

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

层序界面及其附近的地质特征与地质过程的表现

赵玉光 王剑

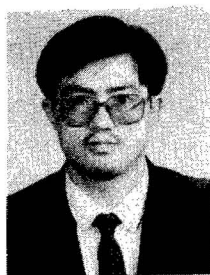
(地质矿产部成都地质矿产研究所)

唐锦玉

李忠雄

(广西地质矿产局测试中心, 南宁)

(地质矿产部成都地质矿产研究所)



本文探讨了层序界面及其附近的地质特征及其构型,建立了三型(I, II, III型)八类层序界面分类方案: I型界面包括暴露侵蚀削截面、古土壤面、古喀斯特面和暴露侵蚀界面; II型界面包括海平面下降结构转换面和海侵上超界面; III型界面包括海底侵蚀成岩间断面和事件界面。运用岩石地层学、生物地层学、磁性地层学及碳氧同位素等多学科,对二叠纪和三叠纪中,二叠与前二叠系之间、二叠与三叠系之间和中下三叠统之间3个主要层序界面进行了探讨,这3个界面分别属于I型、III型和I型界面。提出了层序界面及其附近的地质特征及其地质过程的表现。

关键词 层序界面 构形分析 生物演替 磁极性超时 碳氧同位素

1 层序界面的地质特征及其成因分类

在岩石地层中可以识别出I型、II型、III型层序界面,不同的界面类型具有特征的物质构成样式及地球化学的分布模型,指示了不同的形成机制及其发育序列。结合对上扬子地台西缘二叠—三叠纪层序地层及海平面变化的研究^①,总结了层序地层界面受控于5个参数:相对海平面变化、构造运动幕、沉积物构成、古气候序列及宇宙星体撞击地表。提出并标定了层序地层学三型八类层序界面及其特征(图1)。I型层序界面包括4类:陆上暴露侵蚀削截面、陆上暴露古土壤面、古喀斯特面和陆上暴露侵蚀界面。古喀斯特面是碳酸盐岩地层中特有层序界面; II型层序界面包括两类:海平面下降结构转换面和海侵上超层序界面。这两类界面多见于碳酸盐岩地层背景,但碎屑岩中也时有见到; III型层序界面包括两类:海底侵蚀成岩间断面和事件界面。海底成岩间断面主要指水下硬底界面,如滇黔及四川地区的上二叠统吴家坪组灰岩中常常发育波状起伏的水下硬底,硬底之上见有褐色铁质薄膜披盖^②,并往往见有米氏筳的富集层。揭示了层序界面小的时间间断。事件界面也是较为重要的层序界面,如西南地区二叠纪和

注:本文为国家自然科学基金资助项目(编号49402030)和地质矿产部沉积盆地与流体动力学开放研究实验室成果(97010号)。

① 国家科委基础研究“八五”重大项目“中国古大陆及其边缘层序地层及其海平面变化研究”。

② 参加野外工作的有许效松、赵玉光、陆元法和卫民等。

本文1996年8月收到,1997年7月改回,周健编辑。

三叠纪之交的事件形成的界面。这种事件往往形成海洋缺氧事件、生物断带、氧碳同位素分布及物质分异等重大变化,形成特殊的层序界面的构型。

通过解译地球化学记录信息建立的层序界面及其附近的地球化学模型,是对层序界面更深层次的研究。并且具有重大的理论意义和实际应用价值,丰富层序地层学理论。

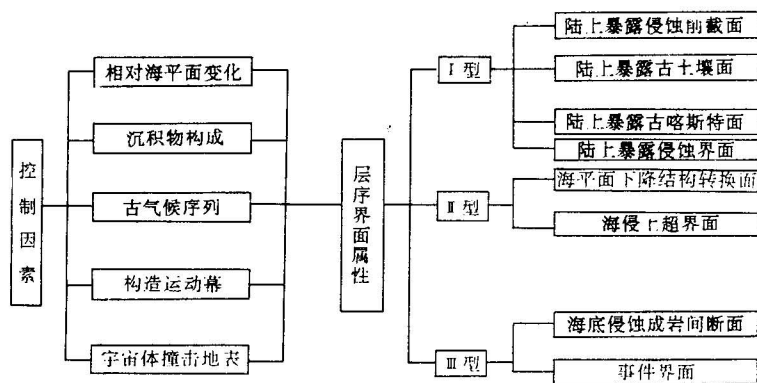


图1 层序界面划分方案及其制约参数

Fig. 1 Classification of sequence boundaries and its controlling factors

2 层序界面内部构型的地质响应及其界面附近的生物演替

2.1 层序界面—低位域复合体及其成因分析

二叠纪与前二叠纪之间的层序界面为陆上暴露侵蚀削截面(图2)。栖霞组地层分别不整合于古生代地层之上,并在某些地区(如旺苍)缺失泥盆纪至石炭纪沉积,因此,在早古生代原碳酸盐岩分布区的侵蚀面之上,都保存有古喀斯特及残积堆积体。该界面具有明显的垂向剖面结构,从下至上为(图2):①陆上暴露侵蚀削截面,该界面在平面上呈波状起伏状态,由于构造掀斜及海平面制约与上覆地层呈角度不整合接触关系。代表了盆地的新生。反映了上扬子陆块受加里东期升降及造陆的影响,在克拉通上导致海平面下降的结果;②海陆过渡相沼泽化堆积物,发育有劣质煤线及风化壳型铝土矿。反映了构造—海平面夷平的古地理背景;③泥岩中发育的砂质透镜体,反映了古风化壳中水道砂体的沉积;④海陆过渡相沼泽化堆积物,劣质煤

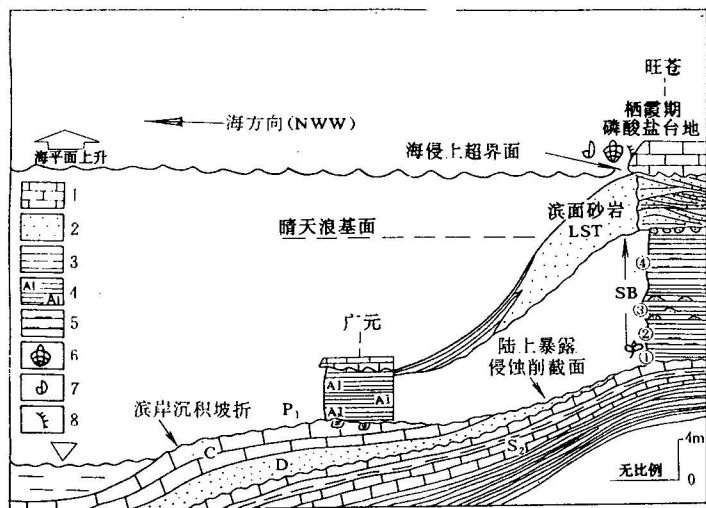


图2 二叠纪与前二叠纪之交层序界面及其附近内部构成与成因分析

Fig. 2 Architecture and genetic analysis of sequence boundary between Permian and pre-Permian and nearby it

P₁—早二叠世;C—石炭纪;D—泥盆纪;S₂—中志留世;LST—低水位体系域;SB—层序界面;1—灰岩;2—砂岩;3—泥岩;4—铝土质泥岩;5—炭质泥岩;6—三叶虫;7—腕足类;8—藻类
P₁—Early Permian;C—Carboniferous;D—Devonian;S₂—Middle Silurian;LST—lowstand system tract;SB—sequence boundary;1—limestone;2—sandstone;3—mudstone;4—bauxitic mudstone;5—carbonaceous mudstone;6—trilobite;7—brachiopods;8—algae

合于古生代地层之上,并在某些地区(如旺苍)缺失泥盆纪至石炭纪沉积,因此,在早古生代原碳酸盐岩分布区的侵蚀面之上,都保存有古喀斯特及残积堆积体。该界面具有明显的垂向剖面结构,从下至上为(图2):①陆上暴露侵蚀削截面,该界面在平面上呈波状起伏状态,由于构造掀斜及海平面制约与上覆地层呈角度不整合接触关系。代表了盆地的新生。反映了上扬子陆块受加里东期升降及造陆的影响,在克拉通上导致海平面下降的结果;②海陆过渡相沼泽化堆积物,发育有劣质煤线及风化壳型铝土矿。反映了构造—海平面夷平的古地理背景;③泥岩中发育的砂质透镜体,反映了古风化壳中水道砂体的沉积;④海陆过渡相沼泽化堆积物,劣质煤

线中硫分含量较高。说明受海水侵进的影响。之上为海退沟蚀面,发育有生物潜穴等。该海退沟蚀面之上发育了低水位的滨面砂体(图2)。①—④是该层序界面完整的垂向结构,以旺苍剖面为代表。在横向上发生相变,有时仅发育了残积层和铝土质岩,以广元上寺剖面为代表。

总之,该界面的垂向结构反映了构造—海平面的变化过程(图2)。①代表了构造掀斜及导致的相对海平面的急剧下降,形成了古喀斯特界面,出现了角度不整合的地质记录;②,③和④反映了上扬子地台区发生构造—海平面的夷平作用,指示了夷平的构造古地理背景。出现了至少在上扬子地台区可对比的层序界面。该界面具有双重含义(图2),一是对下伏地层该界面是一个穿时的界面,代表了盆地新生;二是该界面上覆地层是一个等时的界面。作为上一个层序低界面的良好层序界面,并且可在大范围内进行追踪和对比。

该层序界面垂向结构之上往往叠置了低水位体系域,形成了层序界面—低位域复合体(SB—LST)(图2)。二者之间往往发育海退沟蚀面,反映了海平面变化处于总体下降阶段。

因此,暴露侵蚀削截面代表了盆地因构造隆升和海平面下降所形成的层序不整合界面,代表了一次威尔逊构造旋回的终点和盆地的消亡,以及新的构造旋回的开始和盆地新生,即一级构造旋回—盆地成生^[1]。

2.2 层序界面及其附近的层序划分与生物演替响应

上二叠统吴家坪阶与长兴阶被划分为4个三级层序(图3),编号为1—4。每个三级层序的平均年龄为2.0 Ma±,这些层序体系域发育不全,由海侵体系域和高位体系域构成,往往缺失了低水位体系域,并且,这些层序之间的界面多为海底侵蚀成岩间断面。下三叠统印度阶划分了两个三级层序,编号5和6(图3),每个三级层序平均年龄约为2.5 Ma。第5层序底界为事件界面,即二叠与三叠系界面,第6层序体系域发育完善,形成了砾屑灰岩低水位楔形体。

二叠纪与三叠纪之交在地球历史上是一个重要的转折时间,海水进退、古地磁、古构造、古气候和古生物界等一系列事件的演化达到顶峰,尤其是生物界在此时发生了最剧烈的变革。

从图3中牙形石、菊石、底栖生物及浮游生物的演替序列上可以看出,晚二叠世古生物大量繁盛,而到早三叠世早期,晚二叠世的生物属种大量绝灭,另外的生物属种新生,并且在二叠纪与三叠纪之间形成了一个“生物空白带”。指示了地质事件的存在。

据该层序界面的地质记录,尤其是生物记录,可以总结出层序界面的综合成因机制,杨遵仪等^[2]总结了二叠纪与三叠纪过渡时期灾害群一览表(表1)。

表1 二叠纪与三叠纪之交层序界面及其附近成因分析与生物演替的过程响应

Table 1 Genetic analysis and biotic succession of sequence boundary between Permian and Triassic and its nearby

主导事件	派生事件	终极事件
海水进退事件	生态域更变事件 缺氧事件 盐度波动事件 温度升降事件	生物集群绝灭事件
火山爆发事件	温度升降事件 海水酸化事件 毒物污染事件	

(引自杨遵仪等,1991)

3 层序界面附近碳氧同位素事件与磁性地层分析

针对磁性地层及碳氧同位素事件在层序界面及其附近的响应样式,本文将重点解剖二叠与三叠系界面的磁性地层事件及中、下三叠统界面附近的碳氧同位素事件的变化情况,达到对层序界面更深层次研究的目的。

海域区,上扬子地台西缘、北缘、东缘则为前述的吴家坪组和长兴组碳酸盐岩4个层序,陆相盆地堆积的宣威组和龙潭组属于低水位至高水位的复合体。

早三叠世时,上扬子地台西缘可划分4个层序:印度期和奥伦期各划分2个层序(图4)。早三叠世及晚二叠世层序界面类型见图4,第①和第②层序之间界面为事件界面;第③和第④层序、第⑥和第⑦层序之间为海侵上超层序界面;第④、第⑤和第⑥层序之间为陆上暴露侵蚀界面。陆相环境中的二叠与三叠系(第①与第②层序之间)和下、中三叠统之间的岩石地层和层序地层的界限存在较大争议。

3.1 中、下三叠统层序界面的碳氧同位素

同位素地层学研究的对象是地层中稳定同位素;当前,主要研究的是氧、硫和碳

的稳定同位素。本文着重介绍碳氧同位素信息在中、下三叠统层序界面的反应。

影响海相地层中 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 的基本变量是水温、沉积后期成岩作用及海平面升降^[3]。其中最重要的参数是海平面的升降转折,因此,运用 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 信息可以对层序界面的沉积模式作出评价,同时也是进行地层重要界线划分和对比的一种标志。

在 T_2/T_1 界面附近,早三叠世顶部氧、碳同位素变化范围分别为 $\delta^{18}\text{O} = -10\text{‰} \sim -4.5\text{‰}$, $\delta^{13}\text{C} = -3.5\text{‰} \sim 0\text{‰}$;中三叠世底部氧碳同位素变化范围分别为 $\delta^{18}\text{O} = -2.5\text{‰} \sim +5.0\text{‰}$, $\delta^{13}\text{C} = -4.5\text{‰} \sim -1.0\text{‰}$ (图4,A)。在该界面上下有一氧碳同位素值的显著变化,由界面之下到其上氧碳同位素值分别由 -10‰ 增加到 -20‰ 和由 -3.5‰ 增加到 $+5\text{‰}$ 。其中正值代表了重同位素富集,负值代表了轻同位素富集,因此, $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 减小反映了海平面上升过程,该值增加反映了海平面下降的过程。中、下三叠统之间由 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 变化信息记录了海平面急剧下降的演化史,以区域分布的淡水淋滤层——“绿豆岩”为地层记录,是一典型的陆上暴露侵蚀层序界面(图4)。

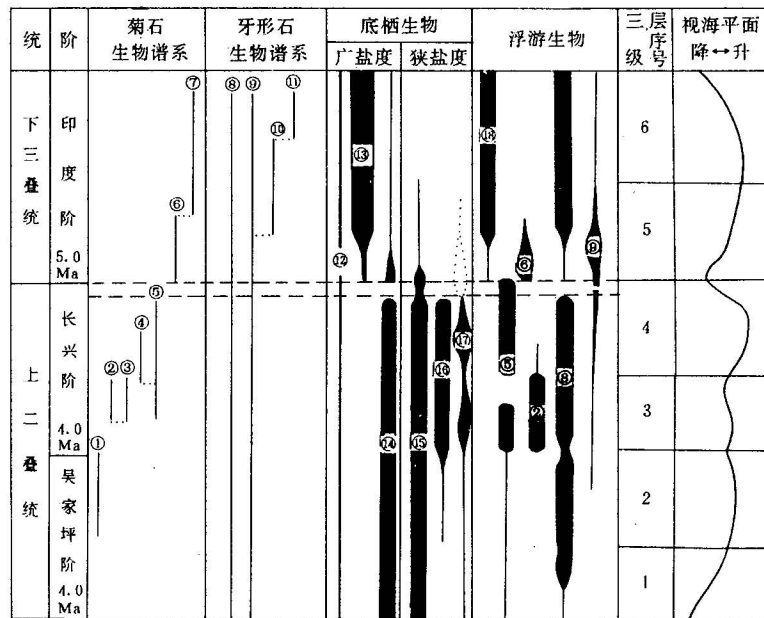


图3 二叠与三叠纪界面及其附近年代地层、生物演替及视海平面变化(广元上寺)(生物资料据杨遵仪等,1991)

Fig. 3 Chronostratigraphy, biotic succession and relative sea-level changes at Terminal Permian to the bottom of the Lower Triassic (Shangsi, Guangyuan) (biotic data after Yang zunyi et al., 1991)

- ① Konglingites; ② Tapashanites; ③ Shevyrevites; ④ Reticuloceras;
 ⑤ Pseudotirolites; ⑥ Hypophiceras; ⑦ Ophiceratid; ⑧ Neogondolella;
 ⑨ Anchnathodus minutus; ⑩ A. parvus; ⑪ Isarcicella isarcica; ⑫ Brachiopod; ⑬ Claraia; ⑭ Auiculoplectid;
 ⑮ Pseudoplanctonic Brachiopod; ⑯ Papalaeofusulinid; ⑰ Non Fusulinid Fosaminifer; ⑱ Ophiceras

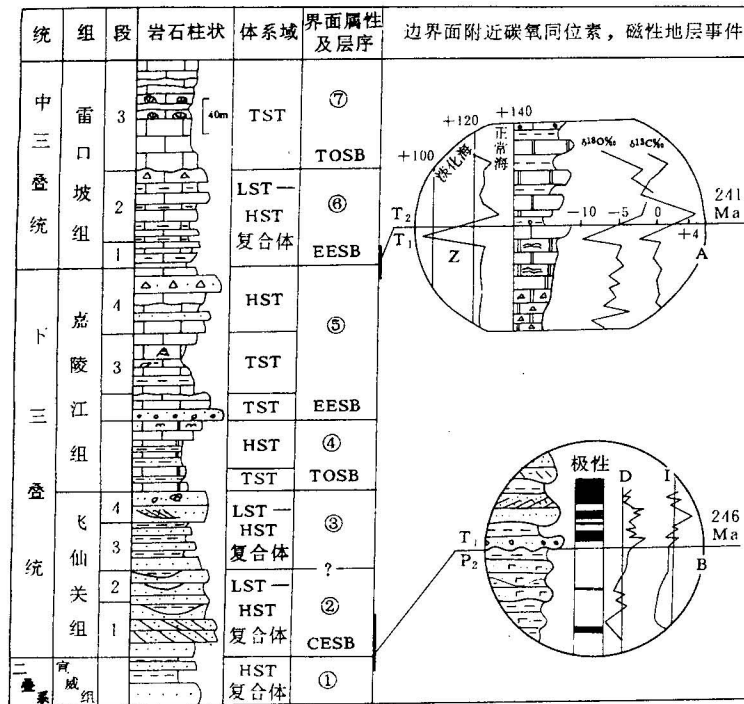


图4 层序界面及其附近层序地层划分与磁性地层和碳氧同位素事件图示(四川峨眉)

Fig. 4 Sequence stratigraphy, magnetostratigraphy and isotopes of carbon and oxygen on sequence boundary and nearby it (Emei)
HST—高水位体系域; TST—海侵体系域; LST—低水位体系域; TOSB—海侵上超层序界面; EESB—暴露侵蚀层序界面; CESB—事件界面;
D—磁偏角; I—磁倾角

HST—Highstand system tract; TST—transgressive system tract; LST—lowstand system tract; TOSB—transgressive onlap sequence boundary; EESB—exposural erodional sequence boundary; CESB—cosmic event sequence boundary;
D—magnetic declination; I—magnetic dip

单位叫时(或带), 延续时间为 10^5 — 10^6 a; 次一级的较短时间的相反极性的变化叫亚时(或带), 延时为 10^4 — 10^5 a; 此外, 还有组成比极性时(带)较大一级的单位叫极性超时(或带), 它延续时间长, 一般为 10^6 — 10^7 a。

图4, B为二叠与三叠系界面及其附近的磁性地层、磁倾角与磁偏角图示。二叠系顶部为负极性超时带(P₂—R), 三叠系底部为混合极性超时带(T₁—M), 这两个超时带转换界面为二叠与三叠系的界面。因此, 二叠与三叠系界面及其附近的磁极性响应序列是由负极性超时(带)转为混合极性超时的过程。磁极性变化与磁偏角改变(图4, B)是由于我国南大陆处于裂解阶段, 板块的重新调整所造成(许效松口述, 1994), 至二叠纪未出现了一个由磁极性反映的并且记录较好的层序界面。

峨眉地区二叠与三叠系界面附近的磁极性超时与 Harland 等^[4]总结的地质时期的极性超

中、下三叠统界面附近的海域属性尚可可通过 Weber 海域属性函数进行探讨。从图4, A中 Weber 值在中、下三叠统界面附近的分布可以看出, 除了中三叠统绿豆岩及界线之下为淡化海域之外, 其余层段均为正常范围。反映了在界面附近, 由于海平面下降, 使大量淡水注入造成的海域淡化, 也证实了该界面是由海平面急剧下降形成的暴露侵蚀层序界面。

3.2 磁性地层在二叠系与三叠系界面附近的构成特征

磁性地层学是依据岩石地层系中的磁学属性所建立的磁极性单位, 来进行地层层序划分与对比的学科。地球磁场的极性倒转现象具有全球性和同时性。峨眉龙门洞二叠与三叠系界面及其附近的岩石地层、生物地层、层序地层及沉积相研究程度较高, 对磁性地层也进行了系统研究(庄忠海等分析成果与口述, 1990)。

磁性地层学使用的基本

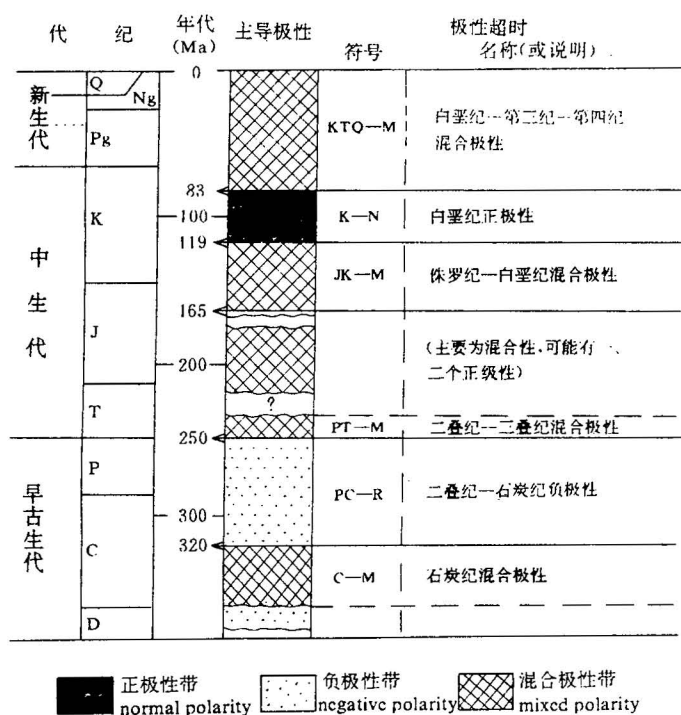


图5 地质时期的磁性超时

(据 W. B. Harland 等, 1982, 删减)

Fig. 5 Magnetopolarity superzone in geological period

(after W. B. Harland et al., 1982, simplified)

变化序列为 $P_2-R \rightarrow T_1-M$ 与 Harland 等二叠与三叠纪极性超时期序 $PC-R \rightarrow PT-M$ 基本吻合, 反映了该界面具有全球性。

4 结论

① 通过层序界面及其附近的构成分析, 提出了层序界面的成因分类方案, 将层序地层界面划分为三型八类, 并受 5 个参数的制约。层序界面除包括地层不整合以外, 还应包括地层学上的小间断(diastem)。② 层序界面具有明显的垂向分带性, 探讨分析了二叠纪与三叠纪之间的陆上暴露侵蚀剖面的三维动态演化模式。建立了该层序界面的垂向结构, 该界面底为穿时界面, 顶为等时界面的双重含义。③ 建立了二叠与三叠系界面及其附近的生物演替响应和磁极性特征及其全球对比。通过生物地层分析, 发现界面上的“生物空白带”, 是识别和确定层序界面的标志之一, 总结了该层序界面为事件界面。④ 针对中、下三叠统之间界面进行了 $\delta^{18}O$ 和 $\delta^{13}C$ 分析。同时, 在界面附近进行了海域属性的划分, 在下三叠统顶部 Weber 值 $Z=93.95 < 120$ 为淡化海域, 由 $\delta^{18}O$ 和 $\delta^{13}O$ 信息和 Weber 值海域属性分析这两点都证实了该界面是由海平面下降形成的层序界面。

参 考 文 献

- Xu Xiaosong, Liu Baojun, Zhao Yuguang. Sequence boundary analysis and sealevel changes in western margin of upper Yangtze Platform during Permian and Triassic. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1996, 7(1):

时是可以对比的(图 4, B 和图 5)。W. B. Harland 等(1982)根据学科现有成果综合编制出地质时期中的磁极性超时, 它们按时间从晚到早的顺序为: KTQ—M(白垩纪—第三纪—第四纪混合极性超时), K—N(白垩纪正向极性超时), JK—M(侏罗纪—白垩纪混合极性超时), PT—M(二叠纪—三叠纪混合极性超时), C—M(石炭纪混合极性超时)(图 5), 其中 PT—M 极性超时与峨眉地区二叠纪与三叠纪界面附近的极性完全可以比较。峨眉的 P_2-R (二叠系顶部负极性超时)(图 4, B)与 Harland 等的 PC—R(图 5)可以对比。三叠纪开始峨眉为 T_1-M (下三叠统下部混合极性超时)与 Harland 等的 PT—M 可以对比。因此, 峨眉地区二叠与三叠纪极性超时

105--111.

- 2 杨遵仪,吴顺宝,殷鸿福等. 华南二叠—三叠纪过渡时期地质事件. 北京:地质出版社,1991. 121--125 页.
- 3 Williams D. 新生界稳定同位素记录得来的海平面变化证据和反证. 见:威尔格斯 C K 等编. 层序地层学原理—海平面变化综合分析. 徐怀大等译. 北京:石油工业出版社,1993. 38—43 页.
- 4 Harland W B, Cox A V, Liewellyn P G, Pickton C A O, Smith D G, Walters R. A geologic time scale. Cambridge University Press, Cambridge, 1982. 131.

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND MANIFESTATIONS OF GEOLOGICAL PROCESSES OF SEQUENCE BOUNDARIES AND THEIR VICINITY

Zhao Yuguang, Wang Jian

(*Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, CAGS, Chengdu, Sichuan*)

Tang Jinyu

(*Centre of Rock and Mineral Analysis, Guangxi Bureau of Geology and Mineral Resources, Nanning, Guangxi*)

Li Zhongxiong

(*Ministry of Geology and Mineral Resources, Beijing*)

Abstract

Sequence boundary is one of important key surfaces for sequence stratigraphy. It cannot only divide sedimentary sequences but also indicate the succession of basin evolution. Therefore, it is very important to study the sequence boundary and the manifestations of its geologic process. The paper discusses geologic characteristics and architecture of sequence boundaries and their vicinity. The classification of sequence boundaries has been suggested: type I boundaries include exposed erosional truncated surface, paleosol surface, paleokarst surface and exposed erosional surface; type II boundaries include structural transitional surface during sea-level fall and transgressive onlap surface; type III boundaries include submarine erosional diagenetic hiatus and event surface.

The three main boundaries between the pre-Permian and Permian, between the Permian and Triassic and between the Middle and Lower Triassic have been discussed by means of multiple subjects including lithostratigraphy, biogeologic stratigraphy, magnetology and C and O isotope geology. They respectively belong to type I, type II and type I sequence boundaries. The paper proposes the geological characteristics and geological manifestations of these sequence boundaries and their vicinity.

Key words: sequence boundary, architectural analysis, biotic succession, magnetopolarity superperiod, data of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$

作者简介

赵玉光,生于1963年。1987年毕业于中国地质大学(武汉)矿产系煤田专业,获学士学位,1990年获该校(北京)沉积学专业硕士学位。现任成都地质矿产研究所研究员。主要从事沉积学、能源地质学(煤田和油气地质学)、层序地层学及造山带地质学研究。通讯地址:四川省成都市一环路北三段新82号地质矿产部成都地质矿产研究所,邮政编码:610082。