新疆西昆仑早古生代侵入岩地球化学特征及地质意义

郑玉壮[1]，杨维文[1]，王腾[2]

（1. 新疆地质矿产开发局第十一地质大队，新疆 昌吉 831100；2. 成都理工大学地球科学学院，四川 成都 610059）

摘 要： 南华纪－早古生代是昆仑山地区洋－陆转换阶段，区域上沿柯岗－库地－其曼于特一带扩张形成古昆仑洋盆。大规模的俯冲消减发生在奥陶纪（481～440 Ma，俯冲型侵入岩发育），志留纪的造山作用结束了洋的演化历程。通过对西昆仑阿喀孜一带侵入岩岩石地球化学特征、LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年的研究，重塑了本区构造演化过程，将该区早古生代侵入岩细分为晚寒武世壳幔混源序列、晚奥陶世壳幔混源序列和晚志留世壳幔混源序列，从晚寒武世—晚志留世侵入岩显示以下特征：岩石铝饱和指数（A/CNK）值介于(0.86～1.23)，具有由偏基性向偏酸性演化趋势；球粒标准化 REE 配分曲线成近平行曲线簇，稀土总量∑REE（228.96→379.39）显著增高，而 δEu（0.79→0.16）降低，表明岩浆分异增大，Eu 负异常明显加深，地壳成熟度提高；微量元素显示出富集大离子亲石元素（LILE），亏损高场强元素（HFSE）。结合侵入岩形成的大地构造环境，该期早古生代侵入岩形成于西昆仑地块北缘古昆仑洋盆的俯冲-消减-闭合，塔里木陆块与西昆仑地块陆-陆碰撞造山阶段，为研究该区古昆仑洋消减-消亡构造演化提供了最新的地质资料。

关键词： 早古生代；复合岩浆弧；俯冲-消减-碰撞；西昆仑

中图分类号： P596 **文献标识码：** A **文章编号：** 1009-6248(2013)04-0057-09

Geochemistry and Geological Significance of Intrusive Rocks of Early Paleozoic in Western Kunlun, Xinjiang

ZHENG Yu-zhuang[1], YANG Wei-wen[1], WANG Teng[2]

(1. *The No. 11 Unit of the Bureau of Geology and Mineral Resources Development of Xinjiang, Changji* 831100, *Xinjiang Chia*; 2. *Institute of Earth Science, Chengdu University of Technology, Chengdu* 610059, *Sichuan, China*)

Abstract: Nanhua-Early Paleozoic era is the ocean-continent conversion phase in Kunlun Mountains, when the ancient ocean basin was formed by regional expansion along Kegang-Kudi-Qimanyute area. Massive subduction occurred in Ordovician (481～440Ma, subduction-type intrusive rocks developed), and Silurian orogeny ended the oceanic evolution process. Tectonic evolution process of West Kunlun Mountains is reconstructed by studies on the geochemical characteristics of Akazi intrusive rocks as well as its zircon U-Pb dating of LA-ICP-MS research. The Early Paleozoic intrusive rocks can be subdivided into crust-mantle mixed source sequence in late Cambrian, in late Ordovician and in late Silurian. From late Cambrian to late Silurian, intrusive

收稿日期： 2013-04-17；**修回日期：** 2013-08-22

基金项目： 新疆维吾尔自区 1∶5 万区域地质矿产调查（XJQDZ2009－10）

作者简介： 郑玉壮（1971-），男，河北丰南县人，高级工程师，从事区域地质调查、矿产勘查工作。E-mall：124647557@qq.com

rocks show the following features: firstly, the rock aluminum saturation index (A/CNK) values (0.86→1.23) evolved from more basic to weak acidity; Secondly, chondrite-normalized REE curves show a series of parallel curve clusters, with the amount of REE (228.96→379.39) significantly increasing while δEu (0.79 → 0.16) decreasing, indicating that the magmatic differentiation grows larger, the negative Eu anomalies increases apparently, and the crustal maturity improve. Besides, trace elements analysis shows enrichment in large ion lithophile elements (LILE), and loss of high field strength elements (HFSE). Combined with geotectonic environment of intrusive rocks formation, the early Paleozoic intrusive rocks were formed in the subduction-extinction-close process of ancient Kunlun Ocean Basin, and in the orogenic stage of collision between Kunlun block and Tarim block. New geological data is thus provided for the study of the subduction-extinction tectonic evolution of ancient Kunlun Ocean in this area.

Key words: Early Paleozoic era; compound magmatic arc; subduction-extinction-collision; Western Kunlun

昆仑山花岗岩分布广泛，出露元古宇、早古生代、晚古生代、中生代和新生代花岗岩带，它们沿构造线呈带状分布（李荣社等，2008）。阿喀孜一带新藏公路 128 km 早古生代花岗岩形成于持续俯冲消减阶段和俯冲后热隆拉张阶段，使塔里木古大陆边缘由过渡型地壳转化为成熟度较高的陆壳（周辉等，2003）。南华纪—震旦纪在区域拉张背景下，在西昆仑地块北缘开始出现裂解扩张，出现古昆仑洋盆。区域上，沿柯岗—库地—其曼于特一带扩张形成古洋盆，南华纪—寒武纪是新生洋壳主要生长时期，标志性特征是形成了蛇绿岩（库地蛇绿岩年龄为 512～503 Ma）（肖序常等，2004）；其曼于特蛇绿岩年龄为 526±31 Ma（韩芳林等，2003）。研究区内发育枕状构造玄武岩、粗玄岩，为库地蛇绿岩的重要组成部分（汪玉珍，1983）。前人对西昆仑康西瓦断裂北侧出露的花岗岩进行研究，获得了锆石 SHRIMP U-Pb 同位素年龄分别为 443.1±2.3 Ma 和 430.7±2.6 Ma（崔建堂等，2007）。早古生代侵入岩伴随着板块构造发展的各个阶段，不同构造阶段形成不同特征的侵入岩石组合，可分性极强，但时代上又基本连续发展，前人对于早古生代构造演化具体时代的厘定欠缺。

西昆仑造山带北与塔里木板块相邻，是古亚洲构造域与特提斯构造域的结合部位（姜春发等，2000）。研究区内早古生代花岗岩规模较大、发育完整，是研究早古生代花岗岩的理想之地。由于自然环境极其恶劣，前人工作程度低，所以对区内构造演化研究较少。笔者通过对研究区早古生代花岗岩的岩石化学、微量元素、稀土元素及同位素年代学研究，确定了岩体的岩石化学特征，及其形成构造环境，并对花岗岩形成的物质来源及构造演化进行探讨，揭示了研究区构造演化和古昆仑洋盆从生长到消亡的历程。

1 地质背景

研究区位于塔里木微板块与西昆仑微板块的构造边界柯岗缝合带中，古生代侵入岩发育，主要分布于西昆仑地块上。2004 年，1∶25 万叶城幅区调、1∶25 万塔什库尔干塔吉克自治县幅、克克吐鲁克幅区调均将阿喀孜一带柯岗断裂南侧分布的古生代侵入岩划分为加里东期早期、加里东期中期和华里西晚期 3 期侵入岩。

2011 年，通过新疆叶城县阿喀孜地区 1∶5 万区调，将研究区早古生代侵入岩按其形成时期分为寒武纪、奥陶纪、志留纪，产状以岩株为主，少数呈岩基产出。空间上时代较早的侵入体往往出露于岩体群居部位的边部，时代较新的侵入体则位于中心部位，总体构成由边缘向中心发展和迁移的变化规律(图 1)。

研究区早古生代侵入岩伴随着构造演化的各个阶段，不同构造演化阶段形成不同特征的侵入岩组合，但时代上基本连续。区内早古生代古昆仑洋盆的闭合是以洋盆沿柯岗结合带一线俯冲消减形式完成的，并形成同期复合岩浆弧。在研究区内保留有该期汇聚作用的物质变形记录，大面积侵入的晚寒武世—晚奥陶世俯冲型花岗岩（石英闪长岩→英云

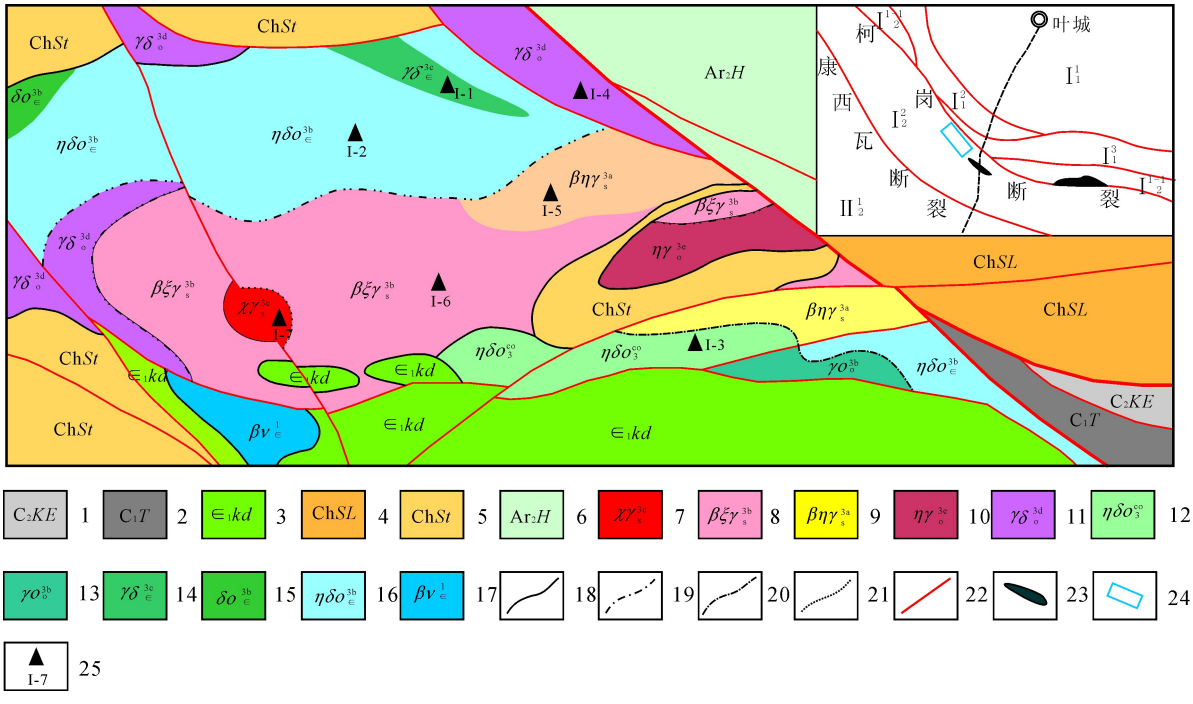


图 1　研究区侵入岩分布图

Fig. 1　The distribution of intrusive rocks in the study area

1. 上石炭统库尔良群；2. 下石炭统他龙群；3. 下寒武统库地岩组；4. 长城系赛拉加兹塔格群；5. 长城系赛图拉岩群；中太古宇赫罗斯坦岩群；7. 晚志留世碱长花岗岩；8 晚志留世钾长花岗岩；9. 晚志留世二长花岗岩；10. 晚奥陶世二长花岗岩；11. 晚奥陶世花岗闪长岩；12. 晚奥陶世石英闪长岩；13. 晚奥陶世第二侵入次英云闪长岩；14. 晚寒武世第三侵入次花岗闪长岩；15. 晚寒武世第二侵入次石英闪长岩；16. 晚寒武世石英二长闪长岩；17. 辉长岩、辉长辉绿岩；18. 地质界线；19. 脉动接触界线；20. 涌动接触界线；21. 超动接触界线；22. 断层；23. 蛇绿岩；24. 研究区范围；25. 岩石化学样品采样位置及编号；I_1^1. 喀什-叶城新生代陆内凹陷；I_1^2. 塔木-卡兰古生代凹陷；I_1^3. 铁克里克陆缘地块；$\mathrm{I}_2^{1\text{-}1}$. 西昆仑北缘晚古生代裂谷；$\mathrm{I}_2^2$. 西昆仑中间地块及显生宙岩浆弧带；$\mathrm{II}_2^1$. 阿克赛钦中间地块

闪长岩→石英二长闪长岩(等离子体质谱-激光探针法(LA-ICP-MS)获得 U-Pb 锆石年龄：499.3±1.9 Ma，下同)→花岗闪长岩→二长花岗岩(449.3±1.9 Ma)的钙碱性“Ⅰ”型花岗岩组合，记录了古昆仑洋盆俯冲消减汇聚的过程。晚志留世黑云母二长花岗岩(411.3±1.4 Ma)→黑云母钾长花岗岩→碱长花岗岩的偏碱性“S”型后碰撞花岗岩组合，反映了大陆隆起作用，塔里木陆块和西昆仑地块发生陆-陆碰撞，标志着古昆仑洋消亡。

2　侵入岩分布特征

研究区早古代侵入岩可划分出 3 个侵入序列：晚寒武世壳幔混源序列、晚奥陶世壳幔混源序列和晚志留世壳幔混源序列（表 1）。

将晚寒武世侵入岩划分为 3 个侵入次，侵入到长城系赛图拉岩群中。第一侵入次：石英闪长岩（$\delta o_{\in}{}^{1a}\mathrm{H}$）；第二侵入次：似斑状石英二长闪长岩（$\eta\delta o_{\in}{}^{3a}\mathrm{H}$）构成该侵入岩主体，岩石中含有大量的闪长质暗色包体；包体呈圆形、椭圆形，大小 5～50 cm，含量约为 5%。这些暗色包体的存在反映了岩浆来源属混源岩浆，为“I”型花岗岩。同时也说明早古生代岩浆存在混合作用，反映该区早古生代存在着较为强烈的壳幔相互作用过程（王炬川等，2006）；第三侵入次：花岗闪长岩（$\gamma\delta_{\in}{}^{3b}\mathrm{H}$）。石英闪长岩与花岗闪长岩为涌动接触，似斑状石英二长闪长岩与两者为脉动接触（图 1）。

晚奥陶世侵入岩规模较大，呈近东西向带状展布。呈岩株状产出，边缘相带较发育。侵位于长城系赛图拉岩群和下寒武统库地岩组中。该侵入岩划分为 5 种不同类型的侵入体：第一侵入次：石英闪长岩（$\delta o_{O}{}^{3a}\mathrm{H}$）；第二侵入次：英云闪长岩（$\gamma o_{O}{}^{3b}\mathrm{H}$）

表 1 侵入岩划分一览表

Tab. 1 The partition table of intrusive rocks

序 列	侵入次	代号	岩石类型	接触关系	同位素年龄（Ma）
志留世壳幔混源序列	第三次	$\chi\gamma_S^{3c}$H	碱长花岗岩	涌动	锆石 U-Pb 411.3±1.4
	第二次	$\beta\xi\gamma_S^{3b}$H	黑云母钾长花岗岩	涌动	
	第一次	$\beta\eta\gamma_S^{3a}$H	黑云母二长花岗岩	涌动	
晚奥陶世壳幔混源序列	第五次	$\eta\gamma_O^{3e}$H	二长花岗岩	脉动	锆石 U-Pb 449.6±0.68 锆石 U-Pb 449.8±1.8
	第四次	$\gamma\delta_O^{3d}$H	花岗闪长岩	脉动	
	第三次	$\eta\delta o_O^{3c}$H	石英二长闪长岩	脉动	
	第二次	γo_O^{3b}H	英云闪长岩	脉动	
	第一次	δo_O^{3a}H	石英闪长岩	超动	
晚寒武世壳幔混源序列	第三次	$\gamma\delta_\in^{3c}$H	花岗闪长岩	脉动	锆石 U-Pb 499.3±2.5
	第二次	$\eta\delta o_\in^{3b}$H	似斑状石英二长闪长岩	脉动	
	第一次	$\delta o_\in^{3a}$H	石英闪长岩	未接触	

内部常见暗色闪长质包体，包体常见浑圆状和不规则状，大小不等，一般为 3～15 cm.，含量约 1%～3%；第三侵入次：石英二长闪长岩（$\eta\delta o_O^{3c}$H）与英云闪长岩、花岗闪长岩呈涌动接触；第四侵入次：花岗闪长岩（$\gamma\delta_O^{3d}$H）与石英二长闪长岩和二长花岗岩呈脉动接触。岩石呈灰白略带肉红色，具中细粒结构；第五侵入次：二长花岗岩（$\eta\gamma_O^{3e}$H）与英云闪长岩、花岗闪长岩呈脉动接触。岩石为肉红色、灰白色，中细粒结构，岩石具绿泥石化、绿帘石化等蚀变较强。

岩体共同特点是：①岩体内普遍含有灰黑色深源闪长质包体（图 2），包体形态以椭圆状为主，但靠近岩体边部包体长轴展布大致与围岩接触界线平行；②岩体遭受了程度不同的区域变质作用或构造变质作用，因而局部地段显示片状、片麻状构造。③岩石中普遍含有长石斑晶，并由早一晚偏中性→酸性演化而来，构成一个比较完整的同源岩浆演化序列。该序列 5 个侵入次相邻侵入岩之间，既有脉动接触，又有涌动接触。脉动接触在晚侵入次岩体一侧可见到冷凝边。涌动接触是早侵入次岩体和晚侵入次岩体之间呈渐变过渡，其过渡带两侧岩石的颜色、结构、斑晶形态、暗色包体等发生明显变化。

晚志留世侵入岩呈岩基、岩株状产出，属深成岩相，边缘相带较发育。该岩体呈近东西向带状展布，侵位于长城系赛图拉岩群和下寒武统库地岩组中。第一侵入次：黑云母二长花岗岩（$\beta\eta\gamma_S^{3a}$H）与钾长花岗岩呈脉动接触关系；第二侵入次：黑云母钾长花岗岩（$\beta\xi\gamma_S^{3b}$H）中见有少量闪长质暗色细粒包体；第三侵入次：碱长花岗岩（$\chi\gamma_S^{3c}$H）与钾长花岗岩呈涌动接触。

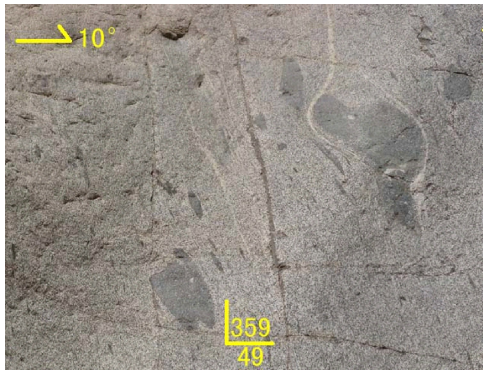


图 2 岩体中灰黑色闪长质包体图

Fig. 2 Gray-black dioritic inclusien of the nck body

3 岩石地球化学特征

3.1 样品采集及测试方法

岩石地球化学测试样品均为未风化、未蚀变的新鲜岩石，采自岩体地表。样品在中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所国土资源部地球化学勘查监督检测中心测试。首先，将要测试的样品粉碎，研磨至 200 目以下的粉末备用，样品前处理采用酸溶法，主要元素测试方法为熔片法 X-射线荧光光谱法（XRF），微量元素测试方法为 ICP-MS 法。氧化物相对标准样品的偏差低于 2%，微量元素分析数据相对标准样品的偏差低于 5%。表 2 列出了侵入岩主微量元素地球化学数据。

表 2　侵入岩主量元素（$wt\%$）和微量元素（$\times10^{-6}$）分析结果表

Tab. 2　Major element ($wt\%$) and trace element ($\times10^{-6}$) analyses of intrusive rocks

样品编号	I-1	I-2	I-3	I-4	I-5	I-6	I-7
岩石名称	花岗闪长岩	石英二长闪长岩	石英二长闪长岩	花岗闪长岩	黑云母二长花岗岩	钾长花岗岩	碱长花岗岩
SiO_2	57.28	60.86	61.01	67.84	70.94	73.2	74.86
TiO_2	0.88	0.49	0.7	0.37	0.31	0.31	0.17
Al_2O_3	16.45	16.33	16.78	14.49	13.76	14.69	12.57
Fe_2O_3	3.31	1.42	2.9	1.59	0.66	0.52	1.07
FeO	4.48	3.06	2.86	2.09	2.04	2.15	0.93
MnO	0.14	0.08	0.12	0.1	0.06	0.06	0.03
MgO	3.36	1.91	2.02	1.54	0.54	0.91	0.14
CaO	6.28	5.07	5.17	2.88	1.45	1.49	0.83
Na_2O	2.92	4.26	2.53	2.92	3.44	3.96	3.02
K_2O	3.1	2.63	4.07	4.36	5.15	2.66	5.44
P_2O_5	0.38	0.22	0.24	0.13	0.094	0.05	0.01
H_2O	0.06	0.07	0.08	0.09	0.06	0.87	0.12
烧失量	1.61	4.08	2.01	1.64	0.94	1.23	0.62
Σ	100.19	100.41	100.41	99.95	99.38	101.23	99.69
里特曼（σ）	2.71	2.29	2.62	1.21	2.27	1.45	2.24
碱度（$A.R$）	1.69	1.67	1.66	1.77	2.64	2.38	2.64
分异指数（DI）	49.8	59.55	56.84	64.88	85.69	83.36	92.67
固结指数（SI）	15.52	18.04	21.1	19.82	4.64	8.91	1.32
长英指数（FL）	48.94	53.01	54.88	5.43	75.65	81.61	91.07
铁镁指数（MF）	78.5	69.2	65.93	66.36	77.67	74.61	93.46
氧化率（ox）	0.63	0.61	0.61	0.63	0.54	0.58	0.53
铝饱和指数（A/CNK）	0.88	0.91	0.86	0.94	0.9	1.23	1.02
K/Na	1.06	1.3	0.13	1.85	1.18	0.67	1.8
碱总量	6.02	6.89	6.6	7.28	8.2	6.62	8.54
La	52.7	49.4	49.3	59.2	51.7	62.7	69.9
Ce	112	89.8	102	111	110	115	144
Pr	13.6	10.3	11.9	12.1	12.8	14.4	15.6
Nd	52.1	37.4	45.6	43	45.9	51.7	54.8
Sm	8.6	6.3	7.7	7	10	9.95	10.6
Eu	2	1.6	1.9	1.3	0.6	1.09	0.52
Gd	6.6	5.2	6.3	5.7	9.3	8.58	9.7
Tb	0.96	0.73	0.99	0.86	1.8	1.44	1.7
Dy	4.8	3.7	5.5	4.7	10.2	8.07	9
Ho	0.96	0.71	1.1	0.92	2.1	1.61	1.9
Er	2.6	1.9	2.9	2.5	6.1	4.6	5.2
Tm	0.38	0.28	0.45	0.39	1	0.78	0.84
Yb	2.4	1.8	2.8	2.5	6.6	4.57	5.6
Lu	0.34	0.24	0.44	0.39	0.9	0.66	0.83
Y	24.7	19.6	27.5	25	58	45.3	49.2
Rb	121	112	118	180	470	307	125
Sr	738	600	368	248	36.92	44.8	185
Ba	1251	1918	1552	1001	227	399	587
Nab	10.03	27.57	22.98	20.36	22	16.48	8.02
Ta	0.92	2.29	1.42	1.64	2.94	1.66	0.74
Or	175	276	296	180	249	254	158
He	4.83	7.82	8.45	5.3	8.18	7.7	5.04
Th	17.24	18.91	19.14	28.37	43.31	54.85	31.3
Cr	4.3	28.29	17.8	10.23	2.96	4.29	16.4
U	2.9	3.4	4.57	4.26	5.2	8.44	2
K	2.25	2.6	3.24	3.36	*	*	*
P	970	1846	1054	550	*	*	*
Ni	3.62	11.16	4.41	3.24	1.25	3.91	5.61
Li	16.08	26.66	19	17	124	23.18	10.7

注：数据表中 * 代表该指标低于检测限。

3.2 主量元素地球化学特征

晚寒武世侵入岩：岩石铝饱和指数（A/CNK）值介于0.88～0.91，且A/CNK值均＜1，属次铝过饱和岩石系列，另外在岩石中有少量闪长质暗色细粒包体，暗色包体的存在反映了岩浆来源属混源岩浆。岩石里特曼组合指数（σ）为2.29～2.71，属钙碱性岩浆系列。

晚奥陶世侵入岩：岩石铝饱和指数（A/CNK）值介于0.86～0.94，且A/CNK值均＜1，属次铝过饱和岩石系列。岩石的里特曼组合指数（σ）为1.21～2.62，属钙碱性岩浆系列。

晚志留世侵入岩：岩石铝饱和指数（A/CNK）值介于0.90～1.23，说明岩石类型为次铝过饱和—铝过饱和岩石系列。岩石的里特曼组合指数（σ）为1.45～2.272，属钙碱性岩浆系列。

在深成岩Q-A-P图解中（图3），从晚寒武世—晚志留世侵入岩具有由偏基性向偏酸性演化的趋势。

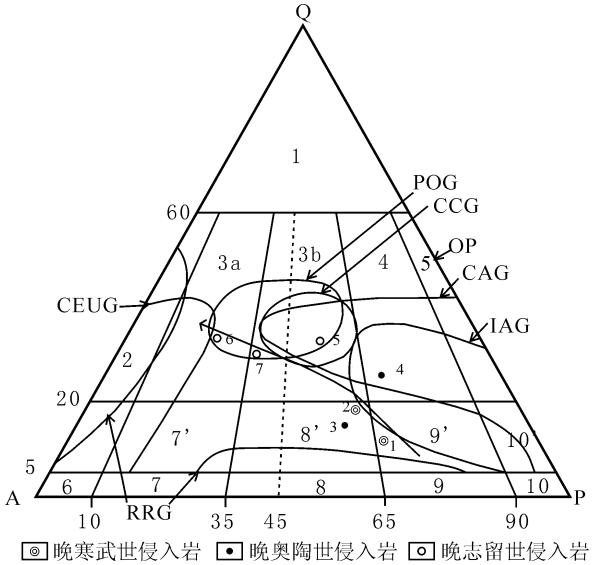


图3 早古生代侵入岩Q-A-P图解（据IUGS修改，1989）

Fig. 3 Q-A-P diagram of early Palaeozoic intrusive rocks

OP. 大洋斜长花岗岩类；CEUG. 大陆抬升有关花岗岩类；RRG. 裂谷花岗岩类；POG. 后造山花岗岩类；CCG. 大陆碰撞花岗岩类；CAG. 大陆弧花岗岩类；IAG. 岛弧花岗岩类

3.3 稀土元素地球化学特征

从稀土元素球粒陨石标准化配分模式图（图4）可以看出：晚寒武世、晚奥陶世和晚志留世侵入岩组成复式岩基，晚寒武世、晚奥陶世侵入岩组成2个造山序列，从早到晚稀土元素球粒陨石标准化配分型式图成近平行曲线簇，稀土总量∑REE从228.96～284.74增至266.38～276.56，δEu值从0.79～0.84降至0.82～0.62，表明岩浆分异增大。

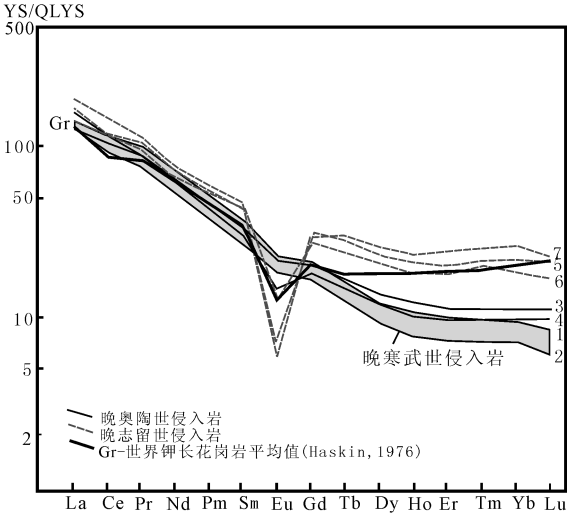


图4 早古生代侵入岩稀土元素球粒陨石标准化型式图（据Coryell，1963）

Fig. 4 Chondrite normalized REE patterns of early Paleozoic granite

晚志留世侵入岩稀土总量∑REE为327～379.39，δEu值为0.16～0.36，与晚寒武世、晚奥陶世侵入岩比较，稀土总量明显增高，Eu负异常明显加深，表明地壳成熟度提高。

3.4 微量元素地球化学特征

依据侵入岩微量元素比值蛛网图（图5），可以看出：晚寒武世侵入岩与洋中脊花岗岩对比，地球化学型式表现为亲石元素Sr、K、Rb、Ba、Th的强烈富集，并且伴有Ta、Na、Ce的富集，Zr、Hf、Yb亏损。晚奥陶世侵入岩与洋中脊花岗岩对比，地球化学型式表现为Sr、K、Rb、Ba、Th的强烈富集，伴有Ta、Nb、Ce的富集，Zr、Hf、Yb亏损。晚志留世侵入岩与洋中脊花岗岩对比，地球化学型式表现为Sr、K、Rb、Ba、Th的强烈富集，并且伴有Ta、Nb、Ce的富集，Zr、Hf、Yb亏损。

4 构造环境综合分析

（1）各序列侵入岩微量元素在Rb-Yb+Nb图

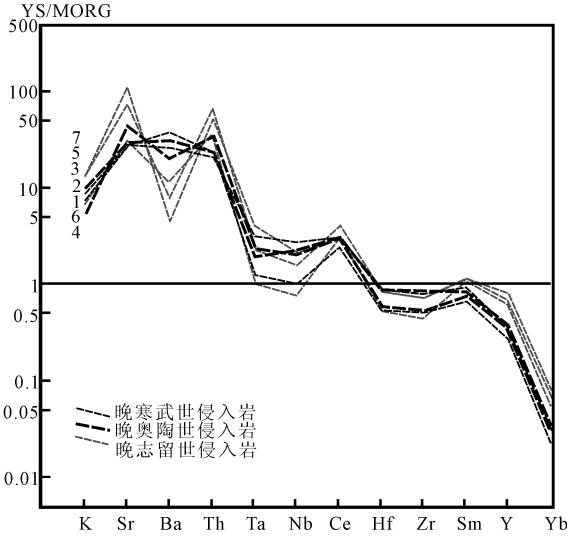


图 5　早古生代侵入岩微量元素洋中脊花岗岩标准化型式图（据 Pearce，1984）

Fig. 5　Diagram of the ORG normalized trace elements patterns in early Paleozoic intrusive rocks

解（图 6A）和 Rb-Yb＋Ta 图解（图 6B）上，晚寒武世、晚奥陶世侵入岩均落在皮尔斯的火山弧花岗岩区；晚志留世侵入岩落则落在同碰撞花岗岩区。

（2）在阳离子 R1-R2 分类图（图 7）上，晚寒武世、晚奥陶世侵入岩全部落在新疆古生代造山带造山系列范围（消减的活动板块边缘-碰撞前），与汇聚造山有关。晚志留世侵入岩大多数落在后碰撞钾长花岗岩区。

综上所述，晚寒武世—晚奥陶世侵入岩岩石属偏铝质，暗色矿物含量高，并含较多角闪石、黑云母，不含白云母，为俯冲带造山花岗岩，与西昆仑早古生代花岗岩形成于火山弧环境（姜耀辉等，2000）一致。结合地质演化，晚寒武世研究区正处在塔里木陆块与西昆仑地块汇聚阶段，是古昆仑洋盆朝南向西昆仑地块俯冲阶段的产物；晚奥陶世花岗岩属含角闪石钙碱性花岗岩类（低钾-高钙），是

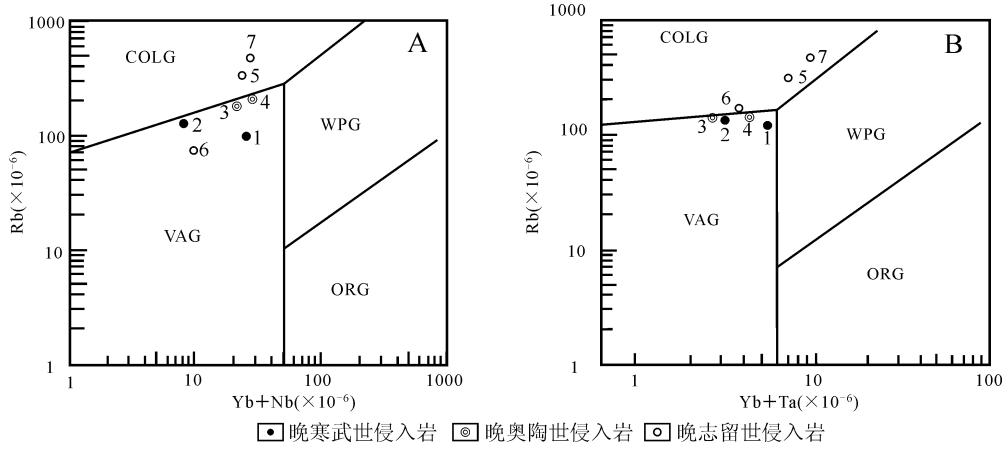


图 6　早古生代侵入岩 Rb-Yb＋Nb（A）和 Rb-Yb＋Ta（B）图解（据 Pearce，1984）

Fig. 6　Rb-Yb＋Nb（A）and Rb-Yb＋Ta（B）diagrams of early Paleozoic intrusive rocks

ORG. 洋中脊花岗岩；WPG. 板内花岗岩；VAG. 火山弧花岗岩；COLG. 同碰撞花岗岩

古昆仑洋盆向南俯冲形成的同期花岗岩。

晚志留世侵入岩为后碰撞花岗岩，说明古昆仑洋消亡，塔里木地块和西昆仑中间地块发生陆-陆碰撞，由于陆内动力调整出现主碰撞期之后的“松弛阶段”，诱发了该期岩浆活动。

5　早古生代侵入岩演化规律

晚寒武世、晚奥陶世、晚志留世侵入岩在 Al_2O_3-SiO_2 图解（图 8）中，随着 SiO_2 含量的增高及侵入期次的由早到晚，Al 值逐渐降低，说明岩浆向富 Si 方向演化；在 MgO-SiO_2 图解、TiO_2-SiO_2 图解、CaO-SiO_2 图解、FeO＋Fe_2O_3-SiO_2 图解中，随着 SiO_2 含量的增高及侵入期次的由早到晚，MgO、TiO_2、CaO、FeO＋Fe_2O_3 值逐渐降低，说明岩浆演化整体指示岩浆向贫铁镁、贫钙、贫钛的方向演化。在 Na_2O＋K_2O-SiO_2 图解中，各个样品由早到晚，随着 SiO_2 含量的增高，钠钾值渐增，碱度逐

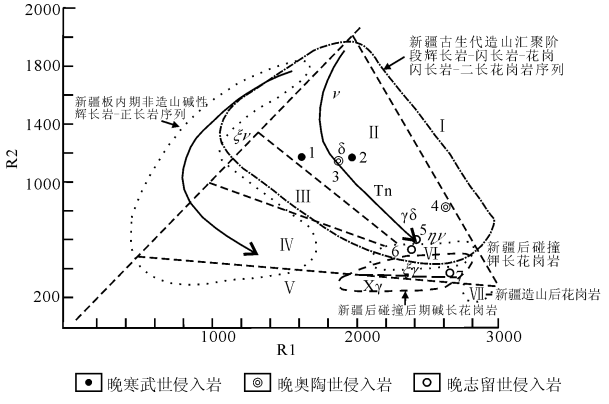


图 7 早古生代侵入岩 R1-R2 构造环境图

Fig. 7 Tectonic environment diagram of R1-R2 of early Paleozoic intrusive rocks

皮切尔构造分区名称：Ⅰ. 地幔斜长花岗岩；Ⅱ. 消减的活动大陆边缘（碰撞前）；Ⅲ. 深熔的深成岩体（碰撞后隆起）；Ⅳ. 亚碱性深成岩体（造山晚期）；Ⅴ. 造山后、非造山的碱性/过碱性岩浆作用；Ⅵ. 深源岩浆作用（同造山、同碰撞）；Ⅶ. 新疆造山后花岗岩

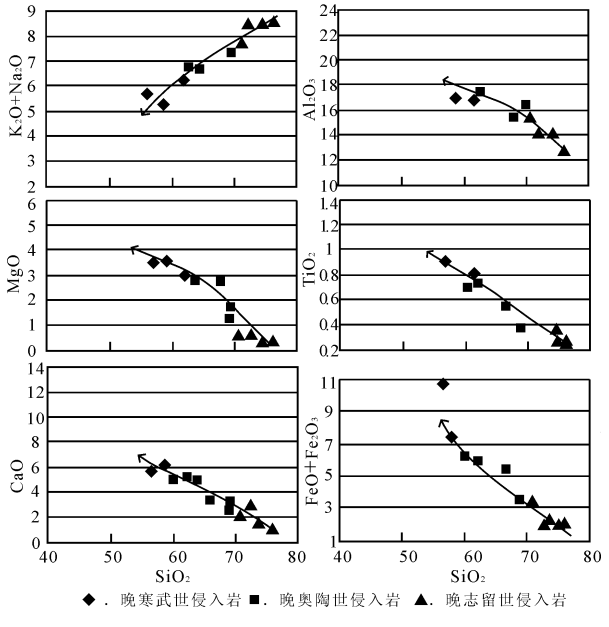


图 8 早古生代侵入岩岩浆演化趋势图

Fig. 8 The tendency of magma evolution in early Paleozoic intrusive rocks

渐升高，表明岩浆演化整体指示岩浆向酸性和碱性增高的方向演化，也反映地壳成熟度增高。

早古生代侵入岩从早到晚，岩石中斜长石、角闪石等矿物逐渐减少，斜长石由中长石向更长石转变，斜长石牌号由 50 递减到约 16，钾长石、石英等矿物逐渐增多；岩石色率由灰黑色向灰白、浅肉红色演化，暗色矿物逐渐降低，由 25%下降到 5%左右；岩性变化为闪长岩—石英闪长岩—英云闪长岩—花岗闪长岩—二长花岗岩—钾长花岗岩—碱长花岗岩，由中基性、中酸性向酸性、偏碱性方向演化。从早到晚各轻重稀土含量明显同步递增，稀土总量也递增，说明岩浆演化晚期稀土趋于富集，稀土分异增强。

综上所述，区内岩浆活动构成了由中性—酸性的同源岩浆演化序列。整个早古生代侵入岩由早到晚（石英闪长岩→英云闪长岩→花岗闪长岩→黑云母二长花岗岩→黑云母钾长花岗岩→碱长花岗岩），由中基性到酸性岩浆逐渐向富 K、富 Na、贫 Fe、贫 Al 方向演化，最后以碱长花岗岩钙碱性－碱性序列结束，从而结束了本区的岩浆侵入活动历史，构成了一个较完整的岩浆演化旋回。

6 结论

（1）晚寒武世—晚奥陶世俯冲型花岗岩（石英闪长岩→英云闪长岩→石英二长闪长岩（499.3±1.9 Ma）→花岗闪长岩→二长花岗岩（449.8±1.8 Ma）的钙碱性“Ⅰ”型花岗岩组合），记录了古昆仑洋盆俯冲、消减、汇聚的演化过程。

（2）研究区晚志留世黑云母二长花岗岩（411.3±1.4 Ma）→黑云母钾长花岗岩→碱长花岗岩的偏碱性“S”型后碰撞花岗岩组合，反映了大陆隆起作用，标志着古昆仑洋消亡，塔里木地块和西昆仑中间地块碰撞拼合在一起。

以上说明整个早古生代侵入岩由早到晚（石英闪长岩→英云闪长岩→花岗闪长岩→黑云母二长花岗岩→黑云母钾长花岗岩→碱长花岗岩），以碱长花岗岩钙碱性—碱性序列结束，从而结束了区内的岩浆侵入活动历史，构成了一个较为完整的威尔逊旋回。古昆仑洋在晚志留世已经闭合，塔里木地块和西昆仑中间地块发生碰撞和造山作用，并沿柯岗断裂一线发生向北（盆地方向）的逆冲推覆活动。

参考文献（References）：

李荣社，计文化，潘晓平，等．昆仑山及邻区地质图［M］．北京：地质出版社，2008.

Li Rrongshe，Ji Wenhua，Pan Xiaoping，et al. Geology of Kunlun mountains and adgacent area［M］. Geological Publishing House，Beijing，2008.

周辉，袁超. 西昆仑库地早古生代岩浆岩的物源与热源［J］. 新疆地质，2003，21（1）：67-68.

Zhou Hui，Yuan Chao. Material and heat sources of the Early Paleozoic magmatic rocks in Kuda，Western Kunlun［J］. Xinjiang Geology，2003，21（1）：67-68.

肖序常，王军，苏犁，等. 再论西昆仑库地蛇绿岩及其构造意义[J]. 地质通报，2003，22（10）：745-750.

Xiao Xuchang，Wang Jun，Su Li，et al. A further discussion of the Kuda ophiolite，Western Kunlun，and its tectonic significance［J］. Geological Bulltin of China，2003，22（10）：745-750.

韩芳林，崔建堂，计文化，等. 西昆仑其曼于特蛇绿混杂岩的发现及其地质意义[J]. 地质通报，2002，21（8-9）：573-578.

Han Fanglin，Cui Jiantang，Ji Wenhua，et al. Discovery of the Qimanyute ophiolite in the West Kunlun and its geological significance［J］. Geological Bulletin of China，2002，21（8-9）：573-578.

汪玉珍. 西昆仑山依沙克群的时代及其构造意义[J]. 新疆地质，1983，1（1）：1-8.

Wang Yuzheng. The Age of the Yisak Group of West Kunlun，and Tectonic Significance［J］. Xinjiang Geology，1983，1（1）：1-8.

崔建堂，王炬川，边小卫，等. 西昆仑康西瓦北侧蒙古包一普守一带早古生代花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年［J］. 地质通报，2007，26（6）：710-719.

Cui Jiantang，Wang Juchuan，Bian Xiaowei et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating of Early Palezoic granite in the Menggubao-Pushou area on the northern side of Kangxiwar，West Kunlun［J］. Geological Bulletin of China，2007，26（6）：710-719.

姜春发，王宗起，李锦轶. 中央造山带开合构造［M］. 北京：地质出版社，2000：7-13.

Jiang Chunfa，Wang Zongqi，Li Jintie. Opening-Closing Tectonic of Central Orogenic［M］. Geological Publishing House，Beijing，2000：7-13.

王炬川，崔建堂，罗乾周，等. 西昆仑康西瓦西部早古生代侵入岩的岩浆混合作用[J]. 地质通报，2006，25（12）：1458-1468.

Wang Juchuan，Cui Jiantang，Luo Qianzhou，et al. Magma mingling of Early Paleozoic intrusive rocks in western Kangxiwar，Western Kunlun，China［J］. Geological Bulletin of China，2006，25（12）：1458-1468.

姜耀辉，芮行建，郭坤一，等. 西昆仑造山带花岗岩形成的构造环境[J]. 地球学报，2000，21（1）：24.

Jiang Yaohui，Rui Xingjian，Guo Kunyi，et al. Tectonic Environments of Granitoids in the West Kunlun Orqgenic Belt［J］. Acta Geoscientia Sinica，2000，21（1）：24.

Pearce J A，Harris N B W and Tindle A G.. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks［J］. J. Petrol，1984，25：956-983.