

中国石油开发模式丛书

· 热采稠油油藏 ·

克拉玛依九区

热采稠油油藏

孙月立 彭明远 等编著

石油工业出版社

学(北)

34

09

登录号	137273
分类号	TE 345
种次号	009

中国油藏开发模式丛书

Series on Reservoir Development Models in China

• 热采稠油油藏 •

克拉玛依九区热采稠油油藏

The Heavy Oil Reservoirs by Thermal Recovery
in the District 9 of Karamay

孙川生

彭顺龙

等编著



石油大学0140806

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是《中国油藏开发模式丛书》中分类模式部分“热采稠油油藏”的典型实例之一。

作者依据新疆克拉玛依油田侏罗系齐古组浅层稠油油藏注蒸汽开采十多年的生产实践经验,采取油藏地质与工艺技术、理论研究与生产实践相结合的方式,对准噶尔盆地西北缘浅层稠油的成因、沉积、储层、岩石与流体热性质、渗流和开采特征进行了较为全面的论述,对油田开发中的经验教训进行了总结和分析。在此基础上,提出了浅层稠油油藏的精细描述、开发阶段划分、开发方案优化设计、开发动态分析与调整和工艺技术措施。该书为国内此类油藏的开发建立了科学模式。

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

克拉玛依九区热采稠油油藏/孙川生,彭顺龙等编著.
北京:石油工业出版社,1998.6
(中国油藏开发模式丛书·热采稠油油藏)
ISBN 7-5021-2287-7

I. 克…

II. 孙…

III. 注蒸汽-稠油开采-经验-准噶尔盆地

IV. TE345

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 12290 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 11 印张 281 千字 印 1—1500
1998 年 6 月北京第 1 版 1998 年 6 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5021-2287-7/TE·1904
定价:47.00 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

编辑组成员

组 长 金毓荪

成 员 李志勋 杨贤梅 李春如

张卫国 戚玥瑛

《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

气顶砂岩油藏

低渗透砂岩油藏

复杂断块油藏

砂砾岩油藏

基岩油藏

常规稠油油藏

热采稠油油藏

高凝油油藏

凝析油油藏

三、典型实例

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
一九八八年八月

前 言

我国稠油资源十分丰富,截止 1994 年底,已累积探明稠油地质储量 $13.3 \times 10^8 \text{t}$,约占全国已探明石油地质储量的 15%。我国的稠油开采技术经“六五”及“七五”期间攻关,依靠科学技术进步和卓有成效的开创性科学试验,得到了迅速发展,生产规模不断扩大,年产量由 1986 年的 $295.0 \times 10^4 \text{t}$ 增加到了 1996 年的 $1300 \times 10^4 \text{t}$ 左右,已成为世界第五大稠油生产国。随着时间的推移和科学的进步,稠油的作用将日益增强,并将成为 21 世纪的主要能源。

与此同时,通过这几年的实践和认识,在稠油油藏描述、分类及注蒸汽开发筛选标准、方案优化设计、蒸汽吞吐转蒸汽驱的条件与时机、注蒸汽对储层及原油性质的影响、蒸汽吞吐与蒸汽驱开采特点和规律以及稠油注蒸汽开采采收率标定方法等方面,均积累了一定的经验,对提高我国浅层稠油注蒸汽开发水平起到了重要作用。为了促进我国浅层稠油注蒸汽开发向更高水平发展,进一步提高浅层稠油注蒸汽开发的经济效益,结合中国石油天然气总公司“八五”期间重点科技项目——“不同类型油藏开发模式及工艺技术系列研究”的任务,依据新疆准噶尔盆地西北缘克拉玛依油田九区侏罗系齐古组浅层稠油油藏十多年的生产实践,采取油藏地质与工艺技术、理论研究与生产实践相结合的方法,在对准噶尔盆地西北缘浅层稠油的成因、沉积、储层、岩石与流体热性质、渗流机理和开采特征进行较为全面论述,以及对开发中的经验教训进行总结和分析的基础上,编写完成了本书。

全书共分六章,参加编写的人员有:前言孙川生;第一章孙菊、何晶、杨生榛、王屿涛;第二章孙川生;第三章孙川生、常毓文、廖广志、罗梅鲜、王敬玉、刘颖、石国新、杨生榛、张宇、刘世英;第四章钟守明、戎克生、彭顺龙、吴庆荣、赵喜元、罗李红;第五章彭顺龙;第六章杨洲、王跃东、彭顺龙。全书由孙川生、彭顺龙统一修改、定稿,赵立春审定。在成书过程中,马鸿、何晶、姜玲、张岚、李岩等对本书也做了大量工作。

在本书编写过程中,得到杨瑞麒等同志的热情支持和指导,杨贤梅同志给予了仔细的校正和修改。在此谨向所有关心和支持本书的领导、专家、同志表示衷心的感谢!

由于水平和条件的限制,文中肯定存有不妥之处,敬请读者批评和指正。

目 录

前言

第一章 新疆准噶尔盆地西北缘浅层稠油油藏概述	(1)
第一节 稠油油藏分布及其特征.....	(1)
一、西北缘油气聚集特征.....	(1)
二、稠油油藏分布特征.....	(2)
三、稠油油藏基本类型.....	(3)
第二节 稠油油藏成因及化学性质.....	(4)
一、稠油油藏成因.....	(4)
二、稠油的物理化学性质.....	(7)
第三节 浅层稠油油藏地质模型	(10)
一、构造模式及地层	(10)
二、沉积模式及成岩作用	(11)
三、储层描述	(11)
四、流体性质及其分布	(15)
五、地质模型	(17)
第四节 岩石和流体热性质	(18)
一、岩石热性质	(18)
二、温度对岩石和流体性质的影响	(18)
第二章 浅层稠油油藏注蒸汽开采机理	(21)
一、降粘作用	(21)
二、热膨胀作用	(21)
三、岩石润湿性改变的作用	(21)
四、蒸汽的蒸馏作用	(22)
五、蒸汽对矿物及孔隙结构的影响	(22)
六、蒸汽使自渗吸作用加强	(22)
第三章 浅层稠油油藏开发模式优化	(23)
第一节 开发阶段的划分	(23)
一、驱动类型	(23)
二、开发阶段的划分及开发特征	(24)
三、主要开发阶段的矛盾及对策	(25)
第二节 开发方案优化设计	(27)
一、开发单元与层系	(27)
二、开发方式	(28)
三、蒸汽吞吐转蒸汽驱的时机	(34)
四、井网井距	(37)
五、注采参数	(44)
六、动态监测	(45)
第三节 开发动态跟踪研究	(46)
一、开发生产特征及变化规律	(46)
二、影响开发效果的因素	(54)

三、跟踪数值模拟研究	(58)
四、油藏热效率分析	(70)
五、油藏动用程度研究	(72)
六、储层及流体性质在开发过程中的变化规律	(73)
第四节 开发过程中的调整	(87)
一、不同类型稠油油藏的开发目标及策略	(87)
二、加密调整	(88)
三、提高剖面动用程度的调整	(89)
四、蒸汽驱开发分类及调整	(89)
五、提高高轮次井蒸汽吞吐的开发效果	(90)
六、提高最终采收率的措施	(91)
第五节 注蒸汽开发效果评价	(92)
一、采收率标定及分析	(92)
二、稠油单井经济极限产量与极限油汽比	(97)
第四章 浅层稠油油藏钻井、完井和测井技术	(100)
第一节 井身结构和钻头选择	(100)
一、井身结构	(100)
二、钻头选择	(100)
第二节 钻井参数及油层保护	(101)
一、钻井参数	(101)
二、油层保护	(101)
第三节 取心技术	(102)
一、影响浅层稠油油藏取心收获率的因素	(102)
二、取心工具和钻头	(102)
三、施工措施	(103)
第四节 完井工艺	(103)
一、加砂水泥固井技术	(104)
二、预应力完井技术	(106)
三、先期防砂完井	(108)
第五节 砂岩稠油油藏测井系列及参数解释	(111)
一、稠油储层地质地球物理特征	(111)
二、测井系列	(111)
三、砂岩稠油油藏参数的解释方法	(111)
第六节 射孔技术	(113)
一、射孔枪的选择	(113)
二、射孔工艺的选择	(114)
第五章 井下注采工艺	(115)
第一节 井筒隔热技术	(115)
一、耐温封隔器及隔热管	(115)
二、井筒热损分析	(117)
第二节 井下测试及示踪技术	(121)
一、井下测试	(121)
二、蒸汽示踪	(123)

第三节 汽窜封堵技术·····	(126)
一、耐温水泥封堵·····	(126)
二、耐温木质素封堵·····	(127)
三、耐温泡沫封堵·····	(130)
第四节 稠油井抽油技术·····	(131)
一、稠油井井下原油粘度变化规律·····	(131)
二、浅层稠油井抽油参数优选·····	(132)
三、稠油抽油井动态控制图管理·····	(134)
四、浅层稠油井抽油泵、杆、机及抽油工艺·····	(135)
第五节 井下砂控技术·····	(137)
一、稠油井井下出砂规律·····	(137)
二、稠油井井下砂控技术·····	(138)
第六节 修井作业技术·····	(139)
一、主要作业内容·····	(139)
二、汽驱井修井作业·····	(139)
第七节 驱油助剂·····	(141)
一、驱油助剂的评选·····	(141)
二、驱油助剂用于井筒降粘·····	(143)
三、驱油助剂用于油层处理·····	(144)
第六章 地面注采流程及工艺·····	(147)
第一节 注汽站技术·····	(147)
一、注汽站规模的确定·····	(147)
二、注汽站工艺流程·····	(147)
三、主要工艺技术·····	(148)
第二节 注汽管网技术·····	(150)
一、工艺流程·····	(150)
二、保温与防腐·····	(150)
三、饱和水蒸汽分配、计量及调控·····	(151)
第三节 耐温井口装置·····	(155)
一、耐温井口保护器·····	(155)
二、耐温井口·····	(155)
第四节 油区集输及毛油预处理·····	(158)
一、集油流程及脱水·····	(158)
二、稠油污水处理·····	(160)
三、容器清砂·····	(161)
四、管线防腐·····	(162)
五、稠油输送·····	(162)
参考文献·····	(165)

第一章 新疆准噶尔盆地西北缘浅层稠油油藏概述

第一节 稠油油藏分布及其特征

一、西北缘油气聚集特征

准噶尔盆地是中国西北边陲的大型盆地之一，周边为褶皱山系环绕，东北面为阿尔泰山脉，西北面为准噶尔界山，南面为天山山脉（见图 1.1）。盆地面积约为 $13 \times 10^4 \text{km}^2$ ，沉积岩最大厚度为 $1.4 \times 10^4 \text{m}$ 。盆地内蕴藏着丰富的石油和天然气资源，稠油资源占有相当大的比例，目前在盆地西北缘和盆地东部发现了几亿吨的稠油储量，其中，大规模的地面油砂、天然沥青和浅层稠油油藏是西北缘油气富集区的重要特色。

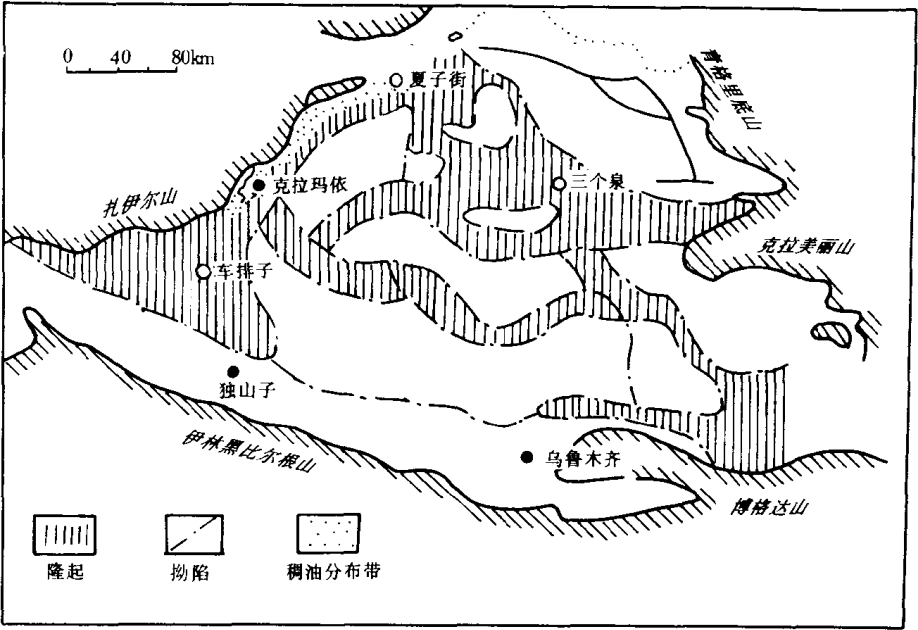


图 1.1 准噶尔盆地构造单元分区图

在盆地的地史演化过程中，西北缘构造活动主要表现为逆掩断裂，形成延伸 250km 的推覆体构造带，断裂带呈东北向展布，由红—车断裂带、克—乌断裂带和乌—夏断裂带组成，断面西北倾，断面倾角上陡下缓，由盆地西北缘向盆地中心呈叠瓦状推覆，水平推覆距离可达 9~25km。主断裂两盘地层沉积厚度不同，表现了断裂的同沉积性，推覆体构造大体可分为五带：1) 推覆体主部，多为石炭系基岩组成；2) 前缘断裂带，在推覆体前缘沿主断裂线被次级断裂分割的断块，由基岩、下二叠统以及上覆三叠—侏罗系组成；3) 下盘掩伏带，即推覆体主断裂下盘掩伏部分，多呈单斜状构造，由二叠系、三叠系和部分侏罗系组成；4) 白垩统 (K_1) 组成，个别地区有三叠系超覆；5) 前沿外围带，在推覆体之外，沉积层受推覆挤压而形成舒缓状褶曲或单斜构造，平行于主断裂走向展布（图 1.2，图 1.3）。

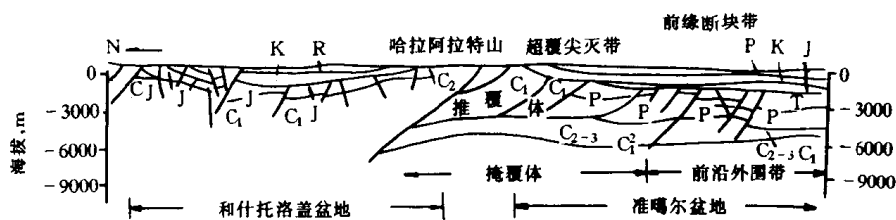


图 1.2 断裂带构造模式图

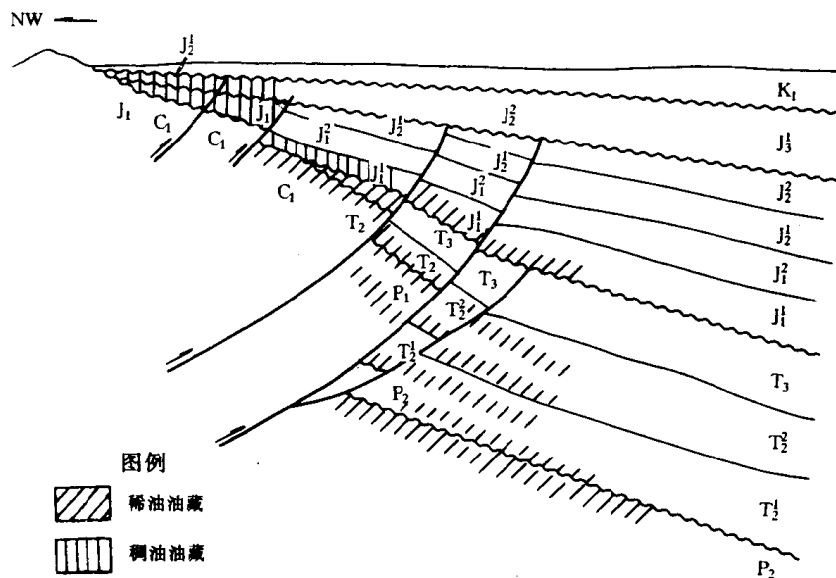


图 1.3 克拉玛依油田油藏模式图

断裂发生于海西期 (P_1), 结束于燕山期 (J_3q), 长期的断裂活动, 控制了断裂两侧的沉积, 上盘沉积薄, 下盘沉积厚。由于处在盆地边缘, 近物源区, 多为洪积—冲积相砂砾岩沉积, 为油气聚集提供了有利场所。

西北缘推覆体构造带位于中央生油拗陷的西北侧, 断裂紧靠拗陷中心, 有丰富的油源; 长期的断裂活动提供了油气运移聚集的良好通道和圈闭条件 (图 1.4)。

因此, 西北缘形成了多种类型的油气藏, 目前已发现四种:

1) 断裂遮挡的单斜油气藏。如克拉玛依油田断裂下盘的五区、八区油藏, 百口泉油田等推覆体下盘掩伏带的油藏。

2) 断块油藏。推覆体前缘断块形成的油藏, 如克拉玛依油田的七区、一区、二区等油藏。

3) 背斜油藏。主要分布在推覆体外围褶曲带, 如风城区、夏子街区背斜油藏。

4) 地层不整合油藏。分属两类: 一是不整合面之下的油藏, 分布在推覆体主部和前缘断块的基岩中, 多为裂缝—次生孔隙型油藏。如一区石炭系油藏、七中区下二叠统油藏、九区古 3 井石炭系油藏等。另一类是不整合面之上的超覆尖灭带油藏, 如风城区齐古组 (J_3q)、吐谷鲁组 (K_1) 油藏、六一九区齐古组 (J_3q) 油藏, 该类油藏多为稠油油藏。

二、稠油油藏分布特征

纵观准噶尔盆地西北缘地质构造模式, 已发现的稠油油藏和山麓露头区大面积油砂、沥

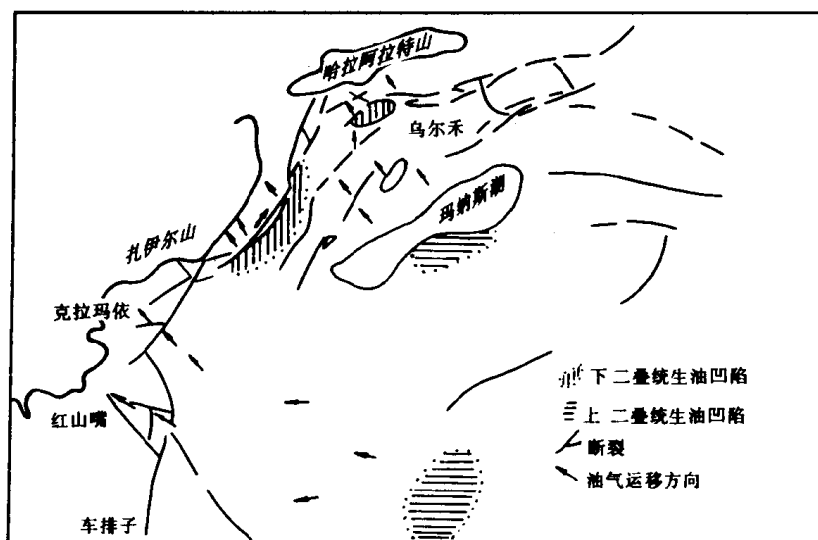


图 1.4 准噶尔盆地西北缘油气运移地质背景图

青脉的分布表明，逆掩断裂带推覆体主部及其上覆尖灭带，是次生稠油的富集带。其特征如下：

1) 面积大，埋藏浅，资源丰富。准噶尔盆地西北缘，由红山嘴至夏子街，东西绵延 150km 的范围内，发现的稠油油藏，埋深一般为 200~600m，除夏子街地区八道湾组 (J_1b) 油藏埋深为 1100~1400m 外，其余均小于 600m，稠油储量大约占 88%。

2) 剖面上含油层位多，储层物性好。目前已发现的稠油油藏在剖面上分布在中三叠统克上组 (T_2k^2)、下侏罗统八道湾组 (J_1b)、上侏罗统齐古组 (J_3q)、下白垩统吐谷鲁组 (K_1) 以及推覆体主部石炭系 (C_1) 基岩中，规模较大为主，砂层连片展布，层厚一般 8~15m、中—细砂结构，分选好，胶结疏松，泥质含量小于 6%~8%，油层孔隙度高达 25%~30%，空气渗透率为 0.3~5.0 μm^2 ，属中—大容量、中—高渗性粒间孔储层。砂层具有中—强亲水的特点。

3) 各油层均沿超覆不整合面呈叠瓦状分布，在推覆体主部上覆地层超覆尖灭带上，油藏总是分布在下伏层尖灭线的上倾部位（见图 1.3）。呈自北向南由新到老逐级下降展布。油气多沿不整合面或断裂运移，并储存在与不整合面连通的砂层中，表现了油藏与不整合面的密切关系。

三、稠油油藏基本类型

据上述油藏特征和分布规律，不难看出，盆地西北缘稠油油藏有以下三种类型：

1) 地层超覆不整合油藏。油藏分布在不整合面之上，油气沿不整合面或断裂面运移而至，储集在与不整合面连通的砂层中而形成油藏。如夏子街区高断块内八道湾组 (J_1b) 油藏和风城吐谷鲁组 (K_1)、齐古组 (J_3q)、八道湾组 (J_1b) 等油藏，均属此类。另外，此类油藏除地层不整合圈闭外，还可见有局部的沥青圈闭（上倾方向）和侧向的岩性圈闭（见图 1.3）。

2) 断裂遮挡的地层超覆油藏。油藏多分布在断块区内，在地层超覆背景上，在上倾方向被断层切割，形成断裂遮挡，如六一九区齐古组油藏，红山嘴红浅 1 井区的齐古组、八道湾组、克上组油藏均属此类（图 1.5）。

3) 不整合面遮挡的基岩油藏。油藏位于不整合面之下，稠油储集在发育的基岩裂缝中。基岩裂缝密如蛛网，下倾方向与断裂面连通，油气经断裂面进入基岩裂缝，基岩顶面被泥质

风化壳或上覆不渗透地层所遮挡而形成油藏，此类油藏多分布在推覆体主部。

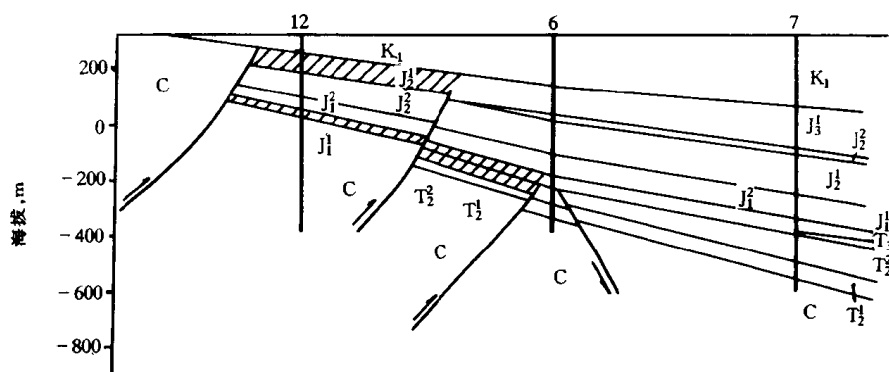


图 1.5 红山嘴地区稠油油藏剖面图

第二节 稠油油藏成因及化学性质

一、稠油油藏成因

准噶尔盆地西北缘稠油油藏是上述特定地质条件下经二次运移形成的次生油藏。从油的生成到运移、聚集，再运移、再聚集，原油经历了各种次生改造作用。

1. 西北缘的改造格局与生油拗陷相匹配

在漫长的地史演化过程中，西北缘形成的逆掩推覆改造带正位于准噶尔盆地中央拗陷的西北侧。拗陷中的玛纳斯湖生油凹陷，距构造带约 50km（见图 1.4）。前已述及，凹陷沉积了 4000~5000m 三叠系生油岩，地化指标已证实是好的成熟生油岩。成熟的油气首先运移到距离最近的推覆体改造带中，尤其是下二叠统风城生油岩已延展到推覆体下盘掩伏带，更是缩短了距离，为油藏的形成提供了充足的油源。

2. 多次构造运动为油气运移提供了动力

在盆地的发展历史中，与大规模油气运移有关的构造运动有两次：第一次为三叠纪末期的印支运动，使西北缘逆掩断裂带剧烈活动，推覆体主部抬升推覆，前缘断块形成。丰富的油气运移而至，形成了二叠—三叠系的早期油藏。第二次是侏罗—白垩纪时期的燕山运动，这次的活动强度大为减弱，推覆体的抬升推覆幅度较小，主断裂仍在活动，但断距减小，分枝断裂亦大量减小，但仍在西北缘造成八道湾组（J_{1b}）超覆不整合，中侏罗组（J₂）遭受不同程度的剥蚀，齐古组（J_{3q}）的超覆不整合，这使印支期形成的油藏遭受破坏，沿断裂和不整合面经二次运移，使推覆体上盘高断块，以及上覆地层形成油藏，如齐古组、八道湾组油藏等。燕山运动晚期，活动强度大为减弱。西北缘在盆地总沉降过程中，相对速度减慢，使之出现了吐谷鲁组（K₁）的超覆不整合及局部地段的微弱断裂活动，促使了油气第三次运移，使已形成的油藏油气再分配，深部油气向浅层运移，原浅层次生油藏再向上覆吐谷鲁组（K₁）运移，因而形成了吐谷鲁组油藏和地面大面积油砂及沥青脉。另外，部分轻质组分沿裂缝和不整合大量散失。

3. 推覆构造各部位的油藏原油均是同源的

从上述地史演化过程不难看出，西北缘各类油藏的原油均是同源的。从各类油藏原油本

身的特性和油藏的配置关系，也证明是同源性质。据克拉玛依从地面到深层的原油样品 7 种地化指标对比，不论浅层深层，稠油稀油，均具有较为一致的特性。例如，不受成熟度影响的对比参数——三种规则甾烷 (C_{27} , C_{28} , C_{29}) 相对百分含量都较稳定。 C_{27} 胆甾烷一般在 6%~8%， C_{28} 麦角烷为 40%~44%， C_{29} 谷甾烷为 46%~53%。在相对百分含量三角图上相当密集地分布在一个极小的范围内，形成了属于同一油源的甾烷特征表象（见表 1.1，图 1.6，图 1.7）。

表 1.1 风城区原油 $C_{27} \sim C_{29}$ 甾烷特征数据表

井 号	层 位	井深, m	$C_{27}, \%$	$C_{28}, \%$	$C_{29}, \%$
乌尔禾	K_1	地面砂岩中沥青团块	8	39	54
	K_1	地面沥青脉	9	44	48
重 1 井	K_1	70.0~100.0	8	52	40
风 5 井	C—P	739.95~742.55	8	39	54
乌 5 井	T_2k	1490.9~1415.0	6	43	51
135 井	P_2	2784.0~3064.0	6	42	52
风 3 井	P_1	3200.0~3233.0	6	40	54
风 3 井	P_1	3243.0~3249.0	7	40	53
风 6 井	P_{1-}	3466.6~3466.92	5	37	58

4. 随埋藏深度变浅，原油由轻变重，由稀变稠

从西北缘油藏分布规律不难看出，在稠油油藏下倾方向和下伏层位或低断块上，均有稀油油藏存在，如克拉玛依油田白碱滩地区的油藏配置就是典型例子（表 1.2）。

表 1.2 克拉玛依油田原油性质统计表

区 块	层 位	构造位置	原油相对密度 (d_{4}^{20})	地层油粘度, mPa·s
六一九区	J_3q	超覆尖灭带	0.920~0.960	800.0
六区	T_2k^2	高断块	0.885~0.90	77.0~215.0
	T_2k^2	高断块	0.899	80.0
七区	J_1b	前缘断块	0.856	8.5
	T_2k^2	前缘断块	0.867~0.876	5.6~7.6
	T_2k^1	前缘断块	0.852~0.863	6.0~6.2
	P_{1j}	前缘断块	0.865	4.0
八区	J_1b	掩伏—外围带	0.865~0.876	8.0~8.2
	T_2k^2	掩伏—外围带	0.854	1.9
	T_2k^1	掩伏—外围带	0.850	3.8
	P_2w^1	掩伏—外围带	0.842	0.7

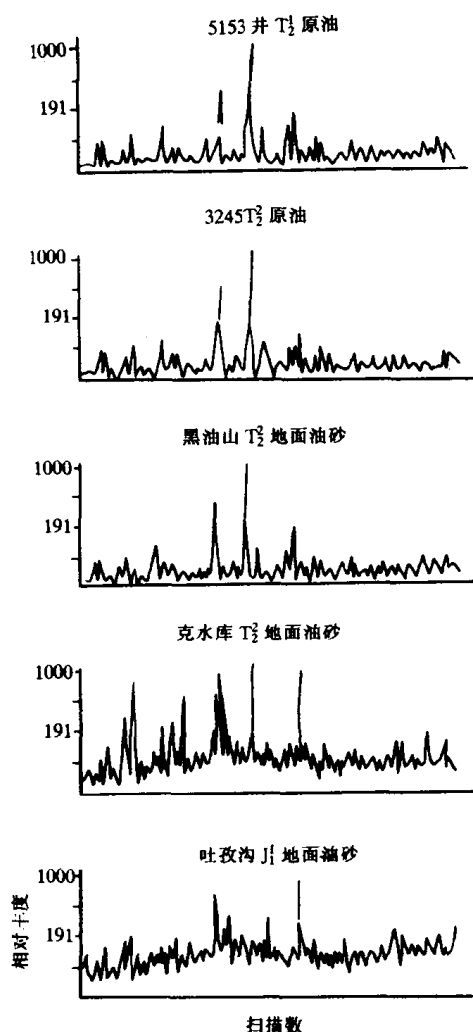


图 1.6 5153 井—吐孜沟五环三萜类质量色谱对比图

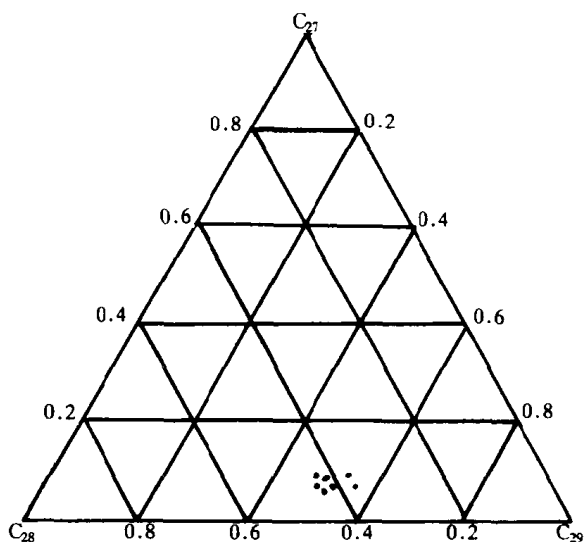


图 1.7 克拉玛依原油 $C_{27} \sim C_{29}$ 甾烷相对百分含量三角图

5. 生物降解作用是形成西北缘稠油油藏的重要因素

据原油地球化学性质研究,发现西北缘的原油中含丰富的生物标志化合物。经鉴定可分离出甾烷、藿烷,以及特殊萜烷化合物——三环二萜烷和四环二萜烷、降解甾烷和萜烷、烷基环己烷和甲烷、烷基环己烷和胡萝卜烷等 6 种。从克拉玛依油田大逆掩断裂下盘的五区经前缘断块四区,以及处于构造位置较高的上盘断块三区到地面露头剖

面分析,除原油物理性质有规律变化外(见表 1.3),原油中的生物标志化合物抗生物降解作用的强度依次是:正构烷烃、烷基环乙烷、类异戊间二烯烷烃、二环倍半萜、 γ -胡萝卜烷、规则甾烷(20R 型)、 β -胡萝卜烷、规则甾烷(20S 型)、妊娠甾烷、高妊娠烷、五环三萜烷、 $C_{20} \sim C_{29}$ 、三环二萜烷、重排甾烷、13, 17 开环甾烷。具有更强的抗生物降解作用的生物标志化合物有 25-降藿烷、25, 30-二降藿烷、 $C_{24} \sim C_{42}$ 、四环二萜烷、17 α (H) -22, 29, 30 三降藿烷 (Tm)、伽马蜡烷(具有 5 个六元环骨架)、羽扇烷变种 C_{30} , $C_{33} \sim C_{38}$ (不含 C_{37})、三环二萜烷和 C_{27} , $C_{29} \sim C_{31}$, 8, 14 环藿烷(见图 1.6)。生物降解作用的另一证据是,在稠油油藏分布的三区,采集地面土壤样品,曾培植出食蜡的“脱蜡球状酵母菌”。经实验,该菌具有较强的食蜡能力,在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 下,振荡培养 3 天,可使原油凝固点从 $+13^\circ\text{C}$ 下降到 -50°C 左右。之后,将该菌用于原油加工中的脱蜡工艺过程,收到良好效果。这就证明了这种食蜡细菌繁殖活跃在浅层油藏中,致使原油中直链烷烃的碳氢化合物大量消耗,含蜡降低,凝固点降低,原油的粘度、密度增加。另外,油藏埋藏浅,储层超覆在基岩山麓边缘,直接暴露于地表,接受地面水和空气的渗入,水解轻质组分,使重组分更加氧化浓缩,加剧了油藏原油变稠的过程。

表 1.3 5153 井—吐孜沟原油物理、化学性质变化数据表

井 号		5153 井	310 井	50 井	3245 井	黑油山	克水库	吐孜沟
层 段, m		1604.1~1525.8	668~640	568~513	468.8~457.8	地面	地面	地面
层 位		T ₂ k ²	T ₂ k ²	T ₂ k ²	T ₂ k ²	T ₂ k ²	T ₂ k ²	T ₁
样品类别		原油	原油	原油	原油	原油	油砂	油砂
原油性质	相对密度(d_{4}^{20})	0.8445	0.8508	0.8730	0.8754	0.9617		
	粘度(30℃) mPa·s	36.8 (26℃)	17.52	100.89	93.14 (20℃)	442.58		
	凝固点, C	+1.0	-32.5	-35.5	-51.5	-31.2~-40		
	含蜡量, %	8.92	4.55	3.28	1.25	0.88~1.07		
原油族组成, %	饱和烃	71.3	69.3	65.3	58.3	58.8	32.6	33.8
	芳烃	13.4	14.6	17.1	18.9	16.6	5.0	7.2
	非烃	5.0	10.9	12.1	18.3	19.9	14.9	22.3
	沥青质	10.3	5.2	5.5	4.5	4.7	47.5	36.7
卟啉 mg/L	镍卟啉	7.77	2.10	4.24	2.79	2.98	0	0
	钒卟啉	0	0	0	0	0	0	0
原油灰分 mg/L	镍	9.17	3.23	9.17	8.20	16.27		11.17
	钒	0.10	0.03	0.07	0.15	0.25		0.27
气相色谱	iC ₁₉ /nC ₁₇	0.71	0.79/1.01	1.16	1.39			
	iC ₂₀ /nC ₁₈	0.79	0.07/1.30	1.23	1.43			
	iC ₁₉ +iC ₂₀							
	nC ₁₇ +nC ₁₈	0.75		1.20	1.41			
原油 $\delta^{13}\text{C}$, ‰		-29.812	-29.681	-29.759		-29.778	-29.047	-29.829

二、稠油的物理化学性质

1. 物理性质

(1) 密度与粘度

西北缘稠油的密度在 0.900~0.986g/cm³ 之间, 粘度从 1000~500000mPa·s (20℃), 而且两者之间具有很好的相关性 (图 1.8)。稠油的密度不受深度的控制, 而与储层的封闭性能有关, 即与盖层的厚度及封闭质量有关。

西北缘稠油与国内外其它地区的稠油相比, 在相同条件下, 其粘度要高出 1~2 个数量级, 致使它在目前国际上通用的稠油分类表中找不到自己的位置 (图 1.9)。

克拉玛依稠油的这一特性可能是由烃组成中各单体烃的物理化学性质所决定的, 而单体烃的组成又与原始生油母质有关。据研究, 克拉玛依原油的主要油源岩——风城组生油岩是一套具有强还原环境的咸化泻湖或残留海湾的富有机质沉积, 有机质组成以藻类为主, 故环烷烃的含量非常高。

(2) 凝固点与含蜡量

克拉玛依稠油的含蜡量在 0.87%~0.3% 之间, 一般为 2.0% 左右, 稀油含蜡量均大于 6.0%, 前者主要为低凝油, 后者一般为普通油, 凝固点与含蜡量之间具有明显的相关性。

一般认为, 低凝油的产生是由于细菌对原油结晶的正构石蜡烃选择性摄取的结果。当正