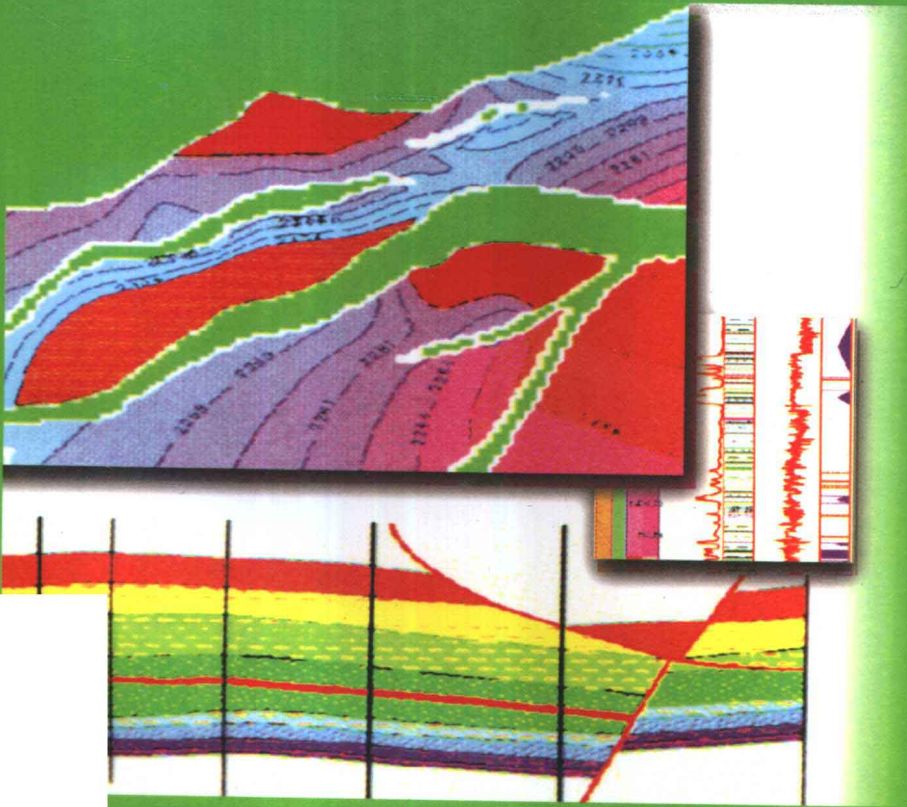


现代油气勘探理论
和技术培训教材

中国石油天然气总公司勘探局 编

储层沉积学

三



石油工业出版社

现代油气勘探理论和技术培训教材·三

储层沉积学

中国石油天然气总公司勘探局 编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书为《现代油气勘探理论和技术培训教材》之一。全书内容系统、丰富，全面地介绍了各类油气储层的沉积、成岩、岩性、电性、物性、含油气性以及储集性能等基本特征。理论密切联系国内外实际，并反映了近十多年来储层沉积学领域的新进展。

本书适用于作为高级油气勘探开发科技人员培训教材，也可供石油高校地质勘探、油藏工程、物探、测井以及企业管理等专业教学用书或参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

储层沉积学/中国石油天然气总公司勘探局编.
北京:石油工业出版社,1998.5

现代油气勘探理论和技术培训教材 3

ISBN 7-5021-2291-5

I. 储…

II. 中…

III. 储集层-沉积学-教材

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 12292 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)

北京密云华都印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 7 印张 1 插页 180 千字 印 1—3000

1998 年 5 月北京第 1 版 1998 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2291-5/TE·1908

定价: 15.00 元

《现代油气勘探理论和技术培训教材》

编 委 会

主 任 邓隆武
副主任 朱筱敏
委 员 (按姓氏笔划排序)
孙镇城 张厚福 张 霞 陆克政 李承楚 金之钧
赵澄林 尚作源 钟宁宁 欧阳健 周家尧 高德利

《储层沉积学》

著 者 赵澄林

序

石油工业的迅速稳步发展必须依靠先进的油气勘探理论和能切实解决生产难题的技术。中国数十年油气勘探实践已证明，油气勘探方面的理论发展和技术进步在深入油气勘探、增加油气储量、提高勘探效益等方面发挥着极为重要的作用。

自 1978 年以来，中国原油产量已超过亿吨，并保持稳步发展的势头，成为世界产油大国之一。中国油气资源是丰富的，但与世界石油资源平均探明程度和常规天然气资源平均探明程度相比，中国油气资源的探明程度还很低，所以油气资源勘探潜力还比较大。众所周知，对于具有复杂地质结构的中国含油气盆地，随着勘探程度的加深，油气资源勘探的难度越来越大。在本世纪末至下世纪初，中国石油工业的发展都将坚持“稳定东部、发展西部、油气并举，以及合理利用国外油气资源”的勘探战略。

为了贯彻实施中国石油工业发展的战略方针，使中国油气产量及储量处于世界前列，就必须充分发挥科学技术是第一生产力的作用，造就一大批既懂先进油气勘探理论，又熟悉现代油气勘探技术；既有丰富的油气勘探实践经验，又能从事石油勘探经营管理的油气勘探高级人才。为此，中国石油天然气总公司勘探局先后多次组织各油田的勘探处长、勘探公司经理和总地质师进行现代油气勘探理论和技术以及经营管理的继续教育。为了更好地提高油气勘探高级管理技术人才的油气勘探理论和技术水平，中国石油天然气总公司勘探局决定，成立《现代油气勘探理论和技术培训教材》编委会，公开出版相关系列教材。本套教材共计 11 册，包括 6 册油气勘探理论基础、4 册油气勘探技术和 1 册油气勘探经营管理。即第一册《现代地层学在油气勘探中的应用》，第二册《石油构造地质学》、第三册《储层沉积学》、第四册《层序地层学原理及应用》、第五册《石油地质学新进展》、第六册《石油地球化学进展》、第七册《油气资源评价技术》、第八册《地震勘探新技术》、第九册《油气钻探新技术》、第十册《测井新技术与油气层评价进展》和第十一册《油气勘探经营管理》。与其它教材相比，本教材着重反映国内外油气勘探新理论、新方法、新技术，结合国内外油气勘探实例分析，解决实际问题。希望这套教材的出版能在提高广大油气勘探技术和管理人才的油气勘探综合素质方面发挥积极的作用。

高瑞祺

1997 年 4 月

前 言

一、储层沉积学基本涵义

沉积学 (Sedimentology) 是本世纪 30 年代由沃尔德 (Wadell, 1932) 提出的一个术语, 它主要是由沉积岩石学 (Sedimentary Petrology) 中沉积岩的形成作用中的基础理论部分扩大和发展起来的。而储层沉积学 (Reservoir Sedimentology) 又是以实用角度从沉积学中派生出来的一个分支, 第十三届国际沉积学大会 (ISA, 1990) 正式应用该术语并引入文献, 表明沉积学 (含古地理学) 与油气勘探和开发的关系十分密切, 其在阐明生、储、盖层的形成和分布规律等方面具有重要指导作用。沉积学和储层沉积学的基本涵义及主要研究内容是:

1. 沉积学是研究沉积物 (岩) 和沉积作用的科学。包括研究未曾成岩和已经成岩的天然沉积物 (岩), 以及它们在自然环境中沉积作用的过程和机理 (Reeding, 1978)。沉积学作为地质科学中的一个分科, 它与流体力学和地层古生物学密切相关, 与物理学、化学、海洋学、气象学、水文学和土壤学等也有重要联系。由于有关学科的相互交叉和渗透, 以及新技术和新方法的应用, 通过对现代沉积物的研究 (陆上和水下) 和实验模拟, 逐渐使沉积学成为一门独立的学科。随着矿产资源, 特别是燃料资源 (煤炭、石油、天然气、核能等) 勘探开发事业的巨大发展, 使沉积学从以理论研究为主, 逐渐成为一门具有较强应用基础性质的学科。

2. 储层沉积学是研究油气储层沉积物 (岩) 和沉积作用的科学。严格的讲, 它主要是研究碎屑岩储层和碳酸盐岩储层形成、演化、分布及其基本特征 (成分、结构、构造等) 的一门科学, 是沉积学理论与油气勘探开发实践紧密结合的结果。一般来讲, 石油和天然气生于沉积岩中, 也主要储集在沉积岩中, 从沉积岩石学、沉积学以及岩相古地理学深化对各类油气储层形成机理的研究, 可以为油气勘探开发提供更多的科学依据, 因此, 储层沉积学的形成和发展有着重要的实际意义。

二、中国油气储层的主要类型

广义的讲, 凡是具孔隙性和渗透性的、能储集石油和天然气的岩石类型就可作为油气储层。在沉积盆地中碎屑岩和碳酸盐岩是主要储集岩类, 其它如泥岩、页岩、燧石岩和火成岩、变质岩, 以及一切具有孔隙性和裂缝的岩石类型均可作为油气储层。

油气储层的岩性特征及其形成条件的综合称储集岩相, 在空间或平面上储集岩相 (或沉积相) 的综合称沉积体系。储层的形成和分布在宏观上受沉积相带和成岩相带的控制, 因此储层评价和预测首先要研究沉积相、沉积体系和成岩作用。

我国油气资源丰富, 生储类型多样, 含油气层系时代分布广, 其中又以中—新生代陆相碎屑岩油气藏的形成和演化独具特色, 而且形成了一套完整的陆相石油地质学、岩相古地理学、储层沉积学和有机地球化学等理论。但是也应看到我国陆相地层的油气勘探程度已经较高, 而现在已有的几个大油气田 (区), 诸如松辽盆地和渤海湾盆地均已进入了高含水阶段, 稳产难度越来越大, 开发成本越来越高。面临这样严峻的形势, 确定新的战略接替区和层系

就显得十分重要。与国外相比,我国海相地层的油气勘探程度还比较低,在今后5~15年内必须在海相地层的油气勘探上有重大突破,才有可能增储上产,适应国民经济发展的需要。根据我国石油工业发展除面向国内、同时也面向国外的战略方针,从两方面来看都须要加强海相石油地质学、储层沉积学、有机地球化学等学科的研究和教学。本教材除阐述中一新生代陆相碎屑岩储层形成、分布、评价和预测等内容外,并适当加强了海相碎屑岩、海相碳酸盐岩和特殊岩类储层的形成、分布、评价和预测等基础理论教学内容。

三、中国油气储层研究的进展和展望

近年来,储层沉积学的研究和地质模型的建立已成为国外许多石油公司解释残余油和提高采收率的重点研究课题。目前我国东部相当多的油田已进入高含水阶段,通过建立地质模型(包括沉积模型、成岩模型、地化模型和构造模型),再运用水力学和渗流力学原理和分析技术建立流体模型,才能有效地解释较小范围(或层系)储层的非均质性(刘孟慧等,1990)。

海洋砂质滨岸相沉积模式已有多年研究历史,墨西哥湾加尔沃斯岛障壁岛—潟湖沉积体系作为典型储层沉积模式早已载入史册,在世界范围内指导油气勘探开发中发挥了重要作用(Friedman, 1978; Reinech, 1970, 1980; 赵澄林等, 1982, 1987, 1997)。其对我国塔里木盆地及其它地区海相、海陆过渡相储层建模有重要参考价值。

当前,利用我国一些地区的良好露头条件,对各种沉积体系进行三维研究仍然是一项重要研究课题。大量的露头研究,有利于积累建模的地质知识库(Geological Knowledge Base)(裘亦楠, 1992)。地下地质研究除依靠地震外,主要是来自录井、岩心和测井的资料,由于资料的局限性和解释的误差,要克服建模中的随机性(Stochastic),就需要籍助于研究者大量地质知识的积累和野外露头的系统研究。对地质家来说,“野外地质不过时”(Blatt, 1972, 1980)这一提法是正确的,至今仍有现实意义。故当前国内各石油公司纷纷投资给高等院校开展与地下有一定可比性的精细露头研究,有助于加速建模工作,这项工作也是“稳定东部”、“增储上产”的一项战略措施。不断完善和修正各类沉积体系,编制符合地下实际情况的储集体展布图,是一项没有止境的研究课题(Galloway, 1983; Leslie, 1992; 吴崇筠, 1986)。

总之,储层沉积学和岩相古地理学发展正处于方兴未艾阶段,由定性向定量发展趋势仍需积极推进,计算机应用和数字模拟技术在储层沉积学研究、岩相古地理编图已初见成效,但仍需结合我国目前油气勘探开发现状作进一步开拓。

着眼于我国21世纪的油气勘探开发事业,我国储层沉积学研究应在下述领域进一步加强:

1. 陆相层序地层学研究。层序地层学理论应用在陆相地层中预测砂体和生储盖组合的作用还远未达到勘探的需要,在我国海相地层中的应用也刚刚开始,尚需进一步提高。
2. 碳酸盐岩储层沉积学研究。国外已将碳酸盐岩沉积相研究转向斜坡和深水,突破了碳酸盐岩主要是浅水沉积的传统概念。运用碎屑岩搬运和沉积作用的理论和方法对碳酸盐岩沉积作用的研究已经开始。
3. 次生孔隙发育带研究。中—深部碎屑岩储集体的储集空间主要是次生孔隙,其在纵、横向上的分布具非均质性。当前应加强对次生孔隙发育带在平面上的预测研究,不应只停留在纵向上的预测。

4. 成岩演化模式和模拟。目前的成岩演化模式多是用反演的方式得出,国外在70年代就已开展了成岩作用的正演模拟工作,如英国的Ferguson, Bush等, Kosiur等。成岩模拟正演目前处于发展阶段(Karner等, 1993; Tempel Regina, 1993)我国尚处于开发阶段,也应加强类似的研究,如加快成岩模拟实验室的建设。

5. 成岩作用研究。国外已开始成岩作用的定量化研究,将孔渗的增减在各个阶段的变化用数字表示出来(Mowers等, 1996),我国只有极少数学者作过类似的工作(罗明高, 1995)。

6. 致密储层研究。随着我国油气勘探事业的发展,逐步由高孔渗储层转向低孔渗储层,致使低渗透致密储层在“增储上产”中的作用日益重要,而目前我国对这类储层的研究要逊于国外。

7. 碳酸盐岩储层研究。国外海相碳酸盐岩地层中油气资源丰富,储层的研究也积累了丰富的经验,而我国海相碳酸盐岩地层油气勘探从生、储、保到运聚等方面还存在较多问题,因此国外经验值得我们借鉴。

8. 特殊岩类储层研究。特殊岩类储层指火成岩、变质岩、泥岩裂缝、煤系和风化壳等组成的储层类型。从我国近年油气勘探实践来看,特殊岩类储层研究尚需扩大领域和进行深入研究。

根据石油勘探开发高级培训教学的实际需要,特将近十几年来笔者承担和完成的国家级、部级、高校博士学科点专项基金资助课题中的有关各种岩类储层研究成果中的部分内容融入本教材中,能起到理论联系实际作用。希望本书能对我国石油工业发展起一些作用。

衷心感谢中国石油天然气总公司,以及中原、华北、辽河、胜利、大庆、渤海、大港、四川、长庆、青海、吐哈、塔里木和新疆等油田多年来对笔者及学科点师生在科研和教书育人工作中的大力支持和指导。

限于水平,不当之处,敬请读者指正。

石油大学沉积学(含:古地理学)博士学科点

赵澄林

1998年2月

目 录

第一章 陆相碎屑岩储层沉积学.....	(1)
第一节 陆源碎屑冲积相和沉积体系.....	(1)
第二节 四种“扇相”模式对比及储层特征	(17)
第二章 海相碎屑岩储层沉积学	(20)
第一节 滨岸陆源碎屑沉积环境及其相模式	(20)
第二节 中国海相碎屑岩储层基本类型及其研究现状	(33)
第三章 碳酸盐岩天然气储层沉积学	(41)
第一节 滨岸碳酸盐沉积环境及其相模式	(41)
第二节 中国碳酸盐岩天然气储层	(46)
第四章 特殊岩类储层地质学	(64)
第一节 岩浆岩油气储层	(64)
第二节 变质岩油气储层	(70)
第三节 风化壳油气储层	(78)
第五章 储层评价技术和方法	(83)
第一节 储层描述及储层地质建模	(84)
第二节 单井碎屑岩储层评价技术和方法	(87)
第三节 区域储层评价技术和方法	(91)
参考文献.....	(101)

第一章 陆相碎屑岩储层沉积学

第一节 陆源碎屑冲积相和沉积体系

沉积体系是指在某一时间地层单元内,根据物源性质、搬运过程、沉积作用和发育演变几方面,把有内在联系的各个沉积相组成的一个连续体系,它能与相邻的体系区分开来。一个陆源碎屑沉积盆地,一般是多物源的。所以沉积体系要以流入湖盆的水系及所形成的骨干砂体组合型式为基础,运用相序递变原理,把在横向上有成因联系的沉积相组合在一起的有机单元。例如松辽盆地白垩纪拗陷期的沉积,主要有四种类型的沉积体系:沿拗陷长轴伸入的主要沉积体系;垂直或斜交拗陷长轴方向伸入的沉积体系;游荡性河流形成的泛砂岩沉积体系;分散水流形成的淤积体系。不同类型的沉积体系和沉积体系的不同部位具有不同类型的砂质储层。

根据我国中—新生代陆源碎屑沉积盆地的自然地理环境、水流控制和砂体类型可划分出下列 15 类沉积体系(赵澄林等,1992):陆上环境包括冲积扇—辫状河—洪水重力流沉积体系,曲流河—洪水漫溢—冲积平原沉积体系,沿岸沼泽化平原—分流河道沉积体系,风成沉积—干盐湖沉积体系;过渡环境包括网状河—三角洲沉积体系,冲积扇—扇三角洲沉积体系;水下环境包括滨岸浅水堡坝沉积体系,洪水重力流—漫湖沉积体系,风生流—风暴流—重力流沉积体系,半深湖—斜坡水道—湖底扇沉积体系,深水湖底扇—深切“扇叶”重力流水道沉积体系,纵向—横向—拐弯水道重力流沉积体系,湖底平原层状重力流沉积体系,盐湖环境表层—层间重力流沉积体系,火山喷发—沉积物重力流沉积体系。区域勘探中,在编制岩相古地理图基础上编制沉积体系图,对指导油气勘探、扩大勘探领域具有重要指导意义。图 1—1 显示了一个中生代裂谷型湖盆中可能具有的沉积体系,图 1—2 显示了一个中生代大型拗陷湖盆具有六个较大的沉积体系,图 1—3 则显示了一个新生代古地形复杂的断陷湖盆的沉积体系。分区块编制沉积相—砂体展布图,是进入开发阶段、扩大含油气区范围的重要工业性图件,如图 1—4 为东濮凹陷南区沙三³⁻⁴亚段三角洲—轴向重力流水道沉积体系的砂体展布图,其在该地区的油气预测中发挥了重要作用。我国西部地区有许多由挤压应力形成的大型断陷—拗陷过渡型沉积盆地,边界断裂系统多是大型逆冲断层,其岩性、岩相分布与东部中、新生代断陷盆地有较大差别,如柴达木盆地西部阿尔金斜坡在早第三纪时期,由于走滑断裂系有水平位移,应力集中于断裂带附近,碎裂强度大,往往造成来自上盘的粗碎屑物质的快速堆积,在断裂带附近出现窄而厚的以角砾岩、砾岩为主的粗相带,甚至形成沉积型“粗碎屑岩柱体”,致使以砂砾岩为主的粗相带和以泥质岩和碳酸盐岩为主的细相带呈犬牙交错状直接接触,如图 1—5 所示。准噶尔盆地西北缘二叠、三叠系、酒泉盆地的祁连山山前第三系都有类似相变特点。兹选择冲积扇、河流和“四扇”模式等主要沉积体系介绍如下。

一、冲积扇相及其相模式

1. 冲积扇沉积作用

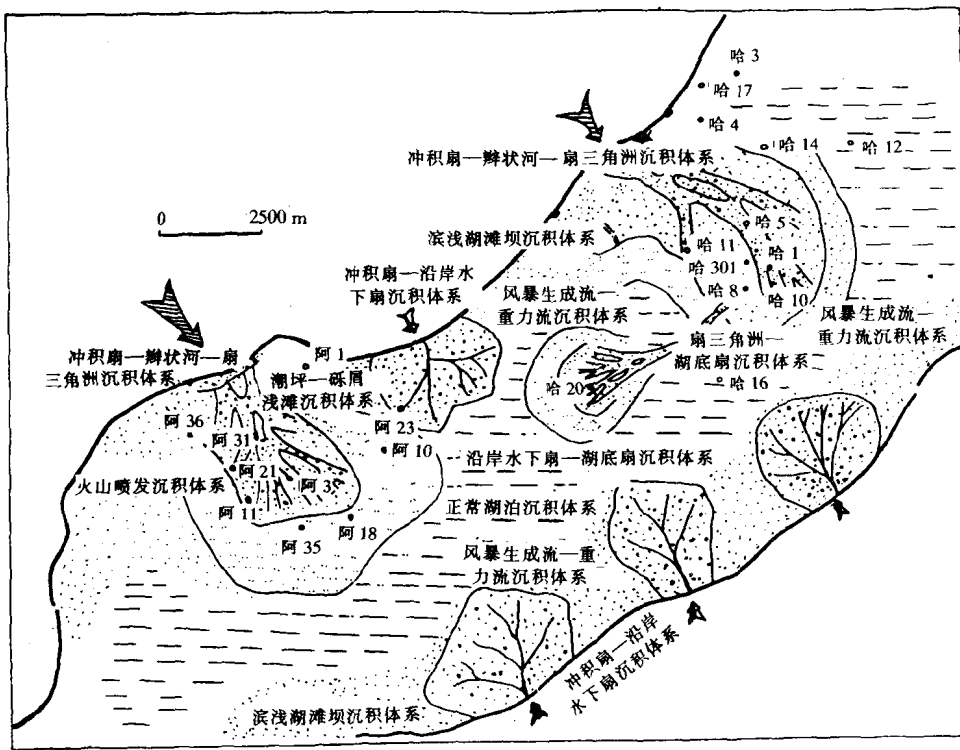


图 1—1 内蒙古二连盆地阿南凹陷下白垩统腾格尔组腾一下亚段阿三油组沉积体系图 (据赵澄林, 1991)

冲积扇是组成山麓—洪积相的主体，而且与油气关系密切。干旱—半干旱气候条件下的强烈构造活动和物理风化作用，以及阵发性的洪水事件是大陆地区山前带形成巨厚大型冲积扇沉积体系的重要条件 (图 1—6)，冲积扇往往成为断陷式沉积盆地的主要边缘相带。按照形成时的气候条件，可将冲积扇划分为干扇和湿扇两类 (图 1—7)。根据岩性、岩相特征及其变化，冲积扇相可划分为内扇 (或扇根、扇顶)、中扇 (或扇中)、扇缘 (或扇端) 三个亚相，进而可划分为若干微相。冲积扇沉积体系，按照形成过程中的水流机制及沉积作用可划分为泥石流 (碎石流)、筛状或筛余、河道充填和洪流或漫流等四种沉积类型，兹分述于下。

1) 泥石流沉积

当洪水重力流携带的砾石和泥砂沉积物达到足够量时，就形成了密度大、粘度高、呈可塑性状态的流体，称为泥石流。具有大量碎屑物质的泥石流呈块状整体搬运，在扇体的中—上部堆积后，形成泥石流沉积体。

泥石流沉积最大特点是砾、砂、泥混杂，分选极差，大者为可达数吨的漂砾，小至粉砂、粘土，但总体上以粉砂、粘土占优势，显杂基支撑结构。层理一般不发育。粘度大的泥石流，其粗粒碎屑分布较均匀，呈块状 (层理) 构造，粘度不大者，具粒序层理，部分扁平状砾石呈水平状或叠瓦状排列。在形态上泥石流呈舌状或叶瓣状，具有陡、厚而清晰的边缘。

主要由砂、粉砂、泥质组成的泥石流称泥流，粗粒级碎屑含量较少，一般不含 4mm 以上的粗粒沉积物，但分选仍很差，表面可发育龟裂。

泥石流的形成与源区母岩性质关系密切。在母岩为泥质岩且植被不发育、地形坡度较陡

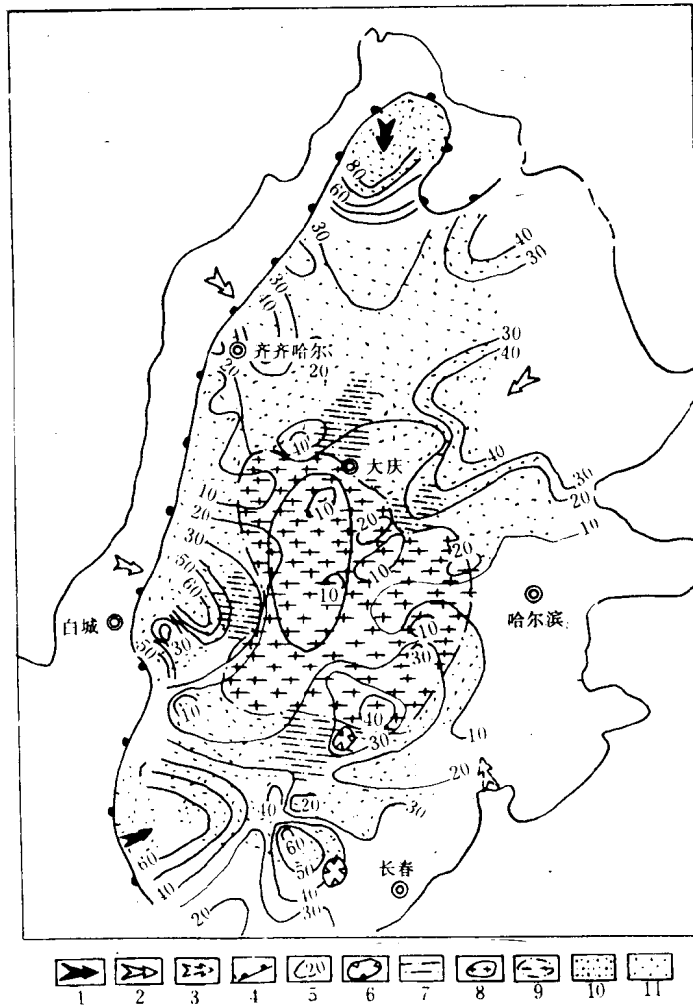


图 1—2 松辽盆地白垩系泉头组四段扶余油层沉积体系图 (据马正, 1984)

- 1—主要物源方向; 2—次要物源方向; 3—推测沉积物来源方向; 4—地层超覆式; 5—砂岩百分含量;
6—地层剥蚀线; 7—洼地淤积相; 8—早期湖岸线; 9—晚期湖岸线; 10—洪积相; 11—河流泛滥平原相

的情况下, 因暴雨而造成短期内水量骤增, 形成洪水, 具有较强的侵蚀下切作用, 被携带的大量泥砂快速堆积后形成泥石流。

如果源区母岩性质主要是花岗质为主的刚性岩类, 物理风化强烈, 形成大量中—粗碎屑物质, 在洪水作用下, 快速堆积, 而形成碎屑流沉积体, 其以碎屑支撑结构为特征, 物性要好于泥石流沉积体。

2) 筛状沉积

当源区供给冲积扇的粗碎屑物质主要为砾石而无其它粒级的物质时, 在冲积扇的表层便堆积了舌状砾石层或透镜体。由于粒度粗, 粉砂、泥质之类细碎屑的充填物少, 故渗透性极好, 在洪水尚未流到扇缘之前, 砂和粉砂物质就沿着象滤水筛子一样的砾石层渗滤到扇体内部去了。因此不能形成地表水流, 从而阻止了粗粒物质的搬运。扇体表层的这类砾石层或透

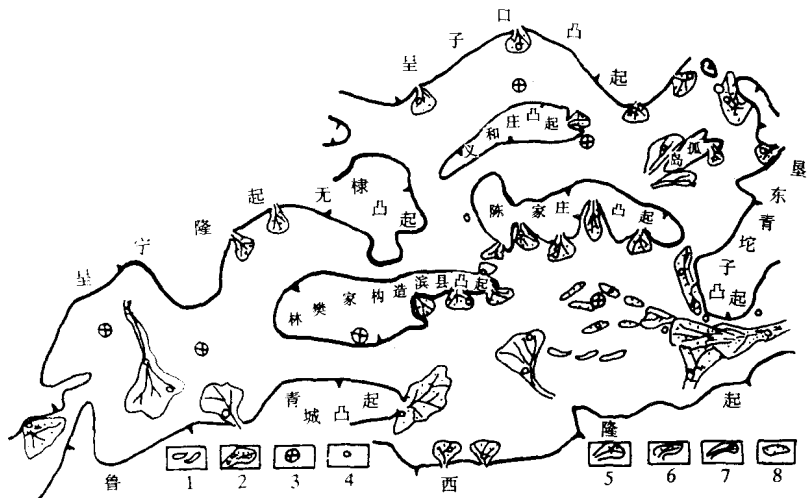


图 1—3 济阳拗陷下第三系沙河街组沙三中、下亚段沉积体系图
(据胜利石油管理局地质研究院, 1982)

1—沿岸砂体；2—三角洲砂体；3—地物；4—井位；5—扇三角洲；
6—近岸浊积扇；7—远岸浊积扇；8—砂岩透镜体

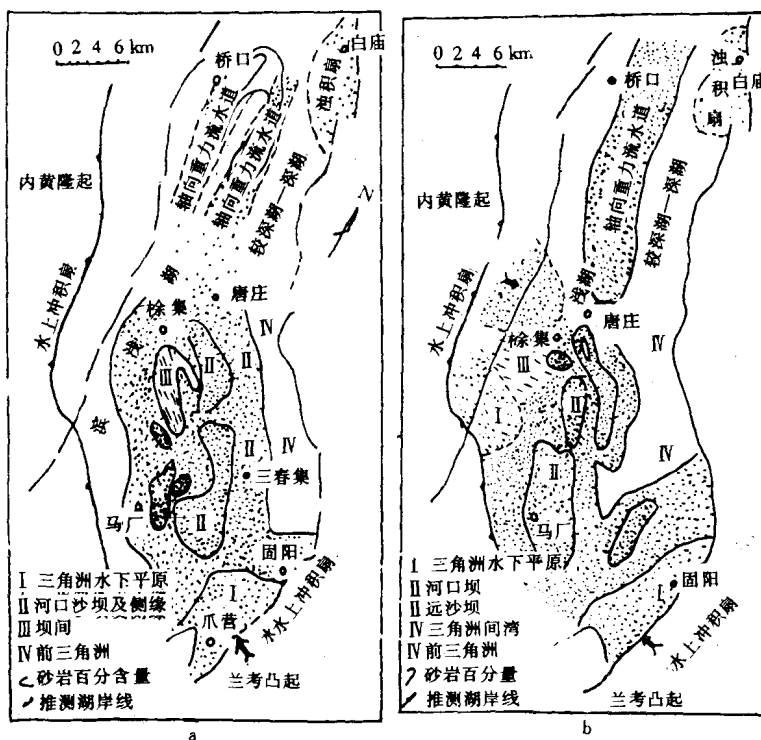


图 1—4 东濮凹陷南部沙三⁴ (a) 和沙三³亚段 (b) 沉积相—砂体展布图 (据赵澄林, 1989)

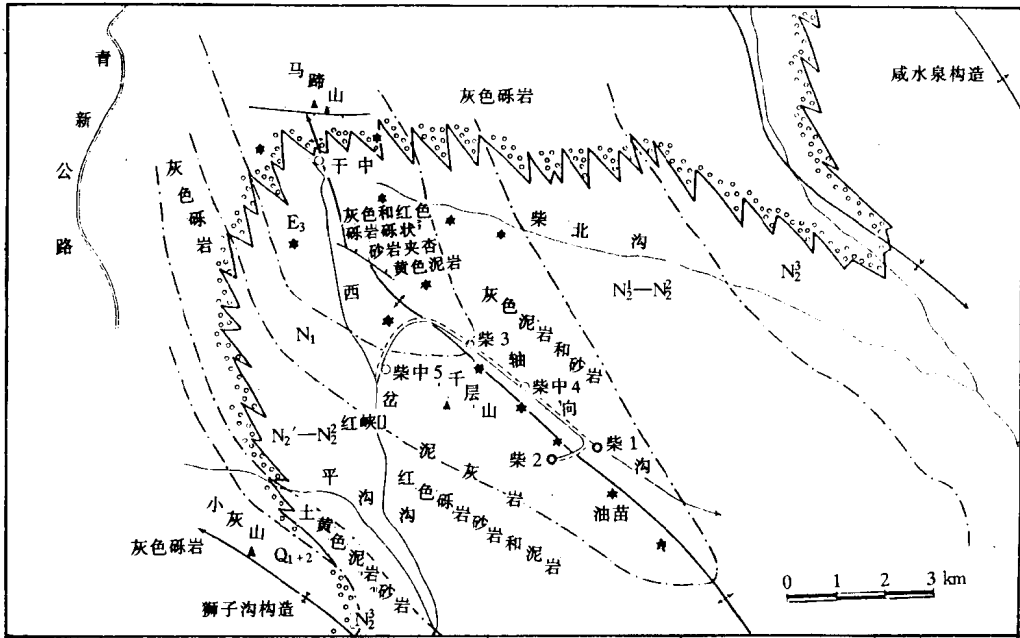


图 1—5 柴达木盆地阿尔金斜坡第三系柴沟构造构造—岩相图 (据宋建国, 1990)

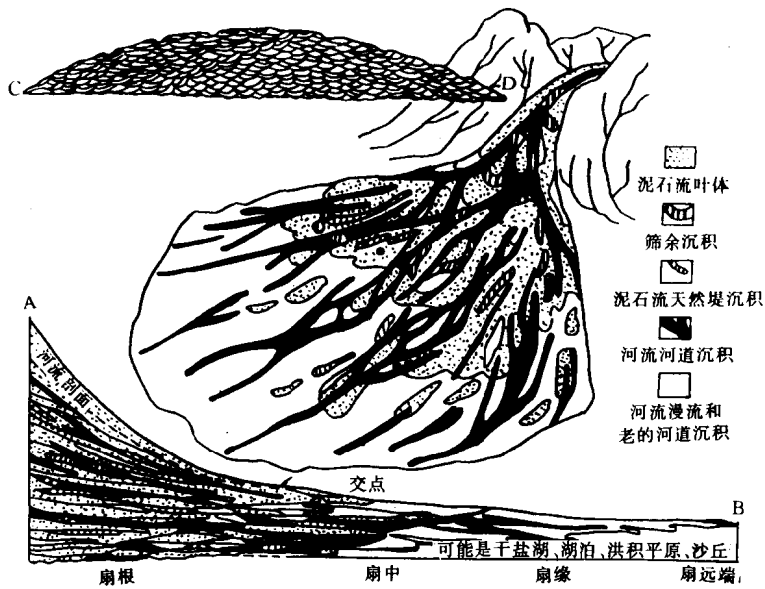


图 1—6 典型的冲积扇相模式 (据 Spearing, 1974)

AB—纵剖面; CD—横剖面

镜体通常称为筛状沉积。它虽然较为少见, 但它在冲积扇沉积体中是最富特色的一种储集体。

筛状沉积体主要由次圆、次棱角状的中—粗砾石组成, 分选较好, 无明显的成层界限, 故

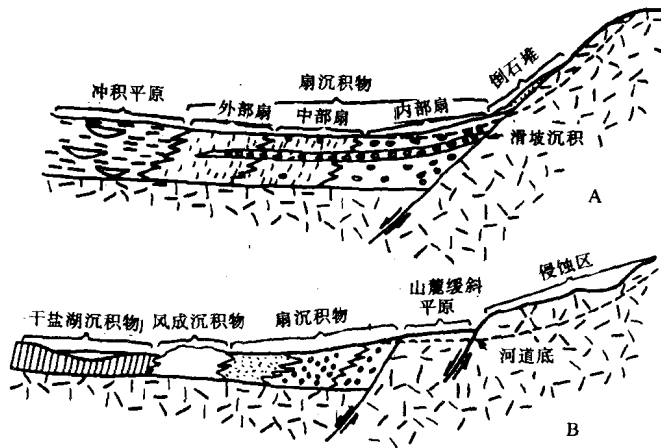


图 1—7 湿扇 (A) 和干扇 (B) 相模式

常形成块状沉积层。

筛状沉积体的形成要求独特的源区条件，即母岩区须是节理发育的花岗岩和石英岩之类的刚性岩石，或主要是由前期砂砾岩层的风化、剥蚀、再沉积物质组成。

筛状沉积体可作为优质的含油气层或含水层。

3) 河道沉积

河道沉积又称为河床充填沉积，也有人称为槽流沉积。冲积扇表面常被暂时性（间歇性）河流侵蚀一切割，当洪水再次到来时，所携带的碎屑沉积物在这些暂时性的河床中沉积下来，就形成了冲积扇表面的河床充填沉积。

河道沉积主要由砾、砂沉积物组成，粒度较粗，分选较差。成层性不太好，可见流水型交错层理，各单层的成层厚度一般为 50~60cm。常具侵蚀切割—充填构造，并且常因这种构造的影响使中—粗颗粒物位于扇体的中部或下部，以至破坏了沉积物粒度从扇顶至扇缘逐渐变细的分布状况。

在扇表面常呈辫状分布的砂砾岩体通称为河道沙坝或心滩。

4) 漫流沉积

携带沉积物的流水从冲积扇河道末端漫出，由于速度和水深的骤减，使携带之细粒沉积物呈席状或片状沉积下来，形成呈席状分布的砂、泥岩堆积体，称漫流沉积。有人称之为漫洪沉积或片泛沉积。

漫流沉积物主要由中—细碎屑组成，富含粘土质粉砂。常呈块状，亦可出现交错层理或细的纹层。产状呈透镜状，一系列漫流沉积的透镜体组合，形成席状或片状沉积体，通常构成冲积扇的中—下部主体沉积的。

冲积扇可由某种单一的沉积类型组成，如为漫流或泥石流的单一沉积体，但大多数冲积扇体主要是由上述几种沉积类型共同组合而成。总体来说，以漫流和泥石流（碎石流）沉积为主，河床充填沉积和筛状沉积在组合中占的比重较小。

2. 冲积扇相岩相类型及相层序

1) 岩相类型

露头剖面和井下岩心描述过程中能够正确识别出各种岩石类型，是建立相标志、相层序和相模式的基础，冲积扇常见的岩相类型如下：

杂基支撑砂砾岩相 (Gms)：泥质砾岩、砾质泥岩，有时具有叠复冲刷构造；

碎屑支撑砂砾岩相 (Gm)：砂质砾岩、块状砾岩，无序或隐见粒序；

具有槽状交错层理的砂岩、含砾砂岩相 (Gt)：砾石漂浮状或有序分布；

具有板状交错层理的砂岩、含砾砂岩相 (Gp)：砾石呈漂浮状或有序分布；

具有中—小型槽状交错层理砂岩相 (St)；

具有中—小型板状交错层理砂岩相 (Sp)；

具有平行层理的砂岩相 (Sn)；

具有波状—斜波状层理的泥质粉—细砂岩相 (Sr)；

具有水平纹层的粉砂质泥岩相 (Fl)；

含有钙质结核的泥岩、泥质粉砂岩相 (Md)；

含有碳化植物屑或根迹的碳质泥岩相 (Mc) 和煤岩相 (Cc)。

2) 相层序

由于源区和盆地之间的相对构造活动，使扇体向盆内推进，在地层剖面上出现向上变厚变粗的正粒序 (Cu)，即进积层序；反之，由于扇体向源区退缩，在地层剖面上出现向上变薄变细层序 (Fu)，即退积层序 (图 1—8)。由于扇体的各期进积或退积作用，可形成两类相层序的叠加。

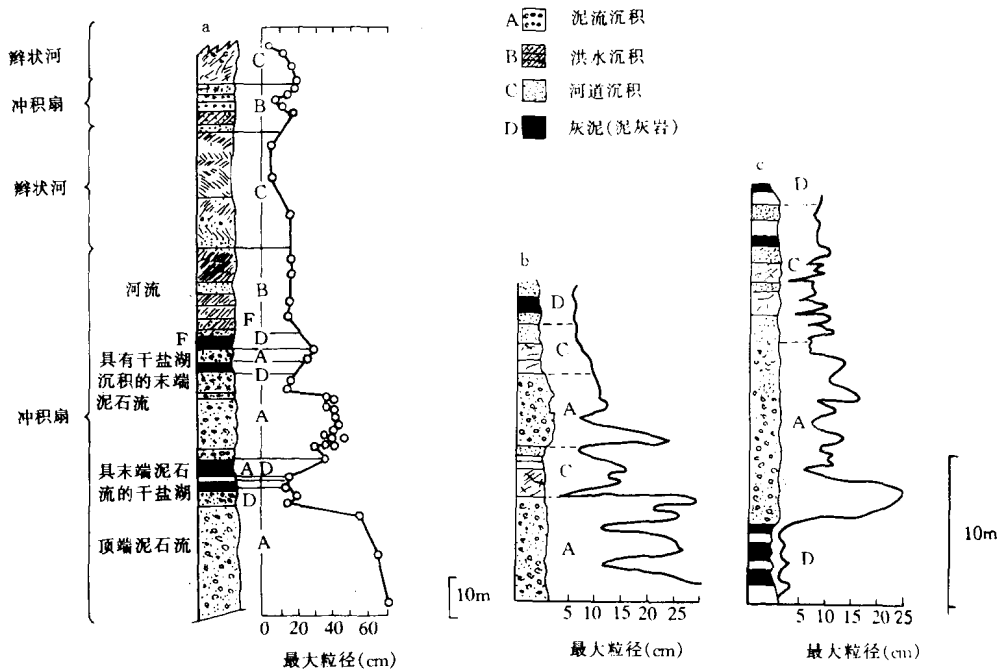


图 1—8 半干旱气候条件下的冲积扇相层序 (据斯蒂尔, 1974)

a—苏格兰老红砂岩；b、c—赫布里底群岛新红砂岩

3) 相组合及测井、地震特征

干旱气候条件下的冲积扇相(干扇)在横向上向源区与山麓斜坡平原堆积相相邻近,向盆内方向延伸与风成砂丘相或向干盐湖相过渡(图1—7B);潮湿气候条件下的冲积扇相(湿扇)在横向上向源区与残积、坡积相相邻接,向盆内方向延伸与冲积平原相相接,主要是河流相或河漫沼泽相(图1—7A)。如果冲积扇相直接与海相或湖相相接,则过渡为扇三角洲相。

冲积扇相层序、岩性和电性有良好可比性。向上变厚变粗的层序在电阻率曲线上为漏斗状;向上变薄变细层序为钟状。

冲积扇相在平行扇轴的地质—地震剖面上呈楔状体(由扇缘向扇根加厚),前积和底超现象在底部反射界面上常见。在垂直扇轴的地震反射剖面上呈丘状或透镜状,内部反射杂乱或断续状,在底部反射界面上常见前积和底超现象。

3. 实例

1) 滦河冲积扇—河流沉积体系

滦河起源于冀北山区,全长877km,流经迁西—迁安—滦县—乐亭等地,流入渤海。滦河发源于山区,经支流汇集了大量砂砾质沉积物,由于山前断裂活动,导致北部山区上升,南部平原下降,出山口处形成辫状河—冲积扇沉积体系(图1—9)。

2) 鲁西南始新统官庄组冲积扇—河流相沉积体系

鲁西山区发育有莱芜、新汶、汶口、泗水、平邑等小型新生代断陷盆地,凸起和凹陷近东西向相间排列,凹陷轮廓受边界大断层控制;北断南超,早第三系官庄组与下伏侏罗系呈平行不整合接触,官庄组岩性可分为粗—细—粗、红—黑—红三个段。相分析结果是:下段为冲积扇—辫状河沉积体系、中段为冲积扇—河流—湖泊沉积体系、上段由厚达千余米的冲积扇相砾岩层组成。上段主要由石灰质砾岩组成,其砾岩成分主要来自太古界变质岩系和古生界碳酸盐岩系,视母岩风化剥蚀先后,在沉积层序上砾石成分变化与源区母岩沉积层序呈倒序现象。

官庄组上段冲积扇相沉积构造特征反映洪水快速沉积的水流机制,扇根至扇中主要由具有杂基支撑结构的泥石流砂砾岩相(Gms)和具有碎屑支撑结构的碎石流砂砾岩相(Gm)组成。间有大型槽状、板状砂砾岩相(Gt、Gp)。官庄组上段自下而上为一完整的向上变厚变粗相层序(图1—10)。

3) 准噶尔盆地西北缘冲积扇—辫状河沉积体系

准噶尔盆地西北缘二叠—三叠系砂砾岩体主要由冲积扇相组成。沿克—马断裂系的前缘断裂带为界,向盆地内分布有一系列大小不一的冲积扇,形成扇裙(图1—11),其岩性以中—细粒复成分砾岩为主,夹大量泥质砾岩、砂质砾岩,以及具有大型交错层理的中—粗砂岩。块状砾岩层在电测曲线上表现为高阻,泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩夹层表现为低阻。剖面上具有向上变厚变粗(Cu)和向上变薄变细(Fu)两种相层序。岩体纵剖面呈楔型,横剖面呈丘状或透镜状。根据岩性和电性特征可划分为泥石流、碎石流、筛状、河道充填和漫流等四类五种沉积类型。扇中的河道充填砂砾岩体物性较好,是主要含油气相带。

二、河流相及其相模式

河流是流水由陆地流向湖泊或海洋的通道,也是将母岩风化产物搬运到沉积盆地(湖泊或海洋)的主要地质营力。按河流发育阶段可将河流分为幼年期、壮年期和老年期。幼年河流主要分布在山区,壮年和老年河流主要分布在冲积平原。沉积学中通常是根据河道分岔参