

中祁连西段北大河岩群中早古生代火山碎屑岩的识别——来自锆石 U-Pb 年代学的证据

彭岩^{1,2}, 李荣社², 计文化², 王超², 李猛², 张辉善^{1,2}, 吴中楠^{1,2}

(1. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083;

2. 中国地质调查局 西安地质调查中心, 陕西 西安 710054)

摘 要:前人认为北大河岩群是祁连造山带西段最古老的变质岩系之一。笔者在肃北地区该岩群中发现了变质中基性凝灰岩, 并对其进行了锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 同位素测定, 分析结果表明, 该中基性凝灰岩的形成年龄为 (444 ± 6.9) Ma, 可能为中祁连地块在早古生代发生构造岩浆活动的产物, 而并非北大河岩群物质组分。笔者根据野外露头、变质程度及年代学数据将其从北大河岩群中解体出来, 并将其重新归属于中下奥陶统吾力沟组。笔者研究结果将为探讨中南祁连的物质组成和地质演化历史提供新的约束材料。

关键词: U-Pb 年龄; 中基性凝灰岩; 解体; 北大河岩群; 中祁连

中图分类号: P597 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-6248(2014)04-0178-09

SHRMP U-Pb Geochronological Verification on the Identification of Early Paleozoic Volcanic Clasolite Zircons from the Beidahe Complex-Group in the Western Segment of the Middle Qilian Mountains, China

PENG-Yan^{1,2}, LI Rong-she², JI Wen-hua², WANG-Chao²,
LI-Meng², ZHANG Hui-shan^{1,2}, WU Zhong-nan^{1,2}

(1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an 710054, China)

Abstract: Previous researchers thought Beidahe Complex-Group was one of the oldest metamorphic rocks in the western part of the Qilian orogenic belt. However, according to the SHRMP U-Pb zircon data of the mafic tuffs from the Beidahe Complex-Group in Subei area reported in the paper, the intermediate-basic tuffs were formed in (444 ± 6.9) Ma, and they might be the product of early Paleozoic tectonic-magmatic activity in Mid-Qilian area rather than material compositions of Beidahe Complex-Group. The authors separated the tuff from Beidahe Complex-Group and re-attributed it to Wuligou Formation of Ordovician Series. The results of this study will provide new materials for exploring material composition and geological evolution of middle-south Qilian.

Key words: zircon U-Pb age; mafic tuffs; disintegration; Beidahe Complex-Group; Middle Qilian orogenic belt

收稿日期: 2014-04-16; 修回日期: 2014-09-13

基金项目: 国家自然科学基金(41102073)和中国地质调查局大地调“东昆仑成矿带地质矿产调查评价成果集成”(12120113028800)、“秦-祁-昆重要结合带组成、成因及演化研究”(1212011121258)项目联合资助

作者简介: 彭岩(1987-), 男, 陕西省咸阳市人, 在读硕士, 构造地质学专业。E-mail: pengyan2087@163.com

祁连造山带是典型的增生型造山带,位于中国大陆西北部(李永军等,2008),由于缺乏完整可靠的同位素年代学数据,祁连地块前寒武纪基底的归属及形成年代一直是中外学者关注的焦点,而北大河岩群作为祁连造山带西段古老的变质岩系,对其进行研究便显得尤为重要。北大河岩群由甘肃地层表(1980)命名,时代归属为前震旦亚界(甘肃省地层编写组,1980),主要分布在阿尔金断裂以南的北中祁连西北段,南祁连的北部局部出露(图 1)。其中,北祁连北大河岩群呈 3 条宽窄不一的条带形式残存于北祁连造山带内,主要由石墨大理岩夹云母片岩、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建造(张招崇等,1998;汤光中等,1979;黄德征等 1984)。北祁连北大河岩群在过去很长时间内被认为形成于古元古代(汤光中等,1979;黄德征等,1984;甘肃省地矿局,1989;张招崇等,1998;毛景文等,2003)。李怀坤等(2007)对北祁连西段吊大坂-土大坂之间的北大河岩群(图 1)白云母石英片岩中碎屑锆石进行了 SHRIMP U-Pb 同位素年龄测定,认为其沉积岩的沉积作用发生于 1 400 Ma(最小的锆石年龄)至 863 Ma(变质年龄)之间;陆松年等(2009)认为北祁连北大河岩群的地层时代应为中元古代晚期至新元古代早期。显然,关于北祁连北大

河岩群的时代属性还存在着分歧,但前人均认同北大河岩群作为北祁连造山带古老基底的事实。南祁连北大河岩群沿着阿尔金断裂展布,由黑云母石英片岩、云母石英片岩、绿泥石英片岩夹斜长角闪岩、角闪石片岩、浅粒岩和大理岩组成,原岩为火山岩-类复理石建造(1:20 万月牙湖幅区域地质调查报告,1976)。前人对南祁连北大河岩群年代学研究还不够关注,何世平等(2010)认为南祁连北大河岩群的形成时代为中—新元古代,并表明其是南祁连造山带的古老基底,朱龙关群作为盖层覆盖在上面。中祁连北大河岩群无规律断续分布,以黑云母斜长片麻岩、角闪黑云石英片岩、二云石英片岩、黑云石英片岩、黑云角闪岩为主,夹大理岩、结晶灰岩和石榴石黝帘石角闪岩,原岩为基性火山岩、碎屑岩和复理石建造(1:20 万月牙湖幅区域地质调查报告,1975;1:20 万别盖幅区域地质调查报告,1973)。对于中祁连北大河岩群的时代属性和构造属性。目前,研究最是薄弱,只能通过其上覆地层间接获得,徐晓春等(1996)对中祁连朱龙关群火山岩进行了 Sm-Nd 同位素年代学研究,结果表明其成岩年龄为 $(1\,770\pm333)\text{ Ma}$,时代属于中元古代早期,并认为其具有陆壳基底特征。

对于祁连造山带前寒武纪基底的研究,前人重点放在了北祁连地块,而忽略了对中南祁连地块的

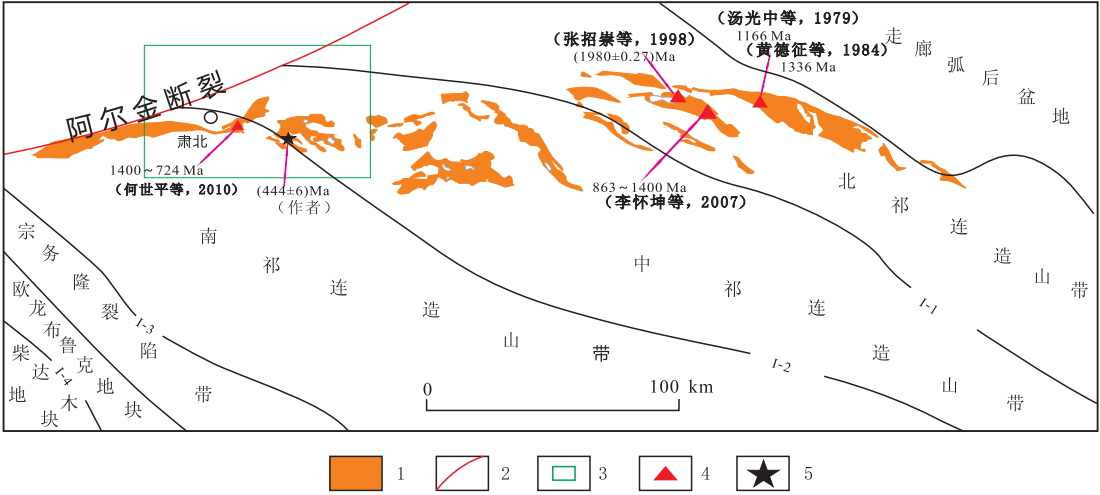


图 1 研究区大地构造位置图(据昆仑山及邻区地质图修编)

Fig. 1 Tectonic position of the study area(Modified after Kunlun Mountains and adjacent areas Geological Map)

1. 北大河群分布;2. 断裂;3. 研究区;4. 前人采样位置;5. 笔者样品位置

I-1. 北祁连新远古代—早古生代缝合带;I-2. 党河南山-拉脊山陆缘裂谷带;I-3. 宗务隆断裂带;I-4. 赛什腾-锡铁山-哇洪山早古生代结合带(柴北缘高压超高压带)

关注。因此,笔者对中祁连西段肃北地区北大河岩群进行了考察,以中基性凝灰岩为研究对象,通过岩相及锆石的阴极发光图像分析,利用 LA-ICP-MS 原位微区分析技术,进行了锆石 U-Pb 同位素测定,拟通过本次研究,为对比北、中、南祁连的物质组成、时代和构造属性提供基础依据,从而为探讨祁连造山带的地质演化历史提供新的约束材料。

1 区域地质背景

研究区位于中南祁连西北段甘肃肃北地区(图 2),北邻阿尔金断裂。古元古界北大河岩群为该出露的最古老的地层之一,为一套变质变形都比较强烈的变质岩系,由于断裂的影响,加之第四系的大面积覆盖。因此,北大河岩群由西向东断续出露于长城系朱龙关群盖层之下,两者呈断层接触。除此之外,研究区内还出露龚岔群、香毛山组、黑茨沟组、

吾力沟组、盐池湾组和巴龙贡嘎组等。本区广泛发育侵入岩,尤以晚古生代岩浆活动最为强烈,志留纪侵入岩沿着阿尔金断裂两侧断续发育,主要出露有超基性岩、闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩、花岗岩、二长花岗岩。

根据岩性组合和变质特点,现将本区北大河岩群自下而上依次分为 2 个岩组(1:20 万月牙湖幅区域地质调查报告,1975)。

第一岩组(与第二岩组为整合接触关系)。

下岩段:石榴子石二云石英片岩、白云石英片岩、黑云二长片麻岩,夹薄层大理岩、角闪片岩。属低角闪岩相-高绿片岩相,原岩为碳酸盐岩-复理石建造。(其与上岩段为整合接触关系)。

上岩段:大理岩、白云石大理岩、石榴子石黠帘石角闪岩、云母石英片岩、夹阳起石片岩、结晶灰岩、黑云二长片麻岩,下部含菱铁矿及铁矿。属高绿片岩相,原岩为碎屑岩或黏土岩-富铁镁碳酸盐岩

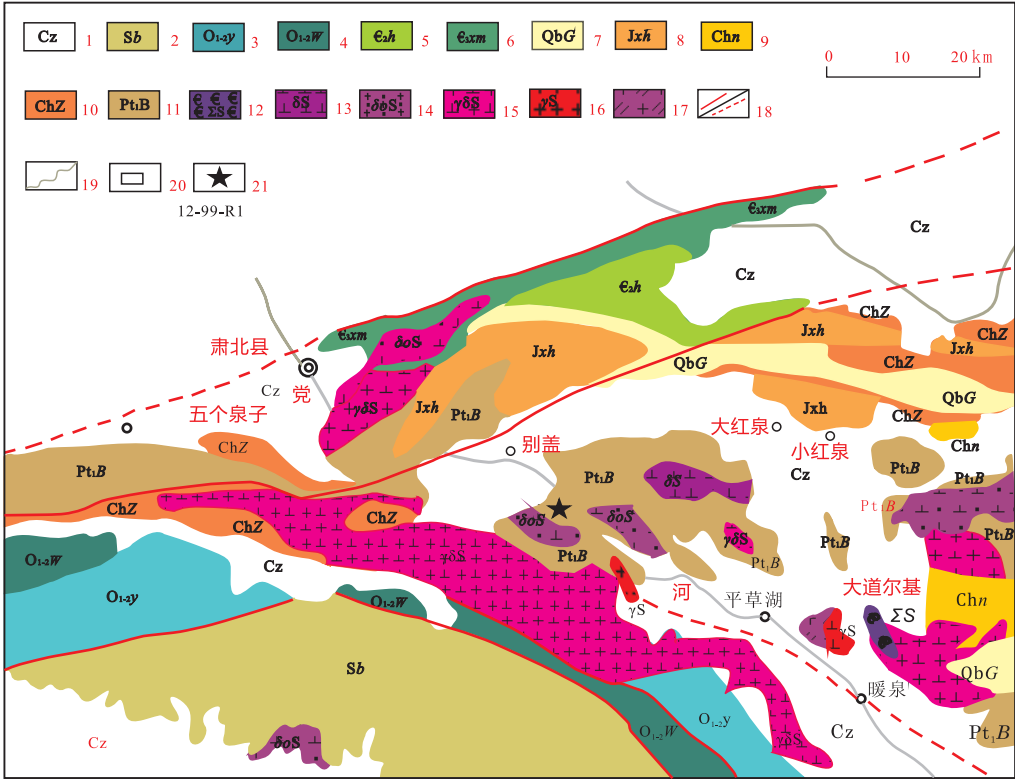


图 2 祁连山西段甘肃肃北一带地质简图(据何世平等,2010)

Fig. 2 Geological sketch map of Subei, Gansu Qilian Mountain area

1. 新生界;2. 志留系巴龙贡嘎组;3. 中上奥陶统盐池湾组;4. 中下奥陶统吾力沟组;5. 中寒武统黑茨沟组;6. 上寒武统香毛山组;
7. 青白口系龚岔群;8. 蓟县系花儿地组;9. 长城系南白水河组;10. 长城系朱龙关群;11. 古元古界北大河岩群;12. 志留纪超基性
岩;13. 志留纪闪长岩;14. 志留纪石英闪长岩;15. 志留纪花岗闪长岩;16. 志留纪花岗岩;17. 志留纪二长花岗岩;18. 断层/推测断
层;19. 公路/河流;20. 研究区;21. 采样点及样品编号

建造。

第二岩组(与上覆长城系为断层接触关系)。

黑石英片岩、角闪片岩夹石榴石斜长角闪岩、大理岩。属高-低绿片岩相,其原岩为火山岩-类复理石建造。

本次样品就采于别盖东南的北大河岩群的第二岩组中,其变质程度为高-低绿片岩相,经原岩恢复可将其分为上下 2 部分,下部为泥质粉砂岩夹中基性-基性火山岩,上部为泥质岩、泥质粉砂岩、碳酸盐岩夹中基性-基性火山岩。

2 样品及其岩石学特征

此次用于同位素测年所采的样品位于甘肃肃北

县城东南方向 38 km 处(地理坐标: N39°23′43″, E95°14′17″),岩性为变质中基性凝灰岩,野外呈灰绿色,致密块状,层理不明显,并与上覆斜长片麻岩呈断层接触。其镜下特征(图 3)表现为变余凝灰结构,岩石中石英晶屑明显,含量为 53%,粒径 0.1~0.4 mm,分布相对均匀。其次,是斜长石聚晶,常绢云母化,碳酸盐化,推测由斜长石晶屑聚集或联合增生形成,或者中-酸性岩屑变质而成,它们在基性介质中也明显呈碎屑状,含量为 20%~30%,粒径 0.4~2 mm。此外,岩石还发生绿泥石化,多成集合体团块或碎屑状,应是岩屑蚀变产物。基质则由偏中性细火山物质组成,已全部碳酸盐化、绿泥石化和云雾状绿帘石化,并且发生聚集从而向极性柱状矿物发育。

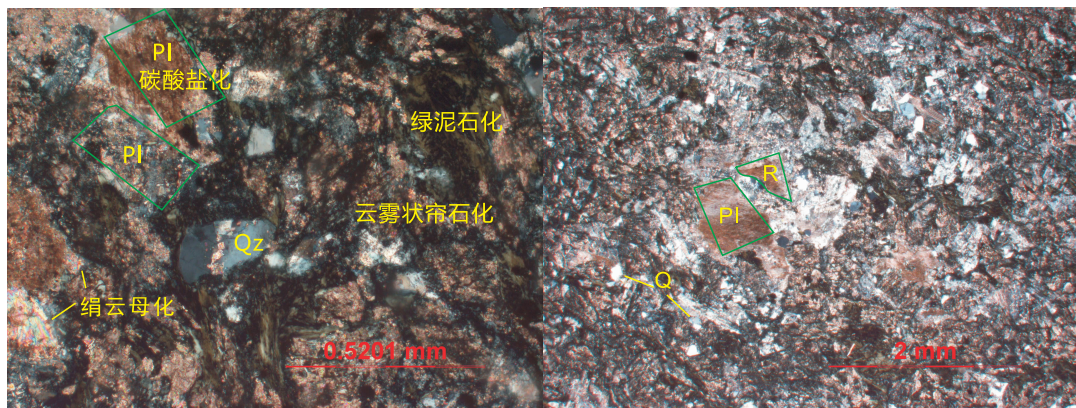


图 3 北大河岩群变质中基性凝灰岩(12-99-R1)正交偏光显微照片

Fig. 3 The orthogonal polarizing micrograph of metamorphic mafic tuffs(12-99-R1)in Beidahe Complex-Group
Pl. 斜长石;R. 岩屑;Q. 石英;Q₂. 石英集合体

3 分析与测试方法

笔者测试的锆石样品采自北大河岩群中的中基性凝灰岩(样品 21-99-R1)。锆石在双目镜下挑出无色透明的、无裂痕无包体的颗粒,然后再用环氧树脂固定、抛光至锆石颗粒一半露出,以便后续研究充分揭示锆石的内部结构特征并判别锆石成因,最后再进行锆石的阴极发光(CL)内部结构以及 LA-ICP-MS 原位微量元素和同位素分析测试。本次锆石的 CL 图像是在中国科学院地质与地球物理研究所完成,U-Pb 定年以及微量元素分析则是在天津

地质矿产研究所同位素实验室完成。测试点的选取首先,根据锆石反射光和透射光照片进行初选,再与 CL 图像反复对比,力求避开内部裂隙和包裹体,以获得较准确的年龄信息。

在天津地质矿产研究所同位素实验室利用激光剥蚀多接收器等离子体质谱仪(LA-MC-ICPMS)进行微区原位 U-Pb 同位素测定,仪器配置和实验流程参见文献(李怀坤等,2009)。采用 GJ-1 作为外部锆石年龄标准进行 U-Pb 同位素分流校正(Jackson S E 等,2004),采用中国地质大学刘勇胜博士研发的 ICPMSDataCal 程序(Liu Y S 等,2009)和 Ludwig(2003)的 Isoplot 程序进行数据处理,应用

^{208}Pb 校正法对普通 Pb 进行校正 (Andersen T, 2002), 利用 NIST612 玻璃标样作为外标计算锆石样品的 Pb、U、Th 含量。

4 实验分析及结果

从中基性凝灰岩样品中获得的锆石相对较小, 集中在 $30\sim70\text{ }\mu\text{m}$, 部分锆石呈圆度很好的短柱状, 大多数为浑圆状锆石。锆石的内部结构复杂, 阴极荧光亮度差异明显(图 4), Th 和 U 含量及比值差异较大($\text{Th}/\text{U}=0.03\sim1$)。中基性凝灰岩(12-99-R1)中的锆石 U-Pb 同位素测试结果列于表 1。笔者总共获得 46 个测试点, 其中有效测试点 39 个, 并且均具有比较好的 U-Pb 同位素谐和年龄。在锆石年龄频谱分布图上(图 5a), 年龄值主体形成 $434\sim455$ 、 $736\sim948$ 、 $1\ 149\sim1\ 490$ 、 $1\ 592\sim2\ 043$ 、 $2\ 483\sim2\ 565\text{ Ma}$ 等多个组年龄段, 并且 $434\sim455\text{ Ma}$ 年龄值构成主要的峰值, 除此之外的古老锆石测点其 CL 图像复杂、Th/U 值变化大($0.07\sim0.98$), 可能代表该凝灰岩样品中的捕获锆石。

在 U-Pb 谐和图(图 5b)上, 有 6 个年轻的测点(1、9、13、17、28、36 测点)的 Th/U 值都比较高, 为 $0.5\sim1$, 并且显示弱的环带, 具有岩浆成因锆石的特征, 它们的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄为 $434\sim455\text{ Ma}$, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $(444\pm6.9)\text{ Ma}$, 该年龄可能代表了中基性凝灰岩的形成年龄。还有一段有 5 个测试点(7、19、27、32、33 测点), 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄为 $736\sim942\text{ Ma}$, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为



图 4 北大河岩群中基性凝灰岩(12-99-R1)锆石 CL 图像
Fig. 4 The CL images of the zircons from metamorphic mafic tuff (12-99-R1) in Beidahe Complex-Group

(842 ± 91)Ma, 其中有 3 个测点(7、27、33)位于锆石的变质增生壳部分, 阴极荧光显示在相对较亮的核的基础上有暗色的变质壳增生, 这些锆石的 Th/U 值基本上介于 $0.07\sim0.2$ 并且具有高 U 含量(介于 $(694\sim1\ 130)\times10^{-6}$), 表明这些锆石为变质成因锆石, 也就是说为 $736\sim948\text{ Ma}$, 可能代表北大河岩群所遭受的一次变质事件的年龄, 这与李怀坤等(2007)研究表明北大河岩群可能遭受过 863 Ma 左右的变质作用影响相一致。在 U-Pb 谐和图上还有一段年龄介于 $1\ 149\sim2\ 043\text{ Ma}$, 其分布松散, 无明显集中区, 仅在 $1\ 149\sim1\ 342\text{ Ma}$ 年龄段数据较多, 有 9 个测试点, 其可能与 Rodinia 超大陆的聚合造山作用有关。测年结果还有 2 个太古宙的碎屑锆

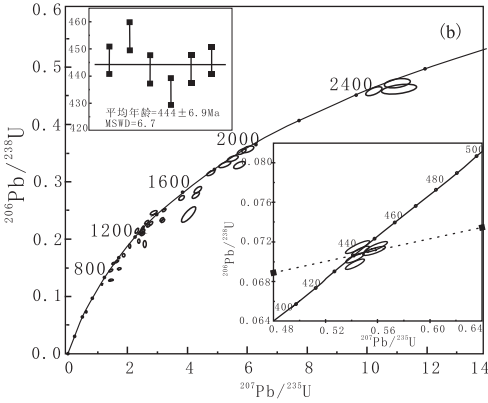
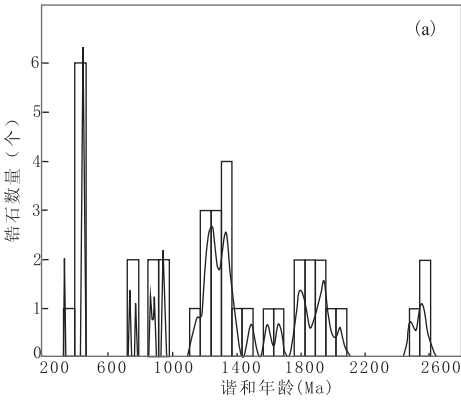


图 5 北大河岩群中基性凝灰岩(12-99-R1)年龄频谱分布图 (a) 和 锆石 U-Pb 年龄谐和图(b)

Fig. 5 The age distribution of the spectrum (a) and the concordia diagram (b) of the zircons from metamorphic mafic tuffs(12-99-R1)in Beidahe Complex-Group

表 1 北大河岩群中性凝灰岩 (12-99-R1) LA-ICP-MS 单颗粒锆石 U-Pb 同位素测年结果表

Tab. 1 LA-ICP-MS Zircon U-Pb isotope data for metamorphic mafic tuffs (12-99-R1) in Beidahe Complex-Group

样品号	U-Pb 同位素比值					Th/U		U-Pb 同位素表面年龄 (Ma)					含量 (× 10 ⁻⁶)				
	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²³² Th/ ²³⁸ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		Pb	U		
	比值	1σ	比值	1σ		比值	1σ	年龄	1σ	年龄	1σ	年龄					
12-99-R1	0.558	0.005 3	0.071 6	0.000 4	0.056 5	0.000 6	0.010 7	0.000 12	0.65	446	3	450	4	473	22	54	759
12-99-R2	2.374	0.020 1	0.195 5	0.001 5	0.088 0	0.000 9	0.025 0	0.000 12	0.32	1 151	9	1 235	10	1 383	20	158	825
12-99-R3	5.786	0.051 0	0.351 8	0.002 1	0.119 3	0.001 3	0.044 4	0.000 10	0.98	1 943	12	1 944	17	1 945	19	72	189
12-99-R4	4.235	0.035 8	0.275 0	0.002 0	0.111 7	0.001 2	0.033 6	0.000 12	0.59	1 566	11	1 681	14	1 827	19	46	164
12-99-R5	5.910	0.078 6	0.355 1	0.002 0	0.120 7	0.001 8	0.045 0	0.000 22	0.66	1 959	11	1 963	26	1 966	27	67	182
12-99-R6	3.157	0.027 0	0.232 9	0.001 4	0.098 3	0.001 0	0.033 8	0.000 21	0.52	1 350	8	1 447	12	1 592	19	31	131
12-99-R7	1.129	0.009 3	0.121 0	0.000 8	0.067 6	0.000 7	0.022 3	0.000 13	0.08	736	5	767	6	858	21	109	960
12-99-R8	2.617	0.037 8	0.231 9	0.001 3	0.081 9	0.001 2	0.028 8	0.001 92	0.27	1 344	8	1 306	19	1 242	29	95	422
12-99-R9	0.648	0.005 5	0.073 1	0.000 4	0.064 3	0.000 7	0.009 7	0.000 11	0.76	455	3	507	4	752	22	29	387
12-99-R10	1.846	0.015 3	0.171 5	0.001 1	0.078 1	0.000 9	0.027 8	0.000 12	0.21	1 020	7	1 062	9	1 149	22	87	527
12-99-R11	3.799	0.034 9	0.269 9	0.001 8	0.102 1	0.001 1	0.038 3	0.000 10	0.66	1 540	10	1 593	15	1 663	20	67	239
12-99-R12	5.498	0.083 5	0.340 0	0.002 4	0.117 3	0.002 0	0.043 3	0.000 09	0.71	1 887	14	1 900	29	1 915	31	40	111
12-99-R13	0.556	0.006 9	0.071 0	0.000 4	0.056 8	0.000 7	0.010 8	0.000 41	0.53	442	3	449	6	485	25	29	418
12-99-R16	2.335	0.033 8	0.208 8	0.001 2	0.081 1	0.001 2	0.025 9	0.001 87	0.56	1 223	7	1 223	18	1 224	30	135	649
12-99-R17	0.542	0.005 4	0.069 7	0.000 4	0.056 4	0.000 6	0.010 6	0.000 19	0.92	434	3	440	4	468	22	50	698
12-99-R18	2.096	0.023 1	0.187 7	0.001 5	0.081 0	0.000 9	0.025 9	0.000 36	0.27	1 109	9	1 147	13	1 221	22	136	747
12-99-R19	1.707	0.022 9	0.147 4	0.000 9	0.084 0	0.000 9	0.022 2	0.000 25	0.06	886	5	1 011	14	1 292	21	97	695
12-99-R20	2.397	0.060 6	0.213 9	0.002 7	0.081 3	0.002 1	0.035 3	0.000 65	0.70	1 249	16	1 242	31	1 228	51	72	325
12-99-R21	2.665	0.024 9	0.227 5	0.001 5	0.085 0	0.000 9	0.036 4	0.000 35	0.39	1 321	9	1 319	12	1 315	21	26	116
12-99-R22	2.486	0.019 7	0.218 9	0.001 6	0.082 4	0.000 8	0.044 0	0.000 09	0.25	1 276	9	1 268	10	1 254	19	49	228
12-99-R23	10.936	0.230 6	0.464 4	0.002 6	0.170 8	0.003 7	0.072 2	0.002 94	0.90	2 459	14	2 518	53	2 565	274	145	36
12-99-R24	5.719	0.074 8	0.329 2	0.002 1	0.126 0	0.001 8	0.079 5	0.001 85	0.25	1 835	11	1 934	25	2 043	25	13	37
12-99-R26	4.302	0.046 7	0.284 8	0.002 2	0.109 5	0.001 4	0.036 8	0.000 38	0.65	1 616	13	1 694	18	1 792	23	50	171
12-99-R27	1.426	0.029 4	0.128 1	0.000 7	0.080 8	0.001 7	0.054 4	0.000 07	0.15	777	4	900	19	1 215	42	44	345
12-99-R28	0.547	0.005 6	0.071 1	0.000 4	0.055 8	0.000 7	0.012 3	0.000 21	0.57	443	3	443	5	444	26	44	613
12-99-R29	2.711	0.021 4	0.228 3	0.001 3	0.086 1	0.000 8	0.035 7	0.000 28	0.47	1 326	7	1 332	11	1 341	19	60	263
12-99-R30	10.246	0.101 1	0.457 0	0.002 5	0.162 6	0.001 9	0.060 9	0.000 14	0.21	2 426	13	2 457	24	2 483	19	257	545
12-99-R31	3.214	0.028 0	0.250 3	0.001 4	0.093 1	0.001 0	0.036 2	0.000 23	0.41	1 440	8	1 460	13	1 490	20	69	277
12-99-R32	1.405	0.022 7	0.144 0	0.000 9	0.070 8	0.001 2	0.013 1	0.002 15	0.11	867	5	891	14	951	34	149	1 104
12-99-R33	1.524	0.019 3	0.157 3	0.000 9	0.070 3	0.000 9	0.022 4	0.000 41	0.28	942	5	940	12	936	26	146	967
12-99-R34	2.457	0.045 7	0.209 6	0.001 2	0.085 0	0.001 6	0.024 2	0.000 27	0.42	1 227	7	1 259	23	1 316	37	68	330
12-99-R35	4.761	0.052 2	0.316 4	0.001 8	0.109 1	0.001 4	0.038 7	0.000 02	0.78	1 772	10	1 778	19	1 785	23	22	68
12-99-R36	0.544	0.007 5	0.071 6	0.000 4	0.055 2	0.000 8	0.008 1	0.000 12	1.00	446	2	441	6	419	34	60	824
12-99-R37	0.409	0.003 4	0.052 7	0.000 3	0.056 4	0.000 6	0.009 7	0.000 14	0.73	331	2	349	3	469	23	58	1 059
12-99-R38	2.478	0.025 0	0.208 6	0.001 2	0.086 2	0.000 9	0.027 6	0.001 63	0.32	1 221	7	1 266	13	1 342	19	94	460
12-99-R39	10.991	0.147 3	0.471 2	0.003 8	0.169 2	0.002 4	0.053 8	0.000 29	0.04	2 489	20	2 522	34	2 549	24	107	223
12-99-R40	5.270	0.085 7	0.330 7	0.001 9	0.115 6	0.001 9	0.043 2	0.002 19	0.64	1 842	11	1 864	30	1 889	30	24	70
12-99-R41	2.851	0.046 7	0.246 0	0.001 5	0.084 1	0.001 5	0.035 7	0.000 53	0.16	1 418	9	1 369	22	1 294	35	57	241
12-99-R45	1.599	0.020 0	0.158 4	0.001 2	0.073 2	0.001 1	0.036 5	0.000 06	0.43	948	7	970	12	1 020	32	41	255

石,其 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 加权平均年龄为 $(2\ 554\pm 39)\text{Ma}$,尽管代表了捕获的锆石年龄,但肯定不是捕获北大河岩群的锆石,而可能是更古老的本区未出露的古老基底。在本区的邻区,如敦煌地块和北祁连地块均出露有新太古宙变质岩系,其测定的年龄范围基本上和 $2\ 554\text{Ma}$ 接近(张招崇等,2001;万渝生等,2003;赵燕等,2013),由此推断,这2个太古宙的碎屑锆石可能来自敦煌地块和北祁连地块。

5 讨论与结论

潘桂堂等(2004)获得了南祁连火山岩的 Rb-Sr 同位素年龄为 $442\sim 464\text{Ma}$,张万仁等(2006)对南祁连吾力沟组中透镜状安山岩进行了 U-Pb 同位素测定,获得了 450Ma 的等时线年龄。前人在中祁连西段同样获得了呈带状出露的侵入岩 U-Pb 同位素年龄,主要分布在 $415\sim 454\text{Ma}$ (苏建平等,2004;雍拥等,2008;陈隽璐等,2008;何世平等,2008),两者共同构成了中祁连早古生代构造岩浆岩带,暗示中祁连在早古生代时期属于活动性陆缘,同时也表明在此期间中祁连地块曾发生过一次比较强烈的构造岩浆活动。研究区中下奥陶统吾力沟组上部以中基性火山岩为主,下部以中基性-中酸性火山岩为主,上下部以断层相分隔,火山岩普遍遭受后期不同程度的蚀变和变质变形作用的改造,部分岩石已碳酸盐化、绿泥石化和绢云母化(冯备战等,2006)。其碎屑锆石年龄频谱分布范围主要为 $440\sim 500\text{Ma}$ 、 $740\sim 880\text{Ma}$ 、 $880\sim 1\ 000\text{Ma}$ 、 $1\ 000\sim 1\ 200\text{Ma}$ 、 $1\ 200\sim 1\ 800\text{Ma}$ 和 $2\ 400\sim 2\ 600\text{Ma}$ (徐亚军等,2013)。左国朝等(2002)发现本区北大河岩群与奥陶系之间被加里东期花岗岩所侵入,局部为断层接触关系,北大河岩群由北向南逆冲到奥陶系之上,而奥陶系则呈构造窗出露于无根的北大河岩群之下。

笔者测得中祁连西段变质中基性凝灰岩的 U-Pb 同位素年龄为 $(444\pm 6.9)\text{Ma}$,结合岩石较弱的变质变形特征,将其解释为变质中基性凝灰岩的形成年龄。本次所测的年龄和上述中祁连地块构造岩浆活动的年龄段很是一致,说明了本次岩浆构造活动可能同区域上的岩浆活动为同一事件即本区变质中基性凝灰岩可能就是此次构造岩浆活动的产物。本区中基性凝灰岩以中基性火山岩为主,其上与斜长片麻岩呈断层接触,岩石遭受后期变质变形作用

改造强烈,多数岩石发育碳酸盐化、绿泥石化、绢云母化,其碎屑锆石年龄频谱分布范围主要为 $434\sim 455$ 、 $736\sim 948$ 、 $1\ 149\sim 1\ 490$ 、 $1\ 592\sim 2\ 043$ 、 $2\ 483\sim 2\ 565\text{Ma}$ 等多个组年龄段。因此,本区变质中基性凝灰岩不管是在地貌上还是在岩石组合和锆石年龄谱特征上均与研究区中下奥陶统吾力沟组上部中基性凝灰岩显示了很好的一致性,故将其划归为中下奥陶统吾力沟组。

综上所述可得以下认识。

(1)笔者在中祁连西段北大河岩群中发现了中基性凝灰岩,其形成年龄为 $(444\pm 6.9)\text{Ma}$,并且该凝灰岩可能就是中祁连地块在早古生代发生构造岩浆活动的产物。

(2)对区域地层进行对比并结合前人资料,可从原划定的古元古界北大河岩群中解体出中下奥陶统吾力沟组地层单元,从而为进一步认识中祁连造山带的物质组成和构造演化提供了依据。

致谢:在论文写作过程中得到了何世平研究员的有益指导,数据测试过程中得到了天津地调测试中心耿建珍工程师的热情帮助,野外资料收集阶段得到周洪瑞教授、王约教授的有益帮助,在此一并表示感谢!

参考文献(References):

- 李永军,张翔,庞振甲,等.天水地区花岗岩类及其构造演化[J].西北地质,2008,29(8):29-35.
- LI Yongjun, Zhang Xiang, Pang Zhengjia, et al. The Granitoid and Its Tectonic Evolution in Tian shui Area[J]. Northwestern Geology, 2008, 29(8): 29-35.
- 甘肃省地层表编写组.西北地区区域地层表,甘肃省分册[M].北京:地质出版社,1980.
- Stratigraphic table Wring Group of Gansu Province. Northwest Regional Stratigraphic table, Gansu branch[M]. Geological Publishing, Beijing, 1980.
- 张招崇,毛景文,左国朝,等.北祁连西段早元古代变质火山岩的地球化学特征及其构造背景[J].矿物岩石,1998,18(4):22-30.
- Zhang Zhaochong, Mao Jingwen, Zuo Guochao, et al. Geochemistry of the proterozoic metamorphic volcanic rocks in the west part of north Qilian mountains and their tectonic setting [J]. Mineral and Rock, 1998, 18(4): 22-30.

- 甘肃省地质矿产局. 甘肃省区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1989.
- Geology and Mineral Resources Bureau of Gansu Province. Regional Geology Map of Gansu Province[M]. Geological Publishing, Beijing, 1989.
- 毛景文, 张招崇, 杨建民, 等. 北祁连山西段铜金铁钨多金属矿床成矿系列和找矿评价[M]. 北京:地质出版社, 2003.
- Mao Jingwen, Zhang Zhaochong, Yang Jianmin, et al. North Qilian Mountain Au-Fe-W polymetallic metallogenic series and prospecting[M]. Geological Publishing, Beijing, 2003.
- 李怀坤, 陆松年, 相振群, 等. 北祁连山西段北大河岩群碎屑锆石 SHRIMP-U-Pb 年代学研究[J]. 地质论评, 2007, 53(1):132-139.
- Li Huaikun, Lu Songnian, Xiang Zhenqun, et al. SHRIMP U-Pb Geochronological Research on Detrital Zircons from the Beidahe Complex-Group in the Western Segment of the North Qilian Mountains Northwest China[J]. Geological Review, 2007, 53(1):132-139.
- 陆松年, 李怀坤, 王慧初, 等. 秦一祁一昆造山带元古宙副变质岩层碎屑锆石年龄谱研究[J]. 岩石学报, 2009, 25(9):2195-2208.
- Lu Songning, Li Huaikun, Wang Huichu, et al. Detrital zircon population of Proterozoic metasedimentary strata in the Qinling-Qilian-Kunlun Orogen[J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(9):2195-2208.
- 甘肃省地质局地质力学区测队. 1:20 万月牙湖幅区域地质调查报告[R]. 1975.
- Gansu Provincial Geological Bureau Geomechanics Survey Team. 1:200 000 Yueyahu regional geological survey sites[R]. 1975.
- 何世平, 李荣社, 王超, 等. 祁连山西段甘肃肃北地区北大河岩群片麻状斜长角闪岩的形成时代[J]. 地质通报, 2010, 29(9):1276-1280.
- He Shiping, Li Rongshe, Wang Chao, et al. Geochronology of gneissic plagioclase-amphibolite from Beidahe Group-complex in western segment of Qilian Mountains, China[J]. Geological Bulletin of China, 2010, 29(9):1276-1280.
- 甘肃省地质局地质力学区测队. 1:20 万别盖幅区域地质调查报告[R]. 1973.
- Gansu Provincial Geological Bureau Geomechanics Survey Team. 1:200000 Biegai regional geological survey sites[R]. 1975.
- 徐晓春, 岳书仓, 刘因, 等. 甘肃走廊南山朱龙关群的时代及其火山岩的岩石化学特征[J]. 安徽地质, 1996, 6(4):1-6.
- Xu Xiaochun, Yue Shucang, Liu Yin, et al. The time and Petrochemical characteristics of volcanic of Zhulongguan Group in Zoulangnanshan, Gan Su[J]. Anhui Geology, 1996, 6(4):1-6.
- 李荣社, 计文化, 潘晓萍, 等. 昆仑山及邻区地质图[M]. 北京:地质出版社, 2008.
- Li Rongshe, Ji Wenhua, Pan Xiaoping, et al. Kunlun Mountains and adjacent areas Geological Map[M]. Geological Publishing, Beijing, 2008.
- 李怀坤, 耿建珍, 郝爽, 等. 用激光烧蚀多接收器等离子体质谱仪(LA-MC-ICPMS)测定锆石 U-Pb 同位素年龄的研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2009, 28(增刊):77.
- Li Huaikun, Geng Jianzhen, Hao Shuang, et al. Zircon U-Pb isotopic age determination by laser ablation multi-collector plasma mass spectrometer (LA-MC-ICPMS)[J]. 2009, 28(Supplement):77.
- 张招崇, 周美付, Paul T Robinson, 等. 北祁连山西段熬油沟蛇绿岩 SHRMP 分析结果及其地质意义[J]. 岩石学报, 2001, 17(2):222-226.
- Zhang Zhaochong, Zhou Meifu, Paul T Robinson, et al. SHRMP dating of the Aoyougou ophiolite in the west sector of the north Qilian Mountains and its geological significance[J]. Acta Petrologica sinica, 2001, 17(2):222-226.
- 万渝生, 许志琴, 杨经绥, 等. 祁连造山带及邻区前寒武纪深变质基底的时代和组成[J]. 地球学报, 2003, 24(4):319-324.
- Wang Yusheng, Xu Zhiqin, Yang Jingsui, et al. The Precambrian High-grade Basement of the Qilian Terrane and Neighboring Areas: Its Ages and Compositions[J]. Earth Journal, 2003, 24(4):319-324.
- 赵燕, 第五春荣, 孙勇, 等. 甘肃敦煌水峡口地区寒武纪岩石的锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素组成及其地质意义[J]. 岩石学报, 2013, 29(5):1698-1712.
- Zhao Yan, Diwu Chunrong, Sun Yong, et al. Zircon geochronology and Lu-Hf isotope composition for Precambrian rocks of the Dunhuang complex in Shuixiakou area, Gansu Province[J]. Acta Petrologica Sinica, 29(5):1698-1712.
- 潘桂堂, 丁俊. 青藏高原及邻区地质图说明书[R]. 北京:地质出版社, 2004.
- Pan Guitang, Ding Jun. Qinghai-Tibet Plateau and adjacent areas Geological Map[M]. Geological Publishing, Beijing, 2004.

- 张万仁,冯备战,吴宝祥,等. 甘肃南祁连山奥陶纪火山岩演化的地球化学证据[J]. 地质与勘探, 2007, 43(1): 97-101.
- Zhang Wanren, Feng Beizhan, Wu Baoxiang, et al. The geochemical evidence of Ordovician volcanic evolution in South Qilian, Gansu[J]. Geology and Prospect, 2007, 43(1): 97-101.
- 苏建平, 胡能高, 张海峰, 等. 中祁连山西段黑沟梁子花岗岩的锆石 U-Pb 同位素年龄及成因[J]. 现代地质, 2004, 18(1): 70-74.
- Su Jianping, Hu Nenggao, Zhang Haifeng, et al. U-Pb zircon dating and genesis of the Heigouliangzi granitic intrusion in the Western segment of the middle Qilian mountains[J]. Geoscience, 2004, 18(1): 70-74.
- 雍拥, 肖文交, 袁超, 等. 中祁连山东段古生代花岗岩的年代学、地球化学特征及其大地构造意义[J]. 岩石学报, 2008, 24(4): 855-866.
- Yong Yong, Xiao Wenjiao, Yuan Chao, et al. Geochronology and geochemistry of Paleozoic granitic plutons from the eastern Central Qilian and their tectonic implications [J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(4): 855-866.
- 陈隽璐, 徐学义, 曾佐勋, 等. 中祁连山东段石川杂岩基的岩石化学特征及年代学研究[J]. 岩石学报, 2008, 24(4): 841-854.
- Chen Junlu, Xu Xueyi, Zeng Zuoxun, et al. Geochemical characters and LA-ICPMS zircon U-Pb dating constraints on the petrogenesis and tectonic of the Shichuan intrusion, east segment of the Central Qilian, NW China[J]. Acta Petrologica, 2008, 24(4): 841-854.
- 何世平, 王洪亮, 陈俊璐, 等. 中祁连山马街山岩群内基性岩墙群锆石 LA-ICP-MSU-Pb 年代学及其构造意义[J]. 地球科学, 2008, 33(1): 35-44.
- He Shiping, Wang Hongliang, Chen Junlu, et al. LA-ICP-MS U-Pb Zircon Geochronology of Basic Dikes within Maxianshan Rock Group in the Central Qilian Mountains and Its Tectonic Implications[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2008, 33(1): 35-44.
- 冯备战. 甘肃南祁连山奥陶纪火山岩的岩石地球化学特征[J]. 甘肃地质, 2006, 15(2): 15-20.
- Feng Beizhan. Geochemistry of the Ordovician volcanic rocks in Southern Danghe Mountains, Southern Qilian Mountains, Gansu province[J]. Gansu Geology, 2006, 15(2): 15-20.
- 徐亚军, 杜远生, 杨江梅, 等. 北祁连造山带晚奥陶世—泥盆纪构造演化: 碎屑锆石年代学证据[J]. 地球科学, 2013, 38(5): 934-946.
- Xu Yajun, Du Yuansheng, Yang Jiangmei, et al. Tectonic evolution of the North Qilian orogenic belt from detrital Zircon geochronology[J]. Earth Science, 2013, 38(5): 934-946.
- 左国朝, 刘义科, 张崇, 等. 北祁连造山带中—西段陆壳块群的构造—地层特征[J]. 地质科学, 2002, 37(3): 302-312.
- Zuo Guochao, Liu Yike, Zhang Chong, et al. Tectono-stratigraphic characteristics of continent crustal remnants in central-western sector of the North Qilian orogen[J]. Geological Sciences, 2002, 37(3): 302-312.
- Jackson S E, Pearson N J, Griffin W L, et al. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U-Pb zircon geochronology [J]. Chemical Geology, 2004, 211: 47-69.
- Liu Y S, Gao S, Hu Z C, et al. Continental and oceanic crust-recycling-induced melt-peridotite interactions in the TransNorth China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons from mantle xenoliths [J]. Journal of Petrology, 2009, 51: 537-571.
- Ludwig K R. User's manual for Isoplot/Ex, version 3. 00 [M]// A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel; Berkeley Geochronology Center Special Publication. 2003, 4: 1-70.
- Andersen T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. Chemical Geology, 2002, 192: 59-79.