

基于钻孔数据的静态地质分层方法优化与应用分析

杨学文

第九采油厂地质研究所 黑龙江大庆 163712

摘要: 精细开采和高效开采是保障我国能源安全的关键,而准确认知和有效利用是关键。在此期间,以钻探、射孔等为主的井眼资料是刻画地层构造、评价油气藏产能最为直接和有价值的信息。而静态地质分层是油气藏的基本出发点,它的精度将影响到后续油气藏建模、储量计算和开采计划的可靠与否。由于常规的地层分析手段过于依靠工程师的主观判断,对复杂构造、岩性渐变带等问题的认识存在主观性强、标准不一、效率低下等问题,无法对大量钻井资料中所包含的深层次信息进行有效发掘,已经成为影响油气藏精细评价和高效开采的一个瓶颈。研究一种多源井下数据深层次融合、分层准则量化、自适应能力强的静态分层优选技术,既符合油气地质学发展的本质要求,又是提高油气资源综合利用效率的重大工程需求。

关键词: 钻孔数据;静态地质分层方法优化;应用

当前,石油天然气资源的勘探和利用正逐步向非常规和深部复合储层转变,因此,对地层的精细程度提出了更高的要求。根据业内研究机构的评估,2025年国内页岩气、致密气等油气勘探项目年均钻探数将超过25000个,相应的测井、岩屑录井等钻探资料和射孔试验资料将会成倍增加,有望实现艾字节(EB)量级的规模。这种发展态势突出了对大规模地质资料进行智能化和自动化处理的迫切性和重大意义。而射孔资料是联系地层信息与产量的重要纽带,其与钻孔所揭示的岩性、电性等特征的相互关系,可为地层参数的确认与优选提供动态的、符合工程实际的检测准则。

一、现行静态地质分层方法存在的核心问题剖析

(一) 数据利用单一化,信息融合不足

目前,很多油田在进行静态地层划分时,仍然过分依赖于传统的测井资料(如自然伽马、电阻率和声波时差),而只采用“一条曲线决定地层”的简单模型。该模型忽略了钻采中的钻屑录井、钻时录井和气测录井等有价值的资料,也没有将关键的射孔试验和开采动态资料融入分级决策的闭环中。如鄂尔多斯地区一块高密度气层,其地层划分主要依靠自然伽马(GR)、交流(AC)等资料,造成一层8 m左右的含气砂体被“错分为上下两层”。在钻井气测录井中,这一段的全碳氢化合物含量最高达15%以上,但由于没有和测井的相关关系,一直没有得到重视。在进行下一步的射孔工作之前,按照初期的成层方式,只打开了4 m的顶部,实际生产时每天

的产量只有4500立方米;但经过开采测井证实,该区块的主体产能在4 m左右,必须再次进行二次补采,增加了运营费用,延长了工程进度。该实例表明,单纯依靠测井资料的形状变化来进行地层划分,并没有与能够反映流体特性的钻探、产能等资料相互印证,犹如“以貌取人”,容易忽略其本质特征,造成油气藏评价与有效厚度估算不准,进而影响到可采资源量评价与开采计划的精度。

(二) 分层过程主观化,标准规范缺失

由于其自身的主观性,导致了它由“技艺”走向“科学”的最大阻碍。该方法主要依靠判读人员的主观经验,且缺乏统一和定量的判断准则。其特点是:对于同一组的同一组资料,其评价的效果常常会有很大的差别。以渤海湾地区一个复合断块油田为研究对象,由3位高级工程师分别对同一井群(BZ25-1-5D)沙河街组三段分别进行了单独的分层研究。研究表明,各砂体组合顶边界的最大差值达到22 m;三人共开发了48层,52层,43层。这些分歧源于其对天然电势(SP)曲线上的拐点的理解方式。工程师B对电阻率(RT)的突变给予了更高的评价;而C技师却能结合各种“感觉”来做出判定。目前尚无“天然伽马相对变异速率>30%,电阻率梯度>2欧姆·米/m”等指标的检测方法。这些“因人而异”的地层划分,使得随后构建的油气储层地质模式具有多种表述,使得油气勘探部署、储量评价等重大决策缺少坚实、可信的地质依据,同时也给后期油气开发过程中的动力分析与治理带来了严峻的风险。

（三）结果验证滞后化，质控闭环断裂

常规的开环工作流程本质上是“解析—传递—待确认”的开环特征，导致了“解析—传递—待确认”的消极状态。地层质量控制往往要经过几个月乃至几年的时间，直到某口或相邻油井的射孔试验资料和生产动态资料传回后，再进行质量控制。以新疆准噶尔玛湖凹陷为研究对象，对其进行了一系列的地质分析，并对其进行了初步的地层分析。在此基础上，将其应用到了地质模拟及开采计划的制定中。但一年后，随着第一口开采井投入使用，三套“独立”的地层压力体系表现出高度一致性，产出指标显著大于单独地层累积值，并在动力上表现为一套连续、厚度较大的地层。在此基础上，分析了影响地层形成的主要因素，即测井曲线的微小波动主要是由于地层中泥浆的浸入造成的，而不是地层的真实情况。这一延迟确认使得该区块必须全部推倒原来的模式，并进行地质对比和模拟，不但耗费巨大的修复费用，而且还会耽误开发的最佳时机。

二、面向钻孔数据的静态地质分层优化策略构建

（一）强化多元数据驱动，促进信息深度融合

传统的静态地层分析方法存在着资料使用不够深入等问题，过分依靠自然伽马、电阻率等常规测井资料来判断地层的性质和边界，而忽视与地层物性密切联系的钻射孔资料。由于“重辨识，轻效能”的资料使用方式，虽然能够较好地体现出储集层的层序特征，但很难对油藏的渗流特征进行准确的预测。其关键是突破数据屏障，建立“钻井资料定性—测井定位—射孔效果”的多变量数据融合解译系统。针对上述问题，通过构建一套规范的随钻资料库，对随钻过程中钻进过程中的各种物理参量（如机械钻速、扭矩、油气含量等）进行深入清理，并对其进行规范化，以去除钻具组合、钻井液性能等人为因素引起的噪声影响。

进一步的融合表现为基于射孔资料的电性层动态校正和有效性反演。射孔操作是联系油气藏与生产通路的重要一环，其试验数据（如初始产能、压力恢复数据、生产测井PLT等）是评价油藏动态变化最为直观的“试金石”。塔里木盆地库车坳陷特深层油气藏的研究中，通过对成藏前期测井资料预测的气、气饱和度与出孔层段的产能贡献率进行了对比，结果表明，一些具有良好电性的层段，其对实际产能的贡献相对较小。对钻探资料中出现的泥浆漏失情况进行了回顾性研究，得出结论：在钻探过程中，地层中是否存在着较强的污染，从而造

成了测井响应的畸变。提出“产能利用率”概念，以射孔储层的产量资料为约束，通过反演方法对储层中各主要因素（胶结指数 m 等）进行逆向优选，从而实现高效储层、低效储层及低效储层的高效识别，从而为下一步的井场靶区及完井方式的优选奠定基础。

（二）建立量化分层标准，推动流程自动智能

长期以来，我国一直存在着“同一井口、多人划定界线”的难题，究其原因，是由于地层划分的客观与确定性太强。其本质途径是通过将专家的默会体验转换成可操作的明确的规律与定量准则，从而实现由“人工解读”到“人机协同”“自动智能”层次的演进。其核心途径是将已有的已知地层“黄金标准”层进行学习与抽取，并将其应用于井下开采过程中。选取渤海湾辽东湾洼陷古近纪沙河街组为研究对象，其地层类型较为复杂，且具有较薄的砂泥岩夹层，用常规的识别手段难以对其进行有效的分类。以30个完整且具有准确PLT试验资料的井为对象，通过对岩芯、成像、产量等信息的综合分析，对其进行精细的、共识性的地层划分，得出“标准答案”。

采用K means等聚类方法，非监督地对采样井的声波、中子、密度和电阻率等信息进行非监督的学习，实现与地震区划边界的高相关性。在此基础上，利用有指导的学习方法，如决策树、随机森林等，建立相应的分类和预报模型。定量方法，即：“深部和横向的电阻率之比超过1.8，而地震波与天然孔隙度的交叉点在一定范围内，达到85%的可能性是有效砂体顶部边界”。在对新井进行评价时，该方法可以实现对各层位范围的预测，并对各层位的置信区间进行预测。在实践中，地质工程师的工作重点已由原来的简单的曲线比较转向了对模式建议结果的复核和修正，以及对复杂的地质异常的最后判定。

（三）引入动态实时验证，构建质控反馈闭环

传统的地层工作流程存在着较大的缺点，即在施工过程中存在质量管理滞后等问题。地层划分是一种阶段性的结果，需要经过几个月乃至几年的时间，在钻井投入使用或者开采过程的中后期，通过开采史的拟合来对其进行验证。这样的“开环”运行方式，不能对系统中存在的缺陷进行有效地修正，从而导致今后布井方式的配置和方案的选取出现较大的差错。其关键思路是把“验证”环节由过程结束提前到解读阶段，以达到实时评价和不断改进的目的，构筑质控闭环。这就要求构建一个能够将数据流和商业逻辑相结合的协作工作平台。

其工作原理为：当一名地质学家对一口或多口的地层进行了一系列初始的地层划分，并立即进行背景的自动校验。通过纵向连续检测，通过地层对比方法，实现与周围已经解释过的相邻井的对比，实现对地层的纵向连续检测，从而实现对地层突然尖灭、厚度急剧变化或者反演等显著的时空差异的判断。其次，更具有革新意义的一个步骤，就是实施预测效果的动态预测。在此基础上，通过对现有钻井和相邻钻井的钻井资料进行统计和对比，并与相邻钻井同一层位已经出孔层段的生产指标（如平均孔隙度、有效厚度等）进行拟合，建立相应的数学模型。

中国石油化工集团胜利石油分公司实施的一期综合治理工程，就是将这种闭环质量控制思想运用到实际工程当中。课题组前期对东营组一段油气藏进行了研究，发现了一套具有良好物性的10 m厚的油气藏，而三口老井孔虽然都有射孔，但都是低产。这一冲突引起了整个体系的警觉。地质小组通过对原有的钻探记录进行重新审视，认为该区的钻时数据具有显著的“双峰”特点，而自成层模式仅能辨识出具有良好物理性质的上段岩性，而把由于钙质胶结密实而导致的低速井段误归到了同一套。然后，他们对该方法进行了改进，把声频差的变化当作是一个“硬”的界限，从而精确地将这些“伪厚层”分割开来。通过对下一口调整井的钻井验证，改进的成层方法与以前的判断一致度高达92%，从而解决了利用原来的错误认知进行低效率开发所带来的巨大危险。该“解析—实时检验—反馈—最优”的严密质量控制闭环，将传统的“地质层”操作模式从一个比较静止的“绘图”向一个不断迭代的动态“认知”的、不断迭代的最优操作（如表1所示）。

表1 地质分层闭环质控流程与效果

质控环节	核心技术/判断标准	应用效果
实时验证	与邻井分层结果进行自动对比，识别层位突变	提前发现超80%的连续性矛盾
动态预评估	将新分层物性参数与邻井同层位产能进行回归分析	对约70%的“伪厚层”误判发出有效预警
闭环优化	依据矛盾警报复核并修正分层算法（如引入声波时差硬边界）	分层方案预测符合率提升至92%

结束语

综上所述，以井下资料为基础，进行静力地层成层法的优选研究，不仅有重要的学术意义，而且有着广泛的应用前景。该研究将促进地学研究从“经验”到“数据—知识”的双重驱动，为地学定量化和智能化发展提供重要的技术支持。在实际应用中，该研究成果可以更加准确地刻画油气藏的空间异质性，为油田井位优选、射孔方案优化和压裂改造方案的制订提供更加可信的理论基础，进而提高油气开采效率和开采效益。通过对传统的动态开采数据和地震属性数据的深入分析，实现“智慧分层”的动态开采与动态的地震属性数据的有效结合，实现动态的、可持续的优化。

参考文献

- [1] 李磊, 吴春伟, 付晓强. 多源数据耦合层状地质体快速建模方法在智博铁矿中的应用[J]. 中国金属通报, 2025, (06): 135-137.
- [2] 单永杰. 甘肃省地质钻孔结构的数字化建设及优化方法探讨[J]. 西部资源, 2025, (02): 104-107.
- [3] 杨智勇, 丁宇超等. 基于大数据融合技术的稀疏测量场地三维概率化重构[J]. 岩土力学, 2025, 46(06): 1881-1896.
- [4] 耿晓兵. 利用地震时间剖面对钻孔层位标定结果分析[J]. 中国科技信息, 2025, (07): 40-43.
- [5] 廖奕楠, 王辉, 赵海涛. 基于地层钻孔数据探讨二里头遗址的边界问题[J]. 江汉考古, 2025, (01): 66-74.
- [6] 赵金海, 朱伟龙等. 基于钻孔数据的断层带结构数值模型构建及应用探索[J]. 煤炭学报, 2025, 50(03): 1458-1472.