

苏鲁造山带在朝鲜半岛的延伸: 造山带、前寒武纪基底以及古生代沉积盆地的证据与制约

翟明国^{1,2}, 郭敬辉^{1,2}, 李忠¹, 陈代钊¹, 彭澎^{1,2}, 李铁胜^{1,2},
张艳斌^{1,2}, 侯泉林³, 樊祺诚⁴, 胡波¹

(1. 中国科学院 地质与地球物理研究所, 北京 100037; 2. 中国科学院 矿产资源研究重点实验室, 北京 100037;
3. 中国科学院 研究生院 北京100049; 4. 中国地震局 地质研究所, 北京 100029)

摘要: 苏鲁超高压带是否延伸到朝鲜半岛以及用何种方式延伸, 成为很多地质学家注目的科学问题。新的研究成果包括: (1) 在朝鲜半岛前寒武纪京畿陆块中, 识别出一个含有榴辉岩的变质杂岩(洪城杂岩), 榴辉岩透视镜体出露于花岗片麻岩中, 榴辉岩的锆石SHRIMP年龄是230 Ma和~880 Ma, 围岩片麻岩的年龄约为810~820 Ma; (2) 朝鲜半岛的3个陆块(狼林、京畿和岭南陆块)具有与华北克拉通相似的岩石组合与演化历史; (3) 南北朝鲜两个主要的古生代沉积盆地与华北具有很好的可比性; (4) 临津江带和沃川带都不具有碰撞造山带的变质特征。据此提出了地壳拆离与逆冲模式, 即华北与扬子陆壳的碰撞带沿朝鲜半岛西缘、大致呈南北走向分布。扬子陆壳俯冲带的深部(超高压部分)未在朝鲜半岛地表出露, 下地壳(高压部分)从俯冲带拆离并逆掩到地表(洪城杂岩), 以透视镜体(岩片)状插入京畿地块的前寒武纪基底杂岩中, 没有形成横穿朝鲜半岛的变质(造山)带。临津江带和沃川带有可能是扬子陆壳的上地壳, 它们从下地壳拆离、逆掩到地表, 现在的展布状态是受到中生代构造的控制。

关键词: 朝鲜半岛; 苏鲁造山带; 构造联系; 地质证据
中图分类号: P588.3; P54 **文献标识码:** A

文章编号: 1006-493(2007)03-0415-14

1 引言

从太古宙至今, 朝鲜半岛与华北克拉通的地质演化都具有密切的联系(Lee, 1987; Paek, 1993; Rogers and Santosh, 2006; Oh and Kusky, 2007), 故被称为中朝地台或中朝克拉通(张文佑, 1986; 钱祥麟, 1986; Lee, 1987; Paek, 1993)。朝鲜半岛被临津江和沃川两个造山带分隔成3个地块, 自北向南为狼林地块、京畿地块和岭南地块(Lee, 1987; Paek, 1993); 两个古生代盆地分别位于朝鲜北部和朝鲜南部(图1), 形成于前寒武纪变质基底之上(Lee and Lee, 2003; Jeong and Lee, 2004)。

自从超高压变质岩在山东半岛发现以来, 苏鲁造山带是否延入到朝鲜半岛, 就成为世界注目的科学问题(Hsuet al, 1990; Yin and Nie, 1993; Liu, 1993; Ernst and Liou, 1995; Chang, 1995; Metcalfe,

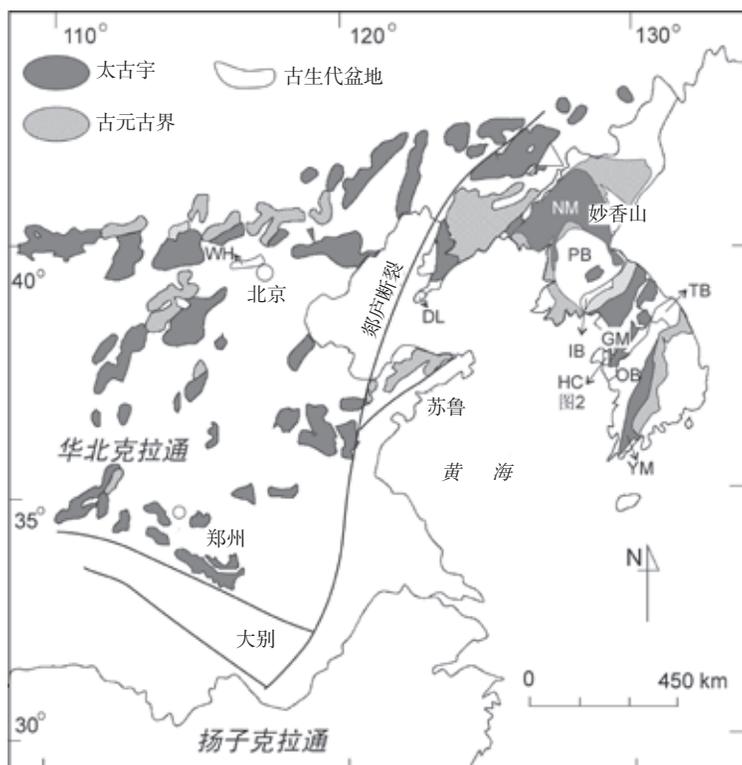
2006; Oh and Kusky, 2007)。根据传统的地质研究, 虽然已有临津江带、或沃川带、或两个带都是苏鲁造山带东延部分的不同意见, 但日益突出的难题是: ① 在本研究之前, 没有在这两个造山带中发现榴辉岩和其它高压-超高压岩石; ② 3个地块的前寒武纪基底以及古生代沉积均与华北克拉通非常相似, 这使持不同模式的学者颇感困惑。

目前, 对苏鲁造山带东延的探讨大致有两种意见: (1) 没有延入朝鲜半岛(Lan et al, 1995; Zhai and Liu, 1998; Lee and Lee, 2003; Jeong and Lee, 2004), 可能沿朝鲜半岛西缘的黄海内向南绕过济洲岛(Chang and Park, 2001, 2005; 郝天姚等, 2002; Hao et al, 2007; Ishiwatari and Tsujimori, 2001, 2003), 然后到日本方向; (2) 沿临津江带或者沃川带、或者沿这两个带延入朝鲜半岛

收稿日期: 2007-05-08; 修回日期: 2007-06-11

基金项目: 国家自然科学基金: (40672128; 40421202) 资助成果

作者简介: 翟明国, 1947年生, 研究员, 主要从事变质地质学与前寒武纪地质学和岩石学研究; E-mail: gsanly@163.com



IB-临津江带 (Imjingang Belt); OB-沃川带 (Ogecheon Belt); NM-狼林地块 (Rangnim massif); GM-京畿地块 (Gyeonggi massif); YM-岭南地块 (Yeongnam massif); PB-平南盆地 (Pyeongnam Basin); TB-太白山盆地 (Taebaeksan Basin); WH-西山盆地 (Western Hill Basin); DL-大连盆地 (Dalian Basin); HC-洪城杂岩 (Hongseong Complex)

图1 山东与朝鲜半岛构造简图

Fig. 1 General map of Sino-Korea craton.

(Yin and Nie, 1993; Lee and Cho, 1995, 2003; Ree et al, 1996; 2001; Lee et al, 1997; Sagong et al, 2003; Cho et al, 2004)。

近年来,在朝鲜中部京畿陆块的西南角发现了榴辉岩,识别出一个可能与苏鲁造山带的岩石组合类似的洪城杂岩(Guo et al, 2004; Zhai and Guo, 2005)。榴辉岩或退变成石榴麻粒岩/角闪岩成透镜体与蛇纹岩一起出露于花岗片麻岩中。一个榴辉岩样品锆石SHRIMP的U-Pb年龄是230 Ma和~880 Ma,围岩片麻岩的年龄在近810~820 Ma,因此有理由认为有苏鲁造山带的岩石出露在朝鲜半岛(Oh et al, 2004a, 2005; Guo et al, 2005; Zhai and Guo, 2005; Oh and Kusky, in press; Kim et al, 2006)。然而洪城杂岩的大地构造意义尚不清楚。Oh et al (2004a)和Oh and Kusky (2007)推测洪城带近南北向穿越朝鲜半岛,构成了一个碰撞造山带;而Zhai and Guo (2005)和Zhai et al (2007a)等推测,洪城杂岩只是一些小规模的结构岩片出露于京畿陆块中。目前大多数研究者赞

同,苏鲁造山带超高压变质岩代表了在~230 Ma至240 Ma华北与扬子两个陆块的碰撞拼合(Li SG et al, 2001; Li QL et al, 2003; Liu et al, 2005; Li SZ et al, 2007)。因此,讨论苏鲁造山带在朝鲜半岛的延伸,不能只研究榴辉岩,而应对华北克拉通与朝鲜半岛的前寒武纪基底、古生代沉积盆地以及造山带进行综合对比研究。

2 榴辉岩与洪城杂岩

洪城杂岩(HC)位于京畿地块西南角(图1)。传统上这些岩石被认为是晚太古代—古元古代的京畿变质杂岩(Lee et al, 1987; Paek, 1993)。一个主要呈NNE向的断层穿过飞凤(Bibong),并将该区分隔成两部分(图2),这两部分在岩石组合、变质作用以及同位素年代学具重要差异。

东部由花岗片麻岩和富铝的片麻岩组成,变质到麻粒岩相。花岗片麻岩中可见到紫苏辉石。富铝的片麻岩为孔兹岩系(Zhai et al, 2007a),它们的主要变质矿物组合为:夕线石(Sil) + 石英

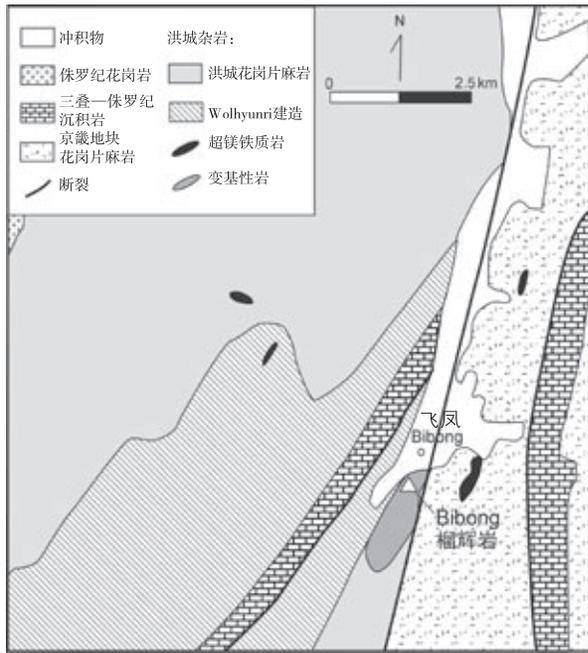


图2 洪城Hongseong杂岩地质简图
Fig. 2 Sketch map of the Hongseong area

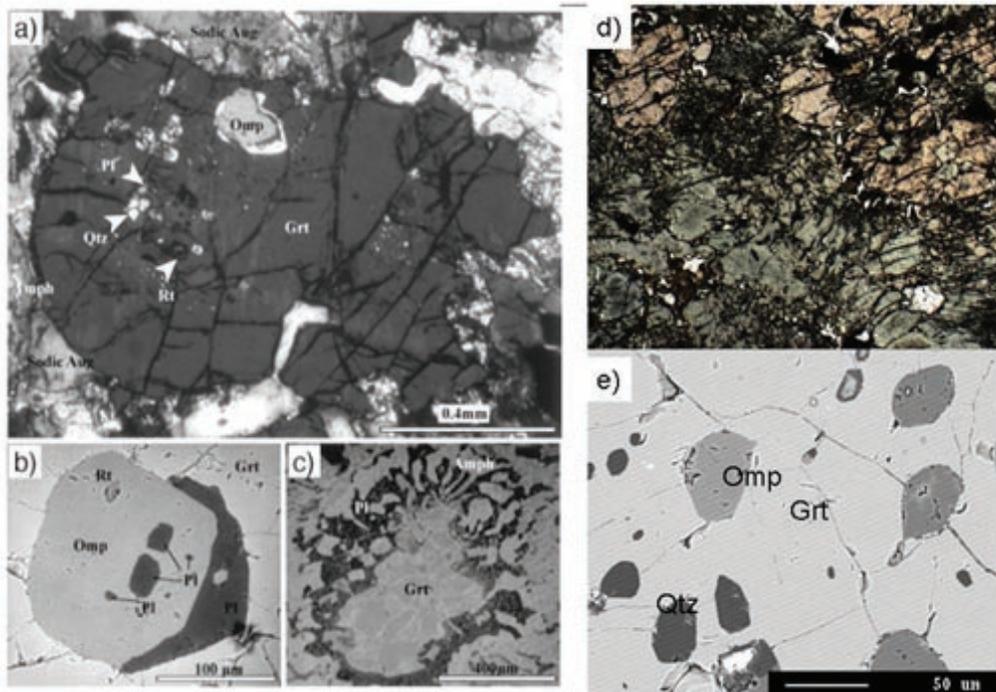
(Qtz) + 斜长石 (Plg) +/- 钾长石 (Kf) + 黑云母 (Bi) +/- 石墨 (Gr)。

锆石U-Pb常规曲线的上交点年龄是1 863 ± 9 Ma, 被解释为峰期变质年龄, 并与华北克拉通

同类岩石的年代相同 (Kim et al, 2006)。根据SHRIMP锆石U-Pb年代学测定, 花岗片麻岩和富铝片麻岩都获得了1 900~1 800 Ma和2 600~2 400 Ma两组年龄。

西部主要由花岗片麻岩、变质沉积岩 (Wolhyunr群)、以及变质的基性岩和超镁铁岩 (蛇纹岩) 的透镜体组成。Wolhyunr群包括黑云母片岩、斜长角闪岩和薄层大理岩。变质的基性岩和超镁铁岩 (蛇纹岩) 的透镜体与花岗片麻岩之间是构造接触, 接触部位可见薄的但很强的韧性变形带。变基性岩主要是石榴麻粒岩, 经常退变为角闪岩。超镁铁岩是强蛇纹岩化的方辉橄榄岩。根据花岗片麻岩SHRIMP锆石U-Pb测定, 得到核部812 ± 14 Ma 和 822 ± 17 Ma的年龄, 边部~235 Ma的年龄 (Cho, 2001)。

据Oh et al (2004a) 报道, 在石榴麻粒岩的石榴石包体中, 发现残留的绿辉石 (图3a-c)。这个样品采于飞凤 (Bibong), 主要由石榴石、单斜辉石、斜长石、角闪石和金红石组成。石榴石具有冠状次变边结构, 后者由单斜辉石、斜长石和角闪石组成。详细的岩相学研究, 识别出三期变



a) : 绿辉石 (Omp) 包体; b) : 金红石 (Rt) 和斜长石 (Pl) 包体; c) : 石榴石 (Grt) 的冠状退变边, 反射光; d) : 榴辉岩中的石榴石与绿辉石共生; e) : 石榴石中的绿辉石 (Omp) 和石英 (Qtz) 包体, 反射光

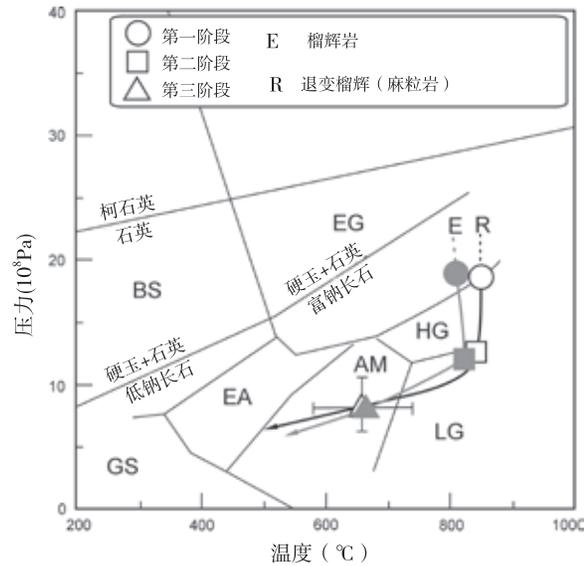
图3 石榴石麻粒岩 (a, b, c) 和榴辉岩 (d, e) 的包体
Fig. 3 Photographs of garnet-granulite (a, b, c) and eclogite (d, e)

质矿物组合。第一期 (M1) 的矿物组合由石榴石中的矿物包裹体为代表, 它们是: 石榴石 (Grt) + 绿辉石 (Omp) + 石英 (Qtz) + 金红石 (Rtl) +/- 斜长石 (Plg)。绿辉石含有 3.03% ~ 3.40% Na₂O 和 8.76% ~ 9.22% Al₂O₃。第二期变质矿物组合 (M2) 是由基质中的矿物代表的, 它们是: Grt + Cpx + Plg + Rtl + Qtz, 变质程度为麻粒岩相。第三期变质矿物 (M3) 为角闪石和斜长石 (Amp + Plg) 组合, 部分交代第二期矿物。石榴石与全岩的 Sm-Nd 等时线年龄为 224.8 ± 6 Ma (Oh et al, 2005)。在飞凤 (Bibong) 发现的榴辉岩 (Guo et al, 2004), 以直径约 2 m 的透镜体出露于花岗片麻岩中。附近有蛇纹岩和石榴麻粒岩的透镜体。榴辉岩相的矿物组合较好的保存在与石榴石斑晶共存的基质矿物中 (图 3d-e)。该样品是目前在朝鲜半岛唯一发现的榴辉岩。榴辉岩相的矿物组合 (M1) 是 Grt + Omp + Qtz + Rtl +/- Kf。在石榴石中尚可见钠长石以及绿辉石包体。绿辉石中的硬玉 (jadeite) 分子含量在 0.28~0.22, 基质绿辉石和石榴石中包体的绿辉石中的硬玉分子含量未见差别。也可观察到基质中的绿辉石有分解成单斜辉石和钠质斜长石的反应。用 TWQ 法计算得到 M1 矿物组合压力和温度条件分别是: (18.5~19.5) × 10⁸ Pa 和 750~800 °C。M2 期, 即冠状反应边的矿物组合是 Grt + 透辉石 (Cpx) + 紫苏辉石 (Opx) + Qtz +/- 钛铁矿 (ilmenite) + Plg。M3 矿物组合是: Amp + Plg +/- Grt。这些变质反应构成了一个顺时针的 *p*-*T* 轨迹 (图 4)。

对榴辉岩中的锆石做了 SHRIMP 离子探针 U-Pb 年龄测定, 分别在锆石的核部和边部得到 231.2 ± 3.3 Ma 和 887 ± 14 Ma (图 5)。郭敬辉等 (Guo et al, 2005) 根据锆石形态学和有关比值, 解释它们分别代表榴辉岩相变质年龄和原岩年龄。

飞凤榴辉岩附近的透镜体状超镁铁岩是蛇纹石化方辉橄榄岩和二辉橄榄岩。通过变质成因的斜方辉石中的 Ca 和 Al 计算的温度和压力是 750~950 °C 和 (16~20) × 10⁸ Pa, 地球化学性质说明它们来自大陆岩石圈地幔 (Seo, 2004)。

由上可知, 在洪城虽然没有发现超高压变质岩石, 但是榴辉岩和退变榴辉岩 (石榴石麻粒岩) 的顺时针 *p*-*T* 轨迹和同位素年龄, 以及围岩片



EG-榴辉岩相; HG-高压麻粒岩相; LG-低压麻粒岩相; AM-角闪岩相; EA-绿帘角闪岩相; BS-蓝片岩相
图4 榴辉岩和石榴石麻粒岩的的*p*-*T*图解
(据Guo et al, 2004; Oh et al, 2005)

Fig. 4 *p*-*T* diagram of eclogite and garnet granulite

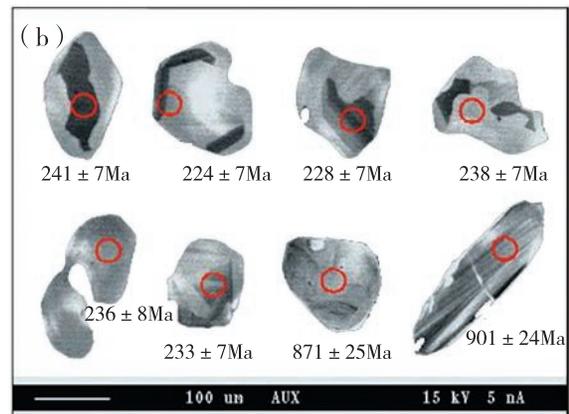
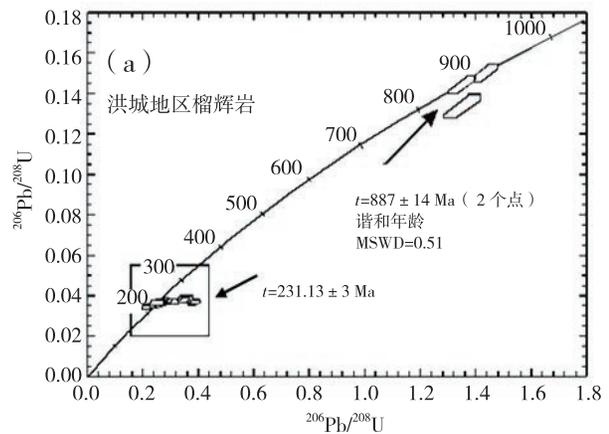


图5 榴辉岩的SHRIMP锆石U-Pb年龄 (a) 和阴极发光图像 (b)

Fig. 5 U-Pb zircon SHRIMP concordia diagram and CL images of zircon grains

麻岩的特征和同位素年龄, 都与苏鲁造山带的榴辉岩类似。因此, 作者将洪城地区主断层以东的岩石组合从京畿地块中划分出来, 称为洪城杂岩。由于覆盖严重和研究程度尚低, 目前洪城杂岩与京畿地块基底变质岩的界限仍不清楚, 初步认定洪城杂岩的分布有限, 在洪城地区的北面 and 东面的两个断层是洪城杂岩的边界, 它的西面是侵入到洪城杂岩中的花岗岩类和辉长岩(图2)。其北东侧的前寒武纪岩石是紫苏花岗岩、黑云母花岗片麻岩以及富铝的变质岩(孔兹岩), 已获得2 500~2 600 Ma和1 850~2 000 Ma两组SHRIMP锆石U-Pb年龄(未发表)。

在飞凤榴辉岩附近的另一个超镁铁岩岩片的基性高压麻粒岩墙中, 得到了与榴辉岩不同的SHRIMP锆石U-Pb年龄, 即核部与幔部分别约为400 Ma和1 000 Ma。在其围岩花岗片麻岩中, 也得到400 Ma和1 000 Ma的SHRIMP锆石U-Pb年龄。变基性岩和围岩中均未显示约230 Ma的变质时代。在苏鲁造山带亦未显示出400 Ma的变质年龄, 但该年龄对于秦岭造山带却很重要。围岩约900 Ma的年龄常见于扬子陆块, 明显比苏鲁造山带的花

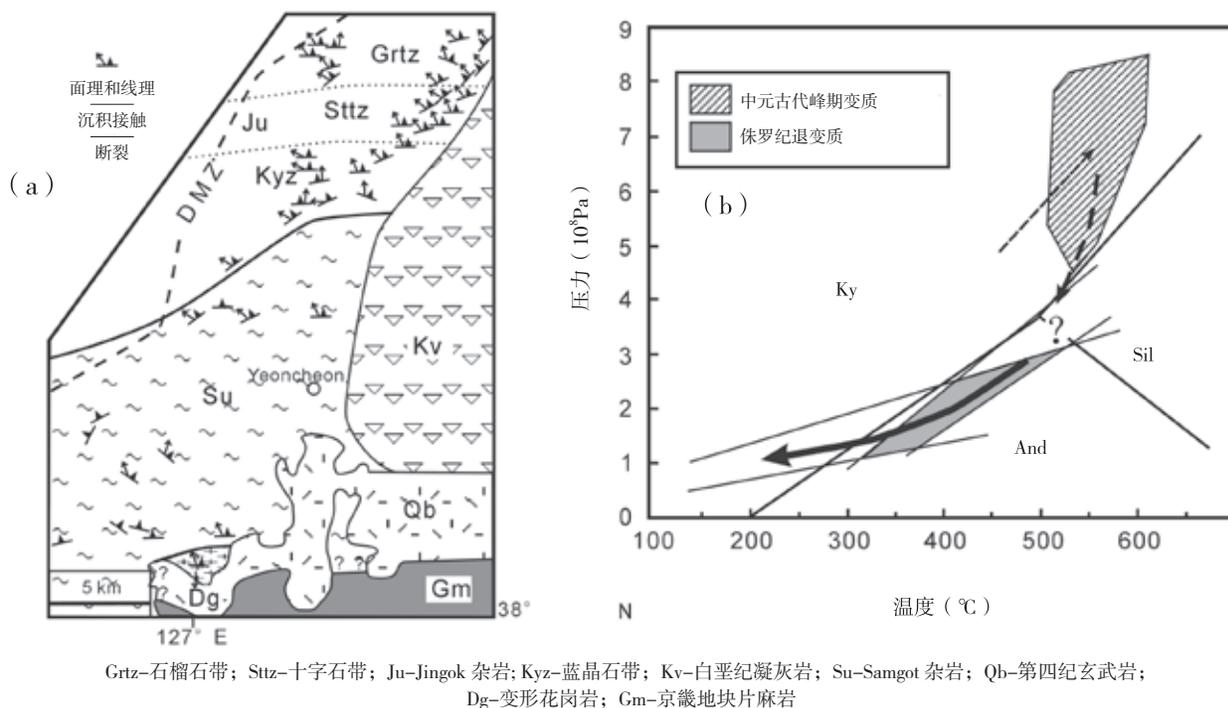
岗片麻岩650~800 Ma的年龄老。由此可见, 洪城杂岩也显示出了与苏鲁造山带不同的特征, 是非常值得注意的。

3 临津江造山带和沃川造山带

当前研究领域中, 对临津江带和沃川带的性质和构造意义的认识依然存在重大分歧。

3.1 临津江造山带

临津江造山带首先是由北朝鲜地质学家建立的, 位于狼林地块和京畿地块之间(Ri and Ri, 1990, 1994)。它是一个大致东西走向的折冲带, 主要岩石是古生代临津江群沉积岩, 厚度>2 000 m。据北朝鲜科学家的资料, 岩石含泥盆纪化石。它的南、东和西侧均为前寒武纪基底变质岩, 北侧是平南盆地的寒武系或奥陶系地层。临津江群与相邻的岩石单元之间多为构造接触, 局部表现出强烈的糜棱岩化。临津江群主要是页岩、泥灰岩和灰岩, 部分经受了变形和低级变质作用。其变质度从北向南有递增的趋势, 可以分为未变质、绢云母、红柱石、十字石和蓝晶石带, 属于中低压变质相系(图6a, Zhai et al, 2007a)。Ree et al (1996) 提



Grtz-石榴石带; Sttz-十字石带; Ju-Jingok 杂岩; Kyz-蓝晶石带; Kv-白垩纪凝灰岩; Su-Samgot 杂岩; Qb-第四纪玄武岩; Dg-变形花岗岩; Gm-京畿地块片麻岩

图6 临津江带铁原地区变质岩分带示意图 (a) 和沃川带变质温度-压力图 (b)

(据Ree et al, 1996; Lee et al, 1998; Oh et al, 2004a, 2004b)

Fig. 6 Simplified map showing the metamorphic zones in Tiejuan Area in Imjingang Belt (a) and diagram of p - T conditions for metamorphic rocks in Ogcheon Belt (b)

出下伏于临津江群沉积地层之下的Samgot杂岩也属于临津江群。Samgot杂岩含有斜长角闪岩和含石榴石的角闪岩。估算的变质温度压力是 $(8\sim 13) \times 10^8$ Pa和630~790℃。全岩的Sm-Nd等时线年龄以及矿物的内部Sm-Nd等时线年龄是1 897~1 742 Ma, 并显示了820和250 Ma的年龄记录。SHRIMP U-Pb锆石年龄有 824 ± 123 Ma, 861 ± 7 Ma和 249 ± 31 Ma (Lee and Cho, 1995; Ree et al, 1996; Cho et al, 2001), 似乎表明角闪岩是新元古代的岩石并在二叠纪—三叠纪经受了变质作用, 成为某些研究者推测临津江带与苏鲁造山带有关联的主要证据。

最近Paek and Rim (2005) 重新描述了临津江带, 特别强调了在野外的详细观察。并认为临津江带有下列特征: (1) 临津江群是陆相沉积岩, 只在顶部有少量的玄武岩; (2) 围绕临津江带南北的前寒武纪基底是相同的, 都是含孔兹岩的古元古代麻粒岩相—高角闪岩相岩石; (3) 临津江带是一个泥盆纪—早石炭世的裂谷盆地, 发育有限, 并没有横穿朝鲜半岛, 它们主要出露于平南盆地的西南侧。其以东地区是前寒武纪岩石以及中生代花岗岩。因此前寒武纪基底岩石贯穿于狼林地块南部和京畿地块北部。

3.2 沃川造山带

沃川带位于京畿地块和岭南地块之间, 是一个北东走向的岩浆—褶皱带。湖南剪切带(HSZ)的几条断层被考虑为临津江带的南北边界(Cluzel, 1992)。但是该剪切带的年龄主要是在侏罗纪—白垩纪范围, 右旋剪切变形与德宝(Daebo)事件有关(Chough et al, 2000)。沃川带实际上包括了几个不同时代的盆地和中生代花岗岩。Fitches and Zhu (2006) 提出, 太白山盆地无争议的是华北型古生代盆地, 并推测它与中生代盆地在中生代的构造变动中拼接到一起。然而, 从野外的观察看, 湖南断层并不是太白盆地的边界, 后者也很少变形。盆地中的寒武纪地层在北部不整合于京畿地块基底、在南部不整合于岭南地块基底之上(Kim et al, 2001; Lee and Lee, 2003)。因此太白盆地很可能不属于沃川带的岩石单元。

沃川带内时代不明的变质岩是角闪岩—绿片岩相, 其中还有少量的含铁石英岩以透镜体或岩片产出, 推测为新太古代的岩石残片(Fitches

and Zhu, 2006)。最近, 据Koh and Cho (2006) 报道, 大多数时代不明的变质岩是侏罗纪的变质岩。还有几个规模小的寒武纪或二叠纪的灰岩岩片在沃川带的中部和南部被识别, 并认为是太白山盆地的岩石(Lee and Lee, 2003)。

沃川群是指一套新元古代浅变质的岩石, 分布范围不大。主要有碎屑岩、泥质岩、钙质岩和基性—长英质岩石。其中泥质岩最多, 包括页岩、千枚岩和云母片岩(Lee, 1987)。基性和长英质的岩石是火山岩以及浅部就位的侵入岩, 地球化学上显示双峰式的特点, 推测形成于大陆裂谷环境(Cluzel, 1992; Lee and Chang, 1996; Park et al, 2003)。一个变质角斑岩的锆石U-Pb的上交点年龄为 755.8 ± 1.3 Ma (Lee et al, 1998), 长英质凝灰岩锆石的SHRIMP U-Pb年龄是747 Ma (Cho et al, 2004)。还有几个250~300 Ma的Sm-Nd, Pb-Pb和CHIME的年龄显示, 意义尚不明确。沃川带的构造复杂, 很可能由几个NE向的推覆体叠置在一起(Cluzel, 1992; Kim, 1996; Fitches and Zhu, 2006)。Oh (2006) 提出沃川带可能与南华裂谷相当, 而后古生代的事件可与华南和日本的造山带联系。沃川带内还有一个早三叠世的裂谷或拉伸盆地(Hwanggangrni), 应该从以浅变质岩代表的沃川盆地分离出来。Chang and Park (2005) 的盆地分析表明, 该盆地由含砾的千枚岩开始, 沉积充填了~750 Ma元古代的岩石物质, 与可能的俯冲和碰撞构造无关。

3.3 与华北秦岭—大别山—苏鲁造山带的比较

由上述可见, 临津江带和沃川带与秦岭—大别山—苏鲁造山带在变质作用与岩石组合上都难以对比。临津江群的中—低压变质指示是正常厚度的地壳被掀翻抬升到地表, 不支持有陆壳的俯冲和碰撞引起的变质作用发生。但是该带的Samgot杂岩有1 900~1 700 Ma, ~800 Ma和~250 Ma的年龄显示。Lee et al (2003) 等还报道, 在离Samgot杂岩不远处的碱性花岗岩有~740 Ma的锆石U-Pb年龄, 可见需要更多的工作来确定这些资料的地质意义。沃川带强烈地受到中生代构造的叠加和改造。Chang (1996) 提出沃川盆地是一个夭折的元古代裂谷, 其时代以及沉积特征和朝鲜北部元古宙裂谷盆地中的上部沉积时代相当(Paek,

1993; Ri and Om, 1993)。Oh et al (2004b) 推测, 新元古代的浅变质沃川群相当于南华裂谷沉积。Fitches and Zhu (2006) 经过比较研究, 提出沃川群在时代上与本溪群相当, 但岩石组合有较大差别。Koh and Cho (2006) 等提出, 三叠纪 Hwanggangrni 盆地是在基底上发育的拉伸盆地, 而 Chang et al (2001) 和 Chang and Park (2001, 2005) 认为, 该盆地是通过黄海之下的转换断层从扬子陆块上推过来的裂谷盆地。因此临津江和沃川带都有继续深入研究的必要。

4 前寒武纪基底

朝鲜半岛的全部或大部和华北具有相同的前寒武纪基底地质演化(张文佑, 1986; 钱祥麟, 1986; Lee, 1987; Paek, 1993)。大多数出版物把朝鲜半岛 3 个地块基底的麻粒岩相一角闪岩相高级变质岩对应于东北地区的鞍山群和辽河群、华北地区的迁西群和红旗营子群。也有认为狼林地块和南面的岭南地块相当于华北克拉通, 中部的京畿地块代表扬子陆块, 或者认为狼林与京畿地块相当与华北克拉通, 而岭南相当于扬子陆块。

4.1 狼林地块

狼林地块位于鸭绿江以南和临津江带以北, 太古宙岩石分为 Kwanmo 杂岩和狼林 (Rangnim) 杂岩 (Choe, 2005)。Kwanmo 杂岩由 Mushan 群表壳岩和花岗片麻岩组成, 具有绿岩带特点。Mushan 群表壳岩包括条带状铁建造(鞍山式)、云母片岩或片麻岩、绿片岩或斜长角闪岩, 变质程度为低角闪岩相一角闪岩相。同位素年龄在 2 700 ~ 2 500 Ma 之间。狼林杂岩是麻粒岩相—高级角闪岩相变质, 由英云闪长质—花岗质片麻岩组成, 含少量表壳岩。后者主要是云母石英岩、堇青石片麻岩和辉石片麻岩。采自 Huichon 的堇青石片麻岩有 2 580 ~ 2 500 Ma 的 Sm-Nd 和锆石 U-Pb 年龄; 正片麻岩有 ~3 000, 2 800 ~ 2 700 和 ~2 500 Ma 的同位素年龄, 并普遍有 1 930 ~ 1 840 Ma 的变质年龄 (Paek, 1993; Zhao et al, 2006)。古元古代的 Jungsan 杂岩主要出露于狼林地块的南部, 并作为平南盆地和临津江带的基底岩石。其中的表壳岩是孔兹岩系, 以富铝片麻岩和石墨片麻岩为主, 正片麻岩有花岗岩和紫苏花岗岩。夕线石片麻岩的锆石年

龄主要在近似 2 160 ~ 1 850 Ma (Paek, 1993; Choe, 2005), 斑状花岗岩的锆石 U-Pb 年龄在 1 870 ~ 1 830 Ma。

妙香山奥长花岗岩和华北的密云—承德的非造山岩浆岩可能有成因联系 (Paek, 2005; Choe, 2005; Zhai et al, 2005)。岩体有 1 909 ~ 1 870 Ma K-Ar 和 Rb-Sr 年龄 (Paek, 1993) 和 1 860 Ma 的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 (Zhai et al, 2007b)。

元古代 Sangwon 系和 Kuhyon 系表壳岩, 是未变质和浅变质的沉积岩, 多认为是与华北长城系—蓟县系和青白口系可以对比的建造 (Paek, 1993, 2005; Choe, 2005)。

4.2 京畿地块

京畿地块位于临津江和沃川带之间。早前寒武纪岩石可分为京畿杂岩和 Sosan 表壳岩 (Lee, 1987; Paek, 1993; Lee and Cho, 1995; Sagong et al, 2003; Kim et al, 2006)。京畿杂岩包括花岗质和英云闪长质片麻岩、条带状片麻岩、镁铁质麻粒岩和角闪岩、条带状铁建造等。正片麻岩的同位素年龄可分为大于 2 900 Ma, ~2 800 至 2 700 Ma 和 ~2 600 至 2 500 Ma 三组, 还有少量 3 000 ~ 3 700 Ma 的数据。含铁石英岩和条带状建造主要出露于中部, 并经历了混合岩化。此外还有被称为上京畿杂岩的富铝片麻岩—石墨片麻岩等沉积岩, 与紫苏花岗岩和少量的石榴辉石麻粒岩和石榴角闪岩共生。这些岩石与狼林地块的 Jungsan 杂岩十分相似 (Choe, 2005)。它们有 2 300 ~ 2 100 Ma 和 2 000 ~ 1 800 Ma 的同位素年龄 (Lee et al, 1997; Kim et al, 1999; Song et al, 2001; Sagong et al, 2003)。

Sagong 群是一套含石英片岩和云母片岩的低级变质的表壳岩上覆于京畿杂岩之上 (Lee and Cho, 1995; Sagong et al, 2003; Kim et al, 2006), 与狼林地块的中—新元古代 Sangwon 和 Kuhyon 沉积岩系相当 (Lee, 1987; Paek, 1993, 2005; Choe, 2005)。

Zhai et al (2005) 识别出京畿地块中部原来被称为正长岩的岩体是奥长环斑花岗岩, 它侵入含铁建造的正片麻岩中, SHRIMP U-Pb 锆石年龄为 $1 839 \pm 10$ Ma, 与妙香山奥长环斑花岗岩年龄非常接近。

4.3 岭南地块

沃川造山带以南称为岭南地块, 其东南侧被白垩纪火山—沉积盆地覆盖。前寒武纪岩石分为

Sobaekson杂岩和Taebaeksan群（或Yulri群或Honam群），经历了多期变质作用（Lee, 1987; Paek, 1993）。Sobaekson杂岩包括条带状片麻岩、斑状花岗片麻岩、混合片麻岩和花岗岩，有2 900~2 700 Ma, 2 590~2 470 Ma和1 910~1 830 Ma的同位素年龄（Sagong et al, 2003; Kim et al, 2006）。Taebaeksan群由互层的变质沉积岩（孔兹岩）组成，原岩是泥质岩、泥沙质岩，变质达麻粒岩相，典型的矿物组合是夕线石（Sill）+ 堇青石（Cord）+ 石榴石（Grt）+ 石英（Qtz）+/-斜长石（Plg）+/-钾长石（Kf）。有浅色花岗岩侵入变质沉积岩中，前者的Pb-Pb等时线年龄是1 862 Ma，Sm-Nd等时线年龄1 926 Ma（Kim and Cho, 2003）。

含钛铁矿的斜长岩出露在岭南地块的西南部，围岩是孔兹岩系，局部被紫苏花岗岩和花岗岩脉侵入。斜长岩的全岩-石榴石斜长石的Sm-Nd等时线年龄是1 792 ± 90 Ma（Park et al, 2001）。 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值在-3.9 ± 0.2， $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值为0.70616~0.70619，指示了一个富集的地幔源区。紫苏花岗岩的Sm-Nd全岩-矿物等时线年龄是1 827 ± 32和1 820 ± 20 Ma。

4.4 基底变质岩的对比

朝鲜半岛3个地块类似于早前寒武纪变质-岩浆岩组合，包括从太古宙一早元古代的岩石、中元古代非造山岩浆岩、中-新元古代裂谷和盆地沉积；两个最主要的构造-热事件时代为~2 500 Ma和1 900~1 850 Ma，与华北克拉通的前寒武纪主要地质事件完全相同（赵宗溥等, 1993; Zhao et al, 2002, 2006; Zhai and Liu, 2003; Sagong et al, 2003; Oh et al, 2006; Kim et al, 2006）。图7是朝鲜半岛3个地块和河北克拉通的Sm-Nd和Hf同位素的图解，可以清楚的看出，所有这些地块的地壳的主要生长期在2 800~2 600 Ma，峰期在2 800 Ma左右。1 900~1 800 Ma期间受到较强的变质作用。只有沃川带的变质岩显示了1 000~800 Ma的地质事件，对其不同的地质解释已在前文表述。

5 古生代盆地

朝鲜半岛主要有两个古生代盆地，分别是北部的平南盆地和中部的太白山盆地。主要的沉积层序是下古生界（寒武系—中奥陶统）和上古生界

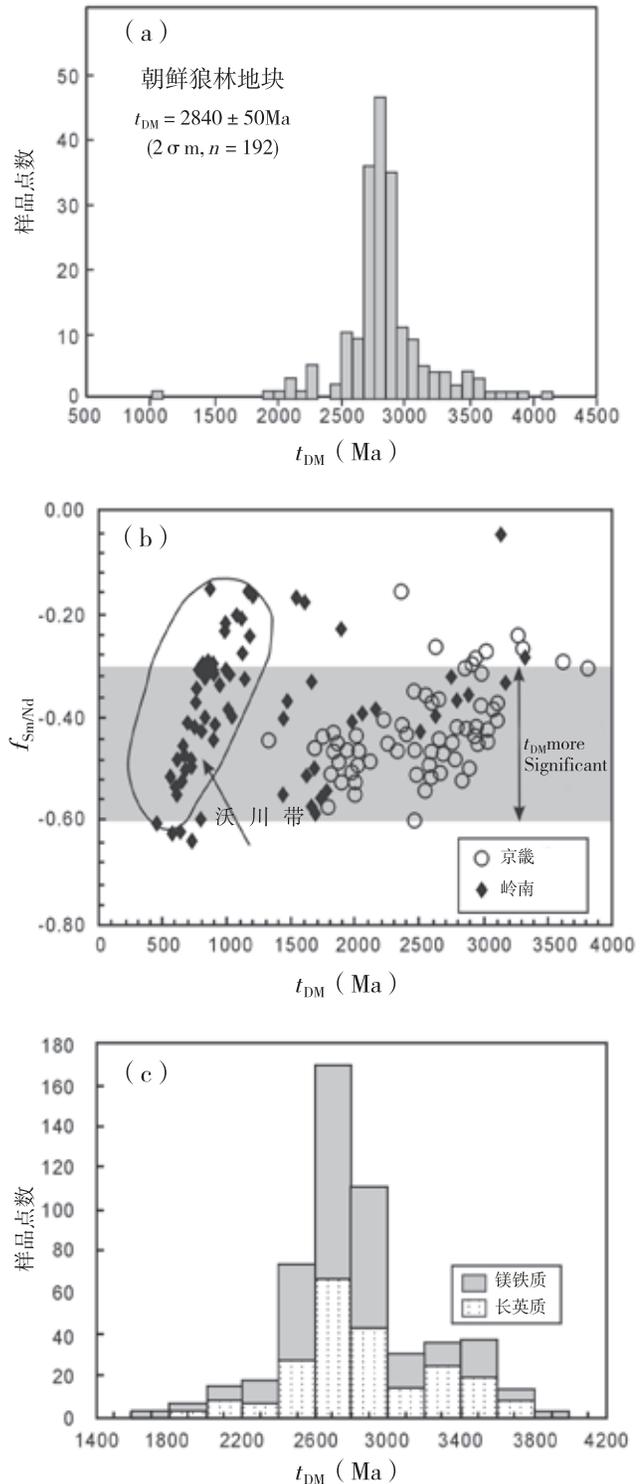


图7 朝鲜半岛狼林地块（a）、京畿与岭南地块（b）和河北克拉通变质岩（c）的Sm-Nd和Hf同位素与年龄图解（数据来自Wu et al, 2005和本研究）

Fig. 7 Sm-Nd and Hf isotopic diagrams of metamorphic rocks from three Korean blocks and NCC

（中上石炭统一下三叠统）地层。两套地层之间有大大于100 Ma的沉积间歇（Lee and Lee, 2003）。

5.1 下古生界

太白山盆地和平南盆地的下古生界分别是 Joseon超群和Hwagjiu超群, 主要是碳酸盐岩以及硅质碎屑岩。两个超群的沉积层序很相似。Joseon超群被湖南剪切带(HSZ)分隔成东西、两部分, 称为Duwibong和Yeongweol单元(Cheong, 1969; Lee, 1987)。

Duwibong单元不整合在变质基底之上, 是一套厚~100 m的砂岩和页岩。中寒武统主要是块状灰岩, 有互层状鲕状灰岩和白云质岩。上寒武统沉积岩是灰岩、页岩和细粒砂岩。下-中奥陶统包括砂岩、砂质灰岩, 混合硅质碎屑岩和碳酸盐沉积, 以及厚层碳酸盐岩(Lee and Kim, 1992; Ryu et al, 2002)。最顶部层是黑灰色块状到粒状生物碎屑和鲕状岩石、泥质岩及钙质页岩, 指示了一个碳酸盐岩斜坡环境(Lee et al, 2001)。

Yeongweol单元的中寒武统的下部是紫色绿色的细砂岩、页岩、块状和薄层状细粒砂岩; 上部为泥质灰岩、生物碎屑灰岩、角砾灰岩和白云岩, 沉积于大陆斜坡(Chung and Lee, 2001)。下奥陶统以碳酸盐岩为主, 少量泥质岩和泥灰岩。中奥陶统的下部是块状和薄层状白云岩, 上部为灰岩。

平南盆地Hwagjiu超群在南部不整合于中-新元古代Sangwon和Kuhyon系之上, 在北部和东部不整合于早前寒武纪基底变质岩系之上。Hwagjiu超群可分为6个群, 4个为寒武系, 2个为奥陶系, 沉积岩组合与Yeongweol和Dunwibong Uni单元相同(Lee and Lee, 2003)。

5.2 上古生界

值得注意的是华北克拉通与朝鲜半岛的古生界都缺失志留系、泥盆系以及下石炭统。在太白山盆地和平南盆地, 石炭系中部的沉积岩都是不整合或构造假整合上覆于中奥陶统之上。

朝鲜半岛的上古生界(中石炭—下三叠统)称为Pyeongan超群(或Daedong超群)。在太白山盆地, 代表性的Pyeongan超群地层厚度达1700 m; 在平南盆地, 该地层厚度大于1600 m。Pyeongan超群主要由砂岩、页岩及少量的角砾岩、煤系和灰岩组成。上石炭统之上是三叠系—三叠系非海相厚砂、页岩连续沉积。

煤系主要在晚石炭世—二叠纪的沉积岩层中, 在平南盆地和太白山盆地中都形成大的煤田。上石炭统Ripsok组主要为薄煤层与页岩、粉砂岩与灰岩互层。下二叠统Sadong组含3个煤层, 它们与页岩、粉砂岩和中-粗-细粒砂岩构成3个沉积旋回(Paek, 1993; Lee and Lee, 2003)。

5.3 与华北古生代沉积盆地的对比

作者对朝鲜半岛古生代沉积盆地与华北克拉通辽东半岛的旅大盆地以及北京的西山盆地做了详细的研究(Chen and Li, 2005; Zhai et al, 2007a)。平南盆地、太白山盆地的Yeongweol单元、Duwibong单元、旅大盆地和西山盆地5个古生代沉积柱状剖面的沉积学、地层学、同位素地球化学和各时代地层之间的接触关系中都是可以对比的(Lee and Lee, 2003; Jeong and Lee, 2004 Kim et al, 2005; Li et al, 2004; Chen and Li, 2005), 显示它们在古生代期间有相同的构造演化历史。太白山盆地的寒武纪沉积岩中碎屑锆石LA-ICP-MS年龄分布在1800~2800 Ma, 以1800~2000 Ma、2100~2300 Ma和2400~2500 Ma更为集中(图8, 数据另发), 明显地与华北的寒武纪沉积岩的源区相当。加之在太白山盆地的南、北侧都有寒武纪地层不整合在基底片麻岩(狼林陆块的Taebaeksan岩群和京畿陆块的京畿岩群)之上的报道, 这就使得我们很难把朝鲜南部两个陆块划归亲扬子的陆块。换言之, 根据古生代盆地目前的研究, 朝鲜半岛与华北在晚古生代之前属同一陆块。

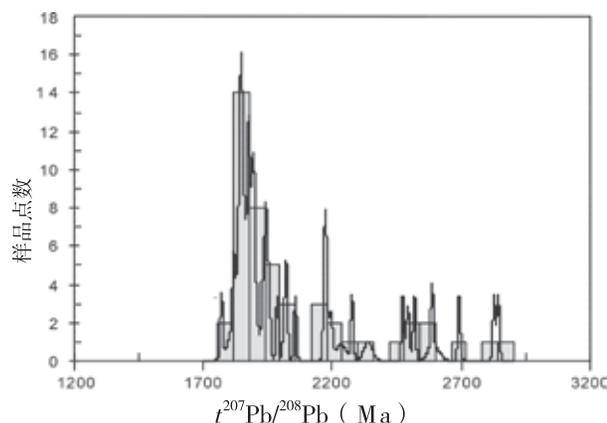


图8 太白山盆地寒武纪砂岩中碎屑锆石LA-ICP-MS年龄分布图

Fig. 8 Distribution of LA-ICP-MS detrital zircon data from Taebaeksan Basin

6 讨论与初步结论

6.1 几点基本认识

(1) 朝鲜半岛的3个陆块, 具有与华北克拉通相似的变质基底, 即主要陆壳的形成是在2 500 ~ 2 800 Ma期间; 古元古代岩石组合非常相似; 并经历了1 850 ~ 1 900 Ma的强烈的变质事件, 有大量同期的花岗岩侵入。

(2) 在古元古代晚期和中元古代早期, 发育了非造山侵入岩浆岩组合, 以及与华北辽东地区可对比的中元古代裂陷槽。

(3) 朝鲜半岛的古生代沉积盆地与华北有相同的沉积层序和沉积特点。

(4) 京畿陆块西南部的洪城杂岩有榴辉岩-超镁铁岩组合, 围岩是花岗质和奥长花岗质片麻岩, 具有900~1 000 Ma的成岩年龄, 以及~230 Ma和~400 Ma的变质年龄。可以说明朝鲜半岛出露有与苏鲁造山带或者秦岭造山带类似的岩石。

(5) 临津江带和沃川带都不具备陆-陆碰撞造山带的变质特征, 但是它们都经历了强烈的变形, 有时代不明的变质岩, 对它们的性质尚需进一步研究。

6.2 苏鲁造山带如何延入朝鲜半岛的讨论

虽然在上述诸方面取得了很多新资料和新认识, 但也显示朝鲜半岛的地质情况复杂, 有些资料之间尚存在多解性和矛盾。例如, 京畿陆块的前寒武纪基底与北面的狼林及南面的岭南陆块很相似, 同时我们又在该陆块的西南部原来认为是前寒武纪变质岩中识别出洪城杂岩, 它明显表现出与苏鲁造山带超高压变质岩相似的特征; 洪城杂岩未发现超高压矿物以及400 Ma的变质年龄存在, ~230 Ma的变质年龄只在一个样品的锆石中获得, 与典型的苏鲁超高压变质岩有差别。另外在京畿陆块中已发现几处岩石有~800 Ma的年龄。为此, 可以初步认定在京畿陆块中, 有华北克拉通的基底岩石, 也混有与苏鲁造山带有关的岩石。目前理清所有类似苏鲁造山带的岩石的分布以及它们与前寒武纪基底岩石的界线, 还有待于研究工作的深入进行。

Zhai et al (2000) 描述过苏鲁造山带与华北克拉通的界限在山东半岛不是一条断层, 而表现出类

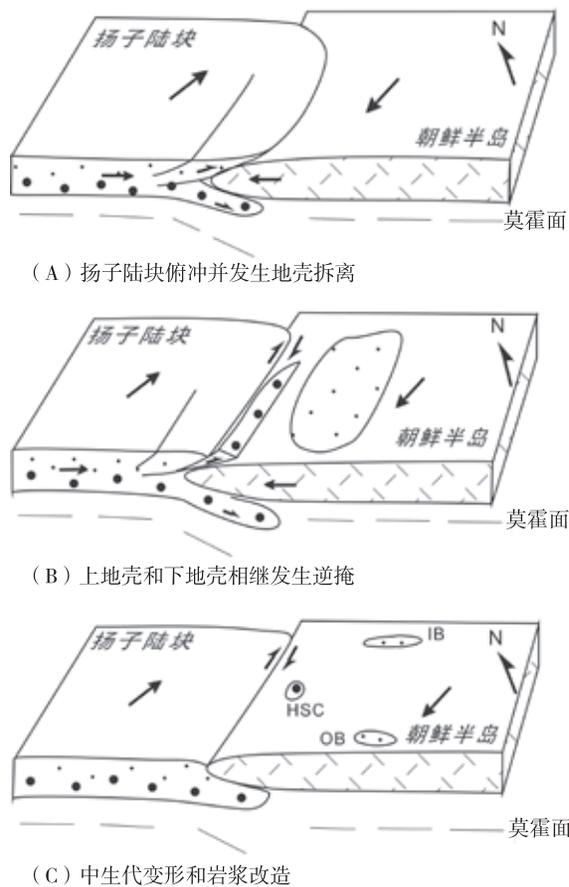
似鳄鱼构造, 有经过超高压变质的下地壳在折返过程中与俯冲的深部岩石圈拆离的现象。Li (1994) 曾提出一个地壳拆离模式来解释苏鲁造山带。他推测扬子陆块的上地壳从下地块拆离并在碰撞期间被在华北陆块之上推覆>400 km, 而扬子岩石圈的下部则沿着缝合带俯冲到华北陆块之下。

根据现有的资料, 可有以下两个可能的构造模式来解释朝鲜半岛。

(1) 假定京畿地块实际上是以亲苏鲁造山带的岩石为主, 与华北克拉通相似的基底变质岩只是浮在地壳表面的岩片。由此即可基本认同Yin and Nie (1993) 的模式, 整个京畿陆块视为碰撞造山带, 两个转换边界断层分别是临津江带和沃川带。该模式的困难, 除了在京畿陆块是以亲华北的前寒武纪基底岩石为主外, 还有太白山盆地的华北克拉通属性, 以及临津江带和沃川带的非碰撞造山带的构造属性。

(2) 根据前寒武纪对比研究和古生代沉积盆地的研究, 假设朝鲜半岛整体上属于华北克拉通, 而洪城杂岩以及可能还有若干小的岩片是属于与苏鲁造山带相似的外来的岩石构造单元, 即可建立地壳拆离-逆掩模式(图9)。另外根据郝天姚等(2002)和Hao et al (2007)的地球物理研究, 扬子陆块与朝鲜半岛的碰撞带是沿着朝鲜半岛西缘的东海下面近NS向深断裂, 没有出露在朝鲜半岛的陆地上。

该模式假设扬子陆块与中朝克拉通碰撞的界限是沿着在朝鲜半岛西缘的黄海断裂(郝天姚等, 2002; Chang, 2000; Chang and Park, 2001)。超高压变质的扬子陆块岩石圈俯冲在中朝克拉通之下, 没有折返到朝鲜半岛的地表。洪城杂岩是从俯冲板片拆离的下地壳残片, 并且推覆在朝鲜半岛京畿地块的西南角。同时, 我们推测扬子陆块的上地壳还有可能部分被从下地壳拆离, 并在朝鲜南部沿湖南剪切带(HSZ), 在朝鲜北部沿Chugaryong剪切带(CSZ)推覆到朝鲜半岛, 即临津江和沃川带。值得指出的是朝鲜半岛有非常强烈的中生代构造改造, 即侏罗纪(Daebo)和白垩纪(Bulgugsa)事件(Lee, 1987; Paek, 1993; Chough et al, 2000; Sagong et al, 2003; Choi et al, 2005)。洪城杂岩或许还有其它未被识别的小岩片出露于



SC-洪城杂岩 (Hongseon Complex) ; IB-临津江带 (Imjingang Belt) ; OB-沃川带 (Ogcheon Belt)

图9 扬子陆块与中朝陆块 (朝鲜半岛) 的拆离-逆掩模式
Fig. 9 Crustal-detachment model for the collision between the YB and NCB (Sino-Korea Craton) along the western margin of the Korean Peninsula

朝鲜半岛基底岩石中，但是没有构成一个横穿朝鲜半岛的变质 (造山) 带，朝鲜半岛总体上属中朝克拉通。Fitches and Zhu (2006) 提出HSZ是形成于晚古生代，一直活动到新生代，经历了4期变形。大量的中生代花岗岩和一些小的白垩纪盆地在沃川带及其两次分布。HSZ最古老的变形年龄是~160 Ma。临津江带的CSZ没有可靠的同位素年龄数据。因此目前所见的洪城杂岩临津江带和沃川带的位置都发生过变化，目前出露受到中生代构造的控制。

致谢：感谢共同进行野外考察与室内研究的韩国合作者Oh Chang Wan, Choi Seon Gyu, Kim Sung Won, Ryu In-Chang, Seo Jieun和朝鲜的合作者白龙浚, 崔元正, Han Ryong-Hyon, 感谢与任纪

舜, M. Santosh, 赵忠岩, 肖文交和王二七等教授的有益讨论与帮助。同时感谢刘树文和魏春景教授对文章的评审及建议。

谨将此文作为礼物，献给敬爱的董申保先生，祝贺先生九十华诞和从事教学与科研工作七十周年。

参考文献 [References]:

Chang E Z. 1996. Collisional orogen between north and south China and its eastern extension in Korean Peninsula. *Journal of Southeast Asian Earth Science*, 13: 267-277.

Chang K-H. 1995. Aspects of the geologic history of Korea. *Journal of Geological Society of Korea*, 31: 72-90.

Chang K-H. 2000. Palaeozoic Yellow-Sea transform fault and Mesozoic Korea. *Geoscience Journal*, 4: 4-6.

Chang K-H, Park S-O. 2001. Paleozoic Yellow Sea Transform Fault: its role in the tectonic history of Korea and adjacent regions. *Gondwana Research*, 4: 588-589.

Chang K-H, Park S-O. 2005. Sino-Korea Peninsula and Yellow Sea Transform Fault (YSTF). // *Gondwana to Asia Symposium 2005, Abstract Volume*, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 5-6.

Chen D Z, Li Z. 2005. Depositional environments and evolution of Cambro-Ordovician deposits at Fuzhou Bay area, Liaodong Peninsula, NE China. // *Gondwana to Asia Symposium of 2005, Abstract Volume*, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 57-59.

Cheong C H. 1969. Stratigraphy and paleontology of the Samcheong coalfield, Gangweondo, Korea (1). *Journal of Geological Society of Korea*, 5:13-56.

Cho D L, Kwon S T, Jeon E Y, et al. 2001. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of an amphibolite and a paragneiss from the Samgot unit, Yeoncheon Complex in the Imjingang Belt, Korea: tectonic implication. *J. Geological Society of Korea*, Abstract volume, 56: 89.

Cho M. 2001. A continuation of Chinese ultra-high pressure belt in Korea: evidence from ion microprobe U-Pb zircon ages. *Gondwana Research*, 4: 708.

Cho M, Kim T, Kim H. 2004. SHRIMP U-Pb zircon age of felsic meta-tuff in the Ogcheon metamorphic belt, Korea: Neoproterozoic (ca. 750 Ma) evolution. *Journal of Petrological Society of Korea*, 13: 119-125 (in Korean with English abstract).

Choe W J. 2005. The evolutional features of tectonic-metamorphism of the Archean Rangnim complex in the border of the Korea-China craton northern part of the Korea Peninsula. // *Gondwana to Asia Symposium of 2005, Abstract Volume*, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, A-1-8.

Choi S-G, Ryu I-C, Park S J, et al. 2005. Cretaceous epithermal gold-silver mineralization and geodynamic environment, Korea. *Ore Geology Review*, 26: 115-135

Chough S K, Kwon S T, Ree J H. 2000. Tectonic and sedimentary

- evolution of the Korea Peninsula: a review and new view. *Earth-Science Reviews*, 52: 175–235.
- Chung G S, Lee Y I. 2001. Facies and sequence analysis on the Lower Ordovician Mungok Formation. *Korean Journal of Petroleum Geology*, 9: 1–15.
- Cluzel D. 1992. Ordovician bimodal magmatism in the Ogcheon belt (South Korea): intracontinental refit-related volcanic activity. *Journal of Southeast Asian Earth Science*, 7: 195–209.
- Ernst W C, Liou J G. 1995. Contrasting plate-tectonic styles of the Qinling-Dabie-Sulu and Franciscan metamorphic belts. *Geology*, 23: 353–356.
- Fitches W R, Zhu G. 2006. Is the Ogcheon belt of Korea the eastward continuation of the Nanhua Basin of China? *Gondwana Research*, 9: 68–84.
- Guo J H, Zhai M G, Oh C W, et al. 2004. Discovery of eclogite from Bibong, Hongseong area, Gyeonggi Massif, South Korea: HP metamorphism, zircon SHRIMP U-Pb ages and tectonic implication. // *Gondwana to Asia of 2004*, Abstract Volume, Chonbuk University, Chonju, 11–12.
- Guo J H, Zhai M G, Oh C W, et al. 2005. 230 Ma eclogite from Bibong, Hongseong area, Gyeonggi Massif, South Korea: HP metamorphism, zircon SHRIMP U-Pb ages and tectonic implication. *Mitteilungen Der Sterrechischen Mineralogischen Gesellschaft*, 150: 47.
- Hao T Y, Suh M, Liu J H, et al. 2007. Geophysical study on the location of boundary belt between Sino-Korea and Yangtze blocks in Yellow Sea and adjacent area. // Zhai M G, et al. eds. *Mesozoic Lithosphere Evolution in Eastern North China*. Special Publication, *Geological Society of London*. (in press)
- Hsü K J, Li J, Chen H, et al. 1990. Tectonics of south China: Key to understanding west Pacific. *Tectonophysics*, 183: 9–39.
- Ishiwatari A, Tsujimori T. 2003. Paleozoic ophiolites and blueschists in Japan and Russian Primorye in the tectonic framework of East Asia: a synthesis. *The Island Arc*, 12: 190–206.
- Ishiwatari A and Tsujimori T. 2001. Late Paleozoic high-pressure metamorphic belts in Japan and Sikhote-Alin: possible oceanic extension of the Chinese Dabie-Sulu suture detouring Korea. *Gondwana Research*, 4: 636–638
- Jeong H, Lee Y I. 2004. Nd isotopic study of Upper Cambrian conodonts from Korea and implications for early Paleozoic paleogeography. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 212: 77–94.
- Kim C B, Andrew T, Chang H W, et al. 1999. U–Pb zircon ages for Precambrian and Mesozoic plutonic rocks in the Seoul-Chooncheon area, Gyeonggi massif, Korea. *Journal of Korean Geochemistry*, 33: 379–397.
- Kim J and Cho M. 2003. Low-pressure metamorphism and leucogranite magmatism, northeastern Yeongnam Massif, Korea: implication for Paleoproterozoic crustal evolution. *Precambrian Research*, 122: 235–252.
- Kim J H. 1996. Mesozoic tectonics in Korea. *Journal of Southeast Asian Earth Science*, 13: 251–265.
- Kim J H, Lee Y I, Bai Z. 2001. Comparison of the Ordovician-Carboniferous boundary between Korea and NE China: implications for correlation and tectonic evolution. *Gondwana Research*, 4: 39–53.
- Kim S W, Oh C W, Choi S, et al. 2005. Ridge subduction-related Jurassic plutonism in and around the Okcheon metamorphic belt, South Korea, and implication for northeast Asian tectonics. *International Geological Review*, 47: 248–269
- Kim S W, Oh C W, Williams I, et al. 2006. HP metamorphic events from the southwestern Gyeonggi Massif, South Korea, and tectonic implications. *Lithos*, 92: 357–377.
- Koh J K, Cho D-L. 2006. Depositional age and implication of the Bansong Group, Korea. // 1st International Symposium on Geological Correlation between Korea and Eastern China. KIGAM, Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Taejon-Beijing, 10–11.
- Lan C Y, Lee T, Zhou X H, et al. 1995. Nd isotopic study of Precambrian basement of South Korea: Evidence for early Archaean crust. *Geology*, 23: 249–252.
- Lee D S. 1987. *Geology of Korea*. Geological Society of Korea, Kyohak-Sa Publishing Corporation, Seoul, 514
- Lee K S, Chang H O. 1996. Sm-Nd isotopic and geochemical studies of the Ogcheon amphibolites from the Munkyeong-Gaeun area, Korea. *Journal of Geological Society of Korea*, 32: 172–186
- Lee K S, Chang K W, Park K S. 1998. Neoproterozoic bimodal volcanism in the central Ogcheon belt, Korea: age and tectonic implications. *Precambrian Research*, 89: 47–57
- Lee S R, Cho M. 1995. Tectonometamorphic evolution of the Chuncheon amphibolite, central Gyeonggi massif, South Korea. *Journal of Metamorphic Geology*, 13: 315–28.
- Lee S R, Cho M. 2003. Metamorphic and tectonic evolution of the Hwacheon granulite complex, Central Korea: composite P-T path resulting from two distinct crustal-thickening events. *Journal of Petrology*, 44: 197–225.
- Lee S R, Cho M, Cheong C S, et al. 1997. An early Proterozoic Sm-Nd age of mafic granulite from the Hwacheon area, South Korea. *Geoscience Journal*, 1: 136–142.
- Lee S R, Cho M, Yi K, et al. 2000. Early Proterozoic granulites in Central Korea: tectonic correlation with Chinese cratons. *Journal of Geology*, 108: 729–738.
- Lee S R, Cho M, Cheong C S, et al. 2003. Age, geochemistry, and tectonic significance of Neoproterozoic alkaline granitoids in the northwestern margin of the Gyeonggi massif, South Korea. *Precambrian Research*, 122: 297–310
- Lee Y I, Kim D W. 1992. Storm-influenced siliciclastic and carbonate ramp deposits, the lower Ordovician Dumugol Formation, South Korea. *Sedimentology*, 39: 951–969.
- Lee Y I, Hyeong K, Yoo C M., 2001. Cycle sedimentation across a Middle Ordovician carbonate ramp (Duwibong Formation), Korea. *Facies*, 44:61–74.
- Lee Y I, Lee J L. 2003. Paleozoic sedimentation and tectonics in Korea: a review. *The Island Arc*, 12:162–179
- Li S Z, Kusky T M, Liu X C, et al. 2007. Two stage extrusion of the Hp-UHP terranes in the western Dabie orogen, central China: structural evidence. *Gondwana Research*, (in press)
- Li Q L, Li S G, Zheng Y F, et al. 2003. A high precision U-Pb age of metamorphic rutile in coesite-bearing eclogite from the Dabie Mountains in central China: a new constraint on the cooling history. *Chemical Geology*, 200: 255–265
- Li S G, Huang F, Niu Y H, et al. 2001. Geochemical and geochronological constraints on the suture location between the North and South China Blocks in the Dabie orogen, central China. *Physics and Chemistry of the Earth (A)*, 26: 655–672.
- Li Z, Chen D Z, Zhai M G. 2004. Paleozoic sedimentary records correlation between Korea and North China: implication on the united

- Sino-Korea Block. // Gondwana to Asia of 2004, Abstract Volume, Chonbook University, Chonju, 31–32.
- Li Z X. 1994. Collision between the North and South China blocks: A crustal-detachment model for suturing in the region east of the Tanlu fault. *Geology*, 22: 739–742.
- Liu Y C, Li S G, Xu S T, et al. 2005. Geochemistry and geochronology of eclogite from the Northern Dabie Mountains, central China. *Journal of Asian Earth Science*, 25: 431–443.
- Liu X. 1993. High-P metamorphic belt in central China and its possible eastward extension to Korea. *Journal of Petrological Society of Korea*, 2: 9–18.
- Metcalfe I. 2006. Palaeozoic and Mesozoic tectonic evolution and palaeogeography of East Asian crustal fragments: The Korean Peninsula in context. *Gondwana Research*, 9:24–46
- Oh C W, Choi S G, Zhai M G, et al. 2005. First finding of eclogite facies metamorphic event in South Korea and its correlation with the Dabie–Sulu collision belt in China. *Journal of Geology*, 113: 226–232.
- Oh C W. 2006. A new concept on tectonic correlation between Korea, China and Japan: histories from the late Proterozoic to Cretaceous. *Gondwana Research*, 9: 47–61.
- Oh C W, Choi S G, Song S W, et al. 2004a. Metamorphic evolution of the Baekdong metabasite in the Hongseong area, South Korea and its relationship with Sulu collision belt in China. *Gondwana Research*, 7: 809–816.
- Oh C W, Kim S W, Ryu I C, et al. 2004b. Tectono-metamorphic evolution of the Okcheon metamorphic belt, South Korea: tectonic implications in East Asia. *The Island Arc*, 13: 387–402.
- Oh C W, Kusky T M. 2007. The late Permian to Triassic Hongseong–Odesan collision belt in South Korea, and its tectonic correlation with China and Japan. *International Geology Review*. (in press)
- Paek R J. 1993. Lower Proterozoic era stratigraphy. // Geological Institute, Academy of Sciences, North Korea, ed. *Geology of Korea*. Foreign Languages Books Publishing House, Pyongyang, 41–52.
- Paek R J, Rim D S. 2005. On the Rimjinang Belt. In: *Gondwana to Asia Symposium of 2005*, Abstract Volume, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, B–1–5.
- Park J G, Kim S W, Oh C W, et al. 2003. Geochemical and geochronological studies on metaigneous rocks in the Gyemyeongsan Formation, northwestern Okcheon metamorphic belt, South Korea and their tectonic implication in east Asia. *Journal of Petrological Society of Korea*, 12: 155–169. (in Korean with English abstract).
- Park K H, Kim D Y, Song Y S. 2001. Sm–Nd mineral ages of charnokite and ilmenite-bearing anorthositic rocks of the Jirisan area and their genetic relationship. *Journal of Petrological Society of Korea*, 10: 27–35 (in Korean with English abstract).
- Ree J H, Cho M, Kwon S T, et al. 1996. Possible eastward extension of Chinese collision belt in South Korea: the Imjingang belt. *Geology*, 24: 1071–1074.
- Ree J H, Kwon S H, Park Y, et al. 2001. Prolonged and post-tectonic emplacements of the granitoids in the south central Okcheon belt, South Korea: implications for the timing and strike-slip shearing and thrusting. *Tectonics*, 20: 850–867.
- Ri J N, Ri J C. 1994. Tectonic Map of Korea (1:1000000 scale) and Explanatory Text. North Korea, Central Geological Survey of Mineral Resources, Pyongyang, 22.
- Ri J N, Ri J C. 1990. Geological construction of Korea 6. Pyongyang, North Korea, Industrial Publishing House, Pyongyang, 216
- Ri S R, Om H Y. 1993. Middle-upper Proterozoic ERA. // *Geology of Korea*. Foreign Languages Books Publishing House, Pyongyang, pp. 41–52.
- Rogers J J W, Santosh M. 2006. The Sino-Korea Craton and supercontinent history: Problems and perspectives. *Gondwana Research*, 9: 21–23.
- Ryu I C, Doh S J, Choi S G. 2002. Carbonate breccias in the Lower–Middle Ordovician Maggol limestone (Taebaeksan Basin), South Korea): implications for regional tectonism. *Facies*, 46: 35–56.
- Sagong H, Cheong C S, Kwon S T. 2003. Paleoproterozoic orogen in South Korea: evidence from Sm–Nd and Pb step-leaching garnet ages of Precambrian basement rocks. *Precambrian Research*, 122: 275–298.
- Seo J, Choi S G, Oh C W, et al. 2004. Genetic implication of two type ultramafic rocks from Bibong and Baekdong areas from western Korea. // *Gondwana to Asia of 2004*, Abstract Volume, Chonbook University, Chonju, 30–35.
- Song Y S, Park K H, Park M E, et al. 2001. Petrological, geochemical and geochronological studies of Precambrian in northeast Asia region: 2. zircon ages of some metamorphic rocks from Gyeonggi massif. *Journal of Petrological Society of Korea*, 10: 95–105.
- Wu F Y, Zhao G C, Wilde S A, et al. 2005. Nd isotopic constraints on crustal formation in the North China Craton. *Journal of Asian Earth Sciences*, 24: 523–545
- Yin A, Nie S. 1993. An indentation model for the North and South China collision and the development of the Tan-Lu and Honam fault systems, eastern Asia. *Tectonics*, 12: 801–813.
- Zhai M G, Guo J H, Li Z, et al. 2007a. Linking Sulu orogenic belt to Korean Peninsula: evidences of metamorphism, Precambrian basement and Paleozoic basins. *Gondwana Research*. (in press)
- Zhai M G, Guo J H, Peng P. 2007b. U Pb zircon age dating of a rapakivi granite batholith in Rangnim massif, North Korea. *Geological Magazine*. (in press).
- Zhai M G, Liu W J. 1998. The boundary between Sino-Korea craton and Yangtze craton and its extension to the Korea Peninsula. *Journal of Petrological Society of Korea* 7: 15–26.
- Zhai M G, Liu W J. 2003. Palaeoproterozoic tectonic history of the North China craton: a review. *Precambrian Research*, 122: 183–199.
- Zhai M C, Cong B L, Guo J H. 2000. Sm–Nd geochronology and petrography of garnet pyroxene granulites in the northern Sulu region of China and their geotectonic implication. *Lithos*, 52: 23–33
- Zhai M G, Guo J H. 2005. Discovery of eclogites and extension of Sulu UHP belt in South Korea. *Mitteilungen Der sterreichischen Mineralogischen Gesellschaft*, 150: 172.
- Zhai M G, Ni Z Y, Oh C W, et al. 2005. SHRIMP zircon age of a Proterozoic rapakivi granite batholith in the Gyeonggi massif (South Korea) and its geological implications. *Geological Magazine*, 142: 23–30.
- Zhao G C, Cao L, Wilde S A, et al. 2006. Implications based on the first SHRIMP U Pb zircon dating on Precambrian granitoid rocks in North Korea. *Earth and Planetary Science Letters*, 251: 365–379
- Zhao G C, Cawood P A, Wilde S A, et al. 2002. Review of Global 2.1–1.8 Ga orogens: implications for a pre-Rodinia supercontinent. *Earth-Science Reviews*, 59: 125–162.
- 郝天姚, SHU Manchcheol, 王谦身, 等. 2002. 根据重力数据研究黄海边界断裂带在海区的延伸. *地球物理学报*, 45: 397–405.

- [Hao Tianyao, Shu Manchcheol, Wang Qianshen, et al. **2002**. A study on extension of fault zones in Yellow Sea and its adjacent areas based on gravity data. *Chinese Journal of Geophysics*, 45: 397–405. (in Chinese with English abstract)].
- 钱祥麟. 1986. 中朝断块. 见: 张文佑. 中国及邻区海陆构造. 北京: 科学出版社, 160–162.
- [Qian Xianglin. **1986**. Sino-Korea fault block. // Zhang Wenyu ed. Continental-Oceanic Geotectonics of China and Adjacent Areas. Scientific Press, Beijing, 160–162. (in Chinese with English abstract)]

- 张文佑. 1986. 中国及邻区海陆构造. 北京: 科学出版社, 45–46.
- [Zhang Wenyu. **1986**. Continental-Oceanic Geotectonics of China and Adjacent Areas. Beijing: Scientific Press, 45–56. (in Chinese with English abstract)]
- 赵宗溥等. 1993. 中朝准地台前寒武纪地壳演化. 北京: 科学出版社, 389–390
- [Zhao Zongpu et al. **1993**. Precambrian Crustal Evolution of the Sino-Korean Paraplatform. Beijing: Science Press, 333–99. (in Chinese)]

Extension of the Sulu UHP Belt to the Korean Peninsula: Evidence From Orogenic Belts, Precambrian Basements, and Paleozoic Sedimentary Basins

ZHAI Ming-guo^{1,2}, GUO Jing-hui^{1,2}, LI Zhong¹, CHEN Dai-zhao¹, PENG Peng^{1,2}, LI Tie-sheng^{1,2},
ZHANG Yan-bin^{1,2}, HOU Quan-lin³, FAN Qi-cheng⁴, HU Bo¹

(1. Institute of Geology and Geophysics, CAS Beijing 100037, China;

2. Key Laboratory of Mineral Resources Studies, CAS Beijing 100037, China;

3. Post-Graduate School CAS, Beijing 100049, China; 4. Institute of Geology, China Seismological Bureau, Beijing 10029, China)

Abstract: Considerable debate on whether and how the Sulu Orogenic Belt extends eastward to the Korean Peninsula has been lasting over the past decade. New results reported here include the following: (1) an eclogite and retrograded eclogite-bearing complex (Hongseong Complex) was discovered in South Korea, in which the eclogite occurs as lenses in ca. 810–820 Ma granitic gneiss. SHRIMP zircon dating of the eclogite yielded ~ 230 Ma for the metamorphic age and 880 Ma for the protolith age; (2) The basement of the Rangnim, Gyeonggi and Yeongnam massifs have affinities to the basement of the North China Block (NCB). However, the Gyeonggi Massif encloses a minor amount of large or small slabs of the Hongseong Complex which is similar to the rocks of the Sulu Belt; (3) Two main Paleozoic basins within the Rangnim and Gyeonggi massifs have similar Paleozoic tectono-stratigraphy to the NCB; (4) The Imjingang and Ogcheon belts do not exhibit any metamorphic characteristics of collisional orogenic belts. Based on these facts, we propose a crustal-detachment and thrust model and suggest that the collision belt between the Yangtze Block (YB) and NCB (Sino–Korea Craton) is preserved along the western margin of the Korean Peninsula. The lower part of the UHP metamorphosed lithosphere of the YB was subducted under the Korean Peninsula and not exposed on the surface. The lower crust of the YB (the Hongseong Complex) was detached from the subducted lithosphere and thrust over the Korean Peninsula, and inserted into the basement rocks of the Gyeonggi Massif. The upper crust of the YB possibly was detached from the lower crust and overthrust along the Honam and Chugaryong shear zones. The Imjingang and Ogcheon belts possibly represent the detached upper crust of YB and their present occurrences are controlled by a Mesozoic strike slip shear structure. All these detached lower and upper crustal slabs were strongly deformed during the Late Jurassic and Early Cretaceous tectonic event leading to their present geological distribution and characteristics.

Key words: Korean Peninsula; Sulu belt; tectonic link; evidences