

万峰矿煤层瓦斯抽采钻孔浓度提升技术研究

Research on Upgrading the Concentration of Coal Bed Gas Extraction Drill Holes in Wanfeng Mine

李东栋(山西金晖万峰煤矿有限公司, 山西 孝义 032300)

摘要:万峰矿主采煤层煤质松软、透气性差,瓦斯赋存不均衡,致使瓦斯抽采困难、效果不理想。为摸索出提高瓦斯抽采浓度的成套技术,进一步提高瓦斯抽采率,提出“两堵一注一排”封孔、“DN150 汇流”连孔、瓦斯抽采支管放水等优化技术措施,并开展现场试验,得到不同优化技术措施条件下的抽采浓度和效果。结果表明:新型“两堵一注一排”的封孔钻孔浓度普遍在70%以上,瓦斯浓度衰减率也大幅度降低;瓦斯抽采支管放水后,支管浓度一般在35%上下,并且随连续抽采增加而逐步提升。以期为类似工作面煤炭安全高效回采提供借鉴。

关键词:瓦斯抽采; 抽采浓度; 单孔浓度; 支管浓度

中图分类号: TD712

文献标志码: A

文章编号: 1672-609X(2023)05-0083-06

Abstract:The main coal seam of Wanfeng Mine has soft coal quality, poor permeability and uneven gas deposit, which makes gas extraction difficult and ineffective. In order to find out a complete set of technology to improve the concentration of gas extraction and further increase the gas extraction rate, we put forward the optimization technical measures such as “two plugging, one injection and one row” sealing hole, “DN150 confluence” connecting holes, and water discharge from the gas extraction branch pipe, etc., and carried out on-site experiments to get the optimization technical measures under the conditions of different extraction concentration and effect. Field tests were carried out to obtain the concentration and effect of extraction under different conditions of optimized technical measures. The results show that: the concentration of the new “two plugs, one injection and one discharge” sealing holes is generally above 70%, and the decay rate of the gas concentration is greatly reduced; after draining the gas extraction stub pipe, the concentration of the stub pipe is generally above and below 35%, and it is gradually improved with the increase of the continuous extraction holes. In order to provide a reference for safe and efficient coal mining at the face.

Key words:gas extraction; extraction concentration; single hole concentration; branch pipe concentration

1 前言

煤炭作为我国基础性矿产资源和主体性能能源材料,在我国能源消费结构中的比重始终超过50%^[1]。随着开采深度的不断增加,煤层瓦斯含量、瓦斯压力逐步增大,透气性系数降低。且受地质构造运动影响,煤层煤体原生裂隙被破坏,煤质变软、稳定性变差,瓦斯抽采难度大、抽采效果欠佳的问题普遍存在,严重制约着煤矿安全发展。因此,目前我国煤矿安全工作的首要任务是治理瓦斯,通过优化抽采技术将瓦斯隐患降低到可控程度^[2]。

利用钻孔抽采瓦斯,降低回采工作面产生过程的瓦斯浓度是预防瓦斯事故、确保矿井安全生产的重要手段,众多学者为提高瓦斯抽采浓度及矿井抽

采率开展相关研究。刘振杰等^[3]提出高位定向长钻孔对裂隙瓦斯进行抽采,现场应用结果表明可显著降低回风隅角瓦斯浓度,接抽期间瓦斯浓度控制在0.56%以内。解俊祥^[4]利用动压封孔效果,自制管路流变器,总结工作面抽采效果的提高、下降的内在关系,为高瓦斯煤层提高抽采浓度指出了方向。李成成等^[5]提出割缝封孔提浓方法,开展超高压水力割缝,研究表明钻孔平均抽采浓度为70.7%,抽采纯量相较割缝前提升了296%。穆春明等^[6]提出简易胶囊封孔、钻孔修复及低负压抽采等优化技术,现场试验结果表明:简易胶囊封孔组较正常抽采组瓦斯浓度偏低;钻孔修复组和低负压抽采组较正常抽采组瓦斯浓度有明显提高。王雨生^[7]认为高位巷瓦斯抽采浓度及瓦斯抽采量与工作面回采推进都呈正比,即工作面回采推进度越快,瓦斯抽采浓度和抽采量越大,反之越小。周西华等^[8]认为抽采浓度随抽采负压升高呈先升高后降低的趋势,抽采负压为35kPa时抽采浓度最高。尹灿伟等^[9]通过在线

[作者简介] 李东栋(1992—),男,山西孝义人,本科,助理工程师,主要从事矿井“一通三防”工作。

[引用格式] 李东栋. 万峰矿煤层瓦斯抽采钻孔浓度提升技术研究[J]. 中国矿山工程, 2023, 52(5): 83-88.

检漏、堵漏及抽采钻孔“二次封孔”措施有效解决瓦斯浓度偏低的问题。徐爱国^[10]通过“一疏放、二选择、三封堵、四检调”措施提高瓦斯抽采效果。胡志华^[11]为解决矿井工作面高浓度瓦斯影响采面安全生产的问题,采用高位钻孔将采空区瓦斯抽排到地面,并得到钻孔最佳仰角范围。高会国等^[12]采用底板穿层钻孔动态自适应封孔技术,通过现场试验表明“动态自适应”封控方法可有效提高瓦斯抽采效果。张佳龙^[13]的现场考察结果表明,囊袋式新型两堵一注一体化封孔器不仅简化了封孔工艺,同时使钻孔抽采效果大幅度提高。史晋平^[14]认为高水膨胀材料封孔具有瓦斯流量大、浓度高、衰减慢的优势,提高了钻孔密闭性,具有较好的瓦斯抽采效果。李文斌^[15]认为简易胶囊封孔、低负压抽采及高压水力修复钻孔工艺可使钻孔瓦斯抽采量和抽采效率大幅提升。

为进一步优化万峰矿瓦斯抽采效果,在1213进风口采用“两堵一注一排”的封孔工艺、“DN150汇流”连孔方式及瓦斯抽采支管放水器等技术途径提高瓦斯抽采浓度,对提高抽采钻孔封孔质量、瓦斯高效抽采及指导煤矿瓦斯灾害防治工作具有借鉴指导作用。

2 工程概况

万峰矿位于山西省霍西煤田汾孝矿区东部,主体企业是山西金晖煤焦化工有限公司。万峰矿设计生产能力120万t/年,设计服务年限69.8年。批准开采煤层1~11号煤层,其中1号、9号、10+11号煤层全井田可采,3号、5号煤层局部可采。目前,万峰矿批准开采1号煤层,埋深600~680m,煤层厚1.03~2.37m,平均1.54m,结构简单,一般中下部含一层夹石,局部含三层夹石,顶底板为砂质泥岩。万峰矿煤层瓦斯赋存不均衡,属于近距离煤层群。总体上呈西南部瓦斯较低,东北部较高。1号煤邻近层情况及各煤层瓦斯基础参数见表1、表2。1号煤属于可以抽采煤层。抽采时间为30d时,钻孔有效抽采半径取3m。

3 单孔浓度提升

瓦斯抽采系统中,抽采钻孔封孔质量直接影响抽采浓度,质量差极易造成漏气,降低抽采瓦斯浓度及瓦斯抽采量,致使矿井安全生产事故发生。故应开展针对性试验,找到钻孔参数最优组合,优化封孔技术及工艺,提高封孔质量最终提高抽采钻孔的抽采量。

表1 1号煤层邻近层情况表

邻近层	平均厚度	与1#煤的间距	可采范围
1#上煤层	0.7 m	下距1#煤层2~8 m,平均4 m	
2#煤层	上层厚度0.7 m,中间夹矸1.0 m,下层厚度0.3 m	上距1#煤层平均9 m	
3#煤层	煤层厚度0~1.32 m,平均0.59 m	上距1#煤层平均22.50 m	可采范围分布于井田西部及南部
5#煤层	煤层厚度0~1.1 m,平均0.72 m	上距3#煤层13.42~17.44 m,平均15.39 m	可采范围位于井田西半部

表2 1号煤及其上下邻近层瓦斯基础参数

煤层	瓦斯压力/ MPa	瓦斯含量/ $\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$	透气性系数/ $\text{m}^2 \cdot \text{MPa}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$	衰减系数/ d^{-1}	坚固性系数	放散初速度
1#上	0.22~0.60	4.36~7.25	1.935	0.025~0.046	0.5	8.2
1#	0.26~0.56	4.93~9.10	0.3492	0.027~0.029	0.52~0.66	8.7~9.9
2#	0.18~0.56	5.78~10.1	0.570	0.014~0.015		

3.1 封孔工艺

1) “两堵一注一排”封孔

将旧式的“两堵一注”封孔方式更改为新的“两堵一注一排”封孔。使用FKJL-50/1.5矿用封孔器和专用封孔水泥进行封孔,增加封孔气密性,强化封孔质量。新的“两堵一注一排”创新点有以下两个方面:(1)通过高压注浆使钻孔周围的裂隙得到充

填,填实钻孔周围的煤体,致使钻孔得到可靠的加固,保证钻孔的稳定,抑制钻孔周围新的裂隙产生;(2)通过高压双排的设计,可排出钻孔的水和注浆材料的水,提高封孔材料与水的比例,保证封孔材料的膨胀性,增强钻孔稳定性,从而实现多层多段带压式封孔,致使封孔严密。

2) 试验比对

针对封孔工艺,在万峰煤矿 1213 进风巷道进行封孔试验。试验为确保结果真实可靠,排除一切不可控因素,特将试验分为 A、B、C、D、E 五个实验组,相邻 5 个孔为一个对照组,完成了 3 个对照组;A 组钻孔使用新的 FKJL-50/1.5 封孔器和新的高强微膨胀专用注浆水泥进行封孔。B 组钻孔使用新的 FKJL-50/1.5 封孔器和旧的普通 425 水泥加膨胀剂进行封孔。C 组钻孔使用旧的 FKJW-50/0.6 封孔器和新的高强微膨胀专用注浆水泥进行封孔。D 组钻孔使用旧的 FKJW-50/0.6 封孔器和旧的普通 425 水泥加膨胀剂进行封孔。E 组钻孔使用旧的

FKJW-50/0.6 封孔器和专用封孔水泥加旧的普通 425 水泥进行封孔(两种水泥配比为 1:1)。

选取本煤层瓦斯抽采钻孔 A14-10#孔为 A1 号试验孔,A15-1#孔为 B1 号试验孔,A15-2#孔为 C1 号试验孔,A15-3#孔为 D1 号试验孔,以上四个孔为第一组对照组,A15-4#孔为 A2 号试验孔,以此类推。下管长度 21 m,封孔长度 15 m,封孔压力 1.5 MPa 以上;封孔数据见表 3。钻孔封好后及时进行连接抽采,于次日开始每日检测钻孔参数并制作台账,数据如图 1 所示。

表 3 1213 进风巷道实验孔

孔号	组号	煤岩情况	封孔时间	封孔方式	封孔水泥	封孔长度/m	封孔直径/mm	下管长度/m	连孔时间
A14-10	A1	全煤	2022. 7. 10 早	两堵一注一排	专用水泥	16.2	50	21.9	2022. 7. 10 早
A15-1	B1	全煤	2022. 7. 09 早	两堵一注一排	普通 425 水泥	16.2	50	23.4	2022. 7. 09 早
A15-2	C1	全煤	2022. 7. 10 早	两堵一注	专用水泥	15	50	21	2022. 7. 10 早
A15-3	D1	全煤	2022. 7. 11 早	两堵一注	普通 425 水泥	15	50	21	2022. 7. 11 早
A15-4	A2	全煤	2022. 7. 14 早	两堵一注一排	专用水泥	16.2	63	21	2022. 7. 14 早
A15-5	B2	全煤	2022. 7. 15 早	两堵一注一排	普通 425 水泥	16.2	63	21	2022. 7. 15 早
A15-6	C2	全煤	2022. 7. 16 早	两堵一注	专用水泥	15	63	21	2022. 7. 16 早
A15-7	D2	0~77 m 煤 77~80 岩	2022. 7. 18 早	两堵一注	普通 425 水泥	15	63	21	2022. 7. 18 早
A15-8	A3	全煤	2022. 7. 19 早	两堵一注一排	专用水泥	16.2	50	21	2022. 7. 19 早
A15-9	B3	全煤	2022. 7. 20 中	两堵一注一排	普通 425 水泥	16.2	50	21	2022. 7. 20 中
A15-10	C3	全煤	2022. 7. 22 中	两堵一注	专用水泥	15	50	21	2022. 7. 22 中
A16-1	D3	全煤	2022. 7. 24 中	两堵一注	普通 425 水泥	15	50	21	2022. 7. 24 中
A16-2	E1	全煤	2022. 7. 24 中	两堵一注	混合水泥	15	50	21	2022. 7. 24 中

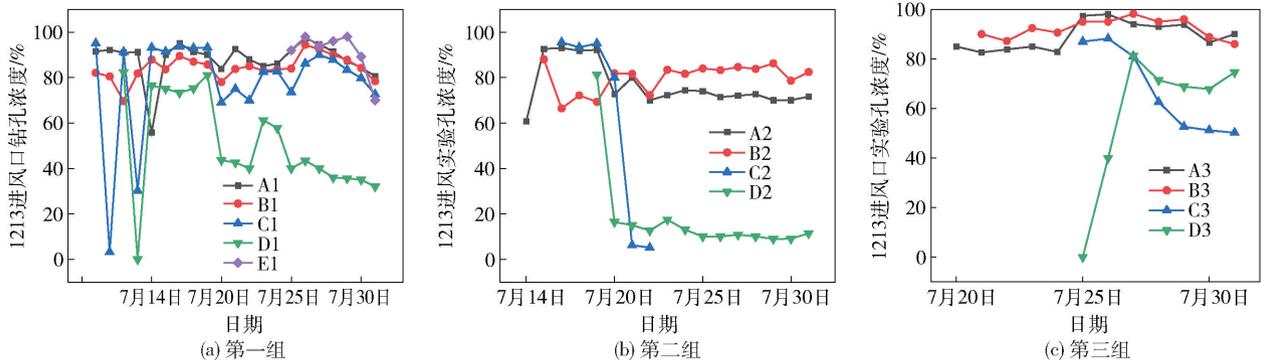


图 1 1213 进风口实验孔浓度变化图

在万峰矿 1213 进风巷道经过 20 d 的封孔试验,对比 A、B、C、D、E 五组可知;新型“两堵一注一排”封孔效果明显优于旧的“两堵一注”;新型“两堵一注一排”的封孔,钻孔浓度普遍在 70% 以上,旧的“两堵一

注”封孔钻孔浓度不稳定,最低降至 9%。新型“两堵一注一排”封孔瓦斯浓度衰减率也大幅度降低,“两堵一注一排”封孔 20 d 后开始出现衰减,普通“两堵一注”7 d 后开始出现衰减。抽采分析见表 4。

表4 抽采分析

日期	分析内容	原因
2022.7.12	C1号实验孔浓度从(7月10日)95.10%降至(7月11日)3.18%,抽采流量突增至1.73 m ³ /min,又恢复至(7月12日)91.3%	关闭周围所有钻孔进行排查,初步分析为在D1孔施工过程中,受钻动影响,有裂隙与C1孔透气,造成C1进入空气,将D1孔封孔严密后,C1恢复正常
2022.7.13	D1号实验孔突然无瓦斯,浓度为0%	对D1进行通孔,发现煤粉堵孔,通孔后恢复正常
2022.7.14	C1孔浓度突然从91.3%降为30.2%	对C1进行通孔,发现煤粉堵孔,通孔后恢复正常
2022.7.14	A1孔浓度从91.2%降为55.8%	排查发现A1孔连孔管处有轻微漏气,使用玻璃胶进行封堵接口,之后恢复正常
2022.7.19	无钻孔排查数据	瓦斯综合参数测定仪进水,仪器出现故障,自行排水、修理未果,返厂维修
2022.7.20	钻孔浓度变化大,除B2孔外,所有钻孔浓度均比之前降低	光瓦与瓦斯综合参数测定仪检测结果存在偏差,D2孔孔内出现漏气,疑似与其他钻孔发生透气
2022.7.21	C2、D2孔浓度大幅度降低	对C2、D2进行检查,发现两孔孔口密封完好无瓦斯,D2号孔孔口无气流变化,孔口10 m段无堵孔,C2孔气流向孔内,疑似孔内发生透气,排查临近其他钻孔,发现与B2孔孔内透气,且透气段超过已下管的21 m,暂无法处理
2022.7.22	C2、D2孔浓度依旧降低	关闭B2孔对C2孔进行检测,发现开始C2开始恢复浓度,半小时后C2浓度40%,重新开启B2后,C2浓度立即下降;D2钻孔无漏气,孔口无瓦斯,通孔30 m后,钻孔检测浓度依旧降低,明天将关闭C2孔,对D2孔加深通孔距离
2022.7.23	C2#孔关闭、C3#孔无法抽	因B2与C2#孔串孔,关闭C2#孔;排查C3#孔,发现孔口密封完好无气流变化,孔口10 m段无堵孔,检测C3#孔时D3#孔气流向孔内,疑似孔内发生透气,由于D3#孔未注浆封孔,暂时无法处理
2022.7.24	无较大变化	
2022.7.25	D1号实验孔浓度从(7月24日)57.80%降至(7月25日)40.00%;D3#孔浓度为0.00%	对D1进行检查,发现孔口密封完好无瓦斯,D1号孔孔口无气流变化,孔口10 m段无堵孔,疑似孔内瓦斯含量有所衰减;对D3进行检查,发现孔口密封完好无瓦斯,D3号孔孔口无气流变化,经排查发现连孔管水泥堵塞
2022.7.26	D1号实验孔浓度从(7月24日)57.80%降至(7月25日)40.00%,(7月26日)43.40%;D3#孔浓度为40.00%	对D1进行检查,发现浓度有所上升,与7月24日相比,说明孔内瓦斯含量有所衰减;今日带工具对连孔管进行通孔,经测浓度后,发现浓度较低,关闭C3孔后D3为进气状态,且透气段超过已下管的21 m,暂无法处理
2022.7.27	D3#孔浓度为(7月26日)40.00%上升至(7月27日)81.20%	D3#孔经过再次通孔,浓度上升至81.20%
2022.7.30	D1、D2孔浓度均开始降低衰减,其他孔无明显变化	普通水泥封孔不严,衰减较快

3.2 DN150 汇流

1)旧的“气水分离”连孔工艺

流程:封孔管距孔口留150 mm长度连孔距离,封孔管连接抽放弯头(弯头朝总回方向,与底板平行),抽放弯头连接阀门,阀门连接200 mm短节,短节连接 $\phi 63$ mm导流管,导流管连接300 mm短节,短节连接抽放三通(三通口为垂直底板方向),抽放三通将抽放软管分流为汇流管(上)与汇水管(下),三通上下短节为400 mm,汇流管与汇水管保持平行,距离为850 mm。具体如图2所示。

2)DN150 汇流——分单元计量

流程:DN50封孔管距孔口留150 mm长度连孔距离,封孔管连接 $\phi 50$ mm变 $\phi 63$ mm变头,再接 $\phi 63$ mm抽放弯头(弯头朝底板,与底板垂直),抽放弯头连接取样阀门,阀门连接300 mm至500 mm的 $\phi 63$ mm短节, $\phi 63$ mm短节连接 $\phi 150$ mm异形三通至 $\phi 150$ mm汇流管,汇流管向放水器微斜,将整单元300 m钻孔连抽至 $\phi 315$ mm主管路, $\phi 150$ mm瓦斯管低洼点处安装放水器,整组加设在线监控及人工计量装置。具体如图3所示。

旧的“气水分离”连孔接头较多,容易漏气,外

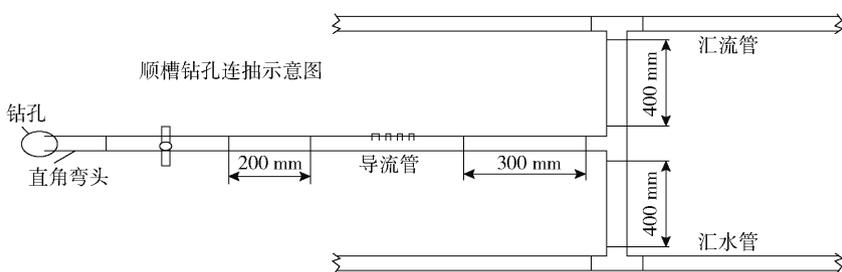


图2 “气水分离”连孔工艺连孔示意图

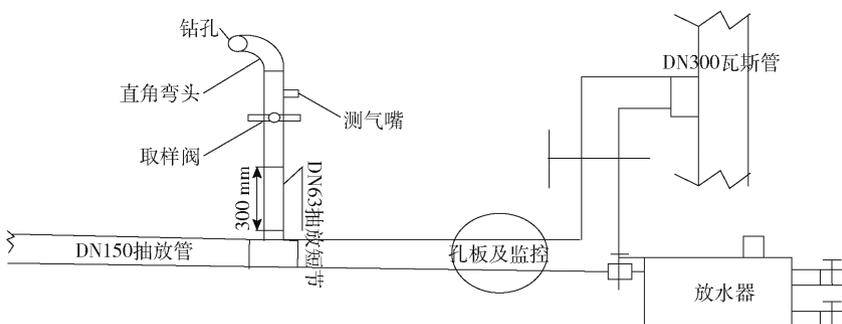


图3 “DN150 汇流”工艺示意图

观繁杂,不易实现标准化。DN150 汇流外观简单大方标准,抽采量大,不易漏气。将旧式的“气水分离”更改为“DN150 汇流”,连孔管接头由 15 个减少到 6 个,极大减少了连孔漏气,增大了汇流管直径,提高了抽采流量,实现了抽采分单元精确计量。

3.3 通孔

钻孔施工完毕立即封孔连抽,并检测钻孔初始浓度,对无抽采浓度的钻孔安排专人进行通孔,第三天对新钻孔抽采浓度再次检测查验,防止新连抽钻孔孔内钻渣堵孔,发现问题钻孔立即安排专人处理。

3.4 排查

每周对所有钻孔进行全面排查检测,测量钻孔的瓦斯抽采浓度、负压、流量、一氧化碳参数,对异常钻孔进行通孔、查漏气等手段进行处理,对抽采时间超过 90 d 的且浓度低于 10% 的钻孔进行管控。

现单孔浓度一般可以维持在 70% 上下,可维持 3 个月,较以前 1213 进风抽采,单孔浓度提升了 20%,持续时间延长了 2 个月。

4 支管浓度提升

4.1 放水

在瓦斯抽采支管的每个低洼点、拐弯处、温度突变处安设放水器进行放水。1306 进回风推广使用了自动放水器,现已在管路及钻孔易积水点安设自动放水器 20 台,减少了管路积水对瓦斯钻孔抽采造成的影响,提高了抽采效率。

4.2 除渣

在每个掘进头联巷三岔口瓦斯管路处加设管路除渣三通(三通内焊制过滤铁网),每月定期对瓦斯管路进行除渣,防止抽入瓦斯管路的杂物影响瓦斯抽采。

4.3 花接

对全矿井瓦斯抽采系统进行排查,逐段摸排,去除瓦斯管路花接点,保证所有瓦斯抽采管路同径硬连接,确保抽采效率。

现支管浓度一般在 35% 上下,并且随连抽钻孔增加而逐步提升,较以前 1213 进风高负压瓦斯抽采管路浓度提高 15%。

5 结论

通过以上手段后,矿井高浓度瓦斯抽采提升效果显著,新型“两堵一注一排”的封孔钻孔浓度普遍在 70% 以上,瓦斯浓度衰减率也大幅度降低。“两堵一注一排”的封孔方式对瓦斯抽采钻孔浓度的提升有显著效果;瓦斯抽采支管通过“放水-除渣-花接”提升技术后,支管浓度一般在 35% 上下,并且随连抽钻孔增加而逐步提升。

[参考文献]

- [1] 唐珏, 王俊. “双碳”目标下煤炭发展及对策建议[J]. 中国矿业, 2023, 32(9): 22-31.
- [2] 韩文彬. 保德煤矿 8 号煤瓦斯抽采工艺优化及 CO₂ 增透煤层技术研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2019.
- [3] 刘振杰. 高位定向长钻孔在综采工作面裂隙瓦斯抽采

- 中应用[J]. 山西化工, 2023, 43(8): 120-122.
- [4] 解俊祥. 李雅庄煤矿提高矿井瓦斯抽采浓度试验方案技术研究[J]. 中国科技信息, 2011(10): 67-68.
- [5] 李成成. 水力割缝封孔提高瓦斯抽采浓度试验研究[J]. 能源与环保, 2022, 44(6): 285-289+295.
- [6] 穆春明, 孙向锋, 唐家豪, 等. 白坪矿煤层瓦斯抽采技术优化试验研究[J]. 中国煤炭, 2022, 48(3): 37-41.
- [7] 王雨生. 15081工作面高位巷瓦斯抽采分析[J]. 煤炭科技, 2021, 42(5): 18-20.
- [8] 周西华, 牛玉平, 白刚, 等. 抽采钻孔漏气对瓦斯抽采浓度影响因素研究[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2019, 38(6): 507-512.
- [9] 尹灿伟. 提高瓦斯抽采浓度的技术探索[J]. 煤炭技术, 2014, 33(7): 40-42.
- [10] 徐爱国. 复杂地质条件下提高瓦斯抽采浓度的措施[J]. 技术与市场, 2017, 24(5): 209.
- [11] 胡志华. 高瓦斯矿井采空区瓦斯治理技术研究[J/OL]. 煤炭与化工: 1-4[2023-10-07].
- [12] 高会国, 冯志辉. 底板穿层抽采钻孔动态自适应封孔技术研究[J]. 采矿技术, 2023, 23(5): 148-152.
- [13] 张佳龙. 黄陵二号煤矿抽采钻孔新型封孔技术研究[J]. 陕西煤炭, 2023, 42(5): 115-118+123.
- [14] 史晋平. 开元煤矿顺层钻孔高水膨胀材料封孔试验研究[J]. 山西冶金, 2023, 46(8): 63-66.
- [15] 李文彬. 新元煤矿综采面瓦斯抽采技术优化及效果分析[J]. 江西煤炭科技, 2023(3): 159-161+165.

(上接第75页)

3660DF,且沉降速度快的,其沉降层尾矿越密实,浓度也越高。

(4)选取沉降效果较好的A345、A556、YD-6三种絮凝剂,尾矿沉降速度均随着其添加量的增加而加快,经过对比分析,在现有尾矿条件下,综合考虑沉降效果和絮凝剂单耗成本,A345用量选择21 g/t比较合适,A556、YD-6用量选择18 g/t比较合适,且三种絮凝剂在最佳用量时,沉降效果比较接近,絮凝剂A345和YD-6沉降效果略优于现场A556絮凝剂。

(5)综合考虑絮凝剂试验效果和生产成本消耗,优先推荐选择YD-6絮凝剂,生产用量为18 g/t。

[参考文献]

- [1] 牟宏伟,吕文生,李树磊,等. 絮凝剂在胶结充填应用中的试验研究[J]. 矿冶, 2016, 25(1): 22-25.
- [2] 孙浩,李茂林,崔瑞,等. 不同絮凝剂对铅锌尾矿沉降效果的影响[J]. 矿产保护与利用, 2021, 41(1): 66-72.
- [3] 王子杰,王郑,许锴,等. 新型絮凝剂在水处理领域的开发和应用[J]. 应用化工, 2019, 48(3): 646-650.
- [4] 吕帅,彭伟军,苗毅恒,等. 聚丙烯酰胺类絮凝剂在矿业领域的研究进展[J]. 矿产保护与利用, 2021, 41(1): 79-84.
- [5] 李立欣,贾超,张瑜,等. 絮凝剂在矿井水处理中的应用进展[J]. 矿产综合利用, 2018, (5): 1-5.
- [6] 王瑞,张逸飞,曲广森,等. 复合絮凝剂在水处理中的应用与研究进展[J]. 广州化工, 2021, 49(1): 10-11.
- [7] 郭佳宾,王洪江,田志刚,等. 不同类型絮凝剂对超细尾砂浓度性能的影响[J]. 矿业研究与开发, 2021, 41(4): 141-145.
- [8] 马芳. 溶解温度对聚丙烯酰胺溶解速度和溶液粘度的影响[J]. 水力采煤与管道运输, 2019, (1): 37-38.