

湖泊滩坝砂体 内部构型及控油模式研究

——以黄骅坳陷港中油田沙一段为例

INTERNAL ARCHITECTURE AND PATTERN OF
OIL-CONTROL OF BEACH-BAR SANDBODY OF LACUSTRINE FACIES
—A CASE OF THE FIRST MEMBER OF SHAHEJIE FORMATION OF
GANGZHONG OILFIELD OF HUANGHUA DEPRESSION

吴小斌◇著

研项目 (YDK2012-01)
度学术专著与教材出版资助 (项目编号: 2016CB-09)

湖泊滩坝砂体 内部构型及控油模式研究

——以黄骅坳陷港中油田沙一段为例

INTERNAL ARCHITECTURE AND PATTERN OF
OIL-CONTROL OF BEACH-BAR SANDBODY OF LACUSTRINE FACIES
—A CASE OF THE FIRST MEMBER OF SHAHEJIE FORMATION OF
GANGZHONG OILFIELD OF HUANGHUA DEPRESSION

吴小斌◇著

西南交通大学出版社

• 成 都 •

图书在版编目 (C I P) 数据

湖泊滩坝砂体内部构型及控油模式研究: 以黄骅坳陷港中油田沙一段为例 / 吴小斌著. —成都: 西南交通大学出版社, 2016.11

ISBN 978-7-5643-5129-8

I. ①湖… II. ①吴… III. ①油砂体 - 油气藏 - 研究 - 中国 IV. ①P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 276658 号

湖泊滩坝砂体内部构型及控油模式研究

——以黄骅坳陷港中油田沙一段为例

吴小斌 著

责任编辑 柳堰龙
封面设计 墨创文化

出版发行 西南交通大学出版社
(四川省成都市二环路北一段 111 号
西南交通大学创新大厦 21 楼)

发行部电话 028-87600564 028-87600533

邮政编码 610031

网 址 <http://www.xnjdcbs.com>

印 刷 成都勤德印务有限公司

成 品 尺 寸 170 mm × 230 mm

印 张 11.5

字 数 202 千

版 次 2016 年 11 月第 1 版

印 次 2016 年 11 月第 1 次

书 号 ISBN 978-7-5643-5129-8

定 价 45.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

湖泊相滩坝砂体是我国东部油田重要的储集层类型之一,其内部构型研究是油气田开发中后期开发地质领域中的前沿课题。黄骅坳陷港中油田沙一段滩坝砂油气藏有两个显著的特征:构造复杂、断层多、断块小;油砂体储量规模及产能差异大,10%的油砂体贡献了港中油田近一半的地质储量。经30多年的开发,面临两个突出问题:受复杂断层及岩性控制,储层横向变化快,油砂体分布认识不清,控油因素复杂;主力开发砂体剩余油分布规律不清,油田挖潜工作难度大。因此,开展港中油田滩坝砂体控油模式及内部构型的研究工作,对于复杂油气藏的二次开发,提高油田的最终采收率,具有非常重要的现实意义和理论意义。

本书以储层构型理论为指导,结合青海湖现代沉积、露头与动静态资料,对港中油田沙一段滩坝砂体内部构型及控油模式进行研究。开展单砂层地层对比、构造特征、精细沉积微相、储层特征等方面的研究,提出富油砂体的概念和标准,分析总结控油因素和控油模式。以现代沉积及重点砂体为基础,界定滩坝砂各级构型界面,划分单井构型单元并对单一坝及其内部夹层的倾向、倾角及增生体进行了解剖。探讨了复杂断块港中油田剩余油分布,总结了剩余油分布模式。

提出了富油砂体的概念,界定了港中油田滩坝砂富油砂体储量及产能标准。从沉积、成岩、断层及微构造等方面揭示了其分布规律,总结出5种控油模式。

系统地界定了滩坝砂各级构型界面,总结出6种3级界面识别方法和单一坝的6种垂向组合特征和4种平面识别标志。在剖面上单一坝为底平顶凸、近陡远缓不对称形态,呈斜列状排列。平面上单一坝平均长度1 036 m,平均宽度421 m,平均厚度8.7 m,平均长宽比2.5,平均宽厚比49.1;其长轴方向为北北东 15° 和北西西 295° ,并且以北北东方向为主。

取得了滩坝砂内部3级构型界面处可发育泥质、钙质夹层的新认识,首次

提出了夹层倾角计算新方法——三维模型层面扫描最大值法，即在三维空间沿3级构型界面进行扫描计算真倾角。单一坝内部侧向泥质夹层，倾角为 $2^{\circ} \sim 5^{\circ}$ ，侧向泥岩夹层平均密度为1条/70 m，坝内增生体的规模一般为60~90 m。

最后从断层和构型两个角度，探讨了高含水期湖泊滩坝砂体内部剩余油分布，总结了两大类18种剩余油分布模式，丰富了复杂断块块油气剩余油分布理论。

全书共分7章，由吴小斌著。本书在撰写过程中，得到了大港油田、中国石油大学（北京）专家学者的大力支持和帮助，在此一并致谢。

本书对所用资料、数据尽量作了注明，但难免有未尽之处；同时，国内滩坝砂构型的研究仍处在探索研究的阶段，本书部分认识、观点难免有不当之处，敬请读者提出宝贵意见。

作者

2016年8月

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 研究目的及意义	1
1.2 国内外研究现状及进展	2
1.2.1 滩坝砂体研究现状	2
1.2.2 滩坝砂构型研究进展	5
1.2.3 夹层描述研究进展	6
1.2.4 滩坝砂体内部夹层	7
1.2.5 复杂断块滩坝砂剩余油分布	7
1.2.6 滩坝砂控油因素及模式研究	9
1.2.7 研究不足及存在问题	10
1.3 研究区开发概况及主要存在问题	11
1.3.1 研究区油气藏特征	11
1.3.2 开发概况	14
1.3.3 主要存在问题	16
1.4 研究内容和技术思路	17
1.4.1 研究内容	17
1.4.2 技术思路	18
1.5 本书主要工作量	19
1.6 主要成果及认识	20
第2章 港中油田滩坝砂油气藏地层构造格架	23
2.1 地层层序划分	23
2.1.1 地层特征	23
2.1.2 单砂层地层对比划分	24
2.1.3 单砂层细分结果	30
2.2 构造特征研究	31
2.2.1 断裂特征	31
2.2.2 断裂构造样式	33

2.2.3	断块构造特征	34
2.2.4	微构造特征	35
第3章	湖泊相滩坝砂精细沉积微相研究	38
3.1	研究区沉积背景	38
3.2	现代滩坝砂沉积类型	39
3.3	沉积微相标志	42
3.3.1	古生物标志	42
3.3.2	岩石颜色及岩性特征	43
3.3.3	沉积构造	43
3.3.4	粒度特征	45
3.3.5	测井曲线标志	46
3.3.6	岩性组合及岩石相类型	48
3.4	微相类型与沉积微相分析	48
3.4.1	微相类型及相模式研究	49
3.4.2	单井相分析	50
3.4.3	剖面相分析	53
3.5	微相平面展布及时空演化	55
3.5.1	滨 I 油组	55
3.5.2	板 3 油组	60
第4章	储层与非均质性研究	63
4.1	岩性与物性特征	63
4.2	储层宏观非均质特征	65
4.2.1	层内非均质特征	65
4.2.2	层间非均质特征	70
4.2.3	平面非均质特征	72
4.3	储层微观非均质性特征	73
4.3.1	孔隙类型	73
4.3.2	喉道类型	75
4.3.3	储层分类	75
4.3.4	孔隙结构的影响因素	78
4.4	黏土矿物分布特征及储层敏感性分析	79
4.4.1	黏土矿物分布特征	79

4.4.2 储层敏感性分析	79
第5章 滩坝砂富油砂体刻画及控油模式	81
5.1 问题的提出及研究思路	81
5.1.1 问题的提出	81
5.1.2 富油砂体研究思路	82
5.2 储层四性关系及有效储层标准	84
5.2.1 岩性特征	84
5.2.2 电性特征	86
5.2.3 物性特征	87
5.2.4 含油性特征	88
5.2.5 有效储层标准	89
5.3 低阻油层及水淹层识别	89
5.3.1 低阻油层	89
5.3.2 高阻水层	92
5.3.3 水淹层储层特征分析	92
5.4 储层分布特征	96
5.4.1 单砂层平面展布	96
5.4.2 有效储层与砂岩平面展布差异分析	97
5.4.3 油砂体平面展布	98
5.4.4 砂体连通性分析	99
5.5 富油砂体刻画	100
5.5.1 富油砂体概念、标准及其特征	101
5.5.2 富油砂体分布特征	104
5.6 重点区块三维模型	106
5.6.1 地层构造模型	107
5.6.2 属性模型	107
5.7 单砂体油气富集主控因素及控油模式	109
5.7.1 微构造控油	110
5.7.2 断层控油作用	111
5.7.3 沉积微相对单砂体油气富集的控制	112
5.7.4 成岩相对单砂体油气富集的控制	114
5.7.5 富油砂体控油模式及潜力意义	114

第6章 湖泊滩坝砂体内部构型研究	116
6.1 滩坝砂构型模式的定性认识	116
6.1.1 青海湖现代沉积资料	116
6.1.2 滩坝砂露头资料	118
6.1.3 单一坝内部构型模式定性认识	119
6.2 构型界面识别与构型单元划分	120
6.2.1 表征层次的确定	120
6.2.2 界面的识别与划分	120
6.2.3 单井构型单元划分	124
6.3 单一坝的识别及定量表征	126
6.3.1 单一坝的垂向组合特征	126
6.3.2 单一坝的平面识别标志	127
6.3.3 单一坝定量统计参数	130
6.4 单一坝内部夹层研究	131
6.4.1 单一坝内夹层分类及识别	131
6.4.2 单一坝内夹层倾向	132
6.4.3 夹层倾角计算及新方法	132
6.4.4 增生体规模的推算	136
6.5 典型单一坝砂体内部构型解剖	136
6.5.1 港359井组构型解剖	137
6.5.2 港359井组构型结果验证	141
6.5.3 中10-61-1井组构型解剖	143
第7章 港中油田滩坝砂剩余油分布研究	148
7.1 剩余油富集区分布研究	148
7.1.1 剩余油分布特征	148
7.1.2 剩余油分布主要类型	151
7.2 断层控制剩余油分布模式	152
7.3 构型对剩余油的控制作用	154
7.3.1 单一坝控制的剩余油	155
7.3.2 单一坝内部夹层控制的剩余油	156
第8章 结论与认识	160
参考文献	162

第1章 绪论

1.1 研究目的及意义

湖泊滩坝砂体在中国新生代陆相湖盆已开发油田碎屑岩储层石油储量中所占的比例仅为1.8%，在储层体积上似乎显得不是很重要，但是其良好储层特征及高产能力引起了人们的注意，如在辽河拗陷兴隆台油田沙一段第四亚层，2~4 m厚度的砂坝储层单井日产高达100 t^[1]。近年来，随着国内勘探开发工作的深入，多处湖盆凹陷区发现了滩坝砂储集体。如在东营凹陷博兴地区古近系沙四上亚段，冀中拗陷滦县凹陷沙一段，济阳拗陷车镇凹陷沙二段，沾化凹陷桩西地区沙二上亚段，惠民凹陷中央隆起带沙四上亚段，长岭凹陷腰英台地区青山口组等众多地区均发育滨浅湖滩坝沉积^[2-9]。滩坝砂作为陆相湖盆碎屑岩储集层的一种重要类型，具有储层质量高、单砂体储量大、产能高的特点，是储层沉积及油气田开发地质研究的一个热点问题，目前也是众多学者关注的重要研究对象。

港中油田属于复杂构造—岩性油气藏，原始油砂体的分布受断层、构造、沉积成岩控制。港中滩坝砂储层发育薄层低产的滩砂和油层厚度大、地质储量大、产能高的坝砂。含油砂体，尤其是油气相对富集的油砂体，控油因素复杂，分布认识不清，具有一定的特殊性和复杂性。受井网和地质认识的限制，地下仍有潜在的油砂体尚未被发现。因此开展油砂体富集规律研究，建立控油模式，对于寻找潜力目标砂体以及老油田的开发调整有着重要意义。

我国大港等东部老油田，大部分都已经进入中、高含水阶段，如何挖潜剩余油，提高采收率是每一个油田生产单位面临的实际问题，同时也是广大石油工作者面临的重点与难点^[10]。每一个老油田，不管是什么类型的油藏、其沉积环境和沉积微相有多大差异，面临的实际问题都具有相似之处。对于

油田的主力层来讲,经过几十年来的注水开发、多轮次的上产措施调整,主力油层的剩余油总体具有“高度分散、局部富集”的特征,“认识剩余油,挖掘剩余油”是当今老油田的核心内容^[11-14]。

港中油田主力开发砂体油层厚度大,连片性好,油气也最富集。实践表明,这些主力砂体在开发几十年后仍是剩余油最有利富集区。但是砂体内部剩余油分布复杂,常规储层研究手段不能适应目前面临的高含水高采出油藏提高采收率的挑战,迫切需要开展以储层构型为主的砂体内部解剖研究。对主力油层深入研究,分析剩余油分布规律,找到剩余油富集部位,通过精细注采调整及钻调整井、加密井、水平井、侧钻井等一系列技术手段,改善开发后期油田开发效果,是该类油田增产稳产、提高采收率的主要途径。然而,港中复杂断块油田剩余油的分布极其复杂,单一的手段难以清楚描述剩余油的分布规律,需要从多角度、多层次综合分析去认识,并建立剩余油分布模式。

本书追踪当今储层沉积及开发地质研究领域的前沿课题,紧紧围绕复杂断块滩坝砂内部构型及控油模式这一核心问题,以油砂体刻画建立单砂体级别砂体控油模式以及主力砂体内部构型、揭示不同级次构型单元对剩余油的控制作用作为主要研究内容,具有一定的理论意义和实践意义。

1.2 国内外研究现状及进展

对本书研究相关的滩坝砂体沉积、储层构型、内部夹层、控油因素、控油模式及滩坝储层剩余油分布模式等前沿学术问题,进行了国内外研究现状文献调研。

1.2.1 滩坝砂体研究现状

1. 滩坝砂体的概念

滩坝砂体是湖泊相滨浅湖亚相一种常见的砂体组合类型,是滩砂和坝砂的总称。早期,受钻井数量和地震资料品质低、分辨率低的限制,难以区分湖盆中滩砂和坝砂。因此“滩坝”这个地质术语泛指湖泊滨湖、浅湖地区

的滩砂和坝砂^[15]。

近年来滩坝砂研究表明,“滩”和“坝”的分布特征、沉积厚度、粒度与几何形态等方面均有明显差异^[5]。因而,对滩砂和坝砂的概念也有了一个更为准确的定义。滩砂是指分布于滨湖地带,呈条带状或席状的薄层砂,多是砂泥薄互层状沉积。坝砂体是指与湖岸平行或斜交,呈长条状或不规则土豆状的厚层砂体,泛指砂坝、砂嘴、障壁岛、堡岛等,中间可有湖湾发育^[16]。

国外湖泊滩坝沉积研究较多的主要有美国大盐湖砾质滩坝沉积、Bogoria湖滩坝、美国尤英因塔盆地绿河组滩坝沉积以及加利福尼亚里奇盆地上新世古代滩坝沉积^[17]。Reading 和 Richard 等研究了滩坝沉积形成的控制因素以及与层序地层演化规律的关系,对滩坝砂体的识别、形成机制以及相组合关系等进行了较为全面的描述^[18,19]。

2. 滩坝砂体的分类

目前关于滩坝砂体的分类方案较多,一般依据滩坝砂体的主要成分、发育位置、物源供给情况以及水动力条件等方面来划分^[20]。

根据滩坝沉积所在位置、沉积环境和砂体特征,可将滩坝沉积进一步划分为远岸砂坝、近岸滩坝和湖滩(或沿岸滩坝)等3种类型^[21,22]。

依据滩坝砂体的主要成分划分为陆源碎屑滩坝和碳酸盐滩坝或者砂质滩坝、砾质滩坝和生物碎屑滩坝^[2,23,24]。

依据滩坝发育位置与构造单元关系划分为洼陷边缘过渡带的近岸砂坝和断阶带及断鼻构造侧翼或倾没部位发育的远岸砂坝^[25]。

综合滩坝砂体的成因类型划分为4类:湖岸线拐弯处的砂质滩坝、生物滩及鲕粒滩;水下古隆起区的生物滩、鲕粒滩及砂质滩坝;三角洲侧缘处的砂质滩坝;浅湖地区的砂质滩坝、生物滩及鲕粒滩^[26]。

3. 滩坝砂体的沉积特征

滩砂垂向剖面上砂岩与泥岩频繁互层,大的互层内部又发育更小一级的互层,垂向上粒序特征不明显。

坝砂表现为厚层砂岩与厚层泥岩的互层,砂层少但单层厚度相对较大,在横剖面呈底平顶凸或双凸型的透镜体。坝砂的顶底与浅湖泥的接触关系既可以是渐变的,也可以是突变的。垂向上粒度变化复杂,正韵律、反韵律层序及复合韵律均有发育^[16]。

Charles 建立了墨西哥西北部 Ship Rock 地区 Gallup 滨岸的剖面模型,分析了滩坝的沉积特征^[27]。Gordon 对 Michigan 湖西南滨岸分布的滩脊复合体的 7 种不同环境的沉积特征进行了探讨^[28]。

4. 滩坝砂体的微相类型及相模式

滩坝砂体是湖泊相重要的砂体类型。国内外对湖泊体系亚相的划分方案基本一致,即采用浪基面、枯水面和洪水面三个界面划分为深湖、半深湖、浅湖、滨湖、扩张湖以及湖湾亚相^[16,29,30]。在研究古代湖相沉积时,由于缺乏明显的亚相鉴别标志,而难以区分浅湖和滨湖亚相,因而通常笼统地称为滨浅湖亚相。

对滩坝砂体微相的划分,目前缺乏一个统一的划分方案,大体上存在三种方案。第一种明确将滩坝砂体单独划分开,将坝砂体划分为坝主体、坝侧缘、坝间微相;将滩砂分为滩主体、滩侧缘及滩间共 6 种微相类型^[31]。第二种不单独区分滩坝砂体,但是突出滩坝内外缘沉积的差异性,划分为坝前、滩坝外侧缘、滩坝主体、滩坝内侧缘及坝后 5 种微相类型^[23,32,33]。第三种方案,同样也将滩坝砂体单独划分开,将坝砂体划分为坝主体、坝边缘微相;将滩砂分为滩席(滩脊间)及滩脊共 4 种微相类型^[34,35]。此外,少数学者认为滨浅湖亚相可划分为泥滩、混合滩、砂质滩坝 3 种微相^[36]。

湖泊滩坝砂发育多种沉积模式。依据陆相断陷盆地不同演化阶段,分为断一拗期碟形洼陷碎屑岩滩坝相分布模式,断一拗期双断对称中隆型洼陷滩坝相分布模式,断陷期单断非对称式水下中隆型洼陷滩坝相 3 种分布模式^[4]。

依据湖平面变化,分为湖侵和湖退两种滩坝沉积模式^[7,8],其中湖退环境背景下沉积相模式显示了湖水变浅、滩坝向湖盆中心侧积的演化模式^[23]。

物源类型、物源供应强度及水动力条件对滩坝的形成有重要的影响。根据湖浪水动力强弱条件,可以建立正常波浪水动力条件和间歇性波浪条件下滩坝沉积模式^[8,37]。

朱筱敏等(1994)根据滩坝砂的分布位置等,分为湖岸线拐弯处、水下古隆起处、三角洲侧缘及开阔浅湖滩坝砂 4 种沉积模式^[26]。杨勇强等(2011)依据物源类型的不同,建立了基岩—滩坝沉积模式、扇三角洲—滩坝模式、正常三角洲—滩坝模式以及碳酸盐岩滩坝四种沉积模式^[2]。开阔滨浅湖滩坝砂是目前研究较多的一种类型,先后在车镇凹陷、板桥凹陷等建立了具体研究区的滨浅湖砂质滩坝相沉积模式^[5,7,38,39]。

1.2.2 滩坝砂构型研究进展

构型 (architecture) 主要指不同级次储层构型单元的大小、产状、几何形态以及空间接触关系等内容。构型的概念起源于河流相储层, 由 Allen 提出了 Fluvial architecture 的概念^[40], 描述河道、溢岸沉积的形态及其内部组合关系。随后, Miall 首次系统的提出了河流相储层构型单元分析法, 并提出了构型单元、构型界面等概念^[41]。随后, 国内外学者针对典型的露头 and 现代沉积, 运用构型的思想对不同的类型的沉积砂体进行了研究, 如漫溢沉积、冲积扇、障壁岛潮汐水道、三角洲平原、重力流水道、扇三角洲等^[42-47]。

构型理论的研究在曲流河储层研究中相对成熟, 建立了大量的沉积模式、构型定性定量模式, 为后来其他沉积类型的构型研究方法思路奠定了基础^[48-60]。如何文祥等 (2005) 以济阳坳陷东营凹陷胜坨油田胜二区沙二段为例, 运用储层构型分析法, 对三角洲前缘河口坝砂体划分为三种级次 (河口坝复合体、单一河口坝、河口坝内增生体), 建立了河口坝储集层构型模式^[61]。焦巧平等 (2009) 以克拉玛依油田三叠系克下组砂砾岩油藏为例, 对洪积扇相砂砾岩体储层构型研究方法进行了初探^[62]。

国外沿岸砂坝的沉积多以滨岸相为主, 且受到波浪、潮汐及沿岸流作用的共同改造, 而与我国典型的陆相湖泊滩坝沉积环境相比, 二者在沉积环境、水动力条件及其作用方式等方面有所不同^[63-67]。如 Lesli J W (2008) 利用古代和现代沉积体系的资料, 预测潮汐砂体的储层构型, 认为沉积物类型和数量、水深、潮汐流速和幅度都影响单个砂坝和砂脊的尺寸和分布^[68]。

近年来随着构型理论的发展, 在国内也有少数学者针对滩坝砂体做了一些初步的尝试。如陈清华 (2008), 金大伟 (2009) 运用“储层建筑结构分析法”和“储层构成单元分析方法”, 对东营凹陷史南地区湖相碳酸盐岩滩坝储层进行了精细划分对比, 建立了同期滩坝体识别标志, 对于碳酸盐岩滩坝的构型具有一定的意义^[69,70]。在储层层次划分上, 提出了油层组、砂层组、小层、单砂层及同期沉积单元的五级划分方案; 文中提到的层次要素类型与沉积微相类型一致; 其核心思想是“层内细分体、体内细分相”, 即单砂层内细分不同期的坝体, 在同一期的坝体又细分相。此外, 在对博兴凹陷沙四段的砂砾质滩坝储层分析中, 也同样存在储层结构要素与微相类型混淆, 层次界面划分方法和划分结果与经典 Mail 的界面分级方案存在较大分歧 (刘寅, 2009)。由此可见, 在运用构型方法进行滩坝砂地层对比、储层

分析中,忽视了界面的识别工作,层次划分方法和现在构型研究方法迥异,构型要素单元与沉积微相类型混淆,存在名词术语不统一的情况,缺乏系统规范的研究。文献中构型研究没有涉及与剩余油的关系,尤其是缺乏露头和现代沉积的实例研究,对构型单元内部夹层没有做工作。

目前文献调研表明,针对典型陆相湖泊砂质滩坝砂的构型研究成果甚少,未见报道。因此,本书结合现代沉积、露头等资料,运用构型理论,通过界面的识别划分,对滩坝砂单一坝及其内部进行定量解剖研究,探讨储层内部构型与剩余油的关系,具有重要的理论探索意义。

1.2.3 夹层描述研究进展

在开发中后期,隔夹层类型划分、识别及定量描述是开发地质研究的重点与难点^[71],同时砂体内部夹层描述是构型研究的一个重要内容和前沿课题。

隔夹层的分类主要有:①从岩性上分为泥质夹层、钙质夹层、灰质夹层等;②从成因上分为沉积型、成岩型;③从夹层的规模和空间连续性上分为相对稳定、较稳定和不稳定,也可称为随机性、过渡性和连续性三种^[72,73];④从对流体运动阻挡作用上,分为隔层(Barrier,指不渗透层)和夹层(Baffle,即相对低渗透层)^[74];⑤综合成因岩性分为泥质夹层、钙质夹层和物性夹层三类^[75]。

夹层描述已经进入一个从单井划分到井间预测、从定性规律统计到定量参数计算的新阶段,并产生了一系列的新方法和新思路。

地下储层夹层的识别分为单井识别和井间预测两个方面。在夹层研究中,一般单井识别方法主要有岩心识别、测井方法识别,利用单井资料建立隔夹层识别方法、标准及蜘蛛网图模板来识别夹层^[76,77]。井间识别主要有随机模拟方法和储层构型解剖方法。如严耀祖(2008)等应用随机建模方法建立了隔夹层分布模型,提出井间隔夹层预测新方法^[78]。近年来,随着曲流河、辫状河构型研究的深入,确定了夹层空间分布模式,为夹层的定量描述提供了新的思路^[79-81]。

在大量露头、现代沉积、水平井资料基础上对夹层的研究表明,同期砂体内部由于夹层所处位置不同或观测的方位的不同,所反映出的夹层的形态、长度、厚度及角度可能不同^[82-85]。目前,利用小井距对子井计算夹层

倾角的方法,已经得到广泛的应用^[86]。利用该方法得到的倾角数据在一定程度上能够代表当前条件下对夹层的认识程度。然而,不可否认的是,小井距对子法计算的夹层倾角实际为视倾角,应该对结果予以校正;校正的方法可以通过构型平面图和水平井资料来校正^[87]。

1.2.4 滩坝砂体内部夹层

关于滩坝砂内部夹层,有两种认识观点。早期认为,我国东部中、新生代湖盆滩坝砂体,由于湖盆水动力能量较小,碎屑物供应欠充足,一般形成薄层滩坝砂沉积;滩坝砂是分选较好,层内渗透率比较均匀,层内夹层相对不发育的均质储层^[88]。如杨国安等(2004)通过港中油田沙河街组湖相储层沉积微相的研究,认为坝砂体由多期正反韵律砂层叠加而成,中间无泥质夹层,一般厚5 m,最厚达30 m^[89]。

近年来,部分学者通过岩心观察表明,湖泊滩坝砂体内部发育不同岩性(泥质、灰质、白云质)的夹层。如邓宏文(2008)指出坝砂是由多个旋回叠置组成,旋回之间为薄层坝间泥岩夹层沉积,偶见灰质夹层^[5]。另外,在东营凹陷西部地区湖泊滩坝砂沉积发育砂泥互层和灰质、白云质的夹层^[90]。泥质夹层也有多种颜色,其颜色多为灰色、浅灰绿色及紫红色。不同的颜色的夹层代表不同的成因,如王萍等(2009)通过对东营凹陷陈官庄地区滩坝砂研究认为,滩坝砂内发育紫红色泥岩夹层,其成因主要与湖水对滨岸地带冲积扇扇端紫红色泥岩改造有关^[91]。

1.2.5 复杂断块滩坝砂剩余油分布

剩余油分布研究是石油工业迄今尚未得到完善解决的重大课题之一^[92],国内外众多的学者从多个角度对此进行了深入的研究。近年来,剩余油的研究也取得了丰硕的成果,以剩余油为主题的科技文献数量近五千篇,研究成果集中在剩余油的形成机理、分布规律、预测方法及挖潜技术三个方面上;同时在剩余油研究过程中,形成了一系列研究新方法、新技术和新思路。这也从另外一个方面折射出剩余油分布的复杂性和重要性。

剩余油大体上可以概括为两类:未动用或基本未动用的剩余油,已动用油层内部的剩余油(可以细分为平面上、厚度上及水淹区微观规模三个方

面^[93])。在复杂断块油田,储层受复杂断层及岩性所控制,在三维空间上具有“迷宫状”结构。受井网及地质认识的限制,通过钻井的加密、更新,仍有钻遇发现油砂体的可能性,这些剩余油潜力砂体仍属于剩余油的范畴^[94]。因此,研究港中油田已经发现的油砂体的控制因素和分布规律,可以更好地为寻找到潜在剩余油目标砂体服务。

复杂断块滩坝砂体原始油藏就存在油水分布零散、油水关系复杂的特征,在经过长期的注水开发和多轮次的调剖措施工作,剩余油的分布就更为复杂。本书首先从复杂断块剩余油分布、滩坝砂内部剩余油分布两个方面进行了文献调研。

1) 复杂断块剩余油分布

复杂断块油田断层发育、断块面积小、构造复杂、油水关系复杂。到开发中后期剩余油不但分散而且难以识别^[95],单一的剩余油研究方法不仅难以查明其分布规律^[96],而且单一因素所控制的剩余油数量也很有限。因此,应采用多种方法、新的思路进行综合研究复杂断块剩余油的分布。黄骅坳陷沙河街组发育不同级次断层,并且次一级断层的数目是上一级断层数目的3~5倍^[97]。小断层存在与否、封闭性能好差以及小断层后期是否活化,对于开发中后期复杂断块的剩余油分布有着关键的影响^[98]。如 Ambrose 等(1998)对马拉开博湖北部第三纪临滨储层的研究,指出岩相构型和构造是控制储层结构、流体运移通道和剩余油分布的主要控制因素^[99]。近年来,东部断块老油田进行多轮次油藏描述,对地下构造、储层和流体已有一定的认识。然而油田的采收率却难以大幅度提高,究其原因有三个方面的原因:对储层的真实面貌仍然认识不够清楚,特别是井间问题;依据老的低精度地震资料解释的断层及其平面分布位置,制约着剩余油富集区的确定;微幅构造的类型及其平面确定,影响着剩余油分布范围。因此,综合运用构造精细解释、单砂体刻画及其储层内部结构研究,重新构建复杂断块地下认识体系,对于复杂断块剩余油分布研究很有必要性^[100,101]。

2) 滩坝砂剩余油分布

不同沉积类型的储集层具有不同的采收率和剩余油分布规律^[102]。据测算,滩坝砂体在含水100%时的驱油效率平均为67.1%,平均可动剩余油分布概率为27.3%^[103]。在储量较大的油砂体内部还有很大潜力,是目前挖潜的重点目标。如在东营凹陷平方王滩坝相低渗透油田,储层宏观非均质性对水驱油开发和剩余油形成、分布的控制作用。研究认为,油层的水淹层厚度及垂向的剩余油分布受控于层间和层内非均质,油层的水淹面积和平面剩余