

doi:10.3969/j.issn.0563-5020.2013.04.000

西藏阿里地区冈底斯花岗岩体的 热年代学特征及其构造意义*

莫亚思^{1,2} 王世锋³ 王超^{1,2}

(1.大陆碰撞与高原隆升重点实验室,中国科学院青藏高原研究所 北京 100101;

2.中国科学院大学 北京 100049; 3.中国地质科学院地质力学研究所 北京 100085)

摘要 冈底斯花岗岩带是一条沿雅鲁藏布江北侧近东西向展布的,长约 2 500 km、宽 100~300 km 的巨型岩浆岩带。在阿里冈底斯山主峰岗仁波吉峰附近,冈底斯花岗岩体受到多期断裂活动的影响,特别是喜马拉雅大反向断裂和喀喇昆仑断裂活动的改造,由此造成断裂和岩体的关系出现很多复杂的情况,特别是一些研究者将在北阿伊拉日居山分布的 32~25 Ma 这期花岗岩作为喀喇昆仑断裂活动引起的同构造花岗岩,并把此年龄归结为断层活动年龄,从而引起极大的争论。本文的锆石 U-Pb 年龄指示了岗仁波吉峰地区的冈底斯花岗岩是由 110 Ma, 60 Ma 和 50 Ma 的 3 期花岗岩组成,而韧性剪切带内的锆石年龄与附近未变形岩石内的锆石年龄一致,表明锆石的形态并未受到断裂活动的影响。韧性剪切带内云母的氩氩年龄为 12 Ma 左右,而周围未变形花岗岩的云母氩氩年龄在 60~50 Ma 左右,由此表明喀喇昆仑断裂在岗仁波吉峰地区是 12 Ma 开始活动的。由于研究区内韧性剪切带中的变形花岗岩并没有记录 32~25 Ma 这一期热事件,由此排除了断裂在狮泉河—门士一线是 32~25 Ma 开始活动的可能性。

关键词 冈底斯花岗岩 喜马拉雅大反向断裂 喀喇昆仑断裂 U-Pb 年龄 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄

中图分类号: P542, P597 **文献标识码**: A **文章编号**: 0563-5020(2013)04- -17

冈底斯花岗岩带北以班公湖—怒江缝合带为界、南以印度河—雅鲁藏布缝合带为界,是一条近东西向展布的,长约为 2 500 km、南北宽为 100~300 km 的巨型岩浆岩带。已有的研究表明该花岗岩带形成时间可分为 205~152 Ma, 109~80 Ma, 65~41 Ma, 33~13 Ma 的 4 个阶段,不同时期形成的花岗岩反映了雅鲁藏布江洋壳向北俯冲消亡、陆—陆碰撞及伸展造山不同阶段的板块活动特征(Scharer et al., 1984; Harrison et al., 2000; 纪伟强等, 2009)。在阿里地区冈底斯山主峰岗仁波吉峰附近,冈底斯花岗岩体受到多期断裂活动的影响,特别是喜马拉雅大反向断裂和喀喇昆仑断裂活动的改造,由此造成断裂和岩体的关系出现很多复杂的情况,如在岗仁波吉峰西边的阿伊拉日山地区有一期 32~25 Ma 的花岗岩, Lacassin et al. (2004) 和 Valli et al. (2007, 2008) 将其归为由喀喇昆仑断

* 地调局地质调查项目(编号: 1212011120182, 1212011120099) 和国家自然科学基金项目(编号: 41172192, 40672142) 资助。

莫亚思, 女, 1989年9月, 硕士研究生, 构造地质学专业。E-mail: 544569601@qq.com

王世锋, 男, 1970年2月, 博士, 研究员, 构造地质学专业。本文通讯作者。E-mail: wsf@cags.ac.cn, wsf@itpcas.ac.cn

2013-05-16 收稿, 2013-08-31 改回。

裂活动引起的同构造花岗岩,从而确定断裂活动时间为 32~25 Ma; 而 Wang et al. (2009, 2011, 2012) 则认为该期花岗岩在冈底斯花岗岩带有多处露头 (Chung et al., 2003, 2005; Hou et al., 2004; Mo et al., 2006), 该期花岗岩与断裂活动无关, 真正反映断裂活动时间的是冈底斯花岗岩体韧性剪切带内云母的氩氩年龄 (约 12 Ma)。为了明确岗仁波吉峰地区断裂与冈底斯花岗岩带的构造关系, 我们系统采集了该区的岩石样品 (图 1), 希望通过精确的年代学数据进一步说明二者的关系。

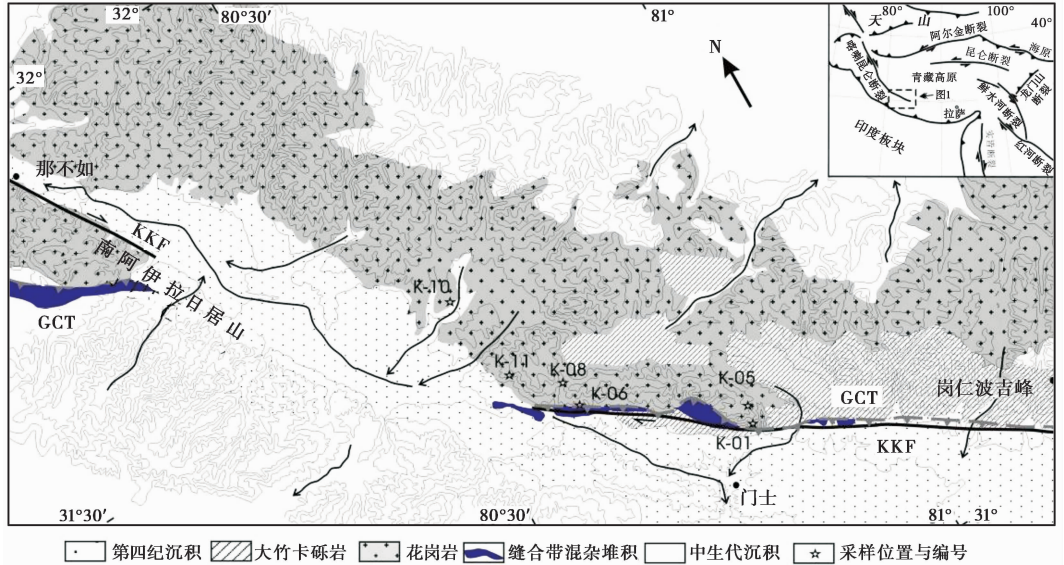


图 1 岗仁波吉峰地区构造地质简图

Fig. 1 Simple geological of the Gandese granite in Kailas area

(GCT: 大反向断裂; KKF: 喀喇昆仑断裂)

1 地质背景

喀喇昆仑断裂和喜马拉雅大反向断裂是岗仁波吉峰地区两个稳定的构造单元 (图 1)。喜马拉雅大反向断裂在研究区走向, 约为 115° , 为一断层面倾向南西、向北东方向逆冲的推覆构造, 断裂上盘为中生代特提斯沉积地层夹雅鲁藏布江蛇绿岩套的混杂堆积, 断裂下盘主要为冈底斯花岗岩和第三系大竹卡组砾岩 (西藏自治区地质矿产局, 1993; Yin et al., 1999; Murphy et al., 2010)。喀喇昆仑断裂则是本区的另一组走向, 约为 145° 、倾角近乎直立的右旋走滑断裂, 断裂控制了门士—狮泉河走滑拉分盆地的形成发育, 并错断了喜马拉雅大反向断裂, 错距在 60~52 km 左右 (Murphy et al., 2000; Wang et al., 2008, 2012)。门士—狮泉河盆地两侧的构造地貌特征显示, 喀喇昆仑断裂在在岗仁波吉峰地区为断面西南倾向, 在阿伊拉日居山地区断面倾向北东。阿伊拉日居山脉走向近南北向, 根据其地理位置分为南北阿伊拉日居山两部分。喀喇昆仑断裂在门士—狮泉河盆地两侧表现为不同分支断裂间的侧接 (图 1)。关于同构造花岗岩的争论主要围绕阿伊拉日居山地区展开的 (Lacassin et al., 2004; Searle and Phillips, 2004; Valli et al., 2007, 2008; Wang et al., 2009, 2011, 2012, 2013; Leloup et al., 2013), 而同样是断裂通

过的岗仁波吉峰地区,研究程度相对很低,仅有若干锆石 U-Pb 测年数据(Miller et al., 2000; Wang et al., 2012)。

2 岩石样品和分析测试流程

所有样品均采自岗仁波吉峰西侧的花岗岩体,该岩体为喜马拉雅大反向断裂下盘,样品的具体位置如图 1 所示。样品 K-01 和 K-05 来自花岗闪长岩,岩石内有暗色俘虏体,暗色矿物显示岩石半定向结构,其中约含 15%角闪石, 10%的黑云母, 70%的长石与石英类浅色矿物。样品 K-06 花岗岩质糜棱岩浅色条带,其中约含 35%斜长石与钾长石, 25%的黑云母, 5%的白云母以及 35%的长英质岩脉和副矿物。样品 K-08、K-10 和 K-11 为中一粗粒钾长花岗岩,其中约含 30%的石英, 25%的斜长石, 20%的钾长石, 15%的角

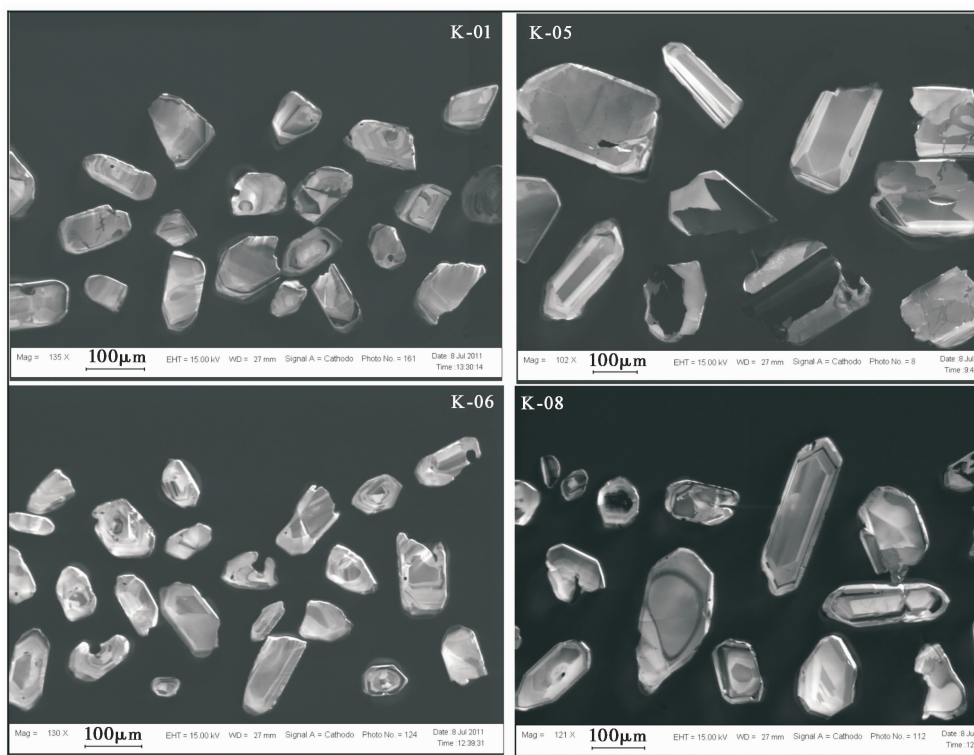


图 2 锆石的阴极发光图片

Fig. 2 The Zircon shape in CL image

闪石, 5%的黑云母以及 5%左右的副矿物。锆石的分选采用重液和磁选方法在河北省地质队实验室完成。运用阴极发光图像来观测锆石颗粒的内部结构并选取合适的点位用以分析研究。U、Th、Pb 的测定在中国科学院青藏高原研究所 LA-ICP-MS 进行,详细分析方法见 Li et al.(2009)。锆石标样与锆石样品以 1:3 比例交替测定。U-Th-Pb 同位素比值用标准锆石 Plésovice (337 Ma, Sláma et al., 2008) 校正获得,以标准样品 Qinghu (159.5 Ma, Li et al., 2009) 作为未知样监测数据的精确度。同位素比值及年龄误差均为 1σ 。数据结果处理采用 Isoplot 软件(Ludwig, 2001)。表 1 为锆石 U-Pb 年龄数据。

表 1 冈底斯花岗岩锆石 LA-ICP-MS 同位素组成和年龄
 Table 1 LA-ICP-MS isotopic compositions and ages of zircons from the Gangdese granite

Spot	Concentrations/ $\times 10^{-6}$				Th/U	U-Th-Pb isotopic ratios				Ages/Ma						
	Pb*	Th	U			$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	1	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	1	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	1	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$		
k01																
k01-001	14.5	131	215	0.61	0.488	0.0030	0.1077	0.0064	0.0160	0.0002	136	108	104	6	102	1
k01-002	11.2	139	150	0.93	0.483	0.0154	0.1218	0.0385	0.0183	0.0007	115	475	117	35	117	4
k01-003	9.6	103	140	0.74	0.481	0.0056	0.1064	0.0122	0.0161	0.0004	104	212	103	11	103	2
k01-004	20.3	163	303	0.54	0.482	0.0057	0.1065	0.0123	0.0160	0.0004	110	207	103	11	103	3
k01-005	10.7	119	156	0.76	0.483	0.0044	0.1072	0.0096	0.0161	0.0003	116	162	103	9	103	2
k01-006	48.0	351	625	0.56	0.486	0.0044	0.1244	0.0111	0.0186	0.0004	126	162	119	10	119	2
k01-007	11.5	168	167	1.01	0.482	0.0038	0.1046	0.0081	0.0157	0.0003	110	142	101	7	101	2
k01-008	11.6	110	157	0.70	0.485	0.0055	0.1189	0.0133	0.0178	0.0004	124	211	114	12	114	2
k01-009	32.0	225	467	0.48	0.483	0.0023	0.1111	0.0052	0.0167	0.0002	116	89	107	5	107	1
k01-010	14.4	171	201	0.85	0.483	0.0058	0.1102	0.0131	0.0166	0.0003	112	230	106	12	106	2
k01-011	15.2	157	210	0.75	0.481	0.0027	0.1126	0.0060	0.0170	0.0002	104	96	108	6	108	1
k01-012	11.1	115	161	0.71	0.483	0.0049	0.1064	0.0106	0.0160	0.0003	114	182	103	10	102	2
k01-013	15.6	185	233	0.79	0.481	0.0040	0.1043	0.0085	0.0157	0.0002	105	155	101	8	100	1
k01-014	12.1	138	165	0.84	0.485	0.0062	0.1121	0.0141	0.0168	0.0005	121	229	108	13	107	3
k01-015	16.8	170	241	0.70	0.484	0.0030	0.1092	0.0067	0.0164	0.0002	118	111	105	6	105	1
k01-016	10.8	125	149	0.84	0.480	0.0090	0.1124	0.0209	0.0170	0.0005	98	298	108	19	109	3
k01-017	27.8	138	420	0.33	0.495	0.0052	0.1107	0.0115	0.0162	0.0003	171	199	107	10	104	2
k01-018	7.3	60	102	0.59	0.486	0.0118	0.1155	0.0279	0.0172	0.0004	128	386	111	25	110	3
k01-019	9.3	79	135	0.58	0.487	0.0066	0.1098	0.0148	0.0164	0.0003	134	254	106	14	105	2
k01-020	15.4	153	214	0.72	0.481	0.0029	0.1102	0.0066	0.0166	0.0002	103	110	106	6	106	1
k01-021	9.8	90	143	0.63	0.481	0.0030	0.1056	0.0064	0.0159	0.0002	102	108	102	6	102	1

续表 1

Spot	Concentrations/ $\times 10^{-6}$				U-Th-Pb isotopic ratios				Ages/Ma							
	Pb*		Th/U		$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$					
	Pb*	Th	U	Th/U	1	2	1	2	1	2	1	2				
k01-022	13.9	167	193	0.86	0.0481	0.0029	0.1088	0.0064	0.0164	0.0002	104	105	105	6	105	1
k01-023	10.1	94	141	0.66	0.0484	0.0036	0.1101	0.0079	0.0165	0.0003	119	131	106	7	105	2
k01-024	12.7	128	174	0.74	0.0484	0.0049	0.1143	0.0115	0.0171	0.0003	119	197	110	10	109	2
k01-025	14.5	129	193	0.67	0.0485	0.0030	0.1172	0.0072	0.0175	0.0003	122	110	112	7	112	2
k01-026	7.7	69	113	0.61	0.0485	0.0095	0.1069	0.0207	0.0160	0.0005	125	309	103	19	102	3
k01-027	6.6	56	96	0.59	0.0485	0.0060	0.1136	0.0139	0.0170	0.0003	125	234	109	13	109	2
k01-028	7.9	65	115	0.56	0.0484	0.0069	0.1122	0.0160	0.0168	0.0003	118	258	108	15	108	2
k01-029	8.7	72	121	0.60	0.0484	0.0047	0.1108	0.0105	0.0166	0.0003	116	173	107	10	106	2
k01-030	6.5	52	91	0.57	0.0484	0.0055	0.1101	0.0123	0.0165	0.0003	119	211	106	11	105	2
k01-031	10.7	83	148	0.56	0.0483	0.0065	0.1116	0.0149	0.0168	0.0003	114	248	107	14	107	2
k01-032	7.1	58	102	0.56	0.0483	0.0081	0.1088	0.0180	0.0164	0.0005	112	284	105	17	105	3
k01-033	52.7	52	87	0.59	0.0490	0.0341	0.1220	0.0847	0.0181	0.0012	147	1013	117	77	115	7
k01-034	12.9	113	182	0.62	0.0487	0.0071	0.1094	0.0157	0.0163	0.0003	133	263	105	14	104	2
k01-035	18.0	144	254	0.57	0.0483	0.0025	0.1094	0.0054	0.0164	0.0002	115	89	105	5	105	1
K05																
k05-001	6.3	79	94	0.83	0.0492	0.0052	0.1092	0.0114	0.0161	0.0492	158	201	105	10	103	2
k05-002	8.4	102	122	0.84	0.0496	0.0046	0.1130	0.0102	0.0165	0.0496	176	172	109	9	106	2
k05-003	13.1	196	192	1.02	0.0488	0.0033	0.1080	0.0071	0.0161	0.0488	140	122	104	6	103	1
k05-004	8.0	101	110	0.93	0.0474	0.0059	0.1138	0.0139	0.0174	0.0474	68	222	109	13	111	2
k05-005	9.6	157	133	1.18	0.0517	0.0039	0.1208	0.0089	0.0170	0.0517	271	140	116	8	108	2
k05-006	9.0	80	133	0.60	0.0517	0.0041	0.1211	0.0094	0.0170	0.0517	273	149	116	9	109	2
k05-007	11.2	143	158	0.91	0.0455	0.0037	0.1068	0.0086	0.0170	0.0455	-30	148	103	8	109	2
k05-008	11.5	173	159	1.09	0.0520	0.0039	0.1219	0.0089	0.0170	0.0520	286	138	117	8	109	2
k05-009	15.1	191	208	0.92	0.0498	0.0035	0.1200	0.0083	0.0175	0.0498	184	129	115	7	112	2

续表 1

Spot	Concentrations/ $\times 10^{-6}$				U-Th-Pb isotopic ratios				Ages/Ma							
	Pb*		Th/U		$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$					
	Pb*	Th	U	Th/U	1	1	1	1	1	1	1	1				
k05-010	10.8	161	145	1.11	0.0506	0.0165	0.1250	0.0405	0.0179	0.0506	224	513	120	37	114	4
k05-011	11.4	121	149	0.81	0.0484	0.0064	0.1242	0.0163	0.0186	0.0484	117	244	119	15	119	2
k05-012	10.3	119	143	0.83	0.0483	0.0066	0.1161	0.0157	0.0175	0.0483	112	250	112	14	112	2
k05-013	13.8	120	166	0.72	0.0486	0.0058	0.1349	0.0158	0.0201	0.0486	129	223	129	14	128	2
k05-014	8.4	92	115	0.81	0.0499	0.0184	0.1196	0.0437	0.0174	0.0499	188	552	115	40	111	5
k05-015	6.2	50	93	0.54	0.0512	0.0229	0.1179	0.0524	0.0167	0.0512	248	706	113	48	107	5
k05-016	6.4	58	93	0.62	0.0487	0.0373	0.1100	0.0837	0.0164	0.0487	133	1057	106	77	105	9
k05-017	20.2	202	239	0.85	0.0482	0.0094	0.0856	0.0163	0.0129	0.0482	109	294	83	15	82	3
k05-018	10.4	101	137	0.73	0.0486	0.0069	0.1224	0.0170	0.0183	0.0486	131	245	117	15	117	3
k05-019	9.0	67	137	0.49	0.0486	0.0065	0.1131	0.0150	0.0169	0.0486	130	244	109	14	108	2
k05-020	170.0	1836	2252	0.81	0.0494	0.0011	0.1265	0.0026	0.0186	0.0494	167	33	121	2	118.6	0.9
k05-021	6.3	57	86	0.66	0.0482	0.0141	0.1222	0.0357	0.0184	0.0482	109	454	117	32	117	3
k05-022	30.7	223	426	0.52	0.0484	0.0019	0.1224	0.0045	0.0184	0.0484	118	67	117	4	117	1
k05-023	9.6	126	140	0.90	0.0481	0.0058	0.1092	0.0129	0.0165	0.0481	104	218	105	12	105	2
k05-024	10.2	96	154	0.63	0.0482	0.0079	0.1104	0.0181	0.0166	0.0482	108	287	106	17	106	2
k05-025	11.9	127	169	0.75	0.0484	0.0032	0.1166	0.0075	0.0175	0.0484	116	118	112	7	112	2
k05-026	7.4	81	110	0.74	0.0482	0.0052	0.1105	0.0116	0.0166	0.0482	111	200	106	11	106	2
k05-027	5.2	43	77	0.56	0.0491	0.0100	0.1162	0.0234	0.0172	0.0491	154	319	112	21	110	4
k05-028	6.6	62	98	0.63	0.0487	0.0063	0.1131	0.0145	0.0169	0.0487	132	243	109	13	108	2
k05-029	16.6	182	235	0.78	0.0497	0.0049	0.1176	0.0114	0.0172	0.0497	180	191	113	10	110	2
k05-030	21.4	260	307	0.85	0.0488	0.0041	0.1144	0.0095	0.0170	0.0488	140	163	110	9	109	1
k05-031	9.3	80	135	0.59	0.0481	0.0059	0.1166	0.0140	0.0176	0.0481	105	225	112	13	112	2
k05-032	13.8	128	200	0.65	0.0483	0.0045	0.1178	0.0107	0.0177	0.0483	113	175	113	10	113	2
k05-033	11.2	123	157	0.79	0.0487	0.0052	0.1181	0.0123	0.0176	0.0487	134	203	113	11	112	2

续表 1

Spot	Concentrations/ $\times 10^{-6}$				U-Th-Pb isotopic ratios				Ages/Ma								
	Pb*	Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$						
					I	1	I	1	I	1	I	1					
K06																	
k06-001	8.0	287	237	1.21	0.0478	0.0071	0.0548	0.0081	0.0083	0.0002	0.0002	75	217	64	8	62	2
k06-002	5.0	157	128	1.23	0.0475	0.0266	0.0604	0.0338	0.0092	0.0004	0.0004	60	250	62	9	59	2
k06-003	13.0	647	324	2.00	0.0475	0.0052	0.0597	0.0064	0.0091	0.0002	0.0002	64	266	62	10	60	2
k06-004	4.2	114	116	0.99	0.0474	0.0077	0.0578	0.0093	0.0089	0.0002	0.0002	75	397	59	15	58	2
k06-005	6.0	163	164	1.00	0.0472	0.0063	0.0593	0.0078	0.0091	0.0002	0.0002	86	219	60	7	59	1
k06-006	4.6	181	137	1.32	0.0471	0.0093	0.0545	0.0107	0.0084	0.0002	0.0002	81	348	65	14	63	2
k06-007	7.7	320	209	1.53	0.0476	0.0042	0.0570	0.0049	0.0087	0.0002	0.0002	76	251	59	8	58	2
k06-008	4.5	149	140	1.06	0.0475	0.0130	0.0538	0.0146	0.0082	0.0003	0.0003	72	362	63	14	61	2
k06-009	3.9	134	113	1.19	0.0478	0.0078	0.0561	0.0091	0.0085	0.0002	0.0002	77	240	64	9	62	2
k06-010	4.7	171	139	1.23	0.0476	0.0128	0.0563	0.0150	0.0086	0.0003	0.0003	76	320	60	12	58	2
k06-011	5.3	165	151	1.10	0.0477	0.0066	0.0572	0.0078	0.0087	0.0002	0.0002	75	375	59	14	59	2
k06-012	5.0	140	145	0.97	0.0474	0.0111	0.0566	0.0131	0.0087	0.0002	0.0002	67	344	59	13	58	2
k06-013	6.4	263	180	1.46	0.0475	0.0091	0.0550	0.0105	0.0084	0.0002	0.0002	72	278	62	10	60	1
k06-014	5.8	216	162	1.34	0.0476	0.0053	0.0572	0.0063	0.0087	0.0002	0.0002	98	200	59	6	62	1
k06-015	6.4	206	173	1.19	0.0473	0.0077	0.0585	0.0095	0.0090	0.0002	0.0002	65	266	59	9	58	1
k06-016	6.4	189	177	1.07	0.0475	0.0054	0.0579	0.0064	0.0089	0.0002	0.0002	94	200	60	6	58	1
k06-017	6.6	213	172	1.24	0.0471	0.0123	0.0597	0.0152	0.0092	0.0005	0.0005	56	357	59	15	59	3
k06-018	5.6	155	158	0.98	0.0478	0.0087	0.0576	0.0104	0.0088	0.0002	0.0002	88	276	64	10	61	1
k06-019	7.8	304	224	1.36	0.0471	0.0058	0.0557	0.0068	0.0086	0.0002	0.0002	78	216	59	6	58	1
k06-020	4.5	107	130	0.83	0.0475	0.0064	0.0585	0.0077	0.0090	0.0002	0.0002	73	217	65	7	63	1
k06-021	7.1	142	201	0.71	0.0474	0.0056	0.0606	0.0070	0.0093	0.0002	0.0002	71	218	60	7	59	1
k06-022	5.9	167	162	1.03	0.0476	0.0100	0.0611	0.0127	0.0093	0.0003	0.0003	79	307	65	12	62	2
k06-023	4.4	116	121	0.96	0.0477	0.0070	0.0613	0.0089	0.0093	0.0002	0.0002	84	254	60	9	60	1

续表 1

Spot	Concentrations/ $\times 10^{-6}$				U-Th-Pb isotopic ratios				Ages/Ma							
	Pb*	Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$					
					I	1	I	1	I	1	I	1				
k06-024	4.7	128	142	0.90	0.0471	0.0063	0.0539	0.0071	0.0083	0.0002	78	215	60	7	58	1
k06-025	6.3	248	176	1.41	0.0474	0.0081	0.0563	0.0095	0.0086	0.0002	67	266	60	9	58	1
k06-026	5.3	143	143	1.00	0.0472	0.0130	0.0623	0.0170	0.0096	0.0003	59	408	61	16	62	2
k06-027	6.0	186	168	1.11	0.0477	0.0070	0.0590	0.0084	0.0090	0.0003	82	234	61	8	59	2
k06-028	5.1	172	130	1.32	0.0475	0.0059	0.0627	0.0077	0.0096	0.0002	74	215	64	7	62	2
k06-029	4.9	143	127	1.13	0.0476	0.0107	0.0647	0.0144	0.0099	0.0003	80	358	61	14	59	2
k06-030	3.5	107	107	1.00	0.0476	0.0133	0.0543	0.0151	0.0083	0.0003	77	385	59	14	59	2
k06-031	5.5	177	150	1.18	0.0472	0.0072	0.0597	0.0090	0.0092	0.0003	60	244	61	9	61	2
k06-032	5.5	170	153	1.11	0.0473	0.0105	0.0573	0.0126	0.0088	0.0003	99	311	64	12	62	2
k06-033	4.0	89	112	0.80	0.0475	0.0119	0.0598	0.0149	0.0091	0.0003	75	378	59	14	59	2
k06-034	2.9	78	79	0.99	0.0475	0.0200	0.0638	0.0267	0.0097	0.0004	75	672	60	26	59	2
k06-035	5.0	142	129	1.10	0.0475	0.0104	0.0649	0.0141	0.0099	0.0003	76	354	61	14	60	2
k06-036	6.0	211	165	1.28	0.0478	0.0069	0.0586	0.0083	0.0089	0.0003	90	239	59	8	58	2
k06-037	4.6	112	137	0.81	0.0473	0.0155	0.0590	0.0193	0.0090	0.0003	92	460	63	18	61	2
k06-038	4.2	96	118	0.81	0.0472	0.0078	0.0584	0.0095	0.0090	0.0002	82	253	63	9	62	2
K08																
k08-001	6.2	99	149	0.67	0.0473	0.0226	0.0618	0.0294	0.0095	0.0004	64	750	61	28	61	2
k08-002	15.6	319	375	0.85	0.0479	0.0123	0.0641	0.0164	0.0097	0.0003	93	401	63	16	62	2
k08-003	22.9	703	631	1.11	0.0478	0.0076	0.0539	0.0083	0.0082	0.0003	88	254	53	8	53	2
k08-004	6.9	130	172	0.75	0.0470	0.0152	0.0622	0.0200	0.0096	0.0003	51	486	61	19	62	2
k08-005	17.2	254	432	0.59	0.0494	0.0082	0.0655	0.0107	0.0096	0.0003	168	278	64	10	62	2
k08-006	28.8	574	871	0.66	0.0473	0.0038	0.0516	0.0041	0.0079	0.0001	62	152	51	4	50.9	0.6
k08-007	10.4	289	260	1.11	0.0471	0.0159	0.0613	0.0205	0.0095	0.0005	53	484	60	20	61	3
k08-008	20.0	578	567	1.02	0.0473	0.0031	0.0533	0.0034	0.0082	0.0001	66	114	53	3	52.4	0.7

续表 1

Spot	Concentrations/ $\times 10^{-6}$				U-Th-Pb isotopic ratios				Ages/Ma							
	Pb*		Th/U		$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$					
	Pb*	Th	U	Th/U	1	1	1	1	1	1	1	1				
k08-009	21.8	32.4	554	0.58	0.0478	0.0041	0.0636	0.0053	0.0097	0.0001	88	159	63	5	62	0.9
k08-010	9.5	15.4	235	0.65	0.0475	0.0050	0.0642	0.0066	0.0098	0.0002	76	191	63	6	63	1
k08-011	16.4	55.6	452	1.23	0.0471	0.0038	0.0541	0.0043	0.0083	0.0001	54	145	54	4	53.5	0.8
k08-012	39.4	57.8	1021	0.56	0.0474	0.0022	0.0627	0.0028	0.0096	0.0001	70	80	62	3	61.6	0.6
k08-013	28.1	42.4	733	0.58	0.0481	0.0087	0.0628	0.0112	0.0095	0.0003	102	284	62	11	61	2
k08-014	17.6	20.4	472	0.43	0.0480	0.0051	0.0627	0.0066	0.0095	0.0002	99	202	62	6	61	1
k08-015	3.8	11.1	94	1.19	0.0476	0.0122	0.0619	0.0157	0.0094	0.0003	81	382	61	15	61	2
k08-016	12.4	21.2	298	0.71	0.0477	0.0050	0.0674	0.0070	0.0102	0.0001	85	203	66	7	65.7	0.9
k08-017	4.1	9.1	117	0.78	0.0484	0.0120	0.0571	0.0140	0.0086	0.0004	117	367	56	13	55	2
k08-018	21.5	19.3	594	0.32	0.0473	0.0023	0.0604	0.0029	0.0093	0.0001	62	83	60	3	59.4	0.7
k08-019	5.0	8.7	156	0.56	0.0483	0.0121	0.0553	0.0137	0.0083	0.0003	115	379	55	13	53	2
k08-020	64.1	132.9	1829	0.72	0.0476	0.0014	0.0564	0.0016	0.0086	0.0001	79	50	56	2	55.1	0.4
k08-021	7.2	14.0	186	0.76	0.0474	0.0058	0.0613	0.0074	0.0094	0.0002	67	222	60	7	60	1
k08-022	6.4	20.9	181	1.15	0.0474	0.0077	0.0540	0.0088	0.0083	0.0002	70	272	53	8	53	1
k08-023	8.4	15.1	217	0.69	0.0497	0.0093	0.0649	0.0119	0.0095	0.0004	182	303	64	11	61	2
k08-024	11.6	19.6	303	0.65	0.0480	0.0051	0.0643	0.0067	0.0097	0.0002	97	191	63	6	62	1
k08-025	6.5	12.3	176	0.69	0.0475	0.0067	0.0601	0.0083	0.0092	0.0003	73	236	59	8	59	2
k08-026	4.2	6.9	116	0.60	0.0479	0.0144	0.0625	0.0186	0.0095	0.0004	94	434	62	18	61	3
k08-027	4.3	10.7	129	0.83	0.0472	0.0066	0.0531	0.0073	0.0082	0.0002	57	241	53	7	52	1
k08-028	5.1	16.2	146	1.11	0.0470	0.0099	0.0526	0.0110	0.0081	0.0002	49	325	52	11	52	1
k08-029	3.3	5.2	87	0.60	0.0473	0.0098	0.0627	0.0129	0.0096	0.0003	65	320	62	12	62	2
k08-030	12.7	26.2	320	0.82	0.0471	0.0043	0.0653	0.0058	0.0101	0.0002	52	164	64	6	65	1
k08-031	12.1	25.2	308	0.81	0.0492	0.0078	0.0650	0.0101	0.0096	0.0003	157	264	64	10	62	2
k08-032	9.6	18.5	267	0.69	0.0478	0.0071	0.0601	0.0088	0.0091	0.0003	87	247	59	8	59	2

6个云母样品采用重液和磁选方法在河北省地质队实验室完成。在双目镜下挑选晶形完好的颗粒,处理好后的样品用铝箔包成圆饼状。与ZBH-25黑云母标准样(132.9±1.3 Ma)以及CaF2和钾玻璃一起装入石英管中封装送往中国原子能科学研究院492反应堆H8孔道照射,照射时间为36h,照射过程中样品用0.5 mm厚镉皮包裹,快中子通量为2.65 E13n/s。⁴⁰Ar/³⁹Ar阶段加热是在中国科学院大陆碰撞与高原隆升重点实验室Helix多接收惰性气体质谱仪上进行的,加热方式为常规电阻石墨加热。在静态真空模式下全系统⁴⁰Ar本底<5 mv(1 000 °C, 20 min)。CaF2和钾玻璃校正参数为:(³⁶Ar/³⁷Ar)Ca=0.000 239 8, (⁴⁰Ar/³⁹Ar)K=0.004 782, (³⁹Ar/³⁷Ar)Ca=0.000 81。数据通过系统本底、质量歧视、来源于Ar同位素的Ca, K影响来校正。³⁷Ar衰变是从样品照射时间开始计算的。衰变常数为 $\lambda=(5.543\pm 0.010)\times 10^{-10}\text{a}^{-1}$ (Steiger and Jäger, 1977)。

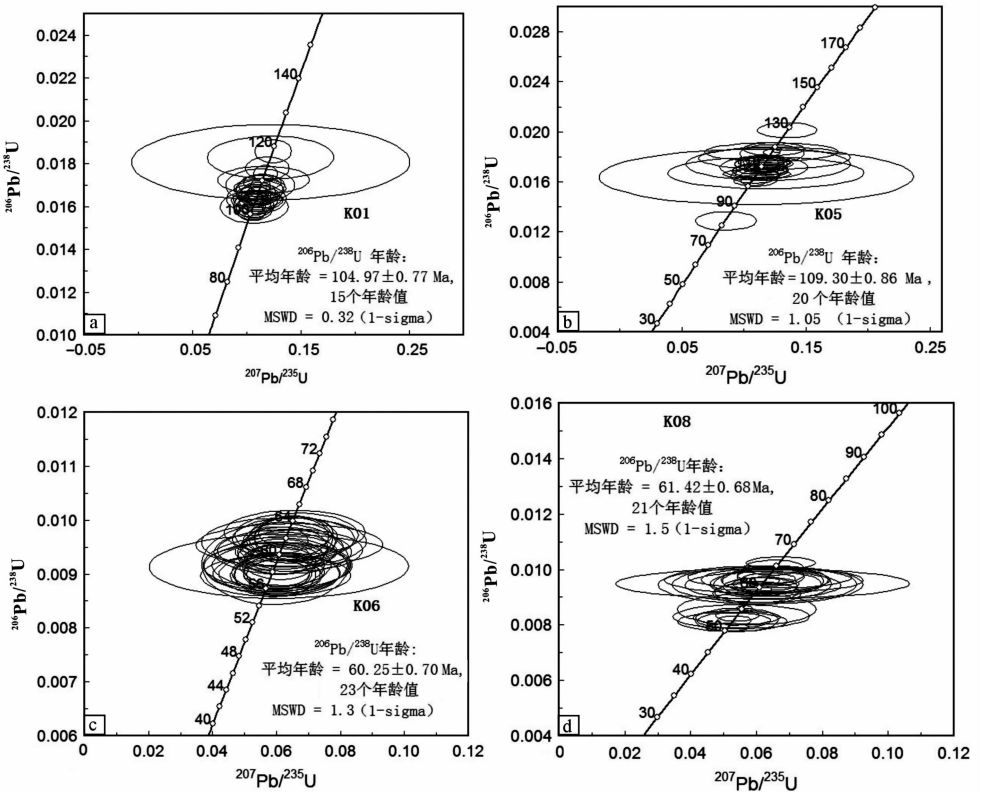


图3 冈底斯花岗岩锆石 LA-ICP-MS U/Pb 年龄协和图

Fig. 3 Concordia diagram of zircon LA-ICP-MS U/Pb dating for the Gangdese granite

3 锆石 SIMS U-Pb 年龄和云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄

3.1 锆石 U-Pb 年龄

样品 K01 中含有 80~120 μm 的无色透明的短柱状锆石, CL 图像显示锆石一般具有发光的核部(低 U)以及晶形较好的岩浆岩振荡环带(图 2)。测试结果显示年龄数据一致。35 个测试点的年龄值范围在 102±1 Ma~117±4 Ma 之间(表 1), ²⁰⁶Pb/²³⁸U 的平均年

龄为 104.97 ± 0.77 Ma (图 3a)。Th/U 比值为 0.33~1.01, 指示典型岩浆岩来源。由于这些数据来自锆石核部和边缘, 104.97 Ma 代表了冈底斯山有一期花岗岩体的结晶形成。

样品 K05 中的锆石为浅黄至透明, 自形晶, 棱柱状。CL 图像显示锆石一般具有发光的核部(低 U)以及晶形较好的岩浆岩振荡环带(图 2), 颗粒通常长为 $100 \sim 180 \mu\text{m}$, 宽为 $50 \sim 80 \mu\text{m}$ 。33 个测试点的年龄值范围在 103 ± 2 Ma~ 119 ± 2 Ma 之间(表 1), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 的平均年龄为 109.3 ± 0.86 Ma (图 3b)。Th/U 比值为 0.49~1.18, 指示典型岩浆岩来源。109.3 Ma 代表了冈底斯山有一期花岗岩体的结晶形成。

样品 K06 中的锆石为浅粉红或无色, 棱柱状(长约为 $80 \sim 150 \mu\text{m}$), 具有明显的振荡环带(图 2)。38 个测试点的年龄值范围在 58 ± 2 Ma~ 63 ± 1 Ma 之间(表 1), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 的平均年龄为 60.25 ± 0.7 Ma (图 3c)。Th/U 比值为 0.71~2.00, 指示典型岩浆岩来源。60.25 Ma 代表了冈底斯山有一期花岗岩体的结晶形成。

样品 K08 中的锆石为浅粉红或无色, 棱柱状(长约为 $100 \sim 200 \mu\text{m}$), 具有明显的振荡环带(图 2)。32 个测试点的年龄值范围在 50.9 ± 1 Ma~ 65 ± 1 Ma 之间(表 1), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 的平均年龄为 61.42 ± 0.68 Ma (图 3d)。Th/U 比值为 0.32~1.23, 指示典型岩浆岩来源。61.42 Ma 代表了冈底斯山有一期花岗岩体的结晶形成。

3.2 云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测试结果

用 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年方法对研究区的 6 个云母样品进行了测试。其中 5 个黑云母样品来自未变形的花岗岩体(样品 K01、K05、K08、K10、K11), 一个黑云母样品来自韧性剪切带(K06)。5 个来远离韧性剪切带的未变形花岗岩的云母样品得出 ^{39}Ar 衰变 90% 的相对坪年龄分别为 63.3 ± 3.5 Ma、 51.6 ± 0.6 Ma、 47.9 ± 0.9 Ma、 47.4 ± 0.6 Ma、 46.7 ± 0.6 Ma (表 2, 图 4a, 图 4b, 图 4d, 图 4e, 图 4f), 样品的等时线和坪年龄在误差范围内。样品 K-06 来自喀喇昆仑断裂韧性剪切带, 其黑云母得出 ^{39}Ar 衰变 80% 的相对坪年龄为 11.8 ± 0.2 Ma (图 4c)。笔者认为图 4 中的坪年龄提供了有效的冷却年龄并反映了冈底斯花岗岩体经历的不同期次热事件。

4 讨 论

4.1 冈底斯山不同期次花岗岩体及其热事件

本文测试的 4 个锆石 U-Pb 热年代学数据分别为 104.97 Ma, 109.3 Ma, 60.25 Ma, 61.42 Ma, 这些热年代学数据与之前得到的锆石 U-Pb 热年代学数据一致(Wang et al., 2012), 这表明本区的花岗岩体为东西向展布 2 000 km 的冈底斯火山岩带的一部分。本区的花岗岩与阿伊拉日居山花岗岩体分布在那不如一狮泉河走滑拉分盆地两侧。已有的研究表明, 这两个岩体是在喀喇昆仑断裂的右旋走滑作用下分离的(Wang et al., 2008), 说明阿伊拉日居花岗岩和岗仁波吉峰地区的花岗岩是一体的, 它们都是冈底斯火山岩带在西部的延伸。阿伊拉日居花岗岩的锆石 U-Pb 年龄主要分布在 50 Ma 和 32~25 Ma 这两个时期也符合冈底斯火山岩的年代要求(Scharer et al., 1984; Harrison et al., 2000; 纪伟强等, 2009)。

表2 冈底斯花岗岩的云母⁴⁰Ar/³⁹Ar多阶段加热年龄Table 2 ⁴⁰Ar/³⁹Ar stepwise-heating results for mica

温度/℃	⁴⁰ Ar(r)/ ³⁹ Ar(k)	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	³⁷ Ar/ ³⁹ Ar	³⁶ Ar/ ³⁹ Ar	⁴⁰ Ar(r)/%	³⁹ Ar(k)/%	Age/Ma	±2
K01 黑云母 ($J=0.0018556$)								
750	18.521044	19.46552	0.32277	0.00329	95.12	15.55	61.1	3.0
810	19.680091	20.88846	0.70778	0.00429	94.16	10.30	64.9	2.6
870	20.532568	21.87538	1.64385	0.00503	93.74	8.27	67.6	2.4
930	21.778066	22.40708	0.98050	0.00242	97.12	21.47	71.6	1.4
990	18.949035	19.46102	0.04657	0.00174	97.37	26.11	62.5	1.1
1040	17.848306	18.53890	0.78353	0.00256	96.21	13.01	58.9	1.0
1090	18.003915	22.29048	0.96126	0.01478	80.71	3.23	59.4	3.1
1140	19.419455	28.93502	1.06760	0.03251	67.06	1.09	64.0	7.0
1250	25.461646	40.21430	16.39942	0.05501	62.47	0.70	83.5	13.8
1450	41.419861	109.24642	10.41957	0.23329	37.59	0.27	133.9	35.7
K05 黑云母 ($J=0.0020492$)								
750	14.079577	14.27752	0.30598	0.00075	98.59	21.30	51.4	0.5
800	14.121735	14.33851	0.45653	0.00086	98.45	17.50	51.6	0.5
850	14.139533	14.35757	0.42666	0.00085	98.45	13.38	51.7	0.5
900	14.086172	14.32248	0.27378	0.00087	98.33	17.88	51.5	0.5
950	14.176240	14.38856	0.08067	0.00074	98.52	17.25	51.8	0.5
1000	14.286670	14.60572	0.49178	0.00121	97.78	9.24	52.2	0.5
1060	13.865307	15.26850	0.21641	0.00480	90.79	2.66	50.7	0.7
1200	11.634816	18.58819	6.55839	0.02531	62.26	0.80	42.6	3.2
K06 黑云母 ($J=0.0004734$)								
750	13.566482	18.68470	0.00494	0.01732	72.61	14.00	11.6	0.2
830	13.556776	14.29605	0.32911	0.00259	94.80	33.91	11.6	0.1
880	13.720890	13.94017	0.69943	0.00093	98.37	16.17	11.7	0.1
930	13.994527	14.20906	0.45630	0.00085	98.45	7.63	11.9	0.2
980	14.126219	14.47006	0.48583	0.00130	97.59	7.22	12.1	0.2
1030	14.108353	14.49767	1.70134	0.00179	97.18	9.01	12.0	0.2
1080	13.871847	14.50228	0.23491	0.00220	95.63	9.90	11.8	0.1
1130	15.423011	15.98639	5.02830	0.00332	96.08	1.93	13.2	0.5
1450	40.693222	53.15005	61.48675	0.06375	72.75	0.24	34.5	3.3
K08 黑云母 ($J=0.0019010$)								
750	14.199232	14.32315	0.36470	0.00052	99.11	24.38	48.2	0.5
800	14.101229	14.37724	0.42240	0.00105	98.05	9.21	47.8	0.5
850	14.216014	14.57750	0.38021	0.00132	97.49	6.90	48.2	0.5
900	14.123483	14.75533	0.27409	0.00221	95.70	4.48	47.9	0.5
950	14.282246	14.50979	0.38476	0.00087	98.40	12.03	48.4	0.5
1000	14.075763	14.27261	0.20932	0.00072	98.60	15.17	47.8	0.5
1050	13.927673	14.23040	0.34360	0.00111	97.85	11.45	47.3	0.5

续表 2

温度/°C	$^{40}\text{Ar}(r)/^{39}\text{Ar}(k)$	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{40}\text{Ar}(r)/\%$	$^{39}\text{Ar}(k)/\%$	Age/Ma	± 2
1100	13.915957	14.20535	0.73218	0.00118	97.90	12.05	47.2	0.5
1160	14.121384	14.76252	1.36366	0.00254	95.55	3.27	47.9	0.5
1450	14.592822	19.23666	1.16259	0.01604	75.79	1.05	49.5	1.3
K10 黑云母 ($J=0.0018024$)								
750	14.728706	14.87065	0.32003	0.00056	99.02	28.36	47.4	0.5
800	14.675037	14.98174	0.59198	0.00120	97.91	10.22	47.2	0.5
850	14.570857	14.96228	0.09953	0.00135	97.38	9.02	46.9	0.5
900	15.007993	15.38225	0.21541	0.00132	97.55	9.03	48.3	0.5
950	14.842224	15.23024	0.24967	0.00138	97.43	11.17	47.7	0.5
100	14.575702	14.90110	0.22271	0.00116	97.80	12.81	46.9	0.5
1050	14.695096	14.98015	0.48274	0.00109	98.06	12.38	47.3	0.5
1100	14.757027	15.19046	0.85898	0.00170	97.08	5.96	47.5	0.5
1160	13.459730	17.44289	3.98102	0.01458	76.92	0.78	43.3	1.0
1500	32.416066	46.10423	6.26068	0.04839	69.95	0.23	102.7	3.5
1450	103.119356	156.20526	14.05543	0.18707	65.26	0.05	308.3	40.4
K11 黑云母 ($J=0.0017731$)								
750	14.905746	15.00541	0.50158	0.00047	99.30	22.00	47.2	0.5
800	14.898012	15.19246	0.23704	0.00106	98.04	9.39	47.1	0.5
850	14.646520	15.16837	0.13071	0.00180	96.55	7.78	46.4	0.5
900	14.923056	15.40208	0.15512	0.00166	96.88	8.59	47.2	0.5
950	14.883706	15.16153	0.15694	0.00098	98.16	13.27	47.1	0.5
990	14.632768	14.93260	0.53387	0.00116	97.95	12.00	46.3	0.5
1040	14.630644	14.95754	0.02809	0.00111	97.81	11.56	46.3	0.5
1090	14.555729	14.98330	0.39574	0.00155	97.12	10.15	46.1	0.5
1150	14.632358	15.30009	0.70028	0.00245	95.58	4.75	46.3	0.5
1240	18.849902	25.61610	2.15982	0.02353	73.46	0.38	59.5	2.1
1540	54.688773	74.51914	21.00122	0.07533	72.14	0.12	167.4	29.9

样品的云母氩氩年龄表明,锆石 U-Pb 年龄为 110 Ma 的花岗岩的云母氩氩年龄约为 60 Ma,而锆石 U-Pb 年龄为 60 Ma 的花岗岩的云母氩氩年龄约为 50 Ma,结合这两期花岗岩周围为晚一期岩体包围的事实,表明晚一期的岩浆活动在局部地区对早期岩体进行了热力改造,并有新的云母矿物形成。而在喀喇昆仑断裂韧性剪切带内,样品 K06 锆石年龄为 58 Ma,与附近未变形花岗岩(K08)锆石年龄一致,而云母氩氩年龄为 11.6 Ma,与附近未变形云母年龄(约 50 Ma)差异巨大。这表明断裂活动并没有形成新的锆石,但形成了新的云母矿物。本区的热年代学特征与邻近地区南阿伊拉日居山的花岗岩热年代学情况相似,断裂带内和围岩的锆石年龄均在 50 Ma 左右,围岩云母氩氩年龄在 42 Ma 左右,断裂带内云母的氩氩年龄则为 12 Ma 左右(Wang et al., 2009, 2011)。表明本区和南阿伊拉日居山地区一样,断裂活动是在约 12 Ma 时叠加在本区花岗岩体之上的。

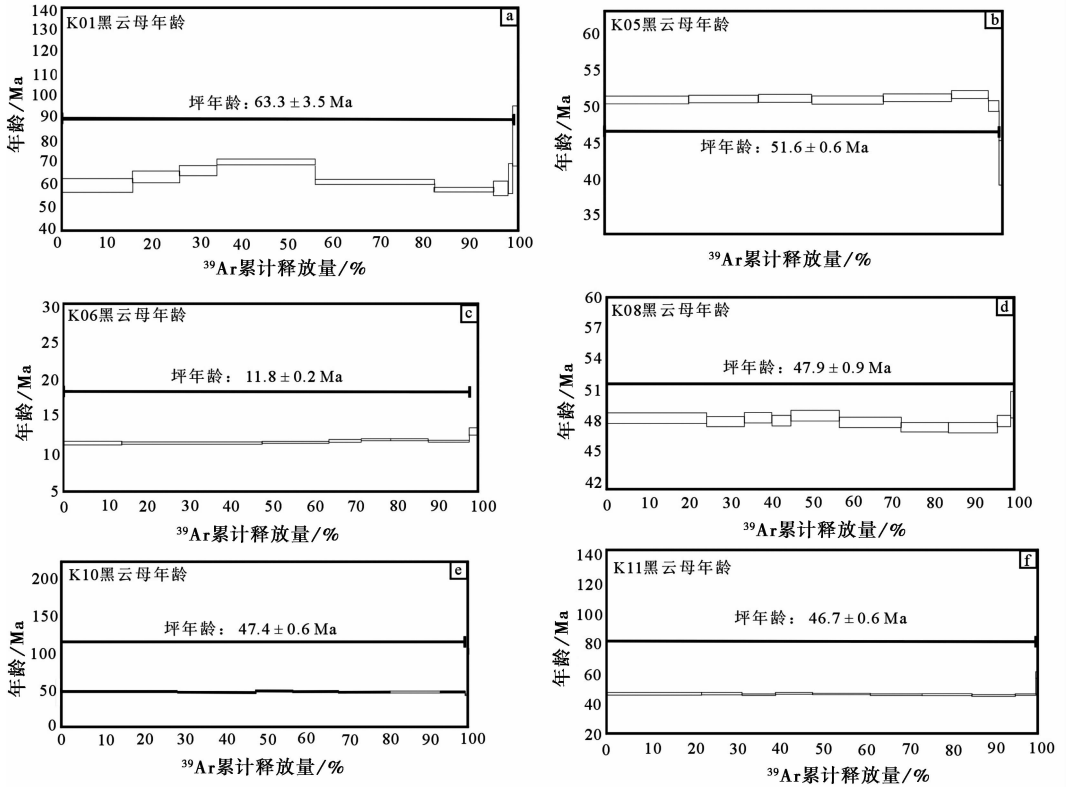


图4 冈底斯花岗岩黑云母氩氦年龄

Fig. 4 The $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ ages of the biotites from Gangdese granites

4.2 冈底斯花岗岩热年代学的对喀喇昆仑活动的限定

由于喀喇昆仑断裂在阿伊拉日居山地区沿近东西走向穿过冈底斯花岗岩带,特别是穿过该地区的30~20 Ma 这期花岗岩体,造成关于这期花岗岩是同构造花岗岩还是构造前花岗岩的激烈争论(Lacassin et al., 2004; Searle and Phillips., 2004; Valli et al., 2007, 2008; Wang et al., 2009, 2011, 2013; Leloup et al., 2013)。本文的数据为这场争论提供了新的证据,因为在岗仁波吉峰西侧地区已有的年代学研究表明岩体有3期侵位,分别为110 Ma, 60 Ma 和 50 Ma,恰恰没有32~25 Ma 这期岩浆活动。因此,如果断裂的活动时间在32~25 Ma 这期间,则本区花岗岩应该有相应的热年代学记录,如果没有相关的热年代学记录,则表明断裂活动时间很晚。本文的热年代学数据表明断裂是12 Ma 左右穿过本研究区花岗岩体的。

此外,还有一种可能是北阿伊拉日居山地区的32~25 Ma 花岗岩代表了断裂的早期活动,而南阿伊拉日居山和岗仁波吉峰地区的花岗岩变形是晚期活动的产物(Leloup et al., 2013)。因此,如果北阿伊拉日居山花岗岩是断裂活动的同构造花岗岩,则喀喇昆仑断裂很可能经历了两期构造活动,较早的一期约为32~25 Ma,局限在北阿伊拉日居山及以北地区;较晚的一期约在12 Ma。然而,现有的断裂几何学、运动学和年代学证据并不支持断裂在阿伊拉日居山地区存在早期的活动,理由如下:1)喀喇昆仑断裂在阿伊拉日居山

地区是一个走滑为主的断裂带,并且沿断裂发育至少 60 km 的走滑错距(Wang et al., 2012)。如果断裂在北阿伊拉日居山地区是 25 Ma 左右开始活动,而在南阿伊拉日居山地区 12 Ma 开始活动,那么,在 25~12 Ma 期间,南、北阿伊拉日居山之间应存在一些转换构造来吸收如此大的位移量,可是本区的断裂几何学运动学研究表明此区并没有这样的转换构造,只有在岗仁波吉峰东部的普兰地区断裂走滑错距大部分被普兰裂谷所吸收(Murphy et al., 2000; Wang et al., 2008); 2) 由以上问题引出相同地区的韧性剪切带内的热年代学数据应该记录相似的热事件。然而,岗仁波吉峰和南阿伊拉日居山地区断裂带内锆石 U-Pb 年龄分别为 110 Ma, 60 Ma 和 50 Ma,而北阿伊拉日居山附近的韧性剪切带内锆石的年龄分别为 32 Ma, 25 Ma 和 20 Ma。因此锆石年龄没有反映断裂活动时限; 3) Wang et al.(2009)报道了在那不如地区远离断裂带未变形的花岗岩有一期岩浆侵入年龄在 32 Ma 左右,而且,更多的研究表明 32~25 Ma 这期岩浆活动在无喀喇昆仑断裂活动迹象的冈底斯火山岩带有多处露头(Harrison et al., 2000; Hou et al., 2004; Chung et al., 2003, 2005 和 Mo et al., 2006)。这表明 32~25 Ma 这期岩浆活动是区域性的,与喀喇昆仑断裂的活动没有直接关系。

岗仁波吉峰和南阿伊拉日居地区韧性剪切带内云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄表明岩体快速冷却发生在 12 Ma 左右(本文; Wang et al., 2009, 2011)。其它研究者(Dunlap et al., 1998; Yin et al., 1999; Murphy et al., 2000; Lacassin et al., 2004; Valli et al., 2007; Streule et al., 2009)同样发现不同地区的喀喇昆仑断裂在 12 Ma 断裂带存在一期快速冷却事件,并把该热事件解释为断裂由纯剪切变为伸展剪切的转换时间。研究区的云母氩氩年龄和锆石 U-Pb 年龄支持喀喇昆仑断裂在 12 Ma 才扩展到本区的认识。

5 结 论

锆石 U-Pb 年龄指示了岗仁波吉峰地区的冈底斯花岗岩由 110 Ma, 60 Ma 和 50 Ma 的 3 期花岗岩组成,其相应云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄则表明早期侵位的花岗岩体在局部地区受到后期侵位的岩浆热力改造,导致云母的年龄与后期侵位岩体内锆石 U-Pb 年龄一致。韧性剪切带内的锆石的年龄与附近未变形岩石锆石年龄一致,表明锆石的形态并未受到断裂活动的影响。韧性剪切带内云母的氩氩年龄表明 12 Ma 左右喀喇昆仑断裂开始叠加于岗仁波吉峰地区花岗岩之上。然而,研究区内韧性剪切带中的变形花岗岩并没有记录 32~25 Ma 的高温事件,由此排除了断裂是 32 Ma 或 25 Ma 开始活动的可能性。韧性剪切带的云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄证明该区域喀喇昆仑断裂的起始活动时间在 12 Ma 左右。

参 考 文 献

西藏自治区地质矿产局.1993.西藏自治区区域地质志.北京:地质出版社.1—707.

Bureau of Geology and Mineral Resource of Xizang Autonomous Region.1993.Regional Geology of Xizang Autonomous Region. Beijing:Geological Publishing House.1—707.

纪伟强,吴福元,鍾孙霖等.2009.西藏南部冈底斯岩基花岗岩时代与岩石成因.中国科学(D辑),**39**(7): 849—871.

Ji Weiqiang, Wu Fuyuan, Liu Chuanchou et al.2009.Geochemistry and petrogenesis of granitic rocks in Gangdese batholith, southern Tibet.*Science in China(Series D)*, **52**(9): 1240—1261.

- Chung S L, Liu D Y, Ji J Q et al. 2003. Adakites from continental collision zones; melting of thickened lower crust beneath southern Tibet. *Geology*, **31**(11): 1021—1024.
- Chung S L, Chu M F, Zhang Y Q et al. 2005. Tibetan tectonic evolution inferred from spatial and temporal variations in post-collisional magmatism. *Earth Science Review*, **68**(3—4): 173—196.
- Dunlap W J, Weinberg R F and Searle M P. 1998. Karakorum fault zone rocks cool in two phases. *Geological Society of London Journal*, **155**: 9903—9912.
- Harrison T M, Yin A, Grove M et al. 2000. The Zedong Window: A record of superposed Tertiary convergence in southeastern Tibet. *Journal of Geophysical Research*, **105**(B8): 19211—19230.
- Hou Z Q, Gao Y F, Qu X M et al. 2004. Origin of adakitic intrusives generated during mid-Miocene east-west extension in southern Tibet. *Earth and Planetary Science Letters*, **220**(1—2): 139—155.
- Lacassin R, Valli F, Arnaud N et al. 2004. Large-scale geometry, offset and kinematic evolution of the Karakorum fault, Tibet. *Earth and Planetary Science Letters*, **219**(3—4): 255—269.
- Leloup H P, Weinberg F R, Mukherjee K B et al. 2013. Comment on "Displacement along the Karakoram fault, NW Himalaya, estimated from LA-ICP-MS U-Pb dating of offset geologic markers" published by Shifeng Wang et al. in *EPSL*, 2012. *Earth and Planetary Science Letters*, **363**: 242—245.
- Li X H, Liu Y, Li Q L et al. 2009. Precise determination of Phanerozoic zircon Pb/Pb age by multicollector SIMS without external standardization. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, **10**(4): Q04010.
- Ludwig K R. 2001. Users Manual for Isoplot/Ex Rev. 2. 49. A Geological Toolkit for Microsoft Excel; Berkeley Geochronology Center Spec. Pub. 1a. 1—56.
- Miller C, Schuster R, Klotzli U et al. 2000. Late Cretaceous-Tertiary magmatic and tectonic events in the Transhimalaya batholith (Kailas area, SW Tibet). *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, **80**(1): 1—20.
- Mo X X, Zhao Z D, Deng J F et al. 2006. Petrology and geochemistry of postcollisional volcanic rocks from the Tibetan Plateau: Implications for lithosphere heterogeneity and collision-induced asthenospheric mantle flow. *Geological Society of America Special Paper*, **409**: 507—530.
- Murphy M A, Yin A, Kapp P et al. 2000. Southward propagation of the Karakorum fault system into southwest Tibet: Timing and magnitude of slip. *Geology*, **28**(5): 451—454.
- Murphy M A, Sanchez V, Taylor M H. 2010. Syncollisional extension along the India-Asia suture zone, south-central Tibet: Implications for crustal deformation of Tibet. *Earth and Planetary Science Letters*, **290**(3—4): 233—243.
- Sláma J, Košler J, Condon D J et al. 2008. Plesovice zircon: A new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis. *Chemical Geology*, **249**(1—2): 1—35.
- Scharer U, Xu R H and Allegre C J. 1984. U-Pb geochronology of Gangdese (Transhimalaya) plutonism in the Lhasa-Xigaxe region, Tibet. *Earth and Planetary Science Letters*, **69**: 311—320.
- Searle M P and Phillips R J. 2004. A comment on "Large-scale geometry, offset, and kinematic evolution of the Karakoram fault, Tibet" by R. Lacassin et al. (*Earth Planet. Sci. Lett.* 219(2004) 255—69). *Earth and Planetary Science Letters*, **229**(1—2): 155—158.
- Steiger R H and Jäger E. 1977. Subcommittee on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth and Planetary Science Letters*, **36**(3): 359—362.
- Streule M J, Phillips R J, Searle M P et al. 2009. Evolution and chronology of the Pangong Metamorphic Complex adjacent to the Karakoram Fault, Ladakh; constraints from thermobarometry, metamorphic modelling and U-Pb geochronology. *Journal of the Geological Society*, **166**: 919—932.
- Valli F, Arnaud N, Leloup H P et al. 2007. Twenty million years of continuous deformation along the Karakorum fault, western Tibet: A thermochronological analysis. *Tectonics*, **26**(4): TC4004.
- Valli F, Leloup P H, Paquette J L et al. 2008. New U-Th/Pb constraints on timing of shearing and long-term slip-rate on the Karakorum fault. *Tectonics*, **27**(5): TC5007.
- Wang S F, Blisniuk P, Kempf O et al. 2008. The Basin-range system along the south segment of the Karakorum fault zone, Tibet.

International Geology Review, **50**(2): 121—134.

Wang S F, Fang X M, Lai Q Z et al. 2009. New radiometric dating constrains the time for initiation of the Karakorum fault zone (KFZ), SW Tibet. *Tectonophysics*, **475**(3): 503—513.

Wang S F, Wang E, Fang X M et al. 2011. U-Pb SHRIMP and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages constrain the deformation history of the Karakoram fault zone (KFZ), SW Tibet. *Tectonophysics*, **509**(3—4): 208—217.

Wang S F, Wang C, Phillips R J et al. 2012. Displacement along the Karakoram fault, NW Himalaya, estimated from LA-ICP-MS U-Pb dating of offset geologic markers. *Earth and Planet Science Letters*, **337–338**: 156—163.

Wang S F, Murphy M A, Phillips R J et al. 2013. Reply to comment on “Displacement along the Karakoram fault, NW Himalaya, estimated from LA-ICPMS U-Pb dating of offset geologic markers” published by Leloup et al. in *EPSL*, 2013. *Earth and Planetary Science Letters*, **363**: 246—248.

Yin A, Harrison T M, Murphy M A et al. 1999. Tertiary deformation history of southeastern and southwestern Tibet during the Indo-Asian collision. *Geological Society of America Bulletin*, **111**(11): 1644—1664.

The chronological characteristics of the Gangdese granite in the Ali area and its tectonic signification

Mo Yasi^{1, 2} Wang Shifeng³ Wang Chao^{1, 2}

(1. Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101; 2. University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049; 3. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100085)

Abstract

The Gangdese granite belt is a 2 500 km long, 100~300 km wide volcanic belt almost E-W striking along the north side of the Yalu-Zangpo suture in south Tibet. The granite around Kailas area experienced periods of tectonic events during the collision of the Indian and Eurasian plates, such as the activity of the Great Counter Thrust fault and the Karakorum fault, which complicated the situation between the granites and the faults. For example, some researchers attributed the 32~25 Ma granite around the north Ayilari range to the syn-tectonic granites of the Karakorum fault, which is in high debate nowadays. In this paper, new zircon U-Pb data around Kalas area demonstrates that the Gangdese granites are consisted of 110 Ma, 60 Ma and 50 Ma three ages of granite. Zircon ages are similar whether in ductile shear zone or not showing no deformation of zircons by the fault activity. However, the mica ages in ductile shear zone is round 12 Ma, differs from the 60~50 Ma mica ages of undeformed rocks nearby, proving the fault imposed on the Gangdese granites around 12 Ma. The case that no 32~25 Ma ages in ductile shear zone around Kailas area precludes the hypothesis that that the initiation age of the Karakoram fault is around 32~25 Ma in Ali area.

Key Words Gangdese granite, Great Counter Thrust fault, Karakorum fault, U-Pb age, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age