超星·期刊

第45卷 第3期 华 北 地 质 Vol.45 No.3
2022年09月 NORTH CHINA GEOLOGY Sep. 2022

DOI:10.19948/j.12-1471/P.2022.03.04

辽东湾沿海平原中西部晚更新世以来低速、快速沉积的差别及其时空分布特征

姜兴钰[1,2],马宏伟[3],李 琰[4],杨大炜[5],李建芬[1,2],商志文[1,2],王 宏[1,2*]

(1.中国地质调查局天津地质调查中心,天津 300170; 2.中国地质调查局海岸带地质环境重点实验室,天津 300170; 3.中国地质调查局沈阳地质调查中心,沈阳 110036; 4.中国地质大学(北京),北京 100083; 5.盘锦市档案馆(盘锦市地方志办公室),辽宁 盘锦 124010)

摘 要:研究河海相互作用下的沉积过程,对了解海岸演化过程和趋势、制定基于自然的生态系统保护修复方案具有重要意义。本文以辽东湾沿海平原中西部地区为研究区,根据38个反映晚更新世以来海陆地层时空变化的海陆标志点(the land-sea change indicators)(作者积累的33个、前人的5个),本文获得了辽东湾沿海平原中西部的4条具有沉积等时线的地层剖面,揭示了晚更新世-全新世明显的低速沉积(slow-sedimentation)和快速沉积(rapid-sedimentation)的变化特征。现有证据表明,在研究区南部现代海岸线附近向陆侧,该低速沉积具有至少始于~40 ka之前、埋深很浅(现代高程~-15 m)的时空分布特征。当全新世海侵向北推进、于~6.24 ka在距现代海岸线~60~70 km的新民地区停顿下来,随后转为海退之后,低速沉积仍持续至~1.5 ka时(甚至更晚),平均沉积速率仅~0.1 mm/a。随即转入时长仅1.5~1 ka左右的快速加积期,加积厚度~10 m,平均沉积速率>5 mm/a。另外,在与浅丘陵区接壤的研究区西北侧和东北侧外缘(后者并向东延伸至辽东湾平原的东部),还有另一次局部的、稍早发生于~3 ka时的快速加积事件,其泛滥扇覆于全新世海侵层顶板之上,沉积速率甚至可达厘米/年级别。发生于~3 ka前后和~1.5~1 ka的这两次覆盖在海退潮间带海相层之上的河流泛滥扇快速加积,构成了辽东湾沿海平原的现代地貌(~10 m和~5 m阶面)。近0.5 ka以来的新近快速加积,最终填充了研究区东南部的盘锦湾洼地,完成了研究区南部的成陆过程。

关键词:辽东湾沿海平原;低速沉积;快速沉积;全新世海侵

中图分类号:P736.21 **文献标识码:**A **文章编号:**2097-0188(2022)03-0022-08

辽东湾海岸带系统的第四纪地质学研究,始于已故顾尚勇先生确立的辽东湾第四纪与全新世地层框架[1],随后对全新世地层的认识又不断补充完善[2-14],这一情况近年来仍在持续[15-20],特别是随着光释光年代学在辽东湾海岸带地区的应用和发展,在晚更新世海侵和洪泛沉积年代学等研究方面有了很多新认识[21-24]。

本文作者所在团队自2000年代初即开始了辽东湾海岸带晚更新世-全新世地层研究[5,6,14,25]。本文是以上述前人和作者团队的研究为基础,进一步探索全新世沉积速率的变化,进而在后续论文中探索这一变化对先民活动的控制作用。

1 地质背景

本文研究区位于下辽河平原的中西部。其西侧、北侧周缘是基岩残山丘陵,东侧是下辽河平原的东半部。研究区内,西部及北部外缘有高程~10~5 m的河流堆积扇地,北部-东部是低于5 m的低地。区内地表高程向南侧逐渐降低,最终达到~1.5 m的现代平均大潮高潮位线处(图1)。

研究区南部,包括辽东湾现代海岸线及毗邻近岸浅海区,西起小凌河西支河口,向南东经大凌河河口、双台子河河口(辽河河口)至从营口入海的大辽河河口以西。向北,越过全新世海侵最大范围、直至"古辽泽"边界处[26-28](图1,表1)。研究区的西侧接辽西山地,东侧至双台子河河口以东。

研究区内前第四系是~3 000 m厚的第三系河流相和湖相砂泥岩、砂砾岩,呈西薄东厚特征(据辽河油田新近纪资料,2016)。第四纪松散沉积物继承了这一特点,厚度从研究区西北部的30~40 m向东南

收稿日期:2022-08-18

资助项目:中国地质调查局项目"黄渤海海岸带重点生态保护修复区综合地质调查(DD20211301)"

作者简介:姜兴钰(1981-),男,硕士,高级工程师,从事第四纪海岸带地质环境变化研究,E-mail: jiangxingyu2008@163.com;*通讯作者:王宏(1948-),男,博士,研究员,从事第四纪地质环境变化研究,E-mail:tjwhong@163.com。

超星·期刊

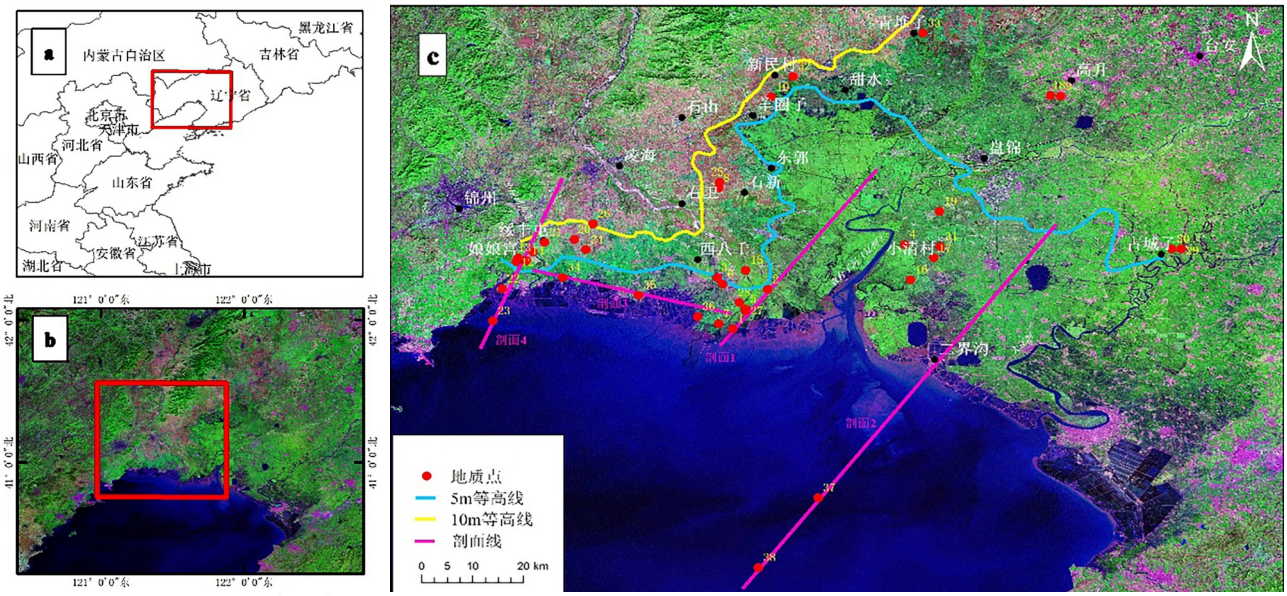

图1　研究区地理位置图

Fig.1 The study area lies in the western and central part of the coastal plain of Liaodong Bay

现代地表坡度是对前第四纪和第四纪沉积格局的继承,显示从北(北西)向南(南东)缓倾伏的地貌形态(10 m、5 m两条等高线)

表1　采样地质点

Table 1 Sampling geological points

图中编号	钻孔编号和地名	图中编号	钻孔编号和地名	图中编号	钻孔编号和地名
1	LZK02	14	LD07-4/蚂蚁屯	27	LD2015-4
2	LZK03	15	LD15	28	LD2015-23
3	LZK04	16	LD17	29	LD2018-1
4	LZK05	17	LD20	30	LD2018-2
5	LZK06	18	LD32	31	LD2018-3/小清村
6	NQ1	19	LD34	32	LD2020-2/新民砖厂
7	JK1	20	LD45/沙门子	33	LD2020-3/青堆子
8	SX1	21	LD46/绥丰屯	34	GCZ02
9	GS1/高升	22	LD53	35	GCZ03
10	CKB55/新民	23	LD54	36	GCZ05
11	LD06/西树林	24	LD66/优字屯	37	ZK6
12	LD07/娘娘宫	25	LD2013-10	38	ZK7
13	LD2016-12/二节地	26	LD2013-11		

部增加至约300 m[1,2]。长期以来,这一沉积格局,使研究区以外北西方向的西辽河上游及研究区西侧的大、小凌河进入研究区后向南东方向流动、充填。相反,研究区以东的东辽河(及其支流卡伦河和小辽河等)从北东向南西方向流入辽东湾。西部和东部两大水系在研究区以东的辽东湾湾顶处—双台子河(辽河)河口–营口大辽河河口之间—汇聚入海。这一基本格局,表明位于辽东湾沿海平原中西部的研究区的物源,主要由来自辽西山地(及上游的内蒙东部浅山–丘陵腹地)的西辽河及大、小凌河三个相邻流域供给,从而保证了本研究区的地质构造背景与全新世物源背景不必更多地考虑东侧河流(东辽河水系)的影响(图1)。

进入全新世后,研究区西部–中部是大、小凌河冲洪积扇地,中东部及北部是西辽河泛滥扇地。全新世海相层在研究区南部–中部埋藏于晚全新世泛滥扇之下[1,2,4],海侵最远向北深入内陆~60~70 km(青堆子附近),海侵最大边界处的古潮间带至今仍表现为出露于地表的残存“古辽泽”地貌景观。研究区全新世地层厚达20 m左右,构成辽东湾沿海平原最上部的盖层沉积[1-3]。研究区南部的沿海低地向海一侧,发育分布着潮道的宽平的砂泥质潮间带。现代海岸线曲折甚至向陆内凹,并无前凸的三角洲,暗示着整体上沉积物供给并不充分,应介于潮控和河控两类之间[29]。

2 材料和方法

借助露头(河流陡坎、干沟和砖场采土坑)和钻孔(Eijkelkamp槽型钻,直径2.5或5 cm;机械钻孔,直

超星·期刊

径9 cm或10.8 cm)，获得了一批地层剖面和连续无扰动岩心。开展了剖面描述和岩心编录、实验研究(包括粒度分析、软体动物、有孔虫、硅藻、孢粉、AMS ^{14}C和OSL测年等)与沉积相分析，完善了研究区晚更新世晚期和全新世沉积地层学和年代地层学框架。同时，开展了地面高程和地貌调查。

通过上述研究，建立了海陆变化标志点数据库，重建了研究区海陆古地理环境的时空变化。在这一过程中，我们特别关注晚更新世以来沉积速率的变化。在前人与作者以往认识[8-16,24]的基础上，辨识出晚更新世以来低速沉积期与快速沉积期各自的时空存在，进而大致确定了沉积等时线，以期为辽东湾成陆模式研究提供参考。

3 结果

本文获得了38个(其中包括前人的5个)指示晚更新世以来海、陆变化的标志点[6-11,13,15,21-25](图1)。研究了每一点的地层组成、沉积相和海陆变化；RTK实测或据相邻数据确定了这些点所在处的高程；其中25个点具有(或部分具有)年代地层学数据。据此计算了沉积速率，进而揭示低速、快速沉积的时空分布和分带特征。所有再搬运沉积物的^{14}C年龄(包括所引用的少量前人的年龄数据)均对其“驻留时间效应”做了校正[30-33]。根据这些标志点，绘制了4条剖面，显示低速及快速沉积的差异并建立了等时线模型(图2~图5)。

4 讨论

上面的4条剖面揭示了研究区不同位置的低速、快速沉积的不同特征和过程。现有AMS ^{14}C和OSL两种测年结果均表明，低速沉积期在40 ka之前即有显示；按OSL年龄，甚至可回溯至中更新世晚期(图2、3)。低速期止于~15 ka。加速期分两次，分别出现于~3 ka和~1.5~1 ka时。第一次快速堆积，在研究区西侧-浅山丘陵接壤的过渡带、北侧边缘和研究区以东的辽东湾东半部，堆积了10 m阶面，其上出现了战国-西汉先民遗存(图4)[34,35]。第二次快速堆积，塑造了整个辽东湾低地的形态。

在钻孔中，~8~6 ka之后，常发育直至~1.5 ka时的粗糙的“滞留相”沉积物，老至~8、7 ka的年龄与

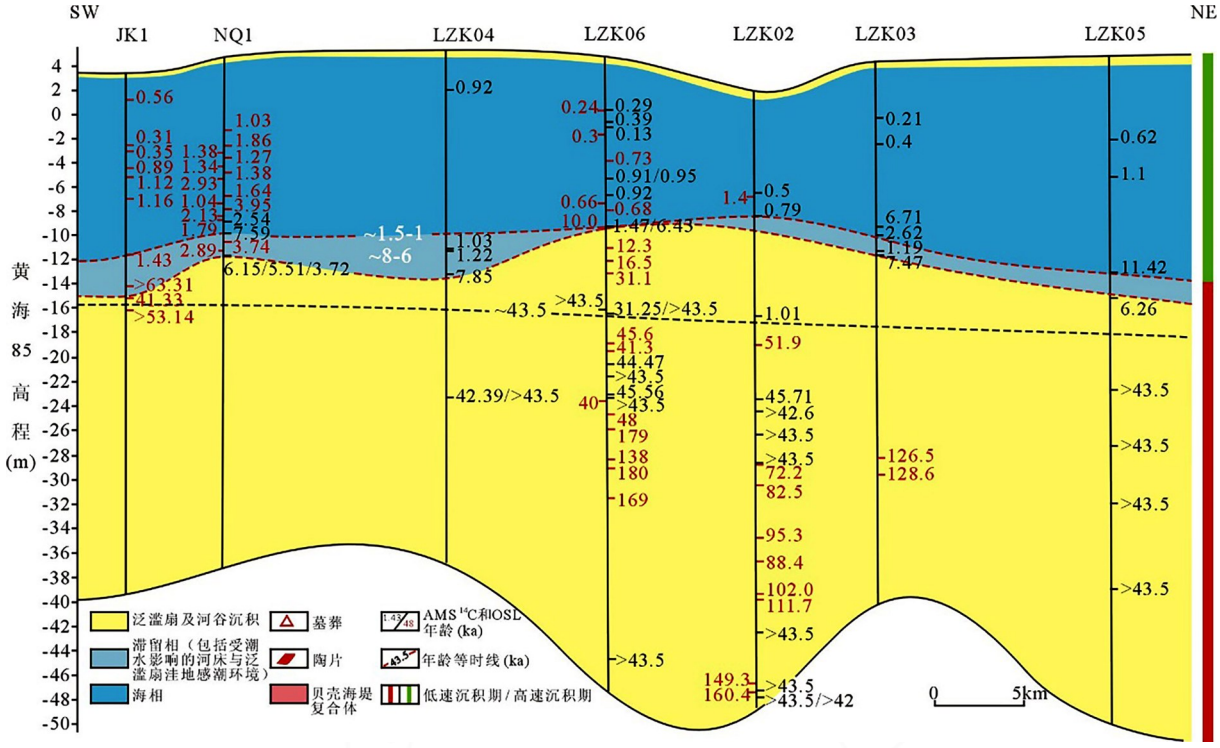

图2 沿现代海岸线分布的近东西向剖面(小凌河河口-大凌河河口-辽河河口地区)

Fig.2 A near east-west oriented profile along present coast (Xiaolinghe Mouth-Dalinghe Mouth-Liaohe Mouth belt)

~40 ka前即已出现的低速沉积期，一直持续到全新世晚期~1.5 ka时，沉积厚度仅~10~15 m。在~8~6 ka直至~1.5 ka，出现滞留相特征。接下来，~1.5 ka之后转为快速沉积期，加积厚度~10 m。

超星·期刊

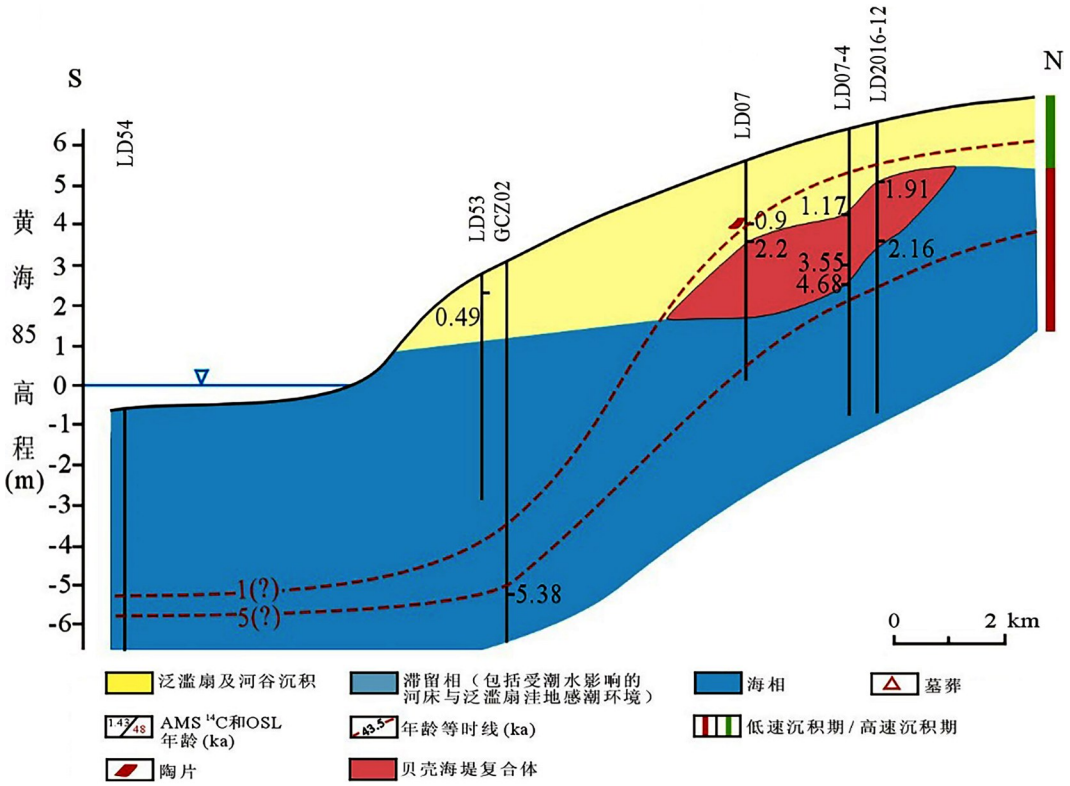

图5 过渡带类型II，小凌河河口(LD54)–娘娘宫(LD07)–蚂蚁屯(LD07–4)–二节地(LD2016–12)剖面，辽东湾罕见的贝壳质海滩复合体

Fig.5 Transitional Zone II: Xiaolinghe–Erjiedi Profile, A shelly beach complex, rarely found in the coastal plain of Liaodong Bay

中晚全新世浅海–潮间带沉积环境之后，在该地是~5~1 ka期间的持续的贝壳质海滩复合体，加积作用弱，保持相对稳定的海陆界线。随后是~1 ka以来的加速沉积，覆盖了该贝壳滩复合体。并将海岸线向海推进了>5 km

~1 ka的年龄常混淆。该时段历时长达6、7 ka之久，厚度仅1~2 m左右，高程通常在-10 m上下。

研究区从最北端的青堆子向南至现代海岸线地区，地表高程<5 m，并未更多地受到堆积出10 m阶面的~3 ka的快速加积事件(图4)的影响，5 m以下地区从未发现战国或更早的遗存，即便是零星的、可能的汉代遗址(如小清村“小盐滩”，图1:no.32)[34,35]，亦为流民的孤立遗存而已。同时，在大量钻孔中，~8~6 ka时常发育历时数千年、直至~1.5 ka时的粗糙的“滞留相”沉积物，高程通常在-10 m上下，从~8~6 ka时的海面位于~-12~1 m到距今1 ka左右的0 m[36,37]，加之高潮水的袭扰，不具备有助于先民向南深入卑湿的沿海低地的地质地貌条件。~3 ka时的加速堆积仅形成了研究区西北侧(及研究区东北侧外缘)的10 m阶面，而下一次加速堆积还要等到~1.5~1 ka之后。总体上，公元后第一个千年时，研究区中南部5 m高程之下不具备先民生存的自然条件，东征乌桓之所以艰难，原因即在于此。

8~6 ka与1.5 ka之间的低速沉积(滞留层)，向陆地一侧同样存在。新民砖场6.24 ka的原生海相贝壳证实~6~5 ka时海水控制的潮间带环境向研究区北部内陆伸展最远处至新民砖场以北、甚至青堆子一带(图3)。上覆层厚度~2~3 m，海侵达到最大边界处的沉积速率~0.3 mm/a，青堆子一带直至地表仍保持沼泽环境，这是研究区北部的普遍现象。研究区东北部高升地区低速沉积在~5~1.5 ka时段，沉积厚度仅~0.2 m。暗示着研究区最北端(沿辽东湾长轴NNE方向)也有类似的低速沉积过程[21]。

通过右卫、大金的~10 m阶面，是在~3 ka时形成的。原因是：1)10 m阶面的泛滥扇陆相沉积厚~8~10 m，下伏海相层顶板是全新世海侵之后海退潮间带的顶面，时间当在~5 ka之后；2)该阶面上发现战国遗存[34,35]。这两方面即将这一陆相层的时间限制在~4~3 ka之间。

~5~1 ka时段海水直抵研究区西侧平原与丘陵过渡带，从山前的马华村向东南的娘娘宫–二节地–

超星·期刊

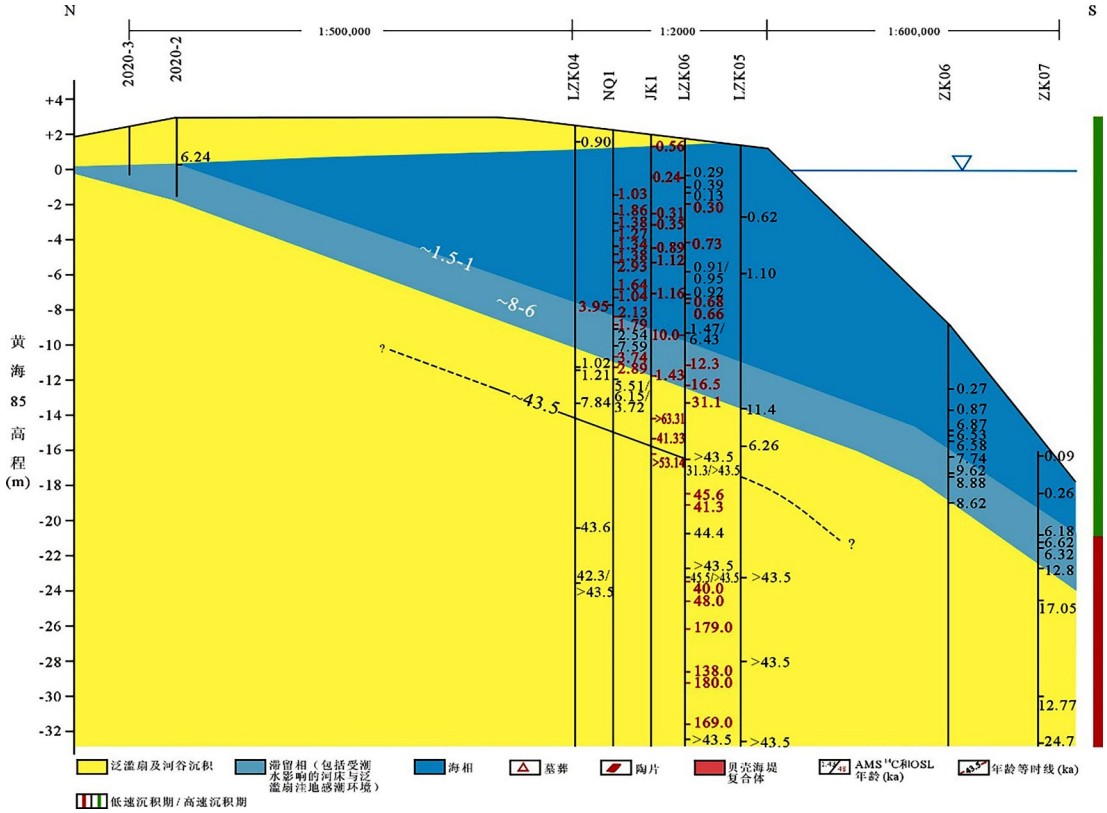

图3 垂直现代海岸线的近南北向剖面(青堆子-新民砖场-大凌河河口)

Fig.3 A near north-south oriented profile, perpendicular to present shoreline, from Qingduizi via Xinmin Brickyard to the Dalinghe Mouth area

接近全新世海侵边界处的新民砖场(2020-2)记录了海相沉积物的高程在0 m上下、年龄6.24 ka。向南在现代海岸线处的一组钻孔岩心大致同一时间范围(~8~6 ka)的海相沉积高程是~-10 m。~-10m之上即转为1.5 ka以来的快速沉积特征。

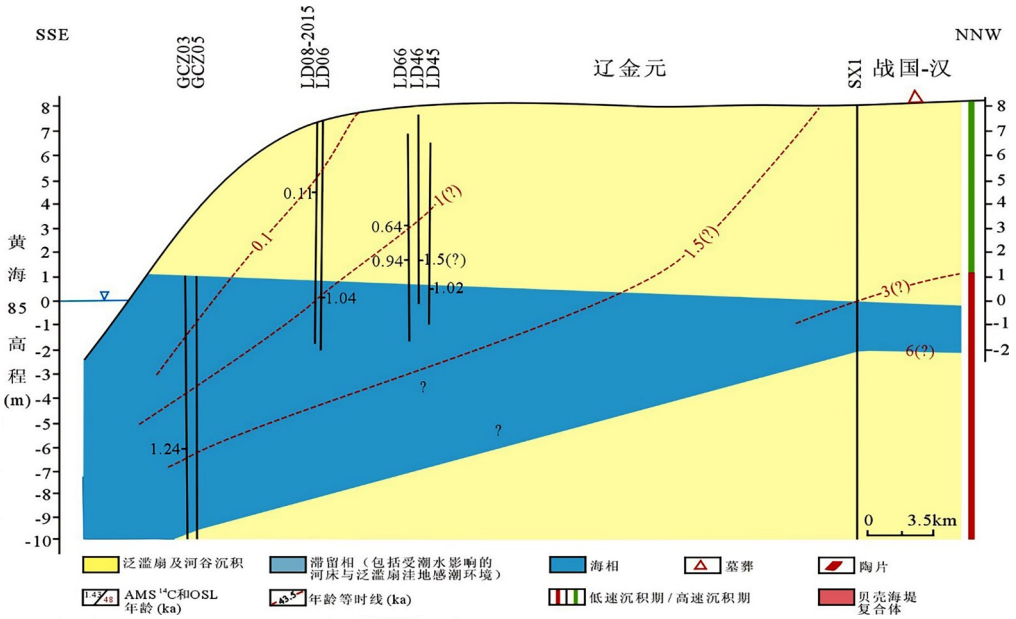

图4 过渡带类型I,西树林(LD06)-沙门子(LD45)-优字屯(LD66)-大金(SX1)剖面

Fig.4 Transitional Zone I: Xishulin-Shamenzi-Youzitun-Dajin Profile

显示~3 ka和1.5 ka以来的两次加速沉积期。~3 ka时右卫一带的快速沉积事件在SX1孔海相层上堆积了厚层泛滥扇,形成供战国-西汉先民居停的辽东湾~10 m阶面。~1.5~1 ka时的西树林-沙门子-优字屯第二次快速沉积,基本奠定了辽东湾的现代地貌格局。

超星·期刊

蚂蚁屯,在3~4 km的宽度上[6],贝壳质海滩复合体岸线停顿了约5千年(图5)。晚全新世晚期~1 ka之后的仅有的一次加积,形成了厚~2 m的、粗糙的洪积扇泥层(娘娘宫贝壳层上覆泥质盖层1.8 m、二节地1.5 m、蚂蚁屯2.2 m)。娘娘宫在比贝壳层顶板高0.36 m处的泥层下部发现辽金陶片(图5),说明在娘娘宫贝壳海滩层顶部的2.2 ka与陶片的~1 ka之间,仅堆积了不足40 cm。与图3的研究区最北部相比,这儿是另一种形式的低速沉积,即图3是平原上的泛滥扇低速期的情况,而这儿是更靠近丘陵的洪积扇低速期。

在整个辽东湾沿海平原,~1.5~1 ka时的快速加积,更为普遍。这次事件在西部(西树林–绥丰屯–沙门子)由具二元结构的砂砾石层和上覆厚达~5~6 m的泛滥扇远端洼地–泛滥扇中段细砂和泥质层组成。向东,砂砾石层消失,沼泽洼地的棕灰色有机质泥直接覆于潮间带细砂泥质沉积之上。西树林、沙门子和优字屯从西向东在泛滥扇底部的3个^{14}C年龄1 047 a、1 021 a和841 a,显示向东侧更低洼处年龄逐渐年轻的趋势,反映了陆源沉积从研究区西北侧进入研究区中部的过程。考虑到二元结构下部的砂砾石层,推测这一加积事件约发生于~1.5~1 ka时,为辽金元先民提供了扩张的条件。

发现于晚更新世晚期的低速沉积期,直至~6~5 ka时到达全新世最大海侵边界仍保持着,甚至海侵边界以外的"古辽泽"最外缘也连带地处于低速状态(如青堆子,图3)。总体上,低速沉积体的分布,空间上向陆逐渐升高,在~1.5 ka时结束于现代海岸线以北~60~70 km、现代~0 m高程的辽泽边界处(青堆子附近)。高升一带孤立封闭的~5~1.5 ka时段的、沉积厚度0.2 m的停滞现象也是这一过程的记录[21]。只是在~3 ka和~1.5 ka时,先在研究区外围、后在研究区全境出现两次快速堆积。辽泽分两次部分地被充填(第二次充填覆盖面积要大得多!)。随后又有距今~0.5 ka以来的盘锦湾快速充填[14],因此研究区南部一般不可能存在先民遗存。极个别的例外,是小清村的汉代遗存,我们将有另文讨论。

本文再次证实了作者所在团队关于海岸带沉积速率存在变化的认识[38-41,15],更进一步根据海陆标志点对沉积速率的时空变化做了划分,勾勒出大致的等时线分布(图2),可为辽东湾海陆沉积模式研究提供参考。

5结论

我们通过一组海陆变化标志点,证实了前人关于研究区晚更新世以来沿海低地沉积存在低速、快速差别的认识,进而以一组剖面及相应的沉积等时线定量地描述了低速、快速带的时空分布特征。本文认为,这一基本特征,是研究区全新世地质地貌格局、海侵与古辽泽时空分布的基础。我们的基本结论是:

(1)低速沉积期发生于>40 ka之前,~8~6 ka至1.5 ka的、历时最长达7 ka的滞留期,可归入低速期。进入全新世后低速期存在的原因是海面快速上升[36,37,42]为沉积物提供了巨大的调适空间[43]。但是,迟至海侵达到最大边界的~6 ka、甚至更晚时,仍没有足够的陆源物质填补这一扩大的调适空间。

(2)快速沉积期时空分布分为两次:1)~3 ka时形成10 m阶面;2)~1.5~1 ka覆盖了沿海平原的大部和西侧丘陵–平原过渡带,构成了现代辽东湾的基本地理轮廓,并对该地区两次先民扩张产生了决定性的控制作用。。

本文揭示的辽东湾沿海平原西部晚更新世以来沉积的低速、快速时空分布特征,启示我们在21世纪气温上升–海面上升、因人类活动而使入海河流沉积物明显减少的双重背景下,制定应对、适应预案时考虑辽东湾沿海将可能重新进入新的、百年–千年尺度的"低速沉积期"的可能性。

致谢:中国地质调查局沈阳地质调查中心江山高级工程师测量部分地质点的高程、原锦州市博物馆吴鹏馆长鉴定陶片并提供考古资料、天津地质调查中心汪翡翠工程师提供遥感影像,一并致谢。

参考文献:

[1] 辽宁省地质局水文地质大队.辽宁第四纪[M].北京:地质出版社,1983a,1–133.

[2] 辽宁省地质局第一水文地质工程地质大队.辽宁省锦县大小凌河扇地地段综合水文地质勘察报告(1/50 000)[R].1983b,1–145.

[3] 辽宁省地质局第一水文地质工程地质大队.辽宁省北镇地区1/5万综合水文地质勘察报告[R].1985,1–143.

[4] 符文侠.下辽河平原和辽东半岛海岸带晚更新世以来的海侵[J].地理研究,1988,7(2):73–80.

[5] 李建芬,王宏,阎玉忠,等.环渤海海岸带近代沉积环境报告[R].2006,1–244.

[6] 裴艳东,王宏,李建芬,等.小凌河下游晚全新世地层与环境[J].地质调查与研究,2007,30(3):192–212.

[7] 李萍,徐元芹,李培英,等.辽东湾北部LH01孔晚更新世

超星·期刊

24 ka以来的古环境演变[J].海洋科学进展,2014,32(2):59-67.
[8] 马宏伟,崔健,车继英,等.辽宁沿海晚第四纪地质环境演化与现代过程研究报告[R].2015a,1-97.
[9] 马宏伟.辽河三角洲全新世以来的环境演变[J].地质论评,2015b,61(增刊):687-688.
[10] 马宏伟,车继英,马诗敏,等.辽河三角洲LZK03孔全新世环境演变[J].地质通报,2016,35(10):1571-1577.
[11] 何磊,薛春汀,叶思源,等.大凌河河口地区晚更新世晚期以来的沉积环境演化[J].海洋学报,2016,38(5):108-123.
[12] 张可欣.辽东湾北部晚更新世末期至全新世早期古气候演化—基于LZK06孔粘土矿物研究[D].中国地质大学(北京),2017,1-40.
[13] HE L, XUE C T, YE S Y, et al. Holocene evolution of the Liaohe Delta, a tide-dominated delta formed by multiple rivers in Northeast China[J].Journal of Asian Earth Sciences, 2018,152, 52-68.
[14] 刘大为.辽河-大凌河三角洲400年的演化研究[D].中国地质大学(北京),2019,1- 232.
[15] 商志文,李建芬,姜兴钰,等.大凌河河口地区中更新世晚期以来沉积环境演化[J].地质学报,2020,94(8):2433-2445.
[16] 郭维,商志文,李建芬,等.大凌河河口地区中更新世晚期以来沉积环境演化[J].地质调查与研究,2020,43(4):333-340.
[17] YANG S X, GU F, SONG B, et al. Holocene vegetation history and responses to climate and sea-level change in the Liaohe Delta[J]. Northeast China, Catena, 2022, 217, 106438.
[18] SUN S, LI Y, LIU D W et al. Clay Mineralogical Records in the North Bohai Coast of China in the Last Century: Sediment Provenance and Morphological Implications[J]. Frontiers in Earth Science, 2022a, 10, doi: 10.3389 / feart.2022.865839.
[19] SUN S, ZHU L Y, HU K ET AL. Quantitatively distinguishing the factors driving sediment flux variations in the Daling River Basin[J]. North China, Catena, 2022b, 212, 106094.
[20] 王忱沛,李琰,商志文,等.渤海LZK06孔25万年沉积物粒度特征及沉积环境意义[J].海洋科学进展,2022,40(1): 66-78.
[21] LI Y, TSUKAMOTO S, HU K, et al. Quartz and K-Feldspar post-IR IRSL dating of sand accumulation in the lower Liaoning Plain (Liaoning, NE China)[J].Geochronometria, 2017, 44, 1-15.
[22] LI Y, SHANG Z W, TRUKAMOTO S, et al. Quartz and k-feldspar luminescene dating of sedimentation in the North Boahi coastal area (NE China) since the late Pleistocene[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2018, 152, 103-115.
[23] LI Y, TRUMAMOTO S, SHANG Z W, et al. Constraining of the transgeression history in the Bohai Coast China since the middle Plestocene by luminescence[J]. Marine Geology, 2019, 0025-3227.
]24] 夏磊.环渤海淤泥质海岸全新统光释光年代学研究[D].中国地质大学(北京),2022,1-52.
[25] 商志文,李建芬,王宏,等.中国气候变化海岸带沉积记录调查成果报告[R]. 2016,1-122.
[26] 谭其骧(主编).中国历史地图集[M].北京:中国地图出版社,1982,1-8册.
[27] 肖忠纯.古代"辽泽"地理范围的历史变迁[J].中国边疆史地研究,2010,20(1):106-114.
[28] 邹逸麟.中国历史地理概述(第三版)[M].上海:上海教育出版社,2013,71-73.
[29] GAO S, COLLINS M B. Holocene sedimentary systems on continental shelves[J].Marine Geology, 2014, 352, 268-294.
[30] 李建芬,商志文,王福,等.渤海湾西岸全新世海面变化[J].第四纪研究,2015,35(2):243-264.
[31] 商志文,陈永胜,姜兴钰,等.渤海湾西岸西汉先民用海的新发现及对"西汉海侵"的启示[J].地质论评,2015,61(6):1468-1481.
[32] SHANG Z W, WANG F, LI J F, et al. New residence times of the Holocene reworked shells on the west coast of Bohai Bay, China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2016, 115, 492-506.
[33] LI J F, SHANG ZNW, WANG F, et al. Holocene sea level trend on the west of Bohai Bay: Reanalysis and standardization[J].Acta Oceanographica Sinica, 2021, 40(7):198-248.
[34] 国家文物局.第三次全国文物普查不可移动文物登记表[R]. 凌海市,2008,.
[35] 国家文物局.中国文物地图集,辽宁分册(下)[M].西安:西安地图出版社,2009,563-570.
[36] LAMBECK K, ROUBY H, PURCELL A,et al. Sea level and global ice volume from the Last Glacial Maximum to the Holocene[J]. PNAS, 2014, 111, 15296-15303.
[37] PELTIER W R, ARGUS D F, DRUMMOND R. Space geodesy constrains ice age terminal deglaciation: The global ICE-6G-C (VM5a) model[J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 2015, 120(1): 450-487.
[38] 商志文.天津滨海新区CH19孔:渤海湾西北部浅海区晚更新世以来的环境演变[D].吉林大学,2007,1-73.
[39] 陈永胜,王宏,裴艳东,等.渤海湾西岸晚第四纪海相地层划分及地质意义[J].吉林大学学报,2012,42(3):747-759.
[40] 陈永胜,王福,田立柱,等.渤海湾西岸全新世沉积速率对河流供给的响应[J].地质通报,2014,33(10):1582-1590.
[41] TIAN L Z, CHEN Y S, JIANG X Y, et al. Post-glacial sequence and sedimentation in western Bohai Bay, China, and its linkage to global sea-level changes[J]. Marine Geology, 2017, 388, 12-24.
[42] MILLER K G, SCHMELZ W J, BROWNING J V, et al. Ancient sea level as key to the future[J]. Oceanography, 2020, 33(2): 33-41.
[43] BLUM M D, TÖRNQVIST T E. Fluvial responses to climate and sea-level changes: a review and lookforward[J]. Sedimentology, 2000, 47 (Suppl. 1), 2-48.