

中心通缆钻杆及其在煤矿井下定向钻进中的应用

刘睿全

(中国煤炭科工集团西安研究院, 陕西 西安 710077)

摘要:针对煤矿井下定向钻技术对钻杆的随钻测量通讯和强度要求, 钻杆采用中心通缆方式, 可实时传输钻孔随钻测量信号。采用高强度管材、特种螺纹丝扣结构、摩擦焊技术, 可提高钻杆抗拉、压、弯、扭强度。并根据现场使用中存在的问题给出了解决方法。大佛寺煤矿随钻测量应用实例说明中心通缆钻杆满足最大孔深 1200 m 的随钻测量通讯和钻杆强度要求, 朱仙庄梳状孔应用实例说明中心通缆钻杆满足最小弯曲半径 54 m 定向孔施工, 哈沙图煤矿定向钻孔应用实例说明中心通缆钻杆满足急倾斜 58°煤层定向孔施工。

关键词:中心通缆钻杆; 随钻测量; 信号传输; 钻杆强度

中图分类号: P634.4 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2013)05-0044-04

Application of the Center Cable Pipe for Directional Drilling in Coal Mine/LIU Rui-quan (Xi'an Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group Corp., Xi'an Shaanxi 7100771, China)

Abstract: According to the requirements of the strength and MWD communication to the drill pipe for the directional drilling technology, center cable drill pipe is used to realize real-time MWD signal transmission; and the high strength pipe, special screw thread structure, friction welding technology are adopted to improve the tensile, compression, bending and torsional strength of pipe. The necessary solutions are introduced based on the existing problems in field operation. MWD examples in Dafosi mine, comb hole examples in Zhuxianzhuang mine and directional drilling examples in Hashatu mine respectively prove that the center cable drill pipe can meet the requirements of measuring communication and strength with the maximum hole depth of 1200m, the directional drilling with minimum bending radius of 54m and directional drilling in coal seam with inclined angle of 58.

Key words: center cable pipe; MWD; signal transmission; strength of drill pipe

0 前言

20 世纪 70 年代, 以美国、德国、澳大利亚为首的工业发达国家开始了水平定向钻孔技术的研究, 经过近 40 年的发展, 以随钻测量为主要定向手段、孔底动力为主要钻进方法的定向钻孔工艺成为了目前井下水平定向钻进技术的主要方法。90 年代初, 国内松藻、铁法、淮南等煤炭企业先后引进了美国和澳大利亚的水平定向钻机进行施工钻孔, 但由于各矿地质条件复杂, 煤层松软等因素影响, 施工效果不佳, 最大深度不足 400 m, 最小深度仅几十米, 远未达到钻机的额定钻进深度; 而且在钻孔施工过程中多次出现钻杆折断、螺杆钻具脱落等问题。进入 21 世纪, 国内定向钻进技术突飞猛进, 作为国内煤矿安全装备的龙头企业, 中煤科工集团西安研究院于 2008 年成功研制出井下水平定向钻机及其配套钻具, 其研制的 ZDY6000LD 系列定向钻机在宁夏、陕西、山西、内蒙古、河南、安徽等地区的多家煤矿企业已推广使用 100 多台, 2010 年 11 月在山西晋城寺

河矿完成最大主孔深度 1059 m 定向孔, 2011 年 8 月在陕西彬长公司大佛寺煤矿完成最大主孔深度 1212 m 定向孔, 持续保持国内煤矿井下定向孔最深纪录, 此外于 2011 年 11 月在淮北矿业集团朱仙庄煤矿实现钻孔最小弯曲半径 54 m 定向钻孔施工。

1 随钻测量技术

煤矿井下随钻测量定向钻进技术主要应用于井下岩层和较稳定煤层的瓦斯抽放长定向钻孔和地质勘探定向孔施工。该随钻测量系统主要配套设备有定向钻机、中心通缆钻杆、上无磁钻杆、测量探管、下无磁钻杆、孔底螺杆马达、定向钻头、孔口监视器。其系统组装如图 1 所示。

煤矿井下定向钻进技术工作原理: 采用弯接头孔底螺杆马达, 泥浆泵产生的高压水从钻杆内流经螺杆马达, 驱动孔底马达带动钻头回转; 有线随钻测量技术传输孔底信息, 利用孔口监视器实时监测钻孔轨迹, 并通过调节螺杆马达工具面向角, 改变钻孔

收稿日期: 2013-02-08; 修回日期: 2013-03-31

作者简介: 刘睿全(1986-), 男(汉族), 山西人, 中国煤炭科工集团西安研究院, 机械设计专业, 从事钻探机具装备的技术开发与推广工作, 陕西省西安市高新区锦业一路 82 号, liuruquanxa@163.com。

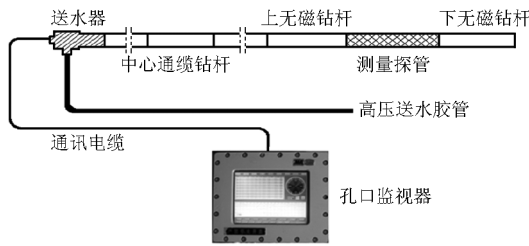


图 1 煤矿井下随钻测量系统装备连接示意图

倾角、方位角的变化,进而控制钻孔轨迹变化,实现钻孔轨迹准确钻进至靶点。

随钻测量系统的信号传输方式分为有线和无线 2 种,无线式随钻测量典型代表有泥浆脉冲、电磁波。由于煤矿井下特殊环境,目前煤矿井下定向钻采用有线方式进行信号传输。有线方式的优点是可直接向孔底传感器供电,实现孔底与孔口设备之间的双向通讯,实时性好,数据传输率高。目前煤矿井下随钻测量系统常采用中心通缆钻杆实现有线随钻测量。

2 中心通缆钻杆

中心通缆钻杆采用高强度管材、特种螺纹丝扣结构、摩擦焊技术,可提高钻杆抗拉、压、弯、扭强度,

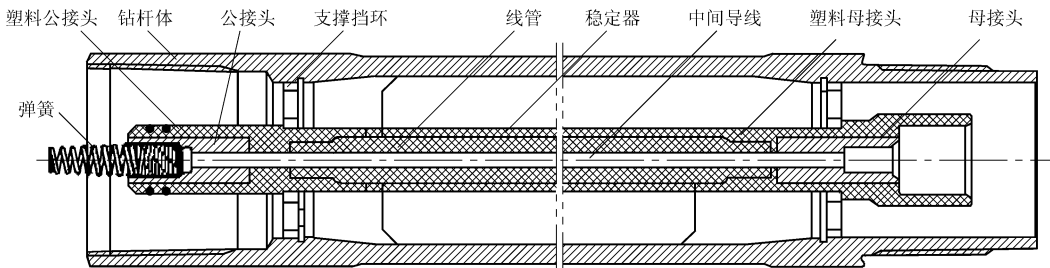


图 2 中心通缆式高强度大通孔钻杆结构图

2.2 螺纹及通缆装置

2.2.1 螺纹结构

钻进过程中,钻杆受力比较复杂,在拉、压、扭、弯等多种载荷的作用下,极易发生疲劳失效或疲劳断裂。现场使用中,这种疲劳断裂经常发生在钻杆的螺纹连接处,这是钻杆最薄弱的环节,选择合理的螺纹类型和螺纹技术参数,对提高钻杆螺纹联接强度十分重要。中心通缆式钻杆螺纹整体结构采用双锥度设计,接头螺纹锥度与绳索取心钻杆螺纹锥度一致,为 1:30,而在母接头螺尾处与公接头螺顶处锥度为 1:20。螺纹锥度变化对螺纹的强度直接影响不大且 1:20 的小端锥度能够进一步增大螺纹根部断面积,增加了螺纹联接强度。该钻杆在 10 组静扭试验和抗拉试验中,接头抗拉最小值为 1100 kN,

实现将动力头的载荷有效传输到孔底钻头,并保障钻杆具有高强度便于处理各种孔内事故能力。在煤矿井下定向钻施工中,钻杆主要作用:

(1) 将动力头的回转扭矩和压力载荷传输到孔底钻头,促使钻头碎岩;

(2) 中心通缆可联通孔底随钻测量探管、孔口监视器,实现随钻测量信号实时有效传输;

(3) 钻杆内作为高压水传输通道,将高压水传输至螺杆钻具,驱动螺杆钻具下钻头回转碎岩。

2.1 钻杆的结构设计

为了满足钻杆对不同施工工艺的需求,其主体结构与普通地质钻杆结构并无大的差异。为了减少钻杆的连接点,同时满足煤矿井下狭小空间使用要求,钻杆长度为 3 m;同时为了减少钻杆质量而又不影响钻杆强度,钻杆杆体壁厚较普通钻杆薄,为 $\text{Ø}73 \text{ mm} \times 5.6 \text{ mm}$,接头直径尺寸略大于钻杆杆体直径,为 75 mm,其结构见图 2。这样可以提高接头螺纹部位的强度;钻杆内孔的焊接区通过机加工来保证接头与杆体的平稳光滑过渡;采用内径较大的杆体可以加大钻杆的整体内径,减少液体动能在传递过程中的管路损耗,同时可以减轻钻杆整体质量。

最小许可抗扭 $11231 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。高于实际应用中其许可最大抗拉为 950 kN、最大抗扭 $6000 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。相对于 $\text{Ø}71 \text{ mm}$ 重型绳索取心钻杆的接头最大抗拉 750 kN、最大抗扭 $4000 \text{ N} \cdot \text{m}$,双锥度的螺纹连接强度均有较大幅度增加。

2.2.2 中心通缆装置

目前煤矿井下随钻测量系统常采用中心通缆钻杆实现有线随钻测量,可克服以往有线方式的电缆与钻杆之间的联接安装存在的问题,电缆往往影响正常钻进过程,并且在钻探过程中电缆之间也无法安全可靠的联接。钻杆采用中心通缆方式,通过在钻杆内两端的定位挡圈与孔用弹性挡圈固定于钻杆体内的轴线位置,为孔底测量探管与孔口监视器的信号传输装置。

中心通缆装置与钻杆构成的一体式钻杆,是在外平钻杆的基础上,内部采用专有的中心支撑式结构将金属导线固定并密封在钻杆中部,通过插接式对接结构在钻杆丝扣连接的同时实现内部导线的连通。通缆部分是由橡胶稳定器、塑料线管、铜导线、塑料公母接头、不锈钢头、卡簧和定位挡圈等部件组成。

2.3 钻杆加工

中心通缆钻杆主体的加工与常规钻杆基本一致,主要采用摩擦焊接+热处理+机加工的方式进行加工。其中接头热处理、摩擦焊接、焊后热处理以及精车螺纹都是钻杆体加工过程中的重要工序。

中心通缆钻杆加工关键工序是摩擦焊。摩擦焊是一种固态的焊接方式。通过机械摩擦运动使两摩擦表面产生热量,把焊件表面加热到塑性状态,然后施加轴向压力将同种金属或异种金属牢固的连接在一起。其特点是:全截面焊接,无气孔裂缝等缺陷,焊接面不易氧化,接口组织细密,可得到与母材相同的强度,参数重现性好,焊接质量稳定,加工效率高。接头与杆体之间采用摩擦焊技术实现连接,既保证了接头强度,又减轻了钻杆质量。该钻杆设计强度既可满足孔底马达钻进要求,又可满足孔口动力回转钻进要求。

3 实例应用

我院自2008年煤矿井下定向钻装备研发以来,截止2012年初已在我国50多个矿井进行推广应用,施工最大单孔孔深1212 m,最大分支孔孔深698 m,累计施工钻孔深度580万m。中心通缆钻杆成功在大佛寺煤矿最大孔深钻孔、朱仙庄矿最小弯曲半径的定向孔、哈沙图煤矿急倾斜煤层定向钻孔等施工。

3.1 井下最长定向钻孔应用实例

2011年7~8月,我院在彬长公司大佛寺煤矿进行井下定向瓦斯抽放钻孔施工,以实现工作面超前本煤层瓦斯预抽,增大瓦斯抽采量,从源头上治理瓦斯,确保安全生产。施工过程中共完成钻孔2个,3号主孔深933 m,4号主孔深1212 m,累计总进尺2619 m。其中4号孔孔深1212 m,创造目前国内井下定向钻进最深记录。在4号钻孔1212 m孔段施工过程中,中心通缆钻杆保证随钻测量信号通讯正常,并将钻机动头载荷有效传输给孔底钻头。

3.2 弯曲半径最小的定向钻孔应用实例

2010年10~11月在淮北矿业朱仙庄煤矿

10715工作面进行井下小曲率梳状钻孔试验。本次试验共施工断裂带梳状钻孔2个,1号梳状孔含分支孔8个,2号梳状孔含分支孔9个,2号主孔最大孔深都达到603 m,分支孔最大孔深达到147 m,试验总进尺2639 m。

两梳状孔轨迹相对于孔口垂深在-20~+60 m范围波动变化,为实现钻孔轨迹在如此大幅度波动,需使钻孔倾角在-20°~30°变化,这将使钻孔弯曲强度达到极限,试验中2号孔2-8分支孔弯曲半径为54 m,对钻杆抗弯强度进行极限考验,试验证明中心通缆钻杆满足最小弯曲半径54 m的定向钻孔施工。

3.3 急倾斜煤层定向钻孔应用实例

2010年3月,在内蒙古太西煤集团哈沙图煤矿进行定向钻孔施工。该煤层属于急倾斜煤层,煤层倾角58°。在钻孔施工中需对钻孔左右位移准确控制才能保证钻孔处于目标煤层。由于煤层顶底板岩层为坚硬砂岩及煤层急倾斜,致使钻孔轨迹左右和上下起伏波动较大,试验证明中心通缆钻杆满足急倾斜58°煤层的定向钻孔施工。

4 存在的问题与对策

在煤矿井下随钻测量技术应用中,也发现中心通缆钻杆存在以下问题。

4.1 丝扣磨损问题

在钻杆反复装卸过程中,对钻杆丝扣的磨损作用。通缆钻杆丝扣壁较薄且是钻杆强度最薄弱部位,在钻进过程中,由于在弯曲钻孔内钻杆受力过大,易造成钻杆接头丝扣非正常损坏。可采用对钻杆的接头进行渗氮处理,加强钻杆丝扣抗磨性能,以进一步提高钻杆使用寿命。

4.2 塑料接头压变形断裂问题

钻杆受拉弯反复作用,管内密封塑料接头受冲洗液酸碱度等因素影响,长时间使用接头会因蠕变造成几何尺寸改变,导致密封性能降低、线管进水内外导通,使信号无法传输。针对此问题,应完善塑料接头的材质与成型工艺,提高塑料接头抗冲洗液腐蚀能力,减少其发生变形和断裂等现象。

4.3 塑料线管热胀冷缩,伸缩量较大,无法保证装配精度

该问题应更换线管材料,尽量控制伸缩量在一定的范围内,保证装配精度。

4.4 定位挡圈容易生锈,不利于售后维修

建议对定位挡圈进行电镀处理,延长使用周期,

利于维护与维修。

4.5 使用过程中违章操作,造成对钻杆的人为损坏
针对此问题,应完善中心通缆式钻杆的使用说明,要求按章操作及时保养,并派技术人员进行培训。

4.6 不能及时的保养钻杆,造成钻杆的腐蚀和破损
应规范对钻杆使用方法,养成钻杆定期保养的好习惯,能有效延长钻杆的使用寿命。

5 结论与展望

通过本文研究应用,可做出以下结论与展望:

(1) 中心通缆钻杆可实时传输钻孔随钻测量信号,并能有效地将动力头载荷传递到孔底钻头,其最大许可抗拉强度 950 kN、最大许可抗扭强度 6000 N·m。

(2) 大佛寺煤矿随钻测量应用实例说明中心通缆钻杆满足最大孔深 1212 m 的随钻测量通讯和钻杆强度要求;朱仙庄梳状孔应用实例说明中心通缆钻杆满足最小弯曲半径 54 m 的定向孔施工;哈沙图煤矿定向孔实例说明中心通缆钻杆满足急倾斜 58° 煤层的定向钻孔施工。

(3) 螺纹连接处是钻杆最薄弱的环节,建议对钻杆的接头进行渗氮处理,提高丝扣抗磨性能,提高钻杆使用寿命。

(4) 钻杆受拉弯反复作用下,塑料接头常受挤压变形断裂,导致线管进水内外导通,使信号无法传输。今后应完善塑料接头的工艺,选择密封性更好的材料。

(5) 为提高钻具受力强度和孔内事故能力。可研制 $\varnothing 89$ mm 通缆钻杆。若无线随钻测量研发成功,可用厚壁和普通钻杆来提高钻具受力强度和钻杆内高压水过流面积。

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应[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, 39(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] 石智军,胡少韵,姚宁平. 煤矿井下瓦斯抽采(放)钻孔施工技术[M]. 北京:煤炭工业出版社, 2008.
- [7] 姚宁平. 煤矿井下煤层气抽采小曲率梳状钻孔钻进技术及钻具研究[D]. 湖北武汉:中国地质大学, 2012.
- [8] 张杰,蒋玉玺,姚宁平,等. 九里山矿井下定向钻孔卡钻事故处理实践[J]. 煤矿安全, 2012, 43(11): 125-127.

(上接第 37 页)

但表 2 中 ZK28 号孔时效较低,仅 1.2 m/h,在于该孔所使用的冲击器正常工作几个回次后出现密封圈损坏、回缩弹簧跳槽与接箍卡死无法复位,导致冲击器不工作,钻进时效受到影响。因此每回次取心后均应仔细检查冲击器的各构件是否完好,密封是否可靠。

5 结语

独狼沟矿区勘查采用 TXY75 型绳索取心液动冲击器,配合相关设备及工艺进行绳索取心冲击回转钻进,其能很好的克服钻进打滑现象,钻进效果明显,可行性强,且使用时应注意勤检查。

在独狼沟矿区通过采用绳索取心冲击回转钻进工艺进行勘查施工,回次进尺增加;钻进时效、岩心采取率提高;岩心堵塞次数减少,纯钻时间利用率高,辅助时间少,钻孔施工周期缩短。

独狼沟矿区岩石坚硬、致密,可钻性等级高,采用绳索取心冲击回转钻进,钻头寿命延长,钻探成本减少,经济效益明显,在以后相关工程中可参考运用。

参考文献:

- [1] 韦漠. 广西向阳坪铀矿“打滑”地层绳索取心钻进存在问题与对策[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2006, 33(10): 46-48.
- [2] 王建华. 绳索取心冲击回转钻具在煤田硬岩地层钻进中的应用[J]. 地质装备, 2009, 10(1): 18-19.
- [3] 傅丛群. 绳索取心液动锤在多类型矿区的应用及其效果[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(9): 24-26.
- [4] 张士军. 钻进“打滑地层”时的钻头与钻具的选择及使用[J]. 吉林地质, 2010, 29(9): 122-124.
- [5] 罗爱云,段隆臣,王伟雄,等. 打滑地层新型孕镶金刚石钻头[J]. 地质科技情报, 2007, 26(1): 109-112.
- [6] 张兰吉,周敦军,戴汉强,等. 金刚石钻头钻进打滑地层的探讨[J]. 山东冶金, 1999, 21(1): 67-68.