

中国石油天然气股份有限公司

岩性地层

油气藏勘探 理论与实践

培训教材

勘探与生产分公司◎主编



石油工业出版社
PETROLEUM INDUSTRY PRESS

中国石油天然气股份有限公司

岩性地层油气藏勘探理论与实践

培训教材

勘探与生产分公司 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书着眼于岩性地层油气藏勘探,从相关的基础地质理论入手,介绍了沉积学、层序地层学、储层预测与描述技术、开展岩性地层油气藏勘探的思路、方法与实例。

本书可供从事油气勘探开发的科研技术人员参考,也可作为相关大专院校师生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

岩性地层油气藏勘探理论与实践培训教材/勘探与生产分公司主编. —北京:石油工业出版社,2005.3

ISBN 7-5021-5026-9

I. 岩…

II. 勘…

III. 岩性油气藏—油气勘探

IV. P618.130.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第025587号

岩性地层油气藏勘探理论与实践培训教材

勘探与生产分公司主编

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

总 机: (010) 64262233 发行部: (010) 64210392

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂印刷

2005年3月第1版 2005年3月第1次印刷

787×1092毫米 开本: 1/16 印张: 46

字数: 1171千字 印数: 1--2000册

定价: 120.00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

《岩性地层油气藏勘探理论与实践培训教材》

编 委 会

主 任 胡文瑞

副 主 任 赵政璋 吴国干

委 员 刘德来 韩 红 姚 超 赵贤正 焦贵浩

邹才能 范文科 何海清 牛嘉玉 廖群山

邢厚松 金武弟

执行编委 姚 超

序

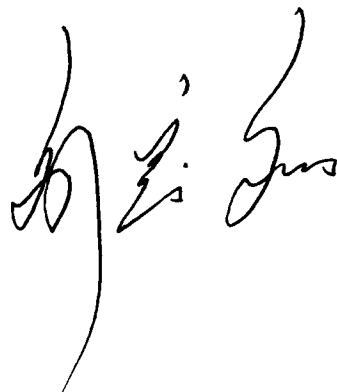
二十一世纪是能源的世纪，国家间的能源争夺日趋激烈。石油天然气作为最重要的一种能源，其供需状况已经成为影响一个地区乃至全球政治、经济秩序的重要因素。近年来，随着经济建设的迅猛发展，我国油气需求量在迅速增加，2003 年我国进口原油已近亿吨，成为世界第二大原油进口国。不断寻求大发现、寻找新的资源接替阵地和实现油气高效开发，努力实现国内油气的稳定安全供给已成为时代赋予我们的历史责任。

然而，随着勘探程度的不断加深，我们所面临的勘探对象地面、地下条件会越来越复杂，剩余油气资源的隐蔽性越来越强，勘探开发的难度越来越大。大量实践已经表明，岩性地层油气藏已经成为近几年我国陆上重要的勘探领域。要主动适应勘探对象的这一重大转变，不仅需要求真务实的科学态度，更需要在工作思路、技术方法、组织形式等方面，解放思想、转变观念。由于岩性地层油气藏勘探比以往构造油气藏勘探技术难度加大，这对每一位从事油气勘探工作的管理人员和地质研究人员提出了新的更高的要求。

令人欣慰的是，面对日益复杂的勘探对象，通过近几年的不断探索，我们已经逐步探索出一系列行之有效的勘探工作思路和方法技术，在以鄂尔多斯、松辽等盆地岩性地层油气藏成功勘探的基础上，2003 年 9 月在杭州会议上，又总结归纳出渤海湾断陷盆地以华北油田为代表的“五大转变”、“五个步骤”的典型经验，以及冀东油田“六个精细”为内容的工作做法，引起了与会者的强烈反响。以此为动力，目前十三个探区岩性地层油气藏勘探都进入了一个全面展开的阶段，2004 年新增探明石油储量中，岩性地层油藏和与之有关的复合油藏储量已占石油总探明储量的 72.5 %，这标志着中国石油岩性地层油气藏勘探进入了一个新的历史阶段。

《岩性地层油气藏勘探理论与实践》一书是勘探与生产公司组织有关专家和学者编制的一本培训教材。它着眼于提高广大勘探工作者的综合素质，着眼于把岩性地层油气藏勘探进一步推向深入。内容既有基础的地质理论，又有油田的勘探实践和成功的经验；既有技术方法的介绍，又有勘探观念和思路的展示；既包含了地质学的内容，又包括了找油的哲学思想。真正实现了地质和物探的有机结合，理论与实践的有机结合。

相信本书将对我国岩性地层油气藏勘探实现更多更大发现发挥非常重要的作用，推动我国陆上油气藏勘探进入一个新的历史阶段。



前言

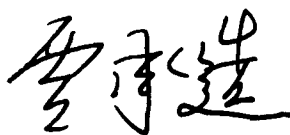
岩性地层油气藏是油气勘探的一个重要领域，随着各探区勘探程度的日益提高，岩性地层油气藏在勘探中显现出了越来越重要的地位和作用。据统计，近几年我国新发现储量中，每年岩性地层油气藏探明储量所占比例已经达到了55%以上，2004年新增探明石油储量中，岩性地层油藏和与之有关的复合油藏储量已占石油总探明储量的72.5%，而且仍呈上升趋势。中国石油勘探开发研究院研究表明，我国七大沉积盆地剩余石油资源总量179.2亿吨，其中岩性地层油气藏资源量91.3亿吨，占51%，说明岩性地层油气藏是当前油气勘探最现实、最有潜力，最具普遍性的新领域。作为隐蔽油气藏一种最主要的类型，岩性地层油气藏正在越来越多地受到世界各国的关注。针对岩性地层油气藏的勘探活动已经从以往盲目的偶然性转向有意识、有思路、有方法、有成效的系统行动。

本教材着眼于岩性地层油气藏勘探，从相关的基础地质理论入手，介绍了沉积学、层序地层学、储层预测与描述技术、开展岩性地层油气藏勘探的思路、方法与实例，内容编排由浅入深，循序渐进。通过学习，可以感受到岩性地层油气藏勘探与以往构造油气藏勘探之间的一些显著变化，主要表现在五个方面：一是找油思路的转变，即从思路就要明确勘探对象已经发生了变化，必须有一套有针对性的新的勘探思路；二是研究内容的转变，即由精细构造解释、划断层、找高点，向精细沉积储层解释、落实砂体空间展布、寻找有利砂体转变；三是研究方法的转变，由过去“砂对砂、泥对泥”的简单地层岩性对比，向等时格架基础上的层序地层学分析转变；四是研究组织形式和研究手段的转变，由过去以单一学科研究为主，向地质、物探、测井等多学科、多专业更紧密结合的转变；五是管理方式的转变，由以往的勘探、开发彼此独立工作，转变为勘探开发一体化油藏精细评价。

这五个转变是当前开展岩性地层油气藏勘探的趋势和潮流，也是广大勘探工作者急需认真学习和真正掌握的。

当前，岩性地层油气藏勘探需要一系列实用配套技术做支撑，归纳起来主要有：高分辨率三维地震技术，高分辨率层序地层学分析技术，地震相、测井相、沉积相“三相”联合解释技术，地震储层预测技术，油气水流体性质预测技术，岩性圈闭综合评价技术。本教材直接或间接涉及或阐述了这些技术，值得广大勘探工作者认真体会和领悟。

应该说，岩性地层油气藏勘探在我国仍处于起步阶段，相关理论和技术方法有待于在不断应用和探索中发展，勘探观念和思路需要紧密结合各探区实际在实践中转变和完善。通过对本教材的学习，不仅有助于勘探工作者学习理论、掌握方法，还可以帮助大家开拓思路、不断实现油气勘探的大发现和新突破，推动岩性地层油气藏勘探进一步向纵深发展，为中国石油勘探工作的发展作出更大贡献。



目 录

第一篇 地质基础

含油气盆地陆相砂体成因与沉积环境	姜在兴 (3)
湖盆砂体类型及其沉积特征与含油性	袁选俊 (72)
油气勘探中层序地层学理论与解释方法	池英柳 (128)
滦平断陷盆地下白垩统露头沉积地质考察	罗 平 张兴阳 张玄杰 房小荣 (177)

第二篇 实用技术与方法

岩性地层油气藏地震相划分及解释技术	吕友生 (223)
砂体与隐蔽圈闭识别的地震反演方法与实践	李 明 (282)
岩性油气藏的测井评价方法与技术	刘国强 (331)
岩性油气藏勘探理论与应用实践	樊太亮 (386)
岩性地层油气藏形成条件与分布规律	邹才能 薛叔浩 池英柳 (407)
坡折带——岩性地层油气藏勘探的重要领域	王英民 刘 豪 辛仁臣 王 颖 (468)

第三篇 勘探实践

岩性地层油气藏勘探思路、工作方法与实践	周海民 (519)
岩性地层油气藏勘探思路、勘探方法与实例	杜金虎 易士威 王 权 (566)
准噶尔盆地岩性油气藏勘探与实践	唐 勇 孔玉华 齐雪峰 (639)
塔里木盆地碳酸盐岩油气藏地震勘探思路与实践	温声明 冯许魁 刘兴晓 (703)

第一篇 地质基础

含油气盆地陆相砂体成因与沉积环境

姜在兴

第一节 概 述

含油气盆地陆相砂体成因与沉积环境丰富多样,这已为油气勘探和开发的实践所证实。其分类按照储层岩石类型可分为陆源碎屑岩、火山碎屑岩和碳酸盐岩;按照形成环境和分布可分为陆上、过渡和湖泊环境,其中陆上环境包括冲积扇、河流、沼泽等,过渡环境包括三角洲、扇三角洲、辫状河三角洲。其中我们对三角洲较熟悉,在此从略。

第二节 沼 泽 相

沼泽是长期积水的洼地,或为较丰富的植物占据的低洼而潮湿的地面,水流不畅,介质处于还原条件。许多大的沉积环境中都可以有沼泽,如在河流环境中河漫沼泽;湖泊的某些部位也可以沼泽化;三角洲平原上的分流通河道间也可广泛发育沼泽;潟湖环境在潮间带中也可形成红树林群落的沼泽,海岸浅滩、海湾潮滩都可形成沼泽等等。

沼泽的沉积物主要是粘土、有机质淤泥和粉砂质沉积,由于在还原条件下,沉积物中的氧化铁在微生物作用下发生去氧作用,变成亚铁化合物,故沉积物呈现蓝灰色。但由于积水很浅,且草类植物茂盛,故一部分游离氧可沿植物根系进入沉积物中,部分亚铁化合物又被氧化成三价铁,因而在沉积物内根系周围形成黄褐色的锈纹、锈斑,但有些粉砂质的沼泽沉积物,因透水较快,沉积物的颜色呈棕灰色。沼泽中一般含有大量的植物遗体 and 根部化石,有大量泥炭和腐泥沉积,常有菱铁矿、黄铁矿结核或呈细晶分散状态分布(图1和图2)。

根据沼泽水动力条件、岩性组合以及沉积物特点,沼泽相可划分为三种基本类型:闭流沼泽相、覆水沼泽相和泥炭沼泽相。

一、闭流沼泽相

以深灰色、黑色粉砂岩、粘土岩和粉砂质粘土岩为主。闭流沼泽中水体较浅,水介质运动微弱,层理一般不发育,局部有不清晰的透镜状、波状、水平层理,含丰富炭化植物根茎化石碎片,杂乱排列,形成团状构造,或者含有保存较完好的垂直的植物根化石,常见菱铁矿、黄铁矿结核,局部含少量淡水动物化石,泥岩的B含量低,一般不超过 $15\mu\text{g/g}$,Sr/Ba比值小于1。多见于煤层底板,亦可见于煤层顶板或夹矸中,在我国华北中北部地区山西组中常见。

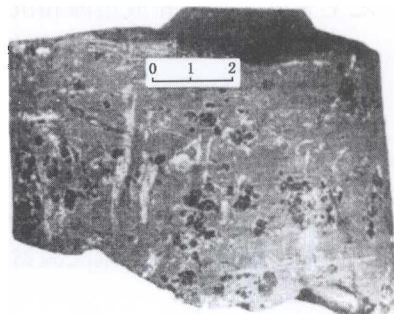


图1 沼泽相泥岩
含有小瘤状的菱铁矿结核和根化石
(石炭纪,河北峰峰)

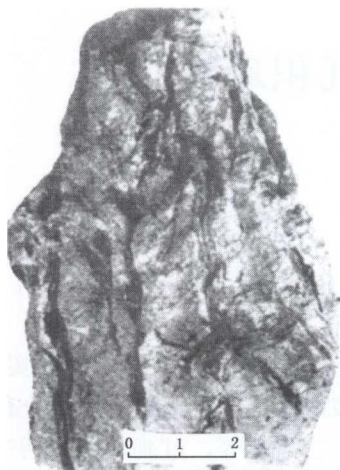


图2 沼泽相粉砂岩
含有植物根化石（石炭纪，河北峰峰）

二、覆水沼泽相

以黑色碳质页岩、碳质泥岩为主，部分可为含碳质较高的粉砂质粘土岩或碳质粉砂岩，发育水平层理或缓波状层理，沿层面可见大量炭化植物叶、茎碎片，偶含淡水动物化石，也含菱铁矿、黄铁矿结核。多见于煤层顶板，亦可见于煤层底板或夹矸中。在我国华北中北部地区山西组及华北南部石盒子组中常见。

三、泥炭沼泽相

为闭流沼泽相和覆水沼泽相的过渡环境，也是主要的成煤环境，当泥炭沼泽中水体变浅时，则形成闭流沼泽相，水体变深时则转变为覆水沼泽相。泥炭沼泽相是河漫滩、三角洲平原、滨湖等地区主要的聚煤环境，所形成的煤层分布较连续，但厚度变化大，灰分含量中—高，硫分一般较低。我国石炭、二叠纪部分煤层、侏罗纪煤层和第三纪煤层都是在泥炭沼泽相中形成的。

（一）河流泛滥盆地泥炭沼泽

河流泛滥盆地泥炭沼泽系发育于河流的泛滥平原及岸后沼泽等微环境上的成煤环境。在适宜的气候条件下植物生长、死亡，导致泥炭沼泽化，从而成为大规模聚煤的环境。其垂向序列一般由河床滞留相或边滩相开始，向上过渡为天然堤相，进而形成煤层；煤层之上为漫滩湖泊相或边滩相沉积物所覆盖（图3）。

泛滥盆地泥炭沼泽成煤的特点是：煤层层位较稳定，厚度变化大，硫分含量低，灰分含量变化较大，常有冲刷现象。

吉林南部地区晚石炭世3号煤层是该区的可采煤层，全区发育，平均厚度1.2m，最厚可达6~18m，灰分为15%~24%，硫分为0.43%~1.33%。该区在晚石炭世沉积时，已经演化为河流沉积体系，故属于在河流泛滥盆地基础上形成的煤层。

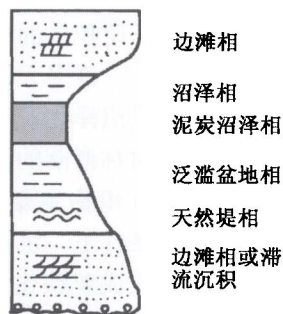


图3 河流泛滥盆地泥炭沼泽成煤垂向序列
（据陈世悦等，2000）

（二）三角洲平原泥炭沼泽

三角洲平原泥炭沼泽是三角洲水上平原或部分水下平原或部分泥炭沼泽化而形成的聚煤环境。随着三角洲不断向盆地方向推进，聚煤作用的范围也逐渐扩大。

三角洲平原泥炭沼泽成煤的垂向序列一般为：底部由三角洲前缘分流河口沙坝相或分流河道相开始，向上过渡为支流间湾相或泛滥平原相，进而形成沼泽相和泥炭沼泽相，煤层上部过渡为沼泽相、分流河道相（图4）。

三角洲平原泥炭沼泽形成的煤层分布面积广、厚度较大，但变化也较大，常被分流河道冲刷，煤层结构复杂，灰分中—高，硫分一般较低。

淮南煤田的13号煤层是典型的三角洲平原泥炭沼泽所形成的煤层，煤层厚度大，一般

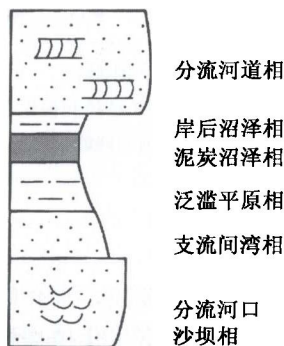


图4 三角洲平原泥炭沼泽成煤垂向序列（据陈世悦等，2000）

为4~6m,为该区最主要的可采煤层。厚度变化稳定,总体上具有由南东向北西变薄的趋势。煤层灰分为14%~30%,硫分低,为0.19%~0.30%。

第三节 冲积扇相

一、概述

在干热气候条件下,地壳升降运动较强烈的地区,风化、剥蚀作用剧烈,其形成的产物被山区的暂时性水流(雨水或洪水)或山区河流带走,当水流流出山口,地形坡度急剧变缓,水流向四方散开,流速骤减,碎屑物质大量沉积,形成锥状或扇状堆积体,称为洪积锥或洪积扇,它具有山区河流冲积成因的特点,故又称为冲积扇。

在纵向剖面上,冲积扇呈下凹的透镜状或楔形,横剖面是上凸状。冲积扇的表面坡度扇根处可达 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$,远离山口变缓,为 $2^{\circ}\sim 6^{\circ}$ 。通常是许多冲积扇彼此相连和重叠,形成沿山麓分布的带状或裙边状的冲积扇群或山麓堆积。

在干旱或半干旱气候条件下,上升的隆起区由于物理风化作用强烈,可以提供大量的近源碎屑物质;山口外开阔而平缓的地形是接受沉积的有利场所,这为形成冲积扇提供了必要的先决条件。当山谷中的季节性洪水进入盆地时,由于坡降变缓,水的流速急剧降低,水流分散,形成许多分流河道,于是洪水所携带的大量碎屑物质便在山口外,顺坡向下堆积,形成冲积扇沉积。上升的隆起区或山区与盆地之间往往有同生断层发育,当断层持续活动时,可发育很厚的冲积扇,形成其独特的沉积层序。

冲积扇的面积变化较大,其半径可从小于100m到大于150km以上,但通常它们平均小于10km。其沉积物的厚度变化范围可以从几米到8000m左右,如挪威西部荷内莱盆地泥盆纪老红砂岩的冲积扇沉积即可达此巨大的厚度。

冲积扇沉积为陆上沉积体系中最粗的、分选最差的近源沉积,通常向下倾方向进入细粒、低坡度的河流体系。然而,有些冲积扇可以直接进入湖泊或海盆中,形成水下扇或扇三角洲沉积。

现代冲积扇广泛分布于世界各地的干旱和半干旱地区,例如我国的广大西北地区。但像日本、喜马拉雅山脉和加拿大等这些潮湿地区,以及在斯堪的纳维亚和加拿大的北极地区冲积扇也有发育。我国自中、新生代以来形成许多内陆盆地(特别是一些断陷盆地),在盆地边缘经常有冲积扇沉积,如克拉玛依的二叠、三叠系,酒泉盆地的白垩系,渤海湾盆地的第三系等都发育有这种类型的沉积。其中有的地区已发现次生油气藏。

二、冲积扇的沉积作用及沉积物类型

单个冲积扇的古水流形式通常是较规则和简单的,即从扇根由单一的或2~3个主河道向扇端方向以分支河道方式呈放射状散开。这是因为水流在重力作用下直接顺坡流动,而不受其他因素,如风、波浪、潮汐的影响。但其最初时期的古水流形式可能复杂些,因为冲积扇是在不规则的地形表面上发育的,由相邻冲积扇结合而形成的冲积扇群体,可产生复杂的古水流形式。主河道一般较宽且深,几乎所有堆积在冲积扇上的沉积物都是通过它进行搬运的。

分流河道较浅,它们可能呈辫状、直的或弯曲状,但以辫状形式为主。冲积扇沉积中的许多特征皆可作为测定其古流向的指示标志,如河道的方向,纵向和横向沙坝的方向,砾岩碎屑长轴方向和叠瓦状构造、交错层理、波痕、原始水流线理以及砂岩颗粒的方向等。

冲积扇的沉积作用基本有两种类型：一种类型起因于暂时性水流作用；另一种起因于泥石流及其有关的作用。暂时性水流作用主要是指那些发生在河流体系中的作用，它们以悬浮、跳跃和滚动方式搬运其沉积物为特征。因此，暂时性水流沉积一般成层性好，含有指示不同流态的各种沉积构造，而且杂基含量少，呈碎屑支撑，并含有叠瓦状及与流动方向有关的其他定向构造。泥石流及其有关作用的特点是含有大量泥质和粉砂质杂基。这些细粒物质支撑碎屑和岩块，并以粘性流体的块体方式进行搬运。因而泥石流及其有关沉积通常成层性差，几乎很少显示沉积构造和叠瓦状组构，但具有大量粘土杂基，呈杂基支撑。

根据上述冲积扇沉积物的成因，布尔（Bull，1972）提出如下的沉积物分类：

（1）**泥石流沉积物** 其沉积物主要由泥石流或泥流沉积而成；

（2）**水携沉积物** 其沉积物主要由暂时性水流沉积而成，可进一步划分为河道沉积物、漫流沉积物和筛积物。

（一）泥石流沉积

如上所述，这里所说的泥石流是指陆地上的一种高密度和高粘度的块体流，其碎屑颗粒由杂基支撑，并在重力作用下呈块体搬运，有人也称其为碎屑流。促使泥石流产生的主要因素是：

①坡度陡，植被不发育；

②源区能供应大量的泥质和碎屑物质；

③季节性的洪水短期内使水量剧增。因此，在干旱或半干旱地带泥石流沉积更为发育。

泥石流沉积是冲积扇的主要沉积类型之一。其最大的沉积特征是分选极差，砾、砂、泥混杂，而且粒级大小相差悬殊，甚至可含有几吨重的巨砾。砾石多呈棱角状至半棱角状。层理不发育或不清楚，一般呈块状，但有时可见不明显的递变层理。其组构特征，或者是板状、长条形砾石以垂直于泥石流流向的直立定向排列为主，或者是呈水平或叠瓦状排列。上述构造和组构特征与泥石流的粘度有关。一般来讲，粘度不大的泥石流沉积可具有递变层理，砾石呈水平或具叠瓦状构造；粘度大的泥石流多是块状，其砾石以垂直走向排列为主。

泥石流沉积可局限于一定的河道内，也可在侧向上呈席状或朵状体延伸到河道间或扇端地区。它们的典型特征是其边缘明显而陡厚，这与泥石流的粘度大有关。但席状沉积物中部的厚度较均一，因而在露头上泥石流的沉积较稳定。单个泥石流可以有明显的水道轴向部分，以及在流体最发育时期由水道侧翼沉积作用所产生的发育良好的天然堤。沿着泥石流沉积的边缘或脊，有时还可见到墙式的粗粒物质。另外，泥石流沉积常与水携沉积交互出现，因而在这两种沉积互层的沉积剖面中，泥石流沉积表现得相当明显，往往成为判别古冲积扇的一个重要标志。

所谓泥流是泥石流的一个变种，其沉积物较细，主要由砂和泥混合而组成，一般不含4mm以上粒径的颗粒。龟裂是富含粘土质泥流沉积的一个特征。由于泥流的粘度变化可以很大，与泥石流沉积相类似，其沉积形态的变化范围也可以从薄而广的席状到具有明显边缘的、厚的朵状体。泥流沉积既可沉积在冲积扇的河道中，也可以发育在非河道地区。

（二）河道沉积

河道沉积是指暂时切入冲积扇内的河道的充填沉积物，故又称为河道充填沉积。它们是水携沉积物中粗粒的和分选差的沉积部分，但向扇端方向，沉积物变细。典型的扇根河道直而深；至扇中和扇端地区则河道变浅，大多为辫状河道；平面形态上一般为窄而长的砂体。通常，河道沉积物由砾石和砂组成，分选较差，层理不发育，多呈块状。其单层厚度一般为

5~60cm, 有时可达 2m 以上。但有时发育有不明显的单向板状交错层理, 或不明显的水平层理, 具叠瓦状构造。有时在剖面中也可见到明显的河道冲刷—充填构造。河道沉积的底部一般是凸凹不平或呈上凹状; 与侧翼和下伏沉积物呈冲刷侵蚀接触关系; 并且向周围常常过渡为泥石流或泥流沉积。

(三) 漫流沉积

漫流沉积又称片流沉积。它们主要是指由辫状河流所沉积的席状砂、粉砂和砾石沉积物。这是冲积扇中最常见的一种沉积类型。其沉积作用是: 携带着沉积物的水流, 从冲积扇上的河道末端漫出, 形成了宽阔的浅水带, 或席状漫流 (其水深一般不超过 30cm)。由于水深和水流速度同时减小, 以及扇端地区坡度较低缓, 而使其所携带的沉积物迅速沉积下来。首先是浅的支流河道被很快充填, 然后向旁侧迁移, 彼此相互叠加和切割, 从而形成了席状的砂、砾沉积物, 但有时可被低洪时期小而浅的河道切开。

漫流沉积物通常由砂、砾石和含少量粘土的粉砂组成, 分选中等。其沉积结构为块状层理、交错层理和水平或平行纹理, 有时也见有小型冲刷—充填构造。漫流沉积常与上述的河道充填沉积物相伴而生, 与河道沉积物相比较, 其粒度较细, 分选性变好。

(四) 筛状沉积

筛状沉积是冲积扇表层上呈舌状的砾石沉积物。当物源区几乎没有为冲积扇提供砂、粉砂和粘土物质, 而是以砾石为主时, 由于砾石层具有较好的渗透性, 使洪水在流到冲积扇趾部以前就从其中完全渗漏到地下, 从而形成舌状的砾石层堆积, 但向斜坡上方变细。因为水是从砾石层中渗掉, 而不是从上面流走, 所以它们就像筛子一样, 只允许水渗走, 而阻止粗粒物质继续搬运并堆积下来, 故称为筛状沉积, 可见, 筛状沉积要求独特的物源条件, 即源区主要为节理发育的坚硬岩石 (如石英岩), 以便提供大量的砾石块。

筛状沉积主要由棱角状至次棱角状的单成分砾石组成, 其中充填以砂粒, 分选中等到较好。其层与层之间的接触界线不清, 故呈块状构造。显然, 筛状沉积的分布不如其他水携沉积物普遍, 只是局部的堆积现象。在古代扇沉积中可能由于胶结作用和发生沉积作用充填其孔隙空间, 而变得致密坚硬。

上述沉积物类型在空间分布上具有一定的规律性。泥石流沉积常产出在扇根附近; 而漫流沉积则分布于扇中和扇端地区; 筛积物恰好集中分布在冲积扇河道交叉点以下; 而河道沉积主要分布在该区交叉点以上。但沉积后的冲刷侵蚀作用和突然出现的地下水, 也可以使河道沉积堆积在更下游的地区。

此外, 水携沉积物和泥石流沉积物的比例在扇与扇之间变化很大。在单个冲积扇沉积物的堆积历史中, 这种比例也可能有变化。在源区条件不利于产生泥石流的地方, 冲积扇可以完全由水携沉积物河流沉积和漫流沉积物组成。一般, 以河流沉积为主的冲积扇, 扇体坡度较小, 向下游更加趋于平缓。河控冲积扇的大小取决于永久性 or 季节性河流的发育程度、沉积物的供应程度、沉积物的搬运速度及必须的较低河流坡度。漫流沉积组成的冲积扇一般面积较大, 坡度较小, 表现出非限定性水流沉积的特征, 由特征不明显的片状纹层砂夹向上变细河道沉积组成。也有主要由泥石流沉积构成的冲积扇, 扇体面积一般较小, 坡度较大。沉积物从成层性较差的杂基到碎屑支撑的砾岩和角砾岩, 季节性的河流沉积和风成沉积通常作为辅助相带夹在泥石流沉积单元中。不过源区能产生泥石流的大多数冲积扇都具有导致水携沉积物堆积的洪水作用。因此, 许多冲积扇沉积都是由不同比例的泥石流和水携沉积物的互层沉积所构成。

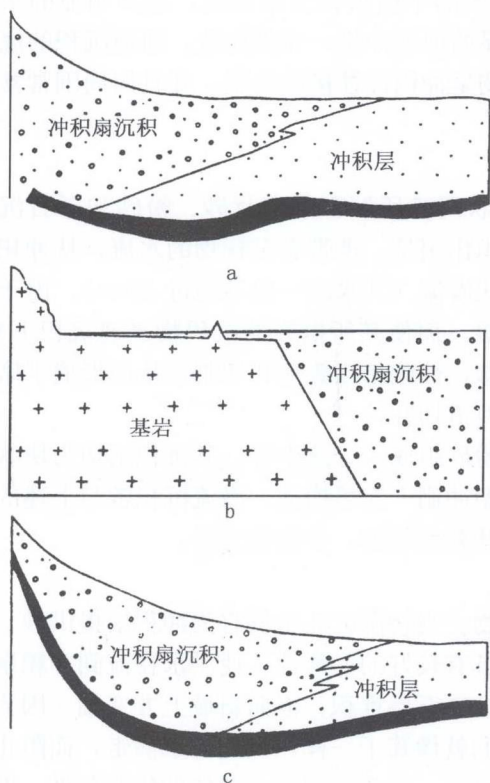


图5 冲积扇的几何形态类型（据布尔，1972 修改）

三、冲积扇的几何形态特征

冲积扇的几何形态主要取决于盆地边缘的构造背景，布尔（1972）根据其纵向剖面特征，提出三种主要形态类型。

（一）楔状体

其特点是紧靠山前沉积厚，而远离山前沉积物变薄或尖灭（图 5a），这种形态特征反映了山脉的升降主要发生在冲积扇沉积作用开始之前，其结果导致源区供给大量的沉积物碎屑而形成典型的楔形沉积体。与第一种类型的楔形沉积体相反，第二种类型楔状体是在邻接山前地区沉积较薄，而远离山前沉积突然增厚。这种楔形体通常发育在构造活动趋于稳定的地区。由于构造稳定而使得山前的沉积环境主要变成剥蚀环境，于是随着山前不断侵蚀后退，逆坡而上则形成宽广的山前侵蚀平面，这时主要发育了薄层的漫流沉积。沿山前顺坡而下堆积的沉积物（图 5b），则是早先沉积的冲积扇的一部分，这种残存的沉积体便形成由山前向盆地方向增厚的楔状体。

（二）透镜体状

其形态特征是向着山前和远离山前沉积厚度都变薄（图 5c）。这反映冲积扇沉积作用发生时期山脉不断连续上升。由于山脉的持续上升，其山前接受了大量的沉积物质，并且沉积厚度较大，而且紧靠山前地区也同时遭受侵蚀，致使扇根沉积变薄而形成下凹的透镜状沉积体。

冲积扇几何形态在其内部特征上可以是很复杂的，因为大多数冲积扇在随着源区上升和水系形成之后便迅速向前推进，并不断地在侧向上往返迁移。在洪水泛滥时期，主河道大致沿着冲积扇的轴部分布，由河流携带的大量沉积物主要堆积在这一部位，也就是说其沉积厚度较大；而在冲积扇两侧由漫流所沉积的沉积物厚度较小。随着冲积扇向盆地方向继续推进，河道便不断地发生侧向迁移，并逐渐构成了横剖面上呈上凸的透镜体状沉积体（图 6）。

冲积扇的形态和规模大小除受构造因素控制外，还受到下列几种因素的影响，其中包括流域面积大小、补给水系所携带沉积物的数量和粒级、源区母岩的成分和地形以及气候条件等。

- ①流域面积较大的冲积扇，通常比较小源区的同样物质所形成的冲积扇具有较低的坡度；
- ②当碎屑的粒级和流体中沉积物的浓度增加时，冲积扇的坡度较陡；
- ③在高降水量地区，冲积扇的坡度较缓，而在干旱地区则较陡，这可能是由于在干旱区泥石流沉积比河流沉积更为发育所致；

- ④如果冲积扇所流经的地区为页岩或泥质母岩等细粒物质时，其面积和坡度就比流域为砂岩或结晶岩等较粗粒沉积岩的冲积扇要大和陡。

四、冲积扇的亚相类型及沉积层序特征

根据现代冲积扇地貌及沉积物的分布特征，陆上冲积扇可进一步划分为扇根、扇中和扇

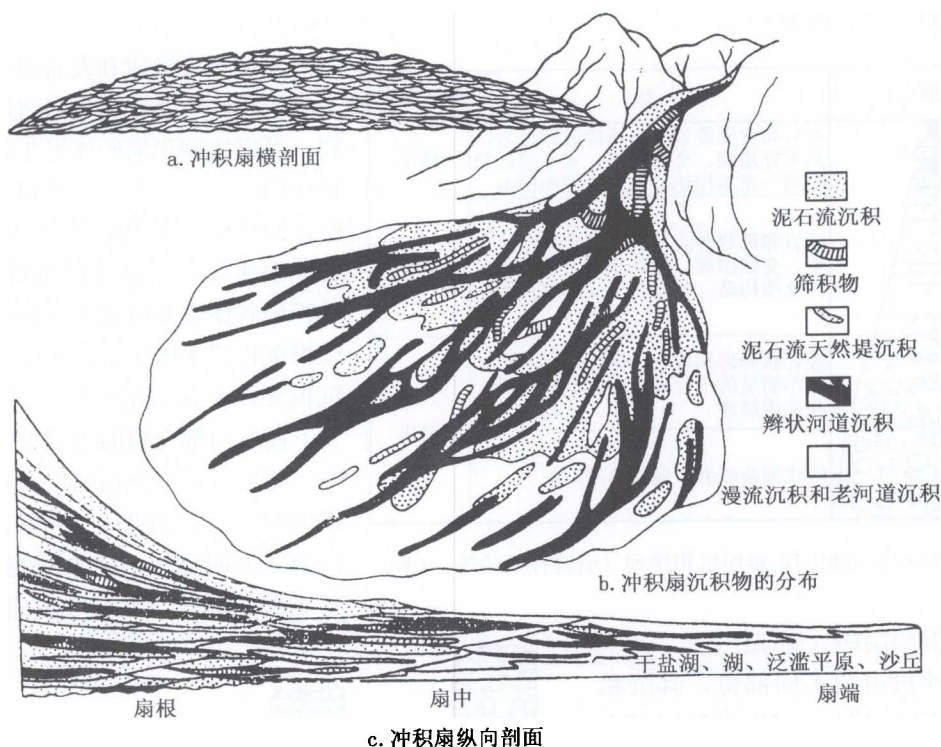


图 6 一个理想冲积扇的地貌剖面 and 沉积物分布 (据斯皮林, 1974)

端三个亚相 (图 6)。

(一) 扇根

扇根或扇顶分布在邻近冲积扇顶部地带的断崖处, 其特点是沉积坡角最大, 并发育有单一的或 2~3 个直而深的主河道。其沉积物主要是由分选极差、无组构的混杂砾岩或具叠瓦状的砾岩、砂砾岩组成。一般呈块状构造, 其砾石之间为粘土、粉砂和砂等杂基所充填。但有时也可见到不明显的平行层理、大型单组板状交错层理以及流速衰减而形成的递变层理。也就是说, 扇根的沉积物主要为泥石流沉积和河道充填沉积。

(二) 扇中

扇中位于冲积扇的中部, 并为其主要组成部分。它以具有中到较低的沉积坡角和发育的辫状河道为特征。因此, 沉积物主要由砂岩、砾状砂岩和砾岩组成。与扇根沉积相比较, 砂与砾比率增加, 砾石碎屑多呈叠瓦状排列。在交错层中, 它们的扁平面则顺倾斜的前积纹层分布。在砂和砾状砂岩中则出现主要由辫状河流作用形成的不明显的平行层理和交错层理, 甚至局部可见逆行沙丘交错层理。河道冲刷—充填构造较发育, 也是扇中沉积的特征之一。沉积物的分选性相对于扇根来说, 有所变好, 但仍然较差。

(三) 扇端

出现在冲积扇的趾部, 其地貌特征是具有最低的沉积坡角和地形较平缓。沉积物通常由砂岩和含砾砂岩组成, 中夹粉砂岩和粘土岩; 但有时细粒沉积物较发育, 局部也可见有膏盐层。其砂岩粒级变细, 分选性变好。除在砂岩和含砾砂岩中可见到不明显的平行层理、交错层理和冲刷—充填构造外, 粉砂岩和泥岩也可显示块状层理、水平纹理以及变形构造和暴露

构造（如干裂、雨痕）。

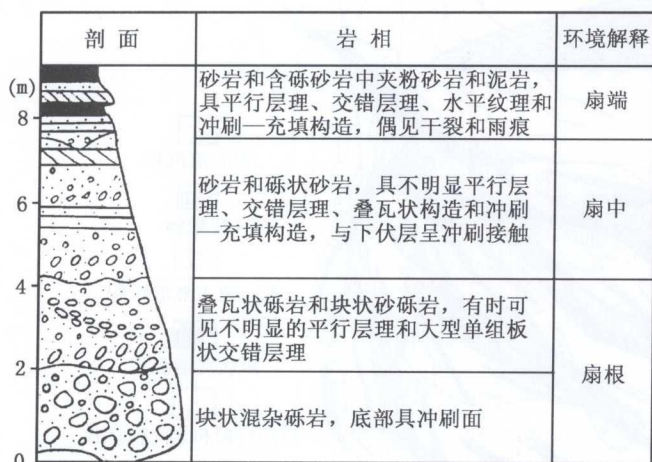


图7 冲积扇沉积的正旋回沉积序列（引自孙永传等，1986）

正旋回沉积层序（图7）。

在冲积扇的不同部位，其沉积序列也不同（图8）。扇根的沉积序列主要为块状混杂砾岩和具叠瓦状组构砾岩组成的正韵律沉积组合。扇中的沉积序列自下而上为具叠瓦状组构的砾岩及不明显的平行层理、交错层理砾状砂岩、砂岩组成。扇端的沉积序列通常为具冲刷—充填构造的含砾砂岩、交错层理和平行纹理砂岩，以及水平纹理粉砂岩和块状层理泥岩，但有时也发育有变形构造，如旋卷纹理及球枕构造。

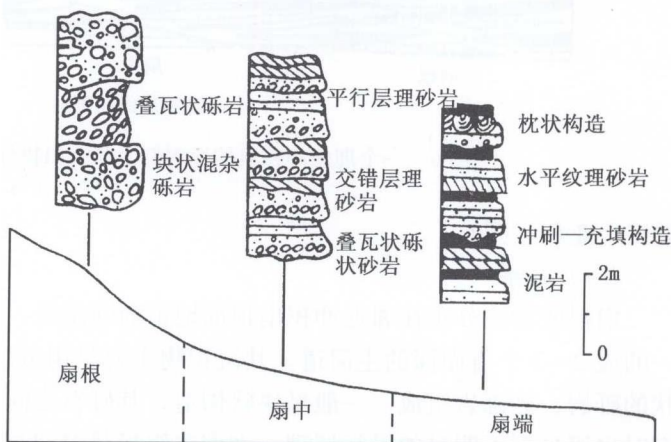


图8 冲积扇沉积序列分布（引自孙永传等，1985）

五、冲积扇沉积的实例及其与油气关系

新疆克拉玛依油田二叠系和三叠系为巨厚的砂砾岩沉积，可作为古代冲积扇的良好实例。

克拉玛依二叠系为一套巨厚的灰绿色—棕红色砾岩，厚300~2500m；下三叠统仅见于油田东部，几乎全为砾岩和砾状砂岩，厚130~200m；中三叠统分布广泛，下部为厚层砾岩—砂岩、砾岩和泥岩互层到细粉砂岩—泥岩的正旋回沉积；上部为一套砂砾岩和泥岩交替沉积，共厚50~450m。经克拉玛依油田研究确定，二叠系—中三叠统底部砾岩为冲积扇环境的产物。其根据是：

①它们呈条带状分布于沉积时期的古盆地边缘；

②岩性特征为一套较厚—巨厚的粗粒碎屑沉积，砾岩厚度占总沉积厚度的60%~90%以上；

③砾石直径为1~60mm，分选极差，多呈棱角状。