

稠油与高凝油油藏 提高采收率技术

付美龙 欧阳传湘 喻高明 著

石油工业出版社

稠油与高凝油油藏 提高采收率技术

付美龙 欧阳传湘 喻高明 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书针对稠油、高凝油油藏常规手段难以开采的现状,以作者多年来参与的稠油、高凝油开发项目为基础,系统介绍了多项稠油与高凝油油藏提高采收率技术,并阐述了这些技术最新的研究成果和国内外进展。

本书可供从事油气田开发的相关技术人员阅读,也可供现场施工人员及广大石油院校的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

稠油与高凝油油藏提高采收率技术/付美龙,欧阳传湘,喻高明著.
北京:石油工业出版社,2013.12

ISBN 978—7—5021—9864—0

I. 稠…

II. ①付…②欧…③喻…

III. ①稠油开采—提高采收率

②高凝原油—石油开采—提高采收率

IV. ①TE345②TE357

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 263042 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://pip.cnpc.com.cn>

编辑部:(010)64523579 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2013 年 12 月第 1 版 2013 年 12 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:23.75

字数:595 千字

定价:98.00 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

前 言

近年来,随着石油开采技术的不断提高,一些特殊油藏越来越引起人们的重视,尤其是稠油和高凝油油藏。但是,由于稠油和高凝油油藏具有黏度大、含蜡量高、凝点高等特点,开发起来十分困难,所以如何提高稠油和高凝油油藏的采收率就成为了广大石油工作者所面临的难题。笔者以所参与的稠油、高凝油开发项目为基础,以最新的研究结果和进展为材料来源,经过系统整理而编写成本书。书中通过大量的模拟实验和现场生产状况研究,向读者介绍了多项稠油、高凝油油藏提高采收率的有效技术。

本书共分为三篇。第一篇介绍了稠油、高凝油油藏基本性质及开发现状,第二篇、第三篇分别介绍了注蒸汽和注气两种提高采收率技术。由于现阶段国内外对于高凝油油藏注蒸汽技术的研究较少,编者的项目研究也未能涉及这方面,故第二篇只介绍了稠油油藏注蒸汽提高采收率技术。第三篇则全面介绍了稠油、高凝油油藏注气提高采收率技术。

本书第一篇、第三篇主要由付美龙执笔,第二篇主要由欧阳传湘执笔,书中涉及油藏数值模拟的部分由喻高明完成。凌建军老师参与了部分稠油油藏提高采收率技术的编写,硕士研究生张驰做了一些文字处理工作,全书由付美龙统稿。长江大学石油工程学院的领导及广大同仁们也在成书过程中提出了宝贵的意见和建议,在此表示感谢。

稠油、高凝油油藏提高采收率技术涉及的相关学科较多,在理论和应用方面尚存在许多问题需进一步探讨,加之编者水平有限,欠妥或错误之处在所难免,敬请读者不吝指正。

付美龙

2013年8月

目 录

第一篇 稠油、高凝油油藏基本性质及开发现状

第一章 稠油、高凝油油藏成因与特征	(1)
第一节 稠油与高凝油的定义	(1)
第二节 稠油与高凝油的成因	(2)
第三节 稠油、高凝油油藏的基本特征	(5)
第二章 稠油、高凝油基本性质及稠油的分类标准	(9)
第一节 稠油、高凝油的基本性质	(9)
第二节 稠油的分类标准	(18)
第三章 稠油、高凝油油藏主要分布及开采技术	(21)
第一节 稠油、高凝油油藏的主要分布	(21)
第二节 稠油、高凝油油藏开采技术	(22)

第二篇 稠油油藏注蒸汽提高采收率技术

第四章 稠油油藏注蒸汽提高采收率机理	(28)
第一节 蒸汽吞吐的开采过程、作用机理及特征	(28)
第二节 蒸汽驱的开采过程、作用机理及特征	(32)
第五章 稠油油藏蒸汽吞吐转蒸汽驱技术	(37)
第一节 楼资 27 井区超薄层稠油蒸汽吞吐转蒸汽驱技术	(37)
第二节 潭口油田特一超稠油蒸汽吞吐转蒸汽驱技术	(69)
第三节 稠油油藏蒸汽吞吐高温调剖剂研究	(87)
第四节 结论与认识	(99)
第六章 超稠油油藏三元复合吞吐技术	(101)
第一节 超稠油物性及其与 CO_2 相互作用机理研究	(101)
第二节 表面活性剂筛选及性能评价	(115)
第三节 超稠油油藏三元复合吞吐物理模拟实验研究	(118)
第四节 超稠油油藏三元复合吞吐数值模拟研究	(140)
第五节 结论与认识	(154)
第七章 超稠油油藏水平井多点注汽优化设计技术	(155)
第一节 水平井多点注汽优化设计	(155)
第二节 软件编制与实际应用	(170)

第一篇 稠油、高凝油油藏 基本性质及开发现状

第一章 稠油、高凝油油藏成因与特征

第一节 稠油与高凝油的定义

一、稠油的定义

稠油,国际上称之为重质油或重油(Heavy Oil)。严格地讲,“稠油”和“重油”是两个不同性质的概念,因为“稠油”以原油黏度高低作为分类标准,而原油黏度的高低取决于原油内胶质、沥青质及蜡含量的多少;“重油”则是以原油密度的大小作为分类标准,而原油密度的大小往往取决于其金属、机械混合物及硫含量的多少。尽管一般原油的黏度与密度之间存在着一定的关系,即原油密度大,其黏度值高,但是有相当部分油藏的原油密度大,其黏度值却低,或者是原油黏度高,而密度小。因此,不能把“稠油”和“重油”两个概念完全等同起来。

几十年来,国际上一直以原油密度为主要指标进行分类,故称原油密度较大的油为重油。那么,原油密度多大为重油,不同国家的分类标准各不相同。例如,美国曾经将相对密度为 0.9042 以上(25°API 以下)的原油称为重油;委内瑞拉将相对密度为 0.934 以上(20°API 以下)的原油称为重油。随着稠油开发的发展,人们发现原油密度并不能真正表达稠油的特征。为了把原油特性(主要是黏度)和开发效果及经济效益联系起来,以有利于稠油资源评价和开发方式的研究,1982 年,在委内瑞拉召开的第二届国际重质油和沥青砂学术会议上,联合国训练署(UNITAR)制定了以原油黏度为主要指标,以相对密度为辅助指标的定义法,并把黏度不小于 $100\text{mPa}\cdot\text{s}$ 、相对密度不小于 0.934(20°API 以下)的原油称为重油。具体定义如下:

(1)重质原油和沥青砂油(沥青)是天然存在于孔隙介质中的石油或类似石油的液体或半固体。沥青砂(Tar Sand)也称油砂、油浸岩层、含沥青砂层。

(2)重质原油可以用黏度和密度来表示其特性。

(3)在确定国际石油资源时,应当采用黏度给重质原油和沥青砂油规定界限,当缺少黏度测定数据时,则采用密度值($^{\circ}\text{API}$)。

(4)重质原油是指在原始油藏温度下脱气油黏度为 $100\sim 10000\text{mPa}\cdot\text{s}$, 或者在 15.6°C (60°F)及大气压下密度为 $934\sim 1000\text{kg}/\text{m}^3$ 的原油。

(5)沥青砂油是指在原始油藏温度下脱气油黏度超过 $10000\text{mPa}\cdot\text{s}$, 或者在 15.6°C (60°F)及大气压下密度大于 $1000\text{kg}/\text{m}^3$ (小于 10°API)的石油。

(6)除上述以外的原油,其分类为中质原油及轻质原油。

(7)重质原油及沥青砂油主要由碳氢化合物组成。这类油一般只含少量具有高挥发性及易于蒸馏出的碳氢化合物,相对分子质量较大的脂族烃及萘烷碳氢化合物含量高,沥青含量高,而且含有氧、氮及硫的化合物。有证据表明,在油藏中,当微生物侵入某些中质及轻质原油时,这些原油中的轻馏分便消失了。另外还认为,某些重质原油及沥青砂油是由于含氧的地下水侵入油藏产生氧化过程而形成的。然而在某些这类油中,钒的含量或者钒和硫二者含量特别高的原因用这些过程是解释不了的。

(8)重质原油及沥青砂油在世界上广泛分布,除南极洲外各大洲均有,埋藏深度最大达 12000ft ^①。在各种地质构造及地质年代的地层、各种气候的陆上及近海地区都有重质原油分布。

(9)埋藏浅的沥青砂矿可以采用露天开矿技术开发,从采出的沥青砂中提炼石油。对埋藏深的重质原油及沥青砂矿,主要的开采方法是热力方法。

我国稠油中金属及机械混合物含量较少,而胶质、沥青质含量较高,因此早就以黏度为主要指标进行定义——地层原油黏度大于 $50\text{mPa}\cdot\text{s}$ (地层温度下脱气原油黏度大于 $100\text{mPa}\cdot\text{s}$)、原油相对密度大于 0.92 的原油。与联合国训练署的定义法相比,主要指标(原油黏度)是相同的,而辅助指标(相对密度)偏低些。

二、高凝油的定义

高凝油是指含蜡量高、凝点高的原油。凝点是指在一定条件下原油失去流动性时的最高温度。在开发过程中,当原油温度低于凝点时,原油中的某些重质组分(如石蜡)凝固、析出,并沉积到油层岩石颗粒、抽油设备或管线上,造成油层渗流阻力剧增,或抽油设备正常工作困难。到目前为止,高凝油尚无统一的划分标准,我国某些油田有自己的地区性划分方法。现在通常把凝点高于 40°C 、含蜡量大于 20% 的原油称为高凝油。

第二节 稠油与高凝油的成因

一、稠油的成因

关于稠油的成因问题,众说不一。但从 20 世纪 30 年代以来,人们对稠油成因的看法主要有三种学说,即稠油演变说、反稠油演变说和原油性质取决于生油母质及形成环境说。

稠油演变说认为所有原油都是从稠油演变而成的,即在缓慢的演变过程中,经压力、温度

① $1\text{ft}=0.3048\text{m}$ 。

及其他因素对石油的作用把环烷基油变成烷基油。反稠油演变说认为烷基油是原生的,从浅层采出的环烷基原油是经过次生的外力作用的产物,即环烷基稠油是在次生作用下由烷基原油变来的。原油性质取决于生油母质及形成环境说认为原油性质取决于生油物质及石油形成的沉积环境,其中最主要的是生油母质,深度、压力、温度都不能使石油性质发生根本性的转变。

随着现代科学技术的发展,特别是色谱—质谱计算机联用技术的发展,上述几种学说也在不断地发展,至今广为流行的学说有:稠油是低成熟原油说、生油母质类型及其沉积环境决定稠油说和原油在储层中的次生变化、水洗、氧化、生物降解形成稠油说。

目前,我国大多数人认为稠油的成因主要有两种类型,即原生型和次生型。原生型主要是指所谓的未成熟或低成熟油,次生型是指后期遭受生物降解等稠变作用形成的稠油。

由于石油的变重、变稠可以在油运移到聚集成为油藏以及之后的任何阶段,甚至石油遭到破坏,成为固体沥青为止,因此,把石油经初次运移进入储层以及之后的各个阶段中,使石油变重、变稠的各种作用统称为稠变作用。进一步研究表明,无论低成熟油还是高成熟油,均需要通过后期的稠变作用才能形成稠油,因此,稠油均是次生的。只是由于生油母质类型和原始成熟度的不同,才使其相应形成的稠油各具特色而已。

稠油油藏的形成主要受盆地后期构造抬升活动、细菌生物降解作用、地层水洗和氧化作用以及烃类轻质组分散失等因素的影响,其中后期构造运动起主导作用,而其他因素是这一地质背景下的地球化学作用过程。按照上述因素可将稠油油藏的成因分为风化剥蚀成因、边缘氧化成因、次生运移成因和底水稠变成因四种。

1. 风化剥蚀成因

风化剥蚀成因形成的稠油油藏主要受后期构造抬升活动强烈的影响。它使得早期形成的古油藏因抬升而接近地表,或者因古油藏的盖层封堵条件遭到不同程度的破坏、天然气和轻质组分大量溢散,从而导致液态烃因地层水的水洗作用或地表风化作用而形成稠油。

渤海湾盆地黄骅拗陷南部枣园稠油油田是较为典型的实例。枣园稠油油田位于其拗陷南部孔店断裂构造带高部位,与构造断裂带周缘低断块的原油相比有一个明显变重变稠的过程,这主要发生在油藏形成之后,与古油藏盖层封闭条件遭到一定程度的破坏有关。由于孔店断裂背斜构造带形成于始新世末期,其规模较大,加之在渐新世末期发生强烈断裂构造运动,使构造带进一步抬升,其顶部遭受强烈削蚀作用,使天然气和轻质组分溢散,而后期新近系覆盖取得一定的保存条件,从而造成原始气油比低、胶质和沥青质富集、原油密度和黏度增高、原油变稠。

2. 边缘氧化成因

边缘氧化成因形成的稠油油藏主要分布在盆地和拗陷斜坡边缘。在盆地后期构造活动抬升过程中,盆地边缘急剧上升,边缘斜坡带成为油气大规模运移和聚集的去向,当油气从盆地内部生油层沿地层不整合面或稳定砂体向上倾方向运移进入盆地边缘地层水交替带时,原油发生严重生物降解作用,导致油质变重变稠,从而形成稠油油藏。

南襄盆地泌阳拗陷稠油油藏在新近纪和古近纪廖庄期北部斜坡带断裂活动加剧,形成良好的圈闭条件,使其成为油气大规模运移和聚集的方向,油源主要来自生油中心,油气沿断层或稳定砂体上倾方向运移,从而进入盆地边缘地层水交替带,使原油发生严重的生物降解作用,沿地层倾斜方向自下而上生物降解程度有一明显变化规律,即下部原油有明显原生性,甚

至为常规原油,上部原油则发生不同程度的生物降解作用,油质越来越稠,甚至在不整合面上形成沥青封堵油藏,见图 1—1。

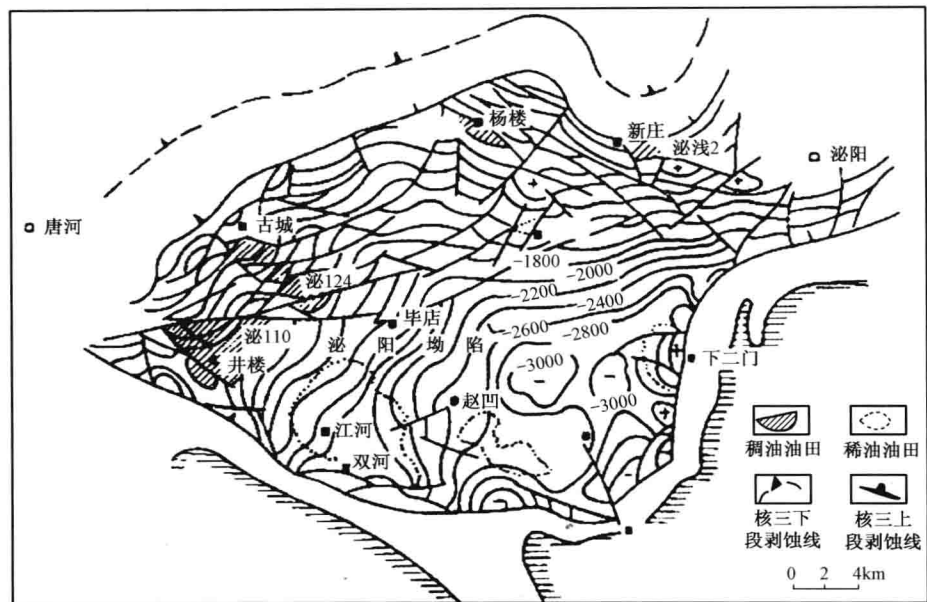


图 1—1 泌阳坳陷稠油油田位置图

3. 次生运移成因

次生运移成因形成的稠油油藏主要受后期断裂构造活动的影响,使下部原油沿地层不整合面或断层向上运移到较浅的储层中,在原油运移过程中发生生物降解作用,从而形成稠油。这类稠油油藏具有埋藏浅、物性好、油气丰度高等特点,并且一般都位于原生性常规油藏的上部,与其有一定的共生关系。这类油藏在我国东部许多盆地中广泛分布,如大港的羊三木油田。

4. 底水稠变成因

底水稠变成因形成的部分稠油油藏在储集成因上属于原生油藏,但是由于边底水比较活跃、油水接触面大,经过长期、缓慢的水洗作用,使油藏下部的原油经受细菌降解作用逐渐变为稠油油藏。这种稠油油藏在纵向上原油密度上小下大,有时还有气顶,如胜利孤岛油田和辽河高升油田。

不同成因类型的稠油油藏在空间上有一定的分布规律:

(1)纵向上,一般分布在盆地上部构造层或上覆较年轻地层中。一般情况下,稠油油藏埋深小于 2000m,并且随着埋深逐渐变浅,原油生物降解程度越来越高。在埋深 1000~2000m 之间,原油生物降解程度轻微;在埋深小于 1000m 时,原油生物降解程度中等;在接近地表原油、地面油砂或沥青中,生物降解程度严重。

(2)平面上,稠油油藏分布受盆地不同构造部位控制。例如,我国东部断陷盆地在坳陷边缘潜伏隆起倾没部位分布披覆背斜稠油油藏;在陡坡带分布地层超覆稠油油藏;在盆地内部长期发育断裂带隆起上部的地堑发育稠油油藏;在盆地缓坡带分布地层不整合稠油油藏。

(3)稠油油藏与常规油藏有一定的共生关系,在一个油气聚集带中,平面分布序列为由坳陷向边缘是常规油藏渐变为稠油油藏或沥青矿;纵向上分布序列为由深层至浅层是由常规油

藏变为稠油油藏。

在任何沉积盆地中,稠油资源的形成均取决于原油的自身损失和后期构造运动两方面,主要有以下两种资源形成条件:

(1)原油的自身损失。盆地在其地质历史演化过程中,具有相当规模的常规油形成与聚集,这是形成稠油资源的根本基础。据统计,只有常规油损失达到自身10%~90%的数量时,才能成为稠油或沥青,其中成熟常规油需损失50%~90%;低成熟常规油因原始密度和黏度值较高,一般需损失10%~50%。

(2)后期构造运动。后期构造运动的发生为石油进入连通系统提供了动力,因此,只有在油气生成、聚集之后发生的构造运动(如产生开启断层、不整合面以及开启储层等与地表连通的输导层或输导面)才能为原始聚集的常规油由深部进入浅部或连通系统创造条件,而构造运动方式只有在连通系统内创造较好的封盖条件时,才能使石油在连通系统内有相当数量的聚集,且不会迅速散布。由于既遭受运移期又遭受油藏期的各种稠变因素的作用,从而为形成相当规模的稠油和沥青提供了基础。资料表明,后期构造运动发生的次数越多,构造运动的强度越大,原油遭受的稠变作用越强,在连通系统内稠油的形成量和聚集量就越大。

综上所述,盆地稠油资源形成条件的两个方面的特征及其相互的配置关系决定了最终稠油资源的形成、分布及规模的大小,因此,在一个盆地或坳陷中,油源越充足,区域盖层越完善,有利圈闭越多,则其油气聚集的丰度就越高。后期构造运动造成盆地区域盖层的局部缺乏或遭受断层的切割,使得油气由非连通系统泄漏进入连通系统。泄漏进入连通系统的石油越多,在连通系统内创造的封盖条件越好,就越有利于稠油资源的大规模形成。

二、高凝油的成因

许多学者认为,高凝油主要产自富含植物的新近系、古近系、白垩系、侏罗系和石炭系,尤其是前三者。这些岩系的地层几乎都是淡水、微咸水或海陆过渡区环境产生的碎屑岩系。高凝油的生成本质上与成油母体的性质有关,沉积物中的陆源有机物质,特别是植物蜡、孢子、花粉和树脂是高凝油的母质来源。陆源高等植物和低等水生生物均赋存高凝油先体物质,这些先体物质在弱氧化沉积环境中,在微生物对沉积有机质的改造作用下富集,富含有机质的烃源岩长期处于生油门限至生油高峰之间较低的热演化阶段,就形成了高凝油。

以大民屯凹陷高凝油为例,该凹陷的原油主要产自古近系沙四段。沙四段形成时期正是凹陷的生长期,水体是逐渐加深的,沉积物以水进时期的浅湖相为主,富含有机物质(以陆源被子类和裸子类植物为主),同时受近岸及岸边陆生植物影响较大,尤其是在凹陷的北部地区,那里湖面狭窄,岸边高等植物的影响更为突出,这就是该凹陷主要生油岩中有机物质构成的决定性因素。

第三节 稠油、高凝油油藏的基本特征

一、稠油油藏的基本特征

我国的稠油油藏分布广泛,按储层时代,从中元古代至新近纪均有分布,其中大部分稠油油藏分布在中—新生代地层中。相对于常规油油藏而言,稠油油藏具有以下特点:

(1)油层埋藏浅,地层压力及温度低。稠油油藏的埋藏深度范围分布很广,埋藏深的可以

达到 4000m 以上,多数稠油油藏埋深小于 2000m。埋藏浅的离地表仅几米、几十米,有的甚至就在地表上。由于稠油油藏埋藏浅,因此,其地层压力及温度一般较低。例如,准噶尔盆地西北缘稠油油藏埋深小于 600m 的储量约占 88%,地层压力一般为 1.8~4.0MPa,地层温度为 16~27℃。

(2)气油比低,饱和压力低。由于稠油油藏在形成过程中产生了生物降解作用和氧化作用,并在次生运移过程中天然气和轻质组分溢散,所以一般稠油油藏具有饱和压力低、气油比低的特点,稠油油藏参数见表 1—1。

表 1—1 稠油油藏参数表

参数 油田	原始压力 MPa	饱和压力 MPa	压差 MPa	原始气油比 m ³ /L	油层物性		
					平均孔隙度 %	平均渗透率 μm ²	平均含油饱和度 %
高升	16.10	12.41	3.69	31.0	24.0	2.247	60.0
克九区	2.03	1.72	0.31	5.0	31.7	3.000	68.0
井楼	3.09	1.42	1.67	5.1	31.7	2.642	66.6
单家寺	11.65	4.66	6.99	8.1	33.5	1.418	65.0
孤岛	12.50	10.75	1.75	30.0	33.0	1.639	64.0
羊三木	13.14	10.39	2.75	31.0	31.0	1.475	64.0

(3)油层胶结疏松。世界上,绝大部分稠油分布在砂岩油藏中。我国已发现的稠油油藏几乎全部为砂岩油藏。由于稠油油藏一般埋藏浅、成岩作用差,因此,一般稠油油藏具有胶结疏松的特点。例如泌阳坳陷井楼油田,稠油油藏埋深一般小于 500m,钻井取心时,油层岩样似“古巴糖”状,基本上无成形岩心。

(4)油层物性好。由于稠油油藏埋藏浅、成岩作用差、胶结疏松,因此,稠油油藏一般具有孔隙度高、渗透率高和含油饱和度高的特点。如表 1—1 所示,井楼油田油层孔隙度为 29.6%~34.0%,平均为 31.7%;渗透率为 1.630~4.020μm²,平均为 2.642μm²;原始含油饱和度为 61.8%~74.8%,平均为 66.6%。

二、高凝油油藏的基本特征

高凝油油藏根据储层的岩性可细分为低渗透、中高渗透砂岩油藏和潜山油藏。河南魏岗油田、大港小集油田、辽河静安堡油田和牛心坨油田为砂岩高凝油油藏,特点是层多、井段长,平均单层厚度为 2~8m,见表 1—2。油层主要受构造控制,构造高部位和各断块高点的油层较厚,构造翼部或低部位的油层不同程度地变差。除构造因素外,油层厚度的变化和稳定程度与沉积相带及沉积砂体发育形态相关。砂体一般属于冲积扇河道砂体或扇三角洲前缘砂体,沿河道轴向油层发育稳定,垂直轴向油层变化大。河道砂体在剖面上呈叠瓦状,平面上呈辫状或网状特征。储层物性从较好到较差都有发育,平均孔隙度为 11.3%~21%,平均渗透率为 (27~500) × 10⁻³ μm²,隔夹层较发育,砂层稳定性较差。据统计,夹层密度一般大于 30%。300m 井距条件下,砂岩连通系数小于 50%。此外,储层非均质性较强,渗透率突进系数一般大于 4,变异系数达 0.70~0.88。孔隙结构类型多为大孔细喉不均匀型,平均喉道半径一般小

于 $4.5\mu\text{m}$, 主要流动喉道半径小于 $10\mu\text{m}$, 配值数一般为 $3\sim 4$, 有的则小于 2, 岩石润湿性为弱亲水—亲水。

表 1—2 我国主要砂岩高凝油油藏地质参数

油田			辽河静安堡油田		辽河牛心坨油田	河南魏岗油田			大港小集油田
区块		沈 84—安 12 块	沈 95 块	牛心坨	一、二	三	四		
层位			沙三段	沙三段	牛心坨	核二段	核二段	核二段	枣Ⅰ、枣Ⅲ
储层物性	埋藏深度,m		1975	1800~2230	1500~2200	1581	1547	1413	2982
	油层厚度,m		52.1	5.4~21.3	29	7.4	8.1	8	43.7
	油层渗透率 10 ⁻³ μm ²		158.6	71.5	27	501	471	944	60~260
	油层孔隙度,%		19.3	19.76	11.3	21	19.1	21.1	14.1~16.9
	地层温度,℃		71	70	73.3	76.7	75.2	69	111.5
	油藏压力,MPa		19.25	20.15	19.49	15.05	15.01	13.85	32.18
原油性质	相对密度(地面)		0.865	0.8648 ~ 0.869	0.8966 ~ 0.9236	0.8537 ~ 0.8583	0.8537 ~ 0.8583	0.8537 ~ 0.8583	0.7480 ~ 0.7090
	黏度 mPa·s	地面	5.26~6.75 (70℃)	6.7 (70℃)	421~1150 (50℃)	10.51 ~ 12.89 (70℃)	10.51 ~ 12.89 (70℃)	10.51 ~ 12.89 (70℃)	8.03 ~ 454.40 (80℃)
		地下	5.4	5.76~7.15	76.3	5.4	5.3	7.9	2.2~5.8
	含蜡量,%		34.7~36.7	37~38.5	8.1~18.6	42~50 (57)	42~50 (57)	42~50 (57)	28.3~18.7
	含硫量,%		0.06~0.1		0.17~0.37	0.11 ~ 0.15	0.11 ~ 0.15	0.11 ~ 0.15	0.03~0.09
	凝点,℃		43~48.9	53.3~54	37~49	43~50 (58)	43~50 (58)	43~50 (58)	32~43.6

注: () 中的原油性质数据为最高值。

辽河边台油田、东胜堡油田、沈 229 块、沈 625 块、沈 257 块和沈 253 块等断块属于低潜山裂缝型高凝油油藏, 见表 1—3。与以往砂岩油藏的最大差别一方面在于储层埋藏深, 因此地层温度高, 与高凝油凝点的温度相差也大, 衰竭开采和注水开发引起油藏内部析蜡或冷伤害影响都较小; 另一方面, 低潜山油藏为双重孔隙介质储层, 渗流机理和非均质性特征与砂岩油藏有较大区别。裂缝分布的规模、范围变化大小成为影响产能、开发方式、注采井别设计的主要因素, 需要联合应用地震属性和相干体分析、测井识别、岩心描述、构造应力恢复分析、有限元分析等手段加以综合判断。

表 1-3 辽河主要高凝油潜山油藏地质参数

区块及油田		沈 229 块	沈 625 块	沈 257 块	沈 253 块	边台油田	东胜堡油田
层位		d ₂	g ₄	d ₂	g ₄ 、g ₆	Ar	Ar
储层物性	埋藏深度, m	3150~3710	3150~3450	3150~3550	3050~3400	1600~2350	2600~3100
	油层厚度, m	60.7~98	27.2~43.3	53	51.6	53.4	197
	油层渗透率 10 ⁻³ μm ²	<1	<1	3.9	7.27	10	98.7
	油层孔隙度, %	3.7	3.7	3.9	3.9	3.32	3.4
	地层温度, °C	114	114	106	104~115.4	64~74	101
	油藏压力, MPa	34	34	32	32.9~35.46	19.48	28.76
原油性质	相对密度(地面)		0.7368	0.7368	0.767	0.8327	0.77
	黏度 mPa·s	地面	<0.5	<0.5	7.98	8.11	7.3
		地下	4.79	4.79	5.02	6.12	2
	含蜡量, %		38.84	38.84	43.98	37.75	34.23
	凝点, °C		43	43	50.5	45	47.6

注: g、d 为中—新元古界长城系高于庄组、大红峪组。

某些高凝油油藏的油层温度与析蜡温度接近, 当两者相差小于 20°C 时, 若油藏注冷水开发, 在较高的注入倍数条件下, 注水井近井地带形成一个降温区, 造成井底附近渗流阻力增大, 影响开发效果, 这类油藏为易受冷伤害的油藏。有些油藏油层温度与析蜡温度相差较大, 当温差大于 20°C 时, 由于近井地带的油层温度总是处于析蜡温度以上, 因此地下的渗流状况与常规注水开发的油田相同, 在开采过程中仅井筒温度场的变化影响油井的举升效果, 但油层近井地带不会由于注水而使油层产生冷伤害, 这类油藏可称为不易受冷伤害的油藏。

仍以辽河油区高凝油油藏为例, 根据表 1-4 所列数据, 辽河潜山油藏埋藏深, 其地层温度较高, 与析蜡温度之差大于 20°C, 为不易受冷伤害的高凝油油藏; 而低渗透和中高渗透砂岩油藏埋藏较浅, 在 2240m 以上, 最浅的如静 35 块, 埋深只有 1080m, 地层温度接近析蜡温度, 两者温度之差在 20°C 左右, 为易受冷伤害高凝油油藏。

已发现的高凝油油藏都属于正常温度和压力系统, 压力系数为 0.97~1.07, 地温梯度为 3.00~3.42°C/100m。

表 1-4 辽河油区高凝油油藏分类表

分类	油田	埋深, m	析蜡温度, °C	油层温度, °C
低渗透砂岩油藏	沈 95 块、沈 257 块、静 35 块、沈 267 块(含沈 279 块)、辽河牛心坨油田牛心坨油层	1080~3000	42~63	50~70
中高渗透砂岩油藏	沈 84—安 12 块	1500~2200	54~58	62~78
辽河潜山油藏	安 1 块、静北潜山、东胜堡潜山、边台低潜山、牛心坨潜山、沈 625 块、沈 229 块、沈 257 块、沈 253 块、沈 628 块、沈 259 块、沈 266 块	1600~3750	32~74	64~110

第二章 稠油、高凝油基本性质及稠油的分类标准

第一节 稠油、高凝油的基本性质

一、稠油的基本性质

1. 我国稠油的一般性质

目前,我国已发现的稠油油田或油藏已有 70 多个,如按区块统计,则数量更多,主要分布在辽河油田的曙光一区、欢喜岭稠油区及高升油田,新疆克拉玛依油区的九区、六东区、红山嘴油田及风城稠油区,胜利油田的单家寺油田、草桥油田、胜坨三区、孤岛油田、陈家庄油田、金家油田等,河南油区的井楼油田、古城油田等,大港油区的枣园油田、羊三木(馆陶组)、王官屯油田等。最近又在华北油区的冀中及二连盆地发现稠油,其他如大庆油区的外围、吉林油区、安徽潘庄油田、江汉油区的潭口油田等也发现了稠油。

我国的稠油受陆相沉积及生、储、运移等复杂地质条件的影响,其物理化学特性既有和国外典型稠油相同的一面,也有一定的差别。

新疆克拉玛依、胜利、华北及大港油区主要稠油油田原油特性见表 2—1。我国稠油油田几个注蒸汽先导开发试验区的原油特性见表 2—2。我国稠油油田与加拿大、委内瑞拉、美国的几个稠油油田原油化学成分的对比如表 2—3。综合起来,我国和美国、委内瑞拉、加拿大等国稠油油田原油的特点基本一样,但存在微小的差别。

表 2—1 新疆克拉玛依、胜利、华北及大港油区主要稠油油田原油特性

油田区块	油层	油层深度,m	油层温度,℃	原油相对密度	原油黏度,mPa·s		胶质+沥青质含量%	含蜡量%	凝点℃	初馏点%	含硫量%
					50℃脱气	油层条件下					
新疆克拉玛依九区九 1—九一六区	齐古组	160~230	18~19	0.924~0.950	2300~15000(20℃)	—	26~30	2~5	约-20	约 200	<0.5
新疆克拉玛依黑油山	T ₂	地面露头	—	0.9149	345	—	22.6	0.77	-22	148	—
新疆克拉玛依六东区	T ₂	450	20	0.91~0.93	1000~6000(20℃)	220	45	3~6	-20	—	—
新疆克拉玛依风城重 1 井区	齐古组	244~254	20	0.9558	6247~11305	—	33.6	4.7	2~15	—	—

续表

油田区块	油层	油层 深度,m	油层 温度,℃	原油相 对密度	原油黏度,mPa·s		胶质+ 沥青 质含量 %	含蜡量 %	凝点 ℃	初馏点 %	含硫量 %
					50℃ 脱气	油层 条件下					
新疆克拉玛依 风城全区	齐古组	150 ~ 500	10~20	0.9377 ~ 0.9619	50000 ~ 170000 (30℃)	—	—	—	—	—	—
胜利 单家寺	Ng— Es ₁	1100 ~ 1200	54~57	0.98 ~ 0.99	8984 ~ 55880	—	24.7	1.85	12	170	0.52
胜利 草桥	Ng	820 ~ 960	—	0.9671 ~ 1.061	10163~ 47223	—	—	3.4	—11 ~ 12	—	1.1 ~ 1.9
胜利 孤岛	Ng	1200 ~ 1400	60~65	0.95 ~ 0.99	250 ~ 5700	20~130	29~44	5~7	—8 ~ —32	130	—
胜利 孤东	Ng	1300 ~ 1500	60~75	0.9715 ~ 0.9952	2000 ~ 4500	—	—	<6	6~16	—	0.3
胜利 胜坨三区	Ed ₁	1300 ~ 1400	75	0.9623 ~ 0.9887	2000 ~ 4000	—	29~36	3~20	7~20	—	—
华北二连 锡林吉4井	阿尔善	250	15	0.9115	1346 (15℃)	—	—	—	—	—	—
大港 枣园枣北	Ek ₁	1736 ~ 2036	约75	0.9250	2262	70 ~ 130	17.8	20.3	23~35	—	—
大港 羊三木	Nm、Ng	1220 ~ 1430	61	0.95~ 0.96	289 ~ 1073	73	21	5~6	—6 ~ —13	—	—

表 2-2 我国稠油油田几个注蒸汽先导开发试验区的原油特性

油田区块	油层	油层 深度,m	油层 温度,℃	原油相 对密度	原始 油气比 m ³ /t	原油黏度,mPa·s		原油物性			
						油层温度下 脱气原油	油层 条件下	胶质+沥 青质含量 %	含蜡量 %	凝点 ℃	300℃馏 出量,%
新疆克拉玛依 九区、九1-1区	J ₃ ¹⁻²	185	18	0.9279	5	3100 (20℃)	1100	25~35	2.3	—16~ —23	172~218 (初馏点)
新疆克拉玛依 九区、九-3区	齐古组 G ₂ ²	200 ~ 260	19	0.925	5	5466	—	26.3	1.9	—24	9
辽河曙一区 1-7-5区	大凌 河组	950 ~ 1090	55.5	0.9791	—	10000	—	50.3	5.1	24.8	234 (初馏点)
辽河曙一区 杜66块163区	杜家 台组	1016	49.3	0.92 ~ 0.94	23	1140	110	31~38	7~12	14	—
辽河欢喜岭 锦45块	兴隆台 兴一组	1000 ~ 1100	50	0.9611	20	404	—	26.5 ~ 28.6	3.8 ~ 4.6	—5 ~ —10	—

续表

油田区块	油层	油层深度,m	油层温度,℃	原油相对密度	原始气油比 m ³ /t	原油黏度,mPa·s		原油物性			
						油层温度下 脱气原油	油层 条件下	胶质+沥青 质含量 %	含蜡量 %	凝点 ℃	300℃馏 出量,%
辽河高升高 3块 4032 区	莲花 油层	1540 ~ 1580	53	0.9472	24	1971 (50℃)	518	47.1	4.5	12	9.5
胜利单家寺 单 2 块试验区	沙三段	1120 ~ 1200	57	0.98 ~ 0.99	8.1	10000	—	24.7	1.9	12	12.1
河南井楼 零区试验区	核桃园组	284 ~ 332	29.8	0.9489 ~ 0.9595	4.6 ~ 5.6	15000	6000 ~ 9000	40.2 ~ 42	6.1	0~8	—
河南井楼 一区试验区	核桃园组 核三段	119 ~ 322	25.4	0.9619 ~ 0.9644	4.8	58000	—	33.1 ~ 39.4	3.9 ~ 10.4	13 ~ 20	5.1 ~ 5.9

表 2—3 我国稠油油田与加拿大、委内瑞拉、美国的几个稠油油田原油化学成分的对比

国家	油田	油层	原油相对密度	元素的质量分数,%						胶质含量 %	沥青质含量 %	凝点 ℃	初馏点 ℃	油层温度 脱气油黏度 mPa·s
				C	H	S	O	N	C/N					
中国	高升	沙河街组	0.94 ~ 0.96	85.7	11.7	0.55	0.47	0.72	7.32	45.4	3.3	12	153	200~2000
	新疆克拉玛依 九区、九浅 1	齐古组	0.9279	85.9	13.0	0.26	9.33	0.34	6.6	25.2	1.1	-16 ~ -23	172 ~ 218	2000 ~ 4000
	胜利孤岛	馆陶组	0.95 ~ 0.99	84.2	11.7	2.0	2.2	0.58	7.18	33.5	8.5	-8 ~ -32	130	100 ~ 2000
	胜利单家 寺 2—1	沙河街组	0.98 ~ 0.99	84.8	11.6	0.52	—	—	7.3	23	12.1	12	—	1×10 ⁴
	大港羊三木 5—11	馆陶组	0.9634	85.7	11.3	0.33	2.7	0.48	7.6	26.8	4.9	-6 ~ -13	—	100~500
加拿大	阿萨巴斯卡	下白 垩统	1.0000 ~ 1.0143	83.1	10.6	4.8	1.1	0.4	7.8	39	18	10	260	500×10 ⁴
	和平河	下白 垩统	1.0071 ~ 1.0143	82.2	10.0	5.6	2.1	0.1	8.2	—	19.8	—	—	10×10 ⁴
	冷湖 B	下白 垩统	0.9861 ~ 1.0000	83.7	10.5	4.7	0.9	0.2	7.9	23	15	—	170	10×10 ⁴
	瓦巴斯卡 A	下白 垩统	0.9792 ~ 1.0143	83.0	10.3	5.5	0.8	0.4	8.1	—	18.6	—	275	800×10 ⁴

续表

国家	油田	油层	原油相对密度	元素的质量分数,%						胶质含量 %	沥青质含量 %	凝点 ℃	初馏点 ℃	油层温度脱气油黏度 mPa·s
				C	H	S	O	N	C/N					
委内瑞拉	波斯肯	始新统	0.9861	—	—	5.2	—	0.65	—	—	9~17	17	108	344
		渐新统	~1.0000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	蒂亚胡安那	中新统	0.9854	—	—	2.7	—	—	—	—	5.8	0	106	2000
	拉古尼亚斯	新近系、古近系	0.9923	—	—	3.0	—	—	—	—	7.3	9	120	100~1×10 ⁴
美国	麦瑞	渐新统	0.9459	—	—	2.3	—	—	—	—	12.5	-30	100	100~2000
	Triangle 油砂	三叠系	0.992	84.0	10.1	4.4	1.1	0.46	8.3	—	26	—	—	—
	P. R	新近系、古近系	0.998	84.4	11.0	0.75	2.2	1.0	7.6	—	16	—	—	—

通过表 2—1 至表 2—3,可以发现我国的稠油主要有以下特点:

(1)稠油中轻质馏分很少、胶质和沥青质含量很多,而且随着胶质和沥青质含量增加,原油的相对密度及同温度下的黏度随之增高。据统计,大多数稠油中轻质馏分在 10%以下,一般仅 5%左右。图 2—1 是辽河油区 35 个稠油油藏或区块的原油胶质和沥青质含量与相对密度的关系图。

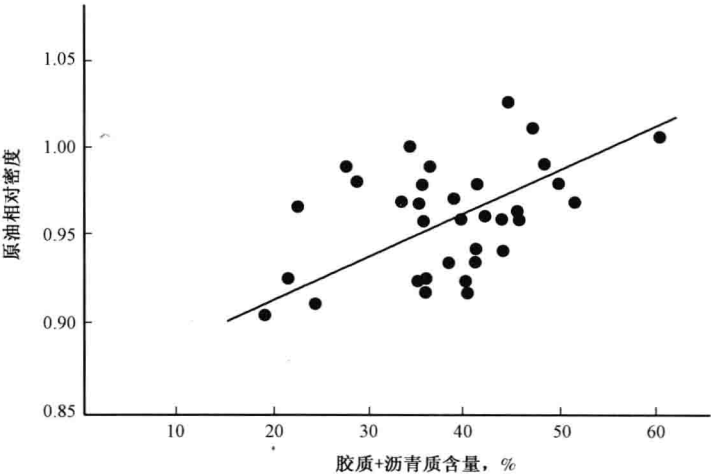


图 2—1 辽河油区 35 个稠油油藏或区块的原油胶质+沥青质含量与相对密度的关系图

常规油(即稀油)中沥青质含量一般不超过 5%,但稠油中沥青质含量可达 10%~30%,个别特稠油可达 50%或更高。

(2)随着密度增加,稠油黏度增高,但线性关系较差。众所周知,原油密度的大小与其金属元素的含量有关,而原油黏度的高低主要取决于其胶质含量的多少。我国稠油油藏属于陆相沉积,原油中金属元素含量少,而沥青质、胶质含量变化大,与其他国家相比,沥青质含量较低,一般不超过 10%,而胶质含量较高,一般超过 20%。因此,我国原油密度较小,但原油黏度较高。