



北祁连山西段北大河岩群碎屑锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究

李怀坤¹⁾, 陆松年¹⁾, 相振群¹⁾, 周红英^{1,2,3)}, 李惠民¹⁾, 刘敦一³⁾, 宋彪³⁾, 郑健康⁴⁾, 顾瑛⁴⁾

1) 中国地质调查局天津地质矿产研究所, 天津, 300170;

2) 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京, 100083;

3) 北京离子探针中心, 北京, 100037; 4) 青海省地质调查院, 西宁, 810012

内容提要:白云母石英片岩中碎屑锆石的成因矿物学研究及 SHRIMP U-Pb 同位素年龄测定表明, 北大河岩群变质沉积岩的蚀源区存在 1400 ~ 3035 Ma 构造热事件, 除了年龄为约 2457 Ma 的变质事件外, 主要表现为岩浆事件, 其中以 1800 Ma 左右的岩浆事件最为强烈, 1400 ~ 1700 Ma 事件次之, 中-新太古代的岩浆事件也比较明显; 北大河岩群可能遭受过 863 Ma 左右的变质作用影响, 其沉积岩的沉积作用发生于 1400 Ma (最小的碎屑锆石年龄) 至 863 Ma (变质年龄) 之间, 而不是前人所认为的古元古代; 根据 46% 的碎屑锆石为 1800 Ma 左右这一事实, 最起码可以肯定北大河岩群的沉积年龄新于 1800 Ma; 北大河岩群的蚀源区存在中-新太古代的古老陆壳。同时, 北大河岩群碎屑锆石年龄资料也为朱龙关群蛇绿岩的形成时代提供了有力的制约: 朱龙关群蛇绿岩很可能形成于早古生代, 而非中元古代早期。

关键词: SHRIMP 年龄; 碎屑锆石; 北大河岩群; 北祁连山

沉积岩或变质沉积岩中碎屑锆石成因矿物学及年龄谱的研究可以提供蚀源区构造热事件演化、地层时代和沉积作用年龄等丰富的信息。随着 SHRIMP 和 LA - ICP - MS 测试技术的进展, 对单个样品中众多碎屑锆石的微区测年已成为现实。近年来, 国内、外对沉积岩及中-低级变质沉积岩中碎屑锆石测年成果日趋增多 (Feng et al., 1993; Machado and Gauthier, 1996; Wan et al., 2003; Valladares et al., 2004; 陆松年等, 2006)。本文主要根据新近获得的北大河岩群碎屑锆石的成因矿物学研究及 SHRIMP U-Pb 年龄资料对北大河岩群的形成时代以及研究区内其他相关地质问题予以讨论。

1 研究区地质背景及前人的年代学工作

北祁连山北濒阿拉善 - 龙首山地块, 南接中祁连 - 全吉地块, 西端以阿尔金断裂为界与敦煌地块相望; 主体自西向东沿走廊南山、托赖山、大通北山、大坂山、白银等地展布。敦煌地块为塔里木地块的

一部分, 其前寒武纪基底包括丰富的新太古代 - 震旦纪的地质体, 而且有含年龄为 > 3.6 Ga 继承锆石的花岗片麻岩, 表明塔里木地块可能存在始太古代的古老基底 (梅华林等, 1998; 李惠民等, 2001; 陆松年等, 2002, 2003, 2006)。北祁连山以南的中祁连 - 全吉地块 (北界为北祁连造山带, 南界为柴达木北缘早古生代造山带——王惠初等, 2005) 近年来前寒武纪基底研究进展比较大, 地层系统有很大的变化, 前人所建立的属于古元古代的地层多数需要重新厘定, 多数可能为中元古代以后的产物。根据近年来研究成果, 尤其是根据本文作者尚未发表的碎屑锆石 SHRIMP 测年资料, 除了德令哈附近还存在古元古代的岩层之外, 其他如化隆群和托赖岩群以及除了德令哈一带以外的柴北缘其他地区的原“达肯达坂群”很可能都是中元古代或更晚期的产物, 而野马南山群的时代目前尚没有可靠的年龄资料佐证 (陆松年等, 2002, 2006)。全吉地块前寒武纪基底包括古元古代德令哈杂岩、古元古界达肯大板岩群、中元古界万洞沟群和南华系一震旦系全吉群; 中

注: 本文为国土资源大调查项目 (编号 200313000060, 1212010560801-04) 和国家自然科学基金资助项目 (编号 40032010-C, 40373032) 的成果。

收稿日期: 2006-09-10; 改回日期: 2006-11-15; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 李怀坤, 男, 1963 年生, 博士, 研究员。从事前寒武纪地质和同位素地质年代学研究。通讯地址: 300170, 天津市河东区大直沽八号路 4 号; 电话: 022 - 24023571; Email: tjlhuaikun@egs.gov.cn。

祁连山东段前寒武纪基底自老到新包括中元古界化隆岩群、中—新元古界湟源群和南华系—震旦系湟中群,中祁连西段自老到新为古元古界野马南山岩群(?)、中元古界托赖岩群、党河群和托赖南山群、新元古界龚岔群和南华系—震旦系多岩诺尔群。

北祁连发育中国最典型的早古生代板块缝合带(图 1)。长期以来,地学界对北祁连造山带早古生代造山作用给予了极大的关注,取得了丰硕的成果(冯益民等,1995;宋述光,1997;夏林圻等,2003;肖序常等,1978;许志琴等,1994;张建新,1997;张旗等,1997)。但是,对北祁连造山带内前寒武纪基底的研究则相对很薄弱,目前对前寒武纪基底的很多认识还很不清楚,尤其是在地层时代上还缺乏可靠的同位素年龄依据。前人将北祁连缝合带内的前寒武纪地质体自下而上划分为古元古代北大河群、中元古代朱龙关群和镜铁山群、新元古代大柳沟群和白杨沟群。必须指出,这种按叠置地层学方法在造山带中建立起来的地层层序往往既缺乏自然的地层接触关系方面的依据,又没有准确和可靠的同位素

年龄数据的制约。迄今为止,北祁连造山带内前寒武纪地层时代所依据的是少数几个精度和准确度及可靠性均较差的 Rb-Sr 和 Sm-Nd 等时线年龄:例如,汤光中等(1979)、黄得征等(1984)获得北大河岩群全岩 Rb-Sr 等时线年龄分别为 1336 Ma 和 1166 Ma (见张招崇等,1998);也见文献中提及北大河岩群变质岩 Sm-Nd 等时线年龄 2001 Ma (张招崇等,1998),但未见原始数据公开报道;镜铁山群碧玉岩的 Sm-Nd 等时线年龄 1309 ± 80 Ma (杨合群等,1999);朱龙关群火山岩 Sm-Nd 等时线年龄 1771 ± 333 Ma (徐晓春等,1996)。另见少量锆石 U-Pb 年龄数据,例如熬油沟蛇绿岩(朱龙关群)中辉绿岩的锆石 U-Pb 蒸发法年龄 1840 ± 2 Ma、 1784 ± 2 Ma 和 1783 ± 2 Ma (毛景文等,1997),SHRIMP 法年龄 1777 ± 28 Ma (张招崇等,2001),但是这些锆石 U-Pb 年龄数据的地质意义尚值得商榷(见下文)。根据作者近年来研究资料,北祁连造山带的前寒武纪基底中的北大河岩群和朱龙关群的时代应该重新厘定。

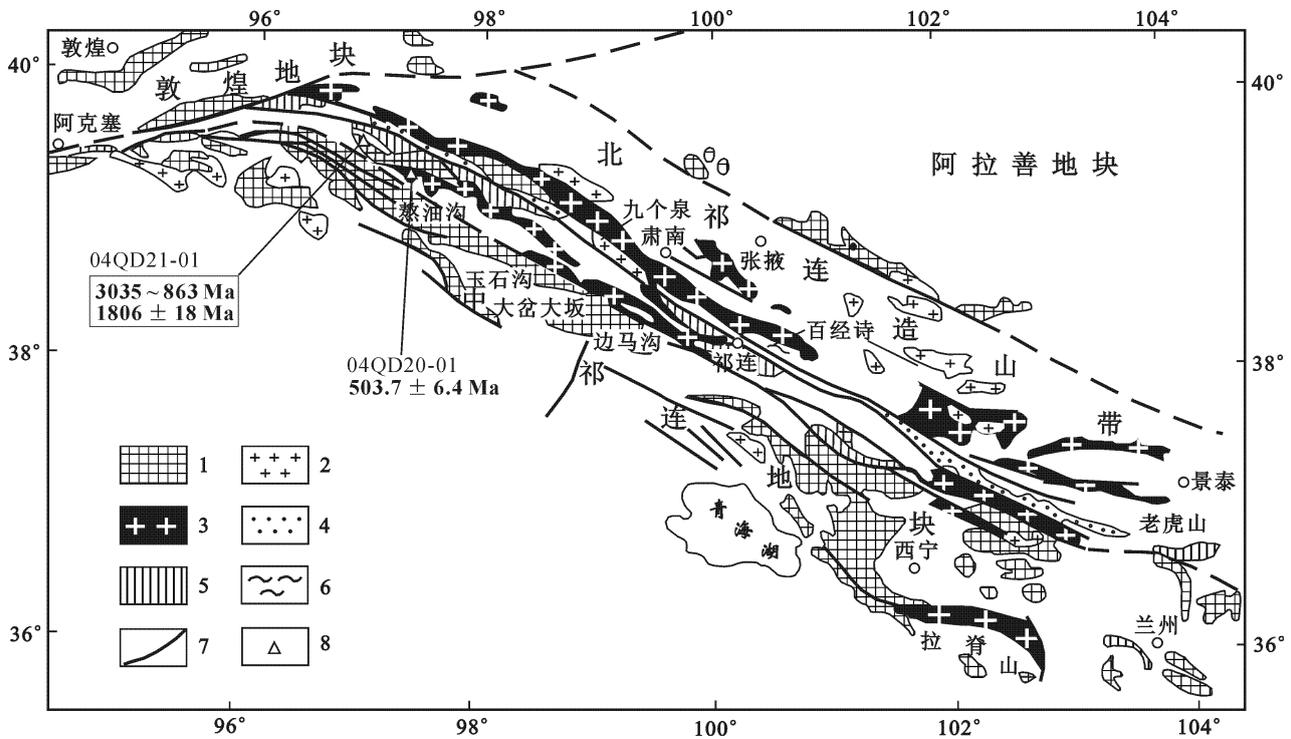


图 1 北祁连地质构造略图和采样位置

Fig. 1 Sketch map showing the geological and tectonic framework of the north Qilian Mountains and sampling localities

- 1 - 前寒武纪基底; 2 - 花岗岩; 3 - 蛇绿混杂岩; 4 - 岛弧火山岩组合; 5 - 双峰式火山岩; 6 - 蓝片岩; 7 - 断层; 8 - 采样位置
- 1 - Precambrian basement; 2 - granite; 3 - ophiolitic mélangé; 4 - island arc volcanic suite;
- 5 - bimodal volcanic rock; 6 - blueschist; 7 - fault; 8 - sampling locality

北大河岩群是北祁连山带西段最古老的变质结晶岩系。呈三条宽窄不一的微陆块形式残存于北祁连山带内部,其中北带西起鱼儿红以东,经石油河至祁连山主峰北麓一带分布,该微陆块长达 160 km,宽约 14 km;中带西起石油河脑至吊大坂一带分布,长达 60 km,最宽处为 10 km,呈菱形短轴状;南带西起香毛山南柳沟峡经黑达坂至二指哈拉达坂一带分布,东西向长达 160 km。另外,在野马滩一带,北大河岩群呈大小不一的块体残存于中祁连隆起带(付国民等,2005)。其中镜铁山矿区以北狼尾山一带发育较好,南段以含石墨大理岩为主夹云母片岩;北段由变粒岩、黑云母片岩及斜长角闪岩组成。原岩为碳酸盐岩、复理石和基性火山岩。地层普遍受到绿帘角闪岩相变质,具固态流变特征的紧闭褶皱和勾状无根褶皱发育。甘肃地层表(1980)首次将其命名为北大河群,并将其归为前震旦亚界(当时震旦亚界是指形成于 $615 \pm 20 \text{ Ma} \sim 1950 \pm 50 \text{ Ma}$ 之间的地层——王曰伦等,1980)。甘肃省区域地质志(1989)利用其全岩岩石化学恢复了其原岩的组成。对北大河岩群地球化学特征和形成构造背景的研究资料很少,而且有不同认识:①形成于裂隙槽环境(张招崇等,1998),②洋壳俯冲消减带之上的岩浆弧环境(付国民等,2005)。汤光中等(1979)和黄得征等(1984)在该群的狼尾山剖面中测得全岩 Rb-Sr 等时线年龄分别为 1336 Ma 和 1166 Ma(见张招崇等,1998);毛景文等(2003)获得 Sm-Nb 等时线年龄 $1980 \pm 0.27 \text{ Ma}$,并认为其代表北大河群的成岩年龄。

根据岩性组合和变质特点,可将北大河岩群分为四个岩组,自下而上依次为(张招崇等,1998):

A 组:主要出露于托莱山南坡及祁连山主峰,由黑云斜长片麻岩、含石榴子石角闪斜长岩、斜长角闪岩夹二云石英片岩组成,属低角闪岩相,原岩为火山岩-复理石建造。

B 组:主要出露于祁连山主峰地区及托莱山西段,由各类片岩夹条带状大理岩、黑云斜长片麻岩组成,属低角闪岩相和高绿片岩相,原岩属碳酸盐岩-复理石建造。同 A 组及 C 组之间均为整合接触。

C 组:主要出露于走廊南山,由碳酸盐岩夹白云母片岩和条带状磁铁矿等组成,属高绿片岩相,原岩为碎屑岩或粘土岩-富镁铁碳酸盐岩建造。与 D 组呈整合接触关系。

D 组:出露比较零星,主要分布于祁连山主峰及其南北坡,由各类片岩、斜长角闪岩、透闪透辉石岩、

浅粒岩、石英岩、大理岩、千枚岩和变质砂岩组成。属高-低绿片岩相,其原岩为火山岩-类复理石建造。

2 样品特征

测年样品——白云母石英片岩(样品编号:04QD21-01)采自北祁连西段吊大坂-土大坂之间(镜铁山矿-嘉峪关之间)(地理坐标: $N39^{\circ}24.540'$, $E97^{\circ}37.877'$)(图 1)。该处所见北大河岩群为含石榴二云母片麻岩、黑云母石英片岩、绿泥石片岩、白云母石英片岩等,见有石榴辉石岩透镜体,有基性岩脉侵入。片理膝折构造和褶皱理构造十分发育。基性岩脉亦已遭受强烈褶皱变形改造。

显微镜下观察,白云母石英片岩主要由石英($60\% \pm$)、白云母($20\% \sim 25\%$)、绿泥石($5\% \sim 10\%$)、长石($< 5\%$)、方解石($< 5\%$)、磁铁矿($< 5\%$)组成。粒径 $0.05 \text{ mm} \sim 0.25 \text{ mm}$,磁铁矿可达 $0.25 \text{ mm} \sim 0.7 \text{ mm}$ 。副矿物有锆石、磷灰石和黄铁矿。岩石具有变余细砂结构和鳞片粒状变晶结构、变余层理构造和片状构造(图 2)。

3 实验方法

野外采集新鲜的白云母石英片岩样品约 15 kg,经过样品表面清洗、碎样至 80 目,然后经淘选、重液分离和电磁分选等多种方法分离锆石。随机挑选锆石约 200 粒制靶,打磨和抛光后,拍摄锆石反射光和透射光照片、阴极荧光图像(CL)。然后进行 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄测定。制靶在北京离子探针中心完成锆石的阴极发光图像照相在北京离子探针中心利用日立 S3000 型扫描电镜完成,配置的是 GATAN 公司的 CHROMA 型阴极荧光探头。

锆石微区原位 U-Pb 同位素测定在北京离子探针中心利用高灵敏度高分辨率离子探针(SHRIMP II)完成,详细分析流程及原理参见 Compston et al. (1984,1992)和宋彪等(2002)。测试过程中采用标准锆石 TEMORA 1(Black et al.,2003)(参考年龄为 417 Ma)进行同位素分馏校正,使用标准锆石 SL13(参考年龄为 572 Ma,U 含量为 238×10^{-6})标定所测锆石的 U、Th 和 Pb 的含量。应用 SQUID1.0 和 Isoplot 程序进行数据处理,采用锆石样品中实际测得的 ^{204}Pb 进行普通 Pb 校正。鉴于所测定的是碎屑锆石,为了具有代表性,尽量进行逐个锆石测定,当然要避开不适合 U-Pb 测年锆石(表面不洁净、有裂缝、有包裹体)。

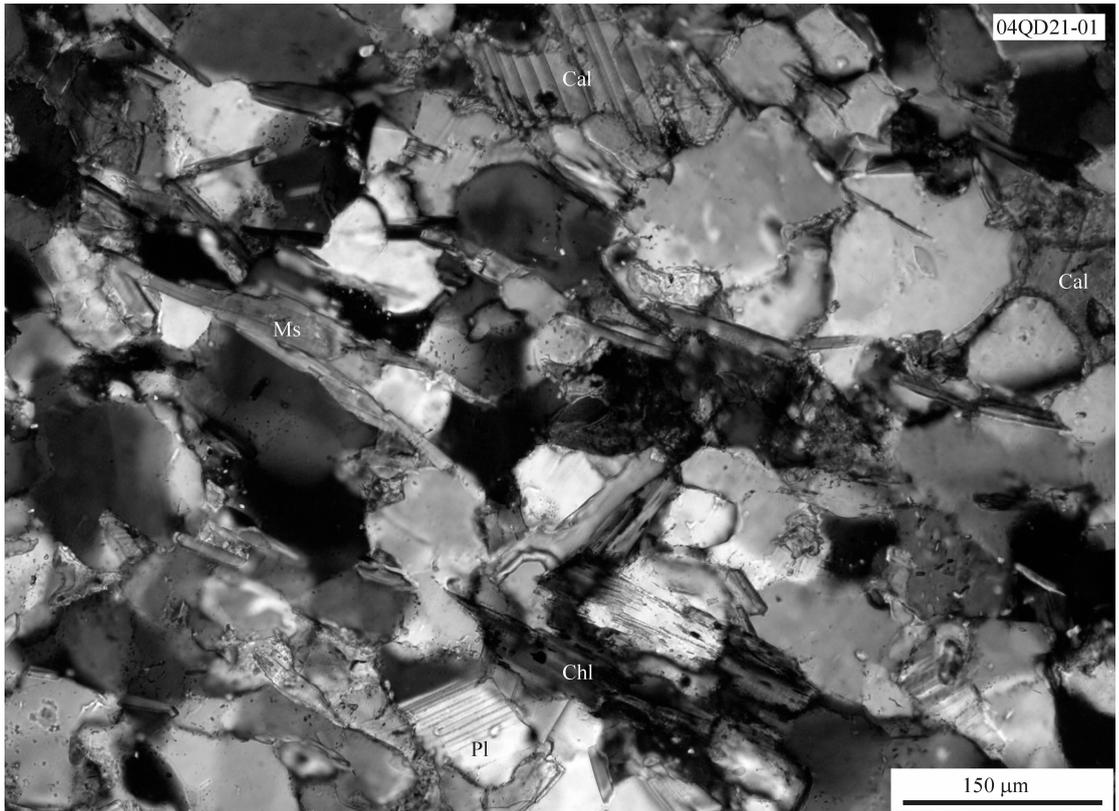


图 2 北祁连山西段北大河岩群白云母石英片岩显微照片

Fig. 2 Microphotograph of the muscovite quartz schist of the Beidahe Complex-Group in the Western Segment of the North Qilian Mountains

除了图中标示出的 Pl - 斜长石、Chl - 绿泥石、Cal - 方解石、Ms - 白云母以外,岩石主要由石英组成。石英颗粒重结晶作用强烈,局部(与图的右边的方解石接触处)尚可见浑圆状碎屑石英颗粒

The rock is dominantly composed of quartz, except plagioclase (Pl), chlorite (Chl), calcite (Cal) and muscovite (Ms) as labeled in the diagram. Most quartz grains have been strongly recrystallized. Perfectly round detrital quartz grains (as the one by the calcite grain near the right boundary of the picture) are rare

4 实验结果及讨论

从测年样品白云母石英片岩中选出的锆石为粒径 $50\ \mu\text{m} \sim 100\ \mu\text{m}$ 、圆度普遍很好的短柱状或浑圆状碎屑锆石,阴极荧光照相显示为多来源的锆石——锆石内部结构、以及 Th 和 U 含量和比值差异较大 ($\text{Th} = 40 \times 10^{-6} \sim 552 \times 10^{-6}$, $\text{U} = 117 \times 10^{-6} \sim 1076 \times 10^{-6}$, $\text{Th}/\text{U} = 0.04 \sim 1.32$), 阴极荧光亮度差异较大(图 3, 表 1)。

总共测定了 26 个锆石微区同位素年龄数据(表 1, 图 4), 其中大约有一半的数据点具有基本谐和的 U-Pb 同位素年龄, 其他数据点显示不同程度的放射成因 Pb 丢失。结果显示样品中碎屑锆石具有从 3035 Ma ~ 863 Ma ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄) 的很大的年龄谱范围, 包括 1 个 3035 Ma 的数据点、1 个 2810 Ma 左右数据点、3 个 2620 Ma 左右数据点、1

个 2457 Ma 左右数据点、7 个 1700 ~ 1400 Ma 数据点、1 个 863 Ma 数据点, 另外 12 个点具有比较一致的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄, 其中 6 个点拟合的一条不一致线与谐和线的上交点年龄为 $1806 \pm 18\ \text{Ma}$ (2σ)。

在所测定的北大河岩群白云母石英片岩碎屑锆石年龄谱中, 年龄为 1800 Ma 左右的有 12 个(测点 1.1, 4.1, 5.1, 7.1, 8.1, 9.1, 10.1, 14.1, 14.2, 15.1, 16.1, 18.1), 占 46%, 多数为内部具有清楚的振荡生长环带和具有较高 Th/U 比值 (> 0.2) 的岩浆锆石, 其中 6 个点拟合的一条不一致线的上交点年龄为 $1806 \pm 18\ \text{Ma}$ (2σ), 表明北大河岩群沉积物源区存在很强烈的 1800 Ma 左右岩浆事件记录; 7 个 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄为 1400 ~ 1700 Ma 测点 (6.1, 11.1, 13.1, 13.2, 17.1, 20.1, 22.2) 的锆石 (占全部测点的 27%), 也多为内部显示振荡生长环带和具

有较高 Th/U 比值(0.25 ~ 1.19)的岩浆锆石; $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄为 863 Ma 的测点(22.1)(图 3b)位于锆石的变质增生壳部分,阴极荧光显示为在相对较亮的核的基础上的黑色的变质增生壳,具有高 U 含量(740×10^{-6})和低 Th/U 比值(0.06)的特点,可能代表北大河岩群所遭受的一次变质事件的年龄; $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄为 2457 Ma 的锆石(2.1)为典型的变质锆石,具有很高的 U 含量(1076×10^{-6})和很低的 Th/U 比值(0.04),但是它本身也是一颗碎屑锆石,呈浑圆状,阴极荧光很弱,表现为荧光图像很暗,锆石内部无环带结构,2457 Ma 记录的可能是北大河岩群碎屑岩的物源区岩石所遭受的一次变质事件的年龄信息(图 3c);另外测得了两粒中太古代的锆石, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄分别为 2810 Ma(19.1)和 3035 Ma(3.1),以及 3 个 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄加权平均值为 2624 ± 8 Ma 的新太古代的锆石(12.1, 21.1, 21.2),这些中-新太古代的锆石均是不同程度地保留振荡生长环带、Th/U 比值较高的岩浆锆石(占全部测点的 19%)。综上所述,可以得出如下认识:

(1)北大河岩群沉积岩的蚀源区存在 1400 ~

3035 Ma 构造热事件,除了年龄为 2457 Ma 左右的变质事件外,主要表现为岩浆事件,其中以 1800 Ma 左右的岩浆事件最为强烈,1400 ~ 1700 Ma 事件次之,中-新太古代的岩浆事件也比较明显。

(2)北大河岩群可能遭受过 863 Ma 左右的变质作用影响——测点处很低的 Th/U 比值(0.06)和不具环带结构的 CL 图像特征表明为变质成因锆石;根据北大河岩群之上还有巨厚的变质变形程度较弱的中元古代镜铁山群、新元古代大柳沟群和白杨沟群,推测北大河岩群不会新于中元古代晚期,因此推测年龄为 863 Ma 左右的变质锆石可能是在北大河岩群遭受的一次变质事件过程中形成的。

(3)北大河岩群沉积岩形成于 1400 Ma(最小的碎屑锆石年龄)至 863 Ma(变质年龄)之间,而不是前人所认为的古元古代;即使退一步讲,最起码根据 46% 的碎屑锆石为 1800 Ma 左右这一事实,可以肯定北大河岩群的年龄新于 1800 Ma;祁连-全吉地块上的前寒武纪变质基底的 Nd 同位素研究成果也支持北大河岩群可能为古元古代之后的产物(Wan et al., 2006);另外,我们新近获得的祁连-全吉地块上的化隆岩群、托赖岩群变质碎屑岩的碎屑锆石

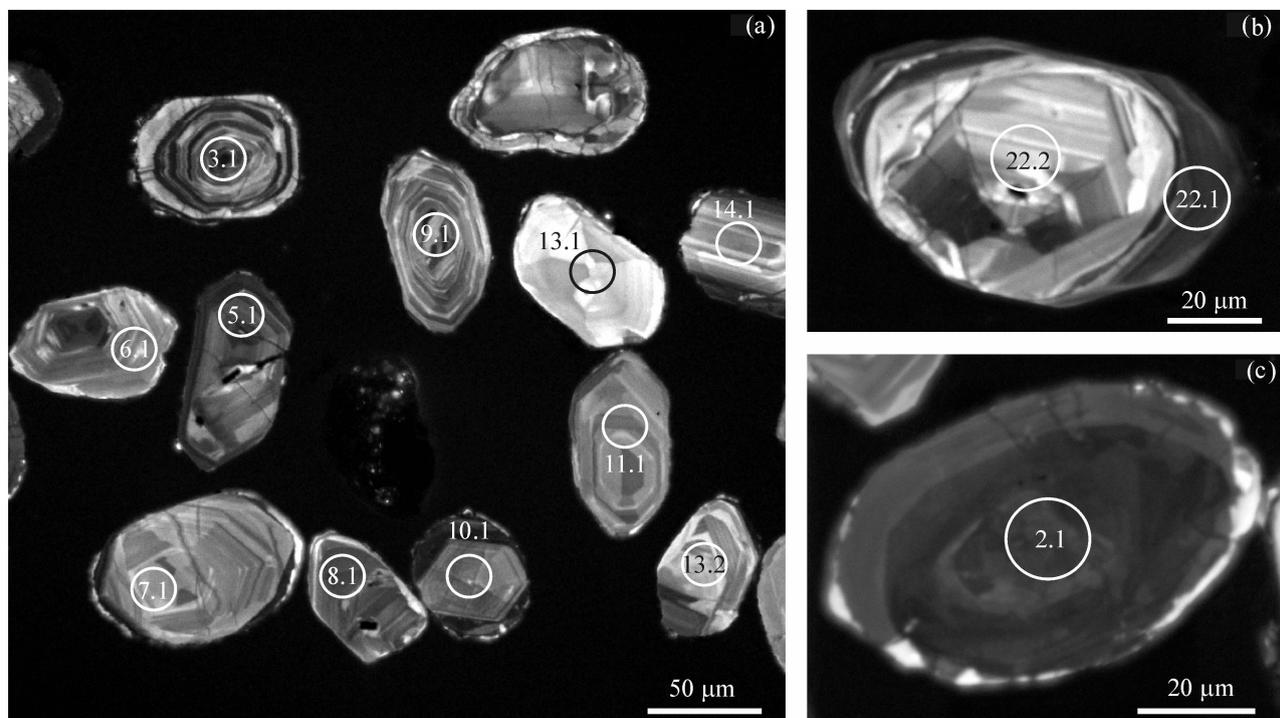


图 3 北大河岩群白云母石英片岩碎屑锆石阴极荧光图像(a),一颗具有变质增生壳的锆石(b)和一个原为变质锆石的碎屑锆石(c)

Fig. 3 Cathodoluminescence images of the detrital zircons from the muscovite quartz schist of the Beidahe Complex-Group (a), a zircon crystal with metamorphic growth (b) and a detrital zircon of metamorphic origin (c)

年龄谱均以 1800 Ma 的峰值占统治地位为特征,似乎说明了区内原来划分的古元古代岩层普遍存在时代定义偏老的问题。

(4)北大河岩群的蚀源区存在中-新太古代的古老陆壳,但是迄今为止在祁连地块上尚未发现具有可靠年龄依据的老于 1800 Ma 的基底岩石。

另一方面,北大河岩群白云母石英片岩碎屑锆石年龄资料也为区内朱龙关群形成时代提供了有效的制约。毛景文等(1997)通过对朱龙关群上岩组辉绿岩中锆石的蒸发法 U-Pb 同位素年龄测定获得了 1840 ± 2 Ma、 1783 ± 2 Ma 和 1784 ± 2 Ma 三个年龄,并将朱龙关群上岩组划归中元古代早期;张招崇等(2001)对毛景文等(1997)研究的样品再次利用 SHRIMP U-Pb 同位素测年法获得了 4 组锆石年龄数据: 2561 ± 19 Ma、 1777 ± 28 Ma、 1446 ± 26 Ma 和 507 ± 9 Ma,并将第一个年龄解释为继承锆

石年龄、第三和第四个年龄解释为辉绿岩遭受的变质事件的年龄,而第二个年龄(1777 ± 28 Ma)解释为辉绿岩的形成年龄,并据此“确认”朱龙关群为中元古代早期的蛇绿岩。本文作者认为,对上述辉绿岩锆石 U-Pb 年龄数据的地质意义作如下解释可能更合理:蒸发法年龄 1840 ± 2 Ma、 1783 ± 2 Ma 和 1784 ± 2 Ma 以及 SHRIMP 年龄的前三组数据 2561 ± 19 Ma、 1777 ± 28 Ma 和 1446 ± 26 Ma 均为继承锆石年龄信息,而只有 507 ± 9 Ma 才真正代表熬油沟蛇绿岩的形成时代。理由如下:

(1)除了 2561 ± 19 Ma 和 507 ± 9 Ma 以外,熬油沟辉绿岩的其他锆石 U-Pb 年龄数据在我们所获得的北大河岩群白云母石英片岩的碎屑锆石年龄谱中都能找到对应的在误差范围内一致的年龄,也就是说很可能都是捕获锆石的年龄信息。

(2)熬油沟蛇绿岩的锆石的 Th/U 比值都

表 1 北大河岩群白云母石英片岩(04QD21-01)碎屑锆石 SHRIMP U-Pb 年龄测试结果
Table 1 SHRIMP U-Pb age data of the detrital zircons from the muscovite quartz schist (04QD21-01) of the Beidahe Complex-Group

点号	$^{206}\text{Pb}_e$ (%)	$^{206}\text{Pb}^*$ ($\mu\text{g/g}$)	U ($\mu\text{g/g}$)	Th ($\mu\text{g/g}$)	^{232}Th ^{238}U	表面年龄 (Ma)		$\frac{n(^{207}\text{Pb}^*)}{n(^{206}\text{Pb}^*)}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb}^*)}{n(^{235}\text{U})}$		$\frac{n(^{206}\text{Pb}^*)}{n(^{238}\text{U})}$		误差 相关
						$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	测值	相对误差(±%)	测值	相对误差(±%)	测值	相对误差(±%)	
1.1	0.07	74.3	239	53	0.23	1986 ± 34	1827 ± 17	0.1117	0.95	5.56	2.2	0.3609	2.0	0.900
4.1	0.54	43.4	117	89	0.78	2302 ± 39	1801 ± 34	0.1101	1.9	6.51	2.7	0.4291	2.0	0.729
5.1	0.33	145	529	209	0.41	1775 ± 27	1759 ± 15	0.10758	0.80	4.703	1.9	0.3171	1.8	0.910
7.1	0.00	54.6	200	118	0.61	1776 ± 28	1864 ± 17	0.1140	0.97	4.99	2.1	0.3172	1.8	0.884
8.1	0.17	94.2	370	128	0.36	1672 ± 27	1730 ± 17	0.10590	0.94	4.323	2.0	0.2961	1.8	0.888
9.1	0.06	113	428	182	0.44	1732 ± 26	1811 ± 14	0.11069	0.76	4.703	1.9	0.3081	1.7	0.917
10.1	0.13	105	481	135	0.29	1452 ± 23	1709 ± 14	0.10470	0.78	3.647	1.9	0.2526	1.8	0.913
14.1	0.08	62.7	252	87	0.36	1638 ± 29	1785 ± 20	0.1092	1.1	4.354	2.3	0.2893	2.0	0.874
14.2	0.00	127	488	113	0.24	1705 ± 26	1713 ± 16	0.10490	0.88	4.380	2.0	0.3028	1.8	0.895
15.1	0.19	67.2	267	80	0.31	1653 ± 26	1781 ± 19	0.1089	1.1	4.390	2.1	0.2924	1.8	0.857
16.1	0.03	152	674	319	0.49	1502 ± 42	1756 ± 13	0.10741	0.71	3.89	3.2	0.2624	3.1	0.975
18.1	0.08	125	518	118	0.24	1589 ± 25	1779 ± 14	0.10879	0.76	4.194	1.9	0.2796	1.8	0.920
6.1	0.12	82.7	374	194	0.53	1474 ± 23	1425 ± 18	0.08997	0.93	3.187	2.0	0.2569	1.8	0.883
11.1	0.21	50.9	254	113	0.46	1352 ± 22	1447 ± 24	0.0910	1.2	2.928	2.2	0.2333	1.8	0.825
13.1	0.23	41.6	161	136	0.88	1695 ± 29	1640 ± 27	0.1009	1.5	4.18	2.5	0.3008	2.0	0.804
13.2	0.20	45.0	172	42	0.25	1707 ± 28	1638 ± 32	0.1008	1.7	4.21	2.5	0.3032	1.9	0.732
17.1	0.14	36.4	165	163	1.02	1475 ± 26	1643 ± 31	0.1010	1.7	3.581	2.6	0.2571	2.0	0.760
20.1	0.12	125	537	205	0.39	1546 ± 24	1443 ± 35	0.0908	1.8	3.393	2.6	0.2710	1.8	0.694
22.2	0.09	96.3	479	552	1.19	1354 ± 21	1428 ± 26	0.0901	1.4	2.905	2.2	0.2338	1.7	0.787
12.1	0.20	54.4	121	99	0.85	2710 ± 42	2611 ± 21	0.1756	1.3	12.65	2.3	0.5225	1.9	0.826
21.1	0.10	107	242	122	0.52	2677 ± 39	2628 ± 10	0.1773	0.62	12.58	1.9	0.5147	1.8	0.944
21.2	0.04	161	377	40	0.11	2606 ± 58	2618 ± 19	0.1763	1.1	12.11	2.9	0.498	2.7	0.920
22.1	0.16	73.1	740	44	0.06	701 ± 11	863 ± 24	0.06783	1.2	1.075	2.1	0.1149	1.7	0.830
2.1	0.03	390	1076	46	0.04	2269 ± 110	2457.2 ± 6.2	0.16015	0.37	9.32	5.8	0.422	5.8	0.998
3.1	0.03	204	462	389	0.87	2678 ± 38	3034.9 ± 6.8	0.22755	0.43	16.16	1.8	0.5151	1.7	0.971
19.1	0.10	53.1	104	132	1.32	3008 ± 50	2810 ± 14	0.1980	0.86	16.23	2.2	0.595	2.1	0.923

注:误差为 1σ ; Pb_e 和 Pb^* 分别指示普通铅和放射成因铅;所有同位素比率已对测得的 ^{204}Pb 进行了校正。

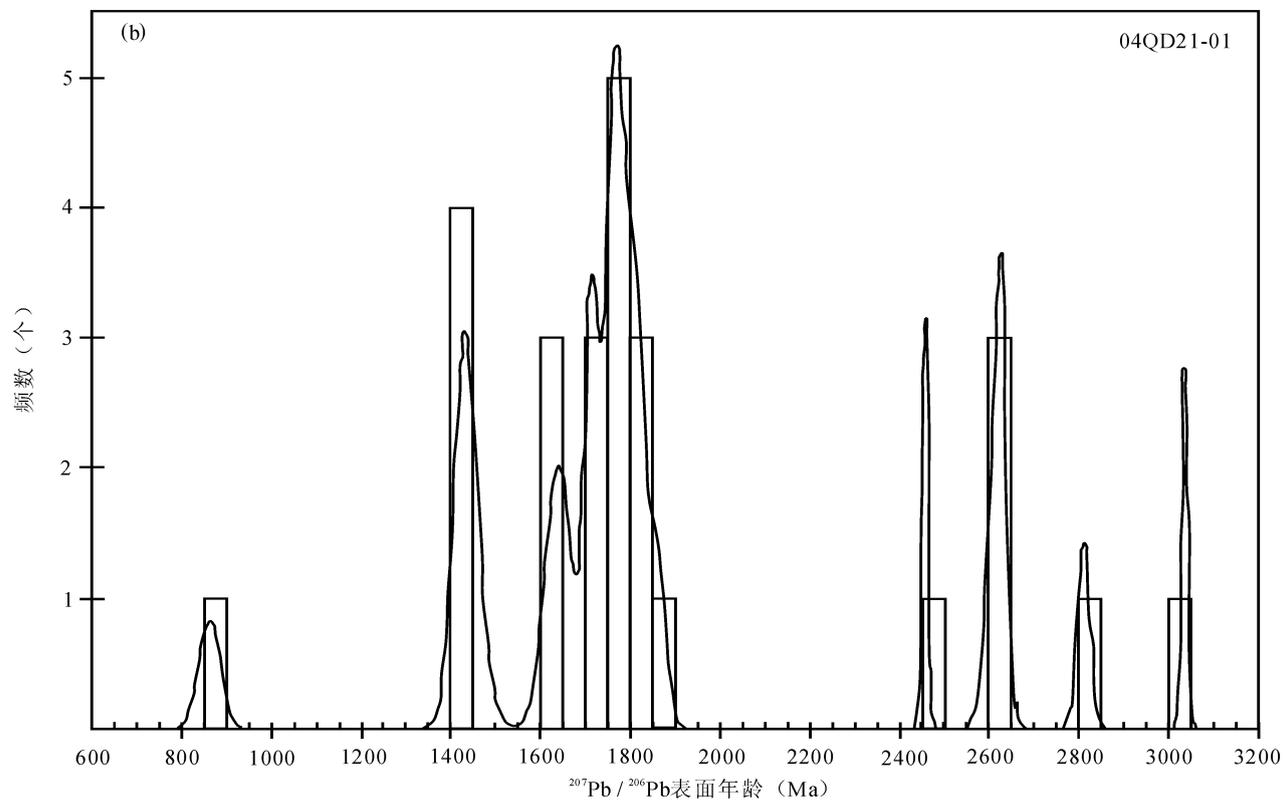
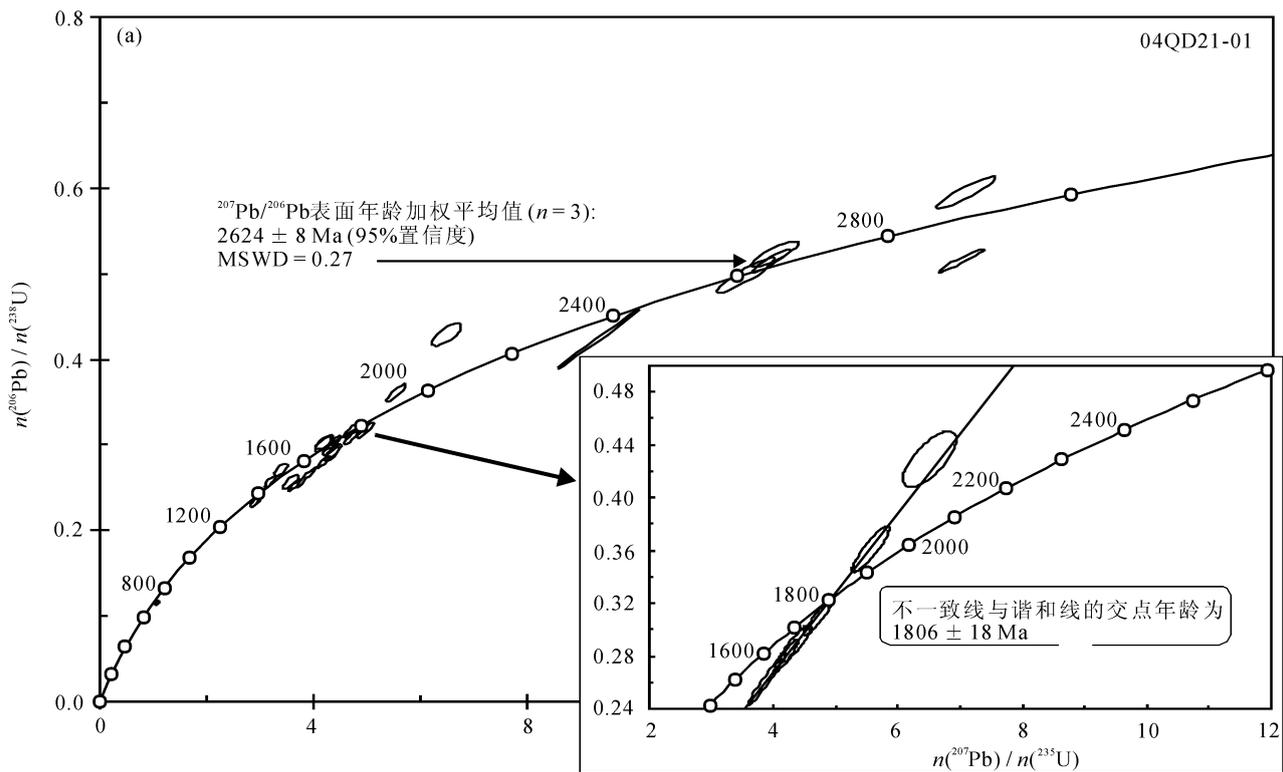


图 4 北大河岩群白云母石英片岩碎屑锆石 U-Pb 年龄谐和图(a)和直方图(b)
 Fig. 4 U-Pb age concordia diagrams (a) and histogram (b) of the detrital zircons from the muscovite quartz schist of the Beidahe Complex-Group

在 0.2 以上,都具有岩浆锆石的 Th/U 比值特征,尤其是年龄为 507 ± 9 Ma 的锆石的 Th/U 比值很高(两个测点分别为 0.76 和 1.05),很像是基性岩浆岩中锆石的 Th/U 比值特征。

(3)我们新近测得了熬油沟朱龙关群蛇绿岩组合中的辉长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 同位素年龄 503.7 ± 6.4 Ma(待发表),在误差范围内与张招崇等(2001)报道的熬油沟辉绿岩“变质年龄” 507 ± 9 Ma 完全一致。

(4)根据我们长期年代学研究的经验,辉绿岩中往往含有大量捕获锆石,而辉绿岩侵位时形成的岩浆锆石所占比例往往很小;相反,辉长岩中的锆石往往是比较单一成因的、辉长岩结晶时形成的岩浆锆石。

(5)熬油沟蛇绿岩中的辉绿岩在其侵位过程中从作为北祁连造山带的前寒武纪基底的北大河岩群的碎屑岩中捕获锆石是完全可能和符合逻辑的。

5 结论

北大河岩群白云母石英片岩的碎屑锆石成因矿物学研究及 SHRIMP U-Pb 同位素年龄测定结果表明,北大河岩群变质沉积岩的蚀源区存在 1400 ~ 3035 Ma 构造热事件,除了年龄为 2457 Ma 左右的变质事件外,主要表现为岩浆事件,其中以 1800 Ma 左右的岩浆事件最为强烈,1400 ~ 1700 Ma 事件次之,中-新太古代的岩浆事件也比较明显;北大河岩群可能遭受过 863 Ma 左右的变质作用影响,其沉积岩的沉积作用发生于 1400 Ma(最小的碎屑锆石年龄)至 863 Ma(变质年龄)之间,而不是前人所认为的古元古代;北大河岩群的蚀源区存在中-新太古代的古元古代。同时,北大河岩群碎屑锆石年龄资料也为朱龙关群蛇绿岩的形成时代提供了有力的制约:朱龙关群蛇绿岩可能形成于早古生代,而非中元古代早期。

致谢:北京离子探针中心刘敦一教授、张玉海高工、张巧大高工等对测年工作给予了大力支持,周慧女士帮助完成了锆石阴极荧光照相分析,许雅雯女士帮助鉴定了岩石薄片,作者在此一并致以诚挚的谢意。特别感谢万渝生博士对论文初稿提出的宝贵修改建议。

参 考 文 献 / References

冯益民,何世平. 1995. 北祁连蛇绿岩的地质地球化学研究. 岩石学报, 11(增刊): 125 ~ 146.

- 付国民,苏建平,胡能高,王云斌. 2005. 祁连山西段古元古代北大河岩群中斜长角闪岩的地球化学特征及构造背景. 中国地质, 32(4): 541 ~ 547.
- 甘肃省地层表编写组. 1980. 西北地区区域地层表, 甘肃省分册. 北京:地质出版社.
- 甘肃省地质矿产局. 1989. 甘肃省区域地质志. 北京:地质出版社.
- 李惠民,陆松年,郑健康,于海峰,赵风清,李怀坤,左义成. 2001. 阿尔金山东端花岗岩片麻岩中 3.6Ga 锆石的地质意义. 矿物岩石地球化学通报, 20(4): 259 ~ 262.
- 陆松年主编. 2002. 青藏高原北部前寒武纪地质初探. 北京:地质出版社, 1 ~ 125.
- 陆松年,袁桂邦. 2003. 阿尔金山阿克塔什塔格早前寒武纪岩浆活动的年代学证据. 地质学报, 77(1): 61 ~ 68.
- 陆松年,于海峰,李怀坤,郭坤一,王惠初,金巍,张传林,刘永顺等著. 2006. 中国前寒武纪重大地质问题研究——中国西部前寒武纪重大地质事件群及其全球构造意义. 北京:地质出版社, 1 ~ 206.
- 陆松年,陈志宏,李怀坤,李惠民,宋彪,相振群. 2006. 秦岭岩群副变质岩碎屑锆石年龄谱及其地质意义探讨. 地学前缘(待刊).
- 毛景文,张招崇,杨建民,宋彪,吴茂炳,左国朝. 1997. 北祁连山西段前寒武纪地层单颗粒锆石测年及其地质意义. 科学通报, 42(13): 1414 ~ 1417.
- 毛景文,张招崇,杨建民,左国朝,张作衡,叶得金等著. 2003. 北京:地质出版社, 5 ~ 8.
- 梅华林,于海峰,陆松年,李惠民,李銓. 1998. 甘肃敦煌太古宙英云闪长岩:单颗粒锆石 U-Pb 年龄和 Nd 同位素. 前寒武纪研究进展, 21(2): 41 ~ 45.
- 宋彪,张玉海,万渝生,简平. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论. 地质论评, 48(增刊): 26 ~ 30.
- 宋述光. 1997. 北祁连俯冲杂岩的构造演化. 地球科学进展, 12(4): 351 ~ 365.
- 王惠初,陆松年,莫宣学,李怀坤,辛后田. 2005. 柴达木盆地北缘早古生代碰撞造山系统. 地质通报, 24(7): 603 ~ 612.
- 王曰伦,陆宗斌,邢裕盛,高振家,林蔚兴,马国干,张录易,陆松年. 1980. 中国上前寒武纪的划分和对比. 见:中国地质科学院天津地质矿产研究所主编. 前寒武地质研究. 中国震旦界. 天津:天津科学技术出版社, 1 ~ 30.
- 夏林圻,夏祖春,徐学义. 2003. 北祁连山奥陶纪弧后盆地火山岩浆成因. 中国地质, 30(1): 48 ~ 60.
- 肖序常,陈国铭,朱志直. 1978. 祁连山古蛇绿岩的地质构造意义. 地质学报, 54(1): 287 ~ 295.
- 徐晓春,岳书仓,刘因,周涛发. 1996. 甘肃走廊南山朱龙关群的时代及其火山岩的岩石学特征. 安徽地质, 6(4): 1 ~ 6.
- 许志琴,徐惠芬,张建新,李海兵,朱志直,曲景川,陈代璋,陈金禄,杨开春. 1994. 北祁连走廊南山加里东俯冲杂岩增生地体及其动力学. 地质学报, 68(1): 1 ~ 15.
- 杨合群,赵东宏. 1999. 甘肃镜铁山含铜条带状铁建造的年龄. 西北地质科学, 20(1): 1 ~ 3.
- 张建新,许志琴,陈文,徐惠芬. 1997. 北祁连中段俯冲-增生杂岩/火山弧的时代探讨. 岩石矿物学杂志, 16(2): 112 ~ 119.
- 张旗,孙晓猛,周德进,钱青,陈雨,王岳明,贾秀琴,韩松. 1997. 北祁连蛇绿岩特征、形成环境及其构造意义. 地球科学进展, 12(4): 366 ~ 393.
- 张招崇,毛景文,左国朝,杨建民,王志良,张作衡. 1998. 北祁连山西段早元古代变质火山岩的地球化学特征及其构造背景. 矿物岩石, 18(4): 22 ~ 30.
- 张招崇,周美付,Paul T Robinson,毛景文,杨建民,左国朝. 2001. 北祁连山西段熬油沟蛇绿岩 SHRIMP 分析结果及其地质意义. 岩

石学报, 17 (2): 222 ~ 226.

- Black L P, Kamo S L, Allen C M, Aleinikoff J N, Davis D W, Kosch R J, Foudoulis C. 2003. TEMORA 1: a new zircon standard for Phanerozoic U-Pb geochronology. *Chem. Geol.*, 200: 155 ~ 170.
- Compston W, Williams I S and Meyer C. 1984. U-Pb geochronology of zircons from lunar breccia 73217 using a sensitive high mass-resolution ion microprobe. *Journal of Geophysical Research*, 89: B525 ~ B534.
- Compston W, Williams I S, Kruschvink J L, Zhang, Z, Ma, G. 1992. Zircon U-Pb ages for the Early Cambrian time-scale. *J. Geol. Soc. Lond.* 149: 171 ~ 184.
- Feng R, Machado N and Ludden J. 1993. Lead geochronology of zircon by LaserProbe inductively coupled plasma mass spectrometry (LP-ICPMS). *Geochim. Acta*, 57: 3479 ~ 3486.
- Machado N and Gauthier G. 1996. Determination of $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ages on zircon and monazite by laser-ablation ICPMS and application to a

study of sedimentary provenance and metamorphism in southeastern Brazil. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 60: 5063 ~ 5073.

- Valladares C S, Machado N, Heilbron M and Gauthier G. 2004. Ages of detrital zircon from Siliciclastic Successions South of the São Francisco craton, Brazil; Implications for the evolution of Proterozoic Basins. *Gondwana Research*, 7(4): 913 ~ 921.
- Wan Yusheng, Zhang Qiaoda and Song Tianrui. 2003. SHRIMP ages of detrital zircons from the Changcheng System in the Ming Tombs area, Beijing: Constraints on the protolith nature and maximum depositional age of the Mesoproterozoic cover of the North China Craton. *Chinese Science Bulletin*, 48 (22): 2500 ~ 2506.
- Wan Yusheng, Zhang Jianxin, Yang Jingsui and Xu Zhiqin. 2006. Geochemistry of high-grade metamorphic rocks of the North Qaidam mountains and their geological significance. *Journal of Asian Earth Sciences* (in press).

SHRIMP U-Pb Geochronological Research on Detrital Zircons from the Beidahe Complex-Group in the Western Segment of the North Qilian Mountains, Northwest China

LI Huaikun¹⁾, LU Songnian¹⁾, XIANG Zhenqun¹⁾, ZHOU Hongying^{1,2,3)}, LI Huimin¹⁾, LIU Dunyi³⁾, SONG Biao³⁾, ZHENG Jiankang⁴⁾, GU Ying⁴⁾

1) *Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, CGS, Tianjin, 300170;*

2) *School of Earth Science and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing, 100083;*

3) *Beijing SHRIMP Center, Beijing, 100037; 4) Qinghai Geological Survey, Xining, 810012*

Abstract

SHRIMP U-Pb isotopic age data of the detrital zircons from muscovite quartz schist of the Beidahe Complex-Group are reported in this paper. It is demonstrated that there are records of tectono-thermal events of the age span 1400 ~ 3035 Ma in the erosion source areas of the Beidahe Complex-Group meta-sedimentary rocks, among which are dominantly magmatic events except for the ca. 2457 Ma metamorphic one. Based on probability of age data, the strongest magmatic event in the source areas is the ca. 1800 Ma one, followed by the 1400 ~ 1700 Ma and Mesozoic to Neoproterozoic ones in weakening order. Metamorphic age of ca. 863 Ma suffered by the Beidahe Complex-Group was obtained as well. Therefore the sedimentation age of the Beidahe Complex-Group is between 1400 Ma (the youngest detrital zircon age) and 863 Ma (metamorphic age), rather than the Palaeoproterozoic that was previously adopted. At least the Beidahe Complex-Group is younger than 1800 Ma, because 46% of the detrital zircons are ca. 1800 Ma in age. The data also imply that there are Mesozoic to Neoproterozoic continental crusts in the source areas. In addition, the data of this study combined with other available data provides constraints on the age of the ophiolite of the Zhulongguan Group in the studied area, that is, the ophiolite most probably formed in the early Palaeozoic instead of the early Mesoproterozoic.

Key words: SHRIMP age; detrital zircons; Beidahe Complex-Group; North Qilian Mountains

