

文章编号: 0253- 9985(2001) 03- 0270- 03

古水动力模拟在塔里木盆地中的应用*

康志宏¹, 康艳芳², 邓 林¹, 王英民³, 虎北辰², 张鹏德², 杨 宏², 黄地龙¹

(1. 成都理工大学, 四川成都 610059;

2. 新星公司西北石油局规划研究院, 新疆乌鲁木齐 830011; 3. 石油大学, 北京 102200)

摘要: 根据非均匀各向异性地层的非稳定的地下水流动模型, 采用有限差分法求解, 可以定量判断油气运移的方向及强度。塔里木盆地存在海西早期、晚期及喜马拉雅期 3 个主生烃期, 模拟结果表明: 海西早期, 古水流向四周发散, 塔中隆起、沙雅隆起及其南部和东部地区为油气有利聚集区, 同时由于该期构造运动较强, 古油藏暴露地表, 油气藏以破坏为主; 海西晚期, 油气运移指向塔中和塔北隆起, 主要聚集区为塔中; 喜马拉雅期, 地表降水和泄水作用极为强烈, 油气藏不同程度地遭受破坏作用, 油气藏充满程度下降、压力系统改变。

关键词: 古水动力; 模型; 应用; 油气运移; 塔里木盆地

第一作者简介: 康志宏, 男, 35 岁, 高级工程师(博士), 盆地分析和油藏评价

中图分类号: P641. 2

文献标识码: A

沉积层是孔隙渗流介质, 因此盆地在演化发育过程中, 始终伴随着水动力体系的演化^[1]。水动力体系对于油气生成、运移、聚集和保存有着重要控制作用。原生水体在初次运移时期起着油气“运载体”的作用, 影响和控制油气初次运移的方向和效果, 并进一步参与油气二次运移聚集。地表渗入水在储层中的流动是控制二次运移的主要动力之一。另一方面, 在水动力体系演化过程中, 可能发生地表渗入水侵入并反复交替储集层水体的现象, 破坏和再调整油气分布, 这一现象也常作为评价油气成藏之后保存或破坏条件的指标之一。

古水动力体系对油气的控制作用最终体现在分布于整个盆地的水动力场。很明显, 要了解多期、多层、多因素控制的水体流动规律, 必须全面地、定量地描述这些水流场及其在盆地中的演化过程。目前实现这一目标的最佳手段便是利用数学模拟方法和计算机技术。

1 数学模拟

1.1 数学模型

按照孔隙介质渗流力学理论, 非均质各向异性地层的非稳定地下水流的运动规律可用下列模型描述^[2]。

$$\frac{\partial}{\partial x}(K_x \frac{\partial H}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(K_y \frac{\partial H}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(K_z \frac{\partial H}{\partial z}) + Q =$$

$$r(\alpha + \beta) \frac{\partial H}{\partial t}$$

方程中各参数物理意义如下。

x, y, z : 表示空间变量, 单位: m; α, β : 与岩石和水有关的压缩系数; t : 表示演化时间变量, 单位: s; Q : 与时间和空间相关的汇源相; $H(x, y, z, t)$: 表示待求解的与演化时间、空间相关的地下水头, 单位: m; K_x, K_y, K_z : 各向异性的渗透系数, 单位: m/s。

渗透系数与地层绝对渗透率的关系由 Hubbert 定义为

$$K_{x, y, z} = \frac{\rho g}{\mu} K'_{x, y, z}$$

式中 $K'_{x, y, z}$ 是地层绝对渗透率, 与 x, y, z 方向相关; 单位: m^2 ; μ 是水粘滞系数(粘度), 单位: $\text{kg}/(\text{s} \cdot \text{m})$; ρ 是水的密度, 单位: kg/m^3 ; $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ 。

盆地基底(Ω_1) 视为封闭边界, 边缘和地表(Ω_2) 给定水头分布。即:

$$\frac{\partial H}{\partial t} \Big|_{\Omega_1} = 0, H(x, y, z, t) \Big|_{\Omega_2} = H_0(x, y, t)$$

其中 $H_0(x, y, t)$ 为边界古水头分布, 定量描述了外补给源的规模、分布范围和地史特性。依靠盆地地史模拟所恢复的盆地构造运动、古地形数据和有关古水文资料确定。模拟之初始时刻, 即盆地发育的初期, 按静水水头给出初值。

1.2 数值解法

采用有限差分法求解上述古水动力数学物理

* 国家“九五”科技攻关项目(96- 111- 02) 成果

收稿日期: 2000- 11- 05

方程^[3]。在时间上,从盆地演化之始至今划分为 N 个时步,变时间步长 Δt_i 。空间上,按 $X-Y-Z$ 三维网格系统剖分(二维模拟时,剖分为 $X-Z$ 网格)。变网格步长 $\Delta x_i, \Delta y_j, \Delta z_k$,网格节点标号记为 (i, j, k) ,网格单元数 $M = n_x n_y n_z$ 。

1.3 基本参数求取和确定

(1) 网格节点及时步

按 10×10 网格模拟,纵向上划分22个构造层,时步从早寒武世至现今。基准面采用海拔标高。

(2) 古地形数据

根据“九五”科研成果,利用人工交互和古构造恢复的古地形模拟^[4]方法,以其形成的古地形数据体为基础拟合每个网格节点合理的地表水头。

(3) 孔隙度、渗透率和岩性数据

利用钻井、实验和沉积相研究成果资料,建立22个地层的孔渗和岩性空间分布数据资料体,纵向上最小岩性厚度为10 m。再经过地史模拟形成各地史时期的孔渗和岩性分布三维数据体。

(4) 其他数据

岩石骨架压缩系数(α)取值:砂岩为 $1.0 \times 10^{-6} \sim 3.0 \times 10^{-6} \text{ Pa}^{-1}$,泥岩类为 $3.0 \times 10^{-5} \sim 7.0 \times 10^{-5} \text{ Pa}^{-1}$;灰岩为 $0.8 \times 10^{-6} \sim 1.1 \times 10^{-6} \text{ Pa}^{-1}$;水的密度(ρ)一般为 $1\,000 \sim 1\,050 \text{ kg/m}^3$;压缩系数(β)为 $3.5 \times 10^{-10} \sim 5.5 \times 10^{-10}$ 。

2 实例

随着勘探不断深入,越来越多的资料证明^[5]:塔里木盆地寒武-奥陶系为盆地主力生油岩,其次为石炭系、三叠-侏罗系生油岩。通过多种技术手段研究,初步认为寒武-奥陶系烃源岩有3个主生排烃期:海西早期、海西晚期、喜马拉雅期。

2.1 海西早期

此时的油气源区集中于盆地东北部满加尔坳陷,以寒武-奥陶系源岩所生成的油气为主。满加尔坳陷内古水流以向四周发散为主,油气不断向四周斜坡带运移(图1),油气主运移方向为北、北西、南西方向。至斜坡带,再经奥陶系与志留系不整合面、断裂及志留系输导层向隆起运移,聚集于奥陶系古岩溶、裂缝储集体和志留系砂岩之中。

此期有利油气聚集区为塔中隆起、沙雅隆起及其南部和东部地区。但由于早期海西运动使塔北沙雅隆起、塔中隆起及塔东南地区强烈抬升,地表水和渗注水作用极强。塔北志留系遭受强烈剥蚀,古油层

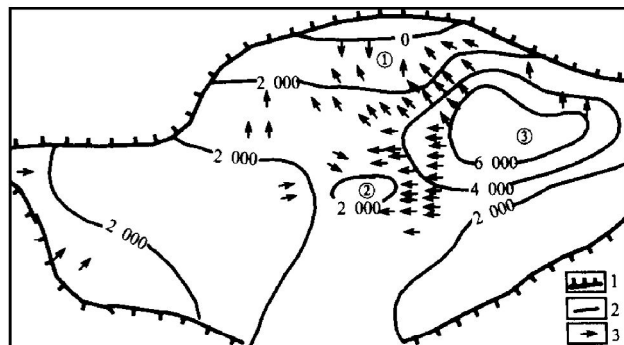


图1 塔里木盆地泥盆纪末期寒武系地下水流动特征图
Fig. 1 Characteristics of Cambrian groundwater flow in the end of Devonian in Tarim Basin

①—沙雅隆起; ②—塔中隆起; ③—满加尔坳陷

1—盆地边界线; 2—寒武系顶面古构造等值线; 3—地下水流动方向

暴露地表,遭受地表水的水洗氧化和生物降解破坏。塔中北斜坡剥蚀了泥盆系和部分志留系,地表水从志留系露头 and 断裂带注入油藏,使原油水洗氧化破坏。因此该期油气藏破坏严重,油气运移总体方向为盆地中部地区。塔北沙雅隆起因地层抬升更严重,地表水渗入较强,因此油气破坏比盆地其它地区更强,被破坏的古油藏遗迹分布较广^[6],如胜利1井、哈1井等志留系中的沥青砂厚度达280 m,按其圈闭恢复,被破坏油气储量可达 $10 \times 10^8 \text{ t}$ 。

2.2 海西晚期

此时寒武-奥陶系成熟生油区向西迁移,就下古生界而言,古构造格局依然是塔北和塔中围绕成熟生油区。生油层排出的油气沿不整合面、横向渗透层向西运移(图2)。油气运移指向塔中和塔北隆起,但考虑海西晚期运动主要表现在塔北隆起北部,地层抬升强烈,成为地表水活动强烈区,不利于油气捕获。因此,此期油气运移聚集区主要以塔中为主,其次为塔北。就保存条件而言,沙雅隆起的南部优于北部。

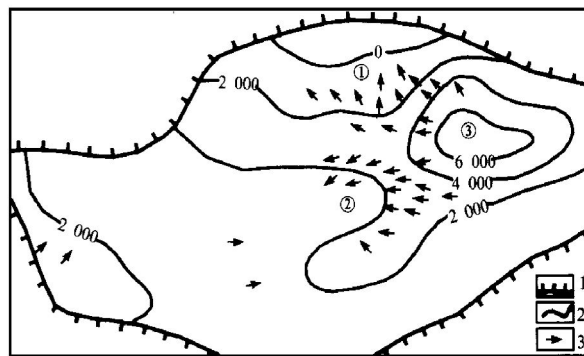


图2 塔里木盆地海西晚期下奥陶统地下水流动特征图
Fig. 2 Characteristics of Lower Ordovician groundwater flow in late Hercynian in Tarim Basin

①—沙雅隆起; ②—塔中隆起; ③—满加尔坳陷

1—盆地边界线; 2—下奥陶系顶面古构造等值线; 3—地下水流动方向

2.3 喜马拉雅期

由于盆地类型转变、周缘山系隆起、盆地总体快速沉降,尤其是在盆地边缘的山前地带,山前地表水指向盆地中部,满加尔坳陷寒武-奥陶系油气运移的方向已不明显。此时,盆地西南地区石炭系生油岩已成熟,油气向巴楚隆起运移(图3),巴楚隆

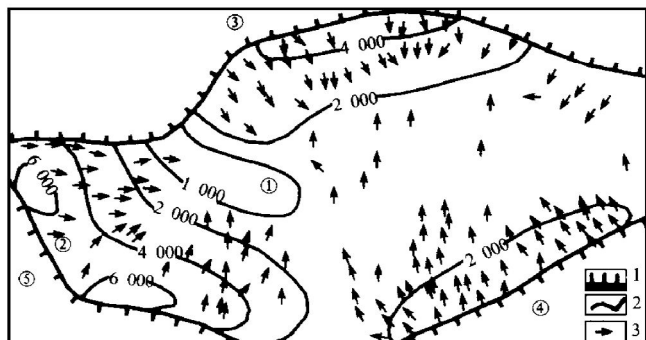


图3 塔里木盆地中新统一现今地下水流动特征图

Fig. 3 Characteristics of groundwater flow from Miocene to present in Tarim Basin

①—巴楚隆起, ②—西南坳陷, ③—天山, ④—阿尔金山, ⑤—昆仑山
1—盆地边界线; 2—中新统顶面古构造等值线 3—地下水流动方向
起和麦盖提斜坡成为石炭系油气运移聚集区之一。三叠-侏罗系主要由山前坳陷向盆内运移。该期地表降水和泄水作用极为强烈, 大部分地区和层系经历了地表降水作用。地表降水的大量注入, 使油气藏不同程度地遭受水洗氧化作用, 并使油气藏充满度下降、压力系统改变。

3 结论

(1) 利用模拟, 可以得到不同构造期各层系的古水动力场特征, 进而分析油气运移指向。

(2) 寒武-奥陶系油气运移聚集区以塔北、塔中和巴楚隆起为主, 早期所形成的油气藏破坏较严重, 塔北的保存条件比塔中差。

(3) 石炭系油气运移指向以巴楚隆起和麦盖提斜坡为主。

(4) 由于后期盆地周缘山系强烈抬升, 地表降水作用使油气藏不同程度的遭受了水洗氧化作用并重新调整了油气分布。

参 考 文 献

- 1 杨绪充. 含油气区地下温压环境[M]. 东营: 石油大学出版社, 1993
- 2 邓林, 王英民. 油气运移计算机动态模拟方法研究及其应用[J]. 成都理工学院学报, 1994, 21(2): 51~58
- 3 孙纳正. 地下水流的数学模拟和数值模拟方法[M]. 北京: 地质出版社, 1981
- 4 王英民, 邓林, 贺小书, 等. 海相残余盆地成藏动力学过程模拟理论方法——以广西十万大山盆地为例. 北京: 地质出版社, 1999
- 5 康玉柱. 塔里木盆地古生代海相油气田[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992
- 6 康志宏. 塔里木原型盆地分析[A]. 见: 康玉柱, 主编. 中国塔里木盆地石油地质文集[C]. 北京: 地质出版社, 1996

APPLICATION OF PALAEOHYDRODYNAMIC MODELING TO TARIM BASIN

Kang Zhihong¹ Kang Yanfang² Deng Lin¹ Wang Yinmin³
Hu Beichen² Zhang Pengde² Yang Hong² Huang Dilong¹

(1. Chengdu College of Technology, Chengdu, Sichuan;

2. Institute of Design and Research, Northwest Petroleum Bureau CNSPC, Urumqi, Xinjiang; 3. Petroleum University, Beijing)

Abstract: According to geologic model of unsteady groundwater flow in heterogeneous medium and adopting the finite difference solution, the direction and strength of oil-gas migration can be quantified. Tarim Basin had three main oil-gas generating phases including the early Hercynian, the late Hercynian and the Himalayan phases. Modeling result suggests that, in the early Hercynian, groundwater flow from the source depression to the around areas. Tazhong, Shaya Uplifts and the south and east of Shaya Uplift are favourable for oil-gas migration. As the early Hercynian movement was very strong, fossil oil pools were exposed on surface and mainly denudated; in the later Hercynian, the oil-gas migrated to Tazhong and Tabei Uplifts, accumulated in Tazhong; in the Himalayan stage, because of intense surface waterfall and draining, fissile oil pools were distorted; the fullness of the pools decreased, and pressure system was changed.

Key words: palaeohydrodynamic force; model; application; oil and gas migration; Tarim Basin