

耿名扬, 刘志峰, 雷杭山. 渤海东北部辽东凸起锦州 27 构造沙河街组碎屑锆石物源示踪[J]. 海洋地质前沿, 2025, 41(7): 54-65.

GENG Mingyang, LIU Zhifeng, LEI Hangshan. Source tracing of detrital zircons from Shahejie Formation of the Jinzhou 27 Structure in Liaodong Uplift, northeastern Bohai Sea[J]. Marine Geology Frontiers, 2025, 41(7): 54-65.

渤海东北部辽东凸起锦州 27 构造沙河街组碎屑锆石物源示踪

耿名扬, 刘志峰, 雷杭山

(中海油研究总院有限责任公司, 北京 100028)

摘要:渤海东北部辽东凸起锦州 27 构造沙河街组砂体发育情况横向变化快, 开展物源示踪对于明确砂体分布具有重要意义。通过对研究区砂岩的锆石 U-Pb 年龄、锆石形态和岩屑成分分析, 明确研究区沙河街组母岩时代、类型及主要物源区。结果表明: ①沙河街组主要发育峰值年龄为 120 Ma 的白垩纪锆石和峰值年龄为 1 800、2 500 Ma 的古元古代锆石。白垩纪锆石多呈柱状, 发育棱角, 具有生长环带, 古元古代锆石多呈浑圆状, 棱角不明显, 生长环带多发生破坏。②沙四段沉积时期, 砂岩中古元古代锆石占比为 55%, 白垩纪锆石占比为 25%, 岩屑类型以变质岩为主。沙三段—沙一二段沉积时期, 砂岩中古元古代锆石占比为 44%, 白垩纪锆石占比为 33%, 岩屑类型以火山岩、变质岩为主。③沙河街组母岩以胶辽隆起复州北部地区新元古界沉积岩为主, 同时受辽东凸起不断隆升影响, 盆地内白垩系火山岩物源的影响逐渐增加。

关键词: 锆石定年; 物源分析; 沙河街组; 辽东凸起

中图分类号: P736

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2024.067

0 引言

物源是沉积物供给的物质基础, 物源区母岩的类型对于砂体的发育规模和储层品质具有决定性作用^[1-3]。物源恢复的方法包括碎屑锆石 U-Pb 测年、岩屑成分及重矿物分析等^[4-5]。其中, 沉积岩中的锆石 U-Pb 测年由于其几乎不受搬运过程及成岩过程的影响, 最大限度地保留了母岩的信息, 从而成为沉积岩物源示踪的有效方法。前人在渤海海域的石臼坨凸起、沙垒田凸起、渤南低凸起等开展研究, 形成以锆石 U-Pb 定年为主的物源综合分析方法^[6-10]。锦州 27 构造紧邻辽东凸起和区域胶辽隆起, 研究区内的钻井在沙河街组获得油气, 展示

了沙河街组的勘探潜力, 但由于砂体发育程度变化快、储层物性非均质性强导致仍未有规模发现。本研究以研究区沙河街组碎屑锆石 U-Pb 测年和形态分析为基础, 明确不同层段母岩年代差异, 通过碎屑成分分析明确母岩类型差异, 综合区域构造演化分析, 明确沙河街组沉积时期的物源区域和母岩类型, 对于预测辽东凸起周缘沉积相、确定有利砂体的展布具有重要的指导意义。

1 地质概况

辽东凸起锦州 27 构造位于渤海海域辽东湾坳陷东部, 夹持于辽中凹陷与辽东凹陷之间(图 1)。辽东凸起为晚期抬升型凸起, 关于辽东凸起的隆升时间尚存在争议, 前人通过构造学、沉积学、年代学等资料开展了辽东凸起演化过程分析, 明确凸起在东营组沉积时期剧烈抬升定型, 但凸起的初始形成期可能为沙三段沉积时期^[11-18]。根据构造演化恢复(图 2), 孔店-沙四段沉积时期为辽东湾地区初始

收稿日期: 2024-03-22

资助项目: 国家重点研发计划“板块俯冲驱动下的流体循环机制及其效应”(2022YFF0800403)

第一作者: 耿名扬(1990—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事石油天然气地质方面的研究工作。E-mail: gengmy@cnooc.com.cn

断裂期, 区域伸展及走滑应力均较弱, 辽中凹陷初步形成。此时, 辽东凸起尚未形成, 属于胶辽隆起边缘一部分, 辽中凹陷与辽东凹陷形成“古辽中凹陷”, 辽东湾地区表现为“两凹夹一凸”的构造格局。沙三段沉积时期为强烈断陷期, 继承了断陷初始期的构造格局, 伸展率达到最大, 郯庐断裂的走滑方向开始由左旋变为右旋, 形成辽东 2 号断裂和辽东凸起雏形, 但此时凸起规模小, 形态不明显。沙一二段沉积时期, 断层活动速率减弱, 辽东凸起再次变为水下低凸起。东三段沉积时期, 走滑活动强烈, 辽东凸起隆升明显, 辽东凸起完全从胶辽隆起分离开, 形成独立的凸起, 此次隆升一直持续到渐新世末期。

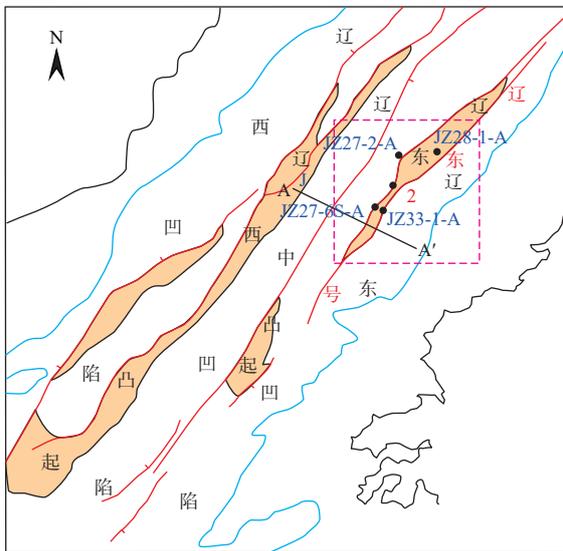


图 1 研究区位置和构造背景

Fig.1 Location and tectonic background of the research area

古近系沙河街组自下而上划分为沙四段、沙三段、沙一二段。根据岩芯、地震等沉积综合研究, 研究区沙河街组主要发育辫状河三角洲前缘沉积。以沙一二段为例(图 3), 研究区发育 2 个三角洲朵体, 自东向西向滨浅湖区推进。JZ27-6S-A 井位于辫状河三角洲前缘近端, JZ27-6-A 和 JZ27-2-A 井主要位于辫状河三角洲前缘远端及滨浅湖区, 3 口井沙河街组岩性差异较大。JZ27-6S-A 井沙河街组砂体最发育, 沙三段和沙一二段均发育辫状河三角洲前缘近端沉积, 岩性组合均为厚层砂岩、含砾砂岩夹薄层泥岩。其中, 沙三段砂岩厚度为 234 m, 砂地比为 59.8%, 沙一二段砂岩厚度为 105 m, 砂地比为 43.5%。JZ27-6-A、JZ27-2-A 井岩性组合相似但砂地比存在差异。其中, JZ27-6-A 井沙四段和

沙一二段发育辫状河三角洲前缘远端沉积, 沙三段发育滨浅湖沉积。沙四段砂岩厚度为 102.5 m, 砂地比为 45.2%, 沙三段砂岩厚度为 24 m, 砂地比为 11.3%, 沙一二段砂岩厚度为 97.5 m, 砂地比为 40.0%。JZ27-2-A 井沙四段、沙三段和沙一二段均以辫状河三角洲前缘远端沉积为主。其中, 沙四段砂岩厚度为 71 m, 砂地比为 18.2%, 沙三段砂岩厚度为 51.5 m, 砂地比为 18.3%, 沙一二段砂岩厚度为 43 m, 砂地比为 19.5%。

2 材料与方法

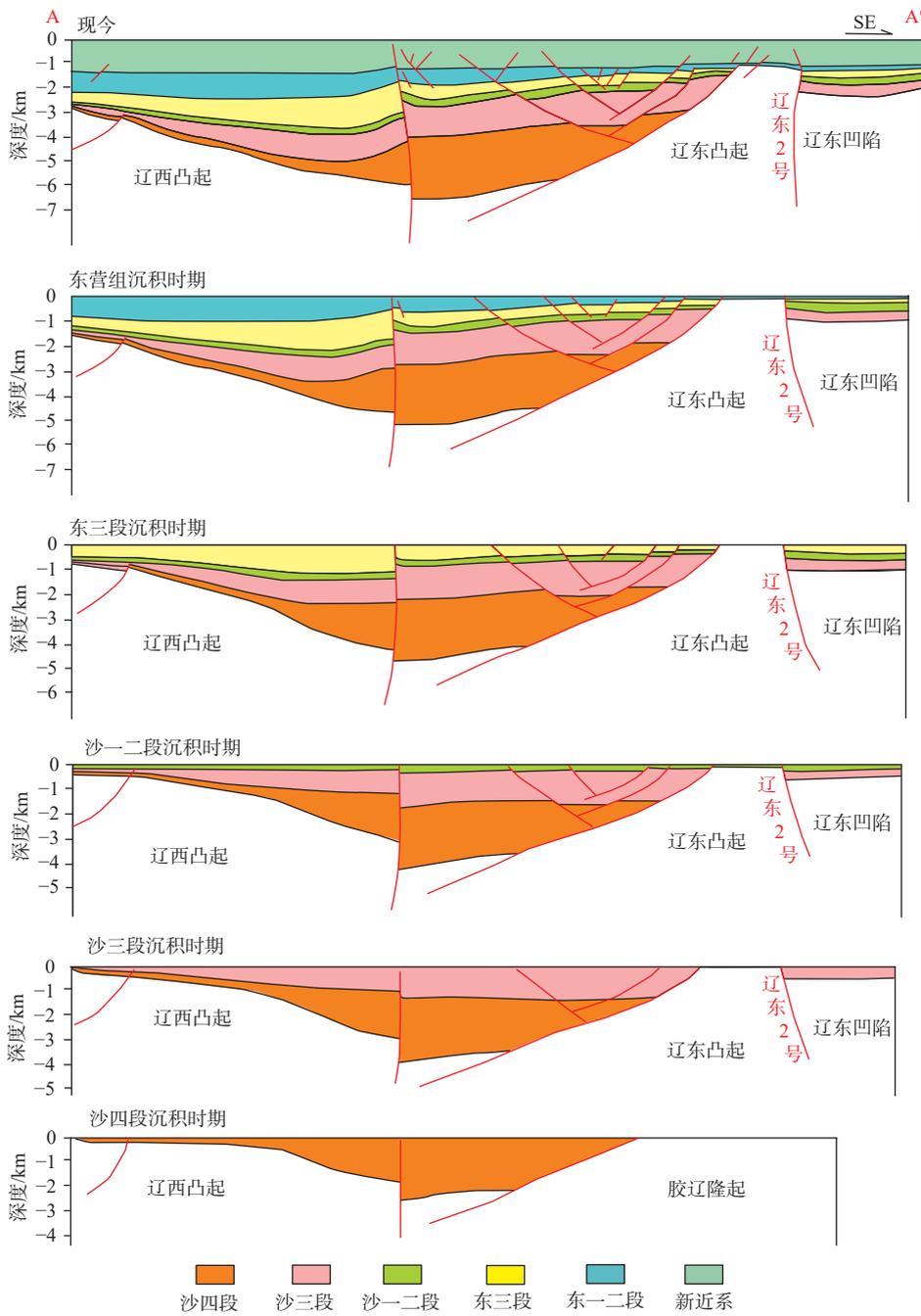
对 JZ27-6-A、JZ27-2-A 井的沙四段、沙一二段砂岩岩屑取样, 共采集 3 段岩屑样品(取样深度如图 3 中红色横线标注所示), 进行碎屑锆石 U-Pb 定年分析。本次实验在微著地化(廊坊)科技有限公司完成, 采用激光剥蚀系统(型号: NEW WAVE UP-213)-电感耦合等离子体质谱(型号: Agilent 7500a)测试完成。对于锆石 U-Pb 同位素封闭体系, 测试获得的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 、 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 3 组同位素比值是相互关联且谐和的。因此, 在处理数据时, 为了保证年龄的可信度, 需要选取谐和度 > 90% 的锆石年龄结果。值得注意的是, 锆石测试年龄 < 1 000 Ma 情况下, 通常采用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄作为锆石的结晶年龄; 当锆石年龄显著 > 1 000 Ma 时, 通常会遭受后期热液或变质作用导致锆石封闭体系受到影响, 发生 Pb 丢失(图 4), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄失真, 因此, 选择影响较小的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄。

3 锆石特征分析

3.1 锆石 U-Pb 年龄特征

测年数据经过预处理, 共计获得 267 个谐和年龄, 其中, 87% 的锆石样品 $\text{Th}/\text{U} > 0.3$, 只有 2% 的锆石 $\text{Th}/\text{U} < 0.1$, 说明样品锆石以岩浆成因为主, 此类变质成因锆石含量很少(图 5)。锆石年龄主要从太古代到中生代均有分布, 最年轻的年龄为 103.9 Ma (JZ27-2-A 井, 2 062 m), 最古老的年龄为 2 628 Ma (JZ27-6-A 井, 1 415 m)。

JZ27-2-A 井沙一二段砂岩样品共测得 92 个锆石 U-Pb 年龄点(图 6a)。中生代(Mz)锆石数量占比较多, 为 42%, 其中, 白垩纪(K)锆石占 39%,



剖面位置见图1; 据文献 [11] 修改

图2 辽东湾坳陷构造演化剖面

Fig.2 Tectonic evolution section of the Liaodong Bay Depression

侏罗纪(J)锆石占 1%, 三叠纪(T)锆石占 2%; 古生代(Pz)锆石数量占比较少, 为 7%, 其中, 二叠纪(P)、石炭纪(C)锆石均占 2%, 泥盆纪(D)、奥陶纪(O)、寒武纪(Є)锆石均占 1%; 元古代(Pt)锆石数量占比最多, 为 47%, 其中, 古元古代(Pt₁)锆石占 45%, 中元古代(Pt₂)、新元古代(Pt₃)锆石均占 1%; 太古代(Ar)锆石数量占比较少, 为 4%。锆石的年龄表现为明显的三峰特征, 主要峰值年龄约为 120、1 810、

2 450 Ma。

JZ27-2-A 井沙四段砂岩样品共测得 88 个锆石 U-Pb 年龄点(图 6b)。中生代(Mz)锆石数量占比较多, 为 30%, 其中, 白垩纪(K)锆石占 25%, 侏罗纪(J)锆石占 2%, 三叠纪(T)锆石占 3%; 古生代(Pz)锆石数量占比较少, 为 6%, 其中, 石炭纪(C)锆石占 2%, 二叠纪(P)、泥盆纪(D)、志留纪(S)、奥陶纪(O)锆石均占 1%; 元古代(Pt)锆石数量占比最多, 为 64%,

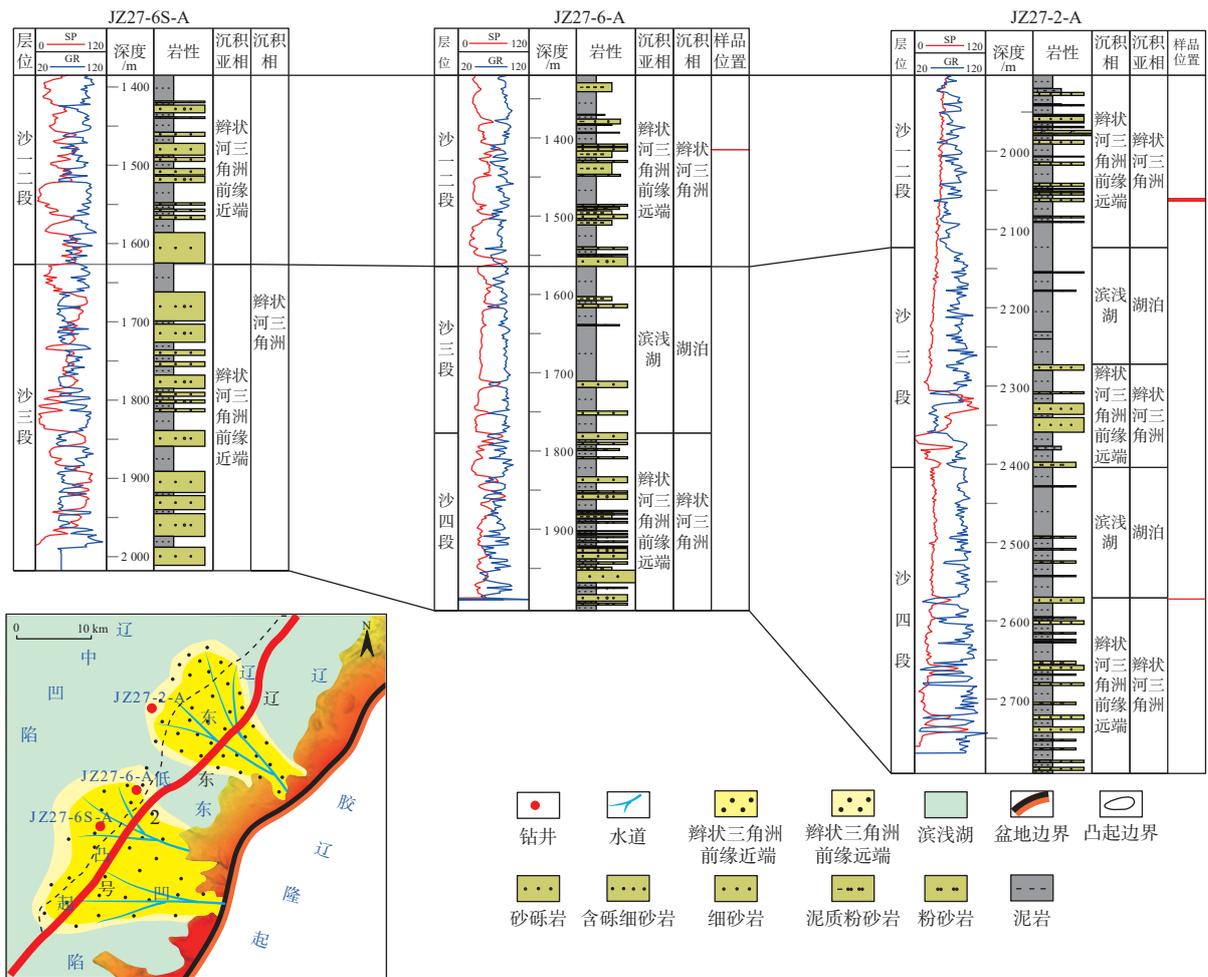


图 3 辽东凸起 JZ27-6S-A、JZ27-6-A、JZ27-2-A 井沙河街组岩性剖面

Fig.3 Lithological profiles of Shahejie Formation in Wells JZ27-6S-A, JZ27-6-A, and JZ27-2-A in the Liaodong Uplift

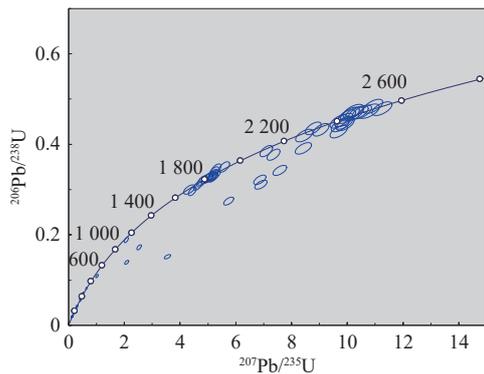


图 4 辽东凸起 JZ27-2-A 沙一二段砂岩碎屑锆石 U-Pb 年龄协和图

Fig.4 Detrital zircon U-Pb concordant ages of the first and second members of the Shahejie Formation (Es_{12}) sandstones in Well JZ27-2-A in Liaodong Uplift

其中, 古元古代(Pt_1) 锆石占 55%, 中元古代(Pt_2) 锆石占 5%, 新元古代(Pt_3) 锆石均占 2%。锆石的年龄表现为明显的三峰特征, 主要峰值年龄约为 120、1 790、2 440 Ma。

JZ27-6-A 井沙一二段砂岩样品共测得 87 个锆石 U-Pb 年龄点(图 6c)。中生代(Mz) 锆石数量占比较多, 为 36%, 其中, 白垩纪(K) 锆石占 26%, 侏罗纪(J) 锆石占 8%, 三叠纪(T) 锆石占 1%; 古生代(Pz) 锆石数量占比较少, 为 2%, 其中, 二叠纪(P)、奥陶纪(O) 锆石均占 1%; 元古代(Pt) 锆石数量占比最多, 为 44%, 且均为古元古代(Pt_1) 锆石; 太古代(Ar) 锆石数量占比较多, 为 18%。锆石的年龄表现为明显的三峰特征, 主要峰值年龄约为 120、1 850、2 500 Ma。

通过上述 2 口井锆石年代特征统计, 研究区沙河街组的锆石年龄主要呈现中生代 120 Ma 和古元古代 1 800、2 500 Ma 附近的峰值特征。但不同层段中, 锆石的数量占比存在差异。沙四段锆石中, 古元古代锆石数量最多, 占比为 55%; 白垩纪锆石其次, 数量占比为 25%; 其他时代锆石数量较少。沙一二段锆石中, 古元古代锆石数量减少, 占比为 44%~45%, 平均为 44%; 白垩纪锆石数量占比为

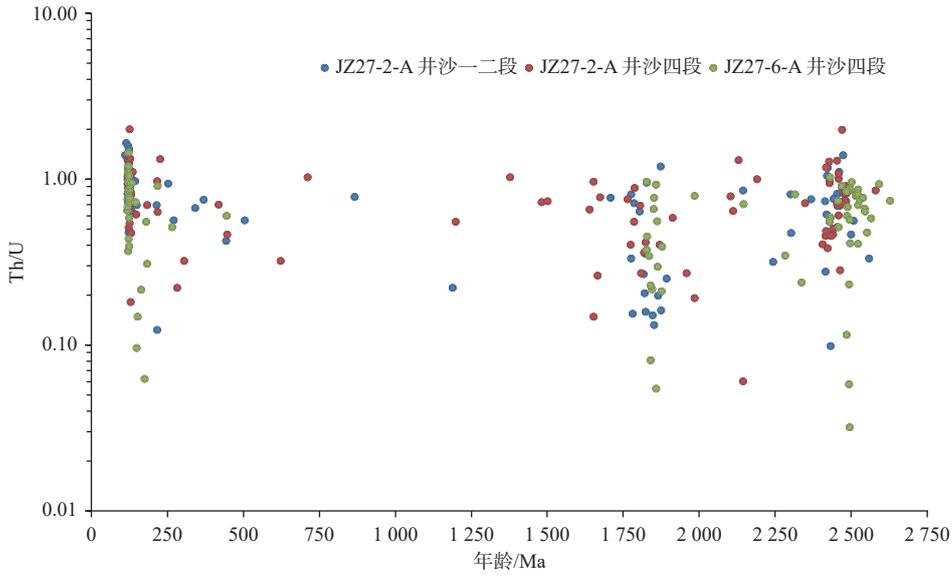


图5 辽东凸起 JZ27-6S-A、JZ27-6-A、JZ27-2-A 沙河街组砂岩碎屑锆石 Th/U 比值

Fig.5 Th/U ratio of detrital zircons of the Shahejie Formation sandstones in Wells JZ27-6S-A, JZ27-6-A, and JZ27-2-A in the Liaodong Uplift

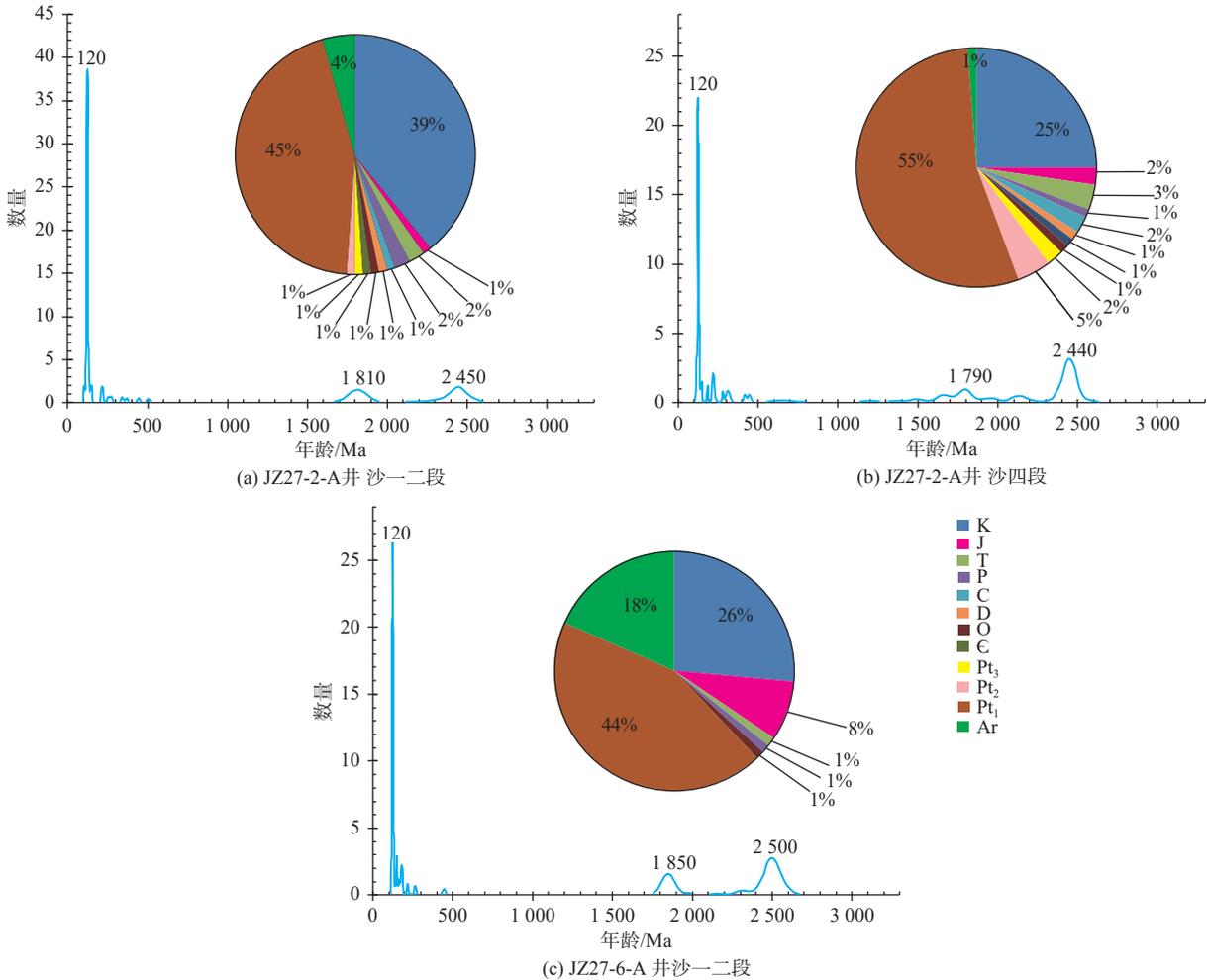


图6 辽东凸起 JZ27-2-A、JZ27-6-A 井沙河街组碎屑锆石 U-Pb 年龄谱图

Fig.6 U-Pb age spectrum of detrital zircons of the Shahejie Formation in Wells JZ27-2-A and JZ27-6-A in the Liaodong Uplift

26%~39%, 平均为 33%, 与古元古代锆石数量接近; 其他时代锆石数量较少。

3.2 锆石形态学特征

不同时代形成的锆石在形成之后, 经过不同的沉积过程, 其晶形、棱角特征、生长振荡环带等方面具有明显的差异。例如, 渤海辽东湾拗陷旅大 29-1 构造沙二段砂岩中^[6], 近物源的中生代锆石多呈柱状, 晶形保存较完整, 岩浆生长振荡环带明显, 具有一定棱角, 表明锆石的搬运距离相对较短、经历的改造作用弱。远物源的元古代锆石一般呈浑圆状,

晶形不完整, 边缘均被磨圆, 表明锆石在沉积搬运过程中经历一定程度的改造。本研究基于上述认识, 利用锆石阴极发光(CL)图像, 对研究区 2 口井的锆石形态学进行分析, 受篇幅限制, 仅以 JZ27-2-A 井的部分锆石 CL 图像进行讨论。JZ27-2-A 井沙四段(图 7)与沙一二段(图 8)锆石颗粒的形态特征可以分为 2 组。第 1 组为白垩纪锆石, 颗粒阴极发光较亮, 多呈柱状, 发育棱角, 岩浆生长振荡环带明显; 第 2 组为古元古代锆石, 锆石颗粒阴极发光色调较深, 多呈浑圆状, 棱角特征不明显, 锆石中发育环带, 但环带发生破裂与褶皱变形。

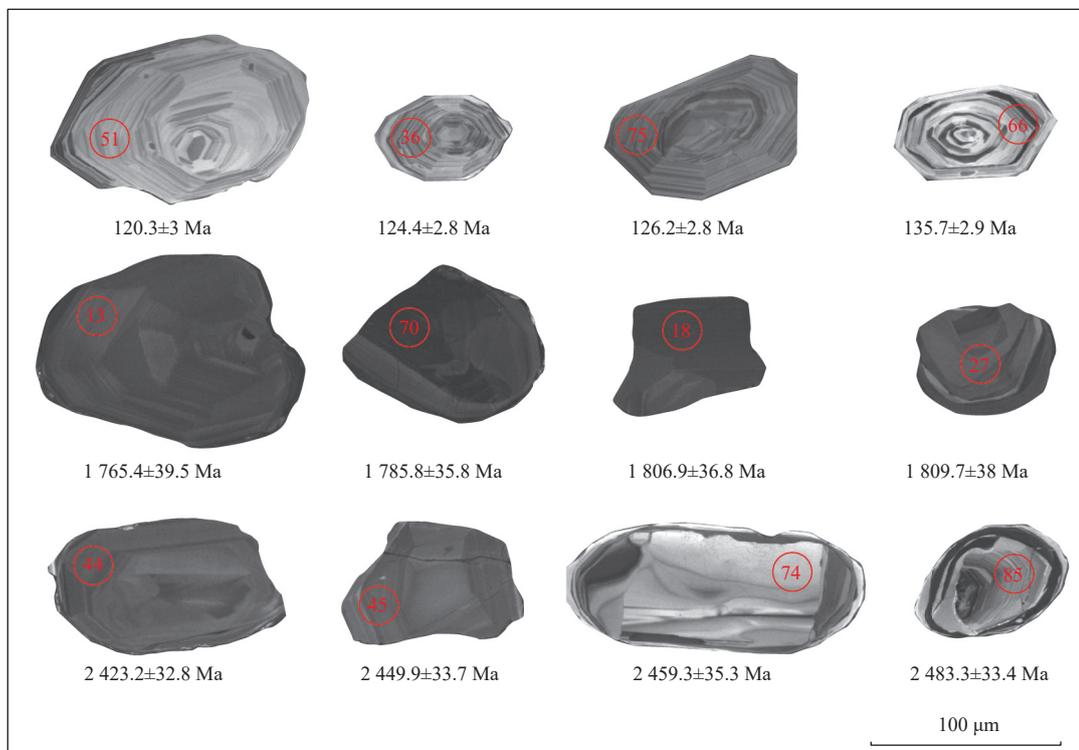


图 7 辽东凸起 JZ27-2-A 井沙四段碎屑锆石 CL 图像

Fig.7 The CL image of detrital zircon from the fourth member of Shahejie Formation in Well JZ27-2-A in the Liaodong Uplift

4 岩屑特征分析

砂岩中的岩屑成分可以反映母岩类型^[10]。通过对不同深度砂岩的岩屑成分进行统计, 可以揭示母岩类型的纵向变化。以 JZ27-6-A 井为例, 该井沙河街组岩屑类型包括变质岩、火山岩、侵入岩及沉积岩(图 9)。

沙四段岩屑中, 侵入岩占比主要介于 2%~32%, 平均为 14%; 火山岩占比主要介于 8%~48%, 平均为 24%; 变质岩占比主要介于 18%~94%, 平均为 43%; 沉积岩占比主要介于 3%~47%, 平均为 19%。

因此, 变质岩岩屑平均含量明显高于火山岩、沉积岩和侵入岩。在 JZ27-6-A 沙四段薄片, 见到变质石英岩岩屑(图 10e、f), 具有粒状变晶结构, 岩屑中的石英颗粒接触边界不规则。因此, 沙四段供源作用比较强的母岩类型为变质岩。

沙三段岩屑中, 侵入岩占比主要介于 14%~29%, 平均为 21%; 火山岩占比主要介于 25%~54%, 平均为 36%; 变质岩占比主要介于 17%~43%, 平均为 34%; 沉积岩占比主要介于 5%~17%, 平均为 8%。因此, 火山岩岩屑含量与变质岩岩屑含量接近, 高于侵入岩、沉积岩。在 JZ27-6-A 井沙三

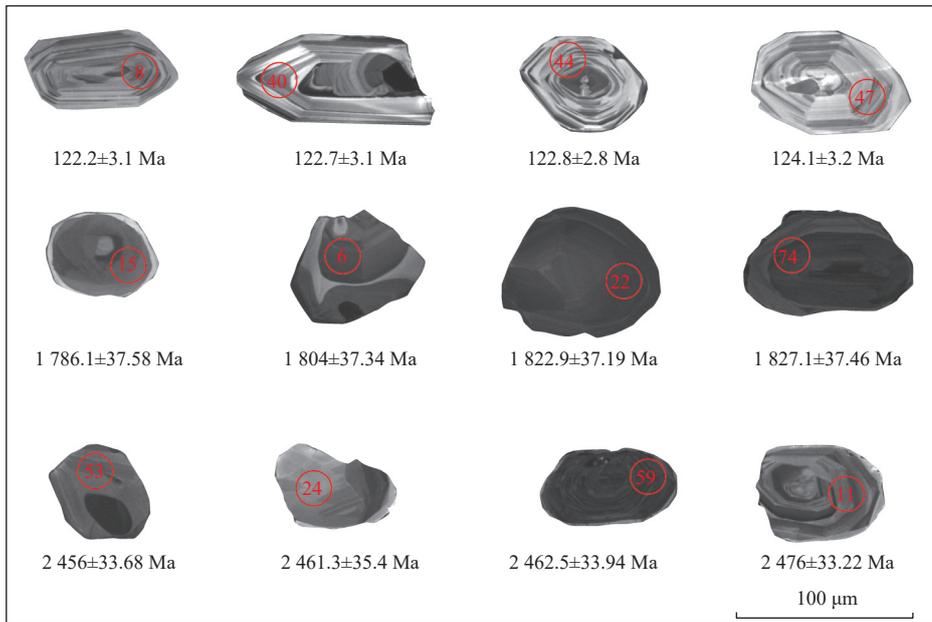


图 8 辽东凸起 JZ27-2-A 井沙一二段碎屑锆石 CL 图像

Fig.8 The CL image of detrital zircon from the first and second members of the Shahejie Formation in Well JZ27-2-A in the Liaodong Uplift

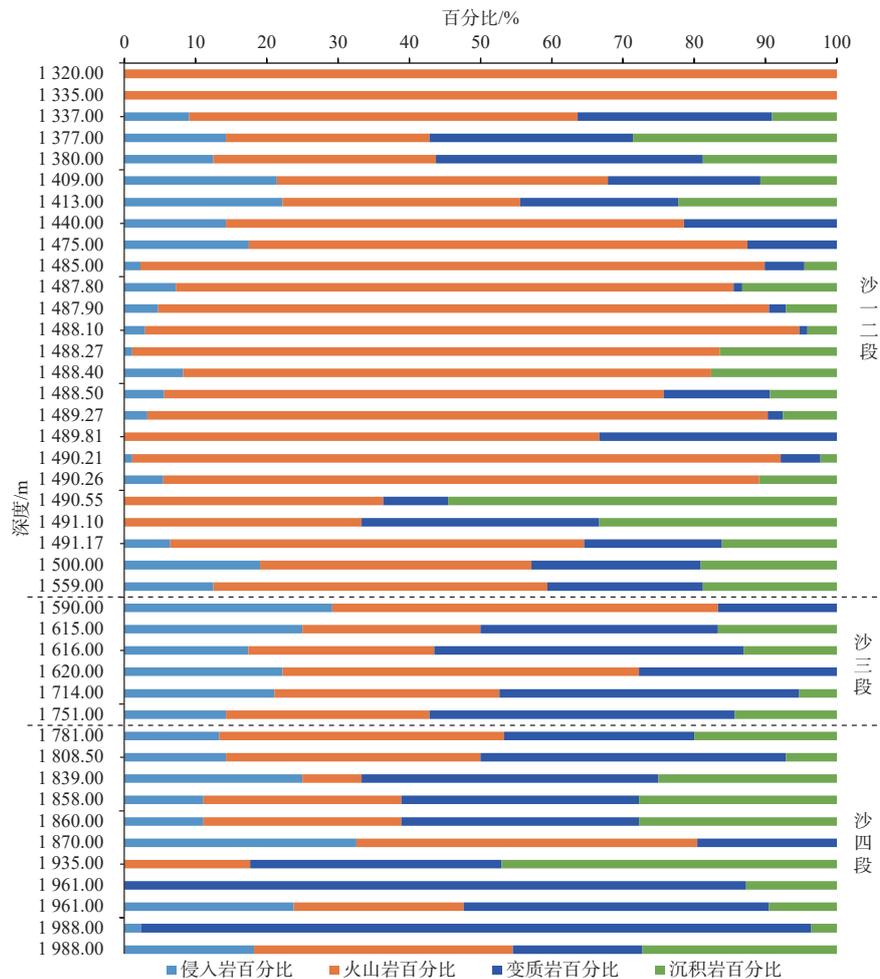


图 9 辽东凸起 JZ27-6-A 井沙河街组母岩岩屑类型

Fig.9 Type of parent rock fragments of Shahejie Formation in Well JZ27-6-A in the Liaodong Uplift

段薄片(图 10d), 可见变质石英岩屑, 岩屑中的石英颗粒接触边界不规则, 并可见火山岩岩屑, 主要由隐晶状长英质组成。因此, 根据岩屑分析, 沙三段供源作用比较强的母岩类型为火山岩、变质岩。

沙一二段岩屑中, 侵入岩占比主要介于 1%~22%, 平均为 7%; 火山岩占比主要介于 27%~100%,

平均为 64%; 变质岩占比主要介于 1%~38%, 平均为 13%; 沉积岩占比主要介于 2%~55%, 平均为 12%。因此, 火山岩岩屑含量明显高于变质岩、沉积岩和侵入岩。JZ27-6-A 和 JZ27-6S-A 井沙一二段薄片(图 10a—c)见到多个火山岩岩屑, 主要由隐晶状长英质组成。因此, 沙一二段以火山岩母岩供源为主, 变质岩供源次之。

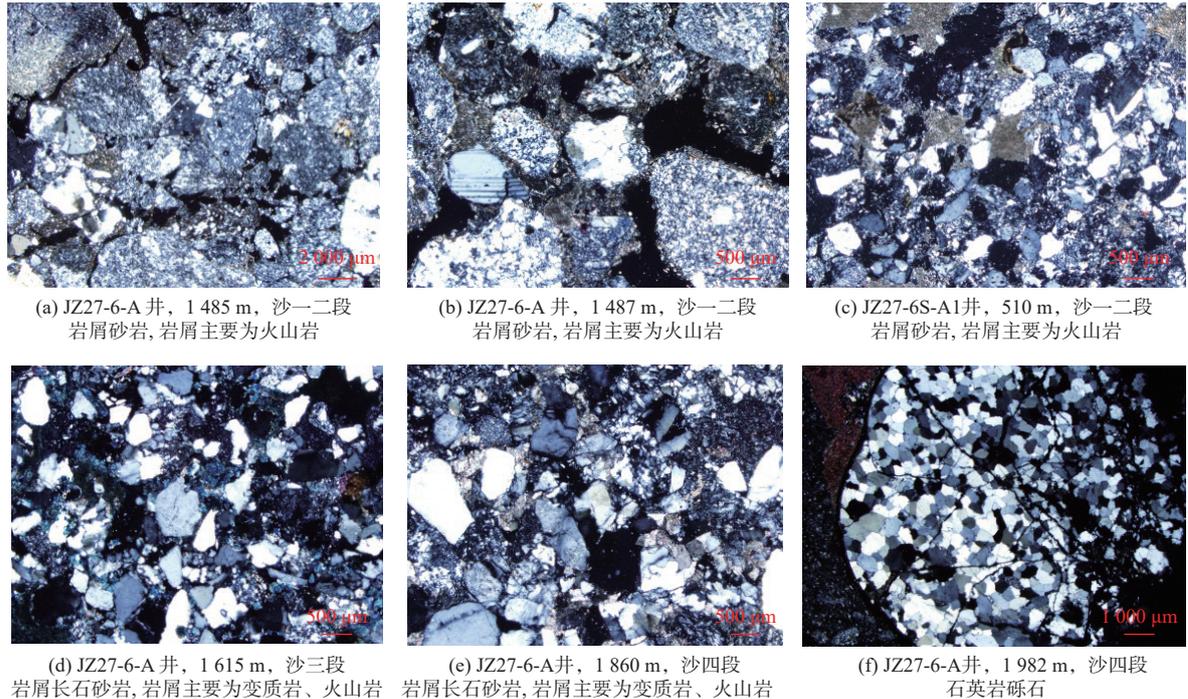


图 10 辽东凸起 JZ27-6S-A、JZ27-6-A 井沙河街组薄片

Fig. 10 Thin section of Shahejie Formation rocks in Wells JZ27-6S-A and JZ27-6-A in the Liaodong Uplift

根据上述岩屑成分, 研究区母岩类型自沙四段、沙三段至沙一二段发生明显演变。沙四段母岩以变质岩为主(平均为 43%), 自沙三段起, 火山岩占比明显增多(平均为 36%), 与变质岩(平均为 34%)共同主导; 至沙一二段, 火山岩占比达 64%, 成为主要母岩类型。

5 物源综合分析

根据前述区域构造演化过程分析, 在沙河街组沉积初期, 研究区主要受渤海湾盆地盆外胶辽隆起物源影响, 辽东凸起属于胶辽隆起的西部边缘, 对研究区的供源作用有限。自沙三段沉积时期, 辽东凸起逐渐脱离胶辽隆起, 变为低凸起或者水下低凸起, 其对研究区的供源作用增强。

辽东湾拗陷的前古近系岩性通过多口钻井和地震相类比追踪研究已经有了明确的认识, 其中,

辽东凸起的基岩时代主要为中生界^[18](图 11), 其主要岩性为下白垩统孙家湾-九佛堂组碎屑岩、义县组火山岩^[19]。辽东凸起钻井揭示了中生界下白垩统两套层系(图 12), JZ33-1-A 井钻遇了厚层安山岩、火山角砾岩, 经同位素定年为 93~132 Ma, 属于下白垩统义县组火山岩。JZ28-1-A 井钻遇了灰质泥岩, 根据区域地层对比为下白垩统孙家湾-九佛堂组碎屑岩。

胶辽隆起物源目前无钻井揭示, 根据辽东半岛区域野外地质调查研究, 胶辽隆起前古近系地层主要包括太古界、元古界、古生界寒武系, 中生界三叠系、侏罗系、白垩系^[20-21](图 11a)。以瓦房店地区为界, 其西部地层主要为新元古界青白口系、震旦南华系及相当时代的地层, 岩性主要为碎屑岩和灰岩, 包括砾岩、砂岩、泥页岩、白云岩和灰岩等^[20]。前人对长兴岛地区新元古界钓鱼台组砂岩的碎屑锆石进行分析, 其年龄主峰主要为 1 600 Ma, 同时

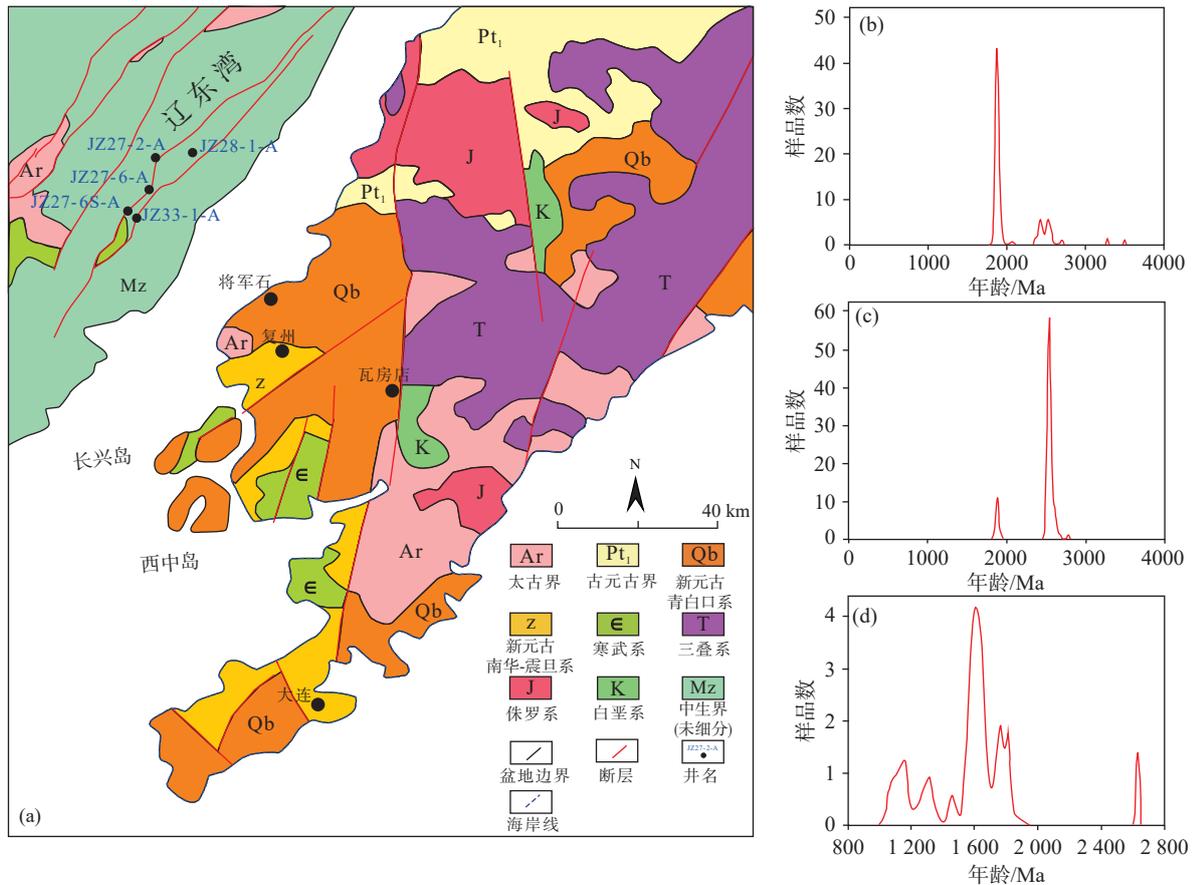


图 11 辽东湾拗陷及胶辽隆起前古近系岩性分布

Fig. 11 Lithological distribution of pre-Paleogene in the Liaodong Bay Depression and Jiaoliao Uplift

存在 2 600、1 800、1 300 Ma 等多个次要峰值年龄^[22] (图 11d)。前人对复州北部地区新元古界永宁组、钓鱼台组碎屑岩锆石进行分析,其年龄主峰主要为 1 800、2 500 Ma^[23] (图 11b、c)。瓦房店东侧主要为太古界变质岩系及中生界侏罗系、三叠系岩浆岩。其中,太古界变质岩系岩性包括基性岩、闪长岩、英云闪长岩-奥长花岗岩-花岗闪长岩组合(TGG)和花岗岩,锆石测年表明,基岩形成时代约为 2 520 Ma,而后在 2 460 Ma 经历变质作用^[24]。侏罗系、三叠系岩浆岩主要为侵入岩,其侵入时间约为 233~212、180~156 Ma^[25]。

研究区沙河街组的锆石年龄主要为 120、1 800、2 500 Ma。若物源来自瓦房店以东的太古界变质岩系及中生界侏罗系、三叠系岩浆岩,理论上应检测出较多的侏罗系、三叠系岩浆锆石。若物源来自长兴岛地区新元古界砂岩,理论上会检测出较多的中元古代锆石。但实际数据显示,研究区中生代锆石以白垩纪(120 Ma)为主,缺乏三叠纪、侏罗纪峰值,且中元古代锆石占比不足 5%。复州北部地区新元古界沉积岩中的锆石年龄峰值主要为 1 800、

2 500 Ma,与研究区 1 800、2 500 Ma 锆石年龄峰值一致,因此,该地区为研究区主要盆外物源区。结合盆内物源分析,白垩系火山岩(对应于 120 Ma 锆石峰值)为盆内物源,形成盆外复州北部地区新元古界沉积岩和盆内白垩系火山岩的物源体系。

根据上述区域构造演化、锆石和母岩碎屑成分分析,研究区沙河街组沉积时期物源以胶辽隆起复州北部地区新元古界沉积岩为主,受辽东凸起抬升影响,盆内白垩系火山岩物源供源作用增强。沙四段沉积时期,辽东凸起尚未从胶辽隆起分离,二者为统一的整体,研究区物源主要受盆外物源胶辽隆起影响,锆石以峰值为 1 800、2 500 Ma 的古元古代锆石为主,母岩岩屑类型以变质岩为主。沙三段—沙一二段沉积时期,辽东凸起开始抬升并接受剥蚀,导致盆内白垩纪火山岩物源供给增强,此时研究区受盆外胶辽隆起和盆内物源双重影响,峰值约为 120 Ma 的白垩纪锆石数量明显增加,与古元古界锆石的数量接近,母岩岩屑类型以火山岩、变质岩为主,表明盆内白垩纪火山岩物源供给作用相对增强。

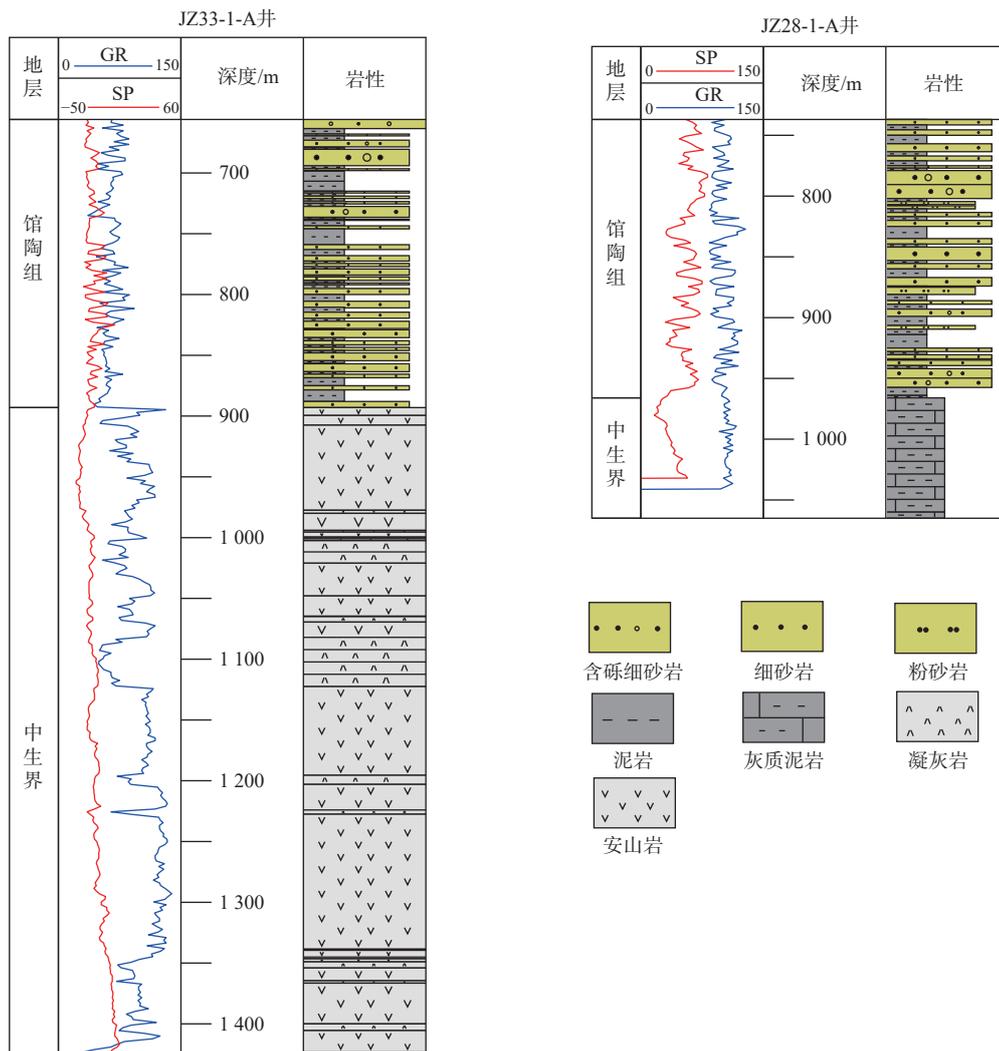


图 12 辽东凸起 JZ33-1-A 和 JZ28-1-A 井基底岩性柱状图

Fig.12 The basement lithology column of wells JZ33-1-A and JZ28-1-1-A in the Liaodong Uplift

6 结论

(1) 辽东凸起锦州 27 构造沙河街组发育中生代白垩纪锆石和古元古代锆石。白垩纪锆石具有 120 Ma 峰值, 锆石多呈柱状, 具有棱角和生长环带。古元古代锆石具有 1 800、2 500 Ma 两个峰值, 锆石多呈浑圆状, 棱角不明显, 生长环带多发生破坏。

(2) 沙河街组不同沉积时期, 不同年代锆石和不同类型岩屑占比发生变化。沙四段沉积时期, 砂岩中古元古代锆石占比为 55%, 白垩纪锆石占比为 25%, 岩屑以变质岩为主。沙三段—沙一二段沉积时期, 砂岩中古元古代锆石占比为 44%, 白垩纪锆石占比为 33%, 岩屑以火山岩、变质岩为主。

(3) 锦州 27 构造沙河街组受盆外复州北部地区新元古界沉积岩和盆内白垩系火山岩共同影响。其中, 沙四段沉积时期, 母岩以胶辽隆起复州北部

地区新元古界沉积岩为主; 沙三段—沙一二段沉积时期, 受辽东凸起不断隆升影响, 盆内白垩纪火山岩物源供源作用逐渐增强。

参考文献:

- [1] 徐长贵, 陆相断陷盆地源-汇时空耦合控砂原理: 基本思想、概念体系及控砂模式 [J]. 中国海上油气, 2013, 25(4): 1-11, 21.
XU C G. Controlling sand principle of source-sink coupling in time and space in continental rift basins: basic idea, conceptual systems and controlling sand models[J]. China Offshore Oil and Gas, 2013, 25(4): 1-11, 21.
- [2] 聂银兰, 朱筱敏, 董艳蕾, 等. 陆相断陷盆地源-汇系统要素表征及研究展望 [J]. 地质论评, 2022, 68(5): 1881-1896.
NIE Y L, ZHU X M, DONG Y L, et al. Characterization and research prospect of source-to-sink system elements in continental rift basin[J]. Geological Review, 2022, 68(5): 1881-1896.
- [3] 朱红涛, 徐长贵, 朱筱敏, 等. 陆相盆地源-汇系统要素耦合研

- 究进展[J]. 地球科学, 2017, 42(11): 1851-1870.
- ZHU H T, XU C G, ZHU X M, et al. Advances of the source-to-sink units and coupling model research in continental basin[J]. Earth Science, 2017, 42(11): 1851-1870.
- [4] 赵红格, 刘池洋. 物源分析方法及研究进展[J]. 沉积学报, 2003, 21(3): 409-415.
- ZHAO H G, LIU C Y. Approaches and prospects of provenance analysis[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(3): 409-415.
- [5] 徐杰, 姜在兴. 碎屑岩物源研究进展与展望[J]. 古地理学报, 2019, 21(3): 379-396.
- XU J, JIANG Z X. Provenance analysis of clastic rocks: current research status and prospect[J]. Journal of Palaeogeography, 2019, 21(3): 379-396.
- [6] 赵梦, 杜晓峰, 王清斌, 等. 渤海东部旅大 29-1 构造沙二段砂砾岩锆石定年及物源示踪[J]. 沉积学报, 2019, 37(1): 62-71.
- ZHAO M, DU X F, WANG Q B, et al. Detrital zircon U-Pb geochronology of the Es2 sandstones of Lvda 29-1 structure in the eastern Bohai Sea, and its implication for provenance[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2019, 37(1): 62-71.
- [7] 赵梦, 徐长贵, 杜晓峰, 等. 石臼坨凸起西南陡坡带扇三角洲锆石定年与源汇示踪[J]. 地球科学, 2017, 42(11): 1984-1993.
- ZHAO M, XU C G, DU X F, et al. Detrital zircon U-Pb geochronology and provenance tracing of the fan deltas along the southwestern slope of the Shijiutuo Uplift[J]. Earth Science, 2017, 42(11): 1984-1993.
- [8] 刘强虎, 朱筱敏, 李顺利, 等. 沙垒田凸起前古近系基岩分布及源-汇过程[J]. 地球科学, 2016, 41(11): 1935-1949.
- LIU Q H, ZHU X M, LI S L, et al. Pre-Palaeogene bedrock distribution and source-to-sink system analysis in the Shaleitian Uplift[J]. Earth Science, 2016, 41(11): 1935-1949.
- [9] 李欢, 杨香华, 朱红涛, 等. 渤中西环古近系东营组物源转换与沉积充填响应[J]. 沉积学报, 2015, 33(1): 36-48.
- LI H, YANG X H, ZHU H T, et al. The provenance transformation and sedimentary filling response of Paleogene Dongying Formation in western slope of Bozhong Sag[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2015, 33(1): 36-48.
- [10] 余宏忠. 渤中凹陷西斜坡碎屑锆石特征及物源定量示踪[J]. 特种油气藏, 2014, 21(6): 42-46.
- YU H Z. Clastic zircon characteristics and quantitative tracing of provenances in western slope of Bozhong Sag[J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2014, 21(6): 42-46.
- [11] 杨克基, 漆家福, 余一欣, 等. 辽东湾地区潜山差异演化及成藏条件分析[J]. 天然气地球科学, 2016, 27(6): 1014-1024.
- YANG K J, QI J F, YU Y X, et al. The differential evolution of buried hills in Liaodong Bay area and analysis on their reservoir forming conditions[J]. Natural Gas Geoscience, 2016, 27(6): 1014-1024.
- [12] 贾楠, 刘池阳, 周立宏, 等. 辽东湾拗陷新生代断裂特征及其对油气的控制作用[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2018, 48(6): 839-849.
- JIA N, LIU C Y, ZHOU L H, et al. Characteristics of fault structure and its control on hydrocarbons in the Liaodong Bay Depression[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2018, 48(6): 48-94.
- [13] 贾楠, 刘池洋, 张功成, 等. 辽东湾拗陷新生代差异抬升事件的确定及其地质意义[J]. 地学前缘, 2015, 22(3): 77-87.
- JIA N, LIU C Y, ZHANG G C, et al. The Cenozoic distinct uplift events in the Liaodong Bay Depression and their geological significance[J]. Earth Science Frontiers, 2015, 22(3): 77-87.
- [14] 刘新新. 辽东凸起北段的形成与演化[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2019.
- LIU X X. The formation and evolution of northern Liaodong Dome[D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2019.
- [15] 张婧, 吴智平, 李伟, 等. 辽东湾拗陷新生代构造特征及演化[J]. 海洋地质前沿, 2017, 33(11): 9-17.
- ZHANG J, WU Z P, LI W, et al. Cenozoic tectonic characteristics and evolution of Liaodong Bay Depression[J]. Marine Geology Frontiers, 2017, 33(11): 9-17.
- [16] 黄雷, 周心怀, 刘池洋, 等. 渤海海域新生代盆地演化的重要转折期证据及区域动力学分析[J]. 中国科学(地球科学), 2012, 42(6): 893-904.
- HUANG L, ZHOU X H, LIU C Y, et al. The important turning points during evolution of Cenozoic basin offshore the Bohai Sea: evidence and regional dynamics analysis[J]. Science China Earth Science, 2012, 42(6): 893-904.
- [17] 彭靖淞, 徐长贵, 吴奎, 等. 郯庐断裂带辽东凸起的形成与古辽中洼陷的瓦解[J]. 石油学报, 2015, 36(3): 274-285.
- PENG J S, XU C G, WU K, et al. Formation of Liaodong Uplift and collapse of the ancient Liaozhong Sag in Tan-Lu Fault Zone[J]. Acta Petrolei Sinica, 2015, 36(3): 274-285.
- [18] 徐长贵, 张功成, 黄胜兵, 等. 渤海湾盆地海域白垩系大中型火山岩油气藏形成条件[J]. 石油勘探与开发, 2024, 51(3): 467-477.
- XU C G, ZHANG G C, HUANG S B, et al. Formation of large- and medium-sized Cretaceous volcanic reservoirs in the offshore Bohai Bay Basin, East China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2024, 51(3): 467-477.
- [19] 杨东升, 刘志峰, 吴斌, 等. 渤海海域辽东凸起南段潜山构造演化及其对油气成藏的控制[J]. 中国石油勘探, 2022, 27(3): 78-87.
- YANG D S, LIU Z F, WU B, et al. Tectonic evolution and its control on hydrocarbon accumulation of buried hill in the south section of Liaodong Bulge, Bohai Sea[J]. China Petroleum Exploration, 2022, 27(3): 78-87.
- [20] 牛绍武, 辛后田. 辽东半岛南部中新元古界地层的重新厘定[J]. 地质调查与研究, 2012, 35(1): 1-15.
- NIU S W, XIN H T. Collation on the subdivision and correlation of Meso-Neoproterozoic strata in southern Liaodong Peninsula, Liaoning Province, China[J]. Geological Survey and Research, 2012, 35(1): 1-15.
- [21] 于泓超. 胶-辽-吉造山带吉南地区古元古代沉积-岩浆作用及构造意义[D]. 长春: 吉林大学, 2023.

- YU H C. Paleoproterozoic sedimentary-magmatism and its tectonic significance in the southern Jilin Province of Jiao-Liao-Ji Orogenic Belt[D]. Changchun: Jilin University, 2023.
- [22] 高林志, 张传恒, 陈寿铭, 等. 辽东半岛细河群沉积岩碎屑锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. *地质通报*, 2010, 29(8): 1113-1122.
- GAO L Z, ZHANG C H, CHEN S M, et al. Detrital zircon SHRIMP U-Pb age from the Diaoyutai Formation, Xihe Group in Liaodong Peninsula, China and its geological significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 2010, 29(8): 1113-1122.
- [23] ZHANG W, LIU F L, LIU C H, et al. Provenance transition from the North China Craton to the Grenvillian orogeny-related source: evidence from Late Mesoproterozoic-Early Neoproterozoic strata in the Liao-Ji area[J]. *Precambrian Research*, 2021, 362: 1-17.
- [24] 王伟, 杨红, 冀磊. 辽南地块新太古代 2.52~2.46 Ga 构造-热事件的识别及地质意义 [J]. *岩石学报*, 2017, 33(9): 2775-2784.
- WANG W, YANG H, JI L. The identification of the Neoproterozoic 2.52~2.46 Ga tectono-thermal events from the Liaonan terrain and its geological significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2017, 33(9): 2775-2784.
- [25] 吴福元, 杨进辉, 柳小明, 等. 辽东半岛中生代花岗岩浆作用的年代学格架 [J]. *高校地质学报*, 2005, 11(3): 305-317.
- WU F Y, YANG J H, LIU X M et al. Geochronological framework of the Mesozoic granitic magmatism in the Liaodong Peninsula, Northeast China[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2005, 11(3): 305-317.

Source tracing of detrital zircons from Shahejie Formation of the Jinzhou 27 Structure in Liaodong Uplift, northeastern Bohai Sea

GENG Mingyang, LIU Zhifeng, LEI Hangshan

(CNOOC Research Institute Co., Ltd., Beijing 100028, China)

Abstract: Development of sand bodies in the Shahejie Formation (SF) in the Jinzhou 27 Structure of the Liaodong Uplift in the northeast of Bohai Sea showed rapid lateral changes, thus conducting source tracing is of great significance for clarifying the distribution of sand bodies. By analyzing the zircon U-Pb age, zircon morphology, and debris composition of the sandstone in the study area, the age, type, and source area of the parent rock of the SF in the study area were clarified. Results indicate that: ① The SF mainly develops Cretaceous zircons with peak ages of 120 Ma and Paleoproterozoic zircons with peak ages of 1 800 Ma and 2 500 Ma. Zircons from the Cretaceous period are mostly columnar in angular shape with growth rings. The Paleoproterozoic zircons are mostly round in shape, with indistinct edges and corners, and their growth rings are often damaged. ② In the fourth member of SF, the proportion of Paleoproterozoic zircons in sandstone was 55%, and that of Cretaceous zircons was 25%. The rock fragments were mainly from metamorphic rocks. From the third to first and second members of SF sediments, the proportion of Paleoproterozoic zircons in sandstone was 44%, and that of Cretaceous zircons was 33%. The rock fragments were mainly from volcanic rocks and metamorphic rocks. ③ The parent rock of SF is mainly composed of Neoproterozoic sedimentary rocks in the northern part of Fuzhou in the Jiao-liao Uplift. At the same time, influenced by the continuously uplift of Liaodong Uplift, the influence of the provenance of Cretaceous volcanic rocks in the basin area gradually increased.

Key words: zircon dating; source analysis; Shahejie Formation; Liaodong Uplift