

Application of Drilling-while-Metric (DMM) Technology in Precision Geological Steering

Xiang Wang

Fourth Engineering Project Department, Changqing Drilling Corporation, Sinopec Chuanqing Drilling Company, Xi'an, Shaanxi, 710299, China

Abstract

Drilling-while-Metric (DMM) technology plays a pivotal role in modern drilling engineering, effectively ensuring precise geological steering while enhancing drilling efficiency and accuracy. By adopting advanced data transmission and processing technologies, this approach achieves more rational outcomes in geological steering operations, driving the development of intelligent and efficient drilling systems. Future efforts to strengthen R&D in this technology will further refine geological steering capabilities, enabling broader applications across diverse geological structures and accelerating subsequent energy exploration and development initiatives.

Keywords

Drilling measurement technology; precise geological guidance; practical application; wellbore trajectory

随钻测量技术在精细地质导向中的应用实践

王翔

中石油川庆钻探公司长庆钻井总公司第四工程项目部，中国·陕西 西安 710299

摘要

随钻测量技术主要是对现代钻井工程起着关键性的作用，并能够有效的保证精细地质导向效果，提升钻井的效率以及精准度。采用先进的数据传输以及处理技术，在实际地质导向工作能得到更合理的效果，在发展过程中也使得钻井更加具有智能化、高效化。后期加强该项技术研发力度，将使得地质导向效果得到更大程度的完善，未来还可在各类不同类型的地质结构之中得到更好的运用，更好推动后续的能源勘探开发工作进程。

关键词

随钻测量技术；精细地质导向；应用实践；井眼轨迹

1 引言

随着全球能源需求越来越大，油气作为重要能源的来源，其勘探开发受到极大重视，很多大型油气田都依靠随钻测量和精细地质导向等技术进行开发，在储层厚度大还有分布范围广等地质结构复杂的条件下，使用这些技术可以大大提高油气开采效率，而随着油气勘探开发向更深层次、更难开发的深层、极端地质条件地区发展，对随钻测量及精细地质导向技术的需求越来越强，所以加强对随钻测量技术用于精细地质导向上的实践探讨十分重要。

2 随钻测量技术原理

随钻测量技术采用各种物理特性和先进的传感及传输技术完成，其实现的主要手段就是在井下的钻具组合中装入各种各样的传感器，用来感知井下参数的变化，并将其变成

可传至地面的电信号或者其他形式的可传递的信号。如用于测量井斜角、方位角的传感器多采用重力加速度计或者磁通门传感器作为测量元件，其中重力加速度计利用重力场，通过测量沿不同方向加速度分量的大小，得出井眼相对于重力方向倾斜的角度，即为井斜角；而磁通门传感器则是基于地磁场的工作原理，可以测得地磁场沿各个方向的分量，并且通过与已知的地磁场模型进行对比运算，从而求得井眼的方向，得到井眼的方位角^[1]。

数据传输原理是将井下传感器测量得到的数据进行数字化编码，然后通过控制钻井液脉冲发生器，将编码后的数字信号转换为钻井液压力的变化，即压力脉冲。这些压力脉冲随着钻井液的循环向上传输，到达地面后，被安装在泥浆立管上的压力传感器检测到。地面的数据处理系统再对这些压力脉冲信号进行解码和处理，还原出原始的测量数据。如正脉冲传输系统通过控制脉冲发生器的蘑菇头，当编码为“1”时，蘑菇头上上移，使流经锥形口的钻井液阻力增加，产生附加压力，形成一个压力脉冲；当编码为“0”时，蘑

【作者简介】王翔（1984-），男，中国安徽砀山人，本科，工程师，从事石油工程研究。

菇头向下回到原位，压力降至正常，以此来表示数字信号的“1”和“0”^[2]。这种传输方式具有经济、方便的优点，但也存在数据传输率低的缺点，一般每秒只能传输几比特到几十比特的数据。

3 随钻测量技术在精细地质导向中的应用

3.1 为精细地质导向提供数据支持

真正开展钻井作业过程中使用到随钻测量得到的数据也是十分的多，各个项目都存在大量的数据。其中有关定向数据方面主要包括井斜角、方位角以及工具面角等，其中主要是通过测量结果可以了解到，对于如何控制造成定向角度出现变化的井眼轨迹具有十分重要的决定性意义。井斜角可理解为井眼偏离铅垂线的程度，通过测得的数据可以确定井眼垂向位置，如对于像一些难度较大复杂构造的油气田来说，井斜角测量应该保证在±0.1°之内，在这个范围内当数值超过0.1°以上的话，那么就会造成井眼无法精准把控井眼轨迹所指向的目标储层，这样的话就不利于油气的开采^[3]。

钻井参数是地质导向的重要参考依据，井底钻压和扭矩还有每分钟转数等参数能够体现钻井过程中力学状态及工作状态，当井底钻压过大将导致钻头过早磨损，钻头损坏将会造成钻井效率下降；若井底钻压过小则无法有效破岩，导致钻进效率低。扭矩的变化其中也是直接表示了地层的硬度及钻具的状态，如果扭矩瞬间增大，则说明可能遇到硬的地层或是出现了卡钻的情况。每分钟转速直接影响钻进速度。因此对于一些重要的钻井参数，要及时监测并对比地质资料，并且也要及时的调整参数值，并根据地质资料选择合理的钻进参数。

各种类型随钻测量技术有着不同的侧重点，这其中MWD主要就是获取定向数据和钻井参数等基础信息，它的特点就是结构简单并且价格便宜而且速率也快，但是只能满足最基础的定向钻井要求。但针对浅层油气田，MWD可实现快速准确井眼轨迹的控制，为下一步的地质导向提供最基本的数据参考；LWD是在MWD的基础上增加地层测量功能，实现钻遇地层特性测量与评估，为地质导向提供更加多维度的地层信息，应用到复杂地层的油气勘探作业时，LWD可以对地层的变更情况做到实时监测，使井眼轨迹能及时做出调整，保证井眼穿过目标储层，从而能够大大提升油气钻探开采的速度。

3.2 基于随钻测量数据的地质模型构建与更新

构建地质模型是一项复杂的工程，需要用到各种各样的技术与方法。第一步是对随钻测量得到的数据进行预处理，即要去除一些杂质数据，如需要对钻具测得的大量数据进行清洗、去噪、标定等工作，以保证钻具测得的数据是准确且一致，但是对于一些井下测量的数据可能会受电磁干扰、机械振动等因素造成噪音和异常点来说，在进行数据清洗去噪后才能保证数据的质量。对伽马数据进行处理的过程

中，可使用滤波法去掉噪音使数据更平滑，有利于后续分析和处理。

随着钻井的不断加深，新的随钻测量数据不停地产生出来，地质模型需要不断地更新来反映地质的新变化。要想更好的实现实时更新地质模型，其中就是利用好各种数据同化的方法把随钻测量所获取的数据，注入已经有的地质模型里面，来实现模型的实时更新，常用的有卡尔曼滤波法。通过卡尔曼滤波法，在每次模型预测后的更新中，利用卡尔曼滤波的原理，将新得到的随钻测量数据进行过滤计算，不断修正已知地质模型参数，使得地质模型更加准确的反映出实际情况。当将应用卡尔曼滤波更新地质模型方法应用于某复杂断块油田开发过程中时，能够很好地跟踪断层的变化，以及储层的分布，为井眼轨迹的精准控制提供支撑作用。

实时更新地质模型，能够使地质模型更加精确，并且可以及时给地质导向提供正确的依据。如果钻头钻遇新的地层界面或地质异常，地质模型就会及时更新，这样就可以保证及时将更新的模型提供给地质工程师以及钻井工程师，可以根据模型来判断是否要调节井眼轨迹以及钻井参数，从而避免钻头进入非目的层段，进而可以达到提高钻井效率以及提高油气采收率的目的。

3.3 随钻测量技术在水平井、定向井等特殊井型中的地质导向应用

水平井、定向井等特殊井型在石油天然气的勘探与开采中有较大的作用，由于其能较好地提高油气采收率，降低开发成本，在全球范围内得到了大范围的应用推广。而使用随钻测量技术来进行特殊井型的地质导向对于精准的施工具有重要意义，在这方面也确实有很大的优势。

对于水平井钻井而言，随钻测控的重要性极高。水平井钻井需要达到的目的之一是让井眼尽可能地在储层内部延伸，并通过延长井眼长度的方式尽可能增加井眼与储层之间的接触面积，以最大化提高油气产率。想要达成这样的目的，就需要在利用随钻测控设备获得井斜角、方位角、工具面角的同时获得伽马射线、电阻率等地层特性参数。这样地层工程师才能第一时间得到井眼到达地层的位置和方位，及时调节井眼的轨迹，保证井眼沿地层钻进。2017年冬季，在某海上油田水平井施工中，根据现场资料采用随钻测控实时监测井斜角、方位角，发现了井眼开始往非储层位置偏移的现象，从而调整工具面角，使得井眼回复到储层位置，实现了长度超过3公里的水平段连续钻进，如此该井的储层钻遇率大于90%以上。

定向井的井眼轨迹需要沿预定方向还有对倾斜角进行钻进，避开复杂地质构造或达到某种钻井目的。将随钻测量技术应用于定向井，可以实时获取井眼轨迹的数据，发现并及时纠正井眼轨迹的偏差，保证井眼轨迹沿设计轨迹钻进。以某山区油田定向井钻井为例，由于地质构造复杂，为使井眼轨迹多次转弯，基于随钻测量技术对井斜角及方位角进行

实时监测，依据实际测得的井眼轨迹与设计轨迹之间的偏差情况，调整钻井参数及工具面角，实现了钻井定向钻进的目的，避开了井眼与断层等发育的地层结构相碰的风险，从而保障了钻井的安全与顺利开展。

以某页岩气田水平井开发实例分析，在页岩储层薄、非均质性强的情况下，若采用传统的钻井方式，无法进行高效开发。该项目应用随钻测量技术配合旋转导向系统完成了精细地质导向：井下测量仪采集井斜角、方位角、伽马射线值、电阻率等参数，并将信号传输至地面；地面控制系统根据采集的数据进行实时计算，结合地质模型实时给出调整井眼轨迹的参数，将井眼轨迹控制在理想的井眼位置；同时也可以利用随钻测量获取的伽马射线值及电阻率值进行页岩层的识别，分析井眼轨迹钻遇页岩层的方向，并及时调整井眼轨迹方向，使水平井位于最优位置的页岩层段上钻进。最后，该水平井的储层钻遇率达到95%以上，较用传统钻井方式完成该井提高单井产量50%以上，达到较好的经济效果。

3.4 随钻测量技术在复杂地质条件下的精细地质导向实践

复杂地质条件下给油气钻井带来了许多问题，容易导致井眼偏离目标储层，从而增加了钻井的风险与成本。随钻测量技术在复杂地质条件下的精细地质导向中发挥着重要的作用，解决了一系列技术难点。

受断层发育控制的地层，由于断层破坏了地层的连续性，地质构造比较复杂。由于随钻测井能实时获取多种参数，因此可以根据测井参数的变化来判定断层位置与性质。如通过伽玛、电阻率测井参数，在附近能反映判别出断层位置；随钻测得的地层伽马射线值忽然上升、电阻率值骤然降低，结合录井、化验资料，确定此井附近有正断层分布，通过随钻地震测量得到断层的产状、走向及延伸方向等数据，为井眼轨迹调整提供参考依据。

在盐膏层等特殊地层中，随钻测量技术也发挥着重要作用。盐膏层具有塑性变形的特点，容易导致井眼缩径、卡钻等事故。随钻测量技术可以实时监测盐膏层的厚度、压力和温度等参数，为钻井液的设计和调整提供依据。通过测量盐膏层的压力和温度，确定合适的钻井液密度和性能，防止

盐膏层的塑性变形对井眼造成影响。在某盐膏层油田的钻井中，利用随钻测量技术实时监测盐膏层的压力变化，当发现压力异常升高时，及时提高钻井液密度，成功避免了井眼缩径和卡钻事故的发生。同时，根据随钻测量的盐膏层厚度和位置信息，合理调整井眼轨迹，确保井眼顺利穿过盐膏层，进入目标储层。

在复杂的地质条件下，随钻测量技术和地质导向之间联系更为密切，在一些复杂的油气田内需要利用机器学习的方法来进行分析研究和学习训练，来建立出地质参数与井眼轨迹之间的关联模型，在实际钻井的过程中，当每完成一次新的测量工作的时候，就可以把所测得的数据输入到模型当中，由模型对地层以及井眼轨迹产生变化的部分进行预测，并提出合理的纠正措施，根据这个建议来对井眼轨迹与钻井参数进行调节改正，这样就能保证顺利应对在复杂地质条件下产生的问题，最后完成了对井眼轨迹高效精细的地质导向的过程，并能提高油气勘探开发的成功率和经济性。

4 结论

本研究深入探讨了随钻测量技术在精细地质导向中的应用实践，取得了一系列重要成果。在随钻测量技术的应用上，论述了随钻测量为精细地质导向提供数据保障的重要作用，并通过实时、准确采集地层数据为地质导向提供全方位、可靠的依据。未来从技术创新应用上看，加大对随钻测量技术的研发投入，开展滚动勘探开发工作，不断优化井位部署与井眼轨迹控制技术，能够提高油藏采收率，从而做到油田整体效益最大化。

参考文献

- [1] 郝永军.井下近钻头无线随钻测量技术研究及应用[J].煤炭与化工,2025,48(02):46-49+53.
- [2] 米玛.高温地热井循环流体温度随钻测量技术分析[J].冶金管理,2023,(20):110-112.
- [3] 杨延滨,孔令维,丁浩恩.随钻测量超短半径侧钻水平井技术的应用实践[J].采油工程,2022,(04):47-51+85.
- [4] 张韧.寺河矿地质异常体探查钻进技术应用实践[J].山东煤炭科技,2020,38(12):156-158.
- [5] 贺学鹏.随钻测量定向钻进技术在老空水疏放中的应用实践[J].能源与节能,2020,(12):183-184.