

冶金矿山井巷设计参考资料

下 册

(支护与计算)

冶金工业部南昌有色冶金设计院 编

冶 金 工 业 出 版 社

目 录

第一篇 竖井支护与计算

第一章 竖井井颈支护与计算	1
第一节 概述.....	1
第二节 荷载.....	3
第三节 圆形井颈支护厚度计算.....	8
第四节 壁座及开孔的计算.....	14
第五节 圆形井颈按深基计算.....	18
第六节 井颈实例.....	34
第二章 竖井井筒支护与计算	43
第一节 概述.....	43
第二节 井筒侧压力计算.....	43
第三节 圆形井筒支护与计算.....	46
第四节 矩形井筒支护与计算.....	54
第五节 特例与实例.....	57
第三章 竖井“喷锚”支护及其它问题	62
第一节 “喷锚”支护.....	62
第二节 其它问题.....	64

第二篇 平硐、硐室支护与计算

第一章 设计中的有关问题	73
第一节 设计所需资料.....	73
第二节 拱形几何参数.....	73
第三节 支护的初拟尺寸.....	82
第四节 支护材料.....	83
第五节 岩体最小间壁.....	85
第二章 荷载	87
第一节 荷载组合.....	87
第二节 我国有关部门的围岩分类.....	87
第三节 平硐、硐室荷载	100
第三章 平硐、硐室与斜井支护(衬砌)	106
第一节 “喷锚”支护	107
第二节 “光面爆破”	124
第三节 整体式支护(衬砌)	127

第四节	木支架	146
第五节	预制钢筋混凝土支架	147
第六节	特殊问题的处理	151
第七节	隧道防排水及防震措施	154
第四章	支护计算	159
第一节	用力法分析单跨结构	159
第二节	用角变位移法分析单跨结构	199
第三节	曲墙支护(衬砌)的内力分析	246
第四节	装配式支架的计算	259
第五章	强度校核与配筋计算	263
第一节	强度校核	263
第二节	配筋计算	265

第三篇 特殊及其它结构设计与计算

第一章	单层多跨结构	267
第一节	计算方法简介	267
第二节	用不平衡力矩(推力)传播法计算单层多跨结构	267
第三节	算例	279
第二章	多层多跨结构	288
第一节	各常数的计算	288
第二节	力矩和推力轮流分配代入法公式的推求	294
第三节	关于弹性地基梁两个初参数的求算(Δ_i 和 θ_i)	296
第四节	计算步骤和算例	297
第五节	几个特殊问题	306
第三章	地震区结构	313
第一节	地震荷载	313
第二节	结构内力分析	314
第四章	明硐	317
第一节	明硐荷载	317
第二节	结构设计	317
第三节	内力分析	320
第五章	硐门、翼墙	326
第一节	硐门、翼墙荷载	326
第二节	结构设计	326
第三节	内力分析	339
第六章	巷道岔口	342

第四篇 附录

附录 1	矿山巷道的合理拱形	345
-------------	------------------	------------

附录 2	国内外主要地压理论简介	355
附录 3	国内外其它围岩分类简介	363
附录 4	直墙、拱形衬砌（支护）静力计算表	372
附录 5	地震烈度表	443
附录 6	结构构件计算图表	444
附录 7	结构计算资料附表	450
	一、新的隧道设计规范（试行）有关资料	450
	二、新的钢筋混凝土和砖石结构设计规范（试行）有关资料	455
	三、常用的资料	465
附录 8	施工参考资料	484
	一、水泥	484
	二、砂浆及混凝土	486
	三、砖石	494
	四、钢筋长度计算表	496
附录 9	其它参考资料	497
	常用坑木材积表	497
	隧道排水与防水的主要设施	498
	地下水分类表	498
	含水地层的特征表	499
	各类土的特征表	499
	土壤渗透系数表	500
	土质及石质地层渗透系数表	500
	砂土类土壤渗透系数计算表	500
	水力影响半径的确定表	500
	涌水量计算表	501
	我国干热、严寒、寒冷地区划分表	501
参考文献		502

第一篇 竖井支护与计算

第一章 竖井井颈支护与计算

第一节 概 述

一、井颈的组成及结构型式

井筒接近地面出口的一部分称为井颈。井颈除承受井口附近土壤侧压力及由井口附近建筑物荷载所引起的侧压力外，一般还做井架立架的基础，特殊情况下还做为井塔的基础。井颈的净断面尺寸一般与井筒净断面尺寸一致，其主要组成部分为筒壁和壁座，如图1-1-1所示。

由于井颈设在松软的岩层中（一般为土壤）且承受相当大的垂直与水平静荷载以及由于提升容器运动而传来的动荷载，所以井颈壁厚要比井筒部分厚得多。

井颈一般分为2~3段。每段高为2~4米。最上一段一定要建在冻结线以下。上段壁厚一般为1~1.5米，中段为0.6~0.9米，下段为0.4~0.7米。井颈壁座力求设在基岩下2~3米处，以免风化影响。当表土厚大于20米时，基座可设在较浅的致密的较坚实的土层中。

井颈上部加厚部分通常是为了支承井塔或井架而设，在一般情况下，最好整个井颈上下一致。

筒壁是抵抗侧压力的部分。同时井架或井塔的竖向荷载亦通过筒壁传至壁座。有时，在筒壁上还开设一些洞口。这些洞口应避免设在靠近井架立架基础的下面，且固定框架的锚固螺栓距洞口边缘应大于50厘米。当洞口为风道出入口时，则开孔的上部边缘应距地表4米以上。当通风井的井颈内还设有防火门时，开孔应设在井架支承框架以下，暖风道及安全道以上。并应注意避免防火门开启时将风道口封闭。

井颈的型式有如下几种：

（一）型式Ⅰ，如图1-1-2所示。

适用条件：井颈须要穿过表土层，此时壁座应设在基岩中，距表土层2~3米。

（二）型式Ⅱ，如图1-1-3所示。

适用条件：表土较浅，井颈上无井架等较大荷载设施。

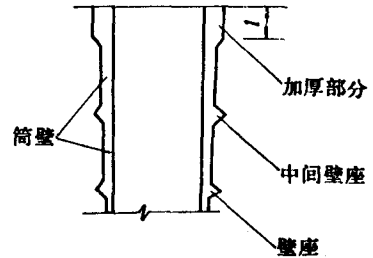


图 1-1-1 井颈的组成

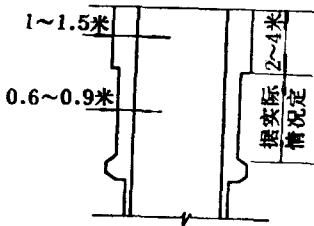


图 1-1-2 型式Ⅰ

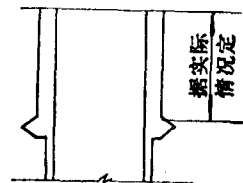


图 1-1-3 型式Ⅱ

(三) 型式Ⅲ, 如图1-1-4所示。

适用条件: 岩层风化和破碎厉害, 有特殊外加侧向荷载。

(四) 型式Ⅳ, 如图1-1-5所示。

适用条件: 表土层很厚, 竖向荷载较大。

(五) 型式Ⅴ, 如图1-1-6所示。

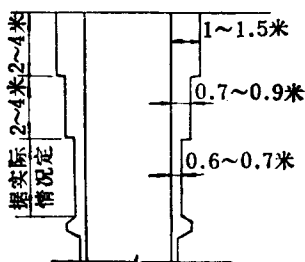


图 1-1-4 型式Ⅲ

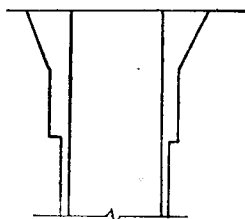


图 1-1-5 型式Ⅳ

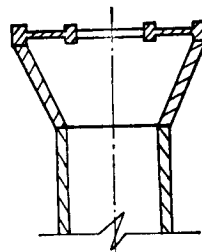


图 1-1-6 型式Ⅴ

适用条件: 地质条件复杂。

二、井颈设计所需资料及井颈高度的确定

(一) 设计所需资料

1. 井筒断面图、井筒位置、井口标高及井口轨面标高等资料;
2. 井筒附近基岩以上各层土壤资料 (其中包括基岩本身的赋存情况及其工程、水文地质情况);
3. 井筒附近建筑物基础及运输线路布置的平剖面图, 以及有关建筑物总荷载或基础荷载的资料;
4. 井塔、井架立架的支承框架或支座的布置图, 及其荷载主要组合和附加组合时的最大反力以及锚栓的布置和规格;
5. 托台、摇台及其开闭器的布置图, 并应表明进出车方向;

6. 有关风硐、水管及电缆入口、防火门、安全道、梯子间、罐道梁等的布置资料。

(二) 井颈高度的确定

井颈高度的确定除根据表土情况外, 还取决于设在井颈内的各种设备 (支承框架、托罐闸、防火门) 的布置及孔洞的大小等。布置在井颈的各种设备及孔洞应互相不妨碍, 且有一定间隙, 设备与设备外缘应留有100~150毫米的间隙, 洞口间则应留有400~500毫米距离。

井颈最小高度的确定, 如图1-1-7所示。并按公式(1-1-1)估算。

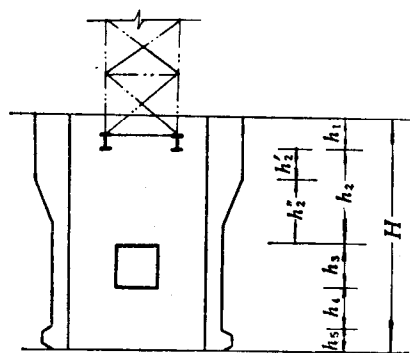


图 1-1-7 确定井颈最小高度示意图

$$H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 \quad (1-1-1)$$

式中 h_1 ——井架支承框架底面至井颈顶面的距离;

h_2 ——支承框架底面距风洞上部边缘的距离;

当其间无防火门时: $h_2 = h'_2 + h''_2$;

h'_2 ——支承框架锚栓的长度,一般取锚栓直径的40倍;

h_2^* ——余量,一般不小于0.5米;

当其间有防火门时, $h_2 = h_3 + 0.6$ 米,此时并要考虑上部锚栓的影响;

h_3 ——风洞的高度;

h_4 ——风洞下边缘至壁基顶部间的距离(按构造选取);

h_5 ——壁座高度,可先假定为1.5~2.0米。

第二节 荷 载

一、荷载组合

井颈的强度和稳定性,应按使用和施工时可能发生的各种荷载和其他作用力以及其最不利的组合进行计算。荷载组合分为:

(一) 主要组合——由永久性和经常性作用的荷载组成,即:

1. 井壁和壁座自重;
2. 土壤或岩石压力;
3. 地下水压力;
4. 位于滑动面范围内(井口附近)的构筑物及设备重量;
5. 井颈上的井架(井塔)荷载及其它设备(托台、防火门)的重量。

(二) 附加组合——由主要组合的荷载和下述非经常性作用的荷载组成。

1. 由温度影响而产生的混凝土收缩和膨胀应力(此影响不大,一般可不考虑);
2. 临时堆积在滑裂面范围内地面的材料重量;
3. 采用特殊凿井法所产生的荷载:
 - 1) 被压入岩石与井壁之间的注浆压力;
 - 2) 压气沉井时井筒内壁的压力;
 - 3) 冻结法凿井时并要考虑冻胀力的影响,一般在回冻时产生。

(三) 特殊组合——由主要组合、附加组合的荷载再加上偶然性荷载(对井颈而言系指地震)所组成。

当计算按附加组合或特殊组合时,除自重外,其它计算荷载的数值应乘以下列组合系数;附加组合乘以0.9;特殊组合乘以0.8。

二、垂直荷载

作用于井颈的垂直荷载,可用公式(1-1-2)及公式(1-1-3)表示。

(一) 垂直标准荷载

$$P_{标准} = \Sigma P + P_q \quad (1-1-2)$$

(二) 垂直计算荷载

$$P_{计算} = \Sigma mP + P_q \quad (1-1-3)$$

式中 ΣP ——由井口矿山工程构筑物基础传来的垂直荷载之总和:

$$\Sigma P = P_1 + P_2 + \dots$$

P_q ——井颈支护自重(计算截面以上);

m ——荷载系数,一般 $m = 1.2 \sim 1.4$;

结构及设备自重可取1.2;土壤自重可取1.2;静水压力可取1.1。

三、水平荷载

在水平荷载作用下的强度校核，可根据作用其上的最不利的水平荷载组合进行，其水平荷载有如下几种：

围岩（或土壤）的压力 q_1 ，吨/米²；

土壤中的静水压力 q_2 , 吨/米²;

由邻近基础及地面运输, 地表填土等荷载而引起土壤压力 q_3 , 吨/米²。

作用于井颈上的水平标准荷载为:

$$q_{标准} = \sum q = q_1 + q_2 + q_3 \quad (1-1-4)$$

作用于井颈上的水平计算荷载为:

$$q_{\text{計算}} = m' \sum q = m' (q_1 + q_2 + q_3) \quad (1-1-5)$$

式中 m' ——水平荷载系数, $m'=1.2\sim 1.4$ 。

(一) 土壤 (或围岩) 的侧压力

1. 非粘性土壤側壓力

$$q_1 = \gamma \cdot h \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (1-1-6)$$

2. 粘性土壤側壓力

$$q_1 = \gamma \cdot h \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) - 2C \cdot A \quad (1-1-7)$$

式中 q_1 ——在计算深度 h 处单位侧压力, 吨/米²;

γ ——土壤（或岩石）的容重，吨/米³；

h ——距地表深度，米；

C ——土壤粘聚力, 吨/米²。为计算方便, 可不考虑 C 值的影响, 而适当提高 φ 值;

A ——系数, $A = \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)$;

φ ——计算点处土壤的内摩擦角度。

如果公式 (1-1-6)、(1-1-7) 计算结果为负值时, 说明筒壁不承受土壤 (岩石) 侧压力, 但如井口还有建筑物基础时, 则需另行考虑。

3. 处于具有不同容重的多层土层（或岩层）下某点的侧压力，按公式（1-1-8）或公式（1-2-2）计算。则：

$$q_1 = (\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \dots \gamma_n h_n) \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (1-1-8)$$

式中 $\gamma_1, \gamma_2 \dots \gamma_n$ ——各层土壤的容重, 吨/米³;

$$h_1, h_2, \dots, h_n$$
——各层土壤的厚度, 米;

φ ——计算点处土壤的内摩擦角，度。

4. 在地下水位以下浸水砂土层的侧压力, 如图 (1-1-8) 所示。

(1) 地面至地下水面间土重在 A 点产生的侧压力

$$q'_1 = \gamma_1 h_1 \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$

(2) 地下水面以下土重在 A 点产生的侧压力

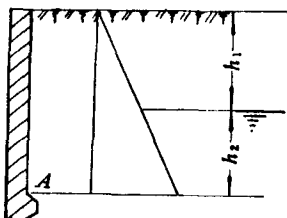


图 1-1-8 浸水砂土层
侧压力图

$$q_1' = \gamma_B h_2 \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$

A点处总的侧压力为:

$$q_1 = q_1' + q_1'' + q_1'''$$

式中 γ_B ——水中土壤容重(减去浮力),

$$\gamma_B = \frac{\Delta - \Delta_0}{1 + e}, \text{ 吨/米}^3 \quad (1-1-9)$$

Δ ——土的容重, 吨/米³;

Δ_0 ——水的容重, 一般 $\Delta_0 = 1$, 吨/米³;

e ——土壤天然孔隙比;

q_1''' ——地下水产生的侧压力, $q_1''' = h_2 \Delta_0$, 吨/米³;

φ ——计算点处土壤的内摩擦角, 度。

(二) 土壤中的静水压力

如井口周围岩石受到水浸蚀, 除了岩石压力外, 还要考虑土壤空隙中的静水压力。

如井口周围是软弱地层, 其水平压力必须按重液体公式确定:

$$q_2 = \gamma_n \cdot h_n \quad (1-1-10)$$

式中 γ_n ——水土混合液容重, 一般 $\gamma_n = 1.3 \sim 1.7$ 吨/米³; 近年来, 华东地区在流砂层中采用冻结法施工时, 多采用 $\gamma_n = 1.3$ 吨/米³。

h_n ——流砂层高度, 米。

(三) 由于邻近基础的影响, 地面运输、填土荷载等引起的侧压力。

1. 在井口构筑物作用下井壁侧压力计算

井口构筑物的荷载(包括自重), 通过其基础底面向下部土层中进行传递, 传递的垂直压力随深度加大而减小, 因此由于此垂直压力而作用于井筒上的侧压力亦随深度而减小, 到一定深度则影响甚微。井口构筑物作用于井筒的侧压力分布与构筑物的基础形状有关。这种侧压力主要作用于井口一段井壁(井颈部分)。

由井口构筑物而作用于井壁上的侧压力, 可按下述方法近似计算, 如图 1-1-9 所示。

当为带形基础时:

在基础底下 h 深度处井壁所受侧压力

$$q_h = \frac{P A_n}{(L + 0.5 A + h)(B + 2h)} \quad (1-1-11)$$

井壁受最大侧压力出现在基础底下 $h = \left(L - \frac{A}{2} \right)$ 处, 则:

$$q_{\max} = \frac{P A_n}{2L(2L - A + B)}$$

当为环形基础时:

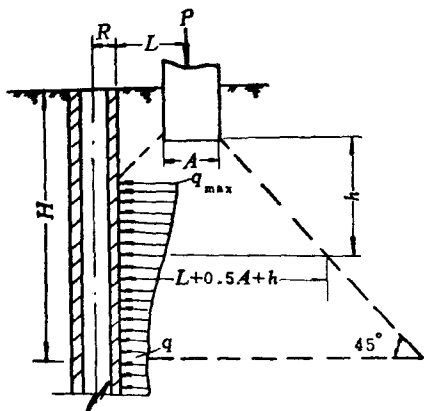


图 1-1-9 带形或环形基础对井颈产生的侧压力图

在基础底下 h 深度处井壁所受侧压力

$$q_h = \frac{P A_n}{\pi [(R+L+0.5A+h)^2 - R^2]} \quad (1-1-12)$$

井壁所受最大侧压力产生在基础底下 $h = \left(L - \frac{A}{2} \right)$ 处, 则:

$$q_{\max} = \frac{P A_n}{\pi [(R+2L)^2 - R^2]}$$

式中 P ——井口构筑物基础上部结构总重 (包括基础自重);

A_n ——土层侧压力系数, $A_n = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$;

L ——基础中心至井壁外缘的距离;

A ——带形或环形基础宽度;

B ——带形基础长度;

h ——从基础底至计算深度的距离;

R ——井筒外半径。

当基础为柱形时如图1-1-10所示, 其侧压力按公式 (1-1-13) 计算。此种方法是近似方法, 一般按此法进行计算。

当垂直荷载 q 扩散至 A 点时的扩散强度为 $\sigma_{h_1} = \frac{q}{F}$ 时,

则 A 点处的侧压力为:

$$q_3 = \frac{q}{F_1} \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (1-1-13)$$

图 1-1-10 柱形基础对井颈产生的侧压力图

式中 $F_1 = (b_0 + 2h_1)^2$ 为荷载 q 通过 A 点的水平扩散面面积, 米²;

b_0 ——荷载 q 在地面上分布面积的边长。

2. 地面运输荷载引起的侧压力

在计算运输线下离地面 1.2 米以下的地下结构物时, 由地面运输所引起的荷载, 按每平方米 2 吨考虑。井颈筒壁由运输所引起的侧压力

$$q_3 = 2 \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (1-1-14)$$

3. 由于填土, 表面有均匀负荷 Q 而引起的侧压力

$$q_3 = Q \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (1-1-15)$$

4. 地震区侧压力计算

在地震区计算土壤侧压力时, 地震烈度为 7~8 度的地震区, 土壤内摩擦角应减小 3 度; 烈度为 9 度的地震区, 土壤内摩擦角应减小 6 度。

四、侧压力性质

作用在圆形筒壁上侧压力的种类基本如前所述。而这些侧压力作用于筒壁四周的形式, 可按土层的分布情况以及位于滑动面范围内结构物、运输线等的布置情况来考虑, 大

致可归纳为三种类型：一种是径向均布侧压力，如图1-1-11中之(3)所示；另两种是均布侧压力，如图1-1-11中之(1)、(2)所示。

图1-1-11(2)、(3)的计算效果是相同的，荷载的性质也是相同的，只是表示方法不同而已。

荷载图形(1)、(2)在环内某些区域产生拉应力，所以图形(1)、(2)对于井壁厚度(或配筋)有决定影响。

径向均布侧压力由以下荷载所引起：

(一) 筒壁周围土壤(岩层)密度均匀，并其地表处于水平时土壤的自重；

(二) 地下静水压力；

(三) 井筒四周的带形基础(荷重均布对称)如图1-1-12(1)所示；

(四) 沿井口或半圆分布的基础或荷重，如图1-1-12(2)所示；

(五) 井口附近相互垂直布置及荷重相同的带形基础如图1-1-12(3)所示。由这种基础引起的侧压力如图1-1-12(4)所示，其中 q 为由基础荷重引起的主动土压， q' 为对面

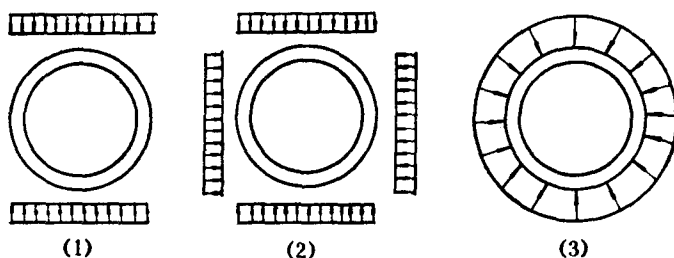


图 1-1-11 侧压力的种类

井颈在侧压力作用下的内力计算

表 1-1-1

序号	受力情况	内力计算公式
1		轴向受压 $N_A = N_B = qR$ 适于圆形井塔基础
2		$N_A = qR(1 + 0.785\beta)$ $M_A = 0.129\beta qR^2$ $N_B = qR(1 + 0.5\beta)$ $M_B = 0.137\beta qR^2$
3		$N_A = qR$ $M_A = -0.25qR^2$ $N_B = 0$ $M_B = 0.25qR^2$ 适于带形基础
4		$N_A = q_1R$ $M_A = -0.25(q_1 - q_2)R^2$ $N_B = qR$ $M_B = 0.25(q_1 - q_2)R^2$ 适于方形、带形基础

注： R —井筒外半径； q —侧压力； β —侧压不均系数，目前常取 $\beta = 0.1 \sim 0.3$ 。

土壤的弹性抵抗, 且 $q' = q$ 。

下列荷载将引起切向均布压力:

(一) 顶面倾斜或虽平缓但土质不均匀的土壤自重;

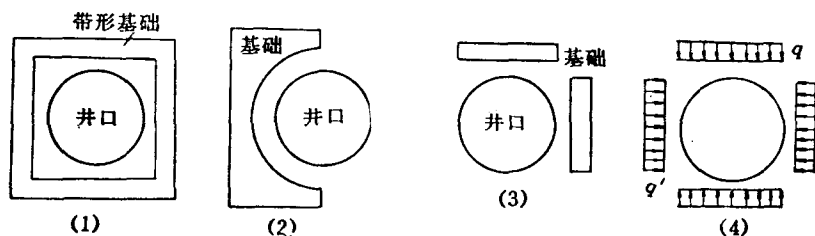


图 1-1-12 基础的型式及产生的侧压力

(二) 位于井口一侧的基础或地面活荷重。

当考虑土层倾斜及土质的不均匀性以及因其它原因, 井颈所承受的侧压力情况, 一般如图1-1-13及表 1-1-1 中所示。井颈在各种不同侧压力作用下的内力计算见表 1-1-1。

关于侧压力不均匀性的分析, 见本篇第二章第二节。

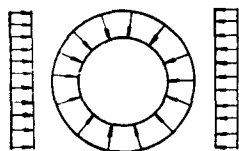


图 1-1-13 侧压力的分解

第三节 圆形井颈支护厚度计算

目前竖井井颈支护厚度的计算有两种方法, 一种是先通过计算得出厚度后进行验算; 另一种是先估计厚度再进行验算。这两种方法的基本原理是一样的, 为了对照使用方便, 一并列出, 以供参考。

一、先计算后验算法

(一) 在垂直荷载作用下, 井颈加厚部分的厚度按环形基础计算, 如图1-1-14所示。

1. 按土壤的承载能力计算

建于土壤上的井壁底面积为:

$$F_{\text{底环}} = \pi l (D + l) \quad (1-1-16)$$

式中 l ——建于土壤上的井壁底宽, 米;

D ——井筒的毛直径, 米;

$$l = d_y - d_0$$

$$D = D_0 + 2d_0$$

则

$$P_p \leq R F_{\text{底环}}$$

将上两式合并整理求解后得加宽部分井颈厚度为:

$$d_y = \sqrt{\frac{D_0^2}{4} + d_0(D_0 + d_0) + \frac{P_p}{\pi R}} - \frac{D_0}{2} \quad (1-1-17)$$

上式适用于垂直荷载合力作用在井颈中心的情况, 当垂直荷载偏心作用在井颈上时, 则应在上式中加入偏心系数, 此时

$$d_y = \sqrt{\frac{D_0^2}{4} + d_0(D_0 + d_0) + \frac{P_p}{\xi \cdot \pi R}} - \frac{D_0}{2} \quad (1-1-18)$$

式中 P_p ——井颈加宽部分作用在土壤上的计算荷载；

R ——土壤承重层的抗压计算强度，吨/米²；

D_0 ——井筒净直径，米；

ξ ——偏心系数，一般 $\xi = 0.7 \sim 0.9$ 。

如果井口是单阶段结构，而建于土壤上的井壁宽度较大时（1.5~1.8米）可变成两阶段或三阶段结构，并令建于土壤上的各段井壁底宽之和等于1。

2. 按井壁竖向承载能力计算

压缩时，井口支护强度一般方程为

$$P_p \leq m R_{np} F$$

式中 R_{np} ——压缩时支护材料的抗压计算强度，吨/米²；

F ——井壁环形断面面积，米²；

m ——工作条件系数。

$$F = \pi d_y (D_0 + d_y)$$

将上两式合并整理求解后得井颈支护厚度

$$d_y = \sqrt{\frac{D_0^2}{4} + \frac{P_p}{\pi m R_{np}}} - \frac{D_0}{2} \quad (1-1-19)$$

据上式，当井口没有风道，且垂直荷载中心作用时，可以确定最小和最危险截面。当垂直荷载偏心作用时，必须加入荷载偏心系数，即：

$$d_y = \sqrt{\frac{D_0^2}{4} + \frac{P_p}{\xi \pi m R_{np}}} - \frac{D_0}{2} \quad (1-1-20)$$

(二) 在水平荷载作用下，按下列公式确定井颈厚度

$$d_y = \frac{D_0}{2} \left(\sqrt{\frac{m \cdot R_{np}}{m R_{np} - 2 q_{\text{水平}}}} - 1 \right) \quad (1-1-21)$$

式中 $q_{\text{水平}}$ ——作用在井颈上的计算水平荷载，吨/米²。

据公式 (1-1-19)、(1-1-20)、(1-1-21) 的初步计算，确定最小和最危险截面的井颈厚度，然后取其中最大值。

(三) 当井口设有风道或热风道时，井颈厚度的计算

孔口水平面积

$$f = d_0 \cdot b_k$$

式中 b_k ——风道宽度，米。

最危险截面积

$$F = \pi d_y (D_0 + d_y) - f$$

最危险截面处井口支护厚度

$$d_y = \sqrt{\frac{D_0^2}{4} + \frac{P_p + m R_{np} f}{\pi m R_{np}}} - \frac{D_0}{2} \quad (1-1-22)$$

当垂直荷载为偏心作用时

$$d_y = \sqrt{\frac{D_0^2}{4} + \frac{P_p + m R_{np} f}{\xi \pi m R_{np}}} - \frac{D_0}{2} \quad (1-1-23)$$

(四) 井口土壤基础和井壁中应力校核 (验算)

1. 井颈筒壁垂直荷载作用下的应力校核

(1) 中心作用时的应力校核

对于支撑土壤，用公式 (1-1-24) 校核

$$\sigma_{\text{底环}} = \frac{P_p}{F_{\text{底环}}} \leq R \quad (1-1-24)$$

式中 $F_{\text{底环}} = \pi l(D_0 + 2d_0 + l)$ 。

对于井壁，用公式 (1-1-25) 校核

$$\sigma_{\text{环}} = \frac{P_p}{F}$$

$$\sigma_{\text{环}} = \frac{P_p}{\pi d_y(D_0 + d_y)} \leq mR_{np} \quad (1-1-25)$$

(2) 偏心作用时的应力校核

$$\sigma_{\text{压弯}} = \frac{P_p}{F} \pm \frac{M}{W} \quad (1-1-26)$$

式中 F ——横截面积，米²；

M ——弯曲力矩，吨-米。

$$M = P_p \cdot L_p \quad (1-1-27)$$

1) 平面上外力合力的作用中心

$$L_x = \frac{\sum Px}{\sum P} = \frac{P_1x_1 + P_2x_2 + \dots + P_nx_n}{P_1 + P_2 + \dots + P_n} \quad (1-1-28)$$

$$L_y = \frac{\sum Py}{\sum P} = \frac{P_1y_1 + P_2y_2 + \dots + P_ny_n}{P_1 + P_2 + \dots + P_n} \quad (1-1-29)$$

$$L = \sqrt{L_x^2 + L_y^2} \quad (1-1-30)$$

式中 $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ ——井口建筑物支撑压力，吨；

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ ——作用点到 Y-Y 轴距离，米；

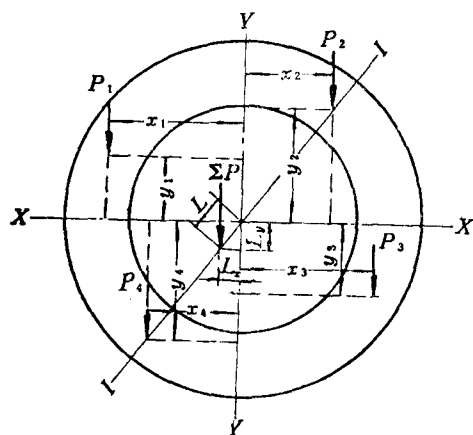


图 1-1-15 偏心作用时合力中心计算图

$y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ ——作用点到 X-X 轴距离，米；

L_x, L_y, L ——合力作用点到 Y-Y, X-X 轴及到井筒中心的距离，米。

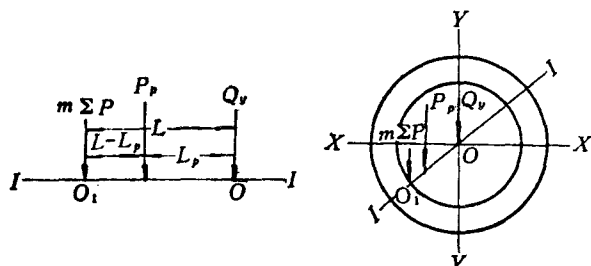


图 1-1-16 合力作用点计算简图 I

2) 考虑井颈自重时合力的作用点

井颈上无孔道时，井颈自重的平面重心位于井筒中心。当井颈上有大孔道时，由坐标轴将井口分成四等分，计算每一部分重量，然后用类似求外力作用中心一样求出自重心，最后据外力 ΣP 的中心和自重 Q_y 的重

心可以求出计算荷载 P_p 的作用中心。

据图1-1-16可写出关系式

$$m \Sigma P(L - L_p) = Q_y \cdot L_p$$

则

$$L_p = \frac{m \Sigma P L}{m \Sigma P + Q_y} \quad (1-1-31)$$

式中 L_p ——垂直计算荷载中心距井口中心的距离，米。

$$L_p \leq i$$

式中 i ——井颈支护截面的回转半径

$$i = \frac{1}{4} \sqrt{D_y^2 + D_0^2} \quad (1-1-32)$$

3) 井口基础下支撑土壤的有效压应力的计算，如图1-1-17所示。

土壤地基面积及抵抗力矩

$$F = \frac{\pi}{4} (D_y^2 - D^2) \quad (1-1-33)$$

$$W = \frac{\pi (D_y^4 - D^4)}{32 D_y} \quad (1-1-34)$$

$$\text{则应力为} \quad \sigma_{\min}^{\max} = \frac{4 P_p}{\pi (D_y^2 - D^2)} \left[1 \pm \frac{8 D_y L_p}{D_y^2 + D^2} \right] \leq R \quad (1-1-35)$$

4) 井颈筒壁环形截面应力

井颈支护横截面积和抵抗力矩

$$F = \frac{\pi}{4} (D_y^2 - D_0^2) \quad (1-1-36)$$

$$W = \frac{\pi (D_y^4 - D_0^4)}{32 D_y} \quad (1-1-37)$$

$$\text{则} \quad \sigma_{\text{环}} = \sigma_{\min}^{\max} = \frac{4 P_p}{\pi (D_y^2 - D_0^2)} \left[1 \pm \frac{8 D_y \cdot L_p}{D_y^2 + D_0^2} \right] \leq m R_k \quad (1-1-38)$$

2. 井颈筒壁在水平荷载作用下的应力用拉麦公式进行校核

$$P = \frac{q D_y^2}{D_y^2 - D_0^2} \left(1 + \frac{D_0^2}{D_x^2} \right) \quad (1-1-39)$$

式中 q ——水平方向的计算荷载，吨/米²；

D_x ——井壁上计算点的直径，米。

$$\text{则} \quad P_{\min} = \frac{q D_y^2}{D_y^2 - D_0^2} \left(1 + \frac{D_0^2}{D_y^2} \right) \quad (1-1-40)$$

$$P_{\max} = \frac{2 q D_y^2}{D_y^2 - D_0^2} \leq m R_k \quad (1-1-41)$$

二、先估计厚度后验算法

(一) 在垂直荷载作用下各水平截面强度校核

1. 中心作用时强度校核

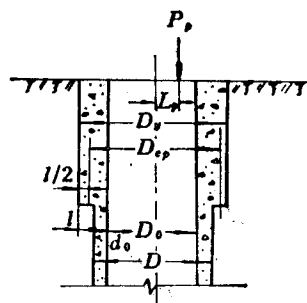


图 1-1-17 合力作用点计算简图 II

(1) 按允许应力计算

$$\sigma_{\text{K}} = \frac{\Sigma P}{F} \leq [\sigma_{\text{K}}] \quad (1-1-42)$$

式中 ΣP ——垂直荷载总值(包括自重);

F ——井颈筒壁被验算截面面积;

$[\sigma_{\text{K}}]$ ——砌体的许可压应力。

(2) 按极限状态计算

$$P_p \leq m\varphi R_{np} F \quad (1-1-43)$$

式中 P_p ——垂直计算荷载总值, 吨;

m ——工作条件系数;

φ ——纵向弯曲系数, 一般验算水平截面可取 $\varphi=1$;

R_{np} ——混凝土轴心受压强度, 公斤/厘米²;

F ——井颈筒壁横截面面积, 米²。

2. 考虑偏心作用时强度校核

(1) 按允许应力计算

$$\sigma_{\text{K}} = \frac{4\Sigma P}{\pi(D_y^2 - D_0^2)} \left[1 \pm \frac{8D_y \cdot L_p}{D_y^2 + D_0^2} \right] \leq [\sigma_{\text{K}}] \quad (1-1-44)$$

(2) 按极限状态计算

$$\sigma_{\text{K}} = \frac{4P_p}{\pi(D_y^2 - D_0^2)} \left[1 \pm \frac{8D_y \cdot L_p}{D_y^2 + D_0^2} \right] \leq mR_{np} \quad (1-1-45)$$

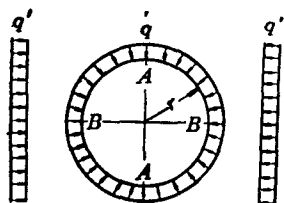


图 1-1-18 井颈在侧压力作用下计算图形

式中 D_y ——井颈掘进直径, 米;

D_0 ——井颈净直径, 米;

L_p ——垂直荷载(包括自重)的合力作用点至井筒中心的距离, 米。

(二) 在侧压力作用下井颈筒壁的计算, 如图1-1-18所示。

1. 按薄壁理论计算

(1) 按允许应力计算

1) 当受径向均布侧压力时

$$\sigma_{\text{K}} = \sigma_1 + \sigma_2 = \frac{qr}{F} + \frac{q}{2} \leq [\sigma_{\text{K}}] \quad (1-1-46)$$

式中 σ_1 ——由轴向力 $N = r \cdot q$ 产生的压应力;

σ_2 ——由轴向力 N 影响产生的次应力(由 $M = \frac{qJ}{F}$ 的作用产生的压应力);

r ——井颈平均半径;

F ——井颈筒壁圆环的横截面积。

2) 当受切向均布侧压力时

$$\sigma_{\text{K}} = \sigma_A = \frac{N}{F\varphi_n} + \frac{M}{rF} \pm \frac{M}{W} \cdot \frac{r}{r + \frac{d}{2}} \leq [\sigma_{\text{K}}] \quad (1-1-47)$$

$$\sigma_{\text{压}} = \sigma_{\text{B}} = \frac{M}{r \cdot F} \pm \frac{M}{W} \cdot \frac{r}{r + \frac{d}{2}} \leq [\sigma_{\text{压}}] \quad (1-1-48)$$

式中 W ——壁环的抵抗力矩, $W = \frac{bd^2}{6}$ (b 取为 1);

φ_n ——横向弯曲系数, 一般为 1;

$$\varphi_n = \frac{\sigma_{\text{临界}}}{\sigma_{\text{承压}}} = \frac{3E}{(1-\mu^2)\lambda_p^2 \sigma_{\text{承压}}}$$

$\sigma_{\text{临界}}$ ——临界应力;

$\sigma_{\text{承压}}$ ——材料受压极限应力;

E ——材料的弹性模量;

μ ——波桑比;

λ_p ——横向细长比, $\lambda = \frac{r}{i}$;

r ——圆环的平均半径;

i ——圆环横截面的回转半径;

N ——切向均布侧压力下筒壁产生的轴向力, $N = q'^H r$;

M ——切向均布侧压力下筒壁产生的弯矩, $M = \frac{q'^H r^2}{4}$ 。

(2) 按极限状态计算

由于筒壁受径向均布侧压力产生的内力

轴向力 $N = r \cdot q_u^H$

弯矩 $M = \frac{q_u^H J}{F}$

筒壁由于受切向均布侧压力时产生的内力

轴向力 $N = r \cdot q'^H$

弯矩 $M = \frac{q'^H r^2}{4}$

式中 q_u^H ——计算径向均布侧压力, 吨/米²;

q'^H ——计算切向均布侧压力, 吨/米²;

r ——井颈平均半径。

1) 纯受弯时, 按公式 (1-1-49) 校核

$$M \leq m R_p \cdot \frac{bd^2}{3.5} \quad (1-1-49)$$

式中 R_p ——混凝土受拉计算强度, 公斤/厘米²;

d ——井颈壁厚;

b ——计算所取环壁的宽度, 一般为 1。

2) 偏心受压时, 按公式 (1-1-50) 校核

当 $e_0 \leq 0.225d$ 时, 为小偏心情况