

陕西富平中—上奥陶统深水碳酸 盐重力流沉积模式

梅志超 李文厚

(西北大学地质系, 西安)

陕西富平地区,在中一晚奥陶世位于华北地台南侧的弧后盆地的大陆边缘。其中完好地保存了一套以半远洋的泥晶灰岩夹重力流的角砾灰岩和砂屑灰岩为特征的深水沉积岩系。

一般认为,与半远洋的石灰岩共生的碳酸盐重力流沉积的复杂岩相,是大陆坡的标志^[6],而相应的陆源碎屑沉积,则被作为海底扇的产物^[7]。然而,富平地区的碳酸盐重力流沉积,却是在弧后盆地伸进浅水台地之间的深海前槽中,沿海槽轴向呈席状流搬运、沉积的。

富平地区的重力流沉积,发育有从再沉积砾岩至典型浊积岩的沉积序列。其基本类型可分为两类:一类反映碎屑流向高密度的砂质浊流的演变;另一类反映高密度的砾质浊流向低密度的砂质浊流转变。这些序列对于研究重力流沉积模型,以及它们与沉积环境的关系,提供了有利条件。

一、区域地质背景

研究区位于鄂尔多斯盆地南缘的渭北隆起带的东段(图1)。在早—中奥陶世早期,渭北地区与华北地台是一个统一的浅水碳酸盐台地,沉积了一套包括峰峰组在内的浅水碳酸盐岩。其后,由于秦岭板块开始向华北板块俯冲,该区陷落为弧后深水盆地的大陆边缘,沉积了一套残留厚度达800余米的赵老峪组的深水碳酸盐沉积^[1]。

赵老峪组以深灰色的薄板状和页状泥晶石灰岩夹杂乱角砾石灰岩和黄绿色凝灰岩为特征。下部夹有黑色的放射虫燧石岩(图版I, 1)。整个地层生物化石稀少,且主要为浮游的介形虫、放射虫和笔石,原地的底栖生物罕见,但深海的*Nereites*相的遗迹化石却十分丰富。

根据生物化石,该套地层在层位上可以同渭北隆起西部的平凉组和背锅山组对比^[2、3],时代属中奥陶世晚期至晚奥陶世早期。然而,这两套地层的岩性和岩相却截然不同。鉴于该套地层岩性与沉积相的特殊,在区域上有一定的稳定性,可以作为良好的地质制图单位,所以根据新的地层规范^[4],笔者将其作为新的岩石地层单位提出,并命

1) 陈景维、梅志超、卢焕勇、李文厚, 1983, 陕西富平中—上奥陶统赵老峪组

名为赵老峪组¹⁾。

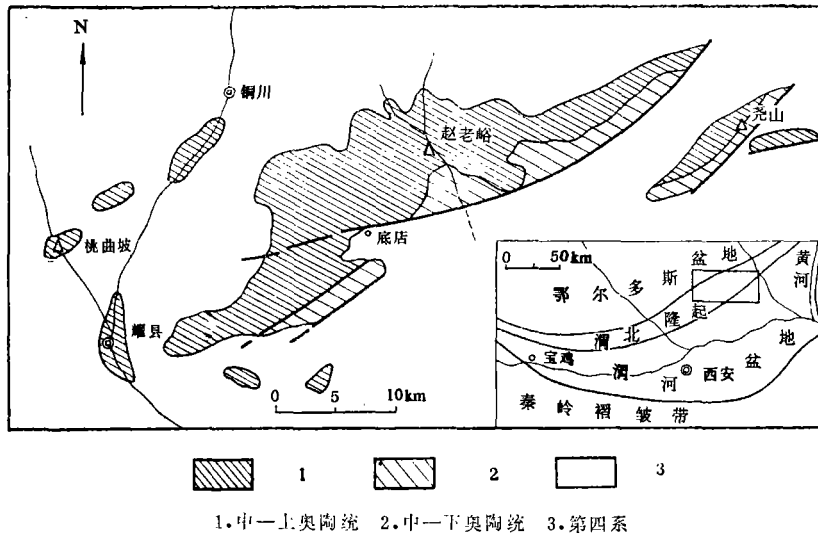


图1 富平地区的大地构造位置和地质简图

Fig 1 Sketch of tectonic and general geology in the Fnping area

二、主要岩石类型及成因

(一) 薄层状泥晶石灰岩

岩石一般呈灰—深灰色，单层厚度或呈厘米级的薄板状，或为毫米级的页状层（图版 I，2）。层间具泥灰质裂理，内部具水平纹层。含少量球状粒和石英粉砂。化石很少，主要为介形虫和笔石。页状泥晶石灰岩常与粉屑泥晶石灰岩和粉屑石灰岩组成毫米级的韵律层，层面有丰富的 *Nereites* 相的遗迹化石，经杨式溥教授鉴定，主要为 *paleodictyon*（古网迹）、*Squamodictyon*（鳞网迹）、*Helminthoida*（蠕形迹，图版 I，3）*Glockeria*（葛洛柯迹）和 *Megagraption*（巨画迹）等。这些特征表明，它们是在水体比较安静的深海环境沉积的。其原始沉积物可能是浅水台地上的灰泥，因风暴扰动，周期性的悬浮，然后以层间流的方式漂运到深水区缓慢沉积的。因此，是典型的半远洋石灰岩。

(二) 均质的粒屑泥晶石灰岩

这类石灰岩仅见于粒序砂屑石灰岩之上，通常呈蓝灰色，含较多的石英粉砂和粘土（>10%），碳酸盐粒屑以粉砂级为主，岩层厚度在2厘米至2米左右，内部呈均质块状。由于在组成上和碎屑石灰岩的基质类似，且总是产在粒序砂屑石灰岩之上，应是浊流尾部的沉积产物。

(三) 薄层状粒序砂屑石灰岩

这种石灰岩通常为薄层状泥晶石灰岩的夹层，层厚多在10厘米以下，层面平坦，厚度均一，可以在数公里范围内追索。碎屑组分主要为浅水来源的中—细粒的坚硬球粒，深水来源的碎屑较少，而且多为粗砂和细砾片。常见平行纹层、交错纹层和包卷纹层，并与均质的粒屑泥晶石灰岩组成ABCE、AE、BCE或CE段的浊积岩（图版 I，4）。

(四) 粒序的角砾砂屑石灰岩

岩石以粗粒砂屑为主, 含卵石级角砾($d < 2$ 厘米)。粒序层发育。砾石长轴近于平行层面, 或呈叠瓦状排列(图版 I, 5)。一般层厚在30—50厘米, 最厚可达1米以上。它们或呈单层, 或呈重复叠置的复合粒序层产出。角砾砂屑石灰岩通常与角砾石灰岩共生, 并与均质的粒屑泥晶石灰岩组成AE段的浊积岩。

(五) 具定向组构的角砾石灰岩

层厚一般在0.3—1米。砾石主要为深水相的薄层石灰岩的板状角砾, 浅水来源的砾石较少, 并主要为圆一次圆状的亮晶砂屑石灰岩, 时见个别形状不规则的塑性泥晶灰岩角砾。砾石长径一般在4厘米以下, 最大不超过20厘米。砾石长轴多近于平行层面排列, 部分具叠瓦组构。岩层多呈复合层产出, 单层厚5—20厘米, 层面不甚平坦, 但大致平行。层内多具正粒序, 或为反—正粒序(图版 I, 6), 少数不显粒序, 但砾石长轴一致平行层理排列(图2)。砾岩复合层在区域上比较稳定, 在数公里至数十公里的范围内均可追索。

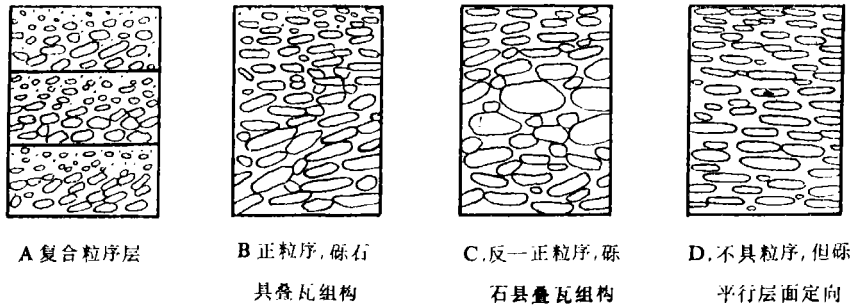


图2 角砾石灰岩的组构

Fig. 2 Fabric of limestone breccia

具鲍马序列的砂屑灰岩无疑是浊流的沉积产物, 而不具鲍马序的角砾砂屑灰岩复合粒序层和具定向组构的角砾灰岩, 则和沃克描述的卵石砂岩与碎屑支撑的砾岩类似〔7〕。二者明显的不同在于富平地区不存在沃克描述的大型交错层和水道化形态。但是, 其中发育的粒序层、砾石的叠瓦组构及长轴大致平行于古流向等特征, 则反映它们主要是因紊流支撑搬运的。潘汀(Pantin; 1979)认为, 粗砂—砾石级的颗粒, 在流动中仅仅因紊流向上的作用, 不能完全被支撑呈悬浮状。只有在粒度范围宽阔、颗粒浓度较大($> 20\%$)的流动中, 在紊流、颗粒阻碍沉降、细粒基质的浮力以及颗粒碰撞产生的分散应力的联合支撑下, 它们才能呈悬浮状态大量搬运。这种以紊流支撑为主的颗粒浓集的流动, 被称为高密度浊流, 而只能形成鲍马序列BCDE段浊积岩的流动, 则称为低密度浊流。〔5〕

(六) 杂乱角砾石灰岩

杂乱角砾灰岩是赵老峪组中单层厚度最大, 沉积特征最引人注目的一类岩石。岩层通常呈席状产出, 厚度一般大于1米, 最厚可达9—10米, 层位比较稳定, 可以延伸数公里。砾石成份和具定向组构的角砾灰岩类似。但是砾石大小混杂(从细砾直至长径达数米的巨砾和岩块), 排列杂乱, 巨砾和岩块呈“漂浮状”散布于较细的砾石之中(图

版 I, 7)。然而大砾石长轴多近于平行层面排列, 圆砾具粗尾粒序。砾间充满了砂屑和灰泥基质。岩层顶底界面截然, 基底比较平坦, 只是局部有轻度侵蚀, 顶层面多呈波状起伏(图版 I, 8)。在个别角砾岩的基底尚伏有巨大的孤立滑塌块体。这些特征表明, 它们是碎屑作整体运动搬运的碎屑流沉积。其中圆砾的粗尾粒序, 可能是由于水下碎屑流在流动中与周围水体混合变稀, 浮力减小所致, 而大的板状岩块则可因形状特殊, 受到较大的阻碍沉降支撑力, 继续“漂浮”于较细砾石之中。

(七) 分选良好的砂屑及粉屑石灰岩

这类石灰岩通常呈页状、透镜状或薄板状夹在半远洋的泥晶石灰岩中, 成层很薄($< 5-10$ 厘米), 粒度较细, 分选良好, 顶底界限截然, 缺乏垂向构造序列, 层面流水波痕发育, 古流水指向垂直于区域的古斜坡等。这些特征同浊积岩显然不同, 而与等深积岩十分相似^[9], 为深海底流的沉积产物。

在本区的底流沉积中, 页状的粉屑灰岩和粉屑泥晶灰岩最为发育。粉屑粒度一般在 $0.01-0.05$ 毫米之间, 这同现代等深流所能悬浮的粒度类似, 它们可能是由底流直接沉积的。页状粉屑灰岩与粉屑泥晶灰岩纹层的交替, 可能是深海底流强烈脉动引起的。扰动强烈时, 细的灰泥质被簸选, 可造成分选良好, 具波痕状顶层面的滞留粉屑沉积。

透镜状粉屑石灰岩, 上凸下平, 最厚处达 $3-5$ 厘米, 长度一般在数米至数十米。有发育的交错纹层, 层系界面具冲刷。这种分选良好, 岩性与沉积构造均一的沉积, 显然是在缺乏物源供应的底流作用下, 由先期沉积改造而成的。

薄层状细粒砂屑灰岩虽然成层较厚(10厘米左右), 粒度较粗(0.1毫米左右), 层面流水波痕较大($L=10-20$ 厘米, $H=1-5$ 厘米), 但是根据其分选良好, 顶界截然, 缺乏沉积构造序列等特征, 仍应是底流的沉积产物。它们先前可能是浊流沉积, 但是后期受到了底流的强烈改造。其类似物在巴哈马群岛的大洋舌边缘的大陆坡基和巴哈马滩西部陆坡的现代沉积中均已发现^[10]。

三、沉积模式

(一) 主要相序类型

赵老峪组不同岩相的重力流沉积, 在剖面上常常构成特征的共生序列(图3)。除了薄层的典型浊积岩外, 其它序列可按其下部砾岩的特征分为二种基本类型: 一类是与杂乱角砾石灰岩构成的序列; 另一类是与具定向组构的卵石级角砾石灰岩构成的序列。前一类序列以含有较多的泥晶基质和粘土为特征, 可简称为多泥序列; 后一类序列基质相对较少, 可称为少泥序列。其完整序列自下而上依次为:

1、多泥序列

(1) 杂乱角砾灰岩 → (2) 粒序角砾砂屑灰岩 → (3) 块状粒屑泥晶灰岩。

2、少泥序列

(1) 具定向组构的非粒序角砾灰岩 → (2) 反—正粒序的角砾灰岩 → (3) 粒序的角砾砂屑灰岩 → (4) 具鲍马序列BC段的砂屑灰岩 → (5) 块状粒屑泥晶灰岩。

上述序列都是向上变细的沉积序列。每个序列均以具鲍马序列的浊积岩结束。但是

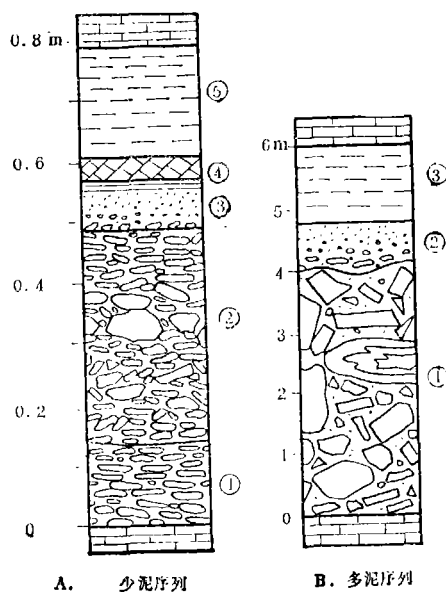


图3 碳酸盐重力流沉积的两种向上变细的序列

Fig. 3 Two fining-upward sequences of gravity-flow deposits of carbonate in the Fuping area

A—minor-mud sequence; B—multimud sequence



图4 碳酸盐重力流的成因图解

Fig. 4 Genetic illustration of carbonate gravity flow

多泥序列的浊积岩只发育有AE段，且各段厚度较大；少泥序列上部具完整的鲍马序列，但各段厚度较薄。然而在实际的例子中，多数序列是不完整的，有时相同的岩相可以反复叠置成平行的复合层，但其次序从不倒置。这种规律的变化，意味着成因上的联系。类似的例子在古代及近代的重力流沉积中均有发现。〔10、11、12〕因此，研究它们对于了解重力流沉积的搬运、流动类型的转变以及环境特征均有重要意义。

(二) 形成机理

七十年代以来，人们对深水砾岩的沉积模式曾有广泛讨论。〔5、7、10〕沃克等人认为，这些颗粒向上变细，厚度变薄的序列是海底扇水道迁移或废弃充填的结果，而叠置的复合粒序层，则被解释为多次浊流的作用〔7〕。但是在富平，不存在沃克描述的水道化形态和明显的冲刷。因此，它们不象是限于水道的多次流动的产物，很可能是在一次大规模的席状流中，通过几个沉积作用高峰依次沉积的。

在多泥序列中，杂乱角砾灰岩往往超覆在大的孤立滑塌块体之上，其上又为接触关系截然的粒序角砾砂屑石灰岩覆盖，说明它们可能是在同一次灾变事件中形成的滑塌—碎屑流—高密度浊流的连续沉积系列（图 4）。其间的短暂沉积作用间隔，可能是由沉积物重力流的阵发性引起的几个沉积作用高峰造成的。大规模的滑坡引起沉积层崩塌、碎解与液化。巨大的滑塌块体先行在近基地区堆积，而较小的块体以及砂砾和灰泥则混合成沉积物流，顺坡向下倾泻。当遇到滑塌断崖时，可以加速沉积物的破碎及其与水的混合。这样，细粒物质悬浮于流动上部，粗重物质浓集于流动下部成为碎屑流。碎屑流由于其本身的重力作用，可能成为先行流动，在坡度变缓，重力产生的向下坡的剪切力不再大于流动的摩擦阻力和基质强度时，将立即停止，快速发生沉积。而上覆的残余浊流，仍可继续向下坡搬运。由于这种浊流粘度较大，所以随着流动强度的衰减，将形成只有 AE 段的浊积岩。

少泥序列全部是浊积组分。这种序列和洛 (Lowe) 的高密度浊流沉积模式类似^[5]。在这种粒度范围宽阔的流动中，砾石级颗粒趋于分布在流动下部，其中较粗的砾石可能在近底床附近浓集，形成一个因颗粒碰撞产生的分散应力支撑的牵引毡（相当于洛的变密度颗粒流），向上则因素流支撑呈悬浮状。一旦流动强度下降到分散应力不能维持牵引毡，及以上覆较粗砾石不能悬浮的程度，它们将很快沉积，形成一个下部为反粒序，上为正粒序的沉积单元。而较稀的上覆残余流动仍可悬浮较细的颗粒向下搬运，随着流动速度

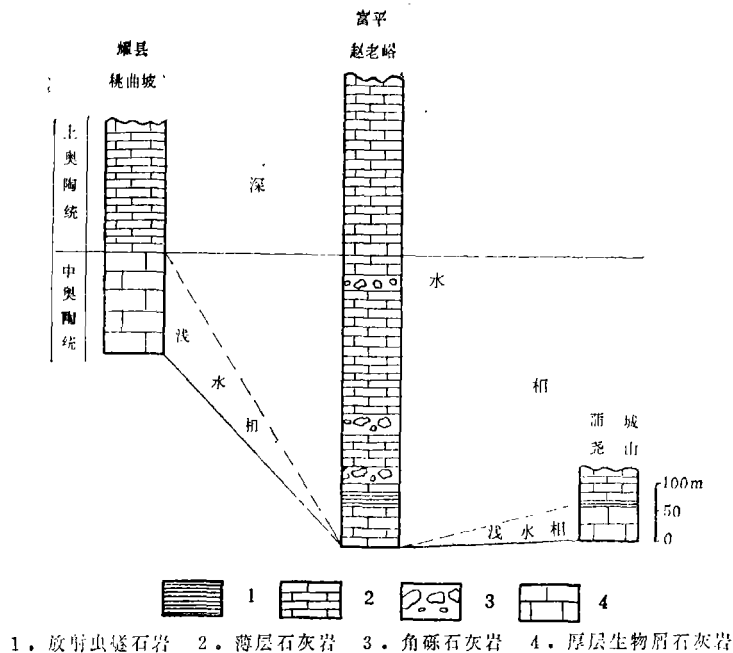


图 5 富平地区中—上奥陶统地层对比图

Fig. 5 Area contrast of Middle—Upper Ordovician in the Fuping area

的递减，将形成粒序角砾砂屑石灰岩和具鲍马序列 BCE 段的典型浊积岩。

富平的少泥序列底部，常常发育有一个缺乏粒序，但砾石定向排列的角砾岩段，其特征和具粗尾粒序的杂乱角砾灰岩类似。虽然目前还没有发现杂乱角砾灰岩直接向少泥

序列演变的例子,但是从上述情况看,碎屑流向砾质浊流转变的可能性还是存在的。

(三)古流向与古地理

赵老峪组的深水碳酸盐岩露头主要集中分布于富平、蒲城一带,向东西两侧则逐渐减少,并相变为浅水的厚层—块状石灰岩(图5)。在研究区西侧的铜川市区,主要为厚层块状石灰岩夹少数薄层石灰岩,淳化、泾阳一带则以岩崩的碳酸盐砂、砾沉积和介壳石灰岩为特征。向东,深水成因的薄层灰岩逐渐增多,至富平西部,块状的浅水灰岩消失,出现大的滑塌块体及具明显侵蚀基底的厚层杂乱角砾灰岩。滑塌块体最大可达 9×70 米以上,褶皱轴向多为 $NE20-30^\circ$ 。杂乱角砾灰岩的流向大致为 $SE50-70^\circ$ 。深海底流沉积的古流向一致为 $SW10-20^\circ$ 。这些资料表明,富平以西存在一走向北东,并向南东倾没的古斜坡。

研究区东部资料较少,但是根据地层厚度、岩相变化和古流向分析,也有一向北西倾没的斜坡。赵老峪组第一段的放射虫燧石岩是本区特征的标志层,在富平广大地区,其下均有一套薄板状灰岩。但向东渐趋减少,及至蒲城尧山一带,渐变为厚层的含化石泥晶灰岩。放射虫燧石岩的厚度也明显减薄。我们测量的12个底流沉积的流水波痕和交错纹层,其流水指向在 $SW20-60^\circ$ 。

本区的角砾石灰岩多呈席状产出。但是由于该区曾受到后期强烈的断层错乱,多数岩层只能在数公里范围内追索,唯有赵老峪组第二段底部一层,可以从富平西部一直追索到蒲城地区。在宽达30余公里的距离内,厚度竟无很明显的变化。富平地区具定向结构的角砾灰岩的砾石长轴的流水指向大致为 $SW15-SE30^\circ$ 之间。

上述资料表明,在中、晚奥陶世,富平地区可能是弧后盆地伸进浅水台地的一个北东向的深海前槽。其中重力流沉积主要是呈面积广阔的席状流,沿海槽轴向搬运。这种模式类似于槽状盆地的浊流纵向搬运模式^[13],其现代类似物在巴哈马群岛的埃克苏玛海峡业已找到^[12]。埃克苏玛海峡是一个两侧为浅水碳酸盐台地所限的深1200—2000米的狭长海槽,根据密间距取心,发现盆地上部5—7米深的碳酸盐沉积中,有25%是浊积的或碎屑流的砂及角砾质沉积,其中有一层席状的卵石灰泥、灰泥角砾及粒序的角砾和砂层沉积组合,沿盆地轴向延伸达120公里,分布面积几乎遍及整个盆地,体积达 $10^{17} m^3$ 。富平地区的碳酸盐重力流沉积,限于露头不能精确确定其分布面积和体积,但从现有资料看,可以和埃克苏玛海峡的模式对比。这种规模的席状流,可能是从周围斜坡上向下流的较小型的重力流汇合成的。诚然,要造成如此巨大的重力流,只有灾变性的地震才能引起。

在野外工作中承陈景维、卢焕勇、张国玉和刘怀奇等同志帮助,照片由袁习琴洗印,附图由王月华清绘,特予致谢。

收稿日期 1984年4月17日

参 考 文 献

- [1] 梅志超等, 1982, 石油与天然气地质, 1期, 49—56。
- [2] 付力浦, 1981, 中国地质科学院院报(西安地质矿产研究所分刊), 第2卷, 第1号, 105—112。
- [3] 甘肃省地层表编写组, 1980, 西北地区区域地层表(甘肃省分册), 地质出版社, 90—102。

- [4] 全国地层委员会编, 1982, 中国地层指南及中国地层指南说明书, 科学出版社, 4—10.
- [5] Lowe, D. R., 1982, *J. Sedim. Petrol.*, V. 52, 278—297.
- [6] McIlreath, I. A., and James, N. P., 1978, *Geoscience Canada*, V. 5, No. 4, 189—199.
- [7] Walker, R. G., 1978, *AAPG. Bull.*, V. 62, 932—966.
- [8] Stow, D. A. V., and Lovell, J. P. B., 1979, *Earth-Sci. Rev.*, V. 14, 251—291.
- [9] Bouma, A. H., 1972, *J. Sedim. Petrol.*, V. 42, 917—921.
- [10] Winn, R. D., Jr., and Dott, R. H., Jr., 1978, *Sedimentation in submarine canyons, Fans, and Trenches.* (Ed. by D.J. Stanley and G. Kelling). Dowden Hutchinson and Ross, Inc. Stroudsburg Pennsylvania, 362—376.
- [11] Hubert, J. K., Suchecki, R. K., and Callahan, R. K. M., 1977, *Deep-Water Carbonate Environments* (Ed. by Cook, F. E., and Enos, P.,) .*Soc. Econ. Paleont. Mineral, Spec. Publ.* V. 25, 125—154.
- [12] Crello, P. D. and schlager, W., 1980, *J. Sedim. petrol.*, V. 50, 1121—1147.
- [13] Hsu, J. K., Kelts, K. and, valentine, J. W., 1980, *AAPG. Bull.*, V. 64, 1034—1051.

DEPOSITIONAL MODEL OF DEEP WATER CARBONATE GRAVITY FLOWS IN THE MIDDLE—UPPER ORDOVICIAN SERIES IN FUPING, SHANXI PROVINCE

Mei Zhichao Li Wenhou

(Department of Geology, Northwestern University)

Abstract

The Fuping area in Shaanxi lies on the Weibei uplift along the southern margin of the Eerdousi Basin. The Zhaolaoyu Formation of the Middle—Upper Ordovician series in this area is characterized chiefly by hemipelagic thin-bedded lime mudstones interbedded with limestone breccias and calcarenites derived from gravity flow. In addition, there is a small amount of tuff, radiolarian chert and well-sorted thin-bedded calcarenite and calcisiltite which represent the equivalent of contourite. Body fossils are poor, mainly pelagic ostracod, radiolaria and graptolite. Benthonic organisms are rare, but deep-water trace fossils of the *Nereites* facies are abundant.

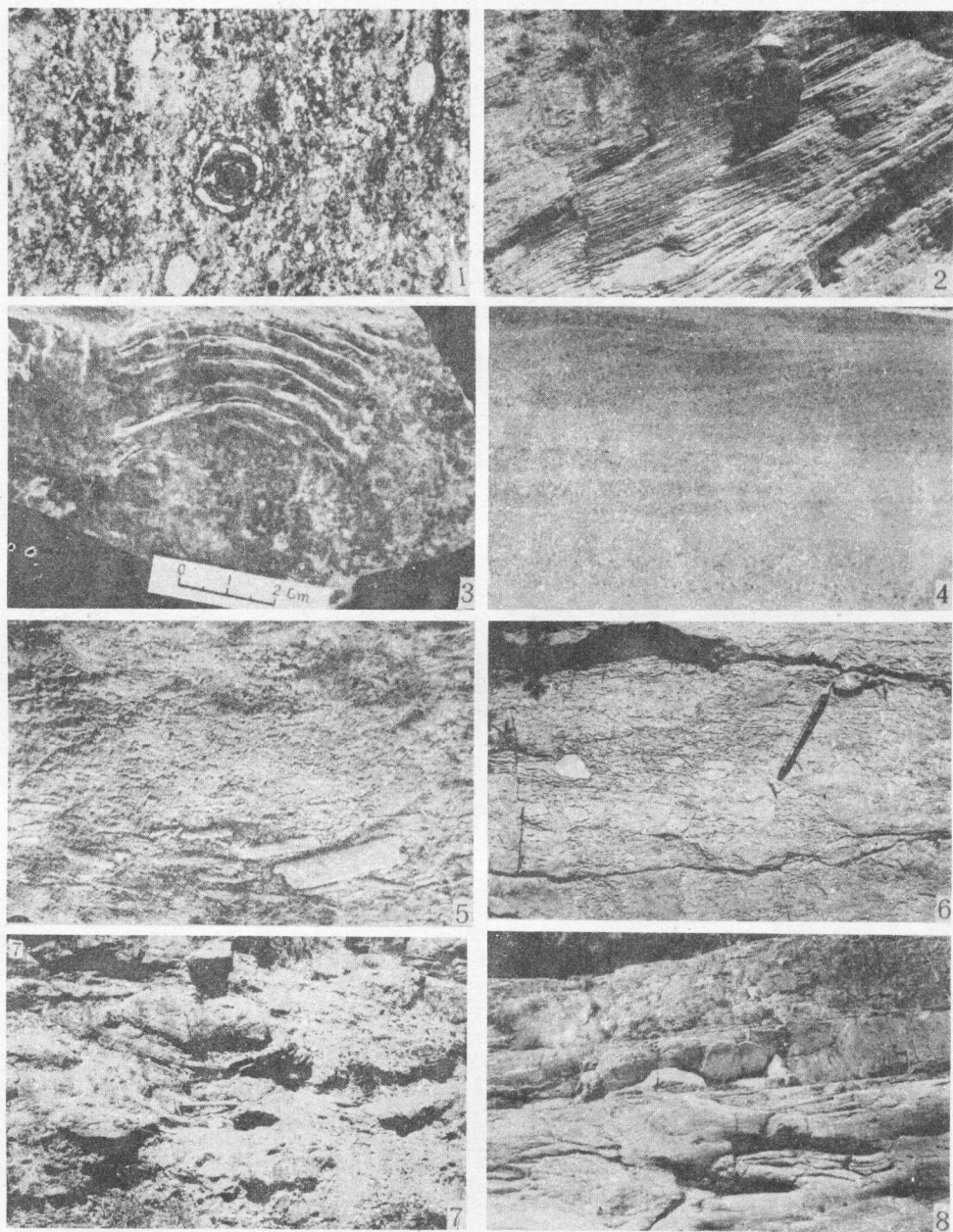
Gravity flow deposits of the Zhaolaoyu Formation can be subdivided into five rock types: (1) homogeneous wackstone; (2) thin-bedded graded calcarenite; (3) graded rubble calcarenite; (4) limestone breccia with

oriented fabric; and (5) chaotic limestone breccia.

In general, the thin-bedded graded calcarenite and homogeneous wackstones form turbidite with divisions BCE or CE of the Bouma sequence while the graded rubble calcarenite and homogeneous wackstones form turbidite with divisions AE of the Bouma sequence. Limestone breccia with oriented fabric exhibits normal or inverse-to-normal grading. Tabular clasts are frequently sub-parallel to the bedding or imbricated. The features suggest that they were deposited from a gravally high-density turbidity current. Chaotic limestone breccias might have been debris flow sediments.

The above lithofacies commonly form two specific associated sequences in the section. From bottom to top, the two sequences go as follows: (1) chaotic limestone breccia → graded rubble calcarenite → homogeneous wackstone; (2) ungraded limestone breccia with oriented fabric → inverse-to-normal grading limestone breccia → graded rubble calcarenite → calcarenite with divisions BC of the Bouma sequence → homogeneous wackstone. These sequences indicate that they are successive deposits derived from individual flow. However, the distinct lithofacies in the above sequences were probably deposited through several sedimentation surges.

Based on integrated sedimentological, paleontological and tectonic setting analyses, we suggest that the Weibei region, together with North China, be a united shallow-platform prior to the later period of the Middle Ordovician. Then it was subsided and developed into a continental margin of the back-arc basin owing to the subduction of the Qinling plate beneath the North China plate. The Fuping area might have been a N-E trending deep sea front trough that stretched from this back-arc basin into the North China carbonate platform. The gravity flow sediments were mainly transported in great sheet flows along the axis of the trough basin. These flows were probably resulted from the confluence of several minor gravity flows around the downslope margin of platform. The model presented here differs from either the submarine fan model or the carbonate slope model, but it is similar to the pattern of modern carbonate debris sheets of the Exuma Sound in the Bahamas.



1. 放射虫燧石岩，中有一颗筛网构造清晰的放射虫，旁边几颗椭圆颗粒为放射模孔，内部为玉髓充填。单偏光 $\times 100$ 2. 薄层状泥晶石灰岩 3 *Helminthoidea* (螺形迹) 4. 浊积石灰岩岩，示布马序列。磨光面 $\times \frac{1}{2}$ 5. 粒序的角砾砂屑石灰岩，底部角砾具叠瓦组构 6. 具反—正粒序的角砾石灰岩 7. 杂乱角砾石灰岩。大砾石呈漂浮状散布于较细碎屑之中 8. 多泥序列 (A) 杂乱角砾石灰岩 (B) 粒序角砾石灰岩 (C) 均质粒屑泥晶石灰岩。