

北祁连柏木峡地区辉长岩、玄武岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及地质意义

宋泰忠, 刘建栋, 李杰, 张小永, 梁坤先, 郑英

(青海省青藏高原北部地质过程与矿产资源重点实验室, 青海省地质调查院, 青海 西宁 810012)

摘要:在北祁连柏木峡地区发现的辉长岩、玄武岩以构造岩块形式产出。通过对区内柏木峡地区出露的4处辉长岩、玄武岩的详细野外调查及岩石组合、岩性特征研究,对辉长岩及玄武岩进行了LA-ICP-MS锆石U-Pb同位素测年,首次获得了较为精确的年龄值,分别为 (675 ± 31) Ma 和 (764.1 ± 3.3) Ma,代表了辉长岩、玄武岩的成岩年龄,这一发现结合区域上已经在北祁连山东西段,中南祁连山和柴达木地区获得的大量同位素测年资料,说明这些地区在新元古代可能存在一期重要的岩浆活动,这次岩浆活动可能与同时期全球的Rodinia超大陆裂解有关。结合区域构造演化,认为本地区新元古代形成的辉长岩、玄武岩由于遭受后期强烈的加里东期构造作用的叠加、改造,已变得面目全非,以构造岩块形式残存于柏木峡构造蛇绿混杂岩带中。

关键词:北祁连柏木峡地区;辉长岩;玄武岩;LA-ICP-MS锆石U-Pb定年

中图分类号:P597.3

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2016)04-0032-11

LA-ICP-MS Zircon U-Pb Age of Gabbro and Basalt in the Baimuxia Area of North Qilian and Its Geological Significance

SONG Taizhong, LIU Jiandong, LI Jie, ZHANG Xiaoyong, LIANG Kunxian, ZHENG Ying

(Qinghai Institute of Geological Survey, Xining 810012, Qinghai, China)

Abstract: The gabbro and basalt are hosted in the Baimuxia Ophiolite melange belt of North Qilian with the form of various blocks. After carrying out the detailed field investigation and studies of petrology and lithology on gabbro and basalt in the Baimuxia area, the LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of gabbro and basalt samples has yielded the accurate ages of (675 ± 31) Ma and (764.1 ± 3.3) Ma, which can represent their diagenetic ages. The results reveal that one important magmatic activity may have existed in the North Qilian area during Middle Neoproterozoic, which could be related to the global cracking of Rodinia supercontinent. The dating of LA-ICP-MS zircon U-Pb provides accurate geochronological constraints for studying the formation and evolution of the North Qilian tectonic zone.

Keywords: Baimuxia area of North Qilian; gabbro; basalt; LA-ICP-MS zircon U-Pb dating

北祁连山造山带位于秦祁昆造山系之西南缘, 与秦岭、昆仑一起构成中国大陆中部的秦祁昆巨型

收稿日期: 2016-02-25; 修回日期: 2016-08-11

基金项目: 国土资源大调查青海1:5万玉龙湾等四幅区调项目成果(1212011121192)

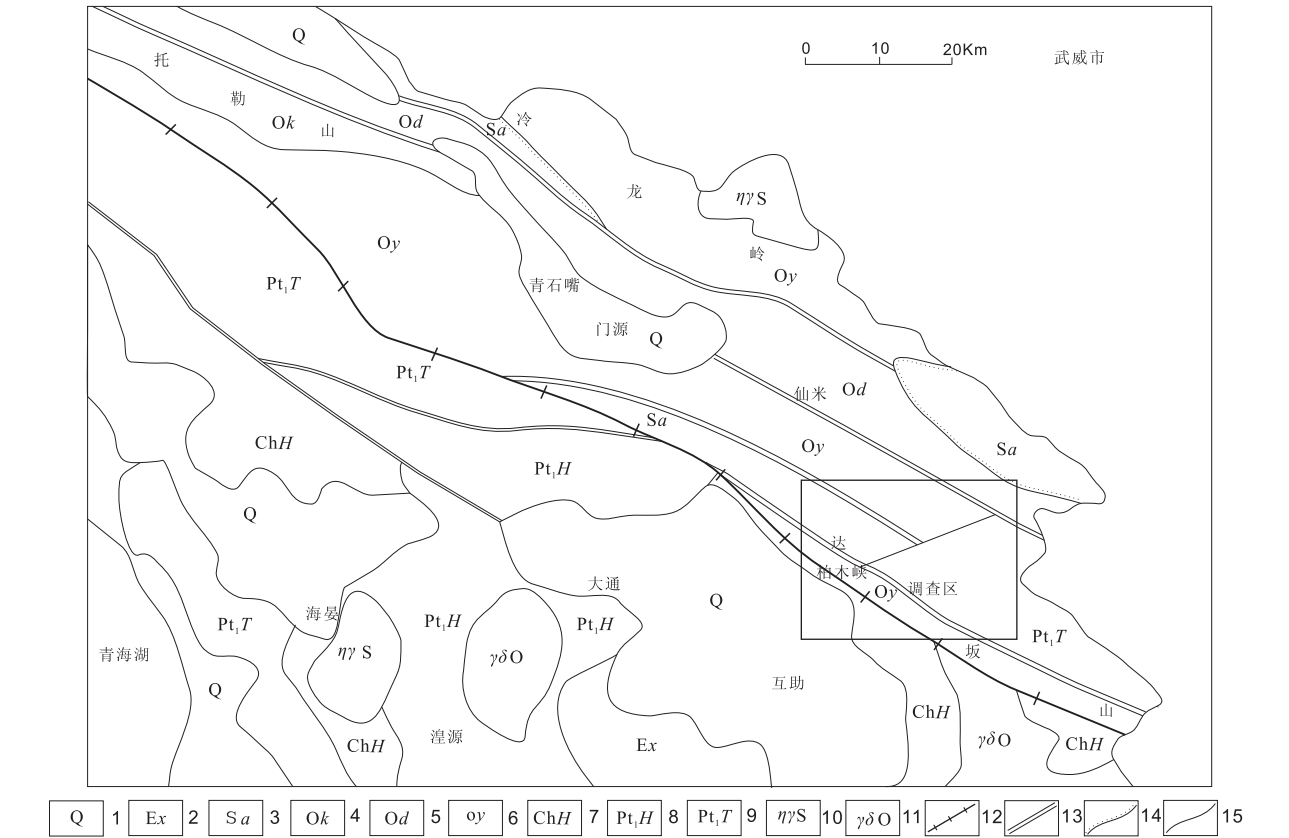
作者简介: 宋泰忠(1968-), 男, 高级工程师, 长期从事区域地质矿产调查工作。E-mail: songtaizhong2010@126.com

造山带,是中国大陆板块构造研究的摇篮(张旗等,1997)。北祁连造山带夹持于华北(阿拉善)与中南祁连地块之间,被认为是一个典型的加里东造山带(许志琴,1994),北祁连造山带位于祁连山系的北缘,其主要由加里东期蛇绿岩、岛弧杂岩、环太平洋型俯冲杂岩、中酸性深成岩、基性-超基性杂岩,以及前寒武纪变质杂岩体所构成(曾建元等,2006)。到目前为止,北祁连造山带中与新元古代 Rodinia 大陆裂解时期的火成活动的报道较少。曾建元等(2006)在北祁连山牛心山片麻状花岗岩与雷公山片麻状石英闪长岩中分别获得了(776±10)Ma 和(774±23)Ma 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄值,代表北祁连地区在新元古代(约 775 Ma)存在一期重要的岩浆活动,这次岩浆活动可能与同时期全球的 Rodinia 超大陆裂解有关。于福生等(2002)在北祁连东段上吊吊坡地区阴沟群中解体出了一套火山岩,获得了(723±25)Ma 的 Sm-Nd 等时线年龄值,时代为新元古代,地球化学特征表明该套火山岩

形成于岛弧环境,说明当时北祁连东段仍处于洋壳俯冲挤压环境。夏林圻等(1995)对北祁连火山岩形成时代做了大量的研究,在火山岩中获得 Rb-Sr 等时限年龄值为(634.83±33)~(678.95±5.96)Ma,时代为南华纪一早震旦世,火山岩形成于大陆边缘裂谷型环境。区域上,相邻地区的阿拉善地块西南缘的金川超镁铁岩体则有(827±8)Ma 报道(杨献华等,2004)。柴北缘超高压变质岩中锆石定年则常出现 750~800 Ma 的核部年龄(杨经绥等,2003),反映了某些超高压变质的原岩可能是 Rodinia 超大陆裂解事件的产物。

1 区域地质背景

北祁连柏木峡构造蛇绿混杂岩带属于大坂山构造蛇绿混杂岩带,位于北祁连弧盆系与中祁连陆块结合部东段(图 1),自西图边水洞峡起,向东经柏木



1. 第四纪;2. 第三纪西宁组;3. 志留纪肮脏沟组;4 奥陶纪扣门子组;5. 奥陶纪大梁组;6. 奥陶纪阴沟组;7. 长城纪湟中群;8. 古元古代化隆岩群;9. 古元古代托赖岩群;10. 志留纪二长花岗岩;11. 奥陶纪花岗闪长岩;12. 分界断裂;13. 断层;14. 角度不整合界线;15. 接触界线

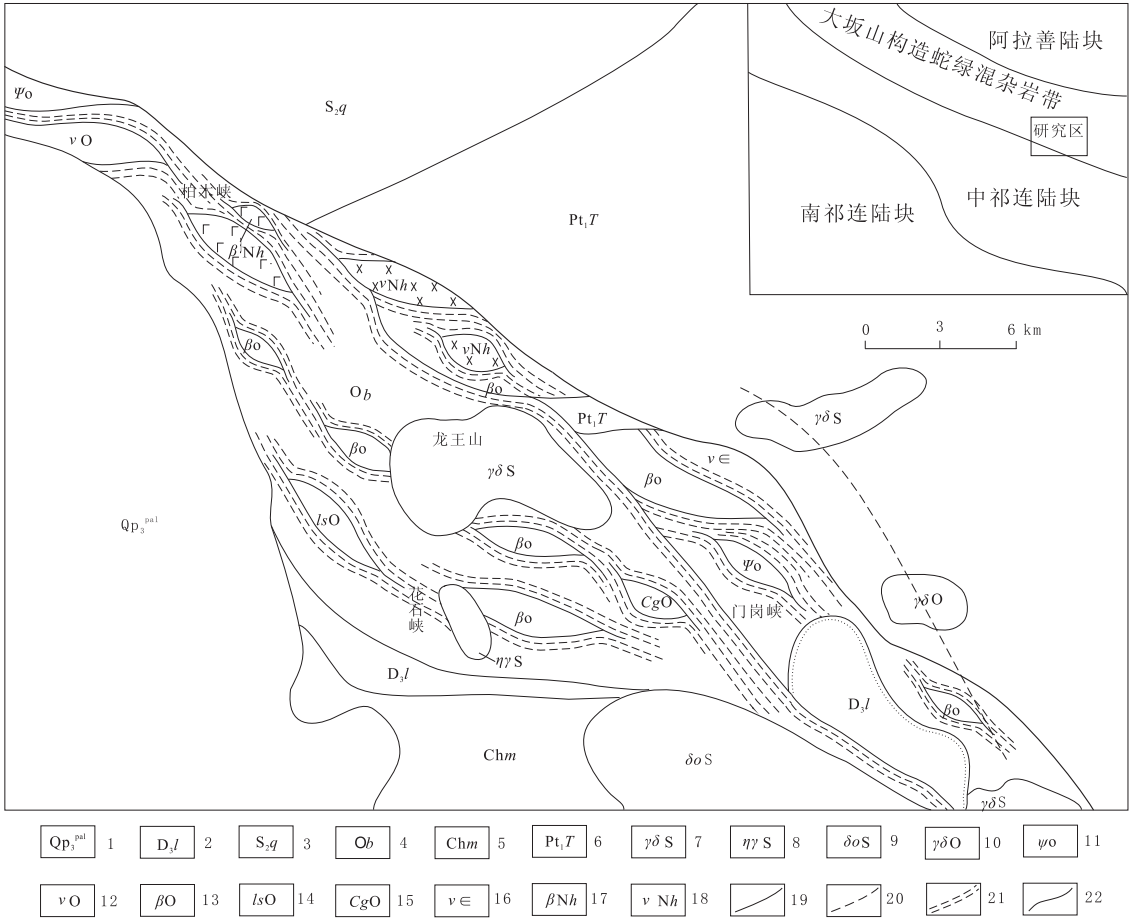
图 1 北祁连柏木峡地区区域地质图

Fig. 1 Geological map of the Baimuxia area of North Qilian

峡、龙王山、门岗峡至东南部银卡沟一带顺延出图，总体呈北西—南东向宽窄不等的带状展布。区内整个混杂岩带长度大于 47 km，最大厚度大于 2.5 km。北侧主要与古元古代托赖岩群和早古生代泉脑沟山组呈断层接触；北西段南侧被新生代地层覆盖，中段南侧泽林峡一带与晚泥盆世老君山组呈断层接触；龙王山及东南段科胜措卡一带被晚志留世中酸性花岗岩侵入吞噬；门岗峡东南至黑山一带其上被晚泥盆世老君山组砾岩角度不整合覆盖。

混杂岩(图 2)主要由大小不等的岩块和基质两

部分组成。岩块岩石类型复杂，主要有 4 大类：①为蛇绿岩组分，如纯橄岩、橄辉岩、蛇纹石岩、辉长岩、辉石角闪石、蚀变玄武岩、辉绿岩及硅质岩等。②为正常沉积岩，如碳酸盐岩类、中细粒碎屑岩、粗粒碎屑岩等。③为一些基性—中基性火山岩。④为外来构造岩块，主要为古元古代托赖岩群大理岩、片岩等构造块体，其次为新元古代辉长岩、玄武岩岩块，为外来构造岩块的重要组成部分。基质以糜棱岩化及强片理化、强变形岩石为主。岩块与基质间呈构造接触，平面上呈网结状构造沿北西向展布。



1. 第四纪冲洪积物;2. 晚泥盆世老君山组;3. 中志留世泉脑沟山组;4. 奥陶纪柏木峡构造蛇绿混杂岩;5. 长城纪磨石沟组;6. 古元古代托赖岩群;7. 志留纪花岗岩闪长岩;8. 志留纪二长花岗岩;9. 志留纪石英闪长岩;10. 奥陶纪花岗岩闪长岩;11. 奥陶纪超基性岩;12. 奥陶纪辉长岩;13. 奥陶纪玄武岩;14. 奥陶纪灰岩;15. 奥陶纪砾岩;16. 寒武纪辉长岩;17. 南华纪玄武岩;18. 南华纪辉长岩;19. 断层;20. 隐伏断层;21. 韧性剪切带;22. 接触界线

图 2 北祁连柏木峡构造蛇绿混杂岩带地质图

Fig. 2 Geological map of Ophiolite melange belt in the Baimuxia area of north Qilian

2 地质特征

2.1 辉长岩

该辉长岩是本次工作从前人划分的奥陶纪花岗

闪长岩中新解体出的地质体。小面积(1.02 km²)出露于柏木峡南东措龙沟一带，呈岩块状产出于柏木峡构造蛇绿混杂岩带的北缘部位，沿北西—南东向呈构造透镜体形态展布，四周受断裂构造控制，北

西侧与混杂带内托赖岩群片岩呈韧性剪切断层接触;东侧与志留纪花岗闪长岩呈断层接触;西南部与混杂岩带中碎屑岩、玄武岩岩块呈断层接触。岩性较单一,以中细粒辉长岩为主,发育堆晶结构,具条带状构造。从地貌上观察,辉长岩整体上并非一较

大的构造岩块,内部亦形成网结状构造,不同岩性层(或岩块)间皆为断层或韧性剪切构造界面关系接触(图3)。岩石遭受强劈理化,内部次级小断裂发育;岩石普遍具绿泥石化、绿帘石化、黏土化及碎裂岩化蚀变现象。

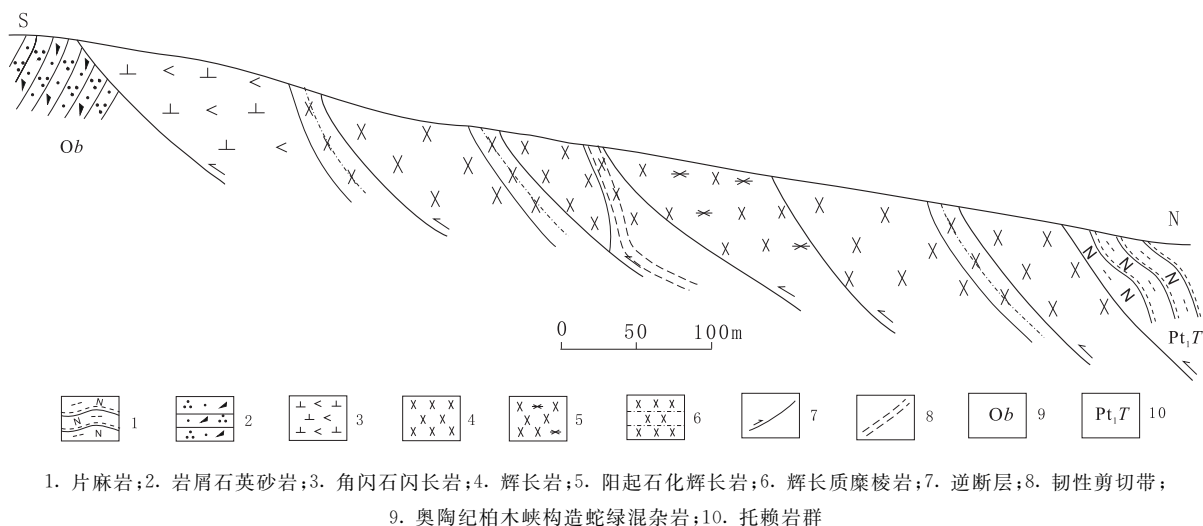


图3 柏木峡地区辉长岩地质剖面图(据 IPm06)

Fig. 3 Geological section for the Nanhua gabbro of Baimuxia(After IPm06)

(1)蚀变细粒辉长岩:岩石为灰色,碎裂结构、细粒辉长结构,具流动构造。岩石主要组成矿物为斜长石(52%~53%)、辉石(38%~47%)、绿泥石(6%)、绿帘石(4%)及少量方解石。岩石受动力变质作用影响,发育网状裂隙,沿裂隙绿帘石、绿泥石及方解石交代岩石中的斜长石和辉石。斜长石呈半自形粒状晶,以细粒级晶粒为主,发育压碎裂,普遍具波状消光变形结构,为中长石。辉石呈半自形粒状晶,多数或部分被阳起石交代。

(2)细粒阳起石化辉长岩:浅灰色,细粒辉长结构,具流纹构造。岩石矿物成分为斜长石(53%)、辉石假象(40%)、葡萄石(5%)、绿帘石(2%)及少量不透明矿物。大部分斜长石和辉石的长轴排列方向一致,形成流动构造。斜长石呈半自形粒状晶,具有较强的黏土化、帘石化蚀变,少量晶体中具钠长双晶,为拉长石。辉石呈半自形粒状晶,几乎全部被阳起石交代。另外沿裂隙葡萄石、绿帘石的集合体交代岩石。

(3)蚀变中细粒辉长岩:浅灰色或灰色,中细粒辉长结构,块状或流动构造。岩石中矿物成分为斜长石(41%~65%)、普通辉石(30%~

52%)、葡萄石(0%~5%)及绿泥石(0%~1%)。斜长石呈他形、半自形粒状晶,细粒级晶粒占多数,具有较强的黏土化、绢云母化蚀变,为中长石。普通辉石呈他形、半自形粒状晶,少数晶体被纤闪石,绿泥石交代,或被绿色阳起石交代。岩石网状裂隙中葡萄石、绿帘石、绿泥石交代岩石。中长石和普通辉石长轴排列基本一致,呈定向排列而形成流动构造。

2.2 玄武岩

南华纪玄武岩目前区内仅发现2处,出露面积不足1 km²,呈构造透镜体形态产出于柏木峡构造蛇绿混杂岩带中,与围岩均呈断层接触,岩性较单一,主要为蚀变玄武岩(图4)。

蚀变玄武岩:灰绿色,斑状结构,杏仁状构造。岩石由斑晶(1%)、基质(94%)、包体和杏仁(5%)组成。斑晶成分为橄榄石,沿裂纹和晶体的边缘被铁质交代,网眼中被绿泥石、微晶高岭石、玉髓的集合体交代,保留假象。基质具填间结构,由斜长石(56%)、绿泥石(20%)及不透明矿物(8%)等组成,其中斜长石微晶呈柱状,具强黏土化,由于热液作用影响表面分布玉髓;斜长石微晶杂乱排列,构成的间

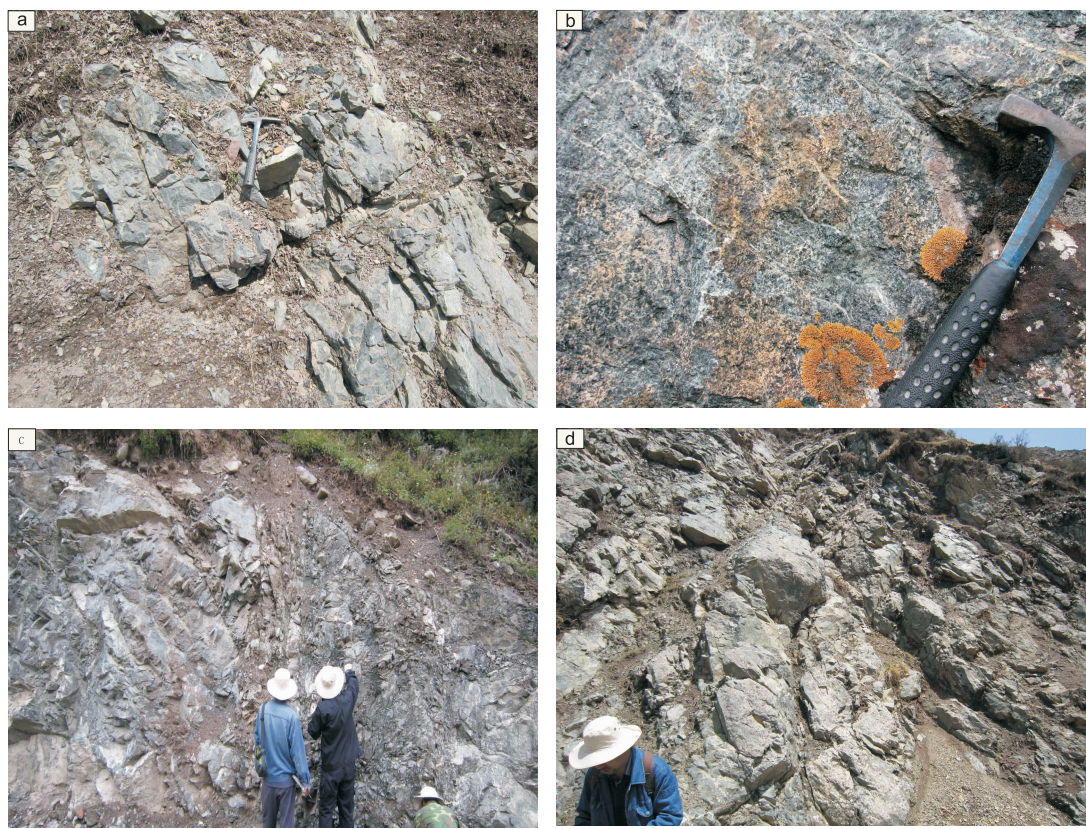


图 4 柏木峡地区辉长岩、玄武岩野外产出特征及采样位置图(a、b 为辉长岩,c、d 为玄武岩)
Fig. 4 the field output characteristics and sampling locations of abbro, basalt in the
Baimuxia area (a、b for gabbro , c、d for basalt)

隙中分布着绿泥石、不透明矿物及蚀变形成的玉髓，构成填间结构。包体成分以纤维状玉髓为主，在包体和玉髓接触处分布着绿泥石的集合体，杏仁形态呈椭圆状，大小为 1.09~10.00 mm，其内充填物以绿泥石为主，含玉髓。

3 样品分析及测试结果

本次对新元古代辉长岩、玄武岩的研究主要是在野外详细地质调查的基础上，选择了呈岩块状产出于柏木峡构造蛇绿混杂岩带中的辉长岩、玄武岩作为测年对象，测年样品分别为 I Pm06JD5-1(辉长岩)(采样坐标:东经:102°10′30″;北纬:36°58′10″)和 I JD3284(玄武岩)(采样坐标:东经:102°13′25″;北纬:36°56′50″)，样品采集重量均大于 15 kg。测试单位为天津地质矿产研究所。

3.1 分析方法

用于 U-Th-Pb 同位素测定的锆石单矿物分

选由河北省区域地质矿产调查研究所完成，原岩样品新鲜，重约 25 kg。将分离出来的锆石在双目镜下挑出无裂隙、无包体、透明度好的颗粒，用环氧树脂固定、打磨、抛光至锆石中心暴露出来，然后进行透射光、反射光和阴极发光(CL)照相，选择最佳锆石进行同位素分析。阴极发光(CL)照相和锆石 U-Th-Pb 同位素分析由国土资源部华北矿产资源监督检测中心天津地质矿产研究所实验测试室完成，仪器为第二代 LA-ICP-MS 测试仪，激光剥蚀系统为 GeoLas2005，激光束斑直径为 32μm，激光剥蚀样品的深度为 20~40μm。

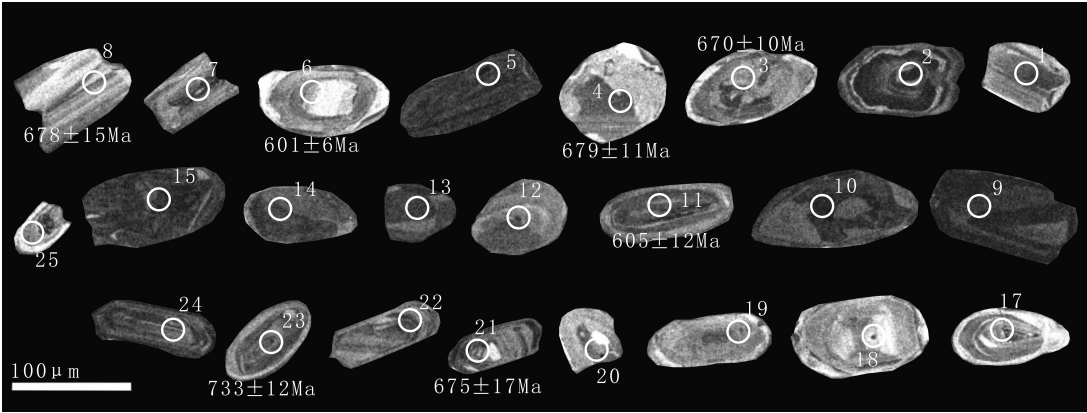
锆石 U-Th-Pb 同位素比值和年龄计算时采用标准锆石 91500 进行校正，元素含量采用美国国家标准物质局人工合成的硅酸盐玻璃 .IST SRM610 作为外标。采样方式为单点剥蚀，数据采集选用 1 个质量峰 1 个点的跳峰方式，每隔 5 个样品分析点测 1 次标准样，以保证标样和样品的仪器条件完全一致。以 Si 作为内标元素进行校正，样品

的同位素比值和元素含量数据处理采用 Glitter 软件,并采用 Andersen 程序软件对测试数据进行普通铅校正,年龄计算及谐和图绘制采用 Isoplot (2.49)软件完成(谢其锋等,2014)。

3.2 锆石 CL 图像特征

辉长岩测年样品 I Pm06JD5 - 1 中,锆石晶粒为无色透明至浅黄色,筛选的锆石明显具有多种类型,少部分呈长柱状、短柱状形态,震荡环带清楚,阴极发光图像显示具有典型的岩浆韵律环带和明暗相间的条带结构(图 5),具岩浆锆石特征,而大部分

锆石具圆滑外边的椭圆状外形,具溶蚀结构、斑杂状分带、云雾状分带,少量具明显的变质增生边。因此,大多数锆石具有变质锆石的特征。但从岩石本身来看,基本不具明显的较高程度变质,因此这类锆石应当是以没有流体参与的亚固相条件下的重结晶作用形成的锆石为主,一部分属于古老熔体的继承锆石。为了避免继承锆石对测年的干扰,所选择的测点均位于明显的岩浆环带上,这就基本上保证了定年研究的准确性(刘占庆等,2011)。

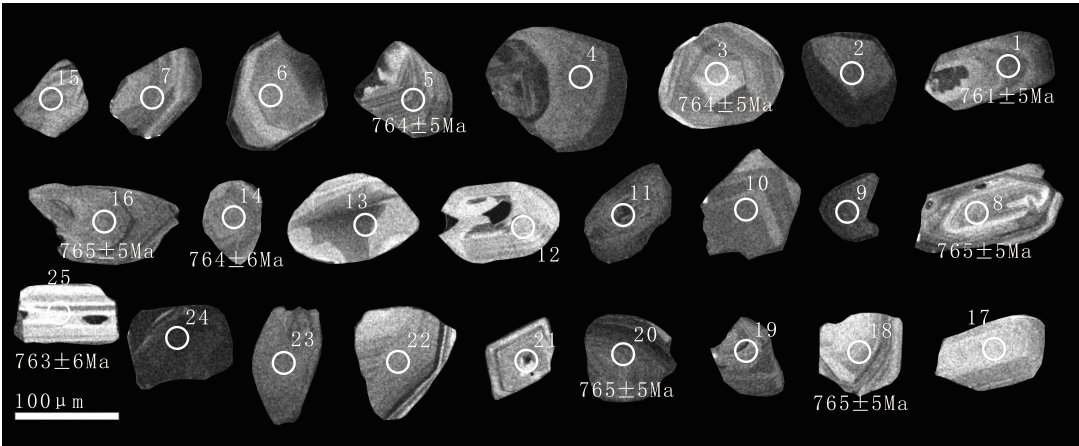


圈和数字分别表示 U - Pb 年龄测定位置、测定编号和²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄图
图 5 柏木峡地区辉长岩代表性锆石的阴极发光图像(CL)和年龄图

Fig. 5 Cathodoluminescence images and ages of analyzed zircons from the gabbro of Nanhua Period of Baimuxia

玄武岩测年样品 IJD3284 中,从测年锆石的阴极发光照片(图 6)可见,大部分锆石多呈短柱状、长柱状,呈棕色或无色透明,围绕核部发育清晰的振荡环带构造,个别发育扇型分带或平行晶体长轴的生长条

带,反映绝大部分锆石具有岩浆结晶特征。少部分锆石内部有熔蚀结构,晶形不规则,反映后期有变质。为了避免继承锆石对测年的干扰,保证定年研究的准确性,所选择的测点多位于明显的岩浆环带上。



圈和数字分别表示 U - Pb 年龄测定位置、测定编号和²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄
图 6 柏木峡地区玄武岩代表性锆石的阴极发光图像(CL)和年龄图

Fig. 6 Cathodoluminescence images and ages of analyzed zircons from the basalt of Nanhua Period of Baimuxia

3.3 锆石年龄分析结果

3.3.1 辉长岩锆石年龄

从样品(I Pm06JD5-1)测试得到的同位素比值和年龄数据(表 1)可见,锆石具有较高的 Th/U 值,大多为 0.20~0.98,最高达 1.17,具有岩浆成因锆石的特征。辉长岩样品中 25 个测点的 Pb 含量变化为 $8\times 10^{-6}\sim 222\times 10^{-6}$,U 含量变化为 $102\times 10^{-6}\sim 1221\times 10^{-6}$,U、Pb 呈现出较好的正相关关系,与典型的岩浆锆石特征相一致。

测试定年打点的锆石共 25 颗,由表 1 可见,1~25 号点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 表面年龄较为混乱,大小不一致,但其中第 3、4、8、21 号 4 个点的年龄较为一致,给出了 $(675\pm 31)\text{Ma}$ 的年龄值(图 7、图 8);另外,3、4、6、8、11、20、21、23 共 8 个点的表面年龄较为接近,但仍有差别,同位素直方图上显示年龄为 $(676.35\pm 56.17)\sim 71.15\text{Ma}$ 。二者较为接近,综上所述,4 颗锆石打点给出的 $(675\pm 31)\text{Ma}$ 的年龄值很可能是辉长岩成岩结晶过程中形成的锆石,也即该类辉长岩的成岩年龄,为新元古代南华纪。

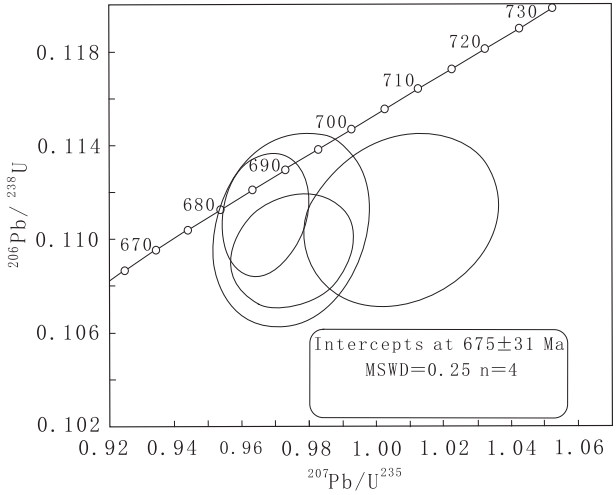


图 7 柏木峡辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄谐和图
Fig. 7 LA-ICP-MS Zircon U-Pb concordia diagrams of gabbro of Baimuxia

3.3.2 玄武岩锆石年龄

从样品(I JD3284)测试得到的同位素比值和年龄数据(表 2)可见,锆石具有较高的 Th/U 值,除 19 号点为 0.06 之外,其余点大多为 0.41~0.97,其中 9 个点在 1 以上,比值为 1.00~1.95,反映锆石为典型的岩浆成因(PIDGEON et al., 1998; CLAE-

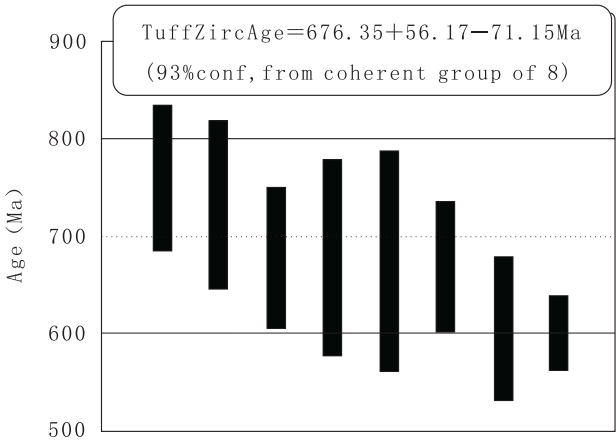


图 8 柏木峡辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄直方图
Fig. 8 LA-ICP-MS Zircon U-Pb histogrames of gabbro of Bai

SSON et al., 2000)。玄武岩样品中 25 个测点的 Pb 含量变化在 $8\times 10^{-6}\sim 98\times 10^{-6}$,U 含量变化在 $43\times 10^{-6}\sim 803\times 10^{-6}$,U、Pb 呈现出较好的正相关关系,与典型的岩浆锆石特征相一致。

玄武岩样品中共选取了 25 颗锆石进行了打点测试,其同位素分析测试结果见表 2,这 25 个点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{U}$ 谐和性较好,在谐和图上集中于 2 个较小的区域内,分别求得 2 组锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄值,其中 1、3、5、8、14、16、18、20、25 号共 9 个点表面年龄加权平均值为 $(764\pm 3)\text{Ma}$ (图 9、图 10);第 4、6、22、23 号共 4 个点获得表面年龄加权平均值为 $(869\pm 6)\text{Ma}$ 。

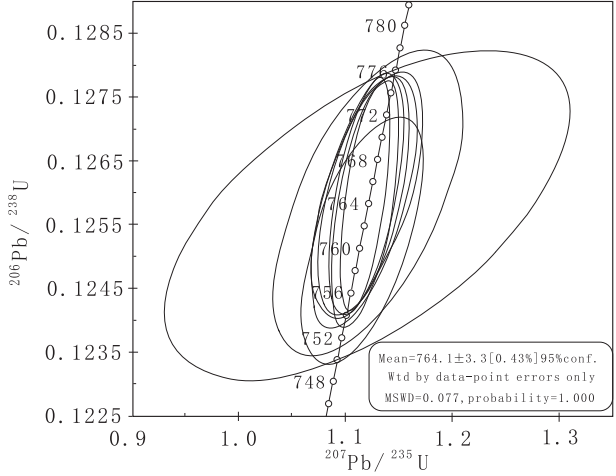


图 9 柏木峡玄武岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄谐和图
Fig. 9 LA-ICP-MS Zircon U-Pb concordia diagrams of basalt of Baimuxia

表 1 柏木峡地区辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测试结果表
Tab.1 LA-ICP-MS Zircon U-Pb isotopic analysis of the gabbro of Nanhua Period in the Baimuxia area

点号	含量($\times 10^{-6}$)				同 位 素 比 值				表面年龄及误差 (Ma)					
	Pb		U		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	
					err %		err %		err %		err %		err %	
1	12	353	0.031 6	1.01	0.247 0	5.38	0.056 8	4.45	0.015 2	5.02	0.359 7	0.62	224	12
2	218	1 221	0.185 5	0.95	2.209 5	0.90	0.086 4	1.40	0.083 4	0.94	0.055 8	1.10	1 097	10
3	30	267	0.109 5	1.47	0.975 1	1.24	0.064 6	1.18	0.050 4	1.15	0.268 2	1.29	670	10
4	73	621	0.111 1	1.56	0.966 7	0.86	0.063 1	1.37	0.054 7	1.35	0.332 8	1.24	679	11
5	31	902	0.030 2	0.97	0.223 0	1.72	0.053 6	1.60	0.009 5	0.95	0.896 9	1.09	192	2
6	29	278	0.097 7	1.02	0.952 7	1.21	0.070 7	1.22	0.056 2	1.20	0.270 3	0.63	601	6
7	18	555	0.031 0	1.54	0.234 2	3.76	0.054 9	3.33	0.011 0	1.41	0.509 2	2.53	197	3
8	29	265	0.110 9	2.19	1.007 4	1.91	0.065 9	2.00	0.049 3	4.65	0.204 3	4.67	678	15
9	180	1 035	0.176 6	1.84	2.067 8	1.39	0.084 9	0.85	0.015 7	4.53	0.558 7	7.30	1 048	19
10	28	185	0.140 7	1.72	1.411 9	2.24	0.072 8	1.72	0.059 5	1.46	0.414 2	1.45	849	15
11	28	291	0.098 4	2.00	0.823 6	1.76	0.060 7	1.62	0.042 7	2.82	0.129 2	1.31	605	12
12	42	306	0.140 0	1.68	1.519 4	1.67	0.078 7	1.14	0.054 1	2.97	0.122 9	0.65	845	14
13	222	1 014	0.227 4	1.50	2.844 7	1.55	0.090 7	1.03	0.084 6	3.46	0.053 6	6.05	1 321	20
14	30	276	0.095 4	1.53	0.805 9	1.91	0.061 3	1.66	0.055 0	0.43	0.445 8	1.70	587	9
15	30	191	0.152 5	1.14	1.477 5	1.63	0.070 3	1.51	0.055 4	1.35	0.367 6	0.79	915	10
16	33	502	0.068 3	1.23	0.535 7	2.14	0.056 9	2.08	0.028 8	3.42	0.135 0	0.42	426	5
17	8	102	0.080 6	1.65	0.666 1	4.53	0.060 0	4.36	0.029 7	3.24	0.250 3	0.80	499	8
18	34	187	0.140 1	0.98	1.312 9	1.62	0.067 9	1.59	0.054 9	0.59	1.027 4	1.70	845	8
19	45	265	0.125 1	1.30	1.114 5	1.37	0.064 6	1.33	0.052 2	0.73	1.169 7	0.68	760	10
20	218	1 221	0.185 5	0.95	2.209 5	0.90	0.086 4	1.40	0.083 4	0.94	0.055 8	1.10	1 097	10
21	56	505	0.110 4	2.47	0.974 6	1.57	0.064 0	0.93	0.043 5	1.30	0.217 3	1.64	675	17
22	17	105	0.143 1	1.73	1.417 9	2.09	0.071 9	1.86	0.075 8	0.99	0.419 0	1.43	862	15
23	50	320	0.120 3	1.61	1.098 4	1.42	0.066 2	1.07	0.052 0	1.01	0.975 3	1.39	733	12
24	32	430	0.068 5	0.99	0.547 7	1.62	0.058 0	1.47	0.025 5	0.95	0.561 1	0.97	427	4
25	43	441	0.095 5	0.99	1.017 2	2.04	0.077 3	1.84	0.068 1	4.23	0.126 6	0.59	588	6

※注:1. 样品号为 IPm006u-Pb5-1;2. 表中所列误差均为 1σ 误差;3. 测试单位:天津地质矿产研究所。

表 2 柏木峡地区玄武岩 LA - ICP - MS 锆石 U - Pb 同位素测试 results 表
Tab. 2 LA - ICP - MS Zircon U - Pb isotopic analysis of the basalt of Nanhua Period in the Baimuxia area

点号	含量($\times 10^{-6}$)		同 位 素 比 值						年 龄 (Ma)						
	Pb	U	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	err%	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	err%	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	err%	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	err%	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	err%	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
1	21	149	0.125 3	0.64	1.116 6	2.05	0.064 6	2.04	0.035 6	0.56	0.770 2	0.14	761	761	763
2	48	578	0.082 7	0.64	0.651 7	0.88	0.057 2	0.83	0.022 0	0.33	0.400 7	1.09	512	510	498
3	18	129	0.125 9	0.65	1.115 4	1.67	0.064 3	1.65	0.035 0	0.51	0.664 3	0.17	764	761	751
4	43	274	0.144 6	0.71	1.357 4	1.74	0.068 1	1.48	0.040 2	0.58	0.635 3	0.44	871	871	871
5	30	209	0.125 9	0.65	1.119 4	1.16	0.064 5	1.10	0.035 6	0.28	0.851 4	0.20	764	763	758
6	30	201	0.144 4	0.63	1.356 5	0.98	0.068 1	0.92	0.039 5	0.68	0.480 4	0.12	870	870	872
7	46	128	0.300 8	0.63	4.309 3	1.53	0.103 9	1.45	0.072 1	0.45	1.193 0	0.22	1 695	1 695	1 695
8	17	117	0.125 9	0.62	1.121 8	1.65	0.064 6	1.61	0.035 2	0.27	1.104 0	0.39	765	764	762
9	79	285	0.253 4	0.60	3.231 1	0.70	0.092 5	0.67	0.065 0	0.18	0.649 8	0.17	1 456	1 465	1 478
10	37	271	0.133 8	0.63	1.220 8	0.97	0.066 2	0.93	0.036 9	0.43	0.410 5	0.09	810	810	812
11	69	193	0.313 3	0.61	4.680 0	0.72	0.108 3	0.68	0.082 0	0.14	0.815 0	0.45	1 757	1 764	1 772
12	15	100	0.111 4	0.63	0.954 9	1.69	0.062 2	1.68	0.028 9	0.24	1.755 7	0.12	681	681	681
13	98	221	0.320 6	0.61	4.958 1	0.70	0.112 2	0.66	0.080 6	0.11	1.894 0	0.13	1 792	1 812	1 835
14	10	77	0.125 8	0.78	1.122 4	3.18	0.064 7	3.05	0.028 6	1.46	0.796 6	0.19	764	764	764
15	18	143	0.095 8	0.66	1.517 2	1.62	0.114 9	1.68	0.019 3	0.56	1.946 7	0.63	590	937	1 878
16	22	144	0.126 0	0.62	1.119 7	1.28	0.064 4	1.23	0.034 2	0.23	1.133 3	0.14	765	763	756
17	14	91	0.133 7	0.63	1.219 3	2.57	0.066 1	2.53	0.037 9	0.47	1.007 1	0.09	809	809	811
18	13	86	0.126 0	0.62	1.121 8	1.89	0.064 6	1.85	0.035 9	0.36	1.105 1	0.07	765	764	760
19	44	463	0.101 6	0.60	0.956 2	0.83	0.068 2	0.80	0.027 3	0.43	0.062 8	0.46	624	681	876
20	41	290	0.126 0	0.61	1.119 4	0.84	0.064 4	0.80	0.035 3	0.19	0.784 8	0.11	765	763	756
21	14	97	0.116 5	0.70	1.669 1	1.59	0.103 9	1.67	0.038 8	0.38	0.974 3	0.28	711	997	1 695
22	21	136	0.144 4	0.61	1.352 3	1.32	0.067 9	1.29	0.042 0	0.57	0.540 3	0.12	869	869	866
23	11	69	0.144 0	0.63	1.354 2	2.80	0.068 2	2.77	0.040 3	0.97	0.645 2	0.12	867	869	874
24	77	803	0.090 7	0.61	0.735 3	0.75	0.058 8	0.72	0.026 4	0.20	0.559 5	0.13	560	560	560
25	8	43	0.125 7	0.84	1.120 6	6.85	0.064 7	6.90	0.040 0	0.91	1.782 2	0.16	763	763	763

注:①表中所列误差均为 1σ 误差。②1,3,5,8,14,16,18,20,25 号点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄加权平均值(764 $\pm$ 3)Ma。③4,6,22,23 号点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄加权平均值(869 $\pm$ 6)Ma。
④样品测试单位:天津地质矿产研究所。样品号:1U - Pb3284。

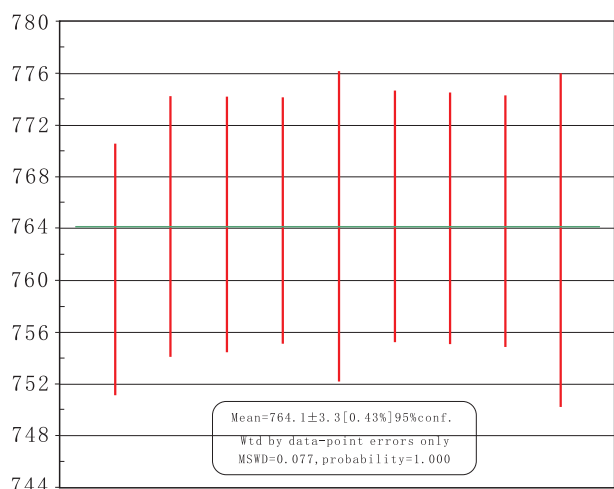


图 10 柏木峡玄武岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄直方图

Fig. 10 LA-ICP-MS Zircon U-Pb histograms of basalt of Baimuxia

从上述特征看出,由 9 颗锆石得出的(764 ± 3) Ma 年龄值应当代表了玄武岩成岩时代年龄,而 4 颗锆石得出的(869 ± 6) Ma 年龄值很可能反映了源区残留锆石的年龄。因此,玄武岩形成年龄确定为(764.1 ± 3.3) Ma,其形成时代为新元古代南华纪。

4 讨论

本次工作在北祁连柏木峡地区辉长岩、玄武岩中同时分别获得了(675 ± 31) Ma 和(764.1 ± 3.3) Ma 的高精度 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年龄值,尚属首次。上述年龄值代表了辉长岩、玄武岩成岩年龄,时代为新元古代,后期由于早古生代发生的构造运动,致使辉长岩、玄武岩以构造岩块形式残存于柏木峡构造蛇绿混杂岩带中。辉长岩、玄武岩形成时代的确定说明北祁连东部柏木峡地区在新元古代中期可能发生过大陆裂解构造事件,区域上在北祁连地区中新元古代岩浆岩中亦获得了较多可靠的年龄值。北祁连山西段吊大坂花岗片麻岩中获得了一组(751 ± 14) Ma 的单颗粒锆石年龄值(苏建平, 2004),北祁连山中段牛心山片麻状花岗岩与雷公山片麻状石英闪长岩中分别获得了(776 ± 10) Ma 和(774 ± 23) Ma 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄值(曾建元等, 2006),北祁连山东段上吊吊坡地区阴沟群中解体出了一套火山岩,获得了(723 ± 25) Ma 的 Sm-Nd 等时线年龄值(于福生, 2002),虽然获得这

些年龄的岩石类型不同,甚至形成于不同的构造环境中,但形成时代基本相同,说明在北祁连造山带内可能普遍存在此时期的岩浆活动记录。由此来看,北祁连造山带存在着一期新元古代岩浆活动,形成的岩石类型包括中酸性侵入岩、基性侵入岩及火山岩,这些岩石可能是全球 Rodinia 超大陆裂解时期岩浆活动的产物。

在区域上,柴北缘超高压变质岩中获得了大量的核部年龄($750 \sim 800$ Ma),代表这些超高压变质岩的原岩年龄,而且这些超高压变质岩的原岩可能是海洋岩石圈的产物(杨经绥等, 2003)。在柴北缘鱼卡河及绿梁山一带滩间山群中解体出一套新元古代蛇绿岩,玄武岩中获得 Rb-Sr 同位素等时线年龄值为(768 ± 39) Ma,与本次玄武岩中获得的年龄值相近。全吉群玄武质安山岩中获得了 800 Ma 左右的锆石 U-Pb 同位素年龄值,这套地层的发育代表着新元古代末期 Rodinia 超大陆的解体,是超大陆在新元古代早期解体初期阶段的地质记录(李怀坤, 2003),柴北缘新元古代片麻岩带被认为是全球 Rodinia 超大陆汇聚和裂解在中国西部的响应。香日德地区变质花岗岩中 904 Ma 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄值表明柴达木地块南缘存在一条中新元古代的花岗岩深成侵入岩带,由此可见,整个柴达木地块可能曾响应了全球 Rodinia 超大陆汇聚事件。综上所述,祁连地区(包括北祁连山、中南祁连地块)和柴达木地块普遍存在一期新元古代的岩浆活动,而这些岩浆活动正是 Rodinia 超大陆裂解的年代(曾建元等, 2006)。

以上大量的前人研究成果表明,在 Rodinia 大陆形成之后,祁连地区存在一期新元古代(大约 $800 \sim 750$ Ma)洋盆的裂解和闭合,其后才是加里东期洋盆(早古生代)的形成、陆-陆俯冲碰撞和超高压榴辉岩的形成、折返。由于该地区遭受强烈的加里东期构造作用的叠加、改造,新元古代形成的岩石被再循环,经过改造被变得面目全非(杨经绥等, 2004)。本区辉长岩、玄武岩以构造岩块形式残存于柏木峡构造蛇绿混杂岩带中,就是该时期构造运动的结果。

5 结论

(1)北祁连造山带存在着一期新元古代岩浆活

动,与全球 Rodinia 超大陆裂解时期岩浆活动具有一定的关联。

(2)辉长岩、玄武岩为柏木峡蛇绿构造混杂岩带的主要物质组成之一,高精度锆石 U-Pb 同位素年龄值的获得为进一步研究北祁连构造带的形成及演化提供了精确的年代学依据。

参考文献(References):

夏林圻,夏祖春,徐学义. 北祁连山构造-火山岩浆演化动力学[J]. 西北地质科学,1995,16(1):1-28.

XIA LQ, XIA ZC, XU XY. Dynamics of tectono-volcanomagmatic evolution from north Qilian Mountains, China [J]. Northwest Geoscience, 1995, 16(1):1-28.

张旗,王焰. 北祁连早古生代洋盆是裂陷槽还是大洋盆[J]. 地质科学,2000,35(1):121-128.

ZHANG Q, WANG Y. The North Qilian oceanic basin of the early paleozoic age is an aulacogen or a large oceanic basin [J]. Scientia Geologica Sinica, 2000, 35(1): 121-128.

张旗,孙晓猛,周德进,等. 北祁连蛇绿岩的特征、形成环境及构造意义[J]. 地球科学进展,1997,12(4):366-385.

ZHANG Q, SUN XM, ZHOU Dejin, et al. The characteristics of North Qilian ophiolites, forming settings and their tectonic significance [J]. Advance in Earth Science, 1997, 12(4): 366-385.

宋忠宝,任有祥,李智佩,等. 北祁连山西段同位素测年概况[J]. 西北地质,2003,36(4):1-7.

SONG Zhongbao, REN Youxiang, LI Zhipai, et al. Review on isotopic dating in the western part of the North Qilian [J]. Northwestern Geology, 2003, 36(4): 1-7.

夏林圻,夏祖春,徐学义. 北祁连山海相火山岩岩石成因[M]. 北京:地质出版社,1996.

XIA LQ, XIA ZC, XU XY. Origin of Marine volcanic Rocks in North Qilian Mountains [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996.

苏建平,胡能高,张海峰,等. 北祁连山西段吊大坂花岗片麻岩的锆石 U-Pb 年龄及地质意义 [J]. 地质科技情报, 2004, 23:11-14.

SU JP, HU NG, ZHANG HF, et al. The zircon U-Pb age and geological significance of the western part of North Qilian Mountains hanging Daban granite gneiss [J]. Geological science and technology intelligence, 2004, 23:11-14.

谢其锋,周立发,刘羽. 青海刚察大寺地区花岗岩类 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质通报, 2014, 33(9):1379-1390.

XIE Q F, ZHOU L F, LIU Y. LA-ICP-MS zircon U-Pb ages of Gangchadasi granite in Qinghai Province and their geological significance [J]. Geological Bulletin of China, 2014, 33(9):1379-1390.

刘占庆,裴先治,李瑞保,等. 东昆仑南缘阿尼玛卿构造带布青山地区两期蛇绿岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其构造意义[J]. 地质学报,2011,85(2):185-194.

LIU Z Q, PEI X Z, LI Ruibao, et al. LA-ICP-MS Zircon U-Pb geochronology of the two suites of ophiolites at the Buqingshan area of the A'nyemaqen orogen belt in the southern margin of east Kunlun and its tectonic implication [J]. Geological bulletin of china, 2011, 85(2): 185-194.

曾建元,杨宏仪,万渝生,等. 北祁连变质杂岩中新元古代(~775Ma)岩浆活动记录的发现:来自 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年的证据[J]. 科学通报,2006,51(5):575-581.

ZENG JY, YANG HY, WAN YS, et al. North Qilian Mountains metamorphic rock in the Neoproterozoic (~775Ma) magmatism records found: from the SHRIMP zircon U-Pb dating evidence [J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51(5):575-581.

于福生,王春英,杜国民. 北祁连山东段新元古代火山岩的年代学证据[J]. 中国地质,2002,29(4):360-363.

YU FS, WANG CY, DU GM. Chronological evidence of Neoproterozoic volcanic rocks in the eastern segment of the North Qilian Mountains [J]. Geology in China, 2002, 29(4):360-363.

李怀坤,陆松年,王惠初,等. 青海柴北缘新元古代超大陆裂解的地质记录—全吉群 [J]. 地质调查与研究,2003,26(1):27-37.

LI HK, LU SN, WANG HC, et al. Quanji group- the geological record of the rodinia supercontinent break-up in the early neoproterozoic preserved in the northern Qaidam margin, Qinghai, Northwest China [J]. Geological Survey and Research, 2003, 26(1):27-37.

杨经绥,史仁灯,吴才来,等. 柴达木盆地北缘新元古代蛇绿岩的厘定—罗迪尼亚大陆裂解的证据? [J]. 地质通报,2004,23(9-10):892-898.

YANG JS, SHI RD, WU CL, et al. Recognition of Neoproterozoic ophiolite on the northern margin of the Qaidam Basin: Evidence of the breakup of Rodinia [J]. Geological bulletin of china 2004, 23(9-10):892-898.