

# 我国复理石的研究及其中 提出的若干问题

夏邦栋

(南京大学地质系)

复理石是一种构造属性很强的建造, 它的研究对于查明古构造背景和古地理环境, 在大范围内划分和对比地层有重要作用。复理石作为油、气的储层(砂岩)和盖层(泥质岩), 有时作为生油层均具有大范围稳定的特性。因此, 它的研究对于勘查油气资源具有重要的实践意义。

我国复理石见于华南各省前震旦系、下古生界、上古生界及中生界, 秦岭的三叠系, 东北的前震旦系、泥盆系, 川西的三叠系, 祁连山的下古生界, 天山、昆仑山的上古生界, 喜马拉雅地区的中生界等。

应该指出, 复理石建造只限于海相沉积中且具有较大沉积厚度者, 因而, 陆相沉积中那些具有浊积岩特征的地层, 不能认为是复理石建造, 不属于本文讨论之范畴。

我国复理石的研究在解决区域地质、地层划分和对比、大地构造性质和演化、以及矿产资源勘查等方面问题均起到了应有的作用, 而且积累了较为丰富的实际资料。这些资料对于进一步阐明复理石建造的特征、它的形成条件等问题具有重要意义。笔者拟就已有文献资料并结合个人的观察, 试对以下问题作一初步归纳和讨论, 不妥之处, 希予指正。

## 一、复理石的形态学

瓦索耶维奇通过对苏联及欧洲一些复理石的系统研究, 最早对复理石的特征作了概括: 它是相当厚的海相沉积, 由至少两个而通常是三个岩性层作规律性交互而成。岩性层的物质成分多种多样, 但是都包括有粒状与非粒状(隐晶质)的两类, 单个韵律通常厚度厘米至数十厘米。他划分出具有不同粒度和含钙量的三种韵律单元及若干亚单元, 并总结出复理石韵律有完全、不完全及发育不全等三种类型。

朱林斯基、斯密司、道夫等<sup>[12]</sup>也对复理石的特征作过归纳。他们特别强调指出了复理石为海相沉积, 通常不存在大规模交错层等。

鲍马<sup>[13]</sup>通过对法国及瑞士阿尔卑斯及亚平宁地区若干复理石的研究, 将复理石韵律按结构和构造归纳成为五个单元: A. 粒序性单元; B. 下水平纹层单元; C. 水流波状纹层单元; D. 上水平纹层单元; E. 泥质岩单元。鲍马的划分是对谢尔登(P. G. Sheldon,

1928)、滕哈弗(E. Ten Haaf, 1959)、巴色特(D. A. Bassett)与瓦尔顿(E. K. Walton, 1960)、涅斯特罗夫(W. D. Nesteroff, 1961)等先后对各自研究地区提出的复理石韵律的垂直层序所作的系统化,并被人们称为鲍马层序。但是,随着时间的推移,人们的认识不断有所更新,又有许多作者对鲍马层序提出了补充和修正。如胡伯特<sup>[14]</sup>指出了复理石韵律中有以砂丘为底形的交错层单元存在,它位于C单元之下、B单元之上。派帕尔(D. J. W. Piper)<sup>[15]</sup>在E单元中进一步识别出纹层状泥(E<sub>1</sub>)粒序性泥(E<sub>2</sub>)、非粒序性泥(E<sub>3</sub>)等三个次一级单元。赫斯(R. Hesse)<sup>[16]</sup>等通过对欧洲阿尔卑斯等地复理石的研究,补充划分了F单元,他认为F单元是深海沉积的泥质物,它覆盖在由浊流沉积的泥质物——E单元之上。阿伦(J. R. L. Allen)<sup>[17]</sup>划分出上部环境水平纹层(B<sub>1</sub>)、下部环境水平纹层(B<sub>2</sub>)、砂丘(C<sub>1</sub>)、水流波状纹层(C<sub>2</sub>)诸单元,并认为理想化的垂直层序是A→B<sub>1</sub>→C<sub>1</sub>→B<sub>2</sub>→C<sub>2</sub>→D→E。许靖华<sup>[1]</sup>指出D单元很少能存在。

近三十年来,我国对复理石建造形态学的研究在许多方面也已取得了新的进展,许多新认识被提出来,兹举以下诸方面:

### 1. 复理石的宏观结构

复理石作为厚度很大的沉积体并非都是由韵律层(即一系列连续出现的韵律)组成,而常常是在韵律之间分隔以具有相当厚度而其本身不具备韵律结构的岩层,即非韵律层。因而韵律层与非韵律层构成了更高级别的交替。姜春发<sup>[1]</sup>等首先认识到这一特征,并称之为旋回层。如秦岭三叠系复理石的总厚度4500余米,分为13个旋回层,每一旋回层厚度数十米到数百米,其下部是泥质韵律层,上部是不具备韵律特征的(局部有韵律性)的石灰岩夹砂页岩。据笔者观察,浙西上奥陶统复理石厚1000余米,在许多剖面中可以分出厚度由十余米到数十米的若干旋回层,其下部为砂泥质的韵律层,上部为非韵律性的砂岩或泥质岩。应该指出,旋回层中的非韵律层往往含有较多化石以及具有能较好说明沉积环境的沉积构造。因而,在研究复理石时,决不能忽视对非韵律层的研究。非韵律层的研究与韵律层的研究结合起来,能够更好地揭示作为统一体的复理石的成因以及查明复理石盆地的发展演化方向。

### 2. 复理石韵律的基本特点

复理石韵律的基本特点在于其中的碎屑岩具有粒序结构,正是由具有粒序结构的碎屑岩与泥质岩的规律性交替构成复理石韵律,这是区别复理石韵律与一般的砂页岩交互层的根本标志。

一般将鲍马层序当成是复理石韵律的标志。但是,鲍马层序是一个并不完备而又理想化的模式,而复理石韵律结构实际上是更为多样化,如果一味硬套鲍马层序往往就会将本来是更为复杂的面貌人为地简单化,直至加以歪曲。这也就是前述许多作者对鲍马层序提出补充、修正的理由。我国一些研究者(如姜春发<sup>[1]</sup>、张勤文<sup>[2]</sup>、关尹文<sup>[3, 4]</sup>等)在研究复理石韵律时是根据实际情况、因地制宜地拟定了韵律的组成单元,提出了韵律的垂向序列。就鲍马层序本身说来,尚存在若干斟酌之处。首先,按照鲍马层序,只

1) 许靖华, 1978, 沉积学讲座。

有A单元能称为粒序性单元，似乎粒序结构仅为A单元特有，这是与实际并不完全符合的。笔者对浙西上奥陶统复理石的岩石进行显微镜下观察发现，具有水平纹层和交错纹层构造的岩石往往具有或部分具有粒序结构。连续地伏于泥质岩之下的细粉砂岩经常具有粒序结构。甚至在E单元中也能划分出局部具有粒序结构的部分，派帕尔划分的E<sub>2</sub>，指的也就是这种现象。

第二，在由细砂、粉砂、泥质组成的某些韵律中常常可以出现反粒序（图1）以及反粒序和正粒序的结合（图2）。具有上述特点的层，其厚度只在数厘米以内，有的是以毫米计的显微层。由于粒度细、层很薄，正、反粒序结构往往只有在显微镜下仔细观察后才能发现。发现这一特点的少数国外作者感到用浊流理论按常规的方法对其不好解释，故认为这种结构是一种异常现象<sup>[17]</sup>。实际上这种反粒序结构是很常见的。笔者在关于海南岛古生界复理石的报道中也已介绍过这种现象<sup>[5]</sup>。

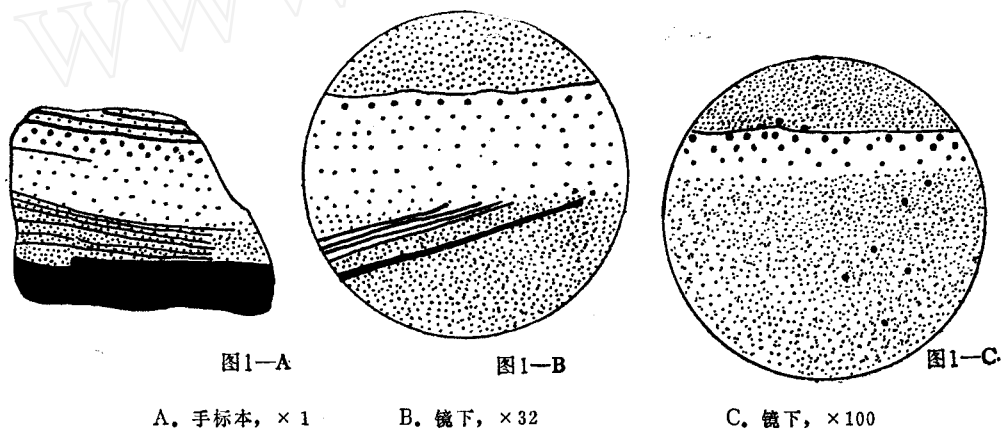


图1 复理石韵律中的反粒序（浙江于潜上骆家，于潜组（O<sub>3</sub>））

Fig. 1 Reverse graded bedding in flysch [Yuqian Formation(O<sub>3</sub>) in Yuqian, Shangluojia, Zhejiang]

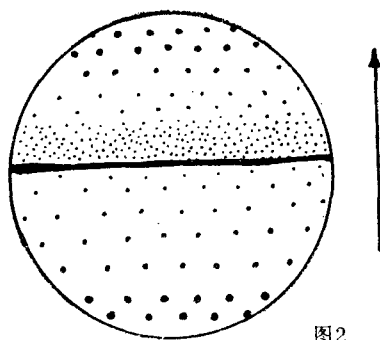


图2 复理石韵律中正反粒序的结合（浙江，于潜上骆家，于潜组（O<sub>3</sub>））

Fig. 2 Combination of normal and reverse graded bedding in flysch [Yuqian Formation (O<sub>3</sub>) in Yuqian, Shangluojia, Zhejiang]

第三,复理石韵律经常具有多级性质,表现为鲍马层序中的各个单元都可能不是均一结构的,都可能包含几个次一级韵律。如A单元中出现的次一级韵律是由占主导地位的砂(或粗粉砂)成分与泥质成分交替而成;E单元中出现的次一级韵律由占主导地位的泥质成分与粉砂质成分交替而成(派帕尔所分出的E<sub>1</sub>、E<sub>2</sub>、E<sub>3</sub>互相交是其中一种表现)。次一级韵律中作为次要部分的岩性层有时呈断续层状成扁豆状,次一级韵律的厚度较第一级韵律通常要小一个数量级。有时在第二级韵律中可分出第三级韵律,其厚度常小于1毫米,属于显微型。显微型韵律中也能够发育粒序结构。海南岛古生界复理石<sup>[5]</sup>,皖南前震旦系、广西九万大山前震旦系及浙西上奥陶统等复理石中均见到此种复式韵律结构。图3所示为浙西上奥陶统复理石厚约24厘米的一段韵律,从宏观来看,应为A→C→E→B→D→E,而经过显微镜下检查发现,在A中含有三组不同倾角的斜层,其倾角分别为19°、30°、24°;在B中具有多向的低角度斜层;D本身就是由细粉砂和泥质的交互层,在交接带的粉砂层中含有泥质层的碎片;在顶部的E中包括了六组泥质与含云母碎片的泥质的交互层。

### 3. 复理石中的原生构造

文献中很少报道,甚至认为不大可能存在的某些原生构造,在某些复理石中已相继发现。如不仅在复理石的非韵律层中,而且在复理石韵律层的砂岩表面上出现各种波痕。有的波痕横剖面对称(图版I,1);有的波痕脊弯曲和分叉(图版I,2);有的波痕为新月形(图版I,4)有的波痕在平面上呈菱形格子状。它们的形态都显示出波浪作用或浅水底流作用的特点。正是这种砂岩层的表面在剖面上就显示出波状起伏。秦岭三叠系复理石中“有波痕的干涉现象,以轻微不对称者居多,大的波痕长达15厘米,波高3—5厘米,小者如漪纹”<sup>[1]</sup>。还值得注意的是,有的复理石中有多种方向的交错层(图版I,3),甚至有人字形层理,还有各种不同规模的透镜状层理(图版I,5),以及单向斜层理具有多阶构造特点(图版I,6)等。

某些复理石中有丰富的同生角砾(或砾石)。其长轴呈叠瓦式排列(如湘南中上泥盆统碳酸盐复理石)<sup>[4]</sup>。在泥质层中可以见到粉砂岩的碎片,在粉砂岩或砂质岩中也可见到泥质岩的碎片,它们的扁平面都平行于层面(图版I,7、8),它们是下伏层遭受冲刷而成的碎块未经长距离搬运,基本上就地堆积而成。

限于篇幅,有关复理石形态学方面的新认识,在此仅作概略报道,详细资料笔者拟另行介绍并予以讨论。

## 二、复理石形成的板块构造背景

传统大地构造学认为,复理石是地壳活动构造带的产物,是地槽的标志性建造。板块构造学说的问世推进了对于复理石形成构造背景的研究,发现复理石可以形成于各种不同的板块构造环境之中。

为了研究复理石形成的构造背景,拟定出切实有效的方法是很重要的。国外不少人就此作了探索。

应该指出,在复理石盆地的演化中决不只形成一个特定的建造,即复理石建造,而

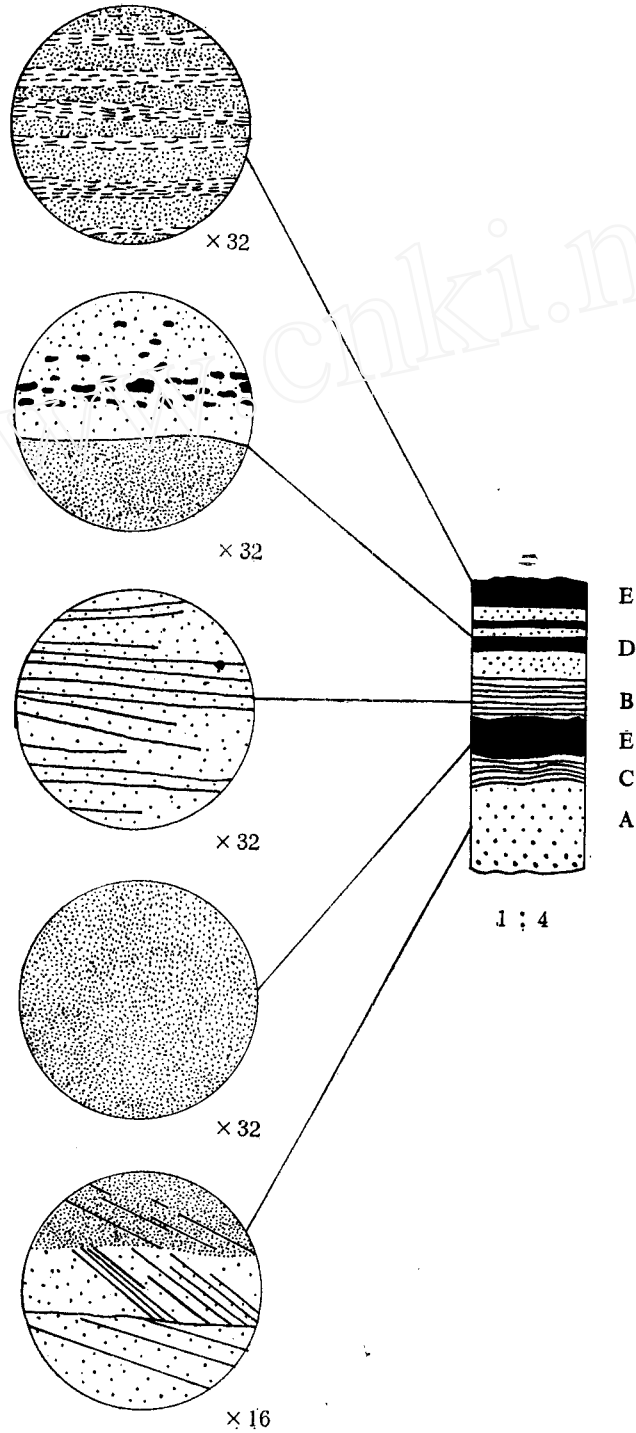


图3 复理石的律的宏观和微观结构对比（浙江于潜上骆家，于潜组（O<sub>3</sub>））

Fig. 3 Comparison between the macrotexture and microtexture of flysch rhythms [Yuqian Formation (O<sub>3</sub>) in Yuqian, Shangluojia, Zhejiang]

应形成在形成和发展上彼此有密切联系的若干建造的组合, 这些建造在纵向上和横向上均作有规律的交替。叶连俊将纵向交替称为建造序列, 横向交替称为建造系列<sup>[6]</sup>。笔者愿在此基础上强调指出, 研究复理石所在的建造序列和建造系列的特征, 正是查明沉积盆地的板块构造类型的一种重要手段和途径。我国关于复理石的建造系列的研究还不够, 而对复理石建造序列的研究则有较多的资料和较好的基础。这方面的工作也体现出我国复理石研究工作的一项特色, 它在促进构造-沉积学的发展上具有重要意义。目前, 可以初步将我国的复理石划分成为以下建造序列<sup>1)</sup>(表1)

表1 我国复理石的建造序列类型

Table 1 Types of flysch formation sequence in China

序	列	蛇绿岩细碧岩	砂屑岩类型	同造山	造山型	构造变	建造间	复理石	碳酸盐含量
				安山岩	磨拉石	形程度	的接触	出现次数	
1	A	有, 出现在早期	岩屑杂砂岩	发育	发育	强	多不整合 假整合	1	少
	B	有, 出现在早期	石英杂砂岩	发育	发育	强	多不整合 假整合	1	少
2	A	无	石英杂砂岩	无	无	弱	多整合	1—3	少
	B	无	富碳酸盐杂砂岩	无	无	弱	多整合	1—3	多
	C	无	钙屑砂岩	无	无	弱	多整合	1—3	极丰富
3	A	有细碧岩	长石杂砂岩 石英杂砂岩	发育	发育	中常	多假整合	1—3	少—多
	B	有细碧岩	火山碎屑岩	发育	发育	中常	多假整合	1—3	少

### 序列1——富火山岩序列

先复理石是蛇绿岩或细碧岩, 或富含火山岩的建造组合, 后复理石是具有同造山特征的安山岩-碎屑岩建造, 常伴随有造山型磨拉石。各建造间多出现不整合或重要的沉积间断。

这一序列包括两个亚类。第一亚类是复理石砂屑岩中富含岩屑杂砂岩, 岩屑中有大量火山岩及长石。如浙东北前震旦系骆家门组复理石。第二亚类是复理石砂屑岩为石英杂砂岩, 砂岩中火成岩屑少。如皖南怀玉山区前震旦系羊栈岭组复理石。

### 序列2——非火山岩建造序列

复理石产于不含火山岩的建造序列之中。不仅复理石本身不含火山岩, 且先复理石没有细碧岩、蛇绿岩, 后复理石中不出现造山型磨拉石。建造序列内部缺乏不整合和长期的沉积间断, 复理石或类复理石往往有多次出现。复理石砂屑岩由石英杂砂岩或钙屑

1)喜马拉雅地区, 天山地区还可能其他类型的建造序列, 由于资料不足, 未能备述。

砂岩构成。

本建造序列可以分成三个亚类。第一亚类是非碳酸盐型或贫碳酸盐型,其特点是复理石韵律层中不含碳酸盐或其含量甚微,而且复理石内部以及建造序列中石灰岩夹层缺乏或较少。皖南、浙西、赣西北、湘西、湘东南等地下古生界复理石<sup>[3, 7, 8, 9]</sup>及海南岛古生界复理石<sup>[5]</sup>属这一类型。

第二亚类是富碳酸盐-陆屑型,其特点是复理石韵律层中碳酸盐含量较高,砂屑岩为富碳酸盐杂砂岩,泥质岩中也含较多的碳酸盐。此外,复理石内部以及整个建造序列中灰岩夹层很多。如秦岭三叠系复理石。

第三亚类是碳酸盐型,其特点是复理石砂屑岩为砂屑、粉屑(有时含砾屑)泥晶灰岩,常含较多之生物碎屑。碎屑颗粒显粒序结构,并可出现波纹层理、交错层。如湘西黔东交接地区中、上寒武统及湘南中、上泥盆统<sup>[4]</sup>。

### 序列3——火山岩-沉积岩建造序列

其特点界于以上两类建造序列之间,建造序列前半部为浅水地台型沉积,中部开始出现细碧岩、枕状熔岩,复理石出现在上部,最后出现磨拉石。复理石中有时发育火山岩。建造序列演化的时间长,内部可以出现假整合或不整合。本建造序列可以分成两亚类。第一亚类中复理石砂屑岩为富火成岩屑的杂砂岩或长石杂砂岩,有时为石英杂砂岩。第二亚类中复理石砂屑岩几乎皆为火山碎屑岩,是较为特殊的,可称为火山碎屑复理石型。如广西西部由泥盆系到三叠系所构成的建造序列。其中,上二叠统发育了由不足100米到2000米左右厚度的火山碎屑复理石,其成分主要为安山质;中三叠统为陆源碎屑复理石。

上述不同建造序列显然形成于不同的板块构造背景之中。

第一类建造序列的复理石盆地的基底可能为洋壳,盆地演化中有钙碱系列的火山喷发,复理石堆积时,源区构造活动性强,盆地封闭时伴随着强烈挤压,后期并有地壳快速而大幅度隆起。这种盆地的构造背景类似现代的活动性大陆边缘,类似于魏泽尔<sup>[18]</sup>所划分的板块间复理石,或里丁<sup>[19]</sup>、克鲁克<sup>[20]</sup>所划分的岩浆岛弧型或安底斯型。本建造序列中的两个亚类可能受到离开活动性构造轴部远近所控制,富火山岩序列的第一亚类反映的构造活动性较第二亚类为强,其形成时距离活动性构造轴部更近一些。郭令智等<sup>[10]</sup>曾就属于第一亚类建造序列的骆家门组复理石、皖南羊栈岭组复理石、赣北双桥山组复理石、湘西雪峰山区板沙群复理石,以及桂北九万大山区四堡群复理石作过论述,认为它们产出在绵延千余公里的统一的前震旦纪海沟岛弧系统之中。

第二类建造序列的特征表明,复理石盆地发育在板块内部的陆壳或过渡型地壳之上,盆地的构造活动性较弱,源区在构造上较稳定,缺乏钙碱系列的岩浆活动,盆地封闭时并未伴随强烈挤压,盆地的发育可能受板块内的断裂所控制。

李继亮<sup>[11]</sup>等、郭令智<sup>[10]</sup>等、夏邦栋<sup>[5]</sup>曾分别就秦岭三叠系复理石、皖南浙西上奥陶统复理石,以及海南岛古生界复理石的板块构造背景,从不同程度上作过探讨,得出与上述看法大体相似的结论。

本类复理石中三个亚类形成的具体环境还有所差别。看来,它们的差别与构造活动的强度、剥蚀作用的速度、陆源碎屑物质的供应能力、母岩性质、盆地的深度以及气

候等因素有关。总的说来,碳酸盐型及富碳酸盐-陆屑型复理石是在碳酸盐补偿深度以上的较浅海盆中堆积的,剥蚀区构造稳定,陆源碎屑物的供应贫乏或数量受到限制,沉积区气候温暖,碳酸钙的生产能力强。其中,碳酸盐型复理石沉积时,盆地周边的地貌平坦,剥蚀作用微弱,很少有陆源碎屑物注入盆地之中;富碳酸盐-陆屑型复理石沉积时,盆地周边地貌起伏和缓,化学风化作用显著,有适量的细粒陆源碎屑物供应。非碳酸盐型复理石沉积时,沉积盆地位于构造反差较大的环境,剥蚀作用速度快,陆源碎屑物供应充分,源区主要为沉积岩或相应的变质岩组成。

属于第三类建造序列的复理石可能是堆积在陆壳基础上经过微型扩张而形成的裂谷型海盆中,其基底已向过渡型地壳转变。

### 三、复理石的成因

复理石的成因包括其形成的古地理环境与沉积物搬运和沉积的机制,这是两个互有密切联系的问题。在国外以浊流说流行最广,但非浊流说也有不少拥护者。

浊流说是建立在现代海洋沉积研究的基础之上,并按将今论古的原理提出的。浊流说认为<sup>[13、16、17、21、22、23]</sup>,复理石是在海盆发生持续沉陷的背景下,由周期性发生的浊流将浅水区的碎屑沉积物搬运到陆隆或洋底上堆积的。一次浊流形成一个韵律,沉积作用速度极快,每一韵律的形成时间仅以分钟、小时、日、月计。作为浊流沉积的垂向层序的模式是鲍马层序。鲍马层序是在浊流的流动能力不断衰减的条件下形成的;同时,鲍马层序中各单元的特征又同颗粒大小、影响到底形特征(包括平坦状、波状、逆行砂丘、砂丘等)的浊流的厚度相关。其中,A单元的沉积速度多以每小时米或十米计;B、C单元的沉积速度多以每小时厘米或分米计。它们沉积时牵引作用明显。D至E单元沉积时流动能力很低,主要是悬浮物发生沉淀,无明显的牵引作用<sup>[17]</sup>。地质历史中的复理石主要是在深海或半深海区堆积的,浅水区因水体的动荡浊流沉积难以保存。叶状体、舌状体、扇体是其典型产状,相应地还出现海底峡谷和扇体水道沉积。此外,由于沉积细砂、粉砂及泥质沉积物的浊流属于低密度的浊流,而低密度浊流常常由高密度浊流演化而来,且与其他类型的重力流常有成因上的联系,因而这种具有典型性的细粒复理石常常在横向或纵向上转变成包含相当数量粗砂、细砾、砾石、砾块的粗粒沉积<sup>[23、24]</sup>,后者则是高密度浊流或其它类型沉积物重力流的产物,有时称为野复理石。

非浊流说的主要代表之一是脉动说。脉动说是建立在大陆地质学研究的基础之上,并通过历史地质方法总结归纳而成的。它认为复理石是在狭长海槽中堆积的。海盆深度有较大变化,其平均深度为600米。盆地有两种结构。一种为对称式,凹陷的两侧为山链,近山链部位堆积粗复理石,离山链较远部位堆积复理石,凹陷中心带堆积类复理石;另一种是不对称结构,在类复理石带之外出现非复理石带。复理石韵律的形成是由于地壳发生频繁脉动并引起海平面反复升降。海水深度只要发生大约200米幅度的波动,便引起海岸线大幅度迁移,并造成沉积环境和沉积物性质的周期性改变,从而形成韵律。每一韵律形成的时间约为500—5000年。底流在沉积物的搬运和堆积中起决定性作用<sup>[27、28]</sup>。

胡伯特<sup>[14、25]</sup>研究了英国及美国一些地区的复理石后提出了复理石成因的底流说。他认为衰减性的底部海流是形成复理石砂屑岩的特征性结构——粒序性的决定性因素，这种底流既可以是目前见于陆隆的等高流，也可以是发育在浅海的流向与海岸平行的水流。他还提出了识别底流成因的根本标志，即沉积物中由原生构造所示的古水流方向与海底斜坡的倾向成大交角度相交。

值得考虑的是，目前大部分研究者对复理石成因所采取的态度似乎是只承认一种假说，而排斥另一种或其它假说，持单一成因论。但是，地质学的发展史表明，对许多地质体成因的认识，以及对某些构造的成因的认识，都是由单一成因论而走向多种成因论。复理石是规模较大的地质体，其成因是否也有多种可能呢？事实上，在板块构造学说问世以前，一般都认为复理石形成的构造背景是单一的，现在则认为是多样的。既然复理石能形成于不同的板块构造背景，说明复理石盆地的性质是多样的，其古地理环境便难以完全相似。那么，复理石为何不可能有多种成因呢！鉴于目前许多学者只强调了复理石的浊流成因的一面而对非浊流可能性还颇为忽视，这里拟着重介绍这一类的某些事例。

苏格兰上奥陶统复理石及类复理石中原生构造所示古流向为南西，而盆地斜坡的方向证明为南东；同时，该建造中夹有厚度很大的三角洲沉积体，产出有叠层石等浅水标志。故该建造被认为是由底流在浅海带中较深的部位堆积的<sup>[14]</sup>。

美国怀俄明州上白垩统复理石中原生构造所示的古流向为北东，而海底斜坡的倾向为南东，此外，该建造组成了一个向南东方向推进的三角洲沉积体的斜坡上部及顶层的外缘。故该建造被认为是由流向与三角洲斜坡倾斜方向垂直的浅水底流沉积的<sup>[25]</sup>。

比利牛斯第三系复理石中存在鸟的足迹，证明该复理石是在三角洲顶层堆积下来的<sup>[14、21]</sup>。

美国中阿帕拉契奥陶系复理石的非韵律层中产生丰富的浅水底栖生物化石，还包括绿藻，说明复理石沉积时的水深不超过100米<sup>[26]</sup>。这一事实显然与复理石的浊流成因说难以一致。

高加索上白垩统碳酸盐复理石中生物化石的研究表明，产出丰富的浮游有孔虫及放射虫的层位是韵律中的Ⅱ单元（韵律自下而上划分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ等三个单元）而不是具有泥质岩性质的被浊流说解释为远海沉积的Ⅲ单元；在Ⅲ单元中则为底栖有孔虫<sup>[27]</sup>。这一事实有利于说明盆地的环境因地壳的脉动而发生地改变。

笔者对我国浙西上奥陶统复理石进行了研究，发现它具有在浅水条件下主要由底流形成的一系列特点：①普遍发育前积层理、多向交错层理、透镜状层、波状层理、摆波痕、各种复式波痕，以及其他许多说明浅水底流及波浪作用存在的原生沉积构造。②复理石中底栖生物与浮游生物共生，壳相生物与笔石相生物共生，并且含有沿层面方向摄食的和垂直潜居的丰富的遗迹化石，这都不是深海环境所能有的。③在近于东西向延伸的复理石盆地西段常山、江山地区，复理石过渡为典型的浅水碳酸盐建造。④复理石的物源分析表明，碎屑物来自盆地南、北两侧古陆的变质岩，盆地的宽度小（一般仅约200公里以内）是半封闭的海湾，无形成深海的条件。⑤普遍发育反粒序结构，以及正反粒序在垂向上过渡的结构。⑥普遍发育多级别韵律，其中还有显微型韵律。⑤⑥两项都是用

浊流说难以解释的, 而用底流强度的改变来解释反粒序以及正反粒序的结合现象则比较容易。因为底流的强度既可递增也可递减, 而且其运动方向也是可以改变的。至于多级别韵律的形式则很可能同地壳的脉动作用有关, 因为脉动的幅度是多级别的。显微型韵律的形成还可能与气候的因素有关。

从关尹文<sup>[4]</sup>等对湖南宁远中上泥盆统碳酸盐复理石的描述中可以看出, 至少其中一些部分是浅海底流沉积的: ①透镜状层理、微波状层理的普遍存在。②砾状灰岩发育, 角砾顺层有时成叠瓦状排列; 珊瑚长轴的排列有定向性。③含有由层孔虫、珊瑚、藻类等生物组成的礁灰岩, 含有丰富的底栖生物的灰岩及生物碎屑灰岩是浅海及潮间带的沉积。

表2 浊流复理石与非浊流复理石对比

Table 2 Comparison between turbidite flysch and non-turbidite flysch

	浊 流 复 理 石	非 浊 流 复 理 石
地质体的典型产状	扇状、叶状、水道状; 有时为席状; 有时为带状, 但位于盆地凹陷轴部	带状, 其延展方向与构造线方向平行
原生构造所示古水流方向	与区域性海底斜坡方向一致	离岸、向岸、平行或斜交于海岸延长方向
波浪对沉积的影响	不明显	显著, 有大量而多样的波痕, 其中有摆波痕
多向交错层	缺 乏	发 育
多级别韵律	不重要、不明显	发 育
粒序性结构(在细粒物中)	正 粒 序	正粒序、反粒序; 正反粒序的结合
建造的结构	常不对称	对称或不对称
共生建造的性质	深海、次深海型为主	浅海型为主
前复理石的建造特征	蛇 绿 岩	碳酸盐建造或陆屑建造
后复理石的建造特征	造山型磨拉石	硬砂岩建造、红色建造
非韵律层的性质	具深水特征, 厚度较小	常为浅水成因, 厚度大
韵律中F单元	常 存 在	常不存在
白云岩含量	微 弱	微弱到丰富
生物面貌	漂浮及浮游型, 并以见于韵律顶部泥质岩中为特征; 深水型遗迹化石	底栖型; 漂浮及浮游型化石可见于韵律内部; 深水及浅水遗迹化石

值得一提的是，浊流说的奠基人奎伦<sup>[21]</sup>说过，为了正确鉴定古代岩层是否为浊流沉积，只是根据粒序结构、韵律性等标志是不够的，还应当具有表明岩层不是在近海条件下堆积的标志。这些提示是中肯的。因为，如上所说具有非浊流成因的各复理石沉积，它们都具有粒序结构、韵律性、鲍马层序等特点。

综上所述可以认为，在海相沉积中，沉积物的粒序结构、韵律性、底部印模，一定方式的内部结构，具有鲍马层序等只应看做是识别复理石的根据，而不是判别复理石成因的标志。为了确定复理石的成因，还需要从岩石学、古生物学、古地理学、矿物学、地球化学、区域构造学等方面进一步揭示复理石的具体特征。不可将具有鲍马层序或类似于鲍马层序的岩层无条件的、简单化的当成是浊积岩，或将浊积岩视为复理石的同义语。

为了进一步申述上述观点，兹将浊流复理石与非浊流复理石的可能差别，列表对比如表 2。限于研究程度，表 2 中所列内容可能有不甚完备之处，还有待于今后工作的补充、修正。

吕洪波、何永明参加了浙西复理石的研究工作，并为本文准备了图件和照片，谨此致谢。

收稿日期 1984年4月24日

### 参 考 文 献

- [1] 姜春发等, 1979, 地质学报, 第53卷, 第3期, 203—218。
- [2] 张勤文, 1981, 地质论评, 第27卷, 第5期, 405—412。
- [3] 关尹文等, 1959, 地质学报, 第39卷, 第2期, 138—212。
- [4] 关尹文等, 1983, 沉积学报, 第1卷, 第4期, 117—123。
- [5] 夏邦栋, 1982, 石油勘探与开发, 第6期, 8—16。
- [6] 叶连俊等, 1983, 华北地台沉积建造, 科学出版社, 1—16。
- [7] 夏邦栋, 1963, 南京大学学报(地质学), 第1期, 13—31。
- [8] 卢华夏, 1965, 南京大学学报(自然科学), 第9卷, 第3期, 360—378。
- [9] 马瑞士, 1965, 南京大学学报(自然科学), 第9卷, 第4期, 465—484。
- [10] 郭令智等, 1980, 国际交流地质论文集(构造地质), 地质出版社, 109—116。
- [11] 李继亮等, 1978, 地质科学, 第1期, 26—44。
- [12] Duff, P. M. D., Hallam, A., Walton, E. K., 1967, Cyclic Sedimentation, Developments in Sedimentology 10, 123—231
- [13] Bouma, A. H., 1962, Sedimentology of Some Flysch Deposits. Elsevier, Amsterdam
- [14] Hubert, J. F., 1966, Journal of Sedimentary petrology. Vol. 36, No.3, 677—699
- [15] Piper, D. J. W., 1978, In "Sedimentation in Submarine Canyons, Fans, and Trenches", 163—176
- [16] Hesse, R., 1975, Sedimentology, Vol. 22, No.3, 387—416
- [17] Allen, J. R. L., 1982, Sedimentary Structures, Their Character and Physical Basis. Vol. 11, 395—417
- [18] Wezel, F. C., 1972, 24th Internat. Geol. Cong. Proc. Sect. 6, 115—116
- [19] Reading, H. G., 1972, 24th Internat. Geol. Cong. Proc. Sect. 6, 59—67

- [20] Crook, K. A. W., 1974, Soc. Econ. Paleontologists and Mineralogists Spec. Pub. 19, 304—310
- [21] Kuenen, P. H., 1964, Turbidites, Developments in Sedimentology 3, 3—33
- [22] Bouma, A. H., 1964, Turbidites, Developments in Sedimentology 3, 247—256
- [23] Lowe, D. R., 1979, Soc. Econ. Paleontologists and Mineralogists Spec. Pub. 27, 75—82.
- [24] Lowe, D. R., 1982, Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 52, No.1, 279—297
- [25] Hubert, J. F., 1972, 24th Internat. Geol. Cong. Proc. Sect. 6, 101—104
- [26] Thompson, A. M., 1972, 24th Internat. Geol. Cong. Proc. Sect 6, 89—99
- [27] Grossgeym, V. A., 1972, Geotectonics, No.1, 22—25
- [28] Чалишев, С. И., 1976, Ритмичность флища и моласса. Л., Издательство "Наука", 276 С.
- [29] Романовский, С. И., 1976, Динамика Формирования Флища. Л., Издательство "Недра", 175 С.

## RESEARCH ON FLYSCH IN CHINA AND SOME PROBLEMS CONCERNED

Xia Bangdong

(Department of Geology, Nanjing University)

### Abstract

Flysch occurs extensively in strata from Precambrian to Mesozoic in China. Since the 1950's, the research on flysch has been made, and a large number of data have been gathered. On the basis of these data and the author's observation, some problems concerning the study of flysch are discussed in this paper.

The first part of this paper refers to some new views on the morphology of flysch.

1. Flysch is not completely composed of unitary rhythmic strata. It is usually composed of rhythmic strata separated by rock layers with a certain thickness and without rhythmic texture. The rhythmic and unrhythmic strata are interlaced with each other and form a higher grade combination called cyclothem, that is about scores or hundreds of meters in thickness. Every flysch formation can be divided into many cyclothem. Therefore,

it is necessary to study both rhythmic and unrhythmic units in flysch at the same time.

2. The basic characteristics in a flysch rhythm do not lie in whether there exists a Bouma's sequence, which itself is merely an incomplete and idealized model. In fact, the rhythmic texture in flysch is more complex and diversified. One basic characteristic is the existence of graded bedding, which is shown not only in the A interval of Bouma's sequence, but also in all the other intervals.

3. The flysch rhythm is polygraded. Every interval in Bouma's sequence may be heterogeneous. So it can be divided into many subordinate rhythms. For example, the subordinate rhythmic bedding in the A interval is mainly composed of sand (or coarse silt) layers separated by thin mud layers. But, in the E interval it is composed of mud layers separated by thin sand layers. Some secondary parts in a subordinated rhythmic bedding appear to be lenticular or lens. Sometimes microrhythms, which may consist of graded bedding, exist within a secondary rhythm.

4. In the fine-detrital layers with only several centimeters in thickness, normal grading, reverse grading, and the transition between them may be discovered. In general, such a texture can be observed only by microscope.

5. There are large-scale cross beddings, foreset laminae and ripplemarks, including symmetric ones, microscale ones and interference ones. And there are also bidirectional crossbeddings, herringbone cross beddings, lens-like beddings, and abundant contemporaneous breccia in some flysch. Fragments of siltstone may exist in the mudstone layer, and fragments of mudstone may exist in the siltstone layer. All this reflects that the sedimentary area has a shallow water environment with bottom currents, wave and tidal processes.

The second part of this paper points out that the research on the nature of the formation order and formation series in which flysch occurs is of great significance in recognizing the plate tectonic setting in flysch accumulation. The formation order and series are the combination of some formations alternating vertically and horizontally during the development of the flysch basin. Three kinds of flysch formation order in China are classified as follows: 1) Eruptive rocks order; 2) Sedimentary rocks order; 3) Eruptive sedimentary rocks order (table I). Their tectonic settings are respectively inter-plate, intra-plate, and continental crust rifting with microdivergence processes.

Table 1  
Kinds of flysch formation order in China

	ophiolite and spilite	Type of arenite	Synorogenic andesite	Orogenic molasse	Intensity of tectonic deformation	Contact between formations	Number of flysch occurrence	Carbonate content
Order 1	A	Present in early stage	Lithic graywacke	Present	Intense	Unconformity and disconformity	I	Less
	B	"	Quartz graywacke	"	"	"	I	"
Order 2	A	Absent	"	Absent	Slight	Conformity	I-3	"
	B	"	Carbonaterich graywacke	"	"	"	I-3	More
	C	"	Calcarenyte	"	"	"	I-3	Abundant
Order 3	A	Only spilite	Feldspar graywacke and quartz graywacke	Present	Moderate	Disconformity	I-3	Less-more
	B	"	Volcanic-clastic rock	"	"	"	I-3	Less

The origin of flysch is discussed in the third part. Reviewing the theories on the origin of flysch, such as turbidity current, bottom current and oscillation, and taking the flysch of Later Ordovician in western Zhejiang Province as an example, the author interprets the genesis characteristics of shallow water with frequent bottom current process. On this basis, the author comes to the conclusion that the origin of flysch is diversified, not simplex, like that of many other geological bodies. It is also considered that the turbidity current flysch and non-turbidity current flysch may exist simultaneously. The textures, such as rhythm, graded bedding, and the Bouma's sequence are not the bases to identify flysch origin, but the indicators to recognize it. In order to discriminate the origin of flysch, it is necessary to further reveal its concrete characteristics in many respects. Some signs of distinguishing turbidity current flysch from nonturbidity current flysch are listed in this paper.



1. 对称波痕，波峰较圆（浙江桐庐百江上奥陶统长坞组复理石） 2. 不对称波痕，波脊弯曲并有分叉现象（浙江淳安西阳上奥陶统长坞组复理石） 3. 多向交错层，标本原大（浙江于潜上骆家，上奥陶统于潜组复理石） 4. 新月形波痕（浙江桐庐百江上奥陶统长坞组复理石） 5. 次一级韵律的泥质层中有粉砂岩的细微透镜状层，标本中部，原大（浙江于潜上骆家上奥陶统于潜组复理石） 6. 细砂盐中具有不同倾向的三组前积层，呈现多构造，标本原大（浙江建德杨村桥上奥陶统长坞组复理石） 7. 泥质层中有粉砂岩的碎片（浙江建德杨村桥上奥陶统长坞组复理石） 8. 粉砂岩中有泥质岩的碎片（浙江临安上奥陶统于潜组复理石）