

# 南祁连东段化隆岩群形成时代的进一步限定

何世平<sup>1,2</sup>, 李荣社<sup>1</sup>, 王超<sup>1</sup>, 于浦生<sup>1</sup>, 张宏飞<sup>2</sup>, 辜平阳<sup>1</sup>, 时超<sup>1</sup>

(1. 西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054; 2. 中国地质大学 地球科学学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 作为南祁连造山带基底残块的化隆岩群, 由于产出有与 Cu-Ni (-PGE) 矿紧密相关的基性-超基性岩而倍受关注。随着一些新元古代精细锆石同位素年代学数据的获得, 化隆岩群形成于太古-古元古代的传统认识发生了动摇。通过高精度的 LA-ICP-MS (激光剥蚀等离子体质谱) 锆石微区原位 U-Pb 同位素测年, 获得青海省湟源县南日月乡一带化隆岩群条带状二云斜长片麻岩(副变质岩)最新的蚀源区年龄为  $891 \pm 7$  Ma, 代表化隆岩群形成时代的下限, 条带状黑云斜长角闪岩(原岩为中性火山岩)的形成年龄为  $884 \pm 9$  Ma, 将化隆岩群的形成时代进一步限定为新元古代。认为化隆岩群火山-沉积作用应为 Rodinia 超大陆裂解的地质记录, Rodinia 超大陆裂解事件及其相关的成矿作用在祁连造山带及其邻区前寒武纪占据不可低估的重要地位。

**关键词:** LA-ICP-MS, 锆石 U-Pb 年代学, 化隆岩群, 南祁连造山带, 新元古代

中图分类号: P588.3; P597+.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2011)01-0034-11

## The further age constraint of Hualong Rock Group in the eastern segment of South Qilian Mountains

HE Shi-ping<sup>1,2</sup>, LI Rong-she<sup>1</sup>, WANG Chao<sup>1</sup>, YU Pu-sheng<sup>1</sup>, ZHANG Hong-fei<sup>2</sup>,  
GU Ping-yang<sup>1</sup> and SHI Chao<sup>1</sup>

(1. Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an 710054, China; 2. China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** The Hualong Rock Group of South Qilian orogenic basement remnants has aroused much interest among geologists for the occurrence of basic-ultrabasic rocks closely related to Cu-Ni (-PGE) ore deposits. With the acquisition of some precise Neoproterozoic zircon isotopic age data, the traditional understanding that Hualong Rock Group was formed in Archean-Paleoproterozoic has been challenged. High resolution LA-ICP-MS zircon U-Pb in situ dating of banded two mica-plagiogneiss (para-metamorphic rocks) from Hualong Rock Group in Riyue village of southern Huangyuan County yielded an age of  $891 \pm 7$  Ma, which represents the lower age boundary of Hualong Rock Group. The age recently obtained from banded biotite-plagioclase amphibolite (whose protolith was intermediate volcanic rocks) is  $884 \pm 9$  Ma. Based on isotopic dating combined with the results obtained by previous researchers, the authors further restricted the age of Hualong rock Group to Early Neoproterozoic, i. e., Qingbaikou period. It is believed that the volcano-sedimentary rocks of Hualong Rock Group serve as geological records of the breakup of the Rodinia supercontinent. Recently, zircon U-Pb dating yielded an age of  $724.4 \pm 3.7$  Ma from gneissic plagioclase amphibolite (whose protolith was gabbro) near the Dadaoerji Cu-Ni ore deposit in the western part of the Qilian orogenic belt, whereas a U-Pb age of  $724.4 \pm 3.7$  Ma was yielded from zircon and baddeleyite in Jinchuan ultrabasic rock of Longshou Mountain area in northern Qilian orogenic

belt; these data can also be regarded as geological records of the breakup of the Rodinia supercontinent. These results indicate that the importance of Rodinia supercontinent breakup event and its related mineralization in Precambrian period of the Qilian orogenic belt and its adjacent areas should not be underestimated.

**Key words:** LA-ICP-MS; zircon U-Pb dating; Hualong Rock Group; South Qilian orogenic belt; Neoproterozoic

位于青藏高原北缘的祁连造山带,是中国中央造山系的重要组成部分,地处连接昆仑造山带和秦岭造山带的枢纽部位。由于祁连造山带具有典型的沟-弧-盆体系(李春昱等,1978;肖序常等,1978; Zhang *et al.*, 1984; 左国朝等,1987; 冯益民等, 1996),受加里东造山作用影响(许志琴等,1994),且蕴藏着丰富的矿产资源(夏林圻等,2001; 杨钟堂等, 2004),历来受到中外地质学界的高度重视。然而,以往的研究多以显生宙地质体为主要研究对象。随着高精度锆石微区同位素测年技术的出现,对残存于祁连造山带内部前寒武系的研究越来越受到人们的关注,一些传统认识面临挑战。

化隆岩群是南祁连造山带东段基底的重要组成部分,最早由北京地质学院(1960)命名为太古宙化隆群,青海地质局区测队(1964)命名其为前震旦纪尕让群,后改称为化隆群(1976),青海省区域地层表编写组(1980)将其归属于古元古界—太古宇,并划分为上、中、下3个岩组,青海地矿局(1991)将其归属于湟源群,青海地层多重划分对比研究组(1994)仍称其为化隆群。由于其中存在较多变质深成侵入体,且各组间关系并不是完全叠置的地层系统,因此目前将“化隆群”改称化隆岩群(青海省岩石地层清理),其时代一般被划归为新太古—古元古代(郭进京等,1999; 张旺生等,2003; 徐学义等,2008a, 2008b; 李荣社等,2009)或古元古代(青海省地矿局, 1991; 潘桂棠等,2004)。

自从万渝生等(2003)利用TIMS法获得侵入化隆群片麻岩的钾质花岗岩锆石U-Pb年龄为 $750 \pm 30$  Ma之后,化隆岩群形成于早前寒武纪的传统认识便发生了动摇,但该年龄未能有效地限制化隆群主体片麻岩类的形成时代。Xu等(2007)利用LA-ICP-MS法获得的化隆岩群黑云母斜长片麻岩(副片麻岩)碎屑锆石 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄主要集中于880~900 Ma之间,加权平均年龄为 $891 \pm 9$  Ma;侵入化隆岩群的弱片麻状花岗岩脉锆石上交点年龄为 $875 \pm 8$  Ma,而有效地将化隆县通往循化县省级公路一带化隆岩群的形成时代限定在875~891 Ma之间。近来,陆松年等(2009)对化隆县谢家滩乡-甘都镇之间合群峡

的化隆岩群白云母石英岩进行了碎屑锆石SHRIMP和LA-ICP-MS U-Pb年龄研究,结果表明存在大量~1 800 Ma的碎屑锆石,最年轻的碎屑锆石出现在1 400~1 250 Ma之间,认为化隆岩群不可能是新太古代—古元古代的沉积,而最大可能是中元古代晚期的产物。

祁连造山带西起大道尔吉,向东南沿党河北岸、哈拉湖北、疏勒河脑、大通河脑、日月山、拉脊山,东到兰州以西,发育一条延长近700 km,与Cu-Ni及Cr成矿关系密切的基性-超基性岩带。其中,拉水峡Cu-Ni矿产于侵入化隆岩群的基性-超基性岩体中,南祁连化隆地区便成为金川型岩浆Cu-Ni-PGE矿的找矿优选区(李文渊,2006)。由此可见,化隆岩群形成时代的重新厘定无论对建立祁连造山带基底格架,还是寻找Cu-Ni矿产都具有重要意义。

为了使化隆岩群形成于新元古代的新认识能在区域上展开,本文利用激光剥蚀等离子体质谱(LA-ICP-MS)对青海省湟源县日月乡西北化隆岩群条带状二云斜长片麻岩(副片麻岩)和条带状黑云斜长角闪岩(原岩为中性火山岩)进行了锆石U-Pb微区原位定年,据此进一步限定化隆岩群的形成时代。

## 1 区域地质背景

研究区位于南祁连造山带东段,化隆岩群在区域上分布的中部、青海省湟源县南(图1)。

研究区以日月山断裂为界,北东属于中祁连区,南西属于南祁连。区内中祁连前寒武系包括湟源岩群、湟中群、花石峡群,南祁连前寒武系仅有化隆岩群。作为本文研究重点的化隆岩群,由于被中生界地层覆盖和北西向断裂破坏,加之志留纪中酸性岩体的侵入,呈北西-南东向残块状断续出露。化隆岩群包括下、中、上3个岩组,下组以混合片麻岩、混合岩为主,夹少量片麻岩和片岩类;中组以片麻岩类和变粒岩类为主,夹少量斜长角闪岩;上组由斜长角闪岩、绿帘斜长角闪岩、黑云斜长角闪岩、角闪斜长片麻岩、角闪斜长变粒岩、黑云变粒岩及透闪辉石岩等组成。该岩群普遍发育透入性片麻理,多具条纹-

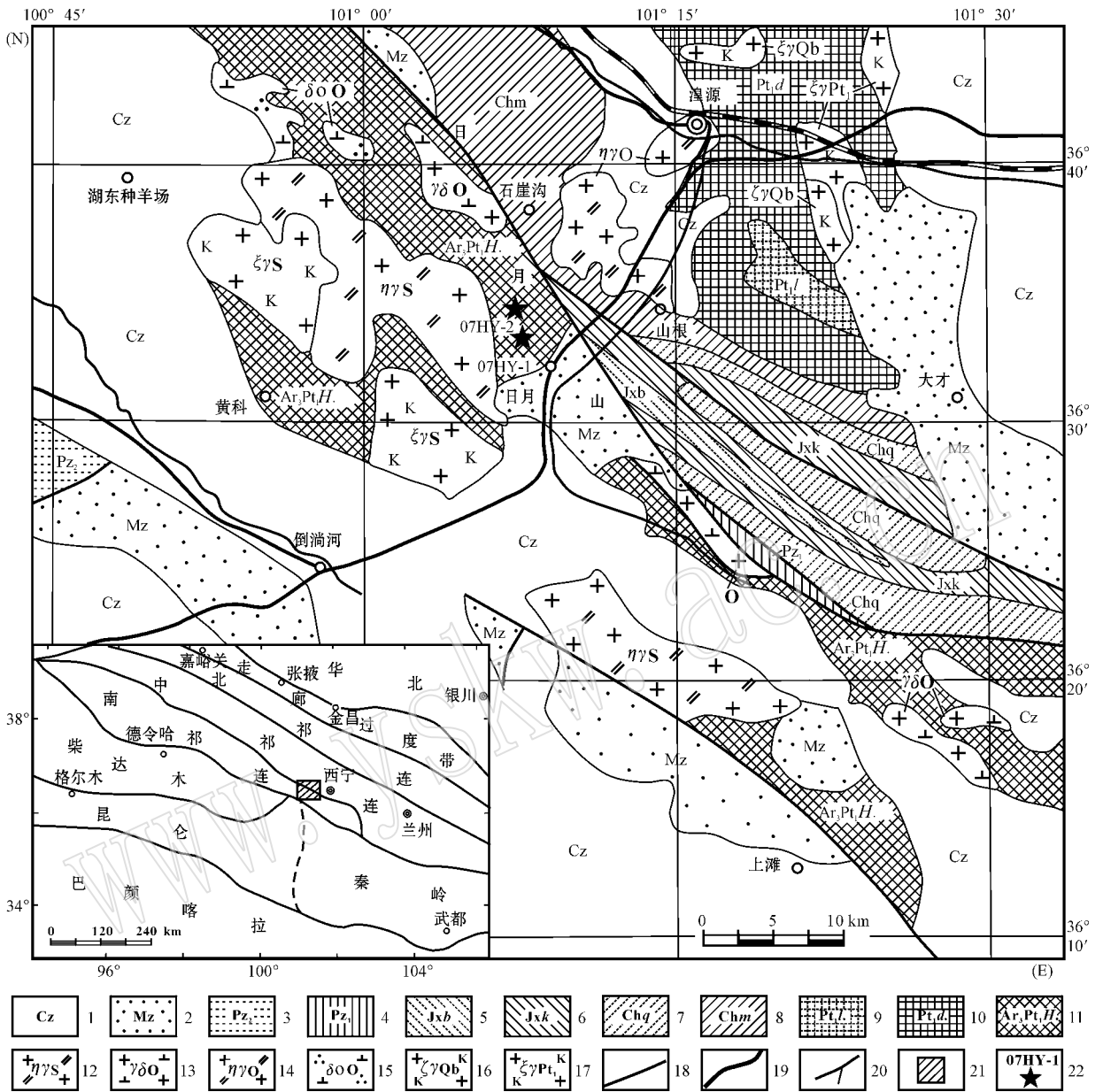


图 1 南祁连造山带青海湟源县一带地质简图 [据李荣社等(2009)修编]

Fig. 1 Geological sketch map of Huangyuan County in Qinghai, with in South Qilian orogenic belt (modified after Li Rongshe et al., 2009)

- 1—新生界；2—中生界；3—上古生界；4—下古生界；5—青白口纪花石峡群北门峡组；6—青白口纪花石峡群克素尔组；7—长城纪湟中群清石坡组；8—长城纪湟中群磨石沟组；9—古元古代湟源岩群刘家台岩组；10—古元古代湟源岩群东沟岔岩组；11—新太古-古元古代化隆岩群；12—志留纪二长花岗岩；13—奥陶纪花岗岩闪长岩；14—奥陶纪二长花岗岩；15—奥陶纪石英闪长岩；16—青白口纪钾长花岗岩；17—古元古代钾长花岗岩；18—断裂；19—公路；20—水系；21—研究区范围；22—采样位置及编号

- 1—Cenozoic；2—Mesozoic；3—Upper Palaeozoic；4—Lower Palaeozoic；5—Beimenxia Formation of Qingbaikouan Huashixia Group；6—Kesu'er Formation of Qingbaikouan Huashixia Group；7—Qingshipo Formation of Changcheng Huangzhong Group；8—Moshigou Formation of Changcheng Huangzhong Group；9—Liujiatai Formation of Paleoproterozoic Huangyuan Rock Group；10—Donggoucha Formation of Paleoproterozoic Huangyuan Rock Group；11—Neoproterozoic-Paleoproterozoic Hualong Rock Group；12—Silurian monzogranite；13—Ordovician granodiorite；14—Ordovician monzogranite；15—Ordovician quartz diorite；16—Qingbaikouan K-feldspar granite；17—Paleoproterozoic K-feldspar granite；18—fault；19—road；20—river；21—limits of study area；22—sampling site and its serial number

条带状构造, 变质程度可达低角闪岩相。经原岩恢复<sup>①</sup>, 片麻岩和变粒岩类原岩为泥砂质岩, 斜长角闪岩类的原岩大部分为火山岩(以玄武岩为主, 有安山玄武岩、安山岩和英安岩以及碱玄岩等), 大理岩应是钙质沉积岩变质而来; 总体上化隆岩群的原岩以泥砂质沉积岩为主, 夹有碳酸盐岩(包括镁质碳酸盐岩), 并有火山岩岩层出现。

## 2 样品及其岩相学特征

用于同位素测年的样品有两件, 均为青海省湟源县南出露的化隆岩群。07HY-1 采自湟源县南日月乡西北约 4.5 km 的沟谷中(地理坐标: N 36°31'48.9", E 101°7'44.5", H 3 118 m), 07HY-2 采自湟源县南日月乡西北约 5 km 的沟谷中(地理坐标: N 36°31'58.3", E 101°7'40.3", H 3 136 m)。样品 07HY-1 为条带状二云斜长片麻岩, 重量约 26 kg; 呈深灰色, 鳞片粒状变晶结构, 片麻状构造, 矿物明显沿片麻理方向呈定向排列, 并出现浅色和暗色矿物动力结晶分异条带, 斜长石发生了较强的绢云母化和塑性变形, 变质结晶的新生矿物为细小洁净的斜长石和针状矽线石(图 2a); 主要矿物为石英(约 37%)、绢云母化斜长石(约 25%)、黑云母(约 20%)、白云母(约 15%), 含少量方解石(约 2%)和矽线石(<1%); 原岩属于长石石英砂岩。样品 07HY-2 为条带状黑云

斜长角闪岩, 重量约 20 kg; 呈深绿色, 粒状变晶结构, 条带状构造, 矿物明显呈定向排列, 出现动力结晶分异条带(图 2b); 主要矿物为角闪石(约 32%)、绢云母化斜长石(约 30%), 次为石英(约 20%)、黑云母(约 10%)、辉石(约 5%), 含少量方解石(1%)、榴石(<1)和红柱石(<1%); 其中, 斜长石发生了较强的绢云母化和塑性变形, 黑云母多为角闪石和辉石退变而来, 角闪石部分发生了绿泥石化, 红柱石为包裹细小石英的不规则状变质结晶矿物; 原岩属于中性火山岩。

## 3 分析方法

锆石的阴极发光(CL)图像在西北大学扫描电镜实验室完成, 采用 FEI 公司 XL30 型 SFEG 电子束进行锆石内部结构显微照相分析。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。

LA-ICP-MS 法锆石微区 U-Pb 年龄测定在西北大学大陆动力学国家重点实验室的 Agilent7500 型 ICPMS 和德国 Lambda Physik 公司的 ComPex102 ArF 准分子激光器(工作物质 ArF, 波长 193 nm)以及 MicroLas 公司的 GeoLas200M 光学系统的联机上进行。激光束斑直径为 30  $\mu\text{m}$ , 激光剥蚀深度为 20~

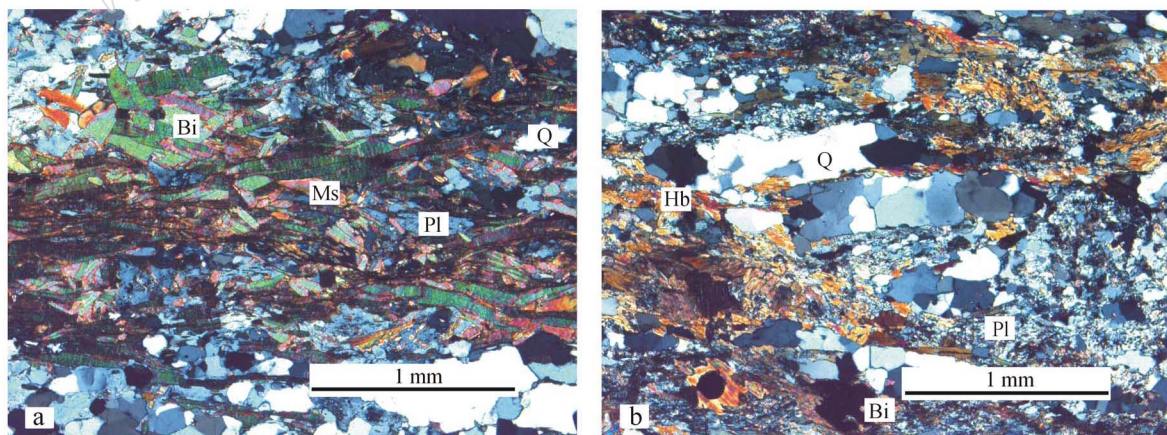


图 2 化隆岩群二云斜长片麻岩 07HY-1(a)和黑云斜长角闪岩 07HY-2(b)正交偏光镜下显微照片  
Fig. 2 Micrographs (crossed nicols) of two-mica plagiogneiss 07HY-1(a) and biotite-plagioclase amphibolite 07HY-2(b) from Hualong Rock Group

Q—石英; Bi—黑云母; Ms—白云母; Pl—斜长石; Hb—普通角闪石  
Q—quartz; Bi—biotite; Ms—muscovite; Pl—plagioclase; Hb—hornblende

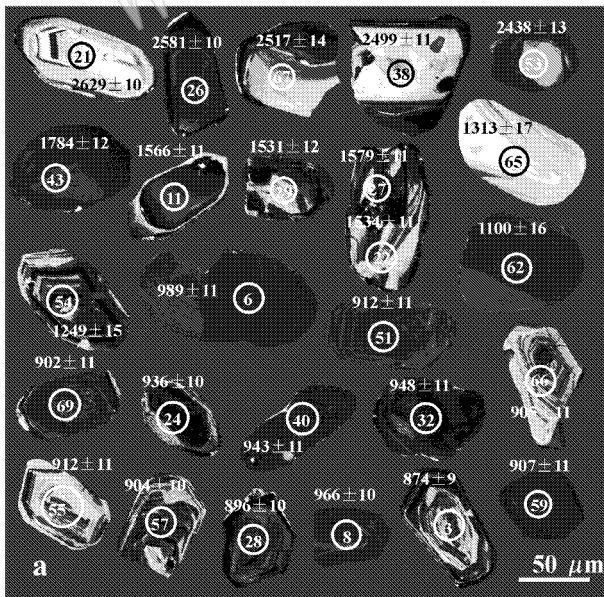
① 青海省地质调查院等. 2006. 1:25 万西宁市幅区域地质调查(修测)报告.

40  $\mu\text{m}$ 。实验中采用 He 作为剥蚀物质的载气,用美国国家标准技术研究院研制的人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质 NIST SRM610 进行仪器最佳化,采样方式为单点剥蚀,数据采集选用一个质量峰一点的跳峰方式,每完成 4~5 个样品测定,插入测标样一次。在所测锆石样品 15~20 个点前后各测 2 次 NIST SRM610。锆石年龄采用标准锆石 91500 作为外部标准物质,元素含量采用 NIST SRM610 作为外标。由于  $\text{SiO}_2$  在锆石中的含量较恒定,选择  $^{29}\text{Si}$  作为内标来消除激光能量在点分析过程中以及分析点之间的漂移,对于大多数元素单点分析的相对标准偏差为 5%~15%。详细分析步骤和数据处理方法参见相关文献(Gao Shan *et al.*, 2002; 袁洪林等, 2003)。

采用 Glitter (ver4.0, Macquarie University) 程序对锆石的同位素比值及元素含量进行计算,并按照 Andersen Tom 的方法(Andersen, 2002),用 LAM-ICPMS Common Lead Correction (ver3.15) 对其进行普通铅校正,年龄计算及谐和图采用 Isoplot (ver3.0) 完成(Ludwig, 2003)。

## 4 结果

条带状二云斜长片麻岩(07HY-1)中的锆石绝



大多数为无色透明-浅黄色,浑圆状、米粒状及半自形柱状(部分残缺锆石属于碎样时机械破损),粒径相差较为悬殊,在 60  $\mu\text{m} \times 40 \mu\text{m}$ ~150  $\mu\text{m} \times 70 \mu\text{m}$  之间。锆石 CL 图像(图 3a)显示,色调相差较大,呈现深灰色-灰白色,多数内部发育环带结构(3、6、8、21、28、40、51、54、55、57、59、66、69 测点),但环带的疏密程度不同,少数内部均一(11、26、43、62 测点),个别具有斑杂状结构(22、27、29 测点),反映出多源碎屑锆石的特征;Th/U 比值介于 0.11~1.68 之间(表 1),绝大多数大于 0.30,主体具岩浆源区碎屑的锆石特征。

条带状黑云斜长角闪岩(07HY-2)中的锆石绝大多数为浅烟灰色、浅黄色及无色透明半自形柱状(部分残缺锆石属于碎样时机械破损),少数为浅玫瑰红色浑圆状,粒径多在 80  $\mu\text{m} \times 60 \mu\text{m}$ ~120  $\mu\text{m} \times 90 \mu\text{m}$ 。锆石 CL 图像(图 3b)显示,色调呈现浅灰-深灰色,少数具有内核(2、6、15、16 测点),多数发育环带结构(2、6、8、10、11、17~20 测点),部分外围具有较窄的生长边(2、14、15、18、20 测点);Th/U 比值一般在 0.29~1.33 之间(表 2),具岩浆结晶锆石特征。

条带状二云斜长片麻岩(07HY-1)的锆石经普通铅校正后,U-Pb 测试结果列于表 1,锆石有效测试点共 70 个。绝大多数样点在 U-Pb 谐和图上分布于谐和线上,或在谐和线附近(图 4a)。锆石谐和年龄

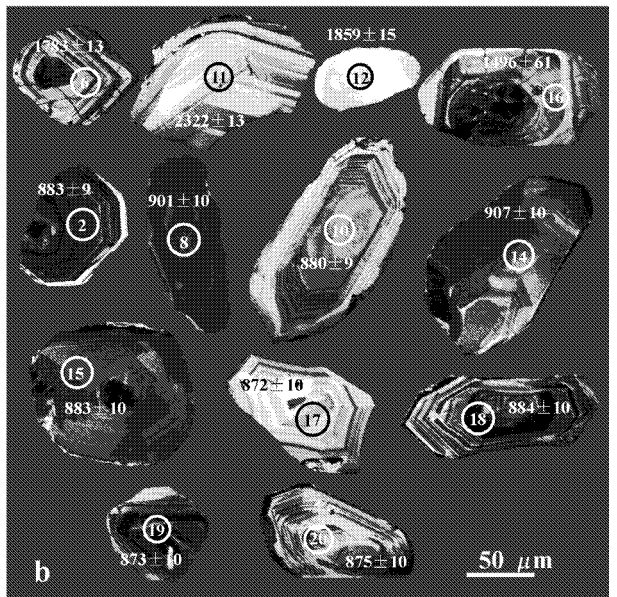


图 3 化隆岩群二云斜长片麻岩 07HY-1(a)和黑云斜长角闪岩 07HY-2(b)锆石 CL 图像

Fig. 3 CL images of zircon in two-mica plagiogneiss 07HY-1(a) and biotite-plagioclase amphibolite 07HY-2(b) from Hualong Rock Group

表 1 南祁连青海省湟源县日月乡西北化隆岩群条带状二云斜长片麻岩(07HY-1)锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素测年结果

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb isotopic analyses of banded two mica-plagiogneiss(07HY-1) from Hualong Rock Group in northwestern Riyue,

## Huangyuan County of Qinghai, South Qilian Mountains

样号	同位素比值										同位素含量/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$							Th/U	谐和度/%					
	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$^{208}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}$	$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$								
07HY-1-01	0.068	0.001	1.268	0.016	0.134	0.002	0.039	0.000	0.799	12	831	7	813	9	777	8	1.43	348.68	27.52	46.71	595.93	655.24	0.91	102.21
07HY-1-02	0.116	0.001	5.390	0.066	0.337	0.004	0.096	0.001	1.893	40	1883	11	1873	19	1859	21	3.02	1284.67	166.35	22.73	427.23	1107.60	0.11	101.07
07HY-1-03	0.069	0.001	1.381	0.018	0.145	0.002	0.044	0.000	897	12	881	8	874	9	864	9	<0.60	369.55	28.93	40.75	464.89	628.80	0.74	100.80
07HY-1-04	0.081	0.002	2.088	0.046	0.188	0.002	0.056	0.001	1.211	51	1145	15	1110	12	1104	13	35.67	823.75	117.29	84.79	341.89	1035.88	0.33	109.10
07HY-1-05	0.066	0.001	1.290	0.018	0.142	0.002	0.042	0.000	798	13	841	8	857	9	840	10	0.86	318.19	24.05	27.39	327.38	567.62	0.38	98.13
07HY-1-06	0.065	0.001	1.476	0.018	0.166	0.002	0.042	0.000	759	12	921	8	989	11	838	9	<0.68	1018.00	74.34	5.35	659.12	1536.50	0.43	93.12
07HY-1-07	0.065	0.001	1.231	0.017	0.138	0.002	0.038	0.000	769	13	815	8	831	9	744	8	<0.74	408.41	30.62	43.69	594.78	778.01	0.76	98.07
07HY-1-08	0.065	0.001	1.457	0.018	0.162	0.002	0.039	0.000	786	12	913	7	966	10	773	8	<0.87	1512.63	112.14	59.65	766.26	2332.27	0.33	94.51
07HY-1-09	0.066	0.003	1.201	0.047	0.131	0.002	0.040	0.000	817	89	801	22	795	10	794	8	8.13	754.28	61.08	111.59	1639.35	1556.12	1.05	100.75
07HY-1-10	0.108	0.001	4.958	0.067	0.333	0.004	0.093	0.001	1.763	11	1812	11	1855	19	1788	20	1.38	169.63	20.72	19.55	104.30	125.07	0.83	95.04
07HY-1-11	0.097	0.001	3.868	0.049	0.289	0.003	0.079	0.001	1.566	11	1607	10	1638	17	1541	16	1.19	998.15	109.80	130.22	825.55	860.45	0.96	95.60
07HY-1-12	0.174	0.002	13.050	0.163	0.544	0.006	0.138	0.002	2.596	9	2683	12	2800	26	2621	27	1.27	1371.68	270.29	66.93	249.22	645.72	0.39	92.71
07HY-1-13	0.066	0.001	1.288	0.018	0.141	0.002	0.041	0.000	809	13	840	8	852	9	816	9	<0.81	390.10	28.86	49.13	620.07	702.17	0.88	98.59
07HY-1-14	0.065	0.001	1.242	0.017	0.138	0.002	0.047	0.001	778	13	820	8	836	9	930	10	4.04	524.58	40.13	144.62	1754.59	1047.33	1.68	98.09
07HY-1-15	0.066	0.001	1.340	0.019	0.146	0.002	0.045	0.001	819	13	863	8	881	10	899	10	1.03	427.86	32.63	69.66	807.38	754.11	1.07	97.96
07HY-1-16	0.100	0.001	4.023	0.054	0.292	0.003	0.083	0.001	1.625	11	1639	11	1650	17	1617	18	<NAN	257.63	29.19	46.96	277.00	216.77	1.28	98.48
07HY-1-17	0.091	0.001	1.891	0.026	0.150	0.002	0.073	0.001	1.454	12	1078	9	901	10	1424	16	6.37	379.93	41.78	46.69	324.95	556.40	0.38	119.64
07HY-1-18	0.066	0.001	1.327	0.018	0.146	0.002	0.043	0.001	803	12	857	8	879	10	856	10	<0.68	612.01	45.60	41.21	491.27	1069.37	0.46	97.50
07HY-1-19	0.068	0.001	1.261	0.018	0.135	0.002	0.041	0.000	867	13	829	8	814	9	803	9	1.07	324.91	24.97	35.23	451.30	630.30	0.72	101.84
07HY-1-20	0.164	0.002	9.138	0.117	0.405	0.005	0.095	0.001	2.492	10	2352	12	2193	22	1829	20	2.12	2192.93	410.14	130.57	663.01	1378.09	0.48	113.63
07HY-1-21	0.177	0.002	12.386	0.162	0.506	0.006	0.133	0.002	2.629	10	2634	12	2634	26	2517	28	<0.84	591.20	118.74	30.93	120.81	299.32	0.40	99.55
07HY-1-22	0.095	0.001	3.781	0.050	0.288	0.003	0.086	0.001	1.534	11	1589	11	1631	17	1659	18	<1.04	757.74	81.18	69.23	400.07	660.92	0.61	94.05
07HY-1-23	0.066	0.001	1.288	0.020	0.142	0.002	0.041	0.001	806	15	840	9	853	10	818	10	0.51	313.37	23.47	38.87	504.19	579.87	0.87	98.48
07HY-1-24	0.065	0.001	1.391	0.019	0.156	0.002	0.037	0.000	761	13	885	8	936	10	738	8	<1.06	1048.38	76.18	78.37	1102.52	1733.20	0.64	94.55
07HY-1-25	0.070	0.001	1.417	0.020	0.147	0.002	0.046	0.001	931	13	896	9	882	10	910	10	1.94	406.84	31.76	86.80	983.65	739.42	1.33	101.59
07HY-1-26	0.172	0.002	1.793	0.156	0.496	0.006	0.136	0.002	2.581	10	2588	12	2598	25	2578	28	<0.84	1631.22	312.15	95.41	381.82	881.03	0.43	99.35
07HY-1-27	0.098	0.001	3.727	0.051	0.277	0.003	0.088	0.001	1.579	11	1577	11	1576	17	1705	20	1.62	840.53	92.13	65.79	396.11	770.87	0.51	100.19
07HY-1-28	0.066	0.001	1.348	0.019	0.149	0.002	0.040	0.000	793	13	867	8	896	10	795	9	1.18	973.94	72.78	87.98	1191.82	1729.25	0.69	96.76
07HY-1-29	0.095	0.001	3.837	0.053	0.292	0.003	0.084	0.001	1.531	12	1601	11	1654	17	1633	20	2.11	473.23	50.97	22.75	140.61	410.11	0.34	92.56
07HY-1-30	0.071	0.001	1.317	0.019	0.135	0.002	0.035	0.000	949	14	853	8	817	9	698	8	3.40	308.99	25.35	49.45	701.57	593.34	1.18	104.41
07HY-1-31	0.144	0.002	8.439	0.116	0.426	0.005	0.120	0.001	2.272	11	2279	12	2288	23	2292	26	0.53	840.69	136.78	93.36	396.68	493.66	0.80	99.30
07HY-1-32	0.067	0.001	1.463	0.020	0.158	0.002	0.043	0.001	837	13	915	8	948	11	859	10	1.41	955.93	72.06	57.32	684.10	1564.87	0.44	96.52
07HY-1-33	0.068	0.001	1.360	0.020	0.145	0.002	0.042	0.001	872	14	872	8	872	10	829	10	<0.91	518.46	39.77	50.47	634.58	933.73	0.68	100.00
07HY-1-34	0.065	0.001	1.349	0.019	0.150	0.002	0.045	0.001	776	14	867	8	903	10	887	11	1.00	583.53	42.79	39.37	461.00	1000.40	0.46	96.01
07HY-1-35	0.068	0.001	1.364	0.020	0.146	0.002	0.043	0.001	856	14	874	9	881	10	857	10	0.98	330.53	24.51	35.49	427.29	584.96	0.73	99.21
07HY-1-36	0.079	0.002	2.190	0.043	0.200	0.002	0.060	0.001	1.183	47	1178	14	1175	13	1175	13	<1.63	638.67	60.05	33.05	252.58	873.99	0.29	100.68

续表 1  
Continued Table 1

样号	同位素比值										同位素年龄/Ma										同位素含量/ $\mu\text{g g}^{-1}$				Th/U /%
	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}$	$^{232}\text{Th}$	$^{238}\text{U}$					
07HY-1-37	0.113	0.002	4.957	0.080	0.319	0.004	0.095	0.001	1.843	14	1.812	14	1.786	19	1.837	24	1.39	113.83	14.42	85.38	92.33	0.92	103.19		
07HY-1-38	0.164	0.002	10.541	0.152	0.466	0.006	0.127	0.002	2.499	11	2.484	13	2.465	25	2.418	29	0.63	416.33	76.59	39.60	155.51	219.66	0.71	101.38	
07HY-1-39	0.072	0.003	1.391	0.048	0.140	0.002	0.042	0.000	0.987	76	885	20	845	10	838	9	3.20	290.53	25.84	37.07	432.05	542.91	0.80	104.73	
07HY-1-40	0.069	0.001	0.493	0.022	0.157	0.002	0.042	0.001	0.892	13	928	9	943	11	839	10	4.11	1179.80	89.09	80.86	1034.42	1957.11	0.53	98.41	
07HY-1-41	0.135	0.002	6.548	0.095	0.351	0.004	0.091	0.001	2.169	11	2.052	13	1.939	20	1.763	22	4.58	2453.30	377.53	92.72	543.51	1845.87	0.29	111.86	
07HY-1-42	0.104	0.001	3.799	0.056	0.265	0.003	0.063	0.001	1.694	12	1.592	12	1.518	16	1.230	16	1.48	856.12	99.67	37.51	318.15	839.99	0.38	111.59	
07HY-1-43	0.109	0.001	4.936	0.073	0.328	0.004	0.096	0.001	1.784	12	1.808	12	1.830	19	1.848	23	<0.55	954.83	116.16	65.60	369.59	59.08	0.49	97.49	
07HY-1-44	0.068	0.003	1.336	0.060	0.142	0.002	0.043	0.000	0.872	100	861	26	857	11	857	9	5.11	438.50	35.14	77.88	963.20	817.33	1.18	100.47	
07HY-1-45	0.066	0.001	1.318	0.022	0.145	0.002	0.041	0.001	0.801	16	853	9	874	10	819	11	0.65	325.45	24.13	36.47	479.04	606.52	0.79	97.60	
07HY-1-46	0.084	0.002	2.471	0.060	0.214	0.003	0.064	0.001	1.290	55	1.264	18	1.248	15	1.245	14	1.24	361.61	35.78	25.69	176.88	406.20	0.44	103.37	
07HY-1-47	0.147	0.004	7.031	0.143	0.347	0.004	0.098	0.001	2.309	42	2.215	18	1.922	21	1.882	26	12.16	663.76	122.71	47.46	159.24	478.70	0.33	120.14	
07HY-1-48	0.151	0.002	3.003	0.121	0.385	0.005	0.108	0.001	2.356	12	2.231	14	2.098	22	2.064	26	3.04	2286.34	381.28	114.50	579.67	1600.16	0.36	112.30	
07HY-1-49	0.121	0.002	5.797	0.089	0.347	0.004	0.091	0.001	1.976	12	1.946	13	1.918	20	1.760	23	0.85	1983.10	261.28	68.08	464.81	1606.46	0.29	103.02	
07HY-1-50	0.070	0.001	1.360	0.022	0.142	0.002	0.042	0.001	0.916	16	872	10	855	10	827	11	1.20	483.65	37.96	73.93	978.06	920.09	1.06	101.99	
07HY-1-51	0.067	0.001	1.413	0.023	0.152	0.002	0.045	0.001	0.849	16	895	10	915	10	883	12	<0.64	117.72	46.39	52.65	642.54	1074.51	0.60	98.03	
07HY-1-52	0.068	0.001	1.493	0.024	0.159	0.002	0.043	0.001	0.875	15	927	10	950	11	846	11	4.67	1114.37	84.86	145.35	1845.19	1863.38	0.99	97.58	
07HY-1-53	0.138	0.002	10.326	0.165	0.473	0.006	0.127	0.002	2.438	13	2.464	15	2.497	26	2.421	32	<0.60	504.14	89.06	48.39	204.05	274.71	0.74	97.64	
07HY-1-54	0.082	0.001	2.364	0.038	0.209	0.003	0.066	0.001	1.249	15	1.232	11	1.222	14	1.299	18	<0.60	760.12	68.50	36.99	324.55	991.80	0.33	102.21	
07HY-1-55	0.065	0.001	1.371	0.024	0.152	0.002	0.047	0.001	0.789	18	877	10	912	11	924	13	<0.75	275.30	20.15	30.35	376.44	498.08	0.76	96.16	
07HY-1-56	0.077	0.002	1.548	0.045	0.146	0.002	0.044	0.001	1.113	66	950	18	881	11	870	10	8.19	400.15	36.45	37.11	401.79	725.83	0.55	107.83	
07HY-1-57	0.066	0.001	1.373	0.023	0.150	0.002	0.044	0.001	0.813	17	877	10	904	10	869	13	<0.61	609.20	44.80	25.71	324.35	1092.53	0.30	97.01	
07HY-1-58	0.092	0.001	3.488	0.057	0.275	0.003	0.077	0.001	1.467	15	1.525	13	1.567	17	1.501	21	3.21	1280.66	128.71	50.42	388.73	1402.48	0.28	93.62	
07HY-1-59	0.067	0.001	1.388	0.024	0.151	0.002	0.044	0.001	0.827	17	884	10	907	11	876	13	<1.0eN	321.20	23.77	23.12	287.06	568.73	0.50	97.46	
07HY-1-60	0.083	0.003	2.305	0.063	0.200	0.003	0.060	0.001	1.280	60	1.214	19	1.177	14	1.170	14	18.40	744.77	82.77	60.04	382.32	953.83	0.40	108.75	
07HY-1-61	0.066	0.001	1.288	0.022	0.141	0.002	0.040	0.001	0.818	17	841	10	849	10	797	12	0.82	666.74	49.24	73.34	1007.34	1277.62	0.79	99.06	
07HY-1-62	0.076	0.001	2.205	0.037	0.210	0.003	0.060	0.001	1.100	16	1.183	12	1.228	14	1.173	18	<0.66	1011.67	85.37	18.92	177.58	1279.30	0.14	89.58	
07HY-1-63	0.069	0.001	1.398	0.025	0.147	0.002	0.044	0.001	0.904	18	888	10	882	10	879	14	<0.68	668.67	51.33	20.01	253.29	1229.45	0.21	100.68	
07HY-1-64	0.110	0.002	5.228	0.098	0.344	0.004	0.098	0.002	1.803	17	1.857	16	1.906	21	1.887	29	0.90	131.86	16.07	12.16	69.13	103.30	0.67	94.60	
07HY-1-65	0.085	0.001	2.395	0.043	0.205	0.003	0.062	0.001	1.313	17	1.241	13	1.200	14	1.220	19	2.48	243.14	22.86	15.32	141.75	317.50	0.45	109.42	
07HY-1-66	0.073	0.001	1.510	0.027	0.151	0.002	0.044	0.001	1.005	17	934	11	905	11	879	13	1.60	542.09	43.50	28.88	362.03	976.73	0.37	103.20	
07HY-1-67	0.166	0.003	10.867	0.189	0.475	0.006	0.132	0.002	2.517	14	2.512	16	2.506	26	2.499	36	1.50	756.07	138.37	121.60	515.15	428.13	1.20	100.44	
07HY-1-68	0.161	0.003	8.795	0.153	0.395	0.005	0.066	0.001	2.471	14	2.317	16	2.147	23	1.301	19	4.22	2506.90	448.02	146.61	1235.40	1712.71	0.72	115.09	
07HY-1-69	0.072	0.001	1.487	0.027	0.150	0.002	0.042	0.001	0.981	18	925	11	902	11	830	13	6.81	887.63	70.55	58.79	791.42	1596.57	0.50	102.55	
07HY-1-70	0.126	0.002	6.485	0.115	0.373	0.005	0.097	0.002	2.043	15	2.044	16	2.045	22	1.880	29	2.13	903.28	125.85	38.77	222.96	652.66	0.34	99.90	

谱和度:  $(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}) / (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) \times 100 (>1000 \text{ Ma})$ ,  $(^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}) / (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) \times 100 (<1000 \text{ Ma})$ .

在 2 629~795 Ma 之间,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表面年龄在 872~913 Ma 之间为为主要集中区,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄  $891 \pm 7$  Ma (MSWD=2.0)。在谐和年龄柱状图(图 4b)上, 出现了一个  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为 882 Ma 的主峰值。  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄与  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  主峰值在误差范围内基本一致。因此,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄  $891 \pm 7$  Ma 应该为化隆岩群条带状二云斜长片麻岩(07HY-1)年龄最新的蚀源区, 即该年龄代表化隆岩群沉积时代的下限。

条带状黑云斜长角闪岩(07HY-2)的锆石经普通铅校正后, U-Pb 测试结果列于表 2。锆石有效测试点共 25 个。除部分谐和度较差且分散的老锆石测点(3~5、6、7、9、11~13、16、21、22、24、25 测点,  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  表面年龄介于 2 322~968 Ma 之间)和个

别测试信号不稳定具有明显偏低的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表面年龄 (<832 Ma) (2、23 测点)外, 其余 9 个锆石测点(2、8、10、14、15、17~20 测点)在 U-Pb 谐和图上成群集中分布于谐和线上或其附近(图 5),  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表面年龄介于 872~907 Ma 之间, 谐和年龄为  $871 \pm 10$  Ma (MSWD=0.83),  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄为  $884 \pm 9$  Ma (MSWD=1.5), 谐和年龄和加权平均年龄在误差范围内基本一致, 这些测点所对应的锆石多具有稀疏环带结构, Th/U 比值多数大于 0.29, 表明这些锆石应为同期岩浆结晶成因。因此,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄  $884 \pm 9$  Ma 代表条带状黑云斜长角闪岩的形成年龄。该样品锆石测点  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  表面年龄分散于 2 322~968 Ma 之间, 可能为捕获的老锆石年龄信息。

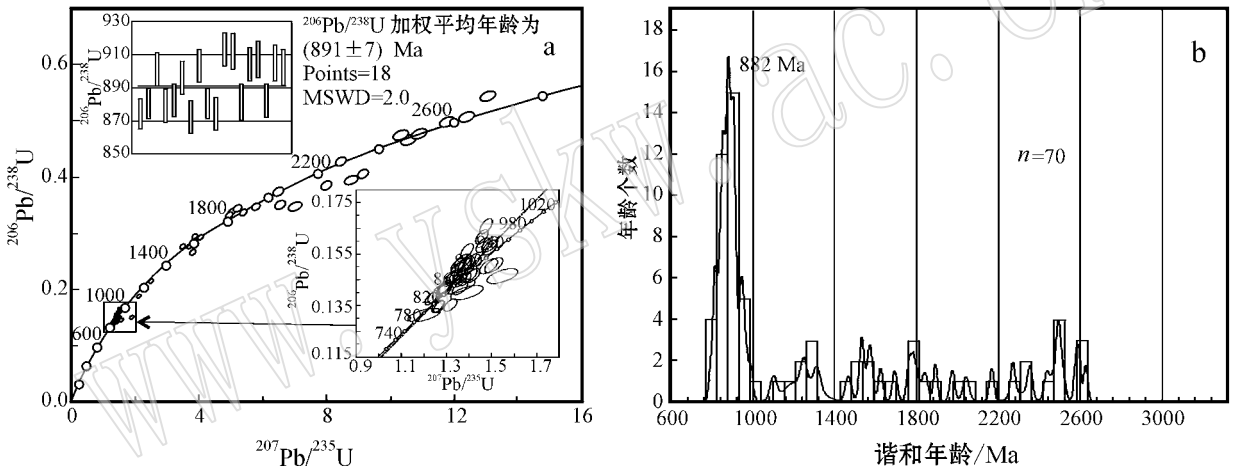


图 4 化隆岩群条带状二云斜长片麻岩(07HY-1)碎屑锆石 U-Pb 谐和图(a)及谐和年龄柱状分布图(b)

Fig. 4 Detrital zircon U-Pb concordia diagrams (a) and columnar distribution of concordia ages (b) of banded two mica-plagiogneiss (07HY-1) from Hualong Rock Group

## 5 讨论与结论

LA-ICP-MS 锆石微区 U-Pb 同位素测年结果表明, 湟源县南日月乡一带化隆岩群条带状二云斜长片麻岩(副变质岩)最新的蚀源区年龄为  $891 \pm 7$  Ma, 可作为化隆岩群形成时代的下限; 条带状黑云斜长角闪岩(原岩为中性火山岩)的形成年龄为  $884 \pm 9$  Ma。该年龄反映化隆岩群形成时火山-沉积作用的主体时代, 相当于新元古代早期, 即青白口纪。该年龄值支持化隆岩群形成于新元古代的认识, 而不是前人认为的太古-古元古代, 并可以在区域上展开。

研究表明, Rodinia 超大陆的聚合造山发生在 1 300~1 000 Ma, 并在 1 000~900 Ma 继以伸展作用, 裂解作用发生于 830 Ma 之后, 但其过程具有明显的时空分布不均一性(徐备, 2001)。化隆岩群火山-沉积作用应为 Rodinia 超大陆裂解的地质记录。

近来, 作者利用 LA-ICP-MS 法锆石 U-Pb 测年, 在祁连造山带西段甘肃省肃北县党河一带获得北大河岩群片麻状斜长角闪岩(原岩为辉长岩)的形成年龄为  $724.4 \pm 3.7$  Ma (何世平等, 2010), 采样点东约 60 余 km 便是著名的大道尔吉铬铁矿, 应与化隆岩群一样均属于 Rodinia 超大陆裂解的地质记录。因而, 可以推论西起大道尔吉东至拉脊山横贯祁连地区连绵近 700 km 与 Cu-Ni 和 Cr 成矿关系密切的基



续表 1

Continued Table 1

样品号	同位素比值										同位素年龄/Ma										同位素含量/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$					Th/U /%					
	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$					$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$					$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$					$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$					$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$						$^{206}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$				
	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$		$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$
07HY-1-37	0.113	0.002	4.957	0.080	0.319	0.004	0.095	0.001	1.843	14	1.812	14	1.786	19	1.837	24	1.39	113.83	14.42	15.42	85.38	92.33	0.92	103.19							
07HY-1-38	0.164	0.002	10.541	0.152	0.466	0.006	0.127	0.002	2.459	11	2.484	13	2.465	25	2.418	29	0.63	416.33	76.59	39.60	155.51	219.66	0.71	101.38							
07HY-1-39	0.072	0.003	1.391	0.048	0.140	0.002	0.042	0.000	0.987	76	885	20	845	10	838	9	3.20	290.53	25.84	37.07	432.05	542.91	0.80	104.73							
07HY-1-40	0.069	0.001	0.493	0.022	0.157	0.002	0.042	0.001	0.892	13	928	9	943	11	839	10	4.11	179.80	89.09	80.86	1034.42	1957.11	0.53	98.41							
07HY-1-41	0.135	0.002	6.548	0.095	0.351	0.004	0.091	0.001	2.169	11	2.052	13	1.939	20	1.763	22	4.58	2453.30	377.53	92.72	543.51	1845.87	0.29	111.86							
07HY-1-42	0.104	0.001	3.799	0.056	0.265	0.003	0.063	0.001	1.694	12	1.592	12	1.518	16	1.230	16	1.48	856.12	99.67	37.51	318.15	839.99	0.38	111.59							
07HY-1-43	0.109	0.001	4.936	0.073	0.328	0.004	0.096	0.001	1.784	12	1.808	12	1.830	19	1.848	23	<0.55	954.83	116.16	65.60	369.59	59.08	0.49	97.49							
07HY-1-44	0.068	0.003	1.336	0.060	0.142	0.002	0.043	0.000	0.872	100	861	26	857	11	857	9	5.11	438.50	35.14	77.88	963.20	817.33	1.18	100.47							
07HY-1-45	0.066	0.001	1.318	0.022	0.145	0.002	0.041	0.001	0.801	16	853	9	874	10	819	11	0.65	325.45	24.13	36.47	479.04	606.52	0.79	97.60							
07HY-1-46	0.084	0.002	2.471	0.060	0.214	0.003	0.064	0.001	1.290	55	1.264	18	1.248	15	1.245	14	1.24	361.61	35.78	25.69	176.88	406.20	0.44	103.37							
07HY-1-47	0.147	0.004	7.031	0.143	0.347	0.004	0.098	0.001	2.309	42	2.215	18	1.922	21	1.882	26	12.16	663.76	122.71	47.46	579.24	478.70	0.33	120.14							
07HY-1-48	0.151	0.002	3.003	0.121	0.385	0.005	0.108	0.001	2.356	12	2.231	14	2.098	22	2.064	26	3.04	2286.34	381.28	114.50	579.67	1600.16	0.36	112.30							
07HY-1-49	0.121	0.002	5.797	0.089	0.347	0.004	0.091	0.001	1.976	12	1.946	13	1.918	20	1.760	23	0.85	1983.10	261.28	68.08	464.81	1606.46	0.29	103.02							
07HY-1-50	0.070	0.001	1.360	0.022	0.142	0.002	0.042	0.001	0.916	16	872	10	855	10	827	11	1.20	483.65	37.96	73.93	978.06	920.09	1.06	101.99							
07HY-1-51	0.067	0.001	1.413	0.023	0.152	0.002	0.045	0.001	0.849	16	895	10	913	10	883	12	<0.64	617.72	46.39	52.65	642.54	1074.51	0.60	98.03							
07HY-1-52	0.068	0.001	1.493	0.024	0.159	0.002	0.043	0.001	0.875	15	927	10	950	11	846	11	4.67	1114.37	84.86	145.35	1845.19	1863.38	0.99	97.58							
07HY-1-53	0.158	0.002	10.326	0.165	0.473	0.006	0.127	0.002	2.438	13	2.464	15	2.497	26	2.421	32	<0.60	504.14	89.06	48.39	204.05	274.71	0.74	97.64							
07HY-1-54	0.082	0.001	2.364	0.038	0.209	0.003	0.066	0.001	1.249	15	1.232	11	1.222	14	1.299	18	<0.60	760.12	68.50	36.99	324.55	991.80	0.33	102.21							
07HY-1-55	0.065	0.001	1.371	0.024	0.152	0.002	0.047	0.001	0.789	18	877	10	912	11	924	13	<0.75	275.30	20.15	30.35	376.44	498.08	0.76	96.16							
07HY-1-56	0.077	0.002	1.548	0.045	0.146	0.002	0.044	0.001	1.113	66	950	18	881	11	870	10	8.19	400.15	36.45	37.11	401.79	725.83	0.55	107.83							
07HY-1-57	0.066	0.001	1.373	0.023	0.150	0.002	0.044	0.001	0.813	17	877	10	904	10	869	13	<0.61	609.20	44.80	25.71	324.35	1092.53	0.30	97.01							
07HY-1-58	0.092	0.001	3.488	0.057	0.275	0.003	0.077	0.001	1.467	15	1.525	13	1.567	17	1.501	21	3.21	1280.66	128.71	50.42	388.73	1402.48	0.28	93.62							
07HY-1-59	0.067	0.001	1.388	0.024	0.151	0.002	0.044	0.001	0.827	17	884	10	907	11	876	13	<NaN	321.20	23.77	23.12	287.06	568.73	0.50	97.46							
07HY-1-60	0.083	0.003	2.305	0.063	0.200	0.003	0.060	0.001	1.280	60	1.214	19	1.177	14	1.170	14	18.40	744.77	82.77	60.04	382.32	953.83	0.40	108.75							
07HY-1-61	0.066	0.001	1.288	0.022	0.141	0.002	0.040	0.001	0.818	17	841	10	849	10	797	12	0.82	666.74	49.24	73.34	1007.34	1277.62	0.79	99.06							
07HY-1-62	0.076	0.001	2.205	0.037	0.210	0.003	0.060	0.001	1.100	16	1.183	12	1.228	14	1.173	18	<0.66	1011.67	85.37	18.92	177.58	1279.30	0.14	89.58							
07HY-1-63	0.069	0.001	1.398	0.025	0.147	0.002	0.044	0.001	0.904	18	888	10	882	10	879	14	<0.68	668.67	51.33	20.01	253.29	1229.45	0.21	100.68							
07HY-1-64	0.110	0.002	5.228	0.098	0.344	0.004	0.098	0.002	1.803	17	1.857	16	1.906	21	1.887	29	0.90	131.86	16.87	12.16	69.13	103.30	0.67	94.60							
07HY-1-65	0.085	0.001	2.395	0.043	0.205	0.003	0.062	0.001	1.313	17	1.241	13	1.200	14	1.220	19	2.48	243.14	22.86	15.32	141.75	317.50	0.45	109.42							
07HY-1-66	0.073	0.001	1.510	0.027	0.151	0.002	0.044	0.001	1.005	17	934	11	905	11	879	13	1.60	542.09	43.50	28.88	362.03	976.73	0.37	103.20							
07HY-1-67	0.166	0.003	10.867	0.189	0.475	0.006	0.132	0.002	2.517	14	2.512	16	2.506	26	2.499	36	1.50	756.07	138.37	121.60	515.15	428.13	1.20	100.44							
07HY-1-68	0.161	0.003	8.795	0.153	0.395	0.005	0.066	0.001	2.471	14	2.317	16	2.147	23	1.301	19	4.22	2506.90	448.02	146.61	1235.40	1712.71	0.72	115.09							
07HY-1-69	0.072	0.001	1.487	0.027	0.150	0.002	0.042	0.001	0.981	18	925	11	902	11	830	13	6.81	887.63	70.55	58.79	791.42	1596.57	0.50	102.55							
07HY-1-70	0.126	0.002	6.485	0.115	0.373	0.005	0.097	0.002	2.043	15	2.044	16	2.045	22	1.880	29	2.13	903.28	125.85	38.77	222.96	652.66	0.34	99.90							

谱和度:  $(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})/(^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) \times 100 (>1000 \text{ Ma})$ ,  $(^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U})/(^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) \times 100 (<1000 \text{ Ma})$ .

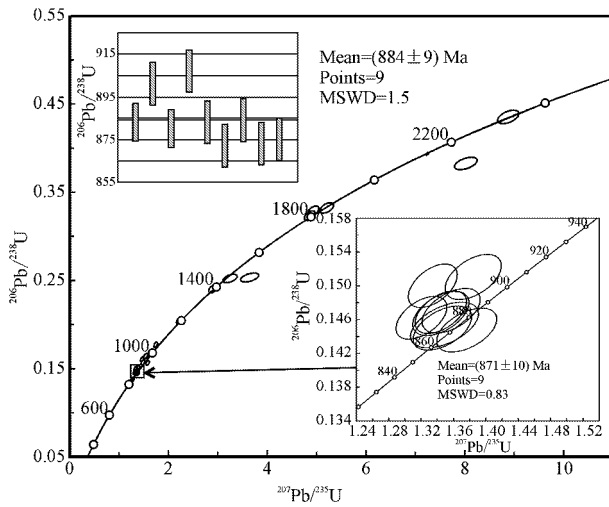


图 5 化隆岩群条带状黑云斜长角闪岩(07HY-2)锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 5 Zircon U-Pb concordia diagrams of banded biotite-plagioclase amphibolite (07HY-2) from Hualong Rock Group

性-超基性岩带应是 Rodinia 超大陆裂解过程中裂谷作用的产物。祁连造山带北侧龙首山地区金川超基性岩中锆石和斜锆石 U-Pb 年龄为 825 Ma (Li *et al.*, 2005) 其形成可能与 Rodinia 超大陆裂解有关。以上表明, Rodinia 超大陆裂解事件及其相关的成矿作用在祁连造山带及其邻区前寒武纪占据不可低估的重要地位。

致谢 衷心感谢柳小明教授、刘良教授对论文提出的建设性意见!在数据测试过程中得到弓虎军、贺国芬、李平、武鹏和唐卓的有益帮助,谨此表示谢意!

## References

- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report  $^{204}\text{Pb}$  [ J ]. *Chemical Geology*, 192 : 59~79.
- Feng Yimin and He Shiping. 1996. Geotectonics and orogeny of the Qilian Mountains, China [ M ]. Beijing : Geological Publishing House, 1~266 (in Chinese with English abstract).
- Gao Shan, Liu Xiaoming, Yuan Honglin, *et al.* 2002. Analysis of forty-two major and trace elements of USGS and NIST SRM Glasses by LA-ICPMS [ J ]. *Geostand News*, 22 : 181~195.
- Guo Jinjing, Zhang Guowei, Lu Songnian, *et al.* 1999. Analysis for sedimentary-tectonic setting of the Huangyuan Group in the eastern Mid-Qilian Massif, Qilian Orogenic Belt [ J ]. *Journal of Northwest*

University ( Natural Science Edition ), 29( 4 ): 343~347 (in Chinese with English abstract).

- He Shiping, Li Rongshe, Wang Chao, *et al.* 2010. Geochronology of gneissic plagioclase-amphibolite from Beidahe Group-complex in western segment of Qilian Mountains, China [ J ]. *Geological Bulletin of China*, 29( 29 ): 1 275~1 280 (in Chinese with English abstract).
- Li Chunyu, Liu Yangwen, Zhu Baoqing, *et al.* 1978. Tectonic evolution of Qinling and Qilian mountains [ A ]. *International Collected Geological Research Works* [ C ]. Beijing : Geological Publishing House, 174~187 (in Chinese with English abstract).
- Li Rongshe, Ji Wenhua, Pan Xiaoping, *et al.* 2009. 1:1 000 000 Geological Map of Kunlun Mountains and Adjacent Regions (with instructions) [ M ]. Beijing : Geological Publishing House (in Chinese).
- Li Wenyuan. 2006. Mineralization and Prospection of Metallic Sulfide Deposit Associated with the Magmatic Activity of Qilian Mountain, Northwest China [ M ]. Beijing : Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Li X H, Su L, Chung S L, *et al.* 2005. Formation of the Jinchuan ultramafic intrusion and the world's third largest Ni-Cu sulfide deposit : Associated with the ~ 825 Ma south China mantle plume? [ J ]. *Geochem. Geophys. Geosys.*, 11 : 1~16.
- Lucwig K R. 2003. 3.0-A geochronological toolkit for Micro-soft Excel [ J ]. *Berkeley Geochronology Center Special Publication*, ( 4 ): 1~70.
- Lu Songnian, Li Huaikun, Wang Huichu, *et al.* 2009. Detrital zircon population of Proterozoic meta-sedimentary strata in the Qilian-Qinling-Kunlun orogen [ J ]. *Acta Petrologica Sinica*, 25( 9 ): 2 195~2 208 (in Chinese with English abstract).
- Pan Guitang and Ding Jun. 2004. 1:1 500 000 Geological Map of Qinghai-Tibet Plateau and Adjacent Regions (with instructions) [ M ]. Chengdu : Chengdu Cartographic Publishing House (in Chinese).
- Qinghai Bureau of Geology and Mineral Resources. 1991. Regional Geology of Qinghai Province [ M ]. Beijing : Geological Publishing House, 1~752 (in Chinese with English abstract).
- Wan Yusheng, Xu Zhiqin, Yang Jingsui, *et al.* 2003. The Precambrian high-grade basement of the Qilian terrance and neighboring areas : Its ages and compositions [ J ]. *Acta Geoscientia Sinica*, 24( 4 ): 319~324 (in Chinese with English abstract).
- Xia Linqi, Xia Zuchun, Ren Youxiang, *et al.* 2001. Tectono-Volcano-Magmatic Ore-forming Dynamics in North Qilian Mountains [ M ]. Beijing : China Land Press, 1~296 (in Chinese).
- Xiao Xuchang, Chen Guoming and Zhu Zhizhi. 1978. A preliminary study on the tectonics of ancient ophiolites in the Qilian Mountain, Northwest China [ J ]. *Acta Geologica Sinica*, ( 4 ): 287~295 (in Chinese with English abstract).
- Xu Bei. 2001. Recent study of the Rodinia Supercontinent evolution and its main goal [ J ]. *Geological Science and Technology Information*, 20( 1 ): 15~19 (in Chinese with English abstract).
- Xu Wangchun, Zhang Hongfei and Liu Xiaoming. 2007. U-Pb zircon dating constraints on formation time of Qilian high-grade metamor-

- phic rock and its tectonic implicatio[n] J]. Chinese Science Bulletin, 52(10): 1174~1180 (in Chinese with English abstract).
- Xu Xueyi, He Shiping, Wang Hongliang, et al. 2008a. Brief Instructing to Geology in Northwest Region of China: Qinling Mountains, Qilian Mountains and Tianshan Areas [M]. Beijing: Science Press (in Chinese).
- Xu Xueyi, Li Xiangmin, Wang Hongliang, et al. 2008b. 1:1 000 000 Geological Setting map of Mineralization in Qilian Mountains and Adjacent Regions (with instructions) [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Xu Zhiqin, Xu Huifen, Zhang Jianxin, et al. 1994. The Zhoulangnanshan Caledonian subductive complex in the Northern Qilian Mountains and its dynamic [J]. Acta Geologica Sinica, 68(1): 1~15 (in Chinese with English abstract).
- Yang Zhongtang, Xiao Siyun, Xiao Chaoyang, et al. 2004. Mineralogical features of tungsten deposits in the Qilian metallogenic belt and regional ore indication [J]. Geology in China, 31(3): 301~306 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Honglin, Wu Fuyuan, Gao Shan, et al. 2003. LA-ICP-MS zircon U-Pb age and Re of Cenozoic pluton in NE China [J]. Chinese Science Bulletin, 48(14): 1511~1520 (in Chinese).
- Zhang Wangsheng, Feng Guangsheng, Gao Shan, et al. 2005. Metamorphic core complex structure and uplifting mechanism in Lajishan-Hualong area [J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 28(4): 407~413 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Z M, Coleman R G and Liou J G. 1984. An outline of the plate tectonics of China [J]. Geol. Soc. Am. Bull., 95: 295~312.
- Zuo Guochao and Liu Jichen. 1987. The evolution of tectonic of early Paleozoic in North Qilian range, China [J]. Scientia Geologica Sinica, (1): 42~45 (in Chinese with English abstract).
- 群片麻状斜长角闪岩的形成时代 [J]. 地质通报, 29(9): 1275~1280.
- 李春昱, 刘仰文, 朱宝清, 等. 1978. 秦岭及祁连山构造发展史 [A]. 国际交流地质学术论文集 (1) [C]. 北京: 地质出版社, 174~187.
- 李荣社, 计文化, 潘晓平, 等. 2009. 1:100 万昆仑山及邻区地质图及说明书 [M]. 北京: 地质出版社.
- 李文渊. 2006. 祁连山岩浆作用有关金属硫化物矿床成矿与找矿 [M]. 北京: 地质出版社.
- 陆松年, 李怀坤, 王惠初, 等. 2009. 秦-祁-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, 25(9): 2195~2208.
- 潘桂棠, 丁俊. 2004. 1:150 万青藏高原及邻区地质图 (附说明书) [M]. 成都: 成都地图出版社.
- 青海省地质矿产局. 1991. 青海省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1~752.
- 万渝生, 许志琴, 杨经绥, 等. 2003. 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, 24(4): 319~324.
- 夏林圻, 夏祖春, 任有祥, 等. 2001. 北祁连山构造-火山岩浆-成矿动力学 [M]. 武汉: 中国大地出版社, 1~296.
- 肖序常, 陈国铭, 朱志直. 1978. 祁连山古蛇绿岩的地质构造意义 [J]. 地质学报, (4): 287~295.
- 徐备. 2001. Rodinia 超大陆构造演化研究的新进展和主要目标 [J]. 地质科技情报, 20(1): 15~19.
- 徐学义, 何世平, 王洪亮, 等. 2008a. 中国西北部地质概论——秦岭、祁连、天山地区 [M]. 北京: 科学出版社.
- 徐学义, 李向民, 王洪亮, 等. 2008b. 1:100 万祁连山及邻区成矿地质背景图及说明书 [M]. 北京: 地质出版社.
- 许志琴, 徐惠芬, 张建新. 1994. 北祁连走廊南山加里东俯冲杂岩增生地体及其动力学 [J]. 地质学报, 68(1): 1~15.
- 杨钟堂, 肖思云, 肖朝阳, 等. 2004. 祁连成矿带钨矿成矿特征及其区域找矿标志 [J]. 中国地质, 31(3): 301~306.
- 袁洪林, 吴福元, 高山, 等. 2003. 东北地区新生代侵入体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素成分分析 [J]. 科学通报, 48(14): 1511~1520.
- 张旺生, 冯光胜, 高山, 等. 2003. 拉脊山-化隆变质核杂岩构造及其隆升机制探讨 [J]. 地球科学, 28(4): 407~413.
- 左国朝, 刘寄陈. 1987. 北祁连早古生代大地构造演化 [J]. 地质科学, (1): 42~45.

## 附中文参考文献

- 冯益民, 何世平. 1996. 祁连山大地构造与造山作用 [M]. 北京: 地质出版社, 1~266.
- 郭进京, 张国伟, 陆松年, 等. 1999. 中祁连地块东段元古宙基底湟源群沉积构造环境 [J]. 西北大学学报 (自然科学版), 29(4): 343~347.
- 何世平, 李荣社, 王超, 等. 2010. 祁连山西段甘肃肃北地区北大河岩

## 更正

本刊 2010 年第 29 卷第 6 期发表的童英、王涛、洪大卫等的《北疆及邻区石炭-二叠纪花岗岩时空分布特征及其构造意义》中第 622 页图 1 中广泛分布的紫色岩体的图例说明应为石炭纪花岗岩, 特此更正, 并向读者致歉。