

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

苏、浙、皖地区沉积-大地构造演化

夏邦栋 吕洪波

(南京大学地球科学系)

中国南部近东西延伸的扬子板块形成于距今 800Ma 前。自震旦纪开始,在其东缘苏、浙、皖地区形成了两个呈北东东向展布的并在其东端相联的裂陷槽。其沉积厚度达万米。沉积演化晚期形成了复理石与磨拉石。复理石堆积于晚奥陶世,此时裂陷槽为两个向东开口的海湾,碎屑物来自盆地南北两侧的扬子古陆。磨拉石堆积的时代从晚奥陶世末到中泥盆世,碎屑物来自东面隆升的造山带,说明这时盆地的构造格局发生了重大变化。

中国南部近东西向延展的扬子板块最终形成于距今约 800Ma 前。塑造这一板块的最后一次,也是最关键性的一次构造运动,是晋宁运动或雪峰运动。自震旦纪开始,扬子板块进入板内演化阶段。

由于扬子板块东缘在苏、浙、皖地区以东被黄海及东海和巨厚的中生界所叠覆,故查明扬子板块的轮廓及其演化难度较大,长期以来对这一问题尚未得到正确认识 and 解决。

根据笔者近年来的研究,可以认为,在浙西与皖南分别存在着两个北东东向延展,向东开口的震旦一早古生代裂陷槽。笔者曾就浙西裂陷槽的性质和特征作过讨论^[1]。本文拟就浙西、皖南裂陷槽的沉积-大地构造演化作进一步阐述。

一、浙西、皖南裂陷槽

浙西、皖南裂陷槽(图 1)从震旦纪初期萌发,到早古生代末期消亡。裂陷槽的发生和发展受边界断裂控制。控制浙西裂陷槽的南、北边界断裂分别为江山-绍兴深断裂和石耳山-昱岭关深断裂。这是两条岩石圈断裂,它们不仅限制了裂陷槽的空间位置,而且长期控制了裂陷槽盆地的沉积-构造演化。在断裂围限的范围内,莫霍面隆起达 2km^[1],清楚的表现出裂陷槽盆地底面和莫霍面呈镜像关系。控制皖南裂陷槽演化的南、北边界断裂分别是铺岭-汤口深断裂和石台-葛公镇深断裂。它们对裂陷槽的空间位置及对裂陷槽盆地的沉积-构造演化的控制作用也十分明显。在这两条深断裂围限的范围内,莫霍面有不甚明显的隆起。两裂陷槽演化的早期均有碱性系列的熔岩喷出。火山岩包括玄武岩、安山岩、流纹岩,为紫红色,岩石的 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 值为 1.95—5.09,属于陆相喷发物。根据 20 个岩石化学分析资料^[1]计算,其皮科克指数为 45—49。这种性质的火山岩有利于说明其构造环境为裂谷性质。裂陷槽的沉积环境经历了从陆到海再到陆的变迁过

1) 岩石化学分析资料引自浙江省区域地质调查队。

本文 1986 年 11 月收到,1988 年 4 月改回,王毅编辑。

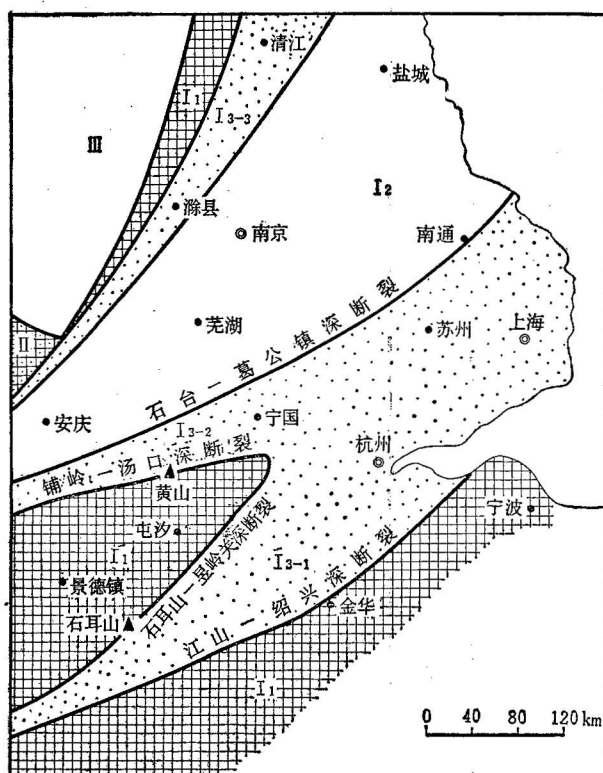


图 1 苏、浙、皖地区震旦—早古生代裂陷槽分布图

Fig. 1 Map showing the distribution of the Sinian-early Palaeozoic aulacogens in the Jiangsu-Zhejiang-Anhui region

I₁. 扬子板块; I₂. 非裂陷槽区; I₃. 裂陷槽区: I₃₋₁. 浙西裂陷槽; I₃₋₂. 皖南裂陷槽; I₃₋₃. 可能的苏北裂陷槽; II, III 分别为淮阳陆块及华北板块

表 1 裂陷槽的建造序列

Table 1 Sequence of the Formations in the Aulacogens

		浙西和皖南	北美维契塔*	北美阿萨普斯考**
建造演化阶段	晚期	灰色与红色磨拉石 (O ₃ ³ -D ₁₊₂) 复理石 (O ₁ ¹⁻²)	红色磨拉石 (P) 复理石 (C)	磨拉石建造 复理石建造
	中期	含钙的硅泥质建造 (O ₁₊₂) 碳酸盐建造 (C ₂₊₃) 含碳的泥硅质建造 (C ₁) 陆屑-碳酸盐建造 (Z ₃)	含碳的陆源碎屑建造 (S) 碳酸盐建造 (C ₃ -O ₃)	火山-陆屑建造 碳酸盐建造
	早期	类磨拉石建造 (Z ₂) 火山-沉积建造 (Z ₁)	火山-沉积建造 (C ₁₊₂) 类磨拉石建造 (Pt ₃)	类磨拉石建造 火山-沉积建造

* 据 H. C. Шатский, 1946^[3] 及 P. Hoffman 等, 1974^[4]。** 据 P. Hoffman 等, 1974, 建造时代皆为元古代^[4]。

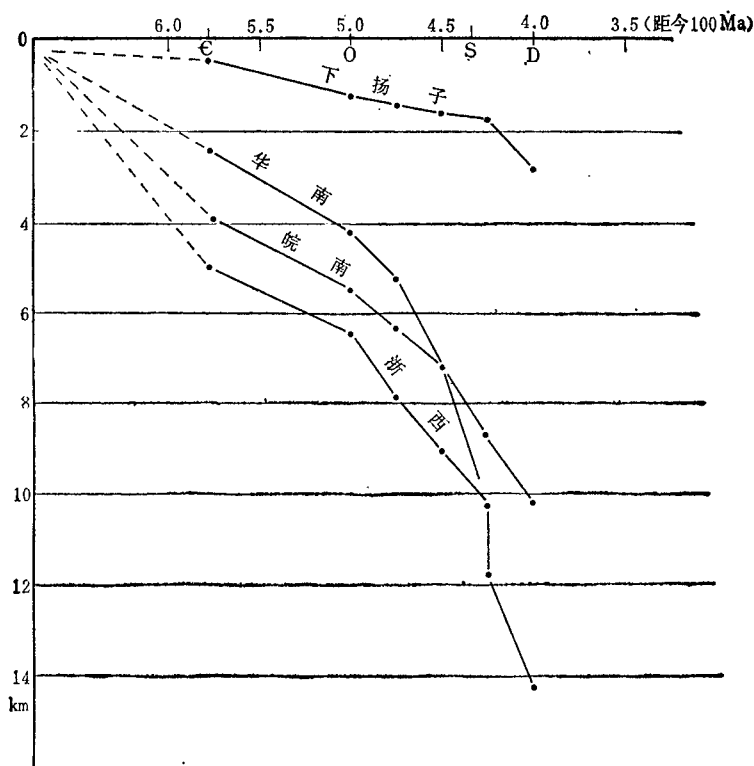


图 2 苏、浙、皖地区震旦一早古生代裂陷槽及非裂陷地区以及华南加里东地槽区的沉降曲线

Fig. 2 Subsidence curves of the Sinian-early Palaeozoic aulacogens and non-rifting areas in the Jiangsu-Zhejiang-Anhui region and the South China Caledonian geosynclinal region

程。裂陷槽所接受的沉积厚度超过万米。这一沉积厚度可以和其南侧同期发展的华南加里东地槽相比,较之扬子板块内部非裂陷槽地区同期的沉积厚度大数倍。裂陷槽的沉降速率变化经历了早期快、中期慢、晚期再快的过程。其沉降曲线呈 S 形(图 2)这和迪肯森(W. R. Dickinson)讨论过的世界上典型的裂陷槽^[2]相同。

浙西、皖南裂陷槽在震旦一早古生代形成的建造类型及建造的垂向序列和世界上典型的裂陷槽对比非常相似(表 1)。这种相似性有力地说明所有裂陷槽均具有共同的构造背景及相似的演化过程。

笔者就浙西、皖南裂陷槽建造序列中最富有大地构造意义的复理石与磨拉石进行了重点研究。研究发现,在晚奥陶世末期,苏、浙、皖的沉积盆地型式及其所反映的构造格局发生过根本性变化。这种构造格局的变化正是裂陷槽演化到晚期的必然结果。正确认识这一构造格局的变化,不仅从理论上进一步证实了本区裂陷槽存在,而且对该区油气资源的勘察具有重要的意义。

二、复理石及其形成时的构造格局

复理石发育在晚奥陶世。这时,浙西与皖南是被一北东东向隆起相隔离的两个向北

东东开口的海湾型盆地(图 1), 海水在天目山以东相汇。由于有隆起相隔, 两个盆地的古水流型式不一样。浙西复理石盆地的主要流向为东北, 是纵向的; 兼有进岸流与离岸流的横向水流作用(图 3); 而皖南复理石盆地的古水流方向却是由东北向西南, 也是纵向的, 但与浙西的呈反向关系(图 4)。

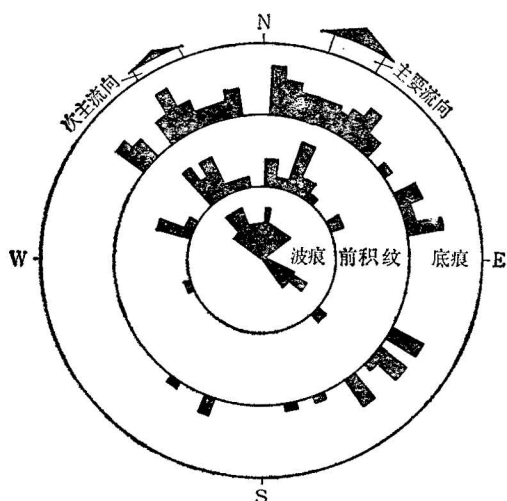


图 3 浙西裂陷槽晚奥陶世水流方向玫瑰图
(根据 120 余次测量)

Fig. 3 Rose diagram showing the directions of the water flows in the Late Ordovician in the western Zhejiang aulacogen (according to more than 120 measurements)

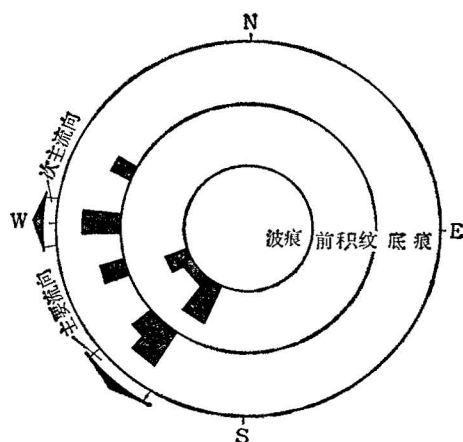


图 4 皖南裂陷槽晚奥陶世水流方向玫瑰图
(根据 30 余次测量)

Fig. 4 Rose diagram showing the directions of the water flows in the Late Ordovician in the southern Anhui aulacogen (according to more than 30 measurements)

由于有隆起相隔, 两盆地中复理石的物质成分各有特色。

1) 浙西砂屑岩成分(按 35 个样品统计)中泥质岩及硅质岩岩屑的含量可达 28%, 碳酸盐岩屑的含量不超过 5%, 无明显的变质岩屑。皖南的砂屑岩中出现数量可观的碳酸盐岩屑, 有的地方其含量达 15—50%, 有的地方钙质泥岩岩屑的含量达 40%, 泥质岩及硅质岩含量急剧减少。

2) 从反映化学成熟度的 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 值看, 浙西 41 个样品的平均值为 5.125; 皖南六个样品的平均值为 4.894。说明浙西砂屑岩的化学成熟度较皖南的高。

3) 从重矿物成分看, 浙西以出现较高含量的锆石、电气石、金红石为特征, 其 ZTR 指数为 0.314。此外还富含绿泥石, 但缺乏辉石, 且角闪石、绿帘石含量甚微。皖南的重矿物中, 锆石、电气石、金红石的含量较低, 其 ZTR 指数为 0.007, 但出现较高含量的辉石、角闪石、绿帘石及石榴子石。这表明皖南的重矿物具有浓厚的近源色彩, 并非从浙西搬运而来。

4) 在浙西复理石盆地西端的江西玉山和浙江常山境内, 沿盆地轴部宽约 10km 的地带纵向地延展着厚达 1500m 的滨、浅海碳酸盐巨型透镜体沉积带。该碳酸盐透镜体沉积带的南北两侧各有数十公里宽的陆屑复理石带。这种沉积格局清楚地说明盆地西部的南

北两侧都有蚀源古陆存在。

沉积学研究还表明: 浙西、皖南复理石盆地的海水都浅, 不超过最大风暴所能影响的深度(浅水的主要沉积标志将另文介绍, 兹从略)。

事实表明, 浙西、皖南复理石盆地均具有类似于密西西比型海湾模式^[5]的沉积型式。仅皖南海湾的规模较小, 可能受进潮流影响很强, 故其示向构造所指示的水流方向主要为自外海向内陆。

笔者进一步研究了盆地蚀源区的地壳类型及构造属性。用 23 个岩石化学数据, 按罗诺夫 (A. Б. РОНОВ, 1968) 等提供的不同类型地壳化学成分值^[6]进行作图比较, 浙西、皖南复理石的组成物质均来自大陆型地壳。浙西与皖南的两条曲线相互平行, 但皖南的陆壳性质更强一些 (图 5)。此外用 35 个岩石薄片颗粒成分的观测数值在迪肯森等提出的 Q、F、L 三角图^[7]上投影, 浙西与皖南复理石砂屑岩的物源区均介于大陆块体、再旋回造山带及岩浆弧之间, 可能属于不成熟的古陆 (图 6)。由上述事实可以推断, 浙西、皖南复理石盆地是在这种不很成熟的古陆上由于裂陷作用而形成的。

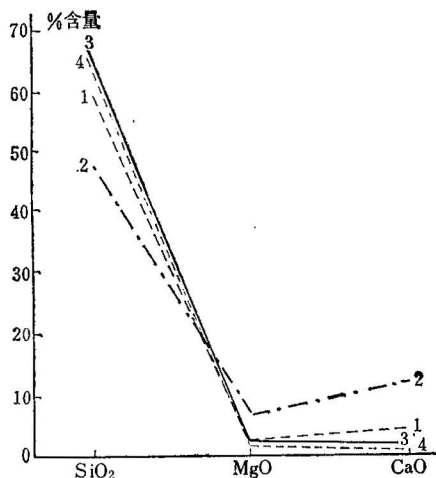


图 5 复理石砂屑岩与不同地壳中 SiO_2 、 MgO 、 CaO 含量的对比 (原图按 A. Б. РОНОВ 等, 1968)

Fig. 5 Comparison of the SiO_2 , MgO and CaO contents in flysch arenite and different kinds of crust

(after A. B. Ronov et al., 1968)

1. 大陆地壳; 2. 海洋地壳; 3. 浙西复理石砂屑岩; 4. 皖南复理石砂屑岩

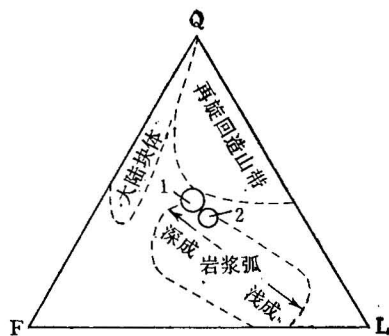


图 6 浙西、皖南复理石砂屑岩颗粒组分的 Q、F、L 图解 (原图按迪肯森等, 1979)

Fig. 6 The QFL diagram of the grain components of flysch arenite in western Zhejiang and southern

Anhui (after Dickenson et al., 1979)

1. 浙西; 2. 皖南

三、磨拉石及其形成时的构造格局

从晚奥陶世末期到中泥盆世是磨拉石充填期。磨拉石的性质及其形成时的构造环境从以下事实能够清楚地反映出来:

第一、晚奥陶世末期的堰口组以假整合关系覆盖在复理石之上。堰口组底部发育了

厚数米到 20m 的砾岩及含砾砂岩。我们在浙西与浙北的 9 个剖面上研究了这层砾岩。发

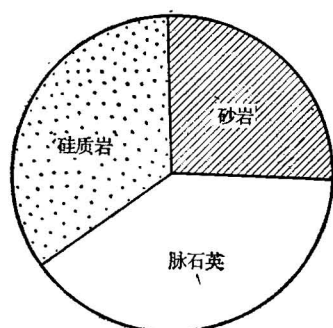


图 7 磨拉石砾岩的成分图
(8 个测点平均)

Fig. 7 Composition of mollasse gravels (average of the measurements at 8 measuring stations)

发现砾岩中的砾石成分在许多剖面上具有双源性，即既有就地剥蚀而成的大量泥质岩、粉砂岩和砂岩，也有从远处搬运而来的大量脉石英、燧石和硅质岩(图 7)。有的地方还含有少量云母片岩或火成岩砾石，近源砾石较粗，砾径常在 3—5cm 以上，最粗可达 11cm，远源砾石较小，砾径多在 3—5cm 以下。在砾石层之上到处都产出具有潮坪沉积特征的砂泥质互层沉积。其中含有晚奥陶世末期的腕足类等化石。事实表明，当晚奥陶世复理石沉积后，该区曾发生过广泛的隆起，而且隆起幅度是不均一的。由河流搬运而来的远源砾石混和着近源砾石在山前低地及滨海的适当部位发生堆积。这一隆起的形成和发展标志着地壳运动出现。这一运动可称之为堰口运动¹⁾。正是堰口运动为复理石盆地的消亡和磨拉石盆地的形成提供了一个新的格局。

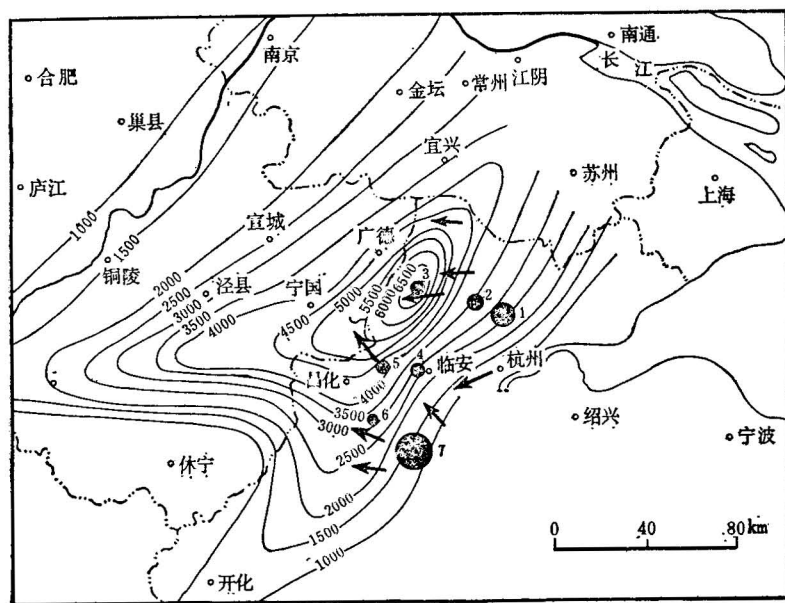


图 8 磨拉石厚度、远源砾石最大粒径及流向分布图
(厚度资料据南方石油勘探所, 1977)

Fig. 8 The thickness of mollasse and the maximum grain size and flow direction of distal gravels (data of the thickness from the Southern China Petroleum Exploration Institute, 1977)

图中黑圆点为远源砾石最大粒径采样点位置：1. 德清前埠；2. 德清三桥；3. 安吉黄墅；4. 临安雅安；5. 临安于潜；6. 临安堰口；7. 桐庐下包。黑圆点的直径与砾径成比例，其中最大粒径为 6.9cm。箭头指向为流向；全区流向测量总数 100 余次

1) 含化石的堰口组剖面在临安县堰口乡与下伏层之假整合最为清楚。

第二、从堰口组向上到早、中泥盆世茅山组(含浙西的唐家坞组)组成一个碎屑粒度粗、沉积厚度大并向北西方向变薄的碎屑楔。其粗粒性不仅表现在它的底部含有砾岩,还表现在它的砂岩粒度较复理石的粗。从平均粒径看20个磨拉石砂岩样品的平均粒径为 3.07ϕ ,40个复理石砂岩样品的平均粒径仅为 4.07ϕ ,从最粗砂岩的粒径看,磨拉石砂岩的粒径为 1.9ϕ ,复理石砂岩的粒径为 3.6ϕ 。

磨拉石的沉积等厚图(图8)表明,其沉积走向为北北东,最大厚度在东侧的安吉一带,达6500m,向北西方向快速减薄,成为一楔形体。楔形沉积体减薄的方向代表沉积斜坡的方向。说明沉积物质从东边搬运而来。

第三、由堰口组到茅山组所构成的沉积体以发育有丰富的波痕、前积层、槽模、沟模、流痕等指向构造为重要特征。这些原生沉积构造所指示的流向多数近于西,其中有偏向北西或偏向南西的。这是古地面斜坡近于向西倾斜的最好验证。此外,堰口组底部砾岩中远源砾石的最大砾径,有由东向西递减的趋势,说明砾石源地在东面。从德清三桥产出的砾岩中砾石长径定向看,砾石长径定向有两个优选方位,主要的为 $NE30^\circ$,次要的为 $NW300^\circ$ (图9)。主要优选方位与磨拉石沉积走向大体一致,次要优选方位与古斜坡倾斜方向大体一致。

第四、根据沉积构造序列的性质分析,磨拉石的下部及中部(主要是志留系及晚奥陶世末期的沉积)是在潮坪和临滨环境下沉积的,为灰绿色,深灰色。其上部(主要为下、中泥盆统)则出现河流沉积,主要为灰黄色及紫红色。从平面分布看,前期的潮坪和临滨沉积沿北北东方向延展,在整个浙北及浙西,这里海水极浅,水体十分动荡,沉积物砂泥比高,富含底栖生物化石。这一潮坪-临滨沉积带和磨拉石的沉积走向一致。大体上在宣城-泾县一线以西,同期沉积变为浅海相,沉积物主要为泥质及粉砂质,砂泥比低,水体较安静,盛产笔石类漂浮型生物化石。沉积相带的上述变化符合于古斜坡向北西方向倾斜的推论。略有偏离的现象是在皖南的宁国、太平、石台近东西向一线上,同期沉积也具有潮坪-临滨沉积性质,说明其南侧也有一陆地存在。这一陆地看来就是原先分割浙西与皖南复理石盆地的隆起。不过它的地形这时已变得很平坦了。

第五、作为磨拉石性质的另一重要标志是这一时期沉积物组成的突变和更新。根据对18个薄片的观察统计,其砂屑岩的颗粒成分中,变质岩屑平均含量占15.3%,最高含量为50%;火山岩屑平均含量13.6%,最高含量为30%;泥质岩屑平均含量7.5%,最高含量为20%;碳酸盐岩屑平均含量为2.5%,最高含量为15%。如以岩屑总量为100计,其中变质岩屑含量为39.2%;火山岩屑含量为35%,泥质岩屑含量为19.2%,碳酸盐岩屑含量为6%。砂屑岩中如此大量变质岩屑及火山岩屑是下伏复理石所不曾有过的,是突然出现的。用磨拉石碎屑岩的薄片观察数据,在迪肯森等提出的Q、F、L三角图中投影,磨拉石的物源区属于再旋回性质的造山带,与复理石的蚀源区性质明显不同(图10)。以20个岩石化学分析数据,按罗诺夫提供的不同类型地壳化学成份值进行作图比较,磨拉石的曲线属大陆地壳性质,但它与复理石的曲线不完全平行,而有所交叉。主要是因磨拉石中的 SiO_2 与 CaO 含量较高,而 MgO 含量较低(图11)。

重矿物分析成果表明,磨拉石砂屑的重矿物含量很高,为615.9—6599.8g/t,平均为2663.3g/t(六个样品平均),较之复理石砂屑岩的重矿物的平均含量373.52g/t(两个样品

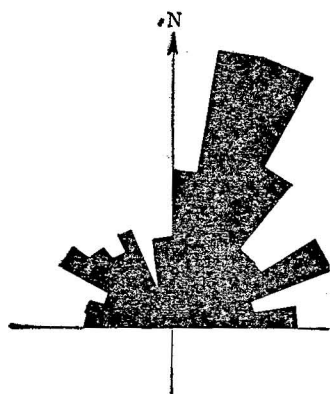


图 9 磨拉石砾岩中砾石长径指向玫瑰图
(测量 100 次)(地点: 德清三桥)

Fig. 9 Ross diagram of the directions of the long diameters of gravels in mollasse conglomerate (locality: Deqingsan Bridge; 100 measurements)

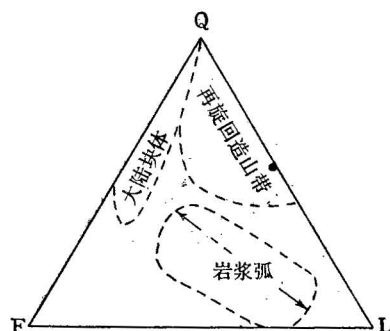


图 10 磨拉石砂屑颗粒组分 Q, F, L 图解, 黑圆点为磨拉石投影点(原图据迪肯森等, 1979)

Fig. 10 The QFL diagram of the grain components of mollasse arenite. Black dots denote the projection points of the mollasse (after Dickenson et al., 1979)

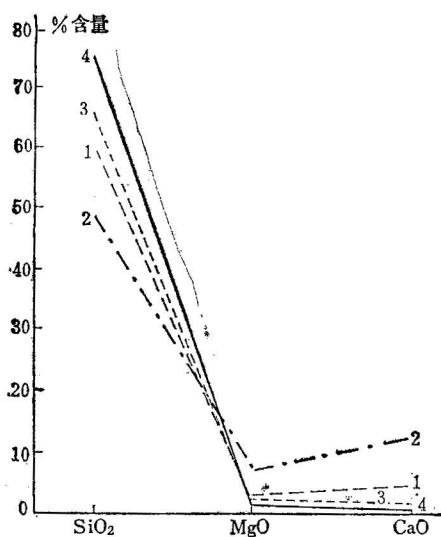


图 11 磨拉石与复理石砂屑岩与不同地壳 SiO_2 , MgO , CaO 含量的对比
(原图按 A. B. POHOV, 1968)

Fig. 11 Comparison of the SiO_2 , MgO and CaO contents in mollasse arenite and flysch arenite and different kinds of crust (after A. B. Ronov, 1968).

1. Continental crust, 2. oceanic crust, 3. flysch arenite, 4. mollasse arenite

1. 大陆地壳; 2. 海洋地壳; 3. 复理石砂屑岩; 4. 磨拉石砂屑岩

平均)要高出—个数量级。而且磨拉石中出现高含量的锆石、电气石、金红石,以及高含量的绿帘石、角闪石、辉石。尤为引人注目的是磨拉石中出现了中压变质带的标型矿物——

蓝晶石。重矿物的特征有力地说明,磨拉石堆积时的蚀源区主要由变质程度较深的变质岩以及火成岩组成,这是一个新出现的具有不同特征和性质的蚀源区。

根据磨拉石的以上特点可以认为:磨拉石盆地的沉积走向为北北东或近南北向,其古斜坡倾向北西西或近于向西,本区东侧有一新生的蚀源高地。这一高地发生快速隆升并遭受剥蚀,从而提供了丰富的碎屑物质,在山前广阔的低平地带呈楔形体堆积,沉积环境随着时间按海相→陆相方向演变,并向西推进。在苏皖南部及浙西北地区发育的是该磨拉石的远源部分,故其与下伏复理石之间是假整合关系而无不整合表现。其近源部分应在本区东面,因未暴露,情况不明。这一磨拉石盆地的沉积型式与中阿帕拉钦志留纪或密西西比期磨拉石的沉积型式^[1]十分相似,不同之处仅在于本区原来分隔浙西与皖南两个裂陷槽盆地的隆起,这时已转变为低平的陆地,它呈北东东向横垣在比它的规模大得多的,走向北东东向的新生山地的前缘,起着局部性的次要的物源区作用,对磨拉石的厚度分布起一定的控制作用,并对古水流方向产生局部影响。

四、结论和推论

1. 上述事实表明,研究地区在震旦一早古生代,存在着两个大致向东开口的裂陷槽,即浙西裂陷槽与皖南裂陷槽。它们的东端合而为一,这一格局的形成可能是受基底先存断裂的约制。

2. 磨拉石的沉积学特征表明,自晚奥陶世末期开始,在本区东面,即现今的长江口外近岸海域中出现了一个大致呈南北向延展的造山带,该造山带快速隆升和剥蚀,提供了大量碎屑物质,在其山前低地堆积成为磨拉石。这一造山带可能是在中生代因断陷而沉没。

3. 苏皖南部及浙北地区从晚奥陶世末期到中泥盆世应属于这一造山带的前陆盆地,它呈近南北向延伸。磨拉石正是在这一前陆盆地中堆积的典型建造。而这一前陆盆地的主体正好迭置在早期在这里发育的近东西向延展的裂陷槽盆地的东边开口端。

4. 本区东面近南北的造山带与近东西向的裂陷槽在扬子板块边缘的配置关系与俄罗斯地台东南缘近东西向延展的大顿巴斯裂陷槽同其东侧近南北向延展的乌拉尔造山带的关系相似,也与北美地台东南缘近东西向延展的俄克拉荷马裂陷槽同其东侧的瓦奇塔造山带的关系相似。构造格局出现上述这种关系正如许多学者指出过的,是三叉裂谷系演化的结果,这是令人十分感兴趣的。

本文野外工作承浙江省石油地质大队、浙江大学地质系大力帮助;严经芳、徐柔远、鞠天铃等曾先后陪同笔者进行野外观测。谨致以深切谢意。

参 考 文 献

- [1] 夏邦栋, 1986, 一个震旦-加里东期的裂陷槽——对浙西早古生代沉积盆地性质的新认识。石油实验地质, 第8卷, 第1期, 第8—12页。
- [2] 郝石生、列和甫译(W. R. 迪肯森著), 1981, 板块构造与油气聚积。石油工业出版社。
- [3] Шатский, Н. С., 1946, Большой донбасс система вичта. Сравнительная тектоника Древних платформ статья 2, Известия АН СССР, Серия геологическая, No. 6. pp. 57—90.
- [4] Hoffman, P., Dewey, J. F., Burke, K., 1974, In "Modern and ancient geosynclinal sedimentation", edited by R. H. Dott and J. R. Shaver, Soc. Econ. Paleontologists and Mineralogists.

gists, Spec. Pub. No. 19, pp. 38—55.

[5] 陈发景,李明诚等译 (P. E. 波特, F. J. 裴蒂庄著), 1977, 古流和盆地分析。科学出版社。

[6] Ронов, А. Б., Ярошевский, А. А., 1968, В сб. "Симпозиум по пробл. связи поверхностных структур земной коры с глубинным". Киев, "Наук, Думка", pp.12—14.

[7] Dickinson, W. R. and Suczek, C. A., 1979, Plate tectonics and sandstone composition. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, Vol. 63, pp. 2164—2182.

THE SEDIMENTOLOGIC AND TECTONIC EVOLUTION IN THE ZHEJIANG-ANHUI-JIANGSU REGION

Xia Bangdong and Lü Hongbo

(Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu)

Abstract

The Yangtze Plate, extending from east to west in eastern China, was formed about 800 Ma ago. Since the Sinian the Yangtze Plate entered a stage of intraplate development.

After investigations in the eastern part of the Yangtze Plate, the authors concluded that there are two Sinianearly Palaeozoic aulacogens in western Zhejiang and southern Anhui. The aulacogens initiated at the beginning of the Sinian (as evidenced by the existence of alkalic volcanic rocks at the bottom of the basin) and closed in the Late Devonian (as evidenced by the development of the molasse formation). The sedimentary environments have gone through a process from continental facies to marine facies and again to continental facies. The sedimentary sequence in the basins amounts to 10000 meters in thickness. Two important formations—the flysch formation and the molasse formation—at both ends of the sequence were investigated.

The flysch was deposited in the Late Ordovician, when the two aulacogens were gulfs that opened to the east. The clastic materials were derived from the Yangtze Plate on both northern and southern sides of the basins and were transported mainly along the basin axis in a northeast direction.

The molasse was deposited from the terminal Late Ordovician to Middle Devonian. The clastics came from an uplifted orogenic belt in the east and were transported towards the northwest-west.

The facts mentioned above show that from the end of the Late Ordovician to the Early Silurian a drastic change of the basin form and the tectonic framework took place in the Jiangsu-Zhejiang-Anhui region.