35米砖烟囱

M型薄壳基础的计算

黑龙江省林业设计院资料室

一九七四年五月

35米砖烟囱M型薄壳基础的计算

1973·6

黑龙江省林业设计院林产工业设计室土建组

遵照伟大领袖毛主席“我们必须打破常规，尽量采用先进技术……。”的教导，我们在某医院锅炉房35米砖烟囱的设计中，采用了钢筋混凝土“M”型薄壳基础，基础底直径7.50m壳壁厚20cm，基础承受垂直荷载265 T，弯矩81.6 T·M。现在基础及上部筒身已全部建成。这里将“M”型薄壳基础计算资料整理如下：

(一) 设计资料

烟囱高度：35 m，上口内径1.20 m。

基本地耐力：10 T／m²

基础埋深：3.10 m（地坪以下3.10 m，设计标高－3.30m如图）

由烟囱上部传至基础顶面的N^H，M^H，Q^H如下：

$N^H=265\ T$，$M_1^H=81.6\ T\cdot m$；$Q^H=4.9\ T$（水平力）

基础底面的弯矩

$$M^H=M_1^H+Q^H\times 3.10m=81.6\ T\cdot m+4.9\ T\times 3.10m=96.8\ T\cdot m$$

基础混凝土标号为200号

钢材为A_5（Φ）

(二) 地基验算

地耐力按宽度深度进行修正

按公式〔R〕$=10\,T/m^2\times(m+n)$

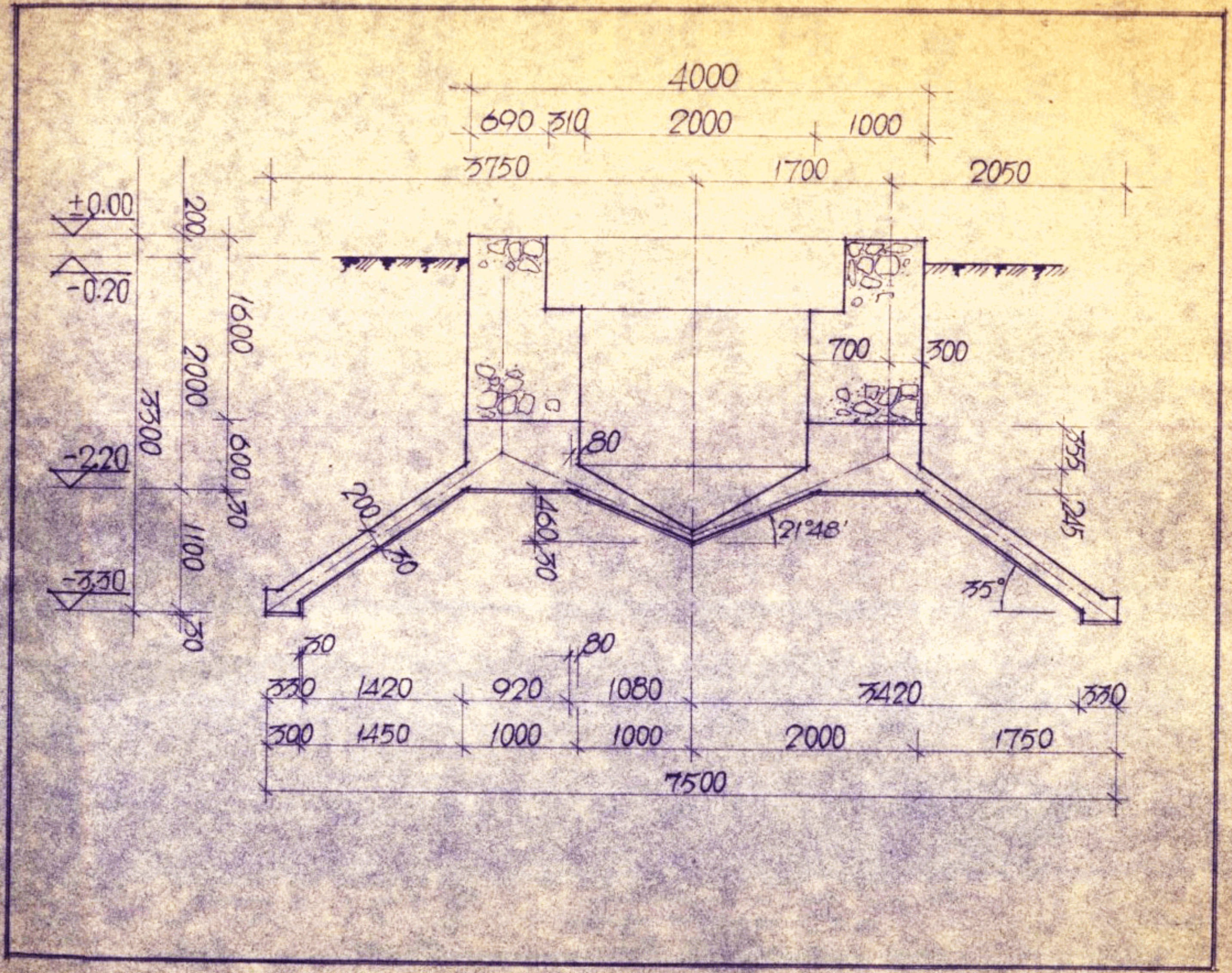
m———深度修正系数

$$m=1+\frac{r}{R}\left[K(H-2)-k\right]$$

式中：$r=1.8\,T/m^3$，$R=10\,T/m^2$，$K=2$，$H=3.10^m$ $k=0$

$$m=H\frac{1.8}{10}\left[2(3.10-2)-0\right]=1+0.18\times2.2$$

$$=1.396。$$



4000
690
310
2000
1000
3750
1700
2050
±0.00
-0.20
-2.20
-3.30
200
2000
1100
30
3300
1600
600
30
700
300
80
200
30
460
30
21°48'
355
245
35°
30
80
330
1420
920
1080
3420
330
300
1450
1000
1000
2000
1750
7500

n ——宽度修正系数

$D=7.50\,m>5\,m$　按规定：$n=0.20$

$[R]=10\,T/m^2(m+n)=10\,T/m^2(1.396+0.20)$

$=10\,T/m^2\times1.596=15.96\,T/m^2$

壳体水平投影为圆面

$D=7.50\,m$

$$F=\frac{\pi}{4}D^2=\frac{\pi}{4}\times7.5^2=43.4\,m^2$$

$$W=\frac{\pi}{32}D^3=\frac{\pi}{32}\times7.5^3=40.6\,m^3$$

地基应力：

轴向力作用下：

$$P_N=r\times H+\frac{N^H}{F}=2.0\,T/m^3\times3.1m+\frac{265\,T}{43.4\,m^2}$$

$$=6.2+6.11=12.31\,T/m^2$$

弯矩作用下：

$$P_M=M^H/W=\frac{96.8\,T\cdot m}{40.6\,m^3}=2.38\,T/m^2$$

$P_{max}=P_N+P_M=12.31+2.38=14.69\,T/m^2<[R]=15.96\,T/m^2$

$P_{min}=P_N-P_M=12.31-2.38=9.93\,T/m^2>0$

$$\frac{P_{max}}{P_{min}}=\frac{14.69\,T/m^2}{9.93\,T/m^2}<3$$

满 足 要 求

㈢ 基础抗倾复稳定验算

按公式：$N' \cdot a > M$

$$N' = 265^{T} \times 0.8 \times \frac{1.7}{1.9} = 190^{T}$$

式中：1.7 为砌体干燥状态容重

1.9 为砌体标准容重

0.8 ：安全折减系数

$a = 7.5^{m} \div 2 = 3.75^{m}$

$N^{2} \cdot a = 190^{T} \times 3.75^{m} = 712^{T \cdot m} > M = 81.6^{T \cdot m}$

安 全

㈣ 外正圆锥壳内力计算。

壳壁倾角：$\alpha = 35^{\circ}$

$tg\alpha = 0.70$

$Sin\alpha = 0.574$

$COS\alpha = 0.819$

轴向力：

超载系数：1.1

$N_{1} = N^{H} \times 1.1 = 265^{T} \times 1.1 = 292^{T}$

壳体重：

壳壁厚 20cm = 0.20m

竖向厚度 $\frac{0.2^{m}}{\cos\alpha}=\frac{0.2}{0.819}=0.244^{m}$

按壳体水平投影面0.244^{M}厚钢筋混凝土计算

$N_2=0.244^{m}\times 2.5\,T/m^3\times 434\,m^2$

$=292^{T}$

顶环梁及其以上之毛石混凝土：

$N_3=\frac{\pi}{4}(4^2-2^2)\times 2.5\,T/m^3\times(1.6^{m}+0.35^{m})\times 1.1$

$=50.5^{T}$

$\Sigma N=N_1+N_2+N_3=292+292+50.5=371.7^{T}\doteq 372^{T}$

$q_N=\frac{N}{F}=\frac{372^{T}}{434^{m^2}}=8.57\,T/m^2$

弯矩：

超载系数，1.3

$M=M^{H}\times 1.3=96.8\times 1.3=126^{T\cdot m}$

$q_M=\frac{M}{W}=\frac{126^{T\cdot m}}{40.6^{m^3}}=3.1\,T/m^2$

内力计算：

径向力：$N_{\varphi max}=\frac{N-\pi\times r_1^2\times q_N}{\alpha\pi r_1\times\sin\alpha}+\frac{0.9\times\sigma}{W_K\sin^2\alpha}$

式中：$r_1=4^{m}\div 2=2^{m}$，$\delta=0.2^{m}$。

W_K为外正圆锥壳顶，水平环形截面抵抗矩

此环形截面之外径：$r_1 = 2^m$

内径：$2^m - 0.2m \sin\alpha = 2^m - \frac{0.2^m}{0.574} = 2^m - 0.35^m$

$= 1.65^m$

$$W_K = \frac{\pi}{4} \times \frac{2^4 - 1.65^4}{2} = \frac{\pi}{4} = \frac{8.6}{2} = 3.38^{m^3}$$

$$N_{\varphi max} = \frac{372 - \pi \times 2^2 \times 8.57}{2\pi \times 2 \times 0.574} + \frac{0.9 \times 126 \times 0.2}{3.38 \times 0.574^2}$$

$$= \frac{372 - 107}{7.21} + \frac{22.7}{1.12}$$

$$= 37 + 20.3 = 57.3 T/m$$

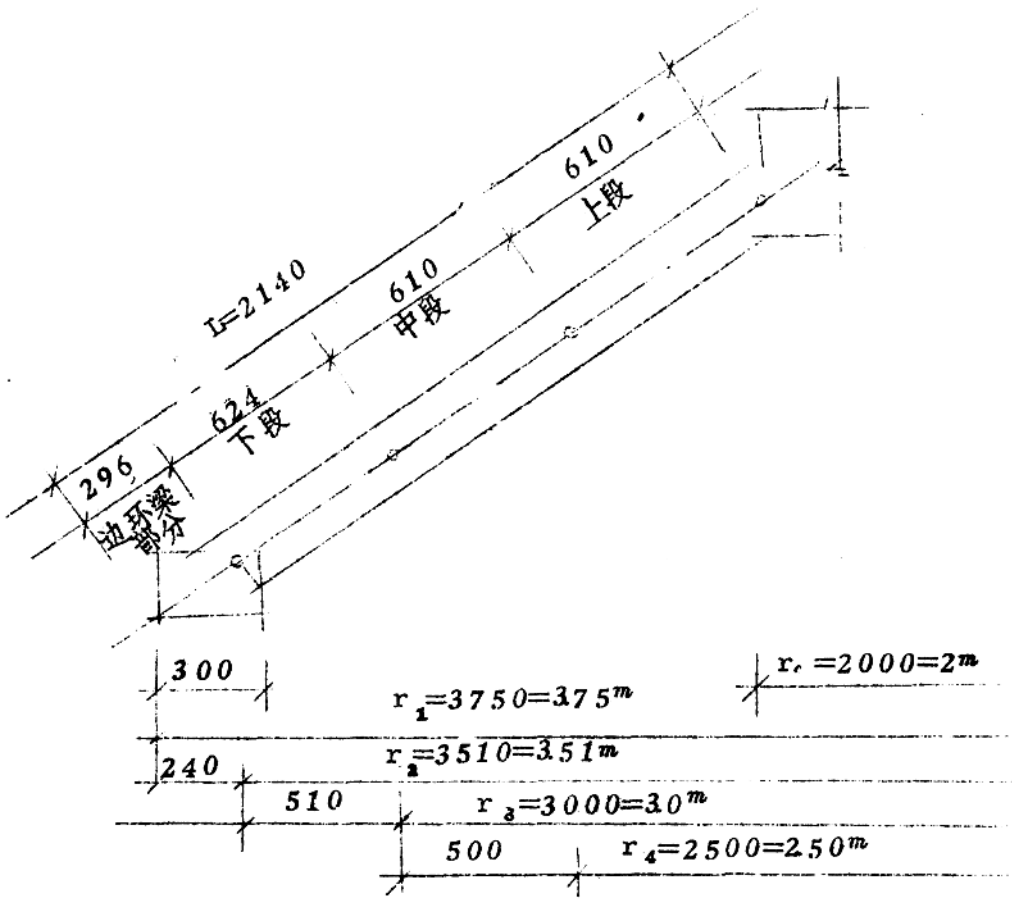
$$= 5730 Kg/Cm$$

$$\sigma_N = \frac{N_{\varphi max}}{\delta} = \frac{5730 Kg/Cm}{200m} = 29 Kg/Cm^2 < R_a = 80 Kg/Cm^2$$

环向拉力：

壳壁斜长：$L = (3750 - 2000) \div 0.819$

$= 2140^{mm}$



将壳壁沿其斜长分为四段

即：1.边环梁部，²下段，³中段，⁴上段

各段的几何因数计算如下：

1. 边环梁部分

边环梁范围：

$L_1=300\div0.819-100\times0.7=366-70=296^{mm}=29.6^{Cm}$

$296\times0.819=242\doteq240^{mm}=24^{Cm}$

$r_1=3750=3.75^{m}$

2. 下段：

$L_2=510\div0.819=624^{mm}=62.4^{Cm}$

$r_2=3510=3.51^{m}$

3. 中段：

$L_3=500\div0.819=610^{mm}=61^{Cm}$

$r_3=3000=3.0^{m}$

4. 上段：

$L_4=L_3=610^{mm}=61^{Cm}$

$r_4=2500=2.5^{m}$

环向拉力的计算：

1. 边环梁部分：

$$N_{\theta 1}=\frac{q_N r_1}{\sin\alpha}+\frac{q_M\cdot r_1^2}{r_1\cdot\sin\alpha}=\frac{8.57\times3.75}{0.574}+\frac{3.1\times3.75^2}{3.75\times0.574}$$

$=56\,T/m+20.2\,T/m=76.2\,T/m$。

2. 下段：

$$N_{\theta 2}=\frac{qN\cdot r_2}{\sin\alpha}+\frac{qM\cdot r_2^2}{r_1\sin\alpha}=\frac{8.57\times3.51}{0.574}+\frac{3.1\times3.51^2}{3.75\times0.574}$$

$=52.4\,T/m+17.7\,T/m=70.1\,T/m$。

3. 中段：

$$N_{\theta 3}=\frac{qN\cdot r_3}{\sin\alpha}+\frac{qM\cdot r_3^2}{r_1\cdot\sin\alpha}=\frac{8.57\times3.0}{0.574}+\frac{3.1\times3.0^2}{3.75\times0.574}$$

$=44.8\,T/m+13\,T/m=57.8\,T/m$。

4. 上段：

$$N_{\theta 4}=\frac{qN\cdot r_4}{\sin\alpha}+\frac{qM\cdot r_4^2}{r_1\cdot\sin\alpha}=\frac{8.57\times2.5}{0.574}+\frac{3.1\times2.5^2}{3.75\times0.574}$$

$=37.3\,T/m+9.0\,T/m=46.3\,T/m$

5. 壳顶：

$$N_{\theta min}=\frac{qN\cdot r_0}{\sin\alpha}+\frac{qM\cdot r_0^2}{r_1\cdot\sin\alpha}=\frac{8.57\times2.0}{0.574}+\frac{3.1\times2.0^2}{3.75\times0.574}$$

$=29.8\,T/m+5.8\,T/m=35.6\,T/m$

(五) 外正圆锥壳环向配筋计算

从抗裂要求考虑，钢筋抗拉应力按 $1800Kg/Cm^2=1.80\,T/Cm^2$ 考虑。

1. 边环梁部分：

$$N_1=N_{\theta 1}\cdot L_1=76.2\,T/m\times29.6^{Cm}=76.2\,T/m\times0.296^{m}=22.6^{T}$$

$$Ag=\frac{22.6^{T}}{1.8\,T/Cm^2}=12.6^{Cm^2}$$

取 $7\phi16$　　$Ag=14.07^{Cm^2}$

2. 下段：

$N_2=N_{\theta 2}\cdot L_2=70.1\,T/m\times 0.624^{m}=43.8^{T}$

$Ag=\frac{43.8^{T}}{1.8\,T/Cm^2}=24.3^{Cm^2}$

$\phi 16@100$ 两层 60^{Cm} 内共 12ϕ 16，$Ag=24.13^{Cm^2}$

3. 中段：

$N_3=N_{\theta 3}\cdot L_3=57.8\,T/m\times 0.61^{m}=35.3^{T}$

$Ag=\frac{35.3^{T}}{1.8\,T/Cm^2}=19.6^{Cm^2}$

$\phi 16@120$ 两层 60^{Cm} 内共 10ϕ 16，$Ag=20.11^{Cm^2}$

4. 上段：

$N_4=N_{\theta 4}\cdot L_4=46.3\,T/m\times 0.61^{m}=28.2^{T}$

$Ag=\frac{28.2^{T}}{1.8\,T/Cm^2}=15.7^{Cm^2}$

$\phi 16@150$ 两层 60^{Cm} 内共 8ϕ 16 $Ag=16.08^{Cm^2}$

(六) 各段壳带裂缝宽度计算

按公式

$$\delta fmax=1.84\,\sigma g\,\frac{}{Eg}\,K_2\cdot u\cdot r$$

（见 BJG 21－66 附录四）

1. 边环梁部分

$\sigma g=\frac{Nb}{Ag}$ $Nb=\frac{N_1}{1.1}=\frac{22.6^{T}}{1.1}=20.6^{T}$，$Ag=14.07^{Cm^2}$

$$\sigma_g = \frac{20.6^{T}}{14.07^{cm^2}} = 1460^{kg/cm^2}$$

$$u = \frac{d}{4} = \frac{1.6^{cm}}{4} = 0.4 \qquad K_1 = \frac{30^{cm} \times 20^{cm}}{14.07^{cm^2}} = 42.6$$

螺纹钢筋 $\gamma = 0.7$

$$\psi_g: \quad \mu_1 = \frac{1}{K_1} = 0.0235 \qquad n = \frac{E_g}{E_h} = \frac{2.0 \times 10^{6}}{2.6 \times 10^{5}} = 7.7$$

$$\mu_1 \cdot n = 0.181$$

查表 ψ_g 按插入法求得：

$$(0.67 - 0.48) \times \frac{0.181 - 0.15}{0.2 - 0.15} + 0.48 = 0.118 + 0.48 = 0.598$$

$$(0.77 - 0.64) \times \frac{0.181 - 0.15}{0.20 - 0.15} + 0.64 = 0.081 + 0.64 = 0.721$$

$$(0.721 - 0.598) \times \frac{1460 - 1250}{1500 - 1250} + 0.598 = 0.103 + 0.598 = 0.701$$

$$\psi_g = 0.701$$

$$\delta_{fmax} = 1.8 \times 0.701 \times \frac{1460}{2.0 \times 10^{6}} \times 42.6 \times 0.4 \times 0.7$$

$$= 1.8 \times 0.701 \times \frac{1.46}{2.0} \times 42.6 \times 0.4 \times 0.7 \times 10^{-2}$$

$$= 1.1 \times 10^{-2} = 0.011^{cm} = 0.11^{mm} < 0.2^{mm}$$

2 下段壳带：

$$\sigma_g = \frac{N^b}{A_g}, \quad N^b = \frac{N_2}{1.1} = \frac{43.8^{T}}{1.1} = 39.8^{T} \qquad A_g = 24.13^{cm^2}$$

$$\sigma_g=\frac{39.8^T}{24.13Cm^2}=1650Kg/Cm^2$$

$$u=0.4\cdot K_1=\frac{L_2\cdot\delta}{A_g}=\frac{62.4\times20}{24.13}=51.7\qquad r=0.7$$

$$\mu_1=\frac{1}{K_1}=0.0193\qquad \mu_1\cdot n=0.0193\times7.7=0.149$$

ψ_g 查表按插入法求得：

$$(0.80-0.64)\cdot\frac{1650-1500}{2000-1500}+0.64=0.048+0.64=0.688$$

$$\beta_{max}=1.8\times0.688\times\frac{1650}{20\times10}{}^2\times51.7\times0.4\times0.7$$

$$=1.8\times0.688\times\frac{1.65}{20}{}^2\times517\times0.4\times0.7\times10^{-2}$$

$$=1.48\times10^{-2}=0.0148^{Cm}=0.148^{mm}<0.2^{mm}$$

3 中段壳带：

$$N^b=\frac{N_3}{1.1}=\frac{35.3}{1.1}=32.1^T\qquad A_g=20.11^{Cm^2}$$

$$\sigma_g=\frac{N^b}{A_g}=\frac{32.1^T}{20.11Cm^2}=1600Kg/Cm^2$$

$$u=0.4\cdot K_1=\frac{20\times61}{20.11}=60.6\cdot\mu_1=\frac{1}{K_1}=0.0165$$

$$\mu_1\cdot n=0.0165\times7.7=0.152$$

ψ_g 查表按插入法求得：

$$(0.80-0.64)\cdot\frac{1600-1500}{2000-1500}+0.64=0.032+0.64=0.672$$

$$\delta f_{max}=1.8\times0.672\times\frac{1600}{20\times10^{6}}\times60.6\times0.4\times0.7$$

$$=1.8\times0.672\times\frac{1.6}{20}\times6.06\times0.4\times0.7\times10^{-2}$$

$$=1.64\times10^{-2}=0.0164^{cm}=0.164^{mm}<0.2^{mm}$$

4 上段壳带：

$$N^{b}=\frac{N_4}{1.1}=\frac{28.2}{1.1}=25.6^{T}\qquad A_g=16.08^{cm^2}$$

$$\sigma_g=\frac{25.6}{16.08}=1600^{Kg/cm^2}\qquad u=0.4$$

$$K_1=\frac{20\times61}{16.08}=75.9\qquad \mu_1=\frac{1}{K_1}=0.01316$$

$$\mu_1\cdot n=0.01316\times7.7=0.101$$

φ_g查表按插入法求得：

$$(0.62-0.33)\times\frac{1600-1500}{2000-1500}+0.33=0.058+0.33=0.388$$

$$\delta f_{max}=1.8\times0.388\times\frac{1600}{20\times10^{6}}\times75.9\times0.4\times0.7$$

$$=1.8\times0.388\times\frac{1.6}{20}\times7.59\times0.4\times0.7\times10^{-2}$$

$$=1.19\times10^{-2}=0.0119^{cm}=0.119^{mm}<0.2^{mm}。$$

(七) 内倒圆锥壳板厚度校核

$q_{恒}=8.57\ T/m^2$，$q_{M}=3.1\ T/m^2$

$$r'=\frac{2^{m}}{2}+0.08^{m}=1.08^{m}\qquad r=3.75^{m}$$

$\alpha_1=21^{\circ}\ 18'$　$\sin\alpha_1=0.3714$　$\cos\alpha_1=0.9285$

最大径向压力：

$$N_{\alpha_1 max}=-\frac{q_N\cdot r'}{2\sin\alpha_1}\mp\frac{q_M\cdot r'^2}{3r\cos\alpha_1}\cdot\frac{4\cos^2\alpha_1-1}{4\sin\alpha_1\cdot\cos\alpha_1}$$

$$=-\frac{8.57\times1.08}{2\times0.3714}\mp\frac{3.1\times1.08^2(4\times0.9285^2-1)}{3\times3.75\times0.9285^2\times4\times0.3714}$$

$$=-12.45\,T/m\mp0.85\,T/m=-13.3\,T/m$$

（无拉力）

最大环向压力：

$$N_{\theta max}=-\frac{q_N\cdot r'}{\sin\alpha_1}\mp\frac{q_M\cdot r'^2}{r\cdot\sin\alpha_1}$$

$$=\frac{-8.57\times1.08}{0.3714}\mp\frac{3.1\times1.08^2}{3.75\times0.3714}$$

$$=-25\mp2.6=-27.6\,T/m$$

（无拉力）

$$N_{\theta_1 max}>N_{\alpha_1 max}$$

$$\frac{N_{\theta_1 max}}{\delta}=\frac{27.6}{0.2}=138\,T/m^2=13.8\,Kg/m^2<R_a=80\,Kg/cm^2$$

安 全

(八) 冲切验算

$$N=292+50.5=342.5\,T$$

壳板竖向厚度：

$$\frac{\delta}{\cos\alpha}=\frac{0.2m}{0.319}=0.244^{m}$$

承冲切面积

$$A=\pi\left(4^{m}+2^{m}\right)\times 0.244^{m}=4.6^{m^2}$$

$$\sigma=\frac{342.5^{T}}{4.6^{m^2}}=74.5\,T/m^2=7.45^{Kg}/_{Cm^2}<2\times R_{\text{拉}}=2\times 6.4^{Kg}/_{Cm^2}$$

$$=12.8^{Kg}/_{Cm^2}$$

安　全

(九) 几点说明：

1. 基础埋置深度，是从壳体以下的土胎应避免冻害来决定的。本设计之土胎最高点在地坪以下2 M

低于冰冻线

本设计中壳体内力计算均按土壤或不能承受剪力的公式进行计算，这是因为该烟囱地基系淤泥质亚粘土，含水量饱和，抗剪性能差，所以按土壤不承受剪力来考虑，这是偏于安全的。在土质较好的情况下应考虑剪力作用，在公式中加进土胎反力与壳壁法向的倾角φ，公式见同济大学土力学地基基础教研室的“薄壳基础内力计算方法的探讨——合理考虑土胎与壳体的共同作用”一文。

采用薄壳基础的优点是混凝土用量及钢筋用量都比平板基础要小。