

文章编号: 1000-0550(2009)05-0967-09

# 博兴洼陷新生代砂岩碎屑石榴石的物源示踪 及对鲁西隆起的指示<sup>1</sup>

石永红<sup>1</sup> 李 忠<sup>2</sup> 卜香萍<sup>1</sup> 许承武<sup>3</sup>

(1. 合肥工业大学资环学院 合肥 230009 2 中国科学院地质与地球物理研究所 北京 100029  
3. 大庆油田勘探开发研究院 黑龙江大庆 163712)

**摘 要** 鲁西隆起与临近盆地的新生代形成演化关系一直是研究的热点。以博兴凹陷为研究靶区,通过对新生代各层位碎屑石榴石的高分辨率的精确定量分析,并根据石榴石成分的专属性和含量变化,探讨了鲁西隆起与临近盆地新生代的演化历史。研究表明,博兴洼陷新生代的物源主要是来自鲁西隆起和胶东地区,其中胶东地区始终是其主要的物源。而石榴石含量的变化显示,鲁西隆起在新近纪早期大幅度隆升,推测古新世至始新世早期和始新世晚期至渐新世早期可能有两次小规模抬升。

**关键词** 新生代 高分辨 碎屑石榴石 博兴洼陷 鲁西隆起

**第一作者简介** 石永红 男 1968 年出生 副教授 构造地质学 E-mail: yonghongshb110@sohu.com

**中图分类号** P578.94<sup>+</sup>7 **文献标识码** A

鲁西隆起与临近盆地是华北地块内重要的盆岭系统,探索鲁西隆起与临近盆地的耦合关系已成为大陆动力学研究的热点。目前人们普遍认为<sup>[1~6]</sup>,鲁西隆起与临近盆地在中生代以前经历了基本一致的演化过程,自晚中生代以来,鲁西隆起与邻近地区则构造分异明显,并最终逐渐发展形成了现今的盆—山(岭)构造<sup>[7~10]</sup>。然而,对于鲁西隆起与临近盆地新生代的构造分异细节,仍然缺乏统一的认识<sup>[11~16]</sup>。在鲁西隆起与临近盆地的形成关系方面,一种认识是鲁西隆起控制了临近盆地的形成<sup>[11]</sup>,另一种认识是两者同时形成<sup>[12]</sup>。而在鲁西隆起抬升时限方面,则存在三期、两期和一期的抬升史<sup>[13~16]</sup>的不同认识。由此,不难看出对于在新生代时期,鲁西隆起与临近盆地形成背景和时限上并没有一致的认识,仍有待进一步的研究确证。

此外,对于鲁西隆起临近盆地的物源分析方面也存在争论。一种观点认为物源来自青城凸起及其以西的物质<sup>[17,18]</sup>。另一种观点认为物源主要来自于鲁西隆起<sup>[15,16,20~24]</sup>。目前,多数接受博兴凹陷的物质来源于鲁西隆起<sup>[15,16,23,24]</sup>,没有或极少有胶东的物质贡献。然而,根据地质背景分析(图 1),鲁西隆起的临近盆地紧邻胶东地块属于大别—苏鲁造山带的重要组成部分,其中一晚侏罗世已抬升至地表,并且

一直处于剥蚀状态,对博兴凹陷中的沉积记录缺少胶东物质的现象也是难以令人理解的。而先前的物源分析主要是通过对砂岩和重矿物组合的研究进行限定的,但由于砂岩中长石、石英和岩屑以及各类重矿物成分的不确定性和多源性,限制了对物源区的准确判定。

为此,本文选择博兴凹陷为研究区,通过对新生代砂岩中特征重矿物石榴石的高分辨率研究,根据石榴石的成分差异、专属性及其时间上的连续性,精确判定物源,进而精细地反演鲁西隆起的演化历史。从盆地充填的角度,来探讨和分析鲁西隆起在新生代的构造分异细节。目前,该方法在国内外的盆山耦合研究中已广泛引用,并取得较好的成果<sup>[25~33]</sup>。

## 1 地质背景

博兴洼陷是济阳拗陷东营凹陷西南的一个次级构造单元,南接鲁西隆起,北部与利津洼陷相连,东部以石村断裂为界与牛庄洼陷相邻,并隔郯庐断裂带与胶东地区相望,西以高青平断裂为界与青城凸起相邻(图 1、2)。洼陷内第三系地层发育,仅东营组存在沉积间断和剥蚀,自下而上发育有古近纪孔店组、沙河街组、及新近纪馆陶组、明化镇组等地层(图 3),其中沙河街组自下而上分为四、三、二、一段(简称沙四

<sup>1</sup> 国家自然科学基金项目(批准号:40672083)资助。

收稿日期:2009-09-03



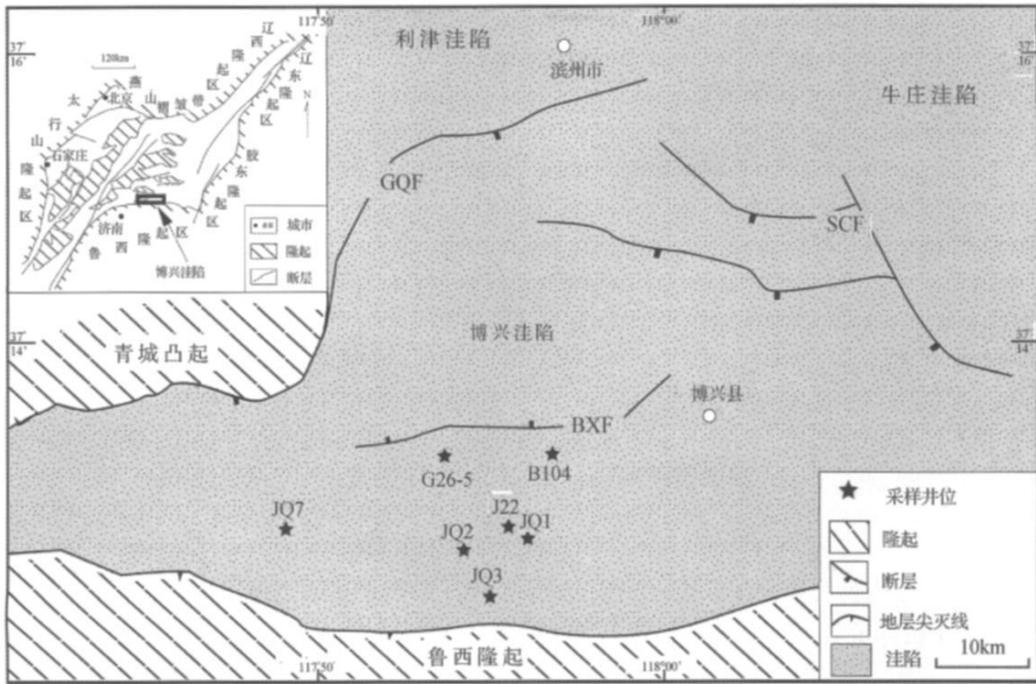


图 2 博兴洼陷区域构造位置图 (据许承武等<sup>[16]</sup>)

Fig. 2 A sketch showing regional geology of Boxing Sag

GQF为高青断裂, BXF为博兴断裂, SCF为石村断裂

表 1 博兴洼陷碎屑石榴石代表性成分

Table 1 Representative composition of detrital garnet in Boxing Sag JD-④

| 物源                             | LX-iv  |        | D-1    |         | D-②    |        | TL-④          |       |        |       |        |              |       |        |       |        |        |              |       |        |       |       |        |              |       |       |        |       |       |
|--------------------------------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|---------------|-------|--------|-------|--------|--------------|-------|--------|-------|--------|--------|--------------|-------|--------|-------|-------|--------|--------------|-------|-------|--------|-------|-------|
|                                |        |        |        |         |        |        | D-⑥           |       |        |       |        | TL-⑤         |       |        |       |        |        |              |       |        |       |       |        |              |       |       |        |       |       |
| 样品                             | JQ2-3  | B104-5 | JQ7-5  | G26-5-3 | J22-7  | JQ2-3  | B104-5G26-5-3 | J22-7 | JQ1-1  | JQ2-3 | B104-5 | JQ7-5G26-5-3 | J22-7 | JQ1-1  | JQ3-5 | JQ2-3  | B104-5 | JQ7-5G26-5-3 | E2-7  | JQ1-1  | JQ3-5 | JQ2-3 | B104-5 | JQ7-5G26-5-3 | E2-7  |       |        |       |       |
| SiO <sub>2</sub>               | 35.71  | 35.89  | 36.50  | 36.58   | 36.95  | 37.18  | 37.10         | 37.34 | 37.83  | 37.50 | 37.62  | 37.68        | 37.00 | 37.57  | 37.51 | 37.52  | 37.21  | 37.99        | 37.24 | 37.03  | 36.66 | 38.78 | 38.01  | 37.02        | 36.91 | 37.21 | 38.03  | 36.80 | 37.77 |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.08   | 0.10   | 0.07   | 0.02    | 0.08   | 0.05   | 0.05          | 0.02  | 0.10   | 0.01  | 0.04   | 0.09         | 0.06  | 0.02   | 0.06  | 0.03   | 0.21   | 0.02         | 0.09  | 0.03   | 0.04  | 0.05  | 0.03   | 0.10         | 0.05  | 0.09  | 0.04   | 0.01  | 0.05  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 21.58  | 21.36  | 21.44  | 21.59   | 21.13  | 21.76  | 22.04         | 22.32 | 21.17  | 21.93 | 21.69  | 21.66        | 20.93 | 22.12  | 20.64 | 20.95  | 21.35  | 23.17        | 22.38 | 21.99  | 20.91 | 22.20 | 21.90  | 22.60        | 22.12 | 22.26 | 21.87  | 22.16 | 21.78 |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.00   | 0.05   | 0.10   | 0.00    | 0.04   | 0.00   | 0.05          | 0.02  | 0.01   | 0.21  | 0.13   | 0.00         | 0.08  | 0.05   | 0.03  | 0.00   | 0.00   | 0.05         | 0.05  | 0.09   | 0.02  | 0.04  | 0.00   | 0.00         | 0.00  | 0.10  | 0.18   | 0.00  | 0.03  |
| FeO                            | 35.16  | 34.17  | 34.44  | 37.97   | 29.52  | 27.01  | 26.68         | 23.60 | 28.24  | 26.83 | 27.62  | 27.65        | 29.44 | 28.25  | 29.75 | 29.23  | 30.61  | 27.43        | 31.86 | 30.92  | 35.31 | 28.08 | 30.25  | 28.25        | 30.20 | 30.40 | 27.06  | 32.81 | 33.86 |
| MnO                            | 2.15   | 7.87   | 0.51   | 0.92    | 7.34   | 1.90   | 1.51          | 1.63  | 0.66   | 1.01  | 1.01   | 0.89         | 1.35  | 0.84   | 1.22  | 0.91   | 0.91   | 0.31         | 0.69  | 0.61   | 0.50  | 0.23  | 0.28   | 0.28         | 1.48  | 0.75  | 3.11   | 0.73  | 0.87  |
| MgO                            | 1.06   | 1.13   | 3.25   | 2.73    | 0.97   | 5.91   | 5.98          | 5.67  | 5.36   | 6.17  | 6.18   | 5.78         | 3.68  | 4.74   | 3.93  | 4.27   | 4.51   | 10.14        | 7.02  | 6.18   | 4.73  | 9.76  | 8.17   | 9.63         | 7.63  | 6.30  | 7.80   | 6.15  | 5.21  |
| CaO                            | 4.43   | 0.24   | 3.72   | 1.06    | 4.86   | 6.35   | 6.27          | 8.93  | 6.76   | 6.11  | 6.19   | 6.30         | 7.16  | 6.85   | 6.85  | 7.13   | 5.28   | 1.12         | 1.10  | 2.56   | 1.14  | 0.98  | 0.97   | 1.38         | 1.46  | 2.83  | 1.60   | 1.15  | 1.30  |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.08   | 0.01   | 0.01   | 0.00    | 0.02   | 0.03   | 0.01          | 0.02  | 0.03   | 0.03  | 0.02   | 0.06         | 0.01  | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.06   | 0.02         | 0.01  | 0.03   | 0.01  | 0.03  | 0.02   | 0.06         | 0.04  | 0.00  | 0.07   | 0.01  | 0.00  |
| Total                          | 100.25 | 100.82 | 100.04 | 100.87  | 100.91 | 100.19 | 99.69         | 99.55 | 100.16 | 99.80 | 100.50 | 100.31       | 99.71 | 100.44 | 99.99 | 100.04 | 100.25 | 100.44       | 99.32 | 100.15 | 99.63 | 99.32 | 99.89  | 99.94        | 99.76 | 99.82 | 100.87 |       |       |
| O                              | 12     | 12     | 12     | 12      | 12     | 12     | 12            | 12    | 12     | 12    | 12     | 12           | 12    | 12     | 12    | 12     | 12     | 12           | 12    | 12     | 12    | 12    | 12     | 12           | 12    | 12    | 12     | 12    | 12    |
| TSi                            | 2.89   | 2.92   | 2.92   | 2.93    | 2.97   | 2.90   | 2.90          | 2.91  | 2.96   | 2.92  | 2.92   | 2.93         | 2.94  | 2.94   | 2.97  | 2.96   | 2.94   | 2.90         | 2.90  | 2.92   | 2.95  | 2.97  | 2.96   | 2.86         | 2.88  | 2.92  | 2.96   | 2.90  | 2.97  |
| TAl                            | 0.11   | 0.08   | 0.08   | 0.07    | 0.03   | 0.10   | 0.10          | 0.10  | 0.04   | 0.08  | 0.08   | 0.07         | 0.06  | 0.07   | 0.03  | 0.04   | 0.06   | 0.10         | 0.10  | 0.08   | 0.06  | 0.03  | 0.04   | 0.14         | 0.12  | 0.08  | 0.04   | 0.10  | 0.03  |
| AWI                            | 1.95   | 1.97   | 1.94   | 1.97    | 1.97   | 1.89   | 1.93          | 1.95  | 1.91   | 1.94  | 1.90   | 1.92         | 1.90  | 1.97   | 1.90  | 1.91   | 1.92   | 1.98         | 1.96  | 1.96   | 1.92  | 1.98  | 1.97   | 1.92         | 1.91  | 1.97  | 1.97   | 1.96  | 1.99  |
| Fe <sup>3+</sup>               | 0.16   | 0.10   | 0.12   | 0.09    | 0.04   | 0.21   | 0.16          | 0.14  | 0.12   | 0.12  | 0.17   | 0.15         | 0.15  | 0.08   | 0.12  | 0.13   | 0.12   | 0.12         | 0.12  | 0.10   | 0.12  | 0.04  | 0.06   | 0.21         | 0.20  | 0.09  | 0.06   | 0.13  | 0.03  |
| Ti                             | 0.01   | 0.01   | 0.00   | 0.00    | 0.01   | 0.00   | 0.00          | 0.00  | 0.01   | 0.00  | 0.00   | 0.01         | 0.00  | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.01   | 0.00         | 0.01  | 0.00   | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.01         | 0.00  | 0.01  | 0.00   | 0.00  | 0.00  |
| Cr                             | 0.00   | 0.00   | 0.01   | 0.00    | 0.00   | 0.00   | 0.00          | 0.00  | 0.00   | 0.01  | 0.01   | 0.00         | 0.01  | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.00   | 0.00         | 0.00  | 0.01   | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00         | 0.00  | 0.01  | 0.01   | 0.00  | 0.00  |
| Fe <sup>2+</sup>               | 2.22   | 2.23   | 2.19   | 2.46    | 1.94   | 1.55   | 1.58          | 1.40  | 1.73   | 1.63  | 1.63   | 1.65         | 1.81  | 1.76   | 1.85  | 1.80   | 1.90   | 1.64         | 1.96  | 1.94   | 2.05  | 1.76  | 1.92   | 1.61         | 1.77  | 1.91  | 1.71   | 2.04  | 2.20  |
| Mg                             | 0.13   | 0.14   | 0.39   | 0.33    | 0.12   | 0.69   | 0.70          | 0.66  | 0.63   | 0.72  | 0.72   | 0.67         | 0.44  | 0.55   | 0.46  | 0.50   | 0.53   | 1.15         | 0.82  | 0.73   | 2.25  | 1.12  | 0.95   | 1.11         | 0.89  | 0.74  | 0.91   | 0.72  | 0.61  |
| Mn                             | 0.15   | 0.54   | 0.04   | 0.06    | 0.50   | 0.13   | 0.10          | 0.11  | 0.04   | 0.07  | 0.07   | 0.06         | 0.09  | 0.06   | 0.08  | 0.06   | 0.06   | 0.02         | 0.05  | 0.04   | 0.57  | 0.02  | 0.02   | 0.02         | 0.10  | 0.05  | 0.21   | 0.05  | 0.06  |
| Ca                             | 0.38   | 0.02   | 0.32   | 0.09    | 0.42   | 0.53   | 0.53          | 0.74  | 0.57   | 0.51  | 0.51   | 0.54         | 0.61  | 0.57   | 0.58  | 0.60   | 0.45   | 0.09         | 0.09  | 0.22   | 0.03  | 0.08  | 0.08   | 0.11         | 0.12  | 0.24  | 0.13   | 0.10  | 0.11  |
| Na                             | 0.01   | 0.00   | 0.00   | 0.00    | 0.00   | 0.01   | 0.00          | 0.00  | 0.01   | 0.01  | 0.00   | 0.01         | 0.00  | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.01   | 0.00         | 0.00  | 0.01   | 0.10  | 0.00  | 0.00   | 0.01         | 0.01  | 0.00  | 0.01   | 0.00  | 0.00  |

LX-I鲁西泰山群变质岩石榴石单元; TL-I郟庐断裂带沂水地区基性变质岩石榴石单元; TL-④郟庐断裂带沂水紫苏花岗岩中石榴石; TL-⑤郟庐断裂带沂水泥质变质岩石榴石; D-I胶东榴辉岩中石榴石; D-②胶东麻粒岩中石榴石; D-⑥胶东片麻岩中石榴石;

表 2 博兴洼陷各物源石榴石比例

Table 2 Percentage distribution of detrital gamet in Boxing Sag

| 地质年代 | 距今<br>(Ma) | 样品       | 鲁西石榴石单元 |    |      |    |      |    | 郟庐石榴石单元 |    |      |     |      |    | 胶东石榴石单元 |    |      |    |      |    | 外围  |    |     |
|------|------------|----------|---------|----|------|----|------|----|---------|----|------|-----|------|----|---------|----|------|----|------|----|-----|----|-----|
|      |            |          | LX-iv   |    | LX-① |    | LX-② |    | TL-iv   |    | TL-① |     | TL-② |    | JD-iv   |    | JD-① |    | JD-② |    |     |    |     |
|      |            |          | 颗数      | 含量 | 颗数   | 含量 | 颗数   | 含量 | 颗数      | 含量 | 颗数   | 含量  | 颗数   | 含量 | 颗数      | 含量 | 颗数   | 含量 | 颗数   | 含量 | 颗数  | 含量 |     |
| 第三系  | 明化镇组       | JQ 3-5   | 46      | 8  | 17%  | 0  | 0    | 0  | 0       | 0  | 0    | 16  | 35%  | 23 | 50%     | 0  | 0%   | 5  | 11%  | 7  | 15% | 10 | 22% |
|      | 馆陶组        | JQ 1-1   | 80      | 33 | 41%  | 0  | 0    | 0  | 0       | 0  | 0    | 13  | 16%  | 24 | 30%     | 3  | 4%   | 10 | 13%  | 11 | 14% | 10 | 13% |
|      | 东营组        |          |         |    |      |    |      |    |         |    |      | 不整合 |      |    |         |    |      |    |      |    |     |    |     |
|      | 沙一段        | J2-7     | 66      | 17 | 26%  | 0  | 0    | 0  | 0       | 0  | 0    | 15  | 23%  | 27 | 41%     | 8  | 12%  | 7  | 11%  | 12 | 18% | 7  | 11% |
|      | 沙二段        | G 26-5-3 | 68      | 15 | 22%  | 0  | 0    | 0  | 0       | 0  | 0    | 10  | 15%  | 19 | 28%     | 7  | 10%  | 8  | 12%  | 9  | 13% | 19 | 28% |
|      | 沙三段        | JQ 7-5   | 65      | 15 | 23%  | 0  | 0    | 0  | 0       | 0  | 0    | 14  | 22%  | 26 | 40%     | 0  | 0%   | 5  | 8%   | 12 | 18% | 19 | 29% |
|      | 沙四段        | B104-5   | 68      | 18 | 27%  | 0  | 0    | 0  | 0       | 0  | 0    | 12  | 18%  | 19 | 28%     | 5  | 7%   | 11 | 16%  | 7  | 10% | 15 | 22% |
|      | 孔店组        | JQ 2-3   | 81      | 18 | 22%  | 0  | 0    | 0  | 0       | 0  | 0    | 22  | 27%  | 36 | 44%     | 3  | 4%   | 14 | 17%  | 14 | 17% | 10 | 12% |

LX-iv 鲁西泰山群变质岩石榴石单元; LX-① 鲁西平邑砂卡岩石榴石单元, LX-② 鲁西蒙阴金伯利岩石榴石单元, TL-iv 郟庐断裂带沂水地区基性变质岩石榴石单元, TL-① 郟庐断裂带沂水紫苏花岗岩中石榴石; TL-② 郟庐断裂带沂水泥质变质岩石榴石, JD-iv 胶东榴辉岩中石榴石; JD-① 胶东麻粒岩中石榴石; JD-② 胶东片麻岩中石榴石;

亚单元(图 3)。LX-iv 为鲁西泰山群变质岩石榴石单元, LX-① 为鲁西平邑砂卡岩中石榴石, LX-② 为鲁西蒙阴金伯利岩中石榴石; TL-iv 郟庐断裂带沂水地区基性变质岩石榴石单元, TL-① 郟庐断裂带沂水紫苏花岗岩中石榴石; TL-② 郟庐断裂带沂水泥质变质岩石榴石; JD-iv 胶东榴辉岩中石榴石; JD-① 胶东麻粒岩中石榴石; JD-② 胶东片麻岩中石榴石。

由图 3 可以看出, 三个物源区总体分区较为明显。其中鲁西石榴石单元与郟庐、胶东石榴石单元区分显著。而较为难以辨别的是郟庐石榴石单元的 TL-①、② 亚单元和胶东石榴石单元的 JD-①、② 亚单元, 这三个亚单元具有重叠性。其中 TL-① 和 JD-① 亚单元基本独立, 而 TL-② 亚单元则基本涵盖了这两个亚单元。显然, 这种物源的重叠性对于高分辨率重矿物含量的精确辨别统计增加了难度。为了更好地加以分析和讨论, 本文对落入 TL-① 和 JD-① 两个石榴石亚单元的石榴石分别进行统计。同时, 将 TL-① 和 JD-① 亚单元中的所有石榴石假定均为 TL-② 石榴石亚单元物质(图 3 中的饼状图和表 2)。

依据上述建立的石榴石的标型物源区, 本文自下而上对不同层位砂岩中的石榴石进行了高分辨率的分析, 研究显示(图 3 和表 2):

(1) 样品 JQ 2-3 取自古近纪早期孔店组, 位于第三系最底部。总颗粒数为 81 粒, 其中落入 LX-iv 区域 18 颗, 约占 22%。位于 TL-① 区域的为 22 粒, 约占 27%。落入 JD-iv 区域的石榴石为 3 颗, 约占 4%; 位于 JD-① 区域的则为 14 颗, 占 17%; 落入 JD-② 区域的则为 14 粒, 占 17%。落入外围石榴石的颗粒 10 颗, 约 12%。TL-② 区域则为 TL-① 和 JD-② 区

域的总和, 石榴石数为 36 颗, 约 44%。

(2) 样品 B104-5 取自沙河街组的沙四段上部, 总颗粒数为 68 颗, 落入 LX-iv 区域 18 颗, 占 27%。来自 TL-① 石榴石为 12 约占 18%。落入 JD-iv 区域的石榴石为 19 颗, 约占 28%; 位于 JD-① 区域的则为 11 颗, 占 16%; 落入 JD-② 区域的则为 7 粒, 占 10%。落入外围石榴石的颗粒 15 颗, 约 22%。TL-② 区域则为 TL-① 和 JD-② 区域的总和, 石榴石数为 19 颗, 约 28%。

(3) 样品 JQ 7-5 来自沙河街组沙三段, 总颗粒数为 65 颗, 落入 LX-iv 区域 15 颗, 占 23%。来自 TL-① 石榴石为 14 约占 22%。落入 JD-iv 区域的石榴石为 0 颗; 位于 JD-① 区域的则为 5 颗, 占 8%; 落入 JD-② 区域的则为 12 粒, 占 18%。落入外围石榴石的颗粒 19 颗, 约 29%。TL-② 区域则为 TL-① 和 JD-② 区域的总和, 石榴石数为 26 颗, 约 40%。

(4) 样品 G 26-5-3 来自沙河街组沙二段下部, 总颗粒数为 68 颗, 落入 LX-iv 区域 15 颗, 占 22%。来自 TL-① 石榴石为 10 约占 15%。落入 JD-iv 区域的石榴石为 7 颗, 占 10% 左右; 位于 JD-① 区域的则为 8 颗, 占 12%; 落入 JD-② 区域的则为 9 粒, 占 13%。落入外围石榴石的颗粒 19 颗, 约 28%。TL-② 区域则为 TL-① 和 JD-② 区域的总和, 石榴石数为 19 颗, 约 28%。

(5) 样品 J22-7 来自沙河街组沙一段下部, 总颗粒数为 66 颗, 落入 LX-iv 区域 17 颗, 占 26%。来自 TL-① 石榴石为 15 约占 23%。落入 JD-iv 区域的石榴石为 8 颗, 占 12% 左右; 位于 JD-① 区域的则为 7 颗, 占 11%; 落入 JD-② 区域的则为 12 粒, 占 18%。

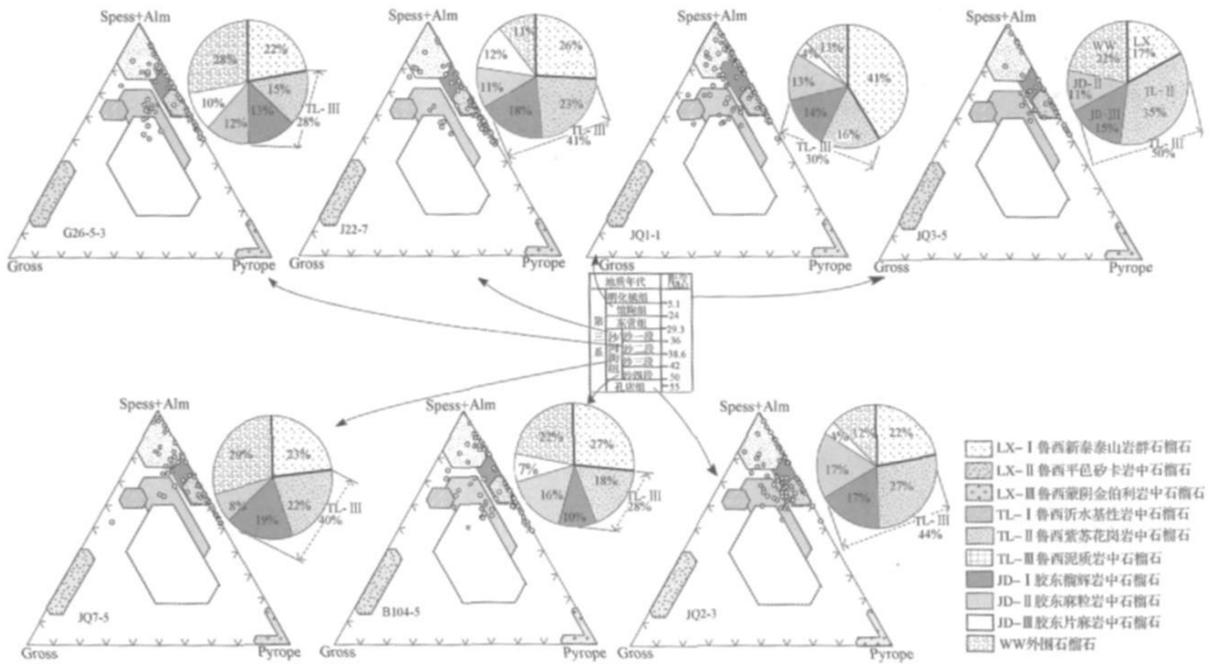


图 3 博兴洼陷第三系砂岩石榴石端元组分图

Fig 3 Composition characteristic of detrital garnets in Cenozoic sandstone from Boxing Sag

落入外围石榴石的颗粒 7 颗, 约 11%。TL-④区域则为 TL-⑦和 JD-④区域的总和, 石榴石数为 27 颗, 约 41%。

(6) 样品 JQ1-1, 来自馆陶组下部, 总颗粒数为 80 颗, 落入 LX-iv 区域 33 颗, 占 41%。来自 TL-⑦石榴石为 13 约占 16%。落入 JD-iv 区域的石榴石为 3 颗, 占 4% 左右; 位于 JD-⑦区域的则为 10 颗, 占 13%; 落入 JD-④区域的则为 11 粒, 占 14%。落入外围石榴石的颗粒 10 颗, 约 13%。TL-④区域则为 TL-⑦和 JD-④区域的总和, 石榴石数为 24 颗, 约 30%。

(7) 样品 JQ3-5 来自明化镇组, 总颗粒数为 46 颗, 落入 LX-iv 区域 8 颗, 占 17%。来自 TL-⑦石榴石为 16 约占 35%。落入 JD-iv 区域的石榴石为 0 颗; 位于 JD-⑦区域的则为 5 颗, 占 11%; 落入 JD-④区域的则为 7 粒, 占 15%。落入外围石榴石的颗粒 10 颗, 约 22%。TL-④区域则为 TL-⑦和 JD-④区域的总和, 石榴石数为 23 颗, 约 50%。

### 3 石榴石重矿物高分辨分析对物源和构造响应的探讨

长期以来, 由于样品采集难度较大和分析方法的限制, 人们对于博兴凹陷沉积物质的来源的研究涉及较少, 进而严重影响了从盆地沉积记录客观地揭示盆

地周缘隆起区的演化进程和规律。目前, 对于博兴凹陷的沉积物源主要有两种不同的认识: (1) 物源来自青城凸起及其以西的物质<sup>[17, 18]</sup>; (2) 博兴凹陷物质主要源自于鲁西隆起<sup>[15, 16, 20-24]</sup>。然而, 我们注意到对于博兴凹陷的物源判别主要是基于对砂岩中长石、石英以及岩屑的准确辨别和少量的重矿物组合、砾石构成的研究。尽管, 这些传统的物源组分的研究在一定程度上能较为客观地再现物源区, 但在精细识别物源性质方面仍存在一定的局限性。就砂岩中长石、石英以及岩屑的统计分析研究而言, 虽对源区判别有较好的指示意义<sup>[56]</sup>, 但长石和石英在岩浆岩和变质岩中广泛分布, 具有多源区性质, 显然这对于精确识别源区极为不利。而岩屑的统计分析受制于沉积岩石的粒度大小, 对砂岩而言, 由于粒度较小, 导致岩屑判别精度下降。有时甚至将风化较为强烈的、表面多“糟化”的长石误判为变质岩屑或火山岩屑。此外, 即便能较为准确地判断岩屑, 但不同的源区同样可以具有相同的岩屑, 这进一步增加了物源识别的困难。

相比较而言, 通过对重矿物组合及其含量变化的研究分析, 对追索物源和判别源区岩石可能是较为准确的方法, 具有一定的实用性<sup>[57-59]</sup>。但从 Pettijohn<sup>[57, 58]</sup>和 Lewis<sup>[59]</sup>的论述看, 各类重矿物的精确成分是不确定的, 这意味着其源岩可能具有多样性。例

如, Pettijohn<sup>[57]</sup>认为的酸性岩组合中的磷灰石、角闪石、黑云母和锆石在变质岩中也广泛出现, 而基性岩中的透辉石和普通辉石同样也能在变质岩中出现。即便是代表最稳定的重矿物 (ZRT): 锆石、金红石和电气石, 在变质岩和岩浆岩中也都十分普遍<sup>[60]</sup>。虽然, 许承武等<sup>[16]</sup>应用该方法对博兴凹陷沉积物质的重矿物组合分析进行了先导性的工作, 并认为其物源为鲁西隆起。但从博兴凹陷所处的地质背景来看, 其南部为鲁西隆起, 东部为胶东地块。在这两个地块上出露有大量的岩浆岩和变质岩, 尽管岩石类型不同, 但长石、石英以及 Pettijohn<sup>[57, 58]</sup>和 Lewis<sup>[59]</sup>阐述的各种重矿物均普遍发育。换言之, 许承武等<sup>[16]</sup>研究的重矿物组合有可能是来自胶东地块。而在其博士论文中<sup>[61]</sup>, 其通过精确的单矿物成分分析确定了来自胶东地区代表造山带的典型矿物—蓝闪石, 这意味着这些重矿物可能有相当一部分来自胶东。进而从另一个侧面表明重矿物组合分析并不能全面精细揭示物质的源区。

由上述论述不难看出, 砂岩的长石、石英和岩屑以及重矿物组合分析的研究对源区的精确判别仍存在一定缺陷, 导致对物源区判断的不确定。为此, 本研究试图通过对重矿物石榴石的精确成分测定和统计分析研究, 高精度地识别博兴凹陷沉积物质源区并藉此探讨鲁西隆起的演化过程。之所以选择石榴石作为特征重矿物研究, 主要是基于两点: 一是石榴石是一个较为稳定的重矿物, 在各类地层和砂岩中均有出露, 且含量较大, 便于连续地、系统地分析研究; 二是石榴石成分具有专属性, 不同的源区不同类型的岩石所含的石榴石成分具有较大的差异, 也就是说一定成分的石榴石对应于一定的源区中一定的岩石, 这为准确判别源区奠定了基石。然而, 这一高分辨率重矿物方法的应用前提是源区石榴石成分单元的准确建立。根据博兴凹陷所处的构造位置和石榴石形成的条件<sup>[60]</sup>, 石榴石的物源区主要为鲁西隆起和胶东地块。这是因为博兴凹陷北部为利津洼陷, 该洼陷为一沉降区域, 不可能提供物质来源。而西北部的青城凸起主要由沉积地层构成, 石榴石不可能形成于该环境中。而鲁西隆起和胶东地块则发育有大量的岩浆岩和变质岩, 具备了石榴石形成条件<sup>[60]</sup>, 因此, 石榴石的物源区域只能来自于这两个地质块体。此外, 考虑到郯庐断裂切过鲁西隆起和胶东地块, 其可能将两块体的物质构造并置于断裂带中, 故本文将郯庐断裂带中产出的石榴石也作为一个物源区。

从表 2 和图 3 可以看出, 地层由下至上自孔店组至明化镇组, 石榴石呈有规律的分布。博兴凹陷中的石榴石主要分布于 LX-iv、TL-①、TL-②、JD-iv、JD-③、JD-④和外围区域。由于源区研究程度所限, 外围区域的石榴石并没有很好的源区成分单元与之对应, 其究竟归属哪个单元, 我们无法进一步进行确定, 因此, 在讨论分析过程中, 我们仅仅将其作为辅助的参考标准。但根据外围区域的石榴石的分布特征和矿物化学成分来看 (表 2 和图 3), 外围区域的石榴石主要为富镁铝榴石、铁铝榴石和锰铝榴石, 贫钙铝榴石的石榴石, 位于 TL-①、②和 JD-④区域的下端, 从成分演化规律分析, 我们趋向于将外围区域的石榴石归入这三个单元。

由于 TL-③涵盖了 TL-①和 JD-④区域, 致使我们对源区物质及其含量上变化的分析研究产生了困难。但依据这三个单元的岩石特征和所处的构造位置分析, 郯庐断裂带的石榴石单元中的 TL-①和 TL-②亚单元与 JD-④单元应当一致, 均属于胶东块体。从沈其韩等<sup>[41]</sup>的研究可以看出, 来自沂水地区的 TL-①石榴石亚单元的岩性为含石榴石紫苏花岗岩, TL-②石榴石亚单元的岩性为泥质片麻岩, 变质相处于麻粒岩相、榴辉岩相和角闪岩相之间, 这种具有榴辉岩相变质特征的岩石应属于造山带的物质, 也就是说这两个亚单元的岩石应来自于胶东地块。而从岩性对比上看, 胶东地区的莱西、莱阳和乳山均具有泥质麻粒岩和基性麻粒岩<sup>[43, 51]</sup>, 与郯庐断裂带中沂水地区的 TL-①和 TL-②石榴石亚单元的岩性极为类似。因此, 我们可以推测 TL-①和 TL-②亚单元的岩石, 可能是郯庐断裂在左旋走滑运动过程中将胶东部分物质裹挟进来所致。然而, 为了更客观地讨论博兴凹陷的物质来源, 这里对物源进行两种情况的讨论。

第一种情况是一种极端假定, 即排除 TL-①、TL-②和 JD-④亚单元, 假设它们不属于任何物源区。那么, 由表 2 和图 3 可知, 在古近纪时期, 博兴凹陷中的孔店组至沙河街组一段, 来自鲁西 (LX-iv 亚单元) 的石榴石约占 22% ~ 27%, 来自胶东地块 (JD-iv 和 JD-③亚单元) 的石榴石, 除沙河街组三段石榴石约 8% 之外, 其余为 21% ~ 24%。新近纪的馆陶组和明化镇组, 来自鲁西石榴石含量分别为 41% 和 17%, 而来自胶东地块的则为 16% 和 11%。不难看出, 除沙河街组三段和馆陶组之外, 鲁西隆起和胶东地块的物质近于等量地供应博兴凹陷的沉积物。换言之, 胶东地块也是博兴凹陷沉积物质来源区。而并非如前人认

为的其物质源区仅仅为青城凸起和鲁西隆起区<sup>[11-24]</sup>。

第二种情形是本次研究所推崇的, 即 TL-④和 TL-⑦亚单元与 JD-④亚单元一致, 均为胶东地块物质, 因 TL-④包括了 TL-⑦和 JD-④区域, 故这三个区域的石榴石百分含量以 TL-④亚单元中的石榴石百分含量表示。若如此, 博兴凹陷中来自胶东地块的物质成分将急剧增大, 而鲁西隆起的物质含量仍不变。由表 2 和图 3 可知, 古近纪时期的孔店组至沙河街组一段, 胶东地块的物质含量约 48% ~ 65%, 新近纪时期馆陶组和明化镇组, 胶东地块的物质含量分别为 46% 和 61%。从石榴石含量对比上不难发现, 胶东地块应当是博兴凹陷沉积物的主要物源区。此外, 如果根据石榴石的成分分布状况和演化规律(图 3), 落入外围区域的石榴石也属于胶东地块物质, 那么胶东地块将毫无疑问地成为博兴凹陷沉积物最重要的物源区。结合胶东地块的形成时限来看, 作为大别—苏鲁造山带组成部分的胶东地块, 其中一晚侏罗纪也已出露至地表, 并形成高山区<sup>[62, 63]</sup>, 理论上应自此开始经历剥蚀, 从而导致胶东物质不断地补给博兴凹陷。因此, 基于对重矿物石榴石的高分辨率的成分分析结果, 我们认为博兴凹陷物质具有复合沉积源区特征, 其沉积物质主要来自胶东地块和鲁西隆起, 其中胶东地块可能为其重要的主源区, 至少该地块与鲁西隆起具有同样重要的源区地位。

此外, 根据石榴石的百分含量变化也可以折射出鲁西隆起的抬升史。从纵向上看(表 2 和图 3), 由孔店组至明化镇组, 博兴凹陷中来自鲁西单元的石榴石的百分含量在馆陶组时期到达最高值 41%, 明显高于其他组地层中石榴石的百分含量, 这说明在中新世早期鲁西隆起大规模的抬升, 并遭受剥蚀, 物质不断地供给博兴凹陷。这与李理等<sup>[14]</sup>通过磷灰石裂变径迹确定的鲁西隆起在 23~20 Ma 时期的大规模抬升事件是相吻合的。然而, 李理等<sup>[14]</sup>和韩登林等<sup>[15]</sup>通过磷灰石裂变径迹以及地球化学研究所确定的 62~53 Ma 和 44~37 Ma 时期的两期鲁西隆起抬升史, 在本次研究并未得到明显体现。在古近纪时期(表 2 和图 3), 孔店组至沙河街组一段的地层中, 来自鲁西隆起的石榴石百分含量在 22% ~ 27% 之间, 没有明显的变化, 仅仅是有些轻微的差异。石榴石的百分含量由孔店组的 22% 到沙河街组四段的 27%, 含量增加了 5%, 其后沙河街组三段和二段的含量保持在 22% 左右, 而到沙河街组一段含量为 26%, 也仅增加了

4%。这一方面说明博兴凹陷对于鲁西隆起剥蚀物的沉积反映不灵敏或者说鲁西隆起就没有发生过抬升。另一方面可能暗示了古近纪时期, 在孔店组到沙河街组四段(古新世至始新世)和沙河街组二段到沙河街组一段(始新世到渐新世早期)的两个时间段内, 鲁西隆起可能发生了抬升, 只是抬升幅度较小, 从而导致对博兴凹陷的物质供给量较小。考虑到李理等<sup>[13, 14]</sup>、韩登林等<sup>[15]</sup>和许承武等<sup>[16, 61]</sup>的研究结果, 我们更倾向于后一种认识。

## 4 结论

(1) 依据对博兴凹陷新生代沉积砂岩中重矿物石榴石的高分辨率研究表明, 该凹陷的沉积源区主要为胶东地块和鲁西隆起, 其中胶东地块可能为其主要的物源区。

(2) 通过对博兴凹陷新生代砂岩中石榴石百分含量的变化研究显示, 鲁西隆起在新近纪早期大规模的抬升, 而在古近纪时期构造运动较为平缓, 可能在古新世至始新世早期和始新世晚期至渐新世早期有两次幅度不大、规模较小的抬升。而胶东地块在新生代一直具有较高的高程, 剥蚀物质较为稳定地供给博兴凹陷。

## 参考文献 (References)

- 1 叶连俊, 孙枢. 沉积盆地的分类 [J]. 石油学报, 1980 (3): 1-6
- 2 王鸿祯主编. 中国古地理图集 [M]. 北京: 地图出版社, 1985: 85-130
- 3 金振奎, 刘泽容, 石占中. 鲁西地区断裂构造类型及其形成机制 [J]. 石油大学学报: 自然科学版, 1999, 23(5): 1-5
- 4 牛树银, 胡华斌, 毛景文, 等. 鲁西地区地层(岩石)展布及其成因 [J]. 地学前缘, 2003, 10(4): 371-372
- 5 牛树银, 胡华斌, 毛景文, 等. 鲁西地区地质构造特征及其形成机制 [J]. 中国地质, 2004, 3(1): 34-39
- 6 李三忠, 王金铎, 刘建忠, 等. 鲁西地块中生代构造格局及其形成背景 [J]. 地质学报, 2005, 79(4): 487-497
- 7 赫英, 王定一, 廖永胜. 胜利油田火山岩类、盆地演化及其 CO<sub>2</sub>-Au 成藏成矿效应 [J]. 地质科学, 2001, 36(4): 454-464
- 8 操应长, 姜在兴, 夏斌, 杨伟利. 陆相断陷湖盆 T-R 层序的特点及其控制因素——以东营凹陷古近系沙河街组三段层序地层为例 [J]. 地质科学, 2004, 39(1): 111-122
- 9 刘震, 戴立昌, 赵阳, 等. 济阳拗陷地温—地压系统及其对油气藏分布的控制作用 [J]. 地质科学, 2005, 40(1): 1-15
- 10 张克鑫, 漆家福, 林会喜. 济阳地区埕岛—垦东构造带中生代的逆冲断层及其与郯庐断裂带的关系 [J]. 地质科学, 2006, 41(2): 270-277
- 11 胡见义, 牛嘉玉. 渤海湾盆地油气聚集理论和勘探实践的再深

- 化——为渤海湾盆地发现 40 周年而作 [J]. 石油学报, 2001, 22 (1): 1-5
- 12 何斌. 渤海湾复式盆地动力学探讨 [J]. 石油实验地质, 2001, 23 (1): 27-30
- 13 李理, 钟大赉. 泰山新生代抬升的裂变径迹证据 [J]. 岩石学报, 2006, 22(2): 457-464
- 14 李理, 钟大赉, 时季明. 鲁西隆起和济阳拗陷及新生代隆拗耦合关系 [J]. 地质学报, 2007, 1(9): 1215-1228 [Li Li Zhong Dalai Shi Ji ming Cenozoic Uplifting/subsidence coupling between the west Shandong rise and the Jiyang depression] [J]. Acta Geologic Sinica, 2007, 1(9): 1215-1228]
- 15 韩登林, 李忠, 李双应, 等. 鲁西隆起北侧博兴洼陷古近纪泥岩地球化学特征及其构造意义 [J]. 地质科学, 2007, 42(4): 678-689
- 16 许承武, 李忠, 等. 鲁西隆起北侧博兴洼陷新生代碎屑重矿物记录及其对构造古地理环境的指示 [J]. 地质科学, 2009, 44(1): 257-267
- 17 侯宇安, 武法东, 史晓颖. 山东博兴洼陷沙河街组高青砂体的物源及其成因 [J]. 山东科技大学学报, 2005, 24(4): 55-58
- 18 郭旭升. 高青地区沙三段砂体成因与油气藏分析 [J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(6): 35-36
- 19 罗佳强. 东营凹陷博兴凹陷西部砂三段砂岩体的物源及成因分析 [J]. 油气地质与采收率, 2001, 8(5): 10-13
- 20 李筱瑾. 东营凹陷地质构造问题研究 [J]. 复式油气田 (内部刊物), 1997, 1: 52-56
- 21 韩详磊, 王文林, 孙红蕾. 博兴洼陷砂三段沉积体系探讨 [J]. 油气地质与采收率, 2003, 10: 6-7
- 22 蒲玉国, 吴时国, 李道轩, 等. 东营凹陷博高青砂岩体物源方向与沉积模式研究 [J]. 地球学报, 2005, 26(2): 145-150
- 23 白云凤, 王振升, 韦阿娟, 等. 黄骠拗陷东营组重矿物时空展布特征及物源体系分析 [J]. 大庆石油地质与开发, 2008, 27(2): 39-42
- 24 李珍, 焦养泉, 刘春华. 黄骠拗陷高柳地区重矿物物源分析 [J]. 石油勘探与开发, 1998, 25(6): 5-7
- 25 Morton A C. A new approach to provenance studies - electron microprobe analysis of detrital gamets from Middle Jurassic sandstones of the northern North Sea [J]. Sedimentology, 1985, 32: 553-566
- 26 Morton A C, Whitham A G, Fanning C M. Provenance of Late Cretaceous to Paleocene submarine fan sandstones in the Norwegian Sea: Integration of heavy mineral, mineral chemical and zircon age data [J]. Sedimentary Geology, 2005, 182: 3-28
- 27 Lihou J C, Maria A M ange-Rajetzky. Provenance of the Sardona Flysch - eastern Swiss Alps - example of high resolution heavy mineral analysis applied to an ultrastable assemblage [J]. Sedimentary Geology, 1996, 105: 141-157
- 28 Li R W, Li Z. Compositions of Jurassic detrital gamets in Hefei Basin and its implication to provenance reconstruction and stratigraphic correlation [J]. Science in China, 2001, 30(S1): 91-98
- 29 Li R W, Sun S, Li Z, Jiang M S *et al*. Contribution of high pressure and ultrahigh-pressure rocks to the Jurassic sedimentation in Hefei basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2002, 18(4): 526-530
- 30 李任伟, 李忠, 江茂生, 等. 合肥盆地碎屑石榴石组成及其对源区恢复和地层对比的意义 [J]. 中国科学: D 辑, 2000, 30(增刊): 91-98
- 31 李任伟, 孙枢, 李忠, 等. 高压-超高压岩石对合肥盆地侏罗系沉积的贡献 [J]. 岩石学报, 2002, 18(4): 526-30
- 32 李双建. 塔里木北缘库车拗陷白垩-第三纪物源分析 [D]. 中国科学院研究生院博士论文, 2005: 1-67
- 33 李双建, 石永红, 王清晨. 碎屑重矿物组成对南天山白垩纪-新近纪剥蚀去顶过程的指示 [J]. 岩石学报, 2006, 80(2): 217-225
- 34 Cong B L. Ultrahigh-pressure metamorphic rocks in the Dabie Shan-Sulu region of China [M]. Beijing: Science Press, 1996: 171-177
- 35 山东省第四地质矿产勘查院. 山东省区域地质 [M]. 济南: 山东省地图出版社, 2003
- 36 徐惠芬, 董一杰, 施允亨. 鲁西花岗岩-绿岩带 [M]. 北京: 地质出版社, 1992: 56-67
- 37 池际尚, 路风香. 华北地台金伯利岩及古生代岩石圈地幔特征 [M]. 北京: 科学出版社, 1996: 33-52
- 38 林景仟, 谭东娟, 等. 鲁西归来庄金矿成因 [M]. 济南: 山东科技出版社, 1997: 13-56
- 39 罗声宣, 任喜荣, 等. 山东金刚石地质 [M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1999: 69-70
- 40 曹国权. 鲁西早前寒武纪地质 [M]. 北京: 地质出版社, 1996: 127-138
- 41 沈其韩, 沈昆, 等. 山东沂水杂岩的组成与地质演化 [M]. 北京: 地质出版社, 2000: 1-58
- 42 苏尚国, 赖兴运, 张春林. 胶东海阳所、葛家集基性麻粒岩 P-T 演化及成因意义 [J]. 现代地质, 1996, 10(4): 456-462
- 43 张希道, 王来明. 胶东威海-乳山麻粒岩相岩石的发现及初步研究 [J]. 中国区域地质, 1996, 3: 213-222
- 44 王式光. 榴辉岩的化学分类 [J]. 地质科学, 1997, 32(3): 275-283
- 45 Masaki Enami *et al*. Ultrahigh-pressure metamorphic and decompressional P-T paths of eclogite and country rocks from Weihai, eastern China - comment [J]. The Island Arc, 1998, 7: 246-252
- 46 M Enami A Nagasaki. Prograde P-T path of kyanite eclogite from Junan in the Sulu ultrahigh-pressure province, eastern China [J]. The Island Arc, 1999, 8: 459-474
- 47 S Banno M Enami *et al*. Decompression P-T path of coesite eclogite to granulite from Weihai, eastern China [J]. Lithos, 2000, 52: 97-108
- 48 Nakamura D, Hiraizumi T. Granulite-facies overprinting of Ultrahigh-pressure Metamorphic Rocks [J]. Journal of Petrology, 2000, 41(4): 563-583
- 49 Tian N Yang, Zhi Q Xu. Mass balance during retrogression of eclogite-facies minerals in the Rongcheng eclogite, eastern Sulu ultrahigh-pressure terrane, China [J]. American Mineralogist, 2004, 89: 1525-1532
- 50 周喜文, 魏春景, 董永胜, 等. 胶北荆山群富铝岩系石榴石扩散环带特征及其成因指示意义 [J]. 岩石学报, 2003, 19(4): 752-761
- 51 周喜文, 魏春景, 耿元生, 等. 胶北栖霞地区泥质高压麻粒岩的

- 发现及其地质意义 [J]. 科学通报, 2004, 49(14): 1424-1431
- 52 刘建文, 张希道, 等. 岚山头一带含霓石花岗岩的基本特征及其地质意义 [J]. 山东地质, 1997, 13(1): 50-60
- 53 宋明春, 王来明. 胶南造山带变质作用及其演化 [J]. 山东地质, 1997, 13(1): 60-67
- 54 王来明, 宋明春, 刘建文. 胶南造山带中高压、超高压变质矿物 [J]. 山东地质, 1998, 14(1): 19-26
- 55 杨天南, 徐文华, 陈方远. 青龙山榴辉岩的退变质显微结构及相关的物质迁移: 南苏鲁榴辉岩退变质过程中流体活动的证据 [J]. 岩石矿物学杂志, 2004, 23(3): 236-253
- 56 Dickinson W R. Provenance and sediment dispersal in relation to paleotectonics and paleogeography of sedimentary basins [C] // Kleinsehn K L, Paola C, ed. *New Perspectives in Basin Analysis*. Berlin: Springer-Verlag, 1983: 3-26
- 57 Pettijohn F J, Potter P E, Siever R. *Sand and Sandstone* [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1987: 541-553
- 58 Pettijohn P J, Potter P E, Siever R. *Sand and Sandstone* (Second edition) [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1972: 356-391
- 59 Lewis D W. *Practical Sedimentology* [M]. Stroudsburg: Hutchinson Ross Publishing, 1984: 152-210
- 60 Deer W A, Howie R A, Zussman J. *An Introduction to the Rock-Forming Minerals* (2nd ed.) [M]. HongKong: Longman Scientific & Technical, 1992: 652-667
- 61 许承武. 博兴洼陷新生代构造—沉积演化及其对鲁西隆起的响应 [D]. 中国科学院研究生院博士论文, 2008: 65-90
- 62 李双应, 岳书仓, 王道轩, 等. 大别山造山带超高压变质岩折返隆升的地层学证据—晚侏罗世榴辉岩砾石的启示 [J]. 地质论评, 2002, 48(4): 345-352
- 63 王道轩, 刘因, 李双应, 等. 大别超高压变质岩折返至地表的时间下限: 大别山北麓晚侏罗世砾岩中发现榴辉岩砾石 [J]. 科学通报, 2001, 46: 1216-1220

## Detrital Garnets from Cenozoic Sandstones across Boxing Sag for Provenance Indicator and Its Implication for the Luxi Uplift

SHI Yong-hong<sup>1</sup> LI Zhong<sup>2</sup> BU Xiang-ping<sup>1</sup> XU Cheng-wu<sup>3</sup>

(1) College of Resources & Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009

2 State Key Laboratory of Lithospheric Evolution, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

3 Daqing Oilfield Exploration & Development Institute, Daqing Heilongjiang 163712

**Abstract** For a long time, the evolution relationships between Luxi uplift and peripheral basins during Cenozoic is a research hotspot. In this study, Boxing Sag has been selected as the target area, and the evolution history between Luxi uplift and peripheral basins has been discussed on the basis of the analysis from the exact high spatial resolution for the detrital garnets from Cenozoic various horizons, and the exclusiveness of garnets compositions and their content variation. The results show that the primary provenance of Boxing Sag were from the Luxi uplift and Jiaodong terrane during Cenozoic, more importantly Jiaodong terrane. The content variation of detrital garnet implies that Luxi uplift had been rising up quickly during early Neogene, and two small-scale uplifts has been conjectured from Paleocene to early Eocene and from late Eocene to early Oligocene respectively.

**Key words** Cenozoic, high spatial resolution, detrital garnet, the Boxing Sag, Luxi Uplift