

云南高原现代湖泊沉积物中铁的自生矿物*

王云飞

(中国科学院南京地理研究所)

提要 云南高原湖泊多属断陷湖,水位稳定,水生生物繁衍,有机地球化学作用强烈,沉积物 Fe_2O_3 含量较高。铁的自生矿物主要有针铁矿、菱铁矿、蓝铁矿、磁黄铁矿、黄铁矿和海绿石。控制铁矿物生成和相变的主要因素是沉积环境 O_2 , CO_2 和 H_2S 的逸度、沉积物中活化铁、磷、硅的浓度以及 Eh, pH 值。海绿石受复杂条件制约,只能在个别深水湖中形成。

为寻找更多的富铁沉积矿床,近年来许多学者重视对矿床成因和岩相古地理的研究,并希望从现代沉积过程中获得有关沉积铁矿成因和沉积环境特征的依据。1980年以来我们多次对云南湖泊进行了综合考察。本文以云南东部滇池和西部洱海为重点,对现代湖泊沉积物中铁的自生矿物类型、矿物学特征、铁在湖体中循环和自生矿物形成机制进行了初步分析和探讨。

一、湖区概况

全区湖泊有30余个,以滇池和洱海最大(表1),多属构造湖,其形成与云南高原面解体和差异断块活动有关。湖水补给以大气降水为主,水位年变化小,矿化度大部分为200—300mg/L,水型以重碳酸钙、镁型为主。

表1 滇池、洱海湖泊形态度量指标¹⁾

湖泊	水面高程 (m)	面积 (km ²)	平均宽度 (km)	长度 (km)	深度 (m)		岸线长度 (km)	岸线发展 系数	形态 指标 (KT)	容积 (亿 m ³)	流域 面积 (km ²)	水系
					平均	最大						
滇池	1886.35	297.88	7.2	41.24	3.9	5.9	136.3	2.228	383	11.69	2866	金沙江
洱海	1973.66	248.99	5.85	42.58	10.2	20.7	128.7	2.3	93.6	25.32	2785	澜沧江

1) 部分数据由郑长苏、姚秉衡等同志提供。

二、铁的自生矿物类型和矿物学特征

铁的自生矿物经检测有如下类型:

1. 针铁矿 ($Fe_2O_3 \cdot nH_2O$)

* 协同野外工作的有朱海虹、郑长苏、姚秉衡、冯敏、官春生、倪华、孙顺才、张立仁等同志。王苏民对本文编写给予多方面帮助。吕虹妹清绘附图。扫描电镜由科学院南京地质古生物研究所协助完成;电子探针由冶金部桂林冶金地质研究所完成;红外光谱分析由科学院兰州地质研究所完成;X射线粉晶照相分析由地质部南京地质矿产研究所完成;X衍射分析由本所张立仁、葛培庆协助完成,在此一并致谢。

收稿日期: 1984年12月12日。

呈褐色、黄褐色、粒径为 0.5—3mm, 致密块状、部分具鲕状、豆状浑圆轮廓(图版 I: 1)。经扫描电镜放大知, 矿物由排列不规则的板状微晶体组成, 晶体间布有空洞或夹杂细粒碎屑物质(图版 I: 2); 经电子探针分析知其含 Fe_2O_3 73.3% 和少量的 SiO_2 , Al_2O_3 及 CaO 等化学成分; 经 X 粉晶照相分析显示, 它具有 4.94 Å(020), 4.20 Å(110), 3.34 Å(120), 2.69 Å(130), 2.61 Å(021), 2.45 Å(111), 2.25 Å(121), 2.20 Å(140), 2.13 Å, 1.97 Å(041), 1.742 Å(221), 1.56 Å(151, 160), 1.515 Å(250, 002) 和 3.06 Å, 2.81 Å 等晶面反射。证实该矿物在形成时混入了少量粘土矿物、细碎屑石英和碳酸盐矿物。

2. 菱铁矿 (FeCO_3)

多为浑圆的球体、双球体和多球连体(图版 I: 3), 粒径一般为 0.2—1mm。呈橙黄色、橙色和褐色。微观形貌为不太整齐的微晶体放射状丛生(图版 I: 4)。形态多菱柱体和菱面体, 边棱一般为 3—4 μm(图版 I: 5)。滇池北部菱铁矿的化学组成为: FeCO_3 84.3%, MnCO_3 0.5%, CaCO_3 8.7%, MgCO_3 1.2%。X 衍射分析, 清晰地显示出菱铁矿特征衍射峰^[2](图 1), 但衍射峰宽化, 强度较弱, 小于 5 的晶面反射不明显, 具有形成初

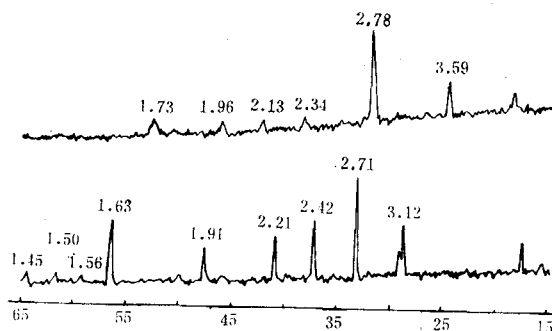


图 1 菱铁矿、黄铁矿的 X 衍射曲线
(上菱铁矿、下黄铁矿)

期的谱线形态。红外光谱分析同样证实^[3]其成分不纯(图 2)。

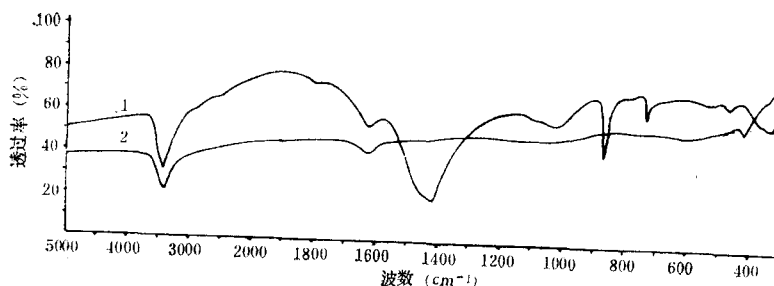


图 2 菱铁矿、黄铁矿的红外光谱曲线
1. 菱铁矿; 2. 黄铁矿。

3. 蓝铁矿 ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$)

呈结核状、肾状, 粒径为 0.5mm 左右, 暗蓝色, 边缘显半透明柱状微晶(图版 I: 6),

常与菱铁矿共生。

4. 磁黄铁矿 (Fe_{1-x}S)

为致密混圆板状颗粒,粒径为 0.2—0.5mm,古铜黄色,部分带锈色,具磁性,属向较强还原环境转化的过渡型矿物,多与菱铁矿或黄铁矿共生。

5. 黄铁矿 (FeS_2)

多呈球状和多球连体(图版 II: 7),颗粒一般为 0.05—0.2mm,浅铜黄色,部分氧化后呈褐黑色。由边长 1—1.5 μm 的 5 角 12 面体、8 面体及少数立方体微晶构成(图版 II: 8)。单晶体由更细小的不太规则的晶体组成(图版 II: 9)。化学成分为 Fe 45.53%, S 52.4% 及微量的 Co, Ni 等元素。X 衍射曲线与标准谱线基本一致^[2](图 1)。红外光谱谱形,强吸收带位于 1200—1000 cm^{-1} , 400 与 350 cm^{-1} 附近的吸收谷,较标准谱线强度弱^[2](图 2),同样反映矿物含杂质,结晶不好。

6. 海绿石 ($(\text{K}, \text{Ca}, \text{Na})_{-1}(\text{Al}, \text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_2[(\text{OH})_2|\text{Al}_{0.5-0.2}\text{Si}_{3.5-3.8}\text{O}_{10}]$)

在断陷深水湖泊中分布较广^[3]。以墨绿色为主,比重 2.65—2.70,折光率约 1.617。呈圆球状、板状(图版 II: 10),微观形貌由细小层状晶体组成,与云母类矿物结构相似,但排列混乱,层间布有不规则的空隙(图版 II: 11)。X 衍射分析显示,它具有 9.919 Å, 4.513 Å, 3.344 Å, 2.574 Å 和 1.508 Å 等特征谱线。但 9.919 Å 衍射峰不清晰,有宽化弥散现象(图 3),反映结晶程度差,发育尚不成熟。化学组成为: FeO + Fe₂O₃ 18.38—20.79%, Al₂O₃ 3.62—5.17%,属高铁低铝类型(表 2),与现代海洋海绿石的基本特征较一致^[3]。

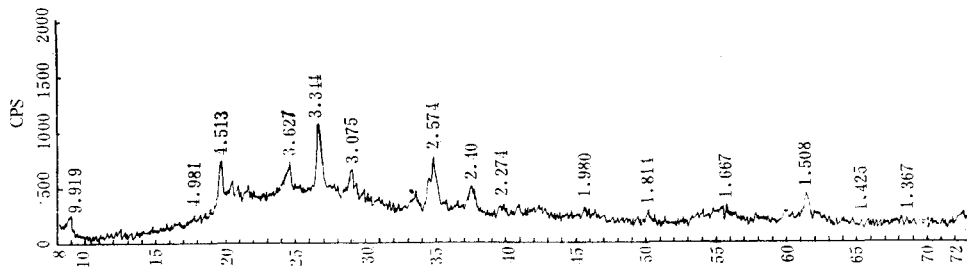


图 3 湖泊海绿石的 X 衍射曲线

表 2 湖泊海绿石的化学组成

组成 (%)									
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO + Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO
湖 18	52.68	0.03	5.17	18.38	0.22	5.94	10.41	0.04	0.08
湖 37	53.61	0.02	3.62	20.79	0.22	6.79	10.49	0.02	0.09

综上所述,云南高原现代湖泊沉积物中铁的自生矿物具有若干相似的矿物学特征:(1)矿物均由数微米的微晶体聚合而成,内部混杂少量其他细碎屑矿物,外形球状,表明其多为液相沉淀的产物;(2)微晶体发育不好,排列混乱,主要衍射峰强度偏弱,部分不

清晰或缺失,有宽化弥散现象,属形成初期的构造特征;(3) 矿物往往围绕生物残体形成(图版 II: 12)或在生物壳体中凝聚沉淀(图版 II: 13),反映铁的自生矿物形成与生物的有机地球化学作用,有较密切关系。

三、分布与沉积环境

以上各类矿物在云南现代湖泊沉积物中分布很不均匀,其富集与湖泊环境有密切关系。图 4 列出了滇池、洱海部分矿物富集点。

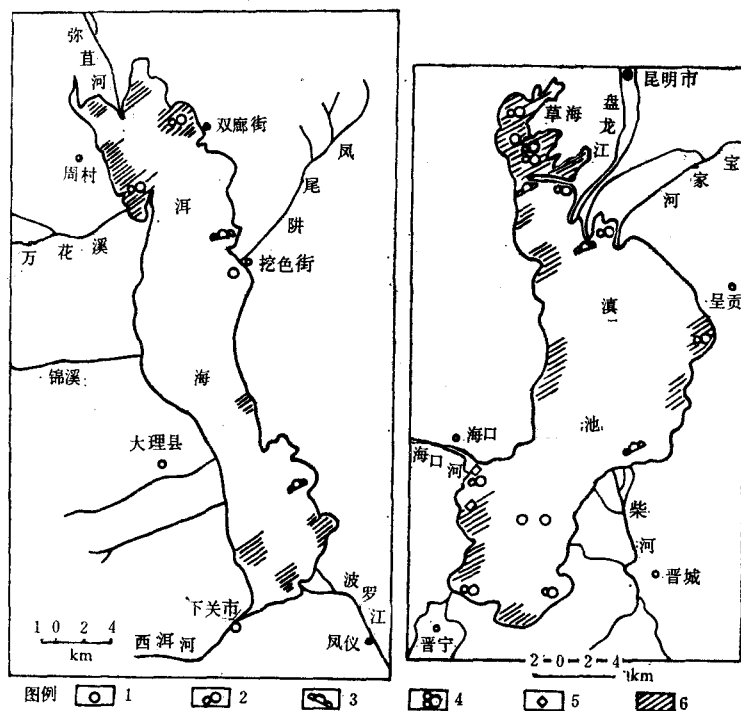


图 4 滇池、洱海铁的自生矿物分布图

1. 黄铁矿; 2. 菱铁矿; 3. 针铁矿; 4. 磁黄铁矿; 5. 蓝铁矿; 6. 湖泊碳酸盐。

针铁矿广泛分布在云南湖泊的浅水区,尤其在湖泊航道两侧、强湖流区以及湖湾的湾口地段,如滇池北部和东南部。洱海东部挖色附近针铁矿含量高,发育好。滇池北部样点针铁矿含量可占碎屑矿物总量 8.9%。该点背靠北部草海湖湾,是草海与滇池大水面水体交换的门户,又是滇池北部湖流作用较强的地区,底层湖水常处于动荡之中, Eh 值高达 192mV, 因此形成了豆状、鲕状的针铁矿粗大颗粒。

菱铁矿在水生植物稠密、水体运动停滞的湖湾中分布较广,以草海发育最好,含量可达 53.8%。草海为正在消亡的湖湾,水生生物繁茂,沉积物为富含有机残体的黑色淤泥, pH 值为 7 左右, Eh 值 60—83mV。蓝铁矿在滇池西南部分布较广,海口附近含量占重矿物总量的 24.2%。各点环境与草海近似,但水体和沉积物中磷含量较高。

黄铁矿和磁黄铁矿主要分布区有二:一是富含菱铁矿沉积物下部,如滇池草海表层

以下 10—20cm 处开始检测到磁黄铁矿和黄铁矿, 往下渐富集; 二是部分开阔湖区, 如滇池南部湖心、洱海挖色附近均检测到直径为 0.05mm 的黄铁矿单球, 含量最高达 4.7%。以上各点的沉积物类型为含有机质较高的粉砂质粘土并具有较强的还原条件, Eh 值为 26—56mV。

海绿石分布在个别深水湖泊中, 约 75% 的点位含有。平均含量占碎屑矿物总量的 2.51%, 最高达 14.5%。这些样点分布在水深 35m 以下湖底表层, 沉积物多为暗棕色含泥质粉细砂, 尤其在浊流沉积物中(如泸沽湖南部现代沉积物)分布广, 含量高。

断陷深水湖泊浊流分布广, 湖心深水区有分选过的粗碎屑沉积, 富含石英、长石、云母等矿物, 为湖泊海绿石形成提供了有利的底质条件。深水湖泊的水温随水深增加年变幅减小, 压力增加。例如水深 30m 处, 全年水温为 13.7—17°C, 大于 100m 处水温常年保持在 13°C 左右, 稳定的温度场和较高的压力, 可能是海绿石形成的一个重要因素。此外含海绿石诸样点的底层水 pH 值为 8—8.5, 表层沉积物 Eh 值为 100—200mV, 属微碱性弱氧化环境^[3]。

综上所述, 云南断陷深水湖泊的主要物理化学条件与海洋海绿石形成环境较为相似^[4](表 3)。上述条件可能促使海绿石在表层沉积物中缓慢形成。

表 3 云南深水湖泊与东海的沉积环境

点 位	水 深 (m)	沉 积 物			底 层 水		
		中值粒径 (M_d)	分选系数 (S_o)	类 型	pH	温 度 (°C)	盐 度 (‰)
湖-37	75	0.19	1.55	细 砂	8.35	13.3	0.239
东海 D-139 ^[4]	108	0.125	1.8	细 砂	8.17	17.0	34.0

四、矿物形成和相变的主要控制因素

湖泊沉积铁矿物类型的分布之所以不同与湖区环境差异有关。其中最重要的控制因素是组成该矿物的各种物质补给, 尤其是铁元素的输入量和使铁易于迁移的环境。据入湖河流水质分析, 溶解铁(包括离子状态、铬合物和胶体溶液迁移的铁)的含量仅为 $n \times 10^{-7}$ — $n \times 10^{-8}$ mg/L, 故对湖泊中铁矿物形成意义不大。但自生矿物富集区, 陆源粉铁很丰富。如滇池北部、盘龙江主支流沉积物中 Fe_2O_3 含量高达 8.1—10.47%¹⁾。当它进入有机质丰富的滨湖湖湾地区, 微生物活动和有机质分解, 使稳定的三价铁氧化物活化, 为运移和再沉淀创造了条件。有机地球化学反应释放出的 CO_2 和 H_2S 又成为菱铁矿、磁黄铁矿和黄铁矿的组成物质。物质补给的重要性从蓝铁矿分布也得到证明。滇池西南部, 因有含胶磷矿的昆阳群梅树村组地层出露, 故湖泊沉积物磷含量为 0.644—0.93%。丰富的磷输入, 使蓝铁矿在物源区先于菱铁矿而沉淀, 富集。

除海绿石外, 其他矿物在垂向上和横向上的分布均有一定规律。如草海的沉积物以菱铁矿为主, 局部有蓝铁矿检出, 深处磁黄铁矿和黄铁矿富集。草海航道两侧和外围有针

1) 本文化学分析、水化分析、粒度分析数据分别由俞源盛、胡文英、龚耀提供。

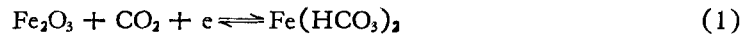
铁矿分布,过渡带矿物的共生和相互转化的现象普遍(图版 II: 14)。由(图 5)可知沉积物的 Eh 值和 pH 值是控制铁的自生矿物相变的另一个重要因素^[6]。当 Eh 和 pH 降低,铁的还原作用增强,有利于各种二价铁的矿物形成。反之则有利于三价铁的氧化物沉淀。云南湖泊中,形成针铁矿的 Eh 值一般不低于 150mV,当 Eh 值大于 200mV 时更有利于针铁矿富集;形成菱铁矿和蓝铁矿的 pH 值为 7.6—7.1, Eh 为 60—98mV;磁黄铁矿可能在较低的 Eh 值和 pH 值低于 6 的环境中形成。黄铁矿均出现在 Eh 值最低的一些点位。当 Eh 值接近零时,黄铁矿的富集更明显。海绿石分布区的 Eh-pH 点位全部落在针铁矿与菱铁矿的过渡带,稍偏向针铁矿一侧。

图 5 与理论值基本一致^[4],但由于湖泊环境受有机地球化学作用强,Eh, pH 值变化大,所以分布界线多向上漂移,个别点位也会出现反常情况。

五、铁在湖泊中循环和矿物形成的模式

在热带和亚热带气候条件下,铁在岩石风化壳中有明显的积累(表 4)。这些铁以三价氧化物形式,经河流搬运而进入湖泊中。

入湖的粉铁在地表是稳定、分散的,但进入富含有机质的沉积物后,便发生一系列的地球化学变化。据滇池湖湾中二价铁分析资料(图 6),底层湖水中含量仅 0.02—0.04mg/L,而表层 1m 沉积物中二价铁含量增加到 2.5—3.5%,往下又明显下降。这表明在湖湾中,由于有机质分解,产生 CO₂ 逸出,当 CO₂ 分压超过 O₂ 分压时,Eh 和 pH 值降低,沉积物中三价铁氧化物渐渐溶解而活化,形成易于迁移的重碳酸亚铁:



该反应在湖泊铁的循环中具有重要意义。滨湖湖湾地区陆源粉铁丰富,CO₂ 分压带分布很浅,不断产生出重碳酸亚铁并向四周运移,在有利的沉积相带富集,形成较大的沉积铁

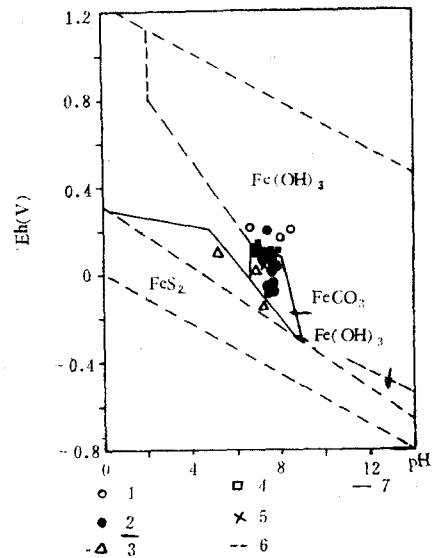


图 5 湖泊沉积系统中铁的 Eh-pH 图
1.针铁矿; 2.菱铁矿; 3.黄铁矿; 4.海绿石;
5.蓝铁矿; 6.理论界线; 7.实际界线。

表 4 岩石风化壳中铁的积累¹⁾

岩 性	位 置	岩石中铁的平均含量 (%)	风化壳中铁的含量 (%)
三迭系石灰岩	石灰岩丘陵表面	< 1	9.01
玄武岩	玄武岩丘陵表面	6.57	16.70
中生代紫色页岩	河谷分水岭表层	0.92—6.07	7.26

1) 据本所“1982年湖泊综合研究”。

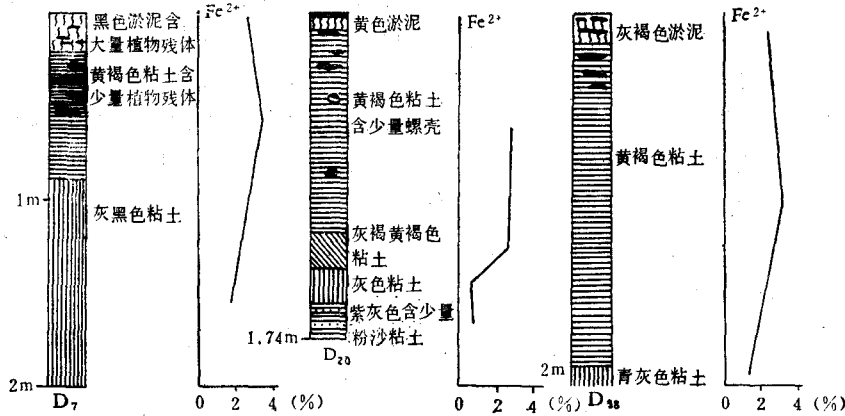
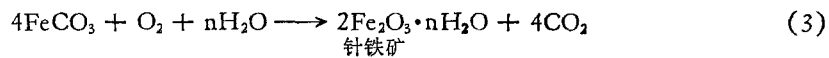
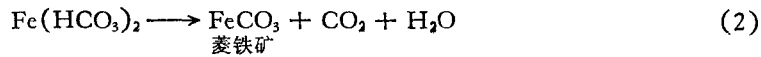


图 6 表层沉积物中二价铁含量变化

矿床。

在湖泊表层、湾口地段和强湖流区，水动力作用较强，处于碱性湖水和较强的氧化环境，重碳酸亚铁运移到这些地区便氧化而形成鲕状、豆状针铁矿。



重碳酸亚铁在 CO_2 分压带中按压力梯度运移或因生物的光合作用，使 CO_2 逸度降低而离解重碳酸亚铁补偿(如式(2))，形成菱铁矿沉淀。如果 P_2O_5 含量超过临界浓度，便产生蓝铁矿沉淀。

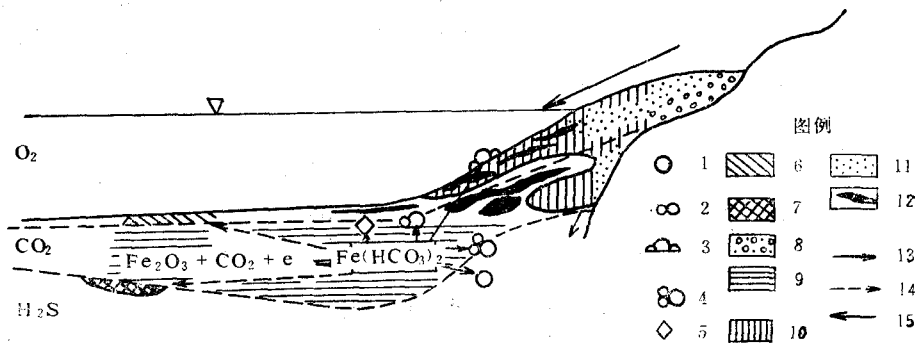
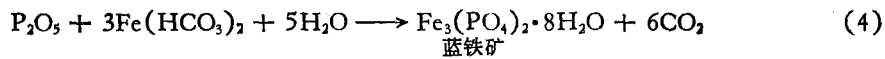
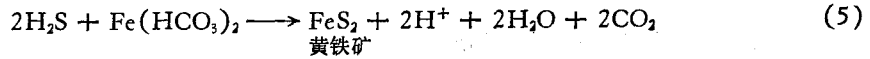


图 7 铁在湖泊中循环和铁的自生矿物形成示意图

- 1. 黄铁矿; 2. 菱铁矿; 3. 针铁矿; 4. 磁黄铁矿; 5. 蓝铁矿; 6. 海绿石; 7. 鲕绿泥石;
- 8. 砂砾层; 9. 湖相粘土; 10. 粉砂质粘土; 11. 砂层; 12. 有机物; 13. 重碳酸亚铁运移方向;
- 14. 重碳酸亚铁特殊环境运移方向; 15. 陆源碎屑物质补给方向。

重碳酸亚铁溶液向下迁移，由于硫细菌对硫酸盐矿物和动物残体有机硫分解，产生 H_2S 逸出，当 H_2S 分压超过 CO_2 分压时，沉积物中形成更强的还原环境，其过渡带生成

磁黄铁矿, H_2S 分压带形成黄铁矿沉淀。



形成海绿石的物理化学条件位于 O_2 逸带和 CO_2 分压带过渡带, 由于还受其他条件制约, 所以只能在局部、特殊的湖泊环境中形成。

铁在云南高原湖泊中循环、活化和含铁矿物形成的模式可简化为图 7。

六、结 语

1. 云南高原气候四季温暖, 土壤和岩石风化壳中铁富集, 陆源碎屑粉铁经地表流进入湖盆中, 沉积物 Fe_2O_3 含量较高。

湖泊成因类型多属断陷湖, 水位稳定, 湖湾和滨岸带水生生物繁衍, 有机地球化学作用强烈, 为铁的活化、运移和沉淀提供了良好的条件。

2. 控制铁矿物生成和相变的主要因素是沉积环境的 O_2 , CO_2 和 H_2S 逸度, 沉积物中活化铁、磷、硅浓度以及 Eh, pH 值。海绿石受复杂条件的制约, 只能在特殊的深水湖泊中形成。

3. 自生矿物的主要类型有针铁矿、菱铁矿、蓝铁矿、磁黄铁矿、黄铁矿和海绿石。它们均由微晶体聚合而成, 晶体发育不好, 矿物不纯, 外形具球状轮廓等特征。

4. 与海洋铁矿物分异剖面 and Eh-pH 分带不同^[1]。湖泊铁循环系统因受有机地球化学作用, 在滨湖湖湾地区形成局部 CO_2 分压优势带, 所以铁矿物仅在局部湖区富集, 但类型多, 含量高, 相变复杂。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院地球化学研究所, 1981。铁的地球化学。科学出版社, 68—96 页。
- [2] 中国科学院地球化学研究所, 1978。矿物 X 射线粉晶鉴定手册。科学出版社, 44, 110, 118, 121 页。
- [3] 王云飞, 1983。现代湖泊沉积物中的海绿石。中国科学院南京地理研究所集刊(第 1 号), 17—27 页。
- [4] 陈丽蓉、俞旭、时英民等, 1980。东海沉积物中海绿石的研究。地质科学 3: 205—217。
- [5] 彭世文、刘高魁, 1982。矿物红外光谱图集。科学出版社, 76, 144 页。
- [6] Jones, B. F. and C. J. Bowser, 1978. The mineralogy and related chemistry of lake sediments. In Lakes Chemistry Geology Physics, Ed. by Abraham Lerman, Springer-Verlag. pp. 215—219.

FERRO-AUTHIGENIC MINERALS IN PRESENT LAKE SEDIMENTS, YUNNAN PLATEAU

Wang Yunfei

(Nanjing Institute of Geography, Academia Sinica)

ABSTRACT

This paper is a report on the types, mineralogical characters, distribution and environments of ferro-authigenic minerals, Fe cycle, and their formation mechanism in the lakes with

a view to the origin of Fe-mine and sedimentary environments.

1. Physical Generalization

There are more than thirty lakes in Yunnan Plateau. Most of them are structural lakes, among which Dianchi and Erhai Lakes are the largest. The lakes are found in different evolution stages, some of them are in subsidence process, so their deposits by turbidity currents are often revealed. Because of their great water depth, the lakes are stratified, and the thermal behaviour is similar to that in sea. But some lakes are very shallow and unstratified. Thus the lacustrine sedimentary environments are different and complex.

The study region is located in low latitude of subtropic plateau climate with distinct dry and wet seasons. Al-rich red weathered crust is well developed. The aqueous organisms in lakes flourish with long growth term and hence intensive organo-geochemical actions. The lake water is mainly fed by rivers and creeks around the basin with relatively little outflow. So a stable level results from slow exchange. Evaporation causes slight concentration of lake water. These physical conditions provide a favourable environment for ferric mobilizing, shift and precipitation in the lakes.

2. Types, characteristics and distribution of ferro-authigenic minerals

1) Goethite ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$): yellow-brown, pisolitic and oolitic appearance, tabular crystal in microscopical form, Fe_2O_3 content of 73.3%, sharp crystal face reflection at 4.20 Å, 2.69 Å, 2.05 Å etc. Goethite distributed extensively, specially concentrated in the bay mouth and turbulent flow area.

2) Siderite (FeCO_3): orange-colour, spheroidal appearance of micro-rhombohedral and micro-rhombo-prism, consisting of 84.3% of FeCO_3 , 8.7% of CaCO_3 , 1.2% of MgCO_3 . Extensively dispersed on-shore and bay characterized by close aqueous organism and weak dynamics.

3) Vivianite [$\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$]: dark blue, nodular and reniform, composed of micro-prism crystals. It is present in the environments analogous to those of siderite occurrence, but the former is higher in phosphoric content.

4) Dipyrite (Fe_{1-x}S): dark copper yellow, with magnetic property, compact and perfect round tabular appearance.

5) Pyrite (FeS_2): spheroidal shape of microscopical pentagonal-dodecahedron, octahedron in cube crystals, containing 45.53% Fe and 52.4% S, with crystal plane reflection at 3.12 Å, 2.71 Å, 2.42 Å, 2.21 Å, 1.91 Å, 1.64 Å and 1.45 Å. Pyrite and dipyrite are commonly in paragenesis. Pyrite predominately occurs in open bay where Eh value in sediments is the lowest.

6) Glauconite $\{(K, Ca, Na)_{<1} (Al, Fe^{3+}, Fe^{2+}, Mg)_2 [(OH)_2 Al_{0.5-0.2} Si_{3.5-3.8} O_{10}]\}$: Glauconite is found in faulted deep water lakes, dark green, in spheroidal and tabular shape, which is clustered irregularly by fine bedded crystals. There are distinct spectrum at 9.919 Å, 4.513 Å, 2.574 Å, 1.508 Å etc., but the diffraction peak at 9.919 Å is unclear, widening and scattering. The composition is 18.38—20.79% $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ and 3.62—5.70% Al_2O_3 , coincident with that of present marine glauconite. Presumably coarse-grain turbidity deposits, water temperature of 14°C or so throughout years, pH value 8.2—8.5, Eh 100—200 mV in bottom surface sediments and stronger organo-geochemical process are all favourable for formation of glauconite in the lakes. Occurrence similar to that of glauconite.

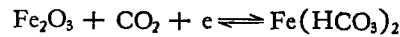
3. Main Controls on Formation and Phase Change of Minerals

Ferro-authigenic minerals are distributed inhomogeneously in the lakes. The factors controlling this feature are the source of material composed of the minerals, ferric input, and conditions which enhance ferric transport and precipitation. The chemical analysis of sediments show higher Ferric content in input deposits. On-shore bay with rich organic matter is a stronger reduction environment because of microbiological activity and deposition of organic matter. In this case, Fe_2O_3 mobiles and CO_2 , H_2S etc. escape from sediments. They provide abundant material source for formation of minerals.

Secondly, the phase change of Ferric minerals is closely related to Eh and pH. According to environmental analysis of individual sampling station, Eh value is not below 150 mV for goethite formation, whereas condition with pH 7.6—7.1 and Eh 60—98 mV is more favourable for siderite and vivianite. Lower Eh and pH (<6) are suitable for the formation of dipyrrite. The stations where pyrite was found have the lowest Eh. The area of glauconite formation is in the transition zone between goethite and siderite, but slightly close to goethite area.

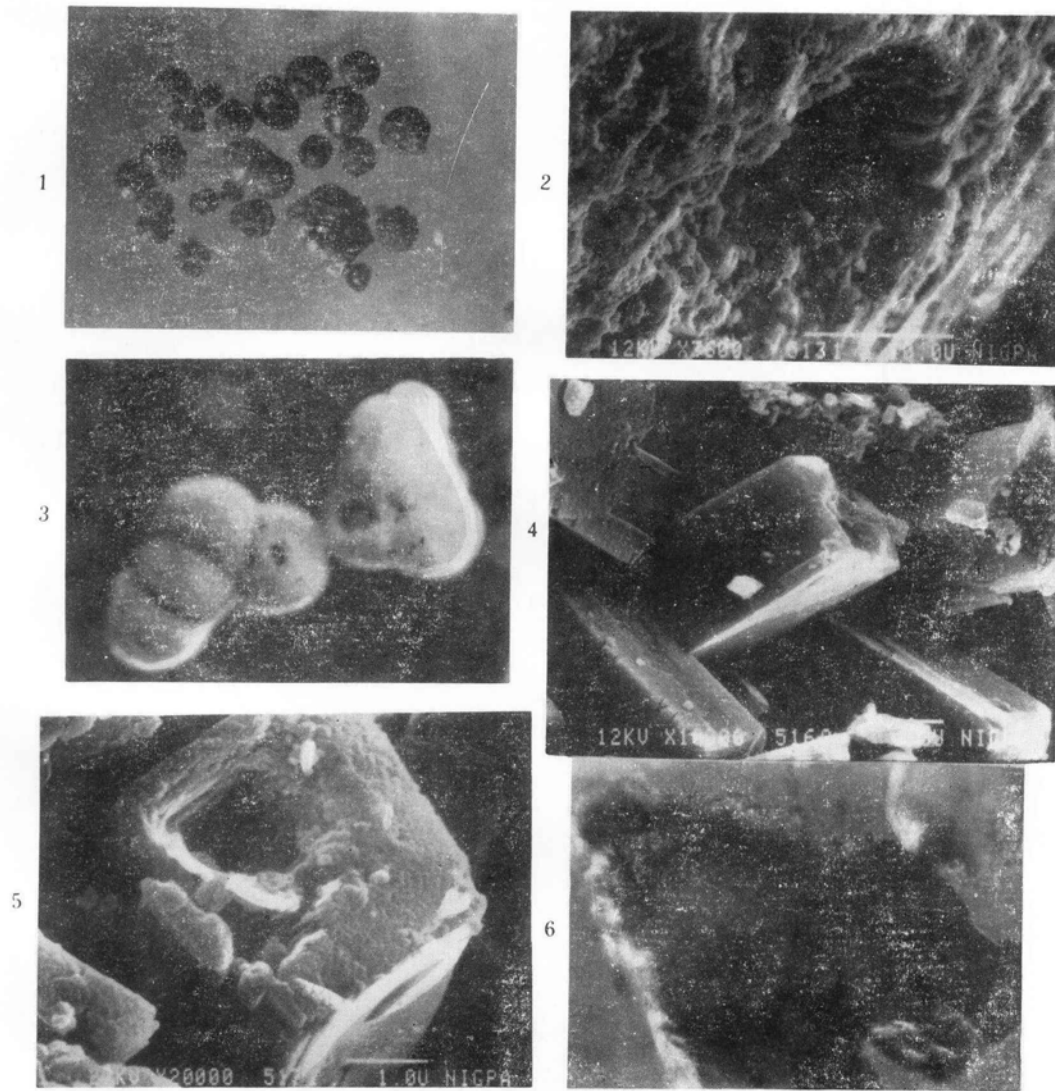
4. Fe Cycle in Lakes and Ferric Mineral-Formed Model

There is strong Fe accumulation in the weathered crust of bedrock of lakes in Yunnan Province. When Fe-flour is carried by surface runoff into the lakes, the CO_2 produced by decomposition of organic matter causes decreasing in Eh and pH in on-shore bay area. Thus, Fe_2O_3 is dissolved and mobile to form ferro-dicarbonate which is readily shifted. The reaction as follows:



There is abundant terrestrial Fe flour in nearshore bay area, where CO_2 componental pressure zone is more shallow, Fe_2O_3 is continuously transformed into Ferro-dicarbonate, then $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ diffuses to surrounding to form different minerals in environments.

In the bay mouth area, Ferro-dicarbonate is oxidized into oolitic and pisolitic goethite owing to stronger dynamic, higher Eh and alkline medium. In the CO_2 componental pressure zone, Ferro-dicarbonate transports at pressure gradient. With decrease in CO_2 componental pressure, Ferro-dicarbonate is dissolved and CO_2 is in complemented siderite forms. If phosphur content is over the critical concentration in the medium, vivianite is first precipitated, whereas Ferro-dicarbonate infiltrates—downward or disperses to open lake and grades into H_2S escape zone. In the transition zone dipyrrite is settled, and pyrite is formed in H_2S component pressure zone. Glauconite occurs in transitional area between Oxygen escape and CO_2 componental pressure zone, but its formation is also influenced by other conditions, so that it is found only in certain local lacustrine environment.



1.豆状、肾状针铁矿 2.针铁矿微晶集合体形貌 3.滇池菱铁矿多球体 4.菱铁矿表面菱柱状微晶体放射状丛生,并杂细碎屑物质 5.菱铁矿单个晶体形貌 6.滇池蓝铁矿边缘见放射微晶簇 7.洱海黄铁矿单球体 8.黄铁矿单球微观形貌 9.黄铁矿表面五角十二面体,立方体等微晶集合体 10.湖泊海绿石 11.湖泊海绿石表面微观形貌 12.围绕有机质形成的菱铁矿多球体 13.形成于介形虫壳体中的海绿石小球 14.沉积铁矿的共生与转化,内部为菱铁矿外部已转变为黄铁矿

