

文章编号: 1000-0747(2003)04-0078-04

油藏描述技术发展展望

申本科^{1,2}, 胡永乐², 田昌炳²

(1. 中国地质大学(北京); 2. 中国石油勘探开发研究院)

摘要: 按照油藏描述技术发展的历程和计算机技术等分支科学应用发展的程度, 可将油藏描述技术在 20 世纪的发展分为 3 个阶段: 60~70 年代为技术积蓄阶段; 80 年代为确定描述技术及描述流程阶段, 以沉积学、构造地质学、储集层地质学和石油地质学理论为指导, 将地质、地震、测井、生产测试(试井)及计算机技术融为一体, 使测井分析由单井扩展至一个区块的全面分析和评价; 90 年代为快速发展阶段, 以剩余油分布为研究核心, 通过建立三维定量地质模型和运用随机模拟技术, 使描述和预测的准确性不断提高。油藏描述技术未来的发展方向是: 进一步发展及应用高分辨率层序地层学, 应用井间地震技术和四维地震技术监测油藏开采动态等。图 2 参 13

关键词: 油藏描述技术; 发展阶段; 三维地质模型; 高分辨率层序地层学; 油气藏; 预测; 评价

中图分类号: TE319

文献标识码: A

1 油藏描述技术的发展

油藏描述亦称为储集层描述, 源自英文 Reservoir Description 一词。早在 1979 年, 斯伦贝谢公司就已针对油藏描述这一课题设计出了一些软件, 随后把三维地震处理、声阻抗以及垂直地震剖面(VSP)等引用于测井研究, 并结合高分辨率地层倾角、岩性密度测井、能谱测井等最新技术, 在印度尼西亚及中国新疆地区进行了实际应用, 对油藏进行综合分析, 取得了较好的效果。与此同时, 法国埃尔夫(ELF)公司及法国石油研究院方拉伯(Franlab)公司也开始在油藏描述方面开展研究工作。1980 年, 由美国阿特拉斯测井公司费特尔(Fertl)博士主持领导的油藏描述研究工作在油田动态监测(TDT 测井)、最终采收率评价及剩余油分布规律研究等方面取得了较大进展。

中国的油藏描述工作可追溯到 20 世纪 60 年代。当时计算机尚未广泛应用, 在地层对比、构造、沉积等地质研究中, 尽管是人工解释测井曲线数据、物探资料, 手工绘制各种地质图(剖面图、平面图)、栅状图, 甚至以实体模型来表现油藏地质特征, 但所做的工作无疑应属油藏描述的范畴。1982 年, 中国石油勘探开发科学研究院开始在油藏描述方面开展研究工作, 1983~1986 年开展了“储集层的计算机分析和研究”的课题研究, 1986~1990 年油藏描述技术研究列入“七五”国家重点科技攻关项目, 由三大集团(中国石油勘探开发科学研究院与中原石油勘探局, 石油大学、西安石油学院与胜利石油管理局, 江汉石油学院与江汉石油管理局)负责攻关, 1991 年春完成工作, 形成了油藏描述的一般方法和核心技术。

按照油藏描述技术发展走过的历程和计算机技术、地质、地球物理等分支学科应用发展的程度, 可将其发展分为 3 个阶段。

1.1 技术积蓄阶段(20 世纪 60~70 年代)

20 世纪 60~70 年代的油藏描述包含的内容较少, 涉及的面较窄, 基本停留在使用单一学科的信息、用一种方法和技术来研究和认识油藏。例如, 地质工作者通过露头调查、观察描述岩心、岩屑以及实验分析测试, 来认识储集层类型及岩性、成岩作用及孔隙结构和流体性质及分布等特征; 物探工作者运用地震采集的资料解释油藏的地层框架、构造样式; 测井工作者按单井评价结果评价油藏含油层系。总之, 这一阶段的油藏描述建立在静态资料和个别露头或剖面、单井点资料的基础上, 缺少动、静态资料结合的整体油藏描述功能。

1.2 技术、方法及描述流程确定阶段(20 世纪 80 年代)

20 世纪 70 年代末, 随着计算机的普及以及大型处理机的出现, 油藏描述的“技术含量”大大增加, 日臻成熟。过去进行油藏数值模拟时, 只能根据取心井或试井资料(只是点的资料), 把油藏的垂直剖面集总成几个单元, 为每一单元指定一个孔隙度或渗透率平均值, 不得不忽略小范围的非均质性和垂向渗透层屏障(隔、夹层)的作用, 建立的地质模型往往失真, 与真实地质体的关联性差, 导致开发决策失误。由于地震、测井资料解释有了质的突破, 数字化处理与解释速度大大提高, 该领域科研工作者的工作重点转移到对储集层框架及含油层系、构造框架及构造样式、流体性质与分布进行宏观与微观的研究。

此阶段油藏描述的研究(斯伦贝谢公司提供)包

括:①关键井研究;②测井资料标准化;③单井综合测井评价;④多井处理研究,井间地层对比;⑤储集层参数集总及储集层绘图;⑥渗透率及单井动态模拟研究。这些研究以应用测井信息为主体,以获得储集层参数的三维分布为最终成果,与以钻井取心资料为主体的储集层描述相比,有大的改进。

油藏描述技术的进展引起中国的重视,在吸收和消化国外技术、经验的基础上,在东营凹陷的牛庄油田、东濮凹陷的文东油田、南阳盆地的井楼油田和江汉盆地的拖谢油田等地,不同程度地开展了油藏描述工作,开发出油藏描述方法、油藏描述流程以及相应的油藏描述软件,涉及内容主要有:①油藏地质研究,包括地层对比、构造研究、沉积相分析、成岩作用与孔隙结构研究、流体性质研究、储集层参数空间分布的预测、非均质性研究、储量计算、油藏地质模型和油藏综合研究。②地震解释与预测,包括区域储集层描述、横向预测、储集层参数预测和烃类检测。③测井多井解释,包括测井数据的标准化、关键井研究、储集层参数的解释模型、有效厚度标准研究、测井多井处理成果程序及参数集总和油层判别。

此阶段的油藏描述流程见图1,所用的软件为RDSP软件包,采用的主要技术为:①地质分析法,即常规地层划分和对比;②构造研究法,即以地震资料为主(钻井资料为辅)和以钻井资料为主(地质资料为辅)的构造研究方法;③地质模型技术,所建模型一般为二维或三维概念静态模型;④综合应用地震、测井、试井技术,诸如地震目标处理、地震反演、油气模式识别、AVO

分析、地震属性分析、地震综合解释、测井(为油藏描述提供基础资料)、水淹层测井及解释方法研究、试井(为油藏描述提供重要油藏参数)等。

综上所述,此阶段油藏描述技术的发展有以下特点:①以沉积学、构造地质学、储集层地质学和石油地质学理论为指导,将地质、地震、测井、生产测试(试井)及计算机技术融为一体,充分发挥各种技术的优点,相互渗透,综合分析;②测井分析从战术服务走向战略服务,由分析一口井发展为对一个区块的全面分析和评价,诸如分析沉积环境、储集类型、油气藏类型,预测油气富集区、高产区分布以及评价资源量。

1.3 油藏描述快速发展阶段(20世纪90年代以来)

进入20世纪90年代,中国东部各大油田开发已近40年,逐步进入高含水、高采出程度的开发中后期阶段。如何进一步发掘这些老油田的资源潜力,不仅是油田自身深化油藏管理、提高经济效益、促进企业发展的客观要求,也是中国石油工业“稳定东部”的战略需要。要满足这一需要,必须开展以重建地质模型为核心的精细油藏描述,因为可靠的地质模型是制定各种“稳油控水”、“增储上产”方案的基础和依据。对于非均质性很强的陆相复杂断块油田,随着油田开发的不断深入和各种动、静态资料的积累,对地下情况的认识不断深化,在空间域和时间域上的地下流体分布状态也在不断变化。开展老油田的精细油藏描述研究,以预测剩余油分布为核心,建立反映当前开发阶段的精细地质模型,制定切实可行的挖潜调整方案,是力求实现老油田稳产的基础与关键。

20世纪80年代后期以来,虽然各学科技术迅速发展,但需要通过油藏描述解决的问题在复杂化,要求油藏描述向多学科一体化方向发展,提倡地质、地震、测井、油藏工程研究人员和计算机及现场工作人员协同工作,建立边缘学科及计算机的“地学平台”,应用多种数学方法(如地质统计学、随机模拟、人工智能、专家系统、数据库技术、分形学、神经网络等),动、静结合,研究、描述和准确预测地下油藏,建立三维定量地质模型。此阶段的油藏描述技术^[1-8]主要有:

①微地质界面研究技术。此技术以较密的井网资料为基础,以分布较广的主力油层顶面和底面为准,采用1~5m小间距等高线,用克里格等插值体内插法绘制构造图,找出原来10~20m等高线距构造图

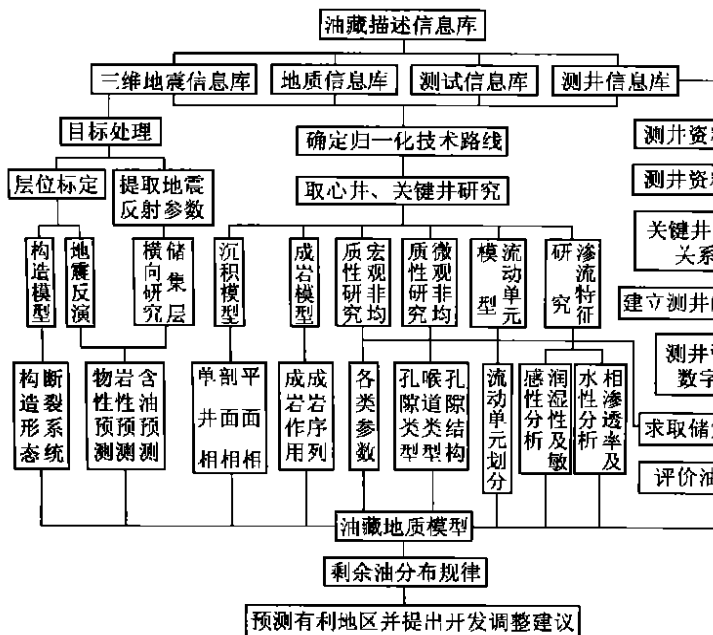


图1 20世纪80年代油藏描述流程

不能发现的油层微构造。

② 细分沉积微相研究技术。利用系统取心资料, 分别建立各油层组的单井相模式, 在此基础上建立测井相模式图版, 结合相分布位置和所有井点测井曲线形态的组合特征, 进行综合分析, 划分沉积微相。

③ 储集层岩石物理相研究。储集层岩石物理相是储集层的沉积微相、成岩相和裂缝相从点(井点或控制点)到面(层、组、段)的延拓, 平面上这3种相带的分布和关系控制了现今的孔隙网络特征。

④ 流动单元的空间结构研究。储集层流动单元的研究核心是确定连通体和渗流屏障在储集层中的分布。渗流屏障一般包括泥岩屏障、胶结带屏障和封闭性断层屏障。划分和研究储集层流动单元, 可以深化对储集层的认识, 预测剩余油分布。

⑤ 储集层随机建模技术。此技术根据地质体某一已知属性的结构统计特征, 在模拟未知区域该属性分布时以使其与已知的统计特征相同为准则, 在许多随机模拟方法中选用适宜的随机算法^[9], 得到多个可能的(地质)实现, 达到模拟储集层非均质性、预测井间参数分布的目标。油藏描述中应用随机模拟技术, 使储集层预测和建模发生了根本变化, 也使油藏描述迅速向量化和预测化方向发展。

⑥ 储集层预测模型建立技术。近20年来三次采油技术有长足发展但未能广泛使用, 一个重要的原因是储集层模型精度满足不了建立剩余油分布模型的需求, 因而满足不了三次采油的需求。储集层参数的细微变化对三次采油注入剂的敏感性远大于对注水开发的敏感性, 需要预测井间数十米甚至数米级规模的储集层参数的变化及其绝对值, 要求储集层模型的精度更高, 才能适应注水开发中后期及三次采油开采剩余油的需求。运用随机模拟技术, 可建立新的井间参数预测模式, 这样的储集层预测模型对不同成因类型储集层的非均质性有一定预测功能^[10]。

总结此阶段油藏描述技术的发展, 可概括为两大特点: ① 油藏描述技术手段的多样性。多种信息、多种学科相互渗透, 多层次交互检验, 全面反映地下油气藏情况。如用岩心分析资料检验处理解释的参数, 用取心剖面检验岩性自动划分结果, 用生产测试资料检验渗透率计算结果, 用试油资料检验产能预测结果, 或用地震、地层倾角测井资料检验构造描述结果等。② 油藏描述技术的先进性。对人机对话交互式工作站技术、彩色图形显示技术^[11]、网络技术、数据库技术、专家系统、模糊数学、分形、系统论、信息论、控制论、预测论、图论等新兴的前沿科学技术的吸收和使用, 使该技

术具有先进性、科学性和新颖性。此阶段的油藏描述流程见图2。

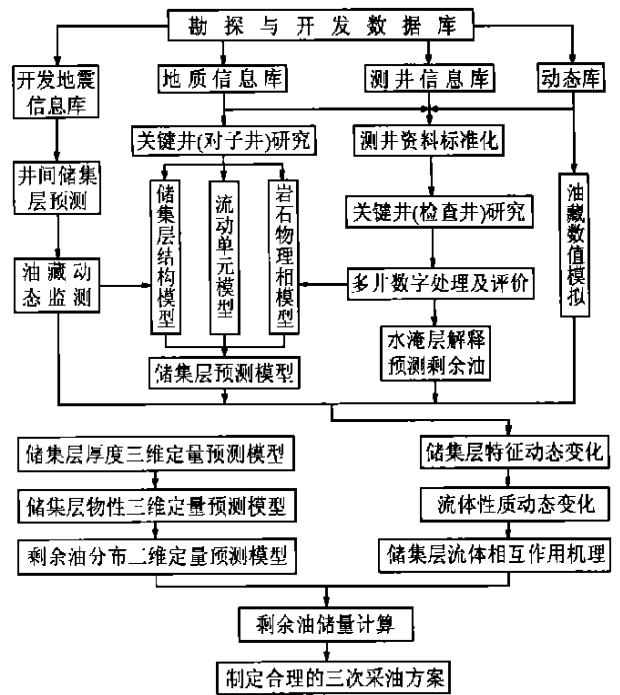


图2 现代油藏描述流程

2 油藏描述技术发展展望

2.1 地质技术

2.1.1 四维地震(监测油藏动态)

在油藏开采过程中, 储集层孔隙流体的温度、压力及组分会产生变化, 影响储集层的体积密度及地震速度, 从而影响反射波的振幅及传播时间。在油田开发过程中, 隔一定时间进行一次三维地震观测, 每次观测的测试位置、野外参数、处理参数都不相同, 然后比较前后的地震记录, 就可以知道地下油、气、水分布的变化, 得到流动体系、油气运移比较精确的空间图像^[12]。四维地震正在成为当前和今后监测油藏动态和描述油藏的一项新技术: ① 监测油田注水开发过程中气顶变化、底水推进以及油、气、水分布范围。② 监测热采等人工措施的作用范围。热蒸汽到达的部位地层温度升高, 地震波传播速度变慢, 引起地层反射系数、透射系数以及地震波的振幅和到达时间改变, 根据这些标志可以监测热蒸汽推进的前缘。

2.1.2 井间地震技术

在未来几年内, 可望通过广泛使用井间地震技术来提高井间储集层预测的精度。迄今为止, 井间地震已成功应用于稠油蒸汽驱热采中的蒸汽带成像, 这是因为稠油砂岩储集层往往胶结程度差, P波速度随蒸汽带温度的增加而明显下降, 因此可以用地震P波的

速度来度量油藏温度或指示油藏中蒸汽流的位置。

2.2 储集层物性动态变化空间分布规律研究技术

通过研究储集层沉积相与物性关系,分析储集层在三维空间中的连续性和物性变化特征,对各种分析化验资料,特别是注水开发后的密闭取心资料以及开发动态资料进行研究,结合吸水剖面、产液剖面和 C/O 比等测试资料,从储集层基本特征、注入水与地层流体的物理化学作用、地层温压变化、油水渗流机理及影响因素等方面,可研究注水开发后储集层结构的变化规律和油水分布特征。

2.3 高分辨率层序地层学的应用

层序地层学的核心在于确定等时地层格架以及时间地层框架内沉积地层的分布类型。在一个基准面旋回^[13]变化过程中形成的岩石单元是一个成因地层时间单元,通过基准面旋回的识别和等时对比,分析不同级次的陆相地层内部结构特征,建立高分辨率的地层框架,根据低级次旋回特征进行局部地层精细对比,可以为精细油藏描述提供基础。

3 结语

油气田开发面临的地质问题日趋复杂,各学科技术在突飞猛进地发展,油藏描述应用新技术、新方法的节奏迅速加快。油藏描述发展的特点是管理方式向多学科协同的集约化方向发展、描述软件向集成化方向发展、描述过程向可视化方向发展,同时研究向系统化、理论化、精细化和预测化方向发展。未来油藏描述的发展将趋于:①宏观研究规模更大,微观研究更深更细,向理论化和系统化方向发展;②从定性向定量和预测方向发展;③从单学科向多学科协同综合方向发展;④油藏描述的功能越来越多,解决地质问题的能力越来越强。

参考文献:

- [1] 裴悻楠,陈子琪.油藏描述[M].北京:石油工业出版社,1996.
- [2] 穆龙新,裴悻楠.不同开发阶段的油藏描述[M].北京:石油工业出版社,1999.
- [3] 王继贤.油藏描述软件系统及其应用[M].北京:石油工业出版社,1993.
- [4] 刘泽容,信荃麟,等.油藏描述原理与方法技术[M].北京:石油工业出版社,1993.
- [5] 文秋杰.文南油田文95断块区剩余油分布研究[J].石油勘探与开发,2002,29(3):56-58.
- [6] 尹太举.依据高分辨率层序地层学进行剩余油分布预测[J].石油勘探与开发,2001,28(4):79-82.
- [7] 甄维胜,吕新华,等.复杂断块油田非均质精细油藏描述技术——以中原胡状集油田为例[M].北京:石油工业出版社,2001.

- [8] 张幸福,周嘉玺,陆相复杂断块油田精细油藏描述技术[M].北京:石油工业出版社,2001.
- [9] 周丽清,熊琦华,等.随机建模中相模型的优选验证原则[J].石油勘探与开发,2001,28(1):68-71.
- [10] 周丽清,赵丽敏,等.高分辨率地震约束相建模[J].石油勘探与开发,2002,29(3):56-58.
- [11] 陈蓉,张传宝,等.三维可视化技术在吉和油田开发中的应用[J].石油勘探与开发,2001,28(6):87-88.
- [12] 霍进.四维地震技术在稠油开采中的应用[J].石油勘探与开发,2001,28(3):80-82,68.
- [13] 车树立.基准面原理在古地理分析中的应用[J].石油勘探与开发,1999,26(3):39-41.

第一作者简介:申本科(1966-),男,在读博士研究生,研究方向石油地质学,现在中国石油勘探开发研究院从事油藏描述和数值模拟研究工作。地址:北京市910信箱,油气田开发研究所地质室。

收稿日期:2002-11-26

(编辑、绘图 唐金华)

A perspective of development in reservoir description

SHEN Ben-ke^{1,2}, HU Yong-le², TIAN Chang-bing² (1. China University of Geosciences, Beijing 100083, P. R. China; 2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, P. R. China)

Abstract: In view of the development phases of reservoir description as well as the development stage of other branches in sciences, reservoir description technology in the 20 century could be categorized into following stage: technology preparation stage before the formal establishment of reservoir description in 1960s-1970s, whereas strictly speaking, this stage could not be taken into the chronicle of reservoir description development; Establishment of reservoir description and determination of description workflow in 1980s could be regarded as the second stage, in which sedimentation tectonics geology, reservoir geology and petroleum geology are taken as guidance along with combining geology, seismic well testing as well as computer technology altogether to transform logging analysis from a specific well bore to the whole block for description and analysis; rapid development stage in 1990s with residual oil distribution being the study focus, reservoir description technology has been developed to accurately describe and predict underground reservoirs, hence to build 3-D quantitative geological model. Development trends of reservoir description in the future will be as further development and application of high-resolution sequence stratigraphy; inter well seismic technology in the oilfield development as well as 4-D seismic technology for performance surveillance.

Key words: reservoir description technology; development stage; 3-D geological model; high resolution sequence stratigraphy; oil and gas pool; prospect; evaluation