

中国
油藏
开发
模式
丛书

裂缝性潜山基岩 油藏开发模式

THE DEVELOPMENT
MODELS OF BURIED
HILL FRACTURED
BASINEMENT
RESERVOIRS

柏松章 唐 飞 编著

石油工业出版社

登录号	138775
分类号	TE344
种次号	012

中国油藏开发模式丛书

Series on Reservoir Development Models in China

裂缝性潜山基岩油藏开发模式

The Development Models of Buried Hill Fractured Basement Reservoirs

柏松章 唐 飞 编著



石油大学0142109

石 油 工 业 出 版 社

内 容 提 要

本书是《中国油藏开发模式丛书》的分类模式研究专著之一——裂缝性潜山基岩油藏。

本书全面系统地总结了我国 20 年来在裂缝性潜山油藏开发上的主要经验和基本认识,重点分析了这类油藏进入中后期开发阶段后在潜力研究和综合调整方面的最新成果和技术进展,并进行了理论与实践相结合的多学科综合研究,为此类油藏的开发建立了科学模式。

书中简要地论述了裂缝性潜山油藏的油藏类型和物理模型,重点研究了这类油藏的储集模式,提出了我国裂缝性潜山油藏的主要地质模型,为开发模式研究提供了比较充实的地质基础。

书中对裂缝性潜山油藏的开发程序、开发层系划分、井网密度及布井方式、采油速度、开发方式和注水方式,以及完井方式和投产方式等开发部署上的基本问题进行广泛深入的论证,全面总结了这类油藏开发设计上的主要作法和主要经验,为此类油藏的开发提供了理论依据。

本书可供从事石油地质、油田开发、数值模拟、矿场生产岗位的科研、技术人员和石油院校有关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

裂缝性潜山基岩油藏开发模式/柏松章,唐飞编著.
北京:石油工业出版社,1997
(中国油藏开发模式丛书)
ISBN 7-5021-1981-7

I. 裂…

II. ①柏…②唐…

III. 裂缝储集层,基岩-研究-中国

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 03427 号

石油工业出版社出版
(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)
北京普莱斯特录入排版中心印刷厂排版
北京密云华都印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 22.5 印张 8 插页 580 千字 印 1-3000

1997 年 3 月北京第 1 版 1997 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-1981-7/TE·1667

精装定价: 60.00 元 平装定价: 45.00 元

《中国油藏开发模式丛书》

编辑委员会

主 任 周永康

副主任 谭文彬 王乃举

成 员 曾宪义 沈平平 金毓荪 张家茂
周成勋 万仁溥 刘万赋 冈秦麟

《中国油藏开发模式丛书》

一、总论

二、分类模式研究

多层砂岩油藏	裂缝性潜山基岩油藏
气顶砂岩油藏	常规稠油油藏
低渗透砂岩油藏	热采稠油油藏
复杂断块砂岩油藏	高凝油油藏
砂砾岩油藏	凝析油油藏

三、典型实例

大庆萨葡油层多层砂岩油藏	东胜堡变质岩油藏
胜坨沙二段多层断块砂岩油藏	曙光古潜山油藏
王场油田潜三段多层砂岩油藏	任丘碳酸盐岩油藏
老君庙 L 层多层砂岩油藏	王庄变质岩油藏
喇嘛甸层状砂岩气顶油藏	羊三木常规稠油油藏
双台子气顶砂岩油藏	孤岛常规稠油油藏
濮城西沙二气顶砂岩油藏	
红岗萨尔图层低渗透砂岩油藏	曙光杜 66 热采稠油油藏
扶余裂缝型低渗透砂岩油藏	单家寺热采稠油油藏
马西深层层状低渗透砂岩油藏	克拉玛依九区热采稠油油藏
马岭层状低渗透砂岩油藏	
老君庙 M 层低渗透砂岩油藏	
东辛复杂断块油藏	静安堡高凝油油藏
文明寨极复杂断块油藏	小集高凝油油藏
钟市复杂小断块油藏	魏岗高凝油油藏
双河油田砂砾岩油藏	

序

早在1987年，王涛同志在大庆的一次会议上提出，我国的油田开发有着丰富的实践经验，需要总结一套油藏开发模式，以便对新油田开发和老油田提高水平做出指导。在此之后，中国石油天然气总公司开发生产局、科技发展局、北京石油勘探开发科学研究院组织了全国五十多名专家和数百名工程技术人员，历经八个年头，终于完成了这套《中国油藏开发模式丛书》的编写工作，现在就要出版同广大读者见面了。这是我国油田开发理论研究的系列成果，也是石油工业出版界的一件大事，值得庆贺！

《中国油藏开发模式丛书》包括总论、不同类型油藏开发模式专著和典型油藏开发实例三个部分。丛书共计40册，大约1500万字。它凝结着我国油田地质、油藏和采油工程科技人员的辛劳和智慧，是数十年油田开发实践中成功经验与失败教训的高度概括，从中可以窥见到中国式的油田开发工程的一些特色。

需要指出的是，在本书出版之前，石油科技信息研究所及有关油田曾经编纂出版了一套《国外不同类型油藏开发历程及工艺技术系列研究》成果，它是本丛书的姊妹篇，国外油田开发经验为《中国油藏开发模式丛书》的编著起到了借鉴作用。

前几年我曾经讲过一个认识，“抓产量不等于抓开发”。就是说油田开发有许多科学道理，有它自身的一些规律性，只有老老实实在地按照科学规律，不断提高新老油田的开发水平，才会有产量，也才会有更好的开发效益。我希望从事石油工作的同志，特别是油田开发工作者，能够抽时间读一读或者有选择地读读这套丛书，一定会得到不少的收益。成功和失败都是我们前进的基石，摆在我们石油工作者面前的路是宽广的，也是曲折的，让我们继续奋斗吧！

周永康
一九九一年八月

前 言

70年代以来,我国在胜利油田、华北油田和辽河油田相继发现和投入开发了30多个裂缝性潜山油气藏,开辟了一个新的、重要的开发领域。

我国的裂缝性潜山油藏多属于断块古潜山油气藏类型,其储层结构和驱替机理与砂岩油藏相比,具有一些本质性的区别。为了做好这类油藏的开发,仅借鉴碎屑岩油藏开发的经验和作法是不够的,还必须根据其特殊的地质—物理条件,探索试验和应用新思路、新观点和新方法。这样,裂缝性潜山油藏的开发就经历了一个边实践、边认识、边开发、边调整、边提高的过程。在此过程中,广泛地参考了国外同类油藏的开发经验;根据油田开发的阶段变化特点和不同阶段面临的矛盾,进行了不断深化的多学科综合研究;编制了比较符合地下情况的开发规划、开发方案和调整方案,提出了相应的开发技术政策,促进了开发效果和开发水平的不断提高及经济效益的不断改善。

我国裂缝性潜山油藏的地质开发研究属于一个新的研究范畴。通过20多年的科研试验和攻关,积累了全面系统的经验,取得了许多重要认识和技术进展,其中任丘雾迷山组油藏的开发已经达到国外同类油藏开发的先进水平。在此期间,许多专家和学者发表了文章和论著,为这类油藏开发理论的发展做出了贡献。

本书是在汇总和概括任丘雾迷山组油藏、曙古1潜山油藏、王庄变质岩油藏和东胜堡变质岩油藏等四个典型实例的基础上编写的。为了能够反映裂缝性潜山油藏开发的全貌,本书在编写过程中还比较充分地考虑和包括了我国目前已开发的其它潜山油藏的经验 and 作法。这样,这本书的内容既包括碳酸盐岩潜山油藏,又包括变质岩潜山油藏,还涉及到四个典型油藏以外的其它潜山油藏。当然,由于华北油田冀中地区碳酸盐岩油藏在我国这类油藏中占有重要的地位,具有全面系统的经验和认识,代表着这类油藏的开发水平,本书内容仍然以华北碳酸盐岩潜山油藏为重点。

为了能够反映出我国裂缝性潜山油藏的当代开发水平,本书在编写过程中力图从理论与实践的结合上,全面系统地总结我国20多年来在裂缝性潜山油藏开发中所取得的实际经验和基本认识,突出近10年油田开发进入中后期开发阶段以来的潜力研究和综合调整成果,比较深入地总结了这类油藏开发的最新研究成果和技术进展。

本书包括绪论(第一章)、地质模型(第二章至第四章)、开发模式(第五章至第十一章)和工艺技术(第十二章)四部分。由柏松章任主笔并负责编写前言、绪论及第五至第十二章;唐飞负责编写第二至第四章;杨培山和赵树栋对本书稿,进行了审定。

本书在编写过程中参阅和引用了孙月明、王华芬、蔡厥珩和揭克常等编写的任丘、王庄、曙古1和东胜堡潜山油藏的典型实例,参考引用了李功治、邓华云、尹定、朱亚东、黄代国、张旭、樊哲仁、白凤瀚、张继春和黄杰等的研究成果;并得到了左云及华北石油管理局采油厂其他同志的支持和帮助。在此对上述及给予帮助的其它有关同志表示衷心的感谢!李殿宝、刘新林等为书稿的完成做了许多工作,对此表示感谢!

在书稿的编写及审查过程中,谭文彬、王乃举、曾宪义、沈平平、金毓荪、张家茂、周成勋、冈秦麟、唐曾熊、韩大匡、万仁溥、张朝琛、裴恽楠、刘翔鸢、刘文章、赵良才、刘

雨芬和杨贤梅等领导和专家提出了许多重要的、具有指导性的意见，对本书的修改和定稿起了重要作用，对他们的指导和帮助，在此深表谢意！

本书由于作者自身理论基础和技术水平有限，书中定会存在不少的缺点和不足，希望能够得到同行的批评和指正。

Abstract

This book makes an overall and systematic summary of the main experiences and basic knowledge about the development of buried hill fractured reservoir in the last twenty years in China. The up-to-date achievements and technical progresses of the potentialities and overall system adjustment of this kind of reservoir in its middle and later development stage are specially analyzed. The book provides a research review of geological development in this kind of reservoir through the multidisciplinary synthetically study of theory and field practice.

Some chapters expound the reservoir type and physical model of the buried hill fractured reservoir in brief, focusing on the reserve mode of this kind of reservoir. A sufficient geological base of development mode has been laid by advancing the main geological model of the buried hill fractured reservoir in China.

The topics of reserve-seepage flow features of the buried hill fractured reservoir and the lower limit of the fracture width in the system and division of the fracture grades, the fracture system and rock mass system in the dual media condition have been explicitly defined. The conception of multiple properties of the fracture pore network has been proposed by the study of the main characteristics and driving mechanisms of the fracture system, rock mass system and the interrelationship between them. All of the mentioned above present the new development theory of buried hill fractured reservoir.

The book makes an extensive and deep exposition and proof on the basic question of development strategy of the buried hill fractured reservoir, including development procedures, division of the development series of strata, well pattern density, well pattern, rate of oil production, procedures of development, injection, well completion and putting into production.

The phase variation characteristics during the development processes of the reservoir have been overall and systematically analyzed. The adjustment gist and measures of each development stage have been summed up so that the practice could be combined with theory, development and adjustment organically.

The book refers to the conception of two areas (near well bore and far from well bore) and three heights (water cone height, oil-water contact of the fracture system and oil-water contact of the rock mass system) in the course of bottom water going up and the influence which exerts to the development effect by monitoring the perfor-

mance of the buried hill fractured reservoir. The conception of instability of oil supply volume of oil well has been advanced by revealing the characteristics of oil-water motion in the development process of the reservoir and the relationship with potentialities distribution.

The development research of middle and later stage is the key content of this book. In this part, the conceptions of production potential and possible potential have been produced and obtained the up-to-date achievement on potential research by analysis of the basic characteristics of the middle and later development stage. Therefrom, the direction and measure of tapping the potential in the middle and later development stage can be pointed out.

This book has generalized from the test of instability injection to improve the development effect, including the research achievement of lab physical simulation and reservoir numerical simulation through advanced equipment and methods and the remarkable effect in large-scale field test, to advance and develop a theory of energy replacement and drive type transform in the development process.

There are topics considered in this book which includes the technology of drilling and well completion, test and oil testing, oil well acidizing, synthetically water control, mechanical oil recovery in high rate and its application effect of field production.

At last, the book is completed with the research achievements of enhanced oil recovery test of the buried hill fractured reservoir. We think that gas injection may be the favorable way to enhanced oil recovery in this kind of reservoir with reference to the foreign information survey. Taking enhanced oil recovery with nitrogen injection in Beishantou of Yanling oil field as an example. The corresponding understanding to the gas injection performance and production test in Beishantou of Yanling oil field has been proposed based on the study and analysis of the driving mechanism of enhanced oil recovery with nitrogen injection and the condition of the possible production potential below the current oil-water contact.

目 录

前言

第一章 绪论	(1)
第一节 储层孔隙结构特征.....	(3)
第二节 驱替机理及渗流特征.....	(5)
第三节 底水上升状况及特点.....	(6)
第四节 油水界面变化规律及水驱油状况.....	(7)
第五节 中后期开发阶段的基本特点及潜力分布	(10)
第六节 不稳定注水试验	(12)
第七节 能量接替及驱动方式转化	(14)
第八节 提高采收率试验	(15)
第二章 裂缝性潜山油藏类型及形态物理模型	(18)
第一节 裂缝性潜山油藏类型	(18)
第二节 裂缝性潜山油藏形态物理模型	(20)
第三章 裂缝性潜山油藏储集模式	(30)
第一节 储层发育与演化	(31)
第二节 储集空间类型	(36)
第三节 裂缝网络系统	(40)
第四节 宏观孔隙结构	(43)
第五节 微观孔隙结构	(44)
第六节 储集类型	(46)
第七节 储层孔隙喉道宽度的几个界限	(48)
第八节 储层划分标准	(49)
第九节 孔隙度的确定	(56)
第十节 裂缝性变质岩潜山油藏储层划分	(58)
第十一节 储集渗流模式	(60)
第四章 裂缝性潜山油藏地质模型	(63)
第一节 复合型块状底水碳酸盐岩油藏	(63)
第二节 似孔隙型块状底水碳酸盐岩油藏	(70)
第三节 裂缝孔隙型内幕层状边水碳酸盐岩油藏	(73)
第四节 裂缝溶洞型层状边水碳酸盐岩油藏	(75)
第五节 裂缝孔隙型块状底水变质岩油藏	(78)
第五章 裂缝性潜山油藏的储集—渗流特征	(89)
第一节 裂缝性潜山油藏的双重孔隙结构特征	(89)
第二节 裂缝系统的驱替机理	(89)
第三节 岩块系统的排驱机理	(94)

第四节	裂缝和岩块两个系统之间的联系	(97)
第五节	裂缝孔隙网络的多重性	(98)
第六节	对双重介质特征的初步探讨	(99)
第六章	油田开发过程的阶段性及其主要特点	(101)
第一节	油田开发过程的阶段性	(101)
第二节	产量上升(投产)阶段	(106)
第三节	高产稳产阶段	(107)
第四节	产量迅速下降阶段	(109)
第五节	低速缓慢递减阶段	(115)
第七章	油田开发设计及其优化	(117)
第一节	油田开发设计	(117)
第二节	油田开发设计原则	(118)
第三节	油田开发程序	(120)
第四节	开发层系划分	(125)
第五节	井网密度及布井方式	(127)
第六节	采油速度的合理确定	(133)
第七节	开发方式和注水方式的选择	(141)
第八节	油井完井方法和油藏投产方式	(149)
第八章	油藏动态监测	(151)
第一节	开发动态监测系统	(151)
第二节	油藏压力监测	(152)
第三节	油水界面监测	(156)
第四节	油(水)井生产剖面监测	(166)
第五节	水驱油状况监测	(170)
第六节	井间连通状况监测	(173)
第九章	油田开发调整及中后期开发阶段的挖潜方向	(182)
第一节	油田开发调整基础	(183)
第二节	高产稳产阶段的开发调整	(183)
第三节	产量迅速下降阶段的开发调整	(190)
第四节	低速缓慢递减阶段的开发调整	(195)
第五节	中后期开发阶段的潜力研究	(197)
第六节	生产潜力的分布形式	(210)
第七节	目前油水界面以下的可能潜力分布形式	(217)
第八节	中后期开发阶段的挖潜方向	(219)
第十章	改善注水效果的开发试验	(221)
第一节	不稳定注水的基本概念	(221)
第二节	周期注水的室内研究与现场试验	(222)
第三节	不稳定注水的数值模拟研究	(230)
第四节	改善水驱效果的现场试验	(238)
第十一章	注气提高采收率的试验研究	(257)

第一节	对提高采收率研究的简要概括	(257)
第二节	注氮气提高采收率的试验研究成果	(262)
第三节	注氮气提高采收率的驱油机理	(279)
第四节	目前油水界面以下可能潜力的动用条件	(284)
第五节	关井期间油水界面的变化	(287)
第六节	注气井组现场试验	(292)
第七节	注气生产试验	(297)
第十二章	裂缝性潜山油藏工艺技术	(309)
第一节	油藏开发过程中工艺技术的发展	(309)
第二节	钻井完井技术	(311)
第三节	测试试油工艺技术	(315)
第四节	油藏动态监测技术	(320)
第五节	酸化工艺技术	(323)
第六节	堵水工艺技术	(326)
第七节	分层工艺技术	(331)
第八节	大排量机械采油技术	(335)
第九节	综合治理工艺技术	(337)
参考文献		(339)

第一章 绪 论

我国裂缝性潜山油藏经历了 20 多年的开发历程。

1972 年在渤海湾盆地济阳拗陷完钻的沾 11 井, 在奥陶系石灰岩中获得日产近千吨的高产油流; 以后又在胜利油区发现和开发了义和庄和桩西奥陶系碳酸盐岩以及王庄变质岩等潜山油藏。

1975 年在渤海湾盆地冀中坳陷中部的任 4 井获得日产千吨高产油气流, 从而发现了任丘油田雾迷山组碳酸盐岩油藏, 这是一个大型的高产潜山油藏; 之后, 发现和开发了留路北、南孟、龙虎庄、八里庄、八里庄西、河间、薛庄、雁翎、郑东、深县西、何庄、晋古 2 和苏桥等二十多个中小型碳酸盐岩潜山油气藏, 形成了重要的裂缝性潜山油藏开发基地。

1979 年在渤海湾盆地辽河断陷西部凹陷发现了曙光潜山油藏; 以后在其北部的大民屯凹陷发现并开发了静安堡碳酸盐岩和东胜堡变质岩等潜山油气藏。

上述 30 多个裂缝性潜山油藏的发现和开发, 为我国石油工业的发展, 发挥了重要的作用。

经过 20 年的开发, 目前这类油藏整体上已进入中后期开发阶段, 其产量已降到初期值的 10% 左右。

但是, 我国裂缝性潜山油藏的勘探和开发, 仍有比较广阔的发展前景。认真总结和深入研究 20 年来已发现油藏的开发过程和开发经验, 具有十分重要的意义。

20 年的开发实践表明, 在这类油藏的开发过程中, 贯穿着恢复和保持地层压力与控制含水的矛盾。

裂缝性潜山油藏的主要开发阶段是产量迅速上升(投产)阶段和高产稳产阶段。为了提高这个阶段的开发效果, 需要两个基本条件: 一是保持较高的地层压力, 实现较长时间的自喷生产; 二是推迟油井见水时间和控制含水上升速度, 延长无水和低含水采油期。这样, 恢复和保持地层压力与控制含水就成为影响开发效果的两个相互制约、相互影响的重要因素。为正确处理这个矛盾, 仅仅通过日常的生产调节是不够的, 还必须在控制含水的前提下, 采取正确的开发部署和技术政策, 积极稳定地恢复和保持地层压力, 延长高产稳产期, 提高开发效果, 并为改善中后期开发效果创造有利条件。应当说, 我国在这方面已经取得了成功的经验。

20 年的开发实践表明, 在这类油藏的开发过程中, 必须处理好地层能量接替和油藏产量接替。

裂缝性潜山油藏一般具有一定的边底水外部天然能量, 开发初期利用天然能量是合理的、必要的。但是, 这些边底水多属于有限水体, 不能满足油藏全面开发后比较高的采油速度要求; 这样就必须适时采用人工水驱开发, 实现人工能量接替或部分能量补充, 驱动方式就由边底水局部水压驱动转化为人工水压驱动方式。进入中后期开发阶段后, 采油速度大为降低, 采油方式逐步由自喷生产转化为机械采油, 为了减缓含水上升和产量递减速度, 应当控制注水或停止注水, 以便充分发挥边底水的天然能量作用。这样, 驱动方式就由人工水压驱动转化为天然水驱方式。因此, 开发过程中的能量接替实际上是驱动方式的转化过程。

油井见水及含水上升是裂缝性潜山油藏产量递减的主要因素。为了实现这类油藏较长时间的相对稳定生产或(和)减缓中后期开发阶段的产量递减速度, 必须立足于单井做好井间

和层间的产量接替或补充。所谓井间产量接替，就是增加调整井来平衡或补充见水井的减产；而层间产量接替，就是通过综合治水措施排除或减小产水大缝大洞对含油中小缝洞的干扰、发挥后者的生产能力。

20 年的开发实践表明，在裂缝性潜山油藏的开发工作上，应当抓好油藏地质、驱油机理和工艺技术三个重要环节。

油藏地质条件是编制开发方案、调整方案和进行综合调整挖潜的基础和出发点。应当通过多学科综合研究建立和完善油藏地质模型，特别是需要通过加深储层研究，建立比较正确的储层模型；在此基础上建立油藏数学模型，进行油藏数值模拟计算。油藏描述和数值模拟相结合，把储集条件和渗流条件结合起来，进行深入的油藏研究，这是从根本上改善开发效果、提高开发水平的基本条件。

裂缝性潜山油藏的开发过程，实质上是流体在裂缝孔隙网络中的多相流动过程。因此，必须加强这类油藏的驱油机理和渗流特征的试验研究，以求对开发动态、潜力分布及各类潜力的动用条件有一个比较明确的认识。驱油机理和渗流特征是编制开发方案和进行调整部署以及开展现场试验的重要依据。

为认识驱油机理和渗流特征同样需要进行多学科综合研究。室内试验模拟成果为认识驱油机理提供了直接的基础信息，但这还不够，还必须结合油藏开发动态分析和数值模拟研究进一步扩展和加深对驱油机理和渗流特征的认识。

工艺技术，特别是采油工艺技术是实现油田合理开发并改善开发效果的技术手段。在油藏的早期开发阶段，工艺技术是促进油藏高产稳产的重要条件；在中后期开发阶段，工艺技术是油藏综合调整挖潜和开展提高采收率现场试验的重要手段。因此，工艺技术的作用贯穿于裂缝性潜山油藏开发过程的始终。

20 年的开发实践表明，为了不断提高开发水平，必须加强地质开发研究；地质开发研究的重点是油藏能量分布、流体分布、产能分布和潜力分布以及它们在油田开发过程中的变化。

能量分布是指油藏的内部与外部天然能量分布、人工能量的补充以及它们在开发过程中的相互接替和相应的驱动方式的相互转化。地层压力是油藏能量的具体体现，油藏能量的分布与变化是通过地层压力的分布与变化来反映的。

流体分布是指气油和油水界面的原始分布状况及其在开发过程中的变化，开发过程中含油、含水和含气饱和度在纵向上和平面上的变化状况等。流体分布状况影响油藏的含水和（或）气油比在开发过程中的变化，影响潜力分布及剩余油饱和度的分布，认识流体分布是中后期开发阶段潜力研究的重要条件。

产能分布是指油水井初期生产能力及其在纵向和平面上的分布，以及它们在开发过程中的变化。认识产能分布对于编制开发部署、进行开发调整以及工艺技术的应用都是非常必要的。

潜力分布是指原始油气储量的分布及其在开发过程中的动用状况，剩余储量的分布状况及动用条件，以及生产潜力和可能潜力的分布形式。

显然，能量分布、流体分布、产能分布和潜力分布四者是相互联系的，是地质开发研究的重点内容。只有当这四个方面的研究不断深入并取得进展时，才能使开发方案、调整方案和试验方案有比较可靠的基础和比较充分的依据，才有可能不断改善开发效果和提高开发水平。

需要强调的是，在裂缝性潜山油藏的开发过程中，应当坚持技术与经济的结合以及开发

效果与经济效益的统一。在油田开发工作中应当讲求经济效益,要把达到较好的经济效益作为这类油藏开发的一条基本方针和重要原则;要把技术经济指标作为优化开发方案、调整方案和开发规划的重要依据,其中经济指标在方案部署优选中应起决定性作用;还应建立和发展一整套科学合理的油田开发经济分析评价方法,作为评价不同开发阶段开发调整部署的有效手段。

我国裂缝性潜山油藏在其 20 年的开发历程中,积累了配套的经验,形成了自己的理论,取得了技术上的进展。

第一节 储层孔隙结构特征

我国裂缝性潜山油藏的储集空间,根据形态可以分为缝、洞、孔三大类。

裂缝储集空间主要是构造缝,其次是层理缝,属于岩石受力后形成的次生孔隙。根据岩心观察,裂缝性潜山油藏的裂缝十分发育,组系多,密度大,以高角度构造缝为主。如任 48 井裂缝密度为 $(10^3 \sim 10^4)$ 条/ m^2 ,平均为 2500 条/ m^2 ;任 28 井密度小一些,平均为 137 条/ m^2 。

溶蚀孔洞是裂缝或晶间孔隙经风化淋滤后发育形成的次生孔隙,与裂缝有关的多呈串珠状分布。孔洞直径一般为 1~10mm,其中直径大于 2mm 为洞,小于 2mm 的为孔。

孔隙储集空间主要是晶间、粒间、粒内和生物结构孔隙等,属于原生孔隙。

室内模拟试验、油藏动态分析及数值模拟研究结果表明,缝洞孔这三种储集空间的储集一渗流条件差异很大,其中宽度不同的裂缝及与其连通的溶洞是这类油藏有效的储集一渗流空间,基质原生孔隙不具备储集一渗流条件。

国外常用压力恢复或压力降落曲线计算的裂缝渗透率与岩心分析的基质渗透率的比值作为评价油藏裂缝发育程度的定量指标;如果此值低于 10,认为裂缝不发育;当此值达 1000 或者更高,则认为裂缝非常发育。我国多数裂缝性潜山油藏的裂缝渗透率一般大于 $1\mu\text{m}^2$,而岩心分析渗透率通常低于 $1 \times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,两者的比值达 10^3 以上,表明裂缝发育程度是很高的。有的潜山油藏的上述比值低一些,仍达数十或数百,裂缝也是比较发育的。

裂缝性潜山油藏储集空间的多样性,导致流体在其孔隙网络中的渗流条件差异很大,使这类油藏的储层具有多重孔隙结构特征。

为了便于研究和评价,根据潜山油藏的孔隙结构特征和流体在其中的流动特点,从储集和渗流条件的结合上来分析,可以把多重孔隙介质简化为双重孔隙介质来处理,包括裂缝系统和岩块系统。

定义裂缝系统的裂缝宽度下限应当以具备通道条件,即可以忽略毛管力作用的条件来确定,根据室内试验和理论研究结果,此下限值为 $10\mu\text{m}$ 左右。

在确定了裂缝系统的裂缝宽度下限后,还应当进行裂缝等级划分,因为裂缝宽度之间的较小变化,可以导致其渗透率的显著差别。

根据华北地区裂缝性潜山油藏的储层研究、开发动态及理论研究结果,并参考辽河和胜利油田的同类研究成果,初步提出如下的裂缝等级划分:

- 1) 大裂缝:宽度大于 $100\mu\text{m}$ 的裂缝;
- 2) 中裂缝:宽度介于 $10 \sim 100\mu\text{m}$ 的裂缝;
- 3) 小裂缝:宽度介于 $1 \sim 10\mu\text{m}$ 的裂缝;

4) 微裂缝: 宽度小于 $1\mu\text{m}$ 的裂缝; 它与岩块基质的平均孔隙、直径相近, 应列入基质范畴。

与各级裂缝连通的溶洞, 应当列入相应的裂缝等级之中。

这样, 可以把裂缝系统定义为: 在油藏条件下宽度下限为 $10\mu\text{m}$ 的裂缝及与其连通的溶洞所组成的孔隙网络, 包括大、中裂缝及与其连通的溶洞, 即通常所说的大缝大洞和中等缝洞。

裂缝系统的基本特点是: 孔隙度很低, 一般为 $1\%\sim 2\%$; 渗透率很高, 导压能力和流动能力高, 产油能力也高; 原始含油饱和度很高, 有的接近 100% ; 毛管力的作用可以忽略, 流体相对渗透率变化呈对角直线关系, 流动条件符合达西定律。

在分析了裂缝系统之后, 可以定义岩块系统为: 被裂缝系统所切割、由宽度小于 $10\mu\text{m}$ 的小裂缝和与其连通的溶蚀孔洞以及含有微细裂缝的基质所组成的孔隙系统。这是一个储渗条件差异很大、分布关系复杂的集合体, 其中只有次生孔隙比较发育且有通道条件的岩块部分才有储集—渗流能力。

岩块系统的基本特点是: 孔隙度明显增大, 一般为 $2\%\sim 5\%$, 有的更高一些; 渗透率很低, 导压能力和流动能力低, 产油能力也低; 在与裂缝系统共存条件下, 主要是以毛管力的作用自吸排油; 岩块系统的自吸排油过程必须借助于裂缝通道进行。

基于上述可以看出, 裂缝系统和岩块系统是共存于裂缝性潜山油藏的两个互相联系、互相制约的孔隙网络系统; 其中裂缝系统属于高渗高产高效渗流系统, 岩块系统属于低渗低产低效渗流系统; 就地质储量来说, 裂缝系统占的比例比较小 (一般小于 30%), 而岩块系统的比例则大得多; 就可采储量来说, 裂缝系统占的比例则大得多 (一般大于 70%), 而岩块系统则小得多。由此可见, 对于裂缝性潜山油藏来说, 有效的储集—渗流空间是由不同宽度裂缝所组成的裂缝孔隙网络; 裂缝系统在这类油藏的开发过程中始终处于主导地位, 它是一、二次采油的主要对象, 并且也将是提高采收率试验的重要对象。

联系裂缝性潜山油藏的双重孔隙介质特征, 应当强调以下四点。

一、裂缝性潜山油藏具有比砂岩油藏更为严重的非均质性

潜山油藏的储层非均质性表现在两个方面: 一是裂缝和岩块两个系统之间的渗透率差异很大, 这是显而易见的; 二是裂缝系统本身由于宽度大小不同而使渗透率相差悬殊, 这种非均质性对开发效果的影响更加明显。在开发过程中, 特别是在高速开发条件下, 不同宽度的裂缝所发挥的作用差别很大, 其中大缝大洞的产油能力高, 驱油效率也高, 而中等缝洞的作用则差一些, 导致采油过程的不完全性。

二、为提高裂缝性潜山油藏的开发效果和最终采收率, 必须合理控制采油 (液) 速度

裂缝性潜山油藏开发动态和开发效果对采油速度的敏感性是这类油藏区别于砂岩油藏的一个重要特点, 这主要是因为这类储层的特征和驱油机理与砂岩油藏相比, 具有一些本质性的差别。

裂缝系统的大缝大洞可以在较高的采油速度下达到很高的驱油效率和较高的波及系数; 中等缝洞在较高的速度下仍然可以达到较高的驱油效率, 但波及系数随着速度的增大而降低; 对于岩块系统为了达到较高的自吸排油效率则要求控制采油速度在其临界值附近。

这样, 为了协调裂缝和岩块两个系统之间的开发过程和开发效果以及发挥中等缝洞的生产能力, 应当把采油速度控制在其临界值附近的一个合理界限内。此外, 合理控制采油速度