Journal of Oil and Gas Technology 石油天然气学报, 2017, 39(4), 18-28
Published Online August 2017 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/jogt
https://doi.org/10.12677/jogt.2017.394033

Hans汉斯

The Establishment of Comprehensive Gas Index Interpretation Process for Conventional Gas Logging and Its Application in Oil and Gas Reservoir Interpretation

Mingfa Yu, Haifeng Guo, Wei Zhuang, Yongjie Xue, Guiqin Han

Interpretation Research Center of CNPC Great Wall Drilling Engineering Company, Beijing
Email: yumingfa@163.com

Received: Mar. 10th, 2017; accepted: Jul. 15th, 2017; published: Aug. 15th, 2017

Abstract

The conventional gas logging was an important method to find oil and gas show and to evaluate the oil-bearing property of the reservoir. The gas logging data of different types of oil and gas reservoirs had different characteristics, so the summarized characteristics of oil and gas reservoir could be used for classifying the types of reservoirs. The Comprehensive Gas Index (COGASIN) method was a series of evaluation indices calculated from the C_1 - C_5 components in conventional gas logging data, which was a new method for distinguishing the reservoir types by plotting index curve and 3-element graph. This method can identify fluid property clearly in the primary reservoir, and combined with the quantitative parameters of gas logging total hydrocarbon data, reservoir interpretation can be carried out. This paper introduces the computing method of comprehensive gas index, and the characteristics of integrated gas index 3-element graph and curve from the gas logging data of different types of oil and gas reservoirs are analyzed. A technical method based on the ratio index of light hydrocarbon is preliminarily created to reflect reservoir characteristics.

Keywords

Logging, Gas Logging Ratio Method, Hydrocarbon Reservoir, Reservoir Property, Reservoir Fluid Property Interpretation

文章引用: 余明发, 郭海峰, 庄维, 薛永杰, 韩桂芹. 常规气测录井综合气体指数解释法的建立及其在油气储层解释中的应用[J]. 石油天然气学报, 2017, 39(4): 18-28. DOI: 10.12677/jogt.2017.394033

常规气测录井综合气体指数解释法的建立及其在油气储层解释中的应用

余明发，郭海峰，庄　维，薛永杰，韩桂芹

中石油长城钻探工程有限公司解释研究中心，北京
作者简介：余明发(1964-)，男，博士，高级工程师，现主要从事油气资源评价方面的工作。
Email: yumingfa@163.com

收稿日期：2017年3月10日；录用日期：2017年7月15日；发布日期：2017年8月15日

摘　要

常规气测录井是发现油气显示，评价储层含油气性的重要方法，不同类型油气藏气测值的特征不同，通过对上述特征的总结分析可以区分油气藏类型。综合气体指数法(COGASIN, Comprehensive Gas Index)，是利用C_1~C_5组分体积分数计算得到评价指数，绘制指数曲线和三元图来区分油气藏类型的方法。对原生油气藏可以明晰地判断储层流体性质，结合气测录井定量参数全烃数据，可以达到解释储层性质的目的。提出了综合气体指数法的计算方法，对不同类型油气藏的综合气体指数曲线和三元图特征进行分析总结，并初步形成了基于轻烃比值指数反映油藏特征的技术方法。

关键词

录井，气测比值法，油气层，储层性质，储层流体性质解释

Copyright © 2017 by authors, Yangtze University and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 概述

油气藏的伴生气与非伴生气[1]是实施气测录井作业的物质基础。气藏按相态因素被划分为干气藏、湿气藏、凝析气藏等[2]；油藏按流体特征划分为凝析油、挥发油、高凝油、稠油等[3]。由于石油地质背景的差异，不同区块油气藏的地球化学特征差异很大，其轻烃特征可以被气测录井资料所反映，总结气测录井的特征，可以推断地下不同类型油气藏的特征。为了使用气测资料反映油气藏的特征，做出正确的解释判断，解释人员设计了诸多不同的方法[4]，以达到基于已有经验判断油气藏性质的目的。笔者介绍的综合气体指数解释法，于 2007 年在评价识别苏丹麦鲁特盆地 3/7 区低阻油层的科研项目中建立，其后在非洲、中亚、中东等油气探区的油气层解释评价中验证使用。

油质划分标准参照丁莲花所编写的《岩石热解地球化学录井》一书中的油质划分标准[5]，即原油密度 < 0.75 g/cm^3 为凝析油，0.75~0.82 g/cm^3 为轻质油，0.82~0.90 g/cm^3 为中质油，0.90~0.94 g/cm^3 为重质油，>0.94 g/cm^3 为稠油。

2. 方法设计

2.1. 综合气体指数计算

综合气体指数解释评价法(COGASIN, comprehensive gas index)，是利用常规气测录井资料中 C_1~C_5 组分体积分数计算出综合气体指数，并基于该系列指数建立解释图版以及解释曲线图两种应用形式，用于评价储层流体性质。综合气体指数可以和其他气测参数，乃至测井参数灵活组合使用，为评价油气层提供了方便。

气体综合指数定义及计算出如下：

$$I_1 = \frac{C_1}{C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5}$$

$$I_2 = \frac{C_2}{C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5}$$

$$I_3 = \frac{C_3}{C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5}$$

$$I_4 = \frac{C_4}{C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5}$$

$$I_5 = \frac{C_5}{C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5}$$

式中：I_1~I_5 为 C_1~C_5 的综合气体指数，%；C_1~C_5 为相应烃类的体积分数，μL/L。

2.2. 综合气体指数解释评价图

C_1~C_5 的 7 种组分在检测条件下均为气态烃。基于 5 个综合气体指数，根据油气显示的实际情况，进行合理的组合，对轻烃组分分组：以 C_1 表征轻质气态烃；以 $C_2 + C_3$ 表征中质气态烃；以 $C_4 + C_5$ 表征重质气态烃。采用 I_1、$I_2 + I_3$、$I_4 + I_5$ 的组合方式，可以随深度绘制综合气体指数录井解释评价图(如图 1 所示)，在纵向上反映轻烃组分相对比例的变化情况，便于对不同层位储层流体性质进行比较，横向上进行邻井对比，可反映油藏特征的变化。

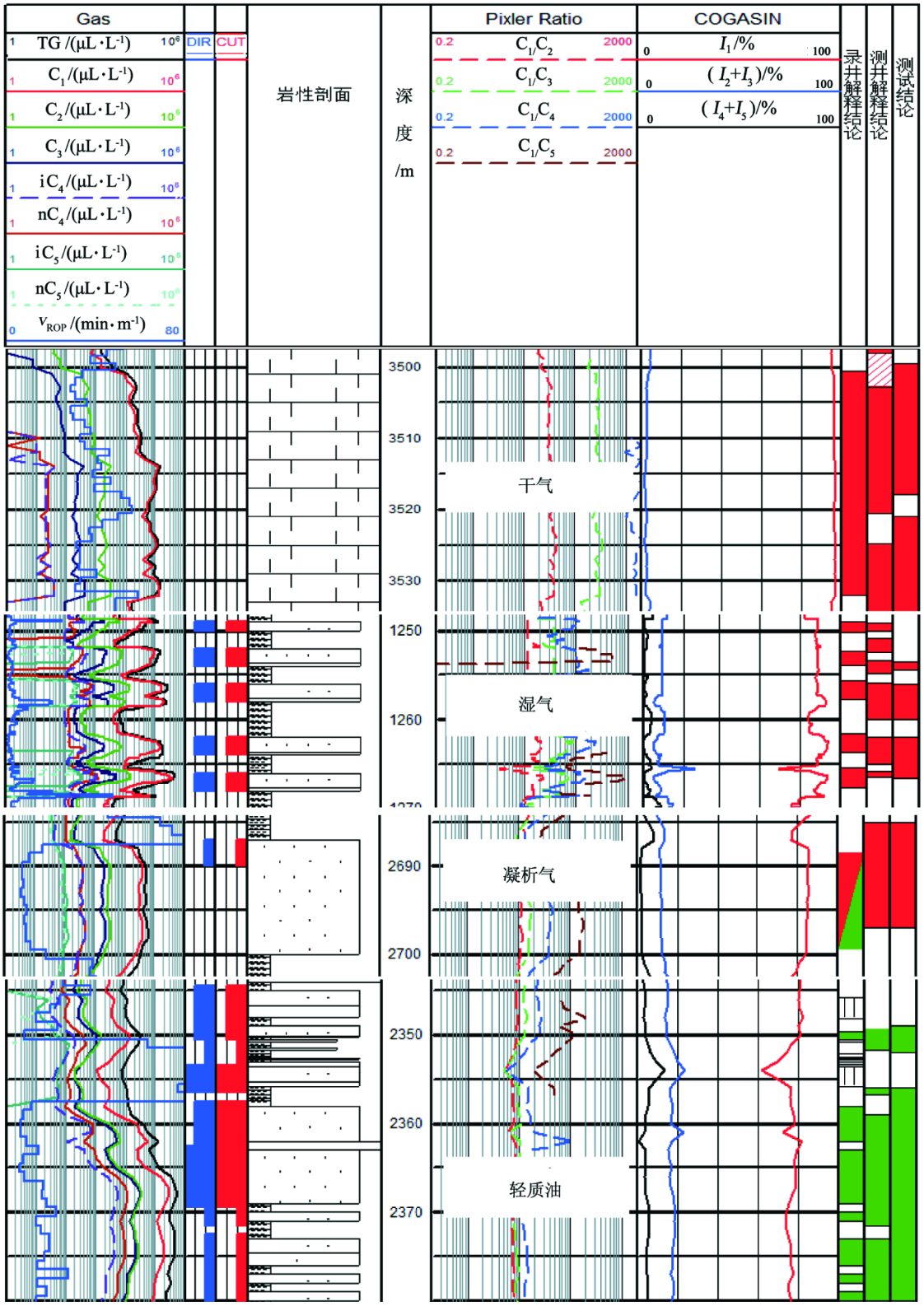
图 1 中把气测资料解释经典方法的皮克斯勒曲线与综合气体指数曲线同时绘出，以方便读图理解。

2.3. 综合气体指数三元图

以 I_1 为 X 轴，$I_2 + I_3$ 为 Y 轴，$I_4 + I_5$ 为 Z 轴，绘制综合气体指数三元图版，如图 2 所示。不同油质的油层与气层在三元图版上有明显的表现差异，可用以区分储层流体性质。通过参考国内外关于轻烃解释的文献，结合应用实践，气藏、凝析油气藏及轻质油藏、中质油藏、重质油藏在综合气体指数三元图上具有较清楚的分区域分布的特点，使用 I_1 划分流体性质的界限：$I_1 > a$ 为天然气；$b < I_1 < a$ 为轻质油；$c < I_1 < b$ 为中质油；$d < I_1 < c$ 为重质油。

根据研究工区内的实践数据资料，不同油田存在不同的数据特征，使用 I_1 区分流体性质的界限是不一样的，需结合具体油气藏的气测资料和油气层试油产出情况，寻求适合该油田的经验值。

可以使用综合气体指数结合其他气测参数，分异气层和不同性质的油层(参考值，$a = 90\%$；$b = 75\%$；$c = 65\%$；$d = 30\%$。所述的 I_1 范围是油气田的经验统计值。根据气测资料和油气层产出情况，寻求适合该油田的指数范围)。



注:C_1 为甲烷体积分数；C_2 为乙烷体积分数；C_3 为丙烷体积分数；iC_4 为异丁烷体积分数；nC_4 为正丁烷体积分数；iC_5 为异戊烷体积分数；nC_5 为异戊烷体积分数；TG 为气测全烃体积分数；DIR 为荧光直照强度，CUT 为荧光滴照强度；V_{ROP} 为钻时；（其中 $C_4=iC_4+nC_4$,$C_5=iC_5+nC_5$）。 下同。

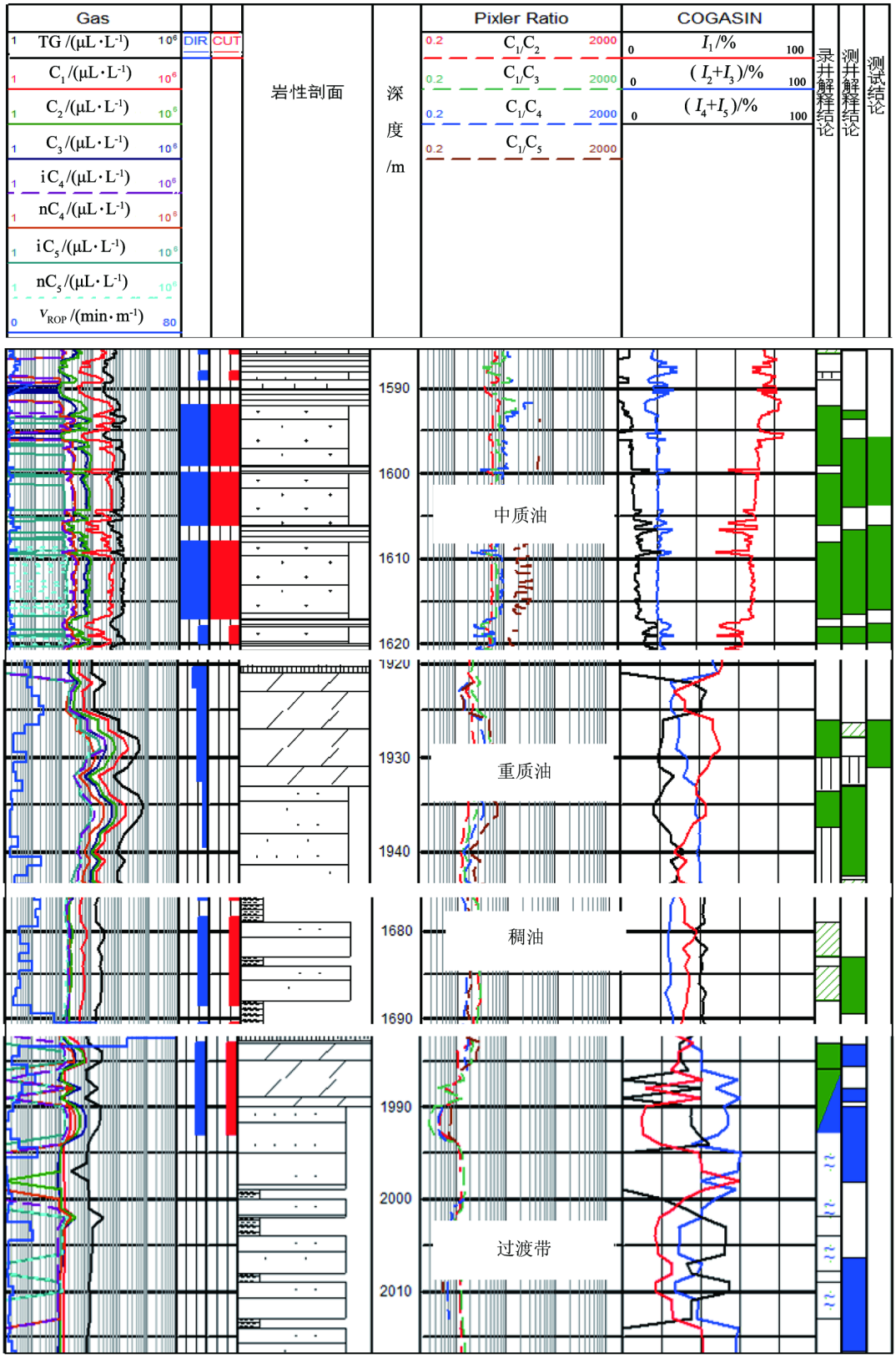


Figure 1. The logging interpretation and evaluating diagram for comprehensive gas index of different reservoir fluids
图 1. 不同储层流体性质的综合气体指数录井解释评价图

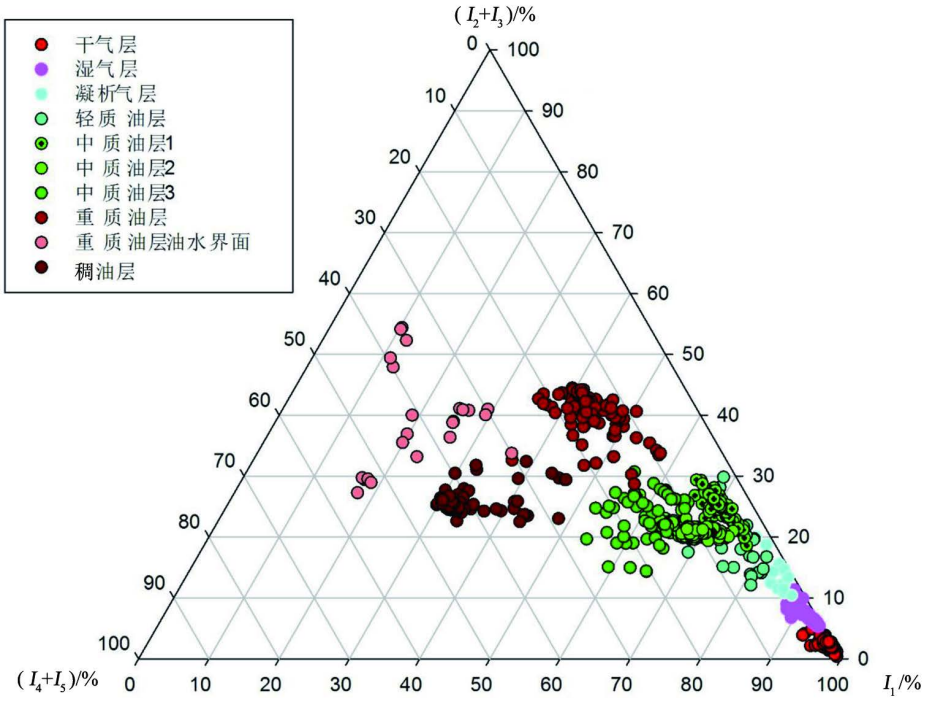


Figure 2. The 3-element graph of comprehensive gas index
图 2. 综合气体指数三元图

3. 在不同流体性质油气层的综合气体指数特征

3.1. 气层

3.1.1. 干气层

中亚某探区 C 气田 C-21 井 3468~3575 m 井段，储层岩性为灰岩，荧光录井直照和滴照均未见到显示，TG 从 0.25%上升至 15.35%，组分峰值 C_1 为 15.1%，C_2 为 0.3355%，C_3 为 0.0425%，iC_4 为 0.0045%，nC_4 为 0.0035%，iC_5 及 nC_5 未检出。依据 TG 以及 I_1 大于 95%的特征值，解释为干气层。其中在 3484.8~3480 m、3492.5~3488 m、3501~3496.5 m、3521~3503 m、3544~3525 m、3569~3548 m 联合试油作业，产天然气 7.7×10^4 m^3/d，水 2.6 m^3/d，水密度 1.04 g/cm^3，Cl^-体积质量为 16555 mg/L，试油结论为气层。天然气类型属于干气，见图 1 及图 2。

3.1.2. 湿气层

乍得 M 油田 M-5 井 1260~1282 m 井段储层岩性为细砂岩，荧光录井直照和滴照均见到中等荧光显示。TG 从 0.69%上升至 45.38%，组分峰值 C_1 为 28.81%，C_2 为 12.939%，C_3 为 0.4977%，iC_4 为 0.0967%，nC_4 为 0.0994%，iC_5 为 0.0344%，nC_5 为 0.0158%。依据 TG 以及 I_1 范围为 90%~95%特征值，该井段储层气测解释为湿气层。在 1262~1266.6 m 及 1275~1281.7 m 联合试油作业，产油 5.21 m^3/d，产气 278498 m^3/d，原油密度 0.762 g/cm^3，气油比为 53439 m^3/m^3，试油结论为气层，天然气类型属于湿气，其综合气体指数特征见图 1 及图 2。

3.2. 凝析气层以及油层

3.2.1. 凝析气层

中亚 H 探区的 ADM 油田西斜坡区块 HK23 井 2685~2697 m，储层岩性为中-粗粒砂，岩录井仅在该

层顶部见弱荧光显示，TG 从 0.54%上升至 6.688%，组分峰值 C_1 为 4.239%，C_2 为 0.349%，C_3 为 0.257%，iC_4 为 0.055%，nC_4 为 0.053%，iC_5 为 0.014%，nC_5 为 0.012%。依据 TG 以及 I_1 范围为 80%~90%特征值，该井段储层气测解释为油气层。使用直径 3 mm 油嘴试油，获凝析油 11.44 m^3/d，气 17046 m^3/d 的产能，气油比 1490.03 m^3/m^3；直径 5 mm 油嘴，产能为凝析油 13.92 m^3/d，气 36785 m^3/d，气油比 2642.60 m^3/m^3；7 mm 油嘴，产能为凝析油 18.05 m^3/d，气 52129 m^3/d，气油比 2888.03 m^3/m^3。所产出的原油在试油报告中描述为凝析油，无原油密度数据，试油结论为气层，其综合气体指数特征见图 1 及图 2。

3.2.2. 轻质油层

中亚 H 探区的 ADM 油田 HK20 井 J_2ds 层位 2345~2380 m 井段见到良好油气显示，TG 从 0.67%上升至 57.074%，组分峰值 C_1 为 29.608%，C_2 为 3.1231%，C_3 为 3.1152%，iC_4 为 0.5672%，nC_4 为 1.2230%，iC_5 为 0.0041%，nC_5 为 0.0076%。依据 TG 以及 I_1 范围为 75%~80%特征值，该井段储层气测解释为轻质油层。在 2349~2352 m、2356~2380 m 试油，产油 20.32 m^3/d，原油密度 0.83 g/cm^3，为轻质油层，其综合气体指数特征见图 1 及图 2。

3.2.3. 中质油层

中东 Y 探区 HF 油田 HF7S7H 井 Sadi 层位，储层岩性为灰岩，钻遇良好荧光显示，气测 TG 从 3.07%上升至 40.8%，组分峰值 C_1 为 28.045%，C_2 为 4.3967%，C_3 为 1.1095%，iC_4 为 0.0953%，nC_4 为 0.3369%，iC_5 为 0.1451%，nC_5 为 0.3098%。依据 TG 以及 I_1 特征值范围为 80%~85%，该井段储层气测解释为油层。2740.3~3743 m 试油，32/64 in 油嘴试油，产油 51 m^3/d，产气 8382 m^3/d，气油比 163 m^3/m^3，原油密度 0.8984 g/cm^3；酸化后 40/64 in 油嘴试油，产油 472 m^3/d，产气 46298 m^3/d，气油比 98 m^3/m^3，试油结论为中质油层，见图 2 中的中质油层 1。

非洲 Z 探区 P 油田 PR-1 井 1595~1620 m 之间井段为砂岩储层，荧光显示良好，TG 从 0.254%上升至 1.1503%，组分峰值 C_1 为 0.5548%，C_2 为 0.0954%，C_3 为 0.0781%，iC_4 为 0.0285%，nC_4 为 0.0333%，iC_5 为 0.0146%，nC_5 为 0.0141%；依据 TG 以及 I_1 特征值范围为 64%~83%，该井段储层气测解释为油层。在井段 1595.8~1603.8 m、1606.0~1616.0 m、1617.6~1619.8 m 联合试油作业，产油 515.5 m^3/d，产气 14271.0 m^3/d，气油比 46.76 m^3/m^3，原油密度 0.862 g/cm^3，属于中质油层，其综合气体指数特征见图 1 及图 2 中的中质油层 2。

非洲 N 探区 S 油田储层岩性为砂岩。E_1 油层试油，原油密度 0.874~0.901 g/cm^3，为中质油层。如 S-10 井在 E_1 层位 1669~1710 m 荧光显示良好，TG 从 0.0945%上升至 0.2908%，组分峰值 C_1 为 0.0727%，C_2 为 0.0178%，C_3 为 0.0148%，iC_4 为 0.0131%，nC_4 为 0.0132%，iC_5 及 nC_5 为 0.0%；依据 TG 以及 I_1 的特征值范围为 55%~70%，该井段储层气测解释为油层。1724.5~1758.5 m 试油，使用 28/64 in 油嘴，获产能 108.74 m^3/d，原油密度 0.8762 g/cm^3，黏度 15.7 mPa·s，属于中质油层，其综合气体指数特征见图 2 中的中质油层 3。S 油田油藏埋深较浅，气测显示幅度低，与该探区其他区块相似存在生物降级次生作用。

3.2.4. 重质油层及稠油层

HF14N14 井的 Jeribe 和 Upper Kirkuk 1 地层井段为 1920~1970 m，荧光录井顶部见弱显示，TG 从 0.1158%上升至 6.9734%，组分峰值 C_1 为 1.5594%，C_2 为 0.7943%，C_3 为 0.5602%，iC_4 为 0.1307%，nC_4 为 0.2739%，iC_5 为 0.1000%，nC_5 为 0.1085%；依据 TG 以及 I_1 的特征值范围为 35%~55%，该井段储层气测解释为油层，油质较重。1926~1931 m 酸化后采用气举工艺试油，获取原油的密度 0.916~0.922 g/cm^3，该井未收集到产量数据。邻井 HF1 井该层位有 143.08 m^3/d 的产能，原油的密度 0.9206 g/cm^3，HF3S1H 井酸化后有 188.23 m^3/d 的原油产量，报告中无原油的密度数据。该层位储层的流体性质属于重质油层，

其综合气体指数特征见图 1 及图 2。HF61Y61 井 Jeribe 和 Upper Kirkuk 1 地层所处的构造位置较低，接近油水界面位置，其 I_1 偏低，在三元图上所处的位置位于 I_1 = 10%~30%的区间，作为一种特殊显示的代表，其综合气体指数特征见图 1 及图 2。

非洲 N 探区 DN 油田 DN-2 井处区块面积较小，边底水有较强的能量，埋藏较浅，存在一定程度的生物降解作用，油藏油质属于稠油藏。DN-2 井 1523.1~1538.4 m 试油，产油 63.59 m^3/d，原油密度 0.9383 g/cm^3，黏度 160 mPa·s。1614~1624 m 试油，产油 25.91 m^3/d，原油密度 0.9685 g/cm^3，黏度 148 mPa·s。试油结论为稠油层，该井 1640~1740 m 井段见弱荧光显示，TG 从 0.0957%上升至 0.2705%，组分峰值 C_1 为 0.1023%，C_2 为 0.034%，C_3 为 0.0304%，iC_4 为 0.0285%，nC_4 为 0.0194%，iC_5 为 0.0182%，nC_5 为 0.0162%；依据 TG 以及 I_1 的特征值范围主要在 25%~45%，该井段储层气测解释为油层，油质较重。综合气体指数特征见图 1 及图 2。

4. 气体综合指数法的应用

4.1. 单井解释中的应用

中东 Y 探区 HF 油田，油气资源丰富。所钻遇主要含油气层段分布在三叠系的 Jeribe、Kirkuk 以及石炭系的 Hatha、Sadi、Khasib、Misrif、Nahr Umr 等层位。HF2N4 井钻遇良好油气显示，该井显示层的综合气体指数三元图以及 TG-I_1 交会图见图 3、图 4。基于 I_1 数据判断，该井显示层的储层流体性质无气层，Nahr Umr、Sadi、Hartha 的油藏为轻质油，Jeribe、Kirkuk 层位为重质油藏，Khasib、Misrif 层位为中质-重质油藏。在判断储层性质方面，综合气体指数三元图上分离油水层的效果不理想，但在 TG-I_1 交会图上判断储层性质的效果较好，水层数据点与油层数据点分离较清晰。

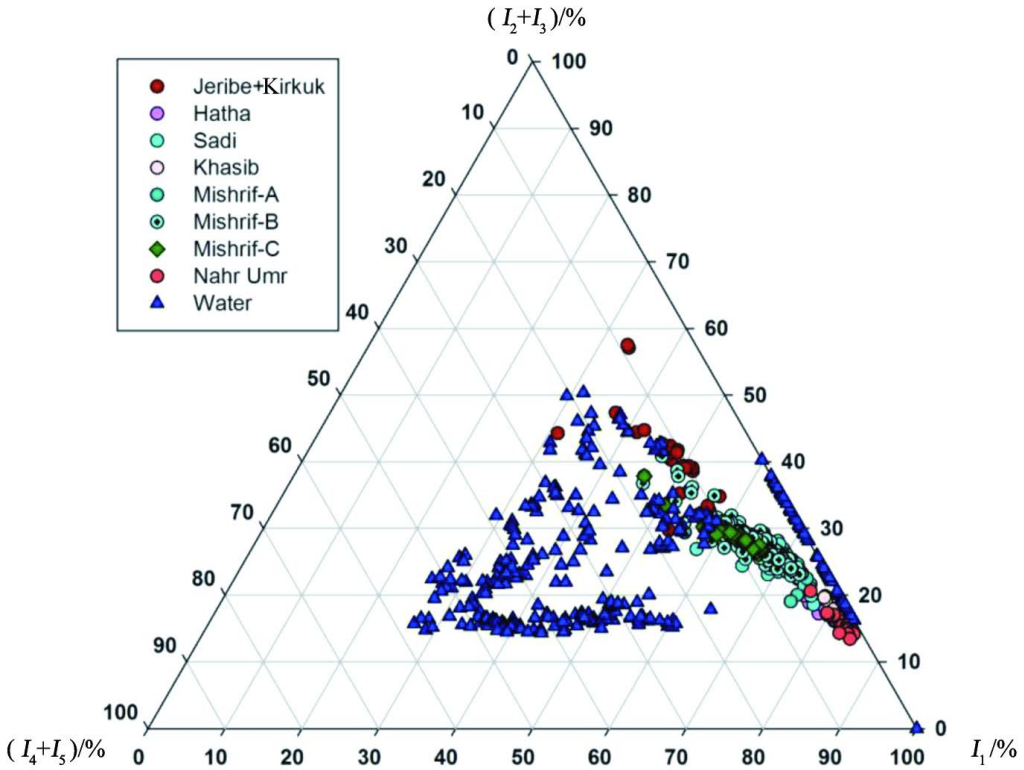


Figure 3. The 3-element graph of comprehensive gas index in the displayed layer of Well HF2N4
图 3. HF2N4 井显示层综合气体指数三元图

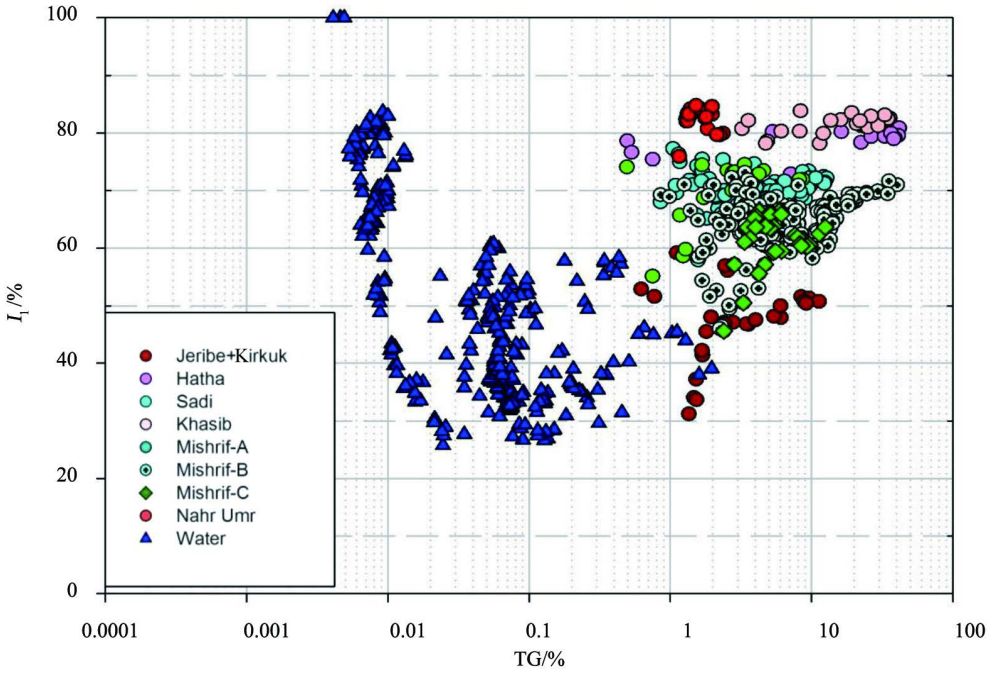


Figure 4. The cross plot of TG-I_1 in Well HF2N4
图 4. HF2N4 井 TG-I_1 交会图

4.2. 油藏研究中的应用

在油藏研究应用中，综合气体指数法可以反映油藏内部的变化。对于有气顶以及底水的油气藏，这种差异很明显。在纯油藏内部，不同部位的轻烃气体比值仍然存在有差异，可以指示油藏的轻烃特征，为整体认识油藏特征提供基础资料。如图 5 中曲线图所体现的是 HF2N4 井 Khasib 地层及以下的轻烃比值特征，剖面中从上至下储层流体性质从中质油、重质油、稠油、油水过渡带乃至水层的轻烃比值曲线具有良好的代表性。Khasib 地层(顶深 2747 m) I_1 在 80%左右，进入 Mishrif-A 段(顶深 2825 m)油层的 I_1 在 70%~80%，Mishrif-B 段(顶深 2857 m)油层的 I_1 在 60%~70%，Mishrif-C 段(顶深 3043 m)油层的 I_1 在 45%~60%。Mishrif-C 段底部及下伏地层油水过渡带内对应于显示层的 I_1 在 30%~45%，水层则表现为典型的油层底水水溶气特征，I_1 逐步上升到 70%。根据邻井试油资料，Khasib 地层原油密度为 0.892~0.898 g/cm^3，Mishrif-A 段原油密度 0.909~0.914 g/cm^3，Mishrif-B 段原油密度为 0.917~0.927 g/cm^3，Mishrif-C 段原油密度 0.947~0.996 g/cm^3。其中 Mishrif-A 段以及 Mishrif-B 段试油俱获高产，Mishrif-C 段试油未获得理想油气产能。综合气体指数的纵向变化可以反映储层流体性质特征的垂向变化，可以为认识油藏特征提供依据。

绘制三元图选用了 Hafaya 油田从构造高部位到低部位的 8 口井 Jeribe + Kirkuk 油藏以及 Hartha 油藏的数据，体现了 Jeribe + Kirkuk 油藏以及 Hartha 油藏内部轻烃比值特征的变化，构造高部位的 I_1 较高，而低部位的 I_1 趋低，如图 6 所示。

油气藏的烃类重力分异作用是导致轻烃比值特征变化的根本原因，掌握了这个基于油藏基本特征的变化规律，运用轻烃比值法在油藏评价实践中就可以用来推断油气层的特征变化。

5. 结语

由于气测录井所检测的轻烃组分 C_1~C_5 与油气藏多具有伴生关系，轻烃组分的一些特征成为了能够反

映油气藏地球化学特征的指标。虽然气测录井在钻探过程中会有诸多负面影响因素，但不会从根本上影响气测录井的应用价值。综合气体指数法适用于常规气测录井资料解释评价油气层。对干气、湿气、轻质油、中质油、重质油、稠油藏，油气水过渡带以及边底水有良好的响应特征，用于储层流体性质解释，解释符合率较高；对原生油气藏的评价效果良好，对存在较强次生作用的油藏效果不理想；单井所处构造位置对气测录井资料有较大的影响；油田区域统计规律对判断的准确性有重要参考作用；储层性质的判断要结合定量分析参数如 TG 等，进行综合判断；在油气层解释以及认识油气藏特征方面，气测录井资料的应用有待于进一步研究发掘。

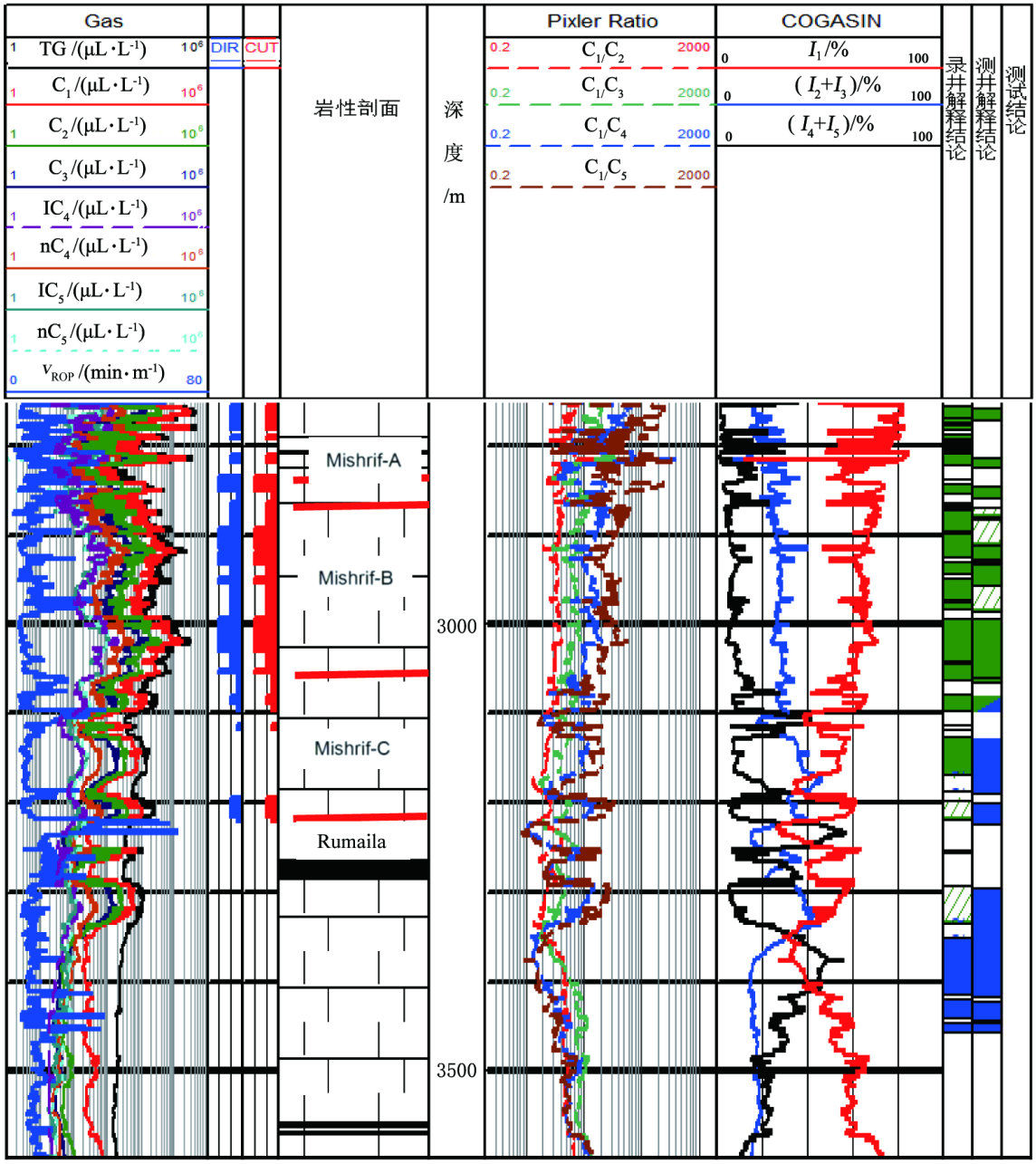


Figure 5. The curves of Khasib and Mishrif Strata in Well HF2N4
图 5. HF2N4 井 Khasib 及 Mishrif 地层曲线图

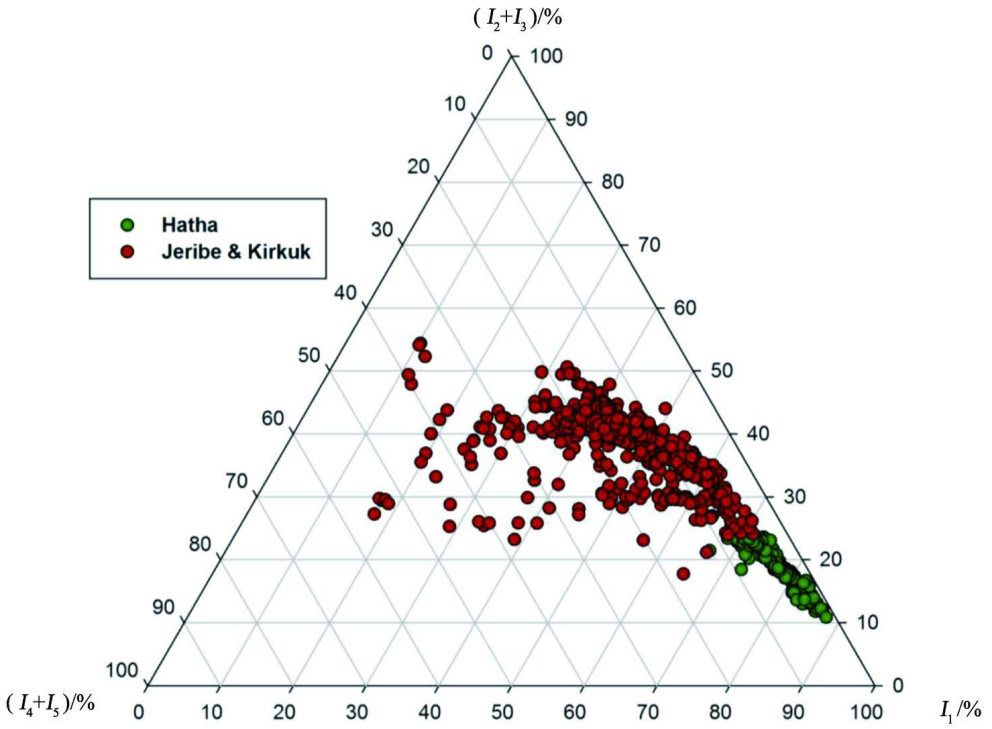


Figure 6. The 3-element graph of comprehensive gas index in Jeribe + Kirkuk and Hartha Reservoirs of HF Oilfield
图 6. HF 油田 Jeribe + Kirkuk 和 Hartha 油藏综合气体指数三元图

基金项目

中国石油天然气集团公司统筹项目(2017-005-008)。

参考文献 (References)

[1] 侯读杰, 冯子辉. 油气地球化学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2011: 278-302.

[2] 国家能源局. 气藏分类[M]. 北京: 石油工业出版社, 2010.

[3] 姚汉光. 国外使用的一些气测录井解释方法[C]//《录井技术》编辑部编. 录井技术文集. 北京: 石油工业出版社, 1999.

[4] 丁莲花, 刘志勤, 翟庆龙, 等. 岩石热解地球化学录井[M]. 东营: 石油大学出版社, 1993: 90.

[5] 余明发, 孙越, 吴国海, 等. 常规气测录井资料解释中皮克斯勒曲线的应用方法[J]. 录井工程, 2014, 25(1): 48-54.

[编辑] 邓磊

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：http://www.hanspub.org/Submission.aspx
期刊邮箱：jogt@hanspub.org