

文章编号:1009-2722(2015)02-0001-08

新生代以来中国陆架海区的 地层及环境演化：“大陆架科学 钻探项目”的科学目标

梅 西,张训华*

(国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室,青岛 266071;青岛海洋地质研究所,青岛 266071)

摘 要:“大陆架科学钻探”项目是由中国地质调查局发起、青岛海洋地质研究所实施的基础研究计划,于 2011 年启动。该项目拟根据不同的科学目标,分别在黄海、东海和南海陆架区实施晚新生代以来地层全取心钻探,建立黄海、东海及南海陆架区晚新生代以来的不同时间尺度的标准地层层序,开展我国陆架区晚新生代以来地质事件的高精度记录、古气候与古环境演化及东亚地区源汇过程等重大科学问题研究。藉此全面提升对中国陆架边缘海沉积与环境演化的认知水平,推动中国陆架海区地球系统科学研究方面的突破。

关键词:大陆架科学钻探;陆架区;地质作用;第四纪;晚新生代

中图分类号:P736.21 文献标识码:A DOI:10.16028/j.1009-2722.2015.02001

自 20 世纪 60 年代以来,地球科学发展历程中最具影响力的事件当属深海钻探计划(DSDP, 1968—1983 年)、大洋钻探计划(ODP, 1985—2003 年)和综合大洋钻探计划(IODP, 2003—2013 年)。DSDP、ODP 和 IODP 的实施不仅证明了海底扩张和板块构造学说,而且通过对深海沉积物岩心样的分析研究,揭示了海洋的古环境、古气候和古生物的演化,海底火山喷发、沉积作用和海底矿产的分布,使人们对洋盆及其边缘的形成、

地球过去冷暖气候变化以及历史灾变事件有了新的认识,极大地促进了地球系统科学的发展。

近年来,陆架浅海成为地学界的研究热点之一。从理论上讲,大陆架是全球海陆相互作用最为活跃的地区之一,对全球性地质事件的响应也最为敏感,是进行海陆地质对比研究的桥梁和纽带;从实践来看,大陆架是人类重要的资源后备基地,查明它的发育历史与演化趋势,对于探查陆架盆地的油气资源和进行海岸带的开发与保护、维系沿海地区经济和社会的可持续发展都至关重要。地学界为加强包括大陆架在内的大陆边缘的研究,制定了一系列大型科学研究计划。例如,国际地圈—生物圈计划(IGBP)的全球海洋通量联合研究(JGOFS)、海岸带海陆相互作用(LOICZ)、大陆边缘计划(MARGINS)、GeoPrism 的“源到汇”(S2S)、海洋微量元素计划(GeoTraces)、国际岩石圈计划(ILP)等均将海陆相互作用作为研究工作的核心或重要内容。

收稿日期:2014-10-20

基金项目:国土资源部海洋地质调查专项(GZH201100202; GZH201400201;GZH201400205);国家自然科学基金青年项目(41206051)

作者简介:梅 西(1981—),男,博士,助理研究员,主要从事海洋有机地球化学及沉积学方面的研究工作. E-mail: meassy@gmail.com

*通讯作者:张训华(1961—),男,博士,研究员,博士生导师,主要从事海洋地球物理方面的研究工作. E-mail: xunhuazh@vip.sina.com

1 研究区地质背景与研究现状

中国近海陆架是世界上最宽阔的陆架之一，总面积约为 1 000 000 km²，是典型的堆积型大陆架。渤海、黄海完全是陆架海，东海陆架宽度为 240~640 km，南海北部陆架宽度为 135~600 km，南海南部陆架宽度达 400 km^[1]。中国陆架及邻近海域介于欧亚板块与太平洋板块与印度洋板块之间，太平洋板块、菲律宾海板块和印度洋板块向欧亚板块俯冲，形成了世界上最壮观的沟—弧—盆体系(图 1)。中国近海陆架是西太平洋沟—弧—盆系的重要组成部分，地质基础是大量陆源物质充填的一系列断陷盆地，大陆架从海岸线向着海洋方向缓缓倾斜。它既与全球构造体系有着密切的衍生关系，也有自己独特的地质地球物理演化过程。这种地质特征和演化控制并影响了油气资源和热液硫化物矿产的形成和分布，同时也影响和控制了海平面变化、海陆分布格局及流系等海陆环境的演化特征。



图 1 西太平洋边缘海所处的板块构造背景
Fig. 1 The plate tectonic background of marginal seas in the Western Pacific

国内外学者在我国陆架海地区开展了大量的调查研究，包括浅钻和地球物理调查等。国家自然科学基金委员会、科技部、中国科学院、教育部和国土资源部等不同部门先后设立了多个海洋地质地球物理的专项调查项目，获得了我国陆架边缘海海区大量的地质地球物理调查结果，其中包括有对前新生代残留盆地研究的结果，以及大量的地震测深、MT 剖面、重磁剖面和不同的油气盆地的地质成果图等，奠定了基础地质调查工作的基础，为本项目的工作打下坚实的基础。

然而，陆架区的钻探工作不尽如人意。目前，已有的大多数地质钻孔岩心长度均小于 100 m，最深的取心孔也仅揭露了 200 m 左右的陆架地层(图 2)，多达数十万千米的单道和多道地震资料所揭示的新生代盆地地层和构造无法通过钻探验证，因此，对围绕西太平洋边缘海的诸多科学谜团的争议也悬而未决。要揭开西太平洋边缘海众多基础理论的“死结”和突破我国陆架新生代盆地寻找油气资源的“瓶颈”，都迫切需要在中国陆架浅海区实施深部取心钻探。虽然中国陆架区积累了巨量的资料，然而解决关键科学问题的钥匙却在于深部钻探，获得更长时间尺度的地质记录。



图 2 中国海域科学钻孔(孔深 100 m 以上)位置分布
Fig. 2 The distribution of drilling holes in coastal waters of China

从当代地球科学发展趋势、国家需求和我国海洋地质实际出发,“大陆架科学钻探”项目计划在中国陆架区开展深部钻探,充分发挥地域优势,突出中国大陆架在全球共性中的特殊性,提炼和把握适合我国地球科学发展实际情况的科学问题,进行多学科综合研究,促进我国海洋地球科学由浅部钻探结合地球物理分析为主向深部研究转折。

项目以陆架区科学钻探所获取的岩心为主要研究对象,利用层序地层学、磁性地层学、生物地层学、同位素地层学等方法建立陆架区晚新生代以来的标准地层层序。在建立地层格架的基础上,系统研究陆架区晚新生代以来古气候和古环境变迁,深入探讨陆架区沉积物源汇过程,并追溯长江、黄河等中国主要河流的演化历史。

2 陆架区地层格架

我国对陆架海区的大规模地质调查始于 20 世纪 50 年代末期,70 年代起在陆架上采取柱状样和钻井,尤其在最近的 10 多年,通过多个国家海洋专项的实施和 863 项目的支持,在陆架区取得了大批柱状样和钻探岩心样品,其中时间尺度较长的有渤海的 BH08 孔,南黄海的 QC2 孔、NHH01 孔,东海外陆架的 EY02-1 孔,南海的 ZQ1-ZQ4 孔等。对上述陆架柱状样和钻井岩心样品的地层格架的研究随之展开,取得了一系列研究成果,可以归纳为在古生物地层和磁性地层 2 个方面获得了明显进展。

2.1 古生物地层

通过对陆架海区油气勘探井的古生物化石分析研究,取得了中国黄海、东海和南海 3 大陆架海区新近纪生物地层学格架。其中在 1959—1979 年,我国对南海北部陆架上的北部湾滨岸区钻井 100 口,其中深井 27 口,对其中 17 口深井进行了有孔虫、介形虫、钙质超微化石、软体动物、苔藓虫、孢粉等多门类生物化石分析研究,在 1981 年发表了南海北部陆架 3 个盆地的新生代生物地层格架及新生代有孔虫、介形虫、钙质超微化石等古生物图册^[2],是我国开创性的研究成果,在南海北部陆架树立起新生代生物地层框架,为今后中国陆架海区新生代生物地层学研究打下了坚实的基

础。近 20 年通过对一些钻井的高分辨率生物地层学研究,至今已在南海北部陆架建立了与国际完全接轨的新生代生物地层格架^[3-6]。对新近纪晚期的生物地层学研究当属夏伦煜等^[7]在乐东 30-1-1 井 3 000 多米厚的地层中根据浮游有孔虫末现面和初现面,识别出近 3 Ma 以来的上新世和第四纪的 8 个时间面,是迄今为止最好的研究成果。

在第四纪地层方面,自 20 世纪 80 年代以来对中国陆架约 60 多个浅层柱状样和钻孔进行了不同程度的以有孔虫和介形虫为主的微体古生物分析研究,初步建立了陆架中晚更新世以来以生物地层学为主的地层层序格架。其中以南黄海 QC2 孔为代表,通过有孔虫、介形虫、软体动物、孢粉等生物地层学分析,在近 120 m 的地层中区别出 8 个海侵层位,结合古地磁、¹⁴C 和 ESR 测年数据,建立起南黄海陆架中晚更新世以来近 2 Ma 的地层框架^[8-12]。杨子赓等^[13]对该孔 MIS5 期有孔虫和介形虫及有孔虫氧碳同位素进行了高分辨率分析,取得了与深海 MIS5 期可以相匹配的地层划分。该孔是我国迄今为止陆架晚第四纪地层学研究程度最高和运用的手段最多的一个浅孔,已广泛用作南黄海中晚第四纪地层划分和对比的标杆,也是与沿岸平原区进行中晚更新世以来地层划分和对比的标准孔。此外,渤海的 BC1 孔、东海的 ZQ4 孔和南海的 ZQ2、ZQ4 孔的生物地层学的研究,都是所在海区陆架中晚第四纪生物地层学研究程度最高的,经常被用来进行第四纪地层的对比^[14-16]。

2.2 磁性地层

2.2.1 渤海陆架区

渤海的 BH08 孔(212.4 m, 119.99° E, 38.28° N)是目前中国大陆架最长、且研究成都最为系统深入的一个孔。渤海的水深较浅,因此,该区沉积物对海平面变化会更为敏感。该孔的 MBB 界限位于~125 m 处。上 Jaramillo 界限在~190 m。沉积速率可高达~30 cm/ka。由于水深较浅(<30 m),该区氧化还原界面变化显著,随之造成铁氧化物的变化,进而引起沉积物颜色的周期性变化。天文调谐结果表明,沉积物具有明显的 4 万 a 和 10 万 a 周期。这表明至少在这 2

个时间尺度上沉积物可以认为是连续的^[17]。

2.2.2 黄海陆架区

对于黄海的磁性地层学研究主要集中在南黄海,目前还未见关于北黄海的相关报道。对南黄海陆架区磁性地层的研究始于20世纪80年代。其中位于陆架区最长的QC2孔由于其取心率高,而被作为该区的代表性钻孔,研究发现该孔的布容/松山转换界线(MBB)位于孔深79.95 m处,该孔终孔深度的年龄约为1.80 Ma,部分地揭示了Olduvai事件,另外在布容期内还识别出了9次漂移事件,分别为黄海I、黄海II和哥德堡等^[9,18]。葛淑兰等^[19]对南黄海中部泥质区EY02-2孔进行了磁性地层研究,结果表明钻孔的MBB位于孔深63.29 m处,在布容期内识别出了7次极性漂移,并认为最下部的极性事件可能对应于886 ka BP的Kamikatajura事件。最近,刘健兴等^[20]对南黄海陆架区中部长度为125.60 m的NHH01孔的古地磁研究的结果表明该孔的MBB位于孔深约68 m处。

2.2.3 东海陆架区

由于砂质沉积广泛发育,在东海取得连续样品和较长的钻孔样品比较困难,造成了目前东海地区较长时间尺度的晚第四纪地层成果仍以地震地层为主而鲜有岩心资料佐证的局面。另外,与东海广阔的海域和多变的动力条件相比,现有的岩心总是显得稀少。目前,东海陆架区长尺度的磁性地层研究主要集中在其北部外陆架的EY02-1孔。该孔(126°34'E, 30°44'N)位于济州岛西南部的泥质区南部边缘,水深80 m,钻孔总进尺为70.20 m,结合AMS¹⁴C测年,证实位于钻孔顶部9.62~8.58 m的磁极性事件为哥德堡极性漂移,线性外推的时间是距今12 681~10 206 a,钻孔底部70.20~64.31 m出现比较连续的负向段,根据地震剖面解释、有孔虫环境分析和岩心特点推测,其可能为CR0磁极性事件,因此推测钻孔的底界年龄为256~255 ka^[21]。

2.2.4 南海陆架区

南海的磁性地层研究多集中在陆坡和深水盆地,如ODP184航次钻孔、ODP1146钻孔等,对于陆架区磁性地层的研究报道较少。取自南黄海北部陆架区(珠江口盆地)的4根钻孔岩心ZQ1-ZQ4孔的磁性地层学和生物地层学的研究揭示

了这一地区下更新统以上地层的存在,每个钻孔都打到了110~121 m的深度,4个钻孔的MBB依次位于孔深75.5 m、98 m、117 m和102 m处,并在此基础上发现珠江口盆地自早更新世末期以来出现有10次规模不等的海侵,海侵作用的年代大体上与中更新世的10个温暖期相当^[22]。

虽然中国陆架磁性地层研究在过去的30 a间取得了一定的成果,但是相对于国际上对于深海钻孔磁性地层的研究显得不够深入,至今还没有建立起一个较长尺度令人信服的磁极性地层,长度超过200 m的钻孔几乎没有,少见在国际性学术刊物的相关报道,究其原因有以下几点:①陆架复杂的地质环境;②受到取样技术和早期测试技术的限制;③对记录磁极性的主要载磁矿物缺乏系统的研究,对剩磁的记录机制目前还不明确,非常缺乏系统的岩石磁学数据的支持,造成早期研究对于负向样品和极性漂移的解释存在多解性;④缺少相应的地震资料、生物地层资料等综合资料的支持,对地层是否缺失未做系统的研究。

地层格架的准确建立是本项目的基础工作,必须通过生物地层学结合磁性地层学、火山灰地层学、微体化石同位素地层学、层序地层学等多种方法来建立陆架区晚新生代以来的标准地层,这种长尺度的地层格架的建立将为后续研究工作的开展奠定坚实的年代基础。

3 古气候和古环境的演化

深海沉积物、冰心和黄土是第四纪环境演化研究中最经典的替代性指标,据此所建立的古气候序列已经得到完好的相互印证。近年来,全球变化研究特别强调对冰期旋回的气候变化规律和机制的探讨,虽然大洋体系研究对于重建过去的洋流、水团运动及海—气相互作用起着关键性的作用,但由于深海沉积的分辨率较低,所以沉积速率较高的边缘海陆架沉积成为恢复第四纪以来古环境变化的有效工具。而中国边缘海的研究历史虽然很长,但很多研究方向尚有待进一步深入。在我国陆架浅海地区开展的大量浅钻调查中,很少涉及古气候和古环境的研究,主要原因在于难以选择合适的替代性指标,这也是开展本项目研究时无法回避的难题之一,只有在相关预研究工

作中对陆架海研究中的相关有效指标进行提取和分析,才能进行陆架区新近纪以来古气候和古环境变迁系统研究。目前,中国各个陆架边缘海都具有研究程度较高的钻孔,成为后续研究中可以对比的参照。

QC2 孔是黄海第四纪研究程度最高的一个钻孔。QC2 孔终孔深度 108.83 m,底部古地磁测年为 1.8 Ma。全孔平均取心率 90.4%,所揭露的地层划分标志全面,顶底界线清楚,所建立的第四纪地层序列为黄海范围内的典型地层柱状剖面。根据古地磁测年资料对比,该孔钻至早更新世晚期地层层位,QC2 孔的孢粉组合反映了中国北部温带植被的变化情况,可划分为 8 个带。早更新世可分为 2 个孢粉带,下部为第 1 冷期,上部为第 1 暖期,该暖期又可以分为 2 个阶段,早期为第 1 阶段,较晚期的第 2 阶段偏暖;中更新世从古地磁布容正极性时底界开始,至 128 ka 结束,黄海地区可分为 5 个孢粉带,分属于 5 个气候期;晚更新世地层从距今 128 ka 延续到 10 ka 前,可分为 2 个孢粉带;全新世地层可分为早、中、晚 3 个阶段,分属于 3 个孢粉亚带^[23]。

东海陆架沉积环境和古气候方面研究程度比较高的钻孔有中科院海洋研究所 1987 年在长江三角洲地区获取的 Ch1 孔。Ch1 孔岩心长度为 99 m,底部古地磁年龄在晚更新世。该孔开展了比较详细的包括古地磁、粒度、重矿物、元素地球化学、孢粉、微体动物群和软体动物群等方面的研究^[24]。

有关南海陆坡—海盆的第四纪古环境和古气候研究非常多(包括 ODP184 航次),相对来说,陆架的研究非常少,其中代表性的钻孔是 ZQ4 孔。南海北部陆架区 ZQ4 孔岩心长约 120 m,底部热释光定年为 70 万 a 左右。在岩性和微体古生物组合的基础上,对沉积环境进行了讨论。总体上,中更新世 ZQ4 孔为滨浅海沉积,晚更新世晚期为陆相沉积环境,并且因末次盛冰期低海面沉积层遭受剥蚀而减薄^[25]。

虽然国内外学者在我国陆架浅海地区开展了大量的浅钻调查研究,但目前大多数地质钻孔岩心长度均 < 100 m,且限于当时的技术手段,没有开展高分辨率的地层和古环境等研究工作。主要问题在于沉积记录的不连续性,这是因为在冰期

时黄海、东海和南海陆架大部分出露为陆,极有可能遭受剥蚀而不是接受沉积,冰期时间段的记录可能会缺失,而且会破坏部分间冰期高海平面时的沉积记录。这也是陆架沉积记录相对于深海盆地的复杂性所在。解译这种海陆变迁频繁的沉积记录,需要结合包括层序地层、微体古生物、沉积、矿物、地球化学等多种手段综合研究。

4 源汇过程

国际洋陆边缘计划(NSF MARGINS Program)的“从源到汇”(Source to Sink)科学计划的核心科学研究目标是揭示世界陆源入海碎屑物质的通量和在大陆架地区的分布、搬运和扩散模式。新生代青藏高原的隆升形成了亚洲主要水系,这些河流携带高原快速隆升而风化剥蚀的大量陆源物质进入边缘海,对边缘海的沉积体系形成、古环境演化以及全球海洋化学通量变化等均具有显著影响^[26]。中国东部陆架海是世界上最宽广的陆架边缘海之一,周边众多的河流汇入东部陆架海,其中又以 2 条世界性的大河——黄河和长江为代表,它们每年携带大约 16 亿 t 的陆源物质入海,约占世界河流入海泥沙总量 10% 左右。这些巨量的河流物质在海洋环流的作用下,发生再搬运、再沉积和再分配,使得陆地气候变化信息(如东亚季风系统的演变,降雨变化,温度异常等)都可在东部陆架边缘海区得以保存。

近 30 年来,国内外学者对这长江、黄河源汇系统展开了很多的研究,也取得了很多的成果。同时,沉积物源示踪技术获得了长足发展,对长江、黄河等河流的沉积物源示踪研究也取得了重要进展。尤其是最近几年运用河流碎屑单矿物化学和年代学方法来示踪流域构造演化、沉积物从源到汇过程以及河流演化历史等,取得了许多重要的研究成果^[27]。

长江何时形成一直是科学界非常关注的热点科学问题,近百年来国内外学者运用自然地理学、水文地貌学、第四纪地质学等研究手段,在河流的中、上游地区开展了大量基础研究,提出老到中生代^[28],新至晚更新世的河流发育历史^[29],更多的观点则认为在早更新世中—晚期长江才真正东西贯通^[30,31]。郑洪波等^[32]通过长江中下游晚新生

代沉积剖面和上游流域构造地貌演化等证据,推测长江在中新世之前,大约 23 Ma 就已经形成。

对于黄河的贯通时间同样存在很大争议,由于研究地段不同、研究角度各异,前人根据河流阶地地貌、砾石层分布、青藏高原隆升演化规律、干流流域岩相古地理及地层组成特征研究,得出的黄河贯通时间的结论也各不相同,概括起来有上新世前、上新世、早更新世、早更新世末或中更新世初、中更新世末、晚更新世后期、全新世^[33-37]。一个不容争议的事实是黄河上下游形成年代不可能是同时的,黄河流经不同的盆地,而盆地的形成年代本身就存在差异,河流的溯源侵蚀将这些盆地一线贯穿并形成统一的河流,其时间也应有先后之分。

目前对长江与黄河现代入海沉积物地球化学组成的时空演变特征认识还明显不足,同位素地球化学和成因矿物学的示踪研究迄今还没有深入开展,这些也很大程度上影响了长江与黄河入海化学通量的精确估算,及在边缘海对河流入海物质的更精细判别。河流地球化学示踪研究需要从整个流域角度来考虑,而不能偏重在流域某个地区或河口地区,更要开展陆架海的工作;同时要注重比较不同流域的源汇过程差异,揭示出河流地球化学的示踪特点以及在世界主要河流中的独特性。

地球表层作为一个系统其各个组成要素,包括岩石圈、水圈、生物圈和大气圈是互相作用的,青藏高原的隆升、东亚季风的演化和大江大河水系的演化之间是互相联系、互相耦合的过程,唯有将这些因素视为一个互相作用的整体进行系统研究才能深刻理解地质作用过程。长江与黄河水系的演化历史和源汇过程是我国地球系统科学研究的一个重要科学问题,需要运用多学科研究方法,通过整个流域和边缘海的系统研究才能够给出最终答案,这也是本项目源汇研究的最终希望达到的科学目标。

5 结语

2013年6月“大陆架科学钻探项目”在南黄海地区成功实施了本项目第1个科学钻探工作,终孔至300.1 m,后续磁性地层学的研究结果表

明本钻孔已经打穿第四纪地层,顺利实现钻穿海底第四纪地层的预定目标。“大陆架科学钻探项目”首钻选在南黄海陆架区,目标为“打穿第四纪”,建立相对比较完备的地层序列,并致力成为中国东部陆架区第四纪标准剖面;研究南黄海中部第四纪以来的高分辨率地层层序、沉积历史、海平面变化和古气候变化等;同时,对深入研究晚上新世以来中国(亚洲)东部宏观环境演化、亚洲内陆干旱化的耦合关系以及黄河巨型水系发育等重大科学问题都具十分重要的科学价值。

几十年以来,我国通过在黄海、东海和南海的水文考察,陆架区的石油勘探和地质调查,以及在南沙、西沙等岛礁的专题考察,积累了丰富的实际资料。大陆架是全球海陆相互作用最为活跃的地区之一,对全球性地质事件的响应也最为敏感,是进行海陆地质对比研究的桥梁和纽带。“大陆架科学钻探项目”旨在通过陆架钻探取心探讨我国(亚洲地区)新生代地质演化历史中的构造运动和地貌演化、陆源物质从源到汇、亚洲季风形成与演化、海陆变迁及其环境效应等关键科学问题,最终有望完成以下目标:

(1)在基础理论层面上,项目预期在过去全球变化研究领域广泛关注的陆架区不同时间尺度气候变化过程,尤其是东亚晚新生代宏观气候环境事件的重建方面取得实质性突破。在中国两河(长江、黄河)起源、演化、发展的时空格局和动因模式方面提出中国科学家原创性、理论性看法。

(2)在国家需求层面上,项目将从环境变化和资源效应2个方面作为研究目标和当前应对陆架区资源环境研究的科学支撑。

参考文献:

- [1] 许东禹. 中国近海地质[M]. 北京:地质出版社,1997.
- [2] 曾鼎乾,郭 帆,寇才修,等. 南海北部大陆架第三系[M]. 广州:广东科技出版社,1981.
- [3] 秦国权. 微体古生物在珠江口盆地新生代晚期层序地层学研究中的应用[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1996, 16(4): 1-18.
- [4] 万晓樵,阴家润. 西藏岗巴白垩纪中期微体生物群与古海洋事件[J]. 微体古生物学报, 1996, 13(1): 43-56.
- [5] 郝谄纯,徐钰林,许氏策,等. 南海珠江口盆地第三纪微体古生物及古海洋学研究[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1996.
- [6] 黄虑生. 珠江口盆地第三系生物地层框架 [J]. 中国海上

- 油气(地质), 1999, 13(6): 406-415.
- [7] 夏伦煜, 汪品先. 莺歌海—琼东南盆地第四系初步研究 [J]. 中国海上油气(地质), 1989, 3(3): 21-28.
- [8] 朱雄华, 林茂和. 南黄海 QC2 孔化石群及其海侵序列 [M]//中国近海及沿海地区第四纪进程与事件. 北京: 海洋出版社, 1989.
- [9] 郑光膺. 南黄海第四纪层型地层对比 [M]. 北京: 科学出版社, 1989.
- [10] 业渝光, 和 杰, 刁少波, 等. 南黄海 QC2 孔晚更新世 ESR 年代学的初步研究 [J]. 科学通报, 1993, 38(4): 352-355.
- [11] 业渝光, 高钧成. 南黄海 QC2 孔的 ESR 年代学 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1996, 16(1): 95-102.
- [12] 杨子赓. Olduvai 亚时以来南黄海沉积层序及古地理变迁 [J]. 地质学报, 1993, 67(4): 357-366.
- [13] 杨子赓, 林和茂. 对末次间冰期南黄海古冷水团沉积的探讨 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1998, 18(1): 47-58.
- [14] 唐保根. 东海陆架第四纪地层层序的初步研究 [J]. 上海地质, 1996, 2: 22-30.
- [15] 秦蕴珊, 赵一阳, 赵松龄. 渤海地质 [M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [16] 黄永祥, 葛同明. 珠江口盆地晚第四纪地层及环境初步研究 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1995, 15(4): 23-36.
- [17] Yao Z, Shi X, Liu Q, et al. Paleomagnetic and astronomical dating of sediment core BH08 from the Bohai Sea, China: Implications for glacial-interglacial sedimentation [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2014, 393:90-101.
- [18] 周墨清, 葛宗诗. 南黄海及相邻陆区松散沉积层磁性地层的研究 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1990, 10(4): 21-32.
- [19] 葛淑兰, 石学法, 朱日祥, 等. 南黄海 EY02-2 孔磁性地层及古环境意义 [J]. 科学通报, 2006, 50(22): 2 531-2 540.
- [20] Liu J, Shi X, Liu Q, et al. Magnetostratigraphy of a greigite-bearing core from the South Yellow Sea; Implications for remagnetization and sedimentation [J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 2014, 119(10): 7 425-7 441.
- [21] 葛淑兰, 石学法, 吴永华, 等. 东海北部外陆架 EY02-1 孔磁性地层研究 [J]. 海洋学报, 2008, 30(2): 51-61.
- [22] 葛同民, 黄永祥. 珠江口盆地第四系磁性地层学研究 [J]. 南海地质研究, 1991, 4: 110-121.
- [23] 郑光膺. 黄海第四纪地质 [M]. 科学出版社, 1991.
- [24] 秦蕴珊. 东海地质 [M]. 科学出版社, 1987.
- [25] 陈泓君, 李文成, 陈 弘, 等. 南海北部中更新世晚期以来古海岸变迁及其地质意义 [J]. 南海地质研究, 2006, 1: 57-66.
- [26] 杨守业. 亚洲主要河流的沉积地球化学示踪研究进展 [J]. 地球科学进展, 2006, 21(6): 648-655.
- [27] He M, Zheng H, Bookhagen B, et al. Controls on erosion intensity in the Yangtze River basin tracked by U-Pb detrital zircon dating [J]. *Earth-Science Reviews*, 2014, 136:121-140.
- [28] Willis B, Blackwelder E, Sargent R H, et al. Research in China [M]. Washington: Carnegie institution of Washington, 1913.
- [29] Chen J, Wang Z, Chen Z, et al. Diagnostic heavy minerals in Plio-Pleistocene sediments of the Yangtze Coast, China with special reference to the Yangtze River connection into the sea [J]. *Geomorphology*, 2009, 113(3): 129-136.
- [30] Li J, Xie S, Kuang M. Geomorphic evolution of the Yangtze Gorges and the time of their formation [J]. *Geomorphology*, 2001, 41(2): 125-135.
- [31] Yang S, Li C, Yokoyama K. Elemental compositions and monazite age patterns of core sediments in the Changjiang Delta: Implications for sediment provenance and development history of the Changjiang River [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2006, 245(3): 762-776.
- [32] Zheng H, Clift P D, Wang P, et al. Pre-Miocene birth of the Yangtze River [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2013, 110(19): 7 556-7 561.
- [33] Lin A, Yang Z, Sun Z, et al. How and when did the Yellow River develop its square bend? [J]. *Geology*, 2001, 29(10): 951-954.
- [34] 蒋复初, 傅建利, 王书兵, 等. 关于黄河贯通三门峡的时代 [J]. 地质力学学报, 2006, 11(4): 293-301.
- [35] 潘保田, 王均平, 高红山, 等. 河南扣马黄河最高级阶地古地磁年代及其对黄河贯通时代的指示 [J]. 科学通报, 2005, 50(3): 255-261.
- [36] 王苏民, 张振克. 三门古湖沉积记录的环境变迁与黄河贯通东流研究 [J]. 中国科学: D 辑, 2001, 31(9): 760-768.
- [37] 袁宝印, 王振海. 青藏高原隆起与黄河地文期 [J]. 第四纪研究, 1995, 4: 353-359.

STRATIGRAPHY AND ENVIRONMENTAL EVOLUTION OF CHINA'S CONTINENTAL SHELF SINCE LATE CENOZOIC: SCIENTIFIC TARGETS OF CSDP

MEI Xi, ZHANG Xunhua*

(Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environmental Geology, Ministry of Land and Resources,
Qingdao 266071, China; Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China)

Abstract: The “Continental Shelf Drilling Project”(CSDP), sponsored by China Geological Survey and implemented by Qingdao Institute of Marine Geology, is a basic research project under the “Marine Geology Research Program”. It was initiated in 2011 with the mandate to drill coring holes on China’s continental shelves for establishment of standard Cenozoic stratigraphic sequences so as to reveal the high resolution geological processes, paleo-climatic and paleo-environmental evolution, and the change in the pattern of source to sink in East Asia since late Cenozoic. The results are expected to help understand the formation and evolution of the marginal seas and to make breakthroughs in Quaternary geology. Attention will also be paid to the improvement of drilling and testing techniques, and construction of on-site monitoring systems, core storage and related databases.

Key words: CSDP; continental shelf; geological process; Quaternary; late Cenozoic



关于作者著作权及稿酬的声明

本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在中国知网及其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。该社著作权使用费与本刊稿酬一并支付。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意上述声明。

《海洋地质前沿》编辑部

2013 年 1 月 10 日