

天然气勘探

油气藏烃类垂向微渗漏及 近地表化探异常的油气地质意义

蒋涛¹, 赵克斌¹, 荣发准¹, 张恒启²

(1. 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, 安徽 无锡 214151;

2. 安徽省地质矿产勘查局地质实验研究所, 安徽 合肥 230001)

摘要:结合渤海湾盆地临南断块油气藏、塔里木盆地雅克拉凝析气藏等研究区石油地质资料,从油气藏成藏特征、化探异常空间分布规律入手,探讨烃类垂向微渗漏的方式及受控因素,研究化探异常与油气藏烃类垂向微渗漏的“成因”联系,分析和认识化探异常的油气地质意义。夏口断层在临南断块油气藏成藏系统中具备油气侧向运移“封堵”特征,而研究区化探异常则揭示了夏口断层(裂隙)具有油气纵向“渗漏通道”作用,由此表明夏口断层具备油气侧向运移相对“封堵”和油气纵向绝对“渗漏”的双重属性特征。雅克拉气藏区化探异常围绕着气藏构造高部位(化探指标低值区)呈环状形式分布于气藏边缘,表明气藏盖层明显控制了气藏烃类垂向微渗漏和化探异常的空间分布特征;重烃指标异常空间分布规律与气藏盖层封闭性的横向变化规律具有较为一致的对应关系,表明气藏盖层封闭性对油气重烃微渗漏的影响较甲烷微渗漏影响更为明显。2个研究区近地表化探异常特征与其对应的油气藏成藏特征、油气垂向微渗漏等存在极为密切的联系。

关键词:化探;异常;油气地质意义;微渗漏;油气藏

中图分类号:TE132.4

文献标识码:A

文章编号:1672-1926(2011)05-0901-08

引用格式:蒋涛,赵克斌,荣发准,等. 油气藏烃类垂向微渗漏及近地表化探异常的油气地质意义[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(5): 901-908.

0 引言

油气藏的形成和分布是生、储、盖、运、圈、保等多种地质要素和地质作用综合作用的结果,存在于地下油气储集体(油气藏)的烃类物质并不是处于静止不动的状态,而是在地温场、应力场、水动力场和自身浮力等的作用下,时刻与周围介质进行着物质与能量的交换^[1]。油气藏中烃类物质的垂向微渗漏则是这种物质与能量交换的主要存在形式,这种烃类垂向微渗漏是油气化探的理论基础。

在分析烃类垂向微渗漏的方式及受控因素的基础上,结合渤海湾盆地济阳坳陷临南断块油气藏、塔里木盆地沙雅隆起雅克拉凝析气藏2个研究区的石油地质资料,分析它们的近地表化探异常特征和空

间分布规律。综合研究认为,2个研究区近地表化探异常均能有效指示油气藏,它们是油气藏油气垂向微渗漏的结果;化探异常空间分布规律与油气藏成藏特征、油气微渗漏存在着极为密切的联系。

1 烃类垂向微渗漏方式及主要受控因素

1.1 烃类垂向微渗漏方式

长期以来,许多中外学者^[2-10]对烃类垂向微渗漏及其近地表显示进行了探索与研究。目前,烃类垂向微渗漏可以被普遍接受的方式有微气泡方式、水动力方式、扩散方式和渗透方式。

1.1.1 微气泡方式

MacElvain 于 1969 年提出了微气泡上升说,认为烃类气体在水中的溶解是有限的,当它们的浓度超过

溶解度时,就能形成许多微气泡,其大小为胶体粒度。这样的微气泡由于分子作用力的不平衡而做布朗运动,可以瞬时克服介质吸附力,同时在不规则运动中具有向上的浮力分量,其速度可达到每分钟数毫米。

1.1.2 水动力方式

水动力作用是在压力梯度驱动下,水在多孔介质中作定向运动,烃类物质可在水中呈溶液或胶体溶液被水携带运移。

含油气盆地是自流水(或承压水)盆地的一部分,水势与水力梯度促使地下水在横向运动的同时,必然产生纵向运动(压实作用),尤其在断裂活动比较频繁的含油气盆地内,水动力迁移是油气垂向微渗漏的一种有效机制。

1.1.3 扩散方式

根据分子扩散理论,扩散是分子布朗运动产生的传递过程,物质扩散的方向是从高质量浓度区向低质量浓度区进行的。地质体内的烃类物质浓度不均匀时,便会产生从高浓度处向低浓度处的定向扩散,地表烃浓度与油气藏烃浓度的巨大浓度差是油气藏中烃类物质垂向扩散的根源,因而,无论受到何种干扰,其油气藏中烃类物质扩散的总方向是指向地表的。

地质体内的烃类物质扩散运动可引起流体(气、液)分子不断进行再分配,其结果是使流体浓度达到有限区域内的动态平衡,这种烃类物质垂向扩散渗漏过程中受油气质量浓度梯度制约,并且服从费克第一定律。

1.1.4 渗透方式

渗透迁移方式是油气藏中烃类物质在动力作用下(地温场、应力场、水动力场及自身浮力等),通过岩石的孔隙或各种裂隙、节理、断层以连续流的方式向上运移。

油气分子渗透渗漏是油气藏烃物质散失的另一个重要形式,它总是由机械能高的地方向机械能低的地方流动;它在流动中表现出一定的相态,在达到吸附平衡后各组分的浓度基本不变,并且服从达西渗透定律。

1.2 烃类垂向微渗漏的主要受控因素

油气藏中的烃类物质向地表渗漏运移过程中,其效能、方向、方式与油气藏上覆地层(含盖层)、断裂与裂隙系统、储集体的流体性质、地层压力等地质因素密切相关,这两方面因素的综合作用直接关系到近地表烃类指标化探异常的形态特征。

1.2.1 盖层的封闭性能

盖层对烃类的封闭机制有3种:毛细管力封闭——具有较高的毛细管阻力而阻止烃类的运移;压力封闭——具有异常较高的孔隙压力而阻止烃类的运移;浓度封闭——具有较高的烃浓度而阻止烃类的运移。

1.2.2 裂隙(断裂)系统

地层中生成的烃类气体,当其压力超过岩石屈服疲劳强度时即可产生微裂隙,构造作用、成岩作用成因产生的裂缝,以及在地下深处普遍存在和发育着的各种成因的原生孔隙、不整合面等,它们一起构成纵横交错的裂隙系统,这些裂隙即是烃类物质运移聚集通道和场所,也是烃类物质垂向微渗漏的良好通道。

1.2.3 地层压力

不同地层间的压力差是水动力迁移和渗透迁移的主要动力。在通道条件相同的情况下,压力差越大,烃类向上运移的势能越大,它是烃类垂向微渗漏的规模和速度的重要影响因素。

1.2.4 储层的流体性质

气态烃及低碳数的液态烃由于分子直径小、极性小,因而更易穿过盖层;高碳数烃分子直径大、极性大,易被岩石吸附,因而不易穿过盖层向上迁移。油气藏内重烃组分微渗漏较轻烃组分微渗漏更易受盖层条件和裂隙系统发育程度的影响。

2 渤海湾盆地临南断块油气藏化探异常研究

2.1 研究区油气藏地质概况

研究区位于渤海湾盆地济阳拗陷临南洼陷南部(图1),断裂是控制盆地演化的主要构造形式,多年勘探实践和研究结果表明,济阳拗陷油气藏的形成和分布与断裂息息相关,夏口断层在临南洼陷断块油气系统中起着非常重要的作用,其两侧亦是主要的油气富集区和勘探远景区^[11-12]。

2.1.1 油气藏受控因素和成藏特征

济阳拗陷岩性油气藏充满度的控制因素为运移条件、岩性圈闭的接受条件^[13],其充满度的主控因素为油气的运移条件,次为砂体的“接受”条件。

Hindle^[14]认为,油气沿着断层面运移时,不同的断面形态具有不同的运移特征;凸面主要起到汇聚流的作用,有利于油气朝着一点汇聚,而凹面主要起到发散流的作用,不利于形成油气聚集。夏口断

层断面形态沿断层走向是由多个弯曲的弧面组成,其中 2 个明显断面凸带控制了 2 个油田——曲堤油田和临南油田的发育^[15]。

夏口断层地质资料显示^[16]:它在横向区域上对临南洼陷油气的侧向运移具备“输导”和“封堵”双重属性。在夏口断层东段,凹陷的深部油气在向临南斜坡运移时没受到夏口断层的阻止,在曲堤地区形成曲堤油田。在夏口断层西南部,凹陷深部油气在向临南斜坡运移时受到夏口断层的封闭而被阻止,从而形成临南油田(断层“封堵”成藏模式)。

研究区烃源岩在东营组沉积末期开始排烃,而明化镇组沉积期至今是主要的油气运移期。夏口断裂的封闭与开启对油气的运移和聚集有着不同的影响,夏口断层的产状、活动程度、断层泥涂抹系数等因素方面的综合评价认为夏口断层的封闭性随深度加深而变差^[16]。从东营期末至今其断面正应力是一个逐渐增加且其活动强度又是一个逐渐减弱的过程^[17],夏口断裂带的双丰段从东营组末期至今的封闭性一直很强,对油气的聚集起良好的封堵作用,进而使大量的油气被封闭在断层的下降盘。

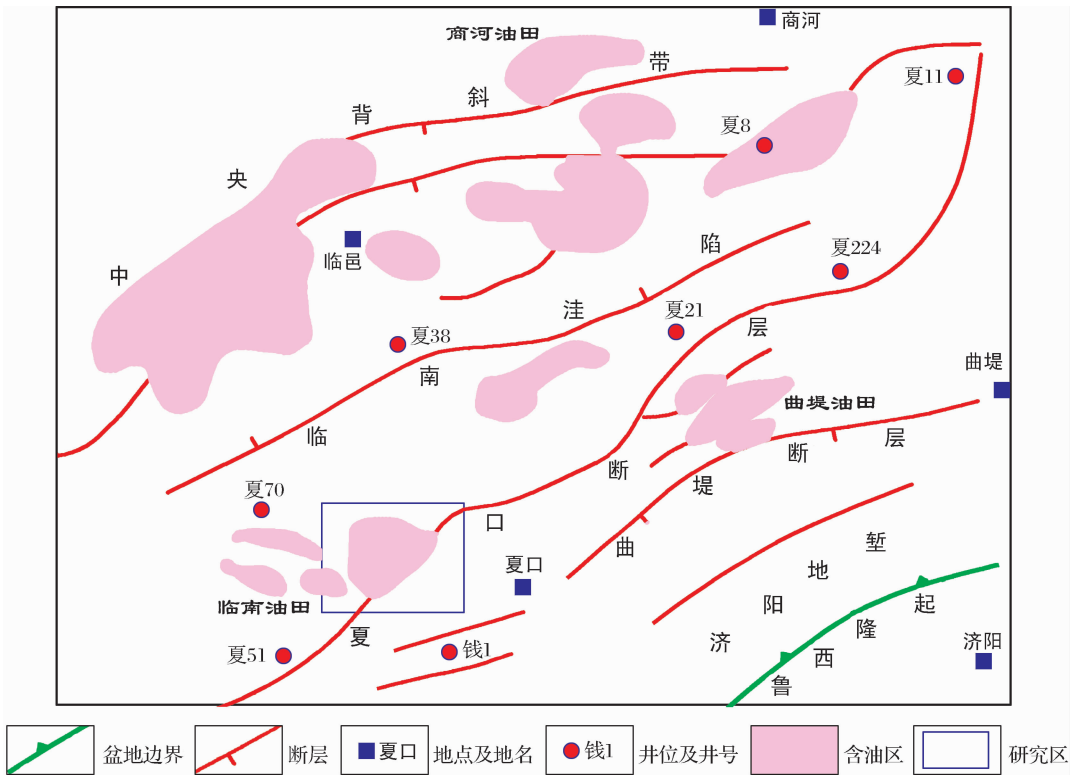


图 1 渤海湾盆地临南油气藏研究区位置示意

2.1.2 油气藏油气地质特征

研究区油气藏的油气主要富集在夏口断裂下降盘的双丰鼻状构造上,油层埋藏深度为 2 490 ~ 3 410 m,油层多、单层厚度小,油藏类型以断块油藏为主,并辅以少量背斜油藏。油水关系复杂,每个油层都有不同的油水界面,油气藏孔隙度和渗透率较低、稀油、低饱和、强亲水、非均质性严重,属中低渗透油田^[18]。

油层主要分布于沙二段和沙三上亚段、沙三中亚段;沙三下亚段和沙四段在录井过程中发现多处含油级别为“油斑”和“油浸”的储集层,曾经聚集过的油气已运移至其他地方。表明深部油气可在沙二段等上部地层被封堵,但在沙四段等深部地层未能

被封堵。另一方面,临南洼陷地层压力在静水压力带附近较为集中,呈现低压动力场特征^[15],负压现象表征明显,浮力是深部油气垂向运移其主要的、较弱的运移动力。油气在弱垂向运移动力(浮力)条件下,也只是在沙二段等上部地层在低压条件下被封堵,这表明断层对油气封堵能力也较弱。

惠民凹陷油气断裂带内非生油岩储层中的高矿化度油田水和油气都是非原生流体,它是深层生油岩生烃后沿断层垂向运移的结果,油气从水中逐渐析出形成油气藏,而载体水与储层相混合形成了高矿化度的油田水。

沿断层垂向运移的高矿化度地层水侵入到那个层位,油气便可在那里的圈闭中聚集。即高矿化度水

的运移、聚集与油气聚集是同时的,油气藏的分布与高矿化度水分布具有相一致的特征^[19]。

2.2 研究区化探异常研究

2.2.1 化探异常空间分布特征

研究区酸解烃甲烷(SC₁)、酸解烃重烃(SC₂⁺)指标部分异常分布于油气藏边缘区,部分异常与油气藏边缘区在水平空间上存在一定的偏移,它们分布于夏口断层上倾方向;2个化探指标的异常空间展布均呈环状模式,很好地指示了该断块油气藏(图2)。

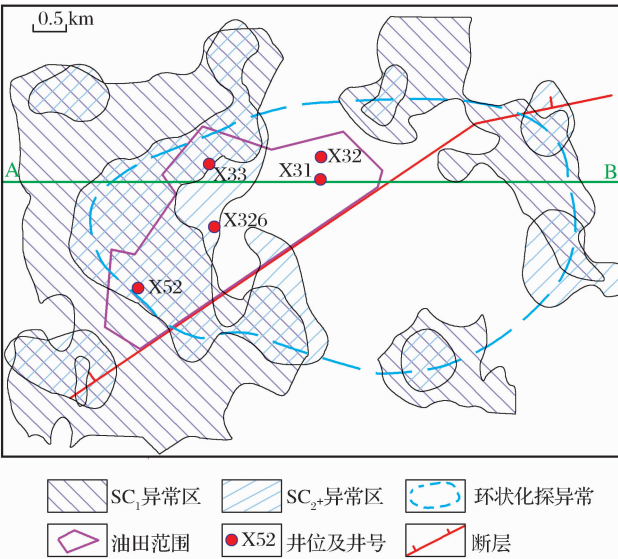


图2 渤海湾盆地临南油气藏上方SC₁、SC₂⁺指标异常

2.2.2 化探异常成因分析及其油气地质意义

高矿化度的油田水是油气烃组分运移的重要载体,它所携带的轻烃组分在浮力的作用下,易在油气向上微渗漏的优势运移通道中运移,存在于油气藏边缘区的化探异常表明油气藏油水过渡带上发生着油气垂向微渗漏,即携带饱和油气烃组分的高矿化度油田水在浮力的作用下易在油气藏边缘区油水过渡带上发生油气垂向微渗漏。

深部烃源岩至今仍是主要的油气运移期^[20],同时,夏口断层深部封堵性差^[17],它仍可看作是深部烃源物质向上运移至油气藏的运移通道。因此,夏口断层(裂隙)上倾方向存在的化探异常表明其是油气微渗漏的结果,反映了油气沿夏口断层发生了油气微渗漏。

综上所述,研究区化探异常的油气地质意义在于:它肯定了研究区油气垂向微渗漏(微运移)与近地表化探异常的“成因”联系,研究区低压油气动力场特征、盖层封闭(断层的封堵)性能、裂隙(断裂)系统、储层的流体性质(饱和烃油田水特征)等直接影

响着油气向上微渗漏,而油气微渗漏这一地质过程对化探异常的形成及其空间分布特征显得尤为重要。它丰富了夏口断层在该区油气藏成藏系统所起地质作用的认识,夏口断层具备油气侧向运移相对“封堵”和油气纵向绝对“渗漏”的双重属性特征,依据研究区断块油气藏、油气微渗漏、夏口断层、化探异常等因素间的相互关系,对该断块油气藏的化探环状异常模式进行了探讨(图3)^[9]。

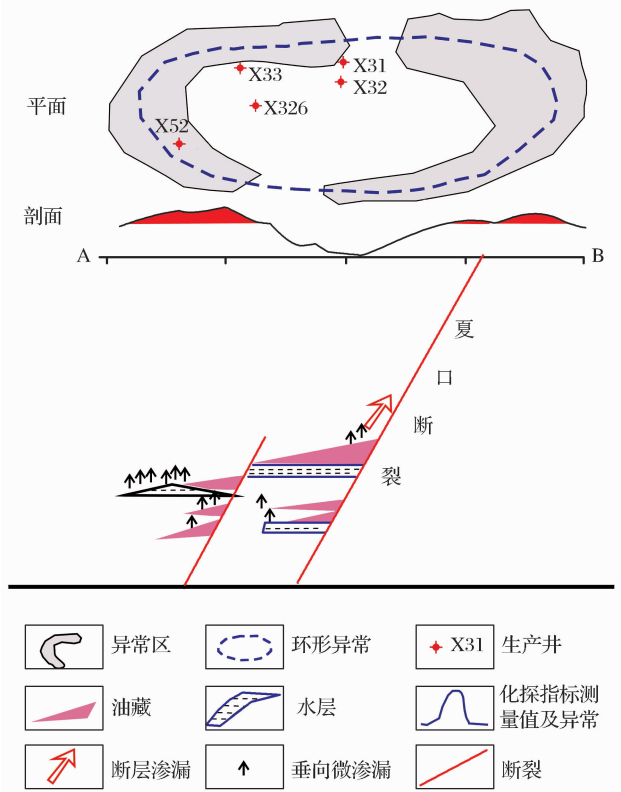


图3 渤海湾盆地临南断块油气藏化探异常模式示意

3 塔里木盆地雅克拉凝析气藏区化探异常研究

3.1 研究区地质概况

雅克拉气藏位于沙雅隆起雅克拉断凸带上,雅克拉断凸是塔里木盆地东北坳陷区沙雅隆起二级构造单元中的一个三级构造单元。沙雅隆起被轮台断裂和亚南断裂所夹持(图4),并被几条北东向次级断裂复杂化,形成几个大小不等呈近东西向延伸的断块。

雅克拉构造四周逢源,油源充足,是两侧坳陷古生代油源区油气运移指向的有利聚集地,断凸由西向东分布有雅克拉构造、二八台鼻状构造和轮台构造3个含油气构造。轮台断裂为北倾的逆冲断裂,横贯整个断凸,具继承性和多期性活动的特点,它对

雅克拉断凸上的地层沉积和油气藏的形成长期起控制作用。已有的勘探成果表明^[21],轮台断裂在油气

成藏过程中起到了运移通道和油气藏封堵面的双重作用。

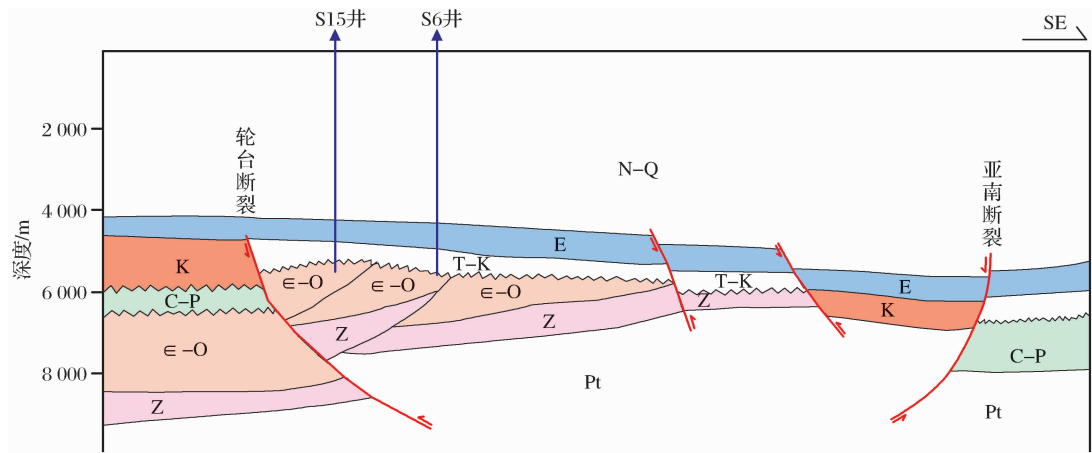


图 4 雅克拉断凸横剖面示意(据康玉柱,1992)

3.2 雅克拉气藏石油地质概况

1984 年雅克拉断凸构造上的沙参 2 井在 3 800 m 左右见到含油砂岩,并在 5 391 m 的海相古生界下奥陶统碳酸盐岩中获高产油气流。该构造多口井在多个层位钻获高产油气流,上震旦统(沙 4 井)、中寒武统(沙 7 井)、下侏罗统(沙 7 井、沙 4 井)及下白垩统(沙 5 井、沙 15 井、沙 7 井)等。

该气藏储层有 2 套:一套是上震旦统奇格布拉克组,中寒武统阿瓦塔格组及下奥陶统上丘里塔格群的白云岩;另一套为下侏罗统及下白垩统卡普沙良群底块砂岩。古生界及震旦系产层的盖层为下侏罗统底部泥质岩,但该泥质岩盖层厚度较薄(27.7~44.7 m),封盖性能较差(突破压力平均为 11.5MPa);下侏罗统产层的盖层为该统上部的泥质岩,卡普沙良群底块砂岩产层的盖层为该群中上部泥质岩,该泥质岩盖层厚度大(238.5~326.0 m),且封盖性能好(突破压力平均为 13.8MPa)^[22]。

雅克拉气藏中生界为一地层压力系统,略高于正常压力。古生界为另一压力系统,略低于正常压力,中生界底部可作区域盖层,加上其压力梯度较古生界高,构成了近于水动力封闭的特殊地质环境,并对古生界风化壳上粘土填充弥合的硅质岩盖层起维护作用,两者的叠加构成了有效盖层^[23]。

雅克拉气藏是由下白垩统、下侏罗统和古生界 3 个不同类型的气藏组成的气田,古生界为地层圈闭气藏,西段圈闭面积为 39.0 km²,闭合高为 170 m;中—东段圈闭面积约为 5.5 km²,闭合高为 70~73 m,各井均在侵蚀面附近获油气流。下侏罗统为背斜—岩性圈闭气藏,位于雅克拉构造西段,北

面为背斜圈闭,东端为断层遮挡,南为岩性圈闭。高点在沙参 2 井附近,气藏面积约为 39.0 km²,高为 85 m;沙 7 井和沙 4 井获工业油气流,沙 15 井见含油砂岩,沙 5 井为气水同层,沙 6 井为水层。下白垩统气藏为背斜圈闭气藏,沙 5 井、沙 7 井、沙 15 井测试获工业油气流(图 5)。气藏圈闭面积为 120 km²,气藏面积为 45 km²,气藏高 110 m,充满度为 92.5%。

上三叠统是古生界气藏的直接盖层,它是一套泥岩及复成分砂砾岩,厚度在 27~45 m 之间。其泥岩累计厚度为 14~32.4 m(仅沙 4 井为 8.5 m),单层最大厚度为 9.6~29.0 m(仅沙 4 井为 5m),泥岩系数为 0.54~0.89(仅沙 4 井为 0.25)。油气盖层的泥岩系数显示大部分地区封盖条件较好,但有向东北变差趋势,沙 15 井为 0.72→沙 7 井为 0.54→沙 4 井为 0.25,泥岩累计厚及单层厚均逐渐变薄。卡普沙良群中段为泥岩夹少量粉砂、细砂岩,各井岩类组成(表 1),其泥系数均在 0.5 以上,对油气均为良好盖层,但向东、向北有渐变差趋势。尽管存在一些断裂,但垂直断距小于 50 m,小于泥岩最大单层厚,因而,封盖能力未被破坏。雅克拉气藏的上三叠统和卡普沙良群中段盖层有向北、向东变薄变差趋势。

3.3 化探异常成因分析及其油气地质意义

该气田下卡普沙良群底块砂岩气藏是通过其下的下古生界气藏的扩散进入量,与卡普沙良群底块砂岩气藏的扩散损失量的大体平衡而得以保存^[22],即该气田的油气微渗漏散失是客观存在的。

酸解烃甲烷(SC₁)指标异常在气藏上方呈环状异常分布(图 6a),其范围与下白垩统背斜圈闭气藏的范

围较为吻合,其异常区分布较为均匀,不受雅克拉气藏上方盖层向北、向东变薄变差趋势的影响;化探异

常没有沿轮台断裂走向分布的迹象,表明轮台断裂在该区不是油气藏油气向上微渗漏的运移通道。

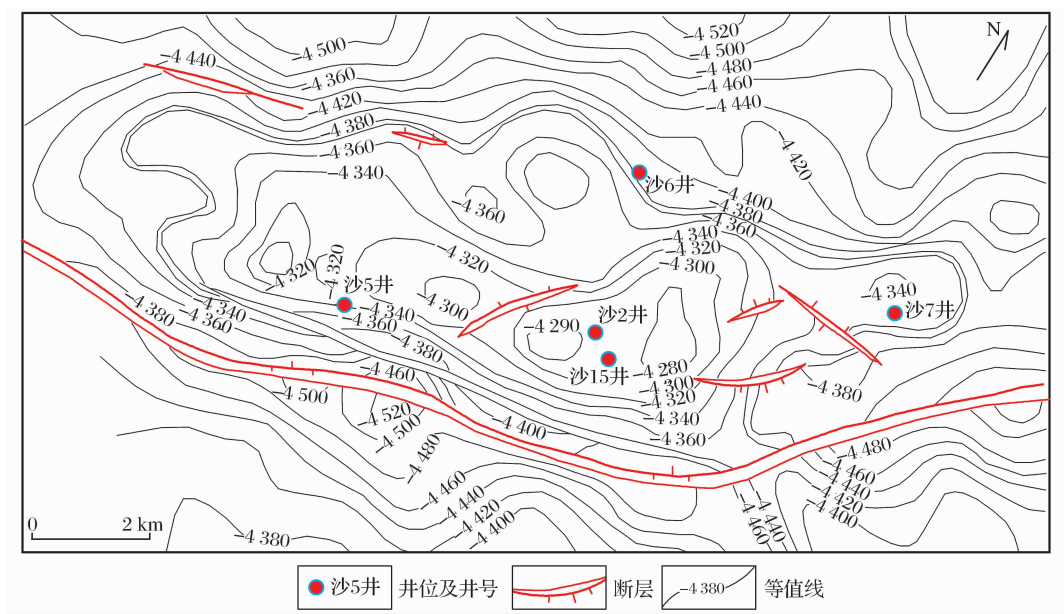


图 5 雅克拉气藏下白垩统顶面构造示意

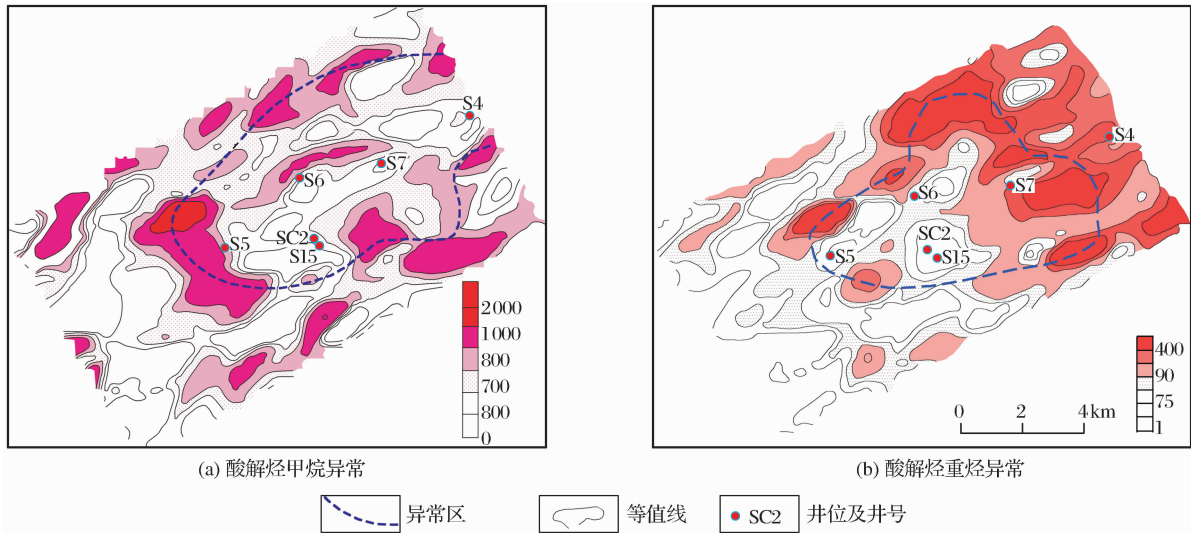


图 6 雅克拉气藏上方化探指标异常

表 1 雅克拉构造卡普沙良群中段岩类组成

项目	沙 5 井	沙 6 井	沙 参 2 井	沙 7 井	沙 4 井
岩段总厚/m	300.0	290.5	326.0	188.5	202.0
泥岩累计厚/m	247.0	209.5	260.0	134.0	133.0
泥岩最大单层厚/m	61.0	63.0	77.0	62.0	80.0
泥岩系数/%	82.3	72.0	82.3	71.0	65.8

气藏中生界为一略高于正常压力的地层压力系统,显示油气向上渗漏动力不仅有油气浮力,还有地层压力对油气产生向上微渗漏的势能。构造高部位的沙参 2 井和沙 15 井是该指标的低值区,显示气藏构造顶部区域的垂向微渗漏较弱,表明气藏构造顶

部区盖层具有良好的封闭性,且其封闭作用对烃类垂向微渗漏的影响明显,该指标在气藏边部的气水过渡带上存在的高值异常区则表明油气在该区域的烃类垂向微渗漏较强。

酸解烃重烃(SC_2^+)指标异常在气藏上方仍然呈环状异常分布(图 6b),在气藏边部的气水过渡带仍为高值异常区,在气藏构造高部位为异常的低值区,化探异常也不存在沿轮台断裂走向分布的迹象,这与 SC_1 指标异常分布特征相似。但 SC_2^+ 指标异常的空间分布明显呈北东高、南西低规律性特征,而这与雅克拉气藏的上三叠统和卡普沙良群中段盖层

有向北、向东变薄变差趋势有较为一致的对应关系,反映盖层的封闭性对重烃微渗漏的影响较对甲烷微渗漏的影响更为明显。

该区化探异常的油气地质意义在于它肯定了研究区油气垂向微渗漏(微运移)是近地表化探异常的成因,且油气垂向微渗漏与油气所处地层压力、盖层封闭性能、储层流体性质等因素密切相关,气藏盖层封闭性对油气重烃微渗漏的影响较甲烷微渗漏的影响更为明显。

4 结论

渤海湾盆地临南断块油气藏、塔里木盆地雅克拉凝析气藏等的近地表化探异常特征与其对应油气藏油气垂向微渗漏、油气藏成藏特征等存在极为密切的联系,它们明显与油气所处地层压力、油气藏盖层封闭性能、裂隙(断裂)系统、储层流体性质等受控因素相关。

临南断块油气藏边缘区油水过渡带的油气垂向微渗漏形成了油气藏边缘区的化探异常,油气沿夏口断层(裂隙)渗漏进而在其上倾方向形成化探异常。研究区化探异常的油气地质意义在于它丰富了夏口断层在该区油气藏成藏系统中所起地质作用的认识,夏口断层具备油气侧向运移相对“封堵”(断层“封堵”成藏模式)和油气沿断层(裂隙)纵向绝对“渗漏”的双重属性特征。

雅克拉气藏区化探异常围绕着气藏构造高部位(沙参2井、沙15井化探指标低值区)呈环状形式分布于气藏边缘区(沙6井区),表明气藏盖层明显控制了气藏的烃类垂向微渗漏和化探异常空间分布特征,气藏边部的气水过渡带是烃类垂向微渗漏的较强部位。酸解烃重烃指标异常空间分布规律(北东高、南西低)与气藏盖层封闭性的横向变化规律具有较为一致的对应关系,由此表明气藏盖层封闭性对油气重烃微渗漏的影响较甲烷微渗漏的影响更为明显。

参考文献(References):

- [1] Jiang Tao, Xia Xianghua, Chen Zhechun. Hydrocarbon geochemical field effects and their applications[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2003, 25(3): 290-294. [蒋涛, 夏响华, 陈浙春. 地球化学烃场效应的探讨及应用[J]. *石油实验地质*, 2003, 25(3): 290-294.]
- [2] Abrams M A. Significance of hydrocarbon seepage relative to petroleum generation and entrapment[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2005, 22(4): 457-477.
- [3] Price L C. A critical overview and proposed working model of surface geochemical exploration[C]//Davidson M J. *Unconventional Methods Exploration for Petroleum and Natural Gas-IV*. Dallas TX Southern Methodist University Press, 1986: 245-304.
- [4] Jones V T, Drozd R J. Predictions of oil and gas potential by near surface geochemistry[J]. *AAPG Bulletin*, 1983, 67(6): 932.
- [5] Klusman R, Saeed M. Comparison of light hydrocarbon mechanisms[C]//Schumacher D, Abrams M A. *Hydrocarbon Migration and Its Near-surface Expression: AAPG Memoir 66*. Tulsa, Oklahoma: AAPG, 1996: 157-168.
- [6] Saunders D F, Burson K R, Thompson C K. Model for hydrocarbon microseepage and related near-surface alterations[J]. *AAPG Bulletin*. 1999, 83: 170-185.
- [7] Klusman R W, Voorhees K J, Hikey J C, *et al.* Application of the K-V fingerprint technique for petroleum exploration[C]//Davidson M J. *Unconventional Methods in Exploration for Petroleum and Natural Gas(IV)*. Dallas: Southern Methodist University Press, 1986: 219-244.
- [8] Cheng Tongjin, Zhu Huaiping, Chen Zhechu. Geochemical characteristics of Kongque 1 well profile and vertical migration of hydrocarbon[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2006, 17(1): 148-152. [程同锦, 朱怀平, 陈浙春. 孔雀1井剖面地球化学特征与烃类的垂向运移[J]. *天然气地球科学*, 2006, 17(1): 148-152.]
- [9] Jiang Tao, Wu Ruijing, Cheng Tongjin, *et al.* On geochemical prospecting techniques applications in western China[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2007, 16(1): 117-120. [蒋涛, 吴瑞金, 程同锦, 等. 化探技术在我国西部油气勘探中的应用探讨[J]. *天然气地球科学*, 2007, 16(1): 117-120.]
- [10] Jiang Tao, Wu Yongqiang, Tang Yuping, *et al.* Hydrocarbon geochemical field effects and influencing factor in oil and gas geochemical exploration[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2008, 19(2): 280-285. [蒋涛, 仵永强, 汤玉平, 等. 地球化学烃场效应及影响化探异常的因素[J]. *天然气地球科学*, 2008, 19(2): 280-285.]
- [11] Liu Zhaolu, Xia Bin. Preliminary restore of the Mesozoic original basin and its main control factors in Jiyang sag[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2006, 17(1): 60-63. [刘朝露, 夏斌. 济阳坳陷中生代原型盆地的初步恢复及其主控因素[J]. *天然气地球科学*, 2006, 17(1): 60-63.]
- [12] Han Tianyou, Qi Jiafu, Lin Huixi. Study of Cenozoic tectonic evolution and hydrocarbon accumulation in southwest gentle slope belt, Huimin sag[J]. *Oil & Gas Geology*, 2003, 24(3): 245-248. [韩天佑, 漆家福, 林会喜. 惠民凹陷西南缓坡带新生代构造演化与油气成藏特征[J]. *石油与天然气地质*, 2003, 24(3): 245-248.]
- [13] Zeng Jianhui, Zhang Shanwen, Qiu Nansheng, *et al.* Trap fill of lithologic pools and its main controlling factors in Dongying sag[J]. *Oil & Gas Geology*, 2003, 24(3): 219-222. [曾建辉, 张善文, 邱楠生, 等. 东营凹陷岩性圈闭油气充满度及其主控因素[J]. *石油与天然气地质*, 2003, 24(3): 219-222.]

- [14] Hindle A D. Petroleum migration pathways and charge concentration: A three-dimensional model[J]. AAPG Bulletin, 1997, 81: 1451-1481.
- [15] Zhao Yang, Liu Zheng, Dai Lichang. Characteristics of carrying bed system and hydrocarbon migration in Linnan district[J]. Journal of Xi'an Petroleum Institute, 2003, 18(3): 1-3. [赵阳, 刘震, 戴立昌. 惠民凹陷临南地区油气输导系统及油气运移特征[J]. 西安石油学院学报: 自然科学版, 2003, 18(3): 1-3.]
- [16] Gao Xianzhi, Du Yumin, Zhang Baoshou. The sealing of Xiakou fault and its model of controlling on the petroleum accumulation[J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(3): 76-78. [高先志, 杜玉民, 张宝收. 夏口断层封闭性及对油气成藏的控制作用模式[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(3): 76-78.]
- [17] Fu Jinhua. Pool-forming mechanism of the Xiakou faulted zone in the Huimin depression[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2002, 24(2): 136-140. [付金华. 惠民凹陷夏口断裂带油气成藏机制研究[J]. 石油实验地质, 2002, 24(2): 136-140.]
- [18] Xiong Min, Zhang Ziyu, Zeng Qinghui, *et al.* A study on the flow behavior and some consideration on the development of Linnan oil-field[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 1996, 3(2): 31-35. [熊敏, 张子玉, 曾庆辉, 等. 临南油田渗流特性研究及开发中应注意的几个问题[J]. 断块油气田, 1996, 3(2): 31-35.]
- [19] Cheng Xinjun, Shi Wanzhong, Cheng Pingli. Relationship between distribution characteristics of oilfield water geochemistry and petroleum accumulation in Huimin depression[J]. Natural Gas Geoscience, 2000, 11(6): 7-10. [陈新军, 石万忠, 陈萍丽. 惠民凹陷油田水化学场分布特征与油气聚集关系[J]. 天然气地球科学, 2000, 11(6): 7-10.]
- [20] Tan Ke, Zhao Mifu. Hydrocarbon accumulation models in linnan slope zone, Huimin depression[J]. Journal of The University of Petroleum, 2002, 26(6): 21-32. [覃克, 赵密福. 惠民凹陷临南斜坡带油气成藏模式[J]. 石油大学学报, 2002, 26(6): 21-32.]
- [21] Wang Bin, Yuan Yueqin, Zhou Jiangyu, *et al.* Fault sealing in Yakela-Luntai area, the Tarim basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2006, 28(5): 434-439. [王斌, 袁月琴, 周江羽, 等. 塔里木盆地雅一轮地区断层封堵性研究[J]. 石油实验地质, 2006, 28(5): 434-439.]
- [22] Ye Desheng, Gao Guoqiang. The diffusive flux of the Yakela condensate field in the northern Tarim basin and its geological significance[J]. Petroleum Exploration and Development, 1992, 10(3): 1-4. [叶德胜, 高国强. 塔里木盆地北部雅克拉凝析气田的扩散量及其地质意义[J]. 石油勘探与开发, 1992, 10(3): 1-4.]
- [23] He Heiquan, Zhang Zhongxian, Tang Yidan. On the formation conditions of the Yakala oil/gas field in the Tarim basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 1989, 11(1): 1-6. [何海泉, 张忠先, 唐一丹. 对塔里木盆地雅克拉油气田成藏条件的认识[J]. 石油实验地质, 1989, 11(1): 1-6.]

Vertical Micro-migration of Hydrocarbons from Subsurface Reservoirs and Geological Significance in Near-surface Geochemical Exploration for Oil and Gas

JIANG Tao¹, ZHAO Ke-bin¹, RONG Fa-zhun¹, ZHANG Heng-qi²

(1. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, Research Institute of Petroleum Exploration and Production, SINOPEC, Wuxi 214151, China; 2. Institute of Geological Experimentation, Anhui Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration, Hefei 230001, China)

Abstract: In this paper, we discuss the genetic correlation between geochemical anomaly and vertical micro-migration of hydrocarbons from the subsurface oil and gas reservoirs and its geological significance in petroleum geology by means of vertical migration modes and controlling factors, as well as oil and gas accumulation and geochemical anomaly distribution in the Linnan block oil and gas field in the Bohai Bay basin and the Yakela condensate gas field in the Tarim basin. According to geochemical anomaly distribution, Xiakou fault in the Linnan oil and gas accumulation system act as a barrier for lateral migration of oil and gas but a vertical pathway in the study area, indicating that Xiakou fault plays a role of both relative barrier to lateral migration and absolute pathway to vertical migration. Geochemical anomaly has been distributed as a halo shape around the structural high point of Yakela gas field, suggesting that the gas seal would control vertical migration and space distribution of geochemical anomaly. Distribution of the heavier anomaly is consistent with lateral variation of sealing of caprock, indicating that the sealing of caprock to heavier hydrocarbons is more than that to methane. In two cases, we find out that the near-surface geochemical anomaly is related with oil and gas accumulation and vertical oil and gas micro-migration.

Key words: Geochemical exploration; Anomaly; Oil and gas geological significance; Micro-migration; Oil and gas reservoir.