

# 煤矿隐蔽致灾地质因素井下探查用 随钻测量系统测试研究

王四一

(中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西 西安 710077)

**摘要:**井下随钻测量定向钻进技术是煤矿隐蔽致灾地质因素重要探查手段之一,与常规钻进技术相比,具有轨迹精确可控、分支覆盖面广、坐标位置可计算等优势。为检验新型随钻测量系统测量结果的准确性,在井下进行了现场测试试验,实钻了2个试验孔,结果表明:新型随钻测量系统准确性好,实钻偏差能够保证在孔深5%允许范围内,可提供足够准确的三维坐标参数,满足煤矿隐蔽致灾地质因素井下精确探查的要求。

**关键词:**隐蔽致灾地质因素;定向钻进;随钻测量系统;准确性

中图分类号:P634.7 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2016)06-0068-04

**Research on Test of MWD System Used for Exploration of the Hidden Geological Factors Causing Disasters in Coal Mine/WANG Si-yi (Xi'an Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group Corp., Xi'an Shaanxi 710077, China)**

**Abstract:** The directional drilling technology with MWD system used in underground is one of the important means for exploration of hidden geological factors causing disasters in coal mine. Compared with the conventional drilling technology, directional drilling technology has the advantages of precise trajectory control, broad branches coverage, calculation of coordinates and some others. In order to test the accuracy of the measurement results of the new MWD system, a field experiment was carried out in the well and 2 testing holes were drilled. The results show that the accuracy of new MWD system is excellent, the real drilling deviation can be kept in the allowable range of 5% of the borehole depth and can provide accurate three-dimensional coordinate parameters to meet the requirements of accurate exploration of hidden geological factors causing disasters in coal mine.

**Key words:** hidden geological factors causing disasters; directional drilling; MWD (measurement while drilling) system; accuracy

## 0 引言

煤矿开采过程中的几大类灾害事故多数情况下都与隐蔽致灾地质因素紧密相关,隐蔽致灾地质因素已经成为引发煤矿水害、瓦斯和顶板等重大灾害事故的主要原因<sup>[1]</sup>。

煤矿隐蔽致灾地质因素是指隐伏在煤层及其围岩内、在采掘过程可能诱发灾害的不良地质体、在采动作用下形成的灾变地质体、以及其他有可能诱发灾害的地质工程遗留物体,它们具有隐蔽性、时变性和突发性的特点。

进行隐蔽致灾因素探查是体现预防为主、源头治理的治本之策,是有效防范煤矿重特大灾害事故的重要举措。

煤矿隐蔽致灾地质因素工程探查手段主要包括物探、化探和钻探三大类,其中,钻探是一种最直接的探查技术,具有精度高、直观性强、适应面广等优点,同时,探查钻孔可作为灾害治理的辅助通道,完成放水、注浆等工作,在隐蔽致灾地质因素探查和治理中发挥着重要的作用。

煤矿井下随钻测量定向钻进技术可精确控制钻孔轨迹,保证实钻轨迹沿预先设计的轨迹延伸,并可根据需要侧钻分支孔,较常规回转钻进技术具有显著技术优势,已成为我国煤矿区井下瓦斯高效抽采的重要技术途径<sup>[2-4]</sup>。随着井下定向钻进技术与装备的发展完善,应用领域不断拓展<sup>[5-6]</sup>,将井下随钻测量定向钻进技术引入煤矿隐蔽致灾地质因素探查

收稿日期:2015-10-30

基金项目:陕西省科技统筹创新工程计划项目“煤矿井下隐蔽致灾地质因素定向钻进探查技术研究”(编号:2014KTCL03-14)

作者简介:王四一,男,汉族,1984年生,助理研究员,博士,地质工程,从事煤矿井下钻探工艺技术研究及推广应用工作,陕西省西安市高新区锦业一路82号,wangsiyi@cctegxian.com。

领域具有重要意义,能够满足精确探查、可靠验证与高效治理的技术要求。

## 1 煤矿隐蔽致灾地质因素井下定向钻进探查技术

煤矿隐蔽致灾地质因素井下定向钻进探查的基本原理:凭借井下定向钻进技术可实现钻孔轨迹精确控制的优势,向预定探查靶区施工定向长钻孔,进行远距离超前物探异常验证或可疑隐蔽致灾体探查。此外,可根据需要施工分支孔,扩大探查范围,提高探查效率,避免形成探查盲区<sup>[7]</sup>。

煤矿隐蔽致灾地质因素具有多样性,包括老窑采空区、各种水体、断层、陷落柱、瓦斯和应力异常区、发火点等,此外,近年来又出现了多种新型隐蔽致灾因素和灾害形式,包括断层滞后导水、采动离层水等水害事故、瓦斯延期突出、浅埋深冲击地压、近距离煤层群火灾等,不同类型的隐蔽致灾地质因素适宜采用的探查手段不同。井下随钻测量定向钻进技术用于老窑采空区、断层、陷落柱、顶底板含水等类型隐蔽致灾地质因素探查中具有显著的技术优势:(1)钻孔轨迹精确可控,能够保证终孔点进入预定目标区,探查结果准确性好;(2)定向钻孔可沿设计轨迹长距离延伸,能够实现远距离超前探查和治理,探查效率高;(3)根据需要可施工分支孔,探查范围广、随钻测量数据量丰富,能够计算异常体三维坐标参数、圈定其大致范围,探查信息全面。

井下随钻测量定向钻进技术用于瓦斯抽采领域时,钻进地层以煤层为主,钻孔轨迹多为近水平方向,孔口要求负压密封。与瓦斯抽采孔不同,该技术用于隐蔽致灾地质因素探查中具有特殊性,首先,钻遇地层类型多样化,包括煤层、顶底板岩层,涉及硬岩快速钻进技术;其次,钻孔轨迹既有沿煤层近水平方向也有垂直煤层近竖直方向,涉及大位移轨迹控制技术;最后,配套孔口装置要求能够承受一定水压、异常地压,涉及承压密封、防喷技术。

## 2 随钻测量仪器系统

### 2.1 结构组成及参数

随钻测量仪器是煤矿井下定向技术配套钻进装备系统的核心组成部分,其功能是适时对钻孔姿态参数进行测量、计算,从而准确控制钻孔沿设计轨迹延伸,是实现定向钻进的基础和关键<sup>[8]</sup>。中煤科工集团西安研究院有限公司(以下简称西安院)经过

多年研究,成功研制出了4个系列型号的井下定向钻进用随钻测量仪器系统,其中,YHD2-1000(A)型随钻测量仪器系统是最新产品,由矿用防爆兼本安型计算机、本安型键盘、存储器和随钻测量探管组成,如图1所示,主要测量参数及精度见表1。



图1 YHD2-1000(A)型随钻测量系统

表1 YHD2-1000(A)型随钻测量系统主要测量参数及精度

参数	测量范围/(°)	测量精度/(°)
倾角	-90 ~ +90	±0.2
方位角	0 ~ 360	±1.5
工具面向角	0 ~ 360	±1.5

### 2.2 工作原理

YHD2-1000(A)型随钻测量仪器系统是在总结国内外已有井下随钻测量装置原理及优缺点的基础上创新研发的,其总体技术方案是:孔口防爆计算机由井下127V照明电供电,内设专用的系统控制板,为孔底随钻测量探管供电、发送操作指令、解调和上传的测量信号等;孔底随钻测量探管将孔口防爆计算机提供的电源转换为内部二次电源进行工作,并利用信号载波传输技术实现操作指令接收和测量信号上传。系统的关键技术是防爆计算机恒压供电设计和随钻测量探管二次电源工作与信号载波传输设计,其中,采用恒压源为孔底随钻测量探管供电,符合煤矿安全要求,克服了常规恒流源供电因中心通缆钻杆绝缘不好而导致传输链路多处分流、影响信号的解调、数据传输错误的缺陷;二次电源和信号载波实现了在单芯电缆上供电和信号双向传输同时进行。此外,该系统孔底随钻测量探管采用3个石英挠性加速度传感器测量重力加速度,具有线性度高(0.5%)、温度漂移小、重复性好、抗冲击能力强等特点;采用3个PNI磁传感器测量地球磁场,具有功耗低的特点,且不需要专用磁通门电路。

### 2.3 性能特点

YHD2-1000(A)型随钻测量仪器系统使用性

能方面优势表现为:(1)孔底随钻测量探管由孔外防爆计算机适时供电,在孔内工作时间不受限制,且工作电压平稳,测量数据传输稳定,不受孔深限制;(2)孔内随钻测量探管结构简单,安装固定更加可靠方便,外形尺寸小( $\text{Ø}35\text{ mm} \times 532\text{ mm}$ ),对冲洗液的流动阻力小,同时缩短了仪器传感器元件与钻头之间的测量盲区距离短(由 $6.0\text{ m}$ 左右缩短到 $4.5\text{ m}$ 左右),降低了轨迹控制难度;(3)孔内随钻测量探管安装好后可一直使用,避免发生频繁拆卸仪器而导致的意外损坏,不消耗供电电池(包括一次性或可充电式),使用和维护成本低。

YHD2-1000(A)型随钻测量仪器系统已在多个矿区推广应用数十套,主要用于施工本煤层瓦斯抽采定向长钻孔及顶板高位定向长钻孔,取得了良好应用效果,最大测量孔深达到了 $1212\text{ m}$ ,很好地满足了钻孔轨迹随钻测量和定向控制的要求。

### 3 随钻测量系统准确性测试试验

在煤矿隐蔽致灾地质因素井下定向钻进探查中,为满足精确中靶实现远距离超前物探异常验证和可疑隐蔽致灾体探查的要求,以及计算异常体三维坐标参数、圈定其大致范围的需要,对随钻测量系统测量结果的准确性提出了更高的要求,为此,对YHD2-1000(A)型随钻测量仪器系统进行了现场试验测试研究。

YHD2-1000(A)型随钻测量仪器系统准确性测试试验包括2方面内容,一是测量结果准确性验证试验,二是测量结果准确性对比试验。

#### 3.1 试验方案

YHD2-1000(A)型随钻测量仪器系统准确性测试试验配套设备包括LVD1000型定向钻机、进口 $\text{Ø}69\text{ mm}$  NRQ通缆钻杆、西安院生产的 $\text{Ø}73\text{ mm}$ 通缆钻杆、孔底马达等。

##### 3.1.1 测量结果准确性验证试验方案

利用YHD2-1000(A)型随钻测量仪器系统沿煤层施工一个横穿工作面的定向钻孔,即从工作面一侧顺槽开孔沿设计轨迹钻进延伸,并最终由工作面另一侧顺槽穿出,随后采用全站仪对试验孔开孔点和贯穿点进行测量获取相应的三维坐标,据此计算贯穿点与开孔点之间在相对坐标系下的左右和上下相对位移值,将随钻测量系统计算得出的左右和上下位移值与全站仪测量计算值进行比较进而评定

其测量结果的准确程度。

##### 3.1.2 测量结果准确性对比试验方案

利用YHD2-1000(A)型随钻测量仪器系统施工一个定向钻孔,到达设计深度终孔提钻,随后下入进口VLD钻机配套的DGS随钻测量系统对试验孔轨迹进行复测,将两套系统的测量数据(包括左右、上下位移)进行比较,据此评定YHD2-1000(A)型随钻测量仪器系统与进口DGS系统测量结果的相对准确程度。

#### 3.2 随钻测量系统准确性验证试验

试验在山西晋城矿区某矿3号煤层中进行,试验孔设计与实钻轨迹水平投影图如图2所示。试验孔于测深 $256\text{ m}$ 处与工作面顺槽成功贯穿,随钻测量系统计算得出的位移数据与全站仪测量计算位移数据见表2。

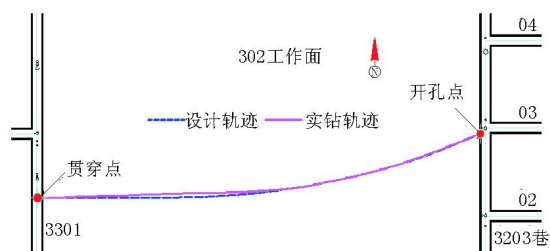


图2 工作面贯穿孔设计与实钻轨迹水平投影图

表2 随钻测量系统准确性验证试验原始数据

全站仪	坐标			相对位移值/m	
	X	Y	Z	左右	上下
开孔点	3937159.832	489777.867	509.624		
贯穿点	3937126.093	489533.080	517.817	-33.739	8.193
随钻测量系统	位移/m			相对位移值/m	
	左右	上下		左右	上下
开孔点	0.00	0.00			
贯穿点	-34.54	7.94		-34.54	7.94

将随钻测量系统和全站仪的测量计算数据进行对比可得二者之间偏差值:左右位移偏差为 $0.801\text{ m}$ (偏左),上下位移偏差为 $0.253\text{ m}$ (偏下),贯穿点左右位移偏差值为实钻孔深的 $3.13\%$ ,上下位移偏差为实钻孔深的 $0.99\%$ ,表明:YHD2-1000(A)型随钻测量仪器系统的测量结果准确性较好,测量结果偏差在实钻孔深的 $5\%$ 允许范围内,可为隐蔽致灾地质因素探查提供足够精确的测量数据。

#### 3.3 测量结果准确性对比试验

试验选择在某矿3303工作面进行,利用YHD2-1000(A)型随钻测量仪器系统施工了一个深度为 $345\text{ m}$ 的试验孔,终孔提钻后下入VLD钻机配套的

进口 DGS 系统进行复测,测点间隔长度为 6 m。复测数据与实钻测量数据对应点左右位移、上下位移相对偏差值曲线如图 3 所示,两套系统间位移相对偏差值有正有负,最大的左右位移相对偏差值为 0.74 m,最大的上下位移相对偏差值为 0.73 m,对应测点深度为 336 m,最大相对偏差值为孔深的 2.14%。对比结果表明:YHD2-1000(A)型随钻测量仪器系统与进口 DGS 系统的测量数据吻合较好,测量结果准确程度相当。

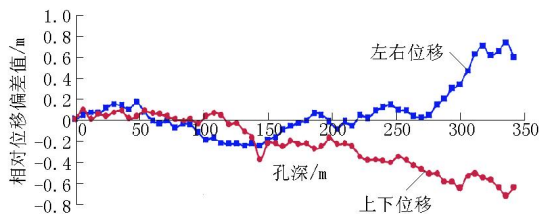


图3 YHD2-1000(A)系统与DGS系统测量位移相对偏差曲线图

#### 4 井下随钻测量系统准确性影响因素分析

影响井下随钻测量系统测量结果准确性的因素包括系统因素和人为因素两大类。

##### 4.1 系统因素

系统因素是随钻测量系统软、硬件自身固有的,一方面,随钻测量探管采用重力加速度传感器和磁通门传感器进行钻孔轨迹姿态参数及工具面参数测量,传感器自身存在一定的测量误差;另一方面,煤矿井下定向钻进轨迹参数计算以平均角法和平衡正切法为主,它们都是以直线和折线为假设条件进行测点间轨迹计算,而实钻钻孔轨迹最大可能是空间的曲线,因此假设条件理论上不够合理,计算结果必然存在一定的误差。已有研究表明系统因素对井下随钻测量仪器测量结果的准确性影响较小<sup>[9]</sup>。

##### 4.2 人为因素

人为因素是指在钻孔轨迹测量过程中因操作不当而影响测量结果准确性的行为,其中,对测量结果准确性会产生较大影响的是首次测量深度的“真实性”,即应保证首次测量钻孔深度与测量系统传感器元件所处深度一致,否则会对整个钻孔轨迹测量结果的准确性产生较大影响,特别是在开孔方位与设计主方位之前存在较大夹角的情况下,对左右位移准确性影响更大。

#### 5 结论

YHD2-1000(A)型随钻测量系统对孔底测量探管供电方式进行了创新,采用孔口防爆计算机供电代替孔底电池筒供电,提高了煤矿井下定向钻进的随钻测量信号传输质量,工作稳定可靠。针对煤矿隐蔽致灾地质因素井下定向钻进探查的特点,对该系统测量结果准确性进行了测试试验,结论如下。

(1)通过将随钻测量系统与全站仪测量计算结果进行对比的方式科学地验证了随钻测量系统测量结果的准确性,结果表明随钻测量系统的最大测量偏差值可保证在孔深的5%以内,能够为隐蔽致灾地质因素探查提供相对准确的三维坐标参数。

(2)通过复测的方式对YHD2-1000(A)型随钻测量系统与进口DGS系统的测量结果准确性进行了对比,结果表明:二者测量数据吻合较好,准确度相当,因此,在隐蔽致灾地质因素探查领域,新型随钻测量系统完全可以替代进口DGS系统。

(3)随钻测量系统测量结果的准确性与系统和人为两方面的因素相关,其中首次测量深度的“真实性”对测量结果的准确性有较大影响,在隐蔽致灾地质因素井下定向钻进探查中应予以重视。

#### 参考文献:

- [1] 申宝宏,郑行周,弯笑杰.煤矿隐蔽致灾因素普查技术指南[M].北京:煤炭工业出版社,2014:4-12.
- [2] 石智军,李泉新,姚克.煤矿井下水平定向钻进技术与装备的新进展[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(1):12-16.
- [3] 凌志强,彭勇,周宗波,等.沿煤层定向钻进瓦斯抽采技术在宁夏矿区的应用[J].煤炭科学技术,2008,36(11):47-51.
- [4] 杨虎伟,许超,董萌萌,等.中硬煤层瓦斯抽采定向长钻孔高效钻进工艺[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(11):20-23.
- [5] 任鹏飞.定向长钻孔在母杜柴登煤矿顶板探放水中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(5):17-19.
- [6] 曹主军.随钻测量定向钻进技术在矿井顶板水患治理中的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(2):23-27.
- [7] 欧阳振华.煤矿冲击地压灾害防治技术体系[J].煤矿安全,2014,45(11):168-171.
- [8] 石智军,温榕,方俊,等.煤矿井下定向钻进用随钻测量系统的研制[J].煤炭科学技术,2013,41(3):16-29,69.
- [9] 黄寒静.煤矿井下定向钻孔轨迹计算与误差分析[J].煤矿安全,2014,45(1):132-135.
- [10] 方俊,石智军,李泉新,等.新型煤矿井下定向钻进用有线随钻测量装置[J].工矿自动化,2015,41(8):1-5.