

甘肃夏河麻隆沟二叠纪毛毛隆组 沉积特征及环境分析^①

赵江天

(西安地质矿产研究所)

杨逢清

(中国地质大学, 武汉)

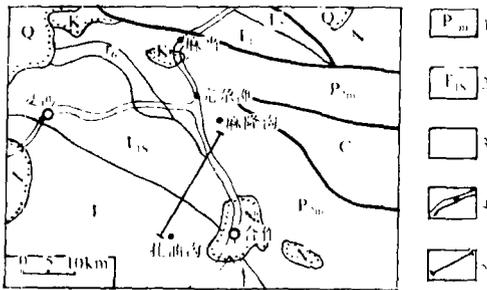
提要 本文详细分析了该组沉积物的物理特征、地球化学特征、以及古生物特征, 认为毛毛隆组是一套具有斜坡沉积特征的沉积物, 是在沉积盆地不断裂陷的环境中形成的。

关键词 毛毛隆组 沉积环境 斜坡 沉积特征

第一作者简介 赵江天 男 25岁 研究实习员 沉积学与地层古生物学

麻隆沟位于甘肃省甘南藏族自治州夏河县东部, 沟内二叠纪地层发育良好, 但对该地层的

时代和沉积环境的确定, 一直是西秦岭地区基础地质研究的一个热点。近年来, 冯益民等 (1980)、左国朝等 (1984) 先后对此做过研究。前者认为该地层中砾屑灰岩是与板块俯冲带有关的混杂堆积, 其时代应为早、中三叠世; 后者则认为该地层应属浊流沉积和急滑坡沉积, 其中的砾屑灰岩是急滑坡沉积中的环大陆架碎石堆和灰岩质砾岩急滑坡层, 这些沉积岩具大陆被动边缘上的沉积特征, 与混杂堆积迥然有异, 其时代属二叠纪。殷鸿福等 (1989)^② 据在其上覆连续地层中采获早三叠世早期的标准化石双壳类 (*Claria cf. griesbachi*, *C. cf. stachei*) 以及该组重力流成因的砾屑灰岩中所含化石, 时代最新的为晚二叠世早期, 认为该段地层的



1.二叠系毛毛隆组 2.下三叠统山岭群 3.断裂

4.扎油沟—麻隆沟实测剖面 5.公路

图1 甘肃夏河麻隆沟剖面位置图

Fig. 1 The location map of Malonggou section in Xiahe, Gansu

①国家自然科学基金资助项目课题 (项目名称: 川甘青边境印支期大陆边缘的生态、地层学研究)

②秦巴地区三叠纪地层古生物群的研究, 殷鸿福等, 1989

时代属早二叠世晚期至晚二叠世,更偏向于晚二叠世,并以毛毛隆组为这段地层的岩石地层单位名称(图1)。

b 早二叠世晚期至晚二叠世是古秦岭海槽开始裂陷的时期,因此,详细研究这一时期的沉积特征和环境,对了解整个西秦岭沉积盆地的演化、印支期构造发展史、和沉积矿产的成因及分布规律都有极重要的理论意义和实际意义。

一、沉积特征

沉积特征是指沉积物的无机特征和有机特征。有机特征即生物及生物活动所留下的痕迹;无机特征主要包括沉积物的物理特征及地球化学特征。下面分述这三个方面的特征。

(一) 物理特征

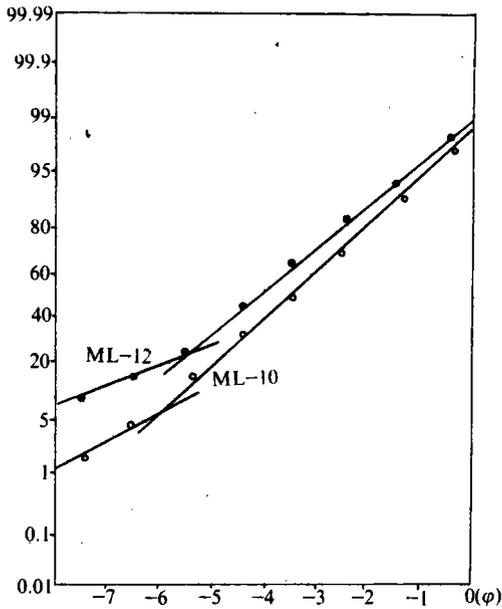
毛毛隆组的岩石沉积类型有以下四种。

1. 碳酸盐重力流沉积

发育于毛毛隆组的下部,在麻隆沟剖面上共出现4层,又可再分为:

(1) 碎屑流沉积 即砾屑灰岩(图版 I, 6), 单层厚 0.7—6.2m. 砾屑形状不规则, 大小不一, 分选性和磨圆度较差. 角砾含量在 90% 以上, 向上略有变少的趋势; 长形角砾略具方向性排列. 碎屑成分复杂, 以碳酸盐角砾为主, 含少量砂岩、泥岩角砾. 碳酸盐角砾成分为: 泥晶灰岩、微晶灰岩、生物碎屑灰岩(图版 I, 4) 以及角砾灰岩, 其中生物碎屑灰岩的角砾含量在 50% 左右, 所含生物化石如蜓类 *Verbeekina* sp., *Parafusulina dowillei*, *Neoschwagerina craticulifera* 等, 非蜓有孔虫 *Pseudoglandulina* sp. 等, 珊瑚 *Szechuanophyllum szhuansis*, *Liangshanophyllum* sp. 等, 腕足类 *Leptodus* sp., *Martinia distefanoi*, *Squamularia* sp. 等, 双壳类 *Aviculopecten* sp. 等, 其组合面貌为典型的碳酸盐台地型. 砾屑灰岩底面未见有磨蚀底床的痕迹。

在砾屑灰岩中含有少量巨大生物碎屑灰岩的角砾(图版 I, 1), 砾径从十几米至上千米. 这种巨砾有人认为是混杂堆积, 有人认为是滑塌岩块. 经笔者对巨砾



(ML-12, ML-10 为地层层号)

图2 麻隆沟剖面碳酸盐碎屑流
典型概率累积曲线图

Fig. 2 The normal-probability plot of the
typical carbonate debris of Maomaolong Sec.

的观察, 有以下特征: ①它们都位于砾屑灰岩中, 底部未与基岩直接接触; ②在其下伏地层中已出现碎屑流沉积. 因而, 此处的巨形砾石是碎屑流的一部分, 而非混杂堆积或滑塌岩块。

上述碎屑流的概率累积曲线(图 2)为典型的两段式,基本由悬浮总体组成,有少量跳跃总体。粒度范围变化较大,从小于 -8ϕ — $>0\phi$ 。按照萨胡判断浊流和河流环境的线性多元综合判别公式,计算出 Y 值在 0.9461—1.0297 之间,与高振中等(1983)计算出的碎屑流 Y 值(-1.4859—1.2079)一致。

毛毛隆组下部的砾屑灰岩属近台地边缘的高密度碎屑流沉积,形成较粗的砾屑灰岩,向上砾石含量减少,逐渐向低密度碎屑流沉积过渡。

(2) 浊流沉积 与碳酸盐碎屑流相伴生,具不完整的鲍马序列,只发育有 A、B 段,厚度在 0.6m 左右。A 段为含砾砂质灰岩,砾石分选性和磨圆度中等,排列具定向性,呈递变层理;砾石大小在 0.6—6cm 之间。B 段为具平行层理的砂质灰岩。

此浊流沉积是其下伏碳酸盐碎屑流沉积稀释的结果,代表一次碳酸盐重力流的后期产物。

2. 陆源碎屑重力流沉积

亦可分为三种类型。

(1) 碎屑流沉积 出现在毛毛隆组的中下部,共 4 层。位于砾屑灰岩之上,较为集中,岩性为砾岩,角砾含量 60—70%,其中石英质角砾约占 80%,其余为泥岩、页岩。石英质角砾磨圆度较好,分选性中等;泥岩、页岩角砾形状不规则,多为长条状,大小不一,最长可达 17cm,有扭曲、揉皱、撕裂等现象,略具方向性。基质含量从下部向上部逐渐增多,最高达 40%。此碎屑流从下至上逐渐从高密度流向低密度流过渡。

石英质砾石磨圆度较好,说明它在进入新环境沉积之前,曾在高能环境中停留过一段时间,明显受到过改造,为再沉积的产物,其物源可能是大河河口的三角洲,或砂质海滩;而泥岩、页岩角砾分选性、磨圆度较差,有扭曲、揉皱、撕裂等现象,是斜坡上半固结或刚固结的沉积物,受重力影响,随碎屑流一同沉积。

(2) 浊流沉积 陆源碎屑浊流沉积在本区最为发育,大约占毛毛隆组总厚度的 50% 以上。上述的碳酸盐重力流及陆源碎屑碎屑流均以透镜体或似层状产于大面积浊流沉积的砂、板岩中。

浊积岩具完整的鲍马层序, A 段为含砾砂岩,具明显的正递变层理。又可分成二种类型:一种与碎屑流呈过渡关系,厚度较大,砾石含量较多;另一种单独出现,与下伏岩层呈突变关系,底面可见冲刷面(图版 I, 2),厚度较小,具沟模、槽模,并具方向性。B、C、D、E 段分别为具平行层理的岩屑石英砂岩;具微波状交错层理的粉砂岩、细砂岩;具水平纹层的粉砂质板岩、粉砂岩;均一块状的深灰色、黑色泥岩。浊积砂岩在镜下常见含斑性(图版 I, 3),颗粒有时具定向性排列(图版 I, 5)。

在纵向上,麻隆沟毛毛隆组下部(36 层以下),浊积岩具有较完整的鲍马层序,发育有 ABCD 或 BCDE 段组合,岩石泥基质含量较多,向上缺少粗粒砂岩,变为 CD 或 DE 段组合,岩石泥基质含量减少。E 段在整个剖面上只偶然能见到。这是浊流沉积不断远离源区,并由高密度流向低密度转变的体现。

浊流沉积的概率累积曲线为一段式的简单线图(图 3),由单一的悬浮总体构成。粒度范围在 -1ϕ — 4ϕ 之间。Y 值 5.23—7.78,小于 9.8433。

(3) 颗粒流沉积 目前只在麻隆沟毛毛隆组的 19 层发现,单层厚 18cm,为粗粒岩屑石英砂岩,砂屑主要为石英质颗粒,磨圆度、分选性中等,粒径 0.4—1.9mm,下部略具反向递变层理,向上直接被浊积岩 C 段所覆盖。

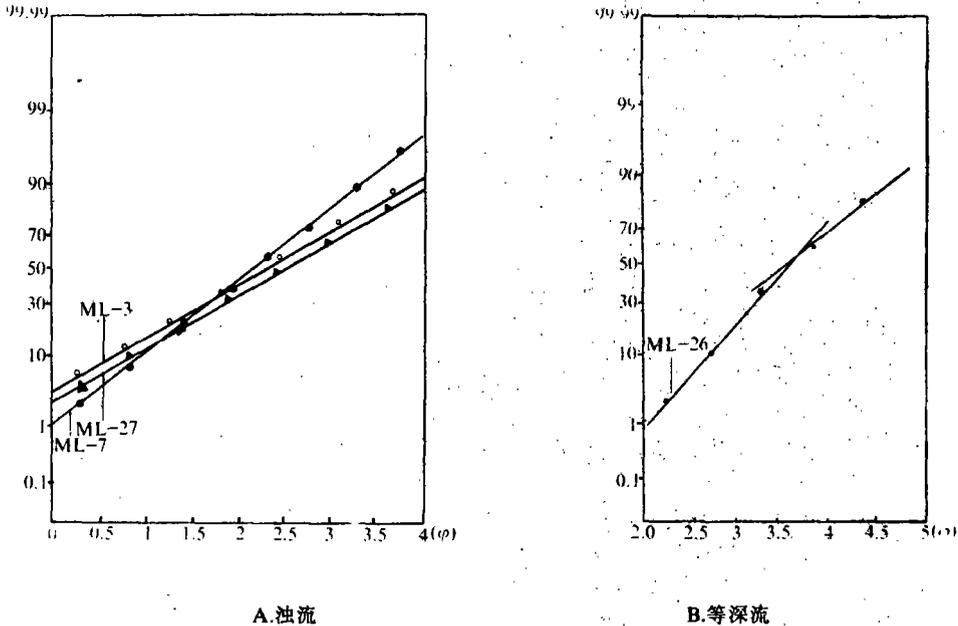


图3 麻隆沟剖面陆源碎屑浊流、等深流典型粒度概率累积曲线

Fig. 3 The normal-probability plot of the typical continental clastic turbidite and contourite of Malonggou Section

3. 非重力流正常深海沉积

岩性为大套的深灰色粉砂质板岩，主要集中在毛毛隆组上部，单层厚度一般小于0.5cm，偶尔可见细的水平纹层，并有黄铁矿细晶。正常深海沉积的板岩中，无规律地夹有浊流沉积的C、D段。

4. 等深流沉积

位于毛毛隆组中部，在下卡加一带也有发现。此沉积的发现再次证实了西秦岭地区二叠系中等深流沉积的存在。等深流沉积是大陆斜坡（被动大陆边缘）沉积环境的一个重要特征。下面以麻隆沟毛毛隆组第26层的等深积岩为例，分析等深流沉积的特征。

此层位于两套陆源碎屑沉积岩之间，岩性为灰色薄层粉砂岩、粉砂质板岩。水平纹层较为发育，单层厚1.5—6cm，岩层顶、底面较为清晰，无垂向序列及水流变化粒级。粉砂岩镜下观察为少泥颗粒支撑，主要为石英颗粒，颗粒分选性、磨圆度中等偏好（图版I，8）。板岩内含遗迹化石，顶面发育有水流波痕，经测量，恢复其古水流方向为 97° — 107° ，与浊流的古流方向（ 320° — 340° ）近于垂直。

概率累积曲线呈两段式，由跳跃总体和悬移总体组成（图3）；其粒度范围在 5.0 — 2.0ϕ 之间；Y值为6.041。这些均显示较深水、低流速、连续、稳定的牵引流沉积特征。

毛毛隆组等深流沉积物是受等深流改造的浊流沉积物，其总体特征（表1）与广西钦州盆地志留纪—中泥盆世等深流沉积较为相似，与Stow等（1979）和Faugeres等（1984）所总结的加拿大诺瓦斯科舍和地中海等地的等深流沉积特征也较为一致。

表 1 麻隆沟毛毛隆组等深积岩特征对比表

Table 1 The comparison of characteristics of the contourites of Maomaolong Fm.

文 献 项 目	浊积岩 (Hollister 等, 1972)	等深积岩 (Faugeres 等, 1984)	麻隆沟毛毛隆组 等深积岩 (本文)
层面界限	渐变面	突变面	顶、底界面均为突变
粒序	正粒序	无水流变化粒级	无
遗迹化石 产出状态	在层面、渐断	遗迹化石在层内、连续	层内、连续
沉积构造	各种底模、重荷模发育, 包卷和滑塌构造多见, 水平纹层仅出现于单层上部	水流波痕, 水平纹层可发育层内各个部位	层面具波痕, 层内见水平纹层
砂岩单层厚度	10-210cm	< 5cm	1.6-6cm
垂向序列	鲍马序列	无	无
砂岩粒度 统计特征	分选中-差, $\delta_1 > 1.5$, 砂-粉砂或更粗, 正偏	中-好, $\delta_1 < 1.75$, 极细砂-粉砂, 负偏	中等偏好, δ_1 为 0.748, 极细砂-粉砂, 近对称
杂基 (< 2 μ m)	10-20%	0-5%	< 10%
悬移载荷	0-10%	8.16%	< 40%
跳跃载荷	< 70%	79.36%	60%
化石	常见, 按粒度保存, 种属杂	少见, 通常破碎, 底栖和浮游类为主	仅见少量遗迹化石

(二) 地球化学特征

麻隆沟毛毛隆组内, 进行了三个化学成分全分析和四个光谱半定量分析测试. 在样品选择上, 笔者主要选用了非重力流的正常深海泥质岩, 其 SiO_2 和 Al_2O_3 的含量较高, 与现代深海粘土和硅质软泥在主要化学成分较为相似; 而 $\text{TiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$ 比值从下部 8 层到上部 36 层, 由 0.042→0.037→0.033 逐渐变小. 据 Schmitz (1988) 的研究, 比值的不断变小说明沉积环境不断远离陆源区和水在不断的加深.

毛毛隆组的部分元素与代表盆地沉积环境的剖面上部山杂岭群下部的部分元素平均含量相比, 毛毛隆组中 Cu、Zn 含量较高, 而 Cr、V、Na、Mn、Be 含量较低. 这些元素的含量与 Cronan (1977) 所分析的现代大洋中深海粘土以及金若谷 (1987) 所分析的四川广元上寺二叠系—三叠系界线附近的斜坡沉积物中的化学元素含量基本相似.

(三) 生物特征

毛毛隆组内复理石相遗迹化石比较发育, 主要产于上部的浊积岩 D、E 段. 可以建立 *Neonereites-Protopaleodictyon* 遗迹组合 (简称 NP 组合), 此遗迹组合中, 在 0.36m² 的岩层层面上, 牧食迹占 65%, 觅食迹占 20%, 耕作迹占 15%; 如以属、种数计算, 牧食迹和觅食迹分别占总属、种数的 40%, 耕作迹占 20%. 因此, NP 组合中以牧食迹和觅食迹为

主, 其中绝大多数遗迹属是欧洲、美洲、日本以及我国复理石相中的常见分子, 缺乏浅水中常见的滤食动物的居住潜穴、停息迹和爬行迹, 由此可大致归于 Seilacher (1963) 所划分的 Nereites 遗迹相. Ekdale (1977) 研究认为, 具有上述组合特征的遗迹组合属浊流远端斜坡脚的组合特征.

二、环境分析

(一) 古斜坡的确定

据物理、化学、生物等特征的分析, 毛毛隆组是在早二叠世晚期至晚二叠世时在斜坡环境下沉积的(图4). 由于古秦岭海槽的不断开裂, 沉积盆地不断下陷, 至晚二叠世晚期发展至斜坡脚—盆地沉积环境.

斜坡沉积中发育有碳酸盐重力流沉积、陆源碎屑重力流沉积、非重力流正常深海沉积和等深流沉积. 其中等深流沉积是斜坡沉积环境的一个强有力的佐证. 在麻隆沟北部, 完尔滩和麻当一带, 在二叠纪地层中由滑塌岩块组成的环大陆架碎石堆十分发育, 这也是斜坡环境的又一佐证, 同时也说明, 当时北部完尔滩、麻当一带比南部麻隆沟、下卡加一带更靠近台地边缘. 二叠纪复理石相的 NP 遗迹组合和地球化学特征也都表明了毛毛隆组是在斜坡沉积环境下形成的.

毛毛隆组内的斜坡沉积环境也是不断演变的, 这一点除了上述地球化学特征演变可以证实外, 还可从以下三个方面得到证明: ①沉积类型从下往上发生变化, 碳酸盐重力流仅出现在毛毛隆组的 12 层以下; 陆源碎屑碎屑流则出现在 24 层以下; 而非重力流正常深海沉积主要出现在 36 层以上. ②砂岩、板岩比值下部的 12 层为 4:1; 36 层以上为 1:4. 浊积岩平均层厚在 36 层以下为 9.8cm, 而到 36 层以上(含 36 层)为 3.9cm. ③组内不同部位的鲍马序列组合也不同, A 段只出现在 24 层以下; 25 至 35 层之间以 BCD 段组合为主; 36 层以上则以 CD、DE 段组合为主. 从这些特征变化可看出, 毛毛隆组下部沉积于斜坡中上部, 而上部则处于斜坡下部, 甚至可达坡脚至盆地边缘. 这说明古秦岭海槽裂陷在不断扩大加深.

(二) 古斜坡的倾向

砾屑灰岩中, 某些长形砾石在层面上的排列略呈定向性, 经恢复得出其方向约在 320° — 340° ; 浊流形成的槽模尖端指向经恢复在 320° — 340° 之间, 说明水流方向为东南向; 等深水流波痕陡坡倾向经恢复为 97° — 107° , 与浊流流向近于垂直, 说明当时等深流是沿近东西向流动的.

区内从麻当经完尔滩、麻隆沟至下卡加, 由北向南, 发育于毛毛隆组下部的砾屑灰岩及与之伴随的石英质砾岩层厚明显减薄, 砾石砾径变小. 这些特点均表明该古斜坡向南倾, 属古秦岭海槽北坡.

(三) 古斜坡角

古斜坡角是古斜坡的一个重要特征, 它决定古斜坡的沉积特点. 由下面公式可求出古斜坡角

$$\sin\theta = \frac{D\Delta\rho}{8.8\rho_1 T_{crit}} \quad (\text{贾振远, 1988})$$

三、结 论

通过以上分析可以得出, 甘肃夏河麻隆沟毛毛隆组的沉积特征是斜坡相的生物特征和地球化学特征, 物理特征以陆源碎屑重力流为主, 底部伴有碳酸盐重力流, 中部伴有等深流, 上部出现非重力流正常深海沉积, 构成了古秦岭海槽北坡二叠纪的沉积序列. 反映了当时的沉积环境是从斜坡→深海盆地的演变过程, 显示出一个沉积盆地的发生、发展. 这与当时的板块运动有关, 同时从本区海平面变化和全球性海平面变化(图4)也可以看出, 这也与全球性构造变动是一致的.

通过沉积特征和沉积环境的分析, 表明毛毛隆组下部的砾屑灰岩属滑塌岩块堆积、碳酸盐碎屑流和浊流沉积, 是古秦岭海槽开裂、下陷的产物, 不是板块消减、碰撞所产生的混杂堆积.

本文在编写和野外工作期间, 均得到殷鸿福教授的关怀和指导;《沉积学报》编辑部也对本文提出了中肯的修改意见, 在此特深表谢意!

收稿日期: 1990年3月12日

参 考 文 献

- (1) 左国朝、金松桥、朱伟元, 1984, 沉积学报, 2卷, 3期, 75-81页
- (2) 冯益民、朱宝清, 1980, 地质学报, 54卷, 1期, 34-42页
- (3) 金若谷、黄恒铨, 1987, 古生物地层论文集, 第十八辑, 32-65页
- (4) 高振中、刘怀波, 1983, 石油与天然气地质, 4卷, 1期, 53-65页
- (5) 贾振远, 1988, 石油与天然气地质, 9卷, 2期, 171-177页
- (6) 虞子治、施央申、郭令智, 1989, 沉积学报, 7卷, 3期, 21-28页
- (7) Cronan, D.S., 1977, Geochemical Investigations on Sediments from the Mid-Atlantic Ridge: Leg37, Deep Sea Drilling Project, In: Init. Rpts. Deep Sea Drilling Proj. 37, p.631-632
- (8) Ekdale, A.A., 1977, Abyssal Trace Fossils in Worldwide Deep Sea Drilling Project Cores. In: Crimes, T.P. and J.C. Harper ed. Trace Fossils 2, p.162-182
- (9) Ekdale, A.A., 1978, Trace Fossils in Leg42A Cores, Init. Rpts. Deep Sea Drilling Proj. 42, p.821-829
- (10) Faugeres, J.C. et al. 1984, Contourite Drift Molded by Deep Mediterranean Outflow. Geology, V.12 N.5, p.296-300
- (11) Kolla, V. and Macurda Jr. V.B. 1988, Sea-Level Changes and Timing of Turbidity-Current Events in Deep-Sea Fan Systems. In: Sea-Level Changes-An Integrated Approach. SEPM Special Publication N.42, p.381-392
- (12) Schmitz, B., 1987, The TiO_2/Al_2O_3 Ratio in the Cenozoic Bengal Abyssal Fan Sediments and its Use as a Paleostream, Marine Geology, V.76 N.3, p.195-206
- (13) Stow, D.A.V. and Lovell, J.P.B., 1979, Distinguishing between Fine-Grained Turbidites and Contourites on the Deep-Water Margin off Nova Scotia, Sedimentology, 26, p.371-387
- (14) Stow, D.A.V. 1985, Deep-Sea Clastics: Where are We and Where We Going? In: Sedimentology: Recent Developments and Applied Aspects, ed. by Brenchley, P.J. and Williams, B.P.J. (18), p.67-93

Permian Sedimentary Features and Environmental Analysis of Maomaolong Formation in Malonggou, Xiahe, Gansu

Zhao Jiangtian

(Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources)

Yang Fengqing

(China University of Geosciences, Wuhan)

Abstract

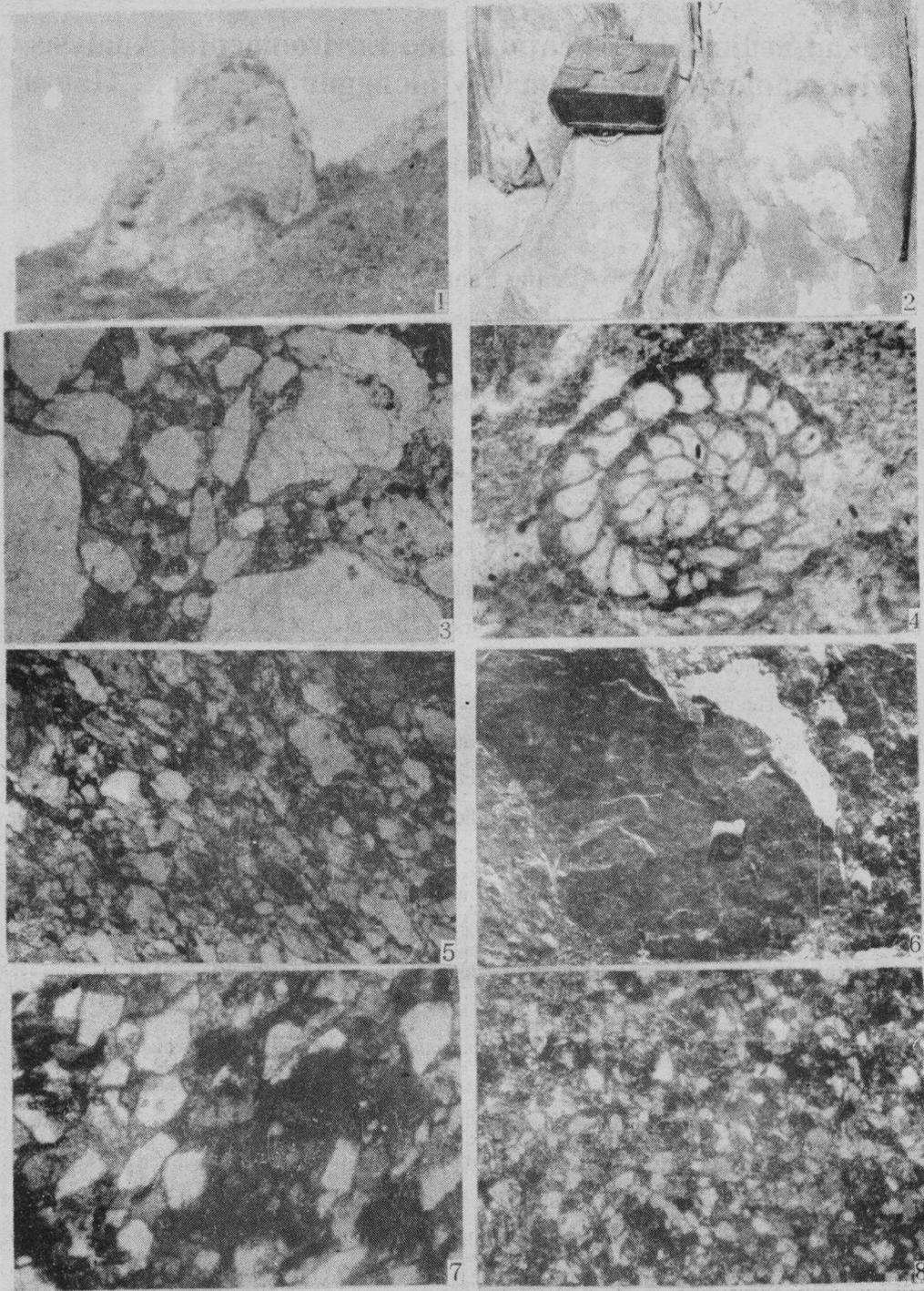
The Permian depositional environment of Maomaolong Formation in Malonggou is hot point in the research of West Qinling Mountains, this paper deals with it in detail and four physical characteristics were distinguished:

1. Carbonate debris and turbidite, consisting of conglomeratic carbonate rock. The turbidite has an incomplete Bouma sequence with graded bedding and parallel stratification. 2. Clastic debris, turbidite and grain flow sandstone, consisting of conglomerate, gravel sandstone, siltstone and slate. The turbidite has a complete Bouma sequence with gutter cast, graded bedding, small hummocky crossbedding and horizontal stratification. The grain flow sandstone has reverse-graded bedding. 3. Contourite, consisting of siltstone and silty slate with horizontal stratification and water-current ripple. The direction of water-current is $97^{\circ} - 107^{\circ}$, being vertical with the direction of turbidite. 4. Normal deep-sea sediments of non-gravity current, consisting of silty slate, and the small horizontal stratification being found occasionally.

Seven chemical compositions of mudstone from normal deep-sea sediments have been determined, they were analysed to be similar to the modern deep-sea sediments. TiO_2 / Al_2O_3 values of Malonggou section decrease with the decrease of depth showing the depositional environment was departing from the continental region.

A trace fossil association of *Neonereites-Protopaleodictyon* was established which has the ecological characters of slope environment.

According to the above-mentioned sedimentary feature, the late Early Permian to Late Permian slope environment of Maomaolong Formation was resumed. The depositional basin continued subsiding with the splitting of Paleo-Qinling trough, and developed to a slope foot-basin environment in late Late Permian. The direction of gutter casts ($320^{\circ} - 340^{\circ}$) and the distribution of the conglomeratic carbonate rock indicate that the slope was inclined to south at that time, belonging to the Northern Slope of the Paleo-Qinling trough. And the angle of the slope was calculated to be 1° or 2° to 18° , and had the tendency of getting smaller in the lower slope.



1. 砾屑灰岩中巨大生物碎屑灰岩砾石 10层 2. 浊流侵蚀面 8层 3. 浊积砂岩的含斑性 单偏光 $\times 25$ 7层
 4. 砾屑灰岩中碳酸盐台地相蜓类化石 单偏光 $\times 25$ 12层 5. 浊积岩颗粒的定向性排列 单偏光 $\times 25$ 19层
 6. 砾屑灰岩 2层 7. 浊积岩中的灰岩岩屑 单偏光 $\times 25$ 18层 8. 等深积岩 正交偏光 $\times 25$ 26层