

doi: 10.6053/j.issn.1001-1412.2024.04.009

东昆仑那更矿区石英脉磷灰石微区原位 U-Pb 定年及其地质意义

陈静

(青海师范大学地理科学学院, 青海省自然地理与环境过程重点实验室, 西宁 810000)

摘要: 磷灰石微区原位 LA-ICP-MS U-Pb 同位素定年研究是一个新的测年研究领域和趋势。东昆仑东段那更矿区含矿石英脉中磷灰石表面均匀明亮, 具有典型的未蚀变岩浆磷灰石特征, 表明并未受流体的影响。磷灰石微区原位 U-Pb 测年结果显示, 石英脉中磷灰石下交点年龄分别为 $409.0 \text{ Ma} \pm 3.7 \text{ Ma}$ 及 $376.2 \text{ Ma} \pm 5.6 \text{ Ma}$, 与各自的 ^{207}Pb 校正年龄非常吻合, 精确度高, 代表两期磷灰石矿物的形成年龄。其中, 409 Ma 的磷灰石年龄与区域上早泥盆世东昆仑造山带碰撞后伸展阶段岩浆活动大爆发相符, 而 376 Ma 的岩浆磷灰石年龄目前在东昆仑东段地区发现尚属首次, 推测是东昆仑造山带志留纪—泥盆纪这一期幔源岩浆活动大爆发末期的产物。本次工作获得的 409 Ma 和 376 Ma 的岩浆磷灰石年龄证实了那更矿区深部存在泥盆纪构造岩浆活动, 为区域构造演化研究提供了新证据。

关键词: 东昆仑; 那更地区; 磷灰石; U-Pb 年龄; 地质意义

中图分类号: P595 **文献标识码:** A

0 引言

含 U 副矿物广泛分布于各种类型的岩石中, 其 U-Pb 年龄可提供地质体演化过程中所发生的地质事件的时代。随着仪器科学和分析技术的进步, 副矿物的原位微区 U-Pb 测年方法成为近年来 U-Pb 同位素地质年代学发展的主导趋势^[1]。磷灰石的 U-Th-Pb 同位素封闭温度较锆石封闭温度低, 为 $450 \sim 500^\circ\text{C}$ ^[2-3], 因此可以用来限制火成岩以及变质岩的形成和冷却的历史, 有助于研究整个地质体的热年代学史^[4]。相比于锆石, 磷灰石具有较低的 U 含量以及 U/Pb 比值, 具有相对较高的普通 Pb 含量, 因此, U-Pb 测年方法的选择尤为重要。磷灰石微区原位 LA-ICP-MS U-Pb 同位素定年研究是一个新的测年研究领域和趋势^[5], 对于低 U 的样品, 通过增大剥蚀速率、增加激光频率和能量提高灵敏

度, 利用多接收和线扫描技术, 可以有效地提高测定灵敏度, 降低元素分馏, 通过合理的校正方法, 获得精确的磷灰石 U-Pb 同位素年龄^[6]。本次工作在对东昆仑那更康切尔沟银矿(以下简称那更银矿)含矿石英脉中磷灰石的年代学研究过程中获得了 $409.0 \text{ Ma} \pm 3.7 \text{ Ma}$ 和 $376.2 \text{ Ma} \pm 5.6 \text{ Ma}$ 的 U-Pb 年龄, 为早泥盆世和晚泥盆世。其中, 376 Ma 的年龄信息是那更及周边地区首次发现, 为区域构造演化研究提供了新的证据。两期磷灰石年龄与整个东昆仑地区志留纪至泥盆纪存在一期规模较大的构造岩浆活动事实相一致, 为探讨东昆仑东段早古生代构造演化提供了新的证据。

1 区域地质背景

东昆仑造山带位于柴达木盆地南缘, 以昆南断裂为界, 南部与可可西里—巴颜喀拉印支构造带相

收稿日期: 2024-05-15; 责任编辑: 沈名星

基金项目: 2023 年度青海省“昆仑英才·高端创新创业人才”项目(青人才字[2024]号)。

作者简介: 陈静(1982—), 女, 博士, 副教授, 矿物学、岩石学、矿床学专业, 主要从事成矿规律和成矿预测工作。通信地址: 青海省西宁市城西区五四大街 38 号, 青海师范大学。邮政编码: 810000。E-mail: 2019194@qhnu.edu.cn

隔^[7]。东昆仑造山带可划分为昆北构造带、昆中岩浆弧带和昆南结合带等 3 个三级构造单元(图 1a), 动力学演化总体具有古陆核形成、超大陆聚合/裂解、弧后消减闭合、弧—陆碰撞、玄武岩高原拼贴等边缘造山/造陆作用的特点, 其结果是随时间演化构造活动范围不断向南迁移, 柴达木陆块南部边缘不断增生, 最终形成了东昆仑造山带目前的格局。期间主要经历了早古生代(始特提斯洋)及晚古生代—早中生代(古特提斯洋)两期不同的构造演化过程。东昆仑造山带内岩浆作用可分为前寒武纪、早古生代、晚古生代—早中生代和晚中生代—新生代等 4 个阶段^[8], 其中, 晚泥盆世普遍发育 I-A 型花岗岩, 磨拉石沉积出现标志着始特提斯造山事件的结束; 而中生代火山活动集中于二叠世—三叠世^[9-10]。

研究区位于东昆仑造山带东段, 东昆仑弧盆地之昆中岩浆弧带内(图 1a)。区内出露地层有古元古界金水口岩群、上三叠统鄂拉山组和第四系(图 1b)。其中, 金水口岩群主要分布在矿区中部和南部, 岩性主要为二云二长片麻岩、黑云母二长片麻岩; 上三叠统鄂拉山组主要分布在矿区北东侧, 岩性主要为流纹岩包含少量玄武岩。地表出露岩浆岩主要为印支期花岗闪长岩和二长花岗岩, 另外在矿区南部金水口岩群地层中和二长花岗岩体中分布大量

基性、中性和酸性岩脉, 包括辉长岩脉、辉绿岩脉、闪长岩脉、斜长花岗质岩脉、花岗质岩脉、石英脉等。区内断层属昆中断裂次级断裂, 主要为 NW 向和近 EW 向, 次为 NE 向, 近 EW 向断层为区内控岩及导矿构造。

2 样品特征和分析方法

所采样品位于二号矿体内及其附近(图 1b), 样品 NG-R 围岩为金水口群灰白色含矿石英脉。在石英脉中挑出磷灰石, 将磷灰石样品用双面胶粘在载玻片上, 放上 PVC 环, 然后将环氧树脂和固化剂进行充分混合后注入 PVC 环中, 待树脂充分固化后将样品靶从载玻片上剥离, 并对其进行抛光^[12]。对靶上磷灰石样品进行反射光、透射光、阴极发光或电子背散射等图像分析。

磷灰石 LA-ICP-MS U-Pb 定年中激光剥蚀系统为 193 nm NWR193 Ar-F, ICP-MS 为 Analytikjena PlasmaQuant MS, 标样 MAD2(U-Pb TIMS = 474.25 Ma ± 0.41 Ma^[13])作为标定磷灰石 U-Pb 年代学的主要标准。仪器漂移、质量偏差和 U-Pb 比值的分馏采用标准样品交叉法进行校正。以

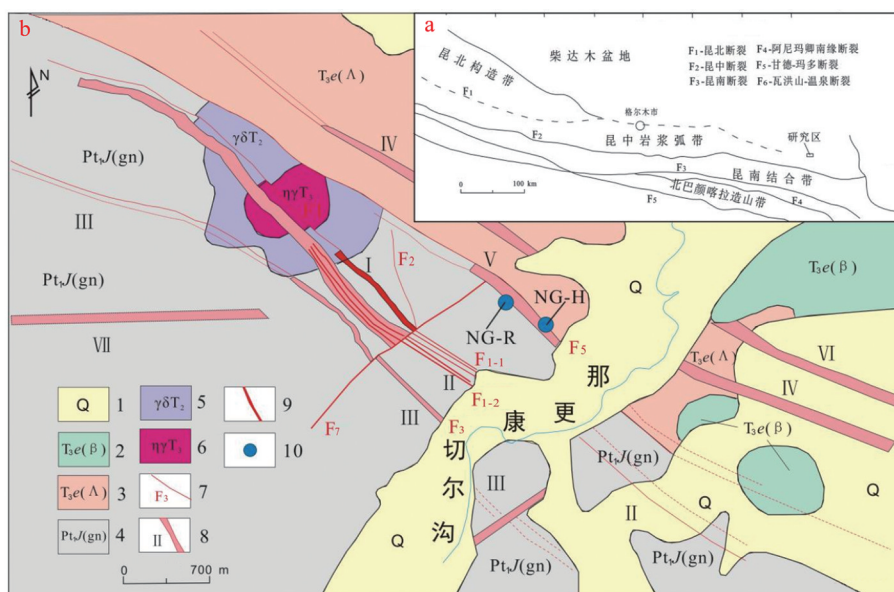


图 1 东昆仑东段那更地区构造位置图(a)和那更矿区地质简图(b)(据文献^[11]修编)

Fig. 1 Geotectonic location of Nageng area in east part of east Kunlun mountains(a) and geological sketch of Nageng area (b)

1. 砾石及河漫滩堆积; 2. 鄂拉山组玄武岩; 3. 鄂拉山组流纹岩; 4. 金水口群片麻岩; 5. 中三叠世花岗岩; 6. 晚三叠世二长花岗岩; 7. 实测断层; 8. 银矿化带及编号; 9. 银矿体; 10. 石英脉采样点

SRM610 为外标,以 ^{44}Ca 为内标,以化学计量法测定磷灰石含量。对磷灰石的每次分析都以 15 s 的空白气体测量开始,然后在激光打开后再进行 40 秒的分析时间。以每分钟 0.6 升流动的氦载气被激光烧蚀的粒子带出腔室,与氦气混合,并输送到等离子体火炬中。测定的同位素为 ^{44}Ca 、 ^{206}Pb 、 ^{207}Pb 、 ^{208}Pb 、 ^{232}Th 、 ^{235}U 和 ^{238}U ,与其他元素相比,Pb 同位素计数时间更长。原始数据采用 ICPMSDataCal 软件离线校正^[14]和 ZSkits 软件^[15]。普通 Pb 的校正采用 Chew 等^[16]详细概述的基于 ^{207}Pb 的校正方法。利用 Iso-plot 4.15 计算 U-Pb 年龄,得到 Tera-Wasserburg 图中较低的截距年龄,可作为常见含铅矿物的形成时间^[16]。

3 测试结果

CL 图像中磷灰石呈自形-半自形结构,表面均匀(图 2a)、单偏光下近乎透明。同时,在背散射图

像(BSE)中,磷灰石表面均一明亮,具有典型的未蚀变岩浆磷灰石特征^[17]。晶体一般长轴多大于 100 μm ,磷灰石中 $w(\text{Th})$ 、 $w(\text{U})$ 通常较低,样品中磷灰石的 $w(\text{Th})$ 、 $w(\text{U})$ 和 $w(\text{Th})/w(\text{U})$ 值分别为 $0.11 \times 10^{-6} \sim 30.8 \times 10^{-6}$ 、 $3.36 \times 10^{-6} \sim 54.6 \times 10^{-6}$ 和 $0.03 \sim 0.56$ 。

经检验,以 ^{207}Pb 进行普通铅校正可以获得精确的磷灰石年龄^[16]。33 个磷灰石测点中共形成两期年龄(图 2a),协和度均较好,分别为 $\sim 408 \text{ Ma}$ (图 2b,共 20 个点)和 $\sim 376 \text{ Ma}$ (图 2c,共 13 个点),前者下交点年龄为 $409.0 \text{ Ma} \pm 3.7 \text{ Ma}$ ($\text{MSWD} = 1.9$), ^{207}Pb 校正年龄(^{207}Pb 校正法获得的协和年龄,该年龄需要使用初始铅和实测年龄计算获得)为 $408.8 \text{ Ma} \pm 3.6 \text{ Ma}$ ($n=20$);而后者下交点年龄为 $376.2 \text{ Ma} \pm 5.6 \text{ Ma}$ ($\text{MSWD}=1.9$), ^{207}Pb 校正年龄为 $376.0 \text{ Ma} \pm 5.6 \text{ Ma}$ ($n=13$), ^{207}Pb 校正年龄与下交点年龄非常吻合,说明精确度高。通常认为下交点年龄为该矿物的形成年龄,即本次测试中磷灰石形成年龄有两期。

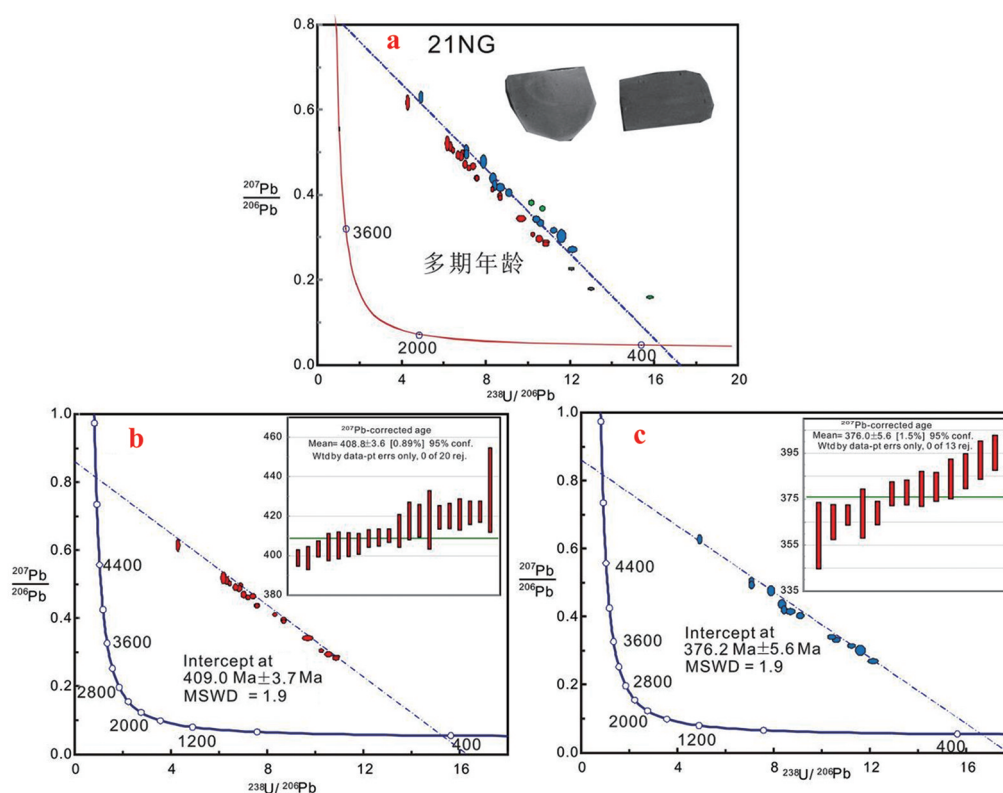


图 2 石英脉中磷灰石 ^{207}Pb 校正年龄

Fig. 2 Plot of ^{207}Pb -corrected age of apatite from quartz vein
a. 磷灰石背散射图像(BSE)及多期年龄;b-c. 磷灰石 U-Pb 同位素协和年龄

表 1 磷灰石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素测试数据
Table 1 LA-ICP-MS U-Pb isotope analysis of the apatite

测点	含量(10^{-6})及比值			同位素比值及误差				年龄及误差	
	^{238}U	^{232}Th	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	^{207}Pb -校正年龄	ERR
21NG-01	19.20	5.53	0.29	7.2840	0.0654	0.4665	0.0045	419	6
21NG-02	23.90	8.74	0.37	8.7890	0.0715	0.4015	0.0059	405	6
21NG-03	12.60	2.23	0.18	8.8005	0.1312	0.4216	0.0060	387	8
21NG-04	9.39	0.63	0.07	6.9080	0.0799	0.4933	0.0063	412	8
21NG-05	4.75	0.13	0.03	4.9686	0.0631	0.6310	0.0090	358	15
21NG-06	21.10	5.36	0.25	9.8026	0.1434	0.3491	0.0048	404	7
21NG-07	17.60	6.10	0.35	7.1053	0.0732	0.4749	0.0064	420	8
21NG-08	14.80	3.26	0.22	6.3851	0.0611	0.5167	0.0074	417	10
21NG-09	17.30	4.48	0.26	7.4893	0.0857	0.4705	0.0051	404	7
21NG-10	29.00	6.14	0.21	11.0130	0.1025	0.2953	0.0029	398	4
21NG-11	15.70	4.04	0.26	7.6630	0.0805	0.4437	0.0042	421	6
21NG-12	18.00	0.45	0.03	11.7620	0.1395	0.3086	0.0099	364	8
21NG-13	14.50	3.68	0.25	6.2478	0.0702	0.5236	0.0116	417	15
21NG-14	13.80	3.54	0.26	7.1645	0.0731	0.4985	0.0069	392	8
21NG-15	14.30	2.65	0.19	6.5133	0.0516	0.5076	0.0048	419	7
21NG-16	11.30	0.87	0.08	9.2174	0.1022	0.4091	0.0058	380	6
21NG-17	3.36	0.11	0.03	4.3244	0.0532	0.6185	0.0119	433	22
21NG-18	23.30	3.33	0.14	8.4175	0.0560	0.4173	0.0040	408	5
21NG-19	20.20	5.09	0.25	8.5312	0.0774	0.4260	0.0077	395	8
21NG-20	54.60	30.80	0.56	10.3760	0.0619	0.3124	0.0036	409	4
21NG-21	29.30	4.89	0.17	12.2910	0.1430	0.2773	0.0049	368	5
21NG-22	36.30	16.00	0.44	10.9970	0.0926	0.2895	0.0035	403	4
21NG-23	9.06	0.77	0.08	7.1597	0.0717	0.5107	0.0063	379	8
21NG-24	7.22	0.23	0.03	7.9868	0.1006	0.4816	0.0102	368	11
21NG-25	23.30	1.69	0.07	10.6860	0.1067	0.3020	0.0050	405	5
21NG-26	8.28	0.46	0.06	8.4469	0.1070	0.4429	0.0081	383	9
21NG-27	16.60	7.80	0.47	6.9738	0.0574	0.5024	0.0045	398	6
21NG-28	15.70	1.04	0.07	10.7410	0.1076	0.3389	0.0053	377	5
21NG-29	9.53	0.91	0.09	6.7595	0.0685	0.4964	0.0065	417	8
21NG-30	14.70	0.76	0.05	10.5460	0.1156	0.3475	0.0051	378	6
21NG-31	23.00	3.43	0.15	8.7920	0.0622	0.3971	0.0039	408	4
21NG-32	13.30	0.62	0.05	11.3830	0.1059	0.3218	0.0045	368	5
21NG-33	23.90	8.47	0.35	7.6700	0.0595	0.4428	0.0045	422	6

4 讨论

4.1 磷灰石成因

磷灰石是一种常见的岩浆岩副矿物和热液矿物,不易受风化和氧化等表生作用影响,能较好记录和保存岩浆和热液活动的原始信息,因而是研究岩浆和/或热液过程的一种常见示踪矿物^[18]。岩浆磷灰石常呈自形-半自形结构,表面均匀,单偏光下近乎透明,在背散射图像(BSE)中,未蚀变岩浆磷灰石表面均一明亮,具明显核边或环带结构;而发生过热液交代的磷灰石通常呈半自形-他形,常含有不规则分布的矿物和流体包裹体,单偏光下表面不均,在背

散射图像(BSE)中,表面具有大小不一的孔洞、裂隙,且蚀变部分较未蚀变部分呈现更明显的暗色^[17-18]。本次样品中的磷灰石具有良好晶形(图2a),表面均一明亮,具有典型的未蚀变岩浆磷灰石特征^[18],表明并未受流体的影响,也表明后期热液成矿期并未或者较少结晶出热液磷灰石。

4.2 磷灰石 U-Pb 年龄及地质意义

石英脉样品 NG-R 内所挑出的磷灰石为捕获的岩浆磷灰石。通常认为下交点年龄为该矿物的形成年龄,样品中磷灰石下交点年龄为 $409.0\text{ Ma}\pm 3.7\text{ Ma}$ (MSWD=1.9)和 $376.2\text{ Ma}\pm 5.6\text{ Ma}$ (MSWD=1.9),代表在热液上升过程中捕获的 409 Ma 和 376 Ma 的岩浆磷灰石,记录了早泥盆世和晚泥盆世的岩浆构造事件。其中,409 Ma 的磷灰石年龄与区

域上早泥盆世东昆仑造山带碰撞后伸展阶段岩浆活动大爆发相符。而 376 Ma 的磷灰石年龄目前在东昆仑东段地区发现尚属首次,本文推测是东昆仑造山带志留纪—泥盆纪这一期幔源岩浆活动大爆发末期的产物,该期也是镁铁质—超镁铁质岩体数量最多、分布范围最广,同时也具有最高含矿率的铜镍成矿期。

Chen 等^[19]认为东昆仑地区于志留纪晚期(430 Ma 左右)已进入板内伸展环境,晚志留世—泥盆纪东昆仑造山带存在一期较大规模的构造热事件,波及整个东昆仑造山带。近年来,东昆仑地区新发现的 428 Ma~425 Ma 的板内火山岩^[19]以及广泛分布的晚志留世至泥盆纪的 A 型花岗岩^[20-21]表明东昆仑地区于志留纪晚期已进入板内伸展环境;东昆仑地区大规模的镁铁质—超镁铁质岩浆活动及其相关的铜镍矿化(如:夏日哈木铜镍矿,石头坑德铜镍矿等)均形成于 425 Ma~420 Ma^[22-28],也揭示了志留纪晚期整个东昆仑地区已处于构造伸展环境,形成了强烈的构造岩浆活动及大规模成矿作用。

至泥盆纪,在东昆仑造山带的东段和西段均出露大量的花岗岩以及少量的闪长岩和辉长岩等,被认为是碰撞后伸展阶段岩浆活动的产物(411 Ma~380 Ma)^[29-33]。东昆仑构造带 409 Ma~403 Ma 存在来自软流圈的玄武岩,基本未受到地壳混染^[10]。而板片断离很可能是触发东昆仑地区晚志留世—泥盆纪大规模岩浆活动和成矿作用的深部动力学因素^[19]。

那更矿区及邻区出露的火成岩以三叠纪为主(图 1b),地表并未出露早泥盆世—晚泥盆世这一期构造热事件的印记,本次工作获得的 409 Ma 和 376 Ma 的岩浆磷灰石年龄证实了那更矿区深部存在泥盆纪构造岩浆活动。

5 结论

(1)那更矿区内含矿石英脉中磷灰石具有典型的未蚀变岩浆磷灰石特征,表明并未受流体的影响或影响较小。

(2)微区原位 LA-ICP-MS U-Pb 测年结果显示,磷灰石下交点年龄分别为 409.0 Ma $\pm$ 3.7 Ma(MSWD=1.9)以及 376.2 Ma $\pm$ 5.6 Ma(MSWD=1.9),与各自的²⁰⁷Pb 校正年龄非常吻合,说明精确度高。通常认为下交点年龄为该矿物的形成年龄,

即本次测试中磷灰石形成年龄有两期,揭示了那更地区内深部存在泥盆纪岩浆活动。

(3)区域研究表明,东昆仑地区于志留纪晚期(430 Ma 左右)已进入板内伸展环境,板片断离很可能是触发东昆仑地区晚志留世—泥盆纪大规模岩浆活动和成矿作用的深部动力学因素。

参考文献:

- [1] 孙金凤,杨进辉. 含 U 副矿物的原位微区 U-Pb 定年方法[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2009,39(4):630-649.
- [2] Cherniak D J, Lanford W A, Ryerson F J. Lead diffusion in apatite and zircon using ion implantation and Rutherford backscattering techniques [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1991, 55: 1663-1674.
- [3] Krogstad E J, Walker R J. High closure temperatures of the U-Pb system in large apatites from the Tin Mountain pegmatite, Black Hills, SD, USA [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1994, 58:3845-3853.
- [4] Mao M, Rukhlov A S, Rowins S M, et al. Apatite trace element compositions: A robust new tool for mineral exploration [J]. *Econ. Geol.*, 2016, 111:1187-1222.
- [5] 周红英,李惠民. U-Pb 同位素定年技术及其地质应用潜力[J]. 地质调查与研究,2011,34(1):63-70.
- [6] 周红英,耿建珍,崔玉荣,等. 磷灰石微区原位 LA-MC-ICP-MS U-Pb 同位素定年[J]. 地球学报,2012,33(6):857-864.
- [7] 王鸿祯,杨森南,刘本培. 中国及邻区构造古地理和生物古地理[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1990:1-17.
- [8] 莫宣学,罗照华,邓晋福,等. 东昆仑造山带花岗岩及地壳生长[J]. 高校地质学报,2007,13(3):403-414.
- [9] 罗明非. 东昆仑东段早古生代—早中生代花岗岩类时空格架及构造意义[D]. 北京:中国地质大学,2015:169.
- [10] Dong Y P, He D F, Sun S S, et al. Subduction and accretionary tectonics of the East Kunlun orogen, western segment of the Central China Orogenic System [J]. *Earth-Science Reviews*, 2018, 186:231-261.
- [11] 陈静. 东昆仑那更银矿黄铁矿 LA-ICP-MS 原位微量元素及 S-Pb 同位素特征[J]. 矿物岩石,2022,42(1):23-32.
- [12] 宋彪,张玉海,万渝生,等. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论[J]. 地质论评,2002,48(S1):26-30.
- [13] Thomson S N., Gehrels G E, Ruiz J, et al. Routine low-damage apatite U-Pb dating using laser ablation-multicollector-ICP MS [J]. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 2012, 13(2):n/a-n/a. DOI:10.1029/2011gc003928.
- [14] Liu Y S, Hu Z C, Gao S, et al. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard [J]. *Chemical Geology*, 2008, 257:34-43.
- [15] Cai P R, Wang T, Wang Z Q, et al. Geochronology and geochemistry of late Paleozoic volcanic rocks from eastern Inner Mongolia, NE China: Implications for igneous petrogenesis,

- tectonic setting, and geodynamic evolution of the south-eastern Central Asian Orogenic Belt [J]. *Lithos*, 2020, 362-363, 105480.
- [16] Chew D M, Petrus J A, Kamber, B S. U-Pb LA-ICP MS dating using accessory mineral standards with variable common Pb [J]. *Chemical Geology*, 2014, 363: 185-199.
- [17] Xing K, Shu Q H, Lentz D R, *et al.* Zircon and apatite geochemical constraints on the formation of the Huojihe porphyry Mo deposit in the Lesser Xing'an Range, NE China [J]. *American Mineralogist*, 2020, 105(3): 382-396.
- [18] 邢凯, 舒启海. 磷灰石在矿床学研究中的应用[J]. *矿床地质*, 2021, 40(2): 189-205.
- [19] Chen J, Wang B Z, Li B, *et al.* Silurian Post-Orogenic Volcanic Rocks of the South Kunlun Belt, NW China: Links to the Proto-to Paleo-Tethyan Tectonic Transition [J]. *International Geology Review*, 2023, 65: 1017-1033.
- [20] Li R B, Pei X Z, Li Z C, *et al.* Regional Tectonic Transformation in East Kunlun Orogenic Belt in Early Paleozoic: Constraints from the Geochronology and Geochemistry of Helegangnaren Alkali-Feldspar Granite [J]. *Acta Geological Sinica*, 2013, 87: 333-345.
- [21] Li W, Neubauer F, Liu Y J, *et al.* Paleozoic Evolution of the Qimantagh Magmatic Arcs, Eastern Kunlun Mountains: Constraints from Zircon Dating of Granitoids and Modern River Sands [J]. *Journal of Asian Earth Science*, 2013, 77: 183-202.
- [22] 王冠, 孙丰月, 李碧乐, 等. 东昆仑夏日哈木铜镍矿镁铁质-超镁铁质岩体岩相学、锆石 U-Pb 年代学、地球化学及其构造意义[J]. *地学前缘*, 2014, 21(6): 381-401.
- [23] Li C S, Zhang Z W, Li W Y, *et al.* Geochronology, Petrology and Hf-S Isotope Geochemistry of the Newly-Discovered Xiarihamu Magmatic Ni-Cu Sulfide Deposit in the Qinghai-Tibet Plateau, Western China [J]. *Lithos*, 2015, 216/217: 224-240.
- [24] 周伟. 东昆仑石头坑德镁铁-超镁铁质岩体岩石成因与成矿潜力分析[D]. 西安: 长安大学, 2016: 1-99.
- [25] 李良. 柴达木周缘镁铁质-超镁铁质岩特征及成矿作用研究[D]. 长春: 吉林大学, 2018: 80-227.
- [26] Li L, Sun F Y, Li B L, *et al.* Geochronology, Geochemistry and Sr-Nd-Pb-Hf Isotopes of No. I Complex from the Shitoukengde Ni-Cu Sulfide Deposit in the Eastern Kunlun Orogen, Western China: Implications for the Magmatic Source, Geodynamic Setting and Genesis [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2018, 92(1): 106-126.
- [27] Zhang Z W, Wang Y L, Qian B, *et al.* Metallogeny and Ec-tonomagmatic Setting of Ni-Cu Magmatic Sulfide Mineralization, Number I Shitoukengde Mafic-Ultramafic Complex, East Kunlun Orogenic Belt, NW China [J]. *Ore Geology Reviews*, 2018, 96: 236-246.
- [28] Jia L H, Mao J W, Li B L, *et al.* Geochronology and Petrogenesis of the Late Silurian Shitoukengde Mafic-Ultramafic Intrusion, NW China: Implications for the Tectonic Setting and Magmatic Ni-Cu Mineralization in the East Kunlun Orogenic Belt [J]. *International Geology Review*, 2020, 60(4): 1-22.
- [29] 刘彬, 马昌前, 郭盼, 等. 东昆仑中泥盆世 A 型花岗岩的确定及其构造意义[J]. *地球科学*, 2013, 38(5): 947-962.
- [30] 刘彬, 马昌前, 张金阳, 等. 东昆仑造山带东段早泥盆世侵入岩的成因及其对早古生代造山作用的指示[J]. *岩石学报*, 2012, 28(6): 1785-1807.
- [31] 赵振明, 马华东, 王秉璋, 等. 东昆仑早泥盆世碰撞造山的侵入岩证据[J]. *地质论评*, 2008, 54(1): 47-56.
- [32] 奥琮, 孙丰月, 李碧乐, 等. 青海夏日哈木矿区中泥盆世闪长玢岩锆石 U-Pb 年代学、地球化学及其地质意义[J]. *西北地质*, 2014, 47(1): 96-106.
- [33] 祁生胜. 青海省东昆仑造山带火成岩岩石构造组合与构造演化[D]. 北京: 中国地质大学, 2015: 343.

In situ U-Pb age dating of apatite from quartz vein in Nageng area of east Kunlun mountains and the geological significance

CHEN Jing

*(Qinghai Provincial Key Lab of Physical Geography and Environmental Process,
College of Geographic Science, Qinghai Normal University, Xining 810000,
Qinghai Province, China)*

Abstract: Surface of apatite from ore-bearing quartz vein in Nageng property in the east Kunlun mountains is uniform and looks bright. This is characteristic of the fresh apatite, i. e. the apatite is not influenced by hydrothermal fluid. Micro-area in situ LA-ICP-MS U-Pb isotopic age dating of the apatite shows that the lower intersection age is $409.0 \text{ Ma} \pm 3.7 \text{ Ma}$ and $376.2 \text{ Ma} \pm 5.6 \text{ Ma}$ respectively, excellently coincided with their ^{207}Pb correction age, very accurate representing the formation age of apatite of two stages. 409 Ma, the age of apatite is accorded with the regional Early Devonian magmatic out break in the post-collision extension stage of the east Kunlun orogenic belt. 376 Ma, the age is firstly obtained in the east part of east Kunlun mountains and is presumed to be product of late Silurian-Devonian mantle-decided magmatic outbreak. The two ages obtained in this work imply that deep tectonic-magmatic activity took place in Nageng property during Devonian Period and provide new evidence for study on regional tectonic evolution.

Key Words: east Kunlun mountains; Nageng area; apatite; U-Pb dating; geological significance