

二叠纪海平面变化研究

覃建雄 陈洪德 田景春

(成都理工学院沉积研究所)

[内容提要]在研究全球不同地区二叠纪沉积、层序及生物资料基础上,通过全球诸大陆典型剖面层序划分和对比表明,二叠纪至少有6次海平面升降事件具全球对比意义。二叠纪全球海平面旋回曲线,在不同板块不同成因盆地,其形态及结构不同,但总体可分为两种类型或分支:一是以海相→陆相沉积序列为主的反映主体海平面下降的经典型或欧美型;二是以海相碳酸盐岩→碳酸盐-硅质岩沉积序列为特征的揭示主体海平面上升的特拉斯型或华南型。这与二叠纪特定的全球构造-古地理密切相关。

关键词 海平面变化 二叠纪 欧美型 华南型

二叠纪是联合古陆成生、发展、演化的最重要时期。由于该期地层划分、界线对比、发育状况、露头特征及分布的特殊性,全球二叠纪层序地层研究程度相对较低。近几年来,随着地球科学的迅速发展,二叠纪层序地层及海平面变化研究取得了较大进展^[1~12],其中最典型的是 Vail 等 (1977)^[1], Crowell 等 (1978)^[2] 和 Ross 等 (1988)^[3~5] 的研究成果及相关的二叠纪全球海平面变化曲线。它们都具有如下共同特征:(1) 具典型的向上变浅趋势^[10]; (2) 最低海平面时期为晚二叠世鞑靼末期; (3) 二叠纪 (尤其是晚二叠世) 次级周期海平面旋回过于简单,或仅以虚线代之^[10]; (4) 通常局限于二叠纪某一时期。造成上述特点的原因是前人研究资料主要源于北美、欧洲及冈瓦纳地区 (即联合古陆)^[10], 这些地区二叠纪以海相→过渡相-陆相沉积序列为主, 上二叠统通常发育不全, 甚至缺失整个上二叠统。与此相反, 以华南地区为代表的包括阿尔卑斯、外高加索、伊朗、北越、日本等地区在内的特提斯域, 二叠纪普遍发育一套不同于联合古陆的新型沉积——海侵型碳酸盐岩沉积或碳酸盐-硅质岩旋回。该区地层发育全、保存好、露头佳, 先期地层、沉积、生物资料丰富, 是进行二叠纪层序地层研究最理想的地区。文章立足于特提斯域, 尤其是华南地区, 结合全球诸大陆层序资料, 对二叠纪层序地层及海平面变化进行再分析。

1 资料来源及特点

为确保二叠系资料的针对性和代表性, 在搜集全球二叠系层序资料时, 主要遵循如下原则: ①剖面点应具全球分布特点, 既包括欧亚和冈瓦纳大陆 (即联合古陆), 又涉及特提斯域; ②注重各种构造-沉积背景的典型层序剖面, 如克拉通内、克拉通边缘、被动边缘、活动边缘、深水盆地等; ③力求二叠系层序资料的完整性, 即选择的二叠系层序剖面不仅发育全, 而且先期地层、生物、沉积等基础研究扎实。根据以上原则, 此次研究资料主要源于代表北美克拉通陆架的西得克萨斯剖面 and 欧洲地台的南俄罗斯盆地剖面 (图 1G, H); 代

表特提斯域不同沉积背景的剖面,如伊朗中部剖面、湖北利川剖面、安徽巢县剖面、广西河池剖面 and 贵州独山剖面(图1A-E);代表冈瓦纳大陆的南非卡鲁剖面和西澳大利亚剖面(图1I, J);代表欧亚板块东缘特殊地块——华北板块的山西太原剖面(图1F)。此外,尚参考全球各大陆不同构造-沉积背景的其它辅助剖面及区域资料。

2 全球二叠纪层序划分及对比

Ross等(1988)^[3]在前人资料^[1,2,4,5]基础上,将北美西得克萨斯和南俄罗斯地台二叠系划分为14个层序,其中伦纳德统5个层序,瓜达卢普阶5个层序,奥霍人统为4个层序(图1G, H);将伊朗中部上二叠统划分为14个层序(图1E)。Veevers等(1987)^[6]将南非卡鲁盆地二叠系划分为10个层序,即下统6个,上统4个(图1I)。Crowell等(1985)^[2]将澳大利亚西部划分为9个层序,其中下统6个,上统3个(图1J)。我们将扬子地区二叠系划分为11个三级层序,其中下统6个,上统5个(图1B-D);将右江地区二叠系划分为15个层序,其中下二叠统10个,上二叠统5个(图1A);将山西太原二叠系划分为10个层序,其中上、下二叠统各5个(图1F)。

综观上述诸典型剖面并结合全球二叠系区域资料可看出:①二叠系层序发育最全的是华南右江地区 and 西特提斯域,其它地区剖面的二叠系层序发育不全或保存不完整,通常缺失晚二叠世晚期地层,甚至缺失整个上二叠统层序,如北美得克萨斯中北部、堪萨斯、北英格兰、南俄罗斯地台、新疆北天山,以及非洲、南美、澳大利亚的大部地区,均不同程度地缺失上二叠统层序。②若以华南右江地区为标准,二叠系应发育15个层序,显然其它地区不同程度地缺失某一层序或部分层序或数个层序,其规律是二叠系底部缺失,如全球大部分地区;下二叠统顶部缺失,如华南地区;二叠系顶部缺失,如全球大部分地区;或二叠系顶、底及下二叠统顶部都缺失,如堪萨斯及北英格兰等地区。③二叠系共识别出3个等时的全球成因界面,它们分别是石炭系—二叠系界面、上、下二叠统界面、二叠系—三叠系界面,其中石炭系—二叠系界面年龄值为 $285 \pm 5\text{Ma}^{[11]}$,除华南右江盆地的台盆背景及西特提斯域局部地区外,全球表现为平行不整合接触,局部为角度不整合,如西欧 and 新疆北天山地区。上、下二叠统界面年龄值为 $260 \pm 5\text{Ma}^{[11]}$,在北美、欧洲、西伯利亚及南半球冈瓦纳大陆均为平行不整合^[12],具全球对比意义;在华南,上、下二叠统之间为平行角度不整合,华北地区大多为平行不整合。二叠系—三叠系界面为全球典型的地层不整合界面,生物地层、磁性地层、地球化学、岩浆活动、气候地层、生物事件及海平面事件研究结果^[9]综合证实,二叠系—三叠系界线具全球成因特点,界面年龄值为 $250 \pm 5\text{Ma}^{[11]}$ 。④根据化石带 and 关键层序界面,下二叠统层序 $S_3 \sim S_5$ 在全球范围内可进行对比,其次是层序 $S_6 \sim S_8$,再次是层序 $S_{11} \sim S_{13}$ 。至于层序 $S_{1 \sim 2}$,除在华南右江地区、西特提斯域、南俄罗斯地台及北美得克萨斯西部有发育外,全球其它地区大都缺失,这与石炭纪末—二叠纪初构造运动或气候事件有关^[7]。关于层序 $S_9 \sim S_{10}$,除在华南右江地区西部、南俄罗斯地台 and 北美克拉通陆架保存较完整之外,其它地区大都缺失,这与早二叠世末构造运动造成的地层剥蚀有关,最典型的华南地区,由于东吴运动的影响,造成茅口组上部广泛缺失 and 区域喀斯特化。⑤上二叠统层序在特提斯域(如华南、伊朗、外高加索中部)表现为一套完整的海相碳酸盐岩或碳酸盐-硅质岩混合沉积,其中化石带、层序界面及内部构型等对比资料充分,而联合古陆大部地区即使有保存,均以陆相或过渡相层序为主,生物化石较少,层序对比相对困难。但通

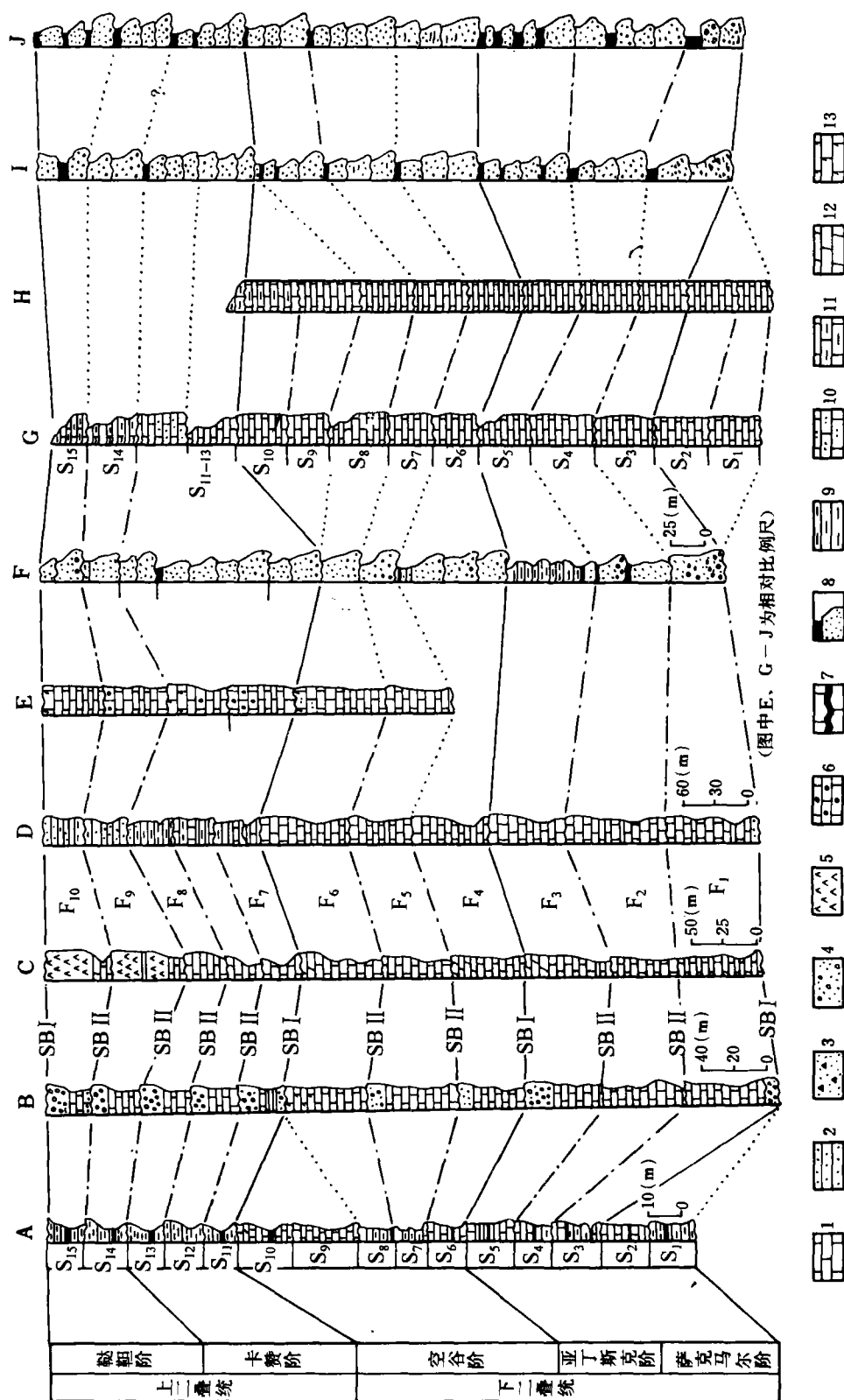


图 1 全球二叠系典型剖面层序对比简图(E、G、H据 Ross 等, 1988; J 据 Crowell, 1985; I 据 Veever, 1987)

1. 灰岩; 2. 砂岩; 3. 冰碛层; 4. 砾岩; 5. 礁; 6. 颗粒灰岩; 7. 硅岩; 8. 煤; 9. 硅泥岩; 10. 砂质灰岩; 11. 泥灰岩; 12. 云岩; 13. 云灰岩;

SB I. I 型界面; A. 河池剖面; B. 独山剖面; C. 利川剖面; D. 巢县剖面; E. 伊朗中部剖面; F. 太原剖面; G. 得克萨斯剖面; H. 南俄罗斯剖面; SB I. I 型界面; I. I 型界面

I. 南非剖面; J. 澳大利亚剖面; F₁. *Schwagerian* 带; F₂. *Misellina* 带; F₃. *Parafusulina* 带; F₄. *Cancellina* 带; F₅. *Neoschwagerina* 带;

F₆. Yabeina 带; F₇. Codonofusiella 带; F₈. Nankingella 带; F₉. allowayinella 带; F₁₀. Paleofusulina S₁. 层序号

过上覆、下伏地层关系、层序界面特征和高精度生物地层研究,特提斯域和联合古陆两大构造体系之间,可建立某种联系或层序对比。

3 二叠纪全球海平面升降事件

全球二叠系层序划分及对比结果表明,二叠系15个三级层序代表15次三级周期相对海平面旋回产物,其中至少有6次海平面升降事件具全球成因意义(图2),它们分别是伦纳德初期海平面上升、瓜达卢普早期海平面上升、瓜达卢普末期海平面下降、卡赞早期海平面上升、鞑靼早期海平面上升及鞑靼末期海平面下降事件。

3.1 伦纳德初期海平面上升

此次相对海平面上升波及联合古陆和特提斯地区,具体表现为:①在南非、巴基斯坦、澳大利亚等地区,冰碛层、陆相沉积和煤层直接超覆在泥盆系之上^[9];②在北美地区,伦纳德统海侵灰岩超覆在宾夕法尼亚系顶部不整合面之上^[9];③在东欧,萨克马尔阶海侵灰岩分布范围明显拓宽,并逐渐超覆于阿赛阶岩溶灰岩之上^[3];④在华南克拉通及其边缘、华夏克拉通及其边缘,海侵碳酸盐岩超覆在泥盆系—石炭系顶部不整合面之上;⑤华北地区表现为过渡相—陆相沉积超覆在石炭系顶部不整合—整合面上;⑥在中国北方海槽、西南海槽,陆相—过渡相地层超覆于石炭系顶部角度/平行不整合面上;⑦在生物方面,首次出现 *Pseudoschwagerina*, *Daimnia* 或 *Missellina* 筳类、有孔虫带分子。此次海平面上升事件与准冰川型海平面变化有关^[7],证据主要有:a. 南非、澳大利亚、东西伯利亚等地发育冰碛层及冷水动物群^[6];b. 欧美地区发育同期非暖水碳酸盐岩沉积^[4](Caputo, 1985; Ross, 1984);c. 石炭纪—二叠纪冰川事件始于威斯藩期,在斯蒂番—萨克马尔期达到顶峰,伦纳德期逐渐消融,至瓜达卢普期结束(Dickins, 1987)^[4],这与华南地区石炭纪、二叠纪之间平行不整合面及其上广泛分布的栖霞组非暖水碳酸盐岩不谋而合^[13];d. 华南地区石炭纪末—二叠纪初,地层平缓、构造稳定、无火山活动记录,暗示石炭系、二叠系之间假整合可能与冰川活动有关;e. 与二叠系其它层序相比,栖霞组层序(S_{1-3})的 $\delta^{18}O$ 、 $\delta^{13}C$ 值、 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值偏高, S^{2-} 、C、“A”及Sr含量偏大,而古氧值及含盐度显著偏低,暗示与冰川型海平面变化有关^[7]。

3.2 瓜达卢普早期海平面上升

该时期为特提斯域早二叠世最大海侵时期,造成下二叠统二级层序的凝缩层^[7],全区无论是深水盆地还是浅水台地或被动边缘,普遍发育眼球状灰岩、页状藻灰岩、硅质岩或硅质灰岩,大量出现新兴生物分子,如 *Altudoceras*, *Paracellites*, *Parafusulina* 和 *Polydiexodina* 等北美地台和特提斯生物区的重要分子^[3],以及华南上扬子的 *Neoschwagerina* 带、右江地区的 *Cancellina* 和桂东—桂北的 *Kufengoceras*, *Altudoceras* 带分子。在冈瓦纳古陆同期地层中,初始发育滨海相或过渡相含煤岩系。另外,华南地区同期地层中有机炭、锇、总烃含量、 $\delta^{18}O$ 、 $\delta^{13}C$ 值最高,古氧值、孔渗度最低,阴极发光最弱^[7]。

3.3 瓜达卢普晚期海平面下降

由于该期全球海平面下降,造成以下地质记录:①联合古陆面积明显增大,揭开了北美、欧洲及冈瓦纳大陆晚古生代二级周期海退历程的序幕^[9],并以发育海西末期的蒸发盆地及河湖相沉积为特色,顶部发育区际不整合面;②特提斯洋面积不断缩小,并发育古陆和岛弧;③在华南地区,古地理格局发生巨变,古陆规模和浅水面积明显扩大,如川滇古陆

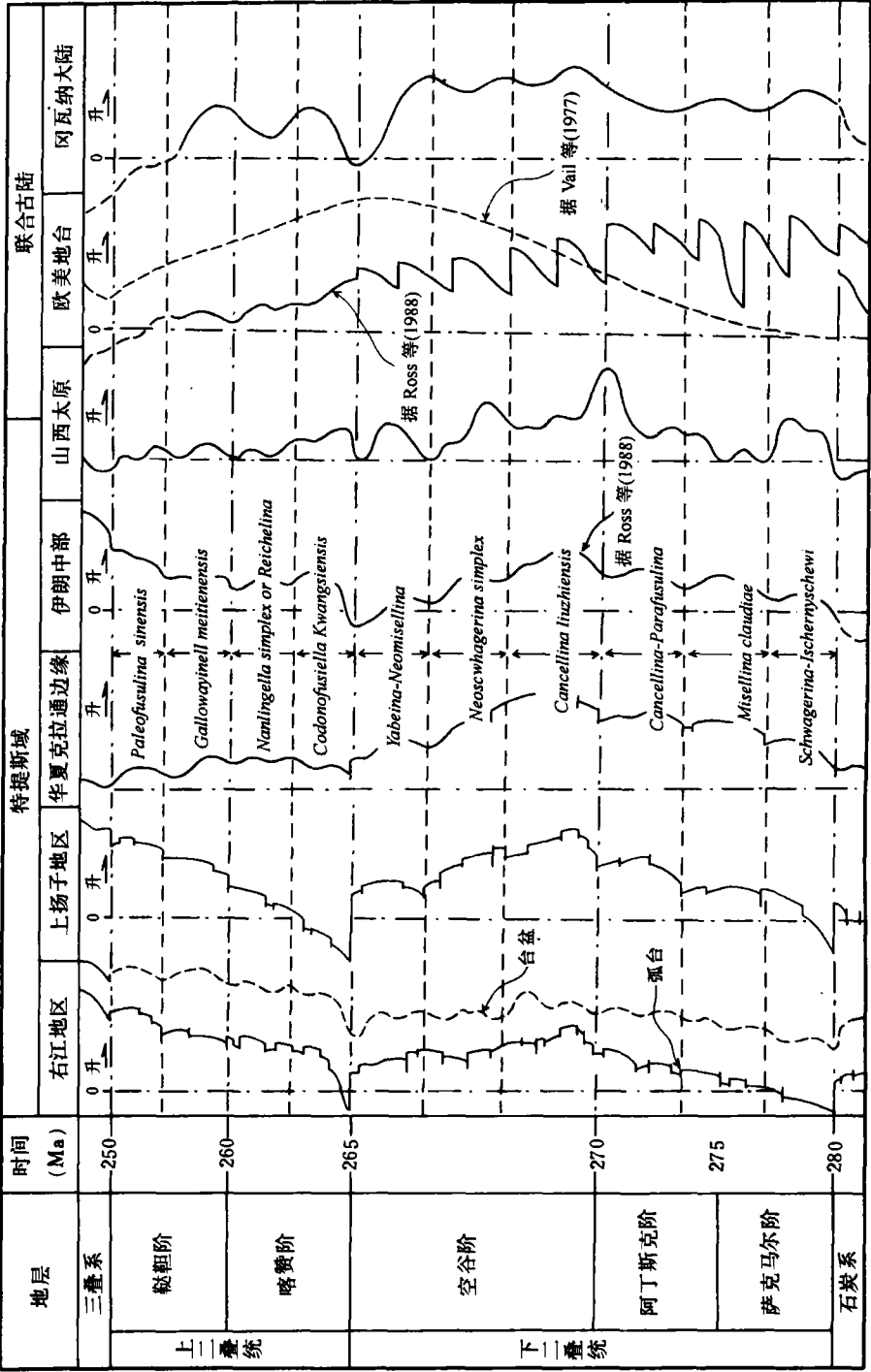


图 2 二叠纪海平面相对变化与全球对比

向东扩张,右江盆地四周隆起形成新的古陆和岛弧,包括大新古陆的出现。与此同时,江南古陆和云开古陆也隆出水面,深水盆地向西南收缩;④华南、华北地区、北方海槽和西南海槽大部暴露地表,遭受风化剥蚀,造成下二叠统茅口组顶部缺失及0~50m不等的风化残积相;⑤在下二叠统茅口组上部通常缺失 *Yabeina* 带及 *Neoschwagerina* 带或有关分子,大量珊瑚、腕足、菊石、有孔虫等属种不同程度绝灭;⑥相应层位 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 值明显降低,不溶残余物含量、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 、“A”、阴极发光强度、古氧值、孔隙度等参数发生显著变化^[7]。

3.4 卡赞早期海平面上升

广泛的海平面上升仅局限于特提斯域^[7],如华南、伊朗、外高加索、阿尔卑斯、北越和日本等地区,其次是南俄罗斯地台、北英格兰以及巴基斯坦盐岭地区^[3],以海相灰岩-硅质灰岩超覆于下二叠统顶部造成不整合面为特征。此次海侵不仅奠定了特提斯域晚二叠世古地理轮廓,而且也开辟了该区盆地转换的新篇章,其中以华南地区为典型,主要标志有^[12]:①各古陆不同程度淹没;②右江地区由被动陆缘裂谷盆地→弧后裂谷盆地,桂东南由被动陆缘走滑盆地→前陆盆地,上扬子地区由碳酸盐台地→混合陆棚台地。华夏古克拉通边缘基本上以陆屑沉积建造占绝对优势;③造成众多生物群复生,如 *Codonofusiella*, *Prototoceras*, *Spinomarginifera*, *Streptorhynchus*, *Gigantopteris*, *Labatanularia* 等属种多为该期首次大量出现分子;④同期层序地化方面, $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 、有机炭、“A”、 S^{2-} 等值不断增大,古氧值、MgO 及酸不溶残余物含量、孔隙度则不断减小^[7]。

3.5 鞑靼早期海平面上升

该期为二叠纪最后一次主体海平面上升事件,影响范围局限于华南、伊朗及日本等地区,主要特征包括:①同期硅质灰岩、硅质岩超覆于先期灰岩喀斯特面或煤层之上;② *Gallowayinella meitienensis* 带分子的首次出现;③华南地区海域突然增大,水体明显加深,主要表现为江南古陆沉没消失,川滇古陆、越北古陆、马关古陆、大新古陆明显退缩,陆屑相带向古陆退覆,相应灰岩-硅质岩相带明显向古陆超覆;④在层序地化曲线上, $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 、C、“A”、 S^{2-} 及 Sr 含量不断增大,古氧值及酸不溶残余物含量明显减小^[7]。该期海平面上升事件与古特提斯洋裂谷作用有关。

3.6 鞑靼末期海平面下降

该期北美、西欧、俄罗斯及冈瓦纳等全球大部分地区表现为大陆剥蚀状态,海相沉积局限于特提斯域^[9]。该期海平面下降具短期低幅特点^[12],明显标志是全球性平行不整合面及其上面在全球分布有1~5cm的粘土层,其中富含瓣鳃化石^[7]。二叠纪末—三叠纪初的全球性生物绝灭、磁极倒转、凝灰沉降、全球气候及构造等事件,可能与该期全球海平面下降事件有关^[11]。在联合古陆非海相地区主要表现为其对先期沉积间断面的叠加和改造。在华南川滇古陆东部广大台地区及右江裂谷盆地背景,二叠系顶部表现为 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 达最小值,C、“A”、 S^{2-} 等总体变小,古氧值、MgO、酸不溶残余物含量趋于增大^[7]。该期海平面下降事件结束了特提斯域二叠系层序的发展史。

4 二叠纪全球海平面变化类型及成因

综观全球不同地区二叠纪相对海平面曲线演化规律(图2),二叠纪全球海平面旋回可划分为两个分支:一是反映主体海平面上升的海平面变化;二是反映主体海平面下降的海平面变化。前者局限于特提斯域,最典型的是华南(尤其是西南地区)、巴基斯坦、外高加

索、阿尔卑斯、伊朗、北越及日本等地,以海侵型碳酸盐岩-硅质岩或海侵型碳酸盐岩沉积序列为特征。后者广泛分布于联合古陆,如北美、欧洲、中亚、南非、澳大利亚、印度等地区,以海相碳酸盐岩或碳酸盐岩-碎屑岩→海陆交互相或陆相沉积序列为特征。造成上述明显差异的根本原因是由于二叠纪特殊的全球构造古地理及演化特征所致^[18]。

二叠纪全球构造古地理格局表现为由劳亚大陆和冈瓦纳大陆耦合成的联合古陆、特提斯洋及游离于其中的华夏古陆群^[14]。其中华北和华南两地块在二叠纪时有相当的纬度差,华北地块平均 30°,更趋于劳亚大陆;华南地块平均 10°,与外高加索、阿尔卑斯、伊朗、北越和日本等地块漂游于特提斯洋中。二叠纪是欧亚大陆和冈瓦纳大陆不断耦合、联合古陆逐渐形成的过程,当时,南美、非洲、澳大利亚、印度等处于联合古陆南部腹地,以发育陆相沉积为主;北美、欧洲大部地区位于联合古陆北部大陆边缘,由于受联合古陆局部物源的影响^[3],从早二叠世→晚二叠世表现为从海相沉积到非海相为主的逐渐变化过程;欧亚地区,如西伯利亚和华北板块主体处于联合古陆东部边缘^[11],发育含煤地层→干旱内陆盆地沉积。与此相反,由华南地区、阿尔卑斯、外高加索、伊朗、北越、日本等构成的华夏古陆群在二叠纪时游离于特提斯洋中,处于陆棚浅海—内部浅海台地背景^[10],由于受特提斯洋裂谷作用的影响,发育一套与特提斯域发展同步的海侵碳酸盐岩沉积序列或碳酸盐→硅质岩序列。

综上所述,提出两种二叠纪全球海平面变化曲线类型:一是建立在欧美及冈瓦纳地区资料基础上的与联合古陆发展同步的反映主体海平面下降的欧美型或经典型;二是建立在华南、伊朗、北越、日本、外高加索地区资料基础上的与特提斯域发展同步的反映主体海平面上升的特提斯型或华南型。主要依据有:①联合古陆二叠系发育不全,通常缺失部分或所有上二叠统,而特提斯域同期地层发育齐全,更能详尽地反映全球海平面变化史;②联合古陆以陆相沉积为主,特提斯域以海相碳酸盐岩-硅质岩为主;③联合古陆具向上变浅序列,而特提斯域则为典型的向上变深层序。

5 主要结论

(1) 二叠纪至少有 6 次相对海平面升降事件可进行全球对比,它们是伦纳德初期海平面上升、瓜达卢普早期海平面上升、瓜达卢普末期海平面下降、卡赞早期海平面上升、鞑靼早期海平面上升及鞑靼末期海平面下降事件。

(2) 二叠纪相对海平面变化主要受全球构造-古地理控制,最高海平面时期在联合古陆为瓜达卢普早期,在特提斯域为鞑靼晚期;最低海平面在联合古陆为鞑靼晚期,在特提斯域为瓜达卢普末期。

(3) 二叠纪全球海平面旋回曲线包括两种类型:其一是具海相→陆相沉积序列的反映主体海平面下降的经典型或欧美型;其二是具碳酸盐岩→碳酸盐-硅质岩沉积序列的反映主体海平面上升的特提斯型或华南型。

参 考 文 献

- 1 Vail P R et al. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Seismic Stratigraphy—Applications to Hydrocarbon Exploration. AAPG, 1977, 26 (2): 199—206
- 2 Crowell J C. Gondwanan glaciation, cyclothems, continental positioning, and climate change. American Journal of Science, 1978, 278, (11): 1345—1372
- 3 Ross C A. Paleozoic transgressive and regressive sedimentation. In: Ross, C A. et al., Timing and Depositional History

- of Eustatic Sequence, Constraints on Seismic Stratigraphy, Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Special Publication, 1988, 25: 213—245
- 4 Ross C A et al. Late Paleozoic sea levels and depositional sequences. In: Ross, C A et al., Timing and Depositional History of Eustatic Sequences, Constraints on Seismic Stratigraphy, Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Special Publication, 1987a, 24: 137—149
 - 5 Ross C A et al. Biostratigraphic zonation of Late Paleozoic depositional sequences. In: Ross, C A et al., Timing and Depositional History of Eustatic Sequences, Constraints on Seismic Stratigraphy, Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Special Publication, 1987b, 24: 151—168
 - 6 Veevers J J et al. Late Paleozoic glacial episodes in Gondwanaland reflected in transgressive-regressive depositional sequences in Euramerica. The Bulletin of American Geological Society, 1987, 98 (6): 475—487
 - 7 覃建雄. 四川西昌盆地下二叠统层序地层研究. 见: 刘树根. 油气地质学进展. 成都: 四川科技出版社, 1996, 15 ~21
 - 8 Qin Jianxiong et al. Reef and gravity flow sediments on Permian slopes in the Southwest China. Scientia Geologica Sinica, 1997, 6 (3): 293—298
 - 9 覃建雄. 联合古陆演化时期沉积记录的全球同时性. 岩相古地理, 1994, 15 (1): 31~43
 - 10 段鸿福等. 扬子区晚二叠世—中三叠世海平面变化. 地球科学, 1994, 14 (5): 627~631
 - 11 覃建雄. 联合古陆计划的主要内容及研究意义. 岩相古地理, 1994, 14 (1): 43~51
 - 12 覃建雄. 西南地区二叠系层序地层与海平面变化. 岩相古地理, 1998, 18 (1): 1~14
 - 13 段鸿福. 二叠系—三叠系研究的进展. 地球科学进展, 9 (2): 1~9
 - 14 覃建雄. 联合古陆演化与矿产资源的关系. 岩相古地理, 1994, 14 (4): 57~64
 - 15 许效松等. 上扬子台地西缘二叠—三叠系层序界面成因分析与盆山转换. 特提斯地质 (20), 1996: 1~30
 - 16 覃建雄. 层序地层学发展的若干重要方向. 岩相古地理, 1997, 17 (2): 63~70

The global sea-level changes during the Permian

Qin Jianxiong Chen Hongde Tian Jingchun

Chengdu University of Technology

ABSTRACT

The authors in this paper suggest, based on the previous date of Permian sediments, sequences and biostratigraphy in conjunction with worldwide sequence division and correlation, that there are at least six eustatic sea level events during the Permian which can be traced or correlated all over the world. Generally speaking, the Permian parts of Phanerozoic eustatic sea-level cycle curves include two patterns or branches; the one is the so-called classical or Euramerican type which represents the overall sea-level fall characteristic of marine-nonmarine regressive successions, the other is defined as the Tethyan or South China type which points to the overall sea-level rise characteristic of transgressive carbonate rock or carbonate-siliceous rock successions. The eustatic sea-level curves mentioned above are closely related to the global tectonic and palaeogeographic frameworks.

Key words: sea-level change, Permian, Euramerican type, South China type