

基于地质录井的油气藏边界判别方法研究

曾正彬

长城钻探录井公司

DOI:10.12238/jpm.v6i6.8120

[摘要] 油气藏边界判别的准确性直接影响勘探开发全过程的经济效益和技术效果，是油气田科学开发的重要基础工作。随着技术进步，边界判别方法不断向多学科融合、实时化、智能化方向发展，其重要性也日益凸显。地质录井在油气藏边界判别中扮演着关键角色，主要通过实时采集和分析钻井过程中的地质、工程及流体数据，结合其他技术手段综合判断油气藏边界。本研究建立的基于地质录井的边界判别方法体系已在多个油田应用中取得良好效果，为油气藏评价和开发决策提供了重要技术支撑。

[关键词] 油气藏边界判别；地质录井；边界判别方法

Study on the method of oil and gas reservoir boundary discrimination based on geological logging

Zeng Zengbin

Changcheng Drilling Logging Company

[Abstract] The accuracy of oil and gas reservoir boundary identification directly impacts the economic benefits and technical effectiveness throughout the exploration and development process, serving as a crucial foundation for the scientific exploitation of oil and gas fields. With technological advancements, boundary identification methods have evolved towards multidisciplinary integration, real-time processing, and intelligence, highlighting their growing importance. Geological logging plays a pivotal role in reservoir boundary identification, primarily through the real-time collection and analysis of geological, engineering, and fluid data during drilling, combined with other technical means to comprehensively determine reservoir boundaries. The boundary identification method system based on geological logging established in this study has achieved excellent results in multiple oil fields, providing significant technical support for reservoir evaluation and development decisions.

[Key words] oil and gas reservoir boundary discrimination; geological logging; boundary discrimination method

引言

油气藏边界判别是油气勘探开发中的核心环节，准确识别边界对于储量计算、开发井网部署和开发方案优化具有重要意义。传统的地球物理方法（如地震勘探）虽然能够提供大尺度的构造信息，但在储层流体界面识别方面存在分辨率不足的问题。地质录井作为直接获取地下地质信息的“第一手资料”，在油气藏边界识别中具有独特优势。本研究针对油气藏边界识别这一油气勘探开发中的关键问题，系统分析了利用地质录井数据进行边界判别的方法体系。通过整合岩屑录井、钻时录井、气测录井、荧光录井等多种录井参数，结合现代数据分析技术，建立了一套综合性的油气藏边界判别模型，为油气藏评价和开

发方案制定提供了可靠依据。

1. 油气藏边界判别的意义

油气藏边界判别是油气勘探开发中的关键环节，其重要意义主要体现在以几个方面。

1.1 储量计算与资源评价

储量估算基础，准确界定油气藏边界是计算地质储量和可采储量的前提条件

资源评价依据：边界范围直接影响对油气田规模和经济价值的评估；勘探决策支持，为是否进一步勘探开发提供科学依据。

1.2 开发方案优化

井网部署指导，边界位置决定开发井的合理布置，避免无效钻井；开发方式选择，不同边界类型（如边水、底水）需要采用不同的开发策略；注采系统设计，边界识别影响注水井和生产井的配置方案。

1.3 经济效益提升

减少无效钻井，避免在边界外钻探低效或无产能的井；提高采收率，准确识别边界有助于制定更有效的提高采收率措施；降低成本风险，降低因边界判断失误导致的开发投资风险。

1.4 动态监测与管理

生产动态分析，边界位置是分析生产动态变化的基础；水侵预警，对边水或底水推进的监测和预测；开发调整依据，为开发中后期的调整挖潜提供依据。

1.5 地质认识深化

沉积相研究，边界特征反映沉积环境和相变规律；成藏机理分析，帮助理解油气运移聚集过程和成藏控制因素；储层连通性评价，判断油气藏内部连通情况及分隔性。

1.6 工程安全与环保

钻井安全，避免钻遇异常高压带或水层引发工程事故；环境保护，防止因边界判断失误导致的地层流体外泄污染；资源保护，确保油气资源的合理开发和有效利用。

2.地质录井参数体系与边界响应特征

建立关键录井参数的边界判别阈值适用于明显边界特征的简单油气藏，在录井过程中具有以下判别特征。

2.1 岩性识别-判断储层与非储层转换

2.1.1 岩屑录井参数

岩性变化特征：油气藏边界常表现为岩性突变或沉积相变，分析钻头破碎的岩屑成分、颜色、结构等，识别地层岩性变化（如砂岩→泥岩过渡可能指示边界）；含油性变化：含油岩屑含量、级别的突变；荧光显示特征：荧光颜色、强度的变化规律；荧光录井：直接发现油气显示，边界处荧光强度可能显著减弱。例如某井在3000m处气测全烃从10%降至0.5%，岩屑由含油砂岩变为灰质泥岩，钻时增加50%，综合判断为油藏底部边界。

岩性组合突变：储层（孔隙性砂岩、碳酸盐岩）与非储层（致密泥岩、盐膏层）的转换。例如某井在3000m处气测全烃从10%降至0.5%，岩屑由含油砂岩变为灰质泥岩，钻时增加50%，综合判断为油藏底部边界。

（1）岩屑录井：分析返出岩屑的矿物组成、颜色、粒度等，识别储层（如砂岩、碳酸盐岩）向非储层（如泥岩、盐岩）的转变。

（2）随钻伽马（GR）：高伽马值通常指示泥岩（非储层），低伽马值可能为砂岩或碳酸盐岩（储层）。

2.2 流体检测-判断油气水界面

流体性质变：油气显示消失或变为水层（通过岩屑含水性、氯离子检测等确认）；气测值背景化（接近基线值）；压力系统差异：通过随钻压力监测（如PWD）发现压力突变，可能指示边界；地化录井：岩石热解（S1、S2）、TOC等参数降低，指示烃源岩或储层结束。全烃含量变化：油气层与非油气层的分界，检测烃类气体（甲烷、乙烷等）含量和组分变化。油气藏边界处常显示气体浓度骤降或组分变轻（如C1/C2比值升高）。

2.2.1 气测录井

全烃（TG）和组分（C1-C5）含量变化，油气藏顶部气体含量突然升高（进入储层）；油气藏底部，气体含量骤降（进入水层或致密层）。组分比值（如C1/C2、C1/C3）可判断流体性质（油、气、水）。组分比值特征：C1/ΣCn、C2/C3等比值的变化规律。

2.2.2 荧光录井

储层含油时，岩屑在紫外光下显示荧光反应，边界处荧光强度减弱或消失。

2.2.3 地化录井（热解分析）

S1（游离烃）、S2（裂解烃）降低，可能指示储层边界。岩石热解（S1、S2）、TOC等参数降低，指示烃源岩或储层结束。

2.2.4 后效气显示

判断储层连通性和边界位置。

2.3 钻时录井参数

钻速变化（如砂岩钻速快、泥岩钻速慢）可反映岩性变化，储层边界处常出现钻时突变，如砂岩钻速快、泥岩钻速慢）反映岩性变化。可能对应储层边界，扭矩、泵压等异常可能反映地层硬度变化（如储层到盖层过渡）；钻时趋势分析：识别储层顶底界面。

2.4 与其他技术的协同应用

测井数据对比：结合电阻率、孔隙度测井曲线，验证录井识别的边界（如电阻率骤降可能为油水界面）；地震解释：利用录井标定地震反射层，确认构造边界（如断层、尖灭点）；试油/测试：通过录井划定的可疑边界段进行DST测试，直接验证产能。

2.5 工程参数辅助判别

（1）扭矩、泵压变化：储层（疏松）与非储层（致密）的机械性质差异可能导致钻井参数异常。

（2）井漏/井涌：裂缝性储层边界可能伴随钻井液漏失或油气显示增强。

2.6 油气藏边界的综合判别方法

油气藏边界的综合判别方法有岩性+流体组合分析法、测井数据验证法和地震与录井联合解释法。

（1）岩性+流体组合分析法

表1 岩性+流体组合分析法判别油气藏边界方法表

边界类型	岩性变化	流体变化	其他特征
油藏顶部	泥岩→砂岩	气测值升高， 荧光增强	钻速加快
油藏底部	砂岩→泥岩	气测值降低， 荧光消失	钻速减慢
油水界面	岩性可能不变	气测降低， 氯离子含量升高	电阻率降低 (测井)
气藏边界	砂岩→致密层	C1 占比高， 重烃减少	声波时差增大 (测井)

（2）测井数据验证法

表2 测井数据验证法判别油气藏边界方法表

指标项目	表征特征
电阻率（RT）	油层电阻率高，水层电阻率低
孔隙度（DEN/CNL）	储层孔隙度较好，致密层孔隙度低
核磁共振（NMR）	可区分可动流体（油/水）与束缚流体

（3）地震与录井联合解释

利用录井数据标定地震反射层，识别构造边界（如断层、地层尖灭）。

水平井中，结合随钻测井（LWD）调整轨迹，确保钻头在储层内穿行。

2.7 其他录井参数

钻井液性能参数：密度、粘度、电导率等变化；井壁取心资料：直接验证储层含油气性。

3. 油气藏边界判别方法体系

基于录井的油气藏判别方法在研究中需要遵循以下规则，借助多种数据分析方法，并综合录井过程中采集的多项数据综合分析，从而得到准确的数据。

3.1 单参数阈值法

建立关键录井参数的边界判别阈值，适用于明显边界特征的简单油气藏。

3.2 多参数综合加权法

构建多参数加权评价函数，采用层次分析法确定权重系数，通过综合指数突变点识别边界。

3.3 机器学习判别法

基于支持向量机（SVM）的边界分类模型，随机森林算法在多参数融合中的应用，深度学习在复杂边界识别中的潜力。

3.4 动态录井分析法

随钻分析与边界预测，后效气显示与边界距离估算，压力监测与边界判断在实际操作中应考虑以下特殊情况。

（1）复杂储层，如裂缝性油气藏，需结合成像录井（FMI）识别裂缝发育带边界。

（2）过渡带干扰：油气水过渡带可能显示渐变特征，需通过多参数（如地化、核磁录井）精细划分。

（3）工程误差：岩屑上返滞后可能导致边界深度偏差，需通过时间校正或随钻测量（LWD）弥补。

3.5 实际应用案例

3.5.1 案例1：砂泥岩油藏边界识别

现象：钻至2500m时，钻时由30min/m降至10min/m（进入砂岩）。气测全烃由0.5%升至8%，荧光显示油斑。至2550m时，钻时增至50min/m，气测降至1%，岩屑变为泥岩。

结论：油藏底部边界在2550m处。

3.5.2 案例2：裂缝性碳酸盐岩气藏边界

现象：钻遇裂缝带时，气测值突然升高（C1占90%），但钻速无显著变化。继续钻进，气测值骤降，岩屑显示致密灰岩。

结论：裂缝发育带结束，气藏边界已穿过。

表3 油气藏边界方法挑战与解决方案表

挑战	解决方案
岩屑上返滞后导致深度误差	结合随钻测井（LWD） 实时校正
过渡带（油水同层）难以界定	采用核磁录井、 地层测试（MDT）验证
非常规储层（页岩气、致密油） 边界模糊	结合脆性矿物分析、 含气性检测（如TOC录井）

4. 结论与展望

（1）地质录井通过岩性、流体、工程参数等多维度数据，可有效识别油气藏边界，但仍需结合测井、地震、试油等数据提高准确性。在水平井、非常规油气藏中，随钻录井（LWD+气测）的作用尤为关键。

（2）地质录井多参数融合可有效提高油气藏边界识别精度，针对不同类型油气藏需建立差异化的判别模型。

（3）人工智能技术的引入将进一步提升边界判别的智能化水平。录井与测井、地震数据的深度融合是未来发展方向。

[参考文献]

[1]赵万林.浅析石油综合地质录井的管理[J].中国石油和化工标准与质量, 2011(08).

[2]石慧敏,周晓军.水平井地质导向录井关键技术的探讨[J].中国石油和化工标准与质量, 2013, 02: 43.