

基于 ANSYS 的应力场模拟在库车坳陷 克拉苏地区的初步应用^{*}

蒋有录¹ 张乐¹ 鲁雪松¹ 李景明² 王红军²

(1.石油大学·华东 2.中国石油勘探开发研究院)

蒋有录等.基于 ANSYS 的应力场模拟在库车坳陷克拉苏地区的初步应用.天然气工业,2005;25(4):42~44

摘要 构造应力场在油气运聚成藏中具有重要的作用。塔里木盆地北部库车坳陷克拉苏地区受构造应力作用强烈,且天然气十分富集,构造应力场对该区异常高压和油气藏的形成与分布具有重要影响。运用通用有限元模拟软件 ANSYS 系统,对克拉苏地区晚第三纪库车期构造应力场进行了初步模拟。分析结果表明,油气的分布与最大主应力的分布具有较好的相关性,由高应力值区围限的相对低应力值区或应力值从高向低变化的梯度带是油气聚集的有利部位。

主题词 库车坳陷 构造应力 油气聚集 分布 油气藏形成 有限元法 模拟

含油气盆地温度场、压力场、构造应力场对于油气藏的形成与分布具有重要的影响。对于强烈挤压型盆地,构造应力场对油气聚集及分布往往起着决定性作用。因而,构造应力场的研究越来越受到油气地质与勘探家们的重视,并取得了许多研究成果^[1~8]。塔里木盆地库车坳陷北部地区是遭受晚第三纪构造运动较强烈、且天然气资源丰富的地区。因此,开展该区构造应力场模拟研究,并探讨构造应力场与油气藏的形成及分布的关系具有重要意义。笔者利用通用有限元模拟软件 ANSYS 系统对库车坳陷北部克拉苏地区晚第三纪库车期构造应力场进行了有限元模拟,并对构造应力场特征与油气聚集分布的关系进行了初步探讨。

一、研究区地质概况

研究区库车坳陷克拉苏地区位于塔里木盆地北缘,北以天山为界,主体为克拉苏构造带。该区具有优越的天然气成藏地质条件,如充足的气源,发育的储集体,沟通源岩的大断裂,幅度巨大的背斜圈闭,巨厚的岩盐、膏泥岩盖层及圈闭形成与生气高峰期的良好配置等,因而形成了库车坳陷天然气富集区,克拉2等大气田即分布在该区。

从喜马拉雅运动早期到中晚期,库车坳陷北部地区遭受了强度逐渐增强的区域性南北向强烈的水

平挤压作用,构造应力场对该区油气的运聚成藏具有重要的影响。克拉苏构造带是库车坳陷主要的天然气聚集区带,以克拉2构造为代表的局部构造演化史表明,本区构造主要发育于新近纪晚期(库车期)—第四纪早期(西域期),烃源岩的生气高峰期出现较晚,主要在上新世,与构造形成期在时间上的配置关系良好,具有晚生晚聚的特点,有利于天然气的聚集和后期保存;库车末期构造活动最为强烈,是克拉苏地区的主要成藏期^[9,10]。

二、构造应力场模拟

1. 地质模型的建立及力学参数的选取

研究区构造应力场模拟采用通用有限元软件 ANSYS 系统。该系统已广泛应用于机械、交通、电子、生物医学、石油、化工、能源、航空航天等许多领域^[11]。但该系统在油气地质领域的应用尚不多见。

为了简化起见,本次模拟采用二维平面模拟,不考虑垂向应力。鉴于克拉苏地区主要成藏期为新近纪,本次模拟主要是模拟喜山晚期构造应力场。为了方便载荷的施加,选取以克拉苏构造带为主体及相邻地区的矩形区域建立模型(图1),并根据研究区新近系库车组底(T3)在库车期末的古构造纲要图建立地质模型。在平面上将整个研究区由北至南划分为天山造山带、单斜带、构造带、凹陷带、平缓隆起

^{*} 本文得到国家重大基础研究发展规划(973)项目(2001CB209103)资助。

作者简介:蒋有录,1959年生,教授,博士生导师;主要从事油气地质学方面的教学和科研工作。地址:(257061)山东省东营市石油大学地球资源与信息学院。电话:(0546)8391826。E-mail:jiangy@hpu.edu.cn

带。区内共处理断层 14 条,断层按断层带处理(图 1)。这 5 个构造单元与断层带一同被定义为 6 种材料类型,分别赋予不同的岩石力学参数。

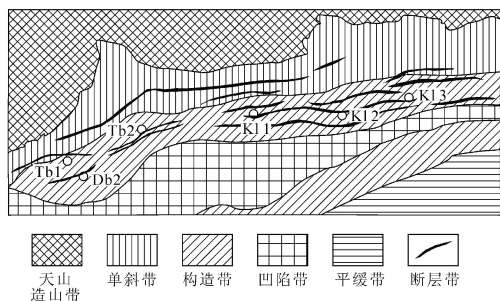


图 1 研究区新近系库车组底界(T₃)地质模型图

区内岩石力学实验表明,岩石总体特性表现为脆性,破裂后具有明显的应力降,故将地质体按线弹性体处理,用薄板模型的线弹性理论计算。根据研究区高温高压三轴岩石力学参数的实验结果^①,砂岩的平均杨氏模量取为 3.64×10^{10} Pa,泊松比取 0.24;泥岩的平均弹性模量取 2.16×10^{10} Pa,泊松比取 0.3。根据上述实验结果和钻井岩性组合资料,用加权平均法得到地质体单元内的实际岩石力学参数。在同一单元内,岩石作均质体处理,而各单元之间则为非均质体。断层当作断裂带处理,其岩石的平均弹性模量为 2.32×10^{10} Pa,泊松比为 0.26。

按照 ANSYS 系统建模参数的定义规则,在二维线性模拟中,主要使用两种单元类型:三角形六节点等参单元和四边形八节点等参单元。对于断层带,我们将其定义为三角形六节点单元类型,其它部分定义为四边形八节点单元类型。据此分别定义两种单元类型及 6 种材料模型(表 1)。

表 1 研究区岩石力学参数定义表

材料编号	模拟对象	单元类型	杨氏模量(10^{10} Pa)	泊松比
1	天山构造带	四边形八节点	3.50	0.10
2	单斜带	四边形八节点	3.344	0.252
3	构造带	四边形八节点	3.196	0.258
4	凹陷带	四边形八节点	2.752	0.276
5	隆起带	四边形八节点	3.492	0.246
6	断层带	三角形六节点	2.320	0.260

2. 模型的网格化、载荷的施加及求解

在已建好的地质模型的基础上,采用 ANSYS 的智能网格划分系统,对模型进行网格单元的划分,

对断层带进行细分。整个模型在网格化之后,共得到三角形单元和四边形单元 6310 个,节点 6803 个。

边界条件的确定及载荷的施加是有限元模拟中重要的步骤,其中首要的是确定研究区的应力状况。应力的测量采用岩石声发射法进行。声发射法测量应力的理论和实验依据是岩石在受力过程中存在凯瑟(Kaiser)效应和抹录不净现象,其中“抹录不净”现象是判识古今应力值的重要依据^[12]。

在喜马拉雅构造运动时期,本区显示了强烈的区域性近南北向水平挤压作用^[6]。据此,边界条件被确定为南北向的挤压应力,采用正演和反演相结合的方法来确定模型的受力情况,即在已知模型中某几个点的声发射应力测量结果的情况下,不断改变模拟过程中模型边界的受力条件,直至模型中这几个点的受力状况与实际声发射测量的数值相吻合。

3. 结果输出

ANSYS 能够输出结构变形、结构应力和结构应变的相关计算结果,应力计算结果分析结果能以图形、文本形式输出^[11]。模拟结束后,主要输出的图件包括研究区库车组在新近纪库车末期构造应力场的最大主应力、最小主应力、平均应力和差应力分布图等。本次模拟未考虑上覆岩层重力和孔隙流体压力的影响,模拟结果只是反映了挤压构造应力在区域内的分布规律。

三、模拟结果分析

油气运移聚集与成藏期的地质背景、圈闭条件、应力状态等因素有关,其中应力作用是一个活跃的、可起控制作用的因素。引起这些因素改变的动力是构造应力场,所以构造应力场与油气运移聚集之间存在必然联系。前人研究表明,由高应力值区域包围下的低应力值区域,一般是有利的油气聚集部位^[7,8]。

根据 ANSYS 系统模拟得到研究区库车组在新近纪库车末期构造应力场的最大主应力、最小主应力、平均主应力等分布特征,与克拉苏地区已知油气田的分布特征对比分析认为,研究区主要油气田分布与最大主应力分布具有较好的相关性(图 2)。

从图 2 中可以看出,克拉苏地区库车期构造应力场最大主应力值在西部大宛 1、大北 1 一带应力集中,最大值分布在大宛 1 附近,应力值大于 73 MPa;

①据塔里木指挥部,塔里木盆地库车坳陷克一依构造带油气成藏动力学,2000 年。

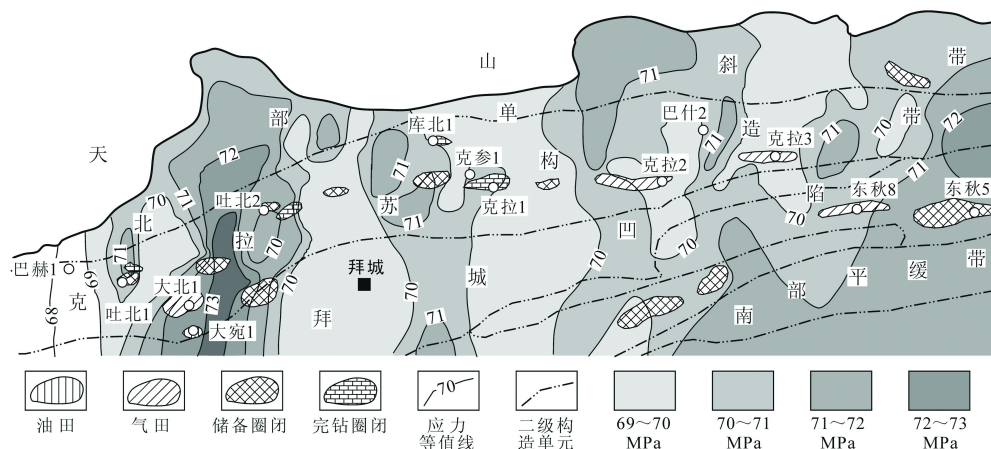


图2 克拉苏地区主要油气田分布与库车期最大主应力分布叠合图

在中部及东部地区应力值较小,变化平缓。最大主应力分布呈较为明显的南北向条带状分布,应力场的分布主要受天山、断层形态、断层组合和构造岩相带的变化控制。从叠合图上可以看出,多数油气田的分布与最大主应力的分布具有一定的相关性,即油气从高应力区向低应力区运移,最大主应力的相对低值区或应力从高向低变化的梯度带是油气富集的有力部位。研究区内大部分油气田都是分布在相对较低的应力区间 69~71 MPa,克拉 2 和克拉 3 以及东秋 8 井所在的气田区处于应力相对低值区,大北 1 和大宛 1 等所在油气田分布在应力从高向低变化的梯度带上。

构造应力场驱动油气运移只是给出了油气运移的可能潜在方向,圈闭能否聚集油气,还与圈闭的油源条件、储层条件、封盖及后期保存条件等有关,因此油气的聚集分布不仅与构造应力场有关,而且与其它地质条件有密切关系。

四、结 论

在强烈挤压区,构造应力场对油气聚集与分布具有重要影响。利用 ANSYS 系统有限元模拟得到的库车坳陷克拉苏地区新近纪库车组最大主应力分布特征与该区的油气分布特征具有较好的相关性,即油气的分布与构造应力场的相对低值区域或应力值从高向低的变化梯度带大致重合。利用 ANSYS 系统的应力场模拟结果可以进行油气运移、聚集的初步分析,进行有利区带的预测。

参 考 文 献

1 王平.含油盆地构造力学原理.北京:石油工业出版社,

1993

- 2 李志明,张金珠.地应力与油气勘探开发.北京:石油工业出版社,1997
- 3 袁明生,黄卫东,李华明等.构造作用对油气生成和运聚的影响.新疆石油地质,2002;23(2):165~169
- 4 谭成轩.三维应力场数值模拟在油气运聚分析中的应用.新疆石油地质,1999;29(6):455~458
- 5 Thomas Finkbeiner, Colleen A Barton, Mark D Zoback. Relationship among in-situ stress, Fractures and Faults, and Fluid Flow: Monterey Formation, Santa Maria Basin, California. AAPG Bulletin, 1997; 81(12): 1975—1999
- 6 沈淑敏等.塔里木盆地北部地区主要断裂带构造应力场与油气运移.地质力学学报,1995;1(2):11~20
- 7 张明利等.东海西湖凹陷应力场数值模拟及其应用研究.地质力学学报,2002;8(3):229~238
- 8 刘翠荣.东海西湖凹陷中新世构造应力场数值模拟及油气有利聚集区预测.石油实验地质,2002;24(1):73~76
- 9 周兴熙等.塔里木盆地库车油气系统的成藏作用.北京:石油工业出版社,2002
- 10 刘志宏,卢华复,贾承造.库车前陆盆地克拉苏构造带的构造特征与油气.长春科技大学学报,1999;29(3):215~221
- 11 刘涛,杨凤鹏.精通 ANSYS.北京:清华大学出版社,2002
- 12 孙宝珊等.声发射法测量古今应力在油田的应用.地质力学学报,1996;2(2):11~17

(收稿日期 2005-02-22 编辑 黄君权)