

燃煤工业锅炉的运行节能

上海望特能源科技有限公司 王孟浩
上海市节能服务中心 俞增盛

国家发改委于2006年7月颁布的《“十一五”十大重点节能工程实施意见》中指出:我国燃煤工业锅炉效率低、污染重、节能潜力巨大。锅炉设计效率为72~80%,平均运行效率约60~65%,比国外先进水平低15~20个百分点。

经过调查分析,发现除了煤的热值、颗粒度与锅炉的设计不能很好配合等以外,有下列几种常会遇到的问题造成燃煤工业锅炉的运行热效率低下。本文分析了造成这些问题的机理及其对锅炉热效率、出力和运行可靠性等方面的影响程度,指出运行中应加注意的各种问题及改进的方向。

1 过量空气和漏风

由于锅炉运行过程中存在炉排侧密封结构不良;分室送风的各风室之间密封结构不良,导致各风室之间窜风;炉排各风室的进风挡板调节性能不良,挡板不易处于合适的调节位置,或使其在运行中开度过大(特别是最后二个风室);炉排下各风室中横向静压不均(由涡流压降或分流压增等各种因素造成的),造成炉排横向配风不均匀;炉排上横向煤层厚度不均匀等因素使得煤层中的风量分配不均匀或偏离合理的数值,使过量空气系数增大。而漏风问题是由于炉膛、烟道、炉墙、炉门、看火孔等处的不严密缝隙中漏入的冷风造成的。

漏风,过剩空气系数 α 偏大使燃烧生成的烟气体量及所携带的热量增大,使排烟温度升高,锅炉热效率降低。

不论是烟道漏风还是燃烧所用过量空气太多,总是会降低锅炉的热效率,同时增大风机电耗。除了燃烧的风量不能太大外,还应改进炉排的密封和

配风结构以及风门挡板的调节性能。同时在运行中注意减少烟道、炉门和放灰门等处的漏风。在停炉检修时则应通过检查堵塞炉墙漏风和不严密处。在泄漏处用耐火塑料加柏油等措施予以堵塞也能有效地起堵漏的作用。

对于控制燃烧所需风量,目前在超临界和超超临界电站锅炉领域开发成功的在线监测技术完全可移植到燃煤工业锅炉,使锅炉的进风量在运行中始终保持优化。

2 炉拱

不少燃煤工业锅炉在运行中有如下的问题:

(1) 炉渣含碳量高,锅炉热效率低;(2) 锅炉出力不足,蒸汽压力上不去;(3) 煤种适应性差,遇到劣质煤和下雨天就难以着火。

造成这些问题的原因在很大程度上是由于炉拱的设计理念及结构对煤种和煤的含水量适应性差所引起的。过去我国一直沿用前苏联的“反射”理念来设计前拱,认为抛物面形状的前拱犹如一面光滑的镜子,可将炉床上火焰向前拱辐射的热量“聚焦反射”到新进入的煤层上促使其着火。但实际上前拱耐火材料的粗糙度大于热辐射的波长很多,对于热辐射只有漫射而并没有聚焦反射,做成抛物面根本不起作用。另一方面,后拱和前拱没有很好的配合,富氧的后部高温烟气顺着后拱流出炉膛,不能与欠氧的从前拱出来的烟气充分混合。烟气在炉内的停留时间也较短,导致可燃气体未完全燃烧损失和飞灰未完全燃烧损失增大。另外后拱区的炉温和残碳燃尽率均较低。着火不顺利和上述各项燃烧不完全损失,使锅炉热效率降低和出力不足。

很多燃烧工况较差的燃煤工业锅炉进行炉拱改造取得了较好的效果,例如“双人字形炉拱”的改造能适应较广的煤种,包括烟煤、贫煤、无烟煤等,并可适应煤中含水量的变化。

3 用汽负荷波动

大部分企业中用汽负荷具有波动的特点,特别是造纸、食品、橡胶、医药、化工及供暖等许多行业中,负荷波动更为剧烈。负荷波动大会造成下列一些不良后果:

1) 造成锅炉汽压不稳定。运行人员要频繁地调节炉排转速和进风量,增大或降低锅炉的出力来维持压力。这样就无法保持优化的过量空气系数,甚至未燃烧完的煤被排至灰斗,从而使锅炉的热效率降低。锅炉汽压不稳定还会使企业生产的产品质量下降、辅机的电耗增加、锅炉和辅机的使用寿命减短,以及污染物的排放增加;

2) 会使蒸汽中带水,造成企业的主要产品质量下降,或单位产品的耗汽量增大。在具有过热器的工业锅炉中,蒸汽中带水多会使过热器管子中大量积盐,造成超温爆管事故;

3) 运行人员操作劳动强度增大。不但容易发生故障,而且运行人员无法集中精力提高锅炉的运行水平和热效率。

采用蓄热器可以在用汽负荷波动的情况下使锅炉压力和用汽压力都能保持稳定。蓄热器是一种平衡用汽负荷波动的节能设备,它相当于在锅炉与用汽设备之间的一个储蓄热量的中间仓库。有了蓄热器以后,用汽负荷(用汽量)的波动主要由蓄热器来承担,而锅炉就可以以稳定的出力(产汽量)运行,或至少可以在每天的一段时间(例如在4~8小时之内)内以不变的出力运行。这样,锅炉运行中的过量空气系数就可以优化,锅炉的热效率就可以显著提高。

4 炉排配风

炉排配风是指沿炉排行进方向的纵向配风和

沿炉排宽度的横向配风。

纵向配风是由炉排下的分室送风实现的。每个风室的进风风门开度应调整到使沿纵向每一段煤层的送风量与其燃烧所需风量相匹配,同时进风可起到冷却炉排的作用。运行中发生的问题往往是最后二个风室的进风量大于所需的风量而造成锅炉的过量空气太大。这方面的问题涉及炉拱的结构和风室风门的调节性能。

横向配风由于沿炉排宽度的煤层厚度是基本均匀的,所以沿炉排宽度的风量分配也应是基本均匀的。但在有些炉排下风室的结构中,沿炉排宽度的风量分配有较大的不均匀性,这样就偏离了优化的燃烧工况。严重时表现为炉排一侧(单侧进风时的进风侧)出现黑龙,必须进行频繁拨火。

对于配风问题有各种改进的措施,可取得很好的均风效果。例如在风室中加装几块导流栅或均流挡板可将沿宽度风室中的风压不均匀性大为减小。需要注意的是对于不同的风室和进风管结构,优化的导流栅或挡板尺寸和位置是不同的,应根据每台锅炉的不同情况确定最佳的具体改进方案。

5 降压运行

设计压力为1.27或2.45MPa的工业锅炉在运行中往往由于使用条件不需要这样高的压力而降压到0.8、0.9MPa甚至更低的压力运行。降压时由于饱和温度降低,锅炉管束的传热温差要大一些,所以锅炉的吸热量也会稍大一些。降压运行易使省煤器出水温度接近饱和温度,各管之间存在热偏差时,可能总的省煤器出水温度接近而未达到饱和,但个别吸热大的管子出口已沸腾了,这就有发生多值性和脉动的危险。发生水动力脉动的危险性在于管子出口温度的交变和机械振动使管子破坏。

降压运行时对锅炉性能影响最大的是锅筒内的汽水分离。降压时由于饱和汽的比容急剧增大,锅筒内水空间的蒸汽上升速度和汽空间及分离元件中的蒸汽速度都大大增加。这可能导致剧烈的水位波动,且破坏正常的汽水分离工况,使大量饱和

水带出锅炉或带到过热器中去。特别是当汽压低而且又是快速的降压过程中,大量的附加蒸汽从受热管中向上涌到锅筒中,更容易造成这种带水情况。我们曾发现不少降压幅度大而且压力变化频繁的锅炉中过热器管内积垢严重,就是这个原因。

总的说来降压运行的缺点大于好处。

6 风门挡板的调节性能

有一种不全面的观点认为:一块风门挡板有它固有的开度——流量关系曲线。因此经常会听到这样的提问,即“这块挡板在某一开度时(例如50%开度时)的流量是全开时流量的百分之几?”。实际上挡板的开度与流量的关系随它设置在不同的系统中而有所不同,并不是固定不变的。

我们希望挡板的开度—流量曲线是接近线性的,这样就可获得较好的调节特性。还有两个因素也会对挡板的开度—流量特性有很大的影响。就是挡板的尺寸大小和叶片的数目。挡板尺寸增大就会增大与挡板串联的部件的相对阻力系数,会造成在同样的制造间隙时,使漏流面积增大,也就是在挡板全关时有较大的漏风和在较小的开度时已达到所需的最大流量,使挡板的有效工作区段缩小。

7 堵灰

工业锅炉中最容易发生堵灰的地方是锅炉管束的下部和空气预热器。

锅炉管束因为在运行中沉积大量的飞灰,所以一般设有放灰管和放灰门将积灰定期放到后烟道、炉外或炉排后部的出渣斗中,如果运行中不注意及时将积灰排放掉,积灰很快就会增加到将一部分锅炉管束的管子堵塞。该处的烟道通流截面就会大大减小,使该处的烟气局部阻力增大,受热面积减少。

发生烟道堵灰的后果是:

1) 堵灰处局部阻力系数增大,且流通截面 F 减小,这二者都使局部阻力 p_j 增大。例如烟道截面如堵塞50%的话,则该处的局部阻力可能增加到4~5倍以上;

2) 堵灰处烟气阻力增大又使从该点下游一直到引风机的烟道(包括空气预热器和除尘器等部件)中的烟气压力降低。压力降低使烟气的比容增大。使堵塞处下游所有烟道的阻力进一步增大;

3) 堵灰减小了该处的传热量。这就使堵灰处下游的烟气温度增高。烟温增高同样也使烟气的比容增大,从而又进一步使其下游的烟道阻力增大;

4) 堵灰处下游烟气压力下降又使这部分烟道及门孔等不严密处的漏风增大。漏风增大又进一步使烟气阻力增大。

以上四个因素都使锅炉烟气侧的阻力和引风机的电耗增大,严重时可能限制锅炉的出力。此外,堵灰减少了锅炉管束的受热面积,使排烟温度升高,锅炉热效率降低。因此,在工业锅炉运行中应重视这一问题。

空气预热器堵灰也是燃煤工业锅炉运行中最常见的故障之一。目前我国所用的空气预热器几乎都是立式的。其堵灰有二个特征,一个特征是这种堵灰与烟气中的硫酸起化学反应,形成以硫酸钙为基质的水泥状物质,使积灰变硬,难以清除,而且有腐蚀性。管子出口一旦积灰后,这根管子的阻力系数增大,烟气流量减少,出口处的烟温和壁温降低,就更容易积灰,于是就造成了恶性循环,很快就使整根管子完全被灰堵死。第二个特征是管子的截面小(管子内径一般为37mm),一旦整根管子积满灰后很难用机械的方法疏通。有些锅炉的空气预热器在运行半年到一年后大部分管子都堵死了,只留下少数管子流通烟气,以至于锅炉的出力降低,排烟温度升高,热效率降低。

8 炉膛负压

我们发现:有些锅炉房很干净,有些则积灰很多,特别是锅炉炉顶上的积灰最厚。灰是从炉膛开孔(人孔,看火孔)和炉墙有缝隙及不密封处漏出来的。但司炉在运行中同样是维持炉膛负压为20~40Pa(2~4mm水柱),为什么烟和灰会漏出来呢?经分析有下列几种情况:

1) 变动工况时操作不当。例如当增大出力时,先开大引风机的调节挡板(或增大转速),再开大鼓风机的调节挡板(或增大转速)。如一开始引风机的挡扳开得不够大,后来鼓风机的挡板一下子开得过大(特别是当挡板的调节特性不良时),在这短时间内炉膛会产生正压;

2) 炉膛负压表失灵或有误差,特别是表面量程较大时,例如 $\pm 490\text{Pa}$ ($\pm 50\text{mm}$ 水柱) 以上,表计稍有误差就会使炉膛发生正压;

3) 炉膛负压测点装设位置不准确,不是装在炉膛的最高点而是装在炉膛的中部或下部。这时炉膛的顶部就会发生正压。

当表计不准时,司炉往往观察炉膛下部的炉门处有无烟气漏出来,以此作为判断炉膛内是否有正压。他们误以为由于引风机或烟囱的拔风作用,离引风机或烟囱愈近的烟道中烟气的压力愈低,所以炉膛顶部的烟气负压一定比底部为大,这种认识在概念上是模糊的,容易导致错误的判断。

9 小结

通过上术各方面问题的分析,可以比较全面地考

察一个锅炉房在运行中节能的途径和重点。一般来说,一个企业中锅炉房的节能应从下列几方面着手:

1) 用汽设备和管道系统的节能:包括蒸汽的重复利用,多效蒸发,余热利用,合理保温,防止漏汽(包括疏水器的漏汽)等方面;

2) 平衡和优化各用汽设备的蒸汽负荷,例如错开各设备高峰用汽的时段,尽量减少锅炉房总供汽量的波动。如合理安排用汽后仍有较剧烈的用汽负荷波动,则应选用合适的蓄热器系统来平衡负荷;

3) 提高运行人员的操作水平;

4) 用计算机管理全厂和锅炉房的产汽和用汽,做到在线监测和优化运行;

5) 锅炉本身的节能:

按一般工业锅炉热损失的大小次序来排列的话,首先是排烟热损失 q_2 ,其次是机械和化学不完全燃烧热损失 q_4 和 q_3 ,最后是散热损失 q_5 。将一些工业锅炉中常见的问题与这些问题可能导致的热损失关联起来,大致可以列出下面这一张表(表 1)。根据表 1),锅炉房的管理人员便可比较清楚地了解目前锅炉运行中所发生的问题会导致什么样的后果,并据以制订出改进的计划。

运行中发生的问题	锅炉热效率				锅炉出力	运行可靠性	辅机电耗
	q2	q4	q3	q5			
冒烟黑			A				
过量空气系数太大	A	C			C		B
护拱不能很好配合煤种	C	A	C		A	B	C
蒸汽负荷波动剧烈	B	C				B	B
炉排密封不良	A	B	C		C		C
风室配风不好	A	B					C
漏风太大	A				C		B
堵灰	B				B	B	A
炉墙开裂或漏风	C			B			C
水处理不良	C					A	
降压运行						C	

注: A- 有强烈影响; B- 有中等影响; C- 有一定影响