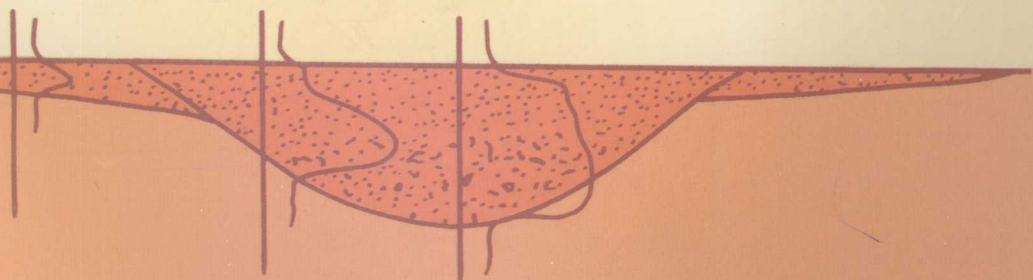


油藏描述技术 在黄骅拗陷南区的应用

王德明 李华林 王贺林 等 编著
王家树 李 强 倪天禄



地质出版社

油藏描述技术 在黄骅坳陷南区的应用

王德明 李华林 王贺林 等编著
王家树 李 强 倪天禄

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

油藏描述是油田勘探、开发应用中采用的极为广泛、效果较明显的一项新技术。这项技术在使用过程中通过科研攻关和现场实践,得到较快的发展,目前已成为学术界与石油行业科技人员十分重视和感兴趣的研究课题。

本书主要汇编了近几年来大港油田管辖的南部油田在应用油藏描述技术方面所取得的成果,分为早期油藏描述、中期油藏描述、高含水后期精细油藏描述、综合开发技术四个部分。主要介绍了不同开发阶段油藏描述的重点研究内容,并从地质、测井、地震、计算机处理等方面系统地对不同类型油藏描述进行综合阐述,有效地预测了不同阶段油藏描述的结果。本书还对多种新技术,如神经网络、多井储层评价、数值模拟等的应用进行了介绍,基本反映了当前油藏描述的最新进展和研究动态。

本书可供从事石油勘探、开发、生产的科研人员及地质、测井、地震类专业的大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

油藏描述技术在黄骅坳陷南区的应用/王德明等编著.-北京:地质出版社,1998.9

ISBN 7-116-02536-7

I. 油… II. 王… III. 油藏描述-技术-应用 IV. P618.13

中国版本图书馆CIP数据核字(98)第02399号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路29号)

责任编辑:张新元

责任校对:关风云

*

北京印刷学院实习工厂印刷 新华书店总店科技发行所发行

开本:787×1092¹/₁₆ 印张:10.875 字数:252千字

1998年9月北京第一版·1998年9月北京第一次印刷

印数:1—500册 定价:28.00元

ISBN 7-116-02536-7

P·1877

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

序

我国东部地区第三纪陆相沉积盆地星罗棋布。这些陆相盆地不论在生储盖组合的时空展布上,还是在油气的形成演化和分布上,与国外海相沉积盆地相比,都有其特殊的规律性;或者说,与后者相比更为复杂。本书的作者们锐意进取,勤于钻研,尤其注意追踪国际学术前缘,不断引进国外先进的新理论、新技术和新方法,并在应用上述理论和方法的过程中,充分体现陆相油田理论研究的特色,既推动了这些新科技的发展,又在油藏开发工作中取得广泛的效益。可以说,作者们撰写的这本书,是他们多年从事油藏开发工作的成果总结。

油藏开发是在勘探基础上进行的更为深入和精细的工作。为了合理开发油藏,必须制定开发战略和技术措施,因而要求有大量油藏描述资料作为可靠的地质依据。本书系统阐述和应用的油藏描述是80年代中期从国外引进,并得到不断发展的一项对油气藏进行综合研究和评价的新技术。关于油藏描述的概念,国内大多数学者认为,油藏描述是把地质、地震、测井、生产测试和计算机技术等融为一体,对油藏的格架、储层属性及其内部的流体性质、空间分布等,进行全面性的综合研究和描述,最终建立一个三维、定量的油藏地质模型的一套综合应用技术。进入90年代,这项工作在我国各大油田得到了全面展开。作者们通过他们与其他油田、石油院校和研究单位同仁的共同努力,提出了一些适应我国陆相储层和多断块特点的油藏描述方法,形成了以地震、测井、综合录井、测试等资料为研究内容的油藏描述系统。本书风格新颖的一篇篇典型解剖性论文,不仅体现了陆相盆地油藏特点的描述特色,也让我们看到了作者们与国内各协作单位共同努力,为发展这项技术所作出的重要贡献。

综观全书不难看出,专著具有国内先进水平,亦是写实国内陆相沉积盆地油藏地质特色,符合当前我国石油工业发展需要的重要著作。它的出版问世,必将是石油勘探开发和能源沉积学工作者们所竭诚欢迎的。

何镜宇 教授

余素玉 教授

1998年4月 写于中国地质大学

前 言

油藏描述是 70 年代发展起来的、重点应用于油气田勘探和开发研究的一门综合性应用新技术。这项技术在我国得到应用和发展主要是在 80 年代中期,到目前已基本形成了适应我国油田储层特点的以地质、地震、测井、综合录井、测试等资料为研究内容的油藏描述体系,特别是与计算机、工作站等先进技术设备的相互融合、渗透,为我国深入研究各种复杂含油气系统开辟了新途径。

油藏描述技术的基准点是为了清楚地阐明油藏的形态和范围、沉积相分布特点、储集体的几何形态和储层参数的空间分布,以及储层的非均质特征、流体性质等,最终建立精确的地质模型、预测模型并给出评价结果,有效地指导油田开发生产。油田开发系统在很好地吸收国外油藏描述技术的基础上,又通过深入的攻关和发展,形成了适应大港油田不同开发阶段的油藏描述综合应用技术。

本书主要对黄骅坳陷近几年来在油藏描述应用上所取得的成果进行了总结;对在不同开发阶段油藏描述应采用的技术和方法(特别是对早期油藏描述中的神经网络的应用,中期油藏描述中的多井储层评价,高含水后期精细油藏描述中的油藏数值模拟技术)进行了阐述,并预测了油田剩余油分布规律。最后对砂岩油藏的开发实践进行了分析、总结。

本书充分结合生产实践,并着重对该项技术进行实际应用阐述,实用性很强,特别是对各油田开展油藏描述有较强的借鉴价值,对理论研究也有促进之处。但由于我们水平有限,书中难免有不妥之处,敬请指正。

编著者

1998.9

目 录

总 论

油藏描述技术在油田开发中的应用	王德明	王贺林 (1)
-----------------------	-----	---------

第一篇 开发准备阶段的早期油藏描述

王官屯油田枣-Ⅰ、枣-Ⅲ油组砂岩储层孔隙结构研究	李华林	王贺林 (6)
王官屯油田官-63断块枣-Ⅰ油组储层沉积特征分析	王德明	陈景萍 (16)
王官屯地区枣-Ⅰ、枣-Ⅲ油组油气预测	王家树	李华林 (24)
黄骅拗陷王官屯油田枣-Ⅰ、枣-Ⅲ油组石油储量计算	李 强	李华林 (30)

第二篇 主体开发阶段的中期油藏描述

枣园油田枣北孔一段储层特征描述	王贺林	李 强 (35)
枣园油田枣北孔一段测井多井储层评价	王贺林	李华林 (45)
枣北孔一段油藏地质模型的建立	李华林	王贺林 (59)
枣北孔一段储量计算	陈景萍	王家树 (65)

第三篇 高含水期提高采收率阶段的后期精细油藏描述

黄骅拗陷官-80断块枣-Ⅰ、枣-Ⅲ油组碎屑岩储层孔隙演化模式	王家树	李 强 (70)
利用沉积微相分析王官屯油田官-80断块枣-Ⅰ油组的剩余油分布	李华林	王家树 (80)
官-80断块注水开发后砂岩储层变化规律研究及资源接替方向分析	王德明	倪天禄 张德武 段贺海 (90)
小集油田高含水后期油藏特征描述	王贺林	倪天禄 (101)

第四篇 油藏综合开发技术的应用和分析

王官屯油田官-142断块厚层块状砂岩油藏注水保持高速开发状况研究	陈景萍	郭春东 (115)
枣园油田枣-43先导性试验区块的开发实践	王德明	黄在友 (122)
提高枣-2断块地下认识, 指导油藏开发	黄在友	陈卫华 (134)
水驱砂岩油藏水平井开发技术研究	倪天禄	王贺林 王德明 (147)
小断块高凝油藏高效开发经验	倪天禄	黄在友 王贺林 康伯军 (154)
驱动梯度对改善低渗区块开发效果的可行性研究	陈卫华	李华林 王德明 (160)

总 论

油藏描述技术在油田开发中的应用

王德明 王贺林

【摘 要】 油藏描述技术自我国开始引进、发展以来,已在油田勘探、开发领域得到了广泛的应用,尤其是“八五”以来新技术、新方法的应用和各生产、研究单位的攻关努力,使油藏描述技术有了明显的进展;油藏描述定量化与半定量化研究内容和程度的丰富和提高,使储层横向预测技术、测井多井评价技术、储层形态、储层参数和含油性预测等方面的地质建模技术更接近地下实体;成果显示的可视化程度和预测模拟技术进一步提高。目前油藏描述技术已成为油田科技人员地质研究的重要手段。

【关键词】 油藏描述 地震横向预测 测井多井评价 随机建模 神经网络

一、概 述

油藏描述是 70 年代末开始出现、80 年代发展起来并在不断完善的一项对油气藏进行综合研究和评价的新技术。国内外学者对油藏描述技术都进行了不同的定义,国内大多数学者认为,油藏描述是把地质、地震、测井、生产测试和计算机技术等融为一体,对油藏的格架、储层属性及其内部的流体性质、空间分布等进行全面性的综合研究和描述,最终建立一个三维、定量的油藏地质模型的一套综合应用技术,从而为合理开发油(气)藏制定开发战略和技术措施提供必要的和可靠的地质依据。

国外首先提出油藏描述概念的斯伦贝谢测井公司认为,油藏描述技术服务(或油藏研究)以测井为主。斯伦贝谢公司提出油藏描述应分为:①油田地质构造与储集体几何形态的研究;②关键井研究;③油田测井资料标准化;④测井相分析;⑤油田参数转换与渗透率的研究;⑥井与井间的地层对比;⑦单井综合测井地层评价;⑧储集层参数的汇总与作图;⑨计算油田的油气地质储量;⑩单井动态模拟;⑪测井数据库的建立与应用等 11 个研究内容。他们并提出,油藏描述的核心是测井油藏描述。到 1985 年斯伦贝谢公司才将三维地震资料及 VSP(垂直地震)资料引入到油藏描述的测井井间相关的研究中,但它所强调的油藏描述仍是以测井为主体模式的技术、多学科的协同研究及最终的储层三维模型。

我国开始引进油藏描述(reservoir description)这一术语是在 80 年代中期,并从多方面开展了综合研究攻关工作。进入 90 年代,油藏描述工作在我国各大油田得到了全面开展,通过各油田、石油院校、研究单位的共同努力,逐步形成了一些适应我国陆相储层和多断块特点的油藏描述方法,形成了以地质、地震、测井、综合录井、测试等资料为研究内容

的油藏描述系统。

二、在油田开发中的应用

油藏描述在油气田应用较为广泛,为更多的在油田开发领域工作的技术人员所接受,并逐渐完善、规范,形成了具有开发特色的油藏描述理论技术,如精细沉积微相研究技术、微构造研究技术、随机建模技术、综合储层预测技术、综合地质建模技术、裂缝预测技术、确定剩余油技术,等等。

为了更精确地研究油气田开发过程中的地质变化、指导油气田生产,我们应根据油气田所处的不同的开发阶段,提出不同的研究内容和技术要求。也就是在油田发现、评价、开发、设计等开发准备阶段,确定为早期油藏描述;在方案实施、调整等主体开发阶段确定为主体阶段油藏描述;在油田进入高含水期提高采收率阶段确定为精细油藏描述。

1. 早期油藏描述

油田开发早期,油田刚被勘探发现确定,主要研究目的是油田的评价、开发设计,尽可能真实地描述地下状况。这一阶段资料来源少,主要以应用地震、探井地质资料为主,其主要研究内容和技术包括:

- (1) 以区域背景和地震资料为基础,从成因分析入手,确定油藏的基本骨架(构造骨架、沉积骨架、地层骨架);
- (2) 以储层沉积学为基础,应用地质知识库的沙体空间分布预测技术,应用比较沉积学原理,在正确分析沉积环境的基础上,依靠古代和现代的同类型沉积类似物的已有地质知识来进行推理,进行储层建模;
- (3) 应用地震横向预测资料建立概念地质模型;
- (4) 以确定储层骨架空间分布为重点的随机建模技术;
- (5) 油气水分布确定。

2. 主体开发阶段油藏描述

油田主体开发阶段,也就是开发方案实施、监测、调整阶段。这一阶段工作的核心内容就是最大限度地提高二次采油的采收率,推迟三次采油甚至四次采油阶段的到来。这一阶段钻井、录井、测井、测试资料丰富,油藏描述研究的内容具体丰富,主要内容可依据开发的需要分为二个小阶段。

第一个小阶段是主体开发初级阶段油藏描述,具体研究内容包括以下7项:

- (1) 构造落实;
- (2) 地层划分及对比,全区统层;
- (3) 各种地质图件(对比图、剖面图、栅状图、平面图)的编制;
- (4) 各种基础数据的统计,分析整理,如
 - 沙体形态,长、宽延伸方向,连通程度,韵律性
 - 夹层类型、成因、分布、厚度、密度、频率、渗透性
 - 裂缝发育状况,发育的位置、岩性、层位、井段、强度、开启性、作用等;
- (5) 编制射孔方案
 - 从地质上分析储量动用程度,打开程度的完善性

- 根据储层、油气水分布确定射孔井段的位置
- 检查井身结构，固井质量；
- (6) 编制配产配注方案
 - 储层连通性，受益井多少
 - 储层微观孔隙结构及敏感性，提出注水水质要求
 - 分析高渗透带可能造成的水窜性
 - 分析边底水能量
 - 出砂；
- (7) 编制措施治理方案（酸化、压裂）
 - 储层成岩作用，胶结物成分及含量
 - 现地应力大小及方向
 - 构造发育史，古地应力场演变，裂缝发育分布及方向等。

第二个小阶段是主体开发中后期油藏描述，用越来越多的动态资料验证静态资料的准确性，修正地质模型，具体研究内容包括以下 6 项：

- (1) 深化储层沉积研究，通过动态、静态资料的结合进行沉积相再认识，细分对比单元；
 - (2) 通过动态资料补充修改储层的对比连通关系；
 - (3) 利用生产测试和试井资料验证断层及隔层的封闭性；
 - (4) 通过注采井见效快慢，评价储层平面非均质性及储层渗透率的方向性，进而预测注水波及效率及死油区的分布；
 - (5) 利用产液剖面、吸水剖面研究储层水淹厚度，进行储层层内非均质程度的再评价；
 - (6) 研究同一套开发层系内不同渗透率储层的动用状况，进行层间非均质性研究。
- 这一阶段油藏描述的研究精度明显提高，主要应用技术有：
- (1) 小层划分对比及全区统层技术；
 - (2) 落实构造系统，包括三维地震、地层倾角测井、钻井地层对比、RFT 测试、油气水分布关系、注示踪剂等；
 - (3) 测井多井储层评价技术；
 - (4) 动态跟踪研究；
 - (5) 测试方法综合应用；
 - (6) 储层静态模型建立方法技术。

3. 高含水期提高采收率油藏精细描述阶段

这一阶段油田开发已进入后期，地下油气分布减少而且零散。因此这一阶段油藏描述的主要特点是研究精度高，研究单位小，与动态结合更紧，计算机化程度高，预测符合率高，最终能更精确、直观地描述地下状况。主要应用的技术、方法是：

- (1) 微地质界面研究；
- (2) 沉积微相、微流动单元研究；
- (3) 储层物性动态变化空间分布规律研究；
- (4) 流动单元空间结构研究；
- (5) 储层预测随机模型建立；

(6) 地质、油藏、数值模拟一体化研究剩余油分布规律。

随着油藏描述技术的广泛应用，一些新的技术、新的方法也得到了充分的应用，如地质统计分析、灰色系统分析、模糊数学、神经网络及分析几何学等，以及先进的计算机、工作站技术的普遍应用，从而使油藏描述技术的应用更加科学化、精细化和定量化，图象显示直观可视化（图 1）。

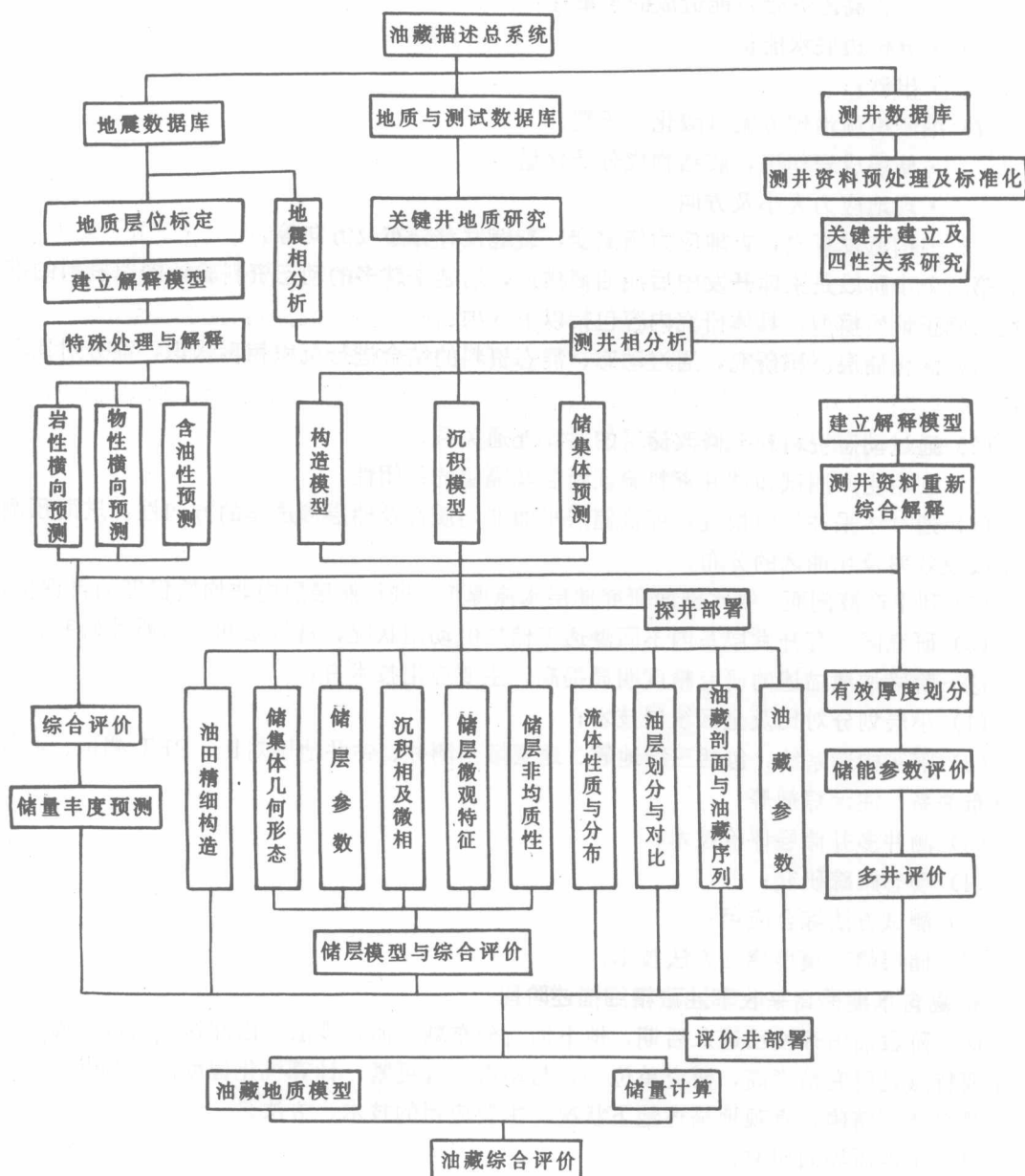


图 1 现代油藏描述流程图

油藏描述技术的应用,为我们认识高含水、高采出油田的剩余油潜力分布状况,低渗、稠油、构造岩性复杂油田投入开发进行概念设计,制定开发方案,提供了先进的技术和方法,并取得了很好的效果。如“八五”以来应用现代油藏描述方法,对东河塘、丘陵、彩南、埕乌、小捞、塔中4等油田进行早期描述,编制概念设计,制定开发方案,不仅节约了资金而且创出了90年代开发工作新水平。再者,应用精细油藏描述技术,对高含水油田进行研究,指导对重点519个区块开展了控水稳油工作,年平均含水上升率由1990年的1.9%降到1995年的0.25%,自然递减率一直控制在14%以内,综合递减率控制在7%以内,创造了显著的经济效益。

三、今后的发展方向

油藏描述技术是一种多学科交叉,地震、测井、石油地质、随机模拟和计算机科学相互综合应用的技术;油藏描述技术今后的发展应用,主要是解决地下复杂地质体模式判别问题、油藏参数空间分布、连续定量反应问题、储层流体渗流动态显示问题、最优工程方案确定问题等。因此油藏描述的发展趋势关键取决于提高多学科协同分析地质问题的综合程度,随着模拟技术的深入应用和计算机功能的高速发展,用更准确的模型来实现对储层结构和油藏参数的高精度预测会是不久的将来的事。

第一篇 开发准备阶段 的早期油藏描述

王官屯油田枣-Ⅱ、枣-Ⅲ油组砂岩 储层孔隙结构研究

李华林 王贺林

【摘要】 枣-Ⅰ和枣-Ⅲ油组是王官屯油田主力油组,发育多种孔隙类型,喉道形状多样,物性变化复杂,直接影响了油层中流体的流动和采收率。本文通过薄片观察、铸体薄片及压汞曲线等手段,系统表征了储层的孔隙结构,探讨了影响孔隙结构的地质因素,并根据孔隙结构及其它多种因素对储层进行了分类评价。

【关键词】 孔隙结构 孔隙 喉道 连通性 储层评价

孔隙结构系指岩石所具有的孔隙和喉道的几何形状、大小、分布及其相互连通关系。它对储集层的储、渗能力、流体分布、油气产层的产能、油水在油层中的运动、水驱油效率及原油采收率的大小都起着重要的作用。

一、孔隙及喉道

1. 孔隙类型

关于孔隙类型的划分,前人从不同角度提出了许多分类方案。本次研究综合考虑孔隙的成因、产状及几何形态而对孔隙类型进行了重新划分。

(1) 原生孔隙

指与沉积作用同时形成的受压实作用和胶结作用而减少的孔隙。

A. 正常粒间孔

指由于压实作用而缩小但无任何充填物的孔隙。此类孔隙含量较少,孔径大小不等,一般为 $50\mu\text{m}$ 左右,最大可达 $100\mu\text{m}$,常呈不规则多边形。

B. 残余粒间孔

指受到胶结物充填但未完全堵塞的原始粒间孔。此类孔隙在储层中较常见,且以因次生加大而缩小的残余粒间孔为主,一般呈三角形、不规则多边形。

C. 杂基内微孔

指粘土杂基内的微孔隙。此类孔隙在薄片上较为发育,因此孔径较小(一般 $<0.2\mu\text{m}$),且有粘土杂基的存在,致使在单偏光下观察,此处浸染剂的颜色较大孔隙、无杂基充填处的颜色偏深。

(2) 次生孔隙

指由于次生溶解、破裂等作用而形成的孔隙,此类孔隙在研究层段中较为发育。

A. 粒间溶孔

指颗粒间原先的胶结物、杂基及颗粒的选择性溶解所形成的分布于颗粒间的孔隙。其形成大致有两种情况,一是粒间碳酸盐胶结物与碎屑颗粒边缘同时发生溶解;二是碳酸盐等胶结物充填粒间并同时交代颗粒边缘、随后胶结物与颗粒同时被溶解。第二种情况更为常见。粒间溶孔的特点是孔、喉均较粗大,连通性较好,孔隙多呈不规则状且边缘常呈锯齿状、港湾状。

B. 组分内溶孔

包括粒内溶孔、胶结物内溶孔及交代物溶孔。粒内溶孔主要为岩屑及长石等颗粒内溶孔,一是由颗粒本身发生部分溶解而形成,为组分内溶孔的主要组成部分;二是颗粒先被交代而后交代物局部或全部被溶解形成粒内溶孔。粒内溶孔形状一般不规则,边缘常呈锯齿状及港湾状,同时也见有个别晶形较好的白云石交代物被溶解而形成的颗粒内较规则的白云石晶体铸模孔;孔径大小相差也较悬殊,小的需借助扫描电镜才能分辨。

C. 晶间孔及晶间溶孔

指颗粒重结晶或结晶颗粒被溶解而形成的晶体间孔隙。

D. 裂缝孔隙

指由构造作用、成岩收缩等作用形成的裂缝。常见有颗粒因机械压实作用破裂或沿理缝裂开而形成的裂隙;岩石被挤压或拉张而形成的裂缝;粘土杂基局部富集带在成岩过程中由于粘土脱水收缩而形成的微裂缝。裂隙的数量一般不多,但未被充填的裂隙对于改善岩石的渗透能力具有重要的意义。

2. 喉道类型

喉道为连通孔隙的狭窄通道,其对储层的渗流能力起着决定性的影响。喉道的大小和形态主要取决于岩石的颗粒接触关系、胶结类型及颗粒的形状和大小。根据铸体薄片镜下观察及铸体薄片图像分析,研究层段常见的喉道类型有如下4种。

(1) 孔隙缩小型喉道

喉道为孔隙的缩小部分,其与孔隙无截然的界线。此种喉道常发育于以原生或次生粒间孔隙为主的砂岩储层中。岩石结构多为颗粒支撑或飘浮状颗粒接触,胶结物及粘土杂基较少;属大孔粗喉,孔喉直径比接近于1。

(2) 缩颈型喉道

喉道为颗粒间可变断面的收缩部分。此种喉道常见于颗粒点接触、衬边胶结或自生加大胶结的砂岩中。此类孔隙结构属大孔细喉型,孔喉直径比较大。此类储集岩可能有较高的孔隙度,但渗透率一般较低。

(3) 片状喉道

喉道呈片状或弯片状,为颗粒间的长条状通道。常出现于机械压实程度较强或自生加

大程度较高的砂岩中。孔喉直径比一般较大。

(4) 管束状喉道

为杂基及自生胶结物晶体间的微孔隙，孔径一般小于 $0.5\mu\text{m}$ ，本身既是孔隙又是喉道。如果岩石中基本为微孔隙，则属微孔微喉型，孔喉直径比为 1。岩石渗透率极低。

3. 孔隙组合类型

砂岩储层的储层空间虽然由多种类型的孔隙组合而成，但往往以其中一种或多种类型的孔隙占主导地位。孔隙的组合类型不同，对储集层的储集物性及孔隙结构影响不同。研究层段的孔隙类型以粒间溶孔、原生粒间孔及杂基内微孔为主，其它类型的孔隙不发育。根据薄片鉴定，结合压汞资料，研究层段砂岩储层的孔隙组合类型大致可划分为如下 4 类。

(1) 原生粒间孔隙型

以正常粒间孔和残余粒间孔为主，次生粒间溶孔及粒内溶孔不发育，因粘土杂基含量少而原生的杂基内微孔隙也不发育。喉道以孔隙缩小型和缩颈型为主。孔隙分选性较好，次生孔隙百分率小于 25%。泥质杂基和胶结物含量少，颗粒排列疏松，孔隙度一般大于 15%，渗透率大于 $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，常见于埋深小于 2000m 的冲积扇河道沉积沙体中。

(2) 次生粒间溶蚀孔隙型

其孔隙以次生粒间溶孔为主，原生粒间孔少见。此外，尚见有少量其它溶蚀型孔隙如粒内溶孔、铸模孔及特大孔等。粘土杂基含量低，一般小于 10%，因此，杂基内微孔不发育。喉道类型以片状喉及缩颈喉为主，孔隙分选中一差，颗粒排列多为点接触。孔隙度一般大于 20%，渗透率大于 $500 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，为高一中孔，高一中渗储层，储集性能良好。常见于埋深大于 2000m、溶解作用强烈、粘土杂基含量较少的冲积扇河道沉积沙体中。

(3) 杂基内和晶间微孔隙型

其孔隙类型以粘土杂基、自生粘土矿物晶间微孔、碳酸盐胶结物晶间微孔为主，其它类型孔隙不发育，喉道类型以管束状喉道和片状喉道为主。粘土含量一般大于 10% 或碳酸盐胶结物含量大于 15%，孔隙度一般小于 20%，渗透率小于 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。岩石类型以泥质砂岩或粉砂岩、分选差的不等粒砂岩及碳酸盐等致密胶结的砂岩为主，常见于埋深小于 2000m、溶解作用不强烈或虽埋藏较深，但粘土杂基含量高的冲积扇河道间沉积等沙体中。属中一低孔、低渗储层或非渗透层。

(4) 粒间溶孔与微孔复合型

其孔隙类型以粒间溶孔和杂基及胶结物晶间微孔为主，其它孔隙类型也常有，但含量较少。根据粒间溶孔及微孔的相对含量大小，可进一步划分为粒间溶孔-微孔型及微孔-粒间溶孔型两个亚一级组合。前者以粒间溶孔为主，含量大于 50%，常见于粘土杂基含量较高（一般为 10%~15%）、碳酸盐胶结物溶解不彻底的砂岩中；后者以微孔为主，含量大于 50%，常见于泥质含量较高、溶解作用较弱或不发育的砂岩中。总之，此类孔隙组合类型常见喉道类型有片状喉、管束状喉及弯片状喉，孔隙度一般小于 20%，渗透率介于 $100 \times 10^{-3} \sim 500 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间。属中孔、中渗储层，常见于埋深大于 2000m、粘土杂基含量中等的冲积扇河道间沉积等沙体中。

二、研究层段碎屑岩储层孔隙结构特征

1. 孔隙和喉道的大小及分布

根据铸体薄片图像分析资料,研究层段样品的孔隙直径最大值介于 $160\sim 553\mu\text{m}$ 之间,平均为 $272.5\mu\text{m}$;最小值介于 $54\sim 165\mu\text{m}$ 间,平均为 $89.92\mu\text{m}$ 。王官屯油田研究层段的孔喉大小及分布特征参数如表1。从表中可以看出,研究层段砂岩储层一般以中、细喉道为主,直径小于 $0.1\mu\text{m}$ 的微毛管喉道含量较高,介于 $4.29\%\sim 90.52\%$ 间,平均为 35.93% 。孔喉大小及分布特征对储层的储集物性具有重要的控制作用。据研究,目的层段砂岩储层孔隙度(Por)与孔隙喉道均值(X)呈线性反比;与平均喉道半径(R)呈指数正相关;与排驱压力(P_d)的对数呈线性反相关;与最小非饱和孔隙($S_{\min}$)呈反比趋势。不同大小喉道所控制的孔隙体积百分数(V_r)对储层储渗能力及流体分布、产能有着直接影响。随着喉道半径(r)小于 $0.1\mu\text{m}$ 所控制的孔隙体积百分数的增大,孔隙度降低(图1);孔隙度和孔隙体积也随之降低;含油饱和度有降低的趋势而含水饱和度有增高趋势; X 与之成较好的线性正相关;当其小于 25% 时, S_p 、 D 与之成反相关;当其大于 25% 时, S_p 、 D 与之成正相关;其与 R 成反比;与 P_{50} 成较好的线性正相关;与 P_d 成正相关;与 $S_{\min}$ 成较好的线性正相关关系。

表1 王官屯油田孔喉大小及分布特征参数统计表

孔隙结构参数		变化范围	平均值
最大连通喉道半径/ μm		0.4~30.3	11.25
喉道中值半径/ μm		0~15.8	3.96
最小非饱和孔隙体积百分数/%		0~90.5	27.26
平均喉道半径/ μm		2.2~16.96	9.36
孔喉均值/ μm		6.12~13.85	9.79
相对分选系数		0.65~4.3	1.56
不同大小喉道所控制的孔隙体积百分数/%	<0.1 μm	4.29~90.52	39.53
	0.1~1 μm	6.74~46.97	16.18
	1~10 μm	0.29~71.8	28.64
	>10 μm	0.05~68.81	19.14
平均孔隙直径/ μm		54.42~165.71	89.92
平均喉道直径/ μm		15.55~36.71	20.7
平均孔喉直径比		1.421~5.288	4.441
最大配位数		2~7	3.2

随着喉道(r)大于 $10\mu\text{m}$ 所控制的孔隙体积百分数的增大,孔隙度呈一指数增加(图2);孔隙度和孔隙体积的对数值也随之成指数增加;含油饱和度有增加的趋势而含水饱和度和有减少趋势; X 与之成指数反相关,当 $X<10$ 时, X 的变化会引起其快速变化;其与 R

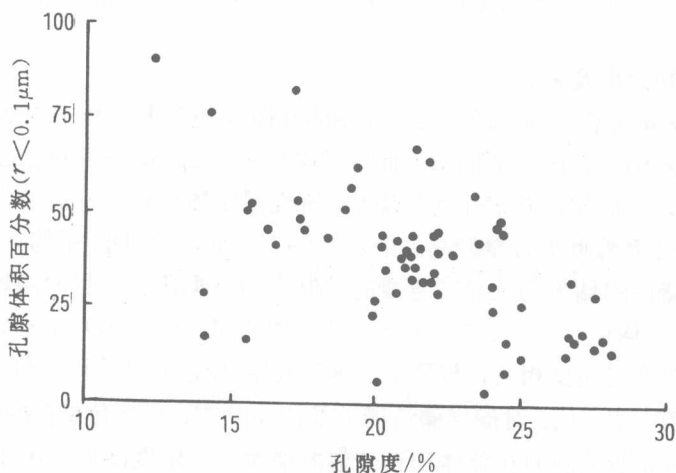


图1 孔隙度与喉道小于 $0.1\mu\text{m}$ 所控制的孔隙体积百分数散点图

成正比；与 P_{50} 成较好的指数反相关；与 P_d 成较好的指数反相关；与 $S_{\min}$ 成反相关关系。

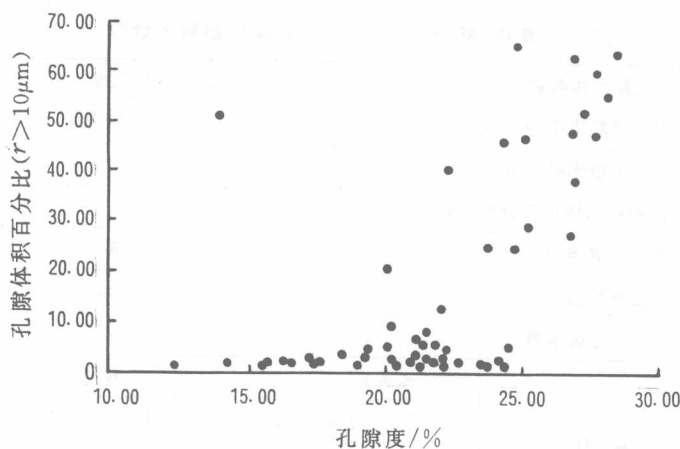


图2 孔隙度与喉道大于 $10\mu\text{m}$ 所控制的孔隙体积百分数散点图

2. 孔隙连通性

孔隙连通性好坏可通过孔喉直径比、退汞率及配位数等表征。根据铸体薄片图像分析研究，孔喉直径比变化范围介于 $1.412 \sim 5.288$ 之间，平均为 4.4 。配位数是衡量孔隙连通性的直接标志，配位数越高，孔隙连通性越好；砂岩储层孔隙最大配位数一般介于 $2 \sim 7$ 之间，平均为 3.2 。配位数与颗粒的接触关系、胶结物含量及次生孔隙发育程度有直接关系。一般机械压实程度越弱、胶结物含量越低、次生孔隙越发育，则孔隙配位数越高。

综上所述，研究层段砂岩储层以中一小孔、中一细喉为主，孔隙形状复杂，类型多样，

连通性中等一差。微观非均质性中等一强，因而储渗条件中等一差。当然，并不排除个别层段在局部地区储集性能较好。

三、影响孔隙结构的地质因素

储层的孔隙结构受沉积环境、成岩作用、构造作用等诸多因素的控制。

1. 沉积环境的影响

研究层段砂岩储层为一套冲积扇环境下形成的砂岩体，总的来说岩石的分选差，成分及结构成熟度较低，因此其原始孔隙结构条件较差。相比之下，冲积扇河道沉积的沙体其孔隙结构较河道间沉积的沙体要好。

2. 粒径的影响

颗粒的大小对孔隙结构的影响表现为孔隙度随粒度中值的增大而增大（图 3）；渗透率随粒径的增大也有增大的趋势。

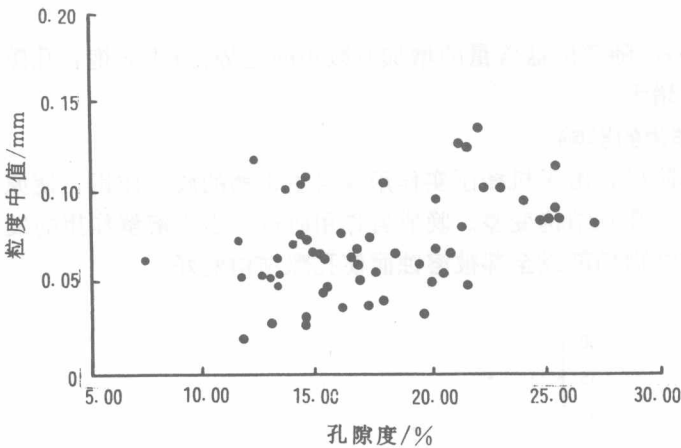


图 3 孔隙度与粒度中值散点图

3. 颗粒分选性的影响

颗粒分选的好坏对孔隙结构的影响表现为孔隙度随分选系数的增大而减小（图 4）；渗透率的对数随分选系数的增大而降低。

4. 胶结物成分及含量的影响

常见的胶结物有碳酸盐、自生粘土矿物及硅质等。粘土杂基的含量越高，微孔隙越发育，孔隙结构越差。自生粘土矿物以孔隙衬边或孔隙充填的方式在颗粒表面形成薄膜或充填于孔隙中，使喉道变窄，孔径变小，孔隙结构变差。碳酸盐胶结物具易于溶蚀的属性，因此在成岩作用早期，若碳酸盐胶结物较发育则孔隙性和连通性将局部或全部丧失；在晚成岩阶段由于碳酸盐矿物的局部或全部溶解而使孔隙结构变好；自生加大将堵塞孔隙和喉道使孔隙结构变差。胶结物的含量对孔隙结构的影响表现为孔隙度随碳酸盐含量的增大而降低（图 5）；渗透率有随碳酸盐含量的增大而减小的趋势；排驱压力有随碳酸盐含量的增大