

综合  
评述

# 对“指相矿物”海绿石的重新认识

李东明 孙镇城 彭立才 王敏

王爱雷

(石油大学地球科学系, 北京 102200)

(胜利石油管理局桩西采油厂, 东营 257237)

主题词 海绿石 自生矿物 指相矿物 海陆相地层

提 要 长期以来, 海绿石一直被认为是在特定海洋条件下形成的自生矿物, 被作为海相标志, 随着陆相海绿石的不断发现, 有必要对这一观点进行重新认识。本文通过对不同地区、不同环境中的海绿石的统计研究认为: 海绿石既可以形成于海洋环境, 也可以形成于陆相湖泊环境, 海绿石不能作为海洋环境的指相矿物; 一般来说, 形成于陆相湖泊环境的海绿石与形成于海洋环境的海绿石相比, 在化学成分上具有  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  含量高而  $\text{FeO}$  含量低的特点。

## 1 引言

有的论著提出, 海绿石是在特定的海洋地质条件下形成的自生矿物, 是沉积矿物中少有的指相矿物<sup>[1]</sup>, 是海相和海侵相的指示矿物<sup>[2]</sup>; 济阳拗陷沙四段中、上部的海绿石是海侵的证据<sup>[3]</sup>。有的教科书中也有同样的结论, 认为海绿石是海相组中常见的特征自生矿物, 可作为海相标志, 近海湖泊中出现海绿石, 总是与短暂的海水侵入有关<sup>[4]</sup>。但是, 也有人提出: “即使发现有海绿石也不一定是海侵的证据”, “至于岩石薄片中的少量海绿石颗粒, 目前发现已经十分广泛, 不仅在化石、岩性和地球化学特征表明有海水影响的层段和地区有, 而且在化石等资料表明未受海水影响的层段和地区也有”<sup>[5]</sup>。在国外, 50 年代以来, Keller, W. P. (1958)、Porrenga, D. H. (1966) 等人陆续发表在陆相环境中发现海绿石的报道<sup>[6, 7]</sup>。进入 80 年代以来, 我国也相继发现在陆相环境中形成的海绿石矿物<sup>[8-11]</sup>。

## 2 海绿石的概念

海绿石的发现和命名已有 100 多年, 1823 年 Humboldt 首次描述了这种遍及全欧中生代地层的绿色砂岩和绿色页岩中的物质。1828 年 Keferstein 确定这一矿物, 并正式命名为海绿石 (Glaucinite)。目前使用的海绿石一词有两重含义: 一为形态学即岩石学上的含义, 凡是具海绿石成因的绿色小球而其内含云母状晶层结构成分的都归于形态学上的“海绿石”; 二为矿物学上的“海绿石”, 即局限于具有严格云母结构的海绿石。在自然界中, “矿物学海绿石”是比较少见的, 实际上不论是现代海洋、湖泊中的海绿石, 还是古老地层中的海绿石, 多数指的是“岩石学”上的海绿石, 只有岩石学上的含义。

### 3 海绿石的成因

海绿石的成因是一个至今没有完全解决的复杂问题。有人认为海绿石是由黑云母物质分解而成,黑云母在海水中把多余的钾扩散于海水,硅酸盐格架经改造而成海绿石;有人提出有孔虫贝壳、海绵骨针和化石缝隙中的海绿石是海洋胶体沉积的产物;也有人根据钾的固定紧密堆砌理论,认为海绿石既不是黑云母分解产物,也不是凝胶成因,更不是简单的胶体沉淀,而是由粘土矿物形成的,以粘土为母质,加入海绿石化反应和能量均衡,是生成海绿石的原因。

邢顺认为泰康海绿石主要是伊利石类粘土矿物的转化<sup>[11]</sup>。陈丽蓉认为“东海现代沉积物中的颗粒状海绿石是由黑云母在特定的海洋环境中转化而成的”,“生物状海绿石的原始物质为含少量矿物碎屑的云母类粘土物质”<sup>[12]</sup>。

一个海绿石化理想过程的步骤大致如下:(1)原始物质的沉积和集中,有孔虫、泥质粪团小粒有优先选择的性能,这类物质能够大量的聚积和集中形成海绿石;(2)上述物质和泥质或有机质一起形成球粒的外形,原始物质成球状后和有机物质在一起,或有机物质包围着它,造成一个与外界隔绝的还原环境,有利于海绿石化进程的发展;(3)晶格内离子的固定并与外部平衡,这一步主要包括钾离子的吸收,铁离子的氧化还原,造成晶格内部的稳定,晶格能增大<sup>[13]</sup>。

### 4 海绿石形成的地质条件

海绿石是原始物质在特定的地质条件下的产物,特定的地质条件包括:含盐度、水深、水温、底部沉积物的氧化还原电位、沉积速率、有机物质等。

#### 4.1 含盐度

由于海绿石通常在现代海洋沉积物和海相地层中出现,人们就错误地得出这样的结论:海绿石总是生成于正常含盐度的海洋环境。其实,同样的盐度条件在许多陆相咸化湖中也存在。

我国云南抚仙湖的湖水矿化度平均为 239mg/l,为陆相淡水湖泊,湖中现代沉积物中就有海绿石生成<sup>[14]</sup>。松辽盆地泰康湖湾下白垩统青山口组二、三段陆相地层中发现了海绿石,原岩含氯 0.26%,比海相泥岩的值(2.3%)低得多,与一般陆相淡水沉积物(0.1%—0.2%)相近<sup>[11]</sup>。陕北三叠系延长群延长油层中也发现陆相海绿石,谢广成通过对 17 个泥岩样品和 1 个含海绿石砂岩样品的不同分析化验指标进行计算后,认为“所计算的古盐度十分低,均达不到半咸水的标准”<sup>[10]</sup>。

Hatch、Black 等人报道:在含盐度很高的湖泊中也能形成海绿石<sup>[15]</sup>。

#### 4.2 水深

“挑战者”号环球考察的结果,海绿石最浅产于水深 20m,最深可达水深 2000m 以下<sup>[15]</sup>。

Porrenga 对尼日利亚河口三角洲 Sorauk 陆架以及 Orinoco 陆架进行调查后报道:海绿石在热带地区产于水深 30—2000m,而以 50—125m 处最为丰富<sup>[7]</sup>。

我国东海现代沉积物中的海绿石主要出现在水深为 30—200m 的中部地区,而在水深小于 60m 的西部地区和水深为 400—2000m 的中部地区仅见到少量海绿石<sup>[12]</sup>。

谢广成认为:延长油层中海绿石形成时的水深为 50—100 米<sup>[10]</sup>。

#### 4.3 水温

Takahashi(1939)通过调查 Henshu 西岸海绿石得出结论:“夏天温度不低于 15℃ 的海底是生成海绿石所需要的水温”<sup>[16]</sup>。

Porrenga 据尼日利亚沿岸热带海洋环境中的海绿石的产状认为:这一矿物大约产于 15℃ 的海水中<sup>[7]</sup>。

我国东海现代沉积物中有大量海绿石产出的中部地区水温为 17—18℃<sup>[12]</sup>。

我国云南抚仙湖现代湖泊沉积中有海绿石形成,湖泊水深 30m 处,全年水温 13.7—17℃,水深大于 100m,全年水温保持 13℃<sup>[14]</sup>。

#### 4.4 其它地质条件

海绿石一般形成于偏碱性的弱还原环境<sup>[16]</sup>;沉积速度很慢的海底<sup>[7]</sup>和沉积速率缓慢的湖泊三角洲前缘或三角洲间湖湾<sup>[10]</sup>最有利于海绿石形成;底部沉积的有机物质对海绿石的生成是不可缺少的,常见的与海绿石共生的生物提供粪便、小壳、分泌物,成为海绿石生成和矿化不可缺少的原料。

## 5 海绿石的“指相性”

抚仙湖位于云南高原上的澄江盆地中,外形似一葫芦,北部最大水深 155m,是一个深水湖泊,水位稳定。据中国科学院南京地理与湖泊研究所(1989)报导,根据对抚仙湖 38 个现代沉积物样品分析,有 28 个含海绿石,含量占碎屑矿物总量的 0.8%—14.5%,平均含量为 2.51%。抚仙湖现代海绿石是湖泊自身地球化学过程的产物:湖泊表层湖水平均温度 18.3℃,随深度增加,水温年变幅减小,压力增大。在水深 30m 处,全年水温 13.7—17℃,压力近 4 个大气压,水深大于 100m,常年水温保持 13℃,压力超过 10 个大气压,稳定的温度场和较高的水压力与海底条件相似;抚仙湖水化学类型、底层水和表层沉积物的 pH 值和 Eh 值也有利于海绿石的形成;垂向上的湖水交换使表层沉积物多为弱氧化条件,有利于铁的富集;抚仙湖特定的环境条件,具备了海绿石形成的某些基本条件<sup>[14]</sup>。

80 年代以来,在松辽盆地西部泰康湖湾下白垩统青山口组二、三段陆相地层中发现了海绿石。青山口组一段是湖侵较大时期沉积的,二、三段则是湖水逐渐变浅、湖岸线后退时期的堆积,在盆地北东和北西分布着两个三角洲前缘亚相:水下砂洲亚相和席状砂亚相,海绿石较富集的层位是水下砂洲亚相。沉积物中生物化石丰富,以陆相淡水生物为主,少数为微咸水或半咸水生物,海绿石常与公认的淡水生物代表——轮藻伴生。对青山口组二、三段厚岩的 Cl<sup>-</sup> 浓度分析后也认为具一般陆相淡水沉积物的特征。泰康湖湾海绿石具典型的陆相地层中发现的海绿石的特征<sup>[11]</sup>。

蒋恬曾系统研究了辽河断陷下第三系海绿石的特征和分布,认为本区所见海绿石不是海相成因,最有说服力的是大民屯凹陷,共分析了 32 口井,其中 27 口井有海绿石,分布于下第三系的各个组段,这些地层全部含典型的陆相化石,而所产原油均以陆相成因的高蜡原油为特征<sup>[17]</sup>。

长久以来,海绿石一直被作为特定的海洋环境的指相矿物,随着陆相海绿石的不断发现,这一论点需要作某些修正。无论是在陆相湖泊的现代沉积物中,还是在陆相沉积地层之中;无论是在陆相淡水湖泊环境中,还是在含盐度很高的陆相咸化湖泊中,均发现了自生海绿石的存在。因此,并非只有在海洋环境中才能形成海绿石,不能笼统地把海绿石作为海洋环境的指相矿物。

## 6 不同地质环境中海绿石化学成分的差异

G. A. Kazakov 通过研究从晚元古代到现代的全球 600 个海绿石样品的化学分析数据发现海绿石的化学成分呈有规律的变化<sup>[18]</sup>:从晚元古代到现代,海绿石中  $K_2O$ 、 $Al_2O_3$  和  $SiO_2$  的含量不断下降,  $Fe_2O_3$  的平均含量不断增加(见表 1)。

表 1 不同地质时期海绿石化学成分的变化

Table 1 Variation in chemical composition of glauconite at different geological epochs

地质年代	样品数	$SiO_2$	$TiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	FeO	MnO	MgO	CaO	$K_2O$	$Na_2O$	$H_2O^+$	$H_2O^-$	合计
前寒武纪	71	55.52	0.39	16.43	8.91	2.31	0.036	4.24	0.48	6.75	0.28	5.48	1.71	99.79
寒武纪	24	48.69	0.31	11.48	14.51	3.76	0.016	4.78	0.54	7.13	0.28	6.42	1.63	99.55
奥陶纪	66	50.04	0.15	10.59	16.25	2.84	0.003	4.16	0.37	7.51	0.19	6.07	1.48	99.65
泥盆纪	5	46.23	1.11	10.38	18.87	2.90	0.112	4.26	0.12	5.80	0.09	6.53	3.22	99.62
侏罗纪	31	47.46	0.28	12.85	16.51	2.53	0.012	3.00	0.93	5.84	0.47	5.80	3.88	99.56
晚白垩纪	58	49.63	0.43	11.05	15.77	2.70	0.022	3.22	1.32	5.94	0.38	7.60	1.76	99.83
早白垩纪	56	50.07	0.21	8.71	18.03	2.49	0.002	3.26	0.93	6.09	0.51	6.88	2.67	99.85
老第三纪	58	49.52	0.30	8.11	18.64	2.82	0.028	3.72	0.74	6.50	0.56	6.73	2.17	99.84
新第三纪	16	50.13	0.22	8.67	18.05	2.17	0.026	3.61	1.07	5.44	0.54	6.42	3.67	100.22
第四纪	39	48.39	0.27	5.55	22.06	2.39	0.054	4.46	0.75	6.57	0.40	6.54	2.07	99.50

据 G. A. Kazakov (1983) 改编

陈丽蓉对北部湾晚新世沉积层中各种类型的自生海绿石的主要化学组成进行了研究,发现海绿石在早期成岩过程中,其化学成分也有相似的变化规律<sup>[19]</sup>,在 59.08—92.60 m 层位中,自下而上,褐绿色生物状海绿石的  $Al_2O_3$  由 10.03% 降低到 6.26%,  $K_2O$  由 5.67% 减少为 4.96%,而 FeO(全铁)则从 20.35% 上升至 21.63%,也就是说,海绿石随着早期成岩作用的进行,其中的  $Al_2O_3$  与  $K_2O$  的含量增加,FeO(全铁)含量减少。

图 1 为现代海洋沉积物和云南抚仙湖现代湖泊沉积物中海绿石样品的化学成分<sup>[11,14]</sup>比较,从图中可以看出两者有较明显差异,前者均在一个相对高铁、低钾区,后者在一个相对高铁、高钾区。

表 2 是非海相地层海绿石和海相地层海绿石化学成分比较。表中样品是采自陆相地层还是海相地层均有较多的证据来证明,样品多采自白垩系地层,地质年代对海绿石化学成分变化的影响可以减少。从表中可以看出:非海相地层的  $Al_2O_3$  含量要比海相地层高,而其中的 FeO 则相对要低。

影响海绿石化学成分的因素较多,陆相湖泊环境变化范围大,因此,上述关于海陆相地层中海绿石化学成分差异的结论在某些情况下,也许会不适用。

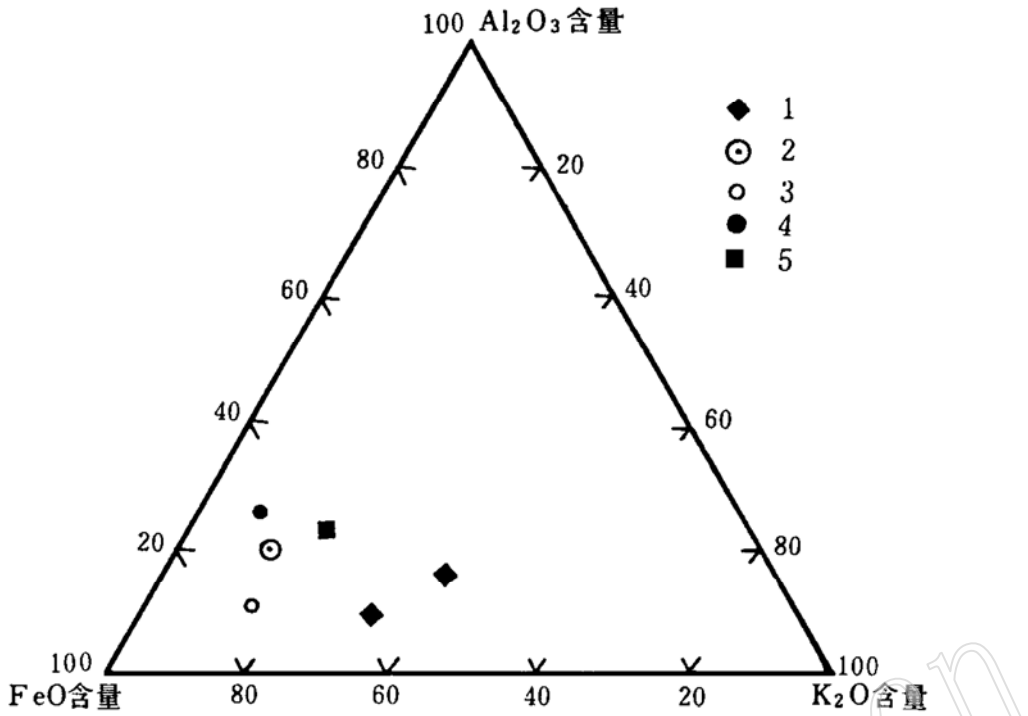


图1 现代海洋与云南抚仙湖沉积物中海绿石化学成分比较图

g. 1 Comparison in chemical composition between glauconite from modern ocean sediments and that from Fuxian Lake sediments in Yunnan Province

表2 非海相地层海绿石和海相地层海绿石的比较

Table 2 Comparison between glauconite from nonmarine strata and that from marine strata

相	样品	产地	地层	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	FeO+ Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
非海相	泰康海绿石	松辽盆地	K	0.15	4.45	15.20	50.00	5.60	0.40	0.10	微	10.2
	6号	松辽盆地	K	0.21	3.05	26.71	51.05	5.79	0.75	0.07	0.03	7.94
	上12-4 <sup>①</sup>	陕北延安	T <sub>3</sub>	0.06	5.06	14.50	51.45	8.52	0.18	0.12		13.58
	上12-4 <sup>②</sup>	陕北延安	T <sub>3</sub>	0.08	4.87	16.62	55.18	9.23	0.08	0.21	0.09	10.94
海相	白垩纪海绿石(13个样品平均)			0.59	3.51	8.17	50.21	7.26	0.47			21.13
	标准海绿石(22个样品平均)			0.55	3.75	8.41	49.58	7.11	0.51			21.59

资料来源: 邢顺, 1982; 谢广成, 1991

## 7 结语

Burst, J. F. 早在 1958 年就已指出<sup>[13]</sup>, “只要具备形成海绿石的条件, 即使在实验室中也可以合成各种海绿石”。因此, 只要有了必要而充分的条件, 不论海相或陆相环境, 都能形成海绿石。

到目前为止, 无论是在陆相湖泊的现代沉积物中, 还是在陆相沉积地层之中, 无论是在陆相淡水湖泊环境中, 还是在含盐度很高的陆相咸化湖泊中, 均发现了自生海绿石的存在。因此, 并非只有在海洋环境中才能形成海绿石, 不能笼统地把海绿石作为海洋环境的指相矿物。

70 年代以来, 国内不少学者先后提出渤海湾盆地、苏北盆地等我国东部盆地在早第三

纪发生过海侵,海绿石被作为海侵的证据之一。有人认为,发现海绿石即说明该区曾经发生过海侵<sup>[3]</sup>,也有人通过研究渤海湾盆地和苏北盆地发现的海绿石,认为这些地区的海绿石具有海相海绿石的高 K<sub>2</sub>O 含量的特点,以此来支持其海侵观点<sup>①</sup>。前已述及,海绿石不能作为海洋环境的指相矿物,一般来讲,海洋环境中形成的海绿石具有低 K<sub>2</sub>O 含量的特点,因此,把海绿石或高 K<sub>2</sub>O 含量的海绿石作为海侵证据都是不能成立的。从古生物、沉积、古构造等诸多方面来看,中国东部早第三纪时主要是陆相咸化湖盆或深水湖盆环境,并未发生海侵。

### 参 考 文 献

- 1 张国栋、王慧中等. 中国东部早第三纪海侵和沉积环境——以苏北盆地为例. 北京: 地质出版社, 1987.
- 2 刘宝. 沉积岩石学. 北京: 地质出版社, 1980.
- 3 戈亚生. 济阳拗陷早第三纪两次海侵及其以后的地质演化. 山东地质, 1985, 1(2): 40—51.
- 4 冯增昭. 沉积岩石学. 北京: 石油工业出版社, 1993.
- 5 汪品先, 闵秋宝, 卞云华. 关于我国东部含油盆地早第三纪地层的沉积环境. 地质论评, 1982, 28(5): 402—411.
- 6 Keller W P. Glauconitite in the Morrison formation in Colorado. Clay and Clay Minerals, 1958, 5.
- 7 Porrenga D H. Non-Marine glauconite illite in the lower Oligocene of Ardebrug Belgium. Clay Minerals, 1968, 7.
- 8 孙镇城. 关于中国早第三纪的海侵. 石油勘探新进展国际研讨会论文集. 北京: 地质出版社, 1995.
- 9 陈瑞君. 我国某些地区的海绿石特征及其对环境分析的意义. 地质科学, 1980, (1): 65—75.
- 10 谢广成, 沈培斋. 陕北三叠系上统延长油层中海绿石的发现及初步研究. 地质科学, 1991, (2): 129—136.
- 11 邢顺, 肖祝胜, 张书贵. 泰康湖湾海绿石矿物学特征及其形成条件的探讨. 矿物学报, 1982, (1): 1—7.
- 12 陈丽蓉, 俞旭, 时英民等. 东海沉积物中海绿石的研究. 地质科学, 1980, (3): 205—217.
- 13 Burst J F. "Glauconite" pellets: Their Mineral Nature and Applications to Stratigraphic Interpretations. Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 1958, 42: 310—327.
- 14 中国科学院南京地理与湖泊研究所等. 云南断陷湖泊环境与沉积. 北京: 科学出版社, 1989.
- 15 俞旭, 江超华. 现代海洋沉积矿物及其 X 射线衍射. 北京: 科学出版社, 1984.
- 16 Takahashi J I. Synopsis of glauconitiation. Recent marine sediments. AAPG, 1939, 36.
- 17 童晓光. 中国东部早第三纪海侵质疑. 地质论评, 1985, 31(3): 261—267.
- 18 Kazakov G A. 海绿石可以作为沉积物形成时地球化学条件的指示物(陈瑞君译). Geochemistry International, 1983, 20(6).
- 19 陈丽蓉. 早期成岩过程中自生海绿石的演变史. 科学通报, 1994, 3(9): 829—831.

(下转第 315 页)

① 赵政璋. 苏北台东拗陷阜宁组沉积时与海水的连通性. 华北石油勘探开发研究院, 1985(内部刊物)。

(上接第 384 页)

## Reconsideration for “Facies Mineral” Glaucosite

Li Dongming, Sun Zhencheng, Peng Licai, Wang Min

(Department of Earth Science, University of Petroleum, Beijing 102200)

Wang Ailei

(Zhuangxi oil Recovery Plant, Shengli Petroleum Administrative Bureau, Dongying 257237)

**Key words:** glauconite; authigenic mineral; facies mineral; marine-continental strata

### Abstract

Glaucosite has long been considered to be an authigenic mineral formed at specific marine conditions and thus an indicator mineral of marine facies. Nevertheless, with the successive discovery of continental glauconite, it seems necessary to reconsider this viewpoint. Based on statistics of glauconite from different areas and different environments, it is held that glauconite is formed either in marine environment or in continental lake environment, and hence cannot be regarded as a facies mineral. Compared with that formed in marine environment, glauconite formed in continental lake environment is generally characterized by high  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  and low  $\text{FeO}$ .