塔里木盆地库鲁克塔格地区二叠纪末-中三叠世基性岩床的发现及其地质意义*

边伟华 王璞珺** 孙晓猛 唐华风

BIAN WeiHua, WANG PuJun**, SUN XiaoMeng and TANG HuaFeng

吉林大学地球科学学院,长春 130061

College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, *China*

2009-08-01 收稿, 2009-12-01 改回.

Bian WH, Wang PJ, Sun XM and Tang HF. 2010. Late Permian- Middle Triassic mafic sills from Kuruktag, Tarim basin: Petrochemical characteristics and geological implication. *Acta Petrologica Sinica*, 26(1):274 – 282

Abstract In Mohoershan Formation ($\in_2 m$), Middle Cambrian, 3 mafic sills formed during Late Permian to Middle Triassic have been detailed lithologically logged and sampled for geological dating and geochemical analysis in Kuruktag, Tarim basin, Xinjiang, NW China. The mafic sills were composed of lower diabase sill (with thickness of 3m), middle gabbro sill (with thickness of 20m) and upper dolerite sill (with thickness of 2.5m) which intruded into Middle Cambrian strata along the interface of neighboring sedimentary beds. The geochemical characteristics of these sills show great similarities, for instance, the high absolute concentration of total rare earth element ($\sum REE = 210 \times 10^{-6} \sim 297 \times 10^{-6}$), the enrichment of LREE ($(La/Yb)_N = 13.54 \sim 17.96$), weak Eu anomaly ($\delta Eu = 0.97 \sim 1.21$), weak positive Ce anomaly ($\delta Ce = 1.11 \sim 1.25$), enrichment of large ion lithophile element (LILE), significant positive anomaly of Sr and negative anomaly for Ta, Nb and Hf. Taking into account the geochemical features as well as the geological settings, these sills derived from same magma source. The magma was formed within the upper mantle and partially contaminated by the lower continental crust according to the standard mineral forming pressure, the REE pattern and trace earth element spider plot. The low MgO content (4% ~6%), $Mg^{\#}$(37.6 ~55.6) and SI (18.7 ~29.3) hinted the primary magma had undergone differentiation. The K-Ar age of dolerite sill is about 255.2 ±7.3Ma, the K-Ar age of diabase sill is about 242.8 ±5.7Ma and the Ar-Ar age of gabbro sill is about 229.7 ± 3.7Ma. The geological dating results indicated that the magma intrusion took place after the close of south Tianshan ocean, the paleo-tectonic environment is extensional settings of post-collision.

Key words Tarim basin; Late Permian; Triassic; Mafic sills; Post-collision extension

摘 要 新疆塔里木盆地东北缘库鲁克塔格地区的中寒武统莫合尔山组沉积地层中发现三条形成于二叠纪末到中三叠世的基性岩床。三条岩床沿沉积岩层面顺层侵入,按照从下到上的顺序,分别为辉绿岩床(厚3m)、辉长岩床(厚20m)和粗玄岩床(厚2.5m)。三条岩床的地球化学特征相似,稀土含量高($\sum REE = 210 \times 10^{-6} \sim 297 \times 10^{-6}$),轻稀土元素富集($(La/Yb)_N = 13.54 \sim 17.96$),Eu 负异常不明显($\delta Eu = 0.97 \sim 1.21$),Ce 稍具正异常($\delta Ce = 1.11 \sim 1.25$)。大离子亲石元素(Rb、Ba、Th、Sr)富集,Sr 具明显正异常;Ta、Nb 和 Hf 具负异常。低氧化度(0.13 ~0.40)。三条岩床为同源岩浆活动的产物,岩浆源于上地幔或下地壳,但有下陆壳成分混染。三个样品的 MgO 含量在4% ~6%之间,$Mg^{\#}$值在37.6 ~55.6 之间,固结指数 SI 值位于18.7 ~29.3 之间,反映原始的岩浆经历了比较明显的分异作用。粗玄岩床 K-Ar 年龄为 255.2 ±7.3Ma,辉绿岩床 K-Ar 年龄为 242.8 ±5.7Ma,辉长岩床 Ar-Ar 年龄为 229.7 ±3.7Ma。本次岩浆侵入事件发生在南天山洋闭合之后,构造背景为造山后碰撞伸展环境。

关键词 塔里木盆地;二叠纪末;三叠纪;基性岩床;造山后碰撞伸展

中图法分类号 P588.124;P597.3

---

* 本文受国家"973"项目(2009CB19303)资助.

第一作者简介:边伟华,男,1976 年生,博士研究生,矿产普查与勘探专业,E-mail: WeihuaBian@jlu.edu.cn

** **通讯作者**:王璞珺,男,1959 年生,博士,教授,博士生导师,从事油气地质勘查、火山岩储层和沉积学研究,E-mail: wangpj@jlu.edu.cn

1 引言

塔里木盆地位于我国新疆维吾尔自治区南部，是古生界的克拉通盆地与中新生界前陆盆地组成的大型叠合盆地（贾承造和魏国齐，2002；刘和甫等，2000）。二叠纪早期是塔里木盆地重要火山活动期，形成了大规模的以中基性火山岩为主的火山岩体（杨树锋等，2005；李勇等，2007；康玉柱，2008），而二叠纪末-三叠纪的岩浆活动少有报导。作者在塔里木盆地东北缘库鲁克塔格地区却尔却克山剖面中寒武统莫合尔山组地层中发现了三条厚度不等的二叠纪末-三叠纪基性岩床。基性岩床作为一种特殊的岩浆作用类型，是展示地壳-地幔物质组成的窗口，在一定程度上反映了研究区特定地质时代的构造演化格局，本文通过详细的野外剖面调查，岩石薄片镜下鉴定，同位素年龄测试及地球化学分析，对中寒武统莫合尔山组地层内包含的三层基性岩床进行年代学、岩石学、地球化学分析研究，初步探讨研究区二叠纪末-三叠纪的构造活动。

2 地质背景

却尔却克山剖面位于塔里木盆地东北缘的库鲁克塔格地区孔雀河斜坡带，隶属于库鲁克塔格地层小区（新疆维吾尔自治区地质矿产局，1993），由英吉苏凹陷、孔雀河斜坡和库鲁克塔格山前构造带等三个构造单元共同组成。研究区内发育有三条区域性深大断裂，由北往南依次是辛格尔断裂、兴地断裂和孔雀河断裂。剖面位于库鲁克塔格山前构造带南部，紧邻孔雀河断裂（图 1）。整个却尔却克山剖面出露有中寒武统莫合尔山组（$\epsilon_2 m$）、上寒武统突尔沙克塔格组（$\epsilon_3 t$）和下奥陶统巷古勒塔格组（$O_1 x$）。莫合尔山组（$\epsilon_2 m$）岩性主要为灰黑色碳质页岩与灰色页岩、灰岩互层，突尔沙克塔格组（$\epsilon_3 t$）岩性主要为灰色中薄层状灰岩与页岩互层，巷古勒塔格组（$O_1 x$）岩性主要为灰绿色粉砂岩与（浊积）砂岩互层。整个剖面起点位于 N40°54.949′，E88°18.623′，终点位于 N40°54.118′，E88°18.002′。三组之间依次呈整合接触关系。本次发现的三条基性岩床均位于莫合尔山组。

3 样品采集和岩矿特征

莫合尔山组位于却尔却克山剖面的下部，剖面上该组出露总厚度约 120m，岩性主要为灰黑色碳质页岩与灰色页岩、灰岩互层。黑色碳质页岩风化面常呈紫红色，具水平层理。灰岩常呈薄层状产出，在剖面顶部和底部出露较多，中部则出露较少。在该组剖面中可见有三条基性岩床，均沿沉积岩层面呈层状顺层产出（图 2）。

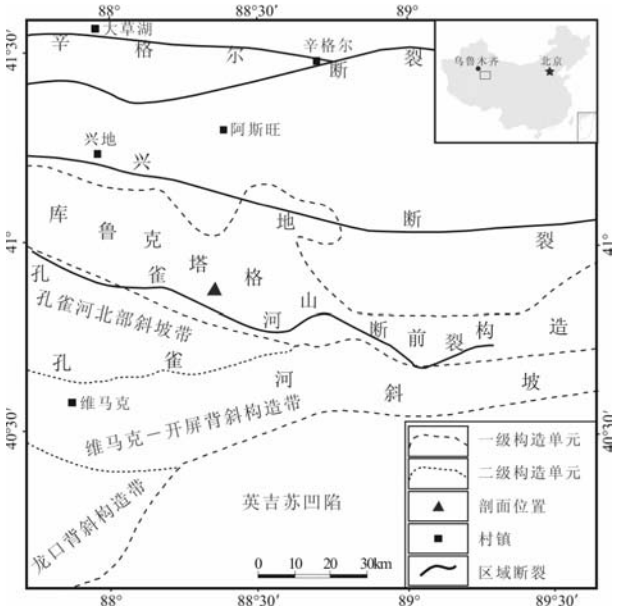

图 1 库鲁克塔格地区构造分区及野外剖面位置图

Fig. 1 Tectonic units and outcrop section in Kuruktage

下部基性岩床厚约 3m，中间部分被薄层泥页岩分割开来。岩性为灰绿色辉绿岩。斑状结构，斑晶为斜长石和辉石，基质整体为辉绿结构，局部见间粒结构。薄片镜下局部可见碳酸盐化及绿泥石化。本层取样 K258。

中部基性岩床厚约 20m，岩性为灰绿色辉长岩，斑状结构。斑晶为斜长石与辉石，斜长石可见联晶结构。基质为辉长结构。本层取样 K259。

上部基性岩床厚约 2.5m，岩性为灰绿-灰黑色粗玄岩，少斑结构，斑晶以斜长石为主。基质间粒结构，局部偶见辉绿结构。本层取样 K261。

4 基性岩床年龄特征

辉长岩样品 K259 地质年龄通过 Ar-Ar 法进行了测定。Ar-Ar 地质年龄测试在中国地震局地质研究所地震动力学国家重点实验室完成，所用样品为长石斑晶。样品在中国原子能研究院中子反应堆进行快中子照射，Ar 同位素测试在 MM1200 质谱仪系统上经 10 个温度阶段测试完成。具体的测试方法及各种测试参数见陈文寄等（1999）。样品 K259 的测试及相关计算结果见表 1，Ar-Ar 年龄谱图见图 3。通过年龄谱图可以看出，从第 5 加热阶段到最后一个加热阶段，同位素年龄值比较稳定，形成了平坦的年龄坪，经加权计算，得出坪年龄为 229.7 ± 3.7Ma。

辉绿岩样品 K258 和粗玄岩样品 K261 的地质年龄通过 K-Ar 法进行了测定，样品 K258 为长石样品，样品 K261 为全岩样品，样品的具体测试步骤及过程见李大明等（2006）。这

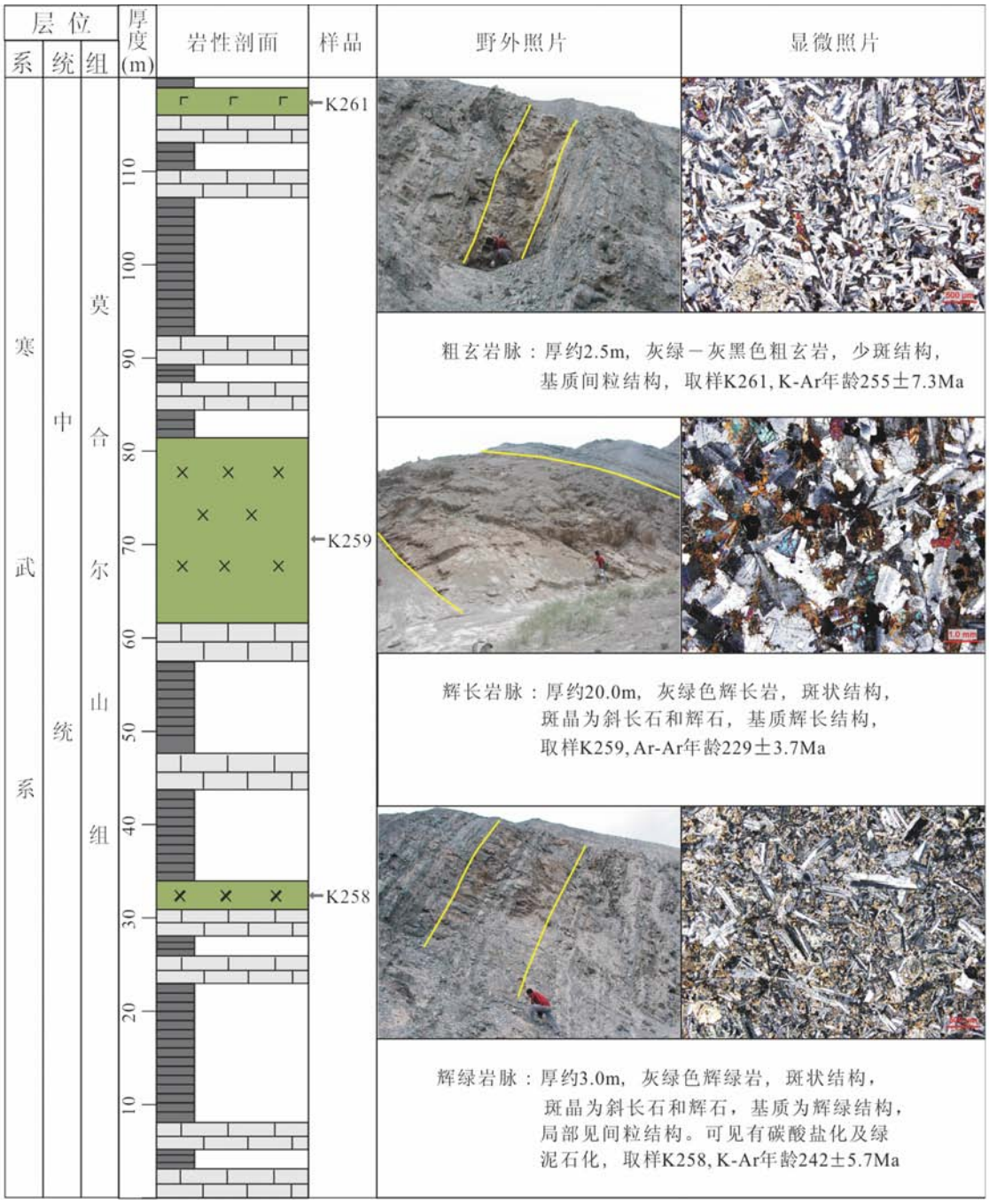

图 2 库鲁克塔格地区却尔却克山莫合尔山组岩性综合柱状图

Fig. 2 Integrated lithological section of Mohoershan Formation in Querqukeshan outcrop, Kuruktag

两个样品的 K-Ar 年龄测试结果见表 2。K-Ar 法测得的辉绿岩样品 K258 的形成年龄为 242.8 ± 5.7Ma，粗玄岩样品 K261 形成年龄为 255.2 ± 7.3Ma。

5 基性岩床的地球化学特征

莫合尔山组内的三条基性岩床均取样进行常量元素、微量元素和稀土元素地球化学分析。对样品的分析工作在地矿部中心实验室完成。常量元素用 X-射线荧光(XRF)法测试(亚铁和灼减分别用容量法和重量法单测)、微量元素和稀土元素用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)法测试，测试结果见表 3。

5.1 常量元素

本次所测得三个样品的 SiO_2 含量在 51.67% 至 47.98% 之间，属于基性岩系列。TAS 图解(图 4A)显示，样品 K258 位

表 1 辉长岩床样品 K259 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 年龄分析结果

Table 1 $^{40}Ar/^{39}Ar$ dating on sample K259 from gabbro sill

阶段	加热温度（℃）	$(^{40}Ar/^{39}Ar)_m$	$(^{36}Ar/^{39}Ar)_m$ 10^{-3}	$(^{37}Ar/^{39}Ar)_m$	^{39}Ar $(10^{-15}mol)$	$(^{*40}Ar/^{39}Ar)$ $\pm1\sigma$	^{39}Ar (%)	视年龄 t $(Ma\pm1\sigma)$
1	500	439.4	1053	23.04	5.46	132.4	2.44	257.4 ± 15.6
2	600	172.8	177.0	17.45	7.21	123.4	5.67	241.0 ± 7.7
3	650	144.2	91.62	15.17	8.29	119.7	9.37	234.2 ± 6.5
4	700	118.7	55.16	10.71	11.7	104.1	14.6	205.3 ±4.8
5	800	133.9	50.82	5.293	23.8	119.8	25.3	234.3 ±4.0
6	900	133.2	46.62	5.554	22.6	120.3	35.4	235.4 ±4.0
7	1000	128.9	33.61	5.449	23.1	119.9	45.7	234.5 ±3.9
8	1100	127.8	34.89	5.250	24.0	118.4	56.4	231.8 ±3.8
9	1250	129.7	48.86	1.690	74.4	115.6	89.7	226.6 ±3.4
10	1320	126.0	45.89	5.467	23.0	113.3	100	222.4 ±3.8

注：表中下标 m 代表样品中测定的同位素比值，$^{*40}Ar$ 表示放射性成因同位素值，1σ 为一倍标准偏差，样品重量为 64.45mg，照射参数 J = 0.001158；同位素测定仪器：MM1200 质谱计；测试单位：中国地震局地质研究所地震动力学国家重点实验室

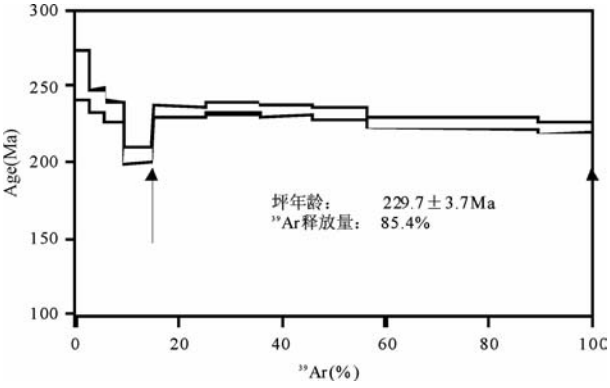

图 3 辉长岩样品 K259 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 年龄谱图

Fig. 3 Flat release age spectrum of sample K259 from gabbro sill

表 2 辉绿岩床和粗玄岩床的 K-Ar 年龄分析结果

Table 2 K-Ar dating on diabase sill and dolerite sill

样品号	层位	K (%)	$^{40}Ar_{rad}$ (克分子/克)	$^{40}Ar_{rad}$ (%)	表面年龄 $(Ma\pm1\sigma)$
K-258	辉绿岩床	1.00	1.56E-10	74.90	242.8 ±5.7
K-261	粗玄岩床	0.83	3.946E-10	85.70	255.2 ±7.3

同位素测定仪器：MM1200 质谱计；K 含量测量：HG3 火焰光度计；测试单位：中国地震局地质研究所地震动力学国家重点实验室

于粗面玄武岩与玄武粗面岩过渡部位，而 K259 与 K261 位于玄武岩与粗面玄武岩过渡部位偏向粗面玄武岩一侧，均属于粗面玄武质。三条岩床的里特曼指数（Rittmann *et al.*，1973）

表 3 基性岩床常量（wt%），稀土和微量元素（$\times10^{-6}$）化学组成

Table 3 Major (wt%), rare and trace earth elements ($\times10^{-6}$) composition of mafic sills

样品号	K258	K259	K261	样品号	K258	K259	K261
SiO_2	51.67	49.46	47.98	Pr	8.50	11.71	12.09
TiO_2	1.58	2.34	1.94	Nd	34.12	48.25	51.26
Al_2O_3	15.46	13.27	15.33	Sm	5.79	8.28	8.09
FeO	6.37	7.36	8.26	Eu	1.76	2.76	2.77
Fe_2O_3	2.46	5.59	1.56	Gd	5.30	7.36	7.17
MnO	0.12	0.13	0.10	Tb	0.74	1.09	0.99
MgO	5.98	4.15	5.00	Dy	4.06	6.13	5.95
CaO	6.96	7.98	9.25	Ho	0.69	1.15	1.05
Na_2O	4.25	3.65	3.77	Er	1.99	3.31	3.01
K_2O	1.32	1.42	1.42	Tm	0.27	0.47	0.41
P_2O_5	0.56	0.63	0.66	Yb	1.79	3.13	2.95
LOI	2.85	3.53	3.69	Lu	0.27	0.45	0.37
Total	99.58	99.51	98.96	∑REE	210	272	297
Ox°	0.25	0.40	0.13	∑LREE/∑HREE	12.89	10.80	12.56
SI	29	19	25	δEu	0.97	1.08	1.11
$Mg^{\#}$	56	38	48	δCe	1.25	1.11	1.21
La	44.82	59.09	63.65	$(La/Yb)_N$	18.0	13.5	15.5
Ce	99.8	119.2	137.3	Sm/Nd	0.17	0.17	0.16

续表 3

Continoued Table 3

样品号	K258	K259	K261	样品号	K258	K259	K261
Li	14.8	12.8	13.8	Zr	172	194	191
Sc	18.9	29.0	27.2	Cs	2.42	1.72	2.59
V	163	282	201	Ba	832	1098	839
Cr	186	64	192	Tl	1.02	0.18	0.24
Co	39.5	34.7	39.4	Pb	8.1	7.4	10.7
Ni	107	30.4	77.1	Th	6.01	6.00	6.88
Cu	29.9	35.8	53.7	U	2.06	1.15	1.43
Zn	142	132	121	Nb	32.11	30.52	36.31
Rb	74.9	66.9	70.5	Ta	2.27	1.97	2.61
Sr	1878	2138	2951	Hf	4.61	5.17	5.11
Y	19.55	32.41	30.00	Rb/Sr	0.04	0.03	0.02

注:氧化度 $Ox^o = Fe^{3+}/(Fe^{3+} + Fe^{2+} + Mn)$ 摩尔比(据 Rittmann *et al.*,1973);固结指数 $SI = MgO * 100/(MgO + FeO + Fe_2O_3 + Na_2O + K_2O)$(据 Kuno,1960),里特曼指数 $\sigma = (Na_2O + K_2O)^2/(SiO_2-43)$(据 Rittmann *et al.*,1973);$Mg^{\#} = MgO/(MgO + FeO + Fe_2O_3)$ 摩尔比(据 Hess,1989);LREE = La-Eu;HREE = Gd-Lu;$\delta Eu = Eu_N/[(Sm_N)(Gd_N)]^{1/2}$,$\delta Ce = Ce_N/[(La_N)(Pr_N)]^{1/2}$(据 Taylor and McLennan,1985),N 为球粒陨石标准化值(据 Sun and McDonough,1989)

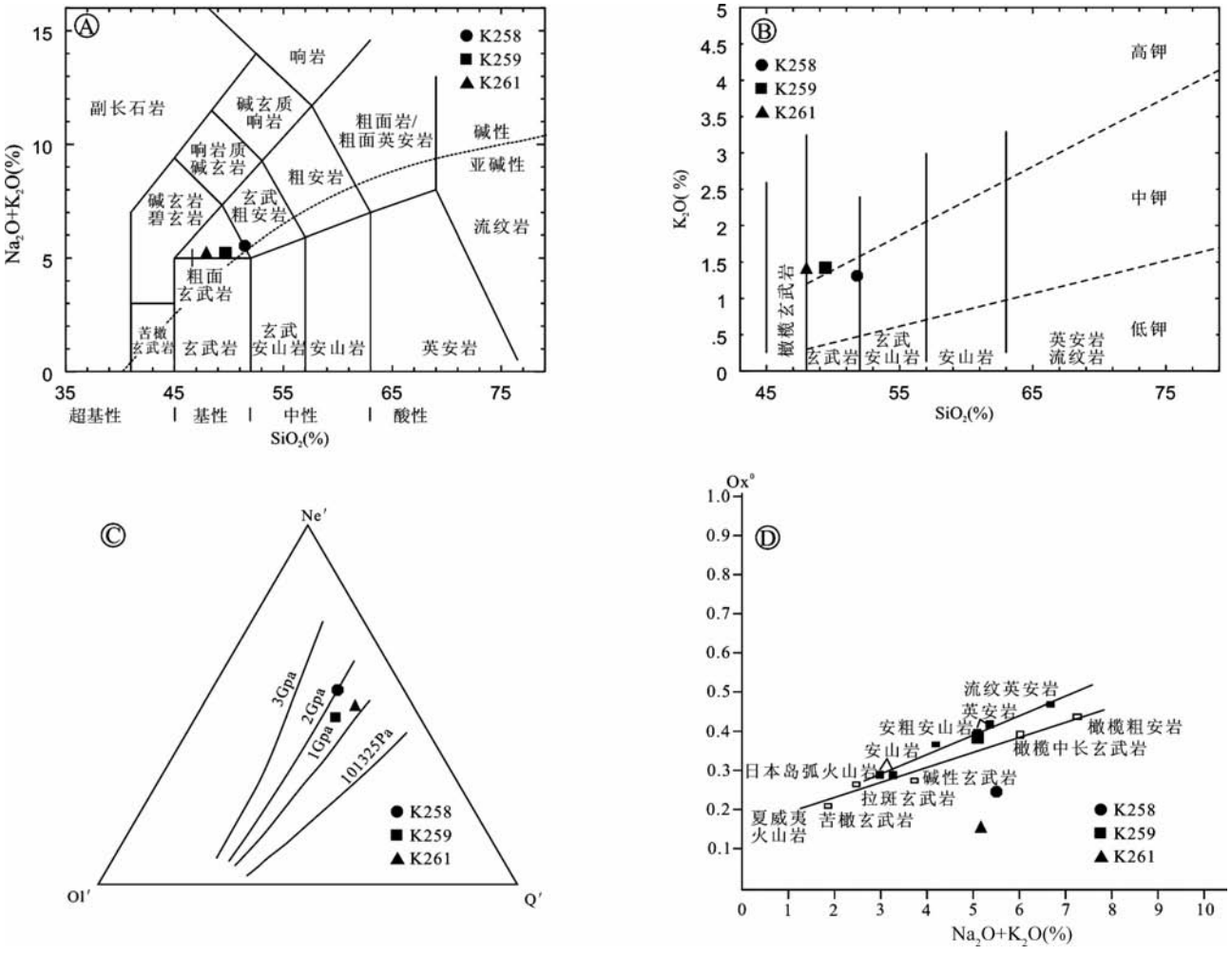

图 4 基性岩床常量元素地球化学特征

Ⓐ-TAS 图解(据 Le Maitre *et al.*, 1989);Ⓑ-K_2O-SiO_2 图解(据 Le Maitre *et al.*, 1989);Ⓒ-标准矿物压力图(据 Yoder, 1976);Ⓓ-氧化度 Oxo-($Na_2O + K_2O$)图解(据 Rittmann *et al.*, 1973)

Fig. 4 Major element feature of diabase sill, gabbro sill and dolerite sill

Ⓐ-TAS diagram (after Le Maitre *et al.*, 1989); Ⓑ-Series classification (after Le Maitre *et al.*, 1989); Ⓒ-Standard mineral pressure plot (after Yoder, 1976); Ⓓ-Oxidation degree as a function of the alkali content (after Rittmann *et al.*, 1973)

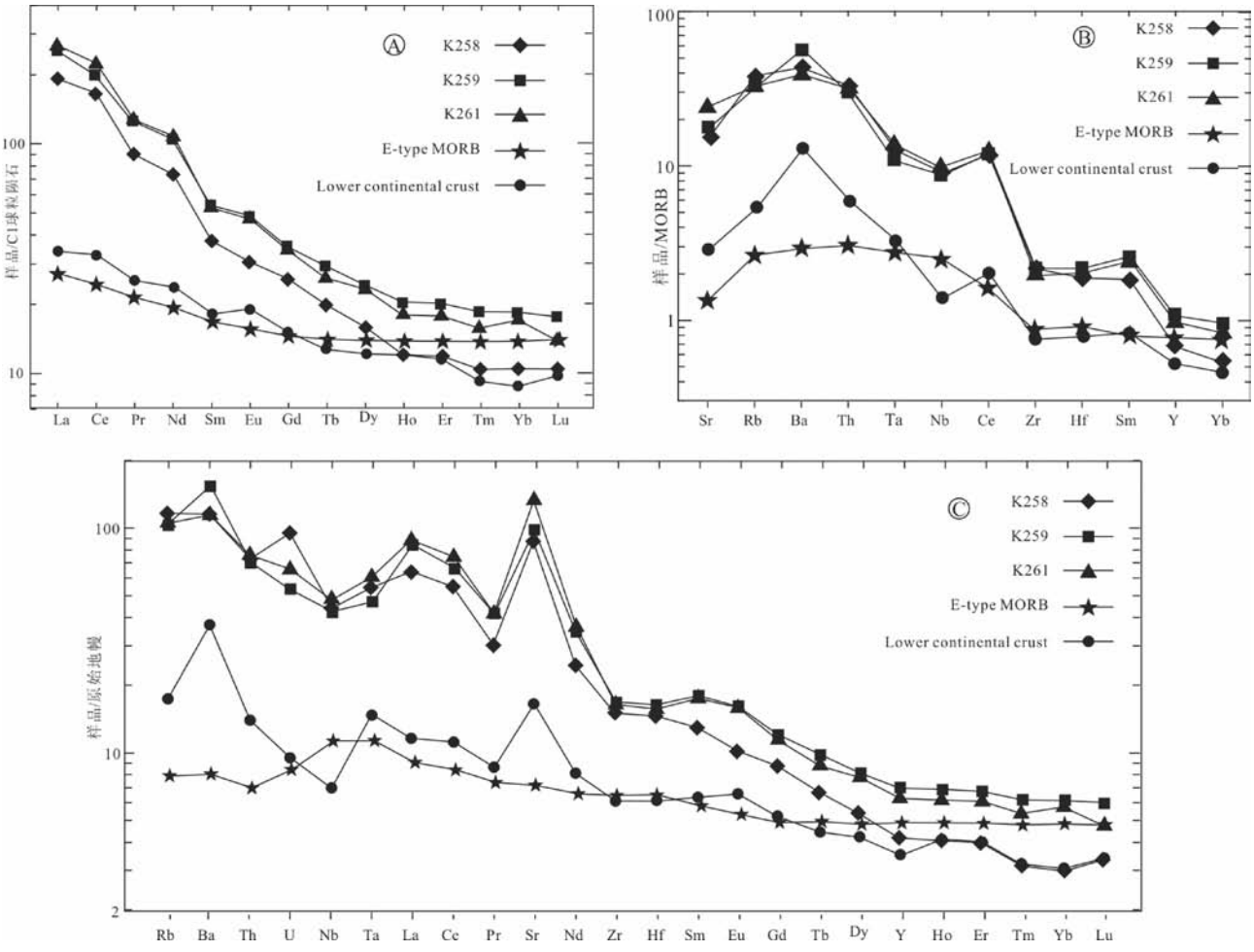

图 5　基性岩床微量元素和稀土元素地球化学特征及其对比

球粒陨石、原始地幔标准化值和 E-MORB 值引自 Sun and McDonough(1989)；MORB 标准化值引自 Pearce(1982)；下地壳元素值引自 Rudnick and Gao(2003)

Fig. 5　Trace and rare earth element distributive patterns of mafic sills compared with E-type MORB and lower continental crust

Values of chondrite, E-type MORB and primitive mantle after Sun and McDonough (1989); Values of MORB after Pearce (1982); Values of lower continental crust after Rudnick and Gao (2003)

位于 3.5 ~ 5.4 之间，属于碱性序列。野外剖面上(图 2)，三条岩床沿沉积岩产状顺层侵入，薄片镜下鉴定，K258 基质为辉绿结构，局部见间粒结构，K259 基质为辉长结构，K261 基质为间粒结构，结合 TAS 图解，野外产状和镜下鉴定，确定三个样品对应的岩床分别辉绿岩床、辉长岩床和粗玄岩床。三个样品钾含量为中高钾(图 4B)。$Al_2O_3/(CaO + Na_2O + K_2O)$摩尔比值区间位于 0.6 到 0.75 之间，小于岩石蚀变临界值 1.4(Siebel *et al.*，1997)，属于未蚀变-弱蚀变，薄片中，除辉长岩中偶见辉石斑晶蚀变，铁质析出外，大部分辉石斑晶均保持原有晶体特征，蚀变不明显。

5.2　稀土和微量元素

三个样品的稀土元素配分模式见图 5A。$(La/Yb)_N$ 值介于 13.5 ~ 18.0 之间，属于轻稀土富集型。稀土总量 K258 样品最低，为 210×10^{-6}，K261 样品的最高，为 297×10^{-6}，三个样品稀土总量属于中-高。轻重稀土分异明显，$\sum LREE/\sum HREE$ 为 10.80 ~ 12.89。铕负异常不明显，样品 K258 的 δEu 为 0.97，而样品 K259 和样品 K261 的 δEu 分别为 1.11 和 1.21，稍有一定程度的正异常。铈表现出一定的正异常，样品 K258，K259 和 K261 的 δCe 分别为 1.25，1.11 和 1.21。微量元素蛛网图上(图 5B 和图 5C)，可以看出大离子亲石元素(Rb、Ba、Th 和 Sr)明显富集。Ta、Nb 和 Hf 显现负异常，而 Sr 呈现比较明显的正异常。

6　结果与讨论

6.1　岩浆的形成深度及岩浆源

本次于却尔却克山剖面莫合尔山组($\epsilon_2 m$)发现的三条

岩床分属辉绿岩床、辉长岩床及粗玄岩床。综合分析岩床的野外产状、常量元素、微量元素和稀土元素的组成特征,作者认为,三个岩床可能为同源岩浆活动的产物。首先,野外剖面上,厚度有所不同的三条基性岩床均沿着黑色泥岩、碳质页岩的层面顺层产出,相互之间的间隔仅 20 ~ 30m,产状相似,平均产状为 220°∠50°,走向北西-南东。其次,三条岩床的地球化学特征也类似,均属于碱性序列,粗面玄武质。轻稀土元素富集,大离子亲石元素富集,铕负异常不明显,铈表现出一定的正异常,稀土元素配分模式和微量元素的蛛网图具有明显相似性。

形成三条基性岩床的岩浆源于上地幔,但有大陆下地壳成分的加入。根据玄武岩标准矿物计算出的岩浆源区压力(Yoder,1976)在 1.2 ~ 2GPa 之间(图 4C),假设岩石的平均密度为 3g/cm^3,则该压力对应的深度约为 36 ~ 66km 之间,属于上地幔或下地壳。三个样品均显示明显的 Ta、Nb 和 Hf 负异常,Sr 和 Ba 正异常,这与下地壳的微量元素组成特征(Hofmann,1988;Rudnick and Gao,2003)相似,说明源于上地幔的岩浆受到壳源成份的混染,He、Ar 同位素的研究也证明了这一点(张志诚等,2004)。

三个样品的 MgO 含量在 4% ~ 6% 之间,Mg$^{\#}$值在 37.6 ~ 55.6 之间,固结指数 SI 值位于 18.7 ~ 29.3 之间,反映原始岩浆经历了比较明显的分异作用(Kuno,1960;Hess,1989)。铕的异常在一定程度上可以反映出岩浆在源区的分异程度,尤其是斜长石的结晶分异(Brownlow,1996;沈步明和周德进,1996),此外,分馏结晶与部分熔融作用均会导致明显的铕异常(Sawyer,1987)。三个样品中的 δEu 分别为 0.97,1.11 和 1.21,异常不明显,表示基性岩浆在侵入前没有经历明显的斜长石的结晶分异作用。另外,三个样品中的铈异常 δCe 分别为 1.25,1.11 和 1.21,没有出现负异常,说明三个样品还未经历低温蚀变作用(谢昕等,2001)。三个岩床形成时的氧化度值(Rittmann *et al.*,1973)小于对应的夏威夷基性火山岩(图 4D),也远小于水下喷发的橄榄粗安岩(王璞珺等,2009),当岩浆侵入时,周围环境中氧的含量偏低,岩浆在地表下冷凝成岩。

6.2 岩床形成的构造背景

库鲁克塔格地区已经发现的基性岩床以早二叠世辉绿岩为主,属钙碱性序列,普遍具有 U、Nb、Ta 负异常(刘玉琳等,1999;姜常义等,2005)。本次在莫合尔山组内发现的三条基性岩床,上部的粗玄岩岩床的 K-Ar 年龄为 255.2 ± 7.3Ma,中部辉长岩床的 Ar-Ar 年龄为 229.7 ± 3.7Ma,下部的辉绿岩床的 K-Ar 年龄为 242.8 ± 5.7Ma。根据 2009 年公布的国际地质年代表(Walkera and Geissman,2009),三个地质年龄分别属于二叠纪末期,中三叠世末期和中三叠世初期。

塔里木盆地在晚二叠世以前,其北端隔南天山洋与中天山地块相邻。寒武纪时,库鲁克塔格地区形成了一套滨浅海沉积(程日辉等,2006),晚志留世-中泥盆,南天山洋开始俯冲消减,到石炭纪时已经成为残余海槽(汤良杰,1994)。李曰峻等(2001)在西南天山发现中-晚二叠世放射虫硅质岩,说明古亚洲洋在中-晚二叠世仍然有一定规模的残留海盆存在。从二叠纪末期开始,在南天山南麓的库车盆地开始形成磨拉石建造,三叠系地层厚度可达 1800m(曹守连和陈发景,1994),磨拉石建造的形成,说明南天山洋在二叠纪末期完全闭合。王超等(2009)通过对欧西达坂岩体的 LA-ICP-MS 的地质测年进一步证实南天山洋也是在晚二叠世闭合。

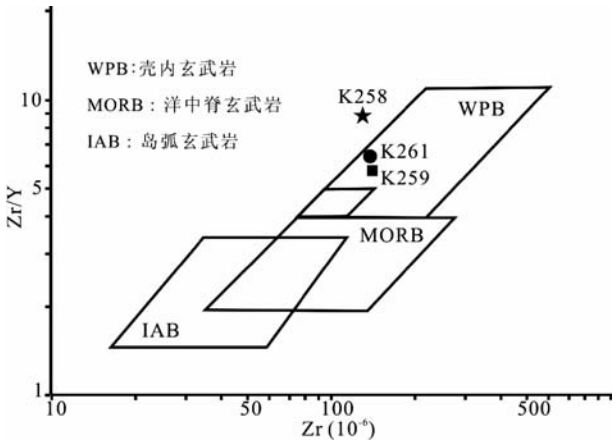

图 6 却尔却克山剖面基性岩床的 Zr/Y-Zr 图解(据 Pearce and Norry,1979)

Fig. 6 Zr/Y-Zr diagram of mafic sills in Querqukeshan outcrop(after Pearce and Norry,1979)

三条基性岩床在 Zr/Y-Zr 判别图解中均位于板内玄武岩区及其附近,表现出板内岩浆的特征(图 6)。但是,地球化学分析表明,三条基性岩床均显示轻稀土元素富集,大离子亲石元素富集,高场强元素 Ta、Nb 亏损,这些均为岛弧玄武岩的典型特征。同时,样品中 Nb 含量均大于 30×10^{-6},La/Nb 小于 2,属于由俯冲板片熔体交代过的上覆地幔楔部分熔融而形成的富 Nb 玄武岩(Sajona *et al.*, 1996)。

却尔却克山剖面莫合尔山组内发现的三条二叠纪末-中三叠世的基性岩床形成于南天山洋完全闭合后,区域构造演化上属于后碰撞期的伸展背景。此后,塔里木盆地进入前陆盆地和陆内坳陷发育阶段,在三叠纪和侏罗纪形成了大型的陆相湖盆沉积(张希明等,1996;张宝民等,2006)。岩床既有板内玄武岩的演化特征,又具有岛弧玄武岩的地球化学痕迹,与三塘湖盆地二叠纪火山岩特征相似,属于"滞后型弧火山岩"(郝建荣等,2006)。由于基性岩浆侵入时南天山洋已经闭合,并没有发生洋片的俯冲作用,因此,岩床所表现出的岛弧玄武岩的地球化学特征是继承而非原生的。

致谢 本文获"东北亚生物演化与环境教育部重点实验室"、吉林大学"211"工程三期建设项目和 2009 年教育部基本科研业务经费("吉林大学创新团队发展计划")支持。张建光参与了部分地球化学图解的制作,两位匿名审稿专家提

供的修改意见使作者深受启发，在此一并致以谢意。

References

Bureau of Geology and Mineral Resource of Xinjiang Uygur Autonomous Region. 1993. Regional Geology of Xinjiang Uygur Autonomous Region. Beijing: Geological Publishing House, 54 – 57 (in Chinese with English abstract)

Brownlow AH. 1996. Geochemistry. Second edition. New Jersey: Prentice hall, 434 – 438

Cao SL and Chen FJ. 1994. Tectonic evolution of foreland basin and its relationship with oil and gas in northern Tarim. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 19(4): 482 – 492 (in Chinese with English abstract)

Chen WJ, Li Q, Hao J, Zhou XH, Wan JL and Sun M. 1999. Post-crystallization thermal evolution and tectonic significance of Gangdisi rock belt. Science in China (Series D), 29(1): 9 – 15 (in Chinese)

Cheng RH, Wang PJ, Liu WZ, Sun XM and Shan XL. 2006. Sequence stratigraphy and models for the Cambrian in Kuluketage, Xinjiang. Xinjiang Geology, 24(4): 353 – 360 (in Chinese with English abstract)

Hao JR, Zhou DW, Liu YQ and Xing XJ. 2006. Geochemistry and tectonic settings of Permian volcanic rocks in Santanghu basin, Xinjiang. Acta Petrologica Sinica, 22(1): 189 – 198 (in Chinese with English abstract)

Hess PC. 1989. Origins of Igneous Rocks. London: Harvard University Press, 117

Hofmann AW. 1988. Chemical differentiation of the Earth: The relationship between mantle, continental crust, and oceanic crust. Earth and Planetary Science Letters, 90(3): 297 – 314

Jia CZ and Wei GQ. 2002. Tectonic features and oil-bearing capability of Tarim basin. Chinese Science Bulletin, 47 (S1): 1 – 8 (in Chinese)

Jiang CY, Jiang HB, Ye SF, Xia MZ and Lu DX. 2005. Petrochemical characteristics, Nd, Sr, Pb isotopic compositions and petrogenesis of Permian dike swarm, Kuruktag region, Xinjiang. Acta Geologica Sinica, 70(6): 823 – 833 (in Chinese with English abstract)

Kang YZ. 2008. Characteristics of the Carboniferous-Permian volcanic rocks and hydrocarbon accumulations in two great basins, Xinjiang area. Petroleum Geology & Experiment, 30(4): 321 – 327 (in Chinese with English abstract)

Kuno H. 1960. High-alumina basalt. Journal of Petrology, 1(2): 121 – 145

Le Maitre RW, Bateman P, Dudek A, Keller J, Lameyre MJ, Sabine PA, Schmid R, Sorensen H, Streckeisen A, Wooley AR and Zanettin B. 1989. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. London: Blackwell, 28

Li DM, Chen CL, Li Q and Zheng DW. 2006. Constrain the time of the paleocoenosis fossil stratum by K-Ar age of Sihetun volcanic rock sequence. Acta Petrologica Sinica, 22(6): 1627 – 1632 (in Chinese with English abstract)

Li Y, Su W, Kong P, Qian YX, Zhang KY, Zhang ML, Chen R, Cai CR and You DH. 2007. Zircon U-Pb ages of the Early Permian magmatic rocks in the Tazhong-Bachu region, Tarim basin by LA-ICP-MS. Acta Petrologica Sinica, 23(5): 1098 – 1103 (in Chinese with English abstract)

Li YJ, Song WJ, Mai GR, Zhou LX, Hu JF and Shang XL. 2001. Characteristics of Kuqa and northern Tarim foreland basins and their coupling relation to south Tianshan orogen. Xinjiang Petroleum Geology, 22(5): 76 – 81 (in Chinese with English abstract)

Liu HF, Wang ZC, Xiong BX, Li YL, Liu LQ and Zhang JZ. 2000. Coupling analysis of Mesozoic-Cenozoic foreland basin and mountain system in central and western china. Earth Science Frontiers, 7(3): 55 – 72 (in Chinese with English abstract)

Liu YL, Zhang ZC, Guo ZJ, Huang BL and Mu ZG. 1999. K-Ar isochron dating of Kuluktag mafic dykes, Xinjiang autonomous region, and discussion on some related questions. Geological Journal of China University, 5(1): 55 – 59 (in Chinese with English abstract)

Pearce JA and Norry MJ. 1979. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks. Contributions to Mineralogy and Petrology, 69(1): 33 – 47

Pearce JA. 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Thorps RS and Chichester (eds.). Andesites. New York: John Willey & Sons, 525 – 548

Rittmann A, Gottini V, Hewers H and Stengelin R. 1973. Stable mineral assemblages of igneous rocks. Berlin Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 9 – 25

Rudnick RL and Gao S. 2003. Composition of the continental crust. Treatise on Geochemistry, 3: 1 – 64

Sajona FG, Maury RC, Bellon HA and Defant M. 1996. High field strength element enrichment of Pliocene-Pleistocene island arc basalts, Zamboanga peninsula, western Mindanao (Philippines). Journal of Petrology, 37(3): 693 – 726

Sawyer EW. 1987. The role of partial melting and fractional crystallization in determining discordant migmatite leucosome compositions. Journal of Petrology, 28(3): 445 – 473

Shen BM and Zhou DJ. 1996. A study of relationship between fractal structure factor of REE pattern and other chemical components of Cenozoic basalts in eastern China. Acta Petrologica Sinica, 12(1): 99 – 114 (in Chinese with English abstract)

Siebel W, Raschka H, Irber W, Kreuzer H, Lenz KL, Hohndorf A and Wendt I. 1997. Early Palaeozoic acid magmatism in the Saxothuringian belt: New insights from a geochemical and isotopic study of orthogneisses and metavolcanic rocks from the Fichtelgebirge, SE Germany. Journal of Petrology, 38(2): 203 – 230

Sun SS and Mcdonough WF. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In: Saunders AD and Nony MJ (eds.). Magmatism in the Ocean Basin. Geological Society, London, Special Publications, 42(1): 313 – 345

Tang LJ. 1994. Evolution and tectonic patterns of Tarim basin. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 19(6): 742 – 754 (in Chinese with English abstract)

Taylor SR and Mclennan SM. 1985. The Continental Crust: Its Composition and Evolution. London: Blackwell Scientific Publications, 298

Walkera JD and Geissman JW. 2009. 2009 GSA geologic time scale. GSA Today, 19(4): 60 – 61

Wang C, Luo JH, Che ZC, Liu L and Zhang JY. 2009. Geochemical characteristics and U-Pb LA-ICP-MS zircon dating of the Oxidaban pluton from Xinjiang, China: Implications for a Paleozoic oceanic subduction process in southwestern Tianshan. Acta Geologica Sinica, 83(2): 272 – 283 (in Chinese with English abstract)

Wang PJ, Gao YF, Ren YG, Liu WZ and Zhang JG. 2009. $^{40}Ar/^{39}Ar$ age and geochemical features of mugearite from the Qingshankou Formation: Significances for basin formation, hydrocarbon generation and petroleum accumulation of the Songliao basin in Cretaceous. Acta Petrologica Sinica, 25(5): 1178 – 1190 (in Chinese with English abstract)

Xie X, Xu XS, Zou HB and Xing GF. 2001. Trace element and Nd-Sr-Pb isotope studies of Mesozoic and Cenozoic basalts in coastal area of SE China. Acta Petrologica Sinica, 17(4): 617 – 628 (in Chinese with English abstract)

Yang SF, Chen HL, Ji DW, Li ZL, Dong CW, Jia CZ and Wei GQ. 2005. Geological process of early to middle Permian magmatism in Tarim basin and its geodynamic significance. Geological Journal of China Universities, 11(4): 504 – 511 (in Chinese with English abstract)

Yoder HS. 1976. Generation of Basaltic Magma. Washington, D. C.: National Academy of Sciences, 132

Zhang BM, Chen JP, Bian LZ and Zhang SC. 2006. Rediscussion on the sea-flooding events during Triassic to Jurassic of Kuqa depression in Tarim basin. Acta Geologica Sinica, 80(2): 236 – 244 (in Chinese

with English abstract)
Zhang XM, Liu QF and Wang GQ. 1996. Plate structural setting of the Triassic-Jurassic provenance and its relationship with sedimentary basin type in the north of the Tarim basin. Experimental Petroleum Geology, 18(3): 252 – 258 (in Chinese with English abstract)
Zhang ZC, Guo ZJ, Liu YL and Liu SW. 2004. Helium and argon isotopic compositions of mafic dyke swarm and its implication from Kuluketag, Xinjiang. Xinjiang Geology, 22(1): 641 – 647 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

曹守连,陈发景. 1994. 塔里木板块北缘前陆盆地的构造演化及其与油气的关系. 地球科学-中国地质大学学报, 19(4): 482 – 492
陈文寄,李齐,郝杰,周新华,万京林,孙敏. 1999. 冈底斯岩带结晶后的热演化史及其构造含义. 中国科学(D 辑), 29(1): 9 – 15
程日辉,王璞珺,刘万洙,孙晓猛,单玄龙. 2006. 库鲁克塔格地区寒武系层序地层与发育模式. 新疆地质, 24(4): 353 – 360
郝建荣,周鼎武,柳益群,邢秀娟. 2006. 新疆三塘湖盆地二叠纪火山岩岩石地球化学及其构造环境分析. 岩石学报, 22(1): 189 – 198
贾承造,魏国齐. 2002. 塔里木盆地构造特征与含油气性. 科学通报, 47(S1): 1 – 8
姜常义,姜寒冰,叶书锋,夏明哲,逯东霞. 2005. 新疆库鲁克塔格地区二叠纪脉岩群岩石地球化学特征,Nd、Sr、Pb 同位素组成与岩石成因. 地质学报, 70(6): 823 – 833
康玉柱. 2008. 新疆两大盆地石炭—二叠系火山岩特征与油气. 石油实验地质, 30(4): 321 – 327
李大明,陈丛林,李齐,郑德文. 2006. 以火山岩层序剖面 K-Ar 测年确定辽西四合屯古生物化石地层的年代. 岩石学报, 22(6): 1627 – 1632
李勇,苏文,孔屏,钱一雄,张克银,张明利,陈跃,蔡习尧,尤东华. 2007. 塔里木盆地塔中-巴楚地区早二叠世岩浆岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄. 岩石学报, 23(5): 1098 – 1103
李曰俊,宋文杰,买光荣,周黎霞,胡剑风,尚新路. 2001. 库车和北塔里木前陆盆地与南天山造山带的耦合关系. 新疆石油地质, 22(5): 76 – 81
刘和甫,汪泽成,熊保贤,李永林,刘立群,张建珍. 2000. 中国中西部中、新生代前陆盆地与挤压造山带耦合分析. 地学前缘, 7(3): 55 – 72
刘玉琳,张志诚,郭召杰,黄宝玲,穆志国. 1999. 库鲁克塔格基性岩墙群 K-Ar 等时年龄测定及其有关问题讨论. 高校地质学报, 5(1): 55 – 59
沈步明,周德进. 1996. 中国东部新生代玄武岩稀土配分的分形结构因子与其它化学组成的相关性. 岩石学报, 12(1): 99 – 114
汤良杰. 1994. 塔里木盆地构造演化与构造样式. 地球科学-中国地质大学学报, 19(6): 742 – 754
王超,罗金海,车自成,刘良,张敬艺. 2009. 新疆欧西达坂花岗质岩体地球化学特征和锆石 LA-ICP-MS 定年:西南天山古生代洋盆俯冲作用过程的启示. 地质学报, 83(2): 272 – 283
王璞珺,高有峰,任延广,刘万洙,张建光. 2009. 松辽盆地青山口组橄榄粗安岩:^{40}Ar-^{39}Ar 年龄、地球化学及其成盆、成烃和成藏意义. 岩石学报, 25(5): 1178 – 1190
谢昕,徐夕生,邹海波,邢光福. 2001. 中国东南沿海中-新生代玄武岩微量元素和 Nd-Sr-Pb 同位素研究. 岩石学报, 17(4): 617 – 628
新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1993. 新疆维吾尔自治区区域地质志. 北京: 地质出版社,54 – 57
杨树锋,陈汉林,冀登武,厉子龙,董传万,贾承造,魏国齐. 2005. 塔里木盆地早-中二叠世岩浆作用过程及地球动力学意义. 高校地质学报, 11(4): 504 – 511
张宝民,陈建平,边立曾,张水昌. 2006. 再论塔里木盆地库车坳陷三叠纪—侏罗纪的海泛事件. 地质学报, 80(2): 236 – 244
张希明,刘青芳,王贵全. 1996. 塔里木盆地北部三叠-侏罗纪物源区板块构造背景与沉积盆地类型关系的研究. 石油实验地质, 18(3): 252 – 258
张志诚,郭召杰,刘玉琳,刘树文. 2004. 新疆库鲁克塔格地区基性岩墙群氦氩同位素组成及其地质意义. 新疆地质, 22(1): 641 – 647