

余欣风井回风井地层特征及冻结法施工浅析

卫少亮 李 敏 (余吾煤业有限责任公司, 山西 长治 046100)

于广凯 (中煤邯郸特殊凿井有限公司, 河北 邯郸 056000)

摘要:通过对余吾煤矿余欣风井冻结工程条件的分析,在总结以前该矿区井筒冻结经验的基础上,提出了主孔冻全深+防孔冻结方案,采用低温大流量冻结方式,及信息化监控系统的技术来监控冻结站车间运行情况及掌握井筒冻土发展的情况,以保证井筒安全快速掘砌,为今后该地区同类型矿井建设安全生产积累了经验。

关键词:立井冻结;快速降温;冻结施工技术

1 工程简介

1.1 井筒概况

余吾井田位于山西省屯留、襄垣县境内,潞矿集团的西部,余欣风井场地位于余吾井田西南部,南邻杨家湾村,北邻和峪村,东北距余吾矿井工业场地约7.7km。

1.2 井筒地质特征

回风井检查孔穿过的自上而下地层有:第四系、二叠系(上、下石盒子组及山西组)、石炭系(太原组),与区域地层大致相同,简述如下:据野外地质鉴定,回风井检查孔孔深35.83~41.80m,岩石呈碎块状,手折即断,裂隙发育,裂隙面具水浸铁锈色,风化程度强。孔深41.80~96.66m,岩芯较完整,稍具裂隙,风化程度弱。孔深96.66m以下为完整新鲜基岩段。

1.3 井筒主要技术特征

表1 井筒主要技术参数表

序号	名称	单位	进风立井	回风立井	备注
1	井筒深度	m	726	743	
2	冻结深度	m	320	339	
3	井筒净直径	m	8.00	8.00	
4	最大荒径	m	11.0	11.0	
5	井壁厚度	m	0.95	1.45	0~18m
			0.95	0.95	进18~119m\ 回18~104m
			1.20	1.2	进119~211m\ 回104~214m
			1.5	1.5	进211~296m\ 回214~314m
			1.5	1.5	进296~311m壁座\ 回314~329m壁座
6	表土层厚度	m	32.39	35.83	
7	强风化带埋深	m	42.20	41.80	
8	弱风化带埋深	m	86.00	96.66	

2 冻结施工方案

2.1 冻结技术参数的确定

①回风井井口高程+966.70m作为±0.00m,暂定冻结深度339m,井筒掘砌深度329m,预留保护段10m;最终冻结深度以冻检孔取芯确定;②因强风化带,岩石呈碎块状,手折即断,裂隙发育,裂隙面具水浸铁锈色,风化程度强,选取强风化带底板作为冻结段控制层计算

冻结壁厚度。回风井强风化带底板41.8m;③积极期盐水温度-28~-30℃,维护期盐水温度控制在-20~-22℃之间。

2.2 冻结壁厚度设计

2.2.1 冻结壁厚度计算

$E=31/2Ph(1-\Phi)/\sigma_s$,根据选取参数,分别计算冻结壁厚度,计算参数及结果见表2。

表2 冻结壁厚度计算表

序号	参数名称	单位	进风立井	回风立井
1	控制层底板埋深 H	m	42.200	41.800
2	地压值 P	MPa	0.538	0.533
3	冻结壁平均温度 t	℃	-12.0	-12.0
4	冻土极限抗压强度 [σ]	MPa	2.880	3.026
5	安全系数 n		2.10	2.10
6	安全掘进段高 h	m	3.50	3.50
7	约束系数 φ	0~0.5	0.05	0.05
8	冻结壁计算厚度 E	m	2.26	2.13

2.2.2 冻结壁厚度确定

为使冻结壁厚度选取合理,保证冻结方案合理、经济,借鉴已成功施工的山西地区的冻结井筒,根据计算结果,结合本井筒地层特点,进、回风井井筒冻结壁厚度确定取2.80m。

2.2.3 钻孔布置设计

选取主孔冻全深+防孔冻结方案,防孔过强风化带,进入弱风化带5m,提高第四系和强风化带冻结壁厚度和强度,防止变形及片帮。钻孔布置参数见表3。

表3 钻孔布置参数表

序号	项目	单位	进风井	回风井	备注
1	主孔	布孔圈径	m	14.6	14.6
		开孔距	m	1.347	1.347
		孔数	个	34	34
		孔深	m	320	339
2	防孔	布孔圈径	m	12.1	12.1
		开孔距	m	2.693	2.693
		孔数	个	14	14
		孔深	m	48	47
3	测温孔	孔数	个	3	3
		孔深	m	320	339
4	水文孔	孔数	个	1	1
		孔深	m	42	41
冻结孔工程量		m	11552	12184	

钻孔工程量	m	12554	13242
-------	---	-------	-------

①钻孔质量控制：冻结孔采用靶域半径和最大孔间距控制：0~100m 靶域半径 $\geq 0.40m$ ；100m~200m 靶域半径 $\geq 0.50m$ ；200m 至终孔靶域半径 $\geq 0.55m$ 。防孔不得向内偏斜，主孔向内偏斜 $\geq 0.3m$ ，测温孔偏斜率 $\geq 3\%$ ，不得打穿邻近冻结孔。水文孔各水平落点不超出井筒净断面。最大孔间距控制详见表 4。

表 4 冻结孔最大孔间距控制表

控制水平 (m)	防孔	主孔	备注
0~100m	≤ 3.50	$\leq 2.20m$	
100m~200m	--	$\leq 2.40m$	
200m 至终孔	--	$\leq 2.50m$	

②测温孔：每井设计 3 个外侧测温孔，水流上方、下方各 1 个，最大孔间距处 1 个，深度 320m/339m，布置外侧界面上，距外孔布孔圈径 1.3m。测温管选用 $\Phi 133 \times 5mm$ ，选用 $\Phi 146 \times 5mm$ 外接箍连接。

表 5 水文孔花管位置表

井别	项目	孔深 (m)	花管层位 (m)	止水带 (m)
进风井		42	32~35, 37~41	20~30
回风井		41	37~40	20~30

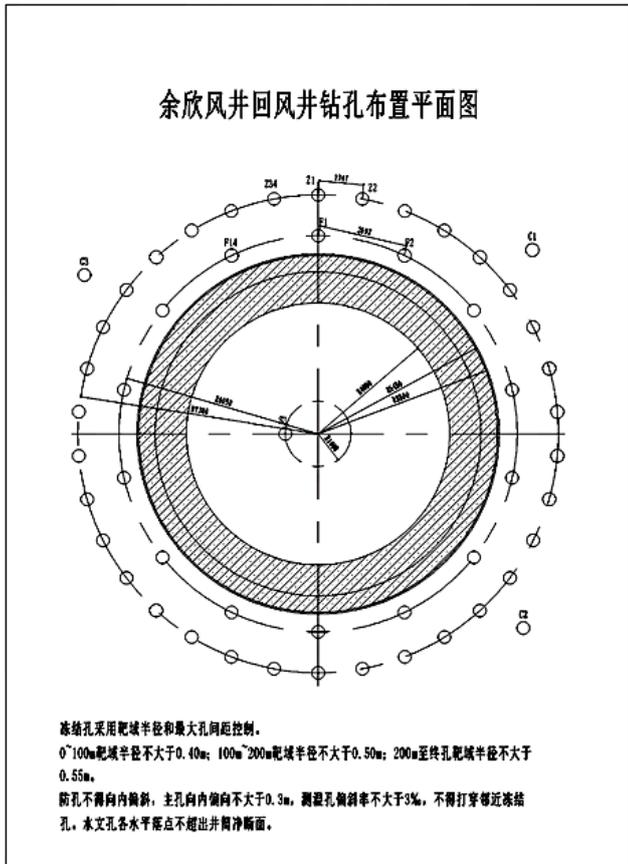


图 1 余欣风井项目回风井钻孔布置平面图

③水文孔：每井设计 1 个水文孔，水文孔深度 42m/41m，报道第四系及强化风带第一层含水层，预留 1m 白管，花管和止水带见表 5。封止水材料为海带粘土。封止水材料下置后要进行检查，不合格应重新下置，直至合格为止。水文管选用 $\Phi 108 \times 5mm$ ，选用 $\Phi 121 \times 5mm$ 外接箍连接。

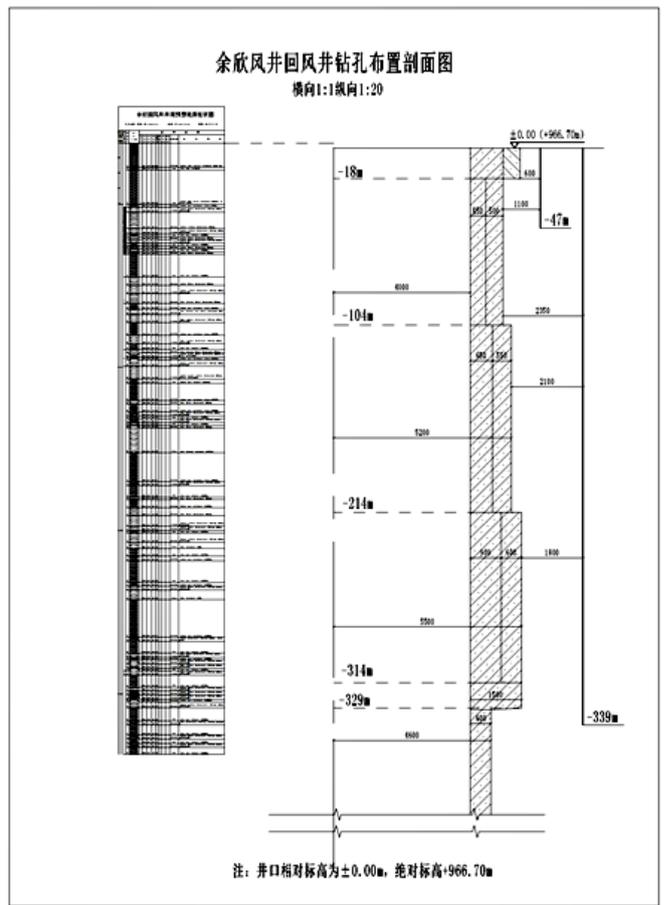


图 2 余欣风井项目回风井钻孔布置剖面图

2.3 施工主要设备

①钻孔设备选型：采用 TSJ-2000E 型钻机施工，每台钻机配备 TBW-850/50 型泥浆泵。钻孔测斜采用 JDT-5 型陀螺仪，实现不提钻测斜。采用 JDT-3K 型陀螺仪定向，随钻可提式导向器和 5LZ146-7.0 型螺杆钻斜；

②冷冻机选型：根据井筒需冷量，进、回设一个冻结站，制冷设备分组安装。冷冻机选用 HJLG25 III TA250 螺杆机和 HLG20 III DA185 螺杆机各 7 台，根据冷冻机选型，经计算附属设备每井各选用 12Sh-9A 型水泵 2 台，蒸发器、冷凝器等设备配套使用。

3 施工工艺及主要技术要求

冻结工程作业内容包括：施工准备、钻孔施工、制冷施工（制冷施工包括：冻结安装、积极运转期、维护运转期），冻结站安装与钻孔施工同时进行，主要技术要求如下：

3.1 钻孔施工主要技术要求

严格按设计孔位开孔施工，孔位标定孔间距允许误差 $\pm 2mm$ ；开孔孔位允许偏差：径向向外 0~20mm，切向 $\pm 20mm$ 。施工时，使用 $\Phi 89mm$ 钻杆， $\Phi 159mm$ 加重杆， $\Phi 190mm$ 牙轮钻头钻进为主，以下置 $\Phi 133 \times 5/6mm$ 的无缝钢管。为检查钻孔偏斜情况，每钻进 20m~30m 测斜一次，在易偏斜地层加密测斜次数，并每隔 30~50m 绘制钻孔实际偏斜方位图以指导施工。

3.2 冻结制冷施工技术要求

根据冻结站的总体设计施工，按照先设备后管路

的安装程序和施工图的技术要求, 制冷三大循环系统安装完毕后, 严格按《煤矿井巷工程质量验收规范》(GB50213-2010) 要求进行压力试验和真空试漏。

冻结器运转初期要检测各孔盐水流量确定冻结孔正常运行, 加强车间设备管理, 使盐水温度尽快达到设计要求。在冻结期间, 冻结井周围抽水影响 300m 半径内的水井停止使用, 以保证冻结井筒冻结壁按时交圈。通过测温孔、水文孔数据计算冻结壁发展速度及冻结壁厚度, 确认冻结壁已满足开挖条件后, 才能试挖。根据冻土发展速度和冻结壁温度, 在确定冻结壁已满足井筒掘砌施工安全的前提下, 适当减少开机台数和提升盐水温度, 转入维护冻结, 维护冻结期间测温孔温度不可快速回升, 一旦发现立即降低盐水温度。

4 质量控制

4.1 钻孔质量控制措施

①为保证冻结深度符合规范, 确保井筒安全施工, 预留足够的稳定的基岩作为冻结保护段, 在施工第 1 个冻结孔时, 进行取芯核层。回风井以绝对标高 +966.70m 为 $\pm 0.000\text{m}$ 起算, -334m~-344m 取芯校核地层, 以便确定合理的冻结深度;

②钻孔施工期间将通过钻进工程的防偏、纠偏综合措施, 来保证冻结孔施工质量, 通过陀螺侧斜定向仪定向, 螺杆钻测斜等设备实现钻孔的偏斜控制。缩减孔间距, 加快冻结壁形成速度, 为缩短凿井工期创造条件。

4.2 冻结制冷质量控制措施

采用信息化监控系统, 实时进行冻结分析, 并结合井下实测情况, 掌握冻结壁发展情况, 做好预测预报工作, 并根据冻结分析和井下实测, 及时控制盐水流量和调整冻结孔冷量。运转初期尽快使盐水温度降至设计温度, 加快冻土发展, 保障冻结壁有足够厚度和强度抵抗外力, 控制冻土蠕变, 确保井筒掘砌施工安全, 防止井帮温度过低, 控制冻土入荒。

5 冻结效果检测

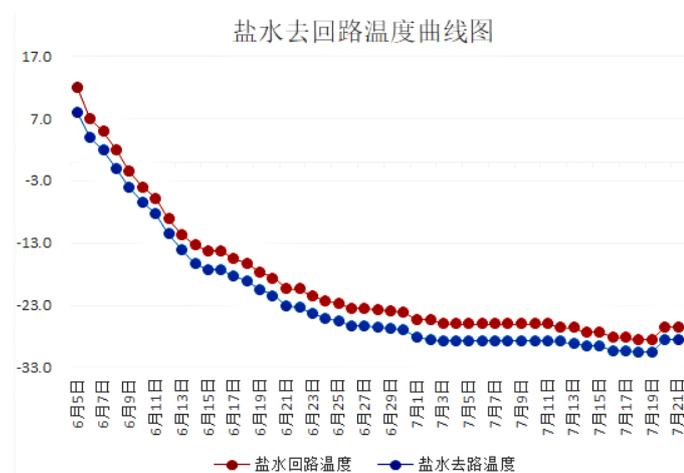


图3 回风井盐水温度变化曲线图

①运转前期, 盐水温度快速降温达到设计温度 $-28^{\circ}\text{C} \sim -30^{\circ}\text{C}$, 加快冻土发展, 保障冻结壁有足够厚度

和强度抵抗外力, 控制冻土蠕变, 确保井筒掘砌施工安全, 同时调控好防控流量防止井帮温度过低, 控制冻土入荒。盐水温度曲线见图3;

②通过对每个冻结孔进行流量检测, 冻结孔盐水流量达到设计要求, 冻结器结霜情况基本相同, 无冻结孔堵塞现象, 确保冻结孔运行正常;

③在持续对水文孔的观测中, 水文孔水位前期涨降有浮动, 后期均匀上涨, 上涨速度慢, 未能冒水, 根据水文孔水位无法判断冻结壁是否交圈; 在开机冻结 41d 时, 逐个冻结孔进行纵向温度检测, 纵向温度变化平稳无明显拐点, 如图4, 表明全部冻结孔 41d 内运行正常, 根据冻结 46d 温度最高 1 号测温孔数据测算回风井井筒冻土发展半径, 确定冻结壁交圈, 冻结壁厚度达到 2.91m。设计开冻到试挖 50d, 冻结壁厚度 2.8m。实际回风井井筒 46 天试挖, 提前 4 天。

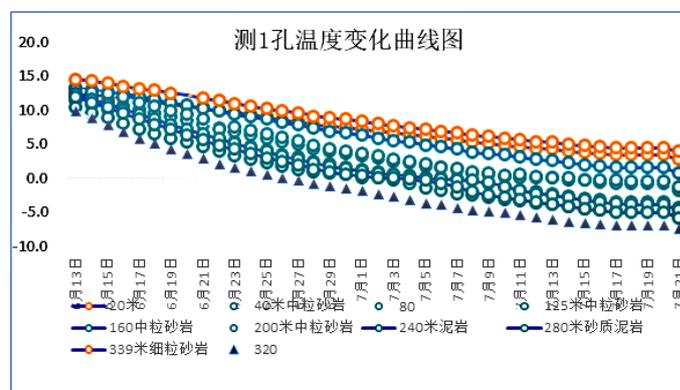


图4 测1孔温度变化曲线图

6 结语

采用主孔冻全深+防孔冻结方案, 防孔过强风化带, 进入弱风化带 5m, 提高第四系和强风化带冻结壁厚度和强度, 防止变形及片帮, 能快速降低井筒冻结壁平均温度, 缩短冻结时间, 提高冻结壁强度, 确保了井筒提前开挖和开挖初期井筒上部不片帮, 从而增加了冻结壁的安全可靠性。

根据井筒特点, 结合冻结壁计算结果和附近工程施工经验, 采用低温盐水配合冻结孔大流量方式冻结, 快速满足设计积极期盐水温度低于 -28°C , 实际盐水流量防孔 $15\text{m}^3/\text{h}$, 主冻结孔 $9.8\text{m}^3/\text{h}$ 。

提高冻结站制冷能力, 积极快速降低盐水温度以增加冻结壁的承载能力, 减少粘土蠕变变形。对于表土层粘土层, 强化冻结增加冻结孔盐水流量, 达到试挖条件后, 降低防孔流量, 针对主冻结孔加强冻结, 保证井筒掘进安全。

采用信息化监控系统, 及时准确的监控冻结站设备运行、制冷量供给和准确计算冻土发展状况。信息化监控系统, 随时采用数据计算井筒冻结情况, 通过分析及时调整冻结运转参数, 为井筒掘进提供安全保障, 减少冻土入荒及冷量损失, 与掘进单位密切配合, 确保井筒实现安全、快速掘砌。