

重庆老龙洞二叠系-三叠系界线地层的海平面下降事件*

吴亚生¹ 姜红霞¹ 廖太平²

WU YaSheng¹, JIANG HongXia¹ and LIAO TaiPing²

1. 中国科学院地质与地球物理研究所,北京 100029

2. 重庆科技学院,重庆 400042

1. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

2. Chongqing University of Science and Technology, Chongqing 400042, China

2006-06-20 收稿, 2006-08-12 改回.

Wu YS, Jiang HX and Liao TP. 2006. Sea-level drops in the Permian-Triassic boundary section at Laolongdong, Chongqing, Sichuan province. *Acta Petrologica Sinica*, 22(9):2405-2412

Abstract Restudy of the Permian-Triassic boundary section at Laolongdong, Chongqing, Sichuan Province, south China shows evidence for sea-level drops. This section comprises a basal Changhsingian calcisponge limestone of normal shallow-water condition. It is overlain by 10.6 m thick packstone of platform facies. The latter is covered by 1.4 m thick lime mudstone and packstone of restricted platform facies, which is characterized by speckled appearance. The top of this interval is an undulated ancient karstic surface. This surface is coated by a 1 mm thick layer of terrestrial clasts of quartz, feldspar, and clay minerals. The overlying 0.8 m thick packstone and lime mudstone has a characteristic dendroid appearance. This unit has a more remarkable erosional top surface. The height difference of the undulated surface at least reaches 0.3 m. The lentiform deposits in the lower areas of the surface are bedded grainstone composed of microgastropods cemented by fibrous calcite. The horizontal beddings of the grainstone are intersected with the erosional surface. The grainstone is overlain by a thin layer of packstone of small bivalves. The above rock is caesious tabular marly lime mudstone containing abundant small syndepositional pebbles 0.3~3 mm wide, which are internally recrystallined.

Key words Permian-Triassic boundary, End-Permian, Sea-level change, Erosional surface, Sichuan

摘要 老龙洞的二叠系-三叠系界线地层剖面许多学者做过研究,关于其海平面变化问题的争论一直没有解决。本文的研究首次在该剖面上发现了明显的侵蚀面,说明曾经有海平面下降事件。对沉积环境的解释也有新的认识。该剖面在长兴期钙质海绵灰岩之上沉积了一套开阔台地相的沉积,其上为 1.4m 厚的局限台地相沉积,具有斑点状构造。此层顶部出现一个波状起伏的侵蚀面。侵蚀面上下的岩性不同。此面之上是 0.8m 厚的浅水的局限台地相沉积,具有树枝状的构造和外貌。此层顶面是一个更加明显的侵蚀面,起伏高差达到 0.3m 以上。侵蚀面上下的岩性截然不同,以及其上岩石层理与侵蚀面的斜交关系,以及侵蚀面的形态把侵蚀面同缝合线区分开来。这个侵蚀面代表一次显著海平面下降事件之后的一次较长时间的出露和风化剥蚀。侵蚀面之上是透镜状分布的灰色的小腹足类的颗粒岩,再上是一薄层灰黄色的泥粒岩,含丰富的小双壳类。此层以上是青灰色的薄板状的泥质灰泥岩,含丰富的 0.3~3mm 大小的、内部重结晶的同生角砾。

关键词 二叠纪-三叠纪界线地层; 二叠纪末; 海平面下降; 侵蚀面; 四川

中图法分类号 P534.46; P534.51

* 国家自然科学基金项目(项目号 40472015)和现代古生物学地层学国家重点实验室资助项目成果。

第一作者简介: 吴亚生,男,1963年生,博士,副研究员,主要从事生物礁、成岩作用、二叠纪-三叠纪界线地层、牙形刺生物地层、古代全球环境变化和生物演化研究, E-mail: wys@mail.igcas.ac.cn

2 剖面的岩石学特征

老龙洞 PTB 剖面下面的长兴阶地层是一套礁相沉积,其中部含有 29.9m 的钙质海绵障积岩。我们的 PTB 剖面从最上面一层含钙质海绵的块状灰岩开始向上测,至下三叠统飞仙关组的薄板状泥质灰岩的最下部为止。我们的剖面自下而上分为 11 层(图 2)。其岩性如下:

第 1 层(L01)厚 5m,为灰白色块状粒泥岩,含钙质海绵化石,代表一种礁相环境。其它生物包括 *Tubiphytes*、有孔虫、棘皮类、钙藻(图 3A)、介形虫、苔藓虫、腕足类、*Colaniella* 等。

第 2 层(L02 到 L1-2)为厚 10.6m 厚的灰白色厚层状粒泥岩和泥粒岩,生屑以 *Colaniella* 和棘皮类(海百合为主)为主,其它生物包括 *Palaeofusulina*(图 3B)、*Tubiphytes*、腕足类等。

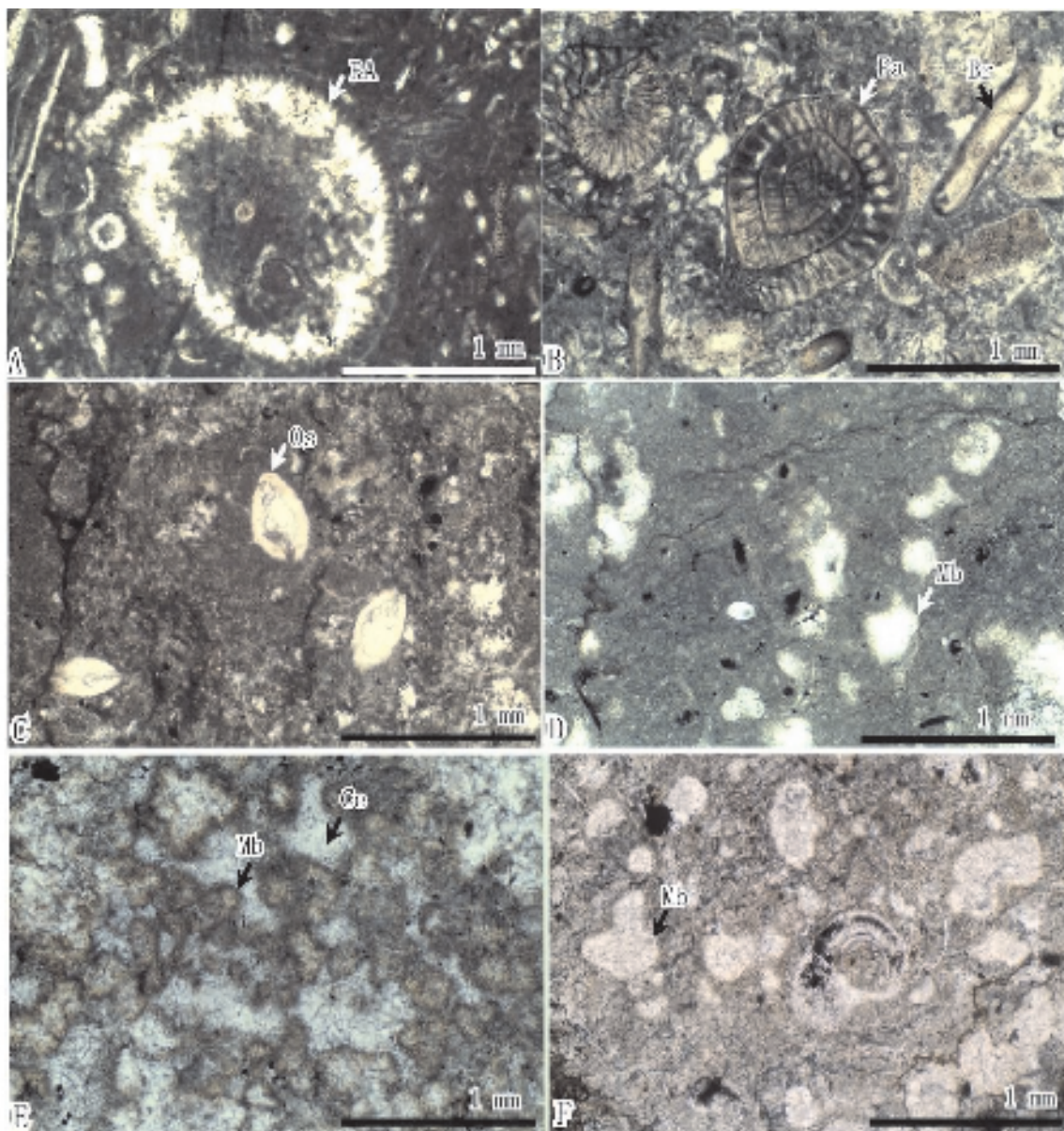


图 3 老龙洞二叠系-三叠系界线地层剖面岩石薄片显微照片

A-层 1,粒泥岩,含红藻化石(RA); B-层 2,泥粒岩,含 *Palaeofusulina*(Pa)和苔藓虫(Br); C-层 3,灰泥岩,含介形虫(Os); D-层 4,粒泥岩和灰泥岩,含有不规则囊状生物(Mb); E-层 5,泥粒岩和粒泥岩,局部亮晶胶结(Ce),囊状生物(Mb)丰富; F-层 6,灰泥岩,有较多的囊状生物(Mb)和介形虫。所有照片为单偏光。

Fig. 3 Microphotographs of P-T boundary section at Laolongdong, Chongqing.

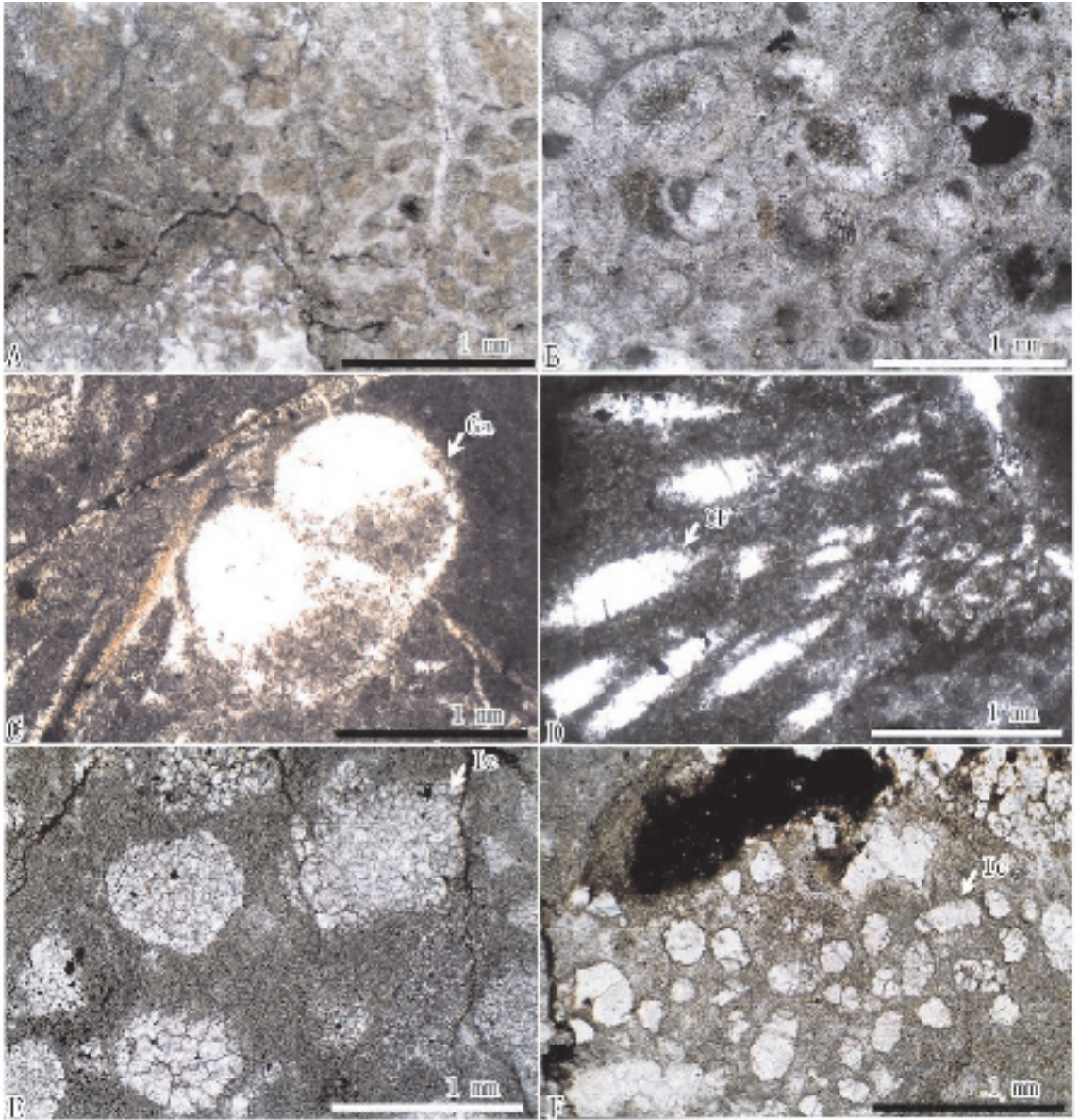


图4 老龙洞二叠系-三叠系界线地层剖面岩石薄片显微照片

A-层7, 灰泥岩, 局部亮晶胶结; B-层8, 颗粒岩, 颗粒是稍大的小腹足和一些双壳类, 纤状文石胶结物发育; C-层9, 泥粒岩, 有丰富的2~10mm大小的双壳类和一些1.5mm大小的小腹足(Ga); D-层10, 灰泥岩, 有巨大放射状方解石(CF); E-层11, 下部, 灰泥岩, 很多内部重结晶的颗粒(Ic), 还有很多腹足类; F-层11, 上部, 灰泥岩, 有很多不规则的内部重结晶的碎屑(Ic)。

Fig.4 Microphotographs of thin sections from the P-T boundary section at Laolongdong, Chongqing.

第3层(L1-3到L1-4)为厚0.6m的粒泥岩和灰泥岩(图3C)。生物主要是介形虫和一些丝状的菌类(泥晶壁的)。岩石外观呈斑点状(斑点状特征参见图5B)。由灰色斑点和暗色部分不规则斑杂构成。暗色部分为遭受重结晶作用影响晶粒较粗的灰岩; 灰色的斑点为未受重结晶作用影响的灰岩。

第4层(L3-1到L3-7)为厚0.8m的粒泥岩(图3D), 具斑点状构造(图5), 上部薄层状, 顶部为一个波状起伏的侵蚀面(称“下侵蚀面”)(图5)。不规则囊状生物丰富。顶部介形虫较多。

第5层(L3-8)为厚0.2m的薄层状泥粒岩, 局部为颗粒

岩(图3E)。颗粒为不规则的囊状生物。岩石具树枝状构造和外貌。树枝状构造由灰色的树枝状部分分布在暗色的部分中构成(图5)。暗色部分是重结晶的灰岩; 灰色部分是未受重结晶作用影响的灰岩。

第6层(L3-9到L3-10)为厚0.2m的中层状粒泥岩(图3F)和灰泥岩, 岩石具树枝状的外貌。生物不丰富, 为小的介形虫和小腹足。

第7层(L3-11到L3-14)为厚0.4m的中层状粒泥岩和灰泥岩。下部局部为亮晶胶结(图4A)。岩石外貌呈树枝状(图6D)。下部囊状生物较丰富; 上部有较多的小腹足和

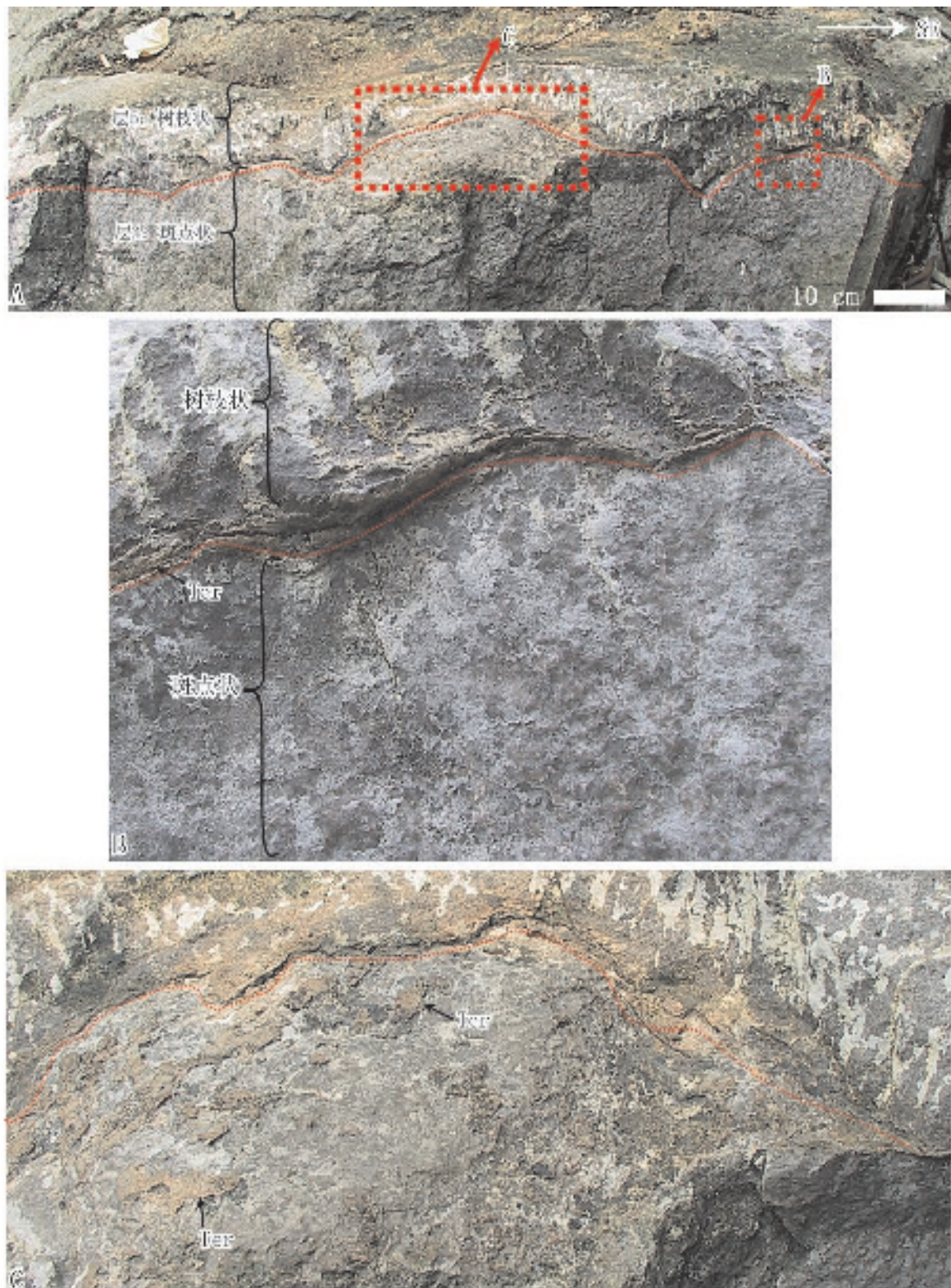


图5 层4和层5之间的侵蚀面(下侵蚀面)的特征

A-层4(斑点状)和层5(树枝状)之间的侵蚀面(细虚线)的露头照片;B-图A中的B区域(粗虚线)的近拍照片,侵蚀面(细虚线)之下的层4具斑点状构造,侵蚀面之上的层5具有树枝状构造;C-图A中C区域的近拍照片,见侵蚀面(细虚线)和侵蚀面上的一层均匀分布的厚1mm的风化残积物,成分以石英碎屑为主,还有粘土、长石碎屑。

Fig.5 Outcrop photos of Bed 4 (speckled) and Bed 5 (dendroid), and the erosional surface between them (fine dotted line).

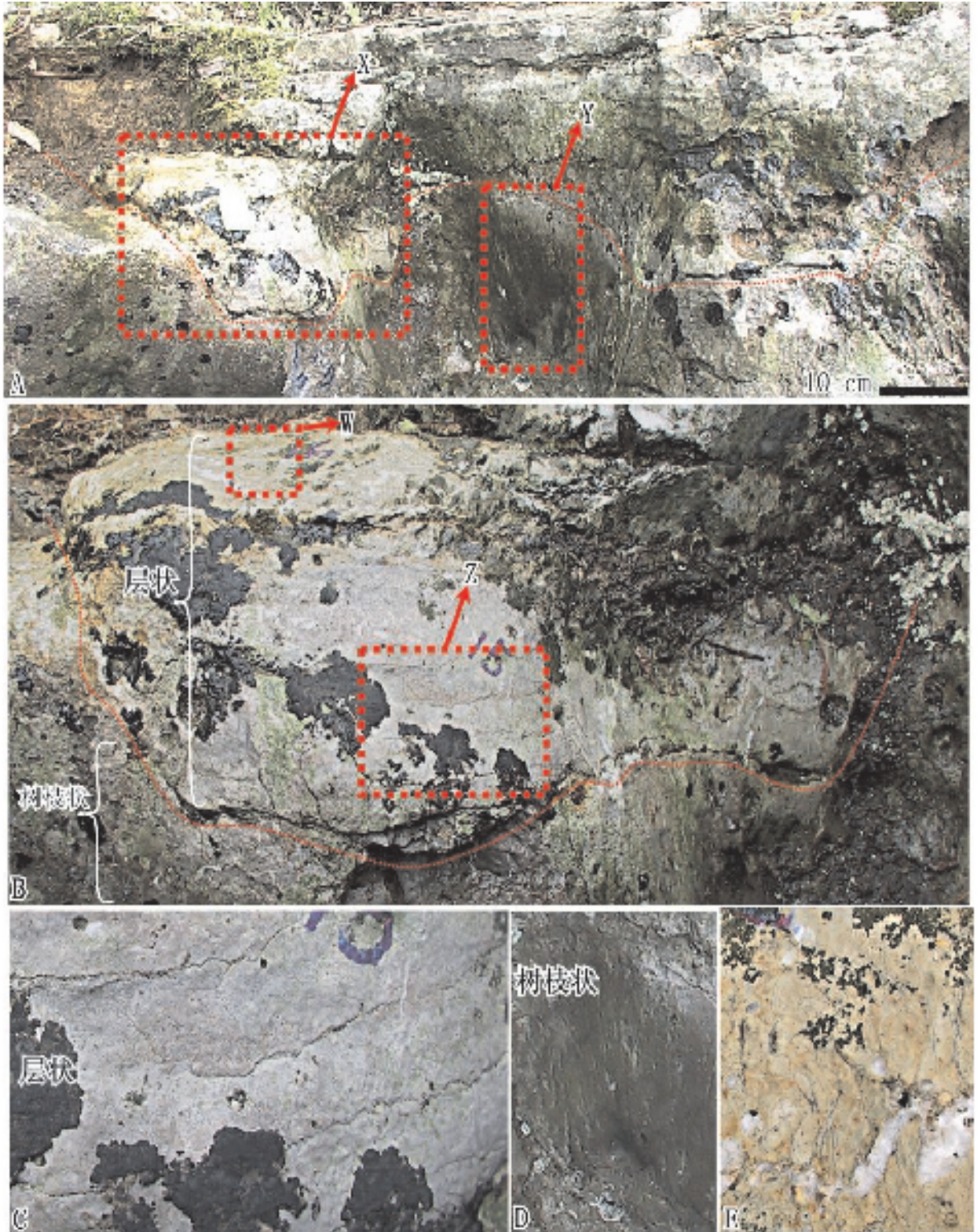


图6 层7和层8之间的侵蚀面(上侵蚀面,虚线所示)的特征。

A-露头照片,示层7顶的侵蚀面(紧靠细虚线处)和其上的层8,侵蚀面是不规则起伏的,高差20cm以上;B-照片A之X区域的近拍,侵蚀面(细虚线)更清晰,可见其上的层8呈层状;C-照片B之Z区域的近拍,层8的层状构造更清晰;D-照片A之Y区域的近拍,可见层7的树枝状构造;E-照片B之W区域的近拍,泥粒岩中的介壳类清晰可见。

Fig. 6 Outcrop photos showing the top erosional surface (indicated by fine dotted line) of Bed 7 with dendroid appearance, and the bedded limestone of the overlying Bed 8.

舌形的小腕足。此层顶部为一侵蚀面(图6),其起伏在0.6m以上。

第8层(L3-15)为厚0.1m的灰色亮晶颗粒岩(图6C,图4B)。颗粒为小腕足、舌形的小腕足、双壳类。胶结物为纤状的,原始成分应该是文石质的。

第9层(L3-16)是厚仅0.02m的一层灰黄色泥粒岩(图4C,图6E),有丰富的2-10mm大小的双壳类和一些小腕足。局部为灰泥岩。

第10层(L3-17)为厚仅0.05m的青灰色薄板状泥质灰泥岩,有少数小腕足。本层含有巨大的扇形方解石(图4D)。

第11层(L3-18到L3-20)为厚仅0.07m的青灰色薄板状泥质灰泥岩。有很多内部重结晶的颗粒(图4E、F),颗粒大小一般在0.3~3mm。一些颗粒近圆形(故被Kershaw *et al.*, 1999称作microsphere)。有少数小腕足。

第11层以上还是青灰色薄板状灰岩,未测。本剖面的5、6、7层具有树枝状结构,被Kershaw *et al.* (1999, 2002)叫做微生物岩“壳”。

3 沉积环境和海平面变化

本剖面的第1层是含钙质海绵的礁相沉积。钙质海绵障积岩的水深大约在20~30m(吴亚生和范嘉松,2000)。本层的灰岩中钙质海绵稀少,可能水深还要大些,大约在50m左右。

第2层含有鳃, *Colaniella* 等狭适性生物,代表开阔台地相环境。粗枝藻化石的出现,说明水体相对于第1层变浅到30m以内,因为粗枝藻的生活需要阳光。

第3层的生物仅为介形虫和丝状菌类,显得单调,可能说明沉积环境变得局限了。

第4层的生物较为单调,可能代表沉积环境有些局限。上部沉积呈薄层状,说明沉积环境的水体变得浅了,可能为潮坪环境。本层顶部有一侵蚀面,具有波状起伏的形态(图5),单个丘形的宽度约15~20cm。侵蚀面的表面有一层厚度约1mm的褐黄色物质(图5C)。野外我们认为可能是铁质的。但电镜下确定它们是细小的陆源碎屑,成分为石英、粘土、长石等。侵蚀面上下的岩性不同。其下的岩石呈斑点状,其上的岩石呈树枝状。

第5层为薄层状的泥粒岩,局部为亮晶胶结。薄层状构造说明沉积环境水浅。亮晶胶结物的存在也说明水浅,并且水动力能量较强。

第6层和第7层为中层状的粒泥岩和灰泥岩,局部有亮晶胶结,说明仍然是潮下浅水环境的。

第7层顶部是一个不规则起伏的侵蚀面(图6)。起伏高差在所见到至少0.2m以上。此面上下的生物和岩性不同,而且其上的层理与此面是斜交关系(由沉积物首先充填在此面的低洼处造成),所以我们认为此面是一个侵蚀面。在与此剖面相距仅1m之远的另外一个剖面上,这个侵蚀面更加明显,所见之处侵蚀面起伏高差在0.3m以上。侵蚀面之下的岩石

为灰泥岩,具有树枝状构造。侵蚀面之上的岩石为亮晶颗粒岩,颗粒是小腕足以及小腕足。侵蚀面上下岩性的不同,以及侵蚀面的非锯齿状形态使本侵蚀面与缝合线易于区别。

Kershaw *et al.* (1999)指出微生物岩壳(其“壳”即本文的树枝状结构的岩层)的顶部与上伏地层之间的界面是一个明显的相变界面,在有些地方为缝合线接触,这些地方就像侵蚀面,但即使有侵蚀,也是很微小的,因为缝合线的起伏形态与下伏壳内部的层面是吻合的。然而,根据我们的观察,侵蚀面起伏较大,与其下的树枝状岩层内部的层面无任何相似性可言,与缝合线也没有任何可比性,所以是地道的侵蚀面。从侵蚀面的形态看,这是成岩之后地层出露地表,发生风化作用所成。石灰岩的地层出露地表形成高差至少0.3m的风化地形是需要一定时间的。这样的侵蚀程度也不能用一句“微小”来忽略它。

第8层是亮晶小腕足的颗粒岩。文石质的纤状胶结物是早期海底成因的。这层沉积应该是潮下很浅水环境的。

第9层的生物群与第8层相似,但为灰泥基质的,说明沉积环境水体变深了。

第10到11层是薄板状的灰泥岩。水平层理发育代表较深的沉积环境。但是,其中有一些岩砾(成分与围岩相同,但内部重结晶)。这些岩砾基本是原地保存的,没有经过搬运,大多数岩砾的延伸方向与周围的灰泥岩的层理为谐和关系。根据成分和产状,我们认为岩砾是准同生期的内碎屑,可能是风暴作用形成的,说明此时的沉积环境水体不是很深。Kershaw *et al.* (1999)把这种内碎屑描述为豆粒。但这种颗粒没有豆粒的典型内部结构(同心层),大小和形态很不规则,所以不是豆粒。

4 PT 界线海平面下降的时间

PT之交海平面下降事件的存在与否是一个一直在探索的争论性的问题。国际刊物发表的PTB海平面下降的文章是2003年Heydra *et al.*的,但其后有两篇讨论文章否定了其海平面下降的所有证据(Fang, 2005; Wignall, 2005)。本文作者认为其证据的可靠性难以判断,需要对其剖面做进一步的研究。Ezaki *et al.* (2003)的文章中有一幅照片很像是侵蚀面,(本文作者认为就是侵蚀面)。但是Kershaw (2004)专门写文章指出那不是侵蚀面,而是缝合线。本文以较为可靠的证据说明,老龙洞剖面界线地层内存在两次海平面下降事件,并且规模都较大,形成了古岩溶面和显著的侵蚀面。这说明对这个时期的海平面变化的性质需要重新认识。

Kershaw *et al.* (1999, 2002)把老龙洞剖面的树枝状岩石(本文的5、6、7层)称为微生物岩“壳”,认为可能是微生物成因的,但不确定。它们从“壳”顶以下0.3m处采集的样品中发现了 *Hindeodus parvus*。这是三叠系最下面的一个牙形刺化石带。所以,第7层属于 *H. parvus* 带。Ezaki *et al.* (2003)的研究认为东湾剖面的树枝状岩石属于 *H. parvus*

带。我们的牙形刺研究尚未完成,所以不知道 5 和 6 层是否也属于 *H. parvus* 带。本文暂时把 PT 界线划在第 7 层之底。

如此,则本剖面的第一个侵蚀面位于 PT 界线之下 0.4m 处,第二个侵蚀面位于 PT 界线之上 0.4m 处。这个结论有些不寻常。我们已经研究了贵州紫云和江西修水 PTB 剖面的海平面下降情况。在紫云剖面上,第一次海平面下降发生在 PT 界线之下 1.7 ~ 2.4m 处,第二次海平面下降发生在 *H. parvus* 带底部。在江西修水剖面上,第一次海平面下降发生在 PT 界线之下 3.1m 处。第二次海平面下降可能发生在界线之下 1.1m 处。这说明不同地方的海平面下降发生的时间是不一样的。这种时间上的差别可能代表了古地形(古海拔)的不同;古海拔高的地方先发生海平面下降。

Kershaw *et al.* (2002) 指出在二叠纪海百合灰岩和其上的微生物岩壳之间有存在假整合的可能性。Ezaki *et al.* (2003) 也有同样的考虑:不排除在二叠纪生物碎屑灰岩和三叠纪微生物岩(即 Kershaw *et al.* 称为“微生物岩壳”的东西)之间存在一个短暂的沉积间断或暴露事件的可能性。也就是说,他们都认为,在相当于我们剖面的第 2 层之顶的地方可能存在沉积间断或暴露事件。但我们的研究证明这里没有暴露事件。Kershaw *et al.* (2002) 强调,在界线地层内,海平面是上升的。但本文的研究表明:界线地层内有两次显著的海平面下降事件,分别发生在界线上 0.4m 处。

5 结论

(1) 沉积相研究表明,重庆老龙洞地区在长长期末由生物礁环境转变为开阔台地环境,到界线附近转变为局限台地的浅水环境,是一个海退的过程,而不像前人认为的那样是海水加深的过程。

(2) 界线附近有两次海平面下降事件。第一次在界线之下约 0.4m 处,形成了波状起伏的侵蚀面。第二次在界线之上约 0.4m 处,形成了一个高低起伏达到 0.3m 以上的不规则的风化侵蚀面。此侵蚀面之上仍然是浅水环境。

(3) 尽管此海平面下降事件与全球海平面变化以及二叠纪末生物大绝灭的关系需要更多的研究工作来确定,但以往人们关于二叠纪-三叠纪界线地层内只有海平面上升的观点有待修正。

致谢 本文为国家自然科学基金项目(项目号 40472015)和现代古生物学和地层学国家重点实验室开放课题基金(项目号 053102)的成果,并得到中国科学院矿产资源研究重点实验室的支持。感谢朱井泉研究员审阅文稿和提出宝贵修改意见。

References

Ezaki Y, Liu JB and Adachi N. 2003. Earliest Triassic microbialite

micro- to megastructures in the Huaying area of Sichuan Province, South China; Implications for the nature of oceanic conditions after the end-Permian extinction. *Palaios*, 18: 388–402

Fan JS, Rigby JK and Qi JW. 1990. The Permian reefs of South China and comparison with the Permian reef complex of Guadalupe Mountains, West Texas and New Mexico. *Brigham Young University Geology Studies*, 36: 15–55

Fang ZJ. 2005. Comment on “Permian Triassic boundary interval in the Abadeh section of Iran with implications for mass extinction; Part I- Sedimentology” by E. Heydari, J. Hassanzadeh, W. J. Wade and A. M. Ghazi, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 193:405–424 (2003); A'. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 217(3–4): 311–313

Heydari E, Hassanzadeh J, Wade WJ and Ghazi AM. 2003. Permian Triassic boundary interval in the Abadeh section of Iran with implications for mass extinction; Part I Sedimentology *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 193 (3–4): 405–423

Isozaki Y. 1997. Permo-Triassic boundary superanoxia and stratified superocean: records from lost deep sea. *Science*, 276: 235–238

Kershaw S, Guo L, Swift A, Fan JS. 2002. Microbialites in the Permian-Triassic boundary interval in central China; structure, age and destruction. *Facies*, 47: 83–90

Kershaw S, Zhang T and Lan G. 1999. A microbialite carbonate crust at the Permian-Triassic boundary in South China, and its paleoenvironmental significance. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 146: 1–18

Kershaw S. 2004. Comment-Earliest Triassic microbialite micro- to megastructures in the Huaying area of Sichuan Province, south China; implications for the nature of oceanic conditions after the end-Permian extinction (Ezaki *et al.*, 2003). *Palaios*, 19: 414–416

Reinhardt JW. 1988. Uppermost Permian reefs and Permo-Triassic sedimentary facies from the southeastern margin of Sichuan Basin, China. *Facies*, 18: 231–288

Wignall P, Woods A and Bottjer D. 2005. Comment on “Permian Triassic boundary interval in the Abadeh section of Iran with implications for mass extinction; Part I. Sedimentology” by E. Heydari, J. Hassanzadeh, W. J. Wade and A. M. Ghazi, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 193:405–424 (2003); B. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 217 (3–4): 315–317

Wignall PB and Hallam A. 1992. Anoxia as a cause of the Permo-Triassic mass extinction: facies evidence from northern Italy and the western United States. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 93: 21–46

Wignall PB and Hallam A. 1996. Facies change and the end-Permian mass extinction in S. E. Sichuan, China. *Palaios*, 11: 587–596

Wu YS and Fan JS. 2000. Paleocology of calcisponges (inozoans, thalamid sponges, sclerosponges). *Acta Palaeontologica Sinica* 39 (4): 544–547 (In Chinese with English abstract)

Wu YS, Fan JS and Jin YG. 2003. Emergence of the Late Permian Changhsingian reefs at the end of the Permian. *Acta Geologica Sinica*, 77(3): 289–296 (In Chinese with English abstract)

Wu YS, Yang W, Jiang HX and Fan JS. 2006. Petrologic evidence for sea-level drop in latest Permian in Jiangxi Province, China, and its meanings for the mass extinction. *Acta Petrologica Sinica*, 2006 (in press)

附中文参考文献

吴亚生, 范嘉松. 2000. 钙质海绵之古生态. *古生物学报*, 39(4): 544–547

吴亚生, 范嘉松, 金玉珩. 2003. 晚二叠世末的生物礁出露及其意义. *地质学报*, 77(3): 289–296