塑料的修复区按1 200 mm×1 200 mm切割膨胀缝,膨胀缝错列布置,深度为50 mm,宽度为3 mm。

(3)排汽孔:用针按300 mm×300 mm间距在耐磨可塑料刺孔全厚深度150 mm的排汽孔。

(4)外侧钢板排湿孔:在检修部位外侧钢板处开设排湿孔,排湿孔数量为每平方米4个。烘炉结束后对该排湿孔进行封焊处理。

3.4 分离器各区域膨胀缝设置

分离器膨胀系统分为两大类:一类是炉墙内衬与相邻的炉墙内衬之间的膨胀,此类膨胀需将锅炉的膨胀与耐火材料炉墙的膨胀综合考虑,确定科学、合理的膨胀缝形式及尺寸;另一类是耐火材料自身的膨胀,如砖墙或不定形耐火材料,此类膨胀需耐火材料供应商基于所选耐火材料内衬的理化特性、试验数据等,确定精确、恰当的膨胀缝形式及尺寸。

分离器直段与顶部、入口烟道等区域接口处为膨胀集中区域,该区域膨胀缝设计很重要,垂直膨胀缝及水平膨胀缝计算见表3,其膨胀缝的设计见图2。

表3 分离器直段与顶部、入口烟道等区域接口处膨胀缝的计算

项 目	垂直膨胀缝	水平膨胀缝
SiC可塑料的加热永久线变化率(900℃)/%	-0.2	-0.2
SiC可塑料可逆热膨胀系数×10 ⁶ /℃ ⁻¹	3	3
SiC可塑料每模块长度/mm	1 200.00	1 200.00
SiC可塑料900℃时的收缩量/mm	2.40	2.40
分离器直筒外部钢壳在60℃时的膨胀量/mm	13.98	3.97
外部钢壳的膨胀系数×10 ⁵ /℃ ⁻¹	1.2	1.2
分离器直筒工作层环向预设膨胀缝数量/条	18	—
分离器直筒7 800 mm范围内预设膨胀缝数量/条	—	6
外部钢壳膨胀使相邻可塑料块间的间隙增加量/mm	0.78	0.66
分离器直筒1层保温材料在工作状态下直径方向的收缩量/mm	2.00	—
分离器直筒1层保温层环向收缩使SiC可塑料块与块之间的间隙增加量/mm	0.349	—
SiC可塑料膨胀缝设计宽度/mm	3	3
SiC可塑料900℃时膨胀缝的宽度/mm	3.29	1.74

各膨胀缝设计如下:1)分离器直段墙体与顶部的膨胀缝为七字型,缝宽为30 mm,见图3所示的墙与顶部膨胀缝设置图,缝内填充陶瓷纤维制品。分离器顶部一般采用耐磨浇注料或耐磨喷涂料,该区域磨损量少,顶部耐磨层更换修复量少。2)直段处直径方向设置三道膨胀缝,均为七字型。第一处膨胀缝在老鹰嘴相邻边,缝宽20 mm,第二处在长墙切线处,缝宽20 mm,第三处在一与二中间位置设置,缝宽为20 mm。七字型膨胀缝见图4所示的分离器直段中间及直径

方向膨胀缝设置图。3)高度方向中部设置一道宽20 mm的七字型膨胀缝。4)典型膨胀缝的留设:为了防止施工中大面积耐火材料在受热后因膨胀不均而造成不规则的裂缝,耐磨可塑料修复区域按1 200 mm×1 200 mm切割膨胀缝,膨胀缝错列布置,深度为50 mm,宽度为3 mm,见图5所示的典型膨胀缝设置图。典型膨胀缝宽度计算也参考表3。新旧材料接缝宽度10 mm,填充陶瓷纤维制品,在其后部设计挡火块,形成折缝,见图6所示的新旧材料接缝设置图。

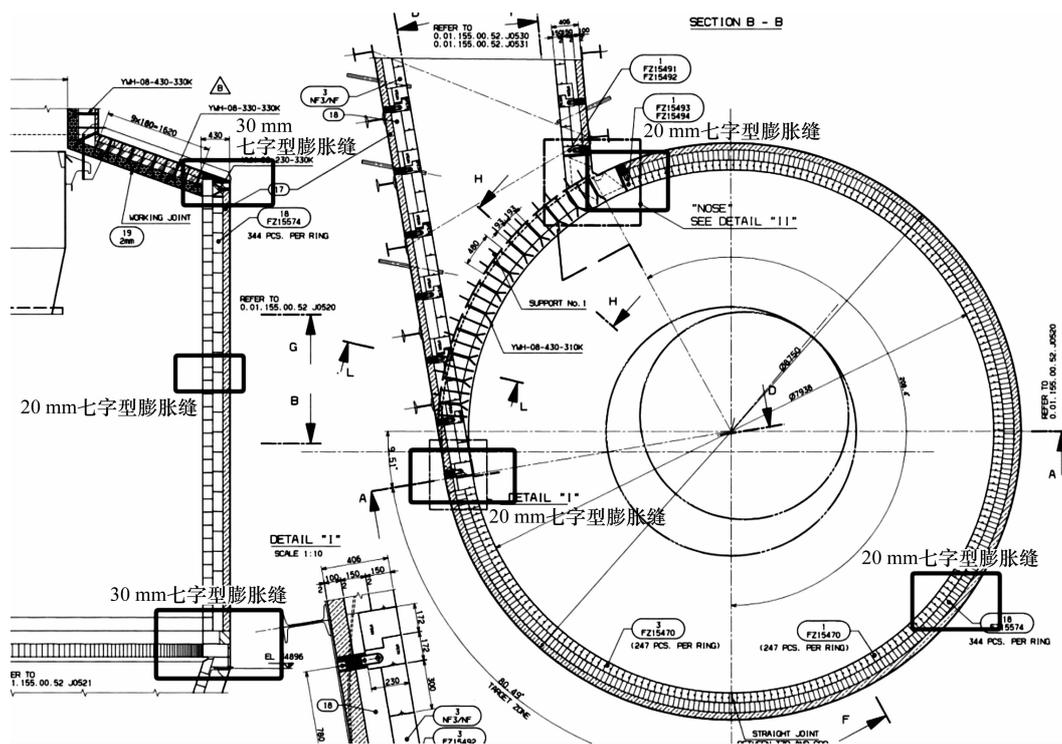


图2 分离器直段与顶部、入口烟道等区域接口处膨胀缝设置

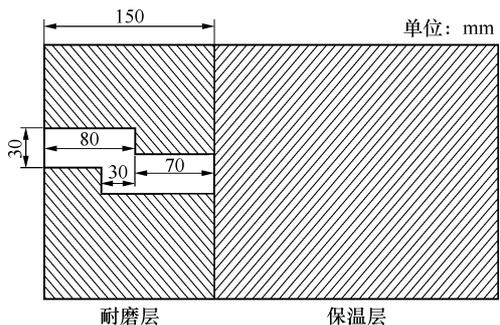


图3 墙与顶部膨胀缝设置图

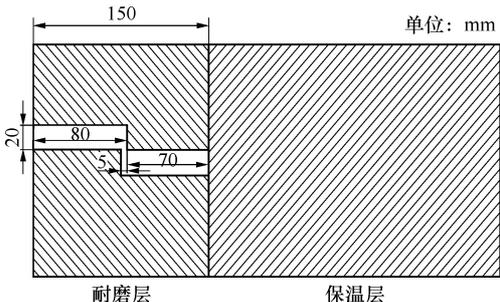


图4 分离器直段中间及直径方向膨胀缝设置图

3.5 内衬烘烤

烘烤工作通过分阶段加热、恒温烘烤,蒸发耐磨保温材料中的游离水和结晶水,从而使耐火材料达到设计的性能^[10]。为防止烘炉和点火启动过程中升温过快,由于产生的水蒸气不能及时排出,造成耐磨层爆裂破坏;为防止耐磨层内温度梯度大,产生巨大的热应力,造成耐磨层开裂和脱落。必须严格按烘炉升温曲线进行烘炉,严格按点火启动升温曲线进行点火启动。制定的内衬烘烤程序为:1) 低温阶段,即自室

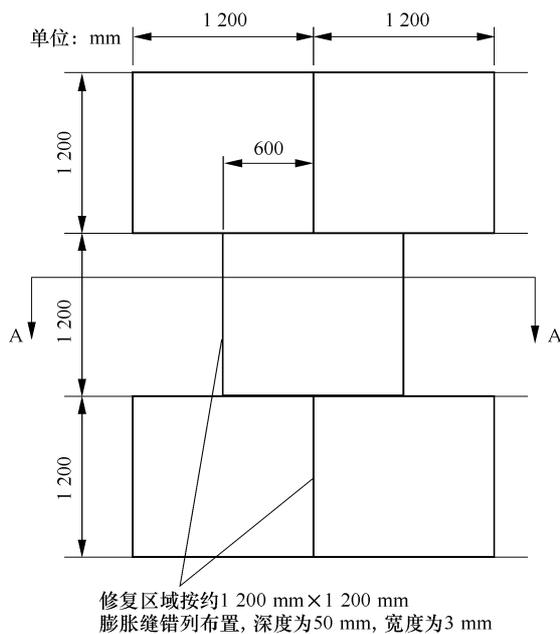


图5 典型膨胀缝设置图

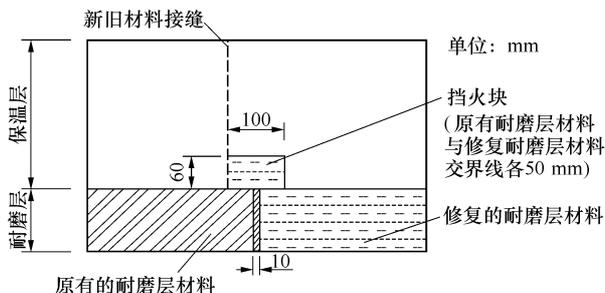


图6 新旧材料接缝设置图

温至 350 °C,控制升温速率 $\leq 30 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{h}^{-1}$,降温速率 $\leq 30 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{h}^{-1}$,并分阶段长时间保温烘烤,完成耐磨

耐火材料的初步固化。2)中、高温阶段,自350℃至800℃,可以通过试投燃料煤加热炉膛,升温速率达 $80\text{℃}\cdot\text{h}^{-1}$,使耐火材料进一步固化和烧结,性能趋于稳定。

4 使用效果

针对白马300 MW高温绝热式分离器长时间运行,墙体的膨胀缝和耐火砖缝间隙增大,造成耐火砖大面积脱落问题,工作层采用SiC质耐磨可塑料,保温层采用轻质保温可塑料。先在外筒壁上焊接耐热锚固件,再敷设轻质保温可塑料和SiC质耐磨可塑料,这样就解决了大面积使用耐磨砖造成砖墙垮塌而引起的外筒发红等问题。同时,采用可塑料捣打施工,工序简单、水分少,在保证使用效果的前提下尽可能地缩短检修周期和烘烤养护时间。经改进后的高温绝热式分离器使用5年,再无壳体发红现象,内部耐火材料无脱落、垮塌情况,改进效果明显。

参考文献

- [1] 卢啸风. 大型循环流化床锅炉设备与运行[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006: 39 - 47.
- [2] 魏鸿杰, 翟智勇. 如何提高循环流化床锅炉耐火材料施工质量[J]. 山西建筑, 2011, 37(31): 97 - 98.
- [3] 边华英, 王学涛, 吴生惠, 等. 循环流化床锅炉用耐磨耐火材料研究[J]. 佛山陶瓷, 2016, 26(9): 48 - 50.
- [4] 李军, 刘汉周, 卢啸风. 循环流化床锅炉旋风分离器的最新发展[J]. 能源研究与信息, 2004(2): 74 - 78.
- [5] 刘德昌. 循环流化床锅炉运行及事故处理[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006: 41 - 42.
- [6] 党黎军. 循环流化床锅炉的启动调试与安全运行[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002: 22 - 29.
- [7] 唐俊, 邱建能, 辛胜伟. 300 MW CFB锅炉旋风分离器中心筒下移问题分析及技改措施[J]. 电站系统工程, 2015, 27(4): 1 - 7.
- [8] 于龙, 孙永立, 龚正春, 等. 循环流化床锅炉用耐火材料的现状与选材[J]. 发电设备, 2000(1): 29 - 32.
- [9] 杜家军. 循环流化床锅炉耐火耐磨材料常见故障分析[J]. 华电技术, 2016, 37(8): 48 - 50.
- [10] 肖家志, 曹喜营, 梁亚丽, 等. 烘烤方式对不同浇注料性能的影响[J]. 耐火材料, 2015, 49(4): 301 - 303.

Problems and measures of wear-resistant brick wall of high temperature cyclone in a large CFB boiler/
Dai Zehua, Gong Lianhui, Gong Xingli, Ying Liping, Xin Shengwei//Naihuo Cailiao. - 2021, 55(3): 235

Abstract: For the 300 MW high temperature insulation cyclone of Baima Company after long time running, the expansion joints and gaps between bricks enlarged, the high temperature flue gas and materials entered the wall, causing a large area of refractory brick spalling off, over-temperature of the cyclone shell, shell redness and other problems. Improvement measures were put forward: weld heat-resistant anchor parts on the outer cylinder wall, then lay 250 mm thick lightweight insulation plastic materials in the insulation layer and 150 mm thick SiC abrasion-resistant plastic materials on the working layer; optimize construction, design expansion joints at the areas such as direct part and top of the cyclone, the inlet flue pipe, and bake the oven strictly according to the heating curve. The improved high temperature insulation cyclone was used for 5 years, with no shell redness, showing obvious improvement effect.

Key words: high temperature insulation cyclone; wear-resistant brick; wear-resistant plastic refractory; expansion joint; y-nail; target area

First author's address: Sichuan Baima Circulating Fluidized Bed Exemplary Power Co., Ltd., Neijiang 641005, Sichuan, China