

# 内蒙古西乌珠穆沁旗阿木山组海绿石的特征 及其沉积环境

王俊涛<sup>1</sup>, 张永生<sup>1</sup>, 宋天锐<sup>2</sup>

(1. 中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京 100037; 2. 中国地质科学院 地质研究所, 北京 100037)

**摘要:** 在内蒙古西乌珠穆沁旗晚石炭世—早二叠世阿木山组第三段泥晶灰岩中发现有海绿石。对海绿石的微观特征分析表明, 阿木山组海绿石呈团粒状结构, 同时呈胶体产出于方解石周边, 显示了原生海绿石的基本特点。电子探针的组分分析表明, 阿木山组中的海绿石为高成熟度的海绿石。通过对不同地区和不同环境下海绿石的组分特征分析, 建立了一种海绿石沉积的理想模式, 同时揭示了阿木山组第三段海绿石化作用是在含氧量不够充分的弱还原状态下的正常浅海中进行的。本区阿木山组的下碎屑岩段和上灰岩段是在海水两进两退环境下的沉积, 阿木山组灰岩中发现的海绿石则有可能代表了一个海进的开始。本区海绿石的发现及研究, 对于进一步研究该区层序地层特征、地层格架及区域地层对比具有重要意义。

**关键词:** 海绿石, 西乌珠穆沁旗, 阿木山组, 沉积环境

中图分类号: P578.962

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2011)02-0259-08

## Characteristics and sedimentary environment of authigenic glauconite from limestone of the Amushan Formation in Xi Ujimqin Banner, Inner Mongolia

WANG Jun-tao<sup>1</sup>, ZHANG Yong-sheng<sup>1</sup> and SONG Tian-rui<sup>2</sup>

(1. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

2. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

**Abstract:** Glauconite is closely linked to some particular sedimentary environments and conditions. Authigenic glauconite grains were discovered in micritic limestones of 3<sup>rd</sup> Member of the Late Carboniferous-Early Permian Amushan Formation in Xi Ujimqin Banner, Inner Mongolia. Through analyzing the sedimentary environment of Amushan Formation, the authors have found that the glauconite grains commonly occur as colloids around calcite cement and assume granular structure, which are indicative of typical authigenic feature, suggesting that the glauconite grains were less influenced by later diagenesis. There are framboidal pyrites around glauconite grains, implying that the sedimentary environment of glauconite grains in Amushan Formation was probably weakly reductive. The spectral curve of glauconite in limestone of Amushan Formation demonstrates typical glauconite composition characteristics. The EPMA data indicate that they are highly mature in nature. Through a comparative study of EPMA data of glauconite samples collected from different areas and different environments (such as Cambrian glauconitic limestone in Texas of the USA, glauconitic sandstone of the Late Proterozoic Qingbaikou System in Western Hills of Beijing, authigenic glauconite grains from Cretaceous sandstone in Jixi basin of Heilongjiang, and authigenic glauconite grains from micritic limestones in Late Carboniferous-Early Permian Amushan Formation of west Ujimqin, Inner Mongolia), an ideal glauconite sedimentary environment model has

收稿日期: 2010-08-20; 修订日期: 2010-11-25

基金项目: 中国地质调查局资源评价资助项目(1212010782004)

作者简介: 王俊涛(1983-), 男, 博士研究生, 从事沉积学和岩相古地理研究, E-mail: andywang1983@sina.com

been established in this paper, which shows that the authigenic glauconite grains in Amushan Formation might have benefited from the semi-closed reductive microenvironment produced by the biological clastic rock at the top of the open clastic platform and the glauconitization probably occurred in the normal shallow water of slight reduction with low-oxygen levels in the air. The sedimentary environment of the low clastic rock and upper limestone of Amushan Formation in this area was characterized by two transgressions and two regressions. The formation of glauconite in Amushan Formation may represent the beginning of the transgression. The discovery and study of glauconite in this area have an important significance in such research fields as regional correlation, tectonic evolutionary framework and regional tectonic environmental analysis.

**Key words:** glauconite; Xi Ujimqin Banner; Amushan Formation; sedimentary environment

内蒙古西乌珠穆沁旗阿木山组为一套碳酸盐-碎屑岩混合台地沉积,在某些层段的泥晶灰岩中产出海绿石,前人甚少提及,虽然丰度不大,但是与特定的沉积条件和沉积环境息息相关。长期以来,海绿石被认为是一种典型的海相自生矿物(Ordin and Matter, 1981),可作为鉴定海相和海陆过渡相地层的标志之一(吴健君,1992)。不同时代不同地区沉积层内海绿石的分布不同,而且成因和类型也不同,这一点对于沉积环境的分析来说十分重要。本文拟根据不同沉积环境下海绿石的产出特征来对比分析阿木山组海绿石形成时所处环境,并进行比较合理的解释。

## 1 阿木山组的地层学特征

本文研究的阿木山组剖面为西乌珠穆沁旗密韩高巧高鲁剖面。该剖面地层属晚石炭世晚期至早二叠世(鲍庆中等,2005),为一套碳酸盐-碎屑岩混合台地沉积,下段主要为碎屑岩沉积,上段主要为一套深灰-灰色的块状生物碎屑碳酸盐岩。根据笔者野外实测,该剖面沉积厚度大于 1 000 m。

剖面上阿木山组可分为 5 段。第一段厚约 134 m,为紫红色、灰褐色中厚层状砾岩、砂砾岩和深灰色厚层状礁格架灰岩。第二段厚约 355 m,为灰绿色、灰色薄-中层夹厚层中细粒长石砂岩和粉砂岩,夹灰色钙质胶结中细粒长石砂岩透镜体和砂屑灰岩透镜体。第三段为深灰色中厚层生物屑细晶灰岩和丘状礁灰岩,夹深灰绿色薄中-厚层细粒长石砂岩和钙质粉砂泥岩,厚约 357 m。第四段为灰色、深灰色厚层块状含生物屑礁格架微细晶灰岩,夹泥质条带的内屑微晶灰岩和薄层生物屑灰岩,厚约 237 m。第五段厚约 337 m,下部为灰色、深灰色薄层板状粉细石英砂屑灰岩和钙质粉砂岩,夹丘状生物屑灰岩;上部为

灰色、深灰色厚层块状灰质角砾灰岩。对比稳定碳酸盐台地沉积,该剖面发育细碎屑岩,沉积环境多复杂,地层可识别出 5 种沉积相(图 1)。

## 2 海绿石的产出特征

### 2.1 海绿石的宏观产出特征

西乌旗阿木山剖面海绿石出现在第三段底部的泥晶灰岩中(图 1),其他层位均未发现。从剖面中可以看出,海绿石层位下部主要以碎屑岩为主,上部主要以碳酸盐岩为主。海绿石层位以灰岩和碎屑岩互层为主。海绿石始出现于距阿木山组底界 490 m 的泥灰岩中,往上延续约 5 m 过渡到深灰色泥晶灰岩中,含量有所增多,最后延续到该层泥晶灰岩消失时消失。

### 2.2 海绿石微观产出特征

笔者利用显微镜和扫描电镜对海绿石的微观产出特征进行了详细的观察,其中扫描电镜观察和电子探针成分分析在矿冶研究总院离子探针中心进行,实验仪器为美国 EDAX 公司生产的 GENESIS-7000(能谱型号)和 QUANTA-600(电镜型号)。

在发现海绿石的泥晶灰岩薄片,沉积物主要由泥晶方解石构成,同时见有一些生物碎屑,未见陆源碎屑,部分泥晶方解石发生重结晶。海绿石主要分布在这些泥晶方解石带内,一般出现大约 3~5 颗,且分布不均匀。单偏光下观察,海绿石多呈黄色(图 2a),可能受本身颜色影响,在正交偏光下仍略带黄色(图 2b)。多数海绿石为颗粒的集合体,具集合偏光,形态多样,呈团粒状(图 2a、2b),粒径较小,为 0.01~0.15 mm。海绿石在没有外来因素干扰的情况下,沉积初期为凝胶质,受水动力影响不断滚动而形成团粒状,虽然在后期的沉积过程中,会受到其他颗粒的碰撞和挤压,也可形成不规则状外形,但本次

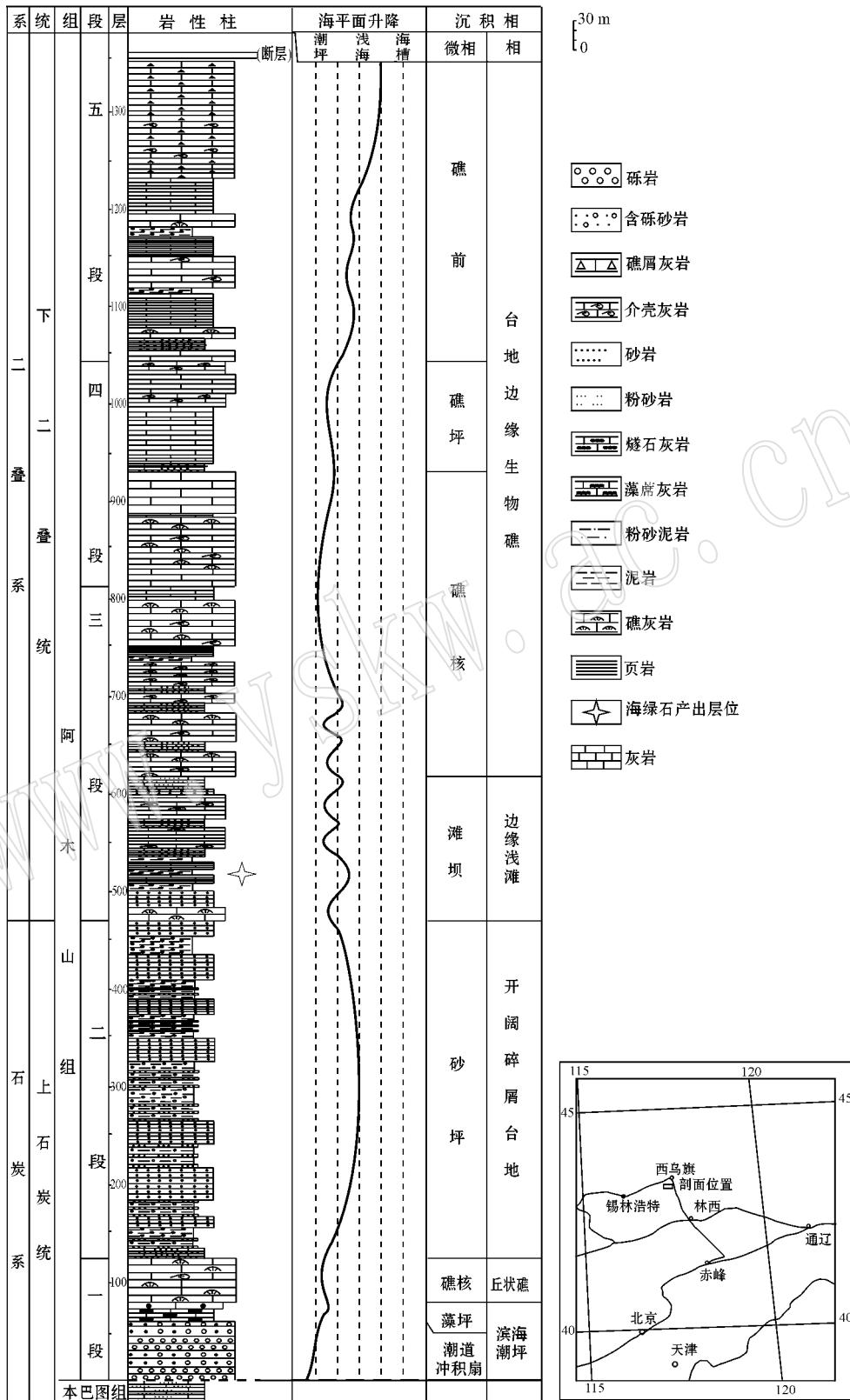


图 1 内蒙古西乌珠穆沁旗阿木山组剖面综合柱状图及地理位置图

Fig. 1 Composite columnar section and geographic location of Amushan Formation in Mihangaojiaogao, Xi Ujimqin Banner, Inner Mongolia

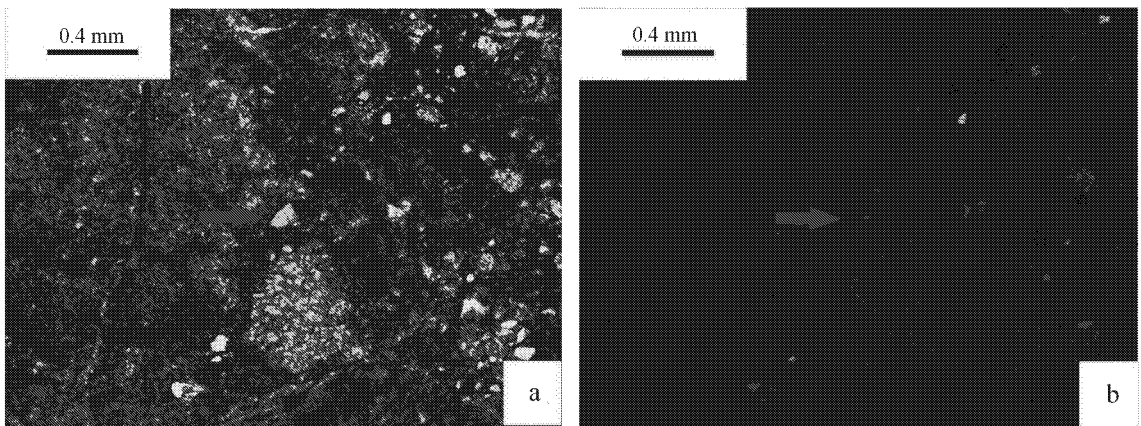


图2 含海绿石灰岩显微照片

Fig. 2 Micrograph of glauconite-bearing limestone

镜下见到的海绿石大多仍呈团粒状,说明基本未受到后期成岩作用的影响。海绿石的形态还容易受到方解石的影响和改造(周锡强等,2009),但样品中的海绿石大部分还保留有粒状弧形轮廓,呈胶体状出于方解石晶体边部。同时,在海绿石附近见有莓状黄铁矿(图3),可能代表了硫酸盐还原细菌在形成泥灰岩时活动的痕迹,说明泥灰岩和硫酸盐还原细菌之类的微生物存在密切联系(梅冥相等,2008),这从一种角度表明了晚石炭世晚期的浅海环境可能还是一种弱还原的环境。

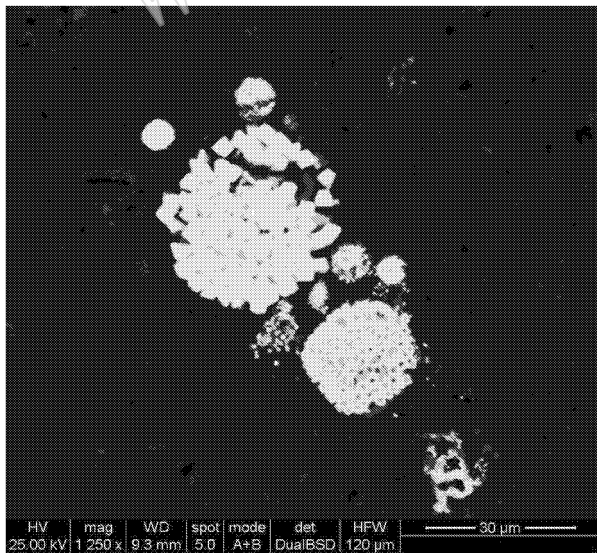


图3 阿木山组灰岩中的莓状黄铁矿扫描电镜照片

Fig. 3 SEM characteristics of framboid pyrite in limestone of Amushan Formation, reflecting bacteria action in a reducing environment

图4为不同环境不同地区产出海绿石的扫描电镜照片。在美国德克萨斯州寒武纪海绿石灰岩的扫描电镜照片(图4a)中,可见海绿石周边被方解石基质包围,同时海绿石颗粒中见有脉状磷灰石细晶,反映有海底底栖生物分解磷质成分加入(Palmer, 1954);图4b为北京西山晚元古代海绿石砂岩扫描电镜照片,可见到海绿石与钾长石、石英等共生,并出现鱼骨状层理,反映涨落潮水流在潮沟中的影响(宋天锐等,1989);图4c为黑龙江鸡西盆地晚白垩世含海绿石砂岩扫描电镜照片,其中海绿石与石英、方解石和金红石等共生,显示出海侵的特征(曹洁等,2010);图4d是本文阿木山组泥晶灰岩中的海绿石扫描电镜照片,伴生矿物主要为方解石,与偏光显微镜下观察不同的是,海绿石轮廓清晰可见,还可观察到海绿石的聚合粒状结构,这与图4a、图4b的粒状结构类似,但是同海绿石的片状叠合体(图4c)不同。这可能反映了海相海绿石同海侵相海绿石在形态方面的差异(表1)。

### 3 海绿石的组分特征

海绿石的电子探针成分分析数据见表1,其能谱曲线见图5。

钾的含量是划分海绿石成熟度的关键性指标,据此海绿石可划分为初生( $K_2O < 4\%$ )、低成熟度( $K_2O = 4\% \sim 6\%$ )、中成熟度( $K_2O = 6\% \sim 8\%$ )和高成熟度( $K_2O > 8\%$ )海绿石(Ordin and Matter, 1981)。中成熟度的海绿石,推测在海底基质中形成时限为 $10^4 \sim 10^5$  a,可以指示具有地质意义的沉积间

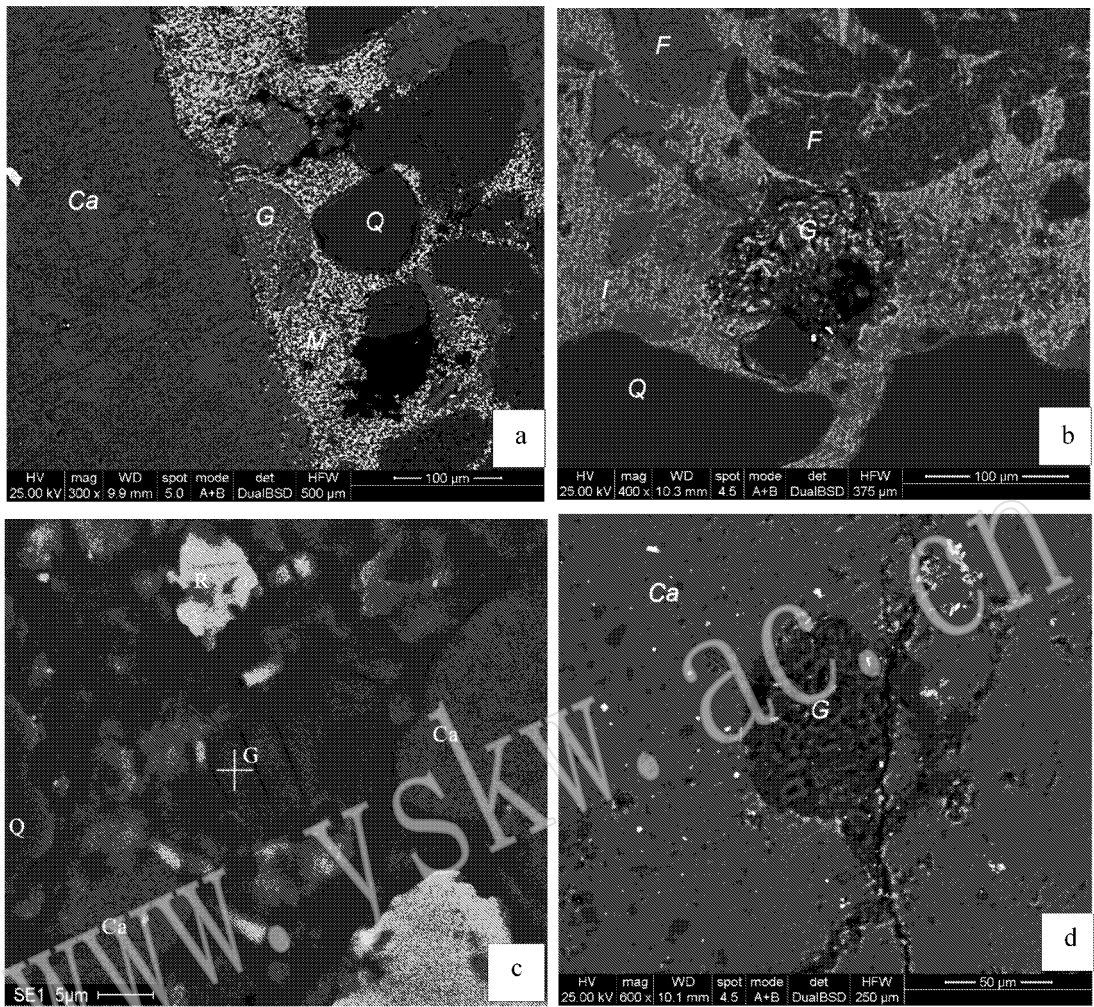


图 4 不同地区不同沉积环境海绿石在扫描电镜中的特征

Fig. 4 SEM characteristics of glauconite in different areas and different environments

a—美国德克萨斯州寒武系海绿石灰岩；b—北京西山晚元古界青白口系海绿石砂岩；c—黑龙江鸡西盆地白垩系含海绿石砂岩；d—内蒙古晚石炭—早二叠世含海绿石灰岩；G—海绿石；Ca—方解石；Q—石英；M—玉髓杂基；F—钾长石；I—伊利石；R—金红石

a—Cambrian glauconitic limestone in Texas, USA ; b—glauconitic sandstone of Late Proterozoic Qingbaikou System, Western Hills, Beijing ; c—authigenic glauconite grains in Cretaceous sandstone of Jixi Basin, Heilongjiang ; d—authigenic glauconite grains in micritic limestones of Late Carboniferous-Early Permian Amushan Formation in Xi Ujimqin Banner, Inner Mongolia ; G—glauconite ; Ca—calcite ; Q—quartz ; M—calcedony matrix ; F—K-feldspar ; I—illite ; R—rutile

表 1 内蒙古西乌珠穆沁旗阿木山组海绿石与其他地区海绿石探针成分对比表

$w_B/\%$

Table 1 Comparison of electron microprobe analytical results of authigenic monazite between Amushan Formation of Xi Ujimqin Banner and other areas

	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	FeO <sup>T</sup>	沉积环境
美国德克萨斯(a)	5.17	4.31	43.25	0.66	12.94	4.75	28.92	海盆相(Palmer, 1954)
北京西山(b)	23.57	4.95	32.48	0.24	5.70	1.37	31.69	潮沟(宋天锐等, 1989)
黑龙江(c)	28.35	3.08	42.24	1.34	7.73	3.78	13.48	湖相(曹洁等, 2010)
本文(d)	21.23	3.70	46.28	1.71	10.43	12.88	3.78	台地相

断(周锡强等 2009)。电子探针数据表明,阿木山组第三段海绿石  $K_2O$  含量为 10.43%,属于高成熟度的海绿石。与其他地区不同时代和沉积环境的海绿石的化学成分对比,本区海绿石的基本成分与其他地区大致相同,但  $P_2O_5$  含量明显较高(1.71%)(表 1)。一般来说,从沉积环境角度来看,环境中生物含量越丰富的, $P_2O_5$  含量越高,反之  $P_2O_5$  含量越少,因为海洋生物分解可析出大量磷,磷主要来自海洋。 $FeO^T$  含量较低,为 3.78%,低于现代海绿石  $FeO^T$  含量均值(25%)(徐勇航等,2010)。在早期成岩过程中,海绿石晶格中的铁为铝所置换,并从沉积物的间隙水中吸取钾,导致海绿石随着成岩作用的进行,其  $Al_2O_3$  与  $K_2O$  含量增加,而  $FeO^T$  含量减少(Chen,1994),因此海相海绿石一般具有高铝低铁的特征(黄凯芬等,1981;丁述理,1991)。由本区海绿石的能谱曲线(图 5)也可看出,其中 Al 含量是 Fe 含量的数倍,显示出海相海绿石的典型成分特征。

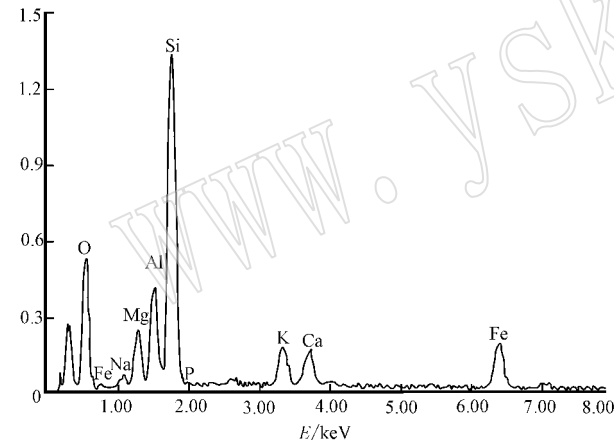


图 5 内蒙古西乌珠穆沁旗阿木山组合海绿石灰岩中海绿石的能谱曲线

Fig. 5 Spectral curve of glauconite in limestone of Amushan Formation, Xi Ujimqin Banner, Inner Mongolia

#### 4 海绿石沉积环境探讨

海绿石的形成过程是富集离子的过程(图 6)。海水中的  $SiO_2$  易被浮游生物吸收,生物死亡沉积促使底层海水中富含  $SiO_2$ ,同时离物源区的远近也是  $SiO_2$  含量不同的原因之一。粘土矿物易吸附海水中的 K 而造成海绿石中 K 的富集;P 的富集主要与生物有关,生物的堆积会造成海绿石中 P 的富集,如北京西山前寒武纪海绿石中 P 的含量很低,主要是因

为生物难以保存并受到后期破坏而使得 P 的富集变少(陈瑞君,1985)。生物、矿物和岩屑组成的底质中可析出大量 Fe、Mg、Al,然后逐渐分解转变成胶体状腐殖质,与 Ca、P、S 的化合物结合,并在三角洲前缘和前三角洲之间的过渡带、陆棚边缘的浅海带等弱还原、弱碱性环境中聚集。

阿木山组泥晶灰岩中海绿石的形成可能得益于开阔碎屑台地顶部介壳内产生的半封闭还原的微环境。在沉积物-水界面附近,泥晶沉积物因有机质腐烂而形成弱氧化-还原的微环境,并充填有不同于上覆海水的孔隙流体,造成了 K 和 P 的富集。由于离物源区较远,Al 和 Fe 含量较少,在泥晶沉积物孔隙中海绿石化作用通过自形晶体生长并伴随底质的逐渐蚀变和交代进行,因此海绿石主要在方解石晶体周边形成。海绿石化作用可能受到微环境的自然封闭程度及与周围开阔海洋水之间离子交换的微平衡影响。海绿石化与微生物活动的关系等许多问题需要进一步的研究(周锡强等,2009)。阿木山组第三段中的原生海绿石是否能指示地层间断(Ordin and Matter,1981),还需进一步研究。

#### 5 地质意义

现代的海绿石主要形成于陆架边缘和大陆斜坡上部这样一个沉积缓慢的环境中,海绿石成熟度越高则意味着所经历的沉积间断越长(Amorosi,1995,1997;徐勇航等,2010)。因此,在慢速、弱还原、较深水的沉积环境中,海绿石,特别是原生海绿石,可以作为一种指向矿物,而在浅海沉积中它又常常成为“凝缩段”及相关沉积的识别标志之一(葛铭等,1995;Kitamura,1998;Chafetz and Reid,2000;Rousset *et al.*,2004)。然而,最近研究表明海绿石也可在非常浅的、高能的、高沉降速率的环境中形成(Chafetz and Reid,2000;梅冥相等,2008)。

微晶质的海绿石为胶体成因,一般具原地沉积的基本特征(周锡强等,2009)。陈丽蓉等(1982)通过对闽南-台湾大陆架表层沉积物的研究认为,海绿石的含量或发育程度主要与水深、水温及盐度有关:在水深 200~250 m 处海绿石可大量出现,而在水深 <100 m 的地带,海绿石含量很少,在平均温度为 14~18℃、平均盐度为 34.5‰~34.7‰ 的范围内,海绿石最为发育。由此可见,本次泥晶灰岩中的海绿石形成环境可能为浅海或浅滩。

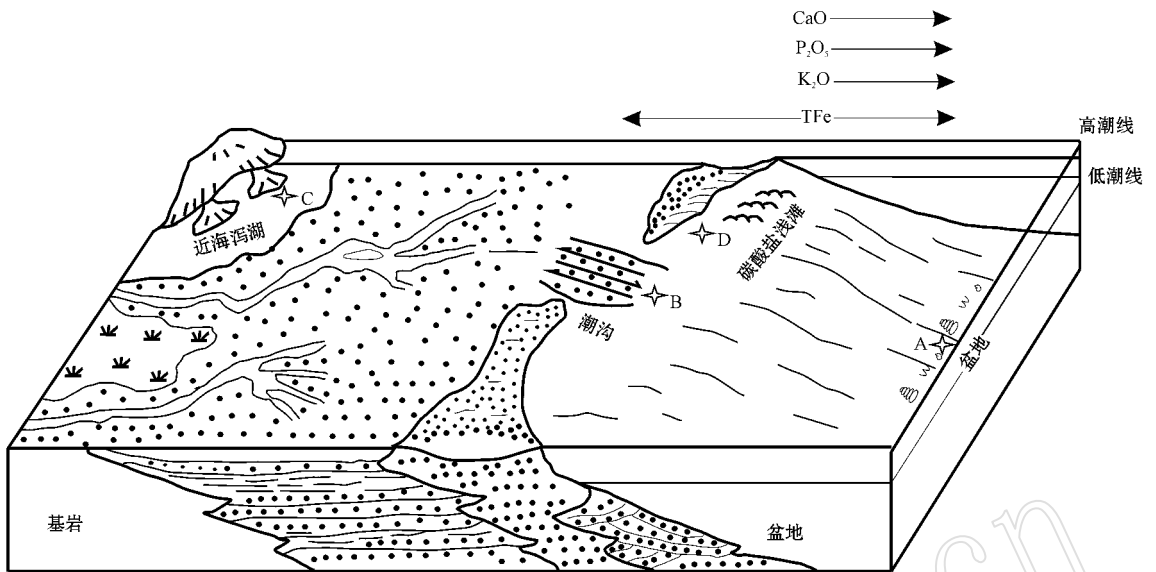


图 6 海绿石沉积环境理想模式图(箭头指向元素含量增加)

Fig.6 Ideal model of sedimentary environment for glauconite( arrowhead shows increasing element content )

西乌珠穆沁旗阿木山组灰岩中的海绿石,  $K_2O$  含量大于 8%, 显示高成熟度海绿石的特点。同时海绿石呈胶体状在方解石周边形成, 显示出原地海绿石的基本特点。发育有海绿石的灰岩层位中的生物碎屑较多, 且分选磨圆较差, 反映一种高能的、快速堆积的环境; 而霉状黄铁矿的存在说明是一个弱还原的沉积环境。因此, 阿木山组灰岩中的海绿石形成于高能的浅海环境, 而非较深水、缓慢堆积的环境, 可能说明晚石炭世—早二叠世的正常浅海还处于含氧量不够充分的弱还原状态, 在不同沉积环境下海绿石的产出具多样性。

石炭二叠纪地层是中朝板块和西伯利亚板块碰撞之后, 在北东—北东东向拉张环境下于本区首次沉积的浅海相—海陆交互相地层(鲍庆中等, 2005), 唐克东等(1995)认为本区石炭二叠纪已经不存在洋壳, 鲍庆中等(2005)认为本区石炭二叠纪火山—沉积岩形成于裂谷构造环境。从整个内蒙古草原地区区的岩石地层分布来看, 西伯利亚板块南缘在阿木山期从北到南依次分布火山岩沉积地层、海陆交互相火山沉积地层、海相碎屑岩、海相厚层碳酸盐地层(鲍庆中等, 2005)。由于海侵的逐渐扩大, 沉积物由粗碎屑—细碎屑—碳酸盐逐渐过渡(内蒙古自治区地质矿产局, 1991), 而本区阿木山组的下碎屑岩段和上灰岩段是处在海水两进两退环境下的沉积(韩建修等, 1979)。下部灰岩标志着一个稳定的海进过

程, 接受了大量的碳酸盐岩沉积; 碎屑岩段则代表了一个海退过程, 接受了大量的碎屑岩沉积; 上灰岩段初期代表了一个稳定的海进, 至末期海水退出。而在阿木山组灰岩中发现的海绿石则有可能代表了一个海进的开始, 在本区是否有地层对比意义, 则需要进一步的研究。本区海绿石的发现及研究, 对于进一步研究该区层序地层特征、地层格架及区域地层对比具有重要意义。

### References

Amorosi A. 1995. Glaucony and sequence stratigraphy: a conceptual framework of distribution in siliclastic sequences[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 65: 419~425.

Amorosi A. 1997. Detecting compositional, spatial, and temporal attributes of glaucony: a tool for provenance research[J]. *Sedimentary Geology*, 109: 135~153.

Bao Qingzhong, Zhang Changjie, Wu Zhili, et al. 2005. The carboniferous-Permian lithostratigraphic division of west Ujimqin, Inner Mongolia[J]. *Journal of Stratigraphy*, 29(11): 512~519 in Chinese with English abstract.

Bureau of Geology and Mineral Resources of Inner Mongolia Autonomous Region. 1991. *Regional Geology of Inner Mongolia Autonomous Region*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 185~186(in Chinese).

Cao Jie, Zhang Yongshen, Song Tianrui, et al. 2010. Mineralogical evidences and significance of transgression event in the Cretaceous basins of eastern Heilongjiang Province, China[J]. *Geological Bul-*

- letin of China, 29(7): 1024~1030( in Chinese with English abstract ).
- Chafetz H S and Reid A. 2000. Syndepositional shallow-water precipitation of glauconitic minerals[ J ]. *Sedimentary Geology*, 136: 39~42.
- Chen Lirong. 1994. Evolution of authigenic glauconite in early diagenesis [ J ]. *Chinese Science Bulletin*, 39( 18 ): 1 550~1 553( in Chinese ).
- Chen Lirong, Shi Yingmin, Shen Shunxi, *et al.* 1982. Glauconite in the sediments off the southern Fujian province coast to the continental shelf of Taiwan province[ J ]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 13( 1 ): 36~47( in Chinese with English abstract ).
- Chen Ruijun. 1985. The mineralogical characteristics and its sedimentary environment of glauconites from some regions in China[ M ]. *Petrological Study*, ( 5 ): 91~101( in Chinese with English abstract ).
- Ding Suli. 1991. The characteristics of glauconites and its facies of Longtan Formation in Nayong area, Guizhou[ J ]. *Coal Geology & Exploration*, 19( 4 ): 10~15( in Chinese with English abstract ).
- Ge Ming, Meng Xianghua, Chen Rongkun, *et al.* 1995. Glauconitic condensed sections( CS ): The key to correlation of sequence stratigraphy in the craton basin-characteristics and implication of the Cambrian condensed section of North China[ J ]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 13( 4 ): 1~15( in Chinese with English abstract ).
- Han Jianxiu, Guo shengzhe, Ma Xiu, *et al.* 1979. The middle-late Carboniferous stratigraphy in the Southern Greater Khingan Mountains [ J ]. *Acta Stratigraphica Sinica*, 3( 3 ): 214~224( in Chinese ).
- Huang Kaifen and Peng Yingxi. 1981. The glauconites in the Permian coal in Yuxian, Henan[ J ]. *Coal Geology & Exploration*, ( 5 ): 3~9( in Chinese with English abstract ).
- Kitamura A. 1998. Glaucony and carbonate grains as indicators of the condensed section: Omma Formation, Japan[ J ]. *Sedimentary Geology*, 122: 151~163.
- Mei Mingxiang, Yang Fengjie, Gao Jinhan, *et al.* 2008. Glauconites formed in the high-energy shallow-marine environment of the late Mesoproterozoic: a case study from Tieling Formation at Jixian section in Tianjin, North China[ J ]. *Earth Science Frontiers*, 15( 04 ): 146~157( in Chinese with English abstract ).
- Ordin G S and Matter A. 1981. De glauconiarum origine[ J ]. *Sedimentary*, 28: 611~641.
- Palmer A R. 1954. The faunas of the Riley Formation in central Texas [ J ]. *Journal of Paleontology*, 28: 711~786.
- Rousset D, Leclerc S, Clauer N, *et al.* 2004. Age and origin of Albian glauconites and associated clay minerals inferred from a detailed geochemical analysis [ J ]. *Journal of Sedimentary Research*, 74: 631~642.
- Song Tianrui, Yang Huining, Xu Xiangguan, *et al.* 1989. Study on tidal sedimentary glauconite sandstone in Qingbaikou system, west hill, Beijing[ J ]. *Precambrian Geology*, 4: 203~211( in Chinese with English abstract ).
- Tang Kedong, Wang Ying, He Guoqi, *et al.* 1995. Continental-margin structure of Northeast China and its adjacent areas[ J ]. *Acta Geologica Sinica*, 69( 1 ): 16~30( in Chinese with English abstract ).
- Wu Jianjun. 1992. The characteristics and sedimentary environment of the glauconite of the Longtan Formation in south Suzhou[ J ]. *Journal of Stratigraphy*, 16( 3 ): 210~215( in Chinese with English abstract ).
- Xu Yonghang, Zhao Taiping and Chen Wei. 2010. The discovery and geological significance of glauconites from the Palaeoproterozoic Xionger Group in the Southern part of the North China Craton[ J ]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 28( 4 ): 671~675( in Chinese with English abstract ).
- Zhou Xiqiang, Li Nan, Liang Guangsheng, *et al.* 2009. Sedimentary significance of the autochthonous glauconite in stromatolitic limestones of the Mesoproterozoic Tieling Formation in Jixian, Tianjin, North China[ J ]. *Geological Bulletin of China*, 28( 7 ): 985~990( in Chinese with English abstract ).

### 附中文参考文献

- 鲍庆中, 张长捷, 吴之理, 等. 2005. 内蒙古西乌珠穆沁旗地区石炭二叠纪岩石地层[ J ]. *地层学杂志*, 29( B1 ): 512~519.
- 曹洁, 张永生, 宋天锐, 等. 2010. 黑龙江东部盆地群白垩纪海侵存在的矿物学证据及其意义[ J ]. *地质通报*, 29( 7 ): 1024~1030.
- 陈丽蓉. 1994. 早期成岩过程中自生海绿石的演变史[ J ]. *科学通报*, 39( 9 ): 829~83.
- 陈丽蓉, 时英民, 申顺喜, 等. 1982. 闽南-台湾浅滩大陆架海绿石的研究[ J ]. *海洋与湖沼*, 13( 1 ): 36~47.
- 陈瑞君. 1985. 我国一些地区海绿石的矿物学特征及其沉积环境研究[ M ]. *岩石学研究*, ( 5 ): 91~101.
- 丁述理. 1991. 贵州纳雍地区龙潭组的海绿石特征及指相意义[ J ]. *煤田地质与勘探*, 19( 4 ): 10~15.
- 葛铭, 孟祥化, 陈荣坤, 等. 1995. 海绿石质凝缩层及克拉通盆地层序地层划分对比的关键: 华北寒武系凝缩层的特征和意义[ J ]. *沉积学报*, 13( 4 ): 1~15.
- 韩建修, 郭胜哲, 马秀, 等. 1979. 大兴安岭南中部、晚石炭世地层[ J ]. *地层学杂志*, 3( 3 ): 214~244.
- 黄凯芬, 彭应照. 1981. 河南禹县二迭纪煤系中的海绿石[ J ]. *煤田地质与勘探*, ( 5 ): 3~9.
- 梅冥相, 杨锋杰, 高金汉, 等. 2008. 中元古代晚期浅海高能沉积环境中的海绿石: 以天津蓟县剖面铁岭组为例[ J ]. *地学前缘*, 15( 04 ): 146~157.
- 内蒙古自治区地质矿产局. 1991. 内蒙古自治区区域地质志[ M ]. 北京: 地质出版社, 185~186.
- 宋天锐, 杨慧宁, 须湘官, 等. 1989. 北京西山青白口系潮坪沉积海绿石砂岩的研究[ J ]. *前寒武纪地质*, 4: 203~211.
- 唐克东, 王莹, 何国琦, 等. 1995. 中国东北及邻区大陆边缘构造[ J ]. *地质学报*, 69( 1 ): 16~30.
- 吴健君. 1992. 苏南龙潭组的海绿石特征和沉积环境[ J ]. *地层学杂志*, 16( 3 ): 210~215.
- 徐勇航, 赵太平, 陈伟. 2010. 华北克拉通南部元古界熊耳群中海绿石的发现及其地质意义[ J ]. *沉积学报*, 28( 4 ): 671~675.
- 周锡强, 李楠, 梁光胜, 等. 2009. 天津中元古铁岭组叠层石灰岩中原地海绿石的沉积学意义[ J ]. *地质通报*, 28( 7 ): 985~990.