

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

曹 洁¹, 张永生¹, 宋天锐², 王俊涛¹

CAO Jie¹, ZHANG Yong-sheng¹, SONG Tian-rui², WANG Jun-tao¹

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

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*

摘要:前人研究所获得的海相化石证据表明, 中国黑龙江东部早白垩世早期曾发生多次规模不等的海侵, 多层厚度不等的海相夹层赋存于下白垩统中。对研究区白垩纪砂岩中的海绿石、独居石、莓状黄铁矿等自生矿物的显微特征、扫描电镜背散射特征和化学特征进行分析, 结果证实, 这些特征均与典型海侵相的特征接近, 说明不仅含海相化石的层位系海侵成因, 含这些自生矿物的砂岩、粉砂岩的层位也受到海侵的影响, 从而为黑龙江省东部盆地在白垩纪发生过海侵提供矿物学的依据。

关键词:黑龙江; 白垩纪; 海绿石; 自生矿物; 海侵

中图分类号: P534.53; P512.32

文献标志码: A

文章编号: 1671-2552(2010)07-1024-07

Cao J, Zhang Y S, Song T R, Wang J T. Mineralogical evidences and significance of transgression event in the Cretaceous basins of eastern Heilongjiang Province, China. *Geological Bulletin of China*, 2010, 29(7): 1024-1030

Abstract: The evidences of marine fossils show that multiple different scales of transgression events have occurred in the Cretaceous basins of eastern Heilongjiang Province and marine interlayers of various thicknesses existed in Late Cretaceous strata. According to further comparative study based on microscope observation, the SEM and the spectrum characteristics of chemical composition all proved that the glauconite, authigenic monazite and framboid pyrite in Cretaceous sandstones have similar characteristics to marine facies. Thus, it provides mineralogical evidence to transgression event in the Cretaceous basins of eastern Heilongjiang Province, and indicate that not only those marine fossils containing stratum were influenced by transgression, but also these authigenic minerals containing strata were influenced.

Key words: Heilongjiang; Cretaceous; glauconite; authigenic mineral; transgression

1 地质背景

黑龙江东部盆地群(图 1)是指牡丹江中断裂以东佳-伊断裂(依-舒断裂)与敦-密断裂之间分布的一系列中、新生代盆地。该区是中国东北主要的产煤区之一, 也是松辽盆地外围的重点油气探区。中

国白垩系多属陆相沉积, 黑龙江东部是中国少有的发生中生代海侵事件的地区之一。前人在该区做了大量研究工作, 认为黑龙江省东部盆地群在早白垩世曾发生多次规模不等的海侵, 海相夹层主要发育于早白垩世早期滴道组、城子河组中, 其中产有国际海相白垩纪菊石、双壳类、瓣鳃类、沟鞭藻类等指引

收稿日期: 2010-01-12; 修订日期: 2010-03-01

地调项目: 中国地质调查局地质大调查项目《松辽外围中生代盆地群油气地质综合调查》(编号: 1212010782004)和大庆油田有限责任公司勘探开发研究院委托开发项目《大庆探区外围盆地基础地质研究》(编号: DQYT-1201002-2008-JS-338)资助

作者简介: 曹洁(1982-), 女, 在读博士, 专业为矿产普查与勘探。E-mail: caojie0420@126.com

化石^[1-4],主要从生物化石方面证明了海侵事件的存在和相应的海侵时间、海侵范围。黑龙江东部盆地群均具有离物源近的特征,沉积速度较快,海侵的影响本身具有局限性,达到适应海相生物生存的条件较难,加之后期破坏,生物也不易保存。而矿物则不同,它较生物更易生成和保存,一般与特定的沉积环境和介质条件相关联。本次研究发现在勃参 1 井、勃 D2 井、虎参 1 井、鸡 D7 井、鸡参 1 井的下白垩统滴道组—穆棱组、上白垩统猴石沟组等层位中普遍存在具海相特征的自生矿物海绿石、独居石和莓状黄铁矿,可为黑龙江省东部海侵事件提供矿物学的证据。

2 含自生矿物砂岩的岩石学特征

本次对白垩系露头 and 钻井的 212 块砂岩薄片进行了鉴定,涉及层位自下而上依次为滴道组、城子河组、穆棱组、猴石沟组 and 海浪组,所见含海绿石的砂岩在勃利、虎林 and 鸡西盆地均有分布(图 1),以灰色—灰黑色细砂岩、粉砂岩等粒度较细的岩石为主,但在部分粒度较粗的中—粗粒砂岩(图 2-C)中也可见自生海绿石。从整体来看,砂岩分选性差到一般,磨圆较差,以棱角—次棱角状为主,岩性多为长石砂岩、岩屑长石砂岩,岩石的结构成熟度和成分成熟度均较低。

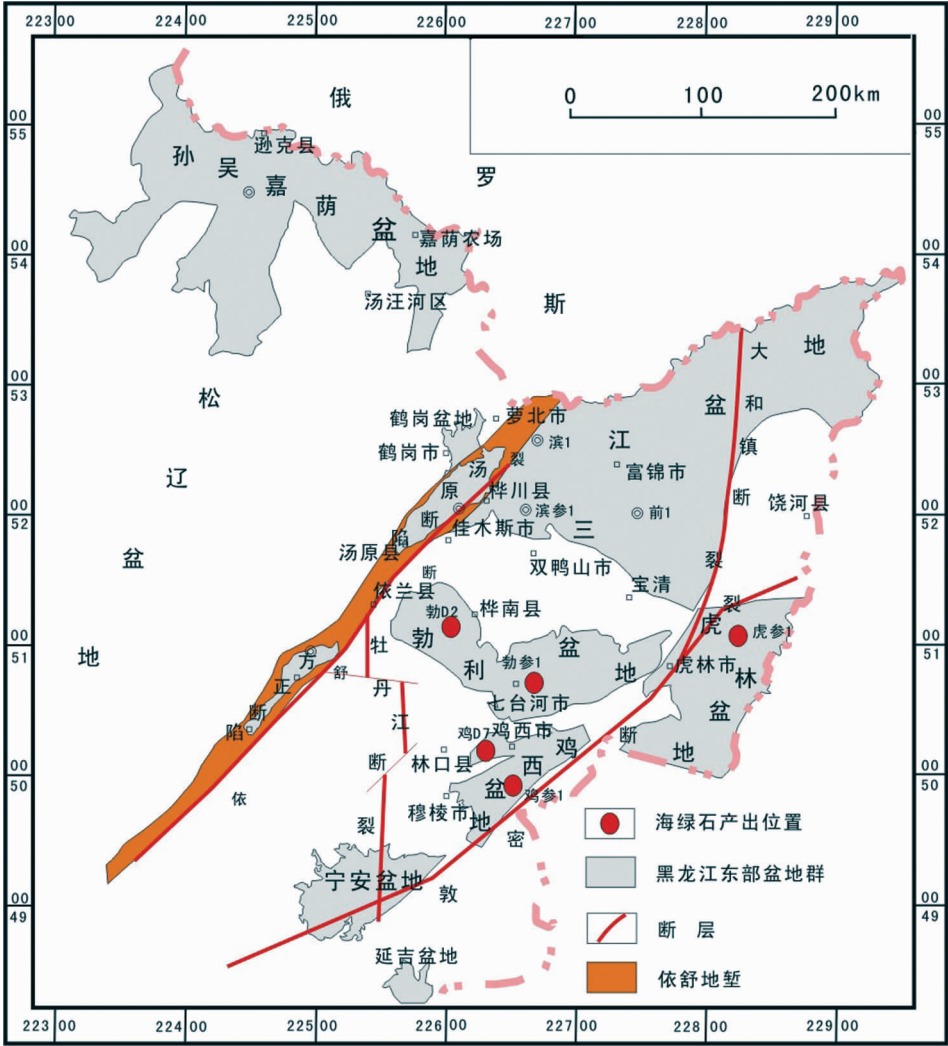


图 1 黑龙江东部盆地群分布和白垩系海绿石的产出位置

Fig. 1 Distribution of basins and Cretaceous glauconite occurring location in eastern Heilongjiang Province

3 自生矿物的矿物学特征

3.1 海绿石矿物学特征

海绿石 (glauconite) 化学组成为 $K_{1-x}(Al,Fe)_2[Al_{1-x}Si_{3+x}O_{10}](OH)_2$, 被普遍认为是典型的海相沉积自生矿物,特别是海侵相的产物,其有利的生长环境是有机质丰富的温暖浅海。海绿石,特别是原地海绿石是“慢速、弱还原、较深水环境”的指相矿物。对现代海洋表层沉积物取样研究的结果显示,海绿石是典型的滨浅海环境的指相矿物,但其矿物学特征、成分的差异还与形成环境、产出地层的时代有关。

3.1.1 海绿石显微特征

单偏光显微镜下观察,海绿石的颜色多为深绿—墨绿色(图 2-C、D),少部分为浅绿色(图 2-A),可能受本身颜色的影响,在正交偏光显微镜下仍呈绿色(图 2-B)。多数海绿石为颗粒状的集合体,具集合偏光,形态多样,多见为团粒状,亦可见不规则片状(图 2-A、C、D)。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便形成团粒状,而在后期的沉积过程中,受到其他颗粒的碰撞和挤压,最终形成不规则状的外形。

本次镜下所见的海绿石粒径较小,多为 0.15~0.3mm,丰度也较小,在出现海绿石的砂岩薄片,一般含海绿石 4~7 颗,且分布不均匀。陈丽蓉等^[9]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、盐度有关。在水深 200~250m 处海绿石大量出现,而在水深小于 100m 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,本次白垩纪砂岩中的海绿石形成环境可能为浅海或近岸泻湖海湾,属于浅水、半咸水海侵相的产物。

3.1.2 海绿石探针及扫描电镜分析结果

本次电子探针数据由矿冶研究总院离子探针中心测试分析,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)。图 3 为扫描电镜下所见的海绿石的图像,与偏光显微镜下的图像不同的是,海绿石的轮廓清晰,可见海绿石的片状叠合体,与其伴生的其他矿物主要有石英、方解石、锆石、金红石、钙钛矿等(图 3-A)。图 3-B 中十字所示的位置为能谱探测点,其能谱曲线见图 4,显示了典型海绿石的化学成分特征。

将本区的海绿石与中国现代海洋及其他地区的海绿石的化学成分进行对比(表 1),可以看出,本区海绿石的基本成分与中国其他地区的海绿石大致相同,但 P_2O_5 含量较高(为 1.34%),因为海洋生物分解可析出大量 P,也反映了 P 主要来自海洋的特征,TFeO 含量较低,为 13.48%, K_2O 含量为 7.73%,属于中等成熟度的海绿石^[6],且与海绿石中 K_2O 的含量古高今低、TFeO 的含量古低今高的特点一致^[7-8]。本区为海陆过渡相,由海绿石的能谱曲线(图 4)亦可看出,其 Al 含量是 Fe 含量的 3 倍,也体现了海相海绿石的典型特征。海侵相海绿石一般具有高 Al 低 Fe 的特征^[9-10],因为海绿石的形成过程是富集 Fe 和 K 的过程。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 ,而陆源碎屑物尤其是粘土矿物可吸附海水中的 K。因此生物、矿物和岩屑组成的底质中可析出大量 Fe、Mg、Al、K 和有机质,可逐渐分解转变成胶体状腐

表 1 黑龙江东部盆地白垩系砂岩中海绿石与其他地区海绿石探针成分对比

Table 1 The microprobe analysis contrast results of authigenic monazite between Cretaceous sandstone of eastern Heilongjiang basins and other areas

海绿石氧化物含量/%	Al ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MnO	TFeO	TiO ₂
本次工作区海绿石*	28.35	3.08	42.24	1.34	7.73		3.78	-	13.48	-
现代东海 ^[11]	6.94	6.31	4.73	-	3.35	0.60	-	-	21.53	-
现代南海 ^[11]	5.31	5.63	45.07	-	3.71	0.39	-	-	25.07	-
现代太平洋 ^[11]	25.07	3.91	49.72	-	4.89	0.60	-	-	22.51	-
天津蓟县铁岭组 ^[12]	12.05	5.55	50.25	-	7.36	0.46	0.39	-	10.92	-
典型海绿石 ^[13]	10.95	4.49	49.07	0.19	7.51	0.13	0.07	-	17.22	0.15
薄膜状海绿石 ^[14]	14.67	4.99	49.89	-	8.79	0.36	0.89	0.19	7.50	0.18

注: *矿冶研究总院离子探针中心测试,2009,“-”表示未测或没有含量

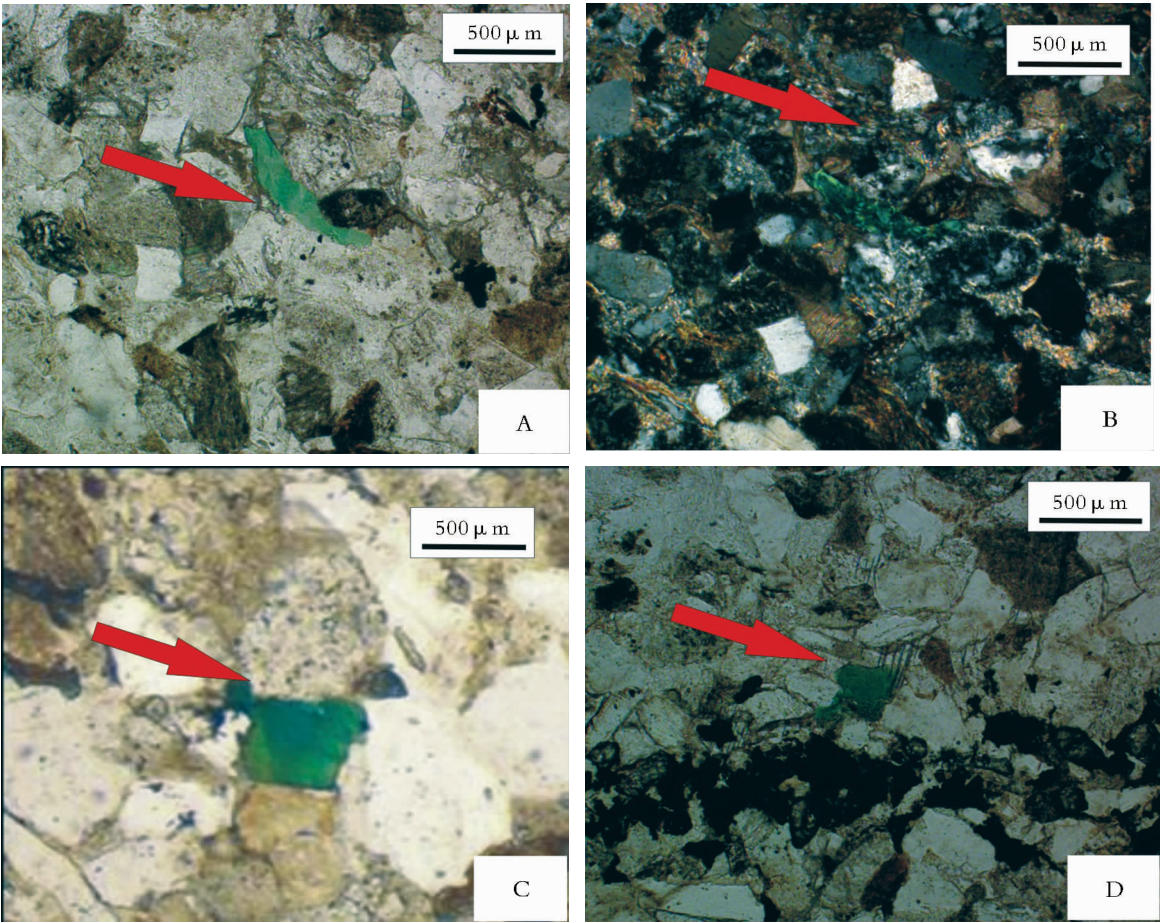


图 2 含海绿石砂岩显微照片

Fig. 2 The micrographs of glauconite-bearing sandstone

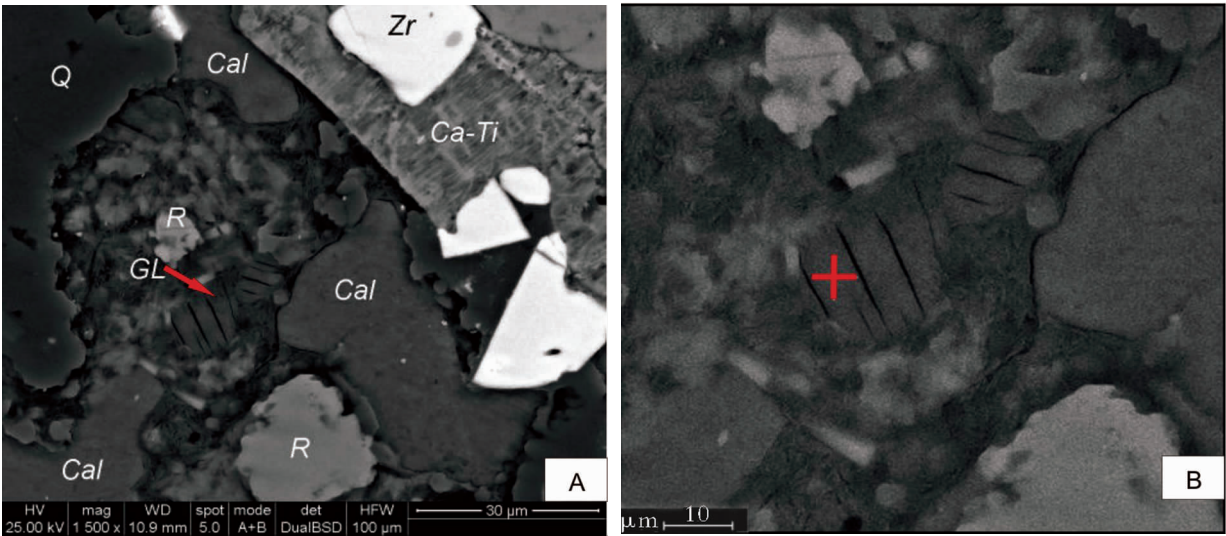


图 3 黑龙江东部盆地白垩系砂岩中海绿石扫描电镜下的特征

Fig. 3 The SEM characteristics of glauconite in Cretaceous sandstone of eastern Heilongjiang basins

Q—石英;Cal—方解石;Zr—锆石;Ca—Ti—钙钛矿;GL—海绿石;R—金红石

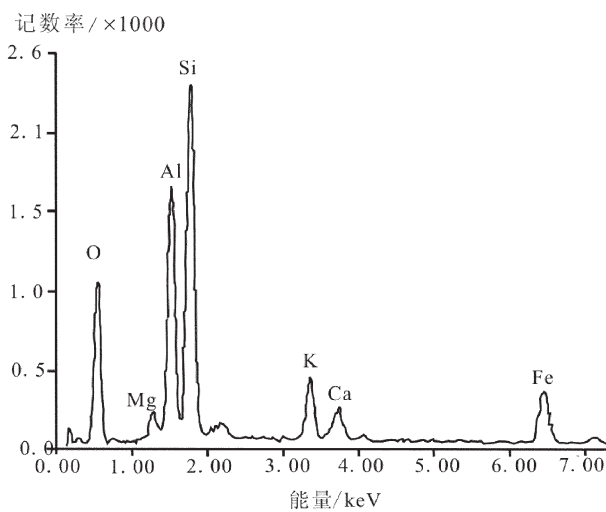


图4 黑龙江东部盆地白垩系砂岩中海绿石的能谱曲线

Fig. 4 The spectrum curve of glauconite in Cretaceous sandstone of eastern Heilongjiang basins

质质,与Ca、P、S的化合物结合,易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、弱碱性环境下聚集,这都为海绿石的凝聚生成提供了有利的场所。

3.2 自生独居石矿物学特征

从地球化学条件分析,强氧化环境有利于陆源物质 K^+ 、 Al^{3+} 、 Fe^{3+} 、 Si^{4+} 、 Ce^{4+} 、 La^{4+} 、 Nd^{4+} 、 Th^{4+} 等离子向海洋方向迁移,同时,来自海洋的 P^{5+} 和来自藻菌降解的 H_2S 富集促使大量的粘土类矿物($KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$)及少量的黄铁矿(FeS_2)、赤铁矿(Fe_2O_3)出现,自生独居石(authigenic monazite)((Ce,La,Nd,Th) PO_4)也就随之形成。

在岩浆岩和变质岩中见到的独居石为碎屑独居石,常呈单斜晶系短柱状晶体,并显示轴面b(010)、a(100)、w(101)、x(-101)和斜方柱面m(110)、V(111)。自生独居石应为生物成矿作用的产物,在滨海砂岩中多见,形状多呈不规则状,具鸟形、人形等^[3],本次见到的自生独居石呈“海绵状”(图5)。电子探针分析结果表明,该独居石具有典型自生独

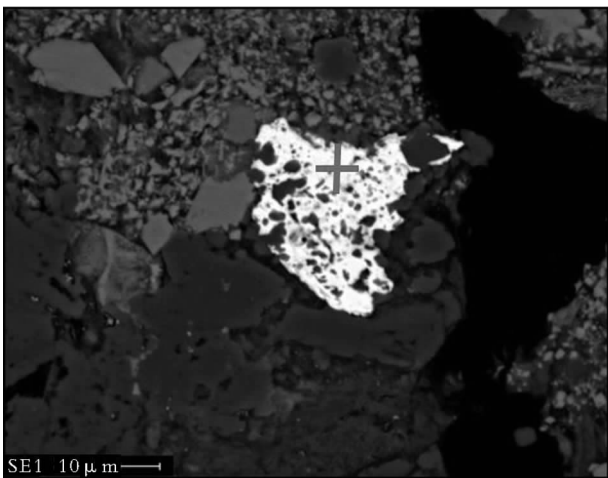


图5 黑龙江东部盆地白垩系砂岩中独居石扫描电镜下的特征

Fig. 5 The SEM characteristics of authigenic monazite in Cretaceous sandstone of eastern Heilongjiang basins

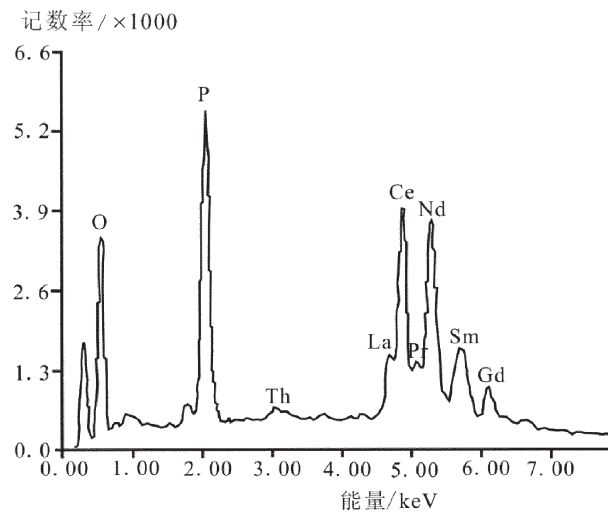


图6 黑龙江东部盆地群白垩系砂岩中独居石的能谱曲线

Fig. 6 The spectrum curve of authigenic monazite in Cretaceous sandstone of eastern Heilongjiang basins

居石矿物的基本成分(图6,表2),主要包含了Ce、La、Nd、Th等主要成分及Pr、Gd、Sm、Zr等其他稀

表2 黑龙江东部盆地白垩系砂岩中自生独居石电子探针分析结果

Table 2 The microprobe analysis results of authigenic monazite in Cretaceous sandstone of eastern Heilongjiang basins

氧化物	P ₂ O ₅	ThO ₂	La ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃	Pr ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	ZrO
含量/%	19.06	2.20	10.91	35.47	4.91	20.37	3.28	1.95	1.86

土元素, Ce_2O_3 含量较高, 达 35.47%, P_2O_5 含量为 19.06%, 与海绿石相同, 也反映了其海相来源的特征。

3.3 莓状黄铁矿矿物学特征

莓状黄铁矿亦被认为是生物矿化的产物。据宋天锐等^[16-17]对北京十三陵地区长城系串岭沟组和梅冥相等^[14]对天津蓟县剖面铁岭组的描述, 2 套地层都是海相成因的, 其中均见莓状黄铁矿。本次薄片和探针分析中, 在发现海绿石的同时也发现了

莓状黄铁矿(图 7、图 8), 探针分析结果 S 含量为 53.13%, Fe 含量为 46.87%, 粒径较小, 约 0.01mm, 形状呈圆球状, 经对比, 与前述 2 个组海相地层中黄铁矿的特征相似。

生物矿化成因的莓状黄铁矿与海绿石本来就有一定的共生关系, 半咸水、微生物作用、弱还原和富铁都有利于海绿石和莓状黄铁矿的生成。受海水侵入的影响, 尤其是海陆过渡相中, 由于大陆和海洋同时提供了具有丰富微生物、动植物碎块、铁质和硫酸盐类的沉积物, 加之水体盐度增高, 在还原硫细菌的作用下, 铁离子与 H_2S 反应易生成莓状黄铁矿。Donald 等^[18]证实, 细菌在 FeS 向 FeS_2 转化的过程中起到了重要的催化作用, 可以促进黄铁矿的沉降。

4 结论与讨论

(1)本次研究为黑龙江东部盆地白垩纪发生过海侵提供了矿物学证据。经过不同化石门类古生物学专家多年的不懈工作, 在黑龙江东部龙爪沟群和鸡西群中发现了越来越多的海相早白垩世化石, 证明中国黑龙江东部具有早白垩世海、陆交互相沉积^[9], 但主要是从生物化石方面入手的。本次工作发现的自生矿物, 尤其是海绿石, 被普遍认为是海相自生矿物, 更是海侵相的指相矿物。海侵事件的发生使湖海相通、水体咸化, 形成有利于海绿石、自生独居石和生物矿化发生的环境, 并且比生物化石具有更广泛的指相意义, 因为它较生物生存和保存更易发生。本次研究在多个层位发现各种具海相指示意义的自生矿物, 因此将海侵层位从下白垩统滴道组、城子河组提高至上白垩统海浪组。

(2)使黑龙江东部盆地沉积发育史进一步完善。黑龙江省东部自中三叠世开始至早白垩世中期一直有海相沉积发育, 自侏罗纪以来, 除西藏地区之外, 东北地区是全国海相沉积最发育的地区。在龙爪沟地区发现第一块菊石化石, 证明了海相侏罗系、白垩系的存在, 对中国陆相侏罗系—白垩系界域的划分与国际接轨起到了重要的桥梁作用。此次海绿石、自生独居石和莓状黄铁矿的发现, 是对这一事实从矿物学角度的补充。在陆相湖泊沉积的大背景下, 白垩纪沉积期间确实曾间歇性地发生了多次规模不等的海侵事件, 穿插于湖泊相沉积过程中。

致谢: 感谢矿冶研究总院离子探针中心陶淑凤老师对本文样品的分析测试和数据应用的指导。

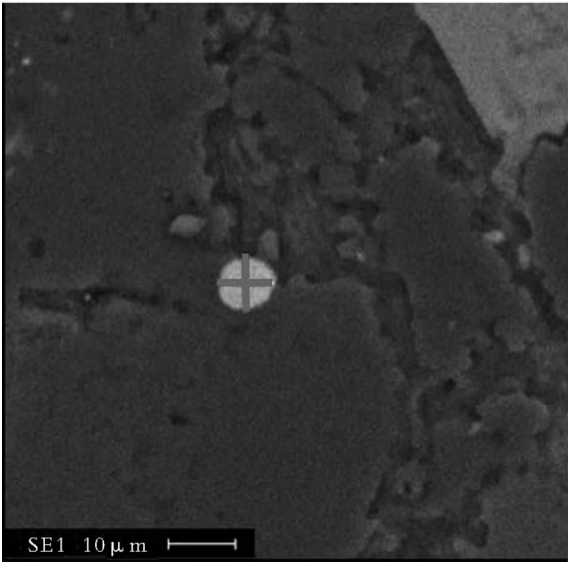


图 7 黑龙江东部盆地群白垩系砂岩中莓状黄铁矿扫描电镜下的特征

Fig. 7 The SEM characteristics of framboid pyrite in Cretaceous sandstone of eastern Heilongjiang basins

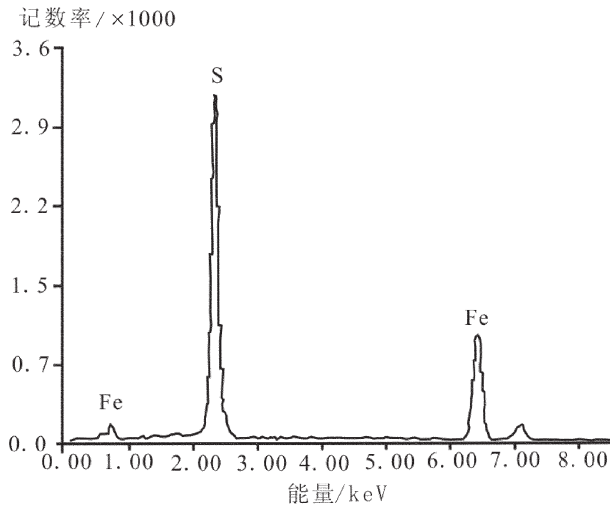


图 8 黑龙江东部盆地白垩系砂岩中莓状黄铁矿的能谱曲线

Fig. 8 The spectrum curve of framboid pyrite in Cretaceous sandstone of eastern Heilongjiang basins

参考文献

[1]孙革,郑少林.黑龙江鸡西含煤盆地早白垩世生物地层研究新进展[J]. 煤田地质与勘探, 1999,27(6):1-3.

[2]程金辉,何承全.黑龙江省东部鸡西盆地早白垩世滴道组的沟鞭藻类[J].古生物学报, 2001,40(1):127-133.

[3]沙金庚.黑龙江东部早白垩世生物地层学研究的主要进展[J].地学前缘, 2002,9(3):95-101.

[4]杨小菊,何承全,黎文本,等.鸡西盆地早白垩世穆棱组海相沟鞭藻的发现及其古环境意义[J].科学通报, 2003,(14):79-82.

[5]陈丽蓉,时英民,申顺喜,等.闽南-台湾浅滩大陆架海绿石的研究[J].海洋与湖沼,1982,13(1):36-47.

[6]Amorosi A, Sammartinoa I, Tateo F, et al. Evolution patterns of glaucony maturity: A mineralogical and geochemical approach [J]. Deep-Sea Research (II),2007,54:1350-1363.

[7]陈丽蓉.早期成岩过程中自生海绿石的演变史[J].科学通报, 1994,39(9):829-834.

[8]陈瑞君.我国一些地区海绿石的矿物学特征及其沉积环境研究[J].岩石学研究,1985, (5):91-101.

[9]黄凯芬,彭应熙. 河南禹县二叠纪煤系中的海绿石[J].煤田地质与勘探, 1981,(5):1-7.

[10]丁述理.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,1991,19(4): 10-15.

[11]何起祥.中国海洋沉积地质学[M].北京:海洋出版社,2006.

[12]周锡强,李楠,梁光胜,等.天津蓟县中元古界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,2009,28(7): 985-990.

[13]中国地质科学院地质矿产研究所.透明矿物显微镜鉴定表[M].北京:地质出版社,1977.

[14]梅冥相, 杨锋杰, 高金汉.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, 2008,15(4):146-157.

[15]宋天锐,和政军,万渝生,等.前寒武纪沉积岩中自生独居石的发现及其意义[J].沉积学报,2003,21(1):118-124.

[16]宋天锐.北京十三陵地区中元古界长城系沉积相标志及沉积环境模式[J]. 古地理学报, 2007,9(5):461-472.

[17]宋天锐,和政军.北京十三陵元古宙大红峪组含事件信息的沉积岩研究[J]. 岩石矿物学杂志, 2000,19(4):323-332.

[18]Donald R. Low temperature anaerobic bacterial diagenesis of ferrous sulfide to pyrite[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta,1999,63: 2019.