

浙西皖南晚奥陶世复理石的 沉积环境，兼谈鲍马层序应用问题

夏邦栋 吕洪波

(南京大学地质系)

内容提要 本文研究的复理石具有多种类型的递变层理，有大量波痕，尤其是干涉波痕及浪成波痕发育，古水流方向有双向性，有多级别韵律发育等，说明这一复理石是由波浪、底流、潮流等多种水动力作用叠加而形成的，其沉积环境属浅海直至潮坪。

主题词 浊流沉积 复理石 复式韵律反递变 双向递变 鲍马层序

第一作者简介 夏邦栋 男 55岁 教授 沉积大地构造

浙西皖南是我国早古生代沉积发育极好的地区之一。这里的晚奥陶世是一套厚度达1200余米的复理石。该复理石的标志最早于1959年为关尹文、邱元禧等所认识，并有了较为系统的描述和报道，同时被认为是浅海成因。随后国内有不少地质工作者对这一复理石从不同角度进行了观察研究，均肯定了这一复理石的存在，但对其成因却提出了它是深海浊流沉积的观点。

近年来，笔者对这一复理石进行了再研究。研究结果表明，这一复理石的许多标志，如粒序性、韵律性、底部标志、层内标志、层面标志等确实可同世界上许多典型复理石相比，说明它应属复理石无疑，但是深入观察所得材料表明，其沉积环境颇不像深海，其沉积的水动力主要的不是浊流。本文拟就此问题提出若干事实略陈己见，以期引起讨论。

递变结构类型的多样性

正递变结构被认为是复理石的基本特征和要素，它在这一复理石中普遍存在。但是观察发现，明显的正递变结构除了发育在每一韵律层底部外，可同时存在于该韵律层的其它部位。韵律层底部的递变结构可称为Aa，韵律层内部的可称为Ab。Aa粒度较粗，常为砂或粗粉砂，其厚度较大，常在5—10cm以上；Ab的粒度较Aa为细，常为粉砂，其厚度较小，由数毫米以内到数厘米（图1），其底板可以有规模较小的冲刷面、波状面、印模、遗迹化石的底痕、层内生物挠动或潜穴等。特别有意义的是，厚度极小（数毫米以内）的Ab在同一韵律层内部可以反复或连续出现多次（图版I，1）。

此外，笔者还发现，在这一复理石的韵律层内部，尤其是在粉砂级的韵律层内部，反递变结构很多，它或表现为由泥质向上过渡为粉砂，其中粉砂颗粒变粗，数量增多

(图版 I, 2 的上部); 或表现为粉砂的粒径是下细上粗, 以及粗粉砂向上增多。可以将具有反递变结构的粉砂质单元称为 Ac。Ac 与 Ab 能以过渡关系结合成为双向递变结构, 结合方式可以是 $Ab \rightarrow Ac$, 也可以是 $Ac \rightarrow Ab$ (这时 Ab 与下伏层为渐变关系) (图 2)。

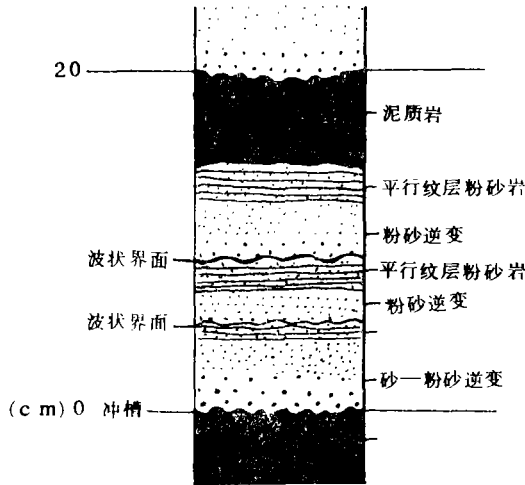


图 1 一个韵律内部出现两种级别的递变单元 (浙江临安于潜, 于潜组)

注: 图中粉砂递变应为递变

Fig.1 Graded intervals belonging to two different grades within a rhythmic bed (Upper Ordovician, Yuqian Formation in Linan, Zhejiang Province)

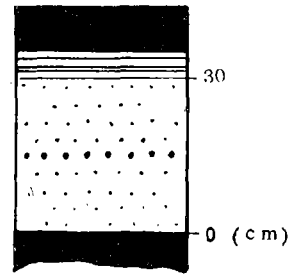


图 2 反向→正向递变结构之一例 (浙江建德杨村桥、长坞组, O₃)

Fig.2 A rhythmic bed showing graded beddings from reversal to normal upward (Upper Ordovician, Changwu Formation in Jiande, Zhejiang Province)

如果说复理石中的每一个韵律层都是一次浊流在深海并在浊流能量逐渐衰减的条件下在很短时间内连续沉积的, 那么, 为什么能反复多次出现韵律层内厚度极小的次一级正递变结构, 相应的韵律内冲刷以及韵律内生物掘穴作用? 何以有反递变结构, 以及双向递变结构? 正如许多学者已讨论过的, 除浊流以外, 底流、潮流、风暴流等动力以及气候变化等因素都能导致递变结构的形成。上述事实促使笔者考虑, 在该复理石韵律层的形成过程中应该有级别不同、规模不等、性质有别的动力或因素发生叠加, 而不只是一次性浊流起作用。从下文诉叙中将能进一步看出这一点。

值得注意的原生沉积构造特征

1. 波痕 浙西的桐庐百江、临安于潜、淳安阳西、安吉双舍等地沿公路的复理石剖面中几乎每一砂岩或粉砂岩层面上都被波痕所铺满。浙西 11 个县境内波痕的观测表明, 波痕的走向主要为 NE, 而非对称波痕的陡坡倾向既有向 NW (主要的), 又有向 SE (次要的), 显示了水流方向的双向性。如开化县奎峰剖面一个露头上, 下伏砂岩层面波痕的要素是: 走向 30° , $L_1 = 11\text{cm}$, $L_2 = 5\text{cm}$, $H = 1\text{cm}$, L_2 倾向 120° ; 其上覆砂岩层面波痕的要素是: 走向 40° , $L_1 = 11\text{cm}$, $L_2 = 9\text{cm}$, $H = 1.7\text{cm}$, L_2 倾向 320° 。

类似现象还见于淳安西阳、桐庐百江、临安于潜昌化等地。众所周知，双向性水流是以潮汐作用盛行的浅水区为特征的现象。此外，对称波痕在各个地区的剖面中均能见到，它们是在波基面以上的浅水区，由风浪作用形成的。更有意义的是，还常常存在着波痕的干涉复合现象，这是沉积区水体深度很小的另一有力证明。如于潜剖面下部一露头上，走向 245° ， $L=20\text{cm}$ ， $H=2.5\text{cm}$ 之波痕被另一走向 360° 的较小波痕复合叠加，波痕相交呈菱形。该剖面中部一露头上，走向 110° ， $L=60\text{cm}$ ， $H=3\text{cm}$ 的大型波痕被走向NE的较小波痕复合叠加，使该层面呈穹状之外貌（图版 I，3）。波痕的上述特点说明沉积区是浅水环境，在沉积过程中波浪的作用是强烈而频繁的。底流，尤其是具有双向运动特征的潮流也起到重要的作用。

2. 双向前积层理或人字形层理 这是以潮坪为特征环境的沉积构造，在本区复理石砂屑岩中确实存在。如采自建德杨村桥剖面的标本，人字形交错层组厚度约为 6cm ，由细砂—粗粉砂组成，前积纹层作双向倾斜，倾角均为 10 余度（图版 I，4）。

3. 具波状表面的砂岩或透镜状砂岩与泥质岩的交互层现象 存在两种类型，一类是厚度大致相等（ $10-30\text{cm}$ ）的砂岩与泥质岩交互。砂岩底板较为平直，顶面作波状起伏，波峰钝圆（图3 a及图版 I，5）。另一类是厚度较小的砂岩与厚度较大的泥质岩交互，砂岩厚度不等，小的数毫米，大的数厘米，呈藕节状或透镜状（图3 b及图版 I，6）。砂岩内部均有波状纹层或前积纹层。

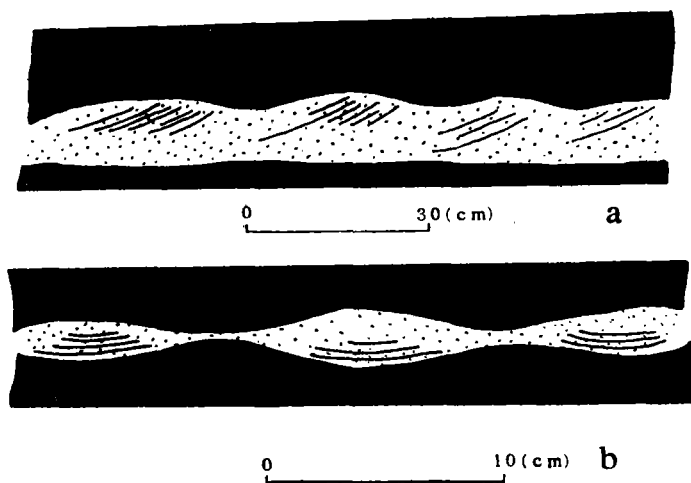


图3 波状层砂岩(a)及透镜状砂岩(b)
(a, 临安, 于潜组, O_3 b 杭州于潜组 O_3)

Fig.3 Sandstones with wavy bedding (a) and lenticular bedding (b) (Upper Ordovician, Yuqian Formation in Anji (a) and Hangzhou(b), Zhejiang Province)

马瑞士1965年已经记录过在浙西上奥陶统复理石中有丘状，豆荚状、囊状等形态的砂岩存在。

具有波状表面的砂岩与泥质岩的交互说明了水动力强弱交替的条件。具有状表面的砂岩是海底上的砂层因水体运动(主要是波浪运动)而形成的波痕或砂波，泥质层则是随

后在水体安静的条件下沉积的较细物质。那些藕节状的砂质透镜体则是在砂质来源较少的情况下形成的不饱和浪成波痕。其中厚度较小的透镜状砂层很可能与潮汐作用有关。莱纳克(H·E·Reineck)等观察统计指出,这种小型或微层透镜砂层最常见于潮汐带或河口湾,在开阔陆架及深水区则属罕见。在潮坪沉积中的薄砂层形成于高潮或退潮期,其上下泥层则形成于低潮、高潮稳定期。上述沉积特点是与深海浊流沉积的概念大相径庭的。

4.波痕走向与底痕走向的一致性某些剖面的又一特点。如于潜剖面波痕的平均走向 45° (22个点的测量),底痕(含冲槽、刻痕、戳痕等)的走向有两组。主要一组为 35° (28个点的测量),与波痕走向大致平行;次要一组为 340° (12个点的测量),与波痕走向大致垂直。安吉双舍剖面波痕的平均走向为 293° (8个点的测量),底痕平均走向为 274° (15个点的测量),两者走向大致平行。一般认为一个地区波痕的平均走向应平行于岸线的总体延展方向。结合所论地区具有其它许多浅水、近岸标志考虑,波痕的平均走向代表岸线方向是可以成立的。那么,于潜地区形成底痕的主要水流平行于岸线,同时还存在着与岸线方向垂直的另一水流系统。在安吉地区则仅有与岸线平行的水流。在浅水环境下平行于岸线的水流应该是沿岸流或近岸底流,而不可能是浊流。

还应指出,底痕指向的双向性在一些地方也能见到,它表明形成底痕的水流方向也可以是往复的。如开化奎峰剖面刻痕指向有的是 30° ,有的是 210° ;建德城东田屋里剖面锥模指向既有 290° ,又有 110° ,兰汐东风水库舌状槽模的指向既有 340° ;又有 165° 。这进一步说明形成这些底痕的动力是沿岸流或近岸底流。

从上列事实可见,韵律中的这些部分形成于浅水环境,在沉积过程中,风浪、沿岸流、近岸底流、潮汐流都在沉积构造上留下了累累痕迹。

泥砾的分布及其特征

文献资料报道过复理石中常有泥砾,但是一般认为泥砾只见于韵律层的内部砂屑岩段。笔者发现,本区复理石中泥砾还见于韵律层顶部的泥质岩段之中。如在杭州荆山岭剖面,灰黑色泥砾包含在灰绿色粉砂质泥岩中。砾石扁平,棱角形,其扁平面大多平行于层面,长径由不到1cm到2cm余(图版I,7)。在临安的于潜、建德的杨村桥、开化的奎峰以及桐庐的分水等均见到类似现象。在显微镜下,有的细小泥砾为撕裂状,显然没有经过搬运和磨蚀。而且,泥质岩中常存在具有透镜状层理和前积纹层的粉砂质夹层。

泥砾发育的上述特点说明它们可能是潮坪上的泥质薄层因失水收缩后破碎而成的泥片,基本上在原地堆积而成。结合前述其它沉积特点分析,其沉积环境应为潮坪。很难设想它们是海底泥质底层被浊流冲刷而形成的碎块,经过长距离搬运后在深海底随同浊流尾部的泥质悬浮物一道沉淀的。

韵律的多级别性

本区复理石韵律层按其厚度可以分为三个级别。第一级韵律层的厚度一般为20—30cm以上,可以称为粗韵律;第二级韵律的厚度较第一级的小得多,可称为细韵律;第三级韵律的厚度在数mm以内,常不足1mm。可以称为微韵律。特别值得一提的是,本区复理石韵律层是一种复式韵律层,即一个粗韵律内可包含几个细韵律,一个细韵律

内又可包含几个微韵律。作为划分粗韵律的根据是显著的冲刷面,各种底痕以及具有正递变结构的Aa。划分细韵律的界面是岩性的显著分界面,小型冲刷面或是生物潜穴挠动的界面,其底部常是具正递变结构的Ab。划分微韵律的界面是岩性分界面,常伴随有微弱的冲刷痕迹(图版I, 1、2),生物潜穴挠动(图版I, 8)及粒度递变(图版I, 1、2)。图4是临安于潜地区的一段剖面,其中一级韵律均包含两个二级韵律,至于二级韵律中的三级韵律因太细,图中未予表示。从采自不同地区的标本的切片观测资料可以看出微韵律的具体特征(表1)。

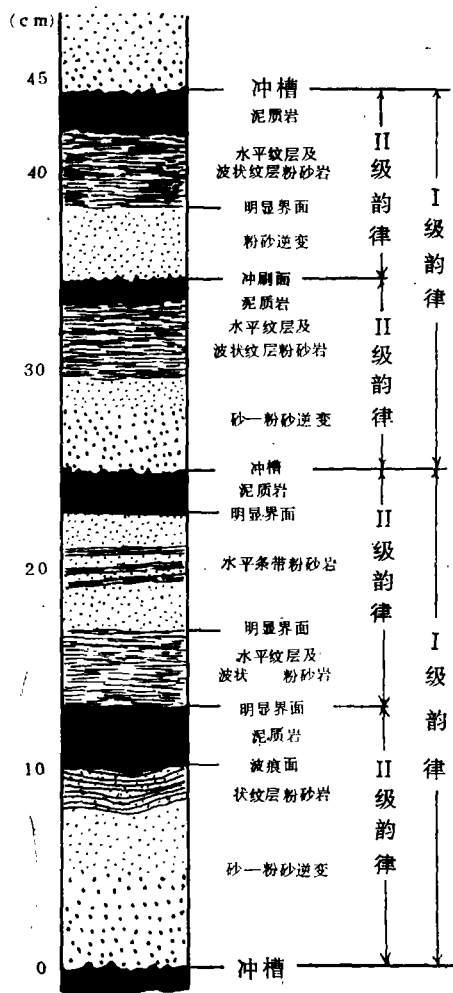


图4 一个复式韵律剖面(浙江临安于潜)

注: 递变应为递变, 波状粉砂岩应为波状纹层粉砂岩

Fig.4 A multiple rhythmic bed (Upper Ordovician, Yuqian Formation in Linan, Zhejiang Province)

微韵律的上述特征表明, 它们是粉砂与泥质的微薄互层, 沉积时水体有轻微的动荡, 沉积过程时有间断, 间断期间有生物繁衍与活动, 发生潜穴和层内挠动。因此, 它们很像是由潮汐作用形成的韵律层理, 在涨落潮时沉积粉砂层, 在平潮时形成泥层。其

表1 韵律层系特征

Table 1 The character of rhythmic succession, Zhejiang.

样品号	纹层总厚度 (mm)	组成成分	韵律数 目	韵律的平均厚度 (mm)	特征性原生沉积构造
014	4	粉砂、泥质	11	0.37	正递变, 透镜状层理
47-1	13	粗粉砂、泥质	6	2.17	脉状层理, 正递变, 双向递变
57	9	细粉砂、泥质	22	0.41	透镜状层理, 脉状层理, 下部具有双向交错纹层
45-1	5	细粉砂、泥质	23	0.22	纹层相互平行或缓斜
45-2	5.5	细粉砂、泥质	8	0.7	透镜状层理, 脉状层理, 缓斜前积纹层
018	15	粗粉砂、泥质	4	4.0	双向递变, 有的韵律顶面有冲刷坑, 或波状起伏
022	10	粉砂、泥质	6	1.7	缓斜前积层
218	15	粉砂、泥质	4	3.75	正递变, 韵律顶面有波状起伏或冲刷坑, 每个韵律的泥质层内, 都有生物挠动
102	11	粉砂、泥质	8	1.37	粉砂及泥质层厚度均多变, 有变形层理, 有斜穿纹层的潜穴
89	12	粉砂、泥质	8	1.50	透镜状层理及脉状层理
	6	粉砂、泥质	2	3.0	透镜状层理, 每个韵律的泥质层内都有垂直潜穴和层内生物挠动
212	21.7	粉砂、泥质	3	7.23	正递变, 双向递变, 前积纹层, 波状界面

中某些微韵律也可以是在气候因素的影响下, 由粉砂与泥质周期性交替供应而形成。

复理石韵律的多级别现象不只是本区独有。在海南岛古生代的复理石以及其它一些复理石中也有发现。在国外, 恰雷谢夫 (В.Н.чальшев) 研究了苏联许多地区复理石的韵律结构, 将复理石韵律划分出四个级别, 其中也有微韵律, 但未详细说明其沉积特征。

应该强调的是, 复理石韵律具有这种多级别的性质, 就必然要求用多种水动力条件及多次性沉积事件叠加的模式来解释其成因。用单一的水动力——浊流, 在单一的沉积环境——深海中发生沉积来解释其成因是十分困难的。已如前述, 本区复理石中微韵律的沉积特点表明, 气候及以日、月为周期的潮汐作用在微韵律层的形成中起了重要作用; 而粗、细韵律层的特征则与波浪、近岸底流、潮流、风暴流等多种因素的作用相关, 当然也不排斥浅水浊流的某种作用。而这样繁多的水动力形式能够综合性起作用的最适宜的沉积环境只能是浅海上部以至潮坪。在这种环境中发生的沉积作用还不应该排除地壳运动的脉动性以及由此而引起的海水深度的周期性波动所产生的重要影响。这便是笔者的结论和推论。

至此, 笔者拟借此指出, 粗略地看去, 本区复理石似乎也符合鲍马层序这一浊流沉积的层序模式。人们确实不难在这一复理石的韵律层中找出所谓A.B.C.D.E等岩段 (如前述的微韵律常被看成是B或D岩段), 并按浊流模式的要求得出本区复理石为深海沉积的看法。显然, 这种做法是将大量的沉积特征置于不顾, 把本来是颇为复杂的客观现象人为的简单化了。因此, 笔者认为在对待鲍马层序和应用这一沉积模式的时候, 应该持谨慎的分析的态度。

参 考 文 献

- 马瑞士, 1965, 南京大学学报(自然科学), 9卷4期, 465—484页。
- 关尹文、邱元禧、顾宝荣, 1959, 地质学报 39卷2期, 188—212页。
- 李继亮等, 1978, 地质科学, 1期, 26—44页。
- 夏邦栋, 1982, 石油勘探与开发, 6期, 8—16页。
- 夏邦栋, 1986, 沉积学报, 4卷1期, 49—63页。
- Bouma, A.H., 1962, *Sedimentology of Some Flysch Deposits*. Elsevier, Amsterdam.
- Grossgeym, V.A., 1972, *Geotectonics*. No.1, 22-55.
- Hubert, J.F. 1966, *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol, 36, No. 3, p. 677-699.
- Hubert, J.F., 1972, 24th Internal, Geol. Cong, Proc.Sect. 6, p. 101-104.
- Reineck, H.E., Singh, I.B., 1980, *Depositional Sedimentary Environments*. Berlin Heidelberg, New York,

A STUDY ON THE ENVIRONMENT OF UPPER ORDOVICIAN FLYSCH IN WESTERN ZHEJIANG AND SOUTHERN ANHUI PROVINCES AND A SHORT COMMENT ON THE APPLICATION OF BOUMA'S SEQUENCE

Xia Bangdong

Lü Hongbo

(Department of Geology, Nanjing University)

Abstract

The Upper Ordovician flysch deposits with 1200m in thickness occurs in Western Zhejiang Province. The formation was first described by Guan Yinwen etc. in 1959, and it was considered to be shallow marine deposits. Later some reserchers regarded it as a turbidite of deep sea.

The authors suggest that this formation is not a turbidite formed in deep sea but a flysch deposited in the area extending from shallow sea to tidal flat. The following characters may be listed:

1. Graded bedding shows diverse types, i.e. graded sand (Aa), graded silt (Ab), and reversal graded silt (Ac). Aa, Ab, and Ac can occur within one of the flysch rhythmic beds. Ab and Ac may be combined to a bidirectional graded bedding Ab-Ac or Ac-Ab.

2. There are a large number of ripple marks, such as current ripple marks, symmetrical and asymmetrical wave built ripple marks and interference ripple marks. The asymmetrical ripple marks and foreset laminations are of bidirectional property.

3. There are also sandstones with wave bedding and lenticular bedding.

4. The main direction of sole marks is parallel to the shore line, and there are also bidirectional.

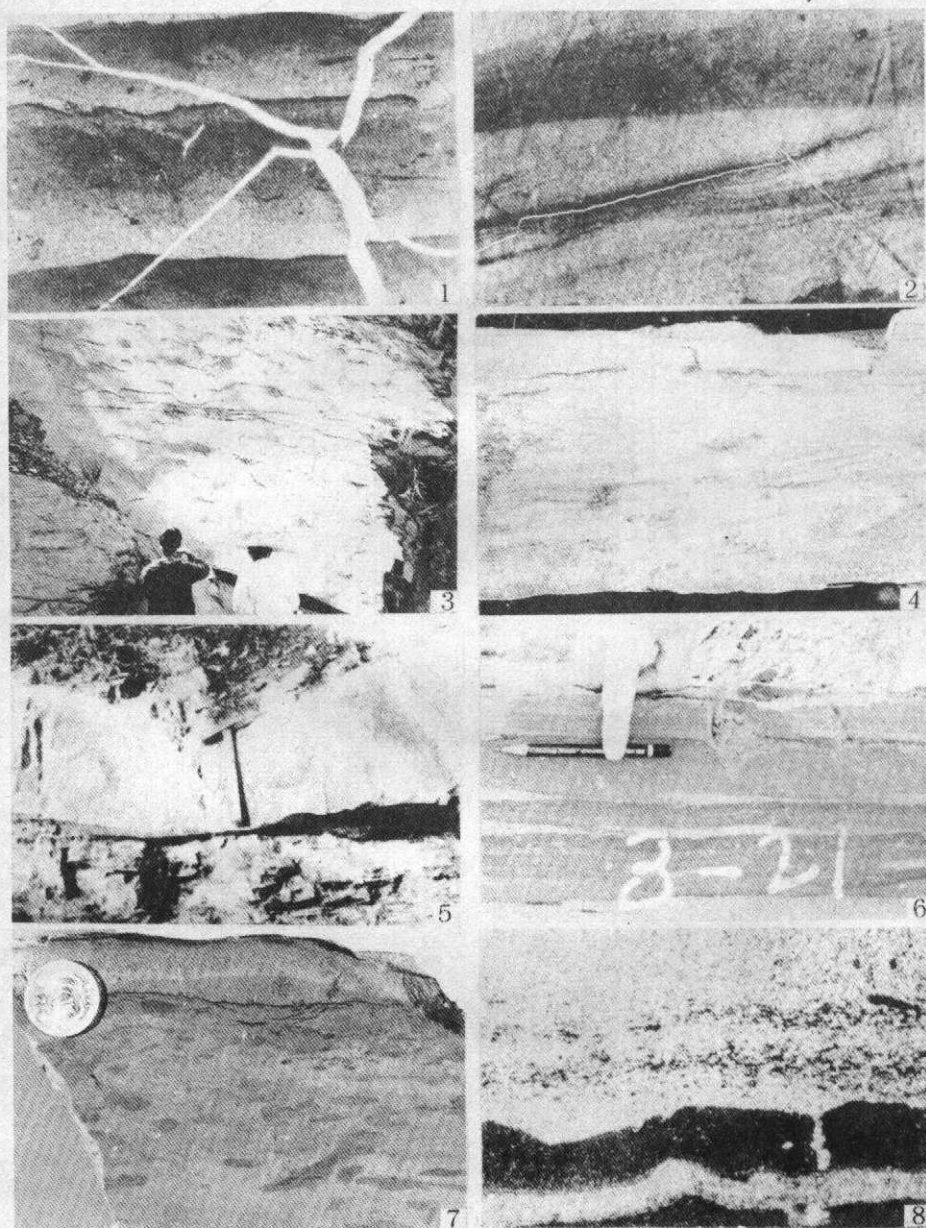
5. Mudstones of the uppermost part of a rhythmic bed contain pelitic or silt gravels, and they often show foreset and lenticular laminations.

6. There are three different grades of rhythmic bed, i.e. gross-rhythmic, fine-rhythmic and micro-rhythmic beds. One gross-rhythmic bed may contain several fine rhythmic beds, and one fine-rhythmic bed may contain several micro-rhythmic beds which can only be observed by means of microscope. Graded textures, foreset laminations, lenticular beddings, flaser beddings, scour marks, and bioturbations can be found in the micro-rhythmic beds.

The facts mentioned above show that the flysch rhythmic beds in the area do not result from a single kind of process (such as turbidity currents) in deep sea but from the combination of several processes, such as sea waves, bottom currents, tidal flows, storm surge currents and climatic effects, etc.

The most favorable environment in which such diverse kinds of hydrodynamic factors take effect is the area extending from shallow sea to tidal flat.

Of course, the sequences of the flysch rhythmic beds, to some extent, are similar to Bouma's Sequence—a sedimentary model about turbidites. It is not very difficult to find out the intervals like A, B, C, D, and E of Bouma's Sequence in the flysch rhythmic beds. According to these characters some researchers treated the flysch as a deep sea turbidite. It must be pointed out that there are a lot of significant phenomena being ignored by the above-mentioned researchers. So, we must take a careful and analytic approach in the applications of Bouma's Sequence, and we may not consider the Bouma's Sequence as a conventional and universal model.



1. 粉砂正递变 (浙江临安, 于潜组, O_3) $\times 4$ 2. 粉砂反递变, 见于照片上部 (浙江临安, 于潜组) $\times 3$ 3. 砂质层顶面发育穹状波痕 (浙江安, 于潜组, O_3) $\times 1$ 4. 砂质层内发育人字形层理 (浙江建德长均组, O_3) $\times 1$ 5. 透镜状砂岩 (浙江安吉, 于潜组, O_3) 6. 砂质层中发育透镜状层理 (浙江分水, 长均组, O_3) $\times 1$ 7. 韵律层顶部的泥质岩中发育泥质岩碎片 (浙江杭州, 于潜组, O_3) 8. 微韵律中发育垂直层面方向的层间潜穴和层间挠动 (浙江建德, 长均组, O_3) $\times 3$