

苏浙皖交界二叠系沉积演化及构造背景^①

朱洪发 秦德余 陈 跃 王恕一 王根华

(地矿部石油地质中心实验室, 无锡 214151)

本文论述了苏浙皖交界的二叠系栖霞组、茅口组和长兴组的纵横向沉积特征。提出了因古特提斯洋的扩张, 陆壳内部受到引张, 本区二叠系出现了一系列有规律的继承性拉张断陷槽沉积构造模式。

关键词 二叠系 古特提斯洋 拉张断陷槽

第一作者简介 朱洪发 男 56岁 高级工程师 石油地质

1 二叠系地层的划分和对比

地质工作者对本区栖霞组、龙潭组、长兴组等的划分、对比早有定论(江苏地矿局, 1984、浙江地矿局, 1982), 不再赘述。这里仅对茅口组地层的划分、对比进行讨论。

茅口组:各地因岩性变化大, 故取了众多的地方组名, 如茅口组(彭泽通山)、孤峰组(江苏南京)、丁家山组(浙江建德)、堰桥组(江苏无锡、苏州)、武穴组(安徽宿松)、小江边组、安州组(铅山、信丰)等等。上述组名代表的地层单元, 经生物地层详细工作, 实质上是各不相同的。

茅口组为一套碳酸盐岩沉积, 孤峰组则是一套硅质岩和硅质页岩组合。相当长的一段时期, 被认为是同时代的相变。但经过深入工作, 在南京、镇江、溧阳等地, 孤峰组之上有一套硅质岩夹煤线, 该段地层原划归上二叠统的龙潭组。经工作, 该地孤峰组之上的碎屑岩中, 在俗称“五灰”的灰岩地层中, 发现 *Neomisellina*, 其下普遍有一层长石石英细砂岩, 可作为早二叠世晚期顶部的区域对比层。这样把原属龙潭组的一部分碎屑岩(“五灰”之下)划归茅口组的地层。

孤峰组的硅质岩段在苏州、无锡一带, 几乎全部相变为碎屑岩, 经胡世忠等研究煤田钻孔资料, 龙潭组下部不含煤的砂质灰岩中发现 *Neomisellina* 为主的茅口期标准筳科动物群, 其下尚见约 0.5m 厚的煤层, 故将此段及包括下伏的原孤峰组地层, 一并命名堰桥组(创名地点在无锡堰桥)。

地层组名是一套顶底界清晰、具有标准化石、代表确切时代的岩性地层单元。把本区茅口阶地层的组名作如下归并, 见表一。

从表中可以看出, 茅口组与孤峰组其代表地层的时代是不相同的, 孤峰组只代表茅口阶的下部硅质岩地层, 而上部碎屑岩段或碳酸盐段各地有不同的组名; 同时堰桥组强调代表了

① 地质行业科学技术发展基金资助项目(编号: 90050)

全茅口期的碎屑岩地层,故建议把南京地区孤峰组上部碎屑岩段废弃堰桥组,改称银屏组。

表1 茅口阶地层组名的归并

时 代	组 名	九江、瑞昌	南京、巢县	铜陵、贵池	景德镇、宣城	苏州、无锡、常州	桐庐、杭州	兰溪
下二叠统上段	茅口组	白茅口组	银屏组	武穴组	碎屑岩段 (未定组名)	堰桥组	丁家 山组	黑茅 口组
			孤峰组	孤峰组	孤峰组			

2 二叠系各期沉积特征

2.1 栖霞期沉积特征

栖霞组为一套深灰色、黑色厚层-块状微晶灰岩,富含硅质岩夹层、团块和结核,以细分散黄铁矿和特有的沥青臭味为特征;底栖生物(除上下硅质层外)如双壳类、珊瑚、海绵均丰富。显然这套沉积属 CCD 面以上的碳酸盐台地相沉积,但至今,本区乃至整个扬子地区,未发现有关台地边缘高能滩沉积。据国内外有关资料分析,作者认为该期沉积与世界性的海侵有关,可能因全球海平面上升之故,表现为一个沉没的台地。

栖霞组粗看全区沉积特征相似,经过仔细对比,发现上下硅质层段在各地是有区别的。有的地区硅质岩成层性好,而有的地区成层性差,在灰岩中以透镜体或燧石团块出现。成层性良好的薄层硅质岩,生物以放射虫、硅质海绵骨针、浮游的菊石为组合,底栖生物少见。显然它的沉积深度比上下层位,可能是陆壳初始拉张的皱形。作者解剖了本区近 60 个地表剖面和钻孔,以上下硅质层有无成层性为依据,自西到东划分了如下几个沉积环境(图 1):巢县、南京,初始断陷槽区;芜湖、铜陵、贵池、东至沉没台地碳酸盐相区;祁门、泾县、宜兴、溧阳,初始沉没断陷槽区;景德镇、休宁、嘉兴、杭州沉没台地碳酸盐相区。

我们实测了溧阳茅山顶金牛洞栖霞组剖面(图 2),说明了初始断陷槽区的沉积特征。

从该剖面沉积进程可以看出,在经历了极浅水的晚石炭世碳酸盐台地沉积后,发生了区域性的抬升、剥蚀,早二叠系梁山组是栖霞组开始海侵滨海环境下的产物,进入栖霞期海侵迅速扩大,形成了水体较深接近风暴浪基面的沉没台地。上下硅质层为成层性良好的硅质岩,可能反映了局部断陷槽的环境,它显示了比沉没台地更深的沉积。栖霞组沉积中,底栖生物和浮游生物两大门类均发育、燧石结核普遍存在、下部臭灰岩中的缺氧环境,对于这样几个突出问题的认识,同济大学吕炳全(1989)研究后作如下说明。

(1)臭灰岩段普遍具沥青臭味,细分散黄铁矿发育,应是缺氧闭塞环境,而且层位分布是大面积的。缺氧的原因是海水中光合作用的下界上移的结果。当时海侵时海水温暖,生物繁盛,有机质降解时耗氧量极大,使海水中溶解氧供不应求,导致形成缺氧环境,形成了含沥青和黄铁矿细晶的臭灰岩。

(2)栖霞组燧石结核普遍发育,乃是上升流造成的。据研究,现代浅海上升流区海水中溶解的 Si 高达 $50\mu\text{g/L}$,而非上升流区为 $14\mu\text{g/L}$ 。古地磁资料证实,本区当时属赤道附近。该上升流应属赤道对称辐射流,上升海流带来大量溶解硅和供硅藻、硅质海绵、放射虫所需的营养盐。为此上升流使生物大量繁殖,死亡后成为地层中硅质的主要来源,成岩时对燧石结

核形成提供了物源。

(3) 栖霞组中, 浮游生物和底栖生物均十分发育, 说明海水的表层和底层并不缺氧, 正如目前西南非洲和秘鲁岸外上升流区一样, 缺氧水体只是位于水域的中间层。本部灰岩段, 造礁生物多, 有珊瑚、海绵、苔藓、藻类等, 但未形成礁。未成礁的原因是海平面上升太快, 速度超过了礁的生长速度。

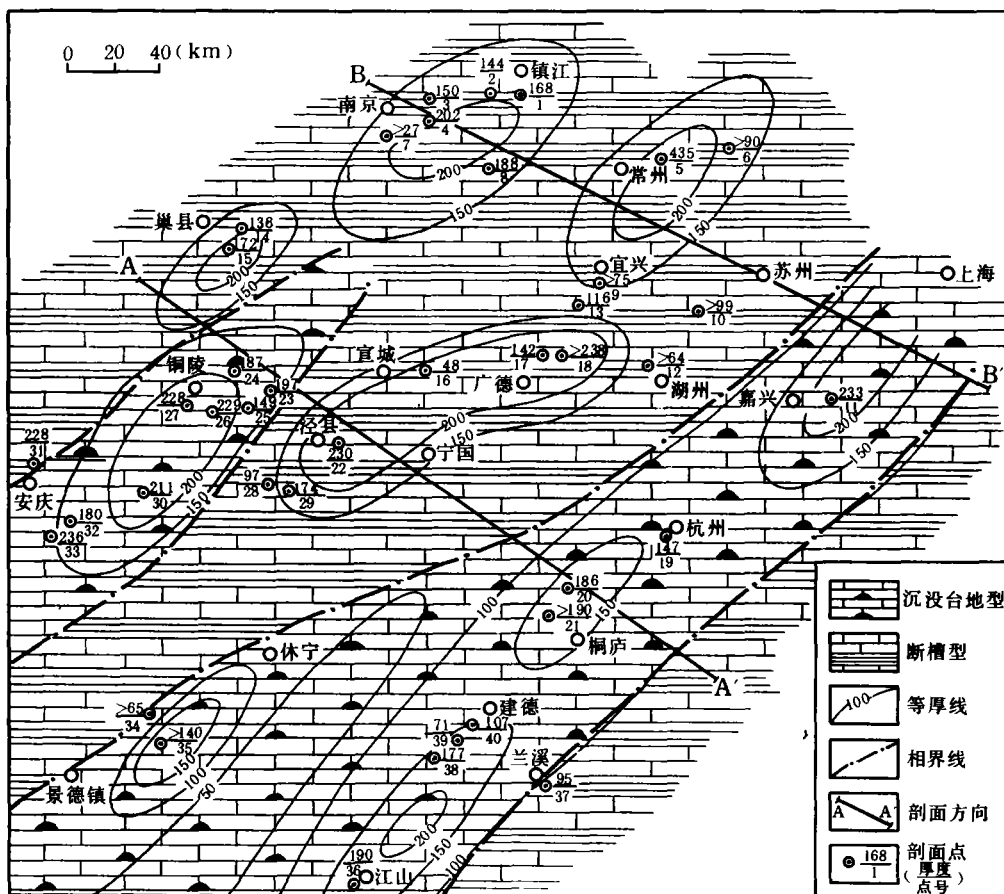


图1 下二叠统栖霞期沉积相图

- | | | | | | |
|----------|-----------|-------------|------------|------------|----------|
| 1 丹徒船山 | 2 句容藕船山 | 3 江宁孔山 | 4 江宁天宝山 | 5 苏武108井 | 6 江阴沙3孔 |
| 7 江宁青龙山 | 8 金坛茅山顶宫 | 9 宜兴团山 | 10 吴县金铎山 | 11 嘉善ZK302 | 12 吴兴潜山 |
| 13 宜兴庙桥 | 14 含山杨山林场 | 15 巢县平顶山 | 16 宣城王胡村 | 17 广德独山 | 18 广德小王村 |
| 19 杭州三合山 | 20 富阳三溪口 | 21 桐庐冷坞村 | 22 泾县晏公堂 | 23 南陵六亩山 | 24 铜陵施家冲 |
| 25 南陵丫山 | 26 铜陵杨桃山 | 27 铜陵分水岭 | 28 泾县水东翟村 | 29 泾县铜山 | 30 贵池火龙山 |
| 31 安庆大青山 | 32 贵池桥楼南店 | 33 东至张汶镇 | 34 婺源通源村 | 35 彭泽马档 | 36 江山附近 |
| 37 兰溪西山寺 | 38 建德舒家 | 39 建德寺勒头大田畈 | 40 建德寺勒头石塔 | | |

茅山金牛洞栖霞剖面是连续的,无论从梁山煤系到臭灰岩段,还是臭灰岩段到下硅质层,本部灰岩到上硅质层,都见到良好的过渡环境标志。为此,我们认为栖霞组的沉积特征主要受控于强烈的海平面上升和上升流的作用。

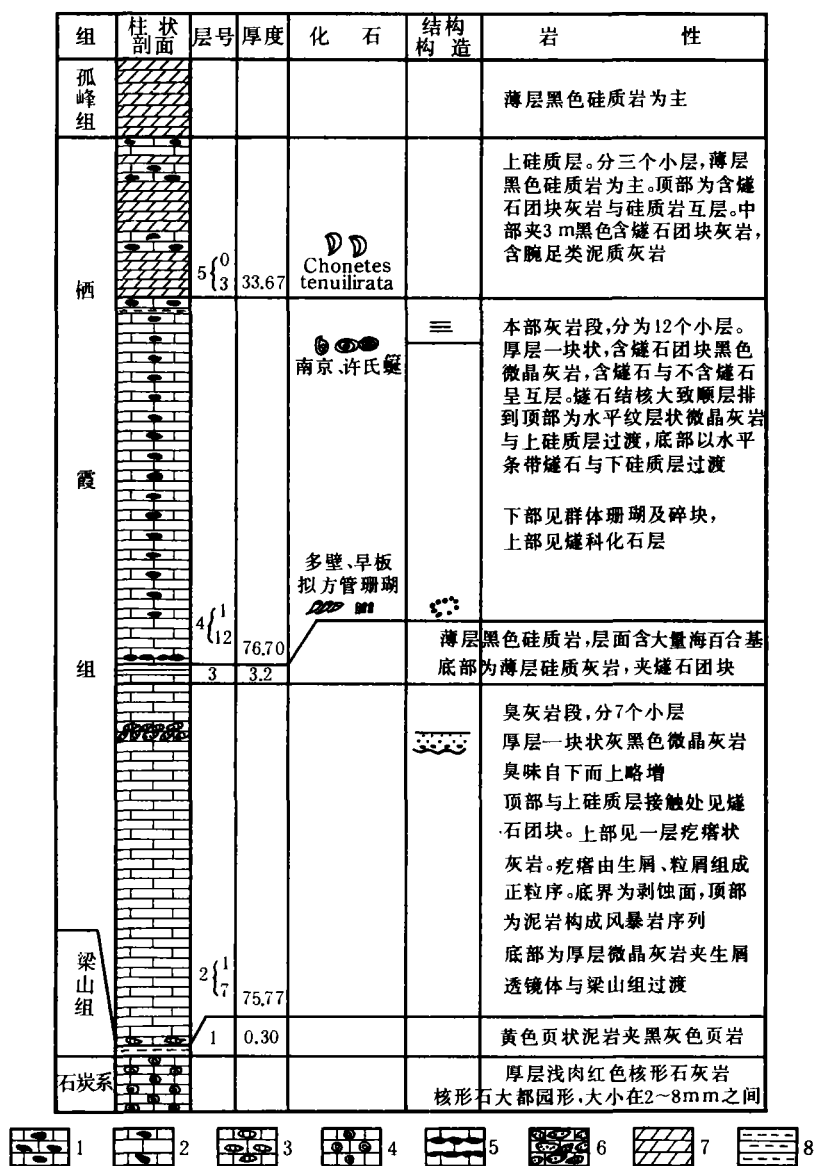


图2 茅山顶宫金牛洞栖霞组沉积柱状图

1 含燧石团块灰岩 2 灰岩与含燧石团块灰岩互层 3 含生屑透镜体灰岩 4 核形石灰岩 5 含水平条带燧石灰岩
6 疙瘩状灰岩 7 硅质岩 8 泥岩

2.2 茅口期沉积特征

与栖霞期相比,本区该期岩性岩相组合分区明显而且复杂。笔者曾撰文指出,早二叠世晚期,中国南方外围东西向古特提斯洋正值扩张时期,引起陆壳内部拉张断陷活跃。由孤峰组硅质岩构成的断陷槽就在这个背景上形成的。

从茅口期沉积相图(图3)可知,本区可分为7个相区,自西向东分别为I、孤峰型相区,II、武穴型相区,III、孤峰型相区,IV、堰桥型相区,V、丁家山型相区,VI、黑茅口型相区,VII、白茅口型相区。除I区呈东西向展布外,其余均是北东向展布。呈现断陷拉张槽特征有三条:I、III、V相区。兹分别叙述如下:

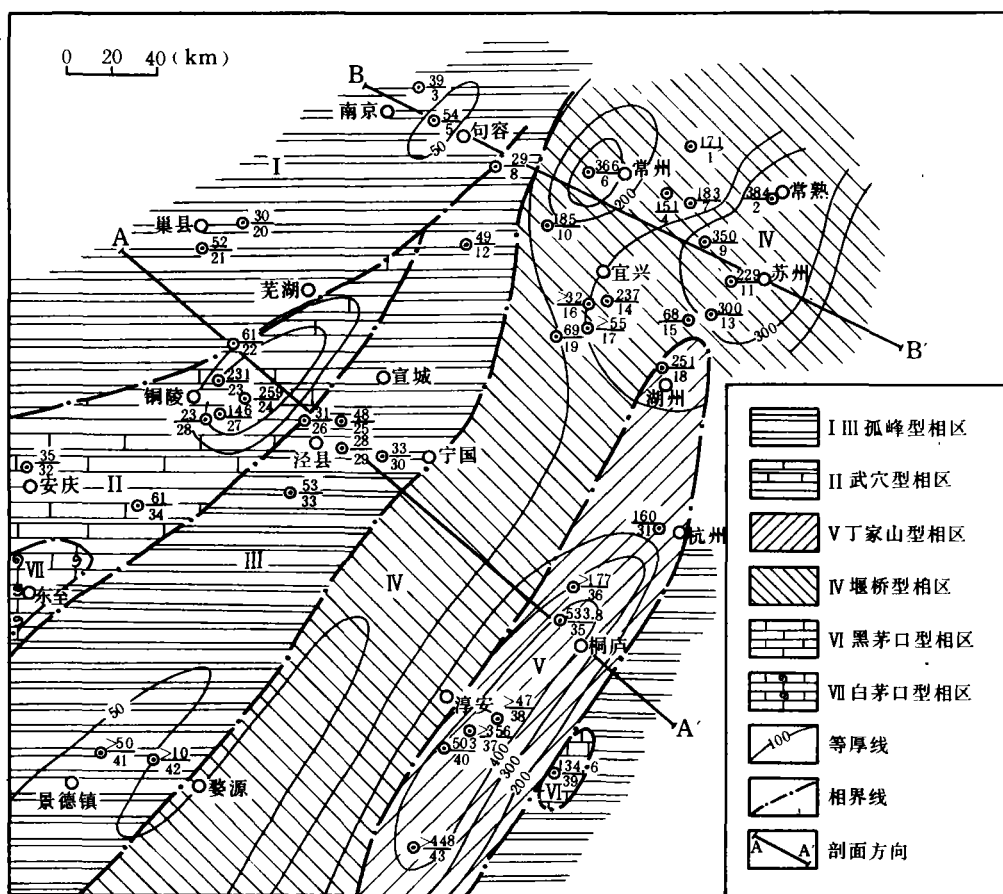


图3 下二叠统茅口期沉积相图

- | | | | | | |
|-------------|------------|---------|-----------|----------|----------|
| 1 江阴澄江 | 2 沙洲塘桥 | 3 江宁排山 | 4 武进横山桥 | 5 江宁天宝山 | 6 卜弋桥 |
| 7 无锡堰桥 | 8 金坛茅山顶宫 | 9 无锡方桥 | 10 溧阳上黄钻孔 | 11 吴县亚山 | 12 溧阳芳山 |
| 13 吴县西山岛 | 14 宜兴川埠 | 15 吴县西山 | 16 宜兴湖溪 | 17 长兴大煤山 | 18 吴兴南皋桥 |
| 19 广德牛头山 | 20 含山杨山林场 | 21 巢县后董 | 22 繁昌桃冲 | 23 铜陵施家冲 | 24 铜陵丁山俞 |
| 25 泾县昌桥 | 26 孤峰胡家村 | 27 南陵丫山 | 28 铜陵杨桃山 | 29 泾县晏公堂 | 30 宣城白果树 |
| 31 杭州丁家山 | 32 安庆大青山 | 33 泾县铜山 | 34 贵池火龙山 | 35 桐庐冷坞村 | 36 富阳三溪口 |
| 37 建德勤头寺东井里 | 38 建德勤头寺石塔 | | | 39 兰溪西山寺 | 40 建德舒家 |
| 41 景德镇老鼠嘴 | 42 婺源上平阳 | 43 衢县 | | | |

2.2.1 孤峰型相区(I区)

在巢县、南京一带,为东西向的拉张断陷槽。此带沿扬子地块的北缘分布,本区是其东延的一段,向西延入四川万源、广元一带。

该带以巢县王家剖面为代表。

下部孤峰组厚 53.79m,自下而上分为三段。下段以一套细碎屑岩为主,常见磷结核,为陆棚边缘沉积;中段主要为黑色放射虫层状硅质岩,放射虫占岩石量的 50~70%,沿层分布。放射虫经鉴定属 *Prystrira* sp.,上段为硅质页岩含锰结核,为陆棚环境。因此,孤峰组经历了浅—深—浅的沉积过程。

上部银屏组厚 18.00m,为黑色页岩、粉砂质泥岩,局部夹少量硅质泥岩,产双壳类及植物化石,为浅陆棚—滨海沉积。

综上,断陷槽沉积主要反映在孤峰组的放射虫层状硅质岩,到银屏组沉积时,断陷槽已为碎屑岩填平。

2.2.2 武穴型相区(II区)

北东向分布在贵池、铜陵、芜湖一带。属断陷槽盆地向白茅口碳酸盐台地的过渡相区。纵向上由两套地层构成,下为硅质岩的孤峰组,上为灰岩的武穴组。该相区以南陵丁山镇花鸡山剖面为代表。孤峰组厚 107.13m,由蓝灰色硅质岩、硅质灰岩、硅质页岩组成,底部见含锰灰岩。生物有底栖和浮游门类共生,如:腕足、菊石等,但不见放射虫。上部武穴组以灰岩为主,厚 38.80m。为浅灰色、灰黑色中厚层微晶灰岩、结晶灰岩,含少量燧石团块。产筳科 *Neomiseloline* 及腕足类等。孤峰组以硅质岩为主,生物特征属浅陆棚环境,至武穴组沉积时已抬升为碳酸盐台地。

此相区各剖面的岩性组合与南陵丁山镇相似,但孤峰组与武穴组的厚度有变化。如铜陵丁山俞厚度为 239.25m,其中武穴组灰岩的厚度达 170m,占剖面 2/3;宿松坐山剖面厚 152.82m,武穴组灰岩厚 74.95m,硅质岩与灰岩几乎各占一半。由宿松向西至九江、瑞昌等地,该段地层均相变为灰白色、肉红色灰岩,为典型的白茅口碳酸盐台地相(区)。

2.2.3 孤峰型相区(III区)

为北东向断陷槽,分布在景德镇、泾县、宁国、宣城一带,北与南京、巢县区断陷槽交汇。以泾县晏公堂求儿岭剖面为代表。孤峰组厚 28.23m,以灰黑色硅质页岩、硅质岩为主,顶部均见含锰页岩,生物有放射虫、腕足、菊石共生。堰桥组厚 183.10m,页岩、细砂岩、粉砂质页岩为主,含腕足及植物碎片。

其它各地剖面岩性特征与泾县晏公堂相似,但孤峰组与堰桥组的厚度有变化。从沉积特征分析,该断陷槽的裂开深度比相区要小,底栖生物与放射虫共生,可能沉积深度在 CCD 面附近。断陷槽的后期为碎屑岩填平,沉积环境从陆棚转化为滨海。

2.2.4 堰桥型相区(IV区)

北东向分布在婺源、广德、苏州、无锡一带。其南端因出露太少,目前情况尚不明,但在苏州、无锡、常州形成了一个沉积中心,组成了一个向北东开口的碎屑岩滨岸盆地。

以无锡堰桥钻孔剖面为代表,厚度为 210.0m,为大套细碎屑岩,底部见硅质页岩薄层,上部夹煤线。生物以底栖腕足类为主,筳科化石也较多,下部、中部微细水平层理发育。

这是一个典型的沉降与陆屑补偿呈均衡态的滨岸碎屑盆地。在陆内拗陷的基础上沉积

了一套水平微细层理发育的硅质泥岩、页岩,而后盆地填平,进入滨岸沼泽环境的煤系沉积,局部在盆地边缘见三角洲入海的扇体沉积。

2.2.5 丁家山型相区(V区)

北东向条状分布在建德、桐庐、临安、湖州一带。北与苏州、无锡、常州堰桥相区过渡,东南与衢县、江山、攸县的硅质岩断陷槽相邻。东边局部存在黑茅口的碳酸盐台地。由于本区处在断陷槽、碎屑盆和碳酸盐台地三者的过渡部位,岩性、岩相组合特别复杂,由硅质岩、石煤、生物碎屑灰岩、礁灰岩和碎屑岩的共生组成。

以桐庐冷坞村剖面为代表,丁家山组厚度 533.80m,包括东坞里段、石煤层段、石门堂段、冷坞段和礼贤段等五个岩性段。东坞里和石煤层段为黑色泥岩、放射虫硅质泥岩夹石煤,是拉张断陷槽内的沉积,石门堂段是经抬升的陆棚边缘环境,沉积了细砂岩、灰质泥岩,而冷坞段则因陆屑停止补给,发育了向上生长的海绵礁灰岩,至礼贤段因陆屑大量补给、倾注,使礁体死亡,已是碎屑岩为主的上部还夹有煤层的浅海—滨海环境。

综上所述,丁家山组的下段沉积与其东南侧的攸县、铅山、衢县、江山的硅质岩断陷槽相通,但在中期经历了生物礁体的生长,后期与苏锡常堰桥相区的滨岸盆地连成一片。

2.2.6 黑茅口型相区(Ⅵ区)

仅在金华兰溪西山寺出现,可能为孤立的碳酸盐台地。金华兰溪西山寺,茅口组厚 134.55m,整个剖面均为灰岩,深灰色、灰黑色厚层块状含燧石团块微晶灰岩夹白云质灰岩。富产珊瑚、筳科化石。以深灰色、黑色见大量燧石团块与狭义的白茅口灰岩相区别,俗称黑茅口。它是本区茅口期唯一见到全部由灰岩构成的沉积。因出露范围小,可能是孤立的碳酸盐台地环境的产物。

2.3 长兴期沉积特征

长兴期沉积相的展布规律与茅口期基本相似(图4)。大隆组的放射虫硅质岩代表了断陷槽的盆地相,而长兴组的灰岩则代表了碳酸盐台地相。大隆组的盆地相向长兴组的台地相的过渡部位,出现了硅质岩与灰岩的混合相区。长兴组灰岩,同样有黑长兴与白长兴之分。黑长兴组是深灰色、灰黑色薄层灰岩夹硅质岩,底栖生物与浮游生物共生,并有少量放射虫,水平微细层理发育,著名的长兴藻青剖面(国际层型侯选剖面)就是黑长兴组的代表。它往往出现在台地相向盆地相的过渡部位,并偏向盆地相的一侧,沉积环境属盆地边缘相。而白长兴则为灰白色、肉红色的生物灰岩、生屑灰岩、厚层块状层,是真正的台地相沉积或台地边缘高能滩-礁沉积。

近年王恕一等(1990)在无锡嵩山、苏州西山等地发现了长兴期高能生物礁、滩沉积,在本区的北部鉴别了由碳酸盐台地相→台地边缘礁、滩相→黑长兴沉积的盆地边缘相→大隆组断陷槽盆地相的系统变化。

本区长兴期可分为7个相带:Ⅰ区,巢县、南京一带东西向断陷槽盆地相;Ⅱ区,东至、贵池、铜陵、南陵北东向的台地向盆地的过渡相区;Ⅲ区,景德镇、祁门、泾县、溧阳、常州呈北东向断陷槽盆地;Ⅳ区,休宁、长兴、宜兴盆地边缘相(即黑长兴区);Ⅴ区,湖州、无锡、苏州台地边缘礁、滩相(即白长兴台缘相区);Ⅵ区,苏州、沙州碳酸盐台地相区(即白长兴台地相);Ⅶ区,江山、铅山、衢县、桐庐断陷槽盆地相区。上述岩相区平面展布除Ⅰ区为东西向,其余均呈北东向分布。由于作者等对长兴期的沉积特征作过报道,故不再赘述。

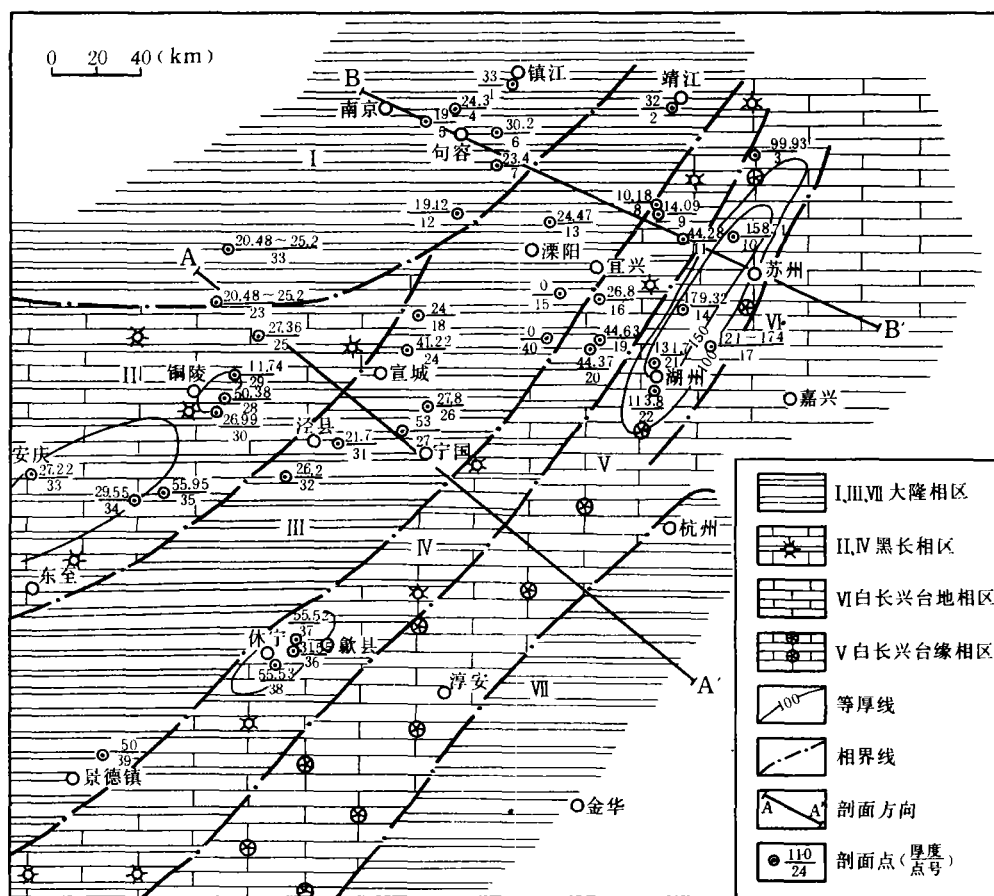


图4 上二叠统长兴期沉积相图

- | | | | | | |
|----------|-------------------------|------------|----------|-----------|----------|
| 1 镇江伏牛山 | 2 靖江孤山 | 3 CK 妙28-1 | 4 句容湖山 | 5 江宁天宝山 | 6 句容藕船山 |
| 7 金坛茅山 | 8 CK 14井 | 9 CK203 | 10 无锡嵩山 | 11 CK I-2 | 12 溧阳芳山 |
| 13 溧阳上黄 | 14 吴县西山 | 15 宜兴张渚 | 16 宜兴湖渎 | 17 吴江东山 | 18 宣城花山 |
| 19 长兴葆青 | 20 长兴煤13井 | 21 湖州南泉桥 | 22 CK901 | 23 无为白牡丹 | 24 宣城昌城 |
| 25 繁昌桃冲 | 26 宣城水东 | 27 宁国港口 | 28 铜陵中形山 | 29 铜陵施家冲 | 30 铜陵杨桃山 |
| 31 泾县晏公堂 | 32 泾县铜山 | 33 安庆北郊 | 34 贵池潘家桥 | 35 贵池火龙山 | 36 歙县畴留 |
| 37 休宁 | 38 休宁流塘 ZK ₂ | 39 景德镇老鼠嘴 | 40 广德牛头山 | | |

3 二叠系沉积-构造演化

本区二叠纪沉积系统变化(图5),确实存在一定的规律。二叠纪时中国南方的外围东西向古特提斯洋强烈打开,引起南方陆壳内部的引张,罗志立等(1988)详细地论述了上扬子地区云、贵、川这个地质作用,并命名为峨眉地裂运动,表现为早二叠世晚期玄武岩的大喷溢及晚二叠世有规律的拉张断陷槽的出现。在下扬子的本区,这些反映也是明显的(朱洪发等,1989)。从早二叠世早期栖霞组大规模的沉没台地的出现,同时呈现两条断陷槽的雏形,反映了海平面的普遍上升,发展到茅口期,初始拉张形成的断陷槽更为明显,而且有规律性:扬子

地块北缘东西向一条和北东向平行的两条(泾县、宁国、溧阳、常州和江山、衢县、桐庐、建德),不谋而合的在长兴期同样是这种布局。关于这3期纵向上的沉积系统变化以图5表示。归结起来,作者认为本区沉积-构造演化有如下特点:1)拉张有发展过程,由 P_1 的初始拉张发展到 P_1^1 、 P_1^2 的较强烈拉张;2)各期拉张断陷槽平面位置变化不大,反映了一定的继承性;3)平面上拉张断陷槽向两侧的碳酸盐台地或滨岸碎屑盆地的变化都具有过渡性;4)就拉张形式而言,上下扬子地区各有特点。

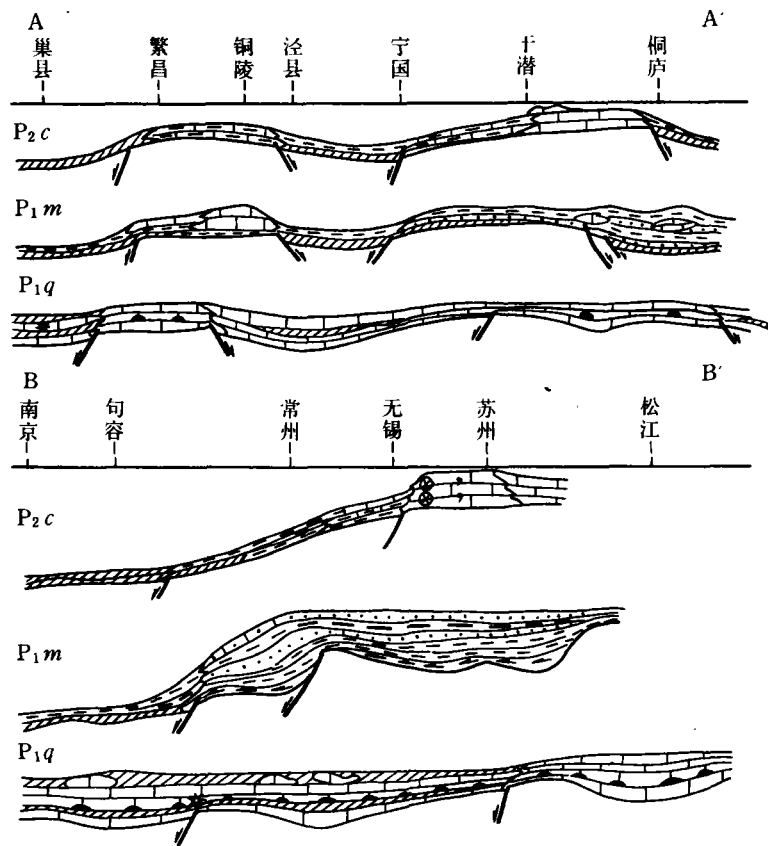


图5 下扬子区二叠系沉积演化图

4 几个问题的讨论

我们认为尚有几个问题,值得进一步的工作和认识。

(1)晚二叠世龙潭组沉积环境的认识。龙潭煤系是华南的一个重要成煤期,人们往往把该组的沉积环境定为滨海沼泽。由于龙潭组处在两个断陷拉张发育期(茅口期和长兴期)之间,是否龙潭期会普遍抬升为一片滨海沼泽环境,作者提出疑问。龙潭期地壳抬升是事实,相当一部分地区属滨海沼泽,但在茅口期几条断陷槽内,特别是杭州、江山丁家山相区东南的

被动边缘,是否存在异地搬运的浊积岩值得注意。吴俊^①近年指出龙潭煤系的煤是一种以木栓质体为主体的树皮煤,这也证实了异地煤成因。

(2)栖霞组与孤峰组的分界是以栖霞组上部硅质层段作为顶界。上硅质层段是薄层硅质岩与灰岩互层,夹灰岩条带、透镜体;孤峰组为薄层硅质岩。有的地方硅质层不夹灰岩与孤峰组硅质岩连续过渡,界线较难确定。

(3)堰桥组特别是苏州、无锡、常州地区,有部分层段是否存在浅水浊积岩的可能,尚待进一步工作。

(收稿日期:1991年4月4日)

参 考 文 献

- 1 江苏地矿局. 江苏省及上海市区域地质志. 北京:地质出版社,1984
- 2 浙江地矿局. 浙江省区域地质志. 北京:地质出版社,1982,105~122
- 3 安徽地矿局. 安徽省区域地质志. 北京:地质出版社,1982,122~139,245~246
- 4 丁道桂等. 下扬子区晚古生代含油气盆地原型. 石油实验地质,1987,9(3):272~282
- 5 陈华成等. 长江中下游地层志. 合肥:安徽科学技术出版社,1987,317~390
- 6 吕炳全等. 下扬子地区早二叠世海进和上升流形成的缺氧气环境的沉积. 科学通报,1989,34(22)
- 7 王恕一等. 苏浙皖毗邻地区晚二叠世长兴期沉积相展布规律. 石油实验地质,1990,12(3):297~306
- 8 罗志立等. 试论上扬子地台的峨眉地裂运动. 地质论评,1988,34(1)
- 9 朱洪发等. 论华南孤峰组和大隆组硅质岩成因、分布规律及其构造机制. 石油实验地质,1989,11(4):341~348

SEDIMENTARY EVOLUTION AND STRUCTURAL BACKGROUND OF THE PERMIAN SYSTEM ON THE BOUNDARY OF JIANGSU-ZHEJIANG-ANHUI PROVINCES

Zhu Hongfa Qin Deyu Chen Yue Wang Shuyi Wang Genhua

(Central Lab. of Petroleum Geology, MGMR)

Abstract

The paper discusses the lateral and vertical sedimentary features of the Permian System developed during the stages of Qixia, Maokou and Changxing on the boundary of Jiangsu-Zhejiang-Anhui province. It is suggested that a series of sedimentary-structural models with regularity of successive extensionally faulted troughs occurred in the Permian System of the region due to the expansion of Paleo-Tethys sea and the extension undergone in the interior continental crust.

① 矿物岩石地球化学通讯,1990年,第4期,270页