

文章编号: 1009-3850(2002)04-0055-06

深水浊积岩层序地层学研究中碳氧同位素的应用 ——以湖南大庸田坪剖面为例

陈 明^{1,2}, 万 方¹, 蒲心纯¹

(1. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082; 2. 成都理工大学 沉积地质研究所, 四川 成都 610059)

摘要: 笔者通过海平面变化曲线与碳氧同位素曲线比较, 发现两者曲线基本吻合。碳同位素曲线显示的海平面变化更接近露头层序地层的海平面变化; 氧同位素曲线与露头层序海平面变化大体一致, 局部出现相反结论。碳同位素曲线对沉积环境变化较氧同位素曲线更敏感。通过两者曲线研究, 说明运用稳定同位素曲线变化可作为浊积岩层序地层学研究的一个研究手段。

关键词: 浊积岩; 露头层序地层; 同位素曲线

中图分类号: P597

文献标识码: A

层序地层是在一个等时地质年代格架内从三维空间上认识有成因联系的沉积组合体, 上下被不整合面或与之相当的面所截。一个层序内部沉积体的性质、沉积相配置和叠置关系与海平面升降周期变化有对应的关系, 即海平面下降阶段形成低位体系域沉积物, 海平面上升阶段形成海侵体系域沉积物, 海平面上升达到高点形成低能的饥饿沉积物, 海平面由上升转为下降过程形成高位体系域沉积物。可见, 不同沉积体系域为海平面升降过程中不同阶段产物, 而在海平面升降旋回的不同阶段, 从海水中沉积出来的沉积物物质组成、稳定同位素、常量元素、微量元素及稀土元素明显不同。所以依据这些地球化学资料进行层序地层研究是可行的。

浊积岩是形成于大陆斜坡或盆地边缘的密度流沉积。对于深水浊积岩的层序地层学研究, 困难较多。由于浊流事件的阵发性和多期次性(可能在很短的时间内发生多期次浊流事件)。每一次浊积事件的出现, 可能对早期沉积物进行水下侵蚀, 形成一

个层序界面; 且一次大的浊积事件中包含若干次小的事件, 形成若干个侵蚀面。表面上看, 这些层序界面似乎与海平面变化无关。但细心观察, 浊积岩的空间叠置关系与海平面变化有密切的关系, 即低水位体系域→海侵体系域→高水位体系域, 浊积扇经历了进积→退积→加积→进积演化过程^[1]。而海平面变化又影响稳定同位素值的变化。所以, 运用浊积岩的碳氧同位素值的变化, 可推断形成环境的海平面变化, 从而达到浊积岩的层序地层研究目的。

1 海相碳酸盐岩碳氧同位素的影响因素

碳酸盐岩的碳氧同位素组成变化较大, 影响因素较多, 归纳起来主要有物质来源、沉积水体性质、成岩作用和海平面变化等因素。

1. 矿物成分的影响

在其他因素相同条件下, 不同的碳酸盐矿物(如沉积的方解石和白云石)所含的碳氧同位素组成有

收稿日期: 2002-10-25

项目来源: 中国西部大中型沉积盆地分析及油气远景研究项目(编号 200113000071)

明显的变化。研究区为一套以白云石为主的钙屑浊积岩,可把该套浊积岩视为同源物质,矿物成分变化不大,其组成对碳氧同位素变化影响相同。

2. 水体性质的影响

主要指水体的温度、盐度及大气淡水注入情况对碳氧同位素组成的影响。研究区处于大陆斜坡带,大气淡水的注入对其影响甚微,可忽略不计。温度和盐度虽随海水深度增加逐渐变小,但对碳氧同位素组成的影响是次要的^[2]。基于上述情况,在进行剖面垂向分析时,水体性质对相对时期不长的碳氧同位素组成的影响程度可视为相同。

3. 成岩作用的影响

沉积物进入成岩阶段,由于埋藏深度增加、温度深高和成岩流体及外来物质的参与,碳酸盐矿物遭受重结晶、新生变形甚至交代,从而使同位素组成发生变化。但它们对碳酸盐同位素组成的影响是次要的^[2],因为碳酸盐的同位素组成主要受海水同位素组成的影响,碳酸盐的同位素组成反映着海水的同位素组成。况且在同一剖面上,影响也可视为相同。总之,上述因素对碳酸盐岩的碳氧同位素值有不同的影响,但对于时间间断不太长的同一剖面,这些影响可作为系统因素处理,在同一剖面上其影响程度相同。

2 海平面变化与海相碳酸盐岩碳氧同位素组成的关系

碳酸盐岩的稳定同位素记录中包含着古海平面变化的重要信息,是确定海平面变化的一种重要手段^[2]。对某一特定地质历史时期的海相碳酸盐岩而言,上述影响因素相对确定后,碳酸盐岩的同位素组成仅与海平面变化存在着一定的相关关系。

1. 海平面变化与海水中氧同位素组成

引起海水中氧同位素分馏作用主要有海水的蒸发和淡水的注入。蒸发使海水富含重氧同位素,淡水的注入使海水中富含轻氧同位素;而蒸发又使海平面下降,淡水的注入使海平面上升。所以海平面变化与海水中氧同位素组成存在负相关关系。即海平面上升,海水中 $\delta^{18}\text{O}$ 值变小;海平面下降,海水中 $\delta^{18}\text{O}$ 值增大。对某一特定地质时期沉积的海相碳酸盐岩而言,它与海水之间的氧同位素分馏可认为已达到平衡,即特定海相碳酸盐沉积物的 $\delta^{18}\text{O}$ 值代表着当时海水的 $\delta^{18}\text{O}$ 值。因此,碳酸盐岩的氧同位

素组成反映着古海洋中海水的氧同位素组成。

2. 海平面变化与海水中碳同位素组成

海相碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化是由两大碳库(无机碳库和有机碳库)的相对比例变化引起的^[3~8],而两大碳库的变化与海平面升降变化关系密切。在海平面上升期,生物有机碳埋藏增加和古陆面积减小,带入海洋的有机碳数量显著减少,此时与海水进行同位素交换的物质是以富含重碳同位素的无机碳库为主,因而 $\delta^{13}\text{C}$ 值增加;反之,在海平面下降期,海水的 $\delta^{13}\text{C}$ 值降低。因此,碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 变化反映着古海洋中海平面升降。通过剖面的 $\delta^{13}\text{C}$ 演化曲线,可获得该区的海平面相对升降变化,从而为层序地层学研究提供证据。

3 湖南大庸地区的沉积相特征

湖南大庸田坪剖面位于鄂西台地与留茶坡硅质岩带之间。据前人研究成果和 1:5 万地质资料以及笔者通过对该区沉积相和层序地层研究,认为该区晚震旦世为一套斜坡相的碳酸盐浊积岩和少量垮塌角砾岩,间夹深水碳质页岩和硅质岩,顶部与寒武系深水盆地硅质岩接触。

该区陡山沱组为鄂西台地和上扬子台地东南缘上斜坡带的滑塌角砾岩、钙屑浊积岩及深水碳质页岩,发育变形层理、包卷层理和水平层理。角砾岩体呈透镜状或丘状,夹于富含有机质和黄铁矿的黑色页岩、泥云岩中。角砾成分为微晶白云岩、硅质白云岩及凝灰质页岩等组成,呈棱角状至次菱角状,分选差,大小悬殊,杂基支撑,属块状流成因。钙屑浊积岩呈薄层状与深水页岩伴生,成分与角砾相同,分选磨圆差。剖面结构上表现为滑塌变形层、非滑塌变形层与深水页岩层组成多个韵律性重复。可见到不完整的鲍马序列。平面展布上具有碳酸盐岩向东南方向减少,深水碳质页岩相对增加的特征。

该区灯影组组成与陡山沱组大致相似,不同之处在于灯影组上部有多套具台地性质的高位溢出角砾岩^[9~10],砾石大小不等、杂乱排列、呈棱角状或尖棱角状,成分为鸟眼状白云岩、叠层石白云岩、纹层状白云岩。岩体具滑塌及变形构造,属台缘上斜坡沉积。

4 田坪剖面海平面变化特征

依据前人^[1]的浊积岩层序地层研究方法和碳酸

盐岩层序地层的特殊性,笔者对湖南大庸田坪剖面进行了露头层序地层学研究。该剖面划分了两个二级层序(图1),其中陡山沱期一个,灯影期一个。

陡山沱期二级层序的中下部(1~24层)以垮塌角砾岩、粗粒钙屑浊积岩开始,向上渐变为细屑浊积岩、碳质页岩。据此把这套向上变细的退积型沉积划为二级层序的海侵体系域。陡山沱组上部(25~31层)由进积型的钙屑浊积岩和硅质岩、碳质页岩组成无数个小旋回,且从下向上,加积物质减少,钙屑物质增多,因此把这套进积型沉积划为该二级层序的高位体系域。

灯影期二级层序的下部(32~37层)为海侵沉积的细屑碳酸盐物质和深水碳质页岩、硅质岩;中上部(38~47层)为高位体系域沉积的垮塌角砾岩、砂屑与粉屑钙屑浊积岩。

该剖面对应的海平面变化(图1)情况是:

(1)从南沱组顶部到灯影组,早期相对海平面处于急剧上升过程,这与中国南方扬子区海平面变化相同。中国南方在南沱期处于冰期。南沱期后,古气候由严寒转为温暖,冰川消融,引起震旦纪以来第一次较大规模海侵;同时,晚震旦世处于晋宁运动之后的全球海平面上升期。中晚期,相对海平面变化不大,这与扬子台地上的相对海平面变化相似。

(2)陡山沱组中下部(1~24层),海平面以上升为主,在上升过程中有3次海平面波动,对应着3套灰岩垮塌角砾岩(2层、6层和9~10层)。陡山沱组上部(25~31层),海平面逐渐震荡下降。

(3)灯影组下部(32~37层)显示海平面有一上升过程。其后,灯影组中上部,即35~47层,海平面震荡下降,剖面上堆积了多套(38、39、47层)进积碳酸盐滑塌角砾岩和以砂屑、粉屑为主的钙屑浊积岩。

5 田坪剖面的碳氧同位素演化特征

蒲心纯等(1987)^[11]对该剖面进行了实测和系统取样,并在薄片鉴定基础上对样品进行了大量的碳氧同位素分析。笔者通过对该地区的露头层序地层学研究,同时结合前人的同位素资料二次开发,发现深水钙屑浊积岩的碳氧同位素垂向变化与露头层序地层学的海平面演变关系密切(图1)。

1. 碳同位素变化特征

(1)总体特征。从南沱组($\delta^{13}\text{C}$ 为 -4.60‰)到陡山沱组($\delta^{13}\text{C}$ 平均值为 0.602‰)再到灯影组($\delta^{13}\text{C}$

平均值为 1.110‰),碳同位素平均值逐渐增加。曲线表现为:从南沱组顶到陡山沱组下部, $\delta^{13}\text{C}$ 值增加较快,陡山沱组中上段到灯影组为一偏正值附近震荡。

(2)陡山沱组特征。从南沱组到陡山沱组下段(1~18层), $\delta^{13}\text{C}$ 值有3次明显的增加,且 $\delta^{13}\text{C}$ 较低值正好对应于剖面的碳酸盐滑塌角砾岩层, $\delta^{13}\text{C}$ 较高值对应于细屑物质沉积段;陡山沱中段(19~24层), $\delta^{13}\text{C}$ 曲线在高位震荡;陡山沱组上段(25~31层), $\delta^{13}\text{C}$ 值逐渐地减小,但减少幅度不大。

(3)灯影组特征。灯影组由于取样较少,效果较差。总体情况为:从陡山沱组顶到灯影组下部(32~37层), $\delta^{13}\text{C}$ 值先增加后减少;灯影组中上部(38~47层), $\delta^{13}\text{C}$ 值逐渐缓慢地增加;灯影组顶部到寒武系底部, $\delta^{13}\text{C}$ 值有一下降。

2. 氧同位素变化特征

(1)总体特征。从南沱组($\delta^{18}\text{O}$ 为 -7.760‰)到陡山沱组($\delta^{18}\text{O}$ 平均值为 -5.554‰),氧同位素平均值明显增加;陡山沱组到灯影组($\delta^{18}\text{O}$ 平均值为 -5.750‰),氧同位素值变化不大。

(2)陡山沱组特征。南沱组到陡山沱组底部(1~2层), $\delta^{18}\text{O}$ 值略有减少;陡山沱组下部(3~14层), $\delta^{18}\text{O}$ 值先增加后减少,波动幅度较大;陡山沱组中段(15~28层),氧同位素值经过两波大幅度增加,且达到该剖面的次高点($\delta^{18}\text{O}$ 为 -3.328‰);陡山沱组上段(29~31层), $\delta^{18}\text{O}$ 值逐渐缓慢地减少,但幅度不大。

(3)灯影组特征。陡山沱组到灯影组底部(32~34层), $\delta^{18}\text{O}$ 值略有减少;灯影组下部(32~37层), $\delta^{18}\text{O}$ 值先增后减;灯影组中上部(38~47层), $\delta^{18}\text{O}$ 值缓慢增加;灯影组顶到寒武系底, $\delta^{18}\text{O}$ 值减少。

从上看,从南沱期到陡山沱期再到灯影早期,碳氧同位素曲线呈反向变化,即碳同位素增加而氧同位素降低,反之亦然。但氧同位素曲线比碳同位素曲线波动幅度要大。灯影中晚期,碳氧同位素曲线有呈同向变化趋势。

6 露头层序地层的海平面变化与碳氧同位素曲线对比

碳酸盐物质从进入深水到成岩之前,细屑碳酸盐岩颗粒与海水能进行充分交换且达到平衡,细屑浊积岩的碳氧同位素值能反映沉积时古海水的碳氧

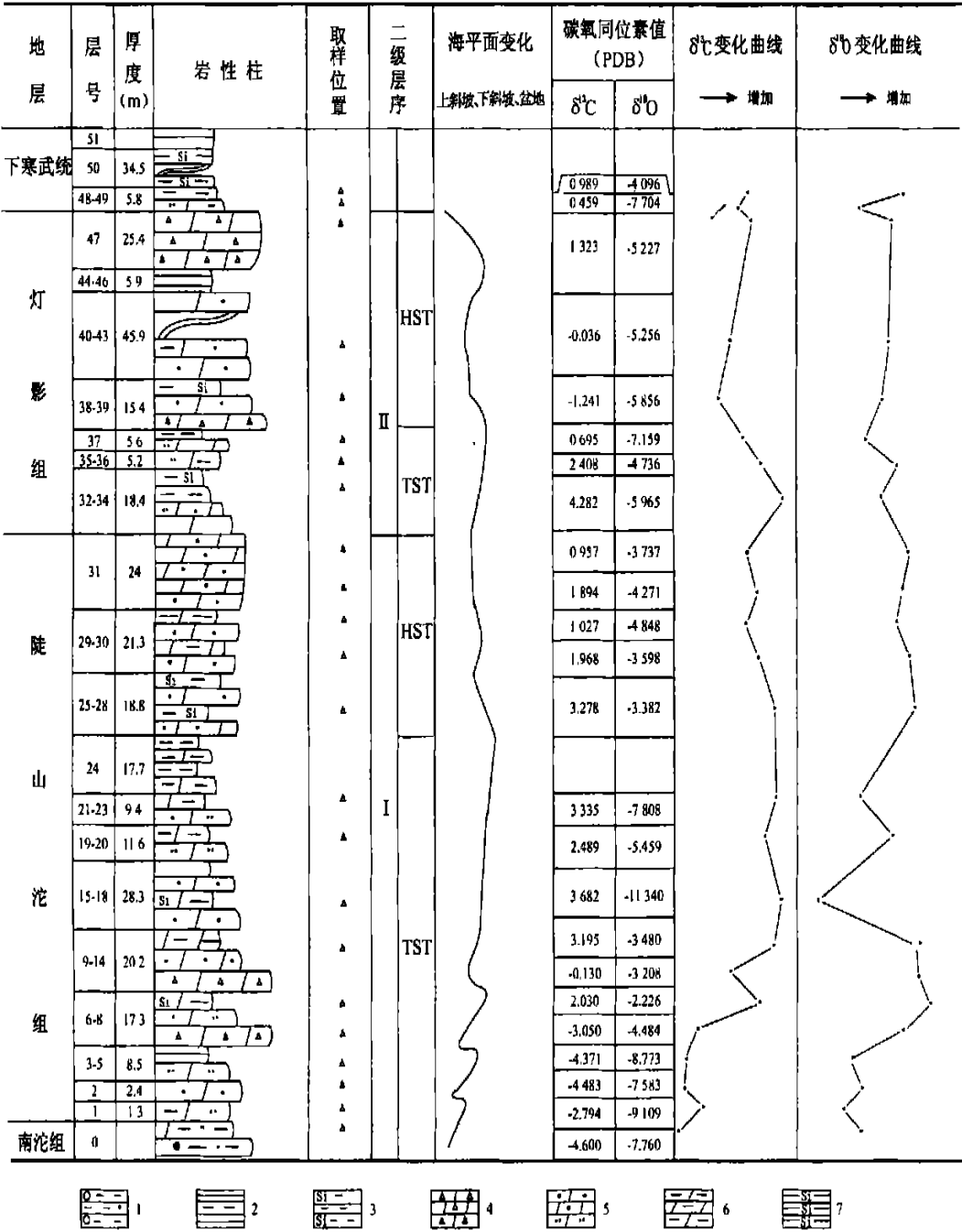


图 1 露头层序地层的海平面变化与碳氧同位素曲线(据蒲心纯等剖面实测和样品分析, 1987)

1. 砾质泥岩与砂质泥岩; 2. 页岩与碳质页岩; 3. 硅质泥岩与泥岩; 4. 垮塌角砾岩; 5. 砂屑与粉屑碳酸盐岩; 6. 泥质碳酸盐岩; 7. 硅质岩

Fig. 1 The correlation of the sea-level curve based on outcrop sequence stratigraphy and carbon and oxygen isotopic curves for the Tianping section in Dayong, Hunan (after Pu Xinchun et al., 1987)

1= pebbly mudstone and sandy mudstone; 2= shale and carbonaceous shale; 3= siliceous mudstone and mudstone; 4= collapse breccia; 5= sandy and silty carbonate rocks; 6= muddy carbonate rocks; 7= siliceous rock

同位素值, 即同位素结果能够反映该区的古海水同位素值。

据碳氧同位素组成与海平面变化关系, 该剖面碳氧同位素曲线总体反映当时海平面处于上升期: (1) 陡山沱早期(1~18层), 碳同位素曲线指示着海平面呈三波快速上升, 并达到晚震旦世的次高点($\delta^{13}\text{C}$ 值为 3.682,); 氧同位素曲线指示着海平面震荡性上升, 且达到晚震旦世的最低点($\delta^{18}\text{O}$ 值为 -11.340)。陡山沱中期(19~24层), 碳同位素曲线指示海平面处于高位震荡; 而氧同位素曲线指示海平面呈两波下降。陡山沱晚期(25~31层), 碳同位素曲线显示海平面缓慢下降, 但幅度不大; 氧同位素曲线显示海平面高位震荡。(2) 灯影初期(32~34层), 碳氧同位素曲线均显示海平面有所上升, 但碳同位素曲线指示海平面达到晚震旦世的最高点($\delta^{13}\text{C}$ 值为 4.282)。灯影早期(35~37层), 碳同位素曲线指示海平面大幅下降; 而氧同位素曲线显示海平面略有升高。灯影中晚期(38~47层), 碳同位素曲线指示海平面处于缓慢上升期; 而氧同位素曲线仍然显示海平面高位震荡。

通过露头层序地层获取的海平面变化曲线与碳氧同位素海平面变化曲线(图1)对比, 可发现: 总体上看, 露头层序地层的海平面变化曲线与碳同位素曲线基本一致, 与氧同位素曲线大体相反, 均显示海平面处于总体上升趋势。二级层序不同沉积体系域的碳氧同位素曲线都有反映, 海侵体系域碳同位素曲线上升、氧同位素曲线下降; 高位体系域碳同位素曲线下降而氧同位素曲线上升。但碳同位素曲线表现明显, 而氧同位素曲线则不明显甚至出现相反的结论。

7 结论及存在问题

通过对湖南大庸田坪剖面钙屑浊积岩的露头层序地层学与碳氧同位素曲线研究, 发现: (1) 露头层序地层学获取的海平面变化曲线与碳氧同位素曲线基本吻合。(2) 碳同位素曲线显示的海平面变化更接近露头层序地层的海平面变化; 氧同位素曲线与露头层序海平面变化大体一致, 局部出现相反结论。(3) 碳同位素曲线对沉积物变化较敏感。 $\delta^{13}\text{C}$ 值对

该剖面上几套钙屑角砾岩层都有明显反映, 且 $\delta^{13}\text{C}$ 较高值往往对应于该旋回的细屑浊积岩和深水沉积物。(4) 深水浊积岩的层序地层学研究方法较少, 运用同位素曲线变化可作为浊积岩层序地层学研究的一个研究手段。

存在问题和不足有: (1) 浊积岩具有阵发性和多期次性, 浊积岩的垂向叠置关系是否与海平面变化有关。(2) 碳氧同位素值的影响因素较多, 任何一个影响因素都可能使碳氧同位素给出错误信息。所以运用碳氧同位素曲线研究深水浊积岩海平面变化是否妥当, 值得深思。尽管如此, 该剖面上的同位素曲线与已有方法获得的浊积岩海平面变化曲线相比较, 取得了满意的结果, 这是值得庆幸的。

参考文献:

- [1] 田景春, 陈洪德, 等. 右江盆地深水沉积层序地层学研究[J]. 沉积学报, 2000, 18(2): 210—214.
- [2] 杜小弟, 等. 塔里木盆地震旦—泥盆纪古海平面变化再造及形成机理分析[J]. 沉积学报, 1997, 15(3): 14—17.
- [3] CK 威尔格斯著. 徐大怀, 等译. 层序地层学原理[M]. 北京: 石油工业出版社, 1985. 90—95.
- [4] 李玉成. 华南晚二叠世碳酸盐岩碳同位素旋回对海平面变化的响应[J]. 沉积学报, 1998, 16(3): 52—57.
- [5] 黄思静. 上扬子二叠—三叠系初海相碳酸盐岩的碳同位素组成与古生物绝灭事件[J]. 地球化学, 1994, 23(1): 60—67.
- [6] 李儒峰, 刘本培. 碳氧同位素演化与碳酸盐岩层序地层关系研究——以黔南马平组为例[J]. 地球科学, 1996, 21(3): 261—266.
- [7] VEIZER J, FRITZ P, JONES B. Geochemistry of brachiopods: Oxygen and carbon isotopic records of Paleozoic oceans[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1986, 50(8): 1679—1696.
- [8] WILLIAMS D F. Evidence for and against sea-level changes from the stable isotopic record of the Cenozoic[A]. WILGUS C K et al. Sea-Level Changes: An Integrated Approach[C]. Tulsa: SEPM Special Publications, 1988, 42: 31—36.
- [9] EMERY D, MYERS K J. Sequence Stratigraphy[M]. Oxford: Blackwell Science Ltd., 1996. 211—237.
- [10] MIAL L A D. Principles of Sedimentary Basin Analysis[C]. New York: Springer-Verlag, 2000. 355—372.
- [11] 蒲心纯, 张继庆, 等. 上扬子区晚震旦世沉积岩沉积相及矿产[M]. 重庆: 重庆出版社, 1987. 43—45.

The application of carbon and oxygen isotopes to the sequence stratigraphy of deep-water turbidites: An example from the Tianping section in Dayong, Hunan

CHEN Ming^{1, 2}, WAN Fang¹, PU Xinchun¹

(1. *Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China*; 2. *Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China*)

Abstract: The variations in carbon and oxygen isotopic values may be used to deduce the sea-level changes of depositional environments and to study the sequence stratigraphy of deep-water turbidites. The correlation of the sea-level curve based on the outcrop sequence stratigraphy and carbon and oxygen isotopic curves for the Tianping section in Dayong, Hunan shows that: (1) the sea-level curve based on the outcrop sequence stratigraphy is in general agreement with the carbon and oxygen isotopic curves; (2) sea-level changes indicated by the carbon isotopic curve approximate to those based on the outcrop sequence stratigraphy, while the oxygen isotopic curve is in general agreement with those based on the outcrop sequence stratigraphy. Occasionally the opposite situations are present; (3) the carbon isotopic curve is more sensitive to sediment changes. The higher $\delta^{13}\text{C}$ values may represent the fine-grained turbidites and deep-water sediments in the same cycles.

Key words: turbidite; outcrop sequence stratigraphy; isotopic curve