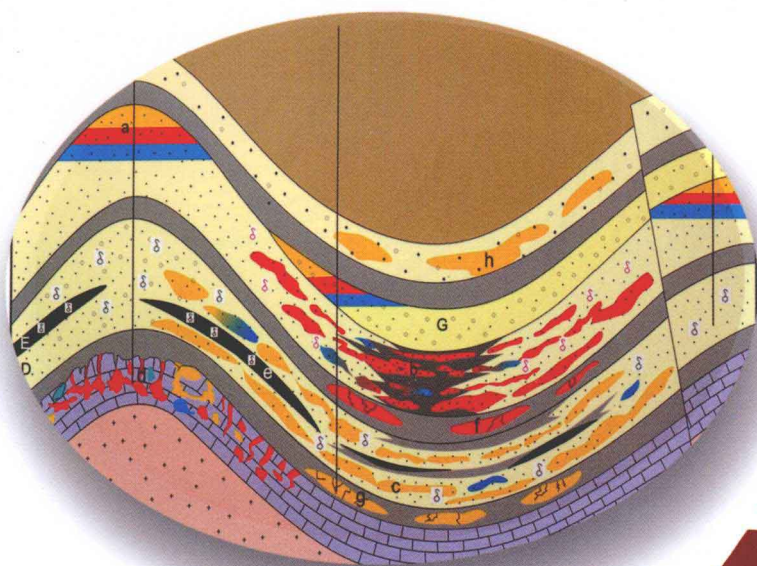




中国石油勘探开发研究院技术培训中心系列教材(一)

岩性地层油气藏

邹才能 袁选俊 陶士振 朱如凯 侯连华 等编著



石油工业出版社

内 容 提 要

本书简要介绍了沉积、储层和层序地层学等基础知识,重点介绍了中国石油“十一五”以来所取得的主要地质认识,包括大面积岩性地层油气藏、连续型油气藏、地层油气藏与火山岩油气藏的形成主控因素与油气分布规律,最后介绍了较为成熟的区带、圈闭与火山岩勘探评价方法与核心技术。

本书可供石油勘探专业技术人员使用,也可作为大专院校相关专业的辅助教材。

图书在版编目(CIP)数据

岩性地层油气藏/邹才能等编著.

北京:石油工业出版社,2009.11

ISBN 978-7-5021-7512-2

I. 岩

II. 邹

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(2009)第211321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:<http://www.petropub.com.cn>

发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京晨旭印刷厂

2009年12月第1版 2009年12月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:24.25

字数:616千字 印数:1—3000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

序

21 世纪以来,岩性地层油气藏已经成为我国陆上最为现实的勘探领域。中国石油天然气股份有限公司近几年的油气探明储量中岩性地层油气藏已占到总探明储量的 70% 以上,中国石油化工集团在渤海湾盆地济阳拗陷岩性地层油气藏勘探也取得重要进展。全国最新资源评价结果表明,岩性地层油气藏剩余资源量很大,仍将是我国陆上今后的重要勘探领域。

近年来,国内三大油气公司和科研院校积极开展岩性地层油气藏地质理论和勘探技术攻关,取得了重大进展。如 2003 年中国石油化工集团公司胜利油田和中国石油大学等院校联合完成的对断陷盆地隐蔽性油气藏的理论技术攻关取得重大进展,曾荣获 2003 年度国家科技进步一等奖。

“十五”期间,中国石油天然气股份有限公司对岩性地层油气藏勘探和研究十分重视,全面组织和推进了岩性地层油气藏的理论研究、技术攻关和勘探部署。设立了“岩性地层油气藏地质理论与勘探技术”重大科技攻关项目,分陆相断陷、拗陷、前陆和海相克拉通四类盆地,围绕砂砾岩、碳酸盐岩、火山岩三类储层进行了系统研究,在理论、技术创新与生产实效等方面取得重大成果,曾荣获 2007 年度国家科技进步一等奖。

该书作者邹才能等人,从“十五”以来一直从事岩性地层油气藏地质理论和核心勘探技术方法攻关,是中国石油天然气股份有限公司“十五”攻关项目的核心团队,正在组织实施大型油气田与煤层气开发国家油气重大专项“岩性地层油气藏成藏规律、关键技术及目标评价”项目,重点开展中国大型、特大型岩性地层油气田(区)形成与分布规律、沉积储层特征与成藏机理、区带与圈闭评价等理论与技术攻关。目前已在拗陷湖盆中央砂质碎屑流成因模式、大中型地层油气藏形成主控因素、“连续型”油气藏形成与分布特征、地震叠前储层预测和盆地模拟技术开发等方面取得了新的成果和认识。

总之,该书作者具有较高的岩性地层油气藏理论技术水平和勘探实践经验,由他们编著的该书作为岩性地层油气藏地质理论与勘探技术培训教材,比较全面地反映了目前我国、特别是中国石油天然气集团公司“十五”以来在岩性地层油气藏领域研究的最新成果和认识。相信本培训教材的出版将对我国岩性地层油气藏的进一步勘探研究与人才培养起到有力的推动和促进作用。

中国科学院院士



2009 年 11 月 28 日

前 言

岩性地层油气藏主要是指由沉积、成岩、构造与火山等作用而造成的地层削截、超覆、相变,使储集体在纵、横向上发生变化,并在三度空间形成圈闭和聚集油气而形成的油气藏(贾承造,2003)。包括岩性、地层油气藏和以构造为背景的岩性与地层复合油气藏。岩性地层油气藏与隐蔽油气藏在概念上有较大差别,但岩性地层油气藏是隐蔽油气藏的主要类型。

21世纪以来,随着中国陆上油气勘探总体从构造油气藏向岩性地层油气藏的转变,岩性地层大油气田目前已进入到了发现高峰期。“十五”以来相继在松辽、渤海湾、鄂尔多斯、四川、准噶尔、塔里木等重点盆地发现了多个亿吨级以上的大型岩性地层油气田,并形成了鄂尔多斯、四川等多个5亿至10亿吨级储量规模的大油气区(层),展示出其较大的勘探潜力。岩性地层油气藏已经成为目前我国陆上最重要的勘探领域和储量增长的主体,以中国石油天然气股份有限公司为例,2003年以来,岩性地层油气藏探明储量占总探明储量的比例已达到60%~70%。

“十五”期间,中国石油天然气集团公司开展了“岩性地层油气藏地质理论与勘探技术”“产、学、研”一体化攻关,取得了重大理论突破和勘探技术创新。在理论认识上,建立了中低丰度岩性地层油气藏大面积成藏地质理论,推动了松辽、鄂尔多斯和四川盆地须家河组的大规模勘探。如揭示了陆相拗陷湖盆大型浅水三角洲分布模式,这一模式突破了过去认为湖盆中心没有储油砂体,是勘探禁区的思想。新的理论认为,湖泊中心广泛分布河道砂体,满盆有砂、满盆含油。鄂尔多斯盆地石油勘探从湖边向湖盆中心推进,新发现了3至5亿吨级整装规模储量。在勘探技术上提出以油气系统为单元的“四图叠合”区带评价新方法,开发出层序地层学与地震叠前预测两项核心技术,完善了大面积高分辨率三维地震勘探与火山岩油气藏钻井、压裂技术系列。为中国石油岩性地层油气藏储量增长提供了强有力的技术支撑。该成果荣获中国2007年度国家科技进步一等奖,主要成果已出版专著《岩性地层油气藏地质理论与勘探技术》,由贾承造、赵文智、邹才能等编写。

“十一五”以来,中国石油天然气集团公司加大了岩性地层油气藏的勘探与科技攻关力度,特别是2008年正式启动的国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”,岩性地层油气藏成藏规律、关键技术及目标评价是其重要攻关内容。通过攻关,近期又在大型浅水三角洲和湖盆中心砂质碎屑流成因与分布、成岩相定量评价方法、“连续型”油气藏形成与分布、大型地层油气藏形成主控因素等方面取得了重要研究进展。

为了继续推进岩性地层油气藏勘探领域的不断深入,中国石油天然气集团公司人事部委托中国石油勘探开发研究院组织编写了《岩性地层油气藏》培训教材,目的是将已取得的地质成果认识和较为成熟的勘探评价技术进行推广。本书即是对上述成果的系统整理与汇编。

本培训教材分为三篇。第一篇简要介绍了沉积、储层和层序地层学等基础知识;第二篇重点介绍了中国石油“十一五”以来所取得的主要地质认识,包括大面积岩性地层油气藏、“连续

型”油气藏、地层油气藏与火山岩油气藏的形成主控因素与油气分布规律;第三篇介绍了目前较为成熟的区带、圈闭与火山岩勘探评价方法与核心技术。第一章由袁选俊编写,第二章由朱如凯、罗平、张兴阳等编写,第三章由贾进化、吴因业等编写,第四章由陶士振、袁选俊等编写,第五章由邹才能、陶士振等编写,第六章由邹才能、陶士振等编写,第七章由邹才能、侯连华等编写,第八章由邹才能、张光亚、朱如凯、赵霞等编写,第九章由袁选俊、池英柳、郑晓东等编写,第十章由文百红、杨辉编写,第十一章由袁选俊、郑晓东、郭秋麟等编写。全书最后由邹才能、袁选俊、陶士振、朱如凯、侯连华统编。中国石油勘探开发研究院技术培训中心靳久强教授、刘忠高级工程师等参与了部分出版组织工作。

在本书编著过程中,得到了贾承造院士的亲切指导和大力支持并为本书做序;同时本书还引用了中国石油大庆、长庆、西南、新疆、塔里木、华北、吉林等油气田分公司的大量科研成果,在此一并表示诚挚的谢忱!

本书难免有不足之处,欢迎各位读者批评指正。

目 录

第一篇 基础知识

第一章 含油气盆地主要沉积相类型与特征	(3)
第一节 陆相沉积体系	(3)
第二节 海相沉积体系类型	(19)
第二章 主要储集体类型及形成主控因素	(31)
第一节 四类原型盆地发育的主要储集体类型	(31)
第二节 有利砂砾岩储集体发育控制因素	(37)
第三节 有利碳酸盐岩储集体发育控制因素	(46)
第四节 有利火山岩储集体发育控制因素	(56)
第五节 “两相、两带”控制储层物性	(65)
第三章 陆相层序地层学分析技术	(75)
第一节 层序地层学理论体系	(75)
第二节 区域层序地层解释方法技术	(86)
第三节 层序地层学在油气勘探中的作用	(98)

第二篇 地质认识

第四章 岩性地层油气藏勘探研究现状与进展	(105)
第一节 岩性地层油气藏与构造油气藏的共性和差异性	(105)
第二节 岩性地层油气藏勘探和研究现状	(121)
第三节 “十五”主要研究成果与勘探成效	(132)
第五章 大面积岩性地层油气藏形成条件和分布规律	(144)
第一节 油气藏特点与勘探潜力	(144)
第二节 低丰度岩性油气藏形成背景	(163)
第三节 低孔渗岩性油气藏地质特征与控制因素	(181)
第六章 连续型气藏形成分布与评价	(200)
第一节 连续型油气藏成藏机理、分布特征与评价方法	(200)
第二节 连续型气藏及其大气区形成机制与分布	(214)
第七章 大型地层油气藏形成与分布规律	(228)
第一节 地层油气藏勘探研究现状	(228)

第二节	地层油气藏类型	(230)
第三节	地层油气藏成因机制	(237)
第四节	地层油气藏控制因素及分布规律	(248)
第八章	火山岩油气藏地质特征	(256)
第一节	国内外火山岩油气藏研究现状	(256)
第二节	中国火山岩油气藏石油地质特征	(261)
第三节	中国火山岩油气藏分布规律	(280)

第三篇 评价技术

第九章	岩性地层油气藏勘探核心技术	(289)
第一节	层序地层学工业化应用技术	(289)
第二节	储层预测关键技术	(298)
第十章	火山岩重磁电震综合预测技术	(317)
第一节	火山岩勘探方法技术现状	(317)
第二节	技术流程	(318)
第三节	技术发展趋势及综合勘探建议	(341)
第十一章	岩性地层油气藏区带、圈闭评价方法与技术	(343)
第一节	勘探思想与勘探程序	(343)
第二节	区带评价方法与技术	(351)
第三节	圈闭评价技术	(357)
第四节	区带、圈闭评价软件介绍	(364)
参考文献	(373)



第一篇 基础知识

第一章 含油气盆地主要沉积相类型与特征

沉积相编图已经从传统的地质模式方法进入到目前地质、地球物理多学科综合应用工业编图方法。高分辨率地震资料和储层预测技术的广泛应用,极大地提高了岩性预测能力和沉积相编图精度。充分应用地震资料的多学科沉积相编图方法与技术已经成为目前的主流。但沉积学相关基础知识与典型沉积相模式仍是沉积相编图的最重要指导原则。

本章将分陆相和海相两大类沉积体系,简要介绍国内外目前沉积相研究的主要成果和认识,其目的是使读者了解我国含油气盆地内发育的主要储集体类型及其沉积特征和沉积相模式,以进一步指导沉积相研究与工业化编图,推动中国岩性地层油气藏的勘探实践。

第一节 陆相沉积体系

中国石油系统经过半个世纪的不断探索,以吴崇筠、裘亦楠、薛叔浩、顾家裕等为代表的老一代沉积学家,已经建立了比较完整的陆相湖盆沉积体系,特别是在生产应用层次上更适用于油气勘探。前人通过对中国古代湖盆沉积充填特征的分析以及对现代湖盆考察对比,确认陆相湖盆中主要充填冲积扇、河流、三角洲、水下扇、湖泊、沼泽等六大沉积体系(表1-1)。不同类型原形盆地具有各自的充填模式,沉积相类型与分布、沉积体系有所差异。

表1-1 陆相湖盆沉积体系及相带划分方案

沉积体系		沉积相	亚相	微相及骨架砂体	主要沉积作用
I	冲积扇体系	干旱扇 湿地扇	扇根 扇中 扇端	主槽、侧缘槽、槽滩、 漫洪带、辫状河沟槽、 漫流带(水道间)	泥石流、 牵引流
II	河流体系	曲流河 辫状河 网状河	河道 河道间	河床滞留沉积、边滩、 心滩、天然堤、决口扇泛滥平原、 牛轭湖	牵引流
III	三角洲体系	曲流河三角洲 辫状河三角洲 扇三角洲	平原 前缘 { 内带 外带 前三角洲	分流河道、分流河道间、 水下分流河道(间)、 河口坝、席状砂	牵引流为主, 重力流次之
IV	水下扇体系	近岸水下扇 湖底扇 滑塌浊积体	供给水道 内扇 中扇 外扇	主水道、天然堤、 辫状水道、水道间、 无水道区席状砂、 滑塌透镜体	重力流为主, 牵引流次之
V	湖泊体系	淡水湖 半咸水湖 盐湖	滨湖 浅湖 (半)深湖 湖湾	碎屑岩滩坝、 碳酸盐岩滩坝、 生物礁	湖流、波浪、 化学、生物
VI	沼泽体系	湖泊沼泽 河流冲积平原沼泽 三角洲平原沼泽			生物

湖盆砂体主要发育在前四大沉积体系中,而湖泊和沼泽沉积体系以泥岩、煤系地层及膏盐沉积为主,仅发育滩坝砂体和少量浊积岩砂体。因此,陆相湖盆中主要发育四种砂体类型,即冲积扇砂体、河流砂体、三角洲砂体和水下扇砂体,其次在一些湖盆中还发育有滩坝砂体。冲积扇与河流砂体的成因与湖泊存在与否原则上没有关系,是典型的大陆环境沉积产物,其主要沉积作用以牵引流为主;而三角洲、水下扇和滩坝砂体的成因与湖泊存在与否直接相关,其沉积作用多样,既有牵引流,又有重力流,还有湖流和波浪等。目前一般将沉积成因与湖泊有关的砂体统称为湖泊砂体。广义上讲,湖泊砂体分布范围很广,类型繁多,在湖泊各亚相带,即从湖中深湖到边缘滨浅湖均有砂体分布。湖泊砂体是湖泊内生成的油气优先聚集的场所,我国中—新生代油气田的绝大部分储层都是湖泊中沉积的各种砂体。

勘探实践和研究表明,陆相湖盆中分布的各类砂体均可含油气。湖盆砂体能否含油气,主要取决于砂体离生油区或生油层的远近、生储盖组合的配置关系,而砂体规模大小、砂层厚度及其连通性以及物性的好坏对产能有较大影响。由于陆相湖盆地质结构、盆地演化、沉积环境、充填模式和油气成藏等方面的差异,因而形成大小不一、形态各异、埋深也有一定差别各类含油气砂体。坳陷型陆相湖盆的主要含油砂体类型为大型河流三角洲,其次是扇三角洲和辫状河三角洲,洪(冲)积扇与河流也可成为含油砂体。裂谷断陷型陆相湖盆则是河流、各类三角洲、近岸水下扇、湖底扇、滩坝及冲积扇等众多类型砂体均可含油气。

据薛叔浩对我国陆相湖盆中主要含油砂体类型所占储量统计表明(1997);各种三角洲体系是陆相湖盆最主要的含油砂体类型,探明储量占 55.3%,河流砂体占 13%,水下扇砂体占 12.6%,冲积扇砂体占 6.5%,滩坝砂体占 5%,盆地基岩占 7.6%(图 1-1)。

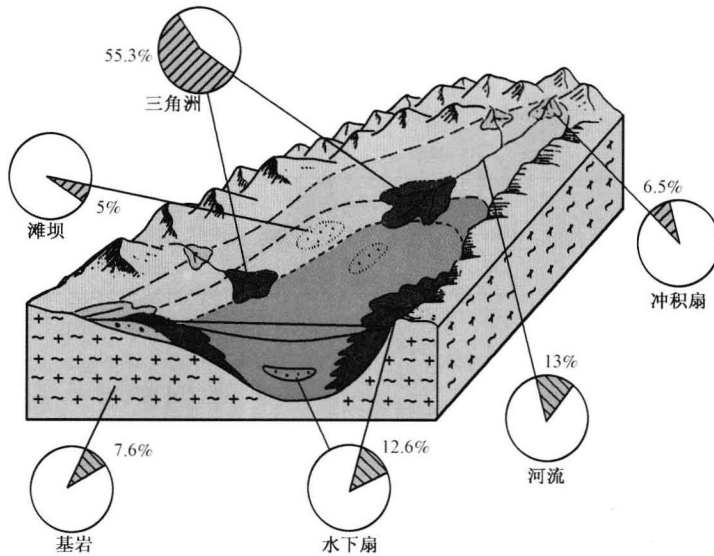


图 1-1 陆相湖盆沉积体系及地质储量分布(据薛叔浩,1997)

一、冲积扇砂体

(一) 沉积特征与分类

冲积扇是陆源碎屑最近源的沉积。山区(碎屑物供给源区)河流出山口进入山麓平原,由于坡降突然变小,水流分散,流速和搬运能力骤减,将大量碎屑物在山口堆积下来,形成向平原发散的扇形沉积体,即为冲积扇。冲积扇主要出现于大陆地区的山前带,常环绕山脉沿山麓大

面积成群成带分布,并且这些大大小小的冲积扇和充填其间的山麓坡积、坠积物共同组成山麓—洪积相。山麓—洪积相属于陆相的一个重要组成部分,其形成和发展受自然地理、气候条件和地壳升降运动等因素的制约。造山作用越强、地形高差越大、气候越干旱,山麓—洪积相就越发育。

冲积扇在空间上是一个沿山口向外伸展的巨大锥形沉积体(图 1-2),其延伸长度可达数百米至百余千米。在横剖面上沉积体为丘状,在纵剖面上为楔形,向盆地内部厚度减薄,总体上表现为明显的锥状外形,而且在横向上多个冲积扇往往沿着断层边界呈串珠排列,形成冲积扇裙。

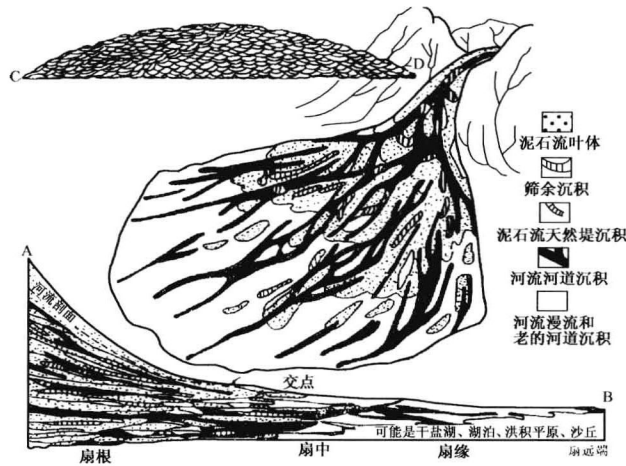


图 1-2 理想冲积扇形态及模式(据斯皮林,1974)
AB—纵剖面;CD—横剖面

冲积扇上的沉积物按成因可分为水携沉积物和泥石流沉积物两种类型。前者可进一步按沉积的位置和沉积物特征划分为河道沉积、漫流沉积和筛余沉积。冲积扇可以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,但大多数冲积扇是由上述几种沉积类型共同组合而成的。总体来说,以漫流和泥石流沉积为主,河床充填沉积和筛状沉积在组合中占的比重较小。

根据气候条件不同,可将冲积扇划分为湿润型和干旱型两种类型,即旱扇与湿扇,它们的沉积特征、形态等有较大差异(表 1-2)。

表 1-2 旱扇与湿扇地质特征对比

类型	旱扇	湿扇
气候条件	干旱	潮湿
水流特征	间歇性水流或洪水	常年流水
形态	扇形清楚	扇形不清
河道	主河道或单一河道	叠加河道,辫状平原
沉积物	以副砾岩为主,分选差,混杂堆积。纵向粒度变化快,常见红层和膏盐类沉积。无煤层	正砾岩发育,无副砾岩,分选好。纵向粒度渐变,无红层或膏盐类沉积。可见煤层
沉积构造	类型少,不太发育	齐全并发育
重力流	碎屑流发育	缺少碎屑流,可发育泥流
相带	相带分布清晰	相带分布不清

润湿型冲积扇单个扇体大,表面积可是干旱型冲积扇的数百倍,最大面积可达 16000km²,扇体中河流作用明显,发育河流作用产生的结构和构造。

干旱型冲积扇呈面积较小的锥形体,扇体面积一般小于 100km²,山根处沉积厚度大,向扇缘处沉积厚度减薄。干旱型冲积扇地处降雨量少的干热气候带,季节性暴风或高山积雪融化形成间歇性河流,这些河流携带大量沉积物,主要以泥石流形式在山口处大量堆积。

(二) 沉积模式

冲积扇总的岩性特征是组成物质粗而杂乱,粒级分布很宽,从泥、砂直至巨砾。砾、砂含量高,分选和磨圆度差,碎屑成分完全承袭物源区母岩的成分。扇体横剖面呈底平顶凸的丘状体,纵剖面呈底平顶凹的楔状体。从山口向外,扇体厚度和砂砾层的单层厚度均由厚变薄,碎屑由粗变细,分选变好。沉积学教材和文献一般都把冲积扇分为扇根、扇中、扇端三个亚相(图 1-2)。

1. 扇根

亦称扇顶、扇头、近端或近基。扇根靠近山口,坡角较大。沉积类型主要有泥石流沉积和(或)河道沉积(含泥相对较少的砂砾岩),少量的河床冲填沉积和(或)筛状沉积。

2. 扇中

形成于中等坡度或低坡度地带,一般由辫状河道沉积与泥石流和漫流沉积互层组成。河道沉积中可发育大型的、多层系的交错层理;其中砾石多呈叠瓦状排列,扁平面倾向山口。泥石流沉积多呈块状构造,砾石分布杂乱。漫流沉积常呈块状,亦可出现交错层理或细的纹层。总体上讲,扇中的分选性要比扇根好。

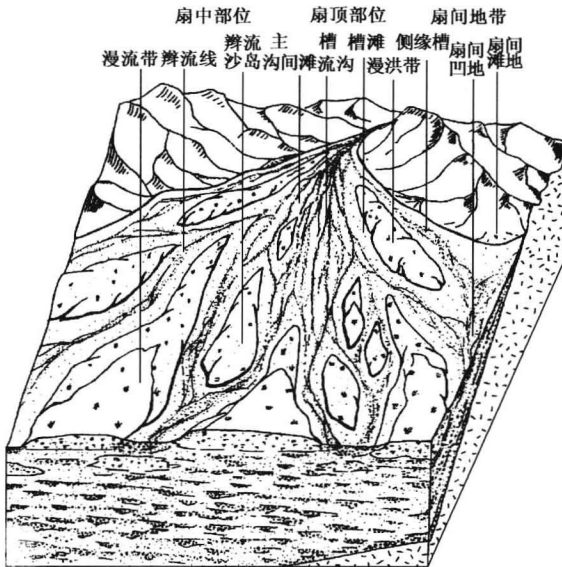


图 1-3 冲积扇相带划分示意图(据张纪易)

(三) 油气分布特征

冲积扇砂砾岩体主要是粗碎屑岩。由于冲积扇沉积作用的特殊性,并非所有的冲积扇粗碎屑岩体均可形成良好的储层。冲积扇体储集性是源区母岩性质、气候条件、沉积类型及相带等因素的综合函数。当源区母岩泥质岩发育、植被较少,在气候干旱的条件下,泥石流十分发

3. 扇端

亦称扇缘或远端相,分布于冲积扇的尾部,以低度角为特征。扇端沉积作用以洪水漫流为主,形成砂、粉砂和泥质沉积物,可见波状和水平层理以及块状构造,砂层厚度变薄。但扇端亦可发育辫状河道,形成分选较好的砂质沉积,且发育交错层理、平行层理,常见砾石碎屑呈叠瓦状排列。

我国最具代表性的是张纪易据对准噶尔盆地克拉玛依油田众多冲积扇储层的研究,建立的偏潮湿气候条件下冲积扇的沉积模式(图 1-3)。扇根亚相一般由主槽、侧缘槽、槽滩、漫洪带等微相组成;扇中亚相又可进一步细分为辫流线、辫流沙岛、漫流带等微相。

育,且漫流和河道沉积中含泥质时,形成砾、砂、泥混杂、分选极差的泥质砂砾岩体,这类沉积的储集性能差,一般不能作为储层。如果源区母岩泥质较少,且气候不十分干燥,甚至为潮湿气候时,泥石流不甚发育且主要分布于扇顶,冲积扇沉积则表现为少含泥的砾、砂混杂的特征,这种沉积可以形成油气储层。

从冲积扇的三个亚相来看,扇顶砂砾岩体的储集性能比较复杂,因为它既可有孔隙性差的泥石流沉积,又有储集性相对较好的河道冲填沉积,甚至可发育孔渗性很好的筛状沉积。扇顶储层及其储集性能的好坏取决于这些沉积类型的相对比例。扇中的储集性能相对较好,沉积物经过一定程度的分选(但总的来说,分选性仍较差),含泥相对较少,因而具有一定的储集性。扇端以漫流沉积为主,悬浮泥质相对较多,储集性相对较差。

冲积扇环境的碎屑岩,由于紧邻沉积物源而远离深水的油源环境,在世界上作为油气储层的报导很少。但在陆相湖盆中,冲积扇砂砾岩作为石油储层却屡有发现,并可形成较大规模的油田,如新疆克拉玛依油田,其探明储量达 $8 \times 10^8 \text{t}$ 。新疆克拉玛依油田三叠系储层由七个冲积锥体组成,扇中发育连片的河床砂砾岩层,物性最好,含油性也最好。冲积扇体砂砾岩油田可具有多种类型的油藏,如断块油藏、岩性油藏、断裂背斜油藏、断层不整合油藏、地层超覆不整合油藏等。其次大港油田黄骅坳陷枣园油田的孔一段、玉门油田酒西盆地老君庙油田的中新统 M_3 油层、胜利油田济阳坳陷的草桥油田等也是以冲积扇砂体为主要储层的油田。

二、河流相砂体

(一)基本沉积特征与河流类型

河流是沉积盆地中搬运碎屑物质的主要地质营力,也是重要的堆积场所。发育于不同大地构造背景和古气候带的各类沉积盆地均有河流沉积体系的分布。在沉积盆地的沉积演化过程中,河流沉积体系的分布与湖泊的扩张和收缩相消长,在沉积旋回的早期和晚期河流沉积体系分布最为普遍。

河流沉积物明显有别于其他类型的沉积物。河流上游坡降大,流速高,搬运和堆积的碎屑较粗大,磨圆度低,分选性差,甚至泥砂混杂。较粗粒的碎屑物质沿河底拖曳运动,跳跃前进(底载荷)。河流中下游坡降小,流速慢,搬运和堆积的碎物质较细,主要为细砂、粉砂和黏土。细粒的泥质以悬浮方式搬运(悬浮载荷)。底载荷是组成河流沉积物的骨格部分,是最重要的多孔隙储集体。

河流是陆相环境中一种重要的沉积体系,形态复杂多样,并且研究较为详细,因此其分类标准和命名方案比较多。拉斯特(Rust,1978)根据河道分岔参数和弯曲度提出了一个河流分类体系。所谓河道分岔参数是指在每个平均蛇曲波长中河道沙坝的数目。这些河道沙坝是被河流中线所围绕和限制的河道砂体。河道分岔参数的临界值为1或小于1者为单河道,大于1者为多河道。河道弯曲度是指河道长度与河谷长度之比,通常称为弯度指数,其临界值小于或等于1.5为低弯度河,大于1.5为高弯度河。根据上述两个参数,可将河流分为平直、曲流、辫状、网状四种类型(图1-4)。其中以曲流河和辫状河分布最广,而平直河和网状河较少见,并且与油气勘探有关的河流相类型以曲流河、辫状河为主。

由于受地形坡度、流域岩性、气候条件、构造运动以及河水流量、负载方式等因素的影响,在同一河流的不同河段或同一河流发育过程的早期和晚期,其河流类型可有所不同。甚至在同一时期的同一河段,因水位不同,河形亦有变化,如高水位时表现为网状河,低水位时表现为辫状河。

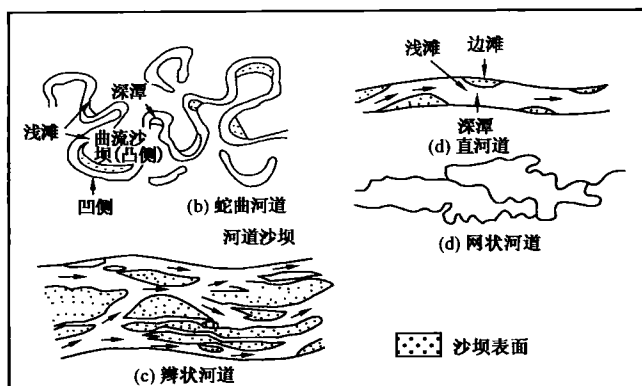


图 1-4 河流类型示意图(据迈尔,1977)

目前石油系统一般在遵循与沉积学分类基本统一的分类命名基础上,针对古代湖盆勘探开发实际和沉积研究的重要性和特殊性,一般采用以形态分类为主同时考虑其他分类的最新研究成果的方案,把河流按形态分为辫状河、曲流河、顺直河和网状河以及季节性河流五类。辫状河可进一步分为砾质河流和砂质河流,曲流河也可进一步划分为低弯曲和高弯曲河流等。目前,油田地下能识别的最主要河流类型是辫状河、曲流河和网状河。

(1) 辫状河: 辫状河是一条宽而浅的河流,河道被许多心滩分割,水流呈多河道绕着众多心滩不断分叉和重新汇合,心滩和河道都很不稳定。一般分布在冲积扇与曲流河之间。辫状河可进一步分为砾质辫状河和砂质辫状河。

(2) 曲流河: 曲流河以弯曲的单一河道为特征,比辫状河坡降小,河深大,宽深比小,携带的碎屑物中推移质/悬移质比小,流量变化也相对小一些。但其本身变化仍然很大,长时间的低水位和短期的洪泛依然存在。曲流河一般发育于三角洲之上辫状河之下。曲流河也可进一步划分为低弯曲河流和高弯曲河流等。

(3) 网状河: 网状河是沿固定心滩流动的多河道河流。河道因心滩和河岸坚固而稳定,这也是辫状河与网状河的主要区别。网状河一般出现在河流的中下游、三角洲平原等。

(4) 顺直河: 顺直河是弯曲率很小,河岸比较稳定的单一河道河流。

(5) 季节性河流: 河道水流的季节性变化而形成的沉积变化很大的河流。

不同的河流类型具有不同的水动力条件和迁移、演化规律,不仅造就出的地貌形态不同,各自形成的沉积物在岩性、粒度、沉积构造及其组合与垂向层序和空间形态与展布等很多方面都存在明显的差异。辫状河、曲流河、网状河的识别对比标志见表 1-3。

表 1-3 不同类型的河流沉积识别标志对比(据于兴河,2002)

特征	辫状河	曲流河	网状河
亚相	心滩(坝)	点沙坝	网状河道
岩性	以砂、砾岩为主,常发育厚层的砾岩和含砾粗砂岩	以砂、泥岩方主,一般砾岩层较薄	以粉砂岩、泥岩为主,砂、砾岩次之
剖面组合	“砂包泥”	“砂泥间互”	“泥包砂”
垂向层序	正韵律结构,细粒沉积薄或缺失	典型的正韵律结构	不明显的正韵律结构

特征	辫状河	曲流河	网状河
沉积构造	发育各种大型槽状、板状交错层理, 常见块状层理, 一般缺乏小型砂纹层理	多种多样, 以下切型板状交错层理为常见标志	以槽状交错层理和水平层理为主
粒度分布 (概率图)	以三段式为主	以二段式为主	以二段式为主
砂体形态	平面上: 单个砂体为低弯度条带状, 河道带砂体为板状或宽条带状; 剖面上: 单砂体和河道带砂体为透镜状	单个砂体为弯曲的条带状; 曲流河复合砂体为平板状	平面上窄条带状并交织、扭结成网状; 剖面上为直立或倾斜的窄而厚的墙状, 相互分隔远离
厚度规模	中厚层状至厚层状, 几米至几十米	中厚层状, 几米至几十米	中层状, 几米至几十米
砂体叠置	多层式垂向叠置	单边或多边式侧向叠置	孤立式

(二) 主要类型河流沉积模式及砂体分布规律

1. 曲流河沉积特征及其沉积模式

在自然界顺直河是不常见的, 其沉积特征与曲流河具有一定的相似性。曲流河不论是现代还是古代都是最常见和最重要的河流类型, 也是目前研究程度最高、最详细的一种河流。艾伦 (Allen, 1964) 根据现代河流发育的地貌特征, 提出了曲流河沉积环境立体模型 (图 1-5)。根据环境和沉积物特征可将曲流河相进一步划分为河床、堤岸、河漫、牛轭湖四个亚相。

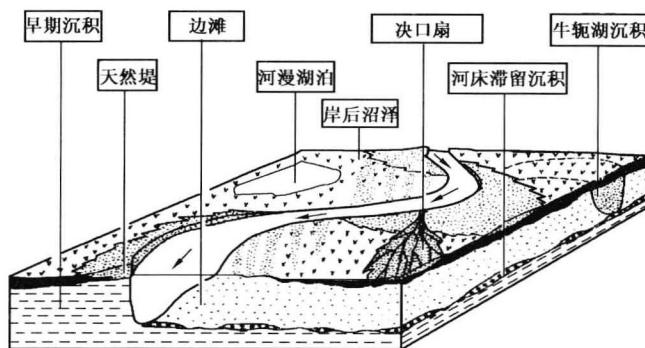


图 1-5 弯曲河流沉积环境模型 (据艾伦, 1964)

2. 辫状河沉积特征及其沉积模式

目前对辫状河形成的机理尚不十分清楚, 但比较统一的认识是辫状河具多河道、河床坡降大、宽而浅, 侧向迁移迅速等特点。按河流的微地貌特征, 沃克和坎特提出了辫状河沉积的立体模型 (图 1-6)。它突出地反映了辫状河发育心滩 (或称为河道沙坝), 边滩沉积不发育, 这是与曲流河环境的重要区别。

心滩的形成与河流的水动力结构有一定关系。因辫状河弯曲度较低, 在短距离内河床近似于顺直河道。在这种河道中, 沿主流线两侧形成两个螺旋式前进的对称环流。这种环流是由表流和底流构成的连续的螺旋形前进的横向环形水流。表流为发散水流, 由中部向两岸流动, 并冲刷侵蚀两岸。底流由两岸向河流中心辐聚, 并携带沉积物在河床中部堆积下来。遇到河流的洪水季节, 这种堆积作用尤为显著, 从而形成心滩。心滩的上游方向较陡, 沉积物较粗,

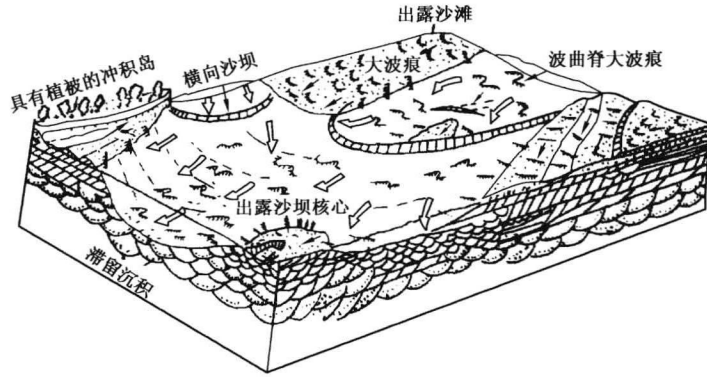


图 1-6 辫状河沉积环境立体模型(据沃克,1979)

并遭受侵蚀作用,而下游方向较平缓,主要发生沉积作用。上游的不断侵蚀和下游的不断沉积,导致了心滩不断向下游迁移。由于沉积物的快速堆积,在低水位时期出露水面,并有植被的生长和发育,形成了相对固定的河心冲积岛(或称为江心洲)。心滩沉积物一般粒度较粗,成分复杂,成熟度低。对称的螺旋形横向环流亦导致心滩发生侧向加积作用。由此而形成的巨波痕、大波痕等各种底形经过不断迁移,可形成各种类型的交错层理,如巨型或大型槽状、板状交错层理,在低水位时期亦发生细粒物质的垂向加积作用。

辫状河除有发育的心滩外,在河道沉积亦发育与曲流河相同的河床滞留沉积,出现在河床底部,以砂砾沉积为主,其上发育心滩。辫状河河道迁移迅速,稳定性差,所以天然堤、决口扇、泛滥平原沉积不发育,而且辫状河废弃河道一般不形成牛轭湖,这也是辫状河与曲流河沉积的重要区别。

(三) 河流沉积与油气的关系

陆相湖盆发育各种类型的河流砂体,空间分布广,规模大。在我国中—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,其探明储量在各类砂体居第二位。如渤海湾盆地新近系以辫状河砂体为主的孤岛、孤东、埕岛、北大港等大中型油田,松辽盆地以泉头组曲流河为主的扶余油田,鄂尔多斯盆地以侏罗系延安组网状河砂体为主的马岭油田等。这是陆相含油气盆地中特有的石油地质规律之一,根本原因在于陆相沉积盆地中河流沉积的储层砂体相对发育兴盛,盆地不同演化期,各个构造部位都可有河流砂体沉积,只是发育程度有所不同而已。

陆相沉积盆地中可形成各种河流砂体类型,但辫状河流砂体最为发育。断陷盆地的横向沉积体系,小型山间盆地、山前盆地,都是辫状河流广为发育的场所。很多这类沉积体系中,往往是辫状河直接与三角洲沉积相邻,不演化成曲流河型。干旱气候下的湖盆蒸发期,也是辫状河盛行之时。当然,在大型纵向沉积体系中和盆地平原化时期,河流近源段也大量属于辫状河型。辫状河砂体在陆相沉积盆地中占有首要的地位。除大型拗陷湖盆纵向沉积体系外,一般很难形成大规模的曲流河体系,所以,一般地说,高弯度曲流河沉积的砂体,在体积上不占重要地位。网状河型的限制性河道沉积,在我国陆相盆地构造活跃期的纵向沉积体系中也已有发现。

河流相沉积砂体是油气储集的良好场所。古河流砂体如果接近油源,可成为油气储集的储集岩。由于河流砂体岩性变化快,其内部储油物性的非均质性较为明显。垂向上以旋回下