

浅析地质录井在勘探中的应用

马怀玉

中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司 天津 300000

摘要：地质录井是油气勘探开发的核心技术，通过测量地层物理性质差异提供关键数据。该技术涵盖岩心、岩屑、钻时和气测录井等多种分类。在勘探中，地质录井能精确解析岩性、地层构造，全面评估储层，精细探测裂缝并测定参数，为油气藏评价供给重要信息。此外，它还能测定岩石核心参数、判别岩性，助力钻井过程监测与控制，确保井壁稳定、工艺优化及水平井导向。地质录井技术的广泛应用，为油气资源高效勘探与开发奠定了坚实基础。

关键词：地质录井；技术分类；主要应用

引言

油气勘探开发领域，地质录井技术以其独特的优势发挥着至关重要的作用。作为连接地下地质信息与地面勘探开发的桥梁，地质录井通过精确测量地层物理性质，为地层特征解释、储量评估、裂缝识别及钻井过程控制提供了科学依据。本文旨在深入探讨地质录井在勘探中的主要应用，以为油气勘探开发事业提供理论支持与实践指导。

1 地质录井的基本原理

地质录井的原理是根据地层中不同岩性的电性、放射性、声波属性等差异，利用相应的测井仪器进行测量，从而获得地层的物性、裂缝特征、孔隙度、密度等各项参数的数据。在基本过程中，测井仪器被装入油井井筒中，下放到井底后通过测井电缆将数据传输回地面，由计算机进行数据处理和解释，最终得到地层的测井曲线。通过这些曲线，可以判别不同地层的类型、厚度、孔隙度、渗透率、岩性、流体性质等重要参数。

2 地质录井的常见技术分类

2.1 岩心录井

研究钻遇地层的岩性、物性、电性、含油气性，掌握生油层特征及其地球化学指标，考察古生物分布和沉积构造，判断沉积环境，了解构造和断裂情况，如地层倾角、地层接触关系、断层位置，为开发提供必需的资料和数据，并为增产措施提供地质依据。

2.2 岩屑录井

岩屑录井是在钻井过程中，按照一定的取样间距和迟到时间，连续收集和观察从井下返回的岩屑。通过对岩屑的分析，可以获取地下地层、构造、生储盖组合关系、储层物性、含油气情况等资料。岩屑录井具有成本低、简便易行、了解地下情况及时和资料系统性强等优点，是油气田勘探开发过程中被广泛采用的技术。

2.3 钻时录井

钻时录井是通过观察钻井过程中钻头的钻进速度和时间变化，来判断地下岩层的岩性变化和缝洞发育情况。这一技术可以帮助工程人员掌握钻头使用情况，提高钻头使用率，改进钻进措施，提高钻速，降低成本。同时，钻时录井也是划分和对比地层、判断油气显示层位的重要依据。

2.4 气测录井

气测录井是地质录井的关键技术之一，它通过对钻井液中溶解或游离气体的成分和含量进行实时监测与分析，能够迅速识别油气层的存在，有效预报井喷风险，为油气勘探开发提供及时、准确的地质信息支持。

3 地质录井在勘探中的主要应用

3.1 地层解释与储量评价

(1) 地质录井借助岩屑录井、岩心录井等多元手段，对地下岩石的各类特性展开精细剖析。岩屑录井过程中，随着钻井作业持续推进，钻头破碎岩层产生的岩屑会被循环钻井液携带至地面^[1]。录井工作人员会定时采集这些岩屑，利用显微镜观察其矿物成分、结构构造，结合化学分析测定其元素组成。例如，在砂岩的判别中，依据石英、长石、云母等矿物含量比例，以及颗粒的分选性、磨圆度，准确界定砂岩的具体类型，是长石砂岩、石英砂岩还是岩屑砂岩。对于泥岩，分析其黏土矿物种类，蒙脱石含量较高的泥岩吸水性强、遇水易膨胀，而高岭石为主的泥岩则相对性质稳定，这些岩性特征直接关联着地层的沉积环境与地质变迁历程。岩心录井更是提供了直观且连续的岩石样本。从地下取出的岩心，如同地层的“切片”，能让地质人员直接测量岩层的厚度、层理发育状况，观察化石分布，还原古生物生存场景，进而推断沉积相类型。如在海相沉积地层中，常伴有海百合、三叶虫等化石，岩心呈现出的水平层

理、韵律层理暗示着稳定的浅海沉积环境；陆相地层则可能因河流、湖泊沉积，岩心内可见交错层理、粒序层理，化石多为淡水生物或陆生植物，以此全方位解读岩性背后的地质故事。（2）通过地层倾角测井、成像测井等录井技术，地质人员能够精确探测地层的构造形态。地层倾角测井仪在井下实时测量地层层面的倾斜角度与方位，获取的数据经处理后，以矢量图形式呈现。若在某一区域发现地层倾角呈现规律性渐变，从浅至深角度逐渐增大，结合区域地质背景，可推断此处可能存在褶皱构造，且依据倾角变化趋势判断褶皱的紧闭程度、轴向方位，为后续油气运移路径分析、圈闭寻找提供线索。成像测井则利用声电成像原理，给出井壁周围地层的高分辨率图像，清晰展现断层、裂缝、节理等构造细节。在图像中，断层表现为地层的明显错断，位移方向、断距一目了然；微小裂缝呈现为线条状痕迹，其密度、走向、开度等参数均可测量提取。这些构造信息不仅勾勒出地层骨架轮廓，更左右着油气的储集与运移格局，是储层评价的关键要素。（3）储层作为油气储存的关键场所，其储集条件、分布规律与储量计算是地质录井的重点攻坚方向。利用测井孔隙度、渗透率数据，结合岩心实验室分析结果，构建储层参数模型。对于孔隙度，录井方法可精确区分原生孔隙、次生孔隙占比。原生孔隙如砂岩颗粒间的粒间孔隙，其发育程度与沉积环境紧密相关，分选好、颗粒粗的砂岩原生孔隙度高；次生孔隙多由后期成岩作用造就，如碳酸盐岩地区的溶蚀孔隙，通过对岩心的薄片鉴定、扫描电镜观察，追溯溶蚀孔洞形成机制，评估其对储层孔隙度的提升贡献。渗透率反映油气在储层中的流动能力，地质录井结合试井资料，分析不同方向渗透率差异，判断储层是否存在各向异性。若某储层垂向渗透率远低于水平渗透率，在开发方案制定时，需考虑采用水平井开发，增大油气渗流面积。依据上述参数，结合地震勘探圈定的储层边界，运用容积法、物质平衡法等储量计算模型，精细估算油气地质储量，为勘探开发投资决策提供量化依据。

3.2 裂缝识别与评价

（1）地质录井运用多种技术实现地层微细裂隙与天然裂缝的精准识别。常规的成像测井在裂缝探测领域表现卓越，其声成像依据声波反射特征，电成像凭借电流变化，将井壁裂缝直观成像。在碳酸盐岩储层中，成像测井图像常呈现出蜿蜒曲折的高电导或强反射条带，对应着溶蚀裂缝与构造裂缝。裂缝宽度可精确至毫米级，长度依据井段覆盖范围推算，配合井径测井数据，判断裂缝是否引发井壁垮塌，间接推测裂缝开度变化。此

外，地层微电阻率扫描成像技术，以极高分辨率探测井壁电阻率微小差异，裂缝处因充满流体或泥质充填物，电阻率异于围岩，在图像上清晰勾勒裂缝轮廓，甚至能识别裂缝内充填物成分，区分是高阻的方解石充填还是低阻的黏土充填，为裂缝有效性评价奠定基础。（2）针对识别出的裂缝，地质录井进一步测定其关键参数^[2]。裂缝密度通过统计单位长度井段内裂缝条数获取，反映地层裂缝发育频繁程度；裂缝走向利用成像测井图像方位刻度结合古地磁定向技术，明确裂缝在平面上的延展方向，为区域应力场分析提供数据，如某地区多组裂缝走向呈共轭分布，表明曾遭受特定方向挤压应力作用。裂缝孔隙度测量相对复杂，综合运用双侧向电阻率测井、核磁共振测井等手段。双侧向测井依据裂缝对电流传导影响，估算裂缝孔隙空间；核磁共振测井利用氢原子核弛豫特性，区分孔隙流体赋存状态，精准定量裂缝孔隙体积，这些参数综合判定裂缝对储层储集与渗流性能的提升幅度，衡量其在油气藏开发中的价值。（3）裂缝在油气藏中扮演多重关键角色，地质录井围绕此为油气藏评价筑牢根基。一方面，裂缝作为油气运移通道，沟通深部烃源岩与浅部储层，在源岩热演化生成油气后，沿裂缝网络输导至圈闭聚集成藏。录井资料显示，紧邻生油洼陷的高角度张性裂缝发育区，油气显示频繁，指示运移优势路径；另一方面，裂缝自身储存油气，增加储层储集空间，尤其在致密储层中，基质孔隙度低，裂缝孔隙成为油气赋存关键场所。通过对含油裂缝岩心的饱和度分析，结合产能测试，评估裂缝型油气藏储量规模、开采潜力，为开发方案编制锚定方向。

3.3 岩性识别与分析

（1）地质录井集成多项技术测定岩石孔隙度、渗透率、密度等关键参数，为岩性精准定名提供支撑。孔隙度测定方法多样，以岩心分析为基础，采用氦气孔隙度仪，利用氦气分子小、能渗入微小孔隙特点，测量岩石孔隙体积占总体积比例，精度可达小数点后两位；对于井下原位孔隙度，利用声波时差测井，依据孔隙对声波传播速度影响建立经验公式推算，结合地区岩性校正，获取不同地层可靠孔隙度数据。渗透率测定在实验室模拟地层条件下，对岩心施加定压差，测量流体通过岩石流量，依据达西定律计算渗透率，同时考虑气体滑脱效应、克林肯伯格渗透率修正，确保数据贴合地层真实渗流状态。岩石密度测定借助密度测井仪，基于伽马射线与物质相互作用原理，测量岩石对射线吸收散射特性反推密度，区分不同岩性密度差异，如常见的石灰岩密度约 2.71g/cm^3 ，砂岩密度依成分在 $2.6\text{--}2.7\text{g/cm}^3$ 范围波动，

为岩性快速判别提供直观依据。(2)基于上述参数,结合岩屑、岩心的矿物成分、结构分析,地质录井实现岩性综合识别。在碎屑岩领域,依据石英、长石、岩屑三角图投点,结合孔隙度、渗透率范围,判别砂岩亚类。如高孔隙度、高渗透率且石英含量超75%,定为石英砂岩;长石含量突出且粒度分选中等、孔隙度适中,归属长石砂岩范畴。泥岩依据黏土矿物组合判别,蒙脱石为主的泥岩吸水性强,膨胀率高,录井时钻井液性能变化明显;伊利石黏土矿物含量高的泥岩则相对稳定,从钻井液增稠、失水变化等细节辅助岩性甄别。对于碳酸盐岩,孔隙度、渗透率结合方解石、白云石含量及晶间结构判别岩性。白云岩化程度高的岩石,晶间孔隙发育,渗透率相对较高;生物礁灰岩则具独特生物骨架孔隙,孔隙形态不规则,录井从岩心化石种类、孔隙发育特征锁定岩性,确保岩性定名准确无误,为后续地质研究、开发决策铺垫。

3.4 钻井过程监测与控制

(1)地质录井全程紧盯井壁稳定状况,保障钻井安全高效推进。利用井径测井实时监测井眼直径变化,正常钻进时井径略大于钻头直径属合理扩径,若某井段井径急剧增大,超出安全阈值,结合岩性分析,多因泥页岩水化膨胀、砂岩垮塌所致。如富含蒙脱石的泥页岩地层,遇水后黏土矿物吸水膨胀,产生巨大内应力,致使井壁剥落、垮塌,录井及时预警,调整钻井液性能,提高抑制性,添加氯化钾、聚合物等抑制剂,平衡地层压力,维护井壁稳定。在易塌砂岩地层,依据岩石强度参数,优化钻井参数,控制钻压、转速,避免钻头对井壁过度冲击;同时监测钻井液携岩能力,防止岩屑堆积造成环空堵塞,引发憋泵、井涌等复杂情况,确保钻井作业平稳穿过复杂地层。(2)随着油气田开发进入注采阶段,地质录井为工艺优化提供关键信息。在注水开发中,通过监测注入水水质、流量、压力变化,结合地层吸水剖面测井,了解不同层段吸水能力差异。若某小层

注水压力持续上升、吸水量骤减,可能因注水水质不达标,悬浮物、细菌堵塞孔隙喉道,录井反馈促使优化水处理工艺,添加杀菌剂、精细过滤,保障注水顺畅,提高水驱波及效率。对于采油过程,监测油气产量、含水率、气油比等动态参数,结合生产测井资料,判断油井生产层位贡献变化。如某油井含水率快速上升,经产液剖面测井发现高含水层窜流加剧,地质录井协同工程人员采取堵水措施,调整开采层段,优化射孔方案,延长油井稳产期,实现油气田高效开发。(3)在水平井钻井热潮下,地质录井精准控制井眼轨迹^[3]。借助随钻测井技术,实时测量钻头前方地层电阻率、伽马射线强度等参数,对比邻井地质资料,提前预判地层岩性变化。当钻头趋近目标储层顶界时,伽马值升高、电阻率降低,预示泥岩含量增加,提示司钻微调井斜角,确保钻头精准入层;在水平段钻进,持续监测地层参数,依据储层横向物性变化,调整钻头走向,使井眼始终在优质储层内延伸,最大化油气暴露面积,提升单井产量,为油气高效开发开拓路径。

结束语

综上所述,地质录井技术以其卓越的应用潜力和价值,在油气勘探开发中占据举足轻重的地位。展望未来,随着技术的持续进步与创新,地质录井将展现出更为强大的功能,为油气勘探事业注入新动力。我们有理由相信,地质录井将在推动能源勘探与开发事业迈向新高度上发挥更为关键的作用,为人类社会的可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]张超.浅析综合录井参数的工程与地质应用[J].信息系统工程,2020(2):116-117.
- [2]孙逸民.谈浩杰.浅析地质录井技术发展历程及新技术的应用[J].石油石化物资采购,2024(14):94-96.
- [3]张良军.浅析地质录井技术在水平井录井中的应用[J].地质研究与环境保护,2024,3(10).