

# 大直径高位定向长钻孔瓦斯抽采技术及应用

石 浩<sup>1,2</sup>

(1. 陕西省重大项目储备推进中心, 陕西 西安 710016;

2. 中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西 西安 710077)



扫码移动阅读

**摘 要:**针对煤矿工作面回采后采空区瓦斯富集超限问题, 研究采用螺杆马达结合随钻测量系统施工大直径高位定向长钻孔替代高抽巷及传统高位钻孔, 通过受控定向钻进技术使钻孔分布在煤层顶板回采断裂带, 保障煤层回采过程瓦斯抽采通道。结合在淮北矿区杨柳矿、临涣矿应用施工情况, 大直径高位定向长钻孔最大瓦斯抽采体积分数 97%, 日最大抽采纯量达到 8 251 m<sup>3</sup>, 对比分析大直径高位定向长钻孔与常规高位钻孔采空区瓦斯抽采效果, 结果表明, 大直径高位定向长钻孔在瓦斯治理效果、成本、施工效率等方面均优于传统高位钻孔, 在煤矿瓦斯治理推广有重要意义。

**关键词:**大直径; 高位定向钻孔; 瓦斯抽采; 瓦斯治理

中图分类号: TD64

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2018)10-0190-06

## Gas drainage technology and its application of large diameter and high directional long drilling

SHI Hao<sup>1,2</sup>

(1. Shaanxi Province Major Project Reserve Promotion Center, Xi'an 710016, China;

2. Xi'an Research Institute, China Coal Technology & Engineering Group, Xi'an 710077, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of gas enrichment and overrun in goaf after coal mining face, the application of screw motor combined with drilling and drilling system to construct large diameter and high directional long boreholes instead of high pumping and traditional high drilling in this paper, through the controlled directional drilling technology to make the drilling distribution in the coal seam roof erosion zone, to ensure that the coal seam recovery process gas drainage channel. Combined with the construction site of Yangliu Mine and Linxuan Mine in Huaibei Mining Area, large diameter high directional long drilling maximum gas extraction concentration of 97%, the largest daily mining capacity reached 8 251 m<sup>3</sup>, comparison of large diameter and high directional long drilling and conventional high drilling gas extraction, the results show that the large diameter directional drilling is superior to the traditional high drilling in the aspects of gas control effect, cost and construction efficiency, it is important to promote coal mine gas control.

**Key words:** large diameter; high directional drilling; gas drainage; gas control

## 0 引 言

瓦斯是影响煤矿安全生产五大危险因素之一, 根据文献[1-2]可知, 我国突出矿井占比约为 1/3, 国有重点矿井占比更高, 矿井瓦斯事故是造成人员伤亡财产损失最大的煤矿安全事故, 而瓦斯事故中较大事故占比达到 65%, 极易造成重大人员伤亡,

由此开展煤矿瓦斯治理技术研究意义重大。工作面回采后采空区瓦斯富集是影响煤矿瓦斯安全重要因素, 常规治理手段主要采用沿风巷附近煤层顶板一定距离施工 1 条高抽巷, 或每隔 50 m 左右加工 1 个高位钻场, 每个钻场沿工作面回采方向或垂直回采方向扇形施工若干个 100 m 左右高位孔, 在工作面回采后进行采空区瓦斯抽放<sup>[3-4]</sup>。高抽巷掘进施工

收稿日期: 2018-05-11; 责任编辑: 赵 瑞 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2018.10.030

作者简介: 石 浩(1986—), 男, 江苏徐州人, 助理研究员, 硕士。E-mail: shihao@cctegxian.com

引用格式: 石 浩. 大直径高位定向长钻孔瓦斯抽采技术及应用[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(10): 190-195.

SHI Hao. Gas drainage technology and its application of large diameter and high directional long drilling[J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(10): 190-195.

缓慢,一条500 m高抽巷掘进通常需要3~4个月时间,而加工若干高位钻场,每个高位钻场施工多个普通高位钻孔也至少需要两三个月时间,且钻机设备等搬迁费时费力,同时,高抽巷及高位钻场施工成本高昂。煤矿井下定向钻进技术在瓦斯治理、防治水及地质探测等方面应用广泛<sup>[5-8]</sup>,笔者主要研究采用大直径高位定向长钻孔代替高抽巷及普通高位钻孔,大直径高位定向钻孔技术不需额外施工高位钻场,只需在工作面回风巷一端施工1个钻场,利用定向钻进技术控制钻孔轨迹爬升至煤层顶板一定层位,根据煤层走向布置3~5个长距离定向钻孔,先导钻孔施工完成后将钻孔孔径扩至153 mm,以增大工作面回采后断裂带导通范围,增加瓦斯抽采效果。对比高抽巷,高位定向长钻孔施工5个500 m钻孔仅需1~2个月,成本可大幅降低;对比高位钻场及普通高位钻孔,可节省多个高位钻场施工,增加高位钻孔有效孔段距离,节省成本,提高施工效率及瓦斯抽采效果。同时对现场应用情况对比分析了大直径高位定向长钻孔与普通高位钻孔瓦斯抽采效果,针对施工过程中出现的一些问题提出新的研究方向。

## 1 大直径高位定向长钻孔技术与施工

### 1.1 技术原理

根据“三带”理论和瓦斯扩散-渗流理论的研究成果以及煤矿瓦斯防治的实践经验,采用钻孔方式抽采采动断裂带内的瓦斯是采空区瓦斯问题的有效解决途径之一。采用大直径高位定向长钻孔治理采空区瓦斯,是在煤层还未回采前,根据采空区“三带”高度计算方法,结合各矿实测断裂带高度给出开采煤层断裂带的高度<sup>[9-10]</sup>,在满足大直径高位定向长钻孔施工适用条件的基础上,选择断裂带内的适当岩层施工水平长定向钻孔作为主孔,确保在煤层回采期间主孔通道不被破坏,之后从主孔向左右开若干分支,扩大钻孔瓦斯抽采覆盖范围,从而在煤层回采期间采空区的卸压瓦斯可以通过主孔抽采(放),大直径高位定向长钻孔如图1所示。

大直径高位定向长钻孔相比普通钻孔具有钻孔施工深度大、轨迹精确可控、增大钻孔直径提高抽采率等优点。首先,普通钻孔施工深度通常在50~150 m,而大功率定向钻机定向钻孔最大施工深度已达1 800 m<sup>[7]</sup>,常规岩层高位定向孔施工深度一般在500~800 m;同时,相对于普通钻孔轨迹不可控的缺点,定向钻孔轨迹时时精确可控,可持续沿目标层位

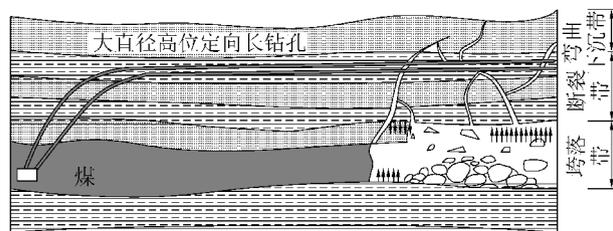


图1 高位定向长钻孔

Fig. 1 Schematic diagram of high directional drilling

钻进,可有效减少钻场施工及无效进尺,大幅提高钻孔有效孔段;其次,相对于普通钻机转矩小问题,定向钻机最大转矩可达12 000 N·m,定向钻孔成孔后采用高强钻孔扩大孔径,提高钻孔断裂导通,从而大幅提高采空区瓦斯抽采效果。

当煤层顶板覆岩内为坚硬、中硬、软弱、极软弱岩层或其互层时,开采单一煤层的垮落带最大高度为

$$H_m = \frac{M - W}{(K - 1) \cos \alpha} \quad (1)$$

式中: $M$ 为煤层厚度; $W$ 为冒落过程中顶板的下沉值; $K$ 为冒落岩石碎胀系数; $\alpha$ 为煤层倾角。

### 1.2 施工装备及选型

施工根据钻孔设计深度要求,主要采用ZDY4000LD、ZDY6000LD、ZDY12000LD等系列定向钻机,及配套BLY260/390/460泥浆泵车系列, $\phi 89$  mm/73 mm、1.25°螺杆马达, $\phi 89$  mm通缆钻杆、 $\phi 73$  mm通缆钻杆、 $\phi 98/120$  mm定向弧角钻头、 $\phi 94/133$  mm、 $\phi 133/153$  mm扩孔钻头,YHD2-1000二代有缆随钻测量系统等。

钻机选型主要根据钻机转矩及钻孔设计施工深度确定,目前煤矿井下主流定向钻机转矩为1 000~12 000 N·m,相关配套钻杆直径73~127 mm,具备大直径高位定向长钻孔施工能力;煤层1 500 m;岩层1 000 m,其中具有代表性的钻机型号及相关参数见表1。

表1 钻机型号参数

Table 1 Rig model parameters

型号	回转器转矩/ (N·m)	配套钻杆 直径/mm	主轴倾 角/(°)	给进力/ kN	额定功 率/kW
ZDY12000	3 000~	73/89/	-10~20	250	132
LD	12 000	102/127			
ZDY6000	1 600~	73/89	-5~30	180	90
LD(F)	6 000				
ZDY4000	1 050~	73	-5~25	123	55
LD	4 000				

### 1.3 钻孔设计(层位布置)

钻孔层位设计主要依据煤层采动断裂带高度确定,断裂带为瓦斯的扩散-渗流<sup>[11-12]</sup>提供了有利的通道和储存空间,在综采工作面周期来压时,采动断裂带内渗流储存的高体积分数瓦斯会在极短的时间内向采空区和工作面释放,造成工作面 and 上隅角瓦斯超限甚至瓦斯事故,因此,结合生产实践经验在竖直方向将钻孔层位选择在垮落带和采动断裂带交界面以上3~8 m的位置,结合交界面的位置以及计算公式进行计算,具体层位的选择还要综合考虑断裂带内地层的岩性组合,尽量避开构造复杂地层和水敏性地层。在横向上,根据瓦斯扩散-渗流理论以及生产实践经验,将钻孔布置在离回风巷2倍采高至1/3工作面的宽度(5~25 m)的位置,如图2所示。

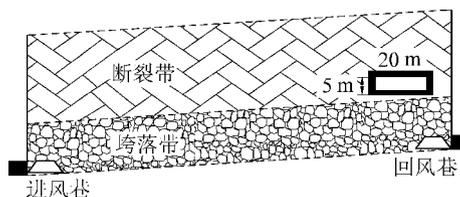


图2 钻孔层位布置示意

Fig. 2 Schematic diagram of drilling horizon arrangement

### 1.4 施工方法

采用 $\phi 133$  mm钻头回转开孔12 m,依次扩孔至193 mm,下入 $\phi 171$  mm孔口管12 m,封孔后安装孔口三通、旋流除渣器及瓦斯抽采管路。下入 $\phi 98$  mm弧角定向钻头,结合 $\phi 73$  mm四级螺杆马达及随钻测量系统,迅速爬升至预定层位后保持在预定层位穿行,每隔50~80 m留分支点,施工至设计深度后提钻,依次扩孔至133、153 mm孔径。

施工过程中,利用随钻测量系统时时测量钻孔轨迹的倾角、方位角及螺杆马达工具面向角,结合钻孔深度可时时计算出钻孔空间轨迹,并通过防爆计算机显示,同时,根据实钻轨迹与设计轨迹的偏差,通过钻机回转器转动钻杆调整螺杆马达工具面向角,达到造斜及调整钻孔轨迹目的,以保证钻孔实钻轨迹符合设计要求。

## 2 应用实例

### 2.1 淮北杨柳矿

#### 2.1.1 钻孔设计

本次高位定向钻孔目标工作面为10410工作面。10410工作面自10号煤层至本组顶界(铝质泥

岩之底),岩性由粉砂岩、砂岩、泥岩组成,10号煤层直接顶板为长石石英砂岩,层厚2.3 m,浅灰色,中细粒,具深灰色泥质包体,局部发育,本层可局部相变为砂泥岩互层。地层倾角 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ ,施工高位钻场位于10410回风巷终采线靠近工作面一侧,距离回风巷巷口平距15 m,垂距9.5 m处。定向钻孔层位布置于10号煤顶板断裂带中下部瓦斯聚集区域,垂深距10号煤20~25 m,左右距10410回风巷8~36 m。共设计5个钻孔,设计孔深为300~500 m,采用上下2排设计,1、3、5号钻孔左右距回风巷分别为8、22、36 m,垂深距10号煤25 m,2号和4号钻孔左右距回风巷15和29 m,垂深距10号煤20 m,具体布置方式如图3所示。

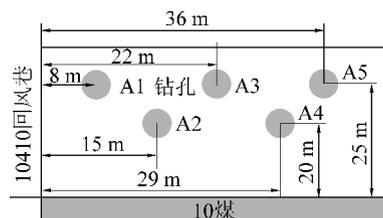


图3 杨柳矿10410工作面钻孔布置

Fig. 3 Drilling layout of No.10410 working face in Yangliu Mine

#### 2.1.2 孔身结构设计

钻孔设计终孔孔径 $\phi 153$  mm,采用定向钻进成孔之后全孔段采用 $\phi 96/133$  mm、 $\phi 133/153$  mm扩孔钻头回转扩孔至孔底,成孔之后下入 $\phi 75$  mm PE筛管。

#### 2.1.3 钻具组合

1) 定向钻进: $\phi 98$  mm PDC钻头+ $\phi 73$  mm孔底马达+ $\phi 73$  mm下无磁钻杆+随钻测量仪器+ $\phi 73$  mm上无磁钻杆+ $\phi 73$  mm通缆钻杆串,钻进至设计孔深。

2) 回转扩孔: $\phi 96/133$  mm PDC扩孔钻头+ $\phi 89$  mm外平钻杆串,回转扩孔至孔底。

3) 回转扩孔: $\phi 133/153$  mm PDC扩孔钻头+ $\phi 89$  mm外平钻杆串,回转扩孔至孔底。

#### 2.1.4 施工情况

10410回风巷钻场10煤上方25~35 m顶板岩层施工5个远煤层顶板梳状钻孔。其中1号钻孔主孔深492 m,位于回风巷正上方;2号钻孔主孔深321 m,左右距回风巷10 m;3号钻孔主孔深321 m,左右距回风巷15 m;4号钻孔主孔深318 m,左右距回风巷20 m;5号钻孔主孔深321 m,左右距回风巷30 m。累计总进尺2 905 m,并钻孔由孔径98 mm扩孔至133 mm,扩孔深度1 632 m。实钻钻孔轨迹

剖面、平面如图4、图5所示。

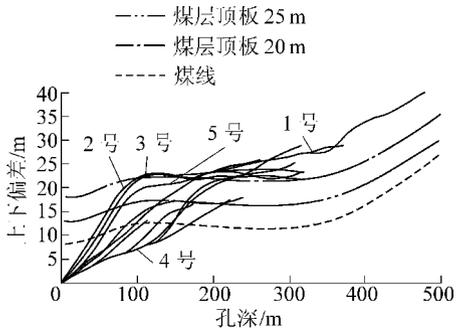


图4 10410工作面高位定向钻孔剖面

Fig. 4 Section schematic of high directional drilling trajectory in No.10410 working face

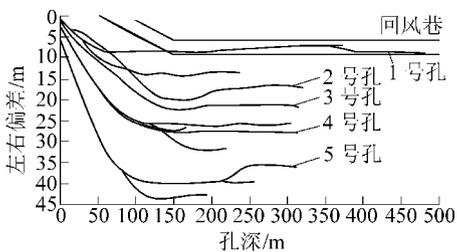


图5 10410工作面高位定向钻孔轨迹平面

Fig. 5 Plane schematic of high directional drilling trajectory in No.10410 working face

## 2.2 淮北临涣矿

### 2.2.1 钻孔设计

9111工作面9号煤层顶板依次为泥岩、粉砂岩、细砂岩,施工地层主要为中粒砂岩,灰色,块状,部分层状,致密,部分含粉砂质。根据临涣矿9111工作面9号煤层瓦斯综合治理特点,在其顶板细砂岩层位施工3个A组高位定向长钻孔,以解决治理煤层采动卸压瓦斯抽采与上隅角瓦斯超限难题。

如图6所示,3个A组设计钻孔,用于治理9煤工作面采空区瓦斯。

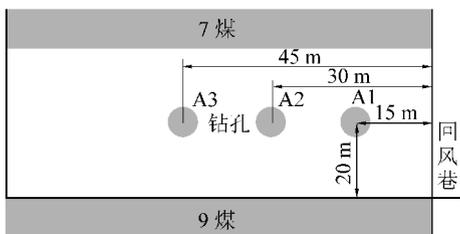


图6 临涣矿9111工作面钻孔布置

Fig. 6 Drilling layout of No.9111 working face in Linhuan Mine

距离回风巷依次为15、30、45 m,距离9煤高度20 m,设计孔深540、420、420 m,孔径153 mm。A1、A2、A3钻孔开孔间距1 m,方位角差 $3^\circ$ 、距钻场底0.6 m,以倾角 $-8^\circ$ 开孔,钻孔轨迹控制在9煤上方20

m,倾角控制在 $-10^\circ$ 左右。

### 2.2.2 孔身结构设计

钻孔设计终孔孔径 $\phi 133$  mm,采用定向钻进成孔之后全孔段采用 $\phi 96/133$  mm、 $\phi 133/153$  mm扩孔钻头回转扩孔至孔底,成孔之后下入 $\phi 75$  mm PE筛管。

### 2.2.3 钻具组合

1)定向钻进: $\phi 98$  mm PDC钻头+ $\phi 73$  mm孔底马达+ $\phi 73$  mm下无磁钻杆+随钻测量仪器+ $\phi 73$  mm上无磁钻杆+ $\phi 73$  mm通缆钻杆串,钻进至设计孔深。

2)回转扩孔: $\phi 96/133$  mm PDC扩孔钻头+ $\phi 89$  mm外平钻杆串,回转扩孔至孔底。

3)回转扩孔: $\phi 133/153$  mm PDC扩孔钻头+ $\phi 89$  mm外平钻杆串,回转扩孔至孔底。

### 2.2.4 施工情况

在淮北临涣矿9111工作面累计施工300 m以上高位定向钻孔5个,用于抽采9煤采空区煤层气,其中1号孔深度420 m,2号孔深度378 m,3号钻孔主孔深度336 m,分支孔255 m,4号钻孔501 m,总进尺1864 m。钻孔轨迹剖面、平面如图7、图8所示。

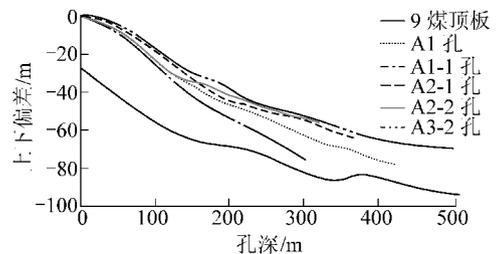


图7 9111工作面高位定向钻孔剖面

Fig. 7 Section schematic of high directional drilling trajectory in No.9111 working face

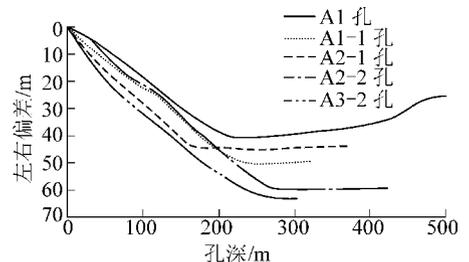


图8 9111工作面高位定向钻孔剖面

Fig. 8 Section schematic of high directional drilling trajectory in No.9111 working face

## 3 抽采效果分析

### 3.1 抽采方法

根据采空区地层特性和瓦斯运移规律,为了得到较高纯度的瓦斯,采用负压抽采,且负压不宜过

大,否则就会抽入垮落带内的空气,造成钻孔内瓦斯体积分数较低从而影响瓦斯抽采效果。

### 3.2 抽采效果

杨柳矿 10410 工作面 A 组钻孔自 3 月安装瓦斯流量计开始回采,其中 A1 孔 3 月连接,A2-A4 孔 4 月串联,A3-A5 孔 5 月串联,4 个月后,累计抽采煤层气混合量  $689\ 192.4\ \text{m}^3$ ,其中纯量  $44\ 179\ \text{m}^3$ ,瓦斯体积分数最高 97%。

临涣矿 9111 工作面高位定向钻孔自 6 月接入瓦斯流量计统计系统,4 个月后,累计抽采瓦斯总量  $272\ 482\ 1\ \text{m}^3$ ,纯量  $381\ 715\ \text{m}^3$ ,日最大瓦斯纯量达  $8\ 251\ \text{m}^3$ 。

### 3.3 抽采效果分析

杨柳矿 10410 工作面回采开始后,高位定向长钻孔瓦斯处于高体积分数阶段,瓦斯体积分数为 30%~98%,之后一段时间进入稳定阶段,瓦斯体积分数维持在 16%~30%,后进入衰减阶段,瓦斯体积分数降至 5%~11%,回采末期,钻孔瓦斯抽采量小幅恢复。随着大直径高位定向长钻孔接入负压抽采后,普通高位钻孔抽采瓦斯体积分数及抽采量开始逐步降低,随着大直径高位定向长钻孔总的瓦斯抽采量逐渐增加,而高位孔群瓦斯量急剧降低,中后期定向孔抽采量大于高位孔群。

临涣矿 9111 工作面回采初期,大直径高位定向长钻孔瓦斯体积分数及流量均在低位徘徊,体积分数为 5%~10%,至中期后小幅上扬,产生一个小波峰,日纯量达到  $4\ 000\ \text{m}^3$ ,工作面回采进入中后期后,多钻孔瓦斯抽采通道导通,体积分数及日抽采纯量均达到峰值,最大日纯量达到  $8\ 251\ \text{m}^3$ ,瓦斯体积分数在 20%~30%波动。大直径高位定向长钻孔瓦斯抽采情况如图 9 所示。

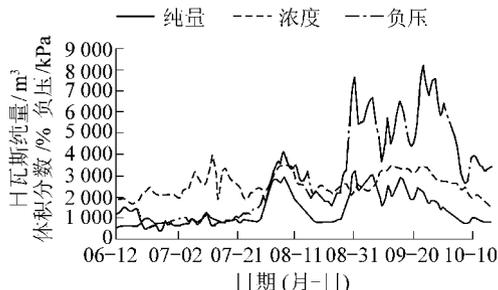


图 9 临涣矿 9111 工作面高位定向长钻孔瓦斯抽采情况

Fig. 9 Gas drainage of high directional long borehole in No.9111 working face of Linhuan Mine

对比大直径高位定向长钻孔与普通高位钻孔瓦斯抽采情况,大直径高位定向长钻孔在瓦斯体积分

数、总量、纯量等方面均远优于普通高位钻孔,特别是在大直径高位定向长钻孔进入峰值期后,普通高位钻孔纯量及体积分数迅速下降。以临涣矿 9111 工作面抽采数据为例,如图 10 所示,抽采初期,大直径高位定向长钻孔虽然体积分数高于普通高位钻孔,但是由于断裂导通情况不如普通高位钻孔,所以在抽采纯量上低于普通高位钻孔,然而随着工作面持续回采,大直径高位定向长钻孔通过断裂带与采空导通更加丰富,瓦斯抽采纯量、体积分数持续增加,并进入稳定抽采期,而普通高位钻孔瓦斯抽采纯量、体积分数均迅速进入低位,并持续在低位徘徊,因此,大直径高位定向长钻孔在瓦斯抽采纯量总量上远大于普通高位钻孔,临涣矿 9111 工作面大直径高位定向长钻孔累计抽采瓦斯纯量  $38\ \text{万}\ \text{m}^3$ ,而普通高位钻孔抽采瓦斯纯量不足  $16\ \text{万}\ \text{m}^3$ 。

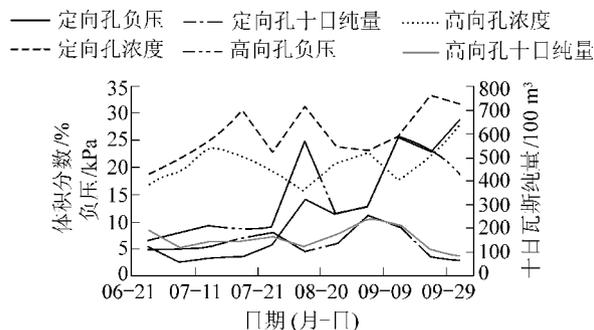


图 10 临涣矿 9111 工作面钻孔瓦斯抽采情况

Fig. 10 Drilling gas drainage in No.9111 mining face of Linhuan Mine

对比分析杨柳矿及临涣矿大直径高位定向长钻孔瓦斯抽采情况可知,临涣矿效果明显优于杨柳矿,分析其主要原因为临涣矿煤层顶板为砂岩,相对较为稳定,而杨柳矿煤层顶板为泥岩,施工过程中存在缩径塌孔情况,导致高位定向长钻孔在瓦斯抽采过程中抽采通道被堵塞,影响瓦斯抽采效果,在以后的研究中可加强跟管钻进,跟管下筛管成孔护壁技术研究,以保证瓦斯抽采通道畅通。

## 4 结 论

1) 总结一套煤矿井下大直径高位定向长钻孔瓦斯抽采施工方法,替代传统高位钻孔及高抽巷,用以解决工作面回采后采空区瓦斯超限问题。

2) 在淮北矿区杨柳矿应用结果表明,大直径高位定向长钻孔在瓦斯抽采体积分数方面远大于传统高位孔,而纯量方面略大于传统高位钻孔,判断为泥

岩缩径导致瓦斯抽采通道堵塞;在淮北矿区临涣矿应用结果表明,在相同负压条件下,大直径高位定向长钻孔在采空区瓦斯抽采体积分数、总量、纯量等效果方面均明显优于传统高位钻孔。

3)煤矿井下大直径高位定向长钻孔可有效解决采空区瓦斯超限问题,瓦斯抽采效果远超过传统高位钻孔,可大量节约瓦斯治理成本,具有重要推广意义。

4)对于存在泥岩缩径及塌孔可能性地层,可研究采用跟管钻进、跟管下筛管等护壁方法,以保证瓦斯抽采通道畅通及瓦斯抽采效果。

#### 参考文献(References):

- [1] 石智军,赵江鹏,陆鸿涛,等. 煤矿区大直径垂直定向孔快速钻进关键技术与装备[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(9):13-18.  
SHI Zhijun, ZHAO Jiangpeng, LU Hongtao, *et al.* Key technology and equipment of rapid drilling for large diameter vertical directional borehole in mine area [J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(9):13-18.
- [2] 陈晓坤,蔡灿凡,肖 畅. 2005—2014 年我国煤矿瓦斯事故统计分析[J]. 煤矿安全, 2016, 47(2):224-226, 230.  
CHEN Xiaokun, CAI Canfan, XIAO Chang. Statistics analysis of China coal mine gas accidents during 2005 to 2014 [J]. Safety in Coal Mines, 2016, 47(2):224-226, 230.
- [3] 张慧杰,汪 东,孙 星,等. 走向高抽巷抽采瓦斯关键技术[J]. 煤矿安全, 2016, 47(1):74-77.  
ZHANG Huijie, WANG Dong, SUN Xing, *et al.* Key technology of gas extraction through strike high-bleeding roadway [J]. Safety in Coal Mines, 2016, 47(1):74-77.
- [4] 闫保永. 高位定向长钻孔钻进工艺研究[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(4):55-58.  
YAN Baoyong. Study on drilling technique of high level directional long borehole [J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(4):55-58.
- [5] 赵建国. 煤层顶板高位定向钻孔施工技术与发展趋势[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(6):137-141, 195.  
ZHAO Jianguo. Construction technology and development trend of high directional drilling in coal seam roof [J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(6):137-141, 195.
- [6] 石 浩,张 杰. 煤矿井下精确定向探放水技术[J]. 煤矿安全, 2015, 46(2):64-67.  
SHI Hao, ZHANG Jie. Accurate directional water detection and water release technology for underground coal mine [J]. Safety in Coal Mines, 2015, 44(10):64-67.
- [7] 石智军,刘建林,李泉新. 我国煤矿区钻进技术装备发展与应用[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(4):1-6.  
SHI Zhijun, LIU Jianlin, LI Quanxin. Development and application of drilling technique and equipment in coal mining area of China [J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(4):1-6.
- [8] 李泉新,石智军,史海岐. 煤矿井下定向钻进工艺技术的应用[J]. 煤田地质与勘探, 2014, 42(2):85-88, 92.  
LI Quanxin, SHI Zhijun, SHI Haiqi. The application of directional drilling technology in coal mine [J]. Coal Geology & Exploration, 2014, 42(2):85-88, 92.
- [9] 张 杰,姚宁平,李乔乔. 煤矿井下定向钻进技术在矿井地质勘探中的应用[J]. 煤矿安全, 2013, 44(10):131-134.  
ZHANG Jie, YAO Ningping, LI Qiaoqiao. Application of directional drilling technology in mines geological exploration [J]. Safety in Coal Mine, 2013, 44(10):131-134.
- [10] 郝世俊,张 晶. 我国煤层气钻井技术及装备现状与展望[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(4):16-21, 32.  
HAO Shijun, ZHANG Jin. Status and prospect of coalbed methane drilling technique and equipment in China [J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(4):16-21, 32.
- [11] 张飞燕,韩 颖. 煤屑瓦斯扩散规律研究[J]. 煤炭学报, 2013, 38(9):1589-1596.  
ZHANG Feiyan, HAN Ying. Research on the law of gas diffusion from drill cuttings [J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(9):1589-1596.
- [12] 韩 颖,张飞燕,余伟凡,等. 煤屑瓦斯全程扩散规律的实验研究[J]. 煤炭学报, 2011, 36(10):1699-1703.  
HAN Ying, ZHANG Feiyan, YU Weifan, *et al.* Experimental study on gas diffusion law from drill cuttings during the whole desorption process [J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(10):1699-1703.