

浙江江山晚奥陶世浊积岩系特征 及浙西浊积扇模式的探讨

梁鼎新 郭福生

(华东地质学院)

在扬子地台东南的浙西、皖南地区,晚奥陶世晚期地层具有鲜明的沉积学特征。它对认识本区加里东晚期古构造环境有着十分重要的意义。关尹文(1959)、李继亮(1978)、吕洪波(1987)、余素玉(1986)先后在临安、宁国、绩溪等地对其韵律结构、沉积构造及矿物岩石学方面进行了不同程度的研究。关尹文、吕洪波称之为浅水复理石。李继亮认为是深水浊流沉积。笔者(1989)在江山一带对相应地层进行了系统的沉积相研究,结合浙、皖浊积岩系特征的对比,对浊积扇的构成及其发育的构造古地理条件进行了初步探讨。

一、江山浊积岩系的沉积特征

江山晚奥陶世晚期地层称长坞组,为一套黄绿色粉砂、泥质沉积,厚 382.3m,下与早期的黄泥岗组连续过渡,上为早石炭世叶家塘组平行不整合覆盖。与邻区地层对比关系如表 1。

表 1 长坞组与邻区地层对比表

Table 1 Stratigraphic correlation of the Changwu Formation and its adjacent areas

地 区	皖南、赣西北	浙西北	浙 西	江 山
上覆地层	S ₁ 霞乡组	S ₁ 安吉组	S ₁ 仕阳群	C ₁ 叶家塘组
上奥陶统 上 部	新岭组	墩口组	文昌组	长坞组
		张村坞组		
		于潜组	长坞组	
下伏地层	O _{3a} 黄泥岗组	O _{3a} 黄泥岗组	O _{3a} 黄泥岗组	O _{3a} 黄泥岗组

从沉积学特征分析,江山的长坞组可分为潮坪沉积和浊流沉积两种类型:

1. 潮坪沉积 由黄绿、灰绿色泥岩、粉砂质泥岩及钙质泥岩组成。层理类型有透镜状层理(图 1)、水平层理和块状层理。偶见微弱的冲刷构造。据薄片粒度分析,平均值

(MZ) 3.69 ϕ , 标准偏差(σ_1) 0.59, 偏度(SK₁) -0.17, 峰态(KG) 2.62。概率曲线的跳跃总体明显分成两个次总体(图 2),反映有较弱的双向水流作用。微量元素含量与页岩平均含量(刘英俊, 1986)相近。V/Ni3.90, Sr/Ba0.35, Ga22.5ppm, 相当硼含量 191ppm, 与浅海陆棚沉积的黄泥岗组(相当硼含量 250ppm)比较,海水盐度稍低。古生物有:三叶虫、腕足类、腹足类、瓣鳃类及头足类等。个体小,分异度低,腕足类为小型薄壳变种。这种不正常的生态环境可能与水体淡化和混浊有关。部分化石呈碎片于层面散布,为异地搬运产物。三叶虫中以圆尾科代表,它具有在海域深层浮游的生活习性。上述资料说明本区以潮间—潮下环境为主。



图1 透镜状层理素描

Fig. 1 Drawing of lenticular beddings

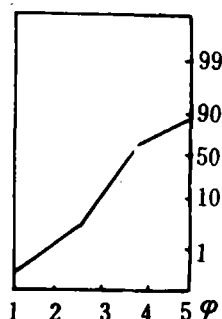


图2 粒度概率曲线

Fig. 2 Probability grain size curves

2. 浊流沉积 由灰绿、黄绿色粉砂岩、细砂岩、泥岩组成。砂岩具粉砂—细砂结构，颗粒支撑—杂基支撑。碎屑颗粒占 80—85%，杂基 15—20%。碎屑以棱角状石英为主，硅质岩屑 8%，泥质岩屑少量。杂基由水云母、绿泥石和少量斜长石、石英组成。泥岩主要成分为水云母和绿泥石。发育不完整的鲍马层序。韵律层厚 5.8—15cm，对韵律结构的统计资料用马尔科夫链分析，常见的模式剖面为 BF、DF、HAF 等，出现概率占 70% 以上。砂泥比 0.24。粒度平均值 (M_z) 3.67—4.35 ϕ ，标准偏差 (σ_1) 0.36—0.54，偏度 (SK_1) -0.29—-1.86，峰态 (KG) 3.35—8.55。粒度概率曲线有两种类型：(1) 直线型，代表单一的悬浮组分，直线斜率 42° (图 3a)；(2) 连续的折线，表明跳跃组分与悬浮组分分界不清，牵引流作用明显出现 (图 3b)。在 CM 图上，呈平行 $C=M$ 直线的带状分布，具典型的浊流沉积图象。层理类型有：(1) 粒序层理：一种为分配粒级递变，层内碎屑由下而上逐渐变细，下部粗粒沉积物中未掺杂细粒物质，是低密度浊流或稀释的浊流缓慢地逐层沉积形成；另一种为双向递变，即在单层中粒度具细—粗—细的变化 (图 4)，它反映了浊流能量的递变

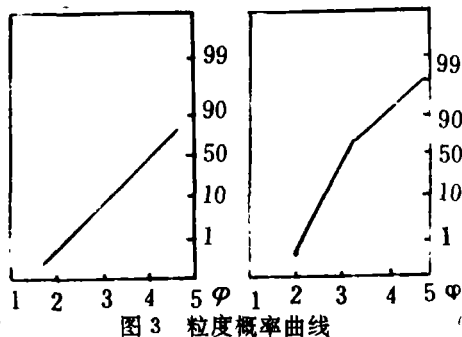


图3 粒度概率曲线

Fig. 3 Probability grain size curves

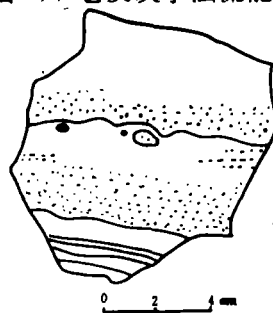


图4 双向递变的粒序层理

Fig. 4 Bidirectional graded beddings

过程，常见于近源区的浊积层中 (吴崇筠 1986)；(2) 小型交错层理，层系厚度 0.5—1.5cm，纹层面呈宽缓弯曲，倾角 10—15°，属凹形前积层，这种交错层形成于悬浮载荷/床沙载荷、流动深度/盆地深度比值较大的情况下 (艾伦, 1968)，是水下密度流的一个证据；(3) 包卷层理；(4) 块状层理等。冲刷面普遍发育，在砂岩底面见有长 3—10cm 的槽模及沟模。砂岩顶面有不对称的小型流水波痕，脊线呈舌形，波长 10—15cm，波高 1—3cm，对称指数 2.5—6，砂波中斜层理发育。有时，在砂岩底部发育小型砂球构造。泥岩中的微量元素含量与正常页岩平均值比较，Pb、Ni、Co、Sr、Ga、Sm、Be、Zr 等九种元素均低于平均值，与潮坪沉积物有明显区别 (表 2)。这与浊流带来的粘土质点进入海盆以后，迅速沉积埋藏，未能在海水中充分地进行吸附与交换作用有关。V/Ni 3.45，Sr/Ba 0.22，Ga 26ppm，相当富含

量 160ppm 左右, 证明水体明显淡化。生物化石稀少甚至没有。海水盐度与混浊度的骤然变化, 使生物无法生存繁衍。

表 2 微量元素含量 (ppm) 对比表

Table 2 Comparison of minor element contents (in ppm)

元素含量 沉积类型	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	V	Co	Sr	Ba	Ga	Sn	Be	Zr	y	yb
浊流沉积	89.3	21.3	213.3	160	54	186.6	16.6	112.6	500	26.0	18	3.13	131.3	15.3	2.13
潮坪沉积	126.2	26.8	212.5	158.7	57.5	225.0	18.7	155.0	437.5	22.5	20	3.06	130	24.3	3.18
一般页岩	35	27.4	120	90	68	130	19	300	546	30	40	3.80	130 283		

由上述可见, 江山长坞组的浊积岩属低密度浊流。韵律层中的 B、C 段是沉积物由悬浮载荷转成底负荷后, 以牵引沉积作用形成。D、E 段以悬浮沉积为主, 在沉积前或沉积期间也还有一些牵引作用及近床效应形成细纹层及较好的分选结构 (Walker 1965, Hesse and Chough 1981)。F 段则为直接的悬浮沉积。A 段是高密度流悬浮负荷的直接沉积 (Middleton 1967), 在本区很少出现。

根据岩相剖面分析, 长坞组之下的黄泥岗组为浅海陆棚相, 生物门类繁多, 个体丰富, 底栖生物分异度高, 相当硼含量 250ppm, $Sr/Ba0.27$, $Fe^{3+}/Fe^{2+}6.86$, 为盐度正常的氧化环境。长坞组为潮汐作用较弱的潮坪环境, 带有部分静水沉积特点。浊流沉积以三个韵律层组形式夹于潮坪沉积中 (图 5), 二者呈渐变过渡, 常表现为砂质条带的增减和冲刷底蚀构造发育程度的差异。由此可见, 侵入江山的浊流为低能量的和非突然的。三个浊积层组代表浙、皖地区浊流事件的三个高峰期, 它周期性地改变着海盆的生态环境。在江山西南, 玉山、常山一带的同期异相的三衢山组生物礁灰岩中, 有三层稳定的珊瑚礁夹于含底栖生物的泥灰岩中, 就是这种清水与浑水环境不断更替的结果。在三次浊流事件中, 以第二次强度较大, 表现为: (1) 在粒度参数上平均值较大, 分选程度较低, 负偏小, 峰态较宽 (表 3); (2) 韵律剖面结构不同 (图 6), II 层中高流态沉积层比例较大, 砂泥比 1.26, 而 I、III 层砂泥比仅 0.41—0.51; (3) 底蚀作用形成的槽模、冲刷面, 牵引流形成的交错层以及流水波痕主要发育在 II 层中。

表 3 浊积层平均粒度参数

Table 3 Mean grain size parameters for the turbidite beds

浊积层编号	平均值 (Mz)	标准偏差 (σ_1)	偏 度 (KS_1)	峰 态 (KG)
III	4.11	0.42	-0.65	3.35
II	3.67	0.54	-0.29	3.79
I	4.35	0.36	-1.86	8.55

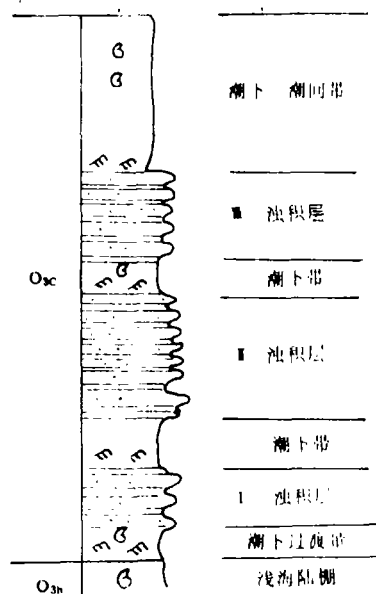


图 5 长坞组沉积序列

Fig. 5 Sedimentary sequence through the Changwu Formation

二、浙西、皖南浊积岩系特点的区域对比及其扇模式

根据沉积类型、生物组合,晚奥陶世晚期浙皖海盆可分为四个相区:即江山-杭州潮坪相区,以底栖介壳类为主;在衢州-玉山为小型生物礁相区,珊瑚等造礁生物繁盛;临安-淳安浅海陆棚相区,笔石与介壳类化石混生;石台-宁国深水滞流盆地,以笔石为主。在江山-诸暨以东为华夏古陆。这就是浊流得以发育的古地形概貌。

浊积岩分布于江山-杭州以西,绩溪-宁国以东的广大地区,各地浊积岩系的特征各不相同,从而使我们有研究它们的空间配置来勾划浊积扇的大致轮廓。

临安于潜上奥陶统上部地层包括于潜组、张村坞组和堰口组,由灰绿色粉砂岩、细砂岩与青灰色泥岩组成韵律互层,产笔石;上部见含砾砂岩、细砂岩,产介壳类化石,厚1455m。砂岩为杂砂岩和长石岩屑杂砂岩,与江山的岩石类型相似,成分成熟度偏低(表4)。韵律层厚4.5—16.9cm,砂泥比1.78—4.54,模式剖面为HACF、HAF、HBCF,与江山比较,A、B段明显增多(图7)。粒度参数:平均值(Mz)2.41 ϕ ,标准偏差(σ_1)0.67,偏度(ks_1)以正偏为主。概率曲线如图8,与江山比较,粒度范围宽,粗尾部分带有牵引沉积特点,斜率小,分选较差。在CM图上,于潜组、张村坞组与江山长坞组的投影点紧密相接,于潜浊积岩的C、M值明显增大(图

9)。底蚀构造普遍发育,槽模最长达60cm。流水交错层理倾角5—15°,纹层面平直或稍见弯曲,多呈角度前积层,床沙载荷比例较高。上述特征皆说明临安一带浊流密度较大,水动力较强,可能相当于R·G·Walker(1978)的海底扇模式的中扇外带无水道区。临安一带的古流向为北西、北东及南西向。若溯源而上,在兰溪、桐庐一带的长坞组中,可见厚层块状砂岩,其粒度较于潜为粗,韵律层中砂泥比有的可高达8.64,有可能属中扇水道沉积。上扇部分因后期构造破坏而未能保存。

皖南的绩溪、宁国一带,新岭组为厚层泥岩与细砂岩呈不等厚互层,或于泥岩中偶夹厚层砂岩,砂泥比0.25—0.66。据李积金研究,新岭组的笔石化石多见于地层的上、下部,中部化石甚少。所产笔石以有轴双列的*Climacograptus*占主导地位,结构脆弱的*Leptograptus*、*Archiretiolites*少见,分枝多而且个体大的笔石不发育。这种生态的变异间接地证明了浊流曾

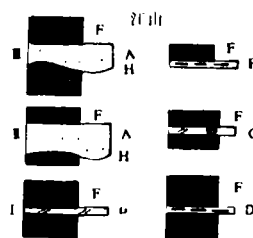


图6 不同浊积层剖面的韵律比较
Fig. 6 Correlation of the rhythmites in different turbidite sections

表4 砂岩碎屑成分与成熟度指数

Table 4 Detrital compositions and maturity index of sandstones

采样地点	Q	F	L	Q/F	Q/F+L
临安区于潜	56.98	14.66	28.33	3.88	1.32
江山伍家桥	66.00	1.6	24.12	41.25	2.56

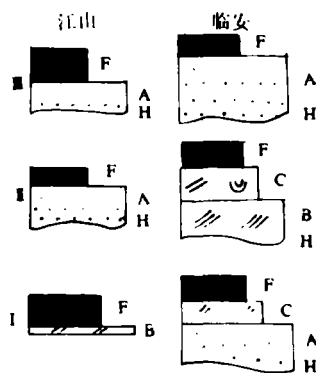


图7 江山、临安韵律剖面对比
Fig. 7 Correlation of rhythmic sections in Jiangshan and Lin'an

间歇性地波及本区,水动力较强。而在东至、泾县以西,笔石种属繁多,保存集中,几乎每层都有。已属未受浊流侵扰的深水盆地。由此判定,绩溪、宁国一带可能为浊积扇的下扇前缘。

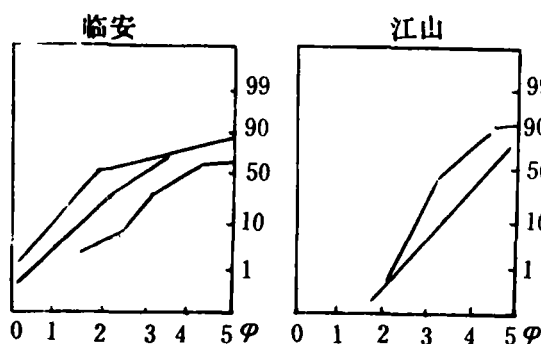


图 8 粒度概率曲线图

Fig. 8 Probability grain size curves

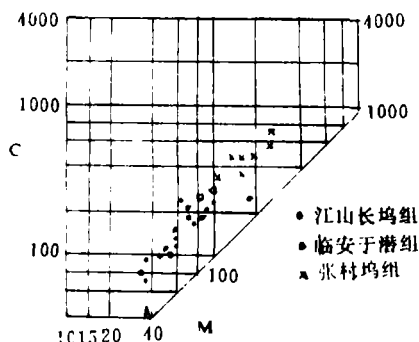


图 9 浙西浊积岩 CM 图

Fig. 9 CM pattern of the turbidites from western Zhejiang

江山的浊积岩与上述地区有明显区别,主要表现为粒度较细、分选程度较高,底蚀能力较弱,但却具有近源的某些层理特征。从空间位置来看,它可能属中扇内带的水下河道堤岸沉积,是浊流的上层的低密度部分越过河道堤岸以悬浮沉积作用形成的产物。

综合上述,浙西、皖南的浊积岩组成了一个向西扩展的水下扇体。它横跨在潮坪、陆棚和深水盆地三个相带上,目前仅保留中扇及下扇,西缘止于宁国、绩溪一线,江山一带为堤岸漫溢沉积区(图 10)。浙皖赣深断裂和开化-临安深断裂控制了扇体的形态和范围。浊积扇模式与现代密西西比河水下扇相模式相似。浊积岩碎屑物源于盆地东南。

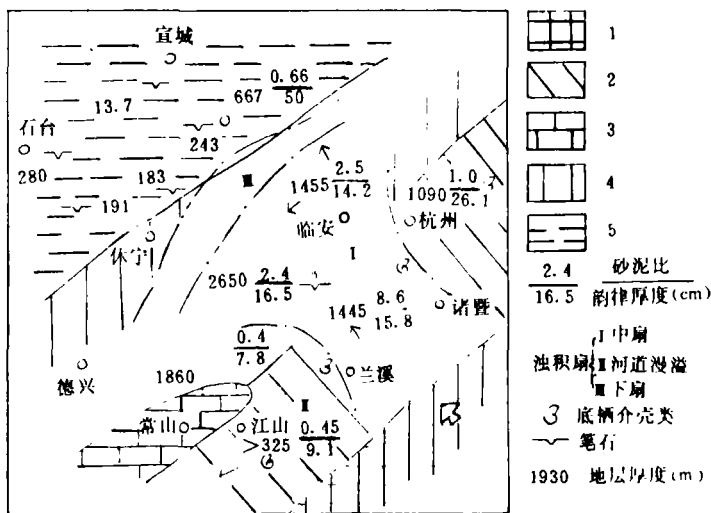


图 10 浙皖地区晚奥陶世晚期浊积扇略图

1-古陆; 2-潮坪; 3-生物礁; 4-陆棚; 5-深水盆地

Fig. 10 Schematic diagram of the Zhejiang-Anhui turbidite fan during the late Late Ordovician

三、晚奥陶世浙皖地区浊流沉积的构造意义

从寒武纪到晚奥陶世早期,浙西、皖南一带长期保持着稳定的构造环境。寒武纪区内

沉积相类型简单,地层厚度变化不大,碳酸盐台地分布广泛。早、中奥陶世的一段时间曾出现大面积深水盆地,但陆源补给贫乏。晚奥陶世早期,全区呈浅海陆棚环境,底栖生物空间繁盛。在这个漫长的阶段中,沉积厚度仅 800m 左右。这就是晚奥陶世晚期浊流发育之前的构造背景。

晚奥陶世晚期浙皖海盆开始分化,自东而西形成潮坪、陆棚和深水盆地三个相区,其间界线分别受开化-临安深断裂和浙皖赣深断裂控制。盆地东缘为江山-绍兴深断裂。如前所述,从浊积岩的分布、厚度及古流向分析,均表明它是华夏古陆剥蚀的产物。分布如此宽阔,平均厚度达 1500m 左右的浊积岩层成为华夏古陆隆起速率与隆起幅度的一个半定量表征。在古陆的西缘,江山以南有珊瑚礁发育,为局部的清水海岸环境。由此可见,古陆的隆起以北段较为明显。长坞组砂岩与 Cook (1974) 的不同构造背景的砂岩成分比较(表 5),与大西洋型边缘接近,是一种拉

表 5 砂岩成分与构造背景关系

Table 5 Relationship between sandstone compositions and tectonic settings

砂岩类型	石英 (%)	SiO ₂ (%)	K ₂ O/Na ₂ O	相当成分	构造背景
中等石英型	15—68	<58	<1	地壳上部	安第斯型陆缘
富石英型	>65	68—74	≥1	地方盖层	大西洋型陆缘
富石英型 (长坞组)	66	70.29	2.06	地方盖层	大西洋型陆缘

张环境下的沉积产物。人工重砂以锆石、磷钇矿、金红石为主,属于稳定的矿物组合。用斯特拉霍夫的方法,计算长坞组不同岩性微量元素的分配状态,得出的规则性系数为 58.3%,属不明显规则亚型。据 Luc Harnois (1988) 反映化学风化作用的化学指数: $CIW = (Al_2O_3 / Al_2O_3 + Ca_2O + NaO) \times 100\%$ 计算为 91.2%,它们都表明华夏古陆有中等以上的化学风化作用。同时也说明晚奥陶世古陆的隆升与造山作用的隆升有本质的区别。从浙西浊积岩的旋回结构分析,古陆的隆起具有间歇性的特点。

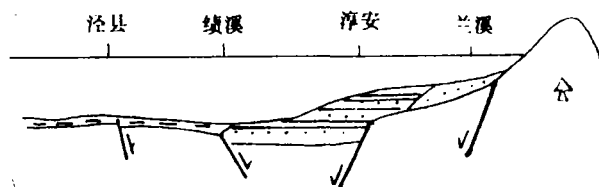


图 11 浙皖海盆晚奥陶世晚期沉积构造剖面

Fig. 11 Sedimentary-structural section through the Zhejiang-Anhui marine basin during the late Late Ordovician

在华夏古陆隆起的同时,浙皖海盆相对沉降,控制沉降幅度及盆地地形的主要因素是三条深断裂的活动,其中,江山-绍兴深断裂和开化-临安深断裂活动幅度较大,而且带有同沉积断裂性质,浙皖赣深断裂活动较弱,这可能与扬子地台东南缘的稳定环境有关(图 11)。据林银山等对江山古构造应力场的研究得知,在早古生代晚期,曾存在过两种应力状态: (1) $\sigma_1 61.2^\circ < 57^\circ$, $\sigma_2 229^\circ < 66.1^\circ$, $\sigma_3 330.6^\circ < 9.4^\circ$; (2) $\sigma_1 170^\circ < 21.3^\circ$, $\sigma_2 0^\circ < 84^\circ$, $\sigma_3 263.7^\circ < 10.8^\circ$ 。它们的合力造成本区的北东向挤压,南东、北西向拉张的状态,特别是前者 σ_1 垂向作用较为明显的情况下,深断裂呈左旋剪张运动,就成了盆地拉张沉降、浊流发育和扇体形态控制的直接构造因素。本区在早古生代晚期构造活动性的突然加强与印支-南海地块向北推挤,引起华南大面积褶皱隆起有关。

四、几点结论

1. 江山长坞组由潮坪沉积与水下河道漫溢的低密度浊流沉积互层组成。浊流有三次强

烈活动,第二次浊流的密度及能量最大。

2. 浙西、皖南海盆分潮坪、生物礁、浅海陆棚和深水盆地四种环境,呈北东向带状分布。晚奥陶世晚期的浊流自东而西横跨在上述相带上。目前仅保留其中扇、下扇及水道漫溢部分。

3. 受加里东运动的影响,江山-绍兴深断裂、开化-临安深断裂、浙皖赣深断裂呈左旋剪张运动;华夏古陆抬升;浙皖海盆拉张沉降,是浊流发育的三个构造条件。

参 考 文 献

刘宝珺等, 1985, 岩相占地理基础和工作方法, 地质出版社。

关尹文, 1959, 浙西、皖南上奥陶统复理石建造的发现, 地质学报, 第 39 卷, 第 2 期。

吕洪波等, 1987, 浙西上奥陶统复理石韵律的马尔科夫链模拟, 石油与天然气地质, 第 8 卷, 第 2 期。

李继亮等, 1987, 我国几个地区浊积岩系特征, 地质科学, 第 1 期。

吴崇筠, 1986, 对国外浊流沉积和扇三角洲沉积研究的评述, 国外浊积岩和扇三角洲研究, 石油工业出版社。

CHARACTERISTICS OF THE LATE ORDOVICIAN TURBIDITE SERIES IN JIANGSHAN, ZHEJIANG WITH DISCUSSION ON THE WEST ZHEJIANG TURBIDITE FAN MODEL

Liang Dingxin Guo Fusheng

(East China College of Geology)

Abstract

It is suggested that the late Late Ordovician Changwu Formation in Jiangshan, Zhejiang are composed mainly of the tidal flat deposits and turbidity current deposits in terms of sedimentary sequences and environmental indicators. During the Late Ordovician, there occurred three turbidity current events in western Zhejiang, the second of which had the maximum energy and most important influences. On the basis of the regional geological data from western Zhejiang and southern Anhui, in conjunction with the study of sedimentary systems in the Zhejiang-Anhui marine basin, the sedimentary environments in the study area may be divided into four types, i. e. tidal flat, organic reefs, continental shelf and deep-water basin. Meanwhile, the regional correlations have also been made for the turbidite series there. A model for the development of the West Zhejiang turbidite fan is proposed according to the Bouma sequence, grain size, sedimentary structures and palaeocurrent data. The present paper further deals with three tectonic factors controlling the development of the turbidity current deposits, i. e. left-lateral shear-tension movement of three deep faults controlling the Zhejiang-Anhui marine basin, the uplift of the Cathaysia and differential subsidence of the Zhejiang-Anhui marine basin. This has provided a useful tool for interpreting tectonics and palaeogeography of the Cathaysia from Phanerozoic time onwards.