

石油化工设备设计参考资料

水管锅炉受压元件强度计算标准

—机部标准(报批稿)附编制说明

水管锅炉受压元件强度计算标准制订小组

上海化学工业设计院石油化工设备设计建设组



石油化工设备设计参考资料
水管锅炉受压元件强度计算标准

77-19-1-27

(内部资料 注意保存)

上海化学工业设计院石油化工设备设计标准组

(南京西路 1856 号)

一九七七年四月

工本费：1.50

复 制 说 明

根据1973年12月一机部强度技术工作会议的精神与要求，上海锅炉厂研究所等单位组织修订了“水管锅炉受压元件强度计算标准”（即原水电部、一机部(DZ)173-62“水管锅炉受压元件强度计算暂行规定”），准备作为一机部部颁标准。

该标准中关于高温热强钢的选用及许用应力，排孔的计算及加强，三通、叉形管、验证性水压试验的规定等是炼油化工行业“钢制石油化工容器设计规定”所未包括的，但亦为广大化工设计人员所急需。为此，予以复制。

我们意见是，凡“钢制石油化工容器设计规定”中已予明确规定的，应该“规定”为准。对“钢制石油化工容器设计规定”中未予明确规定者，可根据具体情况，参考此标准，酌情处理。

此外，必须说明的是，此标准为报部审批稿，尚未经最后批准，今后应以批准后的正式文本为准。最后谨对上海锅炉厂研究所等的大力支持，表示谢意。

上海化工设计院石油化工设备建设组

1977年4月

本标准适用范围

本标准仅适用于固定式水管锅炉。它既适用于蒸汽锅炉，也适用于热水锅炉。

中华人民共和国第一机械工业部

部 标 准

水管锅炉受压元件强度计算标准

J B

(部标准报批稿)

目 录

第一章	材料和许用应力	1
第二章	承受内压力的锅筒筒体的计算	10
第三章	承受内压力的圆筒形集箱的计算	21
第四章	管子和管边的计算	26
第五章	承受内压力的凸形封头的计算	31
第六章	承受内压力的平端盖、平堵头及平板的计算	36
第七章	孔的加强计算	41
第八章	承受内压力的异形元件的计算	50
第九章	决定最高允许工作压力的验证试验	56
附录(一)	开孔减弱断面抗弯断面系数 W 的近似计算方法	62
附录(二)	例题	65

水管锅炉受压元件强度计算标准

第一章 材料和许用应力

(一) 符号说明

1.1 本章所用符号的意义和单位如下:

σ_b —— 材料在 20°C 的抗拉强度, KG/mm^2 ;

σ_s —— 材料在 20°C 的屈服限或条件屈服限 (残余变形为 0.2%), KG/mm^2 ;

σ_b^t —— 材料在计算壁温时的抗拉强度, KG/mm^2 ;

σ_s^t —— 材料在计算壁温时的屈服或条件屈服限 (残余变形为 0.2%), KG/mm^2 ;

σ_d^t —— 材料在计算壁温时 10⁵ 小时的持久强度, KG/mm^2 ;

$[\sigma]$ —— 许用应力, KG/mm^2 ;

$(\sigma)_J$ —— 基本许用应力, KG/mm^2 ;

n_b —— 对应于抗拉强度的安全系数;

n_s —— 对应于屈服限或条件屈服限的安全系数;

n_D —— 对应于 10⁵ 小时持久强度的安全系数;

η —— 基本许用应力的修正系数;

t_{bi} —— 计算壁温, °C;

t_J —— 介质额定平均温度, °C;

中华人民共和国
第一机械工业部
发布

年 月 日 实施

上海锅炉厂研究所
提出

一机部水管锅炉
受压元件强度计 起草
算标准制订小组

t_J —— 介质额定平均温度, $^{\circ}\text{C}$;

t_b —— 介质饱和温度, $^{\circ}\text{C}$;

X —— 介质混合程度系数;

Δt —— 温度偏差, $^{\circ}\text{C}$;

D_w —— 锅筒筒体外直径, mm ;

D_n —— 锅筒筒体内直径, mm ;

β —— 锅筒筒体、集箱及管子的外径与内径的比值;

S —— 壁厚, mm ;

S_g —— 水垢厚度, mm ;

λ —— 钢材导热系数, $\text{Kcal}/\text{m}\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C}$;

λ_g —— 水垢导热系数, $\text{Kcal}/\text{m}\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C}$;

$q_{\max}$ —— 最大热负荷, $\text{Kcal}/\text{m}^2\cdot\text{h}$;

α_z —— 内壁对介质的放热系数, $\text{Kcal}/\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C}$;

J —— 均流系数。

(二) 材 料

1.2 水管锅炉受压元件的材料应符合国家或冶金工业部有关锅炉钢材现行标准的规定。

必要时,可采用与国家或冶金工业部有关现行标准规定相当的或有实践经验证明适用于水管锅炉受压元件的材料。

任何一种新材料的使用,应先由冶金、锅炉制造及研究部门联合一定的研制和试用工作,在得到有关部门的鉴定或准许之后,才可逐步推广使用。

锅炉受压元件的制造和安装应符合有关技术条件,以保证投入运行时元件材料的性能仍能符合有关标准的规定。

(三) 许用应力

1.3 本章有关钢材的许用应力规定,仅适用于水管锅炉受压元件。

原书缺页

原书缺页

许用应力按下式计算：

$$[\sigma] = \eta [\sigma]_J \quad (1-1)$$

基本许用应力应按下列公式计算并取其中的最小值：

$$[\sigma]_J \leq \frac{\sigma_b^t}{n_b} \quad (1-2)$$

$$[\sigma]_J \leq \frac{\sigma_s^t}{n_s} \quad (1-3)$$

$$[\sigma]_J \leq \frac{\sigma_D^t}{n_D} \quad (1-4)$$

计算时， σ_b^t 和 σ_s^t 取钢材（板材和管材）大量试验结果的统计最小值， σ_D^t 取钢材大量试验结果的 10^7 小时持久强度的平均值；安全系数取：

$$\left. \begin{aligned} n_b &= 2.5 \\ n_s &= 1.5 \\ n_D &= 1.5 \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

锅炉钢材的基本许用应力 $[\sigma]_J$ 一般取表 1-1 给出的值，修正系数 η ，根据元件结构特点和工作条件，一般可按表 1-2 的推荐值选取。

1.4 对于表 1-1 所未列入的材料，如符合 1.2 条中的有关规定，它的基本许用应力 $[\sigma]_J$ 应按式 (1-2) 至 (1-5) 计算。计算时， σ_b^t 、 σ_s^t 及 σ_D^t 应取相应钢号的保证值；当缺乏保证值时，可对钢材抽样试验，并将试验所得 σ_b^t 和 σ_s^t 的最小值及 10^7 小时 σ_D^t 的平均值均乘以 0.9 作为计算取值。抽样和试验应按有关标准进行。必要时，可根据钢种的成熟程度对此计算取值作适当的调整。

1.5 锅炉低碳钢、低碳锰钢及低碳锰钒钢在 380°C 以下，其它低合金热强钢在 420°C 以下，其基本许用应力只须按式 (1-2) 和 (1-3) 计算，不必考虑式 (1-4)。

计算壁温在 250°C 以下的低碳钢，必要时，其基本许用应力按下

式计算：

$$[\sigma]_J = \frac{\sigma_b}{3.3} \quad (1-6)$$

式中：20℃ 时抗拉强度 σ_b 计算取用值应按 1.4 条中的有关规定处理。

修正系数 η

表 1-2

NO	元件型式和工作条件	η
1	锅筒筒体和集箱：	
	无孔和有焊接管孔、翻边管孔：	
	(1) 不受热（在烟道外和可靠绝热）	1.00
	(2) 受热	0.90
	有非焊接管孔：*	
	(1) 不受热（在烟道外或可靠绝热）	0.95
	(2) 受热	0.85
2	管子** 和锅炉范围内管道	1.00
3	凸形封头	1.00
4	圆形平端盖	见表 6-1
5	圆形平堵头、圆形平板及椭圆形平板	1.00
6	三通和叉形管：	
	(1) 不受热（在烟道外或可靠绝热）	1.00
	(2) 受热	0.90

表注：* 指胀接管孔、螺丝孔或手孔等。

** 管壁计算温度如无法准确确定， η 值应根据设计单位的意见予以降低。

(四) 计 算 壁 温

1.6 用于强度计算的计算壁温，取元件温度最高部位内外壁温的算求平均值。

确定计算壁温时，锅炉出口过热蒸汽温度在允许范围内的偏差不予考虑。

1.7 锅筒筒体、集箱及管子的计算壁温按表 1-3 至 1-5 确定或按式 (1-7) 至 (1-10) 计算。

锅筒筒体计算壁温 t_{bi} , °C

表 1-3

工 作 条 件		计 算 公 式
不 受 热 (在烟道外)		$t_{bi} = t_b$
采取可靠 绝热措施	在烟道内	$t_{bi} = t_b + 10$
	在炉膛内	$t_{bi} = t_b + 40$
被密集管束所遮挡**		$t_{bi} = t_b + 20$
不 绝 热	在烟温不超过 600°C 的对流烟道内	$t_{bi} = t_b + 30$
	在烟温超过 600°C 的对流烟道内***	$t_{bi} = t_b + 50$
	在炉膛内 ***	$t_{bi} = t_b + 80$

表注：* 对于受热的锅筒筒体，本表给出的计算公式，系指水空间受热情况。

** 指透过管束的辐射热流不大，而且锅筒筒体壁面不受烟气的强烈冲刷。

*** 不绝热锅筒筒体的壁厚应满足表 2-3 的要求。

集箱和防焦箱* 计算壁温 t_{bi} , °C

表 1-4

内部介质	工 作 条 件	计 算 公 式
水或汽水 混 合 物	在烟道外 (不受热)	$t_{bi} = t_J$
	在烟道内, 采取可靠绝热措施防止受辐射和 燃烧产物的直接作用	$t_{bi} = t_J + 10$
	在烟温不超过 600°C 的对流烟道内, 不绝热	$t_{bi} = t_J + 30$
	在烟温超过 600°C 的对流烟道内, 不绝热**	$t_{bi} = t_J + 50$
	在炉膛内, 不绝缘**	$t_{bi} = t_J + 110$
饱和蒸汽	在烟道外 (不受热)	$t_{bi} = t_b$
	在烟道内, 采取可靠绝热措施防止受辐射和 燃烧产物的直接作用	$t_{bi} = t_b + 25$
	在烟温不超过 600°C 的对流烟道内, 不绝热	$t_{bi} = t_b + 40$
	在烟温超过 600°C 的对流烟道内, 不绝热**	$t_{bi} = t_b + 60$
过热蒸汽	在烟道外 (不受热)	$t_{bi} = t_J + X_{\Delta t}$
	在烟道内, 采取可靠绝热措施防止受辐射和 燃烧产物的直接作用	$t_{bi} = t_J + 25 + X_{\Delta t}$
	在烟温不超过 600°C 的对流烟道内, 不绝热	$t_{bi} = t_J + 40 + X_{\Delta t}$
	在烟温超过 600°C 的对流烟道内, 不绝热**	$t_{bi} = t_J + 60 + X_{\Delta t}$

表注: * 对于受热的汽水混合物集箱和防焦箱, 本表给出的计算公式系指不出现自由水面情况;

** 不绝热集箱的壁厚应满足表 3-2 的要求。

管子 and 管道的计算壁温 t_{bi} , °C

表 1-5

元 件	条 件	计 算 公 式
沸 腾 管	自然循环锅炉, $q_{\max}$ 不超过 $300 \times 10^3 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$	
	多次强制循环锅炉, 压力不超过 140 kg/cm^2 及 $q_{\max}$ 不超过 $300 \times 10^3 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$	$t_{bi} = t_b + 60$
	其它情况	式 (1-10)
省 煤 器	对流式省煤器	$t_{bi} = t_J + 30$
	辐射式省煤器	$t_{bi} = t_J + 60$
过 热 器	所有情况 *	式 (1-10)
管 道	在烟道外 (不受热)	$t_{bi} = t_J$

表注: * 如无热力计算资料, 在结构及布置合理情况下, 可采用下列公式计算:

对流式过热器

$$t_{bi} = t_J + 50^\circ \text{C}$$

辐射式和半辐射式 (屏式) 过热器

$$t_{bi} = t_J + 100^\circ \text{C}$$

1.8 对于表 1-3 至 1-5 所没有包括进去的情况, 可按下列公式确定计算壁温:

(1) 锅筒筒体

$$t_{bi} = t_b + \frac{q_{\max}}{\alpha_2} \beta + \frac{q_{\max}}{1000} \frac{S}{\lambda} \frac{\beta}{\beta + 1} \quad (1-7)$$

对于小型锅炉, 必要时, 如需考虑存在水垢情况下:

$$t_{bi} = t_b + \frac{q_{\max}}{\alpha_2} \frac{D_w}{D_n - 2S_g} + \frac{q_{\max}}{1000} \frac{S_g}{\lambda_g} \frac{D_w}{D_n S_g} + \frac{q_{\max}}{1000} \frac{S}{\lambda} \frac{\beta}{\beta + 1} \quad (1-8)$$

(2) 集箱

$$t_{bi} = t_J + \frac{q_{\max}}{\alpha_2} \beta + \frac{q_{\max}}{1000} \frac{S}{\lambda} \frac{\beta}{\beta+1} + X \Delta t \quad (1-9)$$

(3) 管子

$$t_{bi} = t_J + J \left(\frac{q_{\max}}{\alpha_2} \beta + \frac{q_{\max}}{1000} \frac{S}{\lambda} \frac{\beta}{\beta+1} \right) + \Delta t \quad (1-10)$$

1.9 表1-3至1-5以及式(1-7)至(1-10)中的 t_J 、 t_b 、 $q_{\max}$ 、 X 、 Δt 及 J 应取锅炉热力计算所确定的数值,其中:

温度偏差 Δt ,在任何情况下不应取小于 10°C ;

介质混合程度系数 X ,对于集箱,一般可取 0.5 ,当能保证介质在集箱内完全混合时,允许取为零;对于不受热的过热蒸汽集箱,即使完全混合,也应取 $X \Delta t = 10^\circ\text{C}$ 。

导热系数 λ 和 λ_g 按有关手册选取。

第二章 承受内压力的锅筒筒体的计算

(一) 符号说明

2.1 本章所用符号的意义和单位如下:

- S_L —— 锅筒筒体理论计算壁厚, mm;
- $S_{\min}$ —— 锅筒筒体最小需要壁厚, mm;
- S —— 锅筒筒体取用壁厚, 简称“壁厚”, mm;
- S_y —— 锅筒筒体有效壁厚, mm;
- S', S'' —— 不等壁厚锅筒筒体薄壁壁厚和厚壁壁厚, mm;
- C —— 考虑工艺减薄以及钢板负偏差和腐蚀减薄的附加壁厚, mm;
- D_w —— 锅筒筒体外直径, mm;

- D_n —— 锅筒筒体内直径, mm;
 R_n', R_n'' —— 不等壁厚锅筒筒体对应于 S', S'' 的内半径, mm;
 $D_{n\max}, D_{n\min}$ —— 锅筒筒体最大内直径和最小内直径, mm;
 β —— 锅筒筒体外径与内径的比值;
 P —— 计算压力 (表压), KG/cm^2 ;
 $[P]$ —— 允许工作压力 (表压), KG/cm^2 ;
 P_{sw} —— 水压试验最大允许压力 (表压), KG/cm^2 ;
 $[\sigma]$ —— 许用应力, KG/mm^2 ;
 σ_s —— 在 20°C 的屈服限或条件屈服限 (残余变形为 0.2%), KG/mm^2 ;
 φ_x —— 校核部位的减弱系数;
 $\varphi_{\min}$ —— 最小减弱系数;
 φ_h —— 焊缝减弱系数;
 φ —— 纵向孔桥减弱系数;
 φ' —— 横向孔桥减弱系数;
 φ'' —— 斜向孔桥减弱系数;
 φ_d —— 斜向孔桥换算成为纵向孔桥减弱系数的当量减弱系数;
 φ_{sw} —— 水压试验时的最小减弱系数;
 $[\varphi]$ —— 允许最小减弱系数;
 K —— 斜向孔桥的换算系数;
 t_0 —— 不考虑孔间影响的最小节距, mm;
 t —— 纵向相邻两孔的节距, mm;
 t' —— 横向相邻两孔的节距, mm;
 t'' —— 斜向相邻两孔的节距, mm;
 d —— 孔的直径、插入式加强管接头的内直径或非圆形孔在相应节距方向上的尺寸, mm;
 d_d —— 孔的当量直径, mm;
 d_p —— 相邻两孔直径的平均值, mm;
 σ_w —— 校核断面的最大弯曲应力, KG/mm^2 ;
 M —— 校核断面的弯曲力矩, $\text{KG}\cdot\text{cm}$;