

关于碳酸盐岩滑动流及其沉积特征的探讨

王一刚

(石油工业部四川石油管理局)

黔南桂西早三叠世斜坡相沉积物中,各种类型的碳酸盐岩重力流沉积物非常发育。其中常常见到与颗粒流、泥石流沉积物的结构、构造迥然不同的粗碎屑重力流沉积物。这类沉积物灰泥基质含量极少,砾石含量高,分选极差,具有明显的颗粒长轴定向组构和一系列滑动沉积标志。这些特征表明,沉积物既不是由颗粒碰撞产生的分散应力起支撑作用的颗粒流产物,也不是由具有一定强度的灰泥基质起支撑作用的泥石流沉积物。作者通过十余条剖面,数十个点的野外观察和室内分析实验,认为它应该是由少量灰泥基质在砾间起“润滑减阻作用”,砾石之间相对滑动,使沉积物发生块体流动的结果。按照G·V·米德尔顿和M·A·哈普顿流动机理的成因分类原则,作者将这类重力流沉积物命名为滑动流沉积物。

1. 滑动流沉积物的岩石学特征

由滑动流形成的角砾灰岩,其砾屑、基质成分与泥石流沉积物大同小异,但砾基比含量不同。一般砾石丰度为90%左右,灰泥基质含量仅10%左右。砾石成分主要有两种:来自周缘碳酸盐台地浅水成因的灰岩砾屑,大小极为悬殊,形状不甚规则,有时砾径可达30米以上。在罗甸、边阳,这样巨大的砾岩块,曾被误认为巨厚的“亮晶鲕粒灰岩”;来自斜坡深水成因的砾石,多呈板条形,砾径2—10cm,部分可达10—25cm。砾石长轴定向,顺层密集排列,形成明显定向组构。下部砾石密集处,砾间呈镶嵌缝合接触(图1)。

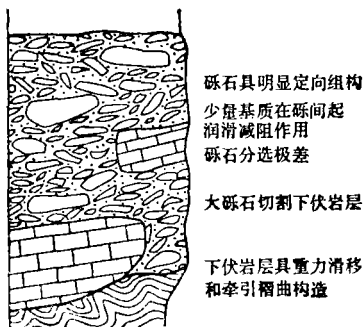


图1 滑动流层序特征图

滑动流沉积物下部,往往出现截切构造,小者十几公分,大者数十米,切割深度达1—5米。滑动流下伏薄层泥灰岩受重力滑移、剪切作用改造,形成重力滑移挠曲构造及倒转褶曲。褶曲轴面倾斜方向指向滑动方向。在野外,对滑动流沉积物纵横向追索,往往可看到由成层性很好的岩层→岩层层理形变挠曲→岩层破裂解体→具碎屑组构的滑动流沉积物以及泥石流沉积物(图版II 1—6)。这是一个由滑坡→滑动流→泥石流沉积物连续渐变的过程。滑动流沉积物厚度较大,一般为数米,有的可达数

十米，多呈厚块状，以透镜体或楔形体产出。

碳酸盐岩滑动流沉积物正态概率粒度分布图的特征，基本上类似于泥石流沉积物（图2）。但滑动流沉积物的粒径分布频谱更宽，分选更差。其罗辛分布表现为一个或二个直线段，反映出滑动流形成于岩层垮塌，破裂，在运动过程中尚未受到完全、充分的改造的成因特点。

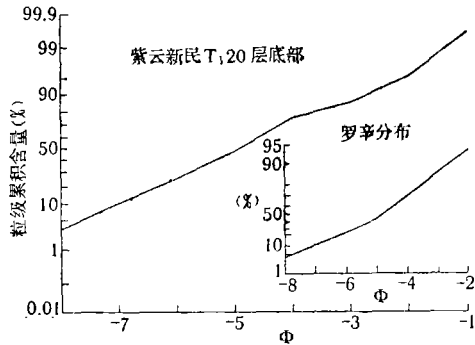


图2 滑动流沉积物正态概率分布和罗辛分布特征图

2. 滑动流流动支撑机理探讨

上述重力流沉积物在野外往往被划为泥石流沉积物。然而这类沉积物中仅10%左右的灰泥基质，要托浮起90%的砾石，或直径达数十米的巨大角砾岩块，形成由基质支撑流动的泥石流，令人难以想象。作者根据碳酸盐岩泥石流的钙质泥浆静态托浮能力实验结果，对基质托浮能力进行定性计算，认为这是不可能的。

某一物体要在静止塑性液体中保持悬浮，必须使阻止物体下沉的力量等于其重量。阻止物体下沉的力可以分为两个部分：

阿基米德原理产生的浮力；液体作用于物体浸没表面的切力。因此，欲使一 体积为V，浸没表面积为S，比重为r₁的岩块，在比重为r₂，静切力为τ的基质中悬浮，必须满足下式：

$$Vr_1 = Vr_2 + S\tau \quad \text{即：岩重} = \text{浮力} + \text{总切力}$$

$$V = \frac{S\tau}{r_1 - r_2} \dots\dots\dots (1)$$

- 式中：V—岩块体积
- S—岩块浸没表面积
- r₁—岩块比重
- r₂—基质比重
- τ—基质静切力

可见，当τ、r₂越大时，能悬浮起的物体越大；当物体很小，比面很大时，切力作用很显著。但是，当悬浮物体相当大时，作用在物体表面积上的切应力较之于浮力是很小的。此种情况与浮于静水中时，遵守阿基米德定律情况相似。而塑性液体的比重与其中固体分散相的数量有关。实验室中配制的用钙质或粘土质作基质的泥浆，当固体物质占50%时，其比重都低于1.40克重/立方厘米。假设CaCO₃灰泥比重为2.6克/立方厘米，形成浓度为80%的塑性液体基质，可求得其比重为2.28克/立方厘米。此时，若要悬浮一个长一米，宽一米，高0.5米，比重为2.7克/立方厘米的板形灰岩块，代入（1）式得：

$$\begin{aligned} & (100 \times 100 \times 50) \text{ cm}^3 (2.7 - 2.28) \text{ 克重/cm}^3 \\ & = 2 (100 \times 100 + 2 \times 100 \times 50) \text{ cm}^2 \tau \end{aligned}$$

得： τ = 5.25克重/cm² = 5250毫克重/cm²

即需要基质具有高达2520毫克/平方厘米的静切力，才能达到悬浮该灰岩块的要求。

对于一个 $(10 \times 10 \times 5) \text{ cm}^3$ 的灰岩块，在同样条件下使其悬浮，也需要 525 毫克/cm^2 的切力。而实际上，在水下环境中，基质浓度较低的情况下，要达到如此高的切力，是不可能的。因此，很大的砾石要在很少基质中悬浮是不可能的。

M·A·哈普顿指出(1979)：在泥石流情况下，当基质中含有细粒碎屑物时，其密度的增加将使基质的托浮能力增加。如果在这种情况下考虑悬浮体积为V的物体，此时有：

$$Vr_1 = Vr_1C_1 + Vr_2(1 - C_1) + S\tau_s$$

即：岩块重 = 排开细屑重 + 排开泥浆基质重 + 总切力

$$Vr_1 = Vr_1C_1 + Vr_w(1 - C_1)(1 - C_2) + Vr_3C_2(1 - C_1) + S\tau_s, \dots \dots \dots (2)$$

即：岩块重 = 排开细屑重 + 排开水重 + 排开泥浆基质重 + 总切力

式中 r_1 ：岩块和细屑的比重

r_w ：水的比重

r_2 ：水与泥组成之基质比重

r_3 ：泥质的比重

C_1 ：细分散岩屑的浓度

C_2 ：泥质浓度

S：悬浮岩块的浸没表面积

V：悬浮岩块的体积

τ_s ：总静切力

将泥、细屑，水的混合物基质看作统一的塑性流体，设其比重为r则(2)式的简单表达式为：

$$Vr_1 = Vr + S\tau$$

$$V = \frac{S\tau}{r_1 - r} \dots \dots \dots (3)$$

显然，这一表达式与(1)式完全一致。即托浮能力主要取决于基质的比重及其强度。但是，基质当中细屑物质的增加是有限的。显然，即使在10%的泥基质中混入一定量的砂屑，其托浮能力的增加仍然是有限的。对于野外所观察到由重力流形成的含极少量灰泥基质的角砾灰岩，其极有限的基质是不能托浮起众多的砾石和巨大岩块形成的泥石流运动的。对大陆泥石流的观察表明：泥石流中的大砾石在搬运时都有滚动，滑动，向泥石流前峰及边缘集中的现象。因此，这些原来被划分为“泥石流”(岩屑流，碎屑流)沉积的砾岩，在搬运流动时，必然还有其它流动支撑机理发生作用。砾石分选极差，具明显的定向结构以及一系列滑动沉积标志，也否定了颗粒碰撞支撑机理的作用。作者认为这类沉积物是由少量的泥基质在砾间起“润滑减阻作用”，砾石在重力作用下，沿着许多个剪切面相对滑动，从而使整个沉积物块体流沿着斜坡向下方流动，在深水中沉积的结果。据此，作者称这类沉积物为“滑动流沉积物”。

3. 滑动流成因探讨

由少量泥基质在砾间起“润滑减阻”作用而形成的滑动流沉积物，可以在不同的斜坡上出现。据报导，大陆斜坡上重力滑坡、滑塌现象非常普遍。大陆斜坡上的碳酸盐沉

积物主要是薄互层状的泥晶灰岩、钙质泥岩和泥质灰岩。这些岩层本身具有可塑性的差异。当其堆积在陡峻斜坡上，处于半固结或弱固结的不稳定状态时，在地震、海啸等地质营力作用下，将发生滑动、滑移。当剪切力小于滑动的斜坡岩层内部抗剪强度时，岩层未破碎，仅发生扭曲，形变，形成滑移挠曲构造；当滑动继续，剪切力超过了岩层内部抗剪强度时，岩层破裂解体，出现碎屑结构，层内开始发生流动。一般固结较快、可塑性差、较为坚硬的泥晶灰岩等岩石，破碎呈板条状砾石。而可塑性较好的泥岩，钙质泥岩，易遭受水化作用形成基质，在砾间起“润滑减阻作用”，使砾石在重力作用下作相对运动，形成块体流。与此同时，块体流对下伏层的切割，形成大小不一的截切构造。被截切或剪切破裂的岩块，又进一步为重力流提供物源，壮大了重力流的规模。砾石在继续流动的过程中，也可能伴随有翻转、滚动。但大多数砾石以滑动为主，同时发生有限的转动，使其长轴平行于流动的下坡方向。也可能发生砾石大头朝下，处于流动阻力最小状态，形成明显的砾石定向组构。这些具高粘性的沉积物重力流——滑动流，沿着斜坡向下流动，如果坡度减缓，滑动流沉积物发生块体沉积。

碳酸盐岩台地边缘不稳定因素，也可造成岩层的滑坡，滑移，形成滑动流。来自台地上浅水成因的砾石，呈不规则的厚板状、近等轴状，与滑动成因的砾石混杂堆积作定向排列。其中巨型角砾岩块，主要是在滑动流流动支撑机理作用下，借助于斜坡，沿底部向下流动的。

由于滑动流沉积物灰泥基质含量极低，颗粒之间易形成点接触，当沉积物堆积下来被埋藏之后，上覆层的压应力集中在点接触处，从而优先产生压溶作用，使得滑动流沉积物的砾石往往形成压溶缝合镶嵌接触。另外，在其它重力流沉积物底部也常出现具滑动流特征的沉积物。泥石流底部常常出现由板条状的泥晶灰岩，泥质灰岩砾石密集顺层排列所显示的定向组构，表现出滑动流流动沉积的特征；上部则灰泥基质逐渐增加，砾石随机地分散在基质中，表现出泥石流沉积的特征。二者在纵向上连续沉积，逐渐过渡（图3）。

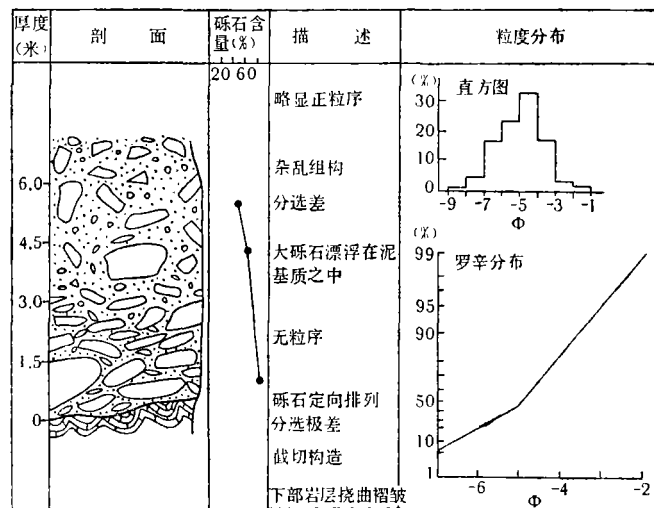


图3 碳酸盐岩滑动流—泥石流沉积物纵向组合层序图

G·V·米德尔顿指出：“由泥石流搬运的固体颗粒是处于分散状态中的，但是颗粒也可能通过滚动，沿底床载荷发生牵引作用，这种作用常不清楚。”R·G·沃克在讨论基质支撑的泥石流沉积的纵向层序时指出：“泥石流底部可能有发育的优先组构。”根据上述作者们描述的泥石流底部所出现的“牵引作用”“发育的优先组构（迭瓦状或成行排列）”的沉积特征，笔者认为可能是滑动流沉积物。

从A·M·约翰逊对泥石流提出的理想流变模型（图4）中，可清楚地看到：泥石流的运动实质上可以分为两个部分。因为块体流底部层流部分的剪切作用大，基质受剪切作用后，强度降低，较粗大的巨砾岩块和粗砾聚集在底部。极少量基质在砾间起润滑减阻作用，使砾间相对运动，形成滑动流。较强的剪切作用使滑石发生有限的转动，形成定向组构。上伏刚体运动部分，剪切应力小于基质强度，砾石随机分散在基质中，形成泥石流的块体流动。块体流动中，较强的基质强度使砾石呈杂乱组构。笔者认为，具刚体运动性质的泥石流，

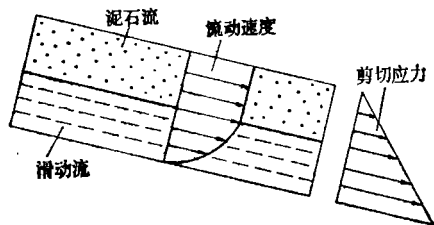


图4 滑动流—泥石流流动示意图
（据Johnson流变模型图修改1970）

在一定程度上是借助于底部滑动流的运动而整体滑动的。

由上述滑动流成因探讨可知，滑动流沉积物是介于滑坡，滑塌与泥石流运动之间的重力流沉积物。它常与泥石流沉积物形成过渡关系。大量实际工作表明：滑动流主要发生在靠近碳酸盐岩台地边缘的斜坡地区，或者是较陡的斜坡地带。因此，碳酸盐岩滑动流沉积物往往成为台地边缘斜坡地区的相标志。

作者在野外工作中，得到了贵州省测队同志的大力协助，在此深表感谢。

（收稿日期：1983年9月21日）

参 考 文 献

- [1] Middleton, G. V. and Hampton, M. A., 1973, Mechanics of flow and deposition, turbidites and deep water sedimentation, P1-37, SEMP Pacific Section Short Course.
- [2] 希辛柯.P.N.(苏), 泥浆水力学(中译本), 石油工业出版社, 1957年.
- [3] 黄汉仁、杨坤鹏、罗平亚, 泥浆工艺原理, 石油工业出版社, 1981年.
- [4] Hampton, M.A., 1979, Buoyancy in debris flows, Jour. Sed. Petrology, V.49, No.3, P.753-758.
- [5] 约翰逊A.M.(美), 地质学中的物理过程(中译本), 科学出版社, 1983年.

DISCUSSION ON SLIDING FLOW OF CARBONATE AND ITS DEPOSITIONAL CHARACTERISTICS

Wang Yigang

(The Petroleum Administration of Sichuan,
Ministry of Petroleum Industry)

Abstract

There develops a suit of conglomeratic carbonate sediments of gravitational flow origin in the slope facies zone of the early Triassic from southern Guizhou to western Guangxi. This kind of sediments contains a little calcareous clay matrix and pressolution phenomena are developed among the gravels. The sorting of the gravels is poor and the grains are orientationally arranged indicating sliding sedimentation. Judging from the facts observed in the fields and the results of laboratory experiments, we come to a conclusion that this kind of sediments must be resulted from massive flow caused by the sliding among gravels owing to the "lubricating and resistance reducing" effects of the small amount of calcareous mud matrix. On this basis, it is inferred as sediments of sliding flow and a preliminary study has been made on the origin and the supporting mechanism of the sliding flow. This paper also proposes that the carbonate sediments of sliding flow is a special indicator of carbonate slope facies.

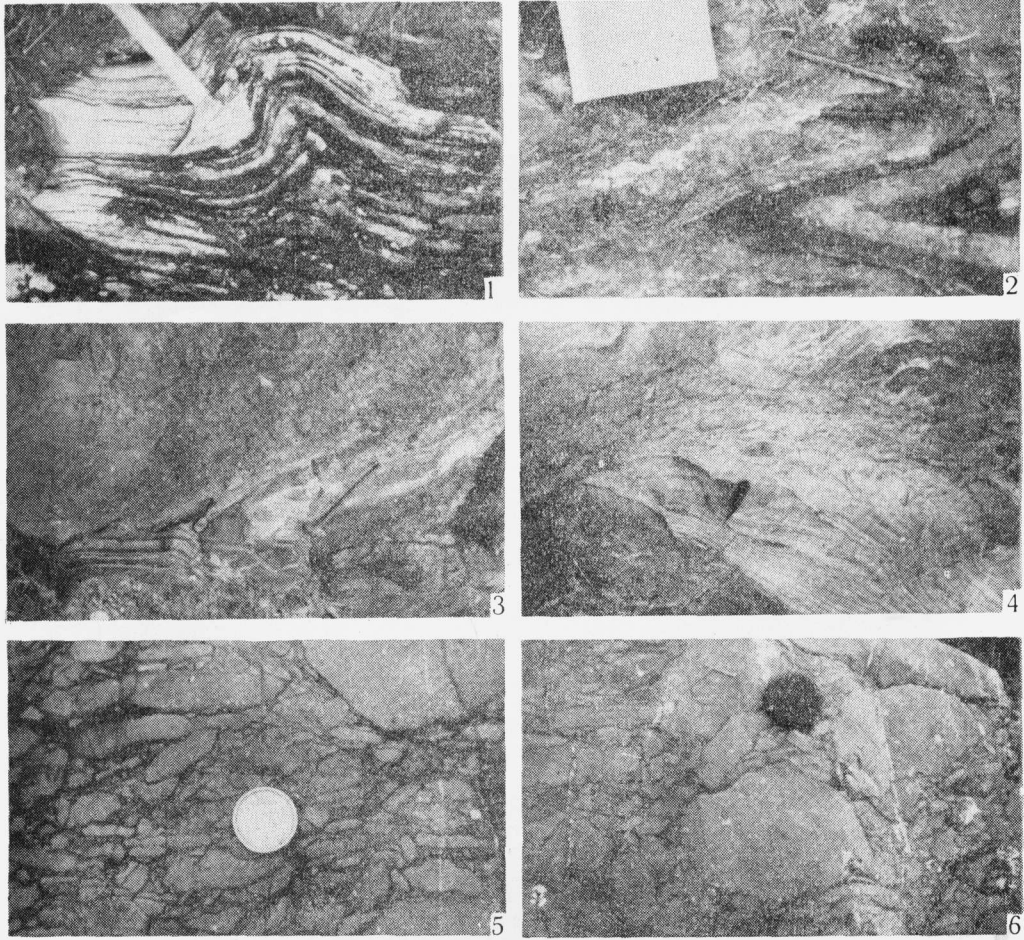


图 版 说 明

1. 滑动流下伏岩层的重力滑移挠曲构造
2. 重力滑移挠曲褶皱，其轴面倾斜方向指向滑动方向
3. 截切构造
4. 岩层解体，呈碎屑状加入重力流中形成块体流动
5. 滑动流沉积物底部含极少量灰泥基质，砾石具明显长轴定向组构
6. 最终形成泥石流沉积物