

华北晚古生代海平面变化研究

陈世悦 刘焕杰

(中国矿业大学地质系 徐州)

〔内容提要〕 本文通过对华北板块沉积层序的研究,认为晚古生代沉积建造形成于一个二级海平面变化周期内,其中包括4个三级海平面变化旋回,分别发育于晚石炭世早期早时,晚石炭世早期晚时至晚石炭世晚期,早二叠世和中二叠早期至晚二叠世早期。每个三级海平面变化周期内又包含了若干个四级升降旋回。海平面变化具有全球性和等时性,本区的二级和三级海平面变化可与俄罗斯地台和北美地台等对比。

关键词: 层序地层 海平面变化 陆表海 华北板块

当代沉积地质学的发展趋于全球性,即站在全球的高度上来研究和解释地区性和区域性问題,全球海平面变化就是研究全球性沉积规律的一根主线,通过研究海平面变化有助于搞清沉积作用过程、岩相古地理变迁、古生物演替、古气候变化和各种沉积矿产分布的规律性,同时可利用海平面变化引起的沉积旋回性来划分对比地层,并进而进行全球性对比。

华北晚古生代含煤建造形成于陆表海背景之下,盆地的发展演化及其沉积作用与海平面变化密切相关,沉积物质记录丰富多彩,古生物演替阶段清楚,在沉积记录中留下了许多海平面变化的信息,为研究海平面变化奠定了良好的基础。本文将根据华北晚古生代沉积建造的层序地层分析,探索海平面变化规律,并进而与俄罗斯地台和北美地台作对比。

1 概述

1.1 研究区域

本次工作的研究区域位于中朝板块二级构造单元鄂尔多斯台坳以东地区,其地理范围限于黄河中段自内蒙古托克托至秦晋豫三省交汇点风陵渡之间南北流向河段以东部分。

1.2 基底特征

华北地台自中奥陶世起,在周围板块聚敛作用的影响下,发生了以整体平稳抬升为主的上升运动,直至早石炭世一直处于被剥蚀状态,使地台造成准平原化的古地貌特征。从晚石炭世早期开始,冈瓦纳大陆东段与包括东南亚及邻区在内的中国及南部之间曾一度关闭的古特提斯洋重新打开,造成华北板块与其南北两侧的板块间处于应力松弛状态,华北板块便随之下沉接受沉积。自此,华北聚煤盆地开始了其晚古生代的充填演化历史。

①高等学校博士学科点专项科研基金资助项目。

②本文1995年1月3日收稿。

华北板块东部于晚古生代时期仍然存在着三个活动带:(1)郯庐断裂带,自太古代中期开始,郯庐断裂就对两侧的沉积盆地起着严格的控制作用。其运动形式在平面上主要表现为左旋扭动。晚石炭世早期及其以前相当长一段时间内,在断裂带两侧常形成张性北东向羽状构造,中段的潍坊、临沂、贾旺一带为一长期构造拗陷带,发育了青白口纪—震旦纪—早寒武世的巨厚沉积,而此带之西北方向则没有沉积。在早石炭世晚期至晚石炭世,这一构造拗陷带仍然存在并活动;(2)青龙河拗陷带,早元古代的线性断裂青龙河断裂带呈北北东向分布于河北中部,一直延续至今,也是一个长期活动的断裂薄弱带,在晚石炭世早期,断裂重新活动,呈拉张性质;(3)北纬 35°薄弱带,早石炭世早期,由于北方西伯利亚—蒙古板块与中朝板块在阴山北缘对接俯冲及古特提斯洋的进一步打开,造成北纬 35°薄弱带产生张性活动,使基底的地面坡向由晚石炭世的向北倾斜转变为早二叠世的向南倾斜。海水由南东方向沿北纬 35°薄弱带张性活动形成的低地侵入沉积盆地,并成为沉积中心,沉积地层向北超覆。

1.3 海侵方向

石炭纪时期,华北板块来自东西两个方向发生海侵,西部由于鄂尔多斯西缘断裂的活动,海水经祁连海槽进入祁连拗拉槽与阴山古陆、乌兰格尔隆起所围成的三角地带;东部海水沿郯庐断裂的拗陷地带侵入,首先到达太子河流域、复州湾、临沂、徐州一线,之后西侵。至早二叠世,华北板块统一了东西两侧的海水进退规程。本区主要接受来自东侧的海侵,故文中所讨论的海平面变化只是针对板块东部而言,尚未涉及板块西侧的变化情况。

2. 层序地层格架

在华北晚古生代沉积建造区,根据区域不整合面及局部地区角度不整合(风化壳)、缺失的生物带、海侵方向及沉积体系转换面、陆表海低水位席状砂体及深切谷的发育等识别层序界面的准则,识别出 6 个层界面,分别位于:奥陶系—寒武系灰岩顶面风化面,丁家屯灰岩顶面,庙沟灰岩底面,骆驼脖子砂岩底面,平顶山砂岩底面及三叠系刘家沟组底部金斗山砂岩之底面。据此将本区沉积建造划分为 5 个沉积层序(图 1)。由于当时华北各地区沉积作用的发生有先有后,沉积作用结束也具有由北向南逐渐推进之势,加之后期构造运动的影响(剥蚀),故在任何一个地区地层的发育和保存都是不完整的。图 1 中的沉积层序是综合复州湾地区、本溪地区、太原西山地区及豫西地区编制的综合格架图,地质年代资料引自顾道源等(1933)。

DS_1 、 DS_2 和 DS_3 层序均为陆表海型层序,由海侵体系域(TST)和高位体系域(HST)构成,其底界面为 I_0 型层序界面(陈世悦等,1994)。三个层序内分别包含 5、5 和 9 个准层序,准层序主要为堡岛台地复合型。 DS_4 为过渡型层序,由陆表海低位体系域(PLST)、海侵体系域和高位体系域构成,底界面为 I 型层序界面,其中包含 7 个准层序,准层序主要为碎屑滨岸型。 DS_5 层序属湖泊型层序,由低位体系域、水进体系域和高位体系域构成,底界面亦为 I 型层序界面,因研究程度较低,未划分准层序。由于 DS_5 层序为陆相沉积,在下面的海平面变化研究中未考虑该层序。

3 海平面变化

3.1 相对海平面升降

晚古生代的海平面变化,主要通过克拉通内海侵—海退所形成的相对薄的沉积旋回来

年代地层		标志层	层序界面类型	层序	体系域	准层序	层序类型	聚煤期
年龄 (Ma)	时代							
250	T ₁	金斗山砂岩	I 型					
260	P ₃	平顶山砂岩	I 型	DS ₅	HST WST LST		湖泊型	
	P ₃			DS ₄	HST TST	PS ₂₆	过渡型	
270	P ₂	骆驼脖子砂岩	I 型		PLST	PS ₂₀		
280	P ₁	2" 煤		DS ₃	HST TST	PS ₁₉ PS ₁₁	陆表海型	
	P ₁	庙沟灰岩	I _P 型					
290	C ₂	8" 煤		DS ₂	HST TST	PS ₁₀ PS ₇		
300	C ₁ 2		I _P 型					
310	C ₁ 1	王家屯灰岩 奥陶系灰岩		DS ₁	HST TST	PS ₆ PS ₁		
320		风化壳	I _P 型					

图 1 华北晚古生代沉积建造层序地层格架

Fig. 1 Sequence stratigraphic framework of the Late Palaeozoic depositional formations in North China

识别。华北晚古生代沉积建造的形成可以分为两个阶段： C_1^{1-1} — P_1^1 为基底极慢速沉降阶段，频繁的海进—海退事件基本上代表了海平面的变化，尽管这种旋回沉积可以由局部性地壳垂直运动所造成，但旋回幕在不同板块上的大量发育及其惊人的相似性，强烈地暗示了海平面在全球范围内存在周期性变化，即全球海平面变化。海相层（灰岩、海相泥岩、硅质岩）代表了海平面的上升，碎屑岩至煤层（或煤线）的发育代表了海平面的下降，海相层至煤层（煤线）的发育过程代表了一个海平面变化旋回。由于各次海平面升降的幅度不同，致使海相层所达到的范围也不同。根据 DS_1 、 DS_2 和 DS_3 层序内的准层序结构分析，在区域范围内可以明显追踪到 19 个较稳定的海侵事件层（参见图 2），其中有些海侵的规模较大，几乎波及华北全区； P_2^1 — P_3^1 为基底快速沉降阶段（其中 P_3^1 为大陆环境的沉积），沉积物快速向盆地进积，整个沉积记录表现为以海退为主。但通过沉积相分析、海相层位识别及聚煤作用研究等，亦能识别出 7 个海侵事件层位（参见图 2），其中有一次较大规模的海侵，尽管持续的时间较短，但波及的范围较大，一直延伸到华北中部地区。

3.2 海平面变化曲线

根据上述海侵事件层以及由煤层等标志的强制海退事件层，笔者尝试编制了华北晚古生代相对海平面变化曲线（图 2）。应当说明的是，目前尚无法测得各次海平面变化的幅度，曲线中的幅度是根据海相层在板块内所延伸的范围推断的，只能表示一种趋势，或者是相对升降幅度，并且没有把盆地基底沉降及构造运动剔除。Klein(1992)研究了北美宾夕法尼亚纪的海平面变化，他认为伊利诺斯盆地相对海平面变化的幅度 17.2—30.0m，中阿巴拉契亚盆地为 20.0—31.0m。根据本区广泛发育的灰质搅动型和回流型风暴岩推测，海平面变化的幅度可能不超过 50m。

3.3 海平面变化级次

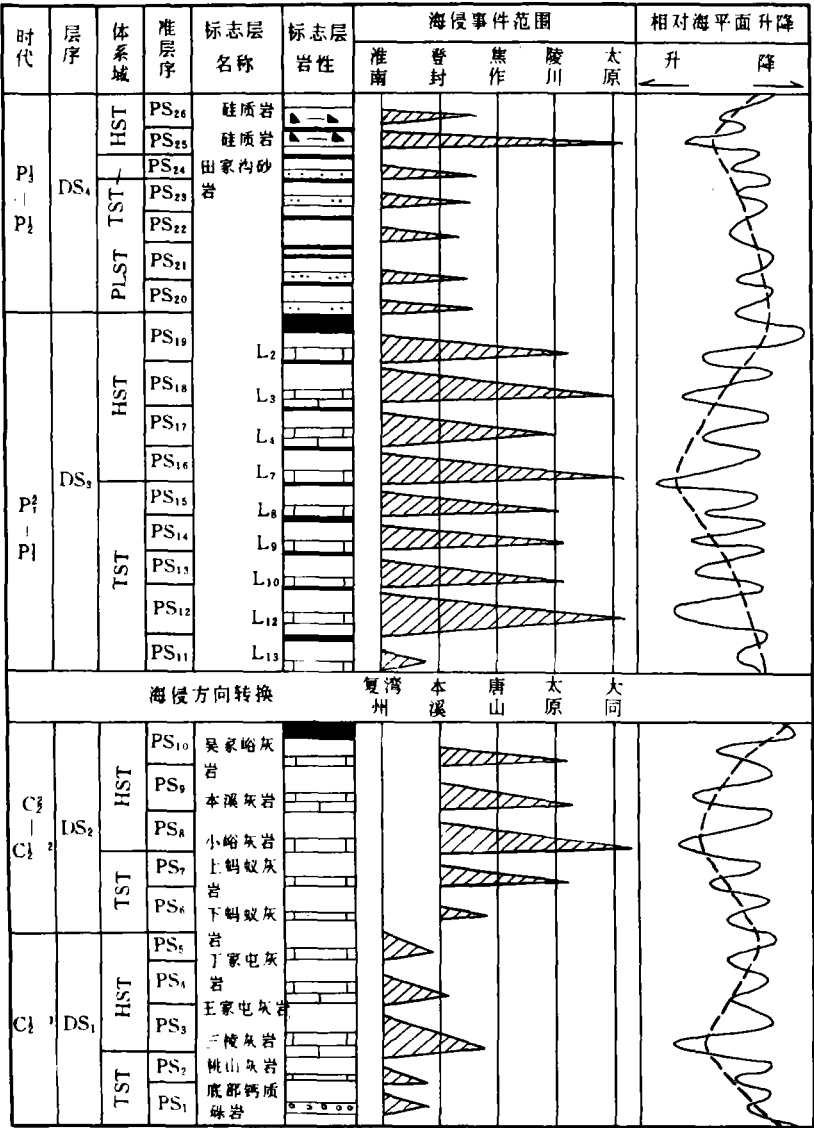


图 2 华北晚古生代海侵事件与相对海平面变化曲线

Fig. 2 Transgressive events and curves for relative sea-level changes in North China during the Late Palaeozoic

从图 2 中可以看出,海平面变化曲线上存在三个级次的变化。

(1)二级海平面变化:由 C₂⁻¹ 开始海侵至 P₃ 海水退出本区,构成一个二级海平面变化旋回,持续时间约 70Ma(从全球海平面的变化趋势来看,这一二级旋回可能一直持续到三叠纪末)。

(2)三级海平面变化:在二级海平面变化旋回内有 4 个次级旋回,这些旋回的发育与海平面变化及板块内部的构造运动有关,认为是三级海平面变化旋回,以此控制着沉积层序的发育。

(3)四级海平面变化:二级海平面变化旋回内包含了 26 个四级旋回(不包括 P₃ 形成的

DS₅ 层序),其沉积表现为 26 个准层序,若以平均时间计算,则每个四级旋回持续的时间约为 2.7Ma(粗略估算,未作准层序年龄测定),大致与 Hag 等(1988)给出的中生代沉积层序的形成时间相当。四级海平面变化旋回是造成克拉通盆地内海进—海退旋回的直接原因。

4. 海平面变化的全球性与同时性

4.1 全球海平面变化曲线

P. R. Vail 等(1977,1987)通过研究世界六大洲大陆边缘的沉积层序,发现具有十分相似的沉积模式,由此认为控制大陆内部及其边缘沉积层序的主要因素是全球性海平面变化,且全球海平面变化具有同时性,并在此基础上根据钻探资料和地震地层剖面记录中沉积层序的几何图形,推导出显生宙时期的全球性海平面变化曲线。晚古生代在 Vail 编制的一级海平面相对变化曲线上表现为持续下降的过程,全球海平面处于低水位状态。但从二级海平面相对变化曲线来看,在下降的总趋势下,仍有几次较大规模的上升,分别位于泥盆纪初期、晚石炭世初期和二叠纪中期,海平面变化显示出缓慢上升和快速下降的特点。

图 3 是 C. A. Ross 等(1988)根据北美许多地区的沉积特征编制的石炭二叠纪克拉通盆地陆架沉积的海岸上超曲线,该曲线可作为全球海平面变化的指向,从中石炭世开始,海平面升高,至晚二叠世结束,海平面下降至最低,与华北晚古生代海平面的变化趋势大致相当。同时,图中也显示出晚石炭世海平面变化非常频繁,而二叠世时期,海平面变化相对缓慢。

4.2 不同地台沉积建造旋回性对比

早石炭世,全球海平面处于高水位,在俄罗斯地台和北美地台上形成了以浅海碳酸盐岩为主的沉积建造。俄罗斯地台在杜内期末发生海退,形成了厚度不大的滨海型含煤建造,与我国华南的情况相似,而华北地台此

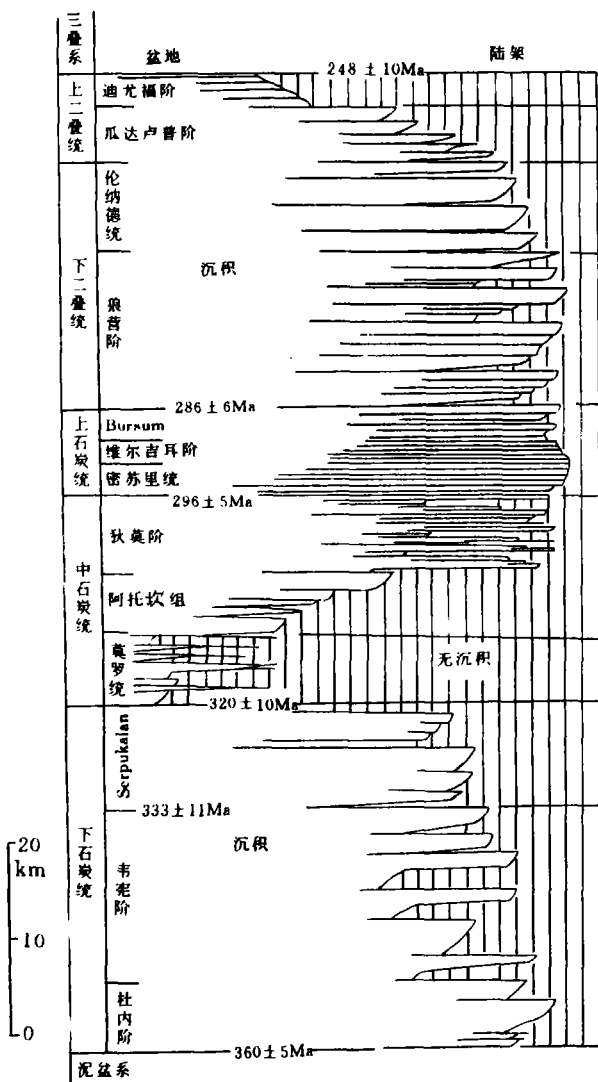


图 3 石炭二叠纪陆架沉积的海岸上超曲线

(作为全球海平面变化的指向,据 C. A. Ross 等,1988)

Fig. 3 Coastal onlap curves for the Carboniferous-Permian shelf sediments which may serve as the guide of global sea-level changes (after C. A. Ross et al., 1988)

时由于构造抬升仍处于被风化剥蚀的状态。

R. M. Busch 等(1984)和 C. A. Ross 等(1985)通过对北美地台、俄罗斯地台以及西北欧晚古生代沉积建造的研究,发现在早石炭纪与晚石炭纪(即密西西比系与宾夕法尼亚系)之间广泛发育一个区域性的不整合(间断),由该不整合面之上开始了晚石炭世的沉积,这与华北的情况相吻合。

从晚石炭世至早二叠世,俄罗斯地台沉降幅度较大,以台地碳酸盐岩沉积为主,只在盆地边缘(顿巴斯盆地)形成了厚度较大的含煤建造。北美地台则相当稳定,形成了含有多层灰岩及海相泥岩夹层的著名的宾夕法尼亚含煤建造(图 4),与华北板块晚石炭世至早二叠世含煤建造具有较好的可比性。

从中二叠世起发生了全球性的海平面下降,在俄罗斯地台、北美地台及华北板块北部均发育了紫杂色及红色碎屑沉积建造,且部分地区发育石膏沉积,表明古气候由温暖潮湿向炎热干旱转变。但在晚二叠世早期有一次规模不大的海平面上升,其海侵范围比起晚石炭世海侵显著缩小,只波及到北美地台西南部及俄罗斯地台的部分地区,华北板块也只在南东部有明显表现,发育了堡岛体系沉积(以潟湖相和潮坪相为主)。同时在海平面快速上升阶段发生海泛,形成了厚度不大,但分布广泛的硅质海绵岩。

总之,从华北板块、俄罗斯地台和北美地台晚石炭世至二叠世沉积建造的特征来看,均经历了一次二级海平面变化的历程,且海平面变化和古气候具有同时性和全球性。在二级海平面变化周期内又有几个三级海平面变化周期,三级海平面变化也基本可以对比。至于四级海平面变化,由于控制因素复杂,且受区域性因素影响较大,在各个地台上尚难对比。如 C. A. Ross 等(1985,1988)通过研究美国中大陆的石炭二叠系浅海序列,认为发育有 50 多个海侵—海退沉积层序(相当于本文中的准层序),而笔者通过对华北板块石炭二叠纪沉积建造的研究,仅能识别出 26 个准层序,相差很大,表明四级海平面变化受区域性或地区性因素影响较大。

5. 海平面变化机制

引起海平面变化的机制可能包括海底扩张速率的变化、海洋盆地体系的变化及海沟活动速率、造山运动以及气候(包括冰川)等变化的综合结果。这些机制大多数在晚古生代都很

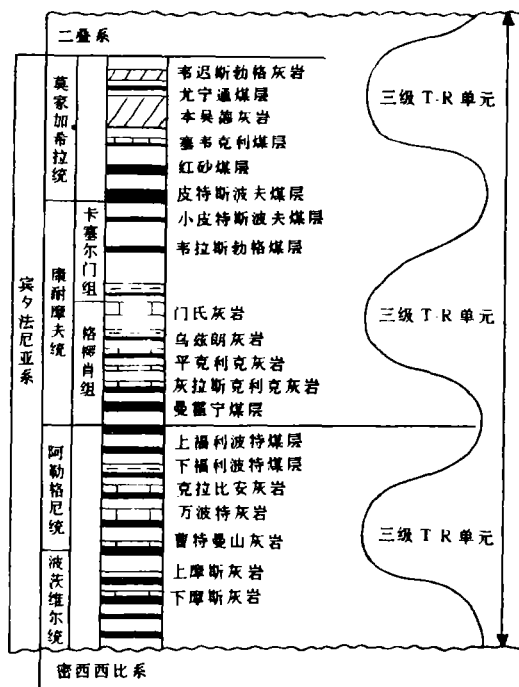


图 4 阿巴拉契亚盆地北部宾夕法尼亚系地层格架(引自 R. M. Busch 等,1984)

Fig. 4 Stratigraphic framework of the Pennsylvanian strata in northern Appalachian Basin (after R. M. Busch et al., 1984)

活跃,并起着重要作用(C. A. Ross 等,1988)。A. Hallam(1981)和 A. D. Mial(1986)认为一、二级海平面升降旋回可能与洋脊扩张速率的变化有关或与全球系统的构造运动有关;J. J. Veevers 等(1987)则认为晚二叠世全球性海退是安哥拉古陆与 Pangea 泛大陆的最终拼合,使独立克拉通抬升的结果。

三级和四级海平面升降变化主要与大陆冰盖的增长与消减有关。根据 J. J. Veevers 等(1987)的详细研究,晚古生代冈瓦纳古陆曾发生了三期大的冰川作用,两个短阶段(I、II 期)分别对应法门阶和韦宪阶,一个长阶段(III 期)始于纳缪尔阶(C₁),不断发育,在斯蒂芬阶(C₃)覆盖冈瓦纳古陆大部分地区,于萨克马尔阶(P₁)消融,但小的冰川中心仍停留至喀山阶(P₂)。由此可见,大陆冰川的发育与三级海平面升降之间有着明显的对应关系。

另外,S. Cloetingh(1986,1988)通过热力学模拟的结果证实板内应力的波动及沉积物负载所引起的岩石圈挠曲作用也是产生三级海平面变化的原因之一。

6. 小结

通过对研究区内海相地层时空分布规律及化石带演替规律等的研究,初步认为华北晚古生代沉积建造形成于一个二级海平面变化周期内,即从晚石炭世早期早时开始,全球海平面上升,华北地台首先从东部开始接受沉积,早二叠世早期海侵达到最大,全区发育了海相沉积,至晚二叠世全球性海退,华北地台亦同时发育陆相沉积。进一步的分析表明在二级海平面升降周期内,包含了 4 个三级海平面升降周期,分别位于晚石炭世早期早时,晚石炭世早期晚时至晚石炭世晚期,早二叠世和中二叠世早期至晚二叠世早期。每个三级海平面变化周期内又包含了若干个四级海平面升降旋回。

海平面变化具有全球性和等时性特点,本区的二级海平面变化可与俄罗斯地台及北美地台等比较,该地区此时也发育了浅海碳酸盐岩与硅质碎屑岩混合的含煤建造,从晚石炭世至晚二叠世构成一个二级海平面变化旋回。在沉积特征上表现为一个大的海侵—海退旋回内包含着频繁的次级海侵—海退旋回。本区的三级海平面变化旋回与俄罗斯地台和北美地台也基本可以比较,然而,由于地区性和区域性因素的影响,致使四级海平面变化在洲际间尚难以对比。

关于引起各级次海平面变化的原因目前还不十分清楚,一般认为二级海平面变化是由洋脊扩张速率变化或全球系统的构造运动所引起的,三级海平面变化则直接与冰川作用或板内应力状态的变化有关,而四级海平面变化除受冰川作用控制外,还与区域性构造运动及古气候有关。

主要参考文献

- 陈世悦、刘焕杰,1994,华北石炭二叠纪层序地层学研究的特点,岩相古地理,第 14 卷,第 5 期,P11—20。
顾道源、徐论勋,1993,全球地层表与中国地层表,石油与天然气地质,第 14 卷,第 2 期,P106—117。
Hallam A. 著,张志炯等译,1991,沉积相解释与地层记录。地质出版社。
Busch, R. M. and Rollins, H. B., 1984. Correlation of Carboniferous strata using a hierarchy of transgressive-regressive units, *Geology*, Vol. 12, pp. 471—474。
Cloetingh, S., 1986. Intraplate stress: a new tectonic mechanism for relative fluctuations of sea level, *Geology*, Vol. 14, pp. 617—620。
Cloetingh, S., 1988. Intraplate stress: a tectonic cause for third-order cycles in apparent sea level? in C. K. Wilgus et al., eds. *Sea-level changes: an integrated approach*. SEPM special publication 42, pp. 19—29。

Klein, G. D. ,1992. Climatic and tectonic sea-level gauge for Midcontinent Pennsylvanian cyclothem. , *Geology*, Vol. 20, pp. 363—366.

Mial, A. D. 1986. Eustatic sea-level changes interpreted from seismic stratigraphy: a critique of the methodology with particular reference to the North Sea Jurassic record, *AAPG Bulletin*, Vol. 70, pp. 131—137.

Ross, C. A. and Ross J. R. P. ,1988. Ingression and regression in Late Proterozoic. In C. K. Wilgus et al. (ed). , sea-level changes: an integrated approach. SEPM special publication 42.

Vail, P. R. et al. ,1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 4: Global cycles of relative changes of sea level. In: Payton, C. E. ed, *Seismic stratigraphy—Applications to hydrocarbon exploration*, AAPG memoir 26, pp. 83—97.

Veevers, J. J. and Powell, C. M. ,1987. Late Palaeozoic glacial episodes in Gondwanaland reflected in transgressive-regressive depositional sequences in Euramerica, *Geological Society of American Bulletin*, Vol. 98, pp. 475—487.

SEA-LEVEL CHANGES IN NORTH CHINA DURING THE LATE PALAEOZOIC

Chen Shiyue Liu Huanjie

China University of Mining Science and Technology

ABSTRACT

On the basis of the study of depositional sequences on the North China plate, the authors consider that the Late Palaeozoic depositional sequences in North China were formed in a second-order sea-level change cycle, which consists of four third-order sea-level change cycles developed during the early time of early Late Carboniferous, the late time of early Late Carboniferous to late Late Carboniferous, Early Permian and early Middle Permian to early Late Permian, respectively. Each third-order sea-level change cycle, in turn, comprises several fourth-order rise and fall cycles. The sea-level changes have the worldwide and synchronous features. The second- and third-order sea-level changes in the study area may be comparable with those on the Russian platform and North American platform.

Key words: sequence stratigraphy, sea-level change, epeiric sea, North China plate