

煤矿井下碎软煤层瓦斯抽采钻孔钻进工艺

郝世俊, 殷新胜, 方俊

(中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西 西安 710077)

摘要:碎软煤层在我国煤矿区分布广泛,具有瓦斯含量高、压力大、渗透率低等特征,在碎软煤层中钻进存在喷孔、塌孔、排渣不畅等问题,导致碎软煤层钻进困难、孔内事故频发,进而影响成孔深度和成孔率,造成瓦斯治理盲区;尤其是随着我国煤矿开采深度的增加,碎软煤层瓦斯抽采孔工作量和成孔难度不断增大。针对碎软煤层瓦斯抽采对钻孔施工需求,研究开发了高转速螺旋钻进工艺、中风压空气钻进工艺、气体定向钻进工艺等实用、经济的碎软煤层高效钻进技术,破解了碎软煤层钻孔排渣护孔、轨迹控制和高效成孔等方面难题,实现了碎软煤层钻孔在服役周期内的长效利用,相关技术在安徽、贵州、山西等地区成功推广应用,达到高效、精准抽采的目的,为矿井安全生产提供了技术保障。

关键词:碎软煤层;瓦斯抽采;螺旋钻进;中风压空气钻进;气体定向钻进

中图分类号:P634.5 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2021)S1-0173-08

Drilling technology for soft broken coal seam underground gas extraction in coalmines

HAO Shijun, YIN Xinsheng, FANG Jun

(Xi'an Research Institute Co., Ltd., China Coal Technology and Engineering Group Corp., Xi'an Shaanxi 710077, China)

Abstract: Soft broken coal seams are widely distributed in coalmines in China, with the characteristics of high gas content, high pressure, and low permeability. because of the problems such as blowout, hole collapse, difficulty in removal of cuttings, it is difficult to drill in soft broken coal seams and hole accidents happen frequently, with the drilling depth and hole completion rate compromised, leading to blind gas treatment areas. Especially with the increase of coal mining depth, the workload and drilling difficulty in soft broken coal seam continue to increase. In response to the construction requirements for gas extraction drilling in soft broken coal seams, practical and economical high-speed technologies have been developed, such as high-speed auger drilling technology, medium-pressure air drilling technology, air directional drilling technology, which has solved the problems about removal of cuttings and hole protection, trajectory control and efficient drilling, achieving the long-term utilization of the soft broken coal seam boreholes in the service life. The technology has been successfully promoted and applied in Anhui, Guizhou, Shanxi and other regions, achieved the purpose of high-efficiency and precise extraction, which provides technical guarantee for safe production in mines.

Key words: softbroken coal seam; gas extraction; auger drilling; medium pressure air drilling; air drilling technology

0 引言

瓦斯事故是煤矿最主要的自然灾害之一,钻孔

抽采是防治煤矿瓦斯灾害事故、实现瓦斯综合治理与利用的有效措施^[1]。

收稿日期:2021-05-31 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.S1.028

基金项目:十三五国家科技重大专项课题“煤矿井下煤层气高效抽采技术与装备”(编号:2016ZX05045-003)

作者简介:郝世俊,男,汉族,1970年生,博士,研究员,博士生导师,从事煤矿区钻探工艺开发与推广应用工作,陕西省西安市高新区锦业一路82号,haoshijun@cctegxian.com。

引用格式:郝世俊,殷新胜,方俊.煤矿井下碎软煤层瓦斯抽采钻孔钻进工艺[J].钻探工程,2021,48(S1):173-180.

HAO Shijun, YIN Xinsheng, FANG Jun. Drilling technology for soft broken coal seam underground gas extraction in coalmines[J]. Drilling Engineering, 2021,48(S1):173-180.

碎软煤层在我国高瓦斯矿井、煤与瓦斯突出矿井中发育广泛,存在煤体破碎、渗透性低、瓦斯压力大等特性,钻进过程中容易出现喷孔、塌孔和卡钻等复杂情况,其顺煤层瓦斯抽采钻孔施工一直是困扰我国坑道钻探技术发展的难题^[2]。

煤矿井下主要采用清水钻进工艺施工,即用清水作为冲洗介质,以携带、排出钻屑,并起到冷却钻头的作用,具有供水系统完备、流量控制精准、悬浮和携带钻屑能力强等优势。但是由于清水的密度较大,且钻进时泵压较大,对碎软煤层的冲刷作用强,易导致孔壁坍塌失稳;同时,清水易沿碎软煤层广泛发育的裂隙结构进入煤体内部,在水的表面张力作用下,降低煤体的整体机械强度;此外,碎软煤层瓦斯涌出量大,钻孔内水体会阻碍瓦斯释放和涌出,当瓦斯压力积聚后,易形成喷孔现象,带来严重的安全隐患^[3]。因此煤矿井下常用的清水钻进工艺并不适用于碎软煤层。

针对以上问题,我国先后开发了高转速螺旋钻进技术、中风压空气钻进技术、气体定向钻进技术,碎软煤层最大成孔深度达到423 m,并实现了钻孔轨迹精准定向控制,为碎软煤层区域递进式瓦斯抽采模式实现提供了技术装备保障。本文对以上工艺方法的技术原理、技术装备、护孔技术、应用案例与效果等进行了介绍。

1 碎软煤层含义与特征

碎软煤层是指原生结构被破坏,呈碎粒结构或糜棱结构的层状煤体^[4]。其主要特征如下:

(1)煤层坚固性系数。碎软煤层的坚固性受到严重破坏,其普氏硬度系数不超过1.0。

(2)煤层渗透率。碎软煤层的流体通过性很差,渗透率一般 <1.0 mD,根据渗透率大小,可细分为低渗、特低渗、超低渗三种类型,瓦斯气体流动困难。

(3)煤层瓦斯含量。碎软煤层在高瓦斯矿井、煤与瓦斯突出矿井发育广泛,其瓦斯含量高,一般在 $10\text{ m}^3/\text{t}$ 以上。

(4)煤层瓦斯压力。与高瓦斯含量相对应,碎软煤层的瓦斯压力也较高,一般在 0.6 MPa 以上。

2 碎软煤层钻进困难原因分析

碎软煤层煤体破碎、强度低、渗透性差、瓦斯压力大,导致瓦斯抽采钻孔成孔困难,主要表现在以下

3个方面^[5-7]:

(1)钻孔易失稳坍塌。碎软煤层的坚固性系数低,且受煤矿井下瓦斯抽采钻孔一般均为近水平布置影响,钻孔在重力、钻具扰动作用等影响下,孔壁易失稳破坏,易诱发各类孔内事故。钻孔施工完成后进行抽采过程中,也易因孔壁失稳破坏导致钻孔失效。

(2)钻孔轨迹易偏斜。碎软煤层硬度低,对钻具的支撑作用小,采用回转钻进技术进行钻孔施工时,钻孔轨迹易大角度偏斜,导致钻孔穿出煤层,煤层钻遇率低,严重影响抽采效果。

(3)钻孔产渣量大。碎软煤层中钻进时,除正常的钻进产渣外,受孔壁易失稳坍塌影响,会额外产生数十倍的煤渣,需要提高排渣时间和效率;同时受孔壁失稳坍塌影响,会在局部孔段形成较大的“钻穴”,导致钻孔冲洗介质流速和携渣能力下降,带来排渣不畅。

3 高转速螺旋钻进工艺

3.1 工艺原理

高转速螺旋钻进工艺是利用钻机高速回转破碎煤层的同时,利用螺杆钻杆高速回转进行干式排渣的钻进方法^[8]。

采用高转速螺旋钻进工艺进行施工时,钻渣颗粒的运动速度模型如图1所示,根据钻渣颗粒M运动速度图分析,可计算出钻渣轴向移动的速率为:

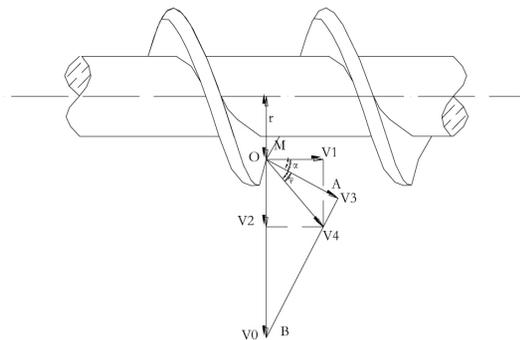


图1 钻渣颗粒运动速度分析模型

$$v_1 = \frac{Ln}{60} \cos^2 \alpha (1 - \mu \tan \alpha) \quad (1)$$

式中: v_1 ——钻渣运移速度, m/s; n ——螺旋钻杆转速, r/min; L ——螺旋钻杆螺距, m; α ——钻杆螺旋升角, ($^\circ$); μ ——钻渣与螺旋钻杆之间的摩擦因数, μ

$=\tan\varphi$; φ ——钻渣与螺旋钻杆之间的摩擦角, ($^{\circ}$)。

由式(1)可知,螺旋钻进的排渣效率与螺旋钻杆的螺距、升角等结构参数及钻杆转速等钻进参数密切相关。在螺旋钻杆结构参数固定的情况小,可通过提高转速增加排渣效率,因此高转速螺旋钻进时的转速一般 >400 r/min。

高转速螺旋钻进技术具有以下技术优势:

(1)钻进过程为干式钻进,不需要冲洗介质,减少了对孔壁的扰动破坏和瓦斯喷孔现象;

(2)利用螺旋钻杆进行机械排渣,不受钻孔孔壁变形破坏影响,排渣效率稳定;

(3)减少了配置和输送冲洗液的辅助工作,钻进辅助设备少;

(4)钻杆外径与孔径相差不大,钻孔轨迹保直性好,有利于沿煤层长距离钻进;

同时,高转速螺旋钻进技术存在以下技术不足:

(1)高转速钻进一般为干式回转钻进,不向孔底注入冷却降温介质,钻具需要自然冷却;当钻遇岩层或发生孔内卡埋钻事故时,易导致钻头、钻杆快速升温,存在孔内着火等安全风险;

(2)当煤层含水时,钻渣易糊结在螺旋钻杆上,导致螺旋排渣结构失效,极易诱发卡钻事故;

(3)为实现孔内事故反转解卡,螺旋钻杆一般不采用螺纹进行连接,而多采用插接式结构,加接钻杆要求高,影响钻进效率。

3.2 钻进装备

(1)高转速钻机。矿用普通钻机的转速一般 <200 r/min,为满足高转速螺旋钻进施工需要,研发了最大转速800 r/min,并具有大转矩输出能力的高转速钻机,典型机型如ZDY2800LG(见图2)、ZDY3000LG等^[9]。同时,以上钻机均设置了强制润滑系统,保证了主轴高速旋转时轴承、密封等部件的润滑;采用自由度变幅装置或转盘式调角机构,方便调整钻孔的倾角、方位角和钻孔高度,满足跨皮带施工需求;采用无卡盘式设计,中间加杆方式,将动力头动力输出通过法兰接头直接传递到螺旋钻杆,输出效率高;设置了防卡钻保护液压系统,具有回转超压自动回退保护功能,预防卡钻事故的发生。

(2)插接式螺旋钻杆。为确保孔内异常时可进行反转处理,高转速螺旋钻进配套的钻具主要为小螺距、低螺旋升角的插接式螺旋钻杆(见图3),插接接头采用六边形锥面配合结构,插拔方便,且具有

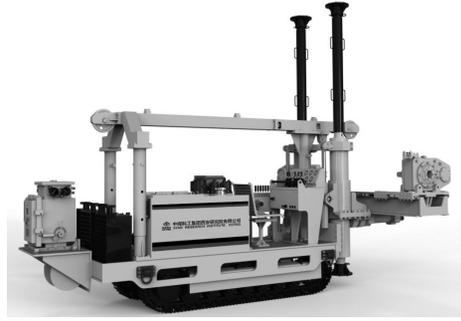


图2 ZDY2800LG型高转速螺旋钻进钻机

正、反转功能,处理孔内事故的能力强;钻杆公母插接接头采用相位摩擦焊接技术与管体焊接为一体,使得钻杆公、母插接接头相位对正,螺旋翼片采用钢带连续绕制而成,确保任意钻杆连接螺旋翼片连续;钻杆螺旋头数可选用单头和双头两种,双头结构排渣效率高;接头连接形式一般分为椭圆单销连接和U形销连接2种,其中椭圆单销结构的抗拉强度高,承载能力强,适用于干式螺旋钻进;U形销连接结构确保钻杆连接后内通畅,可向孔底输送冲洗介质,进行辅助冷却和排渣^[10]。常用的插接式螺旋钻杆规格主要有 $\varnothing 78$ mm/50 mm、 $\varnothing 88$ mm/50 mm、 $\varnothing 100$ mm/63.5 mm、 $\varnothing 110$ mm/73 mm、 $\varnothing 200$ mm/89 mm等。



图3 插接式螺旋钻杆

(3)配套钻头。配套螺旋钻进工艺,常用的钻头有螺旋硬质合金钻头和内凹式PDC钻头2种。其中螺旋硬质合金钻头如图4所示,常用规格有 $\varnothing 85$ 、94、110、120 mm等,其采用高耐磨性、高冲击韧性硬质合金作为切削齿,比PDC钻头更耐高温,适合干钻或配风等冷却条件不好的钻进工况。内凹PDC钻头如图5所示,有三翼、四翼、五翼等多种规格,其内凹部分会环抱住部分岩柱而对钻具有一定导向作用,有利于保直钻进。

3.3 提钻下筛管护孔技术

受碎软煤层钻孔孔壁易坍塌变形影响,直接从钻孔下筛管的阻力非常大,可在成孔后暂不退出钻杆,利用钻杆护孔,从钻杆中心通孔将筛管下入钻孔,但由于插接式螺旋钻杆的中心通孔直径很小,无法利用该钻杆进行下筛管,因此一般采用提钻下筛

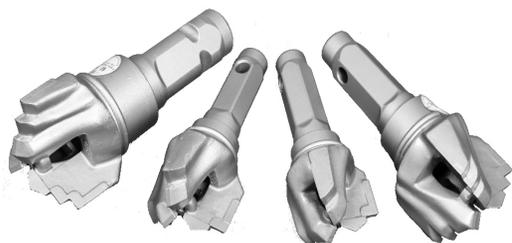


图4 螺旋硬质合金钻头

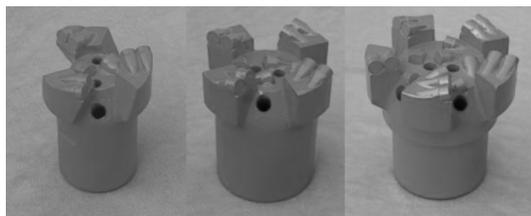


图5 内凹式PDC钻头

管护孔技术进行完孔,即采用高转速螺旋钻进工艺完成钻孔施工,退出孔内钻具后,利用人工直接从钻孔内下入筛管进行护孔。

提钻下筛管护孔虽然提高了护孔筛管直径,但由于钻孔沉渣、孔壁坍塌变形等影响,筛管的下入深度得不到保障,难以实现全孔护孔,严重影响后期的瓦斯抽采效果。

3.4 应用案例

在山西王坡煤矿3316工作面进行了现场试验,试验钻进对象为3#煤层,其普氏硬度系数为0.32,平均厚度5.82 m,层状构造,裂隙发育,碎屑状、粉末状煤体分布广泛。

施工采用ZDY2800LG型高转速螺旋钻进钻机、 $\text{O}100/\text{O}63.5$ mm插接螺旋钻杆和四翼内凹钻头施工,共完成钻孔66个,总进尺6087 m,平均孔深93 m,最大孔深190 m。与相邻巷道常规钻进工艺相比,钻进效率和钻孔深度明显提高,对比数据见表1。

目前高转速螺旋钻进工艺已在阳泉、晋城、韩城等矿区取得了良好的应用效果,最大成孔深度达到

表1 王坡煤矿不同钻进工艺施工情况对比

钻进工艺	总进尺/ m	钻孔数量/ 个	最大孔 深/m	平均孔深/ m
高转速螺旋钻进	6087	66	190	92.2
低转速螺旋钻进	5192	70	165	74.17
低压空气钻进	4284	88	55	48.68

330 m。

4 中风压空气钻进工艺

4.1 工艺原理

中风压空气钻进工艺是指利用钻机回转破碎煤层的同时,利用矿用空压机提供的压缩空气和异形结构钻杆共同进行排渣的钻进方法^[11]。

中风压空气钻进工艺大幅度提高了碎软煤层成孔深度和成孔率,其技术优点主要特现在:

(1)风压相对清水钻进压力小,对孔壁煤体的破坏作用减弱,提高了孔壁稳定性;

(2)不影响煤层中的瓦斯解吸、释放,不易产生瓦斯聚集和喷孔;

(3)空气钻进流量大,且在异形钻杆辅助搅动作用下,排渣效率高,可有效避免沉渣卡钻。

但是受气体体积压缩升温及气体冷却效果差影响,中风压空气钻进时,易存在孔内热隐患,孔口煤尘量大且不易控制。针对以上问题,可在需要时向压缩空气中添加稳定水雾或泡沫,提高排渣效率和含水煤层适应性,降低孔口粉尘处理难度,确保孔内施工安全^[12-13]。

4.2 钻进装备

(1)大扭矩钻机。钻机必须具有较大的扭矩和给进起拔力且结构紧凑、体积小,以适应断面较小的碎软突出煤层巷道。用于中风压空气钻进的典型机型为ZDY3200L型全液压履带式钻机(如图6),最大扭矩为3200 Nm、最大起拔能力为110 kN,结构紧凑、体积较小,能够满足大多数煤矿的巷道施工要求。

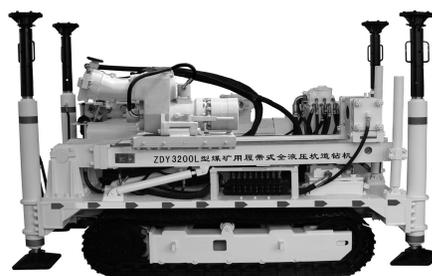


图6 ZDY3200L型履带式坑道钻机

(2)供风系统。中风压空气钻进采用矿用移动式空压机作为供风风源,一般将空压机放置在矿井进风大巷,然后铺设送风管道,将压力空气输送至钻

场。对于钻进孔深在100~200 m的钻孔,要求的供风量一般 $\leq 8 \text{ m}^3/\text{min}$ 、供风压力 $\leq 0.7 \text{ MPa}$ 。

(3)大通孔异形钻杆。中风压空气钻进配套采用宽翼片螺旋钻杆、三棱钻杆、三棱螺旋钻杆等特殊结构的异形钻杆,实物如图7所示^[14]。异形钻杆可在钻进过程中搅动并向孔外辅助排渣,提高了排渣效率,其常见规格有 $\text{O}73$ 、 89 mm 2种,同时为满足钻孔成孔后的下筛管护孔需要,钻杆内径一般应 $\geq 36 \text{ mm}$ 。

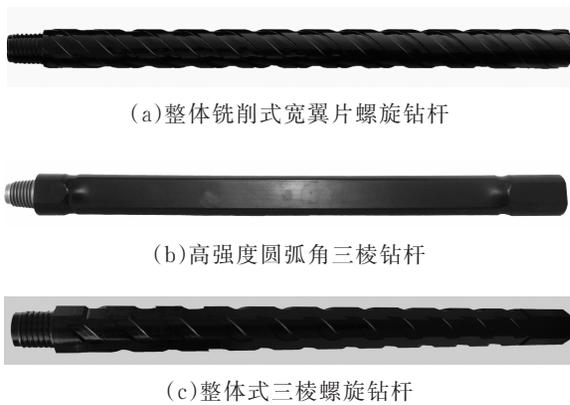


图7 异形钻杆

(4)除尘装置。中风压空气钻进过程中会产生大量粉尘,需采用除尘装置确保钻场环境清洁。现有矿用除尘装置主要有除尘袋、多级无动力除尘器、气水射流除尘器等,利用物理结构特性、煤尘惯性、气水射流等原理进行煤尘分级处理,其中气水射流除尘器的除尘效果相对较好,推广应用更广泛。

(5)可开闭式PDC钻头。可开闭式PDC钻头如图8所示,包括钻头体和中心翼片,其中中心翼片可自由开启,当进行钻进施工时,将中心翼片缩回,可实现孔底全面碎岩;当钻孔达到设计深度进行下筛管时,在外力作用下,中心翼片可打开,不影响筛管通过。可开闭式PDC钻头可重复使用,常用规格有 $\text{O}94$ 、 103 、 120 mm 等。

4.3 不提钻下筛管护孔技术

为提高碎软煤层瓦斯抽采效果,与中风压空气钻进技术配套,开发了不提钻下筛管护孔技术,原理如图9所示,即:钻孔成孔后,先不退出孔内钻具,直接从大通孔异形钻杆内通孔中穿入筛管,筛管柱到达孔底后推开钻头的中心翼片,并由钻头中穿出,悬挂定位于钻孔之中;然后退出孔内钻具,将筛管留



图8 可开闭式钻头

置在孔内^[15]。



图9 不提钻下筛管护孔技术原理

不提钻下筛管时,在钻杆保护作用下,不受孔壁变形破坏影响,下入阻力小、速度快,实现了钻到位,管到底。但其需要特殊的配套钻具,且护孔筛管直径受限,一般 $< 32 \text{ mm}$,有待进一步提高。

4.4 应用实例

在淮北矿业集团祁南煤矿34下采区进行了现场试验。34下采区位于井田的东北部,总体为一向东倾斜的单斜构造,局部呈宽缓的波状起伏形态,地层倾角 $9^\circ \sim 14^\circ$ 。采区开采煤层为 3_2 煤层,赋存较为稳定,煤层厚度 $0.66 \sim 4.54 \text{ m}$,平均 2.38 m ,煤层普氏硬度系数 $f=0.5 \sim 0.8$ 左右。

现场试验共施工钻孔15个,其中上仰孔2个,下斜孔13个,孔深最深达 238.5 m ,总进尺 2170.5 m 。

中风压空气钻进工艺及装备已在淮南、淮北、晋城、平顶山等矿区推广应用,有效提高了碎软突出煤层的钻孔深度。

5 气体定向钻进工艺

5.1 工艺原理

高转速螺旋钻进工艺和中风压空气钻进工艺虽

然提高了碎软煤层钻孔长度,但其存在长钻孔成孔率低、钻孔轨迹不可控、煤层钻遇率低等不足。针对以上问题,提出了气体定向钻进工艺,即:利用随钻测量定向钻进技术进行钻孔轨迹随钻测控,利用矿用中高压空压机输出的压缩空气驱动孔底动力钻具破碎煤层和排除钻渣,实现沿煤层长距离延伸^[16-17]。

气体定向钻进技术具有以下技术优势:

(1)钻孔轨迹控制精度高,布置均衡,确保抽采无盲区。

(2)提升了碎软煤层顺层长钻孔成孔率,为碎软煤层条带抽采和区域递进式抽采提供了技术保障。

目前,该技术展现了良好的应用前景,正在进行持续优化,主要包括:

(1)空气螺杆马达的输出扭矩相对较小,当钻孔穿出煤层,进入岩层后,钻进效率较低;

(2)由于空气的冷却、润滑、减振作用相对清水要差,空气螺杆马达的工作环境相对恶劣,工作稳定性和使用寿命有待进一步提高。

5.2 钻进装备

气体定向装备主要由定向钻机、矿用空压机、空气螺杆马达、随钻测量系统、定向钻杆、定向钻头、压风监控系统、孔口除尘器等组成。

(1)定向钻机。定向钻机主要用于提供钻进动力。与清水钻进相比,气体定向钻进时不需要配套泥浆泵,同时由于碎软煤层布置数量多、间距近,应根据矿井巷道条件尽量选择窄体小型化定向钻机。

(2)矿用空压机。气体定向钻进对风压风量的要求均高于中风压空气钻进,要求矿用空压机的额定风压应 ≥ 1.25 MPa,额定排量 ≥ 17 m³/min。目前根据该工艺需要,已开发出了额定供风压力2.0 MPa的矿用空压机。

(3)空气螺杆马达。空气螺杆马达主要用于钻孔轨迹调控,如图10所示。其轨迹控制原理与液动螺杆马达一致,结构上根据气体钻进特点和矿用空压机供风能力进行了特殊设计,设计了大导程结构,优化了定子、转子啮合曲线,增大了过流面积,实现了气动螺杆钻具低压启动、大扭矩输出;采用三头外螺旋定子结构,提高了定向钻具近钻头排渣效率;传动轴上设置了传动轴油润滑密封装置,提高了轴机组的冷却效果和使用寿命。

(4)随钻测量装置。随钻测量装置主要用于钻



图10 空气螺杆马达室内测试

孔轨迹随钻监测,目前开发有有线传输式、电磁波无线传输式两种,可根据施工钻杆的类型进行选用。相对而言,电磁波无线传输式与各类钻杆均可配套使用;有线传输式虽然需要与特制中心通缆钻杆配套使用,但其可进行双向高效信号传输,且传输效率更高。

(5)定向钻杆。定向钻杆主要用于传递钻进动力,可分为通缆式、无缆式两种,其中通缆式主要配套矿用有线随钻测量装置使用,无缆式主要用于配套矿用电磁波无线随钻测量装置使用;同时,为提高钻孔排渣效果,降低压风损耗,定向钻杆均应采用大通孔异形结构。

(6)定向钻头。定向钻头主要用于破碎煤体,均采用胎体式PDC结构;与清水钻进相比,增大了钻头直径和水眼,采用窄翼保径结构,降低了气体钻进风压损耗,提高钻孔排渣空间和效率;优化了切削齿布置,提高了钻头造斜能力。

(7)压风监控系统。压风监控系统主要用于监测控制钻进供风参数,便于掌握钻进工况;同时设置有风水联动机构或泡沫灌注机构,可进行孔内异常高温应急处理,保障气体钻进安全。

(8)孔口除尘装置。根据气体定向钻进大流量粉尘处理需要,开发了气水射流式除尘装置和负压抽吸惯性多级除尘装置,利用负压抽吸进行煤尘收集,利用惯性除尘、水雾除尘原理,实现煤尘分级清除;并设置有负压除尘接口,可与矿井负压抽采管路连接,当钻孔涌出瓦斯量较大时,由负压抽排管路抽走,避免钻孔瓦斯超限。

5.3 定向孔下筛管护孔技术

定向钻孔深度大,筛管下放距离长,下放阻力大;且定向钻孔多分支,易下入分支孔内。但受空气螺杆马达结构影响,无法实现不退钻下筛管,因而定向钻孔成孔后需要再次下入钻具来实现筛管护孔。

为了确保定向钻孔内下筛管钻具和筛管的可靠

下入,开发了导向可开闭式钻头和筛管助推装置。当定向钻孔施工完成,提出孔内定向钻具后,依次连接导向可开闭式钻头和大通孔异形钻杆,利用钻机推送至孔底,然后利用筛管助推装置将筛管从钻杆内通孔推送至孔底并定位,从而实现了定向钻孔长距离筛管下入。

但存在以下技术不足:(1)筛管只可下入在主孔中,分支孔无法下入;(2)筛管尺寸较小。

5.4 应用案例

气体定向钻进技术在贵州青龙煤矿进行了现场试验。青龙煤矿属于近距离煤层群开采,含煤共15层,可采煤层3层,均为高瓦斯高变质煤。现场试验位于M16煤层中,平均可采厚度2.88 m,倾角 $2^{\circ}\sim 14^{\circ}$,普氏硬度系数 $f=0.37$,平均瓦斯含量为15.62

m^3/t ,最大瓦斯压力达到1.73 MPa。

现场试验配套的钻进装备主要有ZDY6000LD(FA)型履带式定向钻机、 $\text{O}73\text{ mm}$ 空气螺杆马达、YHD2-1000(A)型矿用随钻测量系统、MLGF17.5/12.5-132G型防爆型空压机、 $\text{O}73\text{ mm}$ 定向钻杆、 $\text{O}108\text{ mm}$ PDC定向钻头、负压抽吸惯性多级除尘装置和压风监控系统。

现场试验共完成顺层定向孔7个,且在2#钻孔和5#钻孔内施工主分支孔2个,总进尺3929 m,300 m以上钻孔成孔率达到88.9%,试验钻孔实钻轨迹平面图如图11所示。其中2#钻孔实钻最大孔深达到406 m,创造了当时碎软煤层定向钻孔成孔深度纪录。

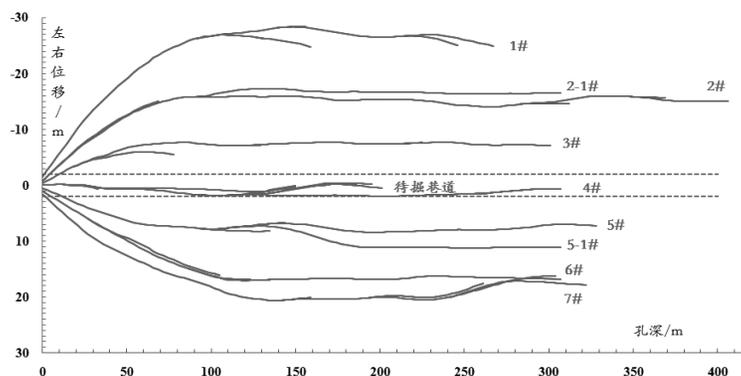


图11 青龙煤矿试验钻孔实钻轨迹

目前碎软煤层气体定向钻进技术已在贵州、安徽、山西、河北、云南等地区推广应用,最大成孔深度达到423 m,为碎软煤层区域递进式精准抽采提供了技术保障。

6 结论

(1)碎软煤层煤体破碎、强度低、渗透性差、瓦斯压力大,钻进过程中钻孔易失稳坍塌、钻孔轨迹易偏斜、钻孔排渣不畅、导致碎软煤层成孔困难。

(2)针对碎软煤层瓦斯抽采钻孔成孔难题,开发了高转速螺旋钻进工艺、中风压空气钻进工艺、气体定向钻进工艺,并配套形成了提钻下筛管护孔技术、不提钻下筛管护孔技术和定向孔下筛管护孔技术,提高了长钻孔成孔率、轨迹控制精度和孔壁稳定性,已实现工业化推广应用,为碎软煤层精准、均衡、区域瓦斯抽采提供了技术保障。

(3)为进一步提高碎软煤层瓦斯抽采效果,建议开展极碎软煤层定向钻进技术、基于定向孔的渗滤改造技术等,实现碎软煤层全域布孔和高效抽采。

参考文献:

- [1] 刘见中,孙海涛,雷毅,等.煤矿区煤层气开发利用新技术现状及发展趋势[J].煤炭学报,2020,45(1):258-267.
- [2] 姚宁平,姚亚峰,方鹏,等.我国煤矿坑道钻探装备技术进展与展望[J].钻探工程,2021,48(1):81-87.
- [3] 方俊,李泉新,许超,等.松软突出煤层瓦斯抽采钻孔施工技术及其发展趋势[J].煤炭科学技术,2018,46(5):130-137,176.
- [4] 王力,姚宁平,姚亚峰,等.煤矿井下碎软煤层顺层定向钻孔技术研究进展[J].煤田地质与勘探,2021,49(1):285-296.
- [5] 韩颖,张飞燕.煤层钻孔失稳机理研究进展[J].中国安全生产科学技术,2014,10(4):114-119.
- [6] 孙玉宁,王永龙,翟新献,等.松软突出煤层钻进困难的原因分析[J].煤炭学报,2012,37(1):117-121.
- [7] 杨满成,郭文亮,武斌波,等.松软煤层瓦斯钻孔蠕变对煤孔的

- 影响[J].煤矿安全,2018,49(8):15-18.
- [8] 赵建国,杨虎伟.高转速螺旋钻进技术在松软煤层中的应用[J].煤矿安全,2017,48(8):121-124.
- [9] 姚克,张锐,方鹏,等.ZDY2800LG高转速螺旋钻进技术装备应用[J].煤矿安全,2017,48(6):123-126.
- [10] 张宏钧,姚克,张幼振.松软煤层螺旋钻杆与压风复合排渣钻进技术装备[J].煤矿安全,2017,48(7):99-102.
- [11] 殷新胜,刘建林,冀前辉.松软煤层中风压空气钻进技术与装备[J].煤矿安全,2012,43(7):63-65.
- [12] 王力.煤矿井下松软煤层空气雾化钻进用雾化器的研制[J].煤炭科学技术,2016,44(8):150-155.
- [13] 冀前辉,董萌萌,刘建林,等.煤矿井下碎软煤层泡沫钻进技术及应用[J].煤田地质与勘探,2020,48(2):25-29.
- [14] 聂百胜,薛斐.软煤钻杆研究进展及发展趋势[J].煤炭科学技术,2016,44(1):47-54.
- [15] 肖丽辉,李彦明,郭昆明,等.松软突出煤层全孔段下放筛管瓦斯抽采技术研究[J].煤炭科学技术,2014,42(7):61-64.
- [16] 方俊,刘飞,李泉新,等.煤矿井下碎软煤层空气复合定向钻进技术与装备[J].煤炭科学技术,2019,47(2):224-229.
- [17] 张杰,王毅,黄寒静.软煤气动螺杆钻具定向钻进技术与装备[J].煤田地质与勘探,2020,48(2):36-41.