

茅口期相对海平面变化对䗴类动物群的影响^{*}

——以贵州盘县火铺镇茅口组剖面为例

刘家润 杨湘宁 施贵军 冯洪真 陈云棠
(南京大学地球科学系 南京 210093)

周建平
(中国科学院南京地质古生物研究所 南京 210008)

提要 分析贵州盘县火铺镇茅口期海平面变化的过程和䗴类动物群的变化规律,研究相对海平面变化对䗴类动物群构成及演替的影响。相对海平面的升降变化可引起水深及相关生态条件的改变,并对䗴类动物群产生影响。相对海平面变化的幅度和速率是造成䗴类动物群面貌变化的重要因素。三级相对海平面上升末期和下降末期,海平面的大幅度抬升或下降是造成䗴类物种丰度下降、新种增加量减少的重要原因,海平面的持续缓慢上升或下降有利于䗴类物种丰度的增加和新种的出现,而海平面快速上升或下降则是一个不利的因素。茅口期晚期最大的一次䗴类物种绝灭高峰可能与这一时期三级海平面上升初期的海平面快速抬升有关。十米级相对海平面变化较为频繁,对䗴类背景演化有着重要的影响,是导致䗴类动物群物种更替的主要原因。

关键词 䗴类动物群 海平面变化 茅口期 贵州盘县

层序地层学的研究成果表明,地质时期海平面的持续、周期性升降变化是导致众多海洋环境条件发生变化的主要因素(Vail *et al.*, 1977; Wilgus *et al.*, 1988; Sarg, 1988; Schlager, 1991)。因此,研究海平面变化对海洋生物群构成及演替的影响,对于进一步认识地史中生物的演化过程、绝灭事件与环境背景的关系具有重要的意义。

䗴类动物是二叠纪两次集群绝灭(Jin, 1993, 1994; Stanley and Yang, 1994)中遭受重创的主要类群之一。最近的研究表明,茅口期䗴类动物群经历了 3 次辐射演化和 4 次物种绝灭高峰(杨湘宁等, 1999a)。本文将根据贵州盘县火铺镇茅口组的实际资料,研究茅口期海平面变化对䗴类动物群的影响,探讨茅口期䗴类动物群演化、茅口期集群绝灭的环境背景。

1 研究材料与方法

贵州盘县火铺镇茅口组为一套碳酸盐台地相沉积,地层连续,出露良好,各类沉积构造易于观察,并含有丰富的䗴类化石(杨湘宁等, 1999b),具备开展层序地层学研究的有利条件。本剖面厚度为 612m,

采集密度约为 2m/样,共采集样品 332 块,磨制岩性薄片 660 余枚。

在对火铺剖面进行深入研究之前,我们对贵州朗岱酒志剖面(肖伟民等, 1986)和打铁关剖面(杨振东, 1985)进行了野外观察,以获得对黔南地区早、中二叠世碳酸盐台地相三级层序的框架性认识。然后,根据剖面层序地层和沉积相分析方法(Sager, 1988; Posamentier and Allen *et al.*, 1992; Walker and James, 1992; Posamentier and Summerhayes *et al.*, 1993; 威尔逊, 1981),对火铺剖面茅口期相对海平面的变化过程进行了详细研究。在研究中,我们将野外观察与室内岩性薄片研究相结合,首先识别出该剖面的三级层序界面、最大海侵面和次级层序单元界面的位置,对剖面的三级和次级层序单元进行划分,并据此确定火铺茅口期相对海平面变化的次数及持续时间。此外,我们还利用沉积构造、岩性及泥泥比等特征,研究了相邻采样点沉积时的相对水深,以确定海平面变化的相对幅度。根据上述研究,最终确定了火铺茅口期相对海平面的变化特征,并绘制了本剖面的相对海平面变化曲线。

在详细的䗴类生物地层研究基础之上,我们分析了各个次级层序单元内䗴类的物种类型及数量,

收稿日期:1999-05-31

^{*}国家自然科学基金(49572075)、教委博士点基金(9528417)的部分成果。

重点统计、对比了各个次级相对海平面变化周期内的䗴类物种数、首现种数、未现种数。通过对䗴类物种丰度、䗴类动物群构成特征与相对海平面变化特征之间相关性的研究,进而探讨茅口期相对海平面变化对䗴类动物群的影响。

2 火铺茅口期相对海平面变化特征

野外剖面观察和室内沉积微相研究的结果表

明,火铺茅口组剖面可划分出 3 个三级、74 个次级层序单元,分别代表了 3 次三级、74 次次级相对海平面升降的变化周期(插图 1),三级层序单元数与西南地区茅口组的三级层序数相同(Chen *et al.*, 1997;覃建雄等, 1998)。次级层序单元的地层厚 4—18m,平均厚度为 9.2m。为叙述方便起见,笔者将这些次级层序单元称之为“十米级层序单元”,相应的相对海平面变化周期称为“十米级相对海平面变化周期”。

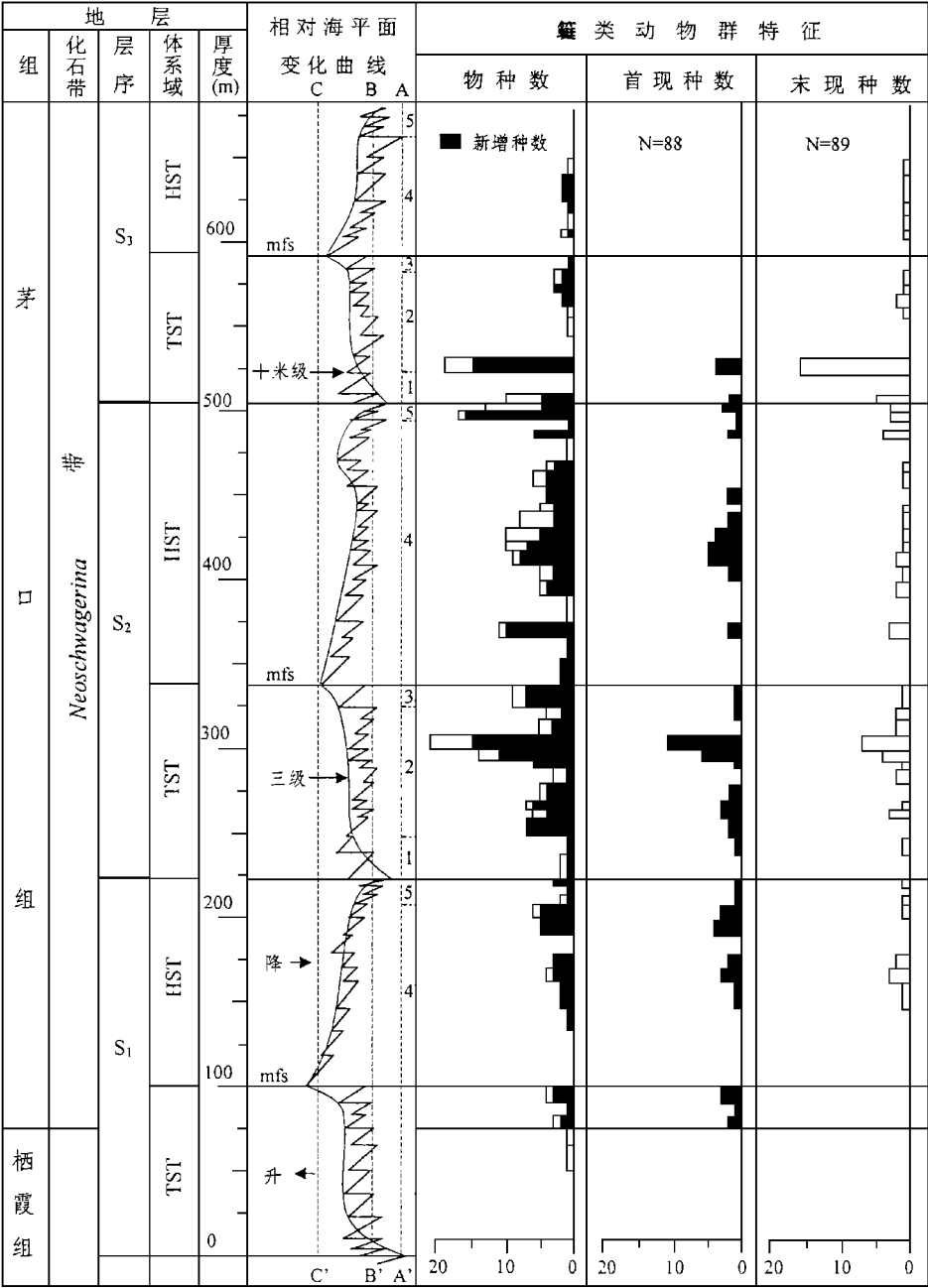


插图 1 贵州火铺茅口期相对海平面变化及䗴类动物群面貌特征

Relative sea-level changes and variation of fusulinacean fauna in the Maokou Formation in Huopu, Panxian of Guizhou

S₁—S₃:层序及其编号,层序底界均为Ⅱ型界面;TST:海侵体系域;HST:高位体系域;mfs:最大海泛面;AA':高潮面;BB':低潮面;CC':正常浪基面;1—5:三级相对海平面变化的5个阶段;新增种数:相对于前一个十米级相对海平面变化周期新增的䗴类种数;首现、未现种数:在本剖面首次出现、最后消失的䗴类种数;N:本剖面䗴类物种首现、未现总数

详细的岩性薄片研究显示,火铺剖面十米级相对海平面变化由若干个更次一级的海平面波动构成。由于剖面采样密度尚不足以全面、可靠地识别出更次一级的海平面波动,因此在研究中我们未考虑这种更次一级的海平面波动。本文采用通常的急速上升-缓慢下降的折线形式来表达十米级相对海平面的变化(Posamentier and Allen *et al.*, 1992)。

一次相对海平面的变化旋回(周期)由一次海平面上升和随后的一次海平面下降构成。在插图 1 中,相对海平面变化曲线的纵向长度和横向跨度分别代表各级、各次相对海平面变化的持续时间和上升幅度。纵向长度越大,海平面变化所持续的时间越长;横向跨度较大,表示海平面上升的幅度较大。海平面变化的幅度与持续时间之比,为海平面变化的速率。相对海平面的变化速率则由插图 1 中相对海平面变化曲线各段的倾斜程度所代表,变化曲线愈陡立,变化速率愈慢;而变化曲线愈平缓,变化速率则愈快。

从插图 1 可以看出,火铺茅口期(即 *Neoschwagerina* 延限带)存在着 3 个三级、67 个十米级相对海平面变化旋回,第一个三级旋回开始于栖霞末期。在一次三级变化旋回中,相对海平面变化曲线由一条上升曲线和一条下降曲线组成,并可大致分为 5 个具有不同斜率的线段。3 个三级旋回海平面变化曲线的纵向长度具有明显不同,但横向跨度基本相当,且上升曲线的长度均小于下降曲线的长度。每个十米级旋回的海平面变化曲线则由一个横向水平线段与一个斜线段组成,其纵向长度和横向跨度都有不同程度的差异。在三级相对海平面变化的上升早期、上升末期-下降早期,十米级相对海平面变化曲线的横向跨度明显增大。

表 I 相对海平面变化中 *Maokouan* 类物种统计数据
Statistics of *Maokouan* fusulinacean species
in the cycles of relative sea-level changes

三级相对海平面变化		<i>Maokouan</i> 类物种统计数据平均值*		
		物种数	首现种数	末现种数
十米级		4.6	1.4	1.4
三 级	初期快速上升阶段	3.2	0.8	2.2
	慢速上升阶段	12.1	2	
	快速上升阶段	4.2	1.2	
	(下降初期)	(1)	(0)	1.1
	慢速下降阶段	5.1	1.6	
	快速下降阶段	3.2	1.2	

* 十米级相对海平面变化周期中的 *Maokouan* 类物种

从整体上看,火铺茅口期相对海平面变化具有如下特征:(1) 三级相对海平面变化均具有相对较快速上升一相对较慢速下降的特点,其变化的最大幅度大致相当;(2) 三级相对海平面变化周期持续的时间不同,但每个周期基本上都可分为初期快速上升—慢速上升—快速上升—慢速下降—快速下降的 5 个阶段;(3) 茅口期 67 个十米级相对海平面变化的幅度、持续时间有着不同程度的差异,在三级相对海平面变化的上升早期、上升末期—下降早期的十米级相对海平面变化的幅度都较大;(4) 相对于三级而言,十米级相对海平面的变化更为频繁。

3 火铺茅口期 *Maokouan* 类动物群特征及其与海平面变化的相关性

火铺剖面茅口组共有 *Maokouan* 类 89 种(含未定种;杨湘宁等, 1999b), 本文将从物种数、首现种数、末现种数和新增种数等 4 个方面分析 *Maokouan* 类动物群特征,并研究其与相对海平面变化的相关性。在本剖面,茅口期 *Maokouan* 类物种首次出现和最终消失处于第一(S₁)—第三(S₃)个三级相对海平面变化的周期中,其中首现种的层位绝大部分处于第一、第二个三级相对海平面变化的周期中,而未现种绝大部分处于第二、第三个三级相对海平面变化的旋回中。研究结果表明,各十米级相对海平面变化周期中 *Maokouan* 类物种数、首现种数、末现种数、新增种数不尽相同;在三级相对海平面变化的不同阶段, *Maokouan* 类动物群的这些特征也有明显的差异。

表 I 显示,在十米级相对海平面变化周期中, *Maokouan* 类物种平均数为 4.6,首现种数平均约为 1.4。而插图 1 显示,十米级相对海平面上升的幅度较大时,如在剖面的 100—133m、223—248m、338—365m、593—604m 等处, *Maokouan* 类物种丰度较低,在本剖面首次出现的种数较少;而当相对海平面上升幅度较小时,如剖面的 190—208m、293—309m、410—433m 等处, *Maokouan* 类物种丰度较高,首现种数量增加。

在三级相对海平面上升晚期或下降晚期, *Maokouan* 类物种丰度及首现种数都呈减少的趋势(插图 1)。在每个三级相对海平面变化周期中,物种数、首现种数都有两个高值期、3 个低值期。在相对海平面慢速上升与慢速下降两个阶段,物种数和首现种数都较高,如剖面的 152—208m、248—309m、365—468m 等处;而在相对海平面初期快速上升、快速上升、快

速下降 3 个阶段,如剖面的 203—208m、223—248m、309—338m 等处,通常物种丰度较低,首次出现的物种也较少。在剖面的 495—505m 处,虽然三级相对海平面快速下降而物种数较高,但仍表现出物种丰度下降的变化趋势。值得注意的是,在三级相对海平面下降初期,例如在剖面 100—133m、338—365m 和 593—604m 处,䄁类物种丰度最低,首现种最少(插图 1,表 I),表 I 中三级相对海平面变化各阶段的䄁类平均物种数和首现种数,也反映了同样的特征。

插图 1 显示,䄁类物种的消失多发生在三级相对海平面上升时期,尤其值得注意的是,本剖面䄁类末现种的两个最大值均出现在三级海平面上升时期。对十米级相对海平面变化周期内䄁类末现种数的统计也表明,三级海平面上升时期末现种数平均值明显大于下降时期(表 I)。

表 II 反映了火铺茅口组体系域与䄁类末现种数的特征。从中可以看出,海侵体系域的末现种数明显大于高位体系域的末现种数,单位地层厚度内海侵体系域的平均末现种数也明显大于高位体系域的平均末现种数。这进一步表明,火铺茅口期䄁类物种的消失主要发生在三级相对海平面变化的上升时期。

表 II 茅口组层序体系域与䄁类末现种数数据

Number of last appearance species in depositional
tracts of the Maokou Formation in Panxian of Guizhou

层序	体系域(m)	末现种数/物种总数	平均末现种数*
S ₃	高位(90)	5/5	0.6
	海侵(87)	26/31	3.0
S ₂	高位(167)	24/49	1.4
	海侵(115)	25/45	2.2
S ₁	高位(123)	9/23	0.7
合计	高位(380)	38/77	1.0
	海侵(202)	51/83	2.5

* 平均每 10m 地层中䄁类末现种数

上述研究表明,火铺茅口期䄁类动物群构成特征的变化与相对海平面变化具有同时性,且两者具有如下的相关性:1) 各层位䄁类物种数、首现种数与十米级相对海平面变化的上升幅度及三级相对海平面变化速率呈负相关;三级相对海平面下降初期,䄁类物种数、首现种数最低;上升末期及下降末期䄁类物种数、首现种数呈下降的变化趋势;2) 䄁类物种在本剖面的最终消失多发生在三级相对海平面上

升的时期;3) 各层位䄁类动物群构成分子的更替与十米级相对海平面的变化相关。

4 相对海平面变化对䄁类动物群的影响

全球海平面上升、区域构造沉降等幕式事件可导致区域性海平面较快速上升,而持续沉积等因素则可导致区域性海平面相对较缓慢的下降,两者构成海平面变化的一个旋回(Vail *et al.*, 1977; Wilgus *et al.*, 1988)。幕式事件的重现、沉积过程的持续,造成了区域性海平面处于不断的变化和波动之中。在这连续的波动过程中,沉积环境的水深状况将随之发生跳跃—连续性变化,与浅海底栖生物息息相关的生态条件也将随着水深状况的改变而变化,如温度、盐度、透光性、沉积速率、水动力条件、水流畅通性、氧化还原条件等等。因此,海平面的变化必然会对浅海底栖生物群产生重要的影响。

从插图 1 可以看出,在䄁类物种分异度较高、首现种较多的层位,海平面变化曲线主要位于低潮面(BB'线)与正常浪基面(CC'线)区间内的右侧(即潮下带上部),表明潮下带上部是䄁类生存较适宜的环境。

相对海平面变化幅度对生态条件的变化具有重要的影响。在三级海平面上升末期,水深达到最大,即潮下带下部(图 1CC'线附近);在海平面下降末期,水深变为最小,位于潮间带内(图 1BB'-右侧),这两种环境皆不适宜䄁类的生存。在三级海平面上升和下降的末期,水深状况变化幅度较大,造成生态条件的重大变化而不利于䄁类的生存;而在一个三级相对海平面变化周期中,上升末期一下降初期的物种分异度最低,出现的新种最少,表明海平面大幅度上升对䄁类动物群具有更大的负面影响。

三级相对海平面变化的速率与生态环境改变的速率具有因果关系。海平面快速上升或下降,使水体迅速加深或变浅,导致生态条件急剧改变并对䄁类动物群产生不利的影响。三级相对海平面慢速上升或下降时,水深变化较慢,生态环境相对稳定,因而有利于䄁类动物群分异度的增加和新种的出现。

Hallam (1981, 1989)认为,海进初期由于水深加大会造成底部海水的缺氧环境,并可引起浅海底栖生物类群的绝灭。火铺剖面的 523—533m 处䄁类物种末现数最大,在这 10m 地层中消失的物种约占

该剖面茅口期消失的 类物种总数的 18%, 形成了明显的物种消失(绝灭)高峰。我们注意到, 这一事件正是发生在茅口期最后一次三级海平面上升的初期, 可能与当时海平面的快速抬升有关。

与三级相对海平面的变化相比, 十米级相对海平面变化更为频繁, 这种经常、连续性的海平面变化决定了 类动物群正常演化的环境背景。十米级相对海平面变化周期中的 类新增种(插图 1), 是相对于前一个周期新增加的 类物种, 它可以反映各层位 类动物群构成的相对变化。插图 1 显示, 绝大多数十米级相对海平面变化周期中都有新增种出现, 其数量平均可达该周期 类物种总数的 60% 以上, 表明十米级相对海平面变化对 类动物群的构成、更替具有明显的影响。统计结果还显示, 火铺茅口期每十米级相对海平面变化周期中平均约有 1.4 个新种出现、1.4 个老种消失, 这一数据与区域性茅口期 类动物群的背景演化速率相近(杨湘宁等, 1999a)。据此推测, 十米级相对海平面变化可能是影响 类背景演化的主要因素。

5 结 论

对贵州盘县火铺茅口组剖面的研究结果表明, 相对海平面变化对 类动物群的影响主要表现在以下几方面:

1) 相对海平面变化幅度是影响 类物种分异度、新种出现的重要因素。三级相对海平面上升末期或下降末期海平面的大幅度变化是导致 类物种分异度下降、新种数量减小的重要原因。

2) 三级相对海平面的变化速率对 类物种分异度、新种的增加具有重要的影响。快速上升或下降是个不利的因素, 而慢速上升或下降则有利于分异度的增加和新种的出现。

3) 茅口期晚期最大的一次 类物种绝灭高峰可能与同期三级海平面上升初期的海平面快速抬升有关。在三级相对海平面的变化过程中, 海平面上升对 类物种的消失具有更大的影响。

4) 十米级相对海平面的变化可能是影响 类背景演化的主要因素, 是导致不同层位 类动物群物种更替的重要原因。

参考文献

肖伟民, 王洪第, 张遵信, 董文兰, 1986. 贵州南部早二叠世地层及

其生物群. 贵州: 贵州人民出版社. 1—311.

杨振东, 1985. 贵州朗岱打铁关“茅口灰岩”中 类化石的再研究. 微体古生物学报, **2**(4): 307—338.

杨湘宁, 周建平, 刘家润, 施贵军, 1999a. 二叠纪“茅口期” 类动物的演化型式. 中国科学(D), **29**(2): 129—136.

杨湘宁, 施贵军, 刘家润, 周建平, 孙 历, 1999b. 贵州盘县特区火铺茅口组剖面及其 类动物群, 地层学杂志, **23**(3): 170—181.

覃建雄, 曾允孚, 陈洪德, 田景村, 李余生, 钱奕中, 寿建峰, 沈安江, 1998. 西南地区二叠纪层序地层及海平面变化. 岩相古地理, **18**(1): 19—35.

威尔逊, J L (冯增昭等译), 1981. 地质历史中的碳酸盐相. 北京: 地质出版社. 1—412.

Chen H, Tian T, *et al.*, 1997. Permian sequence stratigraphy of the Sichuan-Yunnan-Guizhou-Guangxi region. *Scientia Geologica Sinica*, **6**(2): 241—260.

Hallam A, 1981. Facies interpretation and the stratigraphic record. Oxford and San Francisco: Freeman.

Hallam A, 1989. The case for sea-level change as a dominant causal factor in mass extinction of marine invertebrates. *Royal Society of London Philosophical Transactions, ser. B*, **325**: 437—455.

Jin Y G, 1993. The pre-Lopingian benthos crisis. *Compte Rendu, X* ICCP, Buenos Aires, **2**: 267—278.

Jin Y G, 1994. Tow phases of the End-Permian mass extinction. *Canadian Soc. of Petroleum Geologist*, **17**: 813—822.

Posamentier H W, Allen H W, James D P, Tesson M, 1992. Forced regressions in a sequence stratigraphic framework: concepts, examples and sequence stratigraphy significance. *AAPG Bull.*, **76**: 1687—1709.

Posamentier H W, Summerhayes C P, Haq B U, Allen G P (eds), 1993. Sequence stratigraphy and facies associations. *Int. Assoc. Sedimentol. Spec. Publ.*, **18**: 644.

Sarg J F, 1988. Carbonate sequence stratigraphy and the controls on carbonate platform development: case study from the Permian of West Texas-New Mexico. *APG Bull.*, **72**: 1522.

Schlager W, 1991. Depositional bias and environmental change—important factors in sequence stratigraphy. *Sediment. Geol.*, **70**: 109—130.

Stanley S M, Yang Xiangning, 1994. A double mass extinction at the end of the Paleozoic Era. *Science*, **266**: 1340—1344.

Vail P R, Mitchum Jr R M, Thompson S, 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 4: Global cycles of relative changes of sea level. In: Ayton, C. E. (ed), 1977. *Seismic stratigraphy—Applications to hydrocarbon exploration*. AAPG Memoir, **26**: 516.

Walker R G, James N P (eds), 1992. Facies models, response to sea level change. *Geological Association of Canada*. 265—275.

Wilgus C K, Hasting B S, Kendall C G, St C, Posamentier H W, Ross, C A, Von Wagoner J C (eds), 1988. Sea level changes: an integrated approach. *SEPM Spec. Publ.*, **42**: 407—414.

IMPACT OF RELATIVE SEA-LEVEL CHANGES ON THE MAOKOUAN
FUSULINACEAN FAUNA IN PANXIAN, GUIZHOU

LIU Jia-Run, YANG Xiang-Ning, SHI Gui-Jun, FENG Hong-Zhen, CHEN Yun-Tang
(*Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093*)

ZHOU Jian-Ping
(*Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008*)

Key words: sea-level change, Maokouan, fusulinacean fauna, Guizhou

Abstract

The analysis of sequence stratigraphy and fusulinid assemblages from the Maokou Formation in Panxian, Guizhou Province, southwestern China, provides a framework to study the interrelated changes of relative sea-level and fusulinacean fauna in the Maokouan period (middle Permian). The results of this study have demonstrated that the rate and amplitude of sea-level rises and falls were important factors causing changes in the fusulinacean fauna. The decreases of species diversity and first appearance of species within the fauna might be due to the sea-level

changes with high rates and amplitudes. The extinction pulse of fusulinid species in the late Maokouan was attributed to an early fast rise of three-grade sea level. It has also been found that ten-meter-grade sea-level changes had an important influence on the background evolution, i.e., the normal appearance and disappearance of species, of fusulinacean foraminifers as well as on the species replacement within the fauna. The study of impact of sea-level changes on fusulinacean fauna can help to understand the evolutionary process of fusulinaceans in the Maokouan and reveal the causes of the middle Permian extinction event.