

东疆哈尔里克变质带的 U-Pb 年龄及其地质意义

赵 明 舒良树 朱文斌 王赐银 马瑞士

南京大学地球科学系, 210093

内容提要 东疆哈尔里克变质带曾经历了两期变质作用, 早期的区域性热变质作用的 U-Pb 年龄为 305.9 ± 2.9 Ma, 属于早、中石炭世; 晚期的断裂区域变质作用的 U-Pb 年龄为 293.8 ± 3.3 Ma ~ 296.3 ± 3.5 Ma, 属于晚石炭世末期。早期的变质作用年龄可能是该区拉伸盆地形成的时间, 而晚期的变质作用年龄则代表了 A 型俯冲形成的构造热事件年龄。

关键词 东疆哈尔里克变质带 锆石 U-Pb 年龄 热变质作用 断裂区域变质作用

1 区域地质概况

东疆哈尔里克造山带位于哈密东北侧, 板块构造研究表明属于晚古生代泥盆纪火山岛弧(马瑞士等, 1993)。在岛弧内的沁城—小铺盆地中发育一长约 200 km, 宽约 11~20 km 的变质带, 称哈尔里克变质带(赵明等, 1997), 主要出露在芨芨台—独山子—小铺—下河—阿尔格兰提山一带。该变质带由南向北可划分为四个递增变质带, 其中绢云母—绿泥石带、黑云母—石榴子石带和十字石带等三个变质带位于区内芨芨台—阿尔格兰提山断裂带, 即 A 型俯冲带的下盘, 红柱石—夕线石变质带及片麻状花岗岩、混合花岗岩则位于该断裂带的上盘(赵明等, 1997)。就笔者所知, 目前对该区变质作用研究的文献报道较少。

该区出露的变质岩类较复杂, 主要有变辉长岩、斜长角闪岩、中级和高级结晶片岩、糜棱岩、混合花岗岩及片麻状花岗岩等, 并在结晶片岩中可见角岩和板岩的残留体, 在斜长角闪岩中具有辉长岩的残留结构。野外地质证据表明本区发生过两期不同类型的变质作用(赵明等, 1997), 即区域性热变质作用和断裂区域变质作用(王德滋等, 1985), 区域性热变质作用形成的时间早于断裂区域变质作用形成的时间。后者叠加和改造了前者。为了从同位素地质年代学上得到验证, 特对哈尔里克变质带中相关的岩石进行了 U-Pb 年龄的测定工作。周汝洪(1987)曾用

Rb-Sr 法对邻区进行过年代学的研究, 胡霁琴等(1997)用 K-Ar 法讨论过本区部分年代学问题。但对该区两期变质作用的年代学问题的研究, 以及区内主要地质热事件与变质作用两者关系的同位素年代学的讨论却是个空白。因此, 测定两期变质作用的形成时间对于揭示东疆哈尔里克造山带中的热构造事件的性质、构造演化的时序及建立构造格架均具有重要的地质意义。

2 样品和分析方法

(1) 变辉长岩: 采自本区小铺与下河之间(图1), 岩石呈墨绿色, 具有变余辉长结构。主要由普通辉石、普通角闪石及斜长石($An=50\sim55$)组成。岩石中的锆石为浅黄色透明短柱状自形晶(表1中1-31-1、1-31-2)。

(2) 片麻状角闪石黑云母花岗岩: 采自小铺村西侧(图1), 岩石呈浅灰色, 粒状结构, 片麻状构造。主要由石英、碱性长石、黑云母及普通角闪石所组成。其岩石化学成分相当于花岗闪长岩。岩石中的锆石为浅黄色透明短柱状自形晶(表2中60-1-1、60-1-2)和无色透明长柱状自形晶(表2中60-1-3、60-1-4)。

(3) 片麻状黑云母花岗岩: 采自芨芨台(图1), 岩石呈灰白色, 粗粒结构, 片麻状构造。矿物成分主要为条纹长石、微斜长石、微斜条纹长石、石英及黑云母。岩石的化学成分相当于花岗闪长岩。岩石中的锆石为浅黄色透明短柱状自形晶(表3中J5-1)、无色

注: 本文为国家自然科学基金项目(编号 49372102)和新疆国家三〇五科技攻关项目(编号 96-05-01)资助成果。

收稿日期: 2001-07-11; 改回日期: 2002-01-25; 责任编辑: 刘淑春。

作者简介: 赵明, 女, 1954年生。1978年毕业于南京大学地质系, 硕士。现任南京大学地球科学系副教授, 主要从事矿物、岩石和地球化学方面的研究。通讯地址: 210093, 南京市鼓楼区汉口路22号, 南京大学地球科学系; 电话: 025-3592249。

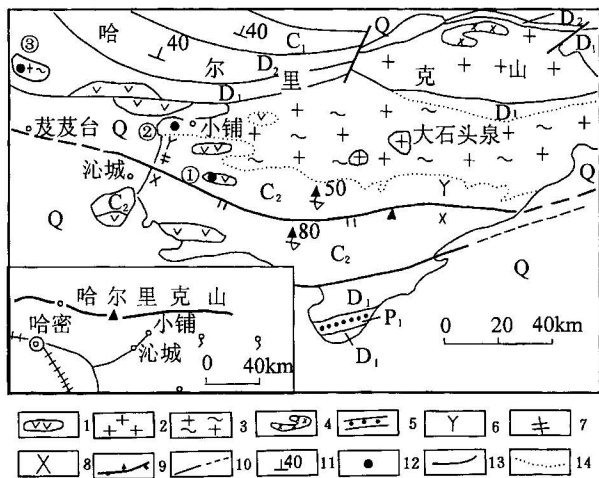


图 1 哈尔里克地区区域地质略图及同位素年龄
采样位置图

Fig. 1 Geological sketch map of the Harlik area
showing sampling site

Q—第四系; P₁—下二叠统; C₂—中石炭统居里德楞组; C₁—下石炭统雅满苏组; D₂—中泥盆统大南湖组; D₁—下泥盆统头苏泉组;
①—1-31(样品编号); ②—60-1(样品编号); ③—J5(样品编号);
1—斜长角闪岩及变辉长岩; 2—晚古生代早、中期黑云母花岗岩;
3—晚古生代晚期片麻状黑云母花岗岩、角闪石黑云母花岗岩及混合花岗岩; 4—晚古生代晚期碱性花岗岩; 5—砂岩; 6—夕线石;
7—红柱石; 8—十字石; 9—A 型俯冲带; 10—断层; 11—岩石产状; 12—同位素样品采样点; 13—地层界线; 14—晚古生代晚期花岗岩的地质界线

Q—Quaternary; P₁—Lower Permian; C₂—Middle Carboniferous Julideng Formation; C₁—Lower Carboniferous Yamansu Formation; D₂—Middle Devonian Dananhu Formation; D₁—Lower Devonian Tousuquan Formation; ①—1-31(number of sampling), ②—60-1(number of sampling), ③—J5(number of sampling); 1—amphibolite or metagabbro; 2—the biotite granite of the early—middle of Late Paleozoic era; 3—the gneissic biotite granite, hornblende biotite granite and migmatitic granite during the late of Late Paleozoic era; 4—alkali granite at the end of Late Paleozoic era; 5—sandstone; 6—sillimanite; 7—andalusite; 8—staurolite; 9—A-type subduction belt; 10—faults; 11—rock attitude; 12—istope sampling locations; 13—interface between stratum; 14—geological interface about granite during the late of Late Paleozoic era

透明短柱状自形晶(表3中 J5-2)、无色透明细长柱状自形晶(表3中 J5-3)及黄褐色半透明长柱状晶体(表3中 J5-4)。

单颗粒锆石 U-Pb 年龄由中国地质调查局天津地质矿产研究所同位素实验室采用同位素稀释法分析, 铅同位素比值在 VG-354 质谱计上测定(陆松年等, 1991), 同位素比值和年龄的误差均为 2σ。全流程

本底在变辉长岩中 Pb 为 0.030 ng, U 为 0.002 ng; 在片麻状花岗岩中 Pb 为 0.050 ng, U 为 0.002 ng。分析结果列于表 1~3 和图 2~4。

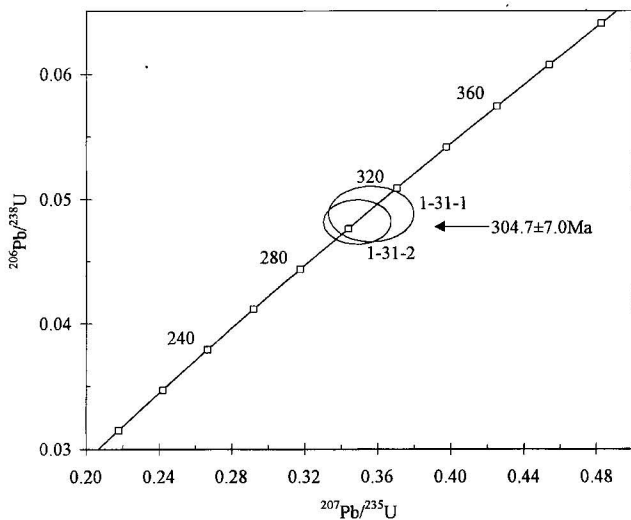


图 2 哈尔里克变质带小铺变辉长岩中
锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 2 U-Pb concordia diagram for zircons from the
Xiaopu metagabbro in the Harlik metamorphic belt

3 结果与讨论

3.1 变辉长岩

由表 1 可知, 变辉长岩中 2 个锆石点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 4 个表面年龄在误差范围内一致, 表明锆石自形成以来, 其 U-Pb 体系没有受到干扰, 始终保持封闭体系。

通常来说, 由于年轻锆石中的 ^{207}Pb 和 ^{235}U 的含量分别约为 ^{206}Pb 和 ^{238}U 的 1/20 和 1/38, ^{207}Pb 和 ^{235}U 的测定误差相对大得多, $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 表面年龄的误差也大于 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄。由于变辉长岩中的锆石 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 和 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 的表面年龄的误差相近, 故取 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 的表面年龄 307.1 Ma、309.5 Ma、303.2 Ma 和 303.8 Ma 的算术平均值 $305.9 \pm 2.9 \text{ Ma}$ (2σ , 下同) 作为该样品中锆石的年龄。

因此, 认为变辉长岩原岩的形成时间为 $305.9 \pm 2.9 \text{ Ma}$, 这与周汝洪(1987)采用 Rb-Sr 法测得的邻区辉长岩形成的年龄(305.3 Ma)一致。

3.2 片麻状角闪石黑云母花岗岩

单颗粒锆石 U-Pb 年龄测定过程中, 锆石的大

表1 小铺变辉长岩锆石U-Pb同位素年龄

Table 1 Zircon U-Pb isotopic dating for the Xiaopu metagabbro

样品情况		浓度		普通铅含量 (ng)	同位素原子比率					表面年龄(Ma)		
样品点号	重量 (μg)	U (μg/g)	Pb (μg/g)		$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$
1-31-1	10	202	10	0.006	1084	0.1086	0.04880 (181)	0.3563 (191)	0.05296 (186)	307.1±11	309.5±14	327.1±80
1-31-2	10	306	16	0.010	905	0.1300	0.04816 (145)	0.3487 (151)	0.05252 (148)	303.2±8.9	303.8±11	308.2±64

 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 4个表面年龄的平均值:305.9±2.9 Ma(2σ)

注:括号内的数字为2σ绝对误差,例如0.04880(181)表示0.04880±0.00181(2σ)。

表2 小铺片麻状角闪石黑云母花岗岩锆石U-Pb同位素年龄

Table 2 Zircon U-Pb isotopic dating for the Xiaopu gneissic hornblende biotite granite

样品情况		浓度			普通铅含量 (ng)	同位素原子比率					表面年龄(Ma)		
样品点号	重量 (μg)	U (μg/g)	Pb (μg/g)	Pb/U		$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$
60-1-1	15	660	31	0.047	0.022	1284	0.09824	0.04555 (82)	0.3273 (81)	0.05212 (81)	287.1±5.1	287.5±6.2	290.9±36
60-1-2	15	373	21	0.056	0.002	8735	0.3032	0.04763 (65)	0.3437 (62)	0.05234 (55)	299.9±4.0	300.0±4.7	300.2±24
60-1-3	15	416	101	0.243	1.200	33	0.09105	0.04691 (67)	0.3379 (154)	0.05224 (210)	295.5±4.1	295.6±12	295.9±92
60-1-4	10	613	101	0.165	0.730	43	0.09292	0.04640 (80)	0.3342 (175)	0.05224 (244)	292.4±4.9	292.8±13	295.8±110

 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 8个表面年龄的平均值:293.8±3.3Ma(2σ)

注:括号内的数字见表1说明。

表3 芨芨台片麻状黑云母花岗岩中锆石U-Pb同位素年龄

Table 3 Zircon U-Pb isotopic dating for the Jijitai gneissic biotite granite

样品情况		浓度		普通铅含量 (ng)	同位素原子比率					表面年龄(Ma)		
样品点号	重量 (μg)	U (μg/g)	Pb (μg/g)		$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$
J5-1	15	543	27	0.015	1581	0.1436	0.04606 (96)	0.3311 (97)	0.05212 (96)	290.3±5.9	290.4±7.4	290.8±42
J5-2	15	260	13	0.004	2752	0.1402	0.04819 (101)	0.3483 (102)	0.05241 (96)	303.4±6.2	303.4±7.7	303.5±42
J5-3	10	528	40	0.160	120	0.09726	0.04737 (80)	0.3416 (86)	0.05230 (89)	298.4±4.9	298.4±6.3	298.5±39
J5-4	10	466	128	1.100	31	0.1335	0.04651 (77)	0.3349 (135)	0.05222 (206)	293.1±4.7	293.3±12	295.0±90

 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 与 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 8个表面年龄的平均值:296.3±3.5Ma(2σ)

注:括号内的数字见表1说明。

小和密度是估计的,因此其准确性可能不高,所以锆石的U、Pb含量同实际情况可能有较大的偏离。Pb/U能消除由估计所产生的某种不确定性,它在某种程度上能更好地反映锆石的特征。如表2所示,按照Pb/U及 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (为实测值)的比值,可将片麻状角闪石黑云母花岗岩中的锆石分成两组。一组锆石(60-1-1、60-1-2)呈浅黄色,其Pb/U值为0.047、0.056, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为1284和8735;另一组锆石呈(60-1-3、60-1-4)无色,其Pb/U值为0.243、0.165,

$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为33、43。这种差异可能与这两组锆石的颜色不同有关。

从表2可以看出,与变辉长岩中锆石的测定结果相似,每个点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 与 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 表面年龄完全相同, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄在误差范围内也一致,这表明锆石自形成以来,其U-Pb同位素体系没有受到干扰,始终保持封闭体系。

虽然60-1-1表面年龄与其他3个颗粒表面年龄略有差别,但在误差范围内一致。故取4个点的 $^{206}\text{Pb}/$

^{238}U 和 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 表面年龄的算术平均值 $293.8 \pm 3.3 \text{ Ma}$ 作为该样品中锆石年龄,故认为此年龄亦为片麻状角闪石黑云母花岗岩的形成时间。

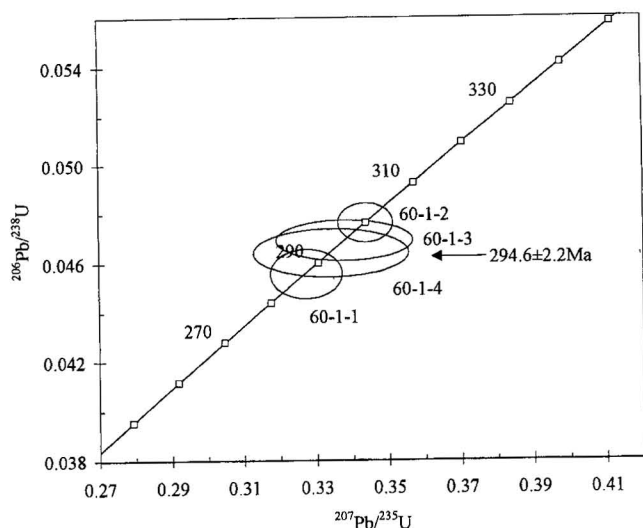


图 3 哈尔里克变质带中小铺片麻状角闪石黑云母花岗岩锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 3 U-Pb concordia diagram for zircons from the Xiaopu gneissic hornblende biotite granite in the Harlik metamorphic belt

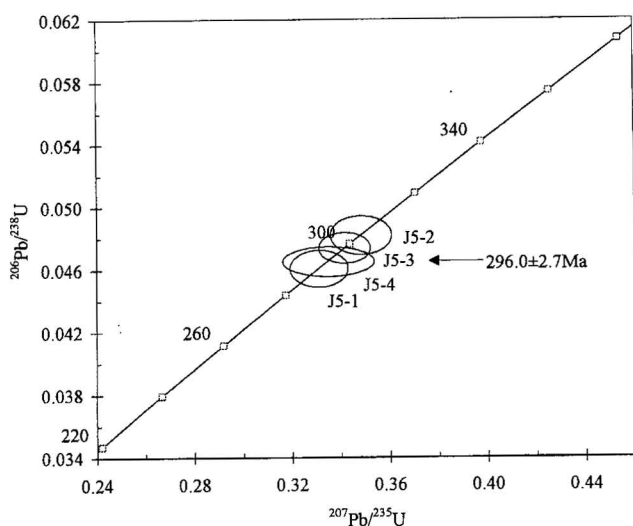


图 4 哈尔里克变质带中芨芨台片麻状黑云母花岗岩锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 4 U-Pb concordia diagram for zircons from the Jijitai gneissic biotite granite in the Harlik metamorphic belt

3.3 片麻状黑云母花岗岩

由表3和图4显示的片麻状黑云母花岗岩的分析

结果与片麻状角闪石黑云母花岗岩的情况相似。其表面年龄无论是在不同锆石颗粒之间,还是在同一锆石颗粒三组年龄之间,表面年龄均在误差范围内完全一致。这表明锆石自形成以来,其 U-Pb 同位素体系始终保持封闭体系。所以,取这4个点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 与 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 表面年龄的算术平均值 $296.3 \pm 3.5 \text{ Ma}$ 作为该样品的锆石的形成年龄,此年龄对应于片麻状黑云母花岗岩的形成时间。

4 地质意义

哈尔里克变质带中两期不同变质作用(赵明等, 1997)的形成是与构造环境密切相关的。早期为盆地拉伸(Wickham et al., 1985; 夏邦栋等, 1991; 许志琴, 1980)变质作用,可能与当时的古天山洋壳板块继续向塔里木北缘基底俯冲,在哈尔里克火山岛弧内发生拉伸构造作用有关,其结果产生了沁城一小铺盆地。在盆地内沉积了一套以泥砂质及碳质为主的中石炭统居里德楞组沉积地层,并伴有大量的岩浆侵入,成为一个构造岩浆活化地带(王赐银等, 1996),出现辉长质岩浆侵入到泥砂质及碳质岩石中,使围岩变成角岩、板岩等热变质岩石,其变质作用的性质属于高温—低压型。该变辉长岩的 U-Pb 年龄数据反映了辉长岩原岩形成的年龄,即为 $305.9 \pm 2.9 \text{ Ma}$ 。该年龄可以看成是盆地拉伸变质作用的年龄,在构造上可代表盆地拉伸构造形成的时间。晚期的变质作用为 A 型俯冲引发的断裂区域变质作用,属于中高温—中低压型。可能是东天山的碰撞造山作用(马瑞士等, 1997)使得沁城一小铺盆地闭合消亡,引发 A 型俯冲作用,形成一系列叠瓦状推覆断层带,从而产生断裂区域变质作用,出现中级和高级结晶片岩,以及混合岩和片麻状花岗岩类(赵明等, 1997)。片麻状角闪石黑云母花岗岩和片麻状黑云母花岗岩的片麻理方向与本区的断裂带及整个变质带的构造线方向一致,表明为同一时期的产物。两种片麻状花岗岩中锆石的结晶年龄分别为 $293.8 \pm 3.3 \text{ Ma}$ 和 $296.3 \pm 3.5 \text{ Ma}$,它们代表了片麻状花岗岩形成的年龄。该两种片麻状花岗岩中锆石的结晶年龄可视断裂区域变质作用的年龄,并且代表了 A 型俯冲构造热事件形成的时间。

本文在完成过程中得到了沈渭洲教授、于津海副教授的指导和帮助,在此致以衷心的感谢。

参考文献

胡震琴,王仲刚,涂光炽,等. 1997. 新疆北部地质演化及成岩成矿

- 规律. 北京:科学出版社, 1~246.
- 陆松年, 李惠民. 1991. 蓟县长城系大红峪组火山岩的单颗粒锆石U-Pb法准确定年. 中国地质科学院院报, (22):137~146.
- 马瑞士, 王赐银, 叶尚夫. 1993. 东天山构造构架及地壳演化. 南京:南京大学出版社, 1~225.
- 马瑞士, 舒良树, 孙家齐. 1997. 东天山构造演化与成矿. 北京:地质出版社, 1~202.
- 王德滋, 马瑞士, 王赐银, 牟惟熹. 1985. 断裂区域变质作用与混合岩化作用、花岗岩化作用的研究. 南京大学学报(自然科学版), (3):537~544.
- 王赐银, 舒良树, 赵明, 马瑞士, 卢宝齐, 汪正国. 1996. 东天山哈尔里克晚古生代推覆构造与岩浆作用. 高校地质学报, (2):198~206.
- 夏邦栋, 施光宇, 方中, 于津海, 王赐银, 陶仙聪, 李惠民. 1991. 海南岛晚古生代裂谷作用. 地质学报, 65(2):103~115.
- 许志琴. 1980. 谈谈裂谷. 地质论评, 26(3):260~264.
- 赵明, 舒良树, 王赐银. 1997. 东疆哈尔里克变质带变质作用特征及形成构造环境研究. 高校地质学报, 3(1):40~50.
- 周汝洪. 1987. 新疆同位素地质年代学研究和进展. 新疆地质, (4):5~15.
- Ma Ruishi, Wang Ciyin, Ye Shangfu. 1993. Tectonic framework and crustal evolution of eastern Tianshan Mountains. Publishing House of Nanjing University, 1~225 (in Chinese).
- Ma Ruishi, Shu Liangshu, Sun Jiaqi. 1997. Tectonic evolution and metallization in the Eastern Tianshan belt, northwest China. Peking: Publishing House of Geology, 1~202 (in Chinese).
- Wang Dezi, Ma Ruishi, Wang Ciyin, Mo Weixi. 1985. Studies on fractural regional metamorphism with related migmatization and granitization. Journal of Nanjing University (Natural Sciences Edition), (3):537~544 (in Chinese with English abstract).
- Wang Ciyin, Shu Liangshu, Zhao Ming, Ma Ruishi, Lu Baoqi, Wang Zhenguo. 1996. Late Paleozoic thrust tectonics and related magmatism in the Harlik area, north segment of eastern Tianshan belt. Geological Journal of China Universities, (2):198~206 (in Chinese with English abstract).
- Wickham S M, Oxburgh E R. 1985. Continental rifts as a setting for regional metamorphism. Nature, 318(6044):330~333.
- Xia Bangdong, Shi Guangyu, Fang Zhong, Yu Jinhai, Wang Ciyin, Tao Xiancong, Li Huiming. 1991. The late palaeozoic rifting in Hainan island, China. Acta Geologica Sinica. 65(2):103~115 (in Chinese with English abstract).
- Xu Zhiqin. 1980. Some remarks concerning the "rift valley". Geological Review, 26(3):260~264 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Ming, Shu Liangshu, Wang Ciyin. 1997. Characteristics of metamorphism in the Harlik metamorphic belt, East Xinjiang, and its tectonic environment. Geological Journal of China Universities, 3(1):40~50 (in Chinese).
- Zhou Ruhong. 1987. The advance on isotope geochronology of Xinjiang. Xinjiang Geology, (4):5~15 (in Chinese).

References

- Hu Aiqin, Wang Zhonggang, Tu Guangchi, et al. 1997. Geological evolution and feature of diagenetic mineralization of Northern Xinjiang, China. Peking: Publishing House of Sciences. 1~246 (in Chinese).
- Lu Songnian, Li Huimin. 1991. A precise U-Pb single zircon age determination for the volcanics of Dahongyu Formation, Changcheng System in Jixian. Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences, (22):137~146 (in Chinese with English

Zircon U-Pb Dating of the Rocks from the Harlik Metamorphic Belt in Eastern Xinjiang and Its Geological Significance

ZHAO Ming, SHU Liangshu, ZHU Wenbin, WANG Ciyin, MA Ruishi

Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, 210093

Abstract

The Harlik metamorphic belt underwent two stages of metamorphism. The earlier one was the regional thermal metamorphism during the Early—Middle Carboniferous and was related to a B-type subduction mechanism of the ancient oceanic plate. The zircon U-Pb dating is 305.9 ± 2.9 Ma, which represents the age of intra-island-arc tension. The later one was the regional faulting metamorphism during the end of Carboniferous and was related to the A-type subduction mechanism. The zircon U-Pb dating ranges from 293.8 ± 3.3 Ma to 296.3 ± 3.5 Ma, which represents the age of an A-type subduction.

Key words: Harlik metamorphic belt; zircon; U-Pb dating; thermal metamorphism; faulting regional metamorphism