

煤矿区钻探技术装备新进展与展望

石智军, 李泉新

(中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西 西安 710077)

摘要:我国煤层气资源非常丰富。在煤矿区,煤层气(瓦斯)开发具有增加洁净能源供给、提高煤矿安全生产保障能力、减少温室气体排放等多重效益。地面钻井开发与井下钻孔抽采是煤矿区煤层气(瓦斯)开发的基本途径,同时也是煤矿区应急救援的主要手段。本文介绍了煤矿区地面煤层气开发新技术装备,大直径钻孔施工技术与装备及井下中硬、松软煤层和岩层瓦斯抽采钻孔成孔技术与装备。在此基础上分析了在新形势下煤矿区煤层气(瓦斯)抽采钻孔成孔技术和装备发展需求,为我国煤矿区煤层气(瓦斯)钻孔成孔提供借鉴。

关键词:煤层气(瓦斯);煤矿安全;大直径钻孔救援;钻探技术;钻探装备

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2016)10-0150-04

New Progress and Prospect of Drilling Technology and Equipment in Coal Mine Area/SHI Zhi-jun, LI Quan-xin
(Xi'an Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group Corp., Xi'an Shaanxi 710077, China)

Abstract: Coal bed methane resources are very rich in china. In the coal mine area, the development of coal bed methane (gas) can increase the supply of clean energy, improve the ability of coal mine safety production, and reduce the emission of greenhouse gas and so on. Surface and downhole drilling are the basic ways to develop coalbed methane (gas) and the main means of the emergency rescue in coal mine area. This paper introduces new technical equipment of coalbed methane exploiting on ground surface, large diameter drilling construction technology and equipment as well as boring technology and equipment for gas drainage in medium hard and soft coal seams as well as rock stratum. Based on the above, the analysis is made on the development demands on technology and equipment of coalbed methane (gas) drainage drilling in new situation.

Key words: coalbed methane (gas); coal mine safety; large diameter drilling for rescue; drilling technology; drilling equipment

0 引言

煤层气(瓦斯)可作为新能源进行抽采利用以外,也是煤矿开采过程中重要致灾因素。在国有大中型煤矿中,一些原来的低瓦斯矿井随着开采深度的加大逐渐成为高瓦斯矿井;一些高瓦斯矿井陆续加大了开采力度,瓦斯涌出量更大。但是我国的瓦斯治理技术发展相对滞后,导致煤矿瓦斯突出、爆炸等事故频繁发生。相关统计资料显示,国有煤矿发生一次死亡 10 人以上的瓦斯爆炸事故的起数和人数,均占同年同类事故的 70% 以上。

利用钻孔抽采煤层气(瓦斯)预防煤矿瓦斯事故是目前国内常用方法,且经实践证明是有效的方法,同时利用钻孔也可实现煤矿井下事故的快速救援。我国煤矿区煤层气(瓦斯)抽采技术经过半个多世纪的发展已取得了很大成就,形成了适合我国煤层赋存条件的煤层气综合抽采工艺技术和装备,

主要包括地面钻孔、井下穿层钻孔及顺层钻孔抽采煤层气(瓦斯)技术装备和井上下钻孔抽采邻近层、采空区采动卸压煤层气(瓦斯)技术装备,对我国煤矿区煤层气开发起到了积极的推进作用,但在煤矿井下钻孔救援方面发展比较缓慢,仍缺乏相应的技术装备。

“十五”期间我国煤矿区地面采用直井、水平井及羽状分支井进行煤层气(瓦斯)抽采,然而我国煤矿区煤层气赋存地质条件复杂,地面煤层气开发存在钻井类型单一,水平井及对接井研究应用少,国产化钻井装备严重不足等突出问题,限制了地面煤层气(瓦斯)开发效果。而在煤矿井下采用常规回转钻进技术进行煤层气(瓦斯)抽采,由于传统常规回转钻进工艺技术成孔方面存在着施工精度低、进度慢、钻孔轨迹不可控制,无法顺应煤岩层起伏,无效进尺多,钻孔利用率低等缺点,不能满足煤矿区煤层

收稿日期:2016-06-15

作者简介:石智军,男,汉族,1955年生,研究员,博士生导师,探矿工程专业,硕士,主要从事煤矿区煤层气钻井及煤矿井下坑道钻探技术研究及推广工作,陕西省西安市高新区锦业一路82号,shizhijun@cctegxian.com。

气(瓦斯)高效抽采的需求。同时随着煤炭开采深度的增加,松软突出煤层比例有所增加,在这种煤层中钻孔成孔困难,成孔率低,煤层气(瓦斯)抽采效果不理想^[1-4]。

因此“十一五”、“十二五”期间,在国家科技重大专项的支持下,针对煤矿区煤层气(瓦斯)抽采钻孔和救援钻孔钻探技术与装备不足,国内一些研究机构开始进行煤矿区新的钻探技术和装备研制开发,旨在实现钻探技术装备国产化,打破国外技术垄断。

1 煤矿区地面煤层气开发钻探技术与装备

“十二五”期间,为了进一步丰富我国煤矿区煤层气开发井类型,提高地面煤层气开发效果,在地面煤层气远端对接井和地面采动区井钻井技术装备方面取得了丰硕的成果。

1.1 煤层气远端精确对接井钻井技术

结合水平井及羽状分支井地面煤层气开发技术的成孔经验,中煤科工集团西安研究院有限公司进行了远端精确对接井地面煤层气开发技术与装备研究,主要包括:

(1)创新研制国产化地面车载钻机及成套装备,实现了关键装备国产化,提升了我国地面煤层气开发钻进装备水平;

(2)提出了对接点两侧带分支的远端精确对接井抽采模式和钻进技术,解决了造斜段曲率半径小、垂深浅、煤岩层稳定性差等不利条件下的水平段长距离延伸和精确对接等难题;

(3)开发了地面煤层气水平对接井筛管、滑套分段压裂等系列完井技术,解决了中硬和破碎等不同类型目标煤层保护和抽采过程中井壁防塌难题,提升了地面煤层气高效开发效果。

在晋城矿区建成了我国煤矿区第一个高产的远端精确对接井,最大钻深 1358.91 m,最大日产气量 3.28 万 m³,稳定日产气量 1.8 万 m³。随后推广应用多个煤层气勘探开发工程中,最大钻孔深度 1676 m,最大对接距离达到了 1064.57 m^[5]。

1.2 地面采动区钻井技术

结合采动区煤层气赋存和抽采的特点,中煤科工集团重庆研究院有限公司与晋煤集团联合开发出采动区(包括采动影响区、采动稳定区)地面煤层气抽采技术,并形成钻井施工和抽采设备,主要包括:

(1)开发了基于采场覆岩运动规律的采动区地面井综合变形破坏模型,通过模型函数可以解算出影响地面井安全性的层界面的剪切位移和离层位移关键参量,为地面井结构优化提供依据;

(2)提出了基于采动区地面井结构稳定性采场分布特性和采场瓦斯流动规律的布井区域优选技术;

(3)提出了基于极限分析方法的采动区地面井井型结构优化和局部防护技术,构建了岩壁、水泥环、套管三域耦合作用模型,提高了整个井身的抗破坏能力^[6]。

在岳城矿 1303(下)距切眼 700 m,上分层已回采,地面井投运后平均日产气量 1.54 万 m³,平均浓度 55.3%;在晋城寺河煤矿 3313 工作面设计施工 1 口顶板 L 形地面井。实现本煤层采动影响区、采空区连续抽采,钻井结构完好,平均采出气浓度 80%,平均日抽采纯量 2.2 万 m³^[7]。

2 煤矿区地面救援钻探技术与装备

地面钻孔作为井下事故应急救援重要手段,具有不受事故发生后井下复杂情况限制的优势,亦可与井下救援同时开展,两种救援手段相互配合,形成立体化的井上井下联合救援体系,提高救援成功率。

为了满足大直径钻孔快速、准确、安全的施工要求,中煤科工集团西安研究院有限公司结合国家安全生产监督管理局“四个一批”项目,在地面钻孔尤其是复杂条件下大直径钻孔救援技术装备和救援技术方面取得以下成果和进展。

(1)创新研制了 30000 N·m 顶驱车载救援钻机,钻机最大提升力 1000 kN,反循环通道内径 150 mm,卸扣大钳可夹持钻具最大外径 245 mm,不仅能满足常规泥浆正循环钻进、定向钻进、空气潜孔锤钻进的施工要求,还能满足大直径潜孔锤反循环钻进施工需要。

(2)开发了抗震型 EM-MWD 电磁波随钻测量系统,解决了同空气潜孔锤钻进的兼容性问题,实现了空气潜孔锤高钻速条件下实时监测钻孔轨迹的目标,保障了救援孔的成孔质量和中靶精度。

(3)出采用孔口—孔底联合密封方法来实现大直径潜孔锤钻进的反循环工艺,基于该思想研制了扩孔用集束式反循环潜孔锤及配套孔口密封装置,同时开发了集束式潜孔锤反循环钻进施工方法,解

决了常规牙轮钻头扩孔存在碎岩效率低、排渣困难的问题。

(4)开发了安全快速透巷技术,利用空气钻进技术提前将钻孔内浆液排至孔外,并在透巷施工中采用空气作为循环介质实现透巷时的安全钻进,彻底解决了常规泥浆钻进工艺实施透巷时钻孔内大量浆液涌入井下巷道对井下人员、设备以及环境形成安全隐患的问题。

(5)开发了 $\varnothing 127$ mm 钻杆、 $\varnothing 400/127$ mm 螺旋钻杆、 $\varnothing 450/153$ 和 $650/450$ mm 扩孔钻头。

(6)开发了 $\varnothing 560$ mm 的水平孔救生装置。

(7)形成了大直径正向扩孔工艺技术及回拉扩孔工艺技术。

采用正向扩孔工艺技术及配套钻具完成终孔直径 650 mm、深度 51 m 的大直径水平钻孔。

采用车载救援钻机在晋城矿区实施完成一个终孔直径 580 mm、深度 295 m 的大直径救援钻孔,并在孔内提放了 $\varnothing 560$ mm 的救生舱。实践表明,大直径潜孔锤反循环排渣效果好、钻进效率高,与同条件下牙轮钻头扩孔钻进相比,机械钻速提高了 2~3 倍;利用安全快速透巷技术可成功控制进入井下巷道内的水与岩屑体积量,保障井下巷道安全;透巷后实际靶点与设计靶点相差约 0.65 m,完全满足了靶区 1 m 的设计要求,达到了精确透巷目的^[6]。

河南省煤田地质局豫中地质勘察工程公司在山西省晋城市沁水县沁和能源集团中村煤业有限公司发生透水事故中采用空气正循环钻井工艺,成功完成了一个直径 215.9 mm、深度 114 m 的生命通道井,为井下工人输送了营养液,确保被困人员生命安全。

国家应急救援中心在山东平邑石膏矿坍塌事故中采用旋挖钻具、潜孔锤反循环钻进及潜孔锤正循环钻进工艺,成功完成一个直径 508 mm、深度 226.25 m 的大直径救援钻孔,成功地解救了被困人员。

3 煤矿井下钻进技术与装备

3.1 中硬煤层随钻测量定向钻进技术与装备

“十二五”期间,中煤科工集团西安研究院有限公司针对我国绝大多数矿井巷道断面普遍较小的现状,开发了小体积大功率定向钻进装备及配套技术,具体成果如下。

(1)在国内率先开发研制了煤矿井下双系统独立行走分体式大功率定向钻机,钻机主机和泵车均设计为履带自行式,该设计具有布局灵活、结构紧凑、运输体积小等特点,体现了高效节能的设计思想;同时钻机具有多工艺适应性特点,能够满足孔口回转钻进、孔底马达定向钻进和复合驱动钻进 3 种钻进工艺的要求。钻机具备 12000 N·m 输出转矩,给进/起拔能力 250 kN,能够进行大直径钻孔施工,并可配套使用多种规格的普通钻杆、通缆钻杆和打捞钻具,具有较强的工艺适应性。

(2)依据煤矿井下对测量仪器的要求,发明了煤矿井下防爆型泥浆脉冲和电磁波无线随钻测量系统。创新研制的一体式脉冲信号发生器,其外径仅 76 mm,在泥浆泵排量 >96 L/min (1.6 L/s) 的情况下就能产生稳定的测量信号,满足煤矿井下小排量和小孔径条件下的钻孔轨迹测量要求,实现了井下随钻测量信号无线传输。

(3)依据钻进过程中地层岩性识别的需求开发了防爆型地质导向钻进系统,利用地层自然伽马参数判断地层信息,并结合钻孔轨迹测量参数,控制钻孔沿着预定方向在煤层中延伸,为提高煤层钻遇率、探明矿区地层地质信息及提高钻探施工效率提供了有效手段,实现了从“几何导向钻进”到“精确地质导向钻进”的技术跨越。

采用煤矿井下新的技术与装备,创造了煤矿井下顺煤层定向钻孔 1881 m 的世界新纪录,同时将钻孔直径从 96 mm 提高到 120 mm,钻孔成孔深度、直径和钻进效率与现有装备相比显著提高^[7]。

3.2 松软煤层钻进技术与装备

煤矿井下松软煤层煤层气抽采孔钻进过程中容易出现塌孔、卡钻等孔内事故,导致钻孔成孔率低、孔深不达标,煤层气抽采量低,严重影响松软煤层煤层气抽采率,这一直是煤矿井下钻探领域的一大难题。针对这一钻进难题,国内一些科研机构 and 煤矿企业开展了大量的研究工作,取得了丰硕成果。

中煤科工集团西安研究院有限公司研制了适合软煤钻进钻机和套管钻机,钻机转速 120~800 r/min;开发了空气雾化装置、套管钻进专用钻具及孔底组合钻具,并根据松软煤层破碎程度提出了螺旋排粉钻进技术、风排粉钻进技术、中风压钻进技术及空气雾化套管钻进技术。为保证软煤层中钻孔通畅性,依托国家发改委项目提出了筛管护孔工艺技术,

该技术分为先成孔后提钻下管工艺技术和先成孔后下筛管再提钻工艺技术,有效保证了钻孔通畅性,避免了钻孔因塌孔而堵塞的问题,有效提高钻孔瓦斯抽采效果。针对碎软煤层中钻孔成孔深度因轨迹不可控而受限的问题,同时利用无线随钻测量系统配套螺旋槽孔底钻具加三棱钻杆钻具组合,实施复合定向钻进工艺,有效解决坍塌孔段高效排渣及防卡钻难题,实现松软煤层中钻孔轨迹可控,达到了增加成孔深度、提高抽采效率的目的,最大孔深达到了402 m。

为确保松软煤层施钻安全,进一步提高松软煤层中钻孔深度,中煤科工集团重庆研究院有限公司开发了远距离自动控制钻进装备和高转速螺旋钻进装备,实现了大倾角钻杆自动输送和一键自适应自动钻进等功能,在钻孔施工的同时最大限度确保人员安全,钻孔深度达到了271.5 m。

3.3 顶板岩层高位钻孔成孔技术装备

工作面回采过程中,煤层顶板裂隙带及采空区内聚集大量煤层气资源,是井下煤层气抽采新的增长点。“十二五”期间中煤科工集团西安研究院有限公司利用大功率定向钻进装备、复合定向钻进工艺先钻进先导孔,再一次扩孔到直径153 mm。借助此顶板大直径定向孔可进行采动区抽采和采空区抽采,为治理上隅角瓦斯和解决回风流瓦斯浓度超限等问题提供了新途径。目前最大孔深记录达到了1026 m。同时针对钻进中遇到的钻孔易缩径及地层破碎等技术难题,开发了煤矿井下固控系统,采用抑制性泥浆提高钻孔成孔率,实现井下钻进方式从“开式循环”到“闭式循环”的转变^[10]。

4 煤矿区钻探技术装备发展趋势

经过“十一五”和“十二五”煤矿井下钻进技术与装备的发展完善,煤矿井下煤层气(瓦斯)治理技术得到了飞速发展。相应的钻孔施工装备与配套技术也得到了显著的提高,但是,随着煤矿井下采煤技术的不断进步,要实现煤矿减员增效的目的,对煤矿区煤层气(瓦斯)抽采钻孔及救援钻孔成孔技术和装备提出了新的发展需求。

(1)在地面煤层气井钻进技术与装备方面需进一步完善地面车载钻机,形成系列化产品,满足不同施工条件下的产品多样化要求。不断丰富发展配套的钻完井工艺技术,在远端对接井钻进技术的基础

上研究穿越采空区进行下组煤煤层气地面高效预抽采钻完井技术体系,开发浅埋深、大位垂比条件下大孔径水平井的高效钻完井技术,为实现煤层气高效开发利用提供可靠的技术装备支撑。

(2)在地面大直径救援孔钻进技术与装备方面,应开展大直径钻孔特种钻机、系列化大直径反循环潜孔锤与配套钻具、以及深水条件下空气反循环钻进技术的研究;研制开孔直径达1500 mm、可快速拧卸大规格钻具的特种钻机,以满足广阔的大直径工程孔市场的施工需求;开发系列化、标准化的大直径反循环潜孔锤产品,进一步提高钻进效率、减少扩孔次数;同时深入研究深水条件下的大直径潜孔锤反循环施工技术,提高大直径潜孔锤反循环钻进深度,缩短成孔周期,达到高效施工大直径工程孔、降低施工成本的目的。

(3)在中硬煤层钻进技术与装备方面将电控系统和智能化钻进参数监测系统引入大功率定向钻机中,形成智能化的定向钻进装备,实现钻孔钻进参数的智能化监测,钻机故障的自诊断及钻机过载自动保护等功能,做到对钻孔轨迹自动监控和纠偏,完成钻孔施工的过程控制,实现煤矿安全、高效生产,降低工人劳动强度,提高矿井自动化程度。开发满足煤矿井下用具有高精度地层识别系统,研制煤矿井下旋转地质导向钻进系统,实现近钻头钻孔轨迹测量和施钻地层的精确辨识,减少钻孔轨迹的测量盲区,有效控制钻孔轨迹沿目标层位延伸,大幅度提高钻孔成孔效率和成孔质量。

(4)在软煤层钻进技术与装备方面开展碎软煤层双动力头双管钻机、双管护孔定向钻进工艺、大直径筛管完孔技术的研究,开发煤矿井下碎软煤层定向钻进技术及装备,提高钻孔深度、钻孔轨迹控制精度和护孔筛管直径,形成能贯穿碎软煤层工作面的定向钻孔施工技术;同时,开展电磁波无线随钻测量空气定向钻进技术和随钻跟管技术的科研攻关工作,进一步增加松软煤层钻进成孔深度和提升瓦斯抽采效果。

(5)在顶板岩层定向钻孔钻进技术与装备方面,开展扭力冲击器和液压式扩眼工具的研制,开发反向扩孔工艺技术及配套可开闭式扩孔钻头,将近水平顶板岩层钻孔直径提高到300 mm以上。

(下转第169页)

项目成果的设计思路及主要结构如制动装置、调节结构、夹持器等在近两年的产品中得到很好的借鉴和应用;泥浆泵车因为良好的应用效果已逐渐被开发形成系列产品。

6 结论

针对现有定向长钻孔钻机存在的尺寸较大、功能不足、配套设备不优等问题,研制了狭窄巷道小定向钻机及配套泥浆泵车,经生产试验验证得出以下结论。

(1)整套装备紧凑小巧、性能先进、能力适中、功能实用,是一套性价比高、市场定位合理、适用于中小型煤矿复杂地质条件的窄体型小定向钻机成套装备;

(2)具有300~500 m中深孔施工能力的窄体型小定向钻机和配套泥浆泵车成套装备应用到煤矿煤层气抽采、水害防治及矿井隐蔽致灾因素探查等定向钻进施工中,将提升煤矿事故预防和治理能力,保障安全高效开采^[10]。

(上接第153页)

5 结语

随着我国煤炭资源开采条件的变化,对矿区地面煤层气开发及井下瓦斯抽采钻孔成孔提出了新的挑战,这会促进煤矿区钻探技术与装备的不断发展与完善,进一步提高我国煤矿区钻探技术装备水平,为煤矿区煤层气开发及煤矿安全生产提供可靠的技术与装备支撑。

参考文献:

- [1] 石智军,许超,李泉新,等.随钻测量定向钻进技术在煤矿井下地质勘探中的应用[J].煤矿安全,2014,45(12):137-140.
- [2] 石智军,田宏亮,田东庄,等.煤矿井下随钻测量定向钻进使用

参考文献:

- [1] 石智军,胡少韵,姚宁平,等.煤矿井下瓦斯抽采(放)钻孔施工新技术[M].北京:煤炭工业出版社,2008:1-7.
- [2] 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,(3):13-16.
- [3] 申宝宏,刘见中,张弘.我国煤矿瓦斯治理的技术对策[J].煤炭学报,2007,32(7):673-679.
- [4] 李泉新.煤层底板超前注浆加固定向钻孔钻进技术[J].煤炭科学技术,2014,(1):138-142.
- [5] 姚克,孙保山,殷新胜,等.煤矿井下近水平定向钻进技术研究与应用[J].煤炭科学技术,2010,(10):13-16.
- [6] 姚克.ZDY4000LD定向钻机关键技术研究[J].煤田地质与勘探,2012,(4):82-85.
- [7] 李栋,姚克,张占强,等.煤矿坑道钻机用履带式泥浆泵车及其应用[J].煤田地质与勘探,2016,(1):128-131.
- [8] 姚克,凡东,殷新胜,等.ZDY4000L履带式全液压坑道钻机的研制[J].煤矿机电,2009,(3):56-58.
- [9] 姚克.煤矿定向钻机用摩擦盘式制动装置仿真分析[J].煤矿机械,2012,(4):63-65.
- [10] 石智军,董书宁,姚宁平,等.煤矿井下近水平随钻测量定向钻进技术与装备[J].煤炭科学技术,2013(3):1-6.

- 手册[M].北京:地质出版社,2012.
- [3] 石智军,董书宁,姚宁平,等.煤矿井下近水平随钻测量定向钻进技术与装备[J].煤炭科学技术,2013,41(3):1-6.
- [4] 李泉新,石智军.煤矿井下定向钻进工艺技术的应用[J].煤炭科学技术,2014,42(2):85-88.
- [5] 石智军,张群,等.煤层气开发精确对接井钻进技术装备研发与应用[J].煤炭科学技术,2016,(5).
- [6] 文光才,孙海涛,等.煤矿采动区地面井瓦斯抽采技术[J].煤矿安全,2015,46(S1).
- [7] 赵小山,李国富,孙海涛,等.寺河矿区地面采动区L型煤层气井抽采技术研究[J].能源技术与管理,2016,(3).
- [8] 赵江鹏.大直径反循环潜孔锤的密封方法与试验研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(12):61-63.
- [9] 石智军,李泉新,姚克.煤矿井下1800m水平定向钻进技术与装备[J].煤炭科学技术,2015,43(2):109-113.
- [10] 方俊,石智军,李泉新,等.顶板高位定向大直径长钻孔钻进技术与装备[J].矿业研究与开发,2015,(5).