依托产液剖面测试的油井分层出水规律分析与预判

孙丽丽
克拉玛依市弘智油田技术服务有限公司　新疆　克拉玛依　834000

摘　要：油井出水是油田开发中的普遍问题，准确识别出水层位并预判趋势是实施控水措施的前提。产液剖面测试可获取各生产层段的流体产出状况，为分层出水规律分析提供动态数据。本文阐述了产液剖面测试的技术原理与数据获取方法，系统分析了分层含水率计算、出水层位识别及出水类型判别的技术流程，探讨了产液剖面数据在出水趋势预判中的应用，并结合典型井例验证了分析思路的可行性。研究表明，建立基于产液剖面测试的分层出水动态跟踪体系，可有效提高出水层位识别的准确性和趋势预判的前瞻性，为油田稳油控水提供技术支撑。

关键词：产液剖面；油井出水；分层测试；含水率；出水预判

引言：油田开发进入中高含水期后，油井出水问题日益突出，准确判断出水层位、及时预判出水趋势，是制定堵水调剖措施的前提。产液剖面测试可定量反映不同生产层位的产液量和含水率，是分层出水规律分析的核心技术手段。然而，目前产液剖面数据的应用多停留于单次测试结果的定性解读，对多期数据的纵向对比和趋势分析重视不足，出水层位识别与趋势预判的系统性方法尚不完善。本文从产液剖面测试数据的分析利用入手，系统探讨分层出水规律的分析方法与出水趋势的预判思路，为油井出水治理提供技术依据。

1 产液剖面测试的技术原理与数据特征

1.1 产液剖面测试的技术原理

产液剖面测试是通过井下仪器在油井生产状态下测量各生产层段的流体产出量和含水比例，以获取全井筒流体产出分布状况的动态监测技术。其基本原理为：将流量计和含水率计组合而成的测试仪器下入井内，在选定深度点上逐点测量流体流量和含水率，结合井筒内径计算各测量点之间的产液量和产水量增量，进而推算每个生产层段对全井产液量和产水量的贡献份额。目前常用的测试仪器包括涡轮流量计与电容式含水率计组合仪、阵列式电导探针流量计等，测量精度通常可达流量±5%、含水率±3%以内。测试深度点的选择需覆盖所有生产层段，一般在每个层段的顶部和底部各设置一个测量点，层段较厚时可在内部加密测量点以获取更精细的产出剖面。

1.2 产液剖面测试数据的特征与解读要点

产液剖面测试报告的输出结果包括各测量点的深度、流体流量、含水率以及据此解释的各生产层段的产液量、产水量和含水率。这些数据反映了油井在生产动态下的层间产出差异，是识别出水层位的基础信息。解读产液剖面数据需重点关注三个方面：一是层段产液量与射孔厚度的匹配关系，产液强度异常偏高的层段往往具有较高的产水概率；二是分层含水率与全井含水率的对比关系，含水率明显高于全井平均值的层段是潜在的出水层段；三是产出流体性质的变化特征，产出水矿化度与原始地层水的差异可辅助判断出水来源。单次测试数据反映的是某一特定工作制度下的静态剖面，要把握出水规律的变化趋势，必须对多次测试数据进行纵向对比[1]。

1.3 产液剖面测试在出水分析中的独特价值

与其他出水层位识别手段相比，产液剖面测试具有不可替代的技术优势。与生产测井相比，产液剖面测试在油井正常生产状态下进行，测试条件更接近实际生产工况，数据更具代表性；与示踪剂监测相比，产液剖面测试可精确定量各层段的产液量和产水量，不仅能回答“哪一层出水”的问题，还能回答“出了多少水”的问题；与动态分析反推相比，产液剖面测试直接测量井下流体产出状况，避免了地面计量数据在多相分离和计量误差传递中带来的不确定性。更为重要的是，多次产液剖面测试数据的系统性对比，可揭示各层段含水率随时间的变化轨迹和产液结构的动态调整过程，为出水趋势预判提供不可替代的数据基础。

2 基于产液剖面数据的分层出水规律分析方法

2.1 分层含水率计算与产出贡献评价

基于产液剖面测试数据计算各生产层段的含水率和产水贡献率，是出水规律分析的基础工作。分层含水率的计算方式为该层产水量除以该层产液量再乘以100%，由产液剖面测试解释成果直接提供计算所需数据。分层产水贡献率则定义为该层产水量占全井总产水量的百分比，用于评价各层段对全井出水的相对贡献。在计算结果的基础上，可按含水率高低将生产层段划分为三

类：高含水层（含水率 ≥ 80%）、中含水层（含水率40%~80%）和低含水层（含水率 < 40%）。通过分层含水率与产水贡献率的综合分析，可以确定全井出水的主力层段和潜在出水层段——前者是当前控水措施的重点对象，后者则是出水趋势预判中需要密切关注的目标。需要指出的是，产水贡献率高的层段未必是含水率最高的层段，产液量大的层段即使含水率中等也可能贡献较多的产水量，因此在出水层位识别中需将两个指标结合使用。

2.2 出水层位的综合识别方法

出水层位的准确识别需要综合产液剖面数据、地质资料和生产动态数据做出判断。识别流程可分为三个步骤。第一步是数据准备与初步筛选，依据产液剖面测试解释成果计算各层段含水率，将含水率高于全井含水率1.2倍以上的层段列为可疑出水层段。第二步是地质条件约束分析，对比可疑出水层段的渗透率、孔隙度、含油饱和度等储层物性参数，结合层段与油水边界的相对位置关系及邻井相同层位的出水状况进行综合评判，排除因储层高渗特性导致的正常高含水。第三步是动态响应验证，将可疑出水层段的生产动态特征（如压力变化、含水上升速率）与典型出水模式进行对比[2]。经过上述三步筛选后仍被指向的层段，即可认定为出水层位。为提高识别可靠性，建议将相邻两次产液剖面测试数据的对比分析纳入识别流程，观察各层段含水率的变化方向——含水率持续上升的层段即使当前含水率绝对值不高，也应视为重点监控对象。

2.3 出水类型的分类判别

依据产液剖面测试数据反映的出水特征，可将油井出水归纳为三种基本类型。单层指进型出水表现为仅单一层段含水率异常偏高（通常 ≥ 80%），而其他层段含水率维持在较低水平，产液剖面呈现明显的“单峰”形态，通常由高渗条带或裂缝导致注入水沿单一通道突进引起。多层水淹型出水表现为多个层段含水率均较高（≥ 60%），产液剖面呈现“多峰”或“平顶”形态，各层段产水贡献率较为均衡，通常反映油井所在区域整体水淹程度较高。层间窜流型出水表现为某一中高含水层段的产液量显著高于其自身产能水平，同时相邻低含水层段的产液量明显偏低，产液剖面出现“此消彼长”的异常形态，往往由固井质量缺陷或管外窜槽导致层间流体交换引起。三种出水类型的治理方向不同——单层指进型适合针对出水层实施化学堵水，多层水淹型需考虑整体调剖或侧钻，层间窜流型则需优先封堵窜流通道。正确判别出水类型，是制定合理控水措施的前提。

3 分层出水趋势的预判方法

3.1 基于多期产液剖面数据的趋势分析

单次产液剖面测试提供的是某一时刻的“快照”，而多次测试数据的纵向对比则能揭示出水规律的变化趋势。建立多期产液剖面数据的对比分析流程，通常包括三个关键环节。首先，将不同时间获取的测试数据按照统一的层段划分方案进行标准化处理，确保前后数据具有可比性；其次，绘制各层段含水率和产液量随时间的变化曲线，识别含水率持续上升、产液结构显著调整的层段；最后，计算各层段含水率的变化速率——单位时间内的含水率增量，作为出水趋势预判的核心量化指标[3]。含水率上升速率超过相邻层段平均值2倍的层段，可判定为“趋势异常层段”，是未来出水加剧的高风险层段，应在后续监测和管理中给予重点关注。

3.2 含水上升速率与出水趋势预判

含水上升速率是预判出水趋势的核心参数，其物理意义为单位产液量或单位时间内的含水率增幅，反映了出水过程的发展快慢。在产液剖面数据的框架下，可定义两个层面的含水上升速率：全井含水上升速率和分层含水上升速率。分层含水上升速率能够更精确地定位出水加剧的具体层段，为针对性控水提供依据。根据分层含水上升速率的大小，可将出水趋势划分为快速恶化型（月含水上升 ≥ 2.0%）、中速发展型（月含水上升0.5%~2.0%）和缓慢变化型（月含水上升 < 0.5%）。不同类型对应不同的预判结论和管控策略——快速恶化型需在1~2个月内实施控水措施，中速发展型可按年度计划开展治理工作，缓慢变化型则以持续监测为主。

3.3 出水趋势的综合预判模型

将产液剖面数据与静态地质参数和动态生产数据相结合，可建立出水趋势的综合预判模型。模型的基本思路是以分层含水率及其变化速率、产液强度、渗透率极差、采出程度、注采对应关系六个参数为基础，通过加权评分的方式计算各层段的“出水风险指数”。各参数的权重分配可依据油田实际情况通过层次分析法或专家打分法确定。根据风险指数的高低，将各生产层段划分为高风险（需立即治理）、中风险（年内安排措施）和低风险（常规监测）三个等级。风险等级评估结果应作为年度控水措施计划编制的科学依据。该模型采用的加权评分方式优点在于简单实用，不依赖复杂的数学工具，便于基层技术人员掌握和应用，其预测精度取决于权重的科学性和产液剖面数据的准确程度，建议在实践中结合实际验证结果不断优化权重系数[4]。

4 典型井例分析

4.1 井例概况与产液剖面测试数据

某砂岩油田A井，完钻井深2850m，射孔生产层段共3个，层位分别为S1（2740~2760m，有效厚度8.5m）、S2（2780~2800m，有效厚度6.0m）、S3（2815~2830m，有效厚度5.5m）。该井于投产初期日产液45t/d，日产油32t/d，综合含水29%。随着注水开发的推进，含水率逐步上升，至测试前全井含水已达62%。为查明出水层位，于2025年3月和2025年9月先后进行了两次产液剖面测试，测试工作制度为2.5mm油嘴生产。两次测试数据经解释处理，得到各层段的产液量和含水率数据。S1层产液量由18.5t/d降至16.2t/d，含水率由45%升至68%；S2层产液量由15.0t/d升至17.5t/d，含水率由58%升至82%；S3层产液量由11.5t/d降至10.8t/d，含水率由35%降至32%。

4.2 出水规律分析与趋势预判

依据测试数据计算各层段的含水变化和产出贡献。S2层含水率由58%升至82%，月均含水上升速率约4.0%，产出贡献率从48%升至65%；S1层含水率由45%升至68%，月均上升约3.8%，但产出贡献率由32%降至24%；S3层含水率由35%降至32%，产出贡献率由20%降至11%。综合分析表明，S2层为本次分析识别的主力出水层段，其含水上升速率最快、产水贡献最大；S1层为趋势异常层段，含水率持续快速上升，是未来需重点监控的层段；S3层产液量和含水率均呈下降趋势，判断为被高含水层段“压制”的低产出层。含水率上升速率的计算进一步确认了S2层的快速恶化趋势，预判S2层含水将在6个月内升至90%以上。

4.3 治理对策与实施效果

基于上述分析结论，对该井制定了分层治理方案。针对S2层实施机械卡封堵水，封隔器坐封于2775~2780m区间，将S2层与S1、S3层隔离；对S1层实施提液生产，放大生产压差挖掘该层剩余油潜力；保持S3层按原制度生产，作为后续接替层段。措施实施后，全井日产液维持在38~42t/d，日产油由措施前的16t/d回升至24t/d，综合含水由62%降至43%，累计增油达680t。至2025年6月的产液剖面测试复查显示，S1层含水已稳定在53%，S3层含水稳定在34%，封堵的S2层无产出贡献，措施效果良好。该案例验证了基于产液剖面数据进行出水层位识别和趋势预判的技术路线的有效性。

结束语

产液剖面测试是获取油井分层产出状况最直接的技术手段，在出水层位识别和出水趋势预判中具有不可替代的价值。本文以产液剖面测试数据的分析利用为主线，提出了分层含水率计算、出水层位综合识别及出水类型判别的方法流程，建立了基于含水上升速率的出水趋势预判思路和基于风险指数的综合预判模型，并通过典型井例验证了方法的实用性。在实际应用中，应注重多期产液剖面测试数据的积累和纵向对比，不断提升出水规律分析的精细化水平，为油田稳油控水提供更加可靠的技术支撑。

参考文献

[1]韩艳慧,王腾,张雷,等.基于分布式光纤声波监测的水平井产液剖面解释技术[J].石油钻探技术,2026,54(1):229-238.

[2]史小东,王宏伟,王高云,等.基于多元回归的油井生产异常数据筛查方法研究[J].石油工业技术监督,2025,41(8):28-35.

[3]王振龙,何岩峰,王相,等.基于数据驱动的油井生产参数智能调控方法[J].断块油气田,2022,29(6):859-864.

[4]韩宏志,张雅楠,陈冰,等.基于实时在线三相流量计的油井生产数据采集系统研发及应用[J].自动化博览,2023,40(11):76-78.