

doi:10.3799/dqkx.2016.048

# 柴北缘西段早古生代构造—热事件及其构造环境

查显锋<sup>1,2</sup>, 辜平阳<sup>1</sup>, 董增产<sup>1</sup>, 陈锐明<sup>1</sup>, 卢忠沅<sup>3</sup>

1. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西西安 710054

2. 国土资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室, 陕西西安 710054

3. 中石油塔里木油田分公司, 新疆库尔勒 841000

**摘要:** 柴北缘前寒武纪基底岩系发育、岩浆活动频繁, 对它们进行年代学研究与对比是探索区域构造过程与成因联系的有效手段。对达肯大坂岩群西段条带状混合片麻岩、黑云斜长片麻岩、二云斜长石英片岩及侵入其中的片麻状石英闪长岩进行了物质组成及变质—变形特征研究。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年代学测试均获得了达肯大坂岩群约 460 Ma 和约 430 Ma 两组峰值年龄信息。结合区域构造演化, 认为约 460 Ma 的次峰值年龄是柴北缘早古生代大陆深俯冲过程中构造—岩浆事件的地质记录; 而约 430 Ma 变质作用时代与片麻状石英闪长岩的结晶年龄 ( $429.0 \pm 4.1$  Ma) 基本一致, 结合片麻状石英闪长岩地球化学及达肯大坂岩群锆石稀土元素特征, 认为该期变质作用为同期岩浆事件导致的构造—热事件的响应。片麻状石英闪长岩具有明显亏损 Nb-Ta、Zr-Hf 等高场强元素, 富集 Pb, 指示了与板块俯冲作用相关的造山岩浆作用特征。该研究可为进一步揭示欧龙布鲁克地块西段早古生代构造—热事件的性质提供重要信息。

**关键词:** 欧龙布鲁克地块; 达肯大坂岩群; 锆石 U-Pb 测年; 构造—热事件; 构造地质。

中图分类号: P548

文章编号: 1000-2383(2016)04-0586-19

收稿日期: 2015-06-29

## Geological Record of Tectono-Thermal Event at Early Paleozoic and Its Tectonic Setting in West Segment of the North Qaidam

Zha Xianfeng<sup>1,2</sup>, Gu Pingyang<sup>1</sup>, Dong Zengchan<sup>1</sup>, Chen Ruiming<sup>1</sup>, Lu Zhongyuan<sup>3</sup>

1. Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an 710054, China

2. Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant Ore Deposits, Ministry of Land and Resources, Xi'an 710054, China

3. Tarim Oilfield Company, PetroChina, Korla 841000, China

**Abstract:** It is a valid approach to explore the tectonic evolution and origin by comparative chronological research of the rocks in the northern margin of Qaidam basin characterized by outcropped basement rocks and frequent magmatic activities. Dakendaban Rock Group (DRG) is one of the dominant crystal basement rocks of Oulongbuluke block. A study was carried out on material composition, deformation and metamorphism of the banded migmatitic gneiss, biotite plagioclase gneiss, two-mica plagioclase quartz schist sampled from the DRG, and the gneissic quartz diorite that intruded the DRG. The zircons from DRG samples yield nearly unanimous two peak age of about 460 Ma and peak age of about 430 Ma by LA-ICP-MS zircon U-Pb isotopic analyses. Combined with the regional tectonic processes, we maintain that the age of about 460 Ma is the geological response to the tectono-magmatism caused by ultradeep continental subduction in the North Qaidam. The metamorphic age about 430 Ma is consistent with the crystallization age ( $429.0 \pm 4.1$  Ma) of the gneissic quartz diorite. Combined the chronological data with geo-chronological analyses on the gneissic quartz diorite, and the zircon REE data from DRG samples, it proves that the metamorphism of about 430 Ma is closely related to the homochronous tectono-thermal event. The obvious depletion of HFSE, including Nb, Ta, Zr, Hf, and the Pb enrichment demonstrate that the characteristics of the gneissic quartz diorite are related to the plate subduction which formed the active continental margin. This study provides important information for further revealing

基金项目: 中国地质调查局项目(No.1212011121193); 国家青年自然科学基金项目(No.41002063)。

作者简介: 查显锋(1984—), 男, 硕士, 助理研究员, 主要从事构造地质学及区域地质相关专业。E-mail: zha\_xianfeng@126.com

引用格式: 查显锋, 辜平阳, 董增产, 等, 2016. 柴北缘西段早古生代构造—热事件及其构造环境. 地球科学, 41(4): 586—604.

the tectonic properties and the evolution of the tectono-thermal event at Early Paleozoic in western Oulongbuluke block.

**Key words:** Oulongbuluke block; Dakendaban Rock Group; zircon U-Pb dating; tectono-thermal event; tectonic geology.

欧龙布鲁克地块位于青藏高原北缘,围限于阿尔金构造带、柴达木地块和祁连造山带的三角地带,呈NW向狭长带状展布,发育柴北缘超高压变质带,北以宗务隆构造带与祁连造山带相隔,向西被阿尔金左行走滑断裂带截切。欧龙布鲁克地块构造位置重要、基底岩系发育,记录了丰富的构造、岩浆演化信息,是了解古老地壳演化、地球动力学过程等方面的重要场所。近年来,研究人员在欧龙布鲁克地块的基底岩系的物质组成(陆松年等,2002a;陈能松等,2007b;Gong et al.,2012)、古老片麻岩及高压—超高压变质作用(张建新等,2001,2007,2011;陆松年等,2002a; Wan et al.,2006;辛后田等,2006;陈能松等,2007a,2007b; Chen et al.,2009a,2009b; Wang et al.,2009;杨经绥等,2009; Yang et al.,2012)等方面取得了长足进展,

为基底构造归属及构造过程(Chen et al.,2009a,2009b,2012;Gong et al.,2012;刘永江等,2012)等方面探讨提供了大量资料。

区内1:50 000地质调查表明,达肯大坂岩群经历了多期岩浆活动的改造,并发育强烈的混合岩化作用。本文针对达肯大坂岩群的不同岩石类型进行锆石U-Pb同位素年代学研究,并与早古生代构造—岩浆过程进行对比,结合岩浆岩地球化学特征,以期为探讨达肯大坂岩群变质年代、成因及构造背景提供依据。

## 1 区域地质背景

研究区位于欧龙布鲁克地块的西段(图1),出

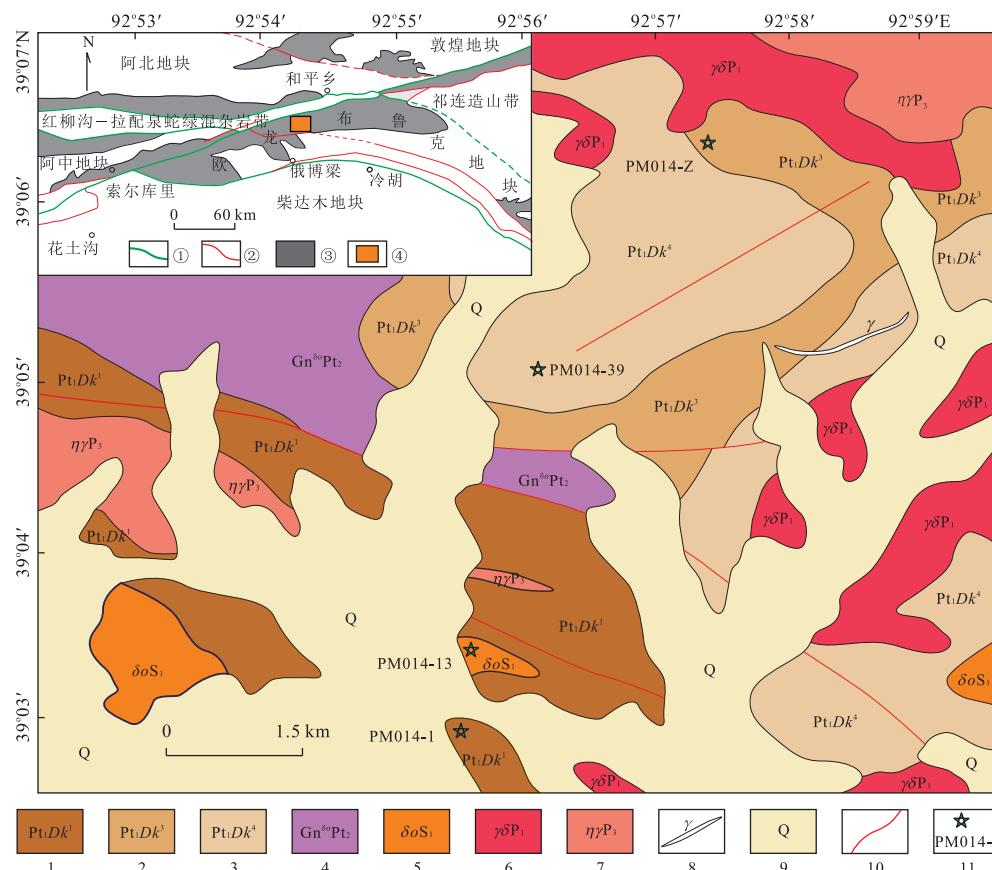


图1 欧龙布鲁克地块西段地质略图

Fig.1 The sketch of western Oulongbuluke block

①边界断裂;②主要断裂;③基底岩系出露区;④研究区位置;1.达肯大坂岩群混合片麻岩岩段;2.达肯大坂岩群条带状片麻岩岩段;3.达肯大坂岩群片岩岩带;4.中元古代石英闪长质片麻岩;5.早志留世片麻状石英闪长岩;6.早二叠世花岗闪长岩;7.晚二叠世二长花岗岩;8.花岗岩脉;9.第四系;10.断层;11.采样位置及编号

露的地质体主要有:古元古代达肯大坂岩群、中元古代石英闪长质片麻岩、早志留世片麻状石英闪长岩、早二叠世花岗闪长岩、晚二叠世二长花岗岩等。

区内达肯大坂岩群主要由一套中高级变质岩系组成,主要包括片麻岩、片岩及大理岩等,其形成时代为古元古代(辛后田等,2006;黄婉等,2011)。陆松年等(2002a)将达肯大坂岩群进一步厘定为4种不同的岩石组合:斜长角闪岩—二长花岗片麻岩—混合岩组合、不含榴辉岩的表壳岩组合、与榴辉岩共生的表壳岩组合以及新元古代花岗片麻岩组合。近年来,在欧龙布鲁克西段和阿尔金东段开展的1:50 000大柴沟等6幅区域地质调查对区内达肯大坂岩群进行了细化(查显锋等,2013),在研究区主要出露混合片麻岩岩段、(混合岩化)流变片麻岩岩段、条带状片麻岩岩段、片岩岩段。野外考察结果表明,混合片麻岩、流变片麻岩与条带状片麻岩呈渐变接触关系,由于受到强烈的岩浆作用改造,多呈不规则状零星出露;混合片麻岩多被后期岩体强烈改造(董增产等,2015),局部发育不均匀、不规则的残留体;条带状片麻岩与片岩露头较为广泛,局部片岩中发育片麻岩夹层,弱变形的片岩中可见砂状结构,表明其为副变质岩。

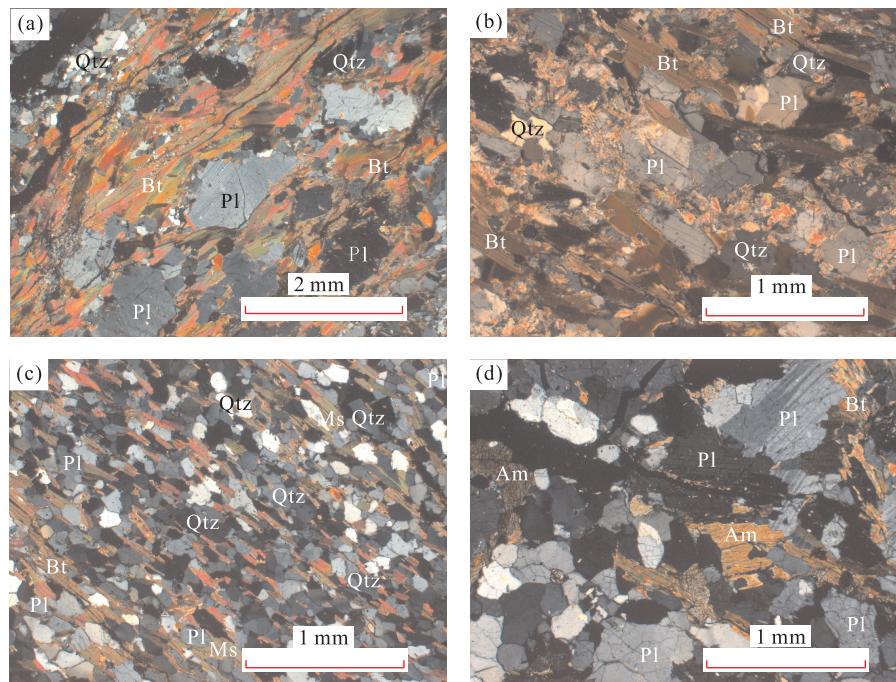


图2 条带状混合片麻岩(a)、黑云斜长片麻岩(b)、二云母斜长石英片岩(c)和片麻状石英闪长岩(d)显微照片(+)

Fig.2 The micrographs of banded-migmatitic gneiss (a), biotite plagioclase gneiss (b) from DRG, two-mica plagioclase quartz schist (c) from DRG and gneissic quartz diorite (d) (+)

Bt.黑云母;Pl.斜长石;Qtz.石英;Am.角闪石;Ms.白云母

前人研究表明,达肯大坂岩群遭受了中元古代、新元古代、早古生代等多期岩浆侵入(辛后田等,2006;陈能松等,2007a;吴珍汉等,2007;Zhang et al.,2009)。而早古生代是区域构造演化的重要时期,一些研究表明早古生代大规模的岩浆事件及变质变形作用可能与大陆深俯冲过程相关(孟繁聪等,2005;吴珍汉等,2007;杨经绥等,2009)。

## 2 野外地质及样品特征

本文测年样品采自达肯大坂岩群条带状混合片麻岩(PM014-1)、黑云斜长片麻岩(PM014-Z)、二云斜长石英片岩(PM014-39)和片麻状石英闪长岩(PM014-13)(图1)。

条带状混合片麻岩(PM014-1),多呈不规则状零星出露,条带状构造、片麻状构造,鳞片—粒状变晶结构、似斑状变晶结构(图2a)。变斑晶由斜长石(30%)组成,基质由长英质(35%~40%)、黑云母(20%左右)及少量磷灰石组成。

黑云斜长片麻岩(PM014-Z),岩石为深灰色,片麻状构造,鳞片粒状变晶结构,露头上混合岩化强烈,局部夹斜长角闪岩透镜体,柔流褶皱发育。主要

由斜长石(38%)、石英(43%)、黑云母(18%)及少量磷灰石组成,矿物定向明显(图2b)。

二云斜长石英片岩(PM014-39),岩石为深灰色,局部可见两期面理叠加现象,整体发育晚期片理的褶皱构造(查显锋等,2013)。显微镜下呈片状构造,鳞片一粒状变晶结构(图2c),变余碎屑结构。主要由斜长石(22%)、石英(39%)、黑云母(28%)、白云母(5%左右)及少量磷灰石组成。长英质矿物粒径多小于0.5 mm,沿片理方向定向排列,有时聚集呈团块状。

片麻状石英闪长岩(PM014-13),岩石为灰色—浅灰绿色,片麻状构造,变余花岗结构,主要由斜长石(60%)、石英(<10%)、角闪石(16%)、黑云母(10%左右)及少量榍石组成(图2d),矿物粒径多为1.6~4.0 mm,斜长石局部发育弱绢云母化。岩体露头常见黑云斜长片麻岩、斜长角闪岩、黑云石英片岩等规模不等的捕掳体。

### 3 测试方法

锆石U-Pb测年在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。将人工重砂分离出的锆石颗粒固定在环氧树脂表面并抛光,之后对待测锆石进行透射光、反射光及阴极发光(CL)照相,以有助于锆石具体测定部位的选定及后期数据的解释。锆石U-Pb测年工作在连接Geolas-139型紫外激光剥蚀系统的Ggilient 7500型ICP-MS上进行。实验中采样He作为剥蚀物质的载气,激光束斑直径为30 μm,频率为6 Hz,采用单点剥蚀。详细分析步骤参考相关文献(Liu et al., 2007; Diwu et al., 2008)。

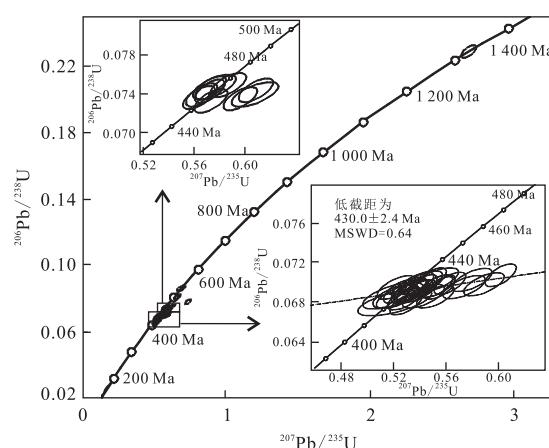


图3 条带状混合片麻岩(PM014-1)锆石谐和年龄和频谱

Fig.3 The concordia diagram and the histogram of zircons from banded migmatitic gneiss (PM014-1)

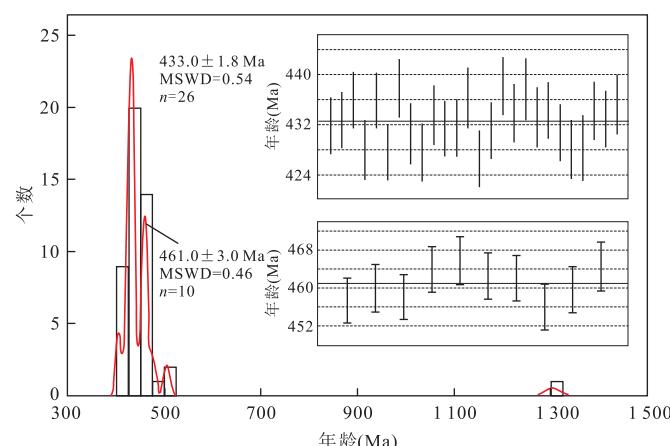
主量、微量及稀土元素测试均在中国地质调查局西安地质矿产研究所实验测试中心完成。主量元素采用 Axios型XRF分析。微量及稀土元素采用Xseries-II型ICP-MS分析测试。

### 4 测试结果

#### 4.1 达肯大坂岩群锆石U-Pb测年

条带状混合片麻岩(PM014-1)中的锆石多呈浑圆状,CL图像显示具有核—幔一边或核—幔结构。获得的锆石U-Pb谐和年龄频谱图主要有两个集中区(图3,表1):427~438 Ma(26个测点)和456~466 Ma(10个测点),此外还有约410 Ma、约500 Ma和约1321 Ma的锆石年龄信息。427~438 Ma这一年龄集中区的锆石,加权平均年龄为433.0±1.8 Ma(MSWD=0.54,n=26),测点多位于锆石增生边(图4),锆石Th/U值较低,多小于0.20,少数可达0.60,可能是后期热事件叠加而形成的变质锆石。450~463 Ma年龄的锆石,加权平均年龄为461.0±3.0 Ma(MSWD=0.46,n=10),测点多位于锆石幔部,CL图像总体较暗,Th/U值集中于0.14~0.62,获得约1321 Ma的锆石具有明显的核—幔一边结构(图4),测点35位于锆石核部,Th/U为0.73,其幔部年龄为464 Ma(测点⑩),Th/U为0.14。

达肯大坂岩群黑云斜长片麻岩(PM014-Z)中的锆石多呈浑圆状,获得的LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄主要分布于457~466 Ma和432~438 Ma两个集中区,还有约2546 Ma、1898~2276 Ma、943~1166 Ma及384~408等年龄信息(图5)。432~438 Ma这一集中区的锆石,加权平均年龄为435.0±





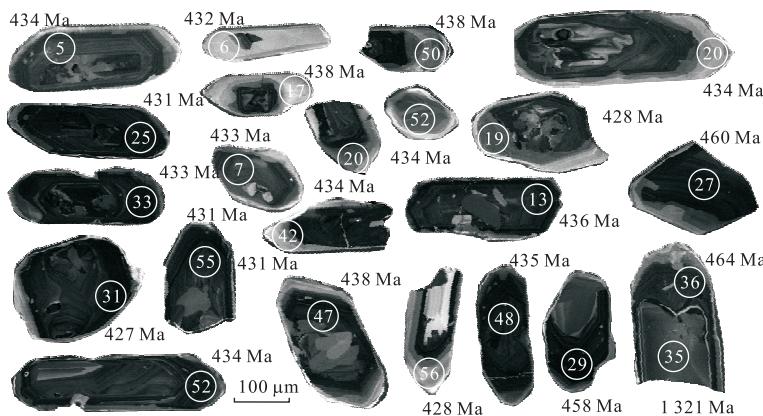


图4 条带状混合片麻岩(PM014-1)锆石CL图像

Fig.4 The CL images of zircons from banded migmatitic gneiss (PM014-1)

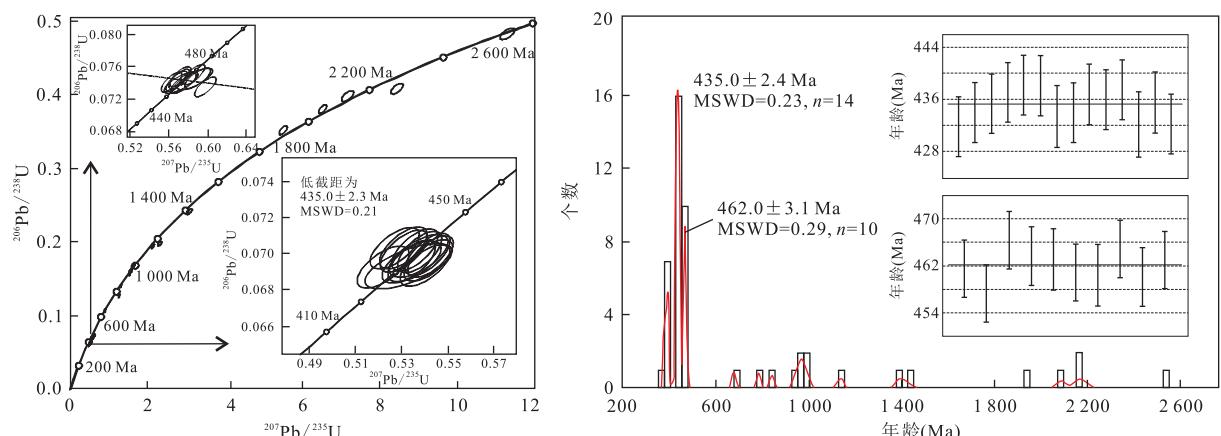


图5 黑云斜长混合片麻岩(PM014-Z)锆石U-Pb年龄谐和图和频谱

Fig.5 The concordia diagram and the histogram of zircons from biotite plagioclase gneiss (PM014-Z)

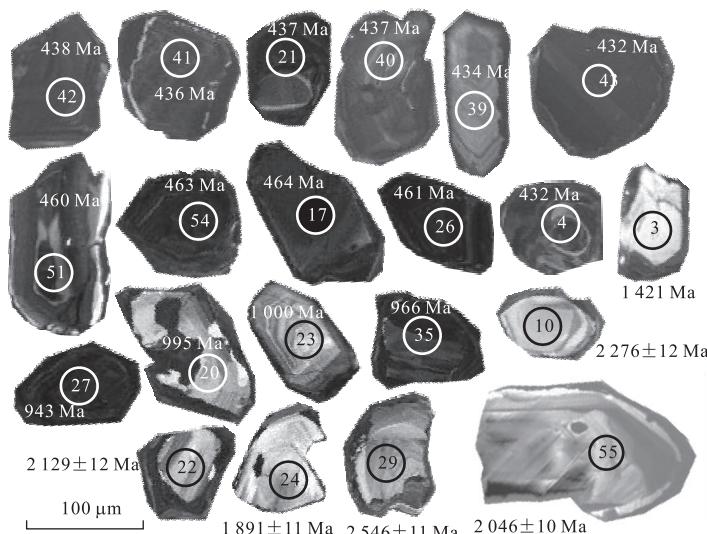


图6 黑云斜长混合片麻岩(PM014-Z)锆石CL图像

Fig.6 The CL images of zircons from biotite plagioclase gneiss (PM014-Z)

表 2 达肯大坂岩群黑云斜长混合片麻岩(PM014-Z)LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测试结果

Table 2 LA-ICP-MS zircon U-Pb isotopic analysis of biotite plagioclase gneiss (PM014-Z) of the DRG

测点	同位素比值						同位素年龄(Ma)						含量(10 <sup>-6</sup> )			
	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U		<sup>208</sup> Pb/ <sup>238</sup> U		<sup>207</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th		<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U		<sup>208</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th	Th/U	
比值	1 $\sigma$	比值	1 $\sigma$	比值	1 $\sigma$	比值	1 $\sigma$	年龄	1 $\sigma$	年龄	1 $\sigma$	年龄	1 $\sigma$	Th	Pb	
PM014-Z-01	0.0549	0.0013	0.561	0.010	0.0742	0.0008	0.0231	0.0003	406	52	452	6	462	5	488.3	105.8
PM014-Z-03	0.0919	0.0022	3.053	0.052	0.2409	0.0029	0.0685	0.0008	1466	45	1421	13	1391	15	1338	105.8
PM014-Z-04	0.0537	0.0013	0.548	0.010	0.0740	0.0008	0.0267	0.0003	357	55	444	6	461	5	533	105.8
PM014-Z-05	0.0600	0.0013	0.607	0.008	0.0733	0.0008	0.0242	0.0003	603	46	482	5	456	5	484	105.8
PM014-Z-06	0.0569	0.0013	0.544	0.009	0.0693	0.0008	0.0242	0.0003	486	50	441	6	432	5	483	105.8
PM014-Z-10	0.1499	0.0034	8.286	0.126	0.4010	0.0049	0.1091	0.0015	2344	38	2263	14	2174	23	2093	105.8
PM014-Z-11	0.0567	0.0012	0.544	0.008	0.0696	0.0008	0.0212	0.0002	481	48	441	5	434	5	423	105.8
PM014-Z-13	0.0693	0.0017	1.534	0.026	0.1605	0.0019	0.0475	0.0005	908	48	944	10	960	10	937	105.8
PM014-Z-14	0.0569	0.0013	0.585	0.009	0.0746	0.0008	0.0234	0.0003	468	50	464	5	467	5	516.3	105.8
PM014-Z-15	0.0548	0.0014	0.460	0.009	0.0699	0.0007	0.0209	0.0002	403	55	384	6	381	4	412	105.8
PM014-Z-16	0.0599	0.0014	0.913	0.014	0.1105	0.0012	0.0344	0.0004	600	49	659	7	676	7	683	105.8
PM014-Z-17	0.0569	0.0014	0.535	0.009	0.0682	0.0008	0.0197	0.0002	488	53	435	6	425	5	394	105.8
PM014-Z-18	0.0568	0.0015	0.473	0.009	0.0604	0.0007	0.0212	0.0003	482	57	393	7	378	4	423	105.8
PM014-Z-19	0.0572	0.0019	0.581	0.017	0.0736	0.0010	0.0248	0.0004	500	73	465	11	458	6	496	105.8
PM014-Z-20	0.0688	0.0018	1.576	0.032	0.1662	0.0020	0.0303	0.0009	892	54	961	13	991	11	993	105.8
PM014-Z-21	0.0551	0.0013	0.522	0.008	0.0687	0.0008	0.0210	0.0002	415	49	426	5	419	5	287.8	105.8
PM014-Z-22	0.1301	0.0033	0.129	0.135	0.3974	0.0054	0.1119	0.0024	2099	43	1218	17	2157	25	2289	105.8
PM014-Z-23	0.0709	0.0018	1.598	0.031	0.1634	0.0020	0.0524	0.0008	955	52	969	12	976	11	1032	105.8
PM014-Z-24	0.11132	0.0026	5.471	0.087	0.3504	0.0043	0.1028	0.0014	1852	41	1896	14	1937	20	1977	105.8
PM014-Z-25	0.0550	0.0013	0.528	0.009	0.0696	0.0008	0.0215	0.0002	413	51	431	6	434	5	429	105.8
PM014-Z-26	0.0549	0.0012	0.525	0.007	0.0693	0.0008	0.0206	0.0002	409	48	428	5	432	5	413	105.8
PM014-Z-27	0.0696	0.0015	1.507	0.020	0.1570	0.0017	0.0494	0.0006	918	43	933	8	940	10	975	105.8
PM014-Z-28	0.0544	0.0013	0.556	0.010	0.0740	0.0008	0.0228	0.0003	389	54	449	6	460	5	455	105.8
PM014-Z-29	0.1693	0.0035	11.238	0.142	0.4814	0.0055	0.1338	0.0016	2551	35	2543	12	2533	24	2538	105.8
PM014-Z-31	0.0876	0.0027	2.991	0.077	0.2475	0.0035	0.0785	0.0019	1374	58	1405	20	1426	18	1527	105.8
PM014-Z-33	0.0565	0.0012	0.489	0.007	0.0628	0.0007	0.0219	0.0003	470	48	404	5	392	4	437	105.8
PM014-Z-35	0.0698	0.0015	1.551	0.019	0.1613	0.0018	0.0484	0.0006	921	42	951	8	964	10	955	105.8
PM014-Z-36	0.0557	0.0013	0.576	0.008	0.0750	0.0008	0.0234	0.0003	441	49	462	5	466	5	468	105.8
PM014-Z-39	0.0560	0.0017	0.531	0.013	0.0688	0.0008	0.0214	0.0004	451	65	433	9	429	5	428	105.8
PM014-Z-40	0.0559	0.0013	0.534	0.008	0.0694	0.0008	0.0222	0.0002	448	50	435	5	432	5	444	105.8
PM014-Z-41	0.0565	0.0012	0.535	0.007	0.0689	0.0008	0.0222	0.0003	435	47	435	5	443	5	443	105.8
PM014-Z-42	0.0563	0.0012	0.542	0.007	0.0697	0.0008	0.0214	0.0003	465	48	440	5	435	5	428	105.8
PM014-Z-43	0.0556	0.0013	0.533	0.008	0.0695	0.0008	0.0220	0.0002	437	49	434	5	433	5	440	105.8
PM014-Z-44	0.0551	0.0022	0.567	0.020	0.0746	0.0010	0.0232	0.0005	417	85	456	13	464	6	463	105.8
PM014-Z-46	0.0558	0.0016	0.539	0.012	0.0701	0.0008	0.0218	0.0004	444	61	438	8	437	5	436	105.8
PM014-Z-47	0.0776	0.0019	2.060	0.036	0.1925	0.0023	0.0539	0.0008	1137	48	1136	12	1135	12	1158	105.8
PM014-Z-48	0.0696	0.0017	1.237	0.022	0.1290	0.0015	0.0452	0.0005	916	49	818	10	782	9	894	105.8
PM014-Z-49	0.0569	0.0013	0.543	0.009	0.0693	0.0008	0.0226	0.0003	485	51	441	6	432	5	451	105.8
PM014-Z-51	0.0568	0.0014	0.544	0.010	0.0698	0.0008	0.0226	0.0003	481	54	441	6	433	5	451	105.8
PM014-Z-52	0.0620	0.0016	0.648	0.012	0.0759	0.0009	0.0245	0.0003	673	53	507	7	471	5	490	105.8
PM014-Z-53	0.0650	0.0015	1.245	0.020	0.1391	0.0016	0.0433	0.0006	773	49	821	9	839	9	856	105.8
PM014-Z-54	0.0553	0.0012	0.572	0.008	0.0751	0.0008	0.0216	0.0003	423	49	460	5	467	5	431	105.8
PM014-Z-55	0.1234	0.0026	6.495	0.079	0.3819	0.0042	0.1238	0.0017	2005	37	2045	11	2085	20	2359	105.8
PM014-Z-56	0.0614	0.0015	0.588	0.010	0.0694	0.0008	0.0239	0.0003	655	51	469	6	432	5	477	105.8

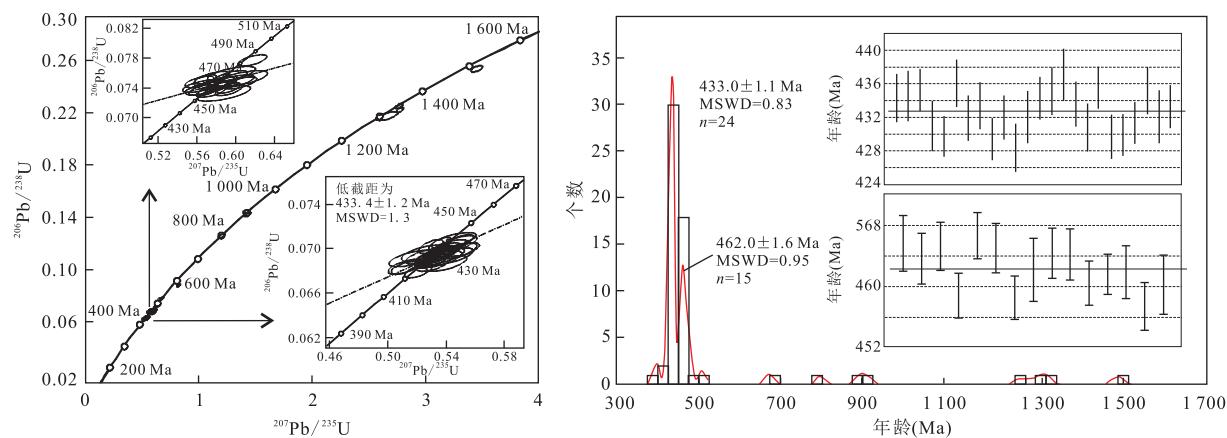


图7 达肯大坂岩群二云斜长石英片岩(PM014-39)锆石年龄谐和图和频谱

Fig.7 Concordia diagram and the histogram of zircons from two-mica plagioclase quartz schist (PM014-39)

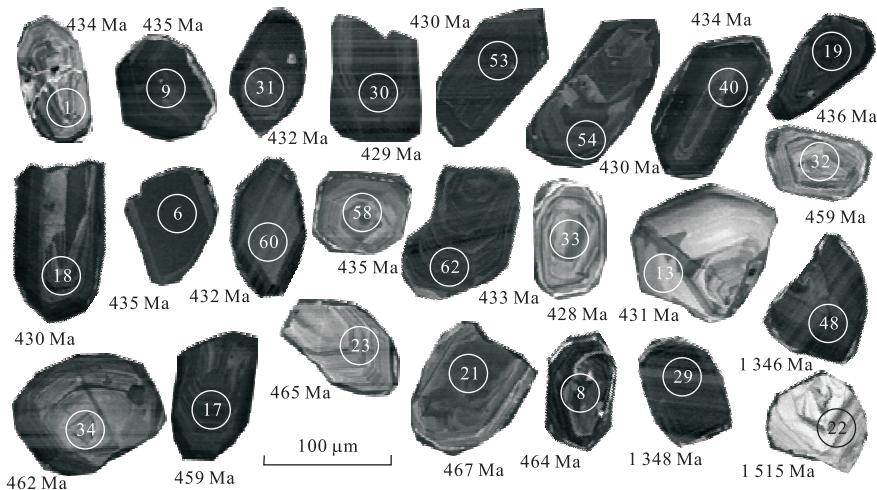


图8 达肯大坂岩群二云斜长石英片岩(PM014-39)锆石CL图像

Fig.8 The CL images of zircons from two-mica plagioclase quartz schist (PM014-39)

2.4 Ma (MSWD=0.23,  $n=14$ ),该组锆石多呈半自形、不规则状;CL图像总体较暗(图6),显示弱震荡环带、面状分带、无分带等变质锆石的CL特征(Wu and Zheng, 2004);锆石具有较低的Th/U值,多集中于0.26~0.48(表2),少数达1.46.456~467 Ma为次峰值年龄,加权平均年龄为462.0±3.1 Ma (MSWD=0.29,  $n=10$ ),锆石呈不规则状,CL图像较暗,发育弱震荡环带或熔蚀结构, Th/U值为0.27~1.02,与年龄集中于940~991 Ma的这类锆石具有类似的特征。1 896~2 263 Ma的测点多位于锆石核部(图6测点⑩、⑫、⑯),具有较明亮的CL图像特征, Th/U值较分散(0.15~0.82),为早期变质事件的记录;还获得了2 543 Ma的锆石年龄信息(图6测点⑰),CL图像明亮,发育弱震荡环带及增生边结构,测点位于锆石核部, Th/U值为0.53,代

表了残留锆石年龄信息。

达肯大坂岩群二云斜长石英片岩(PM014-39)锆石U-Pb同位素年龄也表现出428~436 Ma和457~467 Ma两个明显的集中区,少数约900 Ma、1 317~1 346 Ma等区间年龄信息(图7)。主峰期年龄为428~436 Ma,加权平均年龄为433.0±1.1 Ma (MSWD=0.83,  $n=24$ ),锆石多呈柱状—浑圆状;锆石CL图像总体较暗,呈面状、云雾状,少数CL图像较亮,发育弱震荡环带(图8),显示变质锆石的结构特征;Th/U值为0.25~0.84(表3),表明其为高温变质或岩浆成因的锆石特征(Carson et al., 2002)。452~473 Ma为次峰值区间,加权平均年龄为462.0±1.6 Ma (MSWD=0.95,  $n=15$ ),锆石具有类似的形态结构及CL影像特征, Th/U值为0.34~0.81。

表 3 达肯大坂岩群二云斜长石英片岩(PM014-39)LA-ICP-MS 锯石 U-Pb 同位素测试结果

Table 3 LA-ICP-MS zircon U-Pb isotopic analysis of two-mica plagioclase quartz schist (PM014-39) of the DRG

测点	同位素比值										同位素年龄(Ma)						Th/U			
	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$					
	比值	$1\sigma$	比值	$1\sigma$	比值	$1\sigma$	比值	$1\sigma$	年龄	$1\sigma$	年龄	$1\sigma$	年龄	$1\sigma$	Th	U	Pb			
PM014-39-01	0.055 7	0.001 3	0.525	0.009	0.068 5	0.000 8	0.020 7	0.000 2	438	52	429	6	427	5	414	5	295.9	460.7	94.9	0.64
PM014-39-02	0.057 4	0.001 9	0.533	0.016	0.075 0	0.000 9	0.023 4	0.000 4	507	70	473	10	466	6	468	9	86.3	197.5	109.1	0.44
PM014-39-04	0.066 4	0.001 8	1.010	0.021	0.110 4	0.001 3	0.036 2	0.000 5	818	56	709	11	675	8	719	9	254.3	351.0	165.2	0.72
PM014-39-05	0.054 6	0.001 2	0.509	0.007	0.067 6	0.000 7	0.017 2	0.000 2	396	48	418	5	422	4	345	4	520.0	1342.0	79.2	0.39
PM014-39-06	0.056 1	0.002 1	0.574	0.019	0.074 2	0.001 0	0.022 3	0.000 4	456	80	461	12	462	6	447	8	316.7	405.4	103.9	0.78
PM014-39-08	0.059 1	0.001 4	0.593	0.009	0.072 9	0.000 8	0.022 9	0.000 2	570	50	473	6	453	5	457	5	440.3	595.7	104.4	0.74
PM014-39-09	0.055 4	0.001 2	0.532	0.007	0.069 7	0.000 8	0.021 2	0.000 2	428	47	433	5	434	5	423	5	414.4	1179.7	96.9	0.35
PM014-39-10	0.055 0	0.001 4	0.564	0.011	0.074 5	0.000 8	0.022 0	0.000 3	411	55	454	7	463	5	441	5	296.4	447.0	101.2	0.66
PM014-39-11	0.056 1	0.001 8	0.589	0.016	0.076 2	0.000 9	0.023 3	0.000 4	454	69	470	10	473	6	466	8	83.5	142.9	108.2	0.58
PM014-39-12	0.066 1	0.001 7	1.201	0.022	0.131 8	0.001 5	0.036 5	0.000 6	810	52	801	10	798	9	724	11	160.3	433.9	167.5	0.37
PM014-39-13	0.054 9	0.001 6	0.524	0.012	0.069 3	0.000 8	0.021 3	0.000 3	407	63	428	8	432	5	426	6	146.0	242.8	98.4	0.60
PM014-39-14	0.067 3	0.001 6	1.409	0.024	0.151 9	0.001 7	0.044 5	0.000 5	847	49	883	10	912	10	880	10	161.1	192.3	201.7	0.84
PM014-39-15	0.056 1	0.001 2	0.562	0.008	0.072 6	0.000 8	0.022 4	0.000 2	458	48	453	5	452	5	448	5	449.0	1047.3	102.3	0.43
PM014-39-16	0.055 6	0.001 2	0.533	0.007	0.069 5	0.000 8	0.021 2	0.000 2	434	47	434	5	433	5	424	5	421.3	1458.0	97.2	0.29
PM014-39-17	0.055 5	0.001 3	0.560	0.009	0.073 2	0.000 8	0.023 0	0.000 3	433	52	451	6	455	5	460	5	271.9	628.5	105.6	0.43
PM014-39-18	0.055 8	0.001 2	0.525	0.007	0.068 3	0.000 7	0.021 7	0.000 2	443	47	429	5	426	4	433	5	389.7	1916.2	99.1	0.20
PM014-39-19	0.056 4	0.001 4	0.535	0.009	0.068 9	0.000 8	0.021 9	0.000 3	466	53	435	6	430	5	439	5	251.5	655.8	100.8	0.38
PM014-39-20	0.055 6	0.001 3	0.526	0.009	0.068 7	0.000 8	0.020 6	0.000 2	437	52	429	6	428	5	412	4	405.9	542.9	94.3	0.75
PM014-39-21	0.055 0	0.001 3	0.531	0.008	0.070 1	0.000 8	0.021 3	0.000 2	412	50	433	5	437	5	427	5	464.6	700.3	97.7	0.66
PM014-39-22	0.096 2	0.002 1	3.542	0.051	0.267 3	0.003 0	0.077 8	0.000 9	1551	41	1537	11	1527	15	1514	17	111.9	201.3	346.9	0.56
PM014-39-23	0.056 3	0.001 5	0.581	0.011	0.074 9	0.000 9	0.023 7	0.000 3	462	56	465	7	465	5	472	6	159.5	295.0	108.6	0.54
PM014-39-26	0.056 7	0.001 5	0.543	0.010	0.069 6	0.000 8	0.021 4	0.000 3	478	56	441	7	434	5	427	5	254.1	362.0	98.0	0.70
PM014-39-29	0.088 3	0.001 8	2.837	0.031	0.233 1	0.002 5	0.044 1	0.000 4	1390	38	1366	8	1351	13	873	8	709.5	1660.7	199.8	0.43
PM014-39-30	0.055 1	0.001 2	0.527	0.008	0.069 4	0.000 8	0.021 4	0.000 3	418	49	430	5	433	5	428	5	472.0	1340.9	98.1	0.35
PM014-39-31	0.055 6	0.001 4	0.535	0.010	0.069 9	0.000 8	0.020 3	0.000 2	435	54	435	6	435	5	407	5	320.8	494.3	93.5	0.65
PM014-39-32	0.058 8	0.001 4	0.566	0.009	0.069 8	0.000 8	0.022 2	0.000 3	559	49	455	6	435	5	443	5	415.7	754.3	101.4	0.55
PM014-39-33	0.056 0	0.001 4	0.538	0.010	0.069 7	0.000 8	0.022 3	0.000 3	452	56	437	7	434	5	445	6	273.6	488.6	102.3	0.56
PM014-39-34	0.059 6	0.002 0	0.620	0.017	0.075 5	0.001 0	0.023 0	0.000 4	589	70	490	11	469	6	459	7	255.4	354.7	106.4	0.72
PM014-39-35	0.058 3	0.001 6	0.609	0.013	0.075 9	0.000 9	0.022 5	0.000 3	539	61	483	9	471	5	450	6	145.0	220.2	103.9	0.66
PM014-39-37	0.056 1	0.001 6	0.535	0.012	0.069 1	0.000 8	0.021 9	0.000 3	457	62	435	8	431	5	438	7	142.9	341.2	101.3	0.42
PM014-39-38	0.058 7	0.001 4	0.520	0.009	0.064 3	0.000 7	0.010 8	0.000 1	556	52	425	6	402	4	217	3	475.1	607.3	50.4	0.78
PM014-39-39	0.058 0	0.001 6	0.595	0.013	0.074 5	0.000 9	0.025 2	0.000 4	529	61	474	8	463	5	502	7	105.9	231.6	115.9	0.46
PM014-39-40	0.055 9	0.001 2	0.535	0.008	0.069 4	0.000 8	0.018 2	0.000 2	447	48	435	5	433	5	365	4	647.5	911.8	83.5	0.71
PM014-39-41	0.057 0	0.001 5	0.548	0.011	0.069 7	0.000 8	0.021 8	0.000 3	491	57	443	7	434	5	435	5	240.2	373.8	100.0	0.64

3

测点	同位素比值						同位素年龄(Ma)						含量( $10^{-6}$ )	Th/U						
	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$								
比值	$1\sigma$	比值	$1\sigma$	比值	$1\sigma$	比值	$1\sigma$	比值	$1\sigma$	比值	$1\sigma$	比值	$1\sigma$	年龄	$1\sigma$	年龄	$1\sigma$	年龄	$1\sigma$	
PM014-39-42	0.061 6	0.001 9	0.530	0.015	0.069 5	0.000 9	0.023 2	0.000 4	660	65	471	10	433	5	464	7	234.9	425.8	107.4	0.55
PM014-39-43	0.059 3	0.001 4	0.570	0.009	0.069 7	0.000 8	0.021 4	0.000 2	580	50	458	6	434	5	428	5	329.5	506.6	98.0	0.65
PM014-39-44	0.055 8	0.001 4	0.531	0.009	0.069 1	0.000 8	0.019 9	0.000 2	444	54	433	6	431	5	399	4	533.8	611.0	91.4	0.87
PM014-39-46	0.056 3	0.001 5	0.535	0.011	0.069 0	0.000 8	0.020 3	0.000 2	462	58	435	7	430	5	407	5	457.6	564.1	93.4	0.81
PM014-39-47	0.057 1	0.001 3	0.549	0.008	0.069 7	0.000 8	0.021 7	0.000 2	495	48	444	5	434	5	434	5	496.3	1270.8	99.4	0.39
PM014-39-48	0.086 5	0.001 8	2.748	0.032	0.230 7	0.000 5	0.052 4	0.000 5	1349	39	1342	9	1338	13	1032	10	492.7	899.5	236.1	0.55
PM014-39-49	0.057 9	0.001 4	0.591	0.010	0.074 1	0.000 8	0.022 2	0.000 3	524	52	471	6	461	5	444	5	286.0	428.2	101.7	0.67
PM014-39-50	0.057 8	0.001 5	0.614	0.011	0.077 2	0.000 9	0.025 6	0.000 3	520	54	486	7	479	5	510	6	182.2	415.2	117.2	0.44
PM014-39-51	0.056 2	0.001 6	0.576	0.012	0.074 4	0.000 9	0.024 0	0.000 4	461	61	462	8	462	5	479	8	87.6	266.4	111.1	0.33
PM014-39-53	0.055 7	0.001 3	0.528	0.009	0.068 7	0.000 8	0.021 3	0.000 3	441	52	430	6	429	5	427	5	286.0	658.2	97.9	0.43
PM014-39-54	0.055 7	0.001 3	0.529	0.008	0.069 0	0.000 8	0.020 0	0.000 2	440	50	431	5	430	5	401	4	488.4	998.5	91.9	0.49
PM014-39-55	0.085 7	0.002 8	2.632	0.073	0.222 8	0.003 1	0.068 9	0.001 3	1332	62	1310	20	1297	16	1347	25	43.2	71.9	314.4	0.60
PM014-39-56	0.060 5	0.002 4	0.586	0.020	0.070 3	0.001 0	0.023 1	0.000 5	622	82	469	13	438	6	461	9	139.7	261.5	107.9	0.53
PM014-39-57	0.055 6	0.001 2	0.522	0.007	0.068 2	0.000 7	0.020 6	0.000 2	435	48	427	5	425	4	412	4	571.5	861.3	94.2	0.66
PM014-39-58	0.055 7	0.001 4	0.536	0.009	0.069 9	0.000 8	0.021 8	0.000 3	440	54	436	6	435	5	435	5	221.9	383.9	99.9	0.58
PM014-39-59	0.056 9	0.001 3	0.574	0.008	0.073 2	0.000 8	0.023 5	0.000 3	488	48	461	5	456	5	470	5	467.7	1342.0	107.5	0.35
PM014-39-60	0.055 9	0.001 7	0.536	0.013	0.069 6	0.000 8	0.023 0	0.000 4	449	66	436	9	434	5	460	8	110.4	269.0	106.8	0.41
PM014-39-61	0.056 2	0.001 7	0.568	0.014	0.073 5	0.000 9	0.023 4	0.000 4	458	65	457	9	457	5	466	8	105.7	290.4	108.3	0.36
PM014-39-62	0.056 5	0.001 3	0.538	0.008	0.069 0	0.000 8	0.022 0	0.000 3	473	49	437	5	430	5	439	5	542.0	1488.1	100.6	0.37
PM014-39-63	0.058 0	0.001 9	0.655	0.018	0.081 9	0.001 0	0.026 2	0.000 5	531	70	512	11	507	6	523	9	85.7	176.1	121.7	0.49
PM014-39-64	0.056 6	0.001 6	0.570	0.012	0.073 1	0.000 8	0.023 2	0.000 3	473	60	458	8	455	5	464	6	159.2	290.8	106.9	0.55
PM014-39-65	0.056 8	0.001 3	0.540	0.009	0.069 0	0.000 8	0.021 7	0.000 2	481	51	438	6	430	5	433	5	437.8	706.2	99.1	0.62
PM014-39-66	0.058 3	0.001 6	0.605	0.013	0.075 3	0.000 9	0.024 0	0.000 3	539	59	480	8	468	5	480	6	223.8	379.0	110.4	0.59
PM014-39-67	0.059 7	0.001 5	0.571	0.010	0.069 5	0.000 8	0.022 7	0.000 3	593	52	459	7	433	5	453	6	297.7	856.9	104.1	0.35
PM014-39-68	0.056 4	0.001 6	0.566	0.013	0.072 8	0.000 9	0.023 5	0.000 3	467	63	455	8	453	5	470	7	205.7	354.8	108.4	0.58
PM014-39-69	0.069 7	0.001 6	1.427	0.021	0.148 5	0.001 6	0.044 2	0.000 5	921	46	900	9	893	9	873	9	345.7	199.7	0.87	

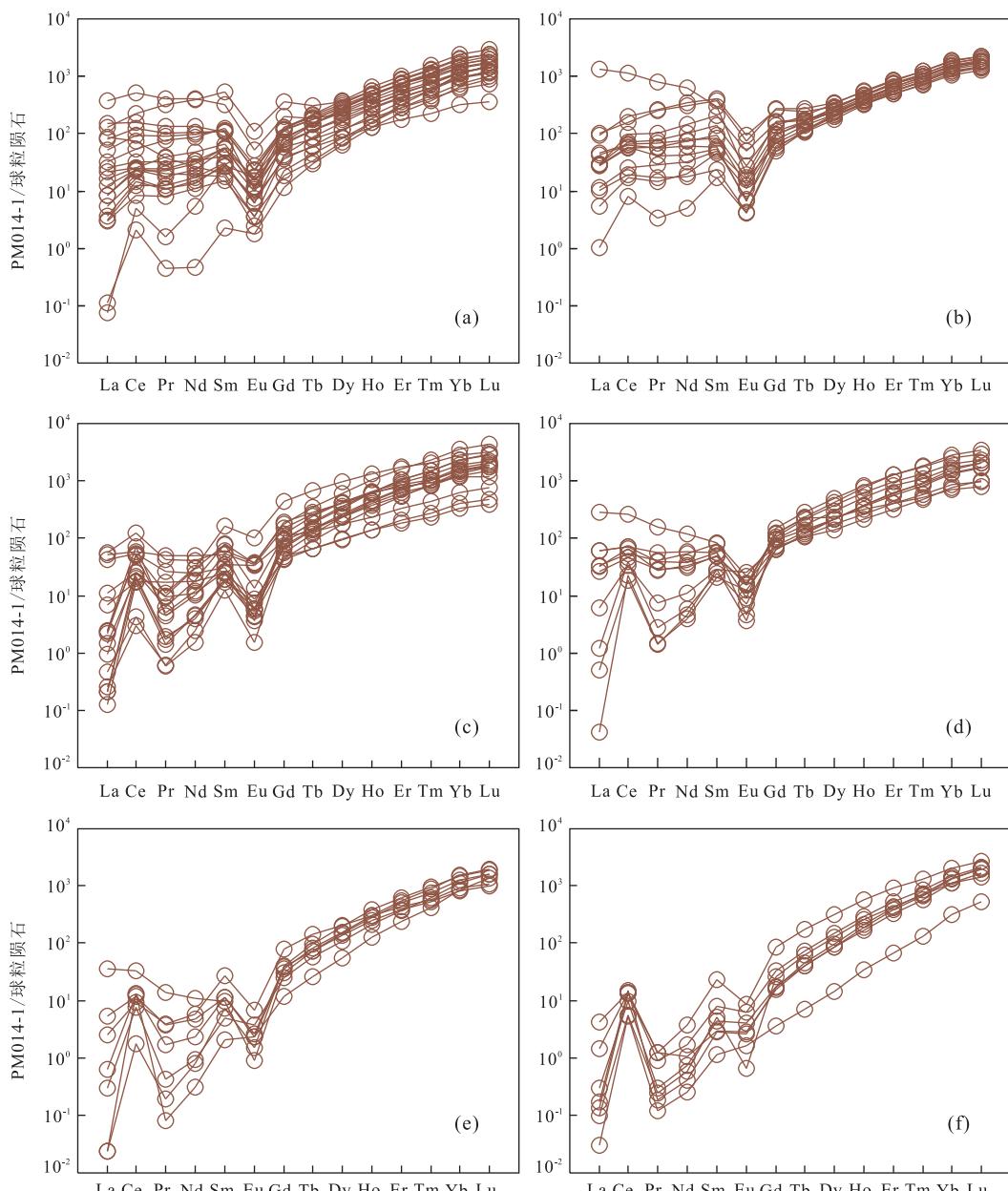


图 9 达肯大坂岩群中不同岩性中约 430 Ma(a,c,e)和约 460 Ma(b,d,f)锆石稀土元素配分模式对比

Fig.9 Chondrite-normalized REE patterns of the zircons samples with about 430 Ma (a, c, e) and about 460 Ma (b, d, f) from DRG

球粒陨石标准化数值据 Sun and McDonough(1989)

## 4.2 达肯大坂岩群约 460 Ma 与约 430 Ma 两组锆石的稀土元素特征

达肯大坂岩群约 430 Ma 与约 460 Ma 两个年龄段的锆石稀土元素球粒陨石标准化配分图解(图 9)显示:条带状黑云混合片麻岩(PM014-1)422~439 Ma 与 450~478 Ma 两组锆石稀土配分模式近一致(图 9a, 9b),但前者稀土总量较低( $579 \times 10^{-6}$ ),且 HREE 分异明显;黑云斜长混合片麻岩(PM014-Z)425~435 Ma 与 456~471 Ma 锆石稀土

配分模式基本相同,前者 HREE 分异明显(图 9c, 9d);二云斜长石英片岩(PM014-39)422~438 Ma 与 452~479 Ma 两组锆石稀土配分模式也近一致(图 9e, 9f),前者 LREE 分异更为明显,且稀土总量( $731 \times 10^{-6}$ )明显大于后者( $564 \times 10^{-6}$ ),后者为更陡倾的左倾特征( $(Sm/Yb)_N$  分别为 0.02 和 0.07)。总体看,达肯大坂岩群中这两期锆石均具有重稀土富集、正 Ce、负 Eu 异常的特征,指示其具有岩浆锆石的稀土元素特征(Rubatto, 2002; Rubatto and

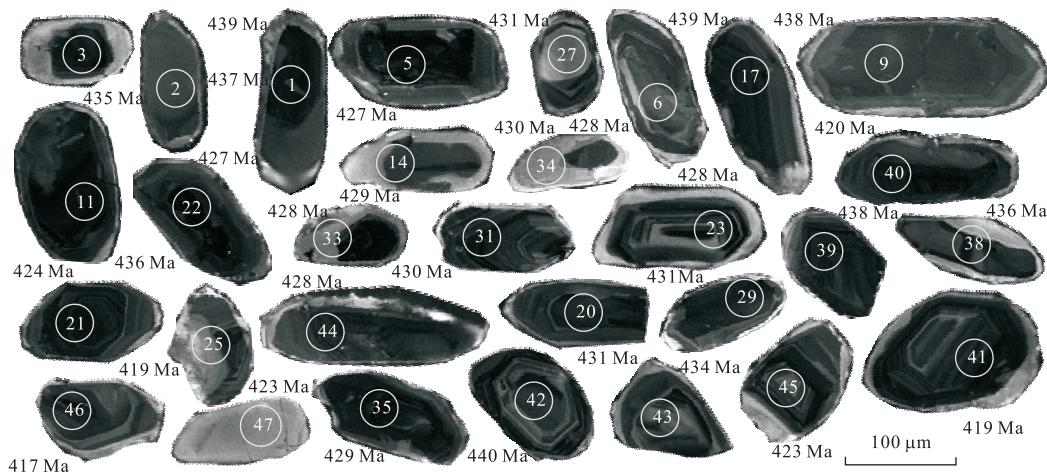


图 10 片麻状石英闪长岩(PM014-13)锆石 CL 图像

Fig.10 The CL images of the zircons from gneissic quartz diorite (PM014-13)

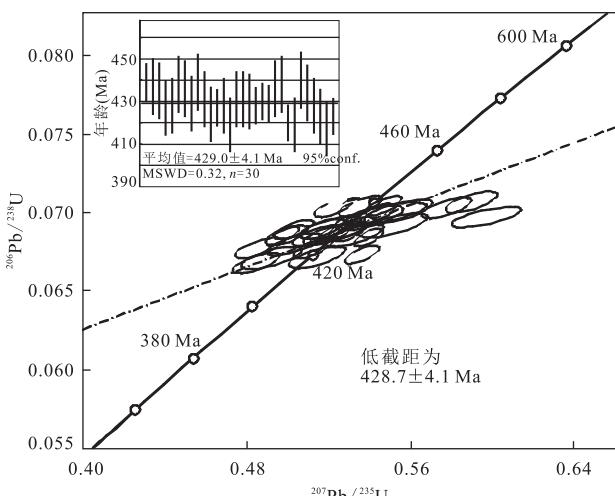


图 11 片麻状石英闪长岩(PM014-13)锆石谐和年龄

Fig.11 The concordia diagram of the zircons from gneissic quartz diorite (PM014-13)

Hermann, 2003).

### 4.3 石英闪长岩锆石 U-Pb 测年

片麻状石英闪长岩(PM014-13)的中获得锆石多柱状自形结构, 震荡环带发育(图 10), 个别 CL 图像呈灰白色面状结构。年龄为 417~440 Ma, 谐和年龄为  $428.0 \pm 4.0$  Ma, 与加权平均年龄  $429.0 \pm 4.1$  Ma ( $\text{MSWD} = 0.32, n = 30$ ) 在误差范围内一致(图 11)。Th/U 值分布在 0.17~1.38, 多集中于 0.4~0.7(表 4), 可认为该年龄代表该片麻状石英闪长岩的结晶年龄, 为早志留世。

### 4.4 石英闪长岩地球化学特征

主量元素组成相对稳定,  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TiO}_2$ 、

$\Sigma\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$  和  $\text{K}_2\text{O}$  含量分别为  $53.02\% \sim 56.29\%$ 、 $17.90\% \sim 19.41\%$ 、 $1.11\% \sim 1.29\%$ 、 $7.54\% \sim 8.54\%$ 、 $3.17\% \sim 3.53\%$ 、 $6.08\% \sim 7.87\%$ 、 $3.09\% \sim 4.21\%$  和  $1.11\% \sim 3.10\%$ (表 5)。全碱含量为  $4.38\% \sim 7.31\%$ , 4 个样品的里特曼指数  $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}) / (\text{SiO}_2 - 43)$  为  $1.51\% \sim 2.57\%$  属钙碱性系列, 另外两个为  $4.18\%$  和  $4.70\%$ , 属碱性系列; A/CNK 为  $0.84 \sim 0.94$ , 为准铝质岩石。岩石  $\text{FeO}^*/\text{MgO}$  比值为  $2.38 \sim 2.56$ 。

片麻状石英闪长岩(PM014-13-1~6)微量元素含量如表 5 所示。稀土元素总量为  $174.6 \times 10^{-6} \sim 255.8 \times 10^{-6}$ , 球粒陨石标准化 REE 配分图解显示为 LREE 富集的配分型式(图 12),  $\text{LREE}/\text{HREE} = 3.57 \sim 6.02$ , 轻重稀土分异明显;  $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$  为  $3.62 \sim 6.03$ ,  $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$  为  $13.05 \sim 25.27$ ; 具有弱 Eu 负异常,  $\delta\text{Eu}$  为  $0.74 \sim 0.81$ , 显示了斜长石分离结晶作用。微量元素蛛网图表明石英闪长岩具有明显的 Nb-Ta、Zr-Hf、Sr 等高场强元素亏损, 富集 Pb(图 12)。

## 5 讨论

### 5.1 达肯大坂岩群年代学

目前, 对欧龙布鲁克地块基底岩系的年代学研究较为深入, 已获得德令哈杂岩中的正片麻岩年龄为  $2412 \pm 14$  Ma 和  $2366 \pm 10$  Ma(陆松年等, 2002a), 并将德令哈达肯大坂岩群的形成时代限定

表 4 片麻状石英闪长岩(PM014-13)LA-ICP-MS 错石 U-Pb 同位素测试结果

Table 4 LA-ICP-MS zircon U-Pb isotopic analysis of gneissic quartz diorite (PM014-Z)

测点	同位素比值						同位素年龄(Ma)						含量(10 <sup>-6</sup> )		
	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$\text{Th/U}$	$\text{U}$	$\text{Pb}$	
比值	$1\sigma$	比值	$1\sigma$	比值	$1\sigma$	比值	$1\sigma$	年龄	$1\sigma$	年龄	$1\sigma$	年龄	$1\sigma$	年龄	
P13-01	0.056 2	0.000 8	0.547	0.006	0.070 5	0.000 4	0.021 7	0.000 2	461	14	443	4	439	2	434
P13-02	0.057 3	0.001 3	0.554	0.011	0.070 1	0.000 5	0.021 3	0.000 3	503	31	448	7	437	3	427
P13-03	0.062 1	0.001 2	0.597	0.011	0.069 8	0.000 4	0.021 5	0.000 1	677	43	475	7	435	3	429
P13-05	0.054 4	0.001 0	0.514	0.008	0.068 6	0.000 4	0.021 6	0.000 2	386	24	421	5	427	3	433
P13-06	0.056 3	0.001 1	0.533	0.010	0.068 6	0.000 5	0.020 6	0.000 2	464	28	434	6	428	3	413
P13-09	0.053 9	0.000 8	0.523	0.006	0.070 4	0.000 4	0.020 3	0.000 2	365	17	427	4	438	3	405
P13-11	0.056 8	0.001 4	0.548	0.013	0.070 0	0.000 5	0.021 7	0.000 1	485	56	444	9	436	3	435
P13-14	0.055 5	0.000 9	0.526	0.007	0.068 8	0.000 4	0.021 3	0.000 2	431	20	429	5	429	3	426
P13-17	0.055 2	0.000 9	0.536	0.007	0.074	0.000 4	0.021 8	0.000 2	418	18	436	5	439	3	437
P13-20	0.055 8	0.000 9	0.531	0.008	0.069 1	0.000 4	0.020 4	0.000 2	444	20	433	5	431	3	408
P13-21	0.053 7	0.001 1	0.503	0.009	0.068 0	0.000 5	0.019 4	0.000 2	356	27	414	6	424	3	389
P13-22	0.057 2	0.000 7	0.540	0.005	0.068 5	0.000 4	0.021 2	0.000 1	499	10	438	3	427	2	425
P13-23	0.054 9	0.001 0	0.519	0.008	0.068 6	0.000 4	0.019 8	0.000 2	409	22	425	5	428	3	396
P13-25	0.055 6	0.001 1	0.514	0.009	0.067 2	0.000 5	0.021 8	0.000 4	434	28	421	6	419	3	436
P13-27	0.057 8	0.001 3	0.552	0.011	0.069 2	0.000 5	0.021 2	0.000 3	524	32	446	7	431	3	423
P13-29	0.054 7	0.001 1	0.521	0.010	0.069 1	0.000 5	0.019 9	0.000 2	400	30	426	7	431	3	399
P13-31	0.054 3	0.000 9	0.517	0.007	0.069 0	0.000 4	0.020 5	0.000 2	385	20	423	5	430	3	411
P13-33	0.052 6	0.000 7	0.497	0.005	0.068 6	0.000 4	0.019 9	0.000 2	312	14	410	4	428	2	398
P13-34	0.053 0	0.000 8	0.503	0.006	0.069 0	0.000 4	0.019 8	0.000 2	327	18	414	4	430	2	397
P13-35	0.056 0	0.000 7	0.531	0.005	0.068 8	0.000 4	0.020 4	0.000 1	452	13	432	4	429	2	407
P13-38	0.056 2	0.000 9	0.542	0.007	0.070 0	0.000 4	0.024 9	0.000 3	461	19	440	5	436	3	497
P13-39	0.059 6	0.001 0	0.577	0.008	0.070 3	0.000 4	0.021 5	0.000 2	589	20	463	5	438	3	430
P13-40	0.057 8	0.000 8	0.536	0.005	0.067 4	0.000 4	0.020 9	0.000 2	522	13	436	4	420	2	418
P13-41	0.053 2	0.001 2	0.492	0.010	0.067 2	0.000 5	0.018 8	0.000 2	336	32	406	7	419	3	376
P13-42	0.060 6	0.001 0	0.590	0.008	0.070 7	0.000 5	0.020 8	0.000 2	624	20	471	5	440	3	417
P13-43	0.056 2	0.001 3	0.540	0.011	0.069 7	0.000 5	0.020 7	0.000 2	461	32	438	7	434	3	413
P13-44	0.052 9	0.000 8	0.499	0.007	0.068 6	0.000 4	0.017 0	0.000 2	323	19	411	5	428	3	340
P13-45	0.052 0	0.000 9	0.486	0.008	0.067 8	0.000 4	0.018 4	0.000 2	287	25	402	5	423	3	368
P13-46	0.052 7	0.000 9	0.485	0.008	0.066 8	0.000 4	0.019 2	0.000 2	314	24	401	5	417	3	384
P13-47	0.054 9	0.000 8	0.512	0.006	0.067 8	0.000 4	0.019 0	0.000 2	408	16	420	4	423	2	380

表5 片麻状石英闪长岩主量元素(%)与微量元素( $10^{-6}$ )化学组成Table 5 Major element compositions (%) and trace element compositions ( $10^{-6}$ ) of gneissic quartz diorite

样品	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$\Sigma$ Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> T	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	烧失量	总计
1	53.62	18.54	8.50	7.87	3.53	1.22	3.25	0.11	1.21	0.27	1.55	99.67
2	54.36	17.90	7.54	6.08	3.17	3.10	4.21	0.10	1.15	0.26	2.15	100.02
3	53.35	19.41	8.54	7.51	3.33	1.87	3.29	0.10	1.29	0.29	1.20	100.18
4	53.02	18.11	8.25	6.35	3.44	2.84	3.63	0.10	1.24	0.28	2.38	99.64
5	56.29	18.03	7.84	6.83	3.18	1.48	3.09	0.09	1.11	0.26	1.56	99.76
6	55.69	18.39	7.70	7.23	3.17	1.11	3.27	0.09	1.12	0.25	2.07	100.09
样品	Cr	Ni	Rb	Ba	Th	U	Nb	Ta	La	Ce	Pr	Nd
1	19.6	9.76	16.8	398	3.58	1.01	12.4	0.68	52.8	99.2	10.6	39.0
2	21.9	9.51	84.0	705	2.48	0.87	12.2	0.76	38.6	70.2	8.5	34.9
3	14.9	8.80	23.6	450	2.56	0.88	14.3	0.93	38.0	67.3	8.4	34.5
4	55.1	18.90	55.3	635	3.49	0.99	13.3	0.86	42.3	80.4	9.4	38.4
5	19.5	8.43	34.7	397	9.32	1.16	12.0	0.74	64.8	112.0	11.3	42.6
6	20.1	9.42	24.4	380	3.89	1.05	10.9	0.59	46.4	82.0	10.1	35.6
样品	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Li	Be
1	7.47	1.70	6.22	0.98	4.71	1.00	2.52	0.34	2.08	0.32	11.8	2.69
2	6.63	1.65	5.60	0.90	4.40	0.91	2.33	0.33	1.89	0.29	16.1	2.25
3	6.79	1.72	5.87	0.95	4.76	0.98	2.53	0.35	2.09	0.32	18.3	2.49
4	7.11	1.73	6.04	0.97	4.78	1.01	2.57	0.36	2.16	0.32	14.2	2.38
5	6.94	1.65	5.77	0.91	4.27	0.86	2.28	0.31	1.84	0.30	18.3	2.49
6	6.43	1.55	5.51	0.81	4.31	0.88	2.26	0.30	1.79	0.28	13.7	2.49
样品	Sc	V	Co	Cu	Pb	Zn	Ga	Ge	Cs	Y	Sr	Hf
1	15.1	152	37.6	16.5	9.26	101.0	25.8	1.22	1.02	25.8	544	4.36
2	17.8	133	28.9	18.1	5.70	84.1	23.3	1.13	1.66	24.1	363	4.17
3	20.8	154	32.7	22.5	10.30	101.0	26.7	1.13	1.29	26.1	502	4.17
4	19.2	146	34.0	19.2	6.71	99.6	24.5	1.16	1.55	26.5	403	5.17
5	18.3	139	37.5	16.5	103.00	90.4	26.9	1.15	1.09	23.2	528	5.29
6	17.0	142	39.2	21.6	9.46	113.0	26.5	1.17	1.06	23.0	594	3.37

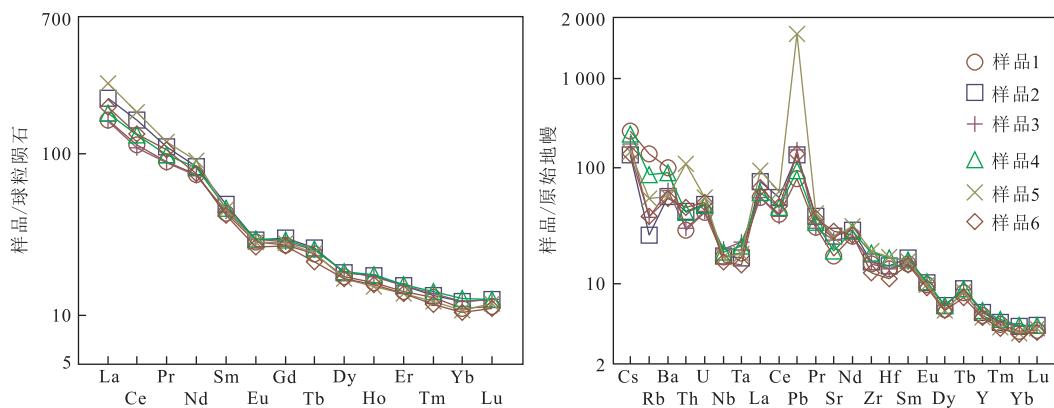


图12 片麻状石英闪长岩稀土元素球粒陨石标准化配分图解与微量元素原始地幔标准化蛛网图

Fig.12 Chondrite-normalized REE patterns and primitive-mantle normalized spidergram for gneissic quartz diorite  
标准化数据 Sun and McDonough(1989)

于2.43~2.47 Ga(Wang *et al.*, 2008);获得欧龙布鲁克地块不同部位古侵入体2.37~2.39 Ga的U-Pb同位素年代,Gong *et al.*(2012)认为这期岩浆作用是地壳增厚下地壳部分熔融的结果.另外,副片麻岩中的约1.93 Ga变质年龄可能与Columbia超级大

陆的汇聚相关(Wang *et al.*, 2009).而对于获得的900~1 000 Ma的年龄,区域上前人认为是一期绿片岩相的变质事件,是Rodinia超大陆汇聚事件的响应(陈能松等,2007a),代表了欧龙布鲁克地块最后克拉通化的记录(Wang *et al.*, 2008).一些学者根

据基底岩系的年龄信息对欧龙布鲁克地块的归属进行了探讨:与扬子陆块具有亲缘性(陈能松等,2007b)、早元古代与华北板块具有相似性(Gong *et al.*,2012)、新元古代表现出亲塔里木古大陆的特征(陆松年等,2002b)、与 Columbia 超大陆的汇聚和裂解作用相关(Wang *et al.*,2009)等。

来自德令哈地区欧龙布鲁克地块结晶基底的年代数据(Wang *et al.*,2008; Chen *et al.*,2009a,2009b; Gong *et al.*,2012)主要集中在中—新元古代及少量的新太古代碎屑锆石的年龄信息。本次获得的3个样品的年龄频谱(图3,图5,图7)与这些资料存在明显不同:只保留了较少的古老年龄信息,多数年龄集中在早古生代,明显有约460 Ma与约430 Ma两个峰值年龄段。研究表明,柴北缘于440~495 Ma(Yang *et al.*,2002; 史仁灯等,2003; 许志琴等,2003; 张建新等,2007; 杨经绥等,2009; 刘永江等,2012)经历了超高压变质作用,并作为一个整体共同经历了深俯冲和快速折返过程(Zhang *et al.*,2004; Mattinson *et al.*,2006; 宋述光等,2011)。区域上,柴北缘古生代花岗岩出露广泛,吴才来等(2004)对柴北缘超高压带中的花岗岩进行了期次划分,并认为这期岩浆作用(平均年龄为473 Ma)为俯冲作用诱发的部分熔融作用的结果。

条带状混合片麻岩野外地质特征显示强混合岩化,变质程度明显区别于区内的早古生代岩体。达肯大坂岩群中约460 Ma的次峰值年龄的锆石多呈短柱状—不规则状,CL图像较暗,少数浅色并发育弱震荡环带、核—幔结构,Th/U值分散(0.15~0.84),综合表明达肯大坂岩群中约460 Ma年龄为柴北缘早古生代大陆深俯冲过程中构造—岩浆事件的地质记录。

达肯大坂岩群的峰期年龄集中于422~437 Ma,柴北缘同期变质年龄也有大量报导:如锡铁山地区433~435 Ma的变质事件(孟繁聪等,2005;宋述光等,2011);中—低压麻粒岩—高角闪岩相423~427 Ma的变质年龄(Zhang *et al.*,2009);鱼卡地区与早古生代俯冲作用相关的431~436 Ma变质年龄(Chen *et al.*,2009a,2009b);都兰地区422~449 Ma(榴辉岩相)变质作用年龄(Mattinson *et al.*,2006,2009; Yu *et al.*,2013),这表明同期变质事件在区域上广泛发育。达肯大坂岩群中约430 Ma年龄段锆石具有弱震荡环带、多发育核—幔—边结构、CL图像较暗、面状分带等特征,总体反映变质锆石的结构特征;综合锆石形态、Th/U值

(0.05~0.84)及锆石稀土元素特征,笔者认为这类锆石具有高温变质作用的特征。

## 5.2 石英闪长岩的构造环境及其与同期构造—热事件的关系

片麻状石英闪长岩岩石 $\text{FeO}^*/\text{MgO}$ 比值为2.38~2.56,在 $\text{TiO}_2\text{-}\text{FeO}^*/\text{MgO}$ 图解(Allen,2000)上其投影点非常集中地落在大陆岛弧区域内。微量元素蛛网图表明石英闪长岩具有明显的Nb-Ta,Zr-Hf等高场强元素亏损,富集Rb、Ba、Tu、U、Pb等大离子亲石元素(图11),显示出板块俯冲作用有关的岩浆岩特征(Altherr *et al.*,2008; Boari *et al.*,2009);在Rb-(Y+Nb)和Nb-Y判别图解上(Pearce *et al.*,1984),石英闪长岩样品均落入岛弧岩浆岩区,这些均指示其形成于与俯冲作用相关的活动大陆边缘环境。

已有的研究表明,柴北缘早古生代岩浆活动频繁,并与板块俯冲作用相关(吴才来等,2004;吴珍汉等,2007; Wu *et al.*,2009),为俯冲—碰撞过程中地壳增厚部分熔融的产物(吴才来等,2004; 孟繁聪等,2005)。本次获得的年代学资料与吴才来等(2004)对柴北缘超高压带中的花岗岩年代学期次(平均年龄分别为473 Ma、446 Ma和397 Ma)有一定差异,可能为欧龙布鲁克地块在不同地段构造—岩浆活动的时间差异所致。

达肯大坂岩群峰期年龄与片麻状石英闪长岩的结晶年龄近一致。达肯大坂岩群~430 Ma的锆石多具有变质成因的内部结构、Th/U值较大、重稀土富集、正Ce、负Eu异常等特征,综合反映了其在高温变质作用中生长的特征;石英闪长岩轻重稀土分异明显,(La/Sm)<sub>N</sub>为3.62~6.03,表明其受到一定程度的地壳物质混染(Lassiter and Depaolo,1997)。结合区域资料,约430 Ma岩浆作用为幔源基性岩底侵,导致加厚下地壳部分熔融的产物,代表造山晚期岩浆事件;该期岩浆作用可能是欧龙布鲁克地块西段峰期构造—热事件的主因。

## 6 结论

欧龙布鲁克地块西段达肯大坂岩群和石英闪长岩年代学及地球化学研究表明:(1)达肯大坂岩群约460 Ma次峰值年龄可能代表了柴北缘早古生代大陆深俯冲过程中的构造—岩浆事件的地质记录;(2)石英闪长岩结晶年龄与获得的达肯大坂岩群主峰值年龄一致,结合地球化学特征及达肯大坂岩群锆石

稀土元素特征表明二者具有密切的成因联系:约430 Ma变质年龄为同期岩浆事件导致的构造—热事件的响应;(3)片麻状石英闪长岩地球化学揭示其具有活动大陆边缘的特征,为幔源基性岩浆底侵,导致加厚下地壳部分熔融的产物,代表造山晚期岩浆事件,该期岩浆作用可能是欧龙布鲁克地块西段高峰期构造—热事件的主因。

**致谢:**野外工作得到了李荣社教授级高工、计文化研究员的悉心指导;薄片鉴定在叶芳老师的帮助下完成;论文写作过程中得到了董云鹏教授与何世平研究员的指导。两位匿名评审人对稿件提出了中肯、深入的修改意见和建议。在此对他们的帮助及艰辛劳动表示诚挚的感谢!

## References

- Allen,C.M.,2000.Evolution of a Post-Batholith Dike Swarm in Central Coastal Queensland, Australia are Front to Backarc? *Lithos*,51(4):331—349.doi:10.1016/S0024—4937(99)00068—7
- Altherr,R.,Topuz,G.,Siebel,W.,et al.,2008.Geochemical and Sr-Nd-Pb Isotopic Characteristics of Paleocene Plagioclacites from the Eastern Pontides (NE Turkey). *Lithos*,105(1—2):149—161.doi:10.1016/j.lithos.2008.03.001
- Boari,E.,Avanzinelli,R.,Melluso,L.,et al.,2009.Isotope Geochemistry (Sr-Nd-Pb) and Petrogenesis of Leucite-Bearing Volcanic Rocks from “Colli Albani” Volcano, Roman Magmatic Province, Central Italy Inferences on Volcano Evolution and Magma Genesis. *Bulletin of Volcanology*,71(9):977—1005.doi:10.1007/s00445—009—0278—6
- Carson,C.J.,Ague,J.J.,Coath,C.D.,2002.U-Pb Geochronology from Tonagh Island, East Antarctica: Implications for the Timing of Ultra-High Temperature Metamorphism of the Napier Complex. *Precambrian Research*,116:237—263.
- Chen,D.L.,Liu,L.,Sun,Y.,et al.,2009a.Geochemistry and Zircon U-Pb Dating and Its Implications of the Yukahe HP/UHP Terrane, the North Qaidam, NW China. *Journal of Asian Earth Sciences*,35(3—4):259—272.doi:10.1016/j.jseas.2008.12.001
- Chen,N.S.,Gong,S.L.,Sun,M.,et al.,2009b.Precambrian of the Quanji Block, Northeastern Margin of Tibet: Insights from Zircon U-Pb and Lu-Hf Isotope Compositions. *Journal of Asian Earth Sciences*,35(3):367—376.doi:10.1016/j.jseas.2008.10.004
- Chen,N.S.,Wang,Q.Y.,Chen,Q.,et al.,2007a.Components and Metamorphism of the Basement of the Qaidam and Oulongbuluke Micro Continental Blocks, and a Tentative Interpretation of Paleocontinental Evolution in NW-Central China. *Earth Science Frontiers*,14(1):43—55(in Chinese with English abstract).
- Chen,N.S.,Wang,X.Y.,Zhang,H.F.,et al.,2007b.Geochemistry and Nd-Sr-Pb Isotopic Compositions of Granitoids from Qaidam and Oulongbuluke Micro-Blocks, NW China: Constraints on Basement Nature and Tectonic Affinity. *Earth Science*,32(1):7—21(in Chinese with English abstract).
- Chen,N.S.,Zhang,L.,Sun,M.,et al.,2012.U-Pb and Hf Isotopic Compositions of Detrital Zircons from the Paragneisses of the Quanji Massif, NW China: Implications for Its Early Tectonic Evolutionary History. *Journal of Asian Earth Sciences*,54(4):110—130.doi:10.1016/j.jseas.2012.04.006
- Diwu,C.R.,Sun,Y.,Yuan,H.L.,et al.,2008.U-Pb Ages and Hf Isotopes for Detrital Zircons from Quartzite in the Paleoproterozoic Songshan Group on the Southwestern Margin of the North China Craton. *Chinese Science Bulletin*,53(18):2828—2839.
- Dong,Z.C.,Gu,P.Y.,Chen,R.M.,et al.,2015.Geochronology, Geochemistry, and Hf Isotope of Yanchangbeishan Adamellite of Lenghu Area in Qinghai. *Earth Science*,40(1):130—144(in Chinese with English abstract).
- Gong,S.L.,Chen,N.S.,Wang,Q.Y.,et al.,2012.Early Paleoproterozoic Magmatism in the Quanji Massif, Northeastern Margin of the Qinghai-Tibet Plateau and Its Tectonic Significance: LA-ICPMS U-Pb Zircon Geochronology and Geochemistry. *Gondwana Research*,21(1):152—166.doi:10.1016/j.gr.2011.07011
- Huang,W.,Zhang,L.,Ba,J.,et al.,2011.Detrital Zircon LA-ICP-MS U-Pb Dating for K-Feldspar Leptite of Quanji Massif in the North Margin of Qaidam Block: Constraint on the Age of Dakendaban Group. *Geological Bulletin of China*,30(9):1353—1359(in Chinese with English abstract).
- Lassiter,J.C.,Depolo,D.J.,1997.Plume/Lithosphere Interaction in the Generation of Continental and Oceanic Flood Basalts: Chemical and Isotope Constraints. In: Mahoney,J.,ed.,Large Igneous Provinces: Continental, Oceanic, and Planetary Flood Volcanism. Geophysical Monograph, Vol. 100, American Geophysical Union, Washington,335—355.doi:10.1029/GM100p0335
- Liu,X.M.,Gao,S.,Diwu,C.R.,et al.,2007.Simultaneous In-Situ Determination of U-Pb Age and Trace Elements in Zircon by LA-ICP-MS in 20 μm Spot Size. *Chinese Sci-*

- ence Bulletin, 52(9):1257—1264.
- Liu, Y. J., Neubauer, F., Li, W. M., et al., 2012. Tectonic-Thermal Events of the Northern Qaidam Margin-Southern Qilian Area, Western China. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 42(5):1317—1329 (in Chinese with English abstract).
- Lu, S.N., Wang, H.C., Li, H.K., et al., 2002a. Redefinition of the “Dakendaban Group” on the Northern Margin of the Qaidam Basin. *Geological Bulletin of China*, 21(1):19—23 (in Chinese with English abstract).
- Lu, S.N., Yu, H.F., Jin, W., et al., 2002b. Microcontinents on the Eastern Margin of Tarim Paleocontinent. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 21(4):317—326 (in Chinese with English abstract).
- Mattinson, C.G., Wooden, J. L., Liou, J. G., et al., 2006. Age and Duration of Eclogite-Facies Metamorphism, North Qaidam HP/UHP Terrane, Western China. *Goldschmidt Conference Abstracts*, 35(3—4):298—309. doi: 10.1016/j.gca.2006.06.809
- Mattinson, C. G., Wooden, J. L., Zhang, J. X., et al., 2009. Paragneiss Zircon Geochronology and Trace Element Geochemistry, North Qaidam HP/UHP Terrane, Western China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 35(3—4):298—309. doi: 10.1016/j.jseae.2008.12.007
- Meng, F.C., Zhang, J.X., Yang, J.S., 2005. Tectono-Thermal Event of Post-HP/UHP Metamorphism in the Xiteshan Area of the North Qaidam Mountains, Western China: Isotopic and Geochemical Evidence of Granite and Gneiss. *Acta Petrologica Sinica*, 21(1):45—56 (in Chinese with English abstract).
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W., Tindle, A.G., 1984. Trace Element Discrimination Diagrams for the Tectonic Interpretation of Granitic Rocks. *Journal of Petrology*, 25(4):956—983. doi: 10.1093/petrology/25.4.956
- Rubatto, D., 2002. Zircon Trace Element Geochemistry: Partitioning with Garnet and the Link between U-Pb Ages and Metamorphism. *Chemical Geology*, 184(1):123—138. doi: 10.1016/S0009-2541(01)00355-2
- Rubatto, D., Hermann, J., 2003. Zircon Formation during Circulation in Eclogites (Monviso, Western Alps): Implications for Zr and Hf Budget in Subduction Zones. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 67(12):2173—2187. doi: 10.1016/S0016-7037(02)01321-2
- Shi, R.D., Yang, J.S., Wu, C.L., 2003. The Discovery of Adakitic Dacite in Early Palaeozoic Island Arc Volcanic Rocks on the Northern Margin of Qaidam Basin and Its Geological Significance. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 22(3):229—236 (in Chinese with English abstract).
- Song, S.G., Zhang, C., Li, X.H., et al., 2011. HP/UHP Metamorphic Time of Eclogite in the Xiteshan Terrane, North Qaidam UHPM Belt, NW China. *Acta Petrologica Sinica*, 27(4):1191—1197 (in Chinese with English abstract).
- Sun, S. S., McDonough, W. F., 1989. Chemical and Isotopic Systematic of Oceanic Basalts: Implications for Mantle Composition and Processes. In: Saunders, A. D., Norry, M. J., eds., Magmatism in the Ocean Basins. *Geological Society Special Publication*, 42(1): 313—345.
- Wan, Y.S., Zhang, J.X., Yang, J.S., et al., 2006. Geochemistry of High-Grade Metamorphic Rocks of the North Qaidam Mountains and Their Geological Significance. *Journal of Asian Earth Sciences*, 28(2—3):174—184. doi: 10.1016/j.jseae.2006.09.018
- Wang, Q. Y., Chen, N. S., Li, X. Y., et al., 2008. LA-ICPMS Zircon U-Pb Geochronological Constraints on the Tectonothermal Evolution of the Early Paleoproterozoic Dakendaban Group in the Quanji Block, NW China. *Chinese Science Bulletin*, 53(18):2849—2858. doi: 10.1007/s11434-008-0265-x
- Wang, Q. Y., Pan, Y. M., Chen, N. S., et al., 2009. Proterozoic Polymetamorphism in the Quanji Block, Northwestern China: Evidence from Micotextures, Garnet Compositions and Monazite CHIME Ages. *Journal of Asian Earth Sciences*, 34(5):686—698. doi: 10.1016/j.jseae.2008.10.008
- Wu, C. L., Wooden, J. L., Robinson, P. T., et al., 2009. Geochemistry and Zircon SHRIMP U-Pb Dating of Granitoids from the West Segment of the North Qaidam. *Science in China (Series D)*, 52(11):1771—1790. doi: 10.1007/s11430-009-0147-3
- Wu, C. L., Yang, J. S., Xu, Z. Q., et al., 2004. Granitic Magmatism on the Early Paleozoic UHP Belt of Northern Qaidam, NW China. *Acta Geologica Sinica*, 78(5):658—674 (in Chinese with English abstract).
- Wu, Y. B., Zheng, Y. F., 2004. Genesis of Zircon and Its Constraints on Interpretation of U-Pb Age. *Chinese Science Bulletin*, 49(15):1554—1569.
- Wu, Z. H., Hu, D. G., Song, B., et al., 2007. SHRIMP U-Pb Isotopic Dating of Zircons from Gneiss in Northwest Daken Daban Mountain on the North Margin of the Qaidam Basin. *Acta Geoscientica Sinica*, 28(1):1—6 (in Chinese with English abstract).
- Xin, H. T., Wang, H. C., Zhou, S. J., 2006. Geological Events and Tectonic Evolution of the North Margin of the Qaidam Basin. *Geological Survey and Research*, 29(4):311—320 (in Chinese with English abstract).

- Xu, Z. Q., Yang, J. S., Wu, C. L., et al., 2003. Timing and Mechanism of Formation and Exhumation of the Qaidam Ultra-Pressure Metamorphic Belt. *Acta Geologica Sinica*, 77(2): 163—176 (in Chinese with English abstract).
- Yang, J. S., Wu, C. L., Zhang, J. X., et al., 2012. Protolith of Eclogites in the North Qaidam and Altun UHP Terrane, NW China: Earlier Oceanic Crust? *Journal of Asian Earth Sciences*, 28(2—3): 185—204. doi: 10.1016/j.jseae.2005.09.020
- Yang, J. S., Xu, Z. Q., Zhang, J. X., et al., 2002. Early Paleozoic North Qaidam UHP Metamorphic Belt on the Northeastern Tibetan Plateau and a Paired Subduction Model. *Geology & Geophysics*, 14: 397—404.
- Yang, J. S., Xu, Z. Q., Zhang, J. X., et al., 2009. Tectonic Setting of Main High- and Ultrahigh-Pressure Metamorphic Belts in China and Adjacent Region and Discussion on Their Subduction and Exhumation Mechanism. *Acta Petrologica Sinica*, 25(7): 1529—1560 (in Chinese with English abstract).
- Yu, S. Y., Zhang, J. X., Li, H. K., et al., 2013. Geochemistry, Zircon U-Pb Geochronology and Lu-Hf Isotopic Composition of Eclogites and Their Host Gneisses in the Dulan Area, North Qaidam UHP Terrane: New Evidence for Deep Continental Subduction. *Gondwana Research*, 23(3): 901—919. doi: 10.1016/j.gr.2012.07.018
- Zha, X. F., Gu, P. Y., Ji, W. H., et al., 2013. The Material Composition and Deformation Characteristics of Dakendaban Rock Group in Western Oulongbuluke Micro-Block, North to Lenghu in Qinghai Province. *Chinese Journal of Geology*, 48(4): 1103—1114 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, J. X., Li, H. K., Meng, F. C., et al., 2011. Polyphase Tectonothermal Events Recorded in "Metamorphic Basement" from the Altyn Tagh, the Southeastern Margin of the Tarim Basin, Western China: Constraint from U-Pb Zircon Geochronology. *Acta Petrologica Sinica*, 27(1): 23—46 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, J. X., Mattinson, C. G., Meng, F. C., et al., 2009. U-Pb Geochronology of Paragneisses and Metabasite in the Xitieshan Area, North Qaidam Mountains, Western China: Constraints on the Exhumation of HP/UHP Metamorphic Rocks. *Journal of Asian Earth Sciences*, 35(3—4): 245—258. doi: 10.1016/j.jseae.2008.008
- Zhang, J. X., Meng, F. C., Mattinson, C. G., 2007. Progress, Controversies and Challenge of Studies on South Altyn Tagh-North Qaidam HP/UHP Metamorphic Belt. *Geological Journal of China Universities*, 13(3): 526—545
- (in Chinese with English abstract).
- Zhang, J. X., Meng, F. C., Yang, J. S., 2004. Eclogitic Metapelites in the Western Segment of the North Qaidam Mountains: Evidence on "In-Situ" Relationship between Eclogite and Its Country Rocks. *Science in China (Series D)*, 47(12): 1102—1112. doi: 10.1360/02yd0311
- Zhang, J. X., Wan, Y. S., Xu, Z. Q., et al., 2001. Discovery of Basic Granulite and Its Formation Age in Delingha Area, North Qaidam Mountains. *Acta Petrologica Sinica*, 17(3): 453—458 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 陈能松,王勤燕,陈强,等,2007a.柴达木和欧龙布鲁克陆块基底的组成和变质作用及中国中西部古大陆演化关系初探.地学前缘,14(1):43—55.
- 陈能松,王新宇,张宏飞,等,2007b.柴—欧微地块花岗岩地球化学和Nd-Sr-Pb同位素组成:基底性质和构造属性启示.地球科学,32(1):7—21.
- 董增产,辜平阳,陈锐明,等,2015.柴北缘西端盐场北山二长花岗岩年代学、地球化学及其Hf同位素特征.地球科学,40(1):130—144.
- 黄婉,张璐,巴金,等,2011.柴达木地块北缘全吉地块钾长石浅粒岩碎屑锆石LA-ICP-MS U-Pb定年——对达肯大坂岩群时代的约束.地质通报,30(9): 353—1359.
- 刘永江,Neubauer,F.,李伟民,等,2012.柴北缘—南祁连地区构造热事件.吉林大学学报(地球科学版),42(5): 1317—1329.
- 陆松年,王惠初,李怀坤,等,2002a.柴达木盆地北缘"达肯大坂群"的再厘定.地质通报,21(1):19—23.
- 陆松年,于海峰,金巍,等,2002b.塔里木古大陆东缘的微大陆块体群.岩石矿物学杂志,21(4):317—326.
- 孟繁聪,张建新,杨经绥,2005.柴北缘锡铁山早古生代HP/UHP变质作用后的构造热事件——花岗岩和片麻岩的同位素与岩石地球化学证据.岩石学报,21(1): 45—56.
- 史仁灯,杨经绥,吴才来,2003.柴北缘早古生代岛弧火山岩中埃达克质英安岩的发现及其地质意义.岩石矿物学杂志,22(3):229—236.
- 宋述光,张聪,李献华,等,2011.柴北缘超高压带中锡铁山榴辉岩的变质时代.岩石学报,27(4):1191—1197.
- 吴才来,杨经绥,许志琴,等,2004.柴达木盆地北缘古生代超高压带中花岗质岩浆作用.地质学报,78(5):658—674.
- 吴珍汉,胡道功,宋彪,等,2007.柴达木盆地北缘达肯大坂片麻岩锆石离子探针U-Pb同位素测年.地球学报,28(1):1—6.
- 辛后田,王慧初,周世军,2006.柴北缘的大地构造演化及其地质事件群.地质调查与研究,29(4):311—320.
- 许志琴,杨经绥,吴才来,等,2003.柴达木北缘超高压变质带

- 形成与折返的时限及机制.地质学报,77(2):163—176.  
杨经绥,许志琴,张建新,等,2009.中国主要高压—超高压变  
质带的大地构造背景及俯冲/折返机制的探讨.岩石学  
报,25(07):1529—1560.
- 查显锋,辜平阳,计文化,等,2013.欧龙布鲁克地块西段达肯  
大坂岩群物质组成及变形特征研究.地质科学,48(4):  
1103—1114.
- 张建新,李怀坤,孟繁聪,等,2011.塔里木盆地东南缘(阿尔

金山)“变质基底”记录的多期构造热事件:锆石 U-Pb  
年代学的制约.岩石学报,27(1):23—46.

张建新,孟繁聪,Mattinson,C.G.,2007.南阿尔金—柴北缘高  
压—超高压变质带研究进展、问题及挑战.高校地质学  
报,13(3):526—545.

张建新,万渝生,许志琴,等,2001.柴达木北缘德令哈地区基  
性麻粒岩的发现及其形成时代.岩石学报,17(3):  
453—458.

\* \* \* \* \*

## 《地球科学》

2016 年 5 月 第 41 卷 第 5 期 要目预告

- 萨吾尔山木斯岛冰川厚度特征及冰储量估算 ..... 怀保娟等  
准噶尔盆地阜东斜坡侏罗系头屯河组原油横向运移 ..... 陈君青等  
有机质供给和保存在烃源岩形成中的控制作用 ..... 丁修建等  
近 2 Ma BP 以来地球轨道参数周期上全球海平面变化机制 ..... 李文宝等  
不同地质条件约束下的油气资源量概率组合加和方法及应用 ..... 盛秀杰等  
基于打滑地层的孕镶金刚石钻头设计 ..... 王佳亮等  
渗透压—应力耦合作用下泥岩三轴流变实验及其流变本构研究 ..... 王新刚等  
柳江盆地亮甲山组岩石地层组成及一维数字描述 ..... 赵刚等