

# 塔里木盆地西南缘和什拉甫组的微地层分析 ——点断加积旋回理论的应用

陈中强

(中科院南京地质古生物研究所, 南京 210008)

**提 要** 近年来,点断加积旋回理论作为微地层分析的一种重要手段受到越来越多的沉积学家和地层学家的重视(Goodwin, P. W. & Anderson, E. J., 1985)。本文通过对塔里木盆地西南缘下石炭统和什拉甫组的微相分析及古生态分析,从中识别出 71 个点断加积旋回(PACs)。据其垂向叠加规律,建立该地区维宪期多级次高频旋回的叠加模式及层序地层格架。

**关键词** 和什拉甫组 点断加积旋回 微地层分析

**作者简介** 陈中强 男 27 岁 硕士 地层古生物学与层序地层学

目前,人们对地层的研究不仅仅局限于宏观上的认识与对比,而是更注意微地层分析,从而揭示出更多的沉积信息。本文运用点断加积旋回理论对塔里木盆地西南缘下石炭统和什拉甫组进行了微地层分析的尝试,提出一种新的地层学研究方法,为盆地分析提供了更精确的有关沉积旋回、层序地层、海平面变化等方面的资料。

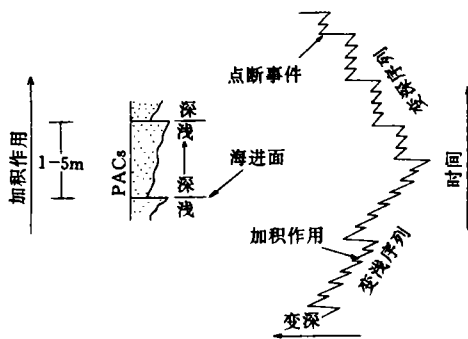


图 1 点断加积旋回理论模式图

Fig. 1 General model of the hypothesis of punctuated aggradational cycles.

(by Goodwin, P. W. & Anderson, E. J., 1985)

## 1 点断加积旋回理论概述

点断加积旋回(Punctuated Aggradational Cycle sequences 简称 PACs)理论是 Goodwin, P. W. 和 Anderson, E. J. (1985)最早提出的,其主要内容为:沉积物的地层记录是由微级次向上变浅的旋回组成,这种旋回通常被指示水深突然变深的沉积相所打断。该理论认为微地层中广泛存在如下特征:一套较薄(厚 1—5m)的反映水体向上变浅的岩石组合被指示水深突然变深的沉积物所覆盖,从而引起相序的不连续(如图 1 所示)。

这种 PACs 的成因与高频海平面的变化有关。通常,在较长的周期中,相对海平面保持相对稳定状态,或缓慢上升,或停滞。这时,沉积物的供给也很充分,故沉积物的容纳空间(accommodation)(即沉积物表面至海平面的空间)变得越来越大,沉积记录显示出海水变浅的序列。相对海平面突发性的快速升高,打破了原来沉积物供给的平衡,使得沉积物供给极不充分,这时,古海洋中可能出现半饥饿式沉积,甚至出现水下非沉积间断,故这阶段的沉积记录指示海水深度突然变深。这样,每个 PACs 纵向上就出

现一段向上逐渐变浅的序列和一个突发的海泛沉积。

由于每次海泛事件的规模较大(通常为全盆地范围内),故其所形成的海泛面为一个极理想的等时面。也就是说,每个 PACs 的界面为一理想的等时对比面。显然,在一个盆地内建立在这种对比面基础之上的地层对比、旋回分析、海平面变化的研究及古地理恢复无疑较真实地反映了当时盆地内沉积物的沉积过程。

## 2 分析方法

微地层分析主要是借助微相及古生态分析手段来识别出地层记录中的 PACs,然后,通过分析 PACs 的垂向叠加特征来提供更多的沉积信息。通常,每个 PACs 包含上、下部单元,从下部单元至上部单元显示出海水变浅的序列。如图 2 所示,旋回 8、9 为和什拉甫组的两个 PAC 旋回(简称旋回,下文同)。旋回 8 的下部单元由黑色泥岩组成,这种黑色泥岩富含腕足类、珊瑚等正常浅海相生物化石,指示了潮下带以下的浅海低能环境,为陆架泥岩沉积(见下文讨论);上部单元则由黄色厚层粗一中粒石英砂岩组成,发育双向交错层理,为前滨砂坝堆积(见下文讨论)。故从旋回 8 的下部单元至上部单元反映了海水从深→浅的变化过程。而旋回 9 的下部单元则由灰黑色薄层泥灰岩组成,富含介形虫化石,镜下岩石富含灰泥,为泥晶胶结,发育水平纹层,指示浅海过渡带的低能静水环境;旋回 9 的上部单元则由浅灰色中厚层砂屑、生屑灰岩组成,生物介壳磨损严重,岩石为亮晶胶结,指示波基面之上的高能环境。因此,从旋回 9 的下部单元至上部单元亦指示了海水由深→浅的变化过程,而旋回 8 至旋回 9 的变化过程反映了水深由深→浅→深→浅的变化过程。其中,旋回 8 的上部单元前滨砂坝沉积被旋回 9 下部单元介形虫灰岩直接覆盖,显示出沉积相的跳跃,说明这两个旋回之间发生过一次海泛事件。这种 PACs 的上、下部单元通常由不同微相的沉积组成,其古生物群特征也明显不同。据上述分析方法,笔者在和什拉甫组中共识别出 71 个点断加积旋回(如图 4、7)。

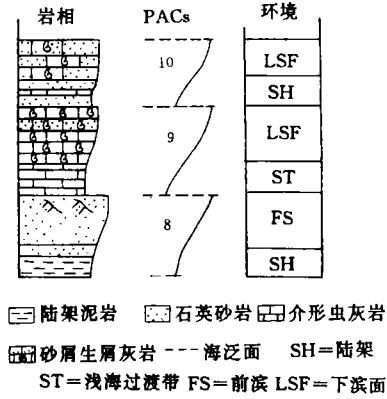


图 2 和什拉甫组微地层中的 PACs 序列

Fig. 2 The PACs of the micro-strata from the Heshilafu Formation

## 3 和什拉甫组微地层分析

和什拉甫组是塔里木盆地西南缘下石炭统广泛发育的一套海相地层。该组在叶尔羌河上游的达木斯剖面上出露最佳(如图 3 所示)。赵治信等(1984)曾测制过该剖面,并研究了其中的蜓、珊瑚、牙形等门类生物化石,笔者等<sup>①</sup>近年来又重新实测了该剖面,并运用点断加积旋回理论对该组作微地层分析的尝试。

### 3.1 地层概述

和什拉甫组以石英砂岩、粉砂岩及泥岩夹灰岩沉积为特征,可分为三个岩性段,自下而上

① 参加野外工作的还有:廖卫华、阮亦萍、夏凤生、杨万蓉、吴秀元、方宗杰、虞子治、朱自力、朱怀诚、罗辉等同志。

为:第一段为浅黄色厚层石英砂岩及砂砾岩,厚 70m;第二段为浅黄色中厚层石英砂岩、灰黑色生物屑、砂屑灰岩与黑色泥岩互层,夹薄层泥灰岩,厚 190m;第三段为浅黄色中厚层石英砂岩、碳质粉砂岩、粉砂质泥岩互层夹数层生物灰岩,厚 210.9m。据生物地层对比,该组属早石炭世维宪期沉积,经历了最多不到 9Ma 的时间。此外,和什拉甫组也包含了两个沉积层序(相当 Vail, P. R. 等, 1977, 1988 的三级层序)(Chen Zhongqiang, 1995)。其中,该组的第 1、2 段构成了层序 I, 第 3 段构成了层序 II。层序 I 的低水位体系域由和什拉甫组第 1 段组成,代表了低水位深切谷的充填物,层序 II 的海进体系域及高水位体系域则由第 2 段沉积构成(图 6)。层序 II 只发育海进体系域及高水位体系域,由第 3 段的沉积组成。

### 3.2 组成 PACs 的微相类型

**后滨粗砂岩微相:**砂岩以粗—中粒结构为主,含少量砾石,砂粒成分以石英为主,含极少量长石,胶结物以硅质为主,少量灰质。砾石以层状或条带状产出,主要为砾径小于 3cm 的细砾石,其成分以石英为主,有时可见少量的海相动物化石碎片。岩石颗粒磨圆好,分选性好,通常发育水平层理及交错层理,显示出后滨海滩脊的沉积特点(图版 I-2)。

**前滨砂岩微相:**由纯石英砂岩组成,其颗粒为石英,粒径为 0.20mm 至 0.5mm 之间,为中砂级结构,颗粒的磨圆度及分选性均较好。在岩石层面发育大型对称或不对称波痕,指示前滨潮间带沉积环境,有时亦可见低角度的板状交错层理,为前滨砂坝沉积(图版 I-1、3)。

**介形虫灰岩微相:**由灰黑色中薄层泥灰岩组成。泥灰岩中以富含介形虫化石和发育水平层理为特征,整个岩石以灰泥基质为主,富含介形虫介壳,介形虫通常两壳联合保存,指示浅海过渡带附近的静水环境(图版 I-5)。

**砂屑、生物介壳灰岩微相:**该微相有两种类型:其一,整个岩石以砂屑、生屑为主,灰质胶结(图版 I-4)。砂屑由石英组成,为中等粒径,其磨圆性和分选性均较好。生屑主要为腕足类和孔虫介壳碎片,为砾级颗粒,化石碎屑形态以半自形为特征,介壳均单瓣保存,无定向性,反映壳体经过了一定距离的搬运后而堆积,说明

当时水动力较强,为浪基面或稍下的开放循环的浅海环境;其二,整个岩石以生物介壳为主,主要由砾级生物化石组成。其基质为灰泥,生物介壳以自形至半自形形态保存,介壳单瓣保存,但磨蚀少,壳体外围套有一层“泥晶套”,指示了一种静水环境,有时冲来一些高能带的碎屑,形成生物化石原地加异地埋藏组合,说明当时环境大致相当浅海波基面稍低部位(图版 I-8)。

**陆架泥岩微相:**以黑色泥岩为主,夹少量薄层泥灰岩(图版 I-6、7)。泥岩中含丰富的海相生物化石,它们均原地理藏。这些生物通常生活于正常盐度海水之中,据 Morris(1977)对陆架泥岩相的分类及鉴别标准,当前的陆架泥岩应属从富氧的海水中沉积的,沉积物表层为中等氧化条件,深层为还原条件的正常浅海泥岩相。

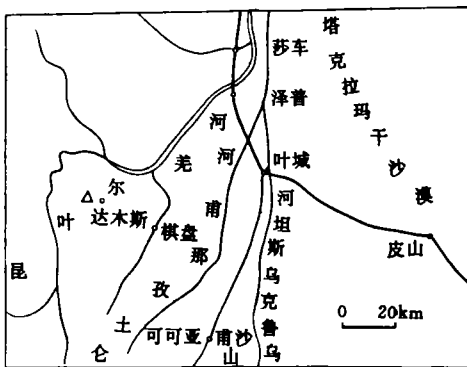


图 3 达木斯剖面位置图

Fig. 3 The sketch map showing the locality of the Damusi section

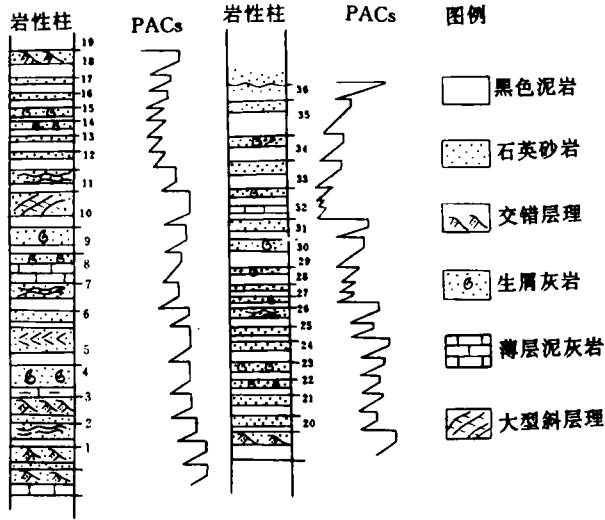


图 4 和什拉甫组第二段中的 PACs

Fig. 4 Showing PACs of the 2nd Member of the Heshilafu Formation

### 3.3 和什拉甫组第二段的 PACs 与微地层分析

用上述方法,在该段中共识别出 36 个 PACs(图 4)。其中,旋回 1→32,从下向上有如下变化特征:每个旋回的下部单元厚度越来越大,且黑色泥岩中所夹的灰岩所占的比例越来越大;每个旋回的上部单元越来越薄,且沉积物的颗粒粒径越来越小。不过,并不是每个旋回都遵循上规律。其中,旋回 6、11、19、26、31 上部单元的岩性均比前一旋回的上部单元的岩性要粗得多,要厚得多。这样,就出现旋回 1→6、旋回 7→11、旋回 12→19、旋回 20→26 及旋回 27→31 构成 5 个更高级次的旋回。此外,旋回 32—36 的下部单元比上部单元要厚得多(图 4)。

#### 3.3.1 古生物在 PACs 上的表现

PACs 的下部单元:除旋回 9、10 的下部单元薄层炭质灰岩中富含介形虫化石外,其它旋回的下部单元均富含腕足动物戟贝类化石。这类化石在地层中分布稳定,均为原地埋藏,构成了 Mckerrrow, W. S 等(1978)所描述的泥岩群落(Mud Community)。在这一群落中,以 *Rugosochonetes* 丰度最大, *Plicochonetes Marginatia* 亦占相当大的比例。该群落还包括小个单体珊瑚、苔藓虫、海

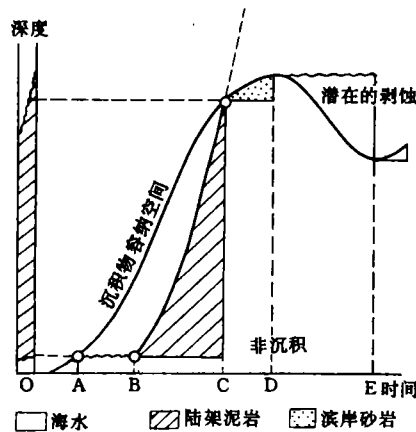


图 5 PACs 的成因示意图

(据 Jervey, M. T., 1988 略改动)

Fig. 5 Showing the model of the genesis of PACs (adapted from Jervey, M. T., 1988)

百合及海扇类等。这一泥岩群落被认为是位于水体较深的静水环境之中(Mckerrow, W. S. 等, 1978, 杨式溥译)。在露头剖面上, 结合这些化石产出的围岩微相分析, 笔者认为当前群落指示波基面以下的陆架浅海环境。

此外, 据对腕足动物的古生态分析, 旋回 11→32 的下部单元中腕足类的分异度越来越大, 除戟贝类分子外, 在黑色泥岩的灰岩夹层中出现大量的 *Marginatia*, *Martinia* 等分子, 指示当时环境越来越接近开阔广海, 反映了长周期海平面的快速上升。

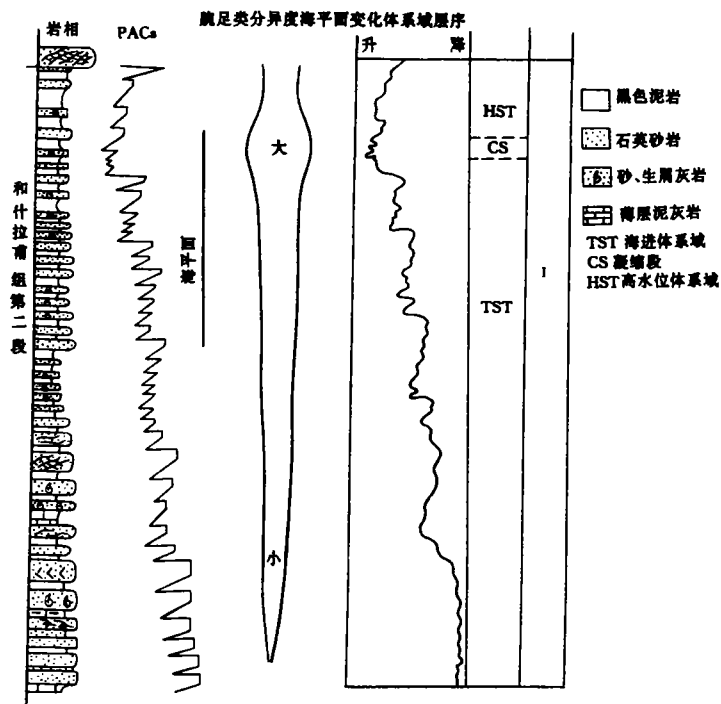


图 6 和什拉甫组第二段 PACs、腕足动物分异度与沉积层序

Fig. 6 The composite map showing PACs, the diversity of brachiopods and depositional sequence from the 2nd Member of the Heshilafu Formation

PACs 的上部单元: 该单元通常由石英砂岩、砂屑、生屑灰岩与介壳灰岩组成。在旋回 5→32 中, 生物群面貌在不同旋回中有各自的特征, 特别是在旋回 5、9、10 中, 生物属种单调、丰度高, 分别以 *Orthotetina*, *Orthetes*, *Tomiproductus* 等分子为主。在上述旋回的上部单元中, 化石保存状态相似, 多为单瓣保存, 以贝壳层形式产出, 壳体磨损严重。而在旋回 11→32 中生物群分子趋于相同, 通常以 *Tomiproductus*, *Echinoconchus*, *Yanguania*, *Fusella*, *Martinia*, *Paulonia*, *Brachthyris* 等分子为主。它们通常生活于正常的浅海环境之中, 说明旋回 11→32 反映的水体越来越深, 也反映了长周期海平面的快速上升。

### 3.3.2 PACs 的成因解释

这种米级向上变浅的旋回序列的成因与长周期海平面升降旋回及其控制下的短周期(高频)海平面升降旋回及沉积物的供给有关。在长周期海平面上升过程中,发生高频海平面升降运动,每次高频海平面上升就形成了上述的每个 PAC 中由黑色泥岩夹灰岩组成的下部单元。在该单元的底部可能发育一个因高频海平面的快速上升而形成的非沉积面(nondepositional surface)(图 5)。

这是因为在前一次高频海平面下降之后,海平面又突然迅速上升,在一个较短的时间内(即时间 A→B),沉积物的供给跟不上海平面的上升,而发生极其缓慢的沉积。这时,容易形成非沉积面,其上可保留丰富的遗迹化石。在时间 B→C 过程中,尽管沉积物的供给有所增加,但仍然跟不上海平面的快速上升,因此,在非沉积面之上通常为黑色泥(页)岩夹灰岩沉积,随着高频海平面上升速率的下降(即时间 C→D),海平面出现缓慢上升或停滞现象,沉积物的供给也相对变得充分了。于是,沉积物的堆积速率也就变快了,形成了以砂岩或砂屑、生屑灰岩为主的上部单元。因此,从 PAC 的下部单元到上部单元的过程,反映了高频海平面由上升→下降变化过程;而从一个旋回到下一个旋回的过程则反映了高频海平面上升→下降→上升→下降的过程,每个旋回的底部代表了一次海泛事件。

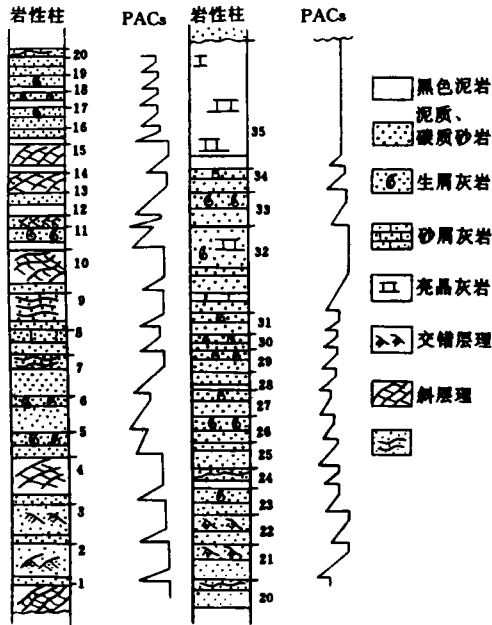


图 7 和什拉甫组第三段的 PACs  
Fig.7 Showing the PACs of the 3rd Member of the Heshilafu Formation

### 3.3.3 PACs、古生态特征与沉积层序

正如前文所述,和什拉甫组第二段下部地层构成了层序 I 的海进体系域(Chen Zhongqiang, 1995),而该段地层所记录的 PACs 旋回 1→32 则表现出垂向上退积叠加的特征,为海进体系域的典型特征(Vail, P. R. 1977),表明海进体系域沉积指示水深越来越深。此外,对该段地层中腕足动物的古生态分析可知:腕足动物的分异度(以属为单位)在旋回 1→32 中,表现越来越大(图 6)。腕足动物分异度最大峰值位于旋回 32 的下部单元,该单元代表该段地层为海进最大规模时期的沉积,构成了层序 I 的凝缩段(Chen Zhongqiang, 1995),包含了最大海泛面。而旋回 33→36 表现为垂向加积叠加的特征,构成了层序 I 的高水位体系域,这个阶段腕足动物的分异度相应地开始减小。

### 3.4 和什拉甫组第三段的 PACs 与沉积层序

用同样的方法在该段地层中共识别出 35 个 PAC 旋回(图 7)。其中,旋回 1→17 为退积

叠加,构成了层序 I 的海进体系域。这些旋回中分别由旋回 1→4、旋回 5→10、旋回 11→14 构成三个高一级的旋回。而旋回 18→35 加积或进积叠加,构成了层序 I 的高水位体系域。其中,旋回 18→31、旋回 32→35 构成了二个高一级的旋回。

### 3.5 和什拉甫组的多重旋回性

上述微地层分析不难看出:和什拉甫组第二段与第三段的 PAC 旋回有明显区别,主要表

现在:第二段(即层序 I)中每个旋回的上、下部单元岩性差别远比第三段(即层序 II)中明显。这是由于层序 I 是在长周期海平面快速上升控制下形成的,因此,高频海平面升降运动与长周期海平面快速上升叠加在一起,使得高频海平面快速上升显得更加突出(图 8),所以层序 I 发育以黑色泥岩为主的 PACs 旋回,且海进体系域及凝缩段发育,高水位体系域不发育。相反,层序 II 是在长周期海平面缓慢上升(或停滞)所控制下形成的,高频海平面升降运动与长周期海平面的缓慢上升叠加在一起,使得高频海平面的下降显得更加突出,所以层序 II 发育以石英砂岩、粉砂岩为主的 PACs 旋回,其高水位体系域发育,海进体系域及凝缩段不发育。

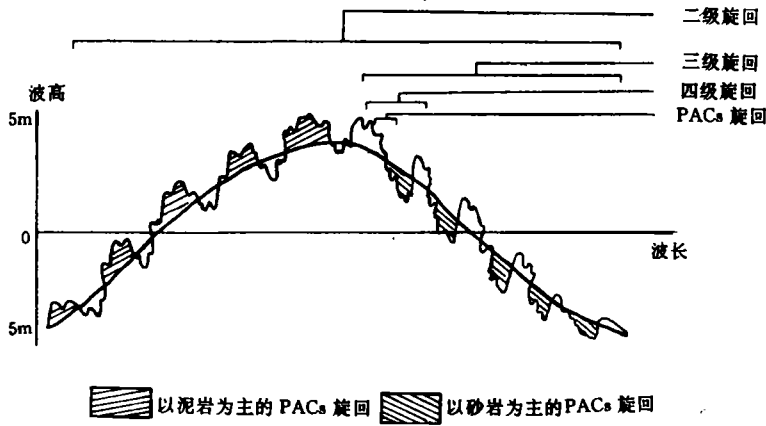


图 8 长周期海平面变化与高频海平面变化叠加模式图

Fig. 8 The schematic diagram of the stacking pattern of the long periods eustasy and the high-frequency sea-level changes

另一方面,层序 I、II 又分别受长周期海平面的快速上升及缓慢上升(或停滞)所控制,故它们又可构成更高级次的层序,即超层序。这一超层序的低水位体系域为层序 I 的低水位体系域,其海进体系域及凝缩段分别由层序 I 的海进体系域、凝缩段和高水位体系域组成;高水位体系域则由层序 II 构成。

## 4 结 论

本文通过对和什拉甫组的微地层分析揭示:塔西南地区早石炭世维宪期高频海平面升降活动频繁,共发生 71 次高频升降旋回,它们被 11 次更高级次的旋回所控制。而这些高级次旋回又被两次三级旋回所控制,形成两个三级层序。其中,层序 I 是在二级旋回(即超层序)海平面快速上升阶段形成;层序 II 则是在二级旋回海平面缓慢上升或停滞阶段形成。每次高频海平面上升伴随着海洋生物(腕足动物为主)分异度的增大,沉积层序的最大海泛面对应生物分异度的最大峰值。

作者感谢廖卓庭教授在室内研究过程中给予的鼓励和帮助。

## 参 考 文 献

- [1] 赵治信等, 1984, 塔里木盆地西南缘石炭纪地层及古生物群, 地质出版社, 1—29。
- [2] 麦克鲁, W. S. 主编, (杨式溥译), 1986, 化石生态学, 科学出版社, 33—56。
- [3] Goodwin, P. W. & Anderson, E. J., 1985, Punctuated aggradational cycles; a general hypothesis of episodic stratigraphic accumulation. *Journal of Geology*, 93, 515—533.
- [4] Jervey, M. T., 1988, Quantitative geological modeling of silici-clastic rocks sequence and their seismic expressions. In: Wiggles, C. K. et al., eds., *Sea-level changes; an integrated approach*. SEPG. Spec. Publication 42; 47—69.
- [5] Chen Zhongqiang, 1995, Late Devonian and Early Carboniferous sequence stratigraphy of the Tarim Basin. *Palaeoworld*, 6.

## The Application of Punctuated Aggradational Cycles sequences to the Analysis of the Micro—strata of the Visean Heshilafu Formation, SW Tarim Basin, NW China

*Chen Zhongqiang*

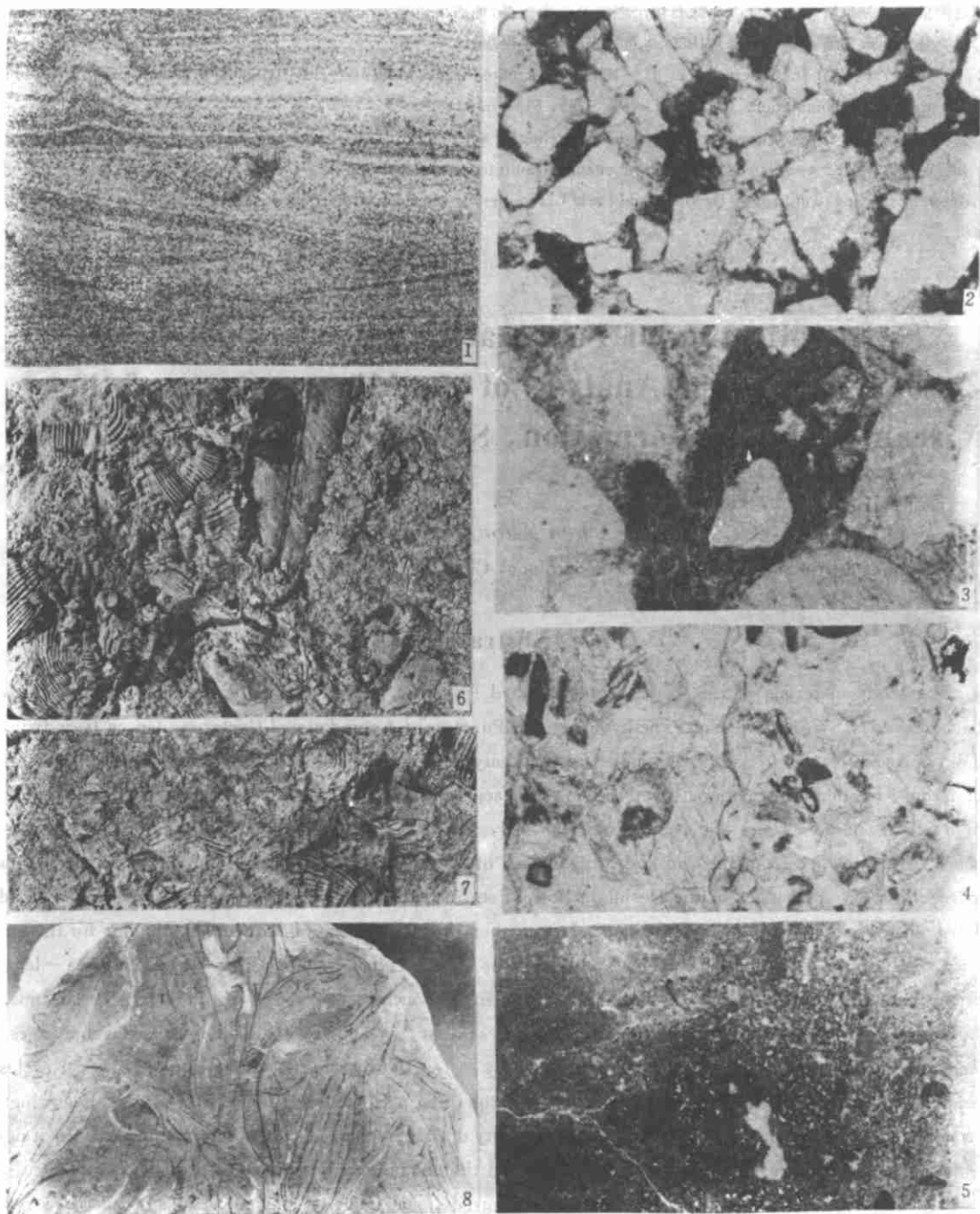
(Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences Nanjing 210008)

### Abstract

The study materials of this paper were collected from the Lower Carboniferous of Damusi section, Shache County, SW Tarim Basin. The hypothesis of Punctuated Aggradational Cycles sequences (Goodwin, P. W. & Anderson, E. J., 1985) is applied to the analysis of the micro—strata of the Visean (Early Carboniferous) Heshilafu Formation. Five types micro—facies are also recognised from the above micro—strata. Based on the micro—facies and palaeoecological analysis, 71 PACs (Punctuated Aggradational Cycles sequence) are identified from the 2nd and 3rd Member of the Heshilafu Formation. Among them, 36 PACs recorded in the 2nd Member of the Heshilafu Formation form the Transgressive System Tracts (TST) and Highstand System Tracts (HST) of Sequence I, the other 35 PACs consist of Sequence II standing for the 3rd cycles. The above micro—strata analysis indicates the characters of frequent high—frequency sea—level changes and cycles within cycles (Miall, A. D., 1985) in the southwestern sea of Tarim during Visean time. Those multiple cycles can be classified to 4 orders cycles at least corresponding to 4 orders sea—level changes. The above 71 basic high—frequency cycles controlled by 11 fourth order cycles consist of two 3rd order cycles standing for sequences, which are also controlled by a 2nd order cycle standing for supersequence. Every high—frequency sea level rising corresponds to large diversity of brachiopods. The maximum flooding surface of depositional sequence corresponds to the greatest value of the diversity of brachiopods.

**Key words:** Heshilafu Formation Punctuated Aggradational Cycles sequences (PACs) micro—strata analysis





图版 I-1 石英砂岩,发育水平层理和交错层理,光面 $\times 1$ 。图版 I-2 石英砂岩,石英颗粒分选、磨圆差, $\times 8$ 。图版 I-3 石英砂岩,石英颗粒磨圆较好,石英砂岩中具少量岩屑, $\times 12$ 。图版 I-4 生物屑灰岩,颗粒以生物屑为主,含少量的石英颗粒,生物屑由腕足类、有孔虫、海百合茎介壳碎片组成, $\times 8$ 。图版 I-5 介形虫泥晶灰岩,灰泥含量较高, $\times 8$ 。

图版 I-6,7 黑色泥岩,生物化石丰富, $\times 1$ 。图版 I-8 生物介壳灰岩,生物介壳具“泥晶套”,且多为单瓣壳保存,磨蚀中等,光面 $\times 1$ 。