

文章编号:1001 - 6112(2010)02 - 0186 - 06

川东北地区天然气化探方法试验研究

孙长青^{1,2}, 陈银节², 荣发准², 任 春²

(1. 中国地质大学, 武汉 430074;

2. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214151)

摘要:油气化探以检测烃类气体为主的方法具有快速、有效和低成本的优势,在天然气勘探中能发挥积极作用。为了筛选适合川东北地区地表及地质条件的有效天然气化探方法,以川东北普光气田和元坝区块为试验区,通过样品采集方法试验、化探指标有效性和异常重现性研究,认为采集地表较常见的由侏罗系红色泥岩风化形成的残积物,进行顶空气、酸解烃、热释烃等烃类测试,采用烃类浓度高值及烃类累乘确定异常边界、烃类干度(C_1/C_2^+)确定异常主体,能快速识别天然气有利区,并在元坝地区取得较好预测效果。

关键词:烃类;地球化学勘探;异常;天然气;川东北地区

中图分类号: TE132.4

文献标识码: A

RESEARCH ON GEOCHEMICAL EXPLORATION TECHNIQUE FOR NATURAL GAS IN THE NORTHEASTERN SICHUAN AREA

Sun Changqing^{1,2}, Chen Yinjie², Rong Fazhun², Ren Chun²

(1. China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China;

2. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China)

Abstract: The hydrocarbon gases-oriented geochemical exploration technique has the advantage of quickness, effectiveness and low cost, and may play active roles in natural gas exploration. Some experiments and researches, including experiments for sample-collecting methods, researches on the effectiveness and the repeatability of the geochemical indicators, have been made in the Puguang Gasfield and Yuanba Block in the Northeastern Sichuan Experimental Area in order to select the effective geochemical indicators suitable for the surface and geological conditions of the study area. As the result, the geochemical indicators of headspace hydrocarbon, acid-extraction hydrocarbon and heat-released hydrocarbon of the common surface residual soils caused by the weathering of the red Jurassic mudstones have been selected. The results show that when the high concentration values, the accumulation factor, and the dryness degree (C_1/C_2^+) of these hydrocarbons are used to determine the main anomaly, they can quickly identify the favorable accumulation area for natural gases, and have already achieved good prediction effects in Yuanba Block.

Key words: hydrocarbon; geochemical exploration; anomaly; natural gas; Northeastern Sichuan Area

近年来,川东北地区天然气勘探取得重大突破,在上二叠统的长兴组(P_2ch)、下三叠统飞仙关组(T_1f)台地边缘礁滩相储层中发现了普光、龙岗等大型气田,已成为四川盆地天然气勘探的热点地区。该区地处川、陕、鄂、渝四省市结合部,山地地形和复杂多变的表层及深层地质结构,使地震等天然气主要勘探方法面临复杂地表采集、高陡构造成像、碳酸盐岩储层预测、岩性油气藏识别、裂缝和压力预测等众多

技术难题,天然气勘探成本高且风险大^[1-4]。

油气化探技术是以检测烃类气体为主的直接找矿方法,在区域评价、圈闭评价和勘探评价等方面能发挥积极作用,是一种快速且经济的油气勘探新技术^[5-7],在生产实践中取得良好效果^[8-13]。但在基岩大面积出露、第四系分布局限的山地条件下,天然气化探方法及其应用效果的研究尚无报道。筛选适合川东北地区地表及地质条件的天然

收稿日期:2009 - 07 - 14;修订日期:2010 - 03 - 02。

作者简介:孙长青(1970—),男,硕士,在读博士,高级工程师,主要从事油气地球化学勘查技术研究。E-mail:suncq@mail.wuxisuo.com。

基金项目:国家科技重大专项课题“大型油气田勘探开发遥感与化探配套技术”(2008ZX05020 - 006)资助。

气化探方法并服务于勘探选区,有助于降低勘探成本 and 风险。本文以川东北地区的普光大气田和元坝区块为试验研究对象,开展化探采集方法和有效指标研究,总结川东北地区天然气化探工作方法和气藏识别标志,可为该区的天然气化探工作奠定方法基础。

1 地质背景

1.1 石油地质特征

位于川东北地区的普光气田是我国南方迄今发现的储量规模最大的特大型整装海相气田。该气田地处上扬子地台东北部川东高褶背斜带,北为大巴山弧形褶皱带,西侧以华蓥山断裂为界与川中平缓褶皱带相接。该构造带在地质地貌上呈一向北西突出的弧形展布,主要由一系列轴面倾向南东或北西的背、向斜及与之平行的断裂组成。该区经历了燕山期及早、晚喜马拉雅期3期构造变形,主要形成北北东、北西向构造,总的特点是褶皱强烈,断裂发育。根据钻井揭示及地表露头资料,本地区下古生界地层较完整,仅缺失上志留统。上古生界缺失了泥盆系全部和石炭系大部分,仅残留中石炭统黄龙组,而二叠系齐全。中生界三叠系、侏罗系和下白垩统较全,上白垩统缺失。新生界地层基本上没有残留。中三叠世及之前地层为海相或海陆交互沉积,晚三叠世及之后地层为湖泊—三角洲—河流沉积。

气藏类型属于构造—岩性复合圈闭,储层主要位于长兴组(生物礁储层)和飞仙关组(鲕粒滩储层),其中长兴组上部礁盖白云岩最为发育,下部的礁核相白云岩则不发育;飞仙关组主要发育台地边缘浅滩相储层。飞仙关组上部飞四段的膏岩、致密含泥灰岩及其二者的互层组成了飞一至飞三气藏的直接盖层,三叠系嘉陵江组和雷口坡组的巨厚膏岩层组成了该气藏直接盖层和区域盖层。该区发育多套烃源岩,主要有下寒武统灰黑色泥页岩、下志留统龙马溪组黑色页岩、泥岩和上二叠统龙潭组的煤系、暗色泥岩。其中龙马溪组和龙潭组烃源岩是普光气田的主力气源^[14-15]。

1.2 天然气特征

普光气田的天然气为典型的干气,甲烷含量在72%~80%,乙烷含量基本上在0.05%以下,乙烷以上的重烃几乎检测不到,二氧化碳的含量大致在3%~10.5%,硫化氢的含量在12.7%~17.2%的范围内,属于高含硫化氢天然气,也是国内目前发现的硫化氢含量最高的天然气之一^[16]。

1.3 地表地质条件

普光地区地貌以山地为主,海拔高度在300~1300 m,最大高差近1000 m。由于沟谷深切,出露的地层复杂多变,大部分为侏罗系—白垩系所覆盖,出露的地层包括侏罗系中统的新田沟组(J_{2x})、下沙溪庙组(J_{2xs})和上沙溪庙组(J_{2s});侏罗系上统的遂宁组(J_{3s})、蓬莱镇组(J_{3p});白垩系下统的苍溪组(K_1c)、白龙组(K_1b)、七曲寺组等(K_1q)。中、上侏罗统红色砂、泥岩互层是本区主要出露地层,第四系覆盖的范围极小,仅沿河流呈零星分布,占图幅面积小于2%。

2 试验研究方法

2.1 技术路线

以发现普光大气田的普光地区为试验区,通过野外踏勘和采集试验,制定适合地表地质条件的化探采样方法,并对普光地区实施2次剖面采样。第一期采样,主要开展指标有效性研究,研究已知区上方化探指标特征及其对气田的指示意义。第二期采样,主要进行化探方法的稳定性与异常的重现性分析研究。通过采集方法试验和两期剖面调查,筛选适用于本区地表地质条件且对气藏显示最佳的3~5种化探方法,形成本地区的有效化探方法组合。以有效方法组合为基础,探讨气藏的地球化学识别标志,并在元坝地区进行检验。

2.2 样品采集

在调查试验区化探取样介质(基岩、土壤、壤中气、地下水等)分布的基础上,分析取样可行性和代表性,确定样品采集方法和初选化探方法。

一期试验,在普光气田主要含气构造上方采用剖面测量。沿构造高点走向和垂直构造线走向各布置2条剖面,以500 m左右点距在4条剖面上采集土壤样品196件。另外,在普光构造近南北向剖面上同步采集壤中气样品57件,在基岩出露较好的毛坝南北向剖面上还采集基岩样品53件(图1)。

二期试验是在时隔半年后进行的,在普光气田A-A剖面和重点构造剖面上,以500 m左右点距采集土壤样品100件,同步采集壤中气样品53件。

2.3 分析项目和方法

根据本次研究的需要,土壤样品测试项目包括:顶空气、酸解烃、热释烃、热释汞、蚀变碳酸盐、碳酸盐,微量元素(Fe_2O_3 , Ba, Cl, Mn, Ni, S, Sr, V, Hg等9个元素或指标);壤中气样品测试游离烃;基岩样品测试项目为酸解烃、热释烃、热释汞、蚀变碳酸盐、碳酸盐,微量元素(Fe_2O_3 , Ba, Cl, Mn, Ni,

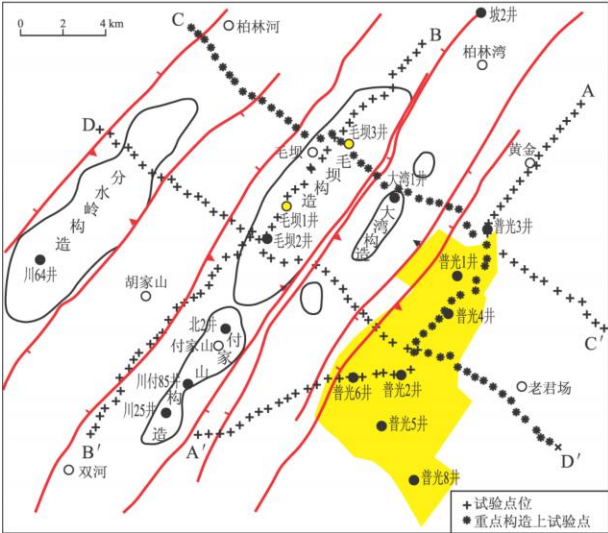


图 1 普光地区化探测量点位示意

Fig. 1 Location of the sampling points of the geochemical exploration over Puguang Area

S, Sr, V, Hg 等 9 个元素或指标)。

3 结果与讨论

3.1 化探样品采集方法

地表油气化探主要检测从下伏油气藏沿断层、裂隙和可渗透地层垂向运移至近地表的烃类物质,检测介质以壤中气、土壤(岩石)、地下水为主。

游离烃方法通过抽取土壤孔隙中气体,检测其中与油气微渗漏有关的烃类组分,已在黄土、沙漠区油气化探中得到应用^[17-20]。针对山地区土壤层较薄并多含砂砾的特点,对游离烃钻具进行了穿透性、密封性改进。但从试验结果看,游离烃甲烷浓度较低(平均值 2.80×10^{-6} , 标准偏差 0.55×10^{-6}),与空气中甲烷浓度(研究区实测平均值 2.48×10^{-6})相差不大,且在气田上方无明显变化规律。这可能与基岩风化形成的土壤层较薄且裂隙发育、壤中气与大气频繁交换有关。游离烃方法不适合在普光及类似地区应用。

水化学法是我国东部地区油气化探最常用的方法之一,检测浅层承压水的烷烃、芳烃和无机组分,预测油气富集区^[21-22]。本区地下水主要类型为中上侏罗统砂泥岩层的风化裂隙水(山地)、第四系松散岩类孔隙水(沟谷)。降雨是地下水形成的主要来源,从降雨转为地下水到排泄出来,其循环范围通常只有数十米到数百米,补给很快就反映到排泄上。且红层地区渗入系数只有 0.01~0.04,导致地下水资源较贫乏^[23]。油气化探水样采集所要求的浅层承压水在本区资源有限,人工揭露极

少,水样采集在本区无法正常开展。

土壤化探方法(如:顶空气、酸解烃、热释烃)是国内外最常用的方法,主要检测土壤颗粒物理吸附和化学吸附的烃类物质^[22,24-25]。由基岩风化形成的土壤层在本区分布广泛,但厚薄不均。地形较高部位,基岩风化后保留在原地的残积物厚度较薄,一般不超过 1 m,最薄处只有几 cm。侏罗系红色泥岩风化后的残积物在本区较常见,成分较均一,化探指标含量稳定,且与地形没有明显相关关系。沟谷等地形低洼处,由地表径流所携带的泥沙被堆积下来的坡积物厚度较大,变化范围从几米到几十米不等,但土壤均一性差,且混杂大量有机质,虽易于采集,但不适合化探采样,原因是:气藏和重点构造的位置并不与沟谷重合,如沿沟布置样点则难以覆盖重点勘探区域;坡积物成分混杂并含有大量植物碎屑,样品代表性差;坡积物受水流冲刷淋滤作用影响,化探指标含量不稳定。因此,从采集可行性和样品代表性看,残积物优于坡积物,土壤采样选择侏罗系红色泥岩风化后的残积物,一般采集深度为 0.5 m 左右。

3.2 指标统计特征

烃类指标在普光地区呈低丰度、高离散度的特点(表 1)。酸解烃甲烷平均值 59.44×10^{-6} ,而极值范围由极小的 1.96×10^{-6} 变化到最高的 $2\,774.38 \times 10^{-6}$,相差达 4 个数量级,服从对数正态分布。顶空气、热释烃等烃类指标平均值也低于我国东部地区,但变异系数较高,与多年南方酸性土壤区的油气化探经验相一致。川东地区近地表红层区的化探指标低丰度特点,对化探样品预处理技术及分析精度提出了较高要求。高离散度则有利于识别运移烃引起的近地表异常。

3.3 已知气田上方异常特征

从统计特征看,普光构造、毛坝构造 2 个已知气区与非气区的近地表烃类存在明显差异,如酸解烃甲烷均值分别为 84.68×10^{-6} , 65.49×10^{-6} , 47.61×10^{-6} ,

表 1 普光地区地表化探指标特征
Table 1 Characteristics of the surface geochemical indicators over Puguang Area

指标	最小值	最大值	平均值	标准 离差	变异 系数
酸解烃甲烷/ 10^{-6}	1.96	2 774.38	59.44	234.89	3.95
顶空气甲烷/ 10^{-6}	1.52	20.00	4.75	2.94	0.62
热释烃甲烷/ 10^{-6}	1.81	53.86	11.09	6.78	0.61
游离烃甲烷/ 10^{-6}	0.97	3.76	2.87	0.55	0.19
蚀变碳酸盐 C/ 10^{-2}	0.06	0.56	0.14	0.07	0.50
热释汞/ 10^{-9}	1.09	131.82	15.98	12.13	0.76

湿度系数(C_2^+/C_1^+)分别为 4.28 %、5.52 %、5.58 %，已知气区具有甲烷含量高而湿度系数低的特点。非烃指标蚀变碳酸盐和热释汞在气区内外未表现明显的差异。

在通过普光已知气区的化探剖面上(图 2)，顶空气、酸解烃、热释烃等烃类指标表现为环状晕为主的异常模式，即甲烷浓度高值点一般出现在气藏的边缘。选取顶空气甲烷、酸解烃甲烷、热释烃甲烷进行累乘综合异常分析，其高值出现在气藏边缘，反映烃类干度的 C_1/C_2^+ 比值指标高值点则多出现在气藏主体部位的上方。通过重点构造的化探剖面上(图 3)烃类异常特征也极为相似，普光 4 井处于东西两侧烃类单指标和轻烃累乘高值界定的异常范围内，其上方 C_1/C_2^+ 比值呈高值，表现为异常主体的特征，与其位于普光气田主体部位且获高产商业气流相一致；普光 3 井上方为烃类高值，但 C_1/C_2^+ 比值较低，表现为异常边缘的特征，与其位于普光气田边缘且未获商业气流吻合；毛坝 3 井和大湾 1 井分属毛坝构造和大湾构造，分别在本次试验前后获高产商业气流，但从化探异常看，两井应属同一个烃类异常范围内，预示毛坝构造和大湾构造含气具有连片性。

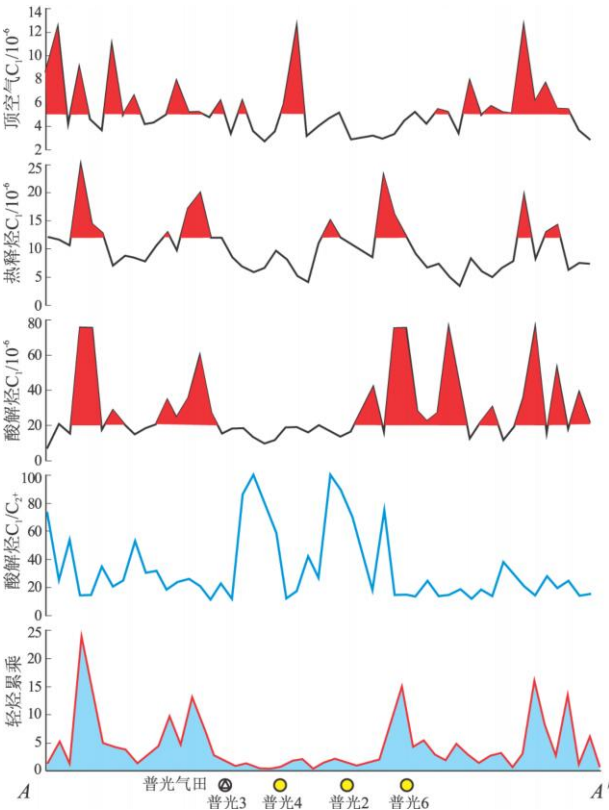


图 2 普光气田上方烃类异常剖面位置见图 1。

Fig. 2 Hydrocarbon anomaly over Puguang Gasfield

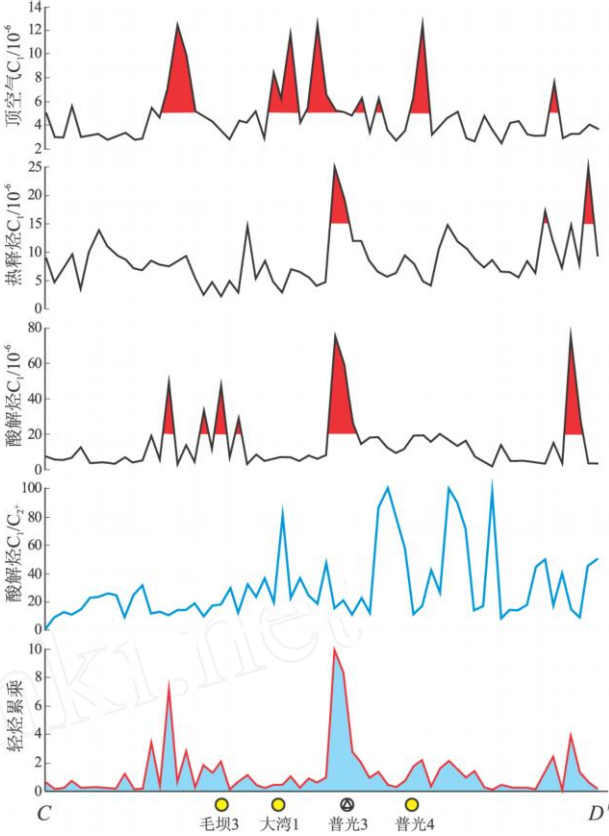


图 3 普光地区重点构造上方烃类异常剖面位置见图 1。

Fig. 3 Hydrocarbon anomaly over some key structures of Puguang Area

非烃指标在气田上方的效果相对较差。C 测值较低且离散度较小，虽与气区有一定的响应关系，但异常的分离较为困难。分别采用热释汞法和原子荧光光谱法分析的汞指标具有较高的相似性，在部分断裂上出现相对高值，对气区的识别仅能起辅助作用。由 X- 荧光光谱法测定的 Fe_2O_3 、Ba、Cl、Mn、Ni、S、Sr、V 等微量元素指标在已知气田上方未显示明显的规律性，未能取得与其它研究区^[26-27]相似的效果，原因可能是在川东北山地地形条件下，地表水和地下水冲刷淋滤作用强烈，微量元素随水迁移有关。

3.4 烃类方法稳定性及异常重现性

为研究化探方法的稳定性与异常的重现性，在普光试验区分别于秋季和春季进行了两期地球化学样品的采集工作。两期采集点的点距最小值 1.0 m、最大值 336.4 m、平均值 27.6 m、标准偏差 55.9 m。重复测试的化探方法包括酸解烃、热释烃、顶空气、游离烃及热释汞等 5 种。

两期化探指标测量值存在一定的差异，但从相关分析结果看，酸解烃各组分、热释烃的各组分、顶

空气甲烷2期测量值为显著相关(95%置信限),说明这些指标稳定性较好。而游离烃各组分、热释汞2期测量值不相关,反映出这2个方法在本地区的使用具有较大程度的局限性。同时,2期采样化探指标的高值点和低值点集中出现区段基本相同,即异常区段具有可比性。可以认为普光地区主要烃类指标稳定性较好,异常具有重现性。

3.5 气藏近地表识别标志

据实践经验,深部热成因迁移至地表的烃气,其组分之间呈 $C_1 > C_2 > C_3 > C_4 > C_5$ 的变化规律,而污染或生油岩出露地表等情况下烃组分之间不存在上述特征。分析测试结果表明测区内烃类具有这种明显的变化规律。中科院兰州地质研究所的试验研究成果指出: $C_1/(C_2 + C_3)$ 在0~50之间为深部成因气,该比值大于1 000则完全反映地表生物成因特征。试验区内该比值为27.55,表明近地表检测的游离烃与热演化成因的油气有关。据上述特征,结合地表景观和地质因素综合分析,可以认为测区地表烃类异常应属深部气藏中的干气经微渗逸至地表的结果,其具有重要的找气指示意义。

另外,据许卫平等^[28]的研究,在垂向运移过程中,地层对参与运移的烃类组分中的重质组分有明显的选择性吸附作用。由此提出以甲烷/丙烷作为地球化学动力学指标,来定性判断油气藏的保存条件和埋藏深度。当在近地表采集的烃类样品中的地球化学动力学指标呈低值态势时,说明油气藏的保存条件差或埋藏深度较浅;反之则说明油气藏的保存条件良好并且埋藏深度较深。区内近地表酸解烃的地球化学动力学指标高达56.25~131.50,一般值在80.11左右。顶空气的地球化学动力学指标高达45.09~128.75,一般值在70.43左右。说明区内气藏保存良好,同时也说明油气藏埋藏深度较深,这与区内长兴组(P_2ch)和飞仙关组(T_1f)台地边缘礁滩相储层深达5 000多米相吻合。

在近地表地球化学调查时,气藏识别标志可以初步概括为:以近地表泥岩风化形成的土壤残积物为取样对象,检测顶空气、酸解烃和热释烃等指标,采用烃类浓度及烃类累乘高值确定异常边界、烃类干度(C_1/C_2^+)高值区确定异常主体部位,可以快速识别有利区。究其原因,由于气藏上方普遍存在的微渗漏作用,甲烷更易于运移至近地表,使气区上方土壤中烃类组分变得更干,烃类干度系数在气区上方呈现高值。另外,气藏边缘是烃类微渗漏的优势通道,导致烃类浓度、烃类累积高值点主要分布在异常边缘。

4 元坝勘探区的应用

元坝地区位于通南巴背斜西南翼,是川东北天然气勘探开发后备基地之一。二维地震初步落实了区域构造格架并发现大型飞仙关—长兴组礁滩地震异常体,地质综合研究也认为梁平—开江陆棚东、西两侧长兴组—飞仙关组具有相似的沉积背景,预测该区有较丰富的天然气资源量,并部署元坝1、元坝2井的天然气钻探工作。

为验证普光地区天然气化探方法的效果,在元坝区布置2条化探剖面,分别通过当时正在钻探的元坝1井和元坝2井。元坝地区地表主要为白垩系所覆盖,主要是白垩系下统的苍溪组(K_1c)、白龙组(K_1b)、七曲寺组等(K_1q),第四系覆盖的范围较小,仅沿河流呈零星分布。按500~1 000 m不等点距采集白垩系风化形成的土壤残积物110个,分析顶空气、酸解烃、热释烃指标,按上述气藏近地表识别标志进行化探预测。

过元坝1井的NE向剖面(图4),化探预测的有利区位于剖面中段,元坝1井位于该异常区段内。同时可以注意到,元坝1井西南侧烃类浓度和干度指标配合更好,可能更为有利。过元坝2井的SN向剖面(图5),化探预测的有利区位于剖面中段的

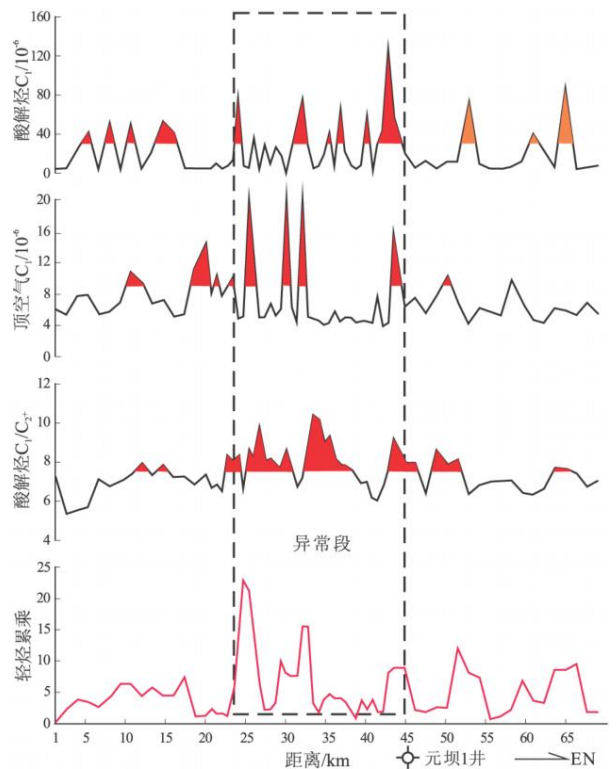


图4 元坝地区过元坝1井剖面烃类异常

Fig. 4 Hydrocarbon anomaly profile cross Well Yuanba 1 of Yuanba Area

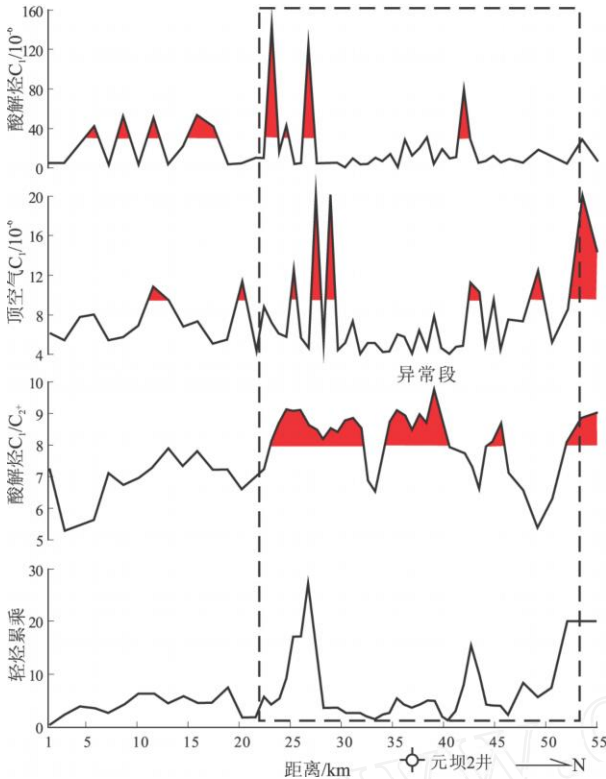


图 5 元坝地区过元坝 2 井剖面烃类异常
Fig. 5 Hydrocarbon anomaly profile
cross Well Yuanba 2 of Yuanba Area

元坝 2 井及其以北。其中最有利区可分为 2 段,即:元坝 2 井附近、剖面北段。

近期钻探证实,元坝 1 井未获商业气流,但定向井元坝 1-侧 1 井在飞仙关组(T_1f)获高产商业气流,元坝 2 井在长兴组(P_2ch)也获商业气流,与预测结果基本吻合。

5 结论

从普光气田和元坝地区的试验结果看,川东北地区天然气化探以地表较常见的由红色泥岩风化形成的残积物为取样介质,进行顶空气、酸解烃、热释烃等烃类测试,采用烃类浓度高值及烃类累乘确定异常边界、烃类干度(C_1/C_2+)确定异常主体,能快速识别天然气富集区。虽然试验采用剖面调查方式其结果可能存在一定的局限性,但气区内外烃类浓度及结构存在明显差异,化探异常界定的范围与已知气区相对应,近地表烃类异常与天然气富集区存在成因联系。因此,在川东北及类似的复杂地表条件区部署化探工作,作为地震勘探的有效补充,可以为区块优选和勘探部署提供地球化学依据,降低勘探成本和风险。

参考文献:

[1] 马永生,郭旭升,郭彤楼,等. 四川盆地普光大型气田的发现

与勘探启示[J]. 地质论评,2005,51(4):477-480.
[2] 马永生. 四川盆地普光大气田的发现与勘探[J]. 海相油气地质,2006,11(2):35-40.
[3] 马永生,蔡勋育,李国雄. 四川盆地普光大型气藏基本特征及成藏富集规律[J]. 地质学报,2005,79(6):858-865.
[4] 朱光有,张水昌,梁英波,等. 四川盆地天然气特征及气源[J]. 地学前缘,2006,13(2):234-248.
[5] 张水昌,朱光有,陈建平,等. 四川盆地川东北部飞仙关组高含硫化氢大型气田群气源探讨[J]. 科学通报,2007,52(增刊):86-94.
[6] 阮天键. 石油天然气地球化学勘探[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1992.
[7] 刘崇禧,赵克斌,余刘应,等. 中国油气化探 40 年[M]. 北京:地质出版社,2001:21-33.
[8] 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.
[9] 程军,孙长青,赵克斌. 寻找天然气的化探技术与方法[J]. 天然气勘探与开发,1998,21(2):15-18.
[10] 李广之,袁子艳,胡斌. 顶空气技术在天然气化探中的应用[J]. 中国石油勘探,2007(6):47-50.
[11] 孙长青,赵克斌,陈昕华. 鄂尔多斯盆地中部油气聚集区带地球化学特征[J]. 地质与勘探,2003,39(6):46-48.
[12] 汤玉平,刘运黎,赵耀伟,等. 川西地区浅、中层天然气藏化探判别模型[J]. 石油与天然气地质,2005,26(4):530-536.
[13] 贾国相,赵友方,黎绍杰,等. 我国特殊景观区油气综合化探技术应用典例[M]. 北京:石油工业出版社,2003:57-103.
[14] 马永生. 普光气田天然气地球化学特征及气源探讨[J]. 天然气地球科学,2008,19(1):1-7.
[15] 马永生,郭彤楼,赵雪凤,等. 普光气田深部优质白云岩储层形成机制[J]. 中国科学 D 辑:地球科学,2007,37(增刊):43-52.
[16] 朱光有,张水昌,李剑,等. 中国高含硫化氢天然气田的特征及其分布[J]. 石油勘探与开发,2004,31(3):18-21.
[17] 李志明,宋喜林,张长江. 游离烃技术在沙漠覆盖区构造含油气评价中的应用[J]. 物探与化探,2002,26(5):344-346.
[18] 张宗元,王国建. 土壤中游离烃技术的油气化探意义[J]. 天然气工业,2004,24(6):30-32.
[19] 任春,夏响华,王国建. 内蒙古沙漠覆盖区油气化探应用实例[J]. 天然气工业,2008,28(8):25-27.
[20] 陈浙春,汤玉平,程同锦,等. 戈壁区油气化探方法有效指标参数研究[J]. 石油实验地质,2008,30(5):532-536.
[21] 赵克斌,刘崇禧,李伟. 含油气盆地水文地球化学规律[J]. 石油实验地质,2008,30(2):154-161.
[22] 杨育斌,张金来,吴学明,等. 油气地球化学勘查[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1995:62-181.
[23] 张廷山,陈晓慧,姜照勇,等. 川东北红层区地下水赋存特征及合理开发思考[J]. 水资源与水工程学报,2006,17(1):15-19.
[24] 李广之,胡斌,袁子艳,等. 轻烃的吸附与解吸[J]. 天然气地球科学,2006,17(4):552-558.
[25] 蒋涛,汤玉平,吴传芝,等. 油气藏上方吸附丝指标异常模式及成因分析:以塔里木盆地英南 2 井侏罗系气藏为例[J]. 石油实验地质,2009,30(4):403-408.

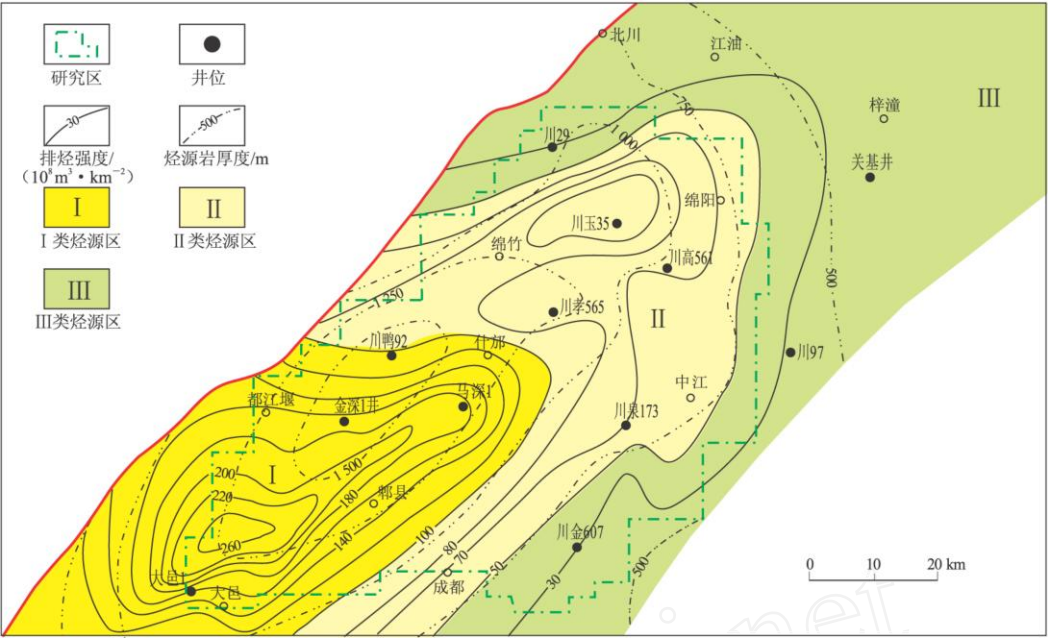


图 2 四川盆地川西坳陷中段上三叠统烃源岩综合评价

Fig. 2 Comprehensive evaluation plan of hydrocarbon source rocks in the Upper Triassic of Western Sichuan Depression, Sichuan Basin

高,大多处于成熟—过成熟演化阶段,显示本区烃源岩具备较好的生烃能力。排烃强度研究表明,上三叠统最有利的勘探区带位于西南角的都江堰、什邡及大邑地区;其东北部的绵竹、绵阳、中江及成都一带属于较为有利勘探区带;北川、江油、梓潼区为较不利勘探区带。

参考文献:

[1] 叶军,王亮国,岳东明. 从新场沥青地化特征看川西天然气资源前景[J]. 天然气工业,1999,19(3):18-22.
[2] 叶军. 再议四川盆地西部坳陷深盆气[J]. 石油实验地质,2008,30(2):109-114.
[3] 王金琪. 川西坳陷须家河组(T₃x)气藏再认识[J]. 天然气工业,2002,22(2):1-6.
[4] 秦建中. 中国烃源岩[M]. 北京:科学出版社,2005:20-40.

[5] 腾格尔,秦建中,付小东,等. 川西北地区海相油气成藏物质基础:优质烃源岩[J]. 石油实验地质,2008,30(5):478-483.
[6] 罗啸泉,陈兰. 川西坳陷形成演化及其与油气的关系[J]. 油气地质与采收率,2004,11(1):16-19.
[7] 庞雄奇,陈章明. 含油气盆地地史、热史、生留排烃史数值模拟研究与烃源岩定量评价[M]. 北京:地质出版社,1993:135-149.
[8] 杨克明,叶军,吕正祥. 川西坳陷上三叠统成藏年代学特征[J]. 石油与天然气地质,2005,26(2):208-213.
[9] 叶军. 川西新场851井深部气藏形成机制研究:X851井高产工业气流的发现及其意义[J]. 天然气工业,2001,21(4):16-20.
[10] 叶军,曾华盛. 川西须家河组泥页岩气成藏条件与勘探潜力[J]. 天然气工业,2008,28(12):18-25.
[11] 杨克明. 川西坳陷油气资源现状及勘探潜力[J]. 石油与天然气地质,2003,24(4):322-331.

(编辑 徐文明)

(上接第 191 页)

[26] 王国建,程同锦,王多义. 微量元素在地表油气化探中的试验研究:以川西新场气田为例[J]. 石油实验地质,2005,27(5):544-549.
[27] 汤玉平,李鼎民,陈银节,等. 微量元素在油气化探中的

应用[J]. 物探与化探,2008,32(4):350-353.
[28] 许卫平,郭旭升,孙剑,等. 利用地表化探资料研究油气藏的保存条件及埋藏深度[J]. 物探与化探,1996,20(2):99-103.

(编辑 徐文明)