

汽轮机表面式给水加热器性能试验规程

1 主题内容与适用范围

本标准规定了表面式给水加热器的性能试验方法，用以确定给水加热器在设计工况下的下列性能指标：

- a. 给水端差；
- b. 给水温升；
- c. 疏水端差；
- d. 给水压降；
- e. 蒸汽压降和(或)疏水压降；
- f. 试验双方商定的其它内容。

本标准适用于电站用表面式给水加热器的性能试验。

2 引用标准

- GB 8117 电站汽轮机热力性能试验规程
- GB 2624 流量测量
- GB 10764 汽轮机低压给水加热器技术条件

3 项目、符号、单位和说明

3.1 适用于所有加热器的项目如表 1 所示。

表 1

序号	项 目	符号	单 位	说 明
1	凝结区热负荷(设计值)	$q'$	w	传给给水的热量,由设计者提供
2	蒸汽流量(实测值)	$W_s$	kg/s	为加热给水的蒸汽量 $W_{sd}-W_{id}$
3	蒸汽流量(设计值)	$W'_s$	kg/s	取自热平衡计算
4	蒸汽进口压力(实测值)	$P_s$	MPa	用弹簧管压力表、水银压力计或压力传感器测定
5	蒸汽进口压力(设计值)	$P'_s$	Mpa	取自热平衡计算
6	蒸汽进口温度(实测值)	$t_s$	℃	用电阻式或热电偶温度计测定
7	蒸汽进口焓	$h_s$	kJ/kg	干饱和蒸汽或过热蒸汽的焓值根据 $P_s$ 和 $t_s$ 查蒸汽性质表,湿蒸汽的焓值根据蒸汽湿度的测量或根据汽轮机热平衡求得
8	相应于蒸汽进口压力的饱和蒸汽温度	$t'_{sat}$	℃	根据 $P_s$ 查蒸汽性质表
9	加热器中的蒸汽压力(实测值)	$P_h$	MPa	用弹簧管压力表、水银压力计或压力传感器测定

续表 1

序号	项 目	符号	单 位	说 明
10	加热器中的饱和蒸汽温度	$t_s$	℃	根据 $P_s$ 查蒸汽性质表
11	加热器中的饱和蒸汽温度(设计值)	$t'_s$	℃	由设计者提供
12	给水流量(实测值)	$W_w$	kg/s	用流量计测定
13	给水流量(设计值)	$W'_w$	kg/s	取自热平衡计算
14	给水进口压力(实测值)	$P_1$	MPa	用弹簧管压力表或压力传感器测定
15	给水进口压力(设计值)	$P'_1$	MPa	由设计者提供
16	给水出口压力(实测值)	$P_2$	MPa	用弹簧管压力表或传感器测定
17	给水出口压力(设计值)	$P'_2$	MPa	由设计者提供
18	给水压降(实测值)	$\Delta P_{1-2}$	MPa	用差压计测定
19	给水压降(设计值)	$\Delta P'_{1-2}$	MPa	由设计者提供
20	给水压降(计算值)	$\Delta P^*_{1-2}$	MPa	由计算求得
21	给水进口温度(实测值)	$t_1$	℃	用电阻式或热电偶温度计测定
22	给水进口温度(设计值)	$t'_1$	℃	取自热平衡计算
23	给水出口温度(实测值)	$t_2$	℃	用电阻式或热电偶温度计测定
24	给水出口温度(设计值)	$t'_2$	℃	取自热平衡计算
25	给水出口温度(计算值)	$t^*_2$	℃	由计算求得
26	给水温升(计算值)	$TR^*$	℃	修正到设计工况的试验结果 $t^*_2 - t_1$
27	给水端差(计算值)	$TTD^*$	℃	修正到设计工况的试验结果 $t_{sat} - t^*_2$
28	进入本级的疏水流量(实测值或计算值)	$W_{sd}$	kg/s	用流量计测定或用热平衡计算求得
29	疏水进口压力(实测值)	$P_{sd}$	MPa	用弹簧管压力表、水银压力计或压力传感器测定
30	疏水进口温度(实测值)	$t_{sd}$	℃	用电阻式或热电偶温度计测定
31	疏水出口流量(实测值)	$W_{sd}$	kg/s	用流量计测定或用热平衡计算求得
32	疏水出口流量(设计值)	$W'_{sd}$	kg/s	取自热平衡计算
33	疏水出口压力(实测值)	$P_{sd}$	MPa	用弹簧管压力表、水银压力计或压力传感器测定
34	疏水出口温度(实测值)	$t_{sd}$	℃	用电阻式或热电偶温度计测定
35	凝结区加热面积(设计值)	$A'_c$	m <sup>2</sup>	由设计者提供的有效面积
36	凝结区给水液膜的热阻(计算值)	$r_{lc}$	m <sup>2</sup> ℃/W	由计算求得
37	凝结区给水液膜的热阻(设计值)	$r'_{lc}$	m <sup>2</sup> ℃/W	由设计者提供
38	凝结区给水侧污垢的热阻(假设值)	$r_{2c}$	m <sup>2</sup> ℃/W	据协议确定
39	凝结区给水侧的污垢热阻(设计值)	$r'_{2c}$	m <sup>2</sup> ℃/W	由设计者提供
40	凝结区管壁热阻(实测值)	$r_{2c}$	m <sup>2</sup> ℃/W	$r_{2c} = r'_{2c}$
41	凝结区管壁热阻(设计值)	$r'_{2c}$	m <sup>2</sup> ℃/W	由设计者提供
42	凝结区汽侧的污垢热阻(假设值)	$r_{1c}$	m <sup>2</sup> ℃/W	据协议确定
43	凝结区汽侧的污垢热阻(设计值)	$r'_{1c}$	m <sup>2</sup> ℃/W	由设计者提供
44	凝结区汽侧的液膜热阻(计算值)	$r_{1c}$	m <sup>2</sup> ℃/W	由计算求得
45	凝结区汽侧的液膜热阻(设计值)	$r'_{1c}$	m <sup>2</sup> ℃/W	由设计者提供
46	凝结区的总热阻(计算值)	$r_c$	m <sup>2</sup> ℃/W	凝结区的各项热阻之和
47	凝结区冷流体的热容量(实测值)	$c_{cc}$	W/℃	据试验数据计算
48	凝结区冷流体的热容量(设计值)	$c'_{cc}$	W/℃	取自热平衡计算或由设计者提供
49	凝结区的传热单元数	$N_c$	—	由计算求得
50	凝结区的传热有效度	$E_c$	—	由计算求得

## 3.2 适用于内置疏水冷却区的附加项目如表 2 所示。

表 2

序号	项 目	符 号	单 位	说 明
1	疏水冷却区疏水进口温度(实测值)	$t_{dc}$	℃	用电阻式或热电偶温度计测定(若不能测定时用 $t_b$ )
2	疏水冷却区疏水进口温度(设计值)	$t'_{dc}$	℃	由设计者提供
3	疏水冷却区和凝汽区之间的过渡水温(计算值)	$t_{11}$	℃	由计算得
4	疏水冷却区和凝汽区之间的过渡水温(设计值)	$t'_{11}$	℃	由设计者提供
5	疏水出口温度(设计值)	$t'_{bd}$	℃	取自热平衡计算
6	疏水出口温度(计算值)	$t_{bd}$	℃	由计算得
7	疏水端差(计算值)	$\Delta t_{bd-1}$	℃	修正到设计工况的试验结果 $t_{bd}-t_1$
8	疏水冷却区的热负荷(设计值)	$q'_{dc}$	W	由设计者提供
9	疏水冷却区的压降(实测值)	$\Delta P_{dc}$	MPa	用 $P_b-P_{bd}$ 计算
10	疏水冷却区的压降(设计值)	$\Delta P'_{dc}$	MPa	由设计者提供
11	疏水冷却区的压降(计算值)	$\Delta p_{dc}$	MPa	由计算得
12	疏水冷却区的加热面积(设计值)	$A'_{dc}$	m <sup>2</sup>	由设计者提供的有效面积
13	疏水冷却区给水侧的液膜热阻(计算值)	$r_{1dc}$	m <sup>2</sup> ℃/W	由计算得
14	疏水冷却区给水侧的液膜热阻(设计值)	$r'_{1dc}$	m <sup>2</sup> ℃/W	由设计者提供
15	疏水冷却区给水侧的污垢热阻(假设值)	$r_{2dc}$	m <sup>2</sup> ℃/W	据协议确定
16	疏水冷却区给水侧的污垢热阻(设计值)	$r'_{2dc}$	m <sup>2</sup> ℃/W	由设计者提供
17	疏水冷却区的管壁热阻(实测值)	$r_{3dc}$	m <sup>2</sup> ℃/W	$r_{3dc}=r'_{3dc}$
18	疏水冷却区的管壁热阻(设计值)	$r'_{3dc}$	m <sup>2</sup> ℃/W	由设计者提供
19	疏水冷却区凝结水侧的污垢热阻(假设值)	$r_{4dc}$	m <sup>2</sup> ℃/W	由协议确定
20	疏水冷却区凝结水侧的污垢热阻(设计值)	$r'_{4dc}$	m <sup>2</sup> ℃/W	由设计者提供
21	疏水冷却区凝结水侧的液膜热阻(计算值)	$r_{5dc}$	m <sup>2</sup> ℃/W	由计算求得
22	疏水冷却区凝结水侧的液膜热阻(设计值)	$r'_{5dc}$	m <sup>2</sup> ℃/W	由设计者提供
23	疏水冷却区的总热阻(计算值)	$r_{dc}$	m <sup>2</sup> ℃/W	疏水冷却区各项热阻之和
24	疏水冷却区热流体的热容量(实测值)	$C_{hdc}$	W/℃	据试验数据计算
25	疏水冷却区热流体的热容量(设计值)	$C'_{hdc}$	W/℃	由设计者提供
26	疏水冷却区冷流体的热容量(实测值)	$C_{cdc}$	W/℃	据试验数据计算
27	疏水冷却区冷流体的热容量(设计值)	$C'_{cdc}$	W/℃	由设计者提供
28	疏水冷却区的热容量之比(计算值)	$C_{rdc}$	—	由计算求得
29	疏水冷却区的传热单元数(计算值)	$N_{dc}$	—	由计算求得
30	疏水冷却区的传热有效度(计算值)	$E_{dc}$	—	由计算求得

## 3.3 适用于过热蒸汽冷却区的附加项目如表 3 所示。

表 3

序号	项 目	符 号	单 位	说 明
1	过热蒸汽区蒸汽出口温度	$t_{ds}$	℃	不必测量
2	过热蒸汽区蒸汽出口温度(设计值)	$t'_{ds}$	℃	由设计者提供
3	蒸汽进口温度(设计值)	$t'_s$	℃	取自热平衡计算
4	过热蒸汽区和凝结区之间的过渡给水温度(计算值)	$t_{2s}$	℃	由计算求得
5	过热蒸汽区和凝结区之间的过渡给水温度(设计值)	$t'_{2s}$	℃	由设计者提供
6	过热蒸汽区的热负荷(设计值)	$q'_{ds}$	W	由设计者提供
7	过热蒸汽区的压降(实测值)	$\Delta P_{ds}$	MPa	$P_s - P_a$
8	过热蒸汽区的压降(设计值)	$\Delta P'_{ds}$	MPa	由设计者提供
9	过热蒸汽区的压降(计算值)	$\Delta P^*_{ds}$	MPa	由计算求得
10	过热蒸汽区的加热面积(设计值)	$A'_{ds}$	m <sup>2</sup>	由设计者提供的有效面积
11	过热蒸汽区给水侧的液膜热阻(计算值)	$r_{1ds}$	m <sup>2</sup> ℃/W	由计算求得
12	过热蒸汽区给水侧的液膜热阻(设计值)	$r'_{1ds}$	m <sup>2</sup> ℃/W	由设计者提供
13	过热蒸汽区给水侧的污垢热阻(假设值)	$r_{2ds}$	m <sup>2</sup> ℃/W	由协议确定
14	过热蒸汽区给水侧的污垢热阻(设计值)	$r'_{1ds}$	m <sup>2</sup> ℃/W	由设计者提供
15	过热蒸汽区的管壁热阻(实测值)	$r_{3ds}$	m <sup>2</sup> ℃/W	$r_{3ds} = r'_{3ds}$
16	过热蒸汽区的管壁热阻(设计值)	$r'_{3ds}$	m <sup>2</sup> ℃/W	由设计者提供
17	过热蒸汽区汽侧的污垢热阻(假设值)	$r_{4ds}$	m <sup>2</sup> ℃/W	由协议确定
18	过热蒸汽区汽侧的污垢热阻(设计值)	$r'_{4ds}$	m <sup>2</sup> ℃/W	由设计者提供
19	过热蒸汽区汽侧的液膜热阻(计算值)	$r_{5ds}$	m <sup>2</sup> ℃/W	由计算求得
20	过热蒸汽区汽侧的液膜热阻(设计值)	$r'_{5ds}$	m <sup>2</sup> ℃/W	由设计者提供
21	过热蒸汽区的总热阻	$r_{ds}$	m <sup>2</sup> ℃/W	过热蒸汽区各项热阻之和
22	过热蒸汽区热流体的热容量(实测值)	$C_{sds}$	W/℃	由试验数据计算得
23	过热蒸汽区热流体的热容量(设计值)	$C'_{sds}$	W/℃	由热平衡计算和设计者提供
24	过热蒸汽区冷流体的热容量(实测值)	$C_{cds}$	W/℃	由试验数据计算得
25	过热蒸汽区冷流体的热容量(设计值)	$C'_{cds}$	W/℃	由热平衡计算和设计者提供
26	过热蒸汽区的热容量之比	$C_{rds}$	—	由计算求得
27	过热蒸汽区的传热单元数(计算值)	$N_{ds}$	—	由计算求得
28	过热蒸汽区的传热有效度	$E_{ds}$	—	由计算求得

## 4 导则

## 4.1 需要试验双方协商的内容:

- 特定的试验目的;
- 有关辅助设备的性能试验方法;
- 加热器的运行方式;
- 保证给水量和进汽参数恒定的方法;
- 测定疏水量的方法;
- 除本标准规定之外的其它仪表的采用;
- 仪表校验和复查的方法。

## 4.2 加热器在试验期间的状况。

## 4.2.1 加热器管子表面应清洁。

4.2.2 加热器汽侧的凝结水量应连续排放并保持正常的水位。

4.2.3 加热器的汽侧不应积聚非凝结气体。

蒸汽中常有一些非凝结气体，这些气体如在加热器中积聚，会使加热器的传热性能恶化。试验时为防止这一情况发生，要对排气阀进行调整，放掉一定数量的蒸汽，以使液体通过加热器时温升最大，而且稳定。

凡进入加热器的非凝结气体，在试验时都应切换到其它地方。

#### 4.3 试验的准备

4.3.1 熟悉并检查加热器及其有关设备，状况应正常。

4.3.2 预备性试验的目的：

- a. 检查仪表；
- b. 培训测试人员；
- c. 进一步进行调整。

#### 4.4 正式试验

##### 4.4.1 试验条件的稳定

4.4.1.1 试验开始之前，加热器应达到稳定的运行条件，并在试验过程中始终保持这一稳定条件。

4.4.1.2 加热器的水位应保持在正常范围内。若试验时的水位超出正常范围时应作记录，此时的所有试验数据应作废。

4.4.1.3 为减少修正量，试验应尽可能在设计工况下进行。给水流量和抽汽压力与设计值的偏差不得超过 $\pm 10\%$ ，当偏差超过规定值时，应由试验双方协商解决。

4.4.1.4 在进行试验或计算整理试验结果过程中，如发现所得数据严重不一致时，则该试验的全部或有关部分数据应作废，并重做试验。

##### 4.4.2 试验的持续时间和读数频率

4.4.2.1 为保证试验结果的正确性和一致性，每个试验应连续运行足够长的时间。对单个试验来说，在稳定条件下，试验的记录时间一般为半小时。

4.4.2.2 在试验过程中，为确定负荷条件是否稳定，给水温度和蒸汽压力至少每 5 min 记录一次，其它读数至少每 10 min 记录一次。

### 5 试验测点的位置

5.1 图 1、图 2、图 3 和图 4 示出了各种卧式加热器常规布置方式以及为获得性能数据所需要的试验测点。

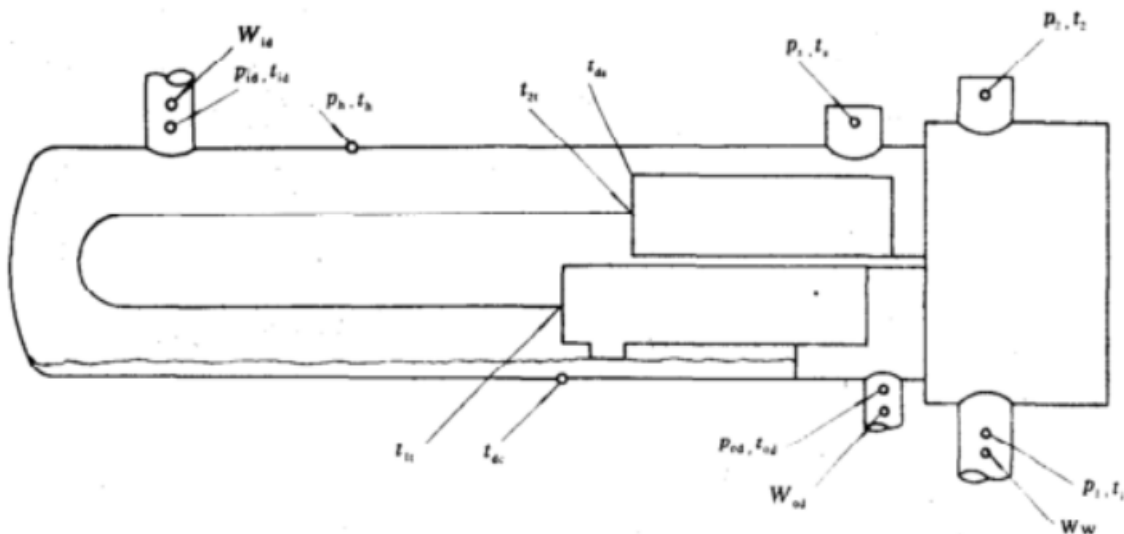


图 1 由过热区、凝结区和疏水冷却区组成的加热器试验测点布置

## 5.2 立式加热器的试验测点与卧式加热器的试验测点相仿。

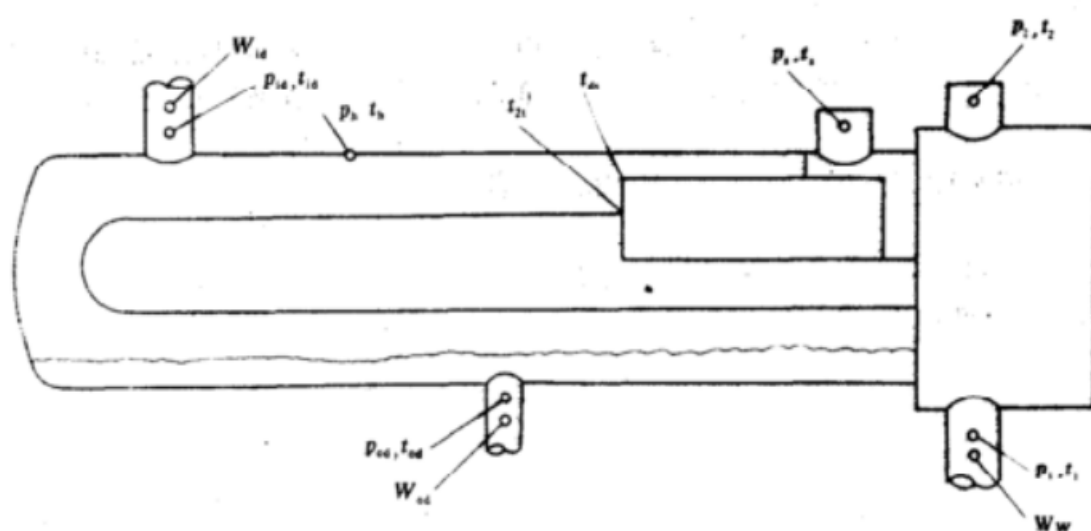


图2 由过热区和凝结区组成的加热器试验测点布置

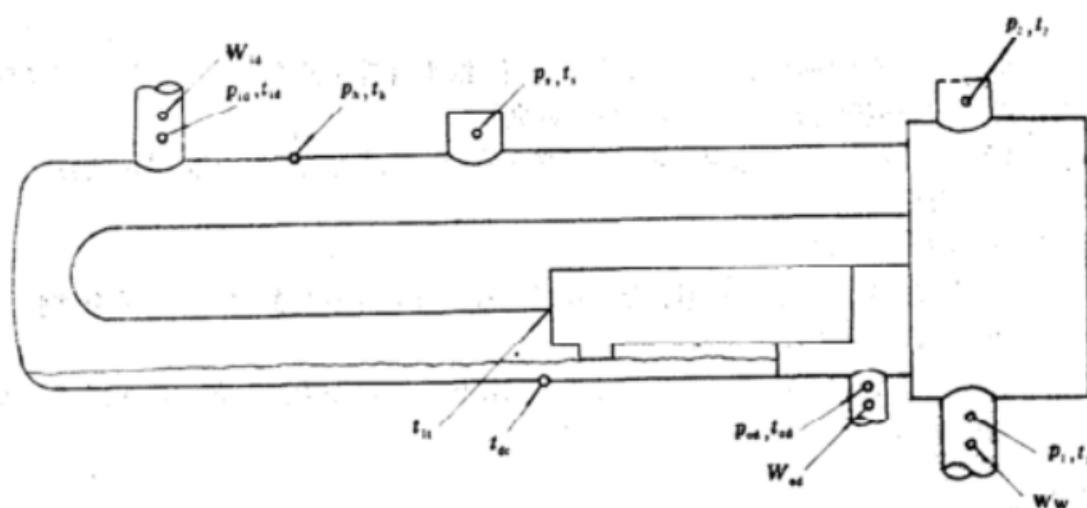


图3 由凝结区和疏水冷却区组成的加热器试验测点布置

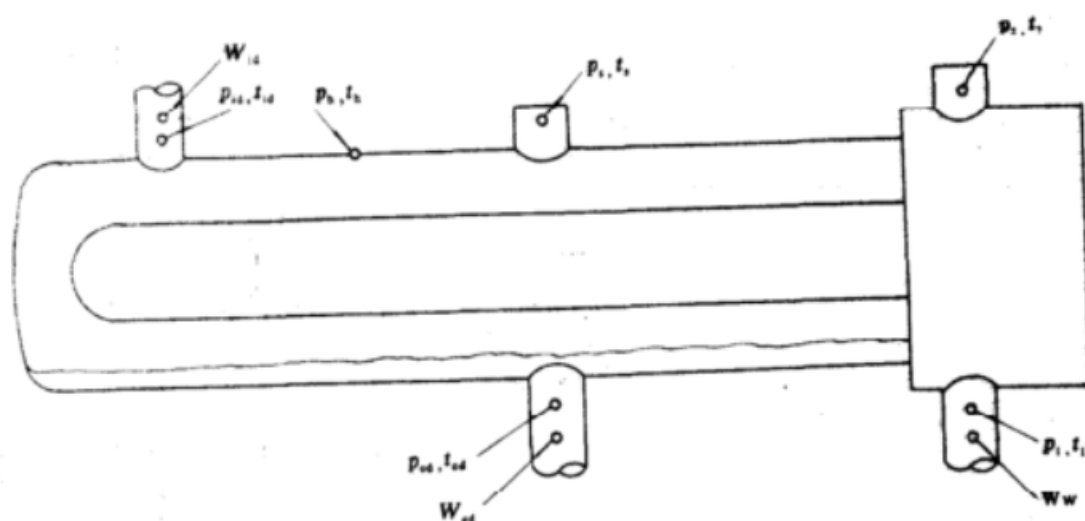


图4 单一的凝结区加热器试验测点布置

5.3 所有测点的最终位置由试验双方商定,但要考虑到加热器的内部设计和外部管道的布置。

5.4 图中标明的测点  $t_{da}$ 、 $t_{11}$  和  $t_{21}$  为计算值,并不要求测量。在计算过程中,将使用它们的设计值。

## 6 仪表和测量方法

### 6.1 大气压力测量

6.1.1 大气压力可采用精度为  $\pm 30\text{Pa}$  ( $0.3\text{ mb}$ ) 的标准水银气压表,或采用经计量部门证明具有同等精度的其它型式气压计进行测量。

6.1.2 如果气压计与加热器的高度不一致时,应对高度差进行修正。

6.1.3 水银大气压力计的安装地点应避免日晒、风袭和热辐射的影响。

### 6.2 压力测量

6.2.1 当绝对压力高于  $0.20\text{ MPa}$  时,用弹簧管压力表测量;绝对压力低于  $0.20\text{ MPa}$  时,一般用水银压力计。

6.2.2 水银压力计必须是高级无铅玻璃管制品。测量时必须垂直放置。如用单管压力计,要求玻璃管的内径均匀一致,且最好不小于  $12\text{ mm}$ ,以减小毛细作用的影响。在整个工作高度区间内,贮液杯的所有横截面积,都必须准确相等。

6.2.3 压力的测量也可采用精度等级相当的压力变送器或绝对压力变送器,作为测量压力的一次感受元件。与之相应,可以配用精度等级相当的专用表计或巡回检测装置,作为二次测量仪表。

### 6.3 差压测量

差压可采用液体差压计或差压变送器测量。

### 6.4 温度测量

6.4.1 应采用具有适当量程和刻度的电阻式温度计。根据双方协议,也可使用适当校验过的热电偶或其它温度检测计。

6.4.2 温度测点应尽量靠近相应的压力测点,温度计套管不得安装在流动死角或者是紧靠汇流点的下游处。安装部位应便于进行维护。温度计安装在管子附近时,应考虑减小热辐射的影响。

#### 6.4.3 温度计套管

6.4.3.1 套管的管壁应尽可能薄,管径尽可能小。

6.4.3.2 套管应清洁、干燥、防蚀或防氧化。

6.4.3.3 套管与感受元件应有良好的热接触。

6.4.3.4 套管伸出容器外的部分应尽量短,并加以适当的保温。

6.4.3.5 套管紧固于容器上应有足够的严密性。

### 6.5 水量测量

6.5.1 给水量和疏水量可用经过校验的喷嘴、孔板或文丘利管流量计进行测量。

6.5.2 流量计应安装于管道内液体可能发生气化处的上游。

6.5.3 节流装置及其管道条件应符合 GB 2624 的规定。

6.5.4 节流装置的安装、差压测量方法应符合 GB 8117 的规定。

### 6.6 仪表的精度

6.6.1 所有仪表在试验前后均应进行校验。

6.6.2 试验选用仪表的允许误差。

#### 6.6.2.1 压力

a. 蒸汽进口压力  $\pm 0.25\%$

b. 壳体内蒸汽压力  $\pm 0.25\%$

c. 疏水进口压力  $\pm 2.00\%$

d. 疏水出口压力  $\pm 2.00\%$

- e. 给水进口压力  $\pm 2.00\%$
- f. 给水出口压力  $\pm 2.00\%$
- g. 给水压力  $\pm 1.00\%$

## 6.6.2.2 温度

- a. 蒸汽进口温度  $>300^{\circ}\text{C}$   $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$   
 $\leq 300^{\circ}\text{C}$   $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$
- b. 疏水进口温度  $\pm 0.6^{\circ}\text{C}$
- c. 疏水出口温度  $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$
- d. 给水进口温度  $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$
- e. 给水出口温度  $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$

## 6.6.2.3 流量

- a. 给水流量  $\pm 2\%$
- b. 疏水进口流量  $\pm 2\%$
- c. 疏水出口流量  $\pm 2\%$

6.6.3 仪表的允许误差如超出 6.6.2 条的规定, 需由试验双方协商解决。对加热器性能作最终评价时, 应考虑到试验所使用仪表的精度。

## 7 试验结果的计算

7.1 在试验结果计算中, 应使用国际公认最新版本的水蒸汽性能表; 当用计算机计算时, 应使用国际公式化委员会 (TFC) 的水和水蒸汽热力学性质计算公式来编制计算程序。

表 4、表 5、表 6 和表 7 是一种方便的记录方法, 以记录在计算试验结果中所用的设计、测量和计算数据, 对任一型式加热器不适用的一些项目可以略去。如果加热器仅由逆流布置的过热蒸汽区组成, 用表 4 或表 5 中适合的项; 如果加热器仅由逆流布置的疏水冷却区组成, 用表 4 或表 6 中适合的项。本方法未包括任何其它流动方式的布置。

表中所用的术语和符号, 在第 2 章中已详细说明。为计算数据所使用的公式, 详细表示在 7.2 节中。

表 4 三段式加热器的数据表

序 号	过热蒸汽区		凝汽区		疏水冷却区	
	符 号	数 值	符 号	数 值	符 号	数 值
1	$W'_{\text{w}}$		$W'_{\text{w}}$		$W'_{\text{w}}$	
2	$W'_{\text{r}}$		—		—	
3	—		—		$W'_{\text{sd}}$	
4	$r'_{\text{sd}}$		$r'_{\text{le}}$		$r'_{\text{sd}}$	
5	$r'_{\text{sd}}$		$r'_{\text{le}}$		$r'_{\text{sd}}$	
6	$r'_{\text{sd}}$		$r'_{\text{le}}$		$r'_{\text{sd}}$	
7	$r'_{\text{sd}}$		$r'_{\text{le}}$		$r'_{\text{sd}}$	
8	$r'_{\text{sd}}$		$r'_{\text{le}}$		$r'_{\text{sd}}$	
9	$A'_{\text{dr}}$		$A'_{\text{c}}$		$A'_{\text{dc}}$	
10	$q'_{\text{dr}}$		$q'_{\text{c}}$		$q'_{\text{dc}}$	
11	$\Delta P'_{\text{dr}}$		—		$\Delta P'_{\text{dc}}$	
12	$l'_{\text{r}}$		$l'_{\text{h}}$		$l'_{\text{dc}}$	

设计数据



续表 4

序 号	过热蒸汽区		凝汽区		疏水冷却区	
	符 号	数 值	符 号	数 值	符 号	数 值
13	$t'_{ds}$		$t'_k$		$t'_{cd}$	
14	$t'_k$		$t'_{2r}$		$t'_{2r}$	
15	$t'_{2r}$		$t'_{1r}$		$t'_1$	
16	—		$\Delta P'_{1-2}$		—	
17	—		$t'_{hsr}$		—	
18	$C'_{hds}$		—		$C'_{hds}$	
19	$C'_{eds}$		$C'_{er}$		$C'_{eds}$	
20	$W_w$		$W_w$		$W_w$	
21	$W_i$		—		—	
22	—		—		$W_{sd}$	
23	$\Delta P_{ds}$		—		$\Delta P_{ds}$	
24	$t_s$		$t_k$		$t_{ds}$	
25	—		$t_k$		$t_{cd}$	
26	$t_2$		—		—	
27	—		—		$t_1$	
28	—		$\Delta P_{1-2}$		—	
29	$r_{1ds}$		$r_{1e}$		$r_{1ds}$	
30	$r_{2ds}$		$r_{2e}$		$r_{2ds}$	
31	$r_{3ds}$		$r_{3e}$		$r_{3ds}$	
32	$r_{4ds}$		$r_{4e}$		$r_{4ds}$	
33	$r_{5ds}$		$r_{5e}$		$r_{5ds}$	
34	$r_{ds}$		$r_e$		$r_{ds}$	
35	$C_{hds}$		—		$C_{hds}$	
36	$C_{eds}$		$C_{er}$		$C_{eds}$	
37	$C_{eds}$		—		$C_{eds}$	
38	$N_{ds}$		$N_e$		$N_{ds}$	
39	$E_{ds}$		$E_e$		$E_{ds}$	
40	$t'_2$		—		$t'_{sd}$	
41	—		$\Delta P'_{1-2}$		—	
42	—		—		$\Delta P'_{ds}$	
43	$TTD^*$		—		—	
44	—		$TR^*$		—	
45	—		—		$t'_{sd-1}$	

表5 二段式加热器的数据表(过热蒸汽区和凝汽区)

序 号	过热蒸汽区		凝汽区	
	符 号	数 值	符 号	数 值
1	$W'_w$		$W'_w$	
2	$W'_1$		—	
3	—		$W'_{ad}$	
4	$r'_{1d}$		$r'_{1c}$	
5	$r'_{2d}$		$r'_{2c}$	
6	$r'_{3d}$		$r'_{3c}$	
7	$r'_{4d}$		$r'_{4c}$	
8	$r'_{5d}$		$r'_{5c}$	
9	$A'_{d1}$		$A'_{c1}$	
10	$q'_{d1}$		$q'_{c1}$	
11	$\Delta P'_{d1}$		—	
12	$t'_1$		$t'_A$	
13	$t'_{d1}$		$t'_A$	
14	$t'_2$		$t'_{2c}$	
15	$t'_{3c}$		$t'$	
16	—		$\Delta P'_{1-2}$	
17	—		$t'_{ad}$	
18	$C'_{ad1}$		—	
19	$C'_{cd1}$		$C'_{cc}$	
20	$W_w$		$W_w$	
21	$W_1$		—	
22	—		$W_{ad}$	
23	$\Delta P_{d1}$		—	
24	$t_1$		$t_A$	
25	—		$t_A$	
26	$t_2$		—	
27	—		$t_1$	
28	—		$\Delta P_{1-2}$	
29	$r_{1d}$		$r_{1c}$	
30	$r_{2d}$		$r_{2c}$	
31	$r_{3d}$		$r_{3c}$	
32	$r_{4d}$		$r_{4c}$	
33	$r_{5d}$		$r_{5c}$	
34	$r_{d1}$		$r_c$	

续表 5

计算数据

序 号	过热蒸汽区		凝汽区	
	符 号	数 值	符 号	数 值
35	$C_{sh}$		—	
36	$C_{ch}$		$C_{ch}$	
37	$C_{cd}$		—	
38	$N_d$		$N_c$	
39	$E_d$		$E_c$	
40	$t_i'$		—	
41	—		$\Delta P'_{i-1}$	
42	—		—	
43	$TTD'$		—	
44	—		$TR'$	

表 6 二段式加热器的数据表(凝汽区和疏水冷却区)

设计数据

计算数据

序 号	凝汽区		疏水冷却区	
	符 号	数 值	符 号	数 值
1	$W'_w$		$W'_w$	
2	$W'_c$		—	
3	—		$W'_{cd}$	
4	$r'_{1c}$		$r'_{1dc}$	
5	$r'_{2c}$		$r'_{2dc}$	
6	$r'_{3c}$		$r'_{3dc}$	
7	$r'_{4c}$		$r'_{4dc}$	
8	$r'_{5c}$		$r'_{5dc}$	
9	$A'c$		$A'd_c$	
10	$q'_c$		$q'd_c$	
11	—		$\Delta P'_{dc}$	
12	$t'h$		$t'd_c$	
13	$t'h$		$t'd$	
14	$t'_2$		$t'_{11}$	
15	$t'_{11}$		$t'_1$	
16	$\Delta P'_{1-1}$		—	
17	$t'_{aw}$		—	
18	—		$C'_{dc}$	
19	$C'_{ch}$		$C'_{cd}$	
20	$W_w$		$W_w$	
21	$W_c$		—	

续表 6

序 号	凝 汽 区		疏水冷却区	
	符 号	数 值	符 号	数 值
22	—		$W_{sd}$	
23	—		$\Delta P_{de}$	
24	$t_h$		$t_{de}$	
25	$t_h$		$t_{sd}$	
26	$t_1$		—	
27	—		$t$	
28	$\Delta P_{1-2}$		—	
29	$r_{1e}$		$r_{1de}$	
30	$r_{2e}$		$r_{2de}$	
31	$r_{3e}$		$r_{3de}$	
32	$r_{4e}$		$r_{4de}$	
33	$r_{5e}$		$r_{5de}$	
34	$r_e$		$r_{de}$	
35	—		$C_{hde}$	
36	$C_a$		$C_{ede}$	
37	—		$C_{ede}$	
38	$N_e$		$N_{de}$	
39	$E_e$		$E_{de}$	
40	$t_i^*$		$t_{sd}^*$	
41	$\Delta P_{1'-2}$		—	
42	—		$\Delta P_{de}^*$	
43	$TTD^*$		—	
44	$TR^*$		—	
45	—		$\Delta t_{sd-1}^*$	

表 7 纯凝汽区加热器的数据表

序 号	凝 汽 区	
	符 号	数 值
1	$W'_e$	
2	$W'_{1e}$	
3	$W'_{sd}$	
4	$r'_{1e}$	
5	$r'_{2e}$	
6	$r'_{3e}$	
7	$r'_{4e}$	

续表 7

序 号	凝 汽 区	
	符 号	数 值
设计数据	8	$r'_{2c}$
	9	$A'_c$
	10	$q'_c$
	11	—
	12	$t'_k$
	13	$t'_{ad}$
	14	$t'_2$
	15	$t'_1$
	16	$\Delta P'_{1-2}$
计算数据	17	$t'_{an}$
	18	—
	19	$C'_m$
试验数据	20	$W_k$
	21	$W_c$
	22	$W_{ad}$
	23	—
	24	$t_k$
	25	$t_k$
	26	$t_2$
	27	$t_1$
	28	$\Delta P_{1-2}$
计算数据	29	$r_{1c}$
	30	$r_{2c}$
	31	$r_{3c}$
	32	$r_{4c}$
	33	$r_{5c}$
	34	$r_c$
	35	—
	36	$C_m$
	37	—
	38	$N_c$
	39	$E_c$
	40	$t'_i$
	41	$\Delta P'_{i-1}$

续表 7

序 号	凝 汽 区	
	符 号	数 值
42	—	
43	$TTD^*$	
44	$TR^*$	

## 7.2 计算

7.2.1 在 1~17 项中所包括的数据是由制造厂提供的设计数据。

7.2.2 18、19 项的数据是按制造厂提供的数据计算求得。

18 项  $C'_{hds} = q'_{ds} / (t'_s - t'_{ds})$  表 4、5

$C'_{hdc} = q'_{dc} / (t'_{dc} - t'_{ad})$  表 4、6

19 项  $C'_{eds} = q'_{ds} / (t'_s - t'_{es})$  表 4、5

$C'_{ec} = q'_{ec} / (t'_{es} - t'_{ec})$  表 4

$C'_{cs} = q'_{cs} / (t'_{es} - t'_s)$  表 5

$C'_{cs} = q'_{cs} / (t'_s - t'_{es})$  表 6

$C'_{cs} = q'_{cs} / (t'_s - t'_s)$  表 7

$C'_{cdc} = q'_{dc} / (t'_{es} - t'_s)$  表 4、6

7.2.3 在 20~28 项中所包括的数据应是测量值或由试验观察的数据推算而得。

21 项  $W_s = W_{ad} - \Sigma W_{id}$

如果  $W_{ad}$  不是由流量表测得时, 应由本级给水加热器的热平衡连同排来疏水的较高压力加热器的热平衡一起进行计算而求得。

7.2.4 29~45 项的数据计算如下:

29 项  $r_{ids} = r'_{ids} \times (W'_{id}/W_{id})^{0.8}$  表 4、5

$r_{ie} = r'_{ie} \times (W'_{id}/W_{id})^{0.8}$  表 4、5、6、7

$r_{ide} = r'_{ide} \times (W'_{id}/W_{id})^{0.8}$  表 4、6

30 项  $\left. \begin{array}{l} r_{ide} \\ r_{ie} \\ r_{ide} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{表 4、5} \\ \text{见第 3 部份(按试验双方协商的数值)} \\ \text{表 4、5、6、7} \end{array}$

表 4、6

31 项  $r_{ids} = r'_{ids}$  表 4、5

$r_{ie} = r'_{ie}$  表 4、5、6、7

$r_{ide} = r'_{ide}$  表 4、6

32 项  $\left. \begin{array}{l} r_{ids} \\ r_{ie} \\ r_{ide} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{表 4、5} \\ \text{见第 3 部份(按试验双方协商的数值)} \\ \text{表 4、5、6、7} \end{array}$

表 4、6

33 项  $r_{ids} = r'_{ids} \times (W'_{id}/W_{id})^{0.8}$  表 4、5

$r_{ie} = r'_{ie}$  表 4、5、6、7

34 项  $r_{ide} = r'_{ide} \times (W'_{id}/W_{id})^{0.8}$  表 4、6

$r_{ds} = r_{ids} + r_{ide} + r_{ids} + r_{ids} + r_{ids}$  表 4、5

$r_e = r_{ie} + r_{ie} + r_{ie} + r_{ie} + r_{ie}$  表 4、5、6、7

- $r_{dc} = r_{1dc} + r_{2dc} + r_{3dc} + r_{4dc} + r_{5dc}$  表 4、6
- 35 项  $C_{hds} = C'_{hds} \times (W_s/W'_s)$  表 4、5  
 $C_{hdc} = C'_{hdc} \times (W_{sd}/W'_{sd})$  表 4、6
- 36 项  $C_{eds} = C'_{eds} (W_w/W'_w)$  表 4、5  
 $C_{ec} = C'_{ec} (W_w/W'_w)$  表 4、5、6、7  
 $C_{edc} = C'_{edc} (W_w/W'_w)$  表 4、6
- 37 项  $C_{rds} = C_{hds}/C_{eds}$  表 4、5  
 $C_{rdc} = C_{hdc}/C_{edc}$  表 4、6
- 38 项  $N_{ds} = A'_{ds}/(C_{hds} \times r_{ds})$  表 4、5  
 $N_c = A'_c/(C_{ec} \times r_c)$  表 4、5、6、7
- 39 项  $E_{ds} = \frac{1 - e^{-N_{ds}(1 - C_{rds})}}{1 - C_{rds}e^{-N_{ds}(1 - C_{rds})}}$  表 4、5  
 $E_c = 1 - e^{-N_c}$  表 4、5、6、7  
 $E_{dc} = \frac{1 - e^{-N_{dc}(1 - C_{rdc})}}{1 - C_{rdc}e^{-N_{dc}(1 - C_{rdc})}}$  表 4、6
- 40 项  $t_{1s}^*$ ——修正到设计条件试验点的给水出口温度。  
 $t_{2s}^*$ ——修正到设计条件试验点的疏水出口温度。  
 $t_{1u} = t_1 + E_{ds}(t_k - t_1)C_{rds}$  表 4  
 $t_{2s}^* = t_k - E_{dc}(t_k - t_1)$   
 $t_{2u} = t_{1u} + E_c(t_k - t_{1u})$   
 $t_{2s}^* = t_{2u} + E_{ds}(t_s - t_{2u})C_{rds}$   
 $t_{2u} = t_1 + E_c(t_k - t_1)$  表 5  
 $t_{2s}^* = t_{2u} + E_{ds}(t_s - t_{2u})C_{rds}$   
 $t_{1u} = t_1 + E_{dc}(t_k - t_1)C_{rdc}$  表 6  
 $t_{2s}^* = t_{2u} - E_{dc}(t_k - t_{1u})$   
 $t_{2s}^* = t_{1u} + E_c(t_k - t_{1u})$   
 $t_{2s}^* = t_1 + E_c(t_k - t_1)$  表 7
- 41 项  $\Delta P_{1-2}^*$ ——修正到设计条件试验点的给水压力损失  
 $\Delta P_{1-2}^* = (W'_w/W_w)^{1.855} \times \Delta P_{1-2}$  表 4、5、6、7
- 42 项  $\Delta P_{dc}^*$ ——修正到设计条件试验点疏水冷却器流体压力损失  
 $\Delta P_{dc}^* = (W'_{sd}/W_{sd})^{1.855} \times \Delta P_{dc}$  表 4、5、6、7
- 43 项  $TTD^*$ ——修正到设计条件试验点给水端差  
 $TTD^* = t'_{2s} - t_{2s}^*$  表 4、5、6、7
- 44 项  $TR^*$ ——修正到设计条件试验点的给水温升  
 $TR^* = t_{2s}^* - t'_1$  表 4、5、6、7
- 45 项  $\Delta t_{2s-1}^*$ ——修正到设计条件试验点的疏水端差  
 $\Delta t_{2s-1}^* = t_{2s}^* - t'_1$  表 4、6

附 录 A  
高压加热器试验计算示例  
(参考件)

A1 高压加热器试验计算示例见表 A1。

表 A1

序号	数据来源	项 目	过热蒸汽区		凝 汽 区		疏水冷却区		单 位
			符 号	数 值	符 号	数 值	符 号	数 值	
1	设计数据	给水流量	$W'_w$	893788	$W'_w$	893788	$W'_w$	893788	kg/h
2		蒸汽流量	$W'_s$	63300	—	—	—	—	kg/h
3		疏水出口流量	—	—	—	—	$W'_{sd}$	63300	kg/h
4		给水侧的液膜热阻	$r'_{ld}$	0.00006657	$r'_{ls}$	0.00006657	$r'_{ld}$	0.00006853	$m^2 \cdot ^\circ C/W$
5		给水侧的污垢热阻	$r'_{2d}$	0.00004790	$r'_{2s}$	0.00004790	$r'_{1d}$	0.00004790	$m^2 \cdot ^\circ C/W$
6		管壁热阻	$r'_{3d}$	0.00005634	$r'_{3s}$	0.00005600	$r'_{3d}$	0.00005565	$m^2 \cdot ^\circ C/W$
7		汽侧和凝结水侧的污垢热阻	$r'_{4d}$	0.00005283	$r'_{4s}$	0	$r'_{4d}$	0.00005283	$m^2 \cdot ^\circ C/W$
8		汽侧和凝结水侧的液膜的热阻	$r'_{5d}$	0.0010325	$r'_{5s}$	0.00007044	$r'_{5d}$	0.00016554	$m^2 \cdot ^\circ C/W$
9		加热面积	$A'_{ds}$	126.64	$A'_{es}$	728.62	$A'_{ds}$	61.25	$m^2$
10		热负荷	$q'_{ds}$	5083878.9	$q'_{es}$	29336766.9	$q_{ds}$	2028576.8	W
11		汽侧压降	$\Delta P'_{ds}$	0.03137	—	—	$\Delta P'_{ds}$	0.00784	MPa
12		各区段汽侧进口温度	$t'_s$	382.06	$t'_s$	270.74	$t'_{ds}$	270.39	$^\circ C$
13		各区段汽侧出口温度	$t'_{ds}$	286.06	$t'_s$	270.74	$t'_{sd}$	247.11	$^\circ C$
14		各区段的给水出口温度	$t'_1$	272.4	$t'_{2s}$	268.33	$t'_{1s}$	243.33	$^\circ C$
15		各区段的给水进口温度	$t'_{2s}$	268.33	$t'_{1s}$	243.33	$t'_1$	241.6	$^\circ C$
16		给水压降	—	—	$\Delta P'_{1-2}$	0.06767	—	—	MPa
17		相应于蒸汽进口压力的饱和蒸汽温度	—	—	$t'_{sd}$	270.74	—	—	$^\circ C$
18		各区段的热流体的热容量	$C'_{ds}$	52957.1	—	—	$C'_{ds}$	87138.2	W/ $^\circ C$
19		各区段的冷流体的热容量	$C'_{sd}$	1249110.3	$C'_{cc}$	1173470.7	$C'_{sd}$	1172587.7	W/ $^\circ C$
20	试验数据	给水流量	$W_w$	893522	$W_w$	893522	$W_w$	893522	kg/h
21		蒸汽流量	$W_s$	73952.1	—	—	—	—	kg/h
22		疏水出口流量	—	—	—	—	$W_{sd}$	73952.1	kg/h
23		各区段的汽侧的压降	$\Delta P_{ds}$	0.03031	—	—	$\Delta P_{ds}$	0.04413	MPa
24		汽侧各区段进口温度	$t_s$	394.24	$t_s$	273.58	$t_{ds}$	273.58	$^\circ C$
25		汽侧各区段出口温度	—	—	$t_s$	273.58	$t_{sd}$	272.49	$^\circ C$
26		给水出口温度	$t_1$	275.94	—	—	—	—	$^\circ C$
27		给水进口温度	—	—	—	—	$t_1$	241.83	$^\circ C$
28		给水压降	—	—	$\Delta P_{1-2}$	0.06	—	—	MPa



续表 A1

序号	数据来源	项 目	过热蒸汽区		凝 汽 区		疏水冷却区		单 位
			符 号	数 值	符 号	数 值	符 号	数 值	
29	计算数据	给水侧液膜的热阻	$r_{1di}$	0.00006659	$r_{1e}$	0.00006659	$r_{1de}$	0.00006853	$m^2 \cdot ^\circ C/W$
30		给水侧污垢的热阻	$r_{2di}$	0.00004933	$r_{2e}$	0.00004934	$r_{2de}$	0.00004934	$m^2 \cdot ^\circ C/W$
31		管壁热阻	$r_{3di}$	0.00005634	$r_{3e}$	0.00005600	$r_{3de}$	0.00005565	$m^2 \cdot ^\circ C/W$
32		汽侧和凝结水侧的污垢热阻	$r_{4di}$	0.00005283	$r_{4e}$	0	$r_{4de}$	0.00005283	$m^2 \cdot ^\circ C/W$
33		汽侧和凝结水侧的液膜的热阻	$r_{5di}$	0.00094067	$r_{5e}$	0.00007044	$r_{5de}$	0.00015079	$m^2 \cdot ^\circ C/W$
34		总热阻	$r_{di}$	0.00116575	$r_e$	0.00024237	$r_{de}$	0.00037714	$m^2 \cdot ^\circ C/W$
35		各区段的热流体的热容量	$C_{hdi}$	61868.7	—	—	$C_{hde}$	101801.8	$W/^\circ C$
36		各区段的冷流体的热容量	$C_{cdi}$	1248738.1	$C_{ce}$	1173121.1	$C_{cde}$	1172238.4	$W/^\circ C$
37		各区段的热容量之比	$C_{rdi}$	0.04954	—	—	$C_{rde}$	0.086843	—
38		各区段的传热单元数	$N_{di}$	1.7558	$N_e$	2.56266	$N_{de}$	1.5954	—
39		各区段的传热有效度	$E_{di}$	0.8192	$E_e$	0.9229	$E_{de}$	0.78284	—
40		修正到设计条件的给水出口温度 和疏水出口温度	$t_{i2}^*$	276.28	—	—	$t_{ed}^*$	248.72	$^\circ C$
41		修正到设计条件的给水压降	—	—	$\Delta P_{i-1}^*$	0.06046	—	—	MPa
42		修正到设计条件的疏冷器压降	—	—	—	—	$\Delta P_{de}^*$	0.04413	MPa
43		修正到设计条件的给水出口端差	$TTD^*$	-5.52	—	—	—	—	$^\circ C$
44		修正到设计条件的给水温升	—	—	$TR^*$	34.66	—	—	$^\circ C$
45		修正到设计条件的疏水端差	—	—	—	—	$t_{ed}^* - 1$	7.12	$^\circ C$

## 附加说明:

本标准由机械电子工业部上海发电设备成套设计研究所提出并归口。

本标准由上海发电设备成套设计研究所起草。

中 华 人 民 共 和 国  
机械行业标准

汽轮机、锅炉标准  
(1)

•

机械电子工业部机械标准化研究所  
机械电子工业部第一装备司标准化研究室  
编 辑 出 版 发 行  
(湖南湘潭市下摄司街302号)  
湘潭电机厂印刷厂印刷

•

开本880×1230 1/16 印张 9 字数 260 000  
1993年6月第一版 1993年6月第一次印刷  
印数 1~500

•

印刷号 DB 722