

# 中祁连地块蓟县系南白水河组玄武安山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄 及其地质意义



Pre-pub. on line: www.  
geojournals.cn/georev

马有文<sup>1,2,3)</sup>, 刘长云<sup>1,2,3)</sup>, 陈光庭<sup>1,2,3)</sup>, 才航加<sup>1,2,3)</sup>, 张金明<sup>1,2,3)</sup>

1) 青海省地质调查院, 西宁, 810012;

2) 青藏高原北部地质过程与矿产资源重点实验室, 西宁, 810012;

3) 青海省遥感大数据工程技术研究中心, 西宁, 810012

**内容提要:** 蓟县系南白水河组为中祁连地块西段的基底岩系, 对研究中祁连地块元古宙地质构造演化具有重要意义。笔者通过 1:5 万区调工作在南白水河组中发现了玄武安山岩夹层, 本文对玄武安山岩进行了锆石 U-Pb 年代学、岩石地球化学研究。测年结果获得玄武安山岩形成年龄为  $1489 \pm 16$  Ma, 属于中元古代蓟县纪, 另外获得 1926~2053 Ma 继承性锆石年龄, 为 Columbia 超大陆聚合事件的地质记录。岩石地球化学分析表明, 这套玄武安山岩呈现富  $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  贫  $\text{TiO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  的特点, 稀土配分曲线为右倾轻稀土富集型,  $\text{LREE}/\text{HREE} = 3.73 \sim 6.72$ ,  $(\text{La}/\text{Yb})_N$  为 5.66~7.56,  $\delta\text{Eu} = 0.69 \sim 0.81$  富集 Ba、Th、U、Nb 等大离子亲石元素, Nb、K、P 和 Ti 相对亏损, 具有板内碱性玄武岩特征, 为伸展机制下的产物。是祁连地块中元古代早期 Columbia 超大陆裂解事件的响应。

**关键词:** 玄武安山岩; 南白水河组; LA-ICP-MS U-Pb 测年; 中祁连地块西段

祁连造山带是中央造山系的重要组成部分, 位于华北克拉通东部的阿拉善地块和柴达木地块之间(图 1), 是一个早期经历超大陆旋回, 寒武纪开始受特提斯演化影响经历了俯冲造山、碰撞造山和陆内造山等三种不同类型的造山作用, 中、新生代又被走滑断裂所切断, 由不同构造层次、不同时期和形成于不同构造环境地质体所组成的复合造山带(冯益民, 1992, 1997; 陆松年等, 2005; 许志琴等, 1999)。带内前寒武纪浅变质碎屑沉积地层广泛分布, 由于缺少精确而系统的同位素年代学数据, 祁连造山带前寒武纪基底的形成时代及归属一直是长期争论的问题。主要有认为形成于古元古代末期(邢裕盛等, 1989; 王云山等, 1987), 但也有学者认为基底岩系形成于中元古代(陆松年等, 2009, 郭进京等, 1999; Smith Alan et al., 2000)。另外针对其归属方面早期一些学者认为祁连地块是在加里东期造山作用之前, 从华北板块裂解出来的, 而后再拼贴回去(邱凤岐, 1984; 左国朝等, 1987; 夏林圻等, 1991; 冯益民等, 1996), 近年来, 根据地球化学和同位素年

代学资料, 一些学者认为祁连地块可能为外来的地体, 与扬子板块具有较强的亲缘性(万渝生等, 2003; Wan Yusheng et al., 2006; 张宏飞等, 2006; 徐旺春等, 2007; 董国安等, 2007; 陆松年等, 2009; 毛小红等, 2021)。

由于基底时代和属性的不确定, 对整个祁连造山带及祁连洋演化的准确认识产生了较大的影响。制约了祁连造山带属性的恢复和构造演化历史的对比研究, 阻碍了祁连造山带前寒武纪构造演化过程的深入探讨。

本文依托天峻县苏里地区五幅 1:5 万区域地质调查工作, 在南白水河组中首次发现了变玄武安山岩夹层。对玄武安山岩开展了详细的岩石地球化学、年代学研究, 初步探讨了其原岩岩石成因及其地质构造意义; 研究成果不仅有助于正确认识祁连造山带基底的性质、演化过程及其与造山带两侧克拉通块体的时空亲缘关系, 而且对于整个中央造山带的区域对比、恢复中国大陆古构造格局与拼贴裂解过程也具有重要的借鉴意义。

注: 本文为青海省天峻县苏里地区五幅 1:5 万区域地质调查(1212011140088)和青海省地质矿产勘查开发局地质勘查项目《青海赛什腾地区金成矿模式研究及靶区优选》(编号:青地矿科[2022]32号)的成果。

收稿日期:2024-09-23; 改回日期:2025-01-03; 网络首发:2025-01-20; 责任编辑:章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2025.01.045

作者简介:马有文,男,1988年生,工程师,主要从事地质矿产勘查及成矿规律研究; Email:673271025@qq.com。通讯作者:刘长云,男,1986年生,工程师,主要从事地质矿产勘查及成矿规律研究; Email:549729852@qq.com。

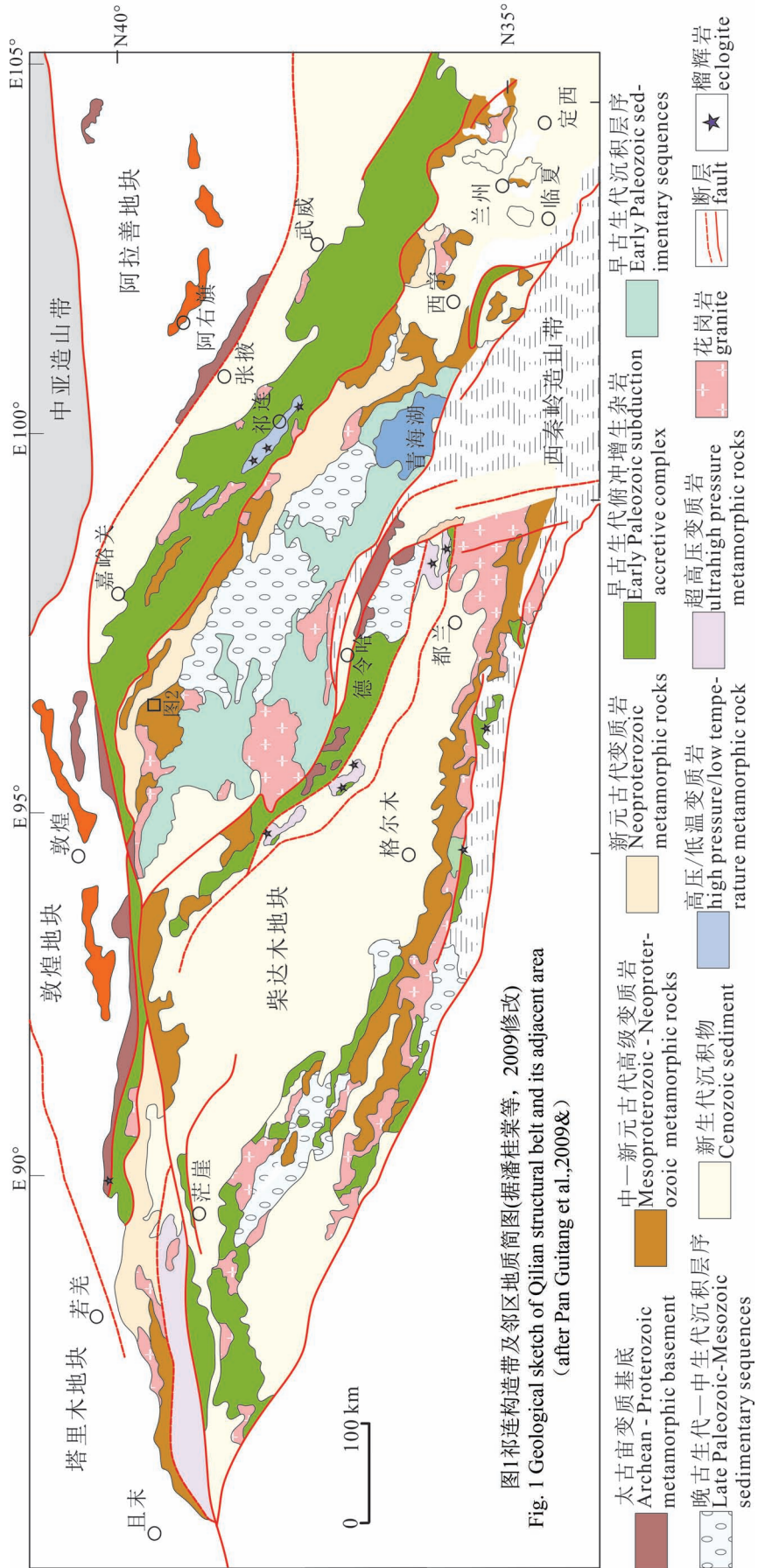
## 1 地质背景

祁连造山带划分为南祁连构造带、中祁连构造带和北祁连构造带三个次级构造单元。研究区位于中祁连构造带西段,地理位置属天峻县苏里乡托来南山南坡。中祁连构造带以北祁连蛇绿混杂岩带和党河南山—拉脊山蛇绿混杂岩带与北祁连和南祁连为界,中祁连构造带是一个前寒武系基底和古生代沉积岩系盖层组成的叠瓦状逆冲带(Lu Songnian et al., 2002; 陆松年等, 2006; Wu Huaichun et al., 2005)(图1),一般认为西段元古宙基底是由古元古界托赖岩群、中元古界托莱南山群和新元古界龚岔群组成(董国安等, 2007),在中—晚元古代是处于相对稳定的构造演化环境。区内出露蓟县系南白水河组和青白口系龚岔群其它大坂组地层,岩石组合主体为碎屑岩、碳酸盐岩,是一套绿片岩相为主的变质岩建造,原岩为一套稳定—一次稳定型泥砂质—碳酸盐沉积组合,属层状有序的地层类型;中生代为盖层沉积,出露地层为下一中三叠统郡子河群切尔玛沟组,为一套滨浅海相的细碎屑岩—碳酸盐岩建造;新生界出露地层为渐新统一中新统白杨河组,为一套山麓河流相的粗碎屑岩建造,下部与老地层呈角度不整合接触;以北西向断裂为主构成区内的基本构造格架,控制沉积建造形成和岩浆活动;新元古代辉绿岩呈脉状少量分布(青海省地质调查院<sup>①</sup>;张金明等, 2020)(图2a)。

## 2 地质及岩石学特征

### 2.1 地质特征

本次工作对大西沟地区的南



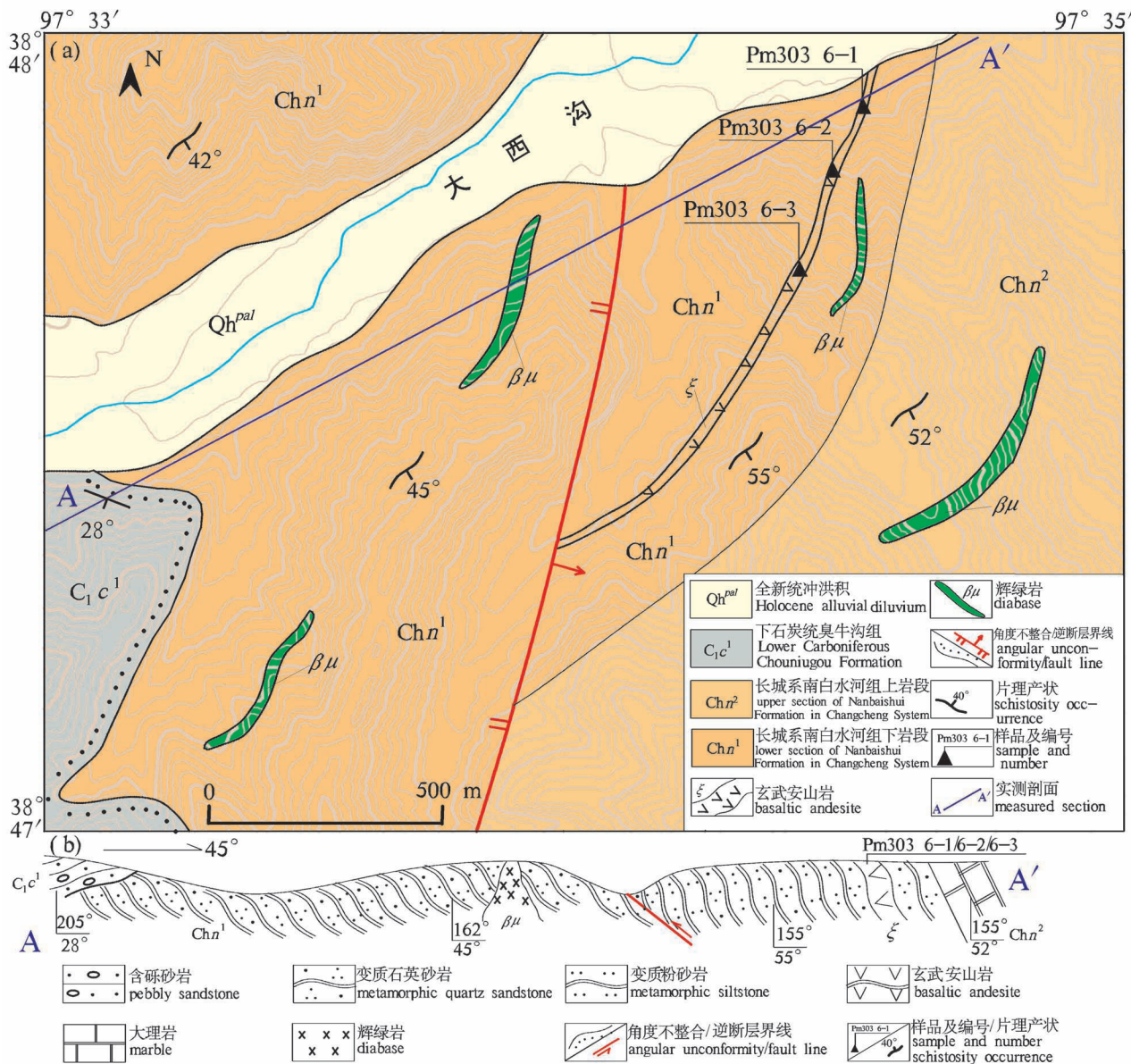


图 2 中祁连地块西段地质图(a)及南白水河组剖面图(b)

Fig. 2 Geological map of the western part, Central Qilian Block (a) and schematic profile of the Nanbaishuihe Formation (b)

白水河组测制了地质剖面(Pm303)(图 2b),地层呈北西—南东向展布,西端被早石炭系臭牛沟组角度不整合接触。剖面中南白水河组分为上、下两个岩性段,下段为一套杂色变石英砂岩、变石英粉砂岩的岩石组合,上段主要岩性为灰色泥晶白云岩。变玄武安山岩出露于下岩性段中,呈稳定夹层与变粉砂岩整合接触,共有一层,厚约 1.5m 左右,受后期变质变形作用影响,岩石具强烈蚀变,局部见片理化构造(图 3a、b)。

### 2.2 岩石学特征

玄武安山岩表呈灰黄色—灰褐色(图 2a),面风

化较严重,新鲜面呈深灰色,镜下为变余斑状结构,斑晶占 12%,主要由斜长石组成(图 3c、d),辉石、黑云母少量,斜长石为半自形板柱状,粒径 0.4~1.5mm,发育聚片双晶,大部分具绿泥石化、绢云母化蚀变;辉石呈它形粒状,具有较强的绿泥石化蚀变;黑云母呈浅褐色,为半自形板状,粒径 0.3~0.4mm;基质占 88%,具隐晶质结构,由斜长石、辉石等组成。岩石普遍具硅化、白云石化蚀变,在后期充填、交代、蚀变的影象下原岩结构破坏较为严重。

### 3 样品采集及测试方法

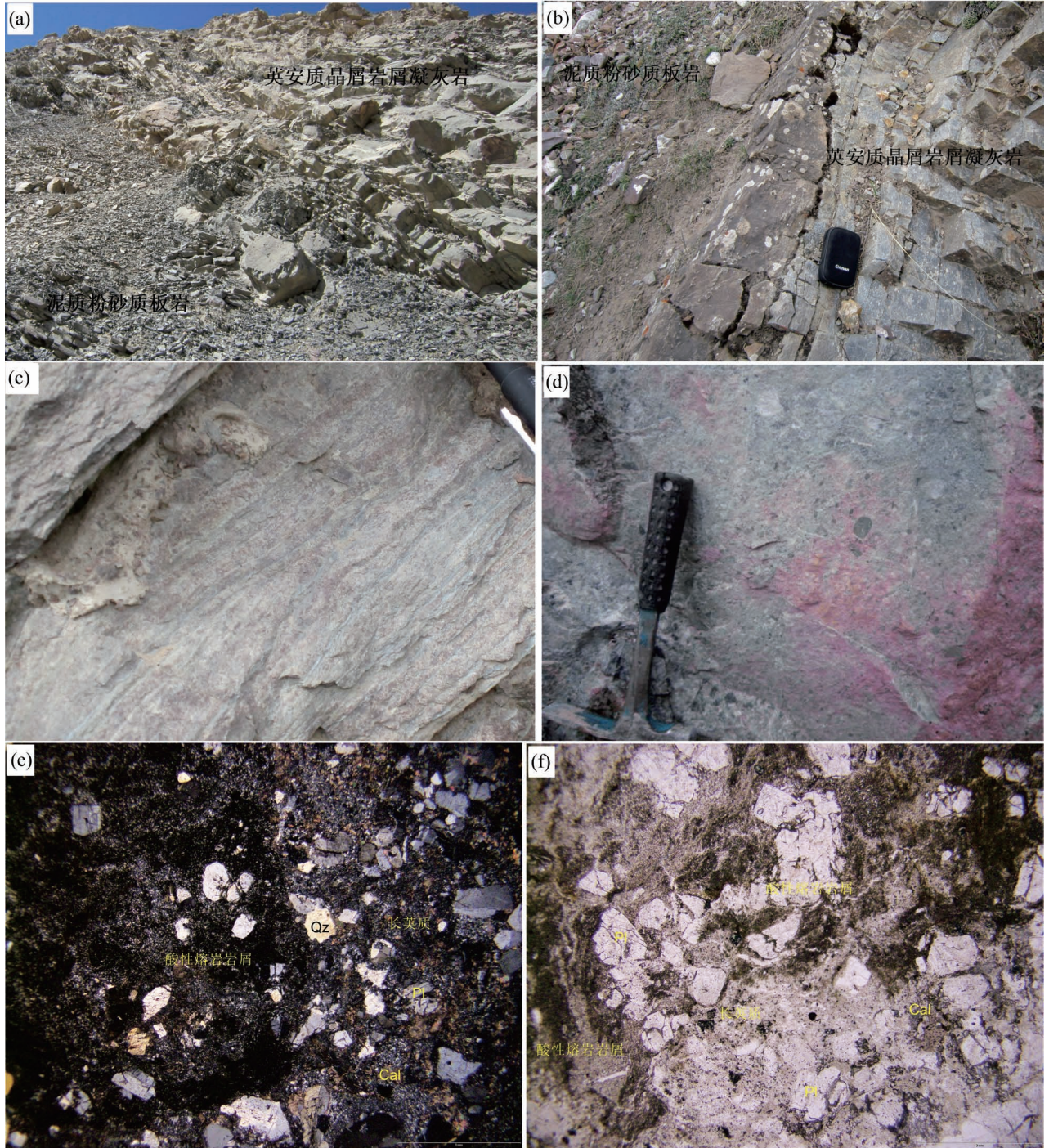


图 3 中祁连地块蓼县系南白水河组变玄武安山岩野外露头(a)(b)和显微照片(c)(d),可见不规则的斜长石、辉石斑晶

Fig. 3 Field outcrops (a)(b) and microscopic micrographs (c)(d), of the basaltic andesite in the Nanbaishuihe Formation,

Jixian System, Central Qilian Block

Pl—斜长石; Px—辉石

Pl—plagioclase; Px—pyroxene

### 3.1 地球化学分析测试

由于在南白水河组中火山岩出露极少且分布层位集中,本次工作选择蚀变较弱的新鲜火山岩采集3件样品开展了主、微量元素分析,样品武汉矿产资

源监督检测中心测试,其中主量元素采用X荧光光谱仪(Magix-pro2440),微量元素采用质谱仪(Thermo elemental-X7)和X荧光光谱仪(Magix-pro2440),稀土元素采用等离子直读光谱仪

(JY38S)进行了分析;主量元素分析相对误差 $<0.9\%$ ,微量元素、稀土元素的分析相对误差 $<7.8\%$ 。

### 3.2 锆石 U-Pb 年龄测试

测年样品选择新鲜的玄武安山岩,样品重量约为 30 kg。锆石的分选由河北省廊坊区域地质调查所研究室完成,岩石样品在粉碎后,经淘洗、磁选和重液分选分离出锆石;然后在双目镜下挑选出不同晶形、不同颜色的锆石,制备锆石样品靶。在开始锆石 U-Pb 分析前,先进行阴极发光 (CL)分析,以确定锆石颗粒的内部结构。

LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年工作由天津地质矿产研究所同位素实验室进行,使用的仪器为 UP193-FXArF 准分子激光器和 Neptune 型质谱仪,激光剥蚀的斑束为  $35\mu\text{m}$ ,激光能量密度为  $13\sim 14\text{J}/\text{cm}^2$ ,频率为  $8\sim 10\text{Hz}$ 。采用 ICPMSDataCal 程序和 Kenneth R. Ludwig 的 Isplot 程序进行数据处理。

## 4 测试结果

### 4.1 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年

本次在大西沟一带蓟县系南白水河组地层的火山岩夹层中采集了 1 件同位素样品,样品编号为 PM303 6-2,采样点坐标为北纬  $38^{\circ}47'52.3''$ ,东经  $97^{\circ}34'36.5''$ ,样品岩性为硅化玄武安山岩。锆石 U-Pb 分析结果列于表 1,锆石颗粒的 CL 图像见图 4,锆石以柱状居多,偶见球粒状,粒度长约  $80\sim 200\mu\text{m}$ ,长宽比为  $2:1$ ,在阴极发光图像上大部分锆石见有岩浆中结晶的振荡环带,为岩浆结晶的锆石特征,极个别锆石有变质增生边。

锆石 U-Pb 分析结果列于表 1,15 个测点中 U 含量变化范围为  $38.05\times 10^{-6}\sim 431.3\times 10^{-6}$ ,Th 含量变化范围为  $23.75\times 10^{-6}\sim 94.57\times 10^{-6}$ ,Pb 含量变化范围为  $11.52\times 10^{-6}\sim 112.6\times 10^{-6}$ ,Th/U 值变化范围为  $0.19\sim 1.48$ 。锆石 Th/U 均大于 0.1,表明其为岩浆成因锆石 (Belousova et al., 2006),15 个有效分析点中, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄在  $1490\sim 2053\text{Ma}$  之间,大致可以分为两组:其中 4 颗锆石(点 1、6、7、11)具有较

表 1 中祁连地块蓟县系南白水河组玄武安山岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年数据  
Table 1 Zircon U-Pb data of the basaltic andesite in the Nanbaishuihe Formation, Jixian System, Central Qilian Block

测点号	元素含量( $\times 10^{-6}$ )			Th/U	同位素比值						同位素年龄(Ma)		谐和度 (%)				
	Pb	U	Th		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{206}\text{Pb})$		$n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{206}\text{Pb})$		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$			测值	1 $\sigma$		
					测值	1 $\sigma$	测值	1 $\sigma$	测值	1 $\sigma$	测值	1 $\sigma$					
1	64.88	184.3	48.76	0.26	0.1180	0.0014	5.314	0.071	0.3266	0.0032	1926	21	1871	25	1822	18	97
2	59.59	217.5	94.57	0.43	0.09312	0.00115	3.375	0.045	0.2629	0.0026	1490	22	1498	20	1504	15	97
3	31.23	117.7	71.35	0.61	0.09350	0.00123	3.289	0.046	0.2550	0.0025	1499	24	1479	20	1464	14	99
4	52.21	198.1	69.57	0.35	0.09333	0.00131	3.635	0.049	0.2529	0.0026	1495	22	1499	20	1514	15	99
5	11.52	38.05	54.18	1.42	0.09402	0.00214	2.874	0.070	0.2218	0.0022	1508	42	1375	34	1291	13	99
6	92.03	214.9	45.53	0.21	0.1182	0.0014	5.517	0.074	0.3387	0.0033	1928	21	1903	26	1880	19	98
7	24.41	74.24	36.54	0.49	0.1267	0.0017	4.667	0.071	0.2671	0.0026	2053	24	1761	27	1526	15	97
8	42.22	124.1	78.41	0.63	0.09391	0.00141	3.343	0.054	0.2584	0.0025	1505	28	1491	24	1481	14	98
9	14.57	54.34	80.36	1.48	0.09353	0.00174	3.320	0.064	0.2576	0.0025	1498	34	1486	29	1477	14	99
10	112.5	431.3	81.39	0.19	0.09346	0.00115	3.441	0.045	0.2673	0.0026	1495	22	1514	20	1527	15	99
11	16.13	58.68	23.75	0.40	0.1195	0.0026	3.777	0.082	0.2293	0.0024	1949	39	1588	34	1331	14	98
12	111.4	377.5	76.16	0.20	0.09362	0.00116	3.478	0.046	0.2695	0.0026	1500	22	1522	20	1538	15	97
13	25.92	96.41	53.82	0.56	0.09313	0.00132	3.184	0.050	0.2480	0.0025	1490	26	1453	23	1428	14	98
14	14.99	56.13	60.44	1.08	0.09416	0.00133	3.244	0.050	0.2501	0.0025	1509	27	1468	23	1439	14	99
15	36.22	146.2	57.63	0.39	0.09335	0.00154	2.987	0.053	0.2323	0.0023	1494	31	1404	25	1346	13	97

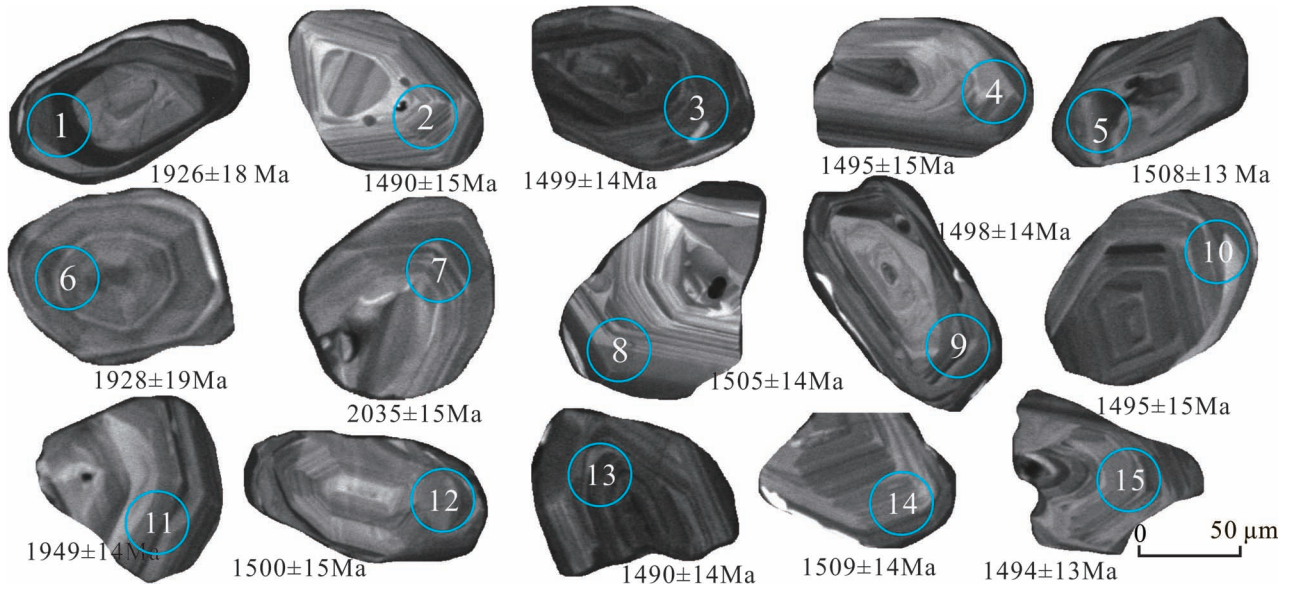


图4 中祁连地块蓟县系南白水河组玄武安山岩的锆石 CL 图像、测点位置和表面年龄

Fig. 4 CL images of zircons of the basaltic andesite in the Nanbaishuihe Formation, Jixian System, Central Qilian Block

大的年龄值 1926~2053 Ma, 锆石以球粒状为主, 部分具有核一边结构特征, 核部具有椭圆状结构, 判断为捕获的围岩锆石, 反映出本区存在中元古代早期的地质信息; 第二组为 11 个锆石(2、3、4、5、8、9、10、12、13、14、15),  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄在 1490~1509 Ma 之间, 加权平均年龄为  $1498\pm 16$  Ma, 加权平均年龄与单个样点的分析结果在误差范围内基本一致, 在谐和图上成群集中分布(图 5a、b), 部分点偏离谐和线稍远外, 其余各点聚集在谐和线上及其附近很小

的范围内, 说明普通 Pb 丢失对测年数据影响不大, 所测精度较高, 该年龄代表了英安质岩的形成年龄, 即该期火山岩形成时代为蓟县纪。

#### 4.2 主微量元素

3 件主量、微量元素的分析结果见表 2, 玄武安山岩的烧失量较大, 在 4.31%~5.09% 之间, 平均值为 5.69%。玄武安山岩野外和镜下均有一定的碳酸盐岩化、绿泥石化蚀变, 微量元素测试结果中也具有高挥发份的特征(F 在  $1574\times 10^{-6}$ ~ $3874\times 10^{-6}$ ),

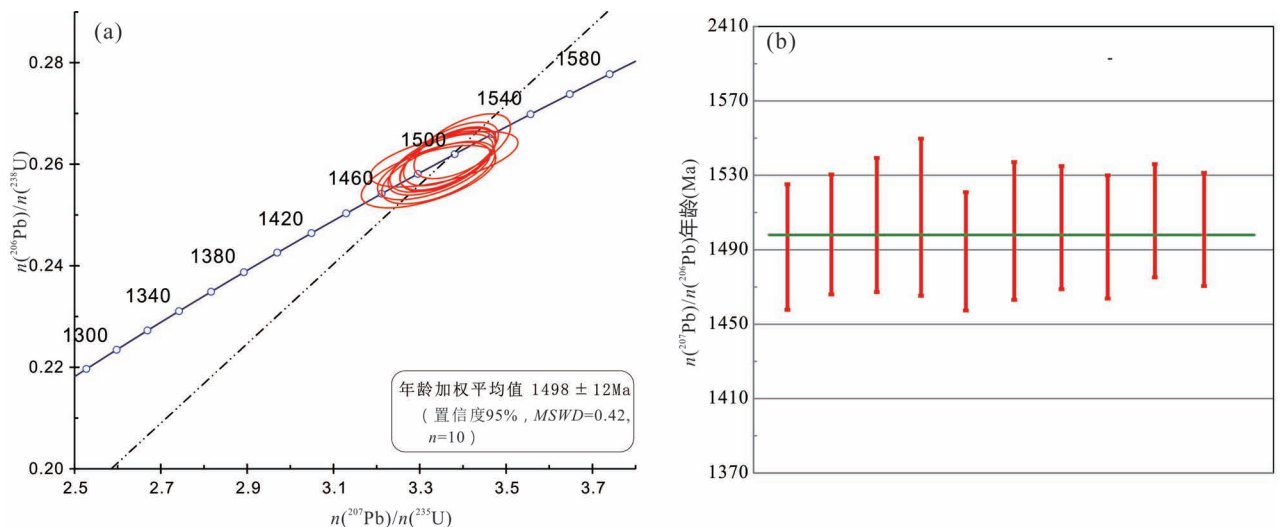


图5 中祁连地块蓟县系南白水河组变玄武安山岩的锆石 U-Pb 谐和图(a)和加权平均年龄(b)

Fig. 5 Zircon U-Pb concordia diagram (a) and mean-weighted  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  age (b) of the basaltic andesite in the Nanbaishuihe Formation, Jixian System, Central Qilian Block

表 2 中祁连地块蓟县系南白水河组变玄武安山岩主量元素(%)、微量元素( $\times 10^{-6}$ )分析结果表  
 Table 2 Major elements(%), trace and REE elements ( $\times 10^{-6}$ ) data of the basaltic andesite in the Nanbaishuihe Formation, Jixian System, Central Qilian Block

样品号	PM3036	PM3036	PM3036	样品号	PM3036	PM3036	PM3036	样品号	PM3036	PM3036	PM3036
	-2	-3	-4		-2	-3	-4		-2	-3	-4
SiO <sub>2</sub>	54.35	54.16	53.69	Rb	8.05	6.11	12.6	Ce	23.3	33.0	18.5
TiO <sub>2</sub>	0.87	1.09	0.88	Zr	89.2	81.3	95.3	Pr	3.11	2.43	5.76
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.51	12.25	12.48	Nb	6.65	5.01	6.95	Nd	12.6	13.6	16.8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.12	2.11	2.56	Hf	2.44	1.91	2.81	Sm	3.15	1.05	6.14
FeO	6.12	5.85	6.98	Ta	0.762	1.18	0.584	Eu	0.871	1.15	0.932
MnO	0.202	0.314	0.171	Th	3.86	2.51	3.19	Gd	3.31	2.64	4.45
MgO	7.25	7.19	6.97	U	0.921	1.12	0.793	Tb	0.604	0.374	1.32
CaO	7.84	7.94	7.82	Ba	57.9	52.5	55.4	Dy	3.49	2.77	3.99
Na <sub>2</sub> O	3.25	3.38	3.12	Pb	7.48	9.57	6.94	Ho	0.722	0.623	1.13
K <sub>2</sub> O	0.114	0.103	0.212	Cu	64.1	68.2	55.7	Er	1.95	1.40	2.23
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.082	0.041	0.095	Zn	94.7	97.5	80.8	Tm	0.314	0.253	0.491
CO <sub>2</sub>	1.64	1.34	1.76	Sr	313	305	356	Yb	1.85	1.47	2.25
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	3.39	3.65	2.98	Sc	31.1	27.5	36.6	Lu	0.281	0.195	0.244
Σ	99.73	99.41	99.71	La	11.2	14.1	10.2	Y	18.4	16.6	21.6

说明样品的烧失量较大与岩石具有蚀变和含有较高的高挥发份元素有关。

大西沟玄武安山岩 SiO<sub>2</sub> 含量为 53.69% ~ 54.35%, TiO<sub>2</sub> 含量为 0.87% ~ 1.09% 之间, K<sub>2</sub>O 含量 0.1% ~ 0.21%, Na<sub>2</sub>O 含量 3.12% ~ 3.38%, Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O 在 14.8 ~ 33.8, MgO 质量分数为 6.97% ~ 7.25%, FeO<sup>T</sup> 为 8.21% ~ 9.46, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量为

14.08% ~ 15.25% , Mg<sup>#</sup> 值为 55 ~ 59。本次判别岩石类型利用不活泼元素 Ti、Zr、Nb、Y、Ta、Hf 及稀土元素进行, Nb/Y—Zr/TiO<sub>2</sub> 图解中(图 6), 样品均落入玄武质安山岩区域内, 与显微镜下鉴定的岩相学特征一致。

稀土元素标准化配分图(图 7a)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(图 7b)中, 玄武安山岩稀土元素总量 ΣREE 偏低在  $66.65 \times 10^{-6}$  ~  $74.98 \times 10^{-6}$  之间, LREE/HREE 为 3.23 ~ 6.42(表 2), (La/Yb)<sub>N</sub> 为 5.13 ~ 7.32, (La/Sm)<sub>N</sub> 为 2.12 ~ 3.67, (Gd/Yb)<sub>N</sub> 为 1.67 ~ 1.32, 具有相对富集轻稀土元素, 轻重稀土元素之间存在较强的分馏作用的特征。在稀土元素标准化配分图中(图 7a), 元素曲线呈右倾式, δEu=0.69~0.81, 具弱的 Eu 负异常。在微量元素原始地幔标准化蛛网图中呈“三隆起”的分布形态(图 7b), 表现为 Ba、Th、

具有相对富集轻稀土元素, 轻重稀土元素之间存在较强的分馏作用的特征。在稀土元素标准化配分图中(图 7a), 元素曲线呈右倾式, δEu=0.69~0.81, 具弱的 Eu 负异常。在微量元素原始地幔标准化蛛网图中呈“三隆起”的分布形态(图 7b), 表现为 Ba、Th、

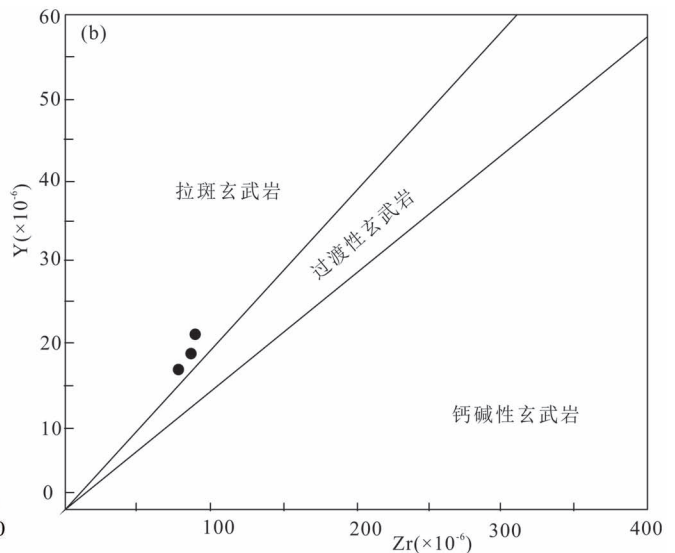
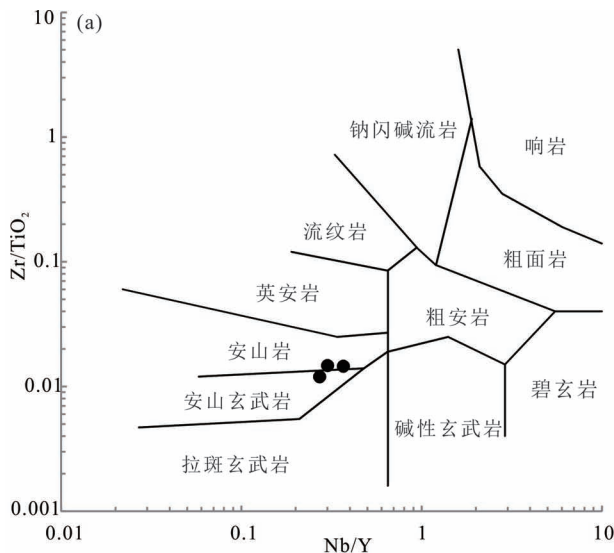


图 6 中祁连地块蓟县系南白水河组变玄武安山岩 Nb/Y—Zr/TiO<sub>2</sub> 图解(据 Winchester and Floyd, 1977)

Fig. 6 Nb/Y—Zr/TiO<sub>2</sub> diagram of the basaltic andesite in the Nanbaishuihe Formation, Jixian System, Central Qilian Block (after Winchester and Floyd, 1977)

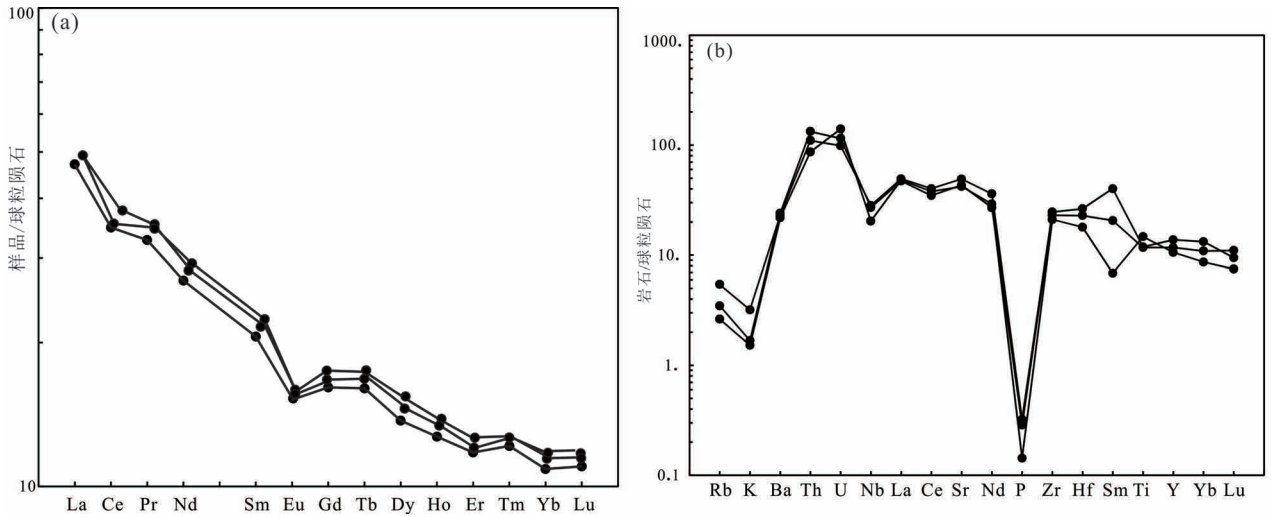


图7 中祁连地块蓟县系南白水河组变玄武安山岩稀土元素标准化配分图(a)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(b) (标准化值据 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 7 Chondrite-normalized REE patterns(a) and spider diagram of metamorphic intrusive rock(b) of the basaltic andesite in the Nanbaishuihe Formation, Jixian System, Central Qilian Block (normalized data from Sun and McDonough, 1989)

U、Nb、Ce、Rb、Nb 等元素富集, Nb、K、P 和 Ti 相对亏损。

## 5 讨论

### 5.1 南白水河组时代及其对比

分布于中祁连地块西段的托来南山群由蓟县系南白水河组和花儿地组组成, 属中连地块变质基底岩系。南白水河组下部为石英岩、变砂岩、粉砂岩和粉砂质板岩夹灰岩, 上部为石英砂岩、石英岩与灰岩互层夹硅质岩, 与上覆花儿地组为平行不整合接触, 产叠层石和微古植物化石(青海省地质调查院, 2023)。目前针对南白水河组的时代依据主要为产叠层石 *Conophyton garganicus*, cf. *Colonnella* ., *Paracolonnella* ., *Collenia* . 及 *Kussiella* cf. 时代为长城纪—蓟县纪(青海省地质矿产局, 1997)。本次对大西沟地区南白水河组进行了详细研究工作, 南白水河组总厚 2590m, 剖面中地层走向为北西—南东向, 西侧被下石炭统臭牛沟组角度不整合接触, 东侧与青白口系其它大坂组断层接触, 划分为上、下两个岩性段, 下段为灰色变质石英砂岩、灰—灰绿色变粉砂岩为主, 上段为浅灰色厚层状结晶灰岩。变玄武安山岩出露于下岩性段中, 呈夹层状分布于变粉砂岩中。本次对南白水河组进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素定年, 获得 1926~2053 Ma 和 1490~1509 Ma 两组  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄。其中 1926~2053 Ma

年龄的锆石应该为岩浆上升过程中捕获的继承性锆石, 与中祁连地块中古元古代变质基底岩系托赖岩群的形成年龄一致。前人在托赖岩岩群片麻岩组中获得 1945~2066Ma 的 Sm-Nd 同位素年龄, 在斜长角闪岩中获得 2066Ma 的全岩 Sm-Nd 等时线年龄; 本次获得的 1926~2053 Ma 的年龄可能为古元古界变质基底岩系的继承锆石年龄(青海省区调综合地质大队<sup>①</sup>; 青海省地质调查院<sup>②</sup>)。剩余的 11 个锆石具有明显的岩浆结晶成因特征,  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  表面年龄为 1490~1509 Ma, 加权平均年龄为  $1498 \pm 16$  Ma, 代表了该套地层的形成年龄, 与南白水河组中所含的叠层石时代相一致, 进一步证实了南白水河组的形成时代为中元古代蓟县纪。

### 5.2 地质意义

野外地质特征显示, 玄武安山岩只分布于大西沟地区, 仅见一层, 呈稳定夹层赋存于中元古代蓟县系南白水河组地层中, 别的地段未见出露, 岩石后期经历了较强的构造作用改造和蚀变。本文样品具有与板内玄武岩相近的 Hf/Th 比值(0.63~0.88)和 Th/Nb 比值(0.45~0.58) (Hf/Th < 8, Th/Nb > 0.11), 在 Hf/Th—Th—Nb 图解(图 8a)和 2Nb—Zr/4—Y 图解(图 8b)中样品投点落在板内碱性玄武岩区, 综合分析认为, 中元古代蓟县纪火山岩属板内玄武岩, 为伸展机制下的产物。

在全球构造研究中前南华纪地质以超大陆和超



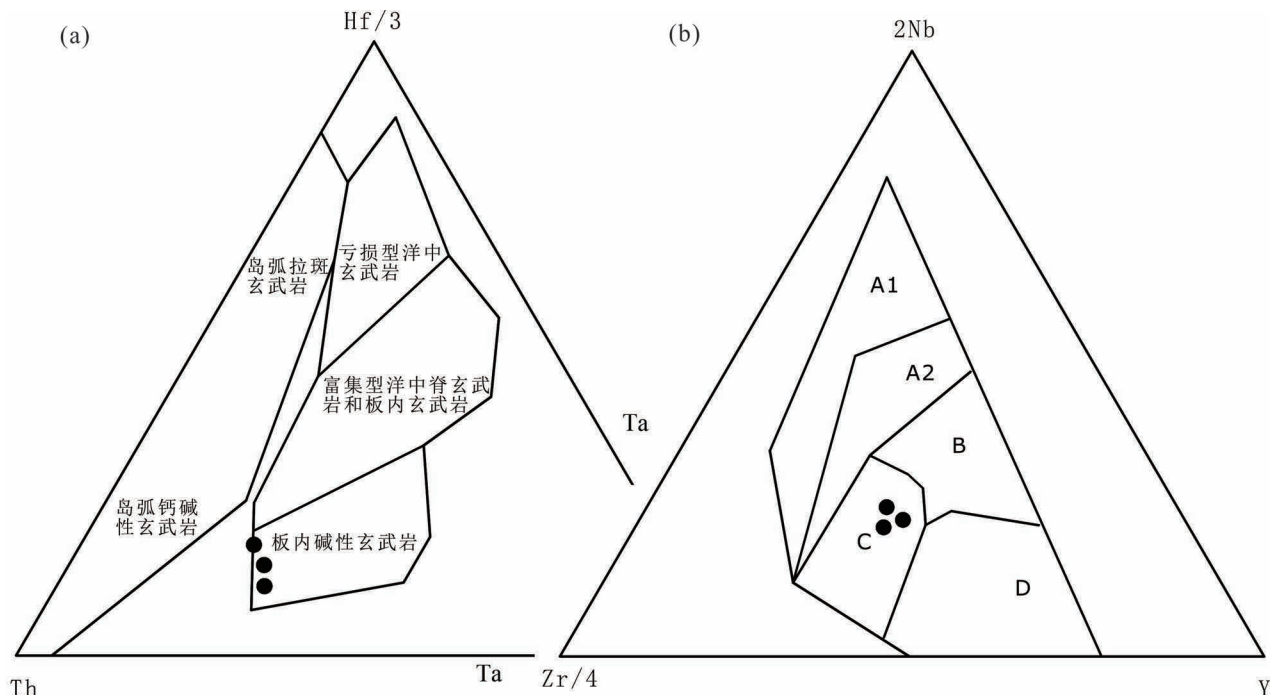


图 8 中祁连地块蓟县系南白水河组变玄武安山岩 Hf/3—Th—Nb 图解(a) (据 Rickwood, 1980) 和 2Nb—Zr/4—Y 图解(b) (据 Pearce, 1982)

Fig. 8 Hf/3—Th—Nb diagramd(a) (after Rickwood, 1980) and 2Nb—Zr/4—Y diagramd(b) (after Pearce, 1982) of the basaltic andesite in the Nanbaishuihe Formation, Jixian System, Central Qilian Block  
A1+A2—板内碱性玄武岩; A2+C—板内拉斑玄武岩; B—P 型 MORB; D—N 型 MORB; C+D—火山弧玄武岩

大陆旋回为主线,南华纪前的地球历史先后历经了凯诺兰(Kenorland)—哥伦比亚(Columbia)—罗迪尼亚(Rodinia)等几次超级大陆旋回(陆松年, 2006)。古元古代晚期—中元古代早期全球为 Columbia 超大陆的聚合古陆块形成阶段,中祁连地块内最古老的变质基底古元古界托赖岩群形成年龄为 1945~2066 Ma 为一套陆缘海或陆间海相的火山—沉积组合,为古陆块汇聚事件的反映,与本次获得的 1926~2053 Ma 年龄均代表了古元古代晚期全球 Columbia 超大陆的聚合事件(张金明等, 2022)。中元古代—新元古代早期,古陆及其周缘在伸展机制控制下发生裂离,在中祁连地块内形成的中元古界托莱南山群为一套稳定—一次稳定型浅海—半深海相碎屑岩—碳酸盐岩组合,构成造山带沉积盖层。本次在南白水河组玄武安山岩中获得  $1498 \pm 16$  Ma 锆石 U-Pb 年龄,岩石地球化学显示具有板内玄武岩特征,为伸展机制下的产物,花儿地组为正常浅海大陆架条件下的碳酸盐岩建造,含大量叠层石,时代为蓟县纪,是与 Columbia 超大陆裂解相伴随的沉积响应,为祁连地块中 Columbia 超大陆裂解事件的响

应。

## 6 结论

(1) 祁连陆块西段南白水河组玄武安山岩通过 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年,获得玄武安山岩形成年龄为  $1489 \pm 16$  Ma,属于中元古代蓟县纪,另外获得 1926~2053 Ma 继承性锆石年龄,为 Columbia 超大陆聚合事件的地质记录。

(2) 大西沟玄武安山岩为拉斑质岩类,稀土和微量元素具有轻稀土和 Rb、Ba、Pb 等大离子亲石元素富集, Nb、Ti 等高场强元素亏损的特征,属板内碱性玄武岩,是伸展机制下的产物,为祁连地块中元古代早期 Columbia 超大陆裂解事件的响应。

**致谢:**审稿专家对本文提出了深入、细致和建设性的修改意见,使得论文质量得到很大提高,在此致以衷心的感谢!

## 注 释 / Notes

- ① 青海省区调综合地质大队. 1999. 1: 5 万多隆小学等三幅区调报告.
- ② 青海省地质调查院. 2001. 1: 5 万青石嘴幅、俄博图幅区调报告.

- ③ 青海省地质调查院. 2014. 青海省天峻县苏里地区 1:5 万五幅区域地质调查报告.

## 参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

- 董国安, 杨怀仁, 杨宏仪. 2007. 祁连地块前寒武纪基底锆石 SHRIMP U-Pb 年代学及其地质意义. 科学通报, 52(13): 1572~1585.
- 冯益民, 吴汉泉. 1992. 北祁连山及其邻区古生代以来的大地构造演化初探. 西北地质科学, 13(2): 61~73.
- 冯益民, 何世平. 1996. 祁连山大地构造与造山作用. 北京: 地质出版社: 1~135.
- 冯益民. 1997. 祁连造山带研究概况—历史、现状及展望. 地球科学进展, 12(4): 307~314.
- 甘肃省地质矿产局. 1997. 甘肃省岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 郭进京, 赵风清, 李怀坤. 1999. 中祁连中段晋宁期碰撞型花岗岩及其地质意义. 地球学报, 20(1): 10~15.
- 陆松年, 李怀坤. 2005. 秦祁昆造山带元古宙副变质岩层碎屑锆石年龄谱研究. 中国前寒武纪重大地质问题研究. ▲▲注册不全▲▲
- 陆松年, 于海峰, 李怀坤. 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全球构造意义. 北京: 地质出版社: 1~206.
- 陆松年, 李怀坤, 王惠初. 2009. 秦—祁—昆造山带元古宙副变质岩层碎屑锆石年龄谱研究. 岩石学报, 25(9): 2195~2208.
- 毛小红, 张建新, 路增龙, 周桂生. 2021. 祁连地块北缘前寒武纪基底早古生代再活化: 变基性岩相平衡模拟和锆石年代学证据. 岩石学报, 37(10): 3095~3117.
- 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年. 2009. 中国大地构造单元划分. 地质通报, 36(1): 1~28.
- 青海省地质矿产局. 1997. 全国地层多重划分对比研究青海省岩石地层. 中国地质大学出版社.
- 青海省地质调查院. 2023. 中国区域地质志·青海志. 北京: 地质出版社.
- 邱凤歧. 1984. 北祁连加里东裂谷. 青藏高原地质文集, 14: 41~60.
- 万渝生, 许志琴, 杨经绥. 2003. 祁连造山带及邻区前寒武纪深变质基底的时代和组成. 地球学报, 24(4): 319~324.
- 王云山, 陈基娘. 1987. 青海及毗邻地区变质地带及变质作用. 北京: 地质出版社.
- 夏林圻, 夏祖春, 任有祥, 彭礼贵, 张诚, 杨静华, 王兴安, 李智佩, 韩松, 黄忠祥. 1991. 祁连—秦岭山系海相火山岩. 武汉: 中国地质大学出版社: 1~304.
- 邢裕盛. 1989. 中国地层 3——中国的上寒武系. 北京: 地质出版社.
- 徐旺春, 张宏飞, 柳小明. 2007. 锆石 U-Pb 定年限制祁连山高级变质岩系的形成时代及其构造意义. 科学通报, 52(5): 531~538.
- 张宏飞, 靳兰兰, 张利. 2006. 基底岩系和花岗类 Pb-Nd 同位素组成限制祁连山带的构造属性. 地球科学, 31: 57~65.
- 张金明, 才航加, 陈光庭, 田成秀, 雷晓清. 2020. 中祁连苏里地区新元古代辉绿岩墙群 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 岩石矿物学杂志, 39(6): 769~779.
- 张金明, 王秉璋, 付彦文, 田成秀. 2022. 柴达木盆地及其南北缘前南华纪构造单元划分及地质演化. 现代地质, 36(5): 1193~1205.
- 左国朝, 刘奇栋. 1987. 北祁连早古生代大地构造演化. 地质科学, (1): 42~45.

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Qinghai Province. 1997#. Comparative Study on Multiple Stratigraphic Divisions in China. China Geo University Press.
- Belousova E A, Griffin W L, O'Reilly S Y. 2006. Zircon crystal morphology, trace element signatures and Hf isotope composition as a tool for petrogenetic modelling: Examples from Eastern Australian granitoids. Journal of Petrology, 47(2): 329~353.
- Dong Guoan, Yang Hairen, Yang Hongyi. 2007#. SHRIMP U-Pb chronology of Precambrian basement zircons in Qilian Block and its geological significance. Chinese Science Bulletin, 52(13): 1572~1585.
- Feng Yimin, He Shiping. 1996&. Geotectonics and Orogeny in Qilian Mountains. Beijing: Geological Publishing House: 1~135.
- Feng Yimin, Wu Hanquan. 1992#. A preliminary study on the tectonic evolution of the North Qilian Mountains and its adjacent areas since Paleozoic. Northwest Geological Sciences, 13(2): 61~73.
- Feng Yimin. 1997&. Research overview of Qilian orogenic belt — History, present situation and prospect. Progress in Earth Science, 12(4): 307~314.
- Geological Survey Institute of Qinghai Province. 2001#. 1: 50, 000 Regional Survey Report of Qingshizui Sheet and Russian Bo Sheet.
- Guo Jinjing, Zhao Fengqing, Li Huaikun. 1999&. Jinning collisional granites in middle Qilian and their geological significance. Acta Geologica Sinica, 20(1): 10~15.
- Lu Songnian, Li Huaikun, Wang Huichu. 2009&. Study on age spectrum of detrital zircons from Proterozoic paracometomorphic strata in Qin-Qi-Kun Orogenic belt. Acta petrologica, 25(9): 2195~2208.
- Lu Songnian, Yang Chunliang, Li Huaikun, Li Humin. 2002. A group of rifting events in the terminal Paleoproterozoic in the North China Craton. Gondwana Research, 5: 123~131.
- Lu Songnian, Li Huaikun. 2005#. Detrital zircon ages of proterozoic metamorphic rocks in the Qin-Qi-Kun orogen. Major geological problems of Precambrian in China. ▲▲注册不全▲▲
- Lu Songnian, Yu Haifeng, Li Huaikun. 2006&. Study on the major geological problems of Precambrian in China: Major geological event clusters of Precambrian in western China and their global tectonic significance. Beijing: Geological Publishing House, 2006: 1~206.
- Mao Xiaohong, Zhang Jianxin, Lu Zenglong, Zhou Guisheng. 2021&. Early Paleozoic reactivation of Precambrian basement in the northern margin of Qilian block: phase equilibrium simulation of metamorphic rocks and zircon geochronology evidence. Acta Petrologica, 37(10): 3095~3117.
- Pan Guitang, Xiao Qinghui, Lu Songnian. 2009&. Division of geotectonic units in China. Geological bulletin, 36(1): 1~28.
- Pearce J A. 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Thorpe R S. Orogenic Andesites and Related Rocks, 528~548.
- Qinghai Geological Survey Institute. 2014#. 1: 50, 000 Regional Geological Survey Report on Suli Area, Tianjun County, Qinghai Province.
- Qinghai province transfers comprehensive geological brigade. 1999#. 1: 50, 000 Duo Long Primary School and other three regional survey reports.
- Qinghai Provincial Geological Survey Institute. 2023#. Regional Geology of China, Qinghai. Beijing: Geological Publishing House.
- Qiu Fengqi. 1984#. North Qilian Caledonian rift valley Geological Anthology of Qinghai. Tibet Plateau, 14: 41~60 Rickwood P C. 1989. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of

- major and minor elements. *Lithos*, 22(4):247-263.
- Smith Alan, Wen D J, Huang L Y, Wang C S. 2000. Constraints from gneisses in the Qilian fold belt for the position of the North China Block in the Proterozoic. *J. Geol. Soc. China*, 43(1): 81-93.
- Sun S S, McDonough, WF. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes In:Saunders AD and Nomy M J. eds. *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society, London, Special Publications, 42 (1): 313-345.
- Wan Yusheng, Xu Zhiqin, Yang Jingsui. 2003#. The age and composition of Precambrian deep metamorphic basement in Qilian orogenic belt and its adjacent areas. *Acta geologica Sinica*, 24 (4): 319-324.
- Wan Yusheng, Zhang Jianxin, Yang Jingsui, Xu Zhiqin. 2006. Geochemistry of high-grade metamorphic rocks of the North Qaidam Mountains and their geo-logical significance. *J. Asian Earth Sci.*, 28: 174-184.
- Wang Yunshan, Chen Jining. 1987#. *Metamorphic Zone and Metamorphism in Qinghai and Its Adjacent Areas*. Beijing: Geological Publishing House.
- Wu Huaichun, Zhang Shihong, Li Zhengxiang, Li Haiyan, Dong Jin. 2005. New pale-omagnetic results from the Yangzhuang Formation of the Jixian System, North China, and tectonic implications. *Chinese Science Bulletin*, 50(14): 1483-1489.
- Xia Linqi, Xia Zuchun, Ren Youxiang, Peng Ligui, Zhang Cheng, Yang Jinghua, Wang Xingan, Li Zhipei, Han Song, Huang Zhongxiang. 1991#. *Qilian and Qinling Mountains are marine volcanic rocks*. Wuhan: China Geo University Press, 1-304.
- Xing Yusheng. 1989#. *Upper Cambrian in China Strata 3*—— China. Beijing: Geological Publishing House.
- Xu Wangchun, Zhang Hongfei, Liu Xiaoming. 2007&. Zircon U-Pb dating limits the formation age of Qilian high-grade metamorphic rock series and its tectonic significance. *Science Bulletin*, 52 (5): 531-538.
- Zhang Hongfei, Jin Lanlan, Zhang Li. 2006#. The Pb Nd isotopic composition of basement rock series and granitoids limits the tectonic attributes of Qilian mountain belt. *Earth science*, 31:57-65.
- Zhang Jinming, Cai Hangjia, Chen Guangting, Tian Chengxiu and Lei Xiaoqing. 2020&. LA- ICP-MS zircon U-Pb age of Neoproterozoic diabase dykes in Suli area, Central Qilian Mountains and its geological significance. *Journal of Petromineralogy*, 39 (6): 769-779.
- Zhang Jinming, Wang Bingzhang, Fu Yanwen, Tian Chengxiu. 2022&. Division and geological evolution of pre-Nanhuan structural units in Qaidam Basin and its northern and southern margins. *Modern Geology*, 36(5): 1193-1205.
- Zuo Guochao, Liu Jidong. 1987#. Early Paleozoic tectonic evolution of North Qilian. *Geoscience*, (1): 42-45.

## LA-ICP-MS U-Pb age of zircons from basaltic andesite in the Nanbaishuihe Formation, Jixian System, in western part of Central Qilian Block and its geological significance

MA Youwen<sup>1,2,3)</sup>, LIU Changyun<sup>1,2,3)</sup>, CHEN Guangting<sup>1,2,3)</sup>, CAI Hangjia<sup>1,2,3)</sup>, ZHANG Jinming<sup>1,2,3)</sup>

1) *Qinghai Institute of Geological Survey, Xi'ning*, 810012;

2) *Qinghai Province Key Laboratory of Geological Process and Mineral Resources of Northern Qinghai—Xizang(Tibet) Plateau, Xi'ning*, 810012;

3) *Qinghai Engineering Research Center of Remote Sensing Big Data, Xi'ning*, 810012

**Abstract:**The Nanbaishuihe Formation of the Jixian System is a basement series in the western part of the Central Qilian Block, which is of great significance to the study of Proterozoic geological structure evolution of the Central Qilian Block. The author discovered basaltic andesite interlayer in Nanbaishuihe Formation through 1: 50, 000 regional survey, Zircon U-Pb chronology and petrogeochemistry of the basaltic andesite have been studied in this paper. The dating results show that the formation age of basaltic andesite is  $1489 \pm 16$  Ma, which belongs to the Changcheng Period of Mesoproterozoic, and the successor zircon age is 1926 ~ 2053 Ma, which is the geological record of the Columbia supercontinent convergence event. The geochemical analysis of the rocks shows that the geochemistry of the rocks is rich in  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{FeO}^T$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and poor in  $\text{TiO}_2$  and  $\text{K}_2\text{O}$ . The rare earth partition curve is right-leaning light rare earth enrichment type,  $\text{LREE/HREE} = 3.73 \sim 6.72$ .  $(\text{La}/\text{Yb})_N$  is  $5.66 \sim 7.56$ ,  $\delta\text{Eu} = 0.69 \sim 0.81$ , and large ionic lithophile elements such as Ba, Th, U, and Nb are enriched, while Nb, K, P and Ti are relatively depleted, which has the characteristics of alkaline basalt in the plate and is the product of stretching mechanism. It is a response to the breakup event of the Columbia supercontinent in the early Middle Proterozoic of the Qilian Block.

**Keywords:**Basaltic andesite; Nanbaishuihe Formation; LA-ICP-MS U-Pb dating; The western part of the Middle Qilian block

**Acknowledgements:** This paper was supported by Qinghai Provincial Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development Geological Exploration project “Qaidam Basin salt metallogenic Unit Division and Prospecting Prediction” (No. Qingdi Mine [2024] 22) and Qinghai Province Tianjun County Suri Area Wuyuan 1:50,000 Regional geological survey (No. 1212011140088)

**First author:** MA Youwen, male, born in 1988, Ph. D. Engineer, is mainly engaged in geological and mineral exploration and metallogenic research; Email:673271025@qq.com

Corresponding author: LIU Changyun, male, born in 1986, engineer, is mainly engaged in geological and mineral exploration and metallogenic research; Email:549729852@qq.com

**Manuscript** received on: 2024-09-23; Accepted on: 2025-01-03; Published online on: 2025-01-20

**Doi:** 10.16509/j.georeview.2025.01.045

**Edited by:** ZHANG Yuxu

