

柴达木盆地北缘超高压变质岩的围岩 长英质片麻岩锆石 LA-ICP-MS 定年

马旭东, 陈丹玲

MA Xu-dong, CHEN Dan-ling

西北大学大陆动力学教育部重点实验室, 西北大学地质学系, 陕西 西安 710069

Key Laboratory of Continental Dynamics of the Ministry of Education and

Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China

摘要: 柴达木盆地北缘大柴旦地区超高压变质岩的围岩——长英质片麻岩的主要矿物组合为石榴子石+蓝晶石+多硅白云母+条纹长石+石英+斜长石, 形成压力在 800 MPa 以上。在阴极发光图像内部结构研究的基础上, 利用 LA-ICP-MS 对该长英质片麻岩中锆石的变质微区进行了详细的原位微区 U-Pb 定年, 得到 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $427.2 \text{ Ma} \pm 4.5 \text{ Ma}$, 对应的 Th/U 为 0.01~0.06。该年龄与本区已有的榴辉岩的围岩超高压泥质片麻岩、石榴子石橄榄岩的变质年龄在误差范围内一致。

关键词: 柴达木盆地北缘; 长英质片麻岩; LA-ICP-MS U-Pb 定年; 锆石

中图分类号: P588.34⁵; P597³

文献标识码: A

文章编号: 1671-2552(2006)01-02-0099-05

Ma X D, Chen D L. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of quartzo-feldspathic gneisses—the country rocks of ultra-high-pressure metamorphic rocks on the northern margin of the Qaidam basin, Northwest China. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(1-2):99-103

Abstract: The main mineral assemblage of quartzo-feldspathic gneisses—the country rocks of ultrahigh-pressure (UHP) metamorphic rocks in the Da Qaidam area on the northern margin of the Qaidam basin is garnet + kyanite + phengite + perthite + quartz + plagioclase, which suggests that this rock formed at least at 800 MPa. Based on a study of the internal structure of the cathodoluminescence (CL) images, LA-ICP-MS U-Pb dating was carried out on the zircons from the quartzo-feldspathic gneisses. Analyses of 22 spots in the metamorphic area in the zircons yield a $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ weighted average age of $427.2 \pm 4.5 \text{ Ma}$ with a corresponding Th/U ratio of 0.01 to 0.06. This age is within error consistent with the peak metamorphic ages of the country rocks of eclogite—UHP pelitic gneisses and garnet peridotite—in this area.

Key words: northern margin of the Qaidam basin; LA-ICP-MS U-Pb dating; quartzo-feldspathic gneiss; zircon

柴达木盆地北缘(简称柴北缘), 系指从柴达木盆地东北端的沙柳河向西经德令哈, 过全吉山、锡铁山、鱼卡河、达肯达坂山, 直至阿尔金断裂带附近的小赛什腾山, 呈北西向绵延超过 700 km 的狭长地带。近年来, 在该带的鱼卡河、锡铁山、都兰、野马滩和沙柳河等地陆续发现了一系列榴辉岩^[1-4]和石榴子石橄榄岩^[5]。特别是都兰野马滩榴辉岩围岩的片麻

岩锆石中柯石英的发现, 以及鱼卡河榴辉岩中石榴子石-绿辉石-多硅白云母矿物温压计计算结果表明, 该带经历了超高压变质作用^[6-8], 并且推测该带向西可与阿尔金高压-超高压变质岩带相连, 向东可追索到秦岭-大别山-苏鲁超高压变质岩带而构成横贯中国大陆的中央造山带^[9-12]。

柴北缘已有的地质体的年龄大多来自于对榴辉岩和石

收稿日期: 2005-05-25; 修订日期: 2005-08-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号 40472043)、国家重点基础研究发展规划项目(编号 G1999075508)和西北大学国家基础学科人才培养基地地质学创新基金(编号 XDCX03-06)联合资助。

作者简介: 马旭东(1982-), 男, 在读本科生, 地质学专业。E-mail: 001er@163.com

榴子石橄榄岩的测定,而针对广泛分布的超高压变质岩的围岩进行年代学研究的很少。系统的年代学研究可为探讨超高压变质岩与其围岩的关系提供关键的约束。本次研究选择柴北缘大柴旦超高压变质岩的围岩——长英质片麻岩为研究对象,在岩相学研究的基础上,开展详细的锆石阴极发光图像内部结构和LA-ICP-MS锆石原位微区定年研究,为探讨本区超高压变质岩石与围岩之间的关系和大陆深俯冲作用的范围提供准确的年代学约束。

1 地质背景与岩石学特征

柴北缘构造带,北以宗务隆—青海南山断裂与祁连陆块相邻,南以柴北缘深断裂与柴达木盆地接壤,东西两端分别被哇洪山—温泉断裂和阿尔金断裂围限(图1)。带内岩石组成复杂,主要由变质程度不同的正副片麻岩、变质深成体和中高级变质表壳岩系组成。根据带内岩石组合、变质特征、原岩建造和形成的大地构造环境、地质时代,柴北缘构造带以乌兰—鱼卡断裂为界可分为南北2部分。北带主要分布于乌兰—德令哈—欧龙布鲁克—全吉山—达肯达坂山一带,主要由古元古代早期的古变质侵入体德令哈杂岩^[13]、重新厘定后的古元古代晚期达肯达坂岩群^[13]和中新元古代花岗岩片麻岩组成,震旦纪全吉群、早古生代欧龙布鲁克群等地层一起角度不整合覆盖其上,构成沉积盖层^[14-16],陆松年等^[17]将其称为“欧龙布鲁克微陆块”。南带分布于都兰北的野马滩、沙柳河、铅石山、锡铁山、绿梁山和鱼卡一带,为一套俯冲碰撞杂岩,主要由以大理岩、石英岩、含石榴子石片岩为主、含少量榴辉岩的变质表壳岩系“沙柳河群”^[16]和具有弧火山岩特征的早古生界滩涧山群所组成,泥盆纪磨拉石不整合在其上。

柴北缘的榴辉岩目前仅见于南带,呈透镜状或似层状产

于沙柳河群片麻岩中。包裹榴辉岩的片麻岩既有正片麻岩(花岗质片麻岩)又有副片麻岩(片岩),两者均遭受了强烈的剪切变形,它们之间的关系在野外难以确定,局部可见副片麻岩包在正片麻岩中。目前仅在都兰北部副片麻岩的锆石中发现柯石英包裹体^[7]。本文重点研究的长英质片麻岩出露在大柴旦南绿梁山胜利口一带,位于柴北缘山脉中段大柴旦和小柴旦之间,与石榴子石辉石岩和石榴子石橄榄岩相邻。

本文研究的样品呈深灰色,等粒粒状变晶结构,片麻状构造,主要由石英(35%~40%)、斜长石(10%~15%)、条纹长石(2%~5%)、石榴子石(10%~15%)、黑云母(5%~10%)、白云母(5%~10%)、矽线石(5%~7%)和蓝晶石(3%)组成,副矿物为金红石、锆石、磷灰石。从薄片中可以看出来,岩石中的矽线石应是原有的蓝晶石退变质形成的。电子探针分析结果表明,岩石中部分白云母为多硅白云母,单位分子式中Si的离子数变化于3.10~3.35之间。根据Monsonne的多硅白云母压力计^[18,19],该岩石早期矿物组合石榴子石+蓝晶石+多硅白云母+条纹长石+石英,形成的压力应在800 MPa以上。

2 样品与分析方法

本文研究的锆石样品从约5kg样品中挑选出来。从岩石样品的粉碎、淘洗,到利用电磁仪和重液进行分选的过程中,尽量避免锆石样品受到污染,在双目显微镜下挑选出无色透明、无裂痕的锆石颗粒几十颗用于定年测试。首先将挑选好的锆石单矿物颗粒粘在双面胶上,然后用无色透明的环氧树脂固定,待环氧树脂充分固化后抛光,使锆石抛掉一半,露出一个平面制成样品靶,然后进行锆石的阴极发光图像分析,观察锆石内部结构,在此基础上利用LA-ICP-MS对锆石的变质微区进行U-Pb同位素定年。锆石的CL图像分析

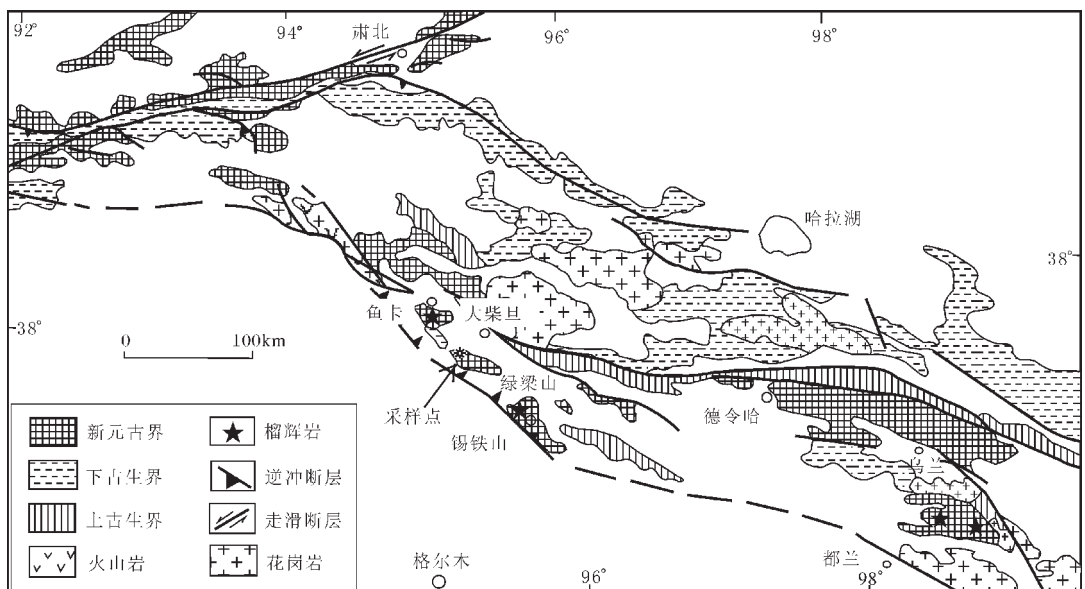


图1 柴达木盆地北缘构造地质图(据参考文献[7]修改)

Fig.1 Geological sketch map of the northern margin of the Qaidam basin

在中国科学院地质与地球物理研究所加载于电子探针仪器上的阴极荧光仪上完成;U-Pb年龄测定在西北大学大陆动力学教育部重点实验室的Elan6100DRC型ICP-MS、德国Lambda Physik公司的ComPex102 ArF准分子激光器(工作物质ArF,波长193 nm)和MicroLas公司的GeoLas 200 M光学系统的联机上进行。激光束斑直径为30 μm ,激光剥蚀样品的深度为20~40 μm 。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个测点的样品测定,加测标样一次。在所测锆石样品分析点前后各测2次NIST SRM610。锆石年龄采用国际标准锆石91500作为外标标准物质,元素含量采用NIST SRM610作为外标,Si作为内标。同位素测定时,普通铅根据Andersen Tom的3D坐标法^[20]进行校正,样品的同位素比值和元素含量计算采用GLITTER(ver4.0,Macquarie University)程序,年龄计算和谱图的绘制用Isoplot(ver2.49)完成。

3 分析结果

3.1 锆石的CL图像特征

柴北缘大柴旦胜利口地区的长英质片麻岩锆石多呈无色透明的浑圆状,粒度变化于50~200 μm 之间。CL图像显示,锆石内部多具有扇状和面状结构,个别内部均匀(图2),显示了变质锆石的内部结构特征^[21,22]。另外,部分锆石显示不明显的核边结构(图2中1,2,5,6,8,9颗粒),且核边分界线呈浑圆状或港湾状,这可能是锆石在后期遭受溶蚀和重结晶的结果。但由于边部的宽度小于激光束斑的直径(30 μm),故本次分析多选择在锆石的核部进行。

3.2 锆石U-Pb定年

所选的21粒锆石22个测点的LA-ICP MS U-Pb定年分析结果分别见表1和图3。从表1和图3中可看出,所有测点的

$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄变化于460~402 Ma之间,在 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和图上(图3),所有分析点聚集在一致线上及其附近的一个很小的区域,获得 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为427.2 Ma \pm 4.5 Ma(2σ),相应测点Th/U比值为0.01~0.06,符合变质锆石Th/U小于0.1的一般特征^[23],结合锆石的阴极图像特征,427.2Ma \pm 4.5 Ma的年龄值应代表该长英质岩石的变质年龄。

4 结论与讨论

阴极发光图像分析表明,柴北缘超高压变质岩带中绿梁山胜利口地区的长英质片麻岩的锆石显示了变质锆石的形态和内部结构特征,利用高精度LA-ICP-MS分析技术,对该锆石进行了详细的微区原位U-Pb定年研究,获得该长英质片麻岩的变质年龄为427.2 Ma \pm 4.5 Ma。柴北缘超高压岩石已有的锆石原位分析年龄多集中于420~495 Ma之间^[24-27],其间有近80 Ma的年龄差距。值得注意的是,地球化学研究结果表明,柴北缘地区的榴辉岩多显示了洋壳的特征^[25,26,28],但在年代学研究中明显偏老的原岩残核年龄的存在^[25,28]表明,具有洋壳性质的榴辉岩部分有可能是早已就位于陆壳中的

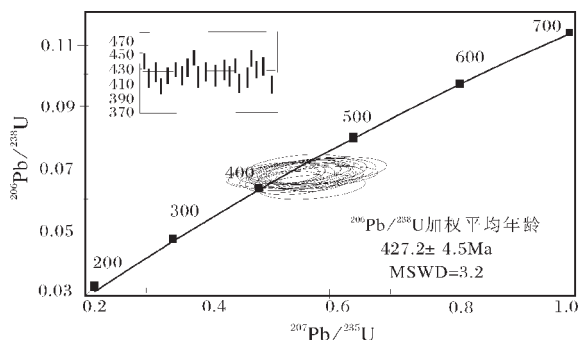


图3 绿梁山长英质片麻岩的锆石U-Pb谐和图
Fig.3 Zircon U-Pb concordia diagram for quartzo-feldspathic gneiss from Luliangshan

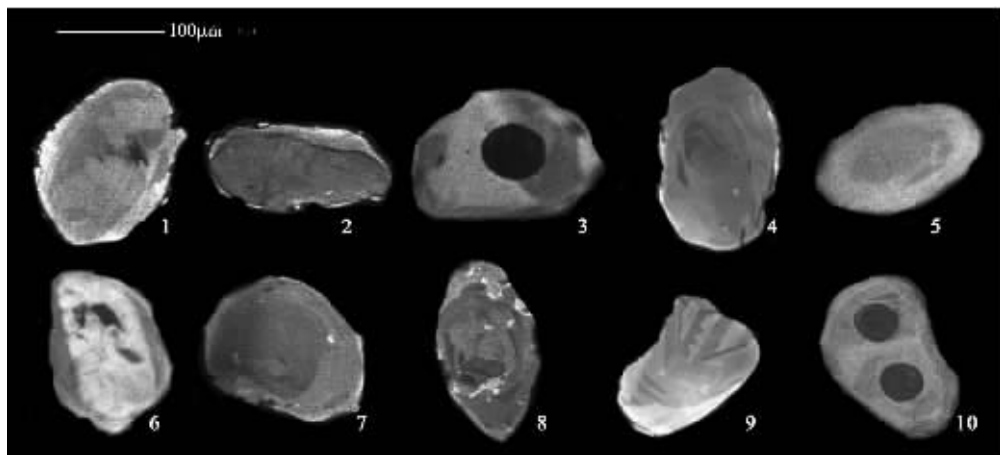


图2 锆石的CL图像

Fig.2 CL images for zircons from quartzo-feldspathic gneiss

表1 绿梁山长英质片麻岩中锆石LA-ICP-MS定年结果

Table 1 Results of LA-ICP-MS U-Pb dating of zircons from the Luliangshan quartzo-feldspathic gneiss

样品 标号	^{232}Th / $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	^{238}U / $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	±%	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	±%	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	±%	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄/Ma	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄/Ma	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄/Ma
1.1	4.04	131.86	0.03	0.06073	0.606	0.07031	0.192	0.58849	5.732	629.9±201.61	438.0±11.59	469.9±36.64
2.1	2.08	174.71	0.01	0.06131	0.486	0.06733	0.155	0.56896	4.402	650.3±161.47	420.1±9.35	457.3±28.94
3.1	3.18	96.61	0.03	0.05619	0.674	0.06771	0.209	0.52436	6.142	459.2±246.73	422.3±12.62	428.1±40.91
4.1	0.206	56.67	0.00	0.06408	0.927	0.06431	0.246	0.56791	7.990	744.1±279.36	401.8±14.93	456.7±51.74
5.1	2.17	134.96	0.02	0.06166	0.574	0.06720	0.175	0.57103	5.188	662.2±187.87	419.3±10.56	458.7±33.53
6.1	3.5	182.88	0.02	0.05766	0.494	0.06702	0.160	0.53259	4.466	516.6±178.24	418.2±9.66	433.5±29.59
7.1	2.01	158.5	0.01	0.05546	0.531	0.06837	0.175	0.52254	4.892	430.3±200.51	426.3±10.55	426.8±32.62
7.2	5.48	142.8	0.04	0.05643	0.602	0.06919	0.194	0.53809	5.609	468.6±220.99	431.3±11.71	437.2±37.03
8.1	2.2	219.69	0.01	0.06039	0.496	0.06871	0.161	0.57182	4.588	617.5±167.99	428.4±9.73	459.2±29.64
9.1	5.81	121.49	0.05	0.05557	0.677	0.06754	0.210	0.51728	6.152	434.9±250.70	421.3±12.96	423.3±41.17
10.1	9.01	169.65	0.05	0.05508	0.478	0.06716	0.159	0.50983	4.334	415.4±183.77	419.1±9.62	418.3±29.15
11.1	2.73	133.06	0.02	0.05330	0.563	0.07002	0.191	0.51435	5.317	341.5±223.02	436.3±11.50	421.4±35.65
12.1	4.81	170.58	0.03	0.05753	0.510	0.06799	0.166	0.53907	4.675	511.6±184.22	424.0±10.03	437.8±30.84
13.1	1.111	63.58	0.02	0.06257	0.915	0.06895	0.264	0.59460	8.459	693.8±284.22	429.8±15.95	473.8±53.86
14.1	4.77	123.25	0.04	0.05885	0.637	0.06831	0.197	0.55406	5.852	561.6±219.85	426.0±11.89	447.7±38.24
15.1	11.15	182.33	0.06	0.06129	0.508	0.06618	0.157	0.55898	4.522	649.5±168.52	413.1±9.50	450.9±29.45
16.1	1.95	144.86	0.01	0.05639	0.571	0.07386	0.199	0.57395	5.678	466.8±210.45	459.4±11.94	460.6±36.63
17.1	6.13	136.35	0.04	0.05704	0.602	0.07029	0.196	0.55258	5.694	492.7±217.63	437.9±11.83	446.7±37.24
18.1	4.68	128.31	0.04	0.05606	0.557	0.06726	0.178	0.51968	5.045	454.5±206.78	419.6±10.74	424.9±33.71
19.1	2.17	93.76	0.02	0.05568	0.670	0.06974	0.215	0.53514	6.287	439.2±247.73	434.6±12.96	435.2±41.59
20.1	2.12	162.89	0.01	0.05822	0.589	0.07024	0.191	0.56352	5.568	537.4±207.82	437.6±11.52	435.8±36.16
21.1	1.77	128.31	0.01	0.05502	0.550	0.06739	0.178	0.51100	4.991	413.2±209.04	420.4±10.73	419.1±33.54

古洋壳在早古生代随陆壳一起发生俯冲变质的产物,这些榴辉岩峰期变质年龄应代表陆壳俯冲的年龄。鉴此,本文第二笔者认为得到的鱼卡河超高压榴辉岩的峰期变质年龄420~430 Ma代表了本区陆壳深俯冲的年龄(陈丹玲待刊资料),而且该年龄值与新近报道的代表大陆深俯冲的都兰野马滩超高压泥质片麻岩锆石含柯石英微区的定年结果423 Ma±6 Ma、绿梁山超高压石榴子石二辉橄榄岩的变质年龄423 Ma±5 Ma^[27]和本文所获得的榴辉岩长英质片麻岩围岩的变质年龄427.2 Ma±4.5 Ma一致。因此,柴北缘已有年代学数据中420~430 Ma可能代表了本区大陆深俯冲的时代。

目前柴北缘地区榴辉岩围岩的年龄绝大多数集中于1.0~1.3 Ga^[16,17,27],除野马滩超高压泥质变质岩外,缺乏早古生代年龄的记录,本文所获得的长英质片麻岩427.2 Ma±4.5 Ma的变质年龄,说明本区部分榴辉岩的围岩确实经历了早古生代的俯冲碰撞事件。对长英质片麻岩是否经历了超高压变质作用及其变质作用的 pT 轨迹还需进一步研究,认为其与榴辉岩或石榴子石二辉橄榄岩共同经历了大陆壳的深俯冲作用还为时尚早。但相同的变质年龄至少可以说明本区的部分表壳沉积岩也被卷入了早古生代大陆深俯冲这一作用过程,它们与超高压榴辉岩或者代表了不同俯冲深度的产物,或者是在超高压岩石折返过程中共同就位,具体是哪一种作用过程尚有待于进一步研究。

致谢:本文在完成过程中得到西北大学博士研究生张安达的帮助,在此表示感谢。

参考文献:

- [1]杨经绥,许志琴,李海兵,等.我国西部柴北缘地区发现榴辉岩[J].科学通报,1998,43(14):1544-1548.
- [2]杨经绥,许志琴,宋述光,等.青海都兰榴辉岩的发现:试论我国中央造山带中高压—超高压变质带的分布及构造意义[J].地质学报,2000,74(2):156-168.
- [3]张雪亭,吕惠庆,陈正兴,等.柴北缘造山带沙柳河地区榴辉岩相超高压变质岩的发现及初步研究[J].青海地质,1999,(2):1-13.
- [4]Zhang J X, Xu Z Q, Yang J S, et al. The Altyn-North Qaidam eclogite belt in western China—another HP-UHP metamorphic belt truncated by large scale strike-slip fault in China[J]. Earth Science Frontiers,2000,7:254-255.
- [5]杨建军,邓晋福.柴达木北缘石榴石橄榄岩的发现及其意义[J].岩石矿物学杂志,1994,13(2):97-105.
- [6]宋述光,杨经绥.柴达木盆地北缘都兰地区榴辉岩中透长石+石英包裹体:超高压变质作用的证据[J].地质学报,2001,33(1):20-28.
- [7]杨经绥,宋述光,许志琴,等.柴北缘早古生代高压—超高压变质带中发现典型超高压矿物——柯石英[J].地质学报,2001,75(2):175-179.
- [8]陈丹玲,孙勇,刘良,等.柴北缘鱼卡河榴辉岩的变质演化——石榴石成分环带及矿物反应结构的证据[J].岩石学报,2005,21(4):1039-1048.
- [9]许志琴,杨经绥,张建新,等.阿尔金断裂两侧构造单元的对比及岩

- 石圈剪切机制[J].地质学报,1999,73(3):193-205.
- [10]杨经绥,许志琴,裴先治,等.秦岭发现金刚石:横贯中国中部巨型超高压变质带新证据及古生代和中生代两期深俯冲作用的认识[J].地质学报,2002,76(4):484-495.
- [11]刘良,孙勇,肖培喜,等.阿尔金发现超高压(>3.8GPa)石榴石二辉橄榄岩[J].科学通报,2002,47(9):657-662.
- [12]刘良,孙勇,罗金海,等.阿尔金英格利萨依花岗岩质片麻岩超高压变质[J].中国科学,2003,33(12):1184-1192.
- [13]陆松年,王惠初,李怀坤,等.柴达木盆地北缘“达肯大坂群”的再厘定[J].地质通报,2002,21(1):19-23.
- [14]李怀坤,陆松年,王惠初,等.青海柴北缘新元古代超大陆裂解的地质记录——全吉群[J].地质调查与研究,2003,26(1):27-37.
- [15]王云山,陈基娘.论青海北部元古宙的几次地质事件[A].见:前寒武纪地质——国际晚前寒武纪地质讨论会论文集[C].1986,283-291.
- [16]辛后田,周世军,王惠初,等.柴达木盆地北缘“沙柳河岩群”的重新启用[J].西北地质,2004,37(1):26-33.
- [17]陆松年,于海峰,金巍,等.塔里木古大陆东缘的微小大陆块体群[J].岩石矿物学杂志,2002,21(4):317-326.
- [18]Massonne H J, Schreyer W. Phengite geobarometry based on the limiting assemblages with K-feldspar, phlogopite and quartz [J]. Contrib. Mineral. Petrol., 1987, 96:212-224.
- [19]Massonne H J, Schreyer W. Stability of the high-pressure assemblage talc-phengite and two new phengite barometers [J]. Eur. J. Mineral., 1989, 1:391-410.
- [20]Andersen T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ²⁰⁴Pb[J]. Chem. Geol., 2002, 192: 59-79.
- [21]Vavra G, Gebauer D, Schmid R, et al. Multiple zircon growth and recrystallization during polyphase Late Carboniferous to Triassic metamorphism in granulites of the Ivrea Zone (Southern Alps): an ion microprobe (SHRIMP) study [J]. Contrib. Mineral. Petrol., 1996, 122: 337-358.
- [22]Vavra G, Schmid R, Gebauer D. Internal morphology, habit and U-Th-Pb microanalysis of amphibolite-to-granulite facies zircons: geochronology of the Ivrea Zone (Southern Alps) [J]. Contrib. Mineral. Petrol., 1999, 134: 380-404.
- [23]简平,程裕淇,刘敦一.变质锆石成因的岩相学研究——高级变质岩U-Pb年龄解释的基本依据[J].地质前缘,2001,8(3):183-192.
- [24]张建新,杨经绥,许志琴,等.柴北缘榴辉岩的峰期和退变质年龄:来自U-Pb及Ar-Ar同位素测定的证据[J].地球化学,2000,29(3):217-222.
- [25]杨经绥,张建新,孟繁聪,等.中国西部柴北缘—阿尔金的超高压变质榴辉岩及其原岩性质探讨[J].地质前缘,2003,10(3):291-314.
- [26]宋述光,张立飞, Y Niu, 等.青藏高原北缘早古生代板块构造演化和大陆深俯冲[J].地质通报,2004,23(9-10):918-925.
- [27]Song S G, Yang J S, Liou J G, et al. Petrology, geochemistry and isotopic ages of eclogites from the Dulan UHPM Terrane, the North Qaidam, NW China [J]. Lithos, 2003, 70: 195-211.
- [28]陈丹玲,孙勇,刘良,等.柴北缘鱼卡河超高压榴辉岩的岩石学、地球化学和年代学[A].见:2004年全国岩石学与地球动力学研讨会论文集[C].海口:2004.14-15.