

鋼筋混凝土构件

計算实例

鞍山黑色金屬矿山設計院

鋼筋混凝土构件

計算实例

江苏工业学院图书馆
藏书章

鞍山黑色金属矿山設計院

毛主席語錄

領導我們事業的核心力量是中國共產黨。

指導我們思想的理論基礎是馬克思列寧主義。

在生產鬥爭和科學實驗範圍內，人類總是不斷發展的，自然界也總是不斷發展的，永遠不會停止在一個水平上。因此，人類總得不斷地總結經驗，有所發現，有所發明，有所創造，有所前進。

中國人民有志氣，有能力，一定要在不遠的將來，趕上和超過世界先進水平。

抓革命，促生產，促工作，促戰備。

本书編写了鋼筋混凝土薄壳基础，倒圓台无筋基础、薄壁工字型柱、双肢管柱、魚腹式鋼筋混凝土吊車梁，予应力鋼筋混凝土吊車梁、桁架式吊車梁、予应力鋼筋混凝土屋架、予应力鋼筋混凝土屋面大梁、予应力鋼筋混凝土標条、予应力鋼筋混凝土折板瓦及予应力鋼筋混凝土屋面板等十四种构件計算例題并附有計算公式。

本书可供土建結構設計人員和施工技术人員参考。

旅 大 日 报 印 刷

1971年12月印刷

定价 1.00 元

前 言

在史无前例的无产阶级文化大革命的推动下，在伟大领袖毛主席的英明领导和党的“九大”团结胜利路线指引下，全国人民高举毛泽东思想伟大红旗，意气风发，斗志昂扬，在社会主义革命和社会主义建设事业中，取得了辉煌的成就。

基本建设战线也和其它战线一样，广大革命群众，遵照伟大领袖毛主席“打破洋框框，走自己工业发展道路”的教导，高举“鞍钢宪法”的旗帜，狠批叛徒、内奸、工贼刘少奇及其一伙所推行的“技术第一”“专家治厂”“洋奴哲学”“爬行主义”等反革命修正主义路线。在工人阶级领导下，广泛地开展三结合的技术革命和技术革新的群众运动，创造出了不少新技术，新结构，新材料和新工艺，为改变“深基、重盖、肥梁、胖柱”的落后面貌作出了贡献。

为了适应大打矿山之仗的新形势的需要，及时交流和推广新技术和新结构，我们将兄弟单位和我院近期所作的结构构件设计陆续加以整理，汇集成册，供我院土建设计人员参考。

由于我们努力学习毛主席著作不够，又缺乏实践经验，再加上整理时间仓促，因此一定会存在缺点和错误，请同志们批评指正。

土 建 连

一九七一年十二月

目 录

1. 薄壳基础计算.....	1
2. 无筋混凝土倒圆台基础计算.....	11
3. 薄壁工字形柱计算.....	17
4. 钢筋混凝土双肢管柱计算.....	21
5. 混合桁架式吊车梁计算.....	35
6. 钢筋混凝土鱼腹式吊车梁计算.....	46
7. 予应力钢筋混凝土T形吊车梁计算.....	59
8. 予应力钢筋混凝土鱼腹式吊车梁计算.....	86
9. 予应力屋面大梁计算.....	124
10. 予应力钢筋混凝土屋架计算.....	144
11. 予应力钢筋混凝土T形檩条计算.....	167
12. 予应力钢筋混凝土折板瓦计算.....	175
13. 予应力钢筋混凝土肋形板(1.5M×6M) 计算.....	183
14. 予应力钢筋混凝土自防水保温屋面板 (1M×6M)计算...	193

1. 薄壳基础计算

一、概 述

薄壳基础是近几年在国内推广起来的一种新型基础形式，较一般传统的平底实体基础承载力大，沉降量小，节省混凝土、钢材及木材等材料，尤宜于在较厚的软土上作基础，因而受到广泛的注意，是一种多快好省的基础型式。

目前薄壳基础不仅广泛用于一般工业厂房柱基中，而且还用于烟囱矿仓高炉等构筑物中。

薄壳基础的形式很多，根据外载荷作用的特点，目前经常采用的大致有以下几种：

1. 一般受偏心荷载不太大的柱基常采用正倒圆锥壳基础。
2. 对偏心荷载较大的柱基为使地基压力分布均匀，充分发挥材料强度常采用椭圆或长圆锥壳基础。
3. 对直径不太大的烟囱等构筑物常采用正倒圆锥组合壳基础。
4. 对直径较大的圆筒仓等构筑物常采用外部正圆锥形，内部为倒球形的组合壳基础。

除此各单位根据不同情况尚有采用筒壳，球壳，折板壳等形式的基础。

薄壳基础的计算公式，由于对地基反力的分布假定不同等原因，其表现形式很多，但均系以薄膜理论为基础的半经验半理论公式。这里所介绍的是我院参考有关资料并在实验基础上作了若干简化的公式。

薄壳基础的计算，一般应进行以下几项核算：

1. 验算地基强度，确定基础的底面积。
2. 基础的强度计算。

3. 基础的裂缝开展计算。

由于基础内基土呈三向受力状态，因此薄壳基础的沉降较一般平底实体基础小得多，所以薄壳基础的沉降变形一般可不必进行计算。

二、圆锥形薄壳基础计算公式

1. 验算地基强度

按下列一般平底实体式基础的公式验算地基强度：

$$\sigma = r \cdot H + \frac{N^b}{F} \pm \frac{M^b}{W} \leq [R]$$

同时基底面积尚应满足以下条件：

$$\sigma = \frac{N^b}{F} - \frac{M^b}{W} > 0,$$

$$\text{式中 } F = \frac{\pi D^2}{4}, \quad W = \frac{\pi D^3}{32}$$

2. 基础强度计算：

(1) 基本假定

a. 基础底面地基反力按平面分布，在中心荷载作用下地基反力图形为矩形，在弯矩作用下，地基反力图形为反对称三角形（如图1—1），平面按余弦曲线分布。

b. 地基与壳体内外接触面考虑有剪力存在。

(2) 单位宽度上壳体的内力计算

a. 中心荷载作用

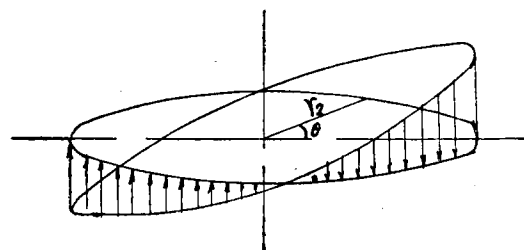
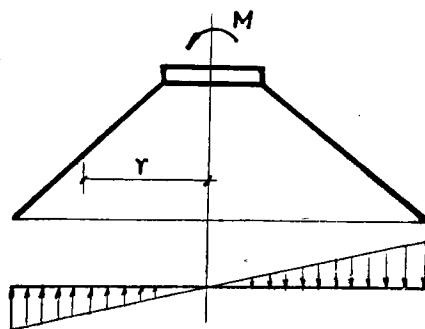
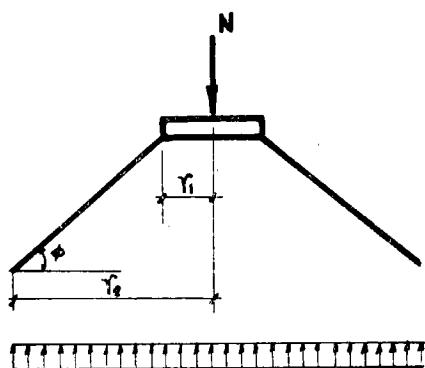


图 1—1

$$\text{环向内力} \quad N_{\theta}^N = \sigma_N \cdot r \cdot \operatorname{ctg} \varphi \cos \varphi$$

$$\text{最大环向内力} \quad N_{\theta \max}^N = \sigma_N \cdot r_2 \operatorname{ctg} \varphi \cdot \cos \varphi$$

$$\text{径向内力} \quad N_{\varphi}^N = \frac{\sigma_N(r_2^2 - r_1^2)}{2r \sin \varphi}$$

$$\text{最大径向内力} \quad N_{\varphi \max}^N = \frac{\sigma_N(r_2^2 - r_1^2)}{2r_1 \sin \varphi}$$

b. 偏心荷载作用

$$\text{环向内力} \quad N_{\theta} = (\sigma_N + \sigma_M \cos \theta) r \cdot \cos \varphi \operatorname{ctg} \varphi$$

$$\text{最大环向内力} \quad N_{\theta \max} = (\sigma_N + \sigma_M) r_2 \cos \varphi \cdot \operatorname{ctg} \varphi$$

$$\text{径向内力} \quad N_{\varphi} = \frac{\sigma_N(r_2^2 - r_1^2)}{2 \cdot r \cdot \sin \varphi} + \frac{\sigma_M(r_2^4 - r_1^4)}{4r^3 \sin \varphi} \cos \theta;$$

$$\text{最大径向内力} \quad N_{\varphi \max} = \frac{\sigma_N(r_2^2 - r_1^2)}{2r_1 \sin \varphi} + \frac{\sigma_M(r_2^4 - r_1^4)}{4r_1^3 \sin \varphi}$$

式中: σ_N ——轴向荷载作用下壳底水平面地基反力 (t/m^2)

σ_M ——弯矩作用下壳底水平面地基反力 (t/m^2)

N_{θ} ——壳体上任一点的环向力 (t/m)

N_{φ} ——壳体上任一点的径向力 (t/m)

r_1, r_2 ——壳顶面及壳底面圆半径 (m)

φ ——壳体斜面与水平面的夹角。

(3) 壳体及钢筋面积计算

a. 壳体厚度计算

$$\delta \geq \frac{10N}{R_a},$$

式中: N ——为壳面压力, 对正圆锥为 N_{φ} , 对倒圆锥壳为 N_{θ} ,

R_a ——为混凝土棱柱强度 (kg/cm^2)

b. 受拉钢筋面积

$$A_s \geq \frac{10N}{R},$$

式中: N ——为壳面拉力, 对正圆锥壳为 N_{θ} , 对倒圆锥壳为 N_{φ} ,

R_s ——为钢筋的抗拉计算强度 (kg/cm^2)

3. 基础裂缝开展计算

基础壳面一般可按允许裂缝出现结构考虑，裂缝展开控制宽度一般为 $\delta_{f, \max} \leq 0.02\text{cm}$ 。

裂缝展开宽度可按现行“钢筋混凝土结构设计规范”（BJG21—66）计算：

三、主要构造要求

1. 壳面厚度一般不小于基础底直径的 $\frac{1}{30} \sim \frac{1}{20}$ ，且不小于 6cm ，当厚度大于 20cm 时可采用变化厚度，锥壳的倾角 φ 一般取为 $30^\circ \sim 40^\circ$ ，可根据施工方便既能充分发挥材料性能又能利用地基强度的原则考虑之。一般对软土地基，壳面可采用薄一些，倾角小一些，对硬土地基，壳面可采用厚一些，倾角大一些。

2. 锥顶半径 r_1 的选取应随基础偏心大小而增减，在小偏心情况下 r_1 取基础底半径的 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$ ，在大偏心情况下 $r_1 \geq \frac{1}{2}r_2$ ，同时 r_1 的大小尚应满足与柱联接的要求。

3. 基础采用的混凝土标号，一般不低于200#，为了充分发挥钢材强度，钢筋一般宜采用普通螺纹钢筋。

4. 正锥壳基础环梁的强弱影响壳面裂缝出现的迟早，但为避免产生边界效应，环梁可作适当加强。环梁底边宽度根据荷载不同及壳面厚度情况而定，一般柱基环梁的宽度可采用 $15 \sim 20\text{cm}$ 左右，并应尽量使其中心与壳面中心线交会。

四、计算例题

例一，正圆锥壳基础计算例题：基础尺寸如图1—2所示。

已知： $N=100^T$ 、 $M=25^{T-M}$ ；地基计算强度 $(R)=15t/m^2$ 。

基础埋深 $H=1.5^M$ ，土壤平均容重 $r=2t/m^3$ 。

1. 验算地基强度，确定底面积。

$$N^H = \frac{N}{n} = \frac{100}{1.15} = 87^T, \quad M^H = \frac{M}{n} = \frac{25}{1.15} = 21.8^{T-M}.$$

假定基础尺寸， $r_2=1.9^M$ 、 $\phi=35^\circ$ 、 $r_1=0.7^M$ ，

$$F = \pi r_2^2 = 11.3\text{m}^2, \quad W = \frac{1}{4} \pi r_2^3 = 5.3\text{m}^3.$$

$$H' = H - e = 84 - 4.4 = 79.6 \text{ cm.}$$

$$L' = H' / \cos \varphi - \delta / 2 = \frac{79.6}{0.819} - 5 = 98 - 5 = 93 \text{ cm.}$$

环梁范围的壳面长度

$$d = L - L' = 54 \text{ cm.}$$

式中有关符号见图1—3所示,

$$4 \text{ 点处的半径 } r_4 = r_1 + L' \cos \varphi = 70 + 93 \times 0.819 = 146 \text{ cm.}$$

$$3 \text{ 点处的半径 } r_3 = r_1 + \frac{L'}{2} \cos \varphi = 70 + 46.5 \times 0.819 = 108 \text{ cm.}$$

(2) 内力计算

$$\sigma_{M \max} = \frac{M}{W} = \frac{25}{5.3} = 4.7 \text{ t/m}^2, \quad \sigma_N = \frac{N}{F} = \frac{100}{11.3} = 8.85 \text{ t/m}^2$$

环拉力当 $r = r_1 = 0.7 \text{ m}$ 时:

$$\sigma_M^1 = \sigma_{M \max} \cdot \frac{r_1}{r_2} = 4.7 \times \frac{0.7}{1.9} = 1.74 \text{ t/m}^2$$

$$N_\theta^1 = (\sigma_N + \sigma_M) r \cos \varphi \operatorname{ctg} \varphi$$

$$= (8.85 + 1.74) \times 0.7 \times 0.819 \times 1.428 = 8.65 \text{ t/m.}$$

当 $r = r_3 = 1.08 \text{ m}$ 时:

$$\sigma_M^3 = \sigma_{M \max} \cdot \frac{r_3}{r_2} = 4.7 \times \frac{1.08}{1.9} = 2.62 \text{ t/m}^2.$$

$$N_\theta^3 = (8.85 + 2.62) \times 1.08 \times 0.819 \times 1.428 = 14.2 \text{ t/m.}$$

当 $r = r_4 = 1.46 \text{ m}$ 时:

$$\sigma_M^4 = \sigma_{M \max} \cdot \frac{r_4}{r_2} = 4.7 \times \frac{1.46}{1.9} = 3.6 \text{ t/m}^2.$$

$$N_\theta^4 = (8.85 + 3.6) \times 1.46 \times 0.819 \times 1.428 = 20.4 \text{ t/m.}$$

当 $r = r_2 = 1.9 \text{ m}$ 时:

$$\sigma_M^2 = \sigma_{M \max} = 4.7 \text{ t/m}^2.$$

$$N_\theta^2 = (8.85 + 4.7) \times 1.9 \times 0.819 \times 1.428 = 30 \text{ t/m.}$$

环向压力 当 $r = r_1 = 0.7 \text{ m}$ 时:

$$\begin{aligned} N_\varphi^1 &= \frac{\varphi_N(r_2^2 - r_1^2)}{2r_1 \sin \varphi} + \frac{\sigma_M(r_2^4 - r_1^4)}{4r_1^3 \sin \varphi} \\ &= \frac{8.85(1.9^2 - 0.7^2)}{2 \times 0.7 \times 0.574} + \frac{1.74(1.9^4 - 0.7^4)}{4 \times 0.7^3 \times 0.574} = 35.8 + 28.4 = 64.2 \text{ t/m.} \end{aligned}$$

由于压力较小拟采用等厚度，其它各点之径向压力不予计算。

(3) 壳体厚度计算

假定采用200#混凝土， $R_a=80\text{kg/cm}^2$ 则 $\delta \geq \frac{10 \times 64.2}{80} = 8\text{cm}$ 。

采用 $\delta=10\text{cm}$ ，（可以）。

(4) 壳体配筋计算

上段（即1~3点区段）

$$\text{总拉力} \quad \Sigma N_{\theta}^{\text{上}} = \frac{8.65 + 14.2}{2} \times 0.465 = 5.26t,$$

$$\text{所需钢筋} \quad A_g = \frac{10^3 \times 5.26}{2100} = 2.5\text{cm}^2, \quad 4\phi 10 (3.14\text{cm}^2)。$$

中段（即3~4点区段）

$$\text{总拉力} \quad \Sigma N_{\theta}^{\text{中}} = \frac{14.2 + 20.4}{2} \times 0.465 = 8.0t,$$

$$\text{所需配筋} \quad A_g = \frac{10^3 \times 8}{2100} = 3.8\text{cm}^2, \quad 4\phi 12 (4.5\text{cm}^2)。$$

下段（即4~2点环梁范围）

$$\text{总拉力} \quad \Sigma N_{\theta}^{\text{下}} = \frac{20.4 + 30}{2} \times 0.54 = 13.6t,$$

$$\text{所需钢筋} \quad A_g = \frac{10^3 \times 13.6}{2100} = 6.5, \quad 6\phi 12 (6.8\text{cm}^2)。$$

3. 基础裂缝开展计算：

验算下段壳体的裂缝开展宽度：

$$\sigma_g = \frac{N^b}{A_g} = \frac{13.6/1.15}{7.9} \times 1000 = 1500\text{kg/cm}^2$$

$$\mu_1 = \frac{A_g}{bh} = \frac{6.8}{10 \times 54} = 0.0126, \quad n = \frac{E_g}{E_h} = \frac{2.1 \times 10^6}{2.6 \times 10^5} = 8.1;$$

$$\mu_1 n = 0.0126 \times 8.1 = 0.102。$$

由 BJG21—66 规范附表 5 查得：

$$\varphi_g = 0.39 + \frac{150}{500} \times 0.27 = 0.33, \quad r=1, \quad u = \frac{1}{4} d = \frac{1.2}{4} = 0.3,$$

$$K_1 = \frac{1}{\mu_1} = \frac{1}{0.0126} = 79.5。$$

将以上有关参数代入下式，则

$$\delta_{f \max} = 1.8 \phi_g \cdot \frac{\sigma_g}{E_g} K_1 u \cdot r = 1.8 \times 0.33 \times \frac{1500}{2.1 \times 10^6} \times 79.5 \times 0.3 \times 1 \\ = 0.0101 < 0.02 \text{ cm, (可以)}$$

例二，“M”型组合锥壳基础计算例题（试验壳）

1. 计算要点：M型组合壳采正倒圆锥壳之组合，其计算内容包括：地基强度计算，外壳面强度及抗裂计算，内壳面强度计算及环梁计算等项，前四项计算同一般单一型锥壳，可按上述之公式计算，环梁所受之力为内外壳面径向压力之水平推力差值，一般应使外壳之水平推力大于内壳的水平推力，以使环梁受压，减少环梁配筋量。

2. 计算数据

M型壳的有关尺寸如图1—4所示：

$\varphi_1 = 35^\circ$ ； $\varphi_2 = 23^\circ 54'$ ；采用200#混凝土， $R_a = 80 \text{ kg/cm}^2$ ，钢筋采用钢 5， $R_g = 2400 \text{ kg/cm}^2$ ， $N = 150 \text{ t}$ ； $M = 61 \text{ t-m}$ 。

3. 土反力计算

$$A = \pi r_2^2 = 3.14 \times 2^2 = 12.56 \text{ m}^2$$

$$W = \frac{1}{4} \pi r_2^3 = \frac{1}{4} \cdot 3.14 \times 2^3 = 6.28 \text{ m}^3$$

$$\sigma_N = \frac{N}{A} = \frac{150}{12.56} = 11.93 \text{ t/m}^2; \quad \sigma_M = \frac{M \gamma}{W \gamma_2} = \frac{61 \gamma}{6.28 \times 2} = 4.86 \gamma \text{ t/m}^2$$

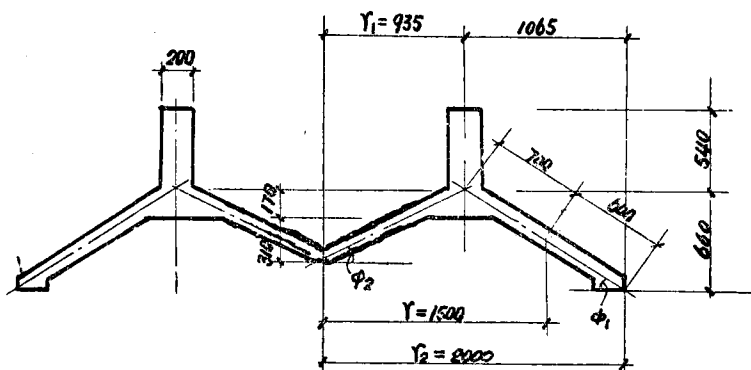


图 1—4

~~15.4-1406~~ TU3-85C,

4. 外壳面计算

(1) 径向压力计算

$$\sin \varphi_1 = 0.574; \cos \varphi_1 = 0.819; \operatorname{ctg} \varphi_1 = 1.428.$$

$$\begin{aligned} N_{\varphi \max} &= \frac{\sigma_N(r_2^2 - r_1^2)}{2r_1 \sin \varphi_1} + \frac{\sigma_M(r_2^4 - r_1^4)}{4r_1^3 \sin \varphi_1} \\ &= \frac{11.93(2^2 - 0.935^2)}{2 \times 0.935 \times 0.574} + \frac{4.86 \times 0.935(2^4 - 0.935^4)}{4 \times 0.935^3 \times 0.574} \\ &= 34.8 - 36.8 = -71.6t/m \end{aligned}$$

壳面厚度核算:

$$10N_{\varphi \max}/R_a = 10 \times 71.6/80 = 8.95cm < 14cm$$

(2) 环向拉力计算

$N_{\theta} = (\sigma_N + \sigma_M)r \cos \varphi_1 \operatorname{ctg} \varphi_1$, 分两段配筋

$$r = r_1 = 0.935m,$$

$$N_{\theta 1} = (11.93 + 4.86 \times 0.935) \times 0.935 \times 0.819 \times 1.428 = 18t/m$$

$$r = r = 1.5m,$$

$$N_{\theta 2} = (11.93 + 4.86 \times 1.5) \times 1.5 \times 0.819 \times 1.428 = 33.7t/m$$

$$r = r_2 = 2m,$$

$$N_{\theta 3} = (11.93 + 4.86 \times 2) \times 2 \times 0.819 \times 1.428 = 50.7t/m$$

环向钢筋选择:

$$\Sigma N_{\theta}^{\uparrow} = \frac{1}{2}(18 + 33.7) \times 0.7 = 18.1t$$

$$A_{\theta}^{\uparrow} = \frac{\Sigma N_{\theta}^{\uparrow}}{R_{\theta}} = \frac{18.1}{2.4} = 7.55cm^2, \text{ 选 } 7 \# 12 = 7.92cm^2$$

$$\Sigma N_{\theta}^{\downarrow} = \frac{1}{2}(33.7 + 50.7) \times 0.6 = 25.3t$$

$$A_{\theta}^{\downarrow} = \frac{25.3}{2.4} = 10.54cm^2$$

考虑边梁做适当加强, 故此段实配 $12 \# 12 = 13.57cm^2$

(3) 裂缝计算 (从略)

5. 内壳面计算: 径向与环向均为压力, 按其压力分别校验壳面厚度

(1) 径向压力计算:

$$\sin \varphi_2 = 0.405; \quad \cos \varphi_2 = 0.914; \quad \operatorname{ctg} \varphi_2 = 2.257$$

$$\begin{aligned} N_{\varphi \max} &= \frac{\sigma_N \cdot r_1}{2 \sin \varphi_2} + \frac{\sigma_M \cdot r_1}{4 \sin \varphi_2} = \frac{11.93 \times 0.935}{2 \times 0.405} + \frac{4.86 \times 0.935^2}{4 \times 0.405} \\ &= 13.8 + 2.6 = 16.4 \text{ t/m} \end{aligned}$$

壳面厚度校核:

$$10 N_{\varphi \max} / R_a = 10 \times 16.4 / 80 = 2 \text{ cm} < 12 \text{ cm}$$

(2) 环向压力计算

$$\begin{aligned} N_{\theta \max} &= (\sigma_N + \sigma_M) r_1 \cos \varphi_2 \operatorname{ctg} \varphi_2 \\ &= (11.93 + 4.86 \times 0.935) \times 0.935 \times 0.914 \times 2.257 = 31.8 \text{ t/m} \end{aligned}$$

壳面厚度校核:

$$10 N_{\theta \max} / R_a = 10 \times 31.8 / 80 = 3.97 \text{ cm} < 12 \text{ cm}$$

6. 环梁计算:

$$\text{外壳产生的水平推力 } H_1 = N_{1\varphi \max} \cos \varphi_1 = 71.6 \times 0.8819 = 58.6 \text{ t/m}$$

$$\text{内壳产生的水平推力 } H_2 = N_{\varphi \max} \cos \varphi_2 = 16.4 \times 0.914 = 15 \text{ t/m,}$$

$H_1 > H_2$ 环梁受压。

$$\text{环梁所受压力 } (H_1 - H_2) \cdot r_1 = (58.6 - 15) \times 0.935 = 41 \text{ t}$$

$$\text{环梁混凝土截面取为 } b \times h = 20 \times 71, \quad R_a = 130 \text{ kg/cm}^2$$

纵向弯曲系数 φ 不考虑,

$$A'_s = \frac{N/m\varphi - R_a A}{R'_s} = \frac{41000 - 20 \times 71 \times 130}{2100} = \frac{41000 - 184000}{2100} < 0$$

按构造配筋。

2. 无筋混凝土倒圆台基础计算

一、概 述

无筋混凝土倒圆台基础为一倒置的截头圆锥体，系一种完全不用钢筋的非刚性混凝土基础，目前已试用于设有5吨及10吨吊车，跨度为18米等厂房的柱基础。此种基础与一般柱基础相比，除了可省掉全部钢筋以外，尚能节约混凝土约20%。经载荷试验表明，倒圆台基础应用在偏心不大的柱基中，具有足够的安全度（见北京市建设局《技术简讯》1970年第6期）。

倒圆台基础用200#混凝土。边缘的倾斜角 φ 一般采用 30° 至 35° 。基础的内力计算方法已有多种，下列例题按照北京市建设局资料中公式计算。另一种完全不同的计算方法见五机部第五设计院第二大队《构件计算手册》（1970）。

二、计算条件及基础图（见图2—1）

1. 荷载

钢筋混凝土管圆柱（ $d=280$ ）作用于基础顶面的标准荷载力：

$$N_H = 30t;$$

$$M_H = 3t-m.$$

2. 材料

混凝土200#。 $R_w^b = 180kg/cm^2$ 。 $R_i^b = 16kg/cm^2$ 。

3. 地基允许强度： $[R] = 15t/m^2$

三、基础底面积的决定

用标准荷载，考虑基础自重及基底以上填土重（见图2—2）。

$$D = 2m; F = 3.1416m^2;$$