

同济大学海洋地质研究所

纪念中国地质学会成立六十周年——

论文汇编

1982年5月

祝 辞

本文集是为祝贺同济大学七十五周年校庆而编撰的。它收集了海洋地质研究所近年来的部分研究成果。虽然我所的工作相形于本校其他单位的成就不乏其绌,但是,作为全国海洋事业中的一支年青的教学和科研力量,我所全体同志投身于这一事业的热忱和奋力不懈的精神是堪可称颂的。

海洋地质所的工作之所以能顺利开展,首先是由于同济校党委的关怀,同时也是校长李国豪教授卓识远见的决策以及翁致远教授的具体领导,当然还应归功于学校科研处的大力支持。再者,蜚声国内的朱夏、业治铮教授作为本所的顾问使我们的工作大为增色深蒙其益。值此校庆之际愿借本文集的出版,谨向学校领导和热忱支持我们工作的同志致以诚挚的敬意。

当前,随着四化的宏伟进程我国的海洋事业亦已进入一个举世瞩目的新时期,国家正值用人之秋,作为理工结合的同济大学兴办海洋地质教学和科研事业无疑是有得天独厚的条件的,前途殊为广阔。最后,祝望渊源流长的同济大学在今后为中华崛起而奋斗的岁月中再增异彩。

刘光鼎

目 录

1. 我国东部第四纪的海陆过渡相地层.....	1
2. 我国古潜山原油藻类化石组合与油源研究.....	12
3. 江苏省宜兴县善卷洞附近的青龙灰岩及其岩相特征.....	15
4. 安徽北部上寒武统凤山组的牙形刺及其地层.....	24
5. 关于我国东部海岸三角洲地区的冰后期海相层.....	29
6. 重力归一化总梯度法在寻找油气中的应用.....	34
7. 永兴岛珊瑚礁.....	41
8. 大铲珊瑚礁特征.....	63
9. 海南岛鹿回头岸礁的分带, 成岩作用和发育历史.....	71
10. 排浦珊瑚岸礁的特征.....	84
11. 江汉盆地潜江凹陷下第三系孢粉化石颜色及其有机质类型与油气生成.....	91
12. 试论东海地质构造的成因(摘要).....	98
13. 郑庐断裂与渤、黄海的成因(摘要).....	100
14. 磁法找油的初步探索(摘要).....	102
15. 苏北下第三系阜宁群沉积环境(摘要).....	103
16. 安徽怀宁县月山三迭系青龙群碳酸盐岩沉积相与生储盖初步研究.....	105
17. 碳酸盐岩孔隙-裂缝的超声波萤光法测试.....	106
18. 海南岛沙老岸礁现代沉积相带的研究(摘要).....	107
19. 滦河废弃三角洲和砂坝-泻湖沉积体系(摘要).....	110
20. 渤海湾北部海底浅部沉积层和若干工程地质现象(摘要).....	111
21. 苏北弶港地区的潮滩沉积特征.....	112
22. 滦河冲积扇——三角洲地区粒度资料的综合研究.....	114
23. 珠江三角洲沉积磷酸盐的地球化学标志(摘要).....	115
24. 滦河三角洲滨外海域现代沉积的有机质特征.....	117
25. 东海陆架区更新世晚期沉积的化石藻类组合及其古环境分析(摘要).....	118
26. 太湖地区第四纪孢粉组合及其地层、古地理意义(摘要).....	121
27. 东海底质中的有孔虫、介形虫(摘要).....	124
28. 中国海现代介形虫区系划分的初步意见(摘要).....	125
29. 太平洋美拉尼西亚海盆深海碳酸盐溶解作用的初步研究(摘要).....	127

我国东部第四纪的海陆过渡相地层

汪品先 闵秋宝 卞云华

第四纪期间我国海区的海面升降,以及东部沿海第四纪海侵的研究,近年来已经引起地质工作者的广泛注意。有孔虫、介形虫等微体化石的运用,在海侵研究中起着十分重要的作用。然而在寻找海侵地层的过程中也出现了一种值得注意的倾向,那就是把凡找到一点海相化石(如有孔虫)的地层,统统叫做海相层,一概划在古海岸线之外。即使在大批的陆相介形虫化石群中发现一枚有孔虫,竟然也被称作“海相”。

其实,并不是只在海相地层中才有海相化石。上海的黄浦江,沉积物中含有随潮水带来的有孔虫,但是并不能因此把黄浦江称作“海”,河口(包括河口附近的支流)、泻湖、潮间带等介于海和陆之间的海陆过渡相环境,通常也都含有海相化石,而且沉积速率最高,是沿海平原和浅海陆架第四纪地层中发育最广的沉积类型。如果简单化地把海陆过渡相当作海相看待,就会在古地理分析上造成差错。

为此,必须引起我国第四纪研究工作者对于海陆过渡相地层的重视,首先应当提出正确识别海陆过渡相地层的标志;然后进而讨论海陆过渡相地层在我国东部第四系中的重要性,并指出它们在地层对比、研究古地理及新构造运动中的意义。——这些,也正是本文企图达到的目的。

一、关于海陆过渡相地层的识别标志

岩矿、化学与古生物三方面的标志,都是识别海陆过渡相地层的依据。潮间带和河口沉积物具有比较明显的岩石学特征,例如贝壳砂和海相层系中的泥炭层通常是潮间带的产物,粒度和层理的特征能够指示潮间带和河口各部位的沉积,石英颗粒的表面形态也能提供识别潮间带沉积的标志。然而,岩石学的物理特征主要反映水动力条件,并不能用来区分泻湖与淡水湖沉积、入海河口与入湖河口沉积等。化学方面和泥质沉积中硼元素的含量往往可以指示海相与陆相,但对海陆过渡相则不够灵敏;曾经自称为可以测出沉积介质1‰盐度变化的“沉积磷酸盐法”(Nelson, 1967),实践证明因干扰因素太多,往往连一般的海陆过渡相也难以分出。生物的即化石的标志,至少在目前是鉴别海陆过渡相地层的主要依据。

大化石中以软体动物对识别过渡相最为有用,其他门类也有很好的指相属种,如藤壶 *Balanus*、舌形贝 *Lingula* 在第四纪潮间带十分发育。然而,对于沿海平原和海底的第四纪研究来说,微体化石占有首要地位。经验表明:用宏观的岩性特征无从分辨的一些海陆过渡相地层,却具有十分鲜明的微体古生物标志,浙江沿海全新世的数十米青灰色粘土,上下无甚岩性差别,但是通过有孔虫、介形虫分析却能分出浅海、海湾和泻湖等沉积相;华北更新世的灰黄色粉砂质粘土层多属陆相,只有靠发现有孔虫或海相介形虫才能指出遭受海侵影响的层段。

为在我国东部建立各类海陆过渡相地层的微体古生物标准,需要分析相应的现代沉积。因此,我们对沿海大小不等的七条河口、五个地区的泻湖、海湾,以及从辽宁到海南岛的各种潮间带沉积进行微体古生物分析,并取我国各海区和淡水、咸水湖泊共数百个沉积样品进行分析对比,结果得出我国各类海陆过渡相现代沉积的微体古生物特征(表1)。以此作为标准,与我国东部地区及陆架海底第四纪地层中的微体化石群进行比较,发现海陆过渡相地层分布十分广泛。

表1 我国海陆过渡相现代沉积中微体化石特征简表

沉积环境		有孔虫						介形虫		有壳变形虫
		类型	分异度	优势性	大小	个数	埋藏特点	类型	个数	
河口相	弱潮型	广盐	低	强	一般	少	基本原地	广盐海相、陆相	少	有
	强潮型	窄盐、广盐	中	弱	小	少	异地	海相(小)、陆相	少—无	少—无
泻湖相	半咸水	广盐	低	强	一般	少—多	原地	广盐海相、陆相	多	有
	微咸水	广盐	极低	极强	一般	少—多	原地	陆相、广盐海相	多	有
滨海相	低能	广盐为主	低	强	一般	较少	原地	海相、陆相	多	有
	高能	窄盐、广盐	低	弱	一般	较少	异地	海相	少	少—无

从化石群的角度出发,海陆之间的过渡相环境可以分为河口,海湾与泻湖,以及滨岸潮间带这三类。诚然,不少场合三者不能分割,如泻湖位于河口区,而河口、泻湖区都有潮间带等等,但典型情况下三者是可以分的。下面拟先后讨论这三类环境下形成的地层所具微体古生物特征,介绍在沿海平原与海底的地层实例,然后讨论它们的分布与意义。

二、河口相地层

河口相是海陆过渡相地层中最为重要的一类。根据对我国河口的研究,河口相微体化石群有弱潮型与强潮型两种。前者可以美国密西西比河为典型,代表潮汐作用较弱的河口,沉积物中的有孔虫群由基本上原地埋葬的广盐性属种组成,我国如辽河口、滦河口、黄河口、西河口等;后者可以我国钱塘江为典型,代表强潮汐河口,沉积物中有孔虫群由异地埋葬的小个体壳组成,长江口亦可归入此类。

1. 强潮型河口相

钱塘江一类的强潮型河口,虽因径流的交替不利于有孔虫生存,但是虫壳可以随潮流而由海域携入河口以内埋葬,并且同时发生分选,只有细小壳体(包括海相介形虫幼体)可入河口,而不论其为广盐或窄盐类型。这种小个体,多窄盐种的有孔虫群,是强潮型河口微体化石群最易于辨认的特征。以钱塘江为例,有孔虫埋葬群平均壳径在东海为0.3mm,到杭州湾降到0.17与0.13mm,钱塘江大桥之下仅0.1mm,然而却有大量窄盐性属种和奈良小上口虫*Epistominella naraensis*(Kuвано)与抱球虫类浮游有孔虫等。此外,强潮型河口的不同相带也有不同的化石群特征,如长江口自前三角洲浅海到三角洲前缘斜坡以致三角州平原的主河床和

支流河床,可以看出有孔虫埋葬群的种数减少、壳径变小,陆相化石增多的变化趋势,从而为区分不同相带提供依据(表2)。

表2 长江口现代沉积中各相带的微体化石特征

相带	化石	组合	种数	有孔虫					介形虫		棘皮动物	
				个数(每50克)	平均壳径(mm)	胶结壳类	瓷质壳类	浮游孔虫%	陆相	海相最大壳径mm	海胆刺	蛇尾类骨片
三角洲平原相	长江主河床亚相	奈良小上口虫 <i>Epistominella</i>	<20	数十至数百	0.11—0.12	无	无	<5	有	无	无	无
	支流亚相	<i>naraensis</i> ——玻璃介 <i>Candona</i> 亚相	<20	数十至数百	<0.17	无	无	<5	有	0.30±	有	少
三角洲前缘相	叉道河床亚相	毕克卷转虫 <i>Ammonia beccarii</i> ——东台新单角介 <i>Neomonocerotina dongtaiensis</i>	<20	数十至数百	<0.17	无	少	15±	少	0.30±	有	少
	前缘斜坡亚相	亚相	20—30	数十至数百	0.17—0.20	无	有	15±	少	0.35—0.50	有	有
前三角洲相		异地希望虫 <i>Elphidium advenum</i> ——方地豆艳花介 <i>Leguminocythereis hodgii</i> 组合	30—40	1000±	0.20±	有	有	10—15	无	0.60—0.80	有	有

运用表2所示的标准,可以在长江三角洲地区第四纪占孔中进行相分析。例如上海东部及长江口水下占孔的分析表明,以吴淞零点之下14米为界,其上的全新统上部地层为灰褐色粉砂、粉砂质粘土,富含奈良小上口虫为代表的小个体有孔虫群,壳径不足0.20mm,並含海、陆相混的介形虫,和现代杭州湾沉积中所见相似,说明该区处于河口湾环境。现在长江北岸的南通、海门一带,钻孔揭露的百余米地层除一部分为三角洲浅海相外均属河口沉积,根据微体化石及岩性特征可以在这些钻孔中分出代表三角洲各个相带的地层。南通、海门、上海三钻孔全新统河口相地层的划分、对比,如图1所示。此外,江苏宜兴发现有含强潮型河口相化石群的全新世中期与晚更新世中期两个海侵地层;丹阳珥陵附近地面以下二米的灰色细砂中见有壳径0.15mm以下的小个体有孔虫群,属于三角洲前缘相,说明全新世最大海侵时长江口曾位于丹阳或者更西的地方。

强潮型河口相微体化石群,在海底第四纪地层中也有发现。如东海北部陆架外缘水深100米处,海底柱状样中见两层灰色细砂,所含有孔虫群的平均壳径仅为0.15—0.17mm,每克沉积中只含有孔虫4—13枚(图2)。这种晚更新世晚期强潮型河口相化石群的发现,即指示了当时河流入海口的所在,又反映出潮汐作用的强度。

2. 弱潮型河口相

密西西比河一类弱潮型河口的特点是逐流强、潮流弱,河口沉积中的有孔虫、介形虫埋葬群均由河口以内的广盐性种所组成,並無潮流携入的窄盐海相分子。因此,这类河口的有孔虫群壳体大小比较正常(如西江口有孔虫平均壳径为0.2mm),但是分异度低、优势性强,如西江口沉积样品中的有孔虫不超过十种,而两个广盐性优势种[毕克卷转虫变种 *Ammonia*

beccarii (Linne) var. 与霜粒希望虫 *Elphidium nakanokawacense* Shirai 占全群个数 83% 以上。同时, 沉积物的粒度与有孔虫数量有密切关系, 如滦河口河床砂、堤岛砂中每 50 克只含有孔虫数枚, 而较细沉积物中可达数百至千枚。

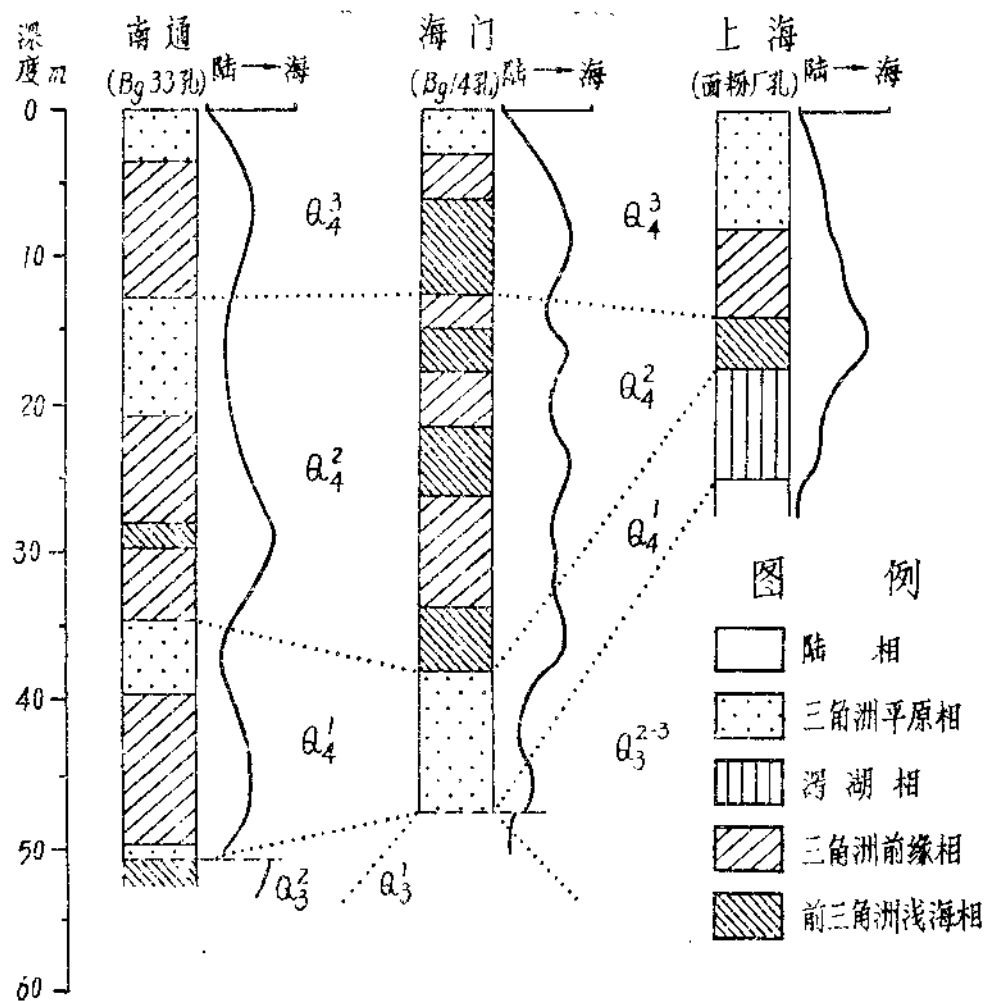


图 1. 长江三角洲三口钻孔的全新世海陆过渡相地层

弱潮型河口相化石群, 在渤海及其周围平原的第四纪地层中已有广泛发现。例如营口附近辽河口东侧的全新世早期、晚更新世早期粉、细砂层中, 每 50 克样品只含卷转虫、希望虫等广盐性有孔虫 2—12 枚, 并与陆相化石有壳变形虫共生, 属河口河床相沉积; 在全新世后期、晚更新世中期部分层位中有孔虫含量达数百枚 (每 50 克样品), 而毕克卷转虫等两个广盐性优势种占全群个数 70%, 属于河口水动力较弱处的沉积。渤海海底, 在距滦河口外大约 50 公里处的钻孔中, 也在全新统下部, 上更新统中部见有上述两类有孔虫化石群, 同样属于弱潮型河口相。

由于弱潮型河口相有孔虫群壳体大小与海相者接近, 因而不及强潮型河口相之易于辨认。然而河口相有孔虫群的分异度低、优势性强, 广盐性属种为主, 又有陆相化石伴生, 可资区别。

河口河床砂、堤岛砂虽与正常滨海砂同样含有稀少的有孔虫,但后者有窄盐性属种和其它正常海相生物碎片,亦可分辨。只是有时河口相砂层中完全不含化石,便只能依靠粒度分析等手段才能鉴别。

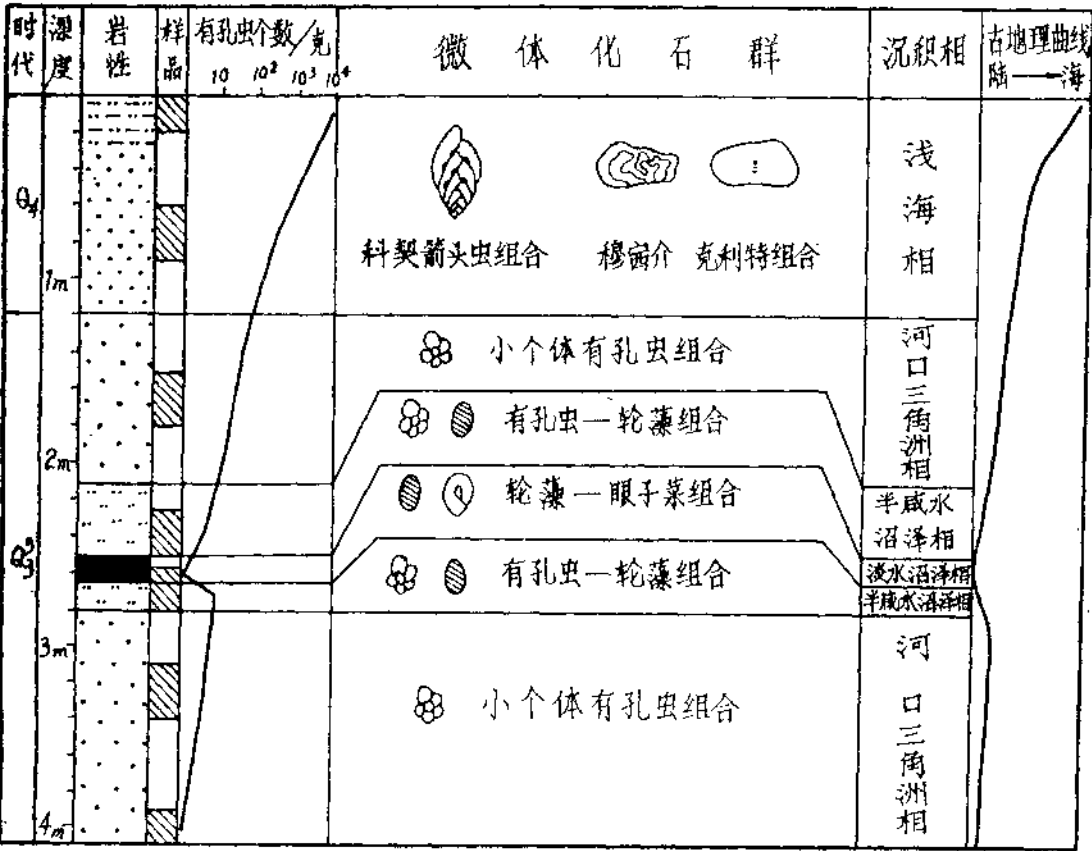


图 2. 东海陆架外缘某站(水深 100 米)柱状样中的海陆过渡相沉积

三、海湾——泻湖相地层

凡是在各种有海水进入、但与海又有某种阻隔的水域，在微体化石的特征上往往比较相似。因此，这里把海湾、泻湖放在一起讨论，连历史上海水逆河谷而上造成的微咸水湖泊，也归入此类。

海湾——泻湖相各种化石群的控制因素是盐度。与海联通较好、盐度近乎正常的海湾——泻湖沉积中，有孔虫、介形虫群的特征与一般浅海相似，难以靠化石分辨，如江苏的连云港，底质样品中含有孔虫三十余种、海相介形虫十余种，壳体大小正常，又无陆相类型发现，与南黄海一般情况相似。依靠化石群能够辨别的，主要是半咸水与微咸水这两类，而且盐度偏离正常海水越强烈，其化石群越容易辨认。

1. 半咸水海湾——泻湖相

我国沿海的半咸水泻湖，如河北滦河口附近的七里海等泻湖和山东岚山头附近诸泻湖，其

沉积物中的微体化石群是由广盐性有孔虫与广盐性介形虫所组成,数量比较丰富,壳体大小正常,但常有众多的幼壳以及陆相化石共同埋葬。如岚山头以北的泻湖沉积物每 50 克含有孔虫二百余枚,主要有广盐性的波伊艾筛九字虫 *Cribrononion poeyanum* (d'Orbigny)、毕克卷转虫变种等组成,与有壳变形虫等陆相化石共存;滦河口以北的泻湖七里海,也见有轮藻受精卵膜与毕克卷转虫、希望虫等广盐性有孔虫,弯贝介 *Loxoconcha*、细花介 *Leptocythere* 等广盐海相介形虫共同埋葬。

这类化石群在华北沿海第四纪晚期海侵地层中常有发现。只是由于其特征与部分河口相沉积雷同,往往难以区分。但是海湾——泻湖相沉积中往往含有较多的幼壳,可以在分析时注意。南方例如杭州西湖全新世大西洋期的沉积物中含有十余种有孔虫,属种组合表明属于半咸水海湾相。

2. 微咸水海湾——泻湖相

主要受淡水控制、有微弱海水影响、而盐度接近淡水的微咸水泻湖、海湾,有时含有十分独特的化石群。这种有孔虫群往往全部或几乎全部由单个或两个广盐性种所组成,有时还有单种或两种广盐性海相介形虫,并与陆相化石共生。例如广东湛江港坡头附近的小湾,在水稻田旁的近淡水沉积物中发现只有一种砂粟虫 *Miliammina* sp. 组成的有孔虫群;滦河口以西水质近淡的泻湖中亦见几乎全属毕克卷转虫变种的单种有孔虫群;浙江普陀山西侧龙沙庵的小湾被人工坝与海隔开,现代沉积中毕克卷转虫一种占全有孔虫群的 96.3%,宽卵中华丽花介 *Sinocytheridea latiovata* Hou et chen 一种占全介形虫群的 96.4%,并见有壳变形虫共生。

类似的单属单种或双种有孔虫、海相介形虫群,在我国东部第四纪地层中屡有发现。就目前所知,构成这类特殊化石群的广盐性有孔虫有:

Nonion shansiense (N.W.Wang) 山西九字虫

Ammonia beccarii (Linn'e) var. 毕克卷转虫变种

Elphidium magellanicum Heron-Allen and Earland 缝裂希望虫

E. nakanokawaense Shirai 霜粒希望虫

Discorbis? Yunchengensis Bao, Wang et Wang 运城圆盘虫(?)

Trochammina inflata (Montagu) 隆凸砂轮虫

Spirillina minima sp. nov. 微小盘旋虫

Florilus fuscus sp. nov. 褐色花朵虫

相应的广盐性介形虫如:

Sinocytheridea latiovata Hou et chen 宽卵中华丽花介

Cyprideis torosa (Jones) 具瘤正星介

等,单种或双种有孔虫群有时可以和多种陆相介形虫共生,常见的有土星介 *Ilyocypris*、线星介 *Lineocypris*、湖花介 *Limnocythere* 和小玻璃介 *Candoniella* 等,但也有除单种有孔虫以外不再含任何其他化石的(如河北玉田晚更新世初的微小盘旋虫化石群)。

个体丰富的单种有孔虫群,在世界上的报道屈指可数,其发现往往引起专门的讨论。而我国东部沿海以致内地和海底的第四纪地层中,已在二十余个钻孔或露头剖面中发现单种有孔虫化石群。从它们的分布图(图 3)上可以看出:虽然各地的层位并不相同,但是在华北大体总

是山西九字虫群, 华南始终以毕克卷转虫(变种)为主, 表明这些种具有不同的适应性。

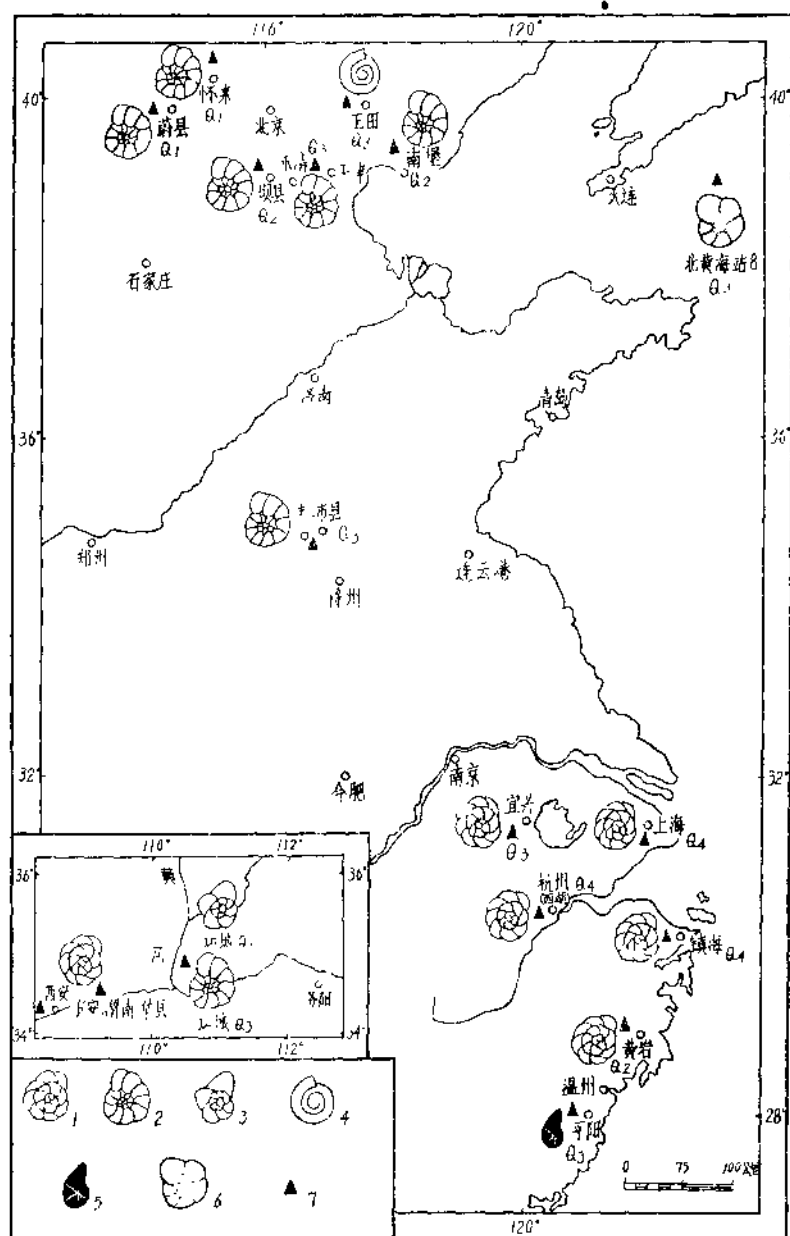


图 3.

此类化石群的发现, 对于古地理和新构造运动的研究, 都有特殊意义。例如杭州西湖的全新统, 除近期的淡水湖阶段和大西洋期的半咸水海湾阶段沉积外, 几乎都只含单种或双种有孔虫群, 说明长期处于微咸水泻湖阶段。渤海中央的钻孔在井深 335-435 米的层段, 有孔虫群 99% 的个体由毕克卷转虫(变种)与霜粒希望虫两种组成, 化石特征与西湖的泻湖期相同, 说明更新世中期渤海中央一度曾为微咸水泻湖。北黄海全新世地层中, 也发现有缝裂希望虫一种占全

群 94.6% 的有孔虫群, 同样反映微咸水的泻湖环境。至于目前海拔数百米的山区发现早更新世单种有孔虫化石群(见后), 更可作为新构造运动抬升作用的证据。

四、潮间带滨海相地层

近年来, 潮间带滨岸沉积在世界各地地层中的发现越来越多, 潮间带微体化石群的研究也日益引起重视。然而, 不同地区、不同类型的潮间带, 微体古生物的特征并不相同。高能沙滩的砂质沉积, 与低能潮坪的泥质沉积之间, 在古生物特征上有着根本的区别。

1. 高能滨海相

粗砂砾石的滨岸沉积中一般不含化石, 滨岸中、细砂中含有少量的有孔虫壳体, 常受磨损, 並有海生软体动物、棘皮动物、苔藓动物的碎片, 而贝壳多时便成为贝壳砂。据青岛、舟山、海南岛等地滨岸砂分析及部分样品活个体染色试验的结果看, 此类沉积中的有孔虫壳体全系异地埋葬的死个体, 常见种有同现卷转虫 *Ammonia annectens* (Parker and Jones)、毕克卷转虫(变种)、异地希望虫 *Eiphidium advenum* Cushman 以及花室虫 *Cellanthus*、仿轮虫 *Pararotalia* 等。同时, 从潮下带到潮上带有孔虫个体逐渐减少, 而有壳变形虫(主要为刺盒虫 *Centropyxis*) 却相应增多, 因此潮上带除潮沟外, 有孔虫十分稀少。

高能潮间带沉积物在我国东部第四纪地层中常有发现。如上海嘉定县外岗的全新世砂岗, 于地下 0.6-1.0 米处见贝壳层, 富含强烈磨损的牡蛎碎片, 並含毕克卷转虫—异地希望虫组合的有孔虫群, 中华丽花介——棘艳花介 *Echinocythereis* 组合的海相介形虫群, 是典型的全新世高能潮间带沉积。又如东海陆架外缘部分站位在表层以下见有贝壳砂堤, 与藤壶、牡蛎磨损碎片共同产出的有毕克卷转虫——异地希望虫组合的有孔虫群, 宽卵中华丽花介等介形虫, 以及有壳变形虫、棘皮类碎片等, 其中较大化石均经磨损, 属晚更新世晚期的高能滨岸沉积。这些站位现代的水深可达 130 余米, 而当时却是海岸带的所在, 海底的和陆上的贝壳砂堤, 同样为岸线变迁史提供了证据。

2. 低能滨海相

泥质海岸带的沉积中, 微体化石含量比较丰富。根据我们从渤海湾到北部湾分析的结果, 潮间带泥质沉积物中的有孔虫群与各自所在海区的特征相应, 但相互之间却有很大的差异。例如渤海西岸的泥滩中, 有孔虫个体大小正常(平均壳径 0.27mm), 属于毕克卷转虫——波伊艾筛九字虫组合; 而长江口的南汇、杭州湾的澉浦一带, 潮间带粉砂质泥中有孔虫壳体细小(平均壳径仅 0.15mm), 属奈良小上口虫——凸背卷转虫 *Ammonia convexidorsa* Zheng 组合, 因此潮间带泥质沉积物虽然具有含有壳变形虫等陆相化石的特征, 但依靠化石群加以分辨却并不容易。

如果低能潮间带发育成为植物繁茂的滨海沼泽, 其辨认特征便明显得多。滨海沼泽有时可以形成泥炭, 至少在沉积物中出现大量植物碎屑和种子、果核, 而且因腐植质聚集而造成酸性环境, 不利于钙质壳体发育, 有利于具胶结质, 假几丁质壳壁的有孔虫属种繁盛。例如, 浙

【注】在珊瑚礁发育区, 滨岸带碳酸盐沉积中几乎全为生物碎屑与有孔虫等壳体, 与上述情况不同。

江余姚河姆渡文化遗址的全新统,在文化层低板层中发现大量植物碎屑和微咸水硅藻(马鞍藻 *Campylodiscus*),有孔虫只有胶结质壳的褐栗虫 *Miliammina fusca* (Brady) 等常见沼泽环境的属种,显然是滨海沼泽相沉积;南黄海中部水深 60 余米处,于柱状样中埋深 0.45~1.20 米层段见有大量植物碎屑、有壳变形虫,而有孔虫群中几乎不见钙质壳,具假几丁质壳的瘦瘠雅得虫 *Jadammina macrescens* (Brady) 占半数以上,其余为广盐性具胶结壳的属种,是为晚更新世低海面时形成的滨海沼泽沉积;东海陆架外缘水深 100 米处,在柱状样中见有泥炭层,富含轮藻受精卵膜、眼子菜 *Potamogeton*、沟繁缕 *Elatina* 等淡水植物的果核或种子,並见个别细小有孔虫壳,属于河口淡水沼泽的产物,而泥炭层上下的泥质粉砂中轮藻受精卵膜、植物果核与少量小个体有孔虫同时产出,应为半咸水滨岸沼泽沉积(图 2)。上述各例,都是各时期古海岸线的标志。

五、海陆过渡相地层的分布

总结上述三大类过渡相微体化石群的特征,可以指出:凡具备下列条件之一者,一般即可定为海陆过渡相。

1. 海相与陆相化石共生;
2. 化石群中以广盐性类型占优势;
3. 有孔虫等海相化石群的分异度数值甚低(如有孔虫群的 $H(S)$ 值不足 1),优势性甚强(如一个种的含量逾全群 2/3);
4. 有孔虫个体过于细小,或壳壁失钙变薄、畸形个体发育;
5. 有孔虫个体过于稀少。

在各类过渡相地层中,有的化石特征比较鲜明,鉴别比较可靠,如以上小个体含广盐种有孔虫群为特征的强潮型河口相,以单种、双种有孔虫群为特征的微咸水泻湖相,和具有大量植物遗骸並含假几丁质壳有孔虫的滨岸沼泽相;而河床砂、堤岛砂以及滨岸沙滩砂的微体化石特征比较接近,泻湖、河口与潮间带的泥质沉积中微体化石群也多相似之处,不易分辨,然而结合其它如岩性等特征,特别是地层纵向系列与横向相变的规律,仍然可以判断,例如河口相的化石群应当反映出朝海的方向海相性递增的现象,潮间带沉积中化石群也有自潮下带向潮上带海相性递减的趋势。在不少场合,只能指出某化石群属于海陆过渡相,却难以断定其具体的沉积环境。如广东湛江一钻孔中第四纪初期(?)的有孔虫化石群,只含砂壁虫 *Arenoparella*、曲杖虫 *Lituola*、砂栗虫等胶结壳属种,无疑属于半咸水海陆过渡相,但究竟是泻湖、河口还是潮间带,尚难定论。

运用上述标准考察我国东部第四纪海侵期形成的地层,我们看到:在沿海地区第四纪地层中真正的海相沉积显然少于海陆过渡相地层。如果只考虑地层中有海相门类的化石(如有孔虫),而不去分析广盐性分子的比例、化石群的分异度、共生化石等特征,便行定相,就难免有“瞎子摸象”之虞。事实上,我国不少文献中所说的“海相”第四纪地层,其实只不过是海陆过渡相。我们对沿海平原与近岸海底微体古生物资料比较丰富的 36 个钻孔进行统计,结果算出海侵地层中过渡相沉积物的厚度是真正海相地层的 2.38 倍(表 3)。

这就是说:在沿海平原研究第四纪海侵地层,主要研究的是海陆过渡相地层,其次才是海相层。从时代分布上看,中更新世的海侵层迄今所知全属过渡相;晚更新世的过渡相沉积约为海

相的二倍半；全新世的海侵最大，但全新世初期和晚期的沉积仍为过渡相，因而过渡相厚度依然接近海相地层的两倍。从平面分布上看，东部沿海每次海侵所造成的过渡相沉积，其分布面积常常超过海相沉积。各河口平原至少第四系上部主要由三角洲沉积所组成；而与沿海平原相近的山区谷地，也有弱海相性的海陆过渡相沉积出现。如果将中更新世、晚更新世与全新世最大海侵时渤海西岸（华北平原）海相与过渡相环境所占的面积作一比较（图 4），便不难看出过渡相环境分布的广泛性。然而这还是海侵最盛时的情况，其余时期海相环境范围更加狭窄，过渡相显得更加重要。辽河平原、苏北平原、浙北平原等地区，情况也与华北相似。

表 3 我国东部沿海 36 个钻孔中第四纪中、晚期海相与海陆过渡相地层总厚度比较表

地 层 年 代	Q ₄	Q ₃	Q ₂	合 计	比 例
海 相 层 总 厚 度	250 米	207 米	0 米	457 米	1
海陆过渡相层总厚度	440 米	519 米	129 米	1088 米	2.38

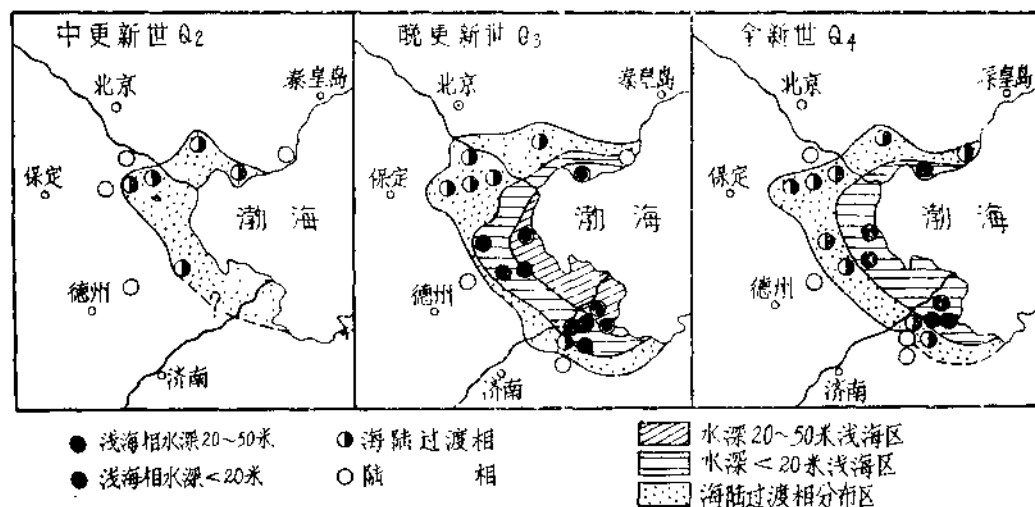


图 4. 渤海西岸第四纪中、晚期海陆过渡相地层分布图

六、海陆过渡相地层的意义

海陆过渡相地层的重要性，还远远超过其分布的广度与厚度。无论在古地理再造、地层对比以及新构造运动的研究等方面，过渡相地层都有其特殊的意义。

首先，在再造古地理时海陆过渡相地层可以指示岸线的大体位置。潮间带沉积如贝壳砂、滨海泥炭等固然是岸线的标志，而河口、泻湖也发育在岸线附近，都属于滨海边缘环境。同时，海陆过渡相化石群的正确辨认，也可以防止把发现有孔虫的范围当作海域边界的错误作法。例如早更新世的海岸线，不应该因为长安、运城发现了单种有孔虫而划到汾渭盆地，晚更新世的海岸线，也不能因为丰县、沛县发现了单种有孔虫群而划到徐州以西（图 3）。这些单种有孔虫化石群固然指示了海水的影响，但是并不代表海相，它们只是海水顺河谷而上造成微咸水沉积的标志，距离真正的海岸线可以有很大的距离。

其次,既然微体化石群能够指示不同海相性程度的海陆过渡相沉积,就可以依靠反映海相性变化的古地理曲线进行地层对比。例如江、浙一带,全新统地层可以分为海侵最强的中段,和以过渡相为主的上、下段,各井的古地理曲线完全可以对比,从而为地层的划分、对比提供了依据。我国东部沿海更新世各次海侵地层,也可采用此法进行对比。

第三、由于海陆过渡相环境(除残留海水环境外)只能发生在海水影响所及的范围以内,因此其地形高度必需低于或者近于海平面,而且过渡环境的水深一般不大,这就为研究地壳升降的新构造运动提供了标尺,例如早更新世海侵时形成的过渡相地层在冀西蔚县、怀来一带现已处于海拔 600 米的高处,而渤海海底此层埋深至少五、六百米,由此可知早更新世以来两地之间构造运动的幅度达一千多米之巨。

我国东部沿海第四纪海侵地层的研究近年来虽有很大进展,但各地发展很不平衡;我国海底第四纪的研究还刚刚开始。相信在今后蓬勃开展的第四纪研究中,如能重视并抓住海陆过渡相这一关键性问题,必将会促进第四系研究的进程。

我国古潜山原油藻类化石组合与油源研究

王开发 张玉兰 蒋 辉

(同 济 大 学)

殷 沫

(胜利油田地质研究院)

一、序 言

在原油孢粉研究中,往往发现有众多的藻类化石,有时数量多于孢粉,对确定原油时代具有重要意义。石油地质学家 G·W·M·利靳巴奇在研究石油成因时指出:“石油的原始物质是由耐腐的生物有机碎屑(蜡、树脂、孢子、花粉)和微生物及藻类的残余组成,由于热成岩作用而转化为石油^[1]。因此藻类是成油原始物质之一,当石油形成之后,藻类由于体积小、比重轻,而且石油具有一定的粘度,故油气在运移过程中往往将生油岩中的藻类化石带进油藏,所以原油中的藻类化石可以示踪油气运移,查明油源和判断生油岩时代提供有用依据。

古潜山油藏是我国七十年代发现的重要油藏类型,开拓了我国新的找油领域,其储油岩系为震旦系,寒武、奥陶系,石炭、二叠系和侏罗系等,其油源来自什么时代的生油岩,是人们关心的问题,而且对于勘探工作中寻找古潜山油藏的有利地带也有意义。几年来我们研究了任丘油田、胜利油田、大港油田、下辽河油田以及渤海海上出油井等几十口井的古潜山原油,发现了大量的藻类化石,为古潜山油藏的油源研究提供了丰富的资料。

二、古潜山原油化石藻类成份

我国古潜山原油中发现了众多的藻类化石,有光面球藻 (*Leiosphaeridia*)、粒面球藻 (*Granodiscus*)、斯氏粒面球藻 (*Granodiscus staplinii*)、瘤面球藻 (*Verrucosphaera*)、皱面球藻 (*Rugosphaera*)、小皱面球藻 (*Verrucosphaera minor*) 薄球藻 (*Tenua*)、双饰薄球藻 (*Tenua biornatis*)、细刺藻 (*Comasphaeridium spinatum*)、微刺藻 (*Comasphaeridium minorutum*)、棒球藻属 (*Filisphaeridium*)、长棒球藻 (*Filisphaeridium longibaculatum*)、开口藻 (*Porosphaera*)、东营角凸藻 (*Prominangularia dongyingensis*)、伸展管球藻 (*Hystriospheridium patulum*)、渤海藻属 (*Bohaidina*)、粒面渤海藻 (*Bohaidina granulata*)、皱网渤海藻 (*Bohaidina retirugosa*)、付渤海藻属 (*Parabohaidina*)、光面付渤海藻 (*Parabohaidina laevigata*)、粒纹付渤海藻 (*Parabohaidina granulata*)、皱网付渤海藻 (*Parabohaidina retirugosa*)、盘星藻属 (*Pediastrum*)、双棘盘星藻 (*Pediastrum duplex*)、三边藻 (*Deltoidinia*)、

[1] Lijembach, G·W·M.: 1975, On the Origin of petroleum«Proceed of the Ninth World Petroleum Congress». Special Paper.1.

环纹藻属(*Concentricystes*)等。

三、藻类化石组合与油源探讨

在藻类化石组合中是以光面球藻、粒面球藻、皱面球藻、渤海藻、付渤海藻为主要,其他藻类化石各有一定数量(图1)。粒面球藻、皱面球藻、光面球藻皆见于渤海湾地区的沙河街组——东营组,而渤海藻和付渤海藻在沙河街组三段最为繁盛,长棒球藻主要见于沙一段;沙二段至东营组三段零星分布,棒球藻属和细刺藻分布于沙河街组——东营组,微刺藻在沙二段,开口藻在沙一段至沙二段出现,双饰薄球藻见于沙一段至沙三段,伸长管球藻主要分布于沙三段上部,东营角凸藻在东营组三段出现,三边藻见于沙一段,盘星藻、环纹藻分布于沙河街组——东三段,从上述各种藻类化石的地层分布看出,主要分布于沙河街组——东三段,尤其是沙河街组的化石最多,因此,原油藻类化石的时代应为老第三纪。

古潜山油藏的储集层为震旦系、寒武、奥陶系、石炭、二叠系和侏罗系等,但在原油中所见的藻类化石绝大多数为老第三纪分子(仅在任丘油田任11井原油中见到个别震旦纪的小雾迷山糙面球藻),在以震旦系、中——古生代岩系为储集层的古潜山原油中,含有如此之多的老第三纪藻类化石,说明油气从生油岩往储集层运移聚集时,这些藻类化石随油气往储集层运移,它们有力地证实了其油源来自老第三系的生油岩。

根据藻类组合的特征,尚可以把古潜山原油的藻类组合分为两种类型:

第一类型以渤海藻、付渤海藻为主的藻类组合;组合中以皱网付渤海藻、粒纹渤海藻、粒面球藻最多,皱网渤海藻、光面付渤海藻、粒纹付渤海藻、光面球藻、管球藻、三边藻也有相当数量。付渤海藻、渤海藻皆为渤海湾地区沙河街组三段的标志性化石,因此,本藻类组合显示古潜山原油的油源应来自沙三段的生油岩。其共生的孢粉化石是以栎粉属、松粉属、榆粉属高含量为特征,而且栎粉数量多于榆粉,也是沙三段标志性的孢粉组合。从地球化学研究的指标亦得到证实,含第一类型藻类组合的原油,其正烷烃碳数分布曲线较平缓、主峰碳为 C_{23} ,姥鲛烷/植烷比值为1.00—1.41,与沙三段的生油岩指标一致(图2)。

第二类型以粒面球藻、皱面球藻为主的藻类组合;组合中以粒面球藻、皱面球藻最多,而光面球藻、薄球藻、棒球藻、开口藻、付渤海藻、三边藻、微刺藻也有一定数量。粒面球藻、薄球藻、长棒球藻、三边藻皆为沙一段常见的藻类分子,因此,含本组合的古潜山原油,其油源应来自沙一段的生油岩。其共生的孢粉化石是以松粉、栎粉、破隙杉科粉、榆粉高含量的组合,此组合亦反映为沙一段的特点。从图3看出,含第二类型藻类组合的古潜山原油,碳数分布曲线都较陡,主峰碳 C_{23} 明显突出,姥鲛烷/植烷比值为0.86,与沙一段生油岩基本一致,亦证明其油源来自沙一段的生油岩。

四、几个问题讨论

1. 藻类是成油的原始物质之一

从原油中含大量的藻类化石,也证实G·W·M·利斯巴奇关于菌类、藻类、孢粉是成油原始物质的观点。藻类的胞壁也同样含有孢粉素,据布鲁克斯(Brooks)和休氏(Shaw)研究,孢粉素是由胡萝卜素和胡萝卜素酯的氧化共聚物组成,而目前胡萝卜素酯被认为是最好

的生油母质之一。

2. 原油中藻类化石数量和储集层空间性质关系

原油中藻类化石多少和储集层的空间性质有关,储集层的孔、洞、缝发育且连通性好,则原油中藻类化石多,反之,若孔、洞、缝不发育或直径小于化石直径,连通性差,则化石不易通过,化石数量减少,如义古 31 井裂缝发育、裂缝与裂缝,裂缝与其他孔隙连通性较好,故原油中藻类化石较多,而义古 30 井岩性较致密,原油中化石甚少。

3. 藻类化石含量与石油产量

从我国古潜山原油的藻类化石研究看出,一类原油藻类化石丰富,种类较多,反映油源丰富,单井原油产量高,如任 11 井、义古 11 井、义古 31 井等皆为高产井。另一类原油藻类化石数量少,种类贫乏,反映油源差,单井原油产量低,如义古 30 井等。因此,原油中藻类化石含量的多寡亦是反映油源是否充足的良好标志。