

煤矿井下分段水力压裂梳状定向长钻孔钻进技术研究

冯达晖

(中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西 西安 710077)

摘要: 随钻测量梳状定向钻进技术目前主要应用于煤矿瓦斯防治、地质异常体探测和探放水等领域。但该技术还未与水力压裂增透强化抽采技术相结合应用于煤层瓦斯防治领域, 由于水力压裂增透强化抽采技术对钻孔特殊要求, 相应钻探装备、钻孔设计和钻进成孔工艺均需要进行研究突破。本次研究成果融合了井下梳状定向长钻孔瓦斯抽采技术及水力压裂增透强化抽采技术的优点, 形成了一套适合分段水力压裂梳状定向钻孔施工设备及工艺流程, 能够满足对松软煤层瓦斯远距离与区域增透技术的需求, 解决松软煤层透气性差、瓦斯抽采孔成孔性差、抽采距离短、抽采区域小等难题。

关键词: 水力压裂; 煤矿井下; 分段水力压裂; 梳状定向孔

中图分类号: P634.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2018)05-0008-05

Research on the Technology of Comb-shaped Long Directional Hole Drilling by Segmented Hydraulic Fracturing in Underground Coal Mine/FENG Da-hui (Xi'an Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group Corp., Xi'an Shaanxi 710077, China)

Abstract: MWD comb directional drilling technology is mainly used in coal mine gas prevention and control, geological anomaly body detection and exploration & release of water and some other fields at present. However, this technology has not been combined with enhanced extraction technology by hydraulic fracturing permeability to apply in the field of coal seam gas prevention and control. Due to the special drilling requirement of enhanced extraction technology by hydraulic fracturing permeability, the breakthroughs should be made in drilling equipment, drilling design and hole completion. The results of this study combine the advantages of gas drainage technology by comb directional drilling and enhanced extraction technology by hydraulic fracturing permeability, a set of equipments and technological processes are formed, which is suitable to segmented hydraulic fracturing comb directional drilling construction, can meet the needs of long distance and regional permeability enhancing for the soft coal seam and solve the problems such as weak permeability of soft coal seam, poor gas extraction hole completion, short extraction distance and small extraction area.

Key words: hydraulic fracturing; underground coal mine; segmentation hydraulic fracturing; comb-shape directional borehole

0 引言

瓦斯灾害作为煤矿安全生产主要灾害之一, 严重制约着煤矿的安全高效生产。随着开采技术的不断发展, 从煤矿井下瓦斯防治的需要出发, 将煤矿井下近水平随钻测量定向钻进技术^[1-5]与水力压裂增透强化抽采技术^[6]相结合引入到煤矿井下瓦斯防治领域, 具有重要的现实意义。

目前, 随钻测量定向钻进技术主要应用于煤矿瓦斯防治、地质构造探测和探放水等领域。但是该技术还未与水力压裂增透强化抽采技术相结合应用于煤层瓦斯防治领域, 由于水力压裂增透强化抽采

技术对钻孔特殊要求, 相应钻探装备、钻孔设计和钻进成孔工艺均需要进行研究突破。利用梳状定向孔钻进技术在松软煤层稳定的临近层施工长距离主孔, 再从主孔开梳状分支孔进入目标煤层, 成孔后主孔内下入压裂管柱, 对目标煤层注入高压水实施水力压裂。该技术融合了井下梳状定向长钻孔瓦斯抽采技术及水力压裂增透强化抽采技术的优点, 能够实现对松软煤层瓦斯远距离与区域增透抽采, 解决松软煤层透气性差、瓦斯抽采孔成孔性差、抽采距离短、抽采区域小等难题。提高了煤层瓦斯预抽率和抽采量、改善瓦斯抽采效果, 降低煤层开采过程中的

收稿日期: 2017-12-29

作者简介: 冯达晖, 男, 汉族, 1968年生, 钻探装备制造中心副主任, 矿山机电专业, 工商管理硕士, 主要从事煤矿井下钻探技术研究、装备开发、生产管理与推广应用工作, 陕西省西安市高新区锦业一路 82 号, fengdahui@cctegxian.com。

突出危险性,为矿区煤层安全高效开采、瓦斯治理降本增效等方面提供技术保障。因此,开展该技术研究及工程施工具有重要的现实意义。

1 发展现状

煤矿井下近水平随钻测量定向钻进技术作为瓦斯防治的主要技术措施,随着科技的进步和国内瓦斯防治的不断重视,逐渐形成了顶板高位定向钻孔、顶板梳状定向钻孔、本煤层顺层定向钻孔、底板梳状定向钻孔、底板定向钻孔等多种瓦斯抽采钻进技术及工艺方法,并已广泛应用于煤矿井下防治水、地质异常体探测等领域。

目前,煤矿井下近水平随钻测量定向钻进技术与水力压裂增透强化抽采技术还未很好地结合应用于瓦斯防治领域,配套钻探装备、钻进技术及工艺等还不成熟,均需研究突破。煤矿井下分段水力压裂梳状定向长钻孔与普通梳状定向钻孔相比在技术、工艺上具有较大不同,施工难度更高。

(1) 钻遇地层复杂。相较于普通梳状定向钻孔,分段水力压裂梳状定向长钻孔则是在煤层的临近层开孔,穿过的层位较多,地层情况较为复杂,钻进难度相对较大。

(2) 钻孔结构复杂,技术工艺繁琐。为满足分段水力压裂梳状定向钻孔后期高压水力压裂的要求,故需从孔口起要下入较深套管,为后期水力压裂提供基础。此外,各分支孔间为便于封隔器座封,需预留平缓孔段,各个孔段有不同技术工艺要求,因此需多种钻进技术工艺相结合。

(3) 钻孔轨迹控制要求严格。分段水力压裂梳状定向长钻孔对目标层位要求较高,钻孔轨迹上下偏差、左右偏差精确度要求更高,钻孔轨迹控制一旦造成偏差,将直接影响后期分段水力压裂的压裂效果。

(4) 辅助作业较多,钻孔施工周期长。

此外,分段水力压裂梳状定向长钻孔钻进施工的层位复杂,极易造成卡埋钻、掉钻等孔内事故的发生;钻孔轨迹变化较大,也同样影响孔内钻具的安全。因此,在进行分段水力压裂梳状定向长钻孔钻进施工时应选择合适的钻具组合,施工中要注意施工参数变化,严格控制钻孔轨迹沿设计轨迹延伸。

2 钻进工艺技术研究

分段压裂梳状定向长钻孔开孔位置位于石家庄

煤矿 15117 工作面 15 号煤底板岩巷中,岩巷与 15 号煤层之间地层岩性由砂岩、深灰色泥岩及其互层组成。根据地质资料及以往的钻探资料分析,寺家庄矿区 15 号煤层松软破碎,难以成孔,煤层底板是深灰色泥岩,遇水易坍塌掉块。钻进施工过程中存在钻孔倾角急降、钻孔缩径、塌孔卡钻等问题。下面分开孔阶段和定向钻进阶段两个方面研究分段水力压裂梳状定向长钻孔的成孔工艺技术。

2.1 开孔阶段

开孔阶段,要求钻孔直径达到 193 mm,孔深 40 m。拟采用“ $\text{O}120$ mm PDC 钻头+接手+ $\text{O}120$ mm 扶正器+1 根 $\text{O}89$ mm 通缆钻杆+ $\text{O}120$ mm 扶正器+ $\text{O}89$ mm 通缆钻杆”钻具组合大倾角开孔,回转钻进至 40 m,采用二级扩孔方式,扩孔孔径 193 mm,下入 $\text{O}146$ mm 套管至 40 m 处采用水泥封孔注浆方式固孔,安装孔口三通防喷、防突装置及气水分离器。根据寺家庄煤矿 15 号煤底板地质条件,煤层底板是深灰色泥岩,遇水易坍塌掉块。从软岩倾角急降和软岩缩径塌孔卡钻两个方面研究软岩的成孔技术及工艺。

2.1.1 软岩倾角急降钻进工艺技术研究

该钻孔要求钻孔最终孔径 120 mm,因此所配开孔钻具尺寸大、质量大,且开孔段为较软黑灰色砂质泥岩,开孔采用回转钻进,不能有效控制倾角,在钻进过程中易出现倾角急降的问题。为了解决该问题,研究制定以下方案。

方案一:大倾角开孔。开孔时,适当增大倾角以抵消后续回转钻进时倾角急降效应。并利用定向组合钻具测斜,然后根据实际情况进行轨迹调整。

方案二:保直钻进工艺。通过连接扶正器,采用上仰造斜抵消软岩降斜作用,实现保直钻进,即采用 $\text{O}120$ mm 四翼内凹钻头+0.5 m 长 $\text{O}120$ mm 扶正器+9 m 长 $\text{O}89$ mm 钻杆+0.5 m 长扶正器。根据其造斜效果适当调整中间钻杆长度来实现保直钻进。

方案三:快速成孔。通过适当增大钻进参数,提高钻进速度,降低孔底钻具的下斜时效,适当降低倾角下降趋势。

2.1.2 缩径卡钻泥岩地层钻进工艺技术研究

根据寺家庄煤矿 15 号煤顶底板具有泥岩厚度大、断层发育的特点。一般来说,该矿区泥岩为力学不稳定和遇水不稳定双重作用岩层,构造发育,泥岩

层位受断层、地应力等影响,强度低、易变形;泥岩作为水敏性地层,遇水膨胀缩径卡钻。作为一个低强度、易变形、抗水性差的软弱带,钻进时孔壁容易失稳,塌孔掉块严重。故针对该地层条件,研究制定以下方案。

方案一:快速成孔。水敏性泥岩的水化膨胀是一个动态发展的过程。快速成孔就是快速施工钻孔,从而减少泥岩的水化,避免掉块塌孔问题的发生;此外,快速成孔还能减少对孔壁的扰动和冲刷,有利于维持钻孔孔壁的稳定。

方案二:局部注浆。塌孔卡埋钻事故常发生在钻孔的一个局部孔段,采用常规的全孔注浆方法施工成本高、周期长。局部注浆原理如图1所示,指当钻遇破碎区域无法继续钻进施工时,将钻杆与封隔器连接,从孔口下至孔内需注浆处理孔段前端稳定孔段,之后将封隔器坐封,然后再通过钻杆从孔口向孔内需注浆处理孔段注入配置好的水泥浆,待水泥初凝后,向后提钻具。

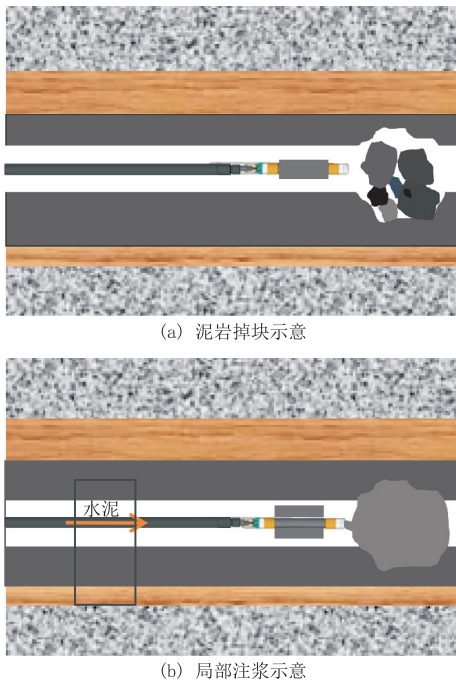


图1 封隔器局部注浆工艺原理图

方案三:冲洗液技术。目前,我国煤矿井下近水平定向长钻孔施工基本以清水来传输动力、冷却钻头 and 携带煤渣。因清水的抑制性较差,钻遇泥页岩地层易引发水化缩径卡钻事故;此外,清水粘度较低,携岩能力有限;不能有效保护孔壁、预防塌孔。

针对此不足,本项目采用了由中煤科工集团西安研究院有限公司自主研发的MZ-1型防塌乳液。在梳状孔施工中,利用防塌乳液的抑制性、护壁性和高粘性解决了泥岩缩径、沉渣卡埋钻事故,提升梳状孔施工的有效进尺,提高了该工艺的适应性。

2.2 定向钻进阶段

待开孔阶段封孔注浆候凝完成后,采用“ $\text{O}120\text{ mm}$ PDC钻头+ $\text{O}89\text{ mm}$ 螺杆马达+接手+ $\text{O}89\text{ mm}$ 下无磁+接手+ $\text{O}89\text{ mm}$ 探管+ $\text{O}89\text{ mm}$ 上无磁+ $\text{O}89\text{ mm}$ 通缆钻杆+ $\text{O}89\text{ mm}$ 通缆水便”定向组合钻具进行定向钻进施工。针对分段水力压裂需要,分支孔间距要大于 50 m ;分支孔间要有不低于 20 m 长平缓孔段,便于封隔器下入座封。因此,采用定向钻进与回转钻进相结合的复合钻进工艺进行梳状定向钻孔施工。

井下梳状定向钻孔施工时,主孔及分支孔的施工要根据施钻地层状况、设计要求和目的等不同,施工顺序可分为“前进式”和“后退式”两种。根据分段水力压裂技术的要求,在现有梳状定向钻进技术的基础上,拟采用“前进式”分支孔工艺。首先按设计要求定向钻进至要求平缓孔段,回转钻进 20 m ,后继续定向钻进穿15号煤,见15号煤顶板后继续钻进 6 m ,最后提钻至预留分支点处,开分支孔继续施工,依次循环,直至钻孔施工完成。

根据寺家庄煤矿15号煤及其顶底板地质条件,在定向钻进施工时,拟采用上文所述技术方案:

- (1)快速成孔,减少对孔壁的扰动和冲刷;
- (2)在塌孔严重孔段,适时采用局部注浆;
- (3)根据施工需要,适时添加MZ-1型防塌乳液。

2.3 分段水力压裂梳状定向钻孔施工工艺技术

综上所述,拟采用图2所示的工艺流程进行分段水力压裂梳状定向钻进施工。

3 现场工业性试验

SJZYL-1钻孔采用上述水力压裂梳状定向钻孔施工工艺及技术措施,于2016年4月2日开钻,截至2016年6月31日终孔,累计进尺 1161 m ,主孔孔深 540 m ,其中开分支孔7个。1个主孔和4个分支孔均穿越15号煤层,终孔孔径 120 mm ,各孔段情况见表1,钻孔轨迹如图3、图4所示。

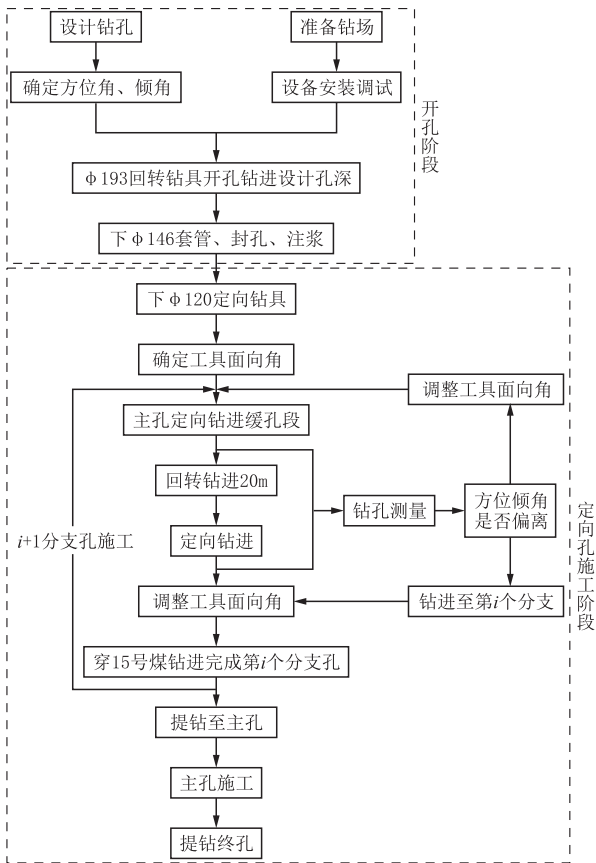


图 2 水力压裂梳状定向钻孔施工工艺流程

表 1 钻孔情况

孔号	分支起点/m	终孔点/m
SJZYL-1号主孔		540
SJZYL-1-1号	81	217
SJZYL-1-2号	141	268
SJZYL-1-3号	315	370
SJZYL-1-4号	378	456

梳状定向长钻孔压裂排水施工完成后,连接抽采管路对压裂钻孔进行瓦斯抽采,2016年7月31日起每天24h对研究区压裂钻孔和未压裂钻孔瓦斯抽采参数(瓦斯浓度、瞬时流量、累计抽采量、抽采负压、温度)进行现场监测和数据采集;截止2016年10月10日累计采集抽采数据66组,抽采浓度最大为47.1%,平均为20.43%,抽采流量平均为0.25 m³/min,平均抽采纯量为21 m³/d。压裂钻孔抽采浓度提高了10~13倍,抽采量提高了3~8倍。

4 结语

现场工业性试验表明,分段水力压裂梳状定向长钻孔很好的融合了梳状定向钻孔和分段水力压裂的优点,形成了一套适合分段水力压裂梳状定向钻孔施工设备及工艺流程,能够满足分段水力压裂对

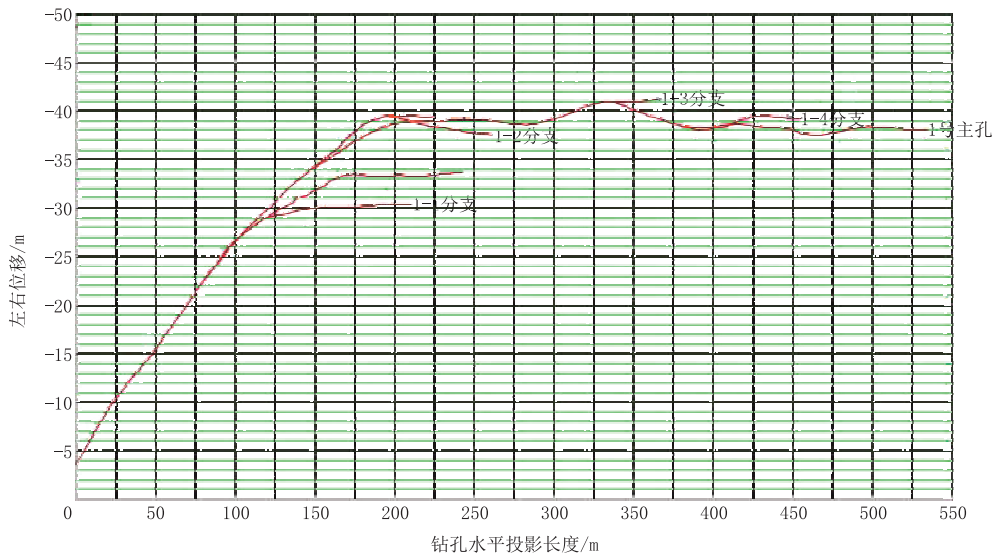


图 3 钻孔轨迹平面图

松软煤层瓦斯远距离与区域增透技术的需求,解决松软煤层透气性差、瓦斯抽采孔成孔性差、抽采距离短、抽采区域小等难题。该技术顺利成功实施能够提高煤层瓦斯预抽率和抽采量、改善瓦斯抽采效果,

降低煤层开采过程中的突出危险性,为矿区煤层安全高效开采、瓦斯治理降本增效等方面提供技术保障。因此,开展该技术研究及工程施工具有重要的现实意义。

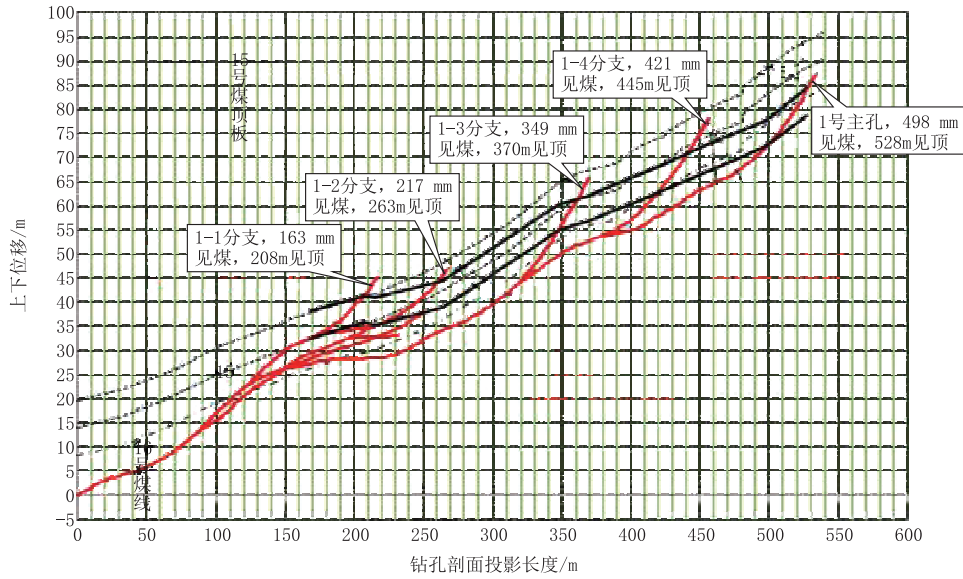


图4 钻孔轨迹剖面图

参考文献:

- [1] 姚宁平,张杰,李泉新,等.煤矿井下梳状定向孔钻进技术研究与实践[J].煤炭科学技术,2012,40(5):30-34.
- [2] 姚宁平,张杰,李乔乔.煤矿井下近水平定向钻技术研究与实践[J].煤炭科学技术,2011,39(10):53-57.
- [3] 李乔乔,姚宁平,张杰.煤矿井下水平定向钻孔轨迹设计[J].煤矿安全,2011,42(10):51-54.
- [4] 姚宁平.我国煤矿井下近水平定向钻进技术的发展[J].煤田地质与勘探,2008,36(4):78-80.
- [5] 姚宁平,孙荣军,叶根飞.我国煤矿井下瓦斯抽放钻孔施工装备与技术[J].煤炭科学技术,2008,36(3):12-16.
- [6] 孙四清,张群,闫志铭,等.碎软低渗高突煤层井下长钻孔整体水力压裂增透工程实践[J].煤炭学报,2017,49(9):2337-2344.
- [7] 俞启香,程远平,蒋承林.高瓦斯特厚煤层煤与卸压瓦斯共采原理及实践[J].中国矿业大学学报,2004,33(2):127-131.
- [8] 王永伟.顶板岩石长钻孔水力压裂增透抽采技术工程实践[J].煤矿现代化,2017,(5):112-114.
- [9] 牟全斌.井下穿层长钻孔水力压裂强化增透技术[J].中国安全生产科学技术,2017,13(8):164-169.
- [10] 石建文,张俭,范毅伟.碎软低透煤层分段水力压裂增透技术研究[J].能源技术与管理,2017,42(4):20-22.
- [11] 翟成,李贤忠,李全贵.煤层脉动水力压裂卸压增透技术研究与实践[J].煤炭学报,2011,36(12):1996-2001.
- [12] 袁志刚,王宏图,胡国忠,等.穿层钻孔水力压裂数值模拟及工程应用[J].煤炭学报,2012,37(S1):109-114.
- [13] 焦先军,蔡峰.深部低透气性煤层水力压裂强化增透技术研究[J].煤矿安全,2017,48(10):76-79.
- [14] 田双龙,王伟东,李滨,等.穿层钻孔水力压裂增透防突技术在红阳二矿的应用[J].能源技术与管理,2017,(6):37-40.
- [15] 刘海金.定向长钻孔水力压裂在松软煤层中的应用研究[J].江西煤炭科技,2017,(3):20-23.
- [16] 周玉军.井下钻孔水力压裂增透机理的应用研究[J].科技展望,2017,(25):138-140.