

塔里木盆地玉北地区奥陶系碳同位素特征

——以皮山北2井为例

成俊峰,谭广辉,马冬晨,岳勇,武涛

(中国石化西北油田分公司勘探开发研究院,乌鲁木齐 830011)

摘要:通过对玉北地区皮山北2井奥陶系71个碳同位素样品分析结果的初步研究,首次在塔盆井下发现GICE碳同位素正漂移事件,将该区奥陶系的碳同位素特征划分为3个阶段:第1阶段为缓慢上升(鹰山组中下部);第2阶段为“零”值附近振荡(鹰山组上部至良里塔格组中下部);第3阶段为GICE事件(良里塔格组的上部)。该区奥陶系碳同位素表现出自下而上由负值向正值整体缓慢升高,在上奥陶统良里塔格组上部突变为正值的演化特征。

关键词:碳同位素;GICE事件;奥陶系;玉北地区;塔里木盆地
中图分类号:TE2 **文献标识码:**A

Carbon isotope characteristics of Ordovician in Yubei area, Tarim Basin:

A case study of well Pishanbei2

Cheng Junfeng, Tan Guanghui, Ma Dongchen, Yue Yong, Wu Tao

(Research Institute of Exploration & Production, SINOPEC Northwest Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: According to the analyses of 71 carbon isotope samples from Ordovician in the well Pishanbei2 in the Yubei area, GICE event was discovered for the first time under well in the Tarim Basin. The carbon isotope features of Ordovician were classified into three periods as followed. In the first period, it gradually increased in the lower and middle Yingshan Formation. In the second period, it varied nearby zero value from the upper Yingshan Formation to the lower and middle Lianglitag Formation. In the third period, the GICE event took place in the upper Lianglitag Formation. The carbon isotope values slowly raise from negative to positive in Ordovician, and broke into positive in the upper Lianglitag Formation in the study area.

Key words: carbon isotope; GICE event; Ordovician; Yubei area; Tarim Basin

经过20多年的发展,稳定碳同位素技术逐渐成熟,在地质学的各类学科中得到充分应用。同位素地层学越来越被重视,其曲线的演化趋势也被看做地层对比很好的辅助工具^[1-2]。奥陶系主要有3次碳同位素漂移,均为正漂移:Mid-DICE(Middle Darriwilian Isotope Carbon Excursion)^[3],GICE(Guttenberg Isotope Carbon Excursion),HICE(Hirnantian Isotope Carbon Excursion)^[4-6]。GICE事件首次发现于美国东部和中部的桑比阶和凯迪早期(卡拉道克)地层中,是一次相对于赫南特期正漂移(HICE)较小的正漂移,发生的时间相当于北美大陆的牙形刺 *Plectodina tenusi* 带。随着对全球碳同位素研究的深入,GICE事件在北美的美国、加拿大、中国宜昌等地均有发现,越来越多的证据显示

GICE事件为一次全球性事件^[7-11]。玉北地区地处塔克拉玛干沙漠西南缘,受各种条件制约,基础地质研究程度较低。前人的研究工作多为构造、沉积、油气成藏等方面。近几年,中国石化西北油田分公司加大了玉北地区的勘探力度,在获得重大油气发现的同时,也推动了对该区的深入研究。本文在该区发现的牙形石化石基础上对皮山北2井的碳同位素数据进行分析,希望能对该区奥陶系的深入研究提供新的证据。

1 地质概况

玉北地区位于塔里木盆地西部,构造位置上处于麦盖提斜坡的东部,主要为中国石化登记的麦盖提1、2、3区块,总面积12 957.933 km²。皮山北2井

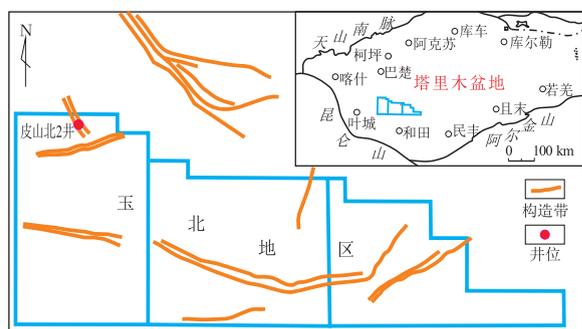


图 1 塔里木盆地玉北地区皮山北 2 井位置

Fig.1 Location of well Pishanbei2 in Yubei area, Tarim Basin

的地理位置见图 1。

皮山北 2 井位于麦盖提 3 区块,玉北地区的西北缘。该井奥陶系只钻遇奥陶系中下统鹰山组和上统良里塔格组,完钻于鹰山组内,缺失中统一间房组和上统的恰尔巴克组、桑塔木组。鹰山组岩性以灰色泥晶灰岩、亮晶砂屑灰岩夹薄层泥灰岩为主。该井在鹰山组取心 2 回次,主要为灰色泥晶、粉晶灰岩夹亮晶砂屑灰岩,局部见缝合线、裂缝、虫孔虫迹,薄片鉴定生物屑以介形虫、棘屑、腕足、三叶虫为主。总体为开阔台地相台内浅滩及滩间沉积。在 7 184.6~7 190.01 m 发现 *Drepanodus arcuatus* (镰牙形石) 为主见于下奥陶统的分子, *Paroistodus proteus* (原始拟箭牙形石) 则为华南红花园组的带化石。

良里塔格组(6 891~6 982 m)上部为灰色—深灰色泥晶灰岩、浅黄灰色砂屑泥晶灰岩及生屑泥晶灰岩,中部为灰色泥晶灰岩及亮晶、浅黄灰色砂屑泥晶灰岩,下部为灰色、深灰色泥晶灰岩、浅黄灰色砂屑泥晶灰岩。该井在良里塔格组取心一回次,岩性为棕灰、灰、深灰色粒屑泥晶灰岩、生屑泥晶灰岩、泥晶灰岩夹灰褐色泥岩薄层。上覆地层为下石炭统巴楚组,下伏地层为中—下奥陶统鹰山组,均为平行不整合接触。该井在 6 898.24~6 904.5 m 岩心中发现 7 属 7 种的牙形石化石, *Panderodus? gracilis*, *Plectodina* sp., *Acontiodus* sp. indet., *Belodina longxianensis*, *Phragmodus? undatus*, *Tasmanognathus* cf. *careyi*, *Yaoxianognathus neimengguensis* 都是常见的晚奥陶世凯迪期的分子,其中 *Phragmodus? undatus*, *Yaoxianognathus neimengguensis* 为塔盆晚奥陶世牙形石的带化石,对应于北美中大陆的 *P. undatus* 带和 *Plectodina tenuisi* 带,该段地层与北美地区 GICE 事件发现的地层时代相当。

2 皮山北 2 井碳同位素特征

2.1 采样及分析方法

本文研究样品的采集和准备工作分为岩心库和室内两方面。在岩心库采集样品过程中避开岩石风化带和明显构造活动带,岩屑样品每 10 m 取 1 样品,岩性主要以白云质灰岩或灰岩为主。室内工作主要是碳同位素测定和数据整理,在测试前先挑选均一碳酸盐岩样品在玛瑙乳钵中碾磨至 200 目,称取 200 mg 于反应试管中,依据 McCrea (1950) 正磷酸法,使试样在真空条件下与 100% 磷酸进行恒温反应,用冷冻法分离生成的水,收集纯净的 CO_2 气体。灰岩反应的平衡温度为 25 $^{\circ}\text{C}$,平衡时间在 12 h 左右;白云岩反应的平衡温度为 50 $^{\circ}\text{C}$,平衡时间在 24 h 左右。最后在 MAT253 质谱仪上完成 CO_2 气体碳氧同位素的测定,分析参照标准采用国标样 GBW-04405,其标准值 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = 0.57\text{‰} \pm 0.03\text{‰}$,碳同位素测定值均以国际标准物 PDB 物质为比照标准,本文所有样品均在核工业北京地质研究院测试。

2.2 数据的可靠性评估

笔者在岩心的采样过程中避开风化、含后期白云石或石英脉、有后期溶蚀及重结晶等地质现象。碳酸盐岩的氧同位素对蚀变作用非常灵敏,成岩后的水/岩交换作用会使原岩 $\delta^{18}\text{O}$ 值降低,一般情况下当碳酸盐岩的 $\delta^{18}\text{O} < -5\text{‰}$ (均为 PDB 标准) 时表示已受蚀变作用影响,但不足以改变碳同位素的成分和含量,但当 $\delta^{18}\text{O} < -10\text{‰}$ 时岩石已经发生强烈蚀变,样品碳同位素可靠性降低。根据同位素样品的 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{18}\text{O}$ 值相关性分析显示(图 2),文中使用的稳定碳同位素的结果受成岩蚀变作用的影响较小,所获得的数据保持了原始沉积时的碳同位素特征。

2.3 皮山北 2 井奥陶纪碳同位素特征

该井在奥陶系共提取 3 回次岩心;在良里塔格

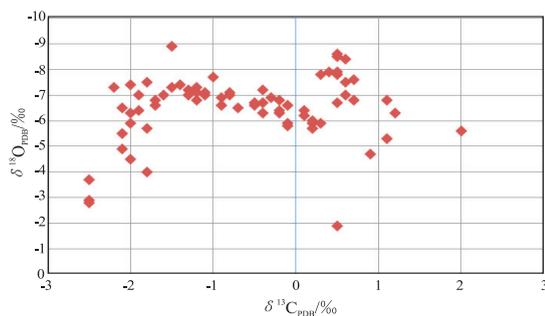


图 2 皮山北 2 井样品的 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{18}\text{O}$ 值的关系

Fig.2 Relevance of $\delta^{13}\text{C}$ value and $\delta^{18}\text{O}$ value from well Pishanbei2

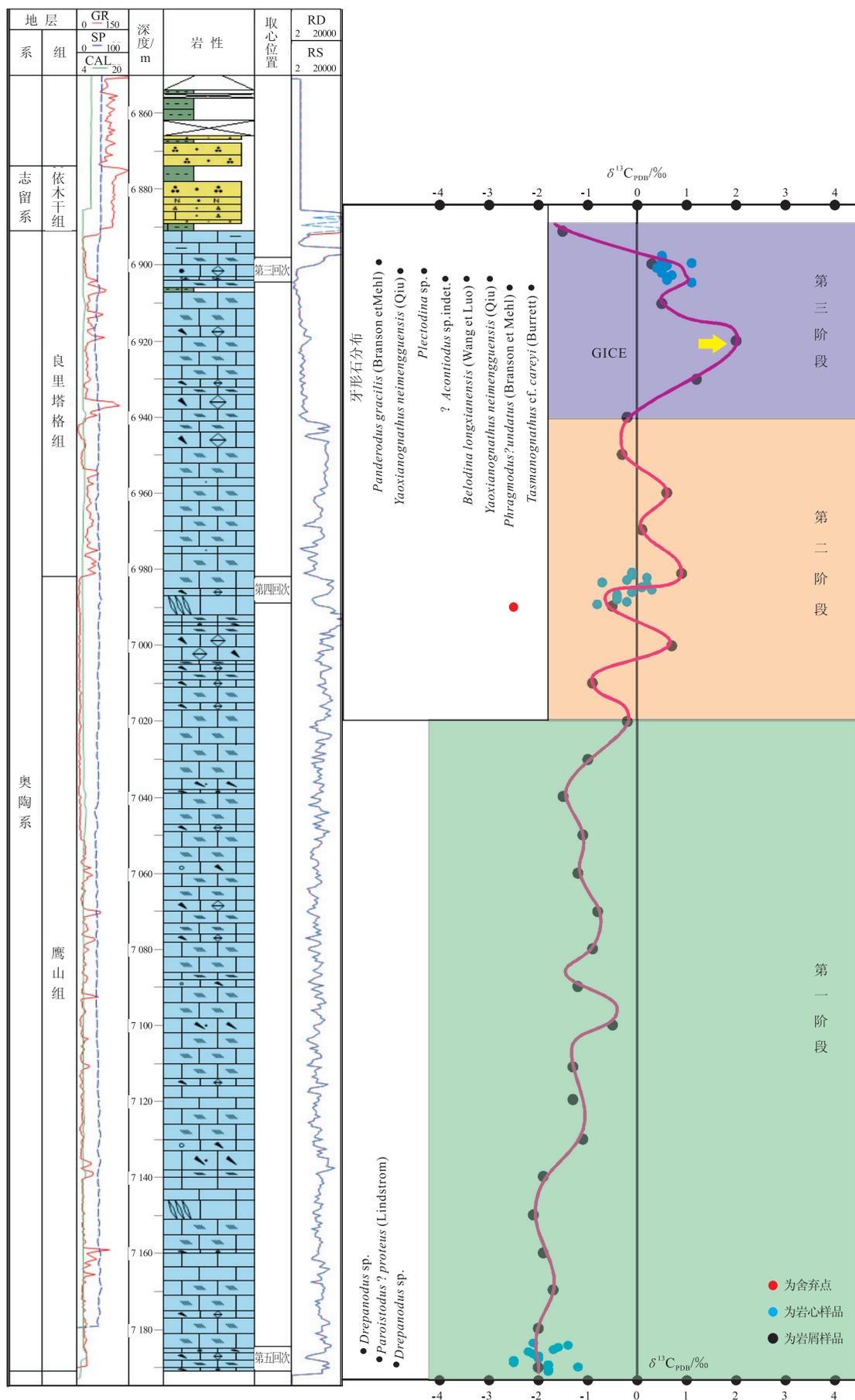


图 3 皮山北 2 井奥陶纪碳同位素演化趋势及牙形石分布

Fig.3 Evolution tendency of Ordovician carbon isotope and conodont distribution in well Pishanbei2

组取心 1 回次(6 898.06~6 904.50 m),在鹰山组取心 2 回次(6 982.02~6 988.82 m,7 184.50~7 191 m)。笔者在取心位置严格按照上文所述的要求加密采集碳同位素样品,约 0.5 m 取 1 样品。采集 40 块岩心样品,31 件岩屑样品。分析结果显示,碳同位素在鹰山组和良里塔格组的变化均具明显的特征。该井的碳同位素波动幅度相对较大, $\delta^{13}\text{C}$ 最大值为 2‰,最小值为-2.5‰,平均值为-0.637‰。根据碳同位素变化特征,自下而上分为 3 个阶段(图 3):

第 1 阶段:主要为鹰山组中下部,井深为 7 020~7 190 m。这一阶段碳同位素主要集中在负值区域,在-2.5‰~-0.2‰之间变化。在该段下部, $\delta^{13}\text{C}$ 值呈现缓慢升高的特征,在 7 100 m 达到高值(-0.5‰);自此向上 $\delta^{13}\text{C}$ 值呈现缓慢降低,降低幅度非常小,一直持续到 7 040 m 处达到低值(-1.5‰);然后 $\delta^{13}\text{C}$ 值快速升高,在 7 020 m 处达到最大值(-0.2‰)。 $\delta^{13}\text{C}$ 值在该阶段存在升高—降低—升高的细微特征,但总体趋势由负值向正值变化的趋势明显。

第 2 阶段:主要为鹰山组上部和良里塔格组中下部,井深为 6 940~7 020 m,这一阶段的 $\delta^{13}\text{C}$ 值主要集中在“零”值附近振荡,即在-0.9‰~0.9‰之间变化。该阶段在 7 010 m 处达到最低值(-0.9‰),在 6 980 m 处达到最大值(0.9‰),然后表现出缓慢降低。该阶段升高—降低数次转化,但幅度均较小, $\delta^{13}\text{C}$ 值总体表现为升高—降低的振荡变化特征。

第 3 阶段:主要为良里塔格组中上部,井深为 6 891~6 940 m。这一阶段 $\delta^{13}\text{C}$ 值表现出一次较大的正漂移,由-0.2‰升高为 2‰。在 6 920 m 处达到最大值后, $\delta^{13}\text{C}$ 值转为降低的变化趋势,到志留系底部骤降为负值。该阶段主要表现出升高—降低的变化特征,幅度较前面剧烈。在该段顶部 6 898.06~6 904.5 m 的岩心中,发现牙形石化石 *Phragmodus? Undatus* 和 *Yaoxianognathus neimengguensis* 等,与北美中大陆的 *Plectodina tenusi* 带相当,故在该阶段发现的正漂移就是前文所述的全球性 GICE 事件。

3 碳同位素变化趋势讨论及思考

通过皮山北 2 井奥陶系碳同位素的初步研究可以看出,该区奥陶系的碳同位素存在缓慢上升(鹰山组中下部)—“零”值附近振荡(鹰山组上部至良里塔格组中下部)—GICE 事件(良里塔格组上部)的变化和由下而上整体缓慢升高的变化特征。据已有研究表明,海相地层碳氧同位素分布与沉积环境和烃源岩发育存在一定关系。 $\delta^{13}\text{C}$ 值与海平面变化呈正相关关系, $\delta^{13}\text{C}$ 值正漂移与海平面

上升有关,而负漂移与海平面下降有关,碳同位素变化曲线与海平面变化曲线基本一致^[12-14]。皮山北 2 井的良里塔格组碳同位素变化与晚奥陶世海平面的变化基本一致,这对晚奥陶世海平面的研究又提供了一有力的证据。通过对所发现的牙形石化石分析,该区的良里塔格组可以很好与全球发现的奥陶纪碳同位素事件(GICE)的地层进行对比,同时也是塔盆井下首次发现 GICE 事件,对 GICE 事件的全球性研究提供进一步依据。

综观皮山北 2 井奥陶系碳同位素曲线时就会发现,虽然缺失了一间房组和恰尔巴克组,但奥陶系的碳同位素值由负值逐步变为正值的宏观变化趋势非常明显^[15],这种变化是否与奥陶纪生物大辐射相关联,是否与当时的古气候环境和古地理变化相关^[16-17]? 引起这种宏观变化的具体原因还有待进一步深入研究。奥陶纪早期的碳同位素值($\delta^{13}\text{C}$)均为负值,国内外都没有详细报道,其引发的原因何在? 其引发机制是全球性的吗? 这些问题都涉及到奥陶纪稳定碳同位素的变化趋势与古环境和生物进化的关系,值得我们进一步深入研究。

4 结论

(1)奥陶系的碳同位素存在缓慢上升(鹰山组中下部)—“零”值附近振荡(鹰山组上部至良里塔格组中下部)—GICE 事件(良里塔格组上部)的变化特征。

(2)鹰山组中下部碳同位素全部为负值,良里塔格组上部为正值,主要呈现奥陶系碳同位素由下而上整体缓慢由负值向正值的变化特征,其诱导因素可能与奥陶纪的生物大辐射、古环境等变化有关。

参考文献:

- [1] 胡修棉,王成善,李祥辉.大洋缺氧事件的碳稳定同位素响应[J].成都理工学院学报,2001,28(1):1-6.
- [2] 杨长庚.扬子地区奥陶系碳酸盐岩氧、碳同位素与成岩作用[J].石油实验地质,1994,16(3):267-273.
- [3] Ainsaar L, Meidla T, Tinn O, et al. Darrivillian (Middle Ordovician) carbon isotope stratigraphy in Baltoscandia[C]//Li J, Fan J X, Percival I. The Global Ordovician and Silurian. Beijing: Science Press, 2007:1-8.
- [4] Chen Xu, Bergström S M. The base of the austrodentatus zone as a level for global subdivision of the Ordovician System[J]. Palaeoworld, 1995, 5:1-115.
- [5] Ludvigson G A, Witzke B J, Gonzalez L A, Carpenter S J, et al. Late Ordovician (Turinian-Chatfieldian) carbon isotope excursions and their stratigraphic and paleoceanographic significance[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2004, 210:187-214.

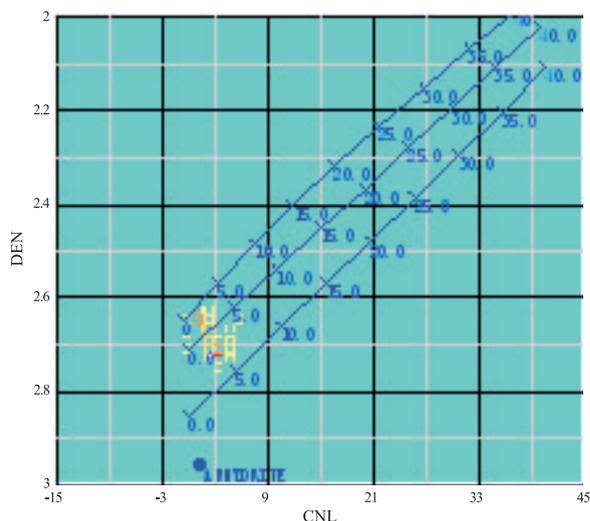


图 6 玉北 1-7 井云灰岩段(5 180~5 216 m 井段)中子—密度交会图

Fig.6 Cross-plots of neutron-density of dolomitic limestones (5 180~5 216 m) in well YB1-7

玉北 1-7 井鹰山组 5 180~5 216 m 井段灰质云岩段酸压完井,试油结论为“干层”。从该段中子—密度交会图上可以看出,此段灰岩白云岩化程度相对玉北 6A 和玉北 7 井要低,孔隙度也较小,在 3%~5%(图 6)。

从玉北 6A、玉北 7 和玉北 1-7 井的对比可以看出,即使不是处于断裂带上,白云岩化程度高的灰岩,储层也可能很发育,甚至裂缝也很发育(玉

北 6A);处在断裂带上的井也有可能裂缝不是很发育(玉北 1-7)。但白云化程度越高,储层的发育程度可能越好。

4 结论

(1)玉北地区奥陶系一间房组和鹰山组灰岩段储层的发育与构造部位的高低紧密相连,断垄带的局部构造高点储层较发育,斜坡和断洼带储层基本不发育。

(2)鹰山组云灰岩段和蓬莱坝组储层的发育程度与白云岩的发育程度相关,白云岩化高的地层储层更发育。

(3)对于鹰山组灰云岩段在横向上的展布规律及白云岩化程度的变化规律还需进一步研究。

参考文献:

- [1] 丁文龙,漆立新,云露,等.塔里木盆地巴楚—麦盖提地区古构造演化及其对奥陶系储层发育的控制作用[J].岩石学报,2012,28(8):542-556.
- [2] 谭广辉,邱华标,余腾孝,等.塔里木盆地玉北地区奥陶系鹰山组油藏成藏特征及主控因素[J].石油与天然气地质,2014,35(1):26-35.
- [3] 杜永明.塔里木盆地玉北地区断裂特征及控制作用[J].断块油气田,2013,20(2):170-174.
- [4] 张晓明.利用测井资料评价玉北碳酸盐岩储层有效性[J].新疆地质,2013,31(增刊):107-111.

(编辑 叶德燎)

(上接第 29 页)

- [6] Saltzman M R, Young S A. Long-lived glaciation in the Late Ordovician? Isotopic and sequence - stratigraphic evidence from western Laurentia[J].Geology,2005,33(2):109-112.
- [7] 王大锐,白玉雷.塔里木中、上奥陶统同位素组成正向偏移的石油地质学意义[J].石油勘探与开发,1998,25(15):15-16.
- [8] 王大锐,白玉雷.碳酸盐岩中稳定同位素对古气候的表征[J].石油勘探与开发,1999,26(5):30-32.
- [9] Munnecke A, Zhang Y D, Liu X, et al. Stable carbon isotope stratigraphy in the Ordovician of South China[J].Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology,2011,307:17-43.
- [10] Fan Juanxuan, Peng Pinan, Melchin M J. Carbon isotopes and event stratigraphy near the Ordovician - Silurian boundary, Yichang, South China [J].Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology,2009,27(6):160-169.
- [11] Zhang Yuandong, Axel Munnecke, Chen Xu, et al. Biostratigraphic and chemostratigraphic correlation for the base of the Middle Ordovician between Yichang and Western Zhejiang areas, South China [J]. Acta Geologica Sinica, 2011, 85 (2):

320-329.

- [12] 陈锦石,闻传芬,钟华,等.古生代海洋碳同位素演化[J].地质科学,1995,30(4):338-347.
- [13] 腾格尔,刘文汇,徐永昌,等.海相沉积有机质的碳同位素记录及其环境意义:以鄂尔多斯盆地为例[J].石油勘探与开发,2004,31(5):11-16.
- [14] Hallam A. Phanerozoic sea-level changes[D].New York: Columbia University Press,1992,266.
- [15] 张智礼,李慧莉,谭广辉,等.塔里木中央隆起区奥陶纪碳同位素特征及其地层意义[J].地层学杂志,2014,38(2):181-189.
- [16] 卢鸿,孙永革,彭平安.塔里木盆地轮南油田奥陶系和三叠系原油碳同位素偏移的古环境解释[J].石油实验地质,2003,25(4):481-486.
- [17] Brenchley P J, Carden G A, Hints L et al. High-resolution stable isotope stratigraphy of Upper Ordovician sequences: Constraints on the timing of bioevents and environmental changes associated with mass extinction and glaciation [J]. Geological Society of America Bulletin,2003,115(1):89-104.

(编辑 叶德燎)