

文章编号: 1001-6112(2007)06-0623-05

流体势分析技术在岩性油气藏勘探中的应用

杨占龙^{1,2}, 陈启林², 郭精义², 黄云峰², 沙雪梅²

(1. 清华大学 工程力学系, 北京 100084; 2. 中国石油天然气股份有限公司 石油勘探开发研究院
西北分院, 兰州 730020)

摘要:以沉积层序油气运移期的古构造形态为边界条件, 系统考虑沉积层序内部与流体运移有关的参数(储集层厚度、孔隙度、渗透率、压力等), 在划分流体运聚单元的基础上, 依据流体从高势区向相对低势区运移的普遍规律, 采用 PetroCharge 系统模拟流体运移轨迹, 以此来评价处于含油气沉积盆地斜坡带等非有利构造位置的岩性圈闭接受流体的能力, 通过分析岩性圈闭在流体势场中的位置来综合评价其含油气性。通过在江汉盆地潜江凹陷和吐哈盆地胜北洼陷的应用, 初步证实了该方法在岩性圈闭含油气性综合评价方面的辅助参考作用。

关键词:流体势分析; 运聚单元; 岩性圈闭; 江汉盆地; 吐哈盆地

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

FLUID POTENTIAL ANALYSIS AND APPLICATION IN LITHO-STRATIGRAPHIC RESERVOIR EXPLORATION

Yang Zhanlong^{1,2}, Chen Qilin², Guo Jingyi², Huang Yunfeng², Sha Xuemei²

(1. Department of Engineering Mechanics, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Northwest Branch, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Lanzhou, Gansu 730020, China)

Abstract: With the boundary of paleo-structural map of sedimentary sequence in fluid migration period, systematically taking into consideration the coefficients (such as reservoir thickness, porosity, permeability and pressure, etc.) pertained to fluid migration within sedimentary sequence, based on the division of migration-accumulation units, abiding the regularity that fluid migrates from higher potential area to the lower one, using the modeling software of PetroCharge to model the trace of fluid migration, the fluid-containing ability of lithologic traps on slopes in oil-and-gas bearing basins is finally evaluated. The applications in the Qianjiang Sag of the Jiangnan Basin and the Shengbei Sag of the Tuha Basin show that, fluid potential analysis is an effective ancillary approach in oil-and-gas bearing evaluation of lithologic traps.

Key words: fluid potential analysis; migration-accumulation units; lithologic traps; the Jiangnan Basin; the Tuha Basin

岩性圈闭是指储集体岩性、岩相、物性纵横向变化、或由于纵向沉积连续性中断而形成的圈闭, 是无法单独用闭合度来定义的非构造类圈闭。随着中国陆上岩性油气藏勘探工作的逐步深入, 有关岩性油气藏形成的地质条件逐步明确, 圈闭成藏条件分析逐步成为岩性油气藏勘探的核心。目前除了常规的地质综合评价手段和发展相对不成熟的

烃类检测评价技术外, 分析岩性圈闭在含油气盆地中所处的流体势位置也是一种比较有效的辅助评价方法。

岩性圈闭往往发育在洼陷斜坡带等非有利构造位置, 这些位置圈闭的含油气性评价往往缺乏直接依据。同时中国陆上大多数含油气盆地的岩性油气藏勘探刚刚开始, 由早期的偶然发现、兼探逐

收稿日期: 2006-09-06; 修订日期: 2007-10-08。

作者简介: 杨占龙(1970—), 男(汉族), 甘肃宁县人, 博士后, 高级工程师, 主要从事含油气盆地综合评价与岩性油气藏勘探研究。

基金项目: 中国石油天然气股份有限公司勘探与生产分公司 2006 年度勘探前期评价项目(KTQQ-2006-016)。

步进入有意识钻探阶段。总体来看,注陷斜坡带等位置勘探程度仍很低,钻井资料较少,为岩性圈闭含油气性分析与深入地质综合评价带来困难。

通过含油气盆地流体势分析,了解岩性圈闭在流体势场中的位置,判断其与流体运移轨迹之间的关系,确定其是否处于流体运移的优势路径或者优势指向区,以此来判断其接受运移流体的可能性,从定性的角度来判断其成藏的可能性,为岩性圈闭勘探提供辅助评价依据^[1,2]。

1 流体势分析原理

流体势是指单位质量流体所具有机械能的总和。地层中某一点的流体势等于该点的压能与相对于某基准面的位能以及动能之和^[3],即该处单位流体(油、气或水)质点所具有的总机械能,相当于把单位质量的流体从某基准面举升到该点位置所做的功。地层流体运移受地下流体势分布(势场)控制,总是从高势区向低势区流动。

流体势分析是油气勘探研究中盆地模拟的一部分。不同流体(如油、气、水)在各自势场作用下,按各自的势场分布规律运动。通过研究地下流体势空间分布模式,可以确定盆地流体系统构成,提高对油气运移规律的认识,明确有利油气聚集区带,提高钻探成功率。

流体势分析的基本原理是:在一个相对封闭的研究区域内(平面为封闭边界、纵向受研究目的层顶底层位约束),在网格化基础上,考虑目的层顶底层古构造形态(即高程)与孔隙度、渗透率、储集体厚度和压力平面变化等特征参数,综合计算得到每个网格单元所具有的流体势能,以此确定流体运聚单元的边界,按照流体从高势区向低势区运移的规律来模拟最佳流体运移轨迹(图 1)。

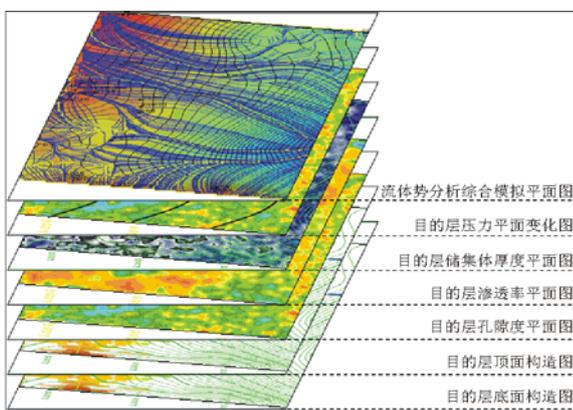


图 1 流体势模拟基本原理

Fig. 1 Fundamental principle sketch map of fluid potential modelling

2 流体势分析技术应用的关键点

2.1 主要油气运移期构造形态的确定

目的层的构造形态是流体势分析的主要边界条件,而烃源岩主要排烃期的古构造形态在很大程度上确定了流体势场的空间分布。通过埋藏史和烃源岩成熟演化史分析,明确烃源岩的主要生排烃期,以此为基础,对研究目的层进行层拉平,结合古构造恢复,确定主要生排烃期的古构造形态。

2.2 油气运聚单元的确定

油气运聚单元是盆地中被油气运移分割脊所围限的具有相似油气运移和聚集特征的独立三维石油地质单元,是盆地中具有共同的油气生成、运移和聚集历史及特征的、具有成因联系的一组油气藏和远景圈闭以及为其提供烃源的有效烃灶的集合体。它是有效烃源岩、优势运移通道、有效储集层、有效盖层、有效圈闭等要素和油气生成、运聚、圈闭演化等成藏作用在时间和空间上的有机组合^[4]。主要特点是一个运聚单元中的流体只能在本单元内流动。油气运聚单元主要根据盆地油气运移聚集特征来划分,其边界是流体势高势面所确定的油气运移分割脊或在油气运移过程中起分割作用的其他地质体,如大断裂等。油气运聚单元的分析内容主要包括有效烃源岩规模及其演化历史、油气输导体系类型和分布、圈闭类型及其有效性以及运移聚集特征,它们是决定运聚单元油气资源丰度的主要因素。油气运聚单元分析可以对勘探目标做出比油气系统分析更直接的评价,可以作为油气勘探目标评价的直接依据。柳广弟^[4]曾系统讨论了有关油气运聚单元的划分原则及边界确定方法。

PetroCharge 流体势分析系统在相关参数输入后可自动划分油气运聚单元,需要人工定义的主要有断层性质(封闭还是开启)、油气运聚量等。付广等^[5]系统讨论了断层对流体势空间分布的影响及其研究方法。

2.3 沉积层序内部相关物理参数的确定

输导层的厚度、孔隙度、渗透率、压力(或者压力梯度)等平面变化特征,是在古构造形态确定后模拟流体运移趋势的主要控制参数。

目的层顶底面古构造形态(即高程)数据,可通过研究区地震数据体目的层顶底的构造解释得到空间连续变化的数据;输导层的厚度(或储集体厚度)、孔隙度、渗透率等参数,可通过测井资料分析、分析化验、地震储层预测等过程综合分析获得平面

连续变化的数据。而有关流体密度和地层压力,目前仅可从勘探区内有限的井筒数据获得离散的数据。Fillippone^[6]通过对比钻井、测井获得地下岩层的密度、孔隙度、压力等参数与地震测井速度之间的相互关系,提出了直接利用层速度计算流体压力的算法。彭存仓^[7]对该模型进行了修改,并计算了孤东地区地层压力,同时建立了相应的预测模型,其公式为:

$$P_i = [(\nu_{\max} - \nu_i) / (\nu_{\max} - \nu_{\min})] \times D \times G_p \times \rho_s$$

式中: P_i 为地层压力, MPa; ν_i 为第 i 层层速度, m/s; D 为埋深, m; G_p 为常数(地层在某一矿化度条件下的地层水压力梯度); ρ_s 为地层平均密度, g/cm³, 它的获取可通过平均速度或盆地沉降模拟得到; ν_{\max} 为孔隙度接近 0 时的岩石波速, m/s; ν_{\min} 为刚性接近于 0 时的岩石波速, m/s。

在实际工作过程中,可结合研究区钻井揭示的实际地层压力,并结合该预测模型对地层压力平面变化特征进行分析,以得到较为可靠的且平面连续变化的地层压力数据。

2.4 网格化参数的生成

对目的层顶底的古构造形态、储集层厚度、孔隙度、渗透率、压力等相关参数,在统一网格约束下进行网格化参数的生成,是模拟流体运移轨迹的主要数据准备过程。根据流体势分析软件对数据体的要求,所有的相关参数必须具备统一的网格参数,研究区每个单元格内才会有相关的参数参与计算。这就需要根据研究区所有参数的分布特点,选择合适的网格大小和网格化方法,以满足全区流体势能计算、流体运移轨迹模拟和具体圈闭评价的需要(图 1)。

3 应用实例

3.1 实例一

Eq3₁⁴ 层是江汉盆地新农—蚌湖地区主要勘探目的层之一。该区勘探程度较高,构造相对简单。20 世纪 90 年代初,采用小层对比和沉积相研究等方法,发现了较大型的广北、严河等岩性油藏。但受当时技术条件,特别是地震资料分辨率的限制,岩性油藏未进行深入研究。90 年代后期的高分辨率地震勘探,为进一步开展岩性油气藏勘探奠定了良好的资料基础,目前该区主要以岩性油藏勘探为主。

新农地区位于蚌湖凹陷西斜坡,在潜江组沉积时期主要以东北部扇三角洲、西北部大型三角洲和南部小型三角洲沉积体系为主。目前在这些沉积体系的不同层系先后发现了钟市、广北、浩口和高

场等油田。这些油田的油藏主要以岩性油气藏为主,且岩性圈闭面积较小。后期在高分辨率三维地震勘探数据的基础上,发现了一系列小型岩性圈闭群,主要分布在洼陷的斜坡带。如何有效分析这些圈闭接受流体的可能性和成藏的有效性,便成为后期目标评价的重点^[8]。

Eq3₁⁴ 层是该区的主要勘探目的层,该层顶底在研究区分布有稳定展布的盐岩,对于储集体来说构成了良好的顶底板条件。在 2 套盐岩中间发育有烃源岩,烃源岩中发育的砂体构成良好的储集体。该层油气成藏具有典型的自生自储性质,很适合运用流体势分析系统来全面模拟油气运移过程。由于 2 套盐岩中间烃源岩的分布面积明显大于储集体面积,部分烃源岩生烃后排出的烃类不能有效进入储集体,因而在研究区部分地区形成了明显的油浸泥岩(也说明顶底盐岩具备良好的封闭条件)。通过流体势分析认为,已发现的油气藏主要处于低势区,而 2 号断层下盘和高场南部的岩性圈闭也处于低势区,为接受流体的有利位置(图 2),结合流体势平面变化特征分析和流体运移轨迹模拟,认为这些圈闭是后续勘探的有利靶区。

3.2 实例二

胜北洼陷侏罗系是吐哈盆地勘探程度最高的层系之一,该区构造油气藏已经得到很大程度的勘探,但剩余资源丰富,推测主要分布在岩性等隐蔽油气藏中。预测岩性油气藏有利勘探区带和识别、优选、描述、评价岩性圈闭,是当前勘探的关键。

葡北构造带及其东斜坡是胜北洼陷西部中侏罗统岩性油气藏勘探的有利地区,目前已发现葡北 1 号低幅度构造油藏和葡北 6 号构造—岩性油藏。从胜北洼陷西部中侏罗统沉积体系分布来看,该区内侏罗统属西北物源的七泉湖—葡北辫状河三角洲前缘沉积体系,水下分流河道是有利的沉积微相类型。层序解释后的地震相分类分析结果表明,葡北构造带及其东斜坡发育数量多、但面积相对较小的岩性圈闭,组成一个典型的小岩性圈闭群分布区。

中下侏罗统水西沟群煤系地层和中侏罗统七克台组湖相泥岩构成吐哈盆地最主要的烃源岩系。对于葡北及其东斜坡地区而言,由于处在台北主力生烃洼陷的西部,从沉积体系角度来看,七克台组处于西北物源的七泉湖辫状河三角洲前缘沉积体系的前缘,向东紧邻七克台组湖相泥岩,处于接受油气的有利位置。结合含油气检测和流体势分析,对葡北及其东斜坡地区发现的岩性圈闭进行了较为直观的评价,明确了岩性圈闭所处的流体势位置

(图 3)。油气从高势区向低势区运移,并可能在位于油气运移路径上的低势圈闭中聚集成藏,因而位于已发现油藏下倾方向低势区的圈闭是近期岩性油气藏勘探的有利目标。

4 结论

通过含油气盆地流体势分析,了解岩性圈闭在流体势场中的位置,判断其与流体运移轨迹之间的关系,确定其是否处于流体运移的优势路径或者优

势指向区,以此来判断其接受运移流体的可能性,从定性的角度判断其成藏的可能性,为岩性圈闭勘探目标提供辅助评价依据^[9]。

流体势模拟软件对于自生自储型油气成藏过程模拟效果较好。下生上储型和上生下储型由于纵向涉及层系较广、流体运移控制要素过于复杂而模拟效果差。

流体势模拟是在含油气检测基础上,对目标含油气性进行直接评价的有效补充手段,在实际目标评价中具有良好的推广应用前景。

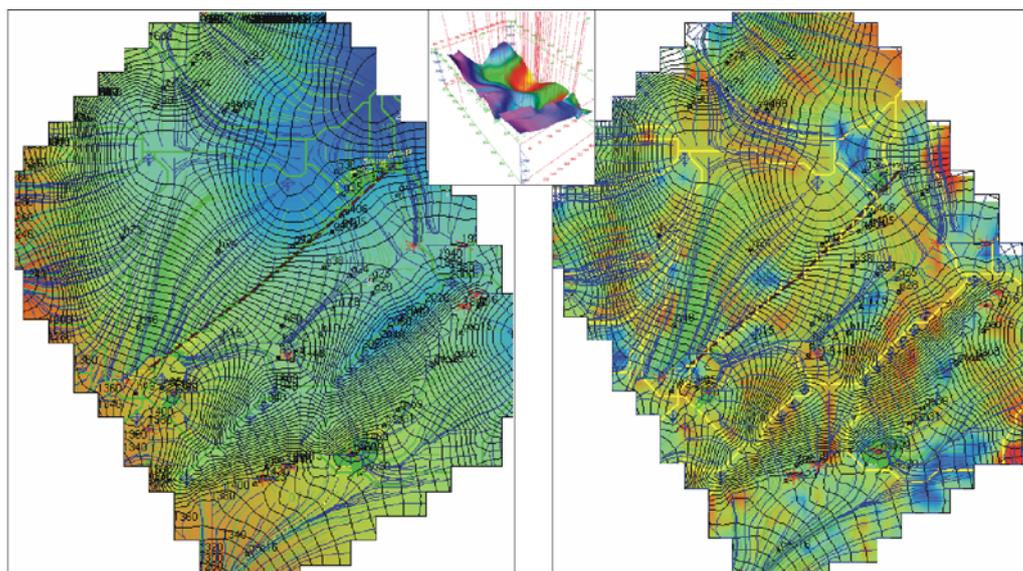


图 2 江汉盆地新农地区 E_{q3}⁴ 流体势分析平面图

左图以构造为背景;右图以储集体为背景。

Fig. 2 Plane diagrams of fluid potential analysis, E_{q3}⁴ of Xinnong region, the Jiangnan Basin

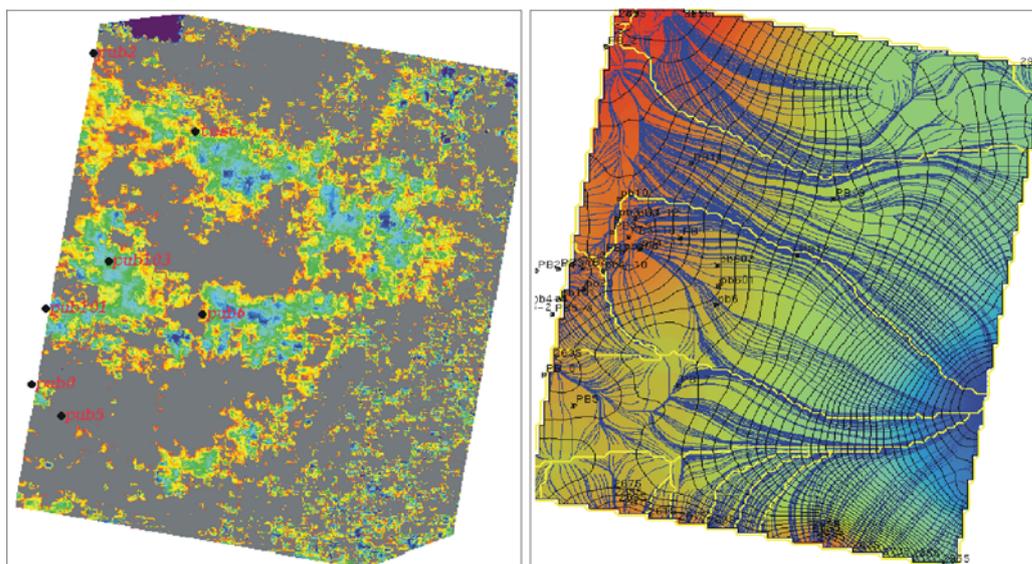


图 3 吐哈盆地葡北地区 J₂q 含油气检测与流体势分析平面图

左图为含油气检测;右图为流体势分析。

Fig. 3 Diagrams of hydrocarbon detection and fluid potential analysis of J₂q, Pubei region in the Tuha Basin

