

文章编号: 1001- 6112 (2005) 05- 0544- 06

微量元素方法在地表油气化探中的试验研究

——以川西新场气田为例

王国建¹, 程同锦¹, 王多义²

(1. 中国石化石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214151;
2. 成都理工大学 能源学院, 成都 610059)

摘要: 在证实四川盆地西部新场气田上方存在烃类微渗漏现象的基础上, 于该区开展微量元素与有机地球化学测量, 研究了土壤中微量元素指标与有机地球化学指标的相关性及其与油气微渗漏的关系。新老资料的对比研究反映了微量元素指标的稳定性和对油气的指示意义。根据多元统计, 结合已知气田上方微量元素反映油气异常的效果, 认为 Cl、S、V、Ni、Cu、Zn、Sb、Cr、Co、Ba、Mo、Mn、Fe、Fe/Mn、V/Ni 等微量元素指标与气田区存在着响应关系, 为该区预测天然气的有效指标。同时对新场气田上方微量元素指标异常特征的地质意义进行了探讨。优选已知气田上方的微量元素有效指标组合对于今后在该区进行大面积的油气远景评价, 具有指导和现实意义。

关键词: 微量元素; 微渗漏; 指标组合; 新场气田; 四川盆地西部

中图分类号: TE132. 4

文献标识码: A

目前, 新一轮国土资源大调查对大范围内深、浅层土壤的微量元素进行全量测定, 用于生态地球化学环境评价。测试分析表明, 在原油、凝析气和湿气中也含有 30 多种微量元素^[1]。用微量元素进行油气勘探, 国内外学者已进行过卓有成效的尝试, 取得了一系列成果。这些研究者基本上都是利用地电化学偏提取吸附态微量元素^[2]的方法进行找油气试验, 由于该法成本高昂, 难以开展大面积的油气远景评价。生态地球化学调查进行的是元素的全量分析, 成本较低。在同一地球化学背景下, 经过油气后期叠加、蚀变作用的微量元素在近地表的地球化学效应对元素的全量有一定程度影响。所以生态地球化学数据一方面可以进行生态地球化学环境评价, 另一方面在抑制干扰因素的前提下, 可以用于研究与油气微渗漏有关的元素富集特征。若全量分析的微量元素在已知油气藏上方反映效果显著, 对利用目前的国土资源大调查资料进行大面积的油气远景评价必将产生重要的意义。

1 微量元素方法找油气的基本原理

石油、天然气及油气田水中存在微量溶解元

素。油气藏上部存在着以近垂直方向往上运移的微细气泡流^[3], 这些微细气泡流有助于将金属元素捕获, 从而携带这些金属元素以准气态和离子形式向上运移, 并在地表形成后生地球化学异常。同时, 烃类的长期微渗漏也能引起地表地球化学环境的改变, 从而导致表层土壤、岩石、矿物的物理化学性质、组成成分的改变, 而这些烃类的蚀变又使地球化学场特征发生相应的变化^[4]。在经过后期油气改造、叠加作用的地区, 微量元素的含量和组合关系与周围背景条件下土壤中微量元素的含量和组合关系是有特征差异的。因此, 通过对油气区内所采集土样中油气特征微量元素的分析, 可以追踪油气分布富集规律, 进行含油气远景评价。

2 研究区开展试验的依据

2.1 地质简况

已知区新场气田区位于四川盆地西部, 是川西坳陷中段孝泉—新盛—丰谷北东东向隆起带上孝泉背斜及其向东延伸的鼻状构造^[5,6]。1984 年 3 月, 川孝 104 井在遂宁组试获天然气, 揭开了新场气田发现的序幕。至今, 区内钻井近 400 口, 具有较高的

收稿日期: 2004- 12- 19; 修订日期: 2005- 08- 18。

作者简介: 王国建 (1972-), 男 (汉族), 辽宁大连人, 硕士、工程师, 主要从事油气地球化学勘查及石油地质研究工作。

基金项目: 国土资源大调查项目 (1212010310302)。

勘探开发成熟度。新场气田是一个多气藏叠置的较大气田^[7,8], 其地下油气富集分布特征已经较为清楚, 为开展地表油气地球化学勘探试验研究提供了良好的前提。

2.2 化探烃类指标的研究结果

新场气田多口气井的井中油气地球化学勘探研究表明, 自气层向上, 烃类组分及荧光光谱在垂向上明显存在着正向梯度, 体现了油气运移过程中的轻重分异效应, 揭示了深部天然气藏上方的烃类垂向微渗漏是客观存在的, 并且可在地表形成后生地球化学异常^[9]。因此可以认为, 新场气田侏罗系的蓬莱镇组、沙溪庙组及千佛岩组次生气藏中的烃类在浮力、水动力、超压、温度梯度等因素的作用下向上运移至地表从而形成地球化学异常效应。天然气及油气田水中存在微量溶解元素, 由于油气藏上部存在着以近垂直方向往上运移的微细气泡流, 这些微细气泡流有助于将金属元素捕获, 从而携带这些金属元素以准气态和离子形式向上运移, 并于地表形成后生地球化学异常。同时, 烃类的长期微渗漏又可使气田上方近地表土壤的氧化还原环境发生改变, 造成某些元素沉淀富集或活化迁移, 形成了不同的地球化学背景场。

2.3 烃类微渗漏造成近地表还原环境

微渗漏烃在近地表造成的还原环境很早就被油气地球化学家们所认识。在油气藏上方, 受油气微运移的影响改造, 存在着这种还原作用, 直至近地表土壤, 这种作用仍然较为强烈。在新场气田上方某观测点处, 深层土壤游离烃较高, 强还原带甚至在距地表仅10 cm处依然存在。土壤中的孔隙、微裂缝和植物根须周围被星点状、脉状或薄膜状黄铁矿所充填。可见新场气田上方土壤中存在深部微渗漏烃的蚀变作用, 造成氧化还原环境的改变, 从而使地表微量元素的赋存状态发生了变化。

因此, 新场气田上方油气是“有源之水”, 可以开展微量元素法找油气试验研究。

3 试验研究方法

3.1 样点部署

在新场气田上方采用剖面测量。试验剖面共3条, 其中A、B剖面垂直于构造走向, C剖面沿气田走向, 与A、B剖面垂直相交(图1)。A剖面穿越孝泉背斜及其向东延伸的鼻状构造。以500 m间距, 采集微量元素样品101个, 同步采集土壤顶空气、酸解烃、 ΔC 、热释烃等样品各101个, 从无机

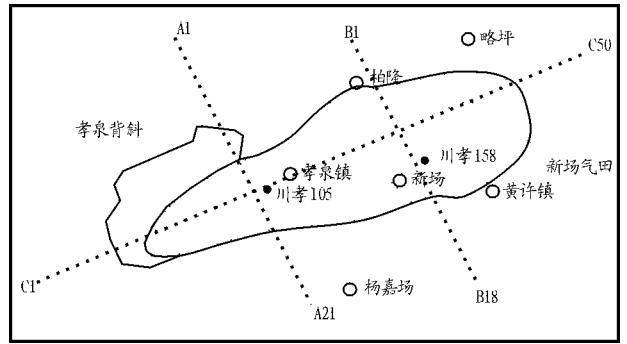


图1 新场气田微量元素及油气化探测量点位示意图

Fig. 1 Sampling spots of trace element survey and geochemical prospecting for oil and gas in the Xinchang gas field

地球化学与有机地球化学指标两个方面进行研究。

3.2 分析项目及方法

根据本次研究的需要, 无机分析主要选择了39种元素或指标: Cl、S、N、 Na_2O 、 MgO 、 SiO_2 、P、 K_2O 、CaO、Ba、V、Cr、Mn、 $TFeO_3$ 、Co、Ni、Cu、Zn、Ag、Pb、Sr、Y、Zr、B、Sn、Be、La、Ge、Cd、U、As、Sb、Bi、Hg、W、Mo、F、Org、C、pH; 有机方法包括: 顶空气、酸解烃、热释烃、 ΔC 、Hg、碳酸盐。微量元素的分析方法按国土资源大调查中的多目标地球化学调查分析测试操作规程执行; 有机样品分析方法按油气地球化学勘查测试规程执行。

4 试验效果分析

4.1 微量元素与有机地球化学指标统计特征

为了探寻微量元素与微渗漏烃的关系, 即研究微量元素与有机化探指标是否存在关系, 研究中将微量元素指标与有机化探指标进行了“混合”聚类分析(相关系数法, R型聚类, 样品数 $n=101$), 所得结果见图2。

有机指标特征: 同类方法指标相关性较好, 成因趋同。酸解烃指标与碳酸盐、 ΔC 之间相关性较显著, 说明它们之间存在着成因上的联系; 顶空气、热释烃、酸解烃指标代表土壤中不同赋存状态的烃类, 热释汞为示油气的间接指标, 因此统计特征上相互独立, 具备各自成因形式。

有机化探指标与微量元素混合聚类结果, 以相关系数0.4为阈值, 表现出下列现象:

1) 热释烃、Pb、 Na_2O 、Cl聚为一类, 表明它们之间可能存在油气指示意义上的联系。

2) 酸解烃、碳酸盐、 ΔC 、pH、 MgO 、CaO

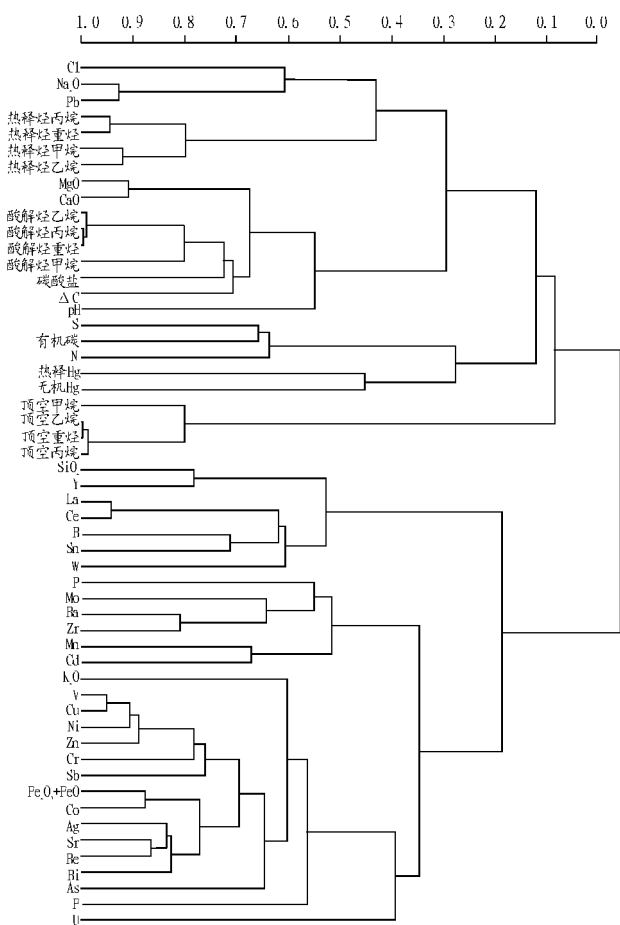


图 2 新场气田微量元素与有机化探指标聚类谱系图

Fig. 2 Cluster phenogram of trace elements and organic geochemical exploration indicators in the Xinchang gas field

聚为一类。这一现象说明：酸解烃指标受碳酸盐含量影响； ΔC 和酸解烃、碳酸盐具有密切的关系；pH 值与酸解烃指标聚为一类，说明酸解烃含量受土壤酸碱性的影响，如多年油气化探结果表明我国南方酸性土壤的酸解烃含量较低，影响了该指标在南方地区的应用效果；MgO、CaO 与 pH 值具有

较好的相关性，说明这两个氧化物与 pH 值具有相互影响作用；地表土壤中 MgO、CaO 可形成碳酸盐沉淀从而可以影响酸解烃指标。

3) S、有机碳、N 聚为一类。它们之间的关系尚不清楚，可能与有机物有关。

4) 有机指标热释汞与微量元素无机汞聚为一类，说明油气化探热释汞指标包含了有机汞、金属汞。

此外，顶空气指标与上述指标存在一个较弱的相关性。其它金属元素与烃类指标间关联不甚密切，其中铁族元素间相关性较高，稀土元素聚为一类，代表各自的成因。

4. 2 新老资料对比分析

4. 2. 1 元素地球化学背景对比

新场气田油气化探试验研究中，土壤微量元素背景值（表 1）与以前所测的中国土壤、成都市、德阳地区、新场气田油气测量剖面、钻孔见气区的背景^[10]进行了对比，发现本次新场气田实测地球化学剖面的绝大多数微量元素背景值与前人在该气田油气测量剖面、钻孔见气区测得的背景值相近，说明微量元素指标的稳定性及对油气的指示意义。

4. 2. 2 深浅层样品分析对比

将部分深层样品分析结果（原合肥石油化探研究所采集，安徽省地矿局中心实验室测试）与同点浅层样品分析结果（成都理工大学采集，国土资源部成都综合岩矿测试中心测试）对比后发现，深浅层样品在剖面上的变化趋势基本一致，且含量也很接近。这一方面说明本次采样点位的准确性；另一方面，两个不同的分析测试单位在不同时间内的测试结果相当接近，说明采样点位上深层样、浅层样受到的人文、外界物源干扰因素较小，数据具有可靠性。

4. 2. 3 微量元素在气田上方的反映效果对比

原合肥石油化探研究所 2001 年与中石油遥感

表 1 新场气田土壤微量元素含量背景值

Table 1 Background values of trace elements in soil over the Xinchang gas field

元素	含量, 10^{-6}	元素	含量, 10^{-6}	元素	含量, 10^{-6}	氧化物	含量, %
As	10.04	U	2.77	Co	15.3	Fe ₂ O ₃ +FeO	5.29
Sb	0.96	Ba	1032.07	Ni	36.7	SiO ₂	61.1
Hg	0.089	W	1.32	V	134.4	K ₂ O	2.26
Ag	0.159	Sn	2.47	Cr	85.1	Na ₂ O	1.45
Cu	35.2	Be	2.05	Y	25.8	CaO	3.45
Pb	23.4	Bi	0.24	La	32.9	MgO	2.40
Zn	85.0	F	633.23	P	982		
Mo	1.38	B	45.1	Sr	189		
Cd	0.336	Mn	988.2				

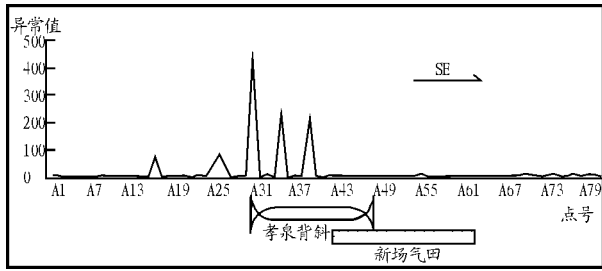


图 3 新场气田实测剖面地电化学提取法 V、Ni、Cr、Co、Ti 累乘综合异常 (各元素含量单位为 10^{-9})

Fig. 3 Integrated multiplicative anomaly of elements vanadium, nickel, cobalt, chromium and titanium obtained by geoelectric survey in the Xinchang gas field

异常。剖面地电化学提取的微量元素 Ti、V、Cr、Co 和 Ni 综合异常如图 3 所示。可以看到在新场气田上方并没有出现异常,只是在孝泉背斜上方出现了微量元素的累乘异常。

为了与地电化学指标反映油气田的效果进行对比,本次研究选取了 V、Ni、Cr、Co 4 种元素进行累乘综合异常分析(未分析 Ti),结果如图 4 所示。可以看到 3 条剖面中,除 B 剖面的反映较弱外,A、C 两条剖面在气田上方出现显著的 4 种元素累乘综合异常,同时孝泉背斜上方也有异常,只不过没有气田上方强烈。

新场气田上方地电化学检测油气信息效果不理想的原因可能在于迁移至浅层的伴生元素容易被有机质、铁锰氧化物及胶质体氢氧化物等地球化学“障”阻挡而富集,以离子交换态赋存的微量元素较少;也可能是微渗漏引起的还原环境,使这几种元素以离子交换态赋存的成分随地表水、潜水活动而发生了迁移。而元素全量分析包含了所有相态的微量元素,反映了微量元素的全部信息。

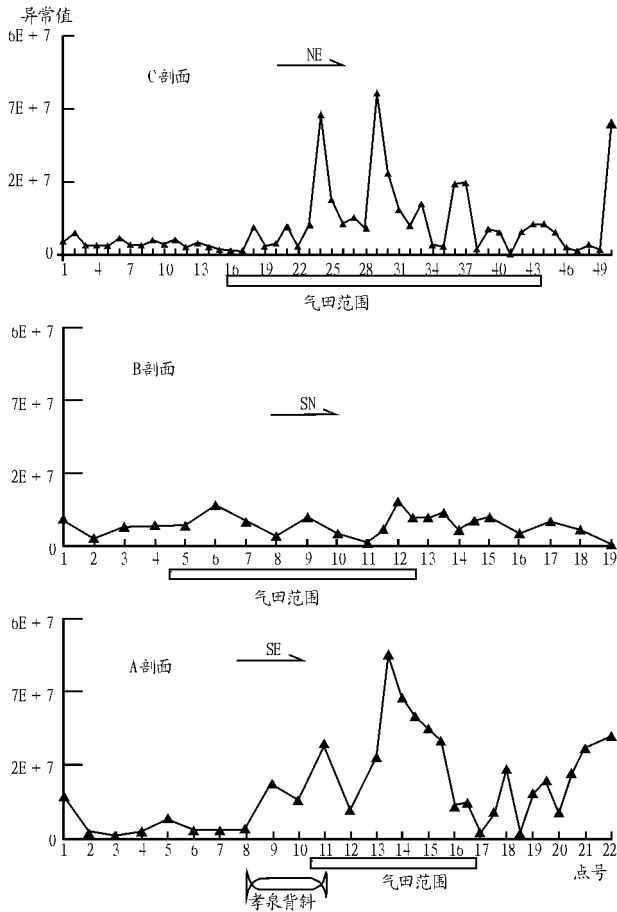


图 4 本次试验新场气田上方微量元素 V、Ni、Cr、Co 累乘综合异常 (各元素含量单位为 10^{-9})

Fig. 4 Integrated multiplicative anomaly of elements vanadium, nickel, chromium and cobalt in this experiment in the Xinchang gas field

所合作,用地电化学提取方法在新场气田实测了一条地球化学剖面,剖面沿北东—南西方向,同样穿过孝泉背斜和新场气田。根据测试稳定性和含油气指示性的分析结果,确定 Ti、V、Cr、Co 和 Ni 为优化指标,构成了 Ti-V-Cr-Co-Ni 累乘综合

5 气田上方微量元素及有机化探指标异常特征

5.1 有机指标

有机指标在新场气田区的反映情况与前人研究结果相同,效果显著。顶空气指标在气田上方为顶部晕为主、环块结合的异常模式;酸解烃指标在气田上方为环状晕为主、环块结合的异常模式,这与前人在新场气田所取得的认识基本一致。另外,热释烃指标在气田上方主要为顶端异常模式, ΔC 指标在气田上方主要为环状异常模式。本次试验中热释汞指标在气田上方的效果相对较差。

5.2 微量元素指标

研究中根据相关分析、聚类分析结果,结合已知气田上方各微量元素反映油气的效果,发现下列微量元素指标与气田区存在着一定的响应关系: Cl、S、V、Ni、Cu、Zn、Sb、Cr、Co、Ba、Mo、Mn、Fe、Fe/Mn、V/Ni。与油气有关的微量元素指标在新场气田上方除非金属元素 Cl、S 为环状晕异常为主外(图 5),其余的金属元素总体上以顶部异常模式为主(图 6,以 V、Ni、Mn、Mo 为例)。

5.3 地质意义探讨

各微量元素指标在气田上方的变化特征并不完全一致,甚至有较大差异。可能是在油气藏演化和元素的“上置”晕形成过程中发生了多种多样的作

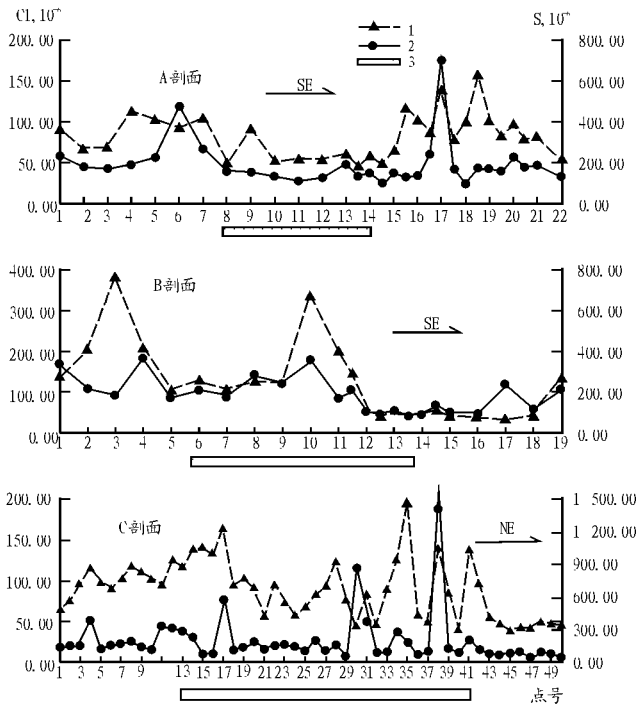


图 5 新场气田上方土壤元素 Cl、S 异常图

1. Cl; 2. S; 3. 新场气田范围

Fig. 5 Anomaly map of elements chlorine and sulphur in soil over the Xinchang gas field

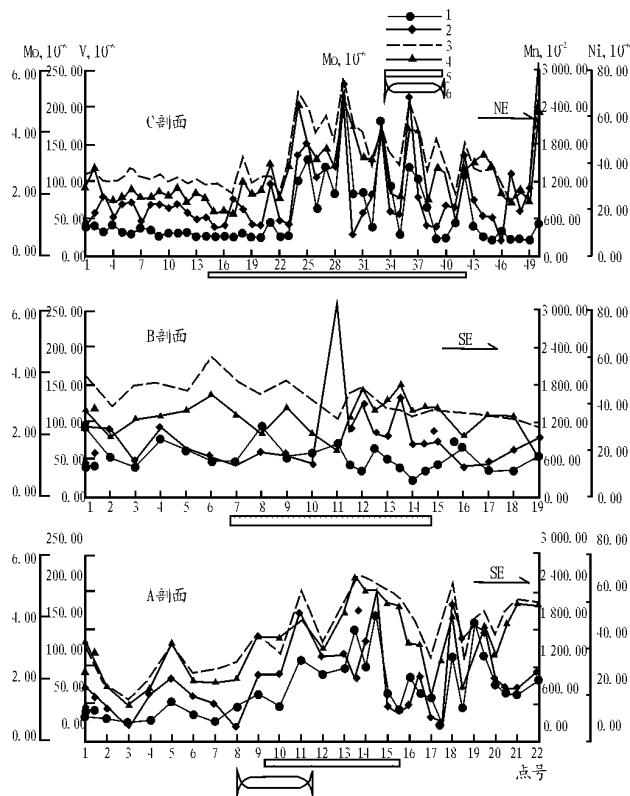


图 6 新场气田上方土壤微量元素 V、Ni、Mn、Mo 异常图

1. Mo; 2. Mn; 3. V; 4. Ni; 5. 新场气田范围; 6. 孝泉背斜
Fig. 6 Anomaly map of trace elements vanadium, nickel, manganese and molybdenum in soil over Xinchang gas field

用，导致元素周边环状异常的复杂化，并破坏了部分异常。这样一来，相对于其它元素而言，一些元素的异常会发生位移，其强度和延伸范围也会发生改变。同一油气藏上方，用不同方法查明的异常的物质组成和空间位置往往不一致，这种情况可能是油气藏周围化学元素的不同迁移机制和赋存形式的转变所造成的。微量金属元素在新场气田上方总体上以顶部晕为主或呈带状结构，与一般油气藏上方的烃类指标和微量元素环状晕不同，这可能与新场气田为多层叠合气藏有关。

由上述气田上方有机指标和微量元素指标变化特征可见，新场气田上方的微量元素与烃类指标存在对气田的共同响应。微量元素指标异常特征是，金属元素在气田上方总体上以顶部晕为主或呈带状结构，非金属元素以环形晕为主，构成了新场气田微量元素地球化学异常模式，为下一步成都经济区大面积含油气远景评价提供了指导意义。

6 结论

- 1) 通过对新场气田井中烃类及地表矿物特征的研究，证实了油气垂向微渗漏是客观存在的，为油气化探的应用提供了可靠依据。
- 2) 已知气田上方近地表土壤中由于油气微渗漏引起的微量元素异常应归于 2 种作用，而不是国内外多数学者所强调的单因素起作用。
- 3) 已知气田上方无机地球化学与有机地球化学指标的相关性研究结果认为，某些有机地球化学指标与微量元素、土壤环境之间存在着相互作用关系。
- 4) 新老资料对比分析表明了微量元素指标的稳定性及对油气的指示意义。
- 5) 新场气田上方存在微量元素晕异常现象，全量分析同样能够指示油气在地表的微渗漏效应。
- 6) 可以利用该区国土资源大调查的深层微量元素资料结合石油地质、地球物理等信息对成都经济区进行油气远景评价。

参考文献:

- 1 张厚福, 方朝亮, 高先志等. 石油地质学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1999. 14~ 15
- 2 王 强, 李 强, 张 强. 新场气田上方土壤微量元素异常特征及其成因 [J]. 石油实验地质, 2002, 24 (5): 431~ 436
- 3 汤玉平, 刘运黎. 烃类垂向微迁移的地球化学效应及其机理讨论 [J]. 石油实验地质, 2002, 24 (5): 431~ 436
- 4 潘爱芳, 赫 英, 马润勇. 鄂尔多斯盆地地表元素地球化学场

- 与能源矿产关系初探 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 25 (6): 629~ 633, 685
- 5 叶 军, 朱 彤, 赵泽江. 川西新场气田上沙溪庙组 (J_2s) 气藏储集体特征及形成机理研究 [J]. 石油实验地质, 1998, 20 (4): 332~ 339
- 6 唐立章, 曹 烈, 安凤山. 川西坳陷油气圈闭类型分析 [J]. 石油实验地质, 2004, 26 (4): 328~ 332
- 7 朱 彤, 叶 军, 王 胜. 川西坳陷新场气田成藏环境的划分及识别标志 [J]. 石油实验地质, 2001, 23 (2): 174~ 177
- 8 朱 彤, 叶 军. 川西坳陷致密碎屑岩气藏类型划分及特征 [J]. 石油实验地质, 2004, 26 (6): 537~ 541
- 9 赵克斌, 孙长青. 油气化探在天然气勘探中的应用 [J]. 石油实验地质, 2004, 26 (6): 574~ 579, 584
- 10 赵 琦, 罗正春, 刘永平. 土壤化探元素预测天然气的探索 [J]. 物探与化探计算技术, 2001, 23 (3): 251~ 255

EXPERIMENTAL STUDY ON TRACE ELEMENT METHOD IN SURFACE GEOCHEMICAL PROSPECTING FOR OIL AND GAS

Wang Guojian¹, Cheng Tongjin¹, Wang Duoyi²

(1. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China;

2. College of Energy Resources, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China)

Abstract: Based on confirming the existence of hydrocarbon microseepage over Xinchang gas field in west of Sichuan Basin, surface trace element survey and hydrocarbon geochemical exploration were conducted in this area. The relationship between trace elements and surface geochemical indicators with hydrocarbon microseepage were studied. Some trace elements were proved to have stability and indicative significance to oil and gas by comparing the new data with previous ones. According to multivariate statistics and combining with the effects of microseep anomaly reflected by trace elements in surface soil over the known gas field, it is thought that trace element indicators Cl, S, V, Ni, Cu, Zn, Sb, Cr, Co, Ba, Mo, Mn, Fe, Fe/Mn and V/Ni are effective for gas-prospect evaluation in this area because of the response to the gas field. Moreover, the geologic significance of the characteristics of trace elements anomaly was discussed. The effective indicators optimized in the known gas field are of certain directive significance and important immediate significance to perspective assessment of oil and gas in large area for the future.

Key words: trace element; microseepage; indicator combination; Xinchang gas field; west of Sichuan Basin

《石油实验地质》影响因子稳步提高

2005年9月13日至15日,由中国科技期刊编辑学会、中国科技信息研究所和万方数据股份有限公司在北京联合召开了“第三届全国核心期刊与期刊国际化、网络化研讨会”。

在本次会议上,中国科学技术信息研究所发布了2004年“中国期刊引证研究报告”,由中国石化石油勘探开发研究院主办、无锡石油地质研究所承办的《石油实验地质》期刊的影响因子为0.810,总被引频次为743。

影响因子和总被引频次反映了期刊的学术影响力和在读者心目中的地位,也是权威部门确定核心期刊的重要指标。中国自然科学核心期刊《石油实验地质》的影响因子和总被引频次2002年为0.552和323、2003年为0.741和574、2004年为0.810和743,三年来各项指标稳步提高。这表明,该刊质量在不断提升,影响力在油气地质领域日益提高,越来越受到专业人士的关注和喜爱。

(徐文明)