

UDC

SH

中华人民共和国行业标准

P

SH 3078-96

立式圆筒形钢制和铝制料仓
设计 规 范

Specification for the design of vertical cylindrical
steel and aluminium silos

1996-10-04 发布

1997-06-01 实施

中国石油化工总公司 发布

中华人民共和国行业标准

立式圆筒形钢制和铝制料仓 设计 规 范

Specification for the design of vertical cylindrical
steel and aluminium silos

SH 3078-96

主编单位：上海金山石油化工设计院
批准部门：中国石油化工总公司

中国石油化工总公司文件

中石化(1996)建字 485 号

关于发布行业标准《立式圆筒形钢制 和铝制料仓设计规范》的通知

各有关单位:

由上海金山石油化工设计院主编的《立式圆筒形钢制和铝制料仓设计规范》已经审查和定稿,现批准《立式圆筒形钢制和铝制料仓设计规范》SH 3078-96 为石油化工行业标准,自 1997 年 6 月 1 日实施。

本规范的具体解释工作,由上海金山石油化工设计院负责。

中国石油化工总公司

一九九六年十月四日

目 次

1	总则	1
2	一般规定	2
2.1	压力	2
2.2	温度	2
2.3	荷载	3
2.4	厚度	3
2.5	许用应力	5
2.6	焊缝系数及检验要求	6
2.7	压力试验	7
2.8	致密性试验	8
3	材料	9
4	仓体	16
4.1	符号说明	16
4.2	物料荷载	19
4.3	自振周期	21
4.4	风荷载	23
4.5	地震作用	29
4.6	最大弯矩	36
4.7	应力计算	37
4.8	强度校核	38
4.9	稳定性校核	39
4.10	加强圈	41

4.11	支承面以下的仓体	44
5	料斗	45
5.1	符号说明	45
5.2	物料压力	45
5.3	应力计算	46
5.4	应力校核	47
5.5	料斗稳定性校核	48
5.6	料斗与仓体的连接部分	48
6	顶盖	51
6.1	符号说明	51
6.2	锥形顶盖	52
6.3	拱形顶盖	54
6.4	顶盖与仓体的连接部分	58
7	支座	62
7.1	符号说明	62
7.2	裙式支座	65
7.3	耳式支座	78
7.4	环形梁支座	87
附录 A	引用的有关标准规范目录	91
附录 B	松散物料的物性	插页
附录 C	材料的弹性模量	93
附录 D	外压铝制圆筒计算图	插页
附录 E	开孔和开孔补强	101
附录 F	铝制料仓焊接常用坡口型式及尺寸	插页
附录 G	铝制料仓的焊丝选用	104
附录 H	用词说明	105

附加说明	106
附 条文说明	107

1 总 则

1.0.1 本规范适用于石油化工行业中贮存固体粒状松散物料的钢制和铝制立式焊接圆筒形料仓的设计。

1.0.2 料仓的设计条件为：

(1) 容积不小于 50 m^3 。

(2) 设计压力为常压。当料仓顶部设置呼吸阀时，设计压力限制为内压不高于 2kPa (0.002MPa)、仓内负压不低于 0.5kPa (0.0005MPa)；

(3) 设计温度不高于 $100\text{ }^\circ\text{C}$ 。

1.0.3 执行本规范时，尚应符合现行有关标准规范的要求。

2 一般规定

2.1 压力

2.1.1 除注明者外，压力均为表压力。

2.1.2 工作压力 指在正常工作情况下，料仓顶部可能达到的最高压力。

2.1.3 设计压力 指设定的料仓顶部的最高压力。设计压力与相应的设计温度一起作为设计荷载的条件，其值不应低于工作压力。当顶部装设呼吸阀时，即为呼吸阀的开启压力。

2.1.4 计算压力 指在相应设计温度下，用以确定料仓壳体各部位厚度的压力，其值为设计压力与固体松散物料的重力荷载对壳体各部位产生的压力之和。

2.2 温度

2.2.1 任何情况下，金属表面的温度不得超过材料的允许使用温度。

2.2.2 金属温度 指料仓元件沿截面厚度的温度平均值。

2.2.3 设计温度 指料仓在正常工作时，相应的设计压力下设定的壳体元件的金属温度，其值不得低于壳体元件可能达到的最高金属温度；对于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下的金属温度，设计温度不得高于壳体元件可能达到的最低金属温度。

在寒冷地区露天安放或置于无采暖厂房内受环境低

温影响的钢制料仓，当其设计温度受环境温度控制时，其设计温度按如下原则确定：

- (1) 无保温设施的料仓，设计温度取最低环境温度；
- (2) 有保温设施的料仓，设计温度应根据物料温度、料仓大小、散热情况等综合考虑壁温，通过计算分析或参考实例确定。

料仓的设计温度(标志在铭牌上的设计温度)是指壳体的设计温度。

2.3 荷 载

2.3.1 设计时应考虑以下荷载：

- (1) 设计内压；
- (2) 设计外压；
- (3) 料仓的自重；
- (4) 储存物料的重力荷载；
- (5) 支座、底座圈、支耳及其他形式支撑件的反作用力；
- (6) 连接管道和其他部件的作用力；
- (7) 冲击反力，如由固体松散物料冲击引起的反力；
- (8) 风荷载；
- (9) 雪荷载；
- (10) 地震作用；
- (11) 附加设备、管道、平台、扶梯等附件的重力荷载；

2.4 厚 度

2.4.1 计算厚度 指按各章公式计算得到的厚度。

- 2.4.2 设计厚度 指计算厚度与腐蚀裕量之和。
- 2.4.3 名义厚度 指设计厚度加上材料厚度负偏差后向上圆整至材料标准规格的厚度。
- 2.4.4 有效厚度 指名义厚度减去腐蚀裕量和材料厚度负偏差。
- 2.4.5 最小厚度 指加工成形后不包括腐蚀裕量的料仓壳体名义厚度的最低值。

仓体、顶盖和料斗的最小厚度为：

- (1) 碳素钢、低合金钢和铝制料仓，不小于 3 mm；
 - (2) 不锈钢制料仓，不小于 2 mm。
- 2.4.6 厚度附加量 指腐蚀裕量与材料厚度负偏差之和，按下式确定：

$$C = C_1 + C_2 \quad (2.4.6)$$

式中 C —— 厚度附加量 (mm)；
 C_1 —— 材料厚度负偏差 (mm)；
 C_2 —— 腐蚀裕量 (mm)。

2.4.7 材料厚度负偏差应按材料标准的规定选取。当材料的厚度负偏差不大于 0.25 mm，且不超过名义厚度的 6% 时，负偏差可忽略不计。

2.4.8 腐蚀裕量 腐蚀裕量的确定应符合下列规定：

- (1) 碳素钢或低合金钢制料仓，不小于 1 mm；
- (2) 铝或不锈钢制料仓，当物料的腐蚀性极微时，可取零；
- (3) 碳钢裙座壳体取 2 mm；
- (4) 地脚螺栓取 3 mm。

2.4.9 壳体加工裕量由图样规定，或由制造厂与设计单

位共同商定。料仓产品各部位的实际厚度应不小于该部位的名义厚度减去材料厚度负偏差。

2.5 许用应力

2.5.1 材料的许用应力系按材料的各项强度数据分别除以表 2.5.1 中相应的系数，取其中的最小值。材料的许用应力按本规范第 3 章表 3.0.5 和表 3.0.6 选取。

材 料	强度性能	常温下最低抗拉强度 σ_b	常温和设计温度下的 屈服点 σ_s 或 σ_s'
	系 数	n_b	n_s
碳素钢、低合金钢 铁素体不锈钢		≥ 3	≥ 1.6
奥氏体不锈钢		—	≥ 1.5
铝、铝合金		≥ 4	≥ 1.5

2.5.2 复合钢板的许用应力

对于复层与基层完全贴合，且对接焊缝完全熔透的复合钢板，在设计计算中如需计入复层材料的强度时，设计温度下的许用应力应按下式确定：

$$[\sigma]' = \frac{[\sigma]_1' \delta_1 + [\sigma]_2' \delta_2}{\delta_1 + \delta_2} \quad \text{MPa} \quad (2.5.2)$$

式中 $[\sigma]'$ —— 设计温度下复合钢板的许用应力(MPa)；

δ_1 —— 基层钢板的名义厚度 (mm) ;

δ_2 —— 复层材料的厚度 (mm), 不计入腐蚀裕量;

$[\sigma]_1^t$ —— 设计温度下基层钢板的许用应力 (MPa);

$[\sigma]_2^t$ —— 设计温度下复层材料的许用应力 (MPa)。

2.5.3 许用轴向压缩应力

设计温度下仓体的许用轴向压缩应力, 应按下式确定:

$$[\sigma]_{cr}^t = \begin{cases} 0.216E^t \frac{\delta_e}{D_i} \\ 1.2[\sigma]^t \end{cases} \quad (2.5.3)$$

取其中较小值。

式中 $[\sigma]_{cr}^t$ —— 设计温度下仓体的许用轴向压缩应力 (MPa);

E^t —— 设计温度下仓体材料的弹性模量 (MPa);

δ_e —— 仓体的有效厚度 (mm);

D_i —— 仓体的内直径 (mm);

$[\sigma]^t$ —— 设计温度下仓体材料的许用应力 (MPa)。

2.6 焊缝系数及检验要求

2.6.1 焊缝系数应根据料仓受压元件的焊缝种类和射线透照检测的程度选取。

2.6.1.1 钢制料仓焊缝系数按表 2.6.1-1 选取。

钢制料仓焊缝系数

表 2.6.1-1

焊缝种类	射线透照检测程度	焊缝系数
双面对接焊或用氩弧焊打底的 全焊透对接焊缝	全部检测	1.0
	局部检测	0.85
	不做检测	0.7

2.6.1.2 铝制料仓焊缝系数按表 2.6.1—2 选取。

铝制料仓焊缝系数

表 2.6.1-2

焊接方法	焊缝种类	射线透照检测程度	焊缝系数
熔化极 氩弧焊	全焊透 对接焊缝	全部检测	0.9
		局部检测	0.85
		不做检测	0.7

2.6.2 射线透照检测的评定按《压力容器无损检测》JB4730 进行，合格级别为：

- (1)全部检测——II级；
- (2)局部检测——III级。

2.7 压力试验

2.7.1 料仓制成后必须进行压力试验，压力试验的项目和要求应在图样上注明。

压力试验宜采用液压试验。对于不适宜作液压试验的料仓可采用气压试验。

2.7.2 液压试验的试验压力为设计压力绝对值的 1.25 倍。

2.7.3 气压试验的试验压力等于设计压力绝对值。

2.8 致密性试验

2.8.1 如果图样有要求，料仓应进行致密性试验，试验压力等于设计压力绝对值。

3 材 料

3.0.1 料仓材料应根据料仓的使用条件、材料的力学性能、焊接和成形等制造工艺性能及经济合理性进行选择。

3.0.2 料仓材料的技术要求应符合相应的国家标准、行业标准或技术要求以及图样和技术文件所规定的其他要求。

3.0.3 料仓材料应具有材料厂的质量证明书(或其复印件),料仓制造单位应按质量证明书对材料进行验收,必要时应进行复验。

3.0.4 当对材料有特殊要求时,应在设计图样或相应技术文件中注明。

3.0.5 钢板的使用状态及许用应力应符合表 3.0.5 的规定。

3.0.6 铝和铝合金板的许用应力应符合表 3.0.6 的规定。

3.0.7 裙座的基础环、盖板和筋板、耳座的底板和筋板以及环座构件材料的许用应力,对低碳钢取 $[\sigma]_n = 140 \text{ MPa}$ 。

3.0.8 地脚螺栓宜选用 Q235-A 或 16Mn。

Q235-A 的许用应力取 $[\sigma]_n = 147 \text{ MPa}$;

16Mn 的许用应力取 $[\sigma]_n = 170 \text{ MPa}$ 。

如采用其他碳素钢或优质碳素结构钢作地脚螺栓,则取 $n_s \geq 1.6$ 。

3.0.9 设计温度低于 $0 \text{ }^\circ\text{C}$ 但高于 $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ 的料仓壳体用厚度大于或等于 6 mm 的铁素体钢钢板时,应进行

常温 V 形缺口夏比冲击韧性试验（纵向试样），每组三个试样的平均冲击功，不应小于 27 J。

3.0.10 设计温度低于 0 °C 但高于 - 20 °C 的料仓壳体用 20 R（厚度大于 25 mm），16MnR（厚度大于 38 mm）钢板，应进行设计温度下的低温 V 形缺口夏比冲击韧性试验（横向试样），每组三个试样的平均冲击功，应达到下列要求：

20R 大于或等于 18 J；

16MnR 大于或等于 20 J。

3.0.11 设计温度低于或等于 - 20 °C 的料仓材料，宜选用铝、铝合金或不锈钢。

3.0.12 内壁有抛光要求的料仓，所采用的不锈钢钢板的表面加工等级，应在设计图样上注明。

钢板许用应力

表 3.0.5

材料号	标准号	使用状态	板厚 (mm)	常温强度指标		≤ 100 °C 时 许用应力 (MPa)	最低使用温度 (°C)
				σ_b (MPa)	σ_s (MPa)		
碳 素 钢 和 低 合 金 钢 钢 板							
Q235-A. F	GB 912 GB 3274	热 轧	≤ 16	375	235	125	0
Q235-A Q235-B Q235-C	GB 912 GB 3274	热 轧	≤ 16	375	235	125	0
			17 ~ 40	375	225		
20R	GB 6654	热 轧 或 正 火	6 ~ 16	400	245	133	> -20
			17 ~ 25	400	235	132	
			26 ~ 36	400	225	126	
			38 ~ 60	400	215	119	
16Mn	GB 1591 GB 3274	热 轧 或 正 火	≤ 16	510	345	170	> -20
			17 ~ 25	490	325	163	
16MnR	GB 6654	热 轧 或 正 火	6 ~ 16	510	345	170	> -20
			17 ~ 25	490	325	163	
			26 ~ 36	490	305		
			38 ~ 60	470	285	157	

续表 3.0.5

材料号	标准号	使用状态	板厚 (mm)	常温强度指标		≤ 100℃时 许用应力 (MPa)
				σ_b (MPa)	σ_s (MPa)	
高合金钢钢板						
0Cr18Ni9	GB 3280 GB 4237	固 溶	2 ~ 30	520	206	137
0Cr18Ni11Ti	GB 3280 GB 4237	固 溶 或稳定化	2 ~ 30	520	206	137
0Cr17Ni12Mo2	GB 3280 GB 4237	固 溶	2 ~ 30	520	206	137
00Cr19Ni11	GB 3280 GB 4237	固 溶	2 ~ 30	481	177	118
00Cr17Ni14Mo2	GB 3280 GB 4237	固 溶	2 ~ 30	481	177	118

铝 板 许 用 应 力

表 3.0.6

材料号	标准号	使用状态	板厚 (mm)	常温强度指标		下列温度 (°C) 下的许用应力 (MPa)		
				σ_b (MPa)	σ_s (MPa)	≤ 65	75	100
L2	GB 3193 GB 3880 GB 10568 GB 10569	M	≤ 10	59	(18)	12	12	11
		R	5 ~ 10	69	(26)	16	16	15
			11 ~ 25	78	(26)			
			26 ~ 80	64	(24)	14	14	13
L3	GB 3193 GB 3880 GB 10568 GB 10569	M	≤ 10	59	(20)	13	13	12
		R	5 ~ 10	69	(26)	16	16	15
			11 ~ 25	78	(26)			
			26 ~ 80	64	(24)	14	14	13
L4 L5 L6	GB 3193 GB 3880 GB 10568 GB 10569	M	≤ 10	59	(22)	14	14	13
		R	5 ~ 10	69	(26)	16	16	15
			11 ~ 25	78	(26)			
			26 ~ 80	64	(24)	14	14	13

续表 3.0.6

材料号	标准号	使用状态	板厚 (mm)	常温强度指标		下列温度(°C)下的许用应力(MPa)		
				σ_b (MPa)	σ_s (MPa)	≤ 65	75	100
LF2	GB 3193	M	≤ 10	167	(64)	42	42	42
	GB 3880							
	GB 10568	R	5 ~ 25	177	(69)	44	—	—
	GB 10569		26 ~ 80	157	(49)	33	—	—
LF3	GB 3193	M	≤ 4.5	196	98	49	—	—
	GB 3880	R	5 ~ 10	186	78	46	—	—
	GB 10568		11 ~ 25	177	69	44	—	—
	GB 10569		26 ~ 50	167	59	40	—	—
LF5、 LF11	GB 3193 GB 3880	M	≤ 4.5	274	147	68	—	—
		R	5 ~ 10	274	127	68	—	—
			11 ~ 25	265	118	66	—	—
			26 ~ 50	255	108	64	—	—

续表 3.0.6

材料号	标准号	使用状态	板厚 (mm)	常温强度指标		下列温度(°C)下的许用应力(MPa)		
				σ_b (MPa)	σ_s (MPa)	≤ 65	75	100
LF21	GB 3193 GB 3880 GB 10568 GB 10569	M	≤ 10	98	(34)	23	23	23
		R	5 ~ 10	108	(41)	26	26	25
			11 ~ 25	118	(41)	26	—	—
			26 ~ 50	108	(41)	26	—	—

注：① L —— 工业纯铝；

LF —— 防锈铝；

M —— 退火状态；

R —— 热成形状态。

②表中括号中的值为推荐值。

③只有在保证表中 σ_b 和 σ_s 值（包括推荐值）的情况下，才能采用表中所列的许用应力值。

4 仓 体

4.1 符号说明

- A —— 特性纵座标；
- G —— 超压系数；
- D —— 仓体内直径；
- E^t —— 设计温度下材料的弹性模量；
- F_{k1} —— 集中质量引起的基本振型水平地震力；
- F_V^{1-1} —— 任意计算截面 I-I 处的垂直地震力；
- F_V^{0-0} —— 底截面（即支座支承面，下同） 0-0 处的垂直地震力；
- H —— 料仓高度；
- H_E —— 料仓当量高度；
- H_i —— 料仓顶部到计算截面 I-I 处的距离；
- I_i —— 第 i 段的截面惯性矩；
- I_{i+1} —— 第 $i+1$ 段的截面惯性矩；
- I_j —— 仓体加强圈的惯性矩；
- L_E —— 两相邻加强圈之间的当量长度；
- L_{e_j} —— 第 j 个加强圈到料仓仓体与顶盖连接处的当量长度；

- L_j —— 第 j 个加强圈到料仓仓体与顶盖连接处的距离；
- M_E^{I-I} —— 任意计算截面 I-I 处的地震弯矩；
- M_{E1}^{I-I} —— 任意计算截面 I-I 处的第一振型地震弯矩；
- M_{E1}^{0-0} —— 底截面 0-0 处的第一振型地震弯矩；
- M_W^{I-I} —— 任意计算截面 I-I 处的风弯矩；
- M_W^{0-0} —— 底截面 0-0 处的风弯矩；
- M_{\max}^{I-I} —— 任意计算截面 I-I 处的最大弯矩；
- M_{\max}^{0-0} —— 底截面 0-0 处的最大弯矩；
- P_i^{I-I} —— 松散物料在任意计算截面 I-I 以上的仓壁上引起的摩擦力；
- T_1 —— 料仓的基本自振周期；
- g —— 重力加速度；
- h_{ci} —— 第 i 段集中质量距地面高度；
- h_{ck} —— 任意计算截面 I-I 以上集中质量 m_k 距地面高度；
- h_i —— 计算截面 I-I 距地面高度；
- h_z —— 计算截面 I-I 到自由面，即物料锥高度的 $1/3$ 处的距离；
- k —— 仓体加强圈数量；

- m —— 稳定系数；
- m_i —— 第 i 段的质量；
- m_{1i} —— 第 i 段料仓的壳体和内外附件的质量之和；
- m_{2i} —— 料仓装满物料时，第 i 段内物料的质量；
- m_0 —— 料仓总质量；
- m_{10} —— 料仓壳体和内外附件的质量之和；
- m_{20} —— 装满物料时，料仓内物料的质量；
- m_0^{1-1} —— 任意计算截面 I-I 以上的质量；
- m_{10}^{1-1} —— 计算截面 I-I 以上的料仓的本体和内外附件的质量之和；
- m_{20}^{1-1} —— 料仓装满物料时，计算截面 I-I 以上的料仓内物料的质量；
- n —— 料仓计算分段数；
- p_{cr} —— 仓体临界压力；
- p_h^{1-1} —— 任意计算截面 I-I 处的物料侧向压力；
- p_n —— 由贮存物料以外的其他因素造成的内压或外压；
- p_o —— 仓体设计外压；
- p_v^{1-1} —— 任意计算截面 I-I 处的物料垂直压力；
- γ —— 物料堆积重度；
- ϕ —— 焊缝系数；

- ψ —— 物料内摩擦角的最小值；
 ψ' —— 物料与仓壁的摩擦角；
 δ_{ci} —— 各计算段的仓壁有效厚度；
 δ_{Ni} —— 各计算段的仓壁名义厚度；
 δ_{Nn} —— 顶层仓壁的名义厚度；
 σ_{z1} —— 由压力 P_n 引起的轴向应力；
 σ_{z2} —— 由重力，摩擦力和垂直地震力引起的轴向应力；
 σ_{z3} —— 由弯矩引起的轴向应力；
 σ_{θ} —— 周向应力；
 $[\sigma]^t$ —— 设计温度下仓体材料的许用应力；
 $[\sigma]_{cr}^t$ —— 设计温度下仓体材料的许用轴向压应力。

4.2 物料荷载

4.2.1 由料仓所贮存的松散物料在计算截面 I-I 处引起的垂直压力，应按下式计算：

$$p_v^{I-I} = \gamma \left(\frac{h_z A}{h_z + A} + \frac{D_i \operatorname{tg} \psi}{6} \right) \times 10^{-9} \quad (4.2.1-1)$$

$$A = \frac{D_i}{4 \operatorname{tg} \psi' \operatorname{tg}^2 (45 - \psi / 2)} - \frac{D_i \operatorname{tg} \psi}{6} \quad (4.2.1-2)$$

- 式中 p_v^{1-1} —— 任意计算截面 I-I 处的物料垂直压力 (MPa) ;
- γ —— 物料堆积重度 (N/m³) ;
- D_i —— 仓体内直径 (mm) ;
- A —— 特性纵坐标 (mm) ;
- h_z —— 计算截面 I-I 到物料自由面, 即物料锥高度的 1/3 处的高度 (mm) (图 4.3.2) ;
- ψ —— 物料内摩擦角的最小值, 按附录 B “松散物料的性质” 查取 (°) ;
- ψ' —— 物料与仓壁的摩擦角, 按附录 B “松散物料的性质” 查取 (°) 。

4.2.2 由料仓所贮存的松散物料在计算截面 I-I 处引起的侧向压力, 应按下式计算:

$$p_h^{1-1} = \frac{\gamma D_i}{4 \operatorname{tg} \psi'} \left[1 - \frac{A^2}{(h_z + A)^2} \right] \times 10^{-9} \quad (4.2.2)$$

式中 p_h^{1-1} —— 任意计算截面 I-I 处的物料侧向压力 (MPa) 。

4.2.3 由料仓所贮存的松散物料在计算截面 I-I 以上的仓壁上引起的摩擦力, 应按下式计算:

$$P_f^{1-1} = \frac{\pi \gamma D_i^2 h_z^2}{4(h_z + A)} \times 10^{-9} \quad (4.2.3)$$

式中 P_i^{i-1} —— 松散物料在任意计算截面 I-I 以上的仓壁上引起的摩擦力 (N)。

4.3 自振周期

4.3.1 等厚度料仓的基本自振周期，应按下式计算：

$$T_1 = 90.33H \sqrt{\frac{m_0 H}{E' \delta_e D_i^3}} \times 10^{-3} \quad (4.3.1-1)$$

$$\text{空载时} \quad m_0 = m_{10} \quad (4.3.1-2)$$

$$\text{满载时} \quad m_0 = m_{10} + m_{20} \quad (4.3.1-3)$$

式中 T_1 —— 料仓的基本自振周期 (s)；

H —— 料仓高度 (mm) (图 4.3.2)；

m_0 —— 料仓总质量 (kg)；

m_{10} —— 料仓壳体和内外附件的质量之和 (kg)；

m_{20} —— 装满物料时，料仓内物料的质量 (kg)；

E' —— 设计温度下材料的弹性模量 (MPa)；

δ_e —— 料仓仓壁有效厚度 (mm)。

4.3.2 不等厚度料仓视作为一个多质点体系 (图 4.3.2)，基本自振周期，应按下式计算：

$$T_1 = 114.8 \sqrt{\sum_{i=1}^n m_i \left(\frac{h_{ci}}{H}\right)^3 \left(\sum_{i=1}^n \frac{H_i^3}{E' I_i} - \sum_{i=1}^n \frac{H_i^3}{E' I_{i-1}}\right)} \times 10^{-3} \quad (4.3.2-1)$$

$$\text{空载时} \quad m_i = m_{1i} \quad (4.3.2-2)$$

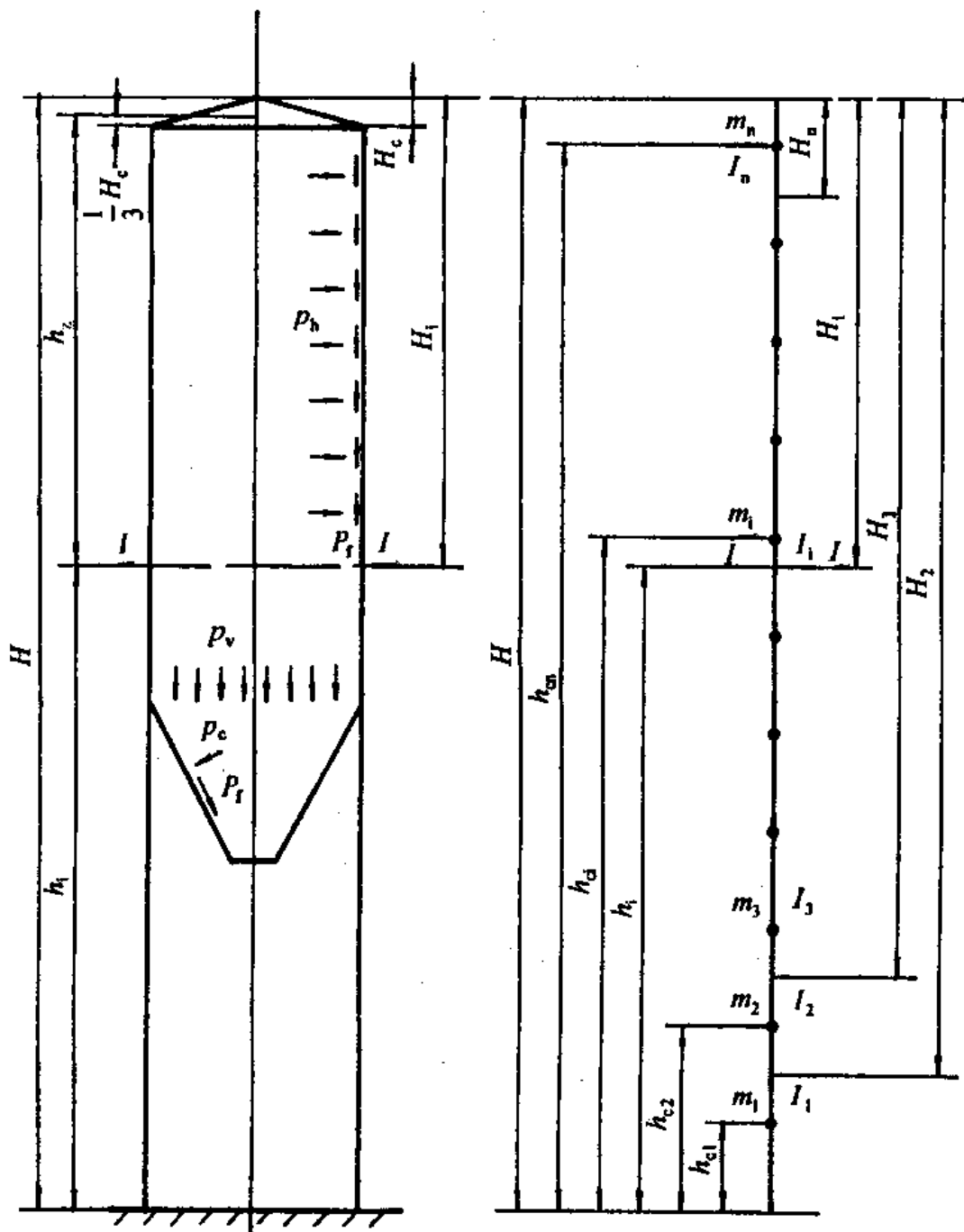


图 4.3.2 物料荷载分析和多质点体系示意

$$\text{满载时 } m_i = m_{1i} + m_{2i} \quad (4.3.2-3)$$

$$I_i = \frac{\pi}{8} (D_i + \delta_{ei})^3 \delta_{ei} \quad (4.3.2-4)$$

- 式中 m_i —— 第 i 段的质量 (kg) ;
- m_{1i} —— 第 i 段料仓壳体和内外附件的质量之和 (kg) ;
- m_{2i} —— 料仓装满物料时, 第 i 段内物料的质量 (kg) ;
- h_{ei} —— 第 i 段集中质量距地面高度 (mm) (图 4.3.2) ;
- H_i —— 料仓顶部到计算截面 I-I 处的距离 (mm) (图 4.3.2) ;
- I_i —— 第 i 段的截面惯性矩 (mm⁴) ;
- I_{i+1} —— 第 $i+1$ 段的截面惯性矩 (mm⁴) ;
- δ_{ei} —— 各计算段的仓壁有效厚度 (mm) 。

4.4 风 荷 载

4.4.1 两相邻计算截面的水平风力, 应按下式计算:

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= K_1 K_{21} q_0 f_1 l_1 D_{e1} \times 10^{-6} \\ P_2 &= K_1 K_{22} q_0 f_2 l_2 D_{e2} \times 10^{-6} \\ P_i &= K_1 K_{2i} q_0 f_i l_i D_{ei} \times 10^{-6} \end{aligned} \right\} (4.4.1-1)$$

料仓高度 $H \leq 20\text{m}$ 时 $K_{2i} = 1.70$ (4.4.1-2)

料仓高度 $H > 20\text{m}$ 时 $K_{2i} = 1 + \frac{\xi v_i \varphi_{zi}}{f_i}$ (4.4.1-3)

$$D_{ei} = D_{oi} + K_3 + K_4 + d_0 \quad (4.4.1-4)$$

$$K_4 = \frac{2 \sum F}{l_0} \quad (4.4.1-5)$$

式中 P_1, P_2, \dots, P_i —— 各计算段的水平风力 (N);

K_1 —— 体型系数, 取 0.7;

$K_{21}, K_{22}, \dots, K_{2i}$ —— 各计算段的风振系数;

q_0 —— 基本风压值 (N/m²), 各地

区的基本风压值查《钢制塔

式容器》(JB 4710) 附录

C “全国基本风压分布图”,

或按当地气象部门资料, 但

均不小于 250 N/m²;

f_1, f_2, \dots, f_i —— 各计算段的风压高度变化系

数, 按表 4.4.1-1 查取;

$l_1、l_2、\dots、l_i$ ——各计算段的长度 (mm) (图 4.4.2) ;

$D_{e1}、D_{e2}、\dots、D_{ei}$ ——各计算段的有效直径 (mm) ;

ξ ——脉动增大系数, 按表 4.4.1-2 查取;

v_i ——第 i 段脉动影响系数, 按表 4.4.1-3 查取;

φ_{zi} ——第 i 段振型系数, 按表 4.4.1-4 查取;

D_{oi} ——各计算段的外直径 (mm) ;

K_3 ——笼式梯子当量宽度 (mm), 当无确切数据时, 可取 400 mm ;

K_4 ——操作平台当量宽度 (mm) ;

d_0 ——料仓顶部管线外直径 (mm) ;

ΣF ——第 i 段内平台构件的投影面积, 不计空挡投影面积 (mm²) ;

l_0 ——操作平台所在计算段的长度 (mm) 。

风压高度变化系数 f_i

表 4.4.1-1

f_i	地面粗糙度 类别			
		A	B	C
第 i 段顶截面 距地面高度 h_i (m)				
5		1.17	0.80	0.54
10		1.38	1.00	0.71
15		1.52	1.14	0.84
20		1.63	1.25	0.94
30		1.80	1.42	1.11
40		1.92	1.56	1.24
50		2.03	1.67	1.36
60		2.12	1.77	1.46
70		2.20	1.86	1.55
80		2.27	1.95	1.64
90		2.34	2.02	1.72
100		2.40	2.09	1.79

注：① A类地面粗糙度系指近海面、海岛、海岸、湖岸及沙漠地区；

B类地面粗糙度系指田野、乡村、丛林、丘陵及房屋比较稀疏的中小城镇和大城市郊区；

C类地面粗糙度系指有密集建筑群的大城市市区。

②若采用当地气象部门资料时，对 A类地区高度变化系数 f_i 应取 B类地区系数，B类和 C类地区不变。

脉动增大系数 ξ

表 4. 4. 1-2

$q_1 \cdot T_1^2 (\text{N} \cdot \text{S}^2 / \text{m}^2)$	10	20	40	60	80	100	200	400	600
ξ	1.47	1.57	1.69	1.77	1.83	1.88	2.04	2.24	2.36
$q_1 \cdot T_1^2 (\text{N} \cdot \text{S}^2 / \text{m}^2)$	800	1000	2000	4000	6000	8000	10000	20000	30000
ξ	2.46	2.53	2.80	3.09	3.28	3.42	3.54	3.91	4.14

注：A类地区 $q_1 = 1.38 q_0$ ；

B类地区 $q_1 = q_0$ ；

C类地区 $q_1 = 0.71 q_0$ 。

脉动影响系数 ν_i

表 4.4.1-3

ν_i 地面粗糙度类别	h_{it} (m)					
	10	20	40	60	80	100
A	0.78	0.83	0.87	0.89	0.89	0.89
B	0.72	0.79	0.85	0.88	0.89	0.90
C	0.66	0.74	0.82	0.86	0.88	0.89

振型系数 φ_{zi}

表 4.4.1-4

相对高度 h_{it}/H	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
φ_{zi}	0.02	0.07	0.15	0.24	0.35	0.48	0.60	0.73	0.87	1.00

4.4.2 风弯矩

4.4.2.1 料仓计算截面 I-I 处的风弯矩, 应按下式计算:

$$M_W^{I-I} = P_i \frac{l_i}{2} + P_{i+1} \left(l_i + \frac{l_{i+1}}{2} \right) + P_{i+2} \left(l_i + l_{i+1} + \frac{l_{i+2}}{2} \right) + \dots$$

(4.4.2-1)

式中 M_W^{I-I} —— 任意计算截面 I-I 处的风弯矩
(N · mm) 。

4.4.2.2 料仓底截面 0-0 处的风弯矩, 应按下式计算:

$$M_W^{0-0} = P_1 \frac{l_1}{2} + P_2 \left(l_1 + \frac{l_2}{2} \right) + P_3 \left(l_1 + l_2 + \frac{l_3}{2} \right) + \dots$$

(4.4.2-2)

式中 M_W^{0-0} —— 底截面 0-0 处的风弯矩 (N · mm) 。

4.5 地震作用

4.5.1 水平地震力

料仓在任意高度 h_{ck} 处的第一振型的水平地震力, 应分空载和满载两种情况按下式计算:

$$F_{k1} = C_z \alpha_1 \eta_{k1} m_k g \quad (4.5.1-1)$$

$$\alpha = \left(\frac{T_g}{T} \right)^{0.9} \alpha_{\max} \quad (4.5.1-2)$$

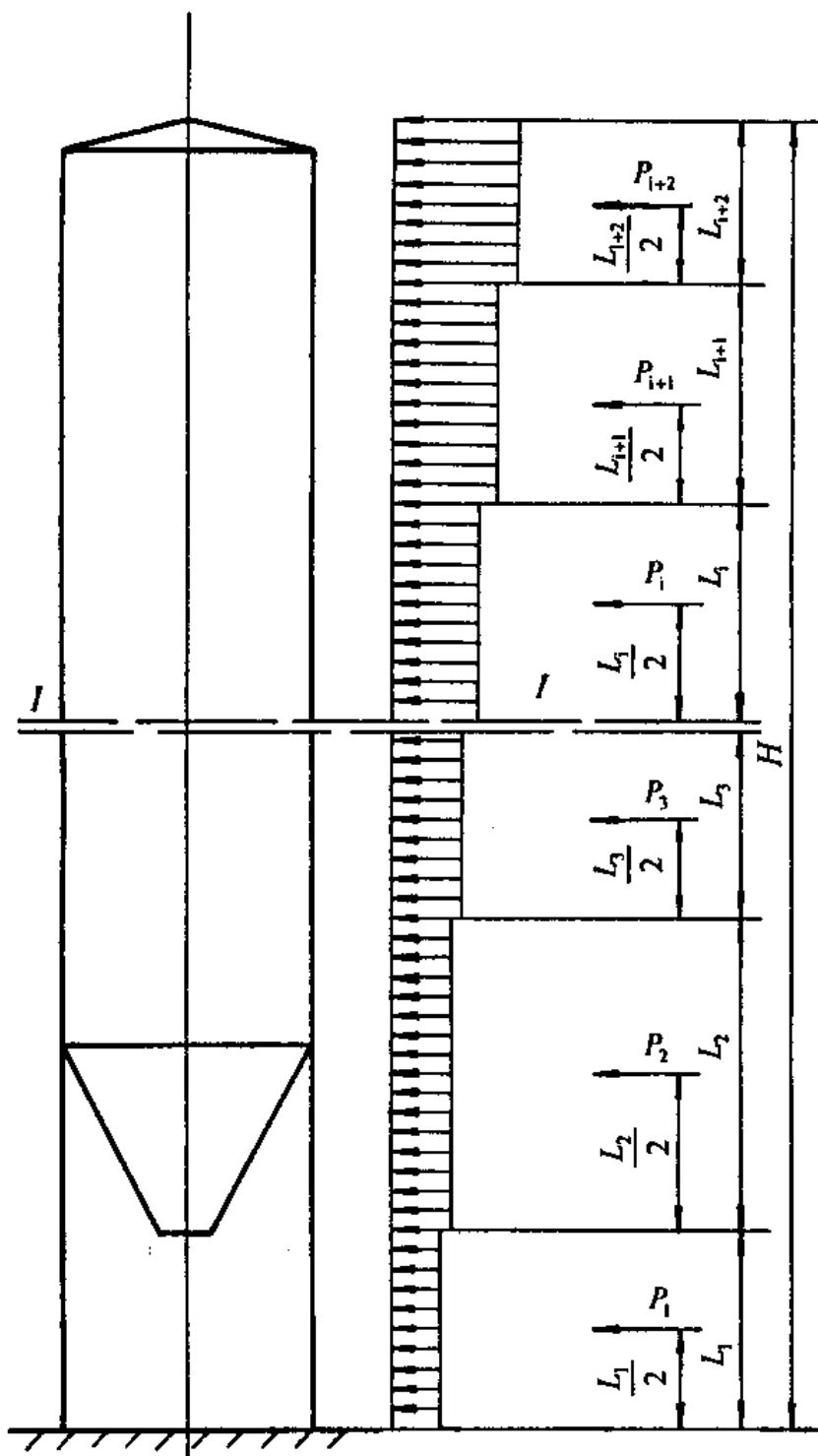


图 4.4.2 风弯矩计算示意

$$\eta_{k1} = \frac{h_{ck}^{1.5} \sum_{i=1}^n (m_i b_{ci}^{1.5})}{\sum_{i=1}^n (m_i h_{ci}^3)} \quad (4.5.1-3)$$

式中 F_{k1} —— 集中质量引起的第一振型水平地震力
(N) ;

C_z —— 综合影响系数, 取 0.5 ;

α_i —— 对应于料仓基本自振周期 T_i 的地震影
响系数 α 值;

η_{k1} —— 振型参与系数;

m_k —— 距底截面 0-0 高度 h_{ck} 处的集中质量
(kg) (图 4.5.1-1) ;

g —— 重力加速度, 取 9.81m/s^2 ;

α —— 地震影响系数, 查图 4.5.1-2, 但不
得小于 $0.2\alpha_{\max}$;

T_g —— 特征周期 (s), 按表 4.5.1-1 查取;

α_{\max} —— 地震影响系数的最大值, 按表 4.5.1-
2 查取;

h_{ck} —— 任意计算截面 I-I 以上集中质量 m_k
距地面高度 (mm) (图 4.5.1-1) 。

特征周期 T_g (s)

表 4.5.1-1

场地类别	近震	远震
I	0.20	0.25
II	0.30	0.40
III	0.40	0.55
IV	0.65	0.85

地震影响系数 α 的最大值

表 4.5.1-2

设计烈度	7	8	9
α_{\max}	0.23	0.45	0.90

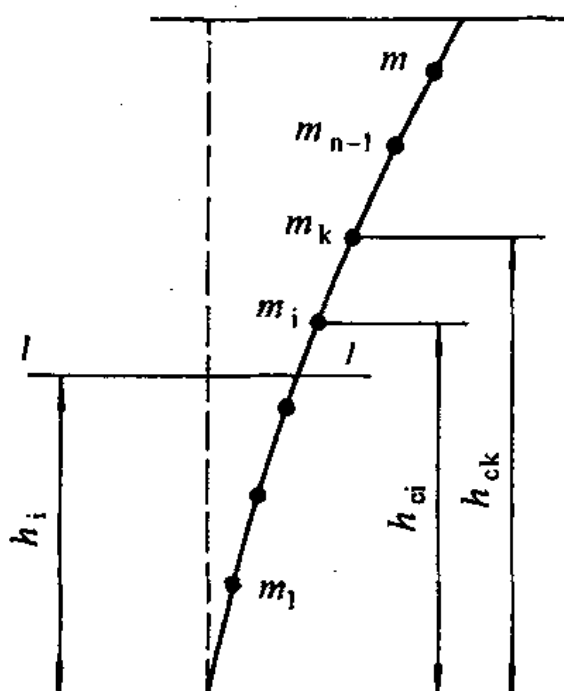


图 4.5.1-1 水平地震作用计算简图

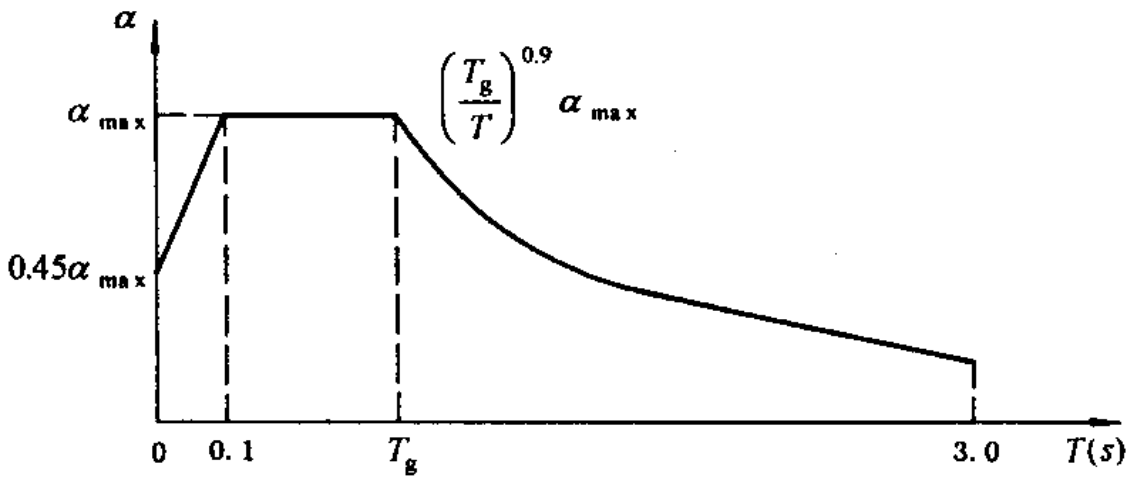


图 4.5.1-2 地震影响系数曲线

4.5.2 场地的分类应按《建筑抗震设计规范》GBJ11 的有关规定划分。

4.5.3 竖向地震力

设防烈度为 8 度或 9 度区的料仓应考虑上下两个方向竖向地震力作用，如图 4.5.3 所示，按空载和满载两种情况考虑。

4.5.3.1 料仓底截面 0-0 处的竖向地震力，应按下式计算：

$$F_v^{0-0} = \alpha_{vmax} m_{eq} g \quad (4.5.3-1)$$

式中 F_v^{0-0} —— 竖向地震力 (N)；

α_{vmax} —— 竖向地震影响系数最大值，取 $0.65 \alpha_{max}$ ；

m_{eq} —— 料仓的当量质量，取 $0.75 m_0$ (kg)。

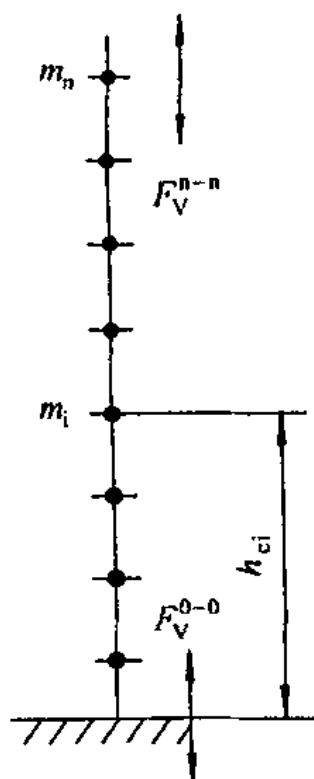


图 4.5.3 多质点体系竖向地震力作用计算简图

4.5.3.2 任意质量 m_i 处的竖向地震力，应按下式计算：

$$F_v^{I-I} = \frac{m_i h_{ci}}{\sum_{k=i}^n (m_k h_{ck})} F_v^{0-0} \quad (4.5.3-2)$$

式中 F_v^{I-I} —— 任意计算截面 I-I 处的竖向地震力 (N)。

4.5.4 地震弯矩

4.5.4.1 料仓计算截面 I-I 处的第一振型地震弯矩，应按下式计算 (图 4.5.1-1)：

$$M_{E1}^{1-1} = \sum_{k=1}^n [F_{k1}(h_{ck} - h_i)] \quad (4.5.4-1)$$

式中 M_{E1}^{1-1} —— 任意计算截面 I-I 处的第一振型地震弯矩 (N · mm) ;

h_i —— 计算截面 I-I 距地面高度 (mm) (图 4.3.2) 。

4.5.4.2 等厚度料仓计算截面 I-I 处的第一振型地震弯矩, 应按下式计算:

$$M_{E1}^{1-1} = \frac{8C_z \alpha_1 m_0 g}{175H^{2.5}} (10H^{3.5} - 14H^{2.5}h_i + 4h_i^{3.5}) \quad (4.5.4-2)$$

4.5.4.3 等厚度料仓底截面 0-0 处的第一振型地震弯矩, 应按下式计算:

$$M_{E1}^{0-0} = \frac{16}{35} C_z \alpha_1 m_0 g H \quad (4.5.4-3)$$

式中 M_{E1}^{0-0} —— 底截面 0-0 处的第一振型地震弯矩 (N · mm) 。

4.5.4.4 当料仓 $\frac{H}{D} > 15$, 高度大于或等于 20 m

时, 尚需考虑高振型的影响, 在进行稳定或其他验算时, 地震弯矩应按下列公式计算:

$$M_E^{1-1} = 1.25 M_{E1}^{1-1} \quad (4.5.4-4)$$

$$M_E^{0-0} = 1.25 M_{E1}^{0-0} \quad (4.5.4-5)$$

式中 M_E^{1-1} —— 任意计算截面 I-I 处的地震弯矩 (N · mm) ;

M_E^{0-0} —— 底截面 0-0 处的地震弯矩 (N · mm)。

不考虑高振型的影响时, 地震弯矩应按下列公式计算:

$$M_E^{1-1} = M_{E1}^{1-1} \quad (4.5.4-6)$$

$$M_E^{0-0} = M_{E1}^{0-0} \quad (4.5.4-7)$$

4.6 最大弯矩

4.6.1 料仓计算截面 I-I 处的最大弯矩, 应按下列式计算:

$$M_{\max}^{1-1} = \begin{cases} M_W^{1-1} \\ M_E^{1-1} + 0.25 M_W^{1-1} \end{cases} \quad \text{取其中较大值(4.6.1)}$$

式中 M_{\max}^{1-1} —— 任意计算截面 I-I 处的最大弯矩 (N · mm)。

4.6.2 料仓底截面 0-0 处的最大弯矩, 应按下列式计算:

$$M_{\max}^{0-0} = \begin{cases} M_W^{0-0} \\ M_E^{0-0} + 0.25 M_W^{0-0} \end{cases} \quad \text{取其中较大值(4.6.2)}$$

式中 M_{\max}^{0-0} ——底截面 0-0 处的最大弯矩 (N·mm)。

4.7 应力计算

4.7.1 料仓计算截面 I-I 处的周向应力, 应按下式计算:

$$\sigma_{\theta}^{I-I} = \frac{p_n + C_d p_h^{I-I}}{2\delta_{ei}} (D_i + \delta_{ei}) \quad (4.7.1)$$

式中 σ_{θ}^{I-I} ——任意计算截面 I-I 处的周向应力 (MPa) ;

p_n ——由贮存物料以外的其他因素造成的内压或外压。顶盖装有呼吸阀时, 设计外压为呼吸阀负压设定压力的 1.2 倍 (MPa) ;

C_d ——仓体超压系数, 取 1.0 ~ 2.0 。

4.7.2 料仓计算截面 I-I 处的轴向应力计算时, 应考虑空载和物料满载两种情况, 分别按下列公式计算:

$$\sigma_{z1}^{I-I} = \frac{p_n}{4\delta_{ei}} (D_i + \delta_{ei}) \quad (4.7.2-1)$$

$$\sigma_{z2}^{I-I} = \frac{m_0^{I-I} g + C_d P_f^{I-I} \pm F_V^{I-I}}{\pi D_i \delta_{ei}} \quad (4.7.2-2)$$

$$\sigma_{z3}^{I-I} = \frac{4 M_{\max}^{I-I}}{\pi D_i^2 \delta_{ei}} \quad (4.7.2-3)$$

空载时 $m_0^{I-I} = m_{10}^{I-I}$ (4.7.2-4)

满载时 $m_0^{I-I} = m_{10}^{I-I} + m_{20}^{I-I}$ (4.7.2-5)

式中 σ_{z1}^{I-I} —— 由贮存物料以外的其他因素造成的内压或外压引起的轴向应力 (MPa) ;
 σ_{z2}^{I-I} —— 空载或物料满载时重力、摩擦力和竖向地震力引起的轴向应力 (MPa) ;
 σ_{z3}^{I-I} —— 弯矩引起的轴向应力 (MPa) ;
 m_0^{I-I} —— 计算截面 I-I 以上的质量 (kg) ;
 m_{10}^{I-I} —— 计算截面 I-I 以上的料仓的本体和内外附件的质量之和 (kg) ;
 m_{20}^{I-I} —— 料仓装满物料时, 计算截面 I-I 以上的料仓内物料的质量 (kg) 。

其中 F_v 仅在最大弯矩为地震弯矩参与组合时计入。

4.8 强度校核

4.8.1 周向应力, 应按下式校核:

$$\sigma_{\theta} \leq [\sigma]^t \varphi \quad (4.8.1)$$

式中 σ_{θ} —— 周向应力 (MPa) ;

$[\sigma]^t$ —— 设计温度下仓体材料的许用应力

(MPa) ;

φ —— 焊缝系数。

4.8.2 受内压仓体的轴向拉应力，应按下式校核：

$$\sigma_{z1} - \sigma_{z2} + \sigma_{z3} \leq 1.2[\sigma]^t \varphi \quad (4.8.2)$$

4.8.3 受外压仓体的轴向拉应力，应按下式校核：

$$-\sigma_{z2} + \sigma_{z3} \leq 1.2[\sigma]^t \varphi \quad (4.8.3)$$

4.9 稳定性校核

4.9.1 轴向压应力校核

4.9.1.1 受内压仓体的轴向压应力，应按下式校核：

$$\sigma_{z2} + \sigma_{z3} \leq [\sigma]_{cr}^t \quad (4.9.1-1)$$

式中 $[\sigma]_{cr}^t$ —— 设计温度下仓体的许用轴向压应力
(MPa) 。

4.9.1.2 受外压仓体的轴向压应力，应按下式校核：

$$\sigma_{z1} + \sigma_{z2} + \sigma_{z3} \leq [\sigma]_{cr}^t \quad (4.9.1-2)$$

4.9.2 风载荷作用下仓体的稳定性

4.9.2.1 料仓当量高度，应按下式计算：

$$H_E = \sum_{i=1}^n H_{ei} \quad (4.9.2-1)$$

$$H_{ei} = l_i \left(\frac{\delta_{Nn}}{\delta_{Ni}} \right)^{2.5} \quad (4.9.2-2)$$

式中 H_E —— 料仓当量高度 (mm) ;
 H_{ei} —— 第 i 段当量高度 (mm) ;
 l_i —— 各计算段的长度 (mm) (图 4.10.3) ;
 δ_{Nn} —— 顶层仓壁的名义厚度 (mm) ;
 δ_{Ni} —— 各计算段的仓壁名义厚度 (mm) 。

4.9.2.2 仓体临界压力, 应按下列公式计算:

当 $1.1\sqrt{\delta_e D_i} \leq H_E < 5.5\sqrt{\delta_e D_i}$ 时

$$p_{cr} = \frac{2.6E^t}{\left(\frac{\delta_e}{D_i}\right)^{2.5} \left[\left(\frac{H_E}{D_i}\right) - 0.45\left(\frac{\delta_e}{D_i}\right)^{0.5} \right]} \quad (4.9.2-3)$$

当 $5.5\sqrt{\delta_e D_i} \leq H_E < 0.55\frac{D_i^{1.5}}{\delta_e^{0.5}}$ 时

$$p_{cr} = \frac{2.6E^t}{\frac{H_E}{D_i} \left(\frac{D_i}{\delta_e}\right)^{2.5}} \quad (4.9.2-4)$$

当 $H_E \geq 0.55 \frac{D_i^{1.5}}{\delta_e^{0.5}}$ 时，应在仓体上设置加强圈。

式中 p_{cr} —— 仓体临界压力 (MPa)；

H_E —— 料仓当量高度 (mm)，设置加强圈时，
应取两加强圈之间的仓体长度。

4.9.2.3 仓体的设计外压，应按下式计算：

$$p_o = 2.25 f_i q_o + p_n \quad (4.9.2-5)$$

式中 p_o —— 仓体设计外压 (MPa)；

p_n —— 由贮存物料以外的其他因素造成的外压
(MPa)。顶盖装有呼吸阀时，为呼吸阀
负压设定压力的 1.2 倍。

4.9.2.4 稳定性，应按下式校核：

$$p_o \leq \frac{p_{cr}}{m} \quad (4.9.2-6)$$

式中 m —— 稳定系数，取 3。

4.10 加强圈

4.10.1 当仓体临界压力不符合第 4.9.2.4 节要求时，
仓体上应设置加强圈，加强圈的数量，应符合下式要求：

$$k \geq \frac{mp_o}{p_{cr}} - 1 \quad (4.10.1)$$

式中 k —— 仓体加强圈数量。

4. 10. 2 加强圈的惯性矩，应满足下式要求：

$$I_j \geq \frac{P_{cr} L_{jj} D_i^3}{31.2 E^t} \quad (4. 10. 2)$$

式中 I_j —— 仓体加强圈的惯性矩 (mm^4)；

L_{jj} —— 两个加强圈之间的距离 (mm)。

4. 10. 3 加强圈位置

4. 10. 3. 1 料仓沿高度 H_T 方向被加强圈分割成 $(k+1)$ 段(图 4. 10. 3)，每一段的当量长度，应按下式计算：

$$L_E = \frac{H_E}{k+1} \quad (4. 10. 3-1)$$

式中 L_E —— 两相邻加强圈之间的当量长度 (mm)。

各加强圈到料仓仓体与顶盖连接处的当量距离，应按下式计算：

$$L_{ej} = jL_E \quad (j = 1, 2, \dots, k) \quad (4. 10. 3-2)$$

式中 L_{ej} —— 第 j 个加强圈到料仓仓体与顶盖连接处的当量长度 (mm)；

j —— 自料仓顶部起，所设置加强圈的序号数(图 4. 10. 3)。

4. 10. 3. 2 各加强圈在料仓上设置位置按下式计算：

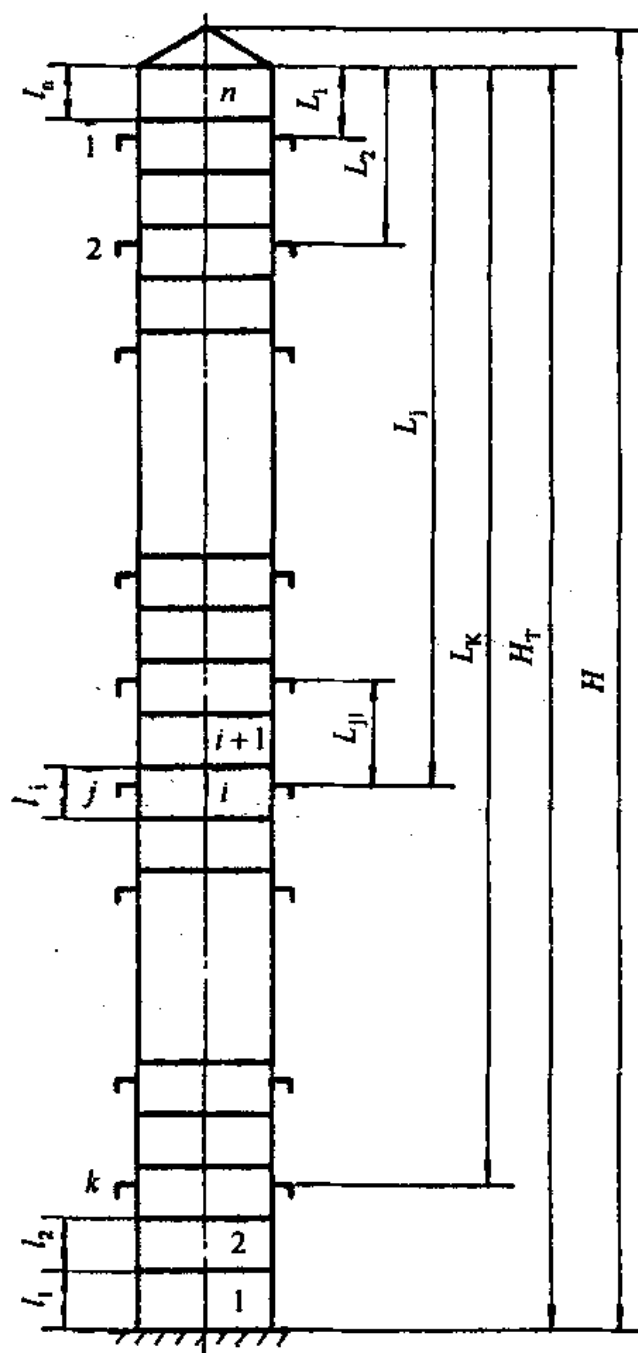


图 4.10.3 带加强圈料仓

$$L_j = (L_{ej} - \sum_{i=i+1}^n H_{ei}) \left(\frac{\delta_{Ni}}{\delta_{Nn}} \right)^{2.5} + \sum_{i=i+1}^n l_i \quad (4.10.3-3)$$

式中 L_j —— 第 j 个加强圈到料仓仓体与顶盖连接处的距离 (mm) (图 4.10.3)。

4.11 支承面以下的仓体

4.11.1 支座设置在仓体上的料仓, 其支承面以下的仓体应力计算时, 轴向应力 σ_z 应按下式计算:

$$\sigma_z = \frac{m_d g}{\pi D_i \delta_e} + \frac{D_i + \delta_e}{4 \delta_e} (C_d p_v + p_n) \quad (4.11.1)$$

式中 m_d —— 支承面以下的仓体和料斗 (包括内外附件) 的重量及其内部所贮满的松散物料的重量之和 (kg)。

5 料 斗

5.1 符 号 说 明

- C_d —— 超压系数；
 D_i —— 仓体内直径；
 F —— 周向力；
 m_c —— 料斗本体与料仓内所贮存的松散物料质量之和；
 g —— 重力加速度；
 p_c —— 物料压力；
 p_{11} —— 由贮存物料以外的其他因素造成的内压；
 p_o —— 设计外压；
 φ —— 焊缝系数；
 δ_e —— 料斗壁有效厚度；
 σ_z —— 轴向应力；
 σ_e —— 周向应力；
 $[\sigma]_h^t$ —— 设计温度下料斗材料的许用应力；
 $[\sigma]_s^t$ —— 设计温度下仓体材料的许用应力。

5.2 物 料 压 力

5.2.1 所贮存的松散物料对料斗所施加的压力,应按下

式计算：

$$p_c = p_h \sin^2 \alpha + p_v \cos^2 \alpha \quad (5.2.1)$$

- 式中 p_c —— 物料压力 (MPa) ;
 p_h —— 仓体在与料斗相连处的物料侧向压力 (MPa) ;
 p_v —— 仓体在与料斗相连处的物料垂直压力 (MPa) ;
 α —— 料斗母线的倾角 ($^\circ$) (图 5.2.1) 。

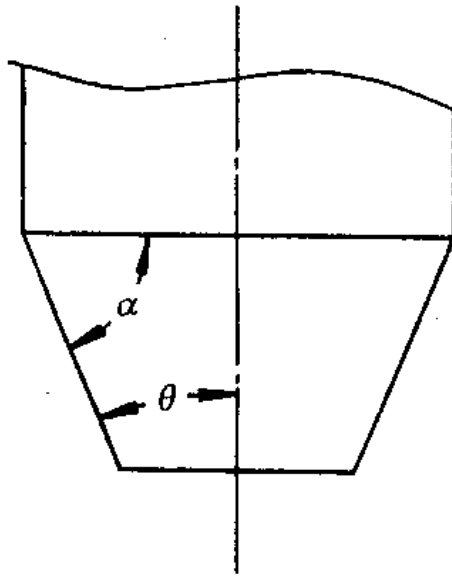


图 5.2 1 料 斗

5.3 应力计算

5.3.1 料斗最大周向应力，应按下式计算：

$$\sigma_{\theta} = \frac{D_i + \delta_e}{2\delta_e \cos\theta} (C_d p_c + p_n) \quad (5.3.1)$$

式中 σ_{θ} —— 料斗的周向应力 (MPa) ;
 D_i —— 仓体内直径 (mm) ;
 δ_e —— 料斗斗壁有效厚度 (mm) ;
 θ —— 料斗半顶角 ($^{\circ}$) (图 5.2.1) ;
 C_d —— 料斗超压系数, 取 1.0 ~ 1.25 ;
 p_n —— 由贮存物料以外的其他因素造成的内压 (MPa) 。

5.3.2 料斗最大轴向应力, 应按下式计算:

$$\sigma_z = \frac{m_c g}{\pi D_i \delta_e \cos\theta} + \frac{(D_i + \delta_e)(C_d p_v + p_n)}{4\delta_e \cos\theta} \quad (5.3.2)$$

式中 σ_z —— 料斗最大轴向应力 (MPa) ;
 m_c —— 料斗本体和料仓内所贮存的松散物料质量之和 (kg) ;
 g —— 重力加速度, 取 9.81 m / s² 。

5.4 应力校核

5.4.1 料斗上周向应力和轴向应力, 应按下列公式校核:

$$\sigma_{\theta} \leq [\sigma]_h^t \varphi \quad (5.4.1-1)$$

$$\sigma_z \leq [\sigma]_h' \varphi \quad (5.4.1-2)$$

式中 $[\sigma]_h'$ —— 设计温度下料斗材料的许用应力 (MPa) ;
 φ —— 焊缝系数。

5.5 料斗稳定性校核

5.5.1 料斗受外压时, 按《钢制压力容器》(GB 150) 进行稳定性校核。对铝制料斗计算时, 应采用的计算图为本规范附录 D 中图 D-1 ~ 图 D-5。

5.6 料斗与仓体的连接部分

5.6.1 连接部分的周向力, 应按下式计算:

$$F = q_c B_h + q_s B_s - 0.5 q_i D_i \cos \alpha \quad (5.6.1-1)$$

$$q_c = \frac{D_i (C_d p_c + p)}{2 \cos \theta} \quad (5.6.1-2)$$

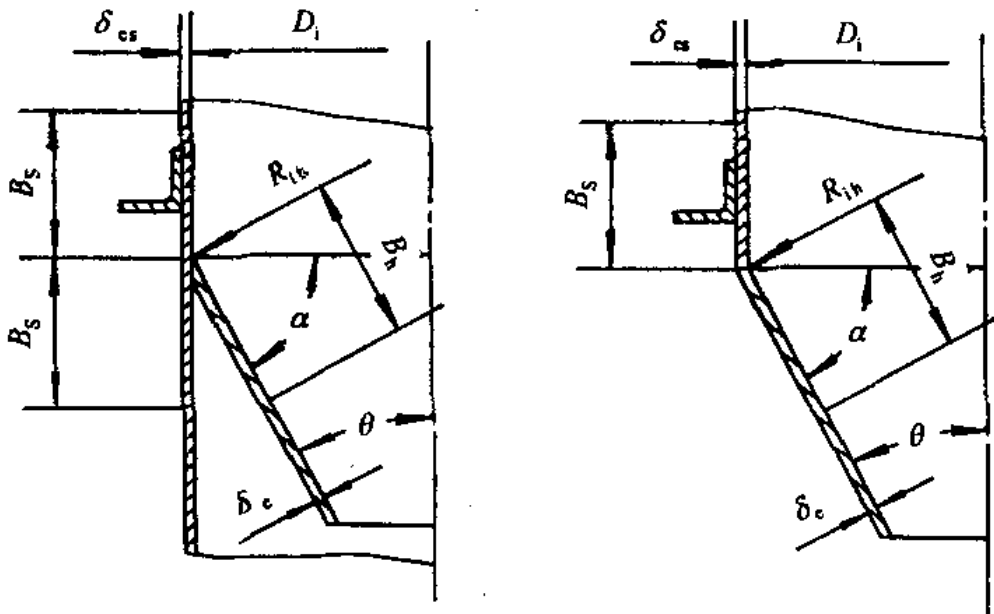
$$B_h = 0.6 \sqrt{R_{ih} \delta_e} \quad (5.6.1-3)$$

$$q_s = \frac{D_i (C_d p_h + p)}{2} \quad (5.6.1-4)$$

$$B_s = 0.6\sqrt{0.5D_i\delta_{es}} \quad (5.6.1-5)$$

$$q_l = \frac{D_i(C_d p_v + p)}{4 \cos \theta} + \frac{m_c g}{\pi D_i \cos \theta} \quad (5.6.1-6)$$

- 式中 F —— 周向力 (N) ;
- q_c —— 作用在连接部分上的料斗圆周方向的单位长度上的力 (N/mm) ;
- B_h —— 料斗侧承压圈区域的宽度 (mm) (图 5.6.1) ;
- q_s —— 作用在连接部分上的仓体圆周方向的单位长度上的力 (N/mm) ;
- B_s —— 仓体侧承压圈区域的宽度 (mm) (图 5.6.1) ;
- q_l —— 作用在连接部分上的料斗圆锥母线方向的单位长度上的力 (N/mm) ;
- p —— 料斗设计压力 (MPa) , 计算内压力时, $p = p_n$; 计算外压时, $p = p_o$;
- p_n —— 由贮存物料以外的其他因素造成的内压 (MPa) ;
- p_o —— 设计外压 (MPa) ;
- R_{ih} —— 连接部分上的料斗截面半径 (mm) (图 5.6.1) ;
- δ_{es} —— 连接部分上的仓壁有效厚度 (mm) ;



(a) 裙座支承

(b) 非裙座支承

图 5.6.1 料斗与仓体的连接

5.6.2 连接部分的周向应力，应按下式计算：

$$\sigma_{\theta 1} = \frac{F}{A} \quad (5.6.2)$$

式中 $\sigma_{\theta 1}$ —— 连接部分的周向应力 (MPa)；

A —— 图 5.6.1 中 B_{ih} 和 B_s 范围内的连接部分截面积 (mm^2)。

5.6.3 周向应力按下式校核：

$$\sigma_{\theta 1} \leq \begin{cases} [\sigma]_h^t \varphi \\ [\sigma]_s^t \varphi \end{cases} \quad (5.6.3)$$

式中 $[\sigma]_s^t$ —— 设计温度下仓体材料的许用应力 (MPa)。

6 顶 盖

6.1 符 号 说 明

- D_i —— 仓体内直径；
- E' —— 设计温度下顶盖板材料的弹性模量；
- F —— 周向力；
- M —— 弯矩；
- N —— 支承肋数量（直径长度的根数）；
- R_{it} —— 拱形顶盖球面曲率半径，或锥形顶盖在与仓体连接部位上的截面半径；
- W —— 顶盖上集中荷载；
- Z —— 支承肋的断面系数；
- p_n —— 设计内压；
- p_o —— 设计外压；
- p_{o1} —— 水平投影的单位面积顶盖的质量所引起的荷载；
- p_{o2} —— 水平投影的单位面积顶盖所承受的附加荷载；
- p_{o3} —— 由贮存物料以外的其他因素造成的外压；
- $[p]$ —— 许用外压；
- θ —— 锥形顶盖半顶角；

- ϕ —— 顶盖板焊缝系数;
- ϕ_r —— 支承肋焊缝系数;
- δ —— 顶盖板计算厚度;
- δ_c —— 顶盖折算厚度;
- $[\sigma]_r^t$ —— 设计温度下支承肋材料的许用应力;
- $[\sigma]_s^t$ —— 设计温度下仓体材料的许用应力;
- $[\sigma]_i^t$ —— 设计温度下顶盖板材料的许用应力。

6.2 锥形顶盖

6.2.1 适用范围

6.2.1.1 锥形顶盖的坡度, 不应小于 $1/6$, 且不大于 $3/4$ 。

6.2.1.2 无支承肋的锥形顶盖, 料仓直径不宜大于 5m ; 带支承肋的锥形顶盖, 料仓直径不宜大于 12m 。

6.2.2 无支承肋的锥形顶盖

6.2.2.1 顶盖承受内压时所需的厚度, 应按下式计算:

$$\delta = \frac{P_n D_i}{2[\sigma]_i^t \phi - P_n} \times \frac{1}{\cos \theta} \quad (6.2.2-1)$$

式中 δ —— 顶盖板计算厚度 (mm);

P_n —— 设计内压 (MPa), 装有呼吸阀时, 取呼吸阀排放开启压力的 1.2 倍;

D_i —— 仓体内直径 (mm) ;

$[\sigma]_t^i$ —— 设计温度下顶盖板材料的许用应力 (MPa) ;

ϕ —— 顶盖板焊缝系数;

θ —— 锥形顶盖半顶角 ($^\circ$) 。

6.2.2.2 顶盖承受外压时所需的厚度按下式计算:

$$\delta = \frac{2.24 D_i}{\cos \theta} \sqrt{\frac{p_o}{E^t}} \quad (6.2.2-2)$$

$$p_o = p_{o1} + p_{o2} + p_{o3} \quad (6.2.2-3)$$

式中 p_o —— 设计外压 (MPa) ;

p_{o1} —— 水平投影的单位面积顶盖的质量所引起的荷载 (MPa) ;

p_{o2} —— 水平投影的单位面积顶盖所承受的附加荷载 (MPa), 取 1.2×10^{-3} MPa (当雪荷载超过 0.6×10^{-3} MPa 时, 尚应加上所超过的雪荷载) ;

p_{o3} —— 由贮存物料以外的其他因素造成的外压 (MPa) ;

E^t —— 设计温度下顶盖板材料的弹性模量 (MPa) 。

6.2.3 带支承肋的锥形顶盖

6.2.3.1 顶盖承受外压时所需的厚度, 应按下式计算:

$$\delta = \frac{\pi D_i}{2N} \sqrt{\frac{p_o}{3[\sigma]_t^i}} \quad (6.2.3-1)$$

式中 N —— 支承肋数量（直径长度的根数）。

6.2.3.2 支承肋上最大弯矩，应按下式计算：

$$M = \frac{\pi D_i^3 p_0}{48N} + \frac{D_i W}{4N} \quad (6.2.3-2)$$

式中 M —— 支承肋上弯矩（ $N \cdot mm$ ）；

W —— 顶盖上集中载荷（ N ）。

6.2.3.3 支承肋的最小断面系数，应按下式计算：

$$Z = \frac{0.8M}{[\sigma]_r^t \varphi_r} \quad (6.2.3-3)$$

式中 Z —— 支承肋的断面系数（ mm^3 ）；

$[\sigma]_r^t$ —— 设计温度下支承肋材料的许用应力（ MPa ）；

φ_r —— 支承肋焊缝系数。

6.3 拱形顶盖

6.3.1 拱形顶盖的球面半径，宜取料仓内直径的 0.8 ~ 1.0 倍。

6.3.2 无支承肋的拱形顶盖

6.3.2.1 顶盖承受内压时所需的厚度，应按下式计算：

$$\delta = \frac{Q p_n D_i}{2[\sigma]_t^t \varphi - p_n} \quad (6.3.2-1)$$

式中 Q —— 系数，由图 6.3.2 查取。

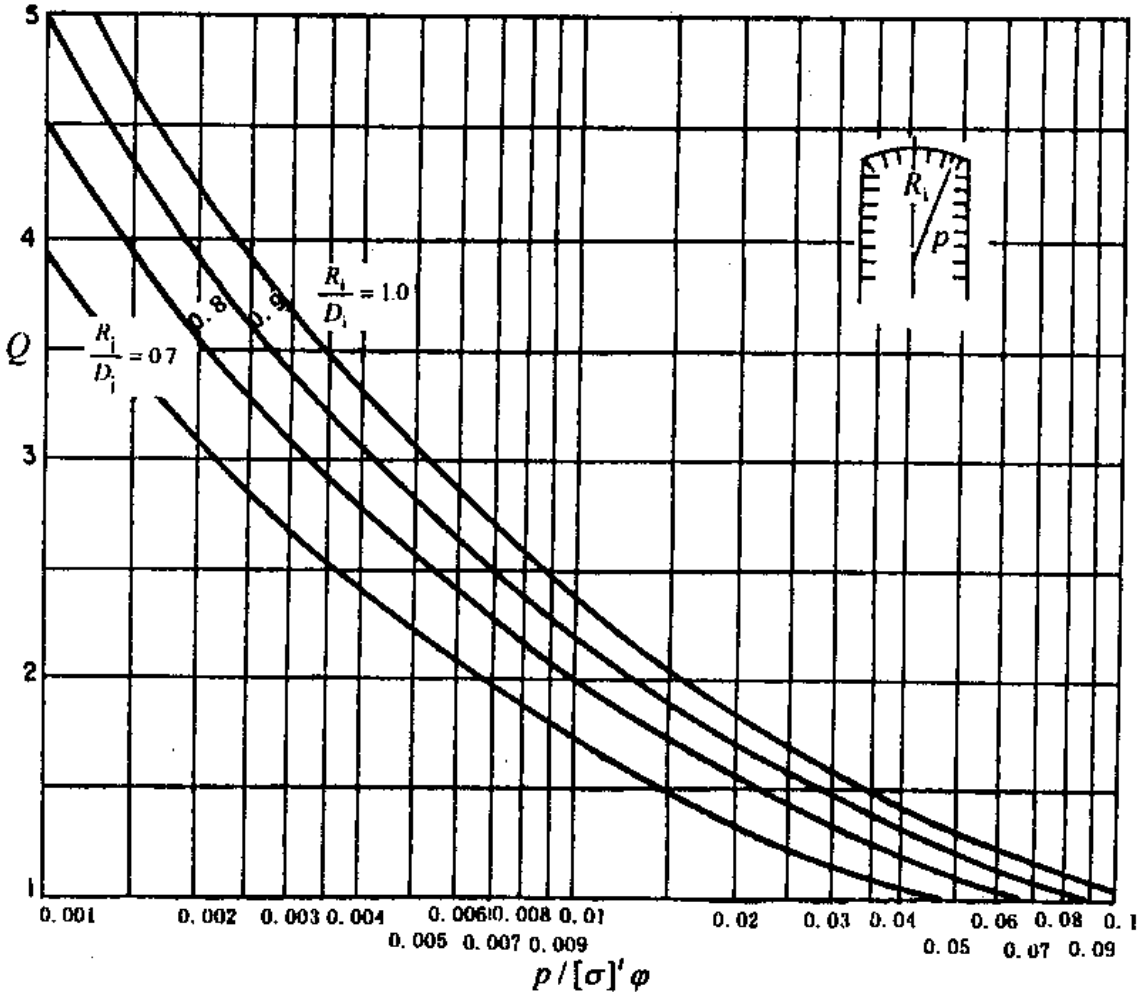


图 6.3.2 拱形顶盖系数 Q

6.3.2.2 顶盖承受外压时所需的厚度，应按下式计算：

$$\delta = R_{11} \sqrt{\frac{10p_0}{E^t}} \quad (6.3.2-2)$$

式中 R_{11} —— 拱形顶盖球面曲率半径 (mm)。

6.3.3 带支承肋的拱形顶盖

6.3.3.1 支承肋之间的距离不得大于 1.5 m。

6.3.3.2 带肋拱形顶盖的折算厚度,应按下式计算:

$$\delta_c = \sqrt[3]{\frac{\delta_{pc}^3 + \delta_e^3 + \delta_{mc}^3}{4}} \quad (6.3.3-1)$$

$$\delta_{pc} = \left\{ 12 \left[\frac{h_p b_p}{L_p} \left(\frac{h_p^2}{3} + \frac{h_p \delta_e}{2} + \frac{\delta_e^2}{4} \right) + \frac{\delta_e^3}{12} - n_p \delta_e e_p^2 \right] \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (6.3.3-2)$$

$$\delta_{mc} = \left\{ 12 \left[\frac{h_m b_m}{L_p} \left(\frac{h_m^2}{3} + \frac{h_m \delta_e}{2} + \frac{\delta_e^2}{4} \right) + \frac{\delta_e^3}{12} - n_m \delta_e e_m^2 \right] \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (6.3.3-3)$$

$$n_p = 1 + \frac{h_p b_p}{\delta_e L_p} \quad (6.3.3-4)$$

$$n_m = 1 + \frac{h_m b_m}{\delta_e L_m} \quad (6.3.3-5)$$

式中 δ_c —— 顶盖折算厚度 (mm);
 δ_{pc} —— 纬向肋和顶盖板的折算厚度 (mm);
 δ_e —— 顶盖板的有效厚度 (mm);

- δ_{mc} —— 经向肋和顶盖板的折算厚度 (mm) ;
 h_p —— 纬向肋宽度 (mm) (图 6.3.3) ;
 b_p —— 纬向肋厚度 (mm) (图 6.3.3) ;
 L_p —— 纬向肋在经向的间距 (mm) (图 6.3.3) ;
 n_p —— 纬向肋和顶盖板在经向的面积折算系数 ;
 e_p —— 纬向肋和顶盖板在经向的组合截面形心 (0 点) 到顶盖板中性面的距离 (mm) (图 6.3.3) ;
 h_m —— 经向肋宽度 (mm) ;
 b_m —— 经向肋厚度 (mm) ;
 L_m —— 经向肋在纬向的间距 (mm) ;
 n_m —— 经向肋和顶盖板在纬向的面积折算系数 ;
 e_m —— 经向肋和顶盖板在纬向的组合截面形心 (0 点) 到顶盖板中性面的距离 (mm) 。

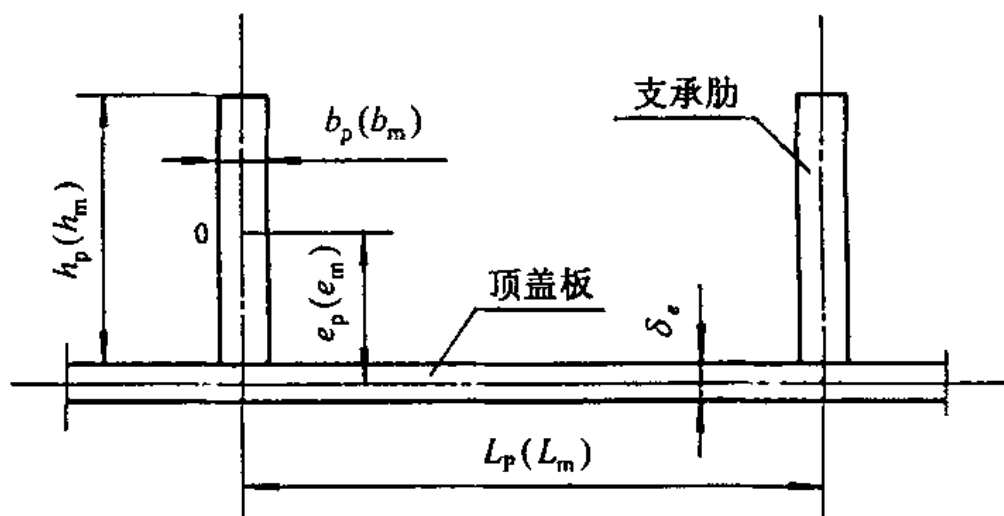


图 6.3.3 带肋顶盖计算示意

6.3.3.3 带肋拱形顶盖的许用外压，应按下式计算：

$$[p] = 0.1E' \left(\frac{\delta_c}{R_{it}} \right)^2 \sqrt{\frac{\delta_c}{\delta_c}} \quad (6.3.3-6)$$

式中 $[p]$ ——许用外压（MPa）。

6.3.3.4 带肋拱形顶盖的稳定性，应按下式校核：

$$p_o \leq [p] \quad (6.3.3-7)$$

6.4 顶盖与仓体的连接部分

6.4.1 连接部分的周向力，应按下式计算：

$$F = q_c B_t + q_s B_s - 0.5q_1 D_i \cos \alpha \quad (6.4.1-1)$$

$$q_c = \frac{0.5D_i p}{\sin \alpha} \quad (6.4.1-2)$$

$$B_t = 0.6 \sqrt{R_{it} \delta_c} \quad (6.4.1-3)$$

$$q_s = 0.5D_i p \quad (6.4.1-4)$$

$$B_s = 0.6 \sqrt{0.5D_i \delta_{en}} \quad (6.4.1-5)$$

$$q_1 = \frac{0.25D_i p}{\sin \alpha} \quad (6.4.1-6)$$

- 式中 F —— 周向力 (N) ;
- q_c —— 作用在连接部分上的顶盖圆周方向的单位长度上的力 (N/mm) ;
- B_t —— 顶盖侧承压圈区域的宽度 (mm) (图 6.4.1) ;
- q_s —— 作用在连接部分上的仓体圆周方向的单位长度上的力 (N/mm) ;
- B_s —— 仓体承压圈区域的宽度 (mm) (图 6.4.1) ;
- q_1 —— 作用在连接部分上的锥形顶盖圆锥母线或拱形顶盖径向切线方向的单位长度上的力 (N/mm) ;
- α —— 顶盖起始角 ($^\circ$) , 对于锥形顶盖, 为圆锥母线与其水平投影线之间的夹角; 对于拱形顶盖, 为连接部位顶盖板径向切线与其水平投影线之间的夹角;
- p —— 顶盖设计压力 (MPa), 计算内压时, $p = p_n$; 计算外压时, $p = p_o$;
- R_{it} —— 连接部位上的顶盖截面半径 (mm) (图 6.4.1) ;
- δ_e —— 顶盖板有效厚度 (mm) ;
- δ_{en} —— 仓体顶层仓壁有效厚度 (mm) 。

6.4.2 连接部分的周向应力, 应按下式计算:

$$\sigma_{\theta 1} = \frac{F}{A} \quad (6.4.2)$$

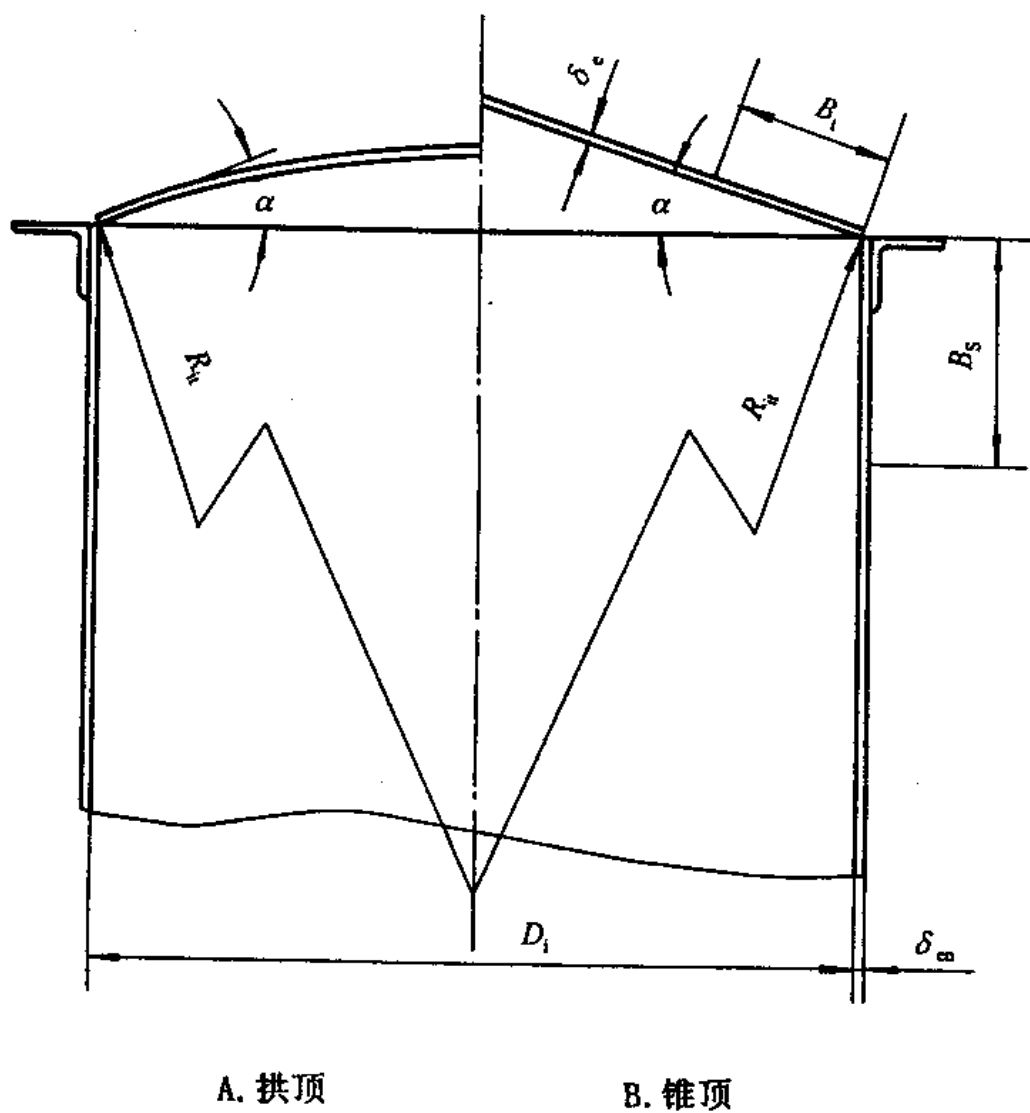


图 6.4.1 顶盖和仓体的连接

式中 $\sigma_{\theta 1}$ —— 连接部分的周向应力 (MPa) ;
 A —— 图 6.4.1 中 B_1 和 B_s 范围内的连接部分截面积 (mm^2) 。

6.4.3 周向应力, 应按下式校核:

$$\sigma_{\theta 1} \leq \begin{cases} [\sigma]_i' \varphi_1 \\ [\sigma]_s' \varphi_1 \end{cases} \quad (6.4.3)$$

式中 $[\sigma]_i'$ —— 设计温度下壳体材料的许用应力 (MPa);
 φ_1 —— 顶盖母线 (或经线) 方向的焊缝系数, 周向力为压缩荷载时, $\varphi_1 = 1.0$ 。

7 支 座

7.1 符 号 说 明

A_b —— 裙座基础环截面积;

A_{sb} —— 裙座圆筒截面积;

A_{sh} —— 裙座检查孔或卸料管线引出孔截面 h-h 处的圆筒截面积;

C_2 —— 腐蚀裕度;

D_b —— 地脚螺栓中心圆直径;

D_i —— 仓体内直径;

D_{ib} —— 裙座基础环内直径;

D_{is} —— 裙座圆筒内直径;

D_{ob} —— 裙座基础环外直径;

E_s^1 —— 设计温度下裙座圆筒材料的弹性模量;

F —— 单个耳座处的荷载;

F_A —— 环座总荷载;

F_B —— 地脚螺栓总荷载;

F_v^{h-h} —— 裙座检查孔或卸料管线引出孔截面 h-h 处的垂直地震力;

F_v^{0-0} —— 支座支承面 0-0 处的竖向地震力;

- I —— 环座计算极惯性矩；
 I_d —— 环座实际极惯性矩；
 M_1 —— 环座支撑点的弯矩；
 M_2 —— 环座支撑点之间的弯矩；
 M_d —— 环座扭矩；
 M_L —— 耳座轴向外部弯矩；
 M_Z —— 耳座处单位长度仓体的轴向弯矩；
 M_{\max}^{h-h} —— 裙座检查孔或卸料管线引出孔截面 h-h 处的最大弯矩；
 M_{\max}^{0-0} —— 支座支承面 0-0 处的最大弯矩；
 M_θ —— 耳座处单位长度仓体的周向弯矩；
 N —— 耳座数量或环座支撑点数量；
 N_Z —— 耳座处单位长度仓体的轴向薄膜力；
 N_θ —— 耳座处单位长度仓体的周向薄膜力；
 R_i —— 仓体内半径；
 Z —— 环座计算断面系数；
 Z_b —— 裙座基础环断面系数；
 Z_{sb} —— 裙座圆筒断面系数；
 Z_{sh} —— 裙座检查孔或卸料管线引出孔截面 h-h 处的圆筒断面系数；
 b —— 裙座圆筒外壁至基础环边缘的距离；

- b_{hi} —— 裙座 h-h 截面处检查孔或卸料管线引出孔的水平方向最大宽度；
- d_f —— 地脚螺栓计算直径；
- g —— 重力加速度；
- l_{hi} —— 裙座 h-h 截面处检查孔或卸料管线引出孔的加强管长度；
- m_0 —— 料仓总质量；
- m_0^{h-h} —— 裙座检查孔或卸料管线引出孔截面 h-h 以上的质量；
- n —— 地脚螺栓数量；
- $\beta_1、\beta_2、\beta_3$ —— 耳座处参数；
- γ —— 仓体参数；
- φ —— 焊缝系数；
- δ_b —— 裙座基础环计算厚度；
- δ_c —— 裙座盖板厚度；
- δ_{e0} —— 支座支承面 0-0 处的仓体有效厚度；
- δ_{es} —— 裙座圆筒有效厚度；
- δ_G —— 裙座筋板计算厚度；
- δ_{hi} —— 裙座 h-h 截面处检查孔或卸料管线引出孔的加强管厚度；
- σ_b —— 料仓基础上的压应力；
- σ_c —— 裙座盖板应力；
- σ_z —— 轴向应力；

- σ_{θ} —— 周向应力；
- $[\sigma]^t$ —— 设计温度下仓体材料的许用应力；
- $[\sigma]_b$ —— 裙座基础环材料的许用应力；
- $[\sigma]_{bt}$ —— 地脚螺栓材料的许用应力；
- $[\sigma]_c$ —— 裙座盖板材料的许用应力；
- $[\sigma]_G$ —— 裙座筋板材料的许用应力；
- $[\sigma]_l$ —— 裙座筋板的许用压应力；
- $[\sigma]_s^t$ —— 设计温度下裙座圆筒材料的许用应力；

7.2 裙式支座

7.2.1 料仓采用裙式支座时，宜为圆筒形裙座。

7.2.2 断面系数

7.2.2.1 裙座圆筒的断面系数，应按下式计算：

$$Z_{sb} = \frac{\pi D_{is}^2 \delta_{es}}{4} \quad (7.2.2-1)$$

式中 Z_{sb} —— 裙座圆筒断面系数 (mm^3)；

D_{is} —— 裙座圆筒内直径 (mm)；

δ_{es} —— 裙座圆筒有效厚度 (mm)。

7.2.2.2 裙座检查孔或料斗卸料管线引出孔 (图 7.2.2) 截面 h-h 的断面系数，应按下式计算：

$$Z_{sh} = \frac{\pi D_{is}^2 \delta_{cs}}{4} - \sum \left(\frac{b_{hi} D_{is} \delta_{cs}}{2} - \delta_{hi} l_{hi} \sqrt{D_{is}^2 - b_{hi}^2} \right) \quad (7.2.2-2)$$

式中 Z_{sh} —— 裙座检查孔或卸料管线引出孔截面 h-h 处的圆筒断面系数 (mm^3)；

b_{hi} —— 裙座 h-h 截面处检查孔或卸料管线引出孔的水平方向最大宽度 (mm)；

δ_{hi} —— 裙座 h-h 截面处检查孔或卸料管线引出孔的加强管厚度 (mm)；

l_{hi} —— 裙座 h-h 截面处检查孔或卸料管线引出孔的加强管长度 (mm)。

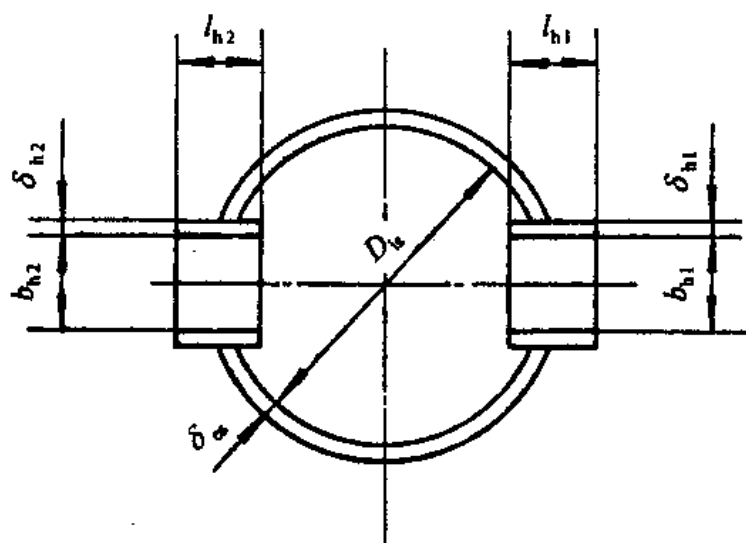


图 7.2.2 裙座 h-h 截面

7.2.3 截面积

7.2.3.1 裙座圆筒的截面积，应按下式计算：

$$A_{sb} = \pi D_{is} \delta_{cs} \quad (7.2.3-1)$$

式中 A_{sb} —— 裙座圆筒截面积 (mm^2)。

7.2.3.2 裙座检查孔或料斗卸料管线引出孔 h-h 截面的截面积，应按下式计算：

$$A_{sh} = \pi D_{is} \delta_{cs} - \sum [(b_{hi} + 2\delta_{hi}) \delta_{cs} - 2l_{hi} \delta_{hi}] \quad (7.2.3-2)$$

式中 A_{sh} —— 裙座检查孔或卸料管线引出孔截面 h-h 处的圆筒截面积 (mm^2)。

7.2.4 轴向应力

7.2.4.1 计算裙座的轴向应力时，应考虑空载和物料满载两种情况。

7.2.4.2 裙座底截面的轴向应力，应按下式计算：

$$\sigma_z = \frac{M_{\max}^{0-0}}{Z_{sb}} + \frac{m_0 g \pm F_v^{0-0}}{A_{sb}} \quad (7.2.4-1)$$

式中 σ_z —— 轴向应力 (MPa)；

M_{\max}^{0-0} —— 裙座底截面 0-0 处的最大弯矩 (N·mm)，按式 (4.6.2) 计算；

m_0 —— 料仓总质量 (kg)，按式 (4.3.1-2) 和式 (4.3.1-3) 计算；

g —— 重力加速度, 取 9.81 m/s^2 ;
 F_v^{0-0} —— 裙座底截面 0-0 处的竖向地震力 (N),
 按式 (4.5.3-1) 计算;

其中 F_v^{0-0} 仅在最大弯矩为地震弯矩参与组合时计入。

7.2.4.3 裙座检查孔或料斗卸料管线引出孔截面 h-h 处的轴向应力, 应按下式计算:

$$\sigma_z = \frac{M_{\max}^{h-h}}{Z_{sh}} + \frac{m_0^{h-h} g \pm F_v^{h-h}}{A_{sh}} \quad (7.2.4-3)$$

式中 M_{\max}^{h-h} —— 裙座检查孔或卸料管线引出孔截面 h-h 处的最大弯矩 (N·mm), 按式 (4.6.1) 计算;

m_0^{h-h} —— 裙座检查孔或卸料管线引出孔截面 h-h 以上的质量 (kg), 按式 (4.7.2-4) 和式 (4.7.2-5) 计算;

F_v^{h-h} —— 裙座检查孔或卸料管线引出孔截面 h-h 处的竖向地震力 (N), 按式 (4.5.3-2) 计算。

其中 F_v^{h-h} 仅在最大弯矩为地震弯矩参与组合时计入。

7.2.5 轴向应力, 应按下式校核:

$$\sigma_z \leq \begin{cases} 0.216 E_s^t \frac{\delta_{es}}{D_{is}} \\ 1.2 [\sigma]_s^t \end{cases} \quad (7.2.5)$$

式中 E_s^t —— 设计温度下裙座圆筒材料的弹性模量
(MPa)；

$[\sigma]_s^t$ —— 设计温度下裙座圆筒材料的许用应力
(MPa)。

7.2.6 基础环

7.2.6.1 基础环的内、外径 (图 7.2.6-1) 和 (图 7.2.6-2) 可按下列公式确定：

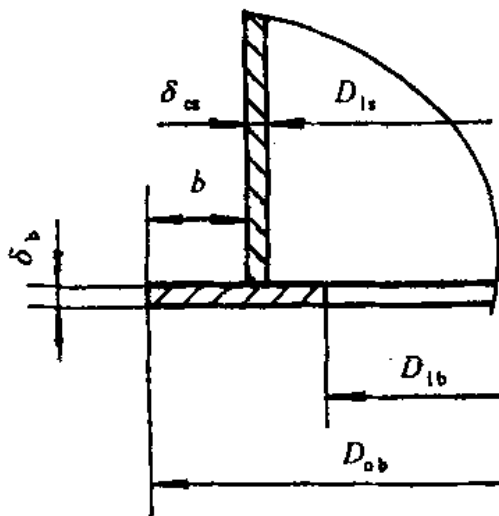


图 7.2.6-1 无筋板裙座

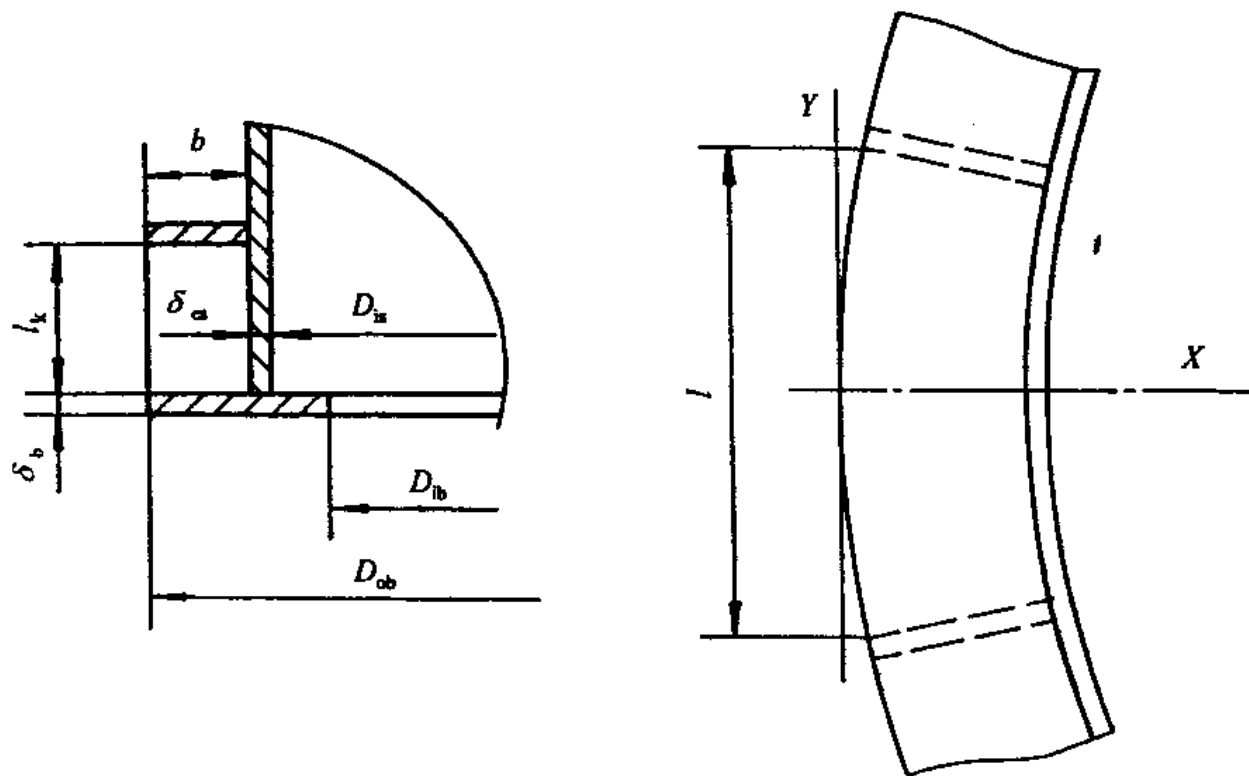


图 7.2.6-2 带筋板裙座

$$D_{ob} = D_{is} + (160 \sim 400) \quad (7.2.6-1)$$

$$D_{ib} = D_{is} - (160 \sim 400) \quad (7.2.6-2)$$

7.2.6.2 基础环厚度不得小于 16 mm。

7.2.6.3 基础环断面系数，应按下式计算：

$$Z_b = \frac{\pi(D_{ob}^4 - D_{ib}^4)}{32D_{ob}} \quad (7.2.6-3)$$

式中 Z_b —— 基础环断面系数 (mm^3)。

7.2.6.4 基础环截面积，应按下式计算：

$$A_b = \frac{\pi}{4}(D_{ob}^2 - D_{ib}^2) \quad (7.2.6-4)$$

式中 A_b —— 基础环截面积 (mm^2)。

7.2.6.5 料仓基础上的最大压应力，应按下式计算，计算时仅考虑物料满载情况：

$$\sigma_b = \frac{M_{\max}^{0-0}}{Z_b} + \frac{m_0 g + F_v^{0-0}}{A_b} \quad (7.2.6-5)$$

式中 σ_b —— 料仓基础上的压应力 (MPa)。

其中 F_v^{0-0} 仅在最大弯矩为地震弯矩参与组合时计入。

7.2.6.6 基础环厚度，应按下列公式计算：

$$\text{无筋板时 } \delta_b = 1.73b \sqrt{\frac{\sigma_b}{[\sigma]_b}} \quad (7.2.6-6)$$

$$\text{有筋板时 } \delta_b = \sqrt{\frac{6M_s}{[\sigma]_b}} \quad (7.2.6-7)$$

- 式中 δ_b —— 基础环厚度 (mm)；
 b —— 裙座圆筒外壁至基础环边缘的距离 (mm)；
 $[\sigma]_b$ —— 基础环材料的许用应力 (MPa)；
 M_s —— 计算力矩，取矩形板 X、Y 轴的弯矩 M_x 、 M_y 中绝对值较大者 (N·mm/mm)；
 M_x —— 矩形板 X 轴的弯矩，按表 7.2.6 计算 (N·mm/mm)；
 M_y —— 矩形板 Y 轴的弯矩，按表 7.2.6 计算 (N·mm/mm)。

7.2.7 地脚螺栓

7.2.7.1 地脚螺栓的公称直径不得小于 M24。

7.2.7.2 地脚螺栓承受的最大拉力，应按下列式计算，计算时应考虑空载和物料满载两种情况，取其中较大值：

$$F_B = \frac{M_{\max}^{0-0} A_b}{Z_b} - m_0 g + F_v^{0-0} \quad (7.2.7-1)$$

矩形板力矩计算

表 7.2.6

b/l	$M_x \left(\begin{smallmatrix} x=b \\ y=0 \end{smallmatrix} \right)$	$M_y \left(\begin{smallmatrix} x=0 \\ y=0 \end{smallmatrix} \right)$	b/l	$M_x \left(\begin{smallmatrix} x=b \\ y=0 \end{smallmatrix} \right)$	$M_y \left(\begin{smallmatrix} x=0 \\ y=0 \end{smallmatrix} \right)$
0	$-0.500 \sigma_b b^2$	0	1.6	$-0.0485 \sigma_b b^2$	$0.126 \sigma_b l^2$
0.1	$-0.500 \sigma_b b^2$	$0.0000 \sigma_b l^2$	1.7	$-0.0430 \sigma_b b^2$	$0.127 \sigma_b l^2$
0.2	$-0.490 \sigma_b b^2$	$0.0006 \sigma_b l^2$	1.8	$-0.0384 \sigma_b b^2$	$0.129 \sigma_b l^2$
0.3	$-0.448 \sigma_b b^2$	$0.0051 \sigma_b l^2$	1.9	$-0.0345 \sigma_b b^2$	$0.130 \sigma_b l^2$
0.4	$-0.385 \sigma_b b^2$	$0.0151 \sigma_b l^2$	2.0	$-0.0312 \sigma_b b^2$	$0.130 \sigma_b l^2$
0.5	$-0.319 \sigma_b b^2$	$0.0293 \sigma_b l^2$	2.1	$-0.0283 \sigma_b b^2$	$0.131 \sigma_b l^2$
0.6	$-0.260 \sigma_b b^2$	$0.0453 \sigma_b l^2$	2.2	$-0.0258 \sigma_b b^2$	$0.132 \sigma_b l^2$
0.7	$-0.212 \sigma_b b^2$	$0.0610 \sigma_b l^2$	2.3	$-0.0236 \sigma_b b^2$	$0.132 \sigma_b l^2$
0.8	$-0.173 \sigma_b b^2$	$0.0751 \sigma_b l^2$	2.4	$-0.0217 \sigma_b b^2$	$0.132 \sigma_b l^2$
0.9	$-0.142 \sigma_b b^2$	$0.0872 \sigma_b l^2$	2.5	$-0.0200 \sigma_b b^2$	$0.133 \sigma_b l^2$
1.0	$-0.118 \sigma_b b^2$	$0.0972 \sigma_b l^2$	2.6	$-0.0185 \sigma_b b^2$	$0.133 \sigma_b l^2$
1.1	$-0.0995 \sigma_b b^2$	$0.105 \sigma_b l^2$	2.7	$-0.0171 \sigma_b b^2$	$0.133 \sigma_b l^2$
1.2	$-0.0846 \sigma_b b^2$	$0.112 \sigma_b l^2$	2.8	$-0.0159 \sigma_b b^2$	$0.133 \sigma_b l^2$
1.3	$-0.0726 \sigma_b b^2$	$0.116 \sigma_b l^2$	2.9	$-0.0149 \sigma_b b^2$	$0.133 \sigma_b l^2$
1.4	$-0.0629 \sigma_b b^2$	$0.120 \sigma_b l^2$	3.0	$-0.0139 \sigma_b b^2$	$0.133 \sigma_b l^2$
1.5	$-0.0550 \sigma_b b^2$	$0.123 \sigma_b l^2$			

注：l 为两相邻筋板最大外侧间距（mm），见图 7.2.6-2。

式中 F_B —— 地脚螺栓总载荷 (N)。

其中 F_v^{0-0} 仅在最大弯矩为地震弯矩参与组合时计入。

7.2.7.3 地脚螺栓的螺纹小径按下式计算：

$$d_f = \sqrt{\frac{4F_B}{\pi n[\sigma]_{bt}}} + C_2 \quad (7.2.7-2)$$

式中 d_f —— 地脚螺栓计算直径 (mm)；

n —— 地脚螺栓数量，宜取 4 的倍数；

$[\sigma]_{bt}$ —— 地脚螺栓材料的许用应力 (MPa)；

C_2 —— 地脚螺栓的腐蚀裕度 (mm)。

7.2.8 筋板

7.2.8.1 筋板最小厚度为 2 / 3 基础环厚度。

7.2.8.2 筋板的许用压应力，应按下列公式计算：

当 $\lambda \leq \lambda_c$ 时

$$[\sigma]_1 = \frac{[1 - 0.4(\frac{\lambda}{\lambda_c})^2][\sigma]_G}{\nu} \quad (7.2.8-1)$$

当 $\lambda > \lambda_c$ 时

$$[\sigma]_1 = \frac{0.277[\sigma]_G}{(\frac{\lambda}{\lambda_c})^2} \quad (7.2.8-2)$$

$$\lambda = \frac{0.5l_k}{i} \text{ 且不大于 } 250 \quad (7.2.8-3)$$

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6[\sigma]_G}} \quad (7.2.8-4)$$

$$\nu = 1.5 + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\lambda_c} \right)^2 \quad (7.2.8-5)$$

式中 $[\sigma]_1$ —— 筋板的许用压应力 (MPa) ;

λ —— 细长比;

λ_c —— 临界细长比;

$[\sigma]_G$ —— 筋板材料的许用应力 (MPa) ;

ν —— 系数;

l_k —— 筋板长度 (mm) ;

i —— 惯性半径 (mm), 对于长方形截面的筋板取 $i = 0.289 \delta_c$;

E —— 筋板材料的弹性模量 (MPa) 。

7.2.8.3 筋板厚度, 应按下式计算:

$$\delta_G = \frac{F_B}{n_f [\sigma]_1 l_2 n} \quad (7.2.8-6)$$

式中 δ_G —— 筋板计算厚度 (mm) ;
 n_f —— 对应于一个地脚螺栓的筋板个数;
 l_2 —— 筋板宽度 (mm) 。

7.2.9 盖板

7.2.9.1 分块盖板和环形盖板的厚度不宜小于基础环厚度。

7.2.9.2 分块盖板的最大应力, 应按下列公式计算:
 无垫板时

$$\sigma_c = \frac{F_B l_3}{n(l_2 - d_3)\delta_c^2} \quad (7.2.9-1)$$

有垫板时

$$\sigma_c = \frac{F_B l_3}{[(l_2 - d_3)\delta_c^2 + (l_4 - d_2)\delta_z^2]n} \quad (7.2.9-2)$$

式中 σ_c —— 盖板应力 (MPa) ;
 d_3 —— 盖板上地脚螺栓孔直径 (mm) ;
 l_2 —— 筋板宽度 (mm) ;
 l_3 —— 筋板内侧间距 (mm) ;
 δ_c —— 盖板厚度 (mm) ;
 d_2 —— 垫板上地脚螺栓孔直径 (mm) ;
 l_4 —— 垫板宽度 (mm) ;
 δ_z —— 垫板厚度 (mm) 。

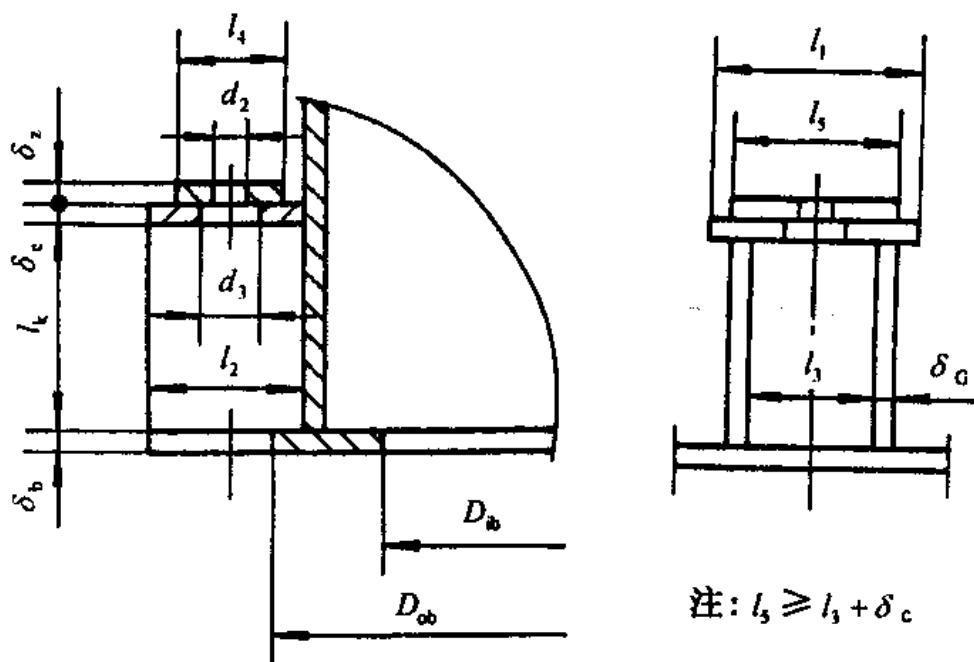


图 7.2.9 裙座底座计算示意

7.2.9.3 环形盖板的最大应力按下列公式计算:

无垫板时

$$\sigma_c = \frac{3F_B l_3}{4n(l_2 - d_3)\delta_c^2} \quad (7.2.9-3)$$

有垫板时

$$\sigma_c = \frac{3F_B l_3}{4n[(l_2 - d_3)\delta_c^2 + (l_4 - d_2)\delta_z^2]} \quad (7.2.9-4)$$

7.2.9.4 盖板应力按下式校核:

$$\sigma_c \leq [\sigma]_c \quad (7.2.9-5)$$

式中 $[\sigma]_c$ —— 盖板材料的许用应力 (MPa)。

7.3 耳式支座

7.3.1 耳座处的荷载

耳座处的荷载应考虑空载和满载两种情况，按下式计算，取绝对值最大值：

$$F = \pm \frac{M_{\max}^{0-0}}{K_n D_b} - \frac{m_0 g \pm F_v^{0-0}}{N} \quad (7.3.1)$$

式中 F —— 单个耳座处的荷载 (N)；

M_{\max}^{0-0} —— 耳座底板支承面 0-0 处的最大弯矩 (N·mm)，按式 (4.6.2) 计算；

F_v^{0-0} —— 耳座底板支承面 0-0 处的竖向地震力 (N)，按式 (4.5.3-1) 计算；

K_n —— 系数，与支座数量有关，按表 7.3.1 查取；

D_b —— 耳座螺栓中心圆直径 (mm)；

N —— 耳座数量；

m_0 —— 料仓总质量 (kg)，按式 (4.3.1-2) 和式 (4.3.1-3) 计算；

g —— 重力加速度，取 9.81 m/s^2 。

其中 F_v^{0-0} 仅在最大弯矩为地震弯矩参与组合时计入。

与耳座数量有关的系数 表 7.3.1

N	4	6	8	10	12	14	16
K_n	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4

7.3.2 轴向外部弯矩，应按下式计算：

$$M_L = FL \quad (7.3.2)$$

式中 M_L —— 轴向外部弯矩 (N·mm)；

L —— 仓体外壁到耳座螺栓中心线的距离 (mm) (图 7.3.2)。

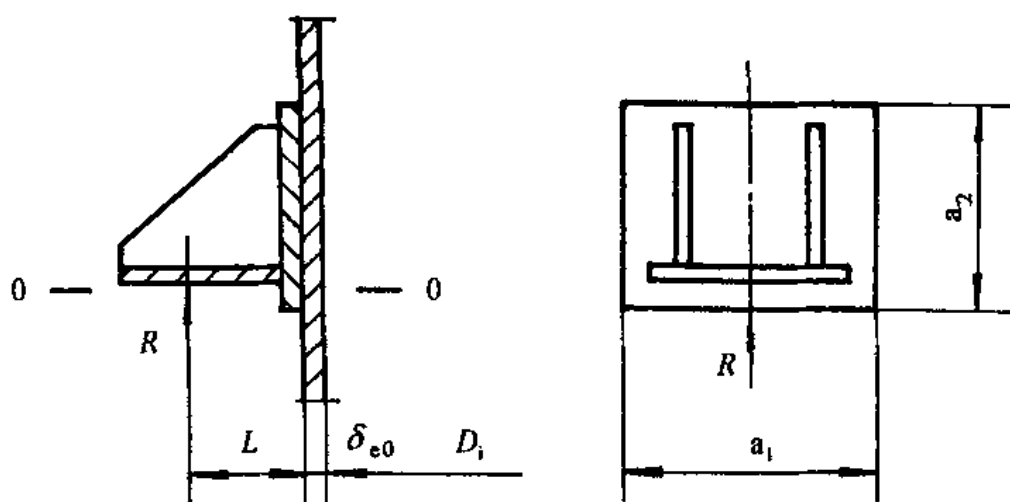


图 7.3.2 耳式支座计算示意

7.3.3 轴向弯矩

在仓体上产生的轴向弯矩，应按下列步骤计算：

(1) 仓体参数，应按下式计算：

$$\gamma = \frac{R_i}{\delta_{c0}} \quad (7.3.3-1)$$

式中 γ —— 参数；

R_i —— 仓体内半径 (mm)；

δ_{c0} —— 耳座支承面 0-0 处的仓体有效厚度 (mm)。

(2) 耳座处参数，应按下式计算：

$$\beta_1 = K_{L1} \frac{a}{D_i} \quad (7.3.3-2)$$

$$a = \sqrt[3]{a_1 a_2^2} \quad (7.3.3-3)$$

式中 β_1 —— 参数；

K_{L1} —— 参数，当 $\gamma \leq 300$ 、 $1 \leq \frac{a_2}{a_1} \leq 2$ 时，

$$K_{L1} = 1 - 0.1 \left(\frac{a_2}{a_1} - 1 \right) ;$$

a —— 与耳座垫板具有相同断面系数的正方形垫板边长 (mm)；

a_1 —— 耳座垫板宽度 (mm);

a_2 —— 耳座垫板高度 (mm)。

(3) 由 γ 和 β_1 查图 7.3.3 得 M'_Z 值。

(4) 轴向弯矩, 应按下式计算:

$$M_Z = M'_Z \frac{M_L}{R_1 \beta_1} \quad (7.3.3-4)$$

式中 M_Z —— 单位长度的轴向弯矩 (N · mm / mm)。

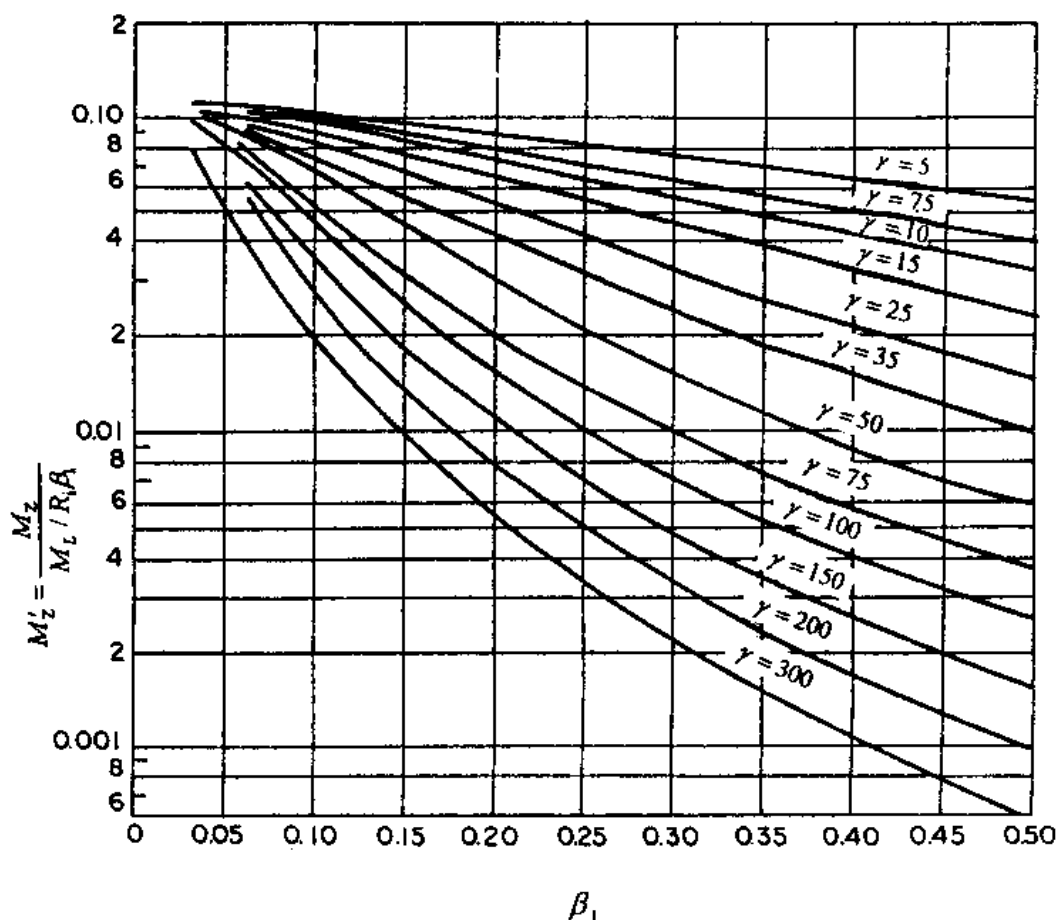


图 7.3.3 M'_Z 计算

7.3.4 周向弯矩

在仓体上产生的周向弯矩，应按下列步骤计算：

(1)耳座处参数，应按下式计算：

$$\beta_2 = K_{L2} \frac{a}{D_i} \quad (7.3.4-1)$$

式中 β_2 —— 参数；

K_{L2} —— 参数，当 $\gamma \leq 300$ 、 $1 \leq \frac{a_2}{a_1} \leq 2$ 时，

$$K_{L2} = 1 - 0.2 \left(\frac{a_2}{a_1} - 1 \right);$$

D_i —— 仓体内直径 (mm)。

(2)由 γ 和 β_2 查图 7.3.4 得 M'_θ 值。

(3)周向弯矩，应按下式计算：

$$M_\theta = M'_\theta \frac{M_L}{R_i \beta_2} \quad (7.3.4-2)$$

式中 M_θ —— 单位长度的周向弯矩 (N·mm/mm)。

7.3.5 轴向薄膜力

在仓体上产生的轴向薄膜力，应按下列步骤计算：

(1)耳座处参数，应按下式计算：

$$\beta_3 = \frac{a}{D_i} \quad (7.3.5-1)$$

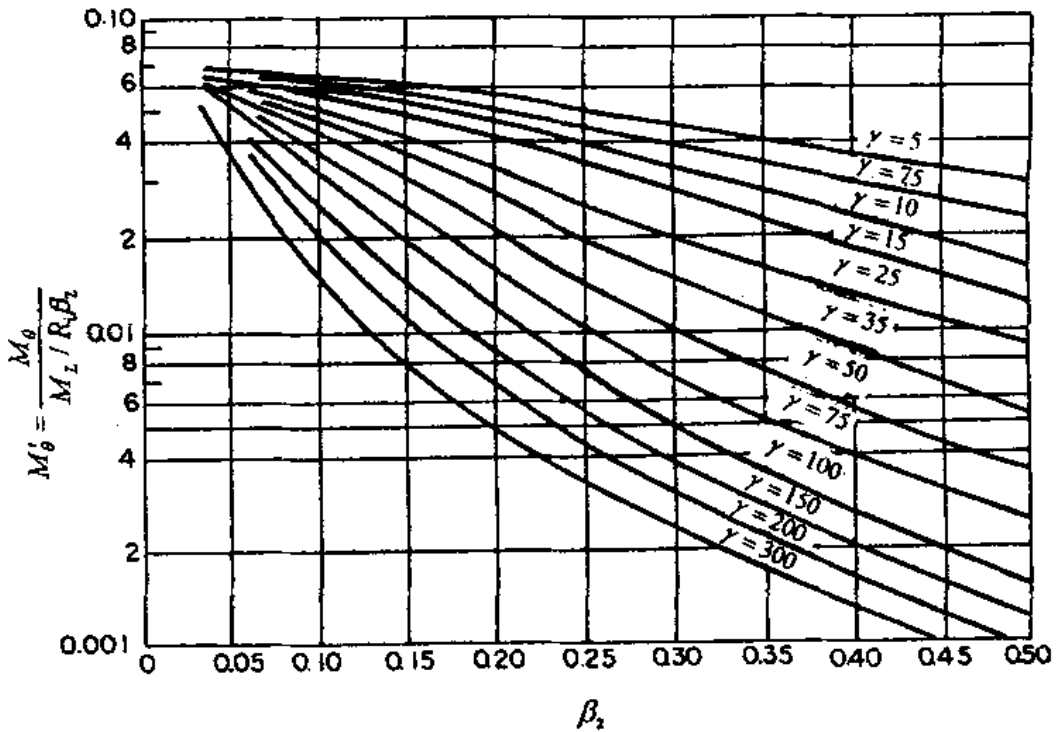


图 7.3.4 M'_θ 计算

式中 β_3 —— 参数。

(2) 由 γ 和 β_3 查图 7.3.5 得 N'_z 值。

(3) 轴向薄膜力，应按下式计算：

$$N_z = N'_z \frac{M_L}{R_i^2 \beta_3} C_{L1} \quad (7.3.5-2)$$

式中 N_z —— 单位长度的轴向薄膜力 (N / mm)；

C_{L1} —— 参数，当 $\gamma \leq 300$ 、 $1 \leq \frac{a_2}{a_1} \leq 2$ 时，

$$C_{L1} = 1 - 0.6 \left(\frac{a_2}{a_1} - 1 \right)。$$

7.3.6 周向薄膜力

在仓体上产生的周向薄膜力，应按下列步骤计算：

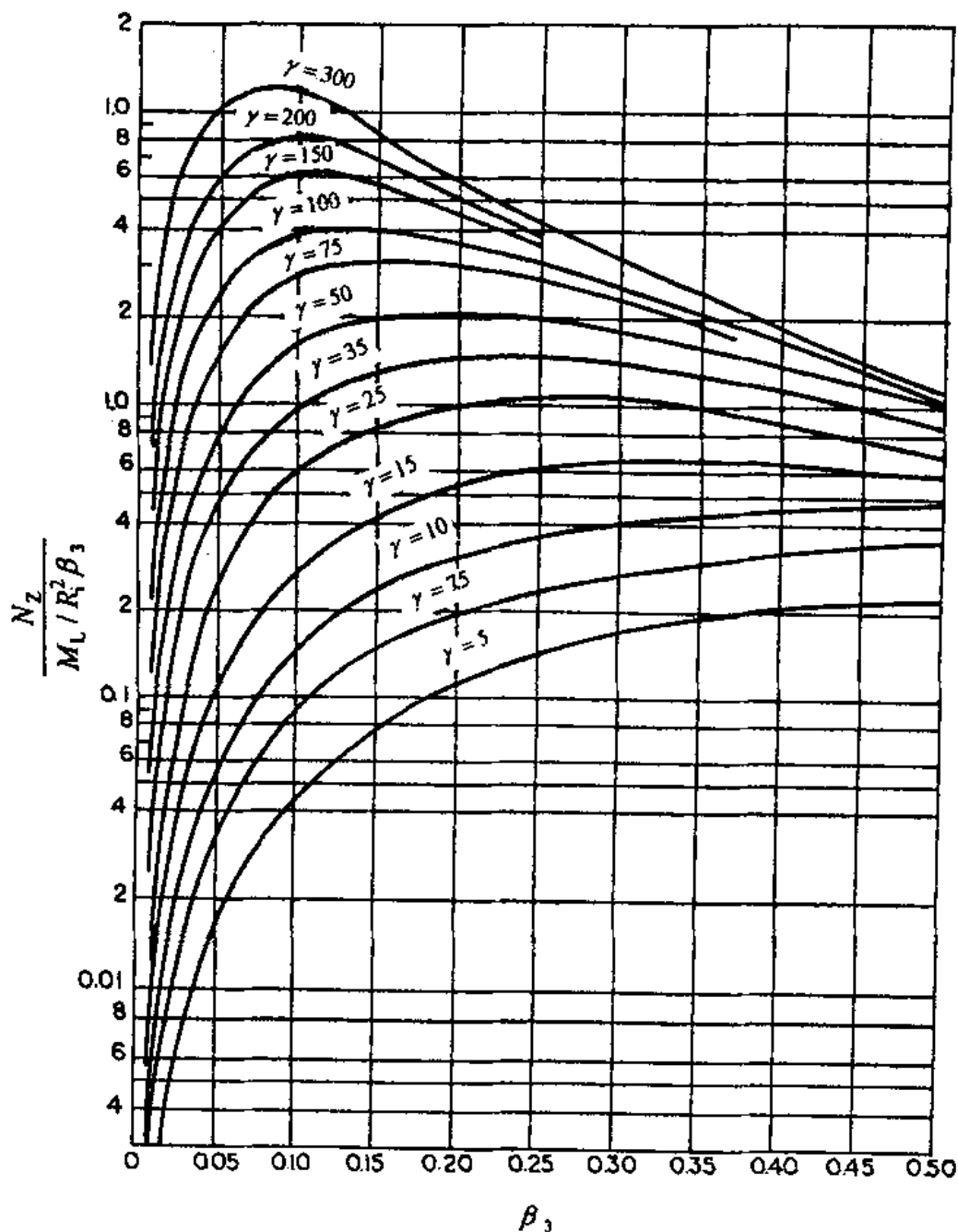


图 7.3.5 N'_z 计算

- (1) 由 γ 和 β_3 查图 7.3.6 得 N'_z 值。
- (2) 周向薄膜力，应按下式计算：

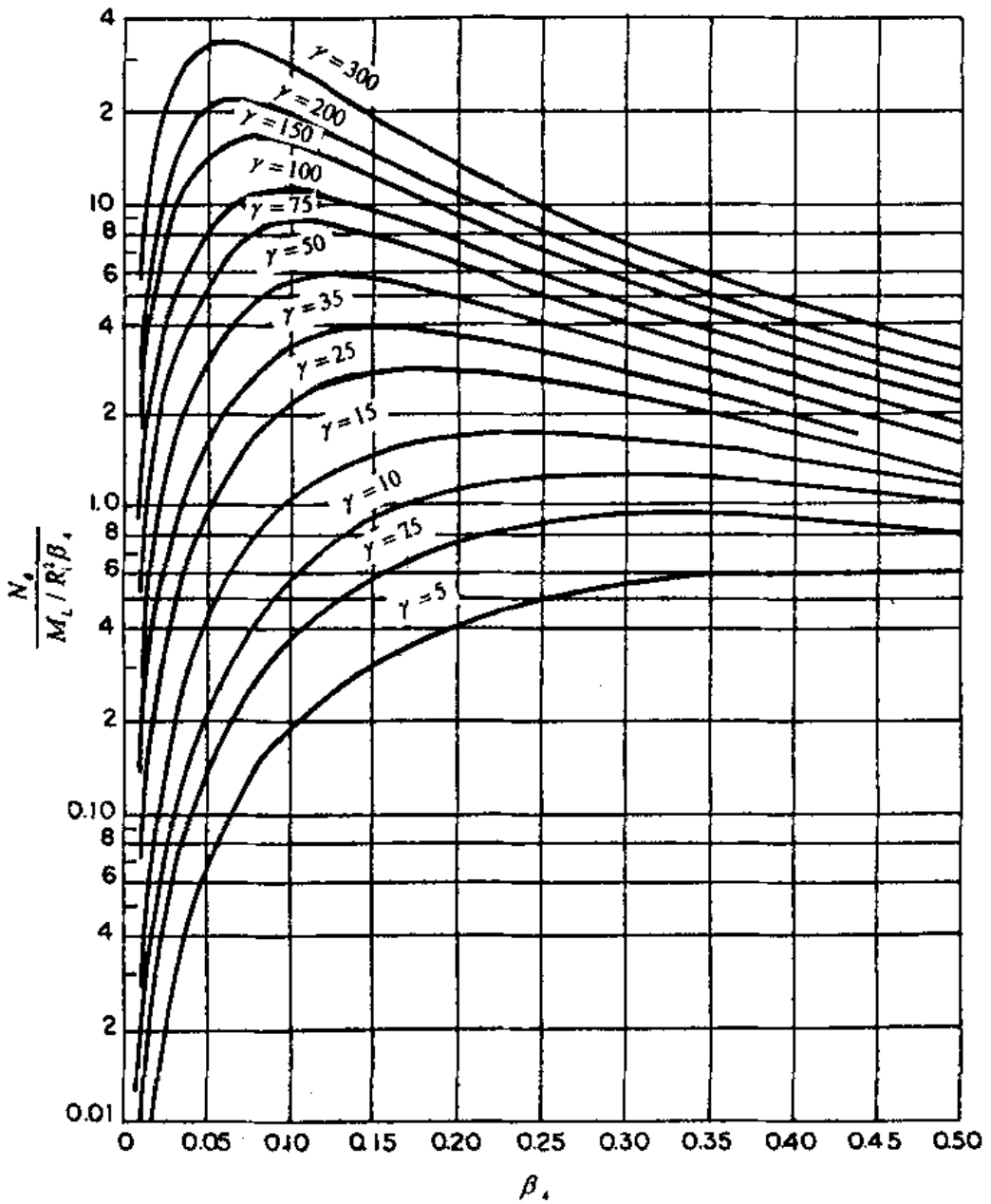


图 7.3.6 N'_θ 计算

$$N_\theta = N'_\theta \frac{M_L}{R_i^2 \beta_3} C_{L2} \quad (7.3.6)$$

式中 N_θ —— 单位长度的周向薄膜力 (N / mm) ;

C_{L2} —— 参数, 当 $\gamma \leq 300$ 、 $1 \leq \frac{a_2}{a_1} \leq 2$ 时,

$$C_{L2} = 1 - 0.1 \left(\frac{a_2}{a_1} - 1 \right)。$$

7.3.7 应力计算

7.3.7.1 仓体上的轴向应力, 应按下式计算:

$$\sigma_z = \frac{6M_z}{\delta_{e0}^2} + \frac{N_z}{\delta_{e0}} \quad (7.3.7-1)$$

式中 σ_z —— 轴向应力 (MPa)。

7.3.7.2 仓体上的周向应力, 应按下式计算:

$$\sigma_\theta = \frac{6M_\theta}{\delta_{e0}^2} + \frac{N_\theta}{\delta_{e0}} \quad (7.3.7-2)$$

式中 σ_θ —— 周向应力 (MPa)。

7.3.8 强度校核

7.3.8.1 轴向应力, 应按下式校核:

$$\sigma_z \leq [\sigma]^t \quad (7.3.8-1)$$

式中 σ_z —— 轴向应力 (MPa)。

7.3.8.2 周向应力, 应按下式校核:

$$\sigma_\theta \leq [\sigma]^t \quad (7.3.8-2)$$

式中 σ_θ —— 周向应力 (MPa)。

7.4 环形梁支座

7.4.1 环座荷载

环座荷载应考虑空载和满载两种情况，按下式计算，取绝对值最大值：

$$F_A = \pm \frac{4M_{\max}^{0-0}}{D_{Bm}} - m_0g \pm F_v^{0-0} \quad (7.4.1)$$

式中 F_A —— 环座总荷载 (N)；

M_{\max}^{0-0} —— 环座底板支承面 0-0 处的最大弯矩
(N·mm)，按式 (4.6.2) 计算；

D_{Bm} —— 环形梁平均直径 (mm)；

m_0 —— 料仓总质量 (kg)，按式 (4.3.1-2)
和式 (4.3.1-3) 计算；

g —— 重力加速度，取 9.81 m/s^2 ；

F_v^{0-0} —— 环座底板支承面 0-0 处的竖向地震
力 (N)，按式 (4.5.3-1) 计算。

其中 F_v^{0-0} 仅在最大弯矩为地震弯矩参与组合时计入。

7.4.2 支撑点的弯矩，应按下式计算：

$$M_1 = \left(1 - \frac{\pi}{N \operatorname{tg} \frac{\pi}{N}} \right) \frac{F_A D_{Bm}}{4\pi} \times 10^3 \quad (7.4.2)$$

式中 M_1 —— 支撑点的弯矩 (N · mm) ;

N —— 支撑点数量。

7.4.3 支撑点之间的最大弯矩, 应按下式计算:

$$M_2 = \left(\frac{\pi}{N \sin \frac{\pi}{N}} - 1 \right) \frac{F_A D_{Bm}}{4\pi} \times 10^3 \quad (7.4.3)$$

式中 M_2 —— 支撑点之间的弯矩 (N · mm) 。

7.4.4 扭矩, 应按下式计算:

$$M_d = \left(\frac{\pi}{N \cos \frac{\pi}{2N}} - \frac{\pi}{N} \right) \frac{F_A D_{Bm}}{8} \times 10^3 \quad (7.4.4)$$

式中 M_d —— 扭矩 (N · mm) 。

7.4.5 环形梁的断面系数, 应按下式计算:

$$Z = \frac{M}{[\sigma]_B^t \varphi} \quad (7.4.5)$$

式中 Z —— 环形梁的断面系数 (mm³) ;

$[\sigma]_B^t$ —— 设计温度下环形梁材料的许用应力 (MPa) ;

M —— 最大弯矩, 取 M_1 、 M_2 中较大值 (MPa);

φ —— 焊缝系数。

7.4.6 极惯性矩, 应按下式计算:

$$I = \frac{M_d t_{\max}}{[\tau] \varphi} \quad (7.4.6)$$

式中 I —— 环座计算极惯性矩 (mm^4);

t_{\max} —— 环形梁组件中最大板厚 (mm);

$[\tau]$ —— 许用剪切应力, 取 $0.8[\sigma]'$ (MPa);

$[\sigma]'$ —— 设计温度下仓体材料的许用应力 (MPa)。

7.4.7 环座实际极惯性矩, 应符合下式要求:

$$I_d = \frac{1}{3} \sum h_i t_i^3 \geq I \quad (7.4.7)$$

式中 I_d —— 环座实际惯性矩 (mm^4);

h_i —— 分割成各个矩形断面的板长 (mm) (图 7.4.7);

t_i —— 分割成各个矩形断面的板厚 (mm) (图 7.4.7)。

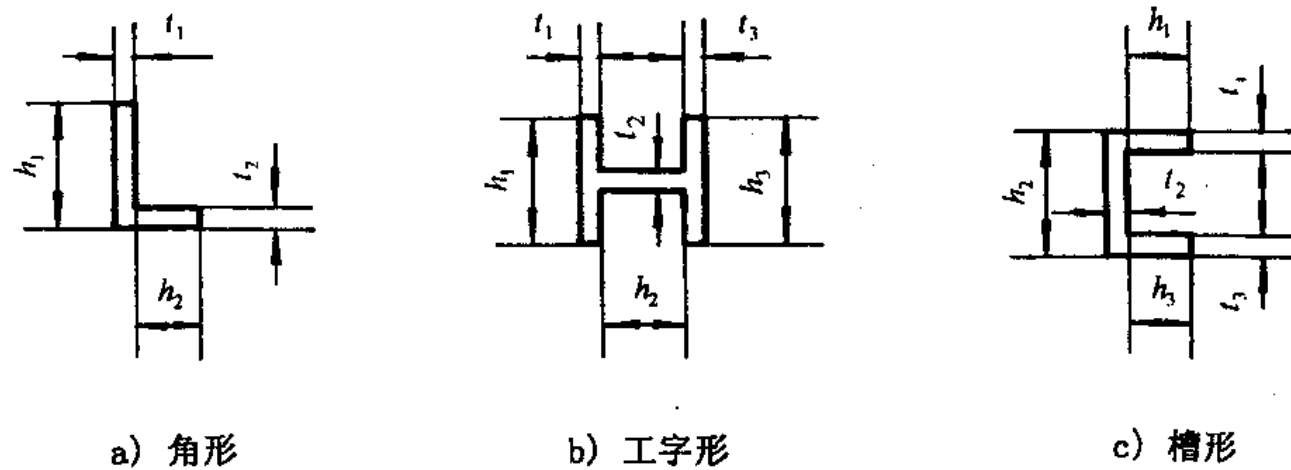


图 7.4.7 环形梁支座截面

附录 A 引用的有关标准规范目录

GB150	钢制压力容器
GB699	优质碳素结构钢技术条件
GB700	碳素结构钢
GB912	碳素结构钢和低合金钢热轧薄钢板及钢带
GB985	气焊、手工电弧焊及气体保护焊焊缝坡口 的基本形式与尺寸
GB986	埋弧焊焊缝坡口的基本型式与尺寸
GB3193	铝及铝合金热轧板
GB3274	碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板和 钢带
GB3280	不锈钢冷轧钢板
GB3880	铝及铝合金板材
GB4237	不锈钢热轧钢板
GB6654	压力容器用碳素钢和低合金钢厚钢板
GB8165	不锈钢复合钢板
GB10568	优质铝及铝合金热轧板
GB10569	优质铝及铝合金冷轧板
GBJ11	建筑设计抗震规范
GBJ17	钢结构设计规范

- JB4710 钢制塔式容器
- JB4730 压力容器无损检测
- JB47733 压力容器用爆炸不锈钢复合钢板
- SHJ513 不锈钢、铝制料仓施工及验收规范

附录 B 松散物料的物理性

松散物料的物理性

表 B

名称	真比重	堆积比重	形状 (mm)	安息角 (°)	内部摩擦角 (摩擦系数)	与仓壁的摩擦角 (摩擦系数)
聚乙烯 (粒料)	0.94 ~ 0.97	0.6 ~ 0.5	ϕ 3 × 13 ~ 5	35°	(0.70)	18° (0.3 ~ 0.36)
(粉料)	0.94 ~ 0.97	0.3 ~ 0.4	400 μ m	35° ~ 40°	(0.70 ~ 0.78)	18° ~ 20°
聚丙烯 (粒料)	0.9 ~ 0.95	0.5	ϕ 3 × 3	38° ~ 40°	(0.74 ~ 0.78)	18° ~ 20°
(粉料)	0.9	0.37 ~ 0.45	10 ~ 325 目	35° ~ 38°	(0.7 ~ 0.74)	15° ~ 18°
氯乙烯 (粒料)	1.42	0.6	ϕ 2.5 × 3	35°	(0.7)	20°
(粉料)	0.93	0.5	200 ~ 300 目	35°	(0.6 ~ 0.7)	15° ~ 18°
聚苯乙烯 (粒料)	1.05	0.5 ~ 0.6	ϕ 2.7 × 3.2	36°	35° (0.7)	20° (0.36)
(粉料)	1.03	0.55 ~ 0.6	100 ~ 200 目	30° ~ 35°	(0.6 ~ 0.7)	15° ~ 18°
聚酯 (粒料)	1.28	0.6 ~ 0.7	□ 4 × 2.5	40°	(0.78)	19°
(粉料)	1.03	0.6 ~ 0.65	200 目	30° ~ 38°	(0.6 ~ 0.7)	17°
乌洛托品 (粒料)	1.36	0.6 ~ 0.7	□ 3 ~ 4	35°	(0.7)	20° ~ 21°
(粉料)	1.27	0.6	100 ~ 200 目	30° ~ 35°	(0.6 ~ 0.7)	14° ~ 16°
ABS (粒料)	1.58	0.5	ϕ 2.5 ~ 15	40°	(0.78)	18° ~ 22°
(粉料)	1.01	0.48	200 ~ 250 目	30° ~ 35°	(0.6 ~ 0.7)	15° ~ 20°
离子交换树脂	1.475	0.48	0.79	29°	21° 30' (0.394)	16°

附录 C 材料的弹性模量

钢材弹性模量 (10^3MPa) 表 C-1

材 料	在下列温度 (°C) 下的弹性模量		
	-20	20	100
碳素钢 ($C \leq 0.30\%$)	194	192	191
碳素钢 ($C > 0.30\%$)、碳锰钢	208	206	203
奥氏体钢	199	195	191

铝材弹性模量 (10^3MPa) 表 C-2

材料牌号	状 态	在下列温度 (°C) 下的弹性模量		
		低 温	常 温	100
L2、L3、L4、L5、L6	M	70.0 ~ 70.6	68.9 ~ 71.0	69.0
LF2	M、R	-	70.3	67.6
LF3、LF5、LF11	M、R	-	71.0	-
LF21	M、R	-	69.0	66.2

附录 D 外压铝制圆筒计算图

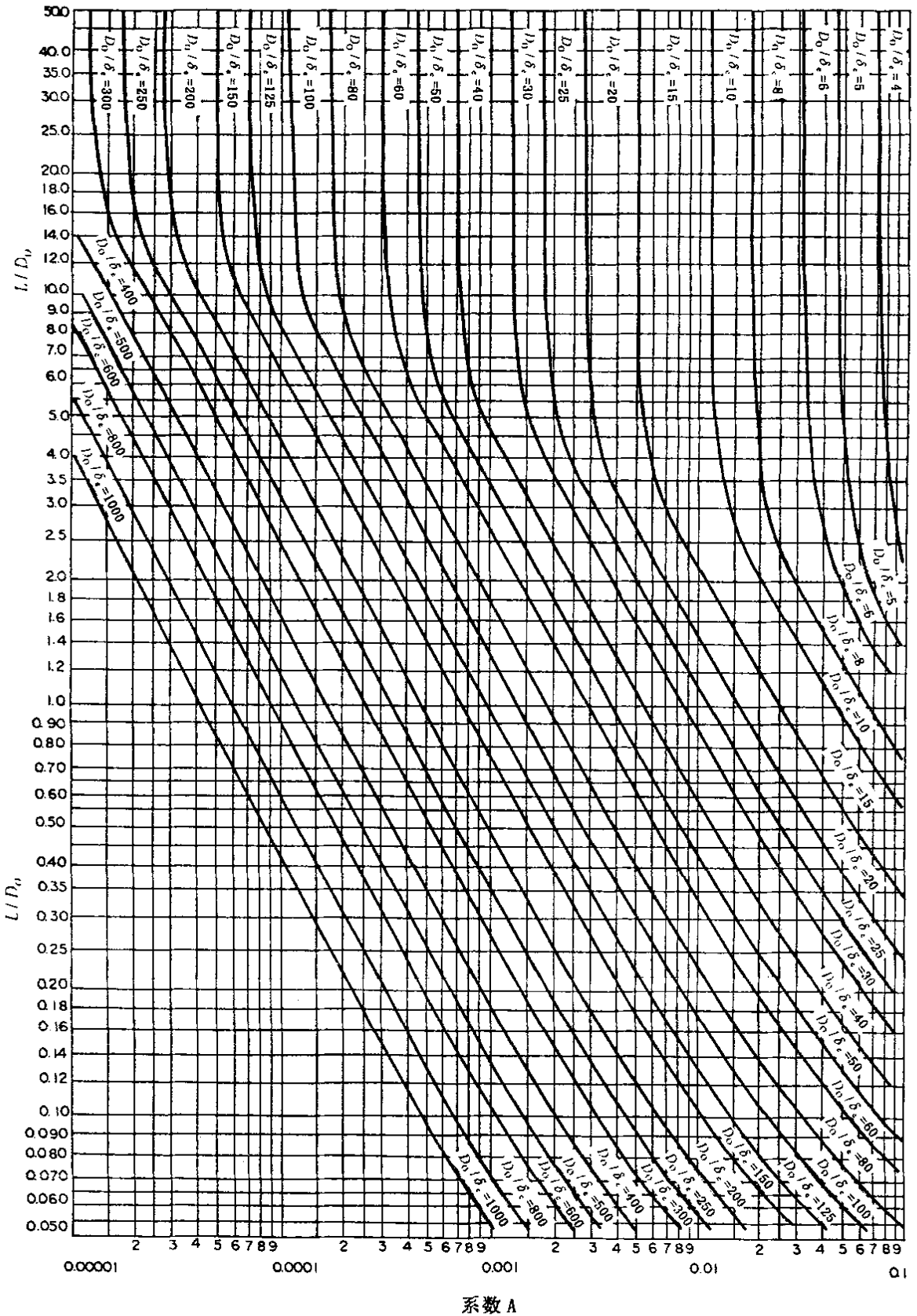


图 D-1 外压或轴向受压圆筒几何参数计算图(用于所有材料)

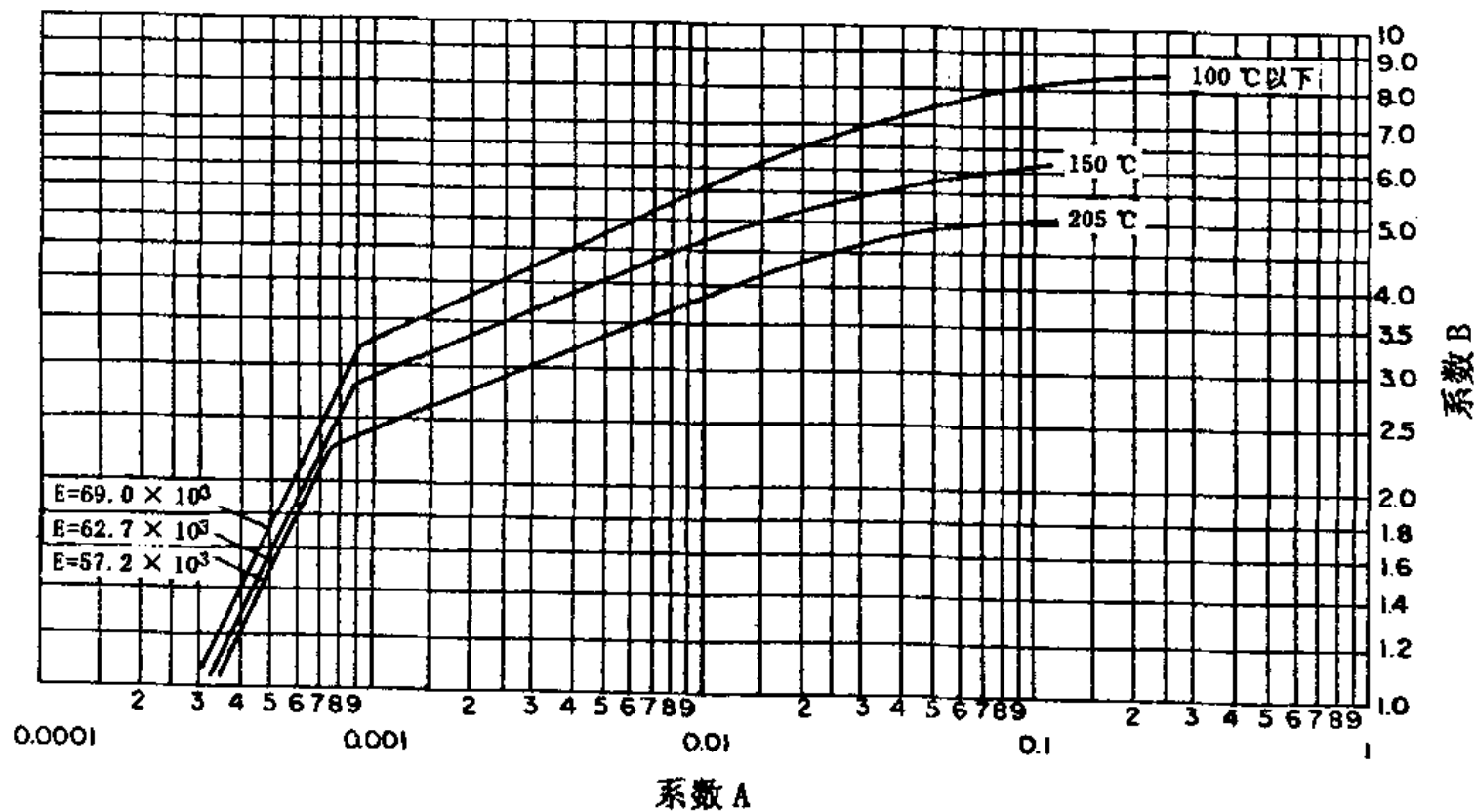
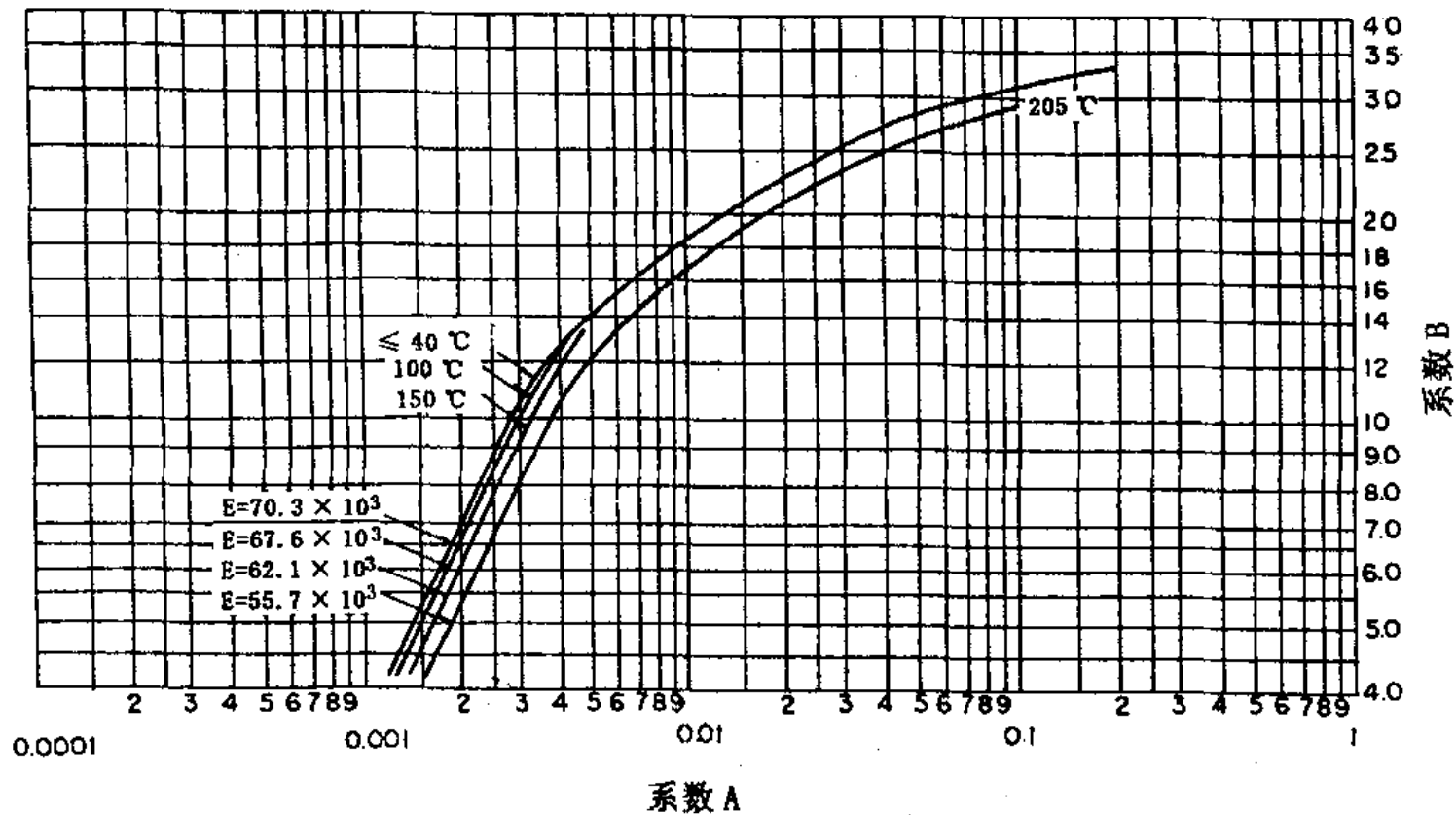


图 D-2 外压圆筒和球壳厚度计算图, 材料为 L2-退火



D-3 外压圆筒和球壳厚度计算图, 材料为 LF2-退火、热轧

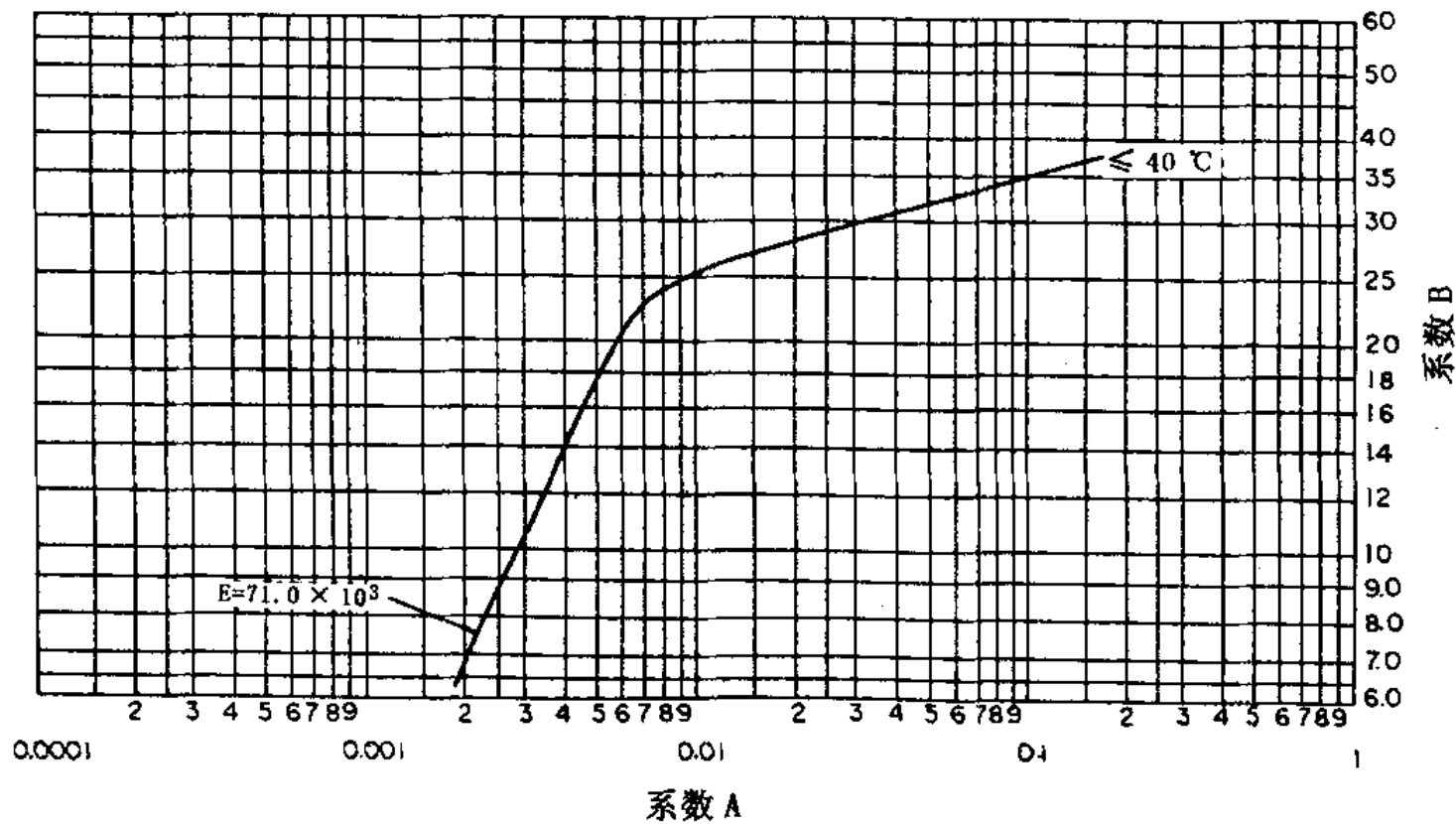
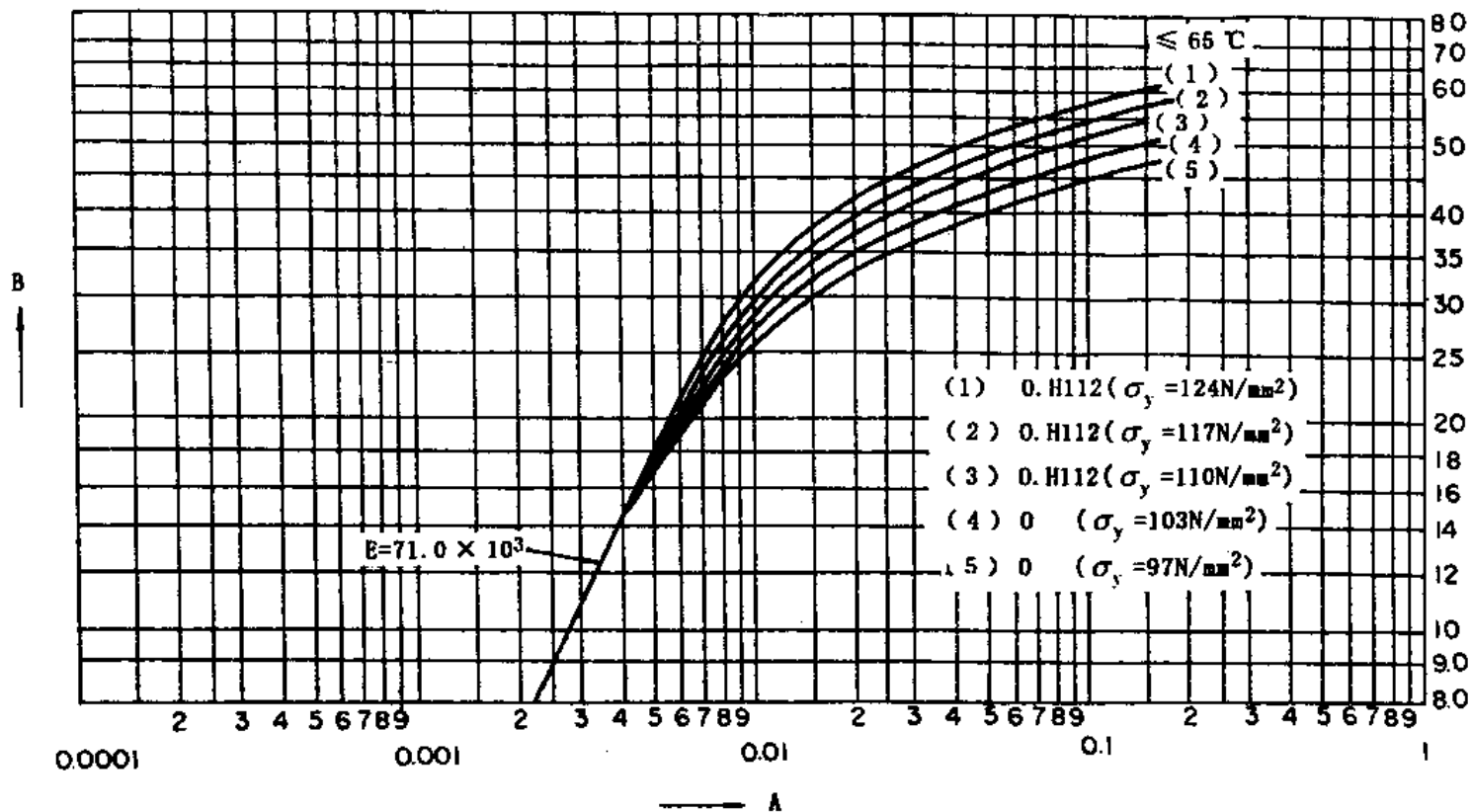


图 D-4 外压圆筒和球壳厚度计算图，材料为 LF3-退火、热轧



注：1. 图中 σ_y 表示 0.2% 屈服强度 (N/mm^2)。

2. 铝及铝合金牌号为 A5086，状态 0, H112。

图 D-5 外压圆筒和球壳厚度计算图，材料为 LF5-退火、热轧

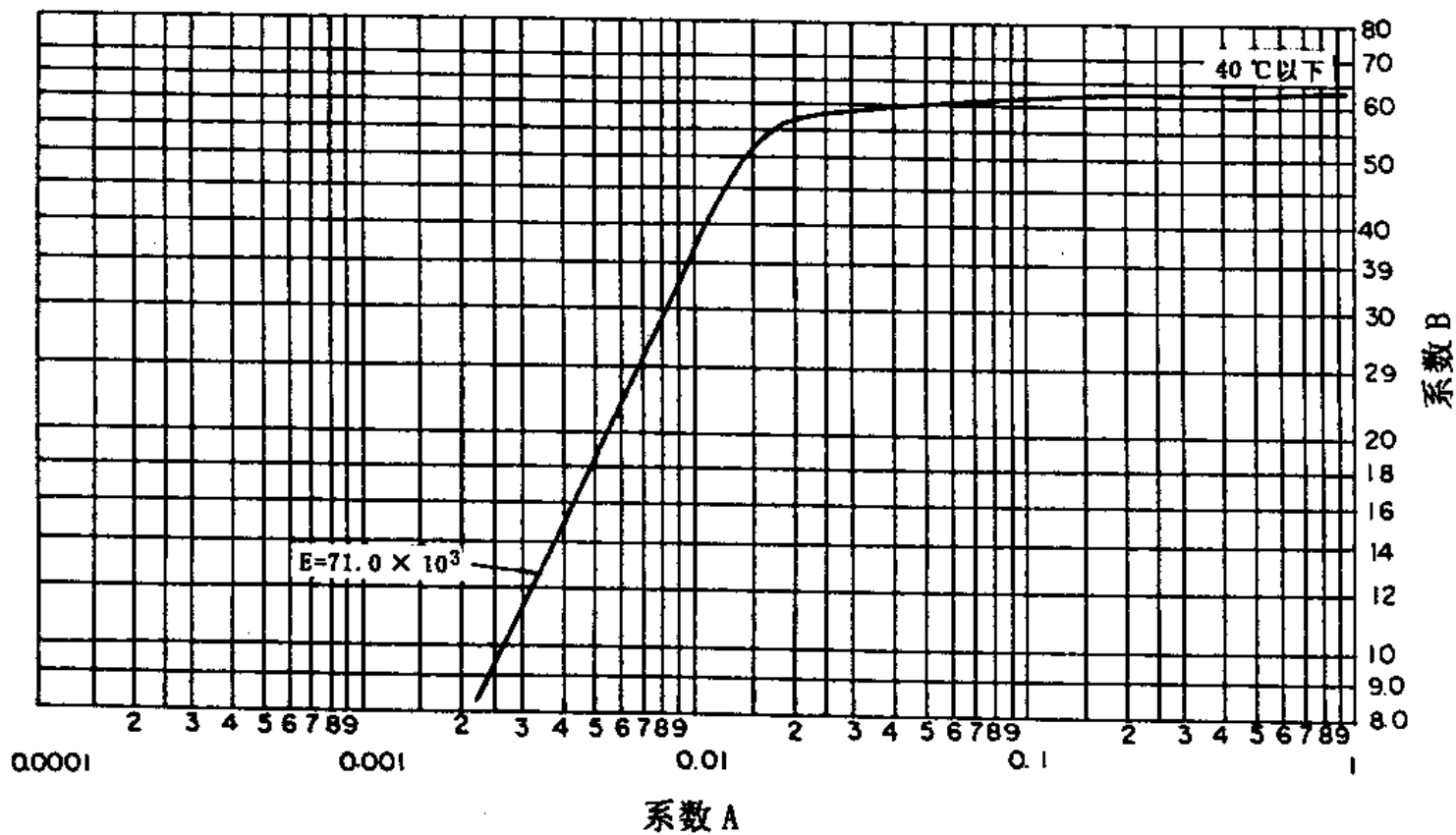


图 D-6 外压圆筒和球壳厚度计算图, 材料为 LF11-退火、热轧

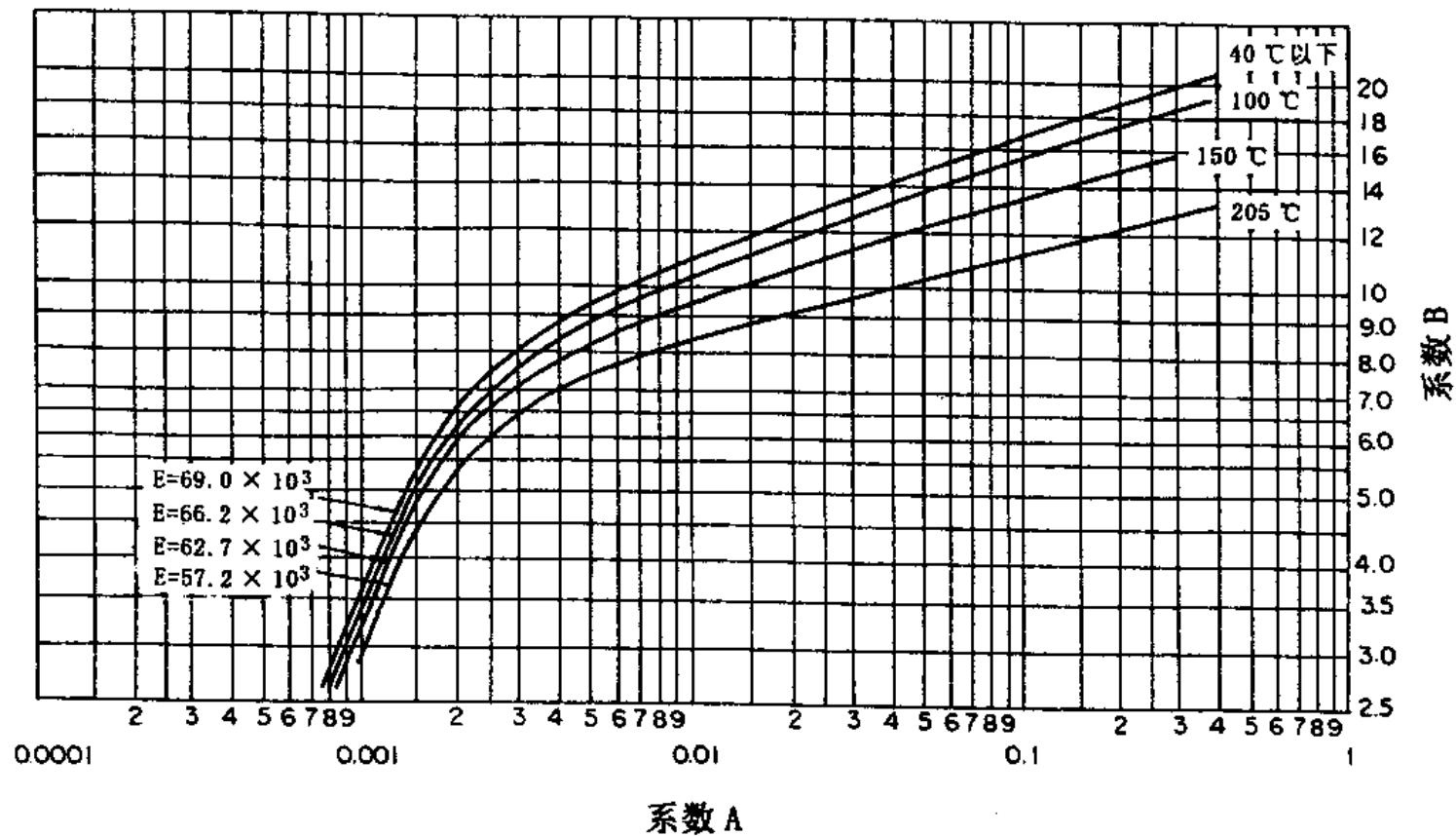


图 D-7 外压圆筒和球壳厚度计算图，材料为 LF21-退火、热轧

附录 E 开孔和开孔补强

E. 0. 1 各种公称直径的开孔接管和补强圈规格宜符合表 E。

E. 0. 2 补强圈应符合《补强圈》（JB/T4736）标准规定。

表 E

序号	公称直径 DN (mm)	接管外径×壁厚 (mm)	补强圈尺寸 D _外 /D _内 (mm)
1	25	φ 32 × 5	
		φ 34 × 5*	
2	40	φ 45 × 5	
		φ 48 × 5*	
3	50	φ 57 × 5	
		φ 60 × 5.5*	
4	80	φ 89 × 7.5 (6)	φ 180/φ 93
5	100	φ 108 × 8.5 (6)	φ 200/φ 112
		φ 114 × 8.5* (6)	φ 200/φ 118
6	150	φ 159 × 10 (7)	φ 300/φ 163
		φ 168 × 11 (7)	φ 300/φ 172

续表 E

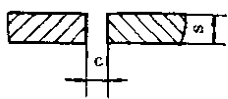
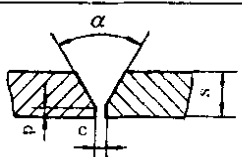
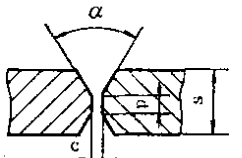
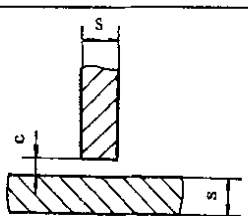
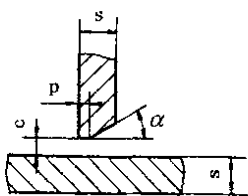
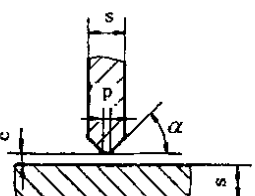
序号	公称直径 DN (mm)	接管外径×壁厚 (mm)	补强圈尺寸 D _外 /D _内 (mm)
7	200	φ 219 × 13 (8)	φ 400/φ 223
8	250	φ 273 × 13 (8)	φ 480/φ 277
9	300	φ 325 × 13 (10)	φ 550/φ 329
10	350	φ 377 × 13 (11)	φ 620/φ 381
11	400	φ 426 × 13 (12)	φ 680/φ 430
12	450	φ 480 × 13	φ 760/φ 484
13	500	φ 530 × 13	φ 840/φ 534
14	600	φ 630 × 13	φ 980/φ 634

注：* 表示大外径接管；括号内的数值为最小壁厚。

附录 F 铝制料仓焊接常用坡口型式及尺寸

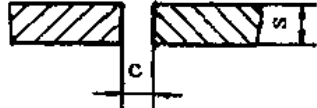
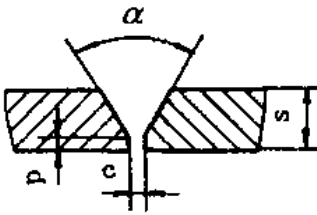
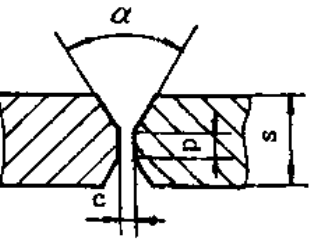
铝制料仓手工钨极氩弧焊坡口型式和尺寸 (mm)

表 F-1

序号	厚度 S	坡口名称	坡口型式	尺寸			备注
				C	P	坡口角度 α	
1	3 ~ 6	I 型坡口		0 ~ 1.5			
2	6 ~ 20	V 型坡口		0.5 ~ 2	2 ~ 3	$75^{\circ} \begin{smallmatrix} +5^{\circ} \\ -0^{\circ} \end{smallmatrix}$	
3	> 14	X 型坡口		0 ~ 2	2 ~ 3	$75^{\circ} \pm 5^{\circ}$	
4	< 3	不开坡口 T 型接头		0.5			
	3 ~ 6			0.5 ~ 1.5			
5	6 ~ 8	单边 V 型坡口 T 型接头		0.5 ~ 1.5	2	$50^{\circ} \begin{smallmatrix} +5^{\circ} \\ -0^{\circ} \end{smallmatrix}$	
	8 ~ 10			1 ~ 2	2 ~ 3		
6	8 ~ 25	对称 K 型坡口 T 型接头		0 ~ 2	< 2	$50^{\circ} \begin{smallmatrix} +5^{\circ} \\ -0^{\circ} \end{smallmatrix}$	

铝制料仓熔化极氩弧焊坡口型式和尺寸 (mm)

表 F-2

序号	厚度 S	坡口名称	坡口型式	尺寸			备注
				C	P	坡口角度 α	
1	< 10	I 型坡口		0 ~ 3			
2	8 ~ 25	V 型坡口		0 ~ 3	2 ~ 3	$75^{\circ} \begin{smallmatrix} +5^{\circ} \\ -0^{\circ} \end{smallmatrix}$	
3	8 以上	X 型坡口		0 ~ 3	3 ~ 6	70°	
	20 以上			0 ~ 3	6 ~ 10	70°	

附录 G 铝制料仓的焊丝的选用

焊接纯铝及防锈铝合金焊丝选用 表 G

序 号	母材牌号	焊 丝 牌 号
1	L2	SA1-2、L1、L2
2	L3	SA1-2、SA1-3、L2、L3
3	L4	SA1-2、SA1-3、L3、L4
4	L5	SA1-2、SA1-3、L4、L5
5	L6	SA1-2、SA1-3、L5、L6
6	LF2	SA1Mg2、SA1Mg3、SA1Mg5、LF2、SLF3
7	LF3	SA1Mg3、SA1Mg5、LF3、LF5
8	LF5	SA1Mg5、LF5、LF6
9	LF11	SA1Mg5、LF11
10	LF21	SA1Mn1、SA1Si5、LF21

附录 H 用词说明

本规范条文中要求严格程度的用词,在执行时按下述说明区别对待:

- H. 0. 1 表示很严格,非这样做不可的用词:
正面词采用“必须”;
反面词采用“严禁”。
- H. 0. 2 表示严格,在正常情况下应这样做的用词:
正面词采用“应”;
反面词采用“不应”或“不得”。
- H. 0. 3 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的用词:
正面词采用“宜”或“可”;
反面词采用“不宜”。

附加说明 本规范编制单位和 主要起草人名单

编制单位：上海金山石油化工设计院

主要起草人：盛昌国 奚立诚

中华人民共和国行业标准

立式圆筒形钢制和铝制料仓 设计 规 范

SH 3078-96

条 文 说 明

1 9 9 6 北 京

制 订 说 明

本规范是根据中国石油化工总公司（91）中石化建标字第 158 号文的通知由我院编制的。

在编制过程中，进行了比较广泛的调查研究，总结了多年来石油化工企业料仓设计的经验，并征求了有关设计、施工和使用单位等方面的意见，对其中的主要问题，进行了多次讨论，最后经审查定稿。

在本规范实行过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料提供我院，以便今后修订时参考。

上海金山石油化工设计院

一九九六年九月

目 次

1	总则	111
2	一般规定	112
2.2	温度	112
2.5	许用应力	112
2.6	焊缝系数及检验要求	113
4	仓体	114
4.2	物料荷载	114
4.7	应力计算	116

1 总 则

1.0.2 本规范主要针对现场组装的贮存固体粒状松散物料的料仓，容积不小于 50 m^3 。

料仓的工作压力一般为常压，也有在料仓内充入少量微压惰性气体。在料仓顶部一般都设有呼吸阀，这主要是防止在进料和卸料过程中压力过高或产生负压。因此，一般均按呼吸阀的开启压力作为设计压力。由于料仓的直径比较大，不宜承受较高的压力和较大的负压，同时根据呼吸阀的实际制造和使用状况，本规范限制了料仓的设计压力不大于 2kPa 以及仓内负压不大于 0.5kPa 。

在料仓中储存的物料的温度一般不高，大多数情况下均为常温，故本规范限制了设计温度在 $100\text{ }^\circ\text{C}$ 以下。

2 一般规定

2.2 温 度

2.2.3 料仓的设计温度应为元件可能达到的最高或最低金属温度。环境温度对料仓的金属温度会产生一定的影响，尤其对露天安置的无保温设施的料仓的影响较大，故在寒冷地区建造料仓，设计时必须考虑环境低温的影响。

2.5 许用应力

2.5.1 料仓在许多方面与大型立式圆筒形储罐比较相似，但料仓储存的物料为松散型固体颗粒，一旦料仓破裂，物料漏出后的危害性没有液体物料，诸如油品、化学品等泄漏时大，因此，料仓设计时的系数 n_b 、 n_s 似可取得小一些，但考虑到我国在设计料仓方面的经验比较少，可借鉴的国外规范也比较少，何况料仓在某些方面又类似于塔式容器，因此，本规范在确定系数 n_b 、 n_s 时，对于钢制料仓是参照了《钢制塔式容器》(JB4710 - 92)，对于铝制料仓是参照了《铝制焊接容器》(JB 送审稿)。具体数值如下：

碳素钢、低合金钢：	$n_b \geq 3$	$n_s \geq 1.6$
奥氏体不锈钢：		$n_s \geq 1.5$
铝、铝合金：	$n_s \geq 4$	$n_s \geq 1.5$

2.5.2 在设计大型不锈钢料仓时，壁厚较大，为节省不锈钢，降低造价，故本规范采用不锈钢复合钢板制料仓。设计时，如果需要计入复层材料强度，则必须在满足复层与基层完全贴合以及对接焊缝完全熔透的条件下，许用应力可按式 2.5.2 计算确定；如果不需要计入复层材料强度，则许用应力就按照基层钢板确定。

2.5.3 许用轴向压缩应力按下式确定。

$$[\sigma]_{cr}' = \begin{cases} K(0.18E' \frac{\delta_e}{D_i}) \\ K[\sigma]' \end{cases} \quad (\text{式 2})$$

式中 K —— 载荷组合系数，取 1.2。

2.6 焊缝系数及检验要求

2.6.1 由于料仓的直径都比较大，故本规范规定采用射线透照检测。本节按射线透照检测程度分别列出了钢制和铝制料仓的焊缝系数。由于大型料仓均在现场组装，进行全部探伤的较少，但考虑到大型料仓设计中，对于一些设计厚度较大的仓体和料斗，采用全部透照检测，可以节省材料，降低成本，所以本规范列入了全部检测的焊缝系数，供设计时比较和选用。

4 仓 体

4.2 物 料 载 荷

贮存固体粒状松散物料的料仓计算的经典理论是詹森（Janssen）理论，该理论假设贮存物料的垂直压力与其侧向压力的比值 P_v / P_h 是固定不变的。然而，在实际应用中，用詹森法计算的侧压力显然比实际值小，经过模拟料仓和实际料仓的系统试验，证明了仓底平均垂直压力与仓壁平均侧压力的比值 P_v / P_h 不是一个常数，它随贮料高度不同而变化。以杰出的理论研究和试验工作闻名的马塞尔·赖姆伯特（Marcel L. Reimbert）和安德烈·马塞尔·赖姆伯特（Andre M. Reimbert）根据试验所取得的主要成果，导出了料仓设计的计算方法。本规范对于物料载荷所引起的压力的计算公式是采用赖姆伯特计算方法。

日本在《铝制圆筒形料仓的结构》（JIS B 8511）中由物料载荷所引起的压力是按詹森法进行计算的，其计算公式如下：

4.2.1 圆筒段垂直压力

$$P_v^{l-1} = \frac{\gamma D_i}{4f} \left(1 - e^{-\frac{4fx}{D_i}}\right) \times 10^{-9} \quad (\text{式 4-1})$$

$$f = k\mu \quad (\text{式 4-2})$$

$$\mu = \operatorname{tg} \nu \quad (\text{式 4-3})$$

$$k = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} = \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (\text{式 4-4})$$

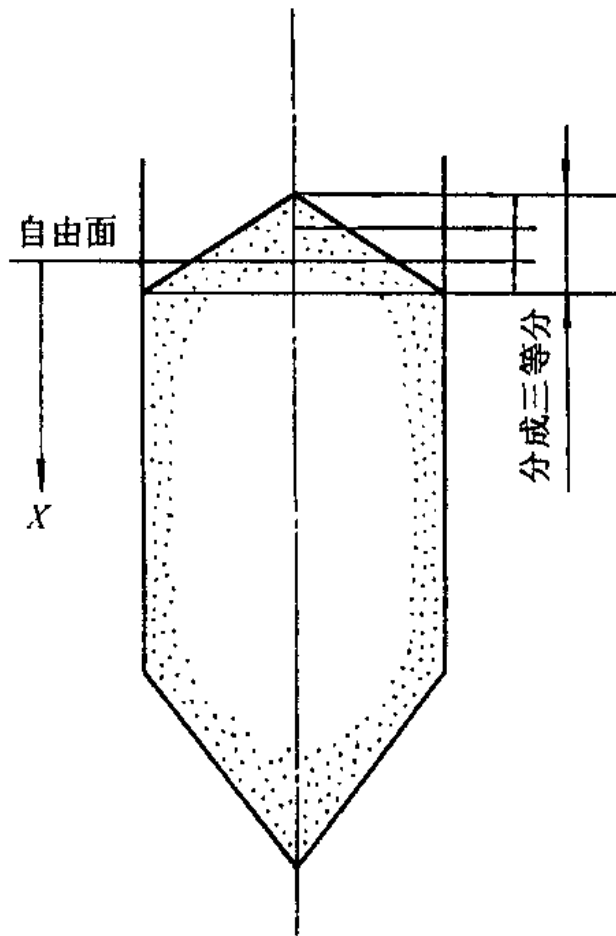


图 4.2.1 自由面

式中 P_V^{I-I} —— 圆筒段任意计算截面 I-I 处的物料垂直压力 (MPa);

- γ —— 物料堆积重度 (N / m^3) ;
- D_1 —— 仓体内直径 (mm) ;
- f —— 系数;
- X —— 计算截面 I-I 到物料自由面的高度 (mm)
(图 4.2.1)
- k —— 侧压系数;
- μ —— 物料与仓壁的摩擦系数;
- ν —— 物料与仓壁的摩擦角 ($^\circ$) ;
- φ —— 物料内摩擦角 ($^\circ$) 。

4.2.2 圆筒段侧向压力

$$P_h^{I-I} = kP_V^{I-I} \quad (\text{式 4-5})$$

式中 P_h^{I-I} —— 圆筒段任意计算截面 I-I 处的物料侧向压力 (MPa)。

4.7 应力计算

4.7.1 料仓卸料时, 贮料从静止平衡状态突然转变到卸料运动状态, 引起动载影响增大, 使贮料侧向压力急剧增大, 因此在料仓的设计计算中应考虑这一因素, 本规范在应力计算时引入了超压系数 C_d 。然而, 超压系数的大小与贮存物料的物性、卸料方法、卸料速度和装料速度等有关, 设计人员可根据实际经验在本规范所给定的范围内进行选取。