

# 洞庭湖区沉积物物源推断的地球化学指标与应用

魏军才, 张建新, 邢旭东, 鲁江

(湖南省地质研究所, 湖南 长沙 410007)

**摘要:**在对洞庭湖区钻孔岩心进行地球化学采样分析的基础上, 研究总结了不同物源沉积物元素及其组合的地球化学特征, 认为长江物源与四水 (湘、资、沅、澧) 相比, 以富 Fe、Na、Ca 和 Mg, 贫 Si, 高 CaO/MgO、Cr/Th、Ca/Cd、Ti/Si、TC/N, 低 K/Na 等为特征, 通过散点图和因子分析筛选出 Cr/Th 等 8 个指标, 构建物质来源地球化学推断的判别方程, 利用多目标区域地球化学调查数据, 绘制湖区表层沉积物的判别得分图, 划分出了长江和四水物源的两个沉积区。

**关键词:**沉积物物源; 洞庭湖区; 因子分析; 判别分析

**中图分类号:** P596 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1552 (2010) 03-0444-06

## 0 引言

洞庭湖是我国第二大淡水湖, 位于长江中下游荆江南岸, 是一个承纳湘、资、沅、澧 (简称“四水”) 和吞吐长江的山前过水性洪道型湖泊 (龚鸿身和姜加虎, 2000)。长江和四水携带入湖的泥沙是洞庭湖区沉积物最主要的物质来源。沉积物蕴涵着大量地质、气候和环境等信息 (张振克和王苏民, 1999), 区分其来源有助于认识洞庭湖区的沉积历史, 对于深入探讨湖区沉积物从源到汇的过程, 从水文、环境地质角度对湖泊演化进行研究、以及生态地球化学评价中的追源和预警等具有重要意义。

本文“洞庭湖区”指洞庭湖平原和“四水”尾闾区, 地质地貌上为一个在中生代断陷盆地上发育的、由长江和“四水”冲、湖积组成的向北倾斜的碟状盆地, 处于扬子地台和南华准地台的过渡带上 (苏成等, 2001), 气候上属亚热带季风湿润气候区。制约沉积物地球化学特征的因素除了元素本身的地球化学性质外, 最显著的莫过于物源和气候因素。鉴于洞庭湖区范围内气候差异相对较小, 本文主要考虑

物源对沉积物的影响。

物源区的原岩类型对本沉积区化学组成的控制作用十分显著。长江、四水流域上中游物质成分不同, 长江流域多碳酸盐岩、花岗岩、变质岩 (熊应乾等, 2003) 和紫红色碎屑岩; 湘江流域来源于南华地槽年轻的沉积岩 - 酸性岩类, 主要以碎屑岩、花岗岩、碳酸盐岩为主; 澧水物源来源于扬子地台较古老的变质岩 - 偏基性岩类, 花岗岩类分布少。这些差异为区分识别不同流域沉积物提供了可能 (孙书勤等, 2007)。本文试从洞庭湖区不同物源沉积物化学成分入手, 分析不同物源沉积物的地球化学特征, 并以此进行洞庭湖区沉积物物质来源的地球化学推断。

## 1 典型样品的采集与分析

在综合考虑物源典型区的基础上, 洞庭湖区第四纪环境地球化学研究项目针对性地选取在湘江下游尾闾区、澧水下游的澧阳平原、以长江分洪河道物源为主的安乡冲湖积区、东洞庭湖西南和西北部典型区各施工 1 个第四纪钻孔 (位置见图 1), 采取钻

收稿日期: 2010-03-31; 改回日期: 2010-05-05

基金项目: 湖南省洞庭湖区生态地球化学调查项目 (1212010310304) 课题: 洞庭湖区第四纪环境地球化学研究。

第一作者简介: 魏军才 (1966-), 男, 高级工程师, 主要从事水工环科研与管理工作。Email: weijc6610@sina.com



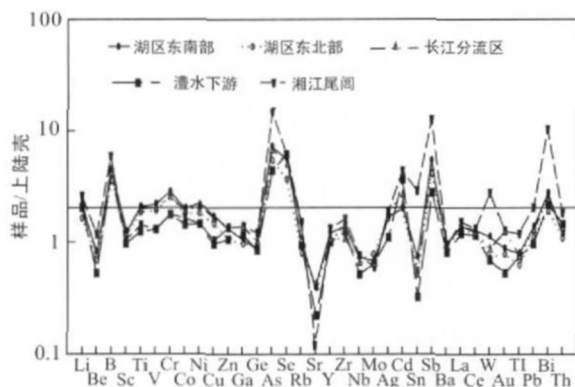


图 2 洞庭湖区不同物源沉积物微量元素含量的上陆壳标准化比较

Fig 2 Upper continental crust normalized trace element plots of sediments from various sources in the Dongting Lake Area

Sb, La, W, Au, Pb, 与湖南西 - 西北部源区前寒武纪浅变质砂岩板岩类, 普遍含钨钼金汞矿有关。

## 2.3 元素组合及比值特征

### 2.3.1 元素组合特征

由前文分析得知湖区与长江分水区沉积物, 湘江与澧水沉积物化学成分特征相似, 在此将湖区与长江分水区沉积物合并, 作为长江物源沉积考虑; 湘江与澧水沉积物合并, 作为四水物源沉积考虑。以 26 个元素和指标为变量分别作长江与四水沉积物的因子分析, 因子分析是一种找主要矛盾的方法, 并且它提出的“因子”具有成因上的意义, 其代表了影响该元素组合的作用。表 2 即由因子分析得出的元素组合。

长江物源沉积以钙镁质为主的长江物源沉积作

表 2 不同物源沉积物元素组合特征 (按重要性递减排列)

Table 2 Group characteristics of major and trace elements for sediments from different sources

元素	长江物源沉积				四水物源沉积			
	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$
As	0.78	0.39	0.34	0.20	0.85	0.16	-0.32	0.36
Au	0.03	-0.12	0.68	0.12	0.88	0.01	-0.16	0.28
Cd	0.54	-0.24	0.29	0.67	0.32	0.13	0.10	0.90
Cr	0.04	0.78	-0.13	0.09	0.09	0.94	0.28	-0.01
Cu	0.28	0.80	0.42	0.12	0.44	0.84	-0.01	0.21
F	0.40	0.66	-0.06	-0.07	0.04	0.94	0.12	0.00
Ga	0.49	0.11	0.77	0.07	0.58	0.78	-0.10	0.12
Hg	0.71	0.14	-0.06	-0.08	0.07	0.74	-0.23	0.53
Mn	0.40	0.74	0.44	-0.01	0.57	0.65	-0.18	0.21
Nb	0.26	0.88	-0.13	0.00	0.75	0.58	-0.27	0.10
Ni	0.50	0.67	0.53	0.04	0.06	0.98	0.13	-0.02
P	-0.18	0.45	0.00	0.83	-0.11	-0.04	0.37	-0.04
Pb	0.84	0.36	0.31	0.12	0.82	0.22	-0.29	0.42
Rb	0.84	0.28	0.46	0.02	0.89	0.37	-0.23	0.08
Sr	-0.96	0.17	-0.05	0.00	-0.52	0.37	0.73	0.08
Th	0.72	0.10	0.51	0.16	0.84	0.43	-0.24	-0.12
Ti	-0.11	0.96	-0.05	0.01	0.52	0.80	-0.15	0.15
W	0.50	0.15	0.02	0.12	0.93	0.01	-0.30	0.17
SiO <sub>2</sub>	0.35	-0.82	-0.26	-0.21	-0.08	-0.34	-0.92	0.10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.78	0.19	0.58	0.03	0.86	0.43	-0.03	-0.16
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>T</sup>	0.52	0.78	0.31	0.00	0.25	0.92	-0.04	-0.01
K <sub>2</sub> O	0.70	0.33	0.57	-0.06	0.74	0.59	0.05	-0.03
Na <sub>2</sub> O	-0.87	-0.34	-0.24	-0.15	-0.87	-0.28	0.35	-0.05
CaO	-0.94	0.19	-0.21	0.10	-0.37	-0.07	0.91	0.01
MgO	-0.65	0.66	-0.13	-0.12	-0.63	0.30	0.67	-0.10
TOC	0.59	-0.14	0.24	0.55	-0.23	-0.23	0.88	0.13
因子贡献	36.13	27.48	13.48	6.53	35.89	31.77	16.98	6.67
因子涵义	长江物源沉积作用	粉砂质沉积作用	黏土沉积作用	生物作用	成矿及地层因子	铁锰质沉积作用	有机质吸附作用	重金属沉积

用为第一组元素组合,四水第一组合为成矿及地层作用因子,表征的是源区有色金属矿化影响。

第二和三种元素组合对长江沉积物的意义分别为粉砂质沉积作用和黏土质沉积作用,表明长江物源进入湖区的沉积作用,第四组合代表湖区及长江分流区有一定的富营养化;湘江尾闾沉积物第二、三元素组合表明源区有较强的铁锰质和生物作用影响,与源区较发达的工业及较强的人类活动相关;第四组合的重金属沉积表明源区受生物作用影响污染较大。

其中长江物源的第一因子和四水物源的第三因子都出现  $\text{Ca}$ 、 $\text{Mg}$ 、 $\text{TOC}$  的元素组合,差别在于  $\text{Ca}$ 、 $\text{Mg}$  与  $\text{TOC}$  的正负相关性,前者主要由于源区岩石类型及有机质的分解流失,后者主要是在生物活动影响下有机质含量增加吸附较多的阳离子。

### 2.3.2 元素比值特征

依据不相容元素和部分高场强元素构成的比值为原则,我们挑选出  $\text{CaO}/\text{MgO}$ 、 $\text{Sr}/\text{Ba}$ 、 $\text{Rb}/\text{Sr}$  等十六对元素对比值进行分析。沉积物元素对比值平均值及标准差见表 3。

表中列出的十六种元素对比值中,可大致将其归属两类,以长江物源沉积作用为主的湖区东部、长江分流区沉积物和以湘江、澧水物源沉积物为代表的四水物源沉积物差别明显,如长江物源沉积普遍高的  $\text{CaO}/\text{MgO}$ 、 $\text{Cr}/\text{Th}$ 、 $\text{Ca}/\text{Cd}$ 、 $\text{Ti}/\text{Si}$ 、 $\text{TC}/\text{N}$ ; 四水物源沉积较高的  $\text{K}/\text{Na}$ 。可以其作为区分的标志。利用其中四个元素对比值作散点图(图 3),发现散点图中样品非常有规律的聚集在一起,说明利用这些特征地球化学指标能够把长江和四水物源沉积物很好的分开。

表 3 不同物源沉积物元素对比值

Table 3 Comparison of major and trace element ratios for sediments from different sources

位置	$\text{CaO}/\text{MgO}$	$\text{Sr}/\text{Ba}$	$\text{Rb}/\text{Sr}$	$\text{K}/\text{Na}$	$\text{Ca}/\text{Cd}$	$\text{Br}/\text{I}$	$\text{Cr}/\text{Th}$	$\text{TOC}/\text{N}$
东洞庭湖西南部	2.11 $\pm$ 0.73	0.27 $\pm$ 0.09	0.95 $\pm$ 0.60	3.60 $\pm$ 1.85	21.33 $\pm$ 10.59	2.23 $\pm$ 0.77	7.68 $\pm$ 1.22	7.35 $\pm$ 2.11
东洞庭湖西北部	2.46 $\pm$ 0.27	0.34 $\pm$ 0.05	0.60 $\pm$ 0.14	2.30 $\pm$ 0.64	23.33 $\pm$ 5.81	4.01 $\pm$ 1.21	7.96 $\pm$ 0.68	12.39 $\pm$ 3.39
长江分流区	2.30 $\pm$ 0.64	0.27 $\pm$ 0.05	0.85 $\pm$ 0.25	3.08 $\pm$ 0.85	15.16 $\pm$ 6.10	2.63 $\pm$ 1.15	6.18 $\pm$ 0.47	12.39 $\pm$ 5.68
湘江尾闾	0.49 $\pm$ 0.07	0.09 $\pm$ 0.01	4.07 $\pm$ 0.24	8.34 $\pm$ 0.74	0.76 $\pm$ 0.25	0.34 $\pm$ 0.19	3.05 $\pm$ 0.22	7.58 $\pm$ 2.32
澧水下游	1.44 $\pm$ 0.86	0.17 $\pm$ 0.03	1.38 $\pm$ 0.29	4.71 $\pm$ 1.06	5.74 $\pm$ 3.76	3.67 $\pm$ 3.23	4.14 $\pm$ 0.37	10.32 $\pm$ 3.85
位置	$\text{TC}/\text{N}$	$\text{Al}/\text{Zr}$	$\text{Ti}/\text{Si}$	ba值	Sa	Saf值	C值	MWPI
东洞庭湖西南部	21.84 $\pm$ 8.06	303.99 $\pm$ 90.79	232.92 $\pm$ 43.82	1.52 $\pm$ 0.53	7.24 $\pm$ 0.95	5.58 $\pm$ 0.77	0.37 $\pm$ 0.14	14.79 $\pm$ 4.16
东洞庭湖西北部	38.66 $\pm$ 15.12	244.03 $\pm$ 60.03	214.28 $\pm$ 19.32	1.84 $\pm$ 0.31	8.30 $\pm$ 0.83	6.42 $\pm$ 0.65	0.27 $\pm$ 0.04	16.01 $\pm$ 1.12
长江分流区	13.31 $\pm$ 6.04	375.79 $\pm$ 41.53	200.53 $\pm$ 22.57	1.34 $\pm$ 0.27	6.86 $\pm$ 0.82	5.47 $\pm$ 0.70	0.33 $\pm$ 0.07	14.03 $\pm$ 1.65
湘江尾闾	8.51 $\pm$ 2.23	256.75 $\pm$ 22.31	132.01 $\pm$ 7.50	0.44 $\pm$ 0.02	7.93 $\pm$ 0.78	6.71 $\pm$ 0.69	0.55 $\pm$ 0.04	4.61 $\pm$ 0.21
澧水下游	11.08 $\pm$ 3.57	282.83 $\pm$ 44.62	120.89 $\pm$ 26.74	1.11 $\pm$ 0.35	9.44 $\pm$ 1.74	7.77 $\pm$ 1.42	0.34 $\pm$ 0.12	9.67 $\pm$ 3.36

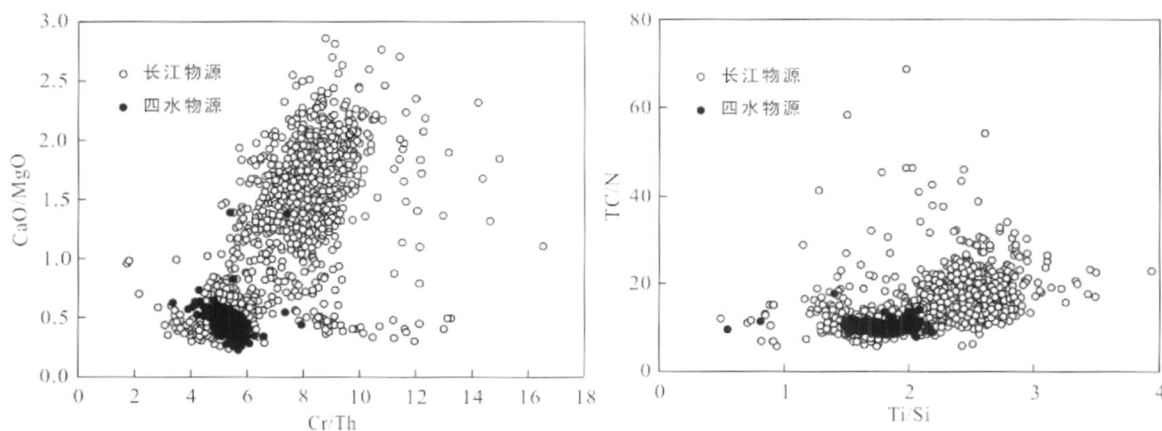


图 3 洞庭湖区不同沉积物比值散点图

Fig 3  $\text{CaO}/\text{MgO}$  vs  $\text{Cr}/\text{Th}$  and  $\text{TC}/\text{N}$  vs  $\text{Ti}/\text{Si}$  plots for sediments from different sources in the Dongting Lake Area

综合前文对不同物源沉积物地球化学参数的分析,总结了其各自的地球化学特征:长江物源沉积富 Fe、Na、Ca、Mg、Sc、V、Cr、Ni、Cu、Sr、Mo、F、CaO/MgO、Cr/Th、Ca/Cd、Ti/Si、TC/N 高, TOC 较贫, 磁化率高; 四水物源沉积富 Si、Li、Se、Cd、Ce、Th、K/Na 高, TOC 较富, 磁化率低。可将以上地球化学特征作为区分二者的有效指标 (杜国云等, 2006)。

### 3 物质来源的地球化学推断

### 3.1 物质来源地球化学推断的判别式

本文采用判别分析是由已知不同类型总体建立判别函数,再用判别函数判断未知个体所属类型的多元统计方法(王学仁和松桂,1990)。

利用洞庭湖区 1 25 万多目标区域地球化学调查数据,通过多介质系统样品采集和多元素分析,获取一套全面的区域地球化学基础资料。我们选取其中按一定距离网度采取的 1987 个湖区沉积物表层样和 121 个四水沉积物表层样数据进行对比,采

用前文总结长江物源和四水物源沉积物 11 项特征地球化学变量:  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3^T$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Ca/Cd}$ 、 $\text{Cr/Th}$ 、 $\text{CaO/MgO}$ 、 $\text{Ti/Si}$ 、 $\text{TC/N}$  和  $\text{K/Na}$  (张建新等, 2007)。通过 SPSS 软件作逐步回归分析, 最终选入用于判别物源的有效变量为:  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3^T$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Cr/Th}$ 、 $\text{CaO/MgO}$ 、 $\text{Ti/Si}$ 、 $\text{K/Na}$ 。

利用这 8 个变量构造规范判别函数为:

$$Y = -0.860 + 0.09SiO_2 - 1.02Fe_2O_3^T - 1.45Na_2O - 1.50MgO + 0.25Cr/Th + 0.38CaO/MgO + 4.53Ti/Si + 0.38K/Na \quad (1)$$

### 3.2 物源推断分区

将 2108 个洞庭湖区表层沉积物样品的地球化学参数代入 (1) 式, 计算出每个样品对应的判别式得分, 绘制其等值线图 (图 4)。

由判别得分等值线图可以看出,洞庭湖区表层沉积物按长江、四水水源沉积分成两个大区:中、北部长江物源沉积区和东西南部四水沉积区。

长江物源沉积区几乎占据整个湖区,说明长江

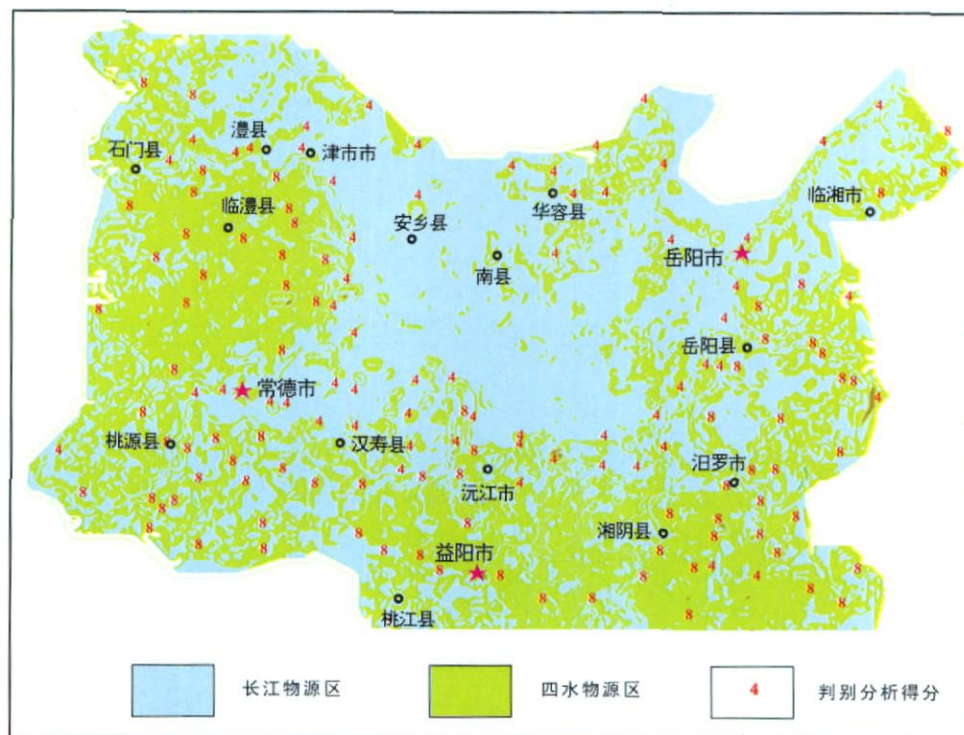


图 4 洞庭湖区物源分区图

**Fig 4** Plot showing the distribution of sediments with different sources in the Dongting Lake area based on the geochemical discrimination

湖南省洞庭湖区生态地球化学调查项目部. 2008. 湖南省洞庭湖区生态地球化学调查报告.

物源对湖区沉积物影响最大,湖区表层沉积物主要为长江物源;东南部受湘江尾间影响,该区沉积以四水物源中湘江为主。西北为沅、资、澧综合影响区,反映为四水物源影响区。

## 4 结 论

(1) 通过对洞庭湖区物源典型区样品的常量、微量元素及元素比值的对比,分析不同物源沉积物的地球化学特征,通过因子分析对各元素间共生组合,相依相克的关系进行归纳与提炼。总结了不同物源沉积物元素及其组合的地球化学特征,认为长江物源与四水相比,以富 Fe、Na、Ca 和 Mg, 贫 Si, 高 CaO/MgO、Cr/Th、Ca/Cd、Ti/Si、TC/N, 低 K/Na 等为特征。

(2) 更进一步对湖区沉积物作判别分析,筛选出能区分不同物源沉积物的有效指标:  $SO_2$ 、 $Fe_2O_3^T$ 、 $Na_2O$ 、MgO、Cr/Th、CaO/MgO、Ti/Si 和 K/Na。利用这 8 个变量构造规范判别函数为:

$$Y = -8.60 + 0.09SO_2 - 1.02Fe_2O_3^T - 1.45Na_2O - 1.50MgO + 0.25Cr/Th + 0.38CaO/MgO + 4.53Ti/Si + 0.38K/Na$$

(3) 利用判别函数得出湖区表层沉积物判别得

分,绘制判别得分的等值线“地形图”,将整个湖区分为两个沉积环境区:北、中部长江物源沉积区;东西南部四水物源沉积区。

## 参考文献:

- 窦鸿身,姜加虎. 2000. 洞庭湖. 合肥: 中国科学技术大学出版社: 3 - 11.
- 杜国云,王庆,孙祝友. 2006. 新构造分异的地学信息分析——以山东半岛北部为例. 大地构造与成矿学, 30 (1): 114 - 119.
- 苏成,莫多闻,王辉. 2001. 洞庭湖的形成、演变与洪涝灾害. 水土保持研究, 8 (2): 52 - 55.
- 孙书勤,张成江,赵松江. 2007. 大陆板内构造环境的微量元素判别. 大地构造与成矿学, 31 (1): 104 - 109.
- 王学仁,王松桂编译. 1990. 实用多元统计分析. 上海: 上海科技出版社: 324 - 330.
- 熊应乾,杨作升,刘振夏. 2003. 长江、黄河沉积物物源研究综述. 海洋科学发展, 21 (3): 355 - 362.
- 张建新,申志军,顾海滨等. 2007. 洞庭湖区第四纪环境地球化学. 北京: 地质出版社: 163 - 166.
- 张振克,王苏民. 1999. 中国湖泊沉积记录的环境演变: 研究进展与展望. 地球科学进展, 14 (4): 417 - 422.

# Geochemical Characteristics of Sediments From the Dongting Lake Area and Its Application for Inferring Their Sources

WEI Juncai, ZHANG Jianxin, XING Xudong and LU Jiang

(Hunan Institute of Geology, Changsha 410007, Hunan, China)

**Abstract:** Major and trace element concentrations of sediments from various origins were analyzed for core samples from the Dongting Lake Region. The results suggest that the sediments of Yangtze River origin are characterized by high Fe, Na, Ca, Mg and low Si contents, high ratios of CaO/MgO, Cr/Th, Ca/Cd, Ti/Si, TC/N, and low ratio of K/Na, comparing with the sediments of "Four River" origin. 8 representative indexes were chosen by scatter plots and factors analysis, which were then used to construct a model for origin discrimination. The model was utilized in origin discrimination investigation for the sediments in the Dongting lake area, and consequently, two sediment sources, i.e., the Yangtze River and "Four Rivers", can be identified, and their distribution map was drawn based on the geochemical characteristics.

**Keywords:** sediment; Four Rivers; factor analysis; discriminant analysis