DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2020.02.001
引用格式:蒋仁,曾剑威,刘凯,等. 郯庐断裂带泗洪段晚中生代以来地层特征及其沉积-构造响应——以SHJ02钻孔为例[J]. 华东地质,2020,41(2):97-107.

郯庐断裂带泗洪段晚中生代以来地层特征及其沉积-构造响应——以SHJ02钻孔为例

蒋 仁,曾剑威,刘 凯,李长波,周效华,赵 玲,于俊杰,彭 博,劳金秀

(中国地质调查局南京地质调查中心,南京 210016)

摘要: 江苏泗洪及周边地区晚中生代以来的沉积盆地演化及现今地形地貌的形成,主要受控于郯庐断裂带泗洪段多期构造活动。新近纪—第四纪松散沉积物完整记录了新构造运动控制下的沉积基底起伏特征和沉积物堆积过程。文章以泗洪段SHJ02钻孔为例,在钻孔岩心特征分析及地层序列划分的基础上,探讨了该区古地理环境及构造演化特征。SHJ02钻孔孔深246.00 m,自上而下揭示的地层包括:第四系(埋深0~47.43 m)、新近系(埋深47.43~239.52 m)、晚白垩世红层(埋深239.52~242.70 m)及早白垩世火山岩(埋深>242.70 m)。该区晚中生代—新生代地层序列和沉积格架特征,揭示了郯庐断裂带泗洪段晚白垩世断陷沉积、古近纪隆升剥蚀、新近纪伸展环境下河-湖相沉积,以及第四纪晚期挤压背景下快速隆升的构造演化过程。新近纪—第四纪河道演化变迁、河-湖相频繁交替等沉积体系的快速转换是对郯庐断裂带泗洪段新构造运动的响应。

关键词: 新近系;第四系;地层序列;新构造运动;郯庐断裂带泗洪段;江苏

中图分类号: P546;P532;P534.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-1871(2020)02-97-11

郯庐断裂带是亚洲大陆东部一条大型岩石圈断裂,在中国境内延伸约2 400 km,最早形成于印支期碰撞造山阶段,具有长期、多阶段演化历史[1-5]。新生代以来,郯庐断裂带强烈活化,控制了渤海湾盆地及苏北盆地的形成演化、沉积发育及油气成藏等,也是我国东部地区一条重要的地震构造带[6-8],对研究中国大陆东部新生代构造演化、动力学背景及地壳稳定性具有重要意义。江苏泗洪地区是新生代世界生物进化和人类起源中心之一,泗洪县双沟镇发现的下草湾动物群被古生物学家称为"中新世生物化石的宝库",体现了新生代中新世该地区地质、环境及生物的多样性,对研究新生代植物、软体动物、脊椎动物及灵长目动物的演化具有重要意义[9-11]。20世纪以来,前人开展了大量基础地质和地球物理工作,如航磁、重力、大地电磁测深等[12-15],发现郯庐断裂带具有明显的航磁和重力异常特征,具有深切岩石圈并造成莫霍面异常及软流圈隆起的特点。随着年代学测试技术的发展,围绕郯庐断裂带变形历史陆续开展系列研究工作[16-23]。第四纪以来,郯庐断裂带进入新的构造活动期,控制和影响了泗洪地区第四纪沉积建造的形成和分布。因此,研究该断裂新生代以来,特别是第四纪断裂的活动性,对理解中国东部新生代动力学过程和地震活动规律具有重要意义。泗洪地区被第四系广泛覆盖,泗洪县重岗山一带是研究区出露最好的剖面,剖面完整、断层盘岩石出露新鲜,研究发现重岗山—王迁段曾发生的两次古地震,其年代依次为(11 755±45)~(10 525±45) a B.P. 和(10 135±50) a B.P.[24-25]。宿迁段则为全新世活动断层,距今5 900年发生过一次地震地表破裂事件[26]。以往研

* **收稿日期:** 2020-03-13 **修订日期:** 2020-04-27 **责任编辑:** 谭桂丽

基金项目: 中国地质调查局"长江三角洲沪宁杭地区区域地质调查(编号:DD20190043)"、"长三角覆盖区1:5万填图试点(编号:DD20160063)"项目联合资助。

第一作者简介: 蒋仁,1981年生,男,高级工程师,主要从事基础地质与第四纪地质研究工作。

究主要为区域地球物理解译和露头尺度解析，缺少系统的地层学证据。本文以 SHJ02 钻孔地层研究为依据，较全面地揭示了郯庐断裂带泗洪段晚白垩世断陷沉积、古近纪隆升剥蚀、新近纪伸展环境下河-湖相沉积及第四纪晚期挤压背景下快速隆升的构造演化过程，为泗洪地区晚中生代以来的沉积特征及古地理环境演化、构造活动研究提供可靠的地层学证据。

1 地质概况

研究区位于华北板块与扬子板块结合部位，郯庐断裂带呈近 SN 向贯穿全区。郯庐断裂带泗洪段位于苏北平原西北部，东侧为苏鲁造山带，西侧为华北板块徐淮隆起。该段宽 20～30 km，由 5 条主干断裂组成（图 1），由东向西分别为山左口—泗洪断层（F1）、桥北镇—宿迁断层（F5）、新沂—新店断层（F2）、墨河—凌城断层（F3）和纪集—王集断层（F4）。根据活断层规模、断距及对第四纪沉积和地貌的影响程度，判断晚更新世以来 F2 与 F5 活断层的活动性最强[27]。

郯庐断裂带主干断层差异性活动控制了区域晚中生代尤其是新近纪以来的沉积过程，形成了隆、凹相间的古地貌，自西向东分别为华北板块新元古代地层剥蚀区、中—新生代凹陷沉积区、中部重岗山晚白垩世红色砂岩剥蚀区和东部凹陷区，其中西部与中部剥蚀区之间的凹陷区沉积最厚，新近系与第四系厚度达 200 m 以上[28]。

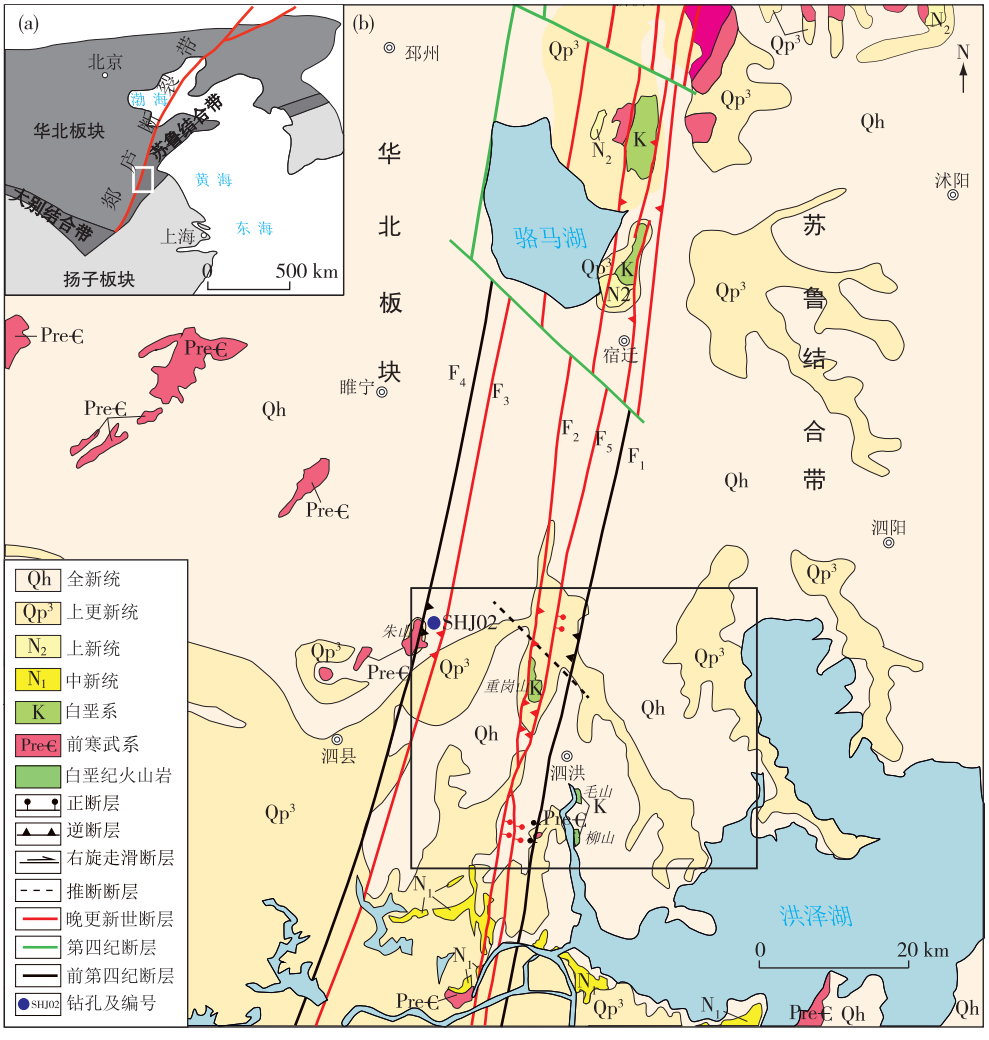


图 1 研究区大地构造位置(a)及区域地质图(b)

Fig. 1 Geotectonic location(a) and regional geological map(b) of the study area

2　钻孔岩心特征

SHJ02 钻孔位于江苏省泗洪县西北部、安徽省泗县刘圩镇小学东侧，由安徽省地矿局第一水文工程地质勘查院于 2016 年施工完成，孔深 246 m，测井深 245 m。钻孔自上而下揭穿了第四系、新近系和上白垩统，底部见早白垩世火山岩（未穿）。根据钻孔揭露的地层岩性组合特征，共分为 20 层，具体特征如下。

（20）0～1.20 m。顶部约 40 cm 为回填土；中、下部为灰褐色粉砂质粘土，上部含黑色有机质，偶见细小螺壳。与下伏地层呈平行不整合接触。

（19）1.20～24.13 m。主要为黄褐色、棕红色和青灰色粘土、粉砂质粘土，局部夹薄层粉砂，铁质浸染强烈。含钙质结核，中部富集成层，偶见螺壳。

（18）24.13～26.63 m。主要为灰黑色粉砂质粘土夹粘土质粉砂。弱水平层理，含大量蚌壳、螺壳碎块，AMS^{14}C 年龄为（55 330±2 270）a B.P.。含少量钙质结核，底部为灰白色粗砂。与下伏地层呈平行不整合接触。

（17）26.63～32.07 m。主要为黄褐色中细砂、粗砂、含砾粗砂，局部夹粉砂质粘土团块，顶部为铁锰富集层（古风化壳）。自上而下粒度逐渐变细，总体呈反粒序沉积层序。

（16）32.07～40.26 m。上部为黑色含粉砂粘土；下部为灰黄色粘土质粉砂、中粗砂、粗砂，含少量石英细砾、泥砾，近底部砂层铁质浸染强烈。与下伏地层呈平行不整合接触。

（15）40.26～43.13 m。上部为灰黑色、灰黄色含粉砂粘土夹深灰色中细砂层；下部为棕黄色、灰黄色粗砂，含少量石英细砾且底部较富集。

（14）43.13～47.43 m。主要为灰绿色、灰黄色粉砂质粘土，不显层理。上部铁质浸染较强；下部较弱；中部 45.20～45.25 m 钙质结核富集。与下伏地层呈平行不整合接触。

（13）47.43～58.86 m。主要为灰白色、浅肉红色半固结状钙质泥岩，顶部约 50 cm 为灰黑色富铁锰质层。

（12）58.86～64.86 m。顶部为深褐色含铁锰结核钙质粘土；中部和下部为灰绿色、灰白色钙质粘土夹灰绿色、灰黄色含粘土中砂。含大量钙质结核，总体固结性较强。

（11）64.86～79.62 m。主要为浅灰绿色中细砂、粗砂，夹灰绿色粉砂质粘土层，底部为灰白色、灰黄色石英砾。

（10）79.62～94.53 m。上部为灰绿色、黄褐色粉砂质粘土；中部为浅灰绿色、灰绿色粘土质粉砂，局部固结成粉砂岩；下部为灰绿色、黄褐色中-粗砂、含砾粗砂，含较多粘土质及半固结状砂岩团块，铁质浸染强烈。与下伏地层呈平行不整合接触。

（9）94.53～109.54 m。上部为黄褐色粉砂质粘土、粘土质粉砂，发育水平层理和交错层理，含钙质、铁锰质结核及铁质浸染斑块；下部为黄褐色、浅灰绿色粉砂，局部夹粘土质团块泥砾。

（8）109.54～137.28 m。主要为黄褐色、灰绿色粉砂质粘土、粘土，其中黄褐色粘土中见大量灰绿色条带。

（7）137.28～143.93 m。主要为棕黄色粗砂、灰绿色细砂，中部夹浅灰绿色、黄褐色粉砂质粘土，含大量细小钙质颗粒，顶部含少量泥砾，底部发育冲刷面。

（6）143.93～163.68 m。上部为黄褐色、浅灰绿色粉砂质粘土，铁质浸染强烈，含较多钙质团块；中部为黄褐色、浅灰色含粘土粉砂，含较多钙质团块及石英细砾；下部为浅黄绿色中粗砂、含砾粗砂，砾石以石英细砾及泥砾为主，偶见沉凝灰岩砾石。

（5）163.68～176.56 m。上部为浅灰绿色、灰白色粉砂质粘土，含大量钙质结核团块；中部为棕色粘土质粉砂，含较多粘土质及少量钙质团块；下部为半固结状砾岩，砾石成分混杂，以石英砾为主，其次为方解石，偶见沉凝灰岩碎块。

（4）176.56～200.11 m。上部为黄褐色、棕褐色、灰白色粉砂质粘土，含较多钙质及铁锰质结核；下部为黄褐色含粘土粉砂、细砂、中粗砂，含少量泥质、石英质细砾；底部见少量浅肉红色沉凝灰岩砾石。自上而下，粒度变粗。

（3）200.11～239.52 m。主要为坡积物，混杂堆积，含铁锰质结核、灰白色钙质团块。砾石成分主要为灰岩，分选差，大小混杂，次棱角—次圆，胶结物主要为下伏红色砂岩层风化物及少量粘土质。

（2）239.52～242.70 m。主要为砖红色含砾砂岩。砾石以石英砾为主，其次为凝灰岩碎块，砾石分选差，磨圆差，含较多火山物质及粘土质，火山物质多为灰白色细小颗粒，分布均匀。

（1）242.70～246.00 m。主要为土黄色、黄褐

色熔结凝灰岩。上部岩石较破碎，风化强烈；下部见较多绿泥石，块状构造，未见底。

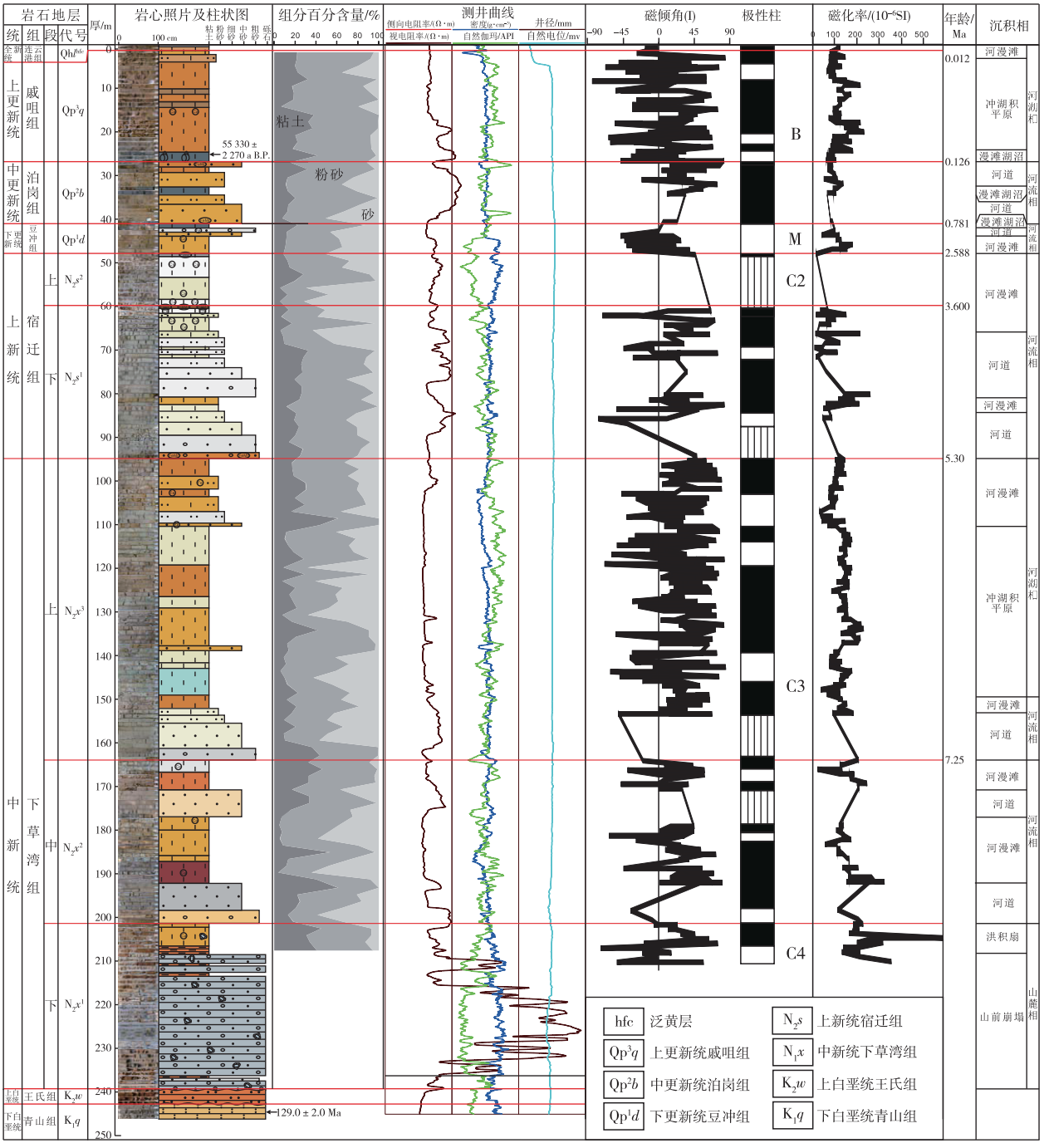


图 2 SHJ02 钻孔柱状图

Fig. 2 Columnar section of borehole SHJ02

3 地层时代及划分

3.1 材料与方法

所有测试样品均采自钻孔岩心。锆石 U-Pb 同位素测年样品采自底部火山岩，在武汉上谱分析科技有限责任公司完成测试。采用常规方法分选出锆石，将锆石颗粒及标样制成环氧树脂靶后进行透射光和反射光照相、锆石阴极发光图像(CL)分析，选择适宜的测试点位进行测试。^{14}C 同位素样品主

要采集沉积物中螺(贝)壳等生物碎屑,在中国科学院地球环境研究所西安加速器质谱中心^{14}C 加速器测年实验室完成测试。AMS ^{14}C 测定值以 5 568 a 为半衰期计年,使用国际^{14}C 委员会提供的 CALIB4.4 校正程序对测试数据进行校正。古地磁样品均采用直径 2.54 cm 的无磁性塑料圆盒装载,标注顶、底方向,单件样品平均重约 10 g。粘土采样间隔 20 cm,砂层采样间隔 50 cm,在中国地质调查局南京地质调查中心古地磁实验室完成测试。剩磁测量采用美国 Schonstedt 仪器公司生产的"DSM-2"型数字旋转磁力仪,磁化率采用"HKB-1"高精度磁化率仪测试,测试精度为 2×10^{-7} SI,交变退磁采用"GSD-5"交变退磁仪,退磁峰值场最高值可达 100 mT,所有样品均进行了 5～90 mT 交变磁场的逐步退磁。

3.2　地层时代

前新近纪地层时代通过锆石 U-Pb 年龄标定。SHJ02 钻孔底部揭露的青山组熔结凝灰岩锆石 U-Pb 年龄为 129.0±2.0 Ma(图 3),属于早白垩世。

新近纪地层时代主要依据研究区发现的古生物化石进行区域对比,第四纪地层主要依据古地磁和^{14}C 同位素年龄标定。

泗洪县下草湾、峰山等地区下草湾组(N_1x)先后发现 *Dionysopithecus shuangouensis*[29]、*Stephanocemas* sp.、*Anchitherium* sp.[30]、*Platodontopithecus jianghuaiensis*[31]、*Youngofiber sinensis*[32]、*Cricetus*[33]等古脊椎动物化石,均属中新世中、晚期。所含植物孢粉 *Podogonium oehningense*、*Quercus sinomiocenicum*、*Castanea miomollisima*[30],时代也为中新世。钻孔以东的重岗山人工采砂坑广泛分布的宿迁组(N_2s)砂砾层剖面中曾发现 *Ctenopharyngodon* sp.、*Mylopharyngodon* sp.、*Pelteobagrus* sp.等鱼类及瓣鳃类化石[30],其时代为新近纪上新世。

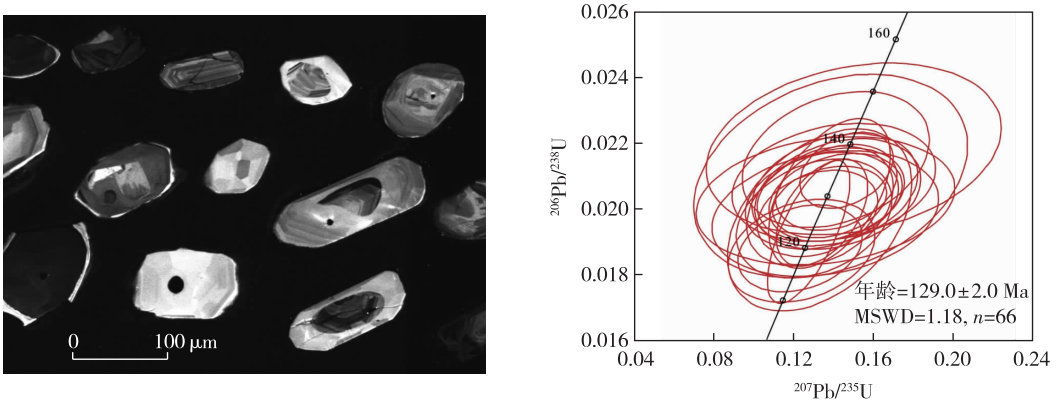


图 3　SHJ02 钻孔熔结凝灰岩锆石 CL 图像(a)及 U-Pb 年龄谐和图(b)

Fig. 3　CL image(a) and U-Pb age concordia diagram(b) of the zircons in ignimbrite from borehole SHJ02

SHJ02 钻孔古地磁极性显示,埋深 40.26 m 以浅以正极性为主,属于布容正极性世;40.26～47.43 m 段为负极性,属于松山负极性世。40.26 m 处为正、负极性的分界,即早、中更新世地层的分界线。其他段正、负极性变化受地层缺失、沉积物岩性及固结程度等因素影响,仅作为地层划分的参考。

钻孔上部地层绝对年龄标定采用 AMS ^{14}C 测年。SHJ02 钻孔缺少稳定的碳屑层,仅零星见少量蚌壳等生物碎屑。对测试结果进行了必要筛选,若下部年龄值较上部年龄值小,则可能为搬运再沉积碳,取下部较小年龄值而舍弃上部较大年龄值(表 1)。

3.3　地层划分

根据钻孔揭露的地层岩性特征,结合古地磁极特征,自下而上划分为白垩系、新近系和第四系。

(1)白垩系。分为早白垩世青山组(K_1q)和晚白垩世王氏组(K_2w)。

青山组埋深 246.0～242.7 m,主要为火山岩,岩性为熔结凝灰岩,风化较强。研究区南部毛山、柳山出露青山组,以凝灰质火山角砾岩为主。王氏组埋深 242.7～239.52 m,主要为红色粉砂岩、泥质粉砂岩,出露在钻孔东侧重岗山地区,底部为含片麻岩砾石的红色砂砾岩。

表 1 钻孔 AMS ^{14}C 测年结果

Table 1 AMS ^{14}C dating results of core samples

样品编号	采样深度/m	测年材料	$\delta^{13}C$/‰		pMC/%		^{14}C 年龄/a B.P.	
			$\delta^{13}C$	误差(1σ)	pMC	误差(1σ)	^{14}C 年龄	误差(1σ)
SHJ1-^{14}C-1	2.1	贝壳	−9.24	0.18	88.40	0.31	990	30
SHJ1-^{14}C-2	29.5	贝壳	−5.58	0.13	0.22	0.03	49 081	1 250
SHJ02-^{14}C-1	24.3	蚌壳	−4.16	0.13	0.10	0.03	55 330	2 270
SHJ02-^{14}C-3	24.7	贝壳	−4.16	0.21	0.09	0.02	>50 000	

注:^{14}C 半衰期为 5 568 a,自 1950 年起算

(2)新近系。分为中新世下草湾组(N_1x)和上新世宿迁组(N_2s)。

下草湾组沉积物岩性组合及沉积旋回可分为下段、中段和上段。下段(N_1x^1)埋深 239.52～200.11 m,主要为砾石层和半固结状砾岩,顶部为棕黄色含砾粘土,局部夹红色泥质粉砂岩风化残积层。砾石以灰岩为主,分选差,大小混杂,大者直径>11 cm,呈棱角、次棱角状,胶结物为红色泥质粉砂岩风化后残留的粉砂质粘土和灰岩溶解淋滤再沉积的方解石。钻孔以西见大量新元古代灰岩出露。因此,该段地层为构造作用下的山前崩积物,属近源堆积。中段(N_1x^2)埋深 200.11～163.68 m,主要为棕黄色和棕红色砂、粘土组合。包括 2 个沉积旋回,自下而上分别为:第 1 旋回埋深 200.11～176.56 m,下部为浅黄色、灰黄色中粗砂、细砂,厚约 8.13 m;上部为灰紫色、褐黄色粘土、粉砂质粘土,含大量钙质、铁锰质结核,厚约 15.42 m。第 2 旋回埋深 176.56～163.68 m,下部为浅棕红色砂层,向上粒度逐渐变细,粗砂含少量细砾、细砂、粉砂,厚 7.32 m;上部为灰绿色粉砂质粘土,含大量灰白色钙质结核,厚 5.56 m,总体以河流沉积为主。上段(N_1x^3)埋深 163.68～94.53 m,正粒序沉积,下部为灰绿色中细砂层,厚 11.84 m;上部为灰绿色、棕褐色、棕黄色粘土、粉砂质粘土,厚 57.31 m。沉积物以灰绿色、灰蓝色为主,属于河-湖相沉积。

宿迁组下段埋深 94.53～58.86 m,由 2 个正粒序沉积旋回组成。第 1 旋回埋深 94.53～79.62 m,下部为浅灰绿色、灰白色含砾粗砂、中砂、粉砂,向上粒度逐渐变细,厚 14.53 m。该套地层出露在钻孔以东重岗山地区,为灰白色玻璃质石英砂组,局部夹灰绿色粘土薄层或透镜体,结构松散,具厚层状水平层理。区域上,该石英砂组地层沿 F2 断裂近 SN 向呈带状分布。上部灰绿色粘土,后期氧化后呈黄褐色,顶部夹铁锰结核层,为暴露氧化面,厚 3.38 m。第 2 旋回埋深 79.62～58.86 m,下部为浅灰绿色中砂,局部夹灰绿色粘土,厚 14.76 m;上部为灰白色含钙质粘土,厚 6 m;顶部约 50 cm 含大量铁锰结核,为暴露氧化面。宿迁组上段埋深 58.86～47.43 m,主要为灰绿色、灰白色钙质粘土、半固结状钙质泥岩;顶部 50 cm 含铁锰质成分,显灰黑色。与上覆第四纪粘土层相比,其成分相似,但岩石固结程度等物性差异明显,二者呈平行不整合接触(图 4)。

(3)第四系。自下而上包括早更新世豆冲组(Qp^1d)、中更新世泊岗组(Qp^2b)、晚更新世戚咀组(Qp^3q)和全新世连云港组(Qhl)。

豆冲组埋深 47.43～40.26 m。下部为灰绿色粘土,后期经氧化铁染后呈棕黄色,厚 4.3 m;中部为灰黄色、浅灰绿色中粗砂夹粘土,厚 1.63 m;上部为灰黑色、灰褐色粘土夹细砂,顶部见冲刷侵蚀面,富含铁锰质结核,厚 1.24 m。

泊岗组埋深 40.26～26.63 m。主要为灰黄色、棕黄色粗砂、细砂、粉砂,中部夹 1.8 m 厚灰黑色富有机质粘土。顶部 40 cm 为黄褐色粗砂-细砾富含铁锰质,为沉积间断面。

戚咀组埋深 26.63～1.42 m。底部为灰黑色富有机质粘土,含蚌壳(AMS^{14}C 年龄为 55 330±2 270 a B.P.);中、上部为黄褐色、棕黄色粘土,含铁锰质、钙质结核,局部夹粉砂。

连云港组埋深 1.42～0 m。红褐色淤泥质粘土,为历史黄河夺淮经此洪泛淤积形成的“黄泛层”,西侧相邻的 SHJ01 钻孔 AMS^{14}C 年龄为990±30 a B.P.(埋深 2.1 m);顶部为人工扰动的耕作层。

4 晚中生代以来古地理环境及新构造特征

4.1 古地理环境演化

SHJ02 钻孔以西朱山地区属华北陆块,出露新

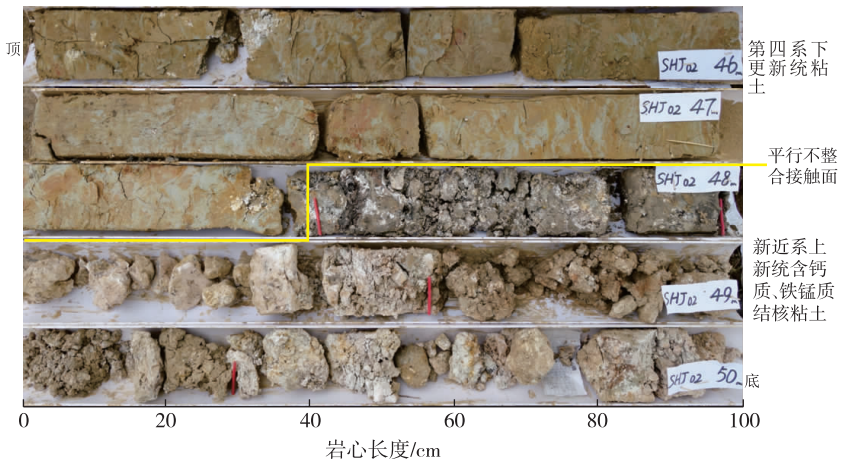


图 4　新近系与第四系呈平行不整合接触照片

Fig. 4　Photographs of the parallel unconformity contact between Neogene and Quaternary

元古代碳酸盐岩、石英岩。SHJ02 钻孔位于朱山东侧山前，根据区域地质及浅层地震剖面资料[34]，发现古生代—中生代早期，在区域整体挤压的构造背景下，研究区为隆升剥蚀区。中生代晚期，早白垩世火山岩不整合覆盖于新元古代地层之上。晚白垩世，受区域伸展应力作用影响，SHJ02 钻孔及以东地区形成断陷湖盆，沉积了较厚的陆相红色砂岩，其中钻孔所处的断陷湖盆西侧地层沉积较薄，仅 3 m 左右。上覆为新近纪早期崩积层砾岩，二者呈不整合接触(图 5(a))。

新近纪早期，在郯庐断裂带泗洪段新构造运动影响下，研究区沉积了近 40 m 厚的崩积层砾岩。砾石多为华北陆块新元古代灰岩和次生方解石，主要呈棱角-次圆状，大小不等，胶结物包括粘土和上白垩统红色砂岩风化搬运物质，为近源堆积(图 5(b))。新近纪中晚期沉积的砂砾、砂及粘土层主要是河流相与湖相交替形成的。通过区域对比，发现中新世与上新世河流物源、古流向及规模存在较大差异：中新世物源区为西部华北陆块碳酸盐岩，河流呈 NNW—SEE 流向；上新世物源主要来自郯庐断裂带沿线石英岩等高压、超高压变质岩区，河流呈近 S—N 流向。研究区河流改道及沉积体系的重大转换是对该时期新构造运动的响应。

第四纪，研究区主要为河-湖相沉积，二者交替频繁。河流相砂层多呈灰黄色、棕黄色，属分支河道、漫滩亚相；湖相粘土层为灰黑色，富有机质，为浅水湖沼沉积(图 5(c))。晚更新世晚期，研究区以漫滩亚相粘土为主，受后期地下水水位和淋滤作用影响，地层中含较多铁锰质、钙质结核。该套地层中先后发现 *Palaeoloxodon huaihoensis* 骨架化石[35]，埋藏地层年龄距今约 50 000 a[36]，反映了较炎热的亚热带古气候环境[37]。全新世，研究区局部洼地沉积了湖沼相灰黑色粘土，钻孔所处区域受垅岗地形影响，以侵蚀为主，仅在黄河夺淮期间(公元 1 128～1 855 年)[38]，黄、淮水系共同携带的大量沉积物质季节性洪泛至此，淤积形成厚度近 1 m 的“黄泛层”。

4.2　新构造特征

根据 SHJ02 钻孔揭露的地层特征，结合区域地质资料，新近纪时期研究区总体为伸展应力构造环境，在晚白垩纪断陷湖盆的基础上，继承性发育河-湖相沉积。早期受新构造作用影响，靠近西侧朱山山前一侧堆积形成了较厚的崩积层砾岩(图 5(b))。中晚期持续的断陷活动，使区内发育近 SN 流向古河流，沉积了近 200 m 厚的松散堆积物。早期河道主要分布在断裂带西部 F3 与 F2 断层之间，河道区宽缓；随着东侧 F2 断层活动加强，持续断陷迫使古河流逐步向东靠近 F2 断层一侧迁移，同时河道收缩变窄；至晚期古河道仅分布在 F2 与 F1 断层之间的狭长区域(图 6)。同时，古河流物源也由早期的西部华北地层碳酸盐岩区转换为断裂带超高压变质岩区。区内古河流改道、沉积体系与环境发生改变，均受郯庐断裂带新构造运动控制。

第四纪早更新世—晚更新世早期，河流相、湖相沉积物粒度、颜色及沉积水深多次快速变化，反

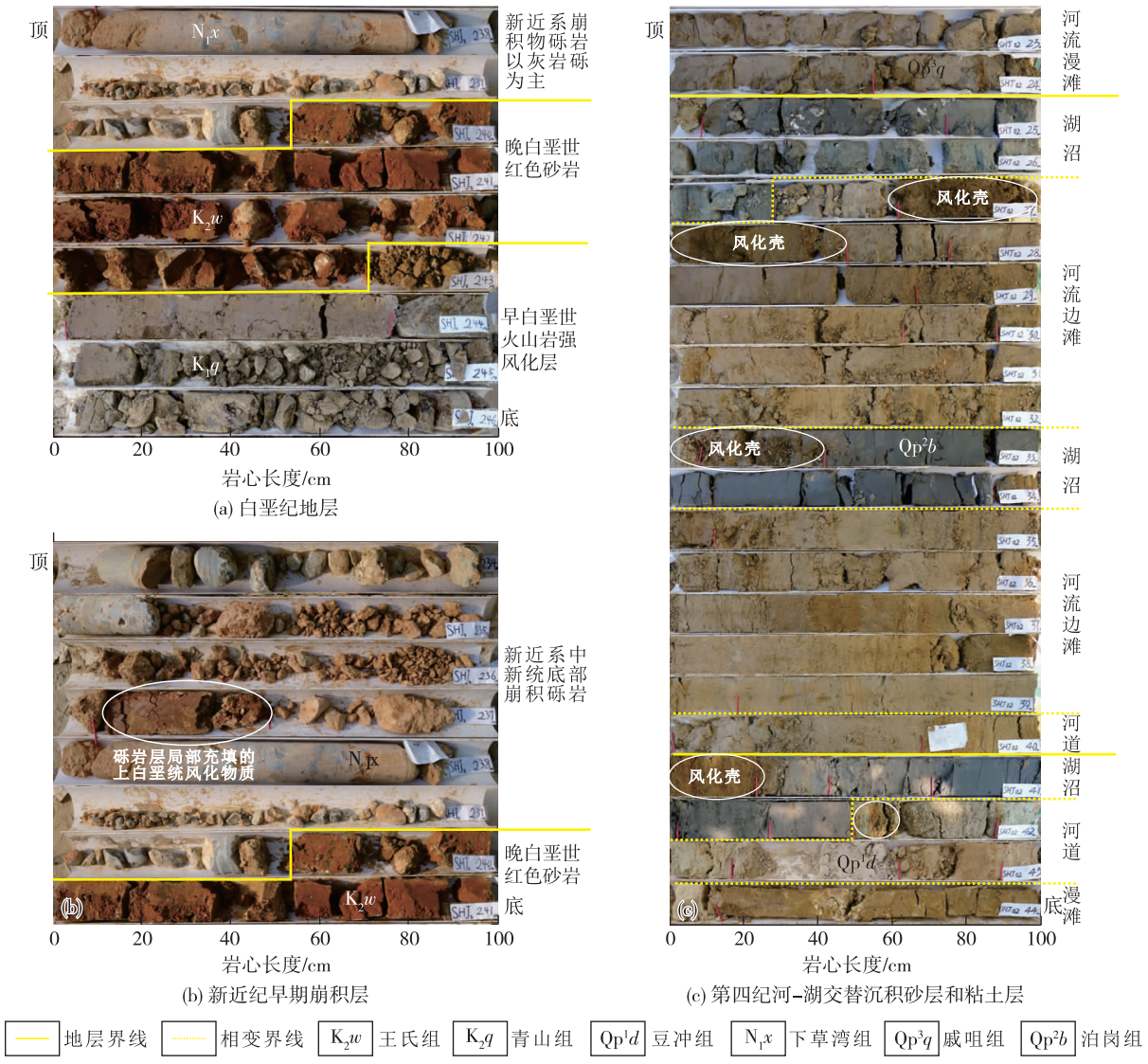


图 5 SHJ02 钻孔典型岩心照片及沉积特征

Fig. 5 Photographs of typical cores showing the sedimentary characteristics of borehole SHJ02

映在强构造作用下，研究区古河流发生堰塞并改道，河流相向湖相快速转换（图 5(c)）。晚更新世晚期，区域应力场发生重大转换，由早期（新近纪—第四纪早期）伸展构造环境转换为晚期（第四纪晚更新世以来）挤压构造环境，快速抬升使重岗山等地区埋藏的晚白垩纪红层以及上新世时期河流相砂砾层逆冲至第四纪晚更新世粘土层之上，形成了钻孔北侧北老山和东侧重岗山等一系列线性隆起和隆-凹相间的地形地貌（图 6）。

5 结论

（1）SHJ02 钻孔自上而下揭示了第四纪和新近纪松散地层的沉积特征，古近纪地层缺失，底部见晚白垩世王氏组红层和早白垩世青山组火山岩（未穿）。

（2）晚白垩世，郯庐断裂带泗洪段为伸展构造环境，形成东部断陷湖盆；古近纪，该区整体挤压隆升，地层缺失；新近纪，该区总体为伸展构造环境，以河-湖相沉积为主；第四纪晚期，区域发生构造转换，由早期的伸展构造环境转换为晚期的挤压构造环境，局部快速抬升，形成垅-洼相间的地形地貌。

（3）SHJ02 钻孔揭露了郯庐断裂带泗洪段新近纪较完整的河-湖相地层、中新世与上新世之交古河流改道、第四纪早期沉积体系与构造环境快速转换

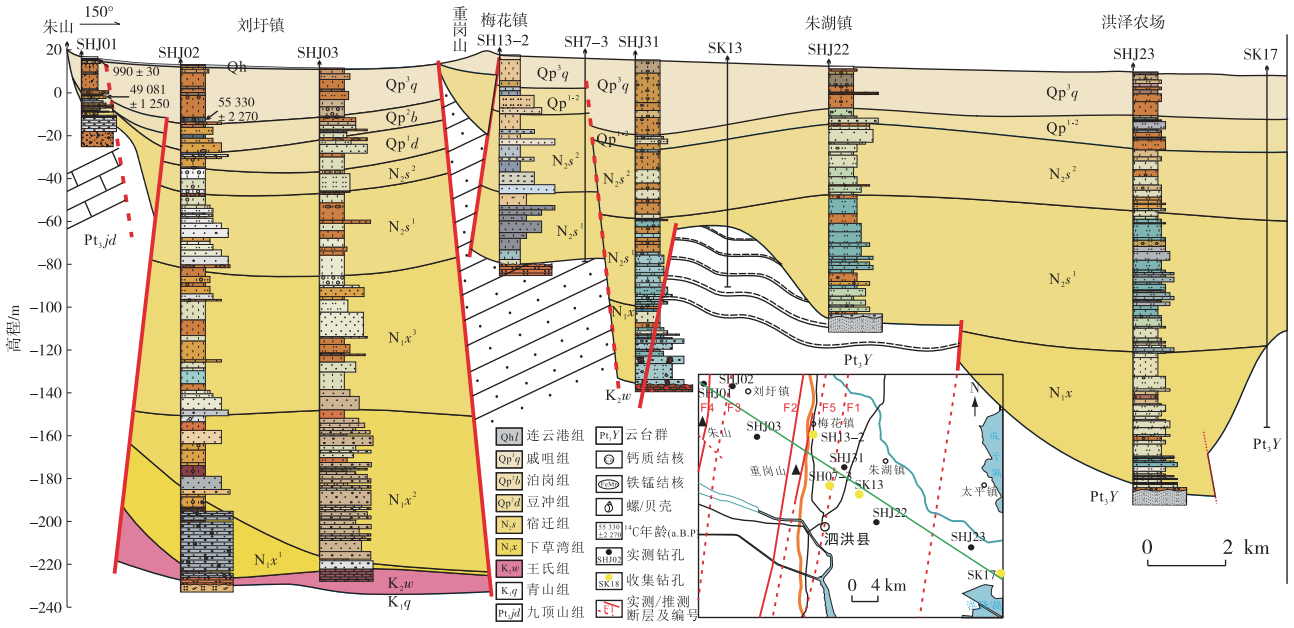


图 6　朱山—洪泽湖钻孔对比剖面

Fig. 6　Comparing correlation of borehole profile from Zhushan to Hongze Lake

以及第四纪晚期沉积地层快速隆升剥蚀，这些沉积过程是对区域新构造活动的响应。

参考文献

[1] YIN A, NIE S Y. An indentation model for the north and south China collision and the development of the Tan-Lu and Honame fault systems, Eastern Asia[J]. Tectonics, 1993, 12(4): 801-813.

[2] XU J, ZHU G. Tectonic Models of the Tan-Lu Fault Zone, Eastern China [J]. International Geology Review, 1994, 36(8): 771-784.

[3] GILDER S A, LELOUP P H, COURTILLOT V. Tectonic evolution of the Tancheng-Lujiang (Tan-Lu) fault via Middle Triassic to Early Cenozoic paleomagnetic data[J]. Journal of Geophysical Research, 1999, 104(15): 365-375.

[4] ZHU G, LIU G S, NIU M L, et al. Syn-collisional transform faulting of the Tan-Lu fault zone, East China [J]. International Journal of Earth Sciences, 2009, 98(1): 135-155.

[5] 秦元喜，张良筹，严开健. 赣榆—太湖断裂与郯庐断裂带的关系及其构造特征的初步探讨[J]. 中国地质科学院南京地质矿产研究所所刊，1985(1)：66-71.

[6] 高维明，郑朗荪，李家灵，等. 1668 年郯城 8.5 级地震的发震构造[J]. 中国地震，1988，4(3)：9-15.

[7] 晁洪太，王志才，刘西林. 郯庐断裂带下辽河—莱州湾段与潍坊—嘉山段地震构造和地震活动特征对比[J]. 华北地震科学，1999，17(2)：36-42.

[8] 李康，徐锡伟，魏雷鸣，等. 1668 年郯城地震断层的长发震间隔与低速率证据[J]. 科学通报，2019，64(11)：1168-1178.

[9] 蒋功成，李才生，滕寿玉. 从下草湾化石群看洪泽湖地区中新世时期的生物多样性[J]. 地质学刊，2013，37(2)：169-172.

[10] 张玉兰，王开发，蒋辉. 江苏泗洪地区峰山组的孢粉组合及其地质时代[J]. 地层学杂志，1982，6(2)：107-111.

[11] 胡存礼. 苏北—南黄海盆地西部边缘泗洪地区早中新世峰山组孢粉组合[G]//中国地质科学院地层古生物论文集编委会. 地层古生物论文集：第十六辑. 北京：地质出版社，1986：212-221.

[12] DENG Y, FAN W, ZHANG Z, et al. Geophysical evidence on segmentation of the Tancheng-Lujiang fault and its implications on the lithosphere evolution in East China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2013, 78: 263-276.

[13] SCHMID R, RYBERG T, RATSCHBACHER L, et al. Crustal structure of the eastern Dabie Shan interpreted from deep reflection and shallow tomographic data[J]. Tectonophysics, 2001, 333(3/4): 347-359.

[14] ZHANG J, HAO T, DONG S, et al. The structural and tectonic relationships of the major fault systems of the Tan-Lu fault zone, with a focus on the segments

within the North China region[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2015,110(1):85-100.

[15] ZHANG J, YANG X, SUN W, et al. New data on the evolution of the Tan-Lu fault belt: constraints from geological-geophysical surveys in the southern segment[J]. International Geology Review, 2012, 54:1562-1578.

[16] GRIMMER J C, JONCKHEERE R, ENKELMANN E, et al. Cretaceous-Cenozoic history of the southern Tan-Lu fault zone: apatite fission-track and structural constraints from the Dabie Shan (eastern China) [J]. Tectonophysics, 2002,359(3/4):225-253.

[17] HACKER B R, RATSCHBACHER L, WEBB L, et al. Exhumation of ultrahigh-pressure continental crust in east central China:Late Triassic-Early Jurassic tectonic unroofing [J]. Journal of Geophysical Research, 2000,105:13339-13364.

[18] WANG Y. The onset of the Tan-Lu fault movement in eastern China: constraints from zircon (SHRIMP) and $^{40}Ar/^{39}Ar$ dating[J]. Terra Nova, 2006, 18:423-431.

[19] WANG Y, ZHOU S. $^{40}Ar/^{39}Ar$ dating constraints on the high-angle normal faulting along the southern segment of the Tan-Lu fault system: An implication for the onset of eastern China rift-systems[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2009, 34(1):51-60.

[20] ZHAO T, ZHU G, LIN S Z, et al. Indentation-induced tearing of a subducting continent: Evidence from the Tan-Lu Fault Zone, East China[J]. Earth-Science Reviews, 2016,152:14-36.

[21] ZHU G, LIU G, DUNLAP W J, et al. $^{40}Ar/^{39}Ar$ geochronological constraints on syn-orogenic strike-slip movement of Tan-Lu fault zone[J]. Chinese Science Bulletin, 2004,49(5):499.

[22] 周济元.安徽张八岭地区构造演化及动力学[J].火山地质与矿产,1995(4):17-24.

[23] 董茂兴,张德宝,郭坤一.张八岭地区地质构造特征[J].火山地质与矿产,1995(4):45-52.

[24] 沈小七,姚大全,郑海刚,等.郯庐断裂带重岗山—迁段晚更新世以来的活动习性[J].地震地质, 2015,37(1):139-148.

[25] 姚大全,汤有标,沈小七,等.郯庐断裂带赤山段中晚更新世之交的史前地震遗迹[J].地震地质,2012,34(1):93-99.

[26] 曹筠,冉勇康,许汉刚,等.宿迁城市活动断层探测多方法技术运用的典型案例[J]. 地震地质,2015,37(1):430-439.

[27] LIU B, ZHU G, ZHAI M J, et al.Quaternary faulting of the Jiangsu part of the Tan-Lu Fault Zone, East China: Evidence from field investigations and OSL dating[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2015, 114:89-102.

[28] JIANG R, CAO K, ZENG J W, et al. Late Cenozoic tectonic evolution of the southern segment of the Tan-Lu fault zone, Eastern China [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2019, 182.

[29] 李传夔.江苏泗洪中新世长臂猿类化石[J].古脊椎动物与古人类,1978,16(3):187-193.

[30] 林水龙.淮河下游地区中新统的划分及其时代讨论[J].地层学杂志,1980,4(2):136-144.

[31] 顾玉珉,林一璞.记江苏泗洪首次发现森林古猿类化石[J].人类学学报,1983,2(4):305-315.

[32] 邱铸鼎.江苏泗洪下草湾中中新世脊—山河狸科(哺乳纲,啮齿目) [J]. 古脊椎动物与古人类,1987,25(4):283-296.

[33] QIU Z D. Cricetid rodents from the early Miocene Xiacaowan formation, Sihong, Jiangsu[J]. Vertebrata Palasiatica, 2010,48(1):27-47.

[34] LI C B, JIANG R, YU J J, et al. Deep structures underneath the Sihong Segment of the Tan-Lu Fault Zone, Eastern China: Interpretations of gravity anomaly and seismic profiles[J]. Journal of Asian Earth Sciences,2019,176: 229-243.

[35] QIAN M P, ZOU S M, LI S, et al. The Discovery of A Late Pleistocene Palaeoloxodon huaihoensis from Sihong County northern Jiangsu Province, China [J]. Journal of Geology, 2016,40 (4):545-551.

[36] 蒋仁,钱迈平,曾剑威,等.苏北泗洪晚更新世淮河古菱齿象化石年代学研究及其意义[J].地层学杂志, 2019,43(1):96-100.

[37] 钱迈平,高天山,蒋仁,等.江苏泗洪晚更新世淮河古菱齿象化石层位和古环境[J].地层学杂志,2017,41 (2):173-178.

[38] 凌申.全新世以来里下河地区古地理演变[J].地理科学,2001,21(5):474-479.

Sedimentary characteristics and sedimentary-tectonic responses of the Sihong segment of Tan-Lu fault zone since the Late Mesozoinc: A case study of borehole SHJ02

JIANG Ren, ZENG Jian-wei, LIU Kai, LI Chang-bo, ZHOU Xiao-hua, ZHAO Ling, YU Jun-jie, PENG Bo, LAO Jin-xiu

(*Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing* 210016, *China*)

Abstract: The evolution of sedimentary basin since the Late Mesozoic in Sihong and surrounding areas of Jiangsu Province and the formation of present landform are mainly controlled by the multi-stage tectonic activities in the Sihong segment of Tan-Lu fault zone. The fluctuation characteristics of sedimentary basement and deposit accumulation process under the control of neotectonic movement are completely recorded by the Neogene-Quaternary loose sediments. Taking the borehole SHJ02 in Sihong segment for example, the paleogeographic environment and tectonic evolution characteristics are discussed based on the analysis of borehole core features and stratigraphic sequence division. The depth of borehole SHJ02 is 246.00 m, revealed strata including the Quaternary (buried depth of 0～47.43 m), Neogene (47.43～239.52 m), Late Cretaceous red bed (239.52～242.70 m) and Early Cretaceous volcanic rock (more than 242.70 m) from top to bottom. The characteristics of Late Mesozoic-Cenozoic stratigraphic sequences and sedimentary framework show the tectonic evolution processes as the deposition of Late Cretaceous fault depression, Paleogene uplift and denudation, fluvial-lacustrine sediments in the Neogene extensional environment, and rapid uplift under the background of late Quaternary compression in the Sihong segment of Tan-Lu fault belt. The rapid transformation of sedimentary systems such as the Neogene-Quaternary channel evolution and frequent alternations of fluvial-lacustrine facies is a response to the neotectonic movement in the area.

Key words: Neogene; Quaternary; stratigraphic sequence; neotectonics; Sihong segment of Tan-Lu fault zone; Jiangsu Province