

前 言

本标准修订时参考了先进工业国家相应的标准且尽量与这些标准相协调,如英国 BS 845—1987《蒸汽、热水和高温热载体流体锅炉的热工性能评定》、德国 DIN 1942—1996《蒸汽锅炉验收试验规范》、日本 JIS B 8222—1993《陆用锅炉热工测试方法》,并以英国标准为主要参考对象,为工业锅炉热工性能测试提供了一种操作简便、费用较低并具有较高精度的试验方法。

本标准代替 GB/T 10180—1988《工业锅炉热工试验规范》。

本标准与 GB/T 10180—1988 相比主要变化如下:

- 具体列出了所适用工业锅炉范围(1988 版开头语;本版的第 1 章);
- 当蒸汽锅炉的实际给水温度与设计之差或热水锅炉的进水温度和出水温度与设计之差超过规定范围时,对锅炉效率规定了折算修正方法(1988 版的 3.3.4、3.3.5;本版的 7.4 d)、7.4 e);
- 正式试验测试时间针对更多种类的锅炉作出了规定(1988 版的 3.5;本版的 7.6);
- 当蒸汽和给水的实测参数与设计不一致时,给出了锅炉蒸发量的修正公式(本版的 7.7 b);
- 简化了饱和蒸汽湿度和过热蒸汽含盐量测定方法的规定(1988 版的附录 B;本版的附录 C);
- 将电加热锅炉的测试方法列入标准正文(1988 版的附录 D;本版的 7.8);
- 增加了热油载体锅炉的试验要求(本版的 7.9)。

本标准的附录 A~附录 D 为规范性附录,附录 E、附录 F 为资料性附录。

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由全国锅炉标准化技术委员会(CSBTS/TC 73)归口。

本标准起草单位:北京电工技术经济研究所。

本标准主要起草人:刘复田、李之光、王昌明。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:JB 2829—1980、GB/T 10180—1988。

工业锅炉热工性能试验规程

1 范围

本标准规定了工作压力小于 3.8 MPa 的蒸汽锅炉以及热水锅炉热工性能试验(包括定型试验、验收试验、仲裁试验和运行试验)的方法,并规定了以表格形式表示试验结果。

本标准适用于手工或机械燃烧固体燃料的锅炉、燃烧液体或气体燃料的锅炉和以电作为热能的锅炉。热油载体锅炉及以垃圾作燃料的锅炉可参照采用。本标准不适用于余热锅炉。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB/T 474—1996 煤样的制备方法(eqv ISO 1988:1975)

GB/T 2900.48—1983 电工名词术语 固定式锅炉

3 术语和定义

GB/T 2900.48—1983 确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

固体燃料 solid fuel

任何固态的燃料,包括煤、油页岩、甘蔗渣、木柴和固体废料等。

3.2

液体燃料 liquid fuel

任何液态的燃料,包括燃料油、工业废液(如碱液、镁液等)。

3.3

气体燃料 gas fuel

任何气态的燃料,包括天然气、高炉煤气、焦炉煤气、城市煤气、液化气等。

3.4

高位发热量 gross calorific value

单位体积的气体燃料、单位质量(重量)的固体或液体燃料在特定的条件下完全燃烧所释放的热量,其中包含烟气中水蒸汽凝结成水时放出的热量。

3.5

低位发热量 net calorific value

单位体积的气体燃料、单位质量(重量)的固体或液体燃料在特定条件下完全燃烧所释放的热量中扣除水蒸汽凝结成水的汽化潜热后所得的热量。

3.6

输入热量 heat input

随每千克或每标准立方米燃料输入锅炉的总热量,包括燃料的收到基低位发热量和显热,以及用外来热源加热燃料或空气时所带入的热量。

注1:电热锅炉以输入电功率换算为热量。

注2, 改写 GB/T 2900.48—1983, 定义 2.3.5。

3.7

输出热量 heat output

通过蒸汽、水或其他介质由锅炉向外提供的热量与进入锅炉的水或其他介质带入热量之差。

3.8

基准温度 directing temperature

为计算锅炉能量平衡中各项输入与散失所确定的起算温度。

3.9

锅炉效率 boiler efficiency

同一时间内锅炉有效利用热量与输入热量的百分比。

3.10

正平衡测量法 direct procedure

直接测量输入热量和输出热量来确定效率的方法。

注: 正平衡测量法亦称直接测量法或输入输出法。

3.11

反平衡测量法 indirect procedure

通过测定各种燃烧产物热损失和锅炉散热损失来确定效率的方法。

注: 反平衡测量法亦称间接测量法或热损失法。

4 符号和单位

表1和表2中列出的符号及其单位适用于本标准。

表1 符号和单位

序号	符号	名称	单位
1	B	燃料消耗量	kg/h 或 $\text{m}^3/\text{h}^{1)}$
2	D_g	蒸汽锅炉给水流量	kg/h
3	D_k	蒸汽锅炉输出蒸汽量(即锅炉实测蒸发量)	kg/h
4	D_n	锅炉折算蒸发量	kg/h
5	D_{sv}	蒸汽锅炉自用蒸汽量	kg/h
6	G	热水锅炉循环水量或热油载体锅炉循环油量	kg/h
7	G_g	测定蒸汽湿度或过热蒸汽含盐量时, 蒸汽取样量	kg/h
8	G_s	测定蒸汽湿度时, 锅水取样量	kg/h
9	h_{b1}	饱和蒸汽焓	kJ/kg
10	h_{es}	热水锅炉出水焓或热油载体锅炉出油焓	kJ/kg
11	h_{es}	过热蒸汽焓	kJ/kg
12	h_{gs}	蒸汽锅炉给水焓	kJ/kg
13	h_{js}	热水锅炉进水焓或热油载体锅炉进油焓	kJ/kg
14	h_{sv}	自用蒸汽焓	kJ/kg

1) 本标准中气体(燃气、烟气)单位符号“ m^3 ”的意义为: 标准状态下测得的体积且其体积单位为立方米, 简称“标准立方米”。

表 1 (续)

序号	符号	名 称	单 位
15	N	耗电量	$\text{kW} \cdot \text{h/h}$
16	$Q_{\text{net},v,\text{ar}}$	燃料收到基低位发热量	kJ/kg 或 kJ/m^3
17	$Q_{\text{net},v,\text{ar}}^{\text{d}}$	干气体燃料收到基低位发热量	kJ/m^3
18	Q_1	输入热量	kJ/kg 或 kJ/m^3 或 $3\,600\text{ N}$
19	Q_{rs}	燃料的物理热	kJ/kg 或 kJ/m^3
20	Q_{wi}	用外来热量加热燃料或空气时,相应于每千克或标准状态下每立方米燃料所给的热量	kJ/kg 或 kJ/m^3
21	Q_{sv}	自用蒸汽带入炉内相应于每千克或标准状态下每立方米燃料的热量	kJ/kg 或 kJ/m^3
22	q_2	排烟热损失	%
23	q_3	气体未完全燃烧热损失	%
24	q_4	固体未完全燃烧热损失	%
25	q_5	散热损失	%
26	q_6	灰渣物理热损失	%
27	w	蒸汽湿度	%
28	γ	汽化潜热	kJ/kg
29	η	锅炉正平衡效率	%
30	η_2	锅炉反平衡效率	%

5 总则

5.1 测定锅炉效率应同时采用正平衡法和反平衡法,锅炉效率取正平衡法与反平衡法测得的平均值。当锅炉额定蒸发量(额定热功率)大于或等于 20 t/h (14 MW),用正平衡法测定有困难时,可采用反平衡法测定锅炉效率;手烧锅炉允许只用正平衡法测定锅炉效率。

5.2 本标准规定的锅炉效率,为不扣除自用蒸汽和辅机设备耗用动力折算热量的毛效率值,但自用蒸汽量和辅机设备用动力应予以记录,必要时,进行净效率计算。

5.3 蒸汽锅炉的出力由折算蒸发量来确定,要扣除自用蒸汽量和取样量。

6 试验准备工作

6.1 试验负责人应由熟悉本标准并有测试经验的专业人员担任。应根据本标准的有关规定,结合具体情况制定试验大纲。试验大纲的内容应包括:

- a) 试验任务和要求;
- b) 测量项目;
- c) 测点布置与所需仪表;
- d) 人员组织与分工;
- e) 试验进度安排等。

6.2 试验过程中测试人员不宜变动。

6.3 试验使用的仪表均应是在检定和标定的有效期内,且应具备法定计量部门出具的检定合格证或检定印记;试验前后应对所用仪表加以检查。

- 6.4 按试验大纲中测点布置图的要求安装仪表。
- 6.5 全面检查锅炉及辅机设备的运行状况是否正常,如有不正常现象应排除。
- 6.6 应注意被试验锅炉的汽、水及燃料、排渣必须与其他锅炉的汽、水及燃料、排渣完全隔绝,以防止泄漏影响试验结果的精确性。
- 6.7 为全面检查测试仪表是否正常工作 and 熟悉试验操作程序及试验人员的相互配合程度,并确定合适的运行工况,可进行预备性试验。

7 试验要求

7.1 正式试验应在锅炉热工况稳定和燃烧调整到试验工况 1 h 后开始进行。锅炉热工况稳定系指锅炉主要热力参数在许可波动范围内其平均值已不随时间不断变化的状态,热工况稳定所需时间(自冷态点火开始)一般规定为:

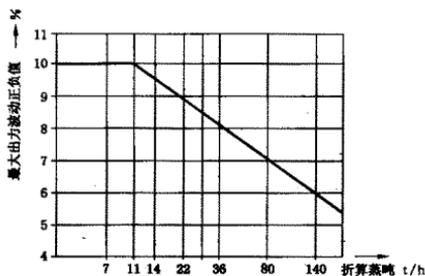
- 对无砖墙(快、组装)的锅壳式燃油、燃气锅炉不少于 1 h,燃煤锅炉不少于 4 h;
- 对轻型炉墙锅炉不少于 8 h;
- 对重型炉墙锅炉不少于 24 h。

7.2 制造厂提出的锅炉出力、效率等保证值是对稳定工况而言的,所以在进行验收试验时应保证锅炉处于稳定工况下运行。验收、仲裁试验应由三方——买方、卖方的代表和检测机构的人员到场进行试验。

7.3 锅炉试验所使用燃料应符合设计要求,并说明按工业锅炉用煤分类所属的类别。

7.4 试验期间锅炉工况应保持稳定,并应符合下列规定:

- 锅炉出力的最大允许波动正负值应符合图 1 要求:



注: 1 折算蒸吨相当于 1 t/h 或 0.7 MW

图 1 最大允许的出力波动值

b) 蒸汽锅炉的压力允许波动范围如下:

- 设计压力小于 1.0 MPa 时,试验期间内压力不得小于设计压力的 85%;
- 设计压力为 1.0 MPa~1.6 MPa 时,试验期间内压力不得小于设计压力的 90%;
- 设计压力大于 1.6 MPa 及小于等于 2.5 MPa 时,试验期间内压力不得小于设计压力的 92%;
- 设计压力大于 2.5 MPa 及小于 3.8 MPa 时,试验期间内压力不得小于设计压力的 95%。

c) 过热蒸汽温度波动范围如下:

- 设计温度为 250℃,试验实测温度应控制在 230℃~280℃之间;
- 设计温度为 300℃,试验实测温度应控制在 280℃~320℃之间;
- 设计温度为 350℃,试验实测温度应控制在 330℃~370℃之间;

- 4) 设计温度为 400℃, 试验实测温度应控制在 380℃~410℃之间;
- 5) 每次试验中, 实测的过热蒸汽温度的最大值与最小值之差不得大于 15℃。
- d) 蒸汽锅炉的实际给水温度与设计值之差宜控制在 +30℃至 -20℃之间。当实际给水温度与设计给水温度之偏差超过 -20℃时, 测得的锅炉效率应按每相差 -60℃效率数值下降 1% 进行折算, 不足或大于 -60℃, 则按比例折算。在试验报告结果分析中对此予以扣除, 对无省煤器的锅炉则不予扣除。
- e) 热水锅炉的进水温度和出水温度与设计值之差宜不大于 ±5℃。当实际进出水温平均值与设计温度平均值之偏差超过 -5℃时, 应对测试效率进行折算。对于燃煤锅炉, 出水温度与额定温度相差 -15℃效率数值下降 1%; 对燃油、燃气锅炉, 出水温度与额定温度相差 -25℃效率数值下降 1%。不足或大于上述温度时, 按比例折算。无论有无省煤器, 在试验报告结果分析中对此均予以扣除。带有空气预热器的大容量热水锅炉出水温度偏差的效率折算方法协商确定。
- f) 热水锅炉测试时的压力应保证出水温度比该压力下的饱和温度至少低 20℃。
- g) 试验期间安全阀不得启跳, 锅炉不得吹灰, 不得定期排污, 连续排污一般亦应关闭。对过热蒸汽锅炉, 当必须连续排污时, 连续排污量应计量(计入锅水取样量内), 其数量不得超过锅炉出力的 3%。

7.5 在试验结束时, 锅筒水位和煤斗的煤位均应与试验开始时一致, 如不一致应进行修正。试验期间过量空气系数、给煤量、给水量、炉排速度、煤层或沸腾燃烧锅炉料层高度应基本相同。

对于手烧锅炉在试验开始前和试验结束前均应进行一次清炉。注意结束时与开始时, 煤层厚度和燃烧状况应基本一致。

7.6 正式试验测试时间应按下述规定:

- a) 火床燃烧、火室燃烧、沸腾燃烧固体燃料锅炉应不少于 4 h;
- b) 火床燃烧甘蔗渣、木柴、稻壳及其他固体燃料锅炉应不少于 6 h;
- c) 对于手烧炉排、下饲炉排等锅炉应不少于 5 h; 对于手烧锅炉, 试验时间内至少应包含一个完整的出渣周期;
- d) 液体燃料和气体燃料锅炉应不少于 2 h。

7.7 试验次数、蒸发量修正方法及误差规定:

- a) 锅炉的新产品定型试验应在额定出力下进行两次, 其他目的试验的次数由协商而定。对于沸腾燃烧锅炉、水煤浆燃烧锅炉和煤粉燃烧锅炉还应进行一次不大于 70% 额定出力下的燃烧稳定性试验, 时间为 4 h, 并允许只测正平衡效率。对额定蒸发量(额定热功率) 大于或等于 20 t/h (14 MW) 时, 仍可只测反平衡效率。
- b) 每次试验的实测出力应为额定出力的 97%~105%。当蒸汽和给水的实测参数与设计不一致时, 锅炉的蒸发量应按下式进行修正。

对饱和蒸汽锅炉:

$$D_{25} = D_{sc} \frac{h_{25} - h_{25}^*}{h_{25}^* - h_{25}^*} \dots\dots\dots (1)$$

对过热蒸汽锅炉:

$$D_{25} = D_{sc} \frac{h_{25} - h_{25}^*}{h_{25}^* - h_{25}^*} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

D_{25} ——折算蒸发量, 单位为吨每小时(t/h);

D_{sc} ——输出蒸发量, 单位为吨每小时(t/h);

h_{25} 、 h_{25}^* 、 h_{25}^* ——过热蒸汽、饱和蒸汽、给水的实测参数下的焓, 单位为千焦每千克(kJ/kg);

h_{gs}^* 、 h_{bs}^* 、 h_{gs}^* ——过热蒸汽、饱和蒸汽、给水的设计参数下的焓,单位为千焦每千克(kJ/kg)。

- c) 每次试验的正、反平衡测得的效率之差应不大于5%,两次试验测得的正平衡效率之差应不大于3%,两次试验测得的反平衡效率之差应不大于4%。但是,对于燃油、燃气锅炉各种平衡的效率值之差均应不大于2%。

7.8 电加热锅炉试验要求:

- a) 电加热锅炉定型试验应在额定出力下至少进行两次,试验应在锅炉运行达到稳定工况1 h后进行,每次试验时间为1 h。可只进行正平衡试验,两次试验的正平衡效率差值应在1%之内,锅炉效率取两次效率的算术平均值;
- b) 电耗量可用电度表(精度不低于1.0级)和互感器(精度不低于0.5级)测量。每kW·h的发热量折算为3 600 kJ。

7.9 热油载体锅炉试验要求:

可按热水锅炉的试验方法进行。只是在计算载热量时,导热油的比热容以其实测温度下的进、出口油的比热容与在0℃时的比热容的平均值为准。

7.10 定型试验和验收试验时,基准温度一般选为测试地点的环境温度。

8 测量项目

8.1 各种热工性能试验测量项目的确定

新产品热工性能定型试验的测量项目,因锅炉燃料不同、供热方式不同而有所不同,应在试验大纲内明确。

锅炉验收试验及仲裁试验的测量项目可协商确定,运行试验可按需要而定。

8.2 热工试验效率计算测量项目

热工试验效率计算测量项目如下:

- a) 燃料元素分析、工业分析,发热量;
- b) 液体燃料的密度、温度、含水量;
- c) 气体燃料组成成分;
- d) 混合燃料组成成分;
- e) 燃料消耗量;电热锅炉耗电量;
- f) 蒸汽锅炉输出蒸汽量(饱和蒸汽测给水流量,过热蒸汽测给水流量或过热蒸汽流量);热水锅炉的循环水流量;热油载体锅炉的循环油流量;
- g) 蒸汽锅炉的给水温度、给水压力;
- h) 热水锅炉的进、出口水温或进、出口水温温差及进水温度;热油载体锅炉的进、出口油温;
- i) 过热蒸汽温度;
- j) 蒸汽锅炉的蒸汽压力;热水锅炉的进、出口水压力;热油载体锅炉进、出口油压力;
- k) 饱和蒸汽湿度或过热蒸汽含盐量;
- l) 排烟温度、燃烧室排出炉渣温度、溢流灰和冷灰温度;
- m) 排烟处烟气成分(含 RO_2 、 O_2 、 CO);
- n) 炉渣、漏煤、烟道灰、溢流灰和冷灰的重量;
- o) 炉渣、漏煤、烟道灰、溢流灰、冷灰和飞灰可燃物含量;
- p) 自用蒸汽量;
- q) 蒸汽取样量;
- r) 锅水取样量;
- s) 排污量(连续排污量,计入锅水取样量);
- t) 入炉冷空气温度;

- u) 当地大气压力;
- v) 环境温度;
- w) 试验开始到结束的时间。

8.3 热工性能试验工况分析测量项目

热工性能试验工况分析测量项目如下:

- a) 炉膛压力;
- b) 燃烧器前油、气压力;
- c) 燃烧器前油、气温度;
- d) 沸腾燃烧锅炉的沸腾层温度;
- e) 一次风风压或沸腾燃烧锅炉风室风压;
- f) 二次风风压;
- g) 炉膛出口烟温;
- h) 烟道各段压力;
- i) 省煤器(或节能器)进、出口烟温;
- j) 空气预热器进、出口烟温和热风温度;
- k) 对煤粉锅炉,应测煤粉细度和灰熔点;对沸腾燃烧锅炉,应测燃料的粒度组成;对火床锅炉,在必要时可测燃料的粒度组成;对燃烧重油锅炉,测重油的黏度、凝固点;
- l) 辅机(送风机、引风机、破碎机、炉排传动装置、给水泵等)耗电量。

9 测试方法

9.1 燃料取样的方法:

- a) 入炉原煤取样,每次试验采集的原始煤样数量应不少于总燃煤量的1%,且总取样量不少于10 kg。取样应在称重量点进行。当锅炉额定蒸发量(额定热功率)大于或等于20 t/h(14 MW)时,采集的原始煤样数量应不少于总燃料量的0.5%。煤和煤粉的取样和制备方法按附录A进行;
- b) 对于液体燃料,从油箱或燃烧器前的管道上抽取不少于1 L样品,倒入容器内,加盖密封,并作上封口标记,送化验室;
- c) 城市煤气及天然气的成分和发热量通常可由当地煤气公司及石油天然气公司提供;对于其他气体燃料,可在燃烧器前的管道上开一取样孔,接上燃气取样器取样,进行成分分析,气体燃料的发热量可按其成分进行计算;
- d) 对于混合燃料,可根据入炉各种燃料的元素分析、工业分析、发热量和全水分再按相应基质的混合比例求得对应值,然后作为单一燃料处理。

9.2 燃料计量的方法:

- a) 固体燃料应使用衡器称重(精度不低于0.5级),衡器应经检定合格,燃料应与放燃料的容器一起称重,试验开始和结束时该容器重量应各校验一次;
- b) 对于液体燃料应由称重法或在经标定过的油箱上测量其消耗量,也可用油流量计(精度不低于0.5级)来确定;
- c) 对于气体燃料,可用气体流量表(精度不低于1.5级)或标准孔板流量计来确定消耗量。气体燃料的压力和温度应在流量测点附近测出,用以将实际状态的气体流量换算到标准状态下的气体流量。

9.3 当锅炉额定蒸发量(额定热功率)大于或等于20 t/h(14 MW),仅用反平衡法测定效率时,试验燃料消耗量应按相应的式(4)、式(5)、式(6)和式(7)进行反算得出。式中的锅炉效率先行估取,当计算所得反平衡效率与估取值相差在 $\pm 2\%$ 范围内,计算结果有效。否则应重新估取锅炉效率作重复计算。

9.4 蒸汽锅炉蒸汽量的测量仪表、方法：

- a) 饱和蒸汽一般通过测量锅炉给水流量来确定。给水流量可用水箱、涡轮流量计(精度不低于0.5级)、电磁流量计(精度不低于0.5级)、孔板流量计(其测量系统精度不低于1.5级)、涡街流量计(精度不低于1.5级)等任何一种仪表来测定。当锅炉额定蒸发量大于或等于20 t/h的蒸汽锅炉也可用超声波流量计(精度不低于1.5级)来测量给水流量。
- b) 过热蒸汽也可采用直接测量蒸汽流量来确定。测量方法可用孔板流量计(精度不低于0.5级)、差压变送器(精度不低于0.5级)、积算仪(精度不低于0.5级)等来测量。如锅炉有自用蒸汽时应予以扣除。

9.5 热水锅炉的循环水量,可在热水锅炉进水管道上安装涡轮流量计、涡街流量计、电磁流量计、超声波流量计、孔板流量计等任何一种仪表进行测量。热油载体锅炉的循环油量可用涡街流量计及孔板流量计等进行测量。所用仪表精度等级与9.4a)中相应仪表精度级别相同。

9.6 锅炉给水及蒸汽系统的压力测量应采用精度不低于1.5级的压力表。

9.7 锅炉蒸汽、水、空气、烟气介质温度的测量,可以使用热电阻温度计、水银温度计或热电偶温度计(其显示仪表精度均不低于0.5级)。对热水锅炉进、出水温度应采用铂电阻温度计测量,读数分辨率为0.1℃。

测温点应布置在管道或烟道截面上介质温度比较均匀的位置。对锅炉额定蒸发量(额定热功率)大于或等于20 t/h(14 MW)时,排烟温度应进行多点测量,一般可布置2~3个测点,取其算术平均值作为锅炉的排烟温度。排烟温度的测点,应接近最后一节受热面,距离应不大于1 m。

9.8 烟气成分分析时,三原子气体 RO_2 和氧气 O_2 可用奥氏分析仪测定,奥氏分析仪吸收剂配制方法按附录B。一氧化碳CO可用气体检测管测定,也可用烟道气测试仪来测量 RO_2 、 O_2 、CO,测量 RO_2 、 O_2 的仪表精度不低于1.0级,测量CO的仪表精度不低于5.0级。

9.9 为计算锅炉固体未完全燃烧热损失及灰渣物理热损失,应进行灰平衡测量。灰平衡是指炉渣、漏煤、烟道灰、溢流灰、冷灰和飞灰中的含灰量与人炉含灰量相平衡,通常以炉渣、漏煤、烟道灰、溢流灰、冷灰和飞灰的含灰量占人炉煤总灰量的重量百分率来核算。

9.10 为进行灰平衡计算,应对炉渣、漏煤、烟道灰、溢流灰、冷灰进行称重和取样化验,对飞灰进行取样化验。

9.11 各种灰渣的取样方法：

- a) 装有机械除渣设备的锅炉,可在灰渣出口处定期取样(一般每15 min取一次)。样品制备方法按附录A进行;
- b) 每次试验采集的原始灰渣样重量应不少于总灰渣量的2%,当煤的灰分 $A_d \geq 40\%$ 时,原始灰渣样重量应不少于总灰渣量的1%,且总灰渣样重量应不少于20 kg。当总灰渣量少于20 kg时,应予全部取样,缩分后灰渣重量应不少于1 kg。在湿法除渣时,应将灰渣铺开在清洁地面上,待稍干后再称重和取样。漏煤与飞灰取样缩分后的重量应不少于0.5 kg。

9.12 饱和蒸汽湿度和过热蒸汽含盐量的测定方法按附录C进行。

9.13 风机风压、锅炉风室风压和烟、风道各段烟气、风的压力一般用U形玻璃管压力计等仪表测量。

9.14 散热损失按附录D确定。

9.15 除需化验分析以外的有关测试项目,应每隔10 min~15 min读数记录一次。对热水锅炉进、出水温度和热油载体锅炉进、出油温度应每隔5 min读数记录一次。循环水量、循环热油量用累计方法确定。

9.16 为便于热工性能测试和计算,附录E提供了烟气、灰和空气的平均定压比热容,附录F给出了常用气体的有关量值。

10 锅炉效率的计算

10.1 正平衡效率的计算

10.1.1 输入热量计算公式

$$Q_t = Q_{\text{net},v,\text{st}} + Q_{\text{wl}} + Q_{\text{ra}} + Q_{\text{xy}} \quad \text{.....(3)}$$

注：式中 $Q_{\text{net},v,\text{st}}$ 是煤的低位发热量，对燃油、气时应以相应的油、气低位发热量代入。

10.1.2 饱和蒸汽锅炉正平衡效率计算公式

$$\eta = \frac{D_{\text{st}}(h_{\text{st}} - h_{\text{gs}} - \frac{\gamma w}{100}) - G_s \gamma}{BQ_t} \times 100\% \quad \text{.....(4)}$$

10.1.3 过热蒸汽锅炉正平衡效率计算公式

测量给水流量时：

$$\eta = \frac{D_{\text{st}}(h_{\text{st}} - h_{\text{gs}}) - G_s \gamma}{BQ_t} \times 100\% \quad \text{.....(5)}$$

测量过热蒸汽流量时：

$$\eta = \frac{(D_{\text{st}} + G_q)(h_{\text{st}} - h_{\text{gs}}) + D_{\text{st}}(h_{\text{st}} - h_{\text{gs}} - \frac{\gamma w}{100}) + G_s(h_{\text{st}} - \gamma - h_{\text{gs}})}{BQ_t} \times 100\% \quad \text{.....(6)}$$

10.1.4 热水锅炉和热油载体锅炉正平衡效率计算公式

$$\eta = \frac{G(h_{\text{ca}} - h_{\text{js}})}{BQ_t} \times 100\% \quad \text{.....(7)}$$

10.1.5 电加热锅炉正平衡效率计算公式

10.1.5.1 电加热锅炉输出饱和蒸汽时公式为：

$$\eta = \frac{D_{\text{st}}(h_{\text{st}} - h_{\text{gs}} - \frac{\gamma w}{100}) - G_s \gamma}{3600 N} \times 100\% \quad \text{.....(8)}$$

10.1.5.2 电加热锅炉输出热水时公式为：

$$\eta = \frac{G(h_{\text{ca}} - h_{\text{js}})}{3600 N} \times 100\% \quad \text{.....(9)}$$

10.2 反平衡效率的计算

反平衡效率的计算公式如下：

$$\eta_2 = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6) \dots\dots\dots(10)$$

11 其他量的计算

其他量的计算公式见表 2。

12 试验报告

12.1 报告封面应包括下列内容：

- a) 试验锅炉型号；
- b) 锅炉制造厂厂名；
- c) 出厂编号；
- d) 试验地点；
- e) 试验日期；
- f) 试验负责单位；
- g) 试验负责人；
- h) 试验参加单位和人员；
- i) 燃料化验单位。

12.2 报告正文应包括下列内容：

- a) 试验任务和要求；
- b) 测点布置图及测量仪表说明；
- c) 试验工况说明和结果分析；
- d) 锅炉设计数据综合表(格式见表 3)；
- e) 试验数据综合表(格式见表 2)；
- f) 试验结果汇总表(格式见表 4)。

12.3 编写热工试验报告时,试验数据综合表应根据本标准要求,选择必要的项目。项目的序号分两项,第一项是试验报告自编顺序号,第二项是本标准原序号。

12.4 热工试验原始数据、试验报告应由测试单位存档备查。

表 2 试验数据汇总表

试验日期:

试验时间(h):

序号	标准 序号	名称	符号	单位	计算公式或数据来源	测定出力 试验数据 I	测定出力 试验数据 II	70%出力 试验数据
(一)燃料特性								
固体燃料、液体燃料								
1		收到基碳	C_{ar}	%	化验数据			
2		收到基氢	H_{ar}	%	化验数据			
3		收到基氧	O_{ar}	%	化验数据			
4		收到基硫	S_{ar}	%	化验数据			
5		收到基氮	N_{ar}	%	化验数据			
6		收到基灰分	A_{ar}	%	化验数据			
7		收到基水分	M_{ar}	%	化验数据			
8		干燥无灰基挥发分	V_{daf}	%	化验数据			
9		收到基低位发热量	$Q_{net,ar}$	kJ/kg	化验数据			
10		煤粉细度	R_{90}	%	化验数据			
11		进油温度	t_f	℃	化验数据			
12		燃油黏度		°E	化验数据			
13		燃油凝固点		℃	化验数据			
14		燃油闪点		℃	化验数据			
15		燃油含水量		%	化验数据			
16		燃油密度	ρ_f	kg/m ³	化验数据			
17		燃油收到基低位发热量	$(Q_{net,ar})_f$	kJ/kg	化验数据			
气体燃料								
18		收到基甲烷	CH_4	%	化验数据			
19		收到基乙烷	C_2H_6	%	化验数据			

表 2 (续)

序号	标准 序号	名称	符号	单位	计算公式或数据来源	额定出力 试验数据 I	额定出力 试验数据 II	70%出力 试验数据
	20	收到基丙烷	C_3H_8	%	化验数据			
	21	收到基丁烷	C_4H_{10}	%	化验数据			
	22	收到基戊烷	C_5H_{12}	%	化验数据			
	23	收到基氢气	H_2	%	化验数据			
	24	收到基氧气	O_2	%	化验数据			
	25	收到基氮气	N_2	%	化验数据			
	26	收到基一氧化碳	CO	%	化验数据			
	27	收到基二氧化碳	CO_2	%	化验数据			
	28	收到基硫化氢	H_2S	%	化验数据			
	29	收到基不饱和烃	ΣC_nH_n	%	化验数据			
	30	燃气所带的水量	M_4	g/m ³	化验数据(或查表)			
	31	气体燃料含灰量	ρ_a	g/m ³	化验数据			
	32	容积成分之和	ΣK_i	%	$CH_4 + C_2H_6 + \dots + O_2 + N_2 + H_2 + \dots + \Sigma C_nH_n + M_4$			
	33	干气体燃料密度	ρ_0	kg/m ³	$0.0125(CO + N_2) + 0.0009H_2 + \Sigma(0.54m + 0.045n)$ $C_nH_n / 100 + 0.0152H_2S + 0.0197CO_2 + 0.0143O_2$			
	34	收到基密度	ρ_w	kg/m ³	$\rho_0 + \frac{M_4}{1000}$			
	35	收到基低位发热量	$(Q_{min,w})_s$	kJ/m ³	$\frac{K_1}{\Sigma_{i=1}^{100}} (Q_{min,w,i}) / (1 + 804)$, 或化验数据			
(二) 锅炉正平衡效率								
	36	给水量	D_w	kg/h	试验数据			
	37	过热蒸汽流量	D_q	kg/h	试验数据			
	38	自用蒸汽量	D_v	kg/h	试验数据			

表 2 (续)

标准 序号	名称	符号	单位	计算公式或数据来源	额定出力 试验数据 I	额定出力 试验数据 II	70%出力 试验数据
39	锅水取样量	G_s	kg/h	试验数据			
40	蒸汽取样量	G_o	kg/h	试验数据			
41	输出蒸汽量	D_{30}	kg/h	$D_{30} = D_{30} - G_s$ 或 D_{30}			
42	蒸汽压力(表压)	p	MPa	试验数据			
43	过热蒸汽温度	t_m	℃	试验数据			
44	过热蒸汽焓	h_m	kJ/kg	查表			
45	饱和蒸汽焓	h_{20}	kJ/kg	查表			
46	自用蒸汽焓	h_{27}	kJ/kg	查表			
47	蒸汽湿度	w	%	试验数据			
48	过热蒸汽含盐量	γ	$\mu\text{g}/\text{kg}$	试验数据			
49	汽化潜热		kJ/kg	查表			
50	给水温度	t_{20}	℃	试验数据			
51	给水压力	P_{20}	MPa	试验数据			
52	给水焓	h_{20}	kJ/kg	查表			
53	热水锅炉循环水量	G	kg/h	试验数据			
54	热水锅炉进水温度	t_{20}	℃	试验数据			
55	热水锅炉出水温度	t_{20}	℃	试验数据			
56	热水锅炉进水压力	P_{20}	MPa	试验数据			
57	热水锅炉出水压力	P_{20}	MPa	试验数据			
58	热水锅炉进水焓	h_{20}	kJ/kg	查表			
59	热水锅炉出水焓	h_{20}	kJ/kg	查表			
60	热水锅炉出力	Q	MW	$\frac{1}{36}G(h_{20} - h_{20}) \times 10^{-5}$			

表 2 (续)

序号	标准 序号	名称	符号	单位	计算公式或数据来源	额定出力 试验数据 I	额定出力 试验数据 II	70%出力 试验数据
	61	燃料消耗量	B	kg/h; m ³ /h	试验数据			
	62	燃料物理热	Q_x	kJ/kg; kJ/m ³	试验数据			
	63	加热燃料或外来热量	Q_{in}	kJ/kg; kJ/m ³	试验数据			
	64	自用蒸汽带人热量	Q_{sr}	kJ/kg	计算数据			
	65	输入热量	Q_r	kJ/kg; kJ/m ³	公式(3)			
					饱和蒸汽锅炉:公式(4)			
					过热蒸汽锅炉:公式(5)或公式(6)			
					热水锅炉:公式(7)			
	66	正平衡效率	η	%	电加热锅炉: 输出为饱和蒸汽:公式(8) 输出为热水:公式(9)			
(三) 锅炉反平衡效率								
	67	炉渣淋水后含水量	M_w	%	化验数据			
	68	湿炉渣重量	G_w	kg/h	试验数据			
	69	炉渣重量	G_w	kg/h	$G_w \left(1 - \frac{M_w}{100}\right)$			
	70	漏煤重量	G_m	kg/h	试验数据			
	71	烟道灰重量	G_p	kg/h	试验数据			
	72	溢流灰重量	G_H	kg/h	试验数据			

表 2 (续)

序号	标准 序号	名称	符号	单位	计算公式或数据来源	测定出力 试验数据 I	额定出力 试验数据 II	70%出力 试验数据
	73	冷灰重量	G_h	kg/h	试验数据			
	74	炉渣可燃物含量	C_u	%	化验数据			
	75	漏煤可燃物含量	C_m	%	化验数据			
	76	烟道灰可燃物含量	C_p	%	化验数据			
	77	溢流灰可燃物含量	C_f	%	化验数据			
	78	冷灰可燃物含量	C_h	%	化验数据			
	79	飞灰可燃物含量	C_n	%	化验数据			
	80	炉渣含灰量占入炉煤 总灰量的重量百分比	a_u	%	$\frac{C_u(100-C_p)}{BA_w} \times 100$			
	81	漏煤含灰量占入炉煤 总灰量的重量百分比	a_m	%	$\frac{C_m(100-C_p)}{BA_w} \times 100$			
	82	烟道灰含灰量占入炉煤 总灰量的重量百分比	a_p	%	$\frac{C_p(100-C_h)}{BA_w} \times 100$			
	83	溢流灰含灰量占入炉煤 总灰量的重量百分比	a_f	%	$\frac{C_f(100-C_p)}{BA_w} \times 100$			
	84	冷灰含灰量占入炉煤 总灰量的重量百分比	a_h	%	$\frac{C_h(100-C_n)}{BA_w} \times 100$			
	85	飞灰含灰量占入炉煤 总灰量的重量百分比	a_n	%	$100 - (a_u + a_m + a_p + a_f + a_h)$			
	86	固体未完全燃烧 热损失	q_4	%	$\left(\frac{C_u}{a_u 100 - C_u} + a_{1u} \frac{C_m}{100 - C_m} + a_{4p} \frac{C_p}{100 - C_p} + a_{4f} \frac{C_f}{100 - C_f} \right. \\ \left. + a_{4h} \frac{C_h}{100 - C_h} + a_{4n} \frac{C_n}{100 - C_n} \right) \times \frac{328.664 A_w}{Q}$			
	87	排烟处 RO_2	RO_2'	%	试验数据			

表 2 (续)

序号	标准 序号	名称	符号	单位	计算公式或数据来源	额定出力 试验数据 I	额定出力 试验数据 II	70%出力 试验数据
	88	排烟处 O ₂	O ₂ '	%	试验数据			
	89	排烟处 CO	CO'	%	试验数据			
	90	排烟处 H ₂	H ₂ '	%	试验数据			
	91	排烟处 H ₂ S	H ₂ S'	%	试验数据			
	92	排烟处 C _m H _n	C _m H _n '	%	试验数据			
					i) 对煤、油: $2.35 \frac{H_u}{C_u} - 0.126O_2 + 0.038N_2$ $C_u + 0.375S_u$			
					ii) 对气: $0.209N_2 + 0.395CO + 0.396H_2 + 1.584CH_4$ $[CO_2 + 0.994CO + 0.995CH_4 + 2.001\Sigma C_m H_n$ $+ 2.389\Sigma C_m H_n - 0.791O_2$ $+ CO_2 + 0.994CO + 0.995CH_4 + 2.001\Sigma C_m H_n] - 0.791$			
	93	燃料特征系数	β					
	94	理论最大 RO ₂ 百分率	RO ₂ ^{max}	%	$\frac{21}{1+\beta}$			
	95	修正系数	K _s	%	$\frac{100-q_4}{100}$			
					i) 对煤、油: 21 $\frac{O_2' - (0.5CO' + 0.5H_2' + 2C_m H_n')}{100 - (RO_2' + O_2' + CO' + H_2' + C_m H_n')}$			
	96	排烟处过量空气系数	α_{py}		ii) 对气: $21 - 79 \frac{O_2' - (0.5CO' + 0.5H_2' + 2CH_4')}{N_2 (RO_2' + CO' + CH_4')}$ $21 - 79 \frac{O_2' - (0.5CO' + 0.5H_2' + 2CH_4')}{N_2 (RO_2' + CO' + CH_4')}$ $N_2' - CO_2 + CO + \Sigma m C_m H_n + H_2 S$			

^a 公式中 CO₂, CO, H₂, S, ΣmC_mH_n 均为燃气成分。

表 2 (续)

序号	标准 序号	名称	符号	单位	计算公式或数据来源	测定出力 试验数据 I	测定出力 试验数据 II	70%出力 试验数据
97		理论空气量	V^0	m^3/kg m^3/m^3	i) 对煤、油: $0.0889(C_w + 0.375S_w) + 0.265H_w - 0.0333O_w$ ii) 对气: $0.0476[0.5CO + 0.5H_2 + 1.5H_2S + 2CH_4 + \Sigma(m + \frac{n}{4})C_mH_n - O_2]$			
98		RO ₂ 容积	V_{RO_2}	m^3/kg m^3/m^3	i) 对煤、油: $1.866 \frac{C_w + 0.375S_w}{100}$ ii) 对气: $0.01(CO_2 + CO + H_2S + \Sigma mC_mH_n)$			
99		理论氮气体积	$V_{N_2}^0$	m^3/kg m^3/m^3	i) 对煤、油: $0.79V^0 + \frac{0.8N_w}{100}$ ii) 对气: $0.79V^0 + \frac{N_i}{100}$			
100		雾化用蒸汽耗汽率	$D_{w,0}$	kg/kg	试验数据或 D_w/B			
101		理论水蒸汽容积	$V_{H_2O}^0$	m^3/kg m^3/m^3	i) 对煤、油: $0.111H_w + 0.0124M_w + 0.0161V^0 + 1.24D_{w,0}$ ii) 对气: $0.01(H_2S + H_2 + \Sigma \frac{n}{2}C_mH_n + 0.124M_d) + 0.0161V^0$			
102		排烟处水蒸汽体积	V_{H_2O}	m^3/kg m^3/m^3	$V_{H_2O}^0 + 0.0161(\alpha_{sp} - 1)V^0$			
103		排烟处干烟气体积	V_{ex}	m^3/kg m^3/m^3	$V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + (\alpha_{sp} - 1)V^0$			

表 2 (续)

序号	标准 序号	名称	符号	单位	计算公式或数据来源	额定出力 试验数据 I	额定出力 试验数据 II	70%出力 试验数据
	104	排烟处烟气体积	V_{sp}	$\text{m}^3/\text{kg};$ m^3/m^3	$V_{sp} + V_{H_2O}$			
	105	气体未完全燃烧热损失	q_3	%	$\frac{V_{sp} K_{A_3}}{Q} \times (126.36CO' + 107.98H_2' + 358.18C_{sp}H_{sp}') \times 100$			
	106	入炉冷空气温度	t_{lk}	℃	试验数据			
	107	入炉热空气温度	t_{lh}	℃	试验数据			
	108	排烟温度	t_{py}	℃	试验数据			
	109	排烟处干烟气 平均定压比热容	c_{sp}	$\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{℃})$	$\frac{RO_2' c_{RO_2} + N_2' c_{N_2} + O_2' c_{O_2} + CO' c_{CO} + H_2' c_{H_2} + \dots}{100}$ $c_{CO_2}, c_{CH_4}, c_{C_2H_6}, \dots$ 查表			
	110	排烟处烟气焓	H_{sp}	$\text{kJ}/\text{kg};$ kJ/m^3	$V_{sp} c_{sp} t_{py} + V_{H_2O} c_{H_2O} t_{py}$ (c_{H_2O} 查表)			
	111	入炉冷空气焓	H_{lk}	$\text{kJ}/\text{kg};$	$a_{sp} V_{sp}^0 (ct)_{lk};$ ($(ct)_{lk}$ 查表)			
	112	排烟热损失	q_2	%	$\frac{K_{A_3}}{Q} (H_{sp} - H_{lk}) \times 100$			
	113	散热损失	q_3	%	按附录 D			
	114	燃烧室排出 炉渣温度	t_b	℃	试验数据或经验数据			
	115	漏煤温度	t_{lm}	℃	试验数据或经验数据			
	116	溢流灰温度	t_r	℃	试验数据			
	117	冷灰温度	t_h	℃	试验数据			
	118	炉渣焓	$(ct)_{lh}$	kJ/kg	查表计算			
	119	漏煤焓	$(ct)_{lm}$	kJ/kg	查表计算			

表 2 (续)

序号	标准 序号	名称	符号	单位	计算公式或数据来源	额定出力 试验数据 I	额定出力 试验数据 II	70%出力 试验数据
120		冷灰焓	$(ct)_h$	kJ/kg	查表计算			
121		溢流灰焓	$(ct)_f$	kJ/kg	查表计算			
122		灰渣物理热损失	q_6	%	$\frac{A_{gr}}{Q} \left[\frac{a_{6h}(ct)_h + a_{6m}(ct)_m}{100 - C_m} + \frac{a_{6f}(ct)_f}{100 - C_f} + \frac{a_{6s}(ct)_s}{100 - C_m} \right]$			
123		热损失之和	Σq	%	$q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6$			
124		反平衡效率	η_r	%	$100 - \Sigma q$			
125		锅炉平均效率	$\eta_{a,2}$	%	$(\eta_r + \eta_p)/2$			
(四) 锅炉净效率								
126		制粉系统电耗	N_{ZP}	(kW·h)/h	试验数据			
127		燃烧设备耗电电量(包括炉排 变速箱电机、转杯或雾化器 电机等)	N_{BS}	(kW·h)/h	试验数据			
128		送风机耗电电量	N_{SF}	(kW·h)/h	试验数据			
129		引风机耗电电量	N_{YF}	(kW·h)/h	试验数据			
130		给水泵耗电电量	N_{GS}	(kW·h)/h	试验数据			
131		总耗电电量	ΣN	(kW·h)/h	$N_{ZP} + N_{BS} + N_{SF} + N_{YF} + N_{GS}$		*	
132		相当于每吨 蒸汽的耗电电率	E_e	(kW·h)/h	$\frac{\Sigma N}{D_k}$			
133		锅炉净效率	η	%	$\eta_{a,2} - \frac{\Sigma N \times 3600 + E_e (h_{gr} - h_{wp})}{BQ} \times 100$			

表3 锅炉设计数据综合表

序号	名称	符号	单位	设计数据
(一) 锅炉一般特性				
1	蒸汽锅炉额定蒸发量	D	t/h	
2	热水锅炉额定热功率	Q	MW	
3	过热蒸汽温度	t_{os}	℃	
4	锅筒蒸汽压力(或过热蒸汽压力)	p	MPa	
5	给水温度	t_{gs}	℃	
6	热水锅炉循环水量	G	kg/h	
7	热水锅炉进水温度	t_{js}	℃	
8	热水锅炉出水温度	t_{cs}	℃	
9	热水锅炉出水压力	p_{cs}	MPa	
10	炉膛容积	V_1	m ³	
11	炉膛容积热负荷	q_v	W/m ³	
12	炉排面积(或沸腾炉布风板面积)	R	m ²	
13	炉排面积热负荷	q_R	W/m ²	
14	排烟温度	t_{py}	℃	
15	锅炉效率	η	%	
16	燃料品种分类			
17	燃料消耗量	B	kg/h 或 (m ³ /h)	
18	电加热锅炉电耗量	N	(kW·h)/h	
(二) 受热面				
19	炉膛辐射受热面(或悬浮段受热面)	A_r	m ²	
20	对流受热面	A_d	m ²	
21	沸腾炉埋管蒸发受热面	A_{ng}	m ²	
22	过热器受热面	A_{gs}	m ²	
23	省煤器受热面	A_m	m ²	
24	空气预热器受热面	A_{ky}	m ²	
25	总受热面积	ΣA	m ²	
(三) 燃烧设备				
26	炉排传动装置电动机功率		kW	
27	磨煤机型式×数量			
28	磨煤机电动机功率		kW	
29	煤粉燃烧器型式×数量			
30	给煤机型式×数量			
31	破碎机电动机功率		kW	
32	给煤机电动机功率		kW	
33	筛分机电动机功率		kW	
34	其他电动机功率		kW	
35	液体燃料燃烧器型式×数量			

表 3 (续)

序号	名 称	符 号	单 位	设计数据
36	燃烧器进油压力		MPa	
37	燃烧器回油压力		MPa	
38	进油温度	t_2	°C	
39	蒸汽雾化汽耗量		kg/h	
40	压力雾化电动机功率		kW	
41	蒸汽雾化蒸汽压力		MPa	
42	转杯式燃烧器电动机功率		kW	
43	气体燃料燃烧器型式×数量			
44	气体燃烧器进气压力		kPa	
45	气体燃烧器进气温度		°C	
(四)除尘器装置				
46	除尘器型式×数量			
(五)通风装置				
47	自然通风烟囱高度		m	
48	引风机型号			
49	引风机风量		m ³ /h	
50	引风机风压		Pa	
51	引风机电动机功率		kW	
52	送风机型号			
53	送风机风量		m ³ /h	
54	送风机风压		Pa	
55	送风机电动机功率		kW	
56	排粉风机型号			
57	排粉风机风量		m ³ /h	
58	排粉风机风压		Pa	
59	排粉风机电动机功率		kW	
(六)给水装置				
60	注水器数量×口径			
61	蒸汽泵型号×数量			
62	蒸汽泵流量		m ³ /h	
63	蒸汽泵扬程		m	
64	电动泵型号×数量			
65	电动泵流量		m ³ /h	
66	电动泵扬程		m	
67	电动泵电动机功率		kW	

表 4 试验结果汇总表

试验次数	锅炉出力 t/h 或 MW	正平衡效率 (η_1) %	反平衡效率 (η_2) %	平均效率 ^a ($\eta_{1,2}$) %	排烟温度 (t_{py}) ℃	排烟处过量 空气系数 (α_{py})	炉渣可燃物 含量(C_{ls}) %
1							
2							
3 ^b							
锅炉平均出力 t/h 或 MW						锅炉效率 %	
饱和蒸汽湿度 %						过热蒸汽含盐量 μg/kg	
^a 平均效率 $\eta_{1,2} = (\eta_1 + \eta_2) / 2$ 。 ^b 对煤粉炉、沸腾炉、水煤浆燃烧炉进行 70% 以下低负荷试验时的测试结果。							

附 录 A
(规范性附录)
煤和煤粉的取样和制备

A.1 煤的取样和制备

A.1.1 煤的取样

工业锅炉的上煤如用小车从煤场拉至磅秤,过磅后再送至炉前煤斗。取样应紧接在过磅前小车上或炉前地面上进行,取样部位一般在小车上距离四角 5 cm 处和中心部位共五点取样;如在地面上,则在煤堆四周高于地面 10 cm 以上处,取样不得少于 5 点。如皮带输送机上取样,应使用铁铲横截煤流,时间间隔要均匀。上述取样方法每点或每次重量不得少于 0.5 kg,取好后的煤样应放入带盖容器中,以防煤中水分蒸发。

A.1.2 煤样制备

A.1.2.1 从燃煤中取出的煤样多达几十千克,为了取出化验室煤样,应经过混合缩分。混合时应把煤样放入方型铁皮盘中或铁板上。由于煤粒大小不均匀应将大粒煤破碎,通过 13 mm 以下分样筛,进行充分搅拌。煤样缩分方法是采用堆掺四分法。操作时用平板铁锹将煤铲起,不应过多,自上而下撒落在锥体的顶端,使其均匀地落在锥体四周,反复三次,以使煤样的粒度分布均匀。然后用锹从锥体顶端压平,形成一个饼状,再分成四个形状相等的扇型体,将相对的两个扇型体除去。再继续照同样方法进行掺合和缩分,直至所需煤样重量为止。一般缩分到不小于 1 kg,分为两份装入容器内,并严密封口,一份送化验室,一份保存备查。

A.1.2.2 对要求更高的煤样制备,应按 GB/T 474—1996 进行。

A.2 煤粉的取样和缩制

A.2.1 原煤采样及其制备

对煤粉炉,进入磨煤机的原煤采样应在给煤机处进行,制备方法同 A.1.2。

A.2.2 其他煤粉样的采集和缩制

A.2.2.1 带直吹制粉系统的煤粉炉在排粉机出口或粗粉分离器出口管道上安装可移动的抽气取样器采样。

A.2.2.2 带中间储仓制粉系统的煤粉炉在旋风分离器下粉管上用活动煤粉取样管采样,或在给粉机落粉管上用沉降取样器采样。

A.2.2.3 采取的煤粉样应仔细掺混、缩分,最后得到 0.5 kg 左右的实验室试样,再将其分为两份,一份送化验室,一份保存备查。

附 录 B
(规范性附录)

奥氏分析仪吸收剂配制方法

B.1 奥氏分析仪是利用化学吸收法,按容积测定气体成分的仪器。在锅炉试验中常用来直接测定烟气试样中 RO_2 及 O_2 的容积含量百分率。奥氏分析仪操作应按该仪器的说明书进行。

B.2 奥氏分析仪吸收剂配制前,第一个吸收瓶(即最靠近量气管的)内充以吸收 RO_2 的溶液;第二个吸收瓶内充以吸收 O_2 的溶液。

B.3 奥氏分析仪吸收剂可按下述方法配制:

—— RO_2 的吸收溶液:一份化学纯固体氢氧化钾溶于两份水中,配制时取 100 g 氢氧化钾溶于 200 mL 的蒸馏水中。

—— O_2 的吸收溶液:配制时取 25 g 焦性没食子酸、75 g 氢氧化钾一起溶于 200 mL 水中。

附录 C
(规范性附录)

饱和蒸汽湿度和过热蒸汽含盐量测定方法

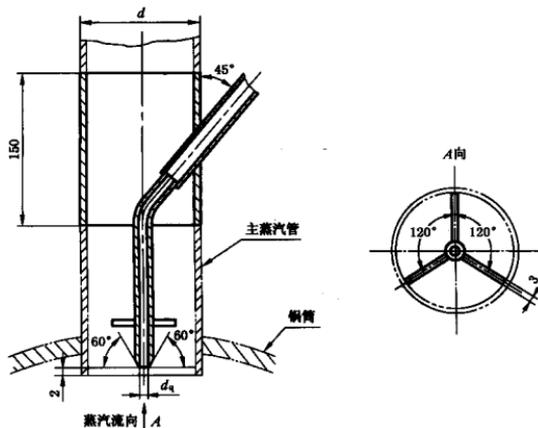
C.1 总则

工业锅炉饱和蒸汽湿度可采用氯根法(硝酸银容量法)、钠度计法或电导率法进行测定;过热蒸汽含盐量可采用钠度计法进行测定。

C.2 蒸汽和锅水样的采集

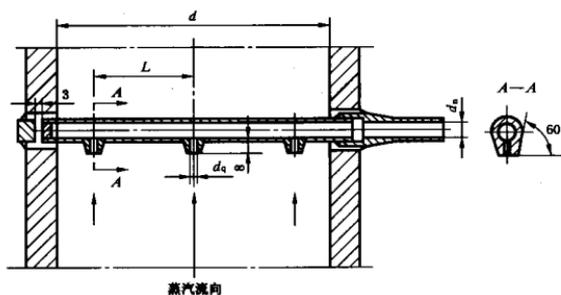
C.2.1 取样头

饱和蒸汽的取样头可采用图 C.1 所示结构,如饱和蒸汽引出管径大于 100 mm 以上,也可采用图 C.2 所示结构;过热蒸汽取样头可采用图 C.2 所示结构。



注: d_1 一般为 10 mm。

图 C.1 饱和蒸汽取样头



注: $L \approx 0.433 d$; $d_1 = 10 \text{ mm} \sim 15 \text{ mm}$; d_2 一般为 $3 \text{ mm} \sim 4 \text{ mm}$ 。

图 C.2 过热蒸汽取样头

C.2.2 等速取样时蒸汽试样流量

为使蒸汽取样管取出的蒸汽含水量与蒸汽引出管中的含水量一致,蒸汽取样管中的速度应和蒸汽引出管中蒸汽速度相等,等速取样时蒸汽试样流量可按下式决定:

对单孔取样:

$$G_q = \frac{d_q^2}{d^2} D_{sc} \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

对多孔取样:

$$G_q = \frac{nd_q^2}{d^2} D_{sc} \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

G_q ——蒸汽试样流量,单位为千克每小时(kg/h);

d_q ——蒸汽取样管孔内径,单位为毫米(mm);

d ——蒸汽引出管内径,单位为毫米(mm);

D_{sc} ——锅炉输出蒸汽量,单位为千克每小时(kg/h);

n ——取样孔数。

蒸汽取样应调节调节阀至计算的试样流量,其偏差值不宜超过±10%。

C.2.3 取样点及取样要求

C.2.3.1 锅水取样点应从具有代表锅水浓度的管道上引出。

C.2.3.2 蒸汽和锅水样品,应通过冷却器冷却到低于30℃~40℃。取样冷却器的结构如图C.3所示。取样管道与设备应用不影响分析的耐腐蚀材料制成。蒸汽和锅水样品应保持常流,并加以计量,以确保样品有充分的代表性。

C.2.3.3 盛取蒸汽凝结水样品的容器应是塑料制成的瓶,盛取锅水样品的容器也可以用硬质玻璃瓶。采样前,应先将取样瓶彻底清洗干净,采样时再用水样冲洗三次以后,按计算的试样流量取样,取样后应迅速盖上瓶塞。

C.2.3.4 在试验期间应定期同时对锅水和蒸汽进行取样和测定。

C.3 三种测定方法

C.3.1 氯根法(硝酸银容量法)

C.3.1.1 用锅炉水质分析仪进行饱和蒸汽湿度的测定,测量方法按该仪器的说明书进行操作。

C.3.1.2 用氯根法测得的饱和蒸汽凝结水和锅水氯根含量之比的百分数为饱和蒸汽湿度,其计算公式如下:

$$\text{饱和蒸汽湿度} = \frac{\text{饱和蒸汽冷凝水氯根含量(mg/kg)}}{\text{锅水氯根含量(mg/kg)}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (C.3)$$

C.3.2 钠度计法(P_{Na} 电极法)

C.3.2.1 用钠离子浓度计进行饱和蒸汽湿度和过热蒸汽含盐量的测定,测量方法按该仪器的说明书进行操作。

C.3.2.2 过热蒸汽含盐量($\mu\text{g/kg}$)由钠离子浓度计测定。

C.3.2.3 饱和蒸汽湿度按下式计算:

$$\text{饱和蒸汽湿度} = \frac{\text{饱和蒸汽冷凝水钠离子含量(mg/kg)}}{\text{锅水钠离子含量(mg/kg)}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (C.4)$$

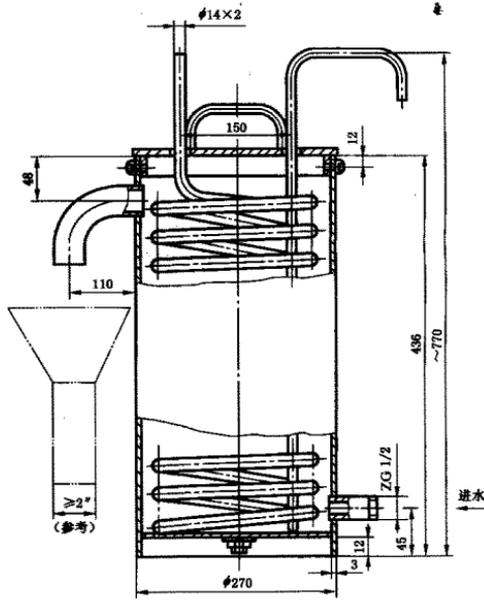
C.3.3 电导率法

C.3.3.1 用电导率仪进行饱和蒸汽湿度的测定,测量方法按该仪器的说明书进行操作。

C.3.3.2 电极常数按电极上标定的系数进行操作。

C.3.3.3 锅水与饱和蒸汽冷凝水的电导率值之比的百分数为饱和蒸汽湿度,其计算公式如下:

$$\text{饱和蒸汽湿度} = \frac{\text{饱和蒸汽冷凝水电导率值}(\mu\text{S}/\Omega)}{\text{锅水电导率值}(\mu\text{S}/\Omega)} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(\text{C.5})$$



注：尺寸仅供参考。

图 C.3 取样冷却器

附录 D
(规范性附录)
散热损失

D.1 总则

锅炉散热损失应按热流计法、查表法和计算法等三种方法之一确定。

D.2 热流计法

D.2.1 按温度水平和结构特点将锅炉本体及部件外表面划分成若干近似等温区段,并量出各区段的面积 F_1, F_2, \dots, F_n , 各区段的面积一般不得大于 2 m^2 。

D.2.2 将热流计探头按该热流计规定的方式固定于各等温区段的中值点,待热流计显示读数近于稳定后,连续读取 10 个数据,并用算术平均值法求出各个区段的散热强度 q_1, q_2, \dots, q_n 。

D.2.3 用下式求得整台锅炉的散热损失 q_s :

$$q_s = \frac{q_1 F_1 + q_2 F_2 + \dots + q_n F_n}{B Q_r} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (\text{D.1})$$

式中:

q_1, q_2, \dots, q_n ——分别为各区段的散热强度,单位为千焦每平方米小时($\text{kJ}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$);

F_1, F_2, \dots, F_n ——分别为各区段的面积,单位为平方米(m^2);

B ——燃料消耗量,单位为千克每小时(kg/h)或标准立方米每小时(m^3/h);

Q_r ——输入热量,单位为千焦每千克(kJ/kg)或千焦每标准立方米(kJ/m^3)。

D.3 查表法

D.3.1 散装蒸汽锅炉散热损失按表 D.1 取用。

表 D.1 蒸汽锅炉散热损失

锅炉出力 t/h	≤ 4	6	10	15	20	35	65
散热损失 q_s %	2.9	2.4	1.7	1.5	1.3	1.1	0.8

D.3.2 散装热水锅炉散热损失按表 D.2 取用。

表 D.2 热水锅炉散热损失

锅炉出力 MW	≤ 2.8	4.2	7.0	10.5	14	29	46
散热损失 q_s %	2.9	2.4	1.7	1.5	1.3	1.1	0.8

D.4 计算法

快、组装锅炉(包括燃油、气锅炉和电加热锅炉)的散热损失可近似地按下式计算:

$$q_s = \frac{1.670 F}{BQ_i} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (D.2)$$

式中:

q_s ——散热损失, %;

F ——锅炉散热表面积, 单位为平方米(m^2);

B ——燃料的消耗量, 单位为千克每小时(kg/h)或标准立方米每小时(m^3/h);

Q_i ——输入热量, 单位为千焦每千克(kJ/kg)或千焦每标准立方米(kJ/ m^3)。

如为电加热锅炉, 式(D.2)中 BQ_i 用 $3\,600 N$ 代替, N 为耗电量[(kW·h)/h]。

附录 E
(资料性附录)

烟气、灰和空气的平均定压比热容

表 E.1 给出了烟气、灰和空气的平均定压比热容。

表 E.1 烟气、灰和空气的平均定压比热容

温度 ^a ℃	平均定压比热容 <i>c</i> kJ/(m ³ ·℃)								
	RO ₂	N ₂	O ₂	H ₂ O	CO	H ₂	CH ₄	灰	空气
0	1.599 8	1.294 6	1.305 9	1.494 3	1.299 2	1.276 6	1.550 0	0.795 5	1.318 3
10	1.609 9	1.294 7	1.307 1	1.495 4	1.299 5	1.278 0	1.559 1	0.799 7	1.319 4
20	1.619 9	1.294 8	1.308 3	1.496 5	1.299 7	1.279 4	1.568 2	0.803 9	1.320 0
30	1.629 9	1.294 9	1.309 5	1.497 6	1.300 0	1.280 8	1.577 3	0.808 1	1.320 6
40	1.639 9	1.295 0	1.310 7	1.498 7	1.300 2	1.282 2	1.586 4	0.812 3	1.321 2
50	1.649 9	1.295 1	1.311 9	1.499 8	1.300 5	1.283 6	1.595 5	0.816 5	1.321 8
100	1.700 3	1.295 8	1.317 6	1.505 2	1.301 7	1.290 8	1.641 1	0.837 4	1.324 3
150	1.743 8	1.297 8	1.326 6	1.513 7	1.304 0	1.294 0	1.700 0	0.852 1	1.328 1
160	1.752 5	1.298 2	1.328 4	1.515 4	1.304 6	1.294 6	1.711 8	0.855 0	1.328 9
170	1.761 2	1.298 6	1.330 2	1.517 1	1.305 2	1.295 2	1.723 6	0.857 9	1.329 7
180	1.769 9	1.299 0	1.332 0	1.518 8	1.305 8	1.295 8	1.735 4	0.860 8	1.330 5
190	1.778 6	1.299 4	1.333 8	1.520 5	1.306 6	1.296 4	1.747 2	0.863 7	1.331 3
200	1.787 3	1.299 6	1.335 2	1.522 3	1.307 1	1.297 1	1.758 9	0.866 7	1.331 8
300	1.862 7	1.306 7	1.356 1	1.542 4	1.316 7	1.299 2	1.886 1	0.891 8	1.342 3
600	—	—	—	—	—	—	—	0.950 4	—
800	—	—	—	—	—	—	—	0.979 7	—
900	—	—	—	—	—	—	—	1.004 8	—

^a 低于 0℃ 时可按外插法延伸。

附录 F
(资料性附录)
常用气体的有关量值

表 F.1 给出了常用气体的有关量值。

表 F.1 常用气体的有关量值

名 称	分子式	密度 kg/m ³	沸点 ℃	低位发热量 kJ/m ³
甲烷	CH ₄	0.716 8	-161.5	35 773.6
乙烷	C ₂ H ₆	1.357 0	-88.6	63 669.04
乙烯	C ₂ H ₄	1.261 0	-103.5	58 989.83
乙炔	C ₂ H ₂	1.170 9	-83.6	55 983.26
丙烷	C ₃ H ₈	2.020 0	-42.6	91 121.25
丙烯	C ₃ H ₆	1.914	-47	85 894.25
丁烷	C ₄ H ₁₀	2.703	0.5	118 498.18
异丁烷	C ₄ H ₁₀	2.668	-10.2	117 921.12
丁烯	C ₄ H ₈	2.50	-6	113 367.35
戊烷	C ₅ H ₁₂	3.457	36.1	145 896.02
硫化氢	H ₂ S	1.539 0	-60.4	23 354.24
氢	H ₂	0.089 9	-252.78	10 784.35
一氧化碳	CO	1.250 0	-191.5	
二氧化碳	CO ₂	1.976 8	-78.48	
二氧化硫	SO ₂	2.926 3	-10.0	
水蒸汽	H ₂ O	0.804	100.00	
氧	O ₂	1.428 95	-182.97	
氮	N ₂	1.250 5	-195.81	
空气(干)		1.292 8	-193	
一氧化氮	NO	1.340 2	-152	
一氧化二氮	N ₂ O	1.978 0	-88.7	