

复杂油气藏勘探技术 国际学术研讨会论文集

Proceedings of International
Complex Reservoir Exploration
Technique Symposium

主 编 信荃麟 刘泽容
副主编 杨少春

石油大学出版社

复杂油气藏勘探技术 国际学术研讨会论文集

主 编 信荃麟 刘泽容
副主编 杨少春

石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

复杂油气藏勘探技术国际学术研讨会论文集/信奎麟,
刘泽容编著. -东营:石油大学出版社,1998.8
ISBN 7-5636-1124-X

I. 复… II. ①信…②刘… III. 油气勘探-国际学术会
议-文集 IV. P618.130.8-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 20513 号

复杂油气藏勘探技术国际学术研讨会论文集

信奎麟 刘泽容 主编

出版者:石油大学出版社(山东 东营,邮编 257062)

印刷者:山东新华印刷厂德州厂印刷

发行者:石油大学出版社(电话 0546—8392563)

开 本:889×1194 1/16 印张:13.125 字数:343 千字

版 次:1998 年 10 月第 1 版 1998 年 10 月第 1 次印刷

印 数:1—1000 册

定 价:40.00 元

前言

由石油大学(华东)和美国 GNT 国际公司联合举办的“复杂油气藏勘探技术”国际学术研讨会于 1997 年 10 月 10 日在北京召开,来自 Schlumberger、Shell、Western Atlas、Mobil and GNT 等外国石油公司的技术专家、台湾学者以及国内石油系统、中科院、北京大学、中国地质大学等有关领导、专家共 130 多名代表参加了研讨会。原中国石油天然气总公司总地质师阎敦实先生到会作了重要讲话,石油大学(华东)副校长全兆岐教授主持了研讨会,叶连俊院士、陈庆宣院士等著名专家应邀出席了会议。这次会议的目的是针对复杂油气藏中断块油气藏、岩性油气藏和裂缝油气藏的勘探理论、技术及工作方法进行交流和讨论,切实评价目前国内外在这一领域的勘探技术应用水平和程度,深入分析复杂油气藏勘探中重大决策和技术问题的思路、方法,加快复杂油气藏的勘探步伐,提高勘探成功率。

大会共收到论文 70 余篇,其中有 12 篇论文在大会全体会议进行了交流。会议学术气氛浓厚,讨论问题热烈,与会专家的大会发言内容丰富、精彩,探讨问题深入,介绍的方法技术先进,涉及本次会议所要讨论的热点和难点,其中不乏目前国际先进水平的油气勘探新方法和新技术。例如,构造裂缝定量预测技术研究、弧型断块群模式与油气聚集研究、济阳凹陷第三系砂岩岩性油气藏勘探、断层封闭性软件系统、裂缝探测的地震方法,以及特高含水期复杂断块油田地质模型重建等,既有较高的理论水平,又有先进的技术方法,因而在油气藏勘探中取得显著经济效益。特别值得一提的是济阳凹陷第三系砂岩岩性油气藏勘探,分析了该凹陷第三系地层陡坡带、缓坡带和洼陷带油气分布及成藏条件,提出了一套油藏描述和预测技术,通过滚动认识、滚动评价和滚动部署,确实提高了勘探效益;其中岩性油气藏油气探明储量占该凹陷控制储量的 33.9%,占预测储量的 43.8%。总之,与会专家提交的论文学术水平高,内容涉及面广,介绍的应用成果突出,具有重要的理论意义和实际价值。

受大会组委会的委托,我们对收到的会议论文进行了认真的评审,选送优秀论文公开出版,献给广大的地质工作者,进行广泛交流,进一步推动这一领域的深入研究。其中选出国内学者为主的 43 篇论文以《复杂油气藏勘探技术国际学术研讨会论文集》由石油大学出版社出版,另有 20 余篇国内外学者的论文选送《地质科学》英文版出版。为了能与会议主题一致,论文集共分四大部分,包括断块油气藏研究、岩性油气藏勘探、裂缝油气藏预测和复杂油气藏综合研究等。对于入选论文,我们原则上保持了原论文的主要观点和特色,限于篇幅,对部分论文也作了一定删改。

本书由信圣麟教授、刘泽容教授担任主编,杨少春担任副主编,全书由杨少春整理,经讨论定稿。本书出版得到石油大学(华东)校系领导和科研处的大力支持,也得到有关油田领导和专家的支持和帮助。

由于收到的论文涉及面广,学科交叉综合性强,论文集的出版过于仓促,加之我们水平有限,书中疏漏和错误在所难免,敬请作者及读者批评指正。

本次会议取得圆满成功。会议组委会对中、外地地质界专家、朋友的热情参与和积极配合;对石油大学出版社和熊良华女士为论文集的出版所付出的辛勤劳动;对所有关心和支持本次会议以及为本书出版作出贡献的单位和个人表示衷心感谢。

编 者

1998年5月

目 录

断块油气藏研究

断块群油藏形成条件和分布规律	信圣麟 刘泽容 (1)
弧型断块群模式与油气聚集研究	刘泽容 李亚辉 (7)
复杂断块油田特高含水期油田地质重建与高产高效井的设计	孙龙德 孙春莲 (11)
断层封闭性软件系统	侯加根 蔡 忠 徐守余 李亚辉 (16)
惠民凹陷西部的断裂系统与油气藏	张 勇 付金华 杜玉民 (21)
复杂断块区油气预测(以南堡凹陷北堡中区为例)	杨少春 张向涛 (28)
简论准噶尔盆地主要构造运动特征	张国珍 李学义 (33)
复杂断块油田断层封闭性研究	谢向阳 刘泽容 信圣麟 (38)
乌伦古凹陷油气远景评价	李学义 张国珍 (43)
金湖凹陷西斜坡复杂断块油田断层封堵模式研究	李亚辉 刘泽容 信圣麟 (49)
论复杂断块区油气储量的价值评估	罗东坤 (53)
模糊综合评判方法在兴旺庄地区断层封闭性评价中的应用	毛凤鸣 蔡 忠 李亚辉 (58)
储层预测模型研究(以胜坨油田二区为例)	杜启振 杨少春 侯加根 陆基孟 (63)

岩性油气藏勘探

济阳拗陷第三系砂岩岩性油气藏勘探	杜贤健 郑和荣 宗国洪 (67)
墨西哥湾尤金岛南部 330 号油田 LF 砂体时变油藏表征	Wei He, Gillits Cuerin, Roger N. Anderson, Ulisses T. Mello (72)
琼东南盆地未来主要气藏类型	朱伟林 (78)
胜利海上埕岛油田东部斜坡带东营组隐蔽油气藏勘探	李 阳 高喜龙 (82)
复杂储层非均质性研究(以辽河西部凹陷沙三段浊积岩储层为例)	林承焰 侯连华 衡立群 毛宁波 (87)
鄂尔多斯盆地上古生界陆相碎屑岩岩性圈闭隐蔽气藏勘探方法探讨	潘存煊 韩中庭 (91)
陆相砂岩油藏表征和建模方法	侯加根 (96)
东营凹陷岩性油气藏勘探中的层序地层学研究应用	王 宁 郑和荣 (99)
海侵相碳酸盐岩沉积及成岩模式(以金湖凹陷西一崔庄地区为例)	任怀强 王伟峰 (103)
砾岩储层测井评价方法	侯连华 (107)

裂缝油气藏预测

构造裂缝定量预测技术研究(以丘东油田为例)	钱祥麟 丁中一 郑亚东 侯贵廷 (111)
深层气藏的 AVO 特征分析(以中原油田桥口地区为例)	杨少春 (117)
碳酸盐岩裂缝性储集层测井评价	李国平 王 青 王树寅 (122)

埕岛地区潜山油气藏成藏规律研究	阮建新 谢向阳 侯加根	(128)
桩西潜山型裂缝性油藏描述技术方法	孙 国	(132)
廊固凹陷火成岩油气藏的形成和勘探	吴小洲 王 锋	(136)

复杂油气藏综合研究

努格达复杂油藏勘探技术方法研究	赵力民 郎晓玲 康洪全 杨 辉	(141)
含油气系统的层次特征及分析方法	徐怀民 任怀强	(148)
非均质性研究中的尺度匹配方法讨论	窦之林 蔡 忠	(152)
基于 POSC 标准的测井数据访问与交换方法	蔡 忠 窦之林	(156)
复杂油气藏建模中的几个问题(以苏北盆地为例)	钱 基	(160)
构造一层序模型及其地震响应	王永刚	(164)
应用驱油微观模拟实验技术研究储层剩余油微观分布特征	刘建民 李 阳 蔡燕杰	(169)
退火模拟在孤东油田七区中河流相三维储层参数预测中的应用	徐守余	(173)
准噶尔盆地乌伦古坳陷 T—J 煤系烃源岩地球化学特征及生烃潜力评价	曾发富 徐怀民	(176)
四维测井解释方法在油藏表征中应用的探讨	蔡 忠 窦之林	(181)
大庆长垣油田高含水后期开发技术探讨	陶嘉胜	(185)
孤岛油田西区 Ng3-6 单元开发适应性分析	陈清华 陈书平	(190)
双感应测井的反演及其应用	毕晓红 张中庆	(195)
相对渗透率特征的影响因素研究	王京红	(199)

断块油气藏研究

断块群油藏形成条件和分布规律

信圣麟 刘泽容

石油大学(华东)石油资源系

摘要

断块群油藏是我国东部广泛分布的主要油气藏类型,它是受众多的断层控制的、有一定成生联系的断块油气藏群体,断层圈闭是该类油藏的共同特征。断层圈闭的机理是断裂带发育了不同成因类型的断层岩,形成高排驱压力带或高毛管压力带封堵油气。论述了断块群的构造特征和油藏特征,提出了断块构造型式有伸展和走滑两种断块群类型,油气分布规律受断块构造型式控制。

第一作者简介

信圣麟,男,1929年生,教授,博士生导师,主要从事盆地分析与油藏描述研究工作。

一 断块群油藏的构造特征

1 断层数量多,断块规模小,构造面貌破碎

断块群油气藏的构造面貌极为复杂,在一个复杂断块群油藏分布区发育的断层常多达百余条至数百条以上,将油田切割成一二百个断块,多数断块面积不足 0.5 km^2 。区内绝大多数钻井都可钻遇断层,一般一口井可钻遇三四个断点,有的甚至多达五个以上,表明断层多而密集。如位于东营凹陷中央隆起带东段的东辛油田,由东营和辛镇两个断背斜组成,呈东西向延伸,长 30 km ,宽 $8 \sim 10 \text{ km}$,面积 240 km^2 ,发育了 EW、SN、NW、NE 等多组断裂 260 余条,断层落差为 $500 \sim 3\,000 \text{ m}$ 之间,切割成 170 多个断块,多数断块含油面积在 $0.2 \sim 1 \text{ km}^2$ 之间,在含油面积约 0.5 km^2 的断块内,油气储量将近整个断块群油气藏储量的 $2/3$ 。从累计产油量来看,该类断块油藏含油极为丰富。

2 同生断层发育、活动期长,力学性质变化大

东部油区的断陷湖盆,常呈箕状盆地。其陡翼常以同生铲形断层为界,它活动期长,强度大,落差也大,为一两条或两三条近于平行的断层组成。在湖盆的缓翼,有时也发育活动强度小、落差小的同生断层为界。凹陷中的二级或部分三级断层,也常具同生性。自前第三纪形成后至喜山期多次活动,控制上、下第三系的生储盖层和圈闭的发育与分布。这类断层,下部形成早、落差大(可达 $500 \sim 1\,000 \text{ m}$),断面倾角较缓(约为 $20^\circ \sim 30^\circ$),承受压应力很大,可达 50 MPa 以上,大于一般岩石抗压强度,呈挤压状态。而断层上部形成期晚,落差较小(一般小于 500 m),断面倾角较陡(通常大于 50°),断面承受压应力较小,约为 20 MPa 左右,小于一般岩石抗压强度,呈引张状态。它发育在砂泥岩高含水塑性的层中,断层两盘相对运动时,断面附近泥岩层发生塑性流动形成剪切带和泥岩沾污带,使断层具有封闭性,给大量的油气创造了良好的聚集场所。如金湖凹陷崔庄—范庄地区,吴堡至三垛期,在同一应力场作用下,形成范庄(N55°E)、崔 6(N35°E)、崔 12(SN)和崔 9(NW)等不同方向断层,从断面

承受正应力和剪应力看,不仅不同方向的断层断面承受应力不同,就是同一条断层在不同地段、深度和不同时期,断面承受的应力性质也不相同。一般来说,在浅层多为张应力发育区,而深层则多为压应力发育区。若区域应力方式或应力场发生变化,断面承受应力变化将更加复杂。由此可见,这是导致控油断层封闭性变化大,断块油藏形成分布复杂的最主要原因之一。

3 控油断层发育了不同类型的断层岩

控油断层发育不同特征的断层岩,是复杂断块油气藏构造的又一特征。这里的断层岩,是在断层活动中,断层两盘岩石被研磨破碎形成的构造岩,包括浅层次脆性岩石断层伴生的碎裂岩系和深层次韧性岩石断层伴生的糜棱岩系两大类,还有剪切带和泥岩沾污带两种特殊的断层岩。剪切带是共生正断层两盘沉积物尚未固结成岩时,下盘向上滑动在上部形成正牵引不对称背斜;上盘向下滑动,在下部形成逆牵引不对称向斜。牵引背、向斜陡翼都靠近断层,在陡翼派生局部压扭应力。导致陡翼未完全固结成岩高含水泥岩层,沿断裂带塑性流动,拉长减薄或为线形,形成剪切带。剪切带断层岩致密,孔喉半径很小,孔渗性能很差,若连续分布,能封堵油气。泥岩沾污带,在泥岩累计厚度不小于被断地层总厚度的25%时,断层位移或滑动时,易形成变形泥岩为主夹少量砂岩碎块细粒化、泥化的断层岩,它结构致密,颗粒均一化,孔渗性能差,具有很好封堵流体的能力。上述断层岩形成的地质环境虽有不同,但都可能是油气的良好遮挡面,构成断块油藏重要的圈闭机制,故在它们发育的地区,常是油气富集地区。

4 断块构造型式为伸展和走滑两种断块群类型

长期以来,多数地质学家们认为东部断陷湖盆,在新生代属伸展盆地。通过我们科研实践,提出东部新生代断陷湖盆,除广泛发育在区域性引张作用下形成的、典型的伸展构造系统外,还发育了走滑断层导生的雁列式褶皱、断裂、断块隆起和断陷盆地、棋盘格式断裂、帚状断裂、人字型、弧形断裂和花状构造等多种具有特色的直扭和旋扭构造系统,其中的雁列式和帚状构造,规模大,级序高,如郯庐断裂带两侧的冀鲁帚状构造和苏北帚状构造。冀鲁帚状构造位于郯庐断裂西侧,苏北帚状构造位于郯庐断裂的东侧,东西两侧的拗陷和隆起、凹陷和凸起、不同级序的褶皱和断裂多为雁列,控制区内各级构造或断裂的形成演化,也控制油气的形成和分布。上述伸展和走滑断块型式,不仅特征、形成机制不同,其控油规律也各不相同,形成了复杂构造的地质面貌和特殊的油气分布,故研究伸展和走滑断块构造型式,揭示形成机制和控油规律,对指导油气勘探有重要的理论和实际意义。

5 主要控油断层在复合或联合应力场中生成

众所周知,构造型式是构造形成过程中应力方式和应力场的记载,地质学家们常用各时期的变形场来反推追溯地质历史时期的应力场,若在结构模拟实验中检验,就能更准确地判断和确定各个时期的应力场。如前所述,东部油区断陷盆地内,除展布一套典型区域引张作用下形成的各级断陷盆地正断层为主的伸展构造系统外,还发育了一套典型走滑断裂作用下形成的各具特色的走滑断裂构造系统。两套构造系统,各自形成不同的地质环境、不同的应力方式、不同的应力场。两套构造系统并存,表明东部断陷盆地新生代是伸展作用和走滑作用两种应力方式和应力场并存。如剥离断层,在东部断陷盆地内广泛发育,它不仅是控制东部箕状断陷盆地陡坡的边界,也是控制陡坡构造岩相带的形成、演化和油气藏形成分布的主干断层,同时还是控制断陷盆地内二级构造带发生、发展和油气藏形成分布的主干构造,平面上常呈锯齿状弧形展布,剖面上为上陡下缓的铲形。经大量露头区调查和

模拟实验证实,锯齿状弧形断层是在地应力长期作用下,岩石受力后先期形成的两组扭裂面被后期应力场复合和联合改造的产物,如兰聊断裂是东濮凹陷黄河南凹陷东部的边界断层,也是控油断裂和典型的剥离断层,平面上为锯齿状弧形,在弧顶指向隆起区的部位,常为两组相向倾斜的扭裂面组成,形成沟谷,在它的下游方常发育了大量的各时期近岸水下扇储集砂体,油气富集;而在弧顶指向凹陷区的部位,常为两组相背倾斜的扭裂面组成,多形成山脊,构成分水岭,此处砂体不发育,一般油气很少分布。兰聊断裂是上陡下缓的铲形正断层,在上部 E_{s2} 上地层中,断层倾角较陡为 65° ,经计算,断面承受的压应力分量较小,为 21 MPa,比一般岩石抗压强度小,此段无油气分布。而下部 E_{s2} 下地层中,断面倾角变缓为 29° ,断面承受的压应力分量较大,为 54.7 MPa,大于一般岩石抗压强度,此处富集油气。兰聊断裂表明同一断层上部受拉张,下部受挤压,两种应力方式同时出现在一条断层上,导致油气富集的差异。又如金湖凹陷西斜坡崔庄地区的弧形断裂,有的弧顶指向东南,有的弧顶指向西北,它们是 NE 向和近 EW 向两组断裂不同部位联合而成。当 NE 向断裂的西南段与 EW 向断裂东段联合,形成联合弧的弧顶则指向东南,若 NE 向断裂的东北端与 EW 向断裂的西段联合,形成联合弧的弧顶则指向西北。类似上述的联合和复合构造,在东部断陷盆地内普遍存在,也可以说断陷盆地的绝大多数断裂,特别是主干控油断裂都不是在一次构造运动一种应力方式下形成,从而导致油区中的构造面貌极为复杂。

二 断块群油藏的主要特征

1 垂向含油层系多,侧向油层分布受断块局限

渤海湾盆地,是我国东部断块群油藏典型分布地区,从解剖的胜利、江苏、中原、冀东、大港和辽河等各油田众多的断块油藏来看。尽管它们的含油层位、油层数量和油藏特征有所不同,但都具有共同的规律,即在一个断块内通常发育多套含油层系,不仅下部沙河街组各段都是重要的含油层系,同时上部的东营、馆陶至明化镇组也发育了油层,累计含油层井段可达 2000 余米。但侧向上在一个断块内,单一油层分布范围较小,很少超过断块展布的范围,绝大多数单层含油面积小于 1 km^2 ,常为 $0.1 \sim 1 \text{ km}^2$ 之间,在平面上各油层叠合连片,累计含油面积较大,油气仍很富集。如位于东营凹陷中央隆起带的东辛油田和现河庄油田就是典型实例。它们受控于不同应力方式和不同应力场中生成的复杂断块群,被多组系断层切割破碎,使油层形成较小的块体,随着断层活动,各级断层沿着各自落差将油气位移到相应的位置,油气被封闭性断层圈闭起来,形成规模较小,独立的断块油藏。由于断层在活动期具开启性,可为油气运移的通道,一般断层切割哪一层,油气将运移至哪一层,故导致垂向上含油井段很长,发育多套含油层系。若沙河街组油气藏形成之后,控油断层再次活动,必将会把沙河街组原生油藏中的轻质油气随断裂活动向上运移到东营组、馆陶组和明化镇组储层中聚集起来,形成油质较差的次生油藏。

2 断块油藏为主,油藏数量多而规模较小

断块群油藏的主要圈闭类型是断块圈闭,故油藏类型也必然主要是断块圈闭油藏。油田勘探开发实践表明,含油气盆地常发育有四级断层,除较大的一二级少数断层外,在一个复杂断块群内三级断层可多达几十条,四级断层数量多达百余条以上,从而导致断块油藏数目多,规模小。在每一个含油断块中,常发育少则十几个多则几十个油藏,若将某一复杂断块群油藏作一整体看,所包含的油藏可多达数百个,各油藏自成油水系统,使全油田油水关系呈现错综复杂的局面。油藏规模小,一方面

是指单一油层含油面积小,同时它所获储量也少,多数为万吨级小型油藏。若储量达数万吨至数百万吨级规模,油藏便已成为油气勘探和开发的主要对象了。

3 油气分布叠合连片,各断块自成独立的油水系统

复杂断块群油藏,垂向分布范围很大,累计可达2000 m,常常是发育了多套含油层系,形成数十个油气藏,有时在一个断块内发育的油藏多达20~30个,这些油藏重叠出现,单一油层厚度虽不大,但总厚度很大,故单个断块储量丰度也大,油气富集程度也高。这类油藏,在上倾方向常受同一断层遮挡,单一油藏侧向分布宽度虽较小,但沿断层自浅层至深层依次向某一方向偏移错开,导致多套层系上下叠合连片含油,油气纵横向叠合分布范围广,从而扩大了断块油藏总的含油面积,这将能增加油井钻遇油层的机率,也必降低勘探成本,提高油井的勘探开发效益,对指导找油有重要的实际意义。

在同一断块群中,各断块油气富集程度差异很大,其中有些断块无油气,有些断块仅零星含油,而另一些断块则形成油气极为富集的油气藏,其中油层数多达20~30层,油藏高度可大于200~300 m以上,含油面积大,储量丰度高,日产油的水平也高。在断块群油藏中,各断块自成独立的油水系统,同时,各个断块之间的流体性质,如原油密度、粘度、油水界面、地层水矿化度等也截然不同,形成不同油气富集程度和不同流体性质的断块油藏,在纵横向分布上呈现错综复杂的现象。其原因受断层的封闭性、封闭史控制。研究表明,断层封闭性极为复杂,不仅不同时期、不同方位断层的封闭性和封闭能力不同,就是同一地质环境形成的同一条断层,不同地段也会有所不同,这是因为它们断面所承受的应力性质和大小、以及发育的断层岩性质、数量局部差异等所致。若早期已形成流体性质相同的油田或油藏,被后期不同级别众多控油断层切割改造,形成许多的小断块油藏,因各个小断块油藏内油气分布及流体性质受各自断层封闭性和封闭史的改造与控制,从而导致小断块油藏油水分布错综复杂,常常自成独立的油水系统,这一规律在断块油藏中具有普遍意义。

三 断块群油藏油气分布规律和控制因素

1 油藏含油范围和油藏高度受断层封闭性控制

从解剖断块油藏形成机理看,控油断层在断面附近都伴生有断层岩、剪切带和泥岩沾污带。它是断层在位移过程中断裂带的破碎物质被研磨滑动,压溶、重结晶等地质作用的产物,颗粒变细,孔隙变小,形成具高排驱压力或高毛管压力的断层岩,成带状连续分布在断裂带中,将油气封堵,形成具有工业价值的油气藏。若变形带连续分布将储层全部封堵起来时,则断块油藏圈闭面积和圈闭幅度都较大,若变形带仅封堵部分储层,则断块油藏圈闭面积和圈闭幅度均较小。即含油面积和油藏高度也较小。变形带排驱压力较高时,封闭油藏高度大可达200~300 m,排驱压力较低时,封闭油藏高度仅有20~30 m,控油断层发育期短,落差很小,在断面附近无或很少形成断层岩,断层岩的断开点是油气的溢出口,此断层无封堵油气的能力,不能形成油气藏。

2 油气主要富集在弧形断层内侧和铲形正断层伴生的圈闭中

东部油区广泛发育的弧形控油断裂是典型走滑断裂构造。弧顶内侧为局部挤压应力集中区,常形成鼻状构造、背斜、反向屋脊断块和地垒等,是重要的油气圈闭类型。圈闭形成后,应力释放,为应力低值区(这一应力状况已得到当今地应力测量新技术声发射法的验证),是油气运移聚集的指向地

区,故使大量油气多在弧形断层面上侧聚集起来形成油气富集高产的地区。如金湖凹陷西斜坡的崔6控油弧形断裂,是NE向断层和近EW向断层联合的全弧形断裂。断面压应力很大达81 MPa,泥岩粘污因子SSF值为1.13~1.77之间,断层封闭性很好,在弧形内侧发育的鼻状构造和反向屋脊断块圈闭中封闭,最大油藏高度为183 m,是江苏油田油气富集的地区之一。铲形正断层,是典型的伸展构造,也是东部油区主要控油断层。在平面上多呈锯齿状弧形,剖面上为上陡下缓的铲形。油气主要富集在铲形同生正断层下降盘逆牵引背斜中;上升盘垒块和反向屋脊断块;锯齿状弧形断层面上侧背斜和断鼻;铲形断层面上部倾角变缓处。其原因是上述地区与断层封闭性强、发育了多种类型的圈闭或断面承受应力较大有关。油区中各级控油的铲形断层,多具有同生性,在未固结成岩的沉积层中发育,易使高含水沉积物发生塑性流动。也导致断层沿着新沉积的塑性层,顺倾斜的斜坡朝盆地方向发生重力滑动作用,至深处滑脱、拆离。一方面使断面倾角在下部变缓,形成上陡下缓的铲形,同时形成剪切带和泥岩沾污带,导致铲形同生正断层封闭性增强。同生铲形正断层活动时在上盘,伴生局部引张力形成逆牵引背斜,下盘伴生地垒、断鼻、反向屋脊断块,平面上锯齿状弯曲,在弧形内侧伴生局部挤压力,形成背斜和鼻状构造,上述圈闭形成后,应力释放,成为应力低值区,也是油气聚集指向区,将使大量油气在上升盘的各种圈闭中聚集起来,成为油气聚集的良好场所。铲形同生正断层面上部倾角陡,倾角为 $50^{\circ}\sim 65^{\circ}$,主要为张应力发育区,下部倾角缓,倾角为 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$,主要为承受压应力,经断面应力计算,压应力值为37~80 MPa,这个数值大大超过了岩石抗压强度,易形成封闭性很强的各种断层面,故油气也常在铲形断层面上部倾角变缓处因封闭性增强而富集起来,成为油气富集的地区。

3 油气分布规律受断块群构造型式控制

长期以来,人们认为,我国东部第三纪的控油断陷湖盆,属伸展盆地,故盆内的构造样式,必然也为伸展构造样式。通过长期的科研实践表明,东部控油断陷盆地构造格架是燕山运动末期形成,为左行走滑和挤压应力场的产物,后至新生代时,因控制太平洋板块和亚洲板块的郯庐走滑断裂应力场转化为右行走滑和伸展,从而导致断陷盆地内形成大量的伸展和走滑反转构造样式。在上述构造样式中不仅发育分布的主要油藏类型不同,而油气富集的主要部位和富集程度都有明显的差异,展示了油气分布规律受断块群构造型式控制。

箕状盆地内控制油田和油藏常见的典型伸展构造样式,有地堑、地垒、断阶、铲形正断层、掀斜断块、在地垒中,油气主要富集在垒块的高部位;在地堑中,油气主要富集在地堑的翼部(腰部),而槽部油气一般不富集。油区内的断阶常有两种类型,其一是断阶的各条断层的倾向与所夹岩石倾向一致,每条断层的总滑距都小于未发生旋转时的总滑距,称同向断阶;另一种是两者倾向相反,每一条断层的总滑距,均大于未发生旋转时的总滑距,称反向断阶,我国石油工作者习惯用语称为反向屋脊断块。上述两种断阶中油气均富集在断层面上部的高部位,其中反向屋脊断块常比同生断阶油气更为富集,其原因与控油断层封闭性和封闭程度有关。此外在断面倾角变缓处及弧形区段的内侧,也多是油气富集的地区。关于铲形正断层的油气分布规律在前面已论述,这里不再阐述。箕状断陷盆地,主要控制高级序油气区和油气聚集带的生成发展,不是我们这里要讨论的内容,故从略。

控制油田和油藏常见的典型走滑构造样式,有雁列式、棋盘格式、弧型、帚状、人字型、S型、放射状和环状和花状等主要类型。其中的雁列式断块群,油气主要富集在右阶式或左阶式弯曲处的内侧,该区油气富集程度高,在平面上常为等间距排列。棋盘格式断块群,油气多富集在断层封闭性强、构造位置相对较高的高断块中。弧形断块群,油气主要富集在弧形内侧的背斜、断鼻、垒块、反向屋脊断

块和断面倾角变缓的部位。帚状断块群,其内旋回层比外旋回层油气分布多具富集,撒开端比收敛端油气更富集,在各旋回层中段至撒开端范围内应力适中,有利于圈闭发育应力低值区,断层封闭性好,是油气运移指向地区,常常是帚状断块群油气最富集的地区。入字型断块群,在两组断裂相交的锐角区是应力低值区,也是油气主要富集的地区。放射状和环状断块群,油气主要富集在两条走向基本一致、倾向相反、两者共有一个共同的上升盘的垒块和反向屋脊断块中,而同生断阶和堑块中油气相对不富集。S型和反S型构造,油气在两端应力适中而不集中的地区富集,其原因是受断块群发育的地质环境、断层封闭和应力方式、应力场等多种因素的控制。

综上所述,在复杂断块群中油气分布与构造型式是密切相关。不同的构造型式其油气分布虽有各自的特点,但都有共同的规律可循,均受断块群构造型式的控制。

主要参考文献

- 1 王平. 复杂断块油田详探与开发. 石油工业出版社, 1994
- 2 R. Chard G. Gibson. Fault-zone seals in siliciclastic strata of the Columbus Basin, Offshore Trinidad. AAPG Bull. 78(9) 1372~1385. 1994
- 3 Robert R. Berg and Alana Haveman Avery. sealing properties of Tertiary growth faults. Texas Gulf Coast. AAPG Bull. 79(3) 375~393. 1995
- 4 Steven D. Knott. Fault Seal analysis in the North Sea. AAPG Bull. 72(5) 778~792. 1993

弧型断块群模式与油气聚集研究

刘泽容 李亚辉

石油大学(华东)石油资源系

摘要

论述了弧型断块群,是东部油区的一种最重要控油走滑断块群,探讨了弧型断块的主要特征和应力状态,划分了弧型断块群的主要类型,建立了弧型断块群模式,提出弧型断块群油气富集主要受断层封闭性、封闭程度、封堵层、储盖层与有效封闭落差的配置等因素的控制。

第一作者简介

刘泽容,女,1935年生,教授,主要从事石油构造地质及油藏描述研究工作。

通过解剖十余个盆地,提出东部断陷湖盆除发育了典型伸展构造的构造型式外,还发育了大量与走滑断裂有关各具特色的典型构造型式,进而研究了走滑断块群的特征、分布规律和形成机制,将油区控油走滑断块群划分为雁行式、棋盘格式、人字型、帚状和弧形等五种主要类型,讨论了五种断块群的构造特征、油藏特征、流体特征、形成机制和油气富集规律。本文主要讨论弧型断块群特征类型和应力场模式。

一 弧型断裂应力状态

弧型断裂多为中型或小型,是在联合应力场中成生,是同时迁就两个方向的控制线(联合弧的渐近线)而形成。关于弧型断裂应力状态有许多不同的见解。

设有两个二维应力状态,其主要应力分别是 σ_{1a}, σ_{2a} 和 σ_{1b}, σ_{2b} , 叠加后的联合主应力 σ_{1c}, σ_{2c} 。令 $\sigma_{1b} \wedge \sigma_{1a} = \sigma_{2b} \wedge \sigma_{2a} = \alpha$, $\sigma_{1c} \wedge \sigma_{1a} = \sigma_{2c} \wedge \sigma_{2a} = \theta$ ($\wedge$ 表示夹角)。按图1可求得应力叠加公式如下:

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_{1c}}{\sigma_{2c}} &= \frac{1}{2}(\sigma_{1a} + \sigma_{2a} + \sigma_{1b} + \sigma_{2b}) \\ &= \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_{1a} - \sigma_{2a})^2 + (\sigma_{1b} - \sigma_{2b})^2 + 2(\sigma_{1b} - \sigma_{2b})(\sigma_{1a} - \sigma_{2a}) \cos 2\alpha} \end{aligned} \quad (1)$$

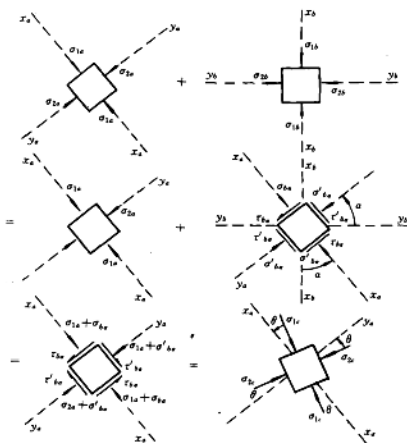


图1 二组主应力状态的叠加

$$\operatorname{tg} 2\theta = \frac{\sin 2\alpha}{K + \cos 2\alpha} \quad (2)$$

$$\left\{ K = \frac{\sigma_{1a} - \sigma_{2a}}{\sigma_{1b} - \sigma_{2b}} \right\}$$

式中, K 为应力差比, 是表示联合应力场为均匀或非均匀的主要参数。

如何确定联合主应力的方向及联合主应力的方向, 在此从略。

联合弧的应力场属非均匀叠加应力场。由式(2)可知, 当场内各点的 K 值不为常数时, 联合主应力方向将随 K 值变化, 产生曲线式构造线, 为弧型构造。即联合弧型构造是在两个或两个以上构造应力场中叠加, 在形成的非均匀叠加应力场中形成。故不同构造体系的联合, 或相同构造体系不同部位的联合, 形成的联合弧构造的特征、展布形式、油气富集也常各不相同, 研究联合弧型构造的形成机制, 可预测弧型构造和油气分布, 具有重要的意义。

二 弧型断块群的主要类型

联合弧的弧顶最大曲率, 向两翼逐渐递减, 当趋于控制线后可能变成直线状。这时形成简单联合弧, 还有具两翼和弧顶的全弧或缺失弧顶或一翼的半弧。若控制线和施力边界呈不同组合, 参与联合和叠加的两个或两个以上应力场具有不同的非均匀性, 将形成更为复杂型式的曲线式联合构造, 从而形成的弧形断块群必更为复杂, 受应力场非均匀性控制。

依据东部油区弧型断块群地质背景、边界条件和应力场可划分为全弧、S-型或反 S 型, 对凸双弧、反凸双弧等四种类型。其中, S 型或反 S 型断块群: 是由两端凸向相反的弧型断裂或背斜, 在中部相连接, 形成 S 型或反 S 型样式, 在两向挤压、两向剪切或剪切与挤压联合作用中均可生成。对凸双弧断块群, 因控制线交叉成 X 型, 联合双方应力差由交叉线向两侧减弱, 形成弧顶相对两面凹进的联合弧型断块群样式。反凸双弧断块群, 因控制线围成菱形, 联合双方应力差向内减弱形成弧顶位于钝角端、收敛于锐角端的双凸型断块样式。

三 弧型断块群模式

下面以金湖凹陷西斜坡崔庄油田弧型断块群为例, 讨论弧型断块群的主要特征、形成机理、控油规律和断块群模式。崔庄弧型断块群, 在金湖凹陷西斜坡范庄—张洪营雁行断块群以东地区, 为断层复杂化的断背斜, 构造高带在崔 6—崔 7—程 1 井一带。是在 EW 向挤压和 SN 向反扭应力联合作用下 NE 和近 EW 向断裂迁就、利用和改造, 而成生低级序断裂发育, 众多断层自北向南切割成崔 6 弧型、崔 7 弧型、程 1 弧型等三个断块区(图 2), 其中崔 6 弧型断块区油气最为富集。

崔 6 弧型断块区: 在崔庄背斜北部最高处, 以崔 6 弧型断层与崔 7 弧型断块区为界, 崔 6 弧

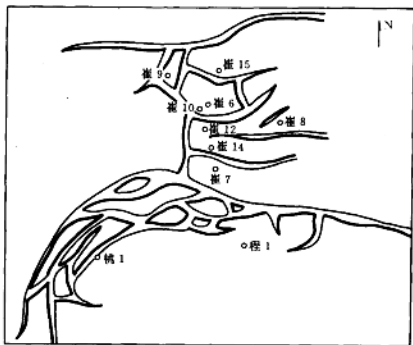


图 2 崔庄对凸双弧断块群模式

型断层,西翼NW向,弧顶近EW向,向SE凸,东翼NEE向,是具弧顶和两翼的全弧型断裂,是NW向断层ES端和近EW向断层西端联合而成,断距变化较大,西翼为200~150 m,弧顶较小,为130~190 m,东翼为160~300 m,南倾倾角为 60° ±,其内仅发育四条小断层,切割成崔6—崔10、崔9和崔15等三个断块。各断块封闭性好,是崔庄油田油气最富集的区块,已获储量占全油田的56%。其中,崔6—崔10弧型断块,为北倾开阔鼻状构造,上倾方向被崔6弧型断层遮挡,构成良好的断块圈闭,为反向屋脊断块油藏,主要含油层系为 E_{12}^3 、 E_{12}^2 和 E_{11}^1 、 E_{11}^2 (图3),最大油藏高度为183 m,储量为崔庄油的48%,储量丰度为 $158 \times 10^4 \text{ t/km}^2$,油气主要富集在崔6弧型断层内侧断鼻中,是崔庄油田油气最富集的断块。其原因与崔6控油断层承受压应力很大,大大超过砂泥岩的抗压强度,为81 MPa,易在断层附近形成连续分布的泥岩沾污带示封堵油气,同时断层落差近于该区有效封闭落差的上限值,储层物性好等综合因素的控制有关。

崔7—崔14垒型断块区:在崔庄背斜中部,被两条近EW向三级断层和三条NE向小断层,自南向北切割成崔7垒式、崔14垒式和崔12—崔8等三个断块,油气富集程度仅次于崔6弧型断块区,储量占全油田的31%。三个断块内以崔7垒块油气最为富集,储量占整个断块区的85%,而崔14垒块未形成油气藏,崔12—崔8块中油气主要在崔8断块,富集程度也较差。

崔7垒块,构造相对简单,北端上倾方向受崔7断层遮挡,南端上倾方向受崔1弧型大断层遮挡形成地堑。主要含油层系为 E_{12}^3 碳酸盐和 E_{12}^2 、 E_{11}^1 段砂岩,油藏高度为105 m,油质中等,储量为该区的89%,为全油田总储量的22%,是崔6块储量的1/2,储量丰度为 $43.3 \times 10^4 \text{ t/km}^2$,为断鼻型油气藏,是崔庄油田的油气富集区,但油气富集程度比崔6弧型断块略差。

崔12—崔8断块,为不规则长条形断块,分为崔12和崔8两个断块,油气在崔8断块富集。崔8断块,为向SE方向倾没的鼻状构造,上倾方向被崔8断层遮挡,下倾方向被崔14断层切割,构成垒式断鼻圈闭。含油层为 E_{11}^1 和 E_{12}^{2+3} 段、 E_{11}^2 段地质储量丰度为 $1 \times 10^4 \text{ t/km}^2$ 。 E_{12}^{2+3} 段地质储量丰度为 $21 \times 10^4 \text{ t/km}^2$ 。油质较好,为断鼻型油气藏。是崔7垒型断块区中油气富集较低的区块,其原因与断层封闭性和储层物性差有关。

崔1弧型断块区:在崔7弧型断裂以南。为两翼不对称全弧型断裂,是NE向断层东北端和近EW向断层西端联合而成。低级序断层发育,将该区切割成18个小断块,在弧顶交织成网状,多为双凸形和不规则形网状弧型。西段多为弧型和四周封闭的长条形小断块;而东段和南部则多为弧型和半环型断块。仅在阜二段中发现低产油流,是崔庄弧型断块群中油气富集程度最低的区块,其原因与该区储层物性较差有关。

上述表明,弧型断块群的不同断块中的不同断块含油贫富各不相同,主要受断层封闭性、封堵层、储盖层和断层有效封闭落差等因素的控制。

断层封闭性是控制弧型断块群油气富集的最主要的因素。为了揭示崔6控油断层的封闭性和封闭程度、封闭机理,研究了崔6断层的力学性质、断面的受力状况、断裂带泥岩沾污因子发育分布、断层剪切带、两盘岩性配置关系、断裂活动强度、断层落差、断层两侧储层排驱压力、断层封堵系数等十

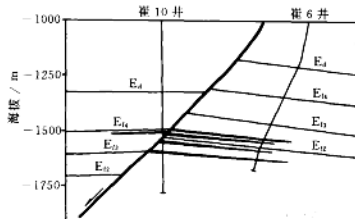


图3 崔10至崔6井油藏剖面图

余个参数,然后用三级模糊综合评判的方法对崔6断层封闭性进行综合评价,表明该断面承受压力为81 MPa,远远大于被断地层的抗压强度,易导致形成泥岩沾污带,求取的SSF值为1.13~1.77,证实泥岩沾污带在崔6控油断层附近确为连续分布,封闭性综合评价值为0.95,是本区封闭性最好的断层,故使由崔6断层控制的崔6断块是该区油气最富集的区块,已获储量占崔庄全油田总储量的48%。

封堵层、储盖层与有效封闭落差的配置是弧型断块群油气富集的重要因素。崔庄油田主要为反向屋脊、垒堑式断块圈闭, Ef_{2+1} 储集层常为下降盘 Ef_2 段上部和 Ef_3 段下部的泥岩遮挡,形成断层圈闭。在崔庄地区这套泥岩厚为90~160 m,要求封堵层断距为40~140 m,才能有效封闭油气,称有效封闭断距,若控油断层的断距在有效封闭断距范围内,被封闭的油藏高度将随断距增大而增大,若控油断层的断距超过有效封闭断距范围,即断距小于40 m或大于140 m时,这些断层的封堵条件也会变差。如崔7断层,断距为120 m,在有效封闭断距范围内,封堵层泥岩厚132 m,断层横向封闭系数为2.2,断层侧向封堵条件很好,被封闭的油藏高度为100 m,已获储量占崔庄油田的22%,油气富集程度很高,仅次于崔6弧型断块;在崔7断层下降盘的崔14堑块, Ef_{2+3} 及 Ef_1 段砂岩储层物性较好,但封堵层为崔7断块 Ef_2^3 及 Ef_1 段砂岩,封堵能力极差,未形成有效圈闭,经钻探证实该断块无油。

好储层是弧型断块群油气富集的前提。在构造条件相同的情况下,断块含油性受储层物性控制。 Ef_2 、 Ef_1 为主要储层, Ef_1 物性较好,一类储层主要分布在崔6断块,平均孔隙度为14.6%,平均渗透率为 $158 \times 10^{-3} \mu m^2$,二类储层主要分布在崔6—崔7一线,崔7断块孔隙度平均为12.3%,平均渗透率为 $39.4 \times 10^{-3} \mu m^2$ 。自北向南储层物性变差,至程1断块区,为Ⅱ、Ⅳ类储层,渗透率多小于1。基本无储集油气的能力,前仅在阜二段见低产油流。崔6断块是一类储层发育区,断层封闭性和成藏条件都很好,故为油气最富集的地区。

主要参考文献

- 1 李四光.地质力学概论.北京:地质出版社,1974
- 2 乐光禹等.联合构造理论的若干问题.纪念著名地质学家李四光教授诞辰100周年暨国防地质力学讨论会论文集,19