

随钻测量系统通信方式的研究

栗宗明 刘盈 毛利 刘荟 陈轲
陕西太合智能钻探有限公司 陕西 西安 712000

摘要: 对随钻测量系统的有线传输和无线传输的原理、特点及应用进行了详细的介绍, 并且对各种信号传输方式的传输介质及优缺点进行了分析总结, 发现有线传输系统的特点是稳定性好、实用效率高, 常用于煤矿井下瓦斯抽采钻孔; 泥浆脉冲传输距离远, 常用于油气田勘探、开挖等深孔的钻进, 有助于提高长深孔钻进效率; 电磁波的数据传输速度快, 传播距离受地层电阻率限制, 通常在非开挖领域的钻探中使用较多。

关键词: 随钻测量; 信号传输; 泥浆脉冲; 电磁波

Research on Communication Methods of Measurement While Drilling System

Li Zongming, Liu Ying, Mao Li, Liu Hui, Chen Ke
Shaanxi Taihe Intelligent Drilling Co., Ltd Xi'an, Shaanxi 712000

Abstract: The principle, characteristics and application of wired transmission and wireless transmission of the measurement system while drilling are introduced in detail, and the transmission medium and advantages and disadvantages of various signal transmission methods are analyzed and summarized, and it is found that the wired transmission system is characterized by good stability and high practical efficiency, and is often used in coal mine underground gas extraction drilling. The mud pulse transmission distance is long, and it is often used for drilling deep holes such as oil and gas field exploration and excavation, which helps to improve the drilling efficiency of long deep holes. The data transmission speed of electromagnetic waves is fast, and the propagation distance is limited by the resistivity of the formation, which is usually used in drilling in trenchless areas.

Keywords: Measurement While Drilling; Signal transmission; Mud pulse; Electromagnetic wave

随钻测量 (MWD) 是一种常用的定向钻进技术手段^[1], 可以对钻孔倾角、方位角、工具面角等参数进行测量并在计算机上实时、直观地显示, 方便了钻井人员随时对钻孔施工状况进行监控, 并根据设计轨迹及时地对钻具工具面向角和工艺参数进行调整。随钻测量系统主要由采集、通信和显示三部分组成, 如图1所示。其中通信部分是随钻测量系统中最重要的一项技术, 根据信号传输方式的不同, 可将随钻测量系统分为有线随钻测量系统和无线随钻测量系统两大类。

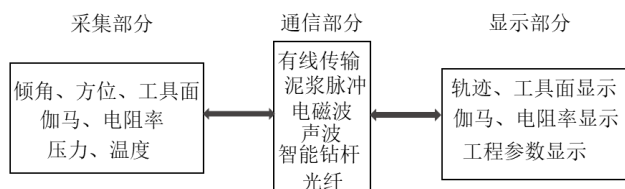


图1 随钻测量系统的组成

1 有线随钻测量系统

有线随钻测量系统采用了特殊的中心通缆钻杆为信号传

输信道, 利用电流变化实现孔内和孔外的通信。

(1) 有线信号传输原理

有线随钻测量系统是由探管自动采集倾角、工具面向角和方位角等姿态信息, 并通过探管-电脑通信电缆直接传送给电脑, 再由专用的上位机软件完成数据的接收、处理和轨迹的显示。

(2) 有线随钻测量系统的特点及应用

有线数据传输技术具有稳定性高、通讯速率快、抗干扰性强等优点, 也是目前矿用随钻测量系统中成熟的技术之一, 在矿井瓦斯抽采、防治水、地质构造及异常体探测等方面得到了广泛的应用, 但由于其本身的构造特点, 与普通钻杆相比, 存在外壁薄、强度低、抗扭能力差等问题, 在复合钻进中, 插接接头易磨损老化, 绝缘性能下降, 而且随着钻孔深度的增加, 会引起信号传输的可靠性下降, 甚至会出现通讯故障, 所以, 有线随钻测量不适合用于复合钻进。

目前有线式随钻测量系统主要应用在煤矿井下, 最具代表性的是中煤科工西安研究院有限公司开发的 YHD 系列有线

随钻测量装置^[2], 目前已经在全国各地多个矿区广泛使用。陕西太合智能钻探有限公司于2015年自主研发的有线随钻测量系统已在国内多个矿区推广应用, 2022年2月在陕西陕煤曹家滩矿业有限公司成功钻进2000m。

2 无线随钻测量系统

无线随钻测量是一种利用特定介质作为无线信号, 将钻井过程中测量到的地层性质、钻杆姿态和方位角等其他信息实时传输到地面的系统, 钻井人员可实时监控井内状态, 随时调整钻进方向, 确保钻进轨迹尽可能地与设计轨迹重合。无线随钻测量系统通信方式主要有: 泥浆脉冲、电磁波、声波、光纤和智能钻杆^[3]。

2.1 泥浆脉冲无线随钻测量

(1) 泥浆脉冲信号传输原理

螺杆钻具后接探管对孔内各参数进行测量, 检测到泥浆泵停止信号后, 做停泵准备, 开始测斜, 当检测到泥浆泵的启动信号后, 采集轨迹数据、工具面、测井数据等, 驱动短节有序的调整脉冲发生器水力通道的面积, 从而改变泥浆泵的输出压力, 计算机接收到由传感器传输的压力变化情况, 经过数据处理等将孔底信息以数据表格和轨迹曲线显示, 将实钻轨迹与设计轨迹对比, 调整待钻轨迹。

泥浆脉冲无线测量信号主要有正脉冲、负脉冲和连续脉冲, 正脉冲传输主要通过节流阀控制水力通道的面积来增大泵压, 负脉冲传输主要是通过溢流阀或钻杆上的特殊排水孔来降低泵压, 连续脉冲传输主要是利用旋转节流阀不断改变水力通道的面积来产生连续的压力脉冲信号^[4], 三种泥浆压力脉冲对比见表1:

表1 三种泥浆压力脉冲优缺点对比

脉冲传输方式	工作原理	传输速率	信号稳定性
正压力脉冲	节流阀	0.5~3bit/s	稳定
负压力脉冲	溢流阀	较低	比较稳定
连续压力脉冲	旋转节流阀	5~12bit/s	一般

上述三种泥浆脉冲传输信号方式相比, 负脉冲发生器会损坏井壁, 造成钻井液能量损失, 而且传输速率低, 无法满足测量其他参数的要求, 故负脉冲系统已经逐渐被正脉冲发生器取代; 正脉冲信号传输具有体积小、设计简单、操作维护方便、信号传输稳定等优点; 连续压力脉冲由于波形具有连续性, 在钻进过程中可以传输大量信息, 实现较高的数据传输速率, 但也存在控制精度高、对信号的调制解调设计困难等缺点。

(2) 泥浆脉冲系统的特点及应用

泥浆脉冲系统具有仪器成本低、使用方便、传输距离远等显著优点, 不仅适用于稳定的煤岩层钻进, 也可用于复杂地层的钻进、地质勘探、油气田开发等。但泥浆脉冲传输也有一些局限性, 首先, 完成一次数据传输需要3到5分钟才能完成, 一定程度上降低了钻井作业的效率; 其次, 数据传输

过程中泥浆排量和泵压必须保持稳定, 循环泥浆中不能含有大量气泡, 这对泥浆泵的稳定性和泥浆自身的性质有了更高的要求; 此外, 通过泥浆脉冲传输信号对泥浆压力脉冲的产生和检测技术要求越来越高。

近年来, 泥浆脉冲系统的基础理论研究和设备开发迅速发展, 斯伦贝谢公司已成功开发出可回收的 MWD 系统, 并将其用于意大利油田的勘探工作中, 解决了深水钻井中的高温高压问题^[5]。陕西太合智能钻探有限公司于2022年自主研发的泥浆脉冲无线随钻测量系统, 在襄阳项目部引江补汉工程上, 顺利完成了现场首次工程打钻, 打钻仪器均有很强的信号, 且传输距离可达3000米以上, 实现了高精度和远传输的研发目标。

2.2 电磁波无线随钻测量

近年来, 电磁波随钻测量凭借传输率高且不受钻井介质影响, 在油气钻井中的应用日益广泛。

(1) 电磁波信号传输原理

电磁波数据传输主要取决于所处的地层环境。电磁波随钻测量系统以钻柱为信号传输通道, 在裸露的钻杆两端产生电流进行数据传输。井下工具将测量单元测量的信息编码调制后通过发射天线产生电磁波信号, 该信号经井眼、泥浆、套管等组成的信道传输至地面, 孔外接收设备接收传输的电磁信号, 解调并恢复为测量数据在电脑端显示。

(2) 电磁波系统的特点及应用

这种传输方式的优点是设备结构简单, 数据传输速率快, 时效性强, 不受施工工艺的影响, 可以满足不同气井施工作业的要求; 体积小, 且相同半径的设计, 增强了产品的抗冲刷和使用寿命。这种传输方式的缺点是在不同地层, 电阻差异比较大, 数据传输不稳定, 而且电磁波的传输距离有限, 不适合深井施工。

90年代, 国防科技大学开发出了“钻孔无电缆遥测系统”样机, 它将低频信号应用于地质勘探钻孔数据传输, 并在我国率先实现了1000 m内的电磁波随钻测量。陕西太合智能钻探有限公司于2017年自主研发的电磁波无线随钻测量系统, 该产品为目前国内唯一实现钻探井下推广应用的电磁波无线随钻测量装置。

2.3 声波无线随钻测量

声波传输系统使用声波或地震波作为信号传输介质, 由于声波信号在钻杆中衰减很快, 因此要在钻杆中每隔一定距离安装中继装置来完成数据传输。其传输方式之一是: 在井中安装带有测量设备的声波无线传输系统, 通过换能器产生声波信号在钻杆中传播, 地面上的计算机进行信号处理和数据分析; 另一种传输方式是: 钻头与井底的相互作用所形成的纵向弹性波经钻杆传至地表后, 由计算机进行接收。钻杆中弹性波高频更高, 故声波数据传输速率通常比泥浆脉冲传输速率高, 但声波传输也有局限性: 声波传输信号随深度的增加而迅速减弱, 携带的信息量较小, 且由于钻井设备产生

的声学噪声, 让主信号难以被检测, 通信质量很难保证。

2.4 光纤遥测无线随钻测量

美国圣地亚国家实验室已研制成功并试验了用于随钻测量的光纤遥测系统^[6]。随钻测量系统中使用的光纤电缆很细小、成本低, 在钻井液中只能短时间使用, 磨损后即被冲走。在国内光纤传输还处于理论研究阶段。

2.5 智能钻杆无线随钻测量

智能钻杆无线随钻测量系统在两根相连的钻杆之间安装感应线圈, 数据通过耦合器沿钻杆逐级传输, 故智能钻杆传

输系统又称为磁感应传输系统, 该系统无中继传输系统可在20~30节钻杆中传输, 不仅解决了有线随钻测量系统中的磨损问题, 又克服了电磁波、钻井泥浆脉冲等传输速率低的问题, 智能钻杆的不足之处是钻杆成本高, 重复使用后信号传输的可靠性降低。美国Intelliserve公司于2006年完成了智能钻杆的商业化应用, 实现了数据高速传输。

3 小结

各种随钻测量系统都有各自的局限性和应用领域, 对随钻测量系统进行对比, 如表2所示。

表2 随钻测量系统对比

传输方式	传输介质	影响因素	优点	缺点
有线	通缆钻杆	通缆自身阻值	稳定性好、传输速率快	工艺复杂, 易磨损
泥浆脉冲	钻井液	泥浆泵的稳定性和钻井液的性质	传输距离远	传输速率较低
电磁波	电磁波	地层电阻率	传输速率较快、对钻井液无要求	受地层电阻率影响较大
声波	声波	施工过程中的噪声	传输速率快, 开发成本较低	衰减较快, 受环境干扰较大
光纤	光纤		传输速率高, 可靠性好	容易磨损失效
智能钻杆	智能钻杆	线圈耦合	传输速率快, 双向传递信息	开发成本高

有线传输系统的特点是稳定性好、时效性高, 常用于煤矿井下瓦斯抽采钻孔; 泥浆脉冲传输距离远, 常用于油气田勘探、开挖等深孔的钻进; 电磁波的数据传输速度快, 传播距离受地层电阻率限制, 通常在非开挖领域的钻探中使用较多; 光纤传输和智能钻杆传输由于开发成本高故应用较少。无线信号传输中的泥浆脉冲和电磁波近两年应用最为广泛, 泥浆脉冲发生器温度性能的提高是信号传输的主要发展方向, 电磁波传输的发展趋势是增加信号传输深度, 提高传输速度。

参考文献

[1]陈泽平, 闫保永, 王国震, 等. 煤矿井下随钻测量技术研究现状及展望[J]. 矿业安全与环保, 2022, 49(6):5.

[2]石智军, 姚克, 田宏亮, 等. 煤矿井下随钻测量定向钻进技术与装备现状及展望[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(5):7.

[3]方俊, 谷拴成, 石智军, 等. 煤矿井下随钻测量信号泥浆脉冲传输特性研究与试验[J]. 煤炭学报, 2018.1458.

[4]Nguyen D H, Wasserman I, Hahn D. Mud-pulse telemetry sees step-change improvement with oscillating shear valves[J]. Oil Gas J. 2008, 106(24):39-47

[5]高珺. 矿用随钻测量系统中数据传输技术研究[J]. 中州煤炭, 2016(04):115-117+121.

[6]范业活, 李天禄, 杨志强. 随钻无线传输技术分析比较[J]. 测井技术, 2016(4):5.