

★书刊评价★

揭开东海海底的秘密 ——介绍《东海地质》

李 增 全

(科 学 出 版 社)

东海是中国大陆架东缘的边缘海,是我国经济建设、国防和资源的重要海域。《东海地质》是由中国科学院海洋研究所的中年海洋地质学家秦蕴珊、赵一阳、陈丽蓉、赵松龄等主编,并有 20 余人参加撰写的一部专著。这是继《渤海地质》(获中国科学院 1986 年科技进步二等奖)出版之后,一鼓作气,又将一部系统研究东海地质的专著奉献给海洋地质工作者。该书经评审后,已于 1987 年底由科学出版社出版。

由于东海的地理位置十分重要,早已引起国外学者的重视,但前人对东海只作过一些零星的地质调查研究。1958 年中国科学院海洋研究所和其它有关单位一起开展的“全国海洋普查”,揭开了东海地质系统调查的序幕。1973 年该所又承担了渔场底质、障碍物及地形调查,在外陆架采集了密集的海底沉积物样品,并进行了测深。70 年代末至 80 年代初,海洋所调查范围从近海陆架扩展到远海冲绳海槽。比次调查不仅采取了大量海底表层样,同时也取得了大量柱状样,尤其首次在舟山外海成功地打了两个浅钻,取芯近百米。至 1981 年底,东海大陆架大面积区域性地质调查基本告一段落。1982—1984 年,海洋所又重点对东海两个关键地区——长江三角洲和冲绳海槽进行了多次调查研究,在长江水下三角洲打了三个浅钻,在上海市崇明岛和南汇打了两个钻孔。此外,在这一期间,还在东海取得了大量反射地震、地磁及遥测浮标测量等多种地球物理资料。每次调查后,均进行了室内分析研究,其中包括沉积、矿物、地球化学、古生物、古地磁、同位素年代测定、热发光测量、地球物理计算机处理等,《东海地质》就是以这些第一手资料为主结合其它文献资料撰写而成的,是 20 多年来研究成果的一次系统总结。

全书共 43 万字,分为 10 章。参加评审的专家认为,该书(特别是其中若干章节)资料丰富,研究深入,在国内同类研究中居领先地位,它的出版将东海地质研究提到一个新的水平。现就书中涉及的几项重要的东海地质研究成果,分述如下:

一、摸清了东海海底地形和海底地质演变的基本轮廓。

东海自东北至西南长约 1300 公里,东西宽约 740 公里,总面积 75.2 万平方公里,平均水深 349 米,最大水深 2719 米。根据有关资料和调查结果,作者绘制了百万分之一东海海底地形图。该图对国防、交通和海洋经济开发非常重要,前人因为缺乏系统全面的调查资料,因此无法绘制。

东海自岸向海划分为内陆架区(水深 60 米以内)、外陆架区(水深 60—200 米)和冲绳海槽区(水深 200 米以上)三个部分,内陆架和外陆架的地形都比较平坦。冲绳海槽其状如新月,向东南方向突出,总的走向为东北-西南向,与东海大陆架的延伸方向相一致。海槽长 840 公里,

最宽为 120 公里,最狭处只有 36 公里,平均宽约 70 公里,面积 22 万平方公里。整个海槽形状是南宽北窄,西南部最大深度为 2719 米,为东海最深处。海槽北部呈阶梯状变浅,水深可小于 1250 米。

东海陆架是中国大陆的边缘,也是中国大陆的一部分,它的基底和东海沿岸及其附近陆地是一致的。这在未全面开展东海陆架调查之前,只是国内外地质学家一种理论推断,现在作者根据海上地球物理调查和海上钻探资料加以证实,并对东海基底和盖层进行了系统而详细的研究,这对发展我国区域海洋地质学的理论与应用无疑做出了很大贡献。

东海以北纬 28° 为界,南北重磁力异常明显不同。以南重磁力以正异常为主,异常较宽广,为北北东-北东方向的走向;以北重磁力以负异常为主,异常幅度较大,以北东-北东东方向为主。结合浙江、福建基地露头延伸和重磁力异常研究推断,东海南部以古生代与中生代沉积岩为基底,东海北部以古老变质岩为基底,其上覆有中生代碎屑岩、火山岩和岩浆岩。在这两种基底之上,东海广泛发育了新生代地层,厚度达万米。作者把盖层进一步划分为 4 个构造层系,并对每个构造层系的形成时代、岩性、沉积相、厚度展布、构造运动和演化特征等作了剖析,这对在东海寻找海底石油和天然气有重要意义。现经地质矿产部海洋石油局勘探证实,东海蕴藏着丰富的石油和天然气。东海是一个新生代的大型沉积盆地,在前古生代、古生代和中生代岩石的基底上沉积了巨厚的新生代沉积盖层,中新世以前形成的盖层以河流相、湖泊-沼泽相为主,间有海相与潟湖相,沉积厚度明显受北北东向的断裂控制,往往呈充填式的沉积楔体分布,并且遭受了褶皱变形。中新世以后形成的盖层,不受断裂控制,因为断裂作用东移至冲绳海槽,东海全区稳定下沉,形成东海全区上新世-第四纪沉积盖层。

作者对冲绳海槽作了周密的地热流测量和地震探测,利用板块构造理论,对冲绳海槽的成因进行精辟而有说服力的分析,认为冲绳海槽是板块活动边缘处的一个构造带,是在大陆岩石圈的基础上发展起来的一边缘盆地。中新世晚期菲律宾海板块向亚洲大陆下俯冲,造成地幔物质上拱,使冲绳海槽区隆起,地壳裂陷和扩张而形成现代的冲绳海槽。

作者进行大量的综合分析,揭示了东海海底发展演变的基本轮廓,取得了前所未有的成绩。作者认为自中生代以来,东海地区经过了多次反复的次生裂陷、扩张和迁移等构造作用,在中新世末上新世初奠定了并在上新世末更新世初完成了东海的构造格局。这时海平面上升,海侵扩大,海水淹没了东海,部分越过福建-岭南隆起带,侵入了南黄海和苏北。晚更新世大理冰期来临,海平面下降,海水部分退出了东海陆架。东海陆架形成了一个沿海大平原,平原上栖息着大型的寒带动物。更新世末,气候变暖,海平面上升,海水再次淹没平原的东部,陆架西部成为古海滨。全新世,海水继续上升,海侵加大,古海滨被淹没,东海陆架再变成海。

二、查清了东海的现代沉积作用和沉积模式。

作者对沉积物研究很有特色,具有独到的见解,他们按东海海底表层沉积物的粘土、粉砂、砂三个粒级的百分含量分析,绘制了东海 3 个粒级百分含量分布图,从图中可以清楚地看到,东海沉积物的分布大体上可以分为三个带,一是近岸浅水区,以泥和粉砂粒级沉积为主的细粒沉积物带,也称内陆架沉积;二是以砂粒级沉积为主的粗砂沉积物带,也称外陆架沉积;三是以泥和粉砂粒级沉积为主的深水细粒的沉积物带,也称海槽沉积。这一调查研究的结果,否定了 1919 年 D. Johnson 提出东海现代沉积物粒径大小要随水深的加大和离岸路程的加长而变细的理论。为了查明东海的沉积模式,恢复晚更新世以来东海地区的环境变迁和古地理演化,作

者从现代长江口向东经 127° 把两组不同的粗细相间的沉积带经过细致的分析研究,划分为 A、B、C、D 四个沉积区的沉积模式:

A 区: 现代长江三角洲顶积和前积沉积区;

B 区: 东海内陆架现代长江体系泥质沉积区;

C 区: 东海外陆架古长江体系残留沉积区;

D 区: 北纬 30° — $32^{\circ}31'$, 东经 125° — 127° 古长江三角洲底积沉积区。

古长江和现代长江沉积体系的存在,控制着中国东海陆架海沉积模式的基本格局,简单说来,东海北部系古长江三角洲的沉积体系,即古长江的顶积沉积,前积沉积和底积沉积,它们构成了东海北部的残留沉积地貌系,或曰埋葬地貌系;现代长江口外的砂-泥带,系现代长江三角洲地区的前积和底积沉积区,构成了现代水下三角洲地貌系;平行于浙、闽海岸的泥质条带,为长江沉积物流南下形成的顺岸沉积区;其他地区则为东海陆架的残留沉积区。由此看来,东海陆架的沉积区具有不同时期、不同环流下形成并构成不同地貌系列,所以东海陆架具有其自身所特有的沉积模式。作者的这一研究成果大大补充和发展了本世纪 40 年代末和 60 年代初美国、日本著名海洋地质学家 Shepard、Emery 和新野弘对东海沉积模式的研究。

冲绳海槽由于远离大陆,形成槽底的表层沉积物主要为富含生物的半深海软泥。作者在海槽沉积相研究中,首次发现了浊积层。这一发现引起国内外学者的关注,并为他们对冲绳海槽的研究所证实。作者认为由于海槽处于岛弧后侧,构造活动和岩浆活动都比较活跃,地震和火山活动经常发生,形成了海槽多期的浊流沉积和火山灰沉积(凝灰软泥)。为了研究长时间冲绳海槽的沉积特征,特别是晚更新世以来的冲绳海槽沉积特征,作者利用自制的 Ch-1 型重力取样管(获中国科学院重大成果二等奖)在一、二千米水深的冲绳海槽钻取了近 10 米长的岩芯若干个,是国内在冲绳海槽取岩芯最长的沉积物研究,也是国内一大创举。作者从沉积物粒度、矿物、微结构和生物等方面对浊积层同外陆架沉积层、深水沉积层进行了深入的研究和对比,并对浊积层的发生、发展及其演化过程、发生类型等都作了详细描述。

根据年代学研究,长江口的沉积速率 0.5—5.4 厘米/年,外陆架沉积速率 0—0.1 厘米/年,舟山群岛东南东海内陆架外侧 100 厘米长度岩芯平均沉积速率 30 厘米/千年。冲绳海槽北部沉积速率 5.5 厘米/千年,南部 1.2 厘米/千年,平均 3.5 厘米/千年。

三、查清了东海沉积物中的矿物种类和分布模式。

作者对东海沉积物中的矿物研究很深入,在国内居领先地位。作者查明东海沉积物中共有 56 种矿物,矿物分区呈明显的条带状,西部矿物为片状矿物与白云石矿物区,中部矿物区为变质矿物与角闪石矿物区,冲绳海槽矿物区为紫苏辉石与火山岩玻璃矿物区。西部矿物区由现代长江所供给,中部矿物区为古长江所供给,现在成为一残留沉积区。冲绳海槽北部(北纬 27° 以北)为现代海底火山喷发物及东坡岛屿冲刷物所供给,其南部为浊流沉积区,是东海陆架外缘古长江物质所供给。作者还深入地研究了东海沉积物中自生海绿石的矿物学特征、种类、分布特征及沉积环境。东海海绿石可分成颗粒状、生物状和书页状三种;陆架区颗粒状海绿石含量高。总的说来,书页状海绿石含量甚少。这些海绿石的矿物学特征均很相似,晶体结构均为二八面体与三八面体之间的云母型结构,属无序混层结构,是一种高铁、低铝、含钾、含水的硅酸盐矿物,其富集海区的沉积环境为残留沉积区。各类海绿石的原始物质可为黑云母和绿泥石,后经自生胶凝陈化而成。作者在冲绳海槽南端,即中国台湾省钓鱼岛以南 30 公里

的海底表层沉积物中首次发现一种钠、铝、铬等元素氧化物新矿物，根据产地命名为钓鱼岛石(diaoyudaoit)，该矿物于1985年11月经国际矿物协会(IMA)新矿物及矿物命名委员会通过，这是作者的荣誉，也是我国的光荣。标本放在北京地质博物馆。

四、系统研究了东海沉积物中的化学元素达40余种之多，首次查明了不同元素在东海的区域分布规律。

作者测定了东海陆架和冲绳海槽46种元素，经计算其丰度作了综合归纳后发现：内陆架绝大多数元素的丰度均大于外陆架，仅有锶和钙的丰度相反，内陆架小于外陆架；冲绳海槽槽底元素丰度高于槽东、西两坡，大多数元素由槽北向槽南丰度增大，仅有锶和钙相反，丰度向南递减；钙、锶、锰、铜、镍、锌、镭这些元素丰度，冲绳海槽高于东海陆架；东海元素的丰度比较接近于大陆地壳的丰度，而不同于大洋地壳的丰度，体现了陆缘海沉积物中化学元素的亲陆性。作者发现，元素含量随沉积物粒度变化而有规律变化，有三种模式：(1)绝大多数元素的含量随沉积物粒度变细而升高；(2)有一些元素的含量随沉积物的粒度变细而降低；(3)个别元素的含量随沉积物的粒度变细先升后降，在粉砂中出现极大值。作者把这种现象称之为“元素的粒度控制律”。这是作者富有创造性的研究，在观点上确实有独到之处。

根据东海表层沉积物中元素的赋存形式及其沉积机理研究，作者将元素基本分为三大类：第一类是亲碎屑元素，即主要赋存于碎屑矿物的晶格构造中，随同碎屑而沉积，如硅、铝、铁、钛、铜、钴、镍、锌、铬、硼、铀、钍、稀土、钾、钠、镁、铷等属于这一类；第二类是亲自生元素，即主要赋存于自生矿物中，由化学作用而沉积，如锰和磷；第三类是亲生物元素，即主要赋存于介壳中，通过生物作用而沉积，如钙和锶。然后作者又对东海的泥和砂两种沉积物类型分别作了元素地球化学分析，最后把控制元素地球化学的因素进行了归纳。从这里读者可以看出，作者的研究思路十分清晰，极富条理化。

五、研究了东海表层沉积物和长江三角洲钻孔中的生物分布及其环境特征。

东海表层沉积物中分布有大量有孔虫和软体动物。作者根据有孔虫专家汪品先教授的资料，查明有孔虫有数百种，它的含量随离东海岸距离增大，水深加大而逐渐增高，并把浮游有孔虫与底栖有孔虫含量比值随水增长的规律作为确定古深度的标志。常见东海陆架底栖有孔虫有近百种，其含量与水深的关系是“两头低、中间高”，即水深50—100米的陆架中区，每克沉积物中含有底栖有孔虫1000枚以上，是东海底栖有孔虫的富集地区。50米等深浅以内、100米等深浅以外陆架区每克沉积物含量一般在1000枚以下。根据底栖有孔虫群组成，结合浮游有孔虫特征，把东海表层沉积物中的有孔虫划分成5个组合和4个亚组合，每个组合、亚组合分别代表一定环境特征的海区。这一成果反映了东海有孔虫研究领域的国内外先进水平。

作者发现水深大于100米东海外陆架沉积物中有大量软体动物群(22个种)的贝壳及其碎屑，证明外陆架的主体是在滨海和浅海环境条件下形成的，至今仍露于海底，故称残留沉积。

对长江水上和水下三角洲7个钻孔岩芯的有孔虫、介形虫、软件动物群和植物孢粉组合进行了目前国内外最详细的研究，为东海第四纪地层划分、沉积环境变化，古地理变迁、古气候变化和古海面变动提供了可靠的依据，可以肯定现代长江三角洲形成于全新世。

六、查清了东海海面变化与海洋变迁的历史。

由于时代较新，海面变动遗迹保存较好，又有大量¹⁴C年代数据的配合，作者对于近10万年(晚更新世—全新世)以来东海海面的变化的基本趋势研究的比较清楚，受到了专家们的好

评。

近10万年内东海发生过三次海侵,即发生过三次高海面阶段和介于其间的二次低海面阶段。一是距今10万至7万年的高海面阶段,东海海面发生过大幅度波动,原先陆相地层被海相地层覆盖;二是距今7万至3.9万年低海面阶段,东海海面比现在海面下降达100米或更多,当时海岸线退却到济州海峡西口和东海外陆架,东海大陆架地区大部分出露成陆地;三是距今3.9万至2.3万年高海面阶段,东海海水越过现代海岸线直达太湖、溧阳、浙北等广阔地区;四是距今2.3万至1万年低海面阶段,海面低于现代海面100米至130米,形成了“东海大平原”;五是距今1万年以来的海面变化:在距今9000年,海面低于现代海面30米;距今7300—6700年,海面接近于现代海面;距今6000—5000年,海面高于现代海面2—4米,为全新世最高海面,海水可达到太湖地区及杭州、嘉兴地区;距今4600—3100年时期,海面较现在海面高1—2米,从那时以来海面都在2米内上下幅度波动。近百年来由于工业发展引起“温室作用”,气温有升高趋势,因此海面也有逐渐抬升趋势。

七、详细研究了长江三角洲的地质特征。

过去国内外学者不能利用钻孔资料研究长江三角洲,因为没有条件进行钻探。为了详细研究长江三角洲的地质特征,中国科学院海洋研究所在长江三角洲水上和水下部分打了7个钻孔,作者通过大量资料分析、确证长江三角洲为三层沉积结构,上部为水平层理的顶积层,中部为斜层理的前积层,下部为微斜层理的底积层。根据若干钻孔的系统研究,可以肯定,现代长江三角洲形成于全新世。在早于全新世的地层中,虽有海相地层,但均属于古海湾沉积,而非三角洲沉积,可以推测晚更新世古长江的古三角洲可能从苏北琼港附近向东偏北方向延伸,而后在济州岛西南,相当于虎皮礁附近流入古东海,并在那里形成古长江三角洲残留积区。现代长江三角洲地区,在第四纪大部分时间里,以陆相沉积为主,物质组成较粗,源于附近山地和丘陵。

上述七个方面基本上概括了《东海地质》一书的主要内容。本书也存在一些不足之处,某些章节安排不尽合理,部分章节自成体系,造成前后重复。当然,东海地质研究并没有结束,还有许多新的课题需要去进行研究,也有一些研究过的课题需要进行更深入的研究和补充。