

● 中国地质大学资助“211工程”建设重点资助
● 石油工程专业建设基金、油气田开发工程学科点建设基金资助

石油工程专业系列教材

石油开发地质学

谢丛姣 蔡尔范 关振良 编著



中国地质大学出版社

中国地质大学“211 工程”建设重点资助

石油工程专业建设基金、油气田开发工程学科点建设基金资助

石油工程专业系列教材

石油开发地质学

谢丛姣 蔡尔范 关振良 编著

中国地质大学出版社

内 容 提 要

本书重点介绍油气藏的开发地质分类、油气藏开发程序、油气藏驱动方式和开发系统、注水开发油田的主要技术决策、油气藏开发动态监测和油田开发规划方案设计。

本书是为地质院校石油工程专业的学生编写的,为本专业大学生及研究生考试指定用书,也可供资源勘察工程、油气井工程、采矿工程等专业以及现场从事油气田地质、油藏工程、石油物探的专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

石油开发地质学/谢丛姣,蔡尔范,关振良编著. —武汉:中国地质大学出版社,2004.9
ISBN 7-5625-1937-4

I. 石…

II. ①谢…②蔡…③关…

III. 石油-开发-地质

IV. P618

石油开发地质学

谢丛姣 蔡尔范 关振良 编著

策划:张晓红

责任编辑:张晓红

责任校对:胡义珍

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路388号)

邮编:430074

电话:(027)87482760

传真:87481537

E-mail: cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

<http://www.cugp.cn>

开本:787 mm×1092 mm 1/16

字数:292千字 印张:11.375

版次:2004年9月第1版

印次:2004年9月第1次印刷

印刷:中国地质大学出版社印刷厂

印数:1—1 000册

ISBN 7-5625-1937-4/P·629

定价:22.50元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前 言

本书是在原《油(气)田开发地质学》的基础上,贯彻执行国家教委关于压缩专业课学时数精神,在新一轮教学大纲和教学计划指导下,重点吸收最新科技成果和各大油田的开发实践经验改编而成的。中华人民共和国教育部高等教育司 1998 年 7 月颁布的《普通高等学校专业目录和专业介绍》中规定,《油气田开发地质学》为工学(08)、地矿类(0801)、石油工程(080102)专业之主干课程,这在 1999 年 11 月五所院校在武汉召开“面向二十一世纪石油工程学科建设研讨会”上,与会代表已达成共识。编者试图从开发地质的基本方法入手,重点分析水驱油田在注水开发过程中的各种地质效应,为油藏优化管理服务。

开发地质学是近 20 余年发展起来并逐渐成熟的一门石油地质的重要分支学科,与最初美国的迪基教授编写的《石油开发地质学》相比,内容已发生了很大的改变。就工作方法而论,它属于地下地质的范畴,但它除了研究油气藏的静态地质特征外,还需对开发动态作出地质分析。它包括油气田从发现后投入开发直至油气田废弃的全套地质研究工作,而且在不同开发时期有不同的研究方法。随着油田开发的不断深入,油田综合含水率上升,开发难度不断加大,同时也出现很多意想不到的新问题,这给开发地质工作者提出了更高的要求。因此,石油开发地质学不仅要向深度发展,更要向广度进军,要借助高科技发展技术和计算机手段,与其他学科相互交叉渗透,一方面为优化油藏开发设计、油藏工程研究以及油藏数值模拟奠定地质基础;另一方面又借助相关学科获得更多的地质信息,以深化对油藏特征的再认识,以尽可能高的采收率把油气开采出来。

本书绪论、第一章由谢丛姣编写,第二章、第三章、第四章、第五章由谢丛姣、蔡尔范共同编写,第六章由关振良编写,全书由谢丛姣统稿。本书的完成要特别感谢中国石油天然气总公司勘探开发科学研究院裘怿楠教授的热情帮助和指导,裘教授多次来信提出具体修改意见。同时,中国地质大学资源学院石油系的同仁对本书框架的确定、内容的取舍提出了很多宝贵意见,石油系 91 届~03 届的学生在学习《油(气)田开发地质学》课程中对该书的重新编写提出很多建设性的意见,在此表示衷心的感谢!

本书在审稿过程中得到了石油大学(北京)资源与信息学院的彭仕宓教授、长江大学石油工程学院俞高明教授的帮助和指导,并提出了许多宝贵意见,在此一并表示衷心感谢!

本书是为石油工程专业的学生编写的,也可供资源勘察工程、油气井工程、采矿工程等专业及现场从事油气田地质、油藏工程的技术人员参考。

由于作者水平有限,书中定有不妥之处,敬请广大读者批评指正。

笔 者

2004 年 1 月

绪 论

石油是不可再生的资源,油田开发是石油工业一个永恒的话题,油藏优化管理则是油田开发的主旋律,石油工业发展速度的快慢直接影响到我国现代化建设的进程,21 世纪的油田开发将面临更严峻的挑战。50 多年来,我国的油田开发经历了从大型背斜整装油藏到复杂断块油藏,从孔隙性砂岩油藏到裂缝性碳酸盐岩油藏,从陆相沉积岩到火山岩、变质岩油藏,从中高渗透油藏到低渗、特低渗油藏,从稀油油藏到稠油、高凝析油油藏等多姿多彩的实践过程。在长期的开发实践中,开发地质学不断地由静态到动态,由宏观到微观,由定性到定量方向发展,逐渐形成了一门比较成熟的学科(裘怿楠,1996)。

开发地质学是油田开发深入发展的产物,随着油田开发技术的发展而发展。

现代石油工业若从 1859 年算起,已有 140 多年的历史。早期的石油勘探开发以地质学家为主体,油气田发现以后交由石油工程师管理开采,地质学家不参与石油开采活动。美国石油地质家协会(American Association of Petroleum Geologists)与石油工程师协会(Society of Petroleum Engineers)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,这也是由当时的石油开采水平所决定的。

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,是所谓的“掠夺式开采”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,两年内打了近万口采油井,到了 1940 年在 560km² 的含油面积内钻成了 26 000 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的办法来保护油田的生产,油田开发转入了“保守开采”阶段。20 世纪 30 年代以后,由于井深增加,钻井费用加大,井距也逐渐放大,并认识到地质上和能量上为统一体的油藏,其钻井数目和井网密度并不影响最终采出油量(Logigan, 1979; Parke, 1979)。

20 世纪 40 年代,污水回注给油田开发带来了一次历史性的革命。注水开发要解决的基本问题首先是储层连续性和连通性问题,其次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了注水开发效果。这两个问题的解决突破了“笼而统之、大平均”的传统地质工作方法。这两大问题仍然是当今开发地质、油藏描述、储层地质在不同尺度、不同精度上要解决的主要问题。

20 世纪 50 年代,注水开发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。

开发地质学的出现以前苏联的米尔钦克于 1946 年出版的《油矿地质学》和美国里诺 1949 年出版的《地下地质学》为标志。后者更多地侧重于资料录取和建立钻井地质剖面的方法;前者更具创立开发地质学的代表性。从 1975 年马克西莫夫编写的《油田开发地质基础》来看,前苏联的开发地质学比较成熟,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迪基完成(Jordan 等,1957; 闵豫,石宝珩,1984)。

20 世纪 60 年代,我国的开发地质学继续发展并成熟起来,这应归功于大庆油田的成功开

发。油田的决策者在总结前苏联和我国的玉门油田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。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利用测井资料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。

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。最具代表性的是将沉积相分析技术引入到储层研究中,储层地质学已初露端倪。

20世纪80年代,现代高新技术的飞速崛起,促使开发地质学进一步向更高更深层次发展。石油资源重组,计算机技术的发展,数学与地质的完美结合,分形、混沌学等非线性数学新理论和方法的出现,为描述地质现象提供了最新式武器,地质统计学的兴起与应用就是最好的体现。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学、开发地震学,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地前进了一步,也由单一的地质学科走向了与地球物理、油藏工程、采油工程等多学科的协同(synergism)和综合(integration)的道路。

20世纪90年代,开发地质学又有了新的飞跃。1985年由美国能源部主持的第一届国际储层表征会议就是以油藏描述为核心,探讨开发过程中储层动态变化特征。长期以讨论石油地质勘探技术为宗旨的著名刊物AAPG,也以1988年11月为开发地质专刊,大声疾呼“还储层地质以本来面貌”,此后每年的11月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。

21世纪的油田开发,将以动态的观点对待油藏描述。开发过程中油藏系统的变化将得到深入的研究,这将有力地指导高含水期以后的油田开发。以此为契机,许多目前开发效果不理想的油藏,开发效果将会得到根本性的改善;许多目前难以开发的油藏、边际油藏将会得到有效的开发。根据现有的工艺水平,当所有已经采油的油藏枯竭时,也只能采出三分之一的地质储量,最多也只能采出一半,剩下的一半还留在地下,这是21世纪油田开发要解决的根本问题。21世纪,三次采油将成为普遍工业性应用的主导开发方式,并且首先在油田注水开发进入后期的大批油藏中实现(陈淦,1997)。21世纪油藏的开发,必将使三次采油的早期应用逐步成为现实。

19世纪的油田开发主要是利用油气藏的天然能量进行一次采油,由于工业技术水平较低,油田开发带有“掠夺式”的色彩,大部分油藏的采收率达不到10%。20世纪发展起来的注水开发为二次采油,被称为是一次“历史性革命”,油田注水开发获得了较高的采油速度,采收率可达30%。国外把三次采油分为热力采油、混相驱和化学驱三大类,微生物采油技术20世纪末已有所发展,三次采油无疑是油田开发的又一次历史性革命,可以大胆预言,三次采油将成为21世纪普遍工业性应用的主导开发方式。

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(sound reservoir management)为标志,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

上来讲,预测各种开发方式下的油田生产动态研究包括 6 项内容:

- 资料采集(data acquisition);
- 油藏描述(reservoir description);
- 驱替机理(displacement mechanism);
- 油藏模拟(reservoir simulation);
- 动态预测(performance prediction);
- 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,正确描述油藏开发地质特征。油藏开发地质特征很多,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所不同。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。二者的分工(表 1)萌芽于 20 世纪 50 年代,到 70 年代已相当成熟。这一分工主要强调勘探地质与开发地质的研究目的和研究内容不同,实际工作中,勘探地质的成果总是服务于开发地质,并成为其基础工作。

表 1 勘探地质与开发地质的分工

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, 油气藏的分布规律	油气藏内油气水分布,开发过程中 影响流体运动的地质因素
研究层次	全球地质→油气藏	油气藏→流体流动单元

根据我国注水开发的实践,石油开发地质学须解决的九大地质问题是:

- (1) 储层构造形态、倾角,断层分布及其封闭性,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;
- (3) 隔层的岩性、厚度及空间变化;
- (4) 储层内油、气、水的分布及其相互关系;
- (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、温度场等;
- (7) 水体大小、天然驱动方式及能量;
- (8) 油气储量;
- (9) 与钻井、开采、集输工艺有关的其他地质问题。

本书围绕这九大问题分六章重点介绍了油气田开发地质分类、开发阶段划分、天然驱动类

型、注水开发油田的主要技术决策、油气藏动态监测和油气田开发规划方案设计。油气田开发是一个系统工程,在油气田开发总系统工程中,开发地质是中心环节,它涉及到油气田开发的全过程,是油田开发的灵魂(图 1)。

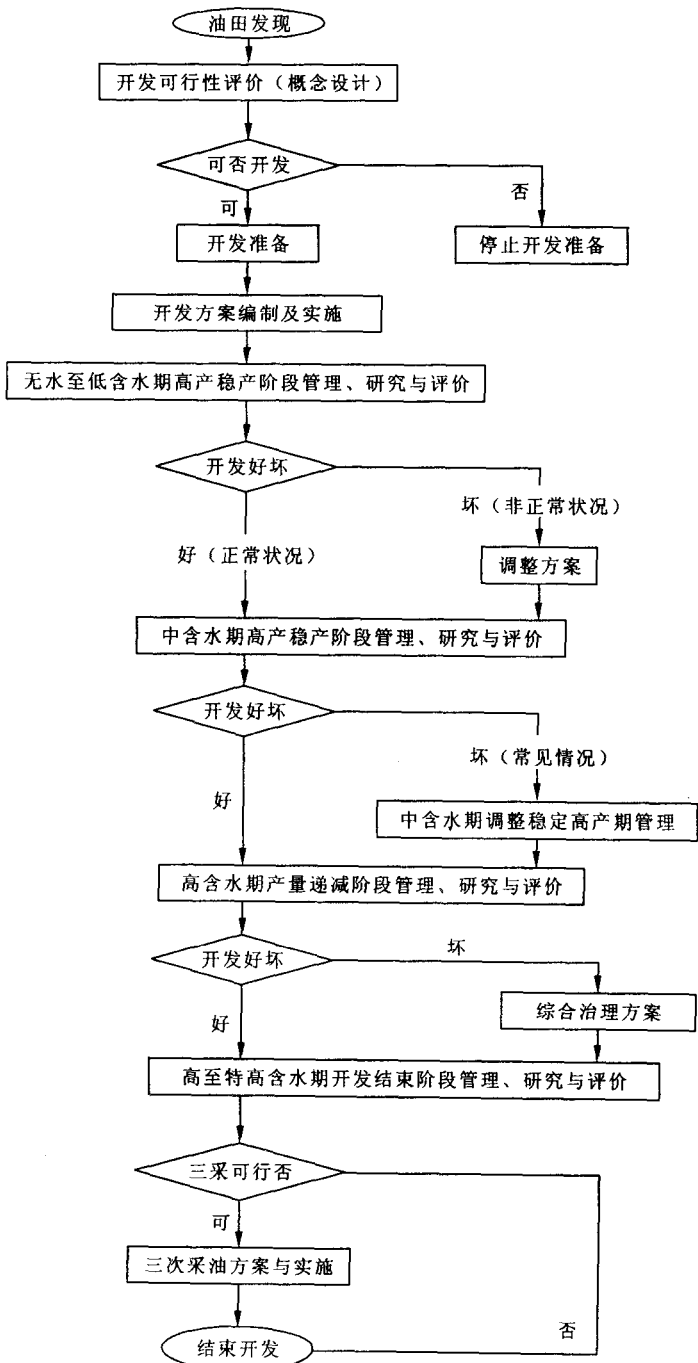


图 1 油气田开发地质工作系统工程

油气田开发地质特征研究是石油工程研究工作所不可替代的,但它需要其他相关学科交叉渗透,互为补充。石油地质学是基础,测井地质、储层地质、油藏描述、油藏工程是手段,油层物理与渗流力学、地下地质学是先修课程,油藏数值模拟、提高采收率、钻采工程则是石油开发地质学的延续,多学科的协同与综合将会给开发地质一个广阔的前景,油气田开发地质学将在 21 世纪得到进一步的发展。

目 录

第一章 油气藏的开发地质分类.....	(1)
第一节 概述.....	(1)
第二节 按油藏的几何形态及边界条件分类.....	(5)
第三节 按所储流体性质分类.....	(7)
第四节 按流体储集渗流特征分类	(11)
第二章 油气藏开发程序	(15)
第一节 开发地质研究的对象	(15)
第二节 油气藏设计和开发的阶段性	(22)
第三节 油田开发次序	(35)
第三章 油气藏驱动方式和开发系统	(39)
第一节 天然驱动类型	(39)
第二节 油藏开发系统	(51)
第三节 气藏开发系统	(53)
第四章 注水开发油田的主要技术决策	(58)
第一节 开发层系的划分与组合	(58)
第二节 注水方式的选择	(81)
第三节 合理井网密度的选择	(98)
第四节 压力梯度.....	(117)
第五章 油气藏开发动态监测.....	(120)
第一节 对产量、含水率、注水量的监测.....	(120)
第二节 对油藏压力的监测.....	(124)
第三节 对井和地层温度的监测.....	(136)
第四节 开发过程中对流体性质变化的监测.....	(142)
第五节 对流体界面的监测.....	(144)
第六节 对开发层系波及程度的监测.....	(151)
第六章 油田开发规划方案设计.....	(155)
第一节 开发规划方案编制技术的发展.....	(155)
第二节 油田开发规划方案的基本内容.....	(157)
第三节 油田开发规划方案优选.....	(160)
参考文献.....	(168)

第一章 油气藏的开发地质分类

油气田开发地质学是指油田从投入开发直至开发结束全过程的地质研究工作,它是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。开发地质既要早期识别油藏特征、深入描述油气藏,又要初步预测油气藏开发动态特征,针对不同类型、不同性质的油气藏分别描述。因此,需要对油气藏进行开发地质意义上的分类。

第一节 概述

一、油气藏开发地质分类的意义

20 世纪以来,中外地质学家对油气藏的分类大致有按油气藏的形态分类和按油气藏的成因分类两大派别。如石油地质学家对油气藏的分类绝大多数是以油藏的圈闭条件、聚集条件及分布规律为主要出发点,从成因上进行分类,其目的是为石油勘探发现新油气藏服务,与油田的开发条件和开发特点联系较少。对合理开发油气藏来说,原来的圈闭成因分类已不再适应要求。因为它没有充分考虑油气藏的天然能量、油气水分布特点、流体性质等因素,对油田开发指导意义不大。随着人们在开发中对油气藏的认识程度不断深入,逐步总结出各类油气藏的地质特征和开采特点,提出了各种开发地质分类方案。油气藏的开发分类可以有效地指导油田合理地进行开发设计,有针对性地对同一类油气藏进行开发,或以此为借鉴,为开发同类性质的油气藏提供宝贵经验,进一步增产挖潜,最大限度地提高原油采收率,以保证油田开发取得最好的经济效益。

二、油气藏开发地质分类方案

油气藏分类的方法很多,从不同的角度、不同的目的出发,可以得出不同的油气藏分类结果。例如按圈闭的成因可分为背斜油气藏、断块油气藏、岩性油气藏、复合油气藏等。若按烃类相态来分类,又可分为气顶油藏、凝析油藏、气藏等。若按油气储量规模来分类,可分为巨型油气藏、大型油气藏、中型油气藏、小型油气藏等。为油气田开发服务的油气藏分类方案应以油气藏的开发地质特征为主要分类依据,与上述分类应有较大的区别。

油气藏的开发地质分类原则应以能充分反映和影响开发过程,从而影响所采取的开发措施的油气藏地质特征为原则,使其划分的油气藏类型既有科学性,又具实用性,能概括地反映油气藏总体的地质特征,有效地指导油气藏的开发。

由于控制和影响油气藏开发过程的地质因素很多,分类时既不能随意命名引起混乱,又不能考虑太细,过于繁琐。以下是最常见的几种分类方案。

1. 欧美石油地质学家的分类

美国和前苏联的油藏工程师如麦斯盖特、克雷洛夫考虑油田开发的天然驱动能量把油藏分为水压驱动、气压驱动、重力驱动、弹性驱动和溶解驱动等几类,这一分类方案在主要利用天

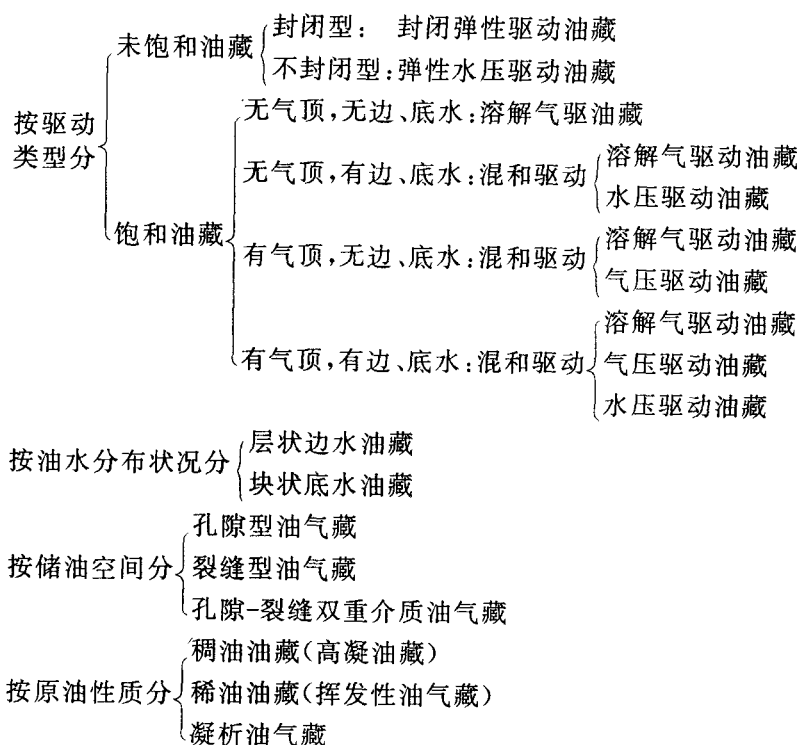
然能量采油阶段具有一定的代表性,但也是不完善的,因为一个油藏普遍存在两种以上的天然驱动能量,而且开发过程中,起主导作用的驱动能量还会发生转化。因此,在目前各种人工作用和改善油田开发效果的措施日益被采用的情况下,这种只考虑天然驱动能量的分类方法显然不能适应当今形势的要求。

2. 我国油藏的开发地质分类

1981年闵豫在“油田开发地质学与油藏研究”一文中论述油藏研究的六项内容,首次提出了按开发特点进行油藏分类的方案。

1982年林志芳等在“我国油藏的类型和开发特征的初步研究”一文中将我国已有的油藏分为7类:① 中高渗透率多油层油藏;② 低渗透率油藏;③ 块状砂岩底水油藏;④ 稠油油藏;⑤ 裂缝孔隙型砂岩油藏;⑥ 裂缝性非砂岩油藏;⑦ 气顶油藏和凝析气顶油藏。

在此之前的分类可归纳为以下几种:



以上分类均只立足于单因素,不能全面反映一个油藏的完整地质特征。

1983年,裘怿楠等在“我国油藏开发地质分类的初步探讨”一文中提出适合我国陆相湖盆沉积特点的分类方案,一共为7大类,见图1-1。

分类依据有4点:① 储层特点;② 原油性质;③ 油、气、水分布;④ 裂缝发育状况。

该分类方案首先考虑储层特点,把碎屑岩储层分为5类,作为5大类油藏,即:

I. 河流-三角洲沉积体系的砂岩储层油藏:具体可分为河流砂体(陆上)和三角洲前缘砂体两类。

II. 冲积扇-扇三角洲-浊积扇沉积体系的砂砾岩储层油藏。

III. 三角洲间湖湾沉积体系的席状砂岩油藏(包括伴生薄层碳酸盐岩油藏)。

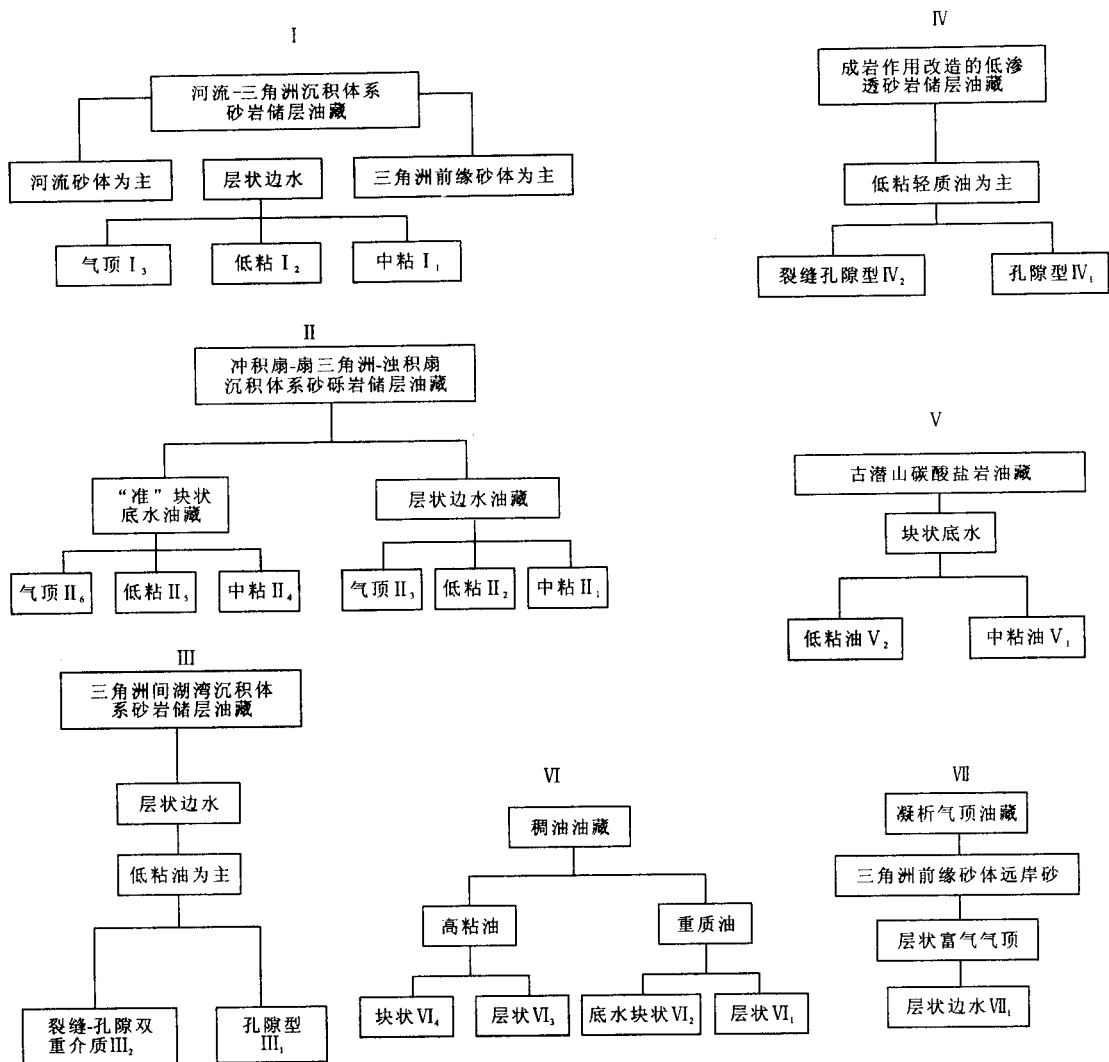


图 1-1 我国油藏的开发地质分类(据袁祚楠,1983,修改)

IV. 成岩作用改造的低渗透砂岩储层油藏:砂岩经较深成岩作用改造以后,其原生孔隙大量损失,次生孔隙可能成为主要储油空间,裂缝也随岩性致密而更加发育。

V. 古潜山碳酸盐岩油藏:孔洞缝储油,基岩块为碳酸盐岩。

其次,考虑原油性质,又分出两大类。即:

VI. 稠油油藏: $\mu_o > 20\text{mPa} \cdot \text{s}$ (该界限与“储量规范”中划的界限不同)。

VII. 凝析气顶油藏:具有凝析气顶的油藏。

在上述 7 大类基础上,根据油藏其他地质因素,考虑自然组合,进一步划分出若干亚类。结合我国陆相含油气盆地油气藏的实际特点,将 7 大类划分成 20 个亚类,各主要亚类地质特征见表 1-1,我国部分油藏分类命名见表 1-2。

表 1-1 主要亚类油气藏开发地质特征比较表

油藏类型	储层特点						原油性质	边底水	油藏实例	备注
	岩性	物性	孔隙结构	几何形态	层间、层内非均质性	砂层形状及叠置关系				
I ₁	砂岩	高孔隙, 中、高渗透率	较好, 规则	条带规模小	层间及部分层内严重非均质性	层状, 砂泥互, 多层	中粘、高含蜡、高凝	边水不活跃, 油水系统规则	萨尔图、胜坨油田	包括主要的大油田
II ₁	砾岩	中孔隙, 中渗透率	复杂, 不规则	小叶状体或条带	层间、层内非均质严重	多层、厚层状、砂砾岩与泥岩交互	中粘、高含蜡、高凝	边水不活跃, 油水系统规则	克拉玛依、辽河油田、双河油田	
III ₁	砂岩、生物灰岩	低、中孔隙, 中、高渗透率	好	席状	弱	薄层状, 层次很少	低粘	边水不活跃	兴隆台油田沙一中第四组	部分粘度较高, 但在同一构造带内仍属相对较轻质, 高产, 占储量很少
IV ₁	胶结致密砂岩、碳酸盐岩	低孔隙, 低渗透率	复杂, 不规则, 次生孔隙发育	条带砂体	中等	层状砂、泥互, 多层	低粘	边水, 油气过渡段(带)长(宽)	马岭油田	低产
V ₁	变质岩等	低孔隙率, 低渗透率	孔缝洞双重介质型, 复杂不规则	以圈闭连片	局部有成层性	块状	中粘, 溶解气少	底水活跃	任丘油田	少部分变质岩储层, 无边、底水
VI ₁	疏松砂砾岩	中孔隙, 中渗透率	复杂, 不规则	小叶状体或条带	层间、层内严重非均质性	厚层状砂泥互, 多层	重油, 高胶质沥青质	边水不活跃	克拉玛依油田东二区	
VII ₁	疏松砂岩	高孔隙, 高渗透率	较好, 规则	条带	层间、层内严重非均质性	层状、砂泥互, 多层	高粘、低凝	边水较活跃(砂层连通较好时)	孤岛油田	多数为次生油藏
VIII ₁	细砂、粉砂岩	中孔隙, 中渗透率	差, 规则	席状条带	弱	层状, 砂泥互, 多层	低粘	边水不活跃, 气顶能量大	板桥油田	

表 1-2 我国部分油藏开发地质分类命名

油藏名称	简单命名	详细命名
胜利胜坨油田	砂岩油藏	高饱和和边水层状砂岩油藏
河北任丘油田	碳酸盐岩油藏或双重介质碳酸盐岩油藏	低饱和和块状底水双重介质碳酸盐岩油藏
吉林扶余油田	低渗透油藏	带裂缝砂岩低渗透率油藏
辽河双台子油田	砂岩油藏	带凝析气顶层状砂岩油藏
辽河高升油田	稠油油藏	带气顶块状底水稠油油藏
辽河静安堡油田	高凝油藏	边水层状砂岩高凝油藏
新疆克拉玛依油田	砾岩油藏	边水层状低饱和和砾岩油藏

三、分类方案的改进

上述分类方案都是以 20 世纪 80 年代初期我国已发现的油藏为对象, 因而许多类型的油藏不可能被包含在当时的分类方案之中, 如高凝油藏、挥发性油藏等。更主要的是上述分类把有可能在一个油藏中同时存在的不同性质并列起来归为两大类, 而同一油藏又可以分入不同

类中,造成同一类油藏的开发动态特征和开发方法可能会完全不同,这样就失去了按开发特点进行油藏分类的目的和意义。因此需要对上述分类方案加以改进。

影响油田开发的因素很多,而且有主有次,并非每个因素对每个油田都起作用,因此,任何并列式的分类不是包括不全就是分类太多陷入烦琐哲学。为了解决这一矛盾,我国具有丰富的油田开发实践经验的学者唐曾熊(1996)提出了一个关于油气藏开发的分类评价系统,其核心是根据组成油藏的几何形态及其边界条件、储集及渗流特性、流体性质这三个独立的因素出发,对不同的因素进行分类描述。但并不是只按这三大特征分类就可以有相近的油田开发部署和类似的油田动态特征,而是按此系统逐级逐步描述,然后进行开发部署,下面按改进的分类方案分别对油藏进行开发地质分类。

第二节 按油藏的几何形态及边界条件分类

油藏的几何形态是油藏最直观的外部特征,但不能用一个定量尺寸来描述它,只能用其边界条件和几何尺寸在开发中的作用来加以区别。其中边界条件特指非渗透性岩体(层)圈闭、气顶和底水。油藏按几何形态及边界条件可分为块状油藏、层状油藏、透镜状油藏和断块油藏四类。

一、块状油藏

块状油藏为厚度大、面积与厚度比相对较小的油藏。

从油田开发意义上讲,块状油藏的边界条件很重要,尤其是下部边界。如果油藏下部边界全部是底水,或从平面投影图上看气顶和底水覆盖了整个油藏面积的绝大部分,油藏内部又无连续性好的隔层,或隔层已被发育的垂直裂缝所贯通,这类块状油藏在开发过程中,整个油藏与气顶或底水形成一个统一的水动力学系统。块状油藏的重要特征是存在底水,底水能量及底水锥进条件是块状油藏研究的重点。

块状油藏可按下述三个方面进行早期识别:

1. 预探井的各种录井资料、测井资料

块状油藏一般有连续的较厚的储层,如连续的孔隙性碳酸盐岩或渗透性砂岩剖面,油水界面出现在储层中,而不是被隔层分开的独立的油层和水层。砂岩含油井段中缺乏属于稳定沉积类型的泥质岩层,碳酸盐岩储层中缺乏厚的纯石灰岩或纯泥灰岩夹层;或者是储层为裂缝型或裂缝孔隙型,储层与夹层中有发育的劈理和垂直裂缝,测井解释在含油井段有明显和普遍分布的裂缝显示。

2. 地震资料解释成果

地震资料与预探井资料的结合是区分油藏几何形态的最重要手段。块状油藏在地震剖面上的显示是单一岩性的储层段内部反射波少,而高度大、面积小的古潜山及礁块等圈闭则有明显显示,少数油田可见反映油、水界面的平点展布整个油田。

3. 预探井的试井资料

预探井的试井资料除确定油、气、水层及产能外,就是进行探边测试和压力系统的确定。块状油藏有相当大的底水能量补充,在压力恢复曲线上表现为无限大地层的反映或高压边界的反映。

通过以上三方面资料的综合研究,对油藏几何形态分类有了初步判断,但预探井得出的结论还需评价井的资料进一步确认,评价井完钻后还要进行各种资料的综合研究,以便得出正确的认识。

二、层状油藏

与块状油藏相比,层状油藏的厚度相对较小,面积相对较大,油藏的上下边界是不渗透的岩层,而不是气顶和底水,这种不渗透岩层形成的油藏上、下部边界内的重叠部分占油藏平面投影面积的50%以上。

层状油藏的储层展布面积通常比较大,但由于我国油藏以陆相湖盆沉积形成的储层为主,在整个油田全面分布的层状储层为数不多,因此容易与透镜状油藏相混淆。二者的区别在于:如果在经济极限井距下,能形成较完整的注采井组就是层状油藏,否则就是透镜状油藏。

层状油藏的识别也可以从三个方面的标志来寻找。

1. 预探井的各种录井、测井资料

层状油藏一般为储层与非储层交互分布,最典型的是砂泥岩剖面,砂泥所占的比例比较接近,油气水关系简单,上气中油下水按重力分异,油气水层由非储层隔开。

2. 地震资料

层状油藏在储层段为砂泥岩剖面,地震剖面在此段内反射波明显,呈连续平行的波状结构。

3. 试井资料

层状油藏见不到明显的边界反映或只有单一的边界反映。多油层油藏要应用重复式地层测试仪(RFT)测得整个含油层系的压力系统,层状油藏如果各处油水界面深度相近,其各层原始压力与深度关系的斜率在数值上应相当于地下原油密度,其高部位油层的压力系数一般大于1。

层状油藏比较常见。这类油藏的开发要注意边水和气顶问题,最重要的还要注意各油层的层间差异、平面非均质性、隔层稳定性问题,在此基础上优选出一种最佳的开发层系和采油工艺组合,而不是把层系、井网、采油工艺分割开来单独研究,这样才能获得好的开发效果,本书重点讨论的就是这类油藏的开发地质特征。

三、透镜状油藏

透镜状油藏大部分是以岩性圈闭为主的油藏。储层分布不连续,单个储集体分布面积小,在经济极限井距下不能形成完整的注采井组。这类油藏的大部分储量只能依靠弹性驱、溶解气驱和重力驱等天然能量开采,因此产量递减快,采收率低。

透镜体油藏的特点是各个小储油体形成独立的油气系统,一般由数量很多的微型油藏组合而成,单个油藏的油柱高度往往都很低,在微观孔隙半径分布比较分散(毛管压力曲线没有平台)的情况下,会出现许多油水同产层,而层内无明显的油水界面。透镜体油藏一般高产期很短,由于泥多砂少,含油井段又长,通常是自下而上分段射开,逐层上返式投入开发,当产量低于经济极限后就上返开采新层,总的采收率一般为10%~20%。

透镜状油藏的识别方法有:

1. 预探井的各种录井、测井资料

从岩性上看,透镜状油藏以泥质非储层为主,储层分布在相当长的井段中,探井纵向上油

气水关系复杂,具多套油气水系统。

2. 地震解释

透镜状油藏在储层段地震剖面反射波相对较稀,且很不连续。

3. 试井资料

透镜状油藏在压力恢复曲线上有多个边界反映,多油层透镜状油藏中,各层原始压力与深度关系的斜率接近于 $1\text{MPa}/100\text{m}$ 。

四、小断块油藏

小断块油藏是指那些由小的断层圈闭构成的油藏,在经济极限井距下难以形成完整的注采井组,其开发特点与透镜状油藏相似。

小断块油藏的识别方法有:

1. 测井资料

钻井资料测出的地层剖面可以识别出钻遇的地层,通过地层对比很容易判断出小断块油藏。

2. 地震资料

小断块油藏大都分布在山间盆地或断陷盆地,在拉张型断陷盆地断块构造的下降盘往往会形成断层很密集的地堑带和阶梯式的断裂带,这些断裂带中大部分油藏都属于小断块油藏。

3. 试井资料

小断块油藏在压力恢复曲线上有多个边界反映。

按油藏几何形态及边界条件分类的油藏研究重点见图 1-2。

一般来说,根据预探井阶段以及录井、测井、地震、试井资料就可以对油藏的几何形态进行确认。如果在预探井阶段还不能非常确切地判断隔层的稳定性,可借助评价井的资料进行小层对比和沉积相研究,得到关于隔层稳定性、连续性的确切成果,区分层状或块状油藏就有了充分的依据,三维地震和各井间的地层对比和断层组合可进一步了解断块复杂程度。实践证明对于我国复杂断块油田在做完三维地震之后还不能使认识达到“定量”程度,就要借助试井资料进行判断,评价井的压力恢复曲线边界特征应与预探井的基本相似。预探井由于含油井段长度不大,要准确地划出深度与原始压力关系的斜率往往比较困难;而评价井钻在油藏圈闭的不同高度部位,测压点分布的深度差异可以很大,甚至接近整个油藏的油柱高度,这样就可以更准确地确定深度与原始压力关系的斜率,区别层状或透镜状油藏就比较可靠了。总之,评价井完钻后仍要进行各种资料的综合研究,油藏几何形态分类才能得到确认。

第三节 按所储流体性质分类

油气藏所储的流体是指油、气、水,它们的性质主要包括:密度、粘度、凝固点及烃类、非烃类组分等,最简单的分类就是按密度分为石油及天然气两大类。目前国际上通用的分类是按油气藏所储流体的性质进一步细分为六类油藏。即:天然气藏、凝析气藏、挥发性油藏、常规油藏、高凝油藏和稠油油藏。