

文章编号: 0253-9985(2000)03-0236-05

油气垂向微运移的证据及特点

程 军¹, 刘崇禧¹, 赵克斌¹, 郭旭升², 杨志斌³(1. 中国石化集团新星石油公司化探中心, 安徽合肥 230022; 2. 胜利石油管理局勘探事业部, 山东东营 257001;
3. 河南石油管理局地质研究院, 河南南阳 473132)

摘要: 烃类垂向运移是一个复杂的地质-地球化学过程, 严格受边界条件控制, 在地质历史上具有一定的阶段性。水文地球化学指标表明: 地下水矿化度的梯度变化及离子组合改变等都因油气垂向微运移所致。油气垂向微运移还使得轻烃组分、芳烃荧光强度发生规律性的变化: 从储层到盖层, 分子量和分子半径小的轻烃相对富集, 不同波长段的芳烃荧光强度显著降低。另外, 深部油气藏与地表的甲烷碳同位素值基本一致, 也说明了油气的确存在垂向微运移。因油气垂向微运移具有阶段性和间歇性等特点, 所以在化探指标柱状图上, 地化指标常出现多个由高→低或由低→高的旋回。

关键词: 油气化探; 垂向微运移; 证据; 特点

第一作者简介: 程军, 男, 32 岁, 硕士, 油气化探应用与研究

中图分类号: TE132.4 文章标识码: A

烃类垂向微运移是一个复杂的地质-地球化学(物理)过程, 严格受边界条件控制, 在地质历史上有一定的阶段性和间断分布的特征, 并与地层构造、沉积岩相、地球化学环境及油气分布等变化相一致。浅层地球化学效应, 不论在地质-地球化学体系复杂的地区, 还是简单的地区, 都不可能是由一种迁移机制所完成的, 而是由多种迁移机制综合作用的结果。只不过是在一定地质历史阶段以某几种迁移机制为主而已, 但地下水活动是普遍存在的, 唯强弱程度有所变化^[1]。

1 证据

1.1 水文地球化学

在含油气盆地中, 地下水与油气的化学成分发生积极的交换作用, 使油田水化学成分具有浓度高、分异作用强、有机物质含量多等特点(表 1)。

表 1 中国部分盆地油田水化学成分

Table 1 Chemical components of oilfield water in some basins, China

盆地	时代	烃类/ $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$		离子成分/ $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$			矿化度
		甲烷	重烃	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	Cl^-	HCO_3^-	
济阳	E	18 915	3 049	16.91	14.13	0.10	33.73
江汉	E	1 515	782	172.08	132.00	0.28	301.00
苏北	E	28 399	450	12.64	9.60	0.30	23.17
松辽	K	3 888	11	4.17	2.35	0.78	6.97
鄂尔多斯 J		2 761	2 314	45.72	42.78	0.10	88.01
鄂尔多斯 T		2 880	1 969	15.50	9.34	0.32	20.80

油田水在压力等作用下形成的顶托补给或浓度差引起的向上渗逸作用, 在上覆地层中留下可鉴别的地球化学形迹。如松辽盆地中新世代不同时代地层中碱性水的形成以及近地表沉积物中广泛存在的苏打与 NaHCO_3 型水, 都与石油或油田水化学成分相关; 再如渤海湾盆地、江汉盆地等近地表盐渍化(前者以 NaCl 为主, 后者以 $\text{NaCl}-\text{Na}_2\text{SO}_4$ 为主)的形成, 与油田水长期“排泄”或微运移有关。地下水纵向上的离子组合稳定, 松辽盆地为 Cl^- , HCO_3^- - Na^+ 组合, 鄂尔多斯盆地为 Cl^- - Na^+ 组合; 矿化度从主要储油层向上逐渐降低, 正向梯度(每千米指标增加值)明显; Na^+/Cl^- 比值随深度变浅而增高, 反映了水文地球化学环境由封闭趋向开敞(图 1)。

济阳坳陷临盘地区在 1965 年建立油气化探长期观测站, 多年连续定点取样分析结果表明, 近地表化探异常十分稳定, 异常内地下水矿化度含量较高, 含较高有机组分, 阴离子顺序为 $\text{Cl}^- \rightarrow \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$, 与沙河街组油田水一致(表 2)。在矿化度与主要离子组成的相关曲线上, 异常点大都位于油田水的延伸线上, 非异常点却偏离较远。

泌阳凹陷油田水活动和水文地球化学循环比较活跃, 由深到浅随着水文地质封闭程度逐渐变差, 水化学成分发生有序变化, 在始终保持 Cl^- - Na^+ 离子组合的同时, 阴离子顺序由 $\text{Cl}^- \rightarrow \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$ 演变为 $\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{Cl}^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$ 和 $\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{Cl}^-$ (CO_3^{2-}), 矿化度由高到低(图 2), 说明

浅层水与深层水保持着一定的联系。

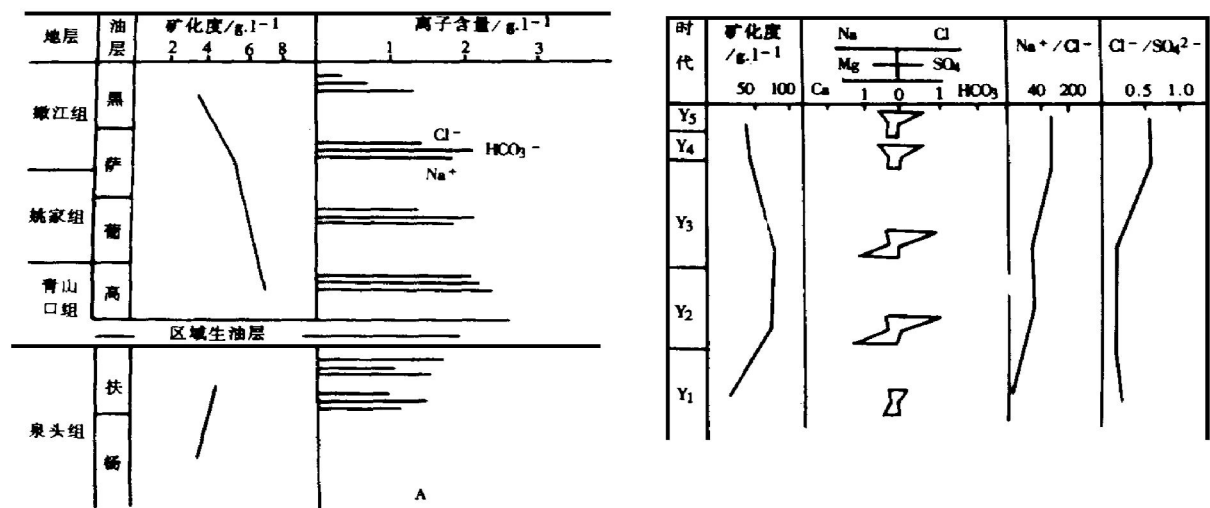


图 1 水化学成分纵向变化(A—松辽盆地; B—鄂尔多斯盆地)

Fig. 1 Vertical variation of water chemical components(A. Songliao Basin; B. Ordos Basin)

表 2 临盘地区地下水化学成分纵向变化

Table 2 Vertical variation of ground water chemical components in Linpan area

类型	井号	化学成分/ $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$			矿化度	酚/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	阴离子顺序	深度/m
		Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-				
油田水	盘 12	8.36	0.00	0.18	17.08	20~ 2900	$\text{Cl}^- \rightarrow \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$	1 600~ 2 200
	临 1	8.46	0.00	0.13	17.18			
	盘 20	13.09	0.00	0.29	26.76			
	盘 15	27.50	0.00	0.15	55.46			
Q-R 承压水	盘水 1	0.19	0.08	0.15	0.84	10~ 26	$\text{Cl}^- \rightarrow \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$	410~ 520
	盘水 3	0.19	0.12	0.14	0.90			
	盘水 7	0.19	0.12	0.16	0.94			
Q 潜水	邑 14	0.37	0.17	0.27	1.62	10~ 45	$\text{Cl}^- \rightarrow \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$	35~ 50
	邑 15	1.69	0.20	0.37	4.52			
	邑 7	1.14	0.15	0.27	3.12			
	邑 2	1.47	0.19	0.34	4.00			

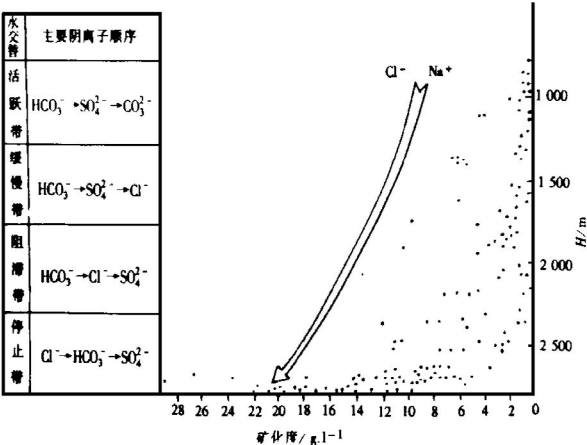


图 2 泌阳凹陷地下水纵向变化特征

Fig. 2 Vertical variation of ground water in Biyang Sag

1.2 烃类气体

在钻井剖面中普遍存在着地球化学重力分异和色层效应, 分子量大的烃类微运移活动较弱, 相对滞后, 而分子量比较小的烃类具有较强的迁移能力, 相对超前, 故从油气储层到近地表, 分子量大的烃类出现的频率逐渐降低, 浓度逐渐变小, 导致烃

类组分之间在纵向上分布不均衡。

油气藏上方土壤烃类气体组分与当地石油或天然气化学成分具有相似性, 其结构、轻重比等基本一致。沙 2 井天然气与上覆近地表游离烃、土壤吸附烃的图谱特征(C_1-C_7) 相似性很强(图 3), 一般在近地表可以生成一定的甲烷, 但 C_5 以上的重烃在近地表生物化学作用下难以生成, 显然是深部烃类微运移的结果。近地表的化探异常中烃类气体含量与地下深部的烃类气体含量有一定相关性, 按各自组分之间的相关系数排序完全一致, 即重烃组分之间密切相关, C_2 与 C_3 的相关系数最大, 其次是 C_3 与 C_4 , 而甲烷与乙烷、丙烷、丁烷之间的相关系数最小, 处于极次要地位, 说明近地表烃类气体与深部气体是同源的。

塔北地区奥陶系天然气、白垩系岩石吸附气同近地表沉积物中烃类气体的组成比例(甲烷百分含量分别是 90.3、91.3 和 92.4) 与结构(C_1-C_4 含量

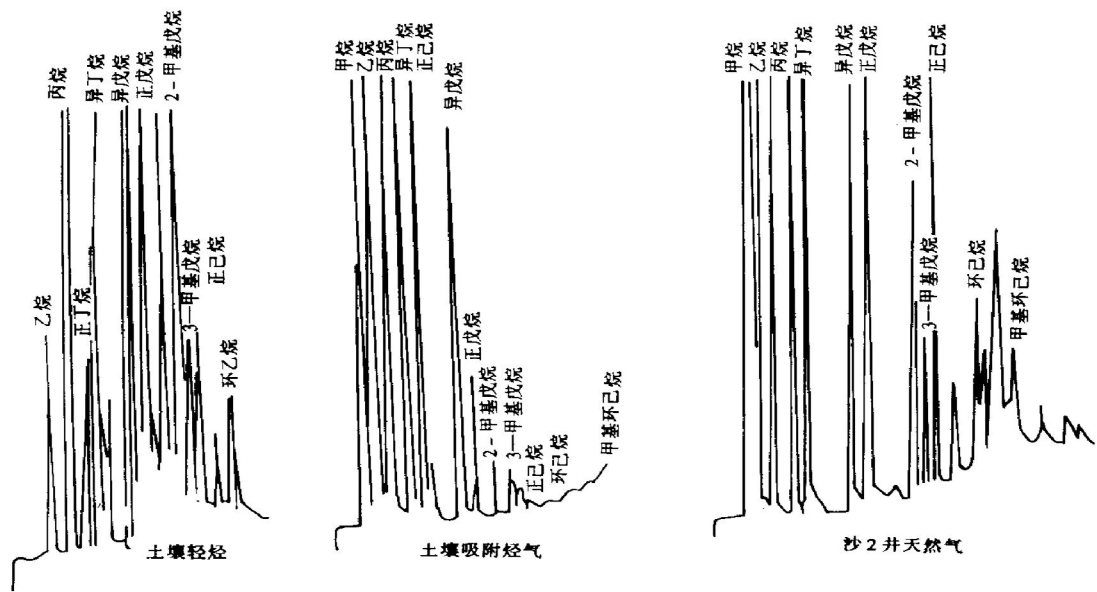


图 3 塔北土壤烃气与天然气色谱对比图

Fig. 3 Chromatographic Comparison between soil hydrocarbon gas and natural gas in North Tarim

依次降低, iC_4/nC_4 由小到大) 基本一致。在 5 000 余米的范围内烃类的相似性和类同性, 绝不是偶然的巧合, 是烃类纵向活动形成了第四系沉积物与奥陶系沉积物之间的烃类平衡状态。

油气在垂向微运移过程中, 烃类各组份间的比例发生有序变化, 就 $C_1 - C_4$ 而言, 随深度增加, 高碳数烃含量相对增加, 湿度系数升高, 产油井内多数单体烃类存在着较大的正向梯度(表 3, 图 4), 进

表 3 产油井主要化探指标

Table 3 Major chemical exploration indexes of oil production well				
地区	井号	重烃	湿度	F360/F320
泌阳	泌 248	1200	55	2.3
	B210	300	13	1.45
塔北	沙 5	240	12.5	/
鄂尔多斯	韩 2	209	5.2	0.89
松辽南	N76	800	15	2.1
东海	春 1	950	32	/

一步说明了分子量和分子半径小的轻烃(C_1), 比分子量和分子半径大的重烃(C_2^+) 更易于向上微运移。这种轻组分优先运移、重组分相对滞后并在深部地层富集的现象, 在油气钻井剖面普遍存在。烃气指标自下而上逐渐变轻的结构特点, 说明存在着垂向微运移效应^[2]。

1.3 芳烃

芳烃在原油中的含量仅次于烷烃和环烷烃, 具有挥发性强, 迁移性能好的特点。在温度、压力、浓度差等诸多因素的控制下, 油气沿孔隙-裂隙体系由深部储层向上运移时, 产生分异效应, 某些特征峰的发射波长向短波长方向移动。许多含油气盆

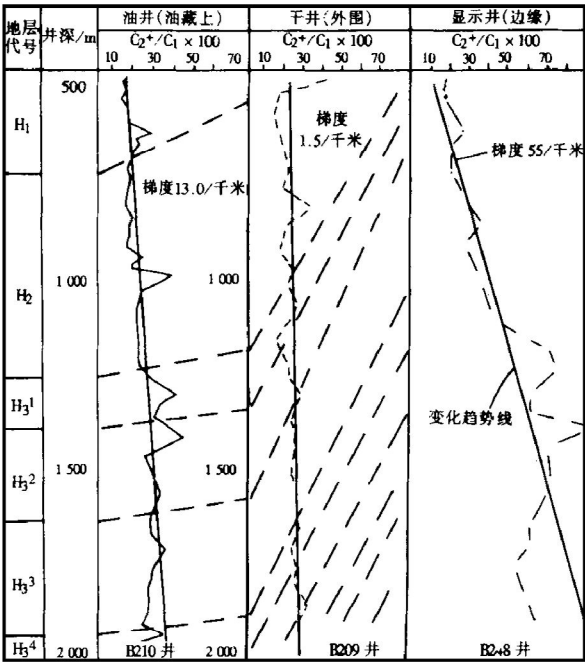


图 4 泌阳凹陷钻井 C_2^+/C_1 梯度图

Fig. 4 Gradient of drilling C_2^+/C_1 in Biyang Sag

地钻井岩芯的三维荧光图谱, 在基本相似和具有可比性的背景上, 有一定的差异, 由深到浅, 主峰位置的激发波长/发射波长对前移 2~ 4 nm。如东部某盆地钻井由 232 nm/344 nm, 前移至 229 nm/340 nm, 强度随之减弱(由 8 449 降至 459), 芳烃由重变轻。鄂尔多斯盆地某产油井, 随深度变浅, 同步荧光主要波段强度有递减的趋势, 360 nm/320 nm 由 3.21 减至 0.28(表 4), 标志着重芳烃组分相对减少, 轻芳烃组分相对富集。在迁移过程中, 主峰位置不断左移, 由 360 nm 或 330 nm 移至 300 nm(图 5)。在纵向上芳烃组分从重到轻的分离效应和变

化规律, 在含油气盆地中屡见不鲜(表 5)。

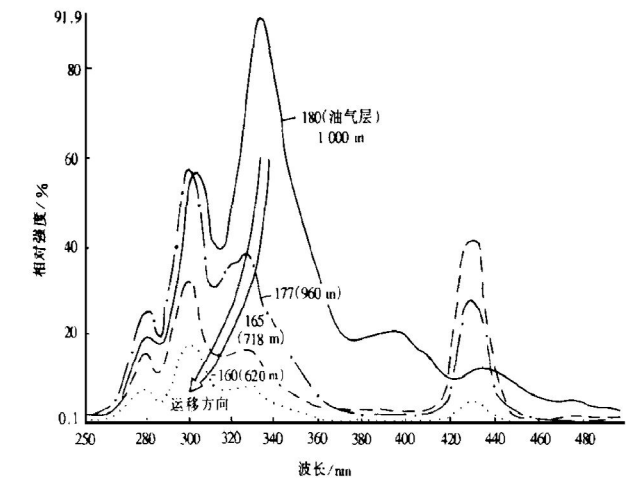


图 5 B210 油井不同层位同步荧光对比图

Fig. 5 Comparison of alike fluorescence in different horizons of B- 210 Oil Well

表 4 荧光强度随深度的变化

Table 4 Vaviation of fluorescence intensity with depth

H/m	λ/nm				主峰(1NT)	运移方向
	360	320	360/320	主峰波长对		
550	36.6	130	0.28	229/ 340	459	
1 230	1 437.1	660.1	2.18	230/ 343	751	
1 680	2 214.0	832.5	2.66	232/ 344	4 453	
1 940	5 035.8	1 568.1	3.21	232/ 344	8 449	

表 5 泌阳凹陷不同波长段荧光强度与深度的关系

Table 5 Relationship between fluorescent intensity of defferent wave lengths and depths in Biyang Sag

H/m	λ/nm				运移方向
	280	300	330	390	300/ 330
620	8.7	18.8	9.3	1.0	2.1
718	15.9	33.3	16.8	3.0	1.9
960	26.9	57.6	38.8	3.2	1.4
1 000	20.3	56.9	91.9	20.3	0.6

1.4 碳同位素

酸解烃高含量甲烷稳定碳同位素在油气钻井中的变化范围大部分在- 3.7‰~ - 4.5‰之间, 乙烷碳同位素为- 2.5‰~ - 3.2‰之间, 均为热解成因气范畴。在纵向上从深到浅存在着一定比例的分馏作用(表 6, 图 6), 这些实际资料与塔北地区天

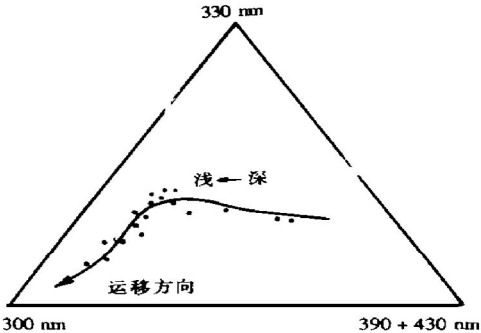


图 6 同步荧光组分结构图

Fig. 6 Texture of alike flourascence components

然气甲烷碳同位素基本一致, 说明烃类气体来源于油气藏, 证明烃类垂向微运移的存在。

1.5 其它

(1) 在油气藏上方普遍存在着磁铁矿化、菱铁矿化和黄铁矿化现象, 并发现有钼铁矿和球粒状磁铁矿, 它们是烃类垂向微运移导致环境变化引起重矿物重新组合的矿化蚀变作用的产物。

表 6 塔北地区钻井岩屑酸解烃甲烷碳同位素特征

Table 6 Carbon isotopic characters of acidolysis methane of drilling clastic debris in North Tarim

地层	沙 22	沙 37	沙 18	沙 15	沙 5
Q	- 3.485	- 3.823	- 3.751	-	- 3.147
N ₂ k	- 3.734	- 4.247	- 3.998	-	- 3.237
N ₁ k	-	- 4.702	- 4.104	- 3.999	- 3.210
N ₁ j	- 3.814	- 4.430	-	- 4.012	- 3.647
N ₁ s	-	-	- 4.202	-	- 3.660
E- K ₂	- 3.537	- 5.001	-	- 4.195	- 3.364
K ₁ K _p	-	- 4.321	- 4.154	- 4.145	- 3.580
J	- 4.134	- 3.799	-	-	-
T ₃ h	- 4.698	- 4.921	-	- 5.281	-
T ₂ a	-	- 3.077	- 5.558	-	-
C	- 4.150	-	- 4.113	- 4.724(0)	- 4.443
天然气	-	-	- 3.381~ - 3.846	-	- 4.013~ 4.156

(2) 近地表化探样品中含有一定量的有机碳等有机物质, 它们在一定条件下可转化为甲烷及其同系物, 但有机碳转化为烃类的量, 远远低于样品中实测的烃类含量。准噶尔盆地土壤有机碳的平均含量为 0.12‰, 根据当地井中干酪根热模拟实验结果, 计算样品中有机碳转化为烃类的量是 1.8 mg/l, 而在深度为 1.5~ 6.0 m 沉积物中烃类含量为 20~ 30 mg/l, 比有机碳(或有机质)自身生成的烃高出 10~ 12 倍, 表明浅层烃类绝大部分由深部运移而来。

2 特点

烃类在温度、压力、浓度及水动力梯度等因素的制约下, 沿着一定的通道垂向微运移, 岩石中孔隙和微裂隙为主要通道。在地质历史时期内, 对地下水流动系统而言, 不存在绝对的隔水层和不透水层, 因为各地质时代的岩石都不同程度的存在微裂隙, 如塔北地区在 5 000 多米深的碳酸盐岩中发育有大量微裂隙, 宽度多在 3~ 25 μm 之间, 在水润湿的岩石中, 溶解有大量烃类的地下水可毫不受阻地通过孔隙喉道和微裂隙。Tissot 和 Welete^[3] (1978), 将岩石中的孔隙直径与一定碳氢化合物和水分子的有效直径进行比较发现, 在 3 000 m 深度

上的孔隙大小近似为 $3.0 \times 10^{-7} \text{ cm}$, 4 000 m 深度上的孔隙大小近似 $1 \times 10^{-7} \text{ cm}$ 。在 1 000 m 深时, 胶

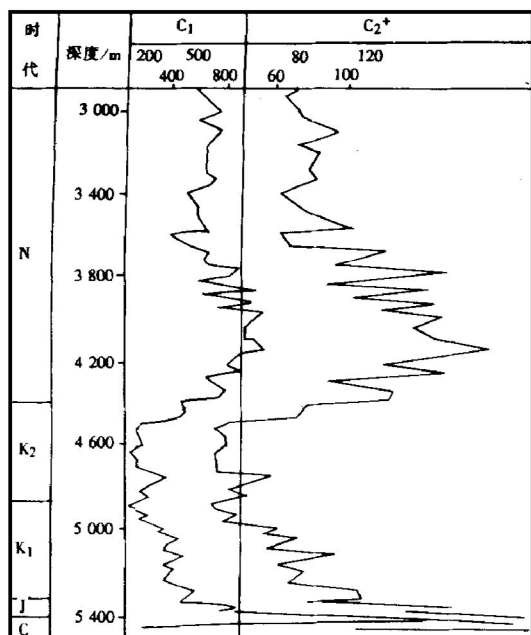


图7 沙5井化探指标纵向变化

Fig. 7 Vertical variation of geochemical exploration index in Sha-5 Well

态分子团很难通过页岩孔隙, 2 000 m 深时沥青质分子不能通过页岩孔隙; 而对于分子半径为 $1.38 \times 10^{-8} \text{ cm}$ 的水分子而言, 即使在 4 000 m 深度上, 同样能通过页岩层。

烃类含量在纵向上呈现多个由高到低(或由低到高)的旋回性、阶段性变化, 如我国东部第三系有数个变化台阶, 其界线与生储盖组合或地质层位基本一致, 塔里木盆地从第三系到石炭系烃类气体含量有明显的旋回性变化(图7)。

3 结语

(1) 不同地质条件下的地面和井中化探的烃类气体、芳烃光谱特征、地下水化学成分及同位素资料证明了烃类垂向微运移是客观存在的, 为化探找油气技术方法提供了理论依据。

(2) 在地质历史发展中, 烃类垂向微运移不是一次完成的, 具有一定的阶段性和间歇性, 故化探指标含量在纵向上呈现高→低相间的旋回性。

本文编写过程中, 程同锦教授级高工, 汤玉平高工提供了资料和帮助, 在此一并致谢。

参 考 文 献

- 1 刘崇禧, 赵克斌. 油气化探发展中的若干问题[A]. 见: 刘崇禧. 油气化探文集[C]. 北京: 地质出版社, 1995. 1~4
- 2 汤玉平, 龚维琪, 邓树立, 等. 油气化探异常类型及成因机理研究[J]. 油气化探, 1997, 4(2): 19~24
- 3 蒂索 BP, 威尔特 DH. 石油形成和分布[M]. 郝石生, 赵铁岭, 陆婉珍, 等译. 北京: 石油工业出版社, 1986

EVIDENCE AND CHARACTERISTICS OF OIL AND GAS VERTICAL MICRO-MIGRATION

Cheng Jun¹ Liu Congxi¹ Zhao Kebin¹ Guo Xusheng² Yang Zhibin³

(1. Center of Geochemical Exploration, CNSPC, Hefei; 2. Department of Exploration Affairs, Shengli Petroleum Administration, Dongying, Shandong; 3. Research Institute of Geology, Henan Petroleum Administration, Nanyang, Henan)

Abstract: Hydrocarbon vertical micro-migration is a complicated geological-geochemical process. It is strictly controlled by boundary condition, possesses stages in geological history. The mineralization degree of ground water shows gradient variation and ionic combination changes due to the action of ground water and hydrocarbon during the vertical micro-migration. Hydrocarbon vertical micro-migration can change the ion combination, causes regular variation in component of light hydrocarbons and the fluorescent intensity of aromatic hydrocarbons. That is to say, light hydrocarbons with small molecular weight and small radius relatively increases from reservoir to the caprocks, but the fluorescent intensity of aromatic hydrocarbon decreases distinctly, and the carbon isotopic value of methane of both deep seated reservoir and ground surface are basically the same. Since hydrocarbon vertical micro-migration is periodical and intermittent, the geochemical index usually in cycles from high to low or from low to high on geochemical exploration index column.

Key Words: hydrocarbon geochemical exploration; vertical micro-migration; evidence; property