

烃类组分垂向微运移的模拟研究

夏响华^{1,2}, 杨瑞琰^{3,4}, 鲍征宇⁴

(1. 成都理工大学能源学院, 四川成都 610059; 2. 中国石化石油勘探开发研究院化探研究所, 安徽合肥 230022;

3. 南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室, 江苏南京 210093;

4. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074)

摘要: 烃类垂向微渗漏是一种不能被直接观察但可为仪器所检测的油气微渗漏, 通常在油气藏的上方形成环形晕或顶部异常。研究表明, 地层的厚度与烃类垂向微渗漏系统平衡时间呈线性相关性; 随着孔隙度的增加, 系统的平衡时间呈指数降低的趋势; 当土壤的吸附率从每年1%到接近0时, 系统的平衡时间呈指数增加; 随着微生物对烃类组分的消耗率的增加, 系统的平衡时间呈指数降低的趋势。土壤的吸附率和微生物对烃类组分的消耗率与系统的平衡时间联合影响研究发现, 微生物对系统平衡时间的影响比土壤吸附率要小。对于两层地层而言, 上、下地层的孔隙度和土壤的吸附对系统的平衡时间影响是对称的; 上、下两层地层的微生物消耗率为每年2%时几乎是对称的, 即此时上、下地层微生物的消耗率对系统的平衡时间影响是等价的。当上、下两层地层的微生物消耗率小于每年2%时, 下伏地层的微生物影响要大于上覆地层的影响, 当上、下两层地层的微生物消耗率大于每年2%时, 则下伏地层的微生物影响要小于上覆地层的影响。

关键词: 烃类; 微渗漏; 微生物; 土壤; 平衡时间; 消耗率; 吸附率

第一作者简介: 夏响华, 男, 41岁, 高级工程师, 油气化探与遥感

中图分类号: P681.130

文献标识码: A

油气地球化学勘查建立在烃类垂向微渗漏 (microseepage) 的基础之上, 这是一种不能被直接观察但可为仪器所检测的油气微渗漏^[1], 通常在油气藏的上方形成环形晕或顶部异常。Price^[1]罗列了当时对烃类垂向微渗漏的4种动力学机理: (1) 扩散 (diffusion), (2) 渗溢 (effusion), (3) 随水的对流 (convection with moving water), (4) 渗透 (permeation)。扩散本质上是向四周的弥散, 而限于垂向运移, 且扩散速度很慢^[2], 不能解释由于地下油田开采导致地表油气地球化学场的快速变化。渗溢作用则要求具有连通性很好的微裂隙系统, 且运移速度过快, 会直接导致油藏破坏, 因此不太可能是地表油气异常形成的主要动力学机理。近年来, 国际上较为倾向于烃类气体呈胶体大小的气泡 (colloidal-size gas bubbles) 运移的观点。Brown^[3]探讨了一维无穷延伸的粘滞介质中胶体气泡的运移速度及侧壁和气泡浓度对运移速度的影响, 同时还研究了微裂隙中“连续气相流动” (continuous gas-phase flow in fracture) 模型。结果表明, 胶体气泡的速度远小于通常所期望的量值, 而“连续气相流动”则更可能是导致地表油气地球化学异常的

动力学机制。

1 概念模型

关于烃类上升到地表的迁移机制, 从油气化探创立至今一直是研究和争论的焦点。本文的研究主要是建立 (或假定) 烃类组分垂向微运移的概念模型, 即烃类微运移机制。初步可考虑两类概念模型: ①微气泡扩散; ②微气泡在浮力作用下的运移。在向上运移过程中应考虑土壤颗粒对烃类组分的吸附, 地表生物和有机质分解所产生的烃类及微生物 (噬烃菌) 作用导致烃类组分浓度的减少等因素, 而不考虑地下水及油气的运移对烃类物质垂向运移的影响^[4~8]。

1.1 扩散作用

扩散作用是“分子、原子或离子向真空、溶液或多孔介质中沿着使它所在的系统中的各部分浓度相等的方向分散开去的作用”。只要有浓度差 (浓度梯度), 就会有扩散作用, 这是最普遍的现象。在石油化探中扩散作用常常是异常形成的机制。

1.2 浮力作用

在潜水面以下, 地层孔隙一般为流体所饱和。当地下水静止不动或流速很低时, 浮力是油气垂

向迁移的主要动力。烃类物质在上升的过程中还需要克服阻力。阻力主要是附着力和毛细管力。毛细管越细, 岩石与土壤介质的界面张力就越大, 阻力越大; 同样地如果烃类物质的气泡越大, 气泡通过挤压变形而穿过土壤中较小缝隙的阻力也越大。

在深部高温高压下, 界面张力很小, 有利于油

系, 运用计算机模拟软件对几种简单的情况进行研究。

2.1 单一地层

假定地层的厚度为 400 m, 孔隙度为 20%, 土壤的吸附率和微生物的消耗率均为 0, 其他的参数依据系统中设定的值。

地层的厚度与系统平衡的时间关系见图 1, 其

生物的活动受多种因素的影响, 如湿度、营养度、温度等, 为了简便计算, 本文假设微生物对某个烃类物质的降解为一级降解, 其降解速率为烃类物质浓度的常数倍, 即

$$R_1 = k_{1i}c_i \quad (1)$$

式中 R_1 , 降解率, $\mu\text{l/l}$; c_i 为第 i 种烃类在流体中的浓度, $\mu\text{l/l}$ 。

1.4 土壤的吸附作用

土壤的吸附作用发生在土壤的表面, 土壤为吸附剂, 烃类物质为吸附质。吸附量的多少可以用单位面积上吸附气体的摩尔数或体积表示, 有时也常用单位重量上吸附气体的摩尔数或体积表示^[5]。为此我们假设土壤颗粒对某种烃类物质吸附作用的总速率 R_2 与该类物质在流体中的浓度 c_i 和土壤中该组分的浓度 C_i 的差成正比, k_{2i} 为常数。于是

$$R_2 = -k_{2i}\Phi(c_i - C_i)^{[9]} \quad (2)$$

式中 R_2 为吸附总速率, $\mu\text{l/l}$; Φ 土壤孔隙度, %; c_i 为流体中第 i 种烃类的浓度 $\mu\text{l/l}$; C_i 为土壤中第 i 种烃类浓度, $\mu\text{l/l}$ 。

2 模拟研究

为了研究油气微运移(渗漏)的动力学机制以及各参数与烃类垂向微渗漏系统平衡时间的关

图1 地层厚度与平衡时间关系图

Fig. 1 Relation curve of formation thickness and equilibrium time

地层厚度每增加 1 m, 系统平衡时间近似增加 1 年。

随着孔隙度的增加, 系统的平衡时间为呈指数降低的趋势(图 2)。

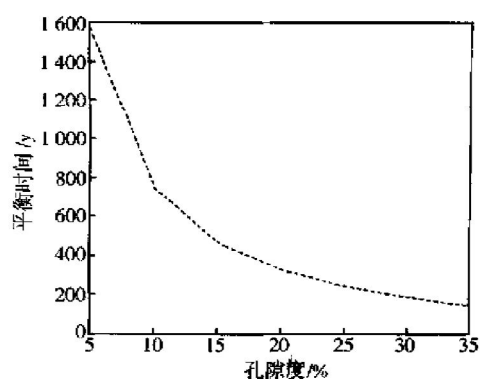


图2 孔隙度与平衡时间关系图

Fig. 2 Relation curve of porosity and equilibrium time

当吸附率从每年 1% 到接近 0 时(由于土壤的吸附率不可能为 0), 系统的平衡时间呈指数增加(图 3)。

随着微生物对烃类组分消耗率的增加, 系统平衡时间有呈指数降低的趋势(图 4)。

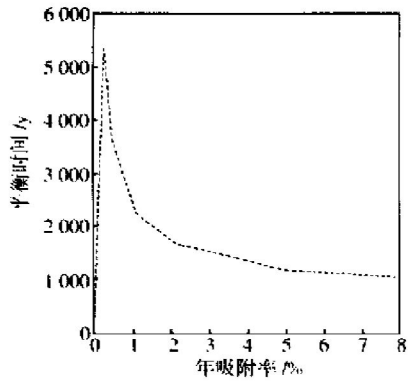


图 3 土壤吸附率与平衡时间关系曲线图

Fig. 3 Relation curve of adsorption rate and equilibrium time

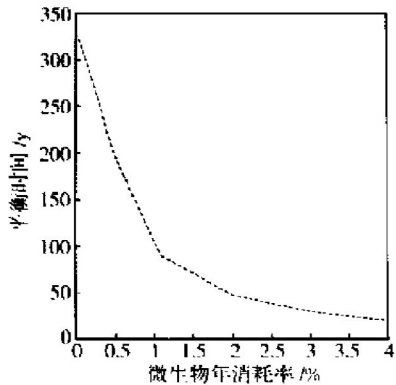


图 4 微生物消耗率与平衡时间关系曲线图

Fig. 4 Relation curve of microorganism consumption rate and equilibrium time

土壤的吸附率和微生物对烃类组分的消耗率与系统的平衡时间联合影响的结果见图 5。图中的曲线是系统平衡时间的等值线。微生物的作用对系统平衡时间的影响比土壤的吸附率要小(对烃类组分的浓度的影响要大)。当土壤的吸附率小于每年 1% 时,微生物对系统平衡时间的影响才消失。

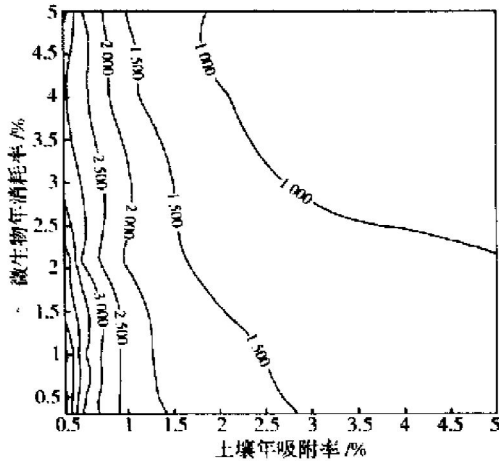


图 5 微生物消耗率与土壤吸附率对平衡时间的综合影响

Fig. 5 Composite influence of microorganism and soil adsorption rate on equilibrium time

模拟表明,在没有考虑流体渗滤作用、微气泡半径、运动粘度等情况下,影响系统平衡时间最大的是土壤的吸附率,以下依次为微生物的消耗率、孔隙度和地层厚度。

2.2 上、下两层地层

图 6 和图 7 分别是上、下两层地层的孔隙度、土壤对烃类组分的吸附率对系统平衡时间的影响。图中的曲线为系统平衡时间等值线。从图中可以看出等值线几乎是对称的,即上、下地层的孔隙度及吸附率对系统的平衡时间影响是可以交换的。

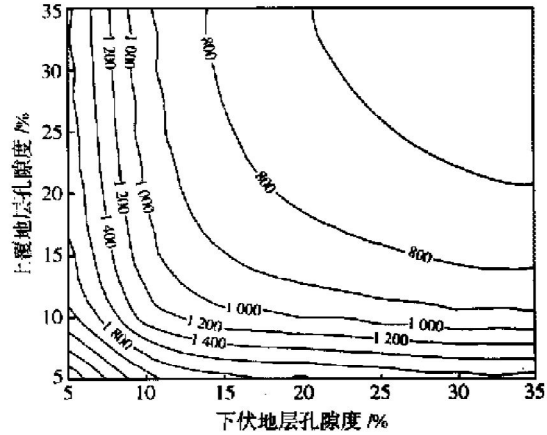


图 6 上、下地层孔隙度对平衡时间的综合影响

Fig. 6 Comprehensive influence of the porosities in overlying and underlying formations on equilibrium time

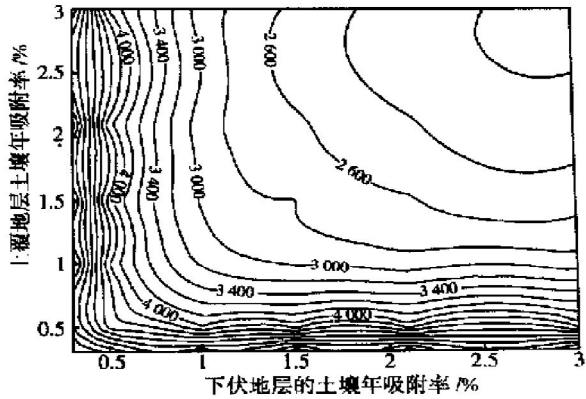


图 7 上、下地层吸附率对平衡时间的综合影响

Fig. 7 Composite influence of the adsorption rates in overlying and underlying formations on equilibrium time

图 8 是上、下两层地层的微生物消耗率对系统平衡时间的影响。图中的曲线为系统平衡时间的等值线。等值线在上、下两层地层的微生物消耗率为每年 2% 时几乎是对称的,即此时上、下地层的微生物的消耗率对系统的平衡时间影响是等价的。当上、下两层地层的微生物消耗率小于每年 2% 时,下伏地层的微生物影响要大于上覆地层的影响,当上、下两层地层的微生物消耗率大于每年 2% 时,则相反。

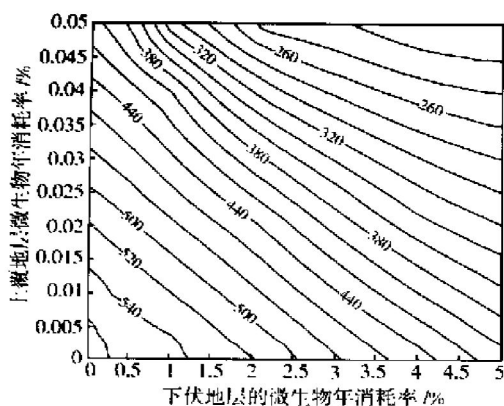


图8 上、下地层微生物消耗率对平衡时间的综合影响

Fig. 8 Composite influence of the microorganism consumption rates in overlying and underlying formations on equilibrium time

参 考 文 献

1 Price L C. A critical overview and proposed working model of surface geochemical exploration[A]. In: Davidson M J. Unconventional meth-

ods in exploration for petroleum and natural gas(IV)[C]. Dallas: Southern Methods University Press, 1985. 245~ 285

2 Leythaeuser D. Role of diffusion in primary migration of hydrocarbon [J]. AAPG Bull, 1981, 66(4): 408~ 429

3 Brown A. Evaluation of possible gas microseepage mechanisms [J]. AAPG Bull, 2000, 84(11): 1 775~ 1 789

4 刘崇禧, 徐世荣. 油气化探方法与应用[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1992. 1~ 178

5 吴传璧, 周书欣. 油气化探的理论与方法[M]. 北京: 地质出版社, 1989. 1~ 216

6 阮天健, 费琪. 石油天然气地球化学勘探[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992. 1~ 174

7 张博全, 王岫云. 油(气)层物理学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989. 1~ 237

8 多尔特曼 H. 岩石和矿物的物理性质[M]. 蒋宏耀. 译. 北京: 科学出版社, 1985. 1~ 367

9 Bear J. 多孔介质流体动力学[M]. 李竞生, 陈崇希. 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1983. 1~ 570

SIMULATION TEST OF VERTICAL MICRO-SEEPAGE OF HYDROCARBON COMPOSITION

Xia Xianghua^{1,4} Yang Ruiyan^{2,3} Bao Zhengyu³

(1. College of Energy Resources, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan;

2. State Key Laboratory for Research of Mineral Deposits, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu;

3. College of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei;

4. Institute of Petroleum Geochemical Exploration, SINOPEC, Hefei, Anhui)

Abstract: Vertical micro-seepage of hydrocarbon can be not directly observed but measured by the instruments, which is usually referred to as a circle-like halo distributed on the top of oil and gas reservoirs. The study shows that the equilibrium time of vertical micro-seepage system has a linear relation with strata thickness, and the equilibrium time of this system is exponentially decreased with porosity increase. When annual adsorption rate of soil changes from average 1% to near 0, the equilibrium time of this system is exponentially increased. As the consumption rate of hydrocarbon derived from microorganism is increased, the equilibrium time of this system is exponentially decreased. Through the comprehensive analysis of the influence of soil adsorption rate of and microorganism-derived hydrocarbon consumption rate on the system equilibrium time, respectively, it is shown that the influence of the former would be less than the latter's. For the overlying and underlying formations, the influences of either soil adsorption rate and rock porosity on the equilibrium time of micro-seepage system are nearly equivalent. When the microorganism-derived hydrocarbon consumption rate both in overlying and underlying formations is about 2% per year, their influence on equilibrium time are nearly equivalent, i. e. the influence of microorganism's consumption rate in overlying and underlying formations on the equilibrium time of micro-seepage system are nearly equivalent. When the microorganism-derived hydrocarbon consumption rate both in overlying and underlying formations is less than 2% per year, the microorganism's effect in underlying formation would be more than that in overlying formation; while the microorganism-derived hydrocarbon consumption rate both in overlying and underlying formations is more than 2% per year, microorganism's effect in underlying formation would be less than that in overlying formation.

Key words: hydrocarbon; microorganism; equilibrium time; consumption rate; adsorption rate