

DOI: 10.3724/SP.J.1140.2009.06149

# 两种方法计算黏土矿物相对含量结果的比较

周晓静<sup>1,2</sup>, 池野<sup>1,2</sup>, 李安春<sup>1</sup>, 孟庆勇<sup>1,2</sup>, 胡刚<sup>1,2,3</sup>

(1 中国科学院海洋研究所 中国科学院海洋地质与环境重点实验室, 青岛 266071;

2 中国科学院 研究生院, 北京 100049; 3 青岛海洋地质研究所, 青岛 266071)

**摘要:**应用 Biscaye 或 Cook 计算方法, 均可得到样品中黏土矿物的相对含量, 但前者主要用于细颗粒沉积物定向片衍射图谱的解析, 而后者适用于各种粉晶衍射结果的处理。对长江口及东海陆架区表层沉积物样品中 $<2\mu\text{m}$  粒级组分进行了 X 射线衍射分析, 分别采用上述两种方法计算了样品中 4 种主要黏土矿物(蒙皂石、伊利石、高岭石和绿泥石)的相对含量, 并比较了两种计算结果的差别。结果显示, Cook 算法在 $<2\mu\text{m}$  定向片与粉晶中的计算值差别较小。在东海陆架区 $<2\mu\text{m}$  沉积物定向片样品中, 两种计算方法所得结果在蒙皂石、伊利石相对含量等参数上具有显著相关性; 尝试选择其中相关关系以及线性拟合程度较好的数据, 建立了两种黏土矿物相对含量计算结果间的转换关系式。

**关键词:**黏土矿物相对含量; 计算方法; 东海陆架

中图分类号: P599

文献标识码: A

文章编号: 0256-1492(2009)06-0149-08

在黏土矿物研究中, 通常做法是将 $<2\mu\text{m}$  的黏土粒级样品制成定向片, 同时, 将部分粒级或全岩样品低温烘干, 研磨成粉末, 然后, 将上述两种形式的样品进行 X 射线衍射分析。前种处理主要用来得到黏土矿物相对含量的数据, 可以用 Biscaye 提出的方法进行半定量计算<sup>[1]</sup>; 后者可以选择 Cook 介绍的方法估量沉积物样品中所含有的多种矿物的相对含量<sup>[2]</sup>。两种算法均得到了较广泛的应用<sup>[3-14]</sup>, 甚至在一篇文献中同时可见<sup>[9, 14]</sup>。虽然两种方法在研究目的、使用对象、选择的矿物特征峰、数据形式以及权重因子等方面均有差异, 但是, 它们都能用来计算沉积物中 4 种主要黏土矿物(蒙皂石、伊利石、高岭石和绿泥石)的相对含量, 处理的内容相互交叉。但是, 不同算法得出的黏土矿物数据是否可以进行对比? 为探讨上述问题, 本文选取了长江口崇明岛附近 7 个、东海陆架区 258 个表层沉积物样品, 对其 $<2\mu\text{m}$  粒级组分进行了 X 射线衍射分析, 并借助统计分析等手段比较了两种算法所得结果的差异。

## 1 研究背景

X 射线衍射是进行细颗粒矿物鉴定, 特别是黏土矿物定量研究的重要工具。自从 20 世纪 30 年

代初期 Hendricks 和 Fry 以及 Kelley 等人将 X 射线衍射技术引入矿物学研究之后, 众多科学家开始致力于发展与完善黏土物质的鉴别方法及定量研究工作<sup>[15]</sup>。1935 年 Clark 和 Reynolds 利用内标与照相记录首次尝试鉴定自然混合物中黏土矿物的百分含量; 而 1954 年 Johns 等人发表的论文“利用衍射方法定量识别黏土矿物混合物”, 则为后来众多有关矿物半定量鉴别的地质学研究打下基础<sup>[16]</sup>。50—60 年代是 X 射线衍射数据处理方法和矿物含量定量研究的兴盛时期, 美国 1954—1967 年发表的关于沉积物或沉积岩的论文中至少出现了 6 种计算矿物百分含量的技术方法<sup>[16]</sup>, 其中以 Biscaye 介绍的关于黏土矿物半定量计算的方法<sup>[1]</sup>最具代表性并沿用至今, 但该方法更适用于处理 $<2\mu\text{m}$  粒级沉积物; 而 1975 年 Cook 发表的沉积物样品 X 射线衍射数据处理方法的应用对象较为广泛, 利用它可以鉴别并计算各种粒级沉积物中包括黏土矿物在内的 34 种常见矿物的相对含量<sup>[2]</sup>。

## 2 材料与方法

对于取自东海陆架区的 258 个表层沉积物样品(图 1)的处理过程如下: 取全岩样品若干, 经浸泡(24 h)、搅拌及超声分散处理(15~20 min)后过 250 目筛; 将筛下部分样品转入 800 mL 烧杯中, 加入去离子水至固定界面; 玻璃棒搅拌均匀后静置; 依照 Stokes 定律提取出黏土粒级组分( $<2\mu\text{m}$ ); 将上述提取液离心、去上清液、制作定向片。将定向片置于

基金项目: 国家自然科学基金项目(40776030, 40576032)

作者简介: 周晓静(1977—), 女, 博士生, 主要从事海洋沉积学研究, E-mail: melonjoe@126.com

收稿日期: 2009-03-13; 改回日期: 2009-08-11. 周立君编辑

60℃乙二醇饱和蒸汽中, 12 h 后上机测试。

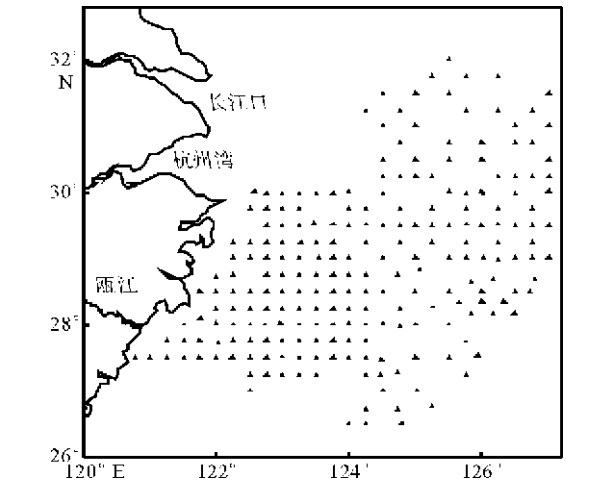


图 1 东海陆架表层沉积物样品站分布  
Fig.1 Distribution of surface sediment sampling stations in the East China Sea shelf

为对比定向片与粉晶样品 X 射线衍射结果的差别, 特别选取了 7 个长江口崇明岛附近表层沉积物样品: 首先, 按与陆架区样品相同的处理过程反复提取 $<2\mu\text{m}$  粒级组分。此后, 取黏土粒级粉末适量, 加入少许蒸馏水, 超声分散得悬浊液, 制作定向片; 其余部分经 60℃烘干、轻轻研磨, 制成非定向片。将制好的粉晶非定向片与定向片样品同时置于 60℃乙二醇饱和蒸汽中, 24 h 后上机测试。

测试分析在中国科学院海洋研究所海洋地质与环境重点实验室完成, 使用仪器为德国产 D8 Advance 型 X 射线衍射仪, 仪器工作电压 40 kV、电

流 40 mA,  $\lambda=1.54178\text{ \AA}$  (CuK $\alpha$ )。扫描范围 3°~35°(2 $\theta$ ), 步长 0.04°/s。将得到的衍射图谱扣除背景、平滑后, 使用软件 TOPAS 2.0 对主要衍射峰面积进行拟合, 提取特征峰强度值, 分别利用 Biscaye 和 Cook 两种方法计算 4 种主要黏土矿物(蒙皂石、伊利石、高岭石和绿泥石)的相对含量<sup>[1-2]</sup>。

相关分析在 SPSS 11.5 环境下完成, 计算采用 Pearson 简单相关系数、双侧检验。

3 结果

3.1 同种算法在不同形式样品中应用结果的比较

由衍射图谱(图 2)来看, 粉晶非定向片的衍射峰强度明显偏弱, 峰形相对较差。对于同一站位的定向片与非定向片样品, 使用不同方法计算得到的黏土矿物相对含量有所不同。

将同一站位的定向片 and 粉晶样品测量结果相比较, 结果显示: 使用 Biscaye 计算方法得到二者之间的差异((定向片计算结果÷粉晶计算结果)×100%)分别为: 蒙皂石 40.7%~219.4%, 平均 105.5%; 伊利石 81.7%~132.8%, 平均 103.7%; 高岭石 38.9%~332.9%, 平均 156.0%; 绿泥石 44.1%~313.2%, 平均 128.9%(表 1)。使用 Cook 计算方法得到二者之间的差异分别为: 蒙皂石 54.2%~153.3%, 平均 98.1%; 伊利石 89.0%~105.3%, 平均 101.8%; 高岭石 85.0%~111.2%, 平均 95.6%; 绿泥石 78.2%~172.1%, 平均 117.9%(表 2)。

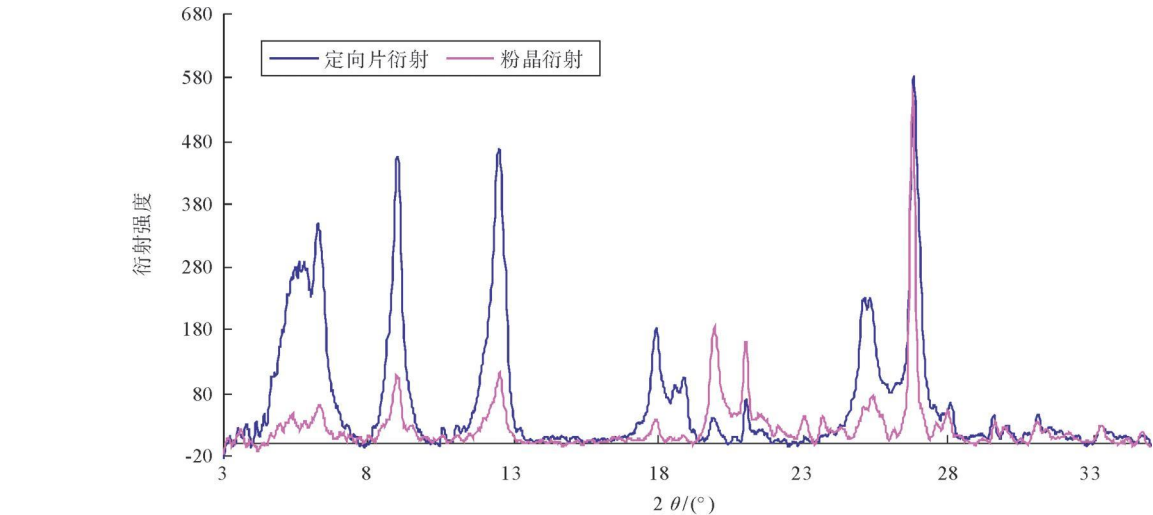


图 2 一样品的定向片与粉晶非定向片衍射结果比较(乙二醇饱和)  
Fig.2 Different diffraction patterns between the oriented aggregate slides and random packing mounts for the same sample (glycolated peaks)

表 1 Biscaye 方法对定向片与粉晶样品计算结果的比较

Table 1 Relative clay mineral contents calculated with Biscaye's method

%

样品形式	定 向 片					粉 晶					两种结果的相对差异				
矿物类型	蒙皂石	伊利石	高岭石	绿泥石	高岭石 + 绿泥石	蒙皂石	伊利石	高岭石	绿泥石	高岭石+ 绿泥石	蒙皂石	伊利石	高岭石	绿泥石	高岭石+ 绿泥石
CHM1	14.1	54.3	12.6	19.0	31.5	29.7	40.9	8.8	20.7	29.5	47.5	132.8	143.2	91.8	106.8
CHM2	9.0	55.2	23.8	11.9	35.8	22.1	54.6	19.5	3.8	23.3	40.7	101.1	122.1	313.2	153.6
CHM3	10.6	60.8	13.8	14.8	28.6	7.7	63.8	10.2	18.3	28.5	137.7	95.3	135.3	80.9	100.4
CHM4	12.0	55.3	8.3	24.4	32.7	18.0	47.0	7.2	27.8	35.0	66.7	117.7	115.3	87.8	93.4
CHM5	14.6	58.8	8.1	18.6	26.7	10.3	59.9	20.8	9.1	29.8	141.7	98.2	38.9	204.4	89.6
CHM6	13.6	52.1	24.3	10.0	34.3	6.2	63.8	7.3	22.7	30.0	219.4	81.7	332.9	44.1	114.3
CHM7	13.2	57.5	13.3	16.0	29.3	15.5	58.1	6.5	19.9	26.4	85.2	99.0	204.6	80.4	111.0
平均值	12.4	56.3	14.9	16.4	31.3	15.6	55.4	11.5	17.5	28.9	105.5	103.7	156.0	128.9	109.9

注: 两种结果的相对差异=(定向片计算结果÷粉晶计算结果)×100%。

表 2 Cook 方法对定向片与粉晶样品计算结果的比较

Table 2 Relative clay mineral contents calculated with Cook's method

%

样品形式	定 向 片					粉 晶					两种结果的相对差异				
矿物类型	蒙皂石	伊利石	高岭石	绿泥石	高岭石 + 绿泥石	蒙皂石	伊利石	高岭石	绿泥石	高岭石+ 绿泥石	蒙皂石	伊利石	高岭石	绿泥石	高岭石+ 绿泥石
CHM1	12.6	59.8	19.0	8.6	27.6	12.4	56.8	19.8	11.0	30.8	101.6	105.3	96.0	78.2	89.6
CHM2	8.2	60.1	25.1	6.6	31.7	11.7	57.5	24.8	6.0	30.8	70.1	104.5	101.2	110.0	102.9
CHM3	7.7	64.2	22.3	5.8	28.1	10.5	62.0	22.2	5.3	27.6	73.3	103.5	100.5	109.4	101.8
CHM4	11.8	57.0	21.1	10.2	31.3	9.2	55.2	24.6	11.0	35.6	128.3	103.3	85.8	92.7	87.9
CHM5	12.4	61.6	17.5	8.4	25.9	11.7	60.1	20.6	7.7	28.3	106.0	102.5	85.0	109.1	91.5
CHM6	14.1	54.4	21.0	10.5	31.5	9.2	61.1	23.5	6.1	29.6	153.3	89.0	89.4	172.1	106.4
CHM7	9.6	61.5	18.9	10.0	28.9	17.7	58.8	17.0	6.5	23.5	54.2	104.6	111.2	153.8	123.0
平均值	10.9	59.8	20.7	8.6	29.3	11.8	58.8	21.8	7.7	29.5	98.1	101.8	95.6	117.9	100.5

注: 两种结果的相对差异=(定向片计算结果÷粉晶计算结果)×100%。

据此认为, Cook 计算方法亦可用于处理定向片样品的 X 射线衍射数据, 而 Biscaye 方法并不适用于粉晶衍射数据的处理。

3.2 两种算法在东海陆架黏土粒级(< 2 μm)定向片中应用结果的比较

东海陆架区黏土粒级沉积物(< 2 μm)定向片 X 射线衍射典型图谱见图 3。文中 S1、I1、K1 和 C1 分别表示使用 Biscaye 方法计算所得蒙皂石、伊利石、高岭石和绿泥石的相对含量; S2、I2、K2 和 C2 分别表示使用 Cook 方法计算所得蒙皂石、伊利石、高岭石和绿泥石的相对含量。

根据 Biscaye 计算结果, 东海陆架区表层沉积物中几种主要黏土矿物相对含量(图 4)由高到低依次为伊利石(变化范围 53.1%~74.9%, 平均含量

达 65.4%)、绿泥石(7.6%~21.1%, 平均含量 14.4%)、蒙皂石(4.4%~25.6%, 平均含量 13.3%)和高岭石(0.8%~13.5%, 平均含量 6.9%)。黏土矿物空间组成存在较大差异, 尤其是蒙脱石与伊利石。蒙皂石含量与伊利石和绿泥石含量之和的比值为 0.05~0.38, 平均值 0.17; 蒙皂石与高岭石含量之比为 0.45~16.04, 平均 2.34。

使用 Cook 方法计算矿物含量(图 5), 结果表明, 东海陆架 4 种主要黏土矿物中伊利石含量最高(58.2%~73.6%, 平均含量 67.0%), 其次为高岭石(13.1%~21.6%, 平均 16.6%), 绿泥石含量占第三位(5.7%~14.7%, 平均含量 9.1%), 蒙皂石(2.3%~14.5%, 平均 7.4%)含量最低。蒙皂石含量与伊利石和绿泥石含量之和的比值为 0.03~0.20, 平均 0.10; 蒙皂石与高岭石含量比值为 0.13

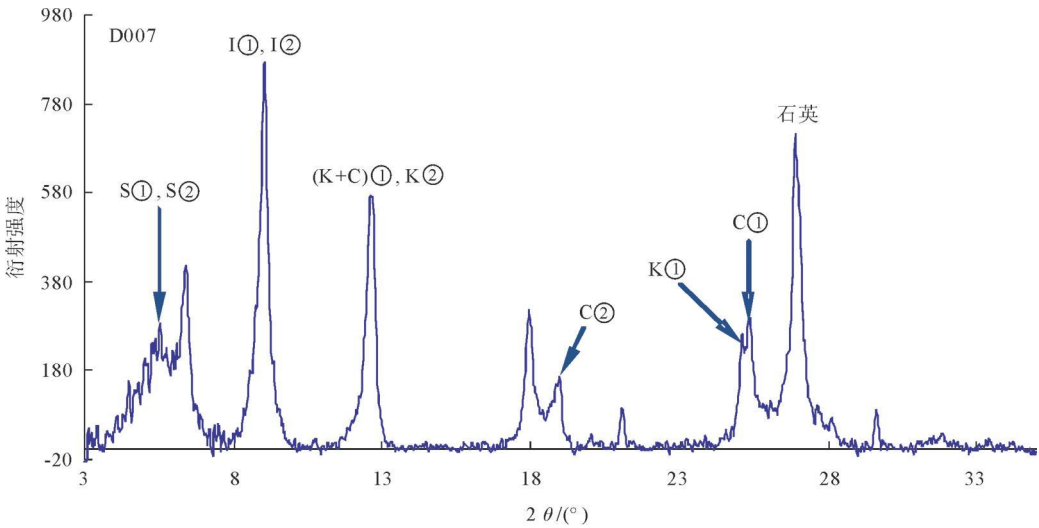


图 3 东海陆架区表层沉积物黏土粒级(< 2 μm)定向片衍射图谱

① Biscaye 方法; ② Cook 方法; S. 蒙皂石特征峰; I. 伊利石特征峰; K. 高岭石特征峰; C. 绿泥石特征峰

Fig. 3 Typical oriented slide diffraction patterns of < 2 μm fractions in the surface sediments of East China Sea shelf

① Biscaye's method; ② Cook's method; S: Smectite typical diffraction peak; I: Illite typical diffraction peak; K: Kaolinite typical diffraction peak; C: Chlorite typical diffraction peak

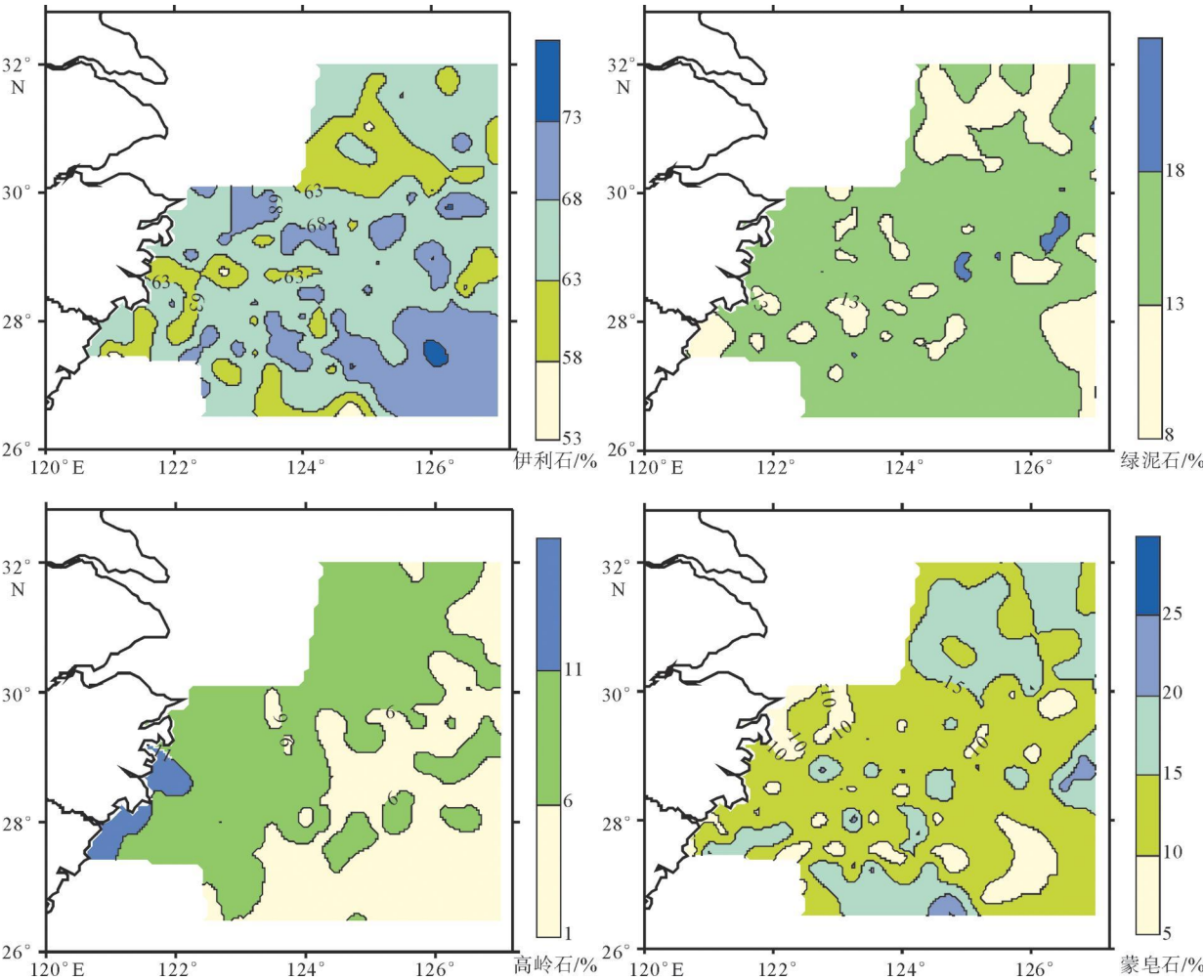


图 4 东海陆架区黏土矿物相对含量分布(根据 Biscaye 计算方法)

Fig. 4 The distributions of relative clay mineral contents in surface sediments of the East China Sea shelf by the Biscaye's method

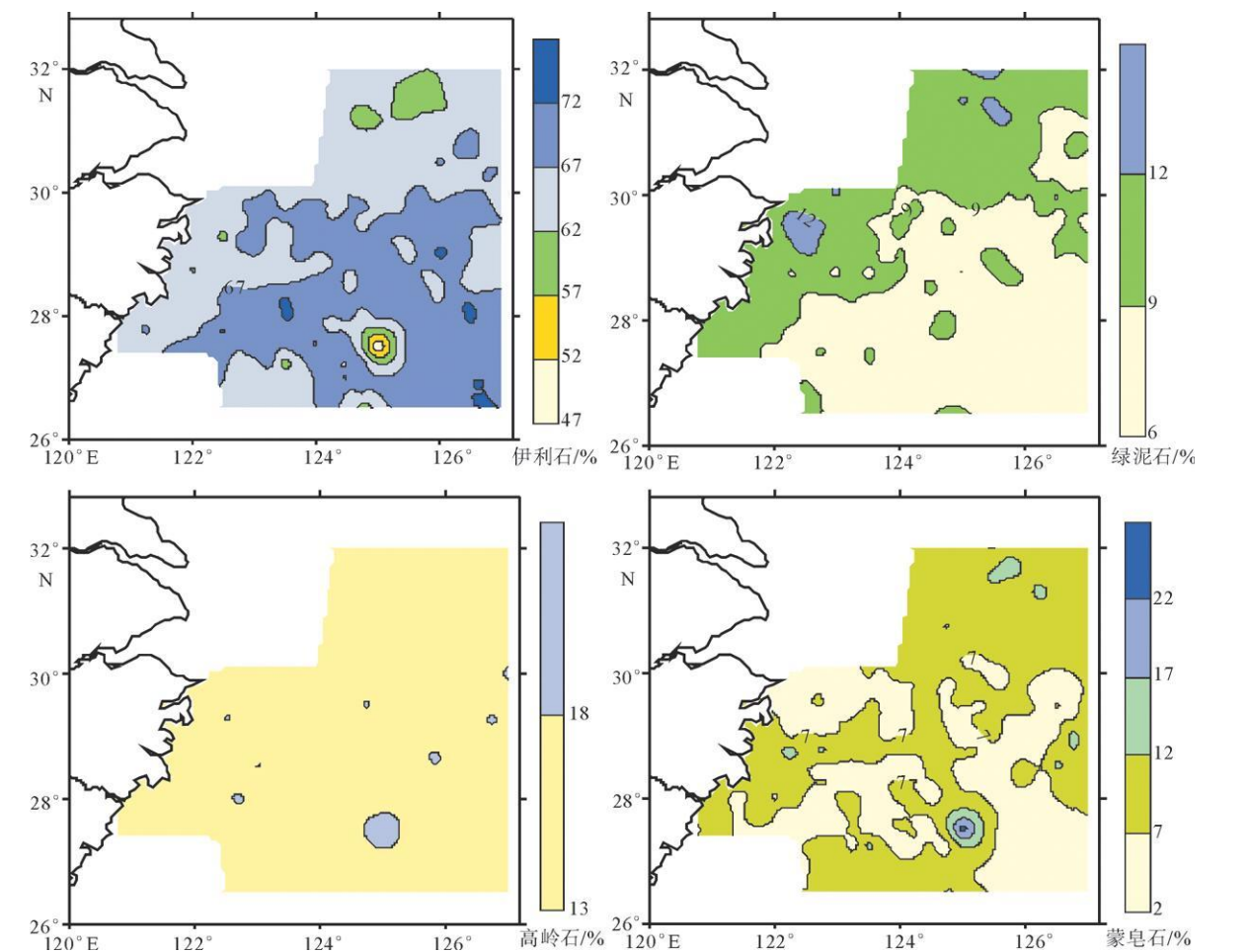


图 5 东海陆架区黏土矿物相对含量分布(根据 Cook 计算方法)

Fig. 5 The distributions of relative clay mineral contents in surface sediments of the East China Sea shelf, by the Cook's method

~0.97, 平均 0.45。

总体来说, 与 Biscaye 方法相比, 使用 Cook 计算方法所得结果中伊利石和高岭石含量偏高、蒙皂石和绿泥石含量偏低, 其中二者高岭石相对含量的计算结果相差较大; 在平面分布图上(图 4)可以看到, 高岭石含量有向海减小的趋势; 研究区东北部和中南部的伊利石含量较低、蒙皂石含量较高; 研究区东南部的伊利石含量较高、蒙皂石含量较低; 绿泥石则在研究区东部和东北部含量较低。图 5 显示, 高岭石在研究区内基本呈现均匀分布; 伊利石在研究区中部及东南部含量较高; 蒙皂石、绿泥石含量分布趋势基本与伊利石相反, 蒙皂石含量在东南、中部靠岸以及西南部有 3 个低值分布区, 而绿泥石含量由西北向东南减小。

3.3 两种算法所得结果的转换

对东海陆架区黏土粒级 (< 2 μm) 定向片 X 射线衍射结果使用 Biscaye 和 Cook 两种方法进行计算, 对得到的两组数据进行相关分析(表 3), 结果显

示两种算法所得结果中 S1 与 S2、I1 与 I2 在 0.01 水平上显著相关, K1 与 K2、C1 与 C2 因选择的特征峰位置以及计算选取的基础数据均不相同而不具显著相关性。

参照两种方法所得参数的散点分布图(图 6), 二者在蒙皂石之间以及伊利石之间可建立起较好的线性关系。根据各组数据间线性拟合的程度, 选择其中相同参数间相关关系较好的 3 组数据, 以及 4 种主要黏土矿物相对含量之和为 100 的定义式, 建立起两种计算结果之间的转换关系:

$$S3 = 0.4248 \times S1 + 1.7185 \tag{1}$$
$$I3 = 0.4762 \times I1 + 35.825 \tag{2}$$
$$S3 / (I3 + C3) = 0.4168 \times (S1 / (I1 + C1)) + 0.0271 \tag{3}$$

由(1)到(3)得 C3:

$$C3 = S3 / (0.4168 \times (S1 / (I1 + C1)) + 0.0271) - I3 \tag{4}$$
$$K3 = 100 - (S3 + I3 + C3) \tag{5}$$



表 3 不同算法间黏土矿物相对含量的相关关系

Table 3 Correlations between two groups of relative clay mineral contents, calculated by Biscaye's (1) or Cook's (2) method respectively

	S1	I1	K1	C1	(S/(I+C))1	(S/K)1
S2	0.742 **	-0.643 **	-0.019	-0.119	0.736 **	0.353 **
I2	-0.557 **	0.662 **	-0.223 **	0.021	-0.576 **	-0.110
K2	-0.034	-0.172 **	0.072	0.301 **	-0.021	-0.036
C2	-0.005	-0.206 **	0.407 **	-0.062	0.031	-0.287 **
(S/(I+C))2	0.739 **	-0.648 **	-0.013	-0.111	0.737 **	0.346 **
(S/K)2	0.709 **	-0.578 **	-0.024	-0.175 **	0.702 **	0.342 **

\*\* 0.01 水平上显著相关(双尾)。

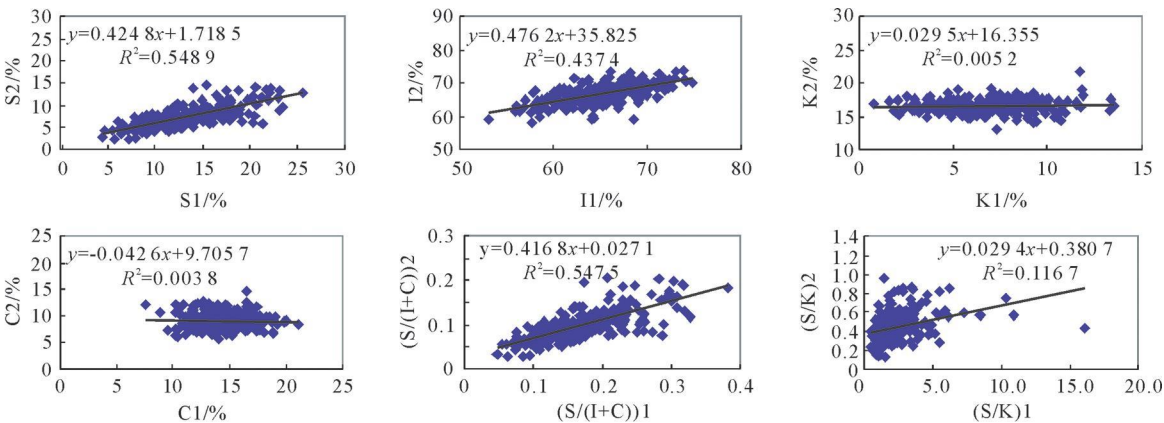


图 6 Biscaye 和 Cook 方法计算结果间关系散点图

Fig. 6 Scatter plots showing the relationships between Biscaye's and Cook's calculation results

其中, S1、I1、C1和K1分别表示使用Biscaye算法得到的蒙皂石、伊利石、绿泥石和高岭石的相对百分含量; S3、I3、C3 和 K3 分别表示通过算法转换计算出的蒙皂石、伊利石、绿泥石和高岭石的相对含量。

将由(1)到(4)式转换得到的黏土矿物相对含量与实际 Cook 算法所得结果相比较(表 4), 两种数据差值的平均值分别为蒙皂石 1.1%、伊利石 1.7%、高岭石 1.6%和绿泥石 1.9%, 标准偏差分别为蒙皂石 1.0%、伊利石 1.4%、高岭石 1.2%和绿泥石 1.4%。

4 讨论

在黏土矿物研究过程中, 许多因素的改变都可能导致最终定量结果的差异, 这些因素包括定向片的厚度与择优排列取向、粉晶颗粒的均匀程度、矿物结晶度与元素组成的变化、仪器测试条件以及矿物相对含量的计算方法等<sup>[1, 16]</sup>。在样品准备过程中, 各个样品的处理程度应当统一, 尽可能将不可估计

的人为因素影响降至最低。在 Cook 的论文中, 为鉴定蒙皂石的含量, 样品前处理使用的是醋酸三己胺, 而近年来发表的文献中用到的有机试剂基本都是乙二醇<sup>[11-14, 17-19]</sup>。甘油、乙二醇等有机化合物可以按照各自特定的形式与排列进入蒙皂石等可膨胀矿物的层间, 取代层间水分子并引起矿物层与层间的间距增大。例如, 双层结构的甘油分子被蒙皂石吸收, 可以使其层间底面间距增加到 17.7 Å; 乙二醇则可将蒙皂石层间距加大到 17.0~17.3 Å<sup>[19]</sup>。醋酸三己胺的作用在本质上与甘油相同, 它可以将蒙皂石层间距加大到 18 Å, 作用持续时间较长<sup>[20]</sup>。但是, 在近期的文献中并未见到醋酸三己胺的应用, 也未见有关不同试剂影响 X 射线衍射结果的报道。

在使用 Biscaye 和 Cook 方法计算黏土矿物相对含量时, 蒙皂石与伊利石特征峰的权重因子分别为 1:4 和 3:6。表面上在后种方法中蒙皂石所占比例是前者的两倍, 但实际的计算结果并没有如此巨大的差异。这是因为, 东海陆架区沉积物中蒙皂石的结晶度较差, 其特征衍射峰峰型较宽且弥散; 而伊

表 4 转换结果与 Cook 算法实际值的比较

Table 4 Comparison between results from conversion formulas and from Cook's method

%

矿物类型	转换式计算结果				Cook 算法结果				两种结果差值(绝对值)			
	S3	I3	K3	C3	S2	I2	K2	C2	△S	△I	△K	△C
最大值	12.6	71.5	22.2	13.7	14.5	73.6	21.6	14.7	6.2	9.5	6.3	6.6
最小值	3.6	61.1	12.3	4.8	2.3	58.2	13.1	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0
平均值	7.4	66.9	16.9	8.8	7.4	67.0	16.6	9.1	1.1	1.7	1.6	1.9
标准偏差	1.7	1.9	1.8	1.5	2.3	2.9	1.0	1.5	1.0	1.4	1.2	1.4

利石结晶相对较好, 衍射峰峰型较尖而陡高。因此, 拟合得到的特征峰面积通常是蒙皂石的较大、伊利石的较小, 特征峰峰高却是蒙皂石较低、伊利石较高。故此, 虽然两种方法在计算中使用不同的特征峰权重因子, 但结果却都相应地降低了蒙皂石在总量中的相对比例。

此外, 粉晶样品的衍射结果并不适宜使用 Biscaye 方法进行处理, 这主要是因为粉晶黏土矿物的衍射峰强度较弱。在对黏土矿物特征峰进行拟合, 尤其是当拟合蒙皂石  $d_{001}$  特征衍射峰 ( $4.7^{\circ} \sim 5.2^{\circ}, 2\theta$ ) 及其面积时, 绿泥石  $d_{001}$  峰的干扰以及混层矿物的存在使处理过程中存在较多不确定因素, 以致拟合结果稳定性较差; 而粉晶样品衍射峰形态不突出, 这也为区分高岭石与绿泥石叠加峰 ( $24^{\circ} \sim 26^{\circ}, 2\theta$ ) 增加了难度。而 Cook 方法中采用的是特征峰衍射强度的相对比值, 处理过程受人为影响因素少, 结果相对稳定。

目前, 利用 X 射线衍射图谱计算矿物相对含量只有半定量的方法, 不同的算法都有各自的特点, 但无论各种计算方法之间有多大的差别, 它们的计算结果在本质上都是受沉积物中所含矿物的物理、化学性质控制的。因此, 在理论上对同一地区、同种来源的沉积物而言, 不同的矿物含量计算方法所得结果之间应当可以建立某种特有的联系。由东海陆架区表层沉积物的研究来看(图 4、5), 虽然 Biscaye 和 Cook 两种算法得出的黏土矿物空间分布趋势不尽相同, 但是由它们计算出的某些参数之间具有较好的相关关系, 从而可以建立起相互的数学转换关系式。当然, Biscaye 与 Cook 算法分别采用的是特征峰的面积和峰高的加权比, 如果某种矿物的成因、来源或结晶程度发生变化即有可能造成其衍射峰形态的变化, 由此两种算法的转换关系也会发生相应的变化。因此, 不同地区沉积物使用 Biscaye 和 Cook 方法计算结果的转换式应当有所不同。此外, 本文所给出的转换式也只是建立在有限样本空间上的统计关系式, 关系式的准确程度以及适用性尚需更多

的实测结果加以验证。

致谢: 本文在研究和撰写过程中与中国科学院海洋研究所万世明博士和蒋富清博士进行了有益探讨, 在此谨表谢意。

参考文献 (References)

[ 1 ] Biscaye P E. Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans[ J ] . Geological Society of America Bulletin, 1965, 76: 803-832.

[ 2 ] Cook H E, Johnson P D, Matti J C, et al. Methods of sample preparation and X-ray diffraction data analysis X-ray mineralogy laboratory, deep sea drilling project, University of California, Riverside[ J ] . Initial Reports of the DSDP, 1975, 28: 999-1007.

[ 3 ] Ferrell R E, Aharon P. Mineral assemblages occurring around hydrocarbon vents in the northern Gulf of Mexico[ J ] . Geo-Marine Letters, 1994 14(2-3): 74-80.

[ 4 ] Mascolo N, Summa V, Tateo F. Characterization of toxic elements in clays for human healing use[ J ] . Applied Clay Science, 1999, 15(5-6): 491-500.

[ 5 ] Dawson S A, Evans J E. Geological causes of local variation in coastal bluff recession rates, northeast Ohio shoreline of Lake Erie[ J ] . Environmental Geosciences, 2001, 8(1): 1-10.

[ 6 ] Amorosi A, Centineo M C, Dinelli E, et al. Geochemical and mineralogical variations as indicators of provenance changes in Late Quaternary deposits of SE Po Plain[ J ] . Sedimentary Geology, 2002, 151(3-4): 273-292.

[ 7 ] Frascari F, Matteucci G, Giordano I P. Evaluation of a eutrophic coastal lagoon ecosystem from the study of bottom sediments [ J ] . Hydrobiologia, 2002, 475-476(1): 387-401.

[ 8 ] Morais J O d, Tintelnor M, Irion G, et al. Pathways of clay mineral transport in the coastal zone of the Brazilian continental shelf from Cear to the mouth of the Amazon River[ J ] . Geo-Mar. Lett., 2006, 26: 16-22.

[ 9 ] Sinha R, Bhattacharjee P S, Sangode S J, et al. Valley and interfluvial sediments in the Southern Ganga plains India: exploring facies and magnetic signatures[ J ] . Sedimentary Geology, 2007, 201(3-4): 386-411.

[ 10 ] Bertrand S, Charlet F, Chapron E, et al. Reconstruction of the Holocene seismotectonic activity of the Southern Andes from

- seismites recorded in Lago Icalma, Chile, 39 S[ J ]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2008, 259(2-3): 301-322.
- [ 11 ] Diekmann B, Hofmann J, Henrich R, et al. Detrital sediment supply in the southern Okinawa Trough and its relation to sea-level and Kuroshio dynamics during the late Quaternary[ J ]. *Marine Geology*, 2008, 255(1-2): 83-95.
- [ 12 ] Steinke S, Hanebuth T J J, Vogt C, et al. Sea level induced variations in clay mineral composition in the southwestern South China Sea over the past 17 000 yr[ J ]. *Marine Geology*, 2008, 250(3-4): 199-210.
- [ 13 ] Vogt C, Knies J. Sediment dynamics in the Eurasian Arctic Ocean during the last deglaciation—The clay mineral group smectite perspective[ J ]. *Marine Geology*, 2008, 250(3-4): 211-222.
- [ 14 ] Setti M, Marinoni L, Lopez-Galindo A. Mineralogical and geochemical characteristics (major, minor, trace elements and REE) of detrital and authigenic clay minerals in a Cenozoic sequence from Ross Sea[ J ]. *Antarctica Clay Minerals*, 2004, 39(4): 405-421.
- [ 15 ] Kunze G W. Anomalies in the ethylene glycol solvation technique used in X-ray diffraction[ J ]. *Clay and Clay Minerals*, 1954, 3: 88-93.
- [ 16 ] Pierce J W, Siegel F R. Quantification in clay mineral studies of sediments and sedimentary rocks[ J ]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1969, 39(1): 187-193.
- [ 17 ] 刘志飞, Colin C, Trentesaux A, 等. 南海南部晚第四纪东亚季风演化的黏土矿物记录[ J ]. *中国科学 D 辑*, 2004, 34(3): 272-279. [ LIU Zhifei, Colin C, Trentesaux A, et al. Clay mineral recording late Quaternary East Asian monsoon evolution in the south of the South China Sea[ J ]. *Science in China (Series D)*, 2004, 34(3): 272-279.]
- [ 18 ] Das S S, Maurya A S, Pandey A C, et al. Influence of sediment source and monsoonal variations on the late Quaternary clay mineral assemblages at ODP site 728A, northwestern Arabian Sea[ J ]. *Current Science*, 2008, 95(9-10): 1320-1326.
- [ 19 ] Liu Z, Tuo S, Colin C, et al. Detrital fine-grained sediment contribution from Taiwan to the northern South China Sea and its relation to regional ocean circulation[ J ]. *Marine Geology*, 2008, 255(3-4): 149-155.
- [ 20 ] Rex R W, Bauer W R. New amine reagents for X-ray determination of expandable clays in dry samples[ J ]. *Clay and Clay Minerals*, 1964, 13: 411-418.

## COMPARISON BETWEEN TWO METHODS USED FOR CALCULATING RELATIVE CLAY MINERAL CONTENTS

ZHOU Xiaojing<sup>1,2</sup>, CHI Ye<sup>1,2</sup>, LI Anchun<sup>1</sup>, MENG Qingyong<sup>1,2</sup>, HU Gang<sup>1,2,3</sup>

(1 Key Lab of Marine Geology & Environment, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China;

2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;

3 Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China)

**Abstract:** There are differences between the methods of Biscaye (1965) and Cook (1975) et al used for calculating relative clay mineral contents. The former is usually used in the analyses of oriented slides, while the latter is suitable to deal with the random powder X-ray diffraction mounts. In this study, main types of clay minerals (i. e. smectite, illite, kaolinite and chlorite) in  $< 2 \mu\text{m}$  fraction sediments of the 7 surface samples from the Yangtze Estuary and 258 surface sediment samples from the continental shelf of the East China Sea were analyzed. The  $< 2 \mu\text{m}$  fraction samples were extracted based on the Stokes' law and made up the oriented slides. Of 7 sediments from the Yangtze Estuary, each  $< 2 \mu\text{m}$  fraction was prepared for both oriented slide and powder samples. All of the  $< 2 \mu\text{m}$  samples were measured with X-ray diffraction and the software of TOPAS 2.0. Then the contents of main types of clay minerals were determined by both Biscaye's and Cook's methods. The analysis results show that the Cook's method can be used in dealing with oriented slides diffraction mounts, because the results of slides and powder samples have no significant discrimination with using Cook's calculation method. Statistical analysis shows some relationship between two group contents which are calculated with Biscaye's or Cook's method respectively, such as the relative contents of smectite and illite. According to the linear relationship coefficients between the two group contents, we build the conversion formulae for them, which can be used in the study area of the East China Sea shelf.

**Key words:** relative clay mineral contents; two calculation methods; continental shelf of the East China Sea