

DOI: 10. 16562/j. cnki. 0256-1492. 2016. 06. 015

南黄海西部陆架区末次盛冰期 古河谷体系地貌形态特征

孔祥淮^{1,2,3}, 毕世普^{1,2,3}, 刘健^{1,2,3}, 宋晓帅^{1,4}, 徐承芬^{1,5}, 马晓红^{1,6}

(1. 国土资源部油气资源和环境地质重点实验室, 青岛 266071; 2. 青岛海洋国家实验室 海洋地质过程与环境功能实验室, 青岛 266061;
3. 青岛海洋地质研究所, 青岛 266071; 4. 河北地质大学, 石家庄 050031;
5. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 6. 中国海洋大学地球科学学院, 青岛 266100)

摘要:以高分辨率浅地层地震剖面解释资料为基础, 对南黄海西部陆架区埋藏古河谷体系进行地貌形态特征分析。结果表明, 在南黄海西部陆架浅海区海底以下几米到十几米埋藏着末次冰期最盛期形成的两大树枝状古河道网, 主干河道断面向海逐渐变宽、加深; 研究区末次盛冰期古河道除了具有其他海域古河道的 U 形和 V 形特征外, 还有 W 形、箱形(近似矩形)和倒梯形河道断面。复合式和双层(多层)河道以及不对称型河道断面形态也比较常见, 反映了研究区末次盛冰期古河道具有复杂的断面形态组合形式。

关键词:浅地层剖面; 古河道地貌形态; 末次盛冰期; 南黄海西部陆架区

中图分类号:P737 **文献标识码:**A **文章编号:**0256-1492(2016)06-0123-11

众所周知, 末次冰期时全球海平面曾经低于现代海平面数十米甚至上百米^[1-2]。我国大陆架地区曾长期出露地表, 发育了河流。后期随着气候变暖, 海平面不断上升, 海水淹没陆架区, 古河道逐渐被沉积物填埋。因此, 我国大陆架海域海底保留着众多的埋藏古河道, 许多学者对此进行了大量研究, 并将我国大陆架海域的古河系划分为古黄河河系、古长江河系、古台闽河系^[3]和古珠江河系^[4-5], 例如, 黄海北部陆架区的埋藏古河道属古黄河河系, 南部的古河道属古长江河系, 二者有可能一度汇合于南黄海中部^[6-7]; 东海南部和南海北部陆架区也发现了大量的埋藏古河道, 分别属于古台闽河系和古珠江河系^[3-5]; 东海陆架区低海面时期存在大量古河道系统^[8-15]。埋藏古河道的地貌形态、空间分布和水系特征, 包含了大量的沉积环境特征和演化过程的信息^[4-7, 16, 17]。古河道的存在, 对海上工程施工、海上平台安装及海上管线的铺设等造成许多影响^[18]。因此, 识别埋藏古河谷, 对于了解中国陆架海沉积作用的发育历史和古地理环境变迁具有重要意义, 可为研究全球变化提供重要信息。同时, 海底埋藏古河道的研究可以为海洋工程的建设提供基础地质信息, 因此具有重要的现实意义。在本研究中, 我们

将高分辨率浅地层地震剖面上识别出的末次盛冰期古河道地貌形态特征进行归纳分析, 估算古河道宽深比、悬移质含量、弯曲率, 河床比降, 河道断面特征等, 探讨其分布规律及水系属性, 为海洋工程建设和古环境研究提供参考资料。

1 地质环境

研究区位于南黄海西部陆架区, 北起 36°00'N, 从胶州湾口往南依次经过日照、海州湾、连云港、旧黄河口以南等不同的地理单元, 到达南界 33°45'N, 研究区域是在 121°45'E 以西的南黄海西部的滨浅海海域(图 1), 水深在 50 m 以内。调查区主要入海河流有淮河河系, 主要海湾有海州湾。南黄海西部沿岸水深较浅, 海州湾中部出现由二级阶地构成的剥蚀平原, 一级为水深 20~30 m, 阶地面坡度 21"左右, 陡坎坡度约 52"; 另一级水深 35~45 m, 阶地面坡度 26"左右, 陡坎坡度约 1'14"。旧黄河水下三角洲平原水深 10~20 m, 地形平坦, 但有冲刷浅洼地和沙脊地形。研究区南部紧邻苏北大型辐射状沙脊群, 由 70 多条沙脊和潮流通道组成, 水深 0~30 m, 为强潮流作用地带。

研究区有多种沿岸流(由于河流稀释作用而盐度较低), 包括山东南部沿岸流、江苏北部沿岸流和黄海沿岸流; 研究区东部邻近黄海暖流(黑潮的一个分支)(图 1)。黄河、长江和沿岸短源河流带来的泥沙是研究区沉积物输入的主要来源。

基金项目:国家自然科学基金项目(41476051, 41376079); 中国地质调查局项目(1212010611401, GZH201200506)

作者简介:孔祥淮(1965—), 男, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事海洋地质与地球化学研究, E-mail: kongxianghuai@163.com

收稿日期:2016-07-10; **改回日期:**2016-10-31. 周立君编辑

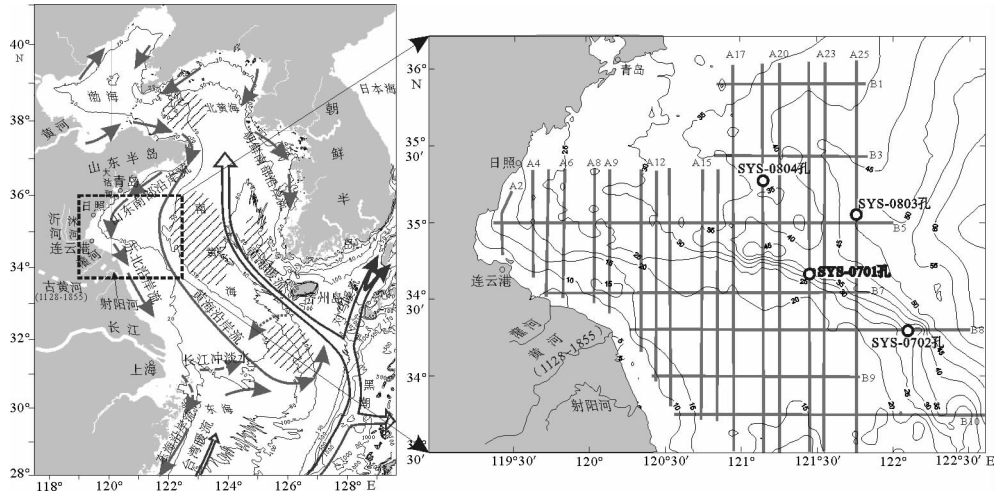


图1 研究区2006年浅剖测线分布(数据采集船“苏太渔 01155”)和4个钻孔位置
(2007年和2008年由“勘 407”采集)(水深单位:m)

Fig.1 Location of surface-towed chirp sonar track lines aboard the “Sutaiyu 01155” (survey boat) in 2006 and four sediment cores collected aboard K407 (ship for exploration survey) in 2007 and 2008 in the study area. Water depth in meters

2 材料和方法

2.1 资料来源

对下切河谷几何形态的分析主要是以 2006 年由“苏太渔 01155”船获得的 4 100 km 浅地层剖面的解译成果为基础的。2006 年采用法国 S. I. G 公司生产的 S. I. G 2 mille 数字浅地层剖面仪进行了野外数据采集,系统由 Delphseismic 采集系统、SIG16 地震数据接收系统和震源(Boomer/sparker)系统组成。该系统适合调查区浅海环境复杂的第四纪地层结构的研究。导航系统采用差分 GPS 定位系统(精度为 15 m)。地震反射数据采用的激发能量为 300 焦耳,频带为 500~1 500 Hz。脉冲信号的接收采用 20 单元的水听器,震源和接收系统拖于船后,航行速度小于 5 节(9 km/h)。浅剖数据垂直分辨率为 10 cm,水平分辨率为 2 m,穿透深度为海底以下 70 m。调查区浅地层剖面测量主测线间距约为 8 km,联络测线间距为 20 km(图 1)。

2.2 资料处理

对野外采集的浅地层剖面数据资料进行室内处理,并打印模拟剖面。为了便于相邻或相交测线剖面的对比,打印时对模拟剖面的方向做了处理,即东西测线:西在左,东在右;南北测线:南在左,北在右。为了校准地震剖面,在 2007 年和 2008 年采用重力取心技术由“K407”(勘查船)采集了 4 个取心

钻孔(图 1)。这些钻孔资料可为浅地层剖面的解译提供地层环境信息。

剖面解译:在纸质模拟剖面上,观察地震地层的反射终止形态(削截、上超、下超等)和反射结构(即地震相),然后辨识地震相单元及其边界。

在打印的纸介质地震剖面上勾绘出埋藏古河道,截切下伏地层的倾斜面识别为古河道的侧缘,古河道内部地层的叠置及其深度变化揭示古河道发育历史,底部的杂乱反射代表古河道残留沉积,中部相互交错的反射层组代表河道沉积,上部的近似平行的反射层组代表海侵时期细粒沉积物充填,地层之间的交切关系揭示了地质事件发生的相对时间,所绘出的图像可为揭示河道的几何形态特征提供丰富信息。

3 古河谷体系地貌与平面几何特征

3.1 古河道追踪及古河系恢复

笔者分析了青岛海洋地质研究所“长江口以北沙泥质海岸带地区环境地质调查与评价”基础地质调查项目的 4 000 多千米高分辨率浅地层地震剖面,共计 24 条测线,东西方向为主测线,南北方向为联络测线。为了恢复下切古河道体系的原貌,在研究区内各条测线的模拟剖面上识别、追踪古河道断面。首先,在地震剖面上辨识出古河道断面的两个侧缘,然后,记录其在测线上的位置(mark 线标号);其次,绘制测线航迹图,根据记录的 mark 线标号在

航迹图上用粗线条标示出古河道断面位置,粗线条的长度就代表河道断面的宽度;最后,追踪古河道遗迹,把这些代表古河道的粗线条推测性地连接起来勾勒出古河道体系(图 2)。

3.2 古河谷体系地貌特征

研究区东西方向和南北方向浅地层剖面的解译以及古河道断面的追踪连接,揭示了复杂的树枝状古河道网,它们埋藏于江苏省北部滨浅海区海底以下数米到数十米。在水深 10~50 m 的近 50 000 km² 范围内,分布着两大河道网(图 2)。北部河道网的主干河道呈西南—东北走向,弯弯曲曲与等深线斜交,其西端位于 1128—1855 年老黄河(现已废弃)入海口附近;南部河道网的主干河道大致呈东西走向,其西端位于现在的射阳河口以南。两个河系均表现为北侧支流较密(图 2)。这些河道在 156 km 距离内落差为 47 m,以 0.017° 的坡度向海倾斜,而且河道断面向海逐渐变宽,北部主河道断面向海变宽达 19 km,南部主河道向海变宽为 10 km。

从解译的古河系可以明显看出,两个河系的支流分布是不对称的,表现为梳子状格架(图 2)。大多数支流从北侧交汇于主河道,其交汇角接近 90°,支流之间交汇角为锐角,一般<70°。在两个河系之

间存在一个分水岭,两个河系的分布范围相差很大,北部河系流域面积较大,南部河系流域面积较小(可能研究区内只是该古河系的一部分)。

3.3 古河谷体系平面展布特征

有些测线的浅地层剖面中可以识别出多期古河道,它们形成于不同地质时期。本文只追踪研究末次盛冰期形成的古河道。从超过 4 000 km 浅层地震剖面中选出清晰而典型的近 200 个宽阔古河道断面(图 2 中标出了超过 1 000 m 的较大古河道断面位置)。图 3 的河道断面中削切界面 R1 以上解译为全新世海侵层,水平层理清晰平整;R1 界面以下解译为陆相地层(三角洲平原),弯曲上凹的古下切河谷底界切割该地层。各界面深度在解译后的纸质模拟剖面上量测(图 3),以毫秒表示,按照地震波在水中和地层中传播速度分别为 1 500 m/s 和 1 550 m/s 换算为长度单位。断面水深和河道高程均以海图基准计算(经潮汐改正)。古河道埋深用界面 R1 至海底的地层厚度表示,古河道深度用 R1 至古河道切割底界面的最大距离表示(图 3),古河道视宽度利用断面起止点坐标计算得出。将谷宽和谷深数据代入下列 3 个河流经验公式^[19] 计算得出其他参数,如河道宽深比、悬移质含量、弯曲率、河床比

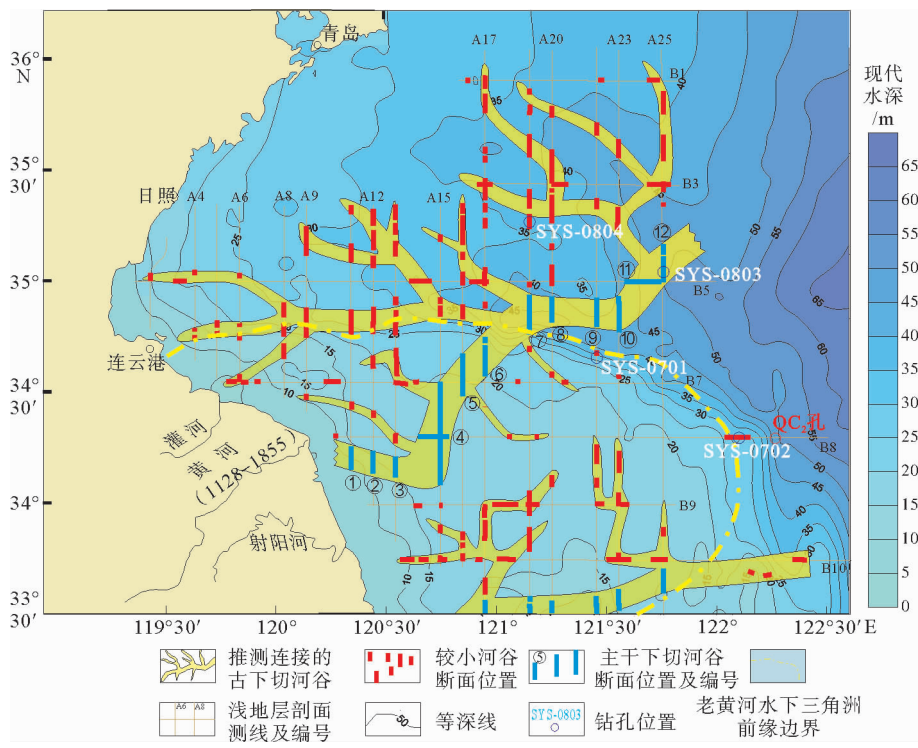


图 2 研究区末次盛冰期古河谷追踪连接示意图

Fig. 2 Traced connection for paleo-channels developed during the Last Glacial Maximum (LGM) in the study area

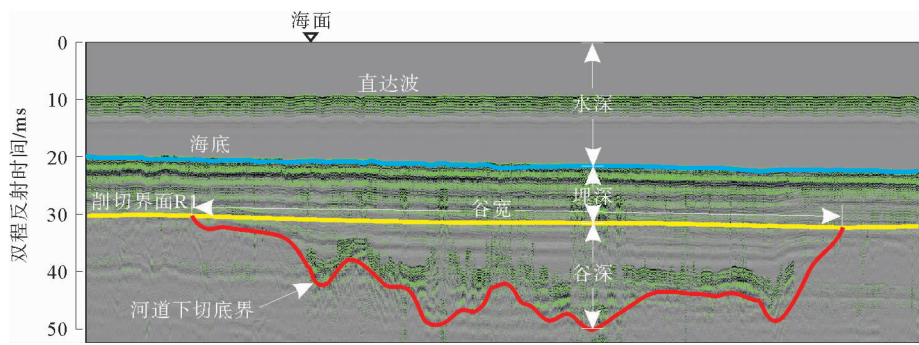


图 3 研究区末次盛冰期古河谷断面特征参数测量示意图

Fig. 3 Sketch for measuring of LGM paleo-channel cross-section parameters in the study area

降等。

$$F=W/D=225M^{-1.08} \tag{1}$$

$$P=3.5F^{-0.27} \tag{2}$$

$$\lg S=1.48085+0.94774\lg F-0.87937\lg W \tag{3}$$

式中, F 代表河道宽深比, M 代表悬移质含量, W 代表谷宽, D 代表谷深, P 代表河道平面的曲率, S 代表河床比降。

3.3.1 古河道断面宽度变化特征

在统计的 198 个古河道断面中, 最大谷宽约为 19 km, 最小约为 0.2 km, 平均谷宽约为 3.3 km, 把谷宽超过 5 km 的河道断面连接起来, 可以勾勒出两条主干古河道, 其中一条自西南向东北方向蜿蜒延伸, 由老黄河口附近 A11B 测线的 9 km 向东北变宽, 到东部 A25A 测线时变为 19 km(图 2)。这条主干河道穿过 A16、A17C、A19A 测线时与测线斜交, 夹角约为 45°(图 2), 由该处三条河道断面得出的河宽(视河宽)分别为 18.7、18.9、26.4 km(图 4c), 按照实际河宽=视河宽 $\times \cos\alpha$ 转换, 则分别为 13.2、13.4、18.7 km(图 4d)。在 A15 测线剖面上有近 40 km 浅层气屏蔽区, 但在屏蔽区的两端可以清楚地辨识出河道侧缘, 而且在与 A15 测线相交的 B8A 测线上识别出一条长约 11.8 km 的古河道断面(即图 2 中古河道断面编号④), 相邻测线中未识别出如此长度的河道断面, 据此判断, 古河道在此处由南向北延伸, 谷宽约为 11.8 km。将①至⑫各河道断面宽度与各断面距测线 A11B 河道断面的距离作图(图 4d), 可以清楚地看出主干古河道向海逐渐变宽的趋势。根据统计数据, 南部的主干古河道也存在向海变宽的趋势, 由靠陆的几千米增宽至 10 km。

3.3.2 古河道埋深变化特征

古河道埋深用河道断面以上覆盖的海相层厚度来表示, 最大埋深为 30.2 m, 最小埋深为 1.6 m, 平均埋深为 9.6m。大约以 30 m 水深为界, 在 30 m

以浅水深范围内, 河道埋深较大, 主干古河道埋深变化于 10~20 m; 在 30~50 m 水深范围内, 主干古河道埋深通常小于 10 m(图 2、图 4e)。其他支流河道埋深变化也存在类似特征。

若与现代水深相比较的话, 可以发现古河道埋深与现代水深大致呈负相关(图 2、图 4a、e), 其实, 这与海底地形起伏是密不可分的。浅地层剖面显示, 南黄海西部陆架区的老黄河水下三角洲显示明显的楔形沉积体特征(图 2), 其北界到了 34.8°N, 其东部最远端达到了 122°E 附近(图 2)。由于上面覆盖了老黄河水下三角洲, 使主干古河道断面①至⑥的埋深大于⑦至⑫的埋深(图 2、图 4e)。

3.3.3 河道宽深比的变化

河道宽深比可以反映河道的稳定程度, 宽深比越大, 河道越不稳定。在研究区识别出的 198 个古河道断面中, 宽深比最大值为 1213, 最小值为 14, 平均值为 217。大部分河道断面宽深比变化于 100~200 之间。古河流发育时期可能存在横向迁移, 但由于古河道被充填并埋藏于后继沉积地层之下, 从地震剖面中识别出的只是视河宽, 可能导致将迁移前的已充填河道与迁移后又充填的河道当做同一河道, 这样得出的河宽就大大超过河道活动时期的实际河宽, 造成宽深比增大。但总体来看, 古河道宽深比与现代长江和黄河河道相比显然是较大的。其中主干古河道的宽深比多变化于 600~900 之间, 并且有向海方向减小的趋势(图 4h), 说明古河道河床位置均不稳定, 具有横向多摆动分汊的特征。

研究区下切古河谷的宽深比与世界上许多陆架晚更新世下切河谷相比要大得多, 如: 大西洋中部陆架^[20] 和美国墨西哥湾^[21], 这种差异可以归结为陆架地貌上的不同。南黄海陆架非常宽阔平缓的地势, 导致河流的下切幅度要比北美地区的浅, 而横向迁移、摆动的幅度大。

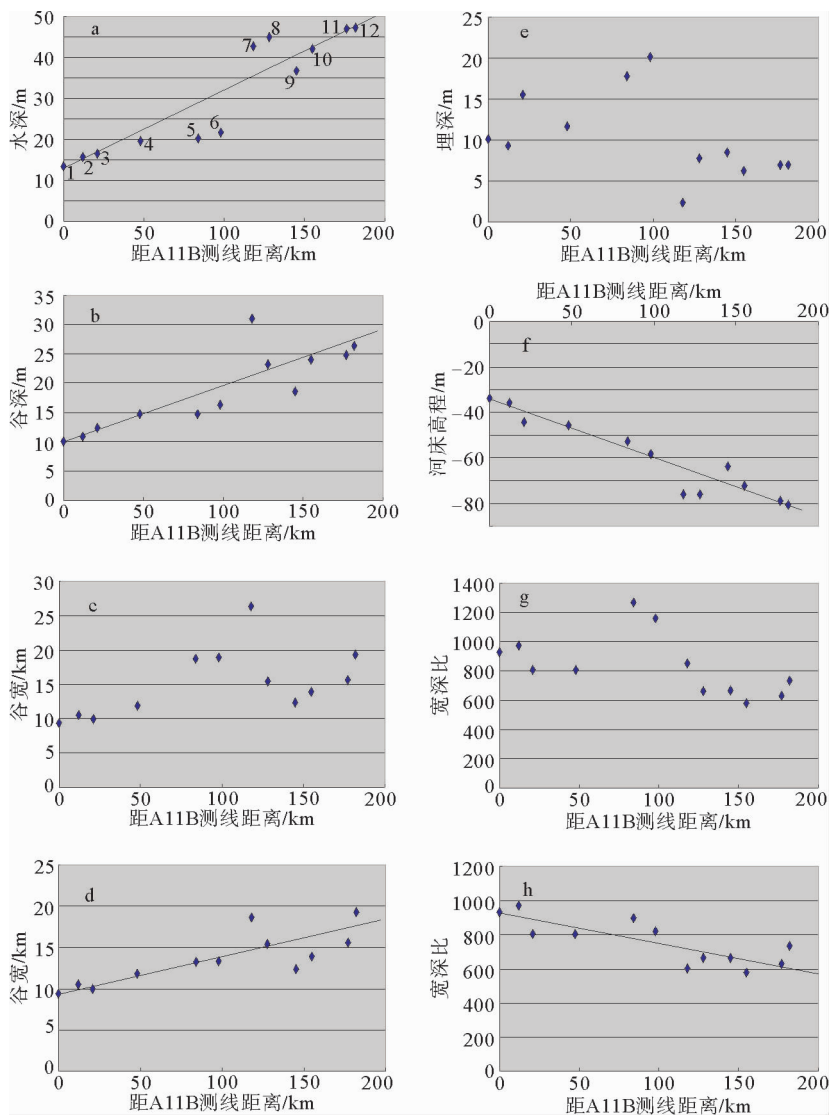


图 4 研究区末次盛冰期主干古河道断面几何参数变化分析(图中断面 1~12 的位置见图 2)

Fig. 4 Changes in geometrical parameters of LGM main paleo-channel cross-sections in the study area

(location of cross-section 1~12 reference to Fig. 2)

3.3.4 古河道下切深度的变化

古河道下切深度是将水深、河道埋深、河道谷深求代数和计算得出的(图 3),由统计数据可知,最大下切深度为 91.5 m,最小下切深度为 31.2 m,平均值为 56.3 m。其中北部主干古河道由测线 A11B 向 A25A 下切深度逐渐加深(图 4f)。在 A25A 测线附近,下切深度达 80.6 m bpsl(现代海面之下),Liu Jian 等^[22]在研究该测线上钻孔 SYS-0803 时,指出古河谷下切深度达 80 m bpsl,这一数据与李从先^[23]按钻孔岩心得到的盛冰期钱塘江口外的下切深度 82 m bpsl 很接近。这也说明了在末次冰期时期,南黄海与东海具有类似的沉积环境。

3.3.5 主干河道比降的变化

比降反映河道的输砂特征,比降越大,输砂能力

越强。由统计数据可知,研究区主干古河道比降有向海降低的趋势,反映了输砂能力向海有所降低。

4 古河谷体系垂向剖面形态特征

4.1 单个古河道断面的轮廓特征

本文通过对研究区浅层地震剖面的详细解译和分析,识别出了多种复杂的河道断面遗迹。这些河道断面规模不等,形态各异。与其他海域识别出的下切古河谷体系相似,本研究区河道断面形态也具有 U 形和 V 形特征,另外还有箱形(近似矩形)、W 形和倒梯形河道断面。

若从单个河道断面的轮廓特征来分类,研究区

识别出以下几种形态类型：

(1)箱形河道断面,这种断面形态常见于主干古河道,如图 5 所示,埋藏古河道底界面清晰可辨。下部轮廓为箱形(近似矩形),上部为 U 形;河谷内部可见杂乱反射、水平层状和 S 形层状反射;河谷顶界面与上下地层近于平行。主干河道断面的这种“下凹上平”(部分河道顶界面会出现轻微“上凸”的形态)、下部箱形上部 U 形的形态特征,可能反映了河道初期下切侵蚀,此后转为侧向侵蚀,河床展宽,而在中后期被沉积充填,在河道上部可能还形成了湖泊,最后被海相层覆盖,变成埋藏古河道。

(2)W 形和 U 形河道断面,在本研究区这种断面形态常出现在支流河道(图 6),可能由于在下切侵蚀过程中,下伏地层质地不均,抗侵蚀能力不同,导致不平衡侵蚀,形成双河道或多河道,出现 W 形的河道断面。U 形断面的河道(图 6b)可能代表一种发育期相对较短的较小支流,下伏地层质地相对较均匀,河流没有来回摆动,河床中部下切较深,两

侧下切较浅,形成两岸坡度大致相当的对称性河谷。

(3)V 形和 UV 并存河道断面,这种河道断面形态往往出现在较小支流的上游河段(图 7),河道以下切侵蚀为主。图 7a 的 V 形河道下切侵蚀较深,达 20 多米,河道可能受到两岸束缚,未有摆动痕迹;图 7b 的河道下切较浅,可能有摆动,形成 UV 并存的断面形态。

(4)倒梯形和阶梯形断面形态,如图 8 所示,在北部支流的上游河段,出现具有多级河流阶地的断面形态,阶地厚度约 4~6 m,可能与相对海平面抬升,侵蚀基准面下降有关。在图 8a 中,河道断面大致呈对称性的倒梯形逐级叠置,从③到①,断面逐级变窄,河床底部平缓。在图 8b 中,河道断面北岸为缓坡,呈阶梯状逐级降低,南岸为陡坡,倾角达 70°,为不对称的河道断面(其实就是不对称的倒梯形断面)。由其断面位置来看(图 8b),该断面接近河道向南转弯处,河流主泓道逐渐向南偏移,形成不对称的断面形态特征。

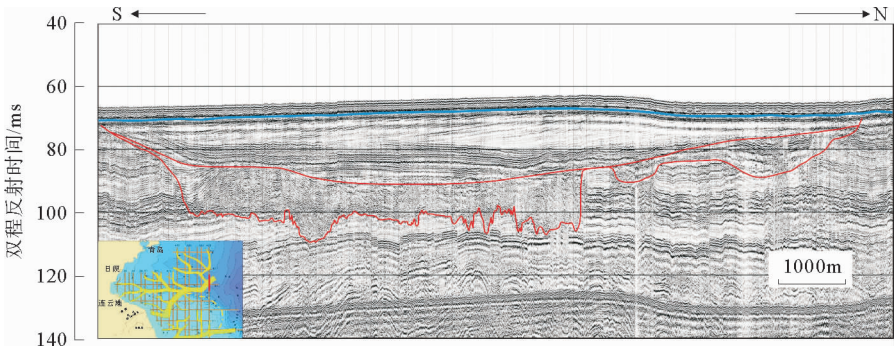


图 5 研究区末次盛冰期主干古河道箱形断面形态
Fig. 5 Morphology of boxlike LGM main paleo-channel cross-section in the study area

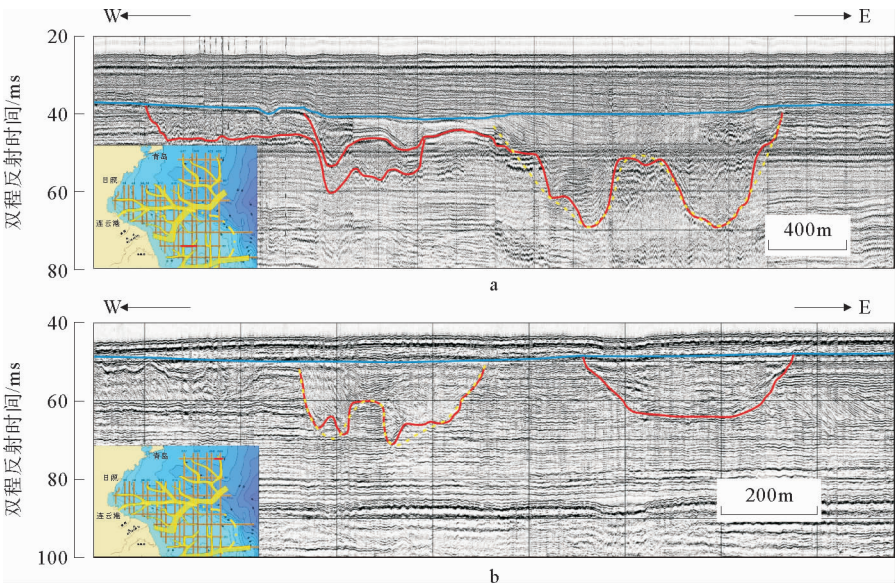


图 6 研究区末次盛冰期 W 形和 WU 并存型古河道断面形态
Fig. 6 Morphology of W-shaped and W-U coexisted LGM paleo-channel cross-section in the study area

4.2 古河道断面的对称性

若从古河道断面的对称性来分类,河道断面可以分为对称型和不对称型。本研究区多数古河道断面为不对称型的。不论是在主干河道还是支流河道中,这种河道断面最常见(在图 5 至图 8 中均有不对称型河道断面),它们的共同特征是一边坡陡,另一边坡缓。可能是由于河流环流条件和微地貌因素的影响,使河道不断迁移,一侧侵蚀而另一侧堆积所致,河道断面宽窄不一,窄者不足千米,宽者达十几

千米,谷深从 6 m 到 30 m 不等。这种河道断面形态特征也是曲流河和辫状河断面的共同特征之一。对称型河道断面在本研究区出现的相对较少,它们往往是古河系中较小的支流或汉流河道,宽深规模均较小。这类河道断面形态可能反映河道流经区下伏地质质地较均匀,河水长期在原河道流动,形成河道断面两侧坡度大致对称的形态特征。例如,图 6b 中的 U 形河道、图 7a 中的 V 形河道、图 8a 中的倒梯形河道断面等。

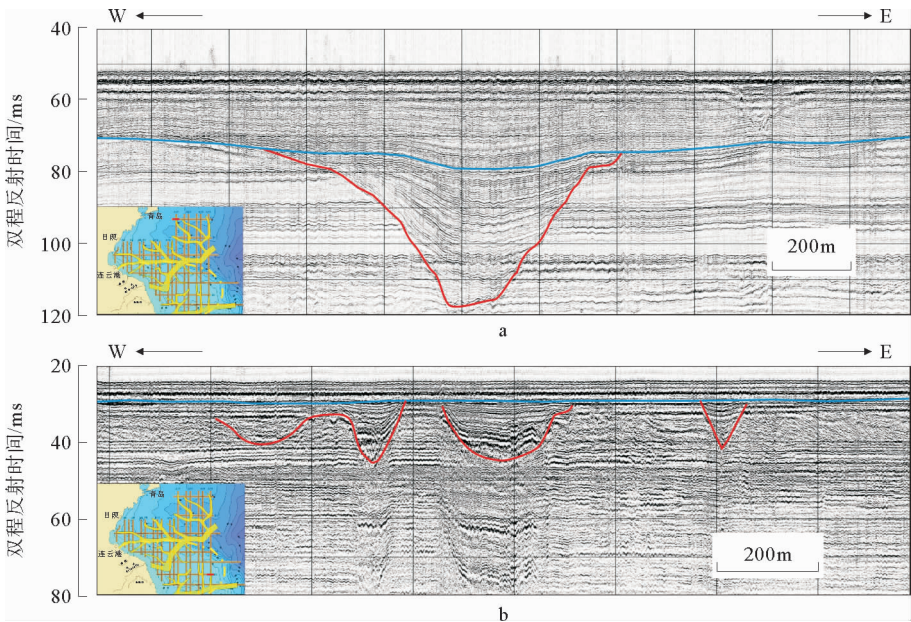


图 7 研究区末次盛冰期 V 形和 VU 并存型古河道断面形态
Fig. 7 Morphology of V-shaped and V-U coexisted LGM paleo-channel cross-section in the study area

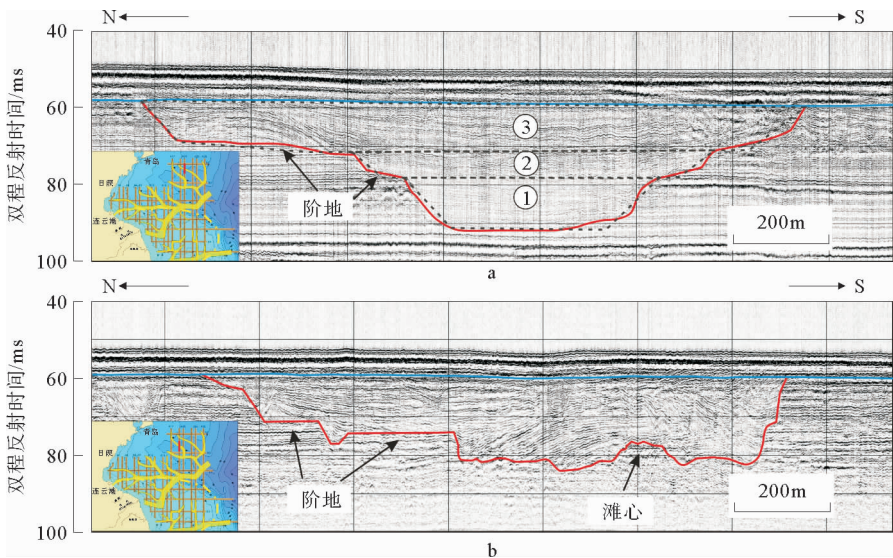


图 8 研究区末次盛冰期倒梯形和阶梯形古河道断面形态
Fig. 8 Morphology of inverse trapezoid and stepped LGM paleo-channel cross-section in the study area

4.3 古河道断面的组合特征

若根据以上几种河道断面的组合形式分类,可以分为复式河谷和双层(多层)河谷。

(1)复式河谷

复式河谷是指在同一河谷凹地上出现两个或多个河槽,它们可能主要是辫状河、曲流河砂体发育、河道迁移的反映。如图 9a,自北向南有三个河道,根据反射界面的接触关系可以看出,北面的河道依次截切南面的河道,反映了三个河道形成时间上的先后顺序,这可能是由于曲流河道由南向北迁移摆动所留下的痕迹。在图 9b 中,一个较大河谷里出现两个并列的河道断面,一大一小,大的近似 U 形,小的近似 V 形。可能一个为主泓流道,而另一个则为

副流道。在主泓流道中,河床凹凸不平,可能在枯水季节时曾形成多条小流道,具有辫状河的性质。

(2)双层(多层)河谷

双层(多层)河道往往是由不同时期的、在河流发育上有成因联系的河道在垂向上相互叠置而形成的断面形态。这种形态在研究区的支流河道中比较常见,后期发育的河道叠置在老河道之上,具有明显的继承性(图 10a 为多层,图 10b 为双层)。在主干河道中也有双层特征,但其上部往往形成底部平缓而宽阔的古湖泊,而不是河流(如图 6)。

以上对研究区浅层地震剖面中识别出的古河道断面形态根据不同的分类方法进行了分类(图 11),现归纳如下:按照古河道轮廓特征可以分为箱形、W 形、U 形、V 形和倒梯形等五种;箱形河道主要出现

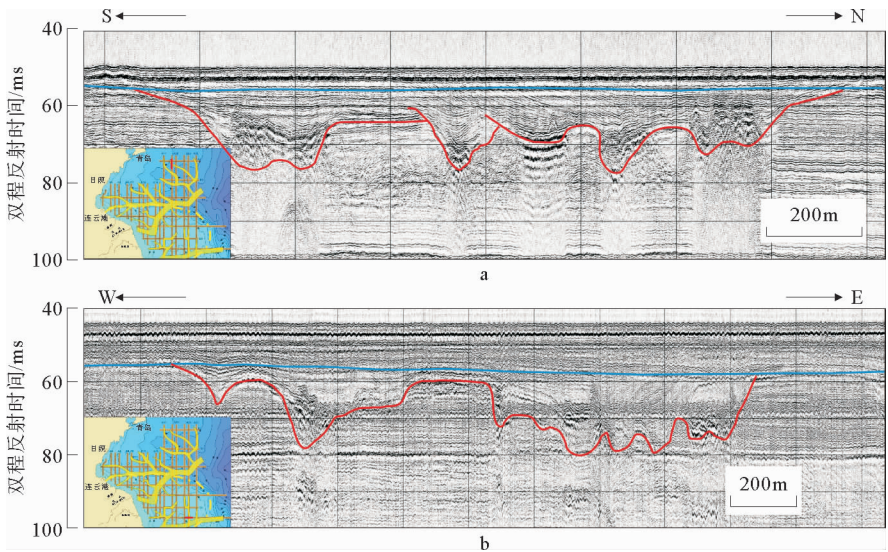


图 9 研究区末次盛冰期复式古河道断面形态

Fig. 9 Morphology of compound LGM paleo-channel cross-section in the study area

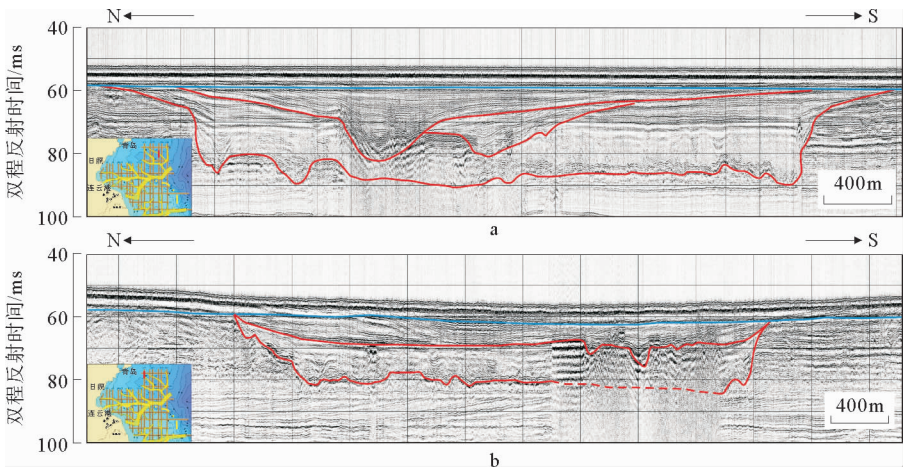


图 10 研究区末次盛冰期双层(多层)古河道断面形态

Fig. 10 Morphology of double (or multilayer) LGM paleo-channel cross-section in the study area

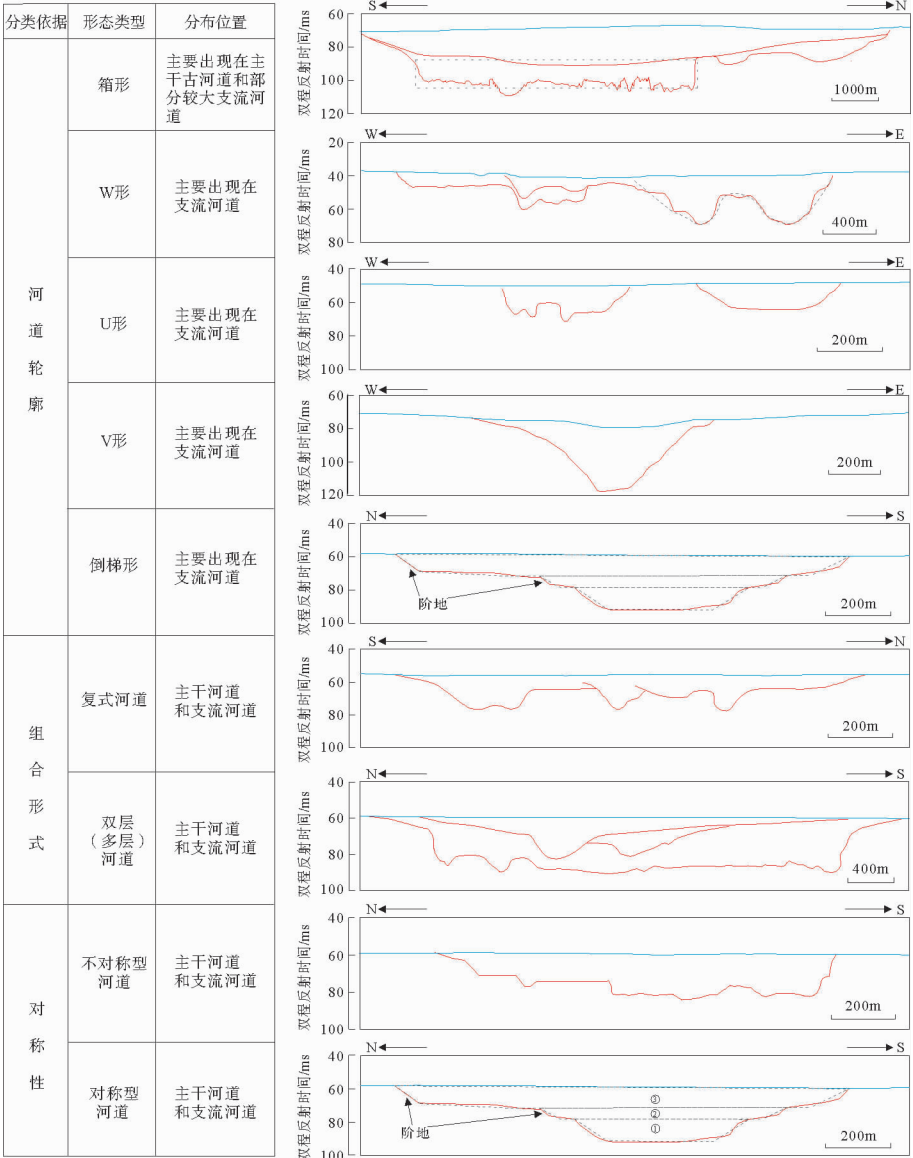


图 11 研究区末次盛冰期古河道断面形态类型

Fig. 11 Morphology types for LGM paleo-channel cross-sections in the study area

在主干河道和较大支流河道,其他类型主要出现在支流河道。按照各种断面形态的组合形式可以分为复合式和双层(多层)河道,在各类河道中均有出现,特别是较宽阔的河道,断面形态的组合形式更为复杂。按照古河道断面的对称性可以分为对称型和不对称型两种,对称型河道往往是发育时间相对较短的河流,是河流发育过程中的暂时性断面形态,随着时间的推移和河道环流条件、微地貌形态的变化,逐渐转变为不对称型的河道,因此,不对称型河道断面形态在发育时间较长的古河谷中更为常见。

5 结论

(1)在南黄海西部陆架浅海区分布着末次盛冰

期形成的两大树枝状河道网,北部河道网的主干河道呈西南—东北走向,弯弯曲曲与等深线斜交,南部河道网的主干河道大致呈东西走向。古河道大致以 0.017° 的坡度向海倾斜,河道断面向海逐渐变宽。

(2)研究区末次盛冰期古河道宽深比、弯曲率、河床比降以及下切深度等参数的分析表明,南黄海西部陆架浅海区末次盛冰期主干古河道由西向东下切深度逐渐加深,与末次盛冰期钱塘江口外的下切深度很接近,反映了南黄海与东海具有类似的沉积环境。

(3)对研究区末次盛冰期河道断面形态的分析表明,南黄海西部陆架浅海区的末次盛冰期下切古河道除了具有其他海域古河道的 U 形和 V 形特征外,还有箱形(近似矩形)、W 形和倒梯形河道断面。

箱形河道主要出现在主干河道和较大支流河道,其他类型主要出现在支流河道。复合式和双层(多层)河道,在本区末次盛冰期各类河道中均有出现,特别是较宽阔的河道,断面形态的组合形式更为复杂。另外,不对称型河道断面形态在本区末次盛冰期古河系中较为常见。

参考文献 (References)

- [1] Hanebuth, T J J. Sea-level changes on the Sunda Shelf during the last 50000 years. Ber. — Rep. 12, Inst. für Geowiss., Universität Kiel, 2000.
- [2] Clark P U, Mix A C. Ice sheets and sea level of the Last Glacial Maximum [J]. Quat. Sci. Rev., 2002, 21: 1-7.
- [3] 耿秀山. 中国东部陆架的海底古河系 [J]. 海洋科学, 1981(2): 22-27. [GENG Xiushan. Paleo-river system on the Eastern shelf of China [J]. Marine Sciences, 1981(2): 22-27.]
- [4] 鲍才旺. 珠江口陆架区埋藏古河道与古三角洲 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1995, 15(2): 25-34. [BAO Caiwang. Buried ancient channels and deltas in the Zhujiang River mouth shelf area [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 1995, 15(2): 25-34.]
- [5] 寇养琦, 杜德利. 南海北部陆架第四纪古河道的沉积特征 [J]. 地质学报, 1994, 68(3): 268-277. [KOU Yangqi, DU Deli. Sedimentary features of shallow ancient river channels on the northern shelf of the South China Sea [J]. Acta Geologica Sinica, 1994, 68(3): 268-277.]
- [6] 秦蕴珊, 李凡, 唐宝珏, 等. 南黄海西部埋藏古河系 [J]. 科学通报, 1985(24): 1887-1890. [QIN Yunshan, LI Fan, TANG Baojue, et al. Buried paleo-channel systems in the west of the South Yellow Sea [J]. Chinese Science Bulletin, 1986(24): 1887-1890.]
- [7] 李凡, 于建军, 姜秀珩, 等. 南黄海埋藏古河系研究 [J]. 海洋与湖沼, 1991, 22(6): 501-508. [LI Fan, YU Jianjun, JIANG Xiuheng, et al. Study on buried paleo-channel system in the South Yellow Sea [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1991, 22(6): 501-508.]
- [8] Butenko J, Ye Y C, Milliman J D. Morphology, sediments and Late Quaternary history of the East China Sea [C]// In: Qingming J, Milliman J D, eds. Sedimentation on the Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea [C]. Beijing: China Ocean Press, 1983: 653-677.
- [9] Milliman J D, QIN Yunshan, Park Y A. Sediments and sedimentary processes in the Yellow and East China Seas [C]// In: Taira A, Masuda F, eds. Sedimentary Facies in the Active Plate Margin [C]. Tokyo: Terra Scientific Publishing Company, 1989, 233-249.
- [10] Liu Z X. Yangtze shoal a modern tidal sand sheet in the northwestern part of the East China Sea [J]. Marine Geology, 1997, 137: 321-330.
- [11] Saito Y, Katayama H, Ikehara K, et al. Transgressive and highstand systems tracts and post-glacial transgression, the East China Sea [J]. Sedimentary Geology, 1998, 122(1-4): 217-232.
- [12] 刘振夏, Berné S, L'ATALANTE 科学考察组. 东海陆架的古河道和古三角洲 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2000, 20(1): 9-14. [LIU Zhenxia, Berné S, L'ATALANTE Science Study Group. Paleochannels and paleodeltas in the continental shelf of the East China Sea [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2000, 20(1): 9-14.]
- [13] LIU Z X, Berné S, Saito Y, et al. Quaternary seismic stratigraphy and paleo-environments on the continental shelf of the East China Sea [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2000, 18(4): 441-452.
- [14] Yoo D G, Lee C W, Kim S P, et al. Late Quaternary transgressive and highstand systems tracts in the northern East China Sea mid-shelf [J]. Marine Geology, 2002, 187: 313-328.
- [15] Bern S, Vagner P, Guichard F, et al. Pleistocene forced regressions and tidal sand ridges in the East China Sea [J]. Marine Geology, 2002, 188: 293-315.
- [16] 李广雪, 刘勇, 杨子赓, 等. 末次冰期东海陆架平原上的长江古河道 [J]. 中国科学: D 辑(地球科学), 2005, 35(3): 284-289. [LI Guangxue, LIU Yong, YANG Zigeng, et al. The old river bank on the East China Sea Shelf during the last glacial [J]. Science in China Ser. D Earth Sciences, 2005, 35(3): 284-289.]
- [17] 李从先, 张桂甲. 下切古河谷高分辨率层序地层学研究的进展 [J]. 地球科学进展, 1996, 11(2): 216-220. [LI Congxian, ZHANG Guijia. Progress on high resolution sequence stratigraphy in incised paleovalley [J]. Advance in Earth Sciences, 1996, 11(2): 216-220.]
- [18] 王明田, 庄振业, 葛淑兰, 等. 辽东湾中北部浅层埋藏古河道沉积特征及对海上工程的影响 [J]. 黄渤海海洋, 2000, 18(2): 18-24. [WANG Mingtian, ZHUANG Zhenye, GE Shulan, et al. Sediment characteristics of the shallow buried paleo-channels in the north-central Liaodong Bay and their negative effects on nautical engineering [J]. Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas, 2000, 18(2): 18-24.]
- [19] Schumm S A, Khan H R. Experimental study of channel patterns [J]. Geol. Soc. Am. Bull., 1972, 83: 1755-1770.
- [20] Ashley G M, Wellner R W, Esker D, et al. Clastic sequence developed during the late Quaternary glacio-eustatic sea-level fluctuations on a passive margin: Example from the inner continental shelf near Barnegat Inlet, New Jersey [J]. Geological Society of America, Bulletin, 1991, 103: 1607-1621.
- [21] Suter J R, Berryhill H L Jr, Penland S. Late Quaternary sea-level fluctuations and depositional sequences, southwest Louisiana Continental Shelf [C]// In: Nummenda D, Pilkey O H, Howard J D, eds., Sea level Fluctuation and Coastal Evolution, SEPM, Special Publication, 1987, 41: 199-219.
- [22] Liu Jian, Saito Yoshiki, Kong Xianghuai, et al. Delta development and channel incision during marine isotope stages 3 and 2 in the western South Yellow Sea. [J]. Marine Geology, 2010, 278: 54-76.

[23] 李从先. 冰后期海面变动和河流-河口体系发育的阶段性和
[J]. 海洋学报,1992, 14 (3): 86-94. [LI Congxian. Post
[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1992, 14 (3): 86-94.]

GEOMORPHOLOGICAL CHARACTERS OF PALEO CHANNEL SYSTEMS IN LAST GLACIAL MAXIMUM IN THE WEST OF SOUTH YELLOW SEA SHELF

KONG Xianghuai^{1,2,3}, BI Shipu^{1,2,3}, LIU Jian^{1,2,3}, SONG Xiaoshuai^{1,4},
XU Chengfen^{1,5}, MA Xiaohong^{1,6}

(1. Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environmental Geology, Ministry of Land and Resources, Qingdao 266071, China; 2. Laboratory for Marine Geology, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266061, China; 3. Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China; 4. Graduate School of Hebei GEO University, Shijiazhuang 050031, China; 5. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 6. College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: Geomorphological characters of buried paleo-channel systems in the western South Yellow Sea are studied in this paper, based on the interpretation of high resolution seismic profiles. It is found that there are two complex dendritic drainage systems developed during the Last Glacial Maximum (LGM) on the continent shelf of the South Yellow Sea, shallowly buried several to tens of meters below the sea floor. Main paleo-channels are getting wider and deeper towards the sea. Excluding the U and V-shaped channels which are common in other areas, there are other types, such as W-shaped, boxlike (approximate rectangle) and inverse trapezoid channels. And compound, double (or multilayer) and asymmetry types are also common, indicating a complex paleo-channel system in LGM.

Key words: high resolution seismic profile; geomorphology of paleo-channels; Last Glacial Maximum; Western South Yellow Sea