



论文

西昆仑塔什库尔干印支期(高压)变质事件的确定及其构造地质意义

杨文强^①, 刘良^{①*}, 曹玉亭^①, 王超^{①②}, 何世平^②, 李荣社^②, 朱小辉^①^① 大陆动力学国家重点实验室, 西北大学地质学系, 西安 710069;^② 中国地质调查局西安地质调查中心, 西安 710054

* 联系人, E-mail: Liuliang@nwu.edu.cn

收稿日期: 2009-11-06; 接受日期: 2010-07-06

西北大学大陆动力学国家重点实验室科技部专项、国家重点基础研究发展计划(编号: 2009CB825003)、国家自然科学基金(批准号: 40972128)、中国地质调查局“青藏高原前寒武纪地质和古生代构造-古地理综合研究”和中国地质调查局“西昆仑-阿尔金成矿带基础地质综合研究”项目资助

摘要 对西昆仑塔什库尔干县城以东出露的矽线石榴黑云片麻岩和石榴角闪片麻岩进行了阴极发光图像、微区原位 LA-ICP-MS 微量元素分析和 U-Pb 定年. 结果表明, 这两种岩石的变质时代为(220±2)和(220±3) Ma, 其原岩沉积或形成年龄分别不早于(253±2)和(480±8) Ma. 由于这两种岩石与区内已发现的高压基性麻粒岩和泥质高压麻粒岩产于同一位置或其附近, 并且, 矽线石榴黑云片麻岩的早期矿物组合(石榴子石+矽线石+条纹长石+石英)与泥质高压麻粒岩早期麻粒岩-高角闪岩相退变质矿物组合一致, 石榴角闪片麻岩的矿物组合(石榴子石+角闪石+斜长石+石英)与高压基性麻粒岩角闪岩相退变质矿物组合相吻合, 因此其定年结果可有效地用来限定这些高压麻粒岩的峰期变质时代应介于(220±2)~(253±2) Ma 之间, 进而表明古特提斯洋在本区消减、俯冲碰撞形成康西瓦构造带的时代应为印支期. 同时, 依据新获得的这两种岩石原岩形成年龄分别不早于(253±2)和(480±8) Ma 以及前人已发表的锆石 U-Pb 年代学数据, 提出分布在塔什库尔干县城以东地区的矽线石榴片麻岩-石英岩岩石组合单元应从原划的古元古代“布伦阔勒岩群”中划分出来.

关键词

西昆仑

LA-ICP-MS 锆石定年

布伦阔勒岩群

印支期

康西瓦构造带

青藏高原西北缘的塔什库尔干地区是研究喀喇昆仑-西昆仑地质演化的重要地区之一, 但其地处青藏高原西构造结北部弧顶部位, 陆内消减、走滑作用强烈, 加之自然条件恶劣, 野外地质调研工作困难, 是目前中国造山带中研究程度最低的地区之一. 尤其是该区地层系统研究比较薄弱, 进而导致构造单元划分、归属以及区域对比存在分歧^[1-12]. 其中, 关

于布伦阔勒岩群的形成时代目前主要有 2 种意见: 1) 属于喀喇昆仑地层区的基底单元, 为一套以碎屑岩为主的副变质岩石地层单位, 依据岩石变质程度以及前苏联学者在西南帕米尔地区的同位素测年结果将其归为古元古代^[10]; 2) 依据对塔什库尔干县附近泥质片麻岩(麻粒岩相岩石)SHRIMP 及 LA-ICP-MS 锆石测年研究, 认为其属于南昆仑地体的组成部分,

为一套火山-沉积岩系, 沉积于新元古代晚期-早古生代早期, 是加里东期增生到北昆仑地体南缘的^[8]。

康西瓦断裂构造带作为西昆仑一条重要的构造分界线长期受到国内外学者们的普遍重视, 许多专家将其厘定为板块构造缝合带, 认为古特提斯洋最终闭合于此^[1-8]。新近, 西昆仑塔什库尔干县东偏北的康西瓦构造带一线原划“布伦阔勒岩群”的变质岩石中陆续发现了呈透镜体状产出的高压基性麻粒岩与泥质高压麻粒岩, 它们均具顺时针型的 $P-T$ 演化轨迹^[13,14], 显然, 其形成可能与板块(或微陆块)之间的俯冲-碰撞等构造地质事件相关, 对深入探讨康西瓦断裂构造带的性质及西昆仑大地构造演化具有重要意义。然而, 目前对于该高压麻粒岩变质时代的认识存在很大争议: 1) 曲军峰等^[13]最早通过对基性高压麻粒岩中锆石 SHRIMP U-Pb 定年研究, 认为该高压麻粒岩的原岩形成年龄为 (456 ± 30) Ma, 角闪岩相的退变质年龄为 (177 ± 6) Ma, 推测其峰期变质时代可能比 (177 ± 6) Ma 略早几或几十百万年; 2) 之后, 王建平^[15]重新分析认为上述锆石 SHRIMP U-Pb 定年获得的 (456 ± 30) Ma 的年龄值应代表该高压麻粒岩的峰期变质时代, 而 (177 ± 6) Ma 的年龄值代表后期热事件的叠加。

针对上述问题, 本文在塔什库尔干县城东托兰乡一带“布伦阔勒岩群”与发现高压麻粒岩出露点附近分别采集矽线石榴黑云片麻岩和石榴角闪片麻岩样品, 选取锆石进行了 LA-ICP-MS 原位微区定年研究, 试图进一步限定该区“布伦阔勒岩群”的形成与变质时代以及高压麻粒岩的峰期变质时代, 为深入探讨古特提斯洋的闭合时代提供进一步的约束。

1 区域地质背景简况及样品产状

目前, 多数研究者认为西昆仑造山带包含以下几个构造单元^[1,8-9,16-18]: 北昆仑地体、南昆仑地体和甜水海地体(图 1)。其中库地蛇绿岩代表了北昆仑地体与南昆仑地体在早古生代的缝合带^[1,10-11,16], 它是由北向南逆冲到目前位置的^[17-19]。南昆仑地体与甜水海地体之间的界线为康西瓦断裂构造带。康西瓦构造带西起哈萨克斯坦乌孜别里山口, 经班迪向南东延伸至麻扎、三十里营房, 后向东经康西瓦、慕士山至琼木孜塔格西南被阿尔金断裂斜向截断, 在我国境内延伸有 1000 km, 宽 3~5 km, 断面倾向北东,

总体走向北西, 整体呈反“S”形, 主弧形向南西突出^[20,21]。

北昆仑地体前寒武纪地层主要出露在许许沟-阿卡孜以及和田南部的铁克里克构造带。南昆仑地体内“前寒武纪”变质岩主要分布在康西瓦断裂以北(东段, 以桑株塔格群为代表)及塔什库尔干县附近(西段, 以布伦阔勒群为代表)。依据 1:25 万区调地质资料, 布伦阔勒岩群包括磁铁石英岩、斜长角闪片麻岩、矽线石榴片岩-石英岩和大理岩四个岩石地层单元, 磁铁石英岩与斜长角闪片麻岩单元主体分布在该岩群的西部与偏南部, 矽线石榴片岩-石英岩和大理岩单元主体分布在其中东部。其中, 矽线石榴片岩-石英岩单元主要岩石组合为含石榴黑云石英片岩、含矽线石榴斜长黑云片岩、含石榴子石石英岩、含石榴子石大理岩、含矽线石榴黑云斜长片麻岩等, 夹少量角闪片岩与斜长角闪片岩等, 新近发现的高压基性麻粒岩和高压泥质麻粒岩即呈透镜体状分布在该岩石单元之中(图 1)。

近年来, 在康西瓦断裂构造带的东段康西瓦一带陆续发现了麻粒岩^[20]和孔兹岩系^[21]; 在麻扎-康西瓦一线鉴别出一套主要由三叠系砂页岩组成并混杂有大量石炭-二叠系等不同时代岩石的构造混染岩带^[17,22,23]。另外, 沿该断裂构造带在库地南、麻扎、三十里营房和康西瓦南等地发育年龄值介于 180~220 Ma 之间的花岗岩体, 其很大一部分属于岛弧型或碰撞型^[24]。依据这些资料, 很多研究者赞同麻扎-康西瓦构造带具有板块缝合带的性质^[17,22,23]。

本文所述矽线石榴黑云片麻岩(07TS-20)采于塔县东约 15 km 托兰乡附近(GPS 坐标: $37^{\circ}46'48.9''N$, $75^{\circ}18'09.3''E$), 石榴角闪片麻岩(07TS-32)采于塔县到班迪尔乡的公路旁(GPS 坐标: $37^{\circ}52'48.9''N$, $75^{\circ}17'00.6''E$), 均属布伦阔勒岩群矽线石榴片岩-石英岩地层单元(图 1)。其中, 石榴角闪片麻岩样品与前人发现的基性高压麻粒岩与泥质高压麻粒岩(GPS 坐标: $37^{\circ}52'50''N$, $75^{\circ}17'01''E$)几乎位于同一位置; 而矽线石榴黑云片麻岩位于泥质高压麻粒岩出露点南约 10 km 左右, 并距张传林等^[8]用于锆石 U-Pb 定年所采样品矽线黑云斜长片麻岩与矽线石榴黑云片岩偏北约 10 km。依据这些岩石具有相同片麻理方向以及它们之间无明显的构造界线的地质产状特征, 它们应构成同一构造岩片。

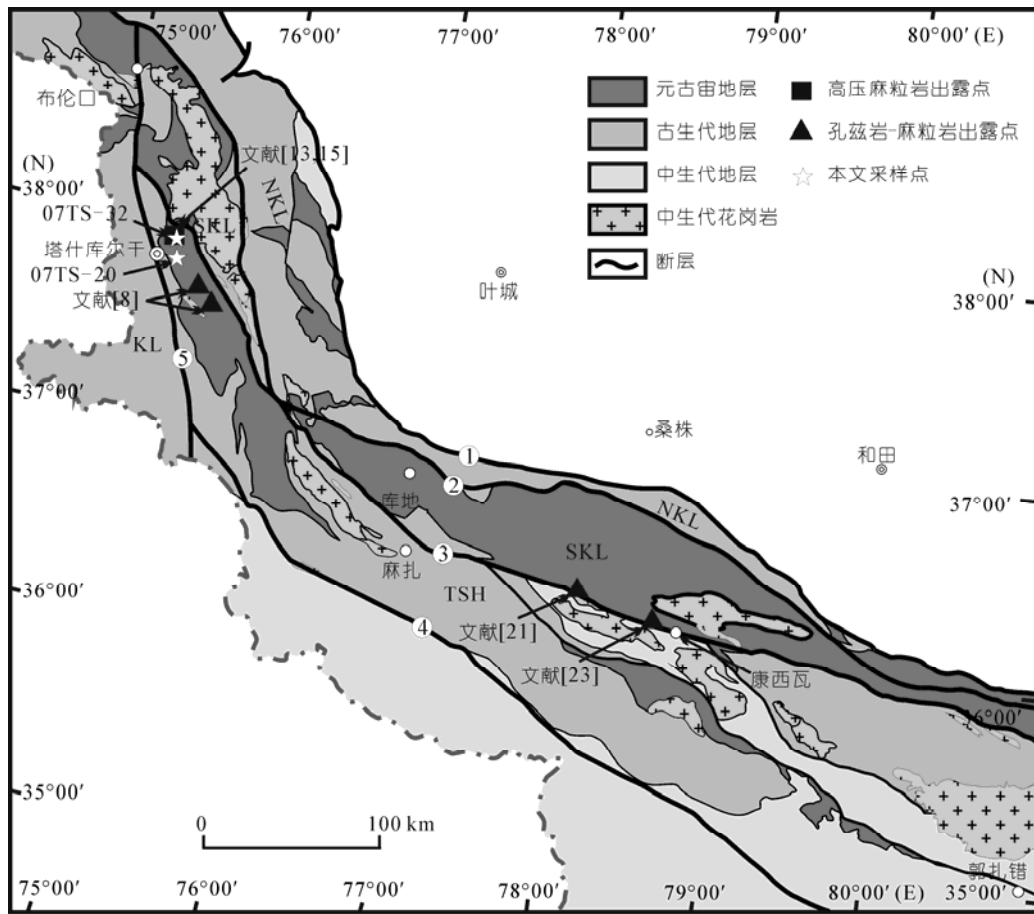


图 1 西昆仑地区地质简图

NKL, 北昆仑地体; SKL, 南昆仑地体; TSH, 甜水海地体; KL, 喀喇昆仑地体. ① 奥依塔格-柯岗断裂; ② 库地断裂; ③ 康西瓦断裂; ④ 龙木错-双湖断裂; ⑤ 喀喇昆仑断裂. 据文献[9]修改

2 岩相学特征

2.1 矽线石榴黑云片麻岩

该岩石多呈条带状构造, 露头上常见各种复杂变形的长英质细脉(图 2(a)), 岩石主要组成矿物有石榴子石(20%~25%)、条纹长石(15%~25%)、石英(15%~25%)、矽线石(10%~15%)、黑云母(10%~15%)、斜长石(~5%)和少量白云母; 副矿物主要有锆石、磷灰石等. 其中, 石榴子石与条纹长石主要以变斑晶形式存在, 一些部位见二者平衡共生(图 2(b)), 一些部位见这两种斑晶矿物之间分布有由矽线石与黑云母、白云母和石英呈复杂交代关系组成的反应边结构(图 2(c)), 靠近石榴子石一侧主要由针柱状矽线石与鳞片状黑云母组成, 且矽线石的长轴方向包绕石榴子石; 而靠近条纹长石一侧的交代体主要由针柱状矽

线石与鳞片状白云母±黑云母组成, 它们的延伸方向与前一交代体呈高角度相交(图 2(c)), 表明该反应边结构是先后两期退变的产物, 可能的反应关系为: $\text{Grt}(\text{石榴子石}) + \text{Per}(\text{条纹长石}) + \text{Liq}(\text{流体}) = \text{Bi}(\text{黑云母}) + \text{Sill}(\text{矽线石}) + \text{Q}(\text{石英})$ 以及 $\text{Sil} + \text{Per} + \text{Liq} = \text{Ms}(\text{白云母}) + \text{Q}$. 矽线石有 3 种产出状态: 一种呈板柱状(Sill_1), 常与石榴子石(图 2(d))或与条纹长石和石英共生(图 2(e)); 另一种则呈长柱状或针柱状(Sill_2), 多与黑云母相互穿插分布在石榴子石的外围(图 2(c), (f)), 还有一些长柱状或针柱状矽线石分布在板柱状矽线石的外围(图 2(e), (f)), 其形成显然晚于板柱状矽线石; 第 3 种(Sill_3)呈针柱状与鳞片状白云母交生, 分布在石榴子石与条纹长石反应边中靠近条纹长石一侧(图 2(c)), 其形成可能晚于第 2 种产出状态的矽线石(Sill_2). 需要特别指出, 在图 2(e)中针柱状矽线石

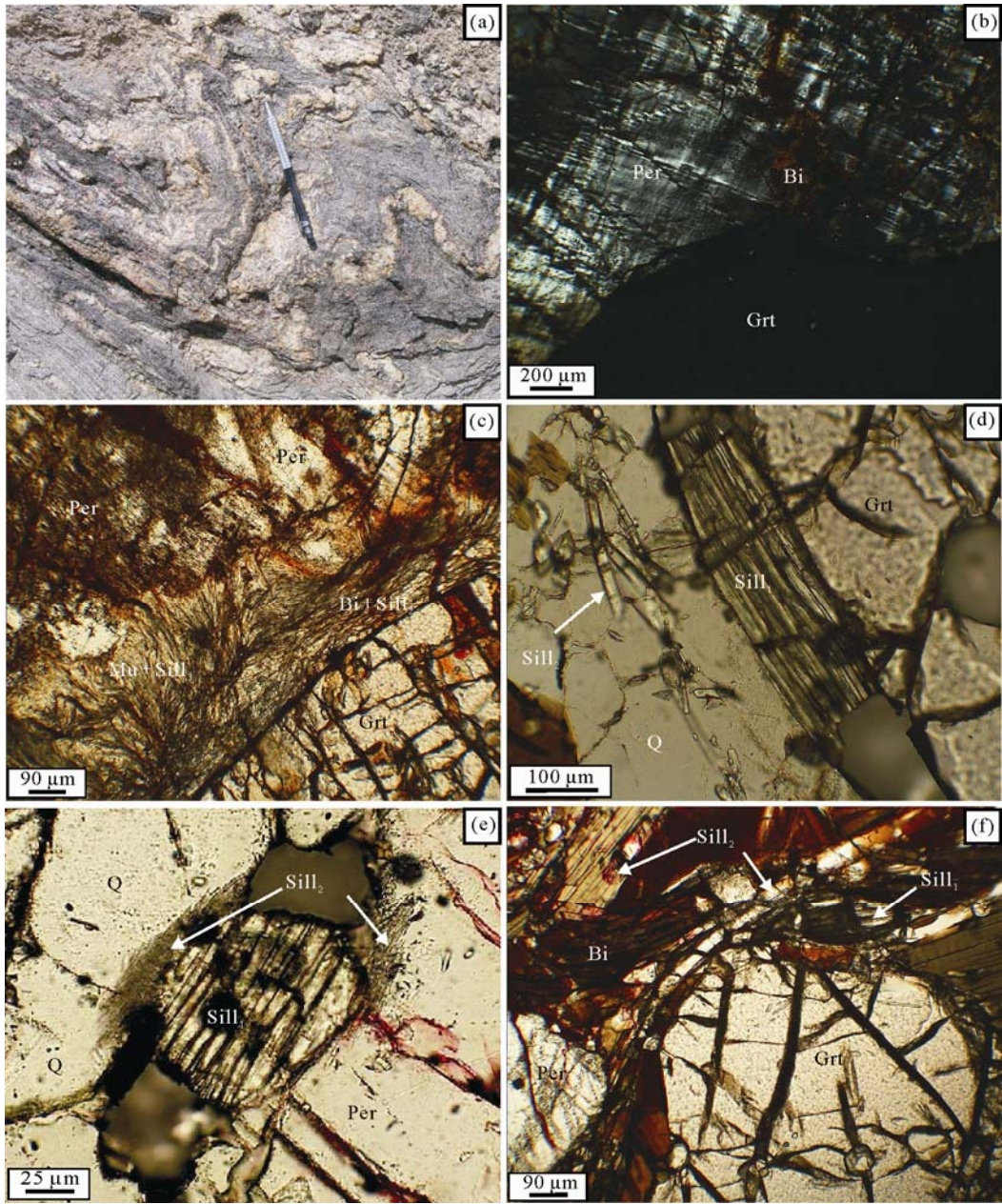


图 2 矽线石榴黑云片麻岩的野外照片及显微结构特征

Grt, 石榴子石; Sill, 矽线石; Bi, 黑云母; Per, 条纹长石; Mu, 白云母; Q, 石英

(Sill₂)与板柱状矽线石(Sill₁)之间是一种退变反应关系, 结合板柱状矽线石(Sill₁)的形态, 推测其也可能是早期蓝晶石退变质的产物. 黑云母呈片状或鳞片状, 与长柱状或针柱状矽线石穿插共生, 主要分布在斑状石榴子石与条纹长石的外围(图 2(c), (f))或交代斑状石榴子石与条纹长石(图 2(c), (f)), 其形成应晚

于石榴子石和条纹长石. 斜长石与细粒石英紧密共生, 局部集中, 呈条带状产出并斜切或平行于片麻理方向, 可能是岩石后期重熔形成或后期贯入的长英质脉体. 根据上述岩相学特征可确定该片麻岩变质矿物组合由早到晚, 至少可划分为石榴子石+矽线石+条纹长石+石英和石榴子石+矽线石+黑云母+条纹

长石+石英以及石榴子石+白云母+黑云母+矽线石+石英 3 期, 与王建平^[14]所研究的泥质高压麻粒岩后期退变质的 3 期矿物组合吻合, 表明该片麻岩已达高角闪岩相-麻粒岩相变质, 同时不排除其早期经历高压麻粒岩相变质的可能性。

2.2 石榴角闪片麻岩

该岩石呈细粒片麻状构造(图 3(a)), 主要组成矿物有角闪石(70%~80%)、石榴子石(10%~15%)、斜长石(<5%)和少量石英; 副矿物主要有绿帘石、榍石、磁铁矿、方解石、锆石等。变斑晶主要为石榴子石、角闪石, 偶见斜长石和石英残斑; 基质主要由细粒角闪石和少量的细粒斜长石与石英组成。斑状角闪石

普遍被拉长定向排列(图 3(b)), 一些颗粒的外围见由细粒角闪石与斜长石构成的反应边结构(图 3(c)); 斑状石榴子石的外围常见由细粒斜长石与石英组成的“白眼圈”结构(图 3(d)); 斜长石斑晶外围常见绿帘石交代或蚕食。这些特征表明该岩石后期经历了比较强烈的变形与退变质作用的改造, 其早期矿物组合应为石榴子石+角闪石+斜长石+石英, 变质程度已达到高角闪岩相。该岩石与曲军锋等^[13]发现的基性高压麻粒岩产于同一 GPS 点位, 它们具有相同的片麻理方向, 之间也无明显的构造界线, 应属同一套岩石组合; 另外, 该岩石的变质矿物组合又与基性高压麻粒岩角闪岩相退变质的矿物组合一致, 因此, 不排除该岩石可能是基性高压麻粒岩退变质的可能性。

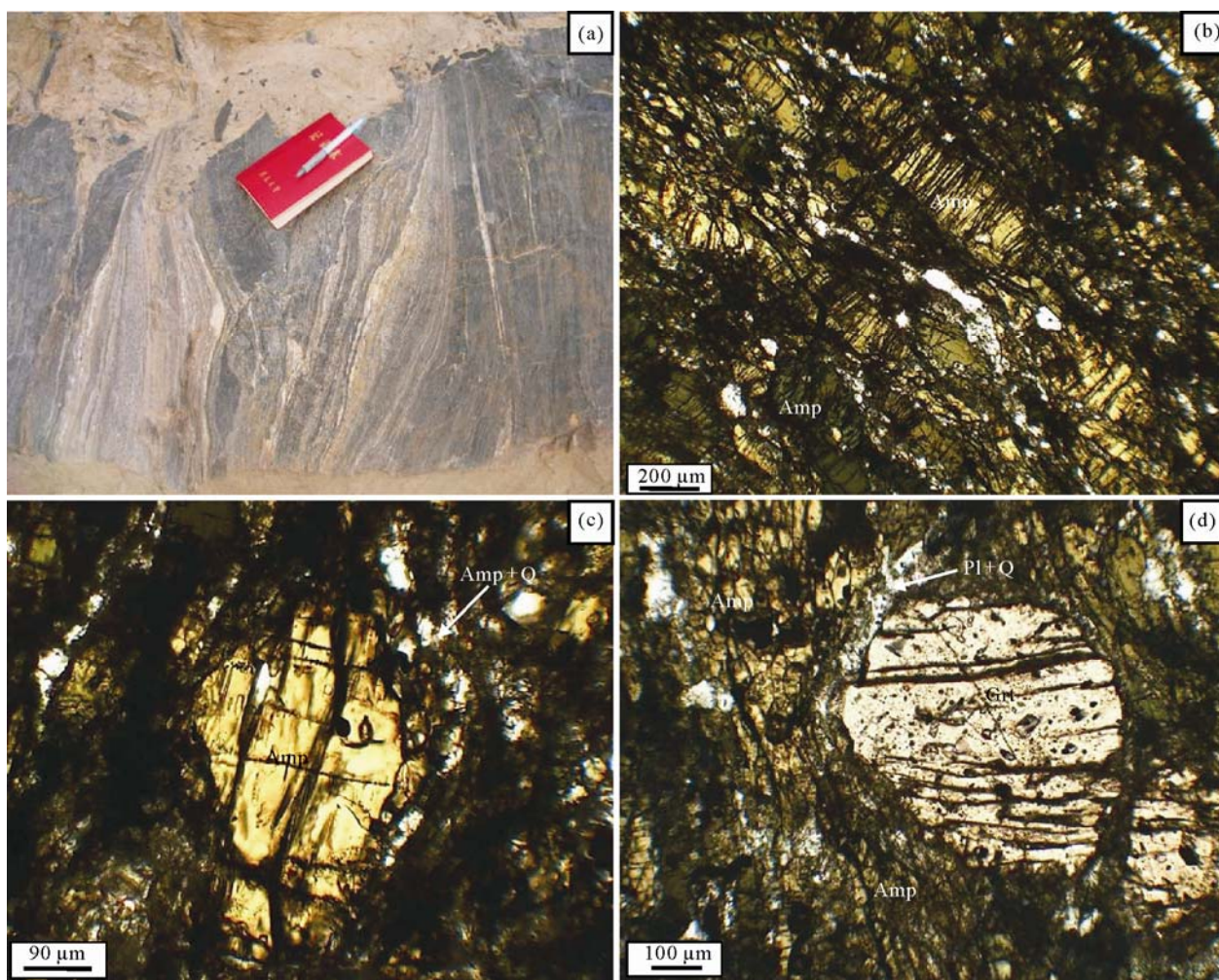


图 3 石榴角闪片麻岩的野外照片及显微结构特征

Grt, 石榴子石; Amp, 角闪石; Pl, 斜长石; Q, 石英

3 分析方法

取不含长英质脉体的矽线石榴黑云片麻岩(20 kg)和石榴角闪片麻岩(30 kg)作为年龄样品. 锆石的挑选在河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成. 锆石的阴极发光, U-Pb 同位素组成和微量元素测定均在西北大学国家重点实验室完成. 锆石的阴极发光图像研究利用的是 FEI 公司生产的场发射扫描电子显微镜附属的 Mono CL3+ 系统; 锆石原位 U-Pb 年龄测定利用的是 ICP-MS Elan6100DRC, 同时测定锆石测点的微量元素. 测试矽线石榴黑云片麻岩(07TS-20)样品时激光束斑直径为 30 μm ; 测试石榴角闪片麻岩(07TS-32)样品时激光束斑直径为 44 μm . 样品的同位素比值及元素含量计算采用 GLITTER (ver4.0, Macquarie University) 程序, 获得的数据采用 Andersen^[25] 的方法进行同位素比值的校正, 以扣除普通铅的影响, 年龄计算及谐和图的绘制用 Isoplot(ver2.49) 完成. 详细分析步骤和数据处理方法详见文献[26].

4 测试结果

4.1 矽线石榴黑云片麻岩

锆石的形态主要呈浑圆状, 粒径 120 μm 左右, 个别为短柱状(图 4). 锆石 CL 图像显示大部分具有核-边结构, 核部总体结构和形态较为复杂, 一些具有清晰的岩浆生长环带, 显示碎屑锆石特征; 边部显示宽度不等的窄边, 总体呈面状或扇状结构, 不具有环带结构, 符合变质锆石的结构特征.

对挑选出的锆石共进行了 37 次分析, 测试结果见图 5, 6 和表 1, 2. 测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值介于 150~650 Ma 之间, 在谐和图上主要集中在分布在 (194 $\pm$ 1), (220 $\pm$ 2), (253 $\pm$ 2) 和大于 340 Ma 四个区域. 结合锆石 CL 图像显示: 大于 340 Ma 的年龄值测点均位于锆石核部, Th/U 比值介于 0.14~0.85 之间; $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄值集中在 (253 $\pm$ 2) Ma 区域的 6 个测点也均位于锆石核部, 且其测点位置锆石具有明显的岩浆震荡生长环带特征(图 4-3.1, 4.1, 7.1, 9.1), Th/U 比值总体大于 0.5; 其中, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值分布

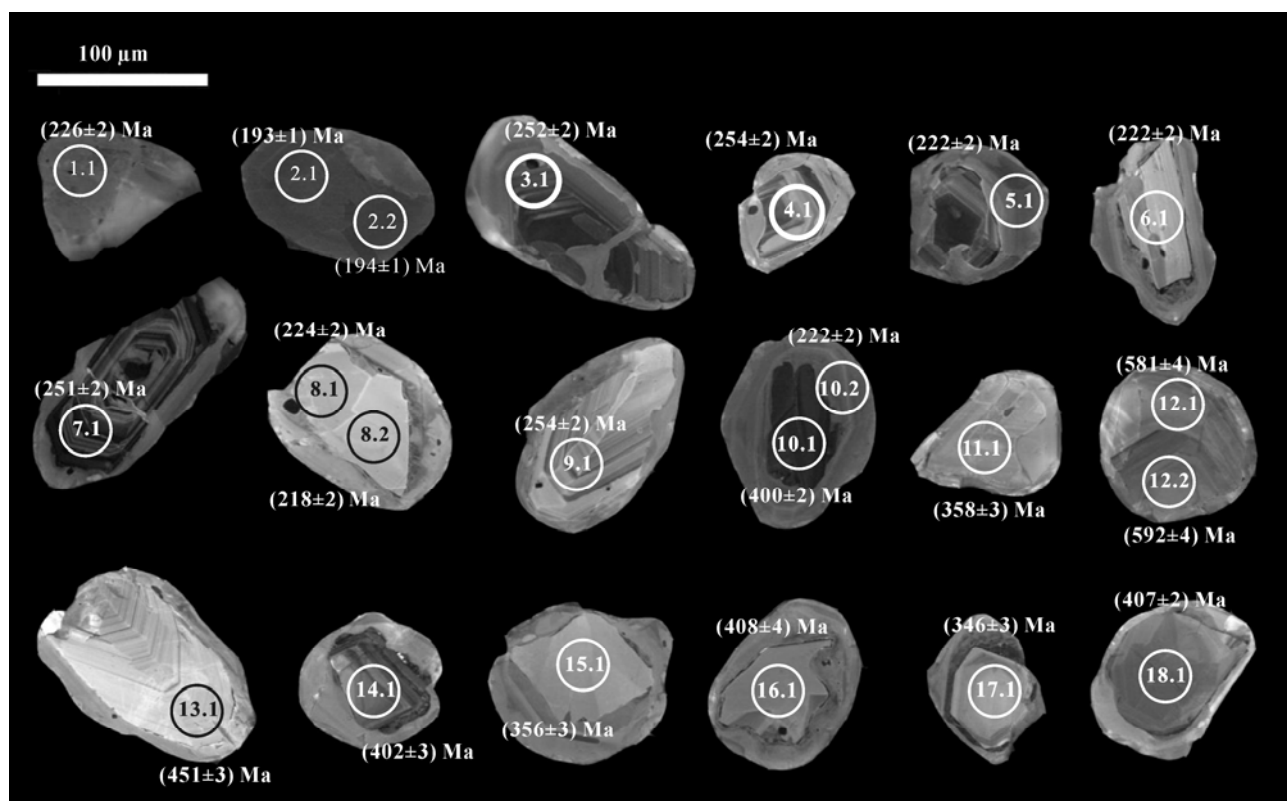


图 4 矽线石榴黑云片麻岩锆石的阴极发光图像

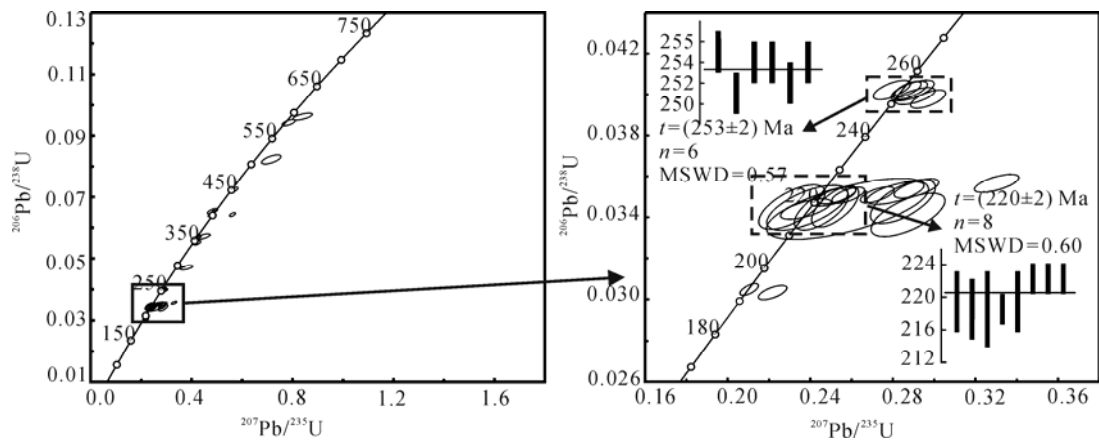


图5 矽线石榴黑云片麻岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 分析结果谱和图

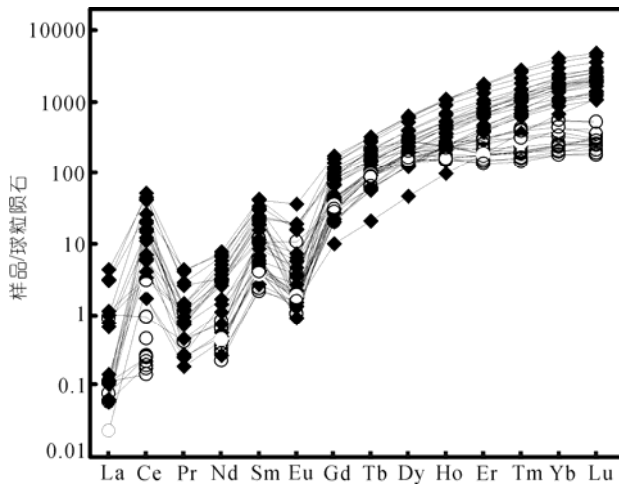


图6 矽线石榴黑云片麻岩中锆石的稀土元素球粒陨石标准化图

在 (220 ± 2) Ma 附近的几个测点明显偏离谐和线,可能与其 ^{204}Pb 含量过高有关^[25], 故计算加权平均年龄值时将其剔除. 加权平均年龄值集中在 (220 ± 2) Ma 区域的 8 个测点主要位于锆石边部, 测点位置锆石均显示均匀的面状或扇状结构(图 4-1.1, 5.1, 8.1, 8.2, 10.2), Th/U 比值小于 0.2; (194 ± 1) Ma 年龄值的两个测点位于同一粒锆石, Th/U 比值为 0.01.

该岩石锆石的稀土元素配分明显可分出两组(图 6), 一组测点的稀土总量和重稀土含量较高, $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 比值较低, 重稀土配分曲线上扬; 另一组测点稀土总量及重稀土含量明显较低, $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 比值增大, 重稀土分配曲线平直. 前者对应的年龄值为 (253 ± 2) Ma 和大于 340 Ma, 后者对应的年龄值为

(220 ± 2) 与 (194 ± 1) Ma.

4.2 石榴角闪片麻岩

该岩石中的锆石总体呈短柱状或浑圆状(图 7), 依据其内部结构(CL 图像)特征可分为三类. 一类具有核-幔-边结构(图 7-2.1, 7.1), 另一类则具核-边结构(图 7-8.1, 10.1), 这两类锆石的核部结构和形态较为复杂, 显示碎屑锆石的特点, 幔部与/或边部一般很窄, 仅几微米, 呈面状或扇状结构; 还有一类锆石具有弱分带内部结构(图 7-1.1, 3.1, 5.1, 9.1, 11.1), 均没有环带结构, 显示面状或扇状结构.

对该样品挑选出的锆石共进行了 35 次分析, 其中的 3 个测点的数据在进行普通铅校正时出现错误被剔除, 共得到 32 个有效测点的测试结果见图 8(a) 和表 3. 32 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值介于 150~600 Ma 之间, 并在谐和图上形成多个集中区(图 8(a)), 分别为 (181 ± 2) , (220 ± 3) , (480 ± 8) 和 (552 ± 5) Ma. 年龄值为 (181 ± 2) 和 (220 ± 3) Ma 集中区对应测点的 Th/U 介于 0.02~0.24 之间, 大部分测点的 Th/U 小于 0.1; 而年龄值为 (480 ± 8) 和 (552 ± 5) Ma 集中区对应测点的 Th/U 多大于 0.3.

该岩石中锆石的稀土元素配分模式比较复杂(图 8(b), 表 4), 但亦可分出两组, 一组测点稀土总量和重稀土含量较高, 重稀土部分上扬; 另一组测点稀土总量及重稀土含量偏低, 重稀土部分较为平直. 前者对应的年龄值为 (480 ± 8) 和 (552 ± 5) Ma, 后者对应的年龄值全部为 (220 ± 3) 和 (181 ± 2) Ma.

表 1 矽线石榴黑云片麻岩的锆石的 LA-ICP-MS 定年分析结果

样品号	Pb* ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Th ($\mu\text{g g}^{-1}$)	U ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Th/U	同位素比值						年龄值(Ma)					
					$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ
1.1	16.64	61.71	370.42	0.17	0.0672	0.0016	0.3302	0.0071	0.0357	0.0003	842	31	290	5	226	2
2.1	25.66	4.54	782.03	0.01	0.0530	0.0012	0.2218	0.0046	0.0303	0.0002	329	33	203	4	193	1
2.2	27.57	5.06	846.75	0.01	0.0501	0.0008	0.2104	0.0030	0.0305	0.0002	197	21	194	2	194	1
3.1	29.86	250.28	621.36	0.39	0.0542	0.0010	0.2993	0.0048	0.0400	0.0003	381	24	266	4	253	2
4.1	28.89	359.45	538.10	0.72	0.0520	0.0011	0.2885	0.0054	0.0402	0.0003	285	30	257	4	254	2
5.1	13.62	5.87	332.67	0.06	0.0523	0.0014	0.2530	0.0061	0.0351	0.0003	297	40	229	5	222	2
6.1	16.25	87.71	381.46	0.11	0.0534	0.0012	0.2583	0.0052	0.0351	0.0003	345	32	233	4	222	2
7.1	144.12	1338.10	3116.84	0.24	0.0542	0.0011	0.2971	0.0056	0.0398	0.0003	377	29	264	4	251	2
8.1	9.35	2.15	248.93	0.15	0.0597	0.0016	0.2914	0.0072	0.0354	0.0003	592	38	260	6	224	2
8.2	8.51	1.82	219.88	0.01	0.0596	0.0018	0.2861	0.0082	0.0348	0.0003	588	45	256	6	221	2
9.1	14.41	207.37	279.82	0.74	0.0522	0.0013	0.2896	0.0069	0.0402	0.0003	295	39	258	5	254	2
10.1	102.81	150.82	1586.04	0.12	0.0544	0.0007	0.4797	0.0048	0.0640	0.0004	386	12	398	3	400	2
10.2	13.81	3.91	367.58	0.01	0.0560	0.0016	0.2716	0.0073	0.0352	0.0003	451	44	244	6	223	2
11.1	14.00	79.41	197.69	0.39	0.0597	0.0018	0.4729	0.0135	0.0574	0.0006	594	45	393	9	360	3
12.1	22.26	44.21	203.74	0.24	0.0722	0.0013	0.9525	0.0146	0.0957	0.0007	991	20	679	8	589	4
12.2	34.21	89.79	260.69	0.33	0.0920	0.0016	1.2665	0.0192	0.0999	0.0008	1465	18	831	9	614	4
13.1	25.13	219.36	285.32	0.78	0.0569	0.0011	0.5686	0.0100	0.0724	0.0005	489	26	457	6	451	3
14.1	52.04	308.55	823.17	0.42	0.0634	0.0010	0.5616	0.0076	0.0643	0.0004	720	18	453	5	402	3
15.1	14.55	150.19	191.68	0.78	0.0539	0.0013	0.4225	0.0095	0.0568	0.0004	366	36	358	7	356	3
16.1	12.85	23.49	274.56	0.51	0.0535	0.0016	0.4823	0.0131	0.0654	0.0006	350	45	400	9	408	4
17.1	16.88	172.17	236.36	0.73	0.0555	0.0014	0.4216	0.0096	0.0551	0.0004	432	36	357	7	346	3
18.1	58.12	129.28	834.20	0.16	0.0540	0.0008	0.4854	0.0053	0.0651	0.0004	373	14	402	4	407	2
19.1	15.82	4.14	271.85	0.13	0.0580	0.0020	0.2812	0.0092	0.0352	0.0004	528	53	252	7	223	2
20.1	63.92	631.85	1364.58	0.50	0.0517	0.0009	0.2873	0.0042	0.0403	0.0002	274	22	256	3	255	2
21.1	11.83	4.36	304.55	0.22	0.0563	0.0013	0.2724	0.0054	0.0351	0.0003	463	31	245	4	222	2
22.1	76.56	82.03	552.91	0.15	0.1113	0.0018	1.7049	0.0225	0.1111	0.0008	1820	14	1010	8	679	5
23.1	19.17	63.68	343.04	0.47	0.0630	0.0024	0.7154	0.0256	0.0823	0.0010	709	56	548	15	510	6
24.1	22.62	268.32	450.23	0.60	0.0504	0.0012	0.2795	0.0059	0.0402	0.0003	212	35	250	5	254	2
25.1	175.71	1390.08	2220.92	0.63	0.0533	0.0006	0.4713	0.0036	0.0642	0.0004	340	8	392	2	401	2
26.1	9.11	118.55	136.61	0.87	0.0724	0.0018	0.4776	0.0107	0.0479	0.0004	996	31	396	7	301	3

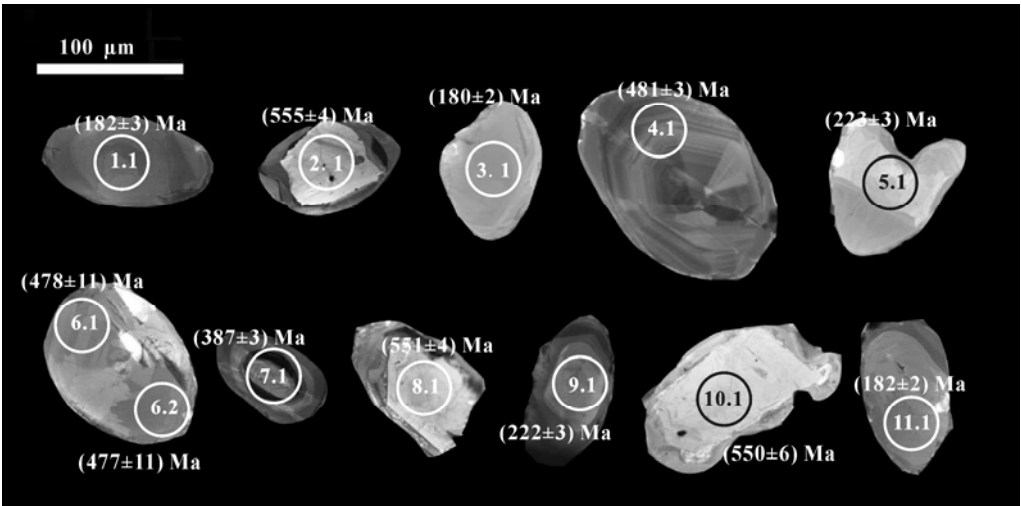


图 7 石榴角闪片麻岩锆石的阴极发光图像

表 2 矽线石榴黑云片麻岩的锆石的稀土元素分析结果($\mu\text{g g}^{-1}$)

样品号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Th	U	Th/U	REE	HREE
1.1	<0.031	14.03	0.060	0.76	1.92	0.398	12.57	6.15	89.28	36.82	183.71	44.10	504.09	98.68	61.71	370.42	0.17	17.17	975.40
2.1	<0.025	0.23	<0.020	0.45	2.36	0.336	26.67	12.37	105.91	20.07	45.91	6.68	59.19	12.04	4.54	782.03	0.01	3.38	288.84
2.2	<0.015	0.24	<0.016	0.43	2.77	0.272	26.27	12.44	105.89	19.39	45.32	6.53	58.02	11.78	5.06	846.75	0.01	3.71	285.64
3.1	0.039	14.71	0.106	2.16	4.84	0.298	25.50	8.66	103.94	39.12	174.48	34.96	340.25	63.28	250.28	621.36	0.40	22.15	790.19
4.1	<0.024	19.46	0.179	3.51	7.00	0.151	36.11	12.67	149.56	54.88	236.54	45.86	429.58	73.14	359.45	538.1	0.67	30.30	1038.34
5.1	<0.024	0.42	<0.022	0.22	1.38	0.119	13.74	6.22	59.71	12.59	35.35	5.76	48.98	9.27	5.87	332.67	0.02	2.14	191.62
6.1	0.041	5.38	0.193	3.15	5.68	1.640	27.94	10.00	120.31	43.73	194.41	40.08	407.20	74.42	87.71	381.46	0.23	16.08	918.09
7.1	1.112	24.71	0.586	4.91	7.17	0.472	42.22	17.02	224.33	90.56	432.61	96.96	996.15	184.20	1338.1	3116.84	0.43	38.96	2084.08
8.1	0.028	0.24	<0.015	<0.15	1.00	0.158	9.95	5.14	53.40	13.07	37.32	5.66	44.94	7.31	2.15	248.93	0.01	1.42	176.79
8.2	<0.025	0.16	<0.017	<0.13	0.96	0.090	8.86	4.98	70.37	19.53	52.17	7.05	50.79	8.00	1.82	219.88	0.01	1.21	221.75
9.1	1.121	48.18	0.545	5.44	9.74	1.390	48.80	18.47	238.27	93.10	426.38	91.14	885.65	162.41	207.37	279.82	0.74	66.42	1964.22
10.1	0.038	3.83	0.060	0.52	1.19	0.159	8.08	3.61	46.76	19.71	98.87	24.06	259.72	52.75	150.82	1586.04	0.10	5.80	513.56
10.2	<0.019	0.24	<0.015	0.30	1.04	0.171	11.97	5.89	54.82	13.71	42.51	7.18	60.77	9.35	3.91	367.58	0.01	1.75	206.20
11.1	0.023	5.81	0.098	2.19	5.07	0.303	25.26	8.53	98.80	35.44	149.48	29.73	279.38	48.28	79.41	197.69	0.40	13.49	674.90
12.1	<0.019	1.58	0.033	0.39	1.53	0.076	11.83	5.27	72.31	27.46	117.31	24.62	246.85	45.77	44.21	203.74	0.22	3.61	551.42
12.2	0.400	3.15	0.155	2.11	4.38	0.114	30.75	11.83	149.87	57.83	262.19	53.14	519.54	96.6	89.79	260.69	0.34	10.31	1181.75
13.1	1.550	42.93	0.354	2.26	2.57	0.613	13.79	5.60	71.78	29.66	149.48	35.08	388.03	76.36	219.36	285.32	0.77	50.28	769.78
14.1	0.274	14.68	0.125	1.82	3.58	0.144	20.39	8.14	102.41	39.89	192.53	41.68	427.98	78.41	308.55	823.17	0.37	20.62	911.43
15.1	0.021	18.34	0.161	2.97	5.18	1.620	24.61	8.79	112.45	46.09	227.70	51.30	551.15	110.36	150.19	191.68	0.78	28.29	1132.45
16.1	<0.017	1.59	0.024	0.30	0.97	0.230	6.66	3.30	49.42	20.95	97.16	21.33	213.94	40.48	23.49	274.56	0.09	3.11	453.24
17.1	0.023	11.29	0.189	4.06	9.41	3.070	53.41	18.66	229.31	87.96	383.49	76.32	732.30	134.98	172.17	236.36	0.73	28.04	1716.43
18.1	<0.017	2.62	<0.019	0.18	0.60	0.127	2.98	1.22	17.82	8.11	46.44	12.88	168.14	40.80	129.28	834.2	0.15	3.53	298.39
19.1	0.370	0.88	0.056	0.58	1.21	0.150	11.40	5.92	72.89	18.46	53.68	8.17	65.32	10.52	4.14	271.85	0.02	3.25	246.36
20.1	<0.024	15.38	0.109	2.55	6.86	0.126	42.45	15.98	196.09	75.17	329.92	64.74	605.70	105.3	631.85	1364.58	0.46	25.02	1435.35
21.1	<0.037	0.20	<0.018	0.26	1.13	0.127	13.36	6.13	64.12	15.28	42.57	7.03	60.75	9.63	4.36	304.55	0.01	1.72	218.87
22.1	0.051	6.64	0.035	0.34	0.93	0.189	6.21	3.26	48.80	20.20	107.85	27.33	331.39	69.05	82.03	552.91	0.15	8.19	614.09
23.1	0.239	10.43	0.095	1.15	1.31	0.320	9.41	3.50	47.50	17.79	93.25	22.12	242.84	52.19	63.68	343.04	0.19	13.54	488.60
24.1	<0.016	38.64	0.037	1.00	2.36	0.489	13.34	5.59	75.30	31.35	161.33	37.53	416.11	83.50	268.32	450.23	0.60	42.53	824.05
25.1	0.354	40.35	0.386	4.56	7.66	1.360	33.66	10.81	123.62	44.77	203.15	43.47	445.75	86.62	1390.08	2220.92	0.63	54.67	991.85
26.1	0.042	19.76	0.100	2.02	4.17	0.552	20.99	7.50	91.71	35.69	168.36	35.83	368.77	72.51	118.55	136.61	0.87	26.64	801.36

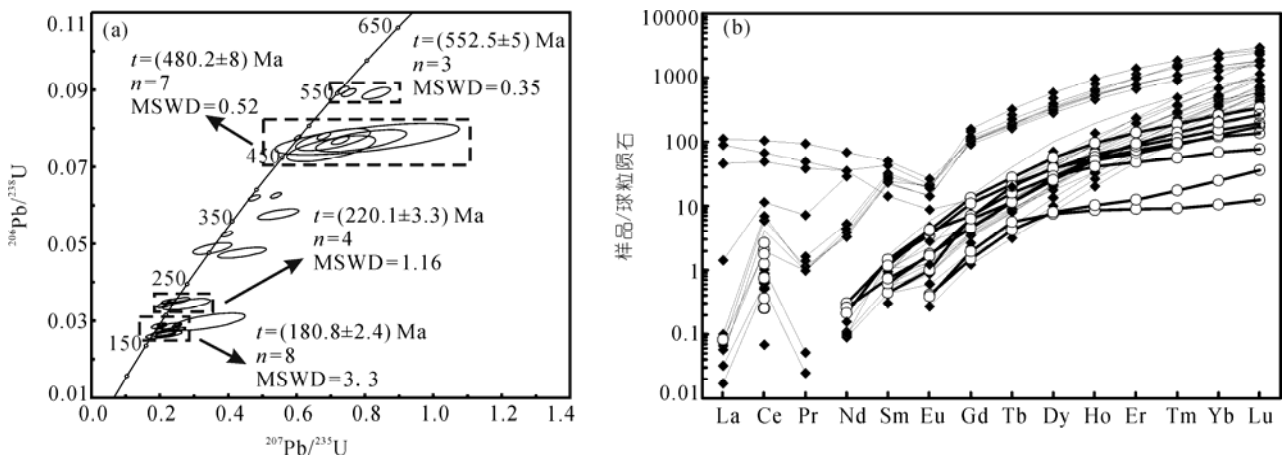


图 8 石榴角闪片麻岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 分析结果谱和图(a)及石榴角闪片麻岩中锆石的稀土元素球粒陨石标准化图(b)

表3 石榴角闪片麻岩的锆石的 LA-ICP-MS 定年分析结果

样品号	Pb* ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Th ($\mu\text{g g}^{-1}$)	U ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Th/U	同位素比值						年龄值 (Ma)					
					$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ b	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ
1.1	1.41	5.29	47.02	0.11	0.0497	0.0037	0.1966	0.0144	0.0287	0.0005	181	136	182	12	182	3
2.1	14.00	33.02	167.60	0.20	0.0593	0.0011	0.7352	0.0121	0.0899	0.0007	580	23	560	7	555	4
3.1	6.30	2.81	219.51	0.01	0.0515	0.0017	0.2010	0.0062	0.0283	0.0003	264	55	186	5	180	2
4.1	54.90	15.17	699.61	0.02	0.0579	0.0008	0.6198	0.0069	0.0777	0.0005	470	29	479	4	481	3
5.1	1.22	2.26	30.85	0.07	0.0522	0.0047	0.2537	0.0226	0.0352	0.0005	295	174	230	18	223	3
6.1	0.62	2.43	7.31	0.33	0.0746	0.0084	0.7890	0.0879	0.0768	0.0019	1056	187	591	50	477	11
6.2	0.75	2.91	8.29	0.35	0.0665	0.0069	0.7064	0.0723	0.0770	0.0019	822	175	543	43	478	11
7.1	35.49	31.96	535.15	0.06	0.0660	0.0014	0.5711	0.0110	0.0627	0.0005	444	57	395	8	387	3
8.1	16.31	36.19	191.44	0.19	0.0612	0.0012	0.7526	0.0138	0.0892	0.0007	645	26	570	8	551	4
9.1	3.05	5.55	96.46	0.06	0.0589	0.0035	0.2884	0.0166	0.0355	0.0005	30	135	206	11	222	3
10.1	10.94	42.83	113.41	0.38	0.0678	0.0024	0.8330	0.0278	0.0891	0.001	863	50	615	15	550	6
11.1	3.49	4.96	116.43	0.04	0.0612	0.002	0.2440	0.0076	0.0289	0.0003	323	90	192	7	182	2
12.1	1.86	13.00	26.46	0.49	0.0866	0.0083	0.4244	0.0394	0.0356	0.0009	555	378	249	37	217	6
13.1	20.16	19.74	741.97	0.03	0.0502	0.0012	0.1932	0.0044	0.0279	0.0002	204	38	179	4	178	1
14.1	0.87	5.85	27.42	0.21	0.0836	0.0176	0.3427	0.0704	0.0298	0.0015	1283	340	299	53	189	9
15.1	1.11	1.52	22.85	0.07	0.1415	0.0084	0.5758	0.032	0.0295	0.0007	538	375	195	30	168	4
16.1	5.20	9.55	174.08	0.05	0.0535	0.0015	0.2148	0.0056	0.0291	0.0002	203	69	186	5	184	1
17.1	1.47	20.81	45.58	0.46	0.0791	0.0058	0.3012	0.0215	0.0276	0.0005	496	274	195	21	171	3
18.1	0.72	1.74	24.08	0.07	0.0585	0.0056	0.2306	0.0218	0.0286	0.0005	547	177	211	18	182	3
19.1	37.94	41.54	491.67	0.08	0.0632	0.0013	0.6793	0.0129	0.0780	0.0006	714	27	526	8	484	4
20.1	1.24	4.70	31.56	0.15	0.0869	0.0059	0.4314	0.0282	0.0360	0.0006	176	30	199	14	216	3
20.2	4.32	8.89	98.48	0.09	0.0942	0.0053	0.3596	0.0191	0.0277	0.0005	577	216	199	17	168	3
21.1	18.76	54.23	220.70	0.25	0.0626	0.0013	0.5397	0.0105	0.0626	0.0005	694	28	438	7	391	3
22.1	1.77	6.25	26.45	0.24	0.0832	0.0045	0.6746	0.0349	0.0588	0.0009	888	159	442	26	361	6
23.1	3.24	1.22	114.76	0.01	0.0640	0.0018	0.2524	0.0065	0.0286	0.0003	741	40	229	5	182	2
24.1	0.92	1.62	6.82	0.24	0.1800	0.0132	2.2204	0.1543	0.0895	0.0027	1089	498	600	100	479	16
25.1	6.63	14.80	114.88	0.13	0.0618	0.0016	0.4516	0.0107	0.0530	0.0004	403	66	339	8	330	3
26.1	34.60	64.79	379.74	0.17	0.0686	0.0017	0.7273	0.0170	0.0768	0.0007	888	34	555	10	477	4
27.1	5.87	9.63	183.87	0.05	0.0900	0.0025	0.3556	0.009	0.0287	0.0003	874	80	236	8	177	2
28.1	1.04	0.31	8.56	0.04	0.0680	0.0085	0.7011	0.0859	0.0747	0.0022	869	208	539	51	465	13
29.1	0.90	4.17	14.60	0.29	0.0941	0.0062	0.6410	0.0410	0.0494	0.0009	838	236	370	33	300	6
30.1	0.85	5.28	14.20	0.37	0.0525	0.0057	0.3534	0.0378	0.0488	0.0010	309	203	307	28	307	6

5 讨论

5.1 片麻岩的变质时代及其对区内高压麻粒岩峰期变质时代的限定

矽线石榴黑云片麻岩为经历高角闪岩相或麻粒岩相变质的副变质岩, 根据矿物组合推测其原岩为泥质沉积岩. 结合锆石 CL 图像(图 4)和 U-Pb 年龄值(图 5)可以看出, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值为(253±2) Ma 测点的锆石具有自形、清晰的振荡生长环带的特点, 且其对应测点 Th/U 多大于 0.5, 显然应代表残留的原岩碎屑锆石中最年轻的一期岩浆事件, 说明该岩石原岩的沉积时代应不早于(253±2) Ma. 年龄值为(220±2) Ma 的测点均位于锆石显示面状或扇状结构的核部或

边部, 对应测点的 Th/U 比值小于 0.2, 且在稀土元素配分曲线上显示具有明显的 HREE 相对亏损的特征, 这一特征被认为是在封闭体系下与石榴子石共生的变质成因锆石的特征^[27-29], 因此(220±2) Ma 无疑代表了该矽线石榴黑云片麻岩发生高角闪岩相或麻粒岩相的变质时代. 而(194±1) Ma 的两个测点位于同一锆石(图 4-2.1, 2.2), 可能代表后期热事件或退变质年龄. 值得指出, 张传林等^[8]获得区内与该样品属于同一地层单元的矽线黑云斜长片麻岩与矽线石榴黑云片岩的锆石 U-Pb 年龄集中区为约 200, 240~270, 340 和 400~460 Ma, 该结果与本文获得的矽线石榴黑云片麻岩的年龄值在误差范围内基本一致, 但本文获得的(253±2) Ma 年龄值的锆石具有明显的岩浆

表 4 石榴角闪片麻岩的锆石的稀土元素分析结果($\mu\text{g g}^{-1}$)

样品号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Th	U	Th/U	REE	HREE
1.1	<0.012	0.73	<0.010	<0.117	0.121	0.155	1.50	0.76	11.23	5.66	31.71	8.38	103.47	26.03	5.29	47.02	0.11	1.00	188.74
2.1	0.026	5.70	0.154	2.370	5.340	1.250	31.73	11.08	126.2	46.05	196.57	38.58	381.62	71.40	33.02	167.60	0.20	14.84	903.23
3.1	<0.015	1.97	<0.010	0.151	0.338	0.367	4.04	1.62	21.40	8.13	34.48	6.81	64.11	12.79	2.81	219.51	0.01	2.83	153.38
4.1	<0.012	0.97	0.007	<0.090	0.220	0.359	2.25	1.05	16.63	9.14	58.40	17.58	246.50	72.12	15.17	699.61	0.02	1.56	423.67
5.1	<0.010	0.76	<0.008	0.073	0.126	0.079	1.19	0.52	8.06	3.92	22.88	5.90	74.74	20.81	2.26	30.85	0.07	1.03	138.02
6.1	<0.010	0.62	<0.007	0.063	0.100	0.052	0.60	0.28	5.11	2.79	17.94	5.10	70.92	21.29	2.43	7.31	0.33	0.84	124.03
6.2	<0.016	0.74	<0.010	<0.079	<0.067	0.032	0.54	0.22	3.81	2.25	14.28	4.18	56.87	16.63	2.91	8.29	0.35	0.78	98.78
7.1	<0.011	0.47	<0.009	<0.107	0.200	0.407	2.13	1.08	15.87	7.86	40.51	10.00	111.34	21.88	31.96	535.15	0.06	1.07	210.67
8.1	16.920	47.14	5.250	25.610	10.010	1.870	34.27	11.38	133.94	52.01	245.67	56.09	597.51	113.70	36.19	191.44	0.19	106.80	1244.57
9.1	<0.038	1.69	<0.010	0.180	0.170	0.144	1.91	0.67	9.75	4.34	16.41	3.21	31.47	6.60	5.55	96.46	0.06	2.18	74.36
10.1	41.160	99.72	12.770	48.860	11.650	2.320	31.57	10.05	117.86	44.7	197.10	38.94	375.37	68.94	42.83	113.41	0.38	216.48	884.43
11.1	<0.019	2.13	<0.009	<0.098	0.277	0.360	3.10	1.64	26.51	11.72	57.49	12.83	133.61	26.67	4.96	116.43	0.04	2.77	273.57
12.1	<0.010	0.24	<0.008	<0.066	<0.100	0.034	0.59	0.33	2.85	0.732	2.24	0.328	2.61	0.48	13.00	26.46	0.49	0.28	10.15
13.1	<0.011	2.65	<0.010	0.068	0.334	0.287	3.36	1.30	18.04	7.27	33.21	7.26	72.47	13.59	19.74	741.97	0.03	3.34	156.50
14.1	<0.012	1.12	<0.007	0.078	0.169	0.139	2.24	0.92	14.42	7.35	39.57	9.92	116.95	27.94	5.85	27.42	0.21	1.51	219.31
15.1	0.006	0.49	<0.010	<0.085	0.118	0.082	1.03	0.50	6.76	3.64	19.96	5.28	66.12	16.23	1.52	22.85	0.07	0.70	119.52
16.1	<0.025	2.56	<0.017	0.210	0.320	0.309	3.33	1.27	14.39	5.47	21.43	4.07	37.50	7.35	9.55	174.08	0.05	3.40	94.81
17.1	<0.016	0.71	<0.007	<0.084	0.102	0.088	2.07	1.17	14.65	4.72	18.43	3.44	29.84	5.24	20.81	45.58	0.46	0.91	79.56
18.1	<0.020	0.52	<0.007	<0.092	0.104	0.099	1.07	0.47	7.95	4.02	22.98	5.95	73.26	18.33	1.74	24.08	0.07	0.72	134.03
19.1	0.024	5.66	0.191	3.680	7.360	1.790	44.95	15.32	184.93	68.24	284.91	54.88	497.81	88.11	41.54	491.67	0.08	18.70	1239.15
20.1	<0.026	0.83	<0.012	<0.135	<0.119	0.079	1.07	0.50	8.26	4.34	25.30	6.80	86.76	24.17	4.70	31.56	0.15	0.91	157.20
20.2	0.030	1.84	<0.011	<0.190	0.141	0.154	1.38	0.66	10.56	4.90	23.24	4.98	48.93	10.14	8.89	98.48	0.09	2.165	104.79
21.1	0.037	6.69	0.138	3.1200	6.720	1.650	37.04	13.10	149.45	56.21	250.20	51.50	500.46	94.02	54.23	220.7	0.25	18.36	1151.98
22.1	32.990	64.33	6.730	25.330	3.300	0.760	3.86	1.14	15.53	7.92	48.66	13.57	169.62	43.31	6.25	26.45	0.24	133.44	303.61
23.1	<0.012	1.20	<0.011	<0.105	0.270	0.351	2.15	0.92	10.93	3.48	11.93	2.01	16.91	2.93	1.22	114.76	0.01	1.82	51.26
24.1	0.012	0.58	<0.006	<0.121	0.070	0.054	0.70	0.32	5.18	2.76	17.55	4.97	65.99	20.29	1.62	6.82	0.24	0.72	117.76
25.1	0.021	1.91	0.134	2.720	5.580	1.790	28.27	9.52	107.34	39.22	167.41	32.87	321.88	59.92	14.80	114.88	0.13	12.16	766.43
26.1	<0.030	9.57	0.222	3.780	7.530	1.670	49.24	18.73	222.83	81.36	343.61	65.55	593.79	100.84	64.79	379.74	0.17	22.77	1475.95
27.1	<0.010	0.853	<0.0098	<0.096	0.217	0.245	1.45	0.53	6.71	2.87	15.41	3.73	43.51	10.22	9.63	183.87	0.05	1.32	84.43
28.1	<0.010	0.125	<0.0071	<0.089	<0.083	0.048	0.51	0.22	3.55	1.95	12.57	3.68	52.99	15.32	0.31	8.56	0.04	0.17	90.79
29.1	<0.020	0.346	<0.0060	<0.075	<0.081	0.036	0.46	0.25	3.02	0.86	3.13	0.62	6.20	1.38	4.17	14.60	0.29	0.38	15.92
30.1	<0.008	1.133	<0.0091	<0.062	0.248	0.107	1.67	0.72	11.92	6.50	38.92	10.48	131.07	34.84	5.28	14.20	0.37	1.49	236.12

成因特征, 并且在锆石的稀土元素配分图中显示为 HREE 相对亏损的测点对应的年龄值仅分布在(220±2)和(194±1) Ma 集中区, 因此, 不支持区内岩石经历加里东期和印支期两期变质作用的认识。

石榴角闪片麻岩的原岩为基性岩, 但是部分锆石的 CL 图像(图 7-2.1, 8.1)显示残存有碎屑锆石的特征, 其原岩也可能有部分碎屑物质的混入。本文所获该样品的四组年龄值(180±2), (220±3), (480±8)和(552±5) Ma 中, (480±8)与(180±2) Ma 可分别与前人获得的该采样点附近高压基性麻粒岩的年龄值(456±30)和(177±6) Ma 相当。结合前述锆石 CL 图像、Th/U 比值, 尤其是稀土配分特征, 可以认为(480±8) Ma 应代表该岩石原岩的形成时代, (220±3) Ma 应为其变质时代, (180±2) Ma 为其退变质年龄, (552±5) Ma 可能代

表原岩捕获的碎屑锆石的年龄。

基于上述分析, 本文研究获得西昆仑塔什库尔干县东康西瓦构造带一线矽线石榴黑云片麻岩和石榴角闪片麻岩的变质时代分别为(220±2)和(220±3) Ma, 二者在误差范围内完全一致。由于这两种岩石与曲军锋等^[13]、王建平^[14]发现的高压基性麻粒岩和泥质高压麻粒岩产于同一位置或其附近(图 1), 其中, 矽线石榴黑云片麻岩经历了高角闪岩相或麻粒岩相变质, 其早期矿物组合(石榴子石-矽线石-条纹长石-石英)与该泥质高压麻粒岩四个演化阶段中的第二期矿物组合一致^[14]; 石榴角闪片麻岩的矿物组合(石榴子石-角闪石-斜长石-石英)与该高压基性麻粒岩角闪岩相退变质的矿物组合相吻合; 同时, 地质产状及其岩相学特征亦不排除这两种岩石分别是高压基性麻

粒岩和泥质高压麻粒岩退变质的可能性。因此, 其定年结果可有效地用来限定这些高压麻粒岩的峰期变质时代应稍早于(220±2) Ma, 但不会早于矽线石榴黑云片麻岩具有岩浆振荡环带的锆石核部测点给出的年龄值(253±2) Ma, 即本区高压麻粒岩相岩石的峰期变质时代应介于(220±2)~(253±2) Ma 之间。

5.2 原划“布伦阔勒岩群”应进一步划分

长期以来, “布伦阔勒岩群”被认为是属于喀喇昆仑地层区的基底单元, 并依据岩石变质程度以及前苏联学者在西南帕米尔地区的同位素测年结果全部将其归为古元古代。前已述及, 依据 1:25 万区调地质资料, 塔什库尔干附近“布伦阔勒岩群”岩石组合可分为磁铁石英岩、斜长角闪片麻岩、矽线石榴片岩-石英岩和大理岩四个岩石地层单元。其中, 磁铁石英岩组合分布于塔什库尔干县城西偏北一带的塔合曼、乔普卡里莫、老井等地; 斜长角闪片麻岩主体分布在达布达尔等中部与偏南部; 矽线石榴片岩-石英岩和大理岩单元主体分布在塔什库尔干县城以东地区。

考虑到磁铁石英岩组合是古元古代的一个典型建造, 具有全球对比意义, 以及新近计文化等^[30]在区内达布达尔一带斜长角闪片麻岩岩石组合中发现了一套原岩由玄武岩、玄武安山岩夹流纹岩组成的火山岩地层, 并对其中流纹岩进行了锆石 LA-ICP-MS 定年获得其形成年龄为(2481±14) Ma, 因此, 把这两个岩石组合单元的形成时代归属为古元古代是合适的。然而, 对于分布在塔什库尔干县城东一带的矽线石榴片岩-石英岩岩石组合单元, 依据本文前述已获得的以及曲军锋等^[13]和张传林等^[8]已发表的锆石 U-Pb 年代学数据, 显然不能将其沉积时代继续划归古元古代, 而应从原划的古元古代“布伦阔勒岩群”中划分出来。

5.3 构造地质意义

康西瓦断裂构造带的研究已经持续了三十多年, 但对其性质及其形成时代仍存在争议。早期, 常承法^[31,32]在分析青藏高原构造时将昆仑构造区作为青藏高原最北部的一个构造单元, 首次提出区内存在着缝合线; 潘裕生^[16,33]进一步将西昆仑构造区细化, 根据详细的野外地质资料以及三十里营房和赛图拉地区的闪长岩与花岗闪长岩中黑云母的 Rb-Sr 等时线年龄值(分别为 539 和 215 Ma)^[34], 首先明确提出

了库地构造带和康西瓦构造带为两条缝合带的认识, 据此将西昆仑三分为北昆仑构造带、中昆仑构造带和南昆仑构造带, 并倾向于认为康西瓦缝合带形成于印支期; 与此同时, 姜春发等^[35]也认为昆仑造山带虽然经历了加里东、晚华力西和印支三期压缩运动, 但是促使洋盆最终封闭和产生强烈变形的却是印支运动。而近年来, 伴随该构造带东段(康西瓦附近)麻粒岩^[20]与孔兹岩^[21]以及西段(塔什库尔干县东)基性高压麻粒岩和泥质高压麻粒岩^[13,14]的陆续发现, 该构造带具有板块(或微陆块)俯冲-碰撞边界的属性已趋共识, 但对其形成时代仍有加里东期和印支期的严重分歧^[8,13~15,20,21], 其争议的核心问题是对于这些高角闪岩相-麻粒岩相岩石的变质时代的准确确定。

前已述及, 本文定年结果有效地约束了该构造带西段塔什库尔干地区高压麻粒岩的峰期变质时代为(220±2)与(253±2) Ma 之间的印支期。而在该构造带东段的康西瓦附近, 许志琴等^[21]依据对孔兹岩中锆石的 SHRIMP 定年结果, 认为其形成于加里东期并受到印支期的改造。但是, 该文所获得的锆石 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄值分别集中于(197~214), (245~256), (428~492)和(618~718) Ma 之间。其中, 197~214 Ma 集中区的年龄值的测点位于锆石的增生边上, Th/U 比值小于 0.1; 而 245~256 与 428~492 Ma 两个集中区的锆石测点均具有清楚的晶体生长环带特征(详见文献[21]中的图 6 及其描述), 且其 Th/U 比值除一个测点外, 均大于 0.3 (详见文献[21]中的表 2 及其描述)。据此, 可以认为把康西瓦附近孔兹岩锆石 SHRIMP 定年数据中具有清晰晶体生长环带特征的测点年龄值(245~256 与 428~492 Ma)解释为变质成因是值得商榷的, 而真正符合变质成因锆石特征的年龄值应为 197~214 Ma。另外, 已有资料表明, 沿赛力亚克大坂^[22]和康西瓦一带^[17,33,35]出露的一套主要由三叠系砂页岩组成, 并混杂大量石炭-二叠系等不同时代灰岩的岩石组合可能为增生杂岩, 根据双壳类化石确定其沉积时代为三叠纪。依据这些地质资料综合分析, 康西瓦断裂构造带东段孔兹岩/麻粒岩相岩石与西段高压麻粒岩相岩石的变质时代可能是一致的, 均为三叠纪, 其形成可能与古特提斯洋在本区闭合消减相关。而且, 康西瓦构造带的中部(库地南、麻扎、三十里营房)和东部(康西瓦南)等地发育的形成时代为 180~225 Ma 之间的岛弧型或碰撞型花岗岩^[16,34~40]的资料, 也进一步支持康西瓦断裂构造

带形成于印支期的认识.

6 结论

(1) 西昆仑塔什库尔干县城以东出露的矽线石榴黑云片麻岩与石榴角闪片麻岩经历了高角闪岩相或麻粒岩相的变质作用, 其变质时代分别为 (220 ± 2) 和 (220 ± 3) Ma. 由于所采样品与已报道的基性高压麻粒岩和泥质高压麻粒岩产于同一位置或其附近, 而且其变质矿物组合又分别与这些高压麻粒岩相岩石的高角闪岩相或角闪岩相退变质阶段的矿物组合相

当, 因此限定本区高压麻粒岩的峰期变质时代应介于 220~253 Ma 之间.

(2) 西昆仑塔什库尔干县城以东矽线石榴黑云片麻岩的原岩沉积时代不早于 (253 ± 2) Ma, 石榴角闪片麻岩的原岩形成时代约为 (480 ± 8) Ma. 这一结果与本区已有的年代学资料^[8,13-15]共同表明, 塔什库尔干地区“布伦阔勒岩群”中的矽线石榴片岩-石英岩岩石组合单元的形成时代不是古元古代, 应从中解体出来.

(3) 康西瓦断裂构造带的西段和东段应作为一个整体, 是古特提斯洋盆于中晚三叠纪在本区最终闭合形成的.

致谢 柳小明和第五春荣协助进行了锆石 LA-ICP-MS U-Pb 的测年工作, 三位审稿人提出了非常重要的修改意见, 在此一并表示感谢.

参考文献

- 1 潘裕生. 昆仑山区构造区划初探. 自然资源学报, 1989, 4: 196-203
- 2 潘裕生, 周伟明, 许荣华, 等. 昆仑山早古生代地质特征与演化. 中国科学 D 辑: 地球科学, 1996, 26: 302-307
- 3 潘裕生, 李幼铭, 李立敏, 等. 喀喇昆仑山-昆仑山地区地质演化. 北京: 科学出版社, 2000. 21-98
- 4 姜春发, 王宗起, 李锦铁, 等. 中央造山带开合构造. 北京: 地质出版社, 2000. 47-68
- 5 陆松年, 于海峰, 赵凤清, 等. 青藏高原北部前寒武纪地质初探. 北京: 地质出版社, 2002. 21-33
- 6 潘桂棠, 王立全, 尹福光, 等. 从多岛弧盆系研究实践看板块构造登陆的魅力. 地质通报, 2004, 23: 933-939
- 7 潘桂棠, 丁俊, 姚东生, 等. 1:150 万青藏高原及邻区地质图说明书. 成都: 成都地图出版社, 2004. 1-10
- 8 张传林, 陆松年, 于海峰, 等. 青藏高原北缘西昆仑造山带构造演化: 来自锆石 SHRIMP 及 LA-ICP-MS 测年的证据. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2007, 37: 145-154
- 9 李荣社, 计文化, 杨永成, 等. 昆仑山及邻区地质. 北京: 地质出版社, 2008. 1-5
- 10 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 新疆维吾尔自治区区域地质志. 北京: 地质出版社, 1982. 14-15
- 11 Matte P, Tapponnier P, Arnaud N, et al. Tectonics of Western Tibet, between the Tarim and the Indus. Earth Planet Sci Lett, 1996, 142: 311-330
- 12 Mattern F, Schneider W. Suturing of the Proto- and Paleo-Tethys oceans in the western Kunlun (Xinjiang, China). J Asian Earth Sci, 2000, 18: 637-650
- 13 曲军峰, 张立飞, 艾永亮, 等. 西昆仑塔什库尔干高压麻粒岩 PT 轨迹、SHRIMP 锆石定年及其大地构造意义. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2007, 37: 429-441
- 14 王建平. 西昆仑塔什库尔干混杂岩地质特征及其大地构造意义. 博士学位论文. 北京: 中国地质大学, 2008. 74-84
- 15 王建平. 西昆仑塔什库尔干混杂岩的地质特征及其大地构造意义. 地质通报, 2008, 27: 2057-2066
- 16 潘裕生, 王毅, Matte P H, 等. 青藏高原叶城-狮泉河路线地质特征及区域构造演化. 地质学报, 1994, 68: 295-307
- 17 肖文交, 侯泉林, 李继亮, 等. 西昆仑大地构造相解剖及其多岛增生过程. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2000, 30(增刊): 21-28
- 18 Xiao W J, Windley B F, Hao J, et al. Arc-ophiolite obduction in the western Kunlun range (China): Implications for the Palaeozoic evolution of central Asia. J Geol Soc London, 2002, 159: 517-528
- 19 Xiao W J, Windley B F, Liu D Y, et al. Accretionary tectonics of the western Kunlun orogen, China: A Paleozoic early Mesozoic, long-lived active continental margin with implications for the growth of southern Eurasia. J Geol, 2005, 113: 687-705
- 20 杨坤光, 刘强, 张传林, 等. 西昆仑康西瓦断裂带新发现的麻粒岩. 地质科技情报, 2003, 22: 100-104
- 21 许志琴, 戚学祥, 刘福来, 等. 西昆仑康西瓦加里东期孔兹岩系及地质意义. 地质学报, 2004, 78: 733-743
- 22 王东安. 西昆仑赛力亚克混杂堆积中砂岩块体的主要特点. 岩石学报, 1995, 11: 93-100
- 23 李博泰, 计文化, 边小卫, 等. 西昆仑麻扎构造混杂岩的组成及其地质意义. 现代地质, 2007, 21: 78-85
- 24 张传林, 于海峰, 王爱国, 等. 西昆仑西段三叠纪两类花岗岩年龄测定及其构造意义. 地质学报, 2005, 79: 645-652

- 25 Andersen T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb . *Chem Geol*, 2002, 192: 59–79
- 26 Yuan H L, Gao S, Liu X M, et al. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry. *Geostand Geoanalyst Res*, 2004, 11: 353–370
- 27 Rubatto D, Gebauer D. Use of cathodoluminescence for U-Pb zircon dating by ion microprobe: Some examples from the western Alps. In: Pagel M, Barbin V, Blanc P, et al, eds. *Cathodoluminescence in Geoscience*. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2000. 373–400
- 28 Rubatto D. Zircon trace element geochemistry: Partitioning with garnet and the link between U-Pb ages and metamorphism. *Chem Geol*, 2002, 184: 123–138
- 29 Whitehouse M J, Platt J P. Dating high-grade metamorphism- constraints from rare-earth elements in zircons and garnet. *Contrib Mineral Petrol*, 2003, 145: 61–74
- 30 Ji W H, Li R S, Chen S J, et al. The discovery of Palaeoproterozoic volcanic rocks in the Bulunkuoler Group from the Tianshuihai Massif in Xinjiang of Northwest China and its geological significance. *Sci China Earth Sci*, 2011, 54: 61–72
- 31 常承法, 郑锡澜. 中国西藏南部珠穆朗玛峰地区地质构造特征以及青藏高原东西向诸山系形成的探讨. *中国科学 A 辑*, 1973, 16: 190–203
- 32 常承法, 潘裕生, 郑锡澜, 等. 青藏高原地质构造. 北京, 科学出版社, 1982. 77–81
- 33 潘裕生. 西昆仑山构造特征与演化. *地质科学*, 1990, 25: 224–232
- 34 张玉泉, 谢应雯. 三十里营房地区花岗岩类 Rb-Sr 等时年龄研究. *自然资源学报*, 1989, 4: 222–227
- 35 姜春发, 杨经绥, 冯秉贵, 等. 昆仑开合构造. 北京: 地质出版社, 1992. 58–217
- 36 汪玉珍, 方锡廉. 西昆仑山、喀喇昆仑花岗岩类时空分布规律的初步探讨. *新疆地质*, 1987, 5: 9–24
- 37 方锡廉, 汪玉珍. 西昆仑加里东期花岗岩类浅识. *新疆地质*, 1990, 8: 153–158
- 38 李永安, 李向东, 孙东江, 等. 中国新疆西南部喀喇昆仑羌塘地块及康西瓦构造带构造演化. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1995. 1–100
- 39 袁超, 孙敏, 李继亮. 西昆仑中带两个花岗岩岩体的年龄和可能的源区. *科学通报*, 1999, 44: 534–538
- 40 毕华, 王中刚, 王元龙, 等. 西昆仑造山带构造-岩浆演化史. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 1999, 29: 398–406