

石油化工设备设计参考资料

球形贮罐

上海化学工业设计院石油化工设备设计建设组

球形贮罐

上海化学工业设计院石油化工设备设计建设组

1974.8

石油化工设备设计参考资料

球形贮罐

• 74-24-V-5 •

出 版：上海化学工业设计院石油化工设备设计建设组
(上海南京西路 1856 号)

印 刷：上海商务印刷厂

日 期：1974 年 8 月

工本费：1.50 元

内部资料 注意保存

毛主席语录

学习有两种态度。一种是教条主义的态度，不管我国情况，适用的和不适用的，一起搬来。这种态度不好。另一种态度，学习的时候用脑筋想一下，学那些和我国情况相适合的东西，即吸取对我们有益的经验，我们需要的是这样一种态度。

……一切外国的东西，如同我们对于食物一样，必须经过自己的口腔咀嚼和胃肠运动，送进唾液胃液肠液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我们的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。

前 言

为适应当前化肥及石油化工生产发展的需要,配合引进大型合成氨及乙烯装置的建设,了解并掌握国外有关技术动向及水平,我组将针对石油、化工设备的有关课题,分专题整理及组织翻译、出版国外有关资料、文献。

球形容器是大型化工装置中常用的贮存设备,本册共收集了近年来国外有关球形容器设计、计算、选材、施工及事故等有关资料和天津化工设计公司编写的球形容器支柱计算一文。分别由哈尔滨锅炉厂、浙江化工学院、北京市化工建筑按装公司、北京石油化工总厂设计院、河北工学院、化工第九设计院、东方锅炉厂、合肥工业大学、孝感县化肥厂、兰州石油机械研究所等单位译校。

由于受人力和水平的限制,错误之处难免,欢迎读者指出。

本资料出版过程中承高桥化工厂大力支持,一并于此致谢。

上海化工设计院石油化工设备设计建设组

1974年8月

目 录

1. 球形容器的设计计算	1
2. 内压球壳径向管接头补强推荐设计规程	12
3. 外载荷引起的球壳局部应力	30
4. 大型球罐的建造	72
5. 球形容器钢筋混凝土连续基础	82
6. 制成正确形状的压力容器	89
7. 高强度钢制球形容器	95
8. 高强度钢球形容器的焊接	111
9. 高压球形容器的制造	121
10. 球形容器制造和按装中的焊接工艺问题	129
11. 球形贮罐的现场焊接	134
12. 球罐现场退火工程实例	141
13. 三个大型球罐的应力消除	146
14. 提高冬季大型容器制造的生产率	147
15. 球罐喷铝防腐	150
16. 有关球罐建造上存在的问题及其措施	151
17. 防止球形容器龟裂的实验	157

球形容器的设计计算

天津市化工设计公司

一、序 言

球形容器是一种先进的贮存带压气体或液体的大型贮罐。目前球形容器在各种工业生产中,特别是在石油化学工业生产中,已得到广泛地采用。一机部和燃化部已编制了系列(JB1117-68),其公称容积为50~2000米³;公称压力为4.5~30公斤/厘米²。系列采用了赤道正切柱式支座。它是柱(一般用管子)正切于赤道圈,柱间等距离且有拉杆相连的结构(见图1-1及参见图4-5)。这种结构型式是球形容器各种型式支座中使用效果较好的一种。其优点:

(1) 由于赤道圈上的支承力与壳体相切,且支座本身也考虑了热膨胀承载变形的可能性,因此整个结构受力情况较好。

(2) 赤道圈处附加弯矩等于零,故壳体不致于受局部较大的法向力。

(3) 便于现场组装、焊接及操作检修等。

本文重点系按球形容器的计算步骤对JB1117-68标准系列的球形容器设计计算公式进行较详细的推导。以供有关同志设计JB1117-68系列之外参数的球形容器时参考。由于柱的数目不同,公式也不同。因此本文以常用中、小容量球形容器用的6个和8个支柱为列,这样在设计支柱数目较多的大型球形容器时可以此类推之。

球形容器的设计计算包括球体壁厚、支座、地脚螺栓、支座垫板、支柱与球壳连接处焊缝强度、支柱与球壳连接处应力计算等。

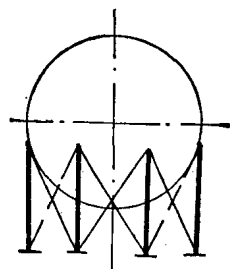


图 1-1

二、球体壁厚计算

目前根据国内的材料供应情况和制造水平球体壁厚的计算采用下面的计算公式:

$$S = \frac{PD_B}{4[\sigma]\phi - P} + C \quad (\text{毫米}) \quad (1)$$

式中: S ——球体壁厚,毫米;

P ——设计压力,公斤/厘米²;

D_B ——球体内径,毫米;

$[\sigma]$ ——材料的许用应力,公斤/厘米²;

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s^t}{n_s}$$

式中: σ_s^t ——在设计温度下材料的屈服限, 公斤/厘米²;

n_s ——屈服安全系数, 取 $n_s=2$;

ϕ ——焊缝系数, 暂按“钢制化工容器设计规定”;

C ——腐蚀裕度, 取 $C=3$ 毫米。

三、赤道正切柱式支座计算

目前国内外球形容器采用赤道正切柱式支座时, 不同公称容积的球形容器, 柱的数目选择见表 1 所列。

表 1

公称容积(米 ³)	≤200	400~1000	2000	3000
柱的数目	6	8	12	18

柱的数目一般取偶数, 并随着容积增大, 柱的数目亦增加。

1. 载荷计算

(1) 静载荷:

①操作状态静载荷 W_g :

$$W_g = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 \text{ (公斤)} \quad (2)$$

式中: $W_1 = \pi D_2^2 S \gamma_1$ (球壳重量), 公斤;

式中: D_2 ——球壳中径, 毫米;

γ_1 ——钢材比重, 公斤/毫米³;

$$W_2 = \frac{\pi D_B^3}{6} \gamma_2 \text{ (球壳内物料重量), 公斤;}$$

式中: γ_2 ——物料比重, 公斤/毫米³;

W_3 ——附件重量(包括平台梯子重量, 可预先估计), 公斤;

W_4 ——保温材料重量, 公斤;

$$W_4 = \frac{1}{6} \pi [(D_H + 2B)^3 - D_H^3] \gamma_4$$

式中: D_H ——球壳外径, 毫米;

B ——保温厚度, 毫米;

γ_4 ——保温材料比重, 公斤/毫米³;

W_5 ——积雪重量, 公斤;

②水压试验时静载荷 W_w

$$W_w = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 \text{ (公斤)} \quad (3)$$

这时 W_2 为装满水的重量。

在每根支柱上承受的静载荷:

$$P_g = \frac{W_g}{N} \text{ (操作状态) (公斤)}$$

① 根据地区特点, 雪载荷应考虑在静载荷范围内, 有关资料参考《工业及民用建筑结构荷载规范》。

$$P_w = \frac{W_w}{N} \text{ (水压试验时) (公斤)}$$

式中: N ——支柱数。

(2) 风载荷 Q

$$Q = \frac{\pi}{4} D_H^2 g K_1 \text{ (公斤)} \quad (4)$$

式中: g ——风压值, 一般取 70 公斤/米²;

K_1 ——风力系数, 取 $K_1 = 0.4$ 。

(3) 地震时水平载荷 W_1 (按 8 级地震计算)

$$W_1 = K \varepsilon \eta_k W_g \text{ (公斤)} \quad (5)$$

式中: K ——地震系数;

ε ——动力系数;

η_k ——振型系数。

$$K \varepsilon \eta_k = 0.1$$

2. 拉杆计算

地震时产生的水平载荷 W_1 ② 引起拉杆变位 Δ_1 、 Δ_2 变位后产生的拉杆倾角为 θ_1 、 θ_2 , 求作用在拉杆上的载荷 T_1 、 T_2 。

当 6 根支柱时:

$$T_1 = \frac{W_1}{3 \cos \theta} \text{ (公斤)} \quad (6)$$

$$T_2 = \frac{W_1}{6 \cos \theta} \text{ (公斤)} \quad (7)$$

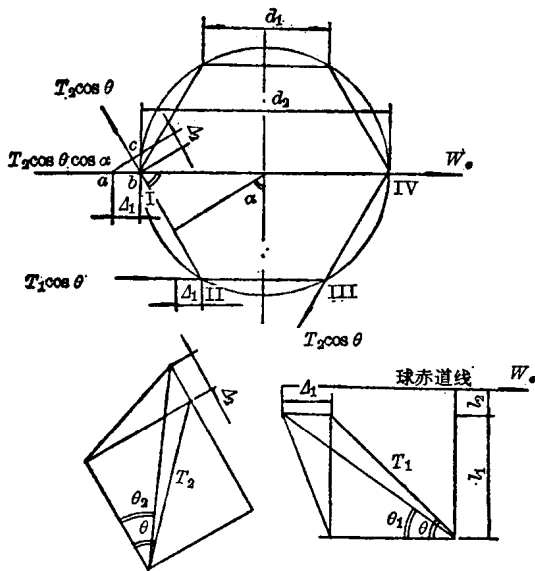


图 1-2

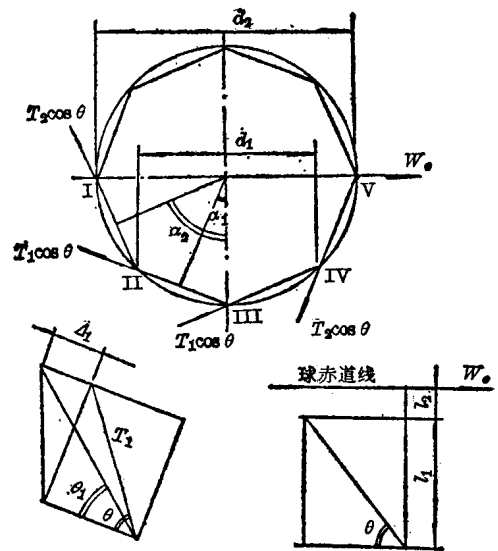


图 1-3

式中: θ ——为拉杆与水平线的夹角 ($\theta_1 = \theta_2 = \theta$)。

由图 1-2 推导得出:

② 计算时应根据地区特点考虑, 计算风载荷及地震载荷, 取其中较大值。

$$\angle abc = \alpha = 60^\circ \quad \therefore \Delta_2 = \Delta_1 \cos \alpha$$

在弹性范围内变形与载荷的关系成正比。

$$\text{则 } \frac{T_1}{T_2} = \frac{\Delta_1}{\Delta_2} \quad \therefore T_2 = T_1 \cos \alpha$$

T_1 在水平方向的分力为: $T_1 \cos \theta$

T_2 在水平方向的分力为: $T_2 \cos \theta \cos \alpha$

在水平方向力的平衡式为:

$$\frac{W_1}{2} = T_1 \cos \theta + 2 T_2 \cos \theta \cos \alpha = T_1 \cos \theta + 2 T_1 \cos \theta \cos^2 \alpha = T_1 \cos \theta (1 + 2 \cos^2 \alpha)$$

$$= T_1 \cos \theta \left[1 + 2 \left(\frac{1}{2} \right)^2 \right] = \frac{3}{2} T_1 \cos \theta$$

$$\therefore T_1 = \frac{W_1}{3 \cos \theta} \quad (\text{公斤})$$

$$T_2 = T_1 \cos \alpha = T_1 \cos 60^\circ = \frac{W_1}{3 \cos \theta} \cdot \frac{1}{2} = \frac{W_1}{6 \cos \theta} \quad (\text{公斤})$$

当 8 根支柱时 (见图 1-3):

$$\frac{\Delta_2}{\Delta_1} = \frac{\cos \alpha_2}{\cos \alpha_1}$$

$$\therefore \frac{\Delta_2}{\Delta_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad \therefore T_2 = T_1 \frac{\cos \alpha_2}{\cos \alpha_1}$$

T_1 在水平方向的分力为: $T_1 \cos \theta \cos \alpha_1$

T_2 在水平方向的力平衡式为:

$$\frac{W_1}{2} = 2 T_1 \cos \theta \cos \alpha_1 + 2 T_2 \cos \theta \cos \alpha_2$$

$$W_1 = 4 T_1 \cos \theta \cos \alpha_1 + 4 T_1 \cos \theta \frac{\cos^2 \alpha_2}{\cos \alpha_1}$$

$$\therefore T_1 = \frac{W_1}{4 \cos \theta \left(\cos \alpha_1 + \frac{\cos^2 \alpha_2}{\cos \alpha_1} \right)} \quad (\text{公斤}) \quad (8)$$

$$T_2 = T_1 \frac{\cos \alpha_2}{\cos \alpha_1} \quad (\text{公斤}) \quad (9)$$

取 T_1 、 T_2 两者之最大值, 计算拉杆截面积。

假定 $T_1 > T_2$ 则拉杆之截面积:

$$A = \frac{T_1}{[\sigma]_s} \quad (\text{厘米}^2) \quad (10)$$

式中: $[\sigma]_s = 1.2[\sigma]$ ——地震时材料的许用应力, 公斤/厘米²;

即地震时材料的许用应力增加 20%。

3. 支柱计算

(1) 按操作时发生地震计算:

当 6 根支柱时 (见图 1-4):

① 载荷分布:

支柱承受的载荷由下面三部分组成:

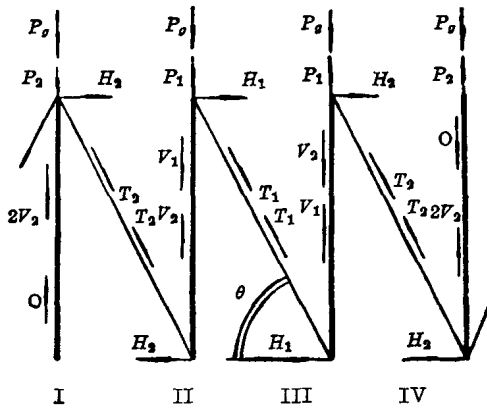


图 1-4 支柱与拉杆连接展开受力图

(I~IV 与图 1-2 相对应。)

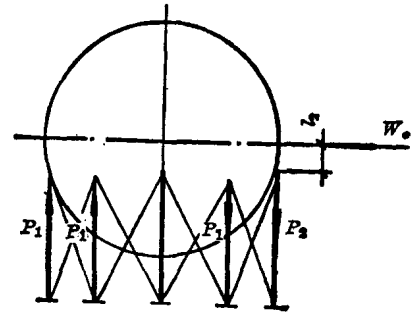


图 1-5

(P_1 、 P_2 是指支柱对球体的作用力方向。)

i. 由于地震水平力 W_1 的作用在支柱上引起的垂直分力:

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= T_1 \sin \theta \\ V_2 &= T_2 \sin \theta \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

ii. 由于地震水平力作用于球体赤道线上, 此力作用点与支柱之间产生转倒力矩, 在支柱上引起压缩力 P_1 、 P_2 (见图 1-5)

根据力矩平衡原理

即 $\sum M = 0$

$$P_2 d_2 + 2 P_1 d_1 = W_1 l_2$$

$$\therefore \frac{P_2}{P_1} = \frac{d_2}{d_1} \quad (\text{在支柱上产生的压缩力与距离成正比})$$

因 $\alpha = 60^\circ$ $\therefore d_2 = 2 d_1$, 则 $P_2 = 2 P_1$ 代入 $2 P_1 (2 d_1) + 2 P_1 d_1 = W_1 l_2$

$$6 P_1 d_1 = W_1 l_2$$

$$\left. \begin{aligned} \therefore P_1 &= \frac{W_1 l_2}{6 d_1} \quad (\text{公斤}) \\ P_2 &= \frac{W_1 l_2}{3 d_1} \quad (\text{公斤}) \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

iii. 在操作状态时由静载荷对支柱产生的压缩力 P_g ③

由于地震水平力的作用对支柱在水平方向的载荷:

$$\left. \begin{aligned} H_1 &= T_1 \cos \theta \\ H_2 &= T_2 \cos \theta \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

②在各支柱上总的垂直载荷:

$$\left. \begin{aligned} P_I &= P_g + P_2 + 2 V_2 \\ P_{II} &= P_g + P_1 + V_1 \\ P_{III} &= P_g - P_1 + V_2 \\ P_{IV} &= P_g - P_2 \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

③作用在每个基础上的载荷:

③ 日本按在水压试验时发生地震来计算此时把 P_g 换成 P_w 。

$$\left. \begin{aligned} P'_I &= P_I \\ P'_{II} &= P_{II} - V_2 \\ P'_{III} &= P_{III} - V_1 \\ P'_{IV} &= P_{IV} - 2V_2 \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

当 8 根支柱时(见图 1-6)

①载荷分布:

支柱承受的载荷由下面三部分组成:

i. 由于地震水平力 W_1 的作用在支柱上引起的垂直分力:

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= T_1 \sin \theta \\ V_2 &= T_2 \sin \theta \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

ii. 由于地震水平力作用于球体赤道线上, 此力作用点与支柱之间产生转倒力矩, 在支柱上引起压缩力 P_1 、 P_2 (见图 1-7)

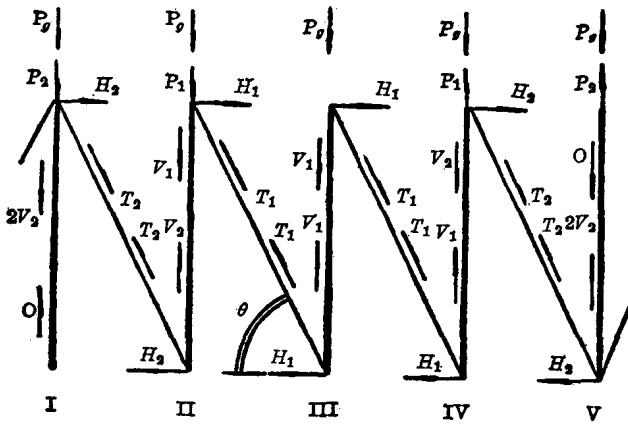


图 1-6 支柱与拉杆连接展开受力图
(I~V 与图 3 相对应。)

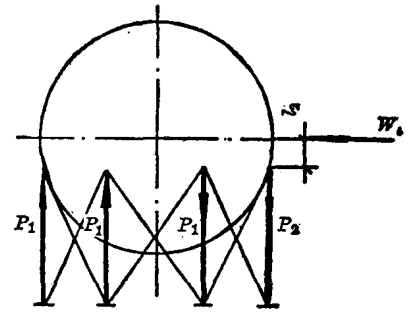


图 1-7
(P_1 、 P_2 是指支柱对球体的作用力方向。)

根据力矩平衡原理

即 $\sum M = 0$

$$\begin{aligned} P_2 d_2 + 2 P_1 d_1 &= W_1 l_2 \\ \therefore \frac{P_2}{P_1} &= \frac{d_2}{d_1} \text{ 而 } d_1 = \frac{d_2}{\sqrt{2}} \therefore P_2 = \sqrt{2} P_1 \\ \sqrt{2} P_1 d_2 + 2 P_1 \frac{d_2}{\sqrt{2}} &= W_1 l_2 \\ \left(P_1 \sqrt{2} d_2 + \frac{2 d_2}{\sqrt{2}} \right) &= W_1 l_2 \\ P_1 \left(\frac{4 d_2}{\sqrt{2}} \right) &= W_1 l_2 \\ \therefore P_1 &= \frac{\sqrt{2} W_1 l_2}{4 d_2} \quad (\text{公斤}) \\ P_2 &= \sqrt{2} P_1 = \frac{W_1 l_2}{2 d_2} \quad (\text{公斤}) \end{aligned} \quad (17)$$

iii. 在操作状态时由静载荷对支柱产生的压缩力 P_g 。
 由于地震水平力 W_1 的作用对支柱在水平方向的载荷:

$$\left. \begin{aligned} H_1 &= T_1 \cos \theta \\ H_2 &= T_2 \cos \theta \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

②在各支柱上总的垂直载荷:

$$\left. \begin{aligned} P_I &= P_g + P_2 + 2V_2 \\ P_{II} &= P_g + P_1 + V_1 \\ P_{III} &= P_g + V_1 \\ P_{IV} &= P_g - P_1 + V_2 \\ P_V &= P_g - P_2 \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

③作用在每个基础上的载荷:

$$\left. \begin{aligned} P'_I &= P_I \\ P'_{II} &= P_{II} - V_1 \\ P'_{III} &= P_{III} - V_1 \\ P'_{IV} &= P_{IV} - V_1 \\ P'_V &= P_V - 2V_2 \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

则支柱截面积, 初步可按式确定:

$$A_1 = \frac{P_{\max}}{[\sigma]_a} \quad (\text{厘米}^2) \quad (21)$$

式中: $P_{\max}$ ——承受最大压力的支柱所承受的载荷, 公斤;

(2) 按水压试验时计算:

则支柱截面积可按式求得:

$$A_2 = \frac{P_w}{[\sigma]_a'} \quad (\text{厘米}^2) \quad (22)$$

式中: $[\sigma]_a'$ ——水压试验时材料的许用应力, 公斤/厘米²;

$$[\sigma]_a' = 1.2[\sigma]$$

即水压试验时材料的许用应力增加 20%。

一般选用管子作支柱。

选管子截面积 A'

$$A' = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \quad (\text{厘米}^2) \quad (23)$$

式中: D ——管子外径, 毫米;

d ——管子内径, 毫米;

使满足 $A' > \frac{A_1}{A_2}$

(3) 支柱稳定性核算(按水压试验时计算)

$$\sigma_{\text{压}} = \frac{P_w}{A'} \leq [\sigma]_{\text{稳}} \quad (\text{公斤/厘米}^2) \quad (24)$$

式中: $\sigma_{\text{压}}$ ——支柱的压缩应力, 公斤/厘米²;

$[\sigma]_{\text{稳}}$ ——支柱的许用稳定应力, 公斤/厘米²;

$$[\sigma]_{\text{杆}} = \psi [\sigma]'_s$$

式中: ψ ④——减缩系数, 根据长细比 λ 表 2 求得。

压杆许用应力的减缩系数 ψ

表 2

减缩系数 材料 长细比 λ	ψ			减缩系数 材料 长细比 λ	ψ		
	A_2, A_3, A_4	A_5	16 Mn		A_2, A_3, A_4	A_5	16 Mn
0	1.0	1.0	1.0	110	0.52	0.43	0.35
10	0.99	0.98	0.97	120	0.45	0.36	0.30
20	0.96	0.95	0.95	130	0.40	0.33	0.26
30	0.94	0.92	0.91	140	0.36	0.29	0.23
40	0.92	0.89	0.87	150	0.32	0.26	0.21
50	0.89	0.86	0.83	160	0.29	0.24	0.19
60	0.86	0.82	0.79	170	0.26	0.21	0.17
70	0.81	0.76	0.72	180	0.23	0.19	0.15
80	0.75	0.70	0.65	190	0.21	0.17	0.14
90	0.69	0.62	0.55	200	0.19	0.16	0.13
100	0.61	0.51	0.43				

$$\lambda = \frac{\mu l_1}{i},$$

式中: i ——支柱回转半径,

$$i = \frac{\sqrt{D^2 + d^2}}{4},$$

l_1 ——支柱长度, 毫米;

μ ——长度系数,

$\mu=1$ (支柱按两端铰支考虑)。

4. 拉杆连接部位计算(见图 8)

(1) 销子(或螺栓)计算:

由于拉筋夹板一般受弯曲应力不大, 在计算销子的直径时, 可按单纯受拉力状态考虑, 销子在拉力作用下受剪切破坏, 以此决定销子的直径。

$$\tau = \frac{\frac{T_1}{2}}{\frac{\pi}{4} d_{\text{销}}^2} \leq [\tau] \quad \left(\text{一个拉杆上有两个连接销子, 因此拉力取 } \frac{T_1}{2} \right)$$

$$\therefore d_{\text{销}} \geq \sqrt{\frac{2 T_1}{\pi [\tau]}} \quad (\text{厘米}) \quad (25)$$

式中: $d_{\text{销}}$ ——销子或螺栓直径, 厘米;

$[\tau]$ ——许用剪应力, 公斤/厘米²;

④ ψ ——为按稳定的许用应力与按强度的许用应力之比。

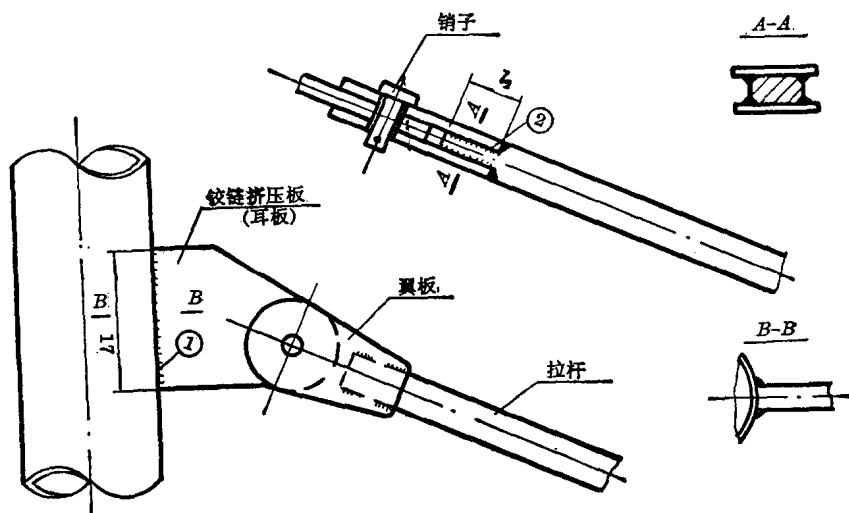


图 1-8

$$[\tau] = 0.6[\sigma]_s$$

(2) 铰链挤压板(耳板)和翼板的厚度 t 计算按强度条件由下式决定:

$$\sigma_{\text{挤}} = \frac{T_1}{td_{\text{销}}} \leq [\sigma]_{\text{销}}$$

$$t \geq \frac{T_1}{[\sigma]_{\text{挤}} d_{\text{销}}} \quad (\text{厘米}) \quad (26)$$

式中: $[\sigma]_{\text{挤}}$ ——许用挤压应力, 公斤/厘米²;

$$[\sigma]_{\text{挤}} = 1.5[\sigma]$$

按图 8 所示结构, 翼板一般由二块板组成, 因此翼板 t 系指翼板的总厚度。

5. 焊接部位强度计算(见图 1-8)

按图 1-8 所示, 焊接部位①承受剪应力:

最大剪应力在角焊缝断面 45° 截面上, 其面积为: $\frac{1}{\sqrt{2}} \delta_1 L_1$

按强度条件由下式决定:

$$\tau_1 = \frac{T_1}{2 \frac{1}{\sqrt{2}} \delta_1 L_1} \leq [\tau]_{\text{焊缝}} \quad (\text{公斤/厘米}^2) \quad (27)$$

式中: L_1 ——单边焊缝计算长度(实际长度减去 10 毫米), 毫米;

δ_1 ——焊缝较小边的直角边长, 毫米;

$[\tau]_{\text{焊缝}}$ ——焊缝许用剪应力, 公斤/厘米²;

$$[\tau]_{\text{焊缝}} = 0.8[\sigma]_s \phi$$

式中: ϕ ——焊缝系数。

取 $\phi = 0.6$ (丁字连接, 焊缝不保证焊透, 且不透视)。

图 1-8 所示, 焊接部位②承受剪应力:

最大剪应力的断面积为: $\frac{1}{\sqrt{2}} \delta_2 L_2$

按强度条件由下式决定:

$$\tau_2 = \frac{T_1}{4 \frac{1}{\sqrt{2}} L_2 \delta_2} \leq [\tau]_{\text{焊缝}} \text{ (公斤/厘米}^2\text{)} \quad (28)$$

式中: L_2 ——单边焊缝计算长度(实际长度减去 10 毫米), 毫米;

δ_2 ——焊缝较小边的直角边长, 毫米;

$[\tau]_{\text{焊缝}}$ ——焊缝许用剪应力, 公斤/厘米²;

$$[\tau]_{\text{焊缝}} = 0.8[\sigma]_a \phi$$

式中: ϕ ——焊缝系数。

取 $\phi = 0.6$ (丁字连接, 焊缝不保证焊透, 且不透视)。

四、地脚螺栓计算

支柱垫板上的地脚螺栓应根据支柱作用在基础上的载荷(取其最最小值 $P'_{\min}$)与基础面产生一个摩擦力 F , 这个力和由地震水平力 W_1 在支柱上产生的水平分力 H 进行比较以决定其选取和计算。

若 $F > H$ 则螺栓不受力, 可适当选取螺栓和数量。

若 $F < H$ 则螺栓受剪力, 应进行选取和计算。

若 $F < 0$ 则螺栓受拉力, 应进行选取和计算。

支柱垫板与基础面的摩擦系数 f 取 0.4。

五、支柱垫板厚度 $t_{\text{垫}}$ 计算

作用在垫板上的压应力:

$$\sigma_{o \max} = \frac{P_W}{\frac{\pi}{4} d_{\text{垫}}^2} \text{ (公斤/厘米}^2\text{)}$$

式中: $d_{\text{垫}}$ ——垫板的直径, 厘米;

垫板的基础环可以考虑成为承受 $\sigma_{o \max}$ 均布载荷之矩形平板, 两短边 b 铰支, 第三边 a 与支柱固定, 第四边为自由边。这时 a 边中心的最大应力 ($a \geq b$) $\sigma_a = \beta \sigma_{o \max} \left(\frac{b}{t_{\text{垫}}} \right)^2 \leq (\sigma)_a^{[2]}$

系数 β 值由 $\frac{b}{a}$ 的变化比值而定, 见表 3 所列。

表 3 中 b 值图 9 给出, a 值为垫板与支柱相连接的周边。 b 与 a 相比较, b 远小于 a , 因此由表 3 可看出: $\frac{b}{a} = 0$, β 为最大值即 $\beta = 3$ 代入

$$t_{\text{垫}} = \sqrt{\frac{3b^2 \sigma_{o \max}}{[\sigma]_a}} = 1.73b \sqrt{\frac{\sigma_{o \max}}{[\sigma]_a}} \quad (29)$$

表 3

$\frac{b}{a}$	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{3}$	1	$\frac{3}{2}$	2	3	∞
β	3	2.568	1.914	1.362	0.714	0.744	0.75	0.75	0.75

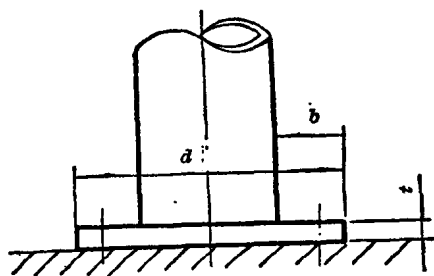


图 1-9

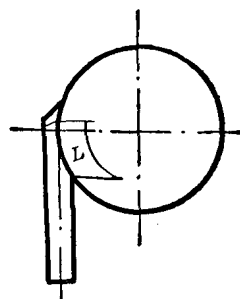


图 1-10

六、支柱与球壳连接处焊缝强度核算 (见图 1-10)

焊缝承受剪应力最大的断面积为: $\frac{1}{\sqrt{2}} L\delta$

$$\text{则 } \tau_{\text{焊缝}} = \frac{P_w}{2 \frac{1}{\sqrt{2}} L\delta} \leq [\tau]_{\text{焊缝}} (\text{公斤/厘米}^2) \quad (30)$$

式中: L ——单边焊缝计算长度(实际长度减去 10 毫米), 毫米;

δ ——焊缝较小边的直角边长, 毫米;

七、支柱与球壳连接处应力核算

在操作时由内压引起的壳体应力:

$$\sigma_P = \frac{PD_B}{4(S-C)} \quad (\text{公斤/厘米}^2) \quad (31)$$

在操作状态下由静载荷引起的在支柱处壳体的剪应力:

$$\tau = \frac{P_g}{2L(S-C)} \quad (\text{公斤/厘米}^2) \quad (32)$$

则在支柱与球壳连接处最大应力为:

$$\sigma_{\max} = \sigma_P + \tau \leq [\sigma] (\text{公斤/厘米}^2) \quad (33)$$

参 考 文 献

[1] 一机部石油机械研究所, 球形容器资料汇编(内部资料)

[2] (苏) С. В. Серенсен 主编, 机械制造者手册(第三卷)机械工业出版社(1963 年)