

中国
油藏
开发
模式
丛书

多层砂岩油藏开发模式

THE DEVELOPMENT
MODELS OF MULTIZONE
SANDSTONE RESERVOIRS

韩大匡 万仁溥 等编著

石油工业出版社



登录号	138690
分类号	TE343
种次号	009

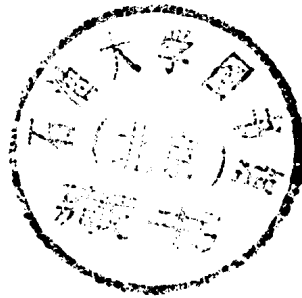
中国油藏开发模式丛书

Series on Reservoir Development Models in China

多层砂岩油藏开发模式

The Development Models of Multizone Sandstone Reservoirs

韩大匡 万仁溥 等编著



石油大学0142194

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“多层砂岩油藏开发模式”。

多层砂岩油藏是中国众多油藏类型中主要的一种。本书以大庆喇萨杏油田萨葡油层、胜利胜坨油田沙二段油层、玉门老君庙油田 L 油层及江汉王场油田潜三段油层等多层砂岩油藏为重点，系统地总结了我国五十年来开发这种类型油藏的主要经验和技術思路，并经过综合、分析、提炼，形成了开发这类油藏的科学模式。

书中比较详细地论述了中国在陆相湖盆内形成多层砂岩油藏的地质背景，其非均质特征、渗流特征、开发特征以及开发这类油藏的技术思路和对策，最后还论述了认识油藏的油藏描述新技术和以分层注采为主要内容的采油工艺技术。

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

多层砂岩油藏开发模式/韩大匡等编著.

北京:石油工业出版社,1999.6

(中国油藏开发模式丛书)

ISBN 7-5021-2585-X

I. 多…

II. 韩…

III. 砂岩油气藏-油田开发

IV. TE34

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 13887 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 23.75 印张 3 插页 550 千字 印 1—2000

1999 年 6 月北京第 1 版 1999 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2585-X/TE·2095

定价:65.00 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 咸玥瑛

《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	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
一九八八年八月

前 言

中国由于地质条件复杂，油藏的类型很多，多层砂岩油藏就是其中一种主要的类型。

从广义上来看，由于陆相沉积的多旋回性，我国绝大多数砂岩油藏的油层都比较多。因此，即使它们因某些性质的差异归属于别的类型，但在其开发过程中仍都或多或少地带有多层砂岩油藏的某些开发特征。另一方面，属于本类型的许多油藏，其构造特点、储层性质以及油气性质等也各有差异。因此，论述多层砂岩油藏的开发问题，也不能不涉及到这些地质条件的差异。上述特点决定了本书的编写应该具有一定的广度。

从本类型各个油藏的情况来看，包括了我国开发经验最丰富的特大型油田的主力油层——大庆喇萨杏油田萨葡油层，位于断陷盆地断层较多的大型整装高渗透油田的主力油层——胜利胜坨油田的沙二段油层，我国开发最早的玉门老君庙 L 层油藏，以及具有强亲水储层的江汉王场潜三段油藏。这些各具特色的油藏，开发历史最长的已有五十多年，最短的也接近三十年。在这样漫长的开发过程中，由于广大石油工程科技人员的辛劳和智慧，积累了丰富的经验。如何把这些经验集中起来，找出它内在的规律，把它模式化，必然要求本书的编写具有一定的深度。

怎样才能模式化，形成“开发模式”？作者的理解是要从本类型各油田的地质、非均质特征和渗流特征出发，揭示其开发过程的基本规律，提出经过优化的、合理的开发这种类型油田的对策和基本措施。

根据这样的理解，在本书编写过程中着重考虑了这样几个问题：

1) 要处理好共性和个性的关系，模式化的过程就是要把“共性”即规律性的东西提炼出来，同时也要对本类型各油藏的具体特点，也就是要针对它的“个性”，提出相应的、各有特点的对策。

2) 在考虑一切工程技术问题时，要符合社会主义市场经济的要求，贯彻以经济效益为中心的原则。

3) 要考虑到由于陆相储层非均质的复杂性，对多层砂岩油藏地质状况的认识不可能一次完成，有一个通过实践逐步加深认识的过程。

4) 要考虑到新工艺、新技术的发展和应用，可以使开发过程更为合理。

5) 除了主要依据本类型中已经总结的喇萨杏油田萨葡油层、胜坨油田沙二段油层、老君庙油田 L 油层、王场油田潜三段油层四个典型油藏实例以外，还要适当参考我国本类型中其它油藏、非本类型但也具有多层特点的油藏、以及国外同类型油藏的开发特点和经验教训。

本书共分六章，包括多层砂岩油藏的基本地质特征（第一章）、渗流特征（第二章）、开发特征（第三章）、开发部署和对策（第四章）、油藏描述技术（第五章）以及开采工艺技术（第六章）。全书由韩大匡主编，全面负责本书的编著、修改和定稿，万仁溥负责（第六章）开采工艺技术部分的编著和修改。其中第一章由李淑贞编写，第二章由韩大匡、潘志坚、甘桂丽编写，第三章由韩大匡、俞启泰编写，第四章由韩大匡、俞启泰、武若霞、潘志坚编写，第五章由穆龙新、陈亮、张望明编写，第六章由万仁溥、弓麟编写。

根据编委会的统一安排，有关聚合物驱等提高采收率的内容在本丛书的《总论》中论述，为避免重复，本书不再涉及，有兴趣的读者可参阅本丛书的《总论》。

在本书的编写过程中，编委会及有关专家提出了很多重要的指导性意见，北京石油勘探开发科学研究院的领导和同志们给予了大力的支持和帮助，杨贤梅、咸玥瑛等同志进行了细致的编辑工作，彭力田、李凡华、古英、李建芳等同志进行了认真的校对、编排等工作，谨在此致以衷心的感谢。

为了更完整地总结我国在多层砂岩油藏开发工作中的经验和成就，本书还参考和引用了大庆、胜利、玉门、江汉、河南等等油田科研报告中的资料和图件。由于未能作为正式参考文献一一列出，特在此向这些报告的作者表示深切的谢意。

限于作者的水平，书中难免还有欠妥和不足之处，请同行专家和读者不吝指正。

Abstract

Multizone sandstone reservoirs are the main type of reservoirs in China. This book summarizes the experience in management for multizone sandstone reservoirs obtained by domestic engineers in recent fifty years, reviews the basic principles of the reservoir development in the process of waterflooding based on the geological features and the characteristics of flow dynamics in this type of reservoirs, and proposes the strategies and optimized measures for their development. Meanwhile, this book also covers the new techniques of reservoir characterization and oil production.

Since the features of reservoir development strongly depend on the geological conditions, the geological backgrounds about the genesis of the multizone sandstone reservoirs are firstly described in the chapter 1. Especially, the severe interzonal, areal, and intrazonal heterogeneities generated due to specific nonmarine sedimentary environments are focused. And the relatively high viscosity of crude oil, another important characteristic of this type of reservoirs, is also mentioned.

In the chapter 2, the structure of porous media, wettability and relative permeability of multizone sandstone reservoirs in China are described. The significant changes in the properties of the formation rocks and containing fluids in a long term flushing by injected water and their influence on the recovery process are presented in detail.

The Chapter 3 involves the performance of multizone sandstone reservoirs. Due to the severe heterogeneities of this type of reservoirs, in the process of water injection the interzone interference occurs seriously at first, as well as the areal bypass of injected water and the channeling within the formation zone caused by different laminated permeability contrasts also exert a considerable impact on the swept efficiency of recovery. The mechanisms of these phenomena are analyzed.

As indicated in this chapter, because of the severe heterogeneities and relatively high oil viscosity, a short time of waterfree production and a fast increase in water cut are observed. Moreover, the relatively high oil viscosity also makes the index of liquid productivity increase as the water cut raises to some extent. All these factors cause that a lot of remaining oil can be still recovered in the high water cut phase of most nonmarine multizone sandstone reservoirs in China. It means that great attention should be paid to take effective measures to revitalize this type of reservoirs in order to improve and enhance the oil recovery in this phase.

In this chapter the periodization of the whole life of reservoir performance is also presented. The emphasis is put on that the different characteristics of reservoir performance can be observed in every phase of waterflooding process as the distribution of oil and water in the reservoir is changed, and therefore, the different measures of remanagement should be taken.

The strategies and methodologies of reservoir management are discussed in chapter 4. According to the practice of development for the nonmarine multizone sandstone reservoirs in China, the optimized approach of their management can be concluded as “to recognize the heterogeneities of reservoir more and more, and then to allocate the wells stage by stage”.

Moreover, all aspects of reservoir management are introduced, such as: the development procedure, appropriate utility of natural energy and pressure maintenance, establishment of formation pressure system, zonation for separate development, allocation of well pattern, and the integrated measures for revitalization.

Chapter 5 gives the features of reservoir characterization work which should be done in every phase of reservoir development. And a series of new techniques in various disciplines such as geology, seismics, logging, well testing, geological modeling and geostatistics are reviewed.

At last, chapter 6 covers the whole set of production technologies suitable for multizone reservoirs especially the separate zone injection, as well as the well completion, perforation, artificial lift, profile modification, water control, well stimulation, production testing and so on.

目 录

前言	
第一章 多层砂岩油藏的基本地质特征	(1)
第一节 中国多层砂岩油藏形成的地质背景及沉积特征.....	(2)
第二节 多层砂岩油藏非均质特征	(35)
第二章 多层砂岩油藏的渗流特征	(53)
第一节 油藏内的驱油能量及作用力	(53)
第二节 储层岩石的孔隙结构	(55)
第三节 油层岩石表面的润湿性	(72)
第四节 多相流动时的相对渗透率	(78)
第五节 注水开发过程中岩石和流体物性的变化	(91)
第三章 多层砂岩油藏的开发特征	(110)
第一节 注水开发油田的含水上升规律.....	(110)
第二节 采油、采液指数和吸水指数的变化规律.....	(122)
第三节 多层砂岩油藏的层间干扰.....	(132)
第四节 油层平面上的油水渗流特征.....	(145)
第五节 油层内部的油水渗流特征.....	(151)
第六节 多层砂岩油田开发阶段的划分.....	(166)
第七节 中、低含水阶段(分层注水阶段)的开发特征.....	(171)
第八节 高含水前期(细分层系综合调整阶段)的开发特征.....	(174)
第九节 高含水后期及特高含水开发阶段(深度开发阶段)的开发特征.....	(177)
第四章 多层砂岩油藏的开发部署和对策	(181)
第一节 多层砂岩油藏开发的指导思想.....	(181)
第二节 油田合理开发程序.....	(186)
第三节 注水保持压力与压力系统.....	(198)
第四节 合理划分和组合开发层系.....	(223)
第五节 注采井网的合理部署.....	(230)
第六节 多层砂岩油藏开发过程中的多次布井、综合调整.....	(241)
第七节 注水过程的调节和改善注水方法的应用.....	(246)
第五章 油藏描述技术	(254)
第一节 各开发阶段油藏描述工作的特点.....	(255)
第二节 油藏描述的主要技术及其进展.....	(264)
第六章 多层砂岩油藏开采工艺技术系列	(299)
第一节 概述.....	(299)
第二节 开采工艺技术基础.....	(303)
第三节 分层注水工艺.....	(315)
第四节 自喷采油.....	(326)
第五节 人工举升采油.....	(329)

第六节	调剖、堵水工艺.....	(339)
第七节	油层增产及解堵工艺.....	(349)
第八节	分层生产测试工艺.....	(360)
参考文献	(363)

第一章 多层砂岩油藏的基本地质特征

多层砂岩油藏是我国陆相沉积盆地主要的油藏或油田,按该书模式分类,其储量和产量均占全国的 50% 左右。这类油藏的地质特征主要表现在以下几个方面:

1) 相对比较简单单斜和背斜或长垣构造和部分被断层切割的背斜。多层砂岩油藏开发模式着重研究断层相对不太发育的、构造比较完整的大、中型油藏。

2) 我国已开发的多层砂岩油藏绝大多数储藏于中、新生代地层中。这里着重研究中、高渗透率砂岩储层。但其非均质性远较海相严重,表现在以下方面:

① 岩石成分、结构成熟度低,孔隙结构复杂。湖盆碎屑岩多为长石—岩屑砂岩,极少发育石英砂岩。颗粒分选以中到差为主;杂基含量较高,纯砂岩几乎没有,这就造成了储层孔隙结构的复杂性。

② 陆相湖盆相带窄,岩性变化快,因此在一个油田剖面上,常常由多个相带的叠置组合成一套纵向厚度大(从百米至数百米,甚至上千米)、砂泥岩互层的储层层系,构成了陆相湖盆碎屑岩储层层间的严重非均质性。即垂向上储层层数多(十几至上百个单层),且因单层各自所处沉积相带不同,造成各层间的渗透率差异性甚大。这也是陆相含油盆地多层砂岩油藏最重要的地质特征。

③ 与海相储层相比,砂体规模相对较小,侧向连续性差,多呈条带状分布,而且又因层理结构的方向性加剧了平面非均质性。当砂体内高渗透条带造成的宏观渗透率的方向性与由于层理倾向等引起的层内微观渗透率各向异性同方向重合时,将明显加剧平面非均质性,这也是湖盆碎屑岩中占重要地位的河道砂体储层的特征之一。

④ 储层层内渗透率非均质性严重并多样化,存在着正韵律、反韵律和复合韵律等层内非均质特征,其中以不利于水驱在层内垂向上波及的正韵律特征相对更为发育。

3) 原油性质具有陆相生油的特点,表现为原油粘度相对较高,以及含蜡量和凝点很高的特点。据统计,我国 25 个主要油田按储量加权平均的油层粘度值约为 $27\text{mPa}\cdot\text{s}$,而石蜡基原油占全国总产量的比例则接近 90%。东部地区原油平均含蜡量约 22%,凝点平均约 28°C 。而海相原油的粘度相对小(如地层原油粘度多在 $5\text{mPa}\cdot\text{s}$ 以下),含蜡量低,多在 5% 以内,因此相应的凝点也低,与我国陆相原生原油性质迥然不同。

4) 多层砂岩油田具有多套油水系统。多层砂岩油田多为一至二套油水系统,如大庆长垣北部各油田的早白垩统萨尔图、葡萄花及高台子油层属一套油水系统,胜坨油田的下第三系沙二段油层在二、三区则为两至三套油水系统。

5) 缺乏活跃的天然水驱能量。就我国中、新生代陆相碎屑岩油田而言,大多数油田具有层状边水油藏的特点,但一般边水不活跃,天然水驱能量低。边水不活跃的原因除砂体侧向连续性差外,还有边外水体部位渗透率常常变差。造成边外储层物性变差的原因一是沉积作用,二是差异成岩作用的结果。

我国多层砂岩油田的开发就是在这样层间、平面、层内存在着严重的非均质性、原油粘度又比较高,并且还缺乏活跃的天然水驱能量等非常复杂和不利的地质条件下展开的。为了说明为什么我国的油藏会具有这样复杂的地质条件,不能不从地质成因上作更为具体的分析。

因此,下面将从形成我国多层砂岩油藏的区域地质背景出发,具体阐述我国中、新生代陆相湖盆的构造特点、沉积特点、碎屑岩充填形式、成岩作用以及陆相成烃机理对原油性质的影响,并且更为细致地分析和描述多层砂岩油藏从宏观到微观各种规模的非均质特征。

第一节 中国多层砂岩油藏形成的地质背景及沉积特征

一、中国中、新生代陆相湖盆的构造特点

中、新生代时期,中国大地构造背景是处于欧亚板块的东南部,西南与印度板块、东南与太平洋板块相邻,处于三大板块的汇集处。

中国境内的构造格局,古生代以南北分带为主,中、新生代及其以后逐渐过渡到以东西分带为主,大体分为三区,西区在贺兰山—龙门山—横断山一线以西,东区在太行山以东,两区之间为中区。

西部地区因受印度板块与欧亚板块南北向挤压作用,区域构造呈近东西向或北西西向。山系与低地相间,多发育挤压性质的大型拗陷沉积盆地。北为准噶尔、塔里木、柴达木和吐鲁番盆地以及河西走廊等。南为西藏全部,青海省南部和云南省西南缘。这些盆地多属山前或山间的大型拗陷盆地,形成时间早,经历过分异、叠加等长期演化。由于盆地四周山地上升快、地势高、剥蚀快,产生大量粗碎屑演化产物,盆地沉降快,充填也快,再加上其形成时间早,沉积时间长,故沉积厚度大,粗碎屑物质多,河流相和洪积相很发育,湖泊面积相对较大,且变化快,湖水较浅。

中部地区包括北部鄂尔多斯盆地、南部的四川、楚雄、兰坪思茅盆地等。该区大的拗陷盆地和山系的走向呈近南北向或北北东向,但也有的山系和边缘小断陷盆地呈东西走向,中部地区同时受西区和东区的影响,盆地形成时间也较早,但升降变化较多。

东部地区构造线的走向呈北北东向,属拉张型,包括三个大区:

1) 东北区。位于内蒙地轴以北。其中部有大型松辽盆地,南有开鲁盆地,西有二连和海拉尔盆地,东有三江盆地,此外,还有依兰—伊通地堑盆地,在中、新生界已属拗陷盆地。

2) 华北和江淮地区。系指内蒙地轴之南、长江以北地区,包括渤海湾、南华北、苏北、南襄和江汉盆地。该区的最大盆地——渤海湾地区在下第三系为断陷盆地,至上第三系逐渐稳定,转变为拗陷盆地,见表 1.1。它虽是东营凹陷的构造发育史,但华北地区的构造发育史也基本如此。

3) 华南和东南区。指长江以南地区,如洞庭湖、鄱阳湖盆地、三水、百色、茂名等盆地。

东部地区大沉积盆地的形成时期较中、西部晚,由于受太平洋板块俯冲碰撞的影响大,与地幔上拱引起地壳变薄发生张裂断陷有关,东部张性盆地经历了从裂谷、断陷(断拗)——拗陷的发展过程。东部地区盆地的形成、成油及储油期各区不一样,北早南晚。如松辽盆地在侏罗纪时已开始断陷,白垩纪时发展成一个大型拗陷盆地,是湖泊发育的极盛期,也是生油层及储集层沉积期,至第三纪时盆地萎缩;华北和江淮地区沉积盆地的主要断陷期是早第三纪,也是湖泊极盛及生油层沉积期,晚第三纪转化为拗陷盆地,且湖泊收缩消失;华南无大的沉积盆地。

值得注意的是,盆地的发展演化过程虽然相同,但是湖泊的极盛期即主要生油期(包括储层沉积)不一样。目前我们定义某个盆地为断陷或拗陷盆地是根据主要生油层及储油层沉积时所属阶段而定的。断陷盆地时期的特点是断层作用明显,沉积岩往往与断层发展有关,也就

是同生断层发育,同时断层也相对比拗陷期发育,无论是断层的条数或断距及其延伸长度均比拗陷期更多、更长,同时多属拉张性的正断层。此外,在各地广泛发育箕状断陷、拗陷盆地,一侧陡、一侧缓,因此形成了多样化的古地貌景观。

表 1.1 东营凹陷的构造发育阶段(据文献[1])

地 层		发 育 阶 段		主要沉积相和砂体	旋回	
上第三系	明化镇组 馆陶组	湖盆收缩衰亡	拗陷	河流相、河流砂体、 三角洲砂体	3	
下第三系	东营组	第二次收缩	拗陷← 断陷	浅湖相、河流相、三角洲砂体	2	
	沙河街组	一段		第二次微陷与扩张		浅至深湖相、滩坝砂体、三角洲砂体
		二段 三段上	第一次上升与收缩	断 陷	深至浅湖相、三角洲砂体、扇三角洲砂体、河流砂体	1
		三段中	第一次深陷与扩张		深湖相、浊积砂体,水下冲积扇砂体	
		四段	断陷拉张裂谷 初期充填		坡积相、洪积相、短河流相、浅湖相、扇三角洲砂体、火山喷发岩体	
孔店组						

二、陆相湖盆沉积的主要类型及其沉积特征

中国绝大多数多层砂岩油藏形成于中、新生代陆相沉积湖盆中。由于区域构造的特征相对于海相沉积盆地有其独特的古地貌和沉积环境,从而造就了陆相湖盆碎屑岩沉积的特色。正如前述,与海相同类储层相比,其非均质性要严重而复杂得多。这是因为:

1) 湖盆四周环山或高地做为碎屑物源供应区,以湖泊为沉积中心,多物源、多沉积体系地向湖泊聚汇,造成沉积物类型的多样化。如松辽中、新生代拗陷盆地,沿盆地长轴的纵向沉积体系多发育冲积扇—河流—三角洲体系;而沿其短轴则易发育冲积扇—三角洲沉积体系。

2) 湖盆规模较小。除少数大型拗陷盆地面积超过 $10 \times 10^4 \text{ km}^2$ 外,绝大多数湖盆面积在数千到数万平方千米数量级范围。这就形成了碎屑岩物源区与沉积中心间短距离、高坡度的古地理面貌。即使中国最大的中生代松辽盆地($26 \times 10^4 \text{ km}^2$),沿长轴方向最大的沉积体系的物源至沉积中心距离也只有 $200 \sim 400^{\text{①}}$ km 左右,中国东部绝大多数断陷盆地一般仅数十,甚至数千米;坡降可大至每千米数米至数十米。

3) 湖泊水体规模小、能量也小。作为湖盆沉积中心的湖泊与海相不同,不存在潮汐作用,只有湖浪作用;且由于湖泊的水体小,其波浪和湖流能量也相对较小。如中国东部地区中、新生代古湖泊面积多在数百到数千平方千米,水深仅数十米,有的只有十米左右,从而湖泊对陆源碎屑的改造作用也小。因此,在湖盆碎屑物沉积中,河流是碎屑物的主要携载营力。

4) 湖进湖退频繁。因为湖泊水体较小而浅,只要一些地质事件产生以及规模不大的自然环境变化,就可引起一定规模的湖进或湖退。大自构造运动造成的湖盆升降,小至季节性的气候变化,都能造成湖进或湖退。这种多级次的频繁的湖进、湖退加上陆相沉积物的沉积速度是海相的数倍至近十倍,就能形成巨厚的地层,在其剖面上具有砂、泥岩互层的特征。

正如前述,陆相湖盆从其周边高地(物源区)演化剥蚀的碎屑物,以河流为主要的携载营

① 按萨尔图、葡萄花、高台子油层的多数储层推算的,据文献[14]。

力, 汇向湖泊中心, 在山麓平原沉积了冲积扇的砂砾岩体, 在冲积平原沉积了各类河流砂体, 在边缘浅湖沉积了三角洲和各种滩、坝砂体, 最后在开阔深湖区有时沉积湖底扇砂体(浊流相), 形成一个完整的独自的沉积体系, 见表 1.2 及图 1.1。现将上述湖盆沉积类型简略分述于后。

表 1.2 陆相湖盆沉积类型

湖盆碎屑岩	山麓平原沉积—冲积扇砂砾岩体
	冲积平原沉积—辫状河、曲流河及限制型河道砂体
	边缘浅湖沉积—鸟足状—叶状体三角洲、扇三角洲及过渡型三角洲砂体
	开阔深湖区沉积—湖底扇砂体或砂砾岩体

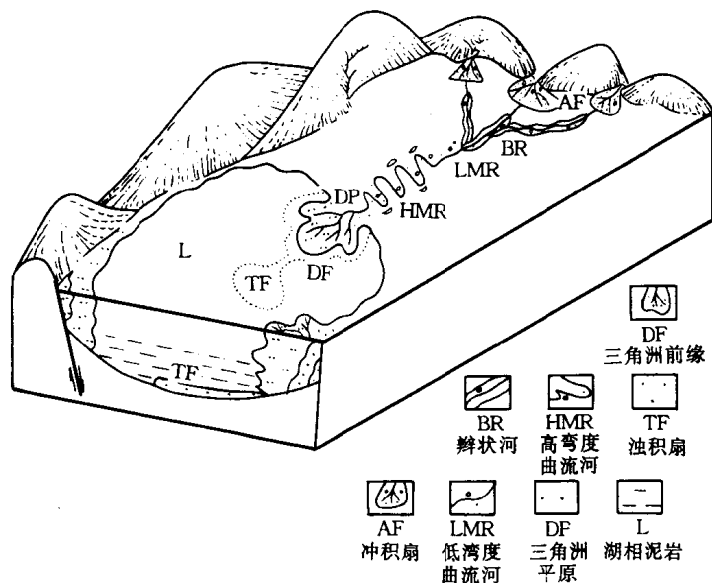


图 1.1 陆相湖盆沉积体系模式图(据裘怿楠, 1988)

为叙述方便, 现将陆相湖盆各部位的沉积相、沉积亚相及微相列于表 1.3 中。图 1.2 展示出河流、三角洲沉积物在陆相盆地的储层中占主导地位: 前者的储量占 46%, 后者占 35.4%。下面将接近源端至远源端分别简述各沉积类型的主要特征。

1. 冲积扇(Alluvial fans)

通常沿一定高差的山脉发育。山区河流进入山麓平原, 由于坡降突然变小, 流速与水流能量随之急剧降低, 大量粗碎屑物在山口堆积成一个扇形沉积体——冲积扇。

冲积扇的特点是直接沉积于邻近剥蚀区, 是碎屑岩沉积中最高能量搬运的沉积物。碎屑物以砾石为主, 粒度范围广, 从巨砾到泥都可沉积, 搬运和沉积的间歇性很大, 坡降大, 平均为 5°, 变化于 1°~25°之间, 很少超过 10°。碎屑物从山区向冲积扇搬运有两种形式: 河流水携载搬运和泥石流搬运, 前者是在潮湿气候条件下, 后者是在干旱气候条件下。

有关冲积扇的详细论述已有专著, 且不是本书的重点, 这里只是为了文章的完整性仅作如上简要叙述, 若需要可参阅本丛书《砂砾岩油藏开发模式》。

2. 河流相

我国中、新生代陆相含油气盆地中, 已发现了大量以河流砂体为主要储层的油田, 其储量占这些盆地目前已探明储量的 46% 左右, 已位居碎屑岩储层的首位(图 1.2)。

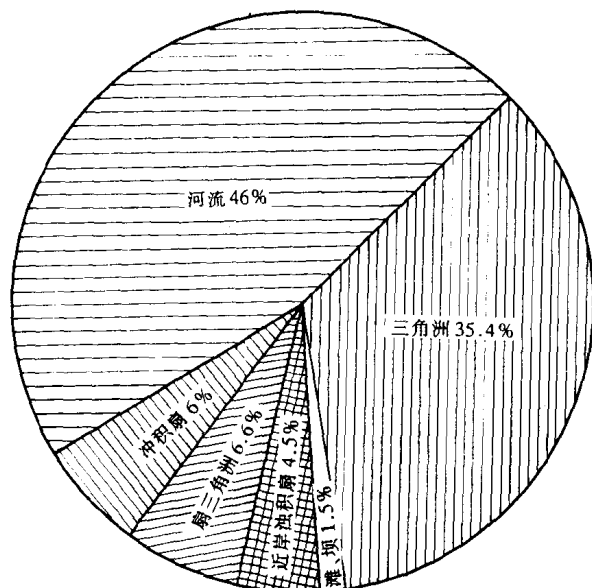


图 1.2 中国中、新生代含油气盆地中各类碎屑岩体储集层所占石油储量比例(引自文献[2])
其中河流储集层包括了三角洲平原上的分流河道砂体,三角洲储集层只指前缘部分的砂体

表 1.3 陆相湖盆沉积的相、亚相及微相表

相		亚 相		微 相
冲积扇	扇根(扇顶)			主槽、槽滩、侧缘槽、漫洪带
	扇中			辫流带、辫流沙岛、漫流带
	扇缘			
河 流	辫状河 <small>长流程 短流程</small>			河道滞留沉积、心滩
	曲流河 <small>低弯度 高弯度</small>			点坝、废弃河道、串沟、决口扇、天然堤
	限制型河			河 道
三 角 洲	鸟足状— 叶状体	三角洲分流平原		水上分流河道—低弯度曲流河和顺直型河流
		三角洲前缘	内	水下分流河道、席状砂、分流河口坝(少)、分流间砂体(少)
			外	席状砂(薄层)
	过渡型 (裙边状)	前三角洲		多为泥岩、无储层
		三角洲平原		辫状河(短流程)
		三角洲前缘		水下分流河道、河口坝、席状砂、前缘斜坡砂体
		前三角洲		泥岩
		扇三角洲平原相		辫状河砂砾岩体
		扇三角洲前缘相(主体)		水下分流河道、前缘砂、边缘席状砂
		前扇三角洲		泥岩夹泥质粉砂岩和碳酸盐岩薄互层
湖底扇	上 扇		主水道、天然堤	
	中 扇		水道、水道间、溢岸支道	
	外 扇		席状砂、经典浊积岩	

注:亚相和微相的划分尚无统一标准,作者根据有关专家研究成果,试划分为此表。