

顶板高位瓦斯抽采技术在黄白茨煤矿的实践与应用

王学兵¹, 周连春^{2*}, 古娜², 张继彪²

¹国家能源集团乌海能源有限责任公司黄白茨煤矿, 内蒙古 乌海

²西昌学院土木与水利工程学院, 四川 西昌

收稿日期: 2024年2月7日; 录用日期: 2024年3月28日; 发布日期: 2024年7月15日

摘要

针对国家能源集团乌海能源有限责任公司黄白茨煤矿020913工作面上隅角瓦斯浓度较大的实际情况, 采用了顶板高位瓦斯抽采技术, 并阐述了顶板高位瓦斯抽采技术的工作原理和使用注意事项, 在黄白茨煤矿020913工作面进行了应用, 收到了良好应用效果, 节约了成本, 保证了020913工作面安全、高效地生产, 具有很广泛的应用价值。

关键词

顶板高位瓦斯抽采技术, 实践, 应用

Roof High Gas Extraction Technology in Huangbaici Coal Mine Practice or Application

Xuebing Wang¹, Lianchun Zhou^{2*}, Na Gu², Jibiao Zhang²

¹Huangbaici Coal Mine, Wuhai Energy Co., Ltd., Wuhai Inner Mongolia

²School of Civil and Hydraulic Engineering, Xichang University, Xichang Sichuan

Received: Feb. 7th, 2024; accepted: Mar. 28th, 2024; published: Jul. 15th, 2024

Abstract

In view of the actual situation that the gas concentration in the upper corner of the 020913 work-

*通讯作者。

文章引用: 王学兵, 周连春, 古娜, 张继彪. 顶板高位瓦斯抽采技术在黄白茨煤矿的实践与应用[J]. 矿山工程, 2024, 12(3): 402-410. DOI: 10.12677/me.2024.123049

ing face of the Huangbaici Coal Mine of Wuhai Energy Group Wuhai Energy Co., Ltd. is large, the roof high-level gas extraction technology is adopted, and the working principle and use precautions of the roof high-level gas extraction technology are expounded, and the application is carried out in the 020913 working face of Huangbaici Coal Mine, which has received good application results, saves costs, ensures the safe and efficient production of 020913 working faces, and has a wide range of application value.

Keywords

Roof High-Level Gas Extraction Technology, Practice, Apply

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

煤炭在中国能源组成中占主要部分,我国大部分矿井是井工矿,保证煤炭不断供应的核心是矿井安全高效的生产,这其中原煤的高效开采是关键[1]。煤矿瓦斯事故日渐成为困扰矿井安全生产的主要灾害之一[2]。长期以来瓦斯事故在煤矿事故中占比较大,2001~2020年我国共发生煤矿瓦斯事故2486起,死亡14,430人,占煤矿事故总死亡人数的26%,平均每年发生事故124.3起,造成721.5人死亡,平均每起事故造成约6人死亡,近几年来瓦斯事故发生起数及死亡人数虽显著减少,但仍时有发生,依然不容忽视[3]。值得注意的是,瓦斯爆炸并非单一的事件,它通常会引发连锁反应,如煤尘爆炸和井下火灾等,从而加重矿井的破坏和危害[4]。在瓦斯爆炸发生的瞬间,井下温度可高达1850℃~2650℃,这对人员和井下设备造成极大的威胁,爆炸还会导致空气压力的瞬间剧增,平均可达爆炸前的10倍,若发生连续爆炸,则空气压力会持续攀升,加剧矿井的破坏[5]。同时,瓦斯爆炸还会释放大量的剧毒一氧化碳,由于井下空间有限,氧气供应有限,化学反应并不完全,因此一氧化碳会产生大量积累,成为导致人员伤亡的主要原因。最后,瓦斯爆炸还会产生强大的冲击波,导致井下巷道大量冒顶塌落,设备损毁,给国家造成巨大的物质财富损失[6]。然而,我国煤矿安全事故频繁发生,尤其是瓦斯爆炸事故居高不下,给煤炭资源的开采和煤炭企业的正常运营带来了极大的影响[7]。为了加强煤矿安全工作,我国先后颁布了《煤矿安全规程》等一系列法规,对煤矿安全工作进行了规范和管理,但是,由于煤矿井下环境复杂、监控手段不足等原因,煤矿安全事故仍然屡禁不止[8]。目前我国常使用的瓦斯治理的方法就是瓦斯抽采技术,根据时间上划分有采前预抽煤层瓦斯、边掘边抽、边采边抽、采空区瓦斯抽采[9];根据空间上划分有本煤层瓦斯抽采、邻近层瓦斯抽采、采空区瓦斯抽采;根据卸压与否分为卸压抽采和未卸压抽采;根据施工工艺不同可以分为钻孔抽采、巷道抽采、钻孔与巷道联合抽采法[10]。本论文主要研究了顶板高位瓦斯抽采的方法在黄白茨煤矿的应用收到了良好的使用效果。

2. 矿井及工作面概况

2.1. 矿井概况

黄白茨煤矿位于贺兰山煤田乌达矿区的西北部,行政区隶属乌海市乌达区管辖,南邻五虎山井田,西边与苏海图井田相邻(均为国家能源集团乌海能源公司所属矿井),东北部以乌达逆掩断层为界,岩层

走向近南北, 总体倾向东, 井田北部逐渐转向北东方向, 倾角一般在 $4\sim 6^\circ$, 在中南部靠近乌达逆掩断层附近倾角加大, 一般为 $12\sim 17^\circ$, 井田南北长 3.94 km , 东西宽 1.60 km , 面积 6.33 km^2 , 2017 年核定生产能力 1.80 Mt/a 。矿井采用斜立井混合开拓方式, 共有主斜井、副斜井、行人斜井、北风井、回风立井五个井筒。矿井通风方式为中央边界式, 通风方法为机械抽出式。由主井、副井、行人斜井、北风井进风, 回风立井回风, 目前矿井总进风量 $9913\text{ m}^3/\text{min}$, 总回风量 $10,023\text{ m}^3/\text{min}$, 负压 2200 Pa , 矿井等积孔 4.24 m^2 。

黄白茨煤矿属于高瓦斯矿井, 根据 2022 年矿井瓦斯等级鉴定结果, 矿井绝对瓦斯涌出量 $35.18\text{ m}^3/\text{min}$ (风排量 $20.92\text{ m}^3/\text{min}$, 抽放量 $14.26\text{ m}^3/\text{min}$), 相对瓦斯涌出量为 $17.73\text{ m}^3/\text{t}$, 绝对二氧化碳涌出量为 $22.93\text{ m}^3/\text{min}$, 相对二氧化碳涌出量为 $11.55\text{ m}^3/\text{t}$ 。目前矿井布置一个 020913 综采工作面, 一个 011209 连采连充工作面, 一个 0213 上 206 运综掘工作面, 采掘工作面全部实现综合机械化开采。

2.1.1. 020913 工作面概况

020913 工作面位于 922 下山采区南翼区域, 距地表垂深约 $143\sim 289\text{ m}$; 020913 工作面北为 922 轨道下山、921 皮带山上、923 回风下山等开拓巷道; 东部为井田自然边界乌达逆掩断层, 南部为井田南部边界保护煤柱, 西部为已经回采完毕的 020911 工作面。进回风顺槽走向长度 1250 m , 工作面切眼长度 165 m , 采高 2.8 m , 煤层倾角 7° 。采用走向长壁式采煤法综合机械化回采工艺, 全部垮落法控制顶板。

2.1.2. 存在的问题

020913 工作面在回采过程中发现工作面上隅角瓦斯浓度达到 0.9% 左右, 极易造成瓦斯超限, 从而严重地制约了工作面的安全生产。

造成工作面上隅角瓦斯浓度升高的原因分析:

- 1) 020913 工作面回采过程中煤壁会涌出一部分瓦斯, 这部分瓦斯会随着风流进入工作面的上隅角, 而且由于上隅角处是风流产生涡流的地方, 该处瓦斯比较容易聚集;
- 2) 020913 工作面回采过程中由于回采不可能那么干净, 就会造成一部分煤炭进入采空区, 这部分进入采空区的遗留煤炭也会释放出来一部分瓦斯, 这部分瓦斯伴随着部分进入采空区的风流涌入到工作面上隅角, 从而造成上隅角瓦斯浓度升高;
- 3) 020913 工作面回采过后, 在采空区上部顶板处形成垮落带、裂隙带、弯曲下沉带三个带。在这三个带中裂隙带中存在大量的发育完全的裂隙, 裂隙中会储存大量的瓦斯气体, 这部分瓦斯气体会进入工作面采空区, 在采空区内被风流带入工作面上隅角, 从而造成上隅角瓦斯浓度升高。

3. 顶板高位瓦斯抽采技术的实践与应用

3.1. 顶板高位瓦斯抽采技术的工作原理

顶板高位瓦斯抽采技术的工作原理如下:

根据钱鸣高院士的砌体梁理论在工作面回采过后, 在工作面采空区上部顶板处形成垮落带、裂隙带、弯曲下沉带三个带。在这三个带中裂隙带中存在大量的发育完全的裂隙, 裂隙中会储存大量的瓦斯气体, 如果我们施工顶板高位瓦斯抽采钻孔将瓦斯抽采钻孔的终孔位置布置在裂隙带中, 再与地面瓦斯抽采系统相连接, 那么通过瓦斯抽采将裂隙带中的瓦斯抽采到地面, 从而减小了裂隙带中的瓦斯向工作面采空区的流入, 更进一步减少了瓦斯向工作面上隅角的流动, 从而达到了降低工作面上隅角瓦斯浓度的目的, 这就是顶板高位瓦斯抽采技术的工作原理。理论和实践证明将顶板高位钻孔的终孔位置布置

在裂隙带的中下部位瓦斯抽采效果最为明显，那么怎么确定裂隙带的范围就成为顶板高位瓦斯抽采技术的关键所在。

3.2. 顶板高位瓦斯抽采钻孔的具体实践和应用

本论文以国家能源集团乌海能源有限责任公司黄白茨煤矿 020913 工作面为研究对象，根据钱鸣高院士的砌体梁理论工作面采空区裂隙带、垮落带的计算公式如下：

$$H_m = [100 \sum M / (4.7 \sum M + 19)] + 2.2 \quad (1)$$

$$H_1 = [100 \sum M / (1.6 \sum M + 3.6)] + 5.6 \quad (2)$$

式中： H_m 为垮落带高度(m)； H_1 为导水裂隙带高度(m)； $\sum M$ 为煤层均厚(m)；由工作面回采地质说明可知，煤层均厚为 2.84，则 $\sum M = 2.8$

求得： $H_m = 9.8 \text{ m}$

$H_1 = 40.2 \text{ m}$

由上面的计算可知 020913 工作面采空区垮落带 4 的高度约为 11 m，裂隙带 5 的高度约为 40 m。那么我们可以初步判断垮落带的位置在采空区向上顶板的 0 m~9.8 m 范围内；裂隙带的范围在采空区向上顶板的 9.8 m~50 m 的范围内。

根据 020913 工作面的实际情况我们将在 020913 工作面回风顺槽布置 4 个钻场，每个钻场布置 15 个钻孔，钻孔的具体设计参数情况如表 1 所示，具体的钻场布置情况的平面图和剖面图如图 1 和图 2 所示。其中，1#钻场距切眼 236 m，钻孔设计孔深 246 m，工程量 3690 m，2#钻场距 1#钻场 346 m，钻孔重叠 60 m，钻孔设计孔深 411 m，工程量 6165 m；3#钻场距 2#钻场 346 m，钻孔重叠 60 m，钻孔设计孔深 411 m，工程量 6165 m；4#钻场布置在 020908 回车场内，距 3#钻场 402 m，钻孔重叠 60 m，钻孔设计孔深 459 m，工程量 6885 m。020913 工作面高位瓦斯抽采钻孔共设计工程量 22,905 m。

Table 1. Drill hole parameter design table for each drill site

表 1. 每个钻场的钻孔参数设计表

孔号	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#	10#	11#	12#	13#	14#	15#
孔径 (mm)	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
孔深 (m)	411	411	411	411	411	411	411	411	411	411	411	411	411	411	411
孔口开孔距底板位置 (m)	2.4	2.4	2.4	3	3	3	3	3	3	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
孔口开孔间距 (m)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
终孔间距 (m)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
终孔距离顶板的垂距 (m)	10	10	10	15	15	15	15	15	15	25	25	25	25	25	25
开孔倾角 (°)	5	5	5	7	7	7	7	7	7	9	9	9	9	9	9
备注：	1#钻场距切眼 236 m，钻孔设计孔深 246 m；4#钻场布置在 020908 回车场内，钻孔设计孔深 459 m；其中，在水平方向上 1#钻孔距回风顺槽下帮 5 m；15#钻孔距回风顺槽下帮 30 m。														

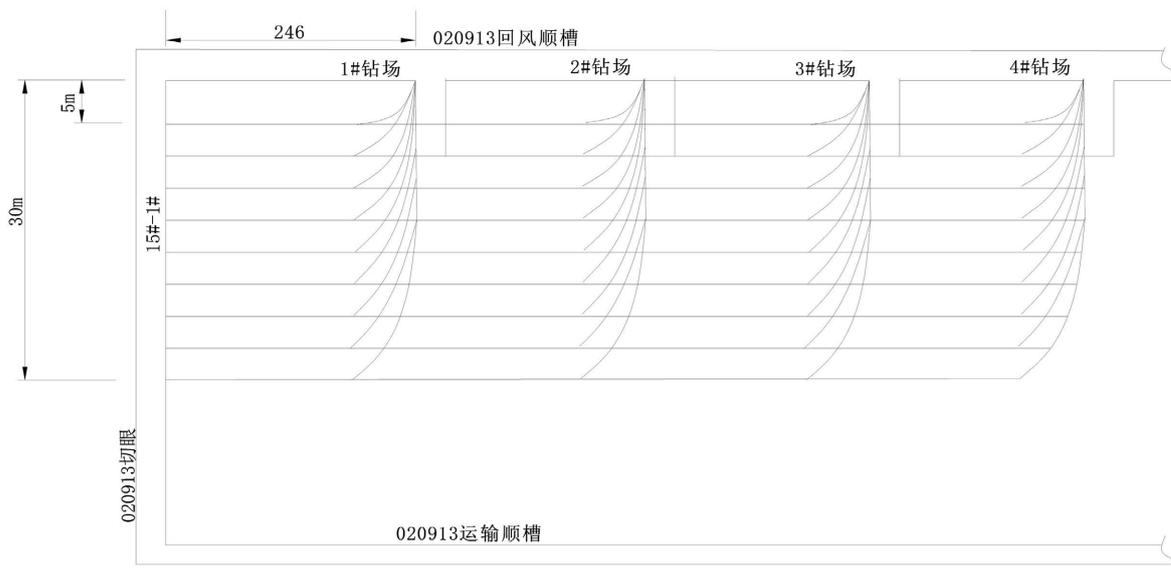


Figure 1. Schematic diagram of the high-level gas extraction borehole on the roof of the 020913 working face
图 1. 020913 工作面顶板高位瓦斯抽采钻孔平面示意图

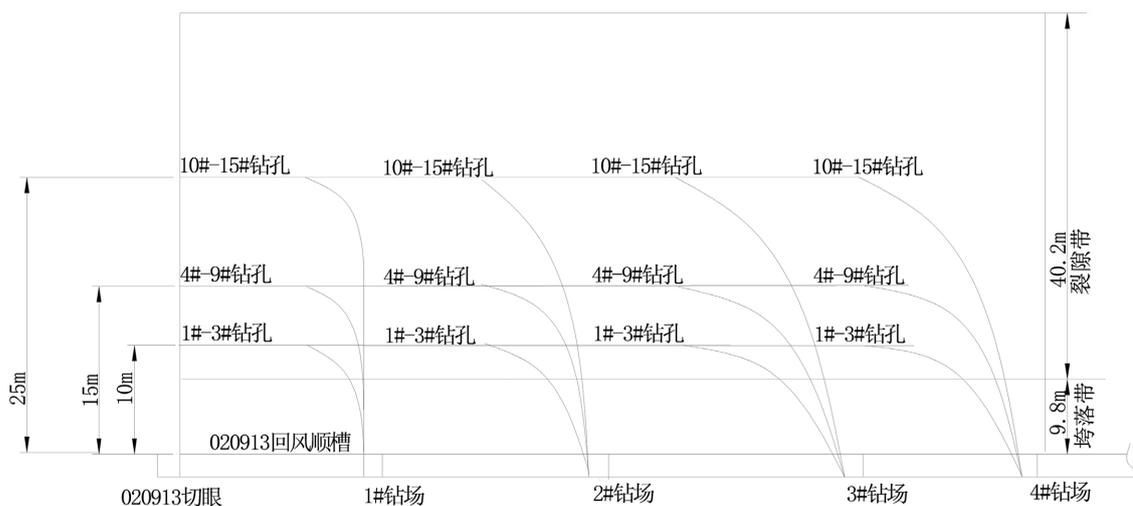


Figure 2. 020913 Schematic diagram of the high-level gas extraction borehole section of the roof of the working face
图 2. 020913 工作面顶板高位瓦斯抽采钻孔剖面示意图

3.3. 顶板高位瓦斯抽采钻孔施工注意事项

3.3.1. 施工顶板高位钻孔的钻机及其配套设备

在 020913 工作面施工顶板高位钻孔的钻机及其配套设备如表 2 和图 3 所示。

Table 2. List of equipment for drilling yard loads

表 2. 钻场负荷设备一览表

序号	设备名称	规格型号	电压等级	功率
1	钻机	ZDY6000LD	660/1140	75 KW
2	履带泵车	BLY390/12	660/1140	110 KW
3	潜水泵	7.5 kw	660/1140	7.5 KW

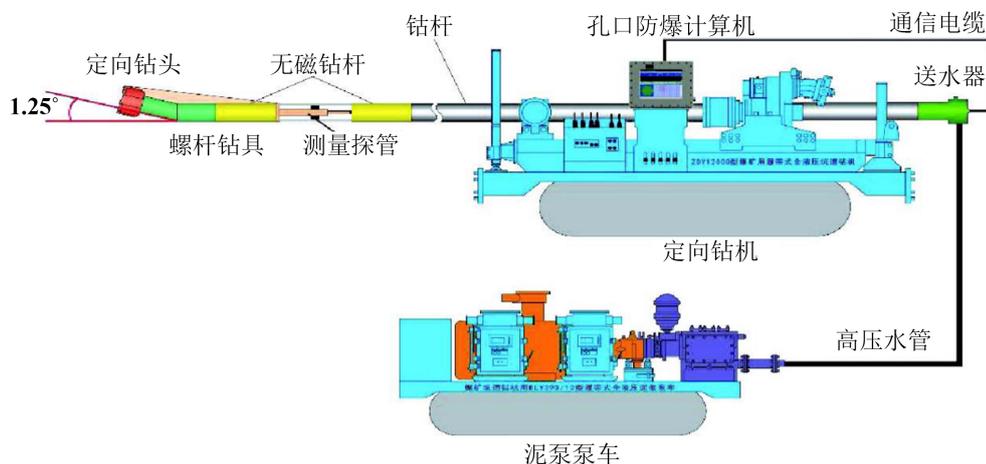


Figure 3. Schematic diagram of the rig connection

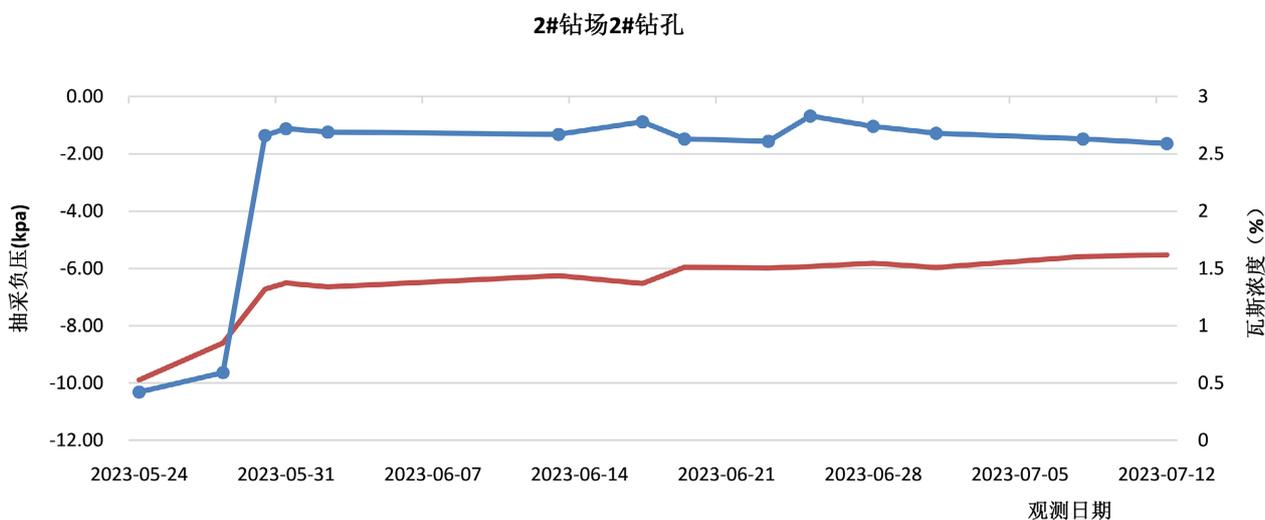
图 3. 钻机连接示意图

3.3.2. 施工顶板高位钻孔的注意事项

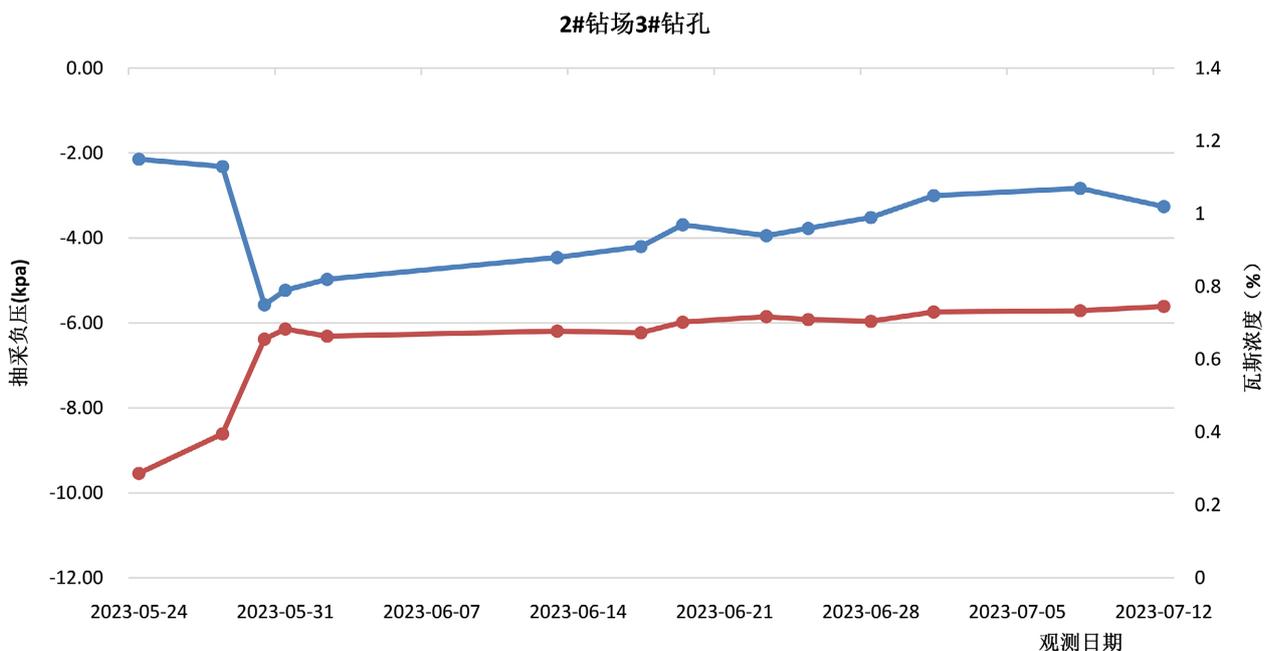
- 1) 施工前编制瓦斯抽放钻孔施工设计和施工作业规程，并宣贯到每一名员工，施工过程中严格落实。
- 2) 钻孔施工前，区队向矿方提出申请，在钻场回风侧 10~15 米处安设甲烷传感器，未设置瓦斯传感器不得开孔钻进。
- 3) 区队协调矿方至少为每班人员配备 2 台便携式瓦斯检测仪，领用时认真检查确保完好，一台吊挂至孔口上方，一台由班长或安全验收员手持随时监测钻场各区域瓦斯浓度。
- 4) 每班对钻场主负压抽放管、联管网路进行检查，确保抽放系统畅通、无积水、负压正常；班前、班中、班后对已联网钻孔孔口瓦斯浓度进行检查，随时对施工钻孔瓦斯浓度进行检查，出现异常时，及时采取措施进行处理。
- 5) 在检查中发现已联网钻孔出现堵孔时，及时汇报区队管理人员，制定《钻孔疏通安全技术措施》，措施中明确疏通方法、作业时间、人员、配套设施及区队跟班人员等内容，经审批、组织贯彻学习后，方可进行钻孔疏通作业。严禁无措施疏通。
- 6) 钻孔施工时瓦斯抽放设施完善。孔口安设四通，孔口球阀，密封严密；各管路与接头连接使用专用抱卡；安设备用抽放管连接瓦斯收集器，将瓦斯收集器吊挂至孔口上方；施工下行孔时，安设孔口放水装置；集管器、放水器、排渣器及各控制阀完好；排渣器排渣口瓦斯有涌出现象时，应设置备用管路进行抽放。
- 7) 作业期间，由班组长安排专人对抽放管及放水器进行巡查放水，主抽放管、集管器、放水器积水严重，出现满管、满罐，应停止钻进，合理调整负压，全力进行放排水工作。
- 8) 区队管理人员合理安排当班生产任务，避免出现单班生产任务重、员工赶进尺，孔内瓦斯集聚造成瓦斯喷孔。
- 9) 当班班组长根据当班生产任务合理安排，控制钻进速度，充分冲孔划孔，使孔内瓦斯得到匀速均量释放。
- 10) 在钻孔钻进、联网及疏通钻孔作业期间钻场瓦斯浓度不应超过 1.0%，大于 1.0%时必须停止作业，查找原因进行处理。
- 11) 作业期间，操作人员要随时观察排渣器返水返渣情况，出现返水量增大、减小或返渣颗粒较大时，需立即停钻分析排查原因。

12) 钻孔联网前, 必须汇报矿方生产指挥中心, 经同意后, 方可进行联网作业; 终孔退钻联网班次队领导跟班指挥且必须配备安全验收员, 拆卸孔口装置前将孔口球阀关闭, 增大孔口负压抽放 30 min, 期间准备好负压联网管路、测量短节、蝶阀等、螺杆等材料, 将瓦斯收集器吊挂至孔口上方; 拆卸孔口装置时缓慢进行, 使用便携式瓦检仪随时检测孔口瓦斯, 瓦斯浓度小于 1% 时方可继续进行作业, 否则恢复原状, 继续抽放; 孔口装置拆开后, 迅速将马达抽出孔口, 对接负压管路, 进行抽放。

4. 顶板高位瓦斯抽采技术的效果分析



— 抽采负压 (kpa) — 瓦斯浓度 (%)
(a)



— 抽采负压 (kpa) — 瓦斯浓度 (%)
(b)

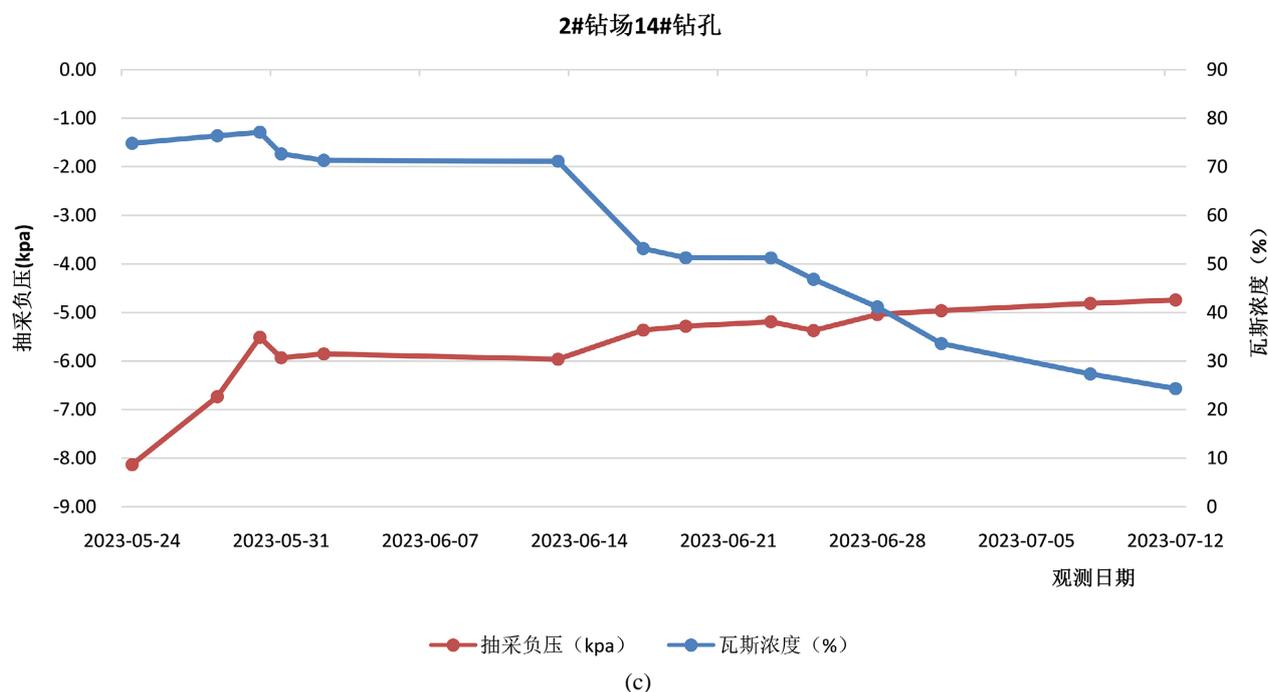


Figure 4. Negative pressure and gas concentration curves of high-level gas extraction boreholes on the roof

图 4. 顶板高位瓦斯抽采钻孔的抽采负压和抽采瓦斯浓度曲线图

020913 工作面自从 2022 年 7 月 23 日施工使用千米定向钻机施工顶板高位瓦斯抽采钻孔以来收到了非常好的应用效果。从 2023 年 5 月 24 日到 2023 年 7 月 12 日我们选取了 2#钻场的部分钻孔进行了瓦斯抽采负压和抽采瓦斯浓度的测定, 通过观测发现了其变化曲线如图 4 所示。其中, 2#钻场的 2#钻孔和 3#钻孔的瓦斯抽采负压在 5 kpa~10 kpa 之间, 瓦斯抽采浓度 0.5%~3%之间进行变化; 但是 2#钻场的 14#钻孔的瓦斯抽采负压在 4 kpa~8 kpa 之间, 瓦斯抽采浓度在 20%~75%之间进行变化, 由此可知在工作面采空区范围内顶板高位瓦斯抽采钻孔距离顶板 25 m 的层位时同等瓦斯抽采负压情况下瓦斯抽采浓度最高, 瓦斯抽采效率比较理想。通过实施顶板高位瓦斯抽采钻孔, 收到了非常好的瓦斯抽采效果, 确保了工作面的安全高效地回采。

5 结语

- 1) 实践证明顶板高位瓦斯抽采技术的工作原理简单, 施工成本低, 安全可靠性好;
- 2) 实践证明顶板高位瓦斯抽采技术的瓦斯治理效果非常显著, 只要严格按照设计施工是完全能够确保工作面的安全回采的;
- 3) 实践证明顶板高位瓦斯抽采技术中距离顶板 25 m 的岩层瓦斯抽采效果比较突出, 该技术具有良好的应用推广价值, 尤其是在地质条件类似的高瓦斯矿井的回采工作面施工时皆可借鉴使用, 具有重要的理论和应用价值。

参考文献

- [1] 赵华. 煤矿瓦斯防治技术的现状与问题[J]. 内蒙古煤炭经济, 2021(6): 109-110.
- [2] 陈煜朋. 我国煤矿瓦斯防治标准体系研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 煤炭科学研究总院, 2021.
- [3] 刘琦. 基于事故地图的瓦斯爆炸事故致因分析[D]: [硕士学位论文]. 徐州: 中国矿业大学, 2022.
- [4] 马银凤. 浅谈瓦斯爆炸的主要参数[J]. 中小企业管理与科技(上旬刊), 2013(6): 270-272.

- [5] 翟亚栋. 矿井采区瓦斯预测及防治技术研究[J]. 能源与节能, 2022(7): 127-129.
- [6] 陈雁. 综采工作面瓦斯综合治理技术应用[J]. 山西化工, 2023, 43(1): 132-133+142.
- [7] 申郑甫, 陈刚. 易自燃冲击厚煤层巷道支护技术研究[J]. 技术与市场, 2016(2): 56-59.
- [8] 赵俊程. 基于双策略耦合优化的煤与瓦斯突出风险预测[D]: [硕士学位论文]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2022.
- [9] 王洪武. 综放工作面瓦斯涌出规律及治理技术研究[D]: [硕士学位论文]. 包头: 内蒙古科技大学, 2017.
- [10] 周海东. 煤矿瓦斯防治技术现状与问题[J]. 内蒙古煤炭经济, 2022(7): 100-102.