



SONG LIAO HUPEN

JINGXI CHUCENG CHENJIXUE YANJIU

松辽湖盆 精细储层沉积学研究

◎ 赵翰卿 著



石油工业出版社

松辽湖盆精细储层沉积学研究

赵翰卿 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了20世纪70年代中期以来作者在大庆油田精细储层沉积学研究方面取得的重要成果,主要包括大庆长垣大型河流—三角洲体系储层精细对比和储层细分沉积相研究方法,坳陷湖盆大型浅水叶状三角洲沉积理论和沉积模式、砂体成因类型与非均质特征,低渗透表外储层的地质特征与空间分布模式,密井网条件下的精细储层描述技术,以及储层沉积学研究成果在油田开发中的作用。对砂岩油田的储层研究,尤其是开发中、后期的精细储层描述和调整挖潜具有重要指导作用。

本书可供油田开发地质研究人员及石油院校的相关师生们参考。

图书在版编目(CIP)数据

松辽湖盆精细储层沉积学研究/赵翰卿著.

北京:石油工业出版社,2009.12

ISBN 978-7-5021-7376-0

I. 松…

II. 赵…

III. 含油气盆地-油气藏-储集层-研究-东北地区

IV. P618.130.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第161907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.cn

发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:保定彩虹印刷有限公司

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:16.25

字数:412千字 印数:1—1000册

定价:68.00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

前 言

大庆长垣油田自 1960 年投入开发以来, 一直是大庆油田的主力产油区, 几十年来的高效开发为我国的石油工业做出了巨大的贡献, 它的地质工作历程和技术发展状况, 谱写了我国油田开发地质的光辉篇章。

大庆长垣油田的主要开采层系萨尔图、葡萄花和高台子油层总厚度为 300 ~ 500m, 埋藏深度为 700 ~ 1200m, 属于早白垩世中、晚期松辽湖盆北部的大型河流—三角洲沉积。这是一套为数不多的、以大型浅水湖盆叶状三角洲沉积为主的陆相碎屑岩储层, 其层数众多, 分布面积广阔, 单层厚度薄, 层间差异大, 平面微相变化复杂, 厚油层内部不均一, 在注水开发中表现出严重的层间、平面和层内非均质性。原始沉积作用是控制这套储层的非均质性和决定其注水开发中层间、平面、层内三大基本矛盾的主导因素。因此, 储层研究成为油田地质工作的核心任务, 从沉积成因研究入手是认识这套储层的根本途径。

实践表明, 人们对这套复杂储层的认识不可能在开发早期一次完成, 必须经过反复实践、不断深化的认识过程。大庆长垣油田的储层研究工作 50 年来经历了如下几个发展阶段:

- (1) 1960—1973 年: 开创小层对比和油砂体研究阶段;
- (2) 1974—1985 年: 应用细分沉积相技术从成因上深入研究储层阶段;
- (3) 1986—1990 年: 探索表外储层地质特征, 全面认识储层阶段;
- (4) 1991—2002 年: 密井网条件下的精细储层描述阶段;
- (5) 2002 年以来: 多学科集成化油藏研究阶段。

本书重点介绍了 1974 年以来作者在大庆长垣油田精细储层沉积学研究方面公开发表的论文, 为了内容的完整性及对后人能有更多的启迪, 编辑中增加了几篇尚未发表的方法性论述文章, 并对部分文章的内容进行了适当的修改, 补充了一些有用的图幅。全书共分为五篇: 第一篇为总论, 系统介绍了大庆长垣油田储层研究的历程及其取得的主要技术成果; 第二篇为储层细分沉积相研究部分, 着重论述了储层细分沉积相的研究方法, 松辽湖盆大型浅水叶状三角洲的沉积理论、模式、砂体成因类型、非均质特征及其在油田开发中的作用; 第三篇为表外储层地质特征研究部分, 深入探讨了大庆长垣油田表外储层的地质特征、储量潜力及其与表内储层的空间分布关系; 第四篇为密井网精细储层描述部分, 全面论述了高含水后期密井网条件下精细储层地质模型的概念、描述方法和技术及其在油田调整挖潜中的作用; 第五篇为作者在相关国际会议上发表的论文。

本书的完成不仅仅代表作者个人的成绩, 它更多地反映了大庆油田勘探开发研究院和大庆油田开发地质系统几十年来卓绝奋斗的成果。在这里仅向所有关心、支持过的各级领导们表示衷心的感谢, 向与共同奋斗并付出过艰辛劳动的同事们表示衷心的感谢!

由于水平有限, 书中谬误之处在所难免, 敬请读者批评指正!

作 者

2009 年 3 月于大庆

目 录

第一篇 总 论

大庆长垣油田开发地质研究历程	(3)
大庆油田储层研究	(10)

第二篇 储层细分沉积相研究

大庆油田河流—三角洲沉积油层对比方法	(21)
松辽湖盆大型河流—三角洲体系储层细分沉积相研究方法	(34)
松辽湖盆大型河流—三角洲沉积的层理类型与沉积层序	(40)
长垣北部葡 I 1—4 油层沉积模式讨论	(54)
松辽湖盆大型叶状三角洲沉积模式	(66)
松辽湖盆大型河流—叶状三角洲体系砂体成因类型、非均质与水淹特征	(75)
松辽湖盆大型叶状三角洲沉积的特殊性	(97)
河道砂岩中夹层的稳定性	(102)

第三篇 表外储层地质特征研究

大型河流—三角洲体系中表外储层与隔层的分布模式	(113)
井网密度对河流—三角洲砂体控制程度	(122)

第四篇 密井网精细储层描述

储层地质模型概念与类型	(131)
应用密井网测井曲线精细研制河流相储层沉积模型	(135)
泛滥—分流平原相储层河间砂体的精细描述	(143)
储层层次分析和模式预测描述法——密井网精细储层描述技术	(148)
松辽湖盆大型河流—三角洲体系精细储层地质模型	(164)
精细储层描述成果在油田开发中的应用	(178)
应用精细地质研究准确鉴别古代河流砂体	(187)
储层非均质体系、砂体内部建筑结构和流动单元研究思路探讨	(194)
对储层流动单元研究的认识与建议	(200)
河道砂岩复合体中单一河道砂体的识别方法	(204)
河道砂岩储层大孔道研究思路	(209)
高分辨率层序地层学基准面旋回对比与我国的小层对比	(213)
开发地质学的进展与攻关方向	(221)

第五篇 在国际会议上发表的论文

Using Close Spacing Well Logging Curves To Finely Develop Fluvial Facies Reservoir Sedimentation Models	(233)
Depositional Models and Sandbody Heterogeneities for Lacustrine Delta in Daqing Placanticline	(243)
Study on Detailed Geological Modelling for Fluvial Sandstone Reservoir in Daqing Oilfield	(254)

第一篇 总 论

大庆长垣油田开发地质研究历程

摘要:概括总结了 50 年来,人们如何从沉积成因入手,对大庆长垣这套复杂的大型河流—三角洲相储层,通过小层对比、细分沉积相、表外储层研究、密井网精细储层描述和多学科集成化油藏研究这样一个不断深化的认识过程,逐步揭示其本来面貌,从而保证油田长期高效开发的一些主要做法和取得的成绩。

大庆长垣油田自 1960 年投入开发以来，一直是大庆油田的主力产油区，几十年来的高效开发为我国的石油工业作出了巨大的贡献，它的地质工作历程和技术发展状况，谱写了我国油田开发地质的光辉篇章。实践表明，没有坚实的油藏地质研究工作，就不会有油田开发的高水平，油田上每一次地质认识的重大突破，都会带来油田开发上的一场革命。

大庆长垣油田位于松辽盆地中央坳陷区大庆长垣二级构造带上, 该构造带轴向北东 20° , 南北长 140km , 东西宽 $10\sim 30\text{km}$, 葡 I 组顶面以海拔 -1050m 构造等高线圈闭的闭合面积为 2800km^2 。内部由 7 个三级局部构造组成, 自北而南依次为: 喇嘛甸、萨尔图、杏树岗、太平屯、高台子、葡萄花、敖包塔构造 (图 1)。

长垣北部的喇嘛甸、萨尔图、杏树岗(以下简称喇、萨、杏)3个油田连为一体,构造幅度较大,东翼缓,西翼陡,顶部比较平坦,葡I组顶面海拔最高点为-632m,主要开采萨尔图、葡萄花和高台子油层,是大庆长垣的主力油田,占长垣地质储量的90%以上。长垣南部的4个油田相对分散,且构造幅度较低,由于相变只发育葡I组油层。整个长垣上发现有640多条断层,绝大多数属于中、小型正断层,其中在长垣北部分布有350多条,以北西走向为主;在长垣南部分布有290多条,以近南北走向为主,次为

北西走向。这些断层的断距一般为 20 ~ 60m, 最大为 180m, 倾角 40° ~ 50°, 延伸长度一般为 1 ~ 3km, 最长 10km。仅在喇嘛甸、萨尔图和杏西构造西侧发现有 3 条下正上逆长期活动的大断层, 但没有破坏长垣构造的完整性。因此, 长垣北部的喇、萨、杏油田属于整装的一块状构造油气藏, 各套油层处于同一水动力系统, 具有统一的油水界面, 纯油区内无夹层水。

喇、萨、杏油田开采的萨尔图、葡萄花和高台子油层地层厚度为 300~500m, 埋藏深度为 700~1200m, 属于早白垩世中、晚期松辽湖盆北部的一套大型河流—三角洲沉积(图

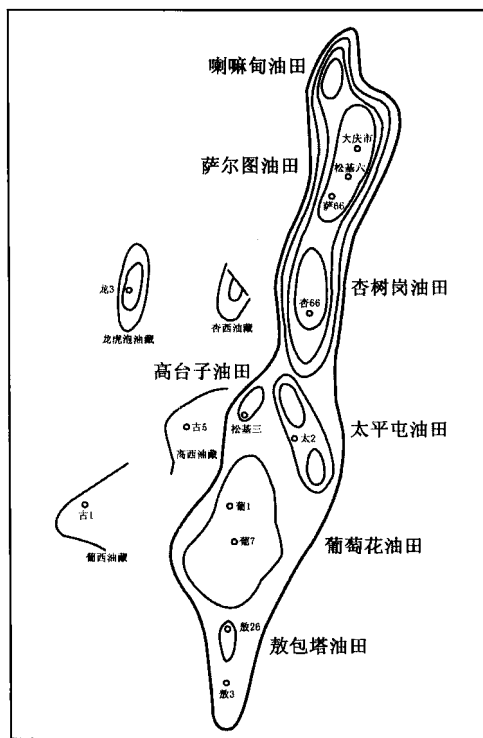


图1 大庆长垣油田分布示意图

2)。这是一套复杂的陆相碎屑岩储层，其层数众多，分布面积广阔，单层厚度薄，层间差异大，平面微相变化复杂，厚油层层内显著不均一，在注水开发中表现出严重的层间、平面和层内非均质性。

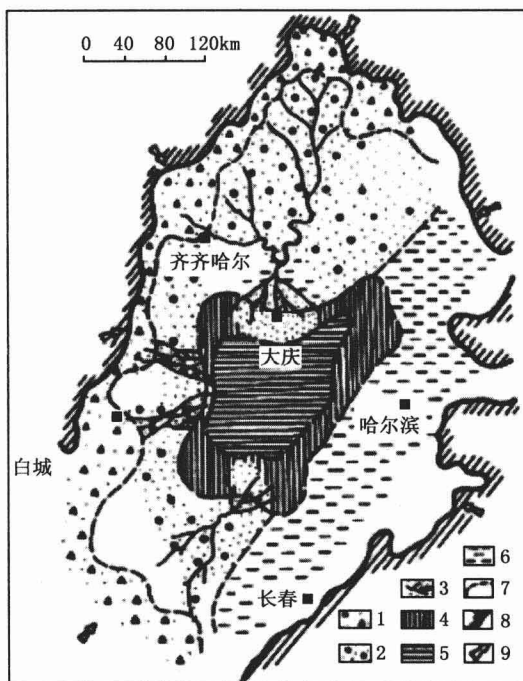


图2 松辽盆地青二、三段沉积相带图

1—冲积扇；2—河流泛滥平原；3—三角洲；

4—滨浅湖；5—深湖；6—泥坪；

7—相带分界；8—盆地边界；9—物源方向

在这样的构造比较完整、断层规模较小、油水分布比较规则、油层埋藏较浅、成岩作用不强烈（处于早成岩作用的晚期）、裂缝不发育的油藏条件下，其原始沉积作用则是控制储层的非均质性、决定注水开发中的层间、平面和层内三大基本矛盾的主导因素。因此，储层研究成为喇、萨、杏油田开发地质工作的核心任务，从沉积成因研究入手则是认识这套储层的根本途径。

实践表明，人们对这样复杂储层的认识不可能在开发早期一次完成，许多具体的非均质特征和属性只能在长期的注水开发和三次采油过程中，通过不断增加的钻井资料和开采动态资料，以及人们的知识水平和认识能力的提高而逐渐完善。因此，“钻探油田的开始只是认识油田的开始，开发油田的终了才是认识油田的终了，对油田的认识也是一个反复实践、由点及面、由浅入深的逐步深化过程。”为了开发好喇、萨、杏油田这一宝贵资源，储层研究工作一直本着精雕细刻的精神，采用动静结合的研究手段，紧密围绕油田生产的需要，通过实践—认识—再

实践—再认识的过程，分阶段、分层次不断地精细认识储层的各项地质特征，从而为油田的高效开发作出了重要贡献。

总体来看，喇、萨、杏油田的开发地质工作大体经历了如下5个发展阶段：

- (1) 开创小层对比和油砂体研究阶段（1960—1973年）；
- (2) 应用细分沉积相技术从成因上深入研究储层阶段（1974—1985年）；
- (3) 探索表外储层地质特征，全面认识储层阶段（1986—1990年）；
- (4) 密井网条件下的精细储层描述阶段（1991—2002年）；
- (5) 多学科集成化油藏研究阶段（2002年以来）。

下面将概括地论述每一个阶段所取得的技术成果和技术进步。

一、开创小层对比和油砂体研究阶段（1960—1973年）

大庆长垣油田于1959年9月26日因松基三井高台子油层喷油而发现，1960年开展了松辽石油大会战，仅用了一年零三个月的时间就高速度、高水平地探明了大庆长垣油田的基本地质特征、含油面积和地质储量，同时开辟并扩大了萨中开发生产试验区。此后整个60年

代至 70 年代初期,大庆长垣油田都处于分区分块详探、逐步全面投入开发的状态。

该阶段油田开发地质工作的首要任务是通过分区分块部署一定密度的资料井(评价井),获取大量的第一性资料(包括岩心及其分析化验资料,单层试油、测井和地震详查等资料),进一步验证每个油田(区块)的构造形态和断层展布特征,搞清储层与所含流体的性质及其空间分布状况,核实油水界面、含油面积、有效厚度等各项储量参数及各油层的产能,算准油田地质储量,为开发方案的编制提供可靠的地质依据。其次是结合已开发区块生产井的静、动态资料,详细研究落实油藏的各项地质特征,尤其是储层的发育状况及其在注水开发中的动态表现,进一步核实油田地质储量。总之,本阶段既要搞清油藏的基本地质特征,保证开发方案编制的需要,又要研究探索油田开发地质的基本工作方法,同时还要通过油田注水开发暴露出的矛盾,从地质上寻找原因去解决。

该阶段喇、萨、杏油田储层研究工作的主要成果是在湖相成层沉积理论指导下,利用陆相盆地构造运动、气候及水动力的多级次旋回性演变对储层沉积的敏感影响,在岩心和测井曲线中通过百万次分析、百万次对比,创造出“旋回对比、分级控制”的小层对比方法,突破了国内外长期以来单纯依靠标准层大段整体对比、大平均笼统认识储层的传统做法,实现了分小层按油砂体和连通体认识地下储层。从而详细地刻画了储层间的相互关系和变化规律,揭示了油藏的层间、平面和层内非均质特征,大大提高了油藏描述的精度,不仅为油田实行分层开采提供了重要地质依据,而且还通过动态反映进一步揭示了油藏在注水开发中的层间、平面和层内三大基本矛盾。

此外,还在储量计算原则和参数求取方法、储层有效厚度标准、油水层识别、油水界面和油水边界确定、构造和断层描述等方面做了大量工作,并形成了一系列基本工作方法。

二、应用细分沉积相技术从成因上深入研究储层阶段 (1974—1985 年)

20 世纪 70 年代早期至 80 年代中期,大庆长垣油田处于基础井网全面开采阶段,并着手进行非主力油层开发层系细分调整。60 年代萨尔图油田的注水开发实践即已揭示了注入水沿着主力油层单层突进和平面上的严重指进现象,致使注水井排排液拉水线失败。地质研究还揭示了厚砂岩内部的粒度和渗透率普遍呈正韵律性分布,其主体带具有与物源方向一致的南北向方向性,底部常发育有冲刷面和底砾岩,并将其解释为切割—充填式的“水下冲沟”沉积。至本阶段,油田的三大基本矛盾更加突出,注入水推进更加不均一。主要表现为注入水优先沿着主力油层主体带底部快速推进,平面水淹不均匀,层内水淹厚度小,含水上升速度快,开发效果差;受主力油层干扰,非主力油层注水受效差,表明储层的层间、平面和层内非均性相当严重,这些均与简单成层的湖相沉积相互矛盾。储层研究的首要任务应是从沉积成因上进行再认识,解释动、静不符的矛盾及严重非均质产生的原因,然后再对整套储层的层间非均质特征进行深入研究,为改善主力油层的开发效果及非主力油层开发层系细分调整提供地质依据。

本阶段储层研究工作应用了现代沉积学的理论、知识和经验,深入开展了各种指相标志研究,并采用动、静结合的研究方式,把储层沉积成因、空间分布状况和储油物性的非均质特征与注水开发中的油、水运动规律和三大矛盾结合起来研究。认识到大庆长垣油田的萨、葡萄花、高台子(以下可简称葡、高)油层是早白垩世中、晚期自北而南注入松辽湖盆北

部的一套大型河流—三角洲沉积，并不是简单成层的湖相沉积，油田北部发育有大量的南北向条带状河道砂体，从而解释了动、静不符的矛盾：在多层合采条件下，注入水的单层突进主要是沿着主力油层大型河道砂岩主体带底部高渗透条带这一“自然水路”快速推进造成的，而非主力油层中的席状砂与中、小型河道砂岩及主力油层大型河道砂岩的顶部和边部均受到不同程度的干扰。并且认识到体系中每一条原始河道砂体在注水开发中都是一个相对独立的油、水运动系统，其储层性质由河道中心主体带向两侧变差，厚度变薄，由此因势利导产生了“高注低采”、“厚注薄采”、“河沟潜力河边挖”等水驱采油调整挖潜的新方式。突破了区域岩相古地理的传统研究方法，逐步形成了以河流—三角洲的单一旋回层为描述基础，以生产井网的测井曲线和砂体组合形态为主要划相标志的一整套油田储层细分沉积相技术。发展了河流—三角洲沉积油层对比方法，提出了“旋回对比、分级控制、不同相带区别对待”的相控旋回等时对比方法，将整套河流—三角洲沉积在垂向上划分到单一沉积单元（或小层），它们是控制油水运动的相对独立单元，并把储层的连通状况按照成因相的区别划分为3种连通类型。经过仔细的分析对比，认为该方法与T. A. Croos在20世纪90年代中期提出的高分辨率层序地层对比方法（基准面旋回对比）完全是同一种技术。逐层描述了砂体宏观分布面貌，确定了各小层中的湖岸线和亚相带分布。通过对松辽湖盆北部大型三角洲沉积区独特的沉积条件和沉积特征的精辟分析，从理论上突破了当时湖盆三角洲经典的“吉尔伯特”型“叠瓦状”加积模式，创立了松辽湖盆大型叶状复合三角洲的“叠叶状”加积模式，以及枝状、坨状、枝—坨过渡状和席状4种单体三角洲沉积模式。系统地识别出11种非均质和油、水运动特点各异的沉积砂体，即曲流河砂体、砂质辫状河砂体、高弯曲分流砂体、低弯曲分流砂体、顺直分流砂体、水下分流砂体、河间砂体、三角洲内前缘席状砂体、三角洲外前缘席状砂体、坝状砂体及滨外坝砂体，并系统描述了它们的非均质特征和油水运动规律。探讨了与其他三角洲的某些重要区别，指出不发育较厚的大型河口坝砂体，代之以较薄的前缘席状砂体与水下分流河道砂体，是这一大型浅水三角洲与其他三角洲沉积的一项重要区别。在湖盆显著收缩近于干涸时期，可形成以水下分流河道沉积为主体、前缘席状砂很不发育的“干枝状”三角洲沉积，是这一湖盆三角洲沉积的又一特色。

在各类油层油、水运动及动用状况研究的基础上，通过对单体三角洲沉积模式、沉积相带及砂体成因类型在油藏中分布状况的具体分析，认识到造成层间差异的根本原因是各时期沉积环境和砂体成因类型的不同，各个开发区由于沉积环境的总体差异，层间非均质程度亦不同。把相同沉积相带、相同成因及相同分布组合模式的砂体组合在一套开发层系中是最理想的层系划分，它们的层间渗透率差异通常小于3倍，层间干扰很小。不同模式的三角洲沉积在油藏中的层段性分布，反映沉积条件的阶段性演变，为开发层系的细分调整提供了重要的地质依据。

该阶段可进一步细分为两个小阶段：

- (1) 以主力油层为对象，探索油田储层细分沉积相研究方法阶段（1974—1977年）；
- (2) 全面开展油田储层细分沉积相研究，完善研究方法，创立陆相大型湖盆河流—三角洲沉积理论和模式阶段（1978—1985年）。

三、探索表外储层地质特征，全面认识储层阶段 (1986—1990 年)

20 世纪 80 年代中、后期，经过开发层系细分调整，大庆长垣油田已进入高含水开采阶段，除了继续深入进行非主力油层开发层系调整外，还要对薄差油层、表外储层（即储量公报平衡表以外的储层，以往称未划储层）进行井网加密调整，尽可能地挖掘油藏的储量潜力。储层研究的任务是要详细研究薄差油层和表外储层的地质特征，搞清其与好油层的相互关系，全面系统地认识储层的空间分布面貌，为薄差油层和表外储层的全面开发与井网加密调整提供可靠的地质依据。

此阶段全面开展了体系内低渗透薄差油层，尤其是表外储层地质特征的研究，系统建立了表外储层的空间分布模式，较为准确地估算出它们的地质储量。认识到表外储层不是简单的独立成层沉积，它与表内薄差油层和好油层是连续沉积的统一整体；表外储层是表内砂岩储层向泥质岩演化中的过渡性岩相，主要分布在表内储层的顶、底、周边和内部变差带，与表内薄差油层紧密相邻；同样具有层薄、层多、分布广泛而复杂的沉积特点，并且具有决口泛滥型、局部变差型、充填连片型和稳定沙席型 4 种空间分布模式。这类储层由于本身泥质含量高，因此井间属于“非实体连通”，砂体间的渗流阻力大，需要较密井网开发。采用特殊的计算方法，较为准确地估算出它们具有可观的地质储量，而且大都没有动用。现场试验表明，在消除层间干扰的条件下，它们可以吸水、出油，并且能够完善表内储层的注采关系，甚至能够采出表内储层中难以开采的储量。表外储层的描述进一步完善了人们对储层分布面貌的整体认识，也为油田高含水期调整挖潜找到了新的储量潜力。

四、密井网条件下的精细储层描述阶段（1991—2002 年）

20 世纪 90 年代以来，大庆长垣油田已进入高含水后期开采阶段，为了确保油田更长期的高产稳产，除了继续对薄差油层、表外储层进行井网加密调整外，开始对高渗透厚油层进行大规模的三次采油。由于经过多次层系细分调整，油田层间矛盾得以缓和，但平面和层内矛盾仍然比较严重，剩余油分布状况日趋分散、复杂，而且难以认识和寻找，必须依靠各种方法的综合分析才能奏效。储层的宏观分布面貌决定了井网对储层的控制程度和注采关系的完善程度，进而影响到平面剩余油的分布规律，而层内非均质性决定了储层的水驱开发效果。因此，储层描述的重点是深入揭示单砂层的平面和层内非均质性，搞清各类储层中剩余油的分布规律和挖潜措施，并为三次采油方案设计和跟踪调整提供地质依据，以便大幅度提高油田的采收率。

此时油田上已拥有较密集的开发井网和大量开采动态资料，并且积累了储层细分沉积相的丰富知识和经验。在 Andrew D. Miall 和 Douglas W. Jordan 等人对古代河流相露头 and 现代曲流河沉积分级描述思想启发下，依据松辽湖盆北部大型河流—三角洲体系内储层的自然层次性和油田密井网测井曲线所能反映的各种沉积特征和沉积界面，在多年来储层细分沉积相积累的丰富知识和经验的基础上，成功地探索出一套适用于大型河流—三角洲沉积复杂非均质体系的精细储层描述技术——“储层层次分析和模式预测描述法”。该项技术可概括为：在当代沉积学理论指导下，依据油田密井网测井资料所反映的各种沉积特征和沉积界面，以及

大型河流—三角洲沉积各类储层特有的沉积规律和沉积模式，采用层次分析和模式预测描述法，由大到小、由粗到细、分层次逐级解剖砂体几何形态和内部建筑结构，精细而又预测性地建立储层地质模型，系统描述储层的宏观非均质体系。

其中，储层层次分析可分为如下 7 个描述层次：

- (1) 在整套储层中划分不同结构的岩相段——建立层段结构模型；
- (2) 岩相段内细分对比到沉积单元或单砂层——建立单砂层划分对比模型；
- (3) 单砂层平面上细分沉积微相和相对均质单元——建立微相分布模型；
- (4) 在复合砂体中识别描述单砂体——建立单砂体分布模型；
- (5) 描述储层平面非均质特征——建立单砂体精细沉积模型和平面非均质模型；
- (6) 解剖单砂体内部建筑结构——建立单砂体内部结构和非均质模型；
- (7) 综合建立储层三维地质模型。

储层模式预测描述法是指以各种沉积模式和沉积学知识为指导，对储层的空间分布和物性特征进行模式化预测性描述与编图的做法，它与以往比较机械的编图方法有显著的区别。采用这种描述方法可以对砂体的连续性与分布规律、砂体几何形态和井间边界位置，以及砂体的厚度分布形式和渗透率非均质性进行预测性仿真描述，从而大大提高了储层描述的精度，成为井间砂体预测的有效方法。采用这种描述方法首先需要对各类储层的成因进行正确的判断，然后是按照其固有的沉积模式和规律性在井点之间进行详细的推理和预测，这就需要有较好的沉积学研究基础和大面积密井网资料。

采用上述精细储层描述技术，实现了对松辽湖盆大型河流—三角洲沉积储层分层次的精细描述，把整套储层在纵向上划分到单砂层，在平面上描述到沉积微相和单砂体，并可预测性地描绘砂体的几何形态、井间连续性和储层非均质性，准确地判断砂体的成因类型，揭示砂体内部建筑结构特征，从而系统地建立了大庆长垣 11 类储层的精细地质模型，这实质上是在进行储层流动单元划分研究，并使储层沉积学技术产生了质的飞跃。通过加密钻井资料的检验和大量生产实践，证实了描述的精细性和可靠性，从而满足了高含水后期油田调整挖潜和三次采油工作的需要。

此外，为了更深入地挖掘老油田的储量潜力，实现油田的可持续发展，本阶段在开展精细储层描述的同时，还对长垣油田的油藏地质特征进行了全面的再认识研究。

五、多学科集成化油藏研究阶段（2002 年以来）

2002 年以来，为了适应高含水后期和特高含水期油田可持续发展的需要，采用了地质、测井、测试、开发地震、油藏工程、采油工艺和计算机技术等多学科集成化油藏研究的方式，通过精细地质研究、相控地质建模、大规模油藏数值模拟和开发动态分析，逐步实现剩余油的定量描述和精细调整挖潜。大庆长垣油田的地质研究工作在继续深化精细储层描述技术的同时，以建立精细可靠、可直接用于大规模油藏数值模拟的三维地质模型为主攻目标，并制定了力争在 5~7 年的时间内全面完成长垣油田三维地质建模的宏伟工作计划。在具体工作中，采用相控地质建模技术，以精细描述的单砂层微相分布图为原型模型，矢量化后直接输入，以约束储层非均质的描述，精细准确地建立储层三维地质模型，有效地解决了井间砂体预测的难题，为开展大规模油藏数值模拟和剩余油定量描述奠定了坚实的基础，并使大庆长垣油田的地质研究工作迅速地向数字化油藏描述方向迈进。

结 语

目前，多学科集成化油藏研究正在全油田如火如荼地开展着，密井网精细储层描述还在向砂体内部建筑结构、储层流动单元、大孔道识别和井—震联合地质建模方向深化，这些技术的进展必将为特高含水期的调整挖潜、三次采油以及百年油田的开发提供更加可靠的技术保障。

大庆油田储层研究

摘要：从油田开发的特殊性和提高采收率的需要出发，阐述了开发储层研究的基本任务，并以大庆长垣的储层研究为例，论述了我国陆相大油田储层非均质性的基本特征和不同开发阶段储层研究的基本做法，总结了陆相非均质大油田储层研究工作的基本特点。

储层是油藏中油、气储集的具体场所，也是油、气勘探和开发的目标与对象。无论在勘探或开发阶段，储层研究都是油藏描述的核心工作，它不仅直接为油气勘探和开发服务，而且也对油气勘探和开发起着重要的指导作用。

然而，勘探和开发阶段的储层研究工作有明显的区别。在勘探阶段，储层研究是为勘探找油服务，是在传统石油地质学和沉积学理论指导下，主要研究储层的宏观成因类型、区域性分布、演化规律、形态轮廓、砂体规模、平均物性参数、地质储量及其与生油层、盖层的匹配状况或圈闭条件等。着重探讨在漫长的地质时期中在重力分异作用和自然条件下，油、气在储层中缓慢运移和聚集的总体规律。通常在中、高渗透性油藏中，储层的非均质性对油、气的宏观聚集并不起重要控制作用。

一个油田发现以后，随着油田开发程度的不断深化，所要研究和解决的地质问题也愈来愈深入、细致，甚至完全进入与勘探阶段截然不同的新领域，这就逐渐形成了石油开发地质学这一新学科，开发储层研究就属于这一学科的研究范畴。在油田开发过程中，油、气在储层中的运移是处于时间短、压差大、运移方式方向复杂多变状态下的快速运移，驱动能量主要是人工提供的，并且是在众多的井点中被开采出来。在这种条件下，油藏中不是所有的油、气都能被开采出来，只有那些处在驱动范围内、连通较好的相对高渗透孔隙中的油、气才能被开采出来。储层空间分布状况和储油物性的三维非均质性对油田开发效果影响很大，它们决定了油田注水开发中层间、平面和层内三大基本矛盾的具体特征和储层中的油、水运动规律（或水驱油的不均一性），成为油田开发和调整工作的重要依据。开发储层研究的基本任务就是在开发地质学、储层沉积学和渗流力学理论和方法指导下，针对引起油田开发三大基本矛盾的储层空间分布状况和储油物性的层间、平面和层内非均质问题开展研究工作，并结合注水开发中的油、水运动特点，不断地认识和揭示储层的本来面目，为选择合适的开发调整措施提供依据，改善开发效果，提高油田采收率。

在油田开发阶段，储层研究工作仍然是油藏描述工作的核心。油藏描述的众多对象中最重要的是储层，往往最复杂的也是储层。尤其是在大庆长垣这样的陆相非均质整装大型构造油气藏中，构造和断层比较简单，裂缝不发育，流体性质及其分布较为规律，成岩后生改造作用也不太强烈，最为复杂的就是这套严重非均质的薄互层型砂岩储层。油田投入开发以后，油藏中的许多基础地质工作已经基本搞清，地质研究的重点主要是对储层进行再认识。在勘探和开发设计阶段，仅仅依靠地震和少量探井资料，只能对储层的某些特征建立轮廓性的宏观整体认识，许多具体的特征和属性，尤其是导致油田开发三大基本矛盾的储层三维非均质特征，只能在长期的注水开发甚至三次采油过程中，通过不断加密的钻井资料、大量的开采动态资料，以及对水驱油和三次采油全过程的系统观察逐步加以认识和完善。

陆相油田储层的非均质性虽然都比较严重,但不同油田有不同的特征,要具体问题具体分析,抓住油田不同开采阶段的主要矛盾开展储层研究工作。下文以大庆长垣的储层研究为例,论述我国陆相大油田储层研究的基本做法和特点。

一、大庆长垣储层非均质的基本特征

大庆长垣上的萨尔图、葡萄花和高台子油层是早白垩世中、晚期松辽湖盆北部的一套大型河流—三角洲沉积,总厚度约 500m,由 130 多个小砂层与泥质岩交互组成,属于典型的陆相非均质薄互层型砂岩油气藏。这套储层形成于松辽盆地整体坳陷过程中的一个显著回返和充填时期(青山口组水退旋回中、晚期至姚家—嫩江组水进旋回早、中期)。盆地沉降速度明显减慢,气候变得相对干燥,周边碎屑物质供给丰富,河流—三角洲沉积十分发育,湖盆被抬升和淤塞变浅。沿盆地长轴缓坡方向自北而南注入湖盆的北部大型河流—三角洲体系具有独特的大型浅水湖盆的沉积特点:沉积区坡降平缓,地形平坦,湖水很浅,湖面波动频繁,湖岸线摆动大而迅速,在水退高峰期湖泊变得很小,波浪能量弱而波及范围广阔,河流源远流长,能量较强,对三角洲的建设始终起着控制作用。

这种独特的沉积条件导致体系中的单体三角洲沉积呈薄而广阔的叶片状分布,厚度多为 6~8m,面积可超过 1000km²,自陆向湖平缓延伸,平面上相带分异完善,可划分出非常宽裕的分流平原和三角洲内、外前缘相等亚相带,并且都具有十分强烈的平面非均质性。分流平原以频繁分叉的树枝状分流河道砂岩为主体,砂体规模多数较窄,而且随着河道砂体数目向下游的逐渐增多,规模愈来愈窄小;分流间砂体始终小而零散,平面相变迅速;即使在上游大型河道砂体发育的地区,其平面上也是十分不均质的。至三角洲内前缘亚相,在湖水极浅的时期里,往往以数目众多的窄小枝状或网状水下分流河道砂岩为主体,宽度多数小于 100~300m,席状砂极不发育。在水退高峰期(如姚一段沉积时期),这种水下分流河道砂体几乎占据整个三角洲前缘相,而席状砂始终不很发育,表现出极端的平面非均质性。在湖水相对较深的时期里,各分流河口前端也未出现较厚的大型河口坝砂体,而是发育为不够稳定的联合席状砂,其中散布着许多残余水下分流河道厚砂体及小范围的泥质岩沉积,反映湖水总体还是较浅。在湖浪长期改造的三角洲外前缘亚相,也存在着许多连续性不太好的破席状、带状及片状砂体,即使在连续性很好的席状砂中也有厚度和物性的明显变化。因此,这套储层在平面上是十分不均质的。

不同时期的三角洲叶状体基本上呈叠置状加积(在河道砂岩发育区为切割—叠加状)。由于湖盆长期缓慢节奏性沉降,以及湖岸线大幅度地迅速摆动和三角洲叶体的反复迁移,使油藏剖面上显示出明显的多级次旋回性和复杂的岩相组合。表现为不同相带、不同成因的厚油层与薄油层(单层厚度从 0.1~10.0m)、高渗透油层与低渗透油层、稳定油层与不稳定油层在剖面上交互分布,在平面上相互搭配,构成了比其他三角洲沉积更为严重的层间和平面非均质面貌。相比之下,砂体层内非均质性较为缓和,仅在部分近上游的大型河道砂体中比较严重。

对这样一个严重非均质的大油田来讲,储层研究工作不可能一次完成,必然是长期而艰巨的。油田投入开发不等于对储层认识的结束,恰恰是深入认识储层新阶段的开始,整个油田开发过程应是一个不断深入认识储层和改造储层的过程。由于原始沉积环境对储层的空间分布状况和储油物性的非均质性起着决定性的控制作用,并且深刻地影响着内部流体的运动