

塔里木盆地塔河油田 AT2 井区 高精度化探异常及其开发地质意义

杨 敏¹, 陈叔阳¹, 王国建²

(1. 中国石化 西北油田分公司, 乌鲁木齐 830011;

2. 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 214126)

摘要:为了评价塔里木盆地塔河油田 AT2 井区三叠系中、上油组多个圈闭的含油气性,采用基于烃类微渗漏的高精度化探技术在该井区进行了油气地球化学精查研究。选用的地球化学勘探指标均为活动态指标,包括游离烃、物理吸附烃以及顶空气。采用测网方式采集了近地表土壤样品,网度为 0.25 km×0.25 km,在重点圈闭上方采用了 0.1 km×0.1 km 加密采样网格。以游离烃甲烷、物理吸附烃甲烷、顶空气甲烷为代表性指标,研究了 AT2 井区地球化学异常特征。在此基础上,确定了 5 个综合地球化学异常区(对应于 5 个圈闭)。通过化探—地质双因素评价方法,对上述 5 个化探异常区进行了排序,评价了圈闭的含油气性,为油田滚动开发提供了地球化学依据。

关键词:高精度化探;圈闭评价;滚动开发;AT2 井区;塔河油田;塔里木盆地

中图分类号:TE132.4

文献标识码:A

The anomalies of high-precision geochemical exploration in well AT2 area of Tahe Oil Field, Tarim Basin and its geological significance for production

YANG Min¹, CHEN Shuyang¹, WANG Guojian²

(1. SINOPEC Northwest Oilfield Branch Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China;

2. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214126, China)

Abstract: To evaluate the hydrocarbon potential of multiple traps in the middle and up oil groups of Triassic, an intensive oil and gas geochemical exploration has been carried out in the well AT2 area of the Tahe Oil Field of the Tarim Basin by the means of hydrocarbon microseepage-based high-precision geochemical exploration techniques. The geochemical indicators selected for this study were all active ones, including soil gas, physical adsorbed hydrocarbon gas and headspace gas. Near-surface soil samples were collected by means of a 0.25 km×0.25 km measuring grid, with a 0.1 km×0.1 km measuring grid over some key traps. Soil gas methane, physical adsorbed methane, and headspace methane were selected as the representative geochemical indicators, and their geochemical anomaly features over the well AT2 area were studied. Based on which, five integrated geochemical anomaly zones (consistent with five traps) were determined. The five integrated geochemical anomaly zones were ranked using a double-factor evaluation method combining geochemical and geological exploration evaluation parameters, and the hydrocarbon-bearing potential of these traps were evaluated, providing a geochemical basis for oil and gas rolling development of the well AT2 area.

Key words: high-precision geochemical exploration; trap evaluation; rolling development; well AT2 area; Tahe Oil Field; Tarim Basin

塔里木盆地塔河油田碎屑岩领域在志留系、泥盆系、石炭系、三叠系、白垩系和古近系都获得了工业油气流或良好油气显示,其中石炭系、三叠系成为主要产油层系。但随着勘探开发程度的不断增高,

隐蔽圈闭或小型圈闭已经成为重要勘探目标,勘探开发难度增大^[1]。如何用多学科(地质、物探、化探)技术方法,提高勘探开发成功率,保持增储上产是目前迫切需要解决的重要问题。基于油气垂向微

渗漏理论的高精度化探技术,是以未钻圈闭含油气性评价、预探井已有油气发现或油气田开发扩边、油气富集部位预测等为目标而部署的油气化探面积测量^[2]。针对目前塔河油田 AT2 井区地震资料解释的多个圈闭的含油气性问题,采用高精度油气化探技术在该井区进行了研究。在高密度调查、高精度分析测试的基础上,对塔河油田 AT2 井区正态和非正态地球化学数据进行处理和异常提取,重点围绕精细解释评价,确定地表综合地球化学异常,进一步采用化探—地质双因素评价方法,对圈闭进行含油气性评价^[3],为产建井位部署提供建议。

1 开发地质概况

塔河油田 AT2 井区位于塔里木盆地塔北坳陷沙雅隆起阿克库勒凸起南端的阿克亚苏地区^[4-5],发育于三叠系阿克库勒组三段—四段正旋回沉积下部的中油组为该区重要的勘探层系^[5]。作为阿克亚苏地区 AT2 区块三叠系油气藏内的第一口发现井,AT2 井于 2005 年 11 月在三叠系上油组试获高产油气流;2010 年下返三叠系中油组生产,初期日产油 33 t,不含水,为了增加井区储量控制程度,相继在三叠系中、下油组部署新井 8 口,均获高产油气流。

目前根据地震资料刻画的塔河 AT2 井区三叠系中油组 AT2 井圈闭面积较小(图 1),但钻于该圈闭的 AT2 井等 3 口井避水高度低,生产效果好(AT2 井累产 3×10^4 t,另 2 口井分别累产 3.6×10^4 t

和 0.6×10^4 t),与地震资料解释的圈闭储量不匹配,因此实际圈闭范围可能会比之前解释的更大。通过对 AT2 井区三维地震资料重新处理解释,认为 AT2 井区中油组圈闭西部存在一个圈闭 A(拟部署产建井),在地质上认为有 2 种可能:一是 A 圈闭与 AT2 井圈闭整体为同一圈闭,油水界面一致,后期可向东评价、向西产建,进一步落实构造;二是 A 圈闭与 AT2 井圈闭是 2 个独立的圈闭,A 圈闭油水界面与 AT2 井圈闭不一致,可进一步西扩评价。另外,AT2 井区三叠系上油组哈一段有一套岩性体边界(图 1,蓝色曲线框),往南高部位上倾尖灭,沿片状砂体尖灭线容易形成岩性上倾尖灭圈闭(圈闭 C),存在形成岩性油气藏的可能性。因此,AT2 井区油气勘探需要解决以下问题:(1)评价三叠系中油组多种构造的可能性以及 A、B 圈闭的含油气性;(2)评价三叠系上油组岩性圈闭 C 的含油气性,为井位部署提供建议(图 1)。为了实现这一目标,在 AT2 井区部署了近地表高精度油气地球化学勘探研究,对三叠系中、上油组圈闭进行评价。

2 高精度化探样品采集与指标方法

2.1 采样面积与网度

在塔河 AT2 井区,按规则测网进行高精度地球化学勘探,测网覆盖了待评价的几个圈闭及外围,面积达 51 km^2 (图 1)。

在待评价圈闭上方进行 T 字加密区采样,加

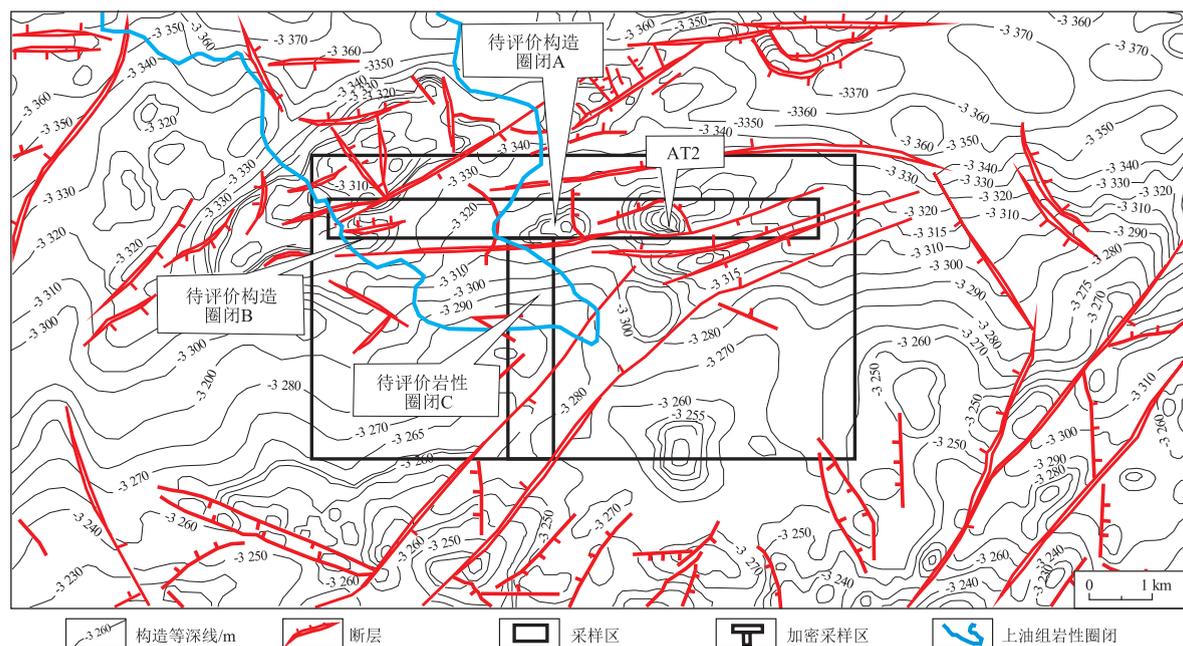


图 1 塔河油田 AT2 井区三叠系中油组构造及化探部署

密区面积 9.35 km^2 , 在 AT2 井西部待评价的三叠系中油组构造圈闭上方和 AT2 井西南部待评价的三叠系上油组岩性圈闭上方采用的加密采样网度为 $0.1 \text{ km} \times 0.1 \text{ km}$ 。在加密区外围工区采样面积为 41.65 km^2 , 采用的采样网度为 $0.25 \text{ km} \times 0.25 \text{ km}$ 。

2.2 选用的化探方法

微渗漏烃类在土壤中主要以吸附态(包括物理吸附和化学吸附)、游离态、水溶态存在,另有一部分被氧化成为衍生物。其中赋存于土壤颗粒孔隙中的游离态烃类以及以分子状态被土壤颗粒表面所物理吸附(吸附力是范德华力)的烃类在油气地球化学勘探中被称为“活动态”烃类。这些烃类是反映现今油气藏是否存在的最直接指标^[6],包括游离烃^[7-9]、物理吸附烃^[6]、顶空气^[10],在油气地球化学勘探中得到了广泛的重视和应用。因此,本次化探精查研究采用顶空气、游离烃、物理吸附烃等活动态地球化学指标方法。

3 地球化学指标优选及异常下限确定

3.1 指标优选

完成研究区的样品测试分析后,对地球化学数据进行了统计分析。地球化学测试参数众多,信息量巨大,其中有相当一部分重复或相近,在抑制干扰因素的前提下,常用聚类分析、相关分析、因子分析等数据处理方法研究指标间的相关性及组合关系,筛选代表性的地球化学指标来进行分析。

相关分析结果表明,同种方法的甲烷及其同系物指标相关系数较高,其中游离烃指标系列相关系数达 0.94 以上,物理吸附气指标系列相关系数达 0.72 以上,顶空气指标系列达 0.65 以上,相关性显著,说明它们具有相同的来源。不同方法的甲烷及其同系物指标相关系数较低或不相关,说明各种方法指标间具有较弱的成因联系或各具独立的地球化学意义。同时,聚类分析、因子分析也取得了相类似的结果。另外,通过对已知油藏剖面上方地球化学指标异常分析,也发现这 3 种方法对含油面积、油水边界具有较好的响应。因此,选择游离烃甲烷、物理吸附气甲烷、顶空气甲烷作为评价研究区的代表性指标。

3.2 异常下限确定方法

(1) 浓度—面积(C-A)分形方法分离地球化学背景与异常。由于游离烃指标经过多次迭代剔除高值后,其数据母体仍不服从正态分布,属于非线性数据,因此采用了 C-A 分形方法确定异常下限。分形方法^[11-12]应用于油气化探的理论基础是

油气藏中轻烃微渗漏到近地表,形成地球化学场,可造成化探指标具有自相似性或统计自相似性,可反映出化探指标背景值往往服从或近似服从正态或对数正态分布,然而低异常值和高异常值满足分形分布。

(2) 迭代法分离地球化学背景与异常。物理吸附烃、顶空气轻烃指标经过多次迭代剔除高值后,其数据母体服从或近似服从正态分布,属于线性数据,因此采用了迭代法确定异常下限^[13]。

4 AT2 井区地球化学异常评价

4.1 单指标异常分布特征

从研究区整体地球化学特征来看,游离烃、物理吸附烃、顶空气轻烃甲烷浓度异常分布基本类似。以游离烃为例,图 2 是游离烃甲烷浓度异常与研究区构造叠合图,可见游离烃浓度主要沿走向向北东和走向东西的断层夹持的区域分布,说明断层对油气成藏的控制作用。研究区东北部的 AT2 井圈闭控藏断层上方游离烃甲烷浓度异常较为集中,呈环块状分布,较好地响应了含油气面积,说明地表游离烃甲烷异常是油气藏烃类垂向扩散、渗滤的结果。AT2 井圈闭西部的 A 圈闭上方地球化学异常较弱,在该圈闭偏西翼呈一个小环状形态,这与地震的振幅变化率异常较为吻合,说明该圈闭最有利的位可能不在高点,还受岩性的控制。研究区西北角的 B 圈闭上方游离烃甲烷浓度呈顶端块状分布,说明该圈闭也具有较好的烃类微渗漏显示,为有利的油气圈闭。另外,AT2 井区三叠系上油组哈一段有一套岩性体边界,往南高部位上倾尖灭,沿片状砂体尖灭线容易形成岩性上倾尖灭圈闭 C,可能成藏(图 1)。游离烃甲烷呈椭圆形异常围绕预部署井部位分布,预示该岩性上倾尖灭圈闭也具有较好的油气前景。研究区西南部的 D 井附近也有游离烃浓度异常分布,呈一个较大不连续环状分布(图 2),但 D 井目前已停产,这种游离烃异常成因可能是地下残余烃类微渗漏所致。物理吸附烃地球化学异常特征与游离烃较为相近。顶空气轻烃地球化学异常与游离烃、物理吸附烃地球化学异常分布特征有显著差别,研究区东北部的 AT2 井圈闭控藏断层上方顶空气轻烃甲烷浓度异常呈星点状分布,异常十分零散。

4.2 综合地球化学异常确定

从以上分析可以看出,不同化探方法地球化学属性各异,不同指标异常反映了不同侧面的油气信息。在研究各方法对油气微渗漏反映特征的基础

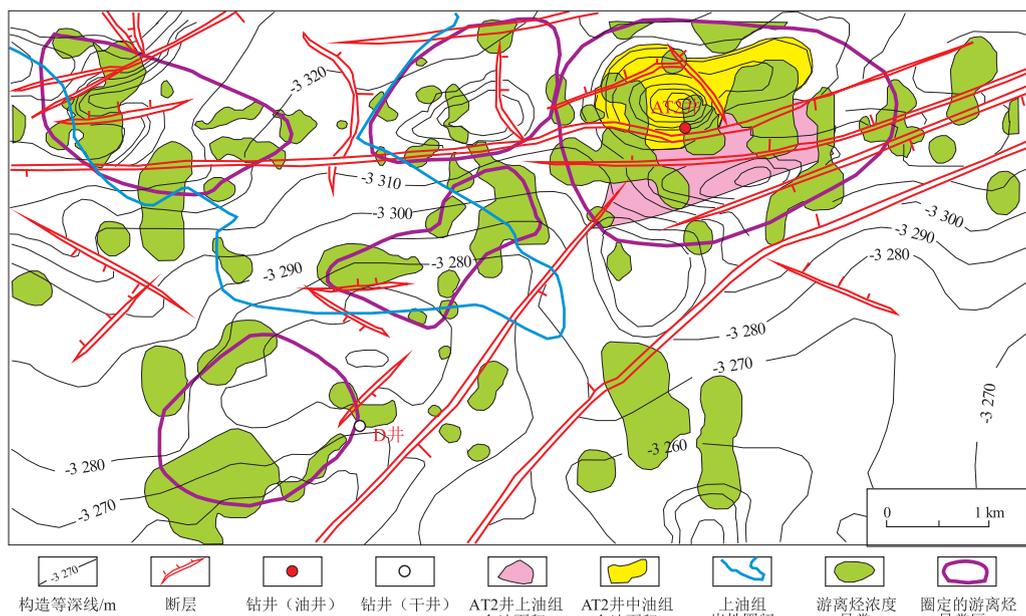


图2 塔河油田 AT2 井区地表游离烃甲烷浓度异常与三叠系中油组构造叠合图
测区范围为图1中的矩形框区。

Fig.2 Superposition of near-surface free methane anomaly zones and middle oil group structures in well AT2 area, Tahe Oil Field

上,将有效的方法采用某些措施进行综合解析,确定综合异常,使单指标之间取长补短,可达到抑制各种噪声、突出有效异常的效果。综合异常是油气地球化学信息的综合表征,能更好地指示油气藏。本次研究中,首先依据单指标异常确定的准则,分别圈定了游离烃甲烷、物理吸附烃甲烷、顶空气甲烷浓度异常区;然后以各单指标圈定的异常区为基础,通过异常区叠合的方式确定综合异常。基于游离烃、物理吸附烃(对已知油藏响应效果最好)与

顶空气甲烷 3 个指标确定的综合地球化学异常,反映了所有指标异常相对集中的区域(综合异常区)。研究中共圈定了 5 个综合异常区,对应以下 5 个圈闭:AT2 井圈闭、A 圈闭、B 圈闭、C 圈闭和 D 井圈闭(图 3)。由 3 种地球化学指标叠合后的综合地球化学异常图可以看出,A 圈闭与 AT2 井圈闭的综合地球化学异常区相接、连续,显示 2 个圈闭应属同一油水界面。钻于该圈闭的 A 井钻结果也证实,这 2 个圈闭属于同一油水界面。

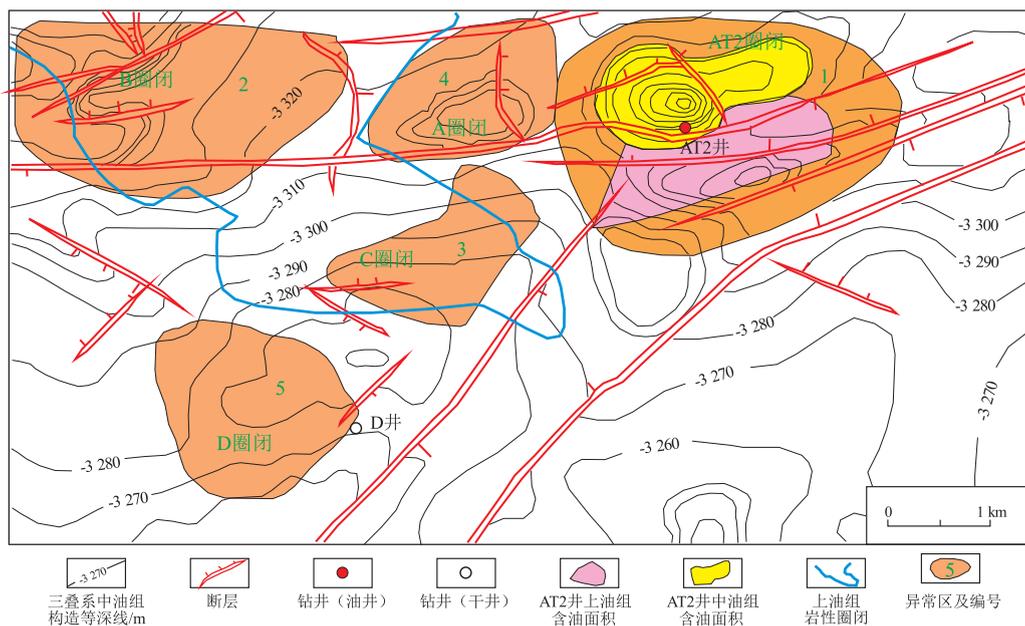


图3 叠合法确定的塔河油田 AT2 井区地表综合地球化学异常
测区范围为图1中的矩形框区。

Fig.3 Distribution of integrated surface geochemical anomalies determined by superposition method in well AT2 area, Tahe Oil Field

4.3 综合地球化学异常评价

针对一个待评价的目标区,任何一项技术都不可能“包打天下”,因此综合采用石油地质、地球物理、地球化学勘探技术,对于准确评价油气勘探目标至关重要。本次研究综合采用化探参数和地质参数对地球化学异常区(待评价圈闭)进行了评价。化探评价以近地表油气地球化学指标为基础,地质评价以地下油气地质条件特别是油气成藏主控因素为基础。化探—地质双因素评价方法原理、参数选择及意义在以前研究中已做过阐述,本文结合 AT2 井区具体的地球化学数据和油气成藏条件,对圈定的 5 个综合地球化学异常区进行评价。

4.3.1 化探参数评价

(1) 异常指标总贡献率(G)

由塔河 AT2 井区地球化学指标分布特征可知,游离烃甲烷和物理吸附烃甲烷异常区与已知的 AT2 井区油藏含油区吻合最好,顶空气甲烷次之。因此,游离烃甲烷、物理吸附烃甲烷为 AT2 井区主要有效地球化学指标,顶空气甲烷为该区辅助有效地球化学指标,研究确定的上述单指标的贡献率依次为 40%,40%,20%。综合异常的单指标按主、辅指标贡献率进行加权得到总贡献率,总贡献率越高,化探异常越有利。除 4 号异常包含的指标为游离烃甲烷和物理吸附烃甲烷 2 个指标外,其余 1、2、3、5 号异常都包含游离烃甲烷、物理吸附烃甲烷、顶空气甲烷 3 个指标。计算 1—5 号综合异常的指标总贡献率依次为 100%,100%,100%,80%,100%。

(2) 平均衬度系数(C_{avg})

单指标异常衬度通常用来反映单指标异常相对于背景的程度。综合异常包含多个单指标异常,每个单指标异常在综合异常中的衬度是不同的。综合异常的衬度应该是所有指标衬度的综合反映,据此可构建多指标综合异常平均衬度系数(C_{avg}), C_{avg} 越高,化探异常越有利。为了便于从权重评价考虑,再将综合异常平均衬度系数进行极大值(C_{max})正规化^[14],可得到综合异常的衬率 \bar{C} 。1—5 号综合异常的衬率依次为 92.97%,100%,81.96%,74.92%,80.12%。

(3) 烃类热成因概率(R)

综合异常的烃类成因判识(真异常或者假异常)十分关键,利用烃类组构来判识综合异常油气成因是一种比较可行的方法。RICE 等^[15]建立了气体组构图版判识储层流体属性;SECHMAN 等^[16]发现,在波兰东部某油气区土壤轻烃(游离

气)能较好地反映地下油气属性。图 4 是 AT2 井区 1 号异常区烃类异常样本组构值投影到油气成因判识组构图版的结果,显示 1 号异常区所有的烃类异常样品均落入石油—天然气的范围。将 AT2 井区各异常区烃类异常样本组构值投影到油气成因判识组构图版上,计算 1—5 号综合异常区落入热成因气范围内的样本所占各自总异常样本数的百分比(R)依次为 100%,95.16%,100%,100%,100%。 R 越大,化探异常越有利。

(4) 综合异常化探评价概率系数(P)

利用综合异常指标总贡献率(G)、异常衬率(\bar{C})和烃类热成因概率(R),构建了综合异常化探评价概率: $P = \sqrt[3]{G \cdot \bar{C} \cdot R}$ 。图 3 中的 5 个综合异常化探评价概率系数如表 1 所示,2 号异常化探评价概率系数最高,1 号异常次之,后面依次为 3 号、5 号和 4 号异常。

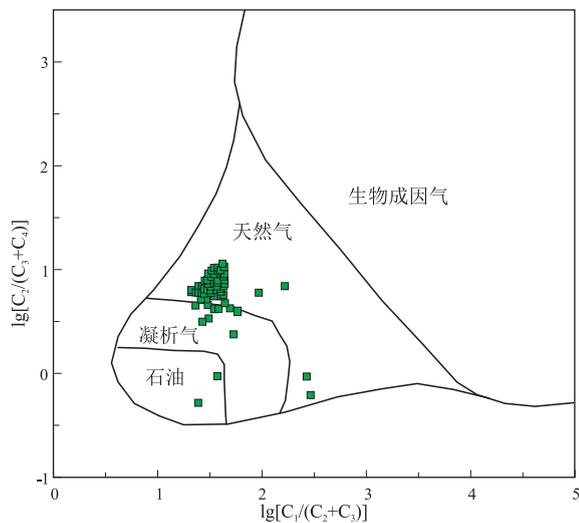


图 4 塔河油田 AT2 井区 1 号异常区样品烃类组构特征
Fig.4 Hydrocarbon composition of samples collected from No. 1 anomaly zone in well AT2 area, Tahe Oil Field

表 1 塔河油田 AT2 井区地表地球化学综合异常化探参数评价概率及评价结果

Table 1 Geochemical evaluation probability and results of integrated surface geochemical anomaly zones in well AT2 area, Tahe Oil Field

化探参数	异常编号				
	1	2	3	4	5
总贡献率 $G/\%$	100	100	100	80	100
异常衬率 $\bar{C}/\%$	92.97	100	81.96	74.92	80.12
烃类热成因 概率 $R/\%$	100	95.16	100	100	100
化探 评价概率 $P/\%$	97.60	98.36	93.58	84.31	92.88
评价排序	II	I	III	V	IV

4.3.2 地质参数评价

上述从高精度化探角度对各综合化探异常进行了评价和排序,就勘探开发而言,化探技术对下伏圈闭含油气性的预测还需要与油气成藏的主控因素相结合。AT2 井区三叠系中、上油组圈闭油源、运移条件、盖层条件方面基本相同,这些不是影响研究区不同圈闭油气成藏差异性的关键因素,而构造、断裂、储层条件才是研究区不同圈闭油气成藏差异的主控因素,因此,将构造、断裂和储层作为化探异常地质评价的主要参数。根据 AT2 井区的构造圈闭落实情况、断层遮挡或切割情况、储层振幅强弱情况分别给予相应的权值:构造圈闭落实、不落实、无构造圈闭分别赋值 75%,50%,25%;有断层遮挡或切割、切割断裂断距较小、无断层分别赋值 75%,50%,25%;储层强振幅、中强振幅、弱振幅分别赋值 75%,50%,25%。图 5 是 AT2 井区三叠系中油组区域构造、断裂、振幅叠合图,将 1 号、2 号、4 号、5 号综合地球化学异常与之叠合后分析,AT2 井区圈闭、断裂均落实。以往实钻表明,强振幅长轴方向与断裂走向一致时均成藏。部署井位于强振幅长轴走向,与断裂走向一致,断裂落实可靠。因此,1 号、2 号、4 号综合地球化学异常所对应的圈闭,在圈闭落实程度、断裂上均赋值 75%。从振幅上看,AT2 井圈闭(对应 1 号异常区)处于强振幅区,部署井 A 井圈闭(对应 4 号异常区)也处于强振幅区,因此储层赋值 75%;B 圈闭(对应 2 号异常区)处于中强振幅区,因此储层赋值 50%。5 号异常区对应的

D 井圈闭落实,因此在圈闭落实程度上赋值 75%;南东部位断层距 D 井圈闭较远,对油气输导或遮挡到 D 井圈闭贡献较小,因此断裂赋值 50%。另外,5 号异常对应弱振幅区,因此储层赋值 25%。

图 6 是 AT2 井区西南三叠系上油组平均绝对振幅属性叠合顶面构造图。C 圈闭成藏的有利条件是:砂体往南上倾尖灭、受到由南往北延伸断裂切割,以及邻区 B 圈闭与 AT2 圈闭成藏。不利因素是:断裂末端、断距较小;若隔层不发育,西南侧向封挡条件差;砂体较厚(20m),成藏风险较大。将 3 号综合地球化学异常与之叠合后分析,该异常对应的构造—岩性圈闭落实,因此赋值 75%;受断裂切割,但断裂末端、断距较小,赋值 50%;储层属于中强振幅,赋值 50%。

利用 AT2 井区三叠系圈闭、断裂、储层 3 个成藏主控因素,构建该井区地质参数评价概率(Z): $Z = \sqrt[3]{S \cdot F \cdot r}$ 。式中: S 为构造圈闭落实赋值; F 为断层赋值; r 为振幅属性赋值。

通过计算得到 AT2 井区综合化探异常的地质评价概率(表 2),可见,其排序与化探评价概率系数有一定的差别。1、2 号异常评价与化探评价概率系数相同的,排名前列;4 号异常则与 1 号异常并列排名第一;3 号、5 号异常则分别排名后两位。

4.3.3 双因素评价

通常认为,地质评价概率和化探评价概率均大于 60%时为有利的化探异常。化探—地质双因素评价结果(图 7)表明:①1号综合化探异常(AT2

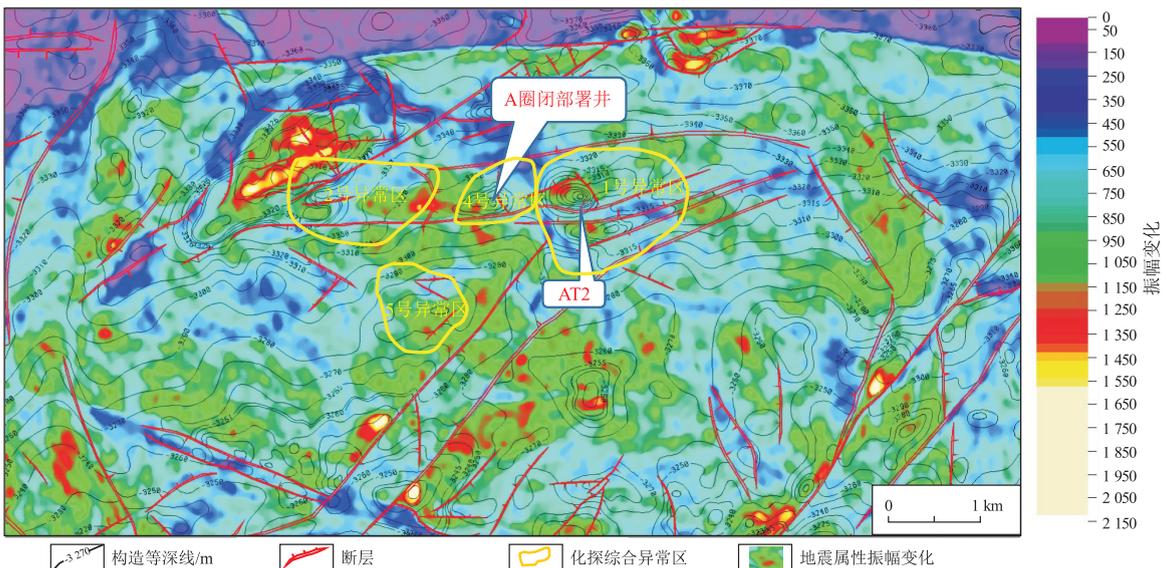


图 5 塔河油田 AT2 井区三叠系中油组区域构造、断裂、振幅、化探异常叠合图
测区范围见图 1。

Fig.5 Superposition of regional structures, fractures, seismic amplitude of Triassic middle oil group and surface geochemical anomaly zones in well AT2 area, Tahe Oil Field

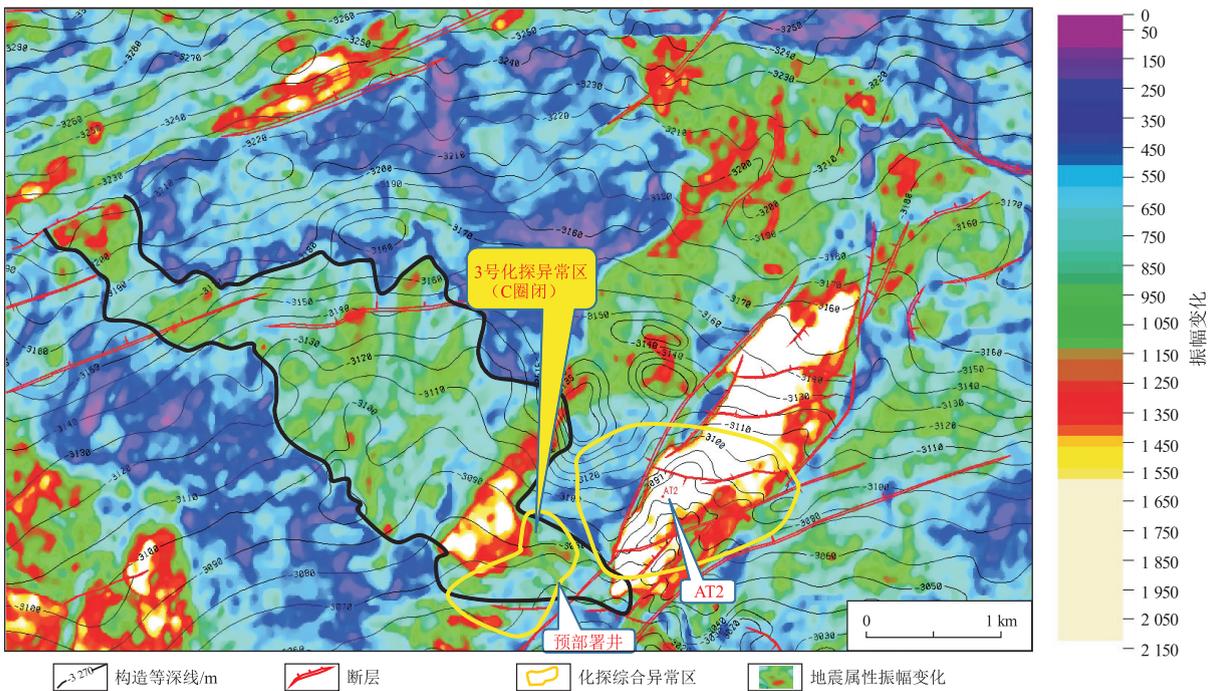


图 6 塔河油田 AT2 井区西南三叠系上油组平均绝对振幅属性叠合顶面构造测区范围见图 1。

Fig.6 Superposition of average absolute amplitude attribute and top structure of Triassic upper oil group in southwestern part of well AT2 area, Tahe Oil Field

表 2 塔河油田 AT2 井区综合化探异常的地质评价概率及评价结果

Table 2 Geological evaluation probability and results of integrated surface geochemical anomaly zones in well AT2 area, Tahe Oil Field

地质评价参数	异常编号				
	1	2	3	4	5
圈闭落实 S/%	75	75	75	75	75
断裂 F/%	75	75	50	75	50
振幅 r/%	75	50	50	75	25
地质评价概率 Z/%	75	65.52	57.24	75	45.23
地质排序	I	II	III	I	IV

井圈闭)的化探评价概率和地质评价概率交会点相对其他几个异常,明显处于最有利的单元中,为最有利异常;②4号综合化探异常(A圈闭)和2号综合化探异常(B圈闭)的概率与地质评价概率交会点处于次有利单元中,概率均大于60%,为有利异常;③3号综合化探异常(C圈闭)的概率与地质评价概率均大于50%,为较有利;④5号综合化探异常(D井圈闭)的化探评价概率较高,但地质评价概率低于50%,认为勘探风险较大。从现有的实钻结果来看,在判定为有利的4号综合化探异常区,已钻获工业油流;钻于具有较大风险的5号综合异常区的AT2-2H井为干井。此外,判定为有利和较有利的2号、3号综合化探异常区,至今还未

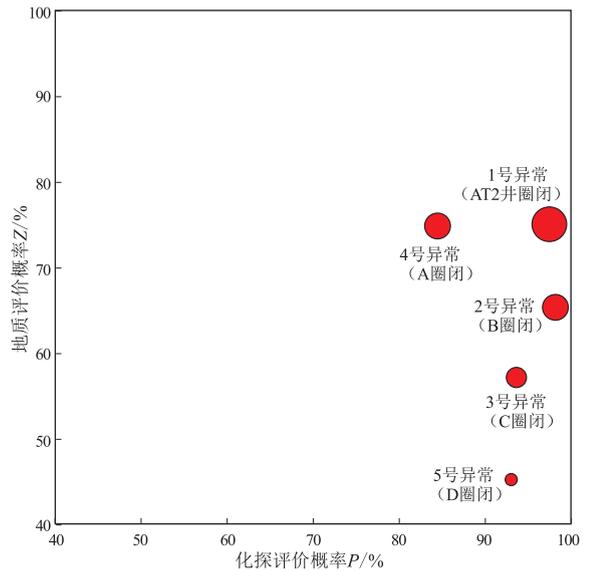


图 7 塔河油田 AT2 井区化探异常双因素评价结果
Fig.7 Double-factor evaluation results of geochemical anomaly zones in well AT2 area, Tahe Oil Field

开展钻探,其预测结果有待下一步钻井验证。从异常区现有钻井结果可以看到,化探—地质双因素评价结果比仅从地质参数或仅从化探参数评价优选异常更加可靠。

5 结论

(1) AT2 井区高精度地球化学异常分布与下

伏油藏含油面积、圈闭的响应特征相关性研究表明,游离烃、物理吸附烃是该区主要有效地球化学指标,顶空气轻烃是辅助有效地球化学指标。

(2)AT2 井区活动态指标地球化学异常整体受控于北东走向断裂,呈断裂夹持的三角形地带分布,该三角地带沿断裂形成的圈闭为有利的产建区。

(3)3 种活动态地球化学指标综合异常研究表明,AT2 井区的 A 圈闭综合地球化学异常区与 AT2 井圈闭的综合地球化学异常区相接且连续,指示 2 个圈闭应属同一油水界面。在 A 圈闭上实钻的 A 井结果也证实,这 2 个圈闭属于同一油水界面。

(4)从化探—地质双因素角度评价结果揭示:1 号综合化探异常(AT2 井圈闭)为最有利;4 号综合化探异常(A 圈闭)和 2 号综合化探异常(B 圈闭)为有利;3 号综合化探异常(C 圈闭)为较有利;5 号综合化探异常(D 圈闭)风险较大。

参考文献:

- [1] 漆立新,郑和荣.塔河油田碎屑岩目标评价及勘探技术研究[R].北京:中国石化石油勘探开发研究院,2019.
QI Lixin,ZHENG Herong.Exploration targets evaluation and exploration technique research of the clastic rocks in Tahe oilfield[R]. Beijing: Sinopec Petroleum Exploration and Production Research Institute,2019.
- [2] 刘崇禧,程军,赵克斌,等.油田开发中的化探精查技术[J].石油学报,2001,22(2):62-65.
LIU Chongxi,CHENG Jun,ZHAO Kebin,et al.The precise survey technique of geochemical exploration in the oil field's exploration and development[J].Acta Petrolei Sinica,2001,22(2):62-65.
- [3] 李武,孙长青,赵克斌,等.高精度油气地球化学勘探技术研究与应用[R].北京:中国石化石油勘探开发研究院,2014.
LI Wu,SUN Changqing,ZHAO Kebin,et al.Research and application of the high-precision hydrocarbon geochemical exploration technique[R]. Beijing: SINOPEC Petroleum Exploration and Production Research Institute,2014.
- [4] 马洪涛,蔡玥,付国民.塔河油田 AT1 井区中三叠统中油组湖底扇沉积特征研究[J].岩性油气藏,2010,22(3):53-58.
MA Hongtao,CAI Yue,FU Guomin.Sedimentary characteristics of sublacustrine fan of Middle Triassic Zhongyou Formation in AT1 area, Tahe Oilfield [J]. Lithologic Reservoirs, 2010, 22(3):53-58.
- [5] 张雷,王英民,杨婷,等.阿克亚苏地区三叠系中油组有利圈闭预测[J].石油地球物理勘探,2009,44(6):739-746.
ZHANG Lei,WANG Yingmin,YANG Ting,et al.Triassic middle oil-member favorite trap prediction in Akeyasu area [J]. Oil Geophysical Prospecting,2009,44(6):739-746.
- [6] 王国建,汤玉平,陈伟钧,等.一种物理吸附烃解吸密封罐及其化探应用效果[J].天然气地球科学,2013,24(4):768-772.
WANG Guojian,TANG Yuping,CHEN Weijun,et al.A seal jar for desorbing physical-adsorption hydrocarbons and its application effect[J].Natural Gas Geoscience,2013,24(4):768-772.
- [7] 索孝东,李德春,宋喜林.用壤中游离烃现场分析解释技术直接寻找浅层油气藏[J].地质通报,2009,28(11):1638-1642.
SUO Xiaodong,LI Dechun,SONG Xilin.Shallow oil and gas reservoir exploration in using on-site analysis and interpretation technology of free hydrocarbons in soil [J].Geological Bulletin of China,2009,28(11):1638-1642.
- [8] 周亚龙,孙忠军,杨志斌,等.利用土壤游离烃技术判别油气藏性质及保存条件[J].现代地质,2016,30(6):1370-1375.
ZHOU Yalong,SUN Zhongjun,YANG Zhibin,et al.Application of soil free hydrocarbon to distinguish properties and preservation conditions of oil and gas [J].Geoscience,2016,30(6):1370-1375.
- [9] 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.
ZHANG Zongyuan,WANG Guojian.Petroleum geochemical exploration significance of soil free hydrocarbon technique [J].Natural Gas Industry,2004,24(6):30-32.
- [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,2007,12(6):47-50.
LI Guangzhi,YUAN Ziyuan,HU Bin.Application of headspace gas technology to geochemical exploration [J].China Petroleum Exploration,2007,12(6):47-50.
- [11] CHENG Qiuming,AGTERBERG F P,BALLANTYNE S B.The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods[J].Journal of Geochemical Exploration,1994,51(2):109-130.
- [12] 成秋明.多维分形理论和地球化学元素分布规律[J].地球科学(中国地质大学学报),2000,25(3):311-318.
CHENG Qiuming.Multifractal theory and geochemical element distribution pattern [J].Earth Science (Journal of China University of Geosciences),2000,25(3):311-318.
- [13] 汤玉平,魏巍,李尚刚,等.油气化探异常评价的研究[J].物探与化探,2002,26(2):131-134.
TANG Yuping,WEI Wei,LI Shanggang,et al.A study of the appraisal of oil and gas geochemical anomalies[J].Geophysical & Geochemical Exploration,2002,26(2):131-134.
- [14] 於崇文.数学地质的方法与应用:地质与化探工作中的多元分析[M].北京:冶金工业出版社,1980.
YU Chongwen.Methodology and application of mathematical geology:multivariate analysis in geological and geochemical exploration practices[M].Beijing:Metallurgical Industry Press,1980.
- [15] JONES V T,MATTHEWS M D,RICHERS D M.Light hydrocarbons for petroleum and gas prospecting[M]//HALE M.Handbook of Exploration Geochemistry,vol.7.Amsterdam:Elsevier,2000:133-212.
- [16] SECHMAN H,IZYDOR G,GUZY P,et al.Surface geochemical exploration for hydrocarbons in the area of prospective structures of the Lublin Trough (Eastern Poland)[J].Marine and Petroleum Geology,2015,61:22-38.