

中祁连东段乐都地区中酸性侵入岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其构造意义

曹锦山,李五福,王国良,张新远

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

摘 要: 青海省中祁连东段乐都沈家峡-碱沟一带发育有中酸性侵入体。野外地质调查和岩相学等研究表明,侵入体呈岩株状,主要由二长花岗岩和花岗闪长岩组成,两者间呈脉动接触。对 2 件二长花岗岩样品进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测年,获得的加权平均年龄分别为 465.7 ± 2.2 Ma ($n=24$, MSWD=0.031)、 459 ± 2 Ma ($n=21$, MSWD=0.76),表明侵入体时代为中奥陶世。岩石地球化学特征表明,该期侵入体属准铝质-过铝质中高钾钙碱性系列岩石,岩石 $(La/Yb)_N$ 为 10.57~23.126, δEu 为 0.47~0.69,稀土配分曲线具“V”型右倾特征;大离子亲石元素 Rb、Ba、Th、K、La、Ce、Sm、Nd 强富集,Zr、Hf 弱富集,高场强元素 Nb、Ta、P、Ti 强亏损;岩石具有岛弧型岩浆岩特征,其形成可能与北祁连洋向南俯冲有关。

关键词: 二长花岗岩;花岗闪长岩;LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄;岛弧;北祁连洋;青海省

THE ACID-INTERMEDIATE INTRUSIVE ROCKS IN THE EAST SECTION OF MIDDLE QILIAN OROGENIC BELT: LA-ICP-MS Zircon U-Pb Age and Tectonic Implications

CAO Jin-shan, LI Wu-fu, WANG Guo-liang, ZHANG Xin-yuan

Key Laboratory of Geological Process and Mineral Resources in Northern Qinhai-Tibet Plateau/Qinghai Institute of Geological Survey, Xining 810012, China

Abstract: The acid-intermediate intrusions are developed in Shenjiashia-Jiangou area in the east section of Middle Qilian Mountains, Qinghai Province. The field geological survey and petrographic study show that the intrusions occur in stock, mainly consisting of monzogranite and granodiorite which are in pulsation contact with each other. The LA-ICP-MS zircon U-Pb isotopic dating of 2 monzogranite samples gains the weighted average ages of 465.7 ± 2.2 Ma ($n=24$, MSWD=0.031) and 459 ± 2 Ma ($n=21$, MSWD=0.76) respectively, indicating that the intrusions were formed in Middle Ordovician. The lithogeochemical characteristics reveal that the intrusions belong to quasialuminous-peraluminous medium-high K calc-alkaline series with the $(La/Yb)_N$ of 10.57~23.126 and δEu of 0.47~0.69. The REE patterns show right-dipping “V” shaped curves. The LILEs such as Rb, Ba, Th, K, La, Ce, Sm and Nd are strongly enriched, Zr and Hf weakly enriched, while the HSFES (Nb, Ta, P and Ti) are strongly depleted. The rocks are characterized by island arc magmatite, which may be related to the southward subduction of North Qilian Ocean.

Key words: monzogranite; granodiorite; LA-ICP-MS zircon U-Pb age; island arc; Northern Qilian Ocean; Qinghai Province

收稿日期:2019-02-18;修回日期:2019-03-21. 编辑:李兰英.

基金项目:中国地质调查局“青海区域地质调查片区总结与服务产品开发”项目(12120114079701);中国地质调查局地质大调查“青海省民和县西沟地区三幅 1:5 万区域地质矿产调查”项目(12120114041301).

作者简介:曹锦山(1990—),男,从事区域地质调查工作,通信地址 青海省西宁市城中区南川西路 107 号, E-mail//1061428298@qq.com

祁连造山带是世界上典型的造山带之一,它位于青藏高原东北缘,北与阿拉善地块相连,南与柴北缘-西秦岭造山带相接,东、西分别与鄂尔多斯地块和塔里木地块相邻,是我国中央造山带的重要组成部分,也是我国最早引进板块构造理论的地区之一^[1],曾被黄汲清当作多旋回地槽演化与造山作用的范例。该造山带曾被李春昱等^[2]、肖序常等^[3]选为板块构造的理想野外实验室。由于其出露典型的蛇绿岩、高压变质岩(榴辉岩、蓝片岩等)以及俯冲-碰撞相关的岩浆岩,一直以来都是国内外地质学家研究的热点地区^[4-14]。祁连造山带早古生代侵入岩分布广泛,而且种类丰富,这些岩石记录了早古生代阿拉善地块、中祁连地块和柴达木地块碰撞拼合的重要信息^[4, 10, 14-15]。因此,研究祁连造山带岩浆侵入作用的产生对认识整个祁连造山带的构造演化、深部动力学过程以及中国西部块体群在早古生代的拼贴过程具有重要的意义。

祁连造山带可以分为北祁连、中祁连和南祁连^[16],前人研究主要集中在北祁连地区,中祁连地区研究相对薄弱,尤其对俯冲阶段研究就更为薄弱,导致北祁连

洋向南俯冲的时代依据较少,这也间接地制约了人们对祁连造山带的形成与构造演化的全面认识。

本文在详细野外地质调查的基础上,选择出露规模较大的沈家峡和碱沟花岗岩体,从地质学特征、岩相学特征、岩石地球化学特征、LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年代学特征及构造环境方面进行了研究,为祁连造山带构造演化的深入研究提供了扎实可靠的岩石学和年代学依据。

1 地质背景及岩相学特征

1.1 地质背景

研究区大地构造位置属秦祁昆造山系中南祁连弧盆系中祁连岩浆弧。区域上中祁连发育较多的俯冲碰撞相关的侵入岩,包括花岗岩、花岗闪长岩、石英闪长岩和闪长岩以及少量镁铁-超镁铁质侵入岩。沈家峡岩体呈岩株状产出,平面形态呈不规则圆状,出露面积约 4.8 km² (图 1)。该岩体与蓼县系磨石沟组下段呈侵入接触,周围被古近纪-中新统西宁组角度不整合覆盖,局部被第四纪沉积物掩盖。岩石组合主要为灰白-

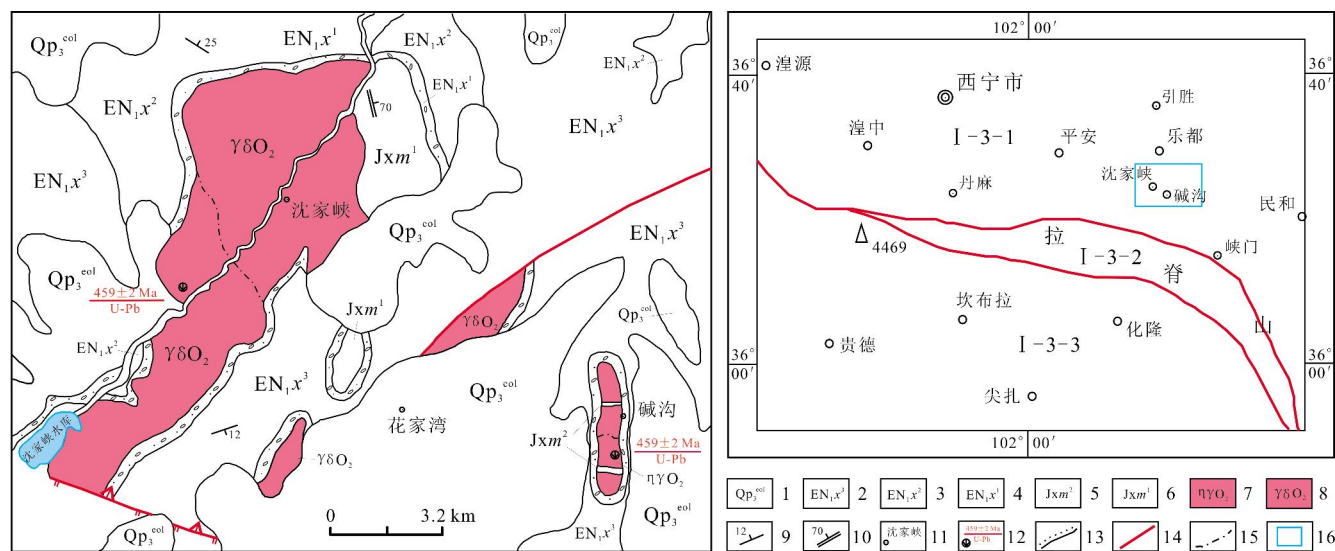


图 1 研究区地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of the study area

1—上更新统风积物(Upper Pleistocene aeolian deposit); 2—古-中新世西宁组泥岩段(mudstone of Xining fm., Paleocene-Miocene); 3—西宁组砂岩段(sandstone of Xining fm.); 4—西宁组砾岩段(conglomerate of Xining fm.); 5—蓼县纪磨石沟组石英岩段(quartzite of Moshigou fm., Jixianian); 6—磨石沟组石英片岩段(quartz schist of Moshigou fm.); 7—中奥陶世二长花岗岩(Middle Ordovician monzogranite); 8—中奥陶世花岗闪长岩(Middle Ordovician granodiorite); 9—地层产状(formation occurrence); 10—片理产状(schistosity occurrence); 11—地名(place name); 12—锆石 U-Pb 年龄及采样点(zircon U-Pb age and sampling site); 13—角度不整合(angular unconformity); 14—断裂(fault); 15—涌动接触界线(surge contact boundary); 16—研究区(study area); I-3-1—中祁连岩浆弧(Middle Qilian magmatic arc); I-3-2—党河南山-拉脊山蛇绿混杂岩带(Danghenanshan-Lajishan ophiolitic melange belt); I-3-3—南祁连岩浆弧(South Qilian magmatic arc)

浅灰白色中细粒花岗闪长岩、浅肉红色中细粒二长花岗岩和浅灰绿色蚀变细粒石英闪长岩,其中花岗闪长岩与二长花岗岩呈脉动接触(图2)。碱沟岩体呈岩株状产出,规模很小,平面上呈长条状,长轴方向近南北向,出露面积约 0.21 km²。该岩体与古近纪-中新统西宁组呈角度不整合接触,局部与蓟县系磨石沟组石英岩段呈侵入接触。岩石组合主要为灰白色-浅灰色中细粒二长花岗岩(图3)、浅灰色中细粒花岗闪长岩。

1.2 岩相学特征

沈家峡-碱沟花岗岩体岩石类型较为单一,为灰白-浅白色中细粒花岗闪长岩、浅肉红色中细粒二长花岗岩,局部见少量浅灰绿色石英闪长岩。

花岗闪长岩:中细粒花岗结构,块状构造。岩石由斜长石、石英、钾长石、黑云母及少量副矿物组成。斜长石(64%)呈柱状,环带结构发育,环带中心被钠黝帘石化;钾长石(10%)半自形板状,粒状,是微斜长石,分布均匀;石英(23%)呈他形粒状,充填在其它矿物空隙之间,形态受空隙形态制约;黑云母(3%)呈板状,鳞片状,具褐色多色性,局部被绿泥石化,在岩石中分布均匀,不具方向性排列。副矿物为少量的磷灰石、锆石。

二长花岗岩:中细粒半自形粒状结构,块状构造钾长石。岩石由斜长石、斜长石、石英、黑云母及少量副矿物组成。钾长石(41%)呈半自形粒状晶,粒径在 0.20~2.75 mm 之间,具格子双晶和条纹构造,为微斜条纹长石,受黏土化蚀变表面显灰褐色;斜长石(30%)半自形柱状晶,具钠长聚片双晶和卡式双晶,为更一中长石;石英(25%)呈他形粒状结构,粒径大小为 0.14~2.80 mm,充填于长石矿物裂隙之间;黑云母(4%)呈鳞片状,显著多色性,局部被白云母和绿泥石交代,沿解理析出不透明矿物,副矿物为磷灰石,呈针状分布于其他矿物之间。

2 岩石地球化学特征

岩石地球化学数据分析结果列于表1,所有样品烧失量(LOI)均小于2%。稀土元素采用 Taylor(1985) C₁ 球粒陨石标样丰度值,微量元素蛛网图采用 McDonough&Sun(1989)原始地幔标样丰度值。

2.1 主量元素特征

岩石 SiO₂ 含量变化不大,为 66.07%~69.54%(质量分数),Al₂O₃、K₂O、Na₂O 含量较高,分别为 14.33%~

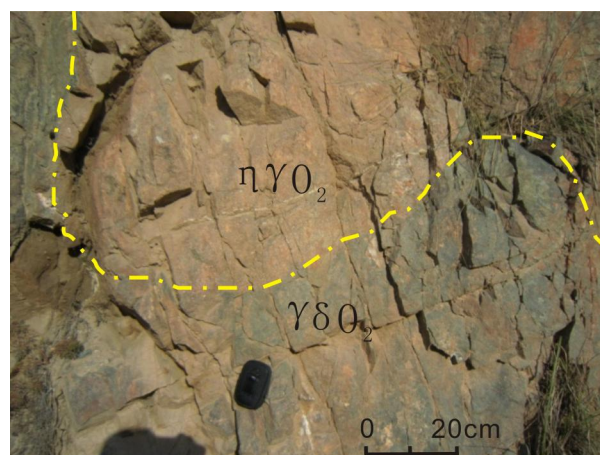


图2 二长花岗岩与花岗闪长岩脉动接触界线
Fig. 2 The pulsation contact between monzogranite and granodiorite

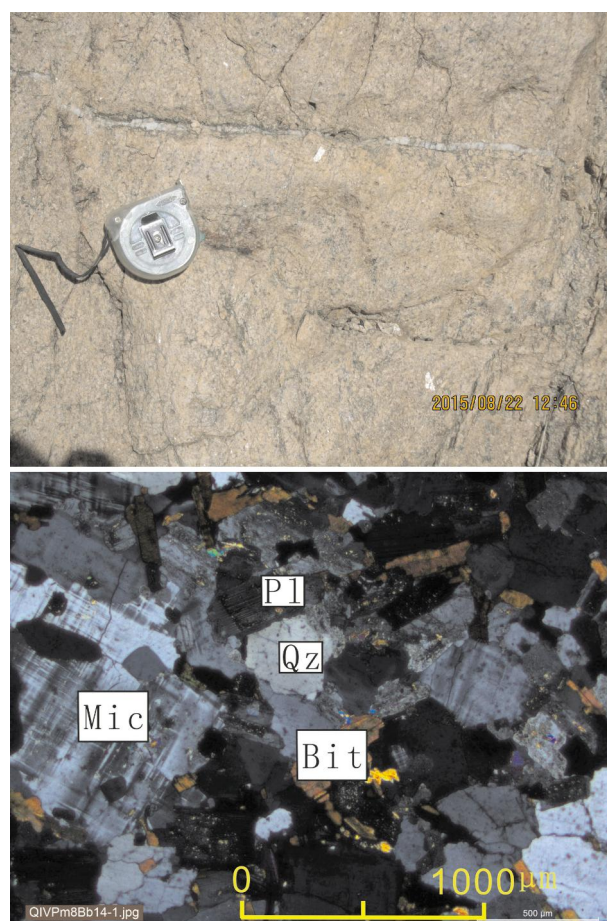


图3 碱沟二长花岗岩野外特征和镜下照片
Fig. 3 Field and microscopic photographs of Jiangou monzogranite

15.67%、1.75%~3.62%、3.01%~3.98%; TiO₂、MgO 含量较低,分别为 0.43%~0.74%、0.97%~1.76%,以高硅、

铝、钠、钾,低钛、镁为特征。 $K_2O/Na_2O=0.44\sim 1.14$,具富钠特征。里特曼指数 $\sigma=1.23\sim 2.07$,属钙碱性岩。在 SiO_2-K_2O 图解中样品投点落在高钾-低钾钙碱性系列区域(图4);在 $A/CNK-A/NK$ 图解中样品投点集中在准铝-过铝质区域(图5)。上述主量元素特征显示,岩石具有准铝-过铝质、中-高钾钙碱性系列特点。

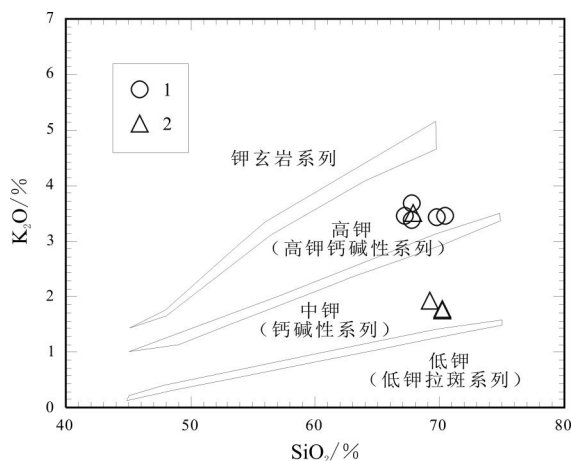


图4 SiO_2-K_2O 图解

Fig. 4 The SiO_2-K_2O diagram

1—花岗闪长岩(granodiorite); 2—二长花岗岩(monzogranite)

2.2 稀土、微量元素特征

岩石稀土总量 ΣREE 为 $123.29\times 10^{-6}\sim 229.24\times 10^{-6}$, $LREE/HREE$ $8.61\times 10^{-6}\sim 16.56$, $(La/Yb)_N$ $10.57\sim 23.12$, $(La/Sm)_N$ $4.04\sim 5.00$, $(Gd/Yb)_N$ $1.67\sim 2.65$, δEu $0.47\sim 0.69$ 。在稀土配分模式图中(图6a),曲线呈“右倾”型。

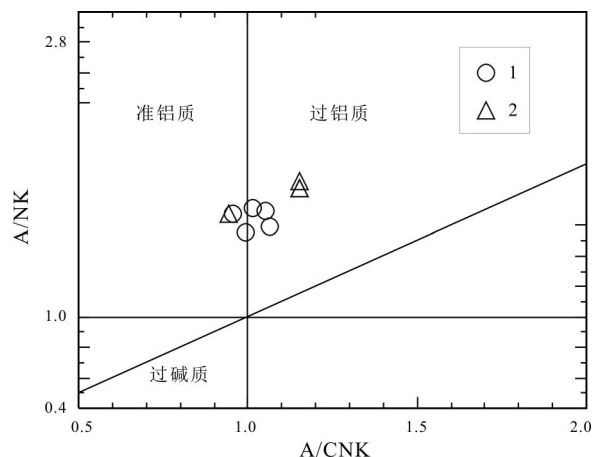
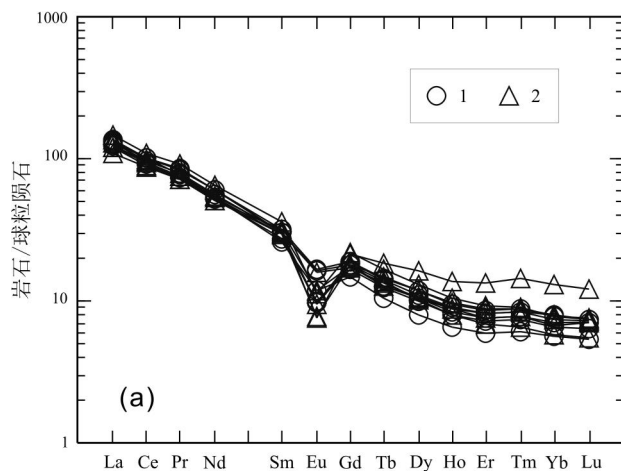


图5 铝饱和指数图解

Fig. 5 The aluminum saturation index diagram

1—花岗闪长岩(granodiorite); 2—二长花岗岩(monzogranite)

岩石具有轻稀土富集且分馏相对明显,而重稀土分馏相对较差及明显的负Eu异常特征。在原始地幔标准化蛛网图(图6b)中,各岩石表现出相似的特征,曲线形态呈锯齿状,峰和谷非常明显,显示出大离子亲石元素Rb、Th、U、Zr、Hf、K和稀土元素La、Ce、Nd、Sm富集明显;高场强元素Nb、Ta、Ti、P强烈亏损,总体特征与正常大陆弧花岗岩类似^[17],表明岩石具有陆缘增生带产出特征。

3 年代学特征

区域上前人在中祁连地区中酸性侵入体中获得了

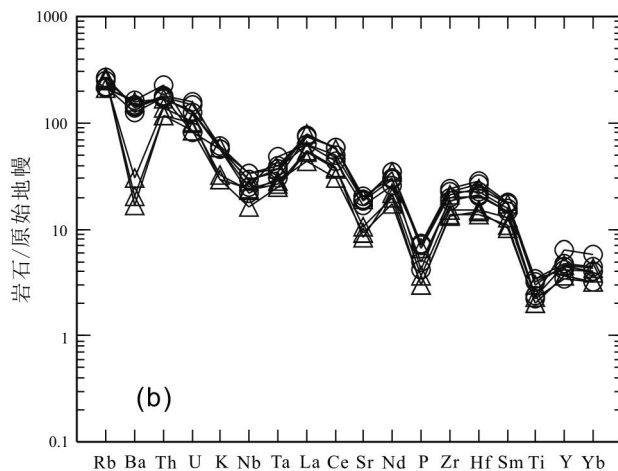


图6 稀土元素配分模式图和微量元素蛛网图

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns and primitive mantle-normalized trace element spidergram

1—花岗闪长岩(granodiorite); 2—二长花岗岩(monzogranite)

表 1 沈家峡-碱沟地区中酸性侵入岩岩石地球化学分析结果

Table 1 Geochemical composition of acid-intermediate intrusive rocks in Shenjiaxia-Jianguo area

样品号	花岗闪长岩					二长花岗岩			
	PM08GS5-1	PM08GS7-1	PM08GS8-1	PM08GS9-1	PM08GS25-1	PM08GS6-1	PM26GS14-2	PM26GS14-3	PM26GS14-4
SiO ₂	69.44	66.74	66.07	66.8	68.45	66.65	69.52	68.46	69.54
TiO ₂	0.51	0.73	0.74	0.68	0.48	0.65	0.43	0.5	0.44
Al ₂ O ₃	14.33	14.75	14.58	14.92	14.56	14.49	15.54	15.67	15.49
Fe ₂ O ₃	0.71	1.32	1.15	0.85	0.93	0.79	0.86	0.84	0.86
FeO	2.7	2.85	3.45	3.35	2.6	3.3	2.75	3.3	2.92
MnO	0.07	0.08	0.09	0.09	0.08	0.09	0.05	0.06	0.06
MgO	1.36	1.56	1.76	1.66	1.54	1.67	1.09	1.22	0.97
CaO	2.48	2.97	3.61	3.34	2.86	3.72	2.87	2.82	2.78
Na ₂ O	3.26	3.43	3.06	3.11	3.03	3.01	3.86	3.92	3.98
K ₂ O	3.41	3.62	3.4	3.35	3.37	3.44	1.77	1.91	1.75
P ₂ O ₅	0.21	0.31	0.31	0.3	0.18	0.28	0.13	0.16	0.13
H ₂ O ⁺	1.17	1.13	1.16	1.16	1.27	1.22	0.93	0.94	0.86
CO ₂	0.04	0.25	0.38	0.11	0.4	0.4	0.05	0.05	0.02
LOI	0.99	1.07	1.16	0.92	1.38	1.30	0.69	0.64	0.61
总量	99.47	99.43	99.38	99.37	99.46	99.39	99.56	99.5	99.53
σ	1.67	2.07	1.78	1.73	1.59	1.73	1.19	1.32	1.23
A/NK	1.58	1.54	1.67	1.71	1.69	1.67	1.88	1.84	1.84
A/CNK	1.06	0.99	0.95	1.01	1.05	0.94	1.15	1.15	1.15
K ₂ O/Na ₂ O	1.05	1.06	1.11	1.08	1.11	1.14	0.46	0.49	0.44
La	40.36	40.96	50.25	49.50	47.89	50.74	34.55	35.06	28.49
Ce	72.71	82.65	98.86	98.71	97.35	96.36	61.6	63.39	51.26
Pr	9.12	9.80	11.62	11.70	10.67	11.69	6.89	7.28	5.85
Nd	32.28	36.89	43.38	43.08	38.23	43.68	24.9	26.75	21.38
Sm	6.06	6.37	7.37	7.07	6.03	7.12	4.47	5.2	4.14
Eu	1.05	1.33	1.46	1.44	1.03	1.40	0.78	0.76	0.69
Gd	5.33	5.07	5.82	5.50	4.59	5.32	3.7	4.4	3.72
Tb	0.92	0.72	0.83	0.75	0.61	0.79	0.51	0.66	0.55
Dy	5.26	3.73	4.25	3.97	3.06	4.06	3.06	3.99	3.22
Ho	1.00	0.67	0.77	0.72	0.56	0.75	0.58	0.73	0.6
Er	2.88	1.83	2.07	1.92	1.50	2.04	1.52	1.96	1.55
Tm	0.43	0.27	0.30	0.28	0.22	0.30	0.22	0.28	0.22
Yb	2.58	1.76	1.97	1.78	1.40	1.87	1.4	1.71	1.4
Lu	0.36	0.27	0.29	0.27	0.21	0.28	0.22	0.27	0.22
Sr	331.2	366.1	365.2	386.1	404.7	376.7	210.2	167.4	184.6
Rb	133.3	158.2	161.6	150.4	127.3	126.9	149.9	160.7	156.3
Ba	833.6	915.4	954.5	974.8	1066	1033	199.3	110.3	135.6
Th	13.69	13.79	14.27	13.49	17.99	13.34	10.95	9.32	9.26
Ta	1.79	1.37	1.46	1.28	1.13	1.35	0.92	0.99	1.06
Nb	16.13	22.02	21.85	19.56	14.55	18.89	10.76	15.21	16.07

表 1(续) Table 1 (Continued)

样品号	花岗闪长岩					二长花岗岩			
	PM08GS5-1	PM08GS7-1	PM08GS8-1	PM08GS9-1	PM08GS25-1	PM08GS6-1	PM26GS14-2	PM26GS14-3	PM26GS14-4
Zr	196.6	238.7	250.6	237.7	209.9	222.4	141.6	159.3	140.3
Hf	5.8	6.3	7.9	7.4	5.7	6.70	3.80	4.20	4.10
Cr	12.07	19.58	29.09	24.38	16.99	16.53	16.06	19.24	18.11
Pb	25.9	18.58	19.46	14.41	16.42	25.16	-	-	-
U	1.61	2.95	3.14	2.46	1.61	2.56	2.07	1.96	1.70
Y	27.51	18.15	20.5	18.95	14.72	20.02	15.64	19.91	15.93
Sc	7.89	9.01	11.29	10.18	9.21	10.42	8.44	9.78	8.76
Cs	5.97	13.06	13.09	9.72	6.11	9.31	7.52	6.67	6.30
Ga	16.99	18.22	19.14	18.56	17.15	17.97	18.92	20.24	22.10
Σ REE	180.34	192.32	229.24	226.69	213.35	226.40	144.40	152.44	123.29
LREE	161.58	178.00	212.94	211.50	201.20	210.99	133.19	138.44	111.81
HREE	18.76	14.32	16.30	15.19	12.15	15.41	11.21	14.00	11.48
LREE/HREE	8.61	12.43	13.06	13.92	16.56	13.69	11.88	9.89	9.74
(La/Yb) _N	10.57	15.73	17.24	18.79	23.12	18.34	16.68	13.85	13.75
δEu	0.55	0.69	0.66	0.68	0.58	0.67	0.57	0.47	0.53
(La/Sm) _N	4.19	4.04	4.29	4.40	5.00	4.48	4.86	4.24	4.33
(Gd/Yb) _N	1.67	2.32	2.38	2.49	2.65	2.30	2.13	2.08	2.14

含量单位:氧化物为%,微量、稀土元素为 10⁻⁶.

大量可靠的 U-Pb 同位素年龄. Gehrels 等^[12]对中祁连西段野马南山和党河南山一带的花岗岩、花岗闪长岩和石英闪长岩进行了 TIMS 锆石 U-Pb 年代学研究,得到其年龄为 482~472 Ma;齐瑞荣等^[18]在中祁连西段巴嘎德尔基花岗质岩中获得锆石 U-Pb 年龄为 461±1 Ma. Yan 等^[19]在中祁连东段的化隆地区发现了 470 Ma 的



图 7 沈家峡二长花岗岩锆石阴极发光图像

Fig. 7 The CL images of zircons in Shenjiaxia monzogranite

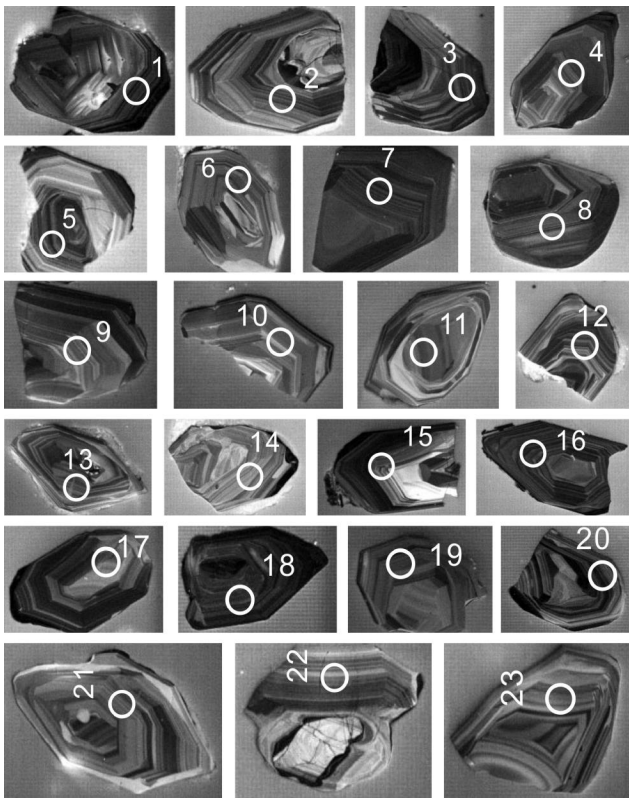


图 8 碱沟二长花岗岩锆石阴极发光图像

Fig. 8 The CL images of zircons in Jiangou monzogranite

表 2 沈家峡二长花岗岩 U-Pb 年龄同位素参数特征表

Table 2 U-Pb isotopic parameter characteristics of Shenjiaxia monzogranite

点号	含量/ 10^{-6}			同位素比值								年龄/Ma					
	Pb	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ
1	168.2	591.66	0.47	0.05622	0.00113	0.58222	0.01164	0.0751	0.00089	0.02201	0.0004	461	24	466	7	467	5
2	77.1	273.04	0.69	0.05619	0.00127	0.57807	0.01291	0.07461	0.00091	0.02187	0.00042	460	28	463	8	464	5
3	145.44	513.28	0.53	0.05598	0.00118	0.57809	0.01209	0.07488	0.0009	0.02119	0.0004	452	26	463	8	465	5
4	81.24	286.45	0.53	0.0562	0.00134	0.58098	0.0137	0.07496	0.00094	0.02124	0.00045	460	31	465	9	466	6
5	75.97	268.47	0.49	0.05616	0.00128	0.57948	0.01313	0.07482	0.00092	0.02222	0.00044	459	29	464	8	465	6
6	105.94	372.65	0.50	0.05499	0.00121	0.57003	0.01241	0.07517	0.00091	0.02272	0.00044	412	28	458	8	467	5
7	107.37	378.91	0.43	0.05628	0.00128	0.58168	0.01316	0.07495	0.00092	0.02148	0.00044	463	29	466	8	466	6
8	102.48	362.13	0.41	0.05551	0.00128	0.57307	0.0131	0.07486	0.00092	0.02244	0.00048	433	30	460	8	465	6
9	80.49	284.3	0.47	0.05625	0.00133	0.5811	0.0136	0.07491	0.00092	0.02176	0.00045	462	31	465	9	466	6
10	102.09	361.08	0.46	0.05634	0.00124	0.58135	0.01273	0.07482	0.00091	0.02219	0.00044	466	28	465	8	465	5
11	110.42	391.57	0.42	0.05559	0.00123	0.57224	0.01259	0.07464	0.00091	0.02263	0.00046	436	28	459	8	464	5
12	129.2	456.43	0.68	0.06228	0.00137	0.64368	0.01403	0.07494	0.00091	0.02352	0.00045	684	26	505	9	466	5
13	77.76	274.1	0.54	0.0582	0.00152	0.60297	0.01558	0.07512	0.00095	0.02388	0.00051	537	35	479	10	467	6
14	111.46	393.86	0.44	0.0558	0.00125	0.57679	0.01282	0.07495	0.00091	0.02183	0.00045	444	28	462	8	466	5
15	129.15	456.53	0.68	0.05697	0.00126	0.58878	0.01294	0.07494	0.00091	0.02153	0.00041	490	28	470	8	466	5
16	65.4	231.81	0.51	0.05622	0.00148	0.57955	0.01508	0.07475	0.00094	0.02236	0.00049	461	36	464	10	465	6
17	84.23	298.05	0.42	0.05632	0.00143	0.58167	0.01456	0.0749	0.00096	0.02172	0.00051	465	33	466	9	466	6
18	115.68	409.76	0.46	0.05639	0.00124	0.5819	0.01269	0.07483	0.00091	0.0211	0.00043	468	27	466	8	465	5
19	105.07	371.01	0.37	0.05618	0.00127	0.58169	0.01304	0.07508	0.00092	0.02155	0.00046	459	29	466	8	467	6
20	119.76	423.57	0.53	0.05632	0.00122	0.58234	0.01258	0.07497	0.00091	0.02152	0.00043	465	27	466	8	466	5
21	95.02	336.04	0.53	0.05812	0.00133	0.60138	0.01369	0.07503	0.00092	0.01992	0.00041	534	29	478	9	466	6
22	91.16	323.79	0.54	0.05632	0.00129	0.5803	0.01322	0.07471	0.00092	0.01998	0.00041	465	29	465	8	464	6
23	88.61	313.11	0.49	0.05633	0.00135	0.58354	0.01383	0.07511	0.00094	0.02187	0.00047	465	31	467	9	467	6
24	225.65	371.91	0.44	0.08606	0.00177	1.91171	0.0392	0.16108	0.00194	0.06682	0.0013	1340	22	1085	14	963	11
25	85.6	302.91	0.45	0.05626	0.00129	0.58225	0.01329	0.07504	0.00093	0.0217	0.00046	463	29	466	9	466	6

测试单位:天津地质矿产研究所.

辉长岩;雍拥等^[20]和陈隽璐等^[21]在中祁连东段的董家庄花岗岩、新店花岗岩和什川二长花岗岩得到 U-Pb 年龄 454~445 Ma.

本文在沈家峡、碱沟一带各取得一套 U-Pb 年龄样,岩性均为中细粒二长花岗岩,编号分别为 QIVPM08U-Pb6-1 和 QIVPM26U-Pb14-1,采样位置见图 1. 对其进行 LA-MC-ICP-MS 法锆石微区 U-Pb 年龄测定. 锆石多呈无色透明,震荡环带发育,显示明显的岩浆锆石的形态特征(图 7、8). 岩石 Th/U=0.08~

0.69, 比值较大, 平均比值为 0.41, 具有岩浆成因特征.

(1)QIVPM08U-Pb6-1 样品采自沈家峡水库附近二长花岗岩体中, 对该样品中的锆石颗粒共分析测试了 25 个点(表 2), 其中 24 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和性较好, 在锆石 U-Pb 谐和图解中, 所有 24 个测点构成非常集中的主锆石群(图 9), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和性较好, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均值为 465.7 ± 2.2 Ma(NSWD=0.31); 24 号锆石具弱分带特征且打靶点位在核部, 可能为捕获的老变质岩年龄, 应

表 3 碱沟二长花岗岩 U-Pb 年龄同位素参数特征表

Table 3 U-Pb isotopic parameter characteristics of Jiangou monzogranite

点号	含量/ 10^{-6}			同位素比值								年龄/Ma					
	Pb	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ
1	21	292	0.30	0.0571	0.0011	0.5815	0.0113	0.0739	0.0007	0.0173	0.0003	460	5	465	9	494	41
2	25	337	0.43	0.0573	0.0011	0.5912	0.0116	0.0748	0.0007	0.0185	0.0002	465	5	472	9	505	42
3	39	532	0.19	0.0578	0.0010	0.5984	0.0107	0.0751	0.0008	0.0255	0.0004	467	5	476	9	521	37
4	23	319	0.34	0.0567	0.0011	0.5746	0.0113	0.0735	0.0007	0.0189	0.0003	457	5	461	9	481	41
5	20	284	0.23	0.0573	0.0012	0.5732	0.0123	0.0726	0.0008	0.0247	0.0007	452	5	460	10	502	45
6	25	334	0.39	0.0555	0.0010	0.5626	0.0111	0.0735	0.0007	0.0193	0.0002	457	5	453	9	433	41
7	22	300	0.29	0.0560	0.0011	0.5692	0.0117	0.0737	0.0007	0.0193	0.0003	458	5	458	9	454	43
8	30	417	0.24	0.0569	0.0010	0.5762	0.0107	0.0734	0.0007	0.0229	0.0003	457	5	462	9	488	39
9	29	400	0.30	0.0563	0.0010	0.5707	0.0107	0.0736	0.0007	0.0214	0.0002	458	4	458	9	463	40
10	26	366	0.24	0.0569	0.0010	0.5775	0.0106	0.0737	0.0007	0.0219	0.0002	458	5	463	8	486	38
11	22	272	0.53	0.0577	0.0011	0.5935	0.0117	0.0746	0.0008	0.0247	0.0002	464	5	473	9	517	41
12	49	1624	0.08	0.0501	0.0011	0.1983	0.0038	0.0287	0.0007	0.0535	0.0022	182	5	184	3	199	50
13	27	374	0.27	0.0571	0.0010	0.5822	0.0113	0.0740	0.0007	0.0228	0.0004	460	5	466	9	494	40
14	33	448	0.24	0.0571	0.0010	0.5797	0.0105	0.0737	0.0007	0.0280	0.0005	458	5	464	8	494	38
15	21	262	0.55	0.0573	0.0011	0.5928	0.0123	0.0751	0.0007	0.0243	0.0003	467	5	473	10	502	43
16	22	294	0.32	0.0558	0.0011	0.5714	0.0114	0.0743	0.0007	0.0220	0.0002	462	5	459	9	444	42
17	97	340	0.47	0.0958	0.0015	3.5402	0.0596	0.2679	0.0028	0.0751	0.0007	1530	16	1536	26	1545	29
18	35	492	0.22	0.0565	0.0009	0.5780	0.0103	0.0742	0.0008	0.0214	0.0002	461	5	463	8	473	37
19	30	427	0.14	0.0573	0.0010	0.5775	0.0101	0.0731	0.0007	0.0218	0.0004	455	4	463	8	503	37
20	17	233	0.27	0.0564	0.0011	0.5777	0.0119	0.0743	0.0007	0.0217	0.0004	462	5	463	10	467	44
21	22	284	0.53	0.0563	0.0011	0.5696	0.0119	0.0733	0.0007	0.0220	0.0001	456	5	458	10	465	44
22	20	265	0.35	0.0571	0.0011	0.5849	0.0119	0.0742	0.0007	0.0213	0.0002	462	5	468	10	497	43
23	27	383	0.21	0.0573	0.0011	0.5770	0.0121	0.0730	0.0008	0.0241	0.0005	454	5	463	10	504	43

测试单位:天津地质矿产研究所.

予以剔除. 综上所述, 认为该侵入体形成时代为中奥陶世.

(2)灰红色中细粒二长花岗岩同位素样品采自碱沟一带的二长花岗岩中, 样品原始样号为(QIVPM26U-Pb14-1). 本次工作对样品中的锆石颗粒共分析测试了 23 个点(表 3). 其中 21 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和性较好, 在锆石 U-Pb 谐和图解中, 所有 21 个测点构成非常集中的主锆石群(图 10), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和性较好, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均值为 $459\pm 2\text{ Ma}$ (NSWD=0.76); 12 号锆石 Th/U=

$0.08<0.1$, 少有残留核, 表明该锆石内有变质流体活动^[22-25], 可能为变质流体的活动时间, 应剔除; 17 号锆石打把点位靠近核部且具弱分带, 可能为捕获的老变质岩年龄, 应剔除. 综上所述, 认为侵入体形成时代为中奥陶世.

4 构造意义

沈家峡-碱沟一带中酸性侵入体岩性较单一, 主要为二长花岗岩和花岗闪长岩, 二者呈脉动接触. 岩石中含有较多的暗色矿物, 主要为黑云母, 副矿

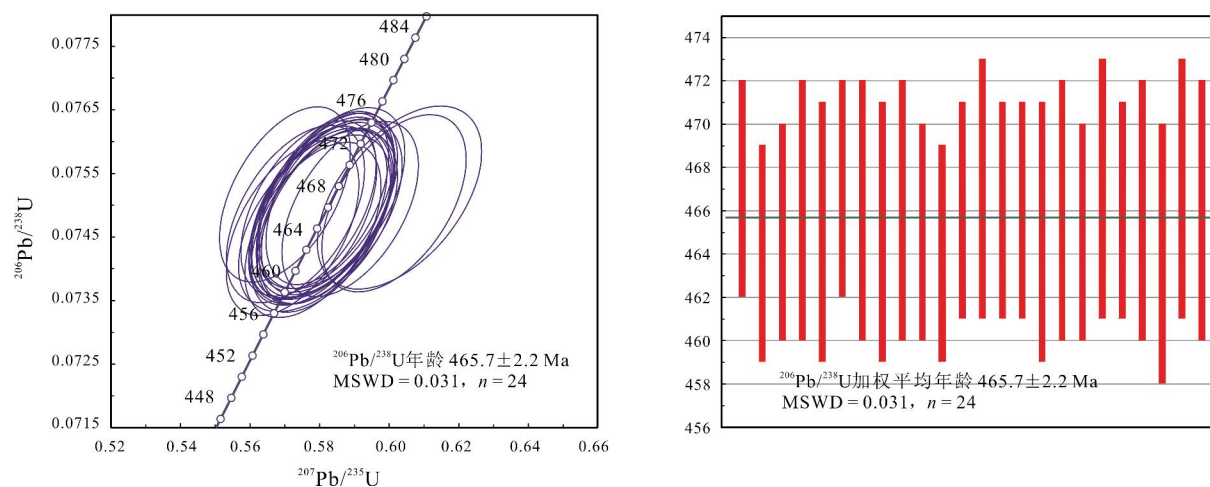


图 9 沈家峡二长花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄谐和图

Fig. 9 The LA-ICP-MS zircon U-Pb age concordia diagram of Shenjiaxia monzogranite

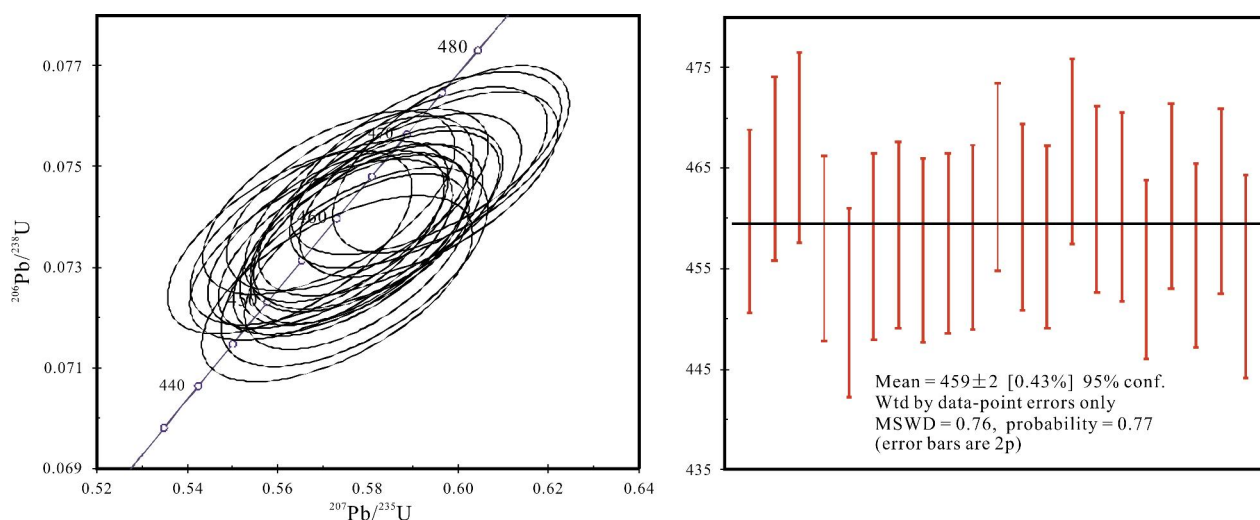


图 10 碱沟二长花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄谐和图

Fig. 10 The LA-ICP-MS zircon U-Pb age concordia diagram of Jiangou monzogranite

物为磷灰石、锆石，其矿物组合特征与巴尔巴林 (Barbarin) 划分的含角闪石钙碱性花岗岩 (ACG) 类似。综合分析认为其物源为壳幔混合源，且其中壳源物质占较大比重。结合岩石地球化学特征，该侵入体具准铝-过铝质中高钾钙碱性系列岩石特点，富钠特征。另外微量元素显示出 Rb、K、Ba 等大离子亲石元素富集，Nb、Ta、P、Ti 等高场强元素不同程度亏损，总体显示出与弧花岗岩相似的特征，表明沈家峡-碱沟一带的侵入体是在俯冲动力学机制下形成的产物。在花岗岩 Nb-Y 图解 (图 11) 上，样品投射点均落在火山弧花岗岩区和同碰撞花岗岩区；在花岗岩 Rb-(Y+Nb) 图解

(图 12) 上，样品投射点均位于火山弧花岗岩区域内；在 R1-R2 图解 (图 13) 上，样品投射点均落在板块碰撞前花岗岩区域。

综上所述认为，中奥陶世沈家峡-碱沟一带二长花岗岩、花岗闪长岩等中酸性侵入体为洋陆转换阶段的弧花岗岩产物。区域地质特征显示祁连地区在加里东期为典型的洋陆转换阶段，左国朝等^[26]认为北祁连洋板块分别向南西和北东两边俯冲，主要依据是两边存在古生代花岗岩类。吴才来等^[27]认为早古生代北祁连洋板块存在南北双向俯冲，其中向南俯冲早于向北俯冲。而沈家峡、碱沟一带中奥陶世中酸性花岗岩很

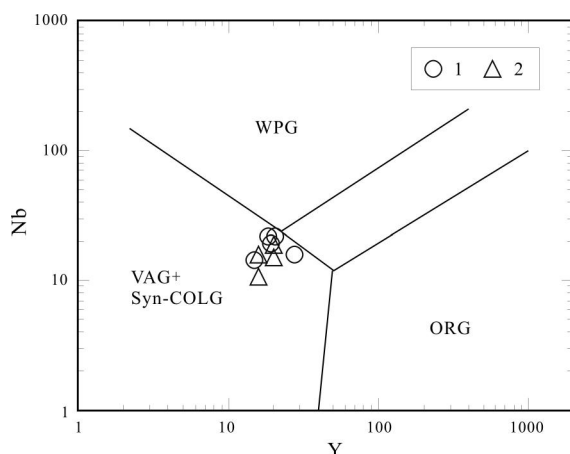


图 11 Y-Nb 图解

Fig. 11 The Y-Nb diagram

1—花岗闪长岩(granodiorite); 2—二长花岗岩(monzogranite); WPG—板内花岗岩(within-plate granite); ORG—洋脊花岗岩(oceanic ridge granite); VAG—火山弧花岗岩(volcanic arc granite); Syn-COLG—同碰撞花岗岩(syn-collisional granite)

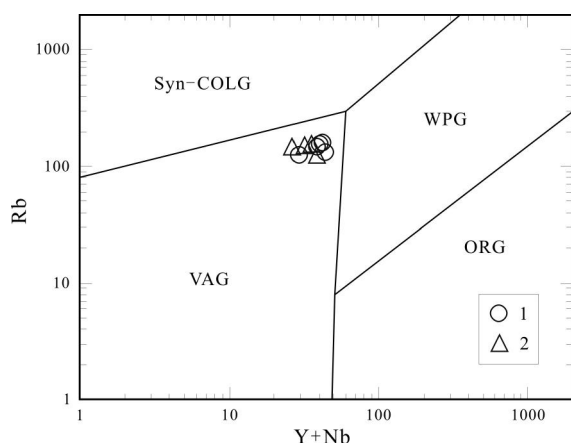


图 12 (Y+Nb)-Rb 图解

Fig. 12 The (Y+Nb)-Rb diagram

1—花岗闪长岩(granodiorite); 2—二长花岗岩(monzogranite); WPG—板内花岗岩(within-plate granite); ORG—洋脊花岗岩(oceanic ridge granite); VAG—火山弧花岗岩(volcanic arc granite); Syn-COLG—同碰撞花岗岩(syn-collisional granite)

可能就是北祁连洋向南俯冲消减过程中,俯冲板片脱水诱发地幔楔部分熔融产生的。

5 结论

1)沈家峡-碱沟一带中奥陶世花岗岩主要岩石组合为二长花岗岩、花岗闪长岩,属准铝-过铝质中高钾钙碱性系列岩石。

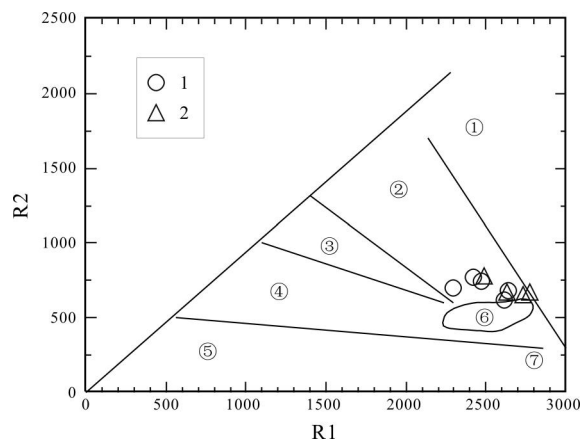


图 13 R1-R2 图解

Fig. 13 The R1-R2 diagram

1—花岗闪长岩(granodiorite); 2—二长花岗岩(monzogranite); ①地幔分异型花岗岩(mantle-differentiated granite); ②板块碰撞前花岗岩(pre-plate collision); ③板块碰撞后花岗岩(post-plate collision); ④造山晚期花岗岩(ate orogenic); ⑤非造山期花岗岩(anorogenic); ⑥同碰撞期花岗岩(syn-collision); ⑦造山期后花岗岩(post-orogenic)

2)对沈家峡-碱沟一带二长花岗岩进行锆石 U-Pb 同位素测年,分别获得 465.7 ± 2.2 Ma 和 459 ± 2 Ma 的锆石 U-Pb 年龄,均显示其时代为中奥陶世。

3)通过对沈家峡-碱沟一带二长花岗岩、花岗闪长岩地质特征、岩石地球化学特征、形成时代等方面的综合研究,结合区域大地构造环境,认为该期中酸性花岗岩具有弧花岗岩的特征,是北祁连洋向南俯冲阶段的产物,该岩体年龄的确定为北祁连洋的俯冲时代提供了新的证据。

参考文献:

- [1]李春昱.用板块构造学说对中国部分地区构造发展的初步分析[J].地球物理学报,1975,18(1):52-76.
- [2]李春昱,刘仰文,朱宝清,等.秦岭及祁连山构造发展史[C]//国际交流地质学术论文集(1).北京:地质出版社,1978:174-187.
- [3]肖序常,陈国铭,朱志直.祁连山古蛇绿岩的地质构造意义[J].地质学报,1978,54(4):287-295.
- [4]Song S G, Niu Y L, et al. Tectonics of the North Qilian orogen, NW China[J]. Gondwana Research, 2013,23(4):1378-1401.
- [5]Xiao W J, Windley F, Yong Y. Early Paleozoic to Devonian multiple-accretionary model for the Qilian Shan,NW China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2009,35(3/4):323-333.
- [6]Xu Z Q, Yang J S, Wu C L, et al. Timing and mechanism of formation and exhumation of the Northern Qaidam ultrahigh-pressure metamorphic belt[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2006,28(2/3):

- 160-173.
- [7] Yin A, Harrison T M. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen[J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 2000, 28(1): 211-280.
- [8] Zhang J X, Meng F C, Wan Y S. A cold Early Palaeozoic subduction zone in the North Qilian Mountains, NW China: Petrological and U-Pb geochronological constraints [J]. Journal of metamorphic Geology, 2007, 25(3): 285-304.
- [9] Wu C L, Gao Y H, Frost B R, et al. An early Palaeozoic double-subduction model for the North Qilian oceanic plate: Evidence from zircon SHRIMP dating of granites[J]. International Geology Review, 2011, 53(2): 157-181.
- [10] Tseng C Y, Yang H J, Yang H Y, et al. Continuity of the North Qilian and North Qinling orogenic belts, Central Orogenic System of China: Evidence from newly discovered Paleozoic adakitic rocks[J]. Gondwana Research, 2009, 16(2): 285-293.
- [11] Xia L Q, Xia Z C, Xiu X Y. Magmagenesis in the ordovician backarc basins of the Northern Qilian Mountains, China[J]. Geological Society of America Bulletin, 2003, 115(12): 1510-1522.
- [12] Gehrels G E, Yin A, Wang X. Magmatic history of the northeastern Tibetan[J]. Journal of Geophysical Research-Solid Earth, 2003, 108(B9): 2423.
- [13] Cowgill E, Yin A, Harrison T M, et al. Reconstruction of the Altyn Tagh fault based on U-Pb geochronology: Role of back thrusts, mantle sutures, and heterogeneous crustal strength in forming the Tibetan Plateau [J]. Journal of Geophysical Research-Solid Earth, 2003, 108(B7): 2346.
- [14] Zhang H F, Zhang B R, Harris N, et al. U-Pb zircon SHRIMP ages, geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic compositions of intrusive rocks from the Longshan-Tianshui area in the southeast corner of the Qilian orogenic belt, China: Constraints on petrogenesis and tectonic affinity[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2006, 27(6): 751-764.
- [15] Chen Y X, Song S G, Niu Y L, et al. Melting of continental crust during subduction initiation: A case study from the Chaidanuo peraluminous granite in the North Qilian suture zone[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2014, 13(2): 311-336.
- [16] 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: 13-20.
- [17] Manetti P, Peccerillo A, Poli G, et al. Petrochemical constraints on the models of Cretaceous-Eocene tectonic evolution of the Eastern Pontic chain (Turkey) [J]. Cretaceous Research, 1983, 4(2): 159-172, 195-6671.
- [18] 齐瑞荣. 中祁连西段巴嘎德基岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 沉积与特提斯地质, 2012, 32(4): 86-93.
- [19] Yan Z, Aitchison J, Fu C, et al. HuaLong Complex, South Qilian terrane: U-Pb and Lu-Hf constraints on Neoproterozoic micro-continental fragments accreted to the northern Proto-Tethyan margin [J]. Precambrian Research, 2015, 266: 65-85.
- [20] 雍拥, 肖文交, 袁超, 等. 中祁连东段古生代花岗岩的年代学、地球化学特征及其大地构造意义[J]. 岩石学报, 2008, 24(4): 855-866.
- [21] 陈隽璐, 徐学义, 曾佐勋, 等. 中祁连东段什川杂岩基的岩石化学特征及年代学研究[J]. 岩石学报, 2008, 24(4): 841-854.
- [22] Rubatto D, Gebauer G, Compagnoni R. Dating of eclogite-facies zircons: The age of Alpine metamorphism in the Sesia-Lanzo Zone (Western Alps) [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1999, 16(7): 141-158.
- [23] Rubatto D, Hermann J. Zircon formation during fluid circulation in eclogites (Monviso, Western Alps): Implications for Zr and Hf budget in subduction zones [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2003, 67(12): 2173-2187.
- [24] Dubinska E, Bylinab P, Kozłowska A, et al. U-Pb dating of serpentization: Hydrothermal zircon from a metasomatic rodingite shell (Sudetic ophiolite, SW Poland) [J]. Chemical Geology, 2004, 20(3): 183-203.
- [25] Liati A, Gebauer D. Constraining the pregrade and regrade P-T-t path of Eocene HP rocks by SHRIMP dating difference zircon domain: Inferred rates of heating-burial, cooling and exhumation for central Rhodope, northern Greece [J]. Contrib Minern Petrol, 1999, 13(5): 340-354.
- [26] 左国朝, 吴汉泉. 北祁连山中段早古生代双向俯冲—碰撞造山模式剖析[J]. 地球科学进展, 1997, 12(4): 315-323.
- [27] 吴才来, 杨经绥. 北祁连洋早古生代双向俯冲的花岗岩证据[J]. 中国地质, 2006, 33(6): 1197-1208.