

新疆天山表壳元素地球化学特征

汪 洋^{1,2}, 杜佩轩³

1. 中国科学院 广州地球化学研究所, 广州 510640; 2. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083;

3. 长安大学 地球科学与国土资源学院, 西安 710054

摘 要: 根据天山地区(42°44'N, 81°89'E) 1:20 万化探采集的 900 余个岩石样品的分析结果, 基于全样本统计和迭代剔除方法, 得到新疆天山地区表壳(出露地壳)的 39 种元素丰度值; 对其中的 SiO_2 、 TiO_2 、 Al_2O_3 、 TFe_2O_3 、 MgO 、 MnO 、 CaO 、 Na_2O 、 K_2O 、 P_2O_5 10 种常量元素, 按氧化物之和为 100% 进行归算。与全球大陆上地壳元素丰度值相比, 天山地区表壳元素丰度富集 SiO_2 、 MnO 和 Ag 、 As 、 Bi 、 Sb 元素, 明显亏损 CaO 和 Be 、 Co 、 Cr 、 Ni 、 Mo 、 Sn 、 V 、 W 等元素。从元素比值来看, 该区表壳的 Ba/La 、 K/La 、 K/Th 、 Nb/La 、 Th/La 、 Y/La 值与全球大陆上地壳相应元素值相当; 而 K/Na 、 La/As 、 La/Sb 值明显低于全球大陆上地壳。该区表壳化学成分相当于花岗闪长岩, 同时表现出相对富钠和 As 、 Sb 元素的特征; 这一地球化学特征与区内出露的表壳岩石主要是加里东期和海西期岛弧造山作用的产物有关, 相对富钠的成分特征与岛弧岩浆活动中的 Adakite 质岩浆作用有关。

关 键 词: 地球化学; 元素丰度; 表壳; 天山; 新疆

中图分类号: P611 文献标识码: A 文章编号: 1007-2802(2004)01-0005-05

天山山脉地处新疆中部, 属于古亚洲洋陆缘活动带的一部分; 区内地质构造复杂, 矿产资源丰富, 是我国重要的贵金属和有色金属成矿带之一^[1]。区域元素地球化学丰度特征对找矿勘探和成矿作用研究有着重要意义。20 世纪 90 年代以来对包括天山在内的新疆北部地区的区域地球化学研究先后有: 1) 黎彤和李峰^[2]对新疆地壳的整体化学成分的初步探讨, 但没有专门研究天山地区的地壳成分。2) 杜佩轩^[3]发表过天山地区地表岩石样品的化探分析结果, 但未做深入研究。3) 倪守斌等^[4]对新疆北部地区各大地构造单元地壳和表壳的化学元素丰度的研究, 其成果较为系统, 但仍存在一些不足: 首先, 研究结果是板块大地构造单元的平均值, 如哈萨克斯坦板块包括了天山和准噶尔盆地, 没有专门给出天山的表壳成分; 其次, 统计计算中先求新疆北部各类岩性的平均成分, 再按各大地构造单元的岩性比例计算其区域元素丰度, 导致不同大地构造单元样本的混合, 这样求出的各大地构造单元区域元素丰度是否能够代表其真实的丰度值, 值得商榷。

本文根据天山地区出露岩石的地球化学样品的分析结果探讨天山表壳(出露地壳)的元素地球化学

特征, 以期加深对区域成矿地球化学背景的认识, 进一步理解其区域地球化学特征演化规律。

1 区域采样和分析概况

资料来自 42°44'N、81°89'E 范围内天山地区的 17 幅 1:20 万区域化探的 966 个岩石样的化学分析结果^[3]。样品新鲜; 一般多点组合, 56 个采点合成一个样品; 按各地质单元面积的 3%~5% 布设样品^[3]。样品经无污染中碎后, 棒磨或球磨加工至 200 目以下, 用等离子光谱法测定 Ba 、 Be 、 Co 、 Cr 、 Cu 、 Fe 、 La 、 Li 、 Mn 、 Nb 、 Ni 、 P 、 Pb 、 Sr 、 Th 、 Ti 、 V 、 Y 、 U 、 CaO 、 Al_2O_3 、 K_2O 、 MgO 、 Na_2O ; X 荧光光谱法测定 B 、 Ba 、 Co 、 Cr 、 Fe 、 La 、 Li 、 Mn 、 Nb 、 Ni 、 Pb 、 Sr 、 Th 、 Ti 、 V 、 Y 、 Zn 、 Zr 、 Al_2O_3 、 CaO 、 K_2O 、 MgO 、 SiO_2 ; 原子荧光法测定 Au 、 As 、 Bi 、 Sb ; 原子吸收法测定 Ag 、 Cd 、 Cu 、 Li 、 Hg ; 发射光谱法测定 Ag 、 Be 、 B 、 Sn 、 Zn 、 Zr ; 极谱法测定 Be 、 Mo 、 W 、 U 、 Nb ; 化学光谱法测定 Au ; 离子选择电极法测定 F 、 Mo 、 W ; 比色法测定 SiO_2 ; 激光荧光法测定 U ^[3]。由于样品分析与区域化探同时进行, 所以对某些元素不同图幅采用了不同的分析方法。元素分析检出下限见表 1。

收稿日期: 2003-02-15 收到, 10-16 改回

基金项目: 中国博士后科学基金、中国科学院王宽诚博士后奖励基金和中国科学院南海海洋研究所边缘海地质与古环境开放基金课题(BYH02A03)联合资助

第一作者简介: 汪洋(1969—), 男, 博士, 研究员, 主要从事岩石学和地球化学研究。

表 1 新疆天山地区岩石样品元素分析检出下限
Table 1 The detection limit of element analysis for the rock samples from Tianshan region

元素	达到的检出下限	元素	达到的检出下限
Ag	2040	Mn	30
Al ₂ O ₃	0.05	Mo	0.4
As	1	Na ₂ O	0.1
Au	0.20.5	Nb	5
B	5	Ni	5
Ba	40	P	50
Be	0.5	Pb	5
Bi	0.1	Sb	0.2
CaO	0.05	SiO ₂	0.1
Cd	0.1	Sn	1
Co	11.5	Sr	10
Cr	8	Th	4
Cu	1	Ti	100
F	50	U	1
TFe	200	V	10
Hg	10	W	0.5
K ₂ O	0.25	Y	10
La	15	Zn	10
Li	5	Zr	10
MgO	0.05		

注: 氧化物丰度值单位为%, TFe 为全铁; Ag、Au、Hg 丰度值单位为 10⁻⁹, 其余为 10⁻⁶。资料来源: 文献[3]

丰度值计算采用全样本统计, 即所有样品参加丰度计算; 再以迭代剔除法剔除平均值加 3 倍标准偏差以上的极大值和平均值减 2 倍标准偏差以下的极小值, 最后计算平均值^[3]。对 SiO₂、TiO₂、Al₂O₃、TFe₂O₃、MgO、MnO、CaO、Na₂O、K₂O、P₂O₅ 10 种常量元素, 按氧化物之和为 100% 进行归算(表 2)。

表 2 新疆天山地区表壳元素丰度
Table 2 Element contents of the supra-crust of Tianshan region

元素	元素丰度	<i>Kn</i>	元素	元素丰度	<i>Kn</i>
Ag	60.39	1.21	MnO	0.10	1.24
Al ₂ O ₃	15.13	1	Mo	0.34	0.23
As	3.33	2.22	Na ₂ O	3.5	0.9
Au	0.5	0.28	Nb	8.3	0.69
B	10.7	0.71	Ni	12.13	0.28
Ba	411.54	0.75	P ₂ O ₅	0.13	0.84
Be	1.41	0.47	Pb	13.73	0.81
Bi	0.15	1.18	Sb	0.25	1.25
CaO	1.69	0.4	SiO ₂	70.5	1.07
Cd	0.08	0.82	Sn	1.64	0.3
Co	7.68	0.45	Sr	215.23	0.61
Cr	14.15	0.17	Th	7.77	0.73
Cu	23.53	0.94	TiO ₂	0.54	0.79
F	436.87	—	U	2.15	0.77
TFe	4.28	0.76	V	59.34	0.55
Hg	11.93	—	W	0.7	0.35
K ₂ O	2.39	0.71	Y	16.75	0.76
La	21.36	0.71	Zn	62.42	0.88
Li	16.73	0.84	Zr	130.49	0.69
MgO	1.75	0.79			

注: 元素与化合物的单位同表 1; *Kn* 为与全球大陆上地壳元素丰度值^[6]相比的元素浓集系数

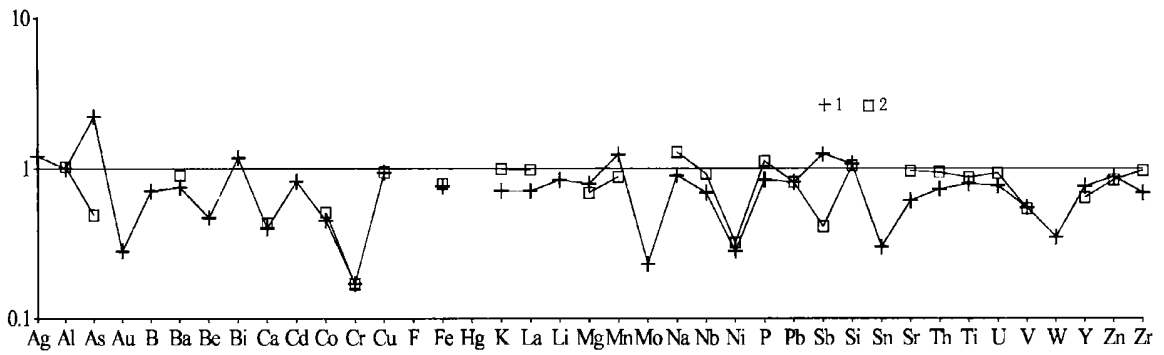
本文所称丰度值是通常理解的地质体中元素含量的平均值; 而不采用对样品进行正态分布检验后再经筛选的样品平均值。后者是为了消除成岩期后地质作用(包括成矿作用)叠加所造成的元素含量变化, 从而得到“初始平均含量”^[5]。研究地壳(和表壳)元素丰度的目的就在于, 获得其经历从成岩期直到现今所有地质作用(包括成矿作用)之后的元素平均含量, 以分析元素的相对富集或贫化。如果采用“初始平均含量”, 那么这种“平均含量”在刻划现今地壳(或表壳)是否富集或贫化有关的成矿元素方面的价值就值得商榷了。

2 天山表壳地球化学特征

(1) 元素丰度值特征: 为了直观地表示天山表壳元素丰度值的高低, 我们将其元素丰度值分别按全球上地壳和日本岛弧上地壳的元素丰度值^[6,7]进行归一化处理, 以表示丰度值的相对高低关系(图 1)。将天山表壳元素丰度与全球大陆上地壳丰度值相比的系数称为浓集系数(*Kn*)(表 2)。这比采用地壳整体丰度值来进行对比要好, 因为下地壳与上地壳的成分存在相当的差异^[8]。采用上地壳丰度值进行对比, 能够更好地反映天山表壳的元素丰度特征。

根据 E. A. K. Middlemost^[9] 修正的硅碱图(TAS), 天山表壳的平均成分相当于花岗闪长岩, 这与全球大陆上地壳和日本岛弧上地壳成分是相同的^[6,7]。从表 2 和图 1 可以看出, 天山表壳元素丰度值比全球上地壳略富集 SiO₂、MnO 和 Ag、As、Bi、Sb 元素(*Kn* > 1), 明显亏损 CaO 和 Be、Co、Cr、Ni、Mo、Sn、V、W 等元素(*Kn* < 0.6), 而 Al、Ba、Cd、Cu、Fe、K、La、Mg、Mn、Na、Nb、P、Pb、Th、Ti、U、Zn 等则略低或基本相当(0.6 < *Kn* < 1)。与日本岛弧上地壳成分相比, 天山表壳仅 Na、P 和 SiO₂ 略显富集, Al、Ba、Cu、Fe、K、La、Mg、Mn、Nb、Pb、Sr、Th、Ti、U、Zn、Zr 等基本相当, 而 CaO、As、Sb、Y 和相容元素 Co、Cr、Ni、V 均亏损(图 1)。

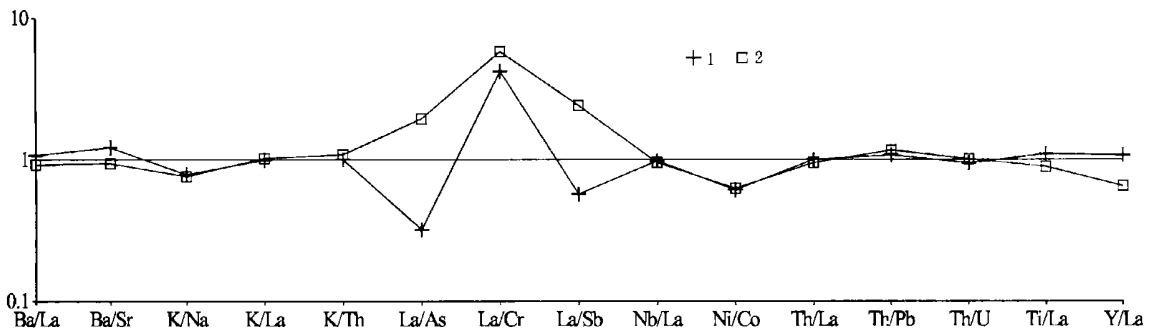
(2) 元素比值特征: 为了更好地表示天山表壳的元素地球化学特征, 我们计算了部分元素比值, 并分别与全球大陆上地壳和日本岛弧上地壳的相应比值进行对比(表 3, 图 2)。结果显示, 天山表壳与全球大陆上地壳或日本岛弧上地壳相比, Ba/La、K/La、Nb/La、Th/La、K/Th、Th/U、Ti/La 等值均相当。说明天山表壳相对于全球大陆上地壳或日本岛弧上地壳而言, 其大离子亲石元素(LILEs)和轻稀土元素



1. 据全球大陆上地壳丰度值标准化^[6]; 2. 据日本岛弧上地壳丰度值标准化^[7]

图 1 经大陆上地壳元素丰度值归一化的天山表壳元素丰度曲线

Fig. 1 The elements' abundance of supra-crust of Tianshan region normalized to the abundance of upper crusts from previous studies



图例和图注与图 1 相同

图 2 经大陆上地壳元素比值归一化的天山表壳元素比值

Fig. 2 The element ratio of supra-crust of Tianshan region normalized to the value of upper crusts from previous studies

表 3 新疆天山地区表壳元素比值

Table 3 Element ratio of the supra-crust of Chinese Tianshan region

元素比值	天山表壳	全球大陆上地壳 ^[6]	日本岛弧上地壳 ^[7]
Ba/La	19.27	18	21
Ba/Sr	1.91	1.57	2.04
K/Na	0.76	0.97	1.0
K/La	928	936	912
K/Th ($\times 10^4$)	0.26	0.26	0.24
La/As	6.41	20	3.30
La/Cr	1.51	0.36	0.26
La/Sb	85.44	150	35.6
Nb/La	0.39	0.40	0.41
Ni/Co	1.58	2.59	2.53
Th/La	0.36	0.36	0.38
Th/Pb	0.57	0.53	0.49
Th/U	3.61	3.82	3.58
Ti/La	151	138	170
Y/La	0.78	0.73	1.20

间未有明显的分馏作用。但天山表壳的 La/Cr 值高,表明相容元素 Cr、Ni 等的丰度相对于轻稀土亏损。同时,其 K/Na 值较全球大陆上地壳或日本岛弧上地壳略低,显示 Na 相对于 K 富集的特点。

天山表壳的 La/As 和 La/Sb 值明显低于全球大陆上地壳,但明显高于日本岛弧上地壳(表 3,图 2);这表明天山表壳的 As、Sb 丰度相对于全球大陆上地壳的平均成分是富集的,但相对于典型的岛弧地区的上地壳则是亏损的。天山表壳的 Y/La 值与全球大陆上地壳相当,但低于日本岛弧上地壳;这说明天山表壳轻、重稀土元素分异程度较日本岛弧上地壳为高,而与全球大陆上地壳的分异程度相近。

总之,从元素比值看,天山表壳的整体成分特征介于全球大陆上地壳和岛弧上地壳的平均成分之间,具有 Na 相对于 K 富集,亏损 Cr、Ni 等相容元素

的特点。

综合元素比值和元素丰度值,天山表壳的元素地球化学特征是:略富集 SiO_2 ; Na 相对于 K 富集;明显亏损 CaO 和 Be、Co、Cr、Ni、Mo、Sn、V、W 等元素;As、Sb 元素丰度明显高于全球大陆上地壳的平均值,而低于日本岛弧上地壳;大离子亲石元素和 Cu、Fe、Pb、Zn 等元素的丰度值则与全球大陆上地壳或日本岛弧上地壳平均值相近。

3 讨 论

岩浆作用是决定地壳成分及其演化的最主要因素^[8,10]。岩浆岩是岛弧造山带沉积物的重要物源,全球大陆表壳沉积岩的地球化学研究表明,其微量元素成分特征主要受源岩成分特征的影响^[6,8]。因此,岛弧造山带与俯冲作用有关的岩浆岩成分是制约表壳地球化学成分特征的主要因素。

研究显示,岛弧造山带上地壳明显富集 As 与 Sb^[7]。天山表壳具有相对较高的 As、Sb 丰度,与日本岛弧上地壳的成分特征较为接近,而与全球大陆上地壳的 As、Sb 丰度特征相差较为明显。另一方面,天山表壳较日本岛弧上地壳的 Y/La 值低,而 La/Cr 值高;表明其相对于典型的岛弧造山带上地壳轻、重稀土元素的分异程度较高,并亏损相容元素。这可能反映天山表壳在岛弧造山运动之后经历的分异作用改造,因此在元素地球化学特征上较典型的岛弧造山带上地壳显得更为成熟;这与天山表壳平均岩石化学成分 SiO_2 含量高于日本岛弧上地壳和全球大陆上地壳平均成分的特点相一致。

研究表明,天山地区在加里东期和海西期受北天山洋盆与南天山洋盆消减、闭合作用的强烈影响,形成巨大的岛弧带;这两次运动使天山地区经历了俯冲碰撞造山过程,发育有大量的岛弧岩浆岩^[11]。所以,天山地区表壳的元素丰度和地球化学参数反映出岛弧造山带的成分特征,是地质构造演化的结果。由于本区发育 Adakite 型钠质岛弧岩浆岩^[11],其表壳岩石也表现出 Na 相对于 K 富集的特点。

4 结 论

天山地区表壳的化学成分相当于花岗闪长岩,具有钠质相对于钾质富集的特征;富集 As、Bi、Sb,而明显亏损 CaO、Be、Mo、Sn、V、W 和相容元素 Co、Cr、Ni 等。天山表壳的元素丰度总体特征与日本岛弧上地壳平均成分有相近之处,但轻、重稀土元素分

异程度较高,且亏损相容元素。因此天山表壳在地球化学上较典型岛弧造山带更为成熟,应属于经历了壳内分异演化的岛弧造山带上地壳类型。天山表壳的元素地球化学特征与其出露的表壳岩石主要是加里东期和海西期岛弧造山作用的产物,相对富钠的成分特征与岛弧岩浆活动中的 Adakite 质岩浆作用有关。

参考文献(Reference):

- [1] 程裕祺. 中国区域地质概论[M]. 北京:地质出版社, 1994.
Cheng Yuqi. Regional geology of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994. (in Chinese)
- [2] 黎彤, 李峰. 新疆地壳的化学成分[J]. 中国科学技术大学学报, 1991, 22(3): 321- 325.
Li Tong, Li Feng. Chemical composition of the crust in Xinjiang, China [J]. University of Sci. and Tech. of China, 22(3): 321- 325. (in Chinese)
- [3] 杜佩轩. 新疆北部岩石元素丰度值及评价参数[M]. 西安: 西安地图出版社, 1997.
Du Peixuan. The abundance and its evaluation parameters of elements in the rock of Northern Xinjiang [M]. Xi'an: Xi'an Cartographic Publishing House, 1997. (in Chinese)
- [4] 倪守斌, 满发胜, 黎彤. 新疆北部地壳的壳层结构及其化学元素丰度[A]. 赵振华, 沈远超, 涂光炽, 主编. 新疆金属矿产资源的基础研究[C]. 北京: 科学出版社, 2001. 106- 136.
Ni Shoubin, Man Fasheng, Li Tong. Crustal structure and its chemical composition in the northern Xinjiang [A]. Zhao Zhenhua, Shen Yuanchao, Tu Guangzhi, eds. The fundamental research on metallogeny in Xinjiang [C]. Beijing: Science Press, 2001. 106- 136. (in Chinese)
- [5] 於崇文. 区域地球化学的理论与方法[A]. 於崇文, 骆庭川, 鲍征宇, 胡云中, 梁约翰, 魏秀巍, 主编. 南岭地区区域地球化学[C]. 北京: 地质出版社, 1987. 29- 51.
Yu Chongwen. Theory and method of regional geochemistry [A]. Yu Chongwen, Luo Tingchuan, Bao Zhengyu, Hu Yunzhong, Liang Yuehan, Wei Xiuzhe, eds. Regional geochemistry of the Nanling district [C]. Beijing: Geological Publishing House, 1987. 29- 51. (in Chinese)
- [6] McLennan S M. Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust [J]. Geochim. Geophys. Geosyst., 2001, 2: 2000GC000109, 1- 24.
- [7] Togashi S, Imai N, Okuyama K, Kosunose Y, Tanaka T, Okai T, Koma T, Murata Y. Young upper crustal chemical composition of the orogenic Japan Arc [J]. Geochim. Geophys. Geosyst., 2000, 1: 2000GC000083, 1- 24.

- [8] Taylor S R, McLennan S M. The geochemical evolution of the continental crust [J]. *Rev. Geophys.* 1995, 33: 241– 265.
- [9] Middlemost E A K. Naming materials in the magma/ igneous rock system [J]. *Earth Sci. Rev.*, 1994, 37: 215– 224.
- [10] Rudnick R L. Making continental crust [J]. *Nature*, 1995, 378: 571– 578.
- [11] 熊小林, 赵振华, 白正华, 梅厚钧, 王一先, 王强, 许继锋, 包志伟. 西天山阿吾拉勒 adakite 型钠质中酸性岩及地壳垂向增生[J]. *科学通报*, 2001, 46: 281– 287.
- Xiong XiaoLin, Zhao Zhenhua, Bai Zhenghua, Mei Houjun, Wang Yixian, Wang Qiang, Xu Jifeng, Bao Zhiwei. Adakite type sodium intermediate/ acid rocks and vertical accretion of crust in Alawule, Western Tianshan [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2001, 46: 281– 287. (in Chinese)

Element Geochemical Characteristics of the Supra-Crust of Tianshan Region

WANG Yang^{1, 2}, DU Pei-xuan³

1. *Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China;*

2. *School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;*

3. *College of Earth Sciences and Land Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, China*

Abstract: On the basis of the analysis results of more than 900 rock samples that were evenly collected during the geochemical exploration of 1: 200 000 scale that covered Tianshan region (42° 44' N, 81° 89' E), the average abundances of 39 elements were obtained for the supra-crust (exposed crust) of Tianshan region. For calculating the element contents, the total sample statistics and iteration pick-out method were used; meanwhile, the abundances of ten oxides, SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, TFe₂O₃, MgO, MnO, CaO, Na₂O, K₂O and P₂O₅, were normalized to 100%. In comparison with the average abundances of elements in the upper crust of global continent, the supra-crust of Tianshan region exhibits the enrichment of SiO₂, MnO, Ag, As, Bi and Sb, and the depletion in CaO, Be, Co, Cr, Ni, Mo, Sn, V and W. In the view of element ratios, the ratios of Ba/La, K/La, K/Th, Nb/La, Th/La and Y/La of the supra-crust of Tianshan region are identical to those of upper crust of global continent, but the ratios of K/Na, La/As and La/Sb are significantly smaller than those of continental upper crust. The whole rock chemistry of supra-crust of Tianshan corresponds to granodiorite composition. Meanwhile, the supra-crust geochemistry of Chinese Tianshan region is characterized by its relative enrichment of Na, As and Sb. This geochemical characteristic is originated to arc lithologies dominantly exposed in Tianshan region, which was mainly formed during Caledonian and Hercynian orogenesis. Especially, the Na-rich characteristic of supra-crust may be related to Adakite (or Adakite-like) magmatism accompanied with arc orogenesis.

Key words: geochemistry; element abundance; supra-crust; Tianshan; Xinjiang