

内蒙古乌素图地区蛇纹石化大理岩 岩石学及地球化学特征

卓胜广¹, 刘雅萍^{1,2}, 王静³, 贾和义⁴, 傅振洋^{1,2}, 迟洪兴¹, 梅盛旺^{1,5}, 郭谱¹

1. 东北大学秦皇岛分校, 资源与材料学院, 河北 秦皇岛 066004; 2. 中国地质大学(北京), 北京 100083;
3. 内蒙古自治区地质测绘院, 呼和浩特 010020; 4. 内蒙古自治区地质调查院, 呼和浩特 010020;
5. 中国科学院 广州地球化学研究所 同位素地球化学国家重点实验室, 广州 510640

摘要: 为探讨内蒙古乌素图地区蛇纹石化大理岩的成因, 采用显微镜和扫描电镜观察、能谱分析、X射线衍射分析和全岩分析等方法对其进行了岩相学、矿物学和地球化学特征的研究。结果显示, 乌素图地区蛇纹石化大理岩主要以方解石和白云石为主, 含少量蛇纹石, 其中蛇纹石以利蛇纹石为主要类型, 含少量叶蛇纹石和纤蛇纹石, 蛇纹石呈鳞片状交代了原先为透镜状假象或压扁条带状的橄榄石。蛇纹石化大理岩富含 CaO、MgO 和 LOI, Ca/Mg 离子比值为 0.97~1.68; 富集 V、Ni、Sr、Ba 等大离子亲石元素, 亏损 Nb、Ta、U、Th 等高场强元素; Σ REE 为 9.55~12.99 $\mu\text{g/g}$, Ce 元素在球粒陨石和北美页岩标准化后都明显亏损, Eu 元素在球粒陨石标准化后为亏损, 北美页岩标准化后为富集。研究表明, 乌素图地区蛇纹石化大理岩原岩为陆表海相沉积型白云岩, 受陆源物质影响小, 其沉积环境比较稳定。

关键词: 乌素图地区; 蛇纹石化大理岩; 地球化学特征

中图分类号: P588.31⁺3 文章编号: 1007-2802(2016)02-0239-08 doi: 10.3969/j.issn.1007-2802.2016.02.005

The Petrological and Geochemical Characteristics of the Serpentinized Marble in the Wusutu Region, Inner Mongolia, China

ZHUO Sheng-guang¹, LIU Ya-ping^{1,2}, WANG Jing³, JIA He-yi⁴, FU Zhen-yang^{1,2},
CHI Hong-xing¹, MEI Sheng-wang^{1,4}, GUO Pu¹

1. The School of Resource and Material, Northeastern University at Qinhuangdao, Qinhuangdao 066004, China; 2. China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China; 3. Geological Surveying and Mapping Institute of Inner Mongolia, Hohhot 010020, China; 4. Geological Survey Institute of Inner Mongolia, Hohhot 010020, China; 5. State Key Laboratory of Isotope Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

Abstract: In order to probe the genesis of the serpentinized marble in the Wusutu region of Inner Mongolia, its petrographical, mineralogical and geochemical characteristics have been studied in this paper by using microscope, scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive spectrum (EDS), X-ray diffraction (XRD), and whole rock analysis. Results show that the serpentinized marble in Wusutu area is mainly composed of calcite and dolomite, with minor serpentine, including major lizardite and trace antigorite and chrysotile. The serpentine occurred as scaly aggregates replaced the originally lensoid granular or flattening banded olivines. The serpentinized marble samples have high contents of CaO, MgO and LOI, with Ca/Mg mole ratios varying from 0.97 to 1.68. They are rich in large ion lithophile elements such as V, Ni, Sr, Ba and depleted in high field strength elements such as Nb, Ta, U, Th, with the Σ REE varying from 9.55 $\mu\text{g/g}$ to 12.99 $\mu\text{g/g}$. They have obvious negative Ce anomalies in both the chondrite standardized and the North American shale standardized REE patterns. However, they have negative Eu anomaly in the chondrite standardized REE patterns, but positive Eu anomaly in the North America shale standardized REE patterns. It is believed that the protolith of the serpentinized marble was epicontinental marine dolomite, which was deposited in relatively stable environment with little involvement of terrigenous materials.

Key words: Wusutu area; Serpentinized marble; geochemical characteristics

收稿日期: 2015-12-16 收到, 2016-01-14 改回

基金项目: 国家自然科学基金项目(41272146, 41103022, 41172133)

第一作者简介: 卓胜广(1959-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 石油与天然气地质学. E-mail: sgzhuo@sina.com.

内蒙古乌素图地区属于大青山正断层的一部分,主要产出蛇纹石化大理岩,前人在该地区的研究很少,其成因和原岩恢复尚不明确。本文基于该区的蛇纹石化样品进行详细的岩相学、矿物学和地球化学特征研究,来探讨蛇纹石化大理岩的形成机制。

1 研究区概况

内蒙古地区南部为华北地台区,北部是位于华北地台和西伯利亚地台间的地槽区,是兴蒙造山带的重要组成部分,其间分布有多条蛇绿岩带(李英杰等,2012)。乌素图地区位于内蒙古省会呼和浩特市西北约13 km处,构造位置位于大青山山前正断层中的土左旗-乌素图段(毕克齐段,长49 km)和乌素图-奎素段(呼和浩特段,长46 km)之间(阿那尔等,2013;何仲太,2007)。

样品采集地点位于内蒙古呼和浩特市西约15~20 km大青山脚下的古乌素图。所属大地构造位置为华北板块北缘造山带、内蒙台隆阴山断隆、大青山南麓(图1)。大青山南北两侧,分别有两大断裂带,主脉上升而呈地垒构造即大青山断隆。区内地质构造特征受此两大构造控制,造成本区断层大体呈北东-北东东向展布,褶皱呈北西-北北西向展布。样品为大青山断隆上的最古老结晶岩系,地层所属

为下太古界集宁岩群(Ar_1J)。岩性特征为,上部主要为含石墨大理岩、金云母大理岩、蛇纹石化大理岩、蛇纹石化橄榄大理岩夹片麻岩;下部主要为砂线榴石斜长片麻岩、含石墨黑云斜长片麻岩、含石墨砂线榴石斜长片麻岩、含榴石石墨堇青片麻岩、榴石浅粒岩、榴石长石石英岩等。其中,蛇纹石化大理岩和蛇纹石化橄榄大理岩为文章研究对象。

2 蛇纹石化大理岩岩矿特征

内蒙古乌素图地区岩石类型以蛇纹石化大理岩为主,为了研究岩石的原岩类型、蛇纹石类型、岩石矿物类型及含量等,对采集的样品进行了岩石学和矿物学特征分析。

2.1 岩石学特征

蛇纹石化大理岩,呈灰白色,具块状构造,蛇纹石颜色为翠绿色-墨绿色,在大理岩中以粒状、串珠条带状分布。内蒙古乌素图地区蛇纹石化大理岩的原岩均为橄榄石大理岩,橄榄石大致呈0.5~3.0 mm 透镜化粒状假象或压扁条带状,已经被显微鳞片状蛇纹石交代,多数发生透镜化,长轴半定向分布,部分蛇纹石呈条纹状定向分布;方解石受压力作用,多数发生细粒化,呈0.1~0.5 mm 微粒,少数呈0.5~1.5 mm 透镜状,细粒方解石集合体呈条带状或纹带状定向分布,在眼球体两侧形

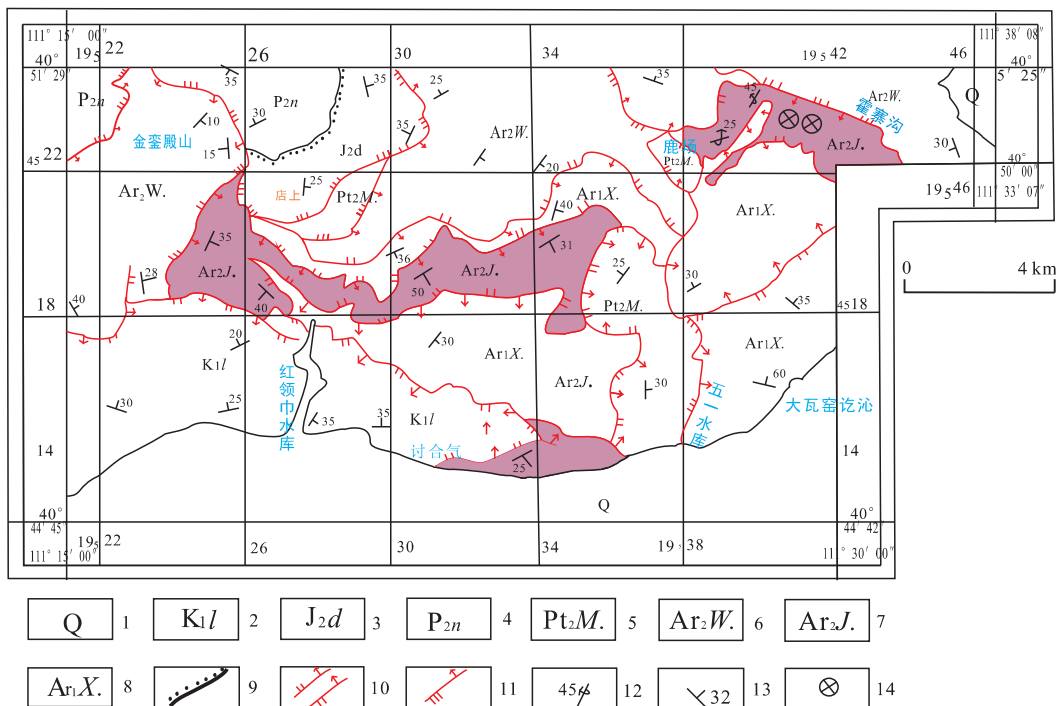


图1 乌素图地区区域地质图
Fig.1 The geological map of Wusutu area

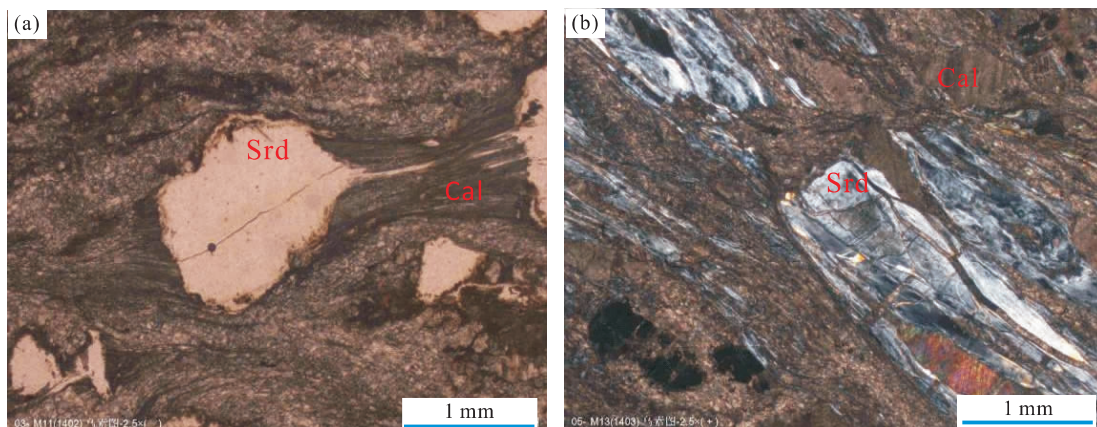
成拖尾;微细粒状方解石(即糜棱岩化微细粒方解石)占60%~70%,眼球状透镜状方解石约为10%,眼球状透镜状白云石为10%,假象橄榄石(蛇纹石完全取代)为5%~25%,条纹状定向分布蛇纹石约5%,部分样品含有少量透闪石,具有粒状变斑结构和交代假象结构(图2)。样品中可见细粒方解石组成的细脉穿插于蛇纹石和大的方解石颗粒中,可以推测在蛇纹石化完成之后又发生过碳酸盐化。

2.2 矿物学特征

扫描电镜实验所用仪器为 ZEISS 公司的 SUPRA 型背散射电子发射扫描电镜(SEM)和能谱分析(EDS),在东北大学秦皇岛分校扫描电镜实验室完成,本次对3块岩石样品进行测试,共进行了18个点(面)的微区EDS分析。

X射线衍射实验所用仪器为 D8 DISCOVER 型 X射线衍射仪,试验参数为:Cu靶 K α 辐射,扫描步长为 0.08($^{\circ}$)/s,衍射角范围为 5 $^{\circ}$ ~80 $^{\circ}$ 。分析单位为东北大学秦皇岛分校 X射线衍射分析实验室,分析结果见图3、图4和图5。

扫描电镜分析和 X 射线衍射分析结果表明,乌素图地区蛇纹石化大理岩中的蛇纹石主要为3种类型:叶蛇纹石、利蛇纹石和纤蛇纹石(何仲太,2007)。叶蛇纹石在镜下主要呈现鳞片状形态,富有较多 Si 元素且 Mg 元素含量少,利蛇纹石在镜下多呈纤维状或者毛毡状,纤蛇纹石主要为隐晶质的纤维状集合体,并且具有较多的 Fe 元素和 Al 元素。经过分析样品 MW-11 蛇纹石中的 Fe 元素和 Al 元素的含量较多, Si 元素含量相对较多,扫描电镜下形貌多为鳞片状集合体、毛毡状和纤维状的片状(何仲太,2007;黄瑞芳等,2013)推测样品 MW-11 中蛇纹石类型为叶蛇纹石、利蛇纹石和纤蛇纹石(图3)通过 EDS 分析可知一部分岩石没有完全蛇纹石化,在能谱下表现出方解石、白云石和蛇纹石共生,具有两者混合的元素特征;样品 MW-13 蛇纹石中 Fe 元素和 Al 元素的含量较多,在扫描电镜下的形态多为发散的毡状集合体,少部分为纤维状成卷轴状的集合体矿物和片状的矿物(图4),推测样品 MW-13 蛇纹石的类型主要以利蛇纹石为主,含有



srd 为蛇纹石 Cal 为大理石

图2 蛇纹石化大理岩显微镜下特征

Fig.2 Microphotos showing characteristics of the serpentinized marble from the Wusutu area

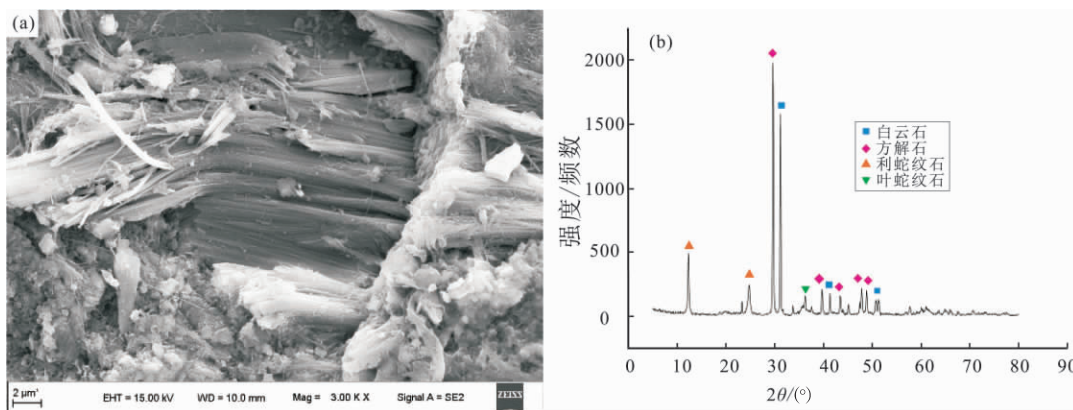


图3 MW-11 SEM 图像和 XRD 谱峰

Fig.3 SEM image and XRD spectrum of sample MW-11

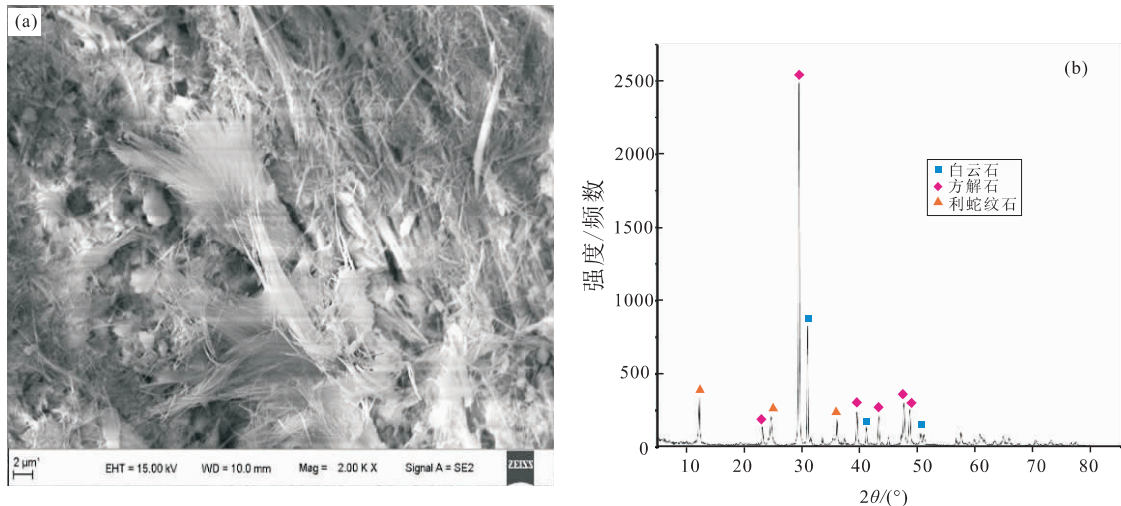


图4 MW-13 SEM 图像和 XRD 谱峰

Fig.4 SEM image and XRD spectrum of sample MW-13

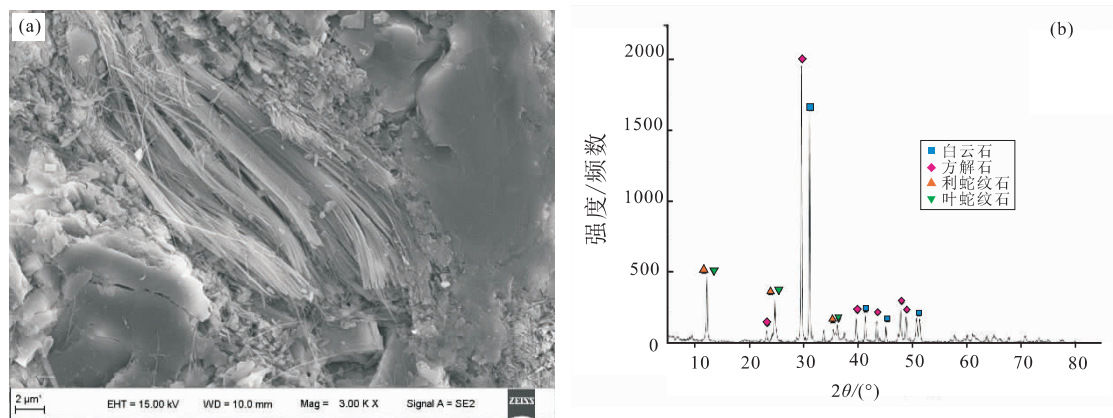


图5 MW-15 SEM 图像和 XRD 谱峰

Fig.5 SEM image and XRD spectrum of sample MW-15

一部分纤蛇纹石和叶蛇纹石; 样品 MW-15 蛇纹石在镜下中 Fe 元素和 Al 元素的含量较多, 扫描电镜下形态多为纤维状(图 5), 推测蛇纹石种类多为利蛇纹石。3 块岩石样品均不含有 Cr 元素。

X 射线衍射实验数据显示, 样品 MW-11 中主要为白云石、方解石、少量叶蛇纹石和利蛇纹石; MW-13 中主要为白云石、方解石和利蛇纹石; MW-15 中主要矿物为白云石、方解石、少量叶蛇纹石和利蛇纹石。总的来说 3 块样品中矿物组成相差不大, 衍射峰的衍射强度和衍射角基本相同, 其主要矿物均为白云石和方解石, 含有少量的利蛇纹石、叶蛇纹石或两者均有, 所有样品中均没有纤蛇纹石而在扫描电镜下局部可见纤蛇纹石; 同时, 白云石和方解石含量远远大于蛇纹石的总量。

3 蛇纹石化大理岩地球化学特征

在详细的野外勘察、扫描电镜以及显微镜下的

岩相学研究的基础上, 选取典型样品进行全岩分析。将样品进行清洗、烘干、碎样至 200 目以下, 送至廊坊市中铁物探勘察有限公司进行测试分析。主量元素测试使用仪器为 ARL Advant, X 波长色散 X 荧光光谱仪和 SX2-10-13 箱式高温炉; 测试方法据 GB/T 14506.28-2010, 依据 GB/T 14506.14-2010 对氧化亚铁测定; 测试时温度为 20℃, 湿度为 30%。

微量元素和稀土元素测试采用 X series 2 等离子体质谱仪; 依据 GB/T 14506.30-2010 和 GB/T 14506.29-2010 进行测试。微量元素测试温度 20℃, 湿度 45%~50%。稀土元素测试仪器为稀土元素, 测试温度为 28℃, 湿度为 45%~50%。

3.1 主量元素地球化学特征

由主量元素分析结果(表 1)可见: ①岩石样品中各种氧化物的含量变化不大, 岩石的化学成分主要为 CaO 和 MgO, 其含量总和为 49.13%~50.5%, Ca/Mg 值(0.97~1.68)接近 1:1, 其原岩镁质含量

相对较高,推测研究的蛇纹石化大理岩原岩为白云质灰岩;②SiO₂ 的含量为 9.83%~14.31%,平均为 11.81%,Al₂O₃ 的含量为 1.6%~1.7%,平均为 1.62%,其余氧化物的含量均低于 1%,可见研究区的大理岩来自于碎屑成分含量极低的白云质灰岩(朱继存,2000);③样品中 P₂O₅ 的含量为 0.034%~0.04%,根据前人统计的数据可知(毕明丽等,2008;刘铁庚,1988)沉积型碳酸盐岩中 P₂O₅ 含量常少于 1%,与此推测研究区蛇纹石化大理岩原岩为沉积型碳酸盐岩;④样品中 Fe₂O₃ 的含量大于 FeO 的含量,其形成环境可能是弱氧化环境或者成岩后遭受了某种作用发生了氧化反应(刘铁庚,1990)。

表 1 乌素图地区蛇纹石化大理岩主量元素成分
Table 1 Major element contents of the serpentinized marble from the Wusutu area (%)

氧化物类型	MW-11	MW-13	MW-15
Al ₂ O ₃	1.61	1.60	1.66
CaO	28.24	35.41	30.84
Fe ₂ O ₃	1.00	0.838	1.05
K ₂ O	0.183	0.256	0.205
MgO	20.89	15.09	19.09
SiO ₂	14.31	9.83	11.30
Na ₂ O	<0.06	<0.06	<0.06
MnO	0.029	0.024	0.023
P ₂ O ₅	0.040	0.034	0.036
TiO ₂	0.027	0.023	0.029
FeO	0.208	0.287	0.309
LOI	33.67	36.88	35.77
MgO+CaO	49.13	50.5	49.93
K ₂ O+Na ₂ O	<0.25	<3.2	<0.27
Ca/Mg	0.97	1.68	1.15

注: Ca/Mg 为离子比值。

3.2 微量元素地球化学特征

由微量元素分析结果(表 2) 可看出,该区蛇纹石化大理岩富集 V、Zn、Ni、Zr、Sr、Ba 等元素,亏损 Nb、Ta、U、Th、Pb、Rb 等元素。

根据测试结果,可知:①研究区不同样品中除 Ba 和 Sr 外其余微量元素含量相差不大,各微量元素变化趋势具有一致性;②前人研究表明,Zr 和 Th 可作为研究陆源碎屑物质对岩石成岩时期影响大小的代表性元素(张景山,1994)且当其含量多于 2%时碳酸盐岩中的稀土元素含量就会受到影响(张永北等,1997),乌素图地区蛇纹石化大理岩中 Zr 元素的平均含量为 11.34 μg/g, Th 元素含量平均值为 0.58 μg/g,按地壳中的 Zr 元素总含量为 240 μg/g、

表 2 乌素图地区蛇纹石化大理岩微量元素成分
Table 2 Trace element contents of the serpentinized marble from the Wusutu area (μg/g)

元素类型	MW-11	MW-13	MW-15
Li	0.54	1.46	1.18
Be	0.13	0.39	0.13
Sc	1.64	1.42	1.81
V	43.7	39.8	42.1
Cr	5.32	5.00	5.00
Co	2.88	2.09	2.13
Ni	8.87	8.89	8.55
Cu	3.64	10.2	6.95
Zn	10.7	24.2	20.5
Ga	1.65	1.20	1.39
Rb	0.27	0.48	0.33
Sr	83.1	276	96.1
Zr	14.2	9.13	10.7
Nb	0.53	0.39	0.25
Cs	0.035	0.068	0.035
Ba	114	63.5	49.9
Hf	0.645	0.36	0.49
Ta	0.057	0.033	0.035
Pb	1.49	7.66	4.80
Th	0.88	0.32	0.55
U	0.87	0.14	0.19

Th 元素总含量为 10.5 μg/g 来计算,Zr 元素约为 4%,Th 元素约为 5%,由此可见研究区岩石样品原岩受到陆源碎屑物质影响的程度非常低;③岩浆成因的碳酸盐常富 Th、贫 U(Taylor and McLennan, 1985),而沉积成因的碳酸盐岩恰好相反,岩石样品中的 w(Th)/w(U) 值为 1~2.8,根据 Th 和 U 可以推断研究区的蛇纹石化大理岩为沉积型碳酸盐岩。此外,根据 Nb、Zr 和 Hf 等含量低于地壳中平均含量的岩石为沉积成因碳酸盐岩(Nothdurft *et al.*, 2004; 刘磊和杨晓勇,2013),也可以推断研究区蛇纹石化大理岩为沉积型碳酸盐岩。

3.3 稀土元素地球化学特征

由稀土元素测试结果(表 3) 可见,3 个样品稀土元素总量(ΣREE) 为 9.55~12.99 μg/g,轻重稀土比(LREE/HREE) 较大(5.70~10.78)。球粒陨石标准化和北美页岩标准化结果(表 4,图 6a) 可见,球粒陨石标准化稀土元素配分型式整体呈左高右低的形态,说明轻稀土元素相对于重稀土元素较为富集,其中轻稀土元素段倾角较大,轻稀土元素之间分异明显,其中 Eu 亏损明显与计算得到的一

表 3 乌素图地区蛇纹石化大理岩稀土元素成分

Table 3 REE composition of serpentinized marbles from the Wusutu area (μg/g)

元素	MW-11	MW-13	MW-15
La	2.47	2.83	2.76
Ce	3.90	4.71	4.79
Pr	0.44	0.54	0.60
Nd	1.62	2.05	2.32
Sm	0.24	0.41	0.47
Eu	0.06	0.13	0.11
Gd	0.25	0.40	0.44
Tb	0.03	0.07	0.08
Dy	0.17	0.43	0.51
Ho	0.04	0.09	0.12
Er	0.12	0.29	0.33
Tm	0.02	0.05	0.06
Yb	0.15	0.32	0.34
Lu	0.03	0.05	0.06
ΣREE	9.55	12.36	12.99
LREE	8.73	10.67	11.05
HREE	0.81	1.70	1.94
LREE/HREE	10.78	6.28	5.70

注: 球粒陨石标准使用 Boynton and Wark(1984) 的数据, 北美页岩标准使用 Haskin and Gehl(1962) 的数据。

表 4 乌素图地区蛇纹石化大理岩稀土元素标准化参数值

Table 4 Chondrite-normalized and NASC-normalized REE parameters of serpentinized marbles from the Wusutu area

标准化类型	参数	MW-11	MW-13	MW-15	平均值
球粒陨石 标准化	δEu	0.74	0.97	0.73	0.81
	δCe	0.83	0.86	0.86	0.85
	(La/Yb) _N	11.10	5.96	5.47	7.51
北美页岩 标准化	δEu	1.07	1.41	1.06	1.18
	δCe	0.80	0.82	0.81	0.81
	(La/Yb) _N	1.60	0.86	0.79	1.08

致(δEu 为 0.73~0.97, 均值为 0.81; δCe 为 0.83~0.86, 均值为 0.85)。重稀土元素段较为平缓, 重稀土元素之间分异性有所减弱, 其中 Tb-Yb 段具有轻微亏损现象, 只有 MW-15 样品中 Tm 元素具有轻微富集现象; 样品中 Ce、Eu 亏损都不显著, 也可以反映出其原岩形成时受到部分陆源物质的影响, 其沉积环境相对比较稳定。

而稀土元素北美页岩标准化分布型式图(图 6b) 整体呈轻微左低右高的形态, 重稀土元素相对轻稀土元素来说富集, 可反映出原岩是在海相环境中沉积形成的; 曲线较为平缓, 说明各元素之间分异较差, 样品 MW-11 的一致性稍差与其余两块样品之间具有一定差异, 总体来说 Ce 元素亏损, Nd 轻微亏损, Eu、Ho、Tm 元素略微富集。

3.4 原岩恢复和形成环境探讨

利用 A-C-FM 图解(王立功, 2011) 来对本区蛇纹石化大理岩进行原岩恢复。在 A-C-FM 图解中(图 7), 蛇纹石化大理岩样品点均落在 X 亚组主钙质碳酸盐岩区内, 判断其原岩为碳酸盐沉积岩。

为了区分是何种成因的碳酸盐岩石, 在 MgO-CaO 图解(章少华等, 1996) 中进行投点(图 8), 大理岩样品点均落在白云岩区及其延伸范围内, 判断蛇纹石化大理岩的原岩应是白云岩。

此外, 主量元素也可判断地层的沉积环境。如沉积岩的 Fe、Mn、Al 等元素含量对区分其成因类型具有重要的意义, 因为沉积岩中 Fe、Mn 的富集主要与热水沉积作用的存在有关, 因而可用于区分热水沉积与非热水沉积(徐跃通, 1998)。Jewell 和 Stallard(1991) 提出沉积岩中 W(Al)/W(Al+Fe+Mn) 值可以判断沉积物质的来源, 当值大于 0.5 时, 其物源应为陆源, 值小于 0.5 时为热水注入。本区蛇纹石化大理岩分析样品的 W(Al)/W(Al+Fe+Mn) 值为 0.47~0.5, 反映本区蛇纹石化大理岩的物

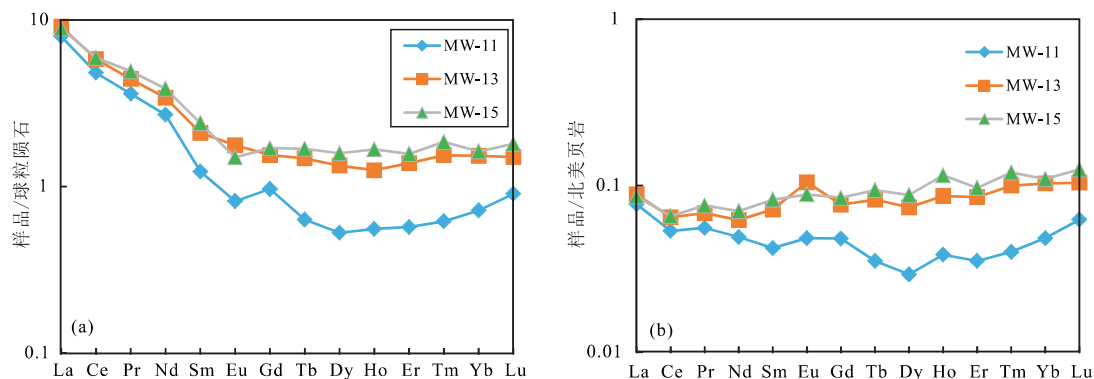


图 6 乌素图蛇纹石化大理岩稀土元素球粒陨石 (a) 和北美页岩 (b) 标准化分布型式图

Fig.6 Chondrite-normalized REE patterns (a) and NASC-normalized REE patterns (b) of serpentinized marbles from the Wusutu area

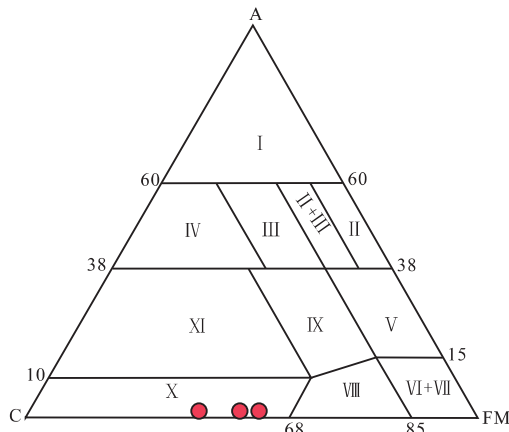


图7 蛇纹石化大理岩 A-C-FM 图解(据王立功, 2011)
Fig.7 The A-C-FM discrimination diagram of the serpentized marble(modified after Wang Ligong , 2011)

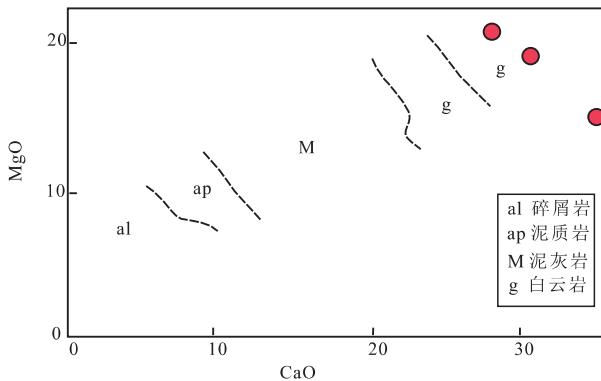


图8 区分碳酸盐岩石的 MgO-CaO 图解(章少华等, 1996)
Fig.8 The MgO-CaO discrimination diagram of carbonate rocks(after Zhang Shaohua *et al.* ,1996)

质来源为海相沉积,可能有热水沉积参与。

蛇纹石化大理岩富含镁,原岩为白云岩。该套岩石应形成于干燥气候条件下的有障壁岛存在封闭海盆中。沉积岩层中的镁铝含量比 ($m = 100 \times \text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3$) 是沉积环境的标志之一(张士三, 1990) 在由淡水向海水过渡的沉积环境中,沉积岩层的 m 值随沉积环境中水体的盐度增加而增加,淡水环境下 $m < 1$; 陆海过渡性沉积环境为 $1 < m < 10$; 海水沉积环境为 $10 < m < 500$, 陆表海的 $m > 500$ 。本区内的蛇纹石化大理岩 m 值为 943~1297, 平均值为 1130, 显示出陆表海的特性。由此可推断出乌素图地区蛇纹石化大理岩原岩为陆表海相沉积型白云岩。

4 结论

(1) 乌素图地区蛇纹石化大理岩主要以方解石和白云石为主,含有少量蛇纹石,其中蛇纹石以利

蛇纹石为主要类型,含有少量的叶蛇纹石和纤蛇纹石,蛇纹石呈鳞片状交代了原先为透镜状粒状假象或压扁条带状的橄榄石。

(2) 乌素图地区的蛇纹石化大理岩化学成分主要为 CaO 和 MgO,两者含量之和为 49.13%~50.5%, Ca/Mg 离子数比值为 0.97~1.68,富集 V、Ni、Sr、Ba 等大离子亲石元素,亏损 Nb、Ta、U、Th 等高场强元素。ΣREE 为 9.55~12.99 μg/g, Ce 元素在球粒陨石和北美页岩标准化后都明显亏损, Eu 元素在球粒陨石标准化后为亏损,北美页岩标准化后为富集。

(3) 乌素图地区蛇纹石化大理岩原岩为陆表海相沉积型白云岩,受陆源物质影响小,其沉积环境比较稳定。

致谢: 内蒙古地质调查局的同志们在野外采样过程中提供帮助, 东北大学秦皇岛分校扫描电镜实验室、X 射线衍射实验室工作人员在实验过程中给予指导, 在此一并致谢!

参考文献 (References):

Bogoch R, Magaritz M, Michard A. 1986. Dolomite of possible mantle origin, southeast Sinai. *Chemical Geology*, 56(3-4): 281-288

Boynton W V, Wark D A. 1984. Trace element abundances in rim layers of an allende type coarse-grained Ca, Al-rich inclusion. *Meteoritics*, 19: 195

Condie K C, Wilks M, Rosen D M, Zlobin V L. 1991. Geochemistry of metasediments from the Precambrian Hapschan Series, eastern Anabar Shield, Siberia. *Precambrian Research*, 50(1-2): 37-47

Haskin L, Gehl M A. 1962. The rare-Earth distribution in sediments. *Journal of Geophysical Research Atmosphere*, 67(6): 2537-2541

Jewell P W, Stallard R F. 1991. Geochemistry and paleoceanographic setting of Central Nevada bedded barites. *The Journal of Geology*, 99(2): 151-170

Nothdurft L D, Webb G E, Kamber B S. 2004. Rare earth element geochemistry of Late Devonian reefal carbonates, Canning Basin, western Australia: Confirmation of a seawater REE proxy in ancient limestones. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 68(2): 263-283

Taylor S R, McLennan S M. 1985. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 312

阿那尔, 那仁满都拉, 乌兰图雅, 张建中, 贾宁. 2013. 大青山山前断裂乌素图-奎素段对呼和浩特市区的地震危害性评估. *内蒙古科技与经济* (8): 54-55, 61

毕明丽, 路来君, 赵庆英, 刘正宏. 2008. 内蒙古大青山地区孔兹岩系中大理岩岩组的地球化学特征及原岩建造. *中国地质*, 35(4): 639-647

何仲太. 2007. 大青山山前活动断裂的分段地震危险性概率评估. 见: *中国地震局地壳应力研究所. 地壳构造与地壳应力文集*. 北京: 地震出版社, 19: 35-41

- 黄瑞芳, 孙卫东, 丁兴, 王玉荣. 2013. 基性和超基性岩蛇纹石化的机理及成矿潜力. 岩石学报, 29(12): 4336-4348
- 李英杰, 王金芳, 李红阳, 董培培, 刘玉翠, 刘德武, 白卉. 2012. 内蒙古西乌珠穆沁旗迪彦庙蛇绿岩的识别. 岩石学报, 28(4): 1282-1290
- 刘磊, 杨晓勇. 2013. 安徽霍邱 BIF 铁矿地球化学特征及其成矿意义: 以班台子和周油坊矿床为例. 岩石学报, 29(7): 2551-2566
- 刘铁庚. 1988. 岩浆碳酸岩与沉积碳酸盐岩造岩元素的鉴别特征. 矿物岩石, 8(2): 50-60
- 刘铁庚. 1990. 碳酸盐岩石成因类型的判别分析和白云鄂博“白云岩”的成因讨论. 沉积学报, 8(3): 93-102
- 王立功. 2011. 内蒙古哈拉干拉乌苏地区蛇纹石化大理岩初步研究. 硕士学位论文. 北京: 中国地质大学(北京)

- 徐跃通. 1998. 信江盆地石炭纪硅质岩地球化学特征及沉积环境意义. 地质科学, 33(1): 39-50
- 张景山. 1994. 辽东硼镁石型硼矿床地质特征及成矿作用. 辽宁地质, 4(4): 289-324
- 张永北, 魏启荣, 徐成彦, 王豪. 1997. 我国发现元古代变质水下喷发碳酸熔岩. 科学通报, 42(21): 2321-2324
- 张士三. 1990. 太平洋中部表层沉积物镁铝含量比的变化. 台湾海峡, 9(3): 244-250
- 章少华, 陶维屏, 蔡克勤. 1996. 豫西南镁质大理岩建造非金属矿床成矿系列. 北京: 地质出版社
- 朱继存. 2000. 蛇纹石的物质成分特征和利用. 石材, 12(12): 33-35

(本文责任编辑: 龚超颖)

• 亮点速读 •

沙漠湿地对气候突变的动态响应

沙漠湿地是干旱环境中最为关键的生态系统, 记录了地质历史时期内地下水资源的排放, 地下水资源本身是不连续的并且在地层中是错综复杂的, 限制了研究者对沙漠湿地如何与气候变化的响应的了解。前人研究表明在长时间尺度上, 比如冰期-间冰期内, 沙漠湿地的变化同气候的变化是有联系的, 但在小的时间尺度上沙漠湿地对天气变化响应是否敏感仍有待于进一步研究。

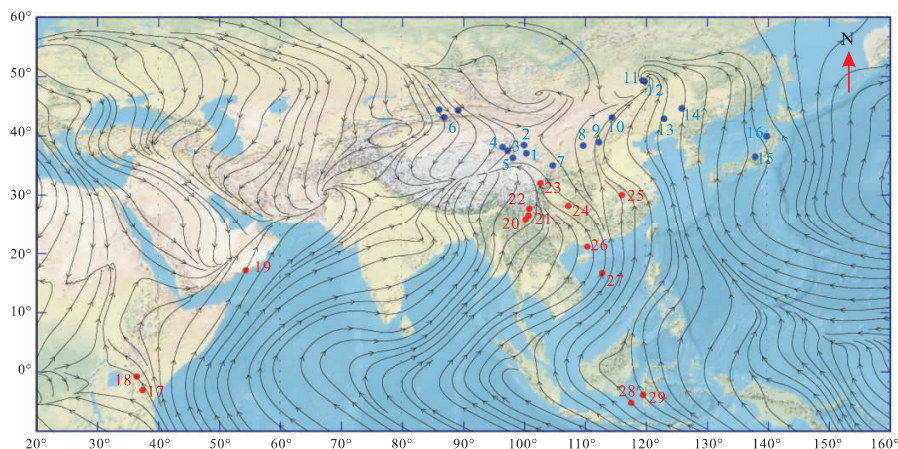
美国圣贝纳迪诺县博物馆的 Kathleen B. Springer 等在 11 月 24 日出版的《PANS》上发表的研究表明, 急剧的气候变化可能引发干旱并导致干旱环境中依赖于稳定的水资源的脆弱生态系统崩溃。他们综合运用地理测绘、地层学分析和碳 14 测年等方法, 重建了美国内华达南部拉斯维加斯山谷湿地的 35000 年来详细的演变历史, 这些湿地生活着数以百计的水鸟、爬行类和哺乳类物种。研究人员根据地层中沉积物恢复了该地古地理环境, 结果表明湿地的扩张与收缩的周期同格陵兰冰心记录的气候变化同步。晚第四纪时期, 地下水补给的停止以及持续变暖事件导致该山谷整个湿地系统多次的崩溃, 致使干旱的环境持续了数个世纪之久。作者指出, 这些记录显示出沙漠湿地系统中动植物等生态系统在气候突变时候的脆弱性。

这项研究表明沙漠地下水资源可以用来重建短时间尺度上的古气候环境。在持续数世纪之久的干旱环境中, 人类活动导致气候变暖对干旱环境中依赖于稳定的水资源的脆弱生态系统的威胁也越发突出。

(袁超 供稿)

更正

本刊 2015 年(第 34 卷)第 2 期发表的徐海等“青藏高原东缘近 2000 年湖泊气候记录及全球联系”一文, 因排版原因, 有一处错误: P259 页图 1 纵坐标刻度(纬度)出现偏移, 正确的应是数字整体向上移动一个刻度, 如下图:



特此说明, 并向读者致歉。

《矿物岩石地球化学通报》编辑部

特约主题:超基性岩蛇纹石化 与地球生命起源/演化

编者按语:生命起源/演化是重大而又最具争议的科学问题。对蛇纹石化超基岩寄主生物圈的研究,有望获得地球上古老而独特的前生命/生命有机质成因和演化的重要信息。超基性岩蛇纹石化生成非生物成因烷烃与其他有机化合物,为化能自养微生物群落提供了所需要的能量和初始物质,是生命起源最重要的变质水化反应。本专辑收录了王先彬和张明峰课题组,研究蛇绿岩中蛇纹石化橄榄岩的部分成果。该组论文从研究区地质-构造背景,岩石-矿物学组合,主量-微量元素组合,氧化-还原特征,以及气体-有机地球化学特征等的耦合关系,综合论述了蛇纹石化基础理论和实际观测结果。Mössbauer spectrometry 研究表明,蛇纹石化橄榄岩总含铁量和 Fe^{3+} 的分布不仅与磁铁矿密切相关,而且 Fe^{3+} 以分布于蛇纹石中占优势。这对正确估算蛇纹石化过程中 H_2 的生成量有十分重要的意义,对估算俯冲带 Fe^{3+} 输入和评估原生地幔岩的蛇纹石化作用有重要参考价值。Stepwise-Heating-MS 技术测定,揭示了二氧化碳和气态烷烃,非生物成因和生物成因两种组分的共存特征。Py-GC-MS 技术测定,揭示了两种来源有机质,一是费-托合成反应产生的非生物成因有机质,另一是海洋有机质热降解/和,或微生物活动残留的生物成因有机质。生命起源/演化是当今国际学术界共同关注的重要前沿研究领域之一。该项研究所取得的初步结果,为进一步研究蛇纹石化作用与生命起源/演化的相关性,积累了重要基础资料。也将为关注该研究领域的读者提供有益的参考资料。



特邀主编:王先彬,1941年生。中国科学院地质与地球物理所兰州油气资源研究中心研究员、博士生导师。长期从事气体地球化学研究,涉及:常规天然气、深层天然气、非生物成因天然气,稀有气体同位素地球化学,深部气体地球化学,地震与火山气体地球化学和环境地球化学。近年来承担《松辽盆地地幔脱气作用与非生物成因天然气》和《蛇纹石化作用和非生物成因氢、甲烷、烷烃》自然科学基金课题。开展了非生物成因天然气资源和生命起源/演化的相关研究。共出版专著8部(含独著1部),发表论文200余篇。曾获国家自然科学奖1项,中国科学院自然科学奖3项,中国科学院科技进步奖5项,甘肃省科技进步奖1项。

专栏作者简介



郭秉成,内蒙古地矿建设工程集团有限责任公司副总经理兼地质总工程师,高级工程师。1983年毕业于河北地质学院物探系,曾任内蒙古国土资源勘查开发院技术负责、分队长、总工程师、所长。多年来在内蒙古从事找矿勘查工作,其中负责完成的“内蒙古自治区卓资县聚宝庄银多金属矿普查”与“内蒙古自治区四子王旗额尔登一带银铅多金属矿预查”等项目具有很大的找矿前景。



卓胜广,东北大学秦皇岛分校应用地质研究所所长,教授。长期从事油气田勘探与开发领域里的科研工作,尤其在新区块的油气地质调查与评价研究中具有丰富的积累和专长。在油藏储层预测与油藏评价及油气藏开发压裂改造等领域先后参加和负责承担各级科研项目40多项,发表论文30余篇。科研成果获省部级科技进步一等奖1项,二等奖2项。



张明峰,博士,中国科学院地质与地球物理研究所兰州油气资源研究中心副研究员。从事油气地球化学的研究工作。先后主持国家自然科学基金、中国科学院“西部之光”等项目,发表论文20余篇。近几年开展基性岩-超基性岩蛇纹石化作用的气体地球化学研究,探讨蛇纹石化过程与氢气、甲烷的形成机理,以及气体的来源和成因。



梅盛旺,中国科学院广州地球化学研究所在读硕士研究生,主要从事岩浆岩岩石学和岩石地球化学研究。



傅振洋,中国地质大学(北京)在读硕士研究生,主要从事大地构造演化过程和蛇绿混杂岩岩石组合样式研究。