

辽北法库构造岩系的锆石 SHRIMP 年代学研究 与华北地台北缘边界*

张晓晖¹ 宿文姬² 王辉¹

ZHANG XiaoHui¹ SU WenJi² and WANG Hui¹

1. 中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈构造演化实验室, 北京 100029

2. 华南理工大学建筑学院土木工程系, 广州 510641

1. Laboratory of Lithosphere Tectonic Evolution, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

2. The Department of Civil Engineering, School of Architecture & Civil engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China

2004-08-18 收稿, 2005-01-12 改回.

Zhang XH, Su WJ and Wang H. 2005. Zircon SHRIMP geochronology of the Faku tectonites in the northern Liaoning Province: Implications for the northern boundary of the North China Craton. *Acta Petrologica Sinica*, 21(1) 135-142

Abstract For lack of reliable isotopic chronological data, the metamorphic complex in the Faku region of the northern Liaoning province has previously been regarded as the platform basement. Recent studies revealed that these deformed and metamorphosed rocks, with a variety of protoliths of plutonic intrusions and supracrustal volcanic and sedimentary rocks, were genetically related to later ductile shearing events. They, together with the syn-tectonic intrusions (the Shijianfang granites), constitute a large-scale Faku tectonites. Dating on the volumetrically significant plutonic units using advanced SHRIMP zircon U-Pb technique indicates that the Wulongshan complex and the Shijianfang granites were emplaced at 265 ± 4 Ma and 284 ± 3 Ma, respectively. This suggests that these granitic intrusions, the dominant constituents of the Faku tectonites, were emplaced during Late Paleozoic time, not in the Proterozoic as previously thought. These isotopic ages provide important geochronological constraints not only for negating the existence of the large-scale Precambrian metamorphic basement in the Faku Faulted Convex, but also for ascertaining the suturing boundary between the North China Platform and the Xing'an-Mongolian Orogenic Belt to the east of the Liuhe fault.

Key words Zircon, SHRIMP, Geochronology, Faku tectonite, Northern Liaoning

摘要 由于缺乏可靠的同位素年代学资料, 辽北法库地区的变质岩系一直被看作地台基底型建造, 近期研究确认它们属于原岩为深成侵入体(五龙山杂岩)和火山-沉积岩系、后经韧性剪切作用而形成的变形变质岩系, 它们与遭受同期动力变质作用影响的同构造侵入岩(十间房花岗岩)一道构成了规模巨大的法库构造岩系。精确的 SHRIMP U-Pb 测年表明, 五龙山杂岩侵位于约 265 ± 4 Ma, 十间房花岗岩侵位于约 284 ± 3 Ma, 指示构成法库构造岩系主体单元的深成侵入体并非形成于元古代, 而是形成于晚古生代海西期。这些同位素年龄记录一方面暗示法库断凸可能并不存在大规模的前寒武纪变质基底, 另一方面为确定华北地台与吉黑造山带(兴蒙造山带东段)在柳河断裂以东的界线提供了重要约束。

关键词 锆石; SHRIMP; 年代学; 法库构造岩系; 辽北

中图法分类号 P597.3

1 引言

华北地台北缘构造演化及其与北侧兴蒙造山带的关系, 一直是中国区域基础地质研究中的关键问题(Tang, 1990;

邵济安等, 1997; 李锦轶, 1998; 吴福元等, 1999, 2001; 崔盛芹等, 2000)。目前一般以西拉木伦断裂和赤峰-开原断裂等深大断裂带作为划分台带界线的重要依据。而在第四纪覆盖严重的辽北法库地区, 有关台带界线的位置一直存在不同看法(辽宁省区域地质志, 1989; 崔盛芹等, 2000) 歧义的核心

* 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-138)、重大项目(KZCX1-07)和国家自然科学基金项目(40225009)共同资助。

第一作者简介: 张晓晖, 男, 1971年生, 博士, 岩石学专业, E-mail: zhangxh@mail.iggcas.ac.cn

心在于辽北法库断凸之上变质岩系的时代归属。

对于分布于辽北“法库断凸”的变质岩系,早期的地质调查最早将其划分为浪子山组、大石桥组和盖县组(辽宁省地质矿产局,1971),并认为相当于辽东的辽河群;辽宁省区域地质志(1989)则将其统归为下元古界。1:5万区域地质调查查明(辽宁省地质矿产局,1996),它们是原岩为深成侵入体及火山-沉积岩系、后经韧性剪切作用而形成的变形变质岩系。首次在原大石桥组中发现的海百合茎化石为该套变质地层划归古生代提供了生物学证据(黄志安等,1996);调查同时揭示,辽宁省区域地质志确定的元古代混合岩实际上属于遭受同期动力变质作用影响的同构造复式花岗岩体,并归并为十间房超单元(辽宁省地质矿产局,1996)。上述变形变质岩系与同构造侵入岩体一道构成了面积超过300km²的

法库构造岩系。针对其构造特征的初步研究提出了重新认识法库断凸内涵的必要性(郝永利等,1996;杨晓波等,1996;韩树德,1997)。但仍有学者坚持法库地区变质岩系归属元古代的意见(崔盛芹等,2000)。

显然,这种认识分歧主要归因于高精度年龄资料的缺乏,而这种分歧很大程度上阻碍了人们对法库断凸之内涵乃至华北地台北缘构造演化及其与北侧造山带关系的理解和认识。我们近期进行的系统⁴⁰Ar/³⁹Ar年代学研究确认,形成法库构造岩系的变形、变质作用发生在晚二叠世-早三叠世(张晓晖等,2004),为了进一步厘定构造岩系主体组成部分的深成侵入体的形成时代,我们对其进行了SHRIMP锆石年代学研究,获得了重新认识法库断凸构造属性与华北地台北缘边界的同位素年代学证据。

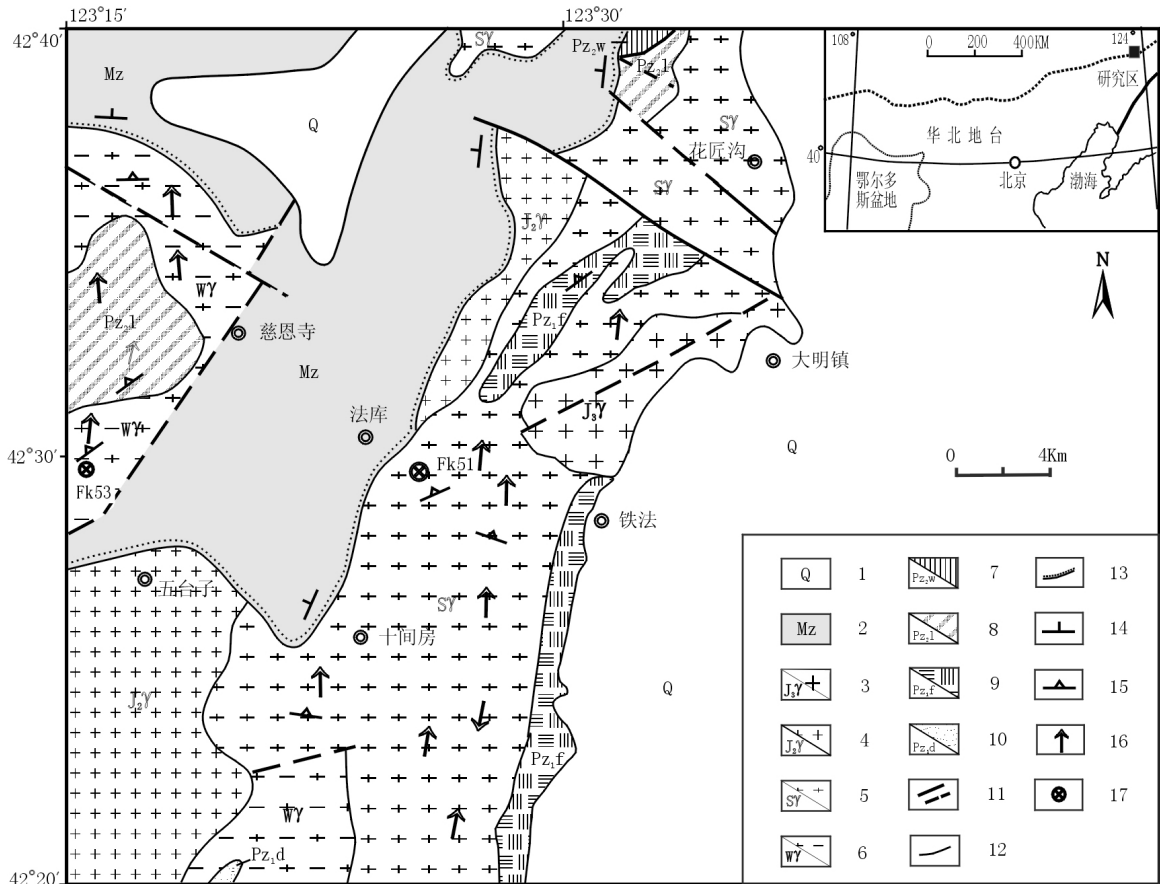


图1 法库地区地质构造简图(据杨晓波等(1996)修改)

1. 第四系; 2. 中生界; 3. 晚侏罗世石晶山单元; 4. 中侏罗世红土墙子超单元; 5. 三叠纪十间房超单元; 6. 五龙山杂岩;
7. 上古生界瓦房岩组; 8. 上古生界老陵山岩组; 9. 下古生界富拉堡子岩组; 10. 下古生界大孤家子岩组; 11. 断层;
12. 地质界线; 13. 角度不整合; 14. 地层产状; 15. 糜棱面理产状; 16. 拉伸线理产状; 17. SHRIMP 样品采样位置

Fig. 1 Schematic geologic and structural map of the Faku area (Modified from Yang *et al.*, 1996)

1. Cenozoic; 2. Mesozoic; 3. Late Jurassic Shijingshan unit; 4. Middle Jurassic Hongtuqiangzi super-unit; 5. Triassic Shijianfang super-unit; 6. Wulongshan Complex; 7. Upper Paleozoic Wafangdian Formation; 8. Upper Paleozoic Laolingshan Formation;
9. Lower Paleozoic Fulabuzi Formation; 10. Lower Paleozoic Dagujiazi Formation; 11. Faults; 12. Geological boundaries;
13. Unconformity; 14. Stratum occurrences; 15. Mylonitic foliation occurrences; 16. Stretching lineation; 17. Sampling locality

2 地质背景与岩体地质

对于法库断凸的大地构造归属, 1980年出版的中国大地构造图将其划入内蒙地轴(任纪舜等, 1980), 辽宁省区域地质志(1989)则将其排除在内蒙地轴之外。1:5万区域地质调查揭示(辽宁省地质矿产局, 1996), 该区原辽河群变质岩系实际上由变质深成岩和变质的安山岩、英安岩、碎屑岩、碳酸盐岩等变质火山-沉积岩系构成。变质沉积-火山岩系主要呈大小不一的捕虏体存在于变质深成岩系之中。根据岩石组合及其岩相学特征、原岩建造及变质作用特征, 变质火山-沉积岩系可分成四个岩组(图1): 下古生界的大孤家子岩组和富拉堡子岩组, 上古生界的老陵山岩组和瓦房店岩组, 其中前者经历了早期角闪岩相-高绿片岩相的区域变质作用和后期叠加其上的绿片岩相变形变质作用; 后者则只经历了绿片岩相的动力变质作用, 形成以安山质糜棱岩、碳酸盐质糜棱岩和糜棱片岩等为主的动力变质岩系。变质深成岩原属于辽河群的组成部分, 1:5万区域地质调查确认其为遭受韧性变形的晚古生代中酸性侵入体, 并将其定为五龙山杂岩。与五龙山杂岩毗邻的、辽宁省区域地质志定为元古代混合岩的混合花岗岩也属于遭受同期韧性变形作用影响的晚古生代-早中生代花岗岩, 并归并为十间房超单元(郝永利等, 1996)。上述构造岩系遭受后期红土墙子超单元和石景山单元花岗岩的侵入, 这些后期花岗岩基本未受糜棱岩化作用的影响。

根据最新的区调成果(郝永利等, 1996; 辽宁省地质矿产局, 1996), 五龙山杂岩主要分布于五龙山、慈恩寺一带, 出露面积约50 km²。主要岩性为花岗闪长岩, 局部为二长花岗岩、闪长岩、石英闪长岩和斜长花岗岩, 普遍发育糜棱结构和片麻状构造。十间房超单元花岗岩主要分布于十间房、城子山、花匠沟一带, 呈不规则椭圆状, 出露面积约230 km²。主要组成岩性为花岗闪长岩和二长花岗岩, 因遭受不同程度的韧性变形作用而形成碎裂岩、糜棱岩, 甚或花岗质片麻岩。

3 分析方法

锆石用常规方法分选, 并且在双目镜下挑纯后, 与标样锆石一起制靶。详细的制靶过程参见宋彪等(2002)的文章。样品靶制成后, 首先在光学显微镜下对被测样品进行照相(包括透射光和反射光), 然后在电子探针下进行锆石阴极发光(CL)及背散射电子(BSE)图像的综合研究。

锆石 SHRIMP 分析在北京离子探针中心 SHRIMP 上完成。应用 SHRIMP 进行 U-Th-Pb 分析的详细流程和原理参考 Compston 等(1992)、Williams 等(1987)、刘敦一(2004)的文章。一次离子流强度约 7.5 nA, 加速电压约 10 kV, 样品靶上的离子束斑直径约 25 ~ 30 μm。质量分辨率约 5000 (1% 峰高)。应用澳大利亚国家地调局标准锆石 TEM

(417 Ma) 进行元素间的分馏校正, Pb/U 校正公式采用 $Pb/U = A(UO/U)^2$; 应用 RSES(澳大利亚国立大学地学院)标准锆石 SL13(年龄 572 Ma; U 含量 238×10^{-6}) 标定所测锆石的 U, Th 和 Pb 含量。

数据处理和年龄计算采用 Ludwig SQUID 1.0 及 ISOPLOT 程序(Ludwig, 1999, 2001)。普通铅一般根据实测 ²⁰⁴Pb 进行校正, 并将数据点投入 Wetherill 一致曲线图中。因年轻锆石中放射成因 ²⁰⁷Pb 量较少, 分析中容易产生较大的误差。本文表中所列数据均为同一测点连续 5 次分析的平均值, 误差为 1σ。样品最终的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄的加权平均值误差为 2σ。

4 样品描述和分析结果

我们对取自十间房超单元和五龙山杂岩中二个代表性花岗岩类样品(FK51 和 FK53)进行了 SHRIMP 年龄测定, 具体采样位置示于图 1 中。

4.1 十间房超单元花岗岩(花岗闪长岩 样品 FK51)

样品 FK51 取自法库-铁法公路 2 Km 处(42°30'22", 123°25'89")的十间房超单元花岗岩之中。岩石具糜棱结构, 变余花岗结构, 片麻状构造。岩石定名为花岗闪长质初糜棱岩。主要矿物组成为斜长石(50%)、钾长石(15%)、石英(25%)、黑云母(4%)、白云母(2%)、绿泥石(2%)等。变形特征表现为斜长石主要呈眼球状残斑, 个别仍保留半自形板状晶形, 可见双晶纹弯曲变形现象, 边缘出现少量动态重结晶的新晶粒, 部分颗粒发生绢云母-白云母化; 钾长石为微斜长石, 它形-半自形状, 个别颗粒较大者呈眼球状斑晶出现, 长轴平行片麻理, 主要表现为脆性变形; 石英呈拉长的条带状齿形粒状集合体, 粒内波状消光、亚颗粒发育; 黑云母主要集中成暗色矿物条带, 呈褐黄色多色性。该样品中锆石多为短柱状, 长宽比约为 2:1, 个别呈长柱状, 阴极发光图像(CL)显示, 锆石普遍发育韵律环带结构(图 2a, b), 属典型的岩浆锆石。

对该样品锆石进行的 16 个分析中, 有 14 个分析给出基本一致的年龄(表 1), 在一致曲线图中集中分布于一致曲线之上或其附近(图 3a), 加权平均年龄为 284 ± 3 Ma ($n = 14$, MSWD = 1.5)。另二个分析点(表 1 中点 FK51-2 和 FK51-4)分别给出年轻的近一致年龄 263 ± 6 Ma 和 241 ± 6 Ma。这些年龄与同一样品中指示后期构造事件的黑云母 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄(262 ~ 231 Ma, 张晓明等, 2004)基本一致, 因此可能是受该事件影响的结果。

4.2 五龙山花岗杂岩(花岗闪长岩 样品 FK53)

样品 FK53 取自法库五台子后满屯北山(42°29'82", 123°15'75")的五龙山花岗杂岩之中。岩石具残斑糜棱变形结构;

表 1 十间房花岗岩和五龙山杂岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 分析结果

Table 1 SHRIMP U-Pb Zircon data for the Shijianfang granite and the Wulongshan complex

点号	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	Pb (ppm)	²⁰⁶ Pb ¹ (%)	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	年龄/Ma	
									²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U
样品 FK51										
FK51-2	553	284	0.53	19.9	0.87	0.0502 ± 29	0.0416 ± 22	0.288 ± 4	263 ± 6	257 ± 3
FK51-3	707	418	0.61	26.4	0.44	0.0515 ± 24	0.0433 ± 24	0.307 ± 3	273 ± 7	272 ± 3
FK51-4	712	490	0.71	23.4	0.44	0.0520 ± 24	0.0381 ± 22	0.273 ± 3	241 ± 6	245 ± 3
FK51-5	620	352	0.59	23.3	0.60	0.0496 ± 26	0.0435 ± 22	0.297 ± 3	275 ± 7	264 ± 3
FK51-6	770	427	0.57	31.0	0.06	0.0533 ± 26	0.0469 ± 21	0.344 ± 3	295 ± 7	300 ± 3
FK51-7	920	475	0.53	35.0	0.86	0.0512 ± 27	0.0440 ± 22	0.310 ± 4	277 ± 6	274 ± 3
FK51-8	641	368	0.59	24.9	0.42	0.0496 ± 27	0.0451 ± 22	0.309 ± 3	284 ± 7	274 ± 2
FK51-9	1182	634	0.55	46.3	0.14	0.0527 ± 18	0.0455 ± 21	0.331 ± 3	287 ± 6	290 ± 3
FK51-10	896	592	0.68	34.4	0.55	0.0494 ± 22	0.0445 ± 21	0.303 ± 3	281 ± 7	269 ± 2
FK51-11	900	621	0.71	35.5		0.0552 ± 19	0.0459 ± 21	0.350 ± 3	289 ± 7	305 ± 2
FK51-12	698	557	0.82	27.9	0.54	0.0477 ± 27	0.0462 ± 22	0.304 ± 4	291 ± 7	270 ± 2
FK51-13	917	556	0.63	35.5	0.47	0.0523 ± 27	0.0449 ± 22	0.323 ± 4	283 ± 7	284 ± 3
FK51-14	986	667	0.70	40.2	0.33	0.0517 ± 21	0.0473 ± 21	0.337 ± 3	298 ± 7	295 ± 3
FK51-15	1117	814	0.75	44.2	0.69	0.0505 ± 20	0.0458 ± 21	0.319 ± 3	289 ± 7	289 ± 7
FK51-16	249	168	0.69	9.5	2.62	0.0468 ± 79	0.0434 ± 25	0.280 ± 8	274 ± 8	251 ± 6
FK51-18	863	680	0.81	32.6	0.41	0.0492 ± 23	0.0439 ± 21	0.297 ± 3	276 ± 7	264 ± 3
样品 FK53										
FK53-1	518	268	0.53	20.7	1.10	0.0517 ± 30	0.0460 ± 22	0.328 ± 4	290 ± 7	288 ± 3
FK53-2	268	121	0.47	9.3	1.32	0.0550 ± 63	0.0398 ± 26	0.302 ± 7	252 ± 7	268 ± 5
FK53-3	277	96	0.36	10.3	2.25	0.0443 ± 50	0.0423 ± 24	0.258 ± 6	267 ± 7	233 ± 5
FK53-4	932	1117	1.24	34.1	0.36	0.0539 ± 25	0.0424 ± 21	0.315 ± 3	268 ± 7	278 ± 2
FK53-5	157	55	0.36	5.7	2.74	0.0495 ± 81	0.0409 ± 26	0.279 ± 9	258 ± 7	250 ± 7
FK53-6	278	123	0.46	10.1	2.92		0.0411 ± 24		260 ± 7	
FK53-7	204	74	0.37	7.3	2.37		0.0406 ± 25		257 ± 7	
FK53-8	262	119	0.47	9.7	1.32	0.0551 ± 42	0.0426 ± 24	0.324 ± 5	269 ± 7	285 ± 4
FK53-9	378	209	0.57	13.8	1.41	0.0482 ± 48	0.0418 ± 24	0.278 ± 5	264 ± 7	249 ± 6
FK53-10	323	104	0.33	12.5	1.58	0.0502 ± 51	0.0444 ± 24	0.307 ± 6	280 ± 7	272 ± 5
FK53-11	268	116	0.45	10.0	1.82	0.0502 ± 58	0.0428 ± 23	0.296 ± 6	270 ± 7	263 ± 5
FK53-12	444	254	0.59	17.2	1.08	0.0487 ± 36	0.0445 ± 26	0.299 ± 4	281 ± 8	266 ± 3
FK53-13	261	102	0.40	9.7	2.17	0.0515 ± 68	0.0421 ± 23	0.299 ± 7	266 ± 7	266 ± 5
FK53-14	258	101	0.41	9.3	2.15		0.0409 ± 24		258 ± 7	

¹ ²⁰⁶Pb = percentage of common ²⁰⁶Pb in the total measured ²⁰⁶Pb; 误差所有为 1σ, 所列均为最末几位数字

矿物组成主要有斜长石(45%)、钾长石(12%)、石英(25%)、角闪石(5%)、黑云母(8%)、绿帘石(1%)、绿泥石(1%)等。岩石定名为花岗闪长质糜棱岩。变形特征表现为:斜长石多以碎斑形式存在,粒径0.3~2 mm,少数颗粒发育核幔结构、膝折等机械变形现象,但仍保留半自形板状晶形,部分颗粒发生较强的绢云母和绿帘石化;钾长石为微斜长石,绝大多数表现为脆性变形,与斜长石一样呈眼球状残斑,部分颗粒较小者为微斜-条纹长石,内见波状消光和亚颗粒;石英颗粒大部分呈拉长的透镜状、条带状齿形粒状集

合体,粒内波状消光、亚颗粒发育;角闪石呈透镜状残斑,深绿-浅黄绿色柱状,脆性变形为主;黑云母呈细小鳞片状和较大的片状,具定向性,部分绿帘石化;绿帘石呈粒状或针柱状。此样品中锆石为短柱状晶体,多数发育韵律环带结构(图2c,d),说明它们是岩浆成因的锆石。

对该样品14颗锆石进行的14个分析(表1)中,三个分析点(FK53-6, FK53-7和FK53-14)由于²⁰⁷Pb基数太低未能得到²⁰⁷Pb/²³⁵U数据,而在14个分析给出的²⁰⁶Pb/²³⁸U中,除分析点(FK53-1)为统计离群点未参加计算外,其余13个分

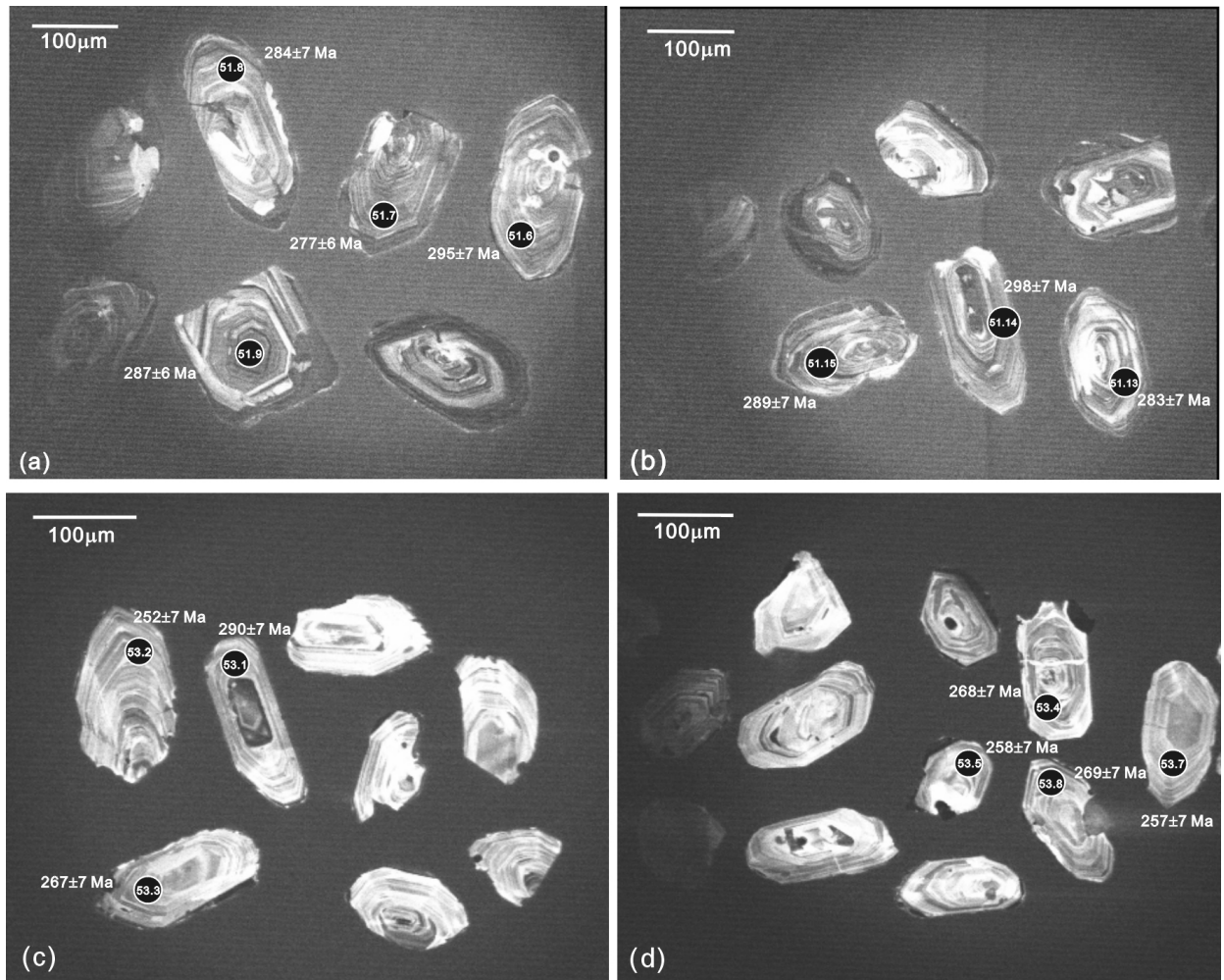


图2 法库构造岩系中锆石特征及 SHRIMP 测点位置

(a)(b)十间房花岗岩(样品 FK51)锆石 CL 图像 ;(c)(d)五龙山杂岩(样品 FK53)锆石 CL 图像

Fig.2 The CL images of representative zircons from the Shijianfang granite (sample FK51 ,(a) and (b)) and the Wulongshan complex (sample FK53 ,(c) and (d)). Rounded circles indicate the spots of SHRIMP analysis , with ages and spot numbers being labeled nearby

析给出基本一致的年龄,在一致曲线图中集中分布于一致曲线上或其附近(图 3b),加权平均年龄为 $265 \pm 4 \text{ Ma}$ ($n = 13$, $\text{MSWD} = 1.5$)。

5 讨论

5.1 年龄解释

综合所测锆石的形态、指示岩浆成因的高 Th/U 比值 (Vavra *et al.*, 1996, 1999) 和 CL 图像特征,平均权重年龄 $284 \pm 3 \text{ Ma}$ 和 $265 \pm 4 \text{ Ma}$ 分别代表十间房超单元和五龙山花岗杂岩样品中岩浆锆石的结晶年龄。此外,由于以十间房超单元花岗岩和五龙山花岗杂岩为代表的深成侵入岩体构成法库构造岩系的主体,正如所测样品的岩相学特征所指示,十间房超单元花岗岩和五龙山花岗杂岩普遍遭受形成法

库构造岩系的变形作用的影响。但从测年样品中的新生矿物组合、石英的塑性变形和长石的脆-弹性变形特征出发,同时结合法库构造岩系形成于低绿片岩相的温压条件来看(郝永利等,1996;杨晓波等,1996;郭洪方,1997;辽宁省地质矿产局,1996),可以认为,变形作用并未达到使锆石发生 U/Pb 同位素体系重新平衡的程度,因此 $284 \pm 3 \text{ Ma}$ 和 $265 \pm 4 \text{ Ma}$ 应分别代表十间房花岗岩和五龙山花岗杂岩的侵位时代。

5.2 地质意义

由于缺乏可靠的同位素年龄资料,法库地区的变质岩系一直被看作地台基底型建造(辽宁省地质矿产局,1989;崔盛芹,2000)并统归为下元古界。1:5 万区域地质调查将其肢解为古生界地层和二叠纪至三叠纪的变形花岗岩,室内外研究确认这些变质岩系大部分是韧性推覆或滑脱剪切变质作

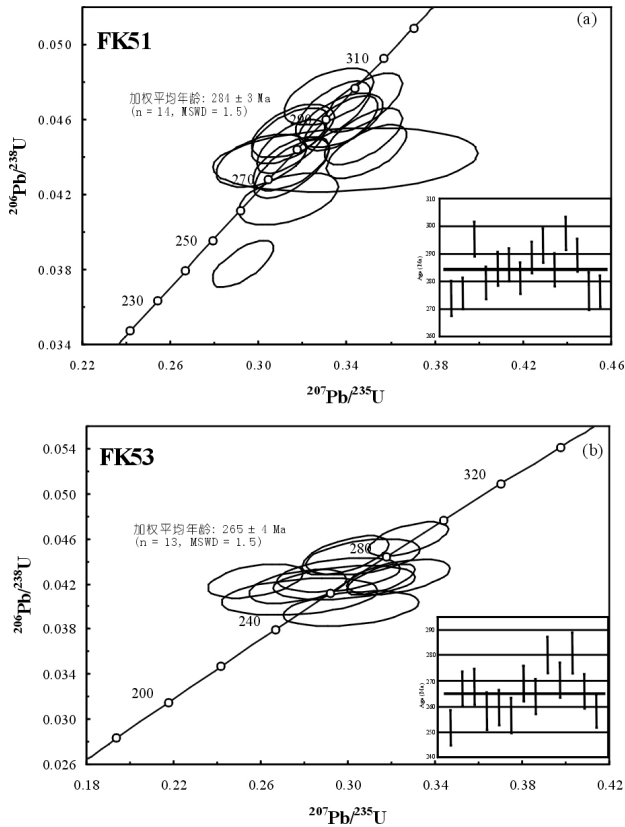


图3 十间房花岗岩 (a)和五龙山杂岩 (b) SHRIMP 锆石 U-Pb 分析结果

Fig. 3 U-Pb concordia diagram of zircons from the Shijianfang granite (a) and the Wulongshan complex (b)

用的产物,属于构造动力变质杂岩,但所依靠的年龄是一些误差较大或没有提供任何数据细节的 K-Ar 年龄和全岩 Rb-Sr 等时线年龄。近期进行的系统 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学研究确认形成法库构造岩系的变形、变质作用发生在晚二叠世-早三叠世(张晓晖等,2004)。本文报道的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄则为构成法库构造岩系主体的深成侵入体的侵位时代提供了直接依据。这些高精度的锆石 U-Pb 和近期报道的不同矿物的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为厘定该这套构造岩系所代表的岩浆构造事件提供了重要的年代学约束。

晚古生代-中生代初,华北北部及邻区正处于古亚洲域与太平洋域构造叠加的重要时期(邵济安等,1997)。二叠纪-早三叠世(?)蒙古带与华北地台沿索伦-林西缝合带拼合(Wang and Mo, 1995; Davis *et al.*, 2001; Buchan *et al.*, 2002; Xiao *et al.*, 2003)蒙古带向华北陆块和东北拼贴陆块的俯冲形成沿华北北缘和东北地区广泛分布的海西-印支-早燕山期花岗岩(Cui and Wu, 1997; 吴福元等, 1999; 孙德有等, 2000; 刘红涛等, 2002; Wu *et al.*, 2002, 2003; 毛德宝等, 2003)东北拼贴陆块与华北陆块在此阶段完成拼合(谢鸣谦, 2000); 蒙古弧与华北陆块北缘安第斯型大陆岛弧之间(Davis *et al.*, 2001; Xiao *et al.*, 2003), 以及多个微陆块之间

的碰撞引起波及区发生广泛的构造变形(李述靖等, 1998; Xiao *et al.*, 2003)。从时间联系上看,法库构造岩系应该是这种多块体持久汇聚碰撞背景下形成的岩浆构造事件记录。

法库构造岩系位于华北地台北缘与吉黑造山带的结合部位,其时代归属对于重新评价法库断凸的内涵、进而研究华北地台与北侧地块间的拼合历史至关重要。本文的测试结果表明,构成法库构造岩系主体的深成侵入体实属受早三叠世韧性变形作用影响的晚古生代海西期花岗岩,虽然其物质来源尚有待可以反映较大范围内地壳深部岩石状况的岩石 Sr-Nd 同位素示踪工作的确认,但结合最新的区域地质调查所揭示的本区变质地层实际上属于造山带型的古生代地层来看,我们有理由认为,法库断凸可能不具备大规模的前寒武纪结晶基底,这与最近松辽盆地(Wu *et al.*, 2001)、佳木斯地块(宋彪等, 1997; Wilde *et al.*, 1997; 吴福元等, 2001)、小兴安岭地区(苗来成等, 2003)、和龙地块(张艳斌等, 2004)等邻区基底研究取得的认识基本一致,暗示法库断凸与松辽地块的亲缘性,这种亲缘性也体现在岩石圈结构方面,辽北地区与松辽地区在岩石圈结构方面基本一致,而与辽西地区存在显著差别(Xu *et al.*, 2001)。

上述认识为厘定华北地台与吉黑造山带(兴蒙造山带东段)在柳河断裂以东的界线提供了重要约束。传统上国内学术界一般以赤峰-开原断裂作为华北地台与北侧兴蒙造山带的分界。但赤峰-开原断裂东延至库仑旗、法库一带,因受中生代沉积覆盖而延伸情况不清,有关台带界线的位置一直存在不同看法(辽宁省区域地质志, 1989; 崔盛芹等, 2000): 一是根据法库北部下元古界与吉黑造山带的石炭系呈断层接触以及航磁异常将其大致定在大洼-方家屯-胡家屯-开原一线; 第二种意见根据磁场特征及重力资料认为其位置大致在彰武北 3~5km 至法库南 10km 一线; 第三种意见则以法库地区的下元古界实属造山带地层为基础,认为赤峰-开原断裂被柳河断裂切断并南移,沿大致位于法库以南的新民-铁岭一带延伸。我们的研究结论支持第三种意见。

6 结论

(1) 法库构造岩系主要由变质火山-沉积岩系(大孤家子岩组、富拉堡子岩组、老陵山岩组和瓦房店岩组)和变质深成岩(五龙山杂岩和十间房花岗岩)组成,其中以后者为主体。五龙山花岗岩杂岩和十间房花岗岩的锆石 SHRIMP U-Pb 测年显示,其侵位年龄分别为 $265 \pm 4 \text{ Ma}$ 和 $284 \pm 3 \text{ Ma}$,说明它们并非以前认为的形成于元古代,而是形成于晚古生代海西期。

(2) 构成法库构造岩系主体单元的深成侵入体的晚古生代侵位年龄的厘定,一方面指示法库断凸可能并不存在大规模的前寒武纪变质基底,另一方面为确定华北地台与吉黑造山带(兴蒙造山带东段)在柳河断裂以东的界线提供了重要约束。

致谢 SHRIMP 锆石 U-Pb 分析在北京离子探针中心完成, 并得到杨子青、陶华等实验室工作人员的帮助; 两位匿名审稿人提出了宝贵的修改意见, 在此谨致衷心谢忱。

References

- Buchan C, Pfänder J, Kröner A, Brewer T S, Tomurtogoo O, Tomurhuu D, Cunningham D, Windley B F. 2002. Timing of accretion and collisional deformation in the Central Asian Orogenic Belt: Implications of granite geochronology in the Bayankhongor ophiolite zone. *Chem. Geol.*, 192, 23–45
- Compton W, Williams I S, Kirschvink J L. 1992. Zircon U-Pb ages of early Cambrian time-scale. *J. Geol. Soc.*, 149: 171–184
- Cui S, Wu Z. 1997. On the Mesozoic and Cenozoic intracontinental orogenesis of the Yanshan area, China. In Zheng Y, *et al.*, eds, *Proceedings of the 30th international Geological Congress: Utrecht, The Netherlands.* 14: 277–292
- Cui S, Li J, Sun J, Wang J, Wu Z, Zhu D. 2000. Sequences of tectonic movement and regional tectonic framework of the northern margin of the North China plate (in Chinese), Beijing: Geological Publishing House, 326
- Davis G A, Zheng Y, Wang C, Darby B J, Zhang C, Gehrels G E. 2001. Mesozoic tectonic evolution of the Yanshan fold and thrust belt, with emphasis on Hebei and Liaoning provinces, northern China. In: Hendrix M S, Davis G A (eds.). *Paleozoic and Mesozoic tectonic evolution of central and eastern Asia: From continental assembly to intracontinental deformation.* Geological Society of America Memoir 194, pp. 171–197
- Guo H. 1997. Study on the metamorphism of the mylonite belt in the northern Liaoning, Liaoning Geological Science and Technology Information, 1: 1–7 (in Chinese)
- Han S. 1997. A further insight into the Liaohe Group in Faku area, Liaoning Geology, 14: 198–209 (in Chinese)
- Hao Y, Huang Z, Wang F. 1996. Analyses of genesis and emplacement mechanism of Shijianfang Super-unit granite in Faku area, Liaoning Geology, 13: 274–283 (in Chinese)
- Huang Z, Yang Y, Han S. 1996. Discovery of Fossils Crinoid in Metamorphic strata in Faku area of the northern Liaoning, Liaoning Geology, 13: 157–159 (in Chinese)
- Liaoning Bureau of Geology and Mineral Resources (LBGMR). 1971. 1: 200000 scale mineral resource map of the Tieling and its notes (in Chinese)
- Liaoning Bureau of Geology and Mineral Resources (LBGMR). 1989. *Regional Geology of Liaoning Province* (in Chinese), Beijing: Geological Publishing House, 856 (in Chinese)
- Liaoning Bureau of Geology and Mineral Resources (LBGMR). 1996. 1: 50000 scale regional geology of the Faku, Wutaizi, and Daming, Liaoning Province (in Chinese)
- Li J. 1998. Some new ideas on tectonics of NE China and neighboring areas. *Geological Reviews*, 14: 339–347 (in Chinese)
- Li S, Zhang W, Geng M. 1998. *Geological features of Mongolian arc structure and its formation and evolution*, Beijing: Geological Publishing House, 145 (in Chinese)
- Liu D, Jian P. 2003. 243 Ma UHP and 228 Ma retrograde events of the Dabie mountains – SHRIMP dating, mineral inclusions and REE geochemistry of the Shuanghe jadeite quartzite. *Acta Geologica Sinica*, 77: 211–217
- Liu H, Zhai M, Liu J, Sun S. 2002. The Mesozoic granitoids in the northern marginal region of North China Craton: evolution from post-collisional to anorogenic settings, *Acta Petrologica Sinica*, 18: 433–448 (in Chinese with English abstract)
- Ludwig K R. 1999. Using Isoplot/EX, version 2, a geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronological Center Special Publication 1a, 47
- Ludwig K R. 2001. *Squid 1.02: A user manual.* Berkeley Geochronological Center Special Publication, 2: 19
- Mao D, Chen Z, Zhong C, Zuo Y, Shi S, Hu X. 2003. Studies on the geochronology and geochemical characteristics of Mesozoic intrusions in Beichangmen area, northern Hebei province. *Acta Petrologica Sinica*, 74: 661–674 (in Chinese with English abstract)
- Miao L, Fan W, Zhang F, Liu D, Jian P, Shi G, Tao H, Shi Y. 2003. Zircon SHRIMP geochronology of the Xinkailing-Kele complex in the northwestern Lesser Xing'an Range, and its geological implications. *Chinese Science Bulletin*, 48(22): 2315–2323
- Ren J, Jiang C, Zhang Z. 1980. *Geotectonic of China and its Evolution – 1: 4000000 scale tectonic map of China and the notes*, Beijing: Science Press (in Chinese)
- Shao J, Mou B, He G, Zhang L. 1997. Geological effects in tectonic superposition of Paleo-Pacific domain and Paleo-Asian domain, *Science in China (series D)*, 40: 634–640
- Song B, Li J Y, Niu B G. 1997. Single-grain zircon ages and its implications in biotite-plagioclase gneiss in Mashan Group in the eastern Heilongjiang, *Acta Geoscientia Sinica*, 18: 306–312 (in Chinese)
- Song B, Zhang Y, Wan Y. 2002. Mount making and procedure of the SHRIMP dating. *Geological Review*, 48 (Supp.): 26–30 (in Chinese)
- Sun D Y, Wu F Y, Li H M, Lin Q. 2001. Emplacement age of the postorogenic A-type granites in northeastern Lesser Xing'an Range and its relationship to the eastern extension of Suolunshan-Hegenshan-Zhalaita collisional suture zone, *Chinese Science Bulletin*, 46: 427–432
- Tang K. 1990. Tectonic development of Paleozoic fold belts at the north margin of the Sino-Korean Craton. *Tectonics*, 9: 249–260
- Vavra G, Gebauer D, Schmid R. 1996. Multiple zircon growth and recrystallization during polyphase late Carboniferous to Triassic metamorphism in granulites of the Ivrea zone (southern Alps): an ion probe (SHRIMP) study. *Contrib. Mineral. Petro.*, 122: 337–358
- Vavra G, Gebauer D, Schmid R. 1999. Internal morphology, habit and U-Th-Pb microanalysis of amphibolite-to-granulite facies zircons: geochronology of the Ivrea zone (southern Alps). *Contrib. Mineral. Petro.*, 134: 380–404
- Wang H Z, Mo X X. 1995. An outline of the tectonic evolution of China. *Episode*, 18: 6–16
- Wilde S A, Dorsett-Bain H L, Liu J L. 1997. The identification of a Late Pan-African granulite facies event in Northeastern China: SHRIMP U-Pb zircon dating of the Mashan Group at Liu Mao, Heilongjiang province, China. In: *Proceedings of the 30th IGC: Precambrian Geol. Metamorphic Petrol.*, 17: 59–74
- Williams I S. 1987. Some observations on the use of zircon U-Pb geochronology in the study of granitic rocks. *Trans. R. Soc. Edinburgh Earth Sci.*, 83, 447–458
- Wu F Y, Sun D Y, Lin Q. 1999. Petrogenesis of the Phanerozoic granites and crustal growth in Northeast China, *Acta Petrologica Sinica*, 15: 181–189 (in Chinese with English abstract)
- Wu F Y, Sun D Y, Li H M, Wang X L. 2001. The nature of basement beneath the Songliao Basin in NE China: geochemical and isotopic constraints. *Phys. Chem. Earth (Part A)*, 26: 793–803
- Wu F Y, Wilde S, Sun D. 2001. Zircon SHRIMP U-Pb ages of gneissic granites in Jiamusi Massif, northeastern China. *Acta Petrologica Sinica*, 17(3): 443–452 (in Chinese with English abstract)
- Wu F Y, Sun D Y, Li H M, Jahn B M, Wilde S A. 2002. A-type granites in northeastern China: age and geochemical constraints on their petrogenesis. *Chemical Geology*, 187: 143–173

- Wu F Y, Jahn B M, Wilde S M, Lo C H, Yui T F, Lin Q, Ge W C, Sun D Y. 2003. Highly fractionated I-typed granites in NE China (1): geochronology and petrogenesis. *Lithos*, 66: 241–273
- Xiao W, Windley B F, Hao J, Zhai M. 2003. Accretion leading to collision and the Permian Solonker suture, Inner Mongolia, China: Termination of the central Asian orogenic belt. *Tectonics*, 22(6): 1029
- Xie M. 2000. Collaged plate tectonics and driving mechanism-tectonic evolution of Northeastern China and adjacent regions, Beijing: Science Press, 256 (in Chinese)
- Xu M, Middleton M F, Xue L F, Wang D P. 2001. Structure of the Lithosphere and Mesozoic sedimentary basins in Western Liaoning, Northern Liaoning, and Songliao, Northeast China. *International Geology Review*, 42: 269–278
- Yang X, Gao E. 1996. Features and genetic mechanism of large-scale ductile shear zone in Faku area, Liaoning Geology, 13: 109–116 (in Chinese)
- Zhang X, Wang H, Li T. 2004. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of the Faku tectonites—Implications for the tectonothermal evolution of the Faku block, northern Liaoning. *Science in China (series D)*, 34(6): 504–513 (in Chinese)
- Zhang Y, Wu F, Zhai M, Lu X. 2004. Tectonic setting of the Helong block: Implications for the Northern boundary of the eastern North China Craton. *Science in China (series D)*, 34(9): 795–806 (in Chinese)

附中文参考文献

- 崔盛芹, 李锦蓉, 孙家树, 王建平, 吴珍汉, 朱大岗. 2000. 华北陆块北缘构造运动序列及区域构造格局. 北京: 地质出版社, 326
- 郭洪方. 1997. 辽北糜棱岩带中的变质作用研究. *辽宁地质科技情报*, 1: 1–7
- 韩树德. 1997. 对法库地区“辽河群”的新认识. *辽宁地质*, 14: 198–209
- 黄志安, 杨雅君, 韩树德. 1996. 辽北法库变质地层发现海百合茎化石. *辽宁地质*, 13: 157–159
- 郝永利, 黄志安, 王福君. 1996. 法库地区十间房超单元花岗岩岩石成因及侵位机制探讨. *辽宁地质*, 13: 274–283
- 李锦蓉. 1998. 中国东北及邻区若干地质构造问题的新认识. *地质论评*, 14: 339–347
- 李述靖, 张维杰, 耿明山. 1998. 蒙古弧地质构造特征及形成演化概述. 北京: 地质出版社, 145
- 辽宁省地质矿产局. 1971. 1:20万铁岭幅矿产图及说明书

- 辽宁省地质矿产局. 1989. 辽宁省区域地质志. 北京: 地质出版社, 856
- 辽宁省地质矿产局. 1996. 中华人民共和国1:5万区域地质调查报告(法库幅、五台子幅和大明幅)
- 刘敦一, 简平. 2004. 大别山双河硬玉石英岩 243Ma 的超高压变质事件和 228Ma 的退变质事件——SHRIMP 测年、矿物包体及 REE 证据. *地质学报*, 78(2): 211–217
- 刘红涛, 翟明国, 刘建明, 孙世华. 2002. 华北克拉通北缘中生代花岗岩: 从碰撞后到非造山. *岩石学报*, 18: 433–448
- 毛德宝, 陈志宏, 钟长汀, 左义成, 石森, 胡小蝶. 2003. 冀北北岔门地区中生代侵入岩地质年代学和地球化学特征研究. *岩石学报*, 19: 661–674
- 苗来成, 范蔚萑, 张福勤, 刘敦一, 简平, 施光海, 陶华, 石玉若. 2003. 小兴安岭西北部新开岭-科洛杂岩锆石 SHRIMP 年代学研究及其意义. *科学通报*, 48(22): 2315–2323
- 任纪舜, 姜春发, 张正坤. 1980. 中国大地构造及其演化—1:400万中国大地构造图及简要说明. 北京: 科学出版社
- 邵济安, 牟保磊, 何国琦, 张履桥. 1997. 华北北部在古亚洲域与古太平洋域构造叠加过程中的地质作用. *中国科学, D 辑*, 27: 390–394
- 宋彪, 张玉海, 万渝生. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及其有关现象讨论. *地质论评* 48(增刊) 26–30
- 宋彪, 李锦蓉, 牛宝贵. 1997. 黑龙江省东部麻山群黑云斜长片麻岩中锆石的年龄及其地质意义. *地球学报*, 18: 306–312
- 吴福元, Wilde S, 孙德有. 2001. 佳木斯地块片麻状花岗岩的锆石离子探针 U-Pb 年龄. *岩石学报*, 15: 181–189
- 吴福元, 孙德有, 林强. 1999. 东北地区显生宙花岗岩的成因与地壳增生. *岩石学报*, 15(2): 181–189
- 谢鸣谦. 2000. 拼贴板块构造及其驱动机理—中国东北及邻区的大地构造演化. 北京: 科学出版社, 256
- 杨晓波, 高恩忆. 1996. 法库地区大型韧性剪切带特征及成因机制. *辽宁地质*, 13(2): 109–116
- 张晓晖, 王辉, 李铁胜. 2004. 辽北法库构造岩系的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学研究及其地质意义. *中国科学, D 辑*, 34(6): 504–513
- 张艳斌, 吴福元, 翟明国, 路孝平. 2004. 和龙地块的构造属性与华北地台北缘东段边界. *中国科学, D 辑*, 34(9): 795–806