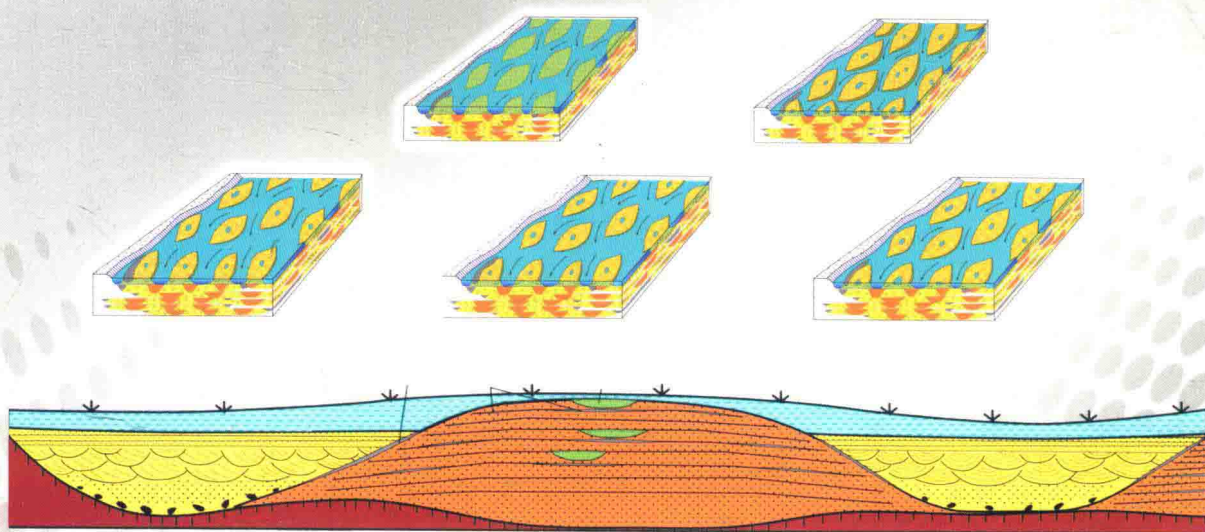


准噶尔盆地油气勘探开发系列丛书

风城油田侏罗系齐古组辫状河储层 构型研究及开发应用

RESERVOIR ARCHITECTURE STUDY OF BRAIDED RIVER OF QIGU FORMATION OF JURASSIC IN FENGCHENG OILFIELD AND ITS APPLICATION IN DEVELOPMENT

霍 进 钱根葆 杨 智 等著



石油工业出版社

气勘探开发系列丛书

风城油田侏罗系齐古组辫状河储层 构型研究及开发应用

霍 进 钱根葆 杨 智 等著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书针对风城油田侏罗系齐古组辫状河储层的沉积特点,对储层构型的基本理论、辫状河的构型模式、表征方法、构型建模、渗流屏障及渗流差异以及构型研究在开发中的应用进行了详细论述。储层构型是储层沉积学的一个新兴学科,它属于沉积学中的一个重要分支,即应用沉积学的范畴。储层构型研究是对传统沉积学和储层地质学的深化及细化研究,对开发中后期的油田剩余油挖潜及水平井蒸汽驱(SAGD)开发均具有一定的指导意义。

本书可供从事储层构型研究及开发地质综合研究的科研人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

风城油田侏罗系齐古组辫状河储层构型研究及开发应用/霍进等著. —北京:石油工业出版社, 2017. 12

(准噶尔盆地油气勘探开发系列丛书)

ISBN 978-7-5183-2424-8

I. 风… II. ①霍… III. 准噶尔盆地—油气—储层—研究 IV. ①P618. 130. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 319628 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: www.petropub.com

编辑部: (010) 64523583 图书营销中心: (010) 64523633

经 销: 全国新华书店

印 刷: 北京中石油彩色印刷有限责任公司

2017 年 12 月第 1 版 2017 年 12 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 14.25

字数: 340 千字

定价: 120.00 元

(如出现印装质量问题, 我社图书营销中心负责调换)

版权所有, 翻印必究

《风城油田侏罗系齐古组辫状河储层 构型研究及开发应用》

编写人员

霍 进 钱根葆 杨 智 赵 睿

高 亮 木合塔尔 张家浩 段 畅

陈河青

序

准噶尔盆地位于中国西部，行政区划属新疆维吾尔自治区。盆地西北为准噶尔界山，东北为阿尔泰山，南部为北天山，是一个略呈三角形的封闭式内陆盆地，东西长 700 千米，南北宽 370 千米，面积 13 万平方千米。盆地腹部为古尔班通古特沙漠，面积占盆地总面积的 36.9%。

1955 年 10 月 29 日，克拉玛依黑油山 1 号井喷出高产油气流，宣告了克拉玛依油田的诞生，从此揭开了新疆石油工业发展的序幕。1958 年 7 月 25 日，世界上唯一一座以石油命名的城市——克拉玛依市诞生。1960 年，克拉玛依油田原油产量达到 166 万吨，占当年全国原油产量的 40%，成为新中国成立后发现的第一个大油田。2002 年原油年产量突破 1000 万吨，成为中国西部第一个千万吨级大油田。

准噶尔盆地蕴藏着丰富的油气资源。油气总资源量 107 亿吨，是我国陆上油气资源当量超过 100 亿吨的四大含油气盆地之一。虽然经过半个多世纪的勘探开发，但截至 2012 年底石油探明程度仅为 26.26%，天然气探明程度仅为 8.51%，均处于含油气盆地油气勘探阶段的早中期，预示着巨大的油气资源和勘探开发潜力。

准噶尔盆地是一个具有复合叠加特征的大型含油气盆地。盆地自晚古生代至第四纪经历了海西、印支、燕山、喜马拉雅等构造运动。其中，晚海西期是盆地坳陷构造格局形成、演化的时期，印支—燕山运动进一步叠加和改造，喜马拉雅运动重点作用于盆地南缘。多旋回的构造发展在盆地中造成多期活动、类型多样的构造组合。

准噶尔盆地沉积总厚度可达 15000 米。石炭系—二叠系被认为是由海相到陆相的过渡地层，中、新生界则属于纯陆相沉积。盆地发育了石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系、古近系六套烃源岩，分布于盆地不同的凹陷，它们为准噶尔盆地奠定了丰富的油气源物质基础。

纵观准噶尔盆地整个勘探历程，储量增长的高峰大致可分为西北缘深化勘探阶段（20 世纪 70—80 年代）、准东快速发现阶段（20 世纪 80—90 年代）、腹部高效勘探阶段（20 世纪 90 年代—21 世纪初期）、西北缘滚动勘探阶段（21 世纪初期至今）。不难看出，勘探方向和目标的转移反映了地质认识的不断深化和勘探技术的日臻成熟。

正是由于几代石油地质工作者的不懈努力和执着追求，使准噶尔盆地在经历了半个多世纪的勘探开发后，仍显示出勃勃生机，油气储量和产量连续 29 年稳中有升，为我国石油工

业发展做出了积极贡献。

在充分肯定和乐观评价准噶尔盆地油气资源和勘探开发前景的同时，必须清醒地看到，由于准噶尔盆地石油地质条件的复杂性和特殊性，随着勘探程度的不断提高，勘探目标多呈“低、深、隐、难”特点，勘探难度不断加大，勘探效益逐年下降。巨大的剩余油气资源分布和赋存于何处，是目前盆地油气勘探研究的热点和焦点。

由新疆油田公司组织编写的《准噶尔盆地油气勘探开发系列丛书》在历经近两年时间的努力，今天终于面世了。这是第一部由油田自己的科技人员编写出版的专著丛书，这充分表明我们不仅在半个多世纪的勘探开发实践中取得了一系列重大的成果、积累了丰富的经验，而且在准噶尔盆地油气勘探开发理论和技术总结方面有了长足的进步，理论和实践的结合必将更好地推动准噶尔盆地勘探开发事业的进步。

系列专著的出版汇集了几代石油勘探开发科技工作者的成果和智慧，也彰显了当代年轻地质工作者的厚积薄发和聪明才智。希望今后能有更多高水平的、反映准噶尔盆地特色地质理论的专著出版。

“路漫漫其修远兮，吾将上下而求索”。希望从事准噶尔盆地油气勘探开发的科技工作者勤于耕耘，勇于创新，精于钻研，甘于奉献，为“十二五”新疆油田的加快发展和“新疆大庆”的战略实施做出新的更大的贡献。

新疆油田公司总经理

2012. 11. 8



前言

油气储层是油气藏的核心，储层分布及性质与油气储量及产能密切相关。储层构型（Reservoir Architecture）是指不同级次储层构成单元的形态、规模、方向及其叠置关系，这一概念反映了不同成因、不同级次的储层储集单元与渗流屏障的空间配置及分布的差异性，对油气藏评价与开发具有十分重要的意义。传统的储层非均质性研究包括层间、层内、平面和微观4个方面，其研究的规模未考虑点坝内部侧积体级别的构型单元，而该级别构型单元研究对于剩余油挖潜至关重要。

本书探讨了储层构型理论的形成、发展及趋势，介绍了储层构型研究的基本理论方法。风城油田齐古组为辫状河沉积，对于辫状河厚储层来说，复杂的构型单元分布是形成储层非均质性的主要原因，落淤层的描述及预测是整个油藏表征的重要内容。由于辫状河类型多样，储层结构复杂，在某一区块建立的沉积模式不一定适用于其他地区。笔者从沉积成因分析入手，分析了相似露头的辫状河原型模型，建立了风城油田齐古组的构型模式。在建立储层构型格架的基础上，分不同级次对辫状河储层构型单元进行解剖，对辫状河构型规模进行预测，并应用水平井对预测结果进行验证，证实预测结果的准确性。对储层构型的渗流屏障及渗流差异特征进行分析，确定渗流屏障的平面几何学特征及参数分布。

笔者最后在分析辫状河构型单元空间配置关系的基础上，探讨了构型研究成果在油藏开发中的应用。包括：应用构型建模成果指导水平井设计、分析水平井非均质性、计算单井控制储量，最后分析了构型建模对生产效果的影响。笔者统计了在构型研究成果指导下的水平井产量比未研究构型的水平井产量提高了8.4%，表明在辫状河储层的蒸汽辅助重力泄油技术（SAGD）生产中，夹层预测对提高原油产量具有重要意义。

在本书编写过程中，得到了中国石油勘探开发研究院吴因业教授和中国地质大学于兴河教授的大力支持，同时参与本书编写的各位同仁也不辞劳苦，在此一并表示感谢。编写过程中参阅了大量中英文资料，力求涉及辫状河储层构型研究的各个方面，但限于笔者水平，难免挂一漏万，望各位专家与同仁不吝批评指正。

CONTENTS 目录

第一章 储层构型理论的形成、发展与趋势	(1)
第一节 储层构型的提出及发展历程	(1)
第二节 国内外储层构型的研究动向	(3)
第二章 储层构型研究的基本理论方法	(8)
第一节 储层构型界面分级体系	(9)
第二节 储层构型的岩相分类	(12)
第三节 储层构型的单元	(13)
第四节 储层构型分析的特点	(18)
第五节 储层构型研究思路和方法	(20)
第三章 风城油田齐古组构型模式	(28)
第一节 沉积特征	(28)
第二节 构型模式分析	(33)
第三节 储层构型单元预测模型	(44)
第四章 储层构型格架的建立	(49)
第一节 储层层次划分	(49)
第二节 基于构型的精细地层对比	(50)
第三节 精细等时地层格架	(62)
第四节 储层微构造	(64)
第五章 密井网区精细构型解剖	(69)
第一节 构型要素测井响应特征	(69)
第二节 单一辫流带级次构型表征	(72)
第三节 心滩坝级次构型精细表征	(75)
第四节 心滩坝内部构型解剖	(82)

第六章 地下储层构型三维建模	(94)
第一节 克里金插值技术	(94)
第二节 随机建模原理和方法	(95)
第三节 储层构造模型	(111)
第四节 储层三维构型模型	(112)
第五节 构型控制的储层参数模型	(113)
第六节 模型的粗化	(119)
第七章 渗流屏障及渗流差异特征	(127)
第一节 盖层分布特征	(127)
第二节 落淤层分布特征	(127)
第三节 渗流差异特征	(145)
第四节 水平井渗流差异特征	(167)
第五节 油水界面与油水关系研究	(171)
第八章 构型建模成果应用	(175)
第一节 SAGD 开采方法简介	(175)
第二节 心滩坝构型单元的空间配置关系	(176)
第三节 构型建模成果指导水平井地质设计	(179)
第四节 构型建模成果与水平井非均质	(181)
第五节 构型建模成果计算单井控制的储量	(185)
第六节 构型建模对 SAGD 生产效果的影响	(189)
参考文献	(207)

第一章 储层构型理论的形成、发展与趋势

第一节 储层构型的提出及发展历程

储层构型(Reservoir Architecture),也称为储层建筑结构,是指不同级次储层构成单元的形态、规模、方向及其叠置关系。这一概念反映了不同成因、不同级次的储层储集单元与渗流屏障的空间配置及分布的差异性,对于油气藏评价与开发具有十分重要的意义。

储层构型要素分析法是自20世纪80年代后期以来,随着油田开发程度的不断提高及剩余油研究工作的深入开展而逐渐发展起来的。储层构型就是储层及其内部构成单元的几何形态、大小、方向以及相互关系。储层的构型结构从宏观上控制了流体渗流,是影响剩余油分布的重要沉积因素,也是决定油藏数值模拟中模拟网块大小和数量的重要依据。储层构型模型的核心是沉积模型,不同的沉积条件会形成不同的储层结构类型。为此,从沉积微相入手,综合所有的静、动态资料,精细地研究砂体规模、连续性、连通性、各种界面特征,特别是夹层的规模、展布特征,建立精细的地下储层构型模型,对油田开发方案的调整具有重要的现实意义。

“Architecture”,日常用语中指建筑学、建筑结构、体系结构、结构格式,在地质学术语中又称作构型、结构单元、建筑结构、构成单元等。储层构型要素分析法起源于河流相沉积体的研究,近些年来有关的沉积学活动为该方法做了广泛的宣传。

1966年,Allen在研究河流、三角洲沉积露头时,将沉积体分为5个层次,即小规模波痕、大规模波痕、沙丘、河道、复合体系。Jackson(1975)在底形的分类方面就提出了层次和规模分类法,将底形划分为微型(Microforms,如波痕)、中型(Mesoforms,如沙丘)和巨型(Macroform,如点坝)3种,微型底形如小型波痕和流水线理,在单向水流中发育,不能作为河型的判别标志;中型底形包括沙丘、沙浪、小型河道和点坝等,具有指相意义,但在剖面上很难辨认;巨型底形反映了10年到上千年的沉积水动力变化,包括大型水道、坝复合体等。

Allen(1977)在第一届国际河流沉积学会议(卡尔加里)中明确提出了“Fluvial Architecture”的概念,用于描述河流层序中河道和溢岸沉积的几何形态及内部组合。

Brookfield(1977)等在研究风成沙丘时,明确提出了层次界面的概念,将沙丘划分为4级层次,其间被3个级次的界面所限定。一级界面为大沙丘之间的、大型的、侧向连续的、平整或上凸的界面;2级界面为沙丘迁移形成的交错层系之间的低—中角度界面;3级界面为交错层系内部、纹层束之间的界面——再作用面。

1983年,Allen在河流沉积中划分了3级界面。Allen划分的1级界面为单个交错层系的界面;2级界面为交错层系组或成因上相关的一套岩石相组合界面;3级界面为一组构型要素或复合体的界面,通常是一个明显的冲刷面。这一界面编号顺序与Brookfield(1977)正好相反。Brookfield(1977)的界面排序为正序排列,即从大到小的顺序;而Allen(1983)的界面

排序为倒序排列,即从小到大的顺序。

Miall(1985)在第三届国际河流沉积学大会上第一次完整地提出了河流相的储层构型要素分析法,同年 Miall 发表了“构型要素分析——河流相分析的一种新方法”,全面介绍了该方法中的构型要素、界面等概念,将储层构型定义为储层及其内部构成单元的几何形态、大小、方向以及相互关系。这一文献代表了储层构型要素分析法的诞生。

从上述内容可知,构型这一概念主要是从层次结构的角度对地质体进行研究。从这一概念出发,储积体的层次结构即为储层构型,沉积体的层次结构则可称为沉积构型。当成岩作用和裂缝形成作用影响小时,储层构型主要为沉积构型。另外,构型概念还广义地应用于层序地层、构造甚至油藏研究中,其中,层序地层的层次结构可称为层序构型;构造的层次结构可称为构造构型;油藏的层次结构可称为油藏构型。

传统的沉积相分析与沉积构型分析均研究沉积单元的成因及空间分布,但两者具有如下差异:

(1)层次差异。传统的沉积相研究一般分为大相、亚相、微相 3 个级次。实际上,传统平面相分布的最小级别通常达不到单一微相级别(如多条分流河道的叠合被当作为 1 个分流河道微相);而沉积构型划分的级别则更多更细,平面或空间分布研究的最小级别可到单一微相内的增生体,且更强调单一单元的分布。如对于河流相沉积,小层沉积微相图通常只反映河道砂体的分布;而构型分析则要进一步在河道砂体内划分不同的单河道砂体,继而在单河道砂体内划分出不同的单一微相(如点坝),进而在单一点坝内划分不同的侧积体和侧积层。从这一意义上讲,沉积微相只是沉积构型体系中的某一个级次。

(2)界面差异。在沉积(微)相图中,相边界多为统计界面,而构型分析则更注重沉积单元的物理界面。对于沉积相分析而言,虽然单井相剖面划分了单一相的物理界面,但平面沉积相通常为优势相,各相边界为统计边界(相边界内以某种优势相为主,并包括其他的相);而构型分析则要求确定单一相单元在空间上的物理界面,如河道砂体的顶、底界面。

(3)维数差异。沉积相研究一般为一维和二维研究,即单井相分析、剖面相分析和平面相分析;而构型研究除一维和二维外,更注重三维空间分布研究。当然,沉积相也可进行三维沉积相研究,即三维相建模。实际上,三维相建模已属于构型研究的范畴了,如三维微相建模要求在三维空间上表现各单一微相的边界(物理界面)及各微相大的相互叠置关系,相当于单一微相级别的构型建模研究。

由上述内容可知,构型研究与沉积相研究不是矛盾的,而是相通的。沉积构型研究实际上是沉积相研究的细化和深化。

储层构型分析研究实质上是描述储层内部的非均质性,最终用于进一步挖潜剩余油,提高油气采收率。自 Miall 于 1985 年正式提出储层构型分析方法至今的 20 多年里,众多国内外地质学者们掀起了储层构型分析的热潮,他们纷纷投入到对野外露头沉积和地下储层的储层构型分析研究中去,并将储层构型分析法与各种新技术、新手段相结合,取得了一定的成果和认识,从而使储层构型分析方法研究得到了很大发展。

自 Miall(1985)首次完整提出储层构型概念及河流相储层构型要素分析法以来,众多学者主要针对露头和现代沉积开展了储层构型研究,取得了大量研究成果,几乎涵盖了所有水道化沉积:曲流河(薛培华,1991;Jiao Yangquan 等,2005)、辫状河(于兴河等,2004)、

潮汐水道(解习农, 1994)、三角洲(付清平等, 1994)、扇三角洲(张昌民, 1996)、浊流沉积(Clark 等, 1996)、冲积扇(Neton 等, 1994)等。

近年来, 国内外学者针对地下储层构型也开展了尝试性研究, 研究成果主要集中在以下几个方面: 构型要素成因分析(马立祥, 1992, 1997), 单井构型要素解释(李双应等, 2001; 李阳, 2002), 二维剖面、平面构型研究(吕晓光等, 1997; Miall, 2002; 尹太举等, 2001, 2002; 刘波等, 2001; 赵翰卿等, 2002; 陈清华等, 2004; 岳大力等, 2006; 马世忠等, 2008), 地下储层构型特征对剩余油的影响(李庆明等, 1998; 刘华等, 2004; 何文祥等, 2005; 吴胜和, 2008; 岳大力等, 2006, 2007, 2008, 2009), 曲流河储层构型三维建模(吴胜和、岳大力等, 2008, 2009, 2010; 陈雨茂等, 2011), 三角洲河口坝储层构型三维建模(吴胜和、温立峰等, 2011), 辫状河储层构型三维建模(刘钰铭等, 2009; 白振强等, 2010; 李顺明等, 2011; 李海燕, 2015)。

近年来, 大多数储层构型研究成果都是在露头 and 现代沉积中获得的, 众多国内外学者对地下储层构型研究进行了尝试, 在单井构型要素解释、构型剖面、平面研究及构型与剩余油分布特征研究等方面取得了较大进展。然而, 就辫状河储层内部构型表征与建模而言, 尚存在以下亟待解决的问题: (1) 储层内部构型模式研究不够, 尤其是定量化程度不够; 储层内部夹层到底发育哪些类型? 成因机理如何? 与曲流河相比目前还存在较大分歧; 定量化方面, 心滩坝与辫流水道、辫流带规模尚需深入研究。(2) 目前, 地下储层构型解剖方法不够完善; 如何提高井间构型预测精度需开展深入研究。(3) 辫状河储层内部构型对剩余油分布的控制作用有待深入研究。

第二节 国内外储层构型的研究动向

储层构型的研究趋势主要有以下 5 个方面:

(1) 从对野外露头和现代沉积的研究转入到对地下储层的分析。最早的储层构型分析源自对河流相沉积的野外露头和现代沉积研究。到目前为止, 国内外众多学者做了大量的研究工作并取得一定的成果。他们从岩相类型划分、沉积界面划分和构型单元特征 3 个方面, 根据各自研究地区的特点和研究对象的复杂程度排列沉积界面序列和定义构型单元类型, 建立起高精度的储层结构模型, 加深了人们对河流相储层内部结构型态的认识。

然而进行储层构型分析的最终目的在于挖潜剩余油、提高油气采收率。因此人们在野外露头和现代沉积建立的高精度储层结构模型基础之上, 充分利用一切能够获取地下有用信息的资料对地下储层进行构型分析。20 世纪 90 年代末以来, 随着众多油田进入开发中后期或晚期阶段, 其大规模采用的密集井网、水平井等方法提供了多种丰富的地下地质资料, 使地下储层构型研究成为可能。提出了多种利用地下地质资料(岩心、测井、动态资料等)进行地下储层构型研究的新途径与新技术。通过取心井岩心观察识别出各种岩相类型。借助密井网条件下的岩心、测井、录井、地震、动态分析等多种资料分析地下储层的沉积界面。李阳等通过岩心观察和测井资料, 确定了岩心中 1~6 级界面。李云海等利用密井网的动态监测资料揭示出储层构型沉积界面的存在。

(2) 从简单的露头剖面测量到多种新技术、新手段的应用。野外露头研究的基本方法是

选择典型的大剖面进行沉积学写实和实绘垂向层序剖面图,它基本上是暴露岩石的素描图。但简单的野外露头剖面测量并不能建立起高精度的三维地质模型,还需借助其他的研究技术和手段。因此人们利用小型钻机对露头进行钻井并取心,用测井仪在露头崖壁或钻井中测井。近些年来,三维探地雷达技术(GPR)正逐渐应用到野外露头和地表浅层的储层构型分析中来,并受到国内外地质学家的青睐。

露头和现代沉积具有直观、易达、便于精细研究等特点,但是地下储层却是无法用肉眼来识别的。如何预测井间砂体展布,对地下储层进行三维表征,进而建立起储层结构模型成为地下储层构型分析的一大难题。李阳在垦71区综合利用多尺度地震勘探资料和井间地震高频信息,建立高分辨率油藏地球物理模型,在三维空间预测和描述储层。闫长辉等利用塔河油田奥陶系油藏生产动态资料研究井间连通性。

(3)储层构型分析方法与其他分析方法相结合。1992年,中国学者张昌民根据Miall的储层构型分析思想,将储层构型分析与储层层次分析结合起来,提出了储层研究中的层次分析方法。赵翰卿等指出,层次分析法是研究储层复杂非均质体系的基本方法。到目前为止,储层层次分析已成为储层构型分析研究中的关键思想。岳大力、吴胜和等以胜利油区孤东油田七区西为例,采用层次分析、模式拟合及多维互动的研究思路,对曲流河古河道砂体进行了系统的储层层次构型精细解剖。

(4)从河流沉积体系到其他沉积体系。最早的储层构型分析源自Miall对河流相沉积的研究。如今,储层构型分析方法已成为20多年来河流沉积学的重要进展之一。最早的储层构型分析源自Miall对河流相沉积的研究。河流具有水动力条件复杂,各级构型界面比较发育的特点。之后,国内外众多学者将储层构型分析方法广泛应用到其他沉积体系研究中,包括曲流河、辫状河、障壁坝—湖体系、三角洲、扇三角洲、辫状河三角洲、冲积扇、浊流沉积等。其中以曲流河沉积储层构型研究最为深入,而曲流河中研究最多的为点沙坝沉积,总结出了一套完整的曲流河储层构型研究思路,重点对心滩内部进行构型解剖与三维模型建立,并预测剩余油分布。国内一些学者对辫状河心滩坝储层内部构型也进行了分析研究,识别出心滩坝内部的“落淤层”。由于辫状河沉积模式多样化,构型研究有一定的局限性,但鉴于构型研究需要,亦可将其沉积模式概括为:一个由垂向加积作用控制的粗粒砂、砾岩为主体,少有细粒粉砂质泥质夹层,层理构造发育,横向相变较大的、垂向层序向上变细的正旋回组成的、空间广泛展布的“叠覆泛砂体”。目前主要针对露头及现代沉积展开,也进行了一些地下的应用,识别出单个心滩坝,对单个心滩坝进行构型解剖,识别出心滩内部“落淤层”,建立了心滩坝的三维构型模型并对剩余油分布进行了预测。三角洲相中,主要针对河口坝砂体研究较为详细,建立了河口坝储层5级构型界面层次及分布模型,利用数值模拟得到河口坝剩余油分布模式。何文祥等应用储层层次构型分析法对东营凹陷胜二区砂二段8砂层组进行河口坝构型研究,建立了河口坝储层构型模式。在冲积扇复杂储层研究中,应用Miall研究思路成功建立了与开发精度相匹配的洪积扇储层内部结构层次分析法。需要指出的是,储层构型分析法适用于以冲积作用为主要沉积物搬运方式的沉积地层。

(5)技术发展趋势。国内外已经广泛开展构型研究,并对剩余油挖潜起到了很好的指导作用。近些年,国内外学者尝试着将三维探地雷达技术应用到野外露头沉积的储层构型分析中去,建立储层三维地质模型,并已经取得了很好的效果。随着探地雷达、高精度三维地

震、井间地震等的不断实践和应用,人们对地下储层的认识会不断加强,能更好地预测井间砂体展布,建立起地下储层高精度三维地质模型,并对各层次的构型单元进行量化表征。

目前储层构型分析以河流相曲流河点坝的研究为主,还需对此进一步深化研究,尤其是点沙坝内部构型的定量化研究方面。此外,也应加强对辫状河心滩坝沉积和三角洲河口坝沉积的储层构型分析研究。

地下储层构型表征虽然取得了很大的进展,但从其发展历史看目前仍处于起步阶段,尚有许多问题有待于进一步深入研究。随着油田开发深入挖潜的需求及相关学科技术的进步,尚需在以下 3 个方面开展地下储层构型表征的攻关研究。

一、储层构型模式的深入研究

定量储层构型模式对于地下储层构型表征具有很大的意义。在多井构型预测中,模式主要用于与多井资料的拟合;在地震构型解释中,模式主要用于构型单元解释的指导(虽然近 20 年来构型模式研究取得了很大的进展,但已有的模式难以充分满足地下构型表征的需要。

1. 储层构型分布样式研究

储层构型分布样式为不同级次储集单元与隔夹层的空间分布模式,是层序地层结构样式及沉积相模式的深化。主要体现在以下 3 个方面:(1)短期基准面旋回内构型单元的空间叠置样式。现有的层序地层学主要研究 1~4 级层序(或中期以上的基准面旋回)及其对沉积体系的控制,而对短期基准面旋回内构型单元的空间叠置关系研究不够,如可容空间/沉积物供给增长率比值(A/S)对曲流河点坝分布样式的控制作用等。(2)水道内的沉积物充填样式(现有沉积模式)主要依据现代沉积环境而建立,因而对流水环境中的沉积物充填样式反映不够,如辫状河辫状水道内的沉积物充填样式、三角洲内部不同类型分流河道充填样式、深水海底扇弯曲水道内部的沉积物充填样式等。(3)砂体内部夹层分布样式。如点坝内部的泥质侧积层的密度、保存程度及连续性,辫状河心滩坝内部泥质夹层的分布模式及保存程度,三角洲河口坝内部前积韵律层的倾角、叠置关系、内部夹层分布模式,浊积砂体内的泥质夹层分布模式等。

2. 沉积单元的定量规模关系研究

构型单元宽厚比的经验公式对于多井构型预测至关重要。虽然自 20 世纪 70 年代便开始进行沉积单元规模及宽厚比的研究,但主要集中于水道型砂体,其中,高弯度曲流河的经验公式较完善,业已建立了从河道砂体厚度估算河道宽度继而估算点坝宽度和侧积层倾角的经验公式,但非水道沉积类型的经验公式很少,或普适性不够,或相关性差。

3. 成岩非均质性研究

对于成岩作用影响较大的储层而言,成岩非均质性研究至关重要。主要包括 2 个方面:(1)砂体内部成岩胶结带的分布研究。砂体内部常发育钙质夹层,其为成岩胶结成因,但其成因机理、分布规律及连续性有待于进一步研究。(2)低渗—致密储层中的相对高渗透带分布研究。在广泛发育的砂体内部,成岩作用的差异性导致砂体的孔渗性具有较大差异,使得部分砂体为有效储层,而大部分砂体为非渗透层,因此,有必要深入研究成岩非均质性的控制因素、作用机理及相对高渗透带的预测模式。

定量构型模式主要通过原型模型进行研究,这些原型源于露头、现代沉积、开发成熟油田密井网、浅层地震等。开发地质工作者的研究目标是地下地质体,需要正确的地质理论来指导,而地质理论的发展必须基于对地质原型的研究。因此,油气藏开发地质学的重要任务是大力加强基础地质研究。

二、储层构型地震响应及解释方法研究

地震沉积学(地貌学)的发展为应用三维地震勘探资料开展地下储层构型解释开辟了有效的途径。然而,尚有一些问题需要进一步攻关解决。除了进一步发展三维地震采集和处理技术、提高地震勘探资料品质外,尚需进行以下3个方面的研究。

1. 储层构型地震响应的研究

地震勘探资料毕竟为地下地质体的综合响应,为了进行地震勘探资料的构型解释,首先应理解不同沉积构型的地震响应特征。可通过两种手段进行研究:(1)为地震正演模拟,根据定量构型模式设置的概念模型,通过物理或数值模拟研究不同采集条件下的不同构型样式、不同规模、不同地质属性的地震反射特征,据此建立一系列储层构型的地震响应模式;(2)为密井网区高频地震勘探资料的井震结合分析,根据密井网区建立的储层构型模型,分析相应的地震响应特征。同时,根据地震响应特征研究,分析在不同资料和地质条件下地震勘探资料构型解释的可解性。

2. 多属性研究

目前,从地震数据体中能够提取近十类地震特征参数,如振幅类、频率类、相位类、极性、阻抗(或速度)等,每一类又包含许多种参数、以此为基础,发展、改进和创新地震属性提取技术,进一步充分挖掘具有储层构型意义的地震信息,特别是能够反映薄层空间连续性的地震信息相关特征属性。

3. 整合地震地层切片的三维构型建模算法研究

三维构型建模的目的是表征地层内部构型单元的空间分布。三维地震地层切片所反映的构型单元的侧向变化信息对于三维构型建模十分重要。然而,地震勘探资料的垂向采样间隔通常为2ms,垂向分辨率极限是1/4主波长,比三维建模的垂向网格(数分米至数十分米)大得多,单纯依据地震切片并不能建立真正意义上的三维构型模型。因此,地震地层切片信息在三维构型建模中主要用作约束条件。研究整合地震地层切片信息的三维构型建模算法,对于提高建模精度具有很大的意义。

三、多井模式拟合方法的改进与创新

当前多井构型预测的思路与方法流程相对成熟,但从方法学的角度来讲尚需进一步深化研究。

1. 不同资料和地质条件下储层构型多井模式拟合方法研究

在不同开发区的不同开发阶段,井网密度有差异,动态信息量亦有差异,同时,不同相类型具有不同的分布样式。而且同一类型相的构型绝对规模相差很大。因此,对于不同的、具体的研究目标区而言,构型解剖的级次及精度会有很大的差异?这种差异有多大?定量构

型模式认知至少需要多大的信息量？如何进一步提高构型预测的精度？这就需要对多井构型分析方法进行深入研究。这一研究需要基于原型模型来进行。针对不同相类型、不同规模的原型地质模型，通过抽稀分析“虚拟”不同的井网条件，研制地下构型预测的模式拟合方法，并分析不同条件下构型预测的精度差异。

2. 储层内部构型的三维模式拟合算法研究

目前的砂体内部构型分析主要是基于人工进行的（应用计算机工具进行人工分析）。这存在两个问题：（1）虽然人工可以进行二维剖面、二维平面和准三维的三维视窗栅状分析，但难于建立三维模型（人工建模的工作量巨大，效率很低）；（2）虽然可以进行确定性预测，但难于对预测结果进行不确定性分析。已有的具有模式拟合思路的三维相建模方法（如基于目标的随机建模方法、多点地质统计学的 SIM—PAT 建模方法）虽然在一定程度上对高级别构型（如单河道砂体）的三维建模和不确定性分析有较好的效果，但现有算法难于满足砂体内部构型解剖与建模的需要。因此，需要进一步深化三维储层内部构型建模的模式拟合算法研究，包括确定性拟合算法和随机拟合算法。

地下储层构型表征研究方兴未艾，诸多科学和技术问题有待于进一步攻关研究，可谓任重道远。地下构型表征技术的进步，必将促进中国乃至世界油气采收率的大幅度提高。

第二章 储层构型研究的基本理论方法

1985 年, Miall 根据多年的研究, 将河流分成了 12 类, 并同时提出了一种新的研究方法, 即“构型(或建筑结构)要素分析法”, 并指出无论现代还是古代, 每一条河流都具有其特殊的一面, 传统的河流分类与相模式存在着较多的局限性。模式化仅仅是构型要素的简化, 而能够反映河流本质特征的正是它们所具有的基本构型要素。由此, 他提出了河流的基本构型要素(图 2-1)。这种分析方法目前已广泛应用于各种沉积环境的储层描述中, 但在河流的分类应用中十分有限。

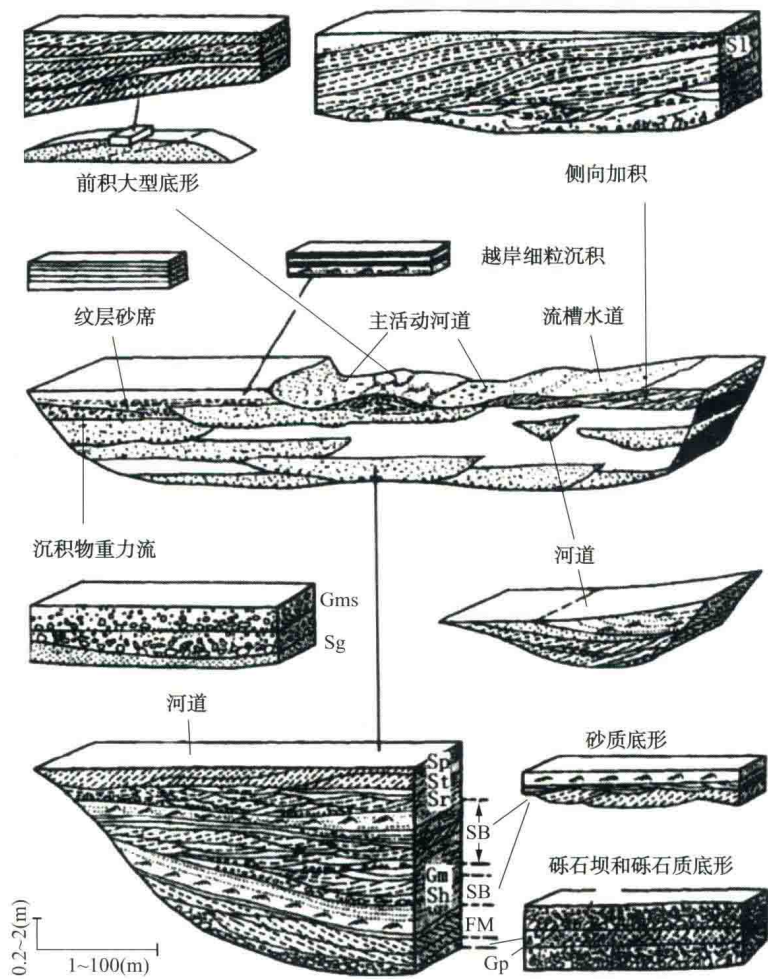


图 2-1 河流体系基本构型要素(据 Miall, 1985)

界面分级、岩相类型及构型要素 3 大内容构成了这种分析方法的基本格架与研究主体。