

综合技术

# 基于临海第四系冻结孔布置研究分析

Research and analysis based on the arrangement of quaternary freezing holes near the sea

张成涛<sup>1</sup>, 徐兴保<sup>1</sup>, 王建中<sup>2</sup>

(1. 莱州市瑞海矿业有限公司, 山东 莱州 261400; 2. 中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

**摘要:**瑞海矿业主井、副井和进风井紧靠海岸线, 针对该区域的特殊地层, 竖井均采用冻结法施工, 目前冻结工程已经结束。本文结合工程实践, 针对临海, 地下水流速大、含盐量高的地质环境条件, 总结分析了冻结孔的技术布置要点。

**关键词:**临海; 冻结法; 冻结孔布置

**Abstract:** The main shaft, auxiliary shaft and ventilation shaft of Ruihai Mine are close to the coastline. According to the special strata in this area, the vertical shafts are constructed by freezing shaft-sinking method, and the freezing project has been completed now. Combined with the engineering practice, this paper summarizes and analyzes the key points of the technical layout of the freezing hole in the geological environment with large flow rate and high salt content near the sea.

**Key words:** seaward environment; freezing shaft-sinking method; layout of the freezing hole

## 1 前言

莱州市瑞海矿业有限公司地处渤海海湾, 位于三山岛北部海域, 西南部毗邻三山岛金矿, 与新建的莱州港为邻, 其竖井工程均位于矿区东侧海岸边上, 竖井井颈段采用冻结法施工。通过对主井、副井、进风井工程勘察钻孔的岩心鉴别、原位测试和室内试验, 根据地质成因、形成时代、岩性组合、所处构造部位、岩石坚硬程度、岩体完整程度以及岩体的渗透性, 将钻孔勘察深度范围内自上而下分为以下几个工程岩组, 井筒工程地质特性见表1。

## 2 工程特点、难点

根据井筒工程勘察钻孔柱状图及相关资料表明, 本工程竖井冻结具有以下特点:

(1) 第四系松散堆积物岩段较浅, 冻结深度不大。

(2) 第四系上部以砂土为主, 渗透性强, 孔隙水与海水具有水力联系, 受潮汐、海浪和海流的影响较大; 竖井200 m范围内有多家水产养殖户, 生产抽吸用水量大。受这些因素的影响, 井筒周围的水位及水量波动巨大。

(3) 冻结层结冰温度 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右, 较常规地层低, 冻结布孔时需给予足够重视。

## 3 冻结方案

### 3.1 冻结方案确定原则

为了实现冻结壁快速交圈, 保证井筒的安全掘砌, 冻结方案应遵循下述原则:

(1) 将冻结方案设计视为井筒冻结与掘砌工程的重

文章编号:

1672-609X(2021)02-0055-04

中图分类号: TD262

文献标志码: A

作者简介: 张成涛(1983-), 男, 山东招远人, 本科, 工程师, 采矿工程专业, 注册一级建造师, 主要从事矿山建设项目管理工作。

基金项目: 高盐富水砂层条件下井筒冻结技术研究(编号: ZJKY2020-10)

表1 井筒工程地质特性

层号	进风井			副井			主井		
	岩组	岩土分层/m	厚度/m	岩组	岩土分层/m	厚度/m	岩组	岩土分层/m	厚度/m
1	松散堆积物岩组	0.00~45.20	45.20	松散堆积物岩组	0.00~38.90	38.90	松散堆积物岩组	0~58.1	58.1
2	基岩风化带岩组	45.20~72.69	27.49	基岩风化带岩组	38.90~65.72	26.82	基岩风化带岩组	58.1~65.6	7.5
3	上部变辉长岩岩组	72.69~802	729.31	上部变辉长岩岩组	65.72~784.25	718.53	变辉长岩岩组	65.6~722.5	656.9
4	下部变辉长岩 夹花岗岩岩组	802~1065.1	263.1	接触蚀变带岩组	784.25~814.75	30.50	二长花岗岩岩组	722.5~1070.3	347.8
5				下部二长 花岗岩岩组	814.75~1340	525.25	构造蚀变岩组	1070.3~1185.6	115.3

要组成部分,把冻结与掘砌有机的结合起来,统筹兼顾。

(2) 在合理工期内形成的有效冻结壁,能保证掘砌至任意水平时冻结壁厚度及强度均满足设计要求。

(3) 冻结孔的布置需满足冻结壁厚度及强度的要求,防止片帮及下部冻结管距荒径太近而发生断裂,通过冻结孔的合理布置使冻结壁内温度分布尽可能均匀。

### 3.2 冻结孔布置方式

冻结温度场受冻结孔布置方式的直接影响,主要影响因素包括冻结孔圈数、布置圈径和冻结孔数量。浅部表土层一般采用单圈冻结孔,对于含盐量高且地下水流速较大的情况,优先选择双圈孔或多圈孔的布置方案。

### 3.3 冻结形式

常见的冻结形式:一次全深冻结、差异冻结、分段冻结和局部冻结。冻结形式关系到冻结速度、技术经济效益,以及冻结的成败。应全面分析井筒所在地层的工程地质和水文地质情况,同时应结合冷冻设备和施工队伍的技术水平进行统筹考虑,在保证施工安全的前提下,以取得最佳的技术经济效益为原则。

### 3.4 冻结深度确定

冻结深度确定的原则:

(1) 井筒冻结深度必须穿过冲积层、风化带,进入不透水稳定基岩10 m以上,或超过永久支护5~8 m。

(2) 基岩涌水量较大时,经论证后,应加深冻结深度。

(3) 冻结深度的确定也要参照邻近冻结井筒的施工经验。

### 3.5 冻结壁厚度的确定

冲积层厚度小于120 m,将含水砂层的冻结壁

作为弹性体,按冻土强度条件,采用无限长厚壁圆筒拉麦计算公式。

$$E = r_w \left( \sqrt{\frac{\sigma'_t}{\sigma'_t - \psi P}} - 1 \right) \quad (1)$$

式中: $E$ ——设计冻结壁有效厚度,m;

$r_w$ ——冻结壁设计控制层处的井筒掘进半径,m;

$\psi$ ——系数,按第三强度理论时, $\psi$ 采用2,适用于粉砂、细砂和砂性土。按第四强度理论时, $\psi$ 采用1.732,适用于中砂、粗砂和砂砾层;

$P$ ——冻结壁径向外荷载( $P = 0.013H$ , $H$ 为控制层地板埋深),MPa;

$\sigma'_t$ ——冻土单轴长时抗压强度,MPa。

### 3.6 冻结孔布置圈直径的确定

1) 单圈冻结孔布置圈直径计算 $D_0$

按基岩段采用钻爆法施工井筒

$$D_0 = D'_1 + 2(1.2 + Q_f h_0) \quad (2)$$

式中: $D_0$ ——主冻结孔布孔圈直径,m;

$D'_1$ ——基岩中井筒最大掘进直径,m;

$Q'_f$ ——基岩段的冻结孔允许偏斜率,取3‰;

$h_0$ ——井筒冻结深度,m。

2) 辅助冻结孔布置圈直径计算 $D_f$

$$D_f = D_1 + 2(0.3E_n + Q_f H_f) \quad (3)$$

式中: $D_1$ ——冲积层中井筒最大掘进直径,m;

$E_n$ ——主冻结孔至井帮距离,m;

$Q_f$ ——冲积层冻结孔允许偏斜率,取3‰;

$H_f$ ——辅助冻结孔深度,m。

### 3.7 冻结孔数量 $N$

1) 主冻结孔

$$N = \pi D_0 / L_s \quad (4)$$

$L_s$ 为冻结孔开孔间距,当冻结深度小于300 m时,采用1~1.3 m;当冻结深度大于300 m时,采用1.2~1.35 m。

辅助孔开孔间距宜小于3.5 m。

### 3.8 水文孔的设计

(1) 水文孔应布置在井筒内,深入冲积层最下部的主要含水层,且含水层下部应有隔水层,水文孔应避免井筒中心线及凿井提升位置,钻孔不得偏出井筒净径<sup>[1-2]</sup>。

(2) 浅井冻结一般设置一个水文观测孔,深井冻结应设置1~3个水文观测孔,根据不同含水层的水位高度分别确定水文孔深度,防止地下水串通。

### 3.9 测温孔的设计

(1) 测温孔布置在地下水流上方,冻结孔主面外侧;布置在两个冻结孔孔间距最大位置外侧,冻结壁界面处。冲积层小于200 m布置2个测温孔,冲积层大于200 m时应布置3个测温孔,地下水流下方布置一个或布置在井筒荒径与冻结孔布置圈之间<sup>[3-4]</sup>。

(2) 测温孔布置距冻结孔布置圈的距离应根据冻结壁厚度向外侧发展的距离确定。

(3) 测温孔深度与冻结深度相匹配。

### 3.10 冻结孔布置设计

主井采用双排孔冻结的施工方案,主冻结孔深93 m,内圈辅助孔进入强风化层,孔深60 m。

副井井筒采用主圈孔加辅助孔的冻结方案,其中主圈孔采取长短管布置,长管至冻结深度,深80 m;短管过强风化带,深52 m;辅助孔过表土层第一层粉质黏土层,辅助孔深40 m。

进风井冻结工程由于水文地质条件极其复杂,距海很近,地下水流速达30 m/d(冻结孔全部施工完后,地勘单位测的流速为30 m/d,对水文孔进行地下水流速测试进行了验证,实测为9 m/d)、含盐量高,冻结难度大,采用主冻结孔冻结全深,在主孔内外分别设一圈辅助冻结孔,即采用三圈孔冻结施工方案,主冻结深度为96 m。外圈辅助孔穿过粗砾砂层,进入粉质黏土层,孔深42 m,内圈辅助孔冻结深度为42 m。进风井、副井及主井冻结孔布置如图1所示,钻孔布置参数见表2。

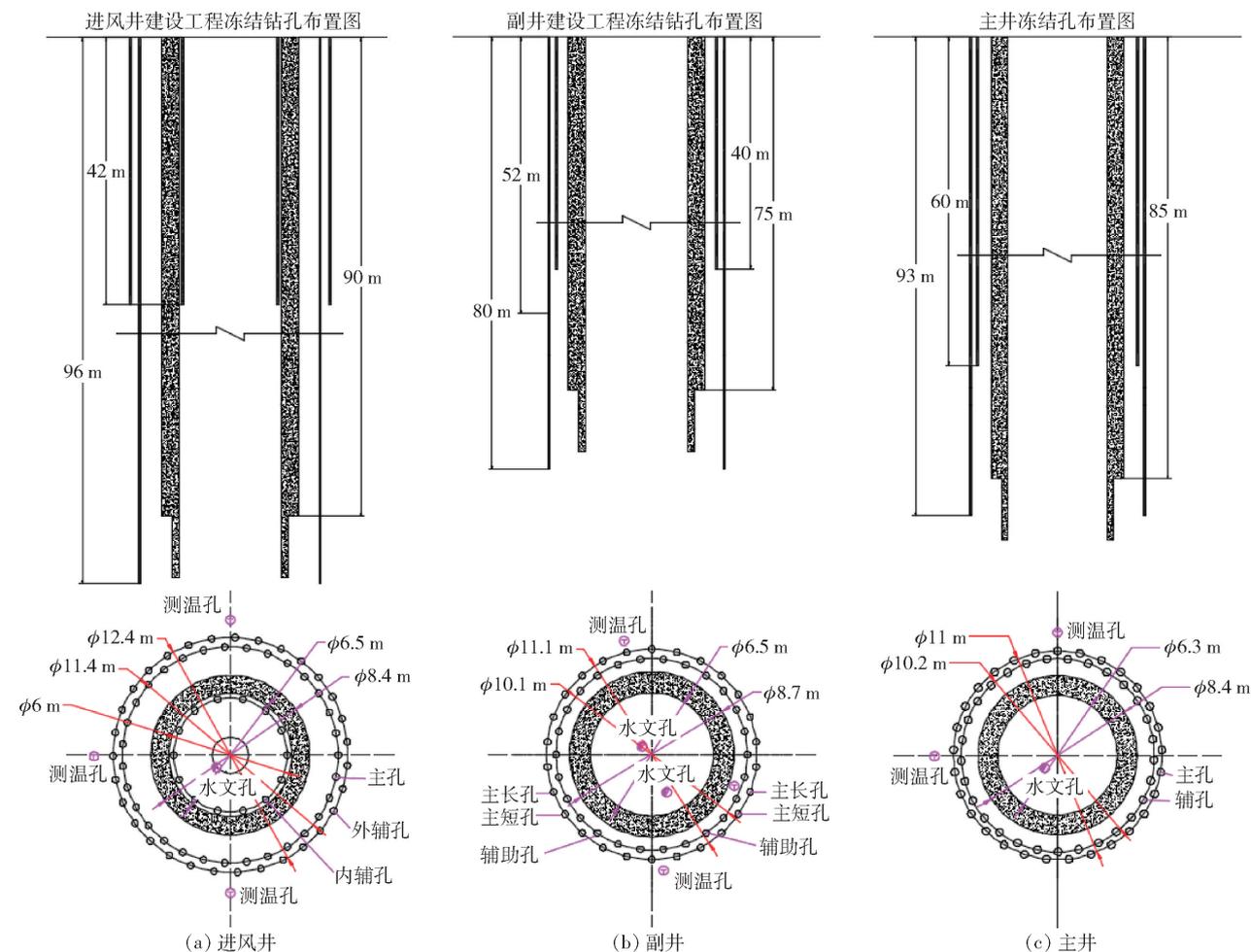


图1 进风井、副井及主井冻结孔布置图

表2 钻孔布置参数表

序号	名称	单位	主井	副井	进风井
1	井筒净径	m	6.3	6.5	6.5
2	井筒荒径	m	8.4	8.7	8.4
3	井颈段深度	m	87	75	90
4	冻结深度	m	93	80	96
5	冻结孔主孔圈径	m	11	11.1	11.4
6	冻结孔辅孔圈径	m	10.2	10.1	外辅孔 12.4, 内辅孔 6
7	冻结孔间距	m	主 1.19, 辅 1.1	主 1.34, 辅 1.22	主 1.16, 外 1.26, 内 1.35
8	冻结孔数	个	主 29, 辅 29	主 26, 辅 26	主 31, 外 31, 内 14
9	冻结孔深度	m	主 93, 辅 60	主 80/52, 辅 40	主 96, 外 42, 内 42
10	井筒深度	m	1 417	1 326	1 530
11	冻结壁厚度	m	2.3	1.8	2.3
12	测温孔	m/个	2/85, 60	3/81, 55, 42	3/90, 45, 45
13	水文孔	m/个	1/60	2/38, 10	1/42
14	钻孔工程量	m	4 642	2 982	5 088
15	开机至试挖	d	60	48	37

## 4 冻结效果

主立井积极冻结约 30 d 时,井筒掘砌单位为改装吊盘施工,进行了井筒试挖,下挖至静水位处。主立井 36 m 处测温孔温度变化曲线如图 2 所示, T1 孔(距离冻结管 750 mm)在开机 70 d 后,测点温度仍维持在 15 ℃ 左右,初步判断冻结壁存在“开窗”现象,之后采取了增大流量、增加补孔的补救措施,并试图在养殖户抽水反方向施工降水井用于地下水位平衡但由于地层原因未完成,最终该点温度降至 4 ℃,井筒掘砌单位采取强挖手段通过该地层。

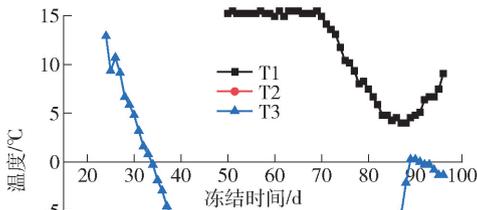


图2 主立井 36 m 处测点温度变化曲线图

副立井积极冻结期为 48 d,开挖至 -56 m 水平时,井筒出水,涌水量达 15.3 m<sup>3</sup>/h,造成井筒水位上涨至静水位位置。后采取井筒工作面抛渣、注浆、壁后注浆封水等措施,耗时 50 d,通过强挖手段通过了该涌水层。根据数据分析,出水部位为井筒开挖刚通过冻结孔短腿段且尚未完全穿过风化带处,考虑为该处冻结壁未交圈,存在导水通道。

进风井为矿区内施工最早的冻结井筒,采取了三圈孔布置,在冻结段井筒掘进到底后,冻结站停止

继续输送冷量维护冻结,在套壁开始阶段冲积层段出现冒水现象,重新恢复冻结后完成井筒套壁工作。因施工单位未进行具体数据测量和保存工作,不作赘述。怀疑开挖过程中冻结壁厚度偏薄,在停止冷量供应、地下水流冲刷冻结壁和外层井壁水化热三者共同作用条件下,冻结壁化冻过快所致。

## 5 结论

本工程竖井紧靠海边,地下孔隙水与海水具有水力联系,受潮汐、海浪和海流的影响较大,且附近养殖户大量抽取地下水,造成地下水流速大,造成竖井冻结难以正常交圈。主井、副井采用两圈布置,冻结时间长,冻结效果差,井颈施工总工期长;进风井采用了三圈冻结孔的布置方案,有效的解决的冻结壁交圈的问题,冻结时间较短,施工达到预期效果。

通过本工程三个竖井的冻结实例可以得出:近海类似条件下进行冻结施工,要充分了解地下水的特点,充分优化设计,通过适当增加冻结孔圈数、缩小冻结孔间距,能够很好的解决因地下水流速过大造成的冻结效果不佳的问题。

### [参考文献]

- [1] 叶玉西,李宁. 深厚卵砾石层冻结壁出水原因分析及治理[J]. 煤炭工程, 2014(8): 48-50.
- [2] 赵志福,梁洪振,陈有钧. 新立矿区主井冻结壁难以形成的原因及处理[J]. 河北煤炭, 2002(2): 42-43.
- [3] 杨超,孙猛,陆路. 神木输水工程竖井冻结监测分析[J]. 煤炭技术, 2009(2): 25-27.
- [4] 徐景阁,仓上金矿新立矿区主竖井冻结实践[J]. 黄金, 2002(3): 15-17.