

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB 50384 – 2007

煤矿立井井筒及硐室设计规范

Code for design of coal mine shaft and chamber

2007 – 01 – 24 发布

2007 – 08 – 01 实施

中 华 人 民 共 和 国 建 设 部
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局

联合发布

中华人民共和国国家标准

煤矿立井井筒及硐室设计规范

Code for design of coal mine shaft and chamber

GB 50384 - 2007

主编部门：中国煤炭建设协会

批准部门：中华人民共和国建设部

施行日期：2007年8月1日

中国计划出版社

2007 北 京

中华人民共和国建设部公告

第 566 号

建设部关于发布国家标准 《煤矿立井井筒及硐室设计规范》的公告

现批准《煤矿立井井筒及硐室设计规范》为国家标准,编号为 GB 50384—2007,自 2007 年 8 月 1 日起实施。其中,第 5.3.6 (3)、5.4.1 (1、3)、6.2.1 (1、5)、6.3.8 (1、3)、6.3.21 (1) 条(款)为强制性条文,必须严格执行。

本规范由建设部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国建设部
二〇〇七年一月二十四日

前 言

本规范是根据建设部《关于印发“2005 年工程建设标准规范制定、修订计划(第二批)”的通知》建标函〔2005〕124 号文的要求,由中煤国际工程集团南京设计研究院会同有关单位编制而成。

本规范在编制过程中,认真分析、总结和吸取了多年来我国煤炭系统立井井筒和硐室设计、施工的实践经验,引入了经实践检验已成熟的新技术、新工艺及新的科研成果。征求意见稿提出后,以多种形式广泛征求了设计、科研教学、建设、管理等单位的意见,对有关问题进行了修改,最后经组织审查定稿。

本规范共 7 章,9 个附录。主要内容有总则,术语、主要符号,基本规定,材料,井筒装备,井筒支护,硐室等。

本规范中以黑体字标志的条文为强制性条文,必须严格执行。

本规范由建设部负责管理和对强制性条文的解释,由中煤国际工程集团南京设计院负责具体内容解释。本规范在执行过程中,请各单位结合设计、施工、生产实践,注意总结经验和积累资料,需要修改和补充之处,请将意见和有关资料寄交中煤国际工程集团南京设计研究院(地址:江苏省南京市浦口区浦东路 20 号;邮编:210031;传真:025-85046441),以便今后修订时参考。

本规范主编单位、参编单位和主要起草人:

主 编 单 位: 中煤国际工程集团南京设计研究院

参 编 单 位: 安徽理工大学

煤炭工业合肥设计研究院

主要起草人: 李现春 林鸿苞 江新春 孔祥国 陈长臻

陈招宣 赵汝顺 王经东 王仲民 吴文彬

周秀忠 由胜武 陈元艳 黄 忠 于为芹
刘晓群 李吉太 翟坊中

目 次

1	总 则	(1)
2	术语、主要符号	(2)
2.1	术语	(2)
2.2	主要符号	(3)
3	基本规定	(8)
4	材 料	(10)
4.1	混凝土	(10)
4.2	钢筋	(11)
4.3	钢材	(12)
4.4	玻璃钢	(12)
4.5	其他常用材料	(14)
5	井筒装备	(16)
5.1	井筒平面布置	(16)
5.2	钢丝绳罐道	(16)
5.3	刚性罐道和罐道梁	(17)
5.4	梯子间	(21)
5.5	过放保护和稳罐装置	(22)
5.6	管路及电缆的敷设	(24)
6	井筒支护	(26)
6.1	普通法凿井井筒支护	(26)
6.2	冻结法凿井井筒支护	(31)
6.3	钻井法凿井井筒支护	(35)
6.4	沉井法凿井井筒支护	(43)
6.5	帷幕法凿井井筒支护	(48)

7 硐 室	(51)
7.1 马头门	(51)
7.2 井底煤仓及箕斗装载硐室	(52)
7.3 箕斗立井井底清理撒煤硐室	(55)
7.4 罐笼立井井底水窝及清理	(57)
7.5 立风井井口及井底布置	(57)
附录 A 土的平均物理、力学性质指标	(60)
附录 B 岩石物理力学性质	(61)
附录 C 混凝土井壁内力及承载力计算	(62)
附录 D 井塔(架)影响段井壁计算	(70)
附录 E 法兰盘的连接及计算	(78)
附录 F 不均匀压力作用下的井壁圆环内力及 钢筋配筋计算	(80)
附录 G 半球和削球式井壁底计算	(84)
附录 H 半椭圆回转扁球壳井壁底计算	(86)
附录 J 钻井法凿井井筒钢板—混凝土复合并壁计算	(93)
本规范用词说明	(97)
附:条文说明	(99)

1 总 则

1.0.1 为统一煤矿立井井筒、井筒装备及相关硐室工程设计标准,提高设计质量,特制定本规范。

1.0.2 本规范适用于煤矿立井井筒及相关硐室工程的设计。

1.0.3 煤矿立井井筒及硐室设计,应体现技术先进、安全可靠、经济合理的原则,积极推广应用经过实践检验成熟的科研成果,因地制宜地采用新技术、新工艺、新材料,提高设计的综合效益。

1.0.4 煤矿立井井筒及硐室工程设计,必须具有符合设计要求的井筒检查钻孔资料,根据有关资料进行多方案的技术、经济比较,确定最优方案。

1.0.5 煤矿立井井筒及硐室工程所采用材料的性能、规格、质量应符合国家有关标准。

1.0.6 煤矿立井井筒及硐室工程设计除应符合本规范外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语、主要符号

2.1 术 语

2.1.1 罐道 guide

罐道是立井井筒中提升容器运行的导向设施。常用的柔性罐道有钢丝绳罐道,刚性罐道有钢轨罐道、型钢组合罐道、冷弯方型钢罐道、冷拔方管型钢罐道、玻璃钢复合罐道、木罐道等。

2.1.2 冲积层 alluvium

覆盖于基岩之上的第四系、未成岩的第三系地层。

2.1.3 单层井壁 single-layer lining

井壁为一层钢筋混凝土、混凝土或由钢板和钢筋混凝土(或混凝土)复合而成的构筑物,随井筒分段掘进后现浇筑或在地面预制而成。其厚度和强度应能承受临时荷载及永久地压的作用。

2.1.4 双层井壁 double-layer lining

由外层井壁和内层井壁组合而成。外层井壁由上而下随井筒短段掘砌至一定深度,内层井壁由下而上浇筑。外层井壁应能承受冻结压力的作用;内层井壁应能承受静水压力的作用;内、外层井壁的厚度和强度应能承受永久地压及竖向附加力的作用。

2.1.5 竖向附加力 add load of vertical

地层因疏水等原因产生沉降而作用于井壁上的竖直向下的力。

2.1.6 荷载标准值 characteristic value of load

未考虑结构安全系数的荷载值。

2.1.7 荷载计算值 effective value of load

标准荷载乘以安全系数后的荷载值。

2.1.8 承载力 load-carrying

井壁承受荷载(或内力)的能力。

2.1.9 薄壁圆筒 thin shell tube

壁厚与内半径之比小于规定数的圆筒。立井井筒中,井壁厚 t 与井筒井壁中心半径 r_0 之比小于10(即 $\frac{t}{r_0} < 10$)时称薄壁圆筒。

2.1.10 厚壁圆筒 thick shell tube

壁厚与内半径之比大于规定数的圆筒。立井井筒中,井壁厚 t 与井筒井壁中心半径 r_0 之比大于或等于10(即 $\frac{t}{r_0} \geq 10$)时称厚壁圆筒。

2.2 主要符号

2.2.1 普通法、冻结法凿井及井筒支护

- A_0 ——计算截面井壁横截面面积;
- A_n ——岩(土)层水平荷载系数;
- A_s ——每米井壁截面配置钢筋面积;
- b ——井壁截面计算宽度;
- D ——井筒外直径;
- d ——井筒内直径;
- E_c ——混凝土弹性模量;
- E_s ——钢筋弹性模量;
- F_w ——计算截面以上井壁外表面积;
- f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值;
- $f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值;
- f_s ——井壁材料强度设计值;
- f_t ——混凝土抗拉强度设计值;
- f'_y, f_y ——普通钢筋抗压、抗拉强度设计值;
- H ——所设计的井壁计算处深度;

I ——井筒横截面惯性矩；
 L_0 ——计算处井壁圆环计算长度；
 M_0 ——井塔嵌固水平的弯矩；
 N ——单位高度井壁圆环截面上的轴向力计算值；
 N_0 ——井塔嵌固水平的轴向力；
 P ——计算处作用在井壁上的设计荷载计算值；
 P_k ——作用在结构上的均匀荷载标准值；
 $P_{A,k}, P_{B,k}$ ——井壁所受最小、最大荷载标准值；
 $P_{t,k}$ ——计算截面以上井壁单位外表面积竖向附加力标准值；
 $P_{n,k}^s, P_{n,k}^x$ ——第 n 层岩层顶、底板作用井壁上的均匀荷载标准值；
 Q_0 ——井塔嵌固水平的水平力；
 $Q_{1,k}$ ——直接支承在井筒上的井塔重量标准值；
 $Q_{2,k}$ ——计算截面以上井筒装备重量标准值；
 $Q_{t,k}$ ——计算截面以上井壁所受竖向附加力标准值之和；
 $Q_{z,k}$ ——井壁所受的竖向荷载标准值；
 $Q_{z1,k}$ ——计算截面以上井壁自重标准值；
 r_0 ——计算处井壁中心半径；
 r_n ——计算处井壁内半径；
 r_w ——计算处井壁外半径；
 t ——井壁厚度；
 ν_k ——结构的安全系数；
 φ ——钢筋混凝土抽心受压构件稳定系数；
 φ_1 ——素混凝土构件稳定系数；
 ϕ ——土层内摩擦角；
 β_t ——冲积地层不均匀荷载系数；
 β_y ——岩层水平荷载不均匀系数；
 ν_c ——混凝土泊松比；

γ_h ——混凝土(或钢筋混凝土)的重力密度;
 ρ ——井壁圆环截面配筋率;
 ρ_{\min} ——井壁圆环截面的最小配筋率;
 σ_t ——井壁圆环截面切向应力;
 σ_{z1} ——计算截面井壁自重应力计算值;
 σ_z ——计算截面井壁纵向应力计算值;
 σ_r ——计算截面井壁径向应力计算值。

2.2.2 钻井法凿井及井筒支护

A_{sy} ——井壁竖向钢筋横截面面积;
 A_y, A'_y ——受拉、受压钢筋的截面面积;
 D_s ——井筒净断面的设计直径;
 D_y ——井筒净断面的有效直径;
 h_z ——井壁节高;
 $N_{z,k}$ ——提吊时井壁受到的竖向荷载标准值;
 n ——钢筋和混凝土弹性模量的比值;
 $P_{w,k}$ ——泥浆压力标准值;
 $P_{n,k}$ ——配重水压力标准值;
 P_g ——井壁底所受到的压力计算值;
 P_w ——泥浆压力计算值;
 P_n ——配重水压力计算值;
 V_Q, V_T ——壳体、筒体体积;
 V_n ——井壁底壳体、筒体排开泥浆体积;
 ν_i ——抗裂安全系数;
 λ ——壳体常数;
 η ——设计采用的成井偏斜率;
 γ_w ——泥浆的重力密度;
 γ_n ——配重水的重力密度。

2.2.3 沉井法凿井及井筒支护

d ——沉井设计内直径;

d_1 ——沉井有效内直径；
 D ——沉井井筒外直径；
 D_1 ——刃脚外直径；
 D_2 ——套井井筒内直径；
 D_3 ——套井井筒外直径；
 E ——套井井壁厚度；
 F ——井壁与土壤直接接触面之间的单位摩阻力；
 F' ——井壁与泥浆之间的单位摩阻力；
 G ——沉井井壁自重；
 G' ——沉井总重(扣除浮力)；
 G_1 ——沉井井壁刃脚自重(不扣除浮力)；
 G_2 ——沉井井筒重量(不扣除浮力)；
 G_3 ——沉井壁后泥浆筒重量(不扣除浮力)；
 h ——沉井井壁厚度；
 H ——沉井有效深度；
 H_1 ——套井总深度；
 H_2 ——套井刃脚尖以下至沉井刃脚台阶高度；
 H_3 ——刃脚高度；
 L_1 ——沉井与套井之间间隙；
 N ——沉井正面阻力；
 R_1 ——土壤极限抗压强度；
 S ——沉井井壁外表面积；
 T ——沉井下沉总阻力；
 T_1 ——刃脚外侧与土层间的侧面阻力；
 T_2 ——井壁外侧与触变泥浆的摩阻力；
 W ——井壁计算重率；
 a ——刃脚插入土层深度；
 β ——刃脚尖夹角；
 η ——沉井允许偏斜率；

μ ——套井偏斜率。

2.2.4 混凝土帷幕法凿井及井筒支护

B_0 ——套壁厚度；

B ——混凝土帷幕有效厚度；

D ——钻孔直径；

H ——混凝土帷幕设计深度；

R ——帷幕有效厚度净半径；

R_0 ——井筒净半径；

R_1 ——帷幕中心线半径；

i ——造孔最大允许偏斜率。

3 基本规定

3.0.1 立井井筒井壁结构重要性系数选取应符合以下规定：

1 服务年限不少于 50 年、大型矿井、冲积层深度不小于 400m 的立井井筒应按 1.0~1.05 选取。

2 服务年限少于 50 年且冲积层深度小于 400m 的中小型矿井的立井井筒应按 1.0 选取。

3.0.2 立井井筒井壁、井筒装备在不同受力状态下的安全系数选取应符合表 3.0.2 的规定。

表 3.0.2 结构安全系数值

受 力 特 征			结构安全系数(γ_k)值	
井 壁 和 锅 底	井 壁 筒 体	均匀水土压力	1.35	
		静水 压力	永久荷载	1.35
			临时荷载	1.1
		稳 定 性		1.3
		井塔纵向偏压		1.2
		不均匀压力		1.1
		冻土压力		1.00~1.05
		泥浆压力		1.1
		交界面受力		1.2
		井壁吊挂力		1.2
		附加力		1.2
	锅底	静水压力(永久荷载)		1.80
井筒 装备	罐 道	荷载计算	1.00~1.05	
	罐道梁	荷载计算	1.00~1.05	

3.0.3 立井井筒断面形状及尺寸应根据井筒用途、服务年限、井筒穿过的岩层性质和涌水情况,以及选择的支护和施工方法等因素确定,应优先选用圆形断面。采用圆形断面时,其净直径宜按0.5m进级,净直径为6.5m以上井筒和采用钻井法、沉井法、混凝土帷幕法施工的井筒可不受此限。

3.0.4 对有可能因建井或生产等因素而引起冲积地层沉降的立井井筒,应考虑冲积地层沉降对立井井筒的影响。必要时,可采用适应冲积地层沉降的井壁结构。

3.0.5 立井井筒支护类型应根据井筒穿过地层的地质及水文地质资料和施工方法确定,一般宜采用钢筋混凝土或混凝土支护。当地质条件复杂,地压大时,亦可采用其他支护结构。

3.0.6 立井硐室的断面形状及支护方式应根据地质条件、使用要求、服务年限等因素确定,并应符合下列规定:

1 立井硐室的断面形状。

1)一般宜选用半圆拱形断面,当顶压、侧压均大时,可采用双曲拱形断面,当底压也较大时,底部可增设反拱或采用圆形断面。

2)立煤仓宜采用圆形断面。

3)风硐、安全出口及斜煤仓可选用半圆拱形或矩形断面。

2 立井硐室的支护方式。

一般可采用混凝土、钢筋混凝土、料石砌碇或锚喷金属网支护。其支护参数应根据围岩条件、硐室形状、尺寸及地压大小计算确定。条件特殊时,也可采用其他支护方式。

3.0.7 位于地震烈度为8度及以上地区,或处于表土段不稳定地层时,风硐及安全出口和井筒上段30m以内井壁必须采用钢筋混凝土结构。

3.0.8 罐笼立井马头门、箕斗装载硐室、给煤机硐室、水泵房、泄水巷、立风井安全出口等,应进行铺底。

4 材 料

4.1 混 凝 土

4.1.1 立井井筒及硐室支护用的混凝土强度等级应符合下列要求：

1 用于立井井筒支护的钢筋混凝土，其混凝土强度等级不得低于 C30；素混凝土的强度等级不得低于 C25。

2 用于硐室支护的混凝土或钢筋混凝土，其混凝土强度等级不宜低于 C20。

4.1.2 立井井筒及硐室为钢筋混凝土结构时，混凝土轴心抗压、轴心抗拉强度标准值 f_{ck} 、 f_{tk} 应按表 4.1.2-1 采用；混凝土轴心抗压、轴心抗拉强度设计值 f_c 、 f_t 应按表 4.1.2-2 采用。

表 4.1.2-1 混凝土强度标准值(N/mm²)

强度 种类	混凝土强度等级													
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
f_{ck}	10.0	13.4	16.7	20.1	23.4	26.8	29.6	32.4	35.5	38.5	41.5	44.5	47.4	50.2
f_{tk}	1.27	1.54	1.78	2.01	2.20	2.39	2.51	2.64	2.74	2.85	2.93	2.99	3.05	3.11

表 4.1.2-2 混凝土强度设计值(N/mm²)

强度 种类	混凝土强度等级													
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
f_c	7.2	9.6	11.9	14.3	16.7	19.1	21.1	23.1	25.3	27.5	29.7	31.8	33.8	35.9
f_t	0.91	1.10	1.27	1.43	1.57	1.71	1.80	1.89	1.96	2.04	2.09	2.14	2.18	2.22

注：计算现浇钢筋混凝土轴心受压及偏心受压构件时，如截面的长边或直径小于 300mm，则表中混凝土的强度设计值应乘以系数 0.8；当构件质量（如混凝土成型、截面和轴线尺寸等）确有保证时，可不受此限。

4.1.3 立井井筒及硐室为素混凝土结构时，其轴心抗压强度设计

值应按表 4.1.2-2 中数据乘以系数 0.85 取用,并应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中的有关规定。

4.1.4 混凝土受压或受拉的弹性模量 E_c 应按表 4.1.4 采用。

表 4.1.4 混凝土弹性模量 E_c ($\times 10^4 \text{ N/mm}^2$)

混凝土 强度等级	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
E_c	2.20	2.55	2.80	3.00	3.15	3.25	3.35	3.45	3.55	3.60	3.65	3.70	3.75	3.80

4.2 钢 筋

4.2.1 立井井筒及硐室钢筋混凝土结构宜采用 HRB335 级、HRB400 级、RRB400 级钢筋,联系筋可采用 HPB235 级钢筋。

4.2.2 钢筋强度标准值应按表 4.2.2 采用。

表 4.2.2 钢筋强度标准值 f_{yk} (N/mm^2)

种 类		符号	d	f_{yk}
热轧 钢筋	HPB 235(Q235)	Φ	8~20	235
	HRB 335(20MnSi)	Φ	6~50	335
	HRB 400(20MnSiV、20MnSiNb、20MnTi)	Φ	6~50	400
	RRB 400(K20 MnSi)	Φ_R	8~40	400

注:热轧钢筋直径 d 系指公称直径。

4.2.3 钢筋抗拉强度设计值 f_y 及抗压强度设计值 f'_y 应按表 4.2.3 采用。

表 4.2.3 钢筋强度设计值 (N/mm^2)

种 类		符号	f_y	f'_y
热轧 钢筋	HPB 235(Q235)	Φ	210	210
	HRB 335(20MnSi)	Φ	300	300
	HRB 400(20MnSiV、20MnSiNb、20MnTi)	Φ	360	360
	RRB 400(K20 MnSi)	Φ_R	360	360

注:在钢筋混凝土结构中,轴心受拉和小偏心受拉构件的钢筋抗拉强度设计值大于 300 N/mm^2 时,仍应按 300 N/mm^2 取用。

4.2.4 钢筋弹性模量 E_s 应按表 4.2.4 采用。

表 4.2.4 钢筋弹性模量 E_s ($\times 10^5 \text{ N/mm}^2$)

种 类	E_s
HPB 235(Q235)级	2.1
HRB 335 级钢筋、HRB 400 级钢筋、RRB 400 级钢筋、热处理钢筋	2.0

4.3 钢 材

4.3.1 立井井筒及硐室设计中钢材选用应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的有关规定。一般应优先选用强度高、塑性好、刚性强、可焊性好的普通碳素钢和低合金钢。对于特殊的要求,也可以选用一些特殊钢材。

4.3.2 立井井筒及硐室设计所用钢材的连接,宜采用焊缝连接或螺栓连接。焊缝连接和螺栓连接应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 中的有关规定。

4.3.3 螺栓的排列距离应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 中的有关规定。

4.3.4 钢材的强度设计值应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 中的有关规定。

4.3.5 焊缝的强度设计值应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 中的有关规定。

4.3.6 螺栓连接的强度设计值应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 中的有关规定。

4.4 玻 璃 钢

4.4.1 玻璃钢复合材料的基料宜采用不饱和聚酯树脂,其质量应符合表 4.4.1 的规定。当设计有特殊要求时,也可采用其他树脂作为基料。

表 4.4.1 不饱和聚酯树脂的质量指标、特性及应用

树脂 型号	外观	酸值 (mg KOH/g)	黏度 (min)	树脂 含量 (%)	胶化 时间 (min)	热稳定性	性能和用途
191	透明 淡黄 色液 体	28~36	25℃时 6~13	60~66 (固体 含量)	25℃时 10~25	25℃时 0.5(a), 80℃时 24(h)	是一种低黏度光稳定性 聚酯树脂,对于玻璃纤维 有良好的浸渍性能,经常 用于制造半透明波形瓦、 煤矿井筒梯子间构件以及 其他接触成型产品

4.4.2 玻璃钢复合材料内嵌钢芯一般宜选用 Q235 钢、16Mn 钢等。其规格尺寸及质量应符合设计要求和有关质量标准;内嵌钢芯必须进行除锈处理,并达到国际通用瑞典标准 Sa2.5 级。

4.4.3 立井井筒及硐室中玻璃钢材料制成品的抗静电指标不应大于 $3.0 \times 10^8 \Omega$ 。

4.4.4 立井井筒及硐室里的玻璃钢材料制成品的阻燃系数应大于 26 氧指数。

4.4.5 立井井筒罐道梁及其他梁、梯子间采用的玻璃钢制成品的机械、安全性能应符合表 4.4.5 的规定。

表 4.4.5 梁及梯子间用玻璃钢制成品机械、安全性能指标

项 目		指 标			根据国家有关标准确定 试验方法
		类型	优良	合格	
机 械 性 能	抗拉强度 \geq (MPa)	玻纤纱	140	120	GB 3354
		玻纤布	160	130	GB 1447
	抗压强度 \geq (MPa)	玻纤纱	50	35	GB 1448
		玻纤布	60	40	GB 1448
	弯曲强度 \geq (MPa)	玻纤纱	90	70	GB 3356
		玻纤布	100	80	GB 1449

续表 4.4.5

项 目			指 标			根据国家有关标准确定 试验方法
			类型	优良	合格	
表面电阻(Ω)			≤3.0×10 ⁸			MT 113
安全性能	酒精 喷灯 火焰 燃烧 试验	有焰 燃烧 时间 (s)	当酒精喷灯移走后,每组 6 条 试件的有焰燃烧时间总和不得 超过 18,其中任何试件的续燃时 间不得超过 10			MT 113 试件置于酒精喷灯火焰中 燃烧时间为 30
		无焰 燃烧 时间 (s)	当酒精喷灯移走后,每组 6 条 试件的无焰燃烧时间总和不得 超过 120,其中任何一条试件的 续燃时间不得超过 60			

4.4.6 立井井筒用玻璃钢罐道制成品的机械、安全性能等应符合表 4.4.6 的规定。

表 4.4.6 玻璃钢罐道制成品的机械、安全性能指标

项 目	机械性能					安全性能		技术要求	
	抗拉 强度 \geq (MPa)	抗弯 强度 \geq (MPa)	弹性 模量 (MPa)	滚动 磨损 30a \leq (mm)	滚动 磨损 30a \leq (mm)	表面 电阻 $<$ (Ω)	阻燃 性能 $<$ (s)	罐道 直线度 (%)	罐道 扭曲度 (%)
指标	160	130	1.9×10^5	1	3	3×10^5	18	0.7	0.7

注:1 抗拉、抗弯、弹性模量为罐道整体值。

2 阻燃性能为有焰续燃总时间。

4.5 其他常用材料

4.5.1 用于立井井筒冻结段井壁的外井壁与冻土之间的聚苯乙烯泡沫塑料板的物理机械性能应符合表 4.5.1 的规定。

表 4.5.1 聚苯乙烯泡沫塑料板物理机械性能指标

序号	密度(g/cm ³)		0.021	0.031	0.041	0.051
	项 目					
1	抗压强度(MPa)	压缩 10%	0.122	0.181	0.243	0.286
		压缩 25%	0.144	0.216	0.296	0.358
		压缩 50%	0.305	0.364	0.395	0.515
		压缩 75%	0.331	—	—	—
2	抗拉强度(MPa)		0.13	0.25	0.29	0.34
3	抗弯强度(MPa)		0.302	0.38	0.517	0.527
4	冲击强度(MPa)		0.046	0.049	0.056	0.082
5	冲击弹性(%)		28	30	29	30
6	耐热性(不变形)(℃)		75	75	75	75
7	耐寒性(不变形、不脆)(℃)		—80	—80	—80	—80
8	体积吸水率(24h)(%)		0.016	0.004	—	—
9	吸声系数(700~2000Hz)(%)		50~80(使用前须具体测定)			
10	导热系数(kJ/m·h·℃)		0.0271	0.0276	0.036	0.04
11	水分渗透(g/m ² ·h)		0.38	0.31	0.31	0.32

4.5.2 用于立井井筒中冻结段井壁的内、外层井壁之间的聚乙烯塑料薄板的物理机械性能应符合表 4.5.2 的规定。

表 4.5.2 聚乙烯塑料薄板物理机械性能指标

项 目	指 标
拉伸强度(MPa)	≥17
断裂伸长率(%)	≥450
直角撕裂强度(N/mm)	≥80
水蒸气渗透系数[g·cm/(cm ² ·s·Pa)]	≤1.0×10 ⁻¹⁶
—70℃低温冲击脆化性能	通过
尺寸稳定性(%)	±3

5 井筒装备

5.1 井筒平面布置

5.1.1 立井井筒平面布置应根据提升容器的种类、数量、最大外形尺寸,井筒装备的类型和规格,提升容器与井筒装备、井壁之间的间隙,梯子间、管路、电缆的平面布置尺寸,井筒延深方式以及井筒所需通过的风量等确定;立井井筒平面布置应合理利用井筒断面,布置紧凑,减少井筒掘砌工程量,节省材料消耗。

5.1.2 立井井筒装备按罐道结构形式的不同,可分为柔性罐道(即钢丝绳罐道)和刚性罐道两种。

5.1.3 立井井筒装备应采取防腐蚀措施或选择耐腐蚀材料制作。井筒装备防腐蚀设计及耐腐蚀材料的选择应符合国家现行标准《煤矿立井井筒装备防腐蚀技术规范》MT/T 5017 中有关规定。

5.2 钢丝绳罐道

5.2.1 立井井筒采用钢丝绳罐道时,应符合以下要求:

1 单绳提升人员的罐笼必须装备可靠的防坠器。

2 罐道绳宜采用密封或半密封式钢丝绳,对提升终端荷载不大,服务年限较短矿井,也可采用 6 股 7 丝普通钢丝绳。

3 每个提升容器的罐道宜采用四角布置,受条件限制时也可采用四绳单侧布置。对提升终端荷载不大的浅井,可采用两绳或三绳对角或三角布置。

4 罐道绳张紧装置宜采用井架液压拉紧或螺杆拉紧方式,也可采用井底重锤拉紧方式。每根罐道绳的百米拉紧力为 8~12kN。

5 同一提升容器的各罐道绳的张力可相差 5%~10%。当

提升容器为两根罐道绳时,各绳张力应相等。

5.3 刚性罐道和罐道梁

5.3.1 根据提升容器的要求、终端荷载和提升速度大小及结构计算结果,刚性罐道可选用钢轨罐道、型钢组合罐道、冷弯方型型钢罐道、冷拔方管型钢罐道、玻璃钢复合罐道或木罐道等。罐道型号(断面尺寸)可按表 5.3.1 选用并符合以下要求:

1 钢轨罐道,可采用 38kg/m 或 43kg/m 钢轨。

2 型钢组合罐道,可采用球扁钢组合罐道或槽钢组合罐道。球扁钢组合罐道应采用球扁钢和扁钢组合焊成;槽钢组合罐道宜采用两根 16 号或 18 号槽钢和扁钢焊成。

3 冷弯方型型钢罐道、冷拔方管型钢罐道,技术参数应分别符合现行国家标准《立井罐道用冷弯方型空心型钢》MT/T 557 和现行国家标准《冷拔异形钢管》GB/T 3094 的有关规定。

4 玻璃钢复合罐道,采用内衬钢芯、外包玻璃钢经模压热固化处理制成。内衬钢芯厚度不宜小于 6mm,外包玻璃钢厚度不宜小于 4mm。玻璃钢罐道加工质量应符合本规范第 4.4 节中有关规定。

5 木罐道应采用木质致密、强度较大的松木制作并应进行防腐处理。

6 罐道荷载可按下列公式计算:

$$P_{y,k}=Q_k/12 \quad (5.3.1-1)$$

$$P_{x,k}=0.8P_{y,k} \quad (5.3.1-2)$$

$$P_{v,k}=0.25P_{y,k} \quad (5.3.1-3)$$

式中 $P_{y,k}$ ——罐道与罐道梁正面水平力标准值(MN);

$P_{x,k}$ ——罐道与罐道梁侧面水平力标准值(MN);

$P_{v,k}$ ——罐道与罐道梁的垂直力标准值(MN);

Q_k ——提升绳端荷重(包括提升容器自重、滚动罐耳、首绳悬挂装置、尾绳悬挂装置及载重之和)标准值(MN)。

7 钢罐道的强度、刚度宜按下列公式验算：

$$\frac{M_{x1}}{W_{x1}} + \frac{M_{y1}}{W_{y1}} \leq f_1 \quad (5.3.1-4)$$

$$\frac{Z_1}{L_1} \leq \frac{1}{400} \quad (5.3.1-5)$$

式中 M_{x1} ——在正面水平力作用下罐道的最大弯矩计算值 (MN·m)；

M_{y1} ——在侧面水平力作用下罐道的最大弯矩计算值 (MN·m)；

W_{x1} 、 W_{y1} ——对 x 轴、 y 轴的净截面抵抗矩 (m³)；

f_1 ——罐道材料的强度设计值 (MN/m²)；

Z_1 ——罐道的挠度 (m)；

L_1 ——罐道的跨度 (m)。

表 5.3.1 罐道型号 (断面尺寸)

罐道 名称		钢轨 罐道 (kg/m)	型钢组合罐道		冷弯 冷拔 型钢罐道 (mm)	玻璃钢 复合罐道 (mm)	木罐道 (mm)
			球扁钢 组合罐道 (mm)	槽钢 组合罐道 (mm)			
型号 (断面 尺寸)	1	38	180×188	180×160	180×180	180×180	180×160
	2	43	200×188	180×180	200×200	200×200	—
	3	—	—	200×200	220×220	—	—

5.3.2 井筒内刚性罐道可采用单侧罐道、双侧罐道和端面罐道三种布置形式，并宜符合下列规定：

1 当罐笼井使用木罐道时，应采用双侧布置。

2 对提升速度低、终端荷载小的罐笼或箕斗，可采用钢轨罐道单侧或双侧布置。

3 对提升速度高、终端荷载大的罐笼或箕斗，宜采用型钢罐道或玻璃钢复合罐道端面布置。

5.3.3 罐道梁可采用工字钢、槽钢组合、冷弯异型型钢、冷拔异型型钢等形式。罐道梁的强度、刚度宜按下列公式验算：

$$\frac{M_{x2}}{W_{x2}} + \frac{M_{y2}}{W_{y2}} \leq f_2 \quad (5.3.3-1)$$

$$\frac{Z_2}{L_2} \leq \frac{1}{400} \quad (5.3.3-2)$$

式中 M_{x2} 、 M_{y2} ——绕 x 、 y 轴的弯矩(x 轴为强轴, y 为弱轴)计算值($\text{MN} \cdot \text{m}$);

W_{x2} 、 W_{y2} ——对 x 轴、 y 轴的净截面抵抗矩(m^3);

f_2 ——罐道梁材料的强度设计值(MN/m^2);

Z_2 ——罐道梁的总挠度(含集中荷载及罐道梁自重产生的挠度)(m);

L_2 ——罐道梁的跨度(m)。

5.3.4 罐道梁可采用简支梁、连续梁或悬臂梁等支承形式。采用悬臂梁时,其悬臂长度不宜超过 700mm。悬臂梁强度可按式验算:

$$\frac{Q_x L}{f_u} \leq W_x \quad (5.3.4)$$

式中 Q_x ——悬臂梁所承受的集中荷载计算值(MN);

L ——集中荷载作用点至井壁的距离(m);

f_u ——悬臂梁材料的抗弯强度设计值(MN/m^2);

W_x ——悬臂梁对 x 轴的净截面抵抗矩(m^3)。

5.3.5 罐道梁层间距应根据所选用的罐道类型、罐道长度,并根据提升容器作用在罐道上的荷载计算确定。钢轨罐道宜采用 4.168m 或 6.252m;组合钢罐道、型钢罐道、玻璃钢复合罐道宜采用 4m、5m 或 6m;木罐道可采用 2m。

5.3.6 井筒中各种梁在井壁上的固定应符合下列规定:

- 1 宜采用树脂锚杆、预埋钢板和梁窝埋入式三种方式。
- 2 应优先采用树脂锚杆固定方式。
- 3 井筒在不稳定含水冲积层内严禁采用梁窝固定方式。

5.3.7 当采用树脂锚杆固定立井井筒装备时,锚杆的锚固长度应满足锚固力要求,且不应超过单层井壁厚度的 3/5、双层井壁中内

层井壁厚度的 4/5。

5.3.8 采用树脂锚杆固定悬臂支座、罐道梁、井梁、梯子梁等应符合下列规定：

1 固定单个托架的锚杆根数，应按计算确定，一般不应少于两根。

2 相邻两锚杆孔间距不宜小于 180mm。

3 锚杆的锚固力应根据需要按计算确定；但固定悬臂支座及各种梁时，每根锚杆的锚固力不应小于 $4.9 \times 10^4 \text{ N}$ 。

每根锚杆的锚固力应按下列公式计算：

$$P_{\text{mg}} = \pi d [\tau] L \quad (5.3.8)$$

式中 P_{mg} ——树脂锚杆的锚固力(N)；

d ——锚杆杆体直径(mm)；

L ——锚固长度(mm)；

$[\tau]$ ——允许黏结力，可取 2.5 N/mm^2 。

5.3.9 罐道托架强度可按下列公式验算：

$$\frac{M_{x3}}{W_{y3}} + \frac{M_y}{W_{x3}} \leq f_3 \quad (5.3.9)$$

式中 M_{x3} ——由水平力产生的弯矩计算值(MN·m)；

M_y ——由竖向力产生的弯矩计算值(MN·m)；

W_{x3} 、 W_{y3} ——托架截面对 x 轴、 y 轴的截面系数(m^3)；

f_3 ——托架材料的强度设计值(MN/m^2)。

5.3.10 同一提升容器的两根罐道的接头不应布置在同一个水平面内；当两根罐道安装在同一罐道梁上时，接头位置应错开。

5.3.11 罐道接头布置应符合下列规定：

1 木罐道的接头宜布置在罐道梁上。

2 钢罐道和玻璃钢复合罐道的接头应设在罐道与罐道梁连接的位置上，即设在罐道梁中间。

3 钢罐道接头之间应有 2~4mm 间隙，木罐道间隙不大于 5mm。

5.3.12 在井筒装备中,钢罐道梁应尽可能不设置接头。当必须由两节组成时,其接头应设在弯矩较小的地方,且上下两层罐道梁的接头处应错开布置;两节罐道梁连接时,宜采用夹板焊接或螺栓连接,连接处的强度不应小于罐道梁的强度。

5.3.13 罐道与罐道梁连接,应有足够的强度,同时还应考虑结构简单、安装和维修方便。

5.3.14 当井筒为竖向可缩型井壁结构时,井筒装备构件及管路等应采用适合井壁沉降的结构形式。

5.4 梯子间

5.4.1 立井井筒梯子间的设置应符合下列规定:

1 作为矿井安全出口的立井井筒,必须设置由井下通达地面的梯子间。

2 当井深超过 300m 时,宜每隔 200m 左右设置一休息点。休息点可在靠近梯子间位置处的井壁上开凿一硐室与梯子间连通。

3 休息硐室严禁设在不稳定含水冲积层中。

5.4.2 梯子间布置可采用顺向和折返式两种形式。在条件允许的情况下,应优先采用折返式梯子间。

5.4.3 梯子间的布置应符合下列要求:

1 梯子斜度不应大于 80°。

2 梯子间相邻两个平台的垂直距离不应大于 8m。

3 梯子孔左右宽度不应小于 600mm,前后长度不应小于 700mm。

4 梯子宽度不应小于 400mm,梯阶间距不宜大于 400mm,每架梯子上端必须伸出平台不应小于 1000mm,梯子正面下端距井壁不应小于 600mm。

5.4.4 梯子间宜采用玻璃钢复合材料制作,也可采用金属等材料制作。

5.5 过放保护和稳罐装置

5.5.1 立井提升井筒应在井底设置过放保护装置,并应符合下列规定:

- 1 保护装置应具有制动和托罐两部分功能。
- 2 制动可采用柔性过放缓冲装置、楔形木罐道或其他行之有效的吸能缓冲装置,并宜优先采用柔性过放缓冲装置。
- 3 托罐装置可采用带缓冲木或缓冲橡胶的钢质托罐梁。

5.5.2 井底过放保护装置设计应符合下列要求:

- 1 过放距离必须满足现行《煤矿安全规程》的规定。
- 2 过放保护装置应能在过放距离内将全速过放的容器或平衡锤平稳的停住,并保证不再反弹。
- 3 井底过放保护装置设计最大制动减速度,对空载容器和平衡锤不得大于 $5g$,对有载人可能的空罐和重载容器不得大于 $3g$ 。
- 4 过放时井底制动与井口制动应分别进行计算。
- 5 摩擦式提升机提升过放时,井底下降容器制动始点相对井口上升容器制动始点应有一定超前距,使井口上升容器进入制动始点时,井底下降容器已对主绳失重。当始点制动减速度大于或等于 $3g$ 时,超前距数值可采用 $0.9\sim 1.3m$,在使用约 $1:80$ 斜度的楔形木罐道条件下可采用 $1.5\sim 2.0m$ 。
- 6 在各种可能载荷状态下过放时,井下容器制动终点与井上容器制动终点计算差距不应大于 $4m$ 。
- 7 井底过放保护装置的制动性能应长期保持稳定。
- 8 如采用楔形木罐道,应符合下列规定:
 - 1)材料宜采用红松,并应进行防变形、防潮、防腐蚀处理。
 - 2)设计计算中所需的单位变形体积吸收能量 E_A 可取 $5\times 10^7 J/m^3$ 。
 - 3)每根罐道允许有接头,但接头应在罐道梁处。
 - 4)楔形木罐道与矩形钢罐道连接处,两罐道的宽度应一致。

楔形木斜度根据制动距离的要求由计算确定。楔形木最大宽度不得大于正常段宽度的 1.55 倍。不与主罐道接轨的楔形木的正常段宽度由容器的制动罐耳确定。

9 井底托罐梁的设置应符合下列规定：

- 1) 托罐梁顶面距最大载荷状态下计算制动终点时的容器底面不得小于 1.5m, 这段预留的安全制动能量不得小于最大制动能量的 30%。
- 2) 井上最大过卷高度不得大于井底最大过放高度 2m。
- 3) 托罐梁及其支持梁强度应按承受 4 倍最大制动载荷不产生永久变形设计。
- 4) 当制动盘接触托罐梁顶面时, 托罐梁顶面与容器底面宜保持 200mm 的间隙。

10 尾绳防扭结、防磨等保护装置可设在托罐梁梁底或腹部；尾绳保护装置下应设检修平台。

11 井底过放部分的井筒装备, 应有切实可行的检修措施, 可采用检修小罐笼或梯子间, 且能使检修人员易于通行至各层罐道梁和罐道连接处。

5.5.3 有人员上、下的井筒, 在井下各水平进出车两侧马头门上方井壁与容器间应设防砸保护板。

5.5.4 井筒淋水较大的罐笼井, 井底各水平进出车两侧马头门上方沿井壁应做截水槽, 用管路沿两边将水导引至水沟。马头门两侧应做淋水棚, 装卸长度较大材料时, 一侧的淋水棚可移动, 另一侧固定。棚顶材料应采用耐腐蚀、阻燃的非金属板材。

截水槽和防砸板可合并设置。

5.5.5 罐笼井马头门、箕斗井装载硐室处井筒内应设钢套架, 支承该处的罐道、安全门等, 结构应采用螺栓连接。并应符合下列要求：

1 套架立柱间在不影响使用位置加横梁连接, 边立柱要与侧壁加横向支撑, 井筒内两边梁可加水平支撑与井壁连接。

2 采用端面刚性罐道或绳罐道的井筒在钢套架处应变换成刚性侧罐道或四角罐道,四角罐道应能承受容器运行正常水平力和装载冲击力,保证刚度,防止变形。

3 箕斗井可只变换装载端为角罐道,后部仍为连续端面刚性罐道。

4 在不经常进出车的端面罐道罐笼井管子道,可不变换罐道形式而采用可左右移动或上下伸缩的活动端罐道。

5 在不经常进出车的绳罐道罐笼井中间水平,可采用活动四角稳罐装置。

5.5.6 托罐梁、楔形木罐道顶梁,钢套架顶梁、底梁应预留梁窝固定,其他楔形罐道梁、钢套架支承梁等可用树脂锚杆托架固定。

5.5.7 井口、井底或中间水平应设置下列平台:

1 井口在接近井颈水平处设置主绳活动验绳平台;摩擦式提升机提升的罐笼井底接近出车水平处、箕斗井接近装载水平处应设置尾绳活动验绳平台。收起时活动平台应加锁紧机构。

2 双层或多层罐笼间同时上下人员的井筒,井底水平应设置人行平台或人行地道,人行平台在长材料侧应设计成可开启结构。平台两边缘处至硐顶净高不得小于 1.6m。

3 井上下与井筒连接的各轨道水平、人行地道、管子道等通道处,应将提升容器与井壁之间或井梁与井壁之间的空缺部分进行铺板。铺板的侧边应加护栏防止人员坠井。

4 各平台应设置人员进出的梯子或通道。

5 人行平台、淋水棚、防砸板、截水槽及各通道铺板与提升容器之间安全间隙不应小于 50mm。

5.6 管路及电缆的敷设

5.6.1 井筒中各类管路的敷设一般应符合以下要求:

1 管路布置应考虑安装、检修和更换方便,并宜集中一侧布置,以利于用同一托管梁。

2 在设有梯子间的井筒中,管路宜靠近梯子间主梁或罐道梁、并与罐笼长边平行布置。管子导向梁宜利用罐道梁或梯子梁,其层间距宜与罐道梁,梯子梁相一致。

5.6.2 井筒中各类电缆的敷设应符合以下要求:

- 1 电缆敷设应考虑出线简单,易于安装、检修和更换。
- 2 电缆悬挂点的间距,在立井井筒内一般不超过 6m,并宜与罐道梁、梯子梁的层间距相一致。
- 3 在同一井筒内的通信电缆应敷设在距动力电缆 0.3m 以外的地方。
- 4 各类电缆卡应留有备用量。

6 井筒支护

6.1 普通法凿井井筒支护

6.1.1 普通法凿井的井筒宜采用整体浇筑混凝土、钢筋混凝土井壁支护。提升井不得采用喷射混凝土和金属网、喷射混凝土及锚杆、金属网、喷射混凝土作为永久支护。有条件时,可采用料石、混凝土砌块支护。

6.1.2 井壁接茬处,应采取可靠的封水措施。

6.1.3 井壁所受径向荷载标准值计算应符合下列规定:

1 表土段井壁所受径向荷载标准值计算。

1) 均匀荷载标准值应按下列公式计算:

$$P_k = 0.013H \quad (6.1.3-1)$$

式中 P_k ——作用在结构上的均匀荷载标准值(MPa);

0.013——似重力密度(MN/m³);

H ——所设计的井壁冲积层计算处深度(m)。

2) 不均匀荷载标准值应按下列公式计算:

$$P_{A,k} = P_k \quad (6.1.3-2)$$

$$P_{B,k} = P_{A,k}(1 + \beta_i) \quad (6.1.3-3)$$

$$\beta = \frac{\tan^2\left(45^\circ - \frac{\phi - 3}{2}\right)}{\tan^2\left(45^\circ - \frac{\phi + 3}{2}\right)} \quad (6.1.3-4)$$

式中 $P_{A,k}$ 、 $P_{B,k}$ ——最小、最大荷载标准值(MPa);

β_i ——冲击地层不均匀荷载系数;

ϕ ——土层内摩擦角,以井筒检查钻孔资料为准,也可按表 6.1.3-1 选用或查本规范附录 A。

表 6.1.3-1 岩(土)层水平荷载系数 A_n 值

秦氏 岩(土)层 分类	物理机械特征			岩(土)层水平荷载系数 A_n	
	抗压强度 (MPa)	内摩擦角 ϕ		最大~最小	平均
		最大~最小	平均		
砂层	—	$0^\circ \sim 18^\circ$	9°	1.0~0.64	0.757
松散岩石	—	$18^\circ \sim 26^\circ 34'$	$22^\circ 15'$	0.64~0.5	0.526
软地层	—	$26^\circ 34' \sim 50^\circ$	$38^\circ 15'$	0.5~0.3	0.387
弱岩层	2~10	$50^\circ \sim 70^\circ$	60°	0.3~0.031	0.164
中硬岩层	10~40	$70^\circ \sim 80^\circ$	75°	0.031~0.008	0.017

2 基岩段井壁所受径向荷载标准值计算。

1) 均匀荷载标准值应按下列公式计算：

$$P_{n,k}^s = (\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \cdots + \gamma_{n-1} h_{n-1}) A_n \quad (6.1.3-5)$$

$$P_{n,k}^x = (\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \cdots + \gamma_n h_n) A_n \quad (6.1.3-6)$$

$$A_n = \tan^2(45^\circ - \phi_n/2) \quad (6.1.3-7)$$

式中 $P_{n,k}^s$ 、 $P_{n,k}^x$ ——第 n 层岩层顶、底板作用井壁上的均匀荷载标准值(MPa)；

h_1 、 h_2 、 \cdots 、 h_n ——各岩层厚度(m)；

γ_1 、 γ_2 、 \cdots 、 γ_n ——各岩层重力密度(MN/m³)；

A_n ——岩(土)层水平荷载系数；可按表 6.1.3-1 选用；

ϕ_n ——第 n 层岩层内摩擦角，以井筒检查钻孔资料为准，也可按表 6.1.3-1 选用或查本规范附录 B。

2) 不均匀荷载标准值应按下列公式计算：

$$P_{A,k} = P_{n,k}^x \quad (6.1.3-8)$$

$$P_{B,k} = P_{A,k}(1 + \beta_y) \quad (6.1.3-9)$$

式中 β_y ——岩层水平荷载不均匀系数，可按表 6.1.3-2 选用。

表 6.1.3-2 岩层水平荷载不均匀系数 β

岩层倾角	$\leq 55^\circ$	$\leq 65^\circ$	$\leq 75^\circ$	$\leq 85^\circ$
水平荷载不均匀系数 β_y	0.2	0.3	0.4	0.5

3) 岩层破碎带均匀荷载标准值应按下列公式计算:

$$P_{n,k}^s = (\gamma_{k+1}h_{k+1} + \gamma_{k+2}h_{k+2} + \cdots + \gamma_{n-1}h_{n-1})A_n \quad (6.1.3-10)$$

$$P_{n,k}^x = (\gamma_{k+1}h_{k+1} + \gamma_{k+2}h_{k+2} + \cdots + \gamma_n h_n)A_n \quad (6.1.3-11)$$

式中 k ——破碎带以上岩层层数。

6.1.4 冲积层段井壁所受的竖向荷载标准值应按下列公式计算:

$$Q_{z,k} = Q_{z1,k} + Q_{f,k} + Q_{1,k} + Q_{2,k} \quad (6.1.4-1)$$

$$Q_{f,k} = P_{f,k} \times F_w \quad (6.1.4-2)$$

式中 $Q_{z,k}$ ——井壁所受的竖向荷载标准值(MN);

$Q_{z1,k}$ ——计算截面以上井壁自重标准值(MN);

$Q_{f,k}$ ——计算截面以上井壁所受竖向附加力标准值之和(MN);

$P_{f,k}$ ——计算截面以上井壁单位外表面积竖向附加力标准值(MN/m²);

F_w ——计算截面以上井壁外表面积(m²);

$Q_{1,k}$ ——直接支承在井筒上的井塔重量标准值(MN);

$Q_{2,k}$ ——计算截面以上井筒装备重量标准值(MN)。

6.1.5 当井塔直接支承在井筒上时,井塔影响段井壁应考虑 N_0 、 Q_0 、 M_0 等荷载的作用。

N_0 ——井塔嵌固水平的轴向力(MN);

Q_0 ——井塔嵌固水平的水平力(MN);

M_0 ——井塔嵌固水平的弯矩(MN·m)。

6.1.6 井筒支护中,井壁结构的承载力设计应采用下列设计表达式:

$$S(\nu_k P_k) \leq R \quad (6.1.6-1)$$

$$R = R(f_c, f_y', \dots) \quad (6.1.6-2)$$

式中 $S(\cdot)$ ——内力组合计算函数;

ν_k ——结构的安全系数,见表 3.0.2;

R ——结构的承载力;

$R(\cdot)$ ——结构的承载力函数；

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值(MN/m²)；

f'_y ——普通钢筋抗压强度设计值(MN/m²)。

6.1.7 冲积层段井壁不同受力状态下的安全系数选取应符合表 3.0.2 的规定。

6.1.8 普通法凿井井筒的井壁厚度可按下列规定拟定：

1 通过工程类比初步拟定。

2 按下列公式计算初步拟定混凝土井壁厚度：

$$t = r_n \left(\sqrt{\frac{f_s}{f_s - 2P}} - 1 \right) \quad (6.1.8-1)$$

$$\text{混凝土井壁: } f_s = 0.85 f_c \quad (6.1.8-2)$$

$$\text{钢筋混凝土井壁: } f_s = 0.9(f_c + \rho_{\min} f'_y) \quad (6.1.8-3)$$

$$P = \nu_k P_k \quad (6.1.8-4)$$

式中 t ——井壁厚度(m)；

r_n ——计算处井壁内半径(m)；

f_s ——井壁材料强度设计值(MN/m²)；

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值(MN/m²)；

f'_y ——普通钢筋抗压强度设计值(MN/m²)；

P ——计算处作用在井壁上的设计荷载计算值(MPa)；

ρ_{\min} ——井壁圆环截面的最小配筋率，应按本规范第 6.1.10 条规定采用。

6.1.9 冲积层段井筒的井壁圆环内力及承载力应按本规范附录 C 中 C.1.1 和 C.1.2 的规定计算。

6.1.10 钢筋混凝土井壁配筋应符合下列规定：

1 全截面配筋率不应小于 0.4%；当采用 HRB400 级、RRB400 级钢筋时，配筋率不应小于 0.3%；当混凝土强度等级为 C60 及以上时，配筋率不应小于 0.5%。

2 截面单侧配筋率不应小于 0.2%。

3 配置构造钢筋应符合表 6.1.10 的规定。

表 6.1.10 井壁构造配筋

井筒深度(m)	钢筋最小直径(mm)	钢筋最大间距(mm)	钢筋最小间距(mm)
100	16	300~330	200
200	18	300	200
>300	20	300	150

4 钢筋保护层(钢筋外边缘至混凝土表面的距离)厚度,内缘钢筋宜为 50mm;外缘钢筋宜为 70mm。

6.1.11 井壁纵向承载力应按下式计算:

$$Q_{Z,k} \leq f_c A_0 + f_y A_z \quad (6.1.11)$$

式中 A_z ——竖向钢筋横截面积(m^2);

A_0 ——计算截面井壁横截面面积(m^2);

f_y ——普通钢筋抗拉强度设计值(MN/m^2)。

6.1.12 井塔(架)影响段井壁应按本规范附录 D 的规定计算。

6.1.13 基岩段井筒的井壁厚度可按以下规定确定:

1 按类比法确定。

2 采用表 6.1.13 推荐的经验数值。

3 有条件时,可按本规范第 6.1.3 条、6.1.8 条及附录 C 中 C.1.1 和 C.1.2 中有关公式计算。

表 6.1.13 基岩井壁厚度经验数值

井筒直径 (m)	井壁厚度(mm)			壁后充填厚度 (mm)
	混凝土	料石	混凝土砌块	
3.0~4.5	300	300~350	400	混凝土砌块、料石井壁的壁后充填为 100mm; 现浇混凝土为 0
4.5~5.0	300~350	350~400	400	
5.0~6.0	350~400	400~450	500	
6.0~7.0	400~450	450~500	500	
7.0~8.0	450~500	500	600	

注:1 本表厚度不包括壁后充填。

2 混凝土强度等级不得低于 C25。

3 本表适用于深度不大于 600m 的井筒,对于深度大于 600m 的井筒,可适当加大井壁厚度或提高混凝土强度等级。

6.2 冻结法凿井井筒支护

6.2.1 冻结法凿井井筒支护应符合下列规定：

- 1 冻结法凿井井筒掘砌深度必须进入稳定基岩一定距离作为壁基。壁基高度由计算确定,并不应小于 10m。
- 2 采用如图 6.2.1 所示井壁结构形式时,壁基高度应按下列式计算：

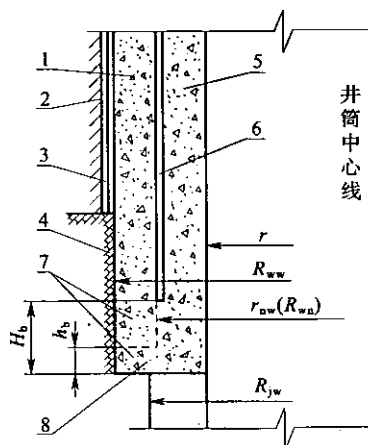


图 6.2.1 壁基、壁座高度计算简图

1—外井壁;2—冲积层;3—泡沫塑料板;4—基岩;
5—内井壁;6—塑料夹层;7—壁基;8—壁座

$$H_b \geq \frac{G + N_t - \pi(R_{ww}^2 - R_{jw}^2)[\sigma] - \pi(R_{jw}^2 - r^2)f_c}{2\pi R_{ww}\sigma_n - G_1} \quad (6.2.1-1)$$

式中 H_b ——壁基高度(m);

G ——壁基以上井筒内、外井壁的计算重量(MN);

N_t ——壁基以上井筒所受到的竖向附加力计算值(MN);

r ——井筒内半径(m);

R_{wn} ——外井壁内半径(m);

R_{ww} ——外井壁(壁基)外半径(m);

R_{jw} ——基岩段井壁外半径(m);

G_1 ——每延米壁基的计算重量(MN);

$[\sigma]$ ——壁基下部围岩容许压应力(MPa);坚硬致密的岩层, $[\sigma]=3.0\sim3.5$ MPa;中等硬度的岩层, $[\sigma]=2.5$ MPa;软岩层, $[\sigma]=2.0$ MPa;

σ_n ——壁基外缘与围岩的黏结强度(MPa), $\sigma_n=0.5\sim2.0$ MPa,混凝土强度等级高、围岩岩性好, σ_n 取上限,反之取下限。

3 冻结法凿井井筒掘砌深度应在井筒冻结深度之上5~8m,井筒净直径、井筒冻结深度较大时,可适当加大。

4 冻结法凿井的井筒宜采用复合井壁、双层钢筋混凝土或混凝土井壁支护。

5 冻结法凿井井筒掘砌的底部必须将一定高度的内、外层井壁整体浇筑作为壁座。

6 整体壁座应符合下列规定:

1)壁座的结构形式应根据围岩强度、壁座所承受的荷载、井壁结构形式等经计算确定。

2)采用如图6.2.1所示井壁及壁座的结构形式时,壁座厚度不应小于内、外层井壁厚度之和;其高度应按下式计算,但不应小于4m。

$$h_b \geq \frac{G_n}{2\pi r_{nw} [f_j]} \quad (6.2.1-2)$$

式中 h_b ——内外井壁整体浇筑段高度(m);

G_n ——整体浇筑段以上井筒内井壁的计算重量(MN);

r_{nw} ——内井壁外半径(m);

$[f_j]$ ——混凝土容许抗剪强度(MN/m²)。

3)内、外层井壁整体浇筑部分以下井壁应渐变至正常基岩段井壁厚度。

7 冻结壁与现浇混凝土外层井壁之间,宜根据冻结壁的位移量铺设 25~75mm 厚的泡沫塑料板。

8 宜在内外层井壁之间铺设塑料夹层,厚度以 1.5~3.0mm 为宜,也可铺设二层柔韧性较好的沥青油毡。

9 冻结段井筒双层井壁之间宜进行注浆防水。

10 冻结段井筒内层、外层井壁厚度均不应小于 300mm。

6.2.2 冻结法凿井井壁钢筋配置应同时满足以下要求:

1 井壁配筋率应根据计算确定。最小配筋率应符合本规范第 6.1.10 条有关规定。

2 竖向钢筋宜优先选用直螺纹或锥螺纹连接,连接质量应符合国家现行标准《钢筋机械连接通用技术规程》JGJ 107 中有关规定的最高等级;钢筋搭接长度应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 有关规定。

3 钢筋间距宜控制在 150~330mm。构造钢筋配置应符合本规范表 6.1.10 规定。

6.2.3 井壁所受径向荷载标准值应按下列公式计算:

1 内、外层井壁整体所受径向荷载标准值计算:

1) 均匀荷载标准值应按本规范 6.1.3-1 式计算。

2) 不均匀荷载标准值:

$$P_{A,k} = P_k \quad (6.2.3-1)$$

$$P_{B,k} = P_{A,k}(1 + \beta_t) \quad (6.2.3-2)$$

式中 β_t ——冲积地层不均匀荷载系数,冻结法凿井时, $\beta_t = 0.2 \sim 0.3$ 。

2 内、外层井壁分别承受的径向荷载标准值计算:

1) 内层井壁荷载标准值:

$$P_{n,k} = 0.01k_z H \quad (6.2.3-3)$$

式中 $P_{n,k}$ ——内层井壁所承受的荷载标准值(MPa);

k_z ——荷载折减系数,一般取 0.81~1.00;

0.01——水的似重力密度(MN/m³)。

2)外层井壁荷载:

外层井壁承受的冻结压力 $P_{d,k}$ 可按本规范表 6.2.3 选取。

表 6.2.3 不同深度黏土层的冻结压力标准值

表土层深度(m)	100	150	200~400	400~500
冻结压力 $P_{d,k}$ (MPa)	1.2~1.5	1.5~1.8	0.01H	(0.01~0.012)H

注:表中 H 为冲积地层深度(m)。

6.2.4 井壁所受的竖向荷载标准值应按本规范 6.1.4-1 式计算。

6.2.5 井塔荷载应按本规范第 6.1.5 条执行。

6.2.6 冻结法凿井井筒支护强度应满足下列要求:

1 井筒支护强度应符合下列要求:

- 1)承受径向均匀荷载的作用。
- 2)承受径向不均匀荷载的作用。
- 3)承受竖向荷载的作用。
- 4)保证井筒整体的稳定性。

2 内层井壁强度应满足作用在内层井壁上荷载的要求。

3 外层井壁强度应满足冻胀荷载作用力及井壁吊挂、抗裂、稳定性计算的要求。

4 当井塔直接支承在井筒上时,井塔影响段井筒必须采用经计算确定的双层钢筋混凝土井壁结构。

6.2.7 冻结法凿井井筒的井壁结构承载力设计应采用本规范式(6.1.6-1)和式(6.1.6-2)。

6.2.8 冻结法凿井井壁不同受力状态下的安全系数选取应符合表 3.0.2 的规定。

6.2.9 冻结法凿井井筒的井壁厚度应按下列式计算初步拟定:

$$\iota = r_n \left(\sqrt{\frac{f_s}{f_s - 2P}} - 1 \right) \quad (6.2.9-1)$$

$$\text{混凝土井壁: } f_s = 0.85 f_c \quad (6.2.9-2)$$

$$\text{钢筋混凝土井壁: } f_s = 0.9(f_c + \rho_{\min} f_y') \quad (6.2.9-3)$$

$$P = \nu_k P_k \quad (6.2.9-4)$$

式中 P ——计算处作用在井壁上的设计荷载计算值(MPa)。根据不同受力状况,采用冻土压力、均匀水土压力、静水压力等相应的荷载计算值。

6.2.10 均匀压力作用下的井壁圆环内力及承载力应按本规范附录 C 中 C.1.1 的规定计算。

6.2.11 不均匀压力作用下的井壁整体圆环内力及承载力应按本规范附录 C 中 C.1.2 的规定计算。

6.2.12 井壁纵向承载力应按下列规定计算:

1 井壁在自重力和附加力等共同作用下的纵向承载力应按本规范第 6.1.11 条的有关规定计算。

2 外层井壁在吊挂力作用下的承载力应按下列公式计算:

$$N_d \leq f_y A_s \quad (6.2.12-1)$$

$$N_{d,k} = \pi \gamma_h h_d (R_{ww}^2 - R_{wn}^2) \quad (6.2.12-2)$$

$$N_d = \nu_k N_{d,k} \quad (6.2.12-3)$$

式中 N_d ——井壁吊挂力的计算值(MN);

f_y ——普通钢筋抗拉强度设计值(MN/m²);

$N_{d,k}$ ——井壁吊挂力的标准值(MN);

h_d ——井壁吊挂段高(m),取 $h_d = 15 \sim 20$ m;

γ_h ——混凝土(或钢筋混凝土)的重力密度(MN/m³)。

6.2.13 井塔(架)影响段井壁应按本规范附录 D 的有关规定计算。

6.2.14 井壁环向稳定性应按本规范附录 C 中 C.2 的规定计算。

6.2.15 三向应力作用下井壁的承载力可按本规范附录 C 中的 C.3 的规定计算。

6.3 钻井法凿井井筒支护

6.3.1 钻井法凿井的井壁结构应按所受地压进行设计,并应考虑竖向荷载对井壁的影响;井壁底应按井壁悬浮下沉时所受到的内

外压力进行设计。

6.3.2 井筒支护深度必须进入不透水的稳定基岩,进入深度应根据所需抵抗井壁下滑的围抱力等因素确定,但不得小于 10m。

6.3.3 提升井筒设计净直径应按下列规定计算。

1 当井筒中心的坐标可按成井实测位置调整时:

$$D_s = D_y + H \cdot \eta \quad (6.3.3-1)$$

2 当井筒中心的坐标不允许按成井实测位置调整时:

$$D_s = D_y + 2H \cdot \eta \quad (6.3.3-2)$$

式中 D_s ——井筒净断面的设计直径(m);

D_y ——井筒净断面的有效直径(m);

H ——井壁设计深度(m);

η ——设计采用的成井偏斜率(‰),提升井 $\eta \leq 0.4\%$;非提升井 $\eta \leq 0.8\%$ 。

6.3.4 根据井筒支护材料及结构不同,井壁结构可分为钢筋混凝土井壁和钢板-混凝土复合井壁等类型,应优先选用钢筋混凝土井壁。

6.3.5 钢筋混凝土井壁的混凝土强度等级不宜小于 C30;受力钢筋宜采用 HRB335 级、HRB400 级、RRB400 级钢筋,联系筋可采用 HPB235 级钢筋;法兰盘宜采用 Q235 钢。

6.3.6 钢板-混凝土复合井壁的混凝土强度等级不宜低于 C45;受力钢筋宜采用 HRB335 级、HRB400 级、RRB400 级钢筋,联系筋可采用 HPB235 级钢筋;钢板筒宜采用 Q235 钢或 16Mn 钢,钢板厚度除满足计算要求外,还应预留有 2mm 的腐蚀层,钢板厚度宜为 15~50mm。

6.3.7 钢板-混凝土复合井壁根据钢板位置不同可分为内层钢板和外层钢筋混凝土复合井壁、双层钢板和混凝土夹层复合井壁等。设计中应根据地压大小、井筒特征、技术经济因素等合理选用。

6.3.8 内层钢板筒的设置应符合以下规定:

1 钢板筒内侧必须进行防腐蚀处理。

2 钢板筒外侧应设置锚固件。

3 必须设置若干个直径 10~20mm 的泄水孔。

4 泄水孔孔间距以 2.5m 为宜。

6.3.9 井壁的节高应按提吊设备能力确定,并应与井筒装备罐道梁层间距相适应,除最上部一节外,最小节高不宜小于 3m,宜控制在 3.5~8m。

6.3.10 每节井壁应设上法兰盘和下法兰盘。法兰盘可采用单钢板法兰盘、型钢法兰盘和梁板式法兰盘等型式。单钢板和梁板式法兰盘板厚不宜小于 15mm,型钢法兰盘槽钢型号不宜小于 16 号普通槽钢,角钢宜选用边长 80~100mm 的角钢。加劲肋板厚度不宜小于 10mm,间距宜为 200~300mm。

6.3.11 井壁应进行节间注浆,并应在钢筋混凝土井壁的下法兰盘上留设注浆管,在钢板混凝土井壁的下端留有节间注浆孔;当钢筋混凝土井壁采用节间注浆时,法兰盘内外缘应采用连续焊缝焊接;当井壁非节间注浆时,可在法兰盘外缘采用连续焊缝焊接,在内缘采用螺栓连接。

6.3.12 当井筒深度小于 400m 时,自马头门上方不少于 15m 范围内,继续掘进的井筒,在井壁底上方不少于 25m 范围内和井壁底应设检查孔;当井筒深度大于 400m 时,在马头门或井壁底结构上方预留壁后检查孔的范围应适当加大。检查孔应沿井壁周围均匀布置,每个水平不应少于 4 个,水平间高差不应大于 5m,上下水平孔位应居中错开,并应保证马头门上方有孔。

6.3.13 井壁底结构形式应根据井筒深度、提吊设备能力、施工捣固混凝土的质量水平、模壳加工难易程度等因素选择,宜选用削球壳、半球壳和半椭圆回转扁球壳等形式,其厚度宜与井壁厚度相同。

6.3.14 井壁和井壁底中受力钢筋的混凝土保护层厚度(钢筋外边缘至混凝土表面的距离)不应小于 40mm。

6.3.15 井壁钢筋最小配筋率不应小于 0.4%;井壁环向钢筋间距不宜小于 150mm,竖向钢筋间距不宜小于 220mm;竖向钢筋两端应与井壁法兰盘焊接。

6.3.16 井壁底结构组合壳的含筋率不应小于 0.8%，其余部分含筋率不应小于 0.4%，钢筋宜采用内外层对称配置。当井壁底中心部分钢筋布置过分密集时，可采用圆形钢板代替，其含钢量不应低于计算含筋量。

6.3.17 井壁底结构径向钢筋应延伸至井壁筒体内，作为井壁筒体的竖向钢筋。

6.3.18 井壁内钢筋的接头应优先采用焊接接头，焊接接头除应满足现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 有关要求外，接头质量应符合国家现行标准《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18 的规定。

6.3.19 当井壁内钢筋采用搭接接头时，其搭接长度不应小于表 6.3.19 中规定的数值：

表 6.3.19 受力钢筋搭接时的最小搭接长度

钢筋类型		最小搭接长度
I 级钢筋		20d
月牙纹	II 级钢筋	25d
	III 级钢筋	30d

6.3.20 受力钢筋接头的位置应相互错开。当采用非焊接的搭接接头时，从任一接头中心至 1.3 倍搭接长度的区段范围，或当采用焊接接头时在任一焊接接头中心至长度为钢筋直径 35 倍的区段范围且不小于 500mm，有接头的受力钢筋截面面积占受力钢筋总截面面积的百分率应符合表 6.3.20 的规定。

表 6.3.20 接头区段内钢筋接头面积的允许百分率

接头形式	接头面积允许百分率(%)	
	受拉区	受压区
绑扎骨架的搭接接头	25	50
焊接骨架的搭接接头	50	50
受力钢筋焊接接头	50	不限制

6.3.21 吊环的设置应符合以下规定：

- 1 必须采用热轧碳素圆钢制作，严禁冷弯加工。
- 2 宜采用预埋方式固定。
- 3 采用预埋方式固定时，埋入井壁深度不应小于 $30d$ (d 为吊环圆钢直径)，且不应小于 1m ，并应焊接或绑扎在钢筋网上。
- 4 吊环应在井壁上对称布置；吊环个数不应少于 8 个，并宜为 4 的倍数。

6.3.22 每个吊环圆钢截面面积可按下列公式计算：

$$A_s = \nu_d \times \nu_1 \times \frac{Q_j}{f_{y,y}} \times \frac{1}{2 \times n_d} \quad (6.3.22)$$

式中 A_s ——吊环圆钢截面面积(mm^2)；

ν_d ——吊装动力系数，取 $\nu_d = 1.5$ ；

ν_1 ——吊环受力不均匀系数，取 $\nu_1 = 1.35$ ；

Q_j ——起吊井壁重量(N)；

$f_{y,y}$ ——圆钢抗拉强度设计值(N/mm^2)；

n_d ——吊环个数(个)。

6.3.23 井壁法兰盘连接应符合本规范附录 E 中 E.1 的要求。

6.3.24 井壁法兰盘计算应符合本规范附录 E 中 E.2 的要求。

6.3.25 钢板筒和法兰盘的加工与焊接应符合以下规定：

1 钢板-混凝土复合井壁中的钢板筒和井壁连接法兰盘可分段(片)加工与焊接，分段(片)尺寸应根据井筒直径、井壁节高及运输、加工等因素确定。

2 钢板筒和法兰盘各段(片)之间应采用对接焊缝，对接焊缝的坡口形式和尺寸应符合现行国家标准《手工电弧焊焊接接头的基本形式与尺寸》GB 985 和《埋弧焊焊接接头的基本形式与尺寸》GB 986 的有关规定。

3 钢板筒和法兰盘各组件之间连接焊缝金属宜与基本金属相适应。当不同强度的钢材连接时，可采用与低强度钢材相适应的焊接材料。

4 钢板筒和法兰盘各组件之间连接焊缝质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工及验收规范》GB 50205 中相关规定。

6.3.26 井壁及井壁底外荷载标准值应按以下规定计算：

1 井壁所受永久径向均匀荷载标准值：

$$\text{冲积地层段: } P_k = 0.012H \quad (6.3.26-1)$$

$$\text{基岩段: } P_{j,k} = 0.010H \quad (6.3.26-2)$$

式中 $P_{j,k}$ ——基岩段井壁所受径向均匀荷载标准值(MPa)；

H ——所设计的井壁计算处深度(m)；

0.012——似重力密度(MN/m³)；

0.010——水的似重力密度(MN/m³)。

2 井壁所受径向不均匀荷载标准值：

$$P_{a,k} = P_{A,k}(1 + \beta_z \sin \theta) \quad (6.3.26-3)$$

$$\text{冲积地层段: } P_{A,k} = 0.012H \quad (6.3.26-4)$$

$$\text{基岩段: } P_{A,k} = 0.010H \quad (6.3.26-5)$$

式中 $P_{a,k}$ ——井壁所受径向不均匀荷载标准值(MPa)；

$P_{A,k}$ ——井壁外侧所受最小荷载标准值(MPa)；

β_z ——不均匀压力系数,钻井法施工时,取 0.10~0.20；

θ ——不均匀荷载分布角度(度),取 0°~90°。

3 井壁所受竖向荷载标准值应按本规范 6.1.4 式计算。

4 井壁运输(提吊)时所受到的竖向荷载标准值应按下列公式计算：

$$N_{z,k} = q_f \times h_z \quad (6.3.26-6)$$

式中 $N_{z,k}$ ——提吊时井壁受到的竖向荷载标准值(MN)；

q_f ——单位长度井壁的重力(MN/m)；

h_z ——井壁节高(m)。

5 井壁底所受临时荷载标准值应按下列公式计算：

$$P_{w,k} = \gamma_w H_w \quad (6.3.26-7)$$

$$P_{n,k} = \gamma_n H_n \quad (6.3.26-8)$$

式中 $P_{w,k}$ ——泥浆压力标准值(MPa)；

$P_{n,k}$ ——配重水压力标准值(MPa);

γ_w ——泥浆的重力密度(MN/m³)取 0.012,井壁悬浮下沉初期应取 $\gamma_w=0.010$ MN/m³;

γ_n ——配重水的重力密度(MN/m³)取 0.010;

H_w ——泥浆液面距井壁底底部高度(m);

H_n ——配重水液面距井壁底底部高度(m)。

6.3.27 钻井法凿井井壁不同受力状态下的安全系数选取应符合表 3.0.2 规定。

6.3.28 钻井法凿井井筒的井壁厚度应按下列公式计算初步拟定:

1 薄壁圆筒($t < r_0/10$)井壁:

$$t = \frac{P \times r_n}{f_s - P} \quad (6.3.28-1)$$

2 厚壁圆筒($t \geq r_0/10$)井壁:

$$t = r_n \left(\sqrt{\frac{f_s}{f_s - 2P}} - 1 \right) \quad (6.3.28-2)$$

$$f_s = 0.9(f_c + \rho_{\min} f_y') \quad (6.3.28-3)$$

$$P = \nu_k P_k \quad (6.3.28-4)$$

式中 P ——计算处作用在井壁上的设计荷载计算值(MPa),根据不同受力状况,采用均匀水土压力、静水压力、泥浆压力等相应的荷载计算值;

ρ_{\min} ——最小配筋率, $\rho_{\min} = 0.4\%$ 。

6.3.29 均匀压力作用下的井壁圆环内力及承载力应按本规范附录 C 的 C.1.1 中关于钢筋混凝土井壁的规定计算。

6.3.30 不均匀压力作用下的井壁圆环内力及环向钢筋配筋应按本规范附录 F 中 F.1、F.2 的规定计算。

6.3.31 井壁竖向钢筋配筋应按本规范附录 F 中 F.3 的规定计算。

6.3.32 半球和削球式井壁底可按本规范附录 G 的规定计算。

6.3.33 半椭圆回转扁球壳井壁底可按本规范附录 H 中的规定计算。

6.3.34 井壁稳定性应按以下规定验算：

- 1 井壁环向稳定性应按本规范附录 C 中 C.2 的规定验算。
- 2 等厚井壁的竖向稳定性宜按下列公式验算：

$$H_{cr} = \sqrt[3]{\frac{AE_c I}{q \times 10^2}} \geq H \quad (6.3.34-1)$$

$$A = \frac{\pi^2}{4(0.13137 - 0.00535K_{CT})} \quad (6.3.34-2)$$

$$K_{CT} = \frac{10A_1 \cdot \gamma_w}{q} \quad (6.3.34-3)$$

$$q = q_s + q_w \quad (6.3.34-4)$$

式中 H_{cr} ——井壁临界深度(m)；

I ——井筒横截面惯性矩(m^4)；

q_s ——延米井壁重量(kN/m)；

q_w ——延米井筒内平衡水重量(kN/m)；

A_1 ——井筒的外断面积(m^2)；

A ——系数值,可按表 6.3.34 选取；

K_{CT} ——系数值。

表 6.3.34 井壁稳定计算系数

K_{CT}	A	K_{CT}	A	K_{CT}	A
0.0	18.76	0.70	19.33	0.84	19.45
0.1	18.85	0.72	19.35	0.86	19.46
0.2	18.94	0.74	19.37	0.88	19.48
0.3	19.01	0.76	19.38	0.90	19.50
0.4	19.09	0.78	19.40	1.00	19.58
0.5	19.17	0.80	19.41	—	—
0.6	19.25	0.82	19.43	—	—

6.3.35 钢板-混凝土复合并壁承载力应按本规范附录 J 的规定计算。

6.3.36 每节钢板-混凝土复合井壁上端应留有吊钩;中部宜留壁后注浆孔。

6.3.37 井壁下沉过程中,内外层钢板对接时均必须焊接。可沿外层钢板节间四周采用厚度 10mm、宽度约为 200mm 的钢带补焊。

6.4 沉井法凿井井筒支护

6.4.1 沉井法凿井井筒支护宜采用现浇钢筋混凝土井壁;井壁厚度应同时满足所受地压作用和井壁下沉要求。

6.4.2 沉井井壁下沉深度应进入不透水稳定地层 3.0m 以上。

6.4.3 沉井井筒内直径及外直径应按式计算:

$$d = d_1 + H \cdot \eta \quad (6.4.3-1)$$

$$D = d + 2h \quad (6.4.3-2)$$

式中 d ——沉井设计内直径(m);

d_1 ——沉井有效内直径(m);

H ——沉井有效深度(m);

D ——沉井井筒外直径(m);

h ——沉井井壁厚度(m);

η ——沉井允许偏斜率(%),不得大于 0.5%。

6.4.4 现浇钢筋混凝土井壁的混凝土强度等级不宜小于 C30;受力钢筋宜采用 HRB335 级、HRB400 级、RRB400 级钢筋,联系筋可采用 HPB235 级钢筋;刃脚钢板筒宜采用 Q235 钢或 16Mn 钢。

6.4.5 沉井井壁刃脚设计应符合以下规定:

- 1 刃脚可采用锐角、钝尖和踏面断面形状。
- 2 刃脚宜采用钢筋混凝土钝尖,再穿钢靴的复合结构。
- 3 刃脚钢靴的类型及设计应符合以下规定:
 - 1) 钢板钢靴,钢板厚度不宜大于 20mm;
 - 2) 圆钢钢靴,圆钢直径不宜大于 28mm;
 - 3) 钢轨钢靴,钢轨规格不宜大于 24kg/m。

- 4 刃脚钢靴高度不宜小于 500mm。
 - 5 刃脚外壁应做成锥形；锥角宜向外倾斜，倾斜率应按 1%~2% 选用。
 - 6 刃脚内应设置横向拉结钢筋，并应与钢靴的加强部件连接焊牢。
- 6.4.6 采用泥浆或压气沉井的井筒，在刃脚上方的井壁内，应均匀预埋泥浆管或压气管。
- 6.4.7 井壁钢筋设置应符合以下规定：
- 1 井壁受力钢筋间距宜采用 150~300mm。
 - 2 联系钢筋：
 - 1) 井壁联系钢筋，直径应按 8~12mm 选用；竖向间距不宜大于 600mm，水平间距不宜大于 1000mm；
 - 2) 刃脚联系钢筋，直径应按 10~24mm 选用；竖向间距不宜大于 300mm，水平间距不宜大于 500mm。
 - 3 刃脚内应均匀预埋吊挂钢筋，其直径不宜小于 16mm，间距不宜小于 300mm。
- 6.4.8 施工用的套井应符合以下要求：
- 1 采用沉井法施工的套井，应采用钢筋混凝土结构，混凝土强度等级不得低于 C30。
 - 2 套井内径应大于沉井井筒外径，其间隙不得小于 500mm。套井内、外径应按下式计算：

$$D_2 = D + 2L_1 + H_1\mu \quad (6.4.8-1)$$

$$D_3 = D_2 + 2E \quad (6.4.8-2)$$

式中 D_2 ——套井井筒内直径(m)；
 D_3 ——套井井筒外直径(m)；
 L_1 ——沉井与套井之间间隙(m)；
 H_1 ——套井总深度(m)；
 μ ——套井偏斜率(%)，不得大于 0.5%；
 E ——套井井壁厚度(m)。

3 套井结构应满足纠偏操作和储存泥浆的要求,其深度不宜大于 15m。

4 套井内应设置纠偏工作台,其位置应高于地下最高水位 1~2m。

5 套井底部应坐落在不透水的黏土层中,距下部的砂层不宜小于 3.0m。

6 套井上部应与锁口盘联成整体。

6.4.9 套井及沉井井壁的地层压力应按下列式计算:

$$P_k = 0.012H \quad (6.4.9-1)$$

6.4.10 井筒支护应符合下列规定:

1 沉井法凿井井筒的井壁结构承载力设计应采用本规范中式(6.1.6-1)和式(6.1.6-2)。

2 井筒支护强度应满足径向均匀荷载及径向不均匀荷载作用的要求并保证井筒整体的稳定性。

3 当井塔直接支承在井筒上时,井塔影响段井筒必须采用经计算确定的双层钢筋混凝土井壁结构。

6.4.11 沉井法凿井井壁不同受力状态下的安全系数选取应符合表 3.0.2 的规定。

6.4.12 套井及沉井井壁厚度可按下列规定拟定:

1 通过工程类比初步拟定。

2 可按下列式计算初步拟定混凝土井壁厚度:

$$t = r_n \left(\sqrt{\frac{f_s}{f_s - 2P}} - 1 \right) \quad (6.4.12-1)$$

$$f_s = 0.9(f_c + \rho_{\min} f_y') \quad (6.4.12-2)$$

$$P = \nu_k P_k \quad (6.4.12-3)$$

式中 ν_k ——钢筋混凝土结构安全系数,取 1.20;

ρ_{\min} ——井壁圆环截面的最小配筋率(%),可取 0.4%。

6.4.13 沉井法凿井井筒的井壁圆环内力及承载力应按本规范附录 C 的 C.1 中关于钢筋混凝土井壁的规定计算。

6.4.14 沉井井壁(见图 6.4.14)厚度验算应符合以下规定:

1 井壁重率应按下式计算：

$$W = \frac{G}{S} \quad (6.4.14-1)$$

式中 W ——井壁计算重率(kN/m^2)，宜取 $20 \sim 26 \text{kN}/\text{m}^2$ ；

G ——沉井井壁自重(不扣除浮力)(kN)；

S ——沉井井壁外表面积(m^2)。

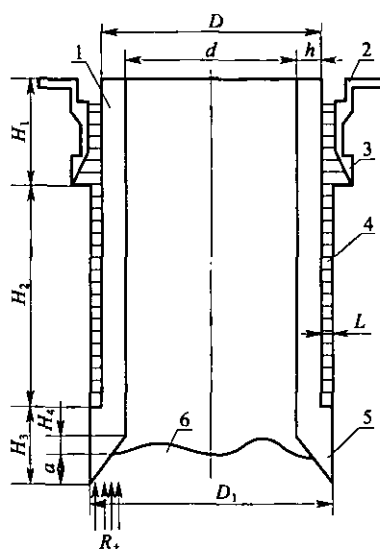


图 6.4.14 沉井井壁计算简图

1—井壁；2—套井井壁；3—套井刃脚；

4—泥浆；5—沉井井壁刃脚；6—沉井工作面

注：图中 H_4 为刃脚凸台至刃脚内缘变斜面点的距离。

2 按下沉条件验算时应符合以下规定：

$$G' > 1.15T \quad (6.4.14-2)$$

$$G' = G_1 + G_2 + G_3 \quad (6.4.14-3)$$

$$T = T_1 + T_2 + N \quad (6.4.14-4)$$

$$T_1 = \pi D_1 H_3 F \quad (6.4.14-5)$$

$$T_2 = \pi D (H_2 + H_1 - X) F' \quad (6.4.14-6)$$

$$N = R_1 \pi (D_1 - a \tan \beta) a \tan \beta \quad (6.4.14-7)$$

$$L = \frac{1}{2} (D_1 - D) \quad (6.4.14-8)$$

式中 G' ——沉井总重(扣除浮力)(kN);
 G_1 ——沉井井壁刃脚自重(不扣除浮力)(kN);
 G_2 ——沉井井筒重量(不扣除浮力)(kN);
 G_3 ——沉井壁后泥浆筒重量(不扣除浮力)(kN);
 T ——沉井下沉总阻力(kN);
 T_1 ——刃脚外侧与土层间的侧面阻力(kN);
 T_2 ——井壁外侧与触变泥浆的摩阻力(kN);
 N ——沉井正面阻力(kN);
 L ——沉井井壁与井帮之间的间隙(m);
 D_1 ——刃脚外直径(m);
 D ——沉井井筒外直径(m);
 H_3 ——刃脚高度(m);
 F ——井壁与土壤直接接触面之间的单位摩阻力(kN/m²),见表 6.4.14;
 H_2 ——套井刃脚尖以下至沉井刃脚台阶高度(m);
 H_4 ——刃脚凸台至刃脚内缘变斜面点的距离(m);
 F' ——井壁与泥浆之间的单位摩阻力(kN/m²);
 沉井深度<50m 时,可取 3~5kN/m²;
 沉井深度 50~100m 时,可取 8kN/m²;
 沉井深度>100m 时,可取 10kN/m²;
 a ——刃脚插入土层深度(m),可取 1~2m;
 β ——刃脚尖夹角(°),可取 25°~30°;
 R_1 ——土壤极限抗压强度,黏土层可取 250~500kN/m²;
 H_1 ——套井总深度(m);
 X ——触变泥浆液面至套井井口高度(m)。

表 6.4.14 土壤的单位摩擦阻力

土 壤 名 称	摩擦阻力 $F(\text{kN/m}^2)$
黏土及黏性土	12.5~20.0
胶性黏土、砂质黏土、含砾黏土	25.0~50.0
砂壤土及淤泥	12.0~25.0
砂及细砂	15.0~25.0
砾石及粗砂	20.0~30.0
流沙	12.0~25.0
卵石	15.0~30.0

6.5 帷幕法凿井井筒支护

6.5.1 混凝土帷幕进入不透水的稳定岩层中的深度不应小于3.0m。

6.5.2 采用帷幕法施工的井筒,井壁结构设计应符合以下规定:

1 提升井井筒,混凝土帷幕应作为临时支护,自下而上内套井壁作为永久支护。

2 风井井筒,混凝土帷幕可作为永久支护。

6.5.3 帷幕法凿井井筒(见图 6.5.3)净直径应按下式计算:

$$R_1 = R_0 + B_0 + \frac{D+0.1}{2} + iH \quad (6.5.3)$$

式中 R_1 ——帷幕中心线半径(m);

R_0 ——井筒净半径(m);

B_0 ——套壁厚度(m);

R ——帷幕有效厚度净半径(m);

D ——钻孔直径(m);

0.1——钻进扩孔量(m);

B ——混凝土帷幕有效厚度(m);

i ——造孔最大允许偏斜率(%)。当钻孔深度小于 30m 时, i 可取 0.5%;当钻孔深度小于 50m 时, i 可取 0.4%;当钻孔深度大于 50m 时, i 可取 0.3%;

H ——混凝土帷幕设计深度(m)。

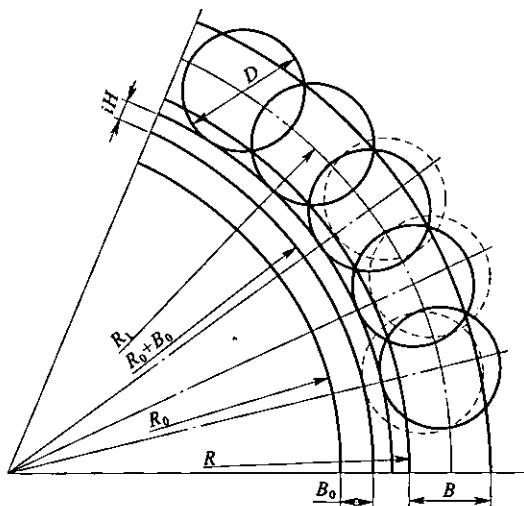


图 6.5.3 混凝土帷幕几何关系图

6.5.4 帷幕法施工井壁所受径向荷载标准值应按下列公式计算：

1 单层井壁承受的径向荷载标准值应按下列公式计算：

$$P_k = 0.013H \quad (6.5.4-1)$$

2 内层井壁承受的径向荷载标准值应按下列公式计算：

$$P_{n,k} = 0.01k_z H \quad (6.5.4-2)$$

6.5.5 帷幕法凿井井筒的井壁厚度可按下列规定拟定：

1 可按下列计算初步拟定混凝土帷幕有效厚度或内层井壁厚度：

1) 混凝土帷幕有效厚度可按下列公式计算：

$$B = R \left(\sqrt{\frac{f_s}{f_s - 2\nu_k P_k}} - 1 \right) \quad (6.5.5-1)$$

2) 内层井壁厚度可按下列公式计算：

$$B_0 = R_0 \left(\sqrt{\frac{f_s}{f_s - 2\nu_k P_k}} - 1 \right) \quad (6.5.5-2)$$

$$f_s = f_c + \rho_{\min} f_y \quad (6.5.5-3)$$

式中 f_s ——帷幕材料强度设计值(MPa);

ρ_{\min} ——最小配筋率(%),取 0.2%;

ν_k ——安全系数,当混凝土帷幕作为临时支护时,可取 1.7;
当混凝土帷幕作为永久支护时,可取 3.4。

2 通过工程类比初步拟定内层井壁厚度,但不宜小于 0.3m,并配置构造配筋。

7 硐 室

7.1 马 头 门

7.1.1 罐笼立井马头门,可分为双面斜顶式、双面平顶式及单面式等三种形式。

7.1.2 马头门尺寸应符合下列规定:

1 用罐笼提升的马头门应设双边人行道,其宽度不应小于0.8m。采用综合机械化采煤的矿井,其中一侧不应小于1.0m。

2 马头门巷道的高度和长度,应满足设备布置、通过最长材料、罐笼同时进出车层数及操车设备的要求,其净高度不应小于4.5m。马头门加强支护段长度应按受力计算确定,且不应小于井筒净半径的3倍。

7.1.3 马头门断面形状及支护应符合下列规定:

1 马头门应布置在坚固岩层中,断面形状宜采用拱形断面。当侧压较大时可采用马蹄形断面;当顶、侧、底压均较大时可采用圆形全封闭断面。

2 马头门应选择可燃性材料支护。支护结构应进行受力分析。当马头门位于软岩岩层中时,可采用锚喷或锚喷加金属网作临时支护,并对围岩的变形进行观测,待围岩变形趋于稳定后再砌筑永久支护。

3 马头门上、下不小于2.0m一段井壁应予加固。

7.1.4 信号室、控制室的设置应符合以下规定:

1 罐笼井井底提升信号室,可设于进车侧马头门两边或悬吊于轨道上方。

2 操车设备控制室可与信号室联合。

3 有两套提升设备的井筒,信号室应分设在两边,控制室可

集中在一边,也可分设在两边。

4 信号室和控制室底板应高出轨面水平 0.1~0.3m。

5 设在两边的信号室和控制室应突出巷道壁,在信号操作人员视线高度范围内,外墙应全部为没有窗框的固定玻璃和玻璃拉窗。

7.1.5 罐笼井筒与各水平车场马头门,应有人行通道互相联络,人行通道可与等候室联合布置。当罐笼井筒采用端头梯子间时,连接处或等候室应设有通至梯子间的通道。

7.1.6 用箕斗提升的主井井筒,应根据生产及施工需要布置马头门。

7.2 井底煤仓及箕斗装载硐室

7.2.1 井底煤仓应符合下列规定:

1 井底煤仓的位置。

1)井底煤仓的位置应根据井筒提升和大巷运输方式选择,并应与箕斗装载硐室、装载胶带输送机巷的位置统一考虑。

2)井底煤仓及相关硐室宜布置在围岩稳定、无地质构造的非含水层层位中。

2 井底煤仓的形式及容量。

1)主井井底煤仓可分为直立式、倾斜式及水平式三种。一般情况下宜选择直立式。

2)圆形直立煤仓其直径与高之比一般宜采用 1:3~1:4。

3)倾斜式拱形煤仓,其倾角不小于 60°。斜仓必须设置平行于煤仓的人行道,并在煤仓与人行道的隔墙上设置观察孔。

4)煤仓上口应设 300mm×300mm 孔眼的铁算子。

5)煤仓应有防堵措施。直立仓下口可采用双曲线形或设置坡拱装置。

6)井底煤仓铺底应采用耐磨材料。

7)井底煤仓的有效容量可按式计算：

$$Q_{mc} = (0.15 \sim 0.25) A_{mc} \quad (7.2.1)$$

式中 Q_{mc} ——井底煤仓有效容量(t)；

A_{mc} ——矿井设计日产量(t)；

0.15~0.25——系数，大型矿井取小值，中、小型矿井取大值。

8)当煤仓的个数超过2个时，煤仓间应留有岩柱，其大小由煤仓所在位置的岩性确定。一般不宜小于煤仓掘进直径的2.5倍。

3 井底煤仓的断面及支护。

1)井底煤仓的断面形式可分为圆形、矩形及半圆拱形，一般直仓为圆形，斜仓为半圆拱形。

2)井底煤仓的支护，可采用锚喷、混凝土或钢筋混凝土三种支护方式，以煤仓所在位置的岩性及地压决定。煤仓的漏斗口宜采用钢筋混凝土支护。

7.2.2 箕斗装载硐室应符合下列规定：

1 箕斗装载硐室的位置。

1)箕斗装载硐室的位置应根据地质条件、大巷运输方式、建井工期、初期投资、运行费用、管理维护等因素，经技术经济比较确定。宜布置在无地质构造、围岩坚固部位。

2)当遇含水层或岩性较差、有断层、构造或大巷采用胶带输送机运输时，也可将箕斗装载硐室布置在运输水平以上。

2 箕斗装载硐室的布置形式。

1)箕斗装载硐室，根据装载设备和装载方式可布置为通过式或非通过式；根据提升设备及提升容器的要求可布置为单侧式或双侧式。

2)一般情况下，可选择非通过式，单侧布置。

3)单水平或多水平同时生产的最终水平，采用非通过式；多水平同时生产的中间水平采用通过式。

4)当井型大,提升设备布置在井筒两侧时,硐室应采用双侧式。

5)硐室的尺寸,应根据选用的装载设备规格和布置方式等确定。

3 箕斗装载硐室的断面形状及支护方式。

1)箕斗装载硐室的断面形状可采用矩形或半圆拱形。当硐室围岩岩性较差,地压大时,可采用马蹄形全封闭式断面。

2)装载硐室的支护方式,可采用锚喷、混凝土或钢筋混凝土三种。一般情况下,宜选择钢筋混凝土支护。当围岩特别坚固时,可采用锚喷支护。

3)硐室内承受动荷载的结构应采用钢筋混凝土或钢结构。

4)装载硐室上下一段井壁应进行加固。

4 装载硐室内的设施及要求。

1)硐室应设人行道,上通装载胶带输送机巷或斜仓的人行检查道,下与主井底检修间相联系;硐室上、下之间应设置人行通道。

2)硐室顶部应根据机械布置、安装与检修要求,设起重梁或起吊环。

3)硐室的人行孔、起吊孔应设盖板或栅栏。硐室与井筒连接处,顶部应设雨篷,平台应设栅栏。

4)箕斗装载硐室的一侧或两侧(两套提升)应设置信号及控制室,其位置应能较清楚地观察到装载口。

7.2.3 装载胶带输送机巷应符合下列要求:

1 装载胶带输送机巷的布置。

根据装载系统的设备布置,装载胶带输送机巷可采用单机布置或双机布置两种方式。当单机布置时,巷道一侧应设人行检修道;当双机布置时,应在巷道两侧各设 800mm 宽的人行检修道;非行人侧,设备最突出部分的距离不得小于 300mm。

2 装载胶带输送机巷断面及支护。

- 1) 断面形状可采用半圆拱形,当地压大时,宜采用马蹄形或椭圆形。
- 2) 断面尺寸、巷道预埋件(孔)应根据机械设备的要求确定。
- 3) 支护方式可采用料石、混凝土砌碇。当围岩稳定时,也可采用锚喷支护。巷道应铺底。

7.3 箕斗立井井底清理撒煤硐室

7.3.1 箕斗立井井底受煤漏斗及撒煤溜道应符合下列规定:

1 当箕斗立井清理撒煤系统布置在井底车场水平时,沉淀清理池应布置在箕斗井底部,并采用钢筋混凝土对称喇叭形受煤漏斗。漏斗壁倾角可采用 $55^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 。漏斗应在非装载硐室一侧设检修孔。井壁上应设爬梯,顶部应设铁盖板。漏斗内应设检修平台。

2 当箕斗立井清理撒煤系统布置在井底车场水平以下时,沉淀清理池宜布置在箕斗井的一侧,并采用钢筋混凝土非对称喇叭形受煤漏斗。漏斗与撒煤溜道联合布置,底板倾角可采用 $55^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 。当考虑井筒延深时,井窝最低点不宜高于沉淀池水平。

3 撒煤溜道断面可采用半圆拱形,混凝土支护。受煤漏斗侧壁及溜道底板应铺铁屑混凝土。

7.3.2 井底沉淀池硐室应符合下列规定:

1 沉淀池的容量可按矿井日产量 $3\%\sim 5\%$,结合清理工作制度和机械设备布置确定。

2 沉淀池应设两个,两沉淀池之间应设隔离墙与排水沟。隔墙厚可采用200mm,排水沟宽可采用500mm并加盖板,隔墙上一侧应设栏杆。

3 沉淀池宜采用耐磨而光滑的材料铺底,厚度在150~200mm之间。

4 沉淀池宜采用不大于 10° 的上坡通至清理撒煤斜巷装载

点顶部,通过卸煤台板装矿车或小箕斗运出撒煤。

7.3.3 井底清理撒煤水仓应符合下列规定:

1 当箕斗立井清理撒煤系统布置在井底车场水平时,清理撒煤系统不设水仓。主井井筒淋水从沉淀池溢出,经水沟直接流入井底车场主水仓。

2 当箕斗立井清理撒煤系统布置在井底车场水平以下时,清理撒煤系统应设水仓、水泵,将主井撒煤系统积水排至井底车场主水仓。

1)水仓宜采用单巷布置,可在巷道中间设一道隔墙分两仓室使用。

2)水仓底板设整体道床,坡度 3‰,坡向吸水井。

3)仓室隔墙每隔 5~8m 应设置一道改变流向的挡板,并在距吸水井约 15m 处设置一道溢流挡板。

4)水仓容量以 4h 流入水量计算。

3 泵房宜装备三台水泵。工作、备用、检修各一台。

4 水仓断面可采用半圆拱形、混凝土支护。

7.3.4 井底清理撒煤斜巷应符合下列规定:

1 清理斜巷倾角不宜大于 25°,清理斜巷起坡点至沉淀池硐室中心线平距可取 4~5m。

2 清理斜巷上部应设能存 4~6 个空车的存车线。

3 清理斜巷上部变坡点附近的平段上,应设置阻车器或逆止器,在变坡点处应设置托绳轮,并在清理斜巷底板上每隔 15m 设置一个地滚。

4 清理斜巷应设水沟、人行台阶及扶手。副井井筒淋水也可引至清理斜巷,经水窝泵房排至井底车场水平。

5 清理斜巷绞车房,一般情况下可不设回风巷;当设备布置超过 6m 时,绞车房回风巷应与井底车场巷道连通。

6 清理斜巷,一般情况下可采用半圆拱形断面、料石或混凝土砌碇支护;当岩性较好时,也可采用锚喷支护。

7.4 罐笼立井井底水窝及清理

7.4.1 罐笼立井井底水窝,应根据提升设备布置的要求,井筒是否延深,井底水窝内设施的布置、安装检修,水窝的清理方式等因素综合确定,并应符合下列规定:

1 不提升人员的罐笼井井底水窝,当井筒不需延深时,最小应留 2m;当井筒需延深时,最小应留 10m。

2 提升人员的罐笼井井底水窝,当设泄水巷排水、不考虑井筒延深时,最小应留 5m。当考虑井筒延深时,最小应留 10m;若设水泵排水,井底水窝内的设备最低点至水窝内最高水位面应留有 2~3m 的距离,水面以下的水窝深度一般取 5m。

7.4.2 井底水窝宜采用混凝土支护,窝底宜采用圆弧结构,弧高约为井筒内径的 1/10。

7.4.3 罐笼立井井底水窝排水及清理应符合下列规定:

1 用于不提升人员的罐笼井可采用自溢排水,吊桶清理。

2 小型矿井,用于提升人员的罐笼井可采用水泵排水,吊桶清理。泵房宜设于井底水窝便于人员进出、满足水泵吸水高度的位置。

3 中、大型矿井,当主井为箕斗提升,且清理撒煤系统布置在井底车场水平以下时,宜在副井井底开凿泄水巷,将水引至主井底集中排除,泄水巷坡度宜采用 5%。当单独设清理斜巷及水池进行排水、清理时,清理斜巷倾角不宜超过 25°。并应设水窝排水设施。

7.4.4 井底水窝内应设置检修梯子间与井底车场连接处相通。水窝段应设置壁梯通至窝底。

7.5 立风井井口及井底布置

7.5.1 立风井井口应符合下列规定:

1 井壁上风硐口、安全出口等各种硐口,不得布置在同一水

平截面或垂直截面上。

2 当表土层不含水时,风硐下口与井筒连接端距设计地坪不宜小于 6m;当表土含水时,风硐下口的高程可适当抬高。

3 装有主要通风机的井口必须封闭严密,出风口应安装防爆门,防爆门不得小于出风井的断面积,并应正对出风井的风流方向。

4 安全出口应布置在风井梯子间一侧,安全出口与风井相连接的平道底板高程,应高出风硐下口底板高程 2m 以上;地面出口平道底板应高于出口处工业场地地坪 0.5m。

7.5.2 防爆门基础应符合下列规定:

1 当防爆门基础高度大于或等于 1.5m 时,基础的外壁应设置壁梯和扶手。

2 基础应采用强度等级不低于 C20 的混凝土浇筑;当设计地震烈度为 8 度及以上时,应采用钢筋混凝土结构。

7.5.3 安全出口应符合下列规定:

1 安全出口宜采用矩形断面或半圆拱形断面。在稳定岩层内或设计地震烈度为 7 度及以下时,可采用混凝土或砖石结构砌筑。

2 安全出口与风井井筒连接端应设置一段平道,长度为 5~8m,安装 2~3 道双向风门,并设倾斜人行道通至地面。

3 倾斜人行道的长度及倾角,应根据井口工业场地的地形、地物确定,倾角可采取 $25^{\circ}\sim 30^{\circ}$,并应设台阶和扶手。

4 地面出口端应设置一段长度不小于 2m 的平道,并装设一道向外开的单向风门。

5 风门宜采用铁风门,当服务年限较短时也可采用包铁皮的木风门,风门安设应向顺风流方向倾斜 $3^{\circ}\sim 5^{\circ}$ 。

6 安全出口应采用混凝土铺底,其厚度可采用 100~150mm。

7.5.4 风硐应符合下列规定:

1 风硐与井筒的夹角宜采用 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}$,在特殊情况下可大于 50° ,风硐与井筒连接部分应做成圆滑曲线。

2 风硐上口应以圆弧曲线与通风机引风道连接,其底板竖曲线半径可取 $6\sim 8\text{m}$,圆心角不大于 45° 。

3 风硐中的风流速度不得大于 15m/s 。

4 当风井装有提升设备并采用钢丝绳罐道时,风硐口应设在提升设备窄面侧。

7.5.5 风井马头门应符合下列规定:

1 马头门根据服务年限及用途,可做成单面斜顶式、双面斜顶式、单面平顶式及双面平顶式。马头门应位于稳定的岩层内。

2 采用斜顶式连接时,马头门长度不应小于 5m ;马头门高度应根据通风和装卸长度较大材料需要确定。

3 采用平顶式连接时,马头门高度即为回风巷高度。

7.5.6 风井井底水窝应符合下列规定:

1 风井无提升设备时,井底可不设水窝;有提升设备时,应根据提升系统的要求确定水窝深度。

2 当风井需要延深时,应留不小于 10m 的水窝。

附录 A 土的平均物理、力学性质指标

表 A 土的平均物理、力学性质指标

土类						土类							
土类			孔隙比	塑限 W_p (%)	重力 密度 (kN/m^3)	土类			孔隙比	塑限 W_p (%)	重力 密度 (kN/m^3)	内摩 擦角 $\phi(^{\circ})$	
砂 土	粗砂		0.4~0.5	—	20.5	黏 性 土	黏 土		0.4~0.5	12.5~ 15.4	21.0	24	
			0.5~0.6		19.5			40			0.5~0.6	20.0	23
			0.6~0.7		19.0			38			0.6~0.7	19.5	22
											0.7~0.8	19.0	21
	中砂			—	20.5				0.5~0.6	15.5~ 18.4	20.0	22	
					19.5			38			0.6~0.7	19.5	21
					19.0			35			0.7~0.8	19.0	20
											0.8~0.9	18.5	19
	黏砂			—	20.5				0.9~1.0		18.0	18	
					19.5			34		0.6~0.7	19.5	20	
					19.0			28		0.7~0.8	18.5	19	
										0.8~0.9	18.5	18	
黏 性 土	轻亚黏土		0.4~0.5	<9.4	20.5				0.9~1.0	18.0	17		
			0.5~0.6		19.5		28		0.7~0.8	22.5~ 26.4	19.0	18	
			0.6~0.7		19.0		27		0.8~0.9		18.5	17	
									0.9~1.1		17.5	16	
			0.4~0.5	9.5~ 12.4	20.5			0.8~0.9	26.5~ 30.4		18.5	16	
			0.5~0.6		19.5		24			0.9~1.1	17.5	15	
			0.6~0.7		19.0		23						

附录 B 岩石物理力学性质

表 B 岩石物理力学性质

岩石 名称	重力密度 $\gamma(\text{kN/m}^3)$	强度(N/mm^2)		弹性模量 $10^4(\text{N/mm}^2)$	泊松比	内摩擦角 $\phi(^{\circ})$
		抗压	抗拉			
闪长岩	27~28	10~25	1.0~2.5	7~15	0.1~0.3	53~55
花岗岩	22~25	10~25	1.0~2.0	5~12	0.2~0.3	45~50
玄武岩	28~30	15~30	1.0~3.0	6~12	0.1~0.35	48~55
石英岩	26.5~27	15~35	1.0~3.0	6~20	0.1~0.25	50~60
片麻岩	27~30	5~20	0.5~2.0	1~10	0.22~0.35	30~50
片岩	26.4~28	1~10	0.1~1.0	1~8	0.2~0.4	26~65
板岩	26~27	6~20	0.7~1.5	2~8	0.2~0.3	45~60
页岩	20~24	1~10	0.2~1.0	2~8	0.2~0.4	15~30
砂岩	20~26	2~20	0.4~2.5	1~10	0.2~0.3	35~50
砾岩	23~26	1~15	0.2~1.5	2~8	0.2~0.3	35~50
石灰岩	22~27	5~20	0.5~2.0	5~10	0.2~0.35	35~50
白云岩	25~28	8~25	1.5~2.5	4~8	0.2~0.35	35~50
大理岩	26~27	10~25	0.7~2.0	1~9	0.2~0.35	35~50

附录 C 混凝土井壁内力及承载力计算

C.1 井壁圆环截面内力及承载力计算

C.1.1 均匀压力作用下混凝土井壁单位高度圆环截面内力及承载力应按下列规定计算：

1 薄壁圆筒($t < r_0/10$)井壁。

1) 井壁圆环截面轴向力(见图 C.1.1-1)应按下式计算：

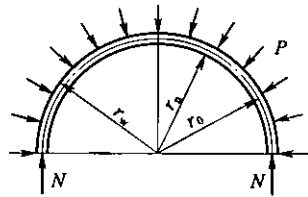


图 C.1.1-1 薄壁圆筒井壁圆环截面轴向力图

$$N = r_w P \quad (\text{C.1.1-1})$$

式中 N ——单位高度井壁圆环截面上的轴向力计算值(MN/m)；

r_w ——计算处井壁外半径(m)；

P ——计算处作用在井壁上的设计荷载计算值(MPa)。

2) 素混凝土井壁圆环截面承载力应按下式计算：

$$N \leq 0.85 \varphi_1 t f_c \quad (\text{C.1.1-2})$$

$$L_0 = 1.814 r_0 \quad (\text{C.1.1-3})$$

式中 φ_1 ——素混凝土构件稳定系数(见表 C.1.1-1)；

r_0 ——计算处井壁中心半径(m)；

L_0 ——计算处井壁圆环计算长度(m)；

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值(N/mm²)。

表 C. 1. 1-1 素混凝土构件稳定系数 φ_1

L_0/b	<4	4	6	8	10	12	14	16
φ_1	1.00	0.98	0.96	0.91	0.86	0.82	0.77	0.72
L_0/b	18	20	22	24	26	28	30	—
φ_1	0.68	0.63	0.59	0.55	0.51	0.47	0.44	—

注: b 的取值: 对于偏心受压构件, 取弯矩作用平面的截面高度; 对于轴心受压构件, 取截面短边尺寸。

3) 钢筋混凝土井壁圆环截面承载力应按下列式计算:

$$N \leq 0.9\varphi(t f_c + A_s f_y') \quad (\text{C. 1. 1-4})$$

式中 φ ——钢筋混凝土轴心受压构件稳定系数(见表 C. 1. 1-2);

A_s ——每米井壁截面配置钢筋面积(m^2);

f_y' ——普通钢筋抗压强度设计值(N/mm^2)。

表 C. 1. 1-2 钢筋混凝土轴心受压构件稳定系数 φ

L_0/b	≤ 8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
φ	1.00	0.98	0.95	0.92	0.87	0.81	0.75	0.70	0.65	0.60	0.56
L_0/b	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
φ	0.52	0.48	0.44	0.40	0.36	0.32	0.29	0.26	0.23	0.21	0.19

注: 表中 L_0 为构件计算长度(按 C. 1. 1-3 式计算)。

2 厚壁圆筒($t \geq r_0/10$)井壁。

1) 井壁圆环截面轴向力(见图 C. 1. 1-2)应按 C. 1. 1-1 式计算。

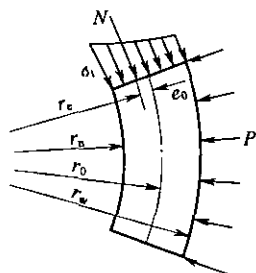


图 C. 1. 1-2 厚壁圆筒井壁圆环截面轴向力图

2)井壁圆环截面切向应力应按下式计算:

$$\sigma_t = \frac{2r_w^2 P}{r_w^2 - r_n^2} \quad (\text{C. 1. 1-5})$$

式中 σ_t ——井壁圆环截面切向应力(MPa);

r_w ——计算处井壁外半径(m);

r_n ——计算处井壁内半径(m)。

3)素混凝土井壁圆环截面承载力应按下式计算:

$$\sigma_t \leq 0.85 f_c \quad (\text{C. 1. 1-6})$$

4)钢筋混凝土井壁圆环截面承载力应按下式计算:

$$\sigma_t \leq 0.9(f_c + \rho f_y') \quad (\text{C. 1. 1-7})$$

式中 ρ ——井壁圆环截面配筋率(%)。

井壁圆环截面配筋率 ρ 和钢筋截面面积 A_s 的确定:

当 $\sigma_t \leq 0.9 f_c$ 时,按构造规定配置钢筋;当 $\sigma_t > 0.9 f_c$ 时,按下式计算配筋率:

$$\rho = \frac{\sigma_t - 0.9 f_c}{0.9 f_y'} \quad (\text{C. 1. 1-8})$$

当计算结果 $\rho > \rho_{\min}$ 时, A_s 应按下式计算:

$$A_s = \rho b_n (r_w - r_n) \quad (\text{C. 1. 1-9})$$

当计算结果 $\rho \leq \rho_{\min}$ 时, A_s 应按下式计算:

$$A_s = \rho_{\min} b_n (r_w - r_n) \quad (\text{C. 1. 1-10})$$

当计算结果 ρ 值过大时,则应加大井壁厚度。

式中 b_n ——井壁截面计算宽度(m),取 1.0m;

ρ_{\min} ——最小配筋率(%),采用普通法和冻结法凿井时应执行本规范 6.1.10 条规定;采用钻井法和沉井法凿井时取 0.4%。

C. 1. 2 不均匀压力作用下的混凝土井壁整体圆环内力及承载力
应按下列规定计算:

1 井壁圆环截面轴向力和弯矩(见图 C. 1. 2-1)计算。

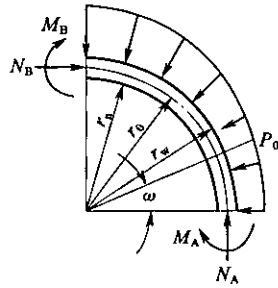


图 C.1.2-1 不均匀压力作用井壁内力计算图

1) $\omega=0^\circ$ (A 截面) 时应按下列公式计算:

$$N_A = (1 + 0.785\beta)r_w P_A \quad (\text{C. 1. 2-1})$$

$$M_A = -0.149\beta r_w^2 P_A \quad (\text{C. 1. 2-2})$$

2) $\omega=90^\circ$ (B 截面) 时应按下列公式计算:

$$N_B = (1 + 0.5\beta)r_w P_A \quad (\text{C. 1. 2-3})$$

$$M_B = 0.137\beta r_w^2 P_A \quad (\text{C. 1. 2-4})$$

$$P_B = P_A(1 + \beta) \quad (\text{C. 1. 2-5})$$

式中 N_A, N_B ——A、B 截面的轴向力计算值(MN);

M_A, M_B ——A、B 截面的弯矩计算值(MN · m);

P_A, P_B ——A、B 截面的压力计算值(MPa);

β ——不均匀荷载系数, 冲积地层段, $\beta = \beta_i = 0.2 \sim 0.3$; 基岩段, $\beta = \beta_y, \beta_y$ 可按表 6.1.3-2 选用。

3) 按 $\omega=0^\circ$ 及 $\omega=90^\circ$ 时两组公式计算后, 取一组较大数值进行偏心矩和承载力计算。

2 素混凝土井壁承载力应按下列公式计算:

1) 当偏心矩 $e_0 < 0.225t$ 时, 应按下式计算:

$$N \leq 0.85\varphi_1 f_c b_n (t - 2e_0) \quad (\text{C. 1. 2-6})$$

$$e_0 = \frac{M_A}{N_A} \text{ 或 } \frac{M_B}{N_B} \quad (\text{C. 1. 2-7})$$

式中 e_0 ——轴向力作用点至受拉钢筋合力点之间的距离(mm)。

2) 当偏心矩 $e_0 \geq 0.225t$ 时, 应按下列式计算:

$$N \leq \varphi_1 \frac{0.8525 f_t b t}{\frac{6e_0}{t} - 1} \quad (\text{C. 1. 2-8})$$

式中 f_t ——混凝土抗拉强度设计值 (N/mm^2)。

3 钢筋混凝土井壁偏心受压承载力和钢筋配置 (见图 C. 1. 2-2) 应按下列公式计算:

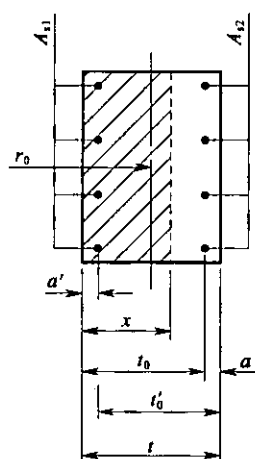


图 C. 1. 2-2 井壁截面偏心受压钢筋配置计算图示

$$N \leq a_1 f_c x + f_y' A_{s1} - \sigma_s A_{s2} \quad (\text{C. 1. 2-9})$$

$$N \cdot e \leq a_1 f_c x \left(t_0 - \frac{x}{2} \right) + f_y' A_{s1} (t_0 - a') \quad (\text{C. 1. 2-10})$$

$$e = \eta e_i + \frac{t}{2} - a \quad (\text{C. 1. 2-11})$$

$$e_i = e_0 + e_a \quad (\text{C. 1. 2-12})$$

$$\eta = 1 + \frac{1}{1400 e_i} \left(\frac{l_0}{t} \right)^2 \zeta_1 \zeta_2 \quad (\text{C. 1. 2-13})$$

$$\zeta_1 = \frac{0.5f_c A}{N} \quad (\text{C. 1. 2-14})$$

$$\zeta_2 = 1.15 - 0.01 \times \frac{L_0}{t} \quad (\text{C. 1. 2-15})$$

受拉边或受压较小边钢筋 A_{s2} 的应力 σ_s 应按下列情况计算:

- 1) 当 $\xi_x \leq \xi_b$ 时为大偏心构件, 取 $\sigma_s = f_y$, 此处相对受压区高度 $\xi_x = x/t_0$ (令 $N = f_c b x$ 即可求得 x 值)。
- 2) 当 $\xi_x > \xi_b$ 时为小偏心构件, σ_s 应按下列式计算:

$$\sigma_s = \frac{f_y}{\xi_b - \beta_1} \left(\frac{x}{t_0} - \beta_1 \right) \quad (\text{C. 1. 2-16})$$

受拉钢筋屈服和受压区混凝土破坏同时发生时的相对界限受压区高度 ξ_b 应按下列公式计算:

$$\xi_b = \frac{\beta_1}{1 + \frac{f_y}{\varepsilon_{cu} E_s}} \quad (\text{C. 1. 2-17})$$

$$\varepsilon_{cu} = 0.0033 - (f_{cu,k} - 50) \times 10^{-5} \quad (\text{C. 1. 2-18})$$

计算中若计入钢筋 A_{s2} 时, 受压区高度应满足 $x \geq 2a'$ 的条件。当不满足此条件时, 其正截面受压承载力应按下列式计算:

$$N \cdot e'_s \leq f_y A_{s2} (t - a - a') \quad (\text{C. 1. 2-19})$$

由于井壁一般均采用双侧对称配筋, 若计算判断为小偏心受压构件, 可按下列近似公式计算钢筋截面面积:

$$A_{s1} = A_{s2} = \frac{Ne - \xi(1 - 0.5\xi)\alpha_1 f_c t_0^2}{f_y(t_0 - a')} \quad (\text{C. 1. 2-20})$$

此处, 相对受压区高度可按下列式计算:

$$\xi = \frac{N - \xi_b \alpha_1 f_c t_0}{\frac{Ne - 0.43\alpha_1 f_c t_0^2}{(\beta_1 - \xi_b)(t_0 - a')} + \alpha_1 f_c t_0} + \xi_b \quad (\text{C. 1. 2-21})$$

式中 α_1 ——系数, 为矩形应力图的应力取值与混凝土轴心抗压强度设计值的比值。当混凝土强度等级不超过 C50 时, α_1 取为 1.0; 当混凝土强度等级为 C80 时, α_1 取为 0.94, 其间按线性内插法确定;

- β_1 ——系数,为矩形应力图的受压区高度取值与中和轴高度的比值,当混凝土强度等级不超过 C50 时, β_1 取为 0.8;当混凝土强度等级为 C80 时, β_1 取为 0.74,其间接线性内插法确定;
- ϵ_{cu} ——混凝土的极限压应变,如计算值大于 0.0033,取为 0.0033;
- $f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值(MN/m²);
- x ——混凝土受压区高度(m);
- A_{s1}, A_{s2} ——受压区、受拉区环向钢筋的截面面积(m²);
- σ_s ——受拉边或受压较小边的钢筋应力(MN/m²);
- a, a' ——受拉、受压钢筋的合力点至构件截面边缘的距离(m);
- e ——轴向力作用点至受拉钢筋合力点之间的距离(m);
- η ——偏心受压构件考虑二阶弯矩影响的轴向压力偏心矩增大系数,当构件长细比 $L_0/i \leq 17.5$ 时,取 $\eta=1$;
- e_i ——初始偏心矩(m);
- e_s ——附加偏心矩(m),取偏心方向截面最大尺寸的 1/30 和 0.02m 两者的较大值;
- ζ_1 ——偏心受压构件的截面曲率修正系数,当 $\zeta_1 > 1$ 时,取 $\zeta_1=1$;
- ζ_2 ——构件长细比对截面曲率的影响系数, $L_0/i \leq 15$ 时,取 $\zeta_2=1$;
- e'_s ——轴向压力作用点至受压区钢筋 A_{s1} 合力点的距离(m)。

C.2 井壁环向稳定性计算

C.2.1 保证井壁环向稳定应符合下列基本条件:

1 素混凝土井壁:

$$\frac{L_0}{t} \leq 24 \quad (\text{C. 2. 1-1})$$

2 钢筋混凝土井壁:

$$\frac{L_0}{t} \leq 30 \quad (\text{C. 2. 1-2})$$

C. 2. 2 井壁环向稳定性可按下式验算:

$$\frac{E_c t^3}{4r_0^3(1-\nu_c^2)} \geq P \quad (\text{C. 2. 2})$$

式中 ν_c ——混凝土泊松比, $\nu_c = 0.2$;

E_c ——混凝土弹性模量(N/mm²)。

C. 3 三向应力作用下井壁承载力计算

C. 3. 1 井壁在三向应力作用下可按下式验算其内缘的承载力:

$$\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_r^2 + \sigma_z^2 - \sigma_1 \sigma_r - \sigma_r \sigma_z - \sigma_z \sigma_1} \leq 0.9(f_c + \rho f_y') \quad (\text{C. 3. 1-1})$$

$$\sigma_z = \frac{Q_{Z1,k} + Q_{1,k} + Q_{2,k} + P_{f,k} F_w}{A_0} \quad (\text{C. 3. 1-2})$$

式中 σ_z ——计算截面井壁纵向应力计算值(MN/m²);

σ_r ——计算截面井壁径向应力计算值(MN/m²);

σ_t ——井壁圆环截面切向应力(MN/m²);

F_w ——计算截面以上井壁外表面积(m²);

A_0 ——计算截面井壁横截面积(m²);

$P_{f,k}$ ——计算截面以上井壁单位外表面积竖向附加力标准值(MPa)。

附录 D 井塔(架)影响段井壁计算

D.1 井塔(架)基础置于天然冲积层地基上影响段井壁计算

D.1.1 侧向压力应按下列规定计算:

井塔(架)基础置于天然地基上,最大侧向压应力出现在基础底以下 $h=L-A/2$ 处。不同类型基础对井壁产生的最大侧向压力(见图 D.1.1)分别应按下列规定计算:

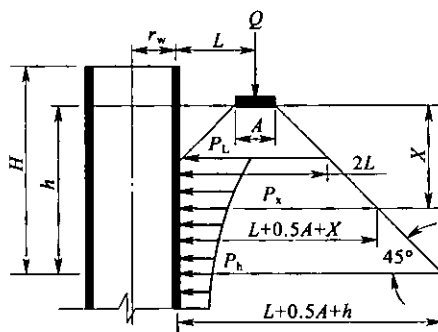


图 D.1.1 井塔(架)基础引起的侧向压力分布图

h —基础底至计算深度距离(m); H —井口设计标高到计算深度距离(m);
 X —基础底至计算深度范围内某一深度的距离(m); P_L —基础底以下 L 深处
井壁所受侧压力(MPa); P_h —基础底以下 h 深处井壁所受侧压力(MPa);
 P_x —基础底以下 x 深处井壁所受侧压力(MPa)

1 带形基础时应按以下公式计算:

$$P_{\max} = \frac{QA_n}{2L(2L-A+B)} \quad (\text{D.1.1-1})$$

2 环形基础时应按以下公式计算:

$$P_{\max} = \frac{QA_n}{\pi[(r_w+2L)^2-r_w^2]} \quad (\text{D.1.1-2})$$

$$A_n = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad (\text{D. 1. 1-3})$$

式中 P_{\max} ——基础对井壁产生的最大侧向压力计算值(MPa);
 Q ——基础上部结构总重力(包括基础自重)计算值(MN);
 A_n ——岩(土)层水平荷载系数;可按 D. 1. 1-3 式计算,也可按本规范表 6. 1. 3-1 查取;
 ϕ ——土层的内摩擦角($^\circ$),按本规范表 6. 1. 3-1 查取;
 L ——基础中心至井壁外缘距离(m);
 A ——带形或环形基础宽度(m);
 B ——带形或环形基础长度(m)。

D. 1. 2 井壁圆环截面内力应按下列规定计算:

1 带形基础(见图 D. 1. 2)时应按下列公式计算:

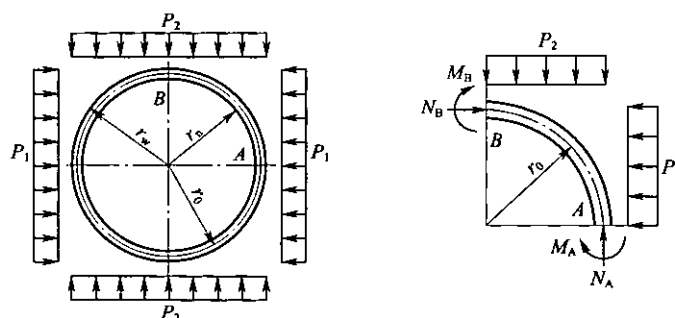


图 D. 1. 2 带形基础对井壁产生的侧向压力及内力图

1) A 截面上的内力:

$$N_A = r_w P_2 \quad (\text{D. 1. 2-1})$$

$$M_A = -0.25 r_w^2 (P_2 - P_1) \quad (\text{D. 1. 2-2})$$

2) B 截面上的内力:

$$N_B = r_w P_1 \quad (\text{D. 1. 2-3})$$

$$M_B = 0.25 r_w^2 (P_2 - P_1) \quad (\text{D. 1. 2-4})$$

式中 P_1 、 P_2 ——按公式 D. 1. 1-1 计算出的各方向最大侧向压力

计算值(MPa)。

2 环形基础时影响段井壁圆环截面内力计算应执行本规范附录 C 中 C.1 的有关规定。

D.2 井塔直接支承在井筒上影响段井壁计算

D.2.1 井塔直接支承在井筒上时,影响段井壁宜采用“m”法计算,井壁受力(计算简图如图 D.2.1)应按以下规定计算:

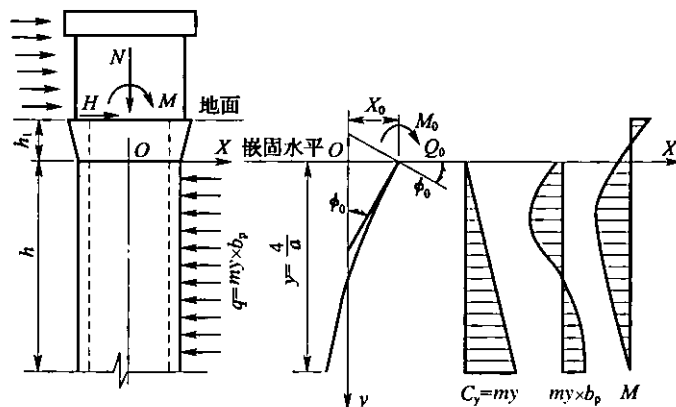


图 D.2.1 “M”法计算简图

1 基础(即井筒)计算宽度 b_p 应按下式计算:

$$b_p = 0.9(D+1) \quad (\text{D.2.1-1})$$

式中 b_p ——基础(即井筒)计算宽度(m);

D ——井筒外直径(m)。

2 基础变形系数应按下式计算:

$$\alpha = \sqrt[5]{\frac{mb_p}{E_c I}} \quad (\text{D.2.1-2})$$

$$I = \pi(D^4 - d^4)/64 \quad (\text{D.2.1-3})$$

式中 α ——基础变形系数(1/m);

m ——地基变形系数(MN/m⁴),见表 D.2.1-1;

d ——井筒内直径(m);
 I ——井筒横截面惯性矩(m^4)。

表 D.2.1-1 推荐使用的 m 值

土 壤 名 称	$m(MN/m^4)$
流塑性黏土、亚黏土、亚砂土、淤泥	3~5
软塑性的黏土、亚黏土、亚砂土、粉土、松散砂	5~10
硬塑性的黏土、亚砂土、亚黏土、中砂、细砂	10~20
硬黏土、亚黏土、亚砂土、砂黏土、夹姜石密实粗砂	20~30
砂砾、大块碎石类土	30~85
密实粗砂夹卵石、密实漂卵石	85~180

3 井塔基础对井筒影响深度应按下列公式计算:

$$y = \frac{4}{a} \quad (D.2.1-4)$$

式中 y ——井塔基础对井筒影响深度(m)。

4 嵌固水平处横向位移 x_0 及转角 Ψ_0 应按下列公式计算:

$$x_0 = Q_0 \delta_{QQ} + M_0 \delta_{QM} \quad (D.2.1-5)$$

$$\Psi_0 = -(Q_0 \delta_{MQ} + M_0 \delta_{MM}) \quad (D.2.1-6)$$

$$\delta_{QQ} = \frac{2.441}{\alpha^3 E_c I} \quad (D.2.1-7)$$

$$\delta_{QM} = \delta_{MQ} = \frac{1.625}{\alpha^2 E_c I} \quad (D.2.1-8)$$

$$\delta_{MM} = \frac{1.751}{\alpha E_c I} \quad (D.2.1-9)$$

式中 x_0 、 Ψ_0 ——井塔基础嵌固水平处的横向位移及转角;

Q_0 、 M_0 ——井塔作用于基础上的水平力和弯矩计算值;

δ_{QQ} —— $M_0=0$, $Q_0=1$ 时的位移;

δ_{QM} —— $Q_0=0$, $M_0=1$ 时的位移;

δ_{MQ} —— $M_0=0$, $Q_0=1$ 时的转角;

δ_{MM} —— $M_0=1$, $Q_0=0$ 时的转角;

E_c ——混凝土弹性模量(N/mm^2);

I ——井筒截面惯性矩(m^4)。

5 嵌固水平以下沿井筒深度弯矩和侧向水平压应力应按下列公式计算：

$$M_y = \alpha^2 E_c I X_0 A_3 + \alpha E_c I \Psi_0 B_3 + M_0 C_3 + \frac{Q_0}{\alpha} D_3 \quad (\text{D. 2. 1-10})$$

$$\sigma_x = m \cdot y \left(x_0 A_1 + \frac{\Psi_0}{\alpha} B_1 + \frac{M_0}{\alpha^2 E_c I} C_1 + \frac{Q_0}{\alpha^3 E_c I} D_1 \right) \quad (\text{D. 2. 1-11})$$

式中 $A_3, B_3, C_3, D_3, A_1, B_1, C_1, D_1$ ——系数, 见表 D. 2. 1-2;
 M_y ——嵌固水平以下沿井筒深度弯矩计算值(MN·m);
 σ_x ——嵌固水平以下沿井筒深度侧向水平压应力计算值(MN/m²)。

6 井筒上部井壁横截面承载力应按下列规定计算：

1) 根据 $y=4/a$ 深度范围内的最大弯矩 M_{\max} 和该点的竖向力 N (嵌固面处轴向力 N_0 与计算位置以上井壁自重之和), 计算出偏心矩：

$$e_0 = \frac{M_{\max}}{N} \quad (\text{D. 2. 1-12})$$

2) 计算长度(即纵向屈曲长度) L_0 ：

$$\text{当 } h < 4/a \text{ 时, } L_0 = h_1 + h \quad (\text{D. 2. 1-13})$$

$$\text{当 } h \geq 4/a \text{ 时, } L_0 = h_1 + 4/a \quad (\text{D. 2. 1-14})$$

式中 h ——计算水平至嵌固水平高度(m);

h_1 ——井筒上部井塔大块基础高度(m)。

3) 井壁横截面偏心受压承载力按下列公式计算：

$$N \leq \alpha_1 \alpha_0 f_c A_0 + (\alpha_0 - \alpha_1) f_y' A_s \quad (\text{D. 2. 1-15})$$

$$N \eta e_i \leq \alpha_1 f_c A_0 (r_n + r_w) \frac{\sin \pi \alpha_0}{2\pi} + f_y A_s r_0 \frac{\sin \pi \alpha_0 + \sin \pi \alpha_1}{\pi} \quad (\text{D. 2. 1-16})$$

式中 α_0 ——受压区混凝土截面面积与全截面面积的比值；
 α_t ——受拉纵向钢筋截面面积与全部纵向钢筋截面面积的比值；当 $\alpha_0 > 2/3$ 时， $\alpha_t = 0$ 。

上述各公式中的系数和偏心距应按下列公式计算：

$$\alpha_t = 1 - 1.5\alpha_0 \quad (\text{D. 2. 1-17})$$

$$e_i = e_0 + e_s \quad (\text{D. 2. 1-18})$$

7 在 $y=4/a$ 深度范围内，应以土层对井壁的弹性抗力 σ_x 与水土压力组合的最大值对井壁环向承载力进行验算。

表 D. 2. 1-2 A、B、C、D 各系数值

换算深度 $h=ay$	A_1	B_1	C_1	D_1	A_2	B_2	C_2	D_2
0	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0.00000
0.1	1.00000	0.10000	0.00500	0.00017	0.00000	1.00000	0.10000	0.00500
0.2	1.00000	0.20000	0.02000	0.00133	-0.00007	1.00000	0.20000	0.02000
0.3	0.99998	0.30000	0.04500	0.00450	-0.00034	0.99996	0.30000	0.04500
0.4	0.99991	0.39999	0.08000	0.01067	-0.00107	0.99983	0.39998	0.08000
0.5	0.99974	0.49996	0.12500	0.02083	-0.00260	0.99948	0.49994	0.12499
0.6	0.99935	0.59987	0.17998	0.03600	-0.00540	0.99870	0.59981	0.17998
0.7	0.99860	0.69967	0.24495	0.05716	-0.01000	0.99720	0.69951	0.24494
0.8	0.99727	0.79927	0.31988	0.08532	-0.01707	0.99454	0.79891	0.31983
0.9	0.99508	0.89852	0.40472	0.12146	-0.02733	0.99016	0.89779	0.40462
1.0	0.99167	0.99722	0.49941	0.16657	-0.04167	0.98333	0.99583	0.49921
1.1	0.98658	1.09508	0.60384	0.22163	-0.06096	0.97317	1.09262	0.60346
1.2	0.97927	1.19171	0.71787	0.28758	-0.08632	0.95855	1.18756	0.71716
1.3	0.96908	1.28660	0.84127	0.36536	-0.11883	0.93817	1.27990	0.84002
1.4	0.95523	1.37910	0.97373	0.45588	-0.15973	0.91047	1.36865	0.97163
1.5	0.93681	1.46839	1.11484	0.55997	-0.21030	0.87365	1.45259	1.11145
1.6	0.91280	1.55346	1.26403	0.67842	-0.27194	0.82565	1.53020	1.25872
1.7	0.88201	1.63307	1.42061	0.81193	-0.34604	0.76413	1.59963	1.41247
1.8	0.84313	1.70575	1.58362	0.96109	-0.43412	0.68645	1.65867	1.57150
1.9	0.79467	1.76972	1.75190	1.12637	-0.53768	0.58967	1.70468	1.73422

续表 D.2.1-2

换算 深度 $h=ay$	A_1	B_1	C_1	D_1	A_2	B_2	C_2	D_2
2.0	0.73502	1.82294	1.92402	1.30801	-0.65822	0.47061	1.73457	1.89872
2.2	0.57491	1.88709	2.27217	1.72042	-0.95616	0.15127	1.73110	2.22299
2.4	0.34691	1.87450	2.60882	2.19535	-1.33889	-0.30273	1.61286	2.51874
2.6	0.03315	1.75473	2.90670	2.72365	-1.81479	-0.92602	1.33485	2.74972
2.8	-0.38548	1.49037	3.12843	3.28769	-2.38756	-1.75483	0.84177	2.86653
3.0	-0.92809	1.03679	3.22471	3.85838	-3.05319	-2.82410	0.06837	2.80406
3.5	-2.92799	-1.27172	2.46304	4.97982	-4.98062	-6.70806	-3.58647	1.27018
4.0	-5.85333	-5.94097	-0.92677	4.54780	-6.53316	-12.15810	-10.60840	-3.76647
换算 深度 $h=ay$	A_3	B_3	C_3	D_3	A_4	B_4	C_4	D_4
0	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1.00000
0.1	-0.00017	-0.00001	1.00000	0.10000	-0.00500	-0.00033	-0.00001	1.00000
0.2	-0.00133	-0.00013	0.99999	0.20000	-0.02000	-0.00267	-0.00020	0.99999
0.3	-0.00450	-0.00067	0.99994	0.30000	-0.04500	-0.00900	-0.00101	0.99992
0.4	-0.01067	-0.00213	0.99974	0.39998	-0.08000	-0.02133	-0.00320	0.99966
0.5	-0.02083	-0.00521	0.99922	0.49991	-0.12499	-0.04167	-0.00781	0.99896
0.6	-0.03600	-0.01080	0.99806	0.59974	-0.17997	-0.07199	-0.01620	0.99741
0.7	-0.05716	-0.02001	0.99580	0.69935	-0.24490	-0.11433	-0.03001	0.99440
0.8	-0.08532	-0.03412	0.99181	0.79854	-0.31975	-0.17060	-0.05120	0.98908
0.9	-0.12144	-0.05466	0.98524	0.89705	-0.40443	-0.24284	-0.08198	0.98032
1.0	-0.16652	-0.08329	0.97501	0.99445	-0.49881	-0.33298	-0.12493	0.96667
1.1	-0.22152	-0.12192	0.95975	1.09016	-0.60268	-0.44292	-0.18285	0.94634
1.2	-0.28737	-0.17260	0.93783	1.18342	-0.71573	-0.57450	-0.26886	0.91712
1.3	-0.36496	-0.23760	0.90727	1.27320	-0.83753	-0.72950	-0.35631	0.87638
1.4	-0.45515	-0.31933	0.86573	1.35821	-0.96746	-0.90954	-0.47883	0.82102

续表 D. 2. 1-2

换算 深度 $h=ay$	A_3	B_3	C_3	D_3	A_4	B_4	C_4	D_4
1.5	-0.55870	-0.42039	0.81054	1.43680	-1.10468	-1.11609	-0.63027	0.74745
1.6	-0.67629	-0.54348	0.73859	1.50695	-1.24808	-1.35042	-0.81466	0.65156
1.7	-0.80848	-0.69144	0.64637	1.56621	-1.39623	-1.61346	-1.03616	0.52871
1.8	-0.95564	-0.86715	0.52997	1.61162	-1.54728	-1.90577	-1.29909	0.37368
1.9	-1.11796	-1.07375	0.38503	1.63969	-1.69889	-2.22745	-1.60770	0.18071
2.0	-1.29535	-1.31361	0.20676	1.64628	-1.84818	-2.57798	-1.96620	-0.05652
2.2	-1.69334	-1.90567	-0.27087	1.57538	-2.12481	-3.35952	-2.84858	-0.69158
2.4	-2.14117	-2.66329	-0.94885	1.35201	-2.33901	-4.22811	-3.97323	-1.59151
2.6	-2.62126	-3.59987	-1.87734	0.91679	-2.43695	-5.14023	-5.35541	-2.82106
2.8	-3.10341	-4.71748	-3.10791	0.19729	-2.34558	-6.02299	-6.99007	-4.44491
3.0	-3.54058	-5.99979	-4.68788	-0.89126	-1.96928	-6.76460	-8.84029	-6.51972
3.5	-3.91921	-9.54367	-10.34040	-5.85402	1.07408	-6.78895	-13.69240	-13.82610
4.0	-1.61428	-11.73070	-17.91860	-15.07550	9.24368	-0.35762	-15.61050	-23.14040

附录 E 法兰盘的连接及计算

E.1 法兰盘的连接

E.1.1 井壁法兰盘连接应符合以下要求:

1 预埋吊环提吊的井壁,其法兰盘按构造要求采用螺栓连接时,内缘螺栓间距宜按 300~500mm 配置,连接螺栓直径可采用 16~24mm,井壁法兰盘外缘应采用连续焊缝满焊焊接,焊缝高度不应小于 10mm。

2 当井壁采用吊帽吊运时,也可根据安装需要,在上法兰盘外缘预留螺栓孔。连接螺栓直径可按下式计算:

$$d_0 = \sqrt{\frac{4 \times 0.9 \times \nu_d \times \nu_2 \times Q_i}{\pi \times n \times f_t^b}} \quad (\text{E. 1. 1})$$

式中 d_0 ——连接螺栓直径(mm);

ν_2 ——受力不均匀系数(取 1.2);

Q_i ——起吊井壁自重(N);

n ——螺栓个数(个);

f_t^b ——螺栓抗拉强度设计值(N/mm²);

0.9——临时吊装运输验算折减系数。

E.2 法兰盘的计算

E.2.1 井壁法兰盘计算应符合以下要求:

1 当井壁采用吊环或提吊螺栓吊运时,井壁法兰盘型钢型号或钢板厚度按构造要求选用。

2 当井壁采用吊帽吊运时,井壁法兰盘型钢翼缘板厚度或钢板厚度可按下式公列计算:

$$\delta = \sqrt{\frac{6\nu_3 M}{f}} \quad (\text{E. 2. 1-1})$$

$$M = \beta q l_1^2 \quad (\text{E. 2. 1-2})$$

$$q = \frac{0.9 \times \nu_d \times \nu_4 \times Q_i}{A} \quad (\text{E. 2. 1-3})$$

式中 δ ——钢板厚度或型钢翼缘厚度(mm);
 ν_3 ——受力不均匀系数, $\nu_3 = 1.5$;
 ν_4 ——运输及吊装阶段强度设计安全系数, 取 $\nu_4 = 1.5$;
 M ——计算弯矩(N·m/m);
 f ——法兰盘材料的强度设计值(N/mm²);
 β ——弯矩计算系数, 可按表 E. 2. 1 选用;
 q ——法兰盘上计算荷载集度(N/mm²);
 A ——法兰盘面积(mm²);
 l_1 ——法兰盘加劲肋间距(mm);
 l_2 ——法兰盘计算宽度(mm), 型钢法兰盘为槽钢翼缘宽度; 钢板法兰盘为翼缘宽度;
 Q_i ——提吊时法兰盘受到的竖向提吊力(N)。

表 E. 2. 1 系数 β

l_2/l_1	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	2.0	∞
β	0.06	0.074	0.088	0.097	0.107	0.112	0.120	0.126	0.132	0.133

3 法兰盘各连接件之间应采用贴角焊缝焊接, 焊缝高度可按
下式计算, 但不宜小于 8mm。

$$h_i = \frac{0.9 \times \nu_d \times \nu_3 \times Q_h}{0.7 \times L_w \times f_t^w} \quad (\text{E. 2. 1-4})$$

式中 h_i ——角焊缝计算高度(mm);
 Q_h ——计算部位作用在焊缝上的外力值(N);
 L_w ——角焊缝计算长度之和(mm);
 f_t^w ——角焊缝抗剪强度设计值(N/mm²)。

附录 F 不均匀压力作用下的井壁圆环内力及钢筋配筋计算

F.1 不均匀压力作用下的井壁圆环内力计算

F.1.1 井壁圆环截面轴向力和弯矩应按下列公式计算：

1 $\omega=0^\circ$ (A 截面) 时, 井壁圆环 A 截面轴向力 N_A 和弯矩 M_A 应按下列公式计算：

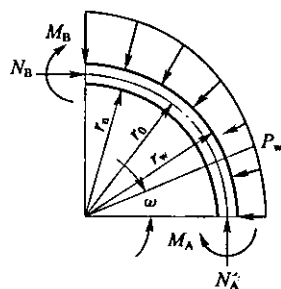


图 F.1.1 不均匀压力作用井壁内力计算图

$$N_A = (1 + 0.785\beta_i)r_w P_A \quad (\text{F.1.1-1})$$

$$M_A = -0.149\beta_i r_w^2 P_A \quad (\text{F.1.1-2})$$

2 $\omega=90^\circ$ (B 截面) 时, 井壁圆环 B 截面轴向力 N_B 和弯矩 M_B 应按下列公式计算：

$$N_B = (1 + 0.5\beta_i)r_w P_A \quad (\text{F.1.1-3})$$

$$M_B = 0.137\beta_i r_w^2 P_A \quad (\text{F.1.1-4})$$

$$P_B = P_A (1 + \beta_i) \quad (\text{F.1.1-5})$$

3 按 $\omega=0^\circ$ 及 $\omega=90^\circ$ 时两组公式计算后, 取一组较大数值进行偏心矩和承载力计算。

F.2 环向钢筋配筋计算

F.2.1 井壁环向钢筋配筋应按附录 C 中 C.1.2 的有关公式计算。

F.3 竖向钢筋配筋计算

F.3.1 按井壁提吊计算竖向钢筋时应按以下公式计算：

$$A_{sy} = \frac{\nu_d \nu_t N_z}{f_y} \quad (\text{F. 3. 1-1})$$

$$N_z = N_{z,k} \quad (\text{F. 3. 1-2})$$

式中 A_{sy} ——井壁竖向钢筋横截面积(mm^2)；

N_z ——提吊时井壁受到的竖向荷载计算值(MN)。

F.3.2 按井壁提吊抗裂计算竖向钢筋时应按以下公式计算：

$$\nu_d \cdot \nu_t \cdot N_z \leq f_t (A + 2n \cdot A_{sy}) \quad (\text{F. 3. 2-1})$$

$$n = E_s / E_c \quad (\text{F. 3. 2-2})$$

式中 ν_t ——抗裂安全系数,取 $\nu_t = 1.5$ ；

f_t ——混凝土轴心抗拉强度设计值(MN/m^2)；

A ——井壁横截面积(m^2)；

n ——钢筋和混凝土弹性模量的比值；

E_s ——钢筋弹性模量(N/mm^2)。

F.3.3 按竖向不均匀地压计算竖向钢筋时应按以下规定计算：

1 井壁在冲积层与基岩交界面处因侧向地压突变而受到的纵向弯矩(见图 F.3.3)应按下列公式计算：

$$M_{\max} = 0.0806 \frac{P_0}{\lambda^2} \quad (\text{F. 3. 3-1})$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{3(1-\nu_c^2)}{r_0^2 \times t^2}} \quad (\text{F. 3. 3-2})$$

式中 M_{\max} ——交界面处每米井壁最大纵向弯矩计算值($\text{MN} \cdot \text{m}$)；

P_0 ——交界面处井壁受到的均匀水土压力计算值(MPa)；

λ ——壳体常数(m^{-1})。

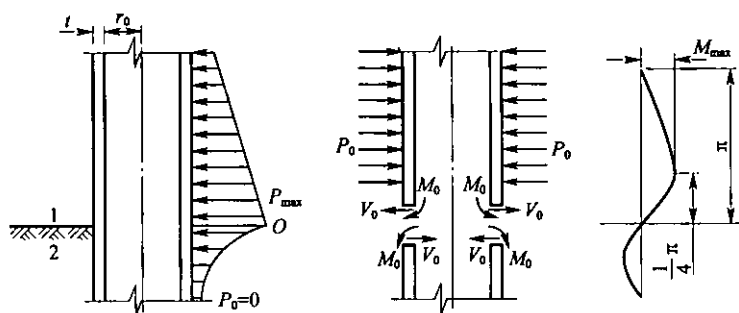


图 F. 3. 3 纵向不均匀压力计算简图

1—冲积层; 2—基岩;

P_{max} —井壁在冲积地层段受到的最大水土压力计算值(MPa); V_0 —0—0 截面产生的剪力(MPa); M_0 —剪力 V_0 使井壁在 0—0 截面产生的弯矩(MPa)

2 井壁在冲积层与基岩交界面处的纵向钢筋配置应符合下列规定:

- 1) 交界面上下段井壁的纵向钢筋配置应能承受按 F. 3. 3-1 式计算出的弯矩。其受弯承载力应符合下列规定:

$$M \leq \alpha_1 f_c x \left(t_0 - \frac{x}{2} \right) + f'_y A_{s1} (t_0 - a') \quad (\text{F. 3. 3-3})$$

- 2) 混凝土受压区高度应按下式计算:

$$\alpha_1 f_c x = f_y A_{s2} - f'_y A_{s1} \quad (\text{F. 3. 3-4})$$

- 3) 混凝土受压区高度尚应符合下列条件:

$$x \leq \xi_b t_0 \quad (\text{F. 3. 3-5})$$

$$x \geq 2a' \quad (\text{F. 3. 3-6})$$

3 井壁在冲积层与基岩交界面处斜截面的抗剪强度应按下式计算:

$$V_{max} \leq 0.25 \beta_c f_c b_0 t_0 \quad (\text{F. 3. 3-7})$$

式中 V_{max} ——交界面处每米井壁最大剪力计算值(MN);

β_c ——混凝土强度影响系数,当混凝土强度等级不超过 C50 时,取 $\beta_c = 1.0$;当混凝土强度等级为 C80 时,

取 $\beta_c = 0.8$; 其间按线形内插法确定;

t_0 ——井壁截面有效厚度(m)。

4 井壁在冲积层与基岩交界面处的纵向钢筋配置长度应取界面上下各一个波长, 内外缘配筋相同。波长可按下式计算:

$$L = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (\text{F. 3. 3-8})$$

式中 L ——波长(m)。

附录 G 半球和削球式井壁底计算

G.1 半球和削球式井壁底内力计算

G.1.1 半球和削球式井壁底内力(见图 G.1.1)可按下列公式计算:

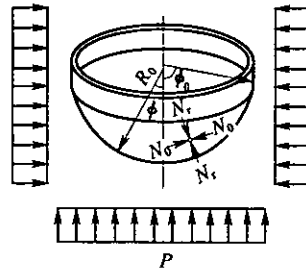


图 G.1.1 半球和削球式井壁底计算简图

$$N_r = \frac{1}{2} P_g R_0 \quad (\text{G.1.1-1})$$

$$N_0 = \frac{1}{2} P_g R_0 \quad (\text{G.1.1-2})$$

$$U = \frac{1}{4} P_g R_0^2 \sin 2\phi_0 \quad (\text{G.1.1-3})$$

$$P_g = P_{w,k} - P_{n,k} \quad (\text{G.1.1-4})$$

$$P_w = \nu_w P_{w,k} \quad (\text{G.1.1-5})$$

$$P_n = \nu_n P_{n,k} \quad (\text{G.1.1-6})$$

式中 R_0 ——球壳厚度的平均半径(m);

P_g ——井壁底所受到的压力计算值(MPa);

P_w ——泥浆压力计算值(MPa);

$P_{w,k}$ ——泥浆压力标准值(MPa);

P_n ——配重水压力计算值(MPa);
 $P_{n,k}$ ——配重水压力标准值(MPa);
 ϕ_0 ——削球壳所对圆心角的一半;
 N_r ——削球壳面径向内力计算值(MN/m);
 N_θ ——削球壳面纬向内力计算值(MN/m);
 ν_w ——井壁底在泥浆作用下的安全系数;
 ν_n ——井壁底在配重水作用下的安全系数;
 U ——支承环内力计算值(MN)。

G.2 半球和削球式井壁底钢筋配置计算

G.2.1 半球和削球式井壁底钢筋配置可按下列公式计算:

$$A_g = \frac{N - f_c t}{f_y} \quad (G.2.1-1)$$

式中 N ——削球壳面内力计算值(MN/m), $N = N_r$ 或 $N = N_\theta$;
 t ——球壳厚度(m)。

在均匀压力作用下,以轴心受拉构件按下式计算井壁底支承环需要的抗拉钢筋:

$$A_g = \frac{U}{f_y} \quad (G.2.1-2)$$

采用半球式井壁底时, $\phi_0 = 90^\circ$, $U = 0$;此时,按构造配筋。

附录 H 半椭圆回转扁球壳并壁底计算

H.1 筒体与壳体界面的内力计算

H.1.1 筒与壳(壳体的几何关系见图 H.1.1)界面的内力 N_0 宜按下式计算:

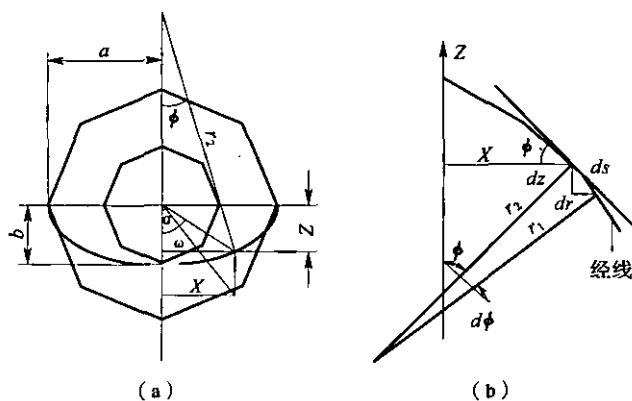


图 H.1.1 半椭圆回转扁球壳式并壁底几何关系图

$$N_0 = \frac{P_g a^2}{8\lambda b^2} \quad (\text{H.1.1-1})$$

式中 N_0 ——筒与壳界面的内力计算值(MN/m);

a ——筒体厚度中线半径(m);

b ——壳体厚度中线高度(m),一般可取 $\frac{1}{2}a$ 。

H.2 筒体内力及配筋计算

H.2.1 筒体在荷载作用下的内力宜按以下规定计算:

1 筒体在 P_g 作用下沿环向的内力宜按下式计算:

$$N_{2T}^{P_g} = P_g a \quad (\text{H. 2. 1-1})$$

式中 $N_{2T}^{P_g}$ ——筒体在 P_g 作用下沿环向的内力计算值(MN/m)。

2 筒体在井壁自重 Q_{z1} 作用下沿经向的内力宜按下式计算:

$$N_{1T}^{Q_{z1}} = \frac{Q_{z1}}{2\pi a} \quad (\text{H. 2. 1-2})$$

式中 $N_{1T}^{Q_{z1}}$ ——筒体在 Q_{z1} 作用下沿经向的内力计算值(MN/m)。

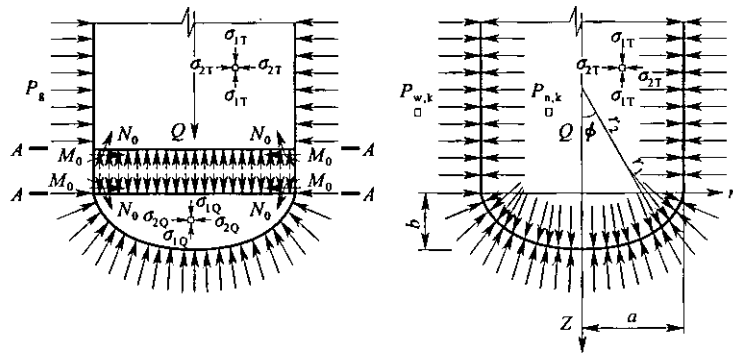


图 H. 2. 1 半椭圆回转扁球壳式井壁底受力简图

3 筒体在水平力 N_0 作用下的内力宜按以下规定计算:

1) 筒体在水平力 N_0 作用下沿经向的弯矩宜按下式计算:

$$M_{1T}^{N_0} = \frac{1}{\lambda} N_0 e^{-\lambda x} \sin \lambda x \quad (\text{H. 2. 1-3})$$

式中 $M_{1T}^{N_0}$ ——筒体在水平力 N_0 作用下沿经向的弯矩计算值(MN · m/m)。

2) 筒体在水平力 N_0 作用下沿环向的内力宜按下式计算:

$$N_{2T}^{N_0} = -2N_0 \lambda a e^{-\lambda x} \cos \lambda x \quad (\text{H. 2. 1-4})$$

式中 $N_{2T}^{N_0}$ ——筒体在水平力 N_0 作用下沿环向的内力计算值(MN/m)。

H. 2. 2 筒体在荷载作用下的配筋宜按以下规定计算:

1 竖向钢筋配置宜符合下式要求:

$$N_{1T}^{Q_{Z1}} \cdot e \leq 0.5 f_c b t_0 + f_y' A_y' (t_0 - a_s') \quad (\text{H. 2. 2-1})$$

$$e = \frac{t}{2} - a + e_0 \quad (\text{H. 2. 2-2})$$

$$e_0 = \frac{M_{1T\max}^{N_0}}{N_{1T}^{Q_{Z1}}} \quad (\text{H. 2. 2-3})$$

2 环向钢筋宜按下式计算:

$$A_y' = \frac{N_{\max} - f_c t}{f_y} \quad (\text{H. 2. 2-4})$$

式中 N_{\max} ——按 H. 2. 1-4 式计算出的 $N_{2T}^{N_0}$ 的拉、压力最大值的绝对值之和(MN/m);

A_y' ——钢筋横截面积(m^2/m)。

H. 3 壳体内力及配筋计算

H. 3. 1 壳体在荷载作用下的内力宜按以下规定计算:

1 壳体在 P_g 、 N_0 作用下沿经线切线方向的内力计算。

1) 壳体在 P_g 作用下沿经线切线方向的内力宜按下式计算:

$$N_{1T}^{P_g} = \frac{P_g r_2}{2} \quad (\text{H. 3. 1-1})$$

$$r_2 = \sqrt{\frac{a^4 Z^2 + b^4 x^2}{b^2}} \quad (\text{H. 3. 1-2})$$

式中 $N_{1T}^{P_g}$ ——壳体在 P_g 作用下沿经线切线方向的内力计算值(MN/m);

r_2 ——经线的法线与旋转轴的交点,到壳体曲面之间的长度(m);

Z, x ——计算点坐标值(m)。

2) 壳体在 N_0 作用下沿经线切线方向的弯矩宜按下式计算:

$$M_{1Q}^{N_0} = \frac{P_{\#} a t}{\sqrt{12(1-\nu_c^2)}} e^{-\beta} \sin \beta \quad (\text{H. 3. 1-3})$$

$$\beta = \sqrt{3(1-\nu_c^2)} \sum \frac{\Delta S}{\sqrt{r_2 t}} \quad (\text{H. 3. 1-4})$$

$$S = \int_0^a \sqrt{a^2 - (a^2 - b^2) \sin^2 \alpha} d\alpha \quad (\text{H. 3. 1-5})$$

$$\text{令 } K = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}}$$

$$\text{当 } \frac{a}{b} = 2 \text{ 时, } K = 0.866; \sin^{-1} K = 60^\circ$$

$$\text{则: } E(\alpha \cdot K) = \int_0^\alpha \sqrt{1 - K^2 \sin^2 \alpha} d\alpha \quad (\text{H. 3. 1-6})$$

查椭圆积分数值表 $\sin^{-1} K = 60^\circ$ 时不同 α 的 $E(\alpha \cdot K)$ 值可得:

$$S = \alpha \cdot E(\alpha \cdot K) \quad (\text{H. 3. 1-7})$$

式中 $M_{1Q}^{N_0}$ ——壳体在 N_0 作用下沿经线切线方向的弯矩计算值 (MN · m/m);

ν_c ——混凝土泊松比。

3) 壳体在荷载作用下沿经线切线方向的应力宜按下列公式计算:

$$\sigma_{1Q}^{N_0} = \frac{6}{t^2} M_{1Q}^{N_0} \quad (\text{H. 3. 1-8})$$

$$\sigma_{1Q}^{P_{\#}} = \frac{1}{t} N_{1Q}^{P_{\#}} \quad (\text{H. 3. 1-9})$$

$$\sigma_1 = \sigma_{1Q}^{N_0} + \sigma_{1Q}^{P_{\#}} \quad (\text{H. 3. 1-10})$$

式中 $\sigma_{1Q}^{N_0}$ ——壳体在 N_0 作用下沿经线切线方向的应力计算值 (MPa);

$\sigma_{1Q}^{P_{\#}}$ ——壳体在 $P_{\#}$ 作用下沿经线切线方向的应力计算值 (MPa);

σ_1 ——壳体在荷载作用下沿经线切线方向的应力计算值 (MPa)。

2 壳体在 P_g 、 N_0 作用下沿环向的内力计算:

1) 壳体在 P_g 作用下沿环向的内力宜按下列公式计算:

$$N_{2Q}^P = P_g \left(r_2 - \frac{r_2^2}{2r_1} \right) \quad (\text{H. 3. 1-11})$$

$$r_1 = \frac{\sqrt{(a^4 Z^2 + b^4 x^2)^3}}{a^4 b^4} \quad (\text{H. 3. 1-12})$$

式中 N_{2Q}^P ——壳体在 P_g 作用下沿环向的内力计算值(MN/m);
 r_1 ——经线的曲率半径(m)。

2) 壳体在 N_0 作用下沿经线切线方向的内力宜按下式计算:

$$M_{2Q}^{N_0} = P_g a e^\beta \cdot \cos \beta \quad (\text{H. 3. 1-13})$$

式中 $M_{2Q}^{N_0}$ ——壳体在 N_0 作用下沿环向的内力计算值(MN/m)。
 β 与壳体在 N_0 作用下沿经线切线方向的弯矩计算时相同。

3) 壳体在荷载作用下沿环向的应力宜按下列公式计算:

$$\sigma_{2Q}^{N_0} = \frac{1}{t} N_{2Q}^{N_0} \quad (\text{H. 3. 1-14})$$

$$\sigma_{2Q}^P = \frac{1}{t} N_{2Q}^P \quad (\text{H. 3. 1-15})$$

$$\sigma_2 = \sigma_{2Q}^{N_0} + \sigma_{2Q}^P \quad (\text{H. 3. 1-16})$$

式中 $\sigma_{2Q}^{N_0}$ ——壳体在 N_0 作用下沿环向的应力计算值(MPa);
 σ_{2Q}^P ——壳体在 P_g 作用下沿环向的应力计算值(MPa);
 σ_2 ——壳体在荷载作用下沿环向的应力计算值(MPa)。

H. 3. 2 壳体在荷载作用下的配筋宜按以下规定计算:

1 壳体在荷载作用下的计算应力宜符合以下规定:

分别计算出 $\omega = 90^\circ \sim 0^\circ$ 不同角度时的 σ_1 、 σ_2 值,采用 $\sigma_{1\max}$ 、 $\sigma_{2\max}$ 进行壳体配筋计算。

$$\sigma_{\max} \leq 0.9(f_c + \rho f_y') \quad (\text{H. 3. 2-1})$$

式中 ρ ——井壁截面配筋率(%);

σ_{\max} ——分别按 H. 3. 1-10、H. 3. 1-16 式计算出的壳体在荷

载作用下沿经线切线方向和沿环向的最大应力计

算值, $\sigma_{\max} = \sigma_{1\max}$ 或 $\sigma_{\max} = \sigma_{2\max}$ 。

2 井壁截面配筋率 ρ 和钢筋截面面积 A_s 宜按以下规定确定:

1) 当 $\sigma_{\max} \leq 0.9f_c$ 时, 应按构造规定配置钢筋; 当 $\sigma_{\max} > 0.9f_c$ 时, 配筋率宜按下式计算:

$$\rho = \frac{\sigma_{\max} - 0.9f_c}{0.9f_{yy}} \quad (\text{H. 3. 2-2})$$

2) 当计算结果 $\rho > \rho_{\min}$ 时, A_s 宜按下式计算:

$$A_s = \rho b(r_w - r_n) \quad (\text{H. 3. 2-3})$$

3) 当计算结果 $\rho \leq \rho_{\min}$ 时, A_s 宜按下式计算:

$$A_s = \rho_{\min} b(r_w - r_n) \quad (\text{H. 3. 2-4})$$

4) 当计算结果 ρ 值过大时, 应加大井壁厚度。

式中 b ——井壁截面计算宽度(m), 取 1.0m;

ρ_{\min} ——最小配筋率(%), $\rho_{\min} = 0.8\%$ 。

H. 4 壳顶浅碟效应计算

H. 4. 1 壳顶浅碟效应宜按以下规定计算:

1 壳顶浅碟效应宜采用 $\phi = 10^\circ$ (见图 H. 4. 1) 进行计算。

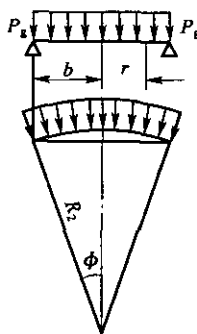


图 H. 4. 1 壳顶浅碟效应计算简图

$$R_2 = \frac{a^2}{(a^2 \sin^2 \phi + b^2 \cos^2 \phi)^{\frac{1}{2}}} \quad (\text{H. 4. 1-1})$$

$$b = R_2 \cdot \sin \phi \quad (\text{H. 4. 1-2})$$

2 径向弯矩宜按下式计算:

$$M_1 = \frac{P_g}{16} (3 + \mu) (b^2 - r^2) \quad (\text{H. 4. 1-3})$$

3 切向弯矩宜按下式计算:

$$M_2 = \frac{P_g}{16} [(3 + \mu) b^2 - (1 + 3\mu) r^2] \quad (\text{H. 4. 1-4})$$

式中 M_1 、 M_2 ——壳顶径向、切向弯矩计算值(MN·m/m)。

采用 $r=0$ 时的 $M_{1\max}$ 、 $M_{2\max}$ 进行配筋计算。由于中心部分弯矩比较大,可采用钢板替代钢筋。

H. 5 井壁底浮起验算

H. 5. 1 井壁底浮起应按下列公式验算:

$$V_n \gamma_w > (V_Q + V_T) \gamma_h \quad (\text{H. 5. 1-1})$$

$$V_Q = \frac{2}{3} \pi (R_1^2 H_w - R_2^2 H_n) \quad (\text{H. 5. 1-2})$$

$$V_T = \pi (R_1^2 - R_2^2) H_T \quad (\text{H. 5. 1-3})$$

$$V_n = \pi R_1^2 H_T + \frac{2}{3} \pi R_1^2 H_w \quad (\text{H. 5. 1-4})$$

式中 V_Q 、 V_T ——壳体、筒体体积(m^3);

V_n ——井壁底壳体、筒体排开泥浆体积(m^3);

R_1 、 R_2 ——壳体、筒体的外半径、内半径(m);

H_w 、 H_n ——壳体的外高度、内高度(m);

H_T ——筒体高度(m)。

附录 J 钻井法凿井井筒钢板— 混凝土复合井壁计算

J.1 内层钢板—外层混凝土复合井壁承载力计算

J.1.1 内层钢板—外层混凝土复合井壁(见图 J.1.1)的内层钢板筒应按下列公式计算:

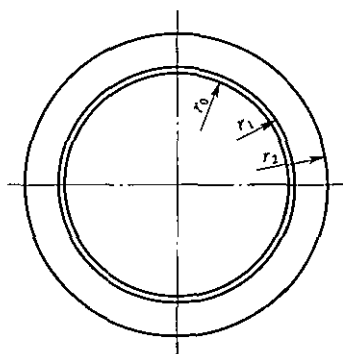


图 J.1.1 内层钢板—外层混凝土复合井壁

$$\sigma_{gn} = \frac{2P_{12}r_1}{r_0 + r_1} \quad (J.1.1-1)$$

$$\sigma_{gn} \leq f \quad (J.1.1-2)$$

$$P_{12} = \frac{f_3 P}{f_1 + f_2} \quad (J.1.1-3)$$

$$f_1 = (1 + \mu_g) \left(\frac{1 + t_1^2 - 2\mu_g t_1^2}{t_1^2 - 1} \right) \frac{r_1}{E} \quad (J.1.1-4)$$

$$f_2 = (1 + \mu_g) \left(\frac{t_2^2 + 1 - 2\mu_h}{t_2^2 - 1} \right) \frac{r_1}{E_c} \quad (J.1.1-5)$$

$$f_3 = (1 + \mu_h) \left(\frac{2t_2(1 - \mu_h)}{t_2^2 - 1} \right) \frac{r_2}{E_c} \quad (J.1.1-6)$$

$$t_1 = \frac{r_1}{r_0} \quad (\text{J. 1. 1-7})$$

$$t_2 = \frac{r_2}{r_1} \quad (\text{J. 1. 1-8})$$

式中 P ——计算处地层荷载计算值(MPa);
 σ_{gn} ——内层钢板应力计算值(MPa);
 f ——钢板设计强度(MPa);
 μ_g ——钢板材料泊松比;
 μ_b ——井壁混凝土材料泊松比;
 f_1 ——钢板井壁外表面在单位外荷载作用下的径向位移(m);
 f_2 ——钢板井壁内表面在单位外荷载作用下的径向位移(m);
 f_3 ——外层混凝土井壁内表面在单位外荷载作用下的径向位移(m);
 P_{12} ——钢板井壁外表面荷载计算值(MPa);
 E ——钢板材料弹性模量(MPa);
 E_c ——井壁混凝土材料弹性模量(MPa)。

J. 1. 2 外层钢筋混凝土井壁应按下式计算:

$$\sigma_h = \frac{(r_1^2 + r_2^2)}{r_1^2(t_2^2 - 1)} P_{12} - \frac{r_1^2 t_2^2 + r_2^2}{r_1^2(t_2^2 - 1)} P \quad (\text{J. 1. 2-1})$$

$$\sigma_h \leq f_c \quad (\text{J. 1. 2-2})$$

式中 σ_h ——混凝土应力计算值(MPa)。

J. 2 双层钢板和混凝土夹层复合井壁承载力计算

J. 2. 1 双层钢板和混凝土夹层复合井壁(见图 J. 2. 1)的内层钢板筒应按下式计算:

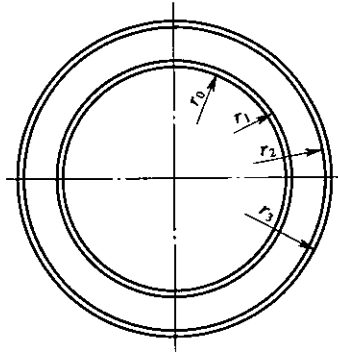


图 J. 2. 1 双层钢板和混凝土夹层复合井壁

$$\sigma_{gn} = \frac{2P_{12}r_0}{r_0 + r_1} \quad (J. 2. 1-1)$$

$$\sigma_{gn} \leq f \quad (J. 2. 1-2)$$

$$P_{12} = \frac{f_3}{f_1 + f_2} P_{23} \quad (J. 2. 1-3)$$

$$f_1 = (1 + \mu_g) \left(\frac{1 + t_1^2 - 2\mu_g t_1^2}{t_1^2 - 1} \right) \frac{r_1}{E} \quad (J. 2. 1-4)$$

$$f_2 = (1 + \mu_h) \left(\frac{t_2^2 + 1 - 2\mu_h}{t_2^2 - 1} \right) \frac{r_1}{E_c} \quad (J. 2. 1-5)$$

$$f_3 = (1 + \mu_h) \left[\frac{2t_2(1 - \mu_h)}{t_2^2 - 1} \right] \frac{r_2}{E_c} \quad (J. 2. 1-6)$$

$$t_1 = \frac{r_1}{r_0} \quad (J. 2. 1-7)$$

$$t_2 = \frac{r_2}{r_1} \quad (J. 2. 1-8)$$

J. 2. 2 中间混凝土层应按下列式计算：

$$\sigma_h = \frac{r_1^2 + r_2^2}{r_1^2 \left[\left(\frac{r_2}{r_1} \right)^2 - 1 \right]} P_{12} - \frac{r_1^2 \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^2 + r_2^2}{r_1^2 \left[\left(\frac{r_2}{r_1} \right)^2 - 1 \right]} P_{23} \quad (J. 2. 2-1)$$

$$P_{23} = \frac{f_1 P}{f_5 + f_6 - \frac{f_3 f_4}{f_1 + f_2}} \quad (J. 2. 2-2)$$

$$f_4 = (1 + \mu_h) \left\{ \frac{2t_2(1 - \mu_h)}{t_2^2 - 1} \right\} \frac{r_2}{E_c} \quad (\text{J. 2. 2-3})$$

$$f_5 = (1 + \mu_h) \left\{ \frac{1 + t_2^2 - 2\mu_h t_2^2}{t_2^2 - 1} \right\} \frac{r_2}{E_c} \quad (\text{J. 2. 2-4})$$

$$f_6 = (1 + \mu_g) \left\{ \frac{t_3^2 + 1 - 2\mu_g}{t_3^2 - 1} \right\} \frac{r}{E} \quad (\text{J. 2. 2-5})$$

$$f_7 = (1 + \mu_g) \left\{ \frac{2t_3(1 - \mu_g)}{t_3^2 - 1} \right\} \frac{r_3}{E} \quad (\text{J. 2. 2-6})$$

$$t_3 = \frac{r_3}{r_2} \quad (\text{J. 2. 2-7})$$

$$\sigma_h \leq f_c \quad (\text{J. 2. 2-8})$$

式中 P_{23} ——混凝土夹层井壁外表面荷载计算值(MPa);

f_4 ——混凝土夹层井壁内表面在单位外荷载作用下的径向位移(m);

f_5 ——混凝土夹层井壁外表面在单位外荷载作用下的径向位移(m);

f_6 ——外层钢板井壁内表面在单位外荷载作用下的径向位移(m);

f_7 ——外层钢板井壁外表面在单位外荷载作用下的径向位移(m)。

J. 2. 3 外层钢板筒应按下式计算:

$$\sigma_{gw} = \frac{2(P_{23}r_2 - Pr_3)}{r_2 + r_3} \quad (\text{J. 2. 3-1})$$

$$\sigma_{gw} \leq f \quad (\text{J. 2. 3-2})$$

式中 σ_{gw} ——外层钢板应力计算值(MPa)。

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的用词:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”。

2)表示严格,在正常情况下均应这样做的用词:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”。

3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的用词:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

表示有选择,在一定条件下可以这样做的用词,采用“可”。

2 本规范中指明应按其他有关标准、规范执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

中华人民共和国国家标准

煤矿立井井筒及硐室设计规范

GB 50384-2007

条文说明

目 次

1 总 则	(103)
3 基本规定	(104)
4 材 料	(106)
4.1 混凝土	(106)
4.2 钢筋	(106)
4.3 钢材	(106)
4.4 玻璃钢	(106)
4.5 其他常用材料	(106)
5 井筒装备	(107)
5.1 井筒平面布置	(107)
5.2 钢丝绳罐道	(107)
5.3 刚性罐道和罐道梁	(107)
5.4 梯子间	(110)
5.5 过放保护和稳罐装置	(111)
5.6 管路及电缆的敷设	(113)
6 井筒支护	(114)
6.1 普通法凿井井筒支护	(114)
6.2 冻结法凿井井筒支护	(115)
6.3 钻井法凿井井筒支护	(116)
6.4 沉井法凿井井筒支护	(118)
6.5 帷幕法凿井井筒支护	(118)
7 硐 室	(120)
7.1 马头门	(120)

7.2	井底煤仓及箕斗装载硐室	(120)
7.3	箕斗立井井底清理撒煤硐室	(121)
7.4	罐笼立井井底水窝及清理	(121)
7.5	立风井井口及井底布置	(121)
附录 J	钻井法凿井井筒钢板—混凝土复合井壁计算	(122)

1 总 则

1.0.1 本条文指出了制定本规范的目的,本规范各章、节的条文都是在该原则下制定的。

1.0.2 本规范第6章井筒支护部分中,第1节普通法凿井井筒支护;第2节冻结法凿井井筒支护;第3节钻井法凿井井筒支护适用于冲积层厚度小于500m、特殊凿井深度小于600m、基岩深度小于800m的立井井筒设计;第4节沉井法凿井井筒支护适用于冲击层厚度小于200m的立井井筒设计;第5节帷幕法凿井井筒支护适用于冲击层厚度小于60m的立井井筒设计。对于超出本规范适用范围的特厚冲积地层、深立井井筒可参考本规范进行设计。

1.0.3 本条文针对采用新技术时可能存在的盲目性,强调了采用新技术所应遵循的原则。

1.0.4 立井井筒井壁结构及硐室设计应根据井筒检查钻孔提供的地质、水文地质资料进行多方案的技术、经济比较,确定最优方案。

当距井筒中心25m范围内已有钻孔,并有符合检查钻孔要求的地质、水文地质资料时,可作为检查钻孔使用。

1.0.6 本条条文规定,立井井筒及硐室工程设计,除应符合本规范外,尚应符合国家现行的有关标准的规定。

3 基本规定

3.0.1 根据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010,作为混凝土结构的立井井筒,其设计基准期为 50 年,但许多矿井的设计服务年限多于 50 年,同时,由于我国自 20 世纪 90 年代以来,煤矿立井井筒所穿过的冲积层越来越深,作为矿井咽喉的立井井筒,有必要适当提高其安全度,因此,立井井筒设计时,可根据实际情况选择结构重要性系数。

3.0.2 混凝土结构安全系数值是以现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 为基础,结合以往设计经验统计归纳制订的。

本规范立井井筒采用以安全系数法为基础的计算方法进行井壁结构设计,考虑以下因素:

1 立井井筒为地下结构,受力状态复杂,荷载类型、大小及其不均匀程度的确定等都比较粗略。现阶段采用分项多系数极限状态设计法尚不成熟。

2 现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 第 5.3.1 条规定:对要求不出现裂缝的结构,不应采用考虑塑性内力重分布的分析方法。立井井筒井壁属不允许出现裂缝的结构。

3 多年来,我国采用普通法、特殊凿井法已建成大量立井井筒,设计井筒净直径最大为 8.0m,穿过冲积层最大厚度为 457.78m,最大冻结深度为 488.0m,最大钻井深度为 582.75m,这些井筒的井壁都是采用弹性体系设计的,积累了丰富的经验,并建立了一套较完整的计算方法。实践证明,按此方法进行井壁结构的设计计算是完全能满足安全、合理、经济、适用的要求。

提升终端荷载 45t 以下的井筒,罐道、罐道梁计算时,安全系数可按 1.0 选取;提升终端荷载 45t 及以上的井筒,可按 1.0~

1.05选取。

3.0.3 采用钻井法、沉井法、混凝土帷幕法施工的井筒,确定井筒断面尺寸时,必须考虑井筒偏斜对井筒有效直径的影响;圆形断面井筒有承受地压性能好、通风阻力小、便于施工等优点,应优先选用;规定井筒直径 0.5m 进级是为了重复使用建井设备及采用通用设计。净直径 6.5m 以上的井筒和采用钻井法施工的井筒因采用 0.5m 进级,井筒工程量大而不经济,可根据实际需要确定。

3.0.4 1987 年以来先后在大屯、淮北地区部分井筒遭到破坏,1993 年以来兖州矿区的部分井筒也发生类似问题,其破坏位置多在表土与基岩交界面上下。经模拟试验和专家论证,认为与地层疏水而引起地表下沉有关,地层的地质及水文地质情况不同对其影响较大,因此在厚冲积层或有地层沉降的地区建井时,应考虑地表沉降、地层突变等因素产生的竖向附加力对井筒的影响。在井壁结构上采取的对应措施目前也各不相同。一般情况下,对表土层厚度不大于 200m 的井筒,井壁结构可采取加强双层钢筋混凝土的强度,以抵抗竖向附加力和水平地压的共同作用;对冲积层厚度大于 200m 的井筒,井壁结构可采用“内抗外让”型滑动井壁,也可采用“可缩”型井壁。采用何种结构形式,应根据井筒通过地层的水文地质情况,通过技术、经济比较后确定。

3.0.7 地震强度较大时,易对上段井筒造成破坏,这已在唐山地震中充分地表现出来。因此,该地区地震烈度为 8 度及以上时,上部井筒的井壁必须采用钢筋混凝土结构。

4 材 料

4.1 混 凝 土

本节混凝土强度设计值、混凝土强度标准值、混凝土弹性模量是按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中有关规定编制的。

4.2 钢 筋

本节钢筋强度设计值、标准值、钢筋弹性模量是按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中有关规定编制的。

4.3 钢 材

本节钢材的强度规定及钢结构设计原则是按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 等规范中有关规定编制的。

4.4 玻 璃 钢

本节规定是根据《煤矿立井井筒预制梯子间复合材料质量检验评定标准》(讨论稿 1992 年 7 月)制定,其目的是为了保证井筒用玻璃钢制品的安全性和可靠性。

立井井筒及硐室用玻璃钢宜采用以合成树脂为基料、玻璃纤维制品为增强材料、内嵌(或不内嵌)一定规格的钢芯,并具有抗静电、阻燃性能的复合材料制作。

4.5 其他常用材料

聚苯乙烯泡沫塑料板可按密度 $0.021 \sim 0.051 \text{g/cm}^3$ 范围选择,但不得采用密度小于 0.021g/cm^3 的聚苯乙烯泡沫塑料板。

5 井筒装备

5.1 井筒平面布置

5.1.1 本条规定了井筒平面布置时应考虑的因素以及对井筒装备和平面布置形式的要求和设计原则。

5.2 钢丝绳罐道

5.2.1 钢丝绳罐道与刚性罐道相比具有结构简单、节省钢材、安装维修方便、井筒通风阻力小、提升容器运行平稳等优点,但钢丝绳罐道要求提升容器之间及提升容器与井壁、罐梁之间的安全间隙比刚性罐道大,故井筒断面一般要相应加大。因此,钢丝绳罐道宜应用于小型矿井或浅井井筒中。

5.3 刚性罐道和罐道梁

5.3.1 刚性罐道与钢丝绳罐道相比具有井筒断面一般要小、井筒深度相应减少、有利于多水平提升等优点。但刚性罐道一般有钢材消耗量大、结构较复杂、安装工程量等缺点。

1 钢轨罐道具有加工与安装方便的优点。

2 型钢组合罐道强度大,使用年限长,但加工与安装工程量。

3 冷弯方型型钢罐道、冷拔方管型钢罐道的截面参数见图 1,技术参数应分别按国家现行标准《立井罐道用冷弯方型空心型钢》MT/T 557 和现行国家标准《冷拔异型钢管》GB/T 3094 执行。

4 玻璃钢复合罐道,采用内衬钢芯,外包玻璃钢经模压热固化处理制成。它具有成型误差小、耐腐蚀、使用年限长等优点,并可根据强度要求经计算而选择内衬钢芯的厚度。但内衬钢芯与玻璃钢的黏结强度等性能参数应符合有关技术规定。

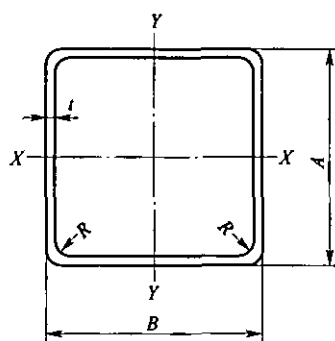


图 1 方型钢罐道截面形状

5 木罐道强度低,服务年限短,新建矿井宜少采用。

6 对于提升容器作用在罐道上的水平力,多年来国内科研、设计单位做了大量的测试工作,取得了丰富的测试资料。但由于这些测试的井筒其提升终端荷载一般在 45t 以下,对提升终端荷载超过 45t 以上井筒测试工作做的不多,还有待于今后继续做一些研究工作,因此提升终端荷载 45t 以下的井筒,其罐道水平力可按本条各公式计算;提升终端荷载 45t 及以上的井筒,其罐道水平力可参考本条各公式计算。

5.3.2 罐道布置在容器一侧,一般适用于钢轨罐道长条形罐笼提升的井筒;罐道布置在容器两侧,一般适用于提升容器长宽比不大,采用钢轨罐道的箕斗井或木罐道罐笼井;罐道布置在容器两端,一般适用于提升速度高,终端荷载大、长条形容器的井筒中。

5.3.3 工字钢罐道梁加工安装方便,但受力性能差;槽钢组合罐道梁由两根 18 号或 16 号槽钢对焊加工制成,具有强度大、受力性能好的优点,但加工工作量大;冷弯、冷拔矩型型钢罐道梁加工方便,截面参数见图 2,技术参数应分别按国家现行标准《立井罐道用冷弯方型空心型钢》MT/T 557、现行国家标准《冷拔异型钢管》GB/T 3094 执行。

5.3.4 简支梁具有结构简单、安装方便、受力条件好等优点,但材

料消耗及通风阻力大;悬臂式罐道梁具有构件小、节省钢材、井筒通风阻力小等优点,但结构受力性能差,所以一般悬臂长度不宜超过 700mm。

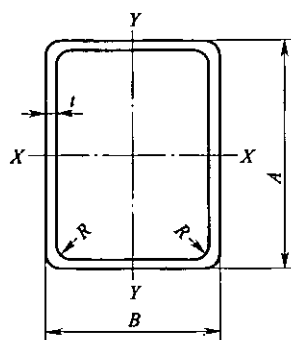


图 2 矩型钢罐道梁截面形状

5.3.6 当井筒处于不稳定含水表土层内时,为保证井壁强度和整体性,防止井壁漏水,因此在该段井筒内严禁采用梁窝固定罐道及其他各种梁。

5.3.7 为防止树脂锚杆施工时,锚杆孔穿透井壁,造成井壁漏水,因此规定锚固长度不应超过单层井壁厚度的 3/5、双层井壁中内层井壁厚度的 4/5。

5.3.9 罐道托架受力及截面尺寸分别如图 3、图 4 所示。

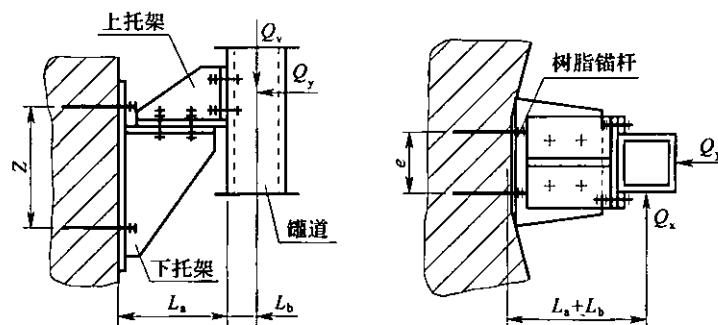


图 3 托架受力简图

L_b —罐道中心线至罐道与托架联结点的距离(m); L_a —罐道与托架联结点至井壁的垂直距离(m); Z, e —固定托架的锚杆的垂直、水平距离(m)

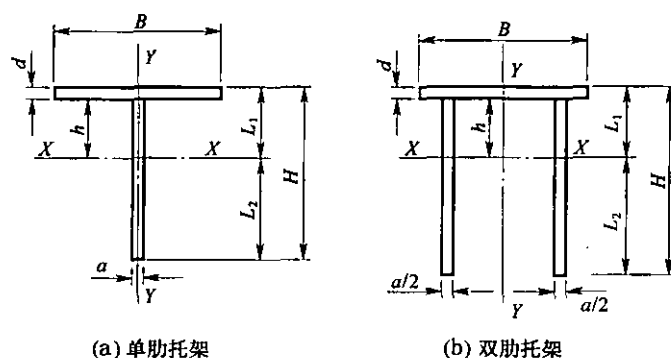


图 4 托架截面尺寸简图

L_1 —托架截面形心至背板外缘的距离(m); B —托架背板宽度(m)

条文式 5.3.9 中:

$$M_{x3} = Q_x (L_a + L_b) \quad (1)$$

$$M_v = Q_v (L_a + L_b) \quad (2)$$

$$W_{x3} = \frac{I_x}{L_1} \quad (3)$$

$$W_{y3} = \frac{I_y}{\frac{B}{2}} \quad (4)$$

式中 Q_v 、 Q_x ——作用于罐道的垂直荷载,侧面水平荷载计算值(MN);

I_x ——罐道截面对 x 轴的惯性矩(m^4)。

5.3.12 当一根罐道梁需要由两节梁连接组成时,无论采用夹板焊接还是夹板螺栓连接,其连接处应做强度验算,要求连接处强度不小于正常罐道梁的强度,以保证罐道梁正常使用。

5.4 梯子间

5.4.1 《煤矿安全规程》规定:“每个生产矿井必须至少有 2 个能使行人的通达地面的安全出口”。为使梯子间的使用方便,当井深

超过 300m 的井筒,一般每隔 200m 左右设置一个休息硐室。休息硐室一般采用拱形断面,宽一般为 1.5m,长一般为 2.0m。休息硐室严禁设在不稳定含水表土层段井筒内。

5.4.2 在井筒装备中,顺向和折返式两种梯子间布置形式应用较多。其中折返式梯子间使用安全、方便,但需要的平面尺寸较大。在井筒装备设计中,根据需要也可采用其他形式的梯子间,但各项参数必须满足本规范第 5.4.3 条的要求。

5.4.3 为确保梯子间的安全、正常使用,本条对梯子间布置做了具体规定。

5.5 过放保护和稳罐装置

5.5.2

3 制动装置最大减速度限制,是从保护人身安全和保护容器不发生永久变形为出发点。有人员上下的罐笼井,主要限制是空罐(乘 1 人)下降制动减速度不得大于人能承受的 $3g$ (g 为重力加速度,下同)。箕斗井或不上下人员的罐笼井最大减速度限制,采用空罐不大于 $5g$,重罐不大于 $3g$,是考虑与现行容器设计强度在最大静载荷下主要杆件安全系数 $10\sim 7$ 倍相适应的。也就是在最大制动减速度时主要杆件受力不超过屈服极限。

4 井上、下容器是通过柔性提升钢绳及尾绳连接的。在制动状态下,井上容器的动能是不会传到井下制动装置上。在井下提前制动的情况下,井下容器的动能一般也不会传到井上制动装置上。

另外,国内多绳提升重大过卷事故都为提升机电控失灵,带电全速过卷进入制动装置。此状态下井上制动装置除吸收上升容器在全速状态下动能外,还要克服提升机巨大牵引力所做的功,而井下制动装置只吸收全速下降容器的动能。为此,对井口和井底制动应分别计算。

5 采用恒制动力的制动装置,例如利用摩擦制动的钢绳制动

系统,制动减速度基本上是恒定值。如减速度约等于或大于 $3g$,制动距离可较短,故超前值也可缩短。如采用 $1:100$ 或 $1:80$ 斜率的楔形木罐道制动,制动减速度是递增的。在吸收相同功能的条件下,制动距离也要加长。

6 由于井下容器相对于井上容器超前进入制动段及井上容器在提升机带电全速过卷状态下制动距离会远大于井下制动距离。这样井上下容器制动终点距(相对于井上下标准停罐位置)就会有相当大的差值。为避免过卷时松绳过多,限制井上下制动终点计算差距不得大于 $4m$ 。

8 楔形木罐道的设置应符合的规定:

1)根据矿井过卷实际情况及煤科院试验资料,采用水曲柳等硬杂木做楔形罐道时,一般都会折断,而采用红松可连续挤压至终端。

2)红松质地较松软,单位变形体积吸收能量相对硬杂木也较小。根据试验资料取 $5 \times 10^7 J/m^3$ 。

9 井底托罐梁的设置应符合的规定:

1)为保证井下制动装置在提升机过放时吸收全部下降容器的动能而不致撞在托罐梁上,所以要求在最大制动载荷时制动距离要留有 $1.5m$ 以上的余量,并且按制动能量计算,要留有 30% 以上的余量。

2)为保持井上下布置上的平衡,限制此差距不大于 $2m$;条文中,“井上最大过卷高度”——井上装卸标准位置时容器上盘顶面至井上防撞梁底面高度;“井底最大过放高度”——井下装卸标准位置时容器底面至井下托罐梁顶面高度。

4)此项规定是指井底采用上盘制动容器的情况。

5.5.4 在一些淋水较大的井筒,对井底水平上下人员、设备维护造成很大困难。在目前暂不能从井壁结构上彻底消除淋水的情况下,要求在井筒与井底车场连接处上方沿井壁截水,通过管路导引至下方水沟,以改善上下人及生产操作条件。

5.6 管路及电缆的敷设

5.6.2 在井筒装备中,如果罐道梁采用树脂锚杆固定,电缆卡也应采用树脂锚杆固定,给井筒装备安装提供方便。

6 井筒支护

6.1 普通法凿井井筒支护

6.1.1 普通法凿井井筒宜采用整体浇筑混凝土或钢筋混凝土单层井壁。当非提升井井筒处在Ⅰ～Ⅲ类中等稳定以上且淋水较小的岩层中时,可采用喷射混凝土或金属网、喷射混凝土及锚杆、金属网、喷射混凝土支护,且喷射混凝土的强度等级不应低于C20。

6.1.2 为提高井壁的防水性能,要求在井壁接茬处应进行喷射混凝土充填,处于含水基岩中的井筒应进行壁后注浆封水。

6.1.3 本条及其他条文中所述的标准荷载、标准内力,是指未考虑结构安全系数的荷载或内力值。标准荷载乘以安全系数即为计算荷载;由计算荷载求得的内力值或由标准内力乘以安全系数求得的内力值称为计算内力值。按标准荷载乘以安全系数求得的内力值与按准内力乘以安全系数求得的内力值是等效的。

6.1.4 20世纪80年代以后,在我国两淮、大屯、兖州等矿区相继发生了井壁破损现象,破坏多发生在表土—基岩界面附近,破坏形态似为受压破坏,此现象引起了人们的注意,并从多方面进行了大量研究。研究表明,井壁破损是由于地层周围土层下降在井壁外侧产生了竖向附加力引起的。因此,在近些年的井壁结构设计中均考虑了竖向附加力的影响,并采取了相应的措施。本规范中规定竖向力计算中应考虑竖向附加力的影响,但由于各矿区地层条件不同,该力大小也不尽相同,有的矿区也可能不存在该力,设计时可根据具体条件按试验数据或经验选取、也可参考本规范第6.1.11条条文说明中有关数据。

6.1.11 条文中井壁纵向承载力的计算考虑了附加力。中国矿业大学根据试验提出安徽省宿县矿区祁南矿井副井井筒井壁外缘单

位面积的附加力值为 50kPa;煤科总院北京建井所提出其设计标准值,淮北矿区为 61.5kPa,大屯、徐州矿区为 56.4kPa,其他矿区为 62.1kPa;竖向附加力的大小与地层的地质和水文地质条件、地层是否疏水以及疏水的速率、井壁结构等多种因素有关。设计中可参考或根据经验选用。

6.1.13 当井筒处在Ⅰ~Ⅲ类中等稳定以上岩层中时,可采用类比法或经验数据确定井壁厚度。

6.2 冻结法凿井井筒支护

6.2.1

1 采用冻结法施工的井筒,为保证表土段井筒自重及因地层沉降等作用在井壁上的竖向力能够被基岩所吸收,冻结法凿井段井筒掘砌深度应进入稳定基岩一定距离,该段井壁称为“壁基”。

3 采用冻结法施工的井筒,要求井筒冻结段井壁的掘砌深度比井筒冻结深度少 5~8m;井筒净直径、井筒冻结深度较大时,适当加大该距离,是为了保证井筒冻结段底部的掘砌施工安全,防止井筒突水。

4 冻结法施工的井筒一般宜采用双层钢筋混凝土井壁,当井筒承受竖向附加力时,可采用柔性滑动井壁或纵向可缩井壁等其他结构形式。

5 在如图 6.2.1 所示冻结法凿井井壁结构中,按计算将底部一段高度的内外层井壁整体浇筑作为壁座,是为了防止内外层井壁之间的水进入井筒。

7 在冻结井筒处于较厚,易膨胀的黏土层内时,宜在冻结壁与外层井壁之间铺设 25~75mm 厚的泡沫塑料板,以减缓冻结壁对外层井壁的冻胀力作用;调节作用在井壁上的不均匀压力;利用泡沫塑料板良好的隔热保温性能,为现浇混凝土外井壁提供一个良好的养护条件。

8 在冻结井筒中,内层井壁相对比较厚,在内层井壁砌筑后,

井壁内将产生一定量的温度应力。由于外层井壁对内层井壁的约束,使内壁外缘不能自由收缩而造成内层井壁横向裂隙。内、外层井壁间铺设 1.5~3.0mm 的塑料板或一定厚度的油毡后,可减少内、外层井壁的约束力,防止内层井壁出现横向裂缝。

9 为提高内、外层井壁的整体强度和井壁抗渗能力,冻结段井筒双层井壁之间宜进行注浆。

6.2.3 外层井壁承受的冻胀力的大小与土层的埋深、土层的性质、井帮的温度、井帮的裸露时间、外层井壁的结构形式等因素有关。本规范表 6.2.3 中给出的值,是在大量测试资料的基础上归纳出的经验数据,设计单位可根据不同地区的地层情况,对表中的数值作适当调整。

6.2.9~6.2.12 规定了井壁厚度、井壁在均匀压力和不均匀压力作用下的井壁圆环内力、承载力计算以及井壁纵向承载力计算内容。

6.2.14、6.2.15 规定了井壁环向稳定性和井壁在三向应力作用下井壁承载力验算内容。

6.3 钻井法凿井井筒支护

6.3.1 本条规定了钻井法凿井井壁结构计算原则,应按地压大小分段设计;如果建井地区存在竖向附加力时,应一并考虑。

6.3.3 由于钻井法凿井可能产生允许的偏斜,因此提升井筒断面除应满足提升容器、井筒装备等布置要求及通风要求外,还应考虑偏斜的影响;如果井筒采取变内断面设计,也应考虑变断面以上井筒净直径增大可部分抵消整个井筒偏斜的作用,以保证井筒的正常使用。

6.3.4 钻井法凿井井壁结构包括有钢筋混凝土结构和钢板—混凝土复合结构,由于钢板—混凝土复合并壁有较高的承载能力,可减薄井壁厚度,因而在深井支护中得到广泛采用。近几年,通过研制高强度等级混凝土材料,混凝土等级提高到 C50~C75,使混凝

土支护强度大大提高,有效地减薄了井壁厚度取得较大技术经济效益。所以在设计时,应优先考虑采用高强混凝土结构井壁。

6.3.7 双层钢板和混凝土夹层复合井壁中的内层钢板厚度不得小于外层钢板厚度。

6.3.8 钢板筒内侧是指钢板筒朝向井筒中心线一侧。

6.3.13 以往的锅底结构设计中,也有采用浅碟式的,但由于其结构不甚合理,受力性能差,施工性能差,仅适用于直径较小的浅井中,目前应用较少,故本规范不再列入。

半球式井壁底承受均匀的泥浆压力,受力性能较好,但井壁底高度大、球面施工较困难,对于掌握了地膜施工的单位,是可以选用的一种较好的形式;削球式井壁底高度小,但受力性能较差,一般宜应用于浅井井筒中;半椭圆回转扁球壳井壁底高度较小,受力性能较好。

6.3.25 钢板筒和法兰盘是钻井井壁结构中的重要组成部分,其作用十分重要。由于其尺寸较大,一般需分片(段)加工、焊接,加工、焊接质量直接影响到井壁质量的好坏,因此规范中对其作了具体规定。

6.3.26 以往在钻井法凿井井壁结构设计时,井壁外侧所受径向水平荷载均按 1.3 倍静水压力计算,这一结果是沿用国外某些资料而来的。近几年来,国内许多单位对钻井井筒所受径向水平荷载进行了大量实测研究。研究结构表明,表土段井壁径向水平荷载均未超过 1.2 倍静水压力,基岩段未超过 1.0 倍静水压力。这一研究结果已纳入原煤炭部有关行业标准,本规范采用这一研究结果。

6.3.27 钻井法凿井井壁不同受力状态的安全系数的制定除考虑了本规范第 3.0.2 条条文说明中所述因素外,还考虑到井壁底的重要性的特殊性等,相应提高了其安全系数值。

6.3.34 规定了井壁稳定性验算内容。

6.3.36、6.3.37 根据钻井钢板井壁设计和施工经验,确定钻井钢

板井壁构造设计的主要原则。

6.4 沉井法凿井井筒支护

沉井法是在不稳定含水地层中开凿井筒的一种特殊施工方法。分为:普通法沉井、壁后泥浆沉井、壁后河卵石沉井和震动沉井。我国采用沉井法施工的井筒多在 20 世纪 50~70 年代末。20 世纪 80 年代以来,采用沉井法施工的立井井筒较少。目前采用沉井法施工的井筒最大深度为单家村副井井筒,沉井深度为 180.0m。

6.4.2 当沉井进入不透水岩层的深度小于规定时,必须采取封底措施。

6.4.3 由于沉井法凿井可能产生允许的偏斜,因此井筒断面除应满足提升容器、井筒装备等布置要求及通风要求外,还应考虑偏斜的影响,以保证井筒的正常使用。

6.4.4 采用沉井法施工的井筒多在 20 世纪 80 年代以前,当时的混凝土强度等级较低,随着混凝土技术的发展,用于井筒支护的混凝土强度等级已达到 C75(冻结法施工),使井壁混凝土支护强度大大提高,有效地减薄了井壁厚度,取得较大技术经济效益。所以在设计时,应优先考虑采用高强混凝土结构井壁。

6.4.8 套井是采用沉井法施工的一个附加临时结构,用于防止沉井过程中四周土层的坍塌,同时作为沉井纠偏及加压下沉操作的一个工作平台。

6.4.9 当采用壁后触变泥浆沉井时,其泥浆比重不大于 0.012 MN/m³,因此参考钻井法凿井护壁泥浆和井壁结构设计,冲积层段井壁径向水平荷载按 1.2 倍静水压力取值。

6.5 帷幕法凿井井筒支护

6.5.1 帷幕法(地下连续墙法)是在不稳定含水地层中开凿井筒的一种特殊施工方法。我国从 1974 年开始引入煤矿建井中,到目

前为止已有 24 个井筒采用帷幕法施工,均是在 20 世纪 70~80 年代中期完成施工的,最大帷幕深度为 56.0m,20 世纪 90 年代以来,采用帷幕法施工的立井井筒较少。

6.5.4 帷幕法施工井壁地层压力按重液公式估算,由于帷幕深度不大于 60.0m,地压计算也可采用其他方法(如朗金公式)。帷幕法套壁时荷载计算可按静水压力(即 $P=0.01H$)计算。

7 硐 室

7.1 马 头 门

7.1.2 马头门连接尺寸的确定。

1 人行道宽,《煤矿安全规程》(2004 年发布)第二十二条:“……新建矿井、生产矿井新掘运输巷的一侧,从巷道道碴面起 1.6m 的高度内,必须留有 0.8m(综合机械化采煤矿井为 1m)以上的人行道……”。据此规定,确定采用综合机械化采煤矿井,马头门双侧人行道中,其中一侧不应小于 1m。

2 马头门长度,马头门的受力比较复杂,当井筒开挖后,围岩应力相当于在均匀受力板中圆孔附近的应力集中问题。

马头门加强支护段长度,自井筒中心线计起。

马头门围岩应力的的大小不但与开挖的井筒半径有关,而且与井筒中心距离有关。

7.1.3 马头门断面位于软岩岩层中时,可采用锚喷加金属网作临时支护,并对围岩的变形进行观测,待围岩变形趋于稳定后再砌筑永久支护。此规定是吸收“新奥法”而制定的。新奥法在各类巷道中使用时都收到良好的效果。在不稳定岩体中掘进巷道时,优点更为显著。其支护的原则就是保证最大限度地利用岩石的抗力去支护它自身。其实质就是将锚喷支护的构筑分两步来完成。

7.2 井底煤仓及箕斗装载硐室

7.2.1 井底煤仓的有效容量计算式摘自国家标准《煤炭工业矿井设计规范》GB 50215—2005。

7.2.2 箕斗装载硐室一般设有给煤皮带框架、定量仓等,受动荷载。考虑到箕斗装载硐室是井下原煤的转运站,硐室与井筒相连

接维修困难且影响生产等因素,故规定“硐室内承受动荷载的结构应采用钢筋混凝土或钢结构”。

7.3 箕斗立井井底清理撒煤硐室

7.3.3 清理撒煤水仓一般采用单巷布置,在巷道中间设置一道钢筋混凝土结构的隔墙,使其分为两个互不渗漏、可交替使用的水仓,以便清理。

水仓底板铺设整体道床,坡度 3‰,坡向吸水井。其中的“坡向吸水井”指水仓处略高,对沉淀有利。

7.4 罐笼立井井底水窝及清理

7.4.1 罐笼立井井底水窝包括罐笼进出车水平以下井筒装备段井筒和井底水窝两部分。

7.4.2 水窝底的弧高约为井筒内径的 1/10,是为了改善水窝底的衬砌体受力确定的。

7.5 立风井井口及井底布置

7.5.1 风硐下口与井筒连接端距设计地坪不宜小于 6m,是从减少外部漏风因素考虑的。当表土层为不稳定的第四系含水层时,为避开含水砂层,便于施工,风硐下口高程可适当提高。

安全出口与风硐口不得布置在同一水平截面或垂直截面上,且安全出口底板应高出风硐口底板 2m 以上是为了改善井壁的受力状况,减少漏风和梯子间的使用安全。

附录 J 钻井法凿井井筒钢板— 混凝土复合并壁计算

根据弹性力学,推导出的二层不同材料组合筒在外侧均匀荷载作用下各层的内力计算(不考虑材料在三轴荷载作用下的强度提高因素),分别根据内层钢板结构(薄壁筒)和外层混凝土结构(厚壁筒)的最大切向应力作为控制应力;根据弹性力学,推导出的三层不同材料组合筒在外侧均匀荷载作用下各层的内力计算(不考虑材料在三轴荷载作用下的强度提高因素),分别根据内层钢板结构(薄壁筒)和中间层混凝土结构(厚壁筒)及外层钢板结构(薄壁筒)的最大切向应力作为控制应力。