

自动化钻冲造穴卸压增透装备的设计及试验

房新亮¹, 武国胜², 徐云辉², 刘亚晓²

(1. 河南龙宇能源股份有限公司 车集煤矿, 河南 永城 476600;

2. 河南铁福来装备制造股份有限公司, 河南 宝丰 467400)

摘要:针对低透突出煤层抽采钻孔钻进、冲孔效率低和人员投入大的问题,以车集煤矿为试验地点,采用理论分析与现场试验的方法,分析自动化钻冲造穴卸压增透装备性能。结果表明:自动化钻冲造穴装备平均每米的钻进速度、冲孔速度、退钻速度分别是普通打钻冲孔装备的 1.59、1.36、0.72 倍,单机综合作业效率和人均作业效率分别是普通打钻冲孔设备的 1.3、3.9 倍。水射流在钻孔煤段破冲出了直径约为 0.8~1 m 的孔洞,为煤体形变提供了空间。较普通穿层钻孔,冲孔钻孔瓦斯流量衰减周期提高了 2~4 倍。

关键词:瓦斯抽采;低透煤层;自动化;水力冲孔;卸压增透

中图分类号:TD712 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2021)08-0262-04

井下开采煤层绝大多数为低透气性突出煤层^[1]。在不具备保护层开采的条件下,顶(底)板岩巷穿层钻孔瓦斯预抽是最有效的煤层消突措施^[2]。为了提高低透气性煤层瓦斯的抽出效率,需要采取相应的辅助增透措施,水力冲孔技术是目前普遍应

用的煤层卸压增透技术之一。水力冲孔造穴技术是应用高压水射流冲击破碎煤体,在煤体内部形成较大洞穴,洞穴周围煤体应力得到释放、裂隙充分发育,进而达到较大范围卸压损伤的增透技术^[3]。其技术原理如图 1 所示。

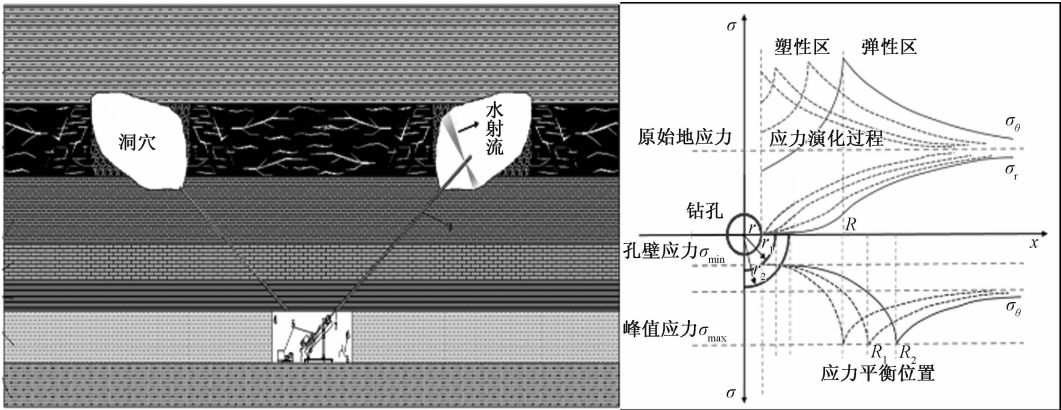


图 1 穿层钻孔造穴卸压增透技术示意图

中国学者针对水力冲孔卸压增透的机理、技术和应用开展了一系列研究和考察^[4]。王恩元等^[5]研究了水力冲孔在梁北二井高突煤层应用中孔洞周围煤体的多场分布演化规律与卸压增透半径。王兆丰等^[6]分析了水力冲孔在松软低透煤层的增透机理并考察了在罗卜安煤矿的应用效果。郝从猛等^[7]根据水力冲孔冲出的煤量,将冲孔的形状进行简化,建立了瓦斯流动流固耦合模型并借助 COMSOL

数值软件进行求解,得出了冲孔后瓦斯抽采半径模拟结果与现场实测基本一致的结论。王伟^[8]以卧龙湖矿松软煤体为研究背景,推演了高压水射流冲击破碎松软煤体的过程,研发了钻进冲孔一体化装备,并实现了履带式联动行走。水力冲孔技术的发展与应用极大地提高了各大矿区瓦斯抽采的效果^[9]。但是机械化水力冲孔技术面临着劳动强度大、作业效率低等问题^[10]。如何在增加煤层透气

收稿日期:2021-02-28

基金项目:国家自然科学基金(51574229)。

作者简介:房新亮(1985—),男,河南商丘人,河南龙宇能源股份有限公司车集煤矿,科长,硕士,研究方向为煤矿瓦斯防治。

性,提高煤层瓦斯抽采效果的同时,减少设备操作人员成了煤矿瓦斯智能抽采研究的新任务^[11]。

为了实现造穴卸压增透技术的减人增效,采用自动化控制手段,研发了全套自动控制钻机及配套的钻杆车,实现了煤层造穴卸压增透技术的打钻、冲孔造穴的自动化。具有减少操作人员、远程控制和避免人为因素对钻孔成孔质量影响的优势。以期实现自动化钻冲造穴装备提高低透突出煤层瓦斯抽采效果,降低危险环境的人员投入,确保矿井安全高效生产。

1 自动化钻冲造穴卸压装备的设计

1.1 设计路线

自动钻冲一体化成套装备需要满足自动化控制钻机、远控清水泵站、高压密封钻具、可变径造穴装置等部件间的自动配合,其中自动化控制钻机主要由自动打钻车与自动钻杆车两部分组成。自动化控制钻机实现设备的一键自动打钻、自动退钻、自动上钻杆以及自动下钻杆等功能,通过无线遥控控制与数据显示功能方便工人现场作业。主要部件间功能实现及相互关系如图 2 所示。

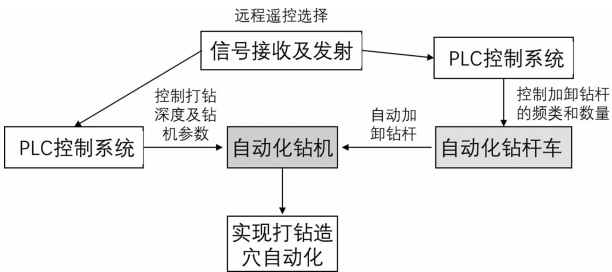


图 2 自动化打钻造穴装备设计路线

1.2 自动化钻机及钻杆车

实现自动化打钻造穴的关键装备包括自动化钻机和自动钻杆车两部分组成,两者的配合关系如图 3 所示。其中,可编程控制系统(PLC)通过接近开关、压力传感器、位移传感器、转速传感器及温度传感器等输入开关信号及模拟量信号,对设备运行状态进行判断,通过逻辑运算输出开关信号及模拟量信号对各机构功能进行控制,实现设备的自动化运行。另外,通过电磁液压阀的直接驱动,控制机械手实现各功能动作,同时通过可编程的逻辑控制,实现钻杆车的自动送钻与自动回收钻杆功能。

1.3 其他设施

远控清水泵站在无线遥控器控制下实现泵站输出压力的线性调整及定值调整、保压,在设备正常钻进时输出低压水,冲孔时泵站输出压力自动升

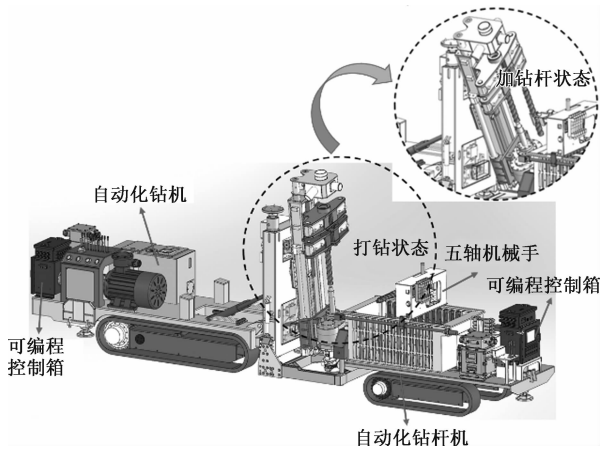


图 3 煤矿用自动化控制钻机组成

高至固定值,并保持,实现设备冲孔时高压水供给功能。高压密封钻具在实现设备扭矩传递的同时还具有耐高压以及自动闭水的功能,在设备连接钻杆时实现钻具的自动闭水,减少通水供水时间,避免因拆解钻杆时水流流出产生虹吸堵塞钻具。冲孔造穴装置通过高低压水切换实现冲孔功能的转换,通过转换后的冲孔装置实现煤体冲孔。

2 现场应用

2.1 试验地点概况

试验地点位于车集煤矿 26 采区轨回五联巷,采区煤层厚度为 2.1~3.2 m,平均厚度为 2.7 m,煤层倾角为 12°~24°,瓦斯含量为 6.47~13.5 m³/t,最大瓦斯压力 0.6 MPa。矿井 2013 年升级为突出矿井。

2.2 钻孔布置

通过对水力冲孔的有效半径现场考察结果发现,水力冲孔钻孔允许的最大布置间距为 5 m。因此,试验设计 4 组钻孔,每组钻孔的间距为 5 m,每组孔共 12 个钻孔,分两排布置,共计 48 个。每排钻孔之间的关系为平行关系,钻孔布置的平面图、剖面图如图 4 所示,钻孔参数见表 1。

3 效果考察

3.1 工作效率考察

为了考察自动化钻冲造穴装备的应用效果,需要首先对装备的工作效率进行考察,这是因为工作效率是评价自动化是否优于普通机械化的关键指标。其中,采用自动化钻冲造穴装备与普通打钻造穴装备的施工过程对比分析的方法进行考察,对比参数见表 2。

通过计算可知,采用自动化钻冲造穴装备平均每米的钻进速度、冲孔速度和退钻速度分别是普通

打钻冲孔装备的 1.59、1.36、0.72 倍。

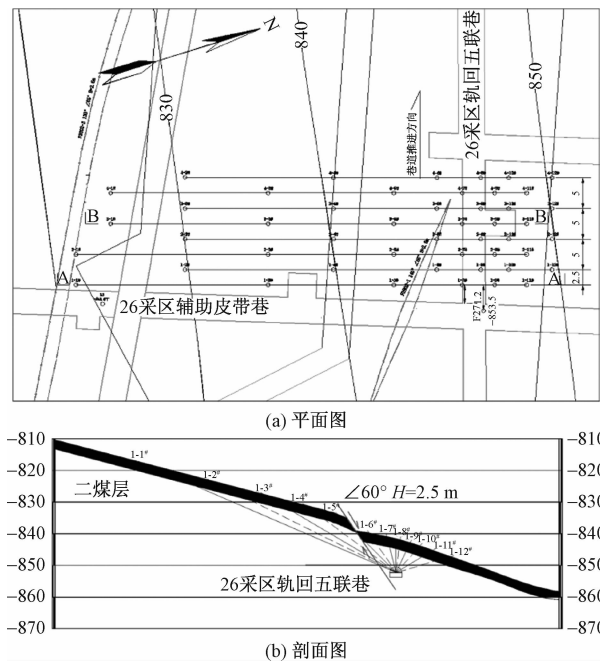


图 4 钻孔布置

表 1 穿层水力冲孔钻孔参数

孔号	方位角/ (°)	垂直角/ (°)	见煤点/ m	煤段长度/ m	穿煤长度/ m
1#	198	22.8	60.6	26.6	0.9
2#	198	24.2	46.8	21.6	1.0
3#	198	26.8	34.6	15.3	1.1
4#	198	30.8	23.9	11.3	1.3
5#	198	39.6	14.2	7	1.5
6#	198	58.3	7.8	2.8	1.7
7#	198	89.1	5.0	2.8	1.9
8#	18	80.6	4.6	2.7	1.9
9#	18	72	4.6	2.7	1.7
10#	18	46.9	5.4	3.0	1.4
11#	18	26.7	7.3	3.8	1.0
12#	18	12.1	10.8	5.2	0.6

表 2 工作效率对比

设备	平均钻 进速度/ (min·m ⁻¹)	平均造 穴速度/ (min·m ⁻¹)	平均退 钻速度/ (min·m ⁻¹)	操作 人数
智能钻冲一 体化装备	2.2	22	1.4	1
普通钻冲一 体化装备	3.5	30	1	3

经过大量的实践统计分析,常规装备钻进、冲孔过程中,钻孔钻进的时间、冲孔时间和退钻时间占总作业时间的比例分别为 30%、50%、20%。因

此,计算可知,自动化钻冲造穴装备的单机综合作业效率是普通打钻冲孔设备单机综合作业效率的 1.3 倍。

自动化钻冲造穴装备在提高单机作业效率的同时,减少了操作人员投入。普通打钻冲孔装备一般需要 3 人进行操作,而自动化钻冲造穴装备仅需 1 人进行控制作业。从人均作业效率的角度分析可以得出,自动化钻冲造穴装备的人均作业效率是普通打钻冲孔装备的 3.9 倍。

3.2 增透效果考察

为了进一步确定自动化钻冲造穴装备对于强化煤层瓦斯抽采的效果,对装备试验期间的造穴出煤量、冲出瓦斯量及强化瓦斯抽采情况进行分析。

3.2.1 冲出煤量

为了考察自动化钻冲造穴装备应用是增透效果,对采用冲孔措施钻孔的单孔冲出煤量进行统计并计算每米冲出煤量,如图 5 所示。

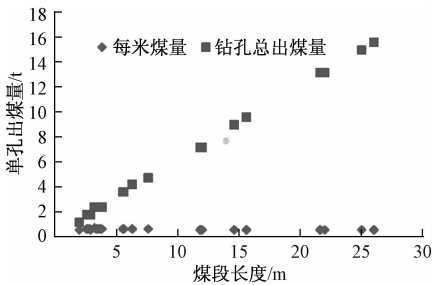


图 5 单孔及每米出煤量统计

从图 5 可知,单孔冲出煤量最少为 1.2 t,最多为 15.6 t。单孔每米冲出的煤量为 0.6~0.75 t/m,根据煤层煤的密度计算,水射流在钻孔煤段破冲出了直径约为 0.8~1 m 的孔洞,为煤体形变提供了空间。

3.2.2 冲出瓦斯量

为了考察钻孔冲孔期间冲出的瓦斯量,对第 4 组 4 号钻孔进行考察。该钻孔在 240 min 内共计破冲出煤量为 7.2 t,经过计算,在钻孔煤段可形成直径为 0.82 m 的孔洞。钻孔冲孔前后巷道内瓦斯浓度随时间的变化趋势如图 6 所示。

从图 6 可知,联巷在正常条件下,风流中的瓦斯浓度在 0.01% 左右,当钻孔进行冲孔时,风流中的瓦斯浓度迅速上升,最高可达 0.6%。为了防止瓦斯超限,立即将防喷装置连接到防喷管路,风流中瓦斯浓度迅速恢复正常。

3.2.3 冲孔钻孔抽采效果

为了考察水力冲孔后钻孔的抽采效果,对第 4 组 1#~4# 钻孔的瓦斯纯流量随时间的变化进行

统计,如图 7 所示。

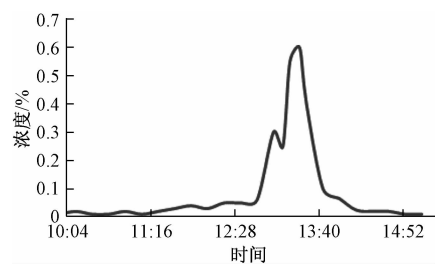


图 6 冲孔前后巷道风流瓦斯浓度变化

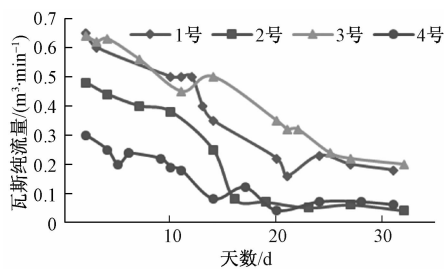


图 7 冲孔后钻孔流量随时间的变化图

从图 7 可知,冲孔后钻孔的初始瓦斯纯流量为 $0.03\sim 0.065\text{ m}^3/\text{min}$,平均纯流量为 $0.049\text{ m}^3/\text{min}$;抽采 10 d 时钻孔瓦斯纯流量为 $0.02\sim 0.05\text{ m}^3/\text{min}$,平均纯流量为 $0.038\text{ m}^3/\text{min}$;抽采 30 d 时钻孔的瓦斯纯流量为 $0.006\sim 0.02\text{ m}^3/\text{min}$,平均纯流量为 $0.012\text{ m}^3/\text{min}$ 。通过与普通穿层钻孔对比,冲孔钻孔流量衰减周期提高了 2~4 倍。

4 结论

1)自动化钻冲造穴装备平均每米的钻进速度、冲孔速度、退钻速度分别是普通打钻冲孔装备的 1.59、1.36、0.72 倍。

2)自动化钻冲造穴装备的单机综合作业效率和人均作业效率分别是普通打钻冲孔设备单机综合作业效率的 1.3、3.9 倍。

3)水射流在钻孔煤段破冲出了直径约为 0.8~1 m 的孔洞,为煤体形变提供了空间。冲孔期间孔内冲出的瓦斯需要采用放喷装置进行引排。较普通钻孔,冲孔钻孔流量衰减周期提高了 2~4 倍。

参考文献

[1] 宁德义. 我国煤矿瓦斯防治技术的研究进展及发展方向[J]. 煤矿安全,2016,47(2):161-165.
[2] 杜春宁. 塔山矿综放面瓦斯涌出规律及抽采技术研究[D]. 北京:煤炭科学研究总院,2019.
[3] 张浩. 构造煤层掘进工作面区域性顺层水力造穴强化瓦斯抽采机制与工程应用[D]. 北京:中国矿业大学,2020.
[4] 任仲久. 水力冲孔技术在低透气性突出煤层瓦斯抽采中的应用[J]. 煤炭工程,2019,51(3):65-70.
[5] 王恩元,汪皓,刘晓斐,等. 水力冲孔孔洞周围煤体地应力和瓦斯时空演化规律[J]. 煤炭科学技术,2020,48(1):39-45.
[6] 王兆丰,范迎春,李世生. 水力冲孔技术在松软低透突出煤层中的应用[J]. 煤炭科学技术,2012,40(2):52-55.
[7] 郝从猛,刘洪永,程远平. 穿层水力造穴钻孔瓦斯抽采效果数值模拟研究[J]. 煤矿安全,2017,48(5):1-4.
[8] 王伟. 高压旋转水射流破煤及其冲孔造穴卸压增透机制与应用[D]. 北京:中国矿业大学,2016.
[9] 于宝种. 松软低透煤层高压射流造穴强化抽采技术研究[J]. 矿业安全与环保,2019,46(6):42-46,52.
[10] 孙悦,江泽标,康向涛. 多种职业健康风险评估法在煤矿企业粉尘危害评估中的应用[J]. 煤矿安全,2020,51(6):158-162.
[11] 周福宝,刘春,夏同强,等. 煤矿瓦斯智能抽采理论与调控策略[J]. 煤炭学报,2019,44(8):2377-2387.

Design and Test of Automatic Drilling and Punching Hole-making Pressure Relief and Reflection Enhancement Equipment

FANG Xin-liang¹, WU Guo-sheng², XU Yun-hui², LIU Ya-xiao²

(1. Henan Longyu Energy Co., Ltd., Cheji Coal Mine., Yongcheng Henan 476600, China;
2. Henan Tiedulai Equipment Manufacturing Co., Ltd., Baofeng Henan 467400, China)

Abstract: Aiming at the problems of low-permeability outburst coal seam extraction and drilling, low punching efficiency and large personnel input, taking Cheji Mine as the test site, and using the methods of theoretical analysis and field test, the coal seam anti-reflection mechanism of the technology used for drilling and hydraulic Flushing is analyzed. The application test of the integrated intelligent equipment used for drilling and punching is carried out. The results show, the average drilling speed, punching speed, and drilling speed per meter of the integrated intelligent equipment used for drilling and hydraulic punching are 1.59, 1.36 and 0.72 times that of ordinary drilling and hydraulic punching equipment. The overall operating efficiency and per capita operating efficiency of the single machine are respectively ordinary 1.3 and 3.9 times. The water jet broke through holes with a diameter of about 0.8~1 m in the coal section of the borehole, providing space for coal deformation. Compared with ordinary through-layer drilling, the gas flow decay cycle of punching drilling is increased by 2 to 4 times.

Key words: gas drainage; low permeability coal seam; automatic; hydraulic punching; pressure relief and permeability increasing