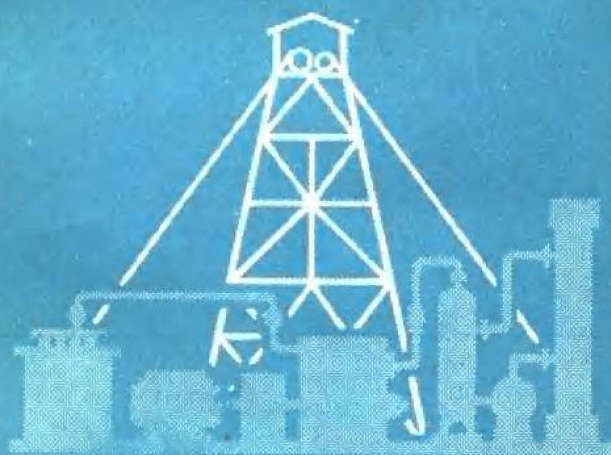


煤矿冻结法凿井

煤炭科学研究院北京研究所建井室编



煤炭工业出版社

煤矿冻结法凿井

煤炭科学研究院北京研究所建井室编

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书是我国煤矿建设中采用冻结法凿井的施工技术经验总结，介绍了该法的具体施工工艺和所取得的技术成就，提供了经验数据，并针对施工中发生的问题进行了分析。内容包括：冻结法凿井的原理和施工概况；冻结法凿井的技术设计；施工过程中打钻、冻结、掘砌等施工工艺，以及差异冻结、局部冻结、分期冻结、风道口冻结、斜井冻结等施工方法；事故分析；技术经济指标；存在的问题和改进意见。

本书可供矿井施工部门的工人、工程技术人员和管理干部参考，也可作为矿井建设专业的科研、设计、教学等方面的参考书。

煤矿冻结法凿井

煤炭科学研究院北京研究所建井室编

(只限国内发行)

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路18号)

燃料化学工业出版社印刷二厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ 印张 $9 \frac{1}{8}$

字数 239 千字 印数 1—4,900

1975年12月第1版 1975年12月第1次印刷

书号15035·2010 定价 0.88 元

前 言

随着我国社会主义建设的蓬勃发展，煤炭工业生产建设的规模和速度不断扩大和提高。煤炭工业战线的广大职工在伟大领袖毛主席制定的**鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义**的总路线指引下，破除迷信，解放思想，应用各种特殊施工方法，尤其是冻结法战胜了流砂和地下水，在地质及水文地质条件复杂的深厚冲积层地区建设了许多新矿井，这些新井为我国社会主义建设作出了贡献，同时积累了丰富的施工经验。近几年来，战斗在生产实践第一线的广大煤矿建设职工，在毛主席无产阶级革命路线的指引下，坚持独立自主，自力更生的方针，经过不断革新创造，使冻结法施工技术又有了新的发展，并在深井冻结方面做出了一定的成绩，为我国新井建设提供了有利的条件。

毛主席教导我们：“**要认真总结经验**”。为了适应我国煤炭工业建设的需要，交流冻结法凿井经验，一九六四年在原煤炭工业部基建司的组织下，由第三建井工程处、第四建井工程处、第二十九建井工程处、第三十四建井工程处、河北省116地质勘探队、唐山煤矿设计院、北京矿业学院、合肥工业大学、煤炭科学研究院建井所等单位，共同进行了资料的搜集、整理和编写工作。在这个基础上，一九七二年我们又对近十几年来采用冻结法施工的矿井和施工单位进行了调查研究，汇集了有关冻结法施工、设计、科研等方面资料，编写成《煤矿冻结法凿井》一书。

本书概括地总结了我国冻结法施工的主要经验，提出了存在的问题和改进意见，供施工中参考。但事物总在不断向前发展，今后冻结法施工矿井的地质及水文地质条件和已施工的矿井不尽相同，因此，必须从实际出发，因地制宜地应用。要注意积累群众中创造的新经验，特别是深井冻结施工的经验，以不断提高我

国冻结法凿井的技术水平。

这次编写过程中,得到了安徽省燃化局三十四工程处、开滦煤矿工程处、辽宁煤矿基建局、淮南煤矿基建局、兖州煤矿生产建设指挥部、徐州矿务局、大屯煤矿指挥部、天津七〇四工程指挥部、三河煤矿等施工部门的大力支持和协助,谨此表示感谢。

由于我们水平所限,书中难免缺点和错误,恳请读者批评指正。

编 者

一九七四年一月

目 录

前 言

第一章 概论	1
第一节 冻结法凿井的原理	1
第二节 采用冻结法施工的简况	4
第二章 冻结法施工技术设计	6
第一节 基本资料	6
第二节 冻结深度的确定	6
第三节 冻结壁设计	7
第四节 冻结孔布置	10
第五节 制冷能力计算	11
第六节 冷冻站实际制冷能力计算	12
第七节 冻结主要附属设备和材料	33
第八节 积极冻结期的确定	41
第九节 冻结设计计算实例	43
第三章 冻结钻孔施工	55
第一节 冻结钻孔的质量要求	55
第二节 施工准备及场地布置	56
第三节 钻进设备的安装	59
第四节 冻结孔钻进	63
第五节 钻孔防漏、防偏和斜孔处理	67
第六节 冻结器安装	69
第七节 供水孔施工	76
第四章 冻结孔测斜	79
第一节 经纬仪-灯光测斜	79
第二节 陀螺仪测斜	86
第三节 绘图	95
第五章 冻结设备安装、运转与冻结维护	97
第一节 冷冻站、冷冻设备	97
第二节 冷却水	133
第三节 冷冻设备的运转与维护	135
第四节 串联双级制冷系统及应用	140

第五节	冻结过程的检查	144
第六节	冻结期间易发生的问题及预防措施	146
第六章	井筒掘进	149
第一节	特点	149
第二节	开挖时间的确定	149
第三节	掘进	154
第四节	掘进中应注意的几个问题	161
第七章	井筒砌壁	175
第一节	井壁结构	175
第二节	井壁混凝土	175
第三节	井壁施工	188
第八章	井筒开凿的测量	210
第一节	冻结壁及井壁温度测量	210
第二节	冻结壁塑性变形测量	220
第三节	冻胀力、地压及水压的测量	221
第九章	收尾工作	224
第一节	概述	224
第二节	回收氨和盐水	224
第三节	冷冻设备的拆除	226
第四节	拔冻结管及冻结孔充填	227
第十章	冻结施工方案及斜井冻结	231
第一节	差异冻结	231
第二节	局部冻结	233
第三节	分期冻结	238
第四节	风道口冻结	240
第五节	斜井冻结施工	243
第十一章	事故分析	246
第一节	概述	246
第二节	施工方案不妥引起的事故	246
第三节	施工质量问题引起的事故	257
第十二章	技术经济分析	272
第一节	工程排队	272
第二节	施工工期及成本分析	275
第十三章	存在问题和今后任务	283

第一章 概 论

第一节 冻结法凿井的原理

井巷工程中，在工程地质和水文地质条件甚为复杂的地层，尤其是松软而不稳定的含水冲积层中开凿井筒时，用普通方法难以通过，只好采用各种特殊方法来施工。冻结法就是其中之一，它能适用于任何条件的含水岩层，尤其在深厚的冲积层中，更显其优越性。这种方法在施工技术上安全可靠，在经济上也是合理的。

冻结法凿井的含义是在将要开凿的井筒的四周造成一个临时的，强度能够支承周围地层的地压和水压的冻结壁（圆筒）。当井筒开凿时，可以防止外部的水和砂土涌入井筒中。其做法是在地面上围绕着井筒的四周钻一组钻孔（冻结孔），钻孔的深度应略大于所要求的冻结深度，然后在钻孔中放入带有底锥的冻结管（无缝钢管），在管内插入下端敞开的供液管，至离底锥 500 毫米以上的地方。冻结管头部装有两根连接管，其一使供液管与配液圈（环形配液管）连通，以输送自冻结站来的冷盐水入冻结管，而冻结管则通过另一根连接管与集液圈（环形集液管）相接，组成盐水的回路。

冻结站的制冷是利用热力循环的基本过程，即当物体由液态变成气态时需要吸收外部介质的热量的工作原理。通常采用氨作为致冷剂，氯化钙溶液（习惯称为盐水）作冷媒。

冻结过程由下列三个系统组成，如图1—1所示。

氨系统：蒸发器中的饱和蒸汽氨被压缩机吸入并压缩到8~12大气压，变成过热蒸汽，温度+100℃左右，流经油脂分离器而进入冷凝器，在冷凝器内不断受温度为+15~+20℃的水冷却而变

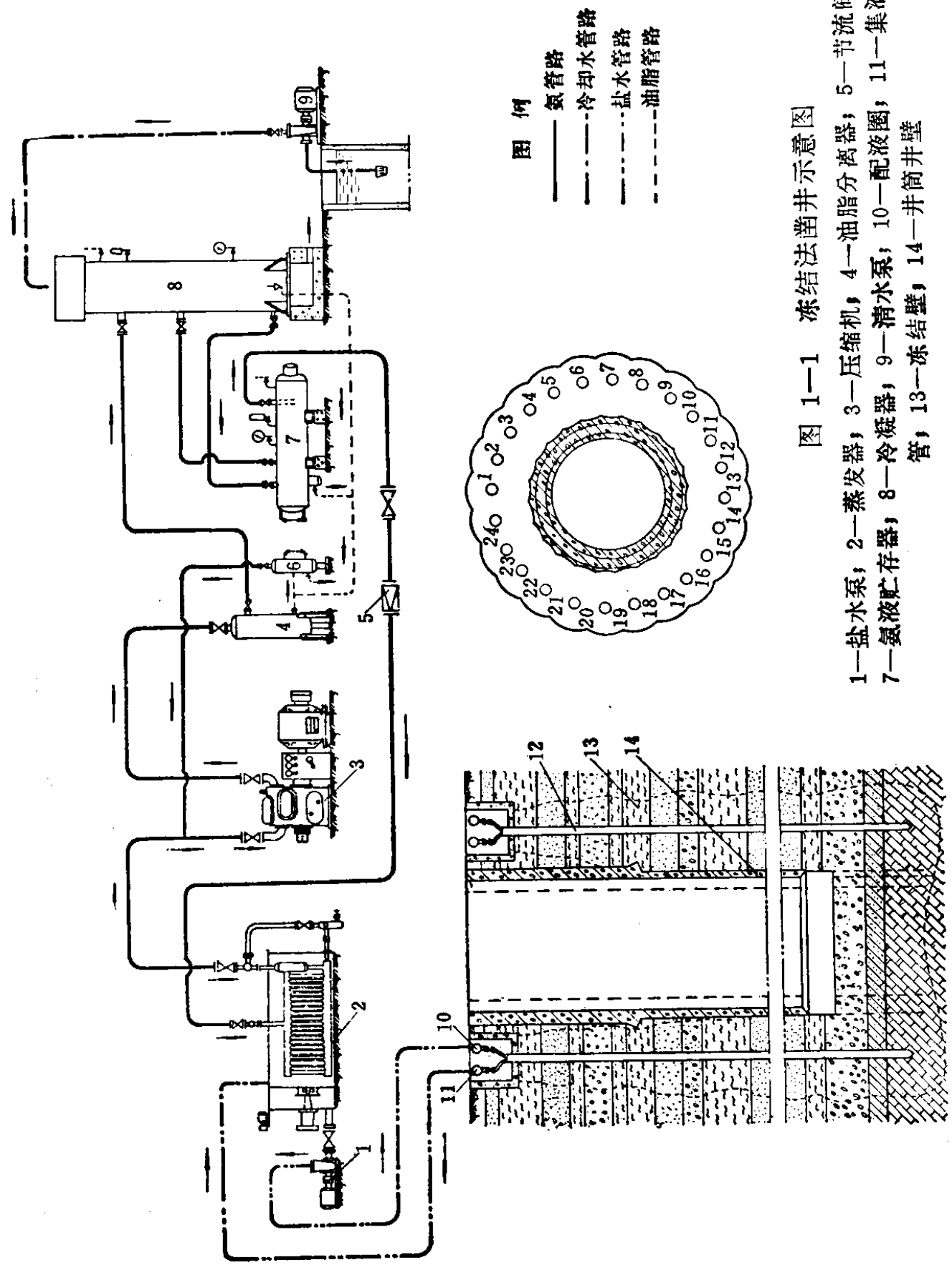


图 1—1 冻结法凿井示意图

为液态氨，然后从冷凝器流入氨液贮存器经管路至节流阀，受该阀节流使压力降至1.55大气压而流入蒸发器的排管内，由于压力下降，液氨蒸发而吸收盐水的热量后成为饱和蒸汽，重新被压缩机吸入。如此循环往复，制取冷量。

冷却水系统：其作用是使氨由气态变为液态。冷却水利用水泵排入冷凝器中，与氨进行热交换后流入贮水池或泄入排水沟，而冷凝器中的气态氨经水冷却降温而凝成液体。

盐水系统：其作用是传递冷量给含水地层使之冻结。蒸发器中的低温盐水（ -25°C 左右）经水泵排入干管和配液圈，再到供液管和冻结管，将冷量传给含水地层，然后经集液管和干管流回蒸发器，再进行热交换，将由地层吸收的热量传给液态氨，使其蒸发。

由于低温盐水不断地在冻结器中循环，而吸取冻结器周围地层的热量，使土壤降温以致冻结。随着低温盐水的连续循环，各冻结器周围地层的冻结圆柱不断扩展而连接成不透水的且能抵抗地压和水压的冻结壁（圆筒）。

井筒的开凿工作是在冻结壁的保护下进行的。其掘砌方法与普通方法相似，一般采用风镐掘进，只有在冻结坚硬的卵石层、砂层和风化岩层才用爆破方法。砌壁为现浇混凝土。

冻结法凿井包括下列主要步骤：

1. 对冻结区域进行工程地质和水文地质的检查，作为冻结设计的依据；
2. 编制冻结施工技术设计；
3. 测量定位，打冻结孔、测斜和试漏；
4. 修建冻结厂房和冻结沟槽，安装冻结设备和盐水管路；
5. 进行积极冻结和对冻结过程的检查，做好井筒开凿的各项准备工作；
6. 在井筒掘砌过程，继续进行冻结，维持冻结壁处于安全状态；
7. 井筒通过冻结带后，拆除冻结设备及管路，拔出冻结管

和充填冻结孔，做好非冻结带施工的准备工作的。

第二节 采用冻结法施工的简况

随着我国工农业生产的蓬勃发展，煤炭工业基本建设任务也逐年增大，大批新井需要在深厚冲积层的地区兴建。由于冲积层深厚，稳定性差，含水丰富，给新井建设带来许多困难。

煤炭建设战线的广大职工在毛主席的无产阶级革命路线指引下，发扬独立自主、自力更生的革命精神，应用各种特殊施工方法，尤其是冻结法，战胜了流砂和地下水，建成了许多矿井，积累了许多试验，为我国社会主义建设事业作出了贡献。

从1955年在林西风井采用冻结法凿井以来，冻结法已在10个省市推广使用，此外在建筑、冶金、地下铁道等工程中也应用和推广了冻结法施工。至1974年底，煤炭系统建成和正在施工的冻结竖井井筒直径最大为8米，冻结深度最大达330米，其中冻结深度小于100米的井筒占冻结井筒总个数的43.6%，占冻结总深度的23.8%；冻结深度100~200米的井筒占冻结井筒总个数的47.4%，占冻结总深度的57.7%；冻结深度大于200米的井筒占冻结井筒总个数的9.0%，占冻结总深度的18.5%。随着煤炭基本建设规模的扩大，近年来深井冻结的比重将不断增大。

此外，还采用冻结法施工了6个风道口，并进行斜井冻结的探讨，取得了一些经验。

打钻方面：冻结孔开孔间距为1.1~1.3米，用直径104~168毫米的无缝钢管作冻结管，管壁厚度为5~10毫米。浅井一般采用500型和650型钻机打冻结孔，经纬仪灯光测斜；深井一般采用千米钻机打冻结孔，用JDT型陀螺仪测斜。兴隆庄立井采用2吨重的铅铊加重管等措施，进一步提高了深冻结孔的打钻速度和垂直度；大屯主井和张集副井在遭受扰动破坏的地层中打冻结孔创造了一定的经验。

冻结方面：1963年在杨庄西风井开始采用串联单双级压缩制冷，现已普遍应用，提高了制冷能力，保证了盐水温度达到设计

要求。为了适应不同地层的施工需要，采用差异（长短管）冻结、局部冻结和分期冻结等，效果良好。此外，还采用过正反循环冻结和无盐水冻结，取得一些效果。

井筒凿砌方面：井筒开凿一般采用单行作业，不用临时支护。在冻结粘土、砂质粘土、砂层中主要采用风镐掘进；在冻结砾石层及风化基岩中，为了提高冻结岩层的掘进效率，开滦矿区等采用打眼放炮，摸索了一些经验。冻结段基本采用钢筋混凝土井壁，混凝土标号一般为200~250号。在井壁施工中，使用低温早强混凝土，取消隔温层和加热车间。在单层井壁接碴处使用塑料止水带，减少了井壁漏水；为了进一步提高井壁的不透水性，1964年在邢台主井试用双层井壁施工，现已在绝大部分冻结井筒中推广使用。井筒凿砌速度一般为30米/月，最高速度达153米/月。

测量方面：使用我国自己设计制造的JDT型陀螺仪测斜，准确地提出钻孔的偏斜数值，为突破深井冻结技术关迈进了一步。使用自制简易铜-镍铜热电偶代替液体玻璃棒式温度计，及时掌握冻结系统的盐水温度，了解冻结壁的形成状况，壁后土壤温度变化情况以及混凝土养生条件。此外，还进行了井筒周围地压和冻结壁温度场的测量，初步摸索了冻胀力规律以及不同孔距的冻结壁形成规律。

此外，采用油压拔管机和泄气管充填等，提高了冻结管的回收率和冻结孔充填质量。

第二章 冻结法施工技术设计

第一节 基本资料

(一) 地质及水文地质资料

冻结法施工必须掌握确切的地质及水文地质情况，根据井筒检查孔和矿井地质报告，取得下列资料作为冻结设计的依据。

1. 冲积层的埋藏深度，各分层的厚度，层位，结构，矿物组成，含水率，干容重，自然容重，孔隙比，内摩擦角。
2. 粘性土层特别是钙质粘土层的塑性指数，膨胀性。
3. 冲积层下部岩层性质，风化带厚度，风化程度。
4. 地下水的水位，水质，水温，含盐量及其与附近水源井和原有矿井的水力联系。
5. 流砂层及砂砾层的涌水量，水头，水流方向，流速和渗透系数，抽水影响半径。
6. 冲积层下部岩层涌水量及其与冲积层的水力联系。

(二) 井筒特征

1. 井筒用途，位置，直径及深度。
2. 井颈（包括风道口）结构图。
3. 井筒装备布置图（井筒横断面图及纵剖面图）。

(三) 地面工业广场（包括永久、临时建筑物）布置图。

(四) 附近水源，电源及供水供电方式。

第二节 冻结深度的确定

(一) 确定冻结深度的主要依据

1. 冲积层厚度及其赋存条件。
2. 冲积层与风化带之间隔水层的厚度。

3. 冲积层下部风化带厚度, 岩性, 风化程度及其涌水量。
4. 基岩含水层涌水量及其埋藏深度。
5. 井筒风化带下部有无断层。

(二) 确定冻结深度的原则

1. 冲积层下部基岩风化严重, 并与冲积层有水力联系, 涌水量大, 则冻结深度应穿过风化带伸入不透水的基岩5米以上。
2. 冲积层底部有较厚的粘土隔水层, 基岩风化不严重且与冲积层无水力联系, 冻结深度应穿过冲积层进入弱风化基岩10米以上。
3. 井筒深度不大 (如三河风井), 基岩占井深的比例小, 风化带与冲积层有水力联系且涌水量较大时, 则应冻结全深。若涌水量为10米³/时左右, 采用普通法需安装排水设备, 施工麻烦, 可考虑冻结全深。

第三节 冻结壁设计

一、地 压 计 算

地压是确定井壁和冻结壁厚度的主要参数。冻结法凿井通常采用下列公式计算地压:

(一) 按挡土墙理论公式计算

$$P_n = (\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \cdots \cdots \gamma_{n-1} h_{n-1} + \gamma_n h_n) A_n \quad (2-1)$$

式中 P_n ——某计算深度处岩层作用于井筒单位面积上的侧压力, 吨/米²;

$\gamma_1 \gamma_2 \cdots \gamma_n$ ——各岩层天然状态下的容重, 吨/米³;

$h_1 h_2 \cdots h_n$ ——各岩层的厚度, 米;

A_n ——某计算深度的水平推力系数, $A_n = \operatorname{tg}^2 \frac{90 - \varphi}{2}$;

φ ——某计算岩层的内摩擦角。

γ_n, A_n 可参考表2—1中的数值。

表 2—1 土壤天然容重和水平推力系数

岩层名称	天然容重 γ_n 吨/米 ³	水平推力系数 A_n	岩层名称	天然容重 γ_n 吨/米 ³	水平推力 系数 A_n
砂	1.9	0.757	粘 土	2.0	0.387
砂质粘土	1.8	0.526	风化页岩	1.85	0.164
卵石或砾石	2.0	0.526			

(二) 按悬浮体理论计算

$$P_n = \gamma_w H_n + (\gamma_1' h_1 + \gamma_2' h_2 + \cdots + \gamma_n' h_{n-1} + \gamma_n' h_n) A_n \tag{2—2—1}$$

式中 P_n ——某计算深度处岩层作用于井筒单位面积上的侧压力，吨/米²；

γ_w ——水的比重， $\gamma_w = 1$ ；

H_n ——某计算深度处岩层的承压水柱高度，米；

$h_1 h_2 \cdots h_n$ ——各岩层的厚度，米；

$\gamma_1' \gamma_2' \cdots \gamma_n'$ ——各岩层的悬浮容重，吨/米³。

其值可根据下式确定：

当缺乏检查孔土壤分析化验资料时

$$\gamma_n = \frac{\Delta - 1}{1 + \epsilon} \tag{2—2—2}$$

式中 γ_n ——土层天然状态下的容重，吨/米³；

Δ ——土层颗粒的干容重，吨/米³；

ϵ ——土层孔隙比。

(三) 经验公式

$$P_n = 1.3 \gamma_w H \tag{2—3}$$

式中 P_n ——某计算深度处土层作用于井筒单位面积上的侧压力，吨/米³；

γ_w ——水的比重；

H ——冲积层内最下部含水层埋深，米。

二、井筒壁厚概算

目前冻结井筒普遍采用混凝土和钢筋混凝土井壁，井壁厚度可按厚壁筒公式进行概算。

$$B = R \left(\sqrt{\frac{K}{K - \sqrt{3} P_{max}}} - 1 \right) \quad (2-4)$$

式中 B ——井壁计算厚度，厘米；

R ——井筒净半径，厘米；

P_{max} ——冲积层最大侧压力，公斤/厘米²；

K ——混凝土轴心受压许用强度，公斤/厘米²；

$$K = \frac{K_R}{m} \quad (2-4-1)$$

K_R ——混凝土轴心受压极限强度或混凝土轴心受压标准强度，公斤/厘米²；

m ——安全系数，一般钢筋混凝土井壁 $m=2$ ，混凝土井壁 $m=2.5$ 。

三、冻结壁厚度计算

当冲积层厚度不大，地压值较小时，一般按厚壁筒公式计算。

1. 用第一强度理论计算

$$E = R_1 \left(\sqrt{\frac{K_1}{K_1 - 2P_{max}}} - 1 \right) \quad (2-5-1)$$

2. 用第四强度理论计算

$$E = R_1 \left(\sqrt{\frac{K_1}{K_1 - \sqrt{3} P_{max}}} - 1 \right) \quad (2-5-2)$$

式中 E ——冻结壁计算厚度，厘米；

R_1 ——最大地压处的井筒掘进半径，厘米；

P_{max} ——冲积层最大侧压力，公斤/厘米²；

K_1 ——冻土允许抗压强度，公斤/厘米²。

$$K_1 = \frac{K_0}{m_0}$$

K_0 ——冻土瞬时极限抗压强度，见表2—2，一般冻结壁平均温度取 $-7\sim -10^{\circ}\text{C}$ ；
 m_0 ——安全系数， $m_0=2\sim 2.5$ 。

表 2—2 冻土抗压强度参考值

冻土温度 ℃	瞬时极限抗压强度(K_0) 公斤/厘米 ²			冻土温度 ℃	瞬时极限抗压强度(K_0) 公斤/厘米 ²		
	砂 子	砂 土	粘 土		砂 子	砂 土	粘 土
-1	27	21	12	-6	100	90	36
-2	48	38	17	-7	110	100	40
-3	63	54	22	-8	120	110	45
-4	78	68	27	-9	130	118	50
-5	90	80	32	-10	135	125	

当冲积层较厚，地压值较大时，按弹塑性理论计算。

$$E = R_1 \left[0.29 \left(\frac{P_{max}}{K_1} \right) + 2.3 \left(\frac{P_{max}}{K_1} \right)^2 \right] \quad (2-5-3)$$

式中 E 、 R_1 、 P_{max} 、 K_1 的含义与公式 (2—5—2) 相同。

第四节 冻结孔布置

一、冻结孔布置圈直径

$$D = D_1 + 1.2E + 2\theta H \quad (2-6)$$

式中 D ——冻结孔布置圈直径，米；
 D_1 ——井筒掘进直径，米；
 E ——冻结壁厚度，米；
 θ ——钻孔允许偏斜率，一般取 $0.3\sim 0.5\%$ ；
 H ——最大地压层位的埋藏深度，米。

二、冻结孔数量

$$n = \frac{\pi D}{l} \quad (2-7)$$

式中 n ——冻结孔计算个数；