

■ 准噶尔盆地勘探理论与实践系列丛书 ■

# 新疆浅层稠油油藏注蒸汽 开发技术与实践

霍 进 王延杰 马 鸿 孙新革 杨 智 木合塔尔 等/著

Steam Injection Technology and Practice  
for Shallow Heavy Oil Reservoirs in Xinjiang



科学出版社

准噶尔盆地勘探理论与实践系列丛书

# 新疆浅层稠油油藏注蒸汽 开发技术与实践

Steam Injection Technology and Practice  
for Shallow Heavy Oil Reservoir in Xinjiang

霍 进 王延杰 马 鸿 孙新革 杨 智 木合塔尔 等 著

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书系统总结了新疆油田常规注蒸汽开发中的实践与认识,主要包括油藏细化分类、注蒸汽开发方式采油机理、不同类型稠油油藏生产规律、注蒸汽开发方式筛选及方案设计、注蒸汽工艺新技术,并通过典型油藏实例剖析总结了不同类型稠油油藏注蒸汽开发的实践和成果。

本书可供从事稠油开发工作的管理人员、技术人员和科研人员参考,也可作为稠油开发初学者的参考资料。

### 图书在版编目(CIP)数据

新疆浅层稠油油藏注蒸汽开发技术与实践=Steam Injection Technology and Practice for Shallow Heavy Oil Reservoir in Xinjiang/霍进等著. —北京:科学出版社,2018. 6

(准噶尔盆地勘探理论与实践系列丛书)

ISBN 978-7-03-058039-9

I. ①新… II. ①霍… III. ①高黏度油气田-注蒸汽-油田开发-新疆 IV. ①TE357. 44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 132737 号

责任编辑:万群霞 冯晓利 / 责任校对:郑金红

责任印制:师艳茹 / 封面设计:无极书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京画中画印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2018 年 6 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2018 年 6 月第一次印刷 印张:13

字数:300 000

定价:198.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 本书作者名单

霍 进 王延杰 马 鸿 孙新革

杨 智 木合塔尔 席长丰 董 宏

陈燕辉 游红娟 杨兆臣 郑爱萍

周 游 任 标

准噶尔盆地位于中国西部,行政区划属新疆维吾尔自治区(简称新疆)。盆地西北为准噶尔界山,东北为阿尔泰山,南部为北天山,是一个略呈三角形的封闭式内陆盆地,东西长为700km,南北宽为370km,面积为 $13\times 10^4\text{km}^2$ 。盆地腹部为古尔班通古特沙漠,面积占盆地总面积的36.9%。

1955年10月29日,克拉玛依黑油山1号井喷出高产油气流,宣告了克拉玛依油田的诞生,从此揭开了新疆石油工业发展的序幕。1958年7月25日,世界上唯一一座以油田命名的城市——克拉玛依市诞生了。1960年,克拉玛依油田原油产量达到 $166\times 10^4\text{t}$ ,占当年全国原油产量的40%,成为新中国成立后发现的第一个大油田。2002年原油年产量突破 $1000\times 10^4\text{t}$ ,成为中国西部第一个千万吨级大油田。

准噶尔盆地蕴藏丰富的油气资源。油气总资源量为 $107\times 10^8\text{t}$ ,是我国陆上油气资源超过 $100\times 10^8\text{t}$ 的四大含油气盆地之一。虽然经过半个多世纪的勘探开发,但截至2012年年底,石油探明程度仅为26.26%,天然气探明程度仅为8.51%,均处于含油气盆地油气勘探阶段的早中期,预示着准噶尔盆地具有巨大的油气资源和勘探开发潜力。

准噶尔盆地是一个具有复合叠加特征的大型含油气盆地。盆地自晚古生代至第四纪经历了海西、印支、燕山、喜马拉雅等构造运动。其中,晚海西期是盆地拗隆构造格局形成、演化的时期,印支-燕山运动进一步叠加和改造,喜马拉雅运动重点作用于盆地南缘。多旋回的构造发展在盆地中造成多期活动、类型多样的构造组合。

准噶尔盆地沉积总厚度可达15000m。石炭系—二叠系被认为是由海相到陆相的过渡地层,中、新生界则属于纯陆相沉积。盆地发育了石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系和古近系六套烃源岩,分布于盆地不同的凹陷,它们为准噶尔盆地奠定了丰富的油气源物质基础。

纵观准噶尔盆地整个勘探历程,储量增长的高峰大致可分为准噶尔西北缘深化勘探阶段(20世纪70~80年代)、准噶尔东部快速发现阶段(20世纪80~90年代)、准噶尔腹部高效勘探阶段(20世纪90年代至21世纪初期)、准噶尔西北缘滚动勘探阶段(21世纪初期至今)。不难看出,勘探方向和目标的转移反映了地质认识的不断深化和勘探技术的日臻成熟。

正是由于几代石油地质工作者的不懈努力和执着追求,使准噶尔盆地在经历了半个多世纪的勘探开发后,仍显示出勃勃生机,油气储量和产量连续29年稳中有升,为我国石油工业发展做出了积极贡献。

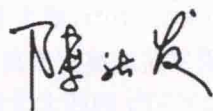
在充分肯定和乐观评价准噶尔盆地油气资源和勘探开发前景的同时,必须清醒地看到,由于准噶尔盆地石油地质条件的复杂性和特殊性,随着勘探程度的不断提高,勘探目

标多呈“低、深、隐、难”特点,勘探难度不断加大,勘探效益逐年下降。巨大的剩余油气资源分布和赋存于何处,是目前盆地油气勘探研究的热点和焦点。

由中国石油天然气股份有限公司新疆油田分公司(以下简称新疆油田分公司)组织编写的《准噶尔盆地勘探理论与实践系列丛书》历经近两年时间的努力,终于面世了。这是由油田自己的科技人员编写出版的一套专著类丛书,这充分表明我们不但在半个多世纪的勘探开发实践中取得了一系列重大的成果,积累了丰富的经验,而且在准噶尔盆地油气勘探开发理论和技术总结方面有了长足的进步,理论和实践的结合必将更好地推动准噶尔盆地勘探开发事业的进步。

该系列专著汇集了几代石油勘探开发科技工作者的成果和智慧,也彰显了当代年轻地质工作者的厚积薄发和聪明才智。希望今后能有更多高水平的、反映准噶尔盆地特色的地质理论专著出版。

“路漫漫其修远兮,吾将上下而求索”。希望从事准噶尔盆地油气勘探开发的科技工作者勤于耕耘、勇于创新、精于钻研、甘于奉献,为“十二五”新疆油田的加快发展和“新疆大庆”的战略实施做出新的更大的贡献。



新疆油田分公司总经理

2012年11月

# 前言



新疆准噶尔盆地西北缘稠油油藏埋藏浅，原油黏度变化范围大，地质条件复杂，油藏类型多，相继实施了注蒸汽吞吐和蒸汽驱开采后，取得了良好的开发效果和巨大的社会效益，形成了具有国内先进水平的浅层稠油开发模式及工艺技术系列。

基于“八五”至“九五”期间新疆稠油热采形成的理论、技术和方法，本书旨在总结新疆油田常规注蒸汽开发中的实践与认识，特别是近 15 年来在稠油老区转化开发方式、超稠油经济有效开发、改善注蒸汽开发效果工艺技术等方面取得的突破。全书共 6 章，第 1 章为概述，由新疆稠油地质特征、浅层稠油油藏地质特征、浅层稠油油藏分类、新疆稠油热采开发历程与技术现状 4 个部分组成；第 2 章介绍了稠油油藏流体与岩石的热物理性质，新疆超稠油采用过热蒸汽技术取得了较好的效果，因而本章也详细介绍了过热水蒸气的热物理性质；第 3 章为稠油油藏注蒸汽开采机理和生产规律，分析了注蒸汽开发主要机理和注蒸汽前后储层物性变化机理，介绍了稠油油藏注蒸汽开发过程中储层岩性特征、储层物性变化规律，总结了不同稠油油藏类型的注蒸汽开发的生产特征；第 4 章为新疆稠油油藏注蒸汽开发方式研究，总结了近年来新疆稠油油藏开发程序，提出了不同类型浅层稠油油藏开发技术界限；第 5 章为不同类型稠油油藏开发实践，以普通稠油油藏、特稠油油藏、超稠油油藏为例，分别阐述了 3 种典型油藏多年来在开发实践过程中的经验与教训；第 6 章为注蒸汽热采工艺技术，重点介绍了注蒸汽开发过程中关键技术，如过热蒸汽锅炉、水平井分段注汽工艺技术、水平井冲砂工艺技术等。

浅层稠油的开发思路与深层稠油不同，国内大部分文献只涉及注蒸汽开发的局部技术进展，至今一直无该领域的著作。本书系统总结了近 20 年来的开发技术进展与实践心得，填补了该领域专著出版的空白。

本书一方面系统总结了稠油热采基础理论和方法，可为稠油开发的初学者和专业人员提供技术参考；另一方面系统总结了稠油开发实践中的经验、教训和成果，希望能为稠油油藏开发方式的转变提供一定的方向和指导。

本书在撰写过程中得到了中国石油新疆油田分公司新港作业公司、中国石油新疆油田分公司重油开发公司、中国石油新疆油田分公司风城油田作业区等单位的热情支持与帮助，在此表示衷心的感谢。

因作者水平有限，本书难免有不妥之处，敬请读者批评和指正。

作者

2018 年 2 月

# 目 录



|                        |     |
|------------------------|-----|
| 序                      |     |
| 前言                     |     |
| 第 1 章 概论               | 1   |
| 1.1 准噶尔盆地油藏地质特征        | 1   |
| 1.2 新疆浅层稠油油藏地质特征       | 4   |
| 1.3 新疆浅层稠油油藏分类         | 7   |
| 1.3.1 浅层稠油分类指标         | 7   |
| 1.3.2 浅层稠油分类结果及潜力      | 11  |
| 1.4 开发技术历程和现状          | 11  |
| 1.4.1 新疆稠油热采开发历程       | 11  |
| 1.4.2 新疆热力开采技术现状       | 12  |
| 第 2 章 稠油油藏流体与岩石的热物理性质  | 17  |
| 2.1 水蒸气热物理性质           | 17  |
| 2.2 原油的热物理特性           | 25  |
| 2.3 油藏岩石的热物理性质         | 28  |
| 第 3 章 稠油油藏注蒸汽开采机理和生产规律 | 32  |
| 3.1 注蒸汽开发采油机理          | 32  |
| 3.2 注蒸汽开发储层物性变化规律      | 38  |
| 3.3 注蒸汽开发效果影响因素分析      | 47  |
| 3.3.1 影响蒸汽吞吐开发效果的因素分析  | 47  |
| 3.3.2 影响蒸汽驱开发效果的因素分析   | 51  |
| 3.4 不同稠油油藏生产规律         | 55  |
| 第 4 章 新疆稠油油藏注蒸汽开发方式研究  | 65  |
| 4.1 稠油热采开发设计           | 65  |
| 4.2 热采油藏常用油藏工程方法       | 68  |
| 4.2.1 热采油藏工程公式         | 68  |
| 4.2.2 热采数值模拟方法         | 77  |
| 4.3 不同类型油藏开发方式筛选指标     | 84  |
| 4.4 不同类型油藏合理开采技术界限     | 89  |
| 4.4.1 合理设计参数确定         | 89  |
| 4.4.2 合理操作参数确定         | 107 |

|                                                        |     |
|--------------------------------------------------------|-----|
| 第 5 章 不同类型稠油油藏开发实践                                     | 118 |
| 5.1 普通稠油油藏注蒸汽开发实践——九 <sub>1</sub> —九 <sub>5</sub> 区块为例 | 118 |
| 5.1.1 油藏概况                                             | 118 |
| 5.1.2 开发历程                                             | 122 |
| 5.1.3 九 <sub>1</sub> —九 <sub>5</sub> 区稠油注蒸汽开发技术        | 124 |
| 5.1.4 主要开发认识                                           | 141 |
| 5.2 特稠油油藏注蒸汽开发实践——九 <sub>6</sub> 区为例                   | 141 |
| 5.2.1 油藏地质特征                                           | 142 |
| 5.2.2 开发简况                                             | 143 |
| 5.2.3 特稠油注蒸汽开发存在的主要问题                                  | 146 |
| 5.2.4 改善注蒸汽效果的技术措施                                     | 151 |
| 5.2.5 主要开发认识                                           | 158 |
| 5.3 超稠油油藏注蒸汽开发实践——重 32 井区为例                            | 159 |
| 5.3.1 油藏地质特征                                           | 159 |
| 5.3.2 开发历程                                             | 160 |
| 5.3.3 改善蒸汽吞吐效果的技术措施                                    | 161 |
| 5.3.4 超稠油蒸汽驱研究与试验                                      | 168 |
| 5.3.5 主要开发认识                                           | 174 |
| 第 6 章 注蒸汽热采工艺技术                                        | 175 |
| 6.1 过热蒸汽锅炉                                             | 175 |
| 6.2 水平井分段注汽工艺技术                                        | 179 |
| 6.3 稠油水平井冲砂工艺技术                                        | 181 |
| 6.4 高温调剖技术                                             | 186 |
| 6.5 油藏热采动态监测技术                                         | 187 |
| 6.6 稠油地表汽窜治理技术                                         | 189 |
| 主要参考文献                                                 | 193 |

# 概 论 第 1 章

稠油是一种高黏度、高密度原油,国外统称为重质原油。依据我国石油行业油藏分类标准,将油层条件下黏度不小于  $50\text{mPa}\cdot\text{s}$ ,密度不小于  $0.92\text{g}/\text{cm}^3$  的原油称为稠油。稠油又细分为三类:在油层温度条件下,脱气原油黏度为  $50\sim 10000\text{mPa}\cdot\text{s}$ 、密度大于  $0.92\text{g}/\text{cm}^3$  的原油称为普通稠油;脱气原油黏度为  $10000\sim 50000\text{mPa}\cdot\text{s}$ 、密度大于  $0.95\text{g}/\text{cm}^3$  的原油称为特稠油;脱气原油黏度大于  $50000\text{mPa}\cdot\text{s}$ 、密度大于  $0.98\text{g}/\text{cm}^3$  的原油称为超稠油。

准噶尔盆地西北缘具有丰富的稠油资源,从红山嘴到风城,绵延  $150\text{km}$ ,主要有克拉玛依油田的九区、六区、四区、克浅 10 井区、黑油山区,红山嘴油田红浅 1 井区,百口泉油田百重 7 井区及风城油田重 1、重 32、重 18 等井区。多数油藏的埋深不超过  $650\text{m}$ 。稠油油藏多与稀油油藏邻近或在同一油田,具备较好的水、电、路、通信等基础设施,便于统筹开发。西北缘稠油属于环烷基、低凝固点的特殊油品,是国民经济和国防建设中的重要原料,炼化附加值高,在开发中与稀油分采、分输、分炼。

## 1.1 准噶尔盆地油藏地质特征

准噶尔盆地是中国西北边陲的大型内陆盆地之一,在漫长的地质历史演化过程中,在盆地西北缘形成了绵延  $250\text{km}$  的推覆体构造带,由 3 个舌形体和 3 条大断裂带组成,即红-车断裂带、克-乌断裂带、乌-夏断裂带(图 1-1),断面倾向西北,倾角上陡下缓,由盆地边缘向盆地中心呈叠瓦状推覆排列,水平推覆距离可达  $9\sim 25\text{km}$ 。断裂上下盘地层沉积厚度不同,表现了断裂的同沉积性。推覆构造体大体划分为 5 个带:①推覆体主部,多由石炭系(C)基岩组成;②前缘断块带,由基岩、下二叠统及上覆三叠系—侏罗系组成;③下盘掩伏带,即推覆体主断裂下盘掩伏部分,多是单斜构造,由二叠系(P)、三叠系(T)和部分侏罗系组成;④超覆尖灭带,在推覆体主部之上被中生代地层超覆,主要由部分三叠系、下侏罗统、上侏罗统和下白垩统组成,是浅层稠油油藏的主要分布区;⑤前沿外围带,在推覆体主断裂下盘外围,常为单斜或平缓褶皱构造(图 1-2)。

在推覆体构造背景下,超覆尖灭带在石炭系基岩之上,依次超覆沉积了三叠系克拉玛依组( $T_2k$ )、白碱滩组( $T_3b$ )、侏罗系八道湾组( $J_1b$ )、三工河组( $J_1s$ )。西山窑组( $J_2x$ )、头屯河组( $J_2t$ )、齐古组( $J_3q$ )、白垩系吐谷鲁群( $K_1tg$ )等(表 1-1)。经开发钻井证实,在地层剖面中存在 4 个不整合面:三叠系与石炭系之间、侏罗系与三叠系之间、上侏罗统齐古组与下伏层系之间、白垩系与侏罗系之间不整合接触,使各时期超覆沉积的各组地层厚度向盆地边缘逐渐减薄,后期的构造运动(抬升),又使地层遭受严重的剥蚀,造成地

层剖面的不连续性,但这也为稠油油藏的形成创造了有利条件。早期(三叠纪末期)形成的油藏遭到破坏,油气沿着断裂和不整合面发生二次、三次运移,向上至推覆体上盘超覆尖灭带形成次生油藏,再经轻质组分挥发散失、水洗氧化及生物降解作用,最终形成稠油油藏(图 1-3)。

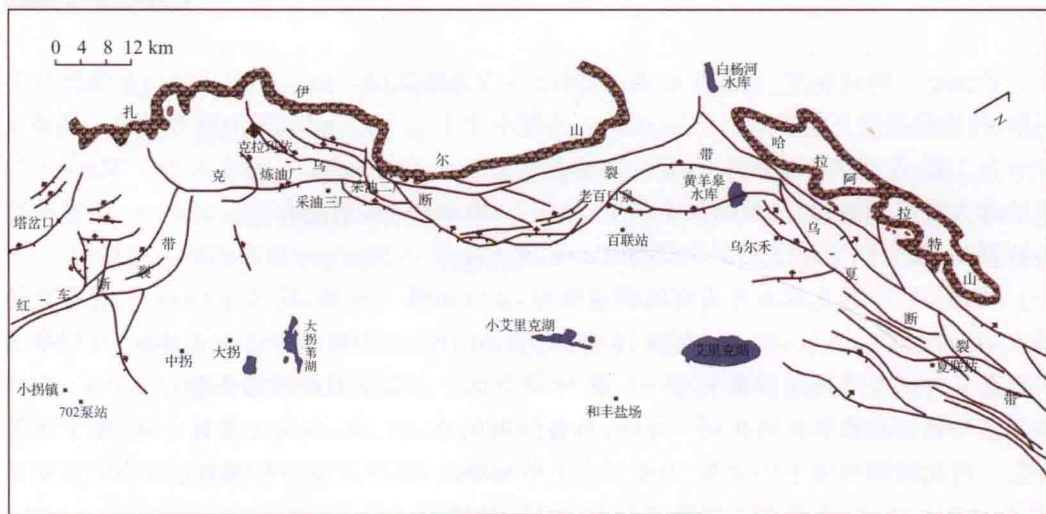


图 1-1 克拉玛依大逆掩断裂带构造纲要图

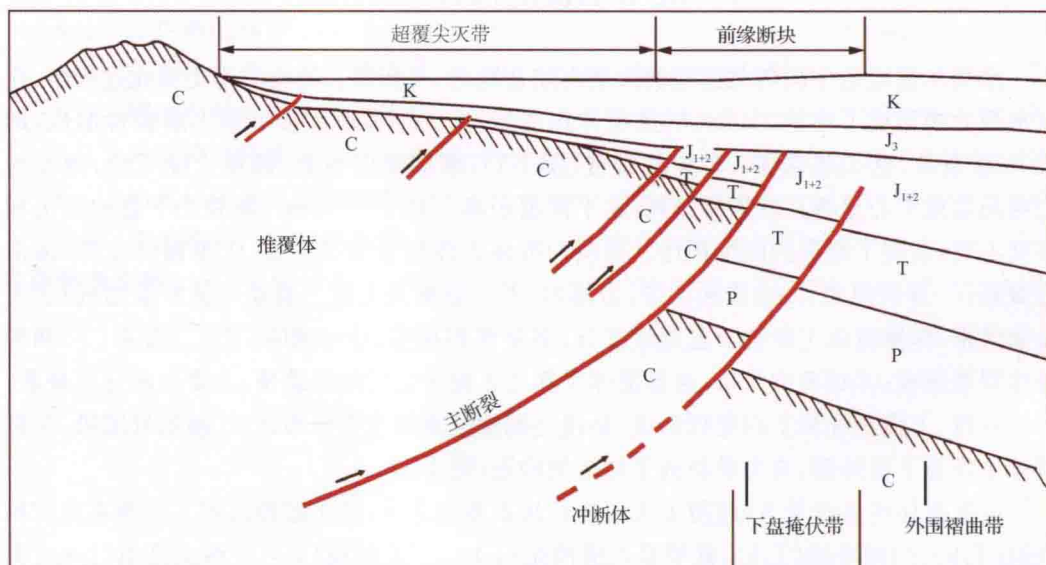


图 1-2 准噶尔盆地构造模式图

表 1-1 准噶尔盆地西北缘稠油油藏地层简况表

| 系   | 统  | 地层名称  |     | 层位符号                          | 主要岩性                                                                                |
|-----|----|-------|-----|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 白垩系 | 下统 | 吐谷鲁群  |     | K <sub>1</sub> tg             | 灰绿色细砂岩与棕色、褐红色、灰绿色泥岩夹灰质砂岩，底部为灰绿色角砾岩                                                  |
|     | 上统 | 齐古组   |     | J <sub>3</sub> q              | 紫红、褐色及少量灰绿、灰白色泥岩与砂岩互层                                                               |
| 侏罗系 | 中统 | 头屯河组  |     | J <sub>2</sub> t              | 杂色砂岩、泥岩夹砾岩、砂岩                                                                       |
|     |    | 西山窑组  |     | J <sub>2</sub> x              | 灰白、灰绿色砂泥岩互层，夹炭质泥岩及煤线，底为砂砾岩                                                          |
|     | 下统 | 三工河组  |     | J <sub>1</sub> s              | 灰、灰绿色泥岩为主夹砂岩                                                                        |
|     |    | 八道湾组  |     | J <sub>1</sub> b              | 灰绿、灰色砂岩、砾岩、泥岩与煤层，底为灰白色砾岩                                                            |
| 三叠系 | 上统 | 白碱滩组  |     | T <sub>3</sub> b              | 上部为灰绿色砂岩与灰黑色泥岩互层，下部为灰绿、灰黑色泥岩，夹少量薄层砂岩                                                |
|     | 中统 | 克拉玛依组 | 克上组 | T <sub>2</sub> k <sub>2</sub> | 灰绿色砂砾岩及灰绿色泥岩的不等厚互层                                                                  |
|     |    |       | 克下组 | T <sub>2</sub> k <sub>1</sub> | 绿灰色、褐灰色砾岩、含砾不等粒砂岩与灰绿色、棕褐色泥岩不等厚互层                                                    |
| 石炭系 |    | 石炭系   |     | C                             | 灰色、灰绿色、紫红色薄层状凝灰岩，凝灰色粉砂岩夹辉绿岩，薄层状灰黑色凝灰质泥岩，凝灰质粉砂岩夹硅质岩、砂岩，厚层状灰色、深灰色砂岩与凝灰岩互层，局部夹火山岩和生物灰岩 |

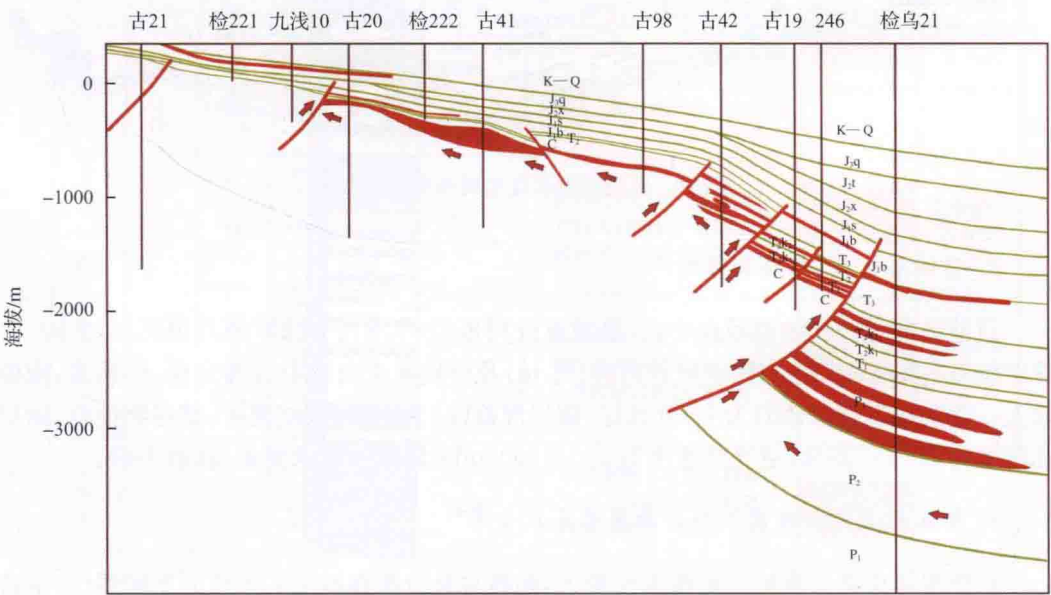


图 1-3 准噶尔盆地西北缘稠油成藏模式图

## 1.2 新疆浅层稠油油藏地质特征

### 1. 分布广,埋藏浅,资源丰富

准噶尔盆地西北缘从红山嘴到风城,已发现的稠油油藏埋深一般为 160~600m。

截至 2016 年年底,新疆油区在准噶尔盆地西北缘和东部 2 大油区的 6 个油田(克拉玛依油田、红山嘴油田、百口泉油田、风城油田、三台油田、车排子油田)(图 1-4)累计探明含油面积为 330.1km<sup>2</sup>,地质储量为  $3.7 \times 10^8$ t,普通稠油油藏占 44.8%,特稠油占 31.6%,超稠油占 23.6%。剖面上主要分布在三叠系克下组、克上组,侏罗系八道湾组、齐古组(图 1-5)。

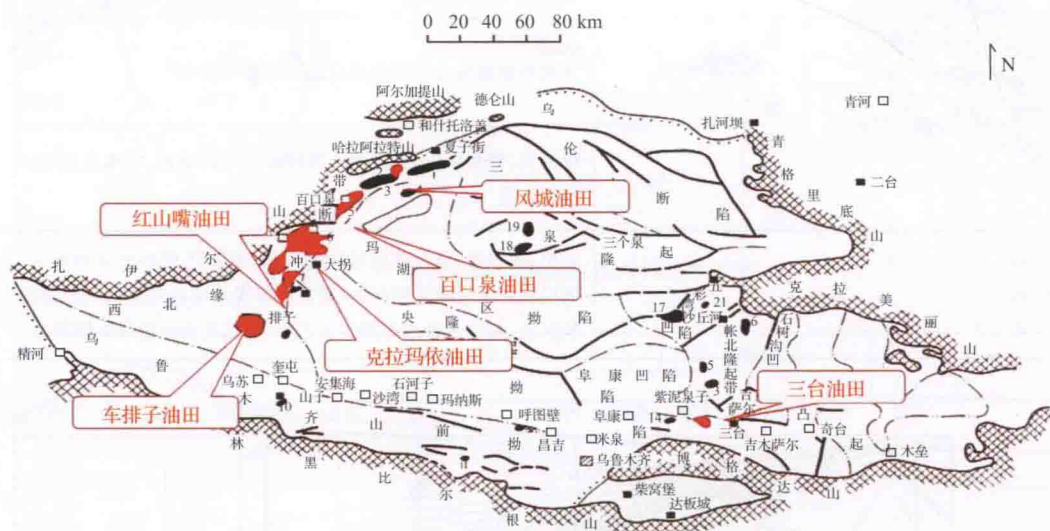


图 1-4 新疆准噶尔盆地稠油资源分布图

### 2. 含油层位多,储层物性好

目前已发现的稠油油藏在中,三叠统克拉玛依组( $T_2k$ )、下侏罗统八道湾组( $J_1b$ )、上侏罗统齐古组( $J_3q$ )、下白垩统吐谷鲁群( $K_1tg$ )及石炭系火山岩中均有发育,层系多,规模较大。含油层岩性以砂岩为主,分选好,储层埋藏浅,欠压实,胶结疏松,储层物性好,油层孔隙度为 25%~36%,空气渗透率为 300~5000mD,属中—高渗储集层(表 1-2)。

### 3. 各油藏主要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,油藏总是分布在砂层尖灭线的下倾部位,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。按成因分析,西北缘稠油油藏主要有以下 3 种类型。

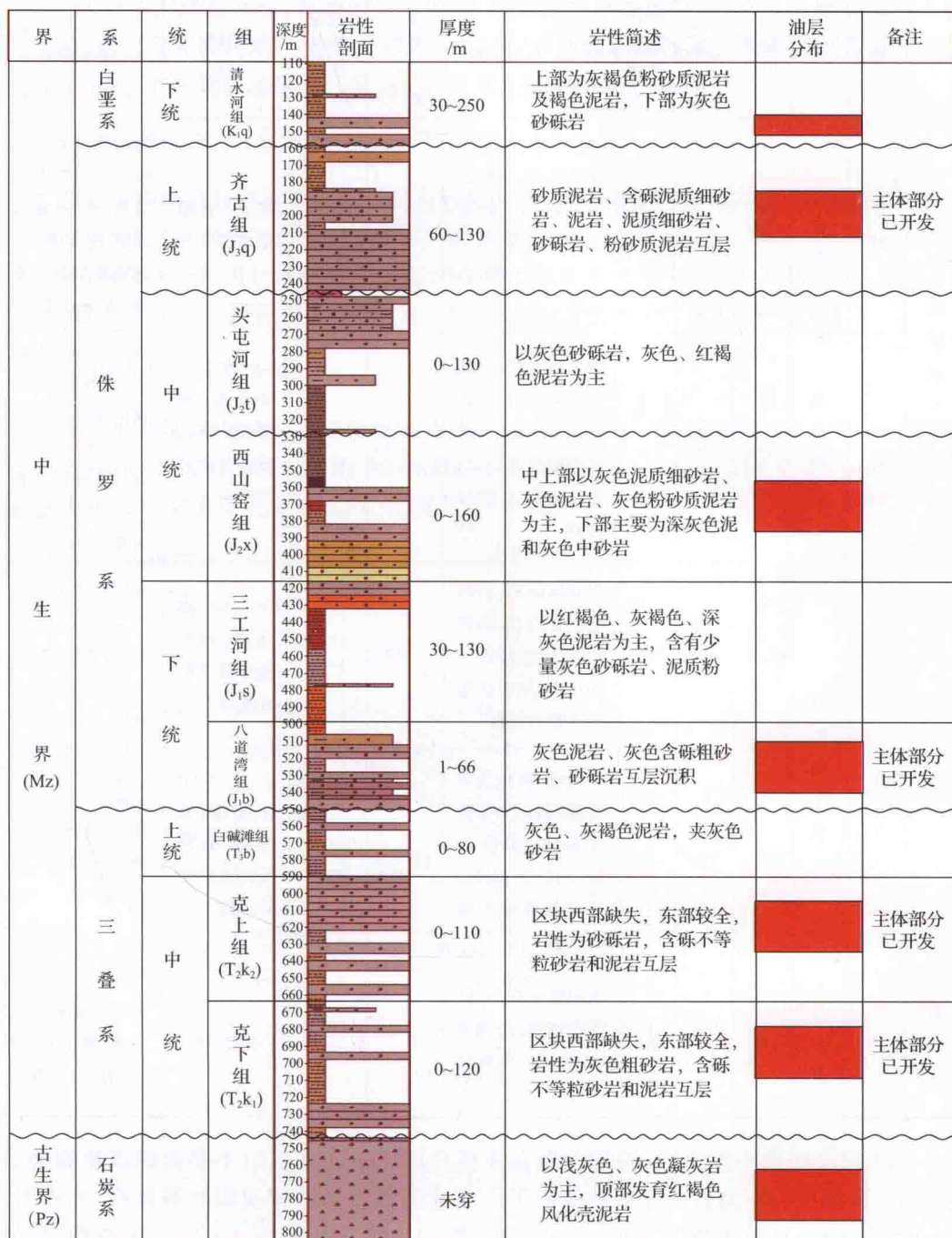


图 1-5 西北缘地层综合柱状图

表 1-2 西北缘稠油油藏储层特征表

| 系   | 统  | 组     | 层位<br>符号                      | 平均<br>埋深<br>/m | 平均<br>沉积<br>厚度<br>/m | 岩相岩性                                       | 油层<br>孔隙<br>度均<br>值/% | 油层<br>渗透<br>率均<br>值/mD | 储层<br>评价           | 分布区域                                                        |
|-----|----|-------|-------------------------------|----------------|----------------------|--------------------------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------|
| 侏罗系 | 上统 | 齐古组   | J <sub>3</sub> q              | 265            | 110                  | 辫状河流相,岩性为砂砾岩、中细砂岩、细砂岩、砂质泥岩和泥岩,与下伏地层不整合接触   | 25~36                 | 756~2334               | 高孔、高渗透集层           | 克拉玛依油田九区、六区、克浅 10 井区;红山嘴油田红浅 I 井区;风城油田重 1、重 29、重 32 井区      |
|     | 下统 | 八道湾组  | J <sub>1</sub> b              | 450            | 52                   | 辫状河流相,岩性为中细砂岩、含砾砂岩、小砾岩、砂质泥岩和泥岩,与下伏地层不整合接触  | 25~30                 | 400~845                | 中孔隙、高渗透、非均质性强的较好储层 | 克拉玛依油田九区、六东区;红山嘴油田红一 1、红一 2、红一 3 区;百口泉油田百重 7 井区;风城油田重 43 井区 |
| 三叠系 | 中统 | 克拉玛依组 | T <sub>2</sub> k <sub>2</sub> | 360            | 85                   | 辫状河流相,岩性为中粗砂岩、砂质小砾岩、砂质泥岩和泥岩,与下伏地层不整合接触     | 19~28.2               | 140~715                | 中孔隙、高渗透、非均质性强的较好储层 | 克拉玛依油田九区南、四 <sub>2</sub> 区、六区、黑油山区;百口泉油田百重 7 井区             |
|     |    |       | T <sub>2</sub> k <sub>1</sub> | 420            | 90                   | 冲积扇,岩性为不等粒砾岩、不等粒小砾岩、中粗砂岩、细砂质、泥岩,与下伏地层不整合接触 | 19~23                 | 180~962                | 中孔隙、高渗透、非均质性强的较好储层 | 克拉玛依油田四 <sub>2</sub> 区、六区、黑油山区                              |
| 石炭系 |    | 石炭系   | C                             | 500<br>(未穿)    | 220                  | 火山喷发相,岩性为火山岩、火山角砾岩、火山角砾凝灰岩                 | 1.3                   | 1.0                    | 网状缝发育              | 克拉玛依油田九区南、四 <sub>2</sub> 区(检 131、检 129 井区)                  |

(1) 地层超覆不整合型:油藏分布在不整合面之上。油气沿不整合面或断裂面运移至此,聚集在与不整合面连通的砂岩中而形成油藏。如风城油田吐谷鲁群、齐古组、八道湾组油藏,克拉玛依油田四<sub>2</sub>区克下组、黑油山区克拉玛依组(T<sub>2</sub>k)等油藏,均属此类。

(2) 断裂遮挡的地层超覆型:油藏多分布在断块内。在地层超覆背景下,地层上倾方向被断裂切割,形成断裂遮挡油藏。如克拉玛依油田的六、九区齐古组油藏,红山嘴油田

红浅1井区齐古组、八道湾组、克上组油藏均属此类。

(3) 基岩裂缝控制性: 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层遮挡而形成油藏。此类油藏多分布在推覆体主部, 如克拉玛依油田九区南、四<sub>2</sub>区石炭系油藏均属此类型。

#### 4. 稠油属环烷基, 具有“三高四低”的特点

西北缘稠油组分的重要特征是具有较高的分子量, 较低的金属含量, 常规物理性质可集中概括为“三高四低”, 即黏度高, 20℃时地面脱气油黏度 1300~500000mPa·s; 酸值高, 平均为 3.9mgKOH/g; 胶质含量高, 平均为 16.8%; 含蜡量低, 平均为 2.2%; 含硫量低, 一般小于 0.5%; 凝固点低, 平均为 -41~-16℃; 沥青质含量低, 平均为 1.1%。

#### 5. 稠油温度敏感性强

西北缘稠油黏度对温度的敏感性很强。以九浅7井的原油为例(图1-6), 当温度由 20℃上升到 50℃时, 原油黏度由 7600mPa·s 下降到 600mPa·s, 下降了 92%; 当温度上升到 100℃时, 黏度降低到 44mPa·s, 降低了 99%。

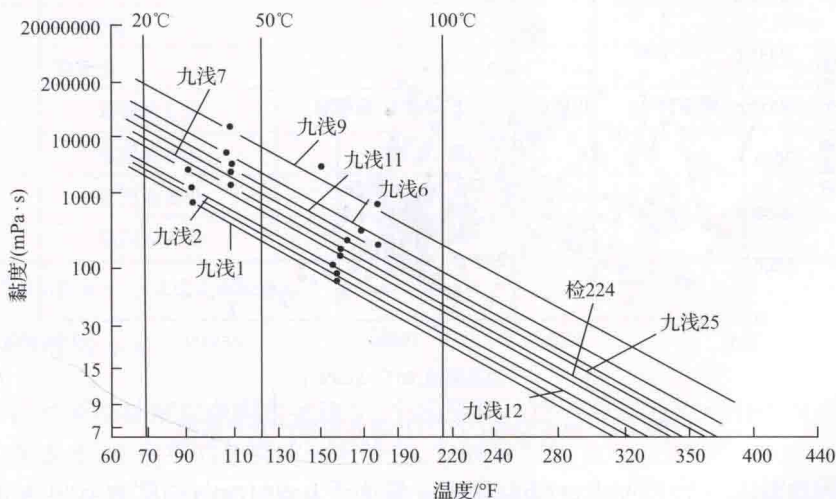


图 1-6 九区齐古组黏度-温度曲线

$$T(^{\circ}\text{F}) = \frac{9}{5} T(^{\circ}\text{C}) + 32$$

## 1.3 新疆浅层稠油油藏分类

### 1.3.1 浅层稠油分类指标

对西北缘已开发的各层块的地质条件与生产效果统计分析认为, 影响稠油生产效果的主要因素依次为原油黏度、储层物性(油层厚度、渗透率、孔隙度)。以此为依据对西北

缘各稠油油藏进行重新分类。以黏度分类为第一指标,以岩性分类为第二指标,将新疆浅层稠油划分为砂岩普通稠油油藏、砂砾岩普通稠油油藏、砂岩特稠油油藏、砂砾岩特稠油油藏、砂岩超稠油、砂砾岩超稠油 6 种类型。

### 1. 按原油黏度分类

新疆浅层超稠油 20℃时的原油黏度为 50000~5000000mPa·s, 50℃时的原油黏度为 2000~100000mPa·s,原油黏度对生产效果的影响很大。以九<sub>7</sub>和九<sub>8</sub>砂岩油藏为例, 20℃时原油黏度小于 200000mPa·s(50℃时小于 5000 mPa·s)的井采用常规注蒸汽开采可以取得一定效果;50℃时原油黏度为 5000~20000mPa·s 的井必须采取适当措施才能有效开发;50℃时原油黏度大于 20000mPa·s 的井采用常规开发方式生产效果较差(图 1-7),连续油层厚度较大时(>15m),采用蒸汽辅助重力泄油技术(steam assisted gravity drainage, SAGD)可进行有效开发。

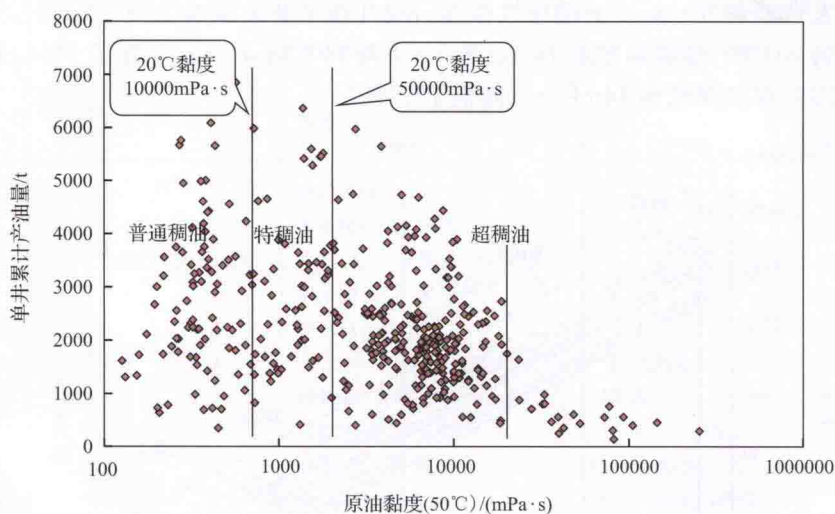


图 1-7 原油黏度(50℃)与单井累计产量关系图

新疆稠油黏度小于 150mPa·s 时,密度一般小于 0.9g/cm<sup>3</sup>;黏度为 50000mPa·s 时,密度一般小于 0.95g/cm<sup>3</sup>,刘文章(1998)分类标准的原油密度与黏度的对应关系,在新疆油田原油中没有很好的相关性。另外,不同油藏的密度与黏度的相关性也有差异(图 1-8),因此原油密度不作为分类指标。

综合以上分析,保持刘文章(1998)原油黏度分类中对普通稠油和特稠油的划分标准,形成新疆准噶尔盆地浅层稠油黏度分类标准(表 1-3)。按照目前的开发难度将超稠油进一步细化成 4 个亚类:Ⅰ类适合常规注蒸汽开发,Ⅱ类可采用 SAGD 技术开发,Ⅲ类需要攻关试验,Ⅳ类目前暂不能有效开发。考虑超稠油 20℃黏度不能准确测试,主要以 50℃黏度进行分类,通过 20℃黏度与 50℃黏度回归关系,给出 20℃黏度参考值。