

热管式空气预热器的积灰分析

陈鸿伟 (南京工学院)

〔提要〕 本文对热管式空气预热器的积灰机理和影响其低温积灰的主要因素进行了分析和讨论。并对防止或减轻积灰提出了可采用的几种措施。

主题词 热管 空气预热器 积灰

一、前言

热管式空气预热器具有体积小、重量轻、气体阻力小、传热系数高、无运动部件、结构简单及维修方便等优点。近几年内已被逐步运用到工业锅炉上。有资料表明,大型电站锅炉也将采用这种换热器作为空气预热器。

运行经验证明,热管式空气预热器虽然较好地解决了磨损和漏风等问题,但是,含尘烟气冲刷其受热面时,仍会发生积灰。轻则使空气预热器热阻上升,传热性能和效率下降,烟气流截面减小,烟气流阻增加,风机电耗增大;重则使流道堵塞,影响设备的安全和经济性。积灰往往与低温腐蚀相互依存,严重积灰必然加速低温腐蚀。本文从积灰机理出发分析热管空气预热器的积灰特征和影响积灰的主要因素,最后提出几项减轻积灰的措施。

二、积灰机理

烟气流过热管式空气预热器时,会出现两种性质的积灰:低温松散性积灰和低温粘结性积灰。前者主要发生在管子背风面,积

灰层化合物之间主要表现为机械力的聚合作用,增加烟气速度可减轻积灰;积灰发展到一定程度后,将形成细灰沉积过程和积灰层被粗灰破坏的动平衡;此种积灰不存在粘性熔化物,液体凝结少,机械强度低。后者主要发生在管子迎风面,增大烟速会加重积灰。此种积灰有无限生长的趋势,且伴随有液体冷凝,并出现金属腐蚀物及积灰层间的化学反应,使得积灰层的机械强度大大增强,约 1.96kPa (200kg/cm^2)或更大。热管空气预热器冷段区的烟气和空气温度都较低,粘结性积灰显著,松散性积灰的性质相应减少。

当烟气绕流热管时,形成迎风区、边界层区和尾流区。烟气飞灰在这三个区域的沉积机理、程度有一定差异。

迎风区:当烟气流垂直向下流过迎风区时,飞灰颗粒将受到重力、惯性力、气流阻力、热泳力、扩散力、毛细管力、电泳力等的作用,因此,飞灰颗粒在迎风区管壁上的沉积是重力沉积、惯性力沉积、扩散沉积、拦截沉积、热泳力沉积等多种沉积机理同时作用的结果(如图1)。

不同直径的飞灰颗粒所受各种力的大小是不相同的,其沉积机理也不同。直径小于 $1\mu\text{m}$ 的飞灰颗粒(尤其是小于 $0.2\mu\text{m}$ 的颗

收稿日期: 1988-11-17

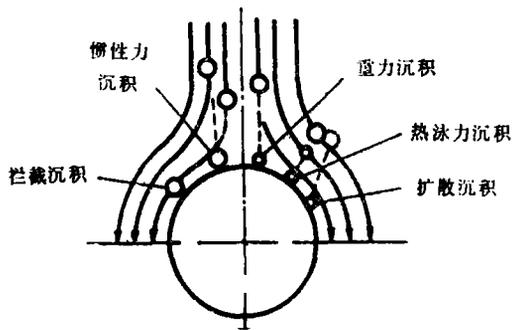


图1 迎风区飞灰颗粒沉积机理

粒), 由于惯性小, 只能随气流流线运动, 很难沉积到管壁上, 但也有一部分在扩散力和热泳力共同作用下沉积下来。积灰中大于 $10\mu\text{m}$ 的颗粒主要是重力沉积和惯性力沉积作用的结果。Kwan等人的研究表明, 烟气流动的Re数大约在 10^4 左右, 处于紊流状态时, 在 $1-10\mu\text{m}$ 数量级范围的颗粒主要是借助于紊流扩散沉积到管壁上的。在此种气流中, 大飞灰颗粒获得的紊流运动量大, 到达管子表面时仍有较大的动量, 易被弹回, 不能产生沉积, 反而对沉积层有破坏作用, 使沉积受到一定的限制。

边界层区: 在处于紊流状态的烟气气流中, 这个区域的沉积主要是由于布朗扩散、紊流扩散及热泳力所引起。小于 $1\mu\text{m}$ 的飞灰颗粒, 其紊流脉动动量虽小, 但其受到较大的热泳力以及布朗扩散的作用而产生沉积; $1-10\mu\text{m}$ 数量级的飞灰颗粒, 往往在粘附力作用下产生沉积。另外, 在此区域内颗粒受到Magnus和Saffman力的作用, 被迫离开管壁, 大多数颗粒沿流线运动, 颗粒撞击作用明显, 阻碍了积灰的进一步发展。因此, 此区域飞灰沉积量很少, 但积灰层比较致密。

尾流区: 由于边界层的分离产生尾流区, 被卷进尾流区的较大的飞灰颗粒, 在气流旋涡中惯性较大而离开旋涡, 被甩到尾流区的管壁上沉积下来。由于此区同样存在温度梯度, 因而有热泳力存在, 被卷进该区的较小颗粒在热泳力作用下沉积到管壁上。介

于以上两者之间的颗粒, 则是在紊流扩散作用下沉积的。此区内积灰生长到一定程度后, 由于大颗粒的撞击而最终形成较为严重的、强度低并且有一定形状的积灰。

螺旋肋片上的沉积: 由于螺旋肋片具有一定的螺旋角, 因而其表面与烟气的流动方向呈一定角度, 为分析方便, 把肋片表面分解成同流动方向一致与同流动方向垂直的两部分。对于前者, 可看作是含尘气流纵向冲刷平板, 积灰主要是由气流的横向脉动所引起。对于后者, 则是含尘气流绕越钝体, 其积灰机理主要包括重力沉积、惯性力沉积、拦截沉积与热泳力沉积等。随着目前较大肋间距的选用, 后者积灰的机理变得不可忽视。同鳍片表面的沉积一样, 在肋片根部与管子相接部位, 因存在一定的死角, 气流冲刷不到, 可能产生一定程度的积灰——堆灰。

粘结性积灰: 如前所述, 与松散性积灰不同, 即迎风面的积灰量往往较背风面尾流区要多, 并且积灰没有一定形状, 呈无限生长的趋势。

不论是电站锅炉或是工业锅炉热管式空气预热器, 在靠后的几排, 管壁温度低于酸露点。虽然通过调小烟气侧肋间距对空气侧肋间距的比值可使少数原来管壁温度低于 T_D 的管排壁温高于 T_D , 但此作用是有限的。因而 H_2SO_4 蒸汽冷凝通常都不可避免。特别是在靠预热器烟气出口的最末几排, 大量酸性蒸汽冷凝, 使得毛细管力显著增加, 其它一些力无法克服毛细管力对颗粒的粘附作用, 又因此区烟气动能较低, 从而导致较为严重的低温积灰。此外, 液体冷凝, 灰层间化学反应和金属表面的作用, 促使灰层的粘结、硬化, 随着积灰的时效, 积灰很难清除, 容易造成烟道阻塞。

再者, 工业锅炉频繁的升停炉以及电站调峰机组频繁的负荷变化, 会使积灰中的炭黑和碳粒增多, 它们与被吸附、冷凝下来的

水和硫酸液体作用后,大大提高了积灰层的粘性。这是产生严重积灰、堵灰的突出而特殊的因素。

据此,可将积灰分成两类:热管壁温高于 T_D 的高烟壁温区内,积灰有一定规律,粘性较小,属于松散性积灰范畴;热管壁温低于 T_D 的低烟壁温区,积灰规律性差,粘性强,属于粘结性积灰范畴。但由于热管具有沿其管长方向准恒温的性质,因而不会象管式空气预热器那样,在同一根管子上出现两种不同性质的积灰。

三、影响低温积灰的主要因素

根据观察分析,影响热管换热器低温积灰的主要因素是燃料及飞灰的物理化学特性、烟气流速、受热面的结构及布置形式,以及锅炉的运行状况等。

1. 飞灰颗粒分布和飞灰浓度的影响

细飞灰颗粒易于沉积到受热面上,粗颗粒的动能较大,不能沉积到受热面上,反而对积灰层具有一定的破坏作用。因此,细颗粒多时,积灰较严重,粗颗粒较多时,积灰较轻。对松散性积灰,飞灰浓度基本不会影响积灰层强度和积灰量,只影响初始积灰速度。但对粘结性积灰,飞灰浓度增加,积灰量增多。

2. CaO及碱金属对积灰的影响

在对流烟道中,CaO对受热面的沾污作用具有双重性。一方面,CaO具有吸收 H_2SO_4 的作用,使烟气中 SO_3 的浓度降低, T_D 下降,减少液体在受热面上的凝结^[4]。另一方面,如果受热面上发生CaO沉积,将出现不溶于水的石膏,随着积灰时间的延长,积灰层硬结,很难清除。

矿物质中碱金属(Na, K)的氯化物和氧化物在燃烧过程中首先升华,往往沉积在细颗粒飞灰上。它们和凝结下来的 H_2SO_4 发生化学反应,生成低熔点的硫酸盐,具有很

强的腐蚀性,使积灰层和管壁牢牢地粘附在一起。

3. 烟气速度的影响

提高烟气速度有两种结果:一是增加了同迎风区发生惯性碰撞的飞灰量及其碰撞动量;二是加大了飞灰颗粒对尾流区的冲刷作用。这一结果对减轻靠机械力结合、强度很低、尾流区为其策源地的松散性积灰是很有作用的。但是,对于减轻靠化学反应和粘附力结合在一起、强度很高、迎风区为其策源地的低温粘结性积灰则基本上无作用,还可能适得其反。因此,应针对热管空气预热器的工作和结构特点来慎重选择烟气速度。无原则地依靠提高烟气速度来改善低温积灰是不妥的。

4. 烟气运动方向的影响

对松散性积灰,烟气由上向下运动,某些文献指出,其积灰程度比由下向上运动的约低10%。这是因为松散性积灰主要出现在背风面,它在重力下,积灰发展会有所限制。对粘结性积灰,因重力比毛细管力小得多,不存在此种现象。

5. 烟气成分和金属壁温的影响

管壁温度 T_b 高于露点 T_D ,不会出现低温粘结性积灰。若 $T_b < T_D$,随 T_b 的降低,大量液体的冷凝将引起严重的低温粘结性积灰。 T_b 对低温粘结性积灰的影响大于烟速的影响。

烟气中 SO_3 和 H_2O 含量增加, T_D 也将升高,更易发生低温粘结性积灰。此外,这时液体凝结量加大,使得毛细管力捕捉大量飞灰成为可能。

烟气中未燃尽的炭黑与碳粒对低温积灰具有不良影响,特别是小容量快装层燃炉,由于升、停炉频繁,燃烧不好,产生大量的炭黑和碳粒,在其和液体作用后就产生一种很粘的物质,不但能捕捉大量飞灰,而且使积灰层更为牢固。

6. 过剩空气系数和高温受热面沾污的影响

较高的过剩空气系数和高温受热面的沾污都会使SO₂转化成SO₃, 加剧了低温粘结性积灰。运行中应当避免这些现象产生。层燃炉的燃烧过剩空气系数和漏风量通常均较室燃炉高, 小型工业锅炉尤其甚。

7. 热管螺旋肋片间距的影响

具有一定螺旋角的螺旋肋片可使烟气流旋转, 改善背风面尾流区气流流动状况, 对“自清灰”有利。适当加大烟气侧的肋间距, 螺旋角增大, 烟气通流面积也加大, 因而可增强这种“自清灰”能力, 减缓堵灰的发生。但是, 同时也会增加除气流横向脉动外其它沉积机理的作用, 并受到强化传热的限制。因而, 放大肋间距不可能根本上解决积灰问题。都江电力修造厂一号炉的热管空气预热器, 选用了S_{fg} = 20mm的肋间距, 在另装一系列的吹灰设备后, 才得以比较正常地运行。同样, 1982年美国在一台出力为2.284t/h的锅炉上装了一台热管式空气预热器, 其肋间距S_f = 24mm, 该预热器的积灰仍较严重。事实说明, 仅依靠加大螺旋肋片的节距不是解决积灰问题的根本方法。

8. 受热面布置的影响

对于高烟壁温区的松散性积灰, 采用错列布置的管束, 因气流更易逼近管壁, 尾流区缩小, 颗粒撞击作用增强, 能达到减轻积灰的目的。但对于低温粘结性积灰, 由于颗粒的撞击作用很难克服毛细管力对飞灰的捕集作用, 此时采用错列布置往往造成堵灰。因而, 在低烟壁温区采用顺列布置较为合理。

管间距对污垢系数影响很大, 如图2所示。

图中σ₁为横向相对管间距, σ₂为纵向相对管间距。σ₁ = S₁/d; σ₂ = S₂/d。S₁为横向管间距, S₂为纵向管间距, d为管外径。

由图可见, 叉排管束横向管间距对积灰

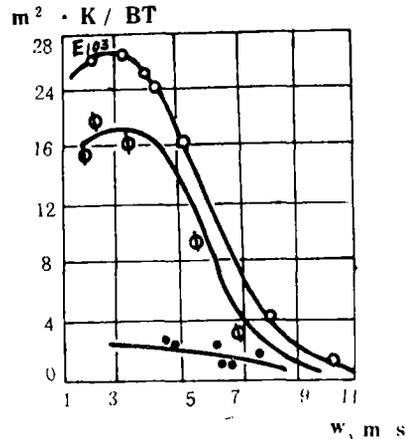


图2 叉排管束灰污系数

φ管束 σ₁ = 3.1, σ₂ = 1.9
 · 管束 σ₁ = 1.8, σ₂ = 1.9
 0 管束 σ₁ = 3.1, σ = 2.5

影响很大, 在6m/s烟速下, σ₂从1.9到2.5, 污垢系数增加1.3倍, 而σ₁从1.8到3.1, 污垢系数增加6~7倍。当σ₁ > 2.5时, 则其影响就不大了。必须明确, 此结论是针对松散性积灰而言的。在高烟壁温区, 采用紧凑型错列布置的热管束是合理的。

四、减轻积灰的措施

可采用以下几种措施来减轻积灰:

1. 改造预热器结构

(1) 加大热管倾斜度。根据测定, 重力式热管放置的角度至少大于10°才不致影响传热。根据不同烟气性质, 可把热管倾斜角设计为15~45°, 这可使积灰靠本身重力而不会长期在热管上积存, 给予一定外力, 积灰也较易脱落。实践中用0.39kPa (4kg/cm²)压缩空气吹扫松散性积灰, 热管基本上能恢复到正常工作状态。

(2) 在预热器迎风面放置导向板。在烟气侧通道上设一导向板使烟道分为左右两侧, 利用烟气聚流来吹灰。一般, 该预热器在运行中每班操作3~4次, 每次2~3分钟就能恢复其换热效果。在通常情况下, 烟气

流过迎风面的速度设计为2~4m/s。根据烟
气中含尘浓度和粒度的变化,流速可选择高
达6m/s,或更高。

2. 应适当加大肋片间距

目前我国大多数厂家生产的热管,肋间
距为4~8mm。对于在含尘气流中运行的热
管空气预热器是不可取的。有文献指出,在
含尘气流中 S_f 一般取8~15mm。考虑到锅炉
热管空气预热器所处的恶劣环境,特别是其
低烟壁温区, S_f 还应稍取大一点。

3. 应用化学清灰剂

防止热管空气预热器低烟壁温区的粘
结性积灰,目前较有效的方法是在烟气中加
入化学清灰剂。它的主要作用是:

(1) 降低与受热面相接触的那一层烟
气膜的露点,防止或减少硫酸在受热面上的
冷凝;

(2) 中和在受热面上已冷凝出的硫

酸,防止或减轻对受热面的腐蚀和粘性积
灰;

(3) 催化氧化受热面上积灰中的炭
黑,降低其燃点,使其在较低温度下氧化,
产生无火燃烧,使原来粘结紧密的粘结性积
灰变疏松,易清除。

参 考 文 献

[1] 撒应禄. 锅炉受热面外部过程. 南京工学院出版社, 1987

[2] Raask. Mineral Impurities in Coal Combustion. London, 1985

[3] Ahmed S H, Zaczek B J. J Inst Fuel. 1977, 7: 107

[4] Ashmore P G. Catalysis and Inhibition of Chemical Reactions. London: BUTTER WORTH'S 1963

[5] Terry L, Misner and Howard N. Franklin. Coal-fired Operating Experience with a Heat Pipe Air Preheater. The Proceedings of the American Power Conference, 1983, 45: 291-298

An Analysis of Ash Deposition on Heat-pipe Air Preheaters

Chen Hongwei

(Power Department of Nanjing Institute of Engineering)

Abstract

Mechanism of ash deposition on heat-pipe air preheaters and main factors effecting its low-temperature deposition are analysed and discussed. Several practical measures for deposit prevention or alleviation are put forward.

key words: heat pipe air preheater, ash deposition

新产品、新技术信息

№R89-10 JS-2 型累积计时器 于
1989年4月10日安装调试出首台样机。4月22
日在重庆召开的中船总公司机动工作会议上
作了现场表演,得到各界一致赞扬。会上,
重庆五州电冰箱厂等单位要求小批量生产,
相继多家厂家纷纷订货。JS-2 型累积计
时器采用CMOS 集成电路,电子、电磁六位
数字显示。显示直观、性能稳定,抗干扰能力

强、工作可靠,使用寿命长、体积小(外形尺
寸: 70×47×106mm)、可直接安装在设备配
电板上,具有在失电时能保留原有计时的特
点,是同类产品的佼佼者,可用于确定设备
大修周期、设备保养周期,考核设备使用寿
命、劳动生产率、检测电力发配系统的用电
情况及实验过程累积计时等。服务方式: 技
术转让、产品销售。

(如需以上技术和产品请与编辑部联系)