

ICS 23

J 74

JB

中华人民共和国行业标准

JB/T 4712.2—2007

代替 JB/T 4713—1992

容器支座 第2部分：腿式支座

Vessel supports—

Part 2: Leg support

2007-08-28 发布

2008-02-01 实施

中华人民共和国国家发展和改革委员会 发布

目 次

前言	38
1 范围	39
2 规范性引用文件	39
3 型式特征	39
4 系列参数及尺寸	40
5 材料	50
6 标记	50
7 制造技术要求	50
8 选用	51
附录 A (资料性附录) 支腿计算方法	53

前 言

JB/T 4712《容器支座》分为4个部分：

- 第1部分：鞍式支座（JB/T 4712.1）；
- 第2部分：腿式支座（JB/T 4712.2）；
- 第3部分：耳式支座（JB/T 4712.3）；
- 第4部分：支承式支座（JB/T 4712.4）。

本部分是JB/T 4712的第2部分。本部分代替JB/T 4713—1992。

本部分与JB/T 4713—1992相比，主要变化如下：

- 增加了H型钢腿式支座系列；
- 各腿式支座系列参数表中的“容器最大总高 $H_{1\max}$ ”改为“壳体最大切线距 L_{\max} ”；
- 支腿最大支承高度由原1200mm扩大到2000mm，容器总高由原5000mm扩大到8000mm；
- 增加了H型钢支柱的制造与验收技术要求；
- 将支腿计算例题列入附录A。

本部分的附录A为资料性附录。

本部分由全国锅炉压力容器标准化技术委员会（SAC/TC 262）提出并归口。

本标准由原全国压力容器标准化技术委员会设计分会组织起草并审查。

本部分起草单位：中国石化集团洛阳石油化工工程公司。

本部分主要起草人：赵建新、徐耀康。

本部分由全国锅炉压力容器标准化技术委员会（SAC/TC 262）负责解释。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

- JB/T 4713—1992。

容器支座 第2部分：腿式支座

1 范围

1.1 本部分规定了钢制立式容器（以下简称容器）腿式支座（以下简称支腿）的结构型式、系列参数、尺寸、允许载荷、材料及制造技术要求。

1.2 本部分适用于直接安装在刚性地基上，且符合下列条件的容器：

- a) 公称直径为 DN400mm ~ 1600mm；
- b) 圆筒切线长度 L 与公称直径 DN 之比不大于 5；
- c) 容器总高 H_1 ：对角钢支柱与钢管支柱不大于 5000mm；对 H 型钢支柱，不大于 8000mm；
- d) 设计温度： $t=200^{\circ}\text{C}$ ；
- e) 设计基本风压值： $q_0=800\text{ Pa}$ ，地面粗糙度为 A 类；
- f) 设计地震设防烈度：8 度（II 类场地土），设计基本地震加速度 $0.2g$ 。

1.3 本部分不适用于通过管线直接与产生脉动载荷的机器设备刚性连接的容器。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 JB/T 4712 本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本部分，然而，鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本部分。

- GB 150 钢制压力容器
 GB/T 985 气焊、手工电弧焊及气体保护焊焊缝坡口的基本形式及尺寸
 GB/T 1804 一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差
 GB/T 9787 热轧等边角钢 尺寸、外形、重量及允许偏差
 GB/T 8163 输送流体用无缝钢管
 JB/T 4709 钢制压力容器焊接规程
 YB 3301 焊接 H 型钢

3 型式特征

腿式支座的型式特征见表 1。

表 1 型式特征

型 式		支座号	垫板	适用公称直径 DN mm	支座尺寸
角钢支柱	AN	1~7	无	400~1600	见表 2、 图 2、图 3
	A		有		
钢管支柱	BN	1~5	无	400~1600	见表 3、 图 4、图 5
	B		有		
H 型钢支柱	CN	1~10	无	400~1600	见表 4、 图 6、图 7
	C		有		

4 系列参数及尺寸

容器结构简图及支腿布置见图 1 所示。

AN 型、A 型腿式支座的结构尺寸按图 2、图 3 和表 2 的规定。

BN 型、B 型腿式支座的结构尺寸按图 4、图 5 和表 3 的规定。

CN 型、C 型腿式支座的结构尺寸按图 6、图 7 和表 4 的规定。

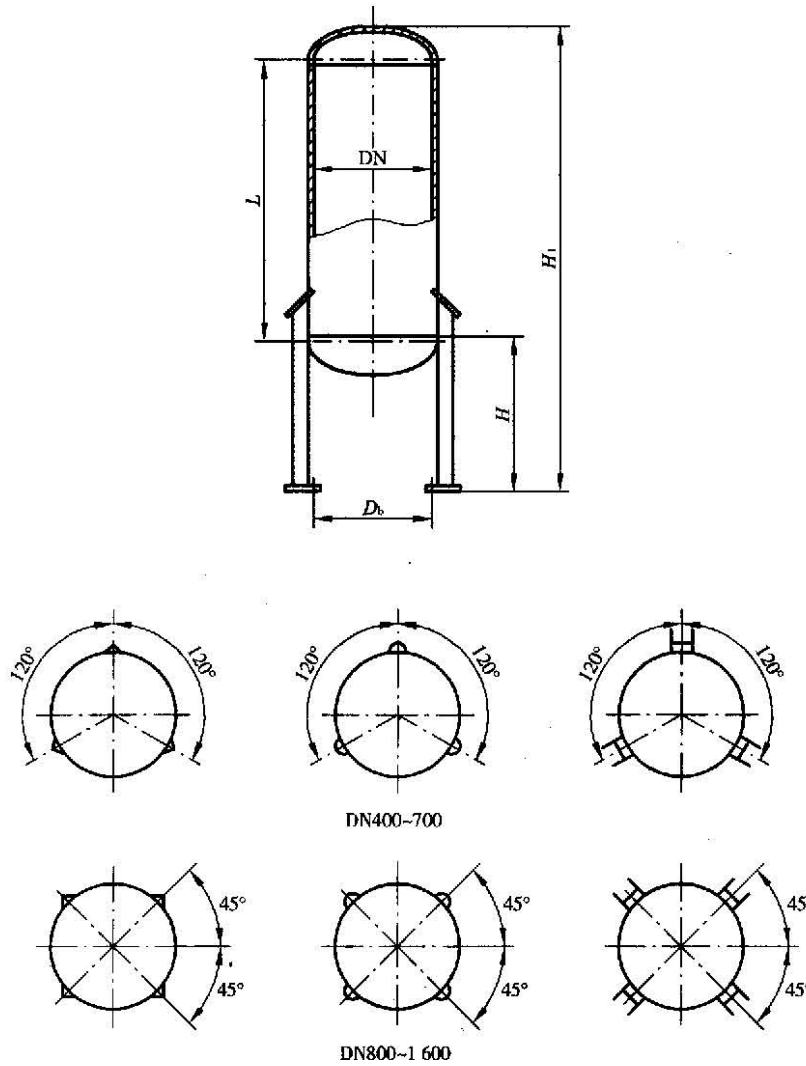


图 1 支腿布置

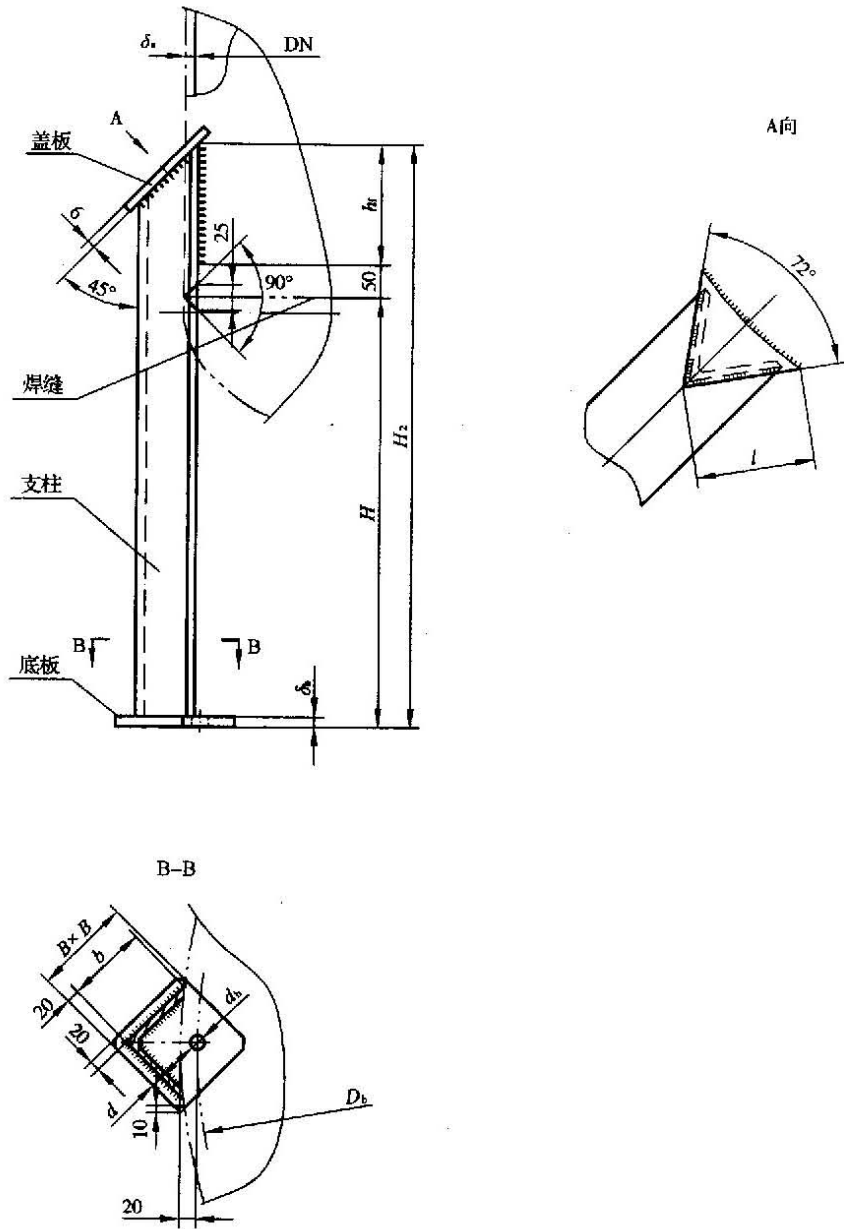


图2 AN型腿式支座

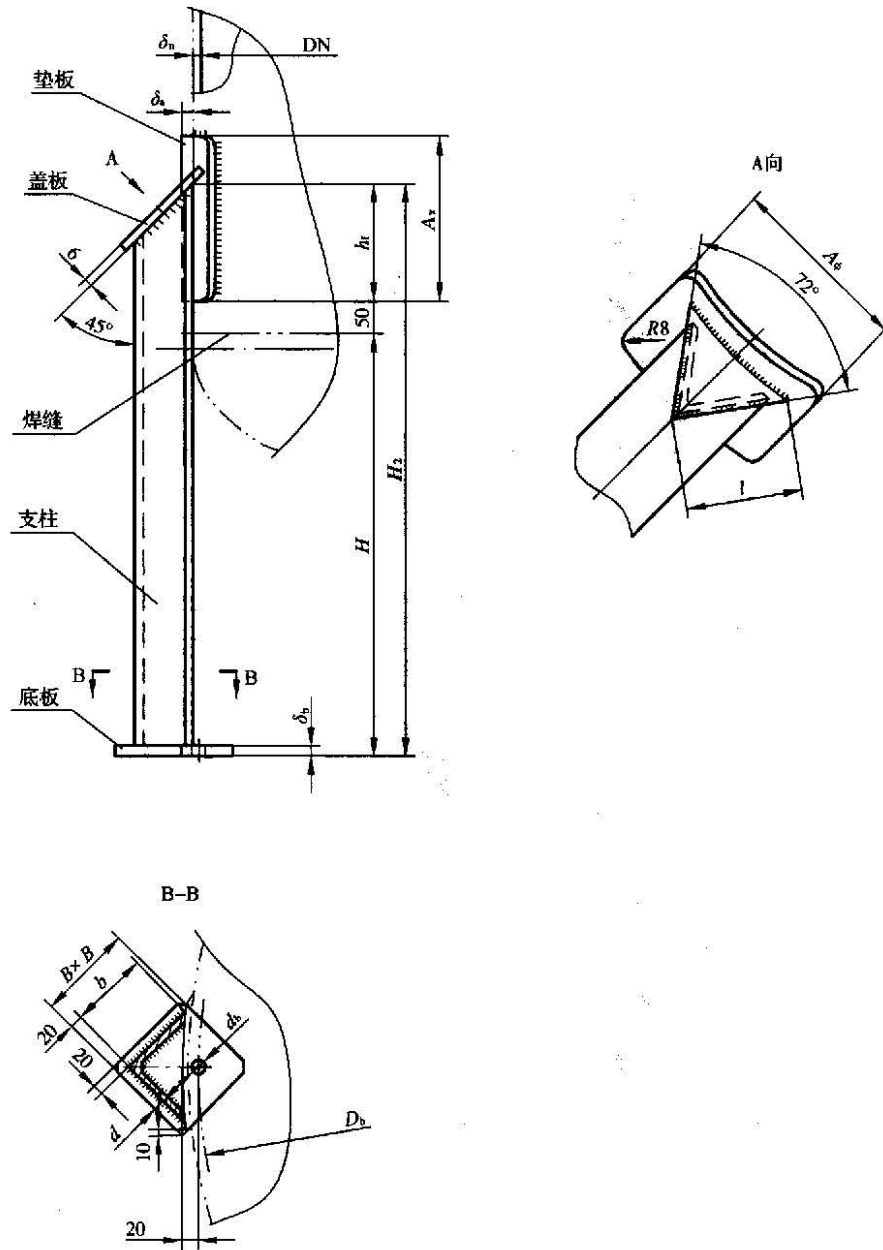


图3 A型腿式支座

表 2 AN、A 型腿式支座系列参数

支座位号	允许载荷 (在高H度下) Q_0 kN	适用公称直径 DN mm	支腿数量	壳体最大切线距 L_{max} mm	最大支承高度 H_{max} mm	角钢支柱		H_2	焊缝长度 h_f	底板		盖板	垫板		地脚螺栓		支腿质量 kg							
						规格 $b \times b \times d$	长度 ^b L_H			边长 B	厚度 δ_b		边长 l	宽度 A_ϕ	长度 A_x	厚度 δ_a	孔径 d_b	规格	参数 D	中心圆 直径 D_b	支柱	底板	盖板	总质量 (不含垫板)
1	6	400	3	2000	800	63×63×8	924	90	103	16	160	180	140	M20	362	24	$D_b = D + 2\delta^a$	6.9	1.3	0.6	8.8			
	8	500		2500			463	190	230	180	764	864	1365		1463			1564	11.2	2.3	0.8	14.3		
2	10	600	3	3000	800	80×80×10	945	115	120	20	190	230	180	M20	563	24	$D_b = D + 2\delta^a$	15.6	2.7	0.9	19.2			
	13	700		3500			665	200	260	200	966	1067	1365		1463			1564	21.0	3.4	1.0	25.4		
3	12	800	3	3828	1000	90×90×10	1160	130	130	20	200	260	200	M20	764	24	$D_b = D + 2\delta^a$	25.5	3.9	1.2	30.6			
	14	900		3803			145	140	22	220	290	220	966		1067			1365	1463	29.6	5.1	1.4	36.1	
4	16	1000	3	3776	1000	100×100×12	1173	145	140	22	220	290	240	M20	966	24	$D_b = D + 2\delta^a$	21.0	3.4	1.0	25.4			
	19	1100		3751			160	150	22	230	320	240	1166		1266			1365	1463	25.5	3.9	1.2	30.6	
5	22	1200	4	3624	1100	110×110×12	1288	160	150	22	230	320	240	M22	1166	26	$D_b = D + 2\delta^a$	29.6	5.1	1.4	36.1			
	24	1300		3599			180	165	24	250	360	270	1266		1365			1463	36.3	6.6	1.6	44.5		
6	28	1400	4	3572	1200	125×125×12	1306	180	165	24	250	360	270	M22	1365	26	$D_b = D + 2\delta^a$	29.6	5.1	1.4	36.1			
	30	1500		3447			200	180	26	270	400	300	1463		1564			36.3	6.6	1.6	44.5			
7	30	1500	4	3447	1200	140×140×12	1424	200	180	26	270	400	300	M22	1463	26	$D_b = D + 2\delta^a$	36.3	6.6	1.6	44.5			
	35	1600		3430			200	180	26	270	400	300	1564		1564			36.3	6.6	1.6	44.5			

^a 不带垫板时, δ 取圆筒或封头名义厚度二者中的较大值; 带垫板时, δ 取圆筒与垫板名义厚度之和。

^b 支柱长度 L_H = 支承高度 H + 焊缝长度 h_f + 50 - 底板厚度 δ_b 。

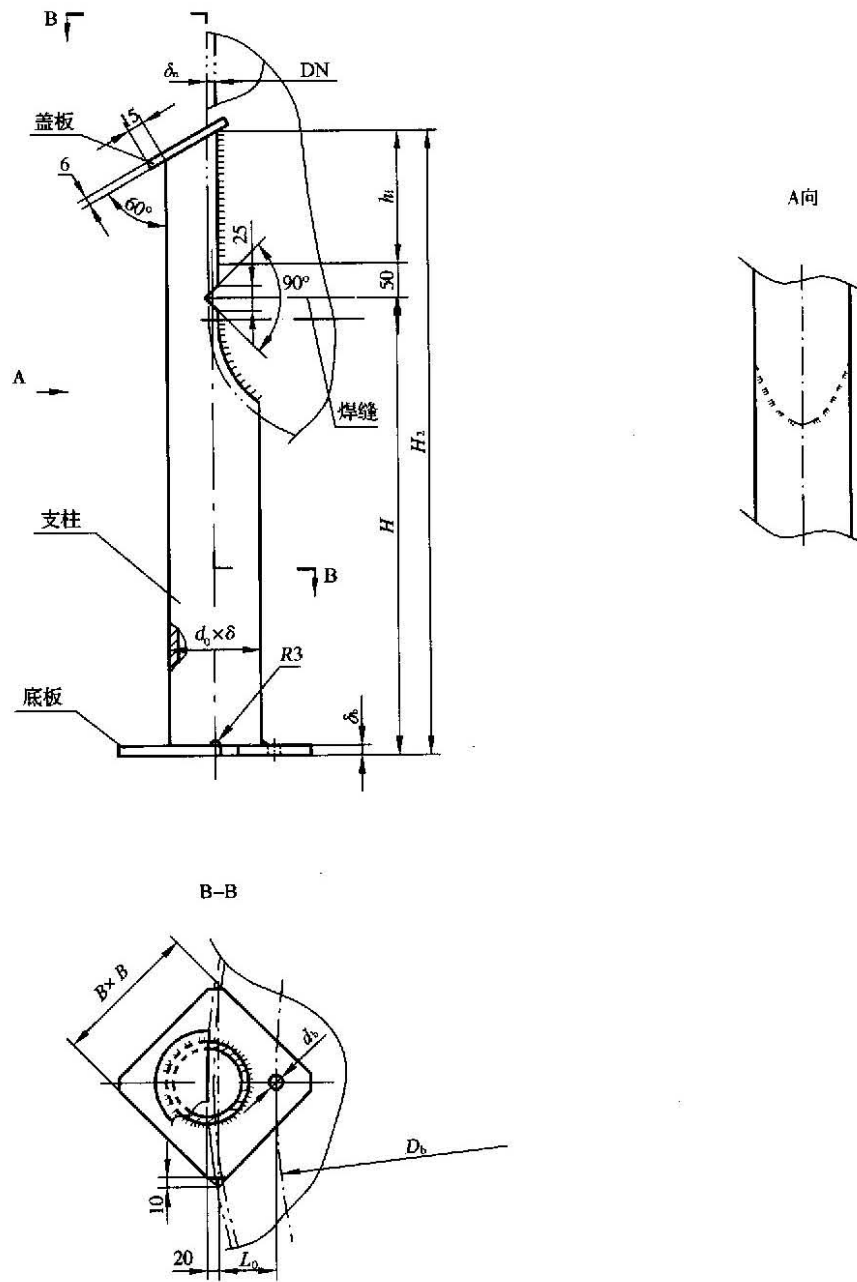


图4 BN型腿式支座

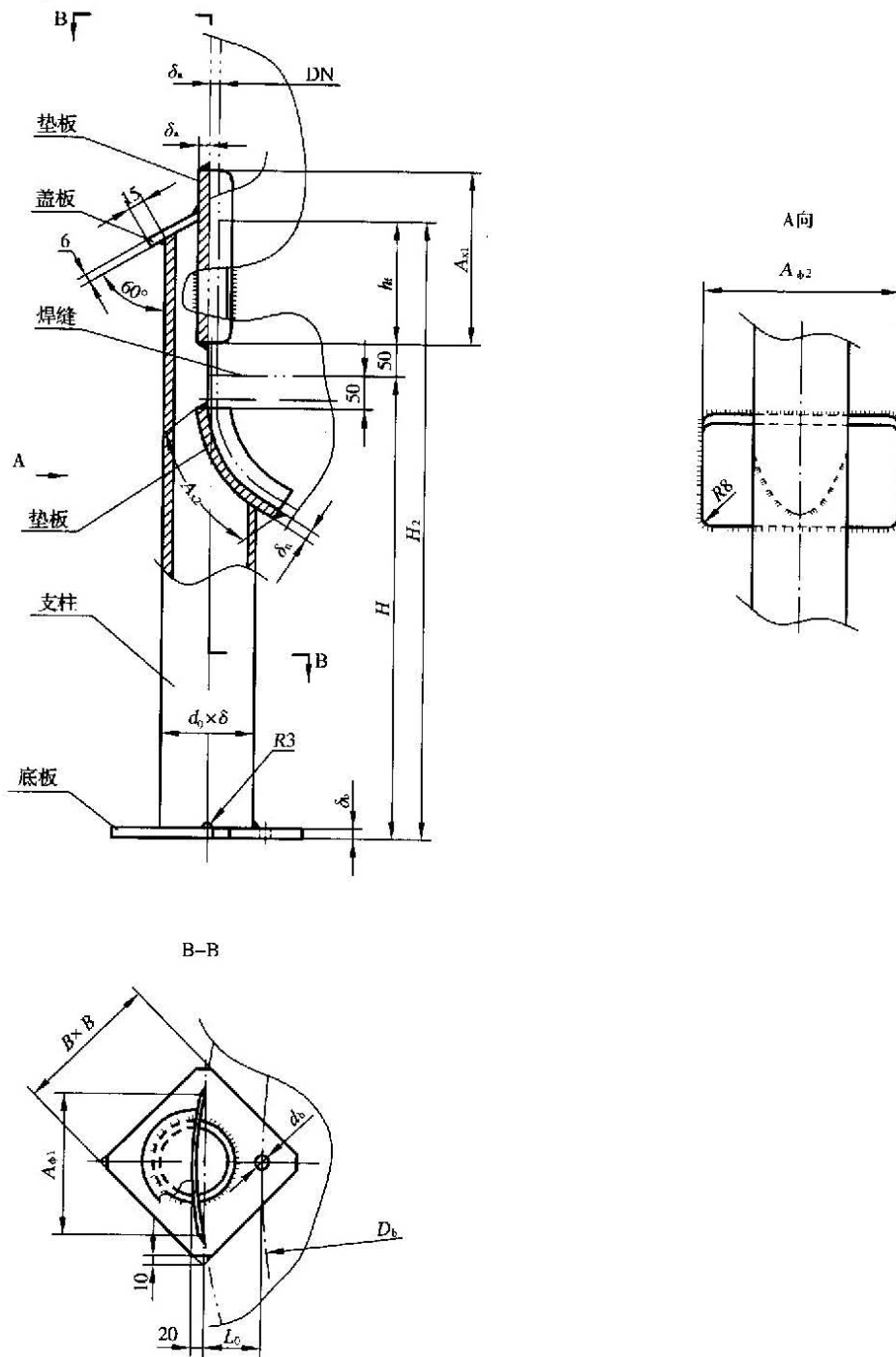


图 5 B 型腿式支座

表 3 BN、B 型腿式支座系列参数

支 座 号	允 许 载 荷 (在 高 度 下) Q_0 kN	适 用 公 称 直 径 DN mm	支 腿 数 量	壳 体 最 大 切 线 距 L_{max} mm	最 大 支 承 高 度 H_{max} mm	尺 寸, mm										支腿质量 kg						
						钢 管 支 柱		H_2	焊 缝 长 度 h_f	底 板			垫 板			地 脚 螺 栓			支 柱	底 板	盖 板	总 质 量 (不 含 垫 板)
						规 格 $d_0 \times \delta$	长 度 L_H			厚 度 δ_b	孔 距 L_0	宽 度 A_{o1}	长 度 A_{x1}	宽 度 A_{o2}	长 度 A_{x2}	厚 度 δ_a	孔 径 d_b	规 格				
1	6	400	3	2 000	800	910	60	150	20	40	120	90	120	120	120	24	M20	6.2	3.4	0.2	9.8	
	8	500		2 500																		
2	10	600	3	3 000	1 000	1 125	75	165	22	50	155	120	155	150	24	M20	11.6	4.5	0.3	16.4		
	13	700		3 500																		
3	12	800	4	3 828	1 000	1 140	90	180	26	55	180	140	180	180	26	M22	13.8	6.4	0.4	20.6		
	14	900		3 803																		
4	16	1 000	4	3 776	1 100	1 265	115	205	28	70	230	180	230	220	26	M22	22.5	8.9	0.5	31.9		
	19	1 100		3 751																		
5	22	1 200	4	3 624	1 200	1 390	140	230	30	85	280	210	280	260	26	M22	30.5	12	0.7	43.5		
	24	1 300		3 599																		
5	28	1 400	4	3 572	1 200	1 390	140	230	30	85	280	210	280	260	26	M22	30.5	12	0.7	43.5		
	30	1 500		3 447																		
5	35	1 600	4	3 430	1 200	1 390	140	230	30	85	280	210	280	260	26	M22	30.5	12	0.7	43.5		

^a 支柱长度 $L_H =$ 支承高度 $H +$ 焊缝长度 $h_f + 50 -$ 底板厚度 δ_b 。

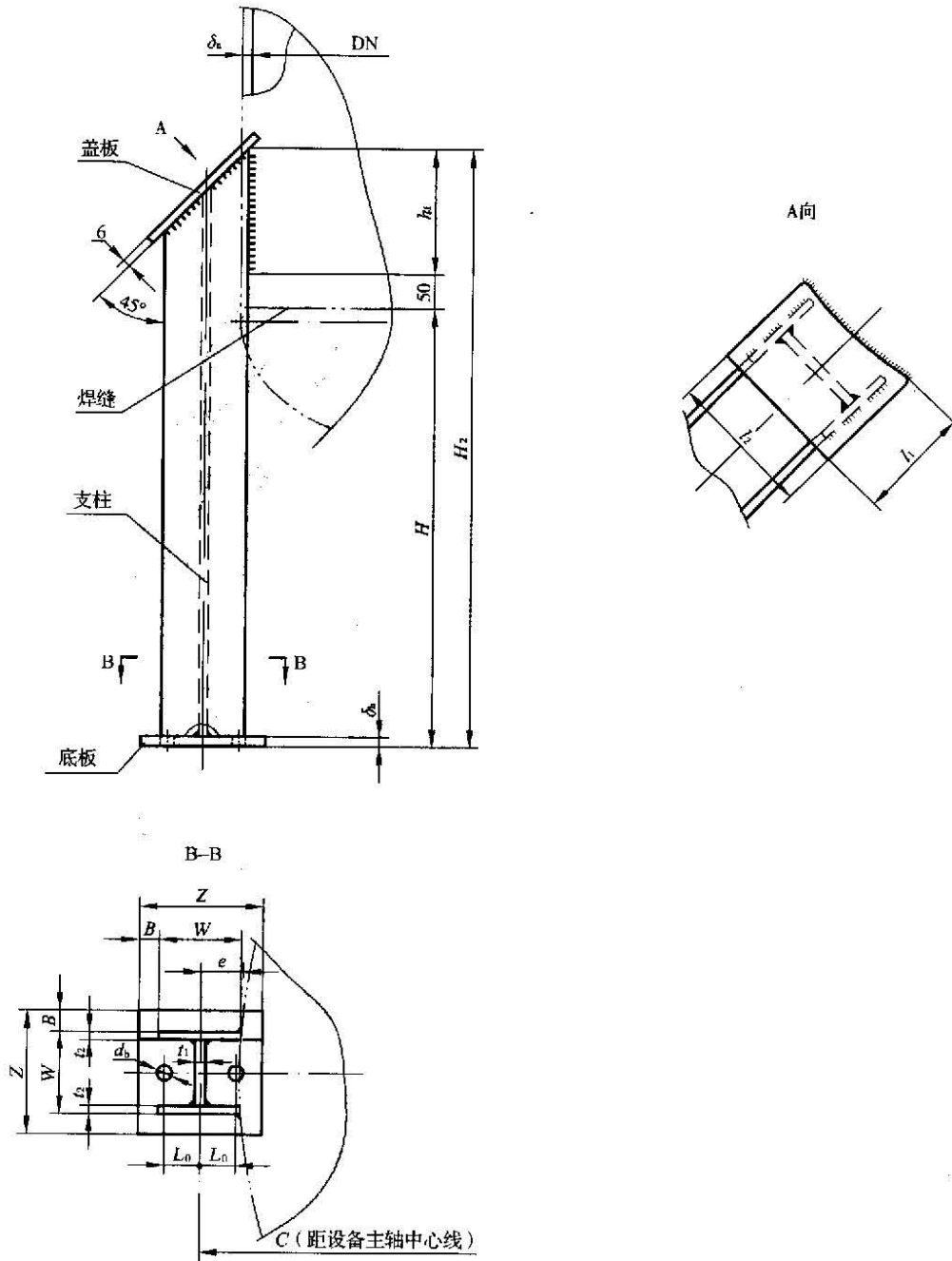


图6 CN型腿式支座

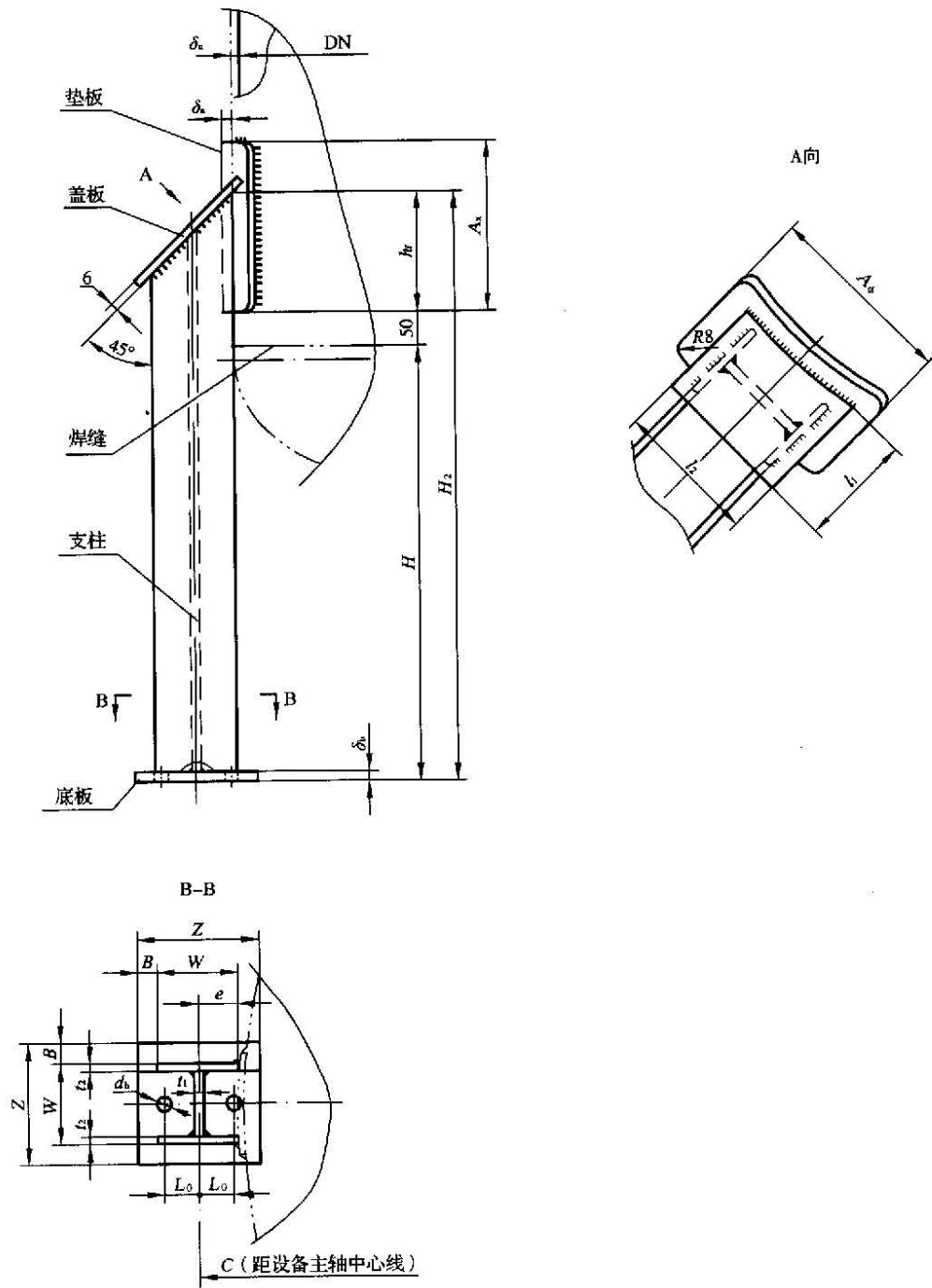


图7 C型腿式支座

表 4 CN、C 型腿式支座系列参数

支座号	允许载荷 (在 H 高度下) Q_0 kN	适用公称直径 DN mm	支腿数量	壳体最大切线距 L_{max} mm	最大支承高度 H_{max} mm	尺寸, mm										支腿质量 kg							
						H 型钢支柱			焊缝长度 h_f	底板		盖板		垫板		地脚螺栓		支柱	底板	盖板	总质量 (不含垫板)		
						规格 $W \times W \times t_1/t_2$	腹板厚 t_1	翼板厚 t_2		长度 L_H	高度 H_2	边长 Z	厚度 δ_b	板长 l_1	板宽 l_2	宽度 A_ϕ	长度 A_x					厚度 δ_a	孔径 d_b
1	6	400	3	2000	1600	125×125×6/8	6	8	1884	1900	250	185	16	195	155	225	300	55	24	M20	39.3	4.3	45.0
	8	1880																					
	10	1880																					
2	8	500	3	2500	1600	125×125×6/10	6	10	2130	2150	300	210	20	230	180	250	350	60	24	M20	67.6	6.9	76.4
	10	2128																					
	14	2188																					
3	10	600	3	3000	1600	150×150×8/10	10	12	2288	2310	360	240	22	270	210	280	410	65	28	M24	96	9.9	108
	14	2288																					
	17	2288																					
4	14	800	3	4000	1800	180×180×8/12	8	14	2326	2350	400	260	24	300	230	300	450	70	36	M30	131	12.7	147
	17	2326																					
	22	2326																					
5	22	1000	3	5000	1800	200×200×8/14	8	14	2524	2550	500	310	26	370	280	350	550	95	36	M30	174	19.6	198
	27	2524																					
	33	2524																					
6	27	1100	3	5500	1900	180×180×8/14	8	14	2524	2550	500	310	26	370	280	350	550	95	36	M30	174	19.6	198
	38	2524																					
	43	2524																					
7	33	1200	3	5824	1900	250×250×8/14	8	14	2524	2550	500	310	26	370	280	350	550	95	36	M30	174	19.6	198
	38	2524																					
	43	2524																					
8	38	1300	3	5797	1900	200×200×8/14	8	14	2326	2350	400	260	24	300	230	300	450	70	36	M30	131	12.7	147
	43	2326																					
	49	2326																					
9	43	1400	3	5772	1900	250×250×8/14	8	14	2524	2550	500	310	26	370	280	350	550	95	36	M30	174	19.6	198
	49	2524																					
	54	2524																					
10	49	1500	3	5655	2000	250×250×8/14	8	14	2524	2550	500	310	26	370	280	350	550	95	36	M30	174	19.6	198
	54	2524																					
	54	2524																					

注: H 型钢支柱中心距设备主轴中心线的距离 C 为: $C = \frac{W}{2} + \sqrt{\left(\frac{DN}{2} + \delta\right)^2 - \left(\frac{W-2t_2}{2}\right)^2}$ 。

^a 不带垫板时, δ 取圆筒或封头名义厚度二者中的较大值; 带垫板时, δ 取圆筒与垫板名义厚度之和。

^b 支柱长度 $L_H =$ 支承高度 $H +$ 焊缝长度 $h_f + 50 -$ 底板厚度 δ_b 。

5 材料

5.1 角钢支柱及 H 型钢支柱的材料应为 Q235A；钢管支柱应为 20 号钢；底板、盖板材料均应为 Q235A。如需要，可以改用其他材料，但其性能不得低于 Q235A 或 20 号钢的性能指标，且应具有良好的焊接性能。

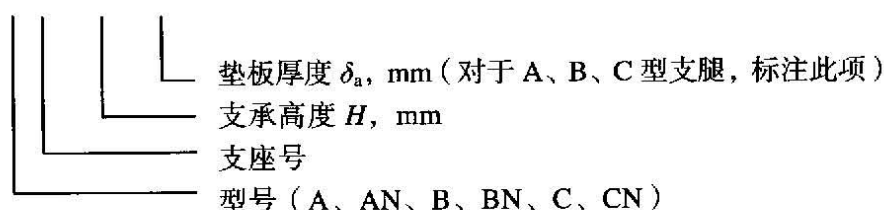
5.2 垫板材料应与容器壳体材料相同。

5.3 焊接材料应符合 JB/T 4709 的规定。支腿用角钢应符合 GB/T 9787，支腿用钢管应符合 GB/T 8163 或与其相当的标准，支腿用 H 型钢应参照 YB 3301。

6 标记

支腿标记方法规定如下：

JB/T 4712.2—2007，支腿 $\times \times - \times - \times$



示例 1：容器公称直径 DN800mm，角钢支柱支腿，不带垫板，支承高度 H 为 900mm，其标记为：

JB/T 4712.2—2007，支腿 AN3-900

示例 2：容器公称直径 DN1200mm，钢管支柱支腿，带垫板，垫板厚度 δ_a 为 10mm，支承高度 H 为 1000mm，其标记为：

JB/T 4712.2—2007，支腿 B4-1000-10

示例 3：容器公称直径 DN1600mm，H 型钢支柱支腿，不带垫板，支承高度 H 为 2000mm，其标记为：

JB/T 4712.2—2007，支腿 CN10-2000

7 制造技术要求

7.1 焊接应采用电弧焊，焊条牌号应根据支座各部件的材料选用。焊接接头型式和尺寸按 GB/T 985 的规定。

7.2 支柱应平直，且无凹坑和损伤等明显缺陷。支柱直线度应不大于 $H/1000$ 。

7.3 盖板与圆筒（或垫板）外壁的连接弧线应按样板切割，钢管支柱与封头（或垫板）连接部分应与封头外壁相吻合。零件加工边缘的表面粗糙度不得大于 $Ra50\mu\text{m}$ ，地脚螺栓孔加工后表面粗糙度为 $Ra25\mu\text{m}$ 。垫板与容器壳体应紧密贴合，最大间隙不得大于 1mm。

7.4 除另有规定外，尺寸的极限偏差按 GB/T 1804 中的 c 级规定。

7.5 焊接采用连续焊，所有角焊缝尺寸均等于较薄件厚度。焊缝表面不得有裂纹、弧坑和夹渣等缺陷，并不得有熔渣与飞溅物。

7.6 支柱（或垫板）与容器壳体的组焊应按 GB 150 和 JB/T 4709 的有关规定。在被其覆盖的壳体焊缝打磨与壳体齐平且检验合格后进行焊接。有焊后热处理要求的容器，垫板与容器壳体的焊接应在焊后热处理前进行。垫板与容器壳体的焊接应在最低处留 10mm 不焊。

7.7 底板地脚螺栓孔直径允差为 $^{+1}_0\text{mm}$ ，螺栓孔中心圆直径的允差为 $\pm 2\text{mm}$ 。支腿应均匀布置，两底板地脚螺栓孔弦长的允差为 $\pm 2\text{mm}$ 。

- 7.8 各支腿底板底面应位于同一水平面上,其最高与最低相差不得超过 3mm。
- 7.9 支腿与容器焊后,应与容器中心轴线平行,其平行度应小于 $H/500$,且不得大于 2mm。

8 选用

8.1 下列情况之一者应选用带垫板的 A、B 或 C 型支腿:

- a) 用合金钢制的容器壳体;
- b) 容器壳体有焊后热处理要求;
- c) 与支腿连接处的圆筒有效厚度 δ_e 小于表 5 给出的最小厚度 δ_{\min} 。

垫板厚度一般与筒体厚度相等,也可根据需要确定。

8.2 应在施工图材料栏内标注实际需要的支承高度 H 及垫板厚度 δ_a 。

8.3 对于本部分设计条件以外的容器支腿的选用,可参考附录 A 的计算方法,通过校核参考使用本部分。

表 5 支腿连接处的圆筒不设置垫板所需的最小厚度 δ_{min}

容器公称直径 DN, mm	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	
圆筒材料	设计压力 MPa													
	δ_{min} , mm													
Q235A	0	3	3	3	3	3	3	3.5	3.5	4	4.5	4.5	4.5	5
	>0~0.2	3	3	3	3.5	3.5	3.5	4	4.5	5	5	5.5	5.5	6
	>0.2~0.4	3	3	3	4	4	4	4.5	5	5.5	6	6	6	7
	>0.4~0.6	3	3.5	3.5	4	4.5	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7	7.5
	>0.6~0.8	3	3.5	4	4.5	5	5	5.5	6.5	7	7.5	7.5	8	8.5
	>0.8~1.0	3	4	4	5	5	5.5	6.5	7	7.5	8	8.5	8.5	9.5
	>1.0~1.2	3.5	4	4.5	5.5	5.5	6	6.5	7	8	8.5			
	>1.2~1.4	3.5	4.5	4.5	5.5									
	>1.4~1.6	3.5	4.5	可不设置垫板										
	>1.6													
20R	0	3	3	3	3	3	3	3	3.5	3.5	4	4	4	4.5
	>0~0.2	3	3	3	3	3	3.5	3.5	4	4.5	5	5	5	5.5
	>0.2~0.4	3	3	3	3.5	3.5	4	4	4.5	5	5.5	5.5	5.5	6
	>0.4~0.6	3	3	3	3.5	4	4.5	4.5	5	5.5	6.5	6.5	6.5	7
	>0.6~0.8	3	3	3.5	4	4.5	5	5	5.5	6	7	7	7	7.5
	>0.8~1.0	3	3.5	3.5	4.5	4.5	5.5	5.5	6	6.5	7.5	7.5	8	8.5
	>1.0~1.2	3	3.5	4	4.5	5	6	6	6.5	7	8	8	8	8.5
	>1.2~1.4	3.5	4	4	5	5	6	6	6.5	7	8	8		
	>1.4~1.6	3.5	4	4	5									
	>1.6~1.8	3.5	可不设置垫板											
>1.8														
16MnR	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3.5	3.5	4
	>0~0.2	3	3	3	3	3	3	3	3.5	3.5	3.5	4	4	4.5
	>0.2~0.4	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4.5	4.5	5
	>0.4~0.6	3	3	3	3	3	3.5	3.5	4	4.5	4.5	5	5	5.5
	>0.6~0.8	3	3	3	3	3.5	3.5	4	4.5	5	5	5.5	5.5	6
	>0.8~1.0	3	3	3	3.5	3.5	4	4	5	5.5	5.5	6	6	7
	>1.0~1.2	3	3	3	3.5	4	4.5	4.5	5.5	5.5	6	6.5	6.5	7.5
	>1.2~1.4	3	3	3.5	4	4	4.5	4.5	5.5	6	6	6.5	6.5	7.5
	>1.4~1.6	3	3.5	3.5	4	4	4.5	4.5	5.5	6				
	>1.6~1.8	3	3.5	3.5	4									
>1.8~2.0	3	3.5	可不设置垫板											
>2.0														

附录 A
(资料性附录)
支腿计算方法

A.1 水平风载荷

水平风载荷:

$$P_w = 1.2f_i q_0 D_0 H_0 \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

f_i —— 风压高度变化系数, 按设备质心所处高度取;

w 对于 B 类地面粗糙度:

设备质心所在高度 H_c , m	≤10	15	20
风压高度变化系数 f_i	1.00	1.14	1.25

q_0 —— 10m 高度处的基本风压值, (N/m^2);

D_0 —— 容器外径, 有保温层时取保温层外径, mm;

H_0 —— 容器壳体总长度, mm。

A.2 地震作用标准值计算

水平地震作用标准值:

$$P_e = \alpha_e m_0 g \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

α_e —— 地震影响系数:

设防烈度	7		8		9
设计基本地震加速度	0.1g	0.15g	0.2g	0.3g	0.4g
地震影响系数 α_e	0.08	0.12	0.16	0.24	0.32

m_0 —— 设备操作质量 (包括壳体及其附件, 内部介质及保温层、平台梯子的质量), kg;

g —— 重力加速度, 取 $g=9.8m/s^2$ 。

A.3 载荷的确定

A.3.1 水平载荷 F_H 取风载荷 P_w 和 (地震载荷 $P_e + 0.25P_w$) 较大值。

A.3.2 垂直载荷取设备最大操作重力 W_1 。

A.3.3 每个支腿的水平反力按式 (A.3) 计算:

$$R = \frac{F_H}{N} \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

R —— 每个支腿的水平反力, N;
 F_H —— 水平载荷, N;
 N —— 支腿的个数。

A.3.4 每个支腿的最大垂直反力按式 (A.4) ~ 式 (A.7) 计算:

$$F_{L1} = \frac{4F_H \cdot H_c}{ND_B} - \frac{W_1}{N} \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

$$F_{L2} = \frac{4F_H \cdot H_c}{ND_B} - \frac{W_1}{N} \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

$$H_c = H - h_2 + \frac{L}{2} \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

$$D_B = W + 2\sqrt{\left(\frac{DN}{2} + \delta_{2n} + \delta_a\right)^2 - \left(\frac{W - 2t_2}{2}\right)^2} \quad \dots\dots\dots (A.7)$$

式中:

F_{L1} —— 单根支腿垂直反力 (弯矩的拉伸侧), N;
 F_{L2} —— 单根支腿垂直反力 (弯矩的压缩侧), N;
 H_c —— 基础顶面至设备质心的高度, mm;
 W_1 —— 垂直载荷, N, 取设备最大操作重力;
 D_B —— 支柱中心圆直径, mm;
 H —— 支承高度, mm;
 h_2 —— 封头直边高度, mm;
 L —— 壳体切线距, mm;
 W —— H 型钢高度, mm;
 DN —— 容器公称直径, mm;
 δ_{2n} —— 筒体名义厚度, mm;
 δ_a —— 垫板名义厚度, mm;
 t_2 —— H 型钢翼板厚度, mm。

A.4 支腿稳定及强度计算

A.4.1 支腿稳定计算

假定支腿与壳体的连接为固接, 支腿端部为自由端。单根支腿内产生的最大应力, 发生在受压侧的支腿内。单根支腿的压应力为:

$$\sigma_c = \frac{F_{L2}}{A} \quad \dots\dots\dots (A.8)$$

式中:

σ_c —— 单根支腿的压应力, MPa;
 A —— 单根支腿的横截面面积, mm²。

支腿的临界许用应力 $[\sigma_{cr}]$ 按式 (A.9) ~ 式 (A.14) 计算:
 $\lambda \leq \bar{\lambda}$ 时:

$$[\sigma_{cr}] = \frac{1.2 \left[1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\bar{\lambda}} \right)^2 \right] R_{eL}}{n_s \eta} \dots\dots\dots (A.9)$$

$\lambda > \bar{\lambda}$ 时:

$$[\sigma_{cr}] = \frac{0.227 R_{eL}}{\left(\frac{\lambda}{\bar{\lambda}} \right)^2} \dots\dots\dots (A.10)$$

$$\lambda = \frac{0.7H}{\bar{i}} \dots\dots\dots (A.11)$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6 R_{eL}}} \dots\dots\dots (A.12)$$

$$\bar{i} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} \dots\dots\dots (A.13)$$

$$n_s = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\bar{\lambda}} \right)^2 \dots\dots\dots (A.14)$$

式中:

λ —— 支腿的有效长细比;

$\bar{\lambda}$ —— 支腿的极限长细比;

E —— 支腿材料的拉伸弹性模量, MPa;

R_{eL} —— 支腿材料的屈服强度, MPa;

\bar{i} —— 单根支腿截面的最小回转半径, mm;

I_{\min} —— 取 I_{X-X} 和 I_{Y-Y} 的较小值, mm^4 。

I_{X-X} —— 单根支腿的周向水平截面惯性矩, mm^4 ;

I_{Y-Y} —— 单根支腿的径向水平截面惯性矩, mm^4 ;

$[\sigma_{cr}]$ —— 支腿的临界许用应力, MPa;

n_s —— 由 λ 和 $\bar{\lambda}$ 决定的系数;

η —— 设备重要度系数, 取 $\eta=1$ 。

支腿的稳定验算:

$$\sigma_c \leq [\sigma_{cr}] \dots\dots\dots (A.15)$$

A.4.2 支腿剪切计算

支腿的剪切应力为:

$$\tau = \frac{F_H}{N \cdot A} \dots\dots\dots (A.16)$$

支腿的许用剪切应力为:

$$[\tau] = 0.6 [\sigma]^t \dots\dots\dots (A.17)$$

式中:

τ —— 支腿的剪切应力, MPa;

$[\sigma]^t$ —— 设计温度下支腿材料的许用应力, MPa, $[\sigma]^{200^\circ\text{C}} = 105\text{MPa}$;

$[\tau]$ ——支腿的许用剪切应力, MPa, $[\tau]=0.6[\sigma]^{200^\circ}=63\text{MPa}$ 。
支腿的稳定验算:

$$\tau \leq [\tau] \quad \dots\dots\dots (\text{A.18})$$

A.4.3 支腿弯曲计算

支腿的弯曲应力为:

$$\sigma_b = \frac{R \cdot L_1 - F_{L2} \cdot e}{W_{\min}} \quad \dots\dots\dots (\text{A.19})$$

式中:

σ_b ——支腿的弯曲应力, MPa;

L_1 ——基础板下表面至支腿装配焊缝中心的长度, mm;

$$L_1 = H + \frac{h_f}{2} + 50 \quad \dots\dots\dots (\text{A.20})$$

h_f ——支腿与本体装配的焊缝长度, mm;

e ——壳体外壁至支柱形心距离, mm;

$$e = \frac{W}{2} \quad \dots\dots\dots (\text{A.21})$$

W_{\min} ——单根支腿的最小抗弯截面模量, mm^3 。

支腿的弯曲应力验算:

$$\sigma_b \leq [\sigma_b] \quad \dots\dots\dots (\text{A.22})$$

式中:

$[\sigma_b]$ ——支腿的许用弯曲应力, MPa; $[\sigma_b]=235\text{MPa}$ 。

A.4.4 支腿钢结构综合评价

支腿结构应满足下列要求:

$$\left| \frac{\sigma_c}{[\sigma_{cr}]} \right| + \left| \frac{\sigma_b}{[\sigma_b]} \right| \leq 1 \quad \dots\dots\dots (\text{A.23})$$

A.5 地脚螺栓的强度验算

A.5.1 地脚螺栓的拉应力

$$\sigma_{bt} = \frac{1}{N \cdot n_{bt} \cdot A_{bt}} \left(\frac{4F_H \cdot H_c}{D_b} - W_1 \right) \quad \dots\dots\dots (\text{A.24})$$

式中:

σ_{bt} ——地脚螺栓的拉应力, MPa, 当计算得的值小于0时, 其值为0;

D_b ——地脚螺栓的中心圆直径, 取 D_b 等于 D_B , mm;

n_{bt} ——一个支腿的地脚螺栓数;

A_{bt} ——一个地脚螺栓的有效截面积, mm^2 ;

$$A_{bt} = \frac{\pi}{4} \left(d_1 - C_{bt} - \frac{0.866 \times t_b}{6} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (\text{A.25})$$

d_1 ——地脚螺栓的内径, mm;

C_{bt} ——地脚螺栓腐蚀裕度, mm;

t_b ——地脚螺栓螺距, mm。

地脚螺栓的拉应力验算:

$$\sigma_{bt} \leq [\sigma_{bt}] \quad \dots\dots\dots (A.26)$$

式中:

$[\sigma_{bt}]$ ——地脚螺栓的许用拉应力, MPa。

对于碳钢常温下的许用应力 $[\sigma_{bt}]=147\text{MPa}$ 。

A.5.2 地脚螺栓的剪切应力

$$\tau_{bt} = \frac{F_H - 0.4W_1}{N \cdot n_{bt} \cdot A_{bt}} \quad \dots\dots\dots (A.27)$$

式中:

τ_{bt} ——地脚螺栓的剪切应力, MPa, 当计算得的值小于0时, 其值为0。

地脚螺栓的剪应力验算:

$$\tau_{bt} \leq [\tau_{bt}] \quad \dots\dots\dots (A.28)$$

式中:

$[\tau_{bt}]$ ——地脚螺栓的许用剪切应力, MPa。

对于碳钢常温下的许用剪应力 $[\tau_{bt}]=117.6\text{MPa}$ 。

A.6 基础板的强度计算

基础上的压缩应力:

$$\sigma_{c1} = \frac{F_{12}}{b_1 \times b_2} \quad \dots\dots\dots (A.29)$$

式中:

σ_{c1} ——基础上的压缩应力, MPa;

b_1 ——基础板长度, mm;

b_2 ——基础板宽度, mm。

基础上的压缩应力验算:

$$\sigma_{c1} \leq [\sigma_{c1}] \quad \dots\dots\dots (A.30)$$

式中:

$[\sigma_{c1}]$ ——混凝土许用耐压应力, MPa。

支腿基础板的厚度应为:

$$\delta_b = B \sqrt{\frac{3\sigma_{c1}}{[\sigma]}} + C_b \quad \dots\dots\dots (A.31)$$

式中:

δ_b ——支腿基础板厚度, mm;

B ——支腿到基础板边缘的最大长度, mm;

$[\sigma]$ ——基础板的许用应力, MPa。 $[\sigma]=235\text{MPa}$;

C_b ——支腿底板腐蚀裕度, mm。

A.7 支腿装配焊缝的强度计算

A.7.1 支腿装配焊缝的弯曲应力为:

$$\sigma_f = \frac{R \cdot L_1}{Z} \dots\dots\dots (A.32)$$

$$Z = 2 \times \frac{h_{f1}^2}{6} \times \frac{t_{f1}}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots (A.33)$$

式中:

- σ_f ——支腿装配焊缝的弯曲应力, MPa;
- Z ——焊缝的抗弯截面模量, mm^3 ;
- h_{f1} ——每条装配焊缝的计算长度, mm, $h_{f1} = h_f - 10$;
- t_{f1} ——焊缝的焊脚高度, mm。

A.7.2 支腿装配焊缝的剪切应力为:

$$\tau_1 = \frac{F_{L2}}{A_1} \dots\dots\dots (A.34)$$

$$A_1 = 2 \times h_{f1} \times \frac{t_{f1}}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots (A.35)$$

式中:

- τ_1 ——支腿装配焊缝的剪切应力, MPa;
- A_1 ——焊缝的横截面积, mm^2 。

A.7.3 支腿装配焊缝的当量应力为:

$$\sigma_z = \sqrt{\sigma_f^2 + 3\tau_1^2} \dots\dots\dots (A.36)$$

$$[B] = 1.5[\sigma]^t \phi \dots\dots\dots (A.37)$$

式中:

- $[B]$ ——支腿装配焊缝的抗弯、抗剪许用应力, MPa;
- ϕ ——焊缝系数。对于角焊缝受剪切时, $\phi = 0.49$ 。

支腿装配焊缝的弯曲应力验算:

$$\sigma_f \leq [B] \dots\dots\dots (A.38)$$

支腿装配焊缝的剪切应力验算:

$$\tau_1 \leq [B] \dots\dots\dots (A.39)$$

支腿装配焊缝的当量应力验算:

$$\sigma_z \leq [B] \dots\dots\dots (A.40)$$

A.8 支腿计算例题

A.8.1 已知容器(图 A.1)条件:

- a) 壳体材料为 20R, 容器设计温度为 200℃, 介质为油和水;
- b) 公称直径 DN 为 1200mm, 外径(保温层外径) $D_o = 1428\text{mm}$;
 总高度 $H_1 = 8000\text{mm}$, 壳体总长度 $H_0 = 6456\text{mm}$; 壳体切线距 $L = 5824\text{mm}$;
 支承高度 H 为 1900mm, 封头直边高度 h_2 为 40mm;

封头名义厚度 $\delta_{1n}=16\text{mm}$, 筒体名义厚度 $\delta_{2n}=14\text{mm}$, 垫板名义厚度 $\delta_a=12\text{mm}$;

支腿底板厚度 $\delta_b=22\text{mm}$, 壳体保温厚度 $\delta_{is}=100\text{mm}$;

支腿数量 $N=4$, 支腿规格为 H180×180×8/12, 支腿底板腐蚀裕度 $C_b=2\text{mm}$;

地脚螺栓规格 M24, 腐蚀裕度 $C_{bt}=2\text{mm}$, 容器平台梯子层数为 2 层;

c) 设计地区基本风压为 $q_0=800\text{Pa}$, 地面粗糙度为 B 类, 地震设防烈度为 8 度;

设计基本地震加速度 $0.2g$, 设备建设场地类别为 II 类, 设备直接安装在刚性地基上。

A.8.2 水平风载荷

$$P_w=1.2f_1q_0D_0H_0\times 10^{-6}=1.2\times 1\times 800\times 1428\times 6456\times 10^{-6}=8850.4\text{N}$$

$$\text{其中, 按设备质心所在高度: } H_c=H-h_2+\frac{L}{2}=1900-40+\frac{5824}{2}=4772\text{mm}$$

B 类地面粗糙度, 风压高度变化系数 f_1 取 1.0。

A.8.3 地震作用标准值计算

设备操作质量 (包括壳体及其附件, 内部介质及保温层、平台梯子的质量): $m_0=13395\text{kg}$

地震影响系数: $a_c=0.16$

$$\text{地震作用标准值: } P_c=a_c m_0 g=0.16\times 13395\times 9.81=21025\text{N}$$

A.8.4 载荷的确定

水平载荷取风载荷 P_w 和 (地震载荷 $P_c+0.25P_w$) 较大值, $F_H=23238\text{N}$

垂直载荷取设备最大操作重力: $W_1=131360\text{N}$

$$\text{每个支腿的水平反力: } R=\frac{F_H}{N}=\frac{23238}{4}=5809.5\text{N}$$

支腿 H 型钢高度: $W=180\text{mm}$

支腿 H 型钢翼板厚度: $t_2=12\text{mm}$

支腿中心圆直径:

$$D_B=W+2\sqrt{\left(\frac{D_1}{2}+\delta_{2n}+\delta_a\right)^2}=180+2\sqrt{\left(\frac{1200}{2}+14+12\right)^2-\left(\frac{180-2\times 12}{2}\right)^2}=1422.2\text{mm}$$

弯矩的拉伸侧:

$$\text{单根支腿垂直反力: } F_{L1}=\frac{4F_H\cdot H_c}{ND_B}-\frac{W_1}{N}=\frac{4\times 23238\times 4772}{4\times 1422.2}-\frac{131360}{4}=45132\text{N}$$

弯矩的压缩侧:

$$\text{单根支腿垂直反力: } F_{L2}=\frac{4F_H\cdot H_c}{ND_B}-\frac{W_1}{N}=\frac{4\times 23238\times 4772}{4\times 1422.2}-\frac{131360}{4}=-110812\text{N}$$

A.8.5 支腿稳定及强度计算

A.8.5.1 支腿稳定计算

假定支腿与壳体的连接为固接, 支腿端部为自由端。单根支腿内产生的最大应力, 发生在受压侧的支腿内。

单根支腿的周向水平截面惯性矩: $I_{x-x}=33065000\text{mm}^4$

单根支腿的径向水平截面惯性矩: $I_{y-y}=11671000\text{mm}^4$

单根支腿的横截面面积: $A=5568\text{mm}^2$

支腿材料的拉伸弹性模量: $E=2.06\text{E}+5\text{MPa}$

支腿材料的屈服强度: $R_{eL}=235.4\text{MPa}$

设计温度下支腿材料的许用应力： $[\sigma]^{200^\circ\text{C}}=105\text{MPa}$

I_{\min} 取 I_{X-X} 和 I_{Y-Y} 的较小值，单位为 mm^4

单根支腿截面的最小回转半径： $\bar{i} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} = \sqrt{\frac{11\,671\,000}{5568}} = 45.782\text{mm}$

支腿的有效长细比： $\lambda = \frac{0.7H}{\bar{i}} = \frac{0.7 \times 1900}{45.782} = 29.05$

支腿的极限长细比： $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6 R_{eL}}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \times 2.06 \times 10^5}{0.6 \times 235.4}} = 120$

由于 $\lambda \leq \bar{\lambda}$ ， $[\sigma_{cr}] = \frac{1.2 \left[1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\bar{\lambda}} \right)^2 \right] \sigma_s}{n_s \eta}$

其中， $n_s = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\bar{\lambda}} \right)^2 = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} \left(\frac{29.05}{120} \right)^2 = 1.54$

设备重要度系数 η ，取 $\eta=1$

支腿的许用临界应力： $[\sigma_{cr}] = \frac{1.2 \left[1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\bar{\lambda}} \right)^2 \right] R_{eL}}{n_s \eta} = \frac{1.2 \left[1 - 0.4 \left(\frac{29.05}{120} \right)^2 \right] \times 235.4}{1.54 \times 1} = 179.2\text{MPa}$

单根支腿的压应力： $\sigma_c = \frac{F_{L2}}{A} = \sqrt{\frac{-110\,812}{5568}} = -19.9\text{MPa}$

支腿的稳定验算：由于 $\sigma_c < [\sigma_{cr}]$ ，压杆稳定。

A.8.5.2 支腿剪切计算

支腿的剪切应力： $\tau = \frac{F_H}{N \cdot A} = \frac{23\,238}{4 \times 5568} = 1.04\text{MPa}$

支腿的许用剪切应力： $[\tau] = 0.6[\sigma]^{200^\circ\text{C}} = 0.6 \times 105 = 63\text{MPa}$

由于 $\tau < [\tau]$ ，所以安全。

A.8.5.3 支腿弯曲计算

壳体外壁至支腿形心距离 $e = \frac{W}{2} = \frac{180}{2} = 90\text{mm}$

支腿与本体装配的焊缝长度 h_f ，取 $h_f = 360\text{mm}$

基础板下表面至支腿装配焊缝中心的距离长度： $L_1 = H + \frac{h_f}{2} + 50 = 1900 + \frac{360}{2} + 50 = 2130\text{mm}$

单根支腿的最小抗弯截面模量： $W_{\min} = 129\,674\text{mm}^3$

支腿的弯曲应力： $\sigma_b = \frac{R \cdot L_1 - F_{L2} \cdot e}{W_{\min}} = \frac{5\,809.5 \times 2130 - (-110\,812) \times 90}{129\,674} = 172.3\text{MPa}$

支腿的许用弯曲应力： $[\sigma_b] = 235\text{MPa}$

支柱的弯曲应力验算：由于 $[\sigma_b] < [\sigma_b]$ ，所以安全。

A.8.5.4 支腿钢结构综合评价

要求支腿满足： $\left| \frac{\sigma_c}{[\sigma_{cr}]} \right| + \left| \frac{\sigma_b}{[\sigma_b]} \right| \leq 1$

由于 $\left| \frac{-19.9}{179.2} \right| + \left| \frac{172.3}{235} \right| = 0.8442 \leq 1$ ，满足要求。

A. 8. 6 地脚螺栓的强度验算

A. 8. 6. 1 地脚螺栓的拉应力

地脚螺栓螺距: $t_b=3\text{mm}$

一个地脚螺栓的内径: $d_1=20.752\text{mm}$

一个地脚螺栓的有效截面积: $A_{bt} = \frac{\pi}{4} \left(d_1 - c_{bt} - \frac{0.866 \times t_b}{6} \right)^2 = \frac{\pi}{4} \left(d_1 - 2 - \frac{0.866 \times 3}{6} \right)^2 = 263.6\text{mm}^2$

一个支腿的地脚螺栓数: $n_{bt}=2$ 个

地脚螺栓的拉应力:

$$\sigma_{bt} = \frac{1}{N \cdot n_{bt} \cdot A_{bt}} \left(\frac{4F_H \cdot H_c}{D_b} - W_1 \right) = \frac{1}{4 \times 2 \times 263.6} \left(\frac{4 \times 23\,238 \times 4\,772}{1\,422.2} - 131\,360 \right) = 85.6\text{MPa}$$

碳钢制地脚螺栓常温下的许用应力: $[\sigma_{bt}] = 147\text{MPa}$

地脚螺栓的拉应力验算: $[\sigma_{bt}] < [\sigma_{bt}]$, 安全。

A. 8. 6. 2 地脚螺栓的剪切应力

地脚螺栓的剪切应力: $\tau_{bt} = \frac{F_H - 0.4W_1}{N \cdot n_{bt} \cdot A_{bt}} = \frac{23\,238 - 0.4 \times 131\,360}{4 \times 2 \times 263.6} = -13.90\text{MPa}$

当 τ_{bt} 计算得的值小于 0 时, 其值为 0

碳钢制地脚螺栓常温下的许用剪应力: $[\tau_{bt}] = 117.6\text{MPa}$

地脚螺栓的剪应力验算: $\tau_{bt} < [\tau_{bt}]$, 安全。

A. 8. 7 基础板的强度计算

基础上的压缩应力: $\sigma_{c1} = \frac{F_{L2}}{b_1 \times b_2} = \frac{110\,812}{240 \times 240} = 1.924\text{MPa}$

其中, $b_1=240\text{mm}$, $b_2=240\text{mm}$

混凝土许用耐压应力: $[\sigma_{c1}] = 11.768\text{MPa}$

基础上的压缩应力验算: $\sigma_{c1} < [\sigma_{c1}]$, 满足要求。

支腿到基础板边缘的最大长度: $B=30\text{mm}$

基础板的许用应力: $[\sigma] = 235\text{MPa}$

计算所需支腿底板厚度: $\delta_b = B \sqrt{\frac{3\sigma_{c1}}{[\sigma]}} + C_b = 30 \sqrt{\frac{3 \times 1.924}{235}} + 2 = 6.70\text{mm}$

取支腿底板厚度 $\delta_b=22\text{mm}$, 满足要求。

A. 8. 8 支腿装配焊缝的强度计算

A. 8. 8. 1 支腿装配焊缝的弯曲应力

每条装配焊缝的计算长度: $h_{f1} = h_f - 10 = 360 - 10 = 350\text{mm}$

焊缝的焊脚高度: $t_{f1} = 12.0\text{mm}$

焊缝的抗弯截面模量: $Z = 2 \times \frac{h_{f1}^2}{6} \times \frac{t_{f1}}{\sqrt{2}} = 2 \times \frac{350^2}{6} \times \frac{12}{\sqrt{2}} = 346\,482.3\text{mm}^3$

支腿装配焊缝的弯曲应力: $\sigma_f = \frac{R \cdot L_1}{Z} = \frac{5\,809.5 \times 2\,130}{346\,482.3} = 35.71\text{MPa}$

A.8.8.2 支腿装配焊缝的剪切应力

$$\text{焊缝的横截面积: } A_1 = 2 \times h_{f1} \times \frac{t_{f1}}{\sqrt{2}} = 2 \times 350 \times \frac{12}{\sqrt{2}} = 5939.7 \text{ mm}^2$$

$$\text{支腿装配焊缝的剪切应力: } \tau_1 = \frac{F_{L2}}{A_1} = \frac{110812}{5939.7} = 18.66 \text{ mm}^2$$

A.8.8.3 支腿装配焊缝的当量应力

$$\sigma_z = \sqrt{\sigma_f^2 + 3\tau_1^2} = \sqrt{35.71^2 + 3 \times 18.66^2} = 48.16 \text{ MPa}$$

设计温度下支腿材料的许用应力: $[\sigma]^{200^\circ\text{C}} = 105 \text{ MPa}$

焊缝系数: $\phi = 0.49$

支腿装配焊缝的抗弯、抗剪许用应力: 取 $1.5[\sigma]\phi = 1.5 \times 105 \times 0.49 = 77.18 \text{ MPa}$

支腿装配焊缝的弯曲应力验算: $\sigma_f < 77.18 \text{ MPa}$, 安全。

支腿装配焊缝的剪切应力验算: $\tau_1 < 77.18 \text{ MPa}$, 安全。

支腿装配焊缝的当量应力验算: $\sigma_z < 77.18 \text{ MPa}$, 安全。

JB/T 4712.2—2007

《容器支座 第2部分：腿式支座》

标准释义

JB/T 4712.2—2007《容器支座 第2部分：腿式支座》

标准释义

JB/T 4712的本部分是在原JB/T 4713—1992的基础上，并依据JB/T 4713—1992实施以来所取得的经验，参照近期国外同类标准进行修订而成的。

本次修订进行了如下变动：

1. 腿式支座系列参数表中的“容器最大总高 $H_{1\max}$ ”改为“壳体最大切线距 L_{\max} ”。

经过以上变动，可防止当立式容器总高在容器最大总高 $H_{1\max}$ 范围内时，因支腿高度的变化而有可能发生计算截面的最大应力超限。

2. 增加H型钢腿式支座系列。H型钢腿式支座系列对应原标准的容器壳体直径系列，最大支承高度由原1200mm扩大到2000mm，容器总高由原5000mm扩大到8000mm。

本次修订将最大支承高度由原1200mm扩大到2000mm，容器总高由原5000mm扩大到8000mm，是为了满足石油化工装置大型化发展的需要。采用H型钢腿式支座，主要是考虑到H型钢支腿比同档的槽钢、工字钢支腿有更大的抗弯截面模量。考虑到制造厂选材、制造方便，H型钢支腿采用焊接H型钢，H型钢支腿应符合YB 3301《焊接H型钢》的要求。

3. 在第5章中，增加了支腿用角钢、支腿用钢管、支腿用H型钢的制造与验收技术标准。

4. 将支腿计算例题列入附录A（资料性附录），当设计条件与JB/T 4712的本部分不符时，供设计人员核算时参考。

支腿计算方法参考了以下文献：

（1）JB/T 4710—2005《钢制塔式容器》；

（2）SH 3048—1999《石油化工钢制设备抗震设计规范》；

（3）GB 150《钢制压力容器》；

（4）化工设备设计全书，化工容器，化学工业出版社，2003。

5. JB/T 4712的本部分支腿设计条件为：设计温度200℃；基本风压值800Pa；A类地面粗糙度；地震设防烈度8度（Ⅱ类场地土），设计基本地震加速度0.2g。直接安装在刚性地基上。

当容器支腿设计条件与上不符时，设计人员应予以核算，合格后方可选用。