

油气化探异常的稳定性及油气地质意义

赵克斌, 陈银节, 孙长青

ZHAO Ke-bin, CHEN Yin-jie, SUN Chang-qing

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

Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, Research Institute of Petroleum Exploration and Production, SINOPEC, Wuxi 214151, Jiangsu, China

摘要: 油气化探利用地球化学方法寻找油气, 具有直接、快速、有效、成本低的特点, 已在油气勘探实践中取得了较好的效果, 并在一定时期得到了较为广泛的应用。但油气化探作为一门新兴学科, 在许多方面仍存在不足, 其中异常的稳定性与重现性是制约油气化探推广应用的认知障碍。以河南泌阳洼陷(井楼-古城油田)和山东临邑洼陷南斜坡(临南油田)的实际地球化学测量资料为基础, 通过已知油气藏上方不同期次(同年)、不同时期的油气化探异常特征的对比, 从油气化探指标组合关系、结构特征、剖面显示、油气异常的平面分布等方面证实油气化探异常存在较好的稳定性, 表明利用油气化探技术方法寻找油气是可行的, 并进一步证实了油气化探在油气勘探中的应用前景。

关键词: 油气化探; 油气异常; 化探指标; 异常稳定性

中图分类号: P618.13; P622⁺.3

文献标志码: A

文章编号: 1671-2552(2009)11-1620-08

Zhao K B, Chen Y J, Sun C Q. Stability and petroleum geological significance of hydrocarbon geochemical Anomaly. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28(11):1620-1627

Abstract: Hydrocarbon geochemical exploration (here referring to near-surface geochemical exploration) is a kind of technique for prospecting oil and gas by means of geochemical methods. With the advantage of directness, quickness and cost-effectiveness, this technique has achieved good results in oil and gas exploration practices, and has been widely applied for a certain period. On the other hand, as a new subject, this technique also has some imperfectness in many aspects, in which unreliable stability and frequent repeat of the anomaly are the main obstacles. Based on the geochemical exploration data collected from Biyang sag (Jinglou-Gucheng oilfield) in Henan Province and the southern slope of Linyi sag (Linnan oilfield) in Shandong Province, the authors compared the characteristics of the geochemical exploration anomalies over the existing oil and gas reservoirs of different stages (same years) and different times in this paper, and verified that the geochemical exploration anomaly has favorable stability in the aspects of geochemical indicators combination, structure features, profile illustration and plain distribution of the geochemical anomalies. The results have supported the feasibility of hydrocarbon geochemical exploration technique in oil and gas prospecting, and suggested that this technique will have a bright prospect of wider application in hydrocarbon exploration.

Key words: hydrocarbon geochemical exploration; geochemical anomaly; geochemical indicator; anomaly stability

油气地球化学勘探(简称油气化探)起源于 19 世纪 20 年代, 是一种利用地球化学方法寻找油气的勘查技术。其基本原理是, 以地质理论为指导, 以烃类垂向微渗漏理论为基础, 把岩石、土壤、层

间水、潜水、壤中气、吸附气、大气、植物等作为研究介质, 用微量或超微量测试手段检测油气和伴生物, 以及它们在运移过程中产生的衍生物, 根据检测结果研究各项指标的浓度、强度(或组成结

收稿日期: 2009-08-21; 修订日期: 2009-09-21

科技项目: 中国石化科研项目《已知油气区近地表地球化学勘探应用研究》(编号: P03073)资助

作者简介: 赵克斌(1964-), 男, 博士, 教授, 从事石油地质与地球化学研究。E-mail: zkb@mail.wuxisuo.com

构)的变化特征,划分出地球化学背景和异常,进而判定油气异常,并指出油气聚集的有利区带或有利部位^[1]。油气化探具有自身的理论、工作原理、技术方法和指标体系,在中国已形成了一套相应的技术规范、测试流程、资料处理和综合解释评价方法。

目前,油气化探正逐步向直接探测含油气构造、寻找并评价有利钻探目标的方向发展,适用范围已从油气勘探早期扩展至油气勘探开发的各个阶段,并在油气勘探的实践中取得了较好的效果。但油气化探作为一门新型学科,在许多方面仍存在不足,其中异常的稳定性与重复性是制约油气化探技术应用效果的重要方面^[2-3]。因此,开展油气化探异常的稳定性研究不仅具有理论意义,而且具有重要的现实意义。

为了研究油气化探异常的稳定性,笔者选择了胜利油田探区的临南油田和河南探区的井楼-古城油田作为研究区,通过不同期次、不同地区油气化探异常特征的对比,查明油气化探异常存在较强的稳定性,油气化探异常是下伏油气藏中的烃类向上运移在近地表的反映,从而证实了油气化探技术寻找油气的可行性。

1 油气化探异常的稳定性

1.1 不同期次化探指标的变化特征

2004 年上半年和下半年分别对临南油田进行了 2 次重复的地球化学测量工作。重复测试的地球化学指标包括酸解烃、热释烃、顶空气和 ΔC 四种,各方法的分析测试样品数均为 792 个。化探工作的测量网度为 0.25km×0.25km。

表 1 为不同批次酸解烃指标间的相关关系统计表。相关分析表明,不同批次的酸解烃指标显示了较好的相关关系,其中 2 次甲烷指标间的相关系数为 0.3;重烃指标间的相关系数为 0.27;2 次测量的酸解烃湿度间的相关系数更高达 0.48,经检验这些指标均在 F=0.01 的水平上相关。这表明,对于酸解烃方法而言,无论是甲烷、重烃,还是湿度,前后 2 次测量结果均具有较高的相关性,显示了酸解烃方法较好的稳定性与重现性。

表 2 为不同批次顶空气指标间的相关关系统计表。前后 2 次的顶空气甲烷指标显示了较好的相关性,相关系数为 0.16,经检验在 F=0.01 的水平上显

表 1 山东临南油田不同期次酸解烃指标的相关矩阵

Table 1 Relevant matrix of acidolysis hydrocarbon parameters of different phases in Linnan oilfield, Shangdong

指 标	第 一 次			第 二 次		
	sc1	sc2 ⁺	swh	sc1	sc2 ⁺	swh
第一次	sc1	1.00				
	sc2 ⁺	0.59	1.00			
	swh	-0.34	0.54	1.00		
第二次	sc1	0.30	0.07	-0.23	1.00	
	sc2 ⁺	0.16	0.27	0.15	0.69	1.00
	swh	-0.21	0.22	0.48	-0.48	0.27

注:sc1—甲烷;sc2⁺—重烃;swh—湿度

表 2 临南油田不同期次顶空气指标的相关矩阵

Table 2 Relevant matrix of top air parameters of different phases in Linnan oilfield

指 标		第 一 次		第 二 次	
		dc1	dc2 ⁺	dc1	dc2g ⁺
第一次	dc1	1.00			
	dc2 ⁺	0.03	1.00		
第二次	dc1	0.16	0.00	1.00	
	dc2 ⁺	0.02	-0.01	0.21	1.00

注:dc1—甲烷;dc2⁺—重烃

表 3 临南油田不同期次 ΔC 相关矩阵

Table 3 Relevant matrix of ΔC of different phases in Linnan oilfield

期次	第一次	第二次
第一次	1.00	
第二次	0.53	1.00

示相关。顶空气所反映的是土壤中的游离态轻烃指标,受季节、样品保存条件等因素的影响较大,而顶空气甲烷前后 2 次显示相关,表明该方法具有一定的稳定性与重现性。

表 3 为前后 2 次 ΔC 方法的相关关系统计表。分析表明,前后 2 次检测的 ΔC 指标相关系数达 0.54,显示了极高的方法稳定性与重现性。

图 1 为第一次测量与第二次测量的化探指标聚类谱系图。聚类图显示,研究区的化探指标基本聚为 5 类,分别为酸解烃指标、热释烃指标、顶空气甲烷、顶空气重烃和 ΔC ,2 次测量所显示的化探指标间的相互关系基本一致,从化探指标的结构特征上反映了研究区化探测量的稳定性和重复性。

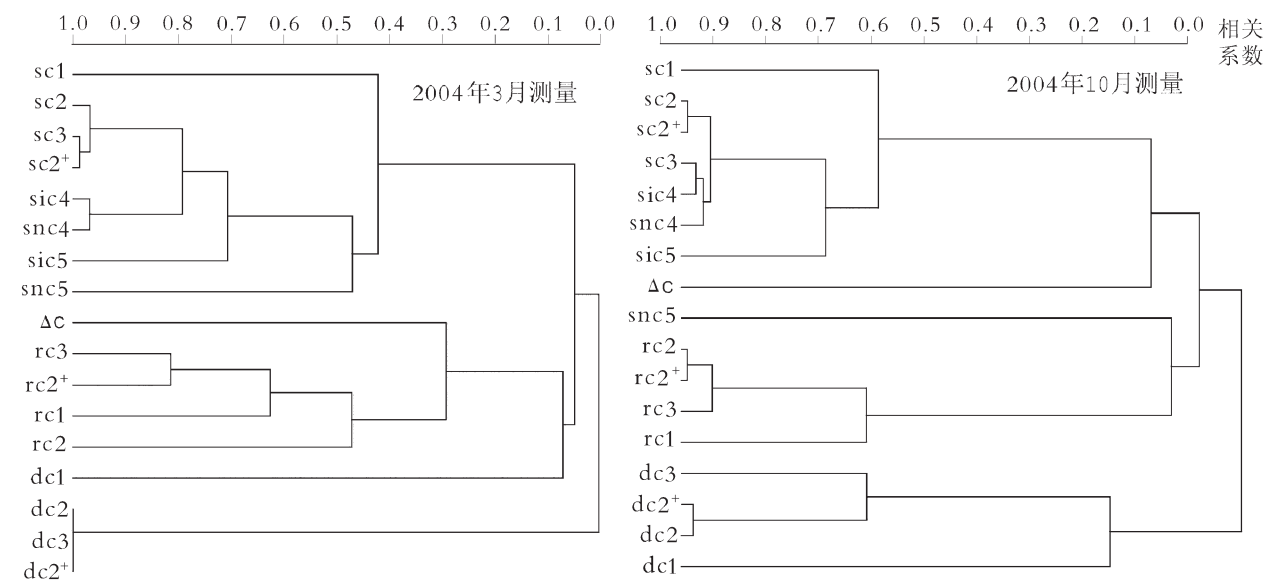


图 1 山东临南油田不同期次测量化探指标聚类图

Fig. 1 Clustering figure of measuring geochemical prospecting parameters of different phases in Linnan oilfield, Shandong
sc1—甲烷;sc2—乙烷;sc3—丙烷;sc2⁺—重烃;sic4—异丁烷;snc4—正丁烷;sic5—异戊烷;snc5—正戊烷;
ΔC—蚀变碳酸盐;rc3—热释烃丙烷;rc2⁺—热释烃重烃;rc1—热释烃甲烷;rc2—热释烃乙烷;
dc1—顶空气甲烷;dc2—顶空气乙烷;dc3—顶空气丙烷;dc2⁺—顶空气重烃

1.2 不同时期化探特征的对比研究

探工作,当时按 1 点/km² 的测网密度在本区共采集
1991 年已在临南地区进行了大面积的油气化 土壤样品 1013 个,与 2004 年研究的部分样点重合

表 4 临南油田不同时期化探指标特征值对比
Table 4 Comparison of featured values of geochemical prospecting parameters of different phases in Linnan oilfield

指标	取样时间	极小值	极大值	均值	标偏	变异系数
sc1	2004 年	153.65	630.27	404.27	108.06	0.27
	1991 年	136.12	577.39	284.86	81.15	0.28
sc2	2004 年	10.24	54.75	30.94	8.69	0.28
	1991 年	16.02	42.82	25.73	8.02	0.31
sc3	2004 年	4.12	21.20	12.72	3.39	0.27
	1991 年	5.83	13.86	8.62	2.27	0.26
sic4	2004 年	1.01	5.25	3.43	0.90	0.26
	1991 年	1.21	3.08	1.91	0.51	0.27
snc4	2004 年	1.67	7.53	4.70	1.22	0.26
	1991 年	0.93	3.67	2.08	0.67	0.32
Sc2 ⁺	2004 年	17.53	92.27	54.95	14.83	0.27
	1991 年	25.24	65.72	40.17	11.80	0.29
swh	2004 年	8.87	17.24	12.15	2.30	0.19
	1991 年	8.96	17.11	12.57	2.29	0.18
dc	2004 年	0.33	1.95	0.93	0.40	0.43
	1991 年	1.22	3.61	2.36	0.59	0.25

注:各指标代号的含义同图 1;sc1、sc2、sc3、sic4、snc4、sc2⁺极小值、极大值、均值单位均为 μL/kg,swh、dc 为%

(本次研究的测网密度为 16 点/km²),不同时期同点采集的样本数为 50 个。1991 年临南地区化探工作土壤样品的分析指标包括酸解烃、 ΔC 、碳酸盐、紫外光谱、荧光光谱等,在这些分析指标中,仅酸解烃、 ΔC 与 2004 年的研究一致,因此酸解烃与 ΔC 两种指标具有不同时期的可比性。

(1)统计对比特征:表 4 为 1991 年测量的化探指标特征值与 2004 年测量的化探指标特征值对比表。统计表明,不同时期分析的酸解烃各指标及 ΔC 指标含量存在一定程度的差异,这是由分析条件的差异引起的。但无论是酸解烃甲烷还是重烃指标,其变异系数均保持了高度的一致性,表明指标含量虽然存在一定程度的差异,但各组分的地球化学波动特征是一致的。

就酸解烃指标而言,虽然各组分的含量存在差异,但其湿度指标却在不同时期的测量中保持了高度的一致性。表 4 和图 2 显示,2 次测量的酸解烃湿度指标差异极小,甚至其极值范围也表现出高度的一致性。

表 5、表 6 分别为 1991 年及 2004 年临南地区可对比化探指标的相关系数统计表。通过分析化探指标间的相关关系,从一个侧面对比分析不同时期化探指标相互之间结构特征的差异。

对比表 5 和表 6 可以看出,不同时期的酸解烃各组分间保持了显著的相关关系,尤其值得指出的是酸解烃与 ΔC 之间的相关关系。油气化探的实践表明,绝大部分地区的酸解烃与 ΔC 间均显示正相关关系,而本区酸解烃甲烷与 ΔC 间呈明显的负相关关系,与酸解烃重烃不相关(或呈弱的负相关关系)。这种相关关系在本区不同时期的化探测量结果中保持一致,从指标结构上显示了不同时期化探测量结果的稳定性与一致性。

临南地区 2 次化探工作在时间上虽然间隔了十几年,但相关分析表明,不同时期的化探指标间有着较为稳定的指标结构特征,而且同一化探指标不同时期的检测结果显示了极好的相关关系,较好地表现了化探指标的稳定性与重现性。

(2)地球化学分布特征:图 3 为临南地区不同批次测量的酸解烃甲烷地球化学图。2 次测量的酸解烃指标显示了较好的稳定性和重复性,均在研究区的中部表现为大范围的低值,而高值区则围绕着中部的低值区呈环形分布的特点。图 3 下部为研究区

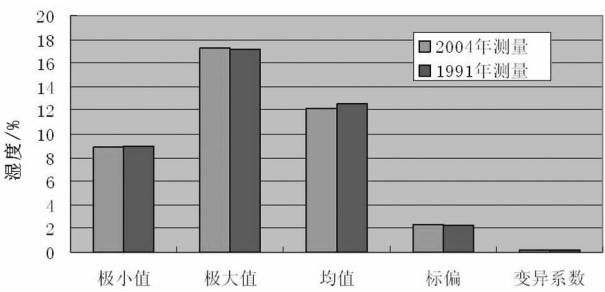


图 2 临南油田不同时期酸解烃湿度的对比

Fig. 2 Comparison of acidolysis hydrocarbon humidity of different phases in Linnan oilfield

表 5 1991 年临南地区化探指标相关系数统计

Table 5 Statistic of relevant coefficients of geochemical prospecting parameters in Linnan oilfield in 1991

指标	sc1	sc2	sc3	sic4	snc4	sc2g	dc
sc1	1.00						
sc2	0.78	1.00					
sc3	0.66	0.92	1.00				
sic4	0.60	0.86	0.95	1.00			
snc4	0.61	0.83	0.91	0.96	1.00		
Sc2 ⁺	0.75	0.98	0.97	0.93	0.91	1.00	
dc	-0.41	-0.13	-0.05	0.01	-0.05	-0.09	1.00

注:各指标的含义同图 1

表 6 2004 年临南地区相应化探指标相关系数统计

Table 6 Statistic of relevant coefficients of geochemical prospecting parameters in Linnan oilfield in 2004

指标	sc1	sc2	sc3	sic4	snc4	sc2g	dc
sc1	1.00						
sc2	0.73	1.00					
sc3	0.64	0.68	1.00				
sic4	0.37	0.40	0.49	1.00			
snc4	0.41	0.46	0.49	0.79	1.00		
Sc2 ⁺	0.74	0.92	0.86	0.64	0.67	1.00	
dc	-0.31	-0.05	0.24	-0.03	-0.15	0.03	1.00

注:各指标的含义同图 1

南北向的一条剖面,剖面直观地显示了 2 次酸解烃指标检测结果的一致性。

1.3 剖面特征对比

不同时期测量的化探指标具有较好的相关关系,地球化学对比剖面可以直观地反映不同时期化探指标在各样本点的波动特征。图 4 为不同时期 ΔC 指标的对比剖面。剖面显示,不同时期的 ΔC 指

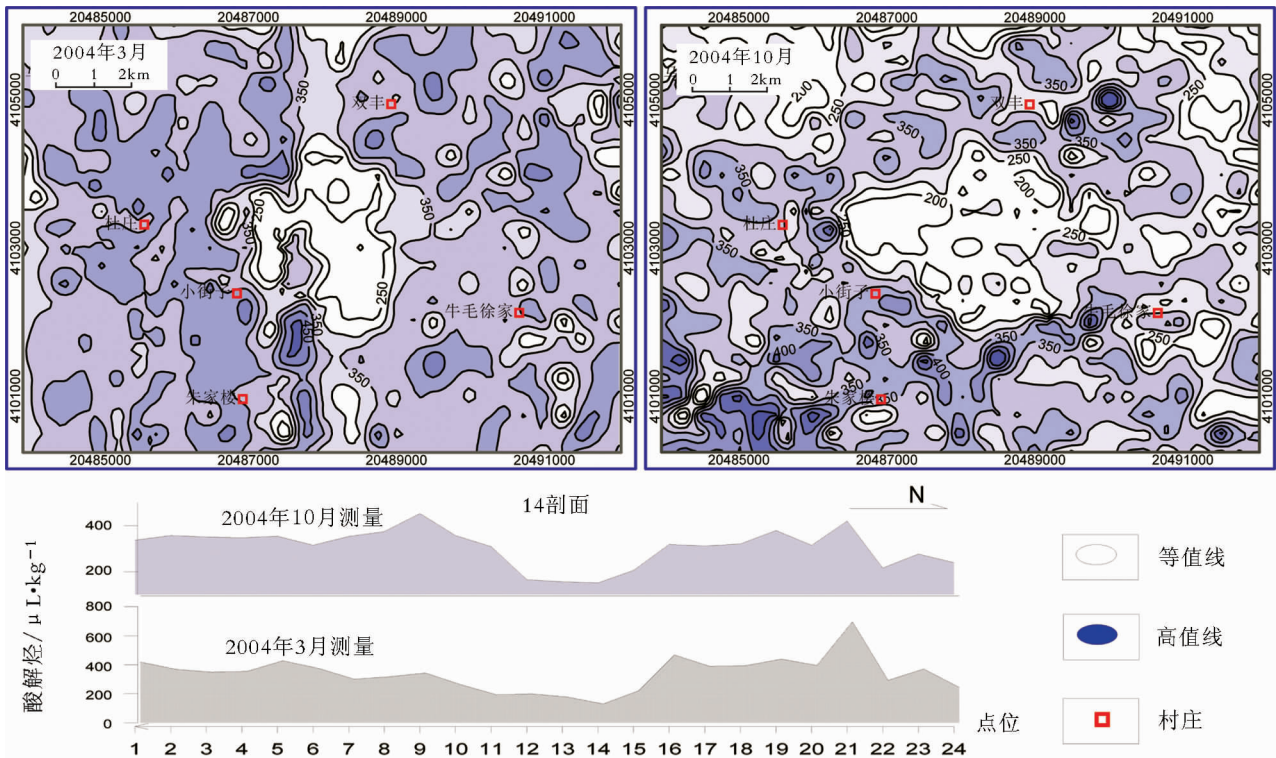


图3 临南油田不同时期酸解烃甲烷地球化学剖面对比
Fig. 3 Comparison of acidolysis hydrocarbon methane geochemical sections of different phases in Linnan oilfield

标整体测量值存在一定程度的差异,1991 年度的 ΔC 测量值明显高于 2004 年的 ΔC 测量值。这是由分析控制条件变化造成的,但是不同样点间的地球化学波动特征表现出了较高的一致性。

图 5 为酸解烃指标的地球化学对比剖面。剖面显示,不同时期测量的酸解烃指标含量存在一定程度的差异。1991 年酸解烃的各指标中,甲烷的实测值较 2004 年的测量值稍低,而湿度则稍高,同时 1991 年的测量值数据离散程度较高。尽管如此,在各样本点上,不同期次测量值的高低波动特征表现出较好的一致性。图 5 直观地表现了不同时期酸解烃甲烷、重烃及湿度的对比剖面,不同批次间表现出较好的一致性,相对而言,酸解烃甲烷、湿度的一致性好于重烃。

1.4 化探综合异常特征对比

(1)临南油田化探综合异常特征对比

对临南油田区不同批次测量指标的地球化学特征分析表明,对已知油气区反映最直接、效果最显著的化探指标为顶空气甲烷、顶空气湿度、酸解烃重烃

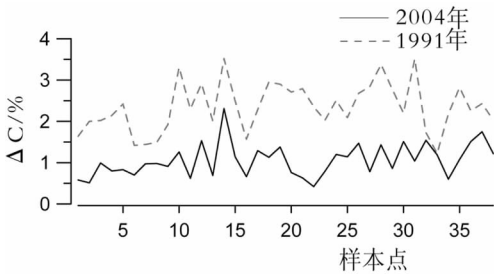


图4 临南油田不同时期 ΔC 指标的地球化学剖面对比
Fig. 4 Comparison of ΔC geochemical sections of different phases in Linnan oilfield

及热释烃甲烷,其次为酸解烃甲烷、热释烃重烃、酸解烃湿度等,顶空气重烃、 ΔC 及热释烃湿度也显示了一定的评价效果^[4]。考虑到部分指标指油气信息的重复性,同时综合考虑不同采样季节及分析控制条件对于化探指标的影响,确定了研究区有效的油气化探方法及指标组合相应为:顶空气甲烷(或顶空气重烃)、顶空气湿度、酸解烃甲烷(或酸解烃重烃)、热释烃甲烷(或热释烃重烃)及 ΔC 。

图 6 即为依据上述方法所确定的研究区第一批

化探采样的综合异常图。从整个研究区来看,综合了多方法、多指标信息的多指标叠合法所确定的异常相对较为集中,且集中的部位正好位于临南油田的夏 32 及夏 52 断块区上方,该区域异常强度高、衬度大,呈环块结合的异常模式。从图 6 中异常集中分布的范围来看,异常向油田分布区域的南侧有所扩展。这可能是由北倾的夏口大断裂所引起的,且这种可能与断裂有关的异常不仅在油田边部存在,在整个断裂的分布方向上也均有串珠状的异常存在。

图 7 为应用相同的化探方法指标组合在重复试验区所作的综合异常图。从重复试验的综合异常表现来看,综合评价指标在全区的异常高点位于临南油气区上方,且在该区域异常面积大,异常组合特征明显,呈环块结合的异常模式。与第一次面积测量的综合异常评价结果类似,本次的综合异常评价也在夏口断裂带附近出现了串珠状异常,与断裂位置相比较,串珠状异常带的位置明显向断裂带的东南侧偏移,这与夏口断裂向西北方向倾斜有关^[5]。

相同的方法指标组合和相同的异常评价方式,均在已知油气区显示了规律性的高强度异常,充分说明了油气化探异常的稳定性、重现性和综合评价方法的有效性。

(2)井楼-古城油田化探综合异常特征对比

1984 年原合肥石油化探研究所完成了河南泌阳凹陷以水化学法为主的油气化探综合勘查,测量面积为 2990km²,普查区采样密度为 1 点/4km²,概查区为 1 点/10km²。2004 年又在原发现的井楼-古城油田异常区重新采样(密度 16 点/km²)。按照从已知到未知的原则圈定化探异常,在已知油气藏上方异常特征的基础上,结合化探指标的地球化学性质及其地质意义,选择水溶气态烃、芳烃和酸解烃(吸附烃)甲烷、重烃、蚀变碳酸盐(ΔC)作为主要指标,圈定油气化探综合异常(图 8)。从前后 2 期化探综合异常在已知油区上方的反映来看,异常特征十分明显,主要表现在以下方面。

(1)前后 2 次测量在已知油区上方油气化探异常特征明显、异常形态相似、异常范围接近,只是由于采样密度不同,异常形态走向稍有差异,异常的范围更小,更接近油区的实际控制范围。

(2)有效的化探方法与指标组合一致,即水化学测量的水溶气态烃、紫外吸收光谱和荧光光谱,土壤测量的酸解烃、游离烃、物上气、热释烃和蚀变碳酸

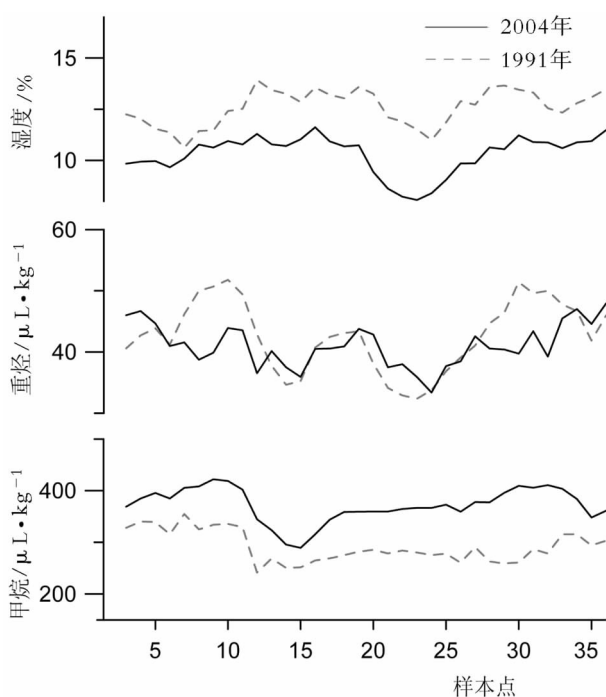


图 5 临南油田不同时期酸解烃指标的地球化学剖面对比
(5 点滑动平均)

Fig. 5 Comparison of acidolysis hydrocarbon parameters geochemical sections of different phases in Linnan oilfield

盐(ΔC)。

(3)化探主要指标浓度基本一致。前期酸解烃甲烷均值为 2.44μL/kg,标准偏差为 0.92μL/kg,蚀变碳酸盐(ΔC)均值为 0.05%,标准偏差 0.05%,水溶烃均值为 1.45μL/L,标准偏差 1.73μL/L。本次测量酸解烃甲烷均值为 2.53μL/kg,标准偏差 0.94μL/kg,蚀变碳酸盐(ΔC)均值为 0.13%,标准偏差 0.04%,水溶烃均值为 0.22μL/L,标准偏差 0.16μL/L。从上述特征可以看出,随着油田勘探开发程度的逐步深入,稳定指标的浓度变化不大,而易活动的指标浓度变化较大(如水溶烃),且有逐步降低的趋势。

综合以上分析,化探异常的形态主要为块状和环状,与 2004 年研究区的测量结果基本相同,化探指标的地球化学效应以古城和井楼为例,荧光和紫外光指标在 2 个油田的地球化学效应与 2004 年研究区一样。从 1994 年水化学概查综合图(图 8)上可以看出,井楼和古城油田区域表现为一个异常^[6],异常区与后期发现的含油气区相比略有漂移。2004 年测量由于样点加密、方法较全,化探异常与油气的关系更显著,井楼油田和古城油田上方的化探异常差

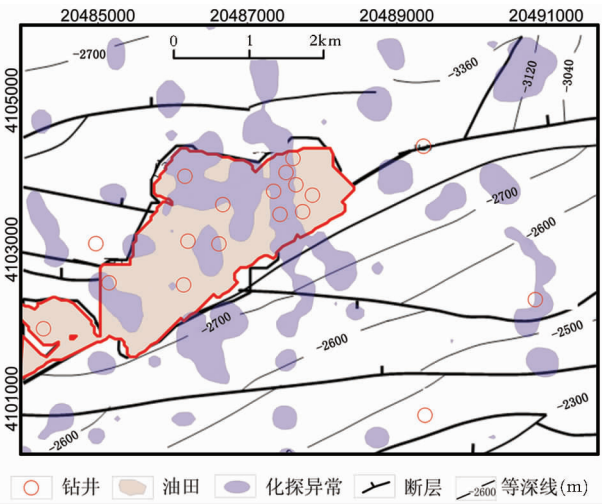


图 6 临南油田区第一次测量的综合异常图
Fig. 6 Comprehensive anomaly
of the first survey in Linnan oilfield

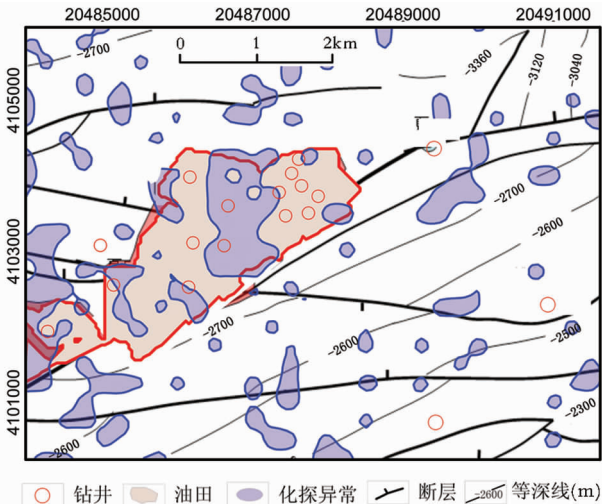


图 7 临南油田区重复测量的综合异常图
Fig. 7 Comprehensive anomaly
of repeated survey in Linnan oilfield

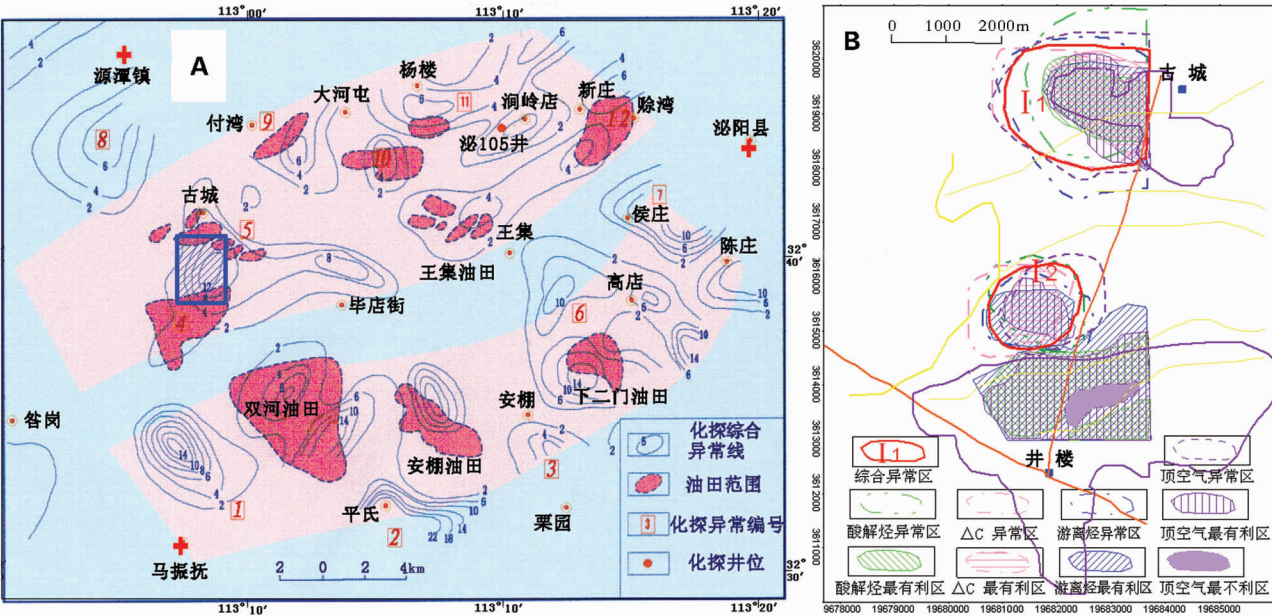


图 8 河南泌阳凹陷油气化探综合异常图
Fig. 8 Comprehensive anomaly of geochemical prospecting of Biyang depression, Henan Province
A—1994 年测量;B—2004 年测量(范围图 A 中的斜线区域为古城—井楼油田)

异明显,异常区和含油面积基本吻合。

因此,2 期化探调查均在井楼油田和古城油田的主要含油区上有明显的化探异常,地球化学效应也相同。这一研究成果充分说明,在本区开展油气化探测量时,化探异常具有较好的重现性,所确定的化探异常是可靠的,化探异常是下伏油气在近地表的反应,同时也证实在该区采取以水、土介质为测量对象,以多种烃类方法寻找油气的油气化探工作原则和方法是可行的。

2 化探异常重现性研究的勘探意义

油气化探测量是按不同比例尺的精度分阶段

(一般分概查、普查、详查和精查)、按步骤、由点到面、由浅到深、由小比例尺到大比例尺、遵循前阶段的研究成果是部署下阶段测量工作的原则进行的^[7-8]。这样,每个阶段在概念上和目的上更加明确,调查的任务更加全面、具体,从而提高了油气化探资料的可信度和找油气的成效,使油气化探紧紧围绕着油气田调查的最终目的——有效地找到工业油气田而开展工作。

从前述的对比研究成果可以看出,尽管测量的时间不同,但已知油气田上方的近地表地球化学效应具有较好的一致性,而且随着测量精度的提高,化探异常的形态和控制范围愈接近油区的实际范围,对含油气远景和油气勘探靶区的预测将更为准确,从而证实了近地表油气化探异常是下伏油气运移至地表的結果。这为油气化探在油气勘探程度较高的地区发挥作用提供了较好的基础。

油气化探异常虽然在不同的时间测量中具有较好的稳定性,但是不同的化探指标的表现是有差异的,即随着油气开采程度的深入,一些不稳定的指标,如水溶烃、游离烃和水中的紫外光、荧光强度会发生变化(降低)。这为油气化探技术应用于监测油气田的开采提供了一定的经验。

3 结束语

本文以临南油田和井楼—古城油田为目标研究体,分别于不同时间、不同期次对 2 个油田区上方及近邻区域进行了重复地球化学测量工作。多次测量的结果表明,化探方法有着较高的地球化学稳定性与异常重现性,主要表现为:①各批次化探方法指标间保持了较为稳定的聚类关系,从化探指标的结构特征上反映出研究区化探测量的稳定性和重复性。②同一化探指标的 2 次重复测量结果间显示了较高的相关性。对于酸解烃方法而言,无论是甲烷、重烃,

还是湿度,前后 2 次测量结果均具有较高的相关性,显示了酸解烃方法较好的稳定性与重现性; ΔC 方法前后 2 次的检测值间相关系数达 0.54,显示了极高的方法稳定性与重现性;即使是以样品间隙中的游离态轻烃为检测对象的顶空气方法,其甲烷指标也显示了一定程度的相关关系。③从地球化学分布特征上来看,酸解烃甲烷、重烃、 ΔC 、顶空气甲烷等指标的重复测量结果保持了较高的一致性。④以各批次测量的化探指标为基础所确定的综合异常,在已知油区均有规律性的表现,具有稳定的综合异常特征。通过综合研究进一步验证了恰当的方法指标组合在油气勘探中的有效性与实用性,同时也说明油气化探在油气勘探高程度区具有良好的应用前景。

致谢:本文在编写过程中得到无锡石油地质研究所化探中心吴传芝、黄欣等同事的帮助,在此表示感谢。

参考文献

- [1]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,1992:1-15.
- [2]赵克斌.我国油气化探近年来的成果与问题[J].石油实验地质,1997,19(2):153-157.
- [3]程同锦,王者顺,吴学明,等.烃类运移的近地表面显示与地球化学勘探[M].北京:石油工业出版社,1999:86-89.
- [4]蒋涛,陈银节,赵克斌,等.已知油气藏上方油气化探指标的有效性分析[J].石油实验地质,2008,4:207-211.
- [5]张勇,赵密福,宋维琪,等.惠民凹陷临南地区断层活动特征及控油作用[J].石油勘探与开发,2000,27(6):9-11.
- [6]田晓敏.井楼——古城西部复杂断块研究与勘探潜力分析[J].河南石油,2005,19(2):1-3.
- [7]刘崇禧,余刘应,赵克斌,等.中国油气化探四十年[M].北京:地质出版社,2001.
- [8]赵克斌,孙长青.中国主要含油气盆地地球化学场特征[J].石油与天然气地质,2005,26(4):427-432.