抚仙湖现代湖泊沉积物中海绿石的发现及成因的初步研究

王 云 飞

（中国科学院南京地理研究所）

海绿石是传统的指示海相地层的标志矿物。国内外学者认为它形成于特殊的海洋环境，并以此判断和区分海相地层[1]。然而国外也报道过在非海相地层中发现海绿石，但究其成因不明，故未引起人们的注意。

1979年以来，我们对云南省抚仙湖进行了综合研究和系统取样。经分析，发现海绿石在湖泊沉积物中分布较广、含量较高。抚仙湖现代沉积物中海绿石的发现（图1），对深入认识海绿石的形成机制和沉积环境，具有一定的理论和实际意义。

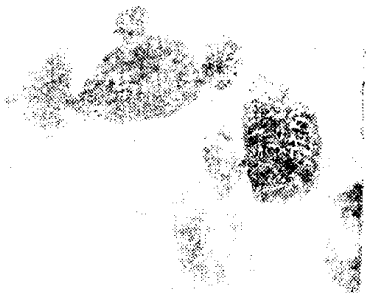


图1 抚仙湖海绿石（×96）

一、抚仙湖海绿石分布和矿物学特征

海绿石在抚仙湖现代沉积物中，分布在水深35—150米的湖底表层。在38个矿物样品中有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%（图2）。含海绿石的湖泊沉积物类型，是具有一定分选的暗棕色泥质粉细砂层。尤其在湖泊浊流沉积区[2]，这里湖底平坦、沉积速率甚缓，海绿石富集、含量也较高。底质中有少数点位不含海绿石，是由于这些地区的沉积环境或沉积物类型，对海绿石形成不利。

抚仙湖的海绿石，颜色以墨绿色为主、黄绿色、绿黑色次之。比重2.65—2.70。矿物折光率变化较大，其中墨绿色的海绿石为1.617。其表面经扫描电镜放大，为细小层状晶体，与云母类矿物结构较相似，但排列混乱、层间布有不规则的空隙（图3）。

海绿石的差热曲线，在100℃、450℃和650℃处有吸热反应（图4），各吸热谷的温度偏低，与现代海洋海绿石的曲线形态较相似[3]。经X射线粉晶照相分析（表1），它具有9.919 Å、4.50 Å、2.60 Å等特征谱线，证实该矿物为海绿石，但hkl反射中缺失一些晶面反射，001等基面衍射曲线宽化、弥散显著，矿物无序度明显，与现代海洋海绿石结构相似[5]。化学成份经电子探针分析（表2），含铁高而含铝低，也与现代海洋海绿石化学组成的特征一致[3,5]。

由此可见，抚仙湖现代沉积物中的海绿石具有形成初期的矿物学特征。

本文1982年5月11日收到。

表 1　海绿石的 X 射线粉晶照相数据

样品号	标准海绿石[4]		抚仙湖海绿石		抚仙湖盆地陆源海绿石	
hkl	*I*	*d*(Å)	*I*	*d*(Å)	*I*	*d*(Å)
001	10	10.02	$\hat{4}$	9.919	8	10.00
002	3	4.98	2	4.95	3	4.98
020	8	4.53	8	4.50	8	4.52
$1\bar{1}1$	2	4.38			2	4.35
112	4	3.64	$\hat{5}$	3.63	4	3.62
003, 022	6	3.34	5	3.35	6	3.31
112	3	3.09	3	3.08	3	3.08
$11\bar{3}$	2	2.86			2	2.85
023	1	2.67			1	2.67
130, 200, 131	10	2.59	$\hat{10}$	2.60	10	2.59
$13\bar{2}$, 201	6	2.40	7	2.41	6	2.40
040, $22\bar{1}$	1	2.27			2	2.27
$13\bar{3}$, 202	2	2.16	2	2.159	1	2.15
					2	2.08
	2	2.02	2	2.02	1	2.03
005	2	1.99	2	1.99	1	1.99
224	1	1.815	1	1.815		
$31\bar{1}$, $24\bar{1}$	1	1.715			1	1.715
240, 310	3	1.667	1	1.655	4	1.66
060, $33\bar{1}$	8	1.515	6	1.510	8	1.515
260, 400	3	1.310	2	1.311	4	1.310
170, 350	1	1.252			2	1.253
	1	1.204			1	1.204

实验条件：铁靶辐射，电压 40 千伏、电流 1.5 毫安、曝光时间 3.5 小时.
"^"：线条宽化、弥散.

表 2　海绿石化学组成

样点 \ 组成%	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	$FeO + Fe_2O_3$	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	MnO	总计
1.抚仙湖 18	52.68	0.03	5.17	18.38	0.22	5.94	10.41	0.04	0.08	92.95
2.抚仙湖 37	53.61	0.02	3.62	20.79	0.22	6.79	10.49	0.02	0.09	95.65
3.南海 No. 7[5]	51.63	0.12	7.63	25.41	1.15	8.05	4.55	0.26	0.20	99.00
4.闽南-台湾浅滩[3]	44.20	0.16	5.08	1.16　23.91	2.43	5.84	3.28	0.43	0.07	86.56
5.抚仙湖盆地陆源海绿石	48.59	0.36	17.12	4.97	0.33	6.70	7.53	0.18	0.01	85.79

样品 1、2、3 为电子探针分析，4、5 为化学分析.

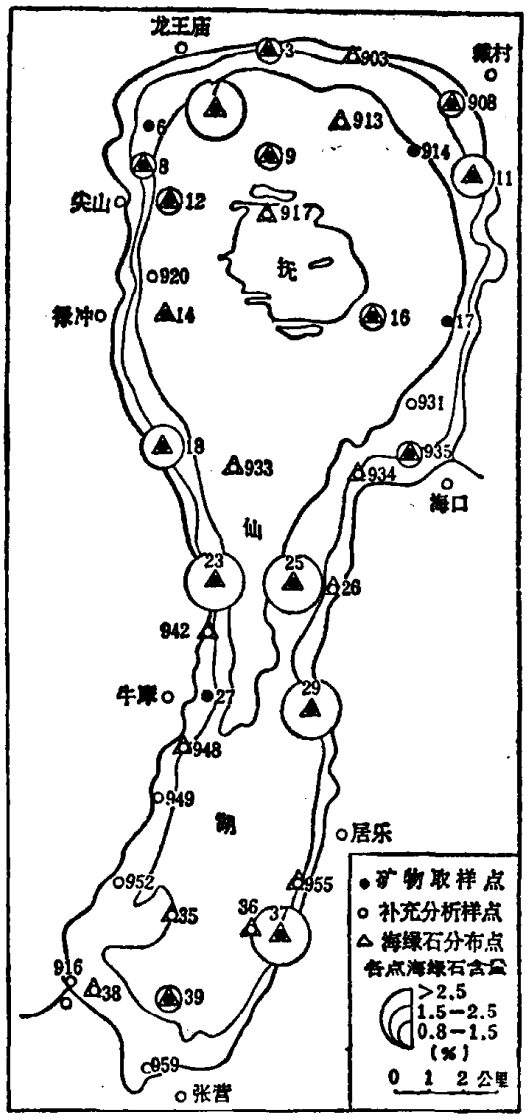


图 2　抚仙湖海绿石分布图

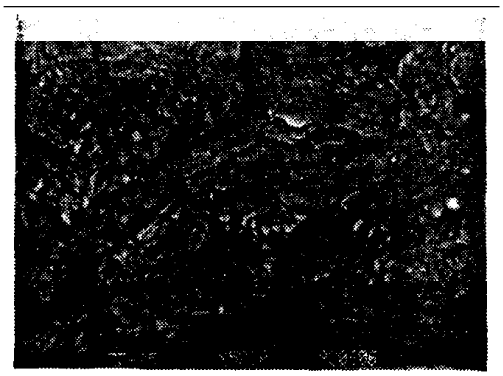


图 3　海绿石表面形貌（×4000）

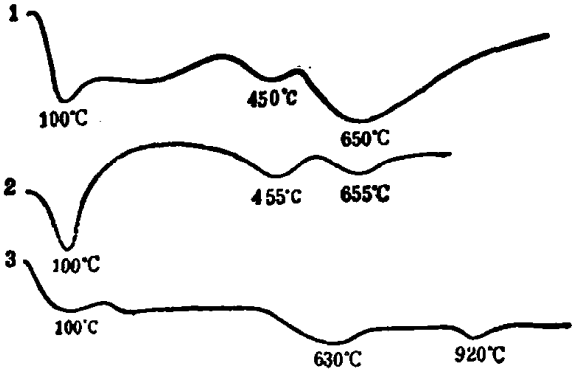


图 4　海绿石的差热曲线图

1. 抚仙湖现代沉积物中海绿石；　2. 闽南-台湾浅滩现代海洋海绿石；　3. 抚仙湖盆地东北部陆源海绿石

二、同陆源海绿石比较

为了探讨湖泊海绿石成因，这里分析一下陆源海绿石对现代湖泊沉积的影响程度．据云南省地质局调查和盆地四周 100 多个自然重砂分析资料*．在盆地东北部山区，寒武系底部有一薄层含海绿石砂岩．由于海绿石的不稳定性、经风化和搬运绝大部分已经氧化破坏[1]．陆源海绿石对湖泊东北部现代沉积影响，经各河口自然重砂检测，含量均低于 0.02%．可见陆源海绿石仅影响湖泊局部地区，其程度也很微弱．

此外，陆源海绿石不仅物理性质与湖泊海绿石不同，其晶体结构和化学组成也有明显区别．表 1、2 和图 4 均列示了盆地东北部陆源海绿石的分析资料．从中可看出：其晶面反射完整，谱线清晰；差热曲线中吸热反应温度值高；化学组成属高铝低铁海绿石类型．上述特征均为古代地层中的海绿石所具有的共同特征[4,5]．上述资料再次证明，抚仙湖海绿石基本不是陆

* 云南省地质局第二区测大队，1:20 万玉溪幅自然重砂分析报告，1969．

源再搬运而来的．它只能是湖体本身地球化学过程的产物．

三、沉积环境的主要特征

抚仙湖是一个地堑式深水湖盆，平均深度 89 米，最大水深 155 米．湖滨陡峭，陆源碎屑沉积物环湖成带状分布．但该湖有湖泊浊流发育，故在湖心深水区有薄层浊积物，它们为海绿石形成提供了有利的底质条件．

湖泊水位稳定，湖底压力条件和热力学状况与海底很相似．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 30 米处，全年温度 13.7°—17℃，压力近 4 个大气压，水深大于 100 米，常年水温保持 13℃ 左右，压力超过 10 个大气压．这些稳定的温度场和较高压力条件，可能是海绿石形成的一个重要因素．

湖水属重碳酸镁 I 型，平均矿化度 240 毫克/升．底层水 pH 值 8—8.5，沉积物表层 Eh 值 100 至负 50 毫伏．而海绿石在碱性条件下稳定，成分中含有三价铁和二价铁离子的层状硅酸盐矿物，因此湖底水化环境同样有利于海绿石形成．

上述环境特征与国内外报道的海绿石形成条件较相似，因此，该湖具备了海绿石形成的基本条件．

四、海绿石成因的初步分析

根据显微镜和扫描电镜观察，结合能谱仪测定成分，湖泊海绿石成因主要有两种．

1. 长石、云母类矿物蚀变形成海绿石[6]　这类海绿石在形态上常保留长石和云母的部分特征．图 5 是正在蚀变中的正长石，上部和右下方已经变为绿色海绿石，其余部分保留着肉红色正长石．图 6 为褐红色黑云母，边缘正发生海绿石化作用．矿物蚀变初期，其晶型转变为海绿石所具有的鳞片状晶型集合体，同时矿物与溶质不断进行离子交换，铁、钾、镁等离子逐步进入层状晶格中，原矿物部分元素流失，矿物性质随之改变，最后成为半透明墨绿色海绿石．

2. 溶液凝聚形成的自生海绿石[7]　这类海绿石是在生物的有机地球化学作用参与下，以 0.01 毫米碎屑为核心，在沉积界面缓慢凝聚形成(图 7)．在形成初期溶液凝聚沉淀，建立硅氧四面体为主的层状晶体构造，并有规则的放射状增大，此时凝聚体无色透明．以后铁、钾、镁等组成海绿石的化学元素才进入层状晶格，逐步形成典型的海绿石矿物．

上述两种形成方式，均发生在有利于海绿石形成的湖底，目前这种形成过程还在进行中．



图 5　正长石的蚀变作用(×280)



图 6　黑云母的蚀变作用(×280)

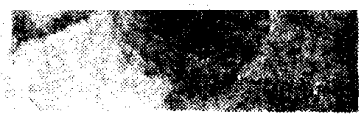


图 7　溶液凝聚形成的海绿石(×280)

五、结　语

过去国内外学者较普遍认为，海绿石只形成于海洋中，并作为古代海相地层的指相矿物．

看来这种认识有待商榷. 因为在抚仙湖现代湖泊沉积物中发现了自生的海绿石，而且明显看出它目前还在形成中，表明海绿石能够在某些深水湖泊中形成. 因此在沉积相研究中，有必要对海绿石在指示沉积环境上的意义作深入探讨.

致谢：本文在编写中得到孙顺才、张立仁、刘泽纯、吴瑞金协助；胡文英、袁静秀、龚埠、杨留法提供有关资料；吕虹妹清绘附图. 扫描电镜、能谱、差热分析由地质部无锡石油地质中心实验室协助完成；X射线分析由地质部南京地质矿产研究所协助完成；电子探针由冶金部桂林冶金地质研究所完成. 在此一并致谢.

参 考 文 献

[1] 同济大学海洋地质系编，海陆相地层辨认标志，科学出版社，1980，146—152.
[2] 孙顺才、张立仁，科学通报，26(1981)，11:678—681.
[3] 陈丽蓉等，海洋与湖沼，13(1982)，1:35—46.
[4] 中国科学院贵阳地球化学研究所编，矿物X射线粉晶鉴定手册，科学出版社，1978，279.
[5] 张乃娴，地质科学，1981，4:376—383.
[6] Birch, G. F., Willis, J. P. & Rickard, R. S., *Mar. Geol.*, 22(1976), 4: 271—283.
[7] Burst, J. F., *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.*, 42(1958), 2: 310—327.