

中华人民共和国国家标准
汽轮机低压给水加热器

GB 10764-89

技术条件

Specification for steam turbine low pressure feed water heater

中华人民共和国机械电子工业部 1989-03-29 批准

1990-01-01 实施

1 主题内容与适用范围

本标准规定了汽轮机低压给水加热器的性能和制造技术要求。

本标准适用于火力发电厂汽轮机回热系统中水侧设计压力不高于 4.5MPa,设计温度不高于 220 ;汽侧设计压力不高于 1.5MPa,设计温度不高于 400 的表面式低压给水加热器,也适用于相同工作条件的其他热交换器。

2 引用标准

压力容器安全监察规程

钢制石油化工压力容器设计规定

GB 3087 低中压锅炉用无缝钢管

JB 741 钢制焊接压力容器技术条件

JB 755 压力容器锻件技术条件

JB 2640 锅炉管道附件承压铸钢件技术条件

JB 2862 汽轮机包装技术条件

JB 2900 汽轮机油漆技术条件

JB 3343 高压加热器制造技术条件

JB 3375 锅炉原材料入厂检验

3 术语

3.1 表面式低压加热器(简称低加)

低加是管壳式换热器,当给水或冷凝水通过低加的传热管束时,被壳体內的汽轮机抽汽或凝结水加热,同时抽汽被冷凝。

3.2 热负荷

单位时间内,加热介质与被加热介质间的总热交换量。

3.3 工作压力,工作温度

在额定工况下低加的运行压力和温度,是低加热力设计的依据。

3.4 设计压力

应略高于低加使用期间有可能出现的最高工作压力,是低加强度设计的依据。

3.5 水侧设计温度

不得低于汽侧设计压力下的蒸汽饱和温度。当具有过热蒸汽冷却段时,该段管子的设计温度还应增加 20 。

3.6 汽侧设计温度

在焓熵图上,从工作压力和工作温度处,作等熵线与最大工况时的运行压力线相交,以该交点处¹⁾的温度向上5℃处圆整,该温度即为汽侧设计温度。

具有过热蒸汽冷却段的低加,其外壳短节可以此温度作为强度设计温度,其余部分外壳的设计温度不得低于设计压力下的蒸汽饱和温度。

注:1)若该交点处温度为250℃,273℃,298℃时,则向上圆整为250℃,275℃,300℃。

3.7 终端温差(上端差)

相应于低加进口处抽汽压力下的饱和温度与给水出口温度之差。

3.8 疏水冷却段端差(下端差)

低加疏水出口温度与给水进口温度之差。

3.9 对数平均温度差

初始温差和终端温差之差,除以初始温差和终端温差之比的自然对数,其数学表达式为:

$$\text{对数平均温差} = \frac{\text{初始温差} - \text{终端温差}}{\ln \frac{\text{初始温差}}{\text{终端温差}}}$$

注:初始温差为加热与被加热介质尚未发生热交换的温差。

3.10 汽侧压降

流经低加各区段的蒸汽或凝结水的总压力损失为汽侧压降。

3.11 水侧压降

流经管内的给水的摩擦损失(包括进、出水室的压力损失)为水侧压降。

3.12 传热系数

蒸汽或凝结水向给水的平均传热率。

3.13 疏水

从任何较高压力级进入低加壳体的凝结水与加热器自身凝结水的总称。

3.14 过热蒸汽冷却段

把过热抽汽的一部分显热传给给水,从而提高给水温度的区段。

3.15 凝结段

通过蒸汽凝结加热给水的区段。

3.16 疏水冷却段

把疏水的热量传给给水,使凝结段的疏水温度降低到低于饱和温度的区段。

3.17 总面积

指低加内传热管总的外表面积。

3.18 有效面积

在总面积中扣除管板和隔板内的管表面积,及不暴露在蒸汽或凝结水中的表面积和任何不参加热交换的表面积后的面积。

有效面积应在设计总图中列出,并在低加铭牌上表示。

4 性能及设计要求

4.1 低加的性能

指在汽轮机设计工况下，加热给定流量给水的的能力。以上、下端差及下列参数表明：

- a. 给水进、出口温度；
- b. 给水流量；
- c. 抽气流量；
- d. 蒸汽压力和焓；
- e. 疏水出口温度；
- f. 汽侧和水侧压力损失。

4.2 低加的设计要求

4.2.1 端差

对于无过热蒸汽冷却段的低加，其上端差可按 3~5 设计，下端差一般取 8~10 。

4.2.2 水侧流速

在额定工况及平均温度下(进口和出口温度的算术平均值)，通过管子的给水流速，不应超过表 1 的规定。

表 1 m/s

管子材料	给水流速
不锈钢	3.2
镍铜合金	3.0
黄铜	2.6
碳钢	2.5

4.2.3 接管流速

在额定工况下，按内径选择的接管，应使其内的介质流速不超过表 2 的规定。

表 2 m/s

接管	流速极限	
给水进、出口	3.0	
过冷凝水出口	1.2	
饱和疏水出口	水位受控	1.2
	水位不受控	0.6
疏水进口	0.8~1.0	
从扩容器来液体进口	1.2	

4.2.4 汽侧压力损失

按额定工况设计的低加，其汽侧总压力损失不应超过加热器级间压差的 30%，且加热器内任何区段的压力损失不超过 3.54×10^{-2} MPa。

4.2.5 污垢热阻

推荐 $1 \times 10^{-8} \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot / \text{J}$ 为最小污垢热阻，应用于水侧表面，并修正到外表面的有效表面。在过热蒸汽冷却段和疏水冷却段的管子外表面，还有附加污垢热阻，推荐 $1.5 \times 10^{-8} \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot / \text{J}$ 为最小附加污垢热阻，这些最小值适用于所有材料。

4.3 低加的结构设计

低加应设计成拆卸形式，拆卸的基本部件为水室、管束、外壳。对于全焊接结构，至少

应表明拆卸切割位置。

4.3.1 卧式、立式低加示意图及各部件名称见图 1、图 2 及表 3。

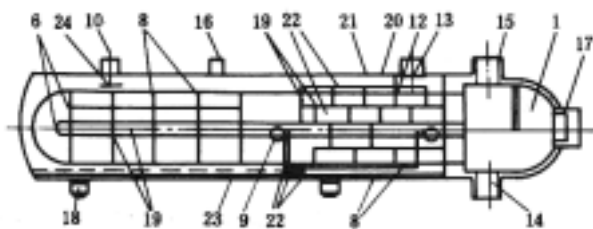


图 1

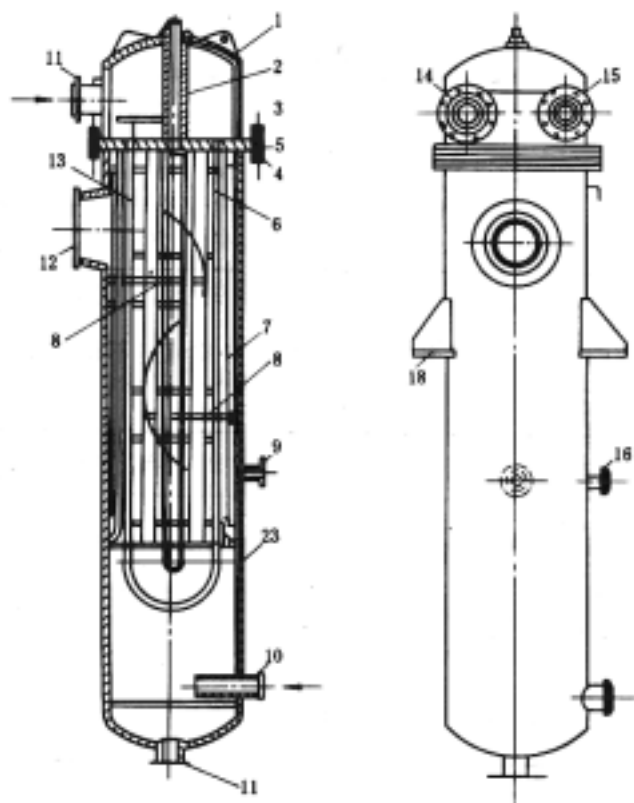


图 2

表 3

序 号	名 称	序 号	名 称
1	水 室	13	挡汽板
2	水室拉撑	14	给水进口
3	垫	15	给水出口
4	垫	16	上级空气入口
5	管 板	17	入 孔
6	传热管	18	支 座
7	定距骨架	19	拉 杆
8	隔板(折流板)	20	筒体短节
9	空气抽出管	21	切割线

10	疏水进口	22	罩壳(过热段和疏冷段)
11	疏水出口	23	筒 体
12	加热蒸汽进口	24	挡 板

5 材料质量

5.1 低加受压部件所用材料必须有质量保证书,并且须经检验部门按 JB 3375 进行入厂检验。未经检验或检验不合格者不准投产。

材料代用应符合代用制度的有关规定。

5.2 水侧锻件应按 JB 755 的规定。

5.3 铸钢件应按 JB 2640 的规定。

6 制造技术条件

低加的制造除应符合本标准外,其他有关技术要求均按《压力容器安全监察规程》、《钢制石油化工压力容器设计规定》和 JB 741 的规定;还应符合设计图样的要求。

6.1 筒体

6.1.1 筒体内径在任何断面上的上偏差应符合表 4 的规定;下偏差以不妨碍管束的顺利安装与抽出为限。

表 4 mm

筒体公称直径 D_g	800	> 800 ~ 1200	> 1200 ~ 1600	> 1600 ~ 2400
筒体内径上偏差	+3	+3.5	+4	+4.5

注:当 $D_g \leq 325\text{mm}$ 用无缝钢管作筒体时,其尺寸允差按 GB 3087 的规定。

6.1.2 筒体同一断面上最大直径与最小直径(图 3)之差 e 不得超过 $0.01D_g$, 并应符合表 5 的规定。有开孔补强圈时,应距补强圈边缘 100mm 以外的位置测量。

6.1.3 筒体不直度不得超过筒体长度 $1/1000$;当筒体长度 L 不大于 6m 时,其绝对值不大于 4.5mm;当筒体长度 L 不大于 12m 时,其绝对值不大于 8mm;当筒体长度 L 不大于 18m 时,其绝对值不大于 12mm。

表 5 mm

筒值直径 D_g	1200	1800	2400
最大最小直径差 e	8	12	15

6.1.4 筒体的端面对外圆母线的垂直度偏差(图 4)

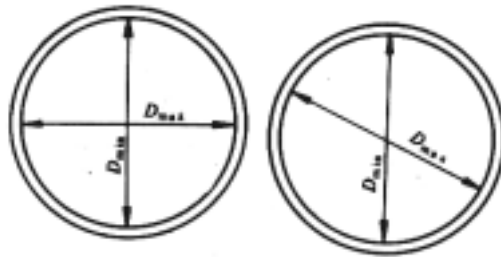


图 3

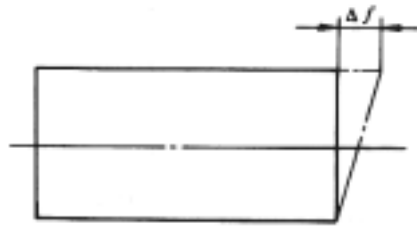


图 4

当筒体直径小于 1200mm 时，其偏差 f 不大于 2mm；筒体直径大于 1200mm 时，其偏差 f 不大于 3mm。

6.1.5 筒体拼接，最短一节不小于 300mm(如有过渡环时，不得小于 100mm)。

6.1.6 筒体直径大于 1400mm 时，每节筒体纵向焊缝不得超过两条，两焊缝中心线之弧长不小于 300mm。筒体直径不大于 1400mm 时，纵向焊缝不超过一条。

6.1.7 纵焊缝的对口错边量应符合如下的规定(图 5)。

$b \leq 0.1s$ ，且 b 不大于 3mm。

6.1.8 环焊缝的对口错边量

6.1.8.1 当两板厚度相等时应符合如下的规定(图 6)：



图 5

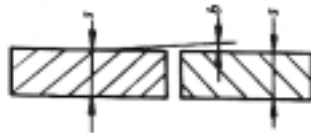


图 6

a.壁厚 $s \leq 6\text{mm}$ 时， $b \leq 0.25s$ ；

b.壁厚 $6 < s \leq 10\text{mm}$ 时， $b \leq 0.20s$ ；

c.壁厚 $s > 10\text{mm}$ 时， $b \leq 0.10s + 1\text{mm}$ ，且不大于 6mm。

6.1.8.2 当对接焊接不等厚钢板时应符合如下的规定：

当薄板厚度 $\leq 10\text{mm}$ ，两板厚度差超过 3mm；或当薄板厚度 $> 10\text{mm}$ ，两板厚度差大于薄板厚度的 30%，或超过 5mm，均应按图 7 的要求削薄厚板边缘。当两板厚度差小于上列数值时，则按相同厚度钢板之要求。

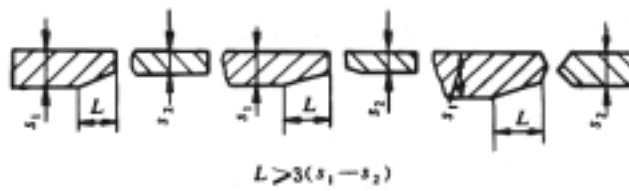


图 7

6.1.9 对接环焊缝、纵焊缝处形成的棱角度 $E = 0.1s + 2\text{mm}$ ，且不大于 5mm。分别用长度不小于 300mm 的检查尺检查(图 8)和弦长等于 $16D_g$ ，且不小于 300mm 内样板或外样板检查(图 9)。

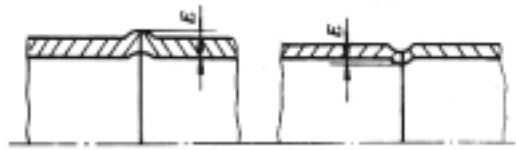


图 8

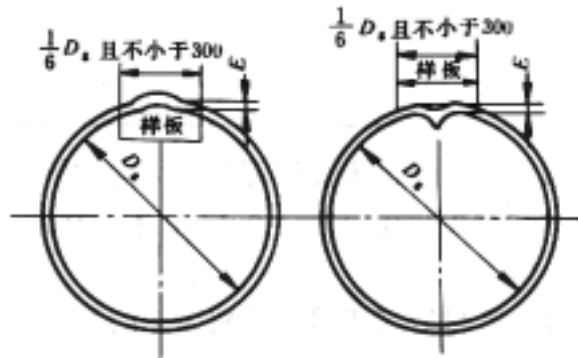


图 9

6.1.10 所有开孔应避开焊缝，开孔边缘与焊缝的距离应大于 3 倍壳体的实际厚度，且不小于 100mm。若开孔必须通过焊缝时，则开孔中心两侧不小于 1.5 倍开孔直径

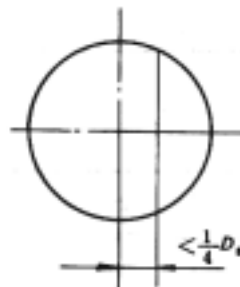


图 10

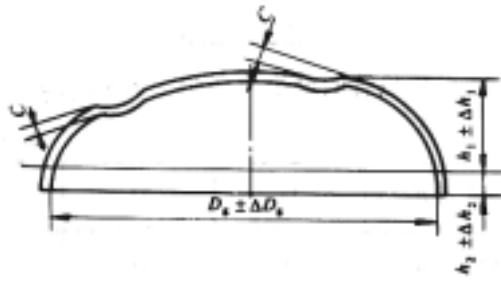


图 11

范围内的焊缝，须经 100%射线或超声波探伤。

6.1.11 筒体上凡被加强圈、支座、垫板等覆盖的焊缝，均应打磨与母材齐平，须经 100%射线或超声波探伤。

6.1.12 筒体焊接要求应按 JB 741 的规定进行。

6.2 封头

6.2.1 封头由两块或左右对称的三块钢板对接制成时，对接焊缝距封头中心线应小于 $14D_g$ (图 10)。焊缝要求应按 JB 741 的规定。

6.2.2 椭圆形封头的最小壁厚应不小于图样厚度的 90%。当图样厚度大于 40mm 时，最小壁厚不得小于图样厚度的 87%。球形封头的最小壁厚不得小于图样厚度的 85%。

6.2.3 椭圆形封头主要尺寸极限偏差按表 6(图 11)的规定。表中直径偏差、最大最小直径差、表面凹凸量亦适用于球形封头。

表 6 mm

封头公称直径 D_g	直径偏差 D_g	最大最小直径差 e	表面凹凸量 C	曲面高度偏差 h_1	直边高度偏差 h_2
800	±2	2	2	±4	+5 -3
> 800 ~ 1200	±3	4	3	±6	
> 1200 ~ 1600	±4	6	4	±8	
> 1600 ~ 2400	±5	8	4	±12	

6.2.4 椭圆形封头直边部分的纵向皱折深度不得大于 1.5mm。

6.2.5 封头开孔应符合 6.1.10 条的规定。

6.3 传热管

6.3.1 管材最高使用温度按表 7 的规定。

表 7

管 材	使 用 温 度 上 限	管 材	使 用 温 度 上 限
黄 铜	230	碳 钢	425
镍 铜	350	不 锈 钢	425

6.3.2 U 形传热管弯制后，弯曲半径最小的 U 形管弯曲处壁厚减薄量不得大于实际管壁厚度的 17%。

6.3.3 U 形传热管弯曲处的圆度应按表 8 规定作通球检查。

表 8 mm

$\frac{\text{弯曲半径}R}{\text{管子外径}d_w}$	$\frac{\text{通球直径}d}{\text{管子外径}d_1}$
3	0.80
> 3	0.85

6.3.4 U形传热管的最小弯曲半径 R 按表 9 选取。

表 9 mm

传热管外径 R	14	15	16	19	20	25
传热管外径 R	30	32	34	40	45	50

6.3.5 传热管长度 L 的偏差按表 10、图 12 的规定。

表 10 mm

长度 L	500 ~ 2000	> 2000 ~ 6000	> 6000
允差 L	2	3	4



图 12

6.3.6 根据图样规定，有抗应力腐蚀要求的传热管，弯曲部分应进行消除应力处理。

6.3.7 铜管传热管不允许拼接。钢管传热管一般也不允许拼接。如必须拼接时，其拼接要求按 JB 3343 的规定进行。

6.3.8 U形传热管应逐根进行水压试验，试验压力不小于最大工作压力的 1.5 倍，保压时间不少于 10s。

6.3.9 胀接传热管子管端技术要求按 JB 3343 第 1.22 条规定。

6.3.10 传热管在管板内的胀接长度 L 不小于两倍的传热管外径，且不大于管板厚度减去 3mm。

6.3.11 当采用胀接时，管板的硬度应大于传热管的硬度，胀管前管端应是退火状态。同时， δ 和 t 必须符合表 11 的规定。

表 11

δ	t
> 10% ~ 30%	155
> 30% ~ 50%	125
> 50%	72

注： $\alpha = \frac{1}{2}(\alpha_1 + \alpha_2)$ α_1 、 α_2 分别为管板与传热管材料的膨胀系数；

$$= |t_1 - t_2| ;$$

t 等于工作温度减去室温。

6.3.12 胀管率 H 推荐为 1% ~ 4% 范围内，对铜管应取大值，胀管率的计算公式如下：

$$H = \frac{d_2 - d_1 - \delta}{d} \times 100\%$$

式中 d_1 ——胀管前管子内径，mm；

d_2 ——胀管后管子内径，mm；

d ——管板上管孔实际直径，mm；

——管板上管孔实际直径和管子外径的间隙，mm。

6.4 管板和隔板(折流板)

6.4.1 管板和隔板上的管孔直径及偏差应符合表 12 的规定。

表 12 mm

钢管外径 d_w	管 板		隔 板(折流板)	
	孔 直 径	偏 差	孔 直 径	偏 差
14	14.3	+0.15 0	14.6	+0.40 0
15	15.3		15.6	
16	16.3	+0.20 +0	16.8	
19	19.4		19.8	
20	20.4		20.8	
25	25.4	+0.25 +0	26	

6.4.2 传热管采用铜管时，管板和隔板上的管孔直径偏差应符合下列要求：

a. 管板管孔直径公差 $d_w + 0.2^{+0.15}_0$ mm；

b. 隔板管孔直径公差 $d_w + 0.3^{+0.20}_0$ mm。

6.4.2 传热管采用铜管时，管板和隔板上的管孔直径偏差应符合下列要求：

a. 管板管孔直径公差 $dW + 0.2 + 0.150$ mm；

b. 隔板管孔直径公差 $dW + 0.3 + 0.200$ mm。

6.4.3 隔板名义外径和下偏差应符合表 13 的规定，上偏差以不妨碍管束顺利安装与抽出为限。

6.4.4 管孔的管桥按表 14 的规定。

表 13 mm

筒体公称直径 D_g	150	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	2000
隔板	$D_{\min} - 2$			$D_g - 4$ $D_g - 8$						$D_g - 10$						D			

名义 外径														
隔板 下偏 差	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8	-0.9	-1.0	-1.1	-1.2	-1.3	-1.4	-1.5	-1.6	-1.7	-1.8

注：当 $D_g \geq 300\text{mm}$ ，用无缝钢管作筒体时，应根据钢管最小内径配制隔板。

表 14 mm

管子 外径 d_w	管 间 距 P	管 孔 名 义 直 径 d	名 义 管 桥 宽 度 $P-d$	允许管桥宽度 B (96%的管桥宽度必须不小于下列数值)											最 小 管 桥 宽 度 B_{\min}
				管 板 厚 度											
				40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	250	
14	18.0	14.3	3.7	2.81	2.69	2.58	2.46	2.35	2.23	2.11	2.00	1.88			1.72
15	19.0	15.3	3.7	2.83	2.72	2.61	2.50	2.39	2.28	2.18	2.07	1.96	1.85		1.72
16	22.0	16.3	5.7	4.53	4.43	4.33	4.23	4.13	4.03	3.93	3.82	3.72	3.62	3.47	2.12
19	25.0	19.4	5.6	4.47	4.38	4.30	4.21	4.12	4.04	3.95	3.87	3.78	3.70	3.57	2.70
20	26.2	20.4	5.8	4.68	4.59	4.51	4.43	4.35	4.27	4.19	4.11	4.03	3.94	3.82	2.75
25	31.0	25.4	5.6	4.46	4.39	4.33	4.26	4.20	4.13	4.07	4.00	3.94	3.87	3.78	3.15

6.4.5 隔板的间距规定如下：隔板最小间距取筒体直径的五分之一或 50mm 中的较大值，最大间距见表 15。

表 15 mm

传 热 管 子 外 径	隔 板 最 大 间 距
14 ~ 16	1200
19 ~ 20	1320
25	1600

6.4.6 管板、隔板钻孔后应去掉管孔周围毛刺。

6.4.7 管板机加工表面粗糙度为 $\sqrt{12.5}$ 。管板上管孔表面的粗糙度，在传热管与管板连接为胀接时为 $\sqrt{12.5}$ ；焊接时为 $\sqrt{25}$ 。

6.4.8 胀接的管板管孔表面不允许有影响胀接密封性能的缺陷，如贯通的纵向或螺旋向刻痕等。

6.5 管板与传热管的连接要求。

6.5.1 传热管与管板胀接完毕后，传热管扩大部分的过渡区应无明显棱角。

6.5.2 传热管与管板焊接后，焊缝和热影响区不得有裂纹、气孔、夹渣、未熔合等缺陷。焊后管口最小直径应不小于管子内径的 80%。

6.5.3 制造完工的低加应进行水压试验，其要求按 JB 3343 第 2.5.1 条的规定进行。

6.6 筒体、封头的热处理要求按 JB 741 的规定进行。

7 检查与验收

7.1 低加的水压试验或气密封试验按 JB 3343 的规定。

7.2 低加的焊缝检查应符合 JB 741 的规定。

7.3 低加筒体对接焊缝的外形尺寸要求。

7.3.1 焊缝增高量为 0~3mm。

7.3.2 焊缝在焊接接头每边的覆盖宽度为 2~4mm。

7.3.3 同一条对接焊缝的最大宽度和最小宽度差不超过 4mm。

7.4 低加内部和外部表面不应存在锈皮和其他杂质。

7.5 每台低加出厂前，U 形管的堵管数不得超过表 16 的规定。

表 16

U 形管总数	200	> 200 ~ 500	> 500 ~ 1000	> 1000
堵管数	1	2	3	4

8 标志、油漆、包装

8.1 低加的铭牌应固定在适当位置，铭牌内容如下：

- a. 制造厂厂名；
- b. 产品名称；
- c. 产品型号；
- d. 产品出厂编号；
- e. 产品所属压力容器类别；
- f. 工作介质；
- g. 设计压力，设计温度；
- h. 有效面积；
- i. 重量；
- j. 制造日期；
- k. 压力容器制造许可证编号；
- l. 水压试验压力。

8.2 油漆与包装

低加的油漆和包装要求按 JB 2900 和 JB 2862 的规定。

9 低加的性能测定

低加的性能测定按《表面式给水加热器性能试验规程》的规定进行。

10 质量保证书

低加出厂质量保证书应包括下列内容：

- a. 主要零部件材料化学成分和机械性能，主要锻件的金相组织检查结果；
- b. 水压试验结果；
- c. 按本标准技术条件检查质量记录(包括返修记录)；
- d. 主要零部件热处理结果；

e.其他(如主要零部件材料代用、主要结构的临时修改、堵管数等)。

附加说明:

本标准由上海发电设备成套设计研究所归口。

本标准由上海发电设备成套设计研究和哈尔滨汽轮机厂负责起草。