第30卷第2期 地球科学与环境学报 No. 2 Vol. 30
2008年6月 Journal of Earth Sciences and Environment Jun. 2008

西天山阿吾拉勒阔尔库岩基解体的岩石化学证据

杨高学[1]，李永军[1]，郭文杰[2]，毕明波[1]，
栾新东[2]，李注苍[1]，李　宏[2]，佟黎明[2]

（1. 长安大学 地球科学与资源学院，陕西 西安 710054；2. 新疆地质矿产勘查开发局 第九地质大队，新疆 乌鲁木齐 830000）

摘要：西天山阿吾拉勒阔尔库岩基被解体为早石炭世赛肯都鲁序列和早二叠世阔尔库序列。岩石化学研究表明，赛肯都鲁序列中 SiO_2 质量分数平均 62.81%，富 CaO 贫 Na_2O 和 K_2O，K_2O 小于 Na_2O，属钙碱性次铝质，为壳幔混源岛弧花岗岩，与研究区的早石炭世大哈拉军山组钙碱性岛弧火山岩共同构成了岛弧火成岩组合；而阔尔库序列 SiO_2 质量分数平均为 70.99%，贫 CaO 而富 Na_2O 和 K_2O，碱值明显高于赛肯都鲁序列，K_2O 大于 Na_2O，属碱性弱过铝质，为壳源后造山花岗岩，与晚石炭世—早二叠世大陆裂谷碱性双峰式火山岩共同构成了板内裂谷火成岩组合。岩石化学特征为这一岩基的解体提供了有力的证据。

关键词：花岗岩；岩石化学；阔尔库岩基；阿吾拉勒；西天山
中图分类号：P584　**文献标志码**：A　**文章编号**：1672-6561(2008)02-0125-05

Petrochemical Evidence and Its Significance of Disintegration of Kuoerku Granite Batholith in Awulale, Western Tianshan

YANG Gao-xue[1], LI Yong-jun[1], GUO Wen-jie[2], BI Ming-bo[1],
LUAN Xin-dong[2], LI Zhu-cang[1], LI Hong[2], TONG Li-ming[2]

(1. *School of Earth Sciences and Resources, Chang'an University, Xi'an* 710054, *Shaanxi, China*; 2. *No. 9 Geological Party, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Urumqi* 830000, *Xinjiang, China*)

Abstract: The Kuoerku batholith in the Awulale of western Tianshan is disintegrated into two intrusive series, that is, the early Carboniferous Saikendulu series and the early Permian Kuoerku series. Petrochemistry study indicates that in Saikendulu series, the average SiO_2 content is 62.81%, it is rich in CaO but poor in Na_2O and K_2O, the contents of K_2O is less than the one of Na_2O, showing the characters of calc-alkline, sub-aluminum derived from the mixing of mantle and crustal materials, and it constitutes island-arc igneous association together with the calc-alkline island-arc igneous rock of the early Carboniferous Dahalajunshan Formation. However, in the Kuoerku series, the average SiO_2 content is 70.99%, it is poor in CaO but rich in Na_2O and K_2O, the contents of Na_2O and K_2O are distinctly higher than those in the Saikendulu series, the contents of K_2O is more than the one of Na_2O, showing the characters of alkaline and over-aluminum and post-orogenic granite derived from crust, and it constitutes intraplate rift igneous association together with alkline bimodal igneous rock of the later Carboniferous to early Permian in terrestrial rift. The characteristics of petrochemistry provides evidence for the disintegration of the Kuoerku batholith.

Key words: granite; petrochemistry; Kuoerku batholith; Awulale; Western Tianshan

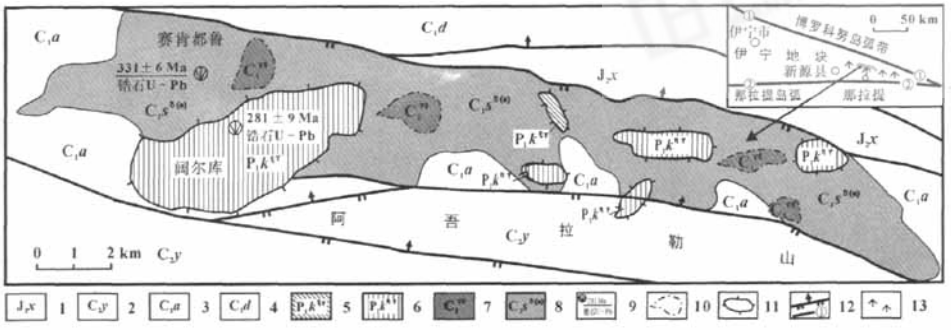
0　引言

阿吾拉勒山脉近东西向展布于伊宁地块东段。区内构造活动强烈，岩浆活动频繁，火成岩出露面积约占70%，是研究伊宁地块乃至西天山构造带火山-岩浆事件和区域构造演化的理想地区。

收稿日期：2007-10-20
基金项目：新疆维吾尔自治区区域地质矿产调查项目(XJQDW-2003-07)
作者简介：杨高学(1980-)，男，宁夏固原人，从事构造地质学研究。E-mail: mllllmygxxgy@126.com

万方数据

前人对区内沉积建造有较多研究[1-6]，已初步证实本区早石炭世为岛弧火山-沉积建造[7-11]，晚石炭世随着依连哈比尔尕碰撞带的缝合，中、北天山焊结进入统一板内演化阶段[12-13]。相比之下，本区侵入岩研究程度低，尤其缺乏对复杂的岩基解体等研究，导致构造岩石组合分析中，侵入岩类难以被正确配套。笔者等新近研究表明，区内阔尔库岩基是在 2 种截然不同大地构造背景下形成的不同时代、不同岩石类型、不同成因特征的复式杂岩体，故解体为早石炭世赛肯都鲁序列和早二叠世阔尔库序列(图 1)。二者具有显著的成分及组构差异，超动接触关系清晰，同位素年龄分别为 331 Ma 和 281 Ma。有关岩基解体的主要岩石学、接触关系、时代依据等特征，笔者已在另文讨论[14]，这里进一步讨论 2 个序列的岩石化学差异并进行构造环境配套分析。



1—中侏罗世西山窑组；2—晚石炭世伊什基里克组；3—早石炭世晚期阿克沙克组；4—早石炭世早期大哈拉军山组；5—早二叠世阔尔库序列正长花岗岩；6—早二叠世阔尔库序列二长花岗岩；7—早石炭世赛肯都鲁序列花岗闪长岩；8—早石炭世赛肯都鲁序列(石英)闪长岩；9—同位素年龄样位置、数据及分析方法；10—岩体内脉动接触；11—序列间超动接触；12—断裂及区域性断层：①为博罗克努山大断裂(据新疆地勘局新源县托库兹库马拉克一带 1∶5 万区域地质图改编)；②为那拉提大断裂(据新疆地勘局新源县托库兹库马拉克一带 1∶5 万区域地质图改编)；13—阿吾拉勒山脉(据新疆地勘局新源县阿克塔斯一带 1∶5 万区域地质图改编)

图 1 阔尔库岩基地质略图

Fig. 1 Geological Sketch Map of Kuoerku Granitic Batholith

1 岩石化学特征

岩基的岩石化学数据及参数见表 1，利用岩石化学计算并进行 R_1-R_2 投影图解定名，多数样品的投图定名与薄片定名吻合(图 2)。赛肯都鲁序列样品岩石化学质量分数平均值 SiO_2 62.81%，TiO_2、CaO、MgO 高于中国花岗岩与天山花岗岩平均值，Na_2O、K_2O 较低，且 K_2O 小于 Na_2O，随着 SiO_2 增加，TiO_2、FeO、Fe_2O_3、CaO、MnO、MgO 显著降低，K_2O 有上升趋势，Al_2O_3、Na_2O、P_2O_5 无明显变化。该序列碱度值为 0.17～0.45，明显小于 0.9，属于钙碱性系列，这与图 3 投点结果相吻合。所有样品的铝饱和指数值都小于 1.0，为次铝质花岗岩。分异指数为 23.87～81.14，平均为 58.69；分化系数为 48.27～81.14，平均 71.20。岩石化学参数反映了该序列为岩浆结晶分异作用和岩浆成分演化的初始阶段的产物，并且侵位深度较大。随着 SiO_2 的升高，其他氧化物呈现良好的线性关系，说明岩浆演化过程中结晶分异作用较显著。

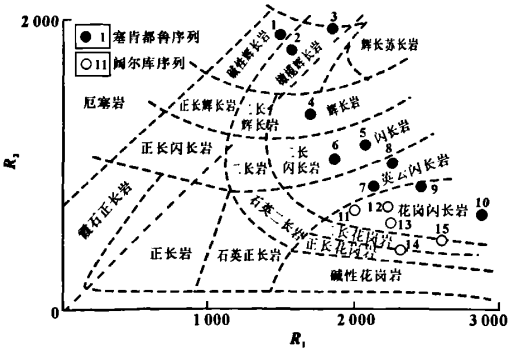


图 2 阔尔库岩基 R_1-R_2 岩石分类图解[17-19]

Fig. 2 R_1-R_2 Diagram for Classification of the Kuoerku Batholith

阔尔库序列中样品岩石化学质量分数平均值 SiO_2 70.99%，SiO_2、TiO_2、K_2O 高于中国花岗岩与天山花岗岩平均值，而 Al_2O_3、CaO 略低于平均值。CaO 较低，而 Na_2O、K_2O 明显高于赛肯都鲁序列，且 K_2O 大于 Na_2O，随着 SiO_2 的增加，TiO_2、Al_2O_3、

万方数据

表 1　阔尔库岩基岩石化学含量及参数

Tab. 1　Petrochemical Datum and Indices of Kuoerku Granitic Batholith　　w_B/%

序列	序号	样号	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	碱值	*AR*	A/CNK	I_w	I_d	I_s
赛肯都鲁	1	Ⅶ08	45.96	3.22	13.11	2.02	14.61	0.23	6.65	10.96	2.65	0.46	0.13	0.24	1.30	0.53	74.57	24.55	25.20
	2	Ⅶ09	49.57	2.00	15.37	3.26	10.38	0.19	5.94	9.24	3.10	0.68	0.19	0.25	1.36	0.68	74.25	30.25	25.43
	3	Ⅶ05	50.66	0.58	17.84	2.08	7.37	0.17	8.52	9.55	2.25	0.82	0.16	0.17	1.25	0.81	75.51	23.87	40.49
	4	XVI8	59.34	0.86	17.97	2.20	3.57	0.11	3.61	6.05	4.90	1.25	0.14	0.34	1.69	0.88	81.14	56.55	23.25
	5	XVI20	61.90	0.80	15.47	1.44	5.03	0.13	3.10	5.80	3.13	3.03	0.16	0.40	1.82	0.82	77.90	58.54	19.71
	6	XVI21	63.21	0.68	16.70	1.38	3.89	0.05	2.42	4.36	3.93	3.18	0.19	0.43	2.02	0.94	81.00	65.94	16.35
	7	Ⅶ03	66.94	0.54	15.28	1.81	3.47	0.11	1.50	3.31	3.79	3.12	0.12	0.45	2.18	0.98	73.99	72.60	10.96
	8	Ⅶ04	70.38	0.53	15.48	0.42	2.02	0.06	1.14	6.44	3.11	0.30	0.13	0.22	1.37	0.90	50.75	63.69	16.31
	9	XVI22	71.97	0.56	13.95	0.35	1.84	0.03	1.26	5.12	3.68	1.11	0.13	0.34	1.67	0.84	59.86	71.87	15.29
	10	Ⅶ06	74.86	0.30	14.08	0.26	1.55	0.02	0.46	4.54	3.68	0.18	0.06	0.27	1.52	0.97	48.27	73.91	7.50
	平均值		62.81	0.95	15.28	1.42	5.12	0.11	3.01	5.78	3.47	1.91	0.15	0.36	1.94	0.86	71.20	58.69	17.57
阔尔库	11	Ⅶ02	64.62	1.07	15.18	1.23	5.58	0.15	1.20	3.33	3.96	3.40	0.29	0.48	2.32	0.93	77.16	70.74	7.81
	12	Ⅵ-01	68.29	0.53	15.48	1.15	3.49	0.05	1.80	2.03	3.87	3.10	0.20	0.45	2.32	1.15	72.16	76.35	13.43
	13	D2444	71.28	0.34	14.69	0.91	2.52	0.04	0.71	1.72	4.04	3.66	0.10	0.52	2.77	1.07	74.67	83.58	5.96
	14	Ⅶ01	74.30	0.28	12.87	0.62	2.07	0.05	0.30	0.60	3.47	5.38	0.06	0.69	4.83	1.02	80.03	91.79	2.53
	15	Ⅵ-02	76.46	0.11	12.89	0.33	1.33	0.02	0.07	0.23	3.11	5.42	0.03	0.66	4.71	1.13	75.45	94.54	0.65
	平均值		70.99	0.47	14.22	0.85	3.00	0.06	0.82	1.58	3.69	4.19	0.14	0.56	3.39	1.06	75.89	83.40	6.08
天山花岗岩[15]			70.44	0.33	14.27	1.64	1.74	0.05	0.82	1.98	3.89	4.00	0.09	0.55	2.89	0.99	77.13	83.83	6.78
中国花岗岩[16]			70.40	0.32	14.48	1.38	1.77	0.08	0.94	1.93	3.77	3.79	0.18	0.52	2.71	1.04	74.44	83.19	8.58
中国闪长岩[16]			57.39	0.89	16.42	3.10	4.15	0.18	3.77	5.58	4.26	2.57	0.37	0.60	2.37	0.82	75.51	27.32	25.14

注：样品由宜昌地质矿产研究所分析，经查其 H_2O^+ 和 H_2O^-（包括烧失量）均小于 2.5%，氧化物总量 99.75%～100.25%，精度符合标准

FeO、Fe_2O_3、CaO、MnO、Na_2O、P_2O_5 线性降低，K_2O 线性上升，而 MgO 相对稳定。该序列碱度值为 0.45～0.69，平均 0.56，高于赛肯都鲁序列的平均值 0.36，为碱性系列，这与图 3 相一致。铝饱和指数值大于 1.0 小于 1.1，属于弱过铝质岩类。随着 SiO_2 的增加分异指数由小变大，反映岩浆分异程度较好。固结指数远小于 40，证明岩浆演化是分异结晶作用的结果。风化指数值均大于 70，表明采样岩石较新鲜，具有代表性。从稳定增高的酸度、碱值、碱度率、分异指数和稳定降低的固结指数来看，阔尔库序列的岩浆是连续演化的。

对比分析表明，赛肯都鲁序列中 SiO_2 质量分数平均值为 62.81%，CaO 相对较高，而 Na_2O、K_2O 较低，属于钙碱性系列，而阔尔库序列中 SiO_2 平均 70.99%，CaO 较低，而 Na_2O 和 K_2O 明显高于赛肯都鲁序列，属于碱性系列。

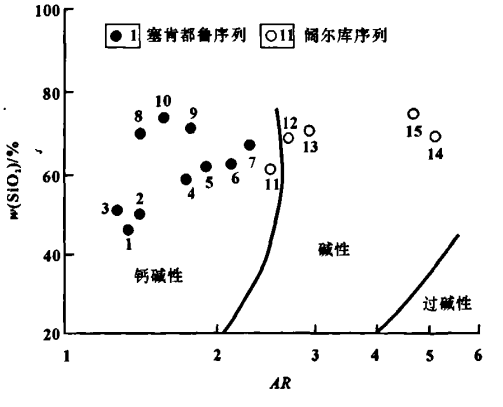


图 3　阔尔库岩基 SiO_2-*AR* 图解[18]

Fig. 3　A SiO_2-Alkali Diagram of the Kuoerku Granitic Batholith

2　源岩分析

利用岩石化学分析数据进行有关源岩成因判别（图 4～5），赛肯都鲁序列为基性岩的部分熔融产物（可能有少量成岩过程中的混染，这与岩体中有灰岩、泥质砂岩的捕虏体和顶蚀残留体等野外地质事实吻合）；阔尔库序列则主要为壳

万方数据

源变泥质岩和变杂砂岩的部分熔融产物。二者之源岩特征有显著区别，可以说明二者是非同源岩浆岩。

3 构造环境判别

赛肯都鲁序列在 R_1-R_2 构造环境图解（图 6）上主要位于板块碰撞前和碰撞后抬升的区域，在图 7 中大部分投点亲岛弧、大陆弧和碰撞带，而疏与裂谷与大陆的造陆抬升，因而该序列为岩浆分异程度较高的岛弧花岗岩。而阔尔库序列在 R_1-R_2 构造环境图解上主要位于同碰撞和后造山区域，在图 7 中具有明显的亲后造山特征，说明该序列为后造山型花岗岩。结合阔尔库岩基中已获得的大量元素地球化学分析数据进行相关分析研究（另文讨论）确认，赛肯都鲁序列为钙碱性次铝质岛弧型花岗岩，其源岩为壳幔混合源，与同时期的大哈拉军山组在岩石化学及其所显示的构造环境极为相似[7-9,12]；而阔尔库序列

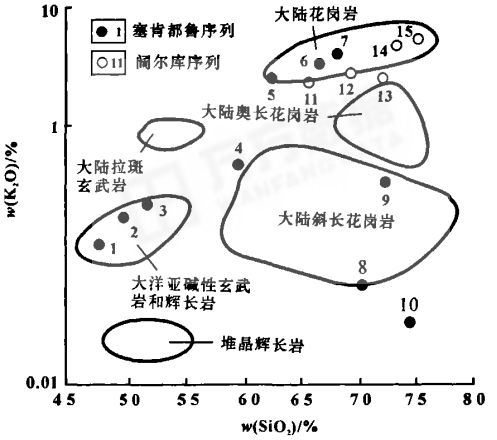


图 5 阔尔库岩基 K_2O-SiO_2 分类图[17-19]

Fig. 5 K_2O-SiO_2 Diagram of Kuoerku Granitic Batholith

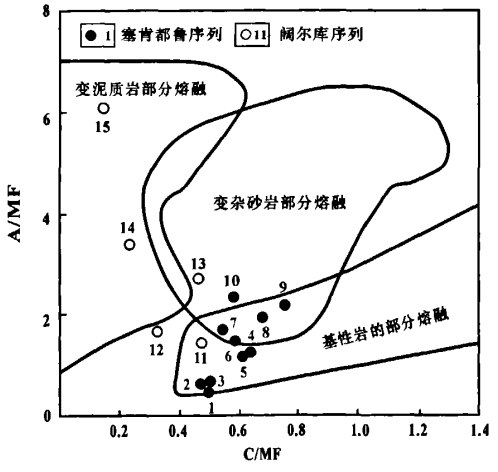


图 4 阔尔库岩基 A/MF-C/MF 判别图[17-19]

Fig. 4 A/MF-C/MF Diagram of Kuoerku Granitic Batholith

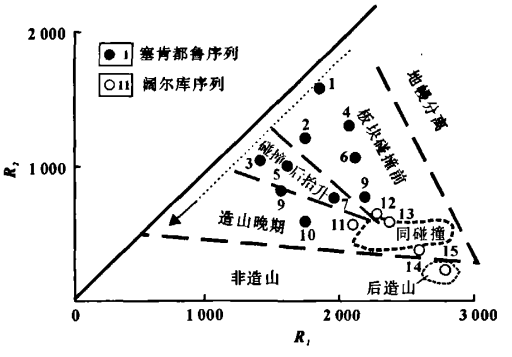
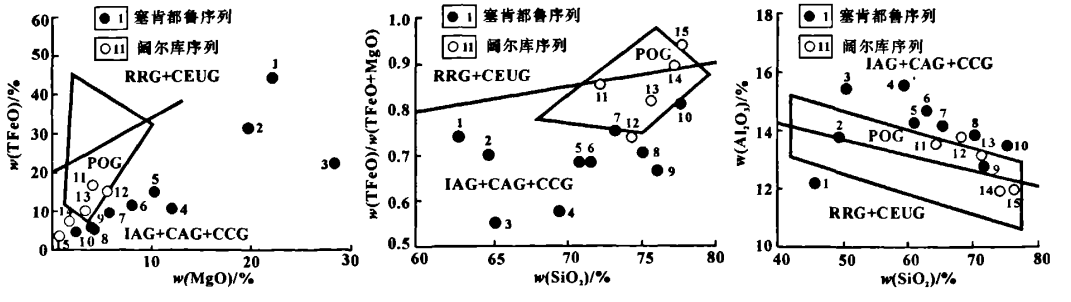


图 6 阔尔库岩基 R_1-R_2 构造环境图解[17]

Fig. 6 R_1-R_2 Tectonic Environments Discrimimiation Diagram of Kuoerku Granitic Batholith



IAG—岛弧；CAG—大陆弧；CCG—碰撞带；POG—后造山；RRG—与裂谷有关；CEUG—与大陆的造陆抬升有关；引自文献[18-20]

图 7 阔尔库岩基构造环境图解

Fig. 7 Tectonic Environments Discrimimiation Diagram of Kuoerku Granitic Batholith

万方数据

为碱性过铝质后造山型花岗岩，其源岩为壳源，与同时期的伊什基里克组[9,13]及时代稍晚的乌朗组火山岩在岩石化学及其所显示的构造环境上有一定相似性。两个构造岩石组合的主要对比特征如表 2。

4　结语

通过多种方法的岩石化学资料统计分析、参数判别、图解[21-24]等研究证实，早石炭世赛肯都鲁序列与早二叠世阔尔库序列具有显著差异。赛肯都鲁序列为壳幔混和成因的钙碱性岛弧花岗岩，与研究区的早石炭世大哈拉军山组钙碱性岛弧火山岩共同构成了岛弧火成岩组合，而阔尔库序列为壳源成因的碱性后造山花岗岩，与晚石炭世—早二叠世碱性大陆裂谷环境双峰式火山岩共同构成了板内裂谷火成岩组合。显然，岩石化学特征为这一岩基解体提供了有力证据。赛肯都鲁序列和阔尔库序列，分别与同一构造旋回的火山-沉积地层共同构成大地构造背景显著有别的两个构造岩石组合。阔尔库岩基记录了西天山岛弧带在石炭纪完成俯冲碰撞、进入早二叠世早期后造山阶段的重要演化信息，因而这一解体，为丰富区内构造岩石组合及其构造演化提供了重要佐证。

表 2　阔尔库岩基与阿吾拉勒地区同构造旋回火山-沉积地层主要特征对比

Tab. 2　Contrast of Kuoerku Batholith and Stratum of the Syn-tectonic Gyration Volcano-Sediment in Awulale Region, Wstern Tianshan

构造岩石组合	地质体	岩石组合	岩石化学特征	构造环境	物源
晚石炭世—早二叠世板内裂谷碱性双峰式火成岩组合	侵入岩 阔尔库序列	二长花岗岩-正长花岗岩	碱性，A/CNK 大于 1.0，贫 CaO 富 Na_2O 和 K_2O，Na_2O 小于 K_2O	后造山	壳源
	火山岩 乌朗组	玄武岩-流纹岩及同质火山角砾岩组成的韵律	碱性，富 K_2O、Al_2O_3 和低 Na_2O，里特曼指数大于 4	板内裂谷	壳源
	火山岩 伊什基里克组	玄武岩-流纹岩	碱性，玄武岩和安山岩中 Na_2O 明显大于 K_2O，英安岩和流纹岩中 K_2O 明显大于 Na_2O	板内裂谷	壳源
早石炭世岛弧钙碱性火成岩组合	侵入岩 赛肯都鲁序列	（石英）闪长岩-花岗闪长岩	钙碱性，A/CNK 小于 1.0，富 CaO 而贫 Na_2O、K_2O，K_2O 大于 Na_2O	岛弧	壳幔混源
	火山岩 大哈拉军山组	安山岩-英安岩-流纹岩及同质火山碎屑岩	钙碱性岛弧，里特曼指数小于 4，低 TiO_2	岛弧	壳幔混源

参考文献：

[1] 李锦轶，王克卓，李亚萍，等. 天山山脉地貌特征、地壳组成与地质演化[J]. 地质通报，2006，25(8)：895-909.

[2] 张国伟，李三忠，刘俊霞，等. 新疆伊犁盆地的构造特征与形成演化[J]. 地学前缘，1999，6(4)：203-214.

[3] 张良臣，吴乃元. 天山地质构造及演化史[J]. 新疆地质，1985，3(3)：1-14.

[4] 成守德，王元龙. 新疆大地构造演化基本特征[J]. 新疆地质，1998，16(2)：97-107.

[5] 成守德，王广瑞，杨树德，等. 新疆古板块构造[J]. 新疆地质，1986，4(2)：1-26.

[6] 陈哲夫，梁云海. 新疆多旋回构造与板块运动[J]. 新疆地质，1991，9(2)：95-107.

[7] 邵铁全，石　莹，靳　红，等. 新疆西天山大哈拉军山组火山岩岩石化学特征及地质意义[J]. 新疆地质，2006，24(3)：218-222.

[8] 李注苍，李永军，李景宏，等. 西天山阿吾拉勒一带大哈拉军山组火山岩地球化学特征及构造环境分析[J]. 新疆地质，2006，24(2)：120-124.

[9] 朱永峰，周　晶，宋　彪，等. 新疆大哈拉军山组火山岩的形成时代问题及其解体方案[J]. 中国地质，2006，33(3)：487-497.

[10] 崔尚森，吴文奎，姜常义，等. 阿吾拉勒山区中石炭统含矿地层的沉积环境分析[J]. 西安地质学院学报，1997，19(1)：1-6.

[11] 高永利，李永军，孔德义，等. 西天山阿吾拉勒一带阿克沙克组的厘定[J]. 新疆地质，2006，24(3)：215-218.

[12] 姜常义，吴文奎，张学仁，等. 从岛弧向裂谷的变迁——来自阿吾拉勒地区火山岩的证据[J]. 岩石矿物学杂志，1995，14(4)：294-295.

[13] 刘　静，李永军，王小刚，等. 西天山阿吾拉勒一带伊什基里克组火山岩地球化学特征及其构造环境[J]. 新疆地质，2006，24(2)：105-108.

[14] 李永军，杨高学，郭文杰，等. 西天山阿吾拉勒阔尔库岩基的解体及地质意义[J]. 新疆地质，2007，25(3)：233-236.

[15] 新疆地质矿产局区调队. 天山花岗岩地质[M]. 北京：地质出版社，1985.

[16] 中国科学院贵阳地球化学研究所. 华南花岗岩的地球化学[M]. 北京：科学出版社，1979.

（下转第 155 页）

万方数据

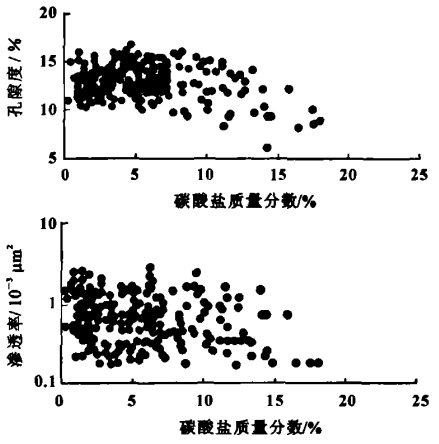


图 9　大路沟地区长 6 油层组碳酸盐质量分数与孔隙度、渗透率关系

Fig. 9　Mass Ratio of Carbonate Cements VS Porosity and Permeability in the Chang-6 of Yanchang Formation in Dalugou Area

参考文献：

[1] 罗蛰谭，王允诚. 油气储集层的孔隙结构[M]. 北京：科学出版社，1986.

[2] 朱国华. 陕甘宁盆地西南部上三叠统延长统低渗透砂体和次生孔隙砂体的形成[J]. 沉积学报，1985，3(2)：1-17.

[3] 长庆油田石油地质志编写组. 中国石油地质志(卷十二)·长庆油田[M]. 北京：石油工业出版社，1992.

[4] Folk R L, Andrews P B, Lewis D W. Detrital Sedimentary Rock Classification and Nomenclature for Use in New Zealand[J]. New Zealand Journal of Geology and Geophysics, 1970, 13: 937-968.

[5] 赵　虹，党　犇，党永潮，等. 安塞油田延长组储集层特征及物性影响因素分析[J]. 地球科学与环境学报，2005，27(4)：45-48.

[6] 蔡进功，谢忠怀，田　芳，等. 济阳拗陷深层砂岩成岩作用及孔隙演化[J]. 石油与天然气地质，2002，23(1)：84-88.

[7] Wescott W A. Diagenesie of Cotton Valley Sandstone (Upper Jurassic) East Texas, Implications of Tight Gas Formation Pay Recognition[J]. AAPG, 1983, 67(6): 1002-1013.

[8] 黄思静，谢连文，张　萌，等. 中国三叠系陆相砂岩中自生绿泥石的形成机制及其与储层孔隙保存的关系[J]. 成都理工大学学报：自然科学版，2004，31(3)：273-280.

[9] 孟国玲，吴吉元. 鄂尔多斯盆地北部塔巴庙地区二叠系储层物性影响因素研究[J]. 西安工程学院学报，2002，24(4)：13-17.

[10] 李　红，柳益群，刘林玉. 鄂尔多斯盆地西峰油田延长组长 8 低渗透储层成岩作用[J]. 石油与天然气地质，2006，27(2)：210-217.

[11] 李　凌，王兴志，方少仙，等. 鄂尔多斯东部上古生界储层特征及控制因素[J]. 西南石油学院学报，2002，24(6)：5-7.

[12] 韩会平，王宝清，李　勇，等. 鄂尔多斯盆地侯北地区三叠系延长组长 6 油层组储层特征[J]. 西安石油大学学报：自然科学版，2005，20(3)：61-67.

(上接第 129 页)

[17] De La Roche, Leteeeier H, Grande Claude J P, et al. A Classification of Volcanic and Plutonic Rocks Using R_1-R_2 Diagrams and Major Element Analyses: Its Relationships and Current Nomemclature[J]. Chem Geol, 1980, 29: 183-210.

[18] 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.

[19] 高秉章，洪大为，郑基俭，等. 花岗岩类区 1∶5 万区域地质填图方法指南[M]. 武汉：中国地质大学出版社，1991.

[20] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic Discrimination of Granitoids[J]. Geol Soc Am Bull, 1989, 101: 635-643.

[21] 李锁成，李永军，李金宝，等. 天水坪道花岗岩体的地球化学特征及构造环境[J]. 地球科学与环境学报，2005，27(5)：33-37.

[22] 李永军，杨高学，庞振甲，等. 天水渭北地区变质花岗岩类岩石学特征及其地质时代[J]. 地球科学与环境学报，2007，29(1)：6-10.

[23] 李注苍，李永军，曾俊杰. 西秦岭糜署岭岩浆混合花岗岩的地球化学特征及构造意义[J]. 地球科学与环境学报，2005，27(2)：12-16.

[24] 李永军，李注苍，丁仨平，等. 西秦岭温泉花岗岩体岩石学特征岩浆混合标志[J]. 地球科学与环境学报，2004，26(3)：7-12.

万方数据