

迁安市长城金矿 I 号矿体帷幕注浆工程的施工

高英强

(山西省地质勘查局二一七地质队,山西大同 037008)

摘要:迁安市长城金矿 I 号矿体帷幕注浆工程是一大型的帷幕注浆堵水工程,工程范围大,设计的钻孔多,地质条件复杂,注浆量大,施工周期较长。文中详细阐述了帷幕注浆工艺的原理和施工过程,总结了该工程的施工特点与规律,分析了工程的应用效果。

关键词:矿山堵水;帷幕注浆;注浆结束标准

中图分类号:TD745 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2019)06-0070-07

Curtain grouting at No. I ore body of Great Wall Gold Mine in Qian'an

GAO Yingqiang

(Geological Team 217, Shanxi Provincial Geological Prospecting Bureau, Datong Shanxi 037008, China)

Abstract: The curtain grouting project of No. I ore body of Great Wall Gold Mine in Qian'an is a large-scale water cut-off project, characterized by its extensive scope, large quantity of designed boreholes, complex geologic conditions, large volume of grouting and long construction period. This paper elaborates the principle and procedure of curtain grouting, summarizes its construction features and rules, and analyzes its application effect.

Key words: water cut-off in mines; curtain grouting; grouting completion standard

1 工程概况

迁安市长城金矿位于河北省迁安市军屯村北侧,矿方拟在其矿区内(第 7 勘探线至第 2 勘探线)南部开采 I 号金矿体。因矿床富水性强,地下水水位埋深浅,矿体赋存于地下水水位之下约 200 m,排水困难,开采难度大,需对拟开采矿体进行帷幕注浆堵水。由山西省第十地质工程勘察院编制了《迁安市长城金矿 I 号矿体帷幕注浆堵水施工设计方案》,该方案经甲方同意后,山西省第十地质工程勘察院实施迁安市长城金矿 I 号矿体帷幕注浆堵水工程。

2 注浆设计

本工程主要是通过钻机成孔——高压注浆,利用注浆材料的充填凝固,阻断基岩裂隙和岩溶通道,形成隔水帷幕。根据地下水水位埋深,注浆段起始标高定为+90 m。帷幕底界以进入相对隔水的蓟县系杨庄组(J_{xy})顶面以下 50 m 为限。这样,在 I 号矿体周围形成一个与外围相对隔离的堵水幕体,

且长期有效。帷幕内排水量与堵水前相比,堵水后排水量降低率为 85% 以上,以减少矿坑排水,解决矿区排水难度,减少排水费用,满足采矿施工要求,提高采矿效益,保护地下水资源及矿山地质环境。

2.1 钻孔布设

该项目经东、南、西、北 4 条帷幕线组成闭合的帷幕体,阻断区域来水。帷幕平面呈不规则梯形,设计钻孔 100 个,其中直孔 92 个,穿过帷幕线的 F5 断层带布置斜孔 8 个。南帷幕距离 F1 断层带较近,钻孔按锯齿状布置,钻孔斜距 8 m,直距 7 m,线距 4 m,布置钻孔 19 个,其余各帷幕布置单排钻孔,钻孔间距 8 m,帷幕线长 760 m,钻探总进尺 30060 m,其中注浆段长 26925 m,非注浆段长 3135 m,注浆量 29620 m³,设计工作量情况见表 1。

2.2 孔深和孔径

设计要求,钻孔注浆段孔径 ≥ 96 mm,注浆段起始标高+90 m 以上采用套管永久封闭,孔斜控制在每百米 1% 以内。

收稿日期:2018-12-20; **修回日期:**2019-04-09 **DOI:**10.12143/j.tkgc.2019.06.013

作者简介:高英强,男,汉族,1976 年生,钻探公司经理,探矿工程专业,从事钻探工程相关的技术与管理工作,山西省大同市永泰南路 79 号 217 地质队,1294364309@qq.com。

引用格式:高英强.迁安市长城金矿 I 号矿体帷幕注浆工程的施工[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(6):70-76.

GAO Yingqiang. Curtain grouting at No. I ore body of Great Wall Gold Mine in Qian'an[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(6): 70-76.

表 1 设计工作量

Table 1 Designed workload list

内容项目	孔数	平均孔深/m	小计/m	注浆段长/m	非注浆段长/m	设计注浆量/m ³
帷幕线	北帷幕	32	238.75	7640		
	西帷幕	21	300	6300	24285	2855
	南帷幕	35	346.30	12120		
	东帷幕	4	270	1080		
F5 断层带注浆孔	8	365	2920	2640	280	2904
合计	100		30060	26925	3135	29620

2.3 注浆压力设计

注浆压力是注浆的重要参数之一,注浆结束压力标准:

$$P = P_1 + P_2 - P_3 \geq 3 \text{ MPa}$$

式中: P ——注浆全压力,MPa,取静水压力的 2~3 倍; P_1 ——孔口压力表指示压力,MPa; P_2 ——浆液自重压力,MPa; P_3 ——地下水静水压力,MPa。

浆液自重压力 P_2 可按下式计算:

$$P_2 = [h\gamma + (2S + L)/2 + (\gamma - 1)/2]/100$$

式中: P_2 ——浆液自重压力,MPa; h ——压力表至地下水水位间的高度,m; γ ——浆液密度,g/cm³; S ——地下水水位至止浆塞的高度,m; L ——注浆段长度,m。

2.4 注浆材料

水泥、水、水玻璃。

3 注浆施工

3.1 注浆工程量

通过第 1 序次钻孔施工,按设计深度进入蓟县系杨庄组(J_xy)50 m 后岩层仍破碎,注浆量较大。为此,将北帷幕线钻孔深度增加至 260 m(标高-140 m)左右,南帷幕线钻孔深度增加至 400 m(标高-250 m)左右。其余钻孔根据地层破碎程度及注浆量情况适当增加深度。

根据实际情况对原设计进行了调整,调整后的帷幕线长 780 m,设计钻孔 108 个(含 8 个取心孔),钻探工作量 31917.00 m,其中注浆段长 29296.42 m,非注浆段长 2620.58 m,注浆量 32226.06 m³,设计单位注入量 1.1 m³/m。

据长城金矿深部普查地质报告资料,F1 断层位于南帷幕线南侧 10~50 m,F5 断层在北帷幕线 ZK63~ZK64 钻孔、南帷幕线 ZK27~ZK29 钻孔附近通过。实际施工中,根据西、南、东三侧帷幕线注

浆钻孔揭露的断层破碎带位置,推断 F1 断层对应的地面位置从南帷幕线内侧(西帷幕 ZK88 钻孔与东帷幕 ZK38 钻孔连线)通过,走向 120°,倾向 SW,倾角 65°。较原资料向北平移 80~100 m。据北帷幕钻孔岩心破碎程度、注浆量情况,以及北帷幕内外两侧+90 m 平巷掘进中揭露断层破碎带位置,推测 F5 断层带应从北帷幕 ZK67~ZK72 钻孔范围通过。原设计的 F5 断层南、北帷幕 8 个注浆斜孔调整到北帷幕 F5 破碎带位置(ZK64~ZK77 钻孔),进行孔间加密,加密孔深度设计 200 m 左右。

实际完成钻孔 108 个,钻探工作量 32192.96 m,其中注浆段长 29379.50 m,非注浆段长 2813.46 m,帷幕共注浆 37450.09 m³,浆液单米注入量 1.33 m³。

3.2 注浆方法

采用下行式灌注法,钻孔钻进 20~40 m 的注浆段,然后下入止浆塞到该注浆段顶部以上完整地层,进行隔水后,连接注浆站的注浆管道,由注浆站搅拌浆液进行不间断注浆,达到注浆结束压力标准后停止注浆^[1-7]。

3.3 压水试验和水泥配方

下好止浆器,先做压水试验,检查注浆系统,同时把钻孔裂隙中的岩粉等充填物推出注浆范围以外,以利浆液的充填密实,提高胶结程度,并获取压水试验的各项数据。通过压水试验获取的单位吸水量和渗透系数,及时判断裂隙透水能力,通过压水试验获取的吕容值 $\omega \leq 0.05$ Lu 时,注浆段岩心完整,裂隙极小甚至没有裂隙,水在加压的情况下都不可能在地层中扩散,故浆液也不可能在地层中扩散,该注浆段可跳过注浆程序,待钻孔成孔完毕封孔时将该注浆段封实即可。

依据设计采用水灰比 1.25 : 1、1 : 1、0.75 : 1 和 0.6 : 1 四种浓度配比的浆液注浆,水玻璃添加质量为水泥质量的 2%~5%。

4 注浆施工工艺

4.1 钻孔成孔

(1)地表松散层段,开孔采用 $\Phi 133$ mm 金刚石复合片钻头钻进,泥浆护壁。钻进至完整岩石 5~8 m,下入 $\Phi 127$ mm 护孔管。

(2)地下水位以上段,采用 $\Phi 113$ mm 金刚石复合片钻头钻进,泥浆护壁。钻进至 +90 m,下入 $\Phi 108$ mm 套管,用水泥浆固管。

(3)待水泥浆凝固后,采用 $\text{O}96\text{ mm}$ 金刚石绳索钻具,清水钻进,每到一个注浆段先洗孔后做压水试验、注浆、凝固 $4\sim 6\text{ h}$ 、扫孔钻进,如此反复直至终孔。

部分钻孔覆盖层较厚,见基岩深度超过设计起始注浆深度($+90\text{ m}$),致使下入套管深度超过设计起始注浆深度,根据岩层实际情况调整了钻进工艺,采取在注浆孔段内套管割花管的方法注浆(低于 $+90\text{ m}$ 套管均打孔至 $+90\text{ m}$ 处)。



图1 岩心裂隙充填水泥照片

Fig.1 Core cracks filled with cement

4.3 注浆流程

根据设计要求及钻进中的具体清况,当钻孔达到一个注浆段长度时,洗孔、下止浆器,首先确定压水、注浆结束标准、浆液浓度,然后做压水试验,而后制作浆液,先向一级搅拌池按配比标定加水,开动搅拌机,加入水泥,搅拌 10 min ,放入二级搅拌池,加水玻璃,搅拌 5 min ,开始注浆。

一般情况下注浆由稀浆开始,为的是满足扩散半径的要求。如遇大吸浆量的注浆段时,当一种浆液注入量 $>50\text{ m}^3$ 时,采用间歇式注浆,防止浆液无扩散,使其既能达到充满帷幕体的效果,又不至消耗太多浆液。间歇后注浆改用下一级配比开始,最后由浓浆结束。

注浆开始一般先用大排量即高挡位,随着注浆量的增加,孔口压力表有一定反映,压力值逐渐升高,并最终达到设计终压,此时改用次一级挡位,直到变为最低一级挡位注浆吸浆量 $<0.58\text{ L/s}$ 时,利用注浆泵回水阀,保持压力不变,稳定 30 min 后停止注浆。如果在稳定阶段又发生异常现象,比如压力突然增大或吸浆量突然增大等,注浆不停止,继续

4.2 钻孔注浆顺序

为了防止窜浆、保证注浆质量和效果,钻孔按三个序次依次施工,第一序次钻孔编号为 $1、5、9、13、\dots$,第二序次钻孔编号为 $3、7、11、15\dots$,第三序次钻孔编号为 $2、4、6、8、12、\dots$ 。在施工二次序和三次序钻孔过程中,均从岩心裂隙中发现前一次序钻孔注的水泥浆,对裂隙进行了有效充填(参见图1)。

进行,视前面已经达到设计压力和吸浆量为无效,重新开始,直到达到新的平衡后,稳定注入 30 min 无异常才停止注浆^[8-15]。

所有钻孔最后一段注浆结束后,又对钻孔分段进行了压水试验、复注浆,如果压水试验测的吕容值 $<0.05\text{ Lu}$ 时,用 $0.8:1$ 浆液进行无压封孔,如果压水试验测的吕容值 $>0.05\text{ Lu}$ 时,有压注浆封孔。

4.4 矿区抽水量观测

矿山主井、副井均位于帷幕线外北侧,主井水位标高 85.85 m ,副井水位标高 87.70 m 。帷幕线内有水井 6 眼、西帷幕线外侧 1 眼,井深 $120\sim 130\text{ m}$,帷幕注浆施工前水位标高在 $85\sim 87\text{ m}$ 。在帷幕钻孔注浆时,水泥浆灌入井内将水井淤堵,多数水井淤至井深 $70\sim 80\text{ m}$,致使水井水量减少或无水。

自主盲竖井排水开始(2017年10月24日),对 7 眼水井进行水位观测。从水位观测记录可看出,随着帷幕线注浆孔、加密孔施工的实施,其中 5 眼水井水位下降明显(见表2),各水井因与排水的主盲竖井距离及水泥浆注入后淤堵程度不同,水位下降幅度不同。

表 2 观察井水位实测记录

Table 2 Records of measured water levels in observation wells

序号	观测井井号	位置	不同时间的观测数据						下降深度/ m
			日期	水位埋深/m	标高/m	日期	水位埋深/m	标高/m	
1	2号	废弃车间北边	2017-11-23	22.00	82.9	2018-01-14	25.48	79.42	3.48
2	3号	40号孔西10m	2017-12-01	18.40	85.6	2018-01-14	20.04	83.96	1.64
3	4号	55号孔西23m	2017-11-08	34.30	87.7	2018-01-14	40.03	81.97	5.73
4	5号	56号孔西南10m	2017-11-04	37.40	85.6	2018-01-14	41.43	81.57	4.03
5	6号	55号孔南25m	2017-11-04	35.50	86.5	2017-12-02	36.25	85.75	0.75

表 3 各序次钻孔吸浆率统计

Table 3 Summary of grout absorption rate of the boreholes in each sequence

钻孔序次	钻孔数/ 个	注浆量/ m ³	注浆段长/ m	平均吸浆率/ (m ³ ·m ⁻¹)
I	24	13553.68	7045.40	1.92
II	24	9407.05	6942.29	1.36
III	47	13130.22	13245.16	0.99
合计	95	36090.95	27232.85	1.33

5 注浆效果

主盲井位于北帷幕线西段内侧 12 m 处。2017 年 10 月 16 日掘进至深度 15.5 m (标高 74.5 m) 时,在井筒北侧井壁揭露一断层带,走向 35°,倾向 125°,倾角 75°,断层带宽度 2.5 m,岩性为灰色白云岩碎块与紫红色泥砂混杂。断层带有地下水涌出,涌水量约为 10 t/h。

2017 年 10 月 24 日掘进至深度 19.8 m (标高 70.2 m) 时,在井筒东北侧井壁揭露一断层带,走向近 34°,倾向 250°,倾角 45°,断层带宽度约 3.0 m,岩性为泥质白云岩碎块与紫红色泥砂混杂。地下水沿井壁裂隙涌出,水量约 30 t/h。在井底打炮眼孔 1.5 m 深时,炮眼孔内向上涌水,最高水头高达 1.0 m。当时井内一台水泵(排水量 60 t/h)排水,水位不降,后增加一台水泵(排水量 50 t/h)同时排水,水位降至井底,根据泵量及扬程,估计总涌水量达 90 t/h。连续排水 30 d,炮眼孔内涌水水头约 0.2 m,排水量渐减少到约 50 t/h,在北帷幕 ZK69、ZK70 钻孔注浆时在井底裂隙有少量水泥浆随地下水渗出。

2017 年 11 月 28 日起,在排水条件下开始掘进。掘进至深度 25 m (标高 65.0 m) 时,井内出水量明显减小,在 12 月 8 日排水量约为 30 m³/h。

2017 年 12 月 12 日井底深度 30.5 m (标高 59.5 m),南马头门掘进 6.0 m、北马头门掘 5.0 m。两处掘进工作面及顶板均有水从岩缝中流出(无压力),井内总出水量增加至 80~100 m³/h。

随着北帷幕线注浆孔及加密注浆孔,在不同深度注浆不断闭合,从帷幕线外侧补给水量逐渐减小。

5.1 不同序次钻孔吸浆率变化特征

根据不同序次钻孔注浆量、吸浆率值及各序次钻孔吸浆率曲线图可看出,各序次吸浆率逐次递减,符合裂隙岩层注浆规律,反映注浆效果良好(见表 3、图 2)。

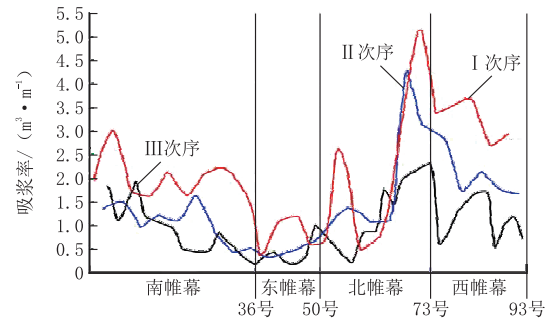


图 2 各序次钻孔吸浆率曲线图

Fig.2 Absorption rate curves of the boreholes in each sequence

5.2 帷幕线注浆及吸浆率变化特征

根据已完成钻孔注浆量统计,各帷幕线注浆量及吸浆率情况见表 4,各帷幕线吸浆率等值线图见图 3~6。

表 4 各帷幕线注浆量及吸浆率情况统计

Table 4 Grouting quantity and absorption rate of each curtain line

项目内容	钻孔数/ 个	注浆量/ m ³	注浆段长/ m	平均吸浆率/ (m ³ ·m ⁻¹)
西帷幕线	21	9842.30	5502.140	1.79
南帷幕线	36	14979.70	12911.383	1.16
东帷幕线	14	9842.30	442.770	0.56
北帷幕线	24	9357.30	5376.560	1.74
合计	95	36090.95	27232.850	1.33

从以上等值线图可看出:西帷幕吸浆率较大范围分布在标高+90~-100 m;南帷幕吸浆率较大范围分布在标高+90~-100 和 -150~-250 m 两段,上部为侏罗系后城组(J₂h)砾岩、安山质凝灰岩、流纹质凝灰岩,岩石裂隙较发育,下部对应为F1

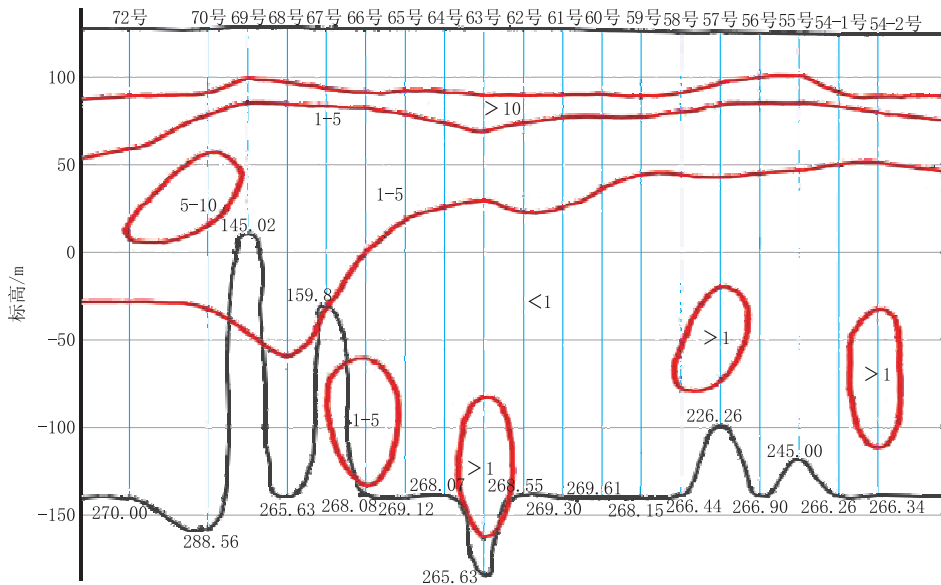


图3 北帷幕吸浆率等直线图

Fig.3 Contour map showing the absorption rate of the north curtain

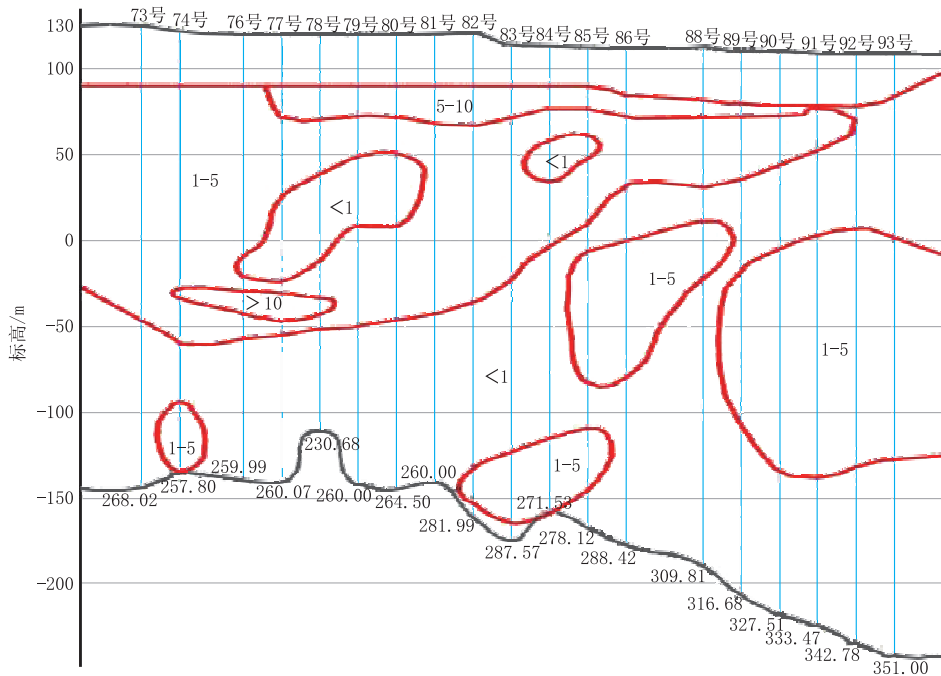


图4 西帷幕吸浆率等直线图

Fig.4 Contour map showing the absorption rate of the west curtain

断层破碎带;东帷幕及北帷幕东段位于F1与F6断层之间,岩石裂隙发育相对较弱,吸浆率偏小,受废弃巷道影响,上部有小范围吸浆率偏大;北帷幕西段位于F5与F2断层交汇部位,断层破碎带发育,岩石裂隙发育,吸浆率较大范围分布在标高+90~-50 m。

综上所述,吸浆率大小主要受断层破碎带位置及深度控制。在断层带附近,岩石破碎程度高,吸浆

率增大;随着深度增加,岩石裂隙发育程度逐渐降低,吸浆率减小。

5.3 地下水导水通道特征

地下水补给通道:I号矿体帷幕注浆施工前,矿区地下水水位标高在85~88 m,北高南低,地下水由北向南径流。由于矿区内断裂构造发育,F2、F3、F5、F6、F8、F10六条断裂在设计开采区西北部(I号矿体

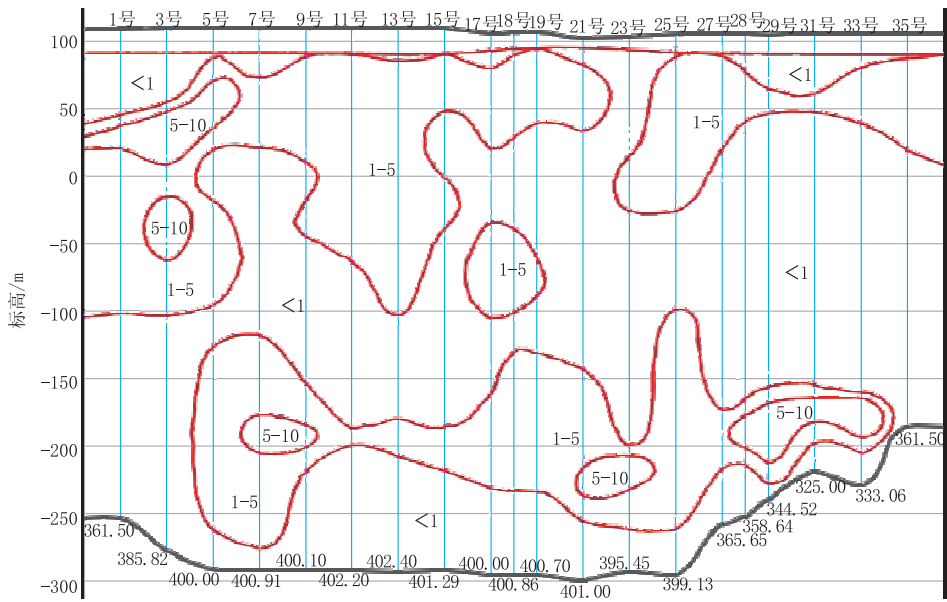


图 5 南帷幕吸浆率等直线图

Fig.5 Contour map showing the absorption rate of the south curtain

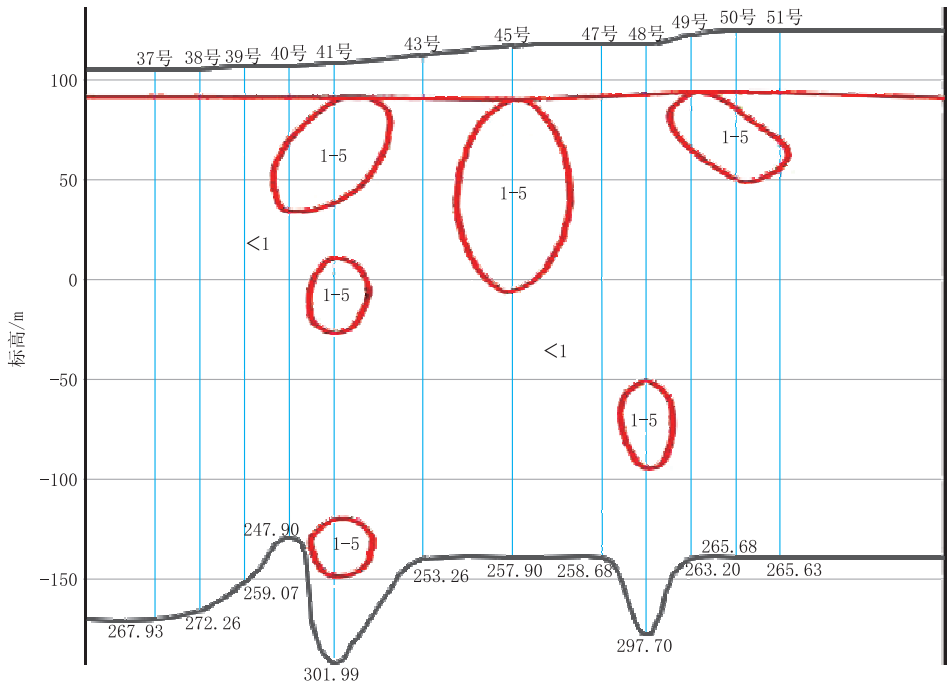


图 6 东帷幕吸浆率等直线图

Fig.6 Contour map showing the adsorption rate of the east curtain

采区西北约 200 m) 交汇, 断裂带岩石裂隙发育, 岩层破碎严重。F2、F10 断层向北东延伸 3~5 km, 穿过采区北部的大盆沟、地眼沟及多条沟谷, 地表水通过断裂带向下游(设计开采区) 地下入渗补给, 向 6 条断裂交汇处径流, 成为地下水的导水通道。

导水通道特征: 根据区域构造分布特征, 长城金矿设计开采区内断裂带是多期构造运动的产物。冷

口断裂带位于五道河—冷口复式向斜的东北翼, 在燕山期构造运动近南北向挤压应力的作用下, 形成了高角度冷口逆冲断裂。受喜山构造运动的影响地应力转换为拉张应力, 逆冲的冷口断裂转换为正断层。应力转换过程中伴生了多条 NW 向和 NE—NNE 向断裂, 这些断裂沿主应力方向追踪式发育, 在水平和垂向上呈锯齿状延伸。即构造导水通道在

水平和垂向亦为不规则的带状延伸。

在北帷幕内外两侧+90 m水平巷道和主盲竖井掘进中,揭露的断层破碎带均为不规则的带状延伸。

6 存在问题及建议

由于该矿地质勘查程度低,特别是对矿区内构造及水文地质条件研究不够,在I号矿体帷幕线及注浆孔布置时,对I号矿体地下水主要充水来源认识不够,对导水断裂带封堵的针对性不强。如施工顺序安排、部分注浆孔吸浆率偏低以及西帷幕被帷幕交汇处施工发现连串钻孔注浆量大导致该段采取加密孔的补救措施。

建议迁安市长城金矿对矿区做水文地质、工程地质的详查工作,以便查明开采技术条件,同时尽快施工大口径疏干孔8~10眼,以排出帷幕圈内积水,确保矿区安全生产建设。另外,为确保安全,采矿活动至少与帷幕线保持15~20 m距离。

7 结语

通过本注浆工程的施工,本堵水工程实施后,I号矿体周围岩石裂隙、断层导水通道将会被填堵,吕容值 $\omega \leq 0.05$ Lu。I号矿体帷幕范围内排水量大减少。与堵水前排水量相比,堵水后排水量降低率为85%以上,既解决了排水难度,又减少了排水费用,满足采矿施工要求。

参考文献(References):

- [1] 苏丛雄,高英强.迁安市长城金矿I号矿体帷幕注浆堵水工程施工方案[R].2017.
SU Congxiong, GAO Yingqiang. Construction scheme of curtain grouting and water blocking project for No. I ore body of Changcheng Gold Mine in Qian'an City[R]. 2017.
- [2] 苏丛雄,高英强,徐立,等.迁安市长城金矿I号矿体帷幕注浆堵水工程总结报告[R].2018.
SU Congxiong, GAO Yingqiang, XU Li, et al. Summary report on curtain grouting and water blocking project of No. I ore body of Changcheng Gold Mine in Qian'an City[R]. 2018.
- [3] 张永成.注浆技术[M].北京:煤炭工业出版社,2012.
ZHANG Yongcheng. Cementation technology [M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 2012.
- [4] 王雨利,王晓蕾.破碎围岩注浆加固技术及其工程应用[M].江苏徐州:中国矿业大学出版社,2013.
WANG Yuli, WANG Xiaolei. Grouting reinforcement technology for broken surrounding rock and its application[M]. Xuzhou Jiangsu: China University of Mining and Technology Press, 2013.
- [5] 罗平平.岩体注浆理论与数值分析[M].河南郑州:黄河水利出版社,2017.
LUO Pingping. Rock grouting theoretical and numerical analy-

- sis[M]. Zhengzhou Henan: The Yellow River Water Conservancy Press, 2017.
- [6] 杨全,高广峰,韩贵雷,等.矿山帷幕注浆特殊地层施工工艺研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(11):67-69.
YANG Quan, GAO Guangfeng, HAN Guilei, et al. Study on construction technology of mine curtain grouting for cave formation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010,37(11):67-69.
- [7] 程秀德.安徽新桥硫铁矿大型帷幕注浆试验工程[J].探矿工程,2000,(3):29-32.
CHENG Xiude. Large-scale curtain grouting test project of Anhui Xinqiao Pyrite Mine [J]. Exploration Engineering, 2000,(3):29-32.
- [8] 王军.岩溶矿床帷幕注浆截流新技术[J].矿业研究与开发,2006,(S1):151-153.
WANG Jun. A new technology of groundwater flow cut-off by grout curtain for karst mineral deposit[J]. Mining Research and Development, 2006,(S1):151-153.
- [9] 白聚波,张国军,周辉峰.帷幕注浆在矿山治水中的应用[J].西部探矿工程,2008,(3):96-98.
BAI Jubo, ZHANG Guojun, ZHOU Huifeng. Application of curtain grouting in mine water control[J]. West-China Exploration Engineering, 2008,(3):96-98.
- [10] 许青海,白宝云,严德金,等.帷幕注浆技术在钾镁盐矿风井病害治理中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(7):84-86,83.
XU Qinghai, BAI Baoyun, YAN Dejin, et al. Application of curtain grouting technology for ventilating shaft disease control in soluble potassium salt mine[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(7):84-86,83.
- [11] 黄才启,孙健.大水矿山截水帷幕注浆工程施工关键技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(12):74-78.
HUANG Caiqi, SUN Jian. Key technology of water-proof curtain grouting construction in Undation Mine[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011,38(12):74-78.
- [12] 李万全,夏焰光.铜多金属矿帷幕注浆堵水方案研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(1):68-72.
LI Wanquan, XIA Yanguang. Scheme study on curtain grouting for water blocking in copper polymetallic deposit[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012,39(1):68-72.
- [13] 杨全,高广峰,韩贵雷,等.矿山帷幕注浆特殊地层施工工艺研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(11):67-69.
YANG Quan, GAO Guangfeng, HAN Guilei, et al. Study on construction technology of mine curtain grouting for cave formation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010,37(11):67-69.
- [14] 曾绍权.水口山铅锌矿鸭公塘矿区大型帷幕注浆治水工程技术的应用[J].中国有色冶金,2006,(6):55-59.
ZENG Shaoquan. Application of large curtain grouting technology for water control in Yagongtang Mine Area of Shuikoushan Lead-zinc Mine [J]. China Nonferrous Metallurgy, 2006,(6):55-59.
- [15] 王立生.帷幕注浆法在冬瓜山铜矿的应用[J].金属矿山,2008,(3):58-60.
WANG Lisheng. Application of curtain grouting method in Dongguashan Copper Mine[J]. Metal Mine, 2008,(3):58-60.