

大民屯凹陷构造应力场及其与油气运聚关系

李春林¹, 郭 鹏¹, 任德生²

(1. 辽宁工程技术大学 力学与工程学院, 辽宁 阜新 123000; 2. 北京油谷科技发展有限公司, 北京 100085)

摘要:为研究大民屯凹陷构造应力场与油气运聚的关系, 根据其地质及区域构造应力场特征, 建立了研究区三维构造应力场有限元模型, 并通过数值模拟分析, 得到了太古界和元古界的最大主应力、最小主应力和最大剪应力等应力分布, 在此基础上结合油气运移理论对研究区的油气富集区进行预测。结果表明: 在构造应力场的作用下, 油气运移与富集的方向为从地应力场的高值区向低值区和从流体势场的高势区向低势区; 应力低值区、流体势场低势区和油气运移所经由的靠近断裂带的圈闭是油气聚集的有利部位。综合预测结果和已完钻井的产能情况表明, 油气井中的高产井区与地应力场和流体势场的低值区相吻合。

关键词: 构造应力场 三维有限元 流体势场 油气运聚 大民屯凹陷

中图分类号: TE111.2

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2012)06-0047-03

构造应力场是导致构造变形的地应力场, 也就是地壳内某一瞬时一定范围内构造应力的状态^[1]。构造应力场的研究, 有助于了解盆地动力学特征, 并在盆地分析研究中定量解决相关的构造地质问题^[2]。地壳中的各种地质现象都与构造应力作用密切相关, 同样, 在油气的生成、运移和聚集成藏过程中, 特别是在生烃高峰期和油气运移期的应力场对油气的宏观分布具有重要的控制作用。将构造应力场数值模拟技术与油气运聚关系相结合进行研究, 可以获得对油气运移、聚集规律的新认识, 并为寻找油气富集区提供可靠的理论依据。

1 地质概况

大民屯凹陷位于渤海湾盆地辽河拗陷北部, 东临辽东台背斜, 西接燕山台褶带, 南临渤海, 北抵内蒙地轴东缘, 是渤海湾含油气区的一部分。郑庐断裂带经过大民屯凹陷, 向南穿越渤海, 与沂沐大断裂带相连; 向北分为伊兰—伊通大断裂及密山—敦化断裂带。大民屯凹陷自下而上发育太古界、中上元古界、中生界、古近系、新近系和第四系。其储层类型多, 岩石成分复杂, 可分为太古界变质岩储层、中上元古界碎屑岩及碳酸盐储层和古近系砾岩储层。截至2010年底, 研究区潜山发现的太古界和元古界含油层系的累积探明石油地质储量已占总探明石油地质储量的40%^[3-4], 表明大民屯凹陷具有良

好的勘探开发前景。

2 三维构造应力场有限元数值模拟

2.1 地质模型

参考大民屯凹陷的地质构造特征来进行有限元数值模拟计算区域的选取。利用ANSYS有限元分析软件建立地质模型^[5]。综合地质层位和岩性分布特征等因素, 分别以三台子东边断层以东、前进断层以西、韩家三子断层南部和三台子断层以北作为地质模型的东部、西部、南部和北部边界。模型南北长约为47 km, 东西长约为51 km, 深度为7 km, 面积约为2 397 km², 几乎覆盖了研究区的主要构造及断层群。研究的主要目的层为太古界和元古界。

2.2 边界条件

根据区域地质分析, 在地质模型向有限元模型转化时, 给予地质模型合理的位移边界条件和应力边界条件。

模型的深度方向为 z 轴, 以铅直向上为正, x 轴方向指向东, y 轴方向指向北。模型的底部为水平方向可以移动, 施加 z 轴方向的位移约束; 模型的西部和南部边界, 分别施加 x 轴方向和 y 轴方向的位移约束; 模型的东部和北部边界, 施加垂直于边界面的水平构造力; 模型的上表面为自由面, 对模型整体施加重力加速度, 确保其没有整体的平移和转动, 以获得满意的收敛效果。

收稿日期: 2012-09-26。

作者简介: 李春林, 男, 副教授, 从事结构力学、构造应力场及储层裂缝研究。联系电话: 13604988672, E-mail: tumuguopeng@163.com。

基金项目: 中国石油重大攻关项目“辽河拗陷基岩油气成藏规律及勘探技术研究”(2009B-0305)。

边界应力包括水平构造力、重力及上覆岩层压力。其中水平构造力和上覆岩层压力直接通过边界应力控制,重力可根据岩层的密度和重力加速度计算,由程序自动产生。根据辽河盆地岩石的Kaiser效应测试结果,确定研究区构造应力的方向和大小。燕山期的最大主应力方向为北西西—南东东,喜马拉雅期的最大主应力方向为北西—南东,现今的最大主应力方向为北东东—南西西。

2.3 参数选取

有限元模型中的介质主要分为太古界、元古界、盖层、基岩和断层5部分。有限元模型参数根据大民屯凹陷岩石力学测试和经验参数确定(表1)。

表1 大民屯凹陷三维构造应力场有限元数值模拟介质力学参数						
地层	弹性模量/ ($10^{10}\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$)	泊松比	密度/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	粘聚力/ MPa	内摩擦角/($^{\circ}$)	抗拉强度/ MPa
太古界	8.28	0.25	2 760	40	40	15
元古界	6.21	0.28	2 660	30	35	10
盖层	3	0.25	2 400	10	46	0.5
基岩	8.28	0.25	2 760	40	40	15
断层	1.2	0.21	2 300	0.11	36	0.4

2.4 网格剖分及构造应力场计算

对有限元模型进行网格剖分,采用10节点的四面体单元,共剖分76 904个结点,52 646个单元。断层和岩体均采用实体单元,选取研究区有控制作用的主要断裂带,并按实际断裂带的平均宽度建模。由于缺少深层断裂产状资料,因此深层断裂展布按浅层断裂产状和总的地质特征来进行推测。从研究区的岩石力学实验结果来看,岩体整体表现为脆性,因此将地质模型按塑性体处理^[6]。有限元模型建立后,对燕山期、喜马拉雅期和现今的构造应力场进行计算,得到了相应目的层的最大主应力(图1,图2)、最小主应力和最大剪应力分布。

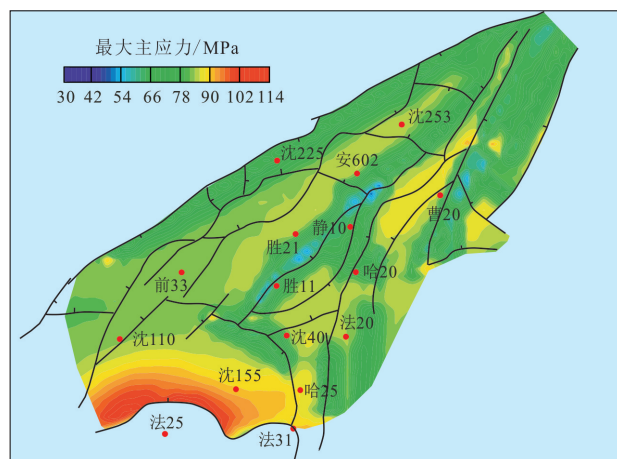


图1 大民屯凹陷现今太古界最大主应力分布

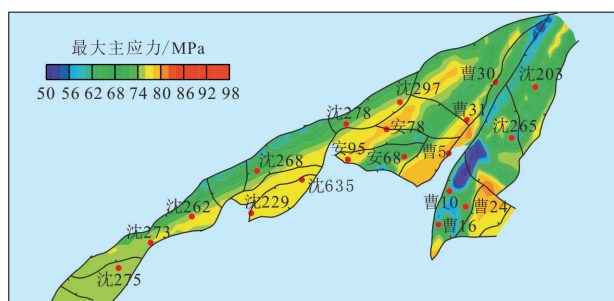


图2 大民屯凹陷现今元古界最大主应力分布

3 构造应力场数值模拟结果及其与油气运聚关系

在油气运移、聚集的过程中,构造应力起着非常重要的作用^[6-8]。在构造应力的作用下,地壳发生构造运动的岩石层变形,进而导致孔隙度和渗透率发生变化,影响油气渗流的速度和方向;运移是油气聚集成藏的关键^[9-11],同一输导体系内,对油气运聚起控制作用的主导因素为油气势能,油气运移势差的存在使油气能够从能量高值区向低值区运移,综合构造应力场数值模拟结果可判断出油气运移的方向。

从大民屯凹陷构造应力场的数值模拟结果来看,现今太古界最大主应力(图1)在全区分布很不均匀,区带特征明显,低值区分布明显受断层控制。以沈110井和哈25井以南的区域为高值区,荣胜堡潜山和东胜堡潜山东部等地区为低值区。现今元古界最大主应力(图2)的高值区在安78井和曹24井以北等地区,低值区在曹台潜山和静北潜山。由于主应力的分布不均造成了岩层中流体势差的存在,使油气从应力高值区向低值区运移,这主要是由最大主应力起控制作用。

油气在构造应力场的作用下,运移至应力低值区聚集成藏,或在运移过程中遇到合适的圈闭而聚集成藏,而应力低值区和油气运移所经过的靠近断裂带的圈闭是油气聚集的有利部位(图3)。流体势

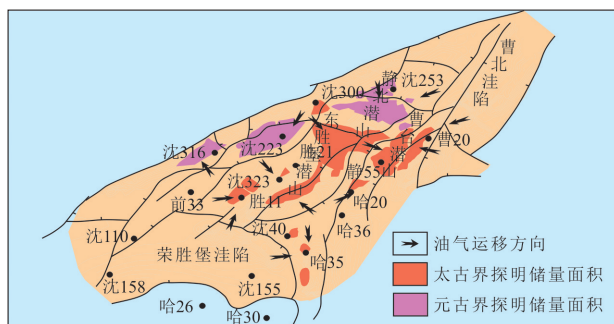


图3 大民屯凹陷潜山油气运移

的分布规律表现为凹陷区的流体势场值大于构造高部位的流体势场值,流体由高势区向低势区运移,低势区是油气运移与富集的有利指向区。在上述预测的几个区域已钻探胜11、沈300、哈36、静55和沈223等高产油井,表明预测结果与实际钻探具有较好的吻合性。

4 有利地区预测

从构造应力场分析可知,除已发现的油气分布区外,还存在一些应力低值区可作为今后深化勘探的有利区域,即沈323、沈316、哈26、哈30和哈35等井区。在上述应力低值区,如果具备良好的储层、盖层或构造,便可形成一定规模的油气富集。综上所述,大民屯凹陷的构造应力场对油气的运聚成藏具有明显的控制作用,在应力低值区尚未发现油气的区域,应是今后的重点勘探方向。

5 结束语

通过对大民屯凹陷三维构造应力场有限元数值模拟及其与油气运聚关系分析,认为在地应力作用下,油气由压应力高值区向低值区运移;应力低值区和油气运移所经由的靠近断裂带的圈闭是油气聚集的有利部位;流体由高势区向低势区运移,低势区是油气运移与聚集的有利指向区,运移势场的低值区与油气田的分布吻合性较好。通过研究大民屯凹陷多个潜山在区域构造应力作用下的油气运移关系,为潜山油气藏的开发提供了一定的参

考。但考虑储层地质问题的复杂性,应综合测井、地震等多种技术手段对油气分布进行预测,以提高裂缝性油气藏的勘探水平。

参考文献:

- [1] 李志明,张金珠.地应力与油气勘探开发[M].北京:石油工业出版社,1997.
- [2] 吴巧生,王华,吴冲.沉积盆地构造应力场研究综述[J].地质科技情报,1998,17(1):8-12.
- [3] 姜建群,张占文,李军,等.大民屯凹陷油气运聚史研究[J].吉林大学学报:地球科学版,2005,35(3):326-330.
- [4] 李军生,庞雄奇,宁金华,等.太古宇潜山油气成藏控制因素分析——以辽河断陷大民屯凹陷法哈牛—曹台地区为例[J].油气地质与采收率,2010,17(4):17-19,23.
- [5] 王新敏.ANSYS工程结构数值分析[M].北京:人民交通出版社,2007:30-100.
- [6] 马淑芝,贾洪彪,易顺民,等.罗湖断裂带地应力场三维有限元模拟分析[J].岩石力学与工程学报,2006,25(增2):3 898-3 903.
- [7] 王铜山,金强,朱光有,等.胜坨地区现今构造应力场数值模拟及其对油气运聚的意义[J].西北大学学报:自然科学版,2004,2(2):48-52.
- [8] 冷济高,庞雄奇,杨克明,等.断块圈闭控藏模式——以辽河盆地西部凹陷为例[J].油气地质与采收率,2011,18(2):1-6.
- [9] 王连捷,王红才,王薇,等.油田三维构造应力场、裂缝与油气运移[J].岩石力学与工程学报,2004,23(23):4 055-4 057.
- [10] 徐波,郭华强,林拓,等.辽河坳陷西部凹陷油气成藏期次[J].油气地质与采收率,2010,17(1):12-14.
- [11] Tan Chengxuan, Jin Zhijun, Zhang Mingli, et al. An approach to the present-day three dimensional (3-D) stress field and its application to hydrocarbon migration and accumulation in the Zhangqiang depression, Liaohe Field, China[J]. Marine and Petroleum Geology, 2001, 18 (9): 983-994.

编辑 邹澍滢

欢迎订阅2013年《石油钻探技术》

《石油钻探技术》创刊于1973年,是全国中文核心期刊和历年中国科技论文统计源刊,被美国《石油文摘》、《中国石油文摘》和《中国地质文摘》等大量摘录。本刊主要报道国内石油工程(包括钻井、钻井液、固井、完井、开采等专业)以及钻采机械设备与自动化方面的科技进展和现场经验,适当介绍国外石油工程技术发展的水平和动向。适合于石油、海洋、地矿行业广大钻井工程技术人员、高等院校师生和经营管理者阅读。

本刊逢单月末出版。2013年每期定价15元(含邮寄费),全年6期共90元。自办发行,邮汇与信汇均可。欢迎有关单位和个人及时订阅。订阅办法:

1. 登录本刊网站(<http://www.syzl.com.cn>)下载期刊订阅单,认真填写订阅单及汇款单,切勿潦草,以免因地址不详而无法邮寄。

2. 银行汇款:工行北京市海淀区支行,帐号0200049629200702219,户名“中国石油化工股份有限公司石油工程技术研究院”,开户行代码102100004960,并注明“期刊”字样。

3. 邮局汇款:北京市朝阳区北辰东路8号北辰时代大厦710室,邮编100101,收款人:刘文臣。联系电话:010-84988356,84988317;传真:010-84988316;E-mail: syzl@vip.163.com。