

文章编号: 0253- 9985(2005) 02- 0168- 09

晕- 源对比暨油气化探基础原理研究思考

龚维琪, 姚俊梅

(中国石化石油勘探开发研究院石油化探研究所, 安徽合肥 230022)

摘要: 在松辽梨树、鄂尔多斯、川西、苏北天长、塔北雅克拉等地区, 应用色谱- 质谱(GC- MS)、紫外吸收光谱(UV)、全扫描荧光(TSF) 等方法对浅表微迹烃(小于 10^{-6}) 进行了测定, 证实地下油气源确实存在垂向微运移, 并在其上方形成分散场(晕) 的晕- 源关系, 即使是深逾 5 000 m 具严密盖层的油气藏也不例外。针对目前油气化探基础原理研究比较薄弱的状况, 对油气化探基础原理的研究, 应从深部地球化学场的观测入手, 结合精细的地震地质资料追溯烃类微渗漏的形迹脉络, 印证不同的机理假设; 同时, 还应重视地下油气微渗漏的动态观测, 加强组构地球化学场及其异常成因的研究, 加快进行有关机理的模拟实验。

关键词: 晕源对比; 油气化探; 基础原理; 异常形成机理; 深部地球化学场; 组构异常; 模拟实验; 微运移

中图分类号: TE122. 3 文献标识码: A

Thoughts on study of halo-source correlation: fundamental principles of geochemical exploration

Gong Weiqi, Yao Junmei

(Hefei Branch of Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Hefei, Anhui)

Abstract: GC-MS, UV and TSF have been used to measure traces of hydrocarbons ($< 10^{-6}$) in shallow and surface layers in various areas, such as Lishu of Songliao, Ordos, western Sichuan, Tianchang of Northern Jiangsu and Yakela of Northern Tarim. Vertical micro-migrations of hydrocarbons from subsurface sources have thus been proved, which would result in halo-source relationship of dispersion haloes over the sources. There will be no exception even if the reservoirs are buried at a depth of over 5 000 m and there are tight seals. Presently, study of the basic principles of geochemical exploration is relatively weak. In view of this situation, we should begin with the observation of geochemical fields at depth, and determine the traces of micro-percolation of hydrocarbons in combination with fine seismic and geologic data, so as to verify different mechanism hypotheses. At the same time, we should also pay attention to dynamic observation of subsurface hydrocarbon micro-percolation, strengthen study of fabric geochemical field and genesis of geochemical anomalies, and speed up the simulation tests of relevant mechanisms.

Key words: halo-source correlation; geochemical exploration; basic principle; anomaly-forming mechanism; geochemical field at depth; fabric anomaly; simulation test; micro-migration

1 晕- 源对比

晕源对比对油气化探的意义在于检验深部油气能否运移到达地表? 近年大量观测成果表明, 不仅早先认为的热解气态烃(C_1 - C_4) 可以微运移

至表层, 液态烃(C_5 - C_{16}) 也可以^[1]; 不仅在油气藏上方可以检测到微迹油气, 在整个含油气盆地上方都可以检测到。所以研究晕源对比不仅确认了垂向微运移普遍存在, 还将为探索圈定油气藏组分指纹标志提供可能性。

基金项目: “八五”国家重大科技攻关项目(85- 102 项目下设的“非地震物化探综合研究”专题)

第一作者简介: 龚维琪, 男, 71 岁, 高级工程师, 石油地质与油气化探

收稿日期: 2005- 02- 28

甲烷同位素资料同样也证实近地表存在深源的热解成因气。

油气藏及其边缘井中化探剖面多存在明显的向上趋轻的浓度梯度和结构梯度, 指示了垂向运移方向。

1.1 轻烃指纹对比

用吸附丝富集、色谱-质谱超微量检测技术^[1~3],

查明在松辽梨树地区、鄂尔多斯盆地、苏北天长、塔北雅克拉等地区近表砂土层中普遍存在 C₅₋₁₆ 微迹烃类。图 1* 为雅克拉沙参 2 井原油与其上方异常点的轻烃对比, 证实地表烃类来源于地下原油。采用表 1* 列出原油含有的 56 种烃类化合物, 其上方土层中含有其中 52 种化合物, 两者含量具同步消长关系。

表 1 沙参 2 井原油与其上土样烃组分对比相对含量

Table 1 Correlation between oil from Shacan 2 well and hydrocarbon components in surface soil samples(relative content)

编 号	化合物名称	相对含量		编 号	化合物名称	相对含量	
		沙参 2 井油样	V-6 土样			沙参 2 井油样	V-6 土样
1	2-甲基丙烷	1.97	53.97	29	异丁基环戊烷	3.46	5.10
2	正丁烷	1 169.315	572.35	30	1-甲基-4-己基环己烷	4.94	7.38
3	2-甲基丁烷	2 003.87	未检出	31	1, 2, 3-三甲基环己烷	12.48	4.43
4	正戊烷	3 574.76	5 821.74	32	正壬烷	55.03	23.19
5	2, 2-二甲基丁烷	190.54	未检出	33	乙基烷	188.16	43.29
6	2-甲基戊烷	3 449.34	300.99	34	1, 4-二甲基苯	921.41	193.90
7	3-甲基戊烷	1 630.63	101.15	35	1-甲基-2-丙基环戊烷	16.31	8.25
8	正己烷	5 246.59	434.11	36	1-乙基-4-己基庚烷	6.29	70.77
9	环己烷	1 571.18	67.61	37	2, 3, 6-三甲基庚烷	93.31	49.02
10	3-乙基戊烷	46.24	未检出	38	1, 2-二甲基苯	170.07	45.88
11	正庚烷	1 553.40	842.61	39	1, 2-二甲基-3-丙基环戊烷	10.09	6.48
12	2, 3-二甲基乙烷	1 579.00	0.10	40	8-氢-1-甲基并环戊烷	7.63	3.03
13	1, 3-二甲基环戊烷	228.56	58.29	41	3, 6-二甲辛烷	7.97	11.83
14	1, 2-二甲基环戊烷	44.11	3.65	42	1-甲基-2-丙基环戊烷	19.88	9.54
15	甲基环己烷	3 300.18	108.28	43	皆烯 ^[4]	67.89	8.28
16	1-乙基-3-甲基环戊烷	3 479.58	259.31	44	1-乙基-1, 3-二甲环己烷	0.05	未检出
17	环庚烷	118.50	6.82	45	1, 3, 5-三甲基苯	40.40	44.20
18	6-甲基庚烯(1)	88.78	未检出	46	1, 2, 4-三甲基苯	6.05	7.09
19	2, 5-二甲基乙烷	1 135.38	35.35	47	1, 2, 3-三甲基苯	5.15	5.01
20	甲基苯	3 077.17	411.63	48	4, 5-二甲基壬烷	11.57	18.63
21	1, 4-二甲基环己烷	514.65	25.18	49	1-乙基-4-甲基苯	15.05	19.52
22	甲基环庚烷	83.72	9.38	50	2, 7-二甲基苯	3.35	5.09
23	正辛烷	1 024.60	66.79	51	1-乙基-2-甲基苯	4.16	4.74
24	1, 3-二甲基环己烷	139.39	9.88	52	1H-2, 3-二氢茚	2.39	3.65
25	1, 2-二甲基环己烷	64.64	13.87	53	1, 3-二乙基苯	1.08	2.10
26	2, 3, 4-三甲基己烷	49.26	8.18	54	1, 2-二乙基苯	1.92	5.24
27	2, 6-二甲基庚烯(1)	22.43	4.14	55	罗旋 ^[5, 6] 癸烷	0.15	0.05
28	乙基环己烷	233.78	11.74	56	6-乙基-2-甲基癸烷	1.37	3.13

1.2 荧光全扫描图谱指纹对比

荧光三维全扫描主要反映少环芳烃不同环数消长变化信息。雍克岚^[4]将图谱指纹划分为 4 种特征指纹类型: O 型(轻质油)、B 型(中质油)、Q 型(重质油)、P 型(煤)等。

经许多地区表层观测, 图谱指纹与所在地深部原油能较好对应, 如图 2 左** 为南阳 38 井原油、储层及地表均属 Q 型(重质油), 而图 2 右*** 为川 108 井原油及金棠西地表烃类对比均属 O 型(轻质油)。塔北地区沙参 2 井原油则更轻, 具以 1~ 2 环

* 张百灵, 陈炜, 王新维, 等. 新疆塔里木盆地北部化探技术方法及其应用研究报告. 1995
* * 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报告. 1997
* * * 陈力, 刘运黎. 四川盆地川西新都、广汉、金堂、德阳地区油气化探普查报告. 1994

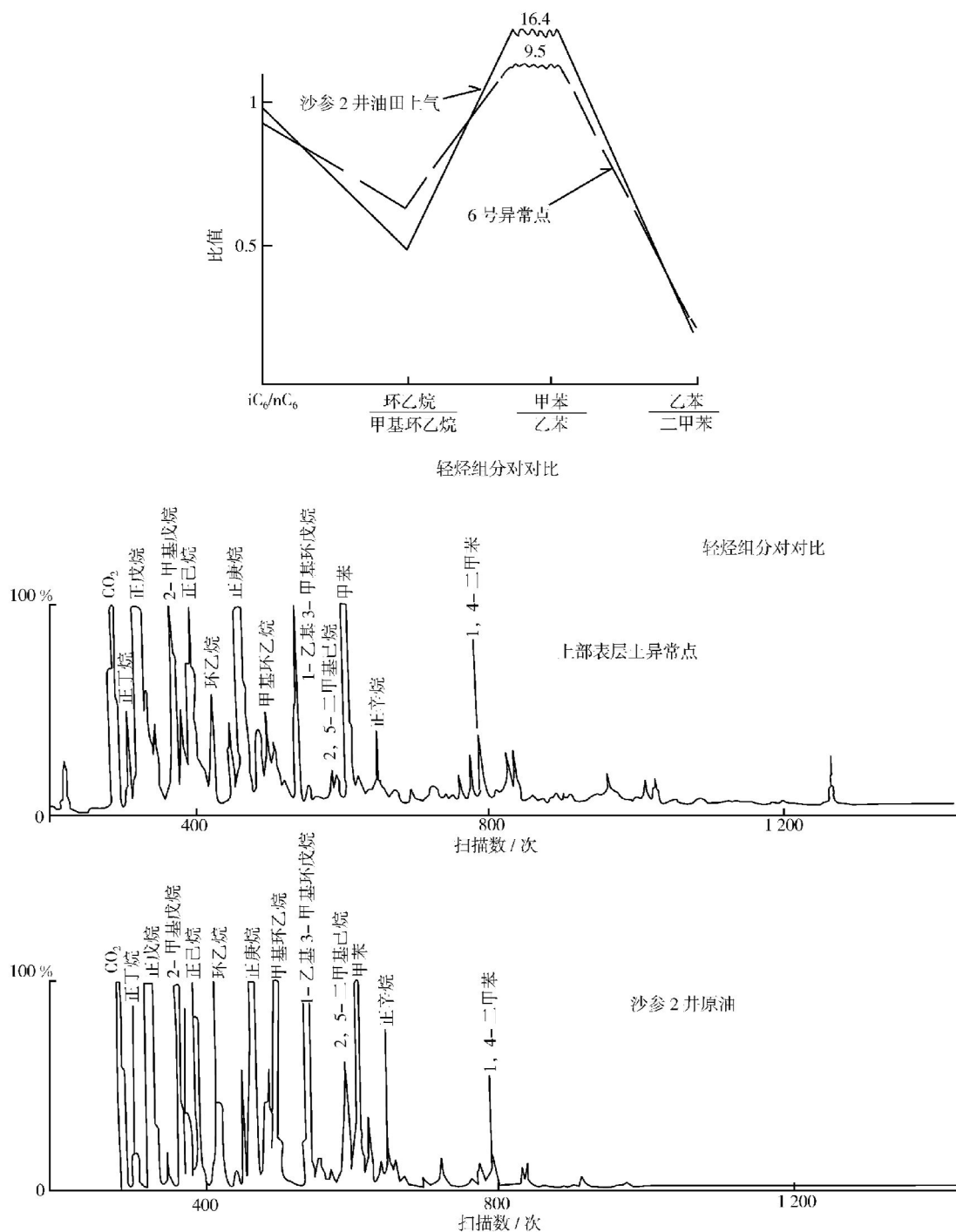


图1 雅克拉油气田原油与地表异常样品色谱-质谱图谱

Fig. 1 GC-MS chromatogram of oil and surface anomalous samples in Yakela oil & gas field

为主的凝析油气特征,主、次峰偏移至 $E_{m_{3300\text{nm}}}$ 。

1.3 浅层水紫外吸收图指纹

1981年,在松辽盆地中央坳陷南部 6 400 km² 的范围进行了水化学概查*,调查浅层底部承压水(深 50~80 m)的水溶烃气、酚及水紫外光谱(UV)异常分布。经多指标 Q 型聚类及判别分析明显分为两类 UV 图谱(图 3)*,㉔类分布在演化程度低(上部含油组

合)的红岗、大安等油气田上方;i类则分布在新立、乾安等演化程度高的(中、下部含油组合)油气田上方。i类图谱显示以苯、酚为主的指纹,具 E_2 端吸收和波长 (λ) 230~250 nm 特征的指状精细结构并于波长 270 nm 处包收与苯吸收谱完全一致。㉔类图谱为 1~3 环芳烃混合吸收图谱。该区浅层水 i 类与 ㉔类图谱与对应的下伏不同含油组合的石油演化程度符合。

* 龚维琪. 松辽盆地南部区域化探综合报告. 地质矿产部石油地质综合大队, 1982

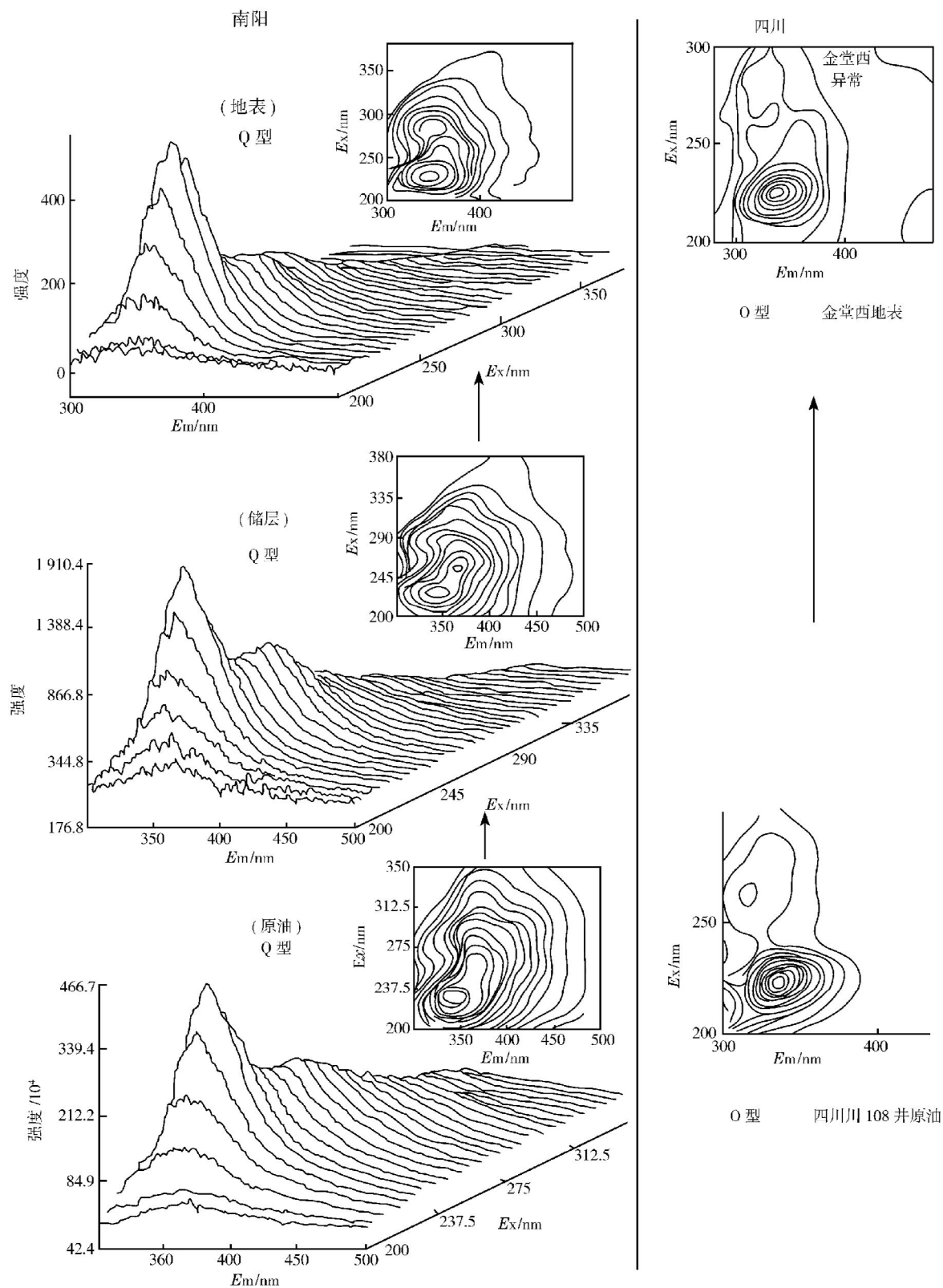


图 2 原油-表层三维荧光图谱指纹对比

Fig. 2 3-D fluorescence fingerprint correlation of oil and surface samples

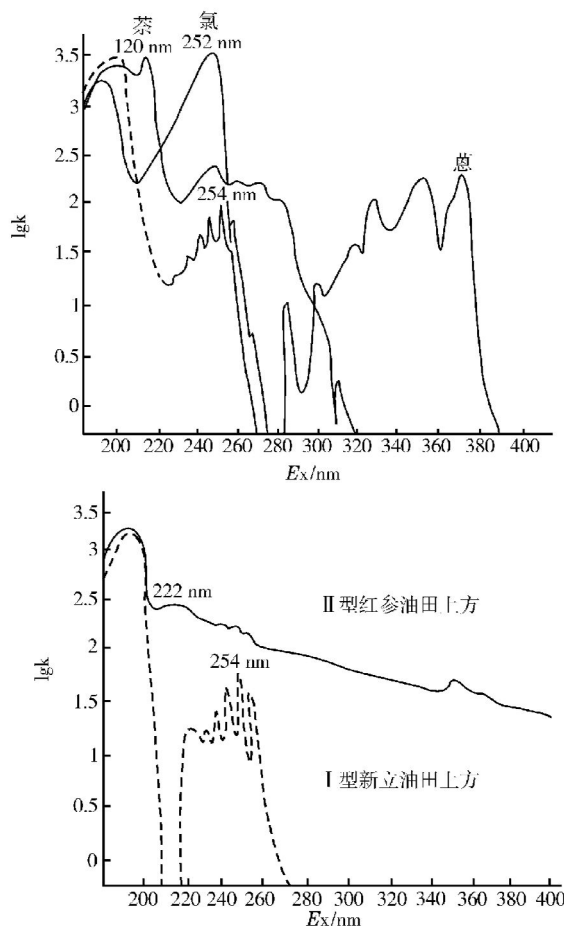


图3 松南 Q_1 承压水紫外吸收图谱类型

Fig. 3 Types of ultraviolet absorption spectrum of Q_1 confined water in southern Songliao basin

1.4 晕源甲烷碳同位素对比

甲烷稳定碳同位素指标是区别热解气和生物气的可靠标志。热解气的 $\delta^{13}C_1$ 值与油气演化程度和母质类型有关,与镜煤反射率呈显著的线性关系。一般热解气的 $\delta^{13}C_1$ 为 $-5.5\% \sim -2.0\%$,其中油型气 $\delta^{13}C_1$ 为 $-5.5\% \sim -3.8\%$,煤型气 $\delta^{13}C_1$ 为 $-3.8\% \sim -3.2\%$,而生物气(包括未熟气) $\delta^{13}C_1$ 为 $-5.5\% \sim -9.0\%$,与前者能很好分开。据观测油气区上方除个别沼泽生物气和部分未熟气(如大安嫩江组天然气 $\delta^{13}C_1$ 为 -6.87%)外,大部分 $\delta^{13}C_1$ 为 $-3.0\% \sim -3.6\%$,对应深部甲烷碳同位素由于分馏作用要低 $0.2\% \sim 0.8\%$,但仍属热解气范围。

从钻井岩屑 $\delta^{13}C_1$ 剖面变化上看,在垂向运移中数值变化很小,但可看到在进入天然气直接盖层和进入第四系松散层这两段有较明显的分馏变重,可能存在细菌分馏的影响。

1.5 垂向微运移梯度形迹

(1) 很多油气层上方都显示微量烃气和荧光

强度正向梯度变化^[7~9],以及由于色层效应向上轻化的比值梯度。研究还表明,在油井尤其是油水边界井中微量烃气地球化学梯度较大,而干井则不明显,详见图4和图5*,地球化学梯度指示了垂直微运移方向。

(2) 酚是石油的直接标志,可转为水溶相。据东部一些油田统计,油田水的酚含量均大于 100×10^{-9} ,并以此作为判别油层的下限。松南油田水酚含量较高,从深部油层水、浅部油层水到地表水体显示明显的正向梯度变化(表2)。

2 油气化探基础研究的思考

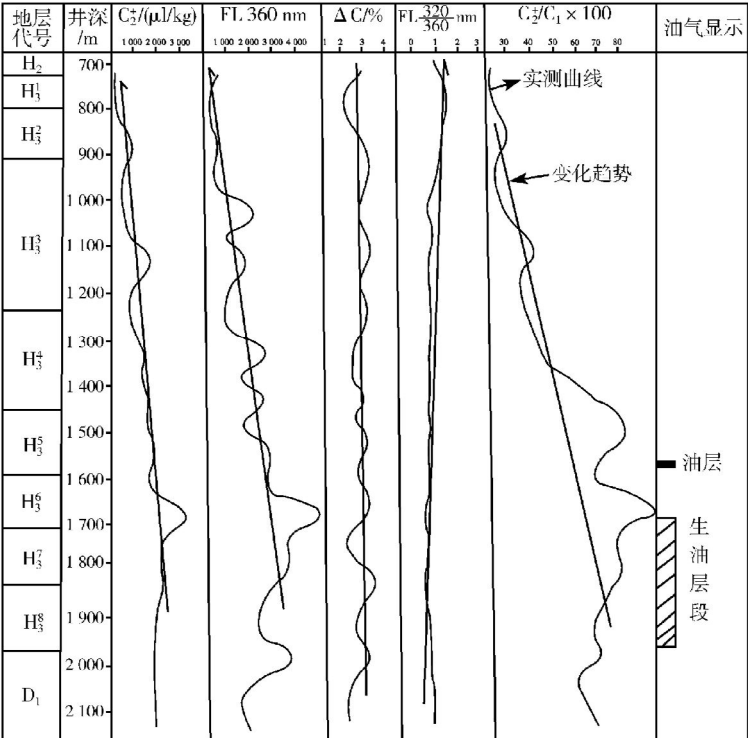
油气化探发展已有70年历史,经过上世纪30年代创始、60年代兴起到80年代繁荣,起伏周期与石油资源需求和技术方法进步等因素有关。最早开展油气化探研究和应用的前苏联解体后,鲜有成果报道,但据石油地球化学勘探家协会网站2003年统计,美、德有23家公司(所)在进行石油化探工作,说明化探是有勘探效益的。尽管过去关于高成功率的报道难免有商业宣传色彩,但也确有很多成功的化探案例。

据统计,地震圈闭探油成功率一般为30%左右,其余空圈闭怎么排除呢?如果用化探成果评价地震圈闭,间接和直接两种探查功能互相补充,进行地质和物化探综合评价,必将大大提高钻探成功率。

未来最有前景的方法还是那些直接指示石油存在的方法。“地质加地震”的常规勘探模式,如果再加上化探,三者结合的模式将会焕发新的生命力。

油气化探方法常常受到地质家的质疑,油气能通过严密盖层运移上来吗?能够在近表形成可以指示油气藏存在的异常吗?问题触及到油气化探的基础理论,也是油气化探方法的薄弱环节。这与过去油气化探一直热衷于技术方法的开发应用有关。当然,油气化探的发展依赖于新的技术方法的突破,如上世纪30年代创建的气体法、40年代的酸解烃法、70年代的荧光法及水法、80年代的K-V法(吸附丝法),以及在其间与烃类运移研究相关的各种检测方法,都曾经促进了化探的应用发展。但是,油气化探原理至今还未脱离原有的理论“假说”,已成为油气化探技术成熟和发展的瓶颈,亟需加强研究,提高原理的科学性。

* 汤玉平,龚维其,邓树立,等. 油气化探异常类型及成因机理研究报告. 1997



注: C_2 —酸解烃重烃浓度; FL360 nm—360 nm 荧光强度; ΔC —蚀变碳酸盐; FL320 nm/FL360 nm—荧光强度比值; C_2/C_1 —酸解烃重烃与甲烷比值

图 4 泌 248 井岩屑垂向地化梯度图

Fig. 4 Vertical geochemical gradient of cuttings in Br 248 well

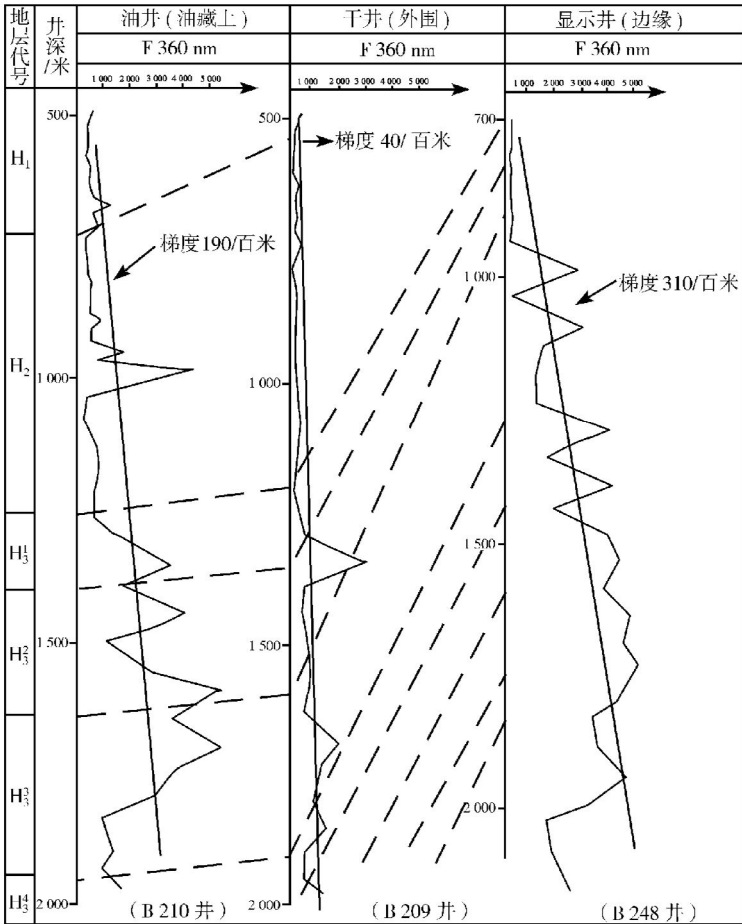


图 5 泌阳凹陷双河油田油井-干井-边缘井荧光梯度对比

Fig. 5 Correlation of fluorescence gradients of oil well, dry hole and peripheral well in Shuanghe oilfield, Biyang depression

表 2 松南不同水体中酚的垂向分布

Table 2 Vertical distribution of phenol in different water samples in southern Songliao basin

水 样	深度/m	含量/ 10^{-9}
安广雨水	0	0
松花江水	0	0
大麻苏湖水	0	0.7
松南第四系潜水	6~8	0.85(444), 异常 1.75(56)
松南承压水	50~100	0.97(211), 异常 1.95(34)
安 3 井混合水	数据不详	1.21
S-45 井注水井混合水	数据不详	3.0
S17-03 井 S 层油田水	1 200	36
新 142 井油田水	数据不详	222
乾安深井 G、F 层	2 000	540~760
新 229 井	数据不详	766.7

注: 括号内为样品数

2.1 化探基础原理研究的思路

油气化探基础原理是“油气垂向微运移并在油气藏上方近地表形成异常(晕)”,可分解为:a 油气垂向微运移普遍存在并可达表层;b 油气藏(带)上方形成异常;c 垂向微运移机理;d 异常成因机制。

本文前一部分证实 a 题已解决。问题是 b 题是否具必然性或者统计规律?关键在于把 d 题研究清楚。亦即 a, b, d 构成了油气化探应用的充要条件,其中, d(异常成因机制)应该列为当前研究的重点。当然, c 和 d 是有联系的,但主次应分清,无需把 c 题当作主攻方向。

2.2 异常形成机理研究的一些途径

(1) 加强深部烃类分散场的观测研究。过去一直忽视这方面的研究,但这恰恰是研究分散晕形成机理或垂向微运移第一步所必须做的。烃分散场是动态的三维场,而化探一般是只取近地表一个二维水平截面,假如不能由表及里了解连接源与表的深部烃类散失的面貌和脉络,机理的研究只能是一种推论。要取得三维场资料比较困难,但可以通过油气藏内外的联井纵深二维剖面加以研究。例如伊萨耶夫* 根据对亚拉京油田和勃拉茨凝析气田 5 000 个气测井资料,绘制了联井纵剖面烃气分散结构图,发现烃气浓度向上明显降低,肯定油气藏上方可以找到分散晕。还发现油水边界上方烃气晕的存在,比油气界面高 2~3

倍。还观察到边水带有利于气体向盖层渗透等现象,用以解释他的结论:“在背斜油气藏之上,所有烃类组分均为环形正异常”。

用垂向二维地化剖面与精细地震地质剖面对比,结合钻井的储层含油饱和度、温度、压力等资料进行综合研究,是验证机理假设的重要依据。

(2) 油气微渗漏动态观测。如前苏联某地下储气库充气后上方深 300 m 水层烃气含量增加 10 倍;美国得克萨斯州 Hillig 油田二次回采加压后地表烃气浓度增大;得克萨斯州东部 Hastings 油田开采 22 年枯竭后原来的地表地化异常消失等现象,说明长期对油气微渗漏进行动态观测可以计算油气垂向微渗漏的通量及其运移速率(表 3)。

表 3 气体的实测渗漏速率

Table 4 Measured percolation rate of gases

资料来源	测量地区	速率/ $\text{m} \cdot \text{a}^{-1}$	备 注
Arp, 1992b	Patrick Draw 油田	76.6~305	
Jones 和 Bertell, 1996	Rock Springs 煤气化堆	32 850	地下燃烧产生的烟雾
Jones 和 Bertell, 1996	储气库	1 460	
Horvitz, 1969	Hasting 油气田	> 100	相距 22 年的地化测量
Arakingi 等, 1984	Leroy 储气库(CO)	1 370	断层渗漏

上述动态观测实际上是利用自然条件的宏观模拟实验,可以取得室内无法得到的实验成果和运移速率数据。国外的这些做法为国内开展这方面的工作提供了借鉴,应列为基础研究内容之一,宜及早规划进行。

(3) 将“烃组构地球化学场”列入基础研究内容。油气是多种烃类化合物组成的混合物,组成结构因地而异, Jones 等^[10] 1983 年就据此对地下油气的不同属性烃类作过区域性预测。作者在 1994 年也提出了组构地球化学场和“似源组构”异常的概念^[11]。

烃类分散场分为烃含量和烃组构地化场,反映了地化场量和质的两个侧面,以组构异常圈定的目标,可能比浓度异常更为准确(图 6)^[11]。但目前仍需要对组构异常的成因及形成机制作进一步研究^[12, 13]。

* 伊萨耶夫 B. . 油气藏上的气体分散晕的结构. 郑汉璇译. 1990

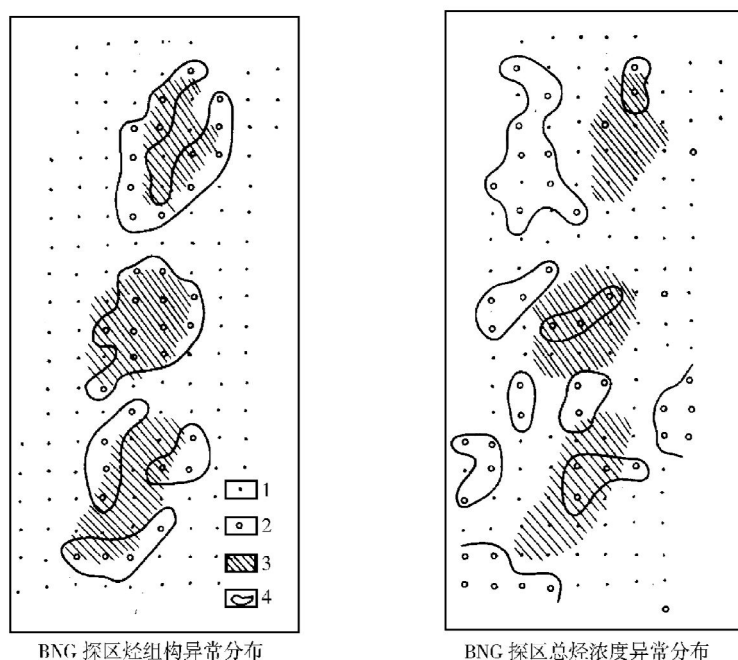


图6 BNG探区烃组构异常分布图

Fig. 6 Distribution of fabric anomaly of hydrocarbons in BNG area

1—背景点; 2—异常点; 3—油田; 4—异常场

2.3 垂向微运移机理研究

作为流体矿产的石油、天然气始终处于供聚和散失的动平衡状态。化探着重研究的是向上微渗逸过程, 从渗逸通道和近表检测的量级计, 向上运移的烃类化合物只可能是超微量的运移, 其而导致油气藏破坏的宏观泄漏有质的区别。

化探工作者曾把地表与油气藏之间的这一段空间和运移过程称为“黑箱”, 因为油气运移的物质体系和环境都处于十分复杂的动态系统, 涉及到微运移动力、通道、载体、相态及其变化和运移的温、压环境多方面的影响等问题。

(1) 渗透和扩散是微运移的两种基本类型, 油气垂上微运移以渗透作用为主, 是目前趋于相同的看法。但在气体溶解于水中或在上部压实程度低的岩石及砂土层中的扩散作用, 对微运移所起到的推波助澜也是不能忽视的。

(2) 运移通道和途径。成岩后不连通的盖层孔隙半径仅3~5 nm, 约与大分子烃直径相当, 即使连通, 作为流体, 也无法克服毛细管阻力。运移通道只能是各种裂隙(包括节理、劈理)。据统计, 普遍发育的构造裂隙, 以高角度近于垂向为主, 其张开度众值为15~30 μm (大于烃分子3~4个数量级)。作者虽然对上述统计提出质疑但毕竟 C_1 ~ C_{16} 油气已经运移到地表, 运移通道只能是微裂隙网络及断裂带。

微运移的活跃程度(速率、通量)与裂隙密度和张开度相关。成藏后的构造运动形成的断裂和裂隙网络不均匀分布控制了运移强度的不均一。构造脉动引起的裂隙启闭的间歇性导致微运移也具幕式特点。裂隙的渗透性除压力外, 影响因素有裂隙密度、张开度及充填情况、网络连通性及与断层带的关系以及围岩的构造应力性质。

在影响微运移的诸因素中, 裂隙通道是最重要的。这对于微运移和异常成因研究都是关键问题。

(3) 运移的原动力有静水压力、微气泡浮力(重力作用)、温差引起的对流以及气体膨胀弹性压力差等。地层压力是静水压力的2~3倍, 局部具塑性地层及超高压区, 可传递流体的情况也是存在的。

(4) 油气垂上微运移载体和相态。微量油或天然气在整个微通道中不可能呈连续烃相, 微油气只可能以连续的气携和断续的水溶相(裂隙系统不可能全部充盈水)^[14, 15]为载体向上运移。仅以水溶微气泡或胶体气泡难以解释液态石油的运移, 统称为水溶相运移比较好。

气体携载微石油已是事实, 或可称为气溶载运, 在金属化探“地气”测得有超微量金属, 主动式吸附丝测量(抽气至钻孔外吸附), 气体中仍含 C_5 ~ C_{16} 石油, 可以证明“气溶”现象存在。

在垂向微运移过程中, 溶解、岩石吸附及其脱

溶、解析的逆过程是反复出现的,溶解、吸附释放的热量有助于运移。

综合以上概念对油气垂上微运移过程作以下推论。

在油气源体上方,以裂隙网络为通道,微量油气以水溶相及气体携载在静水压力、重力、浮力、温差对流等动力驱动下,向上主要以渗透方式作间歇递进式微运移。

其间,扩散作用起到辅助作用。对于水溶或气携载为主导,一向有争论,其实,二者在运移中是不作相态转换,相辅相成的。

提出间歇递进概念,是基于构造脉动、盖层裂隙的不均匀性,在封存箱顶部有突破前的压力蓄积过程等。这也得到近地表游离烃气动态观测的证实。

似乎可以认为油气微运移的诸因素和环境在一定区域,都是近似的,唯有裂隙通道和储层中油气饱和度及组分结构是随地域不同的变量,是控制运移强度和异常的主因素,应列为异常成因研究的主题。

地下油气分散地化场是研究化探机理的基础,地化场的控制因素,有地下压力场、温度场、流体场及裂隙分布,需要抓住异常成因的主要矛盾,分解进行物理实验模拟和数字模拟,验证研究。

参 考 文 献

- 1 陈炜. 油气化探中的轻烃指纹法[J]. 石油实验地质, 1992, 14(4): 410~419
Chen Wei. A method of light hydrocarbon fingerprint in petroleum chemical exploration[J]. Petroleum Geology & Experiment, 1992, 14(4): 410~419
- 2 Klusman R W, Voorhees K J, Hikey J C, et al. Application of the K-V fingerprint technique for petroleum exploration[A]. In: Davidson M J. Unconventional methods in exploration for petroleum and natural gas (IV) [C]. Dallas: Southern Methodist University Press, 1986. 219~244
- 3 李广之. 轻烃地球化学场的形成和特征[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(1): 66~69
Li Guangzhi. Formation and characteristics of light hydrocarbon geochemical fields[J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(1): 66~69
- 4 雍克岚. 三维荧光指纹技术及其地球化学勘探中的应用[J]. 石油实验地质, 1992, 14(4): 432~442
Yong Kelan. Three dimensional fluorescent fingerprint techniques and its application to petroleum exploration[J]. Petroleum Geology & Experiment, 1992, 14(4): 432~442
- 5 龚维琪. 油气化探基础研究-塔里木盆地东北部油气垂直微运移证据[A]. 见: 贾润肾. 中国塔里木盆地油气地质研究(第三辑)[C]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991. 136~142
Gong Weiqi. Fundamental research of petroleum geochemical exploration-evidence of vertical micro-migration of oil and gas in northeastern Tarim basin [A]. In: Jia Runxu. Research of petroleum geology in Tarim basin, China(Part ③) [C]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1991. 136~142
- 6 饶纪龙. 地球化学中的热力学[M]. 北京: 科学出版社, 1979
Rao Jilong. Dynamics in geochemistry [M]. Beijing: Science Press, 1979
- 7 汤玉平, 唐艳玲, 胡斌, 等. 荧光光谱在烃类垂向微运移研究中的应用[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(4): 370~371
Tang Yuping, Tang Yanling, Hu Bin, et al. Application of fluorescence spectrum to studies of hydrocarbon micro-migration in vertical direction [J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(4): 370~371
- 8 程军, 刘崇禧, 郭旭升, 等. 油气垂向微运移的证据及特点[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(3): 236~240
Cheng Jun, Liu Congxi, Guo Xusheng, et al. Evidence and characteristics of oil and gas vertical micro-migration[J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(3): 236~240
- 9 汤玉平, 蒋涛, 刘运黎. 油气藏不同部位 ΔC 差异性分析[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(1): 76~77
Tang Yuping, Jiang Tao, Liu Yunli. Differential analysis of ΔC in different parts of oil-gas pools[J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(1): 76~77
- 10 Jones V T, Drodz R J. A prediction on the oil/gas potential with the application of near-surface geochemical exploration [J]. AAPG Bull, 1983, 67(6):
- 11 龚维琪, 吴学明, 毛道善, 等. 论油气藏上方组构异常及其指矿性[A]. 见: 阮天健, 吴昌荣. 第五届全国勘查地球化学会议论文集[C]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1994. 89~93
Gong Weiqi, Wu Xueming, Mao Daoshan et al. Discussion on fabric anomalies met over oil/gas reservoirs and their indication for oil/gas fields[A]. In: Ruan Tianjian, Wu Changrong. Selection papers from the 5th national convention of exploration geochemistry[C]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1994. 89~93
- 12 刘运黎. 似源组构异常在油气化探中的应用[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(2): 184~186, 190
Liu Yunli. Application of source-similar fabric anomaly analysis in petroleum geochemical exploration[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(2): 184~186, 190
- 13 陈力. 油气地球化学勘探解释评价的思路走向[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(2): 164~166
Chen Li. Interpretation and evaluation thinking of oil geochemical exploration[J]. Oil & Gas Geology, 1996, 17(2): 164~166
- 14 普洛特尼柯夫 M • . 论裂隙岩层的含水条件[M]. 再造, 译. 北京: 地质出版社, 1959
Plotnikov M E. Discussion on water-bearing condition in fissured rocks [M]. Translated by Zai Zao. Beijing: Geological Publishing House, 1959
- 15 索柯洛夫 B A. 油气运移[M]. 郑厚安, 译. 北京: 科学出版社, 1959
Sokolov V A. Petroleum migration[M]. Translated by Zheng Hou'an. Beijing: Science Press, 1959