

扇三角洲体系精细构成及 低渗油气储层综合评价

——以泌阳凹陷赵凹油田安棚深部储层为例

王振奇 著



中国地质大学出版社

扇三角洲体系精细构成及 低渗油气储层综合评价

——以泌阳凹陷赵凹油田安棚深部储层为例

王振奇 著

中国地质大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

扇三角洲体系精细构成及低渗油气储层综合评价/王振奇著. —武汉:中国地质大学出版社,
2005.12

ISBN 7-5625-2069-0

I. 扇…

II. 王…

III. 扇三角洲体系-精细构成-低渗油气储层-综合评价

IV. P64

扇三角洲体系精细构成及低渗油气储层综合评价

王振奇 著

责任编辑:赵颖弘

技术编辑:阮一飞

责任校对:胡义珍

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路388号)

邮编:430074

电话:(027)87482760

传真:87481537

E-mail:cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

http://www.cugp.cn

开本:787毫米×1092毫米 1/16

字数:192千字 印张:7.625

版次:2005年12月第1版

印次:2005年12月第1次印刷

印刷:中国地质大学出版社印刷厂

印数:1—300册

ISBN 7-5625-2069-0/P·657

定价:20.00元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

目 录

前言	(1)
第一章 扇三角洲及低渗储层评价研究现状	(3)
§ 1.1 国内外有关扇三角洲的理论基础及研究现状	(3)
1.1.1 扇三角洲概念	(3)
1.1.2 扇三角洲类型	(4)
1.1.3 扇三角洲体系构成	(4)
1.1.4 对安棚深部扇三角洲储层研究的启示	(5)
§ 1.2 低渗油气储层的综合评价	(6)
1.2.1 储层非均质模式	(6)
1.2.2 陆相储层精细划分及对比	(7)
1.2.3 低渗油气储层研究	(8)
第二章 研究区基本概况	(10)
§ 2.1 区域地质概况	(10)
§ 2.2 勘探开发简介	(12)
第三章 扇三角洲物理模拟、泌阳凹陷周缘露头调查及其对地下储层研究的启示	(14)
§ 3.1 扇三角洲物理模拟实验及启示	(14)
3.1.1 模拟实验装置及实验条件和方案设计	(14)
3.1.2 实验过程及现象描述	(15)
3.1.3 演化特征及对安棚深部储层研究的启示	(16)
§ 3.2 泌阳凹陷周缘露头调查及启示	(18)
3.2.1 栗园露头扇三角洲沉积特征	(18)
3.2.2 沉积结构要素特征	(24)
3.2.3 对地下储层研究的启示	(27)
第四章 研究区扇三角洲精细构成	(29)
§ 4.1 储层岩石学特征	(29)
4.1.1 碎屑颗粒	(29)
4.1.2 填隙物	(31)
§ 4.2 岩石相分析	(32)
§ 4.3 沉积微相特征研究	(33)
§ 4.4 测井相分析	(36)
4.4.1 测井曲线特征要素	(37)
4.4.2 不同微相典型测井曲线特征	(37)
§ 4.5 地震相特征	(40)
4.5.1 层位标定	(40)

4.5.2 层位对比追踪·····	(42)
4.5.3 地震相特征·····	(42)
4.5.4 地震相的地质解释·····	(43)
第五章 油气储层精细划分和对比 ·····	(48)
§ 5.1 储层层次划分的技术思路和方法·····	(48)
5.1.1 层次划分的技术思路·····	(48)
5.1.2 储层层次划分和对比方法 ·····	(49)
§ 5.2 安棚深部储层层次划分和对比·····	(53)
5.2.1 层次界面的识别和对比·····	(53)
5.2.2 地层等时对比格架的建立及特征·····	(58)
§ 5.3 安棚深部储层沉积相空间分布特征·····	(60)
5.3.1 微相平面展布特征·····	(60)
5.3.2 沉积模式研究·····	(63)
第六章 低渗油气储层综合评价 ·····	(66)
§ 6.1 低渗储层孔隙结构研究·····	(66)
6.1.1 孔隙及喉道·····	(66)
6.1.2 孔隙组合类型·····	(68)
6.1.3 深部低渗储层孔隙结构特征·····	(69)
§ 6.2 影响孔隙结构的地质因素·····	(75)
6.2.1 沉积环境的影响·····	(75)
6.2.2 基准面旋回变化的影响·····	(77)
6.2.3 成岩作用的影响·····	(81)
6.2.4 构造作用的影响·····	(91)
§ 6.3 低渗致密储层分类评价标准的建立·····	(96)
6.3.1 储层孔隙结构评价·····	(96)
6.3.2 储层分类评价标准·····	(96)
§ 6.4 低渗致密油气储层综合评价·····	(98)
6.4.1 储层四性关系研究·····	(98)
6.4.2 研究层段储层综合评价 ·····	(102)
结论 ·····	(110)
参考文献 ·····	(113)

前言

一、选题依据、目的及意义

油气储层一直是油田地质工作者重点研究的对象,不同的勘探开发阶段,油气储层研究的内容和精度要求不一,但油气储层的综合评价不论在哪一个阶段都是必不可少的研究工作之一。目前,中国东部各油田已相继进入开发中后期,高含水甚至特高含水使此阶段油田开发面临诸多问题。要稳定油田的产量,提高开采效益,所面临的主要任务是寻找新的勘探区块或老油田调整挖潜,寻找剩余油的分布,通过层系及开发井网综合调整来提高可采储量的采收率。

安棚深部储层勘探始于1990年,发现了深部储层含油气层系。1999年河南油田根据勘探现状,及时调整了勘探思路,围绕老区富油凹陷为重点探区,开展泌阳凹陷安棚深部储层勘探,取得了突破性进展,目前已进入实质性开发阶段。但纵观安棚深部储层,岩性胶结致密,物性差,油气分布面积小,横向变化大,地质认识程度低。由于缺乏对研究区沉积模式的认识,导致对沉积微相类型、平面展布及其与油层的配置关系认识不清,对砂体类型及平面分布规律缺乏整体认识。弄清沉积体系的精细构成,并对油气储层进行综合评价,已成为下一步开发的当务之急。

不论油藏数字模拟的精度多么高,它始终取决于储层地质模型研究的精确程度,否则只能是“垃圾输入,垃圾输出”。因此,精细的储层描述和储层地质模型研究是油气勘探和开发的根本。而剩余油的分布主要受控于储层砂体展布及砂体内部的非均质性特征,要认清储层砂体展布特征及砂体内部的非均质性特征,开发阶段的沉积体系精细构成特征研究及油气储层精细对比是最基本的,也是最重要的。

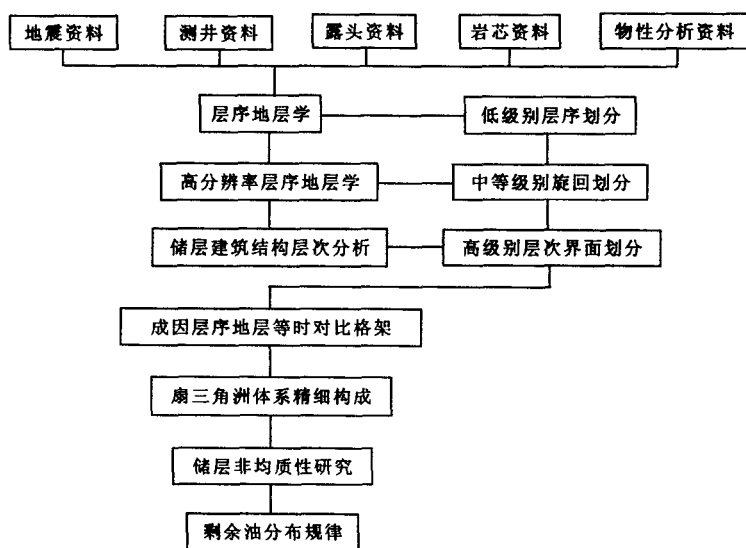
在油田开发阶段,如何针对特定的沉积环境,研究沉积体系的精细构成,开展油气储层的精细对比工作,研究储层的非均质性,寻找剩余油的分布,保持油田的稳产增产,减少投入,增大产出,目前已为地质工作者、油田开发工作者和管理层所共识,且成为当务之急。而目前国内油田地质工作者广泛采用的“旋回对比,分级控制”的小层对比技术,由于在等时对比上存在很大的缺陷,已难于满足油田开发中后期调整及剩余油挖潜的需要;层序地层学由于各级层序本身太大而很难满足开发地质中层序分析的需要;高分辨率层序地层学虽然在地层层序划分上提高了分辨的精度,但仍然存在着诸如层序转换点的确定、局部基准面旋回的对比、旋回层次的划分和命名不统一等需要进一步研究的问题,在某种程度上仍不能满足油田高含水期开发地质的高精度要求;储层构成要素层次分析虽然满足了开发阶段油气储层的精细研究,但在层次界面的划分对比上(特别是低级别层次界面的划分和对比,如一、二、三等层次界面),严格的地层等时对比尚存在一定的缺陷。因此,迫切需要深入研究沉积体系的精细构成,确定一种有效的储层精细对比技术来研究储层的非均质性,寻找剩余油分布规律,解决油田所面临的实际生产问题。

由于中国陆相含油气盆地的类型复杂多样,不同类型的含油气盆地其沉积体系及地层的充填样式和格架存在本质的差异。正是有鉴于此,本书以断陷型盆地——南襄盆地泌阳凹陷双河油田扇三角洲沉积体系为重点研究对象,希望通过对断陷盆地扇三角洲沉积体系和地层

堆积样式的精细解剖及层序地层学、高分辨率层序地层学、储层构成要素层次分析等原理和方法的研究,将层序地层学、高分辨率层序地层学、储层构成要素层次分析等方法有机结合起来,相互补充和完善,以期形成一套行之有效的,适用于油田不同勘探和开发阶段的陆相断陷盆地扇三角洲沉积体系油气储层精细对比技术。开展扇三角洲沉积体系油气储层非均质性及剩余油分布规律的研究,并针对工区特点及存在的诸多问题,从沉积相平面展布特征、成岩作用类型及其对孔隙结构的影响等方面开展工作,对油气储层进行精细描述和综合评价,以期对该区的下一步工作和产能建设提供指导。

二、研究技术思路

本课题的主攻方向为扇三角洲体系精细构成、油气储层的精细对比、低渗致密油气储层的综合评价。希望以断陷型盆地——南襄盆地扇三角洲沉积体系为重点解剖对象,从扇三角洲沉积体系的系统演化出发,系统研究不同沉积背景下的扇三角洲沉积体系构成特征,将层序地层学、高分辨率层序地层学、储层构成要素层次分析等方法有机结合起来,相互补充和完善,以期形成一套行之有效的,适用于油田不同勘探和开发阶段的陆相断陷盆地油气储层精细对比技术。所遵循的技术路线为:依据层序地层学、高分辨率层序地层学、储层构成要素层次分析的基本原理和方法对油气储层进行精细划分,建立高分辨率层序地层学地层旋回划分的层次性,及其与层序地层学层序划分、构成要素层次分析层次界面之间的对应及级次关系。总的指导思想是:首先系统研究扇三角洲沉积体系的精细构成特征,在此基础上根据露头资料、地震资料、岩芯资料、测井资料和层序地层学原理划分对比“低级别”层序(如层序、准层序);其次是在所划分的“低级别”层序内,根据高分辨率层序地层学原理划分“中等级别”层序(如中期旋回、短期旋回);最后是在所划分的“中等级别”层序内,依据储层构成要素层次分析的基本原理和方法划分“高级别”的层次界面(如五、六级界面等),进而研究油气储层的非均质性特征和剩余油分布规律。工作流程如图 0-1 所示。



0-1 储层精细对比及非均质性研究流程图

第一章 扇三角洲及低渗储层评价研究现状

储层非均质性一直是制约油气储层综合评价的关键要素,而非均质性在宏观上受沉积环境、成岩作用、构造作用,微观上受储层孔隙结构的综合控制。因此,油气储层综合评价的目的和任务就是研究这些宏观和微观因素的特征及其对储层非均质性的影响,通过对这些影响因素的研究和评价来达到油气储层的综合评价。

§ 1.1 国内外有关扇三角洲的理论基础及研究现状

扇三角洲概念自 1965 年由 Holmes 提出后,其原始定义已为大多数地质学家所接受并进行了广泛研究。扇三角洲的体系构成及沉积特征业已研究得较为透彻且已形成共识,即扇三角洲它着重强调冲积扇的入水。虽然后来有些地质工作者附加了一些条文,但这主要是因为他们将扇三角洲的概念与扇形三角洲的概念混为一谈。因此,有必要详细论述扇三角洲的理论基础及研究现状。

1.1.1 扇三角洲概念

扇三角洲系指从邻近高地推进到稳定水体的冲积扇(稳定水体一般指湖泊或海洋)。它实质上是一个地貌学术语,包括自然界中所遇到的一系列冲积扇类型。

扇三角洲这一概念提出和被沉积学界应用之后,国内外学者都发表了不同意见。一些学者认为扇三角洲并不具有普通三角洲的特征,如斜坡转折和入水后相的变化,因此主张用海岸扇或湖岸扇(Rust 和 Koster 等,1979,1984)。除此之外,在应用中也存在着与类似环境如何区分的问题,如潮湿型冲积扇、“水下扇”和辫状三角洲等。

Nemec 和 Stell(1988)认为,扇三角洲一词适用于所有冲积扇,只要这一扇与海或湖有活动接触关系(即有沉积物输入),不管它是砾质还是砂质,是小型还是大型,是以河流为主还是以块体流为主,是与活动的构造边缘接触还是与被动高地接触。换言之,在 Holmes(1965)的扇三角洲定义中没有例外或更“有代表性”的含义。

按照 Nemec 和 Stell 的观点,扇三角洲可以定义为“由洪积扇(alluvial fan)体系沉积和提供的沿岸沉积锥形体。这个沉积锥形体主要或全部沉积于水下,形成于活动扇和稳定水体的交界面上”。扇三角洲代表了具有大量沉积物载荷的洪积扇体系和海洋(或湖泊)过程的相互作用,这一锥形体以扇沉积为骨架,边界呈月牙形外突。扇三角洲复合体是由单个或多个扇形成的扇三角洲叶状体(fan delta lobes)垂向叠加或相互叠置而成。

我国于 20 世纪 70 年代后期开始进行扇三角洲的研究,李思田(1980)、裘怿楠(1982)、顾家裕(1984)、孙永传(1980,1991)、吴崇筠(1992)、薛良清(1991)、王寿庆(1993)、解习农(1993)等对中国新生代含油气盆地扇三角洲构成及类型进行了较为系统分析。研究认为,扇三角洲是一种具独立特色的沉积体系,其主体部分在水下,在湖滨形成朵体,并能明确区分出扇三角洲平原、扇三角洲前缘和前扇三角洲湖泥 3 个组成部分,具有十分明确的三角洲结构。

1.1.2 扇三角洲类型

长期以来扇三角洲概念上的争执导致了其类型划分存在严重的分歧,到目前为止已有许多不同的术语来描述扇三角洲及相关体系,由于所用名称不同,各类扇三角洲所指的内容和范围也有所不同。

Nemec 和 Stell 关于扇三角洲的分类是在他们对有关文献的综述和评论基础上划分的,在这一分类体系中,他们使用了扇三角洲、扇三角洲复合体、山谷冰川扇三角洲、辫状三角洲、辫状平原三角洲、扇三角洲状火山锥(裙)等术语。

McPherson(1988)等关于扇三角洲的分类基本采用了 Holmes 的原始定义,认为扇三角洲是由粗粒三角洲从邻近高地进积到稳定水体形成的,但由于受 McGowen(1970)研究结果的影响,所以在其分类中,三角洲首先被分为粗粒和细粒。粗粒三角洲可进一步划分为扇三角洲和辫状三角洲,而辫状三角洲则被定义为粗粒(砾质)三角洲的一种,它是由辫状河、辫状冲积平原体系进积到稳定水体形成的。

Orton G J(1988)在研究了北威尔士中奥陶统的辫状平原和扇三角洲露头后发现了 4 种扇三角洲类型:①河控扇三角洲;②波浪改造的河流扇三角洲;③浪控扇三角洲;④波浪改造辫状平原三角洲。通过对河流、潮汐、波浪影响,粒度变化,坡降,流域盆地及控制河流形态因素,辫状平原发育特征,冲积扇发育特征的影响等各方面控制条件综合研究,Orton G J(1988)提出了一个三角洲的分类方案,这是一个综合性的分类谱系图。

Ethridge 和 Wescott(1980)主要依据扇三角洲前缘特征来划分扇三角洲类型。由于扇三角洲前缘的几何形态和相组合与盆地边缘的环境条件变化和构造背景密切相关,因此其扇三角洲分类方案也受盆地边缘构造的影响。根据盆地边缘构造梯度的变化可以形成一个扇三角洲谱系,从低梯度的陆架型扇三角洲过渡到陆坡型,最后到梯度最陡的吉尔伯特型扇三角洲。

其他有关扇三角洲的分类还有许多,如裘怿楠(1982)提出入湖三角洲存在两个端点类型,即扇三角洲和鸟足状三角洲,其他三角洲皆为这两者之间的过渡类型;薛良清、Galloway(1991)提出了一个三角洲的分类,其分类方案与 Orton G J 方案相似;吴崇筠等(1992)将扇三角洲划分为靠山型和靠扇型;王寿庆(1993)将扇三角洲划分为 3 种类型,即牙买加(Yallahs)型、阿拉斯加(Copper Creek)型和断陷湖盆型,其中断陷湖盆型与 Gilbert 型相当;李思田(1996)、解习农(1993,1996)、焦养泉等(1998)将扇三角洲划分为入湖扇三角洲(进一步细分为浅湖扇三角洲、深湖扇三角洲)和入海扇三角洲,并根据沉积物供给速率和可容空间增长速率控制,将扇三角洲划分为退积型、加积型和前积型等;根据盆缘断裂产状等控制因素将扇三角洲划分为陡坡型和缓坡型。

1.1.3 扇三角洲体系构成

国内外学者通过大量、充分的实例研究,对扇三角洲的体系构成已形成了一个较为成熟的认识(Pollard 等,1982;Scholle 等,1982;孙永传等,1980;冯增昭等,1993;纪友亮等,1998;钟广发等,1995;谢锐杰等,1996)。扇三角洲是直接进入到稳定水体的冲积扇,包括陆上和水下两部分,其陆上和水下部分既具有某些与冲积扇和三角洲相似的特征,又具有其独特的特征。作为一种特殊的三角洲类型,它具有明确的三角洲结构。因此,其沉积体系内部构成包括扇三角洲平原相组合、扇三角洲前缘相组合和前扇三角洲相组合。

扇三角洲平原相组合为扇三角洲的水上部分,结构特征与沉积构造表现为冲积扇环境,可进一步细分为近端辫状水道微相、远端辫状水道微相、泥石流微相、扇三角洲平原细粒沉积微相(包括水道间和扇三角洲朵体间泥岩、粉砂岩沉积)及沼泽微相。在扇三角洲平原组合中,重力流(泥石流和泥流)及辫状分流河道砂体是最重要的两种成因相,是扇三角洲的骨架砂体。分流间湾及沼泽等成因相是次要构成成分。

扇三角洲前缘相组合由水下水道微相、浅水重力流沉积微相和河口坝及漫流沉积微相组成。在扇三角洲前缘相组合中,分流河口坝、扇三角洲前缘泥和水下重力流沉积是比较重要的成分。它们在垂向上构成了特征的向上变粗的反韵律。

前扇三角洲或滨浅湖相组合主要由泥岩或粉砂质泥岩组成,具水平纹理,可见生物扰动构造和潜穴。它通常位于三角洲层序的最底部,主要由开阔湖泊沉积及发育于其中的滑塌型水下泥石流及浊流沉积物 3 种成因相构成。

一个完整的扇三角洲演化序列包括进积、加积和退积 3 个阶段。进积型扇三角洲总体显示了一种湖泊逐渐萎缩,而扇三角洲逐渐向盆地方向进积的沉积过程。在垂向上总体表现为向上变粗,或者是由多个扇三角洲体系单元构成的一种向上逐渐发育壮大的垂向序列。进积于浅水湖盆的扇三角洲序列具有以下特点:①前扇三角洲和滨浅湖沉积较薄;②发育水下水道型扇三角洲;③进积式序列厚度较小;④进积式序列含砂率较高。进积于深水湖盆的扇三角洲序列具有以下特点:①前扇三角洲和滨浅湖沉积较厚;②发育水下水道—河口坝复合型扇三角洲;③进积式序列厚度较大,且变形层理较发育;④该序列中含砂率明显低于进积到浅水湖盆的扇三角洲序列。

加积扇三角洲序列代表沉降速率与沉积速率接近的情况下扇三角洲朵体垂向不断叠覆的过程。加积扇三角洲序列反映最大扇三角洲朵体沉积时期,主要由近端辫状水道和远端辫状水道沉积组成广泛的扇三角洲平原。

退积扇三角洲序列代表沉降速率大于沉积速率的背景下扇三角洲朵体不断向盆缘后退的过程,总体显示了一种湖泊逐渐扩张,而沉积体系渐渐向盆地边缘退积的沉积过程。在垂向上总体表现为向上变细,或者是由多个扇三角洲体系单元构成的一种逐渐向上萎缩的垂向序列。其具有如下特点:①每个扇三角洲体系单元仍以向上变细序列为主;②自下而上受湖水波浪改造形成的河口坝沉积增多;③从下而上砂体厚度变薄,层数明显减少。

1.1.4 对安棚深部扇三角洲储层研究的启示

通过上述关于扇三角洲类型及扇三角洲体系构成问题的介绍,可以得出以下看法:

- (1)关于扇三角洲的定义至今仍未有统一;
 - (2)对于扇三角洲原始定义(Holmes, 1965)的理解各人仍有不同的看法;
 - (3)扇三角洲在沉积特征上与辫状三角洲或辫状平原三角洲的区分相当困难;
 - (4)扇三角洲可以是粗粒的,也可以是细粒的,但应当与冲积扇有关,因而,可以纳入三角洲分类系统统一划分;
 - (5)扇三角洲类型是多种多样的,断陷湖盆扇三角洲并不都是 Gilbert 型的;
 - (6)各类三角洲之间都有一定的过渡类型,应当综合各方面的沉积特征进行综合描述。
- 根据大量扇三角洲文献调查结果,可以认为:

- (1)安棚深部储层扇三角洲是以河控扇三角洲为特征,这也是湖泊扇三角洲的基本特征。

(2) 安棚深部储层扇三角洲有其发生、发育和衰亡的过程,各阶段扇三角洲形态有所变化,正像有些扇三角洲最初是由沉积锥或斜坡裙发展而来的一样,到最后阶段,扇三角洲的坡降也会减少。

(3) 安棚深部储层扇三角洲存在一些河口坝、重力流沉积特征,这将为进一步确认安棚扇三角洲的类型提供依据,这些特征有别于典型的 Gilbert 三角洲。

(4) 不同的扇三角洲其沉积的旋回性、周期性,砂体的规模和叠置关系,以及砂体的大小形态各不相同,由此影响到扇三角洲内部的各级层次储层非均质特征。

§ 1.2 低渗油气储层的综合评价

中国东部各油田已相继进入高含水甚至特高含水开发阶段,油田开发面临系列问题,要解决的主要任务是寻找新的探区,增加油气储量;调整挖潜,寻找剩余油的分布。剩余油分布受控于砂体展布及砂体内部的非均质性特征等诸多因素,而要认清砂体展布及砂体内部的非均质性特征,研究剩余油的分布规律,保持油田的稳产增产,开发阶段的油气储层精细划分和对比是最基础,也是最重要的。

1.2.1 储层非均质模式

1. 陆相储层非均质性特征及影响因素

袁烽楠等(1997)通过对中国中生代陆相含油气盆地研究认为:以湖泊为沉积中心的陆相沉积盆地,其沉积的碎屑岩油气储层非均质性较海相同类储层要严重而且复杂得多。

决定陆相湖盆碎屑岩储层非均质性总体面貌的关键环境因素主要有:①四周环山或高地作为碎屑物源供应区,以湖泊为沉积中心,呈多物源、多沉积体系向湖泊汇聚;②湖盆规模较小,决定了碎屑物源区与沉积中心间的短距离、高坡降的古地理基本面貌;③湖泊水体规模小、能量小,不存在潮汐作用,波浪、湖流能量相对较弱,河流作为碎屑物的主要携带营力,在湖盆碎屑物沉积中,起到了特殊重要的作用;④高频率的潮进潮退,造成了湖盆沉积物的多级次旋回。

正是由于陆相湖盆这种特殊的环境因素,导致陆相碎屑岩油气储层非均质性及其复杂性,具有以下基本特征:①矿物、结构成熟度低,孔隙结构复杂,水驱油效率低;②多样化的层内非均质性,而以不利于水驱油的正韵律占优势;③砂体规模小,连续性差;④双重渗透率方向性,加剧了平面非均质性;⑤多相带组合成一套储层层系,构成了湖盆碎屑岩储层严重的层间非均质性。

2. 储层非均质性层次划分

储层分布的非均质性具有其本身的结构特征。不同学者在研究过程中,根据这种结构特征划分出了不同的储层非均质模式(吴元燕等,1996)。Pettijohn 等(1973)以河流砂体为例将储层非均质性划分为 5 种模式,即油藏规模($1 \sim 1\,000\text{m} \times 100\text{m}$)、层规模($100\text{m} \times 10\text{m}$)、砂体规模($1 \sim 10\text{m}^2$)、层理规模($10 \sim 100\text{mm}^2$)、孔隙规模($10 \sim 100\mu\text{m}^2$)。在此分类基础上,Weber (1986)将储层非均质性划分为 7 类,即封闭、半封闭和未封闭断层、成因单元边界、成因单元内部渗透带、成因单元内部隔层、交错层、微观非均质性结构类型和矿物学特征、裂缝封闭开启。

Haldorsen(1983)将储层非均质性划分为4个级别,即微观非均质性(孔隙和砂粒规模)、宏观非均质性(岩芯规模)、大型非均质性(模拟网络规模)和巨型非均质性(地层或区域规模)。P. F. Worthington(1989)提出了一个以尺度为函数的储层非均质性模式划分方案,即孔隙尺度、岩芯塞尺度、层系级尺度、层组尺度和测井尺度。Van De Graaff(1989)将储层非均质性分为油田范围(1~10km)、油藏范围(0.1~1km)、油藏至成因砂体范围(0.01~0.5km)及小范围(1cm~1m)。裘怿楠(1987,1989)根据我国陆相油气储层特征,结合长期的生产实践,将储层非均质性划分为微观、层内、平面、层间4个级别。

1.2.2 陆相储层精细划分及对比

1. “旋回对比,分级控制”地层对比技术

国内油田地质工作者广泛采用的“旋回对比,分级控制”的小层对比技术,在油田开发初期都收到了很好的效果(裘怿楠等,1994;吴元燕等,1996),然而在油田开发中后期,油田地质静态与动态资料间的冲突日益加深,说明依据这一方法所建立的储层格架与油田开发动态间具有一定的矛盾,且这一方法的精度也难于满足油田开发中后期调整及剩余油挖潜的需要,而造成这一结果的主要原因就在于这一对比方法忽略了储层的沉积过程,只是依据旋回及测井曲线的相似程度进行地层的对比,而没有从最根本的沉积过程响应来解决沉积地层的空间展布,导致地层对比结果往往存在穿时现象。

2. “层序地层学”地层对比技术

自从Vail(1977)等的地震地层学和层序地层学观点引入到国内后,国内学者针对我国的陆相沉积地层开展了广泛的研究(钱奕中等,1994;顾家裕等,1997)。纵观目前层序地层学的研究思想,大体上可归结为海相方面、陆相方面和高分辨率层序地层学3个方面。海相方面以国外学者为主,根据其层序划分方法将众多研究者分为三大学派:①以EXXON公司为代表的Vail学派(徐怀大等译,1993;张宏逵等译,1991),以地表不整合或与此不整合可以对比的整合面为层序边界;②以Galloway(1989)为代表的,采用最大洪泛面作为层序边界;③Johnsson(1985)所强调的以地表不整合面或海进冲刷不整合面为界的海进—海退旋回沉积层序。陆相层序地层学研究以国内学者为主,顾家裕(1997)将其分为“类海相”学派(徐怀大等,1993;魏魁生等,1996)、“单一”派、“构造”派(李思田等,1992,1996;解习农等,1996)、综合学派(纪友亮等,1996,1997)及湖相T-R旋回派(郭建华等,1998)。

上述各学派其层序地层学的研究手段和方法有较大差异,但都强调了地层的等时对比原则。实践证明,层序地层学方法对于解决石油勘探中的地质问题,确实有它独特的优越性(Posamentier,1992,1993),但由于这种经典的层序地层学在地层划分和对比上主要以不整合面、体系域和海泛面为层次界面,与其他地层学最大的不同在于不单独对地层进行逐层研究,而重点对沉积体系域做三维调查。因此,它在层序的划分上缺乏时间或物理上的尺度(Friedman等,2000),致使各级层序本身太大而很难满足开发地质中层序细分的需要。石油开发地质学家需要更精确的技术提高层序地层分析的分辨率和储层预测的准确性。

3. “高分辨率层序地层学”地层对比技术

高分辨率层序地层学以科罗拉多矿业学院Cross T A学派为主(1988,1991,1995,1996)。它以沉积过程—响应动力学为理论基础,通过对沉积过程中基准面的变化和沉积物供给特征的

分析,利用 A/S(Accommodation/Sediment Supply)比和基准面旋回进行地层划分和对比,预测砂体的空间展布及其非均质性特性。自该理论引入国内后(邓宏文,1995,1996,1997),受到了石油地质工作者的重视,开展了多方面的研究工作,应用资料涉及露头、地震、岩芯和测井,应用领域涵盖了石油勘探与开发(郑荣才等,2000;王洪亮等,1997;杜彦春等,1999)。高分辨率层序地层学虽然在地层层序划分和对比上提高了分辨精度,但由于它是在相控基础上进行的地层划分和对比,最小层次的短期旋回并不代表垂向上单一的沉积环境(或成因砂体)变化,而是由若干呈渐变的微相(或成因砂体)组成,因此,其分辨率在某种程度上仍不能满足油田高含水后期开发地质的高精度要求。

4. “构成要素”地层对比技术

储层构成要素分析法由 Miall(1985)提出。该方法将储层砂体划分为一系列具有特定成因、几何形态及内部非均质性的构成要素,结合结构要素的相互匹配及接触关系,进行油气储层的精细划分,研究油气储层内部的非均质特性。张昌民等(1992)将砂体构成要素分析与层次分析系统有机结合,在储层精细划分及非均质性研究等方面进行了许多有益探索。该方法虽然满足了开发阶段油气储层的精细研究,但在层次的划分对比上,特别是低级别层次的划分和对比,如一、二、三等层次,尚存在一定的缺陷。

综合考虑以上几种油气储层对比方法,要么在地层划分和对比的精度上存在不足,要么在地层的等时对比上存在缺憾,因此,迫切需要深入研究沉积体系的精细构成,确定一种有效的储层精细划分和对比技术来解决油田所面临的实际生产问题。

1.2.3 低渗油气储层研究

低渗透油气藏越来越成为世界油气勘探和开发的重要领域。近 30 年来,伴随着我国油气勘探和开发事业的发展,对低渗砂岩储层的研究也日益深入。低渗油气储层只是一个相对概念,随着油田开发技术水平的提高,低渗砂岩储层的划分界限也在不断演化。20 世纪 80 年代以前,地质工作者一般以渗透率 $\leq 100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 为界,目前,我国石油界基本以储层渗透率 $\leq 50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 为判定低渗砂岩储层的标准,当渗透率 $< 10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 时,我们称之为特低渗油气储层。

袁烽楠(1998)、杨俊杰(1992)、李道品(1997)、王志章(1999)等对我国陆相低渗砂岩储层进行了大量研究,认为陆相低渗砂岩储层具有陆相碎屑岩储层的一些基本沉积特征。近物源,结构和成分成熟度低,相带变化快等特点都对低渗储层的形成起着积极的作用。同时,由于成岩作用的深刻影响,各种环境沉积的砂岩都有条件可能形成低渗储层,即沉积环境是低渗储层形成的先决条件,而成岩作用则是低渗储层形成必不可少的后天条件。

就沉积环境而言,两种沉积环境是形成低渗砂岩储层的先天条件:一是近物源环境,由于分选极差而形成;二是远物源环境,因沉积碎屑物粒度很细而成。除此之外,成岩作用的改造则是形成低渗储层的重要因素。因此,虽说低渗砂岩储层在各种沉积环境中都有发现,但仍以河流—三角洲相的储层占主导地位。

陆相砂岩储层的岩石粒度分布范围较广,从砾岩到粉砂岩皆有,但总体以较细粒级砂岩为主,粉砂岩和细砂岩约占 80% 左右。胶结物含量高,总体体现成岩作用在低渗砂岩的形成过程中起着重要作用。低渗砂岩以粒间孔为主,原生和次生粒间孔皆有发育,但以后者占重要地位,微裂隙和晶间孔在低渗砂岩储层中也有相当程度的发育;微孔相对较多是其重要特征之

一,砂岩喉道偏细是形成低渗储层的根本原因。低渗砂岩储层由于岩性相对致密,脆性相对较大,因此往往伴有构造裂缝和成岩裂缝的发育,层控作用明显。

正是因为陆相低渗砂岩储层具有陆相碎屑岩储层的基本沉积特征,在岩石结构、成岩作用和孔隙结构等方面与陆相碎屑岩储层既有共性又有个性,使得陆相低渗砂岩油气储层的综合评价在方法和技术上与陆相碎屑岩储层即相似又有所区别。

第二章 研究区基本概况

§ 2.1 区域地质概况

泌阳凹陷位于河南省南部的唐河县与泌阳县之间,是南襄盆地中的一个次级凹陷,面积仅 1 000km²,是我国东部一个新生代富含油气的小型断陷^①。凹陷的形成主要受北西向和北东向两条边界大断裂的控制,深凹陷位于东南部边界断裂的交汇处,基底埋深最大可达 8 000m 以上,向凹陷北部基底逐渐抬高,是一个南深北浅的箕状扇形凹陷。凹陷构造格局,大体可划分 3 个带:南部陡坡带、中部深凹带和北部斜坡带(图 2-1)。这一基本构造格局控制着盆地的古地貌特征和沉积相的展布。盆地的新生代特别是下第三系,就是在这—构造格局的演化形成过程中沉积的。下第三系表现为红粗—黑细—红粗完整的一个沉积旋回,正反映了断陷湖盆发生、发展到消亡的全过程。据钻井不完全揭示,该区发育的地层至下而上依次为上白垩统、下第三系玉皇顶组、大仓房组、核桃园组(细分为核三段、核二段、核一段)、廖庄组、上第三系上寺组及第四系平原组。

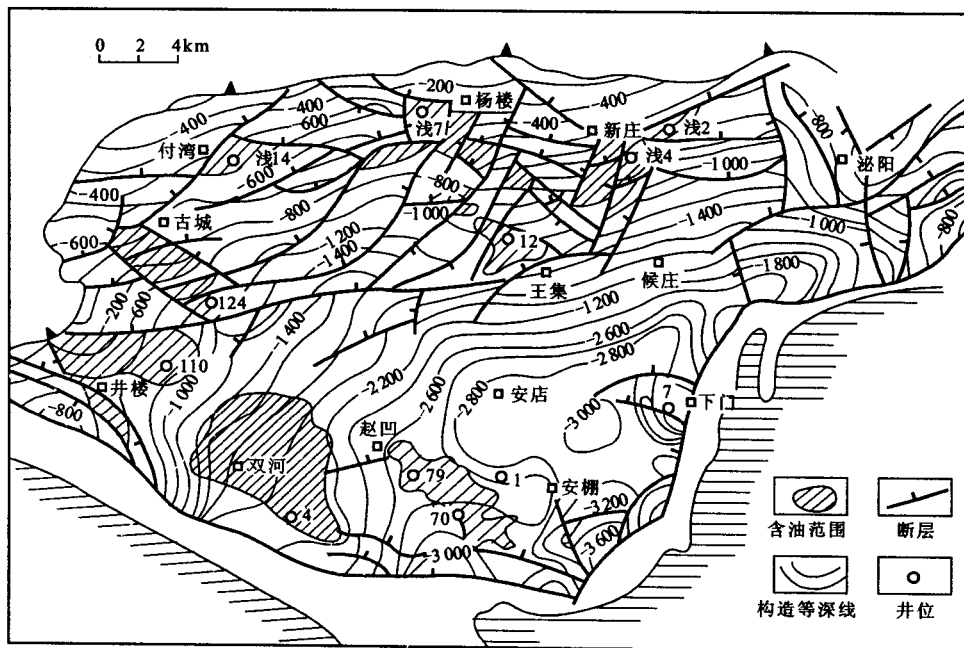


图 2-1 泌阳凹陷赵凹油田安棚区构造位置图

① 河南油田石油地质志编写组,1992。

从膏盐韵律的出现及孢粉学资料说明早第三纪古气候条件总体上以亚热带的干旱—半干旱气候为主,在主要生储盖层段核桃园组沉积阶段间有半潮湿气候,相应于湖盆水进期(胡受权,1996)。

沉积物源可分南北两大体系。南部物源体系来自古桐柏山脉,核桃园组沉积时,至少有8处大小不等的水系以近源陡坡降山地河流入湖,以平氏方向为主物源,形成一系列裙边状扇三角洲砾质粗碎屑体系,不同组段有一定的继承性。北部物源体系来自古伏牛山脉和社旗古隆起,岩矿及岩相分布可见有4处物源,在缓坡背景下形成一系列近源和远源的河流—三角洲体系。碎屑物以含砾砂岩和砂岩为主。

赵凹油田位于河南省桐柏县安棚乡境内,安棚深部储层(埋深大于2 800m)位于赵凹油田安棚区,是泌阳凹陷中的一个鼻状构造(图2-1)。该深部储层是凹陷中的一个主要隆起,其东部是深凹区,西部为郑老庄向斜,长约7km,宽约2.5km,构造面积约17.5km²。构造轴向为NW—SE,自上而下顺时针方向偏转,并向东南方向倾没。长轴长度大约4.8km,地层从南东向北西方向逐渐抬升。隆起幅度较大(100~150m)。从上到下,构造幅度增加,两翼地层倾角变陡,无断层发育。

核三段沉积时期,气候相对潮湿,边界断层活动强烈正处于泌阳湖盆扩张阶段。在大仓房组上部盐湖沉积后,湖盆不断扩大,水体不断加深,在凹陷中心堆积了厚达1 500m的深灰色泥岩、页岩和薄层粉细砂岩,成为泌阳凹陷的主要生油岩系,分布面积约占凹陷总面积一半。湖盆陡缓两侧边缘则发育各类扇三角洲和河流—三角洲,碎屑岩砂砾岩体进积入较深湖区,与生油层间互沉积,形成了凹陷中最有利的生储盖组合。

核三段沉积时,东南侧边界断裂活动强烈,边界断层倾角50°~65°,最大可达70°,形成一个陡峭的滨岸带,估计当时古坡降大于50m/km,物源山区至沉积中心仅10余公里。在这样的古地理背景下,大量粗碎屑物由河流或碎屑流搬运,在山口形成冲积扇后很快进入湖泊,以扇三角洲为主体沉积于浅湖和半深湖区(图2-2)。

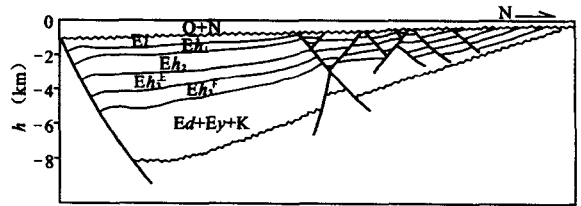


图2-2 泌阳凹陷南北向构造横剖面图

泌阳凹陷储集层为一套以砾状砂岩、含砾砂岩为主的混杂砂砾岩复合体,属于典型的湖盆陡坡型水下扇三角洲沉积。由于沉积盆地面积小,变化大,近物源,流程短,坡度陡,沉积快,湖水进退频繁,因而形成了一套沉积旋回复杂、韵律多变、厚油层发育、层内夹层发育、物性变化大、非均质十分严重的砂砾岩体。沉积物分选差,砾石一般小于10cm,最大可在20cm以上,结构成熟度和矿物成熟度较低。岩石矿物成分以石英为主,长石、岩屑次之,胶结物以泥质为主,成分主要为高岭石、伊利石、蒙脱石、伊/蒙混层、绿泥石等。

扇三角洲沉积模式如图2-3所示,发育的典型相带有扇三角洲平原亚相、扇三角洲前缘亚相和前扇三角洲亚相。

扇三角洲平原亚相为扇三角洲的水上部分,其沉积特征表现为冲积环境,基本上是阵发性洪峰卸载条件下的碎屑流和辫状河沉积。沉积物由砂岩、砾状砂岩和砾岩为主的粗碎屑组成。水上分流河道砂体与水下分流河道砂体之间的过渡关系明显。双河扇三角洲平原相分布较

窄,向湖方向很快过渡到水下部分。

扇三角洲前缘亚相是扇三角洲的主体部分,分布范围最大,处于水下,可进一步划分出水下分流河道微相、河道间微相、河口坝微相、前缘席状砂微相。

水下分流河道微相中,分流河道砂岩极发育,所占比例高,构成微相的格架部分。表现为向上变细的河道砂岩层序的多次叠置,其间夹有较少的河道间泥质、粉砂质岩层。河道间沉积的泥岩具有两类,一是浅灰,另一是深灰,说明双河扇三角洲前缘亚相位于浅水和较深水交替发育区。

河口坝和前缘席状砂与水下分流河道砂体有明显区别,主要由砂岩和含砾砂岩组成。

扇三角洲前缘主要是悬移质进入较深水中的静水沉积物,岩性主要为深灰色泥岩夹泥质粉砂岩和碳酸盐岩薄互层。

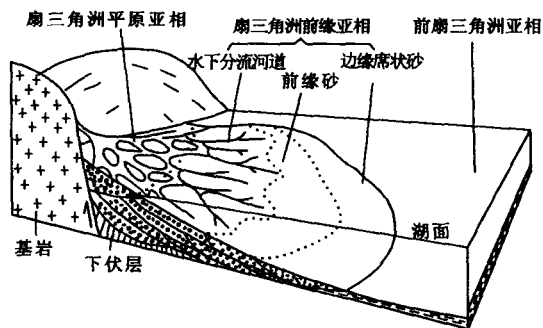


图 2-3 泌阳凹陷核三段扇三角洲沉积模式图

§ 2.2 勘探开发简介

安棚深部储层于 1990 年开始勘探,部署钻探了泌 185 井、泌 195 井,1991 年 10 月泌 185 井试获工业油流,发现了深部储层含油气层系,层位为下第三系核桃园组核三下段Ⅶ—Ⅰ区油组,油气藏埋深大于 2 800m,由此正式进入深部储层勘探第一阶段。自 1992 年至 1994 年相继部署钻探了泌 212 井、泌 213 井、泌 216 井、泌 195² 井、泌 246 井,累计完成探井 7 口,进尺 25 539.83m,试油 6 口 39 层,有 10 层经试油或措施改造后获得工业油气流。1995 年经储量计算研究,上报国家储委审批的安棚地区深部储层探明储量为:新增含油气面积 3.8km²,石油地质储量 198×10⁷t(油当量)。1999 年河南油田根据勘探现状,及时调整了勘探思路,围绕老区富油凹陷为重点探区,开展泌阳凹陷安棚深部储层勘探,部署钻探了泌 252 井,目前泌 252 井第二试油层(井段 3 227.9~3 245.5m,厚度 12.1m/3 层)经压裂改造已试获日产油 99.4m³、天然气 15 700m³ 的高产工业油气流,从而使安棚深部储层勘探进入第二阶段,并取得了突破性进展,展示了良好的勘探前景。安棚深部储层油气藏类型主要为砂岩(及侧缘)上倾尖灭油藏,主要受沉积相带和构造背景控制,在剖面上呈阶梯状(或叠瓦状)展布,平面上呈椭圆形展布,且主要分布于鼻状构造的轴部。

根据试油的原油物性、高压物性 PVT 等资料分析研究,其原油从浅到深流体性质为正常原油、挥发性原油、凝析气。一般认为埋深在 2 850m 以上以正常原油为主,2 850~3 200m 以挥发性原油为主,在 3 200m 以下以凝析油气藏为主。安棚深部储层油层几乎均产天然气,产量大小不等,日产量最高 2.2×10⁴m³,最小 100m³。天然气中甲烷含量 70%~92%,C₂⁺ 含量为 7%~21%,C₁/C₁₋₅ 为 0.74~0.94,反映出安棚深部储层天然气具有较高的成熟度,天然气类型主要为热成油型气和凝析气。该研究工区面积 42km²,开发计算石油地质储量 3.30×10⁶t,溶解气地质储量 4.02×10⁸m³,天然气地质储量 1.004×10⁹m³。深部储层岩性胶结致密,物性差,油气分布面积小,油井产量低,开发难度大。