

四川盆地西缘早三叠世 早期碳酸盐重力流沉积与环境

赵永胜 王多义 胡志水

(成都理工学院石油系 610059)

提 要 四川竹园坝、梨园里地区下三叠统飞仙关组地层中,碳酸盐砾屑沉积类型有:碎屑流和浊流;根据岩性组合可分三种组合层序:Ⅰ.碎屑流与半深水泥晶灰岩沉积组合层序;Ⅱ.碎屑流与浊流沉积组合层序;Ⅲ.复合层序。据重力流形成环境,计算了古斜坡坡度,测定了古流向,结合重力流形成及古构造、古地理演化,提出了区内碳酸盐重力流的演化及沉积模式。

关键词 碳酸盐重力流 组合层序 古斜坡坡度 演化及模式 早三叠世 四川盆地

第一作者简介 赵永胜 男 29岁 讲师 石油地质与勘探(含油区沉积和储层沉积学)

四川盆地早三叠世岩相的研究成果较丰富(王吉礼等,1985;崔树德等,1986;吴应林等,1989)却未涉及碳酸盐重力流沉积。近年作者在四川省广元、竹园坝等地飞仙关组地层中发现几套砾屑灰岩,通过野外及室内的研究,得出认识。以期引起人们对该区碳酸盐角砾岩研究的重视,促进角砾岩中油气的勘探。

研究区位于龙门山山前带,为碳酸盐开阔海台地相和陆棚沉积相区过渡带,区内三叠纪早期地层有碎屑流和浊流形成的砾屑灰岩、砾砂屑灰岩,半深水沉积形成的具韵律层理的泥晶灰岩和泥灰岩互层,并伴有垮塌成因的变形构造(图版 I-1)。

1 重力流沉积特征与类型

根据区内碳酸盐砾屑灰岩的沉积构造、结构所反映的沉积物流动支撑机制,将碳酸盐沉积分为两种类型(图 1)。

1.1 碎屑流沉积

碎屑流形成的砾屑灰岩是区内碳酸盐重力流沉积的主要类型,单层厚度达 5m,占剖面的三分之二,具类型复杂,分布广的特点。

灰岩中的砾屑成分复杂,既含浅水砾屑又含有深水砾屑。浅水砾屑来自台地边缘,有亮晶砂屑灰岩、亮晶鲕粒灰岩及生物碎屑灰岩;深水砾屑来自碳酸盐台地前缘斜坡本身的微晶灰岩、泥晶灰岩和泥灰岩;砾屑分选差,粒径变化大,从岩块、巨砾到细砾;圆度从棱角状到次圆状。

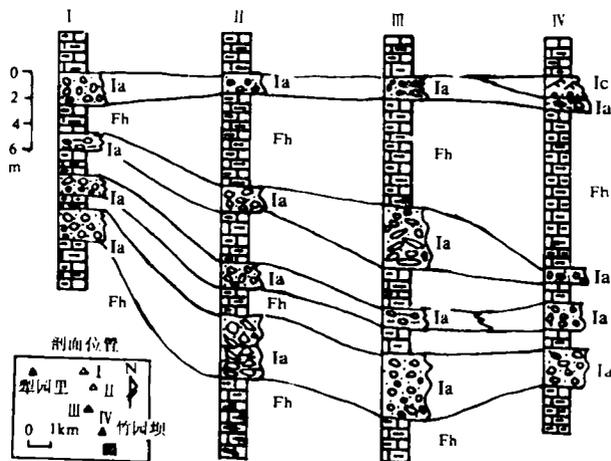


图1 碳酸盐重力流沉积剖面

I 大沟里东剖面 II 大沟里剖面 III 砖厂剖面 IV 油坊里剖面

I a. 碎屑流 I b. 浊流 Fh. 半深水沉积

Fig. 1 Sedimentary section of gravity flow at Feixianguan

Fm. of lower Triassic epoch in the study area

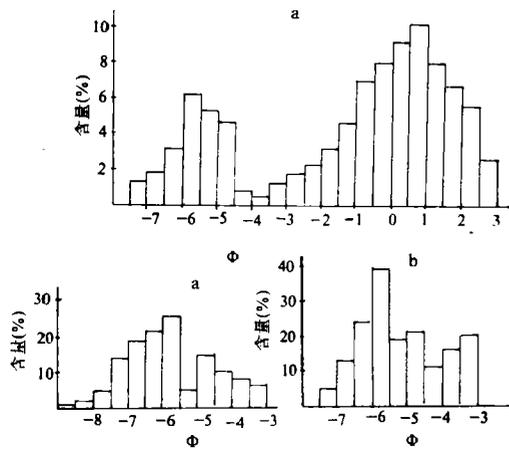


图2 砾屑灰岩的粒度分布直方图

Fig. 2 Histogram of grain size distribution in calcirudite

根据砾屑成分变化可分为:仅含深水砾屑的单一系列和深水、浅水兼有的混合系列,前者由于斜坡沉积物的蠕动、拉裂、滑坡引起;而后者则由于台地边缘的破裂、崩落和滑动及风暴流混合搅拌作用而成。

砾屑灰岩的组构、砾屑类型及杂基含量不同可分为四种。

1)具一定组构的板条状砾屑灰岩(图版 I-2),有的呈弯曲状,砾屑大小混杂,如油坊里剖面最大砾径达 98cm,最小只有 0.5cm,顶底界面明显;砾屑成分为混合系列,杂基含量统计为 5~10%。野外实测砾屑资料表明,粒度概率曲线呈下缓上微陡的波折线,粒度区间分布广(图 3A)。

2)具粒序构造的砾屑灰岩,包括正粒序及反粒序层理(图版 I-3),底界具侵蚀,具正粒序层理的砾屑灰岩(图版 I-4)下部为板条状、板状砾屑,砾屑最大 1.2m,最小有 4cm;往上砾屑粒径减小,大砾屑的含量也减少,砾屑具明显的双众数或多众数(图 2a),砾屑组分为混合系列,向浊积岩或泥晶灰岩过渡,杂基含

量为 10%,在大沟里一带有明显的石英砂,可能是离龙门山古隆起较近之故。砾屑的粒度概率曲线呈单段式,倾角小、分选差(图 3B)。

在砾屑灰岩中可见巨大的“漂砾”,呈棱角状,可能是由于碎屑流流动时斜坡变陡,流速加大,流体浓度冲淡稀释,从而使流体前峰涡流作用加强,使巨砾往上抛之故。

3)具杂乱组构的砾屑灰岩(图版 I-5),一般厚度大,块状构造,砾屑大小相差悬殊,分选极差,砾屑排列无定向,顶底界面明显,底面可见冲蚀槽,杂基含量 15%,砾屑来自台地和台地前缘斜坡的复合系列,呈多峰态特征(图 2b)。

4)杂基支撑砾屑灰岩杂基含量高,约 60%,灰岩中的砾屑呈“漂浮”状在泥晶或微晶灰岩中,杂基支撑,野外产状一般中-厚层状,块状构造,项底界面明显,无明显的侵蚀现象;砾屑成分主要为来自台地前缘斜坡的泥晶灰岩和少量的台地上的鲕粒灰岩和生物碎屑灰岩。巨大的“漂砾”凸出于碎屑流沉积表面,是由于粘性碎屑流具有较大的基质强度和上浮力托起大的漂浮厚岩块,以致流动停止后岩块难于下降。粒度概率曲线显示低斜率的二段式及单段型(图 3C),可能是分选极差,杂基和碎屑难以分开之故,反映搬运方式为块体流。

1.2 浊流沉积

区内浊积岩不甚发育,单层厚度 90cm,以砂屑灰岩为主,局部含砾屑;按其来源可划分出内源和外源两种,一般以内源为优势,常见有鲕粒灰岩、微晶和泥晶灰岩,根据特征可分为高密度浊流和低密度浊流(Middleton, 1976)。

1.2.1 低密度浊流形成的浊积岩

此类浊积岩规模较小,单层厚度数厘米,以细砂屑、粉屑及灰泥常见。出现的层序为:

E:灰色、黑色纹层状泥灰岩(图版 I-6)

D:灰色粉屑灰岩夹细砂屑纹层

C:具砂纹层理的砂屑灰岩

B:具平行层理的砂屑灰岩

A:具正粒序层理(图版 I-7)的含砾屑砂屑灰岩,底部具底模构造,侵蚀明显。

正粒序递变层理是由于细粒沉积物沿斜坡持续而稳定的缓慢流动而形成的低密度浊流(Crerello, P. D. 1980)的特征。区内有 ABE、ADE 组合,在近源区出现 AE 组合,而盆地前缘斜坡及盆内出现 DE 组合。

1.2.2 高密度浊流形成的浊积岩

该类浊积岩规模大,单层厚度 30cm,最大可达 2m,砾径一般为 1—2cm,最大为 8cm,常与碎屑流沉积共生,其特征:

E:灰色纹层状泥晶(微晶)灰岩

C:具大一中型交错层理的砂屑灰岩(图版 I-8),含少量砾屑。

B:具平行层理砾砂屑灰岩

A:粗尾递变的砂屑和砾屑灰岩,粗砾屑的粒径和含量向上减少,底部具截面和底模构造,形成于高密度浊流(Allen, J. R. 1982 中)。

该类浊积岩中大型交错层理的流向与其它方法确定的浊流流向一致,说明是浊流成因的;在 C 段中出现交错层理可能与沉积物的粒度有关,生物碎屑浊积岩中大型交错层理较为常见(Allen, J. R. 1982);粒度概率曲线为单段式,由单一的悬浮总体构成(图 3D),反映了密流沉积特征。区内以 ABC、ACE 组合常见。

1.3 重力流沉积的粒度分布

野外测量时,在露头上等间距画线,对直线相交的颗粒进行测量统计,室内岩石薄片用点计法统计。

1.3.1 概率累计曲线

区内砾屑灰岩的粒度概率累计曲线具有明显的差异(图3)

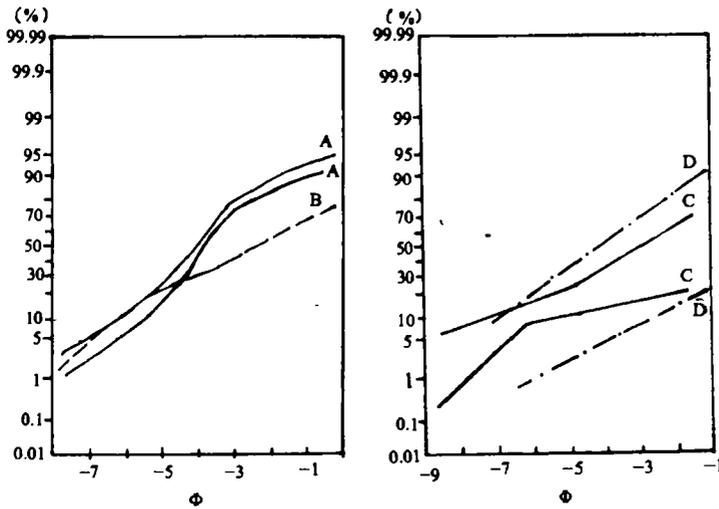


图3 粒度概率累计曲线类型

Fig. 3 Types of cumulative probability curves in gravity flow deposits

碎屑流沉积的砾屑灰岩粒级区间大,从 -9ϕ 到 0ϕ ,粒度概率曲线为下陡上缓的波折曲线(图3A、B、C),斜率为 $25^\circ\sim 35^\circ$;两段式曲线反映外源砾屑和内源砾屑两个总体,通常下总体代表外源次总体,斜率比上总体的斜率大。

浊流沉积的粒度概率曲线为单段式,与碎屑流的区别是粒径范围较小($-4\phi\sim 3\phi$),斜率大于碎屑流的斜率。

1.3.2 粒度参数与环境判别

用福克和沃德(Folk, R. L. & Word, W. C. 1957)的图解粒度法,计算结果如下:

平均粒径(M_z):碎屑流的 M_z 为 $-3.6\phi\sim 1.37\phi$,浊流的 M_z 为 1.13ϕ ;标准差(σ_1):碎屑流的 σ_1 为 $2.3\sim 5.4$,分选差到极差,而浊流为 1.7 ,分选中偏差;偏度(SK):碎屑流为 $0.24\sim 0.43$,属正偏和极正偏,浊流为 0.06 ,属近对称;峰态(K_G):碎屑流与浊流沉积的 K_G 为 $1.3\sim 1.4$ 间,均为近正态。

将粒度参数代入萨胡(Saku and Basanta, 1964)的沉积环境判别公式:

$$y_{\text{河流, 浊流}} = 6.7215M_z - 0.403\sigma_1^2 + 6.732SK + 5.2927K_G$$

当 $y > 9.8433$ 时为河流沉积环境

$y < 9.8433$ 时为浊流沉积环境

计算结果 y 值为 $-16.157, -12.921, -11.436, -2.581$ 均属浊流沉积。

朱筱敏等(1987)用典型三角洲样品与浊流样品进行判别,得到判别函数为:

$$y_{\text{浊流,三角洲}} = 2.112K_0 - 3.4585M_2 - 1.1807\sigma_1 - 38.5726K_0$$

当 $y > -28.704$ 时为浊流沉积环境;

$y < -28.704$ 时为三角洲沉积环境。计算结果 y 值为 4.501, -1.453, -15.491, -6.230, 均大于判别临界值, 为浊流沉积。

2 重力流沉积的组合层序

2.1 组合层序:

区内各种碳酸盐沉积出现有规律的组合, 这是随着外界环境的变化, 沉积物在流动过程中各种支撑机制发生有规律的演化结果, 常见的组合层序(图 4):

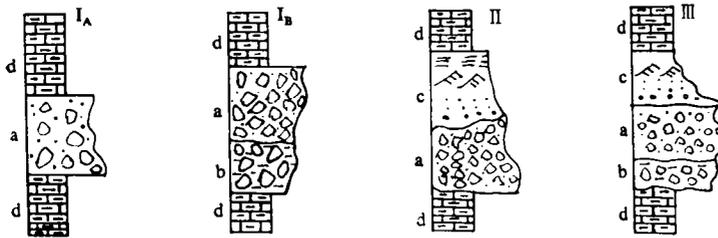


图 4 碳酸盐重力流沉积组合层序

- a. 碎屑流沉积 b. 碎屑流沉积(杂基含量 > 60%)
c. 浊流沉积 d. 泥晶灰岩与泥灰岩沉积(半深水)

Fig. 4 Association sequences of carbonate gravity flow deposits

层序 I: 碎屑流与半深水薄层泥晶灰岩组合(图 4 I), 一般碎屑流沉积厚度不大, 中层状, 顶底界面清楚, 底界微有侵蚀, 上下均为深灰色薄层状泥晶灰岩和泥灰岩, 具水平层理, 反映产生碎屑流的古斜坡较缓, 上斜坡未固结或半固结的灰泥沉积物, 在风暴流、生长断层活动的触发诱导下, 产生重力流流动而形成, 一般为近源搬运沉积。而在碎屑流下部为粘性碎屑流成因的砾屑灰岩(杂基含量高 60%) 沉积在薄层泥晶灰岩之上(图 4 I), 成因是古斜坡由缓向陡的变化, 导致碎屑流逐渐稀释而成, 在流动过程中, 上部流体与水的接触面积大, 易与水掺合作用和稀释, 逐渐具有一定的涡流作用, 而下部流体难以稀释, 故杂基含量高, 始终呈块体流, 它们常出现在下斜坡沉积区。

层序 II: 碎屑流与浊流沉积组合(图 4 II), 碎屑流以稀性流为主, 二者可以过渡或突变接触; 过渡接触反映碎屑流在流动过程中逐步分异出稀释的流体; 而突变接触则表明下部碎屑流与上部浊流层发生分离, 上流动层滞后于下流动层, 从而产生侵蚀; 该组合在下斜坡和半深水沉积区较为常见。

层序 III: 复合组合层序即为半深水泥晶灰岩—碎屑流—浊流—半深水泥晶灰岩的连续沉积(图 4 III), 反映重力流的形成、演化过程; 可以推测来源于碳酸盐台地边缘的一次巨大事件(滑塌、风暴、构造作用), 在斜坡上经长距离流动, 沉积在下斜坡的坡足带或半深水区。

2.2 重力流沉积的几何形态和空间展布

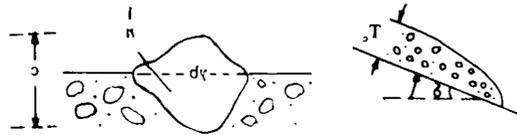
重力流沉积体沿着该区呈北东—南西方向台槽两侧台地前缘斜坡分布,与台槽边界的沉积断裂活动带相对应;重力流以层状出现,局部见透镜体,前者沉积物的供给形式受同生断裂影响,为“线状”沉积,而后的沉积物呈“点式”供给为水道沉积;区内以“线状”为常见。

重力流沉积体的几何形态为“线状”,呈北东—南西向分布,就单层而言,砖厂厚度最大,向两侧厚度变薄,向台盆内逐渐过渡为浊积岩和细粒重力流,垂向上从碎屑流向浊流和深水沉积过渡。在不同剖面产生厚度差异可能是台地前缘各地的构造活动和斜坡坡度差异所致。

3 重力流的演化与环境模式

3.1 古斜坡坡度与古流向

碎屑流具有一定的强度,使其沉积时能保持较陡的边缘,支撑较大的砾石突出层面,A. M. Johnson(1970)根据对碎屑流流动型式的力学性质分析,建立了图5所示的碎屑流的强度与砾石、搬运能力及斜坡坡度的计算公式。



K=强度

r_b=漂砾比重

r_a=碎屑流比重

$\frac{1}{n}$ =漂砾沉没部分的体积百分数

$$T_c = \frac{k}{r_a \sin \alpha} \dots \dots (1)$$

$$k \approx \frac{(\frac{4}{3})c}{5.5} |r_b - \frac{r_a}{n}| \dots \dots (2)$$

图5 碎屑流强度及坡度计算公式(据 Johnson, A. M., 1970)

Fig. 5 Calculation for the strength of debris current and the diagonal angle of slope

利用图5公式计算时,碳酸盐的碎屑流密度近似约 2.2g/cm³(R. N. Hiscott and N. P. James, 1985)漂砾的密度为 2.4g/cm,由于是水下沉积受浮力影响,要对重力加速度进行校正,同时将实测数据代入公式,计算结果如表1。

可见研究区碎屑流的静力学强度在 1.61×10⁴、2.67×10⁴~3.57×10³ 之间,这与(A. M. Johnson, 1970)用同样公式计算现代地表泥石流强度范围与牛头山的寒武纪到奥陶纪碳酸盐碎屑流的强度范围(10³~10⁴Pa)大致吻合(R. N. Hiscott and N. P. James, 1985)。表中的斜坡坡度介于 2.4°~9.3°,考虑到台地边缘斜坡坡度为 1~4°,故认为该区古斜坡坡度 2°~9°这与前述重力流的分布相吻合。

对区内几条剖面中板条状砾屑、滑动构造的冲槽及槽内砾屑、交错层理的测量统计表明,区内重力流流向为北西(NW)向南东(SE)。

表1 碎屑流强度及坡度数据表

Table 1 Data about the strength of debris current and the diagonal angle of paleo-slope

剖面位置	$\frac{1}{n}$	C(cm)	Tc(cm)	K	δ
大沟里	0.57	85	90	1.61×10^4	9.7°
大沟里	0.54	92	210	1.99×10^4	5.20°
大沟里东	0.47	85	190	2.67×10^4	8.0°
犁园里	0.30	40	150	2.56×10^4	9.3°
砖厂	0.57	40	130	7.57×10^3	32°
油坊里	0.69	35	80	3.6×10^3	2.4°
油坊里	0.54	20	75	4.3×10^3	3.1°

$\frac{1}{n}$: 漂砾沉没部分的体积百分数 C: 砾屑的最大砾径 Tc: 砾屑为岩最大厚度
k: 碎屑流强度 σ : 斜坡坡度

3.2 重力流演化与环境

重力流沉积的出现,表示地质事件的发生故重力流沉积在时间和空间上的演化及组合层序间接地反映了大地构造活动背景。重力流的形成,要求原始地形有一定坡度($2^\circ \sim 9^\circ$)及诱发运动的触发营力,如生长断层活动、风暴作用等。区内重力流沉积所反映的正是事件地质的演化。

重力流形成以前的大隆组,为浅海环境,晚二叠世,峨眉地裂运动进入高潮时期,伴随有峨眉山玄武岩的喷发,区内的罗家坝—马角坝断裂和广元—大邑潜伏断裂拉张进入顶峰,形成地堑式深水槽(区内大隆组(P₂d)硅质岩沿断裂之间狭长状分布),早三叠世飞仙关期,地裂运动逐渐衰退,晚二叠世形成的古地理景观得到了继承性发展,重力流沉积正是在这种背景下产生。

重力流的组合层序表明,重力流沉积物在流动过程中,同时有几种流动支撑机制存在,在不同流动阶段或部位起主导作用。碎屑流的形成和沉积环境的另一景观受构造活动的影响,碎屑流的频繁出现反映构造活动的间歇性,它的坡度较陡,故常搬运到台地前缘斜坡脚处堆积,呈坡脚碎屑裙。浊流直接覆于碎屑流沉积之上序列在台地前缘斜坡常见(Mullins, M. T and Neaman, A. C, 1979),由于海平面变化及风暴作用和构造运动,使台地前缘的沉积再次搬运,海水对重力流的稀释,使块体流中较小的砂屑转为浊流。支撑机制不同引起的搬运和沉积速率的差异,有助于形成该种序列。

前已述重力流沉积体的几何形态,具明显的“线状”特征,这与古地理台槽环境相吻合,重力流沉积伴随构造展布,呈北东—南西方向带状分布,基本平行于古斜坡,是一种斜坡—坡底重力流沉积体系(Nardin, T. R, and Others 1979)。

综合本区古构造、古地理演化,认为碳酸盐砾屑灰岩是一个地堑式台槽背景下形成的受生长断层控制的无水道重力流沉积,局部有决口水道存在的沉积模式。

该项目承蒙石油系发展基金资助,在研究中,得到黄仰洲和李世章副教授的指导和鼓励,八五、八六级学生胡仕力、唐文峰、廖志良和刘登明参加了野外工作,《沉积学报》编辑部提出了修改意见,在此特深表谢意!

参 考 文 献

- [1] Hiscott, R. N. and James, N. P. , 1985, Carbonate Debris flows. Cow Head Group Western Newfoundland. *J. Sedim. Petrol.* Vol. 55 p. 735—745.
- [2] Johnson, A. M. , 1970, *Physical Processes in Geology*. Freeman, Cooper and Company, San Francisco.
- [3] Lowe, D. R. , 1982, Sediment gravity flows I. Depositional models of high density turbidity currents. *J. Sedim. Petrol.* Vol. 52, p. 279—297.
- [4] Lowe, D. R. , 1976, Grain flow and grain—flow deposits. *J. Sedim. Petrol.* Vol. 46, p. 188—199.
- [5] Rodine, J. D. and Johnson, A. M. , 1976, The ability of debris heavily freighted with coarse clastic material to flow on gentle slopes. *Sedimentology*, Vol. 23, p. 213—234.
- [6] Todd, S. P. , 1989, Stream—driven, high—density gravelly traction Carpets, possible deposits in the Trabeg Conglomerate Formation, SW. Ireland and some their tectonic considerations of their origin. *Sedimentology*, Vol. 36, p. 513—530.

Sedimentology and Environment of Carbonate Gravity Flows on the Wester Margin of Lower Triassic. Sichuan Basin.

Zhao Yongsheng Wang Duoqi Hu Zhishui

(Chengdu Institute of Technology)

Abstract

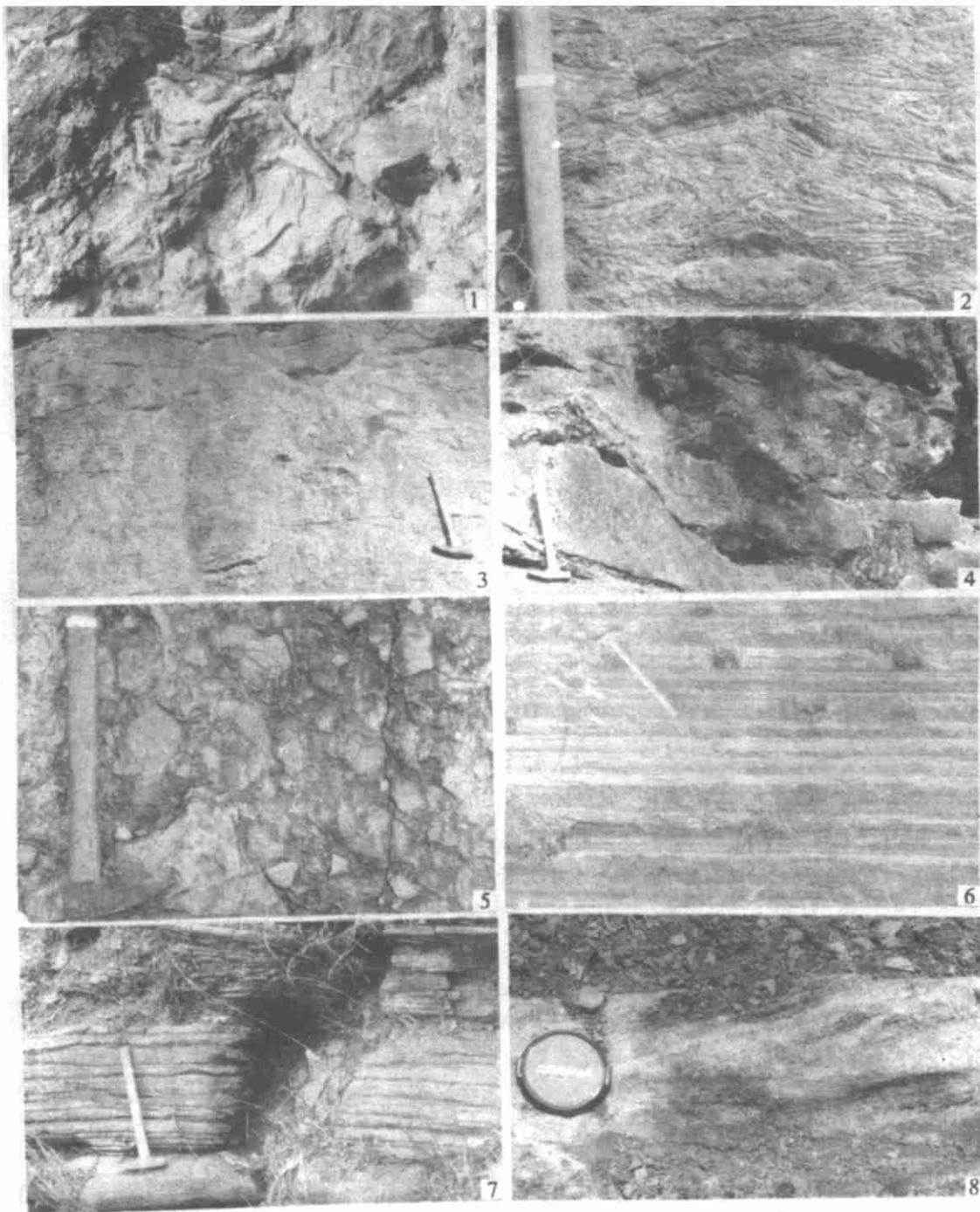
Deposits of carbonate gravity flows on the western margin of Lower Triassic Sichuan basin may be divided into two parts: debris current and turbidity current.

Debris current deposits mainly consist of four kinds of calcirudites with 1. horizontal structure (type A), 2. graded structure (type B), 3. disorder fabric (type C), 4. matrix supported (type D). Turbidity current deposits are composed of 1. calcarenite for low density current, 2. contain calcirudite calcarenite for high density current. Distribution frequency curves of carbonate gravity flow deposits may be classified into four groups. It's importantly dissuaded differing from curves of debris and turbidity current and varying with their characteristic parameters.

Association sequences of gravity flow sediments may show origin and evolution of gravity flow deposits. The association sequences are as follows: 1. association with debris flow deposits and micritic limestone in half—deep water environment. 2. association with cohesive debris current (type D) and turbulent debris current (type A B C). 3. association with debris current and turbidity current deposits. 4. complex association with calcilutite—debris current—turbidity current—calcilutite deposits.

It's studied that paleo—slope is along northeast—southwest. It dips to the southeast. direction of gravity flow is from northwest to southeast. Its slope angle is about 2—9. Gravity flow deposits have linear distribution. It's non—water channel gravity flow deposits controlled by a marginal growth fault on the background of platform geosyncline.

Key Words Carbonate gravity flow paleo—slope angle Lower triassic epoch
Association sequence Evolution and model of gravity flow.



图版 1-1. 变形构造, 垮塌成因; 图版 1-2. 具有一定组构的砾屑灰岩, 碎屑流; 图版 1-3. 具反粒序层的砾屑灰岩, 碎屑流; 图版 1-4. 具正粒序层理的砾屑灰岩, 碎屑流; 图版 1-5. 具杂乱组构的砾屑灰岩, 碎屑流; 图版 1-6. 具纹层状泥灰岩, 浊流; 图版 1-7. 具粒序层理、水平层理, ABE 组合, 浊流; 图版 1-8. 具大型交错层理砂屑灰岩, C 段, 浊流沉积, 油坊里砖厂。