

DOI: 10. 16562/j. cnki. 0256-1492. 2017. 04. 008

岫母岛“蓬莱群”SHRIMP 锆石 U-Pb 定年结果 对胶西北早白垩世盆地格局的启示

刘丽萍¹, 李正祥², 李三忠³, 朱孔阳⁴, 崔芳华¹

(1. 山东理工大学资源与环境工程学院, 淄博 255000; 2. 澳大利亚科廷大学应用地质系, 珀斯 WA6845;
3. 中国海洋大学海洋地球科学学院, 青岛 266100; 4. 浙江大学地球科学学院, 杭州 310027)

摘要: 1:20 万地质图和早期的研究认为胶北西北部的岫母岛出露的是震旦纪或早古生代的蓬莱群。本文对此处地层中的石英粉砂岩和位于其下的火山凝灰岩开展了 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年工作。火山凝灰岩中 12 个点的 U-Pb 分析给出了 124.2 ± 2.3 Ma 的结晶年龄, 表明出露在岫母岛的这套地层属于下白垩统, 而不是地质图上标注的震旦系。石英粉砂岩的碎屑锆石分析进一步验证了其沉积时代为早白垩世: 通过对石英粉砂岩 50 个点的分析, 获得了 430 Ma、1.1 Ga、1.6 Ga、1.8 Ga 和 2.45 Ga 共 5 个峰值, 其中 430 Ma 的峰值由两个岩浆锆石给出, 可能来源于鲁西下常庄三叠纪磁铁矿闪岩岩体中的继承锆石。石英粉砂岩的碎屑锆石的其他峰值年龄和长岛石英岩的碎屑锆石的峰值吻合, 暗示其碎屑主要来源于周边蓬莱群。此外, 岫母岛的石英砂岩和胶莱盆地地下白垩统莱阳群的碎屑锆石年龄图谱明显不同, 暗示它们来源于不同的源区。结合区域正断层活动历史, 推测在胶北地区岫母岛可能存在一个早白垩世伸展盆地, 与胶莱盆地之间由玲珑和郭家岭岩体构成的隆起分隔。

关键词: SHRIMP 锆石 U-Pb 定年; 岫母岛; 蓬莱群; 白垩纪盆地

中图分类号: P597.3

文献标识码: A

文章编号: 0256-1492(2017)04-0126-11

位于胶北地区的蓬莱群是覆盖在中新太古界和古元古界结晶基底之上、中生代苏鲁造山带形成之前沉积的唯一一套地层, 其变质变形特征对揭示苏鲁造山带的演化过程有重要的意义。然而, 蓬莱群的形成时代, 因为依据的古生物和同位素证据不同, 一直存在较大分歧, 部分学者认为其成岩时代为新元古代震旦纪^[1], 或者为早古生代^[2], 也有部分学者认为蓬莱群在不同地区具有不同形成时代, 比如, 蓬莱市及长山列岛属于震旦纪, 栖霞一带属晚古生代^[3]。对蓬莱群沉积物源区的研究也存在不同认识: 一种是蓬莱群的源区不是胶北地区所处的华北克拉通基底, 而是南部的扬子地块^[4], 另一种是其碎屑锆石的主要物源来自于胶北古元古界的地层^[5]。之所以在成岩时代和沉积物源区等问题上产生如此大的分歧, 一个可能原因是存在异物同名的问题。

沉积岩中的副矿物碎屑锆石, 由于其 U-Th-Pb 同位素体系具有较高的封闭温度, 在低级变质作用

和风化搬运过程中保持稳定, 因此碎屑锆石年代学被广泛应用于限定沉积地层的最大沉积年龄和示踪沉积物源区^[6]。为了进一步探索蓬莱群的成岩时代和源区问题, 本文将出露于岫母岛的蓬莱群作为研究对象, 对其中的石英粉砂岩和火山凝灰岩进行 SHRIMP U-Pb 年代学测定, 认为岫母岛的“蓬莱群”应属于下白垩统, 而不是之前所认为的震旦系或早古生界, 并根据其所揭示的源区特征, 对其构造意义进行了讨论。

1 区域地质背景和岩石学特征

胶北地区地处华北克拉通的东南缘, 南以五莲-青岛-烟台断层为界与苏鲁超高压带相邻, 西以郯庐断裂带为界与鲁西地区相邻(图 1a)。区内主要出露太古界的胶东群和 TTG 岩石组合、古元古代的粉子山群和荆山群, 它们在 18.5 亿年左右不同程度地经历了绿片岩相到高压麻粒岩相的区域变质作用, 其上为弱变质的震旦纪或早古生代沉积的蓬莱群, 主要岩性是千枚岩、板岩、石英岩、大理岩和灰岩^[3]。白垩纪时, 由于区域伸展作用, 在五莲-青岛-烟台断裂的北侧胶莱盆地沉积了一套由莱阳群、青山群和王氏群等组成的中酸性岩-碎屑岩沉积组合,

基金项目: 国家杰出青年基金项目(41325009); Australian Research Council(DP110104799); 山东理工大学博士科研启动基金(4041416008); 山东省优秀中青年科学家科研奖励基金(ZR2016DB08); 国家重点研发计划(2017YFC0601400-1)

作者简介: 刘丽萍(1984—), 女, 博士, 讲师, 主要从事热年代学研究, E-mail: liping.liu@hotmail.com

收稿日期: 2017-05-31; **改回日期:** 2017-07-25. 周立君编辑

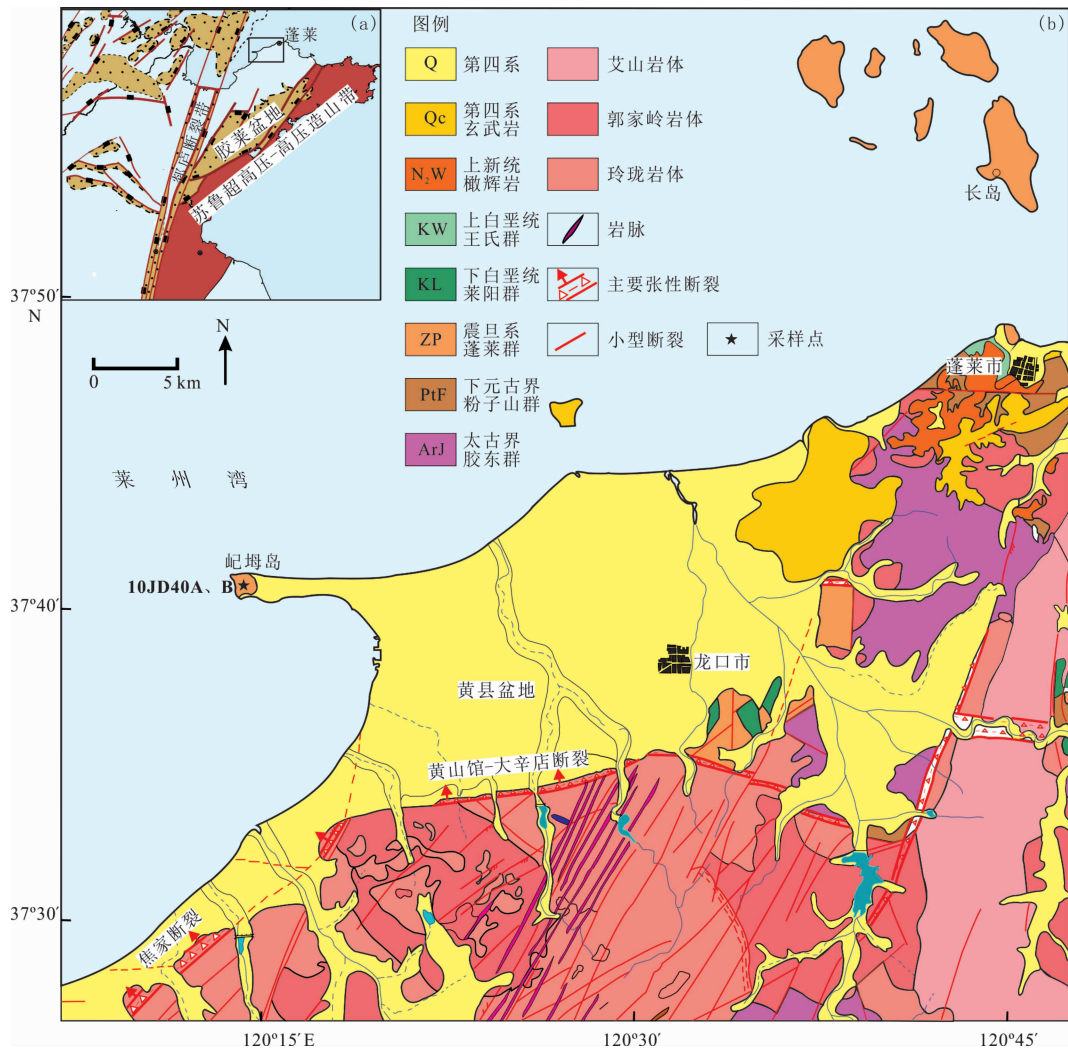


图 1 研究区地质图(根据 1 : 20 万地质图修改)

其中插图(a)为早白垩世盆地分布图(据文献[10]修改)

Fig. 1 Geological map of the study area (modified from 1 : 200 000 geological map)

Inset (a) shows Early Cretaceous basins (modified from reference[10])

胶北地区的蓬莱和龙口等地也出露(图 1b)。区内出露的中生代岩体主要是晚侏罗世的玲珑岩体、130 Ma 左右的郭家岭岩体和约 115 Ma 侵位的艾山岩体^[7-10]。

本文的样品产自胶北地区西北部向海突出的岬角——纪姆岛,已有的地质资料认为该位置出露的地层为蓬莱群的辅子乔组,为一套中-厚层石英岩和灰绿色千枚岩,周边被第四系所覆盖,南边发育两条正断层,分别是近东西向、北倾的黄山馆-大辛店断裂和倾向北西的焦家断裂(图 1b)。在一个露天采石场(37°47. 838' N、120°30. 699' E)对这套地层进行了地质观察和 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年工作。自上而下可见薄层泥岩(图 2a)、浅灰色石英粉砂岩(图 2b)和火山凝灰岩,手标本上可见火山玻璃碎屑(图 2c-d),地层总体向北或北西倾斜,被数条正断层

切割,其中一条北东向正断层倾向 125°,倾角 70°。从薄片特征来看,石英粉砂岩(10JD40A)主要由石英颗粒组成,石英磨圆差,可能含有云母片岩岩屑,石英颗粒之间以胶结物填充,胶结物中可见少量绢云母(图 3a),显示出了碎屑沉积岩的原生结构特征。火山凝灰岩(10JD40B)主要以长英质火山灰为主,并含有少量中粗粒钾长石晶屑,钾长石晶屑边缘发生了较强烈的绢云母化(图 3b)。

2 分析方法

在河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成锆石分选工作后,靶的制备工作在中科院地质与地球物理研究所进行,然后在透射光和反射光显微镜下观察锆石的颜色、大小和透明度等特征。阴极发

光图像在澳大利亚科廷大学的 Phillips XL30 扫描电镜下拍摄以检查锆石的内部结构。锆石 U-Pb 的同位素分析在科廷大学 John de Laeter 质谱中心的 SHRIMP II 设备上完成。一次离子流强度约 1.8 nA, 束斑直径约 25 μm , 分析前样品点清洗时间为 120 s, 每个数据点由 6 次扫描构成, 每测定 4 个未

知样, 测定 1 个 91500 和一个 Plešovice 标准锆石。标准锆石 91500 ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄 = 1 065 Ma, $U = 81 \times 10^{-6}$)^[12] 用于 U 含量和年龄的校正, Plešovice 用来检测仪器的稳定性。数据采用 SQUID 2.5 和 Isoplot 4.15 处理, 测得 Plešovice 的年龄为 339.1 ± 4.4 Ma。

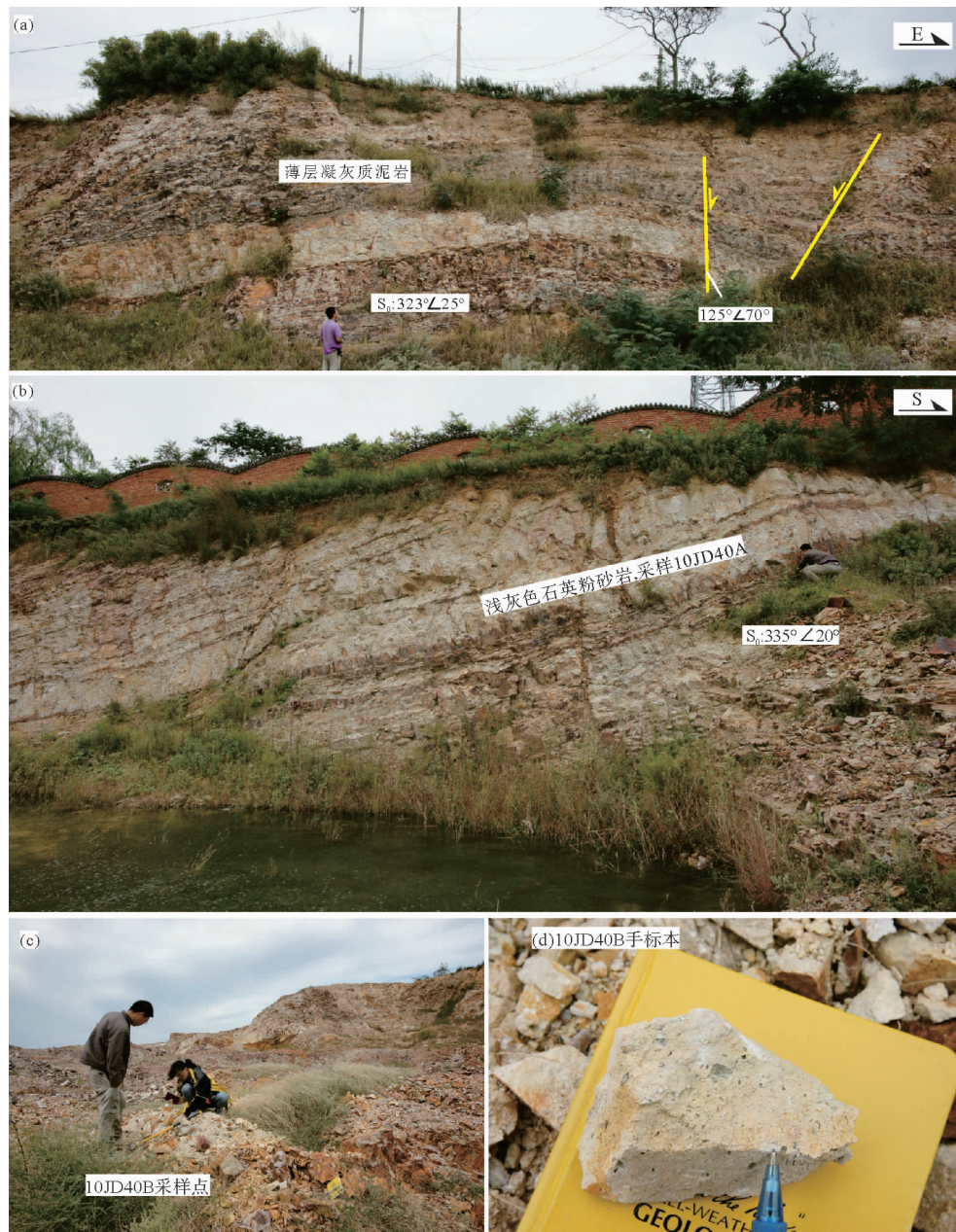


图 2 嵒姆岛采样点地层特征野外照片

- (a) 最上层的薄层泥岩被和焦家断裂走向平行的正断层切割; (b) 中部的浅灰色石英粉砂岩, 采样 10JD40A;
(c) 最下层的火山凝灰岩, 采样 10JD40B; (d) 火山凝灰岩 10JD40B 的手标本特征, 可见火山玻璃屑

Fig. 2 Field outcrops of sampling sites at Qimudao

- (a) The uppermost thin-layered mudstones cut by normal faults parallel to the Jiaojia fault; (b) light gray quartz sandstone in the middle of the outcrop where sample 10JD40A was collected; (c) tuff at the bottom of the outcrop where sample 10JD40B was sampled; (d) photo of sample 10JD40B with visible glass clasts

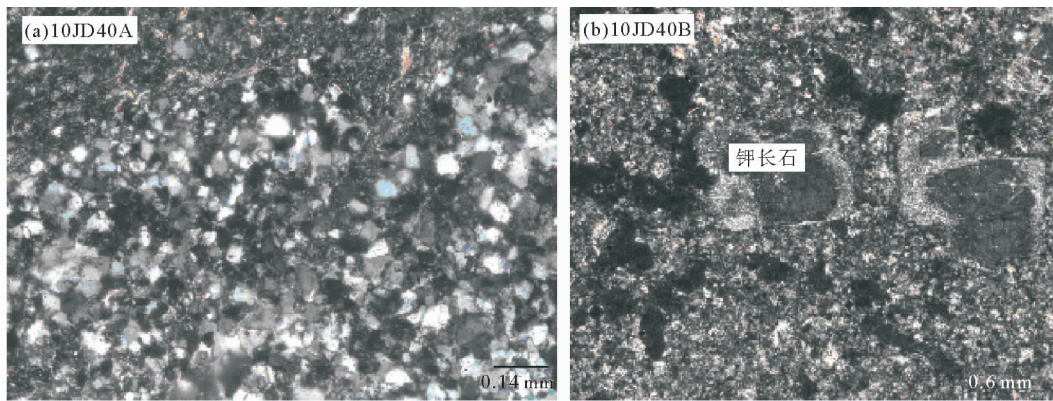


图 3 杞姆岛石英粉砂岩(a)和火山凝灰岩(b)的镜下特征

Fig. 3 Photomicrographs of quartz siltstone (10JD40A) and tuff (10JD40B) samples from Qimudao

3 锆石特征和 U-Pb 分析结果

石英粉砂岩中的锆石多为不规则状,磨圆较差,阴极发光图像上显示具有振荡环带结构,呈现出岩浆锆石的特点(图 4)。在石英粉砂岩(10JD40A)中 50 颗锆石上测试 50 个点,分析结果见表 1 和图 5。44 个近谐和年龄(不谐和度 < 10%)介于 2 448 ~ 427 Ma 之间, Th/U 比值都大于 0.1。它们可以分成 3 个年龄段: 426 ~ 447 Ma、1.0 ~ 1.8 Ga 和 2.3 ~ 2.45 Ga(图 6a), 主要构成 430 Ma、1.1 Ga、1.6 Ga、1.8 Ga 和 2.45 Ga 五个峰值年龄(图 6a)。其中,最

小的峰值年龄由两颗形态完整的锆石(39、46)造成, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄分别为 426 ± 3 Ma 和 447 ± 3 Ma。

火山凝灰岩(10JD40B)的锆石多自形,发育振荡环带(图 4),具有较高的 Th/U 比值(0.15 ~ 1.21),暗示为岩浆锆石。测试结果见表 2 和图 5。分析的 12 颗锆石中,11 颗锆石给出了 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄 124.2 ± 2.3 Ma,代表了其结晶年龄(图 5)。1 颗锆石(点 10.1)形态不完整,为其他锆石的 2 ~ 3 倍大,CL 图像发育明暗相间的振荡环带,给出了 154 ± 2 Ma 的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄,可能为捕获的岩浆锆石。

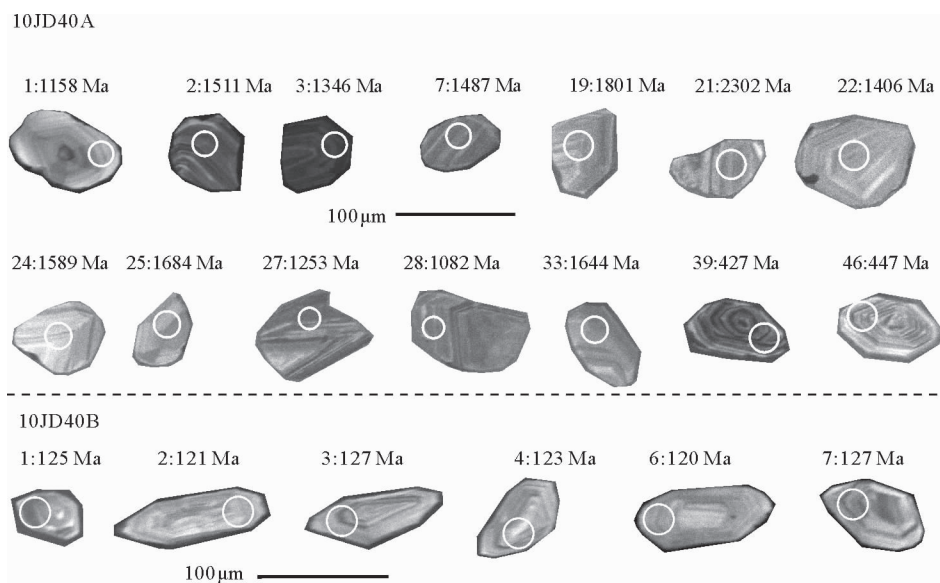


图 4 石英粉砂岩(10JD40A)和火山凝灰岩(10JD40B)的特征锆石阴极发光图像及 U-Pb 年龄

Fig. 4 CL images and U-Pb ages of characteristic zircon grains from quartz siltstone (sample 10JD40A) and tuff (sample 10JD40B)

表 1 胶北地区肥埠岛石英粉砂岩(10JD40A)的 SHRIMP 锆石年龄

Table 1 SHRIMP zircon data for the quartz siltstone sample (10JD40A) from Qimudao, Jiabei region

点位	U / $\times 10^{-6}$	Th / $\times 10^{-6}$	Th/U	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{206}\text{Pbc}$ /%	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$ ± %	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$ ± %	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$ ± %	Err corr	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄±σ/Ma	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄±σ/Ma	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄±σ/Ma	不谐和度* /%	
JD40A-1.1	79	144	1.87	3 691	0.45	0.078	2.2	2.3	2.5	0.213	1.2	0.49	1 213±18	-7
JD40A-2.1	222	183	0.85	7 415	0.22	0.094	0.9	3.58	1.2	0.276	0.8	0.7	1 545±10	-4
JD40A-3.1	463	386	0.86	7 475	0.22	0.086	0.7	2.69	1	0.226	0.7	0.69	1 327±7	2
JD40A-4.1	328	288	0.91	9 085	0.17	0.099	0.6	4	1	0.293	0.8	0.76	1 635±8	-3
JD40A-5.1	103	106	1.07	5 725	0.25	0.159	0.7	10.51	1.3	0.479	1.1	0.84	2 481±12	-3
JD40A-6.1	167	131	0.81	3 437	0.46	0.093	1.2	3.59	1.5	0.28	0.9	0.61	1 547±12	-7
JD40A-7.1	237	174	0.76	5 999	0.27	0.093	0.9	3.55	1.2	0.277	0.8	0.68	1 538±10	-6
JD40A-8.1	813	630	0.8	1 818	0.86	0.149	1.1	6.35	1.8	0.309	1.4	0.77	2 025±15	26
JD40A-9.1	274	240	0.9	14 384	0.11	0.096	0.7	3.78	1.1	0.285	0.8	0.75	1 588±8	-4
JD40A-10.1	148	169	1.18	4 159	0.39	0.094	1.2	3.52	1.5	0.271	1	0.63	1 533±12	-2
JD40A-11.1	495	187	0.39	32 003	0.05	0.104	0.4	4.36	0.8	0.306	0.7	0.85	1 705±7	-2
JD40A-12.1	193	143	0.77	1 564	1.04	0.089	1.9	3.03	2.1	0.248	0.9	0.43	1 416±16	-2
JD40A-13.1	452	728	1.66	8 184	0.2	0.098	0.6	3.33	0.9	0.246	0.7	0.74	1 488±7	10
JD40A-14.1	302	217	0.74	17 329	0.09	0.098	0.6	3.89	1	0.288	0.8	0.78	1 611±8	-3
JD40A-15.1	400	264	0.68	13 458	0.12	0.096	0.6	3.71	0.9	0.28	0.7	0.78	1 574±7	-3
JD40A-16.1	378	325	0.89	1 455	1.14	0.081	1.8	2.36	2	0.21	0.8	0.39	1 229±14	0
JD40A-17.1	283	94	0.35	6 369	0.26	0.085	0.9	2.79	1.2	0.237	0.8	0.66	1 353±9	-4
JD40A-18.1	278	223	0.83	7 045	0.23	0.095	0.8	3.7	1.1	0.283	0.8	0.72	1 572±9	-5
JD40A-19.1	296	82	0.29	74 406	0.02	0.11	0.5	5.03	0.9	0.331	0.8	0.84	1 825±8	-2
JD40A-20.1	460	311	0.7	10 740	0.15	0.095	0.6	3.08	0.9	0.235	0.7	0.75	1 427±7	11
JD40A-21.1	472	206	0.45	9 973	0.15	0.146	0.4	8.25	0.8	0.409	0.7	0.88	2 259±7	4
JD40A-22.1	237	157	0.69	5 321	0.3	0.089	1	3.14	1.3	0.255	0.8	0.63	1 441±10	-4
JD40A-23.1	135	79	0.6	13 873	0.12	0.093	1	3.39	1.4	0.265	1	0.7	1 501±11	-2
JD40A-24.1	178	142	0.83	8 123	0.2	0.098	0.9	3.91	1.3	0.289	0.9	0.71	1 617±10	-3
JD40A-25.1	269	193	0.74	10 404	0.15	0.103	0.6	4.38	1	0.307	0.8	0.79	1 708±8	-3

续表 1

点位	U / $\times 10^{-6}$	Th $\times 10^{-6}$	Th/U	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{206}\text{Pbc}$ /%	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$ ±%	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$ ±%	Err corr	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄±σ/Ma	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄±σ/Ma	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄±σ/Ma	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄±σ/Ma	不谐和度* /%
JD40A-26.1	186	140	0.78	7 285	0.23	0.079	1.5	0.59	1 242±10	1 216±11	1 169±24	1 216±11	-6
JD40A-27.1	800	380	0.49	6 283	0.27	0.082	2.1	0.93	944±17	1 042±14	1 253±15	1 042±14	25
JD40A-28.1	572	453	0.82	6 743	0.25	0.076	1.1	0.61	1 053±6	1 082±17	1 082±17	1 063±7	3
JD40A-29.1	116	118	1.05	658	2.39	0.118	31	0.2	1 723±93	1 815±262	1 923±545	1 815±262	10
JD40A-30.1	146	70	0.49	5 215	0.3	0.109	1.4	0.71	1 807±15	1 792±12	1 775±18	1 792±12	-2
JD40A-31.1	586	90	0.16	12 650	0.13	0.075	1	0.67	1 078±6	1 075±6	1 069±15	1 075±6	-1
JD40A-32.1	505	344	0.7	1 423	1.21	0.075	3	0.31	928±8	972±19	1 073±58	972±19	14
JD40A-33.1	287	131	0.47	8 349	0.19	0.101	1	0.75	1 676±12	1 662±8	1 644±13	1 662±8	-2
JD40A-34.1	196	123	0.65	15 374	0.1	0.098	1.2	0.75	1 623±13	1 610±9	1 592±14	1 610±9	-2
JD40A-35.1	501	226	0.47	12 708	0.13	0.09	0.9	0.78	1 449±9	1 439±7	1 423±10	1 439±7	-2
JD40A-36.1	1108	636	0.59	3 511	0.49	0.078	1.1	0.66	878±6	962±7	1 158±17	962±7	24
JD40A-37.1	117	81	0.72	3 471	0.47	0.085	2	0.54	1 406±14	1 370±15	1 314±33	1 370±15	-7
JD40A-38.1	346	130	0.39	8 416	0.19	0.087	1.1	0.7	1 388±9	1 381±8	1 371±14	1 381±8	-1
JD40A-39.1	566	455	0.83	1 861	0.97	0.056	3.1	0.22	426±3	432±11	462±66	432±11	1
JD40A-40.1	253	119	0.48	7 480	0.23	0.076	1.2	0.56	1 102±8	1 098±10	1 090±25	1 098±10	-1
JD40A-41.1	446	517	1.2	3 571	0.45	0.101	4.1	0.17	1 490±9	1 556±33	1 646±75	1 556±33	9
JD40A-42.1	221	162	0.76	7 527	0.22	0.078	1.2	0.58	1 178±9	1 168±10	1 149±23	1 168±10	-3
JD40A-43.1	282	135	0.49	5 911	0.27	0.091	0.9	0.67	1 495±11	1 474±9	1 444±17	1 474±9	-4
JD40A-44.1	691	320	0.48	8 574	0.2	0.078	1	0.53	1 076±6	1 102±8	1 154±20	1 102±8	7
JD40A-45.1	199	160	0.83	4 392	0.37	0.091	1.1	0.62	1 513±12	1 483±11	1 441±21	1 483±11	-5
JD40A-46.1	329	188	0.59	5 286	0.34	0.054	2.5	0.3	447±3	436±9	380±54	436±9	-2
JD40A-47.1	289	86	0.31	11 594	0.15	0.075	1	0.62	1 117±8	1 105±9	1 082±20	1 105±9	-3
JD40A-48.1	410	247	0.62	7 306	0.22	0.102	0.9	0.76	1 601±10	1 627±7	1 661±11	1 627±7	4
JD40A-49.1	271	193	0.74	9 039	0.18	0.098	1.1	0.72	1 585±11	1 584±9	1 582±14	1 584±9	0
JD40A-50.1	143	70	0.5	5 417	0.29	0.1	1.9	0.52	1 707±15	1 672±16	1 627±30	1 672±16	-5

注： ^{206}Pbc (%)为普通铅成因的 ^{206}Pb 的百分比；* 不谐和度= $100 \times (1 - (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U 年龄}) / (^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U 年龄}))$ (当 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U 年龄} > 1\ 000\ \text{Ma}$)；不谐和度= $100 \times (1 - (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U 年龄}) / (^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U 年龄}))$ (当 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U 年龄} \leq 1\ 000\ \text{Ma}$)。

表2 胶北地区肥姆岛火山凝灰岩(10JD40B)的SHRIMP锆石U-Pb年龄

Table 2 SHRIMP zircon U-Pb data for the tuff (sample 10JD40B) from Qimudao, Jiaobei region

点位	U / $\times 10^{-6}$	Th / $\times 10^{-6}$	Th /U	^{206}Pb / ^{204}Pb	^{206}Pbc /%	^{238}U / ^{206}Pb	$\pm\%$	^{207}Pb / ^{206}Pb	$\pm\%$	$^{207}\text{Pb}^*$ / ^{235}U	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}^*$ / ^{238}U	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄 $\pm\sigma/\text{Ma}$
40B-1.1	303	354	1.21	476	3.89	49	1.4	0.02	38.9	0.05	38.9	0.02	1.7	125 \pm 2
40B-2.1	260	164	0.65	421	4.4	51	1.4	0.021	40.7	0.06	40.7	0.019	1.7	121 \pm 2
40B-3.1	660	392	0.61	821	2.25	49	1.8	0.03	14.8	0.08	14.9	0.02	1.9	127 \pm 2
40B-4.1	278	262	0.97	319	5.8	49	1.9	0.004	265.6	0.01	266	0.019	2.3	123 \pm 3
40B-5.1	406	360	0.92	387	4.79	50	0.8	0.015	59.5	0.04	59.5	0.019	1.3	121 \pm 2
40B-6.1	347	215	0.64	303	6.1	50	1.2	0.003	416	0.01	416	0.019	1.7	120 \pm 2
40B-7.1	437	361	0.86	596	3.11	49	1.5	0.024	26.3	0.07	26.3	0.02	1.6	127 \pm 2
40B-8.1	425	180	0.44	842	2.2	50	1.8	0.035	15.7	0.09	15.8	0.02	1.9	126 \pm 2
40B-9.1	265	248	0.97	467	3.96	51	1.9	0.021	44.6	0.05	44.7	0.019	2.2	121 \pm 3
40B-10.1	107	16	0.15	—	0	41	1.2	0.057	4.8	0.19	4.9	0.024	1.2	154 \pm 2
40B-11.1	257	174	0.7	403	4.6	50	0.9	0.018	57.9	0.05	57.9	0.019	1.5	122 \pm 2
40B-12.1	667	173	0.27	873	2.12	48	1.0	0.036	10.5	0.1	10.5	0.02	1.1	129 \pm 1

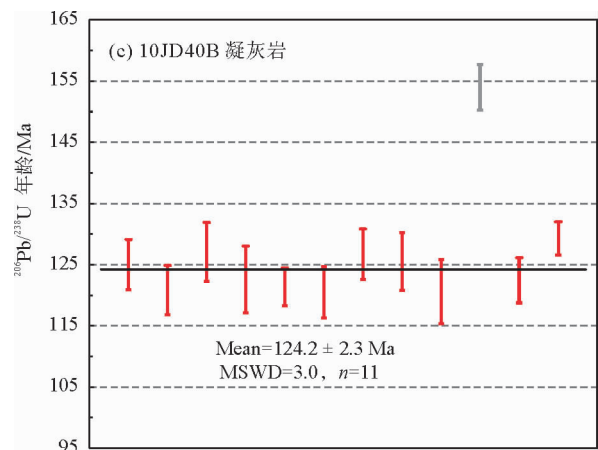
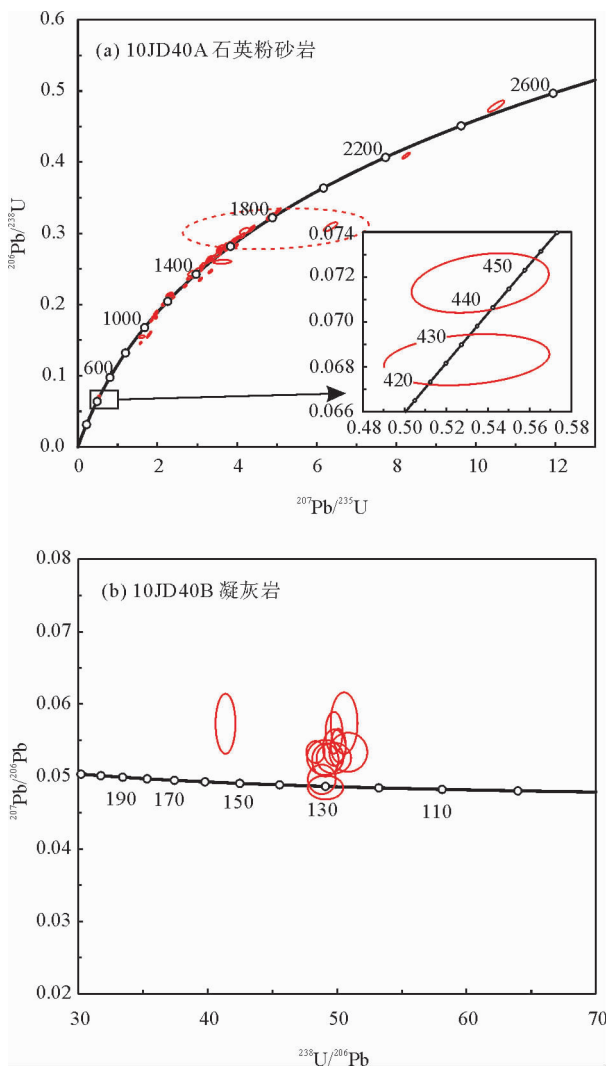


图5 肥姆岛石英粉砂岩(样品 10JD40A)和凝灰岩(样品 10JD40B)中锆石 SHRIMP U-Pb 谐和图和加权平均年龄
Fig. 5 SHRIMP zircon U-Pb concordia plots and weighted mean age for Qimudao quartz siltstone (sample 10JD40A) and tuff (sample 10JD40B)

4 讨论

4.1 石英粉砂岩的沉积时代

肥姆岛出露的这套地层一直被认为属于震旦系或早古生代蓬莱群的辅子乔组,是一套薄-中厚层石英岩与灰绿色千枚岩互层。而岩石薄片特征显示此处的硅质岩石为碎屑结构,胶结物保留完好,应为石英粉砂岩,而不是石英岩。沉积岩中的碎屑锆石的

最小谐和年龄可以限定地层的最老沉积时代。石英粉砂岩中两颗碎屑锆石给出了 426 ± 3 Ma 和 447 ± 3 Ma 的谐和年龄,表明其最老沉积时代不早于 425 Ma。对位于石英粉砂岩地层之下的火山凝灰岩的锆石 U-Pb 分析揭示火山凝灰岩的形成时代为 124.2 ± 2.3 Ma,更加精确地限定砮姆岛出露的这套地层应属于下白垩统的沉积,而不是以前所认为的蓬莱群。

4.2 物源属性

砮姆岛石英粉砂岩中测试的 50 颗碎屑锆石中 44 颗锆石给出了谐和年龄,它们可以分成 3 个年龄段: $426 \sim 447$ Ma、 $1.0 \sim 1.7$ Ga 和 $1.8 \sim 2.45$ Ga 和 5 个峰值年龄: 430 Ma、1.1 Ga、1.6 Ga、1.8 Ga 和 2.45 Ga。

胶北地区的基底以发育中新太古代(约 2.9 Ga、2.7 Ga 和 2.5 Ga)的花岗岩、TTG 片麻岩和镁铁质火山岩以及古元古代 2.2 Ga 和 1.8 Ga 等岩浆-变质热事件为特征^[13-17]。砮姆岛白垩系石英粉砂岩中太古代—古元古代碎屑锆石可能直接来源于胶北的基底,也可能是早期沉积岩再旋回的结果。

砮姆岛石英砂岩中大部分碎屑锆石的年龄集中在 $1.0 \sim 1.7$ Ga 年龄段,但胶北地区至今没有发现同一时期岩浆或变质事件,但在鲁西地区和华北克拉通北缘的燕辽地区发现了这一时期的岩浆热事件^[18,19],暗示鲁西或者燕辽地区可能为砮姆岛白垩系石英粉砂岩的源区,但是这两个地区的岩石组成主体以太古界岩石为主,与石英粉砂岩中以 $1.0 \sim 1.7$ Ga 年龄段为主导的特征不符,因此,鲁西或燕辽地区可能提供了少量的碎屑物质,但不是其主要物源区。通过与长岛石英岩的碎屑锆石 U-Pb 年龄图谱^[20]对比发现,两者在碎屑锆石前寒武纪 U-Pb 年龄组成上一致(图 6),说明砮姆岛石英粉砂岩的碎屑主要来源于周边蓬莱群物质的再循环,与其石英磨圆比较差的特征也吻合。

砮姆岛石英粉砂岩中最年轻的两颗岩浆锆石年龄为 $426 \sim 447$ Ma,邻区已知鲁西下常庄岩体中含有这个时代的岩浆锆石^[21],推测它们可能为源于鲁西的碎屑物质通过沿郯庐断裂带的水流搬运至此(图 1a)。

4.3 胶西北存在早白垩世盆地

胶莱盆地是山东半岛惟一已知的白垩纪断陷盆地,其下白垩统莱阳群碎屑锆石 U-Pb 年龄显示其物源主要来源于太古界基底、苏鲁超高压-高压造山

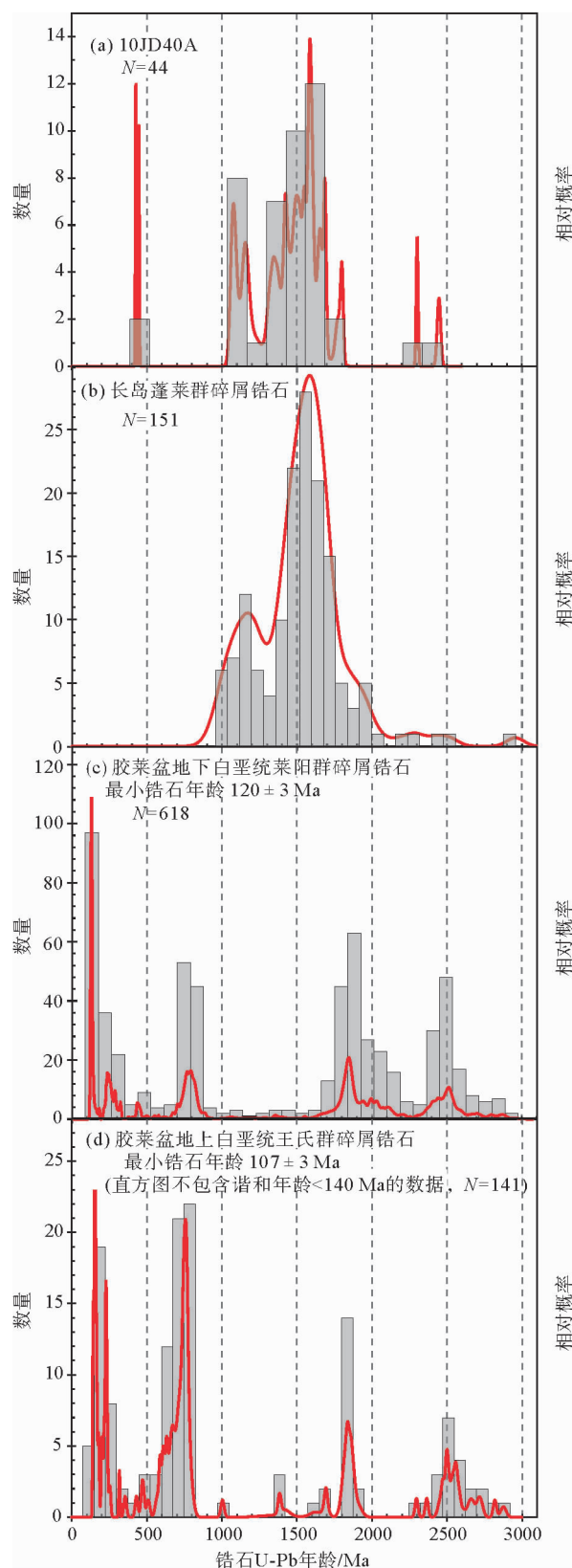


图 6 碎屑锆石 U-Pb 年龄相对概率图
(长岛蓬莱群碎屑锆石引自文献^[20],
胶莱盆地莱阳群数据来自文献^[22-24])

Fig. 6 Relative probability plot of detrital zircon U-Pb ages
(detrital zircon U-Pb data for Changdao Penglai Group
is cited from reference^[20] and data for the Laiyang Group
in the Jiaolai basin is cited from references^[22-24])

带的三叠纪变质岩及其新元古代原岩,以及早白垩世的火山岩或侵入岩^[22-24](图6c),这与同时期砮姆岛的石英粉砂岩源区明显不同,与上白垩统王氏群碎屑锆石年龄图谱也不同。苏鲁造山带中三叠纪和新元古代的锆石并没有运移到砮姆岛,说明它们处在不同的盆地,砮姆岛可能处于除胶莱盆地之外的另一个早白垩世盆地——黄县盆地,在该盆地的古近系沉积盖层之下发现有青山群地层,与砮姆岛火山凝灰岩结晶年龄吻合,应为同期与火山喷发有关的产物^[25]。分隔这两个盆地的可能是西以焦家断裂、北以黄山馆-大辛店断裂和东以招远-平度断裂为界^[26,27]的、处在这些正断层上升盘的晚侏罗世—早白垩世玲珑-郭家岭花岗质岩基隆起带。以上断裂带的⁴⁰Ar/³⁹Ar定年结果也证实了它们在早白垩世的活动^[28],并与胶莱盆地主体为一个南断北超的盆地结构相吻合。综上所述,砮姆岛存在一个早白垩世盆地,以中生代花岗质岩基构成的隆起带与胶莱盆地分隔。

5 结论

(1) 砮姆岛出露的地层从上到下主要有泥质岩、石英粉砂岩和火山凝灰岩,SHRIMP 锆石 U-Pb 定年结果显示火山凝灰岩的形成时代为 124.2 ± 2.3 Ma,为下白垩统沉积,而不是前人所认为的震旦系或早古生代的蓬莱群。

(2) 砮姆岛石英粉砂岩中碎屑锆石的年龄分布于 426~447 Ma、1.0~1.8 Ga 和 2.3~2.45 Ga 年龄段,以 1.0~1.6 Ga 的锆石所占的比重最大,与长岛蓬莱群石英岩的碎屑锆石年龄组成一致,说明该石英粉砂岩的主要物源来自周边的蓬莱群出露区。426~447 Ma 碎屑锆石年龄可能来自于鲁西下常庄的磁铁角闪岩,顺着郯庐断裂的水流搬运至此。

(3) 砮姆岛地区石英粉砂岩与南部的胶莱盆地中同时期的莱阳群碎屑锆石年龄组成明显不同,且缺少苏鲁超高压-高压带特征性的三叠纪和新元古代锆石,说明砮姆岛可能发育一个早白垩世盆地——黄县盆地,结合断裂活动时间和胶莱盆地的结构特征,推测盆地通过中生代的玲珑-郭家岭岩基隆起带与胶莱盆地分隔,导致了隆起两侧盆地的源区不同。

致谢:野外采样和 SHRIMP 锆石 U-Pb 实验测试分别得到了中国海洋大学刘鑫博士和科廷大学 Richard Taylor 博士的帮助,李传浩清绘了部分图

件,在此表示感谢。

参考文献(References)

- [1] 邓幼华,胡秋华,许洪泉,等. 鲁东地区蓬莱群、粉子山群的研究[J]. 中国地质科学院南京地质矿产研究所刊, 1984, 5(2): 1-71, 101-105, 107, 110. [DENG Youhua, HU Qiuhua, XU Hongquan, et al. Research on the penglai group and fenzishan group in the Ludong region[J]. Bull. Nanjin Inst. Geol. M. R., Chinese Acad. Geol. Sci., 1984, 5(2): 1-71, 101-105, 107, 110.]
- [2] 黄德业. 蓬莱群的浅变质作用机理及其形成时代[J]. 山东地质情报, 1992(4): 1-3. [HUANG Deye. Mechanism and timing of low grade metamorphism of the Penglai Group[J]. Shandong Geological Information, 1992(4): 1-3.]
- [3] 纪壮义,赵环金. 鲁东蓬莱群时代新证[J]. 地层学杂志, 1992, 16(3): 237-238. [JI Zhuangyi, ZHAO Huanjin. New evidence for the timing of the Penglai Group in the Ludong region[J]. Journal of Stratigraphy, 1992, 16(3): 237-238.]
- [4] Li X H, Chen F K, Guo J H, et al. South China provenance of the lower-grade Penglai Group north of the Sulu UHP orogenic belt, eastern China: evidence from detrital zircon ages and Nd-Hf isotopic composition [J]. Geochemical Journal, 2007, 41(1): 29-45.
- [5] Zhou J B, Wilde S A, Zhao G C, 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(3-4): 323-340.
- [6] 胡波,翟明国,郭敬辉,等. 华北克拉通北缘化德群中碎屑锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及其构造意义[J]. 岩石学报, 2009, 25(1): 193-211. [HU Bo, ZHAI Mingguo, GUO Jinghui, et al. LA-ICP-MS U-Pb geochronology of detrital zircons from the Huade Group in the northern margin of the Northern China Craton and its tectonic significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(1): 193-211.]
- [7] 苗来成,罗镇宽,关康,等. 玲珑花岗岩中锆石的离子质谱 U-Pb 年龄及其岩石学意义[J]. 岩石学报, 1998, 14(2): 198-206. [MIAO Laicheng, LUO Zhenkuan, GUAN Kang, et al. The implication of the SHRIMP U-Pb age in Zircon to the petrogenesis of the Linglong Granite, East Shandong Province [J]. Acta Petrologica Sinica, 1998, 14(2): 198-206.]
- [8] 关康,罗镇宽,苗来成,等. 胶东招掖郭家岭型花岗岩锆石 SHRIMP 年代学研究[J]. 地质科学, 1998, 33(3): 318-328. [GUAN Kang, LUO Zhenkuan, MIAO Laicheng, et al. SHRIMP in zircon chronology for Guojialing suite granite in Jiaodong Zhaoye district[J]. Scientia Geologica Sinica, 1998, 33(3): 318-328.]
- [9] Wang L G, Qiu Y M, McNaughton N J, et al. Constraints on crustal evolution and gold metallogeny in the Northwestern Jiaodong Peninsula, China, from SHRIMP U-Pb zircon studies of granitoids[J]. Ore Geology Reviews, 1998, 13(1-5): 275-291.

- [10] Goss S C, Wilde S A, Wu F Y, et al. The age, isotopic signature and significance of the youngest Mesozoic granitoids in the Jiaodong Terrane, Shandong Province, North China Craton[J]. *Lithos*, 2010, 120(3-4): 309-326.
- [11] Zhu G, Jiang D Z, Zhang B L, et al. Destruction of the eastern North China Craton in a backarc setting: evidence from crustal deformation kinematics [J]. *Gondwana Research*, 2012, 22(1): 86-103.
- [12] Wiedenbeck M, Allé P, Corfu F, et al. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses[J]. *Geostandards Newsletter*, 1995, 19(1): 1-23.
- [13] Jahn B M, Liu D Y, Wan Y S, et al. Archean crustal evolution of the Jiaodong Peninsula, China, as revealed by zircon SHRIMP geochronology, elemental and Nd-isotope geochemistry[J]. *American Journal of Science*, 2008, 308(3): 232-269.
- [14] Liu J H, Liu F L, Ding Z J, et al. Geochronology, petrogenesis and tectonic implications of Paleoproterozoic granitoid rocks in the Jiaobei Terrane, North China Craton[J]. *Precambrian Research*, 2014, 255: 685-698.
- [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): 943-960. [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): 943-960.]
- [16] 刘平华, 刘福来, 王舫, 等. 胶北西留古元古代~2.1Ga 变辉长岩岩石学与年代学初步研究[J]. *岩石学报*, 2013, 29(7): 2371-2390. [LIU Pinghua, LIU Fulai, WANG Fang, et al. Petrological and geochronological preliminary study of the Xiliu~2.1Ga meta-gabbro from the Jiaobei terrane, the southern segment of the Jiao-Liao-Ji Belt in the North China Craton[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2013, 29(7): 2371-2390.]
- [17] Wu M L, Zhao G C, Sun M, et al. Zircon U-Pb geochronology and Hf isotopes of major lithologies from the Jiaodong Terrane: Implications for the crustal evolution of the Eastern Block of the North China Craton[J]. *Lithos*, 2014, 190-191: 71-84.
- [18] Wang C, Peng P, Wang X P, et al. Nature of three Proterozoic (1680 Ma, 1230 Ma and 775 Ma) mafic dyke swarms in North China: implications for tectonic evolution and paleogeographic reconstruction[J]. *Precambrian Research*, 2016, 285: 109-126.
- [19] 侯贵廷, 刘玉琳, 李江海, 等. 关于基性岩墙群的 U-Pb SHRIMP 地质年代学的探讨--以鲁西莱芜辉绿岩岩墙为例[J]. *岩石矿物学杂志*, 2005, 24(3): 179-185. [HOU Guiting, LIU Yulin, LI Jianghai, et al. The SHRIMP U-Pb chronology of mafic dyke swarms: A case study of Laiwu diabase dykes in western Shandong[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2005, 24(3): 179-185.]
- [20] 初航, 陆松年, 王惠初, 等. 山东长岛地区蓬莱群辅子乔组碎屑锆石年龄谱研究[J]. *岩石学报*, 2011, 27(4): 1017-1028. [CHU Hang, LU Songnian, WANG Huichu, et al. U-Pb age spectrum of detrital zircons from the Fuzikuang Formation, Penglai Group in Changdao, Shandong Province [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(4): 1017-1028.]
- [21] 刘金民, 杨承海, 杨德彬, 等. 鲁西下常庄磁铁角闪岩岩体中锆石 U-Pb 年代学及其地质意义[J]. *世界地质*, 2006, 25(3): 221-228. [LIU Jinmin, YANG Chenghai, YANG Debin, et al. U-Pb chronology in zircon of magnetite-amphibolite intrusion from western Shandong and its geological implications[J]. *Global Geology*, 2006, 25(3): 221-228.]
- [22] Wang J, Chang S C, Lu H B, et al. Detrital zircon provenance of the Wangshi and Laiyang groups of the Jiaolai basin: evidence for Early Cretaceous uplift of the Sulu orogen, Eastern China[J]. *International Geology Review*, 2016, 58(6): 719-736.
- [23] Xie S W, Wu Y B, Zhang Z M, et al. U-Pb ages and trace elements of detrital zircons from Early Cretaceous sedimentary rocks in the Jiaolai Basin, north margin of the Sulu UHP terrane: provenances and tectonic implications [J]. *Lithos*, 2012, 154: 346-360.
- [24] Xu J Q, Li Z. Middle-Late Mesozoic sedimentary provenances of the Luxi and Jiaolai areas: implications for tectonic evolution of the North China Block[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2015, 111: 284-301.
- [25] 李增学, 魏久传, 李守春, 等. 黄县早第三纪断陷盆地充填特征及层序划分[J]. *岩相古地理*, 1998, 18(4): 1-8. [LI Zengxue, WEI Jiuchuan, LI Shouchun, et al. The basin-filling features and sequence division in the Paleogene Huangxian fault basin, Shandong[J]. *Sedimentary Facies and Palaeogeography*, 1998, 18(4): 1-8.]
- [26] 霍庆龙, 吕古贤, 朱随州, 等. 招平断裂带地质特征及其成矿规律研究[J]. *矿物学报*, 2013(S2): 915-916. [HUO Qinglong, LV Guxian, ZHU Suizhou, et al. Geological features of the Zhao-Ping fault zone and its metallogenic regularity [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2013(S2): 915-916.]
- [27] 许谱林, 吕古贤, 张迎春, 等. 胶东焦家断裂蚀变岩带韧-脆性变形定量研究[J]. *地学前缘*, 2015, 22(4): 97-103. [XU Pulin, LV Guxian, ZHANG Yingchun, et al. The quantitative research of brittle-ductile deformation of Jiaojia fault-altered belt in Jiaodong area[J]. *Earth Science Frontiers*, 2015, 22(4): 97-103.]
- [28] Charles N, Augier R, Gumiaux C, et al. Timing, duration and role of magmatism in wide rift systems: Insights from the Jiaodong Peninsula (China, East Asia)[J]. *Gondwana Research*, 2013, 24(1): 412-428.

EARLY CRETACEOUS BASIN FRAMEWORK IN NORTHWEST JIAOBEI REGION: EVIDENCE FROM SHRIMP ZIRCON U-PB DATING FOR“PENGLAI GROUP”AT QIMUDAO

LIU Liping¹, LI Zhengxiang², LI Sanzhong³, ZHU Kongyang⁴, CUI Fanghua¹

(1. School of Resources and Environmental Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255000, China;

2. The Institute for Geoscience Research, Department of Applied Geology, Curtin University, Perth WA6845, Australia;

3. College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, China;

4. School of Earth Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: It is traditionally believed that the bedrocks exposed at the Qimudao of the Jiaobei region belong to the Penglai Group of Sinian and Early Paleozoic. However, the newly acquired SHRIMP zircon U-Pb ages from the siltstone and volcanic tuff of the mapping unit of "Penglai Group" tells a different story. 12 analyses of zircon grains from the tuff yielded a crystallization age of 124.2 ± 2.3 Ma, indicating that the rock succession at the Qimudao was deposited during Early Cretaceous, rather than Sinian. Detrital zircon U-Pb age data of fifty zircon grains, moreover, from the siltstone can be grouped into five age populations: 430 Ma, 1.1 Ga, 1.6 Ga, 1.8 Ga and 2.45 Ga. The 430 Ma peak comes from two magmatic zircons with oscillatory zonation, and could be sourced from the eroded Triassic Xiachangzhuang magnetite amphibolite in the Luxi region. Other age peaks from the siltstone are rather consistent with the detrital zircon peaks of the quartzite of the Penglai Group found in the nearby Changdao, suggesting a possible recycled origin. In addition, these peak populations are conspicuously different from the detrital zircon U-Pb populations of the coeval Laiyang Group in the Jiaolai Basin to the south of the study area, implying proximal and varying source regions for discrete Cretaceous basins in the region. Together with normal faulting activities, it is inferred that there was an Early Cretaceous extensional basin developed in the region.

Key words: SHRIMP zircon U-Pb dating; Qimudao; Penglai Group; Cretaceous basin