

# 北黄海侏罗系碎屑锆石 U-Pb 定年及地质意义

高顺莉<sup>1,2</sup>, 周祖翼<sup>1</sup>, 王嘹亮<sup>3</sup>

(1. 同济大学 海洋与地球科学学院, 上海 200092; 2. 中海石油(中国)有限公司上海分公司, 上海 200030;  
3. 广州海洋地质调查局, 广东 广州 510760)

**摘要:** 对北黄海钻遇的侏罗系地层的4个变质火成岩样品进行锆石 U-Pb 定年分析, 主要获得了2类年龄记录, 一类是前寒武纪变质基底形成演化的年龄, 另一类是印支期碰撞造山改造的年龄记录。变质基底的年龄区间分布在1.0 Ga至2.6 Ga, 其中1.4 Ga至1.8 Ga是一个主要构造岩浆期, 包括(1 792±140) Ma, (1 447±110) Ma 和(1 524±68) Ma 三组 U-Pb 谐和年龄。与华北和扬子印支期碰撞造山作用有关的定年结果为200 Ma至240 Ma。这2类年龄与邻区胶北地体及苏鲁造山带获得的年龄数据具有很好可比性, 可为进一步认识北黄海侏罗系物源区构造演变特点提供重要依据。

**关键词:** 碎屑锆石定年; 北黄海; 区域对比; 构造意义

**中图分类号:** P597

**文献标志码:** A

## Zircon U-Pb Dating and Geological Significance for Jurassic Igneous Rocks in North Yellow Sea Basin

GAO Shunli<sup>1,2</sup>, ZHOU Zuyi<sup>1</sup>, WANG Liaoliang<sup>3</sup>

(1. College of Ocean and Earth Science, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. CNOOC China Limited (Shanghai), Shanghai 200030, China; 3. Guangzhou Marine Geological Survey Bureau, Guangzhou 510760, China)

**Abstract:** Zircon U-Pb dating analysis was performed on four igneous rock samples taken from the Jurassic debris of the drilling wells in North Yellow Sea Basin. Two sorts of ages are obtained, one is about the formation and evolution of Precambrian metamorphosed basement and the other is about the collisional orogeny in Indo-Chinese epoch. The age about metamorphism basement is distributed in 1.0—2.6 Ga, its main tectonic magma period is 1.4—1.8 Ga which includes three groups of U-Pb Concordia ages: 1 792±140 Ma, 1 447±110 Ma and 1 524±68 Ma. The age connected to the collisional orogeny between North China block and Yangze block in Indo-Chinese epoch is distributed in 200—240 Ma. These two ages have a good relationship with neighboring

blocks as Jiaobei terrane and Sulu orogene. They can provide important evidence for the tectonic evolution of source area in Jurassic strata in North Yellow Sea Basin.

**Key words:** debris zircon U-Pb dating; North Yellow Sea; area comparison; tectonic significance

北黄海盆地发育在中朝地台变质岩基底之上, 盆地自形成之后经历了比较复杂的演化过程, 盆地内各个拗陷发育侏罗系以来的多套沉积地层, 属于多期发育、复合叠加、后期改造的特殊盆地。前人根据区域地质情况和实际资料对北黄海盆地的基底性质、盆地内沉积地层发育情况及晚侏罗世之后盆地构造演化特征进行过较详细的论述和分析, 但针对实际样品鲜见相关锆石 U-Pb 定年结果的报导。北黄海域中有多口实钻井钻遇中生界岩浆岩及前中生界基底变质岩和岩浆岩地层, 为北黄海盆地的地层发育特征、构造岩浆活动及基底地质特征提供了一些可借鉴的资料。其中盆地中实钻前中生界地层厚度逾千米, 以变质岩为主, 夹少量沉积岩, 岩性为板岩、硅质板岩、火山角砾岩、辉绿岩等; 实钻中生界岩浆岩主要发育在侏罗系及白垩系地层中, 包含了中性侵入岩、酸性侵入岩、基性喷出岩和酸性喷出岩等。本文对北黄海域钻孔中的中生代岩浆岩进行采样, 采用锆石 U-Pb 定年方法对其进行了年代学测定和分析。通过分析北黄海域钻孔中的岩浆岩年龄记录, 并与相邻的苏鲁造山带和胶北地块大量的已有锆石 U-Pb 定年成果进行比较, 探讨了北黄海盆地基底形成时间以及基底形成以来所经历的构造热事件, 特别是三叠纪华北大陆与扬子大陆的碰撞事件, 为这一地区构造演化属性及地层时代划分提供了新的年代约束。

收稿日期: 2012-03-29

第一作者: 高顺莉(1976—), 女, 高级工程师, 博士生, 主要研究方向为海上油气地质. E-mail: gaoshunli2012@foxmail.com

通讯作者: 周祖翼(1963—), 男, 教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为大陆边缘构造及盆地分析. E-mail: zhouzy@tongji.edu.cn

## 1 地质背景

北黄海盆地位于山东半岛荣成市成山岛与朝鲜白翎岛连线以北的黄海北部海域,面积逾 3 万平方千米,平均水深 38 m,是位于中朝板块东部隆起背景之上的一个中、新生代沉积盆地。盆地北侧和西南侧分别为胶辽地块的辽东隆起和胶北造山带,东侧为朝鲜半岛狼林地块,南侧为苏胶—千里岩—临津造山带,西临郯庐断裂,见图 1。在大地构造位置上,北黄海盆地属于中朝地台胶辽隆起在海域的东延部分,在盆地形成演化和沉积构造特征等方面,北黄海盆地与朝鲜的安州盆地同属于一个盆地,其地质构造演化史与胶辽隆起相似<sup>[1-3]</sup>。根据区域地质演化、海区钻井信息及地球物理资料,结合周边陆区钻井和地层发育特征分析等,从中、新生代油气勘探的角度出发,北黄海盆地基底为一套震旦纪—三叠纪变质岩系,在基底之上不同程度地发育侏罗纪以来的多套沉积地层。

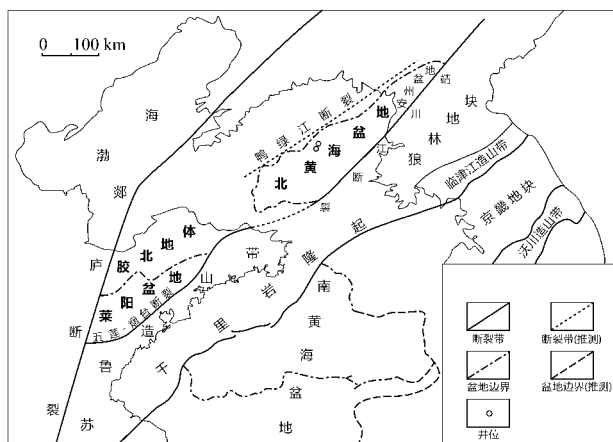


图1 北黄海盆地及邻区构造位置示意

Fig.1 Regional tectonic location of North Yellow Sea Basin and neighboring areas

对于基底,国内专家学者有多种认识。有学者认为北黄海结晶基底为一套古老的太古代—早元古代变质岩系,此后,震旦系地层在北黄海零星发育,缺失整个古生界和下中生界地层<sup>[4]</sup>;有学者论述朝鲜钻井中寒武系褐色灰岩及钙质页岩以及元古界变质岩系,岩性为千枚岩、片麻岩、白云岩和灰岩。还有学者认为北黄海盆地的变质基底为华北地台,由太古界—元古界的花岗岩、变粒岩、大理岩、石英岩、板岩和片岩组成,而该盆地中的古生界与华北地台上的沉积建造基本相似<sup>[5]</sup>。对于盆地内前寒武纪变质基底的形成演化过程缺少相关论述,特别是对中生代

时期的构造演化阶段缺少年龄演变的相关证据。

在长期隆升剥蚀、夷平的前中生代基底之上,北黄海盆地主体为中生代叠合盆地,主要由一系列彼此孤立的分割性较强的断陷组成,可划分为东部坳陷、中央隆起、中部坳陷、中西部隆起、西部坳陷和南部凹陷群等多个彼此分割的二级构造单元<sup>[6]</sup>。针对侏罗纪以来的中生代叠合盆地的发展演化过程已有较详细研究,中生代叠合盆地经历了中生代断陷、古近纪叠加断陷和新近纪坳陷等构造演化阶段,盆地内不同程度地发育了中上侏罗统、下白垩统、古近系、新近系和第四系的沉积地层<sup>[7]</sup>。盆地内多个钻井钻遇侏罗纪地层,主要为一套河湖相碎屑岩和火山碎屑岩系,是盆地内主要的一套生烃岩系<sup>[7-8]</sup>。

## 2 样品采集与测试方法

北黄海海域中多口井钻遇火成岩,火成岩分布在前中生代基底、侏罗系和白垩系等地层中。钻遇前中生代基底火成岩主要为辉绿岩和玄武岩。侏罗纪火成岩的种类比较繁杂,包含了中性侵入岩、酸性侵入岩、基性喷出岩和酸性喷出岩等。本文分析的样品采自 NYS1 和 NYS2 两口井钻遇的火山岩岩屑,从古生物、岩性及地震地层等多种对比可知其所处地层时代大致属于侏罗纪。其中 NYS1 井岩屑样品为 NYS1-1(3 999~4 011 m),为黑色玄武岩,致密,具粗玄结构,在长条状斜长石微晶间隙中充填着磁铁矿等暗色矿物。NYS2 井中岩屑样品为 NYS2-1(4 052~4 080 m),NYS2-2(4 390~4 430 m)和 NYS2-3(4 446~4 478 m),样品均为辉绿岩,灰绿色,成分主要为辉石、斜长石,见少量磁铁矿,辉石绿泥化,具有辉绿结构,块状构造。

对上述 4 个样品进行了 LA-ICP-MS(激光剥蚀等离子体质谱仪)锆石 U-Pb 定年分析。每一岩屑样品(约 2~3 kg)粉碎至 80~300 mm 粒度,经过重液、磁选分离后,在双目镜下根据颜色、晶形、透明度挑选出无明显裂隙和包裹体的锆石 300~500 粒,它们与锆石标样一道用环氧树脂固定制成靶,然后对锆石靶抛光直至锆石露出一半晶面。锆石阴极发光(CL)显微照相在中国科学院地质与地球物理研究所完成,用以分析锆石的内部结构和微量元素分布特点等,帮助选定最佳的锆石 U-Pb 测年部位。锆石 U-Pb 同位素和微量元素测定在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室(GPMR)

利用 LA-ICP-MS 进行分析. 激光剥蚀系统为 GeoLas2005, ICP-MS 为 Agilent7500a. 采用氦气作为剥蚀物质的载气, 剥蚀激光为 193 nm 准分子激光, 能量为 50 mJ, 激光频率为 10 Hz, 激光束斑直径为 32  $\mu\text{m}$ , 使用锆石标样 91500 m<sup>[9]</sup> 进行同位素分馏校正, 4 个锆石待测样与 2 个标样交替进行, 同时包括 10 个微量元素测试分析. U-Th-Pb 同位素比值、表面年龄计算采用软件 ICP-MSDataCal 完成, 锆石年龄计算及谐和图的绘制采用 ISOPLLOT(3.7)<sup>[10]</sup>, 加权平均年龄采用  $m(^{206}\text{Pb})/m(^{238}\text{U})$  得到, 其中  $m(^{206}\text{Pb})$ ,  $m(^{238}\text{U})$  分别为  $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{238}\text{U}$  质量. 单点分析的同位素比值的年龄误差为  $1\sigma$ , U-Pb 平均年龄误差置信度为 95%.

### 3 锆石 U-Pb 定年结果

4 个锆石样品的颜色均为无色或略带褐色, 呈半自形柱状或其他形状, 锆石粒径为 30~150  $\mu\text{m}$ , 柱状锆石长宽比为 1:1~4:1. CL 阴极发光图像显示, 这些锆石少数发育不明显的振荡环带, 大部分呈云雾状和斑杂状, 具有白色的变质增生边. 各样品锆石同位素分析结果见表 1.

#### 3.1 NYS1 井火山岩

根据元素分析特点, 样品 NYS1-1 测得锆石的  $\text{SiO}_2$  质量分数( $w_{\text{SiO}_2}$ )为 94.4%~96.1%, U 质量分数( $w_{\text{U}}$ )为  $126 \times 10^{-6} \sim 2\,535 \times 10^{-6}$ , Th 质量分数( $w_{\text{Th}}$ )为  $5.02 \times 10^{-6} \sim 1\,249 \times 10^{-6}$ ,  $w_{\text{Th}}/w_{\text{U}}$  为 0.02~1.65, 大多数大于 0.4 (见表 1). 这些测年锆石具有重稀土元素明显富集的特点, 具有 Ce 正异常和 Eu 负异常明显等特征. 根据 24 个激光点的分析结果, 除了 2 个点显示 Pb 丢失外, 其余 22 个锆石核边点数据落在谐和线附近, 形成了等时线年龄及模式年龄的加权平均方差 ( $M_{\text{SWD}}$ ) (图 2a, 图中  $m(^{207}\text{Pb})$ ,  $m(^{235}\text{U})$  分别为  $^{207}\text{Pb}$ ,  $^{235}\text{U}$  的质量). 较老的锆石年龄记录集中在古元古界, 包括 2 000 Ma 至 2 400 Ma 散点年龄以及一组加权平均年龄为  $(1\,792.0 \pm 140.0)\text{Ma}$  ( $M_{\text{SWD}} = 7.40$ , 样本数  $n = 8$ ), 它们代表了研究区前寒武纪结晶基底形成和重要演化事件的年龄记录. 更年轻的年龄记录了变质岩形成后经历的构造热事件, 其中影响最大的是三叠纪华北与扬子的碰撞事件<sup>[11-13]</sup>, 与之对应的加权平均年龄为  $(212.2 \pm 6.4)\text{Ma}$  ( $M_{\text{SWD}} = 0.16$ ,  $n = 3$ ). 除此之外, 在 1 400 Ma, 800 Ma 处也可见零星数据点, 属于构造扰动的年龄记录 (见图 2a).

#### 3.2 NYS2 井火山岩

样品 NYS2-1 测得锆石的  $w_{\text{SiO}_2}$  为 92.7%~96.5%,  $w_{\text{U}}$  为  $168 \times 10^{-6} \sim 4\,475 \times 10^{-6}$ ,  $w_{\text{Th}}$  为  $278 \times 10^{-6} \sim 4\,187 \times 10^{-6}$ ,  $w_{\text{Th}}/w_{\text{U}}$  为 0.40~1.67 (见表 1). 这些锆石重稀土元素富集明显, 大部分具有 Ce 正异常和 Eu 负异常明显等特征. 根据 24 个激光点的分析结果, 较老的年龄散布在 900 Ma 至 1 900 Ma (图 2b), 仅形成一组有效的加权平均年龄为  $(240.5 \pm 4.3)\text{Ma}$  ( $M_{\text{SWD}} = 3.00$ ,  $n = 10$ ). 由于 NYS2-1, NYS2-2 和 NYS2-3 来自同一口井, 综合认为  $(240.5 \pm 4.3)\text{Ma}$  这一年龄记录与华北和扬子板块的碰撞事件有关.

样品 NYS2-2 测年锆石的  $w_{\text{SiO}_2}$  为 93.4%~96.0%,  $w_{\text{U}}$  为  $262 \times 10^{-6} \sim 2\,504 \times 10^{-6}$ ,  $w_{\text{Th}}$  为  $141 \times 10^{-6} \sim 6\,370 \times 10^{-6}$ ,  $w_{\text{Th}}/w_{\text{U}}$  为 0.11~2.81, 大多数大于 0.4. 根据 25 个点的分析结果, 除去 2 个 Pb 丢失数据外, 其余年龄均落在谐和线上 (图 2c). 较老的年龄零星分布在 1 800 Ma 至 2 600 Ma, 没有形成谐和年龄, 代表变质岩古老碎屑锆石的年龄信息; 一组加权平均年龄为  $(1\,447.0 \pm 110.0)\text{Ma}$  ( $M_{\text{SWD}} = 1.30$ ,  $n = 5$ ), 可能代表变质岩形成的年龄; 变质岩形成后经历了数次构造热事件改造, 其中受华北与扬子碰撞事件影响最大, 由此形成的加权平均年龄为  $(221.7 \pm 4.9)\text{Ma}$  ( $M_{\text{SWD}} = 2.00$ ,  $n = 10$ ).

样品 NYS2-3 的  $w_{\text{SiO}_2}$  为 93.4%~97.2%,  $w_{\text{U}}$  为  $167 \times 10^{-6} \sim 3\,116 \times 10^{-6}$ ,  $w_{\text{Th}}$  为  $132 \times 10^{-6} \sim 2\,332 \times 10^{-6}$ ,  $w_{\text{Th}}/w_{\text{U}}$  为 0.30~2.00, 大多数大于 0.4. 根据 29 个点的分析结果, 除去 4 个 Pb 丢失数据外, 其他点均落在谐和线上 (图 2d), 较老的年龄分布在 1 700 Ma 至 2 000 Ma 之间, 没有形成谐和年龄, 代表变质岩碎屑锆石的年龄信息; 一组加权平均年龄为  $(1\,524.0 \pm 68.0)\text{Ma}$  ( $M_{\text{SWD}} = 0.69$ ,  $n = 6$ ), 可能属于变质岩形成年龄; 这套变质岩在三叠纪遭受华北与扬子碰撞作用的强烈改造, 由此形成了 2 组平均年龄为  $(238.1 \pm 3.5)\text{Ma}$  ( $M_{\text{SWD}} = 0.51$ ,  $n = 6$ ) 和  $(207.3 \pm 5.0)\text{Ma}$  ( $M_{\text{SWD}} = 0.17$ ,  $n = 3$ ), 除此之外, 在 1 000 Ma 至 1 400 Ma 零星有年龄数据记录.

对所有钻遇样品的锆石 U-Pb 数据综合分析认为, 较老的年龄零星分布在 1 950 Ma 至 2 600 Ma (图 3), 没有形成谐和年龄, 可能代表古老碎屑锆石的年龄信息; 多数古老年龄共形成了 4 组加权平均年龄, 分别为  $(1\,167.0 \pm 110.0)\text{Ma}$  ( $M_{\text{SWD}} = 1.40$ ,  $n = 6$ ),  $(1\,231.0 \pm 51.0)\text{Ma}$  ( $M_{\text{SWD}} = 0.66$ ,  $n = 7$ ),  $(1\,797.0 \pm 33.0)\text{Ma}$  ( $M_{\text{SWD}} = 0.94$ ,  $n = 10$ ),

( $167.0 \pm 110.0$ ) Ma ( $M_{\text{SWD}} = 1.40, n = 6$ ), 可能代表变质岩形成年龄. 变质岩形成后经历了多次构造热改造作用, 其中以三叠纪华北与扬子碰撞事件最显著, 形成了一组加权平均年龄为 ( $231.9 \pm 4.7$ ) Ma ( $M_{\text{SWD}} = 11.70, n = 39$ ) 的记录.

## 4 讨论

本次在北黄海侏罗系地层获得的钻遇变质火成岩样品其碎屑锆石 U-Pb 年龄数据均代表了物源区

表1 NYS1-1 及 NYS2-1 样品锆石同位素分析结果

Tab.1 Zircon isotopes analysis of NYS1-1 and NYS2-1

| 分析点号      | $w_{\text{Th}}/10^{-6}$ | $w_{\text{U}}/10^{-6}$ | $w_{\text{Th}}/w_{\text{U}}$ | $m(^{207}\text{Pb})/m(^{206}\text{Pb})$ | $1\sigma$ | $m(^{207}\text{Pb})/m(^{235}\text{U})$ | $1\sigma$ | $m(^{206}\text{Pb})/m(^{238}\text{U})$ | $1\sigma$ |
|-----------|-------------------------|------------------------|------------------------------|---|-----------|--|-----------|--|-----------|
| NYS1-1-01 | 627                     | 1 170                  | 0.54                         | 0.085 0                                 | 0.003 0   | 2.992 5                                | 0.105 5   | 0.250 5                                | 0.003 9   |
| NYS1-1-02 | 960                     | 863                    | 1.11                         | 0.058 9                                 | 0.005 2   | 0.275 4                                | 0.025 5   | 0.033 1                                | 0.000 8   |
| NYS1-1-03 | 142                     | 1 069                  | 0.13                         | 0.124 0                                 | 0.004 5   | 5.673 2                                | 0.208 7   | 0.323 7                                | 0.004 1   |
| NYS1-1-04 | 775                     | 764                    | 1.01                         | 0.063 8                                 | 0.005 1   | 0.344 9                                | 0.025 8   | 0.039 3                                | 0.000 8   |
| NYS1-1-05 | 744                     | 450                    | 1.65                         | 0.118 7                                 | 0.010 6   | 0.642 6                                | 0.060 5   | 0.039 4                                | 0.001 2   |
| NYS1-1-06 | 408                     | 923                    | 0.44                         | 0.154 1                                 | 0.006 3   | 9.696 1                                | 0.392 5   | 0.446 9                                | 0.006 1   |
| NYS1-1-07 | 1 249                   | 2 535                  | 0.49                         | 0.055 8                                 | 0.002 9   | 0.304 7                                | 0.017 0   | 0.038 8                                | 0.000 7   |
| NYS1-1-08 | 949                     | 782                    | 1.21                         | 0.074 3                                 | 0.006 6   | 0.339 2                                | 0.030 2   | 0.033 5                                | 0.000 9   |
| NYS1-1-09 | 740                     | 893                    | 0.83                         | 0.066 5                                 | 0.003 0   | 1.192 5                                | 0.054 6   | 0.125 9                                | 0.002 4   |
| NYS1-1-10 | 621                     | 525                    | 1.18                         | 0.084 9                                 | 0.003 9   | 2.635 5                                | 0.114 7   | 0.220 3                                | 0.003 9   |
| NYS1-1-11 | 5                       | 223                    | 0.02                         | 0.109 9                                 | 0.004 6   | 5.069 2                                | 0.193 9   | 0.328 6                                | 0.005 5   |
| NYS1-1-12 | 373                     | 393                    | 0.95                         | 0.089 4                                 | 0.003 1   | 4.039 4                                | 0.143 4   | 0.317 0                                | 0.004 5   |
| NYS1-1-13 | 415                     | 513                    | 0.81                         | 0.071 1                                 | 0.007 9   | 0.325 5                                | 0.029 8   | 0.033 9                                | 0.001 0   |
| NYS1-1-14 | 259                     | 318                    | 0.81                         | 0.112 1                                 | 0.011 1   | 0.593 5                                | 0.063 0   | 0.039 0                                | 0.001 4   |
| NYS1-1-15 | 637                     | 957                    | 0.67                         | 0.107 4                                 | 0.003 5   | 4.928 3                                | 0.156 6   | 0.327 9                                | 0.004 4   |
| NYS1-1-16 | 217                     | 331                    | 0.65                         | 0.119 6                                 | 0.004 7   | 6.083 0                                | 0.232 0   | 0.367 9                                | 0.005 3   |
| NYS1-1-17 | 131                     | 126                    | 1.04                         | 0.104 5                                 | 0.005 7   | 4.525 8                                | 0.244 7   | 0.317 4                                | 0.005 8   |
| NYS1-1-18 | 547                     | 592                    | 0.92                         | 0.082 2                                 | 0.003 1   | 2.644 7                                | 0.094 6   | 0.232 3                                | 0.003 3   |
| NYS1-1-19 | 229                     | 619                    | 0.37                         | 0.163 4                                 | 0.004 7   | 10.325 5                               | 0.300 3   | 0.452 7                                | 0.005 2   |
| NYS1-1-20 | 806                     | 825                    | 0.98                         | 0.151 8                                 | 0.004 9   | 8.553 5                                | 0.287 9   | 0.404 4                                | 0.006 6   |
| NYS1-1-21 | 883                     | 822                    | 1.07                         | 0.110 4                                 | 0.003 6   | 5.058 8                                | 0.164 0   | 0.328 7                                | 0.004 1   |
| NYS1-1-22 | 28                      | 737                    | 0.04                         | 0.119 0                                 | 0.003 9   | 5.486 3                                | 0.191 5   | 0.329 5                                | 0.004 8   |
| NYS1-1-23 | 748                     | 1 358                  | 0.55                         | 0.140 7                                 | 0.003 7   | 7.990 5                                | 0.210 0   | 0.405 6                                | 0.004 8   |
| NYS1-1-24 | 1 237                   | 1 541                  | 0.80                         | 0.109 4                                 | 0.002 8   | 5.003 3                                | 0.124 1   | 0.327 3                                | 0.003 8   |
| NYS2-1-01 | 1 090                   | 1 031                  | 1.06                         | 0.093 7                                 | 0.002 0   | 3.937 6                                | 0.083 7   | 0.301 0                                | 0.003 1   |
| NYS2-1-02 | 302                     | 720                    | 0.42                         | 0.109 5                                 | 0.002 7   | 5.286 8                                | 0.130 5   | 0.346 1                                | 0.003 4   |
| NYS2-1-03 | 278                     | 695                    | 0.40                         | 0.088 9                                 | 0.002 2   | 3.317 6                                | 0.078 8   | 0.268 1                                | 0.002 6   |
| NYS2-1-04 | 673                     | 1 581                  | 0.43                         | 0.062 5                                 | 0.003 1   | 0.365 8                                | 0.017 8   | 0.042 1                                | 0.000 6   |
| NYS2-1-05 | 2 423                   | 2 618                  | 0.93                         | 0.050 0                                 | 0.001 9   | 0.255 8                                | 0.009 3   | 0.036 9                                | 0.000 5   |
| NYS2-1-06 | 422                     | 348                    | 1.21                         | 0.111 6                                 | 0.007 3   | 0.625 3                                | 0.038 9   | 0.041 7                                | 0.001 0   |
| NYS2-1-07 | 550                     | 436                    | 1.26                         | 0.082 4                                 | 0.006 6   | 0.387 6                                | 0.027 1   | 0.035 8                                | 0.001 1   |
| NYS2-1-08 | 679                     | 651                    | 1.04                         | 0.058 5                                 | 0.004 0   | 0.269 5                                | 0.017 1   | 0.034 5                                | 0.000 7   |
| NYS2-1-09 | 1 901                   | 2 039                  | 0.93                         | 0.051 5                                 | 0.002 2   | 0.274 2                                | 0.011 6   | 0.038 4                                | 0.000 5   |
| NYS2-1-10 | 425                     | 685                    | 0.62                         | 0.098 6                                 | 0.002 7   | 3.981 2                                | 0.107 9   | 0.289 1                                | 0.003 4   |
| NYS2-1-11 | 4 187                   | 4 475                  | 0.94                         | 0.058 5                                 | 0.002 3   | 0.305 2                                | 0.011 5   | 0.037 4                                | 0.000 5   |
| NYS2-1-12 | 418                     | 950                    | 0.44                         | 0.107 0                                 | 0.002 6   | 5.031 3                                | 0.117 6   | 0.336 8                                | 0.003 6   |
| NYS2-1-13 | 650                     | 497                    | 1.31                         | 0.057 3                                 | 0.003 7   | 0.320 2                                | 0.021 6   | 0.040 2                                | 0.000 7   |
| NYS2-1-14 | 567                     | 641                    | 0.88                         | 0.083 6                                 | 0.002 3   | 2.571 9                                | 0.072 8   | 0.219 1                                | 0.002 4   |
| NYS2-1-15 | 846                     | 787                    | 1.07                         | 0.061 8                                 | 0.004 1   | 0.329 0                                | 0.021 7   | 0.038 4                                | 0.000 6   |
| NYS2-1-16 | 1 084                   | 1 263                  | 0.86                         | 0.055 7                                 | 0.002 7   | 0.294 6                                | 0.014 6   | 0.038 0                                | 0.000 5   |
| NYS2-1-17 | 923                     | 794                    | 1.16                         | 0.099 7                                 | 0.003 7   | 2.783 9                                | 0.131 5   | 0.197 4                                | 0.004 3   |
| NYS2-1-18 | 447                     | 676                    | 0.66                         | 0.068 3                                 | 0.002 1   | 1.496 3                                | 0.046 4   | 0.156 7                                | 0.001 6   |
| NYS2-1-19 | 459                     | 514                    | 0.89                         | 0.054 9                                 | 0.004 1   | 0.287 9                                | 0.020 7   | 0.039 2                                | 0.000 8   |
| NYS2-1-20 | 802                     | 850                    | 0.94                         | 0.051 2                                 | 0.003 3   | 0.240 3                                | 0.015 5   | 0.033 9                                | 0.000 6   |
| NYS2-1-21 | 685                     | 689                    | 0.99                         | 0.058 9                                 | 0.003 6   | 0.319 1                                | 0.019 7   | 0.038 7                                | 0.000 7   |
| NYS2-1-22 | 280                     | 168                    | 1.67                         | 0.079 4                                 | 0.004 0   | 2.234 0                                | 0.105 9   | 0.205 8                                | 0.003 7   |
| NYS2-1-23 | 874                     | 938                    | 0.93                         | 0.051 2                                 | 0.002 9   | 0.263 4                                | 0.015 5   | 0.037 0                                | 0.000 5   |
| NYS2-1-24 | 1 117                   | 927                    | 1.21                         | 0.056 3                                 | 0.004 6   | 0.300 8                                | 0.023 6   | 0.038 6                                | 0.000 7   |

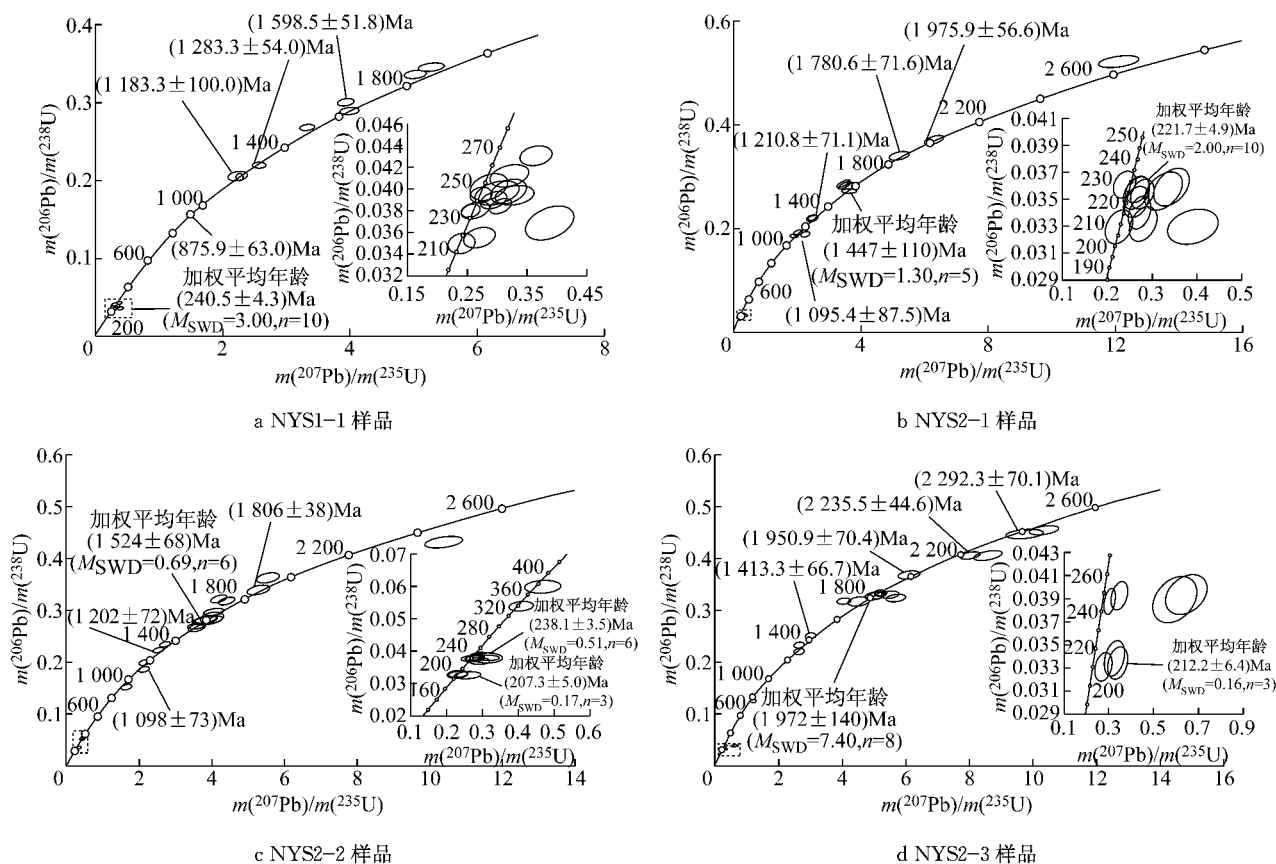


图 2 北黄海 4 个钻遇样品的锆石 U-Pb 谐和图

Fig.2 Zircon U-Pb concordia diagrams of 4 drilling samples from North Yellow Sea Basin

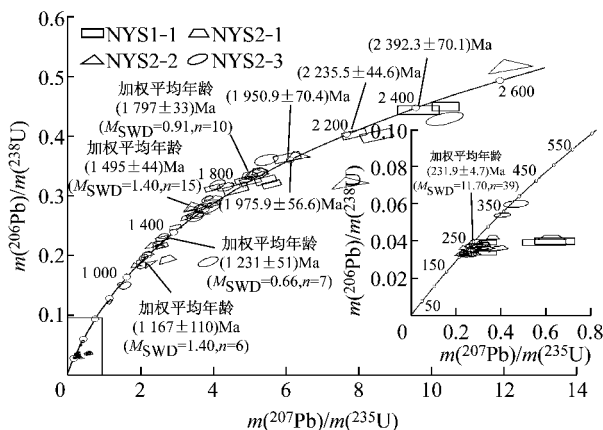


图 3 北黄海 4 个样品的综合锆石 U-Pb 谐和图

Fig.3 Zircon U-Pb integrate concordia diagram of 4 drilling samples from North Yellow Sea Basin

构造岩浆演化的信息,它们可为深化认识物源区构造演变特点提供重要信息.通过对邻区胶北地体和苏鲁造山带的锆石 U-Pb 定年结果进行对比以分析盆地内侏罗纪地层中沉积物来源及与周围地块的联系.

#### 4.1 邻区胶北地体锆石 U-Pb 定年结果

胶北地体位于华北板块东南缘,郯庐断裂以东、

五莲—烟台断裂以北的地区,处于胶—辽—吉构造带的南端,紧邻苏鲁超高压带(见图 1).

前人对胶北地体进行了大量的锆石 U-Pb 定年工作<sup>[14-18]</sup>,获得了其陆壳形成时期及其复杂的后期构造岩浆热事件时代. Zhou 等<sup>[14]</sup>报道了新元古宙蓬莱群浅变质岩系中 2.9 Ga 至 1.8 Ga 的碎屑锆石年龄及约 1.85 Ga 的变质锆石年龄. 刘建辉等<sup>[15]</sup>据锆石 U-Pb 分析得知,胶北地体 4 件 TTG 质(英云闪长岩—奥长花岗岩—花岗闪长岩)片麻岩和 2 件花岗质片麻岩样品记录了(2 909±13)Ma, (2 738±23)Ma, (2 544±15)~(2 564±12)Ma 和(2 095±12)Ma 共 4 组岩浆事件年龄以及(2 504±16)Ma 至(2 513±32)Ma 范围和(1 863±41)Ma 2 组变质事件年龄. 刘平华等<sup>[16]</sup>通过对山东半岛高压麻粒岩 U-Pb 定年获得了 2 890 Ma 至 2 915 Ma 和 2 510 Ma 至 2 763 Ma 两组岩浆锆石年龄,表明其变质基底在中太古代末和新太古代至少存在 2 期岩浆事件;同时获得了 1 850 Ma 至 1 900 Ma 和 1 820 Ma 至 1 840 Ma 的 2 类变质锆石年龄,分别代表高压麻粒岩峰变质和退变质时代. Wan 等<sup>[17]</sup>对荆山群孔兹岩系变泥砂质岩进行了锆石 SHRIMP U-Pb 定年,认

为该岩系形成于古元古代晚期(2.2 Ga 至1.9 Ga),获得变质锆石年龄为1.88 Ga,碎屑锆石年龄变化很大,大致包括4组(2.9 Ga 至2.8 Ga,2.8 Ga 至2.6 Ga,2.5 Ga 至2.4 Ga,2.3 Ga 至2.2 Ga)。万渝生等<sup>[18]</sup>对胶东栖霞太古宙基底中变质闪长岩进行锆石 U-Pb 定年,数据点沿谐和线连续分布于2.25 Ga 至2.54 Ga,最年轻锆石年龄约为1.95 Ga,表明岩石遭受过新太古代晚期(约2.50 Ga)和古元古代晚期(约1.95 Ga 或稍晚)2次强变质作用。

#### 4.2 邻区苏鲁造山带锆石 U-Pb 定年结果

苏鲁造山带是大别造山带的东延(见图1),其北界为五莲断裂带,南界为嘉山—响水断裂带,西界为郯庐断裂带沂沭段。苏鲁造山带显著的构造事件是印支期陆陆碰撞造山以及造山后伸展作用和岩浆大爆发。

苏鲁造山带已有大量的锆石 U-Pb 定年结果,包括其基底形成年龄及后期变质年龄。基底年龄主要分布在古元古代和新元古代。周建波等<sup>[19]</sup>根据五莲山样品获得了(2 280±360)Ma 锆石 U-Pb 年龄,指示该岩浆岩中含有古元古代锆石;Liu 等<sup>[20-21]</sup>通过对东海—临沭地区的花岗质片麻岩分析获得其原岩年龄主要位于新元古代(600 Ma 至800 Ma);Hacker 等<sup>[22]</sup>测得连云港海州群片岩中锆石 U-Pb 年龄为795 Ma,指出新元古代继晋宁主碰撞造山之后存在一次重要的构造岩浆事件。

苏鲁造山带形成于三叠纪华北与扬子板块之间的碰撞造山事件,这一构造事件形成了大量的锆石 U-Pb 年龄记录<sup>[19-25]</sup>。例如,Liu 等<sup>[20-21]</sup>测得东海—临沭地区出露的花岗质片麻岩峰期变质时代为220 Ma 至240 Ma;Hacker 等<sup>[22]</sup>测得东海超高压带锆石边部年龄为(226.0±4.6)Ma;郭敬辉等<sup>[23]</sup>测得荣城附近碱性侵入岩205 Ma 至225 Ma 的锆石 U-Pb 年龄;Wallis 等<sup>[24]</sup>在苏鲁造山带东北部长英质岩墙中获得了200 Ma 至230 Ma 的锆石 U-Pb 年龄;Ames 等<sup>[25]</sup>测得东海超高压带锆石边部年龄为(217.1±8.7)Ma。

#### 4.3 本区锆石 U-Pb 定年结果对比

北黄海属于华北板块的东延部分,其地质构造演化史与胶辽隆起具有相似性。本文样品获得的前寒武纪年龄分布在800 Ma 至2 600 Ma 之间,可以大致划分为2 600 Ma 至1 800 Ma 和1 800 Ma 至800 Ma 2组,如图4所示。

第1组主要记录了北黄海基底古元古代构造岩浆演化的年龄信息,包括2 600 Ma,2 500 Ma,

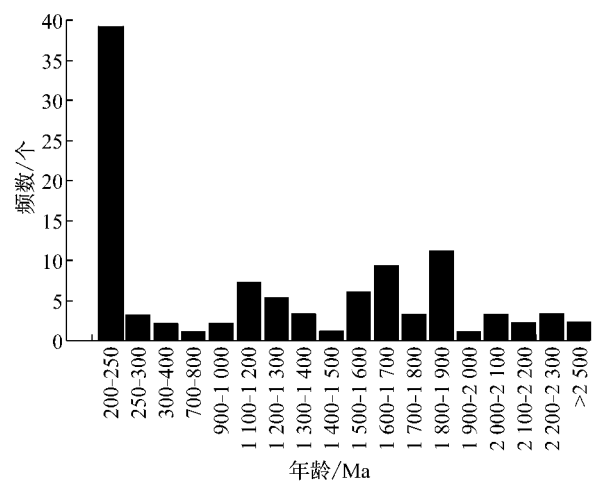


图4 北黄海4个样品的综合锆石 U-Pb 年龄分布直方图  
Fig.4 Zircon U-Pb age comparison of 4 drilling samples from North Yellow Sea basin

(2 392.3±70.1) Ma, (2 235.5±44.6) Ma, (1 975.0±56.6) Ma 和(1 950.0±70.4) Ma 等年龄数据。第2组1 800 Ma 至800 Ma 年龄记录主要包括(1 792.0±140.0) Ma, (1 524.0±68.0) Ma 和(1 447.0±110.0) Ma 的岩浆锆石谐和年龄以及(1 806.0±38.0) Ma, (1 797.0±33.0) Ma, (1 780.6±71.6) Ma, (1 598.5±51.8) Ma, (1 495.0±44.0) Ma, (1 413.3±66.7) Ma, (1 283.3±54.0) Ma, (1 231.0±51.0) Ma, (1 183.3±100.0) Ma, (1 167.0±110.0) Ma, (1 098.0±73.0) Ma, (1 095.4±87.5) Ma 和(875.9±63.0) Ma 等多个年龄记录。这些年龄均说明北黄海基底在元古代经历了多期构造热演化,其中1.4 Ga 至1.8 Ga 是一个重要构造岩浆期,这一结论与华北基底和苏鲁造山带年龄记录具有可对比性。总结胶北地体大量的变质基底锆石 U-Pb 数据,认为基底地壳形成于2.9 Ga 至1.8 Ga,该时期是胶北地体重要的变质作用时期,其年龄记录与北黄海获得的基底年龄可对比。从苏鲁造山带现有基底年龄组成来看,新元古代是苏鲁造山带继晋宁主碰撞造山之后一次重要的构造岩浆活动期,其主要年龄分布在600 Ma 至800 Ma,这与北黄海测得的(875.9±63.0) Ma 年龄记录一致。

同时,北黄海钻遇样品中测得了多期中生代构造岩浆作用的锆石 U-Pb 年龄,其中以华北与扬子板块碰撞事件的年龄记录最为显著(见图4)。与此相关的年龄数据有(207.3±5.0) Ma ( $M_{\text{SWD}}=0.17, n=3$ ), (212.2±6.4) Ma ( $M_{\text{SWD}}=0.16, n=3$ ), (221.7±4.9) Ma ( $M_{\text{SWD}}=2.00, n=10$ ), (238.1±3.5) Ma

( $M_{\text{SWD}} = 0.51, n = 6$ ), ( $240.5 \pm 4.3$ ) Ma ( $M_{\text{SWD}} = 3.00, n = 10$ ) 和 ( $231.9 \pm 4.7$ ) Ma ( $M_{\text{SWD}} = 11.70, n = 39$ ). 这与苏鲁造山带印支期碰撞造山作用对应的峰变质时代 200 Ma 至 240 Ma 一致。

## 5 结论

(1) 北黄海盆地主要发育侏罗系、白垩系下白垩统、古近系始新统、渐新统和新近系多套地层, 以河湖相沉积为主, 盆地内断裂与火成岩体分布广泛。本次在侏罗系地层获得的钻遇变质火成岩样品其碎屑锆石 U-Pb 年龄数据均代表了物源区构造岩浆演化的信息, 可为深化认识物源区构造演变特点提供重要信息。

(2) 通过对北黄海侏罗系地层中的 4 件钻遇变质火成岩的 LA-ICP-MS 分析主要获得了 2 类碎屑锆石的 U-Pb 年龄, 一类属于前寒武纪与变质基底形成演化有关的年龄记录, 另一类是印支期与碰撞造山有关的年龄记录。该年龄数据对进一步认识北黄海侏罗系物源区构造演变特点具有科学意义, 表明北黄海盆地侏罗纪地层物源区自寒武纪以来经历了多期构造演变的过程, 为分析北黄海物源区的构造演变提供了重要约束。

(3) 钻遇样品中所获得的前寒武纪年龄数据主要分布在 1.0 Ga 至 2.6 Ga 时期。继承岩浆锆石记录了古元古代零星的年龄信息, 3 组锆石谐和年龄 ( $1792.0 \pm 140.0$ ) Ma, ( $1447.0 \pm 110.0$ ) Ma 和 ( $1524.0 \pm 68.0$ ) Ma 表明北黄海基底形成于元古代及以前, 1.4 Ga 至 1.8 Ga 是研究区一个重要构造岩浆期。上述年龄数据特点与邻区胶北地体基底的年龄分析结果相一致。

(4) 钻遇样品中获得了大量印支期 200 Ma 至 240 Ma 的年龄记录, 包括 ( $207.3 \pm 5.0$ ) Ma ( $M_{\text{SWD}} = 0.17, n = 3$ ), ( $212.2 \pm 6.4$ ) Ma ( $M_{\text{SWD}} = 0.16, n = 3$ ), ( $221.7 \pm 4.9$ ) Ma ( $M_{\text{SWD}} = 2.00, n = 10$ ), ( $238.1 \pm 3.5$ ) Ma ( $M_{\text{SWD}} = 0.51, n = 6$ ), ( $240.5 \pm 4.3$ ) Ma ( $M_{\text{SWD}} = 3.00, n = 10$ ) 和 ( $231.9 \pm 4.7$ ) Ma ( $M_{\text{SWD}} = 11.70, n = 39$ )。这与华北与扬子碰撞造山作用及其峰变质年龄一致, 也就是说, 苏鲁造山带及其北延部分是北黄海侏罗系地层的重要物源之一, 表明中生代盆地内物源除了主要来自于盆地周缘古老隆起区之外, 侏罗系地层物源亦可能来自华北—扬子板块陆陆碰撞后形成的碰撞造山带。

## 参考文献:

- [1] 龚再升, 杨甲明, 杨祖序, 等. 中国近海大油气田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.  
GONG Zaisheng, YANG Jiaming, YANG Zuxu, et al. The major oil and gas fields of China offshore [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997.
- [2] 朱伟林, 米立军. 中国海域含油气盆地图集[M]. 北京: 石油工业出版社, 2010.  
ZHU Weilin, MI Lijun. Atlas of oil and gas basins, China sea [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010.
- [3] 蔡乾忠. 横贯黄海的中朝造山带与北、南黄海成盆成烃关系[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(2): 185.  
CAI Qianzhong. Relationship between Sino-Korean orogenic belt traversing Yellow Sea and basin evolution and hydrocarbon generation in North and South Yellow Sea Basins[J]. Oil and Gas Geology, 2005, 26(2): 185.
- [4] 李乃胜. 黄海三大盆地的构造演化[J]. 海洋与湖沼, 1995, 26(4): 355.  
LI Naisheng. Tectonic evolution of three structural basins in the Yellow Sea[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1995, 26(4): 355.
- [5] 肖国林, 孙长虹, 郑浚茂. 北黄海盆地东部前中生界基底特征[J]. 现代地质, 2005, 19(2): 261.  
XIAO Guolin, SUN Changhong, ZHENG Junmao. Pre-mesozoic basement characteristics in the eastern depression of the North Yellow Sea Basin[J]. Geoscience, 2005, 19(2): 261.
- [6] 王立飞, 王衍棠, 胡小强. 北黄海盆地西部拗陷地层与沉积特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2010, 30(3): 97.  
WANG Lifei, WANG Yantang, HU Xiaoqiang. Stratigraphy and sedimentary characters of the western depression, North Yellow Sea Basin[J]. Marine Geology Letters, 2010, 30(3): 97.
- [7] 李文勇, 李东旭, 夏斌, 等. 北黄海盆地构造演化特征分析[J]. 现代地质, 2006, 20(2): 268.  
LI Wenyong, LI Dongxu, XIA Bin, Characteristics of structural evolution in North Yellow Sea Basin[J]. Geoscience, 2006, 20(2): 268.
- [8] 龚建明, 温珍河, 陈建文, 等. 北黄海盆地中生代地层的地质特征和油气潜力[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2000, 20(2): 69.  
GONG Jianming, WEN Zhenhe, CHEN Jianwen, et al. Geologic characteristics and hydrocarbon-generating potential of Mesozoic strata in the North Yellow Sea Basin[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2000, 20(2): 69.
- [9] Wiedenbeck M, Allé P, Corfu F, et al. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses[J]. Geostandard Newslett, 1995, 19: 1.
- [10] Ludwig K R. Esoplot/Ex Version 3.00: a geochronological toolkit for Microsoft excel [M]. Berkeley: Geochronology Center, 2003.
- [11] Ames L, Tilton G R, Zhou G Z. Timing of collision of the Sino-Korean and Yangtze craton: U-Pb zircon dating of eclogite bearing eclogites[J]. Geology, 1993, 21: 339.
- [12] 戚学祥, 许志琴, 齐金忠, 等. 苏鲁高压-超高压变质地体南缘高压与超高压变质带原岩的接触关系及其地质意义[J]. 中国

- 地质, 2005, 32(2): 276.
- QI Xuexiang, XU Zhiqin, QI Jinzong, et al. Contact relationship between the high-pressure and ultrahigh-pressure metamorphic belts in the southern Sulu high-pressure ultra high-pressure metamorphic terrane and its geological significance[J]. *Geology in China*, 2005, 32(2): 276.
- [13] 王秀丽, 李向辉, 陈福坤, 等. 苏鲁超高压造山带南部海州群锆石年龄及其地质意义[J]. *高校地质学报*, 2006, 12(3): 365.
- WANG Xiuli, LI Xianghui, CHEN Fukun, et al. Zircon ages of the Haizhou Group in the Southern part of the Sulu ultrahigh pressure orogenic belt and geological significances [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2006, 12(3): 365.
- [14] Zhou Jianbo, Wilde S A, Zhao Guochun, et al. SHRIMP U-Pb zircon dating of the Neoproterozoic Penglai Group and Archean gneisses from the Jiaobei Terrane, North China, and their tectonic implications [J]. *Precambrian Research*, 2008, 160: 323.
- [15] 刘建辉, 刘福来, 刘平华, 等. 胶北早前寒武纪变质基底多期岩浆-变质热事件: 来自 TTG 片麻岩和花岗质片麻岩中锆石 U-Pb 定年的证据[J]. *岩石学报*, 2011, 27(4): 943.
- LIU Jianhui, LIU Fulai, LIU Pinghua, et al. Polyphase magmatic and metamorphic events from early precambrian metamorphic basement in Jiaobei Area: evidences from the zircon U-Pb dating of TTG and granitic gneisses[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(4): 943.
- [16] 刘平华, 刘福来, 王舫, 等. 山东半岛基性高压麻粒岩的成因矿物学及变质演化[J]. *岩石学报*, 2010, 26(7): 2039.
- LIU Pinghua, LIU Fulai, WANG Fang, et al. Genetic mineralogy and metamorphic evolution of mafic high-pressure (HP) granulites from the Shandong Peninsula, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26(7): 2039.
- [17] Wan Y S, Song B, Liu D Y, et al. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of Paleoproterozoic metasedimentary rocks in the North China Craton: evidence for a major late Palaeoproterozoic tectonothermal event [J]. *Precambrian Research*, 2006, 149: 249.
- [18] 万渝生, 刘敦一, 董春艳, 等. 高级变质作用对锆石 U-Pb 同位素体系的影响: 胶东栖霞地区变质闪长岩锆石定年[J]. *地学前缘*, 2011, 18(2): 17.
- WAN Yusheng, LIU Dunyi, DONG Chunyan, et al. The impact of high-grade metamorphism on the U-Th-Pb system of zircons: a case study of zircon dating of meta-diorite in Qixia Area, eastern Shandong[J]. *Earth Science Frontiers*, 2011, 18(2): 17.
- [19] 周建波, 郑永飞, 赵子福. 山东五莲中生代岩浆岩的锆石 U-Pb 年龄[J]. *高校地质学报*, 2003, 9(2): 185.
- ZHOU Jianbo, ZHENG Yongfei, ZHAO Zifu. Zircon U-Pb dating on mesozoic granitoids at Wulian, Shangdong Province [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2003, 9(2): 185.
- [20] LIU F L, XU Z Q, XUE H M. Tracing the protolith, UHP metamorphism, and exhumation ages of orthogneiss from the SW Sulu terrane (eastern China): SHRIMP U-Pb dating of mineral inclusion-bearing zircons[J]. *Lithos*, 2004, 78: 411.
- [21] LIU F L, XU Z Q, LIU J G, et al. 2004b. SHRIMP U-Pb ages of ultrahigh-pressure and retrograde metamorphism of gneissic rocks, southwestern Sulu terrane, eastern China[J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 2004, 22: 315.
- [22] Hacker B, Wallis S R, Ratschbacher L, et al. High temperature geochronology constraints on the tectonic history and architecture of the ultrahigh-pressure Dabie-Sulu Orogen [J]. *Tectonics*, 2006, 25: TC5006, doi: 10.1029/2005TC001937.
- [23] 郭敬辉, 陈福坤, 张晓曼, 等. 苏鲁超高压带北部中生代岩浆侵入活动与同碰撞-碰撞后构造过程: 锆石 U-Pb 年代学[J]. *岩石学报*, 2005, 21(4): 1281.
- GUO Jinghui, CHEN Fukun, ZHANG Xiaoman, et al. Evolution of syn- to post-collisional magmatism from north Sulu UHP belt, east China: zircon U-Pb geochronology[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2005, 21(4): 1281.
- [24] Wallis S, Enam i M, Banno S. 1999. The Sulu UHP terrane: a review of the petrology and structural geology [J]. *International Geology Review*, 1999, 41: 906.
- [25] Ames L, Zhou G, Xiong B. Geochronology and geochemistry of ultrahigh-pressure metamorphism with implications for collision of the Sino-Korean and Yangtze cratons, central China[J]. *Tectonics*, 1996, 15, 472.