

# Components and Application of Drilling Fluid Isotope Logger

Xiang Song

CNPS Petro Equipment Co., Ltd., Dongying Shandong  
Email: jim.song@cnps.com.cn

Received: Apr. 25<sup>th</sup>, 2017; accepted: Jul. 22<sup>th</sup>, 2017; published: Aug. 15<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

This MGIL (Mud gas isotope logging) was a newly emerged well logging technique. The conventional isotopic analysis in China was normally offline in the laboratory, and thus it cost much time and money. Though measuring online, Geoisotope used in Sino-France geological isotope logging service could only test methane isotope data, and it was larger in size and susceptible to the influence of external environment. The mud isotope logger, isologger developed by the British CSS (Compact Science System) Company, equipped with Isotope-ratio mass spectrometry (called IRMS), was smaller in size, higher in accuracy, and less susceptible to the influence of external environment, in which a gas chromatogram separation unit was rationally introduced. Thus the Isologger could measure isotope data of C<sub>1</sub>-C<sub>5</sub> online, and it enriched the isotope information to mud log. Based on isotope data of multiple components, hydrocarbon maturity analysis and down hole oil formation analysis can be carried out locally, which greatly enhances the guidance function of mud logging. Isotope logging has bright application prospects in deep sea area, unconventional reservoirs, and high temperature, high pressure and high sulphur content reservoirs.

## Keywords

Mud Gas Isotope Logging, Isotope-Ratio Mass Spectrometry, Isotope Logger

---

# Isologger钻井液同位素录井仪组成及应用

宋祥

东营派克赛斯石油装备有限公司, 山东 东营

作者简介: 宋祥(1990-), 男, 硕士, 工程师, 现主要从事同位素录井研究。

Email: jim.song@cnps.com.cn

收稿日期: 2017年4月25日; 录用日期: 2017年7月22日; 发布日期: 2017年8月15日

## 摘要

钻井液气体同位素录井(MGIL)是一门新兴的录井技术。国内传统的同位素分析通常为离线分析, 时间成本和资金成本较高; 而中法渤海地质服务公司在同位素录井服务中使用的Geoisotope在线同位素录井仪虽然实现了同位素数据的在线测量, 但仅能提供甲烷的同位素数据, 并且尺寸较大, 数据易受外界因素影响。英国CSS公司研制的Isologger钻井液同位素录井仪, 采用了稳定同位素比率质谱仪(Isotope-ratio mass spectrometry, 简称“IRMS”), 该设备具有体积小、测量精度高、受外界影响较小的特点; 合理地引入了气相色谱分离单元, 使得Isologger能够通过在线分析得出C<sub>1</sub>~C<sub>5</sub>的同位素数据, 丰富了采集的同位素数据信息。该仪器以多组分的同位素数据为基础, 可在现场进行井下油气层分析、烃类成熟度分析等工作, 极大地提高了录井工作的指导地位。同位素录井在深海、非常规油气层、高温高压含硫地层等区域有着很好的应用前景。

## 关键词

钻井液气体同位素录井, 稳定同位素比率质谱仪, 同位素录井仪

Copyright © 2017 by author, 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. 引言

天然气中烷烃的同位素值蕴含着丰富的科学信息[1]。井下气体同位素数据的测量, 国内外通常是将现场的样品送至实验室分析, 虽然分析数据较全面, 但样品分析的时间成本和资金成本较高, 并且由于是离线分析[2][3], 现场地质人员难以快速、有效地完成油气藏评价、地质卡层、储层连通性评估等地质问题[2][3][4]。斯伦贝谢公司旗下 Geosevices 公司根据近红外光吸收原理和光腔衰荡光谱原理(cavity ring-down spectroscopy, 简称“CRDS”)研发出的实时甲烷同位素录井仪, 在我国中海油相关项目中得到了应用, 虽然解决了同位素的在线分析问题, 但该设备尺寸较大, 同位素数据单一(仅提供甲烷的同位素数据), 且不能排除 CO<sub>2</sub> 及温度变化对同位素数据的影响[4], 所提供的同位素数据不能很好地满足现场的地质解释要求。因此, 在现场钻井液气体同位素录井中, 需要一款体积小、准确度高、测量气体种类多样的钻井液气体同位素录井仪。英国 CSS 公司研制的 Isologger 钻井液同位素录井仪, 采用了稳定同位素比率质谱仪(Isotope-ratio mass spectrometry, 简称“IRMS”), 该设备具有体积小、测量精度高、受外界

影响较小的特点，且能够通过在线分析得出  $C_1\sim C_5$  的同位素数据，丰富了采集的同位素数据信息。

## 2. Isologger 的结构及原理

Isologger 由 GC-C 组合系统(气相色谱分离单元-燃烧炉)、IRMS 测量系统(稳定同位素比质谱仪)和辅助系统 3 部分组成(图 1)。

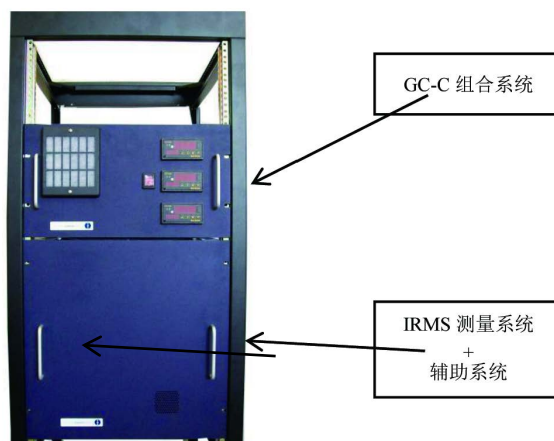


Figure 1. The components of Isologger  
图 1. Isologger 组成部分

### 2.1. GC-C 组合系统

GC-C 组合系统由气相色谱分离单元(GC)和燃烧单元(C)组成，气相色谱分离单元会在氦气流中对样品中进行分离，根据保留时间分析其组成，如  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ 、 $C_4$ 、 $C_5$  和  $CO_2$ 。采取该方式，可以根据 GC 输出峰值将样品“排队”，导入燃烧炉中燃烧成  $CO_2$ ，燃烧生成的  $CO_2$  会按顺序进入同位素比质谱(IRMS)离子源中进行测量。

### 2.2. IRMS 测量系统

IRMS 测量系统为现场小尺寸质谱仪，质谱仪的核心组成部分为高灵敏度气体紧密离子源、高稳定性永磁体、三重法拉第杯收集器。离子源将样品中各组分生成的  $CO_2$  峰转化为离子束，离子束被发射到由永磁体产生的磁场中，按照质荷比(M/e)进行分离，从而测定样品的同位素质量和相对含量。该种精确到质子级别的分离方式，提高了设备的测量精度。

### 2.3. 辅助系统

为了进一步提高数据的准确度，Isologger 设计有校正系统，校正系统将  $C_1$ 、 $CO_2$ 、 $C_2$  和  $C_3$  组成的已知质量浓度和同位素值的校准样品进料到 GC 中，代替钻井液气体样品进行同位素数据测量，根据真实值与测量值的偏差，由计算系统自动进行校正。为了保证数据的兼容性与便利性，Isologger 配套的软件系统可以对采集、校正及数据处理各环节进行调节、监控。

## 3. 技术优势分析

### 3.1. GC-C 组合系统

Isologger 的 GC-C 组合系统由于应用了气相色谱分离单元，能够将样品中的各种组分“排队”燃烧，

测量多种气体组分的  $^{13}\text{C}$  同位素比率, Isologger 测量烷烃种类可根据需求定制, 最多可测量  $\text{C}_1\sim\text{C}_5$  及  $\text{CO}_2$  的  $\delta^{13}\text{C}$  值( $^{13}\text{C}$  同位素比率)。

### 3.2. IRMS 测量系统

由于 IRMS 测量系统采用了高灵敏气体离子源、定制合金制成的高稳定性永磁体, Isologger 测量范围可达 0.02%~40%。质谱测量原理的应用, 使 Isologger 设备本身受外界影响因素较小, 测量准确度可达 0.5‰~1‰, 精准的同位素数据能够较为真实地反映地层信息, 为后期的油藏的分析、评价提供保障。

### 3.3. 综合优势

Isologger 的设计适用于录井现场, 整体大小为 17U, 总重约 125 kg, 使其能够在录井现场在线得出同位素数据。Isologger 软件系统的兼容性强, 可生成 WITS 格式或 Excel 格式的数据文件, 根据时间顺序导入到录井数据库中。 $\text{C}_1\sim\text{C}_5$  和  $\text{CO}_2$  的多组分同位素数据提供了丰富的地层信息, 为气藏成因分析及类型划分[5] [6] [7]、气体性质研究[8]、成熟度评估[9]、真假油气显示识别[10]、地层导向研究[11]提供了可信度较高的数据支撑。由于实验室的资金成本和时间成本较高[2] [12] [13], 在线测得的同位素数据也为油田的降本增效提供了较大助力。此外, Isologger 在测量过程不影响钻井作业, 无需停钻, 操作简单, 规避了复杂境况下可能产生的测试风险。

## 4. 同位素数据的应用

### 4.1. 烃类成熟度分析

Faber 图版是分析烃类成熟度的图版工具, 对研究烃源岩成熟度、预测生烃潜力有重要作用。Faber 图版的建立是以  $^{13}\text{C}_1$ 、 $^{13}\text{C}_2$ 、 $^{13}\text{C}_3$  的  $\delta$  值为基础, 单一的同位素数据是无法建立 Faber 图版的。图 2 为国外某井的 Faber 图版, 根据钻井液气体的同位素数值投点位置, 确定当前井下气体的镜质体反射率( $R_o$ ), 进而判断烃类的成熟度。图 2 反映了井下气体乙烷与丙烷碳同位素组成的关系, 假设生油母质是干酪根 II 型, 通过使用 Berner 和 Faber [15]公式可以计算得到镜质体反射率与碳同位素的关系曲线。

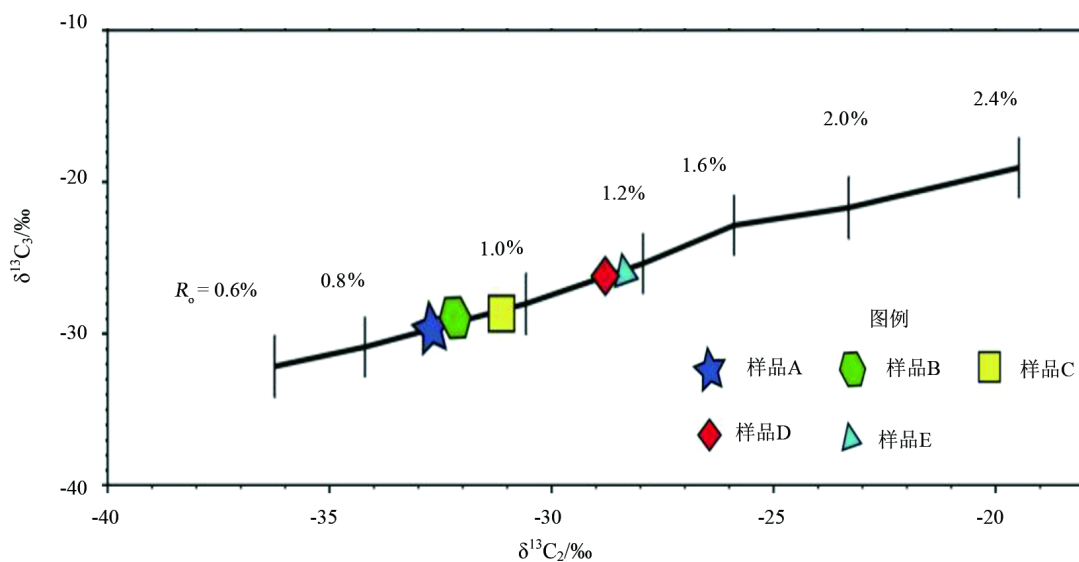


Figure 2. The Faber chart in a well from abroad (modified from literature [14])

图 2. 国外某井的 Faber 图版(据文献[14], 有修改)

## 4.2. 精确分辨油气层

图3为国外某井气测及同位素录井曲线,红色曲线代表烃类干度,绿色曲线代表全烃体积分数,黑色曲线代表 $^{13}\text{C}_1$ 的同位素录井曲线。由于该井为泥浆过平衡钻进,Sand1层在气测曲线上显示为干层,但同位素录井中 $\delta$ 值偏高,指示为含气层,后经试井确认Sand1层为含气层;Sand4层在气测曲线上显示为高产油气层,但同位素录井曲线数值较低,显示为生物成因气,不具开发价值,最终试井确认Sand4层为干层。由此可见,同位素数据相比气测数据更加精确,能够更好地预测油气层。

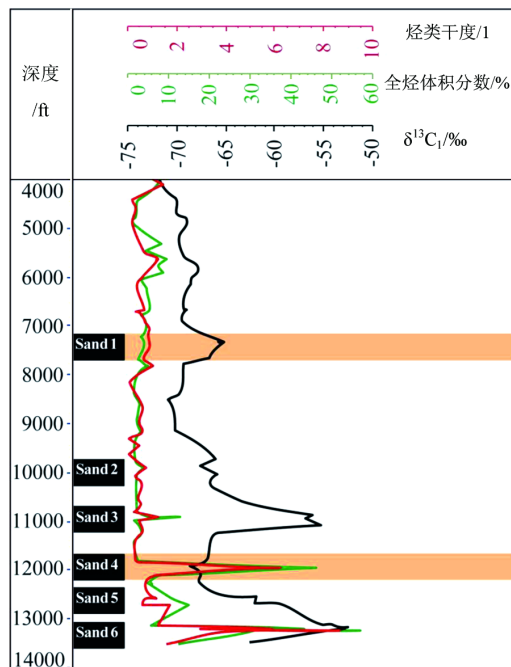


Figure 3. The curve of gas logging and isotope logging in a well from abroad (modified from literature [16])

图3. 国外某井气测及同位素录井曲线(据文献[16], 有修改)

## 5. 结语

Isologger 钻井液同位素录井仪实现了小型化的在线钻井液气体多组分同位素检测, 由于原理特性, 数据更加精准, 为油气层的勘探评价提供了保障; 设备本身在深海钻井、复杂井(高温高压、含硫)及页岩气甜点预测评价中已取得了较为成功的应用, 同时也为降低勘探开发成本提供了可行方案。但是, 现有的稳定同位素现场分析设备并非真正意义上的“实时”, 气体的采集过程有一定的局限性, 而且国内的现场稳定同位素解释尚未成熟, 因此相应的取样方法及后期解释软件的完善是今后现场钻井液气体同位素录井设备的研究重点。

## 参考文献 (References)

- [1] 戴金星. 天然气中烷烃气碳同位素研究的意义[J]. 天然气工业, 2011, 31(12): 1-6.
- [2] Ellis, L., Brown, A., Schoell, M. and Uchytel, S. (2003) Mud Gas Isotope Logging (MGIL) Assists in Oil and Gas Drilling Operations. *Oil & Gas Journal*, **101**, 32-41.
- [3] 陈恭洋, 印森林, 刘岩. 录井学理论体系与录井技术发展方向探讨[J]. 录井工程, 2016, 27(4): 5-11.
- [4] 孙恒君, 黄小刚. 实时同位素录井技术[J]. 录井工程, 2010, 21(3): 1-4.

- [5] 卢双舫, 张敏. 油气地球化学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008: 28.
- [6] Ablard, P., Bell, C., Cook, D., Fornasier, I., Poyet, J.-P., Sharma, S., Fielding, K., Lawton, G., Haines, G., Herkommer, M.A., McCarthy, K., Radakovic, M. and Umar, L. (2012) The Expanding Role of Mud Logging. *Oilf Rev*, **24**, 24-41.
- [7] Hammerschmidt, S.B., Wiersberg, T., Heuer, V.B., Wendt, J., Erzinger, J. and Kopf, A. (2014) Real-Time Drilling Mud Gas Monitoring for Qualitative Evaluation of Hydrocarbon Gas Composition during Deep Sea Drilling in the Nankai Trough Kumano Basin. *Geochemical Transactions*, **15**, 15. <https://doi.org/10.1186/s12932-014-0015-8>
- [8] Ferroni, G. (2016) Deep-Spectrum Gaschromatography and Carbon Isotopes Analysis While Drilling Enhance Value of Real-Time Formation Evaluation, Reducing Interpretation Uncertainty. *International Petroleum Technology Conference*, Thailand, 14 to 16 November, 14-16.
- [9] 李艳婷. MGIL 最大限度地发挥气测价值[J]. 测井技术信息, 2004, 17(4): 28-33.
- [10] Tang, Y., Gao, L., Wu, S., *et al.* (2016) Advanced Isotope Geochemistry to Increase Production From Horizontal Wells And Reservoirs. *AAPG Annual Convention and Exhibition, Search & Discovery*, Calgary, 19-22 June 2016.
- [11] Tilley, B., McLellan, S., Hiebert, S., Quartero, B., Veilleux, B. and Muehlenbachs, K. (2011) Gas Isotope Reversals in Fractured Gas Reservoirs of the Western Canadian Foothills: Mature Shale Gases in Disguise. *AAPG Bulletin*, **95**, 1399-1422. <https://doi.org/10.1306/01031110103>
- [12] Hakami, A., Ellis, L., Al-Ramadan, K. and Abdelbagi, S. (2016) Mud Gas Isotope Logging Application for Sweet Spot Identification in an Unconventional Shale Gas Play: A Case Study from Jurassic Carbonate Source Rocks in Jafurah Basin, Saudi Arabia. *Marine and Petroleum Geology*, **76**, 133-147. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2016.05.003>
- [13] Zumberge, J.E., Ferworm, K.A. and Curtis, J.B. (2009) Gas Character Anomalies Found in Highly Productive Shale Gas Wells. *Geochimica et Cosmochimica Acta Supplement*, **73**, 1539.
- [14] Martin Schoell. Mud Gas Isotope Techniques While Drilling.
- [15] Berner, U. and Faber, E. (1996) Empirical Carbon Isotope/Maturity Relationships for Gases from Algal Kerogens and Terrigenous Organic Matter, Based on Dry, Open-System Pyrolysis. *Organic Geochemistry*, **24**, 947-955. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(96\)00090-3](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(96)00090-3)
- [16] Weatherford Oil Field Services Ltd. Reducing Exploration and Development Risk Using Mud Gas Compositional and Isotopic Data.

[编辑] 龚丹

---

**Hans 汉斯****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](mailto:jogt@hanspub.org)