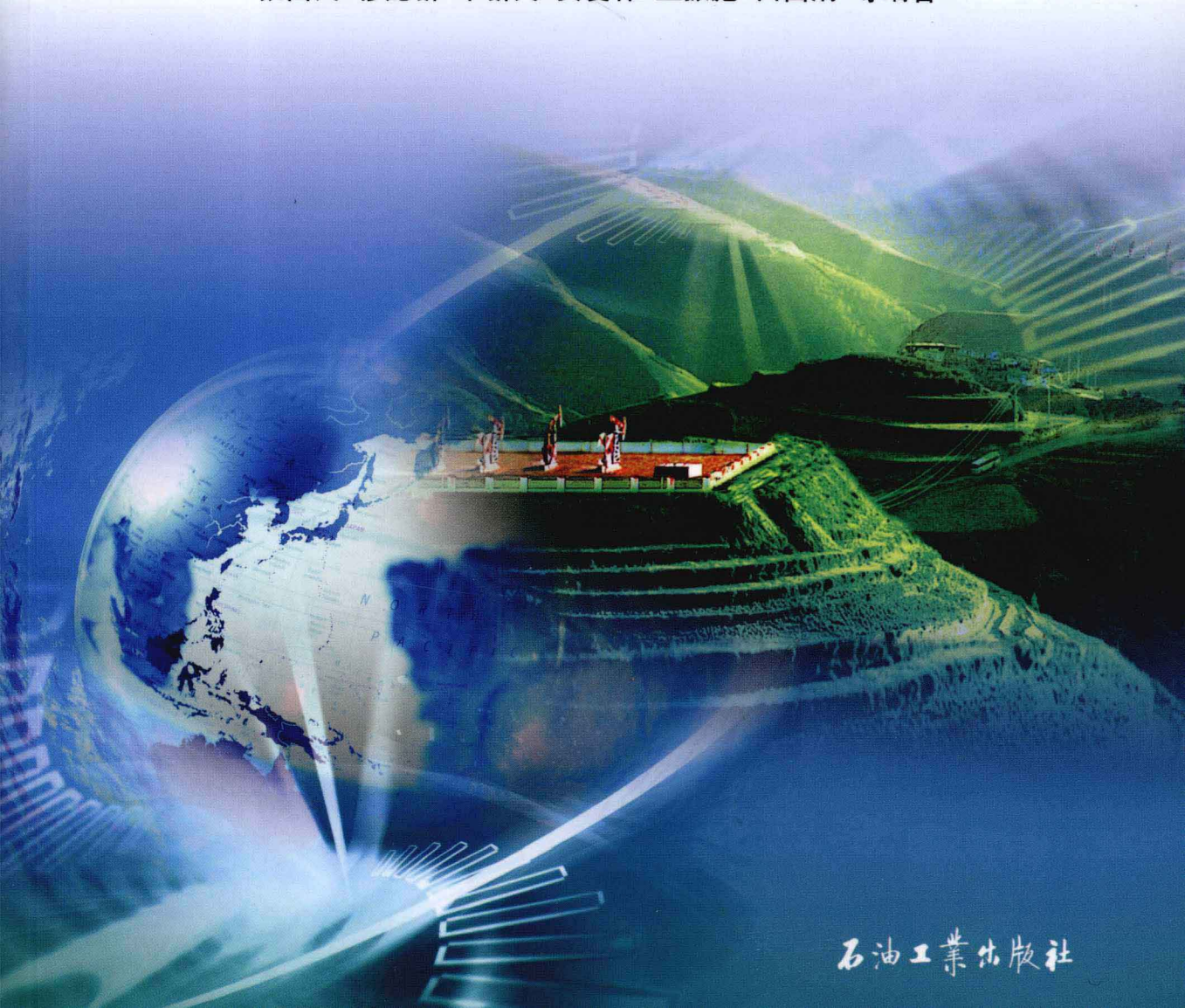


油气田开发地质

YOU QI TIAN KAI FA DI ZHI LI LUN YU SHI JIAN

理论与实践

张昌民 穆龙新 宋新民 贾爱林 王振彪 田昌炳 等编著



石油工业出版社

油气田开发地质理论与实践

张昌民 穆龙新 宋新民
贾爱林 王振彪 田昌炳 等编著

石油工业出版社

内 容 提 要

油气田开发地质作为油气田开发的基础内容之一,具有十分重要的地位。其基础理论与方法的不断进步是做好这一工作的重要保障,而生产应用又可以验证与促进这些理论与方法,使其不断得到改进与提高。本书从导论、综合篇、原理篇、方法篇、应用篇五个方面汇总了国内一批该领域专家的最新研究成果与心得。

本书可供从事油气田地质及开发专业的科研人员使用,也可以作为高等院校相关专业广大师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

油气田开发地质理论与实践/张昌民等编著.

北京:石油工业出版社,2011. 11

ISBN 978 - 7 - 5021 - 8772 - 9

I. 油…

II. 张…

III. 石油天然气地质 - 文集

IV. P618. 130. 2 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 221491 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:<http://www.petropub.com.cn>

编辑部:(010)64523682 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技有限公司

印 刷:北京市前进印刷厂

2011 年 11 月第 1 版 2011 年 11 月第 1 次印刷

787 × 1092 毫米 开本:1/16 印张:16.75 插页:1

字数:424 千字

定价:60.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

谨以此书

献给袁恂楠先生从事石油开发地质工作六十年

暨八十寿诞！



裘怿楠, 1932 年生, 浙江嵊县人, 石油开发地质学家

序

岁月如歌,时光穿梭,迎来恩师八十寿诞;人生勤励,不懈探索,从事地质工作六十年。值此晚秋霜叶正红之际,学生与同行们聚在一起,商讨如何庆祝我们心中的这一盛事。众心所向,编纂一本文集,让裘怿楠先生的人生感悟与油田开发的方法论继续指导与教育我们以及我们的后人,学生和同行用地质工作的成果与认识给裘先生汇报。

六十年前,裘先生满怀建设祖国的憧憬、带着风景如画的江南水乡——嵊县的灵气,和六朝古都南京的历史沉淀与现代地质学的启蒙,毅然奔赴祖国边陲——玉门油矿,投身到新中国第一个石油工业基地的建设中。“雄关漫道真如铁,而今迈步从头越”,在玉门油矿这个大学校、大试验田、大研究所,青年的裘先生开始了理论与实践的初步结合,并继续攻读现代地质学的相关知识,思考与探索中国油田开发地质的相关理论与技术。

随着大庆油田的发现,裘先生离开了玉门油矿,奔赴火热的大庆石油会战前线,并开始了较长时间的大油田开发理论与实践的探索。中年裘先生的开发理论也逐渐成型与成熟,形成了陆相油层划分与对比、陆相碎屑岩储层沉积学及陆相油田开发地质学等一直影响着我国油田开发实践的理论与方法。

20世纪80年代,随着裘先生开发地质学理论的不完善,以及石油开发地质学对新一代石油开发地质人才培养的需要,壮年的裘先生来到了中国石油勘探开发研究院,兼顾教学与科研工作,在不断完善开发地质学理论与技术的同时,又系统化地提出了地质模型的建立技术及预测方法,带领同行将我国在该领域的研究水平推到了国际先进水平,并为我国培养出一批青年石油地质学家。

世纪交替之际,伴随着油气资源的共同发展与国内、国外油气田的同时开发,面临的开发对象更加复杂。裘先生怀着“老骥伏枥,志在千里;烈士暮年,壮心不已”的豪情壮志,继续为解决新的研究难题日益思索,为油气田开发地质撑船指航。

适逢裘先生从事石油开发地质工作六十年暨八十寿诞大喜之际,学生与同行共书此序,感谢裘先生对学生们的培养和对同行们的关心。祝裘怿楠先生及夫人陈靖梅女士身体健康。

谨以此书献给裘怿楠先生从事石油开发地质工作六十年暨八十寿诞!

目 录

导论	裘怿楠(1)
----------	--------

一、综合篇

当前开发形势下储层研究的发展趋势	宋新民(16)
中国石油海外项目主要油田储层特征	穆龙新 郭 睿 黄继新(22)
我国储层地质模型 20 年	贾爱林(49)
油气储层表征与随机建模的发展历程及展望	于兴河(60)
油气藏开发地质研究的科学思维	吴胜和(80)
现代油气藏地质学基本原理及发展动向	王志章 熊琦华(91)
我国储层随机建模算法研究现状及展望	李少华 张昌民 王 伟(101)

二、原理篇

储层研究中的层次分析法	张昌民(113)
陆相储层不同层次的非均质性对剩余油分布的控制作用	田昌炳(120)
不同勘探开发阶段碎屑岩成岩相研究方法探讨	何东博(134)
The Sequence Sedimentology and Its Application in Oil Exploration of the Non-Structural Pools	Wu Yinye(139)

三、方法篇

局部指数拟合异常提取法在普光气田的应用	林昌荣 王尚旭(146)
大型湖盆河流—三角洲体系厚油层流动单元划分方法研究	黄石岩(157)
基于流动单元的测井储层参数解释模型	林承焰 董春梅 赵海朋 袁新涛 车京虎(170)
砂质扇三角洲沉积过程实验研究	张春生 刘忠保 施 冬 张吉来 王德玉 朱广社 马永宁(177)
复杂结构孔隙性白云岩储层地震预测方法	曹 宏 杨志芳 郭玉倩(182)

四、应用篇

牙哈凝析气田高压循环注气开发关键地质因素研究	王振彪 宋新民 田昌炳 李保柱(188)
---------------------------------	----------------------

南堡凹陷柳赞油田沙三²⁺³油藏滚动勘探开发新认识
..... 廖保方 薛云松 张 梅 刘云岭 王群会(197)

Shale Gas Reservoir Characterization in Horn River Basin
..... Wen Daoming C. R. Clarkson Zhao Xianran(206)

储层预测技术在河流相储层地质建模中的应用 籍 宁 刘 静 崇仁杰(214)

四川盆地上三叠统须家河组砂岩储层特征及其成因分析
..... 徐安娜 汪泽成 裘怿楠 卞从胜 徐兆辉 崔 瑛 武松涛(241)

川东北三叠系飞仙关组鲕滩气藏有利储集层的形成与分布
..... 杨晓萍 曹 宏 张宝民 陶士振(253)

导 论

袁烽楠

(中国石油勘探开发研究院)

摘 要:石油开发地质学以正确描述油气藏开发地质特征为主要任务,是正确管理油气藏的基础,已逐渐成熟为与石油勘探并列的、石油地质学的两大分支学科之一。石油开发地质学的研究有特定的任务和目的,尽管技术手段可以不断更新,从方法论的角度,有其必须遵循的基本规律和原则。把握这些原则,是搞好开发地质工作必不可少的前提。本文从不同方面探讨石油开发地质的方法论。

关键词:石油地质学 石油开发地质学 油藏描述 方法论

1 前言

在我国石油工业发展中,石油开发地质工作一直受到相当重视。西方在 20 世纪 70 年代后期才意识到石油开发工程仍离不开地质基础工作,号召地质家回到油田中来。我国早在 20 世纪 60 年代初期,在大庆油田的开发实践中,就形成了强大的油田地质队伍,从石油勘探的区域地质队伍中分离出来,从事油田开发领域的油藏地质工作。当时为适应我国陆相储层而形成的油砂体理论和研究方法在国际上已独树一帜。总结出探明一个油田必须搞清的几项开发地质特征,至今仍然是开发地质学所遵循的基本原则。近十几年来,由于勘探开发成熟度很高的产油国把主要注意力转向老油田挖潜和提高采收率,促进了开发地质和相关技术更快发展,新技术层出不穷。精细尺度的露头调查测量、成像测井、储层地球物理、地质统计、随机建模、示踪测试和计算机三维处理显示等技术的出现,以及这些技术的协同综合,正在逐步实现开发地质工作的主要任务——油藏描述由宏观向微观、由大尺度到小尺度、由定性向定量正确的定量预测的发展。关于这些技术本身,国内外每年都有数以百计的论文和著作在各种出版物上发表,这无疑是促进石油开发地质学繁荣和发展的动力。然而,技术手段可以不断更新,从石油开发地质方法论的角度,有其必须遵循的基本原则。把握这些基本原则,是搞好开发地质工作不可缺少的前提。

我作为一个从事油田开发地质工作 40 余年的过来人,有幸参与了我国开发地质工作随着石油工业的发展壮大,从无到有,从初级到进入国际先进行列的全过程,深感在方法论方面进行总结和探讨的不足,由此产生了撰写本文的念头。假如拙文能引起同行们的共同思考,或者有助年青的后来者于一二,将是我最大的欣慰。

2 开发地质工作是经济有效地开发好油气田的基础

石油工业习惯地分上游和下游两大段,上游指石油生产,下游指石油加工。上游又分勘探与开发两大部分。勘探工作的目的是经济快速地发现油气田,以尽可能短的时间探明盆地内

的主力油气田;开发工作的目的是在油气田发现后,经济快速地、以尽可能高的采收率把油气开采出来。无论是勘探还是开发,都必须以深入了解工作对象的石油地质面貌为基础,因此都要以石油地质学及相关基础地质学科的理论作为工作指导。然而勘探和开发的目的不同,需要研究的石油地质问题和地质工作方法也就有所不同。可以这样形象地概括两者的差别:勘探地质家需要研究和掌握的是石油如何从生成到进入油气藏的规律;而开发地质家则是研究和掌握哪些地质因素控制和影响石油从油气藏中的采出。这样,随着石油工业的发展,石油地质工作也就逐渐形成石油勘探地质和石油开发地质两大分支(见表1),应该说两者的分工萌芽于20世纪50年代,到20世纪70年代末则已相当成熟。

表1 勘探与开发地质分工简表

分工	勘探地质	开发地质
任务	发现油气田	开发油气田
对象	含油气盆地	油气田(藏)
阶段	盆地分析→布预探井钻探有利圈闭→发现油气田	评价油气田→布开发井投入开发→油气田废弃
研究内容	盆地内油气从生成到形成油气藏,以及油气藏分布规律	油气田(藏)内油气水分布,以及开发过程中影响液体运动的地质因素
研究层次	全球地质→油气藏	油气田→液体流动单元

3 开发地质学是石油开发深入发展的产物,随石油开发技术的发展而发展

现代石油工业若从1859年算起,已有近140年的历史。然而开发地质学的出现还不到50年,它是石油开发深入发展的产物,随石油开发技术的发展而发展,作为一个成熟的学科而高速发展则是近20年的事情。

早期的石油工业,石油勘探由地质家为主体来进行,油气田发现以后交由石油工程师管理开采,地质家不参与石油开采活动。美国石油地质家协会(AAPG)与石油工程师协会(SPE)的成立,以及它们在学术会议、出版物上表现出的学术分工,也非常明显地反映了这一历史分割。这是由当时石油开发的水平所决定的。

20世纪30年代以前,油田发现以后,油田主抢占租地,抢先钻生产井采油,油田开发比较盲目,是所谓“掠夺式开采”的阶段。这以美国20世纪30年代初发现并投入开采的东得克萨斯大油田最为典型。该油田1930年9月发现,很多公司蜂拥而上,到1932年底就钻成近万口采油井,10年内在560km²含油面积内钻成26000口生产井。油井出现明显的井间干扰,过早见水,产量递减过快等,促使石油工程师们采用限制井距和单井产量来保护油田的生产,油田开发转入了“保守开采”阶段。当时美国得州的铁道委员会所提出的限制井距和单井配产的法规代表了20世纪30到40年代石油开采的主导战略思想。这时石油开发还处于仅仅利用油田天然能量开采的阶段,虽然促进了油层物理、渗流力学以及油藏工程等学科和技术的发

展,但开发地质仍处于“笼而统之、大平均”的油藏概念水平,一张构造图、一张等厚图以及几个平均参数,完全可以满足开发的需要。真正的开发地质学不可能在那时产生。

20 世纪 40 年代,由于污水回注,带来油田开发的一次历史性革命;注水开发(西方当时称二次采油)在 20 世纪 50 年代很快成为普遍工业性应用的主导开发方式。这一历史性的变革是开发地质学产生并逐步成熟、独立的主要契机和动力。

注水开发首先遇到的问题是储层连续性和连通性问题,没有分单层的储层等时对比,就不可能搞清每个储层的连续性和连通性,这正是为什么早期开发地质工作者把油层的小层^①(单层)对比作为最基础和最重要的工作予以讨论和攻关的原因。注水开发紧接着遇到的第二个问题是储层客观存在的非均质性问题,储层各种尺度的非均质性极大地影响到注水开发效果。当然早期注意的是层间、平面比较宏观规模的非均质性。这就要求把每口井每个储层的岩石物理属性求准,从而掌握它们的空间分布规律。这些逐渐被人们认识到的注水开发中必须进一步深入研究的油藏地质问题,突破了“笼而统之、大平均”的传统地质工作方法,不仅促使开发地质学产生和发展,而且可以这样说,开发地质、油藏描述、储层表征以及相应的技术发展至今日,仍然要解决这两个基础问题,只是在深度上、精度上不断提高。

开发地质学的出现和萌芽时期,可以苏联 M. Ф. 米尔钦克于 1946 年出版的《油矿地质学》和美国 L. W. 里诺 1949 年编纂出版的《地下地质学》为标志。后者更多地侧重于录取和建立钻孔地质剖面的方法;前者更具创立开发地质学的代表性,这与前苏联比较广泛地采用注水开发,并将其应用于油田早期开发,作为一次采油方式有关。从 1975 年 M. N. 马克西莫夫编写的《油田开发地质基础》来看,前苏联开发地质学已比较成熟,而美国正式出版的《石油开发地质学》在 1979 年才由塔尔萨大学的 P. A. 迪基完成。

我国开发地质学的成熟应归功于 20 世纪 60 年代初大庆油田的开发。大庆油田是非均质性相当严重的陆相多油层油田,实施了早期保持压力的内部注水开发战略。油田决策者在总结学习前苏联和我国玉门等老油田开发经验的基础上,一开始就非常重视开发地质工作,把石油地质队伍明确划分为“区域地质”(专于盆地的区域勘探)和“油田地质”(专于油田开发中的油田地质工作)两部分,成立了由多名地质技术人员组成的油田地质科研队伍,专门从事当时投入开发的喇萨杏油田的油田地质研究。从 1960 年到 1964 年,突破了陆相碎屑岩储层的小层对比技术以及测井定量解释分层孔隙度、饱和度、特别是渗透率技术,在此基础上提出了油砂体的概念,正确指出注水开发中控制油水运动的基本单元是油砂体,形成了一套以油砂体为核心的储层地质研究方法。这是大庆油田实施分层开采,实现长期高产稳产的基础,至今仍发挥着重要作用。当时研究成果和水平已处于国际前列,当之无愧地得到国家科委发明奖的殊荣。

20 世纪 70 年代,随着注水开发的深入,储层非均质性对采收率的影响暴露得更为明显。由于油价上涨,三次采油技术受到重视,在美国,各种先导试验纷纷出现,工业性应用也具有一定规模,促使开发地质工作向更深层次发展。最具代表性的是沉积相分析引进到开发地质的储层研究中,储层地质学(Reservoir Geology)已初露端倪。美国石油工艺杂志 1977 年 7 月号专刊刊出了美国石油工程师协会秋季年会上,两个专题小组讨论沉积相与储层连续性、非均质性的论文,编者称这一期的出版为该刊的里程碑。

我国开发中储层沉积相研究已于 20 世纪 60 年代初期开展。在 1964 年形成油砂体理论

以后,当即提出进一步开展“微观沉积学”的研究,即把过去以盆地大区域为对象、以岩相古地理分析为主体、为勘探服务的沉积学理论和方法,引进到油田范围内,研究油砂体的沉积成因、分布和储层性质。当时“微观”两字引起一些争论,然而得到了我国著名沉积学家叶连俊院士的支持。而美国直到 1982 年,在由石油地质家协会出版的《碎屑岩沉积环境》专著中,才明确提出了微环境(Microenvironment)的概念。

我国较早地在开发地质工作中开展储层微相研究,仍然离不开大庆油田深入注水开发的推动。以主力油层单层突进为标志的层间矛盾,注入水平面上的条带状水淹和“南涝北旱”^②的出现;特别是 1964 年在注入水前缘后面钻成第一口密闭取心的检查井,发现主力储层在产水 90% 以上时,仅底部 1/3 ~ 1/4 厚度受到强水洗。这些水驱油过程的严重非均质性,推进了储层地质研究的深入。当然,当时也不乏失败的教训。萨尔图油田南一区按 600m × 600m 井网所揭示的储层油砂体面貌,对连续性较差的三类油层进行按油砂体不均匀布井的失败,也是推动开发地质研究深入的动力。20 世纪 70 年代初,微相研究肯定了大庆油田储层属于大型湖盆河流三角洲沉积,揭示了河道砂体、河口坝砂体及其他三角洲前缘席状砂的不同水驱油特点,为当年大庆油田进行第一期加密调整提供了重要的地质依据。1974 年,原石油工业部在江汉油田召开的全国油田地质会议上,推广了大庆油田开展储层微相研究的经验,开发地质工作中的储层沉积相研究从此在全国各大油田全面开展。

进入 20 世纪 80 年代,石油工业出现一些新的形势以及现代高新技术的飞速崛起,促使开发地质又进一步向更高更深层次发展。首先是石油资源配置的新形势,一些主要产油国都面临这样的情况:已开发的含油气盆地和油气田进入勘探开发高成熟期,勘探工作转向自然地理条件很差的边远地区,勘探成本大幅度上升;已有的老油田由于油价疲软,高成本的三次采油技术经济上无法使用,依靠二次采油,平均采收率仅 35% 左右,大有潜力可挖;一般估计,由于储层各种非均质性的隔挡,尚有 20% 的可动油未被二次采油驱油剂(注水)所波及,通过深化认识储层非均质性及改善二次采油技术,这部分可动油完全可以采出;特别是水平井的出现,为改善二次采油提供了重要手段。因此,普遍认为,在老油田进一步加强开发地质研究,深化认识非均质性,通过钻加密井(包括水平井、多底井、侧钻等)和其他改善采油的方法,进一步提高老油田采收率,所能获得的经济效益远大于边远地区的勘探效益。这就需要更精确地描述地下剩余油的分布,要求油藏描述向更小尺度的定量化描述发展。其次,计算机技术的发展,数学与地质的结合,分形、混沌学等非线性数学新理论和方法的出现,为描述一些地质现象提供了新武器,地质统计学的兴起,就是最好的体现;三维地震的发展,使得用地震技术可以解决开发中的储层描述问题,相应地形成了储层地震。这些都为实现精细定量描述储层提供了可能。开发地质、油藏描述由宏观向微观、由定性向定量方向大大前进了一步,也由单一的地质学科走向了与地球物理、油藏工程、采油工程等多学科协同综合的道路。

1985 年由美国能源部主持的第一届国际储层表征会正是以油藏描述为核心的开发地质学这一飞跃的标志。更令人深思的是,一向以讨论石油地质勘探技术为宗旨的 AAPG 刊物,也以 1988 年 10 月号为开发地质专刊,大声疾呼“还储层地质以本来面貌”。此后 AAPG 每年的 11 月号成为以发表开发地质论文为主的专刊。这表明开发地质学已成为石油工业中非常重要的地质基础学科,已非常成熟地按着本身的特点和规律在向前发展。

4 开发地质工作的核心任务是描述油气藏开发地质特征

现代油田开发以实现正确的油藏管理为标志,即用好可利用的人力、技术、财力资源,以最小的投资和操作费用,通过优化开发方法,从油藏开发中获得最大的利润。为实现这一目标,从技术上来说,必须正确预测各种开发方法下的油田生产动态,其研究一般包括6项内容:

- ① 资料采集(Data acquisition);
- ② 油藏描述(Reservoir description);
- ③ 驱替机理(Displacement mechanism);
- ④ 油藏模拟(Reservoir simulation);
- ⑤ 动态预测(Performance prediction);
- ⑥ 开发战略(Development strategy)。

只有正确预测油田生产动态,才能作出正确的开发战略决策,优化开发方法。油田生产动态的预测一般通过油藏模拟来进行,近代技术条件下总是以数值模拟为主要工具,尤其在对水驱油机理认识相当成熟的今天,已完全可以应用数值模拟技术正确地模拟注水开采动态,其关键是必须有一个合乎地下实际的油藏地质模型。所谓“进去的是垃圾,出来的也是垃圾”,就是指由于油藏地质特征描述的错误,导致油藏模拟预测动态的失误。开发地质工作者的主要任务,就是在油藏管理的全过程中,搞好油藏地质特征描述这一环。

这里需要强调的是油藏开发地质特征这一概念。油藏地质特征很多,可以从不同侧面来表征,不同勘探开发阶段由于目的、任务不同,所要重点把握的特征会有不同。例如,从勘探寻找油藏的目的出发,圈闭条件重于储层的非均质性;从开发油藏的目的出发,则可以完全相反。进入开发阶段以后,油藏描述的任务是正确地描述油藏的开发地质特征。强调开发地质特征这一概念的意义有两点:

(1) 区别开发阶段所要研究的油藏地质问题与勘探阶段不同。所谓油藏的开发地质特征,可以从总体上定义为“油藏所具有的那些控制和影响油气开发过程,从而也影响所采取的开发措施的所有地质特征”。

(2) 不同开发阶段,或者采取不同开发措施时,所要研究的开发地质特征应有所不同,或内容增减,或侧重点不同,或描述尺度有别等。作为一个开发地质工作者,在各个开发阶段和各种技术经济背景下,能否把握好当时所要重点描述的油藏开发地质特征,正是对他的学识和经验的考验。

根据我国注水开发的实践,油气藏的开发地质特征概括起来可分九大方面:

- ① 储层构造形态、倾角,断层分布及其密封性,裂缝发育程度;
- ② 储集层的岩性、岩石结构、几何形态、连续性,储油能力和渗流能力的空间变化,即储层各项属性的非均质性;
- ③ 隔层的岩性、厚度及空间变化;
- ④ 储层内油、气、水的分布及相互关系;
- ⑤ 油、气、水物理化学性质及其在油田内的变化;
- ⑥ 油气藏的压力、温度场;

- ⑦ 水体大小,天然驱动方式及能量;
- ⑧ 石油储量;
- ⑨ 与钻井、开采、集输工艺有关的其他地质问题。

关于油藏开发地质特征,还需要进一步说明以下几个问题。

(1)油藏开发地质特征仍离不开石油地质学的三个基本论题:构造、地层(储层)和流体(油、气、水)。然而进入开发地质领域后,储层已成为核心。在西方文献中,油藏和储层都是“Reservoir”这一通用术语,因为开发阶段所要研究的构造是储层的构造,流体分布是储层内油、气、水的分布,而储层本身的非均质性更是油藏描述的重点。为了适应我国的习惯,大家把“Reservoir Description”译为“油藏描述”,而“储层描述”则指狭义的储层本身特征的研究,不包含储层构造和流体的内容。这样,我们可以把本节的主题再进一步用自己的术语来重述一下:开发地质工作的主要任务是进行油藏描述,储层描述则是油藏描述的核心。油藏描述的任务就是揭示油藏的开发地质特征。

(2)任何地质体都是在地质历史中,在一定的空间里,经历各种地质作用而形成的。因此总可以从宏观到微观,分成不同层次来观察、分析它。油藏也不例外,油藏开发地质特征可以而且必须从宏观到微观分成不同层次来描述。这不只是一个学术讨论问题,也是一个非常实际的工作方法问题。不同层次的开发地质特征对油藏开发过程的影响不同。一般来说,随着油田开发的逐步深入,油藏开发地质特征的研究也总是需要从宏观向微观的层次深入。

目前对储层非均质性的层次(Scale)(或称尺寸,或称规模)讨论较多。有相对分为巨观(Megascopic)、宏观(Macrosopic)、中观(Mesosopic)及微观(Microscopic)的;有直接以实际规模命名的,即油田规模、砂体规模、单层规模和孔隙规模;也有为突出井间预测是储层非均质性描述的主要难点,在油田规模之下设定一个“井间规模”的;还有从直接与开发措施联系的角度来划分层次,即层间非均质性、平面非均质性、层内非均质性和孔隙非均质性。这些大同小异的分法可随实际工作需要而选择或调整,但分层次描述储层总是必须遵循的准则。

(3)油藏开发地质特征的具体内容总在不断扩大和深化。随着油田开发的深入和开发技术的不断提高,总会有一些目前还未认识到的影响油藏开发的新地质因素被不断揭露,需要开发地质家与油藏工程师去及时发现和有预见地进行超前研究。如引起储层伤害的是否仅是已经认识到的几类黏土矿物,是否还有新的伤害源?注水过程中储层内的溶解和结垢已经产生了新的问题;在室内模型实验中,早已发现纹层规模的非均质性的对水驱油效率有很大影响,但在实际油田中的作用还未被真正认识;而作为技术储备,储层沉积工作者的野外研究工作一直没有停止过。石油开发历史已完全证明,新的油藏开发地质特征被人们揭露和认识之日,将是石油采收率进一步提高之时。

5 开发地质就工作方法而论属于地下地质范畴

地下地质工作是与传统的以野外工作为主的地面地质工作相对而言的。油气藏深埋地下,除通过钻孔开采极少数露天油砂矿外,人们不可能进入油藏用地面地质工作方法直接观察和描述油藏地质特征,只能通过钻孔取得各种直接的和间接的信息来认识油藏。假如说勘探

地质还需要进行一定的地面地质工作的话,那么开发地质工作则全部依赖地下地质工作方法。强调开发地质工作这一特点的意义在于:

(1)开发地质工作从取好每个钻孔的地质资料开始。描述油气藏地质特征首先要建立起每个钻孔正确的一维地层柱状剖面。这是开发地质工作者最基本的基本功,也是从20世纪40年代到80年代的开发地质学教材都把做好“录井”(logging)工作作为重要内容的原因。各种录井技术至今还在不断发展和更新换代,可以说,开发地质工作水平的不断提高,正是依赖于录井技术的不断革新。

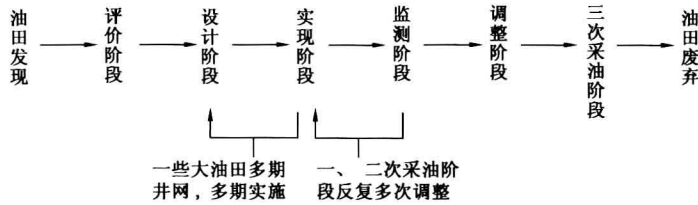
(2)开发地质工作所能涉及的油藏资料,其体积在整个油藏实际体积中,只占极微小的一部分。以全面投入开发的油藏为例,若开发井为500m规则井网,对于取心井来说,油层部分连续取出9cm直径的岩心供地质人员直接观察和分析鉴定,这部分岩心体积只占这口井所控制的油层体积的 $10^{-7} \sim 10^{-8}$;“假如以供分析鉴定的岩心柱塞(直径一般3cm)而论,它只占所要认识的油层体积的 $10^{-9} \sim 10^{-10}$ 。这意味着,在现有技术条件下,开发地质工作者只能依赖亿分之一这样极少部分油藏体积的信息,对整个油藏作出推理和预测。更何况岩心这样的直接信息只能在极少数井孔中取得,大量的井孔信息是间接信息。因此开发地质工作者需要依赖石油地质学、沉积学、岩石矿物学、构造地质学等基础地质理论,以及积累大量的油藏、储层实例知识,是不言自明的。近年来,提倡开发地质工作者重返露头,进行精细的储层露头研究和测量,正是为了从对露头的描述中,积累各种沉积类型储层的原型模型,以指导对地下储层进行推理和预测的地下地质工作。

(3)要广义地理解油藏描述。“油藏描述”这一术语是“Reservoir Description”的直译。实际开发地质工作中,应该广义地理解油藏描述,即包括描述(Description)→解释(Interpretation)→预测(Prediction)三大部分内容。对很少一部分体积的油藏进行描述以后,必须从这些现象中对油藏地质从成因上、规律性上作出合理的解释,然后才能对未知部分作出合乎实际的预测。这一全过程,不论你自觉不自觉,实际工作中都是这样进行的。自觉地去执行这一规则,当然会取得更好的效果。假如把油藏描述只理解为井孔剖面的测井解释,则更属片面之见了。

6 开发地质认识油藏必须分阶段地逐步渐进

开发地质工作主要依赖钻孔去认识油气藏,钻孔所能揭露的只占其体积的极少部分,然而在油气田开发中,布井又是主要工作内容。建设一个油田,钻井费用一般占投资的50%~60%左右;开发井网的合理布置,是一个油田开发设计的核心部分;而井网的合理布置,又依赖于对油藏开发地质特征的正确认识。认识油藏必须依赖钻井,合理布井又必须依赖对油藏的认识,这是油田开发地质工作者所遇到的一对特殊矛盾。这一矛盾决定了油田开发地质工作以及油田开发工作必须分阶段地逐步渐进,实践一步,认识一步,再实践一步,再深化认识一步。如此反复前进,逐步完善对油藏的认识,也逐步完善油田开发工作,提高采收率。急于求成,企图一蹴而就,只能给油田开发工作带来很大损失。

油田开发的阶段性早已被人们认识,而且已形成一些基本做法,国内外大同小异,尽管名称叫法有所不同。根据我国大中型油田开发的实践,从油田发现以后,油田开发一般分为以下一些阶段:



每个开发阶段,开发地质工作的任务是充分利用本阶段所取得的油藏资料信息,对油藏开发地质特征作出现阶段的认识和评价,目的是为后一阶段采取什么样的开发措施提供地质依据。工作的优劣或成败,以后一阶段所实施的开发措施结果的优劣或成败来检验。当然开发措施的成败不单单取决于所依据的对油藏地质特征认识的正确程度,还受制于措施本身是否得当。但从开发地质工作本身完全可以这样说:通过后一阶段实施增加了一定数量的油藏地质资料信息后,加深了对油藏地质特征的认识,正是检验前一阶段开发地质工作优劣成败的标准。前一阶段对一些关键油藏地质特征作出的判断和预测,与后一阶段实践后的认识符合程度愈高,说明前一阶段开发地质工作的成功率愈高。绝对符合一般是不可能的,然而在关键问题上不犯不可改正的错误,则是完全应该的。

新的开发阶段,对油藏地质特征的认识向前推进了一步。但此时,又要为更后一个阶段采取开发措施,在更深、更细的尺度上进一步预测油藏地质特征,保证后一阶段开发措施的成功。新的开发措施实施,取得更丰富的油藏地质资料信息后,再来检验、修改和提高对油藏的认识。

开发地质工作就是如此随着开发阶段的推进,逐步加深对油藏的认识,但绝不是等待资料积累,以“事后诸葛亮”的被动方式去完成。正因为每个阶段的工作都必须为后一阶段的开发措施承担某些推理和预测的风险,促使开发地质工作者要主动积极地去推进这一认识过程,以保证油田开发顺利前进。

一个成熟的开发地质工作者,总是能自觉地运用这一规律,不仅能在每个开发阶段的转变中把握好加深认识油藏的关键,而且能把每一项细小的开发措施和资料积累的活动自觉地作为一次小的“实践—认识”的过程,抓住重点,敏锐地发现问题,举一反三,以点带面,不断地提出问题,修改认识,把周期较长的开发阶段,分解成很多更短周期的“实践—认识”的反复,这样不仅可以掌握整个油田开发过程的主动权,不犯或少犯认识上的错误,而且还可以加速认识油藏的进程。譬如在评价阶段,每口评价井的完成,每口井钻探过程中每一项地质资料的积累,都是开发地质工作者反复认识油藏的机会。再譬如油田投入注水开发以后,少数井注入水的提前突破,可能会引起对储层某一项非均质性的重新认识。

7 开发地质资料的采集依赖多种技术手段的综合应用

发展各种技术手段,扩大其采集油气藏地质信息的内容并提高其精度,一直是石油地质工作赖以发展的重要基础之一。勘探地质和开发地质工作都如此,只是所侧重的内容和精度要求有所不同。一般来说,开发地质要求内容更多,精度更高。

石油工业发展到今日,在现代高新技术的推动下,采集油气藏地下地质资料的技术手段日新月异,但就资料类别而言,仍不外乎三大类:地质的、地球物理的和工程的。从所采集的资料性质上,则又有直接的和间接的、静态的和动态的之分。一种技术手段只能从某些侧面了解地

下油气藏,而且各种技术在采集资料的质量上和经济可行性上(即可获得的数量上)既有很大差别,又存在相互补充、相互刻度的关系,因此,在各个开发阶段怎样扬长避短,发挥各种技术的作用,综合应用好各种技术手段,经济合理地安排好资料录取部署,以保证该阶段齐全准确地采集到必要的油气藏地质信息,这同样是开发地质工作者很重要的任务和必备的基本功。

地质录井是当前直接获取油气藏开发地质特征信息的主要手段,其中最重要的是岩心录井。油气藏进入开发阶段以后,钻取含油气层段岩心是必不可少的一环,这里强调的是一定要取全一个完整的连续的含油气层段柱状剖面,既包括储层,也要包括隔夹层及其他非储层。这是直接观察、描述各种地质、沉积、含油气现象无可替代的资料。我国陆上油田开发实践表明,只针对储层间断取心的做法,在还没有确定开发是否可行以前的评价阶段是可取的,一旦决定投入开发,一个完整连续的含油气层段岩心剖面是必不可少的。不仅很多地质、沉积现象必须在连续剖面上才能全面综合分析,开发地质最基础的油层详细对比所依赖的对比标准层(标志层)往往是非储层,而且隔夹层性质、产状和分布也是影响开发过程的重要因素,特别是采用注水和其他三次采油方法时。大庆油田随着采油工艺技术的发展,根据极薄油层的挖潜需要,对隔层的岩性、厚度要求不断地降低标准,吉林扶余油田早期套管大量损坏是膨胀性泥岩层所致等,是很有说服力的经验教训。

为了取得完整的连续剖面岩心,大庆油田的经验还告诉我们提高岩心收获率是关键。90%~100%收获率的岩心,其地质应用效果是低收获率的同样长度岩心根本无法比拟的。

岩心提供岩样进行分析、测试、实验,以取得各种静态和动态储层参数。很多参数目前还只能通过岩心样品得到,别的技术无法代替。实际工作中,对岩心分析内容、样品规格、取样密度等都形成了一定规范要求,对此不赘述。这里只想指出一点,根据大庆的经验,我们曾提倡过必须取得“大量的齐全准确的”第一性资料,而“大量的”被理解为“愈多愈好”,这是片面的。随着高新技术的发展,测试实验仪器发展很快,费用也相应增加。一个优秀的开发地质家,应该是经济合理地选择测试实验内容和数量,以最经济的资料数量,来最大限度地满足油藏描述需要。

近年来,无损伤的岩样测试技术的发展,如层析成像(CT)、核磁共振成像(NMRI)等,将会在节约岩心、提高数据的同一性等方面发挥重要作用。

地球物理测井是当前获取开发井井孔所钻遇的储层资料信息最为普遍应用的手段。众所周知,不可能每口开发井都取岩心,绝大多数开发井仅有地球物理测井资料可供应用。地球物理测井是用各种仪器测量岩层的电、声、放射性等物理参数,所测得的属于储层的间接资料,通过解释模型反演得到储层地质参数。由于测井技术上的限制,反演中的多解性,以及油气藏地质条件的多变性,用地球物理测井资料反演储层地质参数时,其解释方法和解释模型经常具有“地方性”,所以必须通过本油田岩心取得的直接资料作为刻度或检验,这是开发地质工作者应用地球物理测井资料时必须注意的。近年来,成像测井技术迅速发展,已可直接通过测井获取井筒的部分地质现象,测井获得的信息已不再完全属于间接资料。但最常用的大部分关键开发地质参数,如孔、渗、饱等,测井技术目前还不能直接采集,仍然还必须借助岩心资料标定。

以三维地震为基础的储层地震的兴起,为储层描述提供了一项重要的新的间接资料。储层地震目前存在的主要弱点是纵向分辨率较低。在采集上没有根本解决这一问题之前,通过纵向分辨率较高的测井信息的约束和刻度标定,可以在一定程度上提高分辨率,在一定的开发