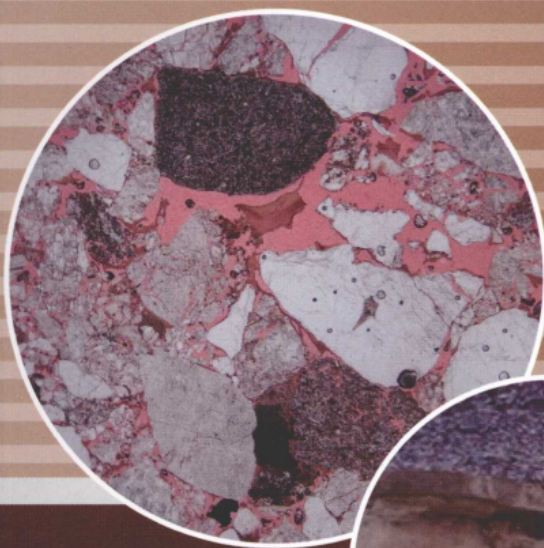


# 冲积扇砾岩储层 构型与水驱油规律

——以克拉玛依油田六中区为例



许长福 钱根葆 王延杰 刘红现 著

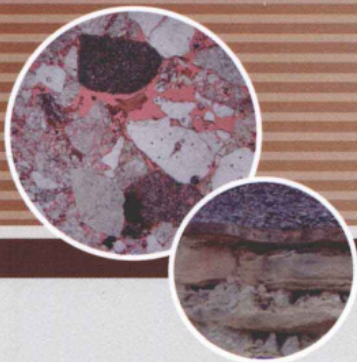
石油工业出版社



责任编辑：周 勇

责任校对：王安强

封面设计： 乘設偉業  
CHANT GREAT



ISBN 978-7-5021-8850-4



9 787502 188504 >

定价：60.00元

# 冲积扇砾岩储层构型与水驱油规律

——以克拉玛依油田六中区为例

许长福 钱根葆 王延杰 刘红现 著

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书以现代沉积学与储层地质学为指导,以层次分析和模式拟合为思路,结合克拉玛依油田实际,对砾岩储层构型进行深入解剖,形成一套砾岩储层的构型分析方法;揭示储层构型对剩余油分布的控制作用,总结不同构型单元控制的剩余油分布模式。结合砾岩储层特点,从砾岩油藏渗流机理研究着手,通过室内试验,认识砾岩储层的水驱油机理及变化规律,重点分析影响水驱油效率的主要因素,合理制定砾岩油藏开发调整措施,提高开发效果。

本书适合相关专业研究人员和大专院校师生参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

冲积扇砾岩储层构型与水驱油规律——以克拉玛依油田六中区为例/  
许长福,钱根葆,王延杰,刘红现著. —北京:石油工业出版社,2012.5

ISBN 978-7-5021-8850-4

I. 冲…

II. ①许…②钱…③王…④刘…

III. ①克拉玛依油田-冲积扇-砂岩储集层-研究

②克拉玛依油田-水驱油田-研究

IV. P618.130.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第254987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:www.petropub.com.cn

编辑部:(010)64523739 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

---

2012年5月第1版 2012年5月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:10.25

字数:245千字

---

定价:60.00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

本书以克拉玛依油田六中区克下组砾岩储层为研究对象,对冲积扇砾岩储层进行了构型分析与水驱油规律研究。

以现代沉积学与储层地质学为指导,对砾岩储层内部构型进行深入解剖,形成一套砾岩储层的构型分析方法。建立冲积扇七级构型模式,研究了砾岩储层内部构型模式。由内而外冲积扇可划分为扇根内带、扇根外带、扇中和扇缘四个相带。扇根内带分布于冲积扇根部,沉积坡度角大,快速堆积,形成砂砾岩泛连通体;片流砂砾体纵横向叠置成泛连通体,侧向上分布有基岩残丘,内部具不稳定夹层。扇根外带沉积,洪水出主槽后,快速堆积,形成泛连通体;片流砂砾体横向叠置成泛连通体,垂向多期片流砂砾体叠置,在局部区域内具层间隔层,砂砾体内部具不稳定夹层。扇中亚相沉积,片流带演变为辫流带,辫流水道发育,其间为漫流细粒沉积,形成多个被泥岩分隔的连通体;辫状水道叠合成宽带状连通体,砂体由宽带状逐渐演变为窄带状,侧向被漫流泥岩分隔,垂向隔层较连续,单一水道间具有不稳定夹层。扇缘亚相沉积,水道窄,与漫流砂体构成窄带状连通体,侧向被漫流泥岩分隔;垂向隔层连续。分析不同构型单元的渗流差异,结果表明:不同岩性物性差异较大,其中含砾粗砂岩物性最好;不同构型单元间物性差异较大,其中辫流水道物性最好。分析储层构型模式和渗流差异对剩余油分布的控制作用,得出了剩余油的分布模式:扇缘砂体呈窄带状分布,井网很难控制,剩余油富集;不同期次单砂体之间存在构型界面,导致注采不对应,构型界面附近剩余油富集;封闭性断层影响注采关系,形成剩余油;层间动用差异形成的剩余油;层内动用差异形成的剩余油。

从砾岩储层特征分析和渗流机理研究着手,通过室内实验研究砾岩储层的水驱油机理及规律,分析影响水驱油效率的因素。砾岩储层水驱油规律:无水采油期短,在中高含水期驱油效率仍可大幅度提高;在不同岩性中含砾粗砂岩驱油效率最高,在不同构型单元中辫流水道驱油效率最高,在不同层位中  $S_7^{-3}$  层和  $S_7^{-1}$  层采收率最高。砾岩油藏驱油效率主要受储层微观孔隙结构特征、储层宏观非均质性特征、原油黏度和注水方式的影响。剩余油微观分布特征主要受储层孔隙结构控制,目前剩余油主要分布在中小孔隙中。长期水驱导致胶结松散的微小颗粒、泥质等发生移动,使储层孔隙空间增大,有效喉道半径增大,物性变好,储层微观非均质性增强。

该研究成果科学指导了克拉玛依油田六中区克下组砾岩储层后期开发调整措施和开采政策制定,提高了油田的开发效果。

本书从选题、技术思路和关键技术、研究内容等各个方面得到了西南石油大学张烈辉教授的悉心指导,在此谨表示衷心的感谢和深深的敬意。在本书编写期间,王晓光、彭寿昌为本书

的研究提供了大量的帮助和支持,中国石油大学(北京)吴胜和教授、中国石油勘探开发研究院廊坊分院渗流所熊伟副所长、西南石油大学唐洪明教授、刘建仪教授给予了重要的指导和协助,在此一并表示深深的谢意!

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	(1)
第一节 研究的意义 .....	(1)
第二节 国内外研究概况 .....	(1)
第三节 研究目标、主要研究内容和技术路线 .....	(8)
第四节 取得的主要认识 .....	(10)
<b>第二章 研究区概况</b> .....	(12)
第一节 地理与构造位置 .....	(12)
第二节 地层概况 .....	(12)
第三节 构造特征 .....	(12)
第四节 岩性特征 .....	(13)
第五节 物性特征 .....	(16)
第六节 油藏特征 .....	(17)
第七节 油藏开采特征 .....	(17)
<b>第三章 储层构型研究</b> .....	(20)
第一节 冲积扇相研究概况 .....	(20)
第二节 储层沉积模式 .....	(26)
第三节 构型要素分级 .....	(31)
第四节 构型要素特征分析 .....	(31)
第五节 内部构型模式 .....	(41)
<b>第四章 储层渗流差异研究</b> .....	(52)
第一节 不同岩石相的微观渗流差异 .....	(52)
第二节 不同构型单元渗流差异 .....	(62)
第三节 储层非均质特征 .....	(64)
<b>第五章 影响水驱油效率因素分析</b> .....	(73)
第一节 砾岩油藏水驱油特征 .....	(73)
第二节 地质因素分析 .....	(74)
第三节 开发因素分析 .....	(109)
第四节 综合分析 .....	(122)

<b>第六章 冲积扇砾岩储层剩余油分布研究</b> .....	(123)
第一节 开发潜力评价 .....	(123)
第二节 剩余油微观分布特征 .....	(130)
第三节 剩余油微观形成机理 .....	(134)
第四节 剩余油宏观分布类型 .....	(134)
第五节 剩余油宏观分布特征 .....	(138)
<b>第七章 长期水驱对冲积扇砾岩储层影响分析</b> .....	(140)
第一节 非膨胀性黏土矿物运移 .....	(140)
第二节 细粉砂级碎屑颗粒运移 .....	(141)
第三节 膨胀性黏土矿物分散运移 .....	(142)
第四节 水化云母变化特征 .....	(142)
第五节 孔隙结构变化定量评价 .....	(145)
<b>第八章 结论</b> .....	(149)
<b>参考文献</b> .....	(151)



# 第一章 绪 论

## 第一节 研究的意义

砾岩储层属冲积—洪积和砾质辫状河流相沉积,具有油砂体分布连续性差,主力油层少,油层渗透率级差大,物性夹层发育且稳定性差,流体性质差异大的特点。由于砾岩储层快速堆积,使油层平面、剖面分布和储层微观孔隙发育具极强的非均质性。储层具有稀网状、非网状甚至渠道状等多种流态,注入水易沿着大孔道突进,也可以沿着较小的孔道突进,微观指进非常明显。砾岩油藏的开发难度极大。

新疆砾岩油藏于1958年投入开发。先后投入开发的油田有:克拉玛依油田、百口泉油田、红山嘴油田、车排子油田、小拐油田。截至2008年底克拉玛依油田砾岩油藏水驱开发稀油动用地质储量达到 $5.02 \times 10^8 \text{t}$ ,年产量达到 $193.8 \times 10^4 \text{t}$ ,综合含水69.8%,是新疆油田主力生产区域之一。多年矿场开发实践表明:砾岩油藏在无水和低含水时期采出程度低,而中高含水阶段采出程度高,在含水达到70%后,仍可以采出可采储量的50%。目前多数的油藏都已进入中高含水期开发阶段,进一步提高这类油藏的开发效果对新疆油田公司的发展有着十分重要的意义。

以现代沉积学与储层地质学为指导,以层次分析和模式拟合为思路,对砾岩储层构型进行深入解剖,形成一套砾岩储层的构型分析方法,揭示储层构型对剩余油分布的控制作用,总结不同构型单元控制的剩余油分布模式,对砾岩油藏开发后期调整具有很大的实际意义。

结合砾岩储层特点,从砾岩油藏渗流机理研究着手,通过室内实验,认识砾岩储层的水驱油机理及变化规律,重点分析影响水驱油效率的主要因素,对合理制定砾岩油藏开发调整措施、提高开发效果,以及科学地管好油田都有着现实的指导意义,水驱油实验方法可以应用到其他类型储层,项目研究成果可以推广到其他砾岩油田,具有广阔的应用前景。

## 第二节 国内外研究概况

### 一、储层构型研究概况

#### 1. 构型定义

构型(Architecture)一词用于地质学,源于Allen(1977)在第一届国际河流沉积学会议(卡尔加里)提出的“Fluvial architecture”的概念,据此描述河流层序中河道和溢岸沉积的几何形态及内部组合<sup>[1]</sup>。

Miall(1985)在第三届国际河流沉积学大会上第一次完整地提出了河流相的储层构型要素分析法<sup>[2]</sup>,同年Miall发表了《构型要素分析——河流相分析的一种新方法》,全面介绍了构型要素、构型界面等概念<sup>[3]</sup>,在国内又被称为储层建筑结构或储层构成<sup>[4-8]</sup>。

储层构型,是指不同级次储层构成单元的大小、形态、方向及其相互叠置关系。这一概念反映了不同成因、不同级次的储层储集单元与渗流屏障的空间配置及分布的差异性。

储层构型研究从三维的角度解剖储层的空间结构,研究构型要素的类型、分布、组合和接触关系等,研究的尺度更细、更精确,并侧重空间结构及物理属性。储层构型研究与传统的沉积微相研究相比在研究尺度上有所不同。

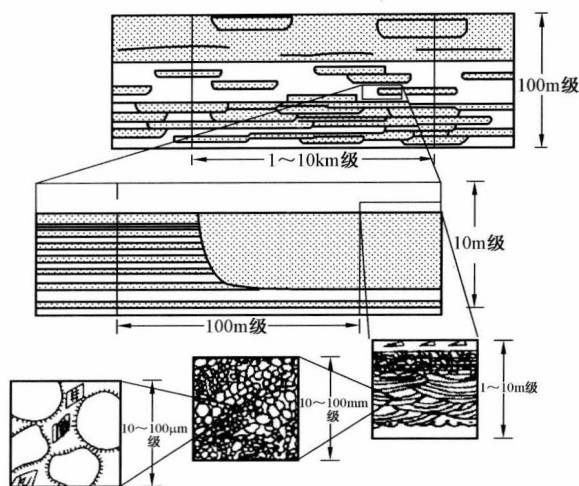


图 1-1 Pettijohn(1973)的储层非均质性分类  
(以河流沉积储层为例)

储层作为一个复杂系统,具有多层次性。一套储层包含多个层次,不同层次具有各自不同的构成单元,较高一级层次的构成单元包含若干个较低一级层次的构成单元,同一层次的若干构成单元在空间上表现为不均一的变化。如 Pettijohn (1973)<sup>[9]</sup> 曾将河流沉积储层划分为五个层次(图 1-1),即层系规模(100m 级)、砂体规模(10m 级)、层理系规模(1~10m 级)、纹层规模(10~100mm 级)、孔隙规模(10~100 $\mu$ m 级)。从图 1-1 可以看出,一个层系包含若干个非均一分布的砂体,一个砂体包含若干个非均一分布的成因单元(河道及溢岸砂),一个成因单元包含若干非均一分布的层理系,一个层理系包含

若干非均一分布的纹层,一个纹层包含若干非均一分布的颗粒、孔隙、喉道等。显然,不同层次之间以及同一层次的构成单元之间均表现为非均质性。

## 2. 构型界面

储层的层次性和结构性可通过构型分级来体现,其级次主要通过构型界面来划分。构型界面是指一套具有等级序列的岩层接触面,据此可将地层划分为具有成因联系的地层块体。

Allen(1983)在河流沉积中第一次明确划分了三级界面,这一界面划分方案被许多地质学家广泛采用。Allen 的一级界面为单个交错层系的界面,二级界面为交错层序组或成因上相关的一套岩石相组合界面,三级界面为一组构型要素或复合体的界面,通常是一个明显的冲刷面。

Miall(1985,1998,1991,1996)<sup>[2,10-12]</sup> 在 Allen 界面的基础上,通过对河流相储层的深入研究,提出了一个九级界面方案,即零级至八级界面(图 1-2,表 1-1)。

零级界面:为沉积纹层间的界面。

一级界面:为交错层系的界面。在这一级界面内部没有侵蚀或仅有微弱的侵蚀作用,实际上代表了连续的沉积作用和相应的地形。在岩心中,这些界面有时并不明显,但可根据交错前积层的前缘及切割作用来识别。

二级界面:为简单的层系组边界面。这类界面指示了流向变化和流动条件变化,但没有明显的时间间断,界面上下具有不同的岩石相。在岩心中,可以通过岩石相的变化来区分一级和二级界面。

三级界面:为大型地形(如点坝或心滩)内的大规模再作用面或增生面,为一种横切侵蚀面,其倾角较小(小于 $15^\circ$ ),以低角度切割下伏交错层,通常穿过2~3个交错层系;界面上通常披覆一层薄泥岩或粉砂岩(代表水位下降事件),其上砂岩内可发育泥砾;界面上下的相组合相同或相似。三级界面代表流水水位变化,但并没有特别明显的沉积方式和地形方向的变化,代表大型的侵蚀作用。

四级界面:为大型地形的界面,如单一点坝或心滩的顶面,其表面通常是平直或上凸的,下伏的层理面以及一、二、三级界面遭受低角度切割或局部与上部层平行;小型河道(如串沟)的底侵蚀面、决口扇顶面亦为四级界面,而大型的河道底面属于级别较大的界面。四级界面亦为低角度面,界面上亦可披覆一层薄泥岩(或透镜体)以及泥砾,但界面上下的岩相组合有变化,而且界面限定的构成单元较大(三级界面限定的单元面积一般小于 $0.1\text{km}^2$ )。

五级界面:为大型沙席边界,诸如宽阔河道及河道充填复合体的边界。通常是平坦到稍具上凹的,但由于侵蚀作用会形成局部的侵蚀—冲填,以切割—充填地形及底部滞留砾石为标志,基本与Allen(1983)的三级界面相当。

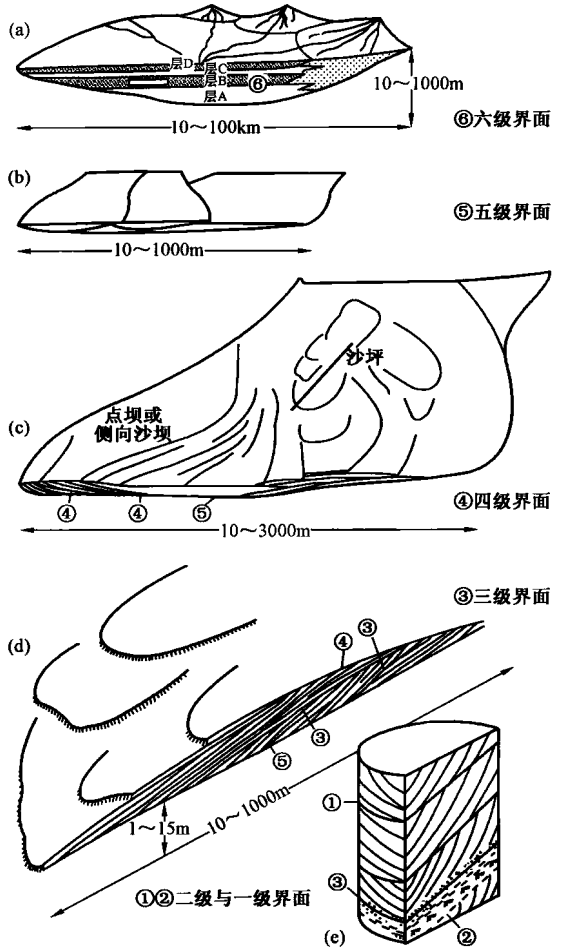


图 1-2 河流沉积单元界面等级示意图 (据 Miall, 1985, 1988, 1996)

表 1-1 三级层序内的构型分级(据 Miall, 1996)

构型界面级别	构型单元 (以河流—三角洲为例)	时间规模 (a)	沉积过程 (举例)	瞬时沉积速度 (m/ka)
零级	纹层	$10^{-6}$	脉动水流	
一级	波痕, 沙丘内部增生体(微型底形)	$10^{-5} \sim 10^{-4}$	底形迁移	$10^5$
二级	中型底形, 如沙丘	$10^{-2} \sim 10^{-1}$	底形迁移	$10^4$
三级	巨型底形内增生体	$10^0 \sim 10^1$	季节事件, 十年一遇洪水	$10^{2-3}$
四级	巨型底形, 如点坝、天然堤、决口扇; 未成熟古土壤	$10^2 \sim 10^3$	百年一遇洪水, 河道及坝迁移	$10^{2-3}$
五级	河道, 三角洲舌体, 成熟古土壤	$10^3 \sim 10^4$	河道改道	$10^{0-1}$
六级	河道带, 冲积扇	$10^4 \sim 10^5$	5级米兰柯维奇旋回	$10^{-1}$
七级	大型沉积体系, 扇域	$10^5 \sim 10^6$	4级米兰柯维奇旋回	$10^{-1} \sim 10^{-2}$
八级	盆地充填复合体(三级层序)	$10^6 \sim 10^7$	3级米兰柯维奇旋回	

六级界面:代表限定河道群或古河谷群的界面,相当于段或亚段(可作图的地层单元)。

七级界面:为一种异旋回事件沉积体的界面,相当于体系域的界面,如最大海(湖)泛面,其限定的单元为大型沉积体系。

八级界面:为区域不整合面,相当于三级层系的边界,其限定的单元为盆地充填复合体。

### 3. 构型要素

构型界面具有层次性,因此由不同级次界面所限定的构型单元亦具有层次性。从构型单元规模看,可将其分为三组:

规模最大的一组为八一六级界面所限定的构型单元,分别对应于3—5级米兰柯维奇旋回,大体相当于三级层序、体系域和准层序(组),实际上为地层意义上的构型单元;其次为三一五级界面所限定的构型单元,为真正意义上的储层构型单元;规模最小的一组为二—零级界面所限定的构型单元,为层理级别的岩石单元。

Miall(1985,1996)将三一五级界面所限定的构型单元定义为构型要素,实为储层意义上的构型单元。他对河流沉积进行了深入的构型分析,将河道及溢岸沉积划分了若干构型要素。五级界面限定的构型要素大体相当于沉积微相组合规模,如曲流河的曲流带(或河道);四级界面限定的构型要素大体相当于单一微相,如单一点坝(或侧向增生巨型底形)、单一决口扇等;三级界面限定的构型要素大体相当于单一微相内部的构成单元,如点坝内部的侧积体(图1-3)。

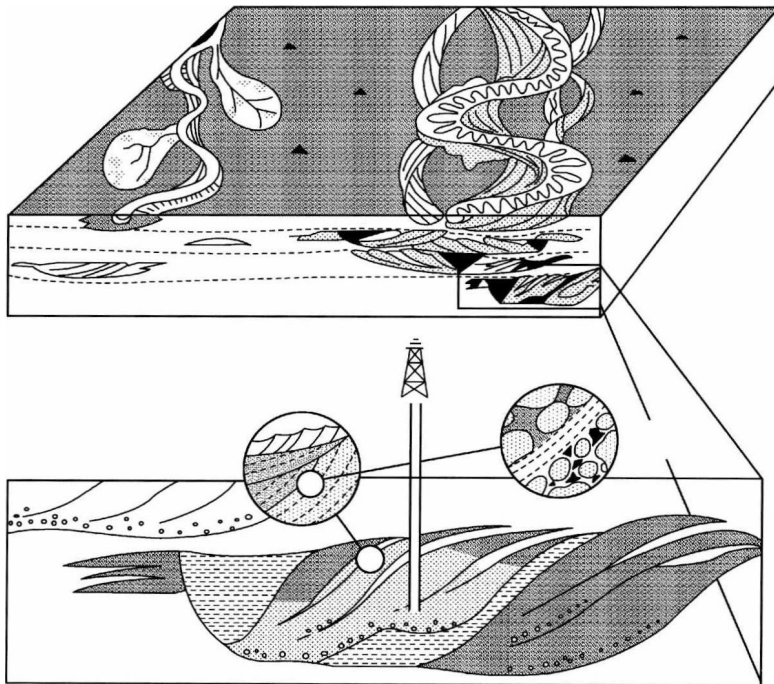


图 1-3 曲流河砂体构型要素界面示意图

迄今,大多数储层构型研究主要集中在露头 and 现代沉积。部分国内学者对地下储层构型研究也进行了尝试<sup>[4-6,13-20]</sup>。大庆油田针对河流—三角洲<sup>[21]</sup>,双河油田针对扇三角洲厚油层<sup>[22]</sup>等进行过精细的储层结构研究工作。吴胜和对胜利油区<sup>[23]</sup>和大港油区<sup>[24]</sup>河流相储层进行过深入的构型解剖研究,提出了层次约束、模式拟合、多维互动的构型分析思路,针对不同级次的构型单元(复合河道规模、单河道规模、点坝规模、侧积体规模)进行解剖,并提出了相

应的构型分析方法。

## 二、水驱油研究概况

### 1. 露头注水试验

从克拉玛依砾岩油田注水过程中部分地区出现的水淹、水窜、注水不见效和含水率上升快等问题出发,利用油田边缘油层裸露地表的有利条件,开展了野外露头注水试验<sup>[25,26]</sup>。露头注水试验揭示了出水类型和特点。

由露头注水试验观察到以下多种出水类型(图 1-4,表 1-2)。

表 1-2 不同孔隙群渗流特征(露头模型注水试验)

孔隙类型	出水点数量(%)	出水方式	相对水推速度	相对示踪剂产出率	出水量(L/h)		
					常速注水	高速注水	增长倍数
粒间孔隙	26.2	少量滴水或渗水	1	1	11.7	13.8	0.18
岩性界面	50.8	中量滴水或流水	1.08 ~ 1.69	1.26 ~ 2.55	7.1	22.6	2.18
裂缝	9.9	大量流水	3.54	3.53	8.7	27.4	2.15
不整合面	13.1	大量流水或渗水	1.85	1.94	5.5	9.5	0.73

#### (1) 孔隙出水。

主要分布在细小砾岩和粗砂岩中,水从岩石粒间孔隙呈一般孔隙介质渗流性质,水推进速度较慢,流量较小,示踪剂吸附严重而产出率低,这表明孔隙渗流通道细微弯曲,四通八达,流动均匀,波及程度高。

从剖面对比来看,可以分出相对快速渗流和缓慢渗流两个层段和区域。其中高渗部分是较小的,分布复杂,剖面上呈多段分布、厚度小且连续性较差,延伸宽度几米至几十米。扇顶亚相沉积物中“支撑砾岩”就是其突出代表。

#### (2) 岩性界面出水。

包括局部岩性变化面、层理性界面和层界面等。露头观察此种出水类型大量分析,水从各种界面呈渗水状和流水状流出,可以波及周围部分孔隙,流量中等,水推速度中等,示踪剂吸附量中等,其波及状况已较差。

#### (3) 裂缝出水。

它的数量较少,其流量大,水推速度快,不可忽视。产状已似流水,对注水状况反映极强,示踪剂吸附量少,表明通道水淹的严重性。

#### (4) 不整合面出水。

它的数量也有限,但容易形成水窜而不可轻视。其出水状况与古风化壳性质密切相关。一般流量、水推进速度较大,示踪剂吸附量较少,渗水至流水状。当风化壳裂缝严重发育时,其情况就与裂缝出水相同。

### 2. 光刻显微孔隙模型水驱油

R. A. Dawe、M. Mekallar 和 N. C. Wardlaw 于 20 世纪 40 年代先后研制了微观孔隙模型。微观仿真模型是一种透明的二维模型,它采用光化学刻蚀工艺,按照天然岩心铸体薄片的真实孔隙系统精密地光刻到平面玻璃上制成的微模型的流动网络,在结构上具有储层岩石孔隙系统的真实标配,相似的几何形状和形态分布。

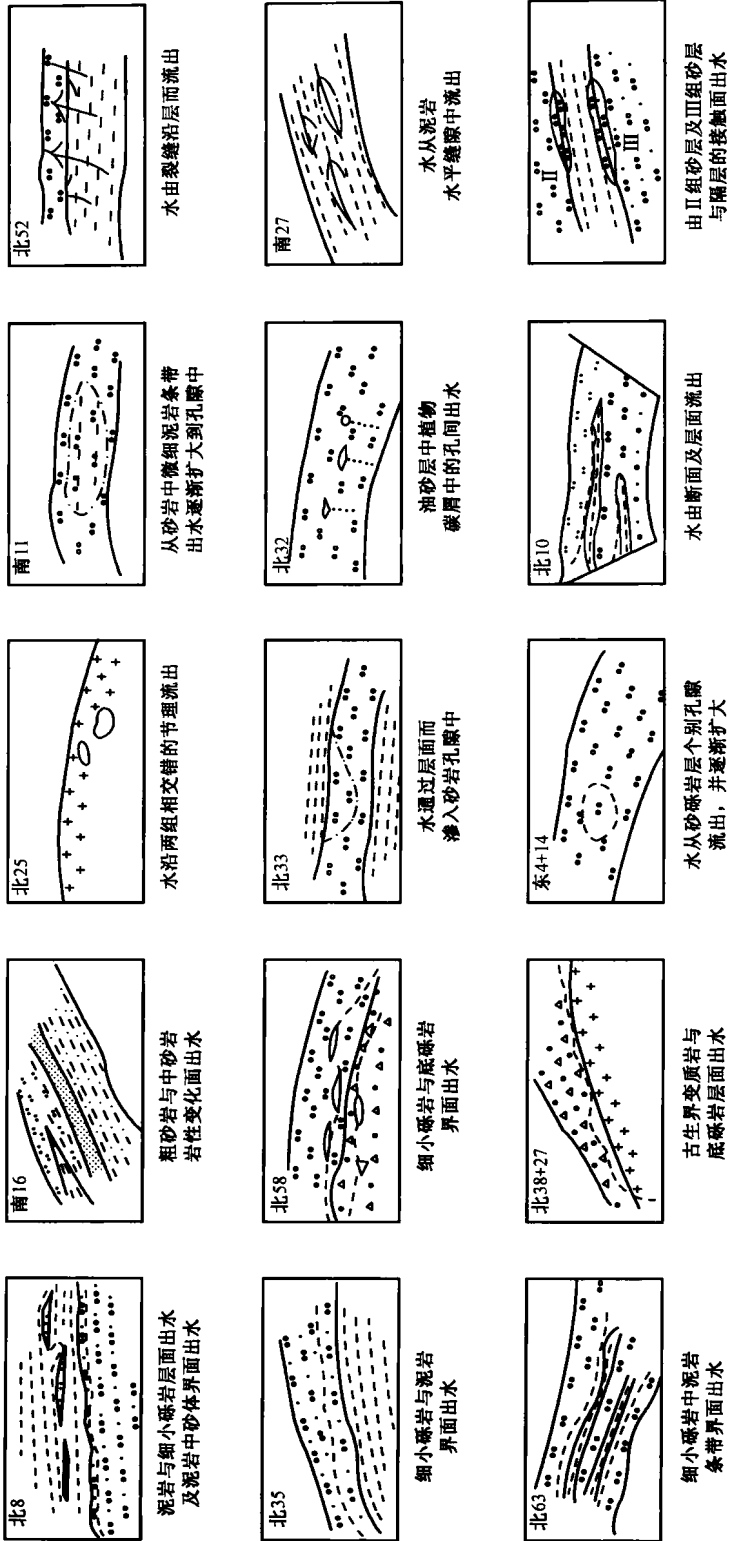


图1-4 露头出水产状图



在国内,郭尚平、黄延章等<sup>[27]</sup>利用光刻仿真孔隙模型解释了不同驱替剂下剩余油的形成机理及指进发育的孔隙级机制。陈亮、彭仕宓等<sup>[28]</sup>利用微观仿真模型研究了微观孔隙结构、注水速度、注水方式对剩余油分布影响。曲志浩、孙卫等<sup>[29]</sup>应用光刻显微孔隙模型研究长庆油田延安组油层水驱油过程中残余水和残余油类型及形成机理。

该模型具有以下优点:(1)可以直观观察束缚水、残余油的分布状态;(2)可以直观观察驱替过程中油、水运动规律;(3)能研究多孔介质中流体动态微观机理,能在孔隙水平上相当清晰、真实地考察各种驱油现象。

### 3. 真实岩心模型水驱油

真实岩心模型直接用岩心制作,其真实性比光刻模型大大提高,基本可以反映岩石的真实孔隙结构。真实岩心模型是用实际岩心经洗油、切片磨平后,粘夹在优质玻璃板之间,将周围封好并粘上医用针头即成模型,其研究结果较仿真模型更可信,并且通过显微镜和图像采集系统可实现流体在孔隙中渗流动态的可视化,因而应用比较广泛。真实岩心模型可以保留住大部分胶结物,而光刻显微孔隙模型无法做到,胶结物的存在对驱替实验结果影响很大,油(气)驱水时,常因此而形成较多的残余水。

孔令荣、曲志浩等<sup>[30]</sup>利用真实岩心微观模型进行两相驱替实验,讨论了排驱和吸入过程的驱替方式、自吸现象及残余油、束缚水的形成机制。孟江<sup>[31]</sup>研制了能够在微观物理模拟时替代真实油水的流体,以此为基础利用真实岩心为模型,进行水驱油试验,模拟油和模拟水会在某一温度下在岩心中同时固结,通过岩心切片,观察水驱后剩余油微观的分布特征。

### 4. CT 扫描成像水驱油

CT 技术在 20 世纪 80 年代就被应用于油气藏研究,并发展成为研究储层多孔介质特性的重要工具<sup>[32,33]</sup>。

常规岩心模型的水驱油实验只能得到流体通过岩心前后端的参数指标,而对流体在模型中的运动过程无法直观的显现,应用 CT 扫描成像技术,通过对干岩心、饱和地层水岩心和水驱油不同状态岩心扫描,得到岩心不同扫描断面、沿某正交切面、三维含油饱和度分布,实现岩心水驱油过程中含油饱和度分布可视化和定量表征,进而为研究油水在地层内的各种分布及运动特征提供了有效的可视化手段<sup>[34-36]</sup>。

### 5. 核磁共振水驱油

通常采用室内岩心分析来获得水驱油采收率及剩余油饱和度等参数,但是常规方法需要手工计量体积,存在人为的误差,当流体量较少时误差将会很大,而且常规方法无法提供水驱油过程中不同大小孔隙动用程度和剩余油在岩石孔隙内的分布状态等信息<sup>[37]</sup>。核磁共振成像是近年来开始应用到石油勘探与开发中的高新技术,它可以检测储集层岩心的油层物理参数,具有快速、无损、非侵入、多参量、多维测量等显著特点。在探测岩心内孔隙度、流体饱和度分布、流体空间分布及采收率方面,核磁共振成像比 X-CT 具有明显的优越性<sup>[38]</sup>。核磁共振技术作为一种新兴的岩心分析技术在石油勘探开发中的应用发展很快,它可以对岩石孔隙中流体所含的氢核<sup>1</sup>H 进行探测。核磁共振  $T_2$  弛豫时间谱反映的是含油(或水)孔隙大小分布以及不同大小孔隙中的流体量。借助于核磁共振  $T_2$  弛豫谱,可以对不同孔径孔隙内的水驱油采出程度进行定量计算和分析,这是目前所有其它常规实验方法无法做到的<sup>[37]</sup>。

### 6. 基于孔隙网络模型微观水驱油

孔隙网络模型是在微观水平上研究多孔介质渗流规律的一种重要手段。网络模型由孔隙体和喉道组成,孔隙体代表多孔介质中比较大的孔隙空间,喉道代表多孔介质中相对狭长的孔隙空间<sup>[39]</sup>。

逾渗网络模型是运用模型化的网络来替代孔隙介质内复杂的孔隙空间,基于统计物理中逾渗理论的基本思想以及孔隙介质中的微观渗流物理机制,在微观水平进行随机模拟来研究孔隙介质中的渗流规律。已知多孔介质孔隙结构参数,如孔喉直径大小分布、孔喉比及孔喉连通配位数等,结合逾渗理论描述流体驱替准则,通过网络模型模拟多孔介质中的油、水渗流特征,可预测水驱油驱替特征的变化<sup>[40]</sup>。

网络模型是在微观水平进行随机模拟来研究孔隙介质中的渗流规律。与微观室内实验相比,微观模拟具有可重复性、可控制性的特点,适合于开展对特定问题的研究<sup>[41]</sup>。

## 第三节 研究目标、主要研究内容和技术路线

### 一、研究目标

- (1) 形成砾岩储层的构型分析方法。
- (2) 总结出不同构型单元控制的剩余油分布模式。
- (3) 认识砾岩储层的水驱油机理及规律,分析出影响水驱油效率的主要因素。

### 二、主要研究内容

本书主要针对克拉玛依油田六中区克下组砾岩油藏开展了砾岩储层构型特征和水驱油规律两方面的研究。

以现代沉积学与储层地质学为指导,以层次分析和模式拟合为思路,对砾岩储层构型进行深入研究。主要研究内容如下:

- (1) 砾岩储层沉积模式研究;
- (2) 冲积扇构型要素分析;
- (3) 冲积扇内部构型模式研究;
- (4) 储层渗流差异分析;
- (5) 剩余油宏观分布研究。

从砾岩储层特点出发,砾岩油藏渗流机理研究着手,通过室内实验,对砾岩储层的水驱油机理及规律进行深入研究。主要研究内容如下:

- (1) 砾岩油藏水驱油特征研究;
- (2) 影响驱油效率的因素分析:孔隙结构影响、储层润湿性影响、储层非均质性、流体性质影响、驱替速度影响、驱替压力影响和周期注水效果分析;
- (3) 微观剩余油分布;
- (4) 长期水驱对储层的影响。

### 三、技术路线

技术路线见图 1-5。

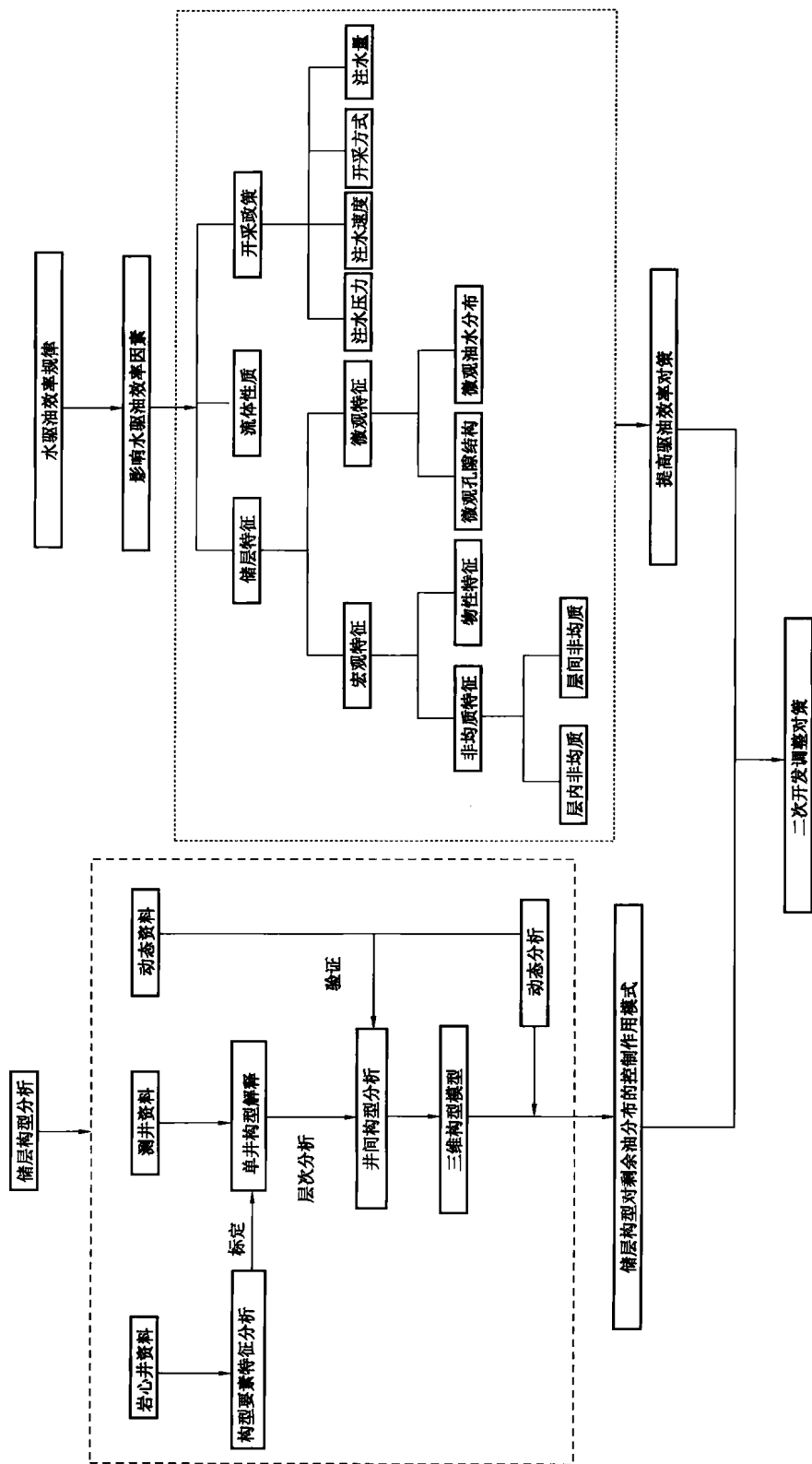


图1-5 技术路线图