

烃类垂向微渗漏及其地表异常显示

蒋涛 陈浙春

(中国石油化工集团 石油勘探开发研究院 石油化探研究所,安徽 合肥 230022)

摘要: 烃类以微泡、水动力、扩散和渗透方式向地表迁移过程中,其效能、方式与油气藏的盖层、断裂与裂隙系统、储层的流体性质、地层压力等地质因素密切相关。通过对塔里木盆地雅克拉凝析气田上的地表、井中化探资料与地质资料的综合分析,认为该气田的井中垂向地球化学特征、控制烃类垂向微渗漏地质因素、地表化探异常显示之间呈现出很好的内在联系。

关键词: 烃类 微渗漏方式 盖层 地表异常显示

中图分类号: P632 文献标识码: A 文章编号: 1000-891X(2003)02-0092-05

油气藏的形成和分布是多种地质要素综合作用的结果,油气藏中烃类物质运移的分析是油气聚集、散失的主要依据,它有助于查明烃源岩、储集体、构造等地质因素相互关系,是确定油气成藏与散失的重要参数。油气藏中的烃类物质存在状态不是静止不变的,而是在地温场、应力场、水动力场及自身浮力等作用下,时刻与周围介质进行物质与能量的交换;油气藏中烃类垂向微渗漏则是物质与能量交换的主要形式,这种烃类垂向微渗漏是油气化探的理论基础,因此,分析烃类垂向运移的方式及影响因素,对深层次分析油气藏上方地球化学特征和地表化探异常有极其重要意义。

1 烃类运移和垂向微渗漏的主要方式

许多地质学家认为,渗滤与扩散是油气运移聚集成藏的基本方式。但两者运移的条件和效率不同,渗滤是一种机械运动方式,液体在渗滤过程中遵守能量守恒定律,它总是由机械能高的地方向机械能低的地方流动;它又是一整体流动方式,在流动中表现出一定相态,在达到吸附平衡后各组分的浓度基本不变,油气渗滤服从达西定律。扩散是分子布朗运动产生的传递过程,这种运动可引起流体(气、液)分子不断进行再分配,其结果是使流体浓度达到平衡,但这种运动在固体中进行的速率要低得多,油气扩散服从费克定律。此外,许多中外学者对烃类垂向微渗漏机理也进行了深入的探索与研究,认为引起近地表化探异常的烃类垂向微渗漏方式主要有微泡方式、水动力方式、扩散方式

和渗透方式。

1.1 微泡方式

MacElvain 为了解释地表化探异常的形成,于 1969 年提出微泡上升说,它可以解释大多数已观察到的油气地质现象。该理论认为,烃类气体在水中的溶解是有限的,其浓度超过溶解度时就形成许多微泡,其大小为胶体粒度。这些微泡因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上浮力分量,其速度可达每分钟数毫米。当遇沉积岩颗粒阻挡时,它甚至可绕行而过。这种微泡可以在短时间内上升数百米,用这种微泡上浮机制很容易解释“色层效应”,也可以解释为什么近地表化探指标异常以 $C_1 \sim C_4$ 为主。

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。若介质稀疏,压力差大,则可产生喷流;若介质致密,压力差较小,则产生渗流。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(压实作用也是如此),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运移的一种有效机制。

1.3 扩散方式

地质体内的烃类气体浓度不均匀时,便会产生

定向扩散,即烃从高浓度处向低浓度处迁移。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。

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条件下(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。

2 烃类垂向微渗漏的主要控制因素

油气藏中的烃类物质向地表运移过程中,其效能与方式受到油气藏的盖层、断裂与裂隙系统、储层的流体性质、地层压力等因素的控制。

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渗漏;压力封闭——具有异常较高的孔隙压力而阻止烃类运移;浓度封闭——具有较高的烃浓度而阻止烃类运移。图 1 为某气藏井中化探顶空气指标剖面,盖层为深灰色泥岩,同时又是气源岩,在这些泥岩层中气态游离烃浓度非常高,表明气藏盖层通过毛细管力封闭和浓度封闭双重机制阻止烃类运移。

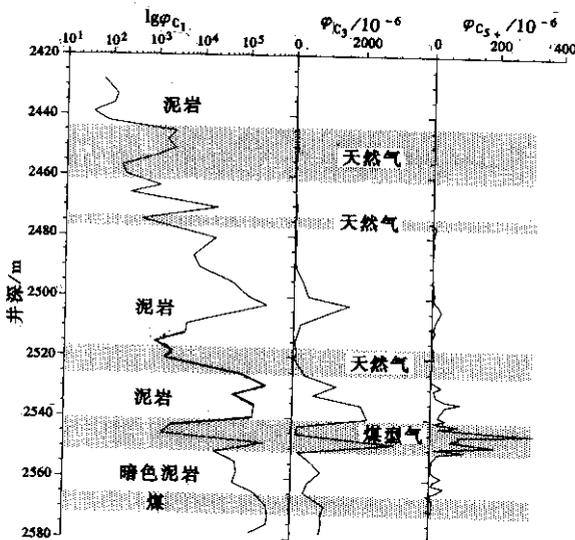


图 1 鄂尔多斯盆地北部某气藏 X 井中化探顶空气指标剖面

郝石生等通过实验研究及实际资料的分析,提出了鄂尔多斯盆地古生界泥岩盖层封闭能力级别的划分方案(表 1)。

现实中,完全不使烃类气体逸散的盖层是不存在的,只是盖层可以减缓油气向上逸散速率和油气

表 1 泥质岩盖层分级评价

类别	渗透率 μm^2	最大连通孔径 m	排替压力 MPa	封闭能力	说明
I	$< 10^{-8}$	$< 7 \times 10^{-8}$	> 2.0	最好	作气藏盖层最好
II	$10^{-8} \sim 2 \times 10^{-7}$	$7 \times 10^{-8} \sim 3 \times 10^{-7}$	2.0~0.5	好	作气藏盖层较好
III	$2 \times 10^{-7} \sim 10^{-6}$	$3 \times 10^{-7} \sim 1.5 \times 10^{-6}$	0.5~0.1	中	作气藏盖层较差
IV	$> 10^{-6}$	$> 1.5 \times 10^{-6}$	< 0.1	差	不能作气藏盖层

表 2 油气混合物和一些参照分子的有效直径(近似值)*

分子	有效直径/ 10^{-10}m	分子	有效直径/ 10^{-10}m
He	2.0	甲烷	3.8
H ₂	2.3	苯	4.7
Ar	2.9	正构烷烃	4.8
H ₂ O	3.2	环己烷	5.4
CO ₂	3.3	具杂环结构的化合物	10~30
N ₂	3.4	沥青质分子	50~100

* 据 B·P·蒂索

藏被破坏的速度。泥岩的连通孔径即使因埋藏深度加大而变小,但它仍大于油气中的许多烃类物质的分子直径(表 2),因而,可以认为盖层并不能绝对阻止油气藏中的轻组分的微渗漏。

2.2 裂隙系统与断裂的发育

当地层中生成的烃类气体的压力超过岩石屈服疲劳强度时即可产生微裂隙,其与构造、成岩作用产生的裂缝,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,这是烃类运移聚集通道和场所,也可能是烃类垂向微渗漏的良好通道。

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,渗漏的强度越大,它是影响烃类垂向微渗漏的规模和速度的重要因素。

2.4 储层流体性质

气态烃及低碳数液态烃分子直径小、极性小,易穿过盖层;高碳数烃分子直径大、极性大,易被岩石吸附而不易穿过盖层向上迁移。在盖层条件和裂隙系统发育程度相同时,气藏和轻质油藏中烃类微渗漏的规模要比重质油藏的大。

3 烃类垂向微渗漏过程及地表显示

3.1 烃源

油气藏本身及油水、气水过渡带均是地表烃显示的烃源,有的油气田烃物质属性简单,储层较单一,因而垂向微渗漏的烃源成分也较为简单。

有些油气田比较复杂,由多时代、多层位、多类型的油气藏叠置而成。若上部时代新的油气藏的分布比

下部的面积大,那么下部向上渗漏的烃受到其上方油气藏的遮挡而被掩蔽,因而上部的油气藏可认为地表化探异常的唯一烃源。若下部的油气藏的含油气面积较上部油气藏的面积大,那么上、下油气藏中的烃物质均可渗漏到地表,因而,地表化探异常则反映的是多个油气藏的信息。

3.2 烃类垂向迁移形式

烃类垂向微渗漏在烃源的上方均可发生,在盖层的封闭性能和各种裂隙发育程度存在差异时,其渗漏的规模和速度以及渗漏的方式表现不同。

油气藏中烃类物质必须先穿过储层上方的直接盖层才能向上运移。在盖层封闭性能较差,微裂隙系统比较发育时,烃类向上运移以水动力方式为主,伴以微泡和扩散方式。而在盖层封闭性能好,微裂隙系统不发育时,烃类向上运移以微泡和扩散方式为主,并伴以水动力方式,当向上迁移的烃再次遇到其它盖层后,仍以上述方式运移。在烃类突破盖层的封盖,进入到多孔的砂质岩层或微裂隙系统比较发育的致密岩层后,向上渗漏的烃将以渗透和水动力为主要迁移方式,辅以微泡和扩散方式。

因而,烃类的垂向微渗漏并不是以某一种固定的迁移方式存在,而是随着地质条件的改变而变化,直至到达地表形成烃浓度的相对富集。

3.3 地表化探异常模式

油气藏属性、盖层封闭性、断裂及微裂隙系统的空间展布等因素决定了地表化探异常形态。

油气藏盖层的封闭性能较差,横向变化上也较为均一时,烃类物质容易通过顶部盖层垂直渗漏到地表,因而,尽管地下的油气藏属性较为复杂,但在地表形成的化探异常往往以顶端异常为主。

油气藏盖层的封闭性能较好,烃类物质不易通过顶部盖层向上微渗漏,而主要在微裂隙系统及孔隙发育的油水(气水)边界部位向上穿透盖层的封盖,在这些部位上方的近地表中形成化探异常,在背斜型油气藏上以环状或半环状化探异常为主。

断裂虽然可以遮挡油气,并形成断层油气藏,由于断层本身也是圈闭的薄弱环节,因而,在断层的上方常常出现串珠状或条带状化探异常。

4 实例分析

雅克拉凝析气田位于沙雅隆起的雅克拉断凸带上,主要受控于背斜构造,是由多类型气藏组成的气田。1984年9月22日雅克拉背斜顶部的沙参2井,钻至5319.18m的奥陶统白云岩时,初产畅喷量为油

约1000 m³/d,气约200×10⁴ m³/d。目前,该区前期已完成6口探井,发现了下白垩统、下侏罗统和古生宇3个不同类型的气藏及多层油气显示。

古生宇为地层圈闭气藏,西段圈闭面积为39 km²,闭合高170 m;中、东段圈闭面积约5.5 km²,闭合高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39.0 km²,高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,6口井均在下白垩统卡普沙良群下段见到良好的油、气或水显示,其中沙5井、沙7井、沙15井测试已获工业油气流。气藏圈闭面积120 km²,气藏面积为45 km²,气藏高110 m,充满度为92.5%。

4.1 层的封盖件

上三叠统是古生宇气藏的直接盖层,它是一套泥岩及复成分砂砾岩,厚度在27~45 m。其泥岩累计厚14~32.4 m(仅沙4井为8.5 m),单层最大厚9.6~29.0 m(仅沙4井为5 m),泥岩系数为54%~89%(仅沙4井为25%)。油气盖层的泥岩系数应大于50%,因而大部分地区封盖条件较好;向东北有变差趋势,沙15井为72%→沙7井为54%→沙4井为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沙、细沙岩,其泥岩系数均在50%以上(表3),对油气均为良好盖层,但向东、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。卡普沙良群中段不仅是该群下段的直接盖层,也是构造上层位最低的主要盖层。

表3 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

中新统吉迪克组盖层是重要的区域性封盖层,其在全盆地都有分布,岩性以泥质岩为主。泥岩累计厚度近400 m,单层厚度为5~15 m。盖层的封盖性能变化较大,具有较强的不均一性。

4.2 井中垂向地球化学特征

在雅克拉构造上的沙4井、沙5井和沙15井分

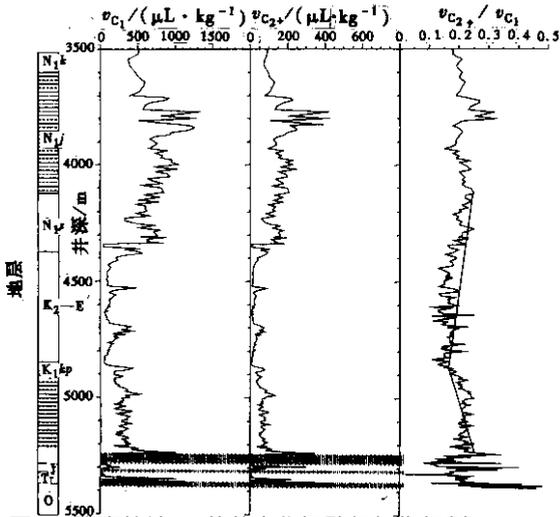


图2 雅克拉沙15井井中化探酸解烃指标剖面

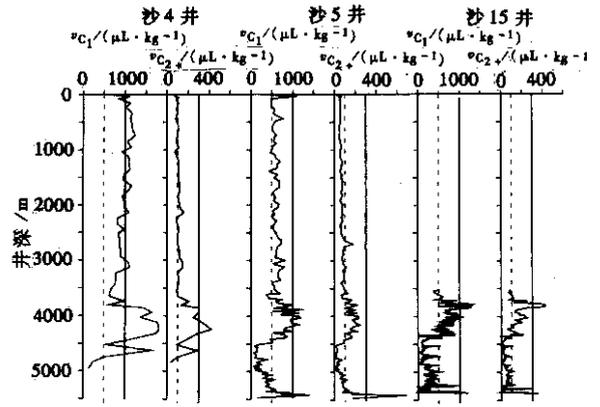


图3 雅克拉地区沙4井、沙5井、沙15井井中化探酸解烃指标剖析

表4 沙4井、沙15井井中化探主要指标含量分布

井号	地层	v_{C_1}	$v_{C_{2+}}$	v_{C_1}	$v_{C_{2+}}$
		$\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}$	$v_{C_{2+}}$	v_{C_1}
沙4井	Q	914.8	86.78	10.54	0.97
沙4井	N ₂ k	1025.46	102.46	10.01	0.89
沙4井	N ₁ k	944.03	154.03	6.13	1.08
沙15井	N ₁ k	451.55	85.71	55.26	1.19
沙4井	N ₁ j	1666.5	321.26	5.18	1.22
沙15井	N ₁ j	792.02	173.49	4.70	1.18
沙4井	N ₁ s	556.51	91.28	6.10	1.17
沙15井	N ₁ s	567.02	118.72	4.90	1.26
沙4井	K ₂ -E	797.91	139.52	5.72	1.13
沙15井	K ₂ -E	159.42	26.81	6.35	1.18
沙15井	K ₁ kp	292.85	63.53	5.03	1.10
沙15井	J	87.67	57.81	4.09	1.50
沙15井	T	242.62	73.41	5.60	1.37
沙15井	O	3301	1042.72	3.3	0.81

别开展的井中化探中,以沙15井的样品数最多,储盖层的地球化学特征最为显著。从图2中可以看到,在气藏的直接盖层底部,都存在酸解烃 C₁ 和 C₂₊ 的高浓度异常,向上逐渐降低,烃气湿度也有逐渐降低的趋势,显示出盖层的封盖作用,同时又存在烃类垂向微渗漏的迹象,以下白垩统气藏尤其明显。穿过卡普沙良群中段盖层后,烃浓度降低,在 K₂-E 地层中以砂岩为主,烃类在向上迁移过程中所受的阻力较弱,应以渗透和水动力方式为主。而到了中新统吉迪克组盖层后,垂向微渗漏的烃又受到较大的阻力,并在此相对聚集,形成了高浓度异常。烃在突破 N₁j 地层的阻挡后,再往上运移已畅通无阻。

雅克拉凝析气田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,从剖面上看,构造东北部的沙4井的烃浓度远大于位于构造高部位的沙5井和沙15井(图3、表4)。

4.3 地表化探异常显示

酸解烃甲烷指标在气藏上方呈环状异常,其范围与下白垩统背斜圈闭气藏的范围较为吻合,气藏边部的气水过渡带是烃类垂向微渗漏的较强部位,位于构造高部位的沙参2井和沙15井在环状异常的低值区,在垂向微渗漏的较弱部位。从总体上看

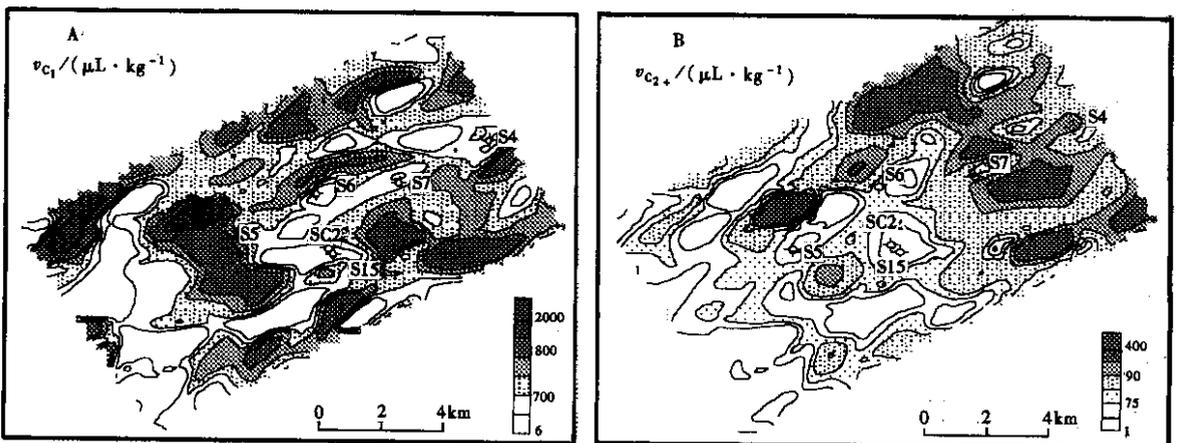


图4 雅克拉地区酸解烃甲烷(A)与重烃(B)异常

浓度北东稍高(图 4A)。

酸解烃重烃指标虽然在气藏上方仍呈环状异常,但烃浓度表现出明显的北东高、南西低(图 4B)。这与上三叠统和盖层卡普沙良群中段盖层有向北、向东变薄变差趋势(封闭性横向变化)一致,这也说明盖层的封闭性对重烃的影响比对甲烷要大。

5 认识与结论

烃类主要以微泡方式、水动力方式、扩散方式和渗透方式垂向微渗漏。盖层的封闭性能决定了渗漏的方式和规模,当盖层的封闭性能较差,微裂隙系统较发育时,烃类迁移以水动力方式为主,并以微泡、扩散方式向上迁移。当盖层的封闭性能好,微裂隙系统不发育时,烃类以微泡、扩散为主要方式向上迁移,并伴以水动力方式。

油气藏中的烃类物质存在状态不是静止不变的,而是时刻与周围介质进行物质与能量的交换,油气藏中烃类的垂向微渗漏则是物质与能量交换的主要形式。地层中各种成因的裂缝、微裂隙构成纵横交错的微裂隙系统,这种裂隙系统的发育是烃类的垂向微渗漏的良好通道。在油气藏的油水或气水过渡带,往往是裂隙和微裂隙系统比较发育的地带,也是地下水相对活跃的地带,因而是微渗漏相对较强的地方,因此易引起近地表的地球化学异常的形成,对背斜型油气藏

来说,更易形成环状化探异常。

盖层的封闭性能是烃类垂向微渗漏的主要控制因素,对油气藏上方化探指标异常模式的形态起着很重要的作用。烃类垂向微渗漏在烃源的上方均可发生,由于盖层的封闭性能在横向上常常发生变化,因而,油气藏不同部位的渗漏强度有所差异,进而产生不同强度的地表化探指标异常,盖层的封闭性对甲烷突破盖层封盖的影响相对于重烃要小得多。

井中化探资料可以清晰地反映烃类在垂向微渗漏的轨迹,并能很好地认识烃类迁移的规律及油气藏的储层、盖层属性等,地表油气化探资料的勘查成果的认识与盖层的封闭性能及横向展布、变化规律等地质资料有很好的 consistency。

参考文献:

- [1] 蒂索 B P, 威尔特 D H. 石油形成和分布[M]. 徐永元, 徐谦, 郝石生, 等译. 北京: 石油工业出版社, 1989.
- [2] 彭希龄, 盛志伟. 准噶尔盆地东部烃类微渗漏研究[M]. 北京: 海洋出版社, 1993.
- [3] 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.
- [4] 康玉柱. 中国塔里木盆地石油地质特征及资源评价[M]. 北京: 地质出版社, 1995.
- [5] 戴金星, 裴锡古, 戚厚发. 中国天然气地质学(卷一)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992.

VERTICAL MICROPERCOLATION OF HYDROCARBON AND ITS SURFACE ANOMALY

JIANG Tao, CHEN Zhe-chun

(Institute of Geochemical Exploration for Petroleum, Academy of Petroleum Exploration and Development, China Petroleum and Chemical Industry Group, Hefei 230022, China)

Abstract: During its migration towards the surface in the forms of microbubble, water power, diffusion and filtration, the effects and styles of hydrocarbon are closely related to such geological factors as the cover of the oil and gas accumulation, fault and fissure system, nature of fluids in the reservoir and pressure of the strata. Based on an integrated analysis of geochemical and geological data from the surface and the boreholes of the Yakela gas condensate field in Tarim basin, the authors hold that there exist fine internal relations between borehole vertical geochemical characteristics of this gas field, geological factors controlling vertical percolation of hydrocarbon and surface geochemical anomalies.

Key words: hydrocarbon; micropercolation style; cover; surface anomaly

作者简介: 蒋涛(1970-)男, 工程师, 重庆人。1992年毕业于中国地质大学(武汉)地球化学专业, 主要从事油气化探与科研工作。