

# 浙江桐庐晚奥陶世内潮汐沉积

何幼斌 高振中 李建明 李维锋 罗顺社 王泽中

(江汉石油学院地质系 湖北荆州 434102)

**提 要** 本文论述了在中国首次发现的内潮汐沉积的特征及其形成环境。该内潮汐沉积发现于浙江省桐庐县桐君山地区上奥陶统上部,具有典型的对偶层双向递变层序。据其岩类组合和层序特征,可将其定为韵律性砂泥岩薄互层相。其中发育有特征的脉状、波状和透镜状层理。其沉积特征表明形成于开阔的深水斜坡环境,这种对偶层双向递变层序可能为内潮汐的大潮和小潮周期性变化的结果。

**关键词** 内潮汐沉积 对偶层 双向递变层序 沉积相 晚奥陶世

**第一作者简介** 何幼斌 男 33岁 副教授 沉积学

## 1 引言

内波(internal wave)这一概念的提出已经有近百年的历史了。近几十年来,由于海洋开发工作的需要和海洋学本身的发展,人们加强了对内波的观测,尤其是近30年来,在海洋学研究中取得了一系列关于内波方面的成果。

内波是一种水下波,它存在于两个密度不同的水层的界面上,或存在于具有密度梯度的水层之内。在所有的大洋中均有内波存在,而它的振幅、周期、传播速度及存在深度的变化范围很大<sup>[1]</sup>。内潮汐(internal tide)是内波的一种重要类型,它的周期等于半日潮或日潮<sup>[2,3]</sup>。一般在深度超过200~250 m时,内潮汐表现得比较明显。内潮汐和内波能在大洋底部,特别是海底峡谷和其它类型的沟谷中引起规模可观的双向流动<sup>[4]</sup>。这种深水双向流动的流速一般为20~50 cm/s。据深水潜水装置观察,这种流动能搬运沉积物的粒度可达细砂级,并能在数千米深处形成大量波痕<sup>[5]</sup>和沙丘<sup>[6]</sup>。

海洋学调查的成果说明,在海洋中内波和内潮汐是重要的地质营力,这些营力对深水沉积作用有重要影响,因此,必然在沉积记录中保存下来。然而,沉积学研究者没有及时地汲取海洋学这一研究成果,将其应用于沉积学的研究之中,更未将其用于对古代沉积的研究中。尽管一些研究者已注意到深水沉积中存在潮汐作用迹象,如Laird<sup>[7]</sup>和Klein<sup>[8]</sup>报

导过新西兰前寒武系中的深水双向交错层和翁通爪哇海台上白垩系至第三系中的脉状、波状和透镜状层理有孔虫灰岩,但未能进行系统深入研究。直到90年代初期,高振中和K. A. Eriksson在对美国阿巴拉契亚山脉中段芬卡斯尔(Fincastle)地区奥陶系进行研究时,才在地层记录中鉴别出了该类沉积,并进行了系统研究,首次使用了“内潮汐沉积”这一术语<sup>[9~11]</sup>。从此一个新的沉积学研究领域诞生了。他们在阿巴拉契亚地区识别出了两种微相类型:①双向交错纹理极细砂岩,以全层发育双向交错纹理(分别向水道上方和下方倾斜,纵向上频繁交替出现)为其特征,常呈双向递变(向上下均变细)或向上变细层序,被解释为内潮汐引起的沿水道上下交替流动的沉积产物;②单向交错层和交错纹理中一细砂岩,以发育倾向水道上方的板状交错层和交错纹理为其特征,被解释为叠加有长周期内波的内潮汐引起的向水道上方为主的流动的沉积产物。

最近,笔者在我国浙江桐庐地区的上奥陶统中首次发现了内潮汐沉积,其沉积特征,与阿巴拉契亚地区所见既有共同之处,同时又有其自身的特点。这一发现丰富了内潮汐沉积的微相类型和层序特征,加深了对内潮汐沉积环境和条件的认识。

## 2 区域地质背景

研究区位于浙北桐庐地区,研究层位为上奥陶统顶部的堰口组。该地区位于扬子地台南缘江南带

① 本文为国家自然科学基金资助项目(编号49472122)的成果之一。  
收稿日期:1997-03-26 收修改稿日期:1997-04-30

东段,自中晚元古代以来就发育浊流沉积,到寒武—奥陶纪,该区则发育为成熟被动边缘<sup>①</sup>。晚奥陶世,浙北至皖南一带为非补偿性深水盆地。在晚奥陶世晚期,随着华夏古陆向扬子地区逐渐靠近并发生碰撞,来自东南方向的陆源碎屑物质的大量注入,使这一非补偿性深水盆地发育为陆源碎屑浊积盆地,并在临安—宁国一带沉积了巨厚的浊积岩,形成了规模巨大的海底扇沉积体系。研究区就位于该深水盆地的东南斜坡带上(图1)。

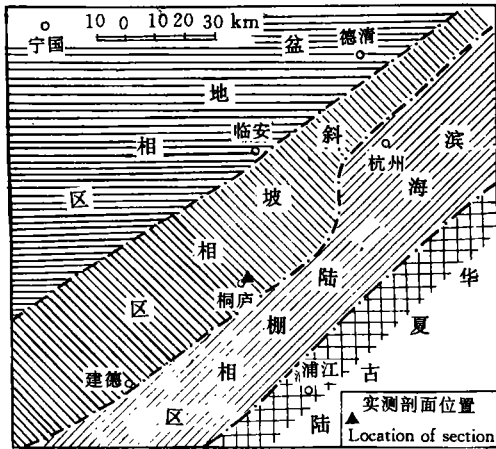


图1 浙北地区晚奥陶世晚期岩相古地理略图 (据罗璋等,1981年,修改)

Fig. 1 Lithofacies paleogeographical sketch map of the late age of the Late Ordovician of the northern Zhejiang. (modified of the Luo Zhang, et al, 1981)

本文研究的内潮汐沉积见于浙江桐庐一带的上奥陶统顶部的堰口组。实测剖面位于桐庐县城附近的桐君山。该剖面堰口组出露厚度为30.2 m,与下伏文昌组为连续沉积,与上覆下志留统安吉组为断层接触。堰口组主要为一套灰色细砂岩和粉砂岩与灰黑色、深灰色泥岩的频繁薄互层,含少量笔石和三叶虫,底部夹有两层厚度分别为1.15 m和0.22 m的碎屑流沉积的富含基质的砾岩(图2),该砾岩延伸较稳定,分布较广。研究区内堰口组岩性变化不大,底部普遍夹有2~3层碎屑流沉积的砾岩。此外,笔者在野外调查过程中,在桐庐西南方向距桐庐约13 km处的象山桥以及建德的下涯埠、杨村等地的相当层位中均发现有明显的浊流沉积,且深灰色泥岩层面上见有大量水平虫迹化石。这进一步表明桐庐—建德地区当时为一斜坡沉积环境。

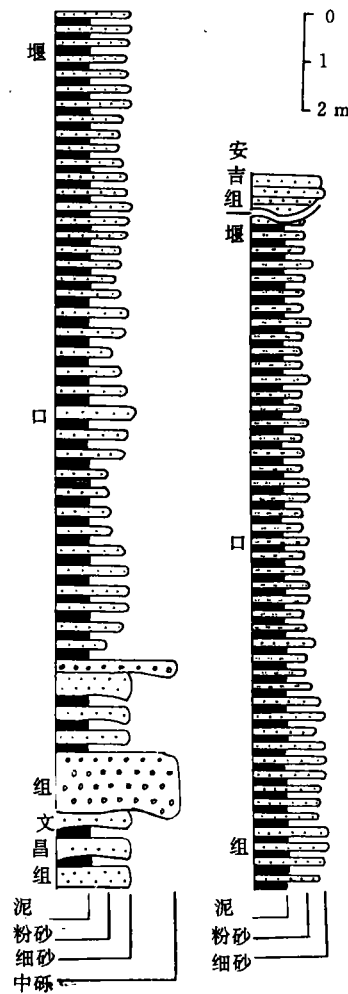


图2 浙江桐庐桐君山堰口组实测柱状剖面图 Fig. 2 Columnar section of Yankou Formation in the Tongjun mountain, Tonglu County, Zhejiang

### 3 沉积特征

#### 3.1 岩性特征

堰口组砂岩中,碎屑颗粒约占70%~90%,杂基含量10%~30%。其中碎屑颗粒组分主要为石英,含量约65%~75%,次为岩屑和长石,含量分别为15%~20%和8%~15%,其岩屑主要为粘土岩岩屑。这种砂岩的成分与已知内潮汐沉积的成分是相似的(见表1)。

薄片粒度分析结果表明,桐庐堰口组砂岩的粒度概率累积曲线表现为清楚的两段式,下段斜率较高(见图3)。这与浊积岩的一段式明显不同。其平均粒径变化于2.55~4.35 φ之间(见表2),以细砂级

<sup>①</sup> 罗璋等. 浙皖地区下古生界斜坡带沉积构造控制油气圈闭条件的研究. “七五”国家重点科技攻关项目成果报告. 1989.

和极细砂级为主,少数为粗粉砂级。标准偏差  $\sigma_1$  变化于 0.70~1.06 之间。按 Freidman(1962)的标准均属分选中等至较好。偏度  $Sk_1$  为 0.01~0.49,多近正态至正偏,少数极正偏。这种正偏优势的特征可能与其含有较长的细尾(悬移质)有关。峰度  $K_G$  为 0.84~1.76,以近正态为主,也有窄峰和很窄峰,说明中部较尾部分选好,这也与其含有较长的细尾有关。

表 1 若干地区砂级内潮汐沉积成分一览表  
Table 1 Composition of sand-size internal-tide deposits in some areas

地 区	美国阿巴拉契亚山脉芬卡斯尔地区 <sup>[11]</sup>	新西兰南岛西海岸帕帕罗亚地区 <sup>[7]</sup>	中国浙江桐庐地区
时 代	中奥陶世	前寒武纪	晚奥陶世
地 层	贝斯组	格陵兰群	堰口组
石英 (%)	变化范围	69.9~86.5	65~75
	平均含量	76.0	71.5
长石 (%)	变化范围	4.7~9.6	8~15
	平均含量	8.0	10.5
岩屑 (%)	变化范围	3.9~25.4	15~20
	平均含量	16.0	18.0
杂基 (%)	变化范围	21~38.4	10~30
	平均含量	30.7	15.5

表 2 浙江桐庐堰口组砂质内潮汐沉积粒度参数  
Table 2 Grain-size parameters of sand-size internal-tide deposits of Yankou Formation in the Tonglu area, Zhejiang Province

样品号	平均粒径 $Mz(\phi)$	标准偏差 $\sigma_1$	偏度 $Sk_1$	尖度 $K_G$
Z9	2.55	0.92	0.29	1.76
Z10	2.87	1.06	0.45	1.69
Z12	4.35	0.88	0.15	0.84
Z13	3.85	1.06	0.49	0.96
T20	3.88	0.72	0.01	0.96
T21	3.58	0.70	0.36	0.96
T23	4.06	0.70	0.03	0.95
T27	2.97	0.76	0.25	1.30
平均值	3.51	0.85	0.26	1.18

3.2 沉积构造

桐庐堰口组砂泥岩中发育多种类型的层理和层面构造。常见的有脉状层理、波状层理、透镜状层理、

交错纹理和流水波痕等。

堰口组中上部砂岩与泥岩互层形成剖面上大套的韵律性砂泥岩互层(图 2)。在这种互层中,砂岩层和泥岩层一般厚 2~8 mm,最厚可达 1~3 cm。一般为近等厚互层,侧向连续,呈波状起伏,即波状层理;有的砂岩层厚度大于泥岩层,泥质呈脉状穿插其间,即脉状层理;有的泥岩层厚度大于砂岩层,砂质呈孤立波痕状侧向不连续,即透镜状层理(图 4)。这些波状、脉状和透镜状层理是堰口组特征的沉积构造。这与翁通爪哇海台上 2 000~3 000 m 水深处白垩系至第三系由内潮汐作用形成的波状、脉状和透镜状层理有孔虫灰岩<sup>[8,11]</sup>十分相似。这表明它们成因和形成环境也应该是相似的。

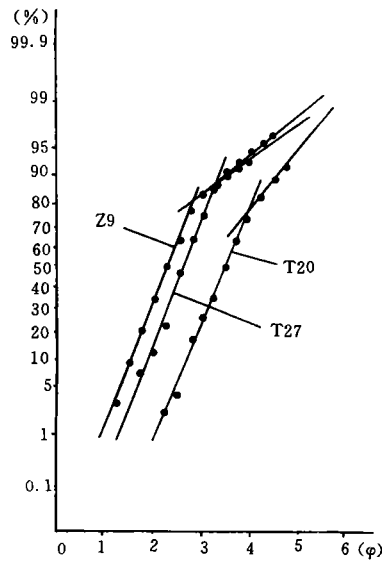


图 3 浙江桐庐上奥陶统堰口组内潮汐沉积粒度概率累积曲线

Fig. 3 Grain size cumulative probability curves of internal-tide deposits of the Upper Ordovician Yankou Formation in the Tonglu area, Zhejiang

交错纹理中纹理细层倾向主要为双向的,即北西和南东向,但北西向明显较东南方向发育。这一方向正好与斜坡走向垂直,即与沿斜坡向下和向上的方向相一致,说明其应为沿北西和南东方向频繁交替流动水流作用的结果。

层面多见不对称的流水波痕,也有对称波痕和干涉波痕。波痕走向为近北东-南西向。不对称波痕缓坡倾向多为北西向(300°~340°),陡坡多倾向为南东向(140°~160°)。其倾向与交错纹理细层倾向基本一致,即与斜坡走向垂直。这些也说明该地区存在着沿斜坡上下流动的水流。这种波痕与海洋学

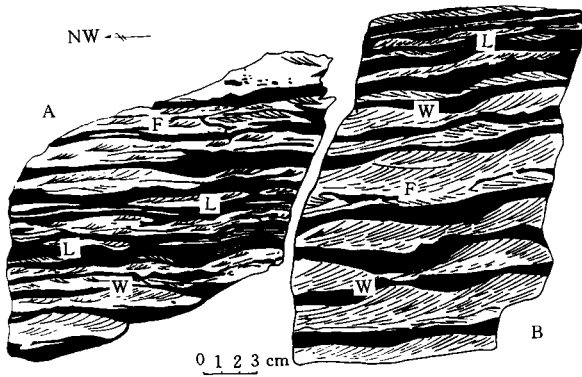


图4 浙江桐庐上奥陶统堰口组内潮汐沉积中的脉状层理、波状层理和透镜状层理(据岩石光面素描)

F. 脉状层理; W. 波状层理; L. 透镜状层理

Fig. 4 Flaser, wavy and lenticular bedding of internal-tide deposits of the Upper Ordovician Yankou Formation in the Tonglu area, Zhejiang

调查中发现的在数千米深海底存在着的大量由内波和内潮汐作用形成的波痕<sup>[5]</sup>是相似的。

### 3.3 层序特征

高振中等在阿巴拉契亚山脉芬卡斯尔地区内潮汐沉积中识别出了两种基本层序类型,即双向递变层序和单向递变层序<sup>[9,10,11]</sup>(图5A,B)。而我们在浙江桐庐发现了一种新的层序类型,即对偶层双向递变层序(图5C)。

浙江桐庐地区上奥陶统堰口组由灰色薄层砂岩、杂砂岩与深灰色、灰黑色薄层泥岩频繁交互所组成,其外貌显示特征的条带状。砂岩或泥岩薄层在侧向上可以连续延伸,也可呈断续状或透镜状。单层厚以0.5~2 cm最常见,薄者仅1~2 mm,厚者3~4 cm,偶见砂岩厚达7 cm者。这套砂泥岩薄互层在纵向上显示出清楚的韵律性,可划分出许多自下而上由细变粗再到细的层序,每个层序由十余个或数十个砂泥岩对偶层组成,层序厚度0.2~1 m不等。层序中部的砂岩/泥岩比率较高,一般为1:1~2:1,最高可达3:1;向上、向下砂泥比逐渐降低,可直降至1:3。层序中部一对砂泥岩对偶层的厚度一般为3~5 cm,向上、向下可减少至1~2 cm或更少(图5C)。砂岩层横向可连续延伸,也可呈透镜状断续成层。连续延伸者顶面也常呈波状起伏,泥岩层的厚度随之变化:在波谷处较厚而波峰处较薄。笔者将具有

这种层序特征的内潮汐沉积层序称为对偶层双向递变层序(图5C)。这种层序与芬卡斯尔地区所见的双向递变层序不完全相同,其主要区别在于:芬卡斯尔地区的细—粗—细层序是由砂岩层内的粒度和泥质含量变化而显现,而桐庐地区则由砂泥对偶层的规模和砂泥岩比率在纵向上的变化而显现。当然这种层序与经典浊积岩中的鲍玛层序是完全不同的。

## 4 微相类型及沉积环境分析

目前已识别出了一些内潮汐沉积微相,如芬卡斯尔地区奥陶系中的双向交错纹理极细砂岩、单向交错层和交错纹理砂岩<sup>[9,10]</sup>、翁通瓜哇海台上白垩系至第三系中的脉状、波状和透镜状层理有孔虫灰岩<sup>[8,11]</sup>等。本区内潮汐沉积与前三类微相类型不尽相同,是由砂岩与泥岩薄层组成的有规律的频繁互层,可以称为韵律性砂泥岩薄互层微相。

本区堰口组含笔石暗色泥岩的特征表明其形成于深水环境,碎屑流砾岩的伴生以及研究区附近地区相当层位浊流沉积的存在说明为斜坡环境,与前述古地理格局一致。碎屑流砾岩呈大范围席状分布且厚度较稳定说明斜坡表面比较平坦,而非水道环境。至于该坡的绝对水深,目前尚缺乏资料进行确切推算,不过根据相邻组段沉积特征分析,水体不会很深,可能处于上部陆坡环境。

堰口组中这种韵律性砂泥岩薄互层微相的沉积特征排除了属浊流沉积的可能性。脉状、波状和透镜状层理指示床沙载荷与悬浮载荷的频繁交替,这是与潮汐作用有关的沉积的基本特征。而交错纹理的双向倾斜更是潮流双向运动的直接证据。两个方向交错纹理发育程度的显著差别与现今海洋潮流活动的不对称性一致。所以,在深水斜坡环境形成的这种颇具特征的相类型应为内潮汐沉积作用的产物。古斜坡自南东向北西方向倾斜,南东向和北西向指向沉积构造表明当时内潮汐流的方向主要为沿斜坡向上和向下的交替流动。

这种韵律性砂泥岩薄互层微相与阿巴拉契亚山脉芬卡斯尔地区内潮汐沉积的两种微相类型不完全相同,其主要区别在于,该微相为砂岩频繁交替,而未形成较厚砂岩,这可能取决于二者环境条件的差异。芬卡斯尔地区内潮汐沉积形成于海底水道环境,潮流方向的转变很突然,相对静止期很短,泥级悬浮物难以集中沉积,故形成了较厚的砂岩段。而桐庐地区内潮汐沉积形成于开阔的斜坡上,潮流转向时具

有较长的相对静止期(平潮期),泥级悬浮物得以沉积并可独立成层,因而形成砂岩和泥岩的互层。每个砂泥对偶层的形成可能为日潮或半日潮作用的结果。而这种砂、泥岩薄互层的韵律性,即对偶层双向递变层序的形成,则可能为小潮和大潮周期性变化的结果。在大潮期,所形成的砂岩单层厚度较大,所占比例较高;在小潮期,所形成的砂岩单层很薄,所占比例也小。由于大潮期与小潮期是逐渐变化的,故富砂岩段与贫砂岩段之间(即层序各对偶层之间)是逐渐过渡的。

## 5 内潮汐沉积与浊流沉积和等深流沉积的主要区别

内潮汐沉积、浊流沉积和等深流沉积都形成于

较深水至深水环境,而且多形成于斜坡及陆隆环境。由于内潮汐沉积常为细粒浊流沉积经内潮汐流改造的产物,因此,其碎屑成分相似。而且内潮汐沉积的砂岩与细粒浊积砂岩和砂级等深流沉积的粒径也相差不多。因此,正确区分内潮汐沉积与浊流沉积和等深流沉积是识别内潮汐沉积的关键。下面几点就是目前所认识到的它们之间的主要区别。

(1)沉积构造不同。内潮汐沉积的沉积构造类型繁多,表现出牵引流沉积的典型特征,且具有双向指向沉积构造(如双向交错层和交错纹理等)和脉状、波状、透镜状层理,这是等深流沉积、浊积岩和其它任何重力流沉积不可能具有的。

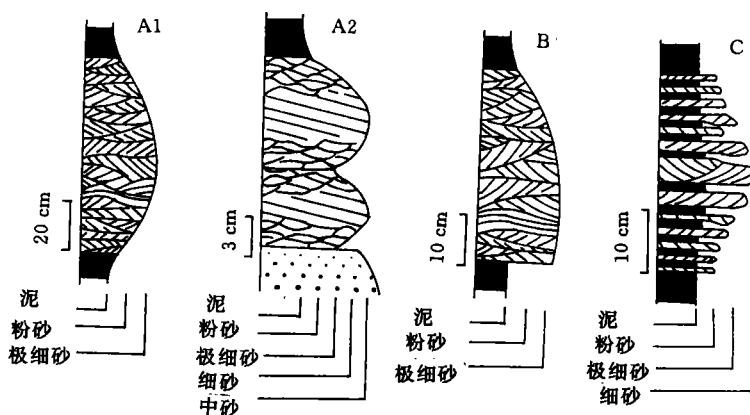


图5 内潮汐和内波沉积的层序

A. 双向递变层序; A<sub>1</sub>. 完全由交错纹理构成的双向递变层序;

A<sub>2</sub>. 由中型交错层和小型交错纹理构成的双向递变层序; B. 单向递变层序; C. 对偶层双向递变层序

Fig. 5 The sequences of internal-tide and internal-wave deposits

(2)沉积层序不同。高振中等在美国阿巴拉契亚山脉芬卡斯尔地区潮汐沉积中识别出了双向递变层序和单向递变层序(图5A,B)两种类型<sup>[8,9]</sup>,而笔者在本区内潮汐沉积中又发现了偶层双向递变层序(图5C),这些层序明显不同于浊积岩中的鲍玛层序和其它重力流沉积层序,与等深流沉积的层序也有区别。

(3)内潮汐沉积缺乏生物扰动构造,而等深流沉积中生物扰动构造十分发育,浊流沉积层序的顶部可见生物扰动构造。

(4)粒度曲线形态不同。在概率累积曲线上,内潮汐沉积为明显的两段式,且下段斜率较大;而浊积

岩为明显的一段式,且较平缓。

(5)分选不同。内潮汐沉积的砂岩的分选性一般为中等至较好,明显高于浊流沉积。

## 6 非水道环境中的内潮汐沉积的鉴别标志及其沉积模式

研究表明,芬卡斯尔地区识别出的内潮汐沉积为水道环境中的内潮汐沉积<sup>[9,10]</sup>,而本区的内潮汐沉积则是非水道的较开阔平坦的斜坡环境中的内潮汐沉积。它们即有一些相同之处,又有一些区别。根据现有的认识,可将斜坡非水道环境中内潮汐沉积的特征归纳如下。

(1)一般由砂级、粉砂级和泥级沉积物构成,这是由其环境条件和沉积作用所决定的。

(2)具有双向交错纹理或其它指向沉积构造。这是因为内潮汐和内波作用通常总是引起双向往复流动,因而容易形成双向沉积构造。当然,在这种非水道的较开阔平坦的斜坡上,往复流动的路径不一定完全相同,这就导致双向指向沉积构造的方向不一定刚好相差 $180^{\circ}$ ,而可能有一定程度的偏离。

(3)具有特征的对偶层双向递变层序或其它特征的沉积层序。在非水道的斜坡环境中,内潮汐和内波作用引起的双向流动的流速通常较水道环境小,而水流倒向时的相对静止期较长。在这“平潮期”内,泥质悬浮物质可以沉积下来,与“涨潮”或“落潮”期形成的砂质沉积构成频繁互层。而由于更大周期的

控制,这种频繁互层又会显示对偶层双向递变层序(图5C)。当然,除对偶层双向递变层序外,也不能排除出现其它类型层序的可能性。

(4)具有特征脉状层理、波状层理和透镜状层理。这是由于这种环境中的床沙载荷与悬载荷的频繁交互沉积而形成的,类似于潮坪环境中潮汐层理,但这里是深水还原环境,沉积物颜色和指相矿物与潮坪沉积迥然不同,更无暴露标志。

(5)缺乏生物扰动构造。这可能是由于内潮汐和内波作用引起的海底流动为双向往复流动,不但流速变化大,而且水流反复倒向,且近海底水流浑浊度高,不利于底栖生物的生存与活动。

根据本区堰口组内潮汐沉积的特征和沉积环境,可将其沉积模式归纳为图6。

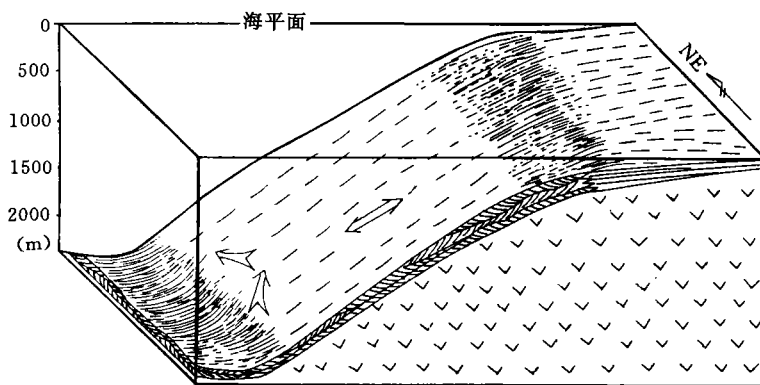


图6 浙江桐庐上奥陶统堰口组内潮汐沉积模式

Fig. 6 Sedimentation model for internal-tide deposits of the Upper Ordovician Yankou Formation in the Tonglu area, Zhejiang

在本项目的立题和研究过程中,一直得到了孙枢院士的热情鼓励、精心指导和具体帮助。在野外工作中得到了杭州石油地质研究所罗璋、鞠天吟高级工程师和沈金龙工程师以及浙江石油勘探处的俞月德高级工程师的大力支持和帮助,在此一并致以衷心的感谢!

#### 参 考 文 献

- 1 Munk W. Internal waves and small-scale processes. In: Warren B A, Wunsch C, ed. *Evolution of Physical Oceanography*. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 1981. 246~291
- 2 LaFond E C. Internal Waves. In: Hill M N, ed. *The Sea, Volume 1*. London: Wiley Interscience, 1962. 731~751
- 3 Rattray M. On the coastal generation of internal tides. *Tellus*, 1960, 12: 54~62
- 4 Shepard F P, Marshall N F, Mcloughlin P A, Sullivan G G. Currents in submarine canyons and other seavalleys. *AAPG studies in Geology* 8. 1978. 1~13
- 5 Mullins H T, Keller G H, Kofoed J W, Lambert D N, Stubblefield W L, Warne J E. Geology of Great Abaco submarine canyon (Blake Plateau); Observations from the research submersible "Alvin". *Marine Geology*, 1982, 48: 239~257
- 6 Cacchione D A, Schwab W C, Noble M, Tate G. Internal tides and sediment movement on Horizon Guyot, Mid-Pacific Mountains. *Geo-Marine Letters*, 1988, (8): 11~17
- 7 Laird M G. Sedimentology of the Greenland Group in the Paparao Range, West coast, South Island. *N. Z. Journal of Geology and Geophysics*, 1972, 15(3): 372~393
- 8 Klein G D (deV). Resedimented pelagic carbonate and volcanoclastic sediments and sedimentary structures in leg 30 DSDP cores from the Western Equatorial Pacific. *Geology*, 1975, 3: 39~42
- 9 Gao Zhenzhong, Eriksson D A. Internal-tide deposits in an Or-

- dovician submarine channel; previously unrecognized facies? *Geology*, 1991, 19(7): 734~737
- 10 高振中, Eriksson K A. 美国阿巴拉契亚山脉芬卡苏地区奥陶纪海底水道中的内潮汐沉积. *沉积学报*, 1993, 11(1): 12~22
- 11 高振中, 何幼斌, 罗顺社, 郭建华. 深水牵引流沉积—内潮汐、内波和等深流沉积研究. 北京: 科学出版社, 1996. 1~46

## Internal-tide Deposits of the Late Ordovician in Tonglu, Zhejiang

He Youbin Gao Zhenzhong Li Jianming Li Weifeng  
Luo Shunshe Wang Zezhong

(Department of Geology, Jiangnan Petroleum Institute, Jingzhou, Hubei 434102)

### Abstract

Oceanographic studies more than 30 years revealed the existence of internal tides and internal waves in deep-water, however, internal-tide deposits were not recognized and studied systematically in the stratigraphic record until Gao Zhenzhong and K. A. Eriksson studied Ordovician deep-water sediments in the central Appalachians of the USA in the early 1990s. The term of internal-tide deposits was introduced for the first time in their paper. Two facies were recognized in the Ordovician of the Fincastle area, Appalachians: (1) bidirectional cross-laminated very fine grained sandstone facies, and (2) unidirectional cross-bedded and cross-laminated medium-to fine-grained sandstone facies.

Recently, internal-tide deposits were first found in the Upper Ordovician in the Tonglu area, Zhejiang Province, which are similar to that found in Appalachians in some sedimentary characteristics but also have some marked difference from that in Appalachians. During the late age of Late Ordovician the Tonglu area was located on the southeastern slope of a deep-water basin. The internal-tide deposits described in this paper were found within the Upper Ordovician Yankou Formation, which consists of a succession of thin alternate layers of sandstones and mudstones. This set of thin alternate layers displayed clear rhythmicity and could be classified into many sequences from fine-grained to coarse-grained, and to fine-grained again upwards. Each sequence consists of more than ten or tens of couplets of sandstones and mudstones with 0.2~1 m in thickness and could be referred to as a symmetrically graded couplet sequence. This kind of internal-tide deposits with this sequence could be called as a rhythmic thin alternate layer facies of sandstone and mudstone, which formed in deep-water slope environment and should probably be the product of internal tide sedimentation. Palaeoslope dipping towards northwest and southeast ward and northwest ward sedimentary structures indicate that the internal tide currents flew mainly alternatively up and down on the slope. Based on the study, the internal-tide deposits were inferred to be formed in open slope where there was a longer relative static period (the period of slack water) during tidal current reversals, so mud-size materials could deposit and form muddy beds. The formation of each couplet of sandstone and mudstone might be the result of diurnal or semidiurnal tide. But the formation of symmetrically graded couplet sequence might be the result of periodical change of spring tide and neap tide.

**Key Words** internal-tide deposits couplet symmetrically graded sequence sedimentary facies Late Ordovician