

ICS 27.060.30

CCS J 98

团 体 标 准

T/CIECCPA 018—2023

小型电加热锅炉及其系统能效测试方法

Energy efficiency test method of small capacity electric heating
boiler and its system

2023 - 04 - 26 发布

2023 - 04 - 27 实施

中 国 工 业 节 能 与 清 洁 生 产 协 会 发 布

CLECCPA

目 次

前 言.....III

1 范围.....1

2 规范性引用文件.....1

3 术语和定义.....1

4 符号和单位.....1

5 总则.....3

6 试验准备.....3

7 试验要求.....3

 7.1 锅炉产品能效测试.....3

 7.2 运行试验.....4

 7.3 验收试验.....5

8 测量项目和试验用仪器仪表.....5

 8.1 主要测量项目.....5

 8.2 试验用仪器、仪表.....6

9 试验方法.....6

 9.1 试验数据记录.....6

 9.2 流量测量.....6

 9.3 温度测量.....7

 9.4 压力测量.....7

 9.5 用电量测量.....8

 9.6 饱和蒸汽湿度和过热蒸汽含盐量的测量.....8

10 锅炉热效率的计算.....8

11 试验报告.....9

附 录 A （规范性） 蓄热装置性能测试.....10

 A.1 总则.....10

 A.2 测试的基本条件.....10

 A.3 蓄热量.....10

A.4 保热性能	10
附 录 B （规范性） 饱和蒸汽湿度和过热蒸汽含盐量测定方法.....	12
B.1 总则	12
B.2 蒸汽和锅水样的采集	12
B.3 饱和蒸汽湿度或过热蒸气含盐量测定方法	14
图 B.1 饱和蒸汽采样头	12
图 B.2 过热蒸汽采样头	13
图 B.3 采样冷却器	14
表 1 符号和单位	12
表 2 锅炉主要热力参数的最大允许波动范围	4
表 3 锅炉热工性能试验主要测量项目	5
表 4 主要测量项目用仪器、仪表的精度要求	6

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020 《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中国工业节能与清洁生产协会提出并归口管理。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件起草单位：浙江省特种设备科学研究院、杭州华源前线能源设备有限公司、日照市特种设备检验科学研究院、宁夏特种设备检验检测院、嘉兴市特种设备检验检测院、四川省特种设备检验研究院、甘肃省特种设备检验检测研究院、青岛市特种设备检验研究院、河北省特种设备监督检验研究院。

本文件主要起草人：成德芳、陈征宇、楼宇、孙田津、李宝华、王雷、赵福国、王晓阳、杨建华、郭演星、邓向辉、郑邦华、向同琼、邵松伟、豆永飞、李天奎、靳波、齐文浩、何勇。

本文件为首次发布。

CLECCPA

小型电加热锅炉及其系统能效测试方法

1 范围

本文件规定了小型电加热锅炉能效测试中的术语与定义、符号和单位、总则、试验准备、试验要求、测量项目和试验用仪器仪表、试验方法、锅炉热效率的计算以及试验报告，以及电加热锅炉蓄热装置性能试验的要求。

本文件适用范围如下：

- a) 额定蒸发量小于或者等于4t/h的电加热蒸汽锅炉；
- b) 额定热功率小于或者等于2.8MW的电加热热水锅炉或者有机热载体锅炉。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- TSG 91 锅炉节能环保技术规程
- GB/T 10180 工业锅炉热工性能试验规程
- NB/T 10936 电加热锅炉技术条件

3 术语和定义

NB/T 10936 界定的术语和定义适用于本本文件。

4 符号和单位

表1中所列符号及单位适用于本文件。

表1 符号和单位

序号	符号	名 称	单位
1	C_{BW, H_2O, Cl^-}	锅水氯离子含量	mg/kg
2	C_{BW, H_2O, Na^+}	锅水钠离子含量	mg/kg
3	$C_{pHW, En}$	有机热载体进口温度时的比热容与 0℃时的比热容的平均值	$kJ/(kg \cdot ^\circ C)$
4	$C_{pHW, Lv}$	有机热载体出口温度时的比热容与 0℃时的比热容的平均值	$kJ/(kg \cdot ^\circ C)$
5	C_{Sat, H_2O, Cl^-}	饱和蒸汽凝结水氯离子含量	mg/kg
6	C_{Sat, H_2O, Na^+}	饱和蒸汽凝结水钠离子含量	mg/kg
7	d	蒸汽引出管内径	mm
8	$D_{ev, Sat, cr}$	饱和蒸汽锅炉折算蒸发量	t/h
9	$D_{ev, Sat, O, M}$	实测饱和蒸汽锅炉输出蒸发量	t/h
10	$D_{ev, Sut, cr}$	过热蒸汽锅炉折算蒸发量	t/h
11	$D_{ev, Sut, O, M}$	实测过热蒸汽锅炉输出蒸发量	t/h
12	d_s	蒸汽取样孔内径	mm

13	H_{FW}	给水焓	kJ/kg
14	$H_{FW,D}$	设计给水焓	kJ/kg
15	$H_{FW,M}$	实测给水焓	kJ/kg
16	$H_{HW,En}$	热水（有机热载体）进口温度时的焓	kJ/kg
17	$H_{HW,Lv}$	热水（有机热载体）出口温度时的焓	kJ/kg
18	H_{Sat}	饱和蒸汽焓	kJ/kg
19	$H_{Sat,D}$	设计饱和蒸汽焓	kJ/kg
20	$H_{Sat,M}$	实测饱和蒸汽焓	kJ/kg
21	H_{Sut}	过热蒸汽焓	kJ/kg
22	$H_{Sut,D}$	设计过热蒸汽焓	kJ/kg
23	$H_{Sut,M}$	实测过热蒸汽焓	kJ/kg
24	H_{WJ}	喷水焓	kJ/kg
25	$Mr_{BW,Sa}$	锅炉取样量	kg/h
26	$Mr_{CW,Fl}$	热水（有机热载体）循环水量	kg/h
27	$Mr_{FW,Fl}$	锅炉给水流量	kg/h
28	$Mr_{Sat,Sa}$	蒸汽试样流量	kg/h
29	$Mr_{Sut,Fl}$	过热蒸汽流量	kg/h
30	$Mr_{Sut,Sa}$	过热蒸汽取样量	kg/h
31	Mr_{WJ}	喷水流量	kg/h
32	n	取样孔数量	——
33	N	电加热锅炉每小时用电量	kWh/h
34	Q_{Sto}	蓄热装置的蓄热量	kJ
35	$Q_{Sto,End}$	蓄热装置结束蓄热模式时电能表读数	kWh
36	$Q_{Sto,Start}$	蓄热装置开始蓄热模式时电能表读数	kWh
37	γ	水的汽化潜热	kJ/kg
38	$t_{HW,En}$	热水（有机热载体）进口温度	$^{\circ}\text{C}$
39	$t_{HW,Lv}$	热水（有机热载体）出口温度	$^{\circ}\text{C}$
40	$t_{Sto,D}$	蓄热装置额定水温	$^{\circ}\text{C}$
41	$t_{Sto,End}$	蓄热装置保热性能测试结束时水温	$^{\circ}\text{C}$
42	$t_{Sto,End,D}$	蓄热装置设计结束蓄热模式水温	$^{\circ}\text{C}$
43	$t_{Sto,End,M}$	蓄热装置结束蓄热模式实测水温	$^{\circ}\text{C}$
44	$t_{Sto,ev,D}$	蓄热装置设计环境温度	$^{\circ}\text{C}$
45	$t_{Sto,ev,M}$	蓄热装置保热性能测试期间环境温度	$^{\circ}\text{C}$
46	$t_{Sto,Start}$	蓄热装置保热性能测试开始时水温	$^{\circ}\text{C}$
47	$t_{Sto,Start,D}$	蓄热装置设计开始蓄热模式水温	$^{\circ}\text{C}$
48	$t_{Sto,Start,M}$	蓄热装置实测开始蓄热模式水温	$^{\circ}\text{C}$
49	ω	饱和蒸汽湿度	$\%$
50	$\Delta t_{Sto,ct}$	蓄热装置温降表征值	$^{\circ}\text{C}$
51	η	正平衡热效率	$\%$
52	$\sigma_{Sat,H_2O,TDS}$	饱和蒸汽冷凝水的电导率值	$\mu\text{S/cm}$
53	$\sigma_{BW,H_2O,TDS}$	锅水的电导率值	$\mu\text{S/cm}$

5 总则

- 5.1 锅炉热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。若要进行锅炉净效率计算，但自用蒸汽量和辅机设备用动力在试验时应予以记录。
- 5.2 锅炉热效率的测量应采用正平衡测量法。
- 5.3 蒸汽锅炉的出力由折算蒸发量来确定，并应扣除锅水取样量。
- 5.4 有机热载体的比热容应取其实测温度下的进、出口有机热载体的比热容与0℃时的比热容的平均值。
- 5.5 锅炉热工性能试验的基准环境温度为25℃。
- 5.6 在试验过程中或整理试验数据时，如出现下列情况之一时，该试验工况应作废：
 - a) 试验工况中主要热力参数波动超出试验规定的范围；
 - b) 某一主要测量项目的试验数据有1/3以上出现异常或矛盾。
- 5.7 本文件未明确规定的锅炉性能试验要求参考GB/T10180进行。
- 5.8 电加热锅炉蓄热装置性能试验按附录A进行。

6 试验准备

- 6.1 锅炉试验前应结合具体情况制定试验大纲。试验大纲至少应包括如下内容：
 - a) 试验目的和要求；
 - b) 锅炉热平衡系统边界、测量项目、测量方法及要求；
 - c) 测点布置与所需仪器、仪表；
 - d) 人员组织与分工；
 - e) 试验数据记录与处理；
 - f) 试验进度及日程安排；
 - g) 其它。
- 6.2 试验前的要求如下：
 - a) 试验所用仪表应是在检定或校准有效期内的合格仪表；
 - b) 试验用仪器仪表的安装应符合试验要求及相应仪器仪表的安装要求；
 - c) 受试锅炉及辅机设备的运行状况应符合试验要求；
 - d) 受试锅炉的汽、水应符合试验要求；
 - e) 测试用的电源品质应符合锅炉设计的要求。
- 6.3 预备性试验的要求如下：
 - a) 试验人员应熟悉试验过程和操作程序并在试验过程中相互配合；
 - b) 锅炉的试验运行工况稳定，试验用仪器仪表应工作正常；
 - c) 预备性试验的试验条件、试验内容和试验要求应与正式试验相同；如预备性试验能满足正式试验全部要求，经双方确认，可作为正式试验的一个工况。

7 试验要求

7.1 锅炉产品能效测试

- 7.1.1 《特种设备》目录范围内的电加热锅炉产品能效测试应按照 TSG91 规定执行。
- 7.1.2 试验应在锅炉主要热力参数（工质出口温度、压力、流量）调整到试验允许范围、且工况稳定1h后进行。
- 7.1.3 试验工况要求如下：
 - a) 锅炉主要热力参数的最大允许波动范围应符合表2要求；

表2 锅炉主要热力参数的最大允许波动范围

参数名称	短期波动	要求
输出蒸汽量（即锅炉实测蒸汽量）	±10 %	-
实测蒸汽压力（表压）	0.15MPa	试验期间工质工作压力的最大值和最小值之差不应大于额定压力的10 %。
过热蒸汽温度	小于 450℃为 10℃，大于或者等于 450℃为 5℃	每个试验工况中，实测的过热蒸汽温度的最大值与最小值之差不应大于 15℃。

- b) 锅炉工质温度与设计值如存在偏差，测得的锅炉热效率不进行折算；
- c) 试验时热水锅炉的压力应保证出水温度比该压力下的饱和温度至少低 20℃；
- d) 试验期间安全阀不应启跳，锅炉不应定期排污，连续排污一般也应关闭。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），其数值不应超过锅炉出力的 3 %。
- 7.1.4 试验结束时，锅筒水位应与试验开始时一致。
- 7.1.5 正式试验时，每个试验工况的时间大于或者等于 1h。
- 7.1.6 试验工况数及蒸发量修正方法如下：
- a) 锅炉产品能效测试应在额定出力下进行 2 个工况；
- b) 锅炉产品能效测试时蒸汽锅炉每个试验工况的平均折算蒸发量应为锅炉额定蒸发量的 97 %～105 %。当蒸汽和给水参数实测值与设计值不一致时，锅炉的蒸发量按式（1）或式（2）进行修正。

对于饱和蒸汽锅炉：

$$D_{ev.Sat.cr} = D_{ev.Sat.O.M} \frac{H_{Sat.M} - H_{FW.M}}{H_{Sat.D} - H_{FW.D}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$D_{ev.Sat.cr}$ ——饱和蒸汽锅炉折算蒸发量,t/h；

$D_{ev.Sat.O.M}$ ——实测饱和蒸汽锅炉输出蒸发量,t/h；

$H_{Sat.M}$ ——实测饱和蒸汽焓,kJ/kg；

$H_{FW.M}$ ——实测给水焓,kJ/kg；

$H_{Sat.D}$ ——设计饱和蒸汽焓,kJ/kg；

$H_{FW.D}$ ——设计给水焓,kJ/kg。

对于过热蒸汽锅炉：

$$D_{ev.Sut.cr} = D_{ev.Sut.O.M} \frac{H_{Sut.M} - H_{FW.M}}{H_{Sut.D} - H_{FW.D}} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$D_{ev.Sut.cr}$ ——过热蒸汽锅炉折算蒸发量,t/h；

$D_{ev.Sut.O.M}$ ——实测过热蒸汽锅炉输出蒸发量,t/h；

$H_{Sut.M}$ ——实测过热蒸汽焓,kJ/kg；

$H_{Sut.D}$ ——设计过热蒸汽焓,kJ/kg。

有机热载体锅炉的试验可按热水锅炉的试验方法和要求进行。

7.2 运行试验

7.2.1 锅炉运行试验分锅炉运行工况常规测试和锅炉运行工况热效率详细测试。

7.2.2 锅炉运行工况常规测试是在锅炉正常运行状态用红外热像仪检查锅炉外表面温度，记录表面温度超过50℃的部位。

7.2.3 锅炉运行工况热效率详细测试是根据用户的需求，除检测锅炉外表面温度外，还应进行锅炉的进出口工质温度、压力、流量、耗电量等参数检测并计算热效率等工作。

7.3 验收试验

锅炉验收试验应由验收相关方（通常包括锅炉供货方、使用方、第三方检测机构等）协商确定有关试验要求，如电源特性、锅炉运行出力、压力、温度等参数及波动范围等。第三方检测机构应按验收相关方协商一致的结果，采用本标准规定的方法进行试验。

8 测量项目和试验用仪器仪表

8.1 主要测量项目

8.1.1 锅炉热工性能主要包括：

- a) 锅炉热效率；
- b) 蒸发量或输出热功率；
- c) 蒸汽温度与蒸汽品质；
- d) 工质进出口温度；
- e) 工作压力；
- f) 电能消耗量。

8.1.2 锅炉热工性能试验主要测量项目见表3，但可不受限于表3所列的项目。

表3 锅炉热工性能试验主要测量项目

序号	名 称	备注
1、电能测量		
1)	电能消耗量	—
2、流量测量		
1)	蒸汽锅炉给水流量	—
2)	过热蒸汽流量	—
3)	热水锅炉循环水（油）量	—
4)	自用蒸汽量	—
5)	排污量	连续排污量，计入锅水采样量
6)	蒸汽采样量	—
7)	锅水采样量	—
3、温度测量		
1)	锅炉给水温度	—
2)	过热蒸汽温度	—
3)	热水（有机热载体）锅炉进、出口水（有机热载体）温度	—
4)	炉体外表面温度	—
4、压力测量		
1)	蒸汽压力	—
2)	给水压力	—
3)	热水锅炉进、出水压力	—

序号	名 称	备注
4)	有机热载体锅炉进、出有机热载体压力	—
5、分析与化验项目		
1)	有机热载体特性分析	—
2)	饱和蒸汽湿度	—
3)	过热蒸汽含盐量	—
6、其他测量项目		
1)	散热面积	—
2)	试验开始与结束时间	—
3)	环境温度	—
4)	锅炉使用地大气压力	—

8.2 试验用仪器、仪表

8.2.1 试验时所用的仪器、仪表应在检定或校准的合格有效期内。

8.2.2 所用仪器、仪表在测量量程内应满足测量项目的精度要求，主要测量项目所用仪器、仪表的精度应符合表4的规定。

8.2.3 仪器、仪表的安装及使用应符合试验要求及仪器、仪表的使用要求。

表4 主要测量项目用仪器、仪表的精度要求

序号	测量项目		仪器和仪表的最低精度要求
1	质量测定	衡器	III级
2	用电量测量	电度表	1.0级
		互感器	0.5级
3	流量测量	工质	1.0级
4	工质或环境温度测量		0.5级 (采用热电阻温度计时精度应不低于B级,且其显示仪表(二次仪表)的读数分辨率应不低于0.1℃)
5	压力测量	工质压力	1.6级
6	长度测量		1.0级
7	蒸汽湿度和含盐量测量		1.0级

9 试验方法

9.1 试验数据记录

9.1.1 热水(有机热载体)锅炉进、出口工质温度,应每不大于5 min 读数并记录一次。

9.1.2 工质流量的测量采用累计(积)方法确定时,应每不大于30 min 读数并记录一次。

9.1.3 需要称重的测量项目,时间间隔按实际操作进行记录。

9.1.4 蒸汽湿度和含盐量测量应每不大于30 min 测量并记录一次。

9.1.5 其他测量项目,一般应每不大于15 min 测量并记录一次。

9.2 流量测量

9.2.1 一般要求

9.2.1.1 采用的流量计应适应被测工质的温度要求。

9.2.1.2 采用容器测量时,其上应带有液位计。容器应经过验证,且误差不应低于流量计的精度要求。

9.2.2 蒸汽锅炉给水流量

9.2.2.1 蒸汽锅炉蒸发量一般通过测量锅炉给水流量来确定。采用流量计测量锅炉给水流量时,测点通常布置在给水泵后给水管道的直段上,并尽量与给水温度和给水压力测点处于同一区域。

9.2.2.2 给水流量也可采用容器(如水箱)进行测量,容器应带有满足精度要求的液位计,并且容积应能满足一个试验工况的用水量要求。

9.2.2.3 试验过程中存在锅水取样和蒸汽取样时,应对取样量进行计量。锅水取样计量的器具精度不应低于Ⅲ级;蒸汽取样计量的器具精度不应低于Ⅲ级。

9.2.2.4 当采用测量锅炉给水流量来确定锅炉蒸发量时,试验开始时应对锅炉水位计进行标记,以保证试验开始和结束时锅内的水位处于同一水位线。

9.2.3 过热蒸汽流量

过热蒸汽锅炉蒸发量可采用直接测量过热蒸汽流量来确定。过热蒸汽流量测点一般布置在主蒸汽管道的直段上。

9.2.4 热水(有机热载体)锅炉循环水(有机热载体)量

热水(有机热载体)锅炉循环水(有机热载体)量测点应布置在管道的直段上。

9.3 温度测量

9.3.1 一般要求

9.3.1.1 测温仪表应符合试验要求。

9.3.1.2 工质温度测点应选择在工质温度分布比较均匀的位置。

9.3.2 蒸汽锅炉给水温度

蒸汽锅炉给水温度测点一般布置在给水管道上,测温仪表的测温端应插至给水管道截面的1/3至2/3处。对于管道保温良好的锅炉,也可在水箱或除氧器内测量给水温度。

9.3.3 过热蒸汽温度

过热蒸汽温度测点应布置在主蒸汽管道上,测温仪表的测温端应插至主蒸汽管道截面的1/3至2/3处。

9.3.4 热水(有机热载体)锅炉进、出水(有机热载体)温度

热水(有机热载体)锅炉进、出水(有机热载体)温度测点应布置在进、出水(有机热载体)管道上,测温仪表的测温端应插至管道截面的1/3至2/3处。

9.3.5 环境温度

环境温度测点应设在在距离地面1m高,离锅炉四周均匀布置4个测点的平均值。

9.3.6 炉体外表面温度

应用红外热成像仪器对锅炉处底面以外各个表面进行扫描检测。

9.4 压力测量

锅炉蒸汽压力、给水压力、热水(有机热载体)锅炉进水(有机热载体)和出水(有机热载体)压力,可采用压力表进行测量。饱和蒸汽锅炉蒸汽压力的测点应布置在锅筒或锅壳的汽空间内,过热蒸汽

锅炉蒸汽压力的测点应布置在过热蒸汽主管道上,热水(有机热载体)锅炉工质压力测点应布置在进、出水(有机热载体)管道上。

9.5 用电量测量

电加热锅炉的用电量、锅炉各辅机的用电量可采用符合要求的仪器和仪表进行测量,测点一般布置在锅炉动力柜中。

9.6 饱和蒸汽湿度和过热蒸汽含盐量的测量

9.6.1 饱和蒸汽湿度和过热蒸汽含盐量的测量按附录 B 的规定进行。

9.6.2 在用工业锅炉运行工况热效率测试时,若现场无合适的蒸汽和锅水采样装置且无加装条件时,饱和蒸汽湿度取 3 %。

10 锅炉热效率的计算

10.1 电加热饱和蒸汽锅炉热效率计算按式(3)进行:

$$\eta = \frac{\left[Mr_{FW,FI} \left(H_{Sat} - H_{FW} - \frac{\gamma \cdot \omega}{100} \right) - Mr_{BW,Sa} \cdot \gamma \right]}{3600N} \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

式中:

η ——锅炉热效率, %;

$Mr_{FW,FI}$ ——锅炉给水流量, kg/h;

$H_{Sat,M}$ ——饱和蒸汽焓, kJ/kg;

H_{Sat} ——给水焓, kJ/kg;

γ ——水的汽化潜热, kJ/kg;

ω ——饱和蒸汽湿度, %。测试方法可按附录 B 规定;

$Mr_{BW,Sa}$ ——锅炉取样量, kg/h;

N ——实测电加热锅炉每小时用电量, kW。

10.2 电加热过热蒸汽锅炉,在测量给水流量时按式(4)进行:

$$\eta = \frac{\left[Mr_{FW,FI} (H_{Sut} - H_{FW}) + Mr_{WJ} (H_{Sut} - H_{WJ}) - Mr_{BW,Sa} \cdot (H_{Sut} - H_{Sat} + \gamma) \right]}{3600N} \times 100 \dots\dots\dots (4)$$

式中:

H_{Sut} ——过热蒸汽焓, kJ/kg;

Mr_{WJ} ——喷水流量, kg/h;

H_{WJ} ——喷水焓, kJ/kg。

10.3 电加热过热蒸汽锅炉,在测量过热蒸汽流量时按式(5)进行:

$$\eta = \frac{\left[(Mr_{Sut,FI} - Mr_{WJ} + Mr_{Sut,Sa}) (H_{Sut} - H_{FW}) + Mr_{WJ} (H_{Sut} - H_{WJ}) - Mr_{BW,Sa} \cdot (H_{Sat} - \gamma - H_{FW}) \right]}{3600N} \times 100 \dots\dots (5)$$

式中:

$Mr_{Sut,FI}$ ——过热蒸汽流量, kg/h;

$Mr_{Sut,Sa}$ ——过热蒸汽取样量, kg/h。

10.4 电加热热水锅炉热效率计算按式(6)进行:

$$\eta = \frac{Mr_{CW,Fl}(H_{HW,Lv} - H_{HW,En})}{3600N} \times 100 \dots\dots\dots (6)$$

式中:

$Mr_{CW,Fl}$ ——热水循环水量,kg/h;

$H_{HW,Lv}$ ——热水出口温度时的焓,kJ/kg;

$H_{HW,En}$ ——热水进口温度时的焓,kJ/kg。

10.5 电加热有机热载体锅炉,如能够查到有机热载体温度-焓对应关系时按式(7)进行:

$$\eta = \frac{Mr_{CW,Fl}(H_{HW,Lv} - H_{HW,En})}{3600N} \times 100 \dots\dots\dots (7)$$

式中:

$Mr_{CW,Fl}$ ——有机热载体循环水量,kg/h;

$H_{HW,Lv}$ ——有机热载体出口温度时的焓,kJ/kg;

$H_{HW,En}$ ——有机热载体进口温度时的焓,kJ/kg。

10.6 电加热有机热载体锅炉,如能够查到有机热载体温度-比热容对应关系时按式(8)进行:

$$\eta = \frac{Mr_{CW,Fl}(C_{pHW,Lv} \bullet t_{HW,Lv} - C_{pHW,En} \bullet t_{HW,En})}{3600N} \times 100 \dots\dots\dots (8)$$

式中:

$C_{pHW,Lv}$ ——有机热载体出口温度时的比热容与 0℃时的比热容的平均值,kJ/(kg·℃);

$t_{HW,Lv}$ ——有机热载体出口温度,℃;

$C_{pHW,En}$ ——有机热载体进口温度时的比热容与 0℃时的比热容的平均值,kJ/(kg·℃);

$t_{HW,En}$ ——有机热载体进口温度,℃。

11 试验报告

11.1 试验报告封面应至少包括下列内容:

- a) 试验锅炉型号;
- b) 锅炉制造单位;
- c) 试验委托单位;
- d) 试验地点;
- e) 试验日期;
- f) 试验单位;
- g) 试验报告编号。

11.2 试验报告正文应至少包括下列内容:

- a) 试验目的和要求;
- b) 试验负责人、参加人员;
- c) 锅炉热平衡系统边界及测点布置图、试验项目及试验用仪器仪表说明;
- d) 试验工况说明和结果分析;
- e) 锅炉设计数据综合表;
- f) 锅炉试验数据综合表;
- g) 锅炉试验结果汇总表。

11.3 试验报告、试验原始数据应由试验单位存档备查。

附录 A (规范性) 蓄热装置性能测试

A.1 总则

蓄热装置性能测试项目分为蓄热量、保热性能。

A.2 测试的基本条件

- A2.1 蓄热装置应达到并保持额定的蓄水容积。
- A2.2 蓄热装置的水温测点应具有代表性，并不少于 3 个。
- A2.3 蓄热装置周围的风速应小于或者等于 3m/s。
- A2.4 蓄热装置的水温和环境温度每 15 分钟测量一次。
- A2.5 蓄热装置不对外供热。

A.3 蓄热量

- A3.1 开始测试时，蓄热装置开始蓄热模式的实测初始水温与设计值初始水温的偏差应小于或者等于 ±5℃。
- A3.2 电加热锅炉开始运行，记录对蓄热开始时刻电能表的数据。
- A3.3 蓄热装置的水温达到蓄热模式最高值时，结束蓄热模式。实测蓄能装置内水温度，与设计值的偏差应小于或者等于 ±5℃。记录刚结束蓄热模式时电能表的数据。
- A3.4 蓄热量按式 (A.1) 计算：

$$Q_{Sto} = 3600(Q_{Sto.End} - Q_{Sto.Start}) \frac{t_{Sto.End.D} - t_{Sto.Start.D}}{t_{Sto.End.M} - t_{Sto.Start.M}} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

- Q_{Sto} ——蓄热装置的蓄热量，kJ；
- $Q_{Sto.End}$ ——蓄热装置结束蓄热模式时电能表读数，kWh；
- $Q_{Sto.Start}$ ——蓄热装置开始蓄热模式时电能表读数，kWh；
- $t_{Sto.End.D}$ ——蓄热装置设计结束蓄热模式水温，℃；
- $t_{Sto.Start.D}$ ——蓄热装置设计开始蓄热模式水温，℃；
- $t_{Sto.End.M}$ ——蓄热装置结束蓄热模式水温，℃；
- $t_{Sto.Start.M}$ ——蓄热装置开始蓄热模式实测水温，℃。

A.4 保热性能

- A4.1 蓄热装置开始蓄热模式时水温和环境温度与相应设计值的的偏差应小于或者等于 ±5℃。
- A4.2 达到测试基本条件后，测量蓄热装置的初始水温，然后开始静置。
- A4.3 测量蓄热装置静置 24h 时期内环境温度。
- A4.4 蓄热装置静置 24h 后，测量蓄热装置的结束水温。
- A4.5 保热性能的温降表征值按式 (A.2) 计算：

$$\Delta t_{Sto.ct} = (t_{Sto.Start} - t_{Sto.End}) \frac{t_{Sto.D} - t_{Sto.ev.D}}{t_{Sto.Start} - t_{Sto.ev.M}} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

- $\Delta t_{\text{Sto.ct}}$ ——蓄热装置温降表征值, °C;
 $t_{\text{Sto.Start}}$ ——蓄热装置保热性能测试开始时水温, °C;
 $t_{\text{Sto.End}}$ ——蓄热装置保热性能测试结束时水温, °C;
 $t_{\text{Sto.D}}$ ——蓄热装置设计额定水温, °C;
 $t_{\text{Sto.ev.D}}$ ——蓄热装置设计环境温度, °C
 $t_{\text{Sto.ev.M}}$ ——蓄热装置保热性能测试期间环境温度, °C。

附 录 B
(规范性)
饱和蒸汽湿度和过热蒸汽含盐量测定方法

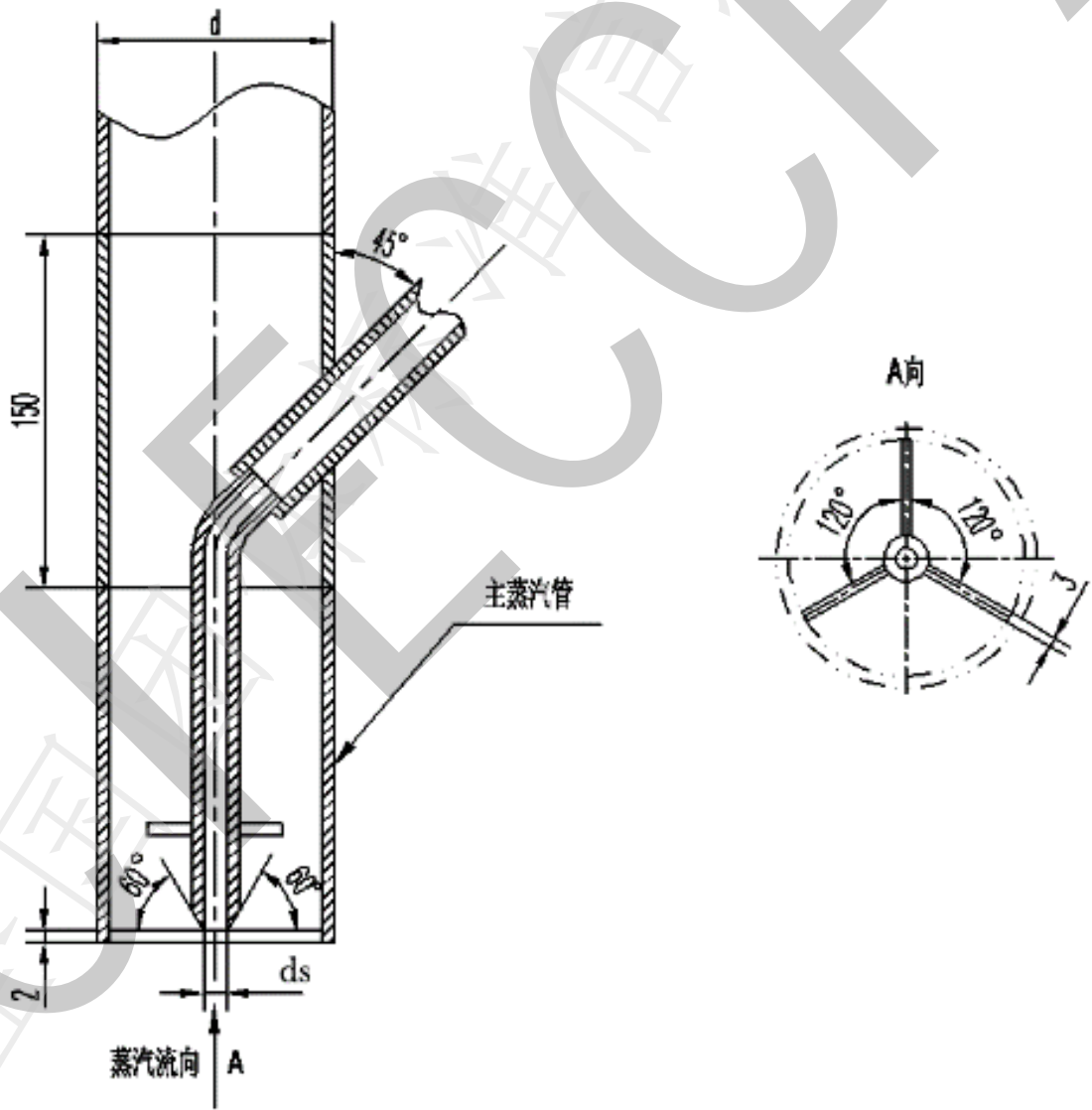
B.1 总则

电加热锅炉饱和蒸汽湿度可采用硝酸银滴定法(氯根法)、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。

B.2 蒸汽和锅水样的采集

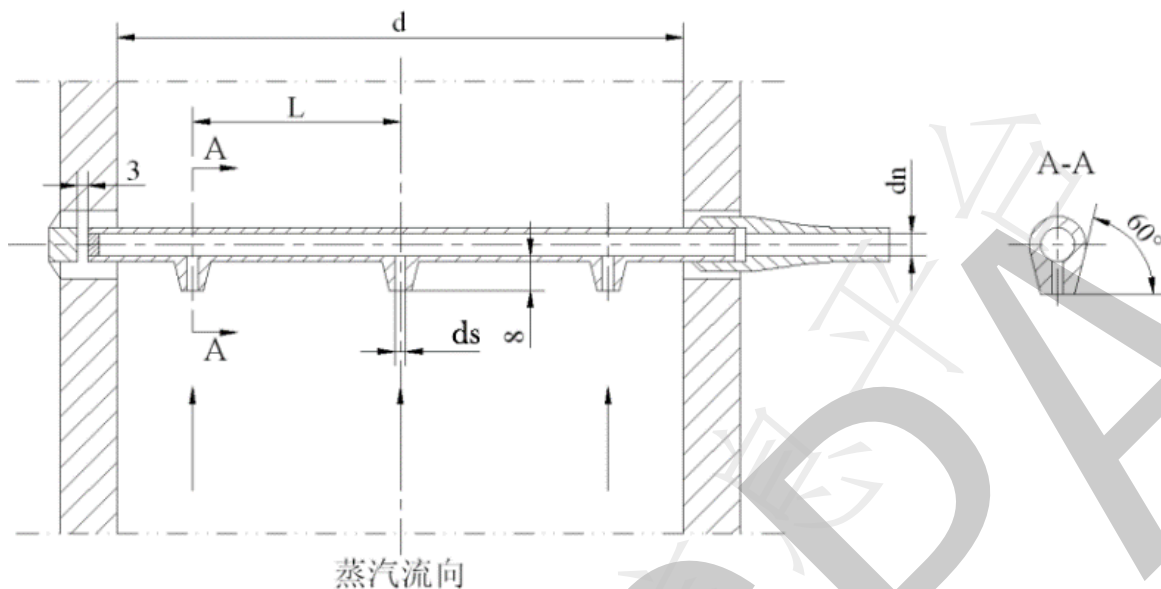
B2.1 采样头

饱和蒸汽的采样头可采用图B.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B.2所示结构；过热蒸汽采样头可采用图B.2所示结构。



注： d_s 一般为10 mm。

图 B.1 饱和蒸汽采样头



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

图 B.2 过热蒸汽采样头

B2.2 等速采样时蒸汽试样流量

为使蒸汽采样管取出的蒸汽含水量与蒸汽引出管中的含水量一致,蒸汽采样管中的速度应和蒸汽引出管中蒸汽速度相等,等速采样时蒸汽试样流量可按式(B.1)或式(B.2)决定;

对单孔采样:

$$Mr_{\text{Sat.Sa}} = \frac{d_{\text{Sat.Sa}}^2}{d^2} D_{\text{Sat.O.M}} \dots\dots\dots (\text{B.1})$$

式中:

$Mr_{\text{Sat.Sa}}$ ——蒸汽试样流量, kg/h;

d_s ——蒸汽取样孔内径, mm;

d ——蒸汽引出管内径, mm。

对多孔采样:

$$Mr_{\text{Sat.Sa}} = n \frac{d_{\text{Sat.Sa}}^2}{d^2} D_{\text{Sat.O.M}} \dots\dots\dots (\text{B.2})$$

式中:

n ——取样孔数量。

蒸汽采样应调节调节阀至计算的试样流量,其偏差值不宜超过 $\pm 10\%$ 。

B2.3 采样点及采样要求

B2.3.1 锅水采样点应从具有代表锅水浓度的管道上引出。

B2.3.2 蒸汽和锅水样品,应通过冷却器冷却到低于 $30^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$ 。采样冷却器的结构如图B.3所示。采样管(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。

B2.3.3 盛取蒸汽凝结水样品的容器应用塑料瓶,盛取锅水样品的容器也可以用硬质玻璃瓶。采样前,应先将采样瓶彻底清洗干净,采样时再用水样冲洗三次以后,按计算的试样流量采样,采样后应迅速盖上瓶塞。

B2.3.4 在试验期间应定期同时对锅水和蒸汽进行采样和测定。

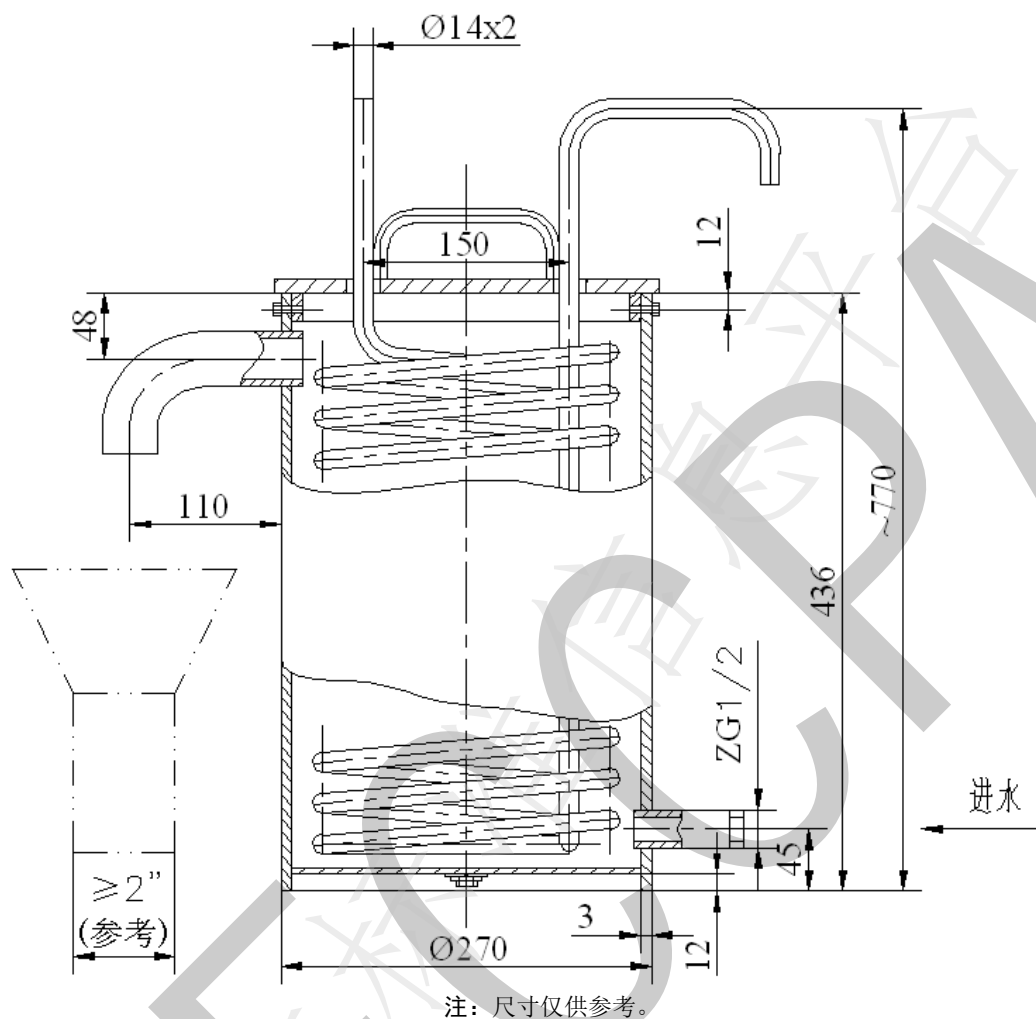


图 B.3 采样冷却器

B.3 饱和蒸汽湿度或过热蒸气含盐量测定方法

B3.1 硝酸银滴定法(氯根法)

B3.1.1 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。

B3.1.2 用硝酸银滴定法测定饱和蒸汽湿度。用硝酸银滴定法分别测得饱和蒸汽凝结水氯离子含量和锅水水氯离子含量，按公式(B.3)计算饱和蒸汽湿度：

$$\omega = \frac{C_{Sat.H2O.CL^-}}{C_{BW.H2O.CL^-}} \times 100 \dots\dots\dots (B.3)$$

式中:

$C_{\text{Sat}, \text{H}_2\text{O}, \text{Cl}}$ ——饱和蒸汽凝结水氯离子含量, mg/kg;

$C_{BW.H_2O.Cl^-}$ ——锅水氯离子含量, mg/kg。

B3.2 钠度计法 (pNa电极法)

B3.2.1 用钠离子浓度计测定饱和蒸汽湿度。按该仪器的说明书分别测得饱和蒸汽凝结水钠离子含量和锅水钠离子含量，按公式(B.4)计算饱和蒸汽湿度：

$$\omega = \frac{C_{Sat.H2O.Na^+}}{C_{RW.H2O.Na^+}} \times 100 \dots\dots\dots (B.4)$$

式中:

$C_{\text{Sat.H2O.Na}^+}$ ——饱和蒸汽凝结水钠离子含量, mg/kg;

$C_{\text{BW.H2O.Na}^+}$ ——锅水钠离子含量, mg/kg。

B3.2.2 用钠离子浓度计测定过热蒸汽含盐量, 测量方法参考该仪器的说明书。

B3.3 电导率法

B3.3.1 用电导率仪进行饱和蒸汽湿度的测定。参考该仪器的说明书分别测得锅水的电导率值 ($\mu\text{s/cm}$) 与饱和蒸汽冷凝水的电导率值 ($\mu\text{s/cm}$), 按公式(B.5)计算饱和蒸汽湿度:

$$\omega = \frac{\sigma_{\text{Sat.H2O.TDS}}}{\sigma_{\text{BW.H2O.TDS}}} \times 100 \dots\dots\dots (\text{B.5})$$

式中:

$\sigma_{\text{Sat.H2O.TDS}}$ ——饱和蒸汽冷凝水的电导率值, $\mu\text{s/cm}$;

$\sigma_{\text{BW.H2O.TDS}}$ ——锅水的电导率值, $\mu\text{s/cm}$ 。

B3.3.2 电极常数按电极上的校核系数确定。