阿尔金超高压花岗质片麻岩中锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义

张安达 刘 良* 孙 勇 陈丹玲 王 焰 罗金海
(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, 西安 710069. *联系人, E-mail: liuliang@nwu.edu.cn)

摘要 阿尔金英格利萨依超高压花岗质片麻岩中锆石阴极发光图像和包裹体矿物组合特征显示, 其内部结构为由核部岩浆残留部分、幔部变质增生部分和边部后期新生部分组成的核-幔-边三层结构. 对其进行的离子探针(SHRIMP)U-Pb 年龄测试结果表明, 位于锆石颗粒幔部的 5 个测点的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄值为 484±11~491±12 Ma, 对应 Th/U 为 0.01~0.03, 加权平均年龄为 487±10 Ma(2σ), 应代表该岩石的变质年龄; 位于锆石颗粒核部具岩浆生长环带部位测点的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄值介于 809±19 Ma 与 885±21 Ma 之间, Th/U 为 0.42~0.83, 对应于岩石的原岩岩浆结晶时代. 该岩石变质年龄(487±10 Ma)与阿尔金西段江格萨依榴辉岩峰期变质年龄(约 500 Ma)的一致性, 以及其原岩岩浆结晶年龄介于 809±19 Ma 与 885±21 Ma 之间的确定, 不仅证实沿阿尔金南缘断续分布着一条超高压变质岩带, 而且进一步表明阿尔金超高压变质岩石是先存地壳物质在早古生代发生深俯冲作用的产物.

关键词 阿尔金 超高压花岗质片麻岩 锆石 SHRIMP 定年 变质年龄

近年来, 中国中西部阿尔金[1~4]、柴北缘[5~7]、西南天山[8,9]和北秦岭[10,11]等地陆续发现了不同类型的超高压变质岩石, 这些地区已成为中、外地学界瞩目的超高压变质作用及其相关的大陆深俯冲作用研究的新的热点地区之一. 然而, 由于中国中西部超高压变质作用研究起步较晚, 目前就区内这些超高压变质岩的时空分布规律、峰期变质时代以及它们是否是大陆深俯冲作用的产物及其相互之间的构造关系等问题的研究还比较薄弱或存在争议. 新近, 阿尔金英格利萨依一带陆续发现和确定的石榴子石二辉橄榄岩[1]及其直接围岩——含石榴子石花岗质片麻岩[2,4]与钾长石榴辉石岩[2,12]都经历了超高压变质, 证实它们的形成是陆壳深俯冲作用的产物, 但由于缺乏同位素年代学资料, 进而妨碍和影响了关于这些不同类型的超高压变质岩石的变质时代是否与阿尔金南缘西段榴辉岩共同构成同一条超高压变质岩带及其区域对比等重大地质问题的深入探讨. 本文通过对阿尔金英格利萨依一带超高压花岗质片麻岩中的锆石进行的阴极发光图像、包裹体矿物和 SHRIMP 同位素定年研究, 获其变质时代(487±10 Ma)与西段榴辉岩的峰期变质年龄(约 500 Ma)一致, 为确定沿阿尔金南缘断续分布着一条由不同类型的超高压岩石组成的超高压变质岩带及其与柴北缘和北秦岭等地的高压-超高压变质岩带进行对比提供了进一步的依据.

1 地质概况

阿尔金高压-超高压榴辉岩呈透镜体状断续出露在阿尔金阿帕-茫崖构造混杂岩带的北部边缘(图 1(a)), 产于原认为是元古界的阿尔金群的片麻岩之中[13], 透镜体的长轴与区域片麻理的走向基本一致. 其中, 西段且末县江格萨依-玉石沟一带榴辉岩的出露最为发育, 该榴辉岩的峰期变质时代为(503±5.3 Ma)[14~17]. 本文重点研究的超高压花岗质片麻岩出露在距江格萨依-玉石沟东约 100 多公里处的英格利萨依一带, 是区内含菱镁矿的超高压石榴二辉橄榄岩的直接围岩, 露头上该岩石与钾长石榴辉石岩和石榴子石二辉橄榄岩呈互层状或间层状产出(图 1(b)), 一些地段与钾长石榴辉石岩构成条带状构造, 局部见钾长石榴辉石岩呈透镜体状包裹在花岗质片麻岩之中, 透镜体被拉长、变形[1,2,4]. 已有研究显示, 其中钾长石榴辉石岩主要组成矿物有石榴子石和不等量的透辉石、条纹长石与少量蓝晶石以及退变质的紫苏辉石+斜长石或角闪石+斜长石, 一些粗粒石榴子石见单斜辉石+金红石的棒状出溶物, 指示该岩石也经历了超高压变质[12]. 综合这些特征分析, 该区含石榴子石的不同岩石类型可能共同经历了相同或相似的变形变质. 根据地质产状特征分析, 阿尔金英格利

万方数据
www.cnki.com.cn

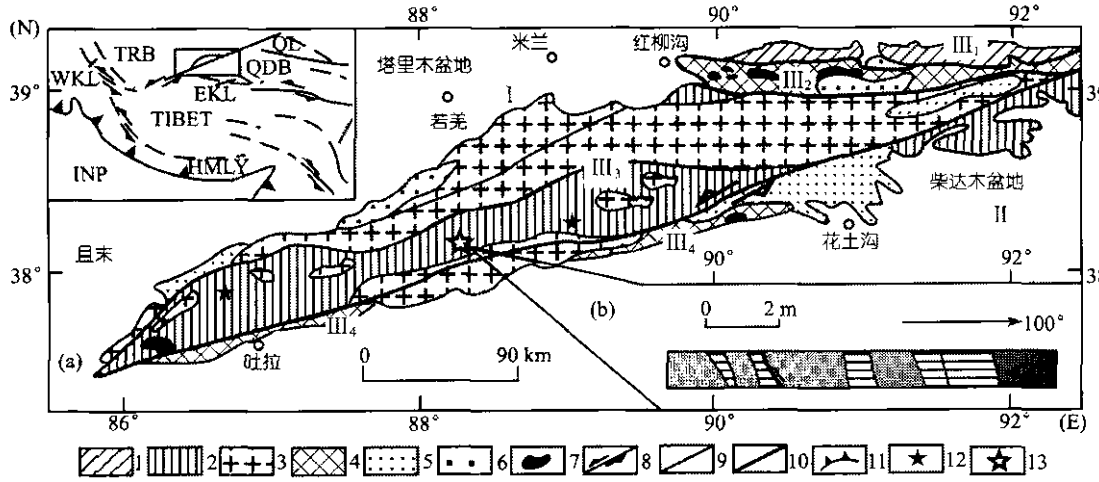


图1 阿尔金造山带构造地质图(据文献[1])

1.太古界; 2.阿尔金岩群; 3.中-上元古界; 4.古生界; 5.中-新生界; 6.花岗岩; 7.超基性岩; 8.走滑断裂; 9.断裂; 10.构造单元界线; 11.逆冲断裂; 12.榴辉岩产地; 13.片麻状(含)钾长石榴辉石岩产地(英格利萨依). TRB: 塔里木盆地; QL: 祁连山; QDB: 柴达木盆地. Ⅰ. 塔里木地块; Ⅱ. 柴达木地块; Ⅲ. 阿尔金造山带; $Ⅲ_1$. 阿北变质地块; $Ⅲ_2$. 红柳沟-拉配泉混杂岩带; $Ⅲ_3$. 米兰河-金雁山地块; $Ⅲ_4$. 阿帕-茫崖构造混杂岩带

萨依一带不同类型的超高压变质岩与西段江格萨依-玉石沟一带的榴辉岩可能共同构成了阿尔金南缘高压–超高压变质带.

该花岗质片麻岩主要组成矿物有粗粒斑状石榴子石(5%~20%)、条纹长石(10%~15%)、纹带状石英(10%~20%)和少量榍石(±3%)、角闪石(±3%)、单斜辉石(<3%)和蓝晶石(<2%)或黑云母(±5%)和黝帘石(<1%)以及细粒基质矿物石英、钠长石、微斜长石、黑云母和角闪石等, 副矿物有锆石、金红石、磷灰石、钛铁矿和褐帘石等. 已有研究[4]表明, 该岩石经历了复杂多阶段的变质演化, 其早期变质矿物组合是石榴子石+条纹长石(出溶前)+榍石(出溶前)+蓝晶石+黝帘石+石英/柯石英±单斜辉石, 副矿物为磷灰石和金红石, 其中粗粒榍石含有斜长石+角闪石的棒状出溶物, 计算出溶前榍石含六次配位的 Si^{VI}, 单位分子式中 Si 值介于 1.032~1.047 之间, 即含 $CaSi_2O_5$ 组分为 3.1%~4.6%, 利用实验岩石学资料和温压计估算, 获其变质条件为 3.7~4.3 GPa 和约 1000℃; 同时结合该岩石粗粒石榴子石包裹的高铝、高 F 榍石(Al_2O_3=10.58%~10.77%, F=3.21%~4.00%, X_{Al}=0.39~0.41, X_F=0.39~0.48), 共同证实该岩石经历了超高压变质. 地球化学特征显示, 该岩石 SiO_2 含量>70%, Al_2O_3 含量为 12.58%~14.08%, K_2O 含量很高(>5%), Na_2O/K_2O 比值介于 0.4~0.6 之间, 呈 LREE 富集型, $(La/Yb)_N$ 比值介于 4.3~9.1 之间, 具有明显的负 Eu 异常, dEu 值介于 0.06~0.59 之间, 其原岩可能为中、上地壳重熔的产物[4] 1)

2 样品分析

本文研究的锆石样品从约 5 kg 花岗质片麻岩大样中挑选出来. 从岩石样品的粉碎、淘洗, 到利用电磁仪和重液进行分选的整个过程中, 尽量避免锆石样品受到污染. 在双目显微镜下挑选无色透明、无裂痕的锆石颗粒用于 SHRIMP 定年测试. 锆石样品靶的制备和磨制方法见文献[18].

锆石的阴极发光(CL)图像分析中国地质科学院矿产资源研究所电子探针仪上完成. 锆石包裹体激光 Raman 光谱分析在中国石油规划研究院激光 Raman 谱仪上完成. 锆石的 SHRIMP U-Pb 定年在北京国土资源部同位素地质开放实验室的 SHRIMP Ⅱ上完成, 分析时束斑直径为 20~30 μm, 分析原理参考文献[19,20], 分析流程及参数见文献[18]. 应用标准锆石 TEM(417 Ma)进行元素间的分馏校正(inter-element fractionation), 应用 SL13(年龄 572 Ma, U 含量 238 μg/g)标定样品的 U, Th 和 Pb 含量. 数据处理采用美国 Ludwig 博士的 SQUID 1.0d 版及 ISOPLT2.49h 版程序. ^{238}U 和 ^{235}U 的衰变常数采用 IUGS(1997)推荐值, 即分别为 1.55125×10^{-10} a^{-1} 和

1) 王焰. 阿尔金西段高压-超高压变质杂岩的地质地球化学特征及其地质意义

GS(1997)推荐值，即分别为 1.55125×10^{-10} a^{-1} 和 9.84850×10^{-10} a^{-1}，$^{238}U/^{235}U = 137.88$. 应用实测 ^{204}Pb 及 Stacey-Kramers 模式在 417 Ma 对应的普通铅组成进行普通铅的校正. 年龄一般指 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄，其加权平均值具有 95%的置信度.

3 锆石内部结构

该岩石中的锆石无色透明，颗粒粒度多变化于 50~200 μm 之间. 锆石晶体形态有浑圆状、短柱状和长柱状，对于柱状锆石，无论长柱还是短柱状，其颗粒两端均呈浑圆状，总体表现出变质锆石多晶面的特征. CL 图像(图 2)显示，该岩石中锆石内部结构相当复杂，大多数锆石发育比较明显的核-幔-边三层结构. 锆石的内部残核呈亮色(如第 5，6 号颗粒)或亮-暗相间的浑圆状、港湾状或不规则混杂状形态，特别是第 7，8，9 号颗粒的核部具有比较明显的岩浆生长环带结构，说明核部应为岩石的原岩岩浆锆石；一些颗粒的环带结构已不太明显，其核部呈混杂状(如颗粒 4)或其残核已表现的相当模糊(如 2，3 号颗粒)，这可能是原始岩浆振荡生长环带受后期变质等因素改造所致. 幔部变质增生锆石绕残核产出，其宽窄变化很大，一些颗粒幔部宽度可达 80 μm 左右. 锆石颗粒的边部一般表现为很窄(小于 20 μm)的亮色镶边. 依据 CL 图像特征可以认为，该岩石中的锆石应是核部岩浆成因锆石和幔部变质成因锆石及边部新生锆石组成的变质增生混合锆石. 岩浆锆石在超高压变质过程中不同程度的遭受到变质重结晶作用的改造，致使大部分核部的岩浆振荡生长环带已变得相当模糊；幔部代表了超高压变质作用过程中的变质增生部分，幔部向核部的穿插现象，可能说明在超高压变质作用过程中有流体的参与；而边部很窄的亮色环状边缘层可能是代表了后期地质作用过程中或退变质的新生锆石.

4 锆石包裹体特征

激光 Raman 光谱分析显示，该岩石锆石中的包裹体矿物主要有单斜辉石、金红石、磷灰石、石英和长石类矿物. 其中，辉石和金红石分布在锆石颗粒的幔部，磷灰石和石英在其核部与幔部都有分布，长石类矿物仅出现在锆石的核部. 锆石幔部主要包裹体矿物对应的 Raman 谱图见图 3.

已有研究资料表明，硬玉一般具有 680~705，525~528，370~380 和 1040~1044 cm^{-1} 等特征谱峰[21]，但其主峰有时也可变化于 660~667 cm^{-1} 之间并具有 390，200 或 220 cm^{-1} 左右的次峰 1)；绿辉石经常显示

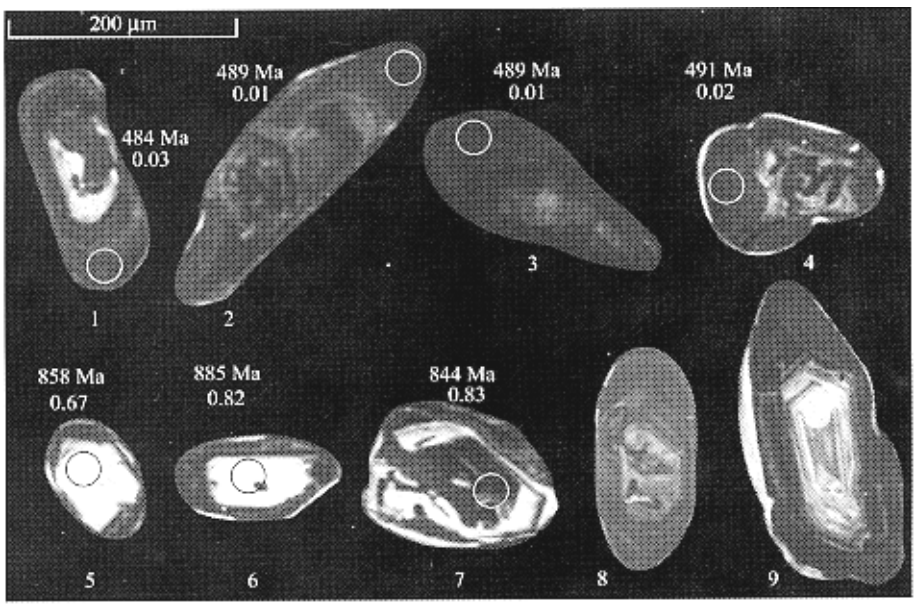


图 2　花岗质片麻岩典型锆石的阴极发光(CL)图像

锆石颗粒中的圆圈为 SHRIMP 测点位置，颗粒上方标注测点的年龄及其 Th/U 比值，下方的数字为锆石颗粒编号

1) Renishaw Raman spectral database, inorganic materials volume. Renishaw plc, Spectroscopy products Division, Old Town, Wotton-under-Edge, Gloucestershire, Gl 12 7DW, UK

万方数据
www.cnki.com.cn

670~690 cm^{-1} 的主峰[21, 22] 1)，有时也具有 390 cm^{-1} 左右的次峰 1)；而透辉石常常具有 660~666，380~390，315~330 cm^{-1} 等特征谱峰 1)．由图 3(a)，(b)可以看出，该辉石除具有 681 或 663 cm^{-1} 的主峰之外，还具有相对强度较弱的 525 或 530 cm^{-1} 的次峰，特别是图 3(a)又有相对强度较强的 197 cm^{-1} 的次峰出现，根据以上特征综合分析，可以认为该锆石中的辉石可能是硬玉而不是绿辉石或透辉石．另外，金云母与黑云母虽然也具有 195~197 和 665~685 cm^{-1} 的主峰 1)，但金云母还具有明显的 730~737 和 772~777 cm^{-1} 两个次峰 1)，而黑云母同时还伴随 545~576，700~707 和 739~751 cm^{-1} 3 个次峰的出现 1)．综合分析图 3(a)，(b)的主峰与次峰特征，它们与金云母或黑云母的 Raman 谱图存在明显的不同．

尽管目前在该岩石锆石的包裹体矿物中尚未发现柯石英，但结合该岩石经历了超高压变质作用的研究[4]及锆石的阴极发光图像特征，可以认为锆石幔部包裹的硬玉、金红石、石英和磷灰石至少应是该岩石经历高压变质的变质矿物；而核部包裹的石英、磷灰石及长石类矿物，可能是其残存的原岩岩浆矿物包裹体．

5 锆石 U-Pb 年龄

该岩石中 21 粒锆石 21 个测点的 SHRIMP U-Pb 定年分析结果分别见表 1 和图 4．在图 4 中，年龄数据投点呈串珠状断续分布在一致曲线上或其下方附近，大致可区分出密集程度不等的 5 个年龄集中区．

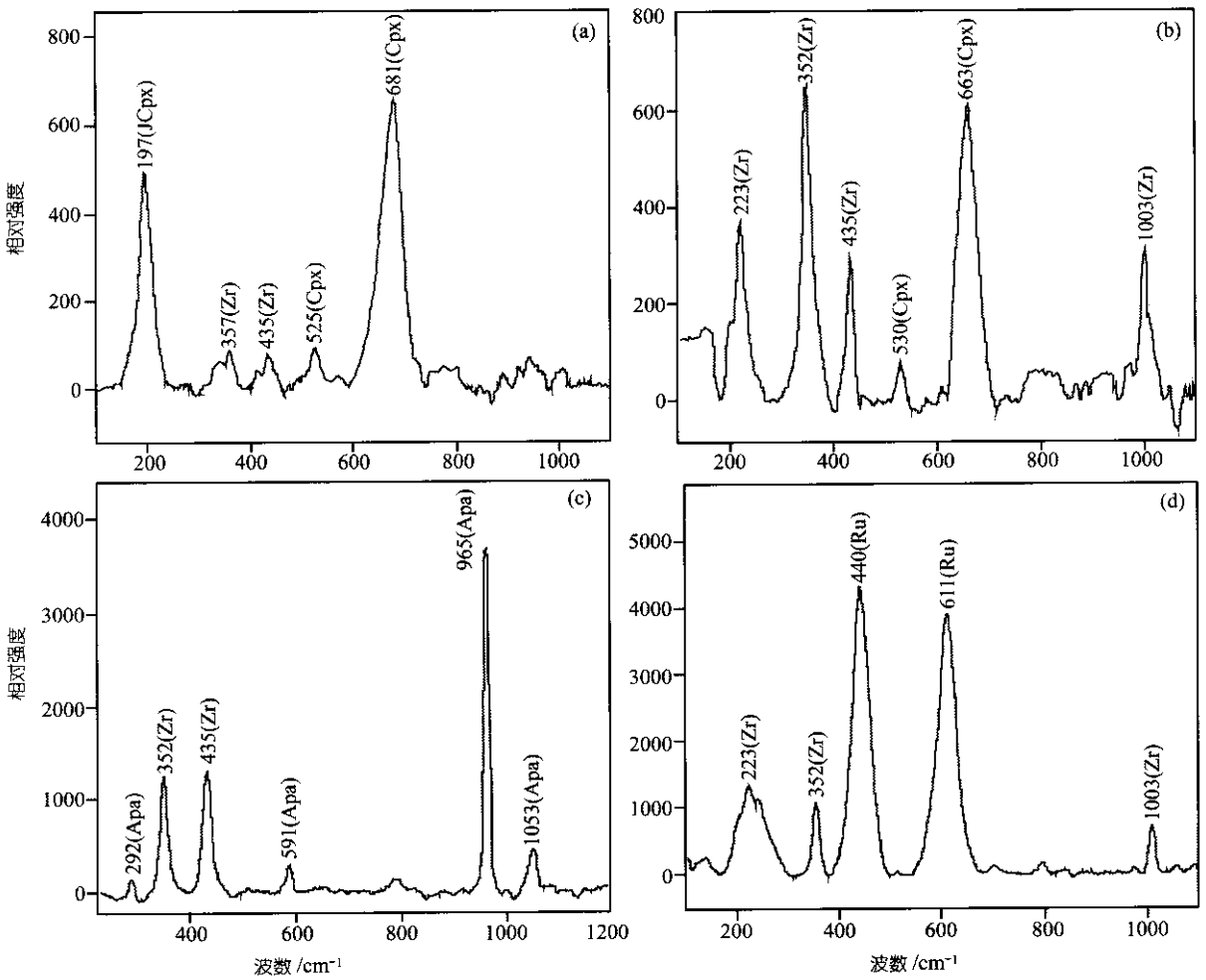


图 3 锆石幔部主要包裹体矿物的 Raman 谱图

1) 见 2337 页脚注

万方数据

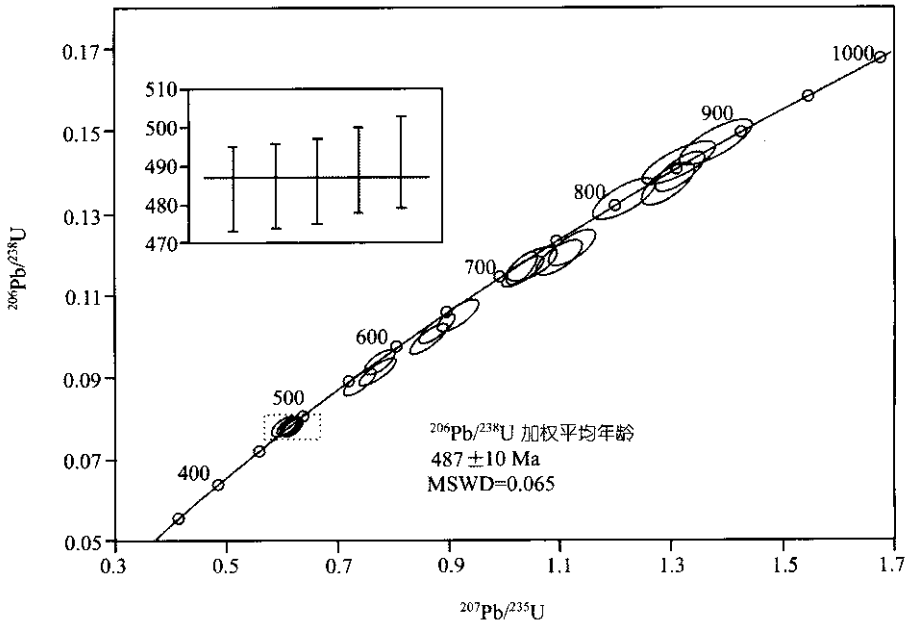


图 4　锆石 SHRIMP U-Pb 年龄谐和图

表 1　阿尔金英格利萨依花岗质片麻岩锆石 SHRIMP 定年分析结果 a)

测点	U/ μg·g^{-1}	Th/ μg·g^{-1}	Th/U	$^{206}Pb_c$/%	$^{206}Pb^*$/ μg·g^{-1}	同位素比值						年龄/Ma	
						$^{207}Pb/^{206}Pb$	±%	$^{207}Pb/^{235}U$	±%	$^{206}Pb/^{238}U$	±%	$^{206}Pb/^{238}U$	$^{207}Pb/^{206}Pb$
1.1	1040	13	0.01	0.08	70.5	0.05680	1.0	0.617	2.6	0.0788	2.4	489±11	484±23
2.1	580	99	0.18	0.09	52.4	0.06308	1.1	0.915	2.7	0.1052	2.5	645±15	711±23
3.1	659	138	0.22	0.14	66.3	0.06483	1.1	1.046	2.7	0.1170	2.4	713±16	769±24
4.1	1134	200	0.18	0.10	114.0	0.06393	0.68	1.028	2.5	0.1166	2.4	711±16	739±14
5.1	899	21	0.02	0.01	60.4	0.05692	0.92	0.614	2.6	0.0782	2.4	485±11	488±20
6.1	1287	1035	0.83	0.05	155.0	0.06802	0.61	1.312	2.5	0.1399	2.4	844±19	869±13
7.1	1089	10	0.01	0.00	73.2	0.05644	0.84	0.609	2.6	0.0783	2.4	486±11	470±19
8.1	727	22	0.03	0.11	48.8	0.05725	1.0	0.616	2.6	0.0780	2.4	484±11	501±23
9.1	387	195	0.52	0.60	39.7	0.06410	2.1	1.048	3.2	0.1186	2.4	723±17	744±44
10.1	1238	150	0.13	0.10	99.7	0.05974	0.79	0.771	2.5	0.0936	2.4	577±13	594±17
11.1	1254	857	0.71	0.08	148.0	0.06855	0.59	1.295	2.5	0.1370	2.4	828±19	885±12
12.1	1083	831	0.79	0.15	83.1	0.06005	0.92	0.738	2.6	0.0891	2.4	550±13	605±20
13.1	277	220	0.82	0.28	35.1	0.06800	1.9	1.380	3.2	0.1472	2.6	885±21	868±40
14.1	218	88	0.42	0.37	25.1	0.06590	2.1	1.214	3.2	0.1337	2.5	809±19	802±43
15.1	1144	249	0.22	0.15	98.0	0.06284	1.0	0.863	2.7	0.0996	2.5	612±14	703±22
16.1	804	194	0.25	0.08	63.3	0.06099	1.1	0.770	2.7	0.0915	2.4	565±13	639±24
17.1	850	17	0.02	0.23	57.9	0.05570	1.9	0.607	3.2	0.0791	2.5	491±12	440±43
18.1	1387	1003	0.75	0.05	142.0	0.06676	0.58	1.097	2.5	0.1192	2.4	726±17	830±12
19.1	945	207	0.23	0.11	83.2	0.06231	0.86	0.879	2.6	0.1023	2.4	628±14	685±18
20.1	147	95	0.67	0.45	18.1	0.06690	2.3	1.314	3.4	0.1423	2.5	858±20	836±48
21.1	961	815	0.88	0.08	101.0	0.06663	0.99	1.118	2.6	0.1217	2.4	740±17	826±21

a) $^{206}Pb_c$ 为 ^{206}Pb 总量中普通铅 ^{206}Pb 所占的百分比. $^{206}Pb^*$ 代表放射成因铅. 误差为 1 s

万方数据
www.scichina.com

第 1 个很好的年龄密集区是由来自锆石颗粒幔部的 5 个测点构成, 位于一致曲线的最下端, 测点 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄值变化于 484~491 Ma, 加权平均年龄为 487±10 Ma(2σ); 相应测点 Th/U 比值为 0.01~0.03, 符合变质锆石 Th/U 小于 0.1 的一般特征[23], 结合已有研究[4]与前述锆石 CL 图像和矿物包裹体特征综合分析, 487±10 Ma(2σ)的年龄值应代表该岩石的变质年龄.

另一个年龄集中区由来自锆石残核的 5 个测点组成, 位于一致曲线的最上端, 投点比较分散, $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄值变化于 809±19 Ma 与 885±21 Ma 之间. 目前虽不能排除其中年龄偏低的个别测点或多或少受到变质作用改造的影响, 但结合测点均位于锆石残核位置, 一些残核还具有明显的岩浆振荡生长环带的特征(图 2), 以及测点 Th/U 比值(0.42~0.83)符合岩浆锆石 Th/U 一般大于 0.4[24~28]的特征综合分析, 该岩石的原岩结晶年龄应介于 809±19 Ma 与 885±21 Ma 之间.

其他 3 个年龄集中区分别为 550~577, 612~645 和 711~738 Ma, 它们及其它们与前两个年龄集中区之间的年龄间隔一般不超过 100 Ma, 考虑到该岩石锆石内部结构的复杂性可能导致测点束斑(20~30 μm)包含了不同比例的锆石残核与幔部, 这些年龄值很可能是一种由于变质再造所产生的混合年龄, 因而可能不具有明确的地质意义.

6 讨论和结论

本文通过对阿尔金英格利萨依一带超高压石榴子石二辉橄榄岩的直接围岩——超高压变质的花岗质片麻岩中锆石的 CL 图像、包裹体矿物组合和高精度 SHRIMP 微区原位 U-Pb 定年研究, 首次获得其变质年龄为 487±10 Ma.

张建新等人[14]测得阿尔金西段江格萨依一带榴辉岩的全岩-石榴石-绿辉石的 Sm-Nd 等时线年龄为 500±10 Ma 和单颗粒锆石的 U-Pb 年龄为 503.9±5.3 Ma, 据此认为这些年龄值代表区内高压变质岩石的峰期变质时代. 最近, 江格萨依一带的榴辉岩中也陆续发现超高压变质的新证据[3, 29]. 因此, 阿尔金英格利萨依一带超高压变质岩 487±10 Ma 变质时代的确定, 进一步说明从阿尔金西部江格萨依一带的榴辉岩到东部英格利萨依一带的超高压石榴石二辉橄榄岩及其围岩花岗质片麻岩共同组成了沿阿尔金南缘断续分布存在着一条早古生代超高压变质岩带.

本文锆石 U-Pb 定年同时限定了超高压变质的花岗质片麻岩的原岩岩浆结晶年龄介于 809±19 Ma 与 885±21 Ma 之间, 总体上与扬子板块北缘新元古代岩浆活动时间[30,31]一致, 但是两者之间是否具有成因联系则有待于进一步研究. 地球化学研究指示, 这些花岗质片麻岩原岩可能是中-上地壳重熔作用的产物[4] 1), 因此, 本文研究进一步证实阿尔金超高压变质岩石的形成是先存陆壳物质在早古生代(约 500 Ma)发生深俯冲作用的结果.

致谢 中国地质科学院离子探针室宋彪、张玉海、万渝生和陶华与中国地质科学院电子探针室周剑雄、陈振宇分别协助进行了锆石 SHRIMP 定年测定和阴极发光图像照相; 另外, 三位审稿人提出了很好的修改意见, 在此一并致谢. 本工作受国家重点基础研究发展规划项目(G1999075508)、国家自然科学基金(批准号: 40372088, 49972063, 140032010-c)、教育部骨干教师基金(40133020)资助.

参 考 文 献

1 刘良, 孙勇, 肖培喜, 等. 阿尔金发现超高压(>3.8 GPa)石榴二辉橄榄岩. 科学通报, 2002, 47(9): 657~662
2 Liu Liang, Sun Yong, Wang Yan, et al. Ultrahigh-P evidence of the country rocks of garnet lherzolite in Altyn Tagh Mountains, Northwest China. In: Cong B L, Wang Q C, et al, eds. International Workshop on Geophysics & Structure Geology of UHPM Terranes, 2002. 104~109
3 张建新, 杨经绥, 许志琴, 等. 阿尔金榴辉岩中超高压变质作用证据. 科学通报, 2002, 47(3): 231~234
4 刘良, 孙勇, 罗金海, 等. 阿尔金英格利萨依花岗质片麻岩超高压变质. 中国科学, D 辑, 2003, 33(12): 1184~1192
5 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. 地质学报, 2001, 75(2): 175~179
6 宋述光, 杨经绥. 柴北缘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. 地质学报, 2001, 33(1): 20~28
7 Chen D L, Sun Y, Liu L, et al. Study on reaction texture of eclogite and compositional zonation of garnets from Yuqiahe in the Northern Margin of Qaidam Basin. In: UHPM Workshop 2002, Geophysics & Structure Geology of UHPM terranes, 79~81

1) 见 2336 页脚注

万方数据 www.scichina.com

8 Zhang L F, Ellis D J, Jiang W B. Ultrahigh pressure metamorphism in western Tianshan, China, part Ⅰ: Evidences from the inclusion of coesite pseudomorphs in garnet and quartz exsolution lamellae in omphacite in eclogites. American Mineralogist, 2002, 87: 861~866

9 Zhang L F, Ellis D J, Williams S, et al. Ultrahigh pressure metamorphism in western Tianshan, China, part Ⅱ: Evidence from magnesite in eclogite. American Mineralogist, 2002, 87: 853~860

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. 地质学报, 2002, 76(4):484~495

11 Liu L, Sun Y, Chen D L, et al. Discovery of relic garnet in felsic metamorphic rocks of Qinling complex, North Qinling orogenic belt, China, In: Alice Wain Memorial western Norway Eclogite Field Symp, Selje, Western Norway, Abstr Vol 82. 2003

12 Liu L, Sun Y, Wang Y, et al. Ultrahigh-P evidence for the country rocks of garnet-bearing lherzolite in Altyn Tagh ——exsolution of clinopyroxene in the garnet of retrograde eclogite. In: Alice Wain Memorial western Norway Eclogite Field Symp, Selje, Western Norway, Abstr Vol 81. 2003

13 新疆维吾尔自治区地质矿产局, 新疆维吾尔自治区区域地质志. 北京: 地质出版社, 1993

14 张建新, 张泽明, 许志琴, 等. 阿尔金构造带西段榴辉岩的 Sm-Nd 及 U-Pb 年龄——阿尔金构造带中加里东期山根存在的证据. 科学通报, 1999, 44(10): 1109~1112

15 Zhang J X, Zhang Z M, Xu Z Q, et al. Petrology and geochronology of eclogite from the westernsegment of the Altyn Tagh, Northwestern China. Lithos, 2001, 56: 187~206

16 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. 地质学报, 1999, 73(3): 193~205

17 Liu L, Che Z C, Wang Y, et al. A discussion on the structure and tectonic evolution of the Altyn Tagh orogenic Zone. Earth sci Fron, 2000, 7 (Suppl): 206

18 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. 地质评论(增刊), 2002, 48: 26~30

19 Compston W, William I S, Kirschvink J L, et al. Zircon U-Pb ages of early Cabbrian time-scale. J Geol Soc, 1992, 149: 171~184

20 Williams I S, Claesson S. Isotope evidence for the Precambrian province and Caledonian metamorphicsm of high grade paragneiss from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonides, II. Ion microprobe zircon U-Th-Pb. Contrib Mineral Petrol, 1987, 97: 205~217

21 Liu J B, Ye K, Maruyama S, et al. Mineral Inclusions in Zircon from Gneisses in the Ultrahigh-pressure Zone of the Dabie Mountains, China. The Journal of Geology, 2001, 109: 523~535

22 Liu F L, Xu ZH Q, LIOU J H, et al. Ultrahigh-pressure mineral inclusions in zircons from geissic core samples of the Chinese Continental Scientific Drilling Site in eastern China. Eur J Mineral, 2002, 14: 499~512

23 Gebauer D, Lappin M A, Grunenfelder M. The age and origin of some Norwegian eclogites: A U-Pb zircon and REE study. Chemical Geology, 1985, 52: 227~248

24 吴元保, 陈道公, 夏群科, 等. 大别山黄土岭麻粒岩中锆石 LAM-ICP-MS 微区微量元素分析和 Pb-Pb 定年. 中国科学, D 辑, 2003, 33: 20~28

25 陈道公, 李彬贤, 夏群科, 等. 变质岩中锆石 U-Pb 计时问题评述——兼论大别造山带锆石定年. 岩石学报, 2001, 17(1): 129~138

26 Gebauer D, Lappin M A, Grunenfelder M. The age and origin of some Norwegian eclogites: A U-Pb zircon and REE study. Chemical Geology, 1985, 52: 227~248

27 Vavra G, gebauer D, Schmid R, et al. Multiple zircon growth and recrystallization during ployphase Late Carboniferous to Triassic metamorphism in granulites of the Ivrea Zone (Southern Alps): An ion microproble (SHRIMP) study. Contrib Mineral Petrol, 1996, 122: 337~358

28 Nasdala L, Gotze J, Pidgeon R T, et al. Constraining a SHRIMP U-Pb age: Micro-scale characterization of zircons from Saxonian Rotliegend rhyolites. Contrib Mineral Petrol, 1998, 132: 300~306

29 Chen D L, Liu L, Sun Y, et al. Silica-exsolution in eclogite from Altyn Tagh, NW China. In: Alice Wain Memorial western Norway Eclogite Field Symp, Selje, Western Norway, Abstr vol 81. 2003

30 Zhou M F, Kennedy AK, Sun M, et al. Neoproterozoic arc-related mafic intrusions along the northern margin of South China: Implications for the accretion of Rodinia. J Geol, 2002, 110: 611~618

31 Zheng Y F, Fu B, Gong B, et al. Stable isotope geochemistry of ultrahigh pressure metamorphic rocks from the Dabie-Sulu orogen in China: Implications for geodynamics and fluid regime. Earth Sci Rev, 2003, 62: 105~161

(2004-04-18 收稿, 2004-07-26 收修改稿)

万方数据 www.cnki.com.cn

阿尔金超高压花岗质片麻岩中锆石SHRIMP U-Pb定年及其地质意义

万方数据 WANFANG DATA 文献链接

作者： 张安达， 刘良， 孙勇， 陈丹玲， 王焰， 罗金海
作者单位： 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,西安,710069
刊名： 科学通报 ISTIC PKU
英文刊名： CHINESE SCIENCE BULLETIN
年，卷(期)： 2004,49(22)
被引用次数： 21次

参考文献(31条)

1. Williams I S;Claesson S Isotope evidence for the Precambrian province and Caledonian metamorphicsm of high grade paragneiss from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonides, II. Ion microprobe zircon U-Th-Pb[外文期刊] 1987

2. LIU Liang;SunYong;Wang Yan Ultrahigh-P evidence of the country rocks of garnet lherzolite in Altyn Tagh Mountains,Northwest China 2002

3. Chen D L;Sun Y;Liu L Study on reaction texture of eclogite and compositional zonation of garnets from Yuqiahe in the Northern Margin of Qaidam Basin 2002

4. 宋述光;杨经绥 柴北缘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[期刊论文]-地质学报 2001(01)

5. 杨经绥;宋述光;许志琴 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[期刊论文]-地质学报 2001(02)

6. 刘良;孙勇;罗金海 阿尔金英格利萨依花岗质片麻岩超高压变质[期刊论文]-中国科学D辑 2003(12)

7. Zheng Y F;Fu B;Gong B Stable isotope geochemistry of ultrahigh pressure metamorphic rocks from the Dabie-Sulu orogen in China:Implications for geodynamics and fluid regime[外文期刊] 2003(1/2)

8. Liu F L;Xu ZH Q;LIOU J H Ultrahigh-pressure mineral inclusions in zircons from gneissic core samples of the Chinese Continental Scientific Drilling Site in eastern China[外文期刊] 2002

9. Liu J B;Ye K;Maruyama S Mineral Inclusions in Zircon from Gneisses in the Ultrahigh-pressure Zone of the Dabie Mountains, China[外文期刊] 2001

10. Liu L;Sun Y;Chen D L Discovery of relic garnet in felsic metamorphic rocks of Qinling complex, North Qinling orogenic belt, China 2003

11. 杨经绥;许志琴;裴先治 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[期刊论文]-地质学报 2002(04)

12. Zhang L F;Ellis D J;Williams S Ultrahigh pressure metamorphism in western Tianshan, China, part Ⅱ: Evidence from magnesite in eclogite 2002

13. Zhang L F;Ellis D J;Jiang W B UltrahighpressuremetamorphisminwesternTianshan,China,part Ⅰ:Evidencesfromtheinclusionofcoesitepseudomorphsingarnet andquartzexsolutionlamellaeinomphaciteineclogites 2002

14. 刘良;孙勇;肖培喜 阿尔金发现超高压(>3.8 Gpa)石榴二辉橄榄岩[期刊论文]-科学通报 2002(09)

15. Zhou M F;Kennedy A K;Sun M Neoproterozoic arc-related mafic intrusions along the northern margin of South China:Implications for the accretion of Rodinia[外文期刊] 2002(5)

16. 张建新;杨经绥;许志琴 阿尔金榴辉岩中超高压变质作用证据[期刊论文]-科学通报 2002(03)

17. Chen D L;Liu L;Sun Y Silica-exsolution in eclogite from Altyn Tagh,NW China 2003

18. Nasdala L;Gotze J;Pidgeon R T Constraining a SHRIMP U-Pb age: Micro-scale characterization of zircons from Saxonian Rotliegend rhyolites 1998

19. Vavra G;gebauer D;Schmid R Multiple zircon growth and recrystallization during plophase Late Carboniferous to Triassic metamorphism in granulites of the Ivrea Zone (Southern Alps): An ion microproble (SHRIMP) study[外文期刊] 1996

20. Gebauer D;Lappin M A;Grunenfelder M The age and origin of some Norwegian eclogites: A U-Pb zircon and REE study 1985

21. 陈道公;李彬贤;夏群科 变质岩中锆石U-Pb计时问题评述-兼论大别造山带锆石定年[期刊论文]-岩石学报 2001(01)

22. 吴元保;陈道公;夏群科 大别山黄土岭麻粒岩中锆石LAM-ICP-MS微区微量元素分析和Pb-Pb定年[期刊论文]-中国科学d辑 2003(1)

23. Gebauer D;Lappin M A;Grunenfelder M The age and origin of some Norwegian eclogites: A U-Pb zircon and REE study 1985

24. Compston W;William I S;Kirschvink J L Zircon U-Pb ages of early Cabbrian time-scale 1992

25. 宋彪;张玉海;万渝生 锆石SHRIMP样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论 2002

26. Liu L;Che Z C;Wang Y A discussion on the structure and tectonic evolution of the Altyn Tagh orogenic Zone 2000(z1)

27. 许志琴;杨经绥;张建新 阿尔金断裂两侧构造单元的对比及岩石圈剪切机制 1999(03)

28. Zhang J X;Zhang Z M;Xu Z Q Petrology and geochronology of eclogite from the westernsegment of the Altyn Tagh 2001

29. 张建新;张泽明;许志琴 阿尔金构造带西段榴辉岩的Sm-Nd及U-Pb年龄--阿尔金构造带中加里东期山根存在的证据[期刊论文]-科学通报 1999(10)

30. 新疆维吾尔自治区地质矿产局 新疆维吾尔自治区区域地质志 1993

31. Liu L;Sun Y;Wang Y Ultrahigh-P evidence for the country rocks of garnet-bearing lherzolite in Altyn Tagh-exsolution of clinopyroxene in the garnet of retrograde eclogite 2003

本文读者也读过(3条)

1. 刘良. 张安达. 陈丹玲. 杨家喜. 罗金海. 王超. Liu Liang. Zhang Anda. Chen Danling. Yang Jiaxi. Luo Jinhai. Wang Chao 阿尔金江尕勒萨依榴辉岩和围岩锆石LA-ICP-MS微区原位定年及其地质意义[期刊论文]-地学前缘2007,14(1)

2. 丁兴. 陈培荣. 陈卫锋. 黄宏业. 周新民 湖南沩山花岗岩中锆石LA-ICPMS U-Pb定年:成岩启示和意义[期刊论文]-中国科学D辑 2005,35(7)

3. 夏群科. 郑永飞. 葛宁洁. Etienne Deloule 大别山北部黄土岭片麻岩的锆石U-Pb年龄和氧同位素组成:古老的原岩和多阶段历史[期刊论文]-岩石学报2003,19(3)

引证文献(24条)

1. 孙吉明. 马中平. 唐卓. 李向民 阿尔金南缘鱼目泉岩浆混合花岗岩LA-ICP-MS测年与构造意义[期刊论文]-地质学报 2012(2)

2. 马中平. 李向民. 徐学义. 孙吉明. 唐卓. 杜涛 南阿尔金山清水泉镁铁-超镁铁质侵入体LA-ICP-MS锆石U-Pb同位素定年及其意义[期刊论文]-中国地质 2011(4)

3. 陈丹玲. 刘良 北秦岭榴辉岩及相关岩石年代学的进一步确定及其对板片俯冲属性的约束[期刊论文]-地学前缘 2011(2)

4. 刘永顺. 于海峰. 修群业. 杨俊泉. 李铨 南阿尔金地区榴辉岩特征及意义[期刊论文]-岩石矿物学杂志 2010(2)

5. 刘永顺. 于海峰. 修群业. 杨俊泉. 李铨 南阿尔金地区榴辉岩特征及意义[期刊论文]-岩石矿物学杂志 2010(2)

6. 曹玉亭. 刘良. 王超. 杨文强. 朱小辉 阿尔金南缘塔特勒克布拉克花岗岩的地球化学特征、锆石U-Pb定年及Hf同位素组成[期刊论文]-岩石学报 2010(11)

7. 张建新. 孟繁聪. 于胜尧 两条不同类型的HP/LT和UHP变质带对祁连-阿尔金早古生代造山作用的制约[期刊论文]-岩石学报 2010(7)

8. 马中平. 孙吉明. 唐卓. 李向民. 徐学义. 雷永孝. 王立社. 段星星 阿尔金山南缘长沙沟-清水泉一带镁铁-超镁质杂岩体Cu-Ni-PGE含矿性讨论[期刊论文]-西北地质 2010(4)

9. 邬光辉. 张宝收. 郭春利. 王成林. 高辉 塔里木盆地北部志留系碎屑锆石测年及其地质意义[期刊论文]-大地构造与成矿学 2009(3)

10. 伍跃中. 王战. 过磊. 唐卓 阿尔金山西南段花岗岩类的时空变化与构造作用——来自钾钠含量变化的证据[期刊论文]-大地构造与成矿学 2009(4)

11. 马中平. 李向民. 孙吉明. 徐学义. 雷永孝. 王立社. 段星星 阿尔金山南缘长沙沟镁铁-超镁铁质层状杂岩体的发现与地质意义——岩石学和地球化学初步研究[期刊论文]-岩石学报 2009(4)

12. 刘良. 陈丹玲. 王超. 张成立 阿尔金、柴北缘与北秦岭高压-超高压岩石年代学研究进展及其构造地质意义[期刊论文]-西北大学学报（自然科学版） 2009(3)

13. 罗金海. 雷刚林. 刘良. 肖中尧. 魏红兴. 车自成 阿尔金构造带对塔东南油气地质条件的制约[期刊论文]-大地构造与成矿学 2009(1)

14. 刘永顺. 于海峰. 辛后田. 陆松年. 修群业. 李铨 阿尔金山地区构造单元划分和前寒武纪重要地质事件[期刊论文]-地质通报 2009(10)

15. 张建新. 于胜尧. 孟繁聪. 李金平 造山带中成对出现的高压麻粒岩与榴辉岩及其地球动力学意义[期刊论文]-岩石学报 2009(9)

16. 郭东升. 邬光辉. 张承泽. 张宝收 塔里木盆地基底碎屑锆石定年的证据[期刊论文]-西南石油大学学报 2008(5)

17. 朱小辉. 刘良. 陈丹玲. 王超 阿尔金清水泉花岗质片麻岩锆石LA-ICP-MSU-Pb定年及其地质意义[期刊论文]-矿物岩石地球化学通报 2008(z1)

18. 曹玉亭. 刘良. 陈丹玲. 王超 阿尔金清水泉地区泥质高压麻粒岩的确定及其变质时代[期刊论文]-矿物岩石地球化学通报 2008(z1)

19. 刘良. 张安达. 陈丹玲. 杨家喜. 罗金海. 王超 阿尔金江尕勒萨依榴辉岩和围岩锆石LA-ICP-MS微区原位定年及其地质意义[期刊论文]-地学前缘 2007(1)

20. 张建新. 孟繁聪. Mattinson C G 南阿尔金-柴北缘高压-超高压变质带研究进展、问题及挑战[期刊论文]-高校地质学报 2007(3)

21. 孙勇. 陈丹玲 超高压变质作用及大陆深俯冲--地球科学前沿述评[期刊论文]-西北大学学报（自然科学版） 2006(1)

22. 王超. 刘良. 车自成. 陈丹玲. 张安达. 罗金海 阿尔金南缘榴辉岩带中花岗片麻岩的时代及构造环境探讨[期刊论文]-高校地质学报 2006(1)

23. 张安达 阿尔金超高压榴辉岩及其围岩的地球化学、年代学研究及其地质意义[学位论文]博士 2006

24. 张利. 钟增球. 张宏飞. 王林森 从Pb同位素组成看东秦岭官坡超高压变质岩片的走势[期刊论文]-矿物岩石 2005(2)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_kxtb200422014.aspx