

doi: 10.11720/wtyht.2015.4.08

梁前勇 熊永强 房忱琛 等. 钻井罐顶气组分地球化学特征及其在储层辨识中的应用[J]. 物探与化探, 2015, 39(4): 704-714. http://doi.org/10.11720/wtyht.2015.4.08

Liang Q Y, Xiong Y Q, Fang C C et al. Geochemical feature of head-space gas components of drill well and its application to petroleum reservoir identification[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2015, 39(4): 704-714. http://doi.org/10.11720/wtyht.2015.4.08

## 钻井罐顶气组分地球化学特征及其在储层辨识中的应用

梁前勇<sup>1,2</sup>, 熊永强<sup>2</sup>, 房忱琛<sup>3</sup>, 李芸<sup>2</sup>

(1. 广州海洋地质调查局, 广东 广州 510760; 2. 中国科学院 广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 3. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083)

**摘要:** 罐顶气分析可以快速对钻井油气层深度进行识别, 其气态烃参数也经常用于判别储层油气属性。由于钻井罐顶气取样过程造成的不可避免的气体损失, 罐顶气气态烃性质能否代表储层天然气的气体属性存在一定的争论。因此, 利用罐顶气气态烃参数识别储层油气属性也就存在一定的不确定性。通过对某钻井储层天然气和同等深度罐顶气的对比研究, 建立了罐顶气分析判别储层油气属性模型。结果表明, 储层天然气中气态烃( $C_1-C_5$ )含量与同等深度的罐顶气气态烃含量存在一定的差异, 导致利用罐顶气气态烃含量指标参数判识的储层油气藏属性与利用储层天然气判识的油气藏实际属性亦存在一定差别; 而罐顶气气态烃的碳、氢同位素比值与储层天然气的碳、氢同位素比值一致。因此, 钻井录井中, 罐顶气气态烃含量仅能用来识别钻井油气层的深度, 其碳、氢同位素比值可用来判别储层油气属性。

**关键词:** 罐顶气; 地球化学特征; 钻井录井; 储层辨识

中图分类号: P632 文献标识码: A 文章编号: 1000-8918(2015)04-0704-11

罐顶气是指存于罐装岩屑(芯)顶部空间, 且与下部液体或岩屑达到气-液相平衡的烃类、空气的混合气体。罐顶气分析能够快速、有效地评价钻井的含油气性以及可能的油气储层深度, 该技术已在油气钻井勘探中广泛应用, 且其气态烃参数被用于钻井储层油气属性的预测及评价中<sup>[1-6]</sup>。目前的罐顶气分析都是利用罐顶气的气态烃含量及其同位素组成对钻井储层油气属性进行评价, 尽管气态烃含量可以判断钻井油气储层的深度, 但是在罐顶气取样过程中不可避免的气体逸散损失, 使气态烃的代表性存在疑问——罐顶气的气态烃能否代表油气储层中的气态烃。因此, 利用罐顶气判别储层油气属性就存在一定的不确定性。笔者以我国南海北部若干钻井的罐顶气和储层天然气为研究对象, 综合比较二者组分及其同位素组成的特征, 完善罐顶气分析技术方法, 为海上油气勘探过程中油气层的识别以及快速评价提供科学依据。

### 1 样品与实验

#### 1.1 罐顶气取样

选取 3 个钻井罐顶气作为实例, 分析钻井罐顶气组分地球化学特征及其在储层辨识中的应用。罐顶气取样在海上钻井平台上进行, 钻井岩芯碎屑随钻取出后, 取同样体积的岩屑样品立刻装罐, 用纯氮气排除罐顶空气后将罐子密封, 然后将铁罐倒置保存并进行查漏, 若存在漏气、漏液现象, 立刻重新取样。取样间隔为 20 m。取样结束后, 所有样品迅速运抵实验室进行分析。

#### 1.2 样品前处理

将铁罐置于 60 °C 的水浴中震荡加热 2 h, 使溶解态和吸附态烃类能够更好地溢出到顶空中并达到平衡。整个过程中, 样品罐始终处于倒置状态, 以避免漏气。

罐顶气组分分析前, 用带密闭阀的气体进样针

收稿日期: 2014-11-26

基金项目: 国家自然科学基金(41302099); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-JC103)

往样品罐中注入 5 mL 乙炔标气(浓度为 1.98% ,N<sub>2</sub> 为平衡气);待混匀后,分别抽取一定量的罐顶气进行组分气相色谱(GC)分析和气相色谱-同位素质谱(GC-IR/MS)分析。

### 1.3 罐顶气组分气相色谱(GC)分析

样品分析前,首先利用一个标准气体(含 CH<sub>4</sub>: 4.99% ,C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>: 2.05% ,C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>: 1.5% ,N<sub>2</sub> 为平衡气)和一个乙炔标气(1.98%)来建立有关烃类组分与乙炔的相对校正因子(图 1、表 1),并确定 GC/FID 系统的灵敏度和分析测定的线性范围。样品分析过程中,标准气每天至少进行 3 次控制分析,如果控制分

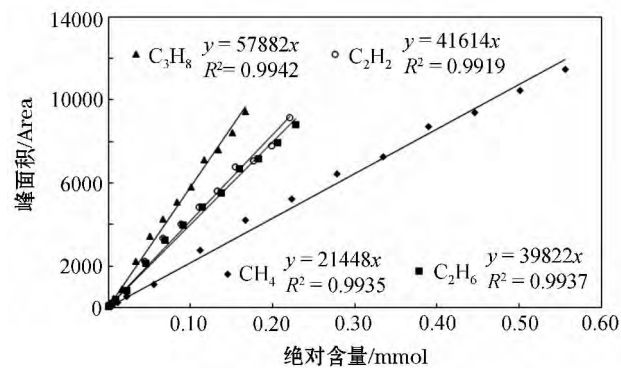


图 1 标准气体的标准校准曲线

析结果的误差超过 5% ,则需要进行新的校正。

气体成分的分析采用配备有 FID 检测器的 Agilent 7890A 气相色谱仪,所使用的色谱柱为 Agilent GS-GASPRO(30 m × 0.32 mm,分子筛,最高柱温为 260 °C,可以分析 C<sub>1</sub>-C<sub>12</sub>)。采用恒流模式(流量 1.0 mL/min),分馏比为 3:1 ,N<sub>2</sub> 为载气。进样口和检测器温度设置为 250 °C。升温程序为: 40 °C 保留 3 min 然后以 15 °C/min 升温到 130 °C,再以 10 °C/min 升温至 180 °C(当所分析的气体中含较多的高分子量烃类时,如 C<sub>6</sub>、C<sub>7</sub>、C<sub>8</sub> 等,将最终温度设置为 220 °C,并保留 20 min)。某钻井罐顶气的气相色谱如图 2 所示。

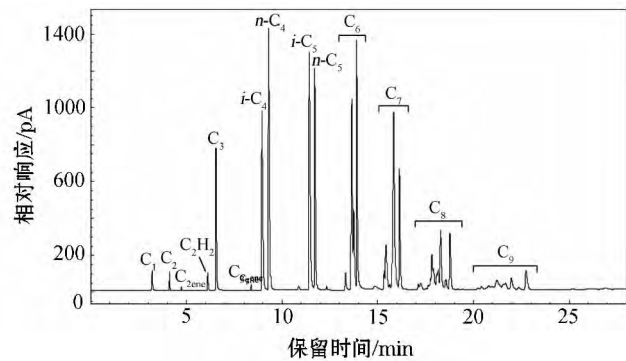


图 2 某钻井罐顶气气相色谱

表 1 各种烃类气体在氢火焰离子化检测器上的摩尔相对校正因子及相应因子

气体组分	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	n-C <sub>4</sub>	i-C <sub>4</sub>	n-C <sub>5</sub>	i-C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>
相对校正因子	1	0.515	1.018	0.926	1.516	1.350	2.030	2.010	2.502	2.527	2.993	3.482
相对响应因子/ (Area/μmol)	41 614	21 447	39 822	38 544	57 882	56 210	84 502	83 681	104 174	105 197	124 593	144 948

注: 甲烷、乙烷、丙烷的相对校正因子直接由实测得到,其他组分是通过甲烷、乙烷和丙烷的实测结果计算得到

### 1.4 罐顶气碳、氢同位素组成(GC-IR/MS)分析

罐顶气气态烃碳同位素比值分析在连接有 Agilent 6890 气相色谱仪的 GV Isoprime II 同位素质谱仪上完成。所使用的色谱柱为 Agilent HP-PLOT Q(30 m × 0.32 mm × 10 μm,分子筛)。采用恒流模式(流量为 1.5 mL/min),He 为载气。升温程序: 50 °C 保留 2 min,然后以 25 °C/min 升温到 190 °C,保留 20 min。每个样品平行测定 3 次,测定的 δ<sup>13</sup>C 值误差不得超过 ±0.3‰。

罐顶气气态烃氢同位素比值的分析在配备有 Agilent 6890 气相色谱仪的 Delta XL Plus GC-IR/MS 同位素质谱仪上完成。色谱柱为 Agilent HP-PLOT Q(30 m × 0.32 mm × 10 μm,分子筛)。采用恒流模式(流量为 1.5 mL/min),He 为载气。升温程序为: 40 °C 保留 2 min,然后以 25 °C/min 升温到 190 °C,保留 20 min。每个样品平行测定 3 次,测定的 δD 误差不得超过 ±3‰。

## 2 结果与讨论

### 2.1 钻井 L 罐顶气组分地球化学特征

#### 2.1.1 气态烃组分特征

分析罐顶气的目的在于可以根据罐顶气中各气态烃的含量来计算一些气态烃指标,从而判定地下油气藏的深度。表 2 是基于钻井 L 罐顶气中气态烃含量得到的各气态烃指标参数。气态烃总量(C<sub>1</sub>-C<sub>5</sub>)为 81.2~6 971.2 μL/罐,其中甲烷、乙烷分别占总烃含量的 2.4%~98.0%和 0.33%~8.73%。重烃总量(C<sub>2</sub>-C<sub>5</sub>)为 13.6~6 637.6 μL/罐,占总烃含量的 1.68%~97.34%。从整个剖面可以很好地看出(图 3)随深度的增加,甲烷含量先增加,在 1 100~1 400 m 达到最高,然后逐渐减少;而乙烷、丙烷的含量则逐渐增大,在 1 840~2 260 m 段达到最大;重烃(C<sub>2+</sub>)含量的变化趋势与丙烷相似,表明重烃中的成分以 C<sub>3+</sub> 为主,而乙烷在重烃中所占比重较少。从该井

表 2 钻井 L 罐顶气气态烃指标参数

深度 m	$\Sigma [\varphi(C_1-C_5)]$ μL/罐	$\Sigma [\varphi(C_2-C_5)]$ μL/罐	$\varphi(C_1) / \varphi(C_{1-5})$ %	$\varphi(C_2) / \varphi(C_{1-5})$ %	$\varphi(C_{2+}) / \varphi(C_{1-5})$ %	$\varphi(i-C_4) /$ $\varphi(n-C_4)$	$\varphi(i-C_5) /$ $\varphi(n-C_5)$	$\varphi(C_1) /$ $[\varphi(C_2) + \varphi(C_3)]$
1 000	632.3	13.6	97.9	0.72	2.15	6.11	7.88	80.33
1 040	1 720.6	45.1	97.4	0.69	2.62	7.56	12.32	75.29
1 080	1 198.8	38.8	96.8	0.78	3.24	7.06	9.92	66.28
1 120	3 328.9	65.3	98.0	0.54	1.96	7.94	10.79	101.63
1 160	2 077.7	48.6	97.7	0.60	2.34	8.06	10.70	95.20
1 200	3 574.3	59.9	98.3	0.49	1.68	8.59	8.36	121.81
1 240	2 586.9	57.7	97.8	0.61	2.23	5.68	5.09	90.23
1 280	2 351.6	64.2	97.3	0.71	2.73	4.95	4.80	75.17
1 320	2 109.9	133.7	93.7	1.03	6.34	3.95	4.32	41.54
1 360	3 820.2	129.2	96.6	0.51	3.38	4.01	4.13	83.23
1 400	829.8	69.2	91.7	1.55	8.34	4.94	4.00	26.32
1 440	1 069.1	102.8	90.4	1.84	9.61	5.42	3.82	21.17
1 480	1 700.0	156.8	90.8	2.02	9.22	5.92	3.69	20.41
1 520	1 136.6	85.7	92.5	1.96	7.54	6.24	3.75	23.29
1 560	1 114.5	69.5	93.8	1.52	6.24	6.44	3.86	29.43
1 600	620.8	27.4	95.6	0.76	4.42	5.29	4.12	59.97
1 640	399.7	136.7	65.8	3.38	34.2	4.74	4.67	5.81
1 680	840.8	398.2	52.6	3.34	47.4	3.61	4.85	4.21
1 720	1 782.1	740.8	58.4	3.69	41.6	3.01	4.93	4.71
1 760	665.4	494.3	25.7	2.97	74.3	2.19	4.10	1.28
1 800	146.3	106.7	27.1	4.10	72.9	2.03	3.24	1.26
1 840	2 793.9	2 000.1	28.4	2.31	71.6	1.57	3.64	1.70
1 880	1 002.1	674.8	32.7	2.01	67.3	1.41	3.28	2.11
1 920	2 288.1	1 793.6	21.6	1.80	78.4	1.09	2.54	1.31
1 960	2 996.1	2 751.4	8.2	0.79	91.8	0.82	1.97	0.66
2 000	6 252.5	5 859.2	6.3	0.91	93.7	0.66	1.63	0.41
2 040	4 605.2	4 251.2	7.7	1.21	92.3	0.54	1.36	0.40
2 100	2 132.4	1 955.4	8.3	0.86	91.7	0.69	1.31	0.55
2 120	2 851.1	2 782.7	2.4	0.77	97.6	0.73	1.38	0.13
2 140	6 971.2	6 637.6	4.8	1.16	95.2	0.74	1.32	0.31
2 160	6 035.6	5 790.0	4.1	1.19	95.9	0.73	1.30	0.26
2 180	4 781.2	4 593.6	3.9	1.61	96.1	0.71	1.28	0.26
2 200	861.2	837.0	2.8	1.08	97.2	0.72	1.29	0.18
2 220	2 340.1	2 277.8	2.7	0.93	97.3	0.70	1.27	0.19
2 240	1 355.8	1 284.9	5.2	0.57	94.8	0.69	1.26	0.46
2 260	911.2	867.8	4.8	0.33	95.2	0.67	1.23	0.62
2 320	81.5	55.4	32.0	0.56	68.0	0.64	1.07	10.85
2 360	81.2	69.9	13.9	0.60	86.1	0.66	1.14	3.31
2 400	102.1	47.1	53.9	8.73	46.1	0.71	1.14	2.97
2 440	2 364.4	160.9	93.2	0.20	6.81	0.43	0.82	47.65

罐顶气气态烃含量的纵向变化情况可以推断,该井的油气藏深度为 1 840~2 260 m;浅层 1 100~1 400 m 存在一个甲烷富集带。

气态烃中甲烷的百分含量可以用来确定天然气类型。如果  $\varphi(CH_4) > 95\%$ ,则此天然气为干气;如

果  $\varphi(C_{2+}) > 5\%$ ,即  $\varphi(CH_4) < 95\%$ ,则为湿气。从井 L 罐顶气甲烷和重烃的百分含量来看,不同深度罐顶气的干燥度不同,且存在很大的差异。浅层以干气为主,随着深度的增加,甲烷比重从约 98% 逐渐降到 2.4%,然后再逐渐增加到 2 440 m 时的 93.2%。

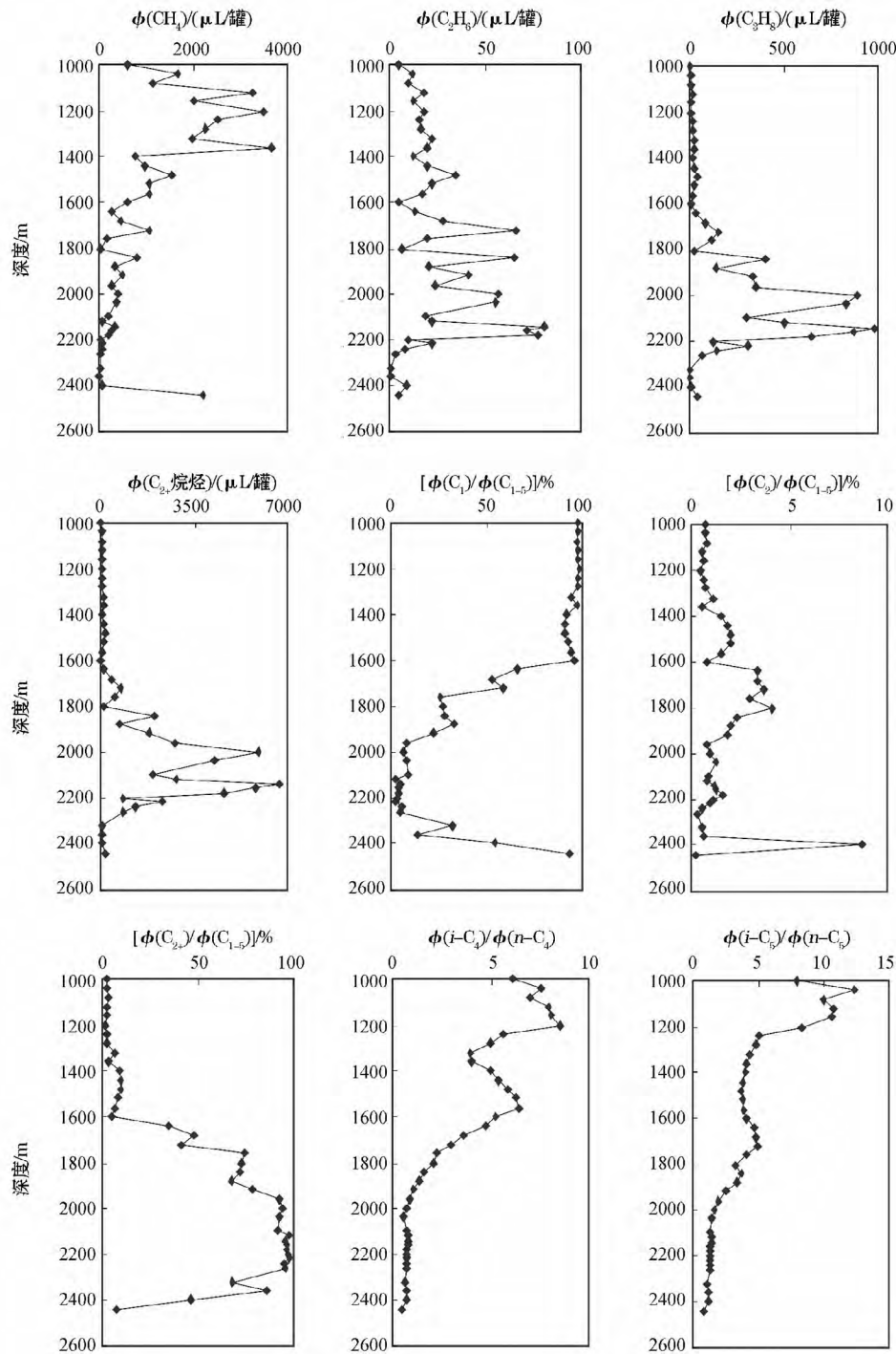


图3 钻井L罐顶气气态烃参数剖面

由此可以看出,随着深度的增加,该井中罐顶气的干燥度逐渐减小,由开始的干气到油气藏处严重的湿气,透过油气藏后,又逐渐变干,但是到最后还是属于湿气范围。由此可以推断,该井1840~2260 m层段的油气藏可能为油层。

在石油天然气地球化学研究中, $\varphi(i-C_4)/\varphi(n-C_4)$ 、 $\varphi(i-C_5)/\varphi(n-C_5)$ 值通常被用来讨论油气成熟度。随着有机母质成熟度增加,异丁烷和异戊烷分别向正丁烷和正戊烷转化,即 $\varphi(i-C_4)/\varphi(n-C_4)$ 、 $\varphi(i-C_5)/\varphi(n-C_5)$ 值减小<sup>[6-7]</sup>。此外,油气藏中的烃类向上运移过程中,烃类气体可以与水选择性地相互作用,造成 $\varphi(i-C_4)/\varphi(n-C_4)$ 、 $\varphi(i-C_5)/\varphi(n-C_5)$ 值增大<sup>[7]</sup>。钻井L罐顶气中, $\varphi(i-C_4)/\varphi(n-C_4)$ 、 $\varphi(i-C_5)/\varphi(n-C_5)$ 值都随深度增加而减小,可能是由于上述二者共同作用的结果。在推测储层段(1840~2260 m), $\varphi(i-C_4)/\varphi(n-C_4)$ 比值为0.54~1.57;在 $C_{2+}$ 含量最高深度段(1960~2260 m), $\varphi(i-C_4)/\varphi(n-C_4)$ 比值明显小于1,为0.54~0.82,可以代表此钻井

由此可以看出,随着深度的增加,该井中罐顶气的干燥度逐渐减小,由开始的干气到油气藏处严重的湿气,透过油气藏后,又逐渐变干,但是到最后还是属于湿气范围。由此可以推断,该井1840~2260 m层段的油气藏可能为油层。

油气的成熟度。

### 2.1.2 气态烃同位素组成特征

石油和天然气的碳、氢同位素组成在油气地球化学中具有非常重要的意义,可以用来阐明石油天然气的成因,探索油气来源,研究储层特征等。因此,研究石油天然气的碳、氢同位素组成有助于进一步的油气勘探。通过研究钻井罐顶气的碳、氢同位素组成,可以直接、初步地了解钻井中油气藏的油气地球化学信息。

#### (1) 碳同位素组成特征

表 3 为钻井 L 部分深度罐顶气气态烃(C<sub>1</sub>-C<sub>5</sub>)碳同位素组成。甲烷的同位素值除在 2 100 m 为 -37.6‰ 外,在其他深度均小于 -54.6‰,绝大部分都小于 -60‰,最轻达 -67.3‰,属于生物气范畴。由于该井罐顶气乙烷含量很低,达不到同位素质谱的检出限,所以无法得到乙烷的同位素数据。丙烷、异丁烷、正丁烷、异戊烷、正戊烷的同位素分布范围分别为 -27.3‰~-31.5‰、-27.0‰~-30.3‰、-25.9‰~-29.5‰、-23.9‰~-26.7‰、-25.4‰~-28.0‰,均属于热成因气范畴。各个深度的 C<sub>1</sub>-C<sub>5</sub> 碳同位素值随烃气分子的碳数增加而增大,即  $\delta^{13}C_1 < \delta^{13}C_3 < \delta^{13}C_4 < \delta^{13}C_5$ ,符合有机成因气的特征<sup>[8]</sup>,从而进一步表明该井中的烃类气体属于有机成因。

表 3 钻井 L 部分深度罐顶气气态烃 C<sub>1</sub>-C<sub>5</sub> 碳同位素比值

深度/m	甲烷	丙烷	异丁烷	正丁烷	异戊烷	正戊烷
1 120	-59.5	—	—	—	—	—
1 240	-60.8	—	—	—	—	—
1 360	-61.7	—	—	—	—	—
1 480	-61.4	—	—	—	—	—
1 600	-65.8	—	—	—	—	—
1 720	-61.1	-31.3	-29.1	-29.1	-26.4	-26.9
1 760	-67.3	-31.5	-29.5	-29.3	-26.0	-28.0
1 840	-64.4	-31.4	-30.3	-29.5	-25.1	-26.5
1 880	-61.2	-31.3	-29.8	-29.0	-25.7	-27.7
1 960	-61.9	-30.5	-29.5	-28.5	-25.5	-26.9
2 000	-63.1	-30.5	-29.2	-28.1	-24.3	-26.1
2 040	-61.1	-30.4	-29.0	-28.0	-23.9	-25.6
2 100	-37.6	-27.7	-27.0	-26.5	-25.7	-25.4
2 120	—	-27.3	-27.2	-26.5	-25.5	-25.5
2 140	-58.3	-28.1	-27.4	-26.8	-25.8	-26.0
2 160	-60.1	-27.9	-27.4	-26.6	-25.8	-26.0
2 180	—	-28.0	-27.5	-26.8	-26.7	-26.8
2 200	—	-28.0	-27.2	-26.6	-26.0	-26.5
2 220	—	-28.0	-27.8	-25.9	-25.9	-26.4
2 240	—	-27.8	-27.1	-26.5	-25.5	-25.8
2 260	—	-27.9	-28.3	-26.5	-25.8	-25.6
2 440	-54.6	—	—	—	—	—

注:碳同位素含量单位为‰,相对标准为 VPDB;“—”表示含量低于检测限。表 5~表 7 同。

钻井推测的储层中罐顶气气态烃碳同位素特征可以预测可能油气藏的成因特征。从纵向上看,甲烷主要为生物成因; $\delta^{13}C_3$ 、 $\delta^{13}(i-C_4)$ 、 $\delta^{13}(n-C_4)$ 、 $\delta^{13}(i-C_5)$ 、 $\delta^{13}(n-C_5)$  随深度的增加而逐渐偏重,到 2 100~2 260 m 段趋于稳定(图 4)。而从该井的罐顶气含量变化得知,该井的油气藏可能深度为 1 840~2 260 m,由此可以推断,该井油气藏(1 840~2 260 m 段)的  $\delta^{13}C_3$ 、 $\delta^{13}(i-C_4)$ 、 $\delta^{13}(n-C_4)$ 、 $\delta^{13}(i-C_5)$ 、 $\delta^{13}(n-C_5)$  分别为 -27.3‰~-28.0‰、-27.2‰~-28.3‰、-25.9‰~-26.6‰、-25.5‰~-26.0‰、-25.4‰~-26.8‰,且为热成因气。由储层向上,C<sub>3</sub>-C<sub>5</sub> 的碳同位素值逐渐偏轻,表明烃类气体由储层向上渗漏,可能发生了同位素分馏效应。

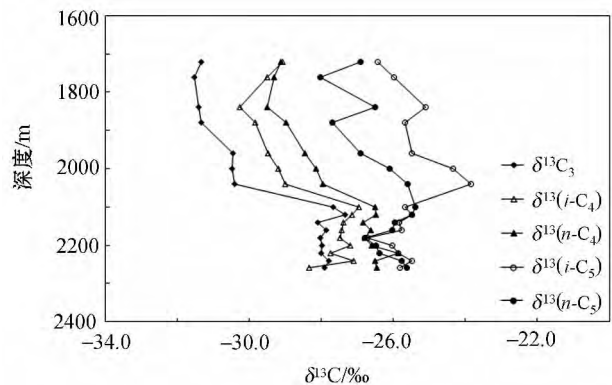


图 4 钻井 L 罐顶气气态烃 C<sub>3</sub>-C<sub>5</sub> 碳同位素垂向变化特征

#### (2) 氢同位素组成特征

石油天然气的氢同位素可以反映烃源岩的沉积环境,为还原成岩母质的沉积相提供重要依据<sup>[9]</sup>。表 4 为钻井 L 推测储层段中部分深度(2 120~2 220 m 段)的罐顶气气态烃氢同位素组成。由于该段罐顶气气态烃以 C<sub>3+</sub> 重烃为主,甲烷、乙烷含量很少,达不到同位素质谱的检出限,所以缺少相关数据。该段罐顶气的 C<sub>3</sub>、i-C<sub>4</sub>、n-C<sub>4</sub>、i-C<sub>5</sub>、n-C<sub>5</sub> 氢同位素值分别为 -130.8‰~-145.0‰、-101.5‰~-120.5‰、-112.6‰~-153.4‰、-95.4‰~-120.7‰、-109.1‰~-121.7‰,均属于海相原油的平均氢同位素组成范畴(-85‰~-181‰)<sup>[7]</sup>。

表 4 钻井 L 部分深度罐顶气气态烃 C<sub>3</sub>-C<sub>5</sub> 氢同位素比值

深度/m	丙烷	异丁烷	正丁烷	异戊烷	正戊烷
2 120	-130.8	-101.5	-124.1	-95.4	-114.6
2 140	-137.8	-120.5	-153.4	-120.7	-120.4
2 160	-140.7	-114.7	-151.1	-120.3	-121.7
2 180	-145.0	-107.3	-120.7	-96.5	-118.8
2 200	-139.4	-113.2	-144.8	-113.4	-121.7
2 220	-141.8	-108.5	-112.6	-92.4	-109.1

注:氢同位素含量单位为‰,相对标准为 VSMOW。表 5 同。

研究结果表明,有机成因的甲烷及同系物的氢同位素比值( $\delta D$ )随烃类分子的碳数增加而增大,即 $\delta D_1 < \delta D_2 < \delta D_3 < \delta D_4$ <sup>[10-11]</sup>。此钻井虽然缺少甲烷和乙烷的氢同位素数据,但是从 $C_3-C_5$ 的 $\delta D$ 值来看,还是符合以上规律。由此推断,该井储层罐顶气中的烃类气体为热成因。

### 2.1.3 钻井 L 储层天然气气态烃地球化学特征

钻井罐顶气的气态烃含量及其同位素组成特征可对钻井的含油性以及油气属性作出预测,与储层实际油气性质的对比可以较好地验证预测的可行性。于是将该钻井的一个储层天然气样品用于对比研究。

#### (1) 气体组分及含量特征

表 5 是取自钻井 L 储层段一定范围(2 157~2 190 m)内的天然气样品的气态烃含量及其同位素组成等参数。该天然气中气体成分最高可达 $C_8$ ,烃类气体占总气体体积的 33.9%(以 $C_1-C_5$ 计为 32.2%); $C_{2+}$ 重烃占总气体体积的 10.7%(以 $C_1-C_5$ 计为 8.98%)。与储层段罐顶气的最大不同在于,天然气中的烃类以甲烷为主,而罐顶气的烃气则以 $C_{3+}$ 重烃为主。此天然气中的甲烷含量为 23.2%,占总烃量(以 $C_1-C_8$ 计)的 68.5%(若总烃以 $C_1-C_5$ 计,则其含量比重为 72.1%)。而该段罐顶气中的甲烷占总烃( $C_1-C_5$ )含量的 3.9%~4.1%(表 3)。

表 5 钻井 L 某深度天然气气态烃( $C_1-C_8$ )含量及 C、H 同位素比值

化合物	含量/%	$\delta^{13}C$ /‰	$\delta D$ /‰
CH <sub>4</sub>	23.2	-60.3	-191.7
CO <sub>2</sub>		-4.2	
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0.52	-28.9	-171.1
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	2.21	-27.4	-142.7
<i>i</i> -C <sub>4</sub>	2.01	-26.6	-127.9
<i>n</i> -C <sub>4</sub>	2.00	-26.1	-140.5
<i>i</i> -C <sub>5</sub>	1.38	-24.9	-103.4
<i>n</i> -C <sub>5</sub>	0.86	-25.6	-110.4
C <sub>6</sub>	1.16		
C <sub>7</sub>	0.44		
C <sub>8</sub>	0.09		
$\varphi(C_1) / \varphi(C_{1-5})$	74.1	—	—
$\Sigma C_{1+}$	33.9	—	—
$\varphi(C_1) / \Sigma [\varphi(C_{1+})]$	68.5	—	—
$\varphi(i-C_4) / \varphi(n-C_4)$	1.01	—	—
$\varphi(i-C_5) / \varphi(n-C_5)$	1.60	—	—
$\varphi(C_1) / [\varphi(C_2) + \varphi(C_3)]$	8.50	—	—

此外,该天然气和钻井罐顶气气态烃的一些指标参数也存在显著的差异。天然气中 $\varphi(i-C_4) / \varphi(n-C_4)$ 、 $\varphi(i-C_5) / \varphi(n-C_5)$ 比值分别为 1.01 和 1.60,与相同层位罐顶气的 $\varphi(i-C_4) / \varphi(n-C_4)$ 、 $\varphi(i-C_5) / \varphi$

(*n*-C<sub>5</sub>) 比值相差 28.7%和 19.4%(以天然气指标为标准)。而 $\varphi(C_1) / [\varphi(C_2) + \varphi(C_3)]$ 比值差别更大,天然气为 8.50,相同层位罐顶气为 0.18~0.26,相差近 40 倍。由此可以推断,罐顶气中所反映的烃类气体组分与实际储层还是有一定区别。

#### (2) 碳、氢同位素组成特征

表 5 给出了该天然气的 $C_1-C_5$ 气态烃 $\delta^{13}C$ 值和 $\delta D$ 值。甲烷的 $\delta^{13}C$ 值为-60.3‰,属于生物气范畴,表明该天然气可能为生物气或者该气体受到生物作用。从 $C_2-C_5$ 的 $\delta^{13}C$ 值所属范畴以及变化规律( $\delta^{13}C_2 < \delta^{13}C_3 < \delta^{13}C_4 < \delta^{13}C_5$ )来看,该天然气又是热成因的。因此可以推断,该天然气为热成因气,且经历过生物降解作用。从氢同位素组成来看, $C_1-C_5$ 的 $\delta D$ 值均大于-200‰,属于海相条件下天然气 $\delta D$ 值范畴<sup>[9]</sup>,表明该天然气源岩为海相沉积环境。

此外,在此天然气中还检测到了 CO<sub>2</sub>,虽然没有对其含量进行定量,但是从碳同位素分析可以看出,天然气中的 CO<sub>2</sub>浓度还是比较高的,且其 $\delta^{13}C$ 值为-4.2‰(VPDB),明显属于无机范畴,表明此天然气中的 CO<sub>2</sub>为无机成因。

与天然气深度(2 157~2 190 m)对应的钻井罐顶气(2 160 m、2 180 m、2 200 m) $C_1-C_5$ 的 $\delta^{13}C$ 值分别为-60.1‰(CH<sub>4</sub>)、-28.9‰(C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)、-27.9‰~-28.0‰(C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>)、-27.2‰~-27.5‰(*i*-C<sub>4</sub>)、-26.6‰~-26.8‰(*n*-C<sub>4</sub>)、-25.8‰~-26.7‰(*i*-C<sub>5</sub>)、-26.0‰~-26.8‰(*n*-C<sub>5</sub>)。比较该天然气和天然气所处深度的钻井罐顶气的碳同位素组成可以发现,天然气的气态烃碳同位素组成与相应深度钻井罐顶气的气态烃碳同位素组成非常相近,而且这两者的气态烃氢同位素组成也非常接近。由此可以确定,虽然在气体组成上有所差别,但是罐顶气的气态烃碳、氢同位素组成与储层天然气的碳、氢同位素组成是一致的。因此,罐顶气中的气态烃碳、氢同位素组成可以反映对应深度的储层的油气气态烃碳、氢同位素组成,可以用于对地下油气藏属性的预测。

生物成因气的主要特点是甲烷含量高而重烃含量低(CH<sub>4</sub>含量大于 95%, $C_{2+}$ 含量小于 1%~2%), $\varphi(C_1) / \varphi(C_{1-5})$ 为 0.95~1.00<sup>[7]</sup>。然而,该井罐顶气和天然气成分中,推测储层深度段(1 840~2 260 m)的重烃含量均大于 60%,而在重烃含量最大深度段(1 960~2 260 m),重烃含量均大于 90%,最高达 97.6%,这与典型生物气或亚生物气特征存在很大的不同。从该井罐顶气和天然气 $C_1-C_5$ 碳同位素组成可以看出,该烃类气体为热成因气。该井推测储层深度罐顶气丙烷的 $\delta^{13}C$ 值范围为-27.3‰

~-31.4‰; 2 157~2 190 m 段天然气的乙烷和丙烷的  $\delta^{13}\text{C}$  值分别为 -28.9‰和 -27.4‰, 根据煤成气和油型气的  $\delta^{13}\text{C}_2$  和  $\delta^{13}\text{C}_3$  特征<sup>[7,12]</sup>, 可判断该天然气应为油型气, 钻井 2 100 m 段罐顶气在甲烷同系物  $\delta^{13}\text{C}$  鉴定图中位于油型气区就是最好的佐证。

综合罐顶气和天然气气态烃成分和同位素组成的所有特征, 可以推断, 钻井 L 的储层天然气为生物改造气。生物改造气的特点是甲烷具有轻的碳同位素组成, 同时在天然气中含有较多的重烃。其成因可能为早期形成的油型气和石油由于构造运动, 部分甲烷、乙烷扩散丢失, 经后期生物改造作用, 形成新的甲烷<sup>[7]</sup>。

## 2.2 钻井 H 罐顶气气态烃地球化学特征

### 2.2.1 气态烃组分特征

图 5 为钻井 P 罐顶气气态烃含量各指标剖面分布。从图中可以看出, 该井含甲烷最高的层段为 3 750~3 770 m 和 3 870~3 910 m; 含乙烷最高的层段为 3 750~3 770 m 和 3 810~3 910 m( 且以 3 870 m 段为主); 含丙烷最高的层段为 3 750~3 770 m 和 3 810~3 910 m。从总烃(  $\Sigma\text{C}_1\text{-C}_5$ ) 和重烃(  $\Sigma\text{C}_{2+}$ ) 含量来看, 最高段均在 3 750~3 910 m, 且以 3 750~3 770 m 段为主。由此可以推断, 该井位 3 750~3 910 m 段为勘探靶区, 且 3 750~3 770 m 段和 3 870 m 段为可能的油气储层。H 井各深度罐顶气气态烃中甲烷的相对含量均小于 64%, 由此得知, 该井的罐顶气为湿气, 且湿度 > 0.36。

### 2.2.2 气态烃同位素及 CO<sub>2</sub> 碳同位素特征

表 6 为钻井 H 部分深度罐顶气 C<sub>1</sub>-C<sub>5</sub> 气态烃及 CO<sub>2</sub> 碳同位素值。  $\delta^{13}\text{C}$  值分别为 -37.1‰~-43.3‰ ( CH<sub>4</sub> )、-28.1‰~-29.8‰ ( C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> )、-26.6‰~-28.5‰ ( C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> )、-26.3‰~-29.8‰ ( *i*-C<sub>4</sub> )、-24.6‰~-27.7‰ ( *n*-C<sub>4</sub> )、-25.3‰~-30.8‰ ( *i*-C<sub>5</sub> )、-23.5‰~-28.1‰ ( *n*-C<sub>5</sub> ) 均属于热成因气范畴, 表明该钻井罐顶气为有机来源。而且, 各个深度的 C<sub>1</sub>-C<sub>5</sub> 碳同位素值随烃气分子的碳数增加而增大( 即  $\delta^{13}\text{C}_{\text{C}_1} < \delta^{13}\text{C}_{\text{C}_3} < \delta^{13}\text{C}_{\text{C}_4} < \delta^{13}\text{C}_{\text{C}_5}$ ) 符合有机成因气的特征, 从而进一步表明该井中的烃气属于有机成因。此外, 该钻井罐顶气中的 CO<sub>2</sub> 碳同位素值范围为 -16.2‰~-29.5‰, 明显属于有机成因范畴。

表 6 钻井 H 罐顶气 C<sub>1</sub>-C<sub>5</sub> 气态烃及 CO<sub>2</sub> 碳同位素组成

深度/m	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	<i>i</i> -C <sub>4</sub>	<i>n</i> -C <sub>4</sub>	<i>i</i> -C <sub>5</sub>	<i>n</i> -C <sub>5</sub>
3 370	-43.3	-25.4	-29.8	-28.3	—	—	—	—
3 430	—	-27.2	-28.1	-27.6	—	-26.9	—	—
3 490	—	-25.9	—	—	—	—	—	—
3 510	-40.0	-29.3	-29.1	-27.5	-29.6	-27.6	-28.5	-28.1
3 630	-41.5	-29.5	—	—	—	—	—	—
3 670	-40.8	-21.4	-28.7	-28.3	-29.8	-27.7	-30.8	-26.5
3 730	-38.3	-16.2	-28.8	-27.3	—	—	—	—
3 750	-39.8	-23.5	-28.8	-28.5	-28.4	-26.3	-26.5	-23.8
3 770	-40.5	-23.9	-28.4	-26.6	-27.9	-25.5	-25.3	-23.5
3 810	-39.0	-22.0	-28.4	-27.0	-28.3	-24.6	-26.1	-23.6
3 850	-41.6	-16.6	-28.2	-27.7	-26.3	-25.7	-28.9	-24.8
3 870	-37.4	-20.8	-29.3	-28.0	-26.8	-26.3	-27.1	-24.7
3 890	-37.1	-23.9	-29.0	-28.1	-28.6	-26.1	—	-25.4
3 930	-37.9	-18.3	-29.1	-28.4	—	-25.5	—	—

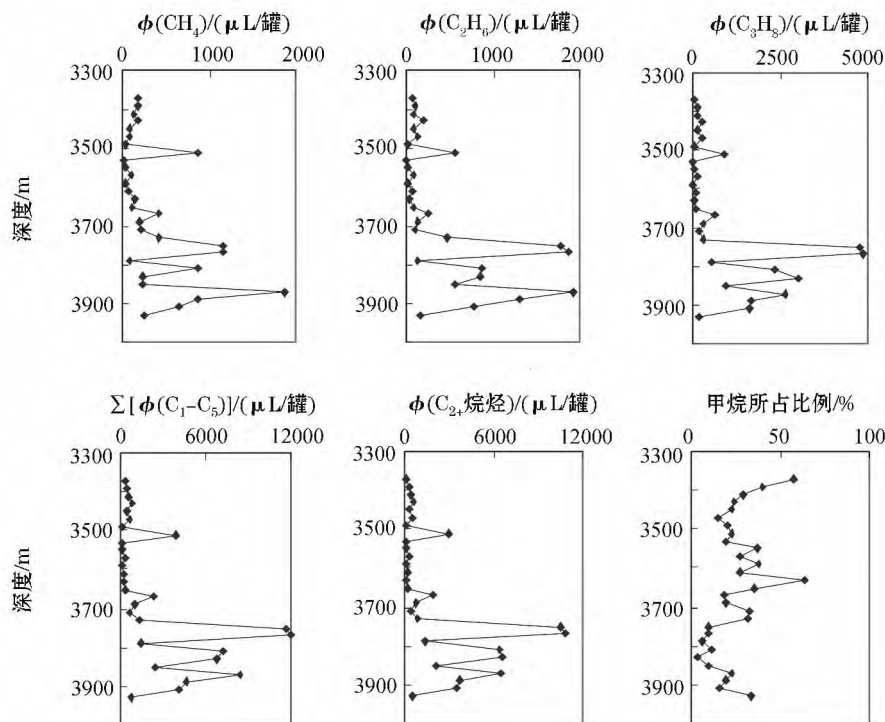


图 5 钻井 H 罐顶气气态烃参数剖面

## 2.3 钻井 P 罐顶气气态烃地球化学特征

### 2.3.1 气态烃特征

钻井 P 罐顶气取样深度为 1 340~4 156 m。罐顶气中气态烃主要为饱和烃,几乎不含烯烃(乙烯、丙烯等)。甲烷含量范围为 11.0~5 270.3  $\mu\text{L}/\text{罐}$ ,大部分小于 500  $\mu\text{L}/\text{罐}$ (甚至 100  $\mu\text{L}/\text{罐}$ )。从甲烷的含量来看,该钻井存在 3 个异常深度,分别为 1 620 m(含量为 1 059.9  $\mu\text{L}/\text{罐}$ )、3 480 m(含量最高,为最主要的甲烷异常段)和 3 780~3 960 m 段(含量几乎都大于 1 000  $\mu\text{L}/\text{罐}$ ) (图 6)。该钻井罐顶气中

乙烷含量非常少(含量范围为 0.08~4.15  $\mu\text{L}/\text{罐}$ ),无法用来对钻井进行评价。丙烷、异丁烷、正丁烷、异戊烷和正戊烷的含量范围分别为 0.16~1 680.3  $\mu\text{L}/\text{罐}$ 、0.49~198.9  $\mu\text{L}/\text{罐}$ 、0.30~672.1  $\mu\text{L}/\text{罐}$ 、0.47~143.5  $\mu\text{L}/\text{罐}$ 和 0.47~191.8  $\mu\text{L}/\text{罐}$ 。丙烷、总烃( $\Sigma C_1-C_5$ )和重烃( $\Sigma C_{2+}$ )显示的异常深度一致,为 3 480 m 和 3 720~3 960 m,且以 3 480 m 和 3 860~3 900 m 为主要异常段。综合罐顶气  $C_1-C_5$  气态烃的所有参数,推断该钻井可能存在两个油气层,分别为 3 480 m 处和 3 720~3 960 m 段。

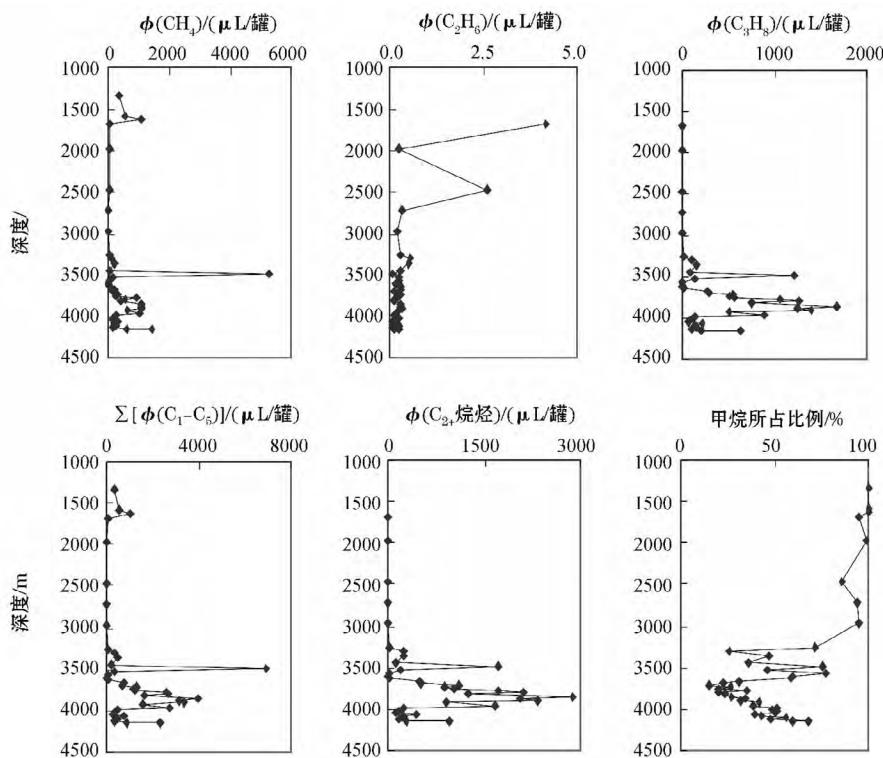


图 6 钻井 P 罐顶气气态烃参数剖面

### 2.3.2 气态烃碳、氢同位素特征

从钻井 P 部分深度罐顶气  $C_1-C_5$  碳同位素组成来看(表 7),该钻井罐顶气的气态烃为有机成因。甲烷的  $\delta^{13}\text{C}$  值范围为  $-44.8\text{‰} \sim 51.7\text{‰}$ ,属于热成因气范畴。乙烷、丙烷、异丁烷、正丁烷、异戊烷和正戊烷的  $\delta^{13}\text{C}$  值范围分别为  $-31.5\text{‰} \sim -32.8\text{‰}$ 、 $-28.0\text{‰} \sim -30.9\text{‰}$ 、 $-29.1\text{‰} \sim -30.9\text{‰}$ 、 $-26.0\text{‰} \sim -27.9\text{‰}$ 、 $-27.0\text{‰} \sim -28.2\text{‰}$ ,均属于热成因气范畴。此外,钻井中各深度的  $C_1-C_5$  气态烃  $\delta^{13}\text{C}$  值均表现为  $\delta^{13}\text{C}_1 < \delta^{13}\text{C}_3 < \delta^{13}\text{C}_4 < \delta^{13}\text{C}_5$ (即随烃气分子的碳数增加而增大)符合有机成因气的特征,从而进一步表明该井中的烃气属于有机成因。根据甲烷碳同位素组成与地层中油、气形成的关系<sup>[13-14]</sup>推断,该罐顶气中的烃类气体可能属于油型气。

表 7 钻井 P 部分深度罐顶气  $C_1-C_5$  碳同位素组成

深度/m	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	<i>i</i> -C <sub>4</sub>	<i>n</i> -C <sub>4</sub>	<i>i</i> -C <sub>5</sub>	<i>n</i> -C <sub>5</sub>
1 340	-51.7	—	—	—	—	—	—
1 680	-46.0	—	—	—	—	—	—
3 440	-46.0	-32.5	-30.9	—	—	—	—
3 740	-46.4	-32.6	-30.1	-30.1	-28.0	-27.1	-27.2
3 800	-37.9	-32.4	-29.2	-30.0	-27.6	-27.1	-27.0
3 860	-44.8	-32.5	-29.5	-30.9	-28.1	-27.8	-28.2
3 880	-45.8	-31.9	-29.6	-30.6	-27.5	-27.1	-27.4
3 900	-45.8	-32.5	-29.5	-30.6	-27.8	-27.4	-27.4
3 980	-46.5	-32.7	-30.0	-30.3	-28.3	-28.3	-27.8
4 040	-45.7	-32.8	-28.8	-29.3	-25.7	-26.0	-27.0
4 100	-46.4	-31.7	-28.0	-29.5	-26.4	-26.0	-27.6
4 140	-44.8	-31.5	-28.4	-29.1	-27.1	-27.9	-27.4



### 2.4 利用罐顶气组分地球化学特征进行储层油气性质预测

经过近 50 年的发展,油气稳定同位素地球化学已经发展成为一个比较完善的学科,其在油气勘探与开发领域发挥了巨大的作用,在气态烃组分及同位素组成与油气藏性质相关性方面也积累了丰富的经验及成果<sup>[15-28]</sup>。罐顶气气态烃分析对油气藏性质的预测,就是利用罐顶气气态烃组分及其碳、氢同位素组成,根据这些经验和成果对钻井中的可能储层进行预测及评价。

甲烷  $\delta^{13}C$  值与  $\varphi(C_1) / [\varphi(C_2) + \varphi(C_3)]$  比值可以判别气体的成因类型<sup>[17]</sup>。利用这一关系,将前述推测的钻井 L 储层的罐顶气和所取的天然气相关指标进行对比,来判别该井天然气的成因类型

(图 7)。

从图中可以看出,钻井 L 几乎所有的罐顶气均位于图版左下方(部分位于亚生物气区,部分位于未知来源区域,有一个点位于原油伴生气区)。其中,比储层深度浅的罐顶气位于亚生物气区,储层深度范围内的罐顶气几乎无一例外的位于图版区域之外,而从储层深度所取的天然气样品则位于亚生物气区。由此可以进一步断定,利用钻井罐顶气成分所判别的储层天然气成因特征与实际天然气有一定的差别。综合比较储层深度罐顶气和天然气的成分和同位素组成,推断二者所反映的天然气成因差别是由于气体成分的差别引起的。

不同成因的甲烷同系物(甲烷、乙烷、丙烷)碳同位素组成具有不同的特征,基于这些区别,可以利

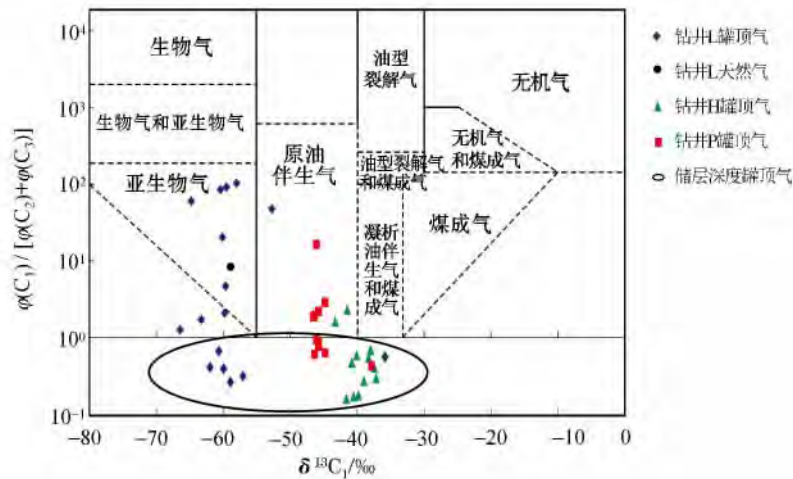


图 7 钻井 L、H、P 罐顶气甲烷  $\delta^{13}C$  值与  $\varphi(C_1) / [\varphi(C_2) + \varphi(C_3)]$  关系(底图引自文献[15])

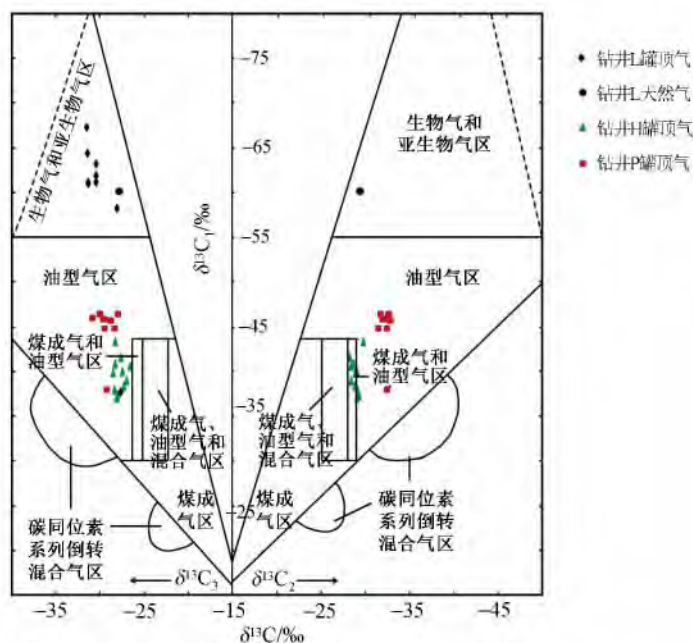


图 8 钻井 L、H、P 罐顶气的甲烷同系物  $\delta^{13}C$  鉴定(底图引自文献[15])

用经验图版对天然气中甲烷同系物进行成因识别。根据戴金星等<sup>[17]</sup>的图版法(又称“V”型鉴别图法)对钻井 L 可获得相应同位素数据的罐顶气以及天然气样品进行对比(图 8)。

从  $\delta^{13}\text{C}_1-\delta^{13}\text{C}_3$  交叉图可以看出, 钻井 L 几乎所有的罐顶气样品均位于生物气和亚生物气区, 只有一个点(2 100 m) 位于油型气区。而天然气样品无论是在  $\delta^{13}\text{C}_1-\delta^{13}\text{C}_3$  交叉图还是在  $\delta^{13}\text{C}_1-\delta^{13}\text{C}_2$  交叉图中, 都位于生物气和亚生物气区。同等深度的天然气样品和罐顶气样品位于相同区域, 表明这二者甲烷同系物组成所指示的烃类气体成因类型一致。

前面比较了同等深度的罐顶气和天然气样品气态烃的碳、氢同位素组成特征, 发现二者的  $\text{C}_1$ 、 $\text{C}_3$ 、 $i\text{-C}_4$ 、 $n\text{-C}_4$ 、 $i\text{-C}_5$ 、 $n\text{-C}_5$  碳、氢同位素值都是一致的。由此可以推断, 该深度的罐顶气乙烷的  $\delta^{13}\text{C}$  值和  $\delta\text{D}$  值也应该与天然气一致, 即  $\delta^{13}\text{C}_2 = -28.9 \pm 0.3\text{‰}$ ,  $\delta\text{D}_2 = -142.7 \pm 3\text{‰}$ 。根据推测的罐顶气乙烷  $\delta^{13}\text{C}$  值, 再将相应的罐顶气点在  $\delta^{13}\text{C}_1-\delta^{13}\text{C}_2$  交叉图中投点, 可以发现, 这些罐顶气也位于生物气和亚生物气区。

钻井 H、P 的罐顶气样点除小部分位于原油伴生气区域内, 其余大部分都位于原始图符之外, 且预测储层段的异常点几乎都位于图幅的下方(图 7)。根据钻井 L 的储层罐顶气和天然气样品的比较结果——罐顶气样品的  $\varphi(\text{C}_1) / [\varphi(\text{C}_2) + \varphi(\text{C}_3)]$  比值较实际的天然气样品要小, 在  $\delta^{13}\text{C}_1$  与  $\varphi(\text{C}_1) / [\varphi(\text{C}_2) + \varphi(\text{C}_3)]$  关系图中的位置比实际要偏下, 可以推测, 钻井 H 和钻井 P 储层中的气体应该位于现在点位的上方, 即钻井 H 储层中的气态烃位于原油伴生气、凝析油伴生气和煤成气混合区, 钻井 P 的气态烃位于原油伴生气区域。因此可以推断, 钻井 H 储层中的气态烃可能为原油伴生气、凝析油伴生气和煤成气混合气, 钻井 P 储层中的气态烃可能为原油伴生气。

如图 8 所示, 钻井 H 罐顶气在  $\delta^{13}\text{C}_1-\delta^{13}\text{C}_2$  交叉图中, 仅一个点位于油型气区, 其他都位于油型气和煤成气混合区; 在  $\delta^{13}\text{C}_1-\delta^{13}\text{C}_3$  交叉图中位于油型气区, 且都位于油型气和煤成气混合区旁边。钻井 P 的罐顶气在  $\delta^{13}\text{C}_1-\delta^{13}\text{C}_2$  和  $\delta^{13}\text{C}_1-\delta^{13}\text{C}_3$  交叉图中都位于油型气区。由此可以推断, 钻井 H 储层中的烃类气体为油型气和煤成气, 钻井 P 储层中的烃类气体为油型气。

### 3 结论

(1) 研究表明, 钻井罐顶气中  $\text{C}_{2+}$  重烃含量的异常可以较好地指示地下油气藏的存在, 若罐顶气为

湿气, 则重烃含量指标( $\Sigma \text{C}_{2+}$ ) 更加有效。

(2) 气态烃( $\text{C}_1-\text{C}_5$ ) 相对含量与储层天然气中的气体组成存在一定差别, 导致在用这些气态烃相对含量数据进行后期解释时与实际的天然气样品有所出入, 但是这些差别不影响利用罐顶气对钻井的含油气性以及可能的油气储层深度的判断。

(3) 尽管在相对组成上有所区别, 钻井罐顶气的气态烃碳、氢同位素组成与天然气的气态烃碳、氢同位素组成一致, 表明钻井罐顶气的气态烃碳、氢同位素组成可以用来对钻井储层的油气藏属性进行进一步的评价。如利用钻井罐顶气的气态烃碳同位素比值可以对钻井储层的油气成因类型进行初步判别; 利用其氢同位素比值可以判断油气母源的沉积环境。

### 参考文献:

- [1] 张居和, 郭庆福, 傅洪. 岩屑罐顶气气相色谱分析技术及其在油气勘探中的应用[J]. 大庆石油地质与开发, 1993, 12(2): 13-20.
- [2] 胡书林, 张军劫, 刘俊武, 等. 罐顶气技术在 MB 油田开发中的应用[J]. 录井技术, 2003, 14(2): 48-53.
- [3] 孙迎杰. 罐顶气录井影响因素探讨[J]. 今日科苑, 2009, 4: 80.
- [4] 牛强. 罐顶气轻烃色谱分析准确性影响因素探讨[J]. 录井工程, 2009, 20(1): 40-44.
- [5] 向巧玲. 罐顶气轻烃录井技术在胜利油田油气层评价中的应用[J]. 科技风, 2009, 9: 35-36.
- [6] 李国荟. 罐装岩屑轻烃录井在油气勘探中的应用[J]. 石油勘探与开发, 1992, 19(3): 26-32, 40.
- [7] 沈平, 徐永昌. 石油碳、氢同位素组成的研究[J]. 沉积学报, 1998, 16(4): 124-127, 144.
- [8] 徐永昌. 天然气成因理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- [9] Jame A T. Correlation of natural gas using the carbon isotopic distribution between hydrocarbon components [J]. AAPG Bulletin, 1983, 67: 1176-1191.
- [10] Barker J F, Pollock S J. The geochemistry and origin of natural gases in Southern Ontario [J]. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 32(3): 313-326.
- [11] 徐永昌, 沈平. 中原、华北油气区煤型气地化特征初探[J]. 沉积学报, 1985, 3(2): 37-46.
- [12] 戴金星, 戚厚发. 我国天然气藏类型划分[J]. 石油学报, 1982, 3(4): 17-21.
- [13] Schoell M. Recent advances in petroleum isotope geochemistry. Organic Geochemistry, 1984, 6: 645-663.
- [14] Schoell M, Hwang R J, Simoneit B R T. Carbon isotope composition of hydrothermal petroleum from Guaymas Basin, gulf of California [J]. Applied Geochemistry, 1990, 5(1/2): 65-69.
- [15] 徐永昌. 稀有气体及其同位素在石油地质学上的应用[G]//石油地质学译文集: 第 3 集. 北京: 科学出版社, 1976.
- [16] 沈平, 王先彬, 徐永昌. 天然气同位素组成及气源对比[J]. 石

- 油勘探与开发, 1982, 6: 34-38.
- [17] 王大锐, 杨家健. 有机物中氢同位素分析及在石油勘探中的应用[J]. 石油勘探与开发, 1991, 18(1): 31-36.
- [18] 王国建, 程同锦, 汤玉平, 等. 地表化探中甲烷稳定碳同位素的应用及存在问题[J]. 物探与化探, 2008, 32(5): 549-552.
- [19] 王大锐. 油气稳定同位素地球化学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2000.
- [20] 张金来. 甲烷稳定碳同位素在油气化探中的应用[J]. 物探与化探, 1988, 12(2): 123-128.
- [21] 石宝珩. 天然气地质研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992.
- [22] 陈卫明, 徐仁廷, 李庆霞, 等. 吸附态轻烃气相色谱分析方法及其在天然气水合物测定中的应用[J]. 物探与化探, 2012, 36(5): 775-782.
- [23] 戴金星, 裴锡古, 戚厚发, 等. 中国天然气地质学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992.
- [24] 戴金星, 宋岩, 戴春林, 等. 中国东部无机成因气及其气藏形成条件[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [25] 戴金星, 王庭斌, 宋岩, 等. 中国大中型天然气田形成条件与分布规律[M]. 北京: 地质出版社, 1997.
- [26] 戴金星. 天然气地质和地球化学论文集[M]. 北京: 石油工业出版社, 1998.
- [27] 黄第藩, 赵孟军, 刘宝泉, 等. 塔里木盆地东部天然气的成因类型及其成熟度判别[J]. 中国科学: D 辑, 1996, 26(4): 365-372.
- [28] 陈忠, 刘平, 黄俊华. 碳同位素在油气地质严重中的应用和进展[J]. 地质地球化学, 1998(1): 69-74.

## Geochemical feature of head-space gas components of drill well and its application to petroleum reservoir identification

LIANG Qian-Yong<sup>1,2</sup>, XIONG Yong-Qiang<sup>2</sup>, FANG Chen-Chen<sup>3</sup>, LI Yun<sup>2</sup>

(1. Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510760, China; 2. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; 3. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Head-space gas of well logging is a fast and cheap technique to identify the depth of oil and gas reservoir, and the hydrocarbon indexes are usually used to distinguish the characteristics of oil or gas in the reservoir. Due to the unavoidable weight loss of gas during the sampling process of head-space gas, the problem as to whether the property of the hydrocarbons in the can is the same as the reservoir gas is an argumentative issue. Therefore, it is questionable to use the indexes of hydrocarbon of head-space gas to distinguish the characteristics of reservoir petroleum. In this study, a model for identifying characteristics of the reservoir gas or oil by head-space gas of drill core was established by a comparative study between the drill core head-space gas and the reservoir gas from the same depth. The result shows that the drill core head-space hydrocarbons are different from the reservoir hydrocarbons in concentrations, which further results in the difference of hydrocarbon indexes of the two gases in identifying the characteristics of petroleum reservoir. However, the isotopic composition ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta\text{D}$ ) of the hydrocarbons of the head-space gas and that of the reservoir gas are identical, suggesting that the  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta\text{D}$  values could be used to identify the characteristics of petroleum reservoir.

**Key words:** head-space gas; geochemical characteristics; well logging; petroleum reservoir identification

作者简介: 梁前勇(1983-) 男, 博士, 主要从事油气地球化学和海洋环境地质学研究工作。E-mail: tomlqy@163.com