煤矿井下钻孔深度检测技术研究

高 珺[1,2]
(1. 中国煤炭科工集团西安研究院有限公司,陕西 西安 710077; 2. 西安科技大学 机械工程学院,陕西 西安 710054)

摘 要: 针对煤矿井下钻孔施工质量检验中钻孔深度检测的问题,结合钻孔施工工艺和使用钻杆结构的不同,论述了煤矿井下钻孔深度快速检测与验证的最新技术成果,包括:利用声波和低压脉冲反射检测钻孔中钻杆柱长度的方式确定钻孔深度,以及钻机上装载多路传感器实时监测钻机参数的方式计算钻孔深度,指出利用 2 种检测方式实现孔深快速检测与验证的基本原理、适应工况、影响因素、优缺点等,并提出将 2 种检测方式结合起来应用,可以更加可靠和准确地实现钻孔深度检测的目的。

关键词: 钻孔施工质量检验; 钻孔深度检测; 声波检测; 低压脉冲反射检测; 钻机参数监测
中图分类号: TD41 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2016)04-0106-04

Study on drilling depth detection technology of underground coal mine

Gao Jun[1,2]
(1. *Xi' an Research Institute, China Coal Technology and Engineering Group, Xi' an* 710077, *China*;
2. *School of Mechanical Engineering, Xi' an University of Science and Technology, Xi' an* 710054, *China*)

Abstract: According to the drilling depth detection problems from the quality inspection of the borehole drilling construction in the underground mine, in combination with the differences of the drilling construction technology and the drilling pipe structures, the paper stated the updated technical achievements on the rapid detection and verification of the drilling depth in the underground mine, including the sonic and low pressure pulse reflection method to detect the drilling pipe length in the borehole was applied to determine the drilling depth and the multi sensors set on the drilling rig to real time monitor and measure the parameters of the drilling rig were applied to calculate the depth of the borehole. The paper pointed out the basic principle, suitable performances, influence factors, advantage and disadvantages of the two detection methods could realize the rapid detection and verification of the borehole depth. The paper proposed that the combination of the two detection methods could be more reliable and accurate to realize the target of the bore depth detection.

Key words: quality inspection of borehole construction; drilling depth detection; sonic detection; low pressure pulse reflection detection; parameter monitoring and measuring of drilling rig

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

0 引 言

为保障煤矿安全生产,煤矿井下通常需要施工大量的钻孔进行瓦斯排采、探放水和顶底板注浆等,针对如此庞大的煤矿井下钻孔施工工作量,钻孔施工质量检验成为保证煤矿安全高效生产的重要环节。快速检测和验证单个钻孔的深度问题,作为钻孔施工质量检验及生产管理面临的一项关键技术[1-2],一直都没有得到很好的解决。目前,煤矿井下还主要依靠传统的提钻后数钻杆的方式进行孔深计量,或者通过在钻场架设视频监控装置由专人实时视频监视并计数钻杆数量来确定孔深,费时费力,人为因素影响大,给煤矿企业的生产管理及施工检验造成了很多不便。随着钻探配套技术与仪器的不断发展,近几年国内出现了 2 种在不需要人工计数的情况下快速检测和验证单个钻孔深度的新技术[3],它们分别是通过检测钻孔中钻杆柱长度的方式,以及钻机上安装多路传感器实时监测钻机参数的方式计算钻孔深度。它们都是在成孔提钻前进行检测,规避了提钻后塌孔无法验证的风险。其中,钻

收稿日期: 2015-11-04; **责任编辑:** 赵 瑞 **DOI:** 10.13199/j.cnki.cst.2016.04.021
基金项目: 国家科技重大专项资助项目(2011ZX05041-001)
作者简介: 高 珺(1984—),男,陕西西安人,助理研究员,博士研究生。Tel: 1348958487, E-mail: 281527126@qq.com
引用格式: 高 珺.煤矿井下钻孔深度检测技术研究[J].煤炭科学技术,2016,44(4):106-109.
Gao Jun.Study on drilling depth detection technology of underground coal mine[J].Coal Science and Technology,2016,44(4):106-109.

孔中钻杆柱长度可根据施工工艺和使用钻杆的不同,分别使用声波反射和低压脉冲反射的方式进行检测; 监测钻机参数的方式,与施工工艺和使用的钻杆无关,需根据钻机液压控制方式和检测精确度要求判断传感器安装类型及数量等。

1　检测钻孔中钻杆柱长度

煤矿井下钻孔施工根据钻探工艺不同分为常规回转钻进和水平定向钻进[4-6],常规回转钻进指钻机带动钻杆转动钻头破碎孔底岩石进行钻进,一般设计孔深为 50~200 m; 水平定向钻进指利用通缆钻杆传输钻头姿态参数,并控制钻头沿设计轨迹钻进,一般设计孔深为 300~1 000 m。由于 2 种钻探工艺中使用的钻杆结构不同,一种使用普通回转钻杆,即无缆钻杆,一种使用通缆钻杆,故必须采用声波反射和低压脉冲反射 2 种不同的方式检测钻孔中钻杆柱长度。

1.1　声波反射检测

声波反射检测钻孔中钻杆柱长度的方式在有些文献资料中也表述为应力波或弹性波反射检测[7],其原理一致。声波反射检测主要是以钻孔中钻杆柱为声波传播的载体,利用声波在同一种均匀介质中传播速度相同和在不同介质的界面上传播发生反射的特性,在钻孔施工成孔后准备提钻前,通过检测声波在钻杆柱中传播一个往复的时间来计算钻孔中钻杆柱长度。

由于纵向声波在钻杆中传播时衰减幅度远小于横向声波,所以采取纵向敲击钻杆并安装探头的方式发出和接收声波信号,如图 1 所示。检测仪在收到发出声波信号的同时开始记录波形,然后根据波形判定反射信号位置,并确定发出和反射信号之间的时间差 t,再根据检测前标定好的钻杆中波速 v,由 $L=vt/2$,即可计算出钻孔中钻杆柱长度 L。

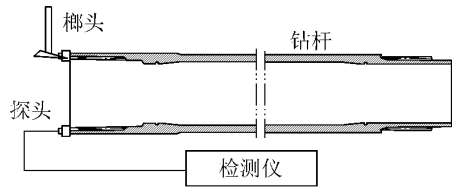


图 1　声波反射检测

Fig. 1　Acoustic reflection detection

钻孔中的钻杆柱是由多根钻杆通过螺纹连接起来的,且不同的钻杆之间壁厚、长度和螺纹也不相同,造成声波在不同的钻杆柱中有不同的平均传播速度,因此,对现场施工中采用的各种钻杆都应该进行误差标定工作。例如在寺河矿 53022 巷 8 号横穿钻场检测钻孔中由 ø73 mm、L=3 m 摩擦焊钻杆组成的钻杆柱长度时,检测数据见表 1,在前 7 次检测时波速默认 5 150 m/s,检测误差随着钻杆长度增加而增加,但根据前 7 组检测数据,可观测出它的误差规律,即检测长度与实际钻杆长度比约为 1.09,由此可以得到声波在钻孔中钻杆柱的平均速度为 4 725 m/s,输入标定后的速度,进行第 8 次检测,误差只有 1 m,并在提钻过程中对实际钻杆柱长度进行验证,检测误差均不超过 5 m,满足钻孔现场检验的实用要求。

表 1　钻孔检测数据

Table 1　Testing Data of borehole

序号	1	2	3	4	5	6	7	8
实际长度/m	22	51	81	111	141	171	201	221
检测长度/m	22.6	54	90	120	156	187	222	222

另外,在利用声波反射检测钻杆长度前,需要判断出所测钻杆的长度范围,否则在一些钻杆连接不紧密的情况下,很难区分噪声波形和周期型波形,例如在图 2 中的 2 种波形中,图 2a 为 2 个周期的波形,图 2b 为 1 个周期的波形,如果在没有长度范围的情况下很可能将图 2a 中的第 2 个周期末端判断成所测反射信号; 将图 2b 中的前段噪声当做多个周期波形,而将最末端真正的反射信号当做噪声处理。图 2a 波形只有在预测钻杆长度 20~90 m 的情况下才能判断出波形分为 2 个周期,钻杆长度为 51 m,相反,如果在未知钻杆长度范围的情况下,很可能将第 1 周期的反射波形当做噪声形成误判。

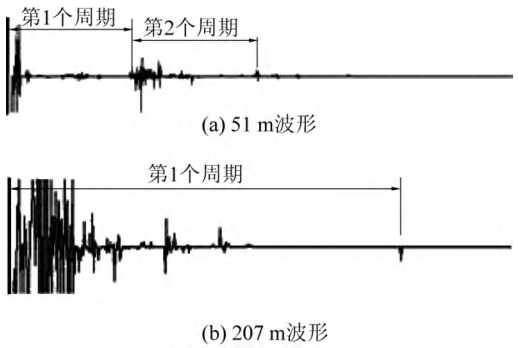


图 2　声波反射检测波形

Fig. 2　Wave form of acoustic reflection detection

根据对钻杆中声波传播特性的研究表明[8],声波在钻杆中的衰减速度很快,且反射过程中也要消

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

耗部分能量，所以声波反射检测钻杆长度的方式检测长度有限，仅适用于常规回转钻进施工检测。

1.2　低压脉冲反射检测

低压脉冲反射检测适用于水平定向钻进施工检测，因为其使用的是通缆钻杆，钻杆内部有特制的铜棒缆心与钻杆壁绝缘，类似于同轴电缆[9-10]，铜棒缆心是导体，钻杆壁是屏蔽层，可以将通缆钻杆当做同轴电缆一样用低压脉冲反射的方式检测钻孔中的钻杆柱长度。

低压脉冲反射检测原理如图 3 所示，检测仪发出低压脉冲信号沿通缆钻杆传播，遇到阻抗不匹配点，即孔底仪器，脉冲信号发生反射，回到信号发出点被记录下来，通过发射脉冲和反射脉冲的时间差 t 和固定的传播速度 v，由 $s_1=vt/2$，得到孔底仪器与孔口的距离 s_1，再加上孔底仪器位置与钻头之间的固定距离 s_2，即 $s=s_1+s_2$ 就可得到钻孔深度 s。

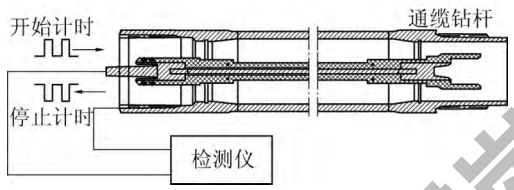


图 3　低压脉冲反射检测

Fig. 3　Low-voltage pulse reflection detection

低压脉冲反射检测方法在测试非开挖电缆故障时，通常检测距离能够达到几千米以上，所以完全能满足长距离水平定向钻进测孔的目标；且只要通缆钻杆之间正常连接，钻杆缆心和钻杆外壁之间绝缘性能良好，低压脉冲反射法的测孔结果就不会受地层、泥浆等外力的影响。

2　监测钻机参数

通过监测钻机施工时的控制液压和动力头位移判断当前钻机情况进行钻孔深度计算，是一种可以实时监测钻孔施工深度的新技术[11]。由于煤矿井下钻机型号及液压控制方式很多[12]，很难概括说明通过监测钻机参数计算钻孔深度的方法，所以以 ZDY3500L 型钻机为例进行说明。ZDY3500L 型钻机的夹持器/卡盘为单独控制，夹持器为常闭式，卡盘为常开式，配备泥浆泵冲孔排渣，装在钻机上的孔深监测装置组成如图 4 所示，检测主机负责对各传感器信息的采集、处理、计算和显示，是装置的核心，位移传感器监测动力头位移，可以通过油缸内置的行程传感器，也可以通过外置的激光位移传感器或霍尔传感器实现，其余压力传感器分别检测各个位置的压力，其中夹持器进出油压力 P_1，卡盘油压力 P_2，回转马达正转反转压力 P_3、P_3'，给进起拔压力 P_4、P_4'，泥浆泵压力 P_5，动力头位移 S。

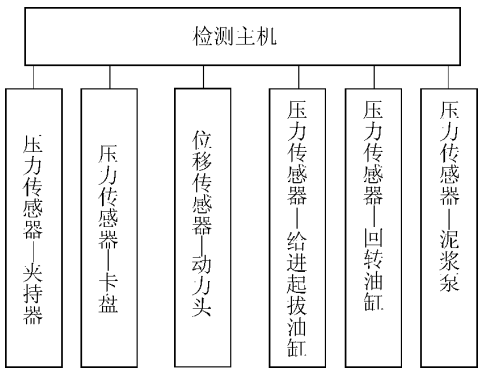


图 4　孔深监测装置组成

Fig. 4　Constitute of hole depth monitoring device

孔深计算方法：在夹持器打开（$P_1>a$），卡盘夹紧（$P_2>b$）时，叠加动力头位移变化 $S_n=(s_2-s_1)+(s_3-s_2)+\cdots+(s_n-s_{n-1})$；$a$、$b$ 分别为夹持器和卡盘动作时的临界油压值；S_n 为第 n 时刻钻机将钻杆送入钻孔的距离，S_n 的最大值即钻孔深度，另外 P_3、P_3'、P_4、P_4'、P_5 参数监测表明了钻机的动作状态，验证动力头的位移变化是否正常，6 种典型钻机施工状态下的钻机参数情况见表 2。

表 2　典型钻机状态参数变化

Table 2　Parameters change of typical drill state

序号	压力参数	钻机状态	位移变化
1	$P_3>P_3'$、$P_4>P_4'$、$P_5>0$	回转给进带水	增加
2	$P_3>P_3'$、$P_4<P_4'$、$P_5>0$	回转起拔带水	减小
3	$P_3>P_3'$、$P_4>P_4'$、$P_5=0$	回转给进不带水	增加
4	$P_3>P_3'$、$P_4<P_4'$、$P_5=0$	回转起拔不带水	减小
5	$P_3>P_3'$、$P_4=P_4'$、$P_5>0$	回转冲孔	不变
6	$P_3=P_3'$、$P_4<P_4'$、$P_5=0$	不回转起拔不带水	减小

在有些情况下也可以对钻机参数监测装置进行简化，例如省略 P_3、P_3'、P_4、P_4'、P_5 的验证过程，不检测回转、给进起拔和泥浆泵压力；或者在钻机具有夹持器进出油压力 P_1 和卡盘油压力 P_2 联动功能时，仅检测 P_1 和 P_2 之一；或者夹持器与卡盘操作阀直接选用电磁阀控制，通过电气连接只要确认电磁阀开关状态即可。总之，根据不同的钻机类型、液压控制方式和工况等，通过对钻机参数监测的方式可能都略有不同，但是其核心的检测原理不变，都是通过实时监测钻机施工时的工作参数计算钻机将钻杆送入钻

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

孔中的距离。

3 结　　语

快速检测钻孔中钻杆柱长度的方式，以及钻孔施工中实时监测钻机参数的方式，是近几年才开始应用于煤矿井下钻孔深度检测的新技术，在检测可靠性和准确性上还有很大的改进空间，所以在现场应用中还需要不断完善相关技术，例如，声波检测钻孔中钻杆柱长度的方法，受钻杆规格、钻杆新旧程度、螺纹松紧程度和地层条件的影响; 低压脉冲检测通缆钻杆柱长度的方法，受缆心铜棒规格、绝缘层性能和密封性的影响; 监测钻机参数的方法，受钻杆弹性形变、钻机各参数设置和误操作的影响等。检测钻孔中钻杆柱长度和监测钻机参数都可以满足煤矿井下钻孔深度检测的要求，但是考虑到煤矿井下钻孔施工中偶然因素和人为因素的影响，可以将 2 种检测方式结合起来使用，在钻进施工过程中实时监测钻机参数变化记录钻孔深度，在钻进完成提钻前检测钻孔中钻杆柱长度对孔深结果进行验证，确保孔深数据准确可靠。

参考文献(References) :

[1] 石智军，姚宁平，叶根飞.煤矿井下瓦斯抽采钻孔施工技术与装备[J].煤炭科学技术，2009，37(7) : 1-4.
Shi Zhijun，Yao Ningping，Ye Genfei. Construction technology and equipment for gas drainage borehole drilling in underground coal mine[J]. Coal Science and Technology，2009，37(7) : 1-4.

[2] 姚宁平，张　杰，张国亮，等.晋城矿区井下梳状钻孔瓦斯抽采技术体系[J].煤炭科学技术，2015，43(2) : 88-91，95.
Yao Ningping，Zhang Jie，Zhang Guoliang. System of gas drainage technology of comb-like directional drilling in Jincheng Mining Area[J]. Coal Science and Technology，2015，43(2) : 88-91，95.

[3] 孙志飞，吴银成，胡　云.钻杆长度测量方法[J].工矿自动化，2015(3) : 51-53.
Sun Zhifei，Wu Yincheng，Hu Yun. Length measurement methods of drill pipe[J]. Industry and Mine Automation，2015(3) : 51-53.

[4] 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.
Shi Zhijun，Li Quanxin，Yao Ke. Underground mine 1800 m horizontal directional drilling technology and equipment[J]. Coal Science and Technology，2015，43(2) : 109-113.

[5] 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，2014，42(1) : 138-142.
Li Quanxin. Drilling technology of directional drilled borehole for advance grouting reinforcement of seam floor[J]. Coal Science and Technology，2014，42(1) : 138-142.

[6] 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.
Shi Zhijun，Dong Shuning，Yao Ningping. Technology and equipment of horizontal measuring directional drilling in underground coal mine[J]. Coal Science and Technology，2013，41(3) : 1-6.

[7] 韩　衍.瓦斯抽放钻孔深度快速检测技术研究[J].煤炭技术，2014，33(5) : 289-291
Han Yan. Research on rapid detection of gas drainage drilling depth[J]. Coal Technology，2014，33(5) : 289-291.

[8] 李　超.基于钻柱的随钻数据声波传输技术的研究与开发[D].北京: 中国石油大学，2010.
Li Chao. The research and development of MWD data acoustic transmission technology based on drill pipe[D]. Beijing: China University of Petroleum，2010.

[9] 董爱华，王福忠，艾永乐，等.煤矿井下动力电缆故障点检测的研究[J].煤炭科学技术，2001，29(8) : 31-33.
Dong Aihua，Wang Fuzhong，Ai Yongle，*et al*. Research on failure point measurement and test of power cable in underground mine[J]. Coal Science and Technology，2001，29(8) : 31-33.

[10] 彭　杰，周力行，陈　钊，等.基于脉冲衰减规律的电缆故障定位方法[J].电力学报，2013，28(6) : 468-472.
Peng Jie，Zhou Lixing，Chen Zhao. Cable breakdown locating method based on a pulse attenuation discipline[J]. Journal of Electic Power，2013，28(6) : 468-472.

[11] 尹宗保，葛玉丽，姜洪杰，等.基于霍尔传感器的钻孔深度测量仪[J].煤矿安全，2014，45(2) : 92-94.
Yin Zongbao，Ge Yuli，Jiang Hongjie，*et al*. Drilling depth measuring instrument based on hall sensor[J]. Safety in Coal Mines，2014，45(2) : 92-94.

[12] 张阳阳，姚宁平，董洪波，等.煤矿全液压钻机状态监测系统的设计与实验[J].煤矿机械，2014，35(3) : 183-186.
Zhang Yangyang，Yao Ningping，Dong Hongbo，*et al*. Design of condition monitoring system for coal mine hydraulic drilling rig[J]. Coal Mine Machinery，2014，35(3) : 183-186.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net