

东昆仑骆驼峰地区中晚三叠世花岗岩年代学、地球化学及构造意义

顾焱¹ 钱焯^{1,2*} 李予晋^{1,2} 赵梦琪³ 刘雷¹ 孙丰月^{1,2}

(1. 吉林大学地球科学学院, 长春 130061;

2. 自然资源部东北亚矿产资源评价重点实验室, 长春 130061;

3. 青海省第三地质矿产勘查院, 西宁 810029)

摘要 骆驼峰地区位于东昆仑造山带昆仑北弧后裂陷带, 其内发育大量记录古特提斯洋演化的岩浆岩。本文对该地区花岗闪长岩和钾长花岗岩进行了年代学和地球化学研究, 用以限定古特提斯洋的构造演化。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果表明花岗闪长岩形成于中三叠世(233Ma), 钾长花岗岩形成于晚三叠世(218Ma)。花岗闪长岩和钾长花岗岩分属于中钾钙碱性-高钾钙碱性系列和钾玄岩系列, A/CNK 值为0.92-1.02, 具有偏铝质花岗岩类属性。两类岩石均具有负锆异常、稀土总量低、轻稀土明显分馏和钨弱异常的特点。花岗闪长岩富含大离子亲石元素、亏损高场强元素, 具有火山弧花岗岩特征, 为古特提斯洋俯冲消减作用的产物。钾长花岗岩具有相对较高 Nb、Ta 和 Rb 含量, 显示出同碰撞花岗岩的特征, 暗示古特提斯洋在早三叠已经闭合进入陆陆碰撞阶段。两类岩石记录了古特提斯洋俯冲到消亡的构造体制的转换。

关键词 年代学 地球化学 构造体制转换 骆驼峰地区 东昆仑

中图分类号: P581

文献标识码: A

文章编号: 1674-7801(2019)04-0724-13

0 前言

东昆仑造山带位于青藏高原北缘和中央造山带西段, 是中央造山系的重要组成部分(许志琴等, 2006; 杨经绥等, 2012), 也是一个可与冈底斯带相媲美的巨型岩浆岩带(莫宣学等, 2007)。带内出露大量的花岗质岩浆岩, 记录了东昆仑地区原特提斯洋和古特提斯洋洋壳俯冲, 陆陆碰撞和后碰撞等构造事件。原特提斯洋封闭造就了东昆仑地区早古生代的造山系(张建新等, 2015); 古特提斯洋的演化则控制了东昆仑晚古生代至早中生代的岩浆事件和成矿事件。众多学者(肖庆辉等, 2009; 南卡俄吾等, 2014; 王秉璋等, 2014)的研究表明, 古特提斯洋的俯冲作用持续到中三叠世, 并于晚三叠世闭合, 进入伸展阶段。目前, 对于古特提斯洋的报道多为俯冲和

后碰撞阶段的花岗质岩石, 而且洋壳闭合时限多以沉积底层和后碰撞岩浆岩约束为主, 相对缺乏俯冲晚期至同碰撞阶段的花岗岩资料(菅坤坤等, 2017)。本文报道了东昆仑东侧骆驼峰地区中、晚三叠世花岗岩的岩石学、地球化学、锆石 U-Pb 年代学资料, 并对该地区中、晚三叠世花岗岩的成因和构造背景进行了分析和讨论, 这些花岗岩的识别不仅可丰富古特提斯洋的研究内容, 而且对恢复古特提斯洋演化历史提供了新的线索。

1 区域地质背景与样品岩相学特征

1.1 区域地质背景

骆驼峰地区位于青海省格尔木市乌图美仁乡那棱格勒河一带, 地处东昆仑造山带内。东昆仑造山

[收稿日期]2019-02-05

[基金项目]国家自然科学基金项目(编号: 41402060)资助。

[第一作者简介]顾焱, 男, 1991年生, 硕士, 从事矿物、岩石、矿床学研究工作; E-mail: 491465184@qq.com。

[通讯作者简介]钱焯, 男, 1979年生, 博士, 副教授, 从事矿物、岩石、矿床学研究与教学工作; E-mail: 2643262@qq.com。

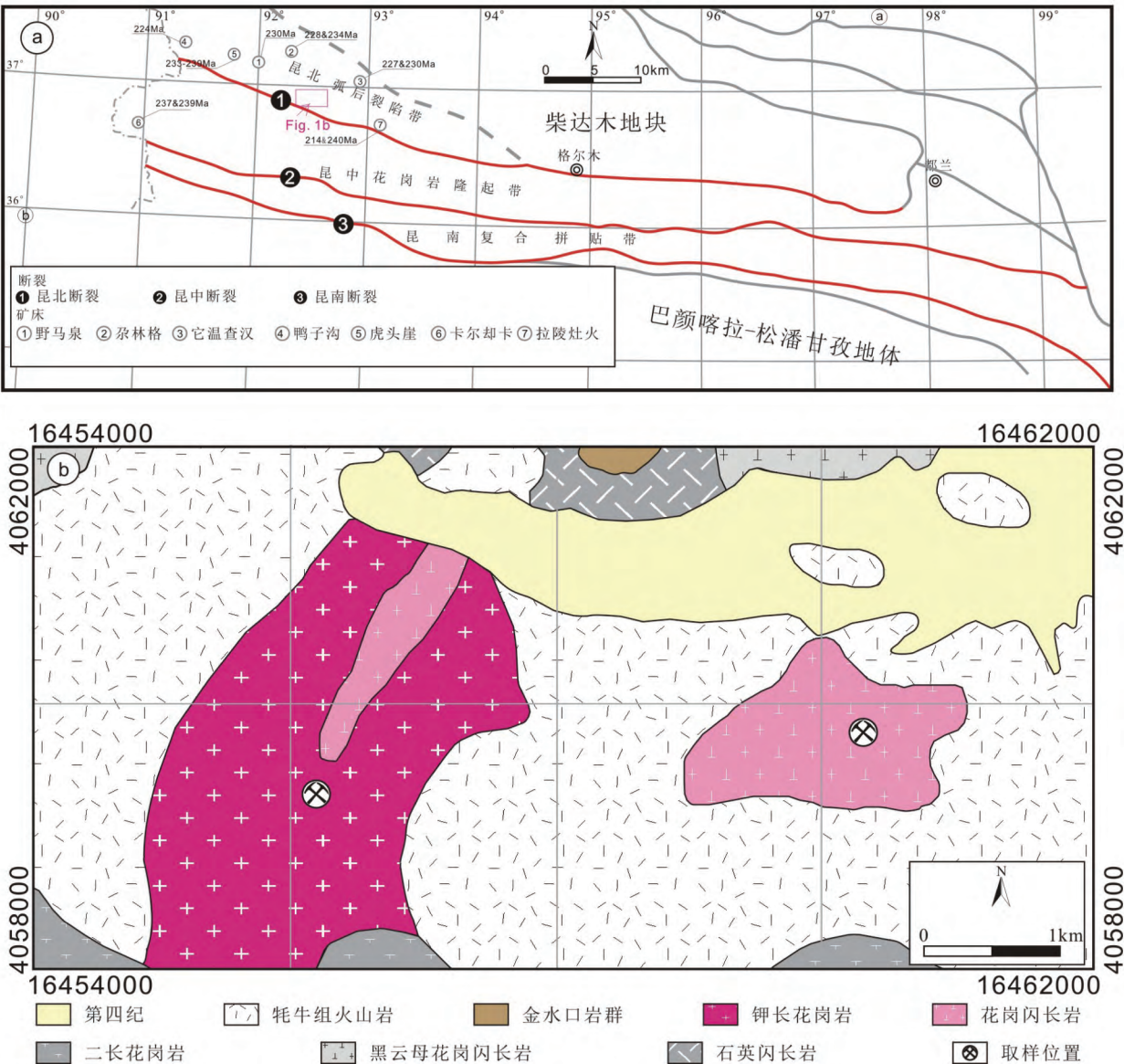


图 1 东昆仑造山带大地构造位置图(a)和骆驼峰地区地质简图(b)

带位于青藏高原北部,柴达木盆地南缘,区内构造线总体呈近东西向展布,由北向南发育昆北、昆中和昆南 3 条近东西向的区域性深大断裂带(黄汲清等, 1984; 姜春发, 1992) 孙丰月等^① 据此将东昆仑造山带由北向南进一步划分为昆北弧后裂陷带、昆中基底隆起花岗岩带和昆南复合拼贴带(图 1a)。

骆驼峰地区出露的地层主要有古元古代金水口岩群(Pt₁J)、晚泥盆世牦牛山组(D₃m)和第四纪

(Q₄)(图 1b)。古元古代金水口岩群主要分布于研究区北部,呈残留体小范围出露,主要岩石类型为花岗片麻岩;晚泥盆世牦牛山组出在研究区中部大量出露,是一套火山岩和火山碎屑岩组成的地层,第四纪地层在研究区东北部零星出露,主要为洪积砂和冲积砂。

骆驼峰地区构造主要为断裂构造,呈近南北向、北东向分布,多组规模不一的断层,均分布在印支期

① 孙丰月等, 2009, 中国地质调查局地质调查项目成果报告: 东昆仑成矿带重大找矿疑难问题研究报告

钾长花岗岩内,方向近 NW-SE,以逆断层为主,局部形成小的蚀变带,硅化、钾化、黄铁绢英岩化局部发育。

研究区岩浆活动强烈,主要有华力西期二长花岗岩、印支期花岗闪长岩、钾长花岗岩、石英闪长岩等(图 1b)。燕山期岩体也有零星出露。华力西期二长花岗岩主体出露于研究区南部,其内可见大量金水口岩群的包体产出;印支期花岗闪长岩及钾长花岗岩呈岩基或岩株状,与二长花岗岩为侵入接触关系。

1.2 岩相学特征及样品描述

本次用于岩石地球化学及年代学测试的样品采自骆驼峰矿区东侧的花岗闪长岩和西侧的钾长花岗岩不同位置的新鲜露头(图 1b)。钾长花岗岩岩石风化面呈土黄色,新鲜面呈浅肉红-肉红色,细粒花岗结构,块状构造。岩石主要由斜长石 15%、钾长石 55%、石英 25-30%、黑云母 2-5% 组成。斜长石呈半自形板状,粒径 0.2-2 mm;单偏光下无色透

明,正低突起;正交偏光下可见聚片双晶。钾长石,他形粒状,粒径 0.2-2 mm;石英,灰色,他形粒状,粒径 0.2-2 mm;黑云母,黑色片状,粒径 0.2-1 mm(图 2a、b)。花岗闪长岩特征为:岩石风化面呈土黄色,新鲜面呈灰色,花岗结构,块状构造。花岗闪长岩的主要矿物组合为斜长石(50%)、钾长石(15%)、石英(25%)、角闪石(5%)、黑云母(5%),副矿物主要有磁铁矿、磷灰石、榍石和锆石等(图 2c、d)。

2 分析方法

2.1 锆石 U-Pb 定年

用于锆石年龄测试的样品经人工去除风化面后,送往河北省廊坊区域地质调查研究所实验室,利用标准重矿物分离技术进行筛选。经过双目镜下挑选表面平整光洁且具不同长宽比例、不同柱锥面特征、不同颜色的锆石颗粒,再将这些锆石粘在双面胶上,用无色透明环氧树脂固定,待环氧树脂充分固化

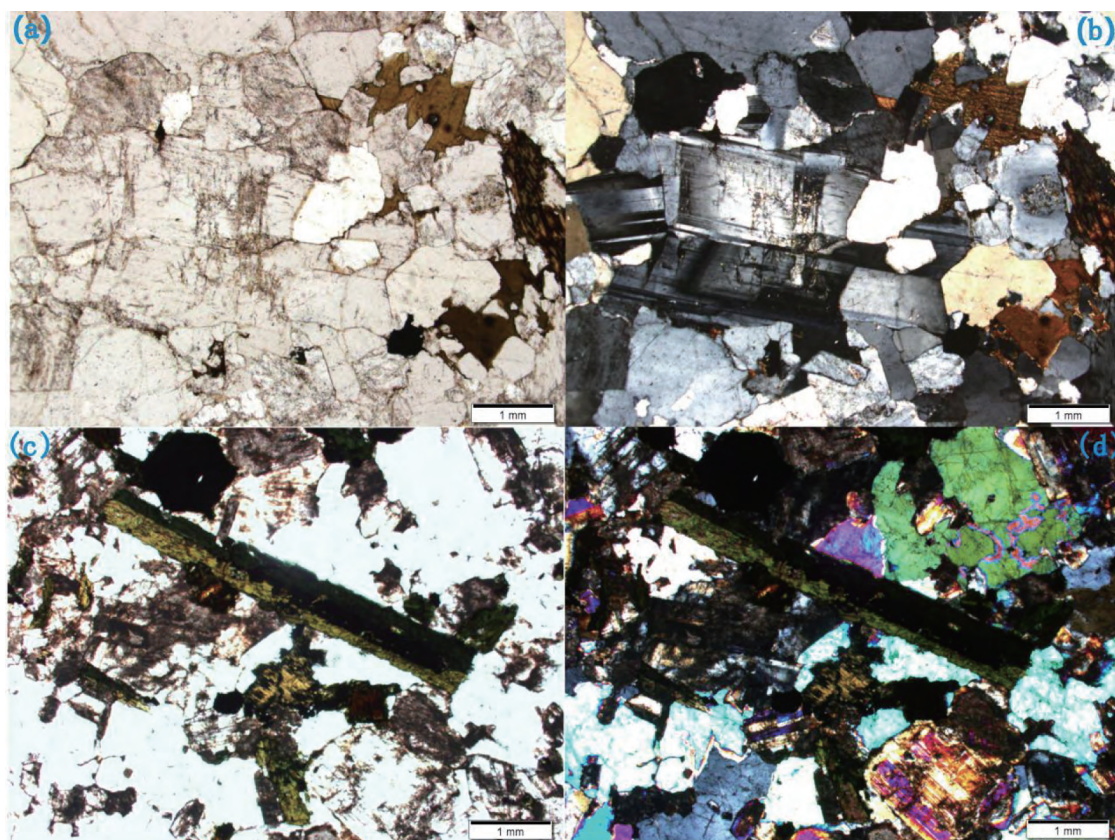


图 2 东昆仑骆驼峰地区钾长花岗岩(a、b)、花岗闪长岩(c、d)显微照片
(a、c 单偏光; b、d 正交偏光)

之后对其表面进行充分抛光直至树脂内部的暴露。在原位分析之前,通过反射光和 CL 图像详细研究锆石的晶体形貌和内部结构特征,确定同位素分析最佳点。锆石制靶、CL 照相在河北省廊坊区域地质调查研究所实验室完成,锆石 U-Pb 年龄分析在自然资源部东北亚矿产资源评价重点实验室完成。本次测试采用的激光剥蚀束斑直径为 32 μm ,激光剥蚀样品的深度为 20~40 μm ;激光剥蚀过程中采用氦气作载气、氩气为补偿气以调节灵敏度。锆石年龄采用国际标准锆石 91500 作为外标,元素含量采用 NIST SRM610 作为外标(Yuan et al. , 2010), Si 作为内标元素(锆石中 SiO_2 的质量分数为 32. 8%) (袁洪林等 2003) ,分析方法详见 Yuan et al(2010); 普通铅校正采用 Anderson 推荐的方法(Andersen , 2002); 样品的同位素比值及元素含量计算采用 ICPMSDATECAL 程序(Liu et al. , 2008 , 2010) ,年龄计算及谐和图的绘制采用 Ludwig(2003) 编写的 Isoplot 程序。

2.2 岩石地球化学

样品的主量和微量元素测试在自然资源部东北

亚矿产资源评价重点实验室完成。首先将待测样品在 65℃ 左右的烘箱内低温干燥 24 小时,之后破碎,经多次手工缩分出 300g 均匀样品在振动研磨机上研磨至 200 目以备分析测试。常量元素采用 X-射线荧光光谱仪(PW1401/10) 进行测定,相对标准偏差为 2%~5%。其中钾长花岗岩未进行亚铁含量的滴定分析。微量元素和稀土元素分析采用美国安捷伦科技有限公司 Agilent 7500A 型耦合等离子体质谱仪进行测试,样品测试经国家标样 GBW07103、GBW07104 监控,微量元素和稀土元素的分析精度为:元素含量大于 10×10^{-6} 的误差小于 5% ,小于 10×10^{-6} 的误差小于 10%。

3 分析结果

3.1 锆石 U-Pb 年龄

本次对东昆仑骆驼峰地区花岗闪长岩和钾长花岗岩分别进行了锆石 U-Pb 年代学测试。分析结果见表 1。

表 1 东昆仑骆驼峰地区花岗闪长岩、钾长花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 分析结果

测点号	元素含量 ($\times 10^{-6}$)			同位素比值						同位素年龄(Ma)					
	Th/U			^{207}Pb		^{207}Pb		^{206}Pb		^{207}Pb		^{207}Pb		^{206}Pb	
	Th	U		$/^{206}\text{Pb}$	1σ	$/^{235}\text{U}$	1σ	$/^{238}\text{U}$	1σ	$/^{206}\text{Pb}$	1σ	$/^{235}\text{U}$	1σ	$/^{238}\text{U}$	1σ
LTF-B01	1561	2210	0. 7	0. 05038	0. 00085	0. 25436	0. 00439	0. 03655	0. 00039	213	39	230	4	231	2
LTF-B02	1297	1532	0. 9	0. 05204	0. 00111	0. 26299	0. 00529	0. 03673	0. 00045	287	53	237	4	233	3
LTF-B03	1679	2337	0. 7	0. 05144	0. 00088	0. 25928	0. 00456	0. 03653	0. 00043	261	39	234	4	231	3
LTF-B04	1679	2190	0. 8	0. 05179	0. 00094	0. 26389	0. 00453	0. 03708	0. 00049	276	41	238	4	235	3
LTF-B05	3762	3464	1. 1	0. 05080	0. 00125	0. 25651	0. 00666	0. 03651	0. 00042	232	56	232	5	231	3
LTF-B06	997	1381	0. 7	0. 05106	0. 00146	0. 25364	0. 00674	0. 03635	0. 00080	243	67	230	5	230	5
LTF-B07	681	1054	0. 7	0. 05445	0. 00207	0. 27583	0. 01082	0. 03664	0. 00073	391	85	247	9	232	5
LTF-B08	1140	1842	0. 6	0. 05002	0. 00116	0. 25355	0. 00531	0. 03688	0. 00056	195	58	229	4	233	3
LTF-B09	744	1133	0. 7	0. 05224	0. 00150	0. 26336	0. 00774	0. 03668	0. 00069	295	67	237	6	232	4
LTF-B10	1420	2246	0. 6	0. 04944	0. 00079	0. 25122	0. 00468	0. 03683	0. 00050	169	37	228	4	233	3
LTF-B11	2103	2456	0. 9	0. 05012	0. 00092	0. 25279	0. 00521	0. 03681	0. 00068	211	38	229	4	233	4
LTF-B12	1519	2158	0. 7	0. 04817	0. 00086	0. 24425	0. 00475	0. 03677	0. 00046	109	43	222	4	233	3
LTF-B13	2340	2294	1. 0	0. 05318	0. 00100	0. 26926	0. 00594	0. 03678	0. 00058	345	47	242	5	233	4
LTF-B14	1687	2418	0. 7	0. 05194	0. 00105	0. 26348	0. 00636	0. 03694	0. 00074	283	46	237	5	234	5

续表1

测点号	元素含量 ($\times 10^{-6}$)		Th/U	同位素比值						同位素年龄(Ma)					
	Th	U		^{207}Pb		^{207}Pb		^{206}Pb		^{207}Pb		^{207}Pb		^{206}Pb	
				$/^{206}\text{Pb}$	1σ	$/^{235}\text{U}$	1σ	$/^{238}\text{U}$	1σ	$/^{206}\text{Pb}$	1σ	$/^{235}\text{U}$	1σ	$/^{238}\text{U}$	1σ
LTF-B15	2605	2834	0.9	0.04994	0.00079	0.25020	0.00438	0.03640	0.00042	191	37	227	4	230	3
LTF-B16	1994	2211	0.9	0.05038	0.00100	0.25318	0.00558	0.03647	0.00050	213	46	229	5	231	3
LTF-B17	1491	2345	0.6	0.05148	0.00096	0.26203	0.00497	0.03694	0.00037	261	43	236	4	234	2
LTF-B18	1623	2208	0.7	0.05082	0.00080	0.25830	0.00461	0.03695	0.00050	232	69	233	4	234	3
LTF-B19	1308	2018	0.7	0.05133	0.00093	0.25911	0.00480	0.03672	0.00045	257	43	234	4	232	3
LTF-B20	1879	2535	0.7	0.05068	0.00088	0.25688	0.00469	0.03673	0.00043	233	39	232	4	233	3
LTF-B21	1315	2130	0.6	0.05128	0.00093	0.26114	0.00533	0.03678	0.00039	254	43	236	4	233	2
LTF-B22	1283	1754	0.7	0.05094	0.00097	0.25996	0.00537	0.03696	0.00044	239	43	235	4	234	3
LTF-B23	1619	2129	0.8	0.05066	0.00093	0.25634	0.00512	0.03661	0.00042	233	72	232	4	232	3
LTF-B24	2258	2501	0.9	0.05089	0.00076	0.25696	0.00444	0.03665	0.00047	235	61	232	4	232	3
LTF-B25	2851	3200	0.9	0.04979	0.00073	0.25263	0.00448	0.03674	0.00045	187	35	229	4	233	3
LTF-B26	1406	1481	1.0	0.05088	0.00101	0.25826	0.00552	0.03684	0.00046	235	46	233	4	233	3
LTF-B27	1688	2349	0.7	0.05098	0.00089	0.25816	0.00502	0.03676	0.00048	239	41	233	4	233	3
LTF-B28	1173	1601	0.7	0.05111	0.00106	0.25819	0.00684	0.03652	0.00058	256	51	233	6	231	4
LTF-B29	1993	2595	0.8	0.04957	0.00091	0.25070	0.00508	0.03666	0.00041	176	43	227	4	232	3
LTF-A01	901	1596	0.6	0.05175	0.00146	0.24744	0.00755	0.03450	0.00042	276	68	224	6	219	3
LTF-A02	1649	2908	0.6	0.04992	0.00082	0.23622	0.00379	0.03423	0.00029	191	37	215	3	217	2
LTF-A03	1033	1881	0.6	0.05091	0.00102	0.24140	0.00499	0.03428	0.00032	235	46	220	4	217	2
LTF-A04	1152	1922	0.6	0.05082	0.00093	0.24090	0.00455	0.03427	0.00032	232	43	219	4	217	2
LTF-A05	710	1140	0.6	0.05106	0.00153	0.24332	0.00714	0.03448	0.00037	243	75	221	6	219	2
LTF-A06	1576	2617	0.6	0.05030	0.00094	0.23922	0.00480	0.03429	0.00030	209	43	218	4	217	2
LTF-A07	540	772	0.7	0.05005	0.00148	0.23619	0.00669	0.03429	0.00037	198	69	215	5	217	2
LTF-A08	1085	1406	0.8	0.05551	0.00172	0.27621	0.00926	0.03586	0.00049	432	70	248	7	227	3
LTF-A09	973	1695	0.6	0.05022	0.00112	0.23942	0.00557	0.03445	0.00039	206	52	218	5	218	2
LTF-A10	1590	2418	0.7	0.04916	0.00100	0.23591	0.00518	0.03462	0.00037	154	53	215	4	219	2
LTF-A11	1342	2306	0.6	0.05276	0.00105	0.25082	0.00478	0.03441	0.00037	320	46	227	4	218	2
LTF-A12	1698	2808	0.6	0.05172	0.00094	0.24705	0.00480	0.03449	0.00032	272	45	224	4	219	2
LTF-A13	503	767	0.7	0.05927	0.00205	0.28947	0.00980	0.03538	0.00032	576	74	258	8	224	2
LTF-A14	601	989	0.6	0.05032	0.00153	0.23774	0.00657	0.03428	0.00035	209	40	217	5	217	2
LTF-A15	1473	2604	0.6	0.05024	0.00117	0.23921	0.00537	0.03442	0.00028	206	56	218	4	218	2
LTF-A16	1269	2140	0.6	0.04922	0.00083	0.23504	0.00429	0.03448	0.00032	167	41	214	4	219	2
LTF-A17	1547	2477	0.6	0.04903	0.00117	0.23381	0.00532	0.03456	0.00034	150	56	213	4	218	2
LTF-A18	976	1623	0.6	0.05054	0.00102	0.23959	0.00499	0.03433	0.00033	220	46	218	4	218	2
LTF-A19	1811	3030	0.6	0.04842	0.00103	0.22958	0.00509	0.03429	0.00034	120	45	210	4	217	2
LTF-A20	1305	2369	0.6	0.05158	0.00091	0.24462	0.00411	0.03446	0.00033	333	36	222	3	218	2
LTF-A21	423	607	0.7	0.04903	0.00259	0.23397	0.01300	0.03444	0.00056	150	156	213	11	218	4

续表1

测点号	元素含量 ($\times 10^{-6}$)			同位素比值						同位素年龄(Ma)					
	Th/U		Th/U	^{207}Pb		^{207}Pb		^{206}Pb		^{207}Pb		^{207}Pb		^{206}Pb	
	Th	U		$/^{206}\text{Pb}$	1σ	$/^{235}\text{U}$	1σ	$/^{238}\text{U}$	1σ	$/^{206}\text{Pb}$	1σ	$/^{235}\text{U}$	1σ	$/^{238}\text{U}$	1σ
LTF-A22	1700	2374	0.7	0.05042	0.00112	0.23876	0.00559	0.03424	0.00026	213	52	217	5	217	2
LTF-A23	1248	2188	0.6	0.05166	0.00091	0.24537	0.00504	0.03435	0.00036	333	41	223	4	218	2
LTF-A24	757	1125	0.7	0.05333	0.00151	0.25341	0.00640	0.03471	0.00032	343	63	229	5	220	2
LTF-A25	384	652	0.6	0.05046	0.00143	0.24153	0.00718	0.03461	0.00031	217	65	220	6	219	2
LTF-A26	1169	2176	0.5	0.04909	0.00090	0.23432	0.00440	0.03462	0.00035	154	43	214	4	219	2
LTF-A27	1231	1321	0.9	0.04898	0.00105	0.23304	0.00484	0.03451	0.00033	146	50	213	4	219	2
LTF-A28	976	1636	0.6	0.04984	0.00093	0.23611	0.00445	0.03428	0.00029	187	44	215	4	217	2
LTF-A29	990	1426	0.7	0.05004	0.00106	0.23891	0.00519	0.03460	0.00038	198	55	218	4	219	2
LTF-A30	520	786	0.7	0.05034	0.00148	0.23887	0.00689	0.03446	0.00036	209	67	217	6	218	2

花岗闪长岩和钾长花岗岩中挑选的锆石多呈无色透明, 金刚光泽, 晶体多为长柱状, 少数为短柱状, 极少数为粒状。多数锆石颗粒自形程度较好, 个别呈断头晶出现。经统计, 锆石长 100~200 μm , 宽 50~150 μm , 长宽比约为 2:1; 由阴极发光(CL) 图像可见, 锆石具有清晰的韵律环带结构, 是典型的岩浆结晶锆石。花岗闪长岩 29 个测点 Th、U 质量分数分别为(681~3762) $\times 10^{-6}$ 和(1054~3200) $\times 10^{-6}$, Th/U 值为 0.61~1.01; $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于(234Ma)~(230Ma) 之间(表 1), 在 U-Pb 年龄谐和图上(图 3), 他们均落入谐和线上及其附近, 加权平均年龄为 233 \pm 2Ma(MSWD=0.13), 该年龄代表了花岗闪长岩的岩浆锆石结晶年龄, 即花岗闪长岩体的形成于中三叠世。钾长花岗岩共有 30 个分析测试点, Th、U 质量分数分别为(394~1971) $\times 10^{-6}$ 和(597~2922) $\times 10^{-6}$, Th/U 值为 0.68~0.75, 显示典型岩浆锆石特征。钾长花岗岩 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 比值较为集中, 绝大多数落在和谐线上, 极少数高于或低于和谐线。 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 分析数据的加权年龄为 218 \pm 2Ma(MSWD=0.17, 图 3), 即钾长花岗岩的结晶年龄为 218Ma, 属于晚三叠世。

3.2 岩石地球化学

全岩主量及稀土微量元素测试结果与计算得到的相关参数见表 2。

3.2.1 主量元素

花岗闪长岩具有 SiO_2 范围为 64.56~65.86%,

属于中-酸性岩, 其全碱($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) 含量为 6.09%~6.23%, 在 TAS 图解上落入花岗闪长岩的范围(图 4a); 样品 Al_2O_3 含量 15.6%~16.2%, CaO 含量 4.38%~4.71%, A/CNK 比值为 0.92~0.96, 在 $\text{A}/\text{NK}-\text{A}/\text{CNK}$ 图解中均落于准铝质部分; $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值为 1.16~1.35, 在 $\text{SiO}_2-\text{K}_2\text{O}$ 图解中落于钙碱性至高钾钙碱性岩石系列(图 4c); 另外, 样品还具有 FeO^T (3.97~4.44%), TiO_2 (0.53~0.64%) 相对较低的特点。

钾长花岗岩富 Si(71.80~72.45%), 富碱(8~1.7~8.56%) 特征明显, 在 TAS 图解上落入花岗岩和碱性花岗岩的边界线附近(图 4a); 相对花岗闪长岩而言, 钾长花岗岩具有较低的 Al_2O_3 (13.34~13.56%)、 CaO (1.08~1.42%) 含量偏低, 其 A/CNK 值较大, 在 1~1.02 之间, 均小于 1.1, 在 $\text{AN-K}-\text{A}/\text{CNK}$ 图解中均落于准铝质-过铝质过渡区(图 4b)。样品较高的 K_2O 含量, 在 $\text{SiO}_2-\text{K}_2\text{O}$ 图解中样品落在钾玄岩系列中(图 4c)。

3.2.2 稀土微量元素

花岗闪长岩(232 Ma) 和钾长花岗岩(218 Ma) 样品的稀土元素特征较为一致, 具有如下特征: (1) 较低 REE 含量、较为明显的轻重稀土分异程度。 ΣREE 分别为(82.09~128.59) $\times 10^{-6}$ (平均值为 119.45 $\times 10^{-6}$) 和(113.9~212.2) $\times 10^{-6}$ (平均值为 166.76 $\times 10^{-6}$); (La/Yb)_N 分别为 7.17~11.53 和 7.14~12.26; 虽稀土总量略有差别, 但稀土元素球粒陨石标准化曲线基本一致(图 5a)。(2) 较为微弱

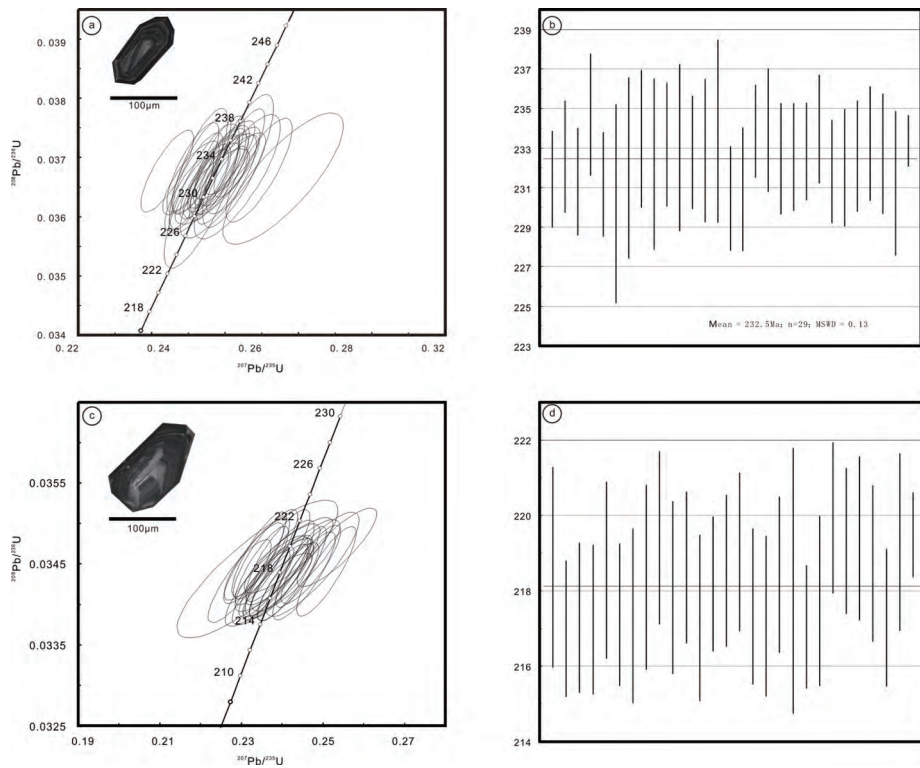


图3 东昆仑骆驼峰地区花岗闪长岩(a、b)、钾长花岗岩(c、d) 锆石 U-Pb 谐和图与加权平均图

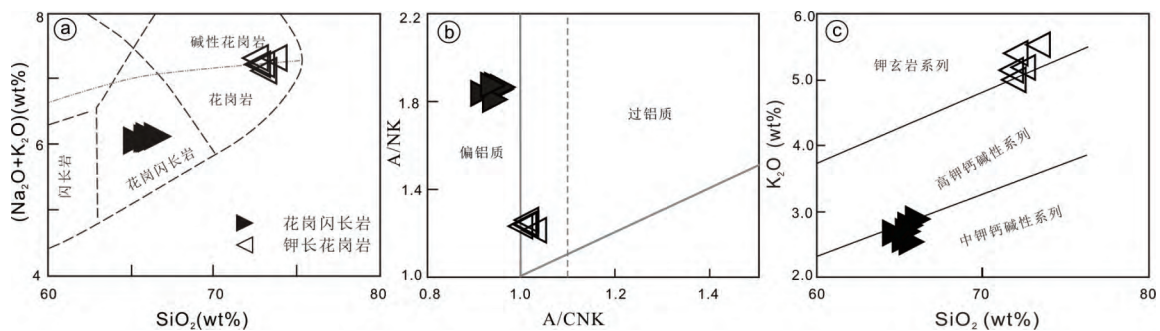


图4 东昆仑骆驼峰地区花岗闪长岩、钾长花岗岩主量元素判别图解

(图a 据 Wilson, 1989; 图b 据 Maniar and Piccoli, 1989; 图c 据 Peccerillo and Taylor, 1976)

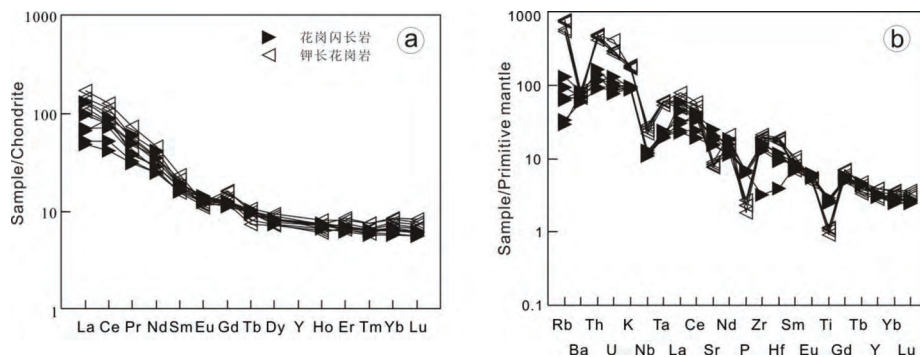


图5 东昆仑骆驼峰地区花岗闪长岩、钾长花岗岩球粒陨石标准化稀土配分图(a)和原始地幔标准化微量元素蛛网图(b)

(球粒陨石和原始地幔标准化值据 Sun and McDonough, 1989)

表 2 东昆仑骆驼峰地区花岗闪长岩、钾长花岗岩主量元素($\omega_B\%$)、稀土和微量元素($\times 10^{-6}$) 组成表

样品号	LTF-A02	LTF-A03	LTF-A04	LTF-A05	LTF-A06	LTF-B01	LTF-B02	LTF-B03	LTF-B04	LTF-B05	LTF-B06
SiO ₂	72.45	71.80	73.31	72.18	71.84	65.44	65.31	65.15	65.50	65.86	64.56
Al ₂ O ₃	13.56	13.38	13.38	13.34	13.54	15.86	16.18	15.71	16.09	15.63	15.90
Fe ₂ O ₃	3.08	2.91	2.46	2.95	2.94	1.20	1.42	1.52	1.45	2.29	2.05
FeO	—	—	—	—	—	3.06	2.69	2.69	2.74	2.04	2.60
FeO ^T	4.16	3.93	3.32	3.98	3.97	4.14	3.97	4.06	4.04	4.10	4.44
CaO	1.34	1.38	1.08	1.42	1.38	4.40	4.63	4.71	4.46	4.38	4.65
MgO	0.49	0.47	0.41	0.49	0.52	1.98	1.86	1.91	1.93	1.82	2.05
K ₂ O	5.19	5.13	5.52	4.99	5.40	2.74	2.60	2.60	2.82	2.88	2.70
Na ₂ O	3.25	3.19	3.10	3.18	3.16	3.40	3.53	3.49	3.39	3.35	3.39
TiO ₂	0.25	0.23	0.20	0.24	0.24	0.59	0.55	0.56	0.57	0.53	0.64
P ₂ O ₅	0.06	0.05	0.04	0.05	0.05	0.15	0.14	0.15	0.15	0.14	0.15
MnO	0.13	0.11	0.11	0.11	0.13	0.14	0.13	0.14	0.14	0.12	0.15
LOI	0.57	0.30	0.35	0.37	0.43	0.76	0.72	1.03	0.62	0.81	0.73
Total	100.37	98.95	99.96	99.32	99.63	99.72	99.76	99.66	99.86	99.85	99.57
Na ₂ O+K ₂ O	8.44	8.32	8.62	8.17	8.56	6.14	6.13	6.09	6.21	6.23	6.09
Na ₂ O/K ₂ O	0.62	0.62	0.56	0.63	0.58	1.24	1.35	1.34	1.20	1.16	1.25
A/NK	1.23	1.23	1.20	1.25	1.22	1.85	1.87	1.83	1.86	1.81	1.87
A/CNK	1.01	1.00	1.02	1.01	1.00	0.96	0.95	0.92	0.96	0.94	0.94
AR	6.17	6.27	6.27	6.11	6.52	4.96	4.97	5.40	4.94	5.23	5.16
Sr	173.9	187.0	161.8	166.1	176.8	418.0	524.5	328.1	431.9	375.8	314.2
Y	15.37	17.78	13.76	17.66	12.97	15.30	14.13	13.82	14.63	13.54	15.15
Zr	221.9	212.1	200.3	237.3	216.8	151.3	36.32	175.9	179.1	142.1	182.3
Nb	19.15	17.70	16.14	20.96	17.70	8.85	8.05	8.56	8.46	7.87	9.42
Ce	65.63	103.68	91.15	80.13	64.38	59.18	70.91	42.35	62.35	73.34	33.67
Pr	6.28	9.10	7.03	6.71	5.24	4.77	4.68	4.02	6.09	7.51	3.86
Nd	19.70	28.19	21.63	21.48	16.31	17.57	17.56	15.06	21.42	25.05	15.08
Sm	3.63	4.68	3.62	4.23	3.08	3.57	3.46	3.09	3.77	3.84	3.23
Eu	0.87	0.93	0.85	0.80	0.85	1.00	1.04	0.93	1.06	1.02	0.97
Gd	3.60	4.29	3.38	4.11	3.18	3.18	3.27	2.90	3.33	3.21	3.08
Tb	0.43	0.47	0.39	0.51	0.36	0.49	0.48	0.46	0.50	0.46	0.47
Dy	2.76	2.96	2.38	3.06	2.34	2.74	2.62	2.53	2.70	2.38	2.67
Ho	0.48	0.54	0.44	0.60	0.46	0.55	0.53	0.52	0.53	0.49	0.54
Er	1.59	1.81	1.44	1.73	1.37	1.48	1.38	1.42	1.43	1.31	1.49
Tm	0.22	0.25	0.21	0.24	0.19	0.21	0.20	0.21	0.21	0.19	0.21
Yb	1.65	1.80	1.57	1.77	1.48	1.38	1.24	1.38	1.33	1.23	1.43
Lu	0.24	0.27	0.22	0.25	0.22	0.20	0.18	0.20	0.20	0.18	0.20
U	6.09	8.52	5.97	5.63	6.07	2.71	2.25	1.98	1.58	2.10	1.83
δ Eu	0.73	0.62	0.73	0.58	0.82	0.89	0.94	0.93	0.89	0.86	0.93
Σ REE	143.5	212.2	178.8	167.4	131.9	118.45	128.6	91.51	135.5	160.7	82.09

续表2

样品号	LTF-A02	LTF-A03	LTF-A04	LTF-A05	LTF-A06	LTF-B01	LTF-B02	LTF-B03	LTF-B04	LTF-B05	LTF-B06
LREE	132.5	199.8	168.7	155.1	122.3	108.1	118.7	81.88	125.3	151.2	72.01
HREE	10.96	12.38	10.03	12.27	9.60	10.24	9.89	9.63	10.22	9.45	10.08
LREE/HREE	12.09	16.14	16.82	12.64	12.74	10.55	12.00	8.51	12.26	16.00	7.14
(La/Yb) _N	14.85	19.90	19.12	15.92	14.76	10.78	11.41	8.01	15.53	22.23	7.17
(La/Sm) _N	6.31	7.16	7.72	6.21	6.64	3.87	3.83	3.34	5.10	6.64	2.96
Zr/Y	14.44	11.93	14.56	13.44	16.72	9.89	2.57	12.73	12.24	10.49	12.03
La/Nb	1.90	3.01	2.75	1.99	1.83	2.49	2.61	1.92	3.62	5.14	1.61

的负铕异常: 花岗闪长岩 δEu 为 0.86~0.94, 钾长花岗岩 δEu 为 0.58~0.82。(3) 富集大离子亲石元素 (Sr、Ba、Rb 等), 但富集程度不一致(图 5b)。花岗闪长岩强烈富集 Sr($314\text{--}525\times 10^{-6}$)、Ba($405\text{--}571\times 10^{-6}$), 但 Rb 含量不高($18\text{--}82\times 10^{-6}$); 钾长花岗岩强烈富集 Rb($343\text{--}472\times 10^{-6}$)、Ba($463\text{--}595\times 10^{-6}$), 但 Sr 富集程度不高($161\text{--}188\times 10^{-6}$)。(4) 亏损高场强元素 (Nb、Ta、Ti), 在原始地幔标准化曲线上出现强烈的 Nb 和 Ti 负异常, 相对明显的 Ta 负异常(图 5b), Nb/Ta 比值相对较低(7.3~10.5); 相对而言, 钾长花岗岩的 Nb(18.33×10^{-6})、Ta(2.396×10^{-6}) 平均含量是花岗闪长岩的 Nb(8.535×10^{-6})、Ta(0.8592) 平均含量的 2~3 倍。Nb/Ta 值 7.3~10.5。(5) 近乎一致且较低含量的 Y($<18\times 10^{-6}$)、Yb($<1.7\times 10^{-6}$)。

4 讨论

4.1 三叠纪岩浆活动与成矿

根据研究区样品的锆石 U-Pb 年龄测试结果, 花岗闪长岩成岩时代约在 233 Ma, 归属于中三叠世, 钾长花岗岩的成岩时代为 218 Ma, 属晚三叠世

岩浆活动的产物。东昆仑地区的花岗岩主要形成于 260 Ma~220 Ma 之间, 近年来成岩成矿年代学的研究均表明, 印支期是东昆仑地区成矿强度最大的多金属成矿期(表 3), 如卡尔却卡、拉陵灶火、它温查汉砂卡岩型铜(铁)矿成岩成矿时代 220~250 Ma (丰成友等, 2009; 王松等, 2009; 丰成友等, 2012; 陈静等, 2013; 王富春等, 2013; 田承盛等, 2013); 野马泉、虎头崖、尕斯库勒砂卡岩铁成岩成矿时代为 219~239 Ma (高永宝等, 2012; 丰成友等, 2012; 高永宝等, 2014; 姚磊等, 2015; 李侃等, 2015; 瞿泓滢等, 2015; 白宜娜等, 2016; 张爱奎等, 2016)。鸭子沟、长山、莫河下拉斑岩型钼/铜矿成岩成矿时代为 219~224 Ma (李世金等, 2008; 何书跃等, 2009; 丰成友等, 2012; 许庆林等, 2014)。与成矿有关的岩体大多形成于中、晚三叠世, 与碰撞-后碰撞的构造背景关系密切。岩石地球化学特征和成岩年代学数据显示, 研究区 233 Ma 和 218 Ma 的花岗岩类具有明显不同的地球化学特征, 而且这 2 类花岗质岩石的成岩时代分别与区域构造体制转换时代具有明显的耦合关系。这说明, 研究区在中晚三叠世的地球动力学背景的差异性, 可能导致该区发生了 2 期明显不同的岩浆作用过程, 而不同的岩浆过程可能是形成不同

表 3 东昆仑地区印支期典型矿床成岩成矿时代简表

矿床名称	成因类型	成岩成矿时代		分析方法	参考文献
卡尔却卡	矽卡岩型铁铜钼矿	花岗闪长岩	237±2	锆石 SHRIMP U – Pb	(王松等 2009)
			239 ± 11	辉钼矿 Re – Os	(丰成友等 2009)
野马泉	矽卡岩型铁矿	闪长岩	219±1	锆石 LA – ICPMS U – Pb	(高永宝等 2014)
尔林格	矽卡岩型铁矿	闪长岩	228. 3 ± 0. 5	锆石 LA – ICPMS U – Pb	(高永宝等 2012)
			234. 4 ± 0. 6	锆石 LA – ICPMS U – Pb	(高永宝等 2012)
			227. 8±1. 7	SIMS	(丰成友等 2012)

续表3

矿床名称	成因类型	成岩成矿时代	分析方法	参考文献
拉陵灶火	矽卡岩型铜矿		228±2	锆石 LA - ICPMS U - Pb (白宜娜等 2016)
		金云母	234.1±3.7	云母 ³⁹ Ar - ⁴⁰ Ar (于森等 2015)
		似斑状花岗闪长岩	242.6±3.4	锆石 LA - ICPMS U - Pb (陈静等 2013)
		细粒花岗闪长岩	250.4±4.0	锆石 LA - ICPMS U - Pb (陈静等 2013)
		辉钼矿	240.8±4.0	辉钼矿 Re - Os (王富春等 2013)
它温查汉	矽卡岩型铁铜矿	黑云母	230.7 ± 2.0	云母 ³⁹ Ar - ⁴⁰ Ar (田承盛等 2013)
虎头崖	矽卡岩型铁多金属矿	花岗岩	227.7±0.6	锆石 LA - ICPMS U - Pb (丰成友等 2012)
		花岗闪长岩	235.4 ± 1.8	锆石 LA - ICPMS U - Pb (丰成友等 2011)
			233.6± 1.8	锆石 LA - ICPMS U - Pb (姚磊等 2015)
			239.7±0.8	锆石 LA - ICPMS U - Pb (李佩等 2015)
鸭子沟	斑岩型铜钼矿	辉钼矿	225.0 ± 4	辉钼矿 Re - Os (丰成友等 2011)
		花岗岩	224.0 ± 1.6	锆石 SHRIMP U-Pb (李世金等 2008)
		辉钼矿	224.7 ± 3.4	辉钼矿 Re - Os (何书跃等 2009; 李世金等 2008)
长山	斑岩型钼矿	花岗岩	219.9 ± 1.3	锆石 LA - ICPMS U - Pb (丰成友等 2012)
莫河下拉	斑岩型铜矿	花岗斑岩	222± 1	锆石 LA - ICPMS U - Pb (许庆林等 2014)

类型矿床的控制因素。

4.2 构造体制转换及对古特提斯洋演化的制约

研究区花岗闪长岩属于高钾钙碱性准铝质岩石系列,富集大离子不相容元素,亏损高场强元素,符合岛弧型岩浆作用的基本特征,在 pearce 花岗岩判别图解(图 6)中投点大多数落入火山弧花岗岩区,说明花岗闪长岩形成于岛弧俯冲消减环境。钾长花岗岩因较高的 Rb、Nb、Ta 含量,在 pearce 花岗岩判别图解(图 6)中均落于同碰撞花岗岩区内,说明钾长花岗岩形成于碰撞环境中。

据已有研究成果,在加里东板块运动结束之后,东昆仑地区整体大地构造环境从板间运动转为板内运动。自早石炭世起,东昆仑地区进入古特提斯洋演化阶段,古特提斯洋于晚二叠世开始向北俯冲至东昆仑下结束,并产生与俯冲-碰撞造山相关的岩浆活动(Yang et al., 1996; 郭正府等, 1998; 杨经绥等 2005; 南卡俄吾等 2015),俯冲作用时间至到早-中三叠世,中-晚三叠世全面转入陆内碰撞造山阶段。但也有学者(闫臻等, 2008)认为,东昆仑地区阿尼玛卿古特提斯洋俯冲作用持续到中二叠世。综合本次研究结果与前人研究成果,我们偏向于支持

东昆仑地区古特提斯洋俯冲作用持续到早-中三叠世,至中-晚三叠世才全面转入陆内碰撞造山阶段。除本次研究结果支持这一认识外,还有两个主要的地质证据:首先,东昆仑地区下三叠统洪水川组的大地构造属性为弧前盆地沉积相特征,其陆缘碎屑岩的物源主要来自昆北-昆中地区的弧岩浆岩,砂岩源区为陆缘弧背景区,进一步证明了早-中三叠世东昆仑构造带仍处于古特提斯洋洋壳俯冲活动时期(闫臻等, 2008; 杨忠智, 2012);其次,前人(南卡俄吾等 2014; 熊富浩等 2011; 罗文行等 2013; 菅坤坤等 2015)在研究区的邻近区域发现大量的晚二叠世-中三叠世的与俯冲作用有关的中基性岩浆岩,而到晚三叠世区内广泛出现的高钾钙碱性系列花岗岩-钾玄岩、A 型花岗岩组合(肖庆辉等 2009; 罗照华等, 1999; 陈丹玲等 2001)表明东昆仑地区晚三叠世进入板内演化阶段,而构造-岩浆组合的这种变化特征也表明东昆仑地区由俯冲-碰撞造山向碰撞后伸展体制转变发生在中-晚三叠世。

结合前人研究成果,我们可以大致推测古特提斯洋的演化过程如下: 309~260Ma,为洋脊形成和扩张阶段,该阶段形成了东昆仑南缘蛇绿岩,如布青山蛇绿岩和德尔尼蛇绿岩(菅坤坤等, 2017); 260~233Ma,为古特提斯洋洋壳向陆壳俯冲阶段,该阶段

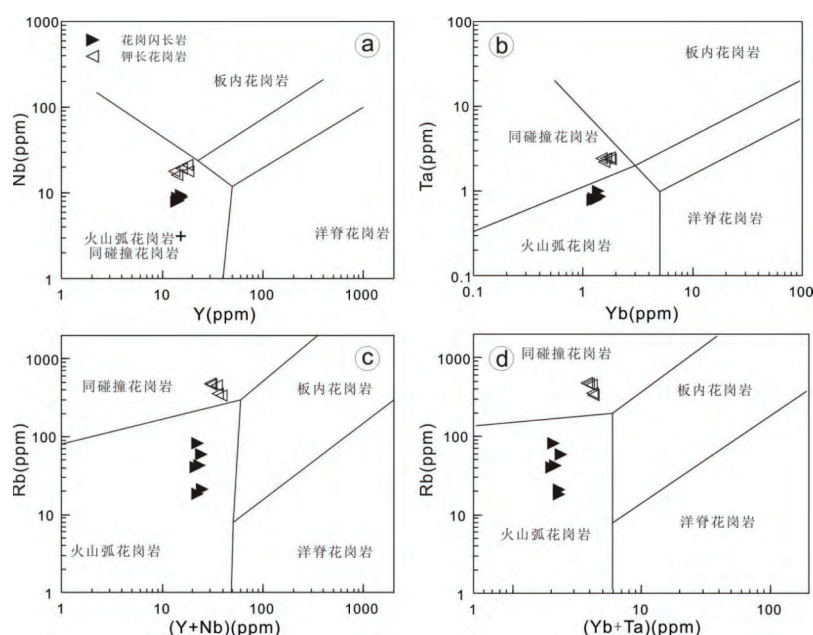


图6 东昆仑骆驼峰地区花岗闪长岩、钾长花岗岩大地构造环境判别图解
(底图据 Pearce, 1996)

形成了一套以中—高钾钙碱性系列为主的火山岩, 具有典型的安第斯型活动大陆边缘构造属性(菅坤坤等, 2017)。其中研究区花岗闪长岩形成于这个时代; 233~218Ma 为古特提斯洋洋壳俯冲作用停止, 进入碰撞造山阶段, 在 213Ma(高永宝等, 2014) 碰撞造山作用结束, 研究区进入碰撞后的伸展阶段。

5 结论

(1) 利用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年法获得骆驼峰花岗闪长岩的形成年龄为 (233 ± 1) Ma, 形成于中三叠世; 钾长花岗岩的形成年龄为 (218 ± 2) Ma, 为晚三叠世岩浆活动的产物;

(2) 骆驼峰花岗闪长岩形成于火山弧背景, 钾长花岗岩形成于同碰撞背景, 二者为古特提斯洋洋壳俯冲—碰撞的岩石记录。

(3) 东昆仑地区古特提斯洋洋壳俯冲作用持续至晚三叠世(~ 233 Ma), 218Ma 前后进入同碰撞阶段, 随后结束碰撞进入伸展阶段。

参考文献

- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report 204 Pb[J]. *Chemical Geology*, 192(1): 59-79.
- Liu Y, Gao S, Hu Z, et al. 2010. Continental and Oceanic Crust Recycling-induced Melt-Peridotite Interactions in the Trans-North Chi-

na Orogen: U-Pb Dating, Hf Isotopes and Trace Elements in Zircons from Mantle Xenoliths [J]. *Journal of Petrology*, 51(1-2): 537-571.

Liu Y, Hu Z, Gao S, et al. 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard [J]. *Chemical Geology*, 257(1-2): 0-43.

Ludwig K. 2003. User's manual for isoplot 3.00: a geo-chronological toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 4: 1-70.

Maniar, P.D., Piccoli, P.M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids [J]. *Geol. Soc. Am. Bull.* 101: 673-689.

Pearce, J.A. 1996. Sources and settings of granitic rocks [J]. *Episodes*, 19: 120-125.

Peccerillo, A., Taylor, D.R. 1976. Geochemistry of Eocene Calc-alkaline Volcanic Rocks from the Kastamonu Area, Northern Turkey [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.* 58: 63-81.

Sun, S.S., McDonough, W.F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D., Norry, M.J. (Eds.), *Magmatism in Ocean Basins* [M]. Geological Society of Special Publication, London: 313-345.

Wilson, M. 1989. *Igneous Petrogenesis* [M]. Unwin Hyman, London: 466.

Yang J S, Robinson P T, Jiang C F, et al. 1996. Ophiolites of the Kunlun Mountains, China and their tectonic implications [J]. *Tectonophysics*, 258(1-4): 0-231.

Yuan H, Gao S, Liu X, et al. 2010. Accurate U-Pb Age and Trace Element Determinations of Zircon by Laser Ablation-Inductively Cou-

- pled Plasma-Mass Spectrometry [J]. *Geostandards & Geoanalytical Research* 28(3): 353-370.
- 白宜娜, 孙丰月, 钱焯, 等. 2016. 青海东昆仑尕斯库勒多金属矿床辉石闪长岩 U-Pb 年代学及地球化学特征 [J]. *世界地质*, 35(01): 17-27.
- 陈丹玲, 刘良, 车自成, 等. 2001. 祁漫塔格印支期铝质 A 型花岗岩的确定及初步研究 [J]. *地球化学*, 30(6): 540-546.
- 陈静, 谢智勇, 李彬, 等. 2013. 东昆仑拉陵灶火钼多金属矿床含矿岩体地质地球化学特征及其成矿意义 [J]. *地质与勘探*, 49(05): 813-824.
- 丰成友, 李东生, 屈文俊, 等. 2009. 青海祁漫塔格索拉吉列砂卡岩型铜钼矿床辉钼矿-钼同位素定年及其地质意义 [J]. *岩矿测试*, 2009, 28(03): 223-227.
- 丰成友, 王松, 李国臣, 等. 2012. 青海祁漫塔格中晚三叠世花岗岩: 年代学、地球化学及成矿意义 [J]. *岩石学报*, 28(02): 665-678.
- 丰成友, 王雪萍, 苏晓峰, 等. 2011. 青海祁漫塔格虎头崖铅锌多金属矿床年代学研究及地质意义 [J]. *吉林大学学报(地)*, 41(6): 1806-1817.
- 高永宝, 李文渊, 马晓光, 等. 2012. 东昆仑尕斯库勒矿床成因年代学及 Hf 同位素制约 [J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 48(02): 36-47.
- 高永宝, 李文渊, 钱兵, 等. 2014. 东昆仑野马泉铁矿相关花岗质岩体年代学、地球化学及 Hf 同位素特征 [J]. *岩石学报*, 2014, 30(06): 1647-1665.
- 郭正府, 邓晋福. 1998. 青藏东昆仑晚古生代末—中生代酸性火成岩与陆内造山过程 [J]. *现代地质*, (3): 344-352.
- 何书跃, 李东生, 李良林, 等. 2009. 青海东昆仑鸭子沟斑岩型铜(钼)矿区辉钼矿-钼同位素年龄及地质意义 [J]. *大地构造与成矿学*, 33(02): 236-242.
- 黄汲清, 陈国铭, 陈炳蔚. 1984. 特提斯—喜马拉雅构造域初步分析 [J]. *地质学报*, (1): 4-20.
- 管坤坤, 魏燕霞, 施彬, 等. 2015. 东昆仑造山带中灶火地区早中生代镁铁质岩墙群的成因及地质意义 [J]. *中国地质*, (5): 1457-1470.
- 管坤坤, 朱云海, 王利伟, 等. 2017. 东昆仑中灶火地区中三叠世花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年、岩石成因及构造意义 [J]. *地质论评*, 63(3): 659-676.
- 姜春发. 昆仑开合构造 [M]. 北京: 地质出版社, 1992.
- 李侃, 高永宝, 钱兵, 等. 2015. 东昆仑祁漫塔格虎头崖铅锌多金属矿区花岗岩年代学、地球化学及 Hf 同位素特征 [J]. *中国地质*, 42(03): 630-645.
- 李世金, 孙丰月, 丰成友, 等. 2008. 青海东昆仑鸭子沟多金属矿的成矿年代学研究 [J]. *地质学报*, 82(07): 949-955.
- 罗文行, 钱莉莉, 李德威, 等. 2013. 东昆仑中灶火地区超镁铁质辉石岩的成因 [J]. *地球科学—中国地质大学学报*, 38(6): 1214-1228.
- 罗照华, 邓晋福, 曹永清, 等. 1999. 青海省东昆仑地区晚古生代—早中生代火山活动与区域构造演化 [J]. *现代地质*, 13(01): 51-56.
- 莫宣学, 罗照华, 邓晋福, 等. 2007. 东昆仑造山带花岗岩及地壳生长 [J]. *高校地质学报*, 13(3): 403-414.
- 南卡俄吾, 贾群子, 李文渊, 等. 2014. 青海东昆仑哈西亚图铁多金属矿区石英闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄和岩石地球化学特征 [J]. *地质通报*, (6): 841-849.
- 南卡俄吾, 贾群子, 唐玲, 等. 2015. 青海东昆仑哈西亚图矿区花岗岩闪长岩锆石 U-Pb 年龄与岩石地球化学特征 [J]. *中国地质*, 42(3): 702-712.
- 瞿泓滢, 丰成友, 裴荣富, 等. 2015. 青海祁漫塔格虎头崖多金属矿区岩体热年代学研究 [J]. *地质学报*, 89(03): 498-509.
- 任纪舜. 2004. 昆仑—秦岭造山系的几个问题 [J]. *西北地质*, 37(1): 1-5.
- 田承盛, 丰成友, 李军红, 等. 2013. 青海它温查汉铁多金属矿床⁴⁰Ar-³⁹Ar 年代学研究及意义 [J]. *矿床地质*, 32(01): 169-176.
- 王秉璋, 陈静, 罗照华, 等. 2014. 东昆仑祁漫塔格东段晚二叠世—早侏罗世侵入岩岩石组合时空分布、构造环境的讨论 [J]. *岩石学报*, 30(11): 3213-3228.
- 王富春, 陈静, 谢志勇, 等. 2013. 东昆仑拉陵灶火钼多金属矿床地质特征及辉钼矿 Re-Os 同位素定年 [J]. *中国地质*, 40(04): 1209-1217.
- 王松, 丰成友, 李世金, 等. 2009. 青海祁漫塔格卡尔却卡铜多金属矿区花岗闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年及其地质意义 [J]. *中国地质*, 36(01): 74-84.
- 肖庆辉, 邓晋福, 邱瑞照, 等. 2009. 花岗岩类与大陆地壳生长初探——以中国典型造山带花岗岩类岩石的形成为例 [J]. *中国地质*, 36(3): 594-622.
- 熊富浩, 马昌前, 张金阳, 等. 2011. 东昆仑造山带早中生代镁铁质岩墙群 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年、元素和 Sr-Nd-Hf 同位素地球化学 [J]. *岩石学报*, 27(11): 3350-3364.
- 许庆林, 孙丰月, 李碧乐, 等. 2014. 东昆仑莫河下拉银多金属矿床花岗斑岩年代学、地球化学特征及其构造背景 [J]. *大地构造与成矿学*, 38(02): 421-433.
- 许志琴, 杨经绥, 李海兵, 等. 2006. 中央造山带早古生代地体构架与高压/超高压变质带的形成 [J]. *地质学报*, 80(12): 1793-1806.
- 闫臻, 边千韬, Oleg, 等. 2008. 东昆仑南缘早三叠世洪水川组的源区特征: 来自碎屑组成、重矿物和岩石地球化学的证据 [J]. *岩石学报*, 24(5): 1068-1078.
- 杨经绥, 许志琴, 李海兵, 等. 2005. 东昆仑阿尼玛卿地区古特提斯火山作用和板块构造体系 [J]. *岩石矿物学杂志*, 24(5): 369-380.
- 杨经绥, 许志琴, 马昌前, 等. 2010. 复合造山作用和中国中央造山带的科学问题 [J]. *中国地质*, 37(1): 1-11.
- 杨忠智. 2012. 东昆仑造山带东段下三叠统洪水川组地质特征及构造环境研究 [D]. 西安: 长安大学.
- 姚磊, 吕志成, 于晓飞, 等. 2015. 青海祁漫塔格地区虎头崖矿床 VI 矿带花岗岩的成岩时代、地球化学特征和成因 [J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 45(03): 743-758.
- 于淼, 丰成友, 刘洪川, 等. 2015. 青海尕斯库勒砂卡岩型铁金云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 年代学及成矿地质意义 [J]. *地质学报*, 89(3): 510-521.

袁洪林, 吴福元, 高山, 等. 2003. 东北地区新生代侵入体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素成分分析[J]. 科学通报, 48(14): 1511.

袁万明, 莫宣学, 喻学惠, 等. 2000. 东昆仑印支期区域构造背景的花岗岩记录[J]. 地质论评, 46(2): 203-211.

张爱奎, 莫宣学, 袁万明, 等. 2016. 东昆仑西部野马泉地区三叠纪花岗岩成因与构造背景[J]. 矿物学报, 36(2): 157-173.

张建新, 于胜尧, 李云帅, 等. 2015. 原特提斯洋的俯冲、增生及闭合: 阿尔金-祁连-柴北缘造山系早古生代增生/碰撞造山作用[J]. 岩石学报, 31(12): 3531-3554.

Geochronology , Geochemistry and Tectonic Significance of Middle and Late Triassic Granites in the Luotuofeng Area , East Kunlun

GU Yan¹ , QIAN Ye^{1,2*} , LI Yu-jing^{1,2} , ZHAO Meng-qi³ , LIU Lei¹ , SUN Feng-yue^{1,2}

(1. College of Earth Sciences , Jilin University , Changchun 130061;

2. Key Laboratory of Mineral Resources Evaluation in Northeast Asia of the Ministry of Natural resource , Changchun 130061;

3. NO.3 Institute of Geology Exploration of Qinghai , Xining 810000)

Abstract: The Luotuofeng area is located in the North arc back fracture zone of the eastern Kunlun orogenic belt , which contains a large number of magmatic rocks that record the evolution of the Paleo-Tethys Ocean. Geochronology and geochemistry of two types of granites (granodiorite and moyite) in this area are studied in order to define the tectonic evolution of the Paleo-Tethys Ocean. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating shows that granodiorites (233Ma) were formed in the middle Triassic , and the moyite (218Ma) were formed in the late Triassic. The two type of rocks are high potassium calc-alkaline series , with a A/CNK value of 1.21 and 1.95 , belonging to the meta aluminous granitoids. All of them are characterized by low total amount of rare earth elements , obvious fractionation of light rare earth and weak negative Eu anomaly. Granodiorite is rich in large ion lithophile elements and depleted high field strength elements. It has the characteristics of volcanic arc granite and is the product of subduction of the Paleo-Tethyan Ocean. Moyite have relatively high Nb , Ta and Rb contents , showing the characteristics of syn-collisional granites , suggesting that the Paleo-Tethyan Ocean closed into the land-land collision stage in the early Triassic. The two types of rocks record the transformation of the tectonic system from subduction to extinction of the Paleo-Tethyan Ocean.

Key words: geochronological , geochemical , tectonic system transformation , eastern Kunlun , Luotuofeng area