

第5章 锅炉的维护保养与性能测试

第1节 锅炉的日常维护保养

要使锅炉达到安全可靠,经济合理运行的目的,除了要严格执行锅炉设备检修计划外,还必须要求操作人员、维护人员一丝不苟地执行操作规程和有关维护保养制度。只有这样,才能保持锅炉的良好状态,充分发挥锅炉运行性能。锅炉的日常维护保养,实质上是运行操作的一部分。

(一) 严格执行操作规程

操作人员必须严格执行锅炉的操作规程。锅炉操作规程内容应包括如下主要内容:锅炉型号、规格;主要运行参数;设备运行前应具备的条件和检查项目;启动步骤;正常运行中各参数控制和操作(含负荷、压力、温度、水位、炉水指标、水位计、压力表冲洗、安全阀定期排汽试验);正常热备用,紧急情况下的停炉步骤和方法;事故判断及处理等。操作人员必须按规定的步骤和程序,正确的操作。要了解设备的结构性能,并掌握其运行规律。如果运行操作不当,调整不当,不但不能保证正常供汽供热,同时还可能形成事故,处理不当时,事故扩大,将会造成重大损失。

(二) 加强锅炉的维护保养

正常运转的锅炉设备,必须加强或按规定进行巡回检查,发现问题,及时处理。

(1) 燃烧设备的检查与维护

链条炉排锅炉在运行期间,应当随时注意炉排机械传动部分和变速箱的声响是否正常,炉排各部分有无故障。应当保证炉排传动部分油路畅通,要把所有注油器和油杯加足油并定期补充。各个传动

部分的轴承应润滑良好,轴承温度升高不允许超过 $60\sim 70^{\circ}\text{C}$ 。

要检查和保证老鹰铁不松动和不卡住,煤闸板的上升和下落以及弧形挡板的传动没有毛病。还要检查炉排中间有无断裂、脱落的炉排片,炉排片之间是否夹有杂物。齿轮轴保险离合器或保险丝杆的弹簧是否压得过紧或过松而不起保险作用。

应当定期用手扳动风门手柄或传动链轮,检查送风门或除灰装置的工作是否正常。要定期清理干净灰室和渣斗内的漏煤和灰渣,以防炉排顶起。

(2) 炉墙、省煤器、炉门等嵌缝修补

炉膛和烟道的耐火砖墙,由于热胀冷缩及其它原因,容易产生裂缝。尤其在炉墙和金属结构的连接处,炉墙的膨胀缝处,更能形成较大的缝隙。其它如炉墙、炉门、看火孔、出灰门、省煤器的管端之间,在使用一段时期后,都容易产生缝隙而漏入空气,使过剩空气量增大,形成过量的烟气从烟囱中逸出,带走大量热量,增加热损失,降低热效率。因此,要经常检查炉墙在上述各处的漏风情况。一经发现裂缝,应及时嵌缝修补。

炉墙裂缝的修补方法,可用铲刀将缝隙铲平修整,并且将细屑全部清除,用火泥加水并加 $10\%\sim 15\%$ 水玻璃,搅拌均匀成为适当稠密的火泥浆。先在缝隙中填塞一层火泥浆,然后将适当大小的石棉绳浸入火泥浆中,取出用刮刀将石棉绳嵌入缝隙中,外面再涂一层火泥浆并抹平。注意塞石棉绳时,不要深入炉墙太多而将石棉绳落入炉膛中。炉墙上膨胀缝的损坏,一般是石棉绳日久损坏,可另换粗细适合的新石棉绳嵌入。但要嵌得既不漏风又不太紧,太紧会影响炉墙的膨胀。

省煤器铸铁管端之间,亦可用同样方法以石棉绳嵌缝。烟、风道法兰盘以及和砖墙接触处,都可参照此办法进行修补和堵塞漏风。

出灰门、炉门、看火孔的盖和座，常有一圈可供嵌石棉绳的槽。新炉运行前，应检查槽中是否有石棉绳嵌入或其它隔热材料。使用一段时期后，石棉绳或隔热材料可能脱落或烧坏。如锅炉仍在运行，可用石棉板或耐火砖暂时堵塞炉门，将已打开的炉门和出灰门进行更换石棉绳或隔热材料。修复后，拆去石棉板或耐火砖，再关上炉门或出灰门，恢复原状。

锅炉房中应准备1~2种适当规格的石棉绳、水泥、水玻璃等，以便随时取用。

(3) 保温层的修补

管道保温层使用日久可能脱落，使散热量增加，既损失热量又增加锅炉房的温度，有时可能会烫伤人员。因此，如发现保温层脱落，必须及时修补。

修补保温层应根据损坏情况而定。如属局部脱落，可局部拆除，将该处锅筒、管道外壁刷清，包上绝热层，包扎层及涂面层。如损坏不严重，则修补包扎层，再涂抹面层。

(4) 阀门、水泵、油泵换填料

阀门、水泵、油泵、阀杆填料箱处都有填料（俗称盘根）密封，被压紧压紧后可防止漏汽漏水。

如发现阀门填料有漏汽漏水时，首先应观察压盖距阀门盖的进程余量。填料压盖一般都留有10~20mm以上的进程余量，如余量还大于5mm，则可旋紧压盖止漏，否则应换新填料。

旋紧压盖的步骤是：首先要检查压盖螺栓的丝扣是否有腐蚀，螺帽是否完整；旋紧压盖螺栓，要一个一个地紧，先将一个螺帽拧紧 $1/4 \sim 1/2$ 转，然后再将另一个螺帽拧紧 $1/4 \sim 1/2$ 转，如此交替进行。紧的时候，用力要轻，要均匀。这样紧几次就可减轻或消除泄漏。如果还漏，说明填料已坏，应换新填料。

换新填料或加填料的步骤是：应先检查将阀门关闭后，填料箱是否还漏汽漏水。确认不漏时，将压盖外的螺帽松开，用螺丝刀挑起压盖，观察填料是否弹出。如填料向外弹出，说明里面还有压力，一时还不必加填料，等没有压力时，将旧填料挖出，换以新填料或加添部分填料。最后，再将压盖及螺帽装好。

(5) 安全附件的检查和更换：

运行中由于某种原因，压力表或水位计玻璃管（或板）损坏，必须及时更换新的。在更换时，应

戴好防护用品。切断汽源和水源，开疏水阀，待压力表或水位表无汽无水时，换上新的。换好后，应缓慢开汽，按步骤投入运行。

运行中的安全阀，按操作规程，在规定的时间内，用手定期抬放试验，以防锈蚀卡住。

(6) 鼓风机、引风机以及转动设备的维护保养

保持设备清洁，要及时清除积灰和油垢。勤检查，勤打扫，保证设备清洁整齐。

鼓风机、引风机运行期间，轴承温度应当不超过 40°C ，手摸轴承应当不烫手。

轴承箱内的正常油位应保持在轴承壳的 $2/3$ 高度处。油量不足要及时添加干净合格的新油。轴承的冷却水要保持畅通，冬季要采取防冻措施，以防冻坏。

要检查运转设备的地脚螺栓是否松动，并及时旋紧。

设备运行中，无异常现象，振动应符合规定要求，否则，查明原因，进行检修。

(7) 除尘器的维护保养

要控制好进入除尘器的烟气流速。要做到这一点，必须锅炉负荷稳定，各部调节灵活。除尘器在设计负荷下，效率才能充分发挥出来。

要定期放出除尘器内的积灰。灰斗积满飞灰后将增加除尘器的阻力，降低除尘效率和加重除尘器的磨损。所以必须定期排放。

要保持除尘器的严密性。特别是锁气器或水封装置不得漏气。要及时消除漏气地点，以免破坏除尘器内部真空而严重地降低除尘器效率，甚至影响除尘器不能工作。

要注意防止除尘器冻结。特别是水膜除尘器和带有水封装置的除尘器，要加强检查，做好防冻措施。

第2节 烘炉和煮炉

(一) 烘炉

锅炉新装、移装或大修的锅炉，在投入运行前，必须对炉墙、烟道砌体用火或其他热源进行烘烤，使其彻底干燥。如果不经烘炉，急速升火，往往会由于砌体内的水份迅速蒸发，逸出不畅，产生很大压力，使炉墙产生裂缝或变形。烘炉是一件很重要

的工作, 操作不当, 除会引起炉墙损坏外, 还会降低炉墙使用寿命。

工业锅炉一般都采用燃料烘炉。

(1) 烘炉前的准备工作

1) 锅炉本体检修、安装及炉墙砌筑, 管线设备保温工作已完成, 炉墙漏风试验合格。

2) 烘炉需用的各系统, 各设备, 已安装试运完毕, 能随时投入运行。

3) 烘炉需用的热工电气仪表均已安装校验完毕。

4) 烘炉用的临时设施(如临时炉排)和烘炉用的燃料、工具、材料、备品和安全用品已经准备充足。

5) 在炉墙上已装好监视温度的温度计。温度测点应选在炉膛侧墙中部, 炉排上方或喷燃器上方 $1.5\sim 2\text{m}$ 处, 此外在过热器两侧中部炉墙和省煤器后墙中部也应安置测点。

6) 耐热混凝土炉墙, 必须超过其养护期后(矾土水泥的约为3昼夜, 硅酸盐、矿渣硅酸盐水泥约为7昼夜), 才允许进行烘炉。

(2) 烘炉时间和烘炉温度

1) 烘炉的时间长短, 因锅炉型式, 炉墙结构和所用材料, 砌筑季节以及自然风干时间长短而异。一般应烘烤 $7\sim 14$ 天。不应少于7天。

2) 烘炉时火势应由弱渐强, 不得忽冷忽热, 温升速度应缓慢均匀, 表5-2-1列出火焰法烘炉时间与烟气温度的关系。此处的烟温系指炉膛出口温度或过热器后的烟温。

表5-2-1 烘炉时间及温升表

锅炉炉墙型式	烘炉时间(天)	过热器后烟温($^{\circ}\text{C}$)			
		第一天温升不宜超过	初期每天升高温度不大于	末期每天升高温度不大于	烘炉末期最高温度
重型炉墙	$10\sim 14$	50	$10\sim 20$	$20\sim 30$	$200\sim 220$

(3) 烘炉完毕的标准 达到下列规定之一时为合格。

1) 用炉墙灰浆试样法时, 在燃烧室两侧墙中部炉排上方 $1.5\sim 2\text{m}$ 或在过热器(或相当位置)两侧中部, 或在喷燃器上部 $1\sim 1.5\text{m}$ 处, 耐火砖与红砖丁字交叉缝处取 50g 左右灰浆样, 进行灰浆含水率的测定, 其含水率应低于 2.5% 。

2) 用测温法时, 燃烧室两侧墙中部炉排上方 $1.5\sim 2\text{m}$ 的红砖墙外表面向内 100mm 处温度应达到 50°C , 并继续维持48小时; 或过热器(或相当位置)两侧墙耐火砖与隔热层接合处温度达到 100°C , 并继续维持48小时。

3) 烘炉后期当耐火砖灰浆含水率达 7% , 红砖灰浆含水率达到 $7\%\sim 10\%$ 时, 即可同时进行煮炉。

(4) 烘炉注意事项

1) 锅炉内注入的水应是经过处理的水, 水位应稍低于正常水位。

2) 烘炉时开启汽包的放空阀和过热器的疏水阀。

3) 启用省煤器旁通烟道或开启省煤器再循环阀, 但锅炉上水仍要通过省煤器。

4) 关闭各炉门和检查门, 保持炉内一定负压。

5) 用燃料烘炉, 不可用火太大, 火焰也不可集中在前后拱处, 木柴中不要有钉子或铁件。烘炉后期, 为增强火力可以投入煤块。

6) 对于链条炉排在烘炉时, 炉排应定期转动, 以冷却炉排。

7) 冬季烘炉, 锅炉房内气温不得低于 5°C 。

(二) 煮炉

锅炉在新装、移装或大修后, 受热面内表面留有不少铁锈、油渍和水垢, 为了保证锅炉运行后的汽、水品质, 防止加速锅炉的腐蚀, 所以要进行煮炉。

1) 根据炉内锈垢的严重程度把锅炉分为三类。

第Ⅰ类: 新锅炉从出厂至安装完毕, 尚不超过10个月, 内部铁锈较薄或无锈。

第Ⅱ类: 锅炉长期停用, 或是新锅炉内部铁锈较厚。

第Ⅲ类: 移装锅炉内部有较厚铁锈, 又有水垢。

2) 煮炉时炉水中所加的药品是氢氧化钠和磷酸三钠, 如无磷酸三钠也可用无水碳酸钠代替, 加药量是按最高水位下的锅炉水容积来计算的(表5-2-2)。

3) 药品要稀释成浓度不大于 20% 的溶液。加药时可采用下列三种方式:

表5-2-2 煮炉加药量表

药品名称	加药量 (kg/m ³)		
	第Ⅰ类 锅炉	第Ⅱ类 锅炉	第Ⅲ类 锅炉
氢氧化钠 (NaOH)	2~3	3~4	5~9
磷酸三钠 Na ₃ PO ₄ ·12H ₂ O	2~3	2~3	5~6

注：1. 药品的纯度系按100%来计算的。

2. 用 Na₂CO₃ 代替 Na₃PO₄·12H₂O 时，用量增加 50%。

3. 对第Ⅰ类锅炉也可单独用 Na₂CO₃ 进行煮炉，药品用量是 6 kg/m³(水)。

4. 水垢和铁锈特别厚时，必须事先经过处理，酸洗或机械清理，加药量应增加 50%~100%。

5. 准备药品数量时，应根据锅炉在最高水位时，以炉水容积的 1.25~1.5 倍计算。

① 以给水管路供水时，经磷酸三钠加药设备加入锅炉。

② 用磷酸三钠泵或其他泵，通过改装的管路向锅炉联箱或省煤器的排污阀加入。

③ 在锅炉上部安装 1~1.5 m³ 有盖子的临时加药缸从锅筒上部加入，加药缸出口应有可控制的阀门或过滤网。

加药时，锅炉水位应保持最低水位，必须将锅筒空气阀打开，待锅炉完全没有压力时，方可加药。用药量一次加完，但第Ⅱ类锅炉所用的磷酸三钠可先加 50%，其余在第一次排污后加入。药液加入锅后，开始煮炉。炉室内升起微火，逐渐使炉水沸腾，产生的蒸汽经过空气阀或被抬起的安全阀放出。炉水激烈沸腾维持 1~3 天（根据情况），在煮炉过程中蒸发掉的水应给予补充，维持其最高水位。

4) 煮炉的时间视锅炉大小和属于第几类而定，一般为 24~72 小时。此外还要看炉水碱度的变化。

5) 煮炉期间应从汽包和水冷壁下集箱排污处取炉水样，监视炉水碱度及磷酸根的变化，一般排污前后各取样一次。炉水碱度始终不要低于 180(德国度)，否则应补充加药。煮炉后期炉水的碱度和磷酸根应基本不再变化。

6) 煮炉时一般只投入一组水位表，其余作为备用，水位应保持在高水位。

7) 煮炉完毕后进行换水，并冲洗药液接触过的管路和阀门。

8) 卸开人孔门、手孔门，清洗锅炉内部，检查管路阀门有无堵塞，锅炉内表面全无锈迹存在才认为煮炉合格。

9) 煮炉清洗完后，应进行一次水压试验。

第3节 锅炉的停用保养

锅炉在停炉期间，由于锅炉水、汽系统内，金属表面受潮，吸入空气中的氧和溶解氧的存在，促使金属受到氧的腐蚀。氧腐蚀属于电化学腐蚀。停炉期间的腐蚀有时比运行的锅炉还要腐蚀严重得多。因此，停炉期间必须要做好保养工作。

锅炉停用保养方法，可分为两大类：

(一) 湿法保养

此类方法是具有保护性的水溶液充满锅炉，杜绝空气中的氧进入锅炉内部，从而避免和减缓锅炉因停用而发生的腐蚀现象。由于保护性水溶液的不同，具体有如下几种方法：

(1) 联氨法 它是将联氨和氨水配成保护性水溶液打入锅炉中，联氨的加入量应使炉水中的过剩联氨浓度在 150~200 mg/L 范围内，加氨水的目的是为了使炉水的 pH 值达到 10 以上。当注入保护性水溶液前炉水的 pH 值已在 10 以上时，可不加氨水。炉内的保护性水溶液应保持压力 0.5 MPa 以上，以防空气漏入。此法适于停炉时间较长的锅炉。但要注意联氨有毒，排放前应予以稀释。

(2) 氨液法 将氨水配制成 800 mg/L 以上的稀溶液，打入锅炉中。在保养期间应定期 5~10 天检查一次含氨量，若有下降应予以补充。此法用于长期保养性锅炉中。

(3) 保持给水压力法 是用给水泵将锅炉给水(除过氧的水)充满锅炉的水、汽系统，维持炉水压力 1 MPa 以上，关闭全部阀门，防止空气渗入炉内。要注意保持压力，当压力下降时，可用给水泵再顶压。每天要测定炉水的溶解氧，溶解氧超过规定值时，应更换炉水。此法最好加入亚硫酸钠，随给水一起进入锅炉，以提高防腐效果。此法适宜于短期停用的锅炉。

(4) 保持蒸汽压力法 用间断升火的办法保持锅炉蒸汽压力在 0.5 MPa 以上，防止空气渗入锅炉的水、汽系统内。此法适用锅炉热备用。

(5) 碱液法 它是向炉内加添碱液 (NaOH)

和 Na_3PO_4),使炉水 pH 值达10以上,以抑制水中溶解氧对锅炉的腐蚀。保养期间,每天检查,不得泄漏,保证炉水碱度。

碱液的配制按表5-3-1所列。

表5-3-1 碱液保养时水中加药量

(kg/t(水))

药品名称	配 碱 液 用 水	
	凝 结 水 和 除 盐 水	软 化 水
NaOH	2	5~6
Na_3PO_4	5	10~12
$\text{NaOH} + \text{Na}_3\text{PO}_4$	1.5 + 0.5	(4~8) + (1~2)

此法适用于较长时间停用的锅炉。

(6) 磷酸盐和亚硝酸盐混合液保养法 将亚硝酸钠、磷酸三钠 = 1:1 的混合液(它们的浓度 < 1%)注满锅炉的各个部分,即能防止锅炉金属发生腐蚀。锅炉在启动前应排尽这种溶液,并需冲洗干净。此法适宜长期保养。

(二) 干法保养

干法保养就是使锅炉的金属表面保持干燥,从而防止金属发生腐蚀。具体有如下几种:

(1) 烘干法 锅炉停运后,降低炉水温度至100℃时,放尽炉水,利用炉内余热或再在炉内点火,或将热风引入炉膛,使锅炉内部的金属表面被烘干,便于抑制锅炉金属的腐蚀。此法适用于短期停炉。

(2) 充氮法 可将纯度为99%以上的氮气充入锅炉的水、汽系统内,使氮气压力保持在0.05MPa即可。若炉内仍有水(锅内存水未放掉),可加入联氨或硫酸钠,并保持炉水 pH 值在10以上。保养期间应定期检查水的溶解氧、过剩联氨量和氮气压力三个参数。若水溶解氧升高,过剩联氨量降低,氮气压力下降时,应检查泄漏的地方并予以消除后再补充氮气。

该法可适用于长期停炉保养。

(3) 干燥剂法 锅炉停用后,在锅炉水温降至100℃时,排尽锅炉各部分存水,并用微火烘烤锅炉金属表面,使其干燥。锅炉内部最好除去水垢和水渣后,进行烘烤。然后在锅炉筒内部(上下锅筒),用敞口容器装上干燥剂,沿锅筒长度方向排列放置。关闭所有阀门、防止空气或潮气进入。干

燥剂放入后,应定期(一般不超过一个月)检查,如发现失效,应换新药。

常用的干燥剂及它们的加入量如表5-3-2所列。

表5-3-2 锅炉停用保养时常

用干燥剂及用量

药品名称	规 格	用 量 (kg/m ³)
工业无水氯化钙	CaCl_2 , 粒径10~15mm	1~2
生石灰	块 状	2~3
硅 胶	放置前应先放在120~140℃干燥	1~2

此法适宜长期停炉保养。

锅炉停用保养的方法很多,它们各有特点和适用范围,在选择时应根据锅炉的结构特点,停炉时间,锅炉房现场的具体条件以及管理的技术水平等因素进行考虑。例如排水不尽的锅炉,不宜选用干燥剂法;如氮气货源困难和造价高,就不一定选用充氮法。

通常,工业锅炉房,一般最常采用的是干燥剂法。此法操作简单,所需干燥剂,市场很容易买到,并且防腐效果好。因此,得到广泛采用。

第4节 锅炉设备的 腐蚀及其防止

(一) 腐蚀原理和特征

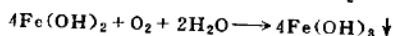
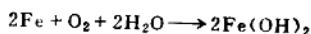
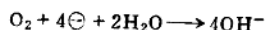
腐蚀是指:金属表面在周围介质的作用下,由于化学或电化学的作用而产生的破坏称为腐蚀。腐蚀破坏金属的形式有全部腐蚀和局部腐蚀两种。全部腐蚀分为均匀腐蚀和不均匀腐蚀。局部腐蚀分为斑痕腐蚀、溃疡腐蚀、点状腐蚀、晶间腐蚀、选择性腐蚀、疲劳腐蚀等。

金属表面与周围腐蚀性介质发生化学反应,生成一种新的物质,从而使金属受到破坏的现象称为化学腐蚀。而电化学腐蚀过程中则有电流产生。

锅炉设备的腐蚀,都属于电化学腐蚀,而且一般地讲,主要是由氧、二氧化碳或两种同时存在所形成的腐蚀。

铁受水中溶解氧的腐蚀是一种电化学腐蚀,其反应如下:





氧腐蚀的特征：在金属表面形成直径不等的鼓泡。其直径一般为1~30mm，鼓泡表面颜色由黄褐色到砖红色不等，下面一层是黑色粉末状物，这些都是腐蚀产物，将这些腐蚀产物清除后，便出现凹坑，这种腐蚀称为溃疡性腐蚀，如图5-4-1所示。

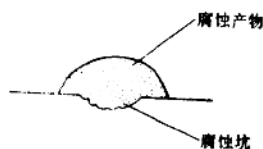


图5-4-1 溃疡性腐蚀示意图

氧腐蚀的产物，一般大致可分为三层：最内层为二价铁水合氧化物（ $\text{FeO} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ），它可看成是 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 脱水的产物，呈黑色；最外层为三价铁的水合氧化物（ $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ），它可看成是 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 脱水的产物；铁氧化物中间，往往有黑褐色的中间层，其分子式可用 $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 表示。

氧腐蚀的部位多发生在给水管道的和省煤器内，在无省煤器和给水不加热时，炉内给水管附近部位比较容易发生；开口或回水管通常充满空气，含氧量较高，所以回水系统也是氧腐蚀严重的地方。

如果给水不除氧或除氧不正常，氧随给水进入炉内，除了给水管附近腐蚀外，下降管等处也会发生腐蚀。特别是当焊口组织不致密，有焊渣堆积的地方，对电化学腐蚀特别敏感，再加上热应力交变发生，水中氧较高，极易发生针孔形腐蚀。

锅炉设备在存放、安装及停用期间都可能产生严重的氧腐蚀。停炉期间，水、汽系统都存在腐蚀，当放不掉积水时，腐蚀更为严重。

水中溶解氧对金属腐蚀速度，主要是决定于pH值和氧扩散到阴极表面的速度。当pH值在4~10时，腐蚀速度不随pH值变化，主要是决定于溶解氧扩散速度。腐蚀形式是均匀的，腐蚀速度较低。当 $\text{pH} < 4$ 时，氧腐蚀速度明显增加，当 $\text{pH} > 13$ 时，金属表面已形成的钝化膜又被碱直接溶解，当溶液温度达到沸腾时，反应进行得极快，所以腐蚀速度也加快。因此，GB1576—85《低压锅炉水质标准》中规定，pH（25℃）在10~12范围内。

游离二氧化碳腐蚀亦是电化学腐蚀，并随着温度的增加而大大加速。

金属受游离二氧化碳腐蚀以后的产物是易溶的，所以在金属表面不易形成保护膜，因而游离二氧化碳腐蚀的特征是金属均匀地被腐蚀变薄。

在给水中，若同时有氧和二氧化碳存在时，则金属被腐蚀的情况更为严重。这因为二氧化碳的存在破坏保护膜，使金属表面没有腐蚀产物，而呈溃疡状，且腐蚀速度亦快。

（二）影响腐蚀的主要因素

影响金属腐蚀的主要因素分为内在因素和外部因素两方面。内在因素与金属的种类、纯度、结构、金属内部应力和金属杂质的种类数量有关。外部因素大致有如下几种：

（1）溶解氧对腐蚀的影响 溶解氧的存在是引起金属腐蚀的一个主要因素，在低pH值时，氧腐蚀更为严重。

（2）pH值对腐蚀的影响 pH值是影响金属腐蚀的另一个重要因素。一般讲，pH值越低，金属被腐蚀越严重；当pH值在中等范围时，对金属引起腐蚀的主要因素是氧的含量；当pH值接近12时，腐蚀速度几乎很小；当pH值大于13时，腐蚀亦加快。由此可见，维持给水和炉水的pH值在10~12的范围内是非常重要的。

（3）二氧化碳对腐蚀的影响 水中有 CO_2 会使水呈酸性，会加速金属的腐蚀。

（4）其他因素对腐蚀的影响 温度对腐蚀的影响：随着温度的升高，腐蚀速度加快。流速增加，腐蚀加快。水中盐类的化学性质和浓度，热负荷等因素对金属的腐蚀亦有影响。

（三）腐蚀的防止

（1）锅炉给水中溶解氧的去除 GB1576—85《低压锅炉水质标准》中规定：当锅炉额定蒸发量大于2 t/h，给水均要除氧，额定蒸发量不大于2 t/h的锅炉应尽量除氧和注意防腐。对于供汽轮机用汽的锅炉给水含氧量均应不大于0.05 mg/L。若未用化学除氧，则监测锅水的亚硫酸根含量。

锅炉给水的除氧，其方法有：热力除氧（喷雾除氧、淋水盘式除氧，真空除氧包括将给水加热到一定温度时的真空除氧），解析除氧，钢屑除氧，化

学除氧（向给水中添加亚硫酸钠、联氨等药剂），电解除氧，离子交换除氧，活性炭除氧等方法。在低压锅炉设备中，最常用的方法是热力除氧和化学除氧。

热力除氧可将水中的溶解氧降低到 0.05mg/L 以下，真空除氧近几年，有所发展，它可使水中的溶解氧的含量降低到 0.1mg/L 以下。化学除氧，主要是向给水加入除氧剂，如亚硫酸钠，联氨等药剂。一般应用热水锅炉和小型低压蒸汽锅炉上。

（2）pH值的调节和控制

1）给水 pH 值的调节和控制：当给水的 $\text{pH} > 8$ 时，即可防止给水管道的腐蚀的发生。一般给水达不到该数值，为提高 pH 值，最实用的方法是在给水管道的加入 5% 以下的氨溶液。

2）炉水 pH 值的调节和控制：氧对锅炉本体的腐蚀，在炉水 pH 值低于 10 的情况下，是极易发生的。当炉水的 pH 值在 10~11 时，就能避免或减缓氧对锅炉本体的腐蚀。为维持炉水的 pH 值在要求的范围内，当炉水 pH 值不足时，可向炉内加入碱性药剂（碳酸钠或氢氧化钠）；当炉水 pH 值太高时，可由排污或加入药剂（某种磷酸盐类）来降低。因为炉水 pH 值大于 12 时，易使炉水的相对碱度大于 20%，此条件下，长期运行，金属容易产生苛性脆化。

（3）炉水所含腐蚀性盐分的控制 为了防止由于炉水含有腐蚀性盐分而使金属被腐蚀，就必须严格控制炉水中这些杂质的含量。如降碱、除盐和排污等，这些都有控制腐蚀性盐分的有效措施。

（4）锅炉停炉防腐保养 锅炉在停用期间，由于锅炉内部潮湿通风不良，又因空气中氧及二氧化碳能溶解于炉水中，对锅炉金属腐蚀比较严重。因此，锅炉在停用期间，必须进行保养，以防腐蚀。停炉保养的方法，一般可分为两大类，即湿法保养和干法保养，具体方法见本章第 3 节。

第 5 节 锅炉的酸洗除垢

（一）酸洗除垢的基本原理和缓蚀剂的应用

要保证锅炉在无垢和薄垢的状态下运行，除合理选择水处理方法，做好水处理工作外，还要及时清除锅炉内已产生的老水垢。清除水垢的方法很

多，其中最常用的是酸洗除垢。

酸洗除垢主要是采用盐酸来清洗。酸洗液是由一定浓度的盐酸加一些缓蚀剂组成。这种酸洗液既能消除锅炉中的水垢，又能使锅炉金属腐蚀最小。

酸洗液能除垢的原因是因为这种酸洗液具有如下三个作用：一是它的溶解作用：盐酸能与水垢中的钙、镁碳酸盐和氢氧化物起作用，生成易溶于水的氯化物，从而使水垢溶解；二是它的剥离作用：盐酸不但能溶解锅炉金属表面上的氧化物，而且还能使附着在金属上面的氧化物剥离下来；三是它的疏松作用：当它溶解碳酸盐类时，产生大量的二氧化碳，能起到搅拌作用，从而使难溶的水垢疏松脱落。盐酸清除锅炉水垢，是一个复杂的物理化学过程，而化学作用是主要的。

盐酸对金属也有腐蚀作用。盐酸与铁作用，生成氯化铁和氢气。氢气一部分扩散于大气中，另一部分可能扩散到钢铁中，使钢板发生氢脆，从而降低钢板的机械强度。为此，利用盐酸除垢除锈，必须加入缓蚀剂，在保证盐酸对水垢的溶解、剥离、疏松脱落作用的同时，最大程度的减轻锅炉的腐蚀和氢脆。

（二）锅炉酸洗

（1）锅炉酸洗的技术条件 锅炉酸洗时，必须具备下列技术条件：

- ① 经室内试验判定，盐酸能清除的水垢。
- ② 锅炉水垢平均厚度在 0.5mm 以上，且水垢对传热面的覆盖面积大于 80%。
- ③ 锅炉铆、焊接接缝和胀口严密，各板、管无严重腐蚀泄漏。
- ④ 一年内没进行过酸洗。每台锅炉酸洗的总次数不得超过 20 次。
- ⑤ 如确定锅炉酸洗时，必须对锅炉内部的泥垢进行彻底的冲洗。冲洗后，要认真检查锅炉状态、水垢状态，以便和酸洗后的情况进行对比。与此同时，做好酸洗的准备工作。

（2）酸洗液的配制 药剂的用量与锅炉的容量有关。盐酸的浓度应根据锅炉的水垢厚度来确定。见表 5-5-1。

为了有效的清除铁垢和硅酸盐水垢，还可在盐酸中附加一定量的氢氟酸，一般氢氟酸的浓度控制在 1% 左右。

缓蚀剂用量，由于采用品种不同，其用量也不

表5-5-1 酸液浓度和用量

水垢厚度 (mm)		盐 酸 浓 度 (%)	31% 盐酸		29% 盐酸		27% 盐酸		25% 盐酸	
热 水 炉	蒸 汽 炉		酸量	水量	酸量	水量	酸量	水量	酸量	水量
<2	<1	6	19.3	80.7	20.7	79.3	22.2	77.8	24.0	76.0
2~6	1~2	8	25.9	74.1	27.6	72.4	29.7	70.3	32.0	68.0
>6	2~5	10	32.3	67.7	34.5	65.5	37.1	62.9	40.0	60.0
	5~10	12	38.7	61.3	41.4	58.6	44.5	55.5	48.0	52.0
	>10	15	48.4	51.6	51.7	48.3	55.5	44.5	60.0	40.0

同。其中波波-5 缓蚀剂的用量为工业盐酸 (30%) 的 1.2%。如采用 FH 缓蚀剂, 其用量 (固体) 为稀盐酸量的 0.4%; 液态 FH 缓蚀剂, 其用量为稀盐酸量的 0.1%; 如采用 SH 缓蚀剂, 其用量为稀盐酸量的 0.6%~1.0%; 采用 02-缓蚀剂, 其用量为总溶液的 0.3%~0.5%。

(3) 酸洗时温度的控制和酸洗时间的掌握: 酸液温度的提高有利于提高除垢效果, 但同时也能促进金属的腐蚀。因此对酸液温度必须严加控制。一般蒸汽锅炉除垢时的温度控制在 55~60℃ 之间; 热水锅炉除垢时的温度不宜超过 55℃。

酸洗时间的掌握, 应在酸洗除垢的过程中, 应定期 (30 分钟) 抽测酸洗液浓度, 当两次化验的酸液浓度差小于 0.2% 时, 即认为反应结束。一般热水锅炉浸泡时间 2~4 小时; 蒸汽锅炉为 4~6 小时, 水垢过厚时, 可以根据情况适当延长。

(4) 酸洗锅炉的方法: 用合乎规定温度和浓度的缓蚀盐酸清洗锅炉有两种方法: 一种是循环法酸洗法, 一种是静态浸泡法。前一种方法能提高除垢效果, 但对金属的腐蚀速度比后一种要快。一般认为采用静态浸泡法和循环酸洗法相结合的方法比较理想。

不论采用何种清洗法, 进酸和回酸的时间各自不宜超过半小时。特别是回酸时间, 越短越好, 以防锅炉金属腐蚀。

(5) 中和和冲洗锅炉: 回酸一半时, 就可以用清水冲净锅炉上部的酸液, 最后再冲净锅炉底部的残酸。然后向锅炉注满水 (液位要超过酸液面), 并随着注水向锅炉投加氢氧化钠 (1 kg/t (水)) 和磷酸三钠 (0.5 kg/t (水))。为加药均匀可用泵循环或采用压缩空气或蒸汽进行搅拌, 取样化验时, 当碱度达到 15 me/L 以上时, 即为中和开始, 中和时间不少于 30 分钟或延长到 2 小时。

中和结束时, 放掉锅筒和管路内已中和的水,

并彻底冲洗锅炉, 以清除残余水垢, 直至排水清晰为止。

酸洗后的锅炉, 要认真检查, 如除垢效果如何, 有无腐蚀等。将检查结果填入锅炉技术档案簿中进行保存。

(6) 锅炉酸洗的安全工作: 锅炉酸洗除垢, 必须具有安全可靠的设备和做好安全的防护工作;

① 参加酸洗的工作人员, 必须在化验人员的指导下进行操作, 并事先学习酸洗工艺及有关知识。

② 操作时, 操作人员必须穿戴好必要的防护用品。如穿戴防酸服、橡皮手套、护目眼镜、防毒口罩等。

③ 酸洗时, 禁止火焰接近锅炉开口处, 以免药剂作用时产生的氢气发生爆炸事故。观察锅炉内酸液反应情况时的照明电源必须是 12V 或电筒。

④ 酸洗后, 锅炉必须经过碱液中和, 清水冲洗后, 才能进入锅炉内进行检查和操作。

⑤ 酸洗的设备、工具都应具有耐酸能力, 不得随便代用。

第 6 节 锅炉的经济性能和安全性能测试

(一) 锅炉热平衡试验和热效率测定

1. 测定锅炉热效率的两种方法

锅炉热效率测定是通过热平衡试验来实现的。热平衡试验有两种方法:

(1) 正平衡试验法 直接测定锅炉产生蒸汽所含的热量和耗用燃料输入锅炉的热量, 然后用公式计算出热效率。这种方法可以得出锅炉的热效率和出力, 但不能得出各项热损失, 所以不能分析热效率高低的原因和改进的方向。

热效率计算公式:

$$\eta_1 = \frac{(D + D_{ZY}) \left(i_{sq} - i_{gs} - \frac{\gamma w}{100} \right)}{B Q_{DW}^Y} \times 100\% \quad (5-6-1)$$

式中 η_1 ——正平衡热效率 (%);

D ——锅炉产生蒸发量 (kg/h);

D_{ZY} ——锅炉自耗蒸汽量 (kg/h);

i_{sq} ——饱和蒸汽焓 (kJ/kg);

i_{gs} ——给水焓 (kJ/kg);

w ——蒸汽湿度 (%);

γ ——汽化潜热 (kJ/kg);

B ——燃料耗用量 (kg/h) 或 (Nm³/h);

Q_{DW}^Y ——燃料的应用基低位发热量值 (kJ/kg) 或 (kJ/Hm³).

对于过热蒸汽锅炉:

$$\eta_1 = \frac{D (i_{sq} - i_{gs}) + D_{ZY} \left(i_{zy} - i_{gs} - \frac{\gamma w}{100} \right)}{B Q_{DW}^Y} \times 100\% \quad (5-6-2)$$

式中 i_{sq} ——过热蒸汽焓 (kJ/kg);

i_{zy} ——自耗蒸汽焓 (kJ/kg);

其他符号同前式。

(2) 反平衡试验法 直接测出和算出锅炉的各项热损失, 并以100%减去各项热损失的总和所得出的数值, 则为锅炉的反平衡热效率。

热效率计算式:

$$\eta_2 = 100\% - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6) \quad (5-6-3)$$

采用反平衡试验法来做锅炉热效率, 必须对锅炉的各项热损失逐项进行测定和计算。

① 排烟热损失 q_2

$$q_2 = (3.5 \alpha_{PY} + 0.5) \frac{t_{PY} - t_{LK}}{100} \left(1 - \frac{q_4}{100} \right) \% \quad (5-6-4)$$

式中 t_{PY} ——排烟温度 (°C);

t_{LK} ——冷空气温度 (°C);

α_{PY} ——过剩空气系数, 可通过烟气分析按下式计算:

$$\alpha_{PY} = \frac{1}{1 - 3.76 \frac{Q_2 - 0.5CO}{100 - (RO_2 + O_2 + CO)}} \quad (5-6-5)$$

$$\text{近似地 } \alpha_{PY} \approx \frac{RO_{2max}}{RO_2} \quad (5-6-6)$$

q_4 ——机械不完全燃烧损失 (%).

② 化学不完全燃烧损失 q_3

$$q_3 = \frac{56.6CO}{Q_{DW}^Y} \cdot \frac{C^Y + 0.375S^Y}{RO_2 + CO} \left(1 - \frac{q_4}{100} \right) \% \quad (5-6-7)$$

式中 Q_{DW}^Y ——应用基煤的低位发热量 (kJ/kg);

C^Y ——煤的元素分析, 煤的含碳量应用基 (%);

S^Y ——煤的元素分析, 应用基硫的含量 (%);

CO ——烟气分析CO含量 (%);

RO_2 ——烟气分析三原子气体含量 (%).

当煤质资料不全, 无法进行燃烧产物计算时,

可用下面简化公式求得 q_3 ,

$$q_3 = 3.2 \alpha_{PY} CO \% \quad (5-6-8)$$

③ 机械不完全燃烧损失 q_4

$$q_4 = \frac{7800}{B Q_{DW}^Y} (G_{LZ} C_{LZ} + G_{LM} C_{LM} + G_{fA} C_{fA}) \% \quad (5-6-9)$$

式中 B ——燃料消耗量 (kg/h);

G_{LZ} , C_{LZ} 和 G_{fA} ——分别为每小时收集的炉渣、漏煤和飞灰的重量 (kg);

C_{LZ} , C_{LM} 和 C_{fA} ——分别为炉渣、漏煤和飞灰中的可燃物的重量百分数 (%).

④ 锅炉的散热损失 q_5

实测散热损失是困难的, 通常按积累的经验来确定, 一般可参考表5-6-1选用 q_5 值。

表5-6-1 散热损失参考表

(JB2829—80)

锅炉额定蒸发量 D (t/h)	≤2	4	6	10	15	20
没有尾部受热面 q_5 (%)	3.5	2.1	1.5	—	—	—
装有尾部受热面 q_5 (%)	3.5	2.9	2.4	1.7	1.5	1.3

$$q_5 = \frac{400 F}{B Q_T} \times 100\% \quad (5-6-10)$$

式中 F ——锅炉的散热表面积 (m²);

B ——燃料耗用量 (kg/h);

Q_T ——燃料输入热量 (kJ/kg).

⑤ 灰渣物理热损失 q_6

可用近似公式计算:

$$q_6 = \frac{G_{LZ} K}{B Q_{DW}^Y} \times 100\% \quad (5-6-11)$$

式中 G_{LZ} ——灰渣的重量 (kg/h);

K ——系数, 层燃炉和一般煤粉炉, 可取 $K \approx 134$ 。

B 和 Q_{DW}^y 与前同。

2. 热平衡试验计算结果的选定

锅炉正平衡法和反平衡法试验计算所得的结果, 由于存在着测量误差, 取样误差以及其他损失的误差, 往往不会完全一致。因此 JB2829—80《工业锅炉热工试验》规定, 试验应在额定负荷下进行两次, 每次实测出力不得低于额定出力的 97%。额定出力的情况下, 两次试验热效率之差: 对正平衡法不得大于 4%; 反平衡法不得大于 6%。锅炉热效率则取两次试验所取得的平均值。当同时用正、反平衡法测定热效率时, 两种方法所得热效率偏差不得大于 5%。而锅炉的热效率应以正平衡法测定值为准。

3. 热平衡试验测试条件及要求

① 锅炉正式热平衡测试应在锅炉热工况稳定后进行, 即炉墙、钢结构等吸热达到稳定状态。一般稳定时间规定如下:

a. 对无砖炉墙的火管锅炉;

燃气、燃油不少于 2 小时 (自冷状态点火开始);

燃煤不少于 4 小时 (自冷状态点火开始)。

b. 对轻型炉墙不少于 8 小时 (自冷状态点火开始)。

c. 对重型炉墙不少于 24 小时 (自冷状态点火开始)。

锅炉正式试验应把锅炉调整到试验工况一小时后开始进行。如有条件, 应在试验后亦保持工况并记录 1 小时, 以便在选取数据时可供参考。

② 在测试期间, 锅炉应在额定负荷下或保持日常运行状况下进行, 如按额定负荷运行, 负荷波动不应超过 $\pm 10\%$, 如低于额定负荷 80%, 负荷波动应 $\leq \pm 7\%$ 。

③ 在测试期间, 汽压 (压力) 波动不超过下列数值:

锅炉压力 (MPa) ≤ 1.6 时, 其波动幅度为
+ 4 %
- 15 %

锅炉压力 (MPa) > 1.6 时, 其波动幅度为
+ 4 %
- 10 %

过热蒸汽温度偏差范围不应超过下列规定:

当过热蒸汽温度 $\leq 300^\circ\text{C}$ 时为 $+30^\circ\text{C}$,
 -20°C ;

当过热蒸汽温度在 350°C 时为 $\pm 20^\circ\text{C}$;

当过热蒸汽温度在 400°C 时为 $+10^\circ\text{C}$,
 -20°C 。

④ 每次试验的持续时间, 根据锅炉炉型的不同, 测定要求的不同, 试验条件不同而定。一般规定, 每次测定试验的持续时间不得少于表 5-6-2 的规定。

表 5-6-2 热平衡测定试验时间表

测定方法	锅炉类型	时 间 (h)
正平衡	手烧炉	5 (至少包括一个以上清灰周期)
	机械层燃炉、抛煤机炉、沸腾炉、油炉、气炉	4
反平衡	煤粉炉、油炉、气炉	5
	机械层燃炉、抛煤机炉、沸腾炉	4

⑤ 试验期间, 安全阀不得起跳, 不得吹灰, 一般不得排污, 如必须排污, 要进行排污量计算, 在热平衡计算时应作相应的修正。

⑥ 试验 (测试) 结束时与开始时锅炉水位和蒸汽压力应一致, 煤斗煤位如不一致时应修正。测试期间过量空气系数, 给煤率、给水率、炉排速度, 煤层或沸腾炉料层厚度应基本一致。

4. 测定项目及测试方法提要

(1) 燃煤元素分析和发热量的测定 煤的取样和分析对热效率的准确度有较大的影响, 由于取样不严格, 使测试数据造成较大差错。煤的取样和缩分方法参照国标 GB474—83《煤样的制备方法》进行。

煤的工业分析按国标 GB212—77《煤的工业分析方法》进行。

燃煤的元素分析和全硫分析分别按国标 GB476—79《煤的元素分析方法》和 GB214—83《煤中全硫的测定方法》进行。注意基质的相互关系, 一般采用应用基。

燃煤发热量的测定, 用氧弹量热仪进行测定, 可按国标 GB213—87《煤的发热量测定方法》进行, 一般取应用低位发热量。

(2) 燃煤用量的测定 (误差应小于0.1%)

一般常用如下几种方法:

① 容积法: 此法计算出煤斗的容积和测出煤的堆积比重, 然后算出在测定期间的用煤重量。

② 称重法: 对于用煤量较少的锅炉, 可以直接用磅秤在炉前称出, 在测定期间按磅称的次数计量。

③ 自动计量法: 在运煤系统中, 装有计量设备时, 如电子皮带秤, 自动煤称等, 先进行校验, 而后进行测定, 并取两次以上的平均值。

(3) 蒸汽量 (或出力) 的测定 按锅炉蒸汽和水的计量设备不同, 可采取如下几种方法: 水箱测定法。即在试验前和结束后, 测定水箱中水位线的差数, 再计算出水量。水表计量法。在水箱进口安装水表, 用水表读数差, 计算用水量。水表误差不得超过2%, 给水温度不得超过50℃。

用测定给水量来确定蒸汽量, 必须注意锅炉的漏水、排污以及锅筒水位线保持一致等情况, 如有变化应进行修正。

用蒸汽流量计直接测定, 并注意流量的误差。

(4) 蒸汽湿度的测定 生产饱和蒸汽的锅炉, 必须测定蒸汽中的含湿量 (湿度)。常采用的方法是测量蒸汽和锅水中的氯根 (Cl^-) 含量, 来计算湿度。锅水中含有一定量的氯根, 如蒸汽中不带水分, 蒸汽样品冷凝后应不含氯根; 蒸汽中带有水分, 则样品中就有氯根, 带出的水分越多, 则氯根的含量越多。

$$W = \frac{\text{Cl}_g^-}{\text{Cl}_w^-} \times 100\% \quad (5-6-12)$$

式中 W ——蒸汽的湿度 (%);

Cl_g^- ——蒸汽冷凝水氯根含量 (mg/kg);

Cl_w^- ——锅水氯根含量 (mg/kg)。

含氯根的测定, 常采用硝酸银标准液滴定。若滴定蒸汽冷凝水和锅水消耗硝酸银标准液的体积分别为 V_g 和 V_w (mL), 计算公式为:

$$W = \frac{V_g}{V_w} \times 100\% \quad (5-6-13)$$

(5) 温度的测定 工业锅炉进行试验时, 一般需要测定以下一些部位的温度:

省煤器进水温度; 省煤器出水温度; 烟气温度有: 炉膛出口、对流管出口、省煤器出口, 空气预热器出口; 空气温度有: 空气预热器进口、空气预热器出口; 蒸汽温度。以上各种温度的测定, 一般

可用玻璃温度计或热电偶。测试前, 温度计及热电偶必须进行校正。

(6) 烟气成分的分析 对烟气成分的分析, 主要测定烟气中的 RO_2 (即 $\text{CO}_2 + \text{SO}_2$), O_2 和 CO 的含量百分比。目的是了解锅炉的燃烧情况进行分析, 以便找出提高锅炉经济运行的措施。

烟气成分的分析, 一般采用奥式气体分析器或其他气体分析器进行分析。要注意所用试剂的正确配制和分析器的正确使用。要注意烟气取样, 必须有代表性。

(7) 炉、灰渣的测定 燃煤经燃烧后的炉渣应全部收集, 冷却后过磅称量。漏煤量和飞灰量也应在试验期全部收集过磅。并将相应的炉渣、漏煤和飞灰的可燃物含量化验出来。

(8) 烟气含尘的采样和测定 采样位置应尽可能放在气流稳定的管段中, 采样点距弯头部分的长度应大于烟道直径1.5倍。水平烟道中尘粒浓度的分布由于重力作用不如垂直管道内均匀, 因此在选择采样位置时应尽量考虑垂直段。

烟尘浓度采用烟尘浓度测试仪测定。

(9) 风道和烟道风压的控制 在测试期间, 应控制锅炉各部分风道和烟道的风压, 并正确进行记录, 以便作为今后正常生产操作的依据, 此数据在效率计算中不予计入。

(10) 读数的选定 当锅炉工况稳定时, 各种仪表显示的读数应该是相当稳定的。在这种情况下, 除锅炉的压力应每隔5分钟记录一次外, 其它项目可相隔15~20分钟记录一次。

测试结束后, 对各岗位所取得的数据应抄写清楚, 并计算其平均值。用煤量、蒸汽量, 用水量及出渣量, 则取其累积值。

锅炉试验和测定的主要目的, 是将测试的结果和设计的数据进行比较, 从而使每台锅炉根据试验中取得的最佳运行工况条件为经常操作的工艺指标, 亦可作为同类型锅炉操作调整参数时的参考。

(二) 锅炉安全性能测试

1. 锅炉排出烟气露点的控制和测试

锅炉尾部安装了省煤器和空气预热器, 用它来回收一部分余热, 降低锅炉的排烟气温度。当排烟气温度过低时, 却出现低温腐蚀问题。当烟气温度低于烟气露点时, 燃煤中的硫燃烧后生成的二氧化硫及少量的三氧化硫与烟气中的水蒸汽, 结合成亚

硫酸和硫酸，凝结在空气预热器、省煤器等锅炉尾部受热面上，造成腐蚀，这种腐蚀称作低温腐蚀。锅炉低温腐蚀，往往会使空气预热器、省煤器堵灰而被迫降低负荷运行，也会因腐蚀泄漏而造成大量漏风、漏水，严重影响锅炉的安全和经济运行。

锅炉排出烟气露点，决定于烟气中的水蒸汽露点和烟气中酸露点。只考虑烟气中水蒸汽开始凝结的温度，称为烟气中的水蒸汽露点。水蒸汽露点，根据燃烧产物的计算，可算出烟气中的含湿量，从空气物理性能参数表或饱和湿空气表，可查得相应的露点温度。

我国各种主要煤质，在不同过量空气系数下，燃烧后产生的烟气中，水蒸汽结露温度一般在30~50℃左右。

由于燃料中有硫的存在，锅炉烟气不仅含有一定量的水蒸汽，而且还含有一定量的二氧化硫和少量的三氧化硫，它们可以与烟气中的水蒸汽结成亚硫酸蒸汽和硫酸蒸汽，使烟气露点比纯水蒸汽状态下的露点高出很多。烟气中硫酸蒸汽的露点，称为烟气的酸露点（即烟气露点）。

如果烟气中存在 SO_3 ，它与水蒸汽结合成硫酸蒸汽时，露点可高达160℃以上， SO_3 是烟气中的部分燃烧产物 SO_2 和过剩的氧结合而成的。烟气中的 SO_2 对露点没有明显的影响， SO_3 含量虽然极微却会显著地提高烟气的露点温度。烟气中 SO_3 含量虽然不大，但形成的硫酸浓度却很高。当受热面温度降至露点以下时，对设备腐蚀极大。因此，必须采取措施，控制 SO_2 转化为 SO_3 ，并对烟气中的 SO_3 含量进行监测，以利控制烟气露点温度。

我国有的单位，对烟气露点进行研究，并根据我国大多数锅炉排烟空气过剩系数 $\alpha = 1.4$ 的情况下，对一些常用煤种的烟气露点进行了计算，其结果列表5-6-3中，供参考。

关于锅炉排出烟气露点的测试，其目的，是为了更准确的控制锅炉尾部受热面的金属表面温度在烟气露点以上，以免产生低温腐蚀，延长锅炉使用寿命。

关于烟气露点的测试，有光电式露点计和导电式露点计两种。光电式露点计，由于光电管的稳定性差，实际应用受到了限制。导电式露点计在国内

表5-6-3 各种煤质在 $\alpha = 1.4$ 下燃烧后的烟气露点

序号	各种煤名称	应用基低位 发热量 Q_{DW}^{y} (kJ/kg)	水蒸汽分压 $P_{\text{H}_2\text{O}}$ (kPa)	烟气中水蒸 汽含量 H_2O (%)	烟气中 SO_2 分 容 积 V_{SO_2} (m^3/kg)	烟气中 SO_2 分 压 P_{SO_2} (Pa)	烟气露点 温度 t_{d} (℃)
1	辽宁阜新长焰煤	19979	8.0	7.8	0.0027	0.325	126.5
2	山西阳泉无烟煤	26276	5.7	5.5	0.0048	0.475	123
3	河南焦作无烟煤	22175	5.2	5.2	0.0034	0.391	121
4	山西西山瘦煤	21924	7.7	7.6	0.0027	0.312	128
5	青海大通原煤	18242	7.7	7.6	0.0062	0.825	135
6	辽宁沈北原煤	16903	9.9	9.7	0.0062	0.873	136
7	山西大同混煤	27865	6.7	6.7	0.0075	0.713	129
8	安徽淮南原煤	22004	8.4	8.2	0.0075	0.863	136
9	河北开滦洗三号	15690	6.9	7.0	0.0069	1.025	131
10	辽宁本溪洗二号	10753	8.0	7.8	0.014	0.292	148
11	辽宁阜新洗三号	14899	9.6	9.5	0.0081	1.259	140
12	吉林舒兰褐煤	12552	12.1	1.2	0.0021	0.365	128
13	山东淄博混煤	25983	5.5	5.3	0.0165	1.667	138
14	松辽混煤	23640	5.6	5.5	0.0158	1.720	138
15	陕西铜川混煤	26108	5.9	5.8	0.0364	3.653	144
16	河南义马混煤	16736	10.0	9.9	0.0103	1.453	141
17	贾江混煤	22468	7.2	7.2	0.0055	0.623	126
18	黑龙江鹤岗烟煤	22660	6.5	6.4	0.0015	0.169	113
19	安徽淮南烟煤	21367	6.6	6.5	0.0068	0.801	128
20	燃料油 $S_{\text{y}} = 3\%$	40944	10.8	10.7	0.0206	1.360	141

注：该表摘自《工业锅炉安全技术文集》大连市锅炉检验研究所，1981年出版。

外得到广泛地应用。它的主要元件是表面上设有电极的玻璃探头。在烟气结露时,电极间的导电度发生变化,这时探头表面的温度即为烟气的露点温度。导电式露点计有电阻法确定露点,电流法确定露点和导电度法三种。电阻法是用兆欧表测量电极之间的电阻变化,从而确定烟气露点。电流法是在回路里接一只微安表,测量回路里的电流,降低探头表面温度,当回路里出现一定的电流值,这时的探头表面温度即为露点。导电度法也是通过导电度变换装置,用电位器来测量电位变化,从而来确定露点。

2. 锅炉排出烟尘的监测

(1) 烟尘浓度的测试 煤在锅炉中燃烧,烟气从烟囱中排出,烟气内含有飞灰和硫化物,这些杂质不但对人类的身体和植物均起有害的影响,而且能减少阳光的辐射,引起迷雾。

根据统计,在大型锅炉附近,如消烟不好,在一年内每平方公里面积将堆集煤灰达800 t。

由于飞灰的磨损,将炉管和引风机叶轮外壳磨损。抛煤机锅炉和煤粉炉有时竟在4~6个星期就要检修。

烟尘排放,是公害之一。在锅炉热工测试时,必须对锅炉烟气中的含尘量进行测定。其目的是收集飞灰,作为分析其可燃物含量的试样,在测出烟气含尘浓度和烟气流量后,就可计算出单位时间内锅炉排放的总烟尘量,即是飞灰量;检查锅炉排烟中的烟尘量是否符合现行排放标准的规定,对于工业锅炉烟尘浓度应小于 $20\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。

烟尘浓度的测定方法,目前较普遍采用的是过滤称重法,即从所排放的烟气中抽出一小部分的气体,捕集其中的含尘量进行分析称重,从而得出单位体积烟气中所含的尘量,一般称为烟尘浓度。

在测定锅炉烟尘浓度时,要求有能保证一定精度的采样仪器和采样方法。由北京市劳动保护科学研究所研制,由承德市仪表厂生产的BLC-Ⅱ型锅炉烟尘浓度测定仪,能满足一般测试要求。

烟尘浓度测定仪的结构原理见图5-6-1。它是由取样头1,取样管2,滤尘罐3,水气分离器4,放水阀5,电加热器6,温度计7,转子流量计8,流量调节阀9及抽气机10组成。使用时,取样头、

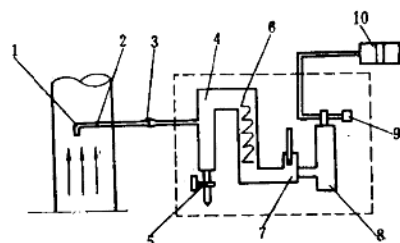


图5-6-1 烟尘仪结构原理图

- 1—取样头 2—取样管 3—滤尘罐 4—水气分离器
5—放水阀 6—电加热器 7—温度计 8—转子流量计
9—流量调节阀 10—抽气机(另配)

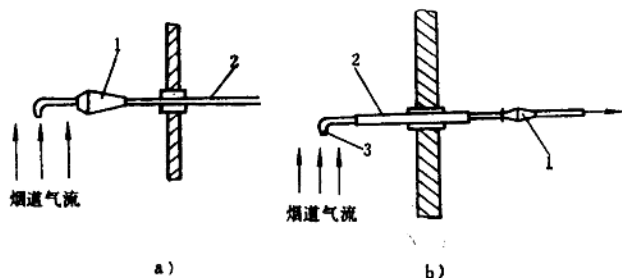


图5-6-2 内部取样和外部取样图

a) 内部取样图 b) 外部取样图

- 1—滤筒 2—取样管 3—取样头

取样管和滤尘罐三者组合构成一套取样器,它又分为内部取样和外部取样两种,见图5-6-2。内部取样用于烟气温度较低及烟尘浓度较小的场合,当烟气温度大于 300°C ,烟尘浓度大于 $5\text{g}/\text{Nm}^3$ 时,一般采用外部取样。取样头的直径有大有小,最小为4 mm,最大为25 mm,以配用烟气的不同流速。

水气分离器、放水阀、电加热器、温度计、转子流量计和流量调节阀,组装在仪器箱内,构成一个烟气流量测定器。电加热器采用可控硅恒温控制,使进入转子流量计的烟气温度控制在 $60\sim 70^{\circ}\text{C}$,转子流量计采用70/HB系列空气转子流量计。它的指示流量范围为 $15\sim 25\text{L}/\text{min}$,可由流量调节阀调整。抽气机以鞍劳D-2型测尘抽风机最为合适。把取样器、烟气流量测定器及抽风机,以橡皮管连接起来,成为一个完整的测尘仪器。当烟气进入取样头,经取样管进入滤尘罐,烟气中的粗颗粒积存于取样管的底部(外部取样时),细烟尘则积于滤膜上,用内部取样时,则全部积于滤膜上,被净化的烟气进入水气分离器,凝结水分分离积存于瓶底,饱和状态的烟气再进入电加热器加热,变成干燥的气

体, 经转子流量计到抽风机排入大气。

该仪器采用两套并装, 可以一套单独使用, 也可以两套同时使用, 以检查锅炉除尘措施前后的烟尘状况。

使用 BLC-Ⅱ型 锅炉烟尘浓度仪进行测定时, 首先要测定烟气温度和烟气流速, 计算进入取样头的烟气流量, 据以确定取样头直径的大小, 以便做到等速取样。然后, 抽取尘样, 并根据烟尘重量值与标准状态下的烟气体积, 计算出烟尘浓度。

(2) 烟色的评定和监视 工业锅炉排出烟气的烟色标准, 一般是以烟囱中的烟色来考核, 烟色的浓淡程度可用肉眼或用烟色分析仪测定。

肉眼观察法是采用比色法进行检定。一般是利用林格曼烟气黑度标准图的比例来区分。它是将烟色分为六级, 每一级标准烟色由划在长14cm、宽20cm白纸上的黑色格线构成的。黑色线的粗细选择要使黑线占整个面积的比例为0、20、40、60、80、100%, 它们所代表的烟色分别为0、1、2、3、4、5级。0级为全白, 5级为全黑。检定时, 可将刚离开烟囱口的烟与图纸上的黑度进行比较, 如果烟的黑度与2级相近就是2级林格曼数, 如与4级相近就是4级林格曼数, 如烟气无色透明, 则是0级, 其余类推。六级标准烟色表见表5-6-4。

实地观察时, 使用林格曼烟气黑度标准图, 其使用方法如下:

将图上的方格剪下, 自上而下按0级、1级、2级、3级、4级和5级贴于平板上。平板底色与天空颜色相似为好, 平板底边要有支柱(架)以便插(立)于地面。图纸要保持平

表5-6-4 六级标准烟色表

烟色级	黑线宽 (mm)	白线宽 (mm)	黑线面积 的百分数	烟色外观 特点
0	—	全 白	0	全 白
1	1.0	9.0	20%	微 灰
2	2.3	7.7	40%	灰
3	3.7	6.3	60%	深 灰
4	5.5	4.5	80%	灰 黑
5	全 黑	—	100%	全 黑

整、清洁。观察者与烟囱的距离视烟囱的高低而定。图板立于观察者与烟囱之间, 图板与观察者的距离应以图上方格线条看来似乎消失形成均匀黑度为准。观察者的高低位置, 应使视线与图板底部和烟囱口成直线, 图板应从侧面采光, 不要背光或对光。

这种方法受日照, 背景, 烟层厚度等因素影响, 用肉眼观察, 误差较大。

在运行过程中, 烟色可能不断变化, 在这种情况下, 可用烟色率来评定。所谓烟色率就是烟色级数的时间平均值乘上20。例如, 在一小时内测定的情况如下:

5级—8 min; 4级—5 min; 3级—7 min;

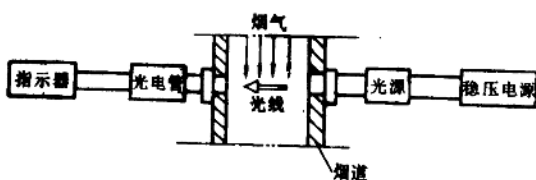


图5-6-3 光电式烟色计方框图

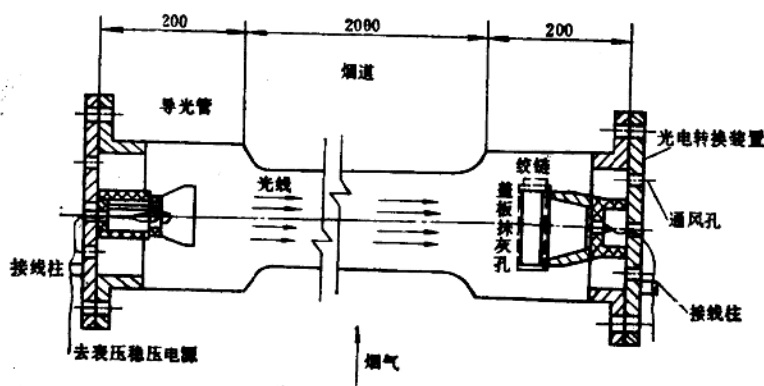


图5-6-4 光电式烟色计

2级—30min; 1级—10min。则烟色率为:

$$\text{烟色率} = \frac{5 \times 8 + 4 \times 5 + 3 \times 7 + 2 \times 30 + 1 \times 10}{60} \times 20 \\ \approx 50\%$$

烟色越黑, 烟色率越高, 对于一直冒黑烟的情况, 其烟色率为100%。

烟色的浓淡亦可用烟色测定仪来连续测定, 办法是用强烈的光线通过烟气照射一只光电管, 转化为电讯号, 再由电讯号的强弱, 显示出烟色浓淡的读数。其原理方框图如图5-6-3所示。

图5-6-4是一种光电式烟色计。它是由晶体管稳压器 (JWD-2B型, 220V/6V, 200mA) 供给聚光灯的电源。聚光灯是采用大型手电筒头, 能保持恒定的亮度。光线经过烟气照射在光电转换装置 (56A型硒光电池 $\phi 45\text{mm}$) 上, 产生电势, 通过显

示仪表 (XCT-101型mV温度计) 指示。当锅炉完全燃烧无黑烟时, 光电池的照度较强, 指示较高且稳定。一旦黑烟出现, 射到光电池上的光线减弱, 光电池产生的电势相应减小, 指示值也降低。

参 考 文 献

- [1] 上海市劳动局锅炉安全监察处编著。工业锅炉安全技术基础。北京: 劳动人事出版社, 1983
- [2] 庄德安, 刘烈英编著。燃煤工业锅炉热工测试方法。北京: 机械工业出版社, 1979
- [3] 薄荫佑编。工业锅炉安全与节能。北京: 工人出版社, 1986
- [4] 李之光, 范柏樟主编。工业锅炉手册。天津科学技术出版社, 1988