

中国
油藏
开发
模式
丛书

砂砾岩油藏开发模式

T H E D E V E L O P M E N T
M O D E L S O F
G L U T E N I T E
R E S E R V O I R S

胡复唐 等编著

石油工业出版社



登录号	126231
分类号	TE349
种次号	007

中国油藏开发模式丛书

Series on Reservoir Development Models in China

砂砾岩油藏开发模式

The Development Models of Glutenite Reservoirs

胡复唐 等编著



石油0121442

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——砂砾岩油藏。

本书系统地概括了我国40年来砂砾岩油藏开发的基本认识与主要经验，重点研究了储层的主要特征、储层和油藏的分类地质特征与模型，注水开发的基本特征，主要开采工艺技术以及优化开发模式。

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

砂砾岩油藏开发模式/胡复唐等编著.

北京:石油工业出版社,1997.10

(中国油藏开发模式丛书)

ISBN 7-5021-2162-5

I. 砂…

II. 胡…

III. 砂岩:砾岩-油田开发

IV. TE349

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 21069 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 14 印张 6 插页 355 千字 印 1—1500

1997 年 10 月北京第 1 版 1997 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2162-5/TE·1811

定价: 55.00 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	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
老君庙 M 层低渗透砂岩油藏	
马岭层状低渗透砂岩油藏	
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	
钟市复杂小断块油藏	小集高凝油油藏
双河油田砂砾岩油藏	魏岗高凝油油藏

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
一九九〇年八月

前 言

40年来,中国砂砾岩油藏开发取得了大量基础资料与研究成果,积累了丰富的、具有自身特色的经验和技術,有的达到了较高的水平。在理论与实践上,已经并将继续为发展油田开发事业做出自己的贡献。

本书涉及的砂砾岩油藏,系指砾岩、砾状砂岩等粗碎屑岩储层为主的油藏。一般地说,它们仍属于孔隙型油藏,但又具有更为复杂的拟双重介质性等重要特征,以及相应的不同开发对策和模式,而区别于一般孔隙型油藏(如砂岩油藏)。

根据实际条件,本书研究的主要对象是书中第三章所划分的第Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类注水开发的常规原油性质的砂砾岩油藏。其中,最典型、最重要的是洪积扇相砾岩油藏。

世界上专门研究砂砾岩油藏特性的报导还不多,以砾岩油层为主体的砾岩油藏则更少。中国以陆相生油形成的油田为主,砂砾岩油藏成为具有特色的重要类型,在准噶尔盆地、泌阳凹陷、渤海湾盆地、二连盆地等地区均有发现。最集中的的是在新疆准噶尔盆地西北缘的克拉玛依含油聚集带上(简称克含油带)。

克含油带是一个在向盆地中央倾斜的单斜构造背景上,被长达200km以上的巨大逆掩断裂带所切割的断阶带。储层纵贯二叠、三叠、侏罗系地层,埋深300~4000m以上,是一个断裂—岩性控制、洪积相—河流相—扇三角洲相砾岩为主、严重非均质、拟双重介质、低流度、低产量、原油性质和压力系统变化大、弹性—溶解气驱、多类型多层系的大型的砂砾岩油区。

1955年发现油田,1958年开始逐步投产。注水开发了克拉玛依、红山嘴、车排子、百口泉、乌尔禾、夏子街、小拐等多个油田。到1995年,已累积生产原油1亿吨,年产量仍保持在300万吨以上。30多年来,一直是我国西北部的的主要石油生产基地,成为世界上砾岩油藏的突出典型。

克含油带具有资源丰富、类型众多的几十个砂砾岩(尤以砾岩为主)油藏,积累数10年丰富的开发经验与技術,具有广泛代表性,无疑就成为本书的研究重点。

河南省泌阳凹陷的双河砂砾岩油田是一个小而肥的湖盆扇三角洲相油藏的重要典型。它的一些特点近似砾岩油藏,一些特点又类同砂岩油藏,属于第Ⅰ类砂砾岩油藏中地质条件特别好的一个,可以视作砾岩油藏向砂岩油藏特性过渡的一种类型来对待。

本书共分八章。全书由胡复唐主编,参与编写、修改和定稿。第一、二、四章由刘顺生、胡复唐编写,第三、五、六、八章由胡复唐、李联伍、汤承锋编写,第七章由彭顺龙、张传新、李春敏、林祖彬、彭济华、曹有智、黄蕾、房全堂编写。

在本书编写工作中,新疆石油管理局领导及新疆石油管理局勘探开发研究院、采油工艺研究院、钻井工艺研究院、测井公司研究所、井下作业处等单位领导和许多同志,河南石油勘探局领导和许多同志给予了巨大支持、参与研究和提供资料。在审定书稿中,中国石油天然气总公司的有关领导和专家给了许多指导。出版过程又经众多同志的努力,在此,一并深表谢意。

限于编写者的水平与条件,书中会存在不少缺陷,希望各位专家和读者批评指正。

Abstract

This book makes a systematic and comprehensive summary and study of the waterflooding glutenite reservoir, especially stressing the main geologic development, exploitation techniques and optimum development model with the characteristics of the glutenite reservoir in China.

In the geologic study, the book lays special stress on summarizing the basic sedimentation type of the glutenite reservoir and layer, which covers piedmont-alluvial facies, calculous braided fluvial facies and fan-delta facies, sedimentary environment and types, sedimentation features and facies marks, division of subfacies and properties, vertical sequences and sedimentation mode. Afterwards, the authors point out that the main characteristics of the glutenite reservoir—the typical geological characteristics of the layer are low permeability complex film cobblestone property with complex micro-visual pore structure and rock composition, serious inhomogeneity, complex connectivity and pseudodual porosity media property (multi-type pore group).

The pseudodual porosity media property means that the glutenite reservoir is not the conventional fracture and pore system, but many types of pore group system. Their physical property discrepancy and percolation flow differentiation are significantly distinct from the single porous media, but similar to the dual porosity media property to a certain degree.

On the basis of overall geologic study, the layer and reservoir are both divided into four groups according to their properties with systematic cluster method, establishing the geological model of the typical layer and reservoir to meet the requirement of oil field development. It is the important basis of geologic and development research, reservoir numerical simulation and operating management in the future.

The geological property must lead to the percolation flow characteristics in the water drive process; the multi-type pore group percolation flow of the pseudo-dual porosity media, multi-type relative permeability relation and medium or low drive efficiency, wide braided pore flow regime and many types of medium of strong layer sensitivity.

The complex geological and percolation flow features of the glutenite reservoir result in its complex characteristics in the waterflooding development process, such as the serious nonuniform water drive process and pressure distribution, the sensitivity of the development effect to the pressure system and injection-production speed and the

different characteristics of different types of reservoir are widely existed. The type I of reservoir which accounts for one-fifth of the total reserves have good water injection response, slow water cut rise with high production capacity and satisfied recovery efficiency and economic benefit. The type II, III and IV of reservoir which account for four-fifths of the total reserves have weak water injection response, fast water cut rise with low production capacity and poor recovery efficiency and economic benefit.

The development property and effect of the reservoir are closely related with the applied technologies. This book expounds the key technologies applicable to the glutenite reservoir on the reservoir's characteristics, including the drilling technologies on well completion and reservoir protection, whole coring and lateral drilling, the logging technologies on logging program selection, formation evaluation and oil-gas evaluation, the production technologies on water injection, production, reservoir stimulation, profile control and water shutoff, the downhole operation technologies on plugging interporosity flow and casing repair, and the supporting technologies in different development stages.

On the basis of building a fine geological model, mastering correctly the development law and supporting technologies, through systematic and overall mineral analysis, theoretical study and reservoir simulation, the comprehensive demonstration and optimization are made on the glutenite reservoir waterflooding strata series and unit, well pattern and well spacing, pressure system, injection-production speed, timing of water injection and the working plans, countermeasures and technologies in each development stage. Optimum development models of the different types of reservoirs under current conditions are put forward. The core is to come up to a full course and omnidirectional systematic engineering of the reservoir development with high benefit, high production and stable production integrated with high recovery efficiency. The key aspects are as follows:

1. The effective reservoir description and engineering program must be carried out according to the development stage. This is the primary condition of the optimization development.

2. The careful work for district by district, well by well and zone by zone is emphasized in the full development course. It should form a long-term and high effective full water drive in time.

3. The waterflooding should proceed from unit and strata, adopting water injection and well pattern manner in the light of local conditions, the adjustment and control are timely and effectively carried out according to the different types, units, well-blocks and stages.

4. The equitable water injection and highly efficient oil displacement should be done according to the development law and technical limit of different reservoirs and different stages.

5. It should create and adopt the highly efficient technologies fitted in with the characteristics of reservoir, increasing the water injection and production ability, improving the economic benefit and recovery efficiency.

The book compiles five typical examples of different reservoirs in the last chapter in order to make readers understand the history, practice and knowledge of the glutenite reservoir development in China and provide a realistic working reference for the similar oil field.

目 录

前言

第一章 沉积相	(1)
第一节 山麓洪积扇相.....	(1)
第二节 砾质辫状河流相	(15)
第三节 扇三角洲相	(21)
第二章 储层特征	(26)
第一节 低渗透性为主的复模态粗粒度岩石	(26)
第二节 复杂的微观结构	(31)
第三节 严重非均质和复杂连通性	(35)
第四节 拟双重介质性 (多类型孔隙群)	(49)
第三章 储层和油藏分类特征与地质模型	(54)
第一节 分类方法	(54)
第二节 储层和油藏的分类特征	(55)
第三节 建立油藏地质模型	(60)
第四章 储层渗流特征	(63)
第一节 多类型孔隙群渗流	(63)
第二节 多类型的相对渗透率关系	(65)
第三节 复杂的稀网状孔隙流态	(67)
第四节 水驱过程中的敏感特征	(69)
第五章 注水开发基本特征	(75)
第一节 砂砾岩油藏普遍性的开发特征	(75)
第二节 I类油藏开发特征	(88)
第三节 主体 (Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ类) 油藏开发特征	(91)
第六章 优化开发模式	(100)
第一节 基本开发方法的优化.....	(100)
第二节 开发部署与对策的优化.....	(119)
第三节 优化开发模式及指标.....	(127)
第七章 开采工艺技术	(132)
第一节 钻井完井技术.....	(132)
第二节 测井工艺技术.....	(140)
第三节 注水工艺.....	(153)
第四节 采油工艺.....	(159)
第五节 油井增产工艺技术.....	(168)
第六节 堵水、调剖工艺技术.....	(178)

第七节	井下作业技术	(181)
第八节	不同开发阶段配套工艺技术筛选	(187)
第八章	现行开发模式实例简析	(195)
第一节	七东 ₁ 区克下组 I 类油藏	(195)
第二节	双河核三段 I 类油藏	(198)
第三节	五 ₂ 西区克下组 II 类油藏	(201)
第四节	三 ₃ 区克下组 III 类油藏	(204)
第五节	八区下乌尔禾组 IV 类油藏	(207)
参考文献		(211)

第一章 沉积相

第一节 山麓洪积扇相

一、概述

山麓洪积扇相是典型的陆相沉积类型之一。它是指基岩风化的产物由于山区间歇性洪流的作用,携带到山谷出口处形成的沉积体。主要发育在干旱半干旱地区。平时,这些地区的山谷河道中无水流,在河谷及两岸谷坡堆满了两边山地风化剥蚀的产物。雨季时,山洪暴发,山谷中河水陡涨,于是携带大量物质向下游输送。在山谷出口处,由于河道突然变宽,坡度变缓,水流搬运能力锐减,因而卸下大量的砾石和泥砂,形成一个从山地向平原倾斜的扇形堆积体。

洪积扇(pluvial fan)与通常所讲的冲积扇(Alluvial fan)是有着重要区别的。首先形成洪积扇的水流具有风暴型特点,平时河谷是干的,而形成冲积扇的水流是经常性水流与季节性洪流的混合体;其次,冲积扇的河道相对要固定一些;第三,冲积扇沉积物既有不固定洪流形成的具多元结构的洪积物,又有固定河床水流形成的二元结构的冲积物。

洪积扇一般发育在构造盆地和褶皱山系两个既相联系又相对立的构造单元的结合部位。其形成与发育规模取决于构造运动强度、物源区岩石的风化剥蚀程度、洪水量、沉积基面的拗陷幅度与物质补给率之比等。

比较强烈的构造活动使得物源区与沉积区之间的高差增大、坡度变陡,一旦遇到季节性洪水,其携物能力很强,有利于形成大型洪积扇。

干旱或半干旱的气候是形成洪积扇的又一必要条件。一方面,该气候条件有利于物源区岩石的风化剥蚀作用,从而为形成洪积扇准备了充分的物质基础;另一方面,干旱气候易形成季节性洪水,该水流便是携带碎屑物质流出山口的载体。同时,洪水量越大,源区的岩石风化剥蚀程度越高,越易形成大型扇。

由此可见,强烈的构造活动,干旱或半干旱气候是形成洪积扇的两个重要条件。另外,构造盆地持续沉降才有利于洪积扇的保存。

由于洪积扇相是高能环境下的堆积物,其碎屑骨架颗粒磨圆度不佳,分选极差,成分复杂,杂质含量高。无论是其砂体分布还是储层结构都具有极强的非均质性。

二、洪水发育的阶段性及其沉积类型

1. 洪水发育的阶段划分

各个地区由于汇水面积、流程、坡降的不同,导致洪水规模差异很大,但是它们仍有一些共同点,即发育的阶段性的。按现代洪水流量的变化特征,一次山洪的发育过程可分为三个阶段(见图 1.1)。

第一阶段为漫洪期(或称洪峰期),指流量从流量基线附近骤然增长至最大值的阶段。若

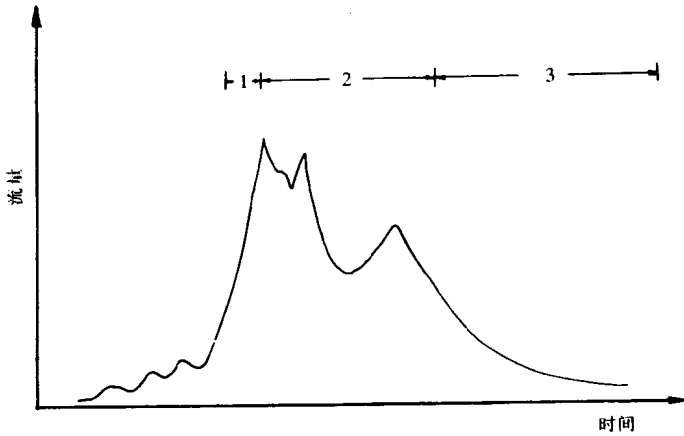


图 1.1 洪积扇体系流量理想模式图 (张纪易, 1980)
1—漫洪期; 2—槽洪期; 3—涸流期

流量到达第一个高峰后继续小幅度波动上升, 洪峰期则相对要长一些。

第二阶段为槽洪期, 指流量由最大值波动下降的阶段。其持续时间长, 一般为漫洪期的 2~10 倍。

第三阶段为涸流期, 是流量降到接近流量基线后微弱水流活动的阶段。

实际上, 洪水的三个发育阶段不只反映了流量的规律性变化, 而且反映了洪水携带物的数量、粒度结构、颗粒成分及沉积方式的变化特点。

一般地讲, 一年中首次洪水的负载量最大, 除非后期洪水的规模远远大于第一次。而在每期洪水中悬移质数量的最大值往往和漫洪期流量最大值同时出现, 而推移质数量的最大值则落后于漫洪期, 一般出现在槽洪阶段的早期。

需要指出的是只有低山丘陵区发育的洪水才能较清楚完整地划分出上述三个阶段。而与高山积雪区联系的水系因暴雨接连发生, 使三个阶段不易划分或发育不完全, 往往缺失涸流期和部分甚至全部槽洪期。

2. 沉积方式与沉积类型

洪积扇砂砾岩体的 CM 图与典型冲积扇砂体的 CM 图既相似又有明显的不同 (图 1.2):

- 1) 洪积扇沉积物粒度粗, 且大都处于滚动状态 (NO 段和 OP 段);
- 2) 分选较好的细粒沉积物 (QR 段的砂坝沉积) 在洪积扇中不发育, 尤其是在洪积扇发育早期 (扇顶亚相) 几乎不存在;
- 3) 洪积扇中的泥石流沉积不很发育。相似的是均可以划分出两个区, 一个是牵引流沉积区, 另一个是泥石流沉积区 (与浊流沉积图示相似)。

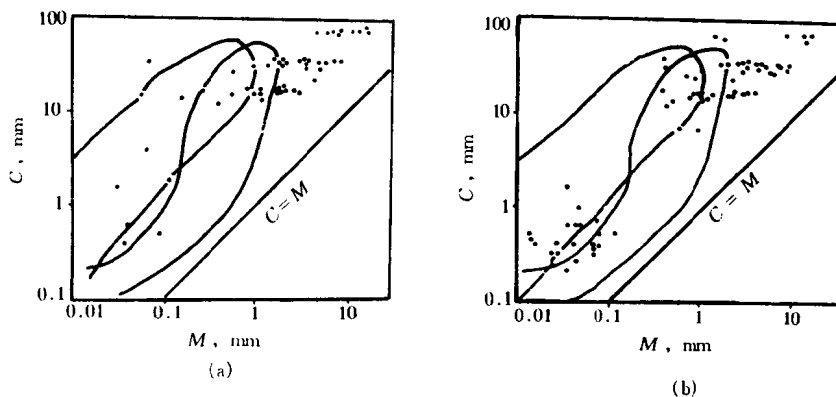


图 1.2 克拉玛依洪积扇沉积物的 CM 图
(a) 扇顶沉积物; (b) 扇中沉积物

(1) 牵引流沉积

山洪涌出山口前流速较高, 现代水文测量资料表明山洪流速一般 2~4m/s, 最大可超过

5m/s。同时漫洪期悬移质含量变化于 $4.4\sim 108\text{kg}/\text{m}^3$ 之间，推移质含量在 $0.1\sim 5\text{kg}/\text{m}^3$ 之间。粗略计算洪水密度约 $1.005\sim 1.18\text{g}/\text{cm}^3$ 。加之悬移质中导致粘度增高的粘土含量只占 $6\%\sim 35\%$ 。因此，一般情况下，山洪的粘度和密度不太高，所携带的负载物与搬运介质是相分离的，即牵引流搬运方式是洪积扇沉积的主要搬运方式。

牵引流搬运方式下有以下三种沉积类型：

1) 漫洪沉积：山洪涌出山口后在扇面上迅速铺撒成片状漫流，漫流覆盖的面积大小视流量的大小而定。在扇面片状漫流活跃的部位会形成粗碎屑的席状沉积（由很多的砾岩和砂岩透镜体条带组成）。它是洪水流速顿减、水体过浅而无分选地卸弃下来的负载物，是以垂向加积的方式沉积的。片状漫流主要是洪峰期洪水的活动方式，洪水悬浮质含量最高，因而席状粗碎屑沉积富含泥质。从图 1.2 可以看出，洪积扇中此类沉积物最发育，其粒度粗，分选极差，C—M 点位于图的右上方，相当于帕塞加 CM 模式图的 OP 段或 NO 段，以滚动和悬浮搬运为主。

2) 河道沉积：当洪水从洪峰期转入槽洪期时，扇面的片状漫流逐渐归纳入大小沟槽中，已堆积的粗碎屑席状层即被切割；沟槽外地势略高的滩地上，因洪水退出不再接受沉积或在较短的时间内只接受悬浮质的垂向加积，因此其沉积物保持原状或增加少量细粒物质；沟槽内的沉积因被后续的悬浮质逐渐减少的水流的不断冲洗，含泥量减少，并在其上接受槽洪期搬运来的粗碎屑物的沉积。在槽洪期，多数沟槽是废弃的，只少数几条是活动的，它们不断迁移、改道、充填和废弃。其沉积物呈透镜状，为分选差的砾石和砂。这种河道沉积在扇顶和扇中部分占重要地位，相当于帕塞加 CM 模式图的 PQ 段。在扇中部位有时出现分选好，粒度相对较细的砂坝沉积（相当于 QR 段）。

3) 筛滤沉积：当水流很快减弱时，从较老的粗碎屑物隙间渗滤流动，把砾石间的细粒沉积物带走，形成了碎块支撑的砾石层，这种沉积物即为筛积物，以具有特高渗透率的特征在储层中出现。

(2) 泥石流沉积

泥石流是一种特殊的洪流，一般也是出现在山区和山口。它形成突然，历时短暂。因泥砂、石块等固体物质的含量很高，所以流体的密度和粘度很大，是一种高密度流。

泥石流沉积物以粘土和粉砂为基质，粒径大小悬殊的砂、砾石、岩块散布其中，砾石和岩块无定向杂乱排列，无层理，具突变边界，与洪积层的界面清晰可辨，平面上多呈舌状体。

泥石流沉积物多形成于扇体发育的早期，其厚度通常几十厘米，以泥质砾岩和砾状泥岩为主，属于不渗透的隔层，它的存在使洪积扇储层的非均质性复杂化，降低了洪积扇砂体的连通性。

三、沉积特征和相标志

1. 岩体形态

洪积扇顾名思义在平面上呈扇形，从扇顶向扇缘散开；横剖面上呈双凸形或上凸形，下凸部位是山坡上的冲沟或是山沟后退时留下的山区河流遗迹，说明发育洪积扇的山麓斜坡带地形一般是不平坦的；在纵剖面上厚度呈向上凹的形态。

在山区与平原交界处，在断陷盆地的边缘，洪积扇常常成群出现，在发展过程中相邻扇体逐渐连成一体，形成一个平行于断层的砂砾岩体洪积扇裙。在山足不断后退的条件下，也可能形成大面积的席状体。在断裂活动比较急剧的边缘，由于源岩区不断上升剥蚀，坡降大，

因而可形成达数千米厚的巨厚砂砾岩体。

2. 岩性

洪积扇多以粗碎屑岩类为主，如砾岩、砾质砂岩和砂质砾岩等。粗的砾石间充填砂、粉砂及粘土级物质。有的洪积扇的岩性要细一些，其差别主要是由源区母岩性质、洪水大小和流程远近不同造成的。同一扇体不同部位的岩性也有较大差异，从扇顶到扇缘，岩性由粗变细；扇顶部位以砾岩、砂质砾岩为主；扇中部位主要是小砾岩、砾质砂岩、含砾砂岩等；进入扇缘部位，砾岩减少或基本上无砾岩，细、粉砂岩增多，相应地厚度也变薄。

洪积扇岩石的成分与源区母岩岩性、风化作用强度密切相关。克拉玛依油田三叠系洪积扇中砾岩的岩矿成分 90% 以上都是源区石炭系的火山岩块、变质岩块，石英和长石的含量很少。

3. 岩石的结构

粒度粗、成熟度低、磨圆度差和分选差是洪积扇沉积的重要特征。然而不同沉积部位及沉积类型具有不同的结构特点。

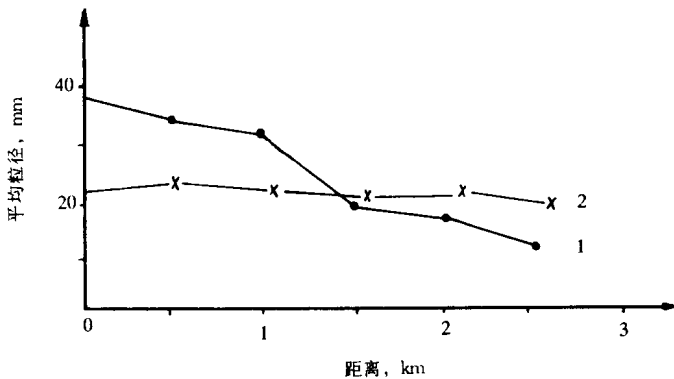


图 1.3 扇顶向扇缘的粒径变化 (张纪易, 1980)
1—沟槽沉积物；2—沟槽间沉积物

从扇顶向扇缘、洪积物的粒径逐渐减小，此趋势在沟槽沉积物中表现极为明显，而沟槽间沉积物的粒径变化不大 (图 1.3)。

砾石磨圆度较差，以棱角一次棱角状为主。磨圆度较好的砾石往往是多次搬运的结果。

洪积扇粗碎屑岩的分选极差。在粒度正态概率曲线上以粗粒度、宽区间、低斜率为主要形态特征 (图 1.4)。

图 1.4 曲线 1 表示漫洪阶段

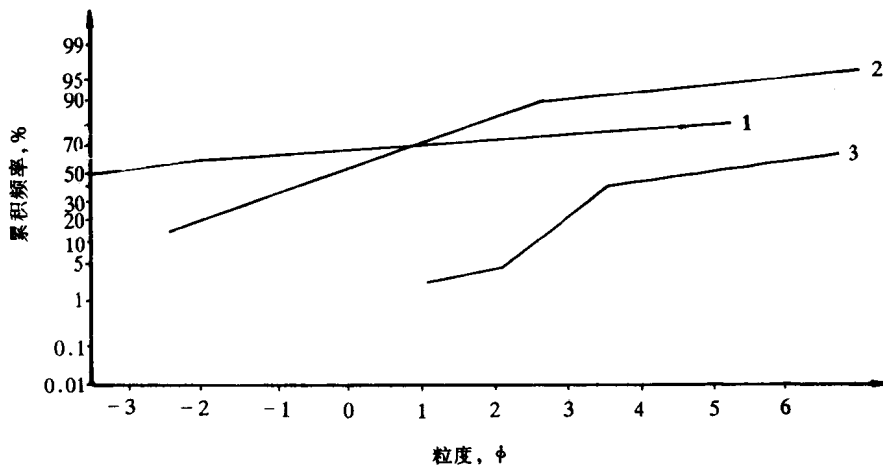


图 1.4 洪积扇相储层典型粒度概率曲线
1—漫洪沉积；2—槽洪沉积；3—洪流沉积

沉积物。其特点是粒度粗、分布范围从 $-4 \sim 6\phi$ (或更粗)，为无截点的低平直线或由多个短直

线段组成，泥质含量一般 10%~25%，碎屑物质几乎未经分选就直接堆积下来。图 1.4 曲线 2 表示槽洪阶段的沉积物，呈两段或三段式，中段斜率略微加大，截点变化大，粗截点在 $-2 \sim 0\phi$ 之间，含泥量一般低于 15%。图 1.4 曲线 3 反映了涓流阶段沉积物的粒度特征：粒度细，分选好，泥质含量较高。曲线上表现为粒度在 $1 \sim 6\phi$ 之间，两段或三段式，斜率较大，粗截点 $2 \sim 2.5\phi$ ，细截点 $3.5 \sim 4.5\phi$ 。

洪积扇粗碎屑岩中存在一种特征的岩石结构——支撑砾岩。它是一种泥质含量很少因而未能胶结成岩的砾石层，砾石棱角发育，互相支撑架空，具有很高的孔隙度和很高的渗透率（照片 1.1、1.2）。支撑砾岩的厚度一般不超过 20cm，辐向延伸长度不到 50m，横向延伸仅几米到十几米（图 1.5）。

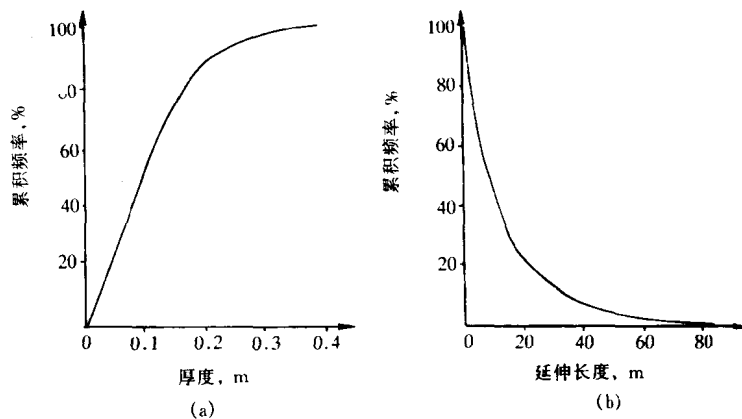


图 1.5 支撑砾岩分布特征

支撑砾岩可反复出现在扇体顶部。野外调查表明它是扇顶细密沟槽中的沉积产物。沟槽沉积物中的泥砂，被后期洪水带走，剩下砾石骨架，在后生成岩作用不强烈的条件下在储层中保存下来。

4. 沉积构造

在洪积扇沉积物中交错层理、平行层理、粒序层理、杂乱堆积或块状层理等层理类型都可能存在，但它们不是洪积扇沉积的主要层理类型。在洪积扇沉积物中广泛发育一种特定的层理，其特点是分选差的砂、砾在垂向剖面上频繁交替，但细层间找不到明显清晰的层理面。它是无数个结构和成分各不相同的洪积物透镜体叠覆而成的成层性沉积构造，因其为洪积扇沉积物所特有，故称之为洪积层理（照片 1.3）。

在岩心中，由于岩心直径有限，洪积层理较难识别而易误认为块状层理。但是当细层间粒度变化较大，或岩心截取的细层长度较大时，洪积层理较明显（照片 1.4）。

洪积层理的产生是洪积扇的沉积机理决定的。洪积扇的沉积作用具有水流不稳定，沉积速率大，沉积作用和侵蚀作用交替进行而且前者所占有的时间远远大于后者的特点。巨厚的洪积物实际是无数次洪水携带物加积的结果，每次洪水后都有一个沉积间断。统计表明，每次洪水携带物的沉积厚度 $3 \sim 20\text{cm}$ ，很少超过 30cm （图 1.6）。

洪积层理在洪积扇顶部的沉积物中最为发育，其他类型的层理如交错层理、粒序层理、块状层理等所占比例很小，而且出现的交错层理多属单层系交错层理，是多次洪积物在局部地形斜坡上叠覆而成的，其细层的结构和成分变化大，细层内无粒序变化规律。在洪积扇中部，