

北天山艾维尔沟东北部奇尔古斯套组硅质岩 地球化学特征及地质意义

刘阁^{1,2}, 范磊善¹, 屈涛¹, 唐毅¹, 孙耀锋¹

(1. 新疆维吾尔自治区地质调查院, 新疆 乌鲁木齐 830000; 2. 新疆地矿投资(集团)有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要:为研究北天山艾维尔沟地区晚古生代沉积环境特征,以该地区上石炭统奇尔古斯套组中广泛分布的硅质岩为研究对象,开展岩石学、岩石地球化学特征等研究。该区硅质岩为非纯硅质岩,在Fe-Mn-Al三角图中样品位于生物成因区及附近,反映出较多外来物质的加入。 $Al/(Al+Fe+Mn)$ 平均值0.59, δCe 为1.28~1.98,显示为生物成因硅质岩。 $Al_2O_3/(Al_2O_3+Fe_2O_3)$, $(La/Ce)_N$, $(La/Yb)_N$ 等特征比值及构造环境判别图,反映出硅质岩沉积环境为大陆边缘。结合陆源碎屑岩碎屑组分和副矿物特征,表明北天山洋残余洋盆规模有限,研究区大河沿组磨拉石沉积角度不整合于早期地层之上,标志残余洋盆最终闭合。

关键词:奇尔古斯套组;硅质岩;地球化学;岩石成因;沉积环境

硅质岩是一种由化学作用、生物作用和生物化学作用及火山作用、热水作用形成的富含 SiO_2 (含量多大于70%)的沉积岩^[1],在化学和生物化学沉积中广泛分布,是造山带中重要产物^[2]。不同成因的硅质岩在物质来源、成岩环境、地球化学特征等方面存在明显差异。硅质岩结构较致密,受后期成岩改造及风化作用影响小,能很好地保留形成时期的古地理环境信息。因此,可通过研究地球化学特征反映其成因,达到恢复沉积环境的目的^[3-5],为构造-沉积盆地演化分析奠定基础^[6-7]。

艾维尔沟地区晚石炭世奇尔古斯套组出露一套硅质岩,本文旨在对研究区硅质岩野外和室内微观特征研究基础上,对硅质岩主量、稀土和微量元素地球化学特征展开分析,探讨奇尔古斯套组硅质岩沉积环境及成因,为该地区晚古生代构造-沉积盆地时空演化研究提供依据。

1 地质背景

天山山脉是中亚地区重要的新生代陆内造山带,夹于准噶尔盆地和塔里木盆地之间,EW向延伸2 500 km,宽150~300 km,自北向南可划分为南天山、中天山和北天山3个构造带(图1-a)^[8-9]。研究

区东邻吐哈盆地,西至后峡地区,位于北天山依连哈比尔尕山东缘和博格达山西段结合部。区内地层总体呈NWW向展布,自下而上出露石炭系奇尔古斯套组、后峡组、前峡组。奇尔古斯套组主要岩性为岩屑砂岩、粉砂岩、凝灰岩夹凝灰质粉砂岩、玄武岩、硅质岩及砂屑、砾屑灰岩,局部夹硅质岩团块,其上与后峡组呈微角度不整合接触关系。后峡组主要岩性为中薄层状灰岩、生物碎屑灰岩、砂屑、砾屑灰岩、生物礁灰岩夹钙质泥岩,其上与前峡组呈角度不整合接触关系;前峡组主要岩性为灰褐色火山角砾岩、火山集块岩,紫红色杏仁状蚀变玄武岩、玄武安山岩,其上与大河沿组呈角度不整合接触关系。二叠系主要为大河沿组、塔尔郎组。大河沿组为一套典型的陆相磨拉石建造,以暗紫、灰紫色和紫红色砾岩为主,局部夹黄绿色泥岩,其上与塔尔郎组呈角度不整合接触关系;塔尔郎组主要岩性为粉砂岩、炭质泥岩、炭质页岩、细粒岩屑砂岩夹少量含砾岩屑砂岩,其上与小泉沟群呈角度不整合接触关系。中生代地层主要为三叠系小泉沟群,主要岩性为灰绿色中厚层含砾粗中粒岩屑砂岩夹中薄层细砂岩,其上与八道湾组呈角度不整合接触关系;侏罗八道湾组岩石主要为砾岩、粗砂岩、细砂岩、煤及砂质泥岩夹菱铁

项目资助:新疆托克逊县克尔碱镇1:5万区调项目、新疆区域地质调查片区总结与服务产品开发(DD20160345-04)共同资助

收稿日期:2023-05-11;修订日期:2023-06-10

第一作者简介:刘阁(1988-),男,新疆博乐人,高级工程师,硕士,2013年毕业于中国地质大学(武汉)矿产普查与勘探专业,主要从事区域地质调查研究工作;E-mail:119317049@qq.com

矿透镜体(图 1-b)。

2 岩石学特征

硅质岩是奇尔古斯套组主要岩石类型,据含有陆源碎屑物质、火山物质、铁质及放射虫的多少,可划分为含铁质泥质硅质岩、含粉砂硅质岩、含凝灰质硅质岩、含放射虫含铁硅质岩、含铁硅质放射虫岩、褐铁矿硅质岩。

硅质岩沉积构造主要有块状构造和纹层状构造。块状构造是硅质岩极发育的一种沉积构造,形成岩石较均匀,岩层厚度较大。纹层状构造是硅质岩较发育的一种沉积构造,宏观上主要为色调深浅不一的层,反映出厘米-毫米级的纹层构造,主要由“杂质”陆源碎屑物质含量在纵向上变化显示出。

含铁含泥硅质岩 隐晶状结构、条纹状构造,岩石由硅质(85%)、少量泥质(10%)、铁质(5%)组成。硅质由隐晶状石英组成,硅质状混合分布少量泥质、铁质,泥质轻度铁染,铁质呈微尘状、微粒状较均匀分布,为褐铁矿。由于铁含量有变化,并铁染,显示条纹状构造,相间平行状分布。

含泥质含粉砂硅质岩 含粉砂、含泥隐晶状结构,块状构造。岩石主要由石英(69%)组成,分布少量粉砂屑(20%)、泥质(10%),少量褐铁矿(1%)。石英呈隐晶状分布,石英中分布少量泥质,泥质已重结晶,由绢云母组成。隐晶状石英中分布少量长石、石英粉砂屑及少量褐铁矿,褐铁矿呈微晶粒状较均匀分布。

含铁含放射虫硅质岩 含放射虫隐晶结构、块状

构造。岩石主要由硅质(70%)组成,分布少量放射虫(25%)、铁质(5%)。硅质为隐晶状石英,石英中不均匀分布少量土状褐铁矿,局部呈细条带状,主要由褐铁矿、少量放射虫组成,其条带有轻度错动。放射虫粒径 0.03~0.2 mm,由微晶状石英组成,分布微-少量泥质,微量铁染,呈圆状,轻微压扁,具条带性分布。

含铁硅质放射虫岩 隐晶放射虫状结构、变余纹层状构造。岩石主要由放射虫组成(60%),分布少量硅质(35%)、铁质(5%)。放射虫粒径 0.03~0.2 mm,呈椭圆状、长条椭圆状平行定向分布,部分边部可分辨,具齿状细胞结构,由放射状、微晶粒状石英组成,多较干净,有少量内含土状褐铁矿。硅质呈隐晶状分布,结构较均匀,内混合分布少量土状褐铁矿,少部分褐铁矿含量较高,呈细条纹状相间平行分布。在褐铁矿中分布少量隐晶硅质。

碎裂褐铁矿硅质岩 碎裂微晶结构、网脉状构造。岩石主要由石英组成(75%),分布少量褐铁矿(25%)。石英为重结晶组成的微晶状集合体,粒径 0.01~0.06 mm,碎粒角砾状分布,碎粒角砾之间分布网脉状褐铁矿,褐铁矿粒径 0.01~0.08 mm,呈微晶粒状分布于裂隙中。少量微晶状褐铁矿混合分布在微晶状石英之间。

3 硅质岩地球化学特征

用于主量元素与微量元素研究的硅质岩样品采自艾维尔沟一带,选取有代表性新鲜无蚀变的硅质岩样品进行测试分析(表 1)。硅质岩样品送至澳实分析检测集团澳实矿物实验室(广州)测试分析。

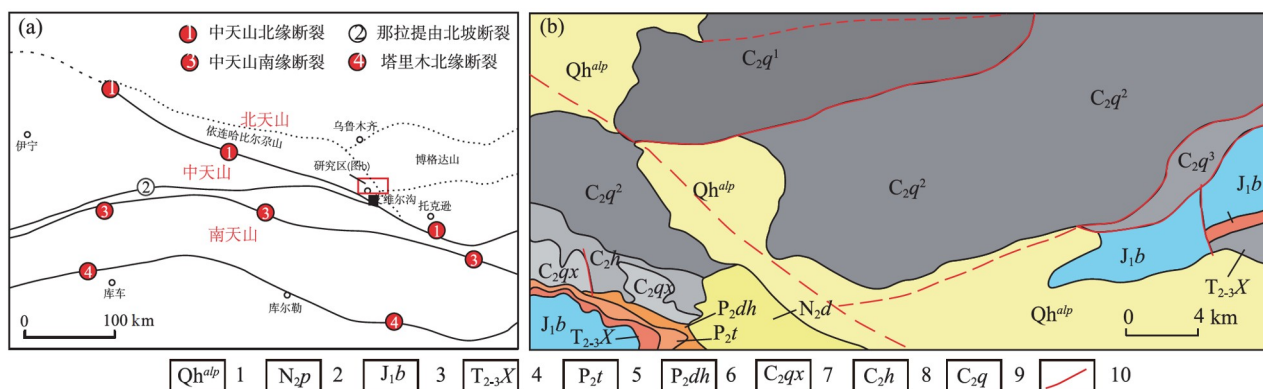


图1 研究区大地构造位置图及地质简图

Fig.1 The tectonic location and regional geological of the study area

(a 据参考文献[8]修改)

- 1.第四系冲洪积;2.葡萄沟组;3.八道湾组;4.小泉沟群;5.塔尔郎组;6.大河岩组;
7.前峡组;8.后峡组;9.奇尔古斯套组;10.断层

表1 奇尔古斯套组硅质岩主量、微量元素分析结果表

Table 1 Major and trace elements concentrations of the Qiergusitao Formation silicate rocks

样品编号	19QY88	P1-YQ2	19QY93	V YQ1	19QY90	19QY78		19QY88	P1-YQ2	19QY93	V YQ1	19QY90	19QY78
SiO ₂	87.20	94.56	70.42	76.00	92.96	70.52	Yb	0.87	0.17	3.36	2.37	0.52	2.69
Al ₂ O ₃	5.30	1.26	11.82	10.03	2.35	12.45	Lu	0.15	0.03	0.58	0.43	0.08	0.45
TiO ₂	0.16	0.01	0.51	0.39	0.06	0.55	ΣREE	44.06	10.43	177.20	123.10	37.98	108.66
TFe ₂ O ₃	1.80	0.32	6.50	5.60	1.35	4.39	LREE/ HREE	6.31	7.44	7.03	7.11	9.76	6.16
CaO	0.49	1.45	1.48	0.51	0.25	1.10	δCe	1.28	1.43	1.39	1.42	1.98	1.07
MgO	0.85	0.34	1.18	1.38	0.76	1.73	δEu	1.24	2.10	1.26	1.25	0.91	1.06
K ₂ O	0.75	0.13	2.03	2.08	0.58	1.35	(La/Ce) _N	0.72	0.69	0.70	0.70	0.52	0.88
Na ₂ O	1.29	0.06	3.81	1.66	0.15	4.70	Ba	152.00	427.00	1296.00	1289.00	328.00	407.00
MnO	0.06	0.25	0.19	0.48	0.45	0.24	Be	0.65	0.20	1.08	1.58	0.29	1.39
LOS	1.83	1.79	1.87	2.72	0.92	2.73	Co	7.60	4.80	20.30	20.00	12.00	9.80
La	5.40	1.30	23.40	16.90	5.30	18.50	Hf	1.30	0.20	4.10	3.30	0.50	4.20
Ce	15.80	4.00	70.80	51.00	21.70	44.30	Nb	3.80	1.00	6.70	6.00	1.20	7.60
Pr	1.57	0.34	6.27	4.27	1.27	5.19	Ni	14.00	4.00	59.00	45.00	14.70	16.10
Nd	6.37	1.44	25.23	16.85	4.80	20.58	Rb	25.00	5.00	53.00	70.00	19.30	27.00
Sm	1.37	0.29	4.67	3.43	1.17	4.02	Sc	6.10	1.60	19.80	16.00	2.50	13.60
Eu	0.35	0.13	1.26	0.91	0.21	0.89	Sr	95.00	47.00	106.00	119.00	46.80	273.00
Gd	1.28	0.29	4.72	3.38	1.00	3.83	Ta	0.18	0.05	0.60	0.42	0.08	0.57
Tb	0.22	0.04	0.76	0.54	0.16	0.61	Th	3.30	2.30	7.30	5.70	1.46	7.10
Dy	1.31	0.27	4.94	3.40	0.93	4.03	U	1.38	0.17	1.24	1.01	0.28	1.31
Ho	0.28	0.05	0.96	0.66	0.20	0.80	V	52.00	6.30	43.60	66.90	7.00	78.00
Er	0.75	0.15	2.81	1.96	0.56	2.32	Zr	49.00	12.00	135.00	118.00	17.00	131.00
Tm	0.14	0.03	0.55	0.37	0.08	0.45	来源	本文	●	本文	●	本文	本文

注:主量元素单位:%;微量元素单位:×10⁻⁶

主量元素由荷兰 PANalytical 生产的荧光光谱仪(XRF)测试分析,微量元素分析采用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)分析方法,检测仪器为美国 Perkin Elmer 公司生产的 Elan 9000。主量元素分析精度和准确度优于 5%,微量元素分析精度和准确度优于 10%。

3.1 主量元素特征

从表 1 中可看出,奇尔古斯套组硅质岩 SiO₂ 含量 70.42%~94.56%,平均 81.94%;Al₂O₃ 含量 1.26%~12.45%,平均 7.20%, Si/Al 比值 9.99~132.40,平均 44.18,低于纯硅质岩 Si/Al(80~1400)区间,表明其含有一定比例陆源泥质沉积物。CaO 含量 0.25%~1.48%, MgO 含量 0.34%~1.73%, Na₂O 含量 0.15%~4.70%, K₂O 含量 0.58%~2.08%,全铁含量 0.32%~6.50%, MnO 含量 0.194%~0.475%。

3.2 稀土元素特征

奇尔古斯套组硅质岩 ΣREE 变化较大,含量

38.0×10⁻⁶~177.2×10⁻⁶,平均 83.57×10⁻⁶。经北美页岩标准化后的分布曲线呈平缓的左倾特征。特征值显示硅质岩 LREE/HREE 值为 6.16~9.76, (La/Yb)_N 值为 0.59~0.96, (La/Sm)_N 值为 0.74~0.94,轻稀土分异较弱, (Gd/Yb)_N 值为 0.80~1.10,重稀土分馏不明显。硅质岩 δCe 值为 1.07~1.98,平均 1.43, δEu 值为 0.91~2.1,平均 1.30。

3.3 微量元素特征

微量元素分析结果显示(表 1),奇尔古斯套组硅质岩样品中 Ba 含量为 152×10⁻⁶~1296×10⁻⁶,平均 649.83×10⁻⁶; U 含量 0.17×10⁻⁶~1.38×10⁻⁶,平均 0.90×10⁻⁶,奇尔古斯套组硅质岩中 Ba 含量总体偏高, U 含量总体偏低。特征指标显示,硅质岩 U/Th 值为 0.07~0.42,平均 0.21; Th/U 值为 2.39~13.53,平均 6.51; δU 值为 0.36~1.11,平均 0.71; Ba/Sr 值 1.49~12.23,平均 7.04。

4 讨论

4.1 硅质岩成因

研究硅质岩成因的关键是确定硅的来源。热水沉积成因的硅质岩以富 SiO_2 贫 Al_2O_3 , MgO 和 TiO_2 为特征,火山沉积或与火山沉积物有关的硅质岩 Al_2O_3 , TiO_2 , MgO , K_2O 含量相对较高,硅含量相对较低,且范围变化较大;生物成因或生物化学成因 Si 来源主要为富硅生物,如放射虫、海绵骨针等硅质生物死后堆积而成。

奇尔古斯套组硅质岩 SiO_2 含量 87.2%~94.56%,平均 81.94%,低于纯硅质岩标准(91.0%~99.8%); Al_2O_3 , MgO , TiO_2 含量相对较低,发育较多放射虫硅质岩。

主量元素方面,硅质岩 Al, Fe, Mn 值被广泛用作沉积物源判别指示剂。Fe, Mn 富集主要与热液活动有关,Al 富集与陆源物质的输入有关,纯生物成因的硅质岩 $\text{Al}/(\text{Al} + \text{Fe} + \text{Mn})$ 值接近 0.6,纯热水成因的硅质岩该值接近 0.01,受热水作用影响的硅质岩该值小于 0.35^[10-11]。

奇尔古斯套组硅质岩 $\text{Al}/(\text{Al} + \text{Fe} + \text{Mn})$ 值为 0.498~0.689,平均 0.604,与 0.60 相接近,与纯生物成因硅质岩接近。从图中可看出(图 2-a),样品落入生物成因硅质岩区。硅质岩 Ce 异常指示硅质岩成因。Murray 等指出^[12]:热水成因硅质岩 Ce 呈负异常, δCe 平均 0.29;正常海水生物沉积硅质岩 Ce 呈正异常, δCe 平均 1.2。奇尔古斯套组硅质岩 δCe 为 1.07~1.98,平均 1.43,硅质岩稀土元素用北美页岩(NASC)标准化后的分布模式见图 2-c, Ce 具有弱的正异常,说明研究区硅质岩为海水生物沉积的硅质岩。

由于 Mn 是一种易迁移的元素,受成岩作用影响很大,样品中 Mn 元素含量较低,可用 $\text{Al}/(\text{Al} + \text{Fe})$ -Fe/Ti 图解判断硅质岩成因(图 2-b)^[13]。当 $\text{Al}/(\text{Al} + \text{Fe}) > 0.5$ 且 $\text{Fe}/\text{Ti} < 30$ 时,为非热液成因;当 $\text{Al}/(\text{Al} + \text{Fe}) < 0.35$ 且 $\text{Fe}/\text{Ti} > 30$ 时,为热液成因。从图中可看出(图 2-c),除 P1-YQ2 样品落在热液区,其余样品均未受热液作用影响,与 Al-Fe-Mn 判别图结果基本一致。硅质岩 Eu 正异常特征一般指示热液作用^[14-15]。除 P1-YQ2 样品 δEu 值为 2.10,其余样品

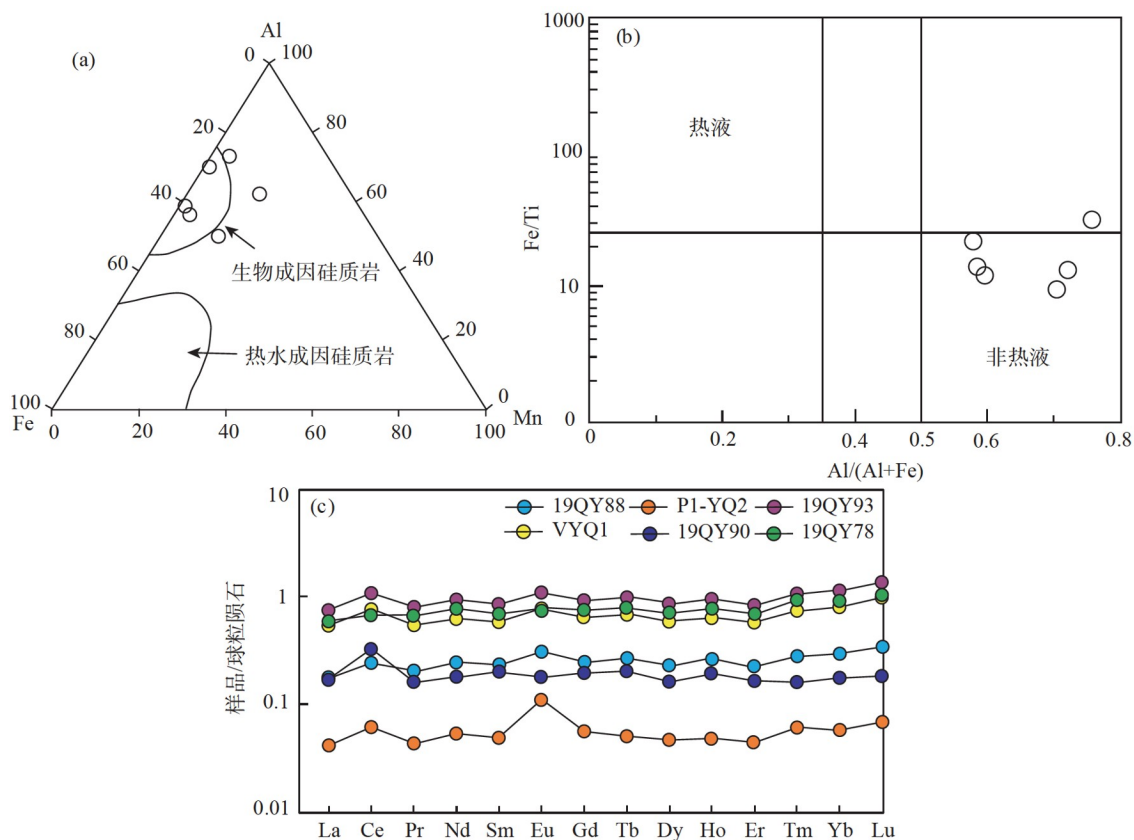


图2 研究区硅质岩 Al-Fe-Mn 图(a)、 $\text{Al}/(\text{Al} + \text{Fe})$ -Fe/Ti 图 (b)和稀土元素分布图(c)
Fig.2 Al-Fe-Mn diagram(a), $\text{Al}/(\text{Al} + \text{Fe})$ -Fe/Ti (b) and NASC normalized REE patterns(c)
and from Qiergusitao Formation silicate
(a 据文献[10];b 据文献[16];c 据文献[13])

δEu 值均为 0.91~1.30,不具明显Eu 正异常,证明硅质岩样品为非热液成因,局部受到热水影响。

4.2 氧化还原条件

研究显示, Th/U 或 U/Th 值可判别硅质岩沉积环境的氧化还原条件^[17]。 $\text{U/Th}>1.25$ 反映厌氧环境, $\text{U/Th}<0.75$ 指示富氧环境,比值介于之间为贫氧环境^[18],沉积物中 Th/U 值为 0~2 时,指示缺氧沉积环境,强氧化环境下的 Th/U 值达8^[19]。Wignall 通过研究黑色页岩发现 $\text{V}/(\text{V}+\text{Ni})>0.83$ 为缺氧环境^[20]。

本区奇尔古斯套组硅质岩 U/Th 值为 0.07~0.42,小于 0.75, Th/U 值为 2.39~13.53,大于 2; $\text{V}/(\text{V}+\text{Ni})$ 值为 0.42~0.83,小于 0.83,表明研究区奇尔古斯套组硅质岩形成环境以富氧为主。

4.3 构造环境

放射虫硅质岩可沉积在大陆边缘、深海平原和大洋中脊等不同构造环境。 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 是判别硅质岩形成环境,特别是区分洋中脊和大陆边缘成因的良好指标^[13, 21]。一般认为洋中脊硅质岩 0.4,大洋盆地硅质岩为 0.4~0.7,大陆边缘硅质岩为

0.5~0.9。奇尔古斯套组硅质岩的 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ 值为 0.64~0.80,平均 0.70,远高于洋中脊及大洋盆地硅质岩,位于大陆边缘硅质岩区域内。从图中可看出(图 3-a, b),奇尔古斯套组硅质岩样品均落入大陆边缘型硅质岩区域内。

研究表明,不同构造环境中硅质岩具不同的微量元素特征,洋中脊附近硅质岩 δCe 值为 0.30 ± 0.13 ,大洋盆地硅质岩 δCe 值为 0.60 ± 0.13 ,大陆边缘硅质岩 δCe 值为 1.09 ± 0.25 ;大陆边缘硅质岩 $(\text{La}/\text{Ce})_{\text{N}}$ 值为 0.5~1.5,洋脊硅质岩 $(\text{La}/\text{Ce})_{\text{N}}$ 值为 3.5,大洋硅质岩 $\text{La}/\text{Ce})_{\text{N}}$ 值为 1.0~2.5^[12];奇尔古斯套组硅质岩 δCe 值为 1.07~1.98,平均 1.43, $(\text{La}/\text{Ce})_{\text{N}}=0.52\sim0.88$,平均 0.70,指示研究区硅质岩沉积于大陆边缘。

综上所述,奇尔古斯套组硅质岩具典型大陆边缘硅质岩所具有的地球化学特征,受陆地背景影响。

4.4 构造意义

比较奇尔古斯套组硅质岩与典型硅质岩的稀土元素参数可看出(表 2),研究硅质岩稀土元素参

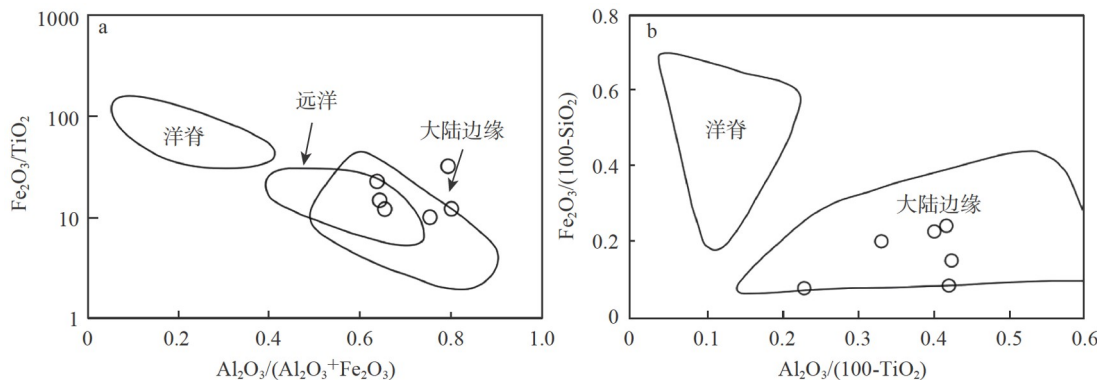


图 3 研究区硅质岩 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 图解(a)、 $\text{Fe}_2\text{O}_3/(100\text{-SiO}_2)\text{-Al}_2\text{O}_3/(100\text{-SiO}_2)$ 图解(b)

Fig.3 Diagram of $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$ (a)and $\text{Fe}_2\text{O}_3/(100\text{-SiO}_2)\text{-Al}_2\text{O}_3/(100\text{-SiO}_2)$

(b)from Qiergusitao Formation silicate

(据参考文献[13])

表2 不同沉积背景下硅质岩主量和微量元素特征值

Table 2 Major and trace elements compositions of silicate under different depositional settings

特征值	大陆边缘硅质岩	远洋硅质岩	洋脊硅质岩	研究区硅质岩	资料来源
$\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$	0.5~0.9	0.4~0.7	<0.4	0.64~0.80	[13]
V 含量	20×10^{-6}	38×10^{-6}	42×10^{-6}	42.3×10^{-6}	[13]
Th/Sc	高且变化大<0.01~1	0.01~0.3	0.01~0.3	0.356~1.438	[24]
Th/U	高(>3.8)	较低(0.6~5.0)	较低(0.6~5.0)	2.39~13.53	[25]
ΣREE	$7.9\times10^{-6}\sim152.2\times10^{-6}$	$14.3\times10^{-6}\sim108\times10^{-6}$	$10.9\times10^{-6}\sim406\times10^{-6}$	$38.0\times10^{-6}\sim177.2\times10^{-6}$	[12]
$(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$	1.1~1.4	约为 0.70	约为 0.30	0.59~0.96	[13]
δCe	约 1.09 ± 0.25	约 0.60 ± 0.13	约 0.3 ± 0.13	1.07~1.98	[13]
$(\text{La}/\text{Ce})_{\text{N}}$	0.5~1.5	1.0~2.5	~3.5	0.52~0.88	[26]

数与大陆边缘产出的硅质岩相似,类似于现代南极大陆周缘硅质岩、古生代大陆边缘裂谷盆地硅质岩^[22-23]。

研究区奇尔古斯套组硅质岩中含放射虫硅质岩、含铁硅质放射虫岩发育,说明其形成与生物作用有关。含铁质泥质硅质岩、含粉砂硅质岩、含凝灰质硅质岩发育,显示这套硅质岩受到陆源碎屑物及火山活动的影响。

综上所述,奇尔古斯套组硅质岩形成于大陆边缘环境,结合其中陆源碎屑岩碎屑组分和副矿物特征,说明晚石炭世北天山洋残余洋盆规模有限;晚石炭世前峡组火山熔岩及火山碎屑岩广泛分布于研究区,火山活动频发,推测洋盆随即最终闭合;区域上中二叠世大河沿组磨拉石沉积建造与下伏地层之间的角度不整合关系表明,从中二叠世开始,研究区陆块从松散聚合状态进入挤压隆升阶段。

5 结论

(1) 研究区奇尔古斯套组硅质岩 SiO_2 含量为 87.3%~94.56%, Al_2O_3 , MgO , TiO_2 含量相对较低, $\text{Al}/(\text{Al}+\text{Fe}+\text{Mn})$ 值为 0.50~0.70 及 $\text{Al}-\text{Fe}-\text{Mn}$ 图解说明,其为生物及非热液成因硅质岩。

(2) 奇尔古斯套组硅质岩 ΣREE 变化较大, δCe 呈弱正异常,放射虫硅质岩发育;硅质岩经北美页岩标准化后的分布曲线呈平缓的左倾斜特征, δEu 呈弱正异常,含泥质粉砂质硅质岩发育,说明该组硅质岩为生物成因硅质岩,在沉积过程中有少量陆源物质加入,部分样品受到热液流体活动影响。

(3) 奇尔古斯套组硅质岩主量、稀土及微量元素特征一致,表明其形成于受陆源物质影响的大陆边缘浅海沉积环境,沉积环境的氧逸度较高。结合奇尔古斯套组碎屑岩组分(含大量岩屑长石)和副矿物组成推测,研究区火山活动频发,带来大量养分有利于硅质生物的繁殖。研究区晚石炭世为大陆边缘滨海-浅海相沉积环境,水深相当于大陆斜坡。

参 考 文 献

- [1] 曾允孚,夏文杰.沉积岩石学[M].北京:地质出版社,1986:1-190.
- [2] 王小红,杨建国,谢燮,等.甘肃北山地区红山铁矿硅质岩的地球化学特征及沉积环境[J].地质通报,2012,31(7):1178-1184.
- [3] 杨海生,周永章,杨志军,等.热水沉积硅质岩地球化学特征及意义:以华南地区为例[J].中山大学学报(自然科学版),2003,42(6):111-115.
- [4] 杨志军,周永章,张澄博,等.硅质岩组构信息研究及其意义[J].矿物岩石地球化学通报,2003,22(3):255-258.
- [5] 冯胜斌,周洪瑞,燕长海,等.东秦岭二郎坪群硅质岩地球化学特征及其沉积环境意义[J].现代地质,2007,21(4):675-682.
- [6] 冯彩霞,刘家军.硅质岩的研究现状及其成矿意义[J].世界地质,2001,20(2):119-123.
- [7] 崔春龙.硅质岩研究中的若干问题[J].矿物岩石,2001,21(3):100-104.
- [8] Gao J, Long L, Klemd R, et al. Tectonic evolution of the South Tianshan orogen and adjacent regions, NW China: geochemical and age constraints of granitoid rocks[J]. International Journal of Earth Sciences, 2009, 98(6): 1221-1238.
- [9] Hurford A J, Green P F. The Zeta age calibration of fission track dating [J]. Isotope Geosciences, 1983, 65(1): 285-317.
- [10] Adachi M, Yamamoto K, Sugisaki R. Hydrothermal chert and associated siliceous rocks from the northern Pacific their geological significance as indication of ocean ridge activity[J]. Sediment Geol, 1986, 47(1/2): 125-148.
- [11] 张聪, 黄虎, 侯明才. 地球化学方法在硅质岩成因与构造背景研究中的进展及问题[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2017, 44(3): 293-304.
- [12] Murray RW, Buchholtz Ten Brink MR, Gerlach DC, et al. Rare earth, major, and trace elements in chert from the Franciscan Complex and Monterey Group, California: Assessing REE sources to fine-grained marine sediments[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1991, 55(7): 1875-1895.
- [13] Murray RW. Chemical criteria to identify the depositional environment of chert: general principles and applications[J]. Sedimentary Geology, 1994, 90(3-4): 213-232.
- [14] German CR, Hergt J, Palmer MR, et al. Geochemistry of a hydrothermal sediment core from the OBS vent-field, 21°N East Pacific Rise[J]. Chemical Geology, 1999, 155(1-2): 65-75.
- [15] Dias ÁS, Früh-Green GL, Bernasconi SM, et al. Geochemistry and stable isotope constraints on high-temperature activity from sediment cores of the Saldanha hydrothermal field[J]. Marine Geology, 2011, 279(1-4): 128-140.
- [16] Gromet LP, Haskin LA, Korotev RL, et al. The "North American shale composite": Its compilation, major and trace element characteristics[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1984, 48(12): 2469-2482.
- [17] 田云涛, 冯庆来, 李琴. 桂西南柳桥地区上二叠统大隆组层状硅质岩成因和沉积环境[J]. 沉积学报, 2007, 25(5): 671-677.
- [18] Jones B, Manning D A C. Comparison of Geochemical Indices Used for the Interpretation of Palaeoredox Conditions in Ancient Mudstones[J]. Chemical Geology, 1994, 111(1-4): 111-129.
- [19] Kameda J, Hina S, Kobayashi K, et al. Silica diagenesis and its effect on interplate seismicity in cold subduction zones[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2012, 317-318: 136-144.
- [20] Wignall, P. B. Black Shales[M]. Clarendon Press, Oxford. 1994.
- [21] Sugitani K. Anomalously low $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ values for Archean cherts from the Pilbara Block, Western Australia—possible evidence for extensive chemical weathering on the early earth[J]. Precambrian Research, 1996, 80(1-2): 49-76.
- [22] 丁林, 钟大赉. 滇西昌宁-孟连带古特提斯洋硅质岩稀土元素和铈异常特征[J]. 中国科学: B 辑, 1995, 25(1): 93-100.
- [23] Armstrong HA, Owen AW, Floyd JD. Rare earth geochemistry of Arenig cherts from the Ballantrae Ophiolite and Leadhills Imbricate Zone, southern Scotland: implications for origin and significance to the Caledonian Orogeny[J]. Journal of the

- Geological Society, 1999,156(3):549-560.
- [24] Hein JR,Vallier T L,Allan M A.Chert petrology and geochemistry,mid-Pacific mountains and Hess Rise,Deep Sea Drilling Project,Leg 62[R].Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project 62.Washington:U.S. Government Printing Office,1981:711-748.
- [25] Girty G H, Ridge D L,Knaack C,et al.Provenance and depositional setting of Paleozoic chert and argillite,Sierra Nevada, California[J]. J Sediment Res,1996,66(1):107-118.
- [26] 康健丽,张招崇,董书云,等.西南天山马达尔地区硅质岩地球化学特征及其沉积环境[J].岩石矿物学杂志,2010,29(1):79-89.

Geochemistry Characteristics and Geological Significances of Silicate from Qiergusitao Formation in Northeast Aiweiergou area, North Tianshan

Liu Ge^{1,2}, Fan Leishan¹, Qu Tao¹, Tang Yi¹, Sun Yaofeng¹

(1.Xinjiang Geological Survey Institute,Urumqi,Xinjiang,830000,China;2.Xinjiang Mining Investment(Group)Co.,Ltd,Urumqi,Xinjiang,830000,China)

Abstract: In order to study the sedimentary environment characteristics of the Late Paleozoic in Aiweiergou area of North Tianshan, the authors have conducted the petrological and geochemical analyses of the widely distributed silicate in Qiergusitao Formation of Upper Carboniferous. The siliceous rocks have similar phase behavior as nonhydrothermal siliceous rocks in the Fe-Mn-Al diagram, with a continuous supply of land-based materials during the deposition process. The average value of $Al/(Al + Fe + Mn)$ is 0.60, δCe is 1.07~1.98, indicating that they are biogenic siliceous rocks. The ratios of $Al_2O_3/(Al_2O_3 + Fe_2O_3)$, $(La/Ce)_N$ and $(La/Yb)_N$ and tectonic environment discriminant diagram demonstrate that the silicate developed in a shallow-slope depositional environment in the continental margin. Combining with composition of granule in sedimentary rock and para-mineral characteristics, it shows that the scale of the residual oceanic basin of North Tianshan ocean is limited. The angular inconsistency of the molassic-type deposition of the Daheyan Formation above the early stratum indicates the final closure of the residual ocean basin.

Key words: Qiergusitao Formation; siliceous rocks; Geochemistry; Petrogenesis; Sedimentary