

北祁连玉龙滩地区寒武纪花岗岩地质地球化学特征

刘宝山¹, 蔡进福², 雷晓清¹, 王泰山¹, 孟红¹

(1. 青海省地质调查院, 青海省青藏高原北部地质过程与矿产资源重点实验室, 青海 西宁 810012;

2. 青海省柴达木综合地质矿产勘查院, 青海 格尔木 816000)

摘要: 玉龙滩地区寒武纪花岗岩主要岩石组合为二长花岗岩-石英正长岩-正长花岗岩, LA-MC-ICP-MS 测定年龄分别为 (502.1 ± 1.7) Ma 和 (492.7 ± 1.9) Ma, 岩石具有过铝质、高钾($K_2O > Na_2O$)特征, 属于钙碱性系列。构造环境判别形成于同碰撞构造环境。综合分析后, 认为寒武纪花岗岩应当是南部盆地扩张阶段, 北部浪士当微地块遭受挤压导致陆壳部分熔融而形成的产物。

关键词: 北祁连; 寒武纪; 花岗岩; 地球化学

中图分类号: P588.121; P612

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2016)04-0043-08

Discovery and Geological Significance of Early Permian Mafic Dike Intrusive into Tuolai Paleo-proterozoic Rock in Yulongtan Region

LIU Baoshan¹, CAI Jinfu², LEI Xiaoqing¹, WANG Taishan¹, MENG Hong¹

(1. Qinghai Institute of Geological Survey, Qinghai Province Key Laboratory of Geological Process and Mineral Resources of Northern Qinghai-Tibet Plateau, Xining 810012, Qinghai, China; 2. Comprehensive Geological and Mineral Exploration Institute of Qinghai Province, Golmud 816000, Qinghai, China)

Abstract: The Precambrian granite rock in Yulongtan region is composed of monzonitic granite, quartz syenite and yeno granite. The LA-MC-ICP-MS ages of this granite rock are (502.1 ± 1.7) Ma and (492.7 ± 1.9) Ma. This granite rocks show the geochemical characteristic of aluminum and potassium ($K_2O > Na_2O$), belonging to the calc-alkaline series. Tectonic environment discrimination shows that this granite rock was formed in the syn-collision tectonic environment. After comprehensively analyzing the related geological data, it is concluded that the Cambrian granite should be formed in the expansion phase of the basin in the south, and caused by the melting of the continental crust in the north when the Langshidang micro block was subjected to extrusion.

Keywords: Northern Qilian; Cambrian; granite; geochemistry

研究区位于北祁连构造带和中祁连地块结合部位, 受多期次构造运动影响, 岩浆活动频繁, 形成了岩石类型各异、时空分布不同、规模不等的各类侵入岩, 尤其以加里东期岩浆岩最为发育, 具有分布面积广泛、多期次、群居性较好的特征, 它们真实记录了

大量地质构造演化历史的信息, 是研究、反演祁连造山带形成演化过程中地球动力学的重要建造标志。笔者通过研究试图查明玉龙滩地区寒武纪花岗岩类型、空间分布、地质地球化学特征, 探讨花岗岩形成演化机制及其大地构造指示意义。

收稿日期: 2016-01-10; 修回日期: 2016-07-14

基金项目: 青海 1:5 万玉龙滩、抓什究、贺尔、桥头幅区调(1212011121192)

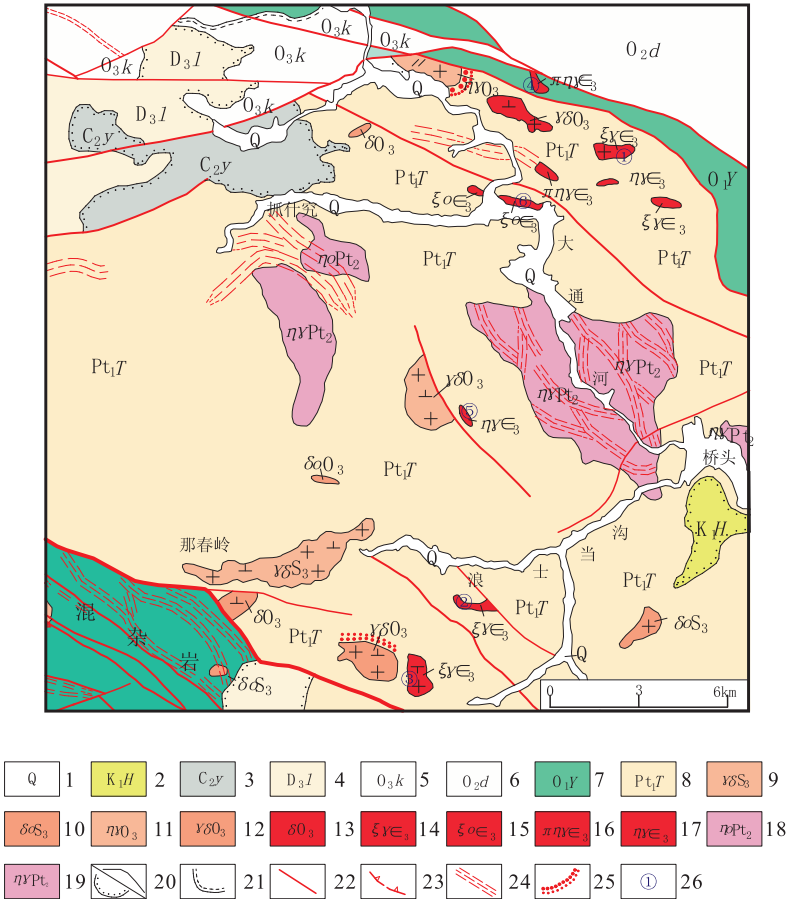
作者简介: 刘宝山(1983-), 男, 工程师, 从事矿产勘查及综合研究工作。E-mail: lbs830226.163.com

1 区域地质背景及花岗岩分布

玉龙滩地区位于祁连山东段,由北至南纵跨北祁连构造带和中祁连地块 2 个二级构造单元,主体在北祁连构造带。寒武纪花岗岩位于北祁连构造带的次级构造单元——浪士当元古宙残余微陆块内。单元内古元古代托赖岩群占绝大部分,岩石组合划分为片麻岩岩组、片岩岩组和大理岩岩组 3 部分,变质程度为低角闪岩相,原岩为一套陆缘泥砂质岩-中基性火山岩-碳酸盐岩沉积建造。单元内部没有发现早古生代沉积地层,显然该阶段处于隆起阶段。

晚古生代沉积了一套稳定河流-湖沼相含煤碎屑岩。陆内叠覆造山期的盖层沉积少,出露少量早白垩世河湖相碎屑岩建造。

寒武纪花岗岩出露在甘禅口北东部、下乐窝、浪士当沟南部等地,共见大小 11 个侵入体,岩性有浅灰白色中细粒石英正长岩、浅灰白色中细粒二长花岗岩、浅灰白色中细粒斑状二长花岗岩、浅肉红色中细粒正长花岗岩 4 种类型,都呈岩株、岩瘤状侵入于古元古代托赖岩群变质地层中,出露总面积约 3.1 m²。平面形态多呈不规则状椭圆状、团块状,长轴方向多呈北西西—南东东向,局部近于北东向或近东西向展布(图 1)。



1. 第四纪沉积物;2. 河口群碎屑岩建造;3. 羊虎沟组碎屑岩建造;4. 老君山组磨拉石建造;5. 扣门子组沉积-火山岩建造;6. 大梁组碎屑岩建造;7. 阴沟群火山-沉积岩建造;8. 托赖岩群变质碎屑岩-火山岩-碳酸盐岩建造;9. 晚志留世花岗闪长岩;10. 晚志留世花岗闪长岩;11. 晚奥陶世二长花岗岩;12. 晚奥陶世花岗闪长岩;13. 早奥陶世正长花岗岩;14. 晚寒武世正长花岗岩;15. 晚寒武世石英正长岩;16. 晚寒武世斑状二长花岗岩;17. 晚寒武世二长花岗岩;18. 中元古代片麻状石英二长岩;19. 中元古代眼球状二长花岗岩片麻岩;20. 地质界线角度不整合界线;21. 平行不整合界线;22. 断裂构造;23. 推测构造混杂带边界断裂;24. 韧性剪切带;25. 角岩化带;26. 取样位置及编号

图 1 寒武纪花岗岩出露位置图

Fig. 1 Location map of the metamorphic and intrusive rock

2 岩石学特征

寒武纪花岗岩根据侵入体地质特征、岩石组合、接触关系及岩石化学、地球化学特征等资料,以及岩浆由基性至酸性演化的顺序,由早到晚划分为 4 个单元。岩石特征依次描述如下。

石英正长岩:中细粒花岗结构,块状构造,岩石矿物组成主要为钾长石(70%)、斜长石(18%)、石英(10%)、黑云母(2%)等。浅灰白色二长花岗岩:中细粒半自形粒状结构、中细粒花岗结构,块状构造,岩石矿物组成为钾长石(25%~45%)、斜长石(35%~24%)、石英(25%~29%)、黑云母(0%~5%),少量金属矿物等。浅灰白色斑状二长花岗岩:斑状结构,基质中细粒花岗结构,块状构造,岩石由斑晶和基质两部分组成,斑晶由微斜长石(10%)或由斜长石(10%)和黑云母(1%)组成,基质由微斜长石

(23%~30%)、斜长石(30%~34%)、石英(22%)、黑云母(2%~5%)及少量磷灰石、褐帘石、锆石等组成。浅灰白色正长花岗岩:浅肉红色,中-细粒花岗结构,块状构造,岩石由钾长石(53%~62%)、斜长石(10%~15%)、石英(22%~30%)、黑云母(2%)少量不透明矿物、磷灰石等组成。

3 岩石化学特征

3.1 主量元素

岩石地球化学分析结果见表 1。 SiO_2 含量为 68.35%~77.40%,属酸性岩; Al_2O_3 含量为 11.95%~15.97%。其中石英正长岩的 Al_2O_3 、 K_2O 含量最高,与中国花岗岩(据黎彤等,1962)相比,具有高 Al_2O_3 ,贫 Na_2O ,高 K_2O 的特征,且具 $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3 > \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$, A/CNK 为 0.91~1.47,为铝过饱和类型。

表 1 主量元素、稀土元素、微量元素特征表
Tab. 1 The major elements, rare earth elemente, trace element characteristice of metamorphic intrusive rock

序号	岩性	样号	氧化物含量%													
			SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	CO ₂	Σ
1	正长花岗岩	2579-1	77.40	0.10	11.95	0.08	0.93	0.01	0.15	0.16	1.99	6.41	0.04	0.67	0.05	99.94
2		2461	75.55	0.20	13.37	0.69	0.38	0.01	0.31	0.02	1.02	6.83	0.04	1.32	0.05	99.79
3		2594	73.43	0.29	13.08	0.29	1.85	0.02	0.45	1.05	2.85	4.71	0.09	1.08	0.61	99.80
4	斑状二长花岗岩	4002	76.38	0.10	12.73	0.20	1.07	0.01	0.32	0.38	3.46	4.68	0.04	0.38	0.05	99.80
5	二长花岗岩	4031	73.14	0.31	13.41	0.69	1.40	0.04	0.70	0.86	2.47	5.27	0.13	1.23	0.19	99.84
6	石英正长岩	2156-1	68.35	0.25	15.97	1.07	1.33	0.01	0.48	0.65	2.71	7.14	0.05	1.33	0.50	99.84

序号	主要参数									
	σ	SI	AR	FL	MF	A/CNK	A/NK	Na ₂ O/CaO	Na ₂ O/K ₂ O	
1	2.05	1.57	5.53	98.13	87.07	1.14	1.17	0.16	3.22	
2	1.89	3.36	3.83	99.75	77.54	1.47	1.47	0.82	6.70	
3	1.87	4.43	3.30	87.80	82.63	1.12	1.34	0.24	1.65	
4	1.98	3.29	4.28	95.54	79.87	1.11	1.18	0.30	1.35	
5	1.98	6.65	3.37	90.00	74.91	1.17	1.62	0.50	2.13	
6	3.81	3.77	3.91	93.81	83.33	1.19	1.31	0.36	2.63	

序号	稀土丰度(10 ⁻⁶)													
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
1	28.0	59.5	7.02	25.9	4.58	0.705	3.93	0.591	3.44	0.673	2.02	0.289	1.90	0.268
2	16.5	39.4	4.49	16.1	3.39	0.534	3.73	0.774	5.63	1.19	3.59	0.504	3.43	0.504

续表 1														
序号	稀 土 丰 度(10^{-6})													
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
3	56.9	110	12.4	43.9	7.53	0.895	6.16	0.908	5.03	0.959	2.97	0.411	2.76	0.392
4	38.2	82.6	9.89	37.2	7.66	0.715	6.80	1.04	6.15	1.21	3.65	0.561	3.60	0.504
5	58.0	119	13.9	49.2	8.69	0.752	7.59	1.20	6.25	1.16	3.08	0.509	3.28	0.481
6	279	482	50.0	166	20.3	2.62	14.4	1.73	6.94	1.28	3.94	0.523	3.61	0.572

序号	主 要 参 数					
	Σ REE	LREE	HREE	LREE/REE	δ Eu	$(La/Yb)_N$
1	138.84	125.73	13.11	9.59	0.50	9.95
2	99.75	80.40	19.35	4.15	0.46	3.25
3	250.97	231.37	19.60	11.81	0.39	13.89
4	199.76	176.24	23.52	7.49	0.30	7.15
5	273.09	249.54	23.55	10.60	0.28	11.92
6	1 032.90	999.95	32.96	30.34	0.45	52.11

序号	微 量 元 素 丰 度(10^{-6})														
	Zr	Nb	Ba	Hf	Ta	Ni	Th	U	Ti	Sc	Co	Cu	Mo	Au	Rb
1	145	17.0	156	5.56	1.85	1.82	26.5	3.69	659	3.75	0.41	2.71	0.32	0.1	189
2	370	26.1	786	11.5	2.07	1.5	14.6	3.40	1 178	5.94	0.38	4.11	2.43	1.0	177
3	275	15.9	753	8.78	1.61	2.15	36.0	3.85	1932	5.48	1.80	2.28	0.47	0.2	162
4	133	21.0	662	6.07	1.79	2.35	20.7	4.44	628	2.03	3.27	18.4	0.54	0.4	114
5	142	14.0	434	4.73	1.81	4.65	41.9	6.44	1858	8.73	4.08	2.81	0.34	0.2	187
6	923	21.9	448	23.5	1.30	0.81	46.8	5.19	1601	8.13	0.52	3.37	5.36	0.3	190
维氏值	200	20	830	1	3.5	8	18	3.5	2300	3	5	20	1	4.5	200

在 $SiO_2-Na_2O+K_2O$ 图解中(图 2),4 个单元岩石投点样品均落入亚碱性系列岩区;在 AFM 图解上落入钙碱性系列区域(图 3),且分布于靠近 A

端的 AF 线附近,显示出贫铁、镁而富碱的特征;在铝饱和参数图解中(图 4),样品投点大多数落于过铝质花岗岩区分布。

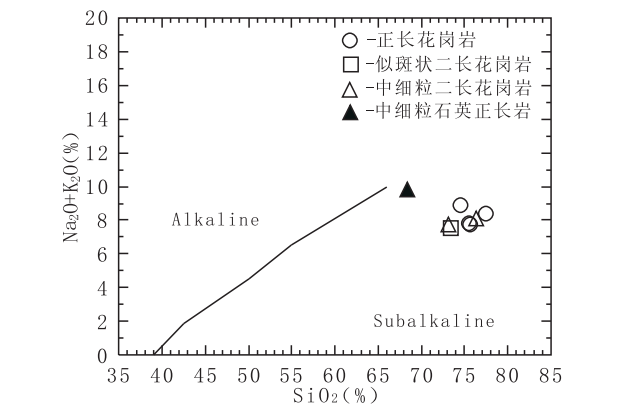


图 2 $SiO_2-Na_2O+K_2O$ 图解
Fig. 2 $SiO_2Na_2O+K_2O$ diagram

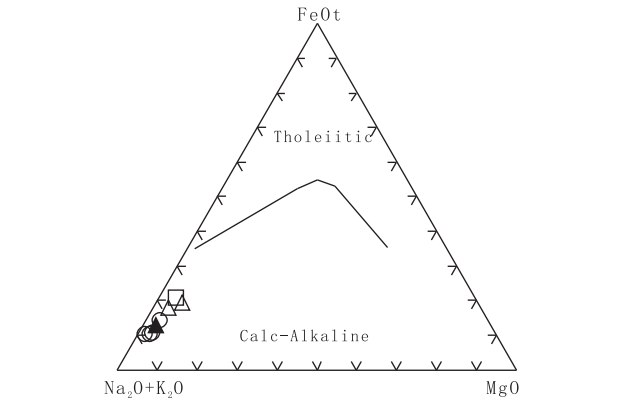


图 3 AFM 图解
Fig. 3 AFM diagram

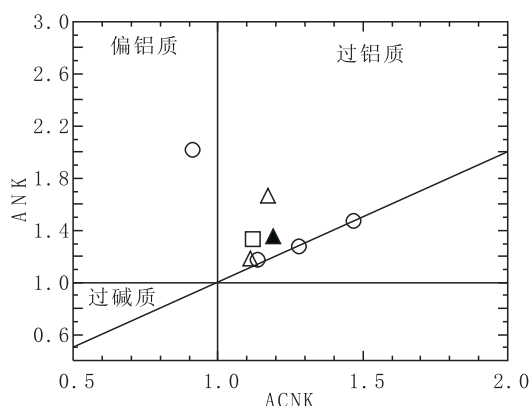


图4 铝饱和指数图解

Fig. 4 Diagram of aluminum saturation index

以上特征表明寒武纪花岗岩为高钾、过铝质钙碱性系列岩石,具S型花岗岩特征。

3.2 稀土元素

样品稀土总量 ΣREE 为 $1\ 032.90 \times 10^{-6} \sim 99.75 \times 10^{-6}$,其中石英正长岩的总量(ΣREE)高达 $1\ 032.90 \times 10^{-6}$,与富钾玄武岩的稀土总量可有一比,反映该类岩石分离结晶过程及物源的复杂性;其他岩石的稀土总量平均值为 185.6×10^{-6} ,低于上地壳平均值(210×10^{-6});各单元绝大部分岩石轻重稀土比值(LREE/HREE)为4.15~11.81,而石英正长岩高达30.34,反映各类岩石轻稀土富集,重稀土亏损,而且石英正长岩轻稀土极强烈富集。 δEu 为0.28~0.50,均小于1,具Eu负异常特征; $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} = 3.25 \sim 52.11$,其中早期2个单元岩石的 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} > 10$,晚期2个单元岩石的 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} < 10$,与涂光炽(1980)总结的我国花岗岩稀土分布特征比较,早期单元岩石中似乎混有幔源物质,而晚期单元岩石基本与壳型花岗岩晚期相似。

在以球粒陨石为标准化的稀土元素配分模式图(图5)中,曲线呈右倾斜的轻稀土富集型式,Eu具明显的亏损特征,反映岩石经历了强烈的分离结晶作用。除石英正长岩轻稀土强烈富集,呈向右陡倾之外,其他各岩石曲线近于平行,显示同源岩浆特征。

总之,上述各项稀土特征与壳源花岗岩(S型)很相似,表明该些花岗岩为地壳部分熔融同源岩浆演化而成的产物。

3.3 微量元素

样品微量元素值与维氏(1962)花岗岩平均值相比,花岗岩的U、Hf、Sc、Th元素高于维氏值,Zr、Nb

两元素各有3个样品其值大于维氏值,另外3件样品低于维氏值,其余元素丰度值基本普遍低于维氏值。

在以洋脊花岗岩为标准的微量元素比值蛛网图中(图6),Rb、Th、K₂O明显富集,其他元素不同程度相对亏损,曲线呈右倾的锯齿状,分布型式与PEARCE等(1984)划分的同碰撞花岗岩的分布型式接近,显示壳源花岗岩的特征。

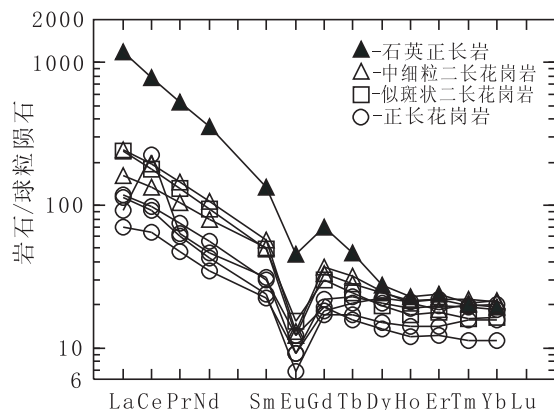


图5 稀土配分模式图

Fig. 5 REE distribution pattern

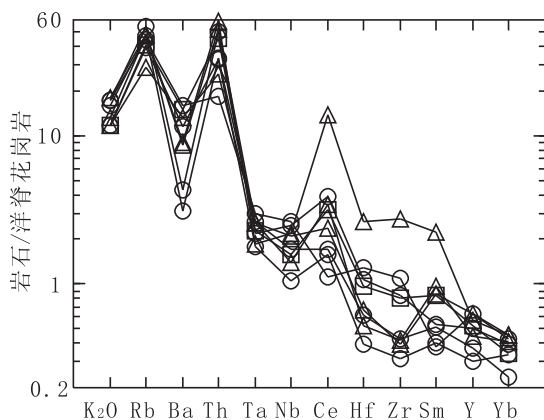


图6 微量元素比值蛛网图

Fig. 6 the spider diagram of trace element ratio

4 成岩时代及成因

本次工作在中细粒二长花岗岩($\eta\gamma \in_3$)中采用锆石U-Pb激光探针等离子体质谱法(LA-MC-ICP-MS)测年,获得了 $(492.7 \pm 1.9) \text{ Ma}$ 的U-Pb年龄值,表明侵位时代为晚寒武世。现将二长花岗岩同位素测年结果介绍如下(表2)。

表 2 二长花岗岩锆石 U-Pb 年龄测试数据表
Tab. 2 Zircon U-Pb Age test data sheet of monzonitic granite

点号	含量($\times 10^{-6}$)		同位素比值					表面年龄(Ma)					
	Pb	U	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ
1	182	2 206	0.077 8	0.615 3	0.057 3	0.025 0	0.507 9	483	4	487	5	505	21
2	173	2 072	0.079 9	0.630 0	0.057 2	0.020 5	0.577 3	496	4	496	5	499	23
3	138	1 684	0.079 9	0.628 3	0.057 0	0.024 0	0.414 8	495	4	495	5	493	19
4	328	4 027	0.079 8	0.672 8	0.061 1	0.020 3	0.451 4	495	4	522	5	643	19
5	117	1 466	0.079 9	0.618 9	0.056 2	0.020 2	0.384 1	496	4	489	5	459	20
6	181	2 106	0.079 9	0.686 5	0.062 3	0.026 7	0.525 6	495	5	531	22	686	72
7	151	1 863	0.078 9	0.633 7	0.058 3	0.020 4	0.505 6	489	4	498	5	539	19
8	164	1 971	0.080 4	0.668 3	0.060 3	0.020 1	0.548 7	498	4	520	5	615	22
9	794	9 589	0.079 3	0.668 6	0.061 1	0.020 8	0.548 4	492	4	520	5	644	19
10	240	2 909	0.079 4	0.637 5	0.058 2	0.021 5	0.521 8	493	4	501	6	538	23
11	361	4 463	0.078 7	0.656 3	0.060 5	0.020 2	0.481 6	489	4	512	5	620	19
12	305	3 593	0.079 4	0.680 7	0.062 2	0.021 1	0.650 8	492	4	527	5	681	19
13	127	1 565	0.079 5	0.625 1	0.057 0	0.024 0	0.396 2	493	4	493	5	491	20
14	207	2 528	0.078 9	0.652 6	0.060 0	0.023 8	0.453 1	489	4	510	13	604	49
15	172	2 038	0.079 1	0.631 4	0.057 9	0.028 7	0.473 1	491	4	497	5	527	20
16	215	2 733	0.072 0	0.659 4	0.066 4	0.021 1	0.651 7	448	3	514	5	819	20
17	311	3 818	0.079 9	0.645 7	0.058 6	0.020 7	0.459 2	495	4	506	5	554	19
18	277	3 529	0.079 0	0.681 0	0.062 5	0.021 3	0.306 8	490	4	527	5	691	19
19	143	1 964	0.078 2	0.610 6	0.056 6	0.019 3	0.062 8	485	4	484	5	477	20
20	272	3 312	0.078 8	0.664 8	0.061 2	0.021 0	0.522 4	489	4	518	5	646	18
21	199	2 408	0.080 9	0.640 6	0.057 5	0.020 0	0.500 5	501	4	503	5	509	19
22	153	1 903	0.079 9	0.633 9	0.057 5	0.018 8	0.442 3	496	4	499	5	512	19
23	246	3 031	0.080 1	0.628 5	0.056 9	0.018 7	0.477 5	496	4	495	5	489	19
24	192	2 355	0.080 2	0.619 2	0.056 0	0.018 7	0.489 6	497	4	489	5	452	19
25	321	1 768	0.168 6	2.097 4	0.090 2	0.046 8	0.541 1	1 004	8	1 148	11	1 430	16

注:1. 表中所列误差均为 1σ 误差;2. 样品测试单位:天津地质矿产研究所;样号:IJD(U-Pb)4002,岩性:中细粒二长花岗岩中细粒二长花岗岩。

样品采自下乐窝中细粒二长花岗岩中,共挑选 25 颗锆石进行了测试分析,其分析数据见表 2。其中除 1、25 号点之外,其余 2~24 号共 23 个样点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄加权平均值为 $(492.7\pm 1.9)\text{Ma}$, 锆石 U-Pb 同位素谐和图见图 7。在锆石阴极发光照片中(图 8),其中选择测年的锆石大部分呈自形-半自形长柱状或短柱状,淡棕色,透明。绝大部分锆石发育明显的振荡环带,环带窄而细密,个别锆石中

出现出现扇形分带的结构,具有岩浆成因岩浆型锆石的重要特征。个别锆石中有继承锆石的残留核(25 号),反映岩石中有继承锆石存在。

如前述岩石化学特征分析(表 1),晚寒武世花岗岩属于高钾、过铝质钙碱性系列岩石,具 S 型花岗岩特征;稀土特征也反映岩浆来源于壳源物质的部分熔融。微量元素特征与同碰撞花岗岩相似。因此,岩石成因应属壳型(S 型)花岗岩。

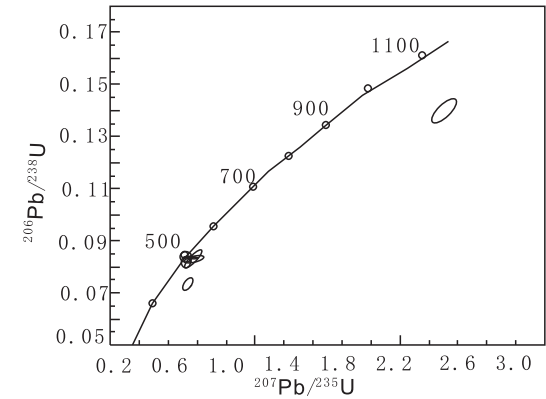


图 7 锆石 U-Pb 年龄谐和图(据样品 IJD4002)

Fig. 7 U-Pb age of zircon Concordia diagram

(According to the sample IJD4002)

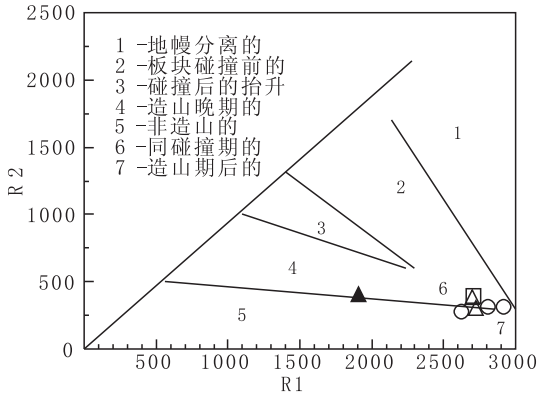


图 9 R₁-R₂ 图解

Fig. 9 R₁-R₂ diagram

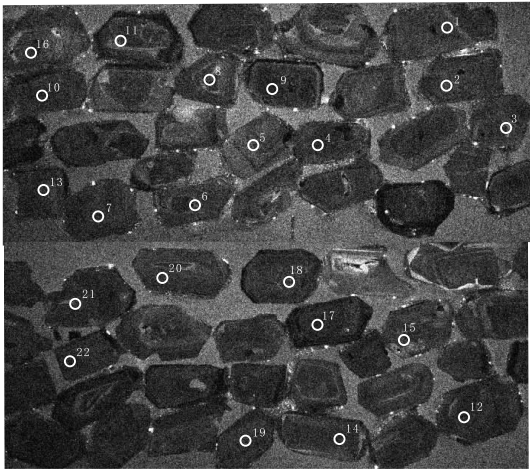


图 8 锆石阴极发光照片

Fig. 8 Zircon cathode luminescence

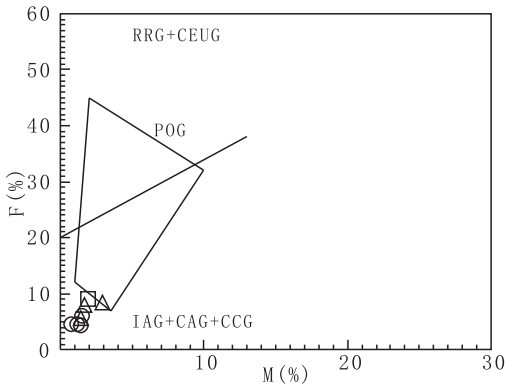


图 10 (Al₂O₃-Na₂O-K₂O)-TFeO-MgO 图解

Fig. 10 (Al₂O₃-Na₂O-K₂O)-TFeO-MgO diagram

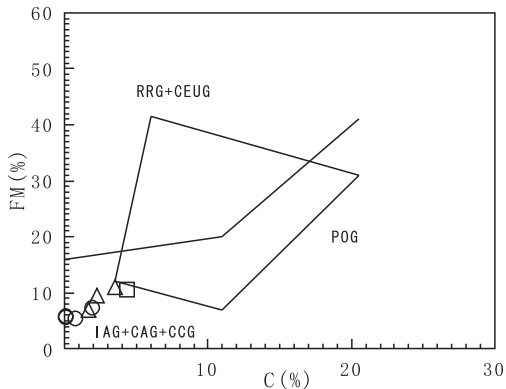


图 11 (Al₂O₃-Na₂O-K₂O)-(TFeO+MgO)-CaO 图解

Fig. 11 (Al₂O₃-Na₂O-K₂O)-(TFeO+MgO)-CaO diagram

5 讨论及结论

利用 R₁-R₂ 图解进行构造环境判别(图 9), 早期甘禅口单元投点落入造山晚期和非造山区的界线上,可能反映了早期单元源区物质的复杂性;其余 3 个单元投点集中于同碰撞区,总体反映出活动大陆边缘的特征。利用 MANIAR 和 PICCOLI(1989)的构造环境判别图解进行投点,在(Al₂O₃-Na₂O-K₂O)-TFeO-MgO 图解(图 10)及(Al₂O₃-Na₂O-K₂O)-(TFeO+MgO)-CaO 图解(图 11)中,所有单元样点均集中落入 IAG+CAG+CCG 区。前述岩石化学特征反映了该序列岩石 A/CNK 为 0.91~1.47,平均为 1.17,大于 1.1,并出现刚玉分子(C>1)。总体化学成分与 MANIAR 等(1989)划分的 CCG 型(大陆碰撞型)花岗岩近似。因此,笔者认为晚寒武世甘禅口序列花岗岩应当形成于同碰撞构造环境。

晚寒武世花岗岩主要岩石组合为二长花岗岩-石英正长岩-正长花岗岩,属于高钾、过铝质钙碱性

系列岩石,具S型花岗岩特征。LA-MC-ICP-MS测定年龄为 $(492.7 \pm 1.9)\text{Ma}$ 。

从寒武纪花岗岩产出的构造位置及区域地质分析,它的形成在空间上和时间上都应在测区南部北祁连与中祁连之间的结合部位,即与大坂山弧后盆地的伸展扩张作用有关,应当是在南部盆地扩张阶段,北部浪士当微地块遭受挤压导致陆壳部分熔融而形成的产物,类似于弧陆碰撞花岗岩。

参考文献(References):

- 肖庆辉,邓晋福,马大铨,等. 花岗岩研究思维与方法[M]. 北京:地质出版社,2002.
- XIAO Qinghui, DENG Jinfu, MA Daquan, et al. The Ways of Investigation on Granitoids[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002 (in Chinese with English abstract).
- 冯益民,吴汉泉. 北祁连山及其邻区古生代以来的大地构造演化初探[J]. 西北地质科学, 1992, 13(2): 61-74.
- FENG Yimin, WU Hanquan. Tectonic evolution of North Qilian mountains and its Neighbourhood since Paleozoic[J]. Northwest Geoscience, 1992, 13(2): 61-74 (in Chinese with English abstract).
- 冯益民,何世平. 祁连山大地构造与造山作用[M]. 北京:地质出版社,1996.
- FENG Yimin, HE Shiping. Geotectonics and Orogeny of the Qilian Mountains[M]. Beijing, Geological Publishing House. 1996 (in Chinese with English abstract).
- 刘成东,莫宣学,罗照华,等. 东昆仑壳幔岩浆混合作用:来自锆石 SHRIMP 年代学的证据[J]. 科学通报, 2004, 49(6): 569-602.
- LIU Chendong, MO Xuanxue, LUO Zhaohua, et al. East Kunlun crust-mantle magma mixing: Evidence from SHRIMP zircon [J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(6): 596-602 (in Chinese with English abstract).
- 任纪舜. 昆仑-秦岭造山系的几个问题[J]. 西北地质, 2004, 37(1): 1-5.
- REN Jishun. Some problems on the Kunlun-Qinling orogenic system[J]. Northwestern Geology, 2004, 37(1): 1-5 (in Chinese with English abstract).
- 夏林圻,夏祖春,徐学义. 北祁连山构造-火山岩浆演化动力学[J]. 西北地质科学, 1995, 16(1): 1-28.
- XIA Linqi, XIA Zuchun, XU Xueyi. Dynamics of tectono-volcano-magmatic evolution from North Qilian Mountains[J]. Northwest Geoscience, 1995, 16(1): 1-28 (in Chinese with English abstract).
- 徐学义,何世平,王洪亮,等. 早古生代北秦岭—北祁连结合部构造格局的地层及构造岩浆事件[J]. 西北地质, 2008, 41(1): 1-21.
- XU Xueyi, HE Shiping, WANG Hongliang, et al. Tectonic Framework of North Qinling Mountain and North Qilian Mountain Conjunction Area in Early Paleozoic: A study of the Evidences from strata and Tectonic-Magmatic[J]. Northwestern Geology, 2008, 41(1): 1-21.
- 陆松年. 新远古时期 Rodinia 超大陆研究进展述评[J]. 地质论评, 1998, 44(5): 489-494.
- LU Songnian. A review of advance in the research on the Neoproterozoic Rodinia supercontinent[J]. Geological Review, 1998, 44(5): 489-494 (in Chinese with English abstract).
- 陆松年,李怀坤,陈志宏,等. 新远古时期中国古大陆与罗迪尼亚超大陆的关系[J]. 地学前缘, 2004, 11(2): 515-523.
- LU Songnian, LI Huaikun, CHEN Zhihong, et al. Relationship between Neoproterozoic cratons of China and the Rodinia [J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(2): 515-523.
- 肖序常,王军. 青藏高原构造演化及隆升的简要评述[J]. 地质论评, 1998b, 44(4): 372-381.
- XIAO Xuchang, WANG Jun. A brief review of tectonic evolution and uplift of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Geological Review, 1998b, 44(4): 372-381 (in Chinese with English abstract).
- 殷鸿福,张克信. 东昆仑造山带的一些特点[J]. 地球科学, 1997, 22(4): 339-342.
- YING Hongfu, ZHANG Kexin. East Kunlun orogenic belt of some of the features [J]. Earth Science China University of Geosciences Journal, 1997, 22(4): 339-342 (in Chinese with English abstract).
- 张治洮. 东昆仑西段北坡构造属性、构造岩石体系及花岗岩类成因[J]. 西北地质, 1996, 17(1): 10-16.
- ZHANG Zhitao. Tectonic characteristic, tectonic rock system and granite genesis of north slope of the western sector in Eastern Kunlun[J]. Northwestern Geology, 1996, 17(1): 10-16 (in Chinese with English abstract).