

狭窄巷道小定向钻机及配套泥浆泵车的研制

姚克, 方鹏, 邵俊杰, 李栋, 张占强
(中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西 西安 710077)

摘要:针对现有定向长钻孔钻机在煤矿井下狭窄巷道及复杂地层条件应用存在的诸如结构体积偏大、功能结构与施工工艺匹配需改善、附属设备配套及操控性差等实际问题,研制了窄体型小定向钻机成套装备,通过现场工业性试验和长期推广应用验证了产品的性能与可靠性。阐明了该套设备的研制思路和必要性,以及解决的关键技术问题。

关键词:小定向钻机;泥浆泵车;狭窄巷道;复杂地层

中图分类号:P634.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2016)10-0165-05

Development of Small Directional Drilling Rig and Mud Pump Truck in Narrow Coal Mine Roadway/YAO Ke, FANG Peng, SHAO Jun-jie, LI Dong, ZHANG Zhan-qiang (Xi'an Research Institute of China Coal Technology and Engineering Group Corp, Xi'an Shaanxi 710077, China)

Abstract: Some practical problems are exposed when long drilling rigs with large volume structure are used in coal mines with narrow alleyways and complicated geological conditions; for instance, the match of the functional structure and construction technology need to be improved, the mating and controllability of related equipments is imperfect. According to these problems, a kind of small narrow type directional drilling rig is designed by addressing some key technical issues; the performance and reliability of this new narrow type directional drilling rigs have been verified by industrial experiments and long-term application.

Key words: small directional drilling rig; mud pump truck; narrow coal mine roadway; complex stratum

1 问题的提出

定向长钻孔是煤矿瓦斯治理、水害防治和隐蔽致灾因素探查的主要技术途径^[1],同时也是国内外瓦斯(煤层气)高效抽采的主要途径,实际应用有诸多技术优势,区别于常规钻进施工不同的是,定向钻进由于钻孔轨迹可以精确控制,可以在深度较深的主孔内开多个分支孔进行羽状或枝状钻孔群施工^[2],钻孔利用率高,瓦斯抽采效果好,在近些年煤矿灾害预防及治理方面发挥了积极的作用^[3]。

2005年国内开始进行煤矿井下定向长钻孔施工装备及配套技术开发,截至2012年国内市场已有4家生产厂家共8种型号的定向钻机,定位为“近水平千米定向钻机”,主要以我院和澳大利亚威利朗沃公司为代表,输出转矩3000~6000 N·m,配套售价近千万元,主要用于国内岩煤层条件较好的大型煤矿,但在近5年的使用过程中也暴露出来了一些问题。

国内煤矿定向钻孔深度多数为300~500 m,除在煤层条件好、硬度系数高的本煤层中钻进顺层钻

孔外,还在煤层条件较差、硬度系数低的软煤地层通过顶板中钻进高位梳状钻孔解决采空区和上隅角瓦斯问题,在底板中钻进定向钻孔进行防治水底板加固改造^[4]。通常只有煤层条件好的煤矿才能钻进近千米或超过千米的钻孔,这主要一方面受地质条件决定无法实现更深钻孔施工,另一方面300~500 m的中深孔基本满足多数中小型矿井需要,而且钻进效率高、风险低、成本低^[5]。

(1)中小型煤矿千米定向钻机运输及搬迁困难。

我国多数中小型煤矿由于煤层条件复杂、巷道狭窄,千米定向钻机下井困难,井下运输及现场巷道条件等局限,机身宽度超过1.6~2.2 m的千米定向钻机只能在条件较好的煤矿使用,即使是宽度1.45 m的定向钻机在许多煤矿都要解体拆卸才能下井,配套的泥浆泵等附属设备也存在搬迁困难的问题。这些都限制了长钻孔定向钻机在此类矿井的推广与应用,千米定向钻机只能在大中型煤矿使用,而且千米定向钻机售价高昂,用千米定向钻机去施工中深孔存在整机偏大,大马拉小车,能力过剩,综合使用

收稿日期:2016-07-12

作者简介:姚克,男,汉族,1973年生,研究员,探矿工程专业,主要从事ZDY系列钻机的研制推广和钻进工艺的研究工作,陕西省西安市高新区锦业一路82号,yaoke@cctegxian.com。

成本高的问题。

(2) 现有定向钻机部分结构与功能存在不足。

开孔高度和角度调节范围小,尤其不利于大倾角煤层定向孔和顶底板穿层孔施工,穿层钻孔都要通过定向孔强制造斜,增大了造斜的施工难度和成本风险;孔口下入长度3 m左右的孔底螺杆马达和孔口管极为不便,需要翻转或拆卸钻机前端的夹持器,甚至还要将整个钻机挪开后重新对正钻孔^[6];给进行程影响有效钻进时间,钻进综合效率不高;不便观察孔口,泥浆泵控制需要专人,操控性能有待提高;主要规格为 $\varnothing 75$ mm和 $\varnothing 95$ mm的主轴通孔直径无法满足大规格套铣打捞钻具处理孔内事故需要,大大影响整机综合性能。

(3) 配套泥浆泵故障率高、操控性差。

通常配套的电驱泥浆泵需专人操作,操控性和可靠性较差,费时费力;定向钻进施工负载适应性不高,尤其处理卡埋钻事故时无法同时达到高压力和大流量输出^[7];国内仿研的液驱泥浆泵主要是在原电驱泥浆泵的基础上改进了动力输入型式,整个结构体积偏大,外形尺寸与质量直接影响机动性,可靠性和输出性能也不优。

综上所述,市场缺少钻孔深度在300~500 m的机动小巧、性能可靠、便宜好用的小型定向钻机装备,研制钻进能力在600 m以内的窄体型的小定向钻机成套装备显得尤为迫切。

2 研制的思路

研制的小型定向钻机成套装备满足定向钻进施工终孔直径 < 94 mm、孔深300~500 m;回转钻进施工终孔直径 < 153 mm、孔深300 m以内的使用需要。整机由钻机单元和泥浆泵单元2部分组成,钻机单元和泥浆泵单元可实现互不干扰独立行走,满足中小煤矿巷道条件的实际需求,能够适用孔底马达定向钻进及孔口回转钻进工艺。主要部件如动力头、给进装置、调角装置、夹持器、操纵台、履带车体、稳固装置等均以体积结构紧凑小巧为前提进行创新设计,并对与施工工艺匹配的相关问题有针对性地加以解决,如提高钻进效率、缩短辅助时间和结构简化等。

3 关键技术

虽然井下钻机的结构型式多种多样,但在针对解决施工工艺复杂、结构体积和性能要求相对较高

的小体积定向钻机的设计上还需要解决一些诸如整体布局、参数匹配和多功能回路液压系统设计等关键技术难题。

3.1 总体布局设计

整机体积小移动灵活是提高巷道适应性的必要条件,钻机整体布局结构如图1所示。机身两端设计四级油缸举升的调角结构可以实现 $\pm 30^\circ$ 角度调节,结构简单可靠,在减小机身宽度和增大角度调节范围的同时也可将中心高度降低至1250 mm,现场施工更加方便;前置两级旋转式操作台可实现安全操作和集中控制,集成泥浆控制器及可视流量计,布置人性化;为保证狭窄机身在施钻过程中的稳定性,设计可侧移式稳固装置,使钻机整机宽度控制在1.3 m以内,并有高低2种油缸配置,以适应不同的用户要求和巷道条件。



图1 总体布局结构示意图

3.2 长行程给进机构设计

有限空间内实现长行程给进,增加给进行程的同时提高给进速度是提高钻进施工效率的关键所在。为此设计链条倍程倍速给进机构,解决有限空间内长行程设计难题,可以减少倒杆次数及辅助时间来提高钻进效率,同时还可在空间受限时中间加接1.5 m钻杆,满足多种工况使用需要;组合设计高强机身及长寿命圆柱式导轨摩擦副拖板结构,机身与导轨的刚性以及动力头的对中性相比平面导轨结构更为优化,而且导轨使用周期更长,相关易损件易拆易换。

3.3 功能全面的液压系统

液压系统采用负载敏感和恒压变量控制技术,主要由钻机钻进、履带行走、辅助稳固和保护回路等部分组成,可实现常规回转钻进、定向钻进和复合钻进施工需要,采用先导远程比例控制;速度和压力的控制调节方便准确,系统功能具有较强实用性和高效节能的特点^[8]。

4种联动功能和5种保护功能,使液压系统功

能更高效安全可靠;反转回路设置顺序阀块,确保拧卸丝扣时夹持器先夹紧马达后反转,实现防掉钻杆保护;稳固油缸上设计安全保护阀块,外因导致油缸过载超压时自动卸荷,实现稳固油缸过载保护;定向钻进时回转回路自动闭锁,而防止误操作造成的事故和零部件损坏,实现定向钻进保护;钻进操作与行走操作相互闭锁,实际操作过程中只能选择其中一种操作模式,实现钻进与行走功能保护。

3.4 小体积动力头设计

较大传动比的一级减速结构动力头相比行星减速结构和两级减速结构而言,外形紧凑,结构简单且易于加工。在较小体积情况下为了获得较大的输出转矩,配套 A6V200HD1D 液控变量马达作为动力输入单元,可实现转速和转矩无级变速;与常规通孔为 $\varnothing 75$ 和 95 mm 的主轴相比,主轴通孔 $\varnothing 110$ mm 的结构既可以使用 $\varnothing 73/89$ mm 通缆钻杆,还可使用 $\varnothing 95/102$ mm 打捞钻具,方便套铣处理卡埋钻等孔内事故。

3.5 结构紧凑的制动装置设计

定向钻进施工必须具备主轴制动功能,在小体积动力头上实现主轴制动,必须设计结构紧凑、性能可靠的制动装置。为此,在动力头高速输入轴端设计多盘湿式摩擦片结构的主轴制动装置^[9],在高压油的作用下实现主动摩擦片和被动摩擦片的贴合制动,具有结构紧凑(制动可靠,制动扭矩 > 1200 N·m)的特点,满足制动常用孔底螺杆马达和回转马达误转的需求。

3.6 大开口复合式夹持器设计

为了解定向钻进施工过程中孔口下放粗径钻具和螺杆马达的难题,设计了顶部开合、对称布置的常闭式结构的大开口夹持器,实现碟簧夹紧、油压松开,为夹持孔内钻具提供有效夹持力,且能快速响应操作指令,具有大开口、安全可靠,左右浮动实现自动对中的显著特点;同时在夹持器前端设计有同心定位拖轮,实现对钻具的导向作用,防止钻进施工过程中对钻具的磨损。

3.7 输出流量与压力匹配设计

泥浆泵是定向钻进施工得以正常进行的关键设备,为孔内提供持续稳定的高压液流,驱动孔底螺杆马达回转实现定向钻进施工。泥浆泵输出的流量和压力的合理匹配对定向钻进施工过程尤为重要,直接决定钻孔能否有效延伸。为此,选用进口 FMC 泥浆泵(裸泵),并对其液力端的驱动结构进行必要的

优化改造和匹配设计,对其输出流量和压力进行优化计算,使泥浆在大流量输出状态还能保证较大压力输出需要。为此,选型配套高速液压马达、液力端总成、空气压缩包、卸荷阀和进水管组件等相关部件,实现远控无级调速、稳定保压、过载保护、介质过滤等功能。

3.8 安全控制系统设计

成套装备采用防爆电机作为主要动力来源,现场使用过程中需要对其频繁进行启停控制。为了便于操作,在成套装备的电气控制系统设计上,采用远程控制方式,可实现防爆电动机的远程启停控制;为了提高现场操作人员的安全性,控制系统配备了甲烷传感器和断电仪,实现对瓦斯浓度实时监测和超限断电保护,有效提高了现场施工的作业安全;配套研制了具备多参数输出电源的电磁启动器,可为防爆计算机、急停按钮和行车灯等部件提供 127 和 36 V 不同电压输出需要。

4 成套装备

窄体型的小定向钻机成套装备由钻机单元和泥浆泵车单元组成(见图 2),钻机单元和泥浆泵单元可实现互不干扰独立行走,施钻时两者之间只有 1 根水管、2 根油管和 1 根电缆连接,满足中小煤矿巷道条件的实际需求,能够适用孔底马达定向钻进及孔口回转钻进工艺。



钻机单元



泵车单元

图 2 小定向钻机成套装备组成

4.1 小定向钻机单元

小定向钻机单元主要由主机、泵站、操作台、防爆笔记本、流量计、履带底盘、稳固装置等组成;配套有线或无线随钻测量系统、孔底螺杆马达及配套钻具实现定向钻进,具备500 m 钻孔施工能力,适于定向钻进和回转钻进等工艺;既可用于本煤层和顶底板瓦斯抽采钻孔施工,也可用于探放水、隐蔽致灾因素探查等各类定向钻孔的施工,钻机的主要性能参数如表1所示。

表1 钻机主要性能参数

部件名称	主要性能参数
主机	额定转矩 4000 ~ 1000 N·m
	额定转速 100 ~ 350 r/min
	主轴制动转矩 1000 N·m
	主轴倾角 -30° ~ 30°
	最大给进/起拔力 150 kN
行走装置	给进/起拔行程 1750 mm
	行走速度 2 km/h 爬坡能力 20°
泵站	电机额定功率 55 kW
整机	钻机质量 7000 kg
	钻机尺寸(长×宽×高)3600 mm × 1300 mm × 1800 mm

4.2 泥浆泵车单元

泥浆泵车单元配备远控液驱泥浆泵、多电压输出电磁起动器、甲烷传感器与断电仪、LED 机车灯、操纵台等装置,实现多功能的高度集成,泥浆泵车主要性能参数见表2所示。具备输出额定流量260 L/min,额定压力9 MPa 的条件,具有输出流量压力稳定可靠、无级调节的特点;采用自带动力的履带驱动底盘,能自行走机动灵活,可显著减少辅助工作量、

劳动强度和时间,有效改善施工现场安全条件;泥浆泵车性能稳定,功能完善,既可以成套配备小定向钻机使用,还可以配套其它有类似500 m 左右钻孔施工需求的钻机使用。

表2 泥浆泵车主要性能参数

部件名称	主要性能参数
泥浆泵单元	额定流量 260 L/min
	额定压力 9 MPa
行走装置	行走速度 2 km/h
	爬坡能力 20°
泵站	电机额定功率 55 kW
整机	泵车质量 3200 kg
	泵车尺寸(长×宽×高)2610 mm × 1300 mm × 1760 mm

5 现场试验及推广应用

钻机研制完成后,首先在我院的产业基地进行了综合调试,各部件运转正常,动作灵活,符合设计要求。取得产品安标证书后,进行了现场工业性试验。

现场工业性试验在晋煤集团成庄矿5314工作面进行,历经4个月,累计进尺超 1.4×10^4 m,单孔分支孔数均大于10个,最大单孔分支数45个,其中3号孔主孔深度450 m,分支孔45个,累计进尺3639 m,钻孔轨迹剖面图如图3所示。截至2015年11月,成庄煤矿累计完成抽采瓦斯钻孔 1.02×10^5 m,累计抽采量达到 3.36×10^7 m³,月均进尺4000 m,综合钻进效率提高20%;武甲煤矿截至2015年11月,累计抽采瓦斯钻孔 1.2×10^4 m,抽采量达到 6.22×10^5 m³。

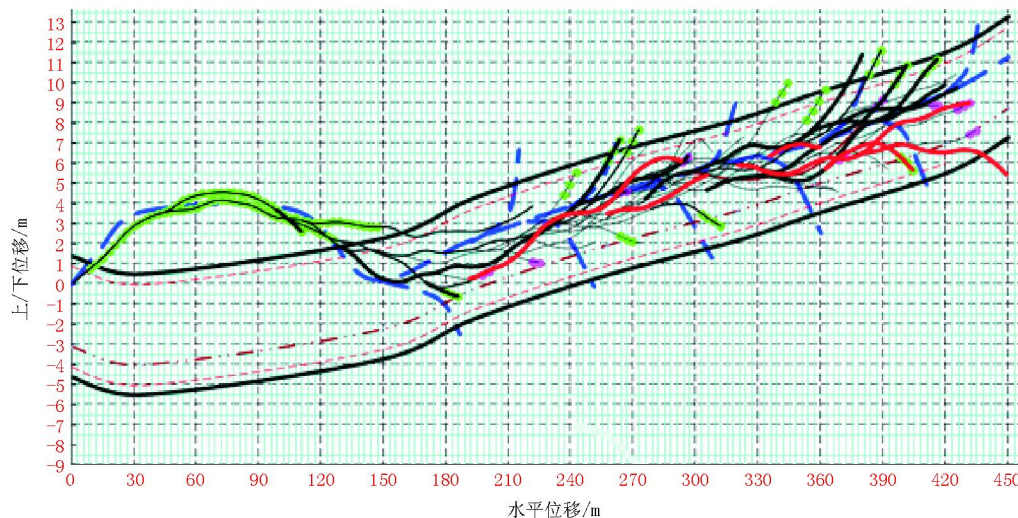


图3 成庄矿3号钻孔施钻轨迹剖面图

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).