

山东霄云煤矿陷落柱突水治理实践

武程亮^{1,3}, 滕子军^{2,4}, 张瑞廷^{1,3}, 牟海萍^{1,3}

(1. 山东省煤田地质局第二勘探队, 山东 济宁 272000; 2. 山东省煤田地质规划勘察研究院, 山东 济南 250109;
3. 山东省矿山钻探应急救援中心, 山东 济宁 272000; 4. 山东省非煤矿山事故防范技术中心, 山东 济南 250109)

摘要:突水是矿山的主要灾害之一, 矿井突水一般来势凶猛, 常会在短时间内淹没坑道, 给矿山生产带来危害, 造成人员伤亡。在富水的岩溶水充水的矿区及顶底板有较厚高压含水层分布的矿山区, 在构造破碎的地段, 常易发生矿井突水。但只要查明水文地质条件, 采取措施, 矿井突水是可以预防和治理的。山东霄云煤矿1313工作面突水水量大, 而工作面无钻孔, 两顺槽掘进中发现的9条断层也不导水, 判断不是钻孔、断层导水。突水事故发生后, 通过水位、水温及水质化验分析, 确定为奥灰水, 导水通道为隐伏陷落柱。通过对突水点进行盖帽封堵、对突水通道进行注浆封堵, 有效地封堵了过水通道, 并满足了《煤矿防治水细则》的要求。

关键词: 矿山突水; 注浆堵水; 陷落柱; 奥陶系灰岩; 阻水墙

中图分类号: TD322 文献标识码: B 文章编号: 2096-9686(2021)03-0161-09

Treatment of water gushing from the collapse column in Xiaoyun Coal Mine of Shandong province

WU Chengliang^{1,3}, TENG Zijun^{2,4}, ZHANG Ruiting^{1,3}, MU Haiping^{1,3}

(1. *The Second Exploration Team of Shandong Provincial Bureau of Coal Geology, Jining Shandong 272000, China*;
2. *Shandong Provincial Research Institute of Coal Geological Planning and Prospecting, Jinan Shandong 250109, China*;
3. *Shandong Provincial Mine Drilling Emergency Rescue Center, Jining Shandong 272000, China*;
4. *Shandong Non-coal Mine Accident Prevention Technology Center, Jinan Shandong 250109, China*)

Abstract: Water gushing is one of the main disasters in the mine. It happens fiercely, and often in a short period of time will flood the mining gallery, leading damage to mine production and casualties. In water-rich karst water-filled mining areas and the mining areas where thick and high-pressure aquifers are distributed in the roof and the floor formation, water gushing is prone to happen. However, as long as the hydrogeological conditions are identified and the relevant measures are taken, water gushing in the mine can be prevented and treated. Water gushing was encountered with a large volume at the 1313 working face of Shandong Xiaoyun Coal Mine where there were no boreholes in the working face, and the nine faults discovered in the excavation of the two parallel channels also didn't conduct water. Analysis of the water level, water temperature and water quality confirmed that it was the ordovician limestone water and the water channel was the hidden collapse column. By capping the water gushing point and grouting the water gushing passage, the water gushing passage was effectively blocked, and the results met the requirements of "Detailed rules for water prevention and control in coal mines".

Key words: mine water gushing; grouting to stop water; collapse column; ordovician limestone; water cut-off wall

矿井突水是掘进或采矿过程中揭穿导水断裂、陷落柱、富水溶洞、积水老窿, 大量地下水突然涌入 矿山井巷的现象^[1-3], 是矿山的主要灾害之一。矿山突水后, 综合分析矿山地质、水文地质、工程地质资

收稿日期: 2020-05-24; 修回日期: 2021-01-21 DOI: 10.12143/j.ztgc.2021.03.023

作者简介: 武程亮, 男, 汉族, 1980年生, 工程师, 探矿工程专业, 从事定向井施工与管理, 山东省济宁市任城区任城大道120号煤田地质大厦1206室, wxwerrorsx@126.com。

引用格式: 武程亮, 滕子军, 张瑞廷, 等. 山东霄云煤矿陷落柱突水治理实践[J]. 钻探工程, 2021, 48(3): 161-169.

WU Chengliang, TENG Zijun, ZHANG Ruiting, et al. Treatment of water gushing from the collapse column in Xiaoyun Coal Mine of Shandong province[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(3): 161-169.

料,准确判断突水水源和突水通道,并采取快捷有效的手段根除水患是不二的选择。本文以山东霄云煤矿一次较大突水事故的治理为例,探讨自地面钻井、建造井下混凝土帽、注浆封堵导水通道,从而治理陷落柱导水的方法。

1 基本情况

霄云煤矿2008年建设,2013年7月投产。井田面积23.4251 km²,矿井设计生产能力90万t/年。矿井水文地质类型、地质类型均为中等类型,矿井正常涌水量226 m³/h、最大涌水量339 m³/h。

2018年9月10日22时45分,1313采煤工作面

底板渗水,出水量约10 m³/h。后水量逐渐增加至1500 m³/h左右,峰时突水量达到3673 m³/h,至9月11日21时56分,矿井中央泵房失守,造成淹井事故。事故直接经济损失2566.14万元,无人员伤亡。

突水工作面为1313工作面,位于一采区西翼,为条带综采面,开采煤层为山西组3号煤层,工作面标高-595.00~-674.00 m,煤层平均倾角21°,煤厚0.60~5.50 m,平均煤厚3.80 m,工作面走向长度1240.00 m,倾向长度64.00 m。1313工作面已回采90.00 m,南与1309工作面之间留有70.00 m保护煤柱,北与1307工作面留有4.00 m保护煤柱(见图1),1307工作面和1309工作面均已回采完。

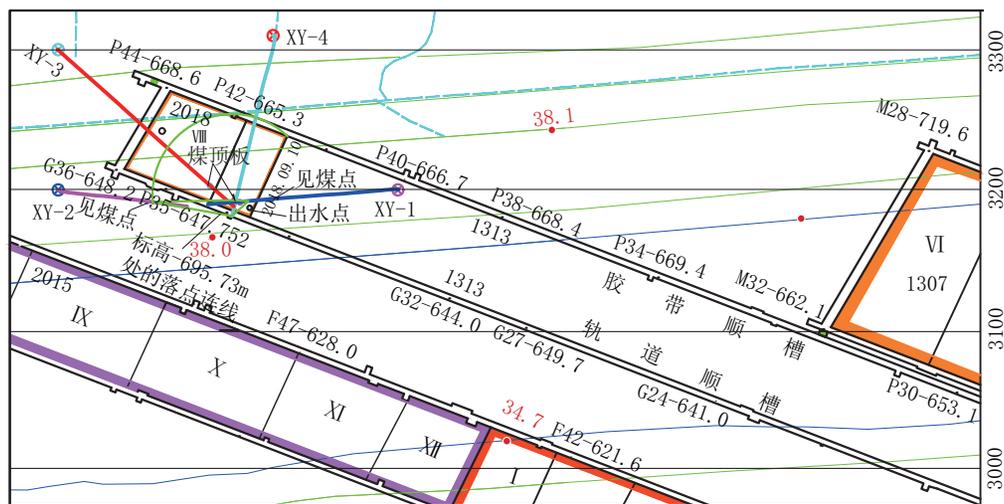


图1 工作面示意

Fig.1 Working face sketch

根据1313工作面附近79-4钻孔揭露的地层情况,结合井田内其它资料,矿区地层如表1所示。

工作面水文地质特征:

新生界虽然含水层较多,但新生界中单层厚度>5.00 m的粘土隔水层占总厚度的76%。同时在新生界底部有厚达十几米的粘土层,回采范围内新生界底部也不具有天窗。3号煤顶板砂岩裂隙含水层含水性极弱,系统连通性较差。三灰抽水成果反映为弱含水层,且3#煤距三灰42.00 m,之间有数层泥岩,大于安全隔水层厚度。工作面揭露的9个断层导水性含水性亦较差。工作面与1307工作面老空区相邻,在1307倾向上方。1307老空水积水线在1313垂直标高5.00 m下。位于1309老空区倾斜下方,两者间隔70.00 m煤柱,满足防水煤柱要求。奥

灰含水层是公认的区域性强含水层,区域厚度>460.00 m,井田内3号煤底到奥灰顶的全段距约202.00 m。工作面内揭露3条岩浆岩岩脉,受其影响,在采动影响下易形成导水裂隙沟通3#煤顶板砂岩裂隙含水层。

2 突水水源与突水通道判断

1313工作面无地面钻孔,且两顺槽掘进中已揭露的9条断层均不导水^[4]。

矿井突水后,矿井的奥灰水位长期观测孔水位急剧下降,达到每小时下降1.5 m,累计下降215.0 m,证明矿井突水水源为奥灰水。

通过对突水水质化验的各项指标分析,突水水源为奥灰水。

表1 井田地层情况

Table 1 Strata in the well field

地层	厚度/m	底深/m	岩性特征	
第四系+新近系	483	483	主要为冲积、洪积及湖相沉积物,以砂质粘土为主,夹粉砂层、砂层,底部含砾	
二叠系	石盒子组	136.4	619.4	由杂色、深灰色泥岩,灰色粉砂岩、细砂岩等组成,中下部局部见煤,顶部为一层浅灰夹粉红色斑状的铝质泥岩(桃花泥岩)与上石盒子组分界,下距3号煤110.0 m
	山西组	85.6	705	滨海潮坪环境下的砂泥含煤沉积,由灰白色砂岩、灰色粉砂岩、黑色泥岩及煤组成,含煤3层,是本井田主要含煤地层之一
	太原组	168	873	为一套典型的海陆交互相沉积,由砂岩、粉细砂岩互层、粉砂岩、泥岩、石灰岩、煤、粘土岩等组成。是本井田含煤地层之一
石炭系	本溪组	7.42	880.42	井田内平均厚35.0 m左右。下部:紫色页岩夹铝土矿(G层),与下伏奥陶系呈假整合接触;中部:黄色砂岩、砂质页岩夹薄煤层及灰岩透镜体;上部:黄色页岩、细砂岩夹石灰岩及铝土页岩
	奥陶系	>460		石灰岩及白云质灰岩

通过测量突水的水温,发现稍高于老空渗水的温度,说明为煤层底板以下地层来水。

综上,突水水源可以明确为奥灰水,突水通道为隐伏性未探知的地质构造。

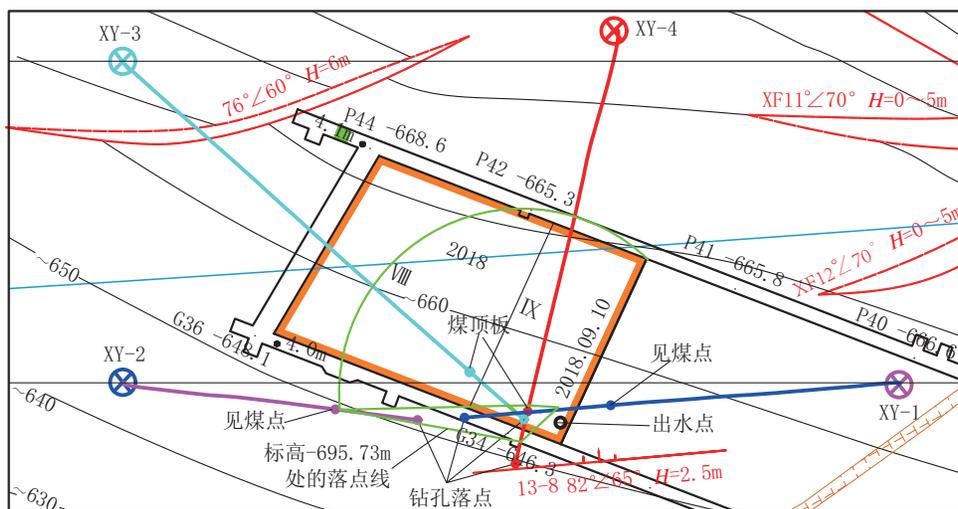
3 钻探与堵水设计

3.1 钻探方案

总体方案:对工作面突水点进行盖帽封堵,对突水通道进行注浆封堵。设计定向钻孔4个,2个盖

帽孔,2个突水通道注浆孔。孔型均为定向孔。盖帽孔穿至采空区,通道孔至3号煤底板下115.00 m。钻孔位置布置见图2。

2个盖帽钻孔XY-3、XY-4:钻孔钻穿突水点附近上方的采空区顶板,通过向突水点附近的采空区注入石子、砂子、水泥等建造混凝土柱,封堵出水点。同时兼作顶板导水裂隙带、顶板垮落带高度的探测孔。XY-3、XY-4钻孔结构见表2,设计深度分别是712.63 m和707.17 m。



(不规则四边形为4个钻孔轨迹在标高-695.73m处的落点连线;圆弧内为盖帽区域范围示意)

图2 4个钻孔轨迹平面

Fig.2 Trajectory plan of the four bore holes

表2 盖帽孔XY-3、XY-4钻孔结构

Table 2 Structure of capping holes XY-3 and XY-4

钻头直径/mm	孔深/m	套管层序	套管直径/mm	套管下深/m	水泥返深/m
311.1	480.00	表层套管	244.5	480.00	地面
215.9	3号煤顶板上40.00 m	技术套管	177.8	3号煤顶板上40.00 m	地面
152.4	采空区	裸孔			

2个突水通道注浆孔XY-1、XY-2:施工的目的是钻寻突水通道,发现钻井液漏失量 $>5.0\text{ m}^3/\text{h}$ 时,加密观测钻井液的漏失量,当钻井液的漏失量 $>10.0\text{ m}^3/\text{h}$ 时,停止钻进,注浆封堵导水通道^[5-10]。同时探测3#煤层底板下三灰层位、厚度及下伏岩层层位情况。XY-1孔的第一靶点位置位于出水点以下

垂直距离25.0 m处,终孔于3#煤底板下115.0 m。XY-2孔的第一靶点位置为出水点垂直向下的三灰层位,终孔于3#煤底板下115.0 m。XY-1、XY-2钻孔结构见表3,设计深度分别是827.65 m和857.76 m。

表3 注浆孔XY-1、XY-2钻孔结构

Table 3 Structure of grouting holes XY-1 and XY-2

钻头直径/mm	孔深/m	套管层序	套管直径/mm	套管下深/m	水泥返深/m
311.1	480.00	表层套管	244.5	480.00	地面
215.9	3号煤底板下15.00 m	技术套管	177.8	3号煤底板下5.00 m	地面
152.4	3号煤下115.00 m	裸孔			

3.2 盖帽注浆方法与工艺

3.2.1 盖帽方案

盖帽注浆材料有石子、砂子及水泥,水泥、砂子和石子用量参照常规混凝土,质量比为1:1:2.5。

石子:采用米石,粒径5 mm左右,最大粒径不超过10 mm,石子应选用一次成材的坚硬灰岩,颗粒均匀,呈棱角状。

砂子:应选用干净的中细河砂,含泥量不应超过3%。

水泥:标号为PO42.5(R)普通硅酸盐水泥,不变质,不过期,水泥浆按水灰比1:1。

3.2.2 盖帽工艺

3.2.2.1 注骨料

(1)骨料要用筛子筛选,并按要求比例混合均匀。

(2)注骨料时,在孔内下入 $\text{O}50\text{ mm}$ 钻杆,钻杆底口必须在所填充层上部0.50 m左右。采用加料漏斗水冲式下骨料。定期开泵通过钻杆往孔内压水,并不断串动钻具,探测骨料堆积高度,并将骨料排入采空区内。

3.2.2.2 旋喷注浆

采空区填满后,要用比其上孔径小两级的无心

钻具下钻进行扫孔旋喷。水泥浆液密度控制在 $1.70\text{ g}/\text{cm}^3$ 左右。水泥候凝6~8 h后,扫孔到底,进行第二次旋喷,如此反复多次,直到孔口返浆为止。

3.2.2.3 扫孔探孔注水

等混凝土凝固48 h后,扫孔探孔深并做注水试验,当吸水量 $>20\text{ L}/\text{min}$ 时,应重复注骨料和旋喷注浆。

3.2.3 注浆压力

第一次旋喷注浆,不做注浆压力要求;一次或多次注浆后,漏失量明显减小或有明显起压后,注浆终压可逐步提高(每次2.0 MPa),直至设计终压,证实盖帽成功。

盖帽成功后,钻穿帽体,向下钻进,寻找通道,转为封堵通道注浆^[11-14]。

3.3 通道钻孔注浆方法与工艺

3.3.1 注浆方法与工艺

封堵突水通道钻孔,采用下行式注浆,逢漏(漏失量 $>10.0\text{ m}^3/\text{h}$)注浆封堵,采取间歇注浆、复扫、复注的方式,达到注浆终止条件为止。凝固24 h后,继续钻进,遇漏重复注浆,直至设计终孔深度为止。

3.3.2 注浆材料

通道孔采用普通硅酸盐水泥单液浆,水灰比根据实际漏失量选择由2:1~0.7:1,对应浆液密度1.29~1.65 g/cm³。应先稀后稠,从水灰比2:1开始,注浆泵起压一般不大于1.0 MPa,以无压注浆为宜。

当单个漏失点注入水泥浆量>2000.0 t,且大流量(60.0 m³/h)注浆仍不起压时,调稠水灰比至1:1。

当单个漏失点注入水泥浆量累计达到3000.0 t,且大流量(60.0 m³/h)注浆仍不起压时,添加速凝材料(水玻璃)。

3.3.3 注浆压力

鉴于出水点工作面南侧有采空区,出水点距三灰又较近,推断三灰为间接导水通道,底板遭受破坏,压力过大,易使底板破坏加剧,压力太小,又影响进浆量,综合考虑确定注浆终压为静水压的1.5倍(静止水压约6.5 MPa,设计终压10.5 MPa)。当

注浆压力达设计终压且吸浆量<50 L/min时,终止注浆。

4 堵水效果

4.1 中靶点分布及注浆量

2个盖帽钻孔XY-3、XY-4揭露采空区位置与设计偏差分别为0.90 m和2.50 m。2个通道注浆钻孔XY-1号孔揭露煤层落点距离出水点16.68 m处;XY-2号因设计躲过采空区,绕过1313工作面轨道顺槽,揭露煤层点位于采空区外,距出水点约71.15 m处(见图2)。

根据注浆位置与通道的连通性分析,在巷道底板以上20.00 m范围内均与采空区连通,该阶段的注浆统计为盖帽孔注浆量(包括通道孔在该范围内的注浆量),4孔合计盖帽注浆量15319.0 m³;4个钻孔在通道位置合计注浆量为36394.2 m³(见表4~7)。

表4 XY-1孔注浆统计
Table 4 Grouting data of XY-1

漏浆孔深/m	漏浆量/ (m ³ ·h ⁻¹)	注浆孔深/ m	注浆段/ m	注浆量/ m ³	水泥浆密度/ (g·cm ⁻³)	孔口压力/ MPa
702.20	>110	704.00		128.0	1.6	
735.00	>90	744.83	695.00~744.83	11173.0	1.3~1.7	
754.27	>90	763.90	744.83~763.90	1010.0	1.6	
783.00	>90	784.60	763.90~784.60	2033.0	1.5	
783.00	>90	784.60	763.90~784.60	498.0	1.5	
830.00	30	830.00	784.60~830.00	462.0	1.5	2
		830.00	784.60~830.00	1531.0	1.6	4
830.00		830.00	784.60~830.00	2372.0	1.4	7
			695.00~830.00	5068.0	1.5	9
			695.00~820.00	545.1	1.4~1.6	4
			695.00~820.00	65.6	1.3~1.5	9
			695.00~820.00	1153.5	1.3~1.5	12
			695.00~710.00	313.7	1.1~1.3	10.3
合计				26352.9		

4.2 帽体防隔水能力评价

4.2.1 采空区充填系数

采空区体积(包括周边巷道)计算:在采掘图上用CAD软件直接读取采空区面积($S=7406.0 \text{ m}^2$),再乘以采掘厚度($m=4.0 \text{ m}$)。

考虑1313采空区为现采采空区,顶板为软岩,

随采掘及时垮落,采空区垮落后空隙计算系数取 $a=0.5$,采空区垮落后可充填空隙体积:

$$V_1 = Sma = 7406 \times 4.0 \times 0.5 = 14812.0 \text{ m}^3$$

由于采空区与两巷连通,注浆沿两巷延伸,两巷各方向充填长度按100.0 m计算,巷道宽4.0 m,巷道高2 m,体积应为: $V_2=3200.0 \text{ m}^3$ 。

表5 XY-2孔注浆统计
Table 5 Grouting data of XY-2

漏浆孔深/m	漏失量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	注浆孔深/ m	注浆段/ m	注浆量/ m^3	水泥浆密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	孔口压力/ MPa
692.00	>90	706.56	683.63~706.56	3000.0	1.6	注砂堵塞
690.00	>90	710.60	690.00~710.60	700.0	1.6	8(双液)
695.00	>90	710.60	690.00~710.60	702.5	1.5	4
702.00	>90	730.00	690.00~712.00	500.0	1.6	0.1
702.00	>90	730.00	695.00~712.00	2800.0	1.6	4.5
760~807	30	817	683.00~817.00	4036.1	1.4~1.5	13.5
合计				11738.6		

表6 XY-3孔注浆统计表
Table 6 Grouting data of XY-3

漏浆孔深/ m	漏失量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	注浆孔深/ m	注浆段/ m	水泥浆密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	注浆量/ m^3	孔口压力/ MPa
645.00	>90	651.50	645.00~651.50	1.5~1.7	40.0	
643.50	>90	643.50	643.50~648.00	1.6	418.96	
648.00	>90	715.45	648.00~715.45	1.5~1.6	4375.1	
715.00	60~90	734.51	715.00~734.51	1.6	3241.7	4
719.00	60~90	773.38	719.00~773.38	1.5~1.6	961.0	
		773.38	719.00~773.38	1.5	126.5	8
		773.38	719.00~773.38	1.7	10.4	
783.07	35	783.07	773.00~783.07	1.4~1.5	2207.4	7.7
				1.2~1.4	3779.9	9.8
合计					15160.6	

表7 XY-4孔注浆统计表
Table 7 Grouting data of XY-4

漏浆孔深/m	漏失量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	注浆孔深/ m	注浆段/m	水泥浆密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	注浆量/ m^3	孔口压力/ MPa
657.00	>90	689.21	657.00~689.21	1.6	1690.0	
706.00	>90	707.21	689.21~707.21	1.6	4913.0	10
706.00	>90	716.74	707.21~716.74	1.6	2038.0	
707.21	>90	716.74	707.21~716.74	1.5	97.2	4
716.50	>90	726.32	716.74~726.32	1.6	998.7	1.2
736.02	>90	736.02	716.74~736.02	1.6	396.0	
合计					10132.9	

采空区应充填的空间应为： $V_{\text{采}} = V_1 + V_2 = 18012.0 \text{ m}^3$ 。

盖帽总注浆量： $V_{\text{总}} = 15319.0 \text{ m}^3$ ，采空区充填系数为： $b = V_{\text{总}} / V_{\text{采}} = 15319.0 \div 18012.0 \times 100\% = 85\%$ 。

4.2.2 帽体阻隔水能力评价

4.2.2.1 阻隔水煤柱尺寸

按《煤矿防治水细则》附录六之二^[15]计算该处阻隔水煤柱所需宽度：

$$L = 0.5KM \sqrt{3p/K_p}$$

式中: L ——煤柱的留设宽度, m ; K ——安全系数, 一般取2~5, 本次取最大值5; M ——煤层厚度或者采高, 1313工作面煤层采厚4.0 m ; p ——实际水头值, 按工作面标高位置奥灰水头值应为6.5 MPa; K_p ——煤的抗拉强度, 按经验取值1.0 MPa。

根据以上取值, 计算所需阻隔水煤柱宽度为44.15 m 。

按出水点周围充填效果较好, 帽体与停采线前煤层组合成一体, 视为阻隔水煤柱, 宽度按100.0 m 考虑, 远大于安全阻隔水煤柱宽度。

4.2.2.2 帽体抵抗压力分析

XY-1孔在盖帽段(煤层底板20.0 m 以上)注浆5次, 4次注浆终压 ≥ 9.0 MPa, 大于工作面处奥灰水头压力(6.5 MPa), 且最大压力12.0 MPa未击穿盖帽体与煤层组合的阻隔水煤柱。多次起压后仍有消耗, 推断为起压过程中水柱压力加地面注浆泵压力之和在16.0~19.0 MPa之间, 大于煤层的抗拉强

度, 在煤层造缝所致, 最终漏失量 < 1.0 L/min。XY-2孔在盖帽完成后, 注浆1次, 终止压力13.5 MPa, 加浆柱压力达20 MPa, 不漏失。盖帽足够抵抗奥灰水压。

4.3 突水通道隔水能力计算

4.3.1 通道类型分析

本工作面布置在断层保护煤柱之外, 附近也没有落差超过5.0 m 以上的断层, 因此认为本次突水不是断层引起的突水。

据矿井水文地质资料, 三灰、八灰、十下灰等灰岩地层富水性较弱, 未发现有大溶洞, 裂隙不会存储超过36000.0 m^3 的水泥浆, 推断在钻孔轨迹附近存在大的导水构造。

通道注浆过程中, 吸浆量大, 注浆时间长, 井口产生负压现象, 说明通道十分畅通。

综上, 认为导水构造是隐伏陷落柱的可能性最大(参见图3)。

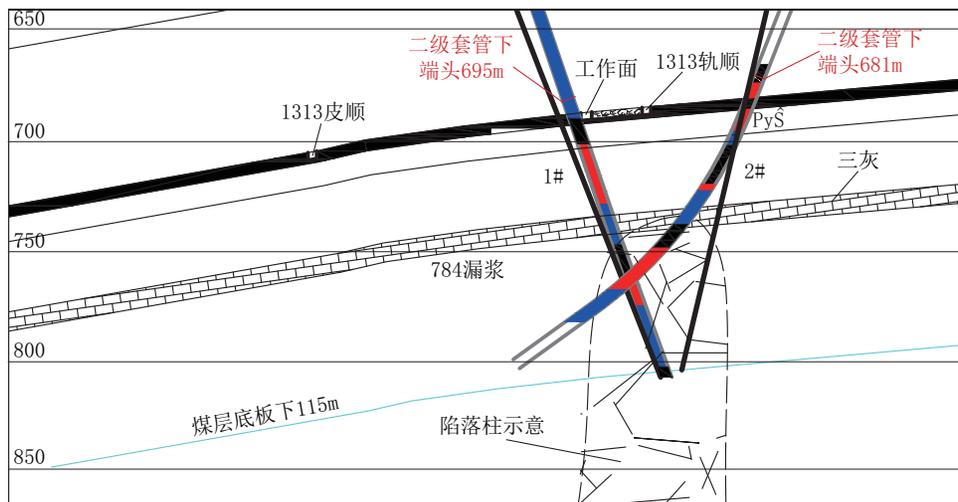


图3 陷落柱示意

Fig.3 Sketch of the collapse column

4.3.2 通道加固垂直高度

XY-1号孔终孔于煤层底板以下垂直深度115.35 m , XY-2号孔终孔于煤层底板以下垂直深度120.09 m , 按水泥浆下行30.0 m (岩石裂隙中最小值)计算, 两孔加固垂直高度应分别为145.35 m 和150.09 m 。

4.3.3 通道内密实程度分析

XY-1号孔经多次注浆封堵通道后终压达到12.0 MPa, XY-2号孔经多次注浆封堵通道后, 终压

达到13.5 MPa, 注浆终压时吸浆量均小于设计终止吸浆量。

4.3.4 通道注浆后隔水能力评价

按《煤矿防治水细则》附录五之二^[14]突水系数计算公式, 计算突水系数:

$$T_s = P/M$$

式中: T_s ——突水系数; P ——底板隔水层承受的实际水头值, 取3#煤底板以下145.35 m , 对应标高-795.35 m , 换算成奥灰水压约为7.95 MPa(奥灰水

位标高-13.30 m); M ——底板隔水层厚度,取145.35 m。

经计算,突水系数为0.055 MPa/m,小于《煤矿防治水细则》一般不大于0.06 MPa/m的要求。另外,既有盖帽,又有通道注浆,帽体与通道内的充填物及水泥已连结为一体,足够抵抗奥灰水压。

4.4 副井排水过程对堵水效果的验证

注浆封堵前后奥灰长观孔水位和副井水位的变化见图4。

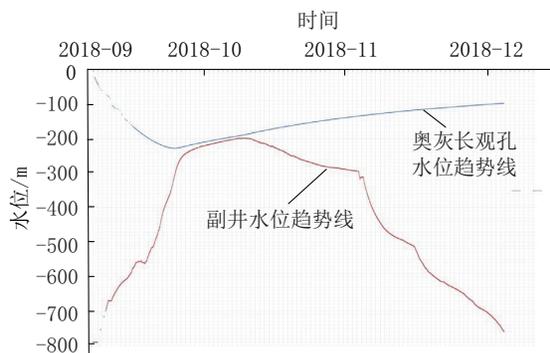


图4 副井排水过程中奥灰长观孔和副井水位变化趋势
(2018年9月10日—12月18日)

Fig.4 Water level change in the ordovician limestone observation hole and the auxiliary well during dewatering with the auxiliary well

据图4,2018年10月1日—12月18日奥灰水位值拟合曲线,直观地反映了奥灰水位的上涨趋势,中间未发现受副井井筒排水影响,说明奥灰水与井下空间的导水通道已基本封堵。

2018年11月11日、27日和12月12日分别化验了副井抽水水质,通过对比原井下老空水、奥灰水和1313工作面突水,发现 Na^+ 离子有较大幅度上升, Ca^{2+} 离子有大幅降低, Mg^{2+} 离子有小幅降低, Cl^- 离子有小幅降低, SO_4^{2-} 离子有小幅降低, HCO_3^- 离子有大幅上升。

分析水质变化的原因认为:奥灰水以高 Ca^{2+} 、高 SO_4^{2-} 、高矿化度和pH值7~9为主要特征(石灰岩 CaCO_3 ,白云石 $(\text{CaMg})\text{CO}_3$,石膏 CaSO_4)。砂岩裂隙水和老空水缺少 Ca^{2+} 离子来源,水中富含 HCO_3^- 离子(平均约15 mol/L)。随着副井排水, HCO_3^- 离子和 Ca^{2+} 离子结合生成 CaCO_3 沉淀,造成 Ca^{2+} 浓度急剧下降。由此说明奥灰水的补给已经减小。

5 结论及建议

(1)对突水点周围钻孔资料和断层发育情况进行分析,否定了钻孔、断层构造导水的可能性。突水事故发生后,通过水位、水温及水质化验分析^[15],判断本次突水水源为奥灰水。注浆时吸浆量大、孔口显负压,说明突水通道较大,而且畅通,断定突水通道为隐伏的陷落柱。

(2)4个钻孔的轨迹和注浆终压、注浆结束时吸浆量均满足设计要求。

(3)副井排水过程证实,奥灰水已有效封堵;治理后的防隔水煤柱满足《煤矿防治水细则》的要求。

(4)恢复生产期间,要加强对封堵区域的水文地质监测工作,防止次生灾害的发生。

(5)进一步完善矿井的水文观测系统,为矿井的防治水提供依据。

参考文献(References):

- [1] 李伟. 煤矿矿井充水因素及突水防治[J]. 能源与节能, 2019(7):39-40.
LI Wei. Water-filling factors and water-inrush prevention in coal mine[J]. Energy and Conservation, 2019(7):39-40.
- [2] 赵峰. 注浆堵水技术在煤矿铁路隧道中的应用[J]. 煤矿安全, 2015,46(12):147-150.
ZHAO Feng. Application of grouting water plugging technology in railway tunnel of coal mine [J]. Safety in Coal Mines, 2015, 46(12):147-150.
- [3] 浮绍礼,郭啟明,邢文平. 巨厚砂岩含水层单层井筒高效注浆堵水技术及其应用[J]. 煤矿安全, 2016,47(4):174-176.
FU Shaoli, GUO Qiming, XING Wenping. Application of efficient grouting and blocking water technology in single lining shaft wall of giant thick sandstone aquifer [J]. Safety in Coal Mines, 2016, 47(4): 174-176.
- [4] 陈魁. 矿井断层带底板突水机理及防治措施研究[J]. 煤矿现代化, 2020(2):74-76.
CHEN Kui. Study on mechanism and prevention measures of water inrush from floor of fault zone in mine[J]. Coal Mine Modernization, 2020(2):74-76.
- [5] 尹尚先,连会青,刘德民,等. 华北型煤田岩溶陷落柱研究70年:成因·机理·防治[J]. 煤炭科学技术, 2019,47(11):1-29.
YIN Shangxian, LIAN Huiqing, LIU Demin, et al. 70 years of investigation on karst collapse column in North China Coalfield: Cause of origin, mechanism and prevention [J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(11):1-29.
- [6] 夏志阳. 带压开采陷落柱的精准圈定及注浆加固技术应用[J]. 能源与节能, 2020(4):142-144.
XIA Zhiyang. Precise delineation of collapse pillars in mining un-

- der pressure and application of grouting reinforcement technology [J]. Energy and Conservation, 2020(4):142-144.
- [7] 李向银. 隐伏导水陷落柱探测与注浆加固技术[J]. 煤矿现代化, 2019(5):150-152, 156.
LI Xiangyin. Detection and grouting reinforcement of concealed water collapse column [J]. Coal Mine Modernization, 2019(5): 150-152, 156.
- [8] 闫兴达. 长距离定向近水平顺层分支钻孔注浆堵水技术研究[J]. 煤炭与化工, 2019, 42(10):52-55.
YAN Xingda. Study on grouting and water blocking technology for long distance oriented nearly horizontal bedding [J]. Coal and Chemical Industry, 2019, 42(10):52-55.
- [9] 王恒. 岩溶隧道动态水堵水注浆施工技术[J]. 建筑工程技术与设计, 2019(17):21, 40.
WANG Heng. Construction technology of dynamic water blocking and grouting in karst tunnel [J]. Architectural Engineering Technology and Design, 2019(17):21, 40.
- [10] 方刚, 梁向阳, 黄浩, 等. 巴拉素井田煤层富水机理与注浆堵水技术[J]. 煤炭学报, 2019, 44(8):2470-2483.
FANG Gang, LIANG Xiangyang, HUANG Hao, et al. Water-rich mechanism of coal seam and grouting and blocking water technology in Balasu Mine Field [J]. Journal of China Coal Society, 2019, 44(8): 2470-2483.
- [11] 王皓. 含水煤层水害形成机理及防治技术[J]. 煤田地质与勘探, 2019, 47(3):117-123.
WANG Hao. Formation mechanism of coal seam aquifer and water hazard control technology [J]. Coal Geology & Exploration, 2019, 47(3):117-123.
- [12] 李金龙, 张允强, 徐新启, 等. 高家堡煤矿煤层顶板注浆加固堵水技术探讨[J]. 煤田地质与勘探, 2019, 47(S1):20-25.
LI Jinlong, ZHANG Yunqiang, XU Xinqi, et al. Reinforcement and water plugging technology of roof grouting in Gaojiabao Coal Mine [J]. Coal Geology & Exploration, 2019, 47(S1): 20-25.
- [13] 李荣. 注浆堵水技术在堡子公司的应用[J]. 陕西煤炭, 2018, 37(5):63-69.
LI Rong. Application of grouting and water blocking technology in Baozi Company [J]. Shaanxi Coal, 2018, 37(5):63-69.
- [14] 朱明宝, 牛光亮. 垂向导水通道快速注浆截流堵水技术[J]. 建井技术, 2018, 39(5):25-28.
ZHU Mingbao, NIU Guangliang. Technology of rapidly cutting-off and blocking-off water flow by grouting in vertical diversion channels [J]. Mine Construction Technology, 2018, 39(5): 25-28.
- [15] 煤安监调查[2018]14号, 煤矿防治水细则[S].
Coal Safety Supervision Investigation [2018] No. 14, Detailed rules for coal mine water prevention and control [S].

(编辑 荐华)