

# 鄂尔多斯盆地米脂气田天然气逸散: 流体包裹体证据

李荣西<sup>①\*</sup> 邸领军<sup>②</sup> 席胜利<sup>②</sup>

(① 长安大学, 西安 710054; ② 中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司, 西安 710021)

**摘要** 鄂尔多斯盆地米脂气田南侧断裂带充填的方解石脉富含天然气包裹体. 应用流体包裹体测试、稳定同位素分析和热释光年龄测定等手段, 研究了方解石脉和天然气包裹体成因特征及其形成时间. 分析表明, 天然气包裹体形成温度在 130~140℃ 之间, 盐度为 5.5(质量百分比)NaCl~6.0(质量百分比)NaCl, 表明天然气包裹体属于盆地内热成因烃类流体. 热爆法分析方解石脉包裹体烃类气体含量最高达 2.4219 m<sup>3</sup>/t, C<sub>1</sub>/ΣC<sub>i</sub> 比值最高为 91%. 激光拉曼光谱分析的单个包裹体中烃类气体最高含量为 91.6%. 方解石脉 δ<sup>13</sup>C<sub>PDB</sub> 为 -5.75‰~-15.23‰, δ<sup>18</sup>O<sub>SMOW</sub> 为 21.33‰~21.67‰, 表明断裂带中含天然气包裹体方解石脉属于淡水成因方解石. 天然气包裹体 δ<sup>13</sup>C<sub>1 PDB</sub> 为 -21.36‰~-29.06‰, δD<sub>SMOW</sub> 为 -70.89‰~-111.03‰, 其与米脂气田同属于煤成天然气. 含天然气包裹体的方解石脉热释光年龄为 32.4 ± 34.2 万年. 综合研究认为, 晚期断裂构造活动对天然气成藏具有重要影响, 米脂气田南侧断裂带方解石脉天然气包裹体是米脂气藏受喜马拉雅构造活动影响, 天然气沿断裂发生逸散的证据.

**关键词** 天然气包裹体 天然气逸散 天然气成藏 鄂尔多斯盆地

断裂及与之有关的裂隙系统是沉积盆地油气运移的主要通道之一, 在油气运移、成藏和分布中起到了非常重要的作用, 同时断裂对油气藏保存也具有非常重要的影响<sup>[1-3]</sup>. 油气藏形成是油气聚集与逸散的一个动态平衡过程, 在一定地质时期内, 只有当油气充注量大于逸散量时, 充注到圈闭中的油气才能聚集形成一定规模的油气藏. 但是, 当晚期断裂切穿已经形成的油气藏时, 会使其中的油气发生逸散, 使油气藏遭受破坏. 因此, 油气充注和逸散是油气成藏的两个对立要素, 对油气成藏具有同等的重要性.

但是, 国内外有关油气逸散研究成果不多, 长期以来人们在研究油气成藏时都聚焦于油气聚集的研究. 研究发现, 许多油气藏虽然具有非常优越的聚集

成藏条件, 可望成为大型油气田, 但是勘探结果却是油气饱和度低, 油气层压力小, 储量规模小的油气田, 与油气聚集成藏研究结果很不相符, 这种现象在我国油气勘探中非常普遍, 分析认为与晚期构造运动造成的油气逸散有关<sup>[4]</sup>. 由此可见, 油气逸散研究对油气成藏和勘探研究具有非常重要的意义.

沉积盆地断裂和裂隙常常充填有各种脉体, 它们及其中保存的流体包裹体记录了断裂和盆地内流体活动与来源的信息, 为研究盆地构造运动、油气运移、逸散和成藏等提供了重要资料. 鄂尔多斯盆地米脂气田南侧断裂带裂隙中充填有富含天然气包裹体的方解石脉, 本文在包裹体研究基础上, 通过方解石脉及包裹体碳、氧、氢同位素组成特征研究表明, 喜

马拉雅构造活动使米脂气田沿断裂带发生逸散,方解石脉天然气包裹体是天然气逸散的记录。

## 1 地质背景简介

鄂尔多斯盆地是在古生代稳定地台基础上发育形成的一个中生代、新生代大型拗陷沉积盆地,中生代河湖三角洲沉积体系是最重要的商业油气产层。近年来,古生界天然气勘探取得了突破性进展,在奥陶系碳酸盐岩风化壳和上古生界河流碎屑岩系中发现了多个大中型天然气田 [4,5]。勘探实践证明,鄂尔多斯盆地天然气藏形成和分布主要受控于古地貌、古构造和沉积相 [4],而晚期构造运动对天然气藏的运移和聚集具有重要作用,晚期构造运动产生的断裂-裂隙系统使致密岩性储层的渗透性得到改善,有利于天然气运移和聚集成藏 [6,7]。但是,晚期活动断裂会切穿早期形成的天然气藏,使天然气发生再次运移或逸散,对天然气藏的封闭性有很大影响。

研究区构造位置上横跨鄂尔多斯盆地伊陕斜坡

与晋西挠褶带(图 1),地表为第四系黄土覆盖,在沟谷地带可见基岩露头,自东向西基岩由老到新依次为中奥陶世碳酸盐岩、石炭一二叠系含煤岩系和三叠系碎屑岩系。三叠系出露齐全,由东向西自下而上依次为早三叠世刘家沟组与和尚沟组( $T_{1L+h}$ ),中三叠世纸坊组( $T_{2z}$ )、铜川组( $T_{2t}$ ),晚三叠世胡家村组( $T_{3h}$ )、永坪组( $T_{3y}$ )和瓦窑堡组( $T_{3w}$ )。米脂气田位于研究区西北部,是鄂尔多斯盆地中东部近年来新发现的一个埋藏较浅的天然气藏,其储层以石千峰组和石盒子组河流相砂岩为主,次为山西组河流相砂岩 [5,6]。米脂气田天然气组分变化较大,总烃含量最低为 81.51%(M1 井山西组),一般在 90%~96%, $CH_4$  含量最低为 75.55%(M1 井山西组),一般在 88%~95%。目前普遍认为,包括米脂气田在内的鄂尔多斯盆地东部天然气主要为煤成气,其源岩是上古生界煤系烃源岩 [5,6]。

米脂气田南部发育两条近于平行的东西走向的高角度正断层( $F_1$  和  $F_2$ ),断层倾角  $52^\circ\sim 66^\circ$ 之间,断

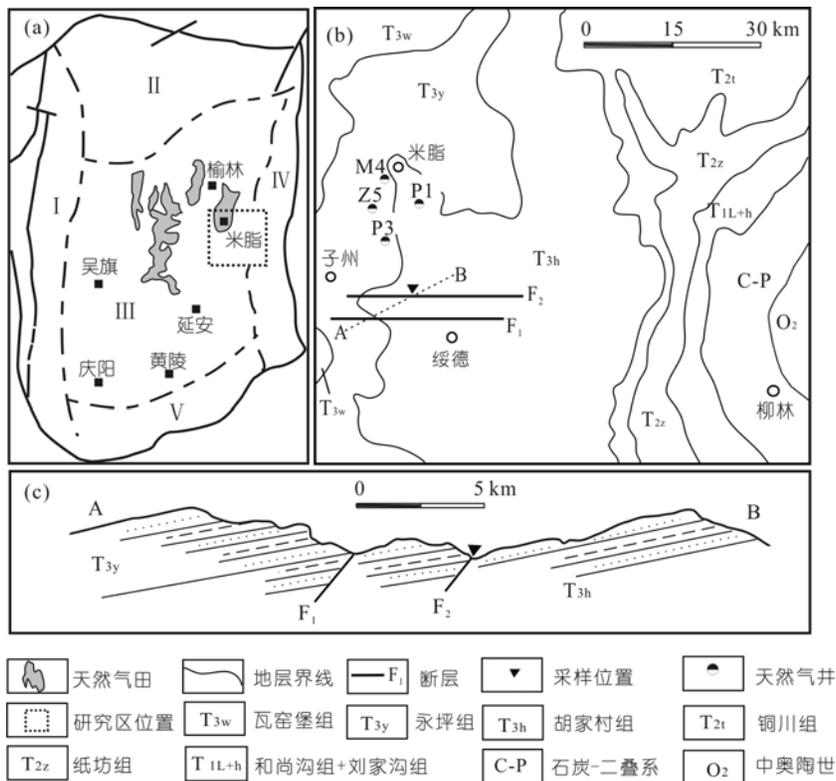


图 1 研究区构造位置及地质简图

(a) 研究区构造位置图; (b) 研究区地质简图; (c) 穿过断层剖面图与采样位置。I. 天环向斜; II. 伊盟隆起; III. 伊陕斜坡; IV. 晋西挠褶带; V. 渭北隆起

层面倾向南(图 1), 可见明显的断层擦痕、牵引构造、破碎带和裂隙。裂隙斜交或垂直砂岩层面, 裂隙中充填有宽约 0.5~3 cm 的方解石脉, 与围岩界限截然。方解石脉之间相互穿插关系表明它们属于同一期脉体, 充分布在“X”型共轭裂隙中, 走向以北西-南东向和近东西向为主。显微镜下观察表明, 方解石脉由结晶程度好的亮晶方解石组成, 富含气态烃流体包裹体。

## 2 实验与分析

分别采集了不同方向的新鲜方解石脉样品进行分析研究, 显微镜下观察发现方解石脉含有大量流体包裹体, 包括共生的无机盐水包裹体和天然气烃类包裹体两大类型。盐水包裹体为无色透明的气液两相包裹体, 大小多为 3~6  $\mu\text{m}$ , 形态多样。天然气包裹体主要呈面状和长条状形态, 大小一般为 10~30  $\mu\text{m}$ , 最大可达 120  $\mu\text{m}$ , 天然气包裹体主要为纯气态烃包裹体和含盐水气态烃包裹体, 前者不含或含微量液相盐水, 大部分为呈灰黑色的气态烃类; 后者相态复杂, 气态烃呈灰黑色气泡位居包裹体中央, 盐水呈无色透明状位居包裹体边部和角落(图 2)。

选择与天然气包裹体同期共生的盐水包裹体, 应用 THMS600 型冷热台测量其均一温度和冰点温度, 以确定天然气流体形成条件。测量用 Leitz 显微镜, 镜头组合为目镜 10 $\times$ , 物镜 50 $\times$ 。包裹体盐度是用 Bodnar 方程<sup>[8]</sup>由冰点温度计算获得的。用激光拉曼光谱对选择的典型单个天然气包裹体成分进行分析; 同时用热爆法打开包裹体, 分析其中天然气成分和含量。分析时先将方解石脉粉碎过 40~80 目筛, 分别用酒精和苯-甲醇混合溶液反复清洗, 以除去表面吸附

烃, 烘干后用热爆法打开天然气包裹体, 再用 HP 5890 GC 气相色谱仪分析天然气成分和含量。采用磷酸法分析方解石脉的碳、氧同位素, 先将样品粉碎、研磨至 150 目, 烘干抽真空, 并与磷酸反应, 释放出经过纯化的  $\text{CO}_2$  转移至 MAT-253 型质谱仪上测定碳、氧同位素, 分析精度为  $\pm 0.2\%$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  分别以 PDB 为标准, 用 Friedman 等(1977) 的公式:  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}} = 1.3086 \times \delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} + 30.86$  计算  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 。方解石脉包裹体中甲烷碳和氢同位素分析是通过打开包裹体并提取甲烷来测定的, 方法是将方解石脉样品清洗干净后, 放入石英炉中并抽真空, 加热到 300 $^\circ\text{C}$  使包裹体爆裂释放出包裹体气体, 分离  $\text{CH}_4$  并分别测定  $\delta^{13}\text{C}_1$  碳和  $\delta\text{D}$ 。实验在中国科学院地质与地球物理研究所稳定同位素实验室完成。

野外采集 200 g 新鲜方解石脉样品, 避光包装, 在成都理工大学热释光实验室用 RS-81 型热释光测年仪测定方解石脉热释光年龄。干净的方解石脉在实验室红光下破碎成直径为 10 mm 左右的颗粒, 用浓度为 1% 的稀盐浸泡并用蒸馏水稀释到 pH 值为 7, 过滤后放入干燥箱 40 $^\circ\text{C}$  恒温烘干。将样品等分为 6 份, 其中 5 份样品用不同剂量的  $\beta$  源辐射测其热释光(TL), 另外 1 份不用辐射直接测其天然热释光。用化学分析方法测量样品的  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  的含量, 热释光年龄详细分析方法和过程见文献 [9, 10]。

## 3 分析结果与讨论

### 3.1 天然气包裹体的形成条件

通过对与方解石脉天然气包裹体共生的盐水包裹体均一温度和盐度测量结果表明, 二者都有一个明显的峰值, 其中均一温度峰值为 130~140 $^\circ\text{C}$ , 盐度

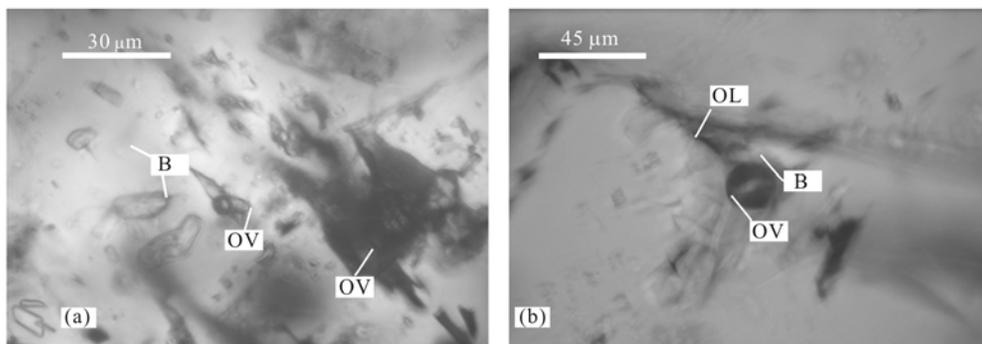


图 2 方解石脉烃类包裹体显微镜下特征

(a) 方解石中气液两相和纯气相烃类包裹体, (b) 沿方解石解理交汇处充填的棱角状多相烃类包裹体. OV. 有机气相; OL. 有机液相; B. 盐水

峰值为 5.5(质量百分比)NaCl~6.0(质量百分比)NaCl, 说明不同裂隙中充填的方解石脉包裹体属于同一期包裹体, 属于同一期含天然气流体, 这与方解石脉野外产状相符合. 包裹体形成温度和盐度较高, 此类高温高盐度天然气包裹体被认为是来源于沉积盆地内的热演化烃类流体 [11]. 因此, 天然气包裹体是盆地内天然气流体运移产物.

### 3.2 天然气包裹体的成分

表 1 为用激光拉曼光谱分析的单个包裹体主要成分含量, 激光拉曼光谱是通过分析包裹体中有机官能团振动光谱峰的相对强弱来分析有机质成分及其含量, 因此激光拉曼光谱分析的包裹体成分含量为其相对含量. 由表 1 可以看出, 包裹体气相不含 H<sub>2</sub>O, 总烃( $\Sigma C_i$ )含量 78.9%~91.6%, 其中 CH<sub>4</sub> 含量 51.8%~69.3%, CH<sub>4</sub> 占总烃的 66%~91%(即 C<sub>1</sub>/ $\Sigma C_i$ ). 包裹体液相以 H<sub>2</sub>O 为主, 而烃类含量相对较低, 总烃含量( $\Sigma C_i$ )最高仅为 15%. 气相和液相中均普遍含 H<sub>2</sub>S 和 CO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> 小于 5%, H<sub>2</sub>S 最高达 21.2%, 一般认为高 H<sub>2</sub>S 含量的天然气成因与碳酸盐岩或蒸发岩有关 [12].

表 2 为热爆法打开方解石脉包裹体、用气相色谱

分析的天然气含量和主要成分(热爆最高温度 300℃), 可以看出方解石脉包裹体中烃类气体含量较高, 最高达 2.4219 m<sup>3</sup>/t 岩石, 其中甲烷 (C<sub>1</sub>) 含量 1.0937~1.7314 m<sup>3</sup>/t 岩石, 占气态烃总量的 61.58%~79.83%. 该方法分析结果与激光拉曼分析的单个包裹体的烃类气体成分和含量基本一致.

### 3.3 方解石脉碳氧同位素特征与方解石脉成因

碳、氧同位素组成可反映方解石脉形成时流体的来源, 根据方解石脉碳、氧同位素组成, 地球化学上可以鉴别出不同来源的流体, 其中岩浆或深成壳源流体的  $\delta^{13}C_{PDB}$  与地幔值相近 (-9‰~-4‰),  $\delta^{18}O$  为 7.0‰~9.0‰; 大气降水或地下水的  $\delta^{13}C_{PDB}$  与沉积有机碳近似 (-30‰~-20‰),  $\delta^{18}O_{H_2O}$  一般小于 0‰; 海水的  $^{13}C_{PDB}$  与  $\delta^{18}O_{H_2O}$  都接近与 0‰ [13-15]. 据 Degens 等 [15] 研究资料, 形成于不同盐度中的碳酸盐岩碳、氧同位素值不同, 淡水碳酸盐岩的  $\delta^{13}C$  为 -5‰~-15‰(PDB),  $\delta^{18}O$  为 10‰~25‰(SMOW), 海相(咸水)碳酸盐岩的  $\delta^{13}C$  为 -5‰~5‰(PDB),  $\delta^{18}O$  为 25‰~30‰(SMOW) 以上.

表 3 为本次分析的含天然气包裹体方解石脉的

表 1 包裹体激光拉曼光谱分析结果(相对含量/%)

样号	相态	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3+</sub>	总和	$\Sigma C_i$	C <sub>1</sub> / $\Sigma C_i$ (×100%)
M-2	液相	2.1	1.4	79.5	9.6	3.5	1.1		2.8	100	15	64
	气相		21.1		51.8	5.9	21.2			100	78.9	66
LR-1	液相	0.1	0.6	88.5	4.6	1.5	2.4		2.3	100	10.8	43
	气相	1.5	6.9		63.3	10.5	5.7	9.5	2.6	100	91.6	69
LR-3	液相	4.0	2.2	83.2	8.1	1.2	0.3		1.0	100	10.6	76
	气相	3.7	16.4		59.6	2.7	8.2	7.1	3.2	100	80.8	74
LR-5	液相	1.9	1.7	75.4	12.0	2.2	1.1		0.4	100	13.7	88
	气相	0.2	10.6		69.3	5.3	9.1	5.6		100	89.3	78
LR-6	液相	1.2	2.4	82.7	7.3	3.8	1.4		1.2	100	13.7	53
	气相		20.5		60.7	6.7	12.3			100	79.7	91

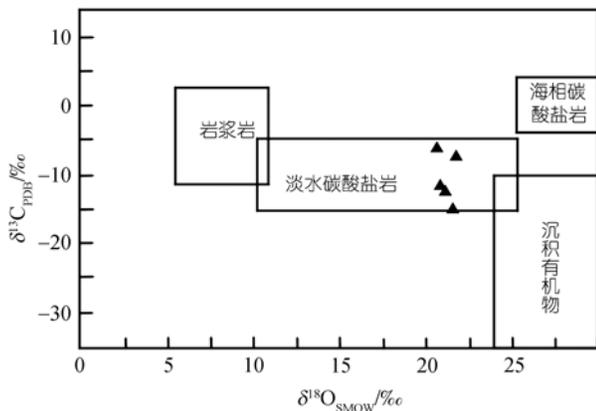
表 2 方解石脉天然气包裹体气态烃色谱分析结果

样号	气态烃成分	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	$\Sigma C_i$
M-2	含气量(m <sup>3</sup> /t 岩石)	1.0937	0.2841	0.172	0.1321	0.0783	1.7602
	相对含量 C <sub>i</sub> / $\Sigma C_i$ (×100%)	62.13	16.14	9.78	7.5	4.45	
LR-1	含气量(m <sup>3</sup> /t 岩石)	1.7314	0.3451	0.1492	0.1027	0.0935	2.4219
	相对含量 C <sub>i</sub> / $\Sigma C_i$ (×100%)	71.49	14.25	6.16	4.24	3.86	
LR-3	含气量(m <sup>3</sup> /t 岩石)	1.6604	0.207	0.1634	0.0801	0.0319	2.1427
	相对含量 C <sub>i</sub> / $\Sigma C_i$ (×100%)	77.49	9.66	7.63	3.74	1.49	
LR-5	含气量(m <sup>3</sup> /t 岩石)	1.4204	0.1554	0.102	0.0971	0.0044	1.7793
	相对含量 C <sub>i</sub> / $\Sigma C_i$ (×100%)	79.83	8.73	5.73	5.45	0.24	
LR-6	含气量(m <sup>3</sup> /t 岩石)	1.2301	0.315	0.262	0.1367	0.0537	1.9976
	相对含量 C <sub>i</sub> / $\Sigma C_i$ (×100%)	61.58	15.77	13.12	6.84	2.69	

表3 方解石脉、包裹体甲烷和天然气藏稳定同位素分析结果

方解石脉/%			包裹体/%		天然气藏/%			
样号	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$	样号	$\delta^{13}\text{C}_1$	$\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$	井号	$\delta^{13}\text{C}_1$	$\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$
M-2	-10.11	-9.07	BM-2	-21.36	-73.8	M4	-28.5	-146.24
LR-1	-10.98	-8.98	BR-1	-22.52	-78.3	P1	-30.21	-122.71
LR-3	-15.23	-9.01	BR-3	-27.28	-111.03	Z5	-32.17	-137.03
LR-5	-5.75	-9.29	BR-5	-24.78	-98.37	P3	-29.24	-148.52
LR-6	-7.50	-8.96	BR-6	-29.06	-70.89			

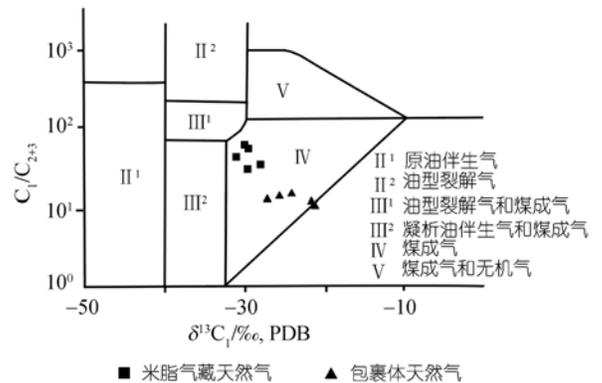
碳、氧同位素, 方解石脉 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 为 $-5.75\text{‰}$ ~ $-15.23\text{‰}$ ,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 为 $21.33\text{‰}$ ~ $21.67\text{‰}$ , 在反映方解石脉成因的 $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{18}\text{O}$ 图解 [16]中(图 3), 投点全部落在淡水碳酸盐岩区, 表明断裂带中的方解石脉是从淡水中沉淀而来的。

图3 方解石脉 $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{18}\text{O}$ 图 [16]

### 3.4 天然气包裹体碳氢同位素与气源分析

天然气包裹体的甲烷碳、氢稳定同位素可有效追踪天然气成因和来源 [17-19]。天然气包裹体和米脂气藏天然气甲烷碳、氢同位素分析结果见表 3, 天然气包裹体 $\delta^{13}\text{C}_1$ 为 $-21.36\text{‰}$ ~ $-29.06\text{‰}$ ,  $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$ 为 $-70.89\text{‰}$ ~ $-111.03\text{‰}$ 。米脂气藏 $\delta^{13}\text{C}_1$ 为 $-28.0\text{‰}$ ~ $-32.17\text{‰}$ ,  $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$ 为 $-122.71\text{‰}$ ~ $-148.52\text{‰}$ , 在天然气成因判别 $\delta^{13}\text{C}_1$ - $\text{C}_1/\text{C}_{2+3}$ 图 [18]上(图 4), 二者投点均位于煤成气区。

米脂气藏是在鄂尔多斯盆地东部发现的埋藏较浅的以石盒子组和石千峰组河流相砂岩为主要储层的浅层天然气藏, 砂体自北向南展布, 一直延伸到子洲、绥德及其南部地区。含气面积大, 没有明显的气水界线, 向南靠近断层附近砂体含气性变差, 气井产水明显增高。研究认为天然气来源于高成熟的上古生界煤系地层, 微裂隙和断裂是天然气运移的主要通道 [5, 6]。对比分析方解石脉包裹体天然气和米脂气

图4 天然气 $\delta^{13}\text{C}_1$ 与 $\text{C}_1/\text{C}_{2+3}$ 关系成因图 [18]

藏天然气甲烷碳、氢同位素特征表明, 二者都具有煤型天然气的特征。但是, 方解石脉天然气包裹体的甲烷碳同位素值相对偏重, 这可能与包裹体中天然气沿断裂带运移有关。在Schoell天然气 $\delta^{13}\text{C}_1$ - $\delta\text{D}_{\text{CH}_4}$ 成因分类图上 [19], 米脂气藏投点位于腐殖型有机质热解成因干气区和其与腐泥型有机质热解成因干气混合区, 方解石脉天然气包裹体甲烷碳、氢同位素投点位于腐植型热成因干气运移方向上(图 5), 与米脂气藏天然气碳氢同位素演化具有连续一致性。因此, 方解石脉天然气包裹体是天然气运移的结果。

### 3.5 方解石脉热释光(TL)年龄及其地质意义

热释光主要应用于火山岩、岩脉、断层、第四纪等年代测定研究中, 目前应用较多的是测量石英、长石和方解石等单矿物的热释光年龄 [9, 10, 20, 21]。方解石的高温峰测年时域可达百万年, 在沉积盆地中常用其分析沉积成岩年龄 [9, 10]。热释光(TL)是矿物晶体接受核辐射作用积蓄起来的能量在受到热激发时, 以光的形式释放出来的一种物理现象。热释光信号的大小与累积时间和单位时间内矿物所接受的电离辐射能(简称年剂量)的大小成一定的比例关系。矿物晶体的热释光量与它所接受的辐射剂量成正比, 辐射剂量又与时间成正比。矿物中积存的放射性电离辐射能大小可以在实验室内通过给样品进行人工放

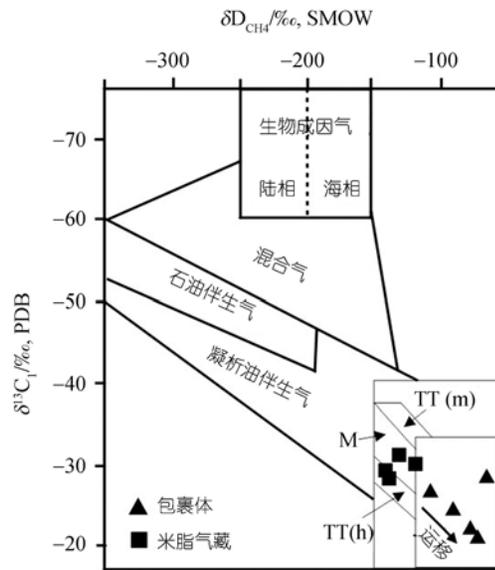


图 5 天然气  $\delta^{13}\text{C}_1$ - $\delta\text{D}_{\text{CH}_4}$  成因判别图

TT(m). 腐泥型有机质热解成因干气; TT(h). 腐植型有机质热解成因干气; M. 混合干气

放射性辐照, 模拟样品积累辐射能的增长过程而获得, 通过实验室内获得的累积辐射能即为等效剂量(ED)。由于矿物所接受的电离辐射能主要由矿物本身及周围环境中放射性元素(主要为铀、钍和钾)提供和宇宙射线供给, 因此, 通过测定矿物中铀、钍和钾的含量, 利用半衰期可以获得矿晶体每年所接受的各种电离辐射剂量总和, 即年剂量( $d$ ), 这样利用公式:  $t = \text{ED} / d$  就可以确定出测定样品的地质年龄( $t$ )<sup>[9]</sup>。

根据前面描述的方法, 分别测定了不同剂量 $\beta$ 源辐射下方解石样品的热释光(TL), 用线性拟合方法求得方解石样品自从生成以来接受的累积辐射能即等效剂量(ED), 分别以 TL 为纵坐标、激发温度( $T$ )为横坐标, 制作含天然气包裹体方解石脉的热释光生长曲线(图 6)。用化学分析方法测量的样品的  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  的含量见表 6。通过上述公式确定出含天然气包裹体方解石脉的年龄为  $(32.4 \pm 3.42) \times 10^4$  年(表 6)。

一般研究认为, 矿物热释光年龄代表其形成年龄或其经历的最后一次热事件年龄<sup>[10, 11]</sup>, 从图 6 可以看出, 不同剂量的 $\beta$ 源辐射得到的热释光生长曲线峰吻合地非常好, 各剂量热释光生长曲线的激发峰温度均在  $280^\circ\text{C}$ , 而且与天然热释光生长曲线峰值一致, 表明激发峰温度与辐射剂量没有关系, 说明方解石脉热释光信号为其矿晶体自然积存的原始 TL, 而且其热释光信号保存完好, 自形成以来没有经

过后期热事件影响。因此, 该含天然气包裹体方解石脉的热释光年龄代表了其形成年龄, 该年龄为迄今为止报道的有关鄂尔多斯盆地天然气运移的最新年龄值。

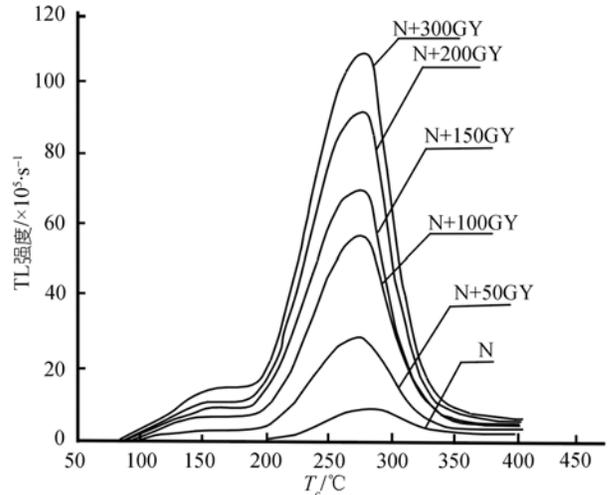


图 6 方解石脉热释光生长曲线

表 6 含天然气方解石脉热释光(TL)年代测定结果

样品	U, TH 和 K 含量			年剂量( $d$ ) / $\mu\text{GY}$	等效剂量 ED/GY	年代 ( $\times 10^4$ )
	U $\times 10^{-6}$	TH $\times 10^{-6}$	K/%			
方解石脉	0.47	1.48	0.1	690.3	224.0	$32.41 \pm 3.42$

## 4 讨论

天然气分子量小, 重量轻, 难吸附易扩散, 断裂构造活动对天然气藏的封闭性有较大影响, 当晚期活动的断裂切穿早期形成的天然气藏时, 可使其逸散。天然气成藏是天然气聚集与逸散的一个动态平衡过程, 在一定地质时期内, 只有当天然气充注量大于逸散量时, 充注到圈闭中的天然气才能聚集成藏。因此, 充注和保存是天然气成藏的两个主要要素, 气藏的充注程度决定于天然气藏形成时间、供气面积和供气强度, 而圈闭中天然气的保存因素除了盖层封闭质量外, 后期构造活动的影响非常重要。

鄂尔多斯盆地东部地区中生代、新生代地层野外露头常见明显的断裂活动痕迹, 古生界地层钻井岩心常见裂缝, 地震剖面反映研究区小断层十分发育, 大部分断层断开太原组、山西组、下石盒子组和石千峰组, 这些断裂构造及其派生的不同级别裂缝一般被认为是天然气运移和聚集成藏的主要通道<sup>[4, 7]</sup>。一些规模较大的断层同时断开了古生界到中生界的

地层, 此类断层具有长期活动的特点, 断裂带晚期活动对早期形成的天然气藏的封闭性有较大影响. 米脂气藏气层压力系数低(0.3~0.5), 含气饱和度小(40%), 重烃成分含量高<sup>[6, 22]</sup>, 反映出该气藏的封闭性较差.

研究认为, 喜马拉雅构造运动对鄂尔多斯盆地油藏形成和分布影响具有局限性, 但是对天然气藏形成和分布的影响具有普遍性<sup>[6, 23]</sup>. 据研究<sup>[4]</sup>, 鄂尔多斯盆地西缘的刘家庄气田在 50 Ma 前还是个储量为  $454.9 \times 10^8 \text{ m}^3$  的大气田, 但由于后期地质构造运动影响而使近  $453 \times 10^8 \text{ m}^3$  的天然气散失掉了, 目前只剩下储量为  $1.9 \times 10^8 \text{ m}^3$  的小气田. 由此可见, 晚期断裂构造对天然气成藏具有重要影响, 在天然气成藏研究和探勘中具有重要研究价值.

通过本文研究, 得出结论如下:

(1) 鄂尔多斯盆地米脂气田南侧断裂带方解石脉天然气包裹体, 属于盆地内高温和高盐度烃类流体. 富含天然气包裹体的方解石脉  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  为  $-5.75\% \sim -15.23\%$ ,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$  为  $21.33\% \sim 21.67\%$ , 研究认为方解石脉是从淡水中沉淀而成的.

(2) 天然气包裹体甲烷  $\delta^{13}\text{C}_1_{\text{PDB}}$  为  $-21.36\% \sim -29.06\%$ ,  $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$  为  $-70.89\% \sim -111.03\%$ , 与米脂气藏气均属于煤成天然气.

(3) 米脂气田属于低压、低饱和度气田, 米脂气田南侧断裂带含天然气包裹体方解石脉热释光年龄为  $(32.4 \pm 3.42) \times 10^4$  年, 该年龄代表了含天然气包裹体的方解石脉形成年龄. 断裂带方解石脉中的天然气包裹体是喜马拉雅构造活动产生的断裂构造破坏了下伏天然气藏, 是天然气沿构造裂隙发生逸散的记录.

**致谢** 参加野外工作的还有兰州地震地质研究所杨斌研究员. 西北大学刘池洋教授和任战利教授对本文研究工作提出了很好的建议和指导, 在此表示感谢.

## 参 考 文 献

- Antonellini M, Aydin A. Effect of faulting on fluid flow in porous sandstones. *Petrophysical Properties*. AAPG Bull, 1994, 78: 355—377 [\[DOI\]](#)
- Allan U S. Model for hydrocarbon migration and entrapment within faulted structures. AAPG Bull, 1989, 73: 803—811 [\[DOI\]](#)
- 鲁兵, 陈章明, 关德范. 断裂活动特征及其对油气的封闭作用. *石油学报*, 1996, 17(3): 33—37
- 戴金星, 卫延召, 赵靖舟. 晚期成藏对大气田形成的重大作用. *中国地质*, 2003, 30(1): 10—19
- 杨华, 付金华, 魏新善. 鄂尔多斯盆地天然气成藏特征. *天然气工业*, 2005, 25(4): 5—8
- 张清, 孙六一, 黄道军, 等. 鄂尔多斯盆地东部石千峰组浅层天然气成藏机制. *天然气工业*, 2005, 25(4): 12—13
- 王庭斌. 中国气藏主要形成、定型于新近纪以来的构造运动. *石油与天然气地质*, 2004, 25(2): 126—132
- Bodnar R J. Revised equation and stable for determining the freezing point depression of  $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$  solution. *Geochim Cosmochim Acta*, 1993, 57: 683—684 [\[DOI\]](#)
- Wintle A G, Huntley D J. Thermoluminescence dating of sediments. *Quat Sci Rev*, 1982, 1: 31—53 [\[DOI\]](#)
- 申英, 秦天健, 高风水, 等. 方解石热释光及测年方法研究. *西南石油学院学报*, 2002, 24(5): 15—17
- Geoldstein R H. Fluid inclusion in sedimentary and diagenetic systems. *Lithos*, 2001, 55: 159—193 [\[DOI\]](#)
- 朱光有, 戴金星, 张水昌. 含硫化氢天然气的形成机制及分布规律研究. *天然气地球科学*, 2004, 15(2): 166—170
- 郑永飞, 周根陶, 龚冰. 碳酸盐矿物氧同位素分馏的理论研究. *高校地质学报*, 1997, 3(3): 241—255
- 郑永飞, 陈江峰. 稳定同位素地球化学. 北京: 科学出版社, 2000. 217
- Degens E T, Epstein S. Oxygen and carbon isotope ratios in coexisting calcites and dolomites from recent and ancient sediments. *Geochim Cosmochim Acta*, 1964, 28: 23—44
- 刘建明, 叶杰, 徐九华. 胶东金矿碳酸盐矿物的碳-氧和锶-钕同位素地球化学研究. *岩石学报*, 2003, 19(4): 775—784
- Jensenius J, Burruss R C. Hydrocarbon-water interactions during brine migration: evidence from hydrocarbon inclusions in calcite cements from Danish North Sea oil fields. *Geochim Cosmochim Acta*, 1990, 54(3): 707—713
- 戴金星. 戴金星天然气地质和地球化学论文集(卷二). 北京: 石油工业出版社, 2000. 180—221
- Shoell M. Genetic characterization of natural gases. *AAPG Bull*, 1983, 67: 2225—2238
- 李虎侯. 释光技术测定年龄的现状. *第四纪研究*, 1997, (3): 248—257
- 唐宇雄, 杨继武, 董必献. 热释光年代测定方法在鱼洞水库地区断层活动性研究中的应用. *西北地震学报*, 2003, 25(2): 186—192
- 李振宏, 王欣. 鄂尔多斯盆地东部石千峰组天然气成藏机理初探. *天然气地球科学*, 2005, 16(3): 314—318
- 邸领军, 张东阳, 王宏科. 鄂尔多斯盆地喜山期构造运动与油气成藏. *石油学报*, 2003, 24(2): 34—37