

化工设备设计手册

(四)-6

塔 式 板

化工部化工设备设计技术中心站

化工设备设计手册

(四)-6

板 式 塔

江苏工业学院图书馆
藏书章

化工部化工设备设计专业技术中心站

1969年4月

内 容 提 要

本手册系化工机械及设备的工人及设计人员现场设计应用，也可为广大化学工程技术人员及化工机械、设备专业师生作参考。

本手册共分六章，介绍了用诺模图法计算塔壁厚度和裙座的计算表；塔盘设计要点；整块式塔盘设计；分块式塔盘设计；塔的附件；丝网除沫器。

在附录中介绍了计算塔壁厚度的诺模图编制方法；裙座计算的说明；泡罩塔盘的结构；填料塔结构设计；并简述了塔器使用情况。

化 工 设 备 设 计 手 册

(四)-6

板 式 塔

*

化工部化工设备设计技术中心站 出版

(上海南京西路 1856 号)

*

内 部 发 行

开本 787×1092 毫米 $\frac{1}{32}$ · 印张 9

1969 年 4 月上海

定价：0.60 元

毛主席语录

我国有七亿人口，工人阶级是领导阶级。要充分发挥工人阶级在文化大革命中和一切工作中的领导作用。工人阶级也应当在斗争中不断提高自己的政治觉悟。

从旧学校培养的学生，多数或大多数是能够同工农兵结合的，有些人并有所发明、创造，不过要在正确路线领导之下，由工农兵给他们以再教育，彻底改变旧思想。这样的知识分子，工农兵是欢迎的。

我们的权力是谁给的？是工人阶级给的，是贫下中农给的，是占人口百分之九十以上的广大劳动群众给的。我们代表了无产阶级，代表了人民群众，打倒了人民的敌人，人民就拥护我们。共产党基本的一条，就是直接依靠广大革命人民群众。

目 录

第一章 塔壁厚度和裙座的计算	2
一、计算塔壁厚度的诺模图.....	2
二、裙座结构型式和计算.....	12
第二章 塔盘设计要点	80
一、塔盘类型.....	80
二、塔盘间距.....	80
三、液流程数.....	81
四、降液管及溢流堰.....	82
五、受液盘及入口堰.....	90
六、塔盘机械设计的一般要求.....	91
七、浮阀及其排列.....	92
八、筛孔及其排列.....	97
第三章 整块式塔盘	99
一、塔盘结构型式.....	99
二、密封装置.....	103
三、降液管及溢流堰.....	105
四、定距管支承结构.....	107
五、重叠式支承结构.....	109
六、塔盘支座.....	112
七、塔盘吊耳.....	114
八、塔节长度.....	115
第四章 分块式塔盘	116
一、单流塔盘.....	116
二、双流塔盘.....	121

三、塔盘板的型式.....	128
四、塔盘紧固件.....	134
第五章 塔附件	140
一、接管.....	140
二、吊柱.....	145
三、保温圈.....	147
第六章 丝网除沫器	150
一、概述.....	150
二、丝网规格.....	150
三、除沫器.....	152
附录	156
I 计算塔壁厚度用的诺模图说明.....	156
II 裙座计算的说明.....	168
III 圆形泡罩塔盘.....	181
IV 填料塔结构设计.....	217
V 塔器使用情况简介.....	247

序

为了更好地配合化工设备设计人员进行现场设计，根据化工部化工设备设计技术中心站第四届会议对1967~1968年业务建设项目的安排，由本站组织各单位的力量，集中精力，编制化工设备设计手册。

伟大的领袖毛主席教导我们：“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。”遵循这个教导，化工设备设计手册的编制，从化工机械设备专业实际需要出发，按照简明、实用和推荐的原则进行，尽可能把常用的内容汇编进去。对不常用的或可代替的，我们推荐几个有代表性的，作为设计时选择使用。

化工设备设计手册共分四部分（一）材料；（二）机械零件；（三）机械传动；（四）设备设计。

由于（四）设备设计内容较多，故将予以分册出版。

本“手册”系化工机械及设备的工人及设计人员现场设计时应用，也可作为广大化学工程技术人员及化工机械、设备专业师生参考。

本手册为化工设备设计手册（四）设备设计中的第六部分——板式塔，由化工部第一、六设计院负责编制。

根据上述原则，对本手册所选内容作以下几点说明：

一、计算塔壁厚度用的诺模图在制作中一定会存在不少问题。毛主席教导我们：“群众才是真正的英雄，而我们自己则往往是幼稚可笑的，不了解这一点，就不能得到起码的知识。”希望大家在

试用过程中多加校核与改进并多提出意见，使它不断完善。

用本诺模图法计算塔壁厚度的特点系能快速地求出壁厚沿塔高的分布情况。对于壁厚沿塔高采用等值的常压塔，则按裙座尺寸计算表中的数据更为简便。

二、本手册仅介绍具有降液管的塔盘，并以浮阀塔盘和筛板塔盘为主。其他同类型的塔盘如舌型塔盘等可参考设计。

三、本手册所介绍的塔盘和塔的附件适用于碳素钢或不锈钢耐酸钢制的板式塔。

四、泡罩塔是使用较早的一种板式塔，近年来随着其他新型板式塔的出现，使用有所减少。但考虑目前设计上的需要，我们介绍了泡罩塔盘的结构，列入附录Ⅲ。其中分块式塔盘部分系摘自圆形泡罩塔盘标准(草案)中第三种类型的结构，仅供参考。

五、填料塔是最普遍的、广泛使用的塔，考虑到设计上的方便，在本手册中列为附录Ⅳ。由于编制填料塔时间紧促，内容收集不够全面，仅供设计上参考。

对板式塔的编制，由于我们经验不足，在内容及编排形式上一定存在不少缺点和错误，衷心希望有关专业人员及广大读者提出批评建议，以便今后修改和补充。

化工部化工设备设计技术中心站

1968年10月

第一章 塔壁厚度和裙座的计算

一、计算塔壁厚度的诺模图

一般塔体上承受的载荷有：由于压力(内压或外压)所产生的轴向载荷和周向载荷；由于塔体、内件、介质及附件等自身重量所产生的轴向载荷；由于外力矩(风载荷或地震载荷)所产生的轴向载荷。

本诺模图仅适用于室外承受风载荷(未考虑地震载荷)的常压板式塔各段塔壁厚度的计算。

1. 需要的原始条件

塔径(D_g), m; 高度(H), m; 风压(q_0), kg/m^2 ; 塔体的保温层厚度(δ_1), m; 塔顶出气管直径(d_H)及其保温层厚度(δ_2), m; 有无笼梯和平台及出气管配置的情况; 壳体上开孔大小及个数。

2. 计算步骤

(1) 算出 k_3

$$k_3 = \frac{D_g + 2\delta_1 + d_H + 2\delta_2 + 0.6 + \dots}{D_g}$$

如有其他项目影响风载荷引起的弯矩; 可加于上式分子之后。

如梯子与塔顶出气管配置互成 90° 时(一般互成 180°)，则取 0.6 和 $(d_H + 2\delta_2)$ 两者较大值。0.6 为笼式扶梯的附加系数。

(2) 按图 1-1 所示的顺序，查出 $\frac{M_x}{f_1(\xi)D_g}$ 即 $\frac{M'_B}{1.25D_g}$ 。如欲

求塔的任一截面处之弯矩 M_x ，可用图 1-1 所得的 $\frac{M_x}{f_1(\xi)D_g}$ ，乘

以 $f_1(\zeta)$ 和 D_g , 即

$$M_x = \left(\frac{M'_R}{1.25 D_g} \right) f_1(\zeta) \cdot D_g$$

式中: $\zeta = \frac{X}{H}$

X ——自塔顶至任一截面处的距离, m;

H ——塔的总高, m;

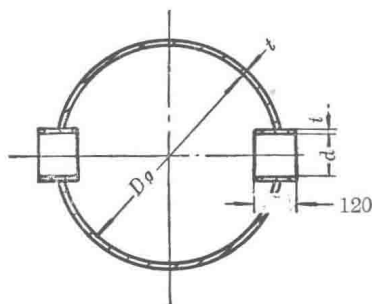
D_g ——塔的公称直径, m;

$f_1(\zeta)$ 值可查表 1-1。

表 1-1

ζ	$f_1(\zeta)$	ζ	$f_1(\zeta)$	ζ	$f_1(\zeta)$	ζ	$f_1(\zeta)$
0.01	0.00014	0.26	0.09289	0.51	0.34838	0.76	0.75032
0.02	0.00056	0.27	0.10008	0.52	0.36178	0.77	0.76913
0.03	0.00126	0.28	0.10753	0.53	0.37540	0.78	0.78815
0.04	0.00224	0.29	0.11523	0.54	0.38926	0.79	0.80735
0.05	0.00350	0.30	0.12320	0.55	0.40335	0.80	0.82675
0.06	0.00504	0.31	0.13142	0.56	0.41768	0.81	0.84633
0.07	0.00685	0.32	0.13990	0.57	0.43223	0.82	0.86610
0.08	0.00894	0.33	0.14863	0.58	0.44701	0.83	0.88606
0.09	0.01130	0.34	0.15762	0.59	0.46201	0.84	0.90619
0.10	0.01394	0.35	0.16686	0.60	0.47724	0.85	0.92650
0.11	0.01686	0.36	0.17636	0.61	0.49270	0.86	0.94699
0.12	0.02004	0.37	0.18610	0.62	0.50837	0.87	0.96765
0.13	0.02350	0.38	0.19610	0.63	0.52427	0.88	0.98848
0.14	0.02723	0.39	0.20635	0.64	0.54039	0.89	1.00947
0.15	0.03123	0.40	0.21684	0.65	0.55672	0.90	1.03062
0.16	0.03550	0.41	0.22758	0.66	0.57327	0.91	1.05194
0.17	0.04005	0.42	0.23857	0.67	0.59004	0.92	1.07340
0.18	0.04485	0.43	0.24980	0.68	0.60702	0.93	1.09502
0.19	0.04993	0.44	0.26128	0.69	0.62421	0.94	1.11678
0.20	0.05527	0.45	0.27300	0.70	0.64161	0.95	1.13868
0.21	0.06088	0.46	0.28497	0.71	0.65922	0.96	1.16072
0.22	0.06676	0.47	0.29217	0.72	0.67703	0.97	1.18287
0.23	0.07290	0.48	0.30962	0.73	0.69505	0.98	1.20515
0.24	0.07930	0.49	0.32230	0.74	0.71327	0.99	1.22753
0.25	0.08597	0.50	0.33522	0.75	0.73169	1.00	1.25000

(3) 按图 1-2 所示的顺序, 查出 ψ 。图中 $\frac{\alpha}{\beta}$ 可查表 1-2。 α 和 β 为削弱系数, 与壳壁上开孔的大小及个数有关。



注: ① 当 $d \leq 200$ 时, $\frac{1}{\alpha}$ 和 $\frac{\alpha}{\beta}$ 均取为 1。

② 表中 $\frac{1}{\alpha}$ 与 $\frac{\alpha}{\beta}$ 值系假定开孔补强是以长为 120mm, 且与塔壁等厚的接管, 两端在塔壁内外等长配置。如补强情况不同的接管, 也可近似采用。

③ 开孔补强如已补足, 则可取 $\frac{1}{\alpha}$ 和 $\frac{\alpha}{\beta}$ 等于 1。

表 1-2

D_0 (mm)	个 数——孔 径									
	1- $\phi 250$		1- $\phi 300$		1- $\phi 350$		1- $\phi 400$		1- $\phi 450$	
	削 弱 系 数									
	$\frac{1}{\alpha}$	$\frac{\alpha}{\beta}$	$\frac{1}{\alpha}$	$\frac{\alpha}{\beta}$	$\frac{1}{\alpha}$	$\frac{\alpha}{\beta}$	$\frac{1}{\alpha}$	$\frac{\alpha}{\beta}$	$\frac{1}{\alpha}$	$\frac{\alpha}{\beta}$
600	1.034	0.972								
700	1.024	0.981								
800	1.018	0.987	1.065	0.962	1.117	0.936	1.177	0.908		
900	1.014	0.990	1.054	0.969	1.098	0.947	1.147	0.924		
1000	1.011	0.992	1.047	0.974	1.085	0.955	1.127	0.935	1.173	0.914
1200	1.008	0.995	1.037	0.980	1.067	0.965	1.100	0.950	1.134	0.934
1400							1.082	0.959	1.110	0.946
1600							1.070	0.965	1.094	0.954
1800							1.061	0.970	1.082	0.960
2000							1.054	0.973	1.072	0.965

续表 1-2

D_g (mm)	个 数——孔 径											
	2- ϕ 250		2- ϕ 300		2- ϕ 350		2- ϕ 400		2- ϕ 450		2- ϕ 500	
	削 弱 系 数											
	$\frac{1}{\alpha}$	$\frac{\alpha}{\beta}$	$\frac{1}{\alpha}$	$\frac{\alpha}{\beta}$	$\frac{1}{\alpha}$	$\frac{\alpha}{\beta}$	$\frac{1}{\alpha}$	$\frac{\alpha}{\beta}$	$\frac{1}{\alpha}$	$\frac{\alpha}{\beta}$	$\frac{1}{\alpha}$	$\frac{\alpha}{\beta}$
600	1.071	0.944										
700	1.048	0.963										
800	1.036	0.973	1.138	0.923	1.265	0.866						
900	1.028	0.980	1.114	0.937	1.218	0.890						
1000			1.097	0.947	1.186	0.907	1.290	0.863	1.418	0.814		
1200							1.221	0.895	1.311	0.859		
1400							1.179	0.915	1.248	0.886		
1600							1.151	0.928	1.207	0.904		
1800							1.130	0.938	1.178	0.917		
2000							1.115	0.945	1.156	0.927	1.201	0.908
2200									1.139	0.935	1.178	0.918
2400									1.126	0.941	1.160	0.926
2600									1.114	0.946	1.146	0.932
2800									1.105	0.950	1.134	0.938
3000									1.097	0.954	1.123	0.942
3200									1.090	0.957	1.114	0.946
3400									1.085	0.960	1.107	0.950
3600									1.079	0.962	1.100	0.953
3800									1.075	0.964	1.094	0.955
4000									1.071	0.966	1.089	0.958

(4) 按图 1-3 所示的顺序, 得出 t_1 和 t_2 , 取两者较大值。
 如 $[\sigma]$ 不等于 1270kg/cm^2 (A_3 钢 $\sigma_b = 3800\text{kg/cm}^2$, $n_b = 3$, 即 $3800/3 = 1270$), 则应得出 t_1 和 t_3 , 取这两者的较大值。图中 $\frac{1}{\alpha}$ 可查表 1-2。

3. 几点说明

(1) 本诺模图系参照北京石油设计院塔体的诺模图计算方法, 其编制说明见附录 I。对塔的假设同裙座计算部分, 可参阅附录 II。

(2) 本诺模图所得的壁厚未包括腐蚀裕度, 但在壳体重量计算中, 已考虑了 2mm 的腐蚀裕度。如所取腐蚀裕度超过 2mm, 则应看操作时的总重是否超过本诺模图所假设的总重(可见裙座计算用表 1-21~1-29) 来确定要否增加壁厚。然而, 壁厚在增加腐蚀裕度后应圆整至钢板的规格, 这时虽引致重量增加, 甚至超过假设重量值时仍可用, 因为此时应力反而降低了, 结果是偏于安全的。

(3) 本诺模图所假设的板式塔重量系指塔在操作时的总重, 且重量大致是沿着高度均布的, 如设计其他类型的塔, 总重超过者, 则应增加壁厚。

(4) 在使用图 1-3 的右面部分时, 可能会超出图尺线范围以外, 仍可应用。图尺线是按对数标绘的, 所以其超出部分, 可量出其距离, 在大十倍的图尺线上读出其读数。

(5) 求不同厚度分界线的办法: 首先求出塔底部(无开孔, 即 $\frac{\alpha}{\beta}$ 和 $\frac{1}{\alpha}$ 均等于 1) 的壁厚。固定在求塔底部时图 1-3 上 '1' 点和 '6' 点不变, 取规格上比求得壁厚为小的各值(如 '9' 点或 '11' 点小于 '7' 点, 即 t_2 或 $t_3 < t_1$, 则在 t_1 线上取比求得壁厚为小的各规格。若 '9' 点或 '11' 点大于 '7' 点, 即 t_2 或 $t_3 > t_1$, 则先在 t_2 线或 t_3 线上取比求得壁厚为小的各规格, 并按原来的顺序退回 t_1 线, 在 t_1 线上得出各相应值, 这时比较 t_1 和 t_2 或 t_3 各相应值, 其中 t_1 小于 t_2 或 t_3 者, 则由 t_2 或 t_3 退回到 t_1 线所得的 t_1 值为有效, 如 t_1 大于 t_2 或 t_3 者, 则由 t_2 或 t_3 退回 t_1 线所得之值为无效, 此后, 可直接在 t_1 线上取比有效 t_1 值为小的各规格。) 与 '6' 点连接, 得

出各相应的新‘3’点，再在左侧的图中，连接同值的各‘3’点和‘1’点，即可在 ζ 线上读出各种厚度的分界点。

(6) 当用本诺模图计算裙座壁厚时，计算结果可能会比裙座尺寸计算表所列的结果为略大，个别甚至相差10%左右。主要原因有：

① 稳定方面取容许的临界应力 $[\sigma]_p$ 等于 $0.06 E \frac{2t_x}{D_g}$ ，其0.06为固定值，这是由 $\frac{C}{n} = \frac{0.18}{3}$ 而来的，而在裙座计算中，对 C 值是根据 $\frac{D_g}{t_x}$ 之比而采用变化值的，如下式：

$$C = 0.606 - 0.546 \left[1 - e^{-\frac{1}{16} \left[\frac{D_g}{2t_x} \right]^{1/2}} \right]$$

并取稳定系数 $n=4$ 。

② $[\sigma]$ 取等于1270kg/cm²，而在裙座计算中是取等于1407kg/cm²。

(7) 本诺模图未考虑水压试验时的情况，所以对大直径矮塔的裙座壁厚，可见裙座尺寸计算表。

(8) 本诺模图未考虑温度应力。

(9) 塔如在地震区，则需另行进行地震载荷的校核。

(10) 本诺模图适用于常压塔的塔壁厚度计算。如作一些补充的计算，也可用于有压力的塔，方法如下：

① 按常压的塔，由图1-1至图1-3分别求出 $\frac{M'_R}{1.25D_g}$ ， ψ 和 t 之值。

② 按下式算出 σ_1

$$\sigma_1 = \frac{PD_g}{4\varphi t}$$

式中： P ——计算压力，kg/cm²；

φ ——焊缝系数。（可参见“钢制化工容器设计规定”）

③ 按下式算出 σ_2

$$\sigma_2 = \left[\frac{M'_B}{1.25D_g} \right] \frac{1}{0.8D_g t \alpha} \left[f_1(\zeta) - \zeta \psi \right]$$

④ $\sigma_1 + \sigma_2 \leq [\sigma]$

⑤ 若不能满足 $\sigma_1 + \sigma_2 \leq [\sigma]$ 时, 可增大 t 值或减小 ζ 值, 或两者同时进行, 直至满足上列条件为止。同时还应注意塔体受内压时由周向应力 $\left(t = \frac{PD_g}{2\varphi[\sigma]} \right)$ 而算得的壁厚, 在任何一段塔壁厚度应不小于这一所得之值。

4. 例题

例题 1: 已知塔径 (D_g) 1.8m, 高度 (H) 45m 的浮阀塔, 安装在室外, 该地区的风压 (q_0) 70kg/m², 塔体的保温层厚度 (δ_1) 为 0.12m, 塔顶出气管直径 (dH) 0.3m, 出气管保温层厚度 (δ_2) 假设也为 0.12m, 装有笼梯, 并与出气管呈 180°, 试求塔壁厚度的分布情况。

介: 裙座壁厚:

先算出 k_3

$$k_3 = \frac{1.8 + 2 \times 0.12 + 0.3 + 2 \times 0.12 + 0.6}{1.8} = 1.767$$

按图 1-1 求解顺序, 连接 $D_g = 1.8\text{m}$, $H = 45\text{m}$, $k_3 = 1.767$, $q_0 = 70\text{kg/m}^2$ 各点, 得

$$\frac{M'_B}{1.25D_g} = 138 \times 10^3 \text{ kg-m/m}$$

若需求距离地面 1m 的人孔处之弯矩 M_{44} , 则可将所得之值乘以 $f_1(\zeta)$ 和 D_g , 由 $\zeta = \frac{X}{H} = \frac{44}{45} = 0.98$ 查表 1-1 得 $f_1(\zeta)$ 为 1.21, 所以 $M_{44} = 138 \times 10^3 \times 1.8 \times 1.21 \times 100 = 3 \times 10^7 \text{ kg-cm}$ 。

裙座危险断面在距离地面 1m 的 2 个 $\phi 450$ 人孔中心处, 补强如表 1-2 附图示, 由表 1-2 查得

$$\frac{1}{\alpha} = 1.178$$

$$\frac{\alpha}{\beta} = 0.917$$

按图 1-2 求解顺序, 连接 $D_g = 1.8\text{m}$, $q_0 = 70\text{kg/m}^2$, $H = 45\text{m}$,

$$\frac{\alpha}{\beta} = 0.917 \text{ 各点 得}$$

$$\psi = 0.124$$

按图 1-3 求解顺序, 连接 $\psi = 0.124$, $\zeta = 0.98$, $\frac{1}{\alpha} = 1.178$,

$$\frac{M'_B}{1.25D_g} = 138 \times 10^3 \text{kg-m/m}, D_g = 1.8\text{m} \text{ 各点得}$$

$$t_1 = 10.5\text{mm}$$

$$t_2 = 12.1\text{mm}$$

裙座中取 $[\sigma] = \frac{3800}{2.7} = 1407\text{kg/cm}^2$, 则再连一条线, 在 t_3 线

上得出 $t_3 = 11.0\text{mm}$ 。因 $t_3 > t_1$, 所以取裙座壁厚 $t = 11.0\text{mm}$ 。

塔体各断面的壁厚:

图 1-1 的各点数据不变。

图 1-2 中取 $\frac{\alpha}{\beta} = 1$, 其他各点数据不变, 得出 $\psi = 0.135$

图 1-3 中取 $\frac{1}{\alpha} = 1$, 得 $t_1 = 9.8$, $t_2 = 11.0$

由于 $t_2 > t_1$, 于是先在 t_2 线上取数字比 11.0 小的各规格, 例如 10, 8, 连 $D_g = 1.8$ 之点, 分别在 t_1 线上得出 9.4, 8.5 两点。前一点 $9.4 < 10$, 这说明 $t_2 = 10$ 时 $t_1 = 9.4$, t_2 线仍起控制作用, 故 9.4 之点是有效的。而后一点 $8.5 > 8$, 则说明 $t_2 = 8$ 时 $t_1 = 8.5$, 已转为 t_1 线起控制作用, 所以 t_2 线上小于 8 的规格不用再求下去了, 可在 t_1 线上取数字比 9.4 小的各规格, 例如 8, 6, 4, 再分别

连接 t_1 线上 9.4, 8, 6, 4 各点与 B_2 线之交点, 在 B_1 线上得 1.13, 0.82, 0.455, 0.212, 然后从 B_1 左侧同值之点与 $\psi=0.135$ 相连, 分别得出 $\zeta=0.89, 0.73, 0.54, 0.37$ 。可以看到当连接 B_2 与 $t_1=4$ 之线画到 B_1 线时, 已超出 B_1 图尺线的标绘范围, 则可以用两脚规量出其距离, 在 B_1 线上大 10 倍处读出其读数, 因为图尺线上如 0.2~0.3 的距离和 2~3 的距离是相等的。

这样, 塔壁厚度分布大致如下:

① 裙座壁厚 11mm;

② 距地面高 $(1-0.89)45=4.95\text{m}$ 以上可用 10mm (若裙座高于 4.95m 时, 建议裙座部分仍用 11mm, 在裙座以上再改用 10mm);

③ 距地面高 $(1-0.73)45=12.2\text{m}$ 以上可用 8mm;

④ 距地面高 $(1-0.54)45=20.7\text{m}$ 以上可用 6mm;

⑤ 距地面高 $(1-0.37)45=28.4\text{m}$ 以上可用 4mm。

以上厚度均未包括腐蚀裕度。此壁厚的初步方案根据具体情况可调整一下 (如第 2 项), 并圆整至钢板厚度规格, 必要时还应校验其他各危险断面。

例题 2: 仍以前题为例, 补充条件: 计算压力 6 kg/cm^2 , 裙座高度 5m。试求塔壁厚度的分布情况。

在塔的筒体最低处

$$\zeta = \frac{45-5}{45} = 0.89, t \text{ 取为 } 1\text{cm}, \varphi = 0.95, \alpha = 1$$

$$\sigma_1 = \frac{PD_g}{4\varphi t} = \frac{6 \times 180}{4 \times 0.95 \times 1} = 284\text{kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \sigma_2 &= \left[\frac{M'_R}{1.25D_g} \right] \frac{1}{0.8D_g t \alpha} [f_1(\zeta) - \zeta\psi] \\ &= \frac{138 \times 10^3}{0.8 \times 180 \times 1 \times 1} [1.009 - 0.89 \times 0.135] \\ &= 852\text{kg/cm}^2 \end{aligned}$$