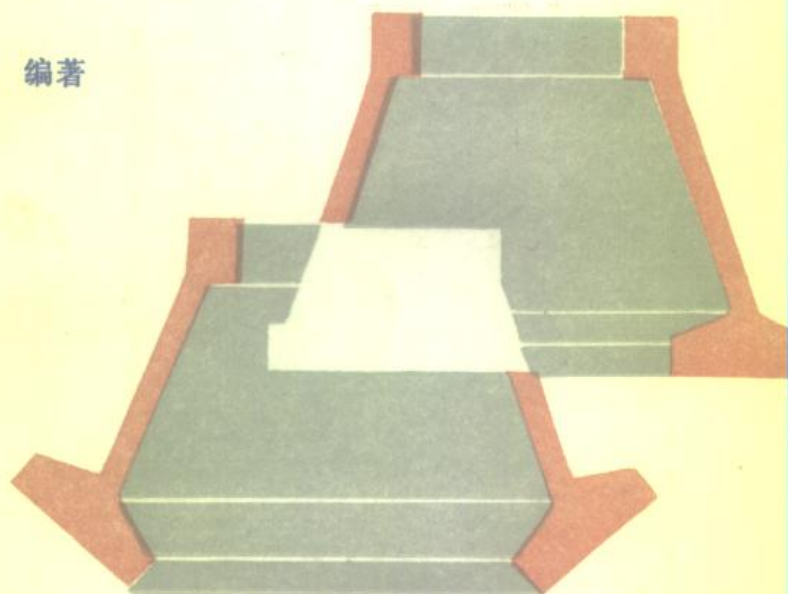


网筋混凝土不板壳基出和我佳壳基出
建筑结构设计示例丛书

钢筋混凝土环板壳基础和截锥壳基础

• 周厥耕 编著



中国铁道出版社

建筑结构设计示例丛书

钢筋混凝土环板壳 基础和截锥壳基础

周厥耕 编著

中 国 铁 道 出 版 社

1992年·北京

(京)新登字063号

0226/08
内 容 简 介

本书介绍了钢筋混凝土环板壳基础和截锥壳基础,书中分别介绍了这两种薄壳基础的计算方法、构造特点、设计例题和施工简图,书中设计计算全部采用新规范。

结构设计示例丛书

钢筋混凝土环板壳基础和截锥壳基础

周厥耕 编著

中国铁道出版社出版、发行

(北京市东单三条14号)

责任编辑 许虹进 封面设计 陈东山

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092毫米 1/32印张, 4.875字数, 105千

1992年12月 第1版 第1次印刷

印数: 1-3500册

ISBN7-113-01317-1/TU·287 定价: 3.10元

编 辑 说 明

在80年代末，我国建筑结构设计新规范的颁发和试行期间，我们拟编辑出版这套《建筑结构设计示例丛书》，希望有助于新规范的贯彻执行。

编写《丛书》所依据的规范是：《建筑结构设计统一标准》（GBJ 68-84）、《建筑结构设计通用符号、计量单位和基本术语》（GBJ 83-85）以及荷载、抗震和各种结构的新设计规范。

《丛书》将按常用构件（结构）分册出版，每本书只写一种构件（结构）。这样，既有利于将各该构件（结构）的设计和计算讲深讲透，又因每本书各自独立，便于读者选购。

此外，书中还结合示例，择其典型绘制施工图，包括必要的构造实例和施工注意事项。使读者能参照示例绘制施工图。

愿这套《丛书》能成为建筑结构设计人员按新规范做设计时有用的书。

《建筑结构设计示例丛书》

编辑委员会谨识

1989年

《 建筑设计示例丛书 》

编辑委员会

主任委员 丁祖堪

委 员 (以姓氏笔划为序)

王国周

王修国

钱义良

翁大厚

前 言

本书叙述了两种常用的薄壳基础形式，一种是钢筋混凝土环板壳基础，另一种是钢筋混凝土截锥壳基础。

钢筋混凝土环板壳基础，是由上部的正锥壳与下部的环形底板组合而成，见图0—1a中所示。这种壳基础形式，是根据独立构筑物的实际需要而形成的。例如一个烟囱，根据荷载和地基条件，要求基础底面积的直径远较上部烟囱筒身的直径大许多，这样基础底板与上部烟囱筒身之间，很自然的构成了一个正锥壳，来传递上部荷载，这就形成了环板壳组合基础。更由于此种形式的薄壳基础，施工方便，节省材料，故在国内外广泛采用。

钢筋混凝土截锥壳基础，是由上部的正锥壳与下部的倒锥壳组合而成，见图0—1b中所示。这种壳基础，是将环板壳基础下部的环板改为倒锥壳而得。其最大的特点是当大部分倒锥壳底板较长时，该底板的环向力在两边缘附近产生压力（见第二章图2—8b中所示），这对混凝土是非常适宜的，因而对底面积较大的基础，应用这种形式的薄壳基础时将节省较多的钢材。最近几年，在烟囱基础中应用较多。

上述两种壳基础，除了可以在烟囱和水塔工程中的基础中采用外，在其他结构中，如电视塔、筒仓、洗涤塔、除尘器 and 热风炉等的基础中也可采用。

关于这两种薄壳基础的内力，在《烟囱设计规范》(GB T 51-83)中叙述并不多。为此本书根据笔者多年来对两种壳基础的试验研究结果^{[5][6]}，对于上述两种形式的薄壳基础的基

本计算原理进行了论述，提出计算方法，给出了计算公式的简单推导过程，编制了PC-1500袖珍机和微型计算机计算程序，以及微型计算机辅助设计（CAD）程序，利用计算机程序，计算了内力计算表格，利用表格可以很方便地计算出这两种薄壳基础的内力。另外还给出两种薄壳基础的一般构造要求，以及设计计算实例和设计施工简图等。

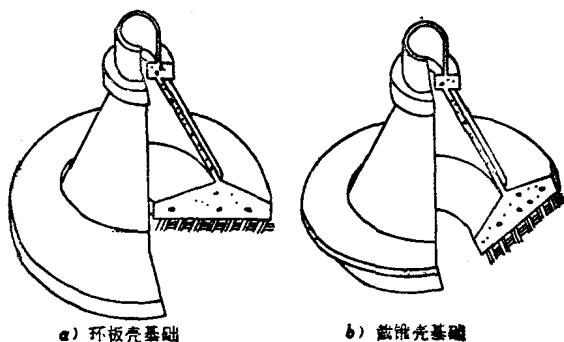


图 0-1

本书承蒙冶金部钢铁设计研究总院丁祖塔总工程师的热心关怀与帮助，在此仅致谢意。

笔者水平有限，书中谬误之处，敬请读者惠予批评指正。

编 者

目 录

第一章 钢筋混凝土环板壳基础·····	1
第一节 钢筋混凝土环板壳基础弹性内力计算·····	2
第二节 钢筋混凝土环板壳基础的内力计算表格 ···	22
第三节 钢筋混凝土环板壳基础的一般构造 ·····	53
第四节 钢筋混凝土环板壳基础的设计例题 ·····	55
第二章 钢筋混凝土截锥壳基础 ·····	69
第一节 钢筋混凝土截锥壳基础弹性内力计算 ·····	69
第二节 钢筋混凝土截锥壳基础的内力计算表格 ···	90
第三节 钢筋混凝土截锥壳基础的一般构造·····	128
第四节 钢筋混凝土截锥壳基础的设计例题·····	130

第一章 钢筋混凝土环板壳基础

圆环板壳基础，是由下部的圆环板及上部的正锥壳组合而成，在计算这种组合基础时，首先需要分析环板的内力计算和锥壳的内力计算，然后求解一个边界条件，使得环板壳组合基础的计算问题得以解决。在圆环板内力计算中，除了分析在垂直荷载作用下的内力计算公式外，还提出了在圆环板平面内任意一直径上承受有沿圆周均布径向荷载时，其内力的计算方法。锥壳计算在第二章讲述。

关于圆板壳组合基础形式的计算问题，笔者建议仍采用圆环板壳基础的计算方法，只把圆环板的内部半径取一个较小值，如取 0.1m ，而实际施工时，可以做成圆板。之所以采用这种作法，是由于圆板在轴对称荷载作用下，其圆心处的径向力与环向力大小相等，如果采用钢材圆板，其受力没有问题，但采用钢筋混凝土圆板时，若出现拉力，则很难使径向配筋达到理想状态。例如，在圆板基础的圆心部分有时出现负弯矩，使圆心上部受拉，需要在上部配筋，严格地说，这时径向钢筋要沿板全圆周 360° 方向都要配置，但实际上做不到。即使少配有限的几个方向，也会出现钢筋过多重叠搭接，使各方向钢筋受力不均。由于钢筋局部过密，也使钢筋的握裹力降低。当然，如果必要时，圆心处可以采取其他构造措施，但形式较为复杂，因此对于像烟囱、水塔等构筑物的基础，不一定采用。所以做成环板形式，可以使其受力清楚。

第一节 钢筋混凝土环板壳基础弹性 内力计算

一、轴对称垂直荷载作用下环板的内力和变位

圆环板在轴对称垂直荷载作用时，取圆环板中任一隔离体 $a b c d$ ，如图 1—1，其微分方程为：

$$D_0 \left(\frac{d^2}{dR^2} + \frac{1}{R} \frac{d}{dR} \right) \left(\frac{d^2 W}{dR^2} + \frac{1}{R} \frac{dW}{dR} \right) = q \quad (1-1)$$

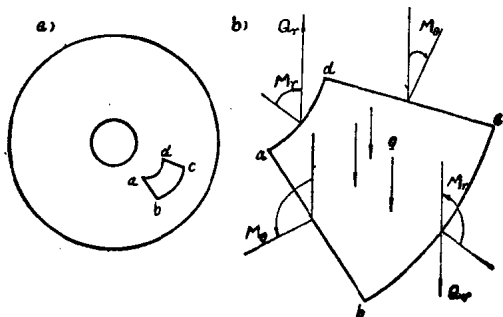


图 1—1

板的内力由下列各式求出

$$\left. \begin{aligned} M_r &= -D_0 \left(\frac{d^2 W}{dR^2} + \mu \frac{1}{R} \frac{dW}{dR} \right) \\ M_\theta &= -D_0 \left(\frac{1}{R} \frac{dW}{dR} + \mu \frac{d^2 W}{dR^2} \right) \\ Q_r &= -D_0 \frac{d}{dR} \left(\frac{d^2 W}{dR^2} + \frac{1}{R} \frac{dW}{dR} \right) \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

微分方程 (1—1) 的解为：

$$W = W_0 + A + BR^2 + C \ln R + DR^2 \ln R \quad (1-3)$$

式中 M_r —— 径向弯矩，

M_r ——环向弯矩,

Q_r ——径向剪力,

q ——作用在板面上的均布荷载,

E ——弹性模量,

δ ——板的厚度,

μ ——波桑比,

W ——板的挠度,

W_0 ——特解,

A 、 B 、 C 、 D ——待定系数,

$$D_0 = \frac{E\delta^3}{12(1-\mu^2)}$$

特解 W_0 可假设为: $W_0 = kR^4$; (1-4A)

将(1-4A)式微分, 然后代入(1-1)式可求得

W_0 .

$$\frac{dW_0}{dR} = 4kR^3$$

$$\frac{d^2W_0}{dR^2} = 12kR^2$$

$$\left(\frac{d^2W_0}{dR^2} + \frac{1}{R} \frac{dW_0}{dR}\right) = 12kR^2 + 4kR^2 = 16kR^2$$

$$\frac{d}{dR} \left(\frac{d^2W_0}{dR^2} + \frac{1}{R} \frac{dW_0}{dR}\right) = 32kR$$

$$\frac{d^2}{dR^2} \left(\frac{d^2W_0}{dR^2} + \frac{1}{R} \frac{dW_0}{dR}\right) = 32k$$

$$\left(\frac{d^2}{dR^2} + \frac{1}{R} \frac{d}{dR}\right) \left(\frac{d^2W_0}{dR^2} + \frac{1}{R} \frac{dW_0}{dR}\right) = 32k + 32k = 64k$$

将上式代入(1-1)式中则有,

$$64kD_0 = q$$

$$k = \frac{q}{64D_0}$$

将 k 值代入 (1-4 A) 得:

$$W_0 = \frac{q}{64D_0} R^4 \quad (1-4 B)$$

如图 1-2 所示, 为一环板壳基础, 在上部承受荷载 N , 底部环板所承受的荷载即为土反力:

$$p_0 = \frac{N}{\pi(R_1^2 - R_2^2)} \quad (1-5)$$

令 $q = -p_0$, 则 (1-4 B) 式的特解 W_0 为:

$$W_0 = -\frac{p_0 R^4}{64D_0} \quad (1-4 C)$$

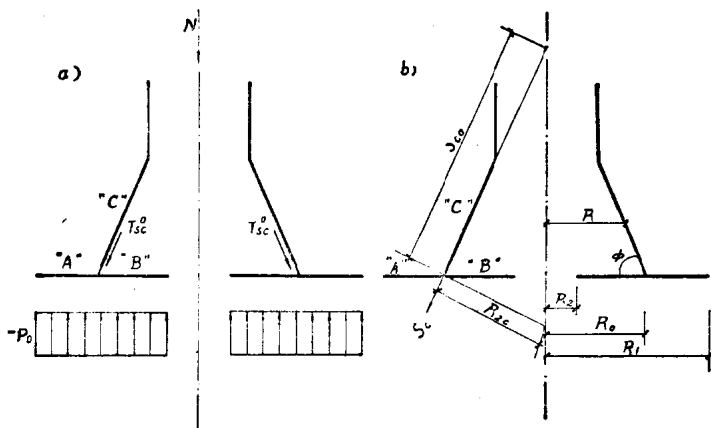


图 1-2

从图 1-2 中可以看出, 在 $R_1 \geq R \geq R_0$ 段的外环板中, 其任意半径 R 处的总剪力为:

$$V_{RA} = \pi(R^2 - R_1^2)p_0$$

沿圆周每沿米径向剪力为:

$$Q_{rA} = \frac{V_{RA}}{2\pi R} = \frac{p_0}{2} \left(R - \frac{R_1^2}{R} \right) \quad (1-6 A)$$

同理, 在 $R_0 \geq R \geq R_2$ 段的内环板中, 其任意半径 R 处的

总剪力为:

$$V_{RB} = \pi(R^2 - R_2^2)p_0$$

沿圆周每沿米径向剪力为:

$$Q_{,B} = \frac{V_{RB}}{2\pi R} = \frac{p_0}{2} \left(R - \frac{R_2^2}{R} \right) \quad (1-6B)$$

将(1-4c)式中的 W_0 代入(1-3)式中则有:

$$W = -\frac{p_0 R^4}{64D_0} + A + B R^2 + C \ln R + D R^2 \ln R \quad (1-7)$$

利用(1-7)式微分代入(1-2)式中的第三式, 可以求得待定系数 D 值如下:

$$\begin{aligned} \frac{dW}{dR} &= -\frac{p_0 R^3}{16D_0} + 2BR + CR^{-1} + D \left(\frac{R^2}{R} + 2R \ln R \right) \\ \frac{d^2W}{dR^2} &= -\frac{3p_0 R^2}{16D_0} + 2B - CR^{-2} + D(3 + 2 \ln R) \\ \left(\frac{d^2W}{dR^2} + \frac{1}{R} \frac{dW}{dR} \right) &= -\frac{4p_0 R^2}{16D_0} + 4B + 4D(1 + \ln R) \end{aligned}$$

将上式代入(1-2)式中的第三式得:

$$Q_r = -D_0 \frac{d}{dR} \left(\frac{d^2W}{dR^2} + \frac{1}{R} \frac{dW}{dR} \right) = \frac{p_0 R}{2} - \frac{4D_0 D}{R} \quad (1-6C)$$

令上式与(1-6A)式相等:

$$\frac{p_0 R}{2} - \frac{4D_0 D}{R} = \frac{p_0 R}{2} - \frac{p_0 R_1^2}{2R}$$

则得到在 $R_1 \geq R \geq R_0$ 段外环板的系数 D 的值为:

$$D = \frac{p_0 R_1^2}{8D_0}$$

令(1-6C)式与(1-6B)式相等, 则得到在 $R_0 \geq R \geq R_2$ 段内环板的系数 D 的值为:

$$D = \frac{p_0 R_2^2}{8 D_0}$$

将两个 D 值分别代入 (1-7) 式中, 可以得到环板内外两部分挠度值的计算公式。

外环板挠度值为:

$$W_A = -\frac{p_0 R_1^4}{64 D_0} + A + B R^2 + C \ln R + \frac{p_0 R_1^2}{8 D_0} R^2 \ln R \quad (1-7 A)$$

内环板挠度值为:

$$W_B = -\frac{p_0 R_1^4}{64 D_0} + A + B R^2 + C \ln R + \frac{p_0 R_1^2}{8 D_0} R^2 \ln R \quad (1-7 B)$$

(1-7 A) 和 (1-7 B) 二式, 可改用下列形式表示:

$$W_A = -\frac{p_0 R_1^4}{64 D_0} \left(\rho^4 - 8 \rho^2 \ln \rho + K_{A1} \rho^2 + K_{A2} \ln \rho + K_{A3} \right) \quad (1-8 A)$$

$$W_B = -\frac{p_0 R_1^4}{64 D_0} \left(\rho^4 - 8 \alpha^2 \rho^2 \ln \rho + K_{B1} \rho^2 + K_{B2} \ln \rho + K_{B3} \right) \quad (1-8 B)$$

式中

$$\left. \begin{aligned} \rho &= \frac{R}{R_1} \\ \alpha &= \frac{R_2}{R_1} \end{aligned} \right\} \quad (1-9)$$

$K_{A1}, K_{A2}, K_{A3}, K_{B1}, K_{B2}, K_{B3}$ —— 新的待定系数。

对 (1-8 A) 和 (1-8 B) 二式, 分别进行微分, 然后分别代入 (1-2) 式中整理, 可以得到内外环板的挠度、转角变位、径向弯矩、环向弯矩和剪力等的计算公式如下:

$$\begin{aligned}
W_A &= -\frac{p_0 R_1^4}{64 D_0} \left(\rho^4 - 8\rho^2 \ln \rho + K_{A1} \rho^2 \right. \\
&\quad \left. + K_{A2} \ln \rho + K_{A3} \right) \\
W_B &= -\frac{p_0 R_1^4}{64 D_0} \left(\rho^4 - 8\alpha^2 \rho^2 \ln \rho + K_{B1} \rho^2 \right. \\
&\quad \left. + K_{B2} \ln \rho + K_{B3} \right) \\
\frac{dW_A}{dR} &= -\frac{p_0 R_1^3}{64} [4\rho^3 - 8(\rho + 2\rho \ln \rho) + 2K_{A1} \rho \\
&\quad + K_{A2} \rho^{-1}] \\
\frac{dW_B}{dR} &= -\frac{p_0 R_1^3}{64} [4\rho^3 - 8\alpha^2(\rho + 2\rho \ln \rho) \\
&\quad + 2K_{B1} \rho + K_{B2} \rho^{-1}] \\
M_{rA} &= \frac{p_0 R_1^2}{64} [4(3 + \mu)\rho^2 - 16(1 + \mu) \ln \rho \\
&\quad - 8(3 + \mu) + 2(1 + \mu)K_{A1} \\
&\quad - (1 - \mu)K_{A2} \rho^{-2}] \\
M_{rB} &= \frac{p_0 R_1^2}{64} [4(3 + \mu)\rho^2 - 16\alpha^2(1 + \mu) \ln \rho \\
&\quad - 8\alpha^2(3 + \mu) + 2(1 + \mu)K_{B1} \\
&\quad - (1 - \mu)K_{B2} \rho^{-2}] \\
M_{\theta A} &= \frac{p_0 R_1^2}{64} [4(1 + 3\mu)\rho^2 - 16(1 + \mu) \ln \rho \\
&\quad - 8(1 + 3\mu) + 2(1 + \mu)K_{A1} \\
&\quad + (1 - \mu)K_{A2} \rho^{-2}] \\
M_{\theta B} &= \frac{p_0 R_1^2}{64} [4(1 + 3\mu)\rho^2 - 16\alpha^2(1 + \mu) \ln \rho \\
&\quad - 8\alpha^2(1 + 3\mu) + 2(1 + \mu)K_{B1} \\
&\quad + (1 - \mu)K_{B2} \rho^{-2}] \\
Q_{rA} &= \frac{p_0 R_1}{2} (\rho - \rho^{-1}) \\
Q_{rB} &= \frac{p_0 R_1}{2} (\rho - \alpha^2 \rho^{-1})
\end{aligned}$$

(1-10)

式中带下角码 A 的是外环板的计算公式，带下角码 B 的是内环板计算公式。

二、环板平面内轴对称径向荷载作用下环板的内力和变位

(一) 平面内轴对称径向荷载作用下环板的内力

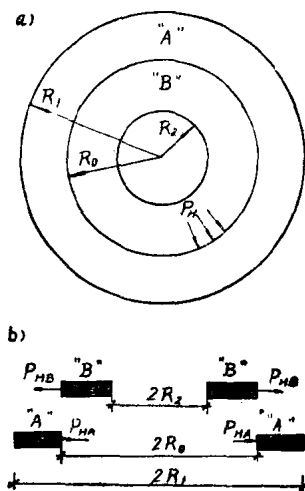


图 1—8

在环板平面内，沿半径为 R_0 的圆周上，作用有匀布的径向荷载 P_H ，如图 1—3a 所示。沿半径为 R_0 的圆周，将环板截开分离体，则径向荷载 P_H 分配给外环板的力为 P_{HA} ，分配给内环板的力为 P_{HB} ，如图 1—3b 所示。假设板的厚度为 δ_0 ，则沿半径为 R_0 的圆周上，板单位面积所承受的力为，

$$\left. \begin{aligned} p_{HA} &= \frac{P_{HA}}{\delta_0} \\ p_{HB} &= \frac{P_{HB}}{\delta_0} \end{aligned} \right\} \quad (1-11)$$

从图 1—3 中可以得知, 当在外环板的内边缘承受有均匀的径向力 p_{HA} 时, 可以应用弹性力学中的拉麦 (Lame) 公式求出其环向应力和径向应力值为,

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{\theta A} &= \frac{p_{HA} R_0^2}{R_1^2 - R_0^2} \left(1 + \frac{R_1^2}{R^2} \right) \\ \sigma_{rA} &= \frac{p_{HA} R_0^2}{R_1^2 - R_0^2} \left(1 - \frac{R_1^2}{R^2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (1-12A)$$

同理, 当在内环板的外边缘承受有径向力 p_{HB} 时, 其环向应力和径向应力值为,

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{\theta B} &= \frac{p_{HB} R_0^2}{R_2^2 - R_1^2} \left(1 + \frac{R_2^2}{R^2} \right) \\ \sigma_{rB} &= \frac{p_{HB} R_0^2}{R_2^2 - R_1^2} \left(1 - \frac{R_2^2}{R^2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (1-12B)$$

利用内力 T 与应力 σ 的关系式,

$$T = \delta_0 \cdot \sigma \quad (1-13)$$

同时考虑 (1—9) 和 (1—11) 式, 由 (1—12A) 和 (1—12B) 两式可得到外环板及内环板的环向力和径向力的计算公式为,

$$\left. \begin{aligned} T_{\theta A} &= \delta_0 \cdot \sigma_{\theta A} = \frac{P_{HA} \beta^2}{1 - \beta^2} \left(1 + \frac{1}{\rho^2} \right) \\ T_{rA} &= \delta_0 \cdot \sigma_{rA} = \frac{P_{HA} \beta^2}{1 - \beta^2} \left(1 - \frac{1}{\rho^2} \right) \\ T_{\theta B} &= \delta_0 \cdot \sigma_{\theta B} = \frac{P_{HB} \beta^2}{\beta^2 - \alpha^2} \left(1 + \frac{\alpha^2}{\rho^2} \right) \\ T_{rB} &= \delta_0 \cdot \sigma_{rB} = \frac{P_{HB} \beta^2}{\beta^2 - \alpha^2} \left(1 - \frac{\alpha^2}{\rho^2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (1-14)$$

$$\text{式中} \quad \beta = \frac{R_0}{R_1} \quad (1-15)$$

$T_{\theta A}$ ——外环板的环向力,

T_{rA} ——外环板的径向力,