

中国近海表层沉积物中粘土矿物的组成、分布及其地质意义

李 国 刚

(中国科学院海洋研究所, 青岛)

摘 要

本文使用X射线衍射方法分析了渤海、北黄海、南黄海、东海陆架、冲绳海槽、南海北部陆架及北部湾7个海域中的表层沉积物样品300余个,完成了中国近海粘土矿物分布图,给出了粘土矿物在各个海区中的平均值。从粘土矿物的组成分布规律来看,中国近海粘土矿物的分布格局不仅证明了它与前人所述的成因环境及物质来源等因素密切相关;而且还发现残留沉积区域内,粘土矿物组合往往以绿泥石、伊利石含量较高而高岭石、蒙皂石含量较低为其显著特征。这意味着,海洋沉积物中的粘土矿物组合与分布特征不仅能反映其陆上成因环境及其入海后的搬运途径,而且还能指示残留沉积形成时期的古气候和古环境特征。

自从Revelle^[1]使用X射线衍射的手段发现了太平洋沉积物具有结晶性质以后,人们开始关注海洋沉积物中的粘土矿物组成与分布。二十余年后,较全面的研究报告开始问世,其中有代表性的作者有研究世界大洋的Griffin^[2],研究大西洋及其邻近海区和洋域的Biscaye^[3]等人。这些成果的发表标志着世界大洋粘土矿物组成分布对比研究工作告一段落。之后,人们开始转向陆架、近岸和河口等局部海洋环境的研究,陆续发展的文章也不少。

我国的海洋粘土矿物研究工作起步较晚,真正具备研究能力是在70年代以后,参加研究的人员也不多。从发表的文献上看,吴文中和何锦文^[4]等报告了南海粘土矿物的研究成果。时英民^[5]、朱凤冠等^[6]研究了东海和冲绳海槽,赵全基^[7]、何良彪^[8]则研究渤海等海区的粘土矿物,杨作升等^[9]则重点研究中国三大河流入海物质的粘土矿物特征。这些作者的研究范围合起来基本上覆盖了中国近海。但由于他们所使用的方法不尽一致,使其结果较难进行对比分析,因而我们至今尚不能对中国近海的粘土矿物有一个完整的认识。

本文分析了中国近海7个海域中的粘土矿物样品300余个,其站位分布如图1和图2所示。显然,这些站位基本上控制了中国近海陆架海域,同时还包括了冲绳海槽这样的孤后

本文于1989年7月7日收到,修改稿于1989年12月2日收到。
作者现在工作单位为海洋出版社国际部。

盆地。另外，南、北黄海靠朝鲜半岛一侧由于取样时未涉及，因此本文所称中国近海是指取样范围内的渤海、北黄海、南黄海、东海陆架、冲绳海槽、南海北部陆架和北部湾 7 个海域。

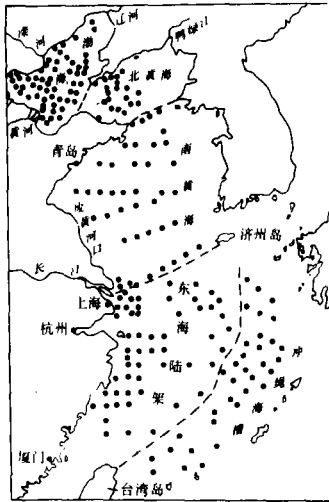


图 1 渤、黄、东海分析站位图

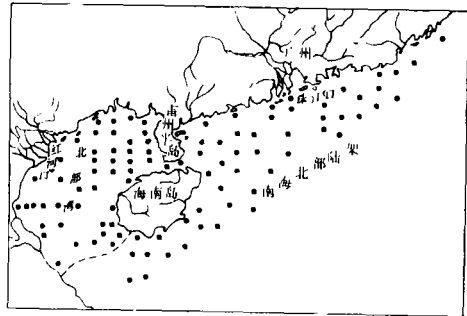


图 2 南海北部陆架及北部湾分析站位图

一、分析方法及仪器

笔者已有论文涉及粘土矿物制样方法的讨论与程序设计^[10]，本文所用的样品预处理方法即是采用笔者的操作程序，这里不再赘述。分析工作中，一律以 50μ 作为定向片的粘土膜设计厚度。使用日本理学的D/max-rA型转靶X射线衍射仪进行衍射分析，仪器电压40kV，管流50mA，扫描速度一般为 $2^\circ/\text{min}$ 其他仪器条件均保持恒定，以求定量分析中保持一个稳定的分析误差。

(一) 定性分析方法

本文的矿物定性分析工作是参考美国联邦地质调查局的“粘土矿物鉴定流程”进行的。未处理的自然

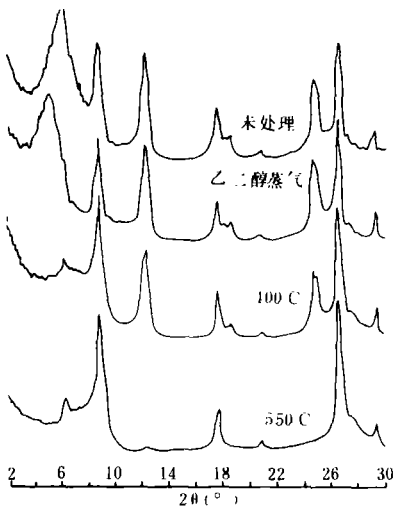


图 3 不同处理状态下的粘土矿物衍射图谱
(样品为北部湾6263站)

矿物	自然片特征	处理后的变化		
		乙二醇处理	400°C, 0.5h	550°C, 0.5h
高岭石矿物	~7A	不变	不变	破坏
绿泥石矿物	~14A	不变	不变	强度增加
蒙皂石矿物	~14A	膨胀至17A	收缩至10A	无变化或 略微再收缩
伊利石矿物	~10A	不变	不变	不变

玻璃定向片扫描范围一般为 $3^\circ-65^\circ 2\theta$ ，乙二醇蒸汽饱和处理片、 400°C 加热片、 550°C 加热处理片的扫描范围为 $3^\circ-40^\circ 2\theta$ 。图 3 为定性分析时，几次处理后的衍射图谱。各种矿物在处理过程中的变化如右上表。

(二) 定量分析方法

近20年来, Biscaye^[3]的方法逐渐被海洋研究工作者采用。业已证明, 这种方法简便而可靠。但在实际运用过程中, 必须注意以下问题: (1) 所有分析样品的预处理方法都是一样的; (2) 定向片厚度应保持恒定, 本文以50 μ 作为设计厚度; (3) 乙二醇处理条件亦应保持一致; (4) 仪器条件指数恒定不变; (5) 背景扣除应统一标准, 包括慢扫描图谱中背景线的确定; (6) 峰面积称量用纸应进行误差检验, 保证相对误差小于5%。以上六条, 作者在工作中都力求严格按标准要求操作, 以求粘土矿物半定量估算结果准确、可靠。

二、粘土矿物的分布特点、规律及其地质解释

经鉴定, 中国近海沉积物中的粘土矿物主要是以下四类: 高岭石矿物、绿泥石矿物、伊利石矿物和蒙皂石矿物。非粘土矿物常见的有方解石(有时可占优势)、石英、长石及较罕见的文石等。

(一) 高岭石矿物

高岭石矿物是强烈的化学风化作用的产物。中国近海表层沉积物中高岭石矿物分布(图4、图5)势趋表明:

1. 高岭石矿物分布与陆源物质供应密切相关, 除北黄海东北部沿岸含量较低外, 整个中国近海均呈现沿岸海域含量较高, 向外海方向逐渐降低的趋势。

2. 高岭石矿物分布与陆上气候环境有关, 呈现明显的气候分带性。处于温带气候环境的渤、黄、东海沿岸的高岭石含量大都在10—12%之间(图4); 而处于热带、亚热带陆上环境物质供应的南海北部陆架及北部湾沿岸高岭石含量则明显偏高, 大都在20—40%之间(图5)。

3. 不同的海域中, 高岭石矿物分布受不同的环境因子控制, 大都反映出当地陆源物质输入和运输对高岭石矿物分布的直接影响。渤海中可划分出受黄河物质影响的西南半部高值区和不受黄河影响的东北半部低值区, 西区的界线基本上是含量10%的等值线。同时, 山东半岛周围的10—12%的含量区也显示出黄河物质的影响路径。南黄海废黄河口附近海域、东海长江口以东及以南向浙闽沿岸发展的高岭石由高到低的扩散态势, 南海珠江口以西转而向南扩展的由高到低的扩散格局, 这些情形均显示出高岭石矿物分布与现代陆源物质搬运的密切关系。虽然还不能把高岭石矿物的分散态势作为一个精确的指标来定量地分析现代陆源物质的输入和搬运模式, 但作为一个指示性标志已是合适的。无疑, 这对研究海洋中的物质搬运特别是细粒物质的搬运有着重要的意义。

4. 受现代陆源物质影响不大的外陆架残留沉积区, 包括东海陆架东南部、南海北部外陆架等, 高岭石含量明显变低。而且, 较少接受现代陆源沉积的冲绳海槽地区亦呈现变化不定的低含量值。从理论上讲, 如果不考虑化学絮凝作用能使小颗粒变成大颗粒和生物

活动能使小颗粒集结成如粪便等大的球粒，细小的粘土矿物甚至可以被迁移至世界大洋的任何地区。从上述中国近海高岭石矿物的分布来看，河口及近岸能沉积大量的高岭石矿物说明化学絮凝作用和生物活动是起一定作用的；另外，高岭石矿物作为一种较重较大的粘土矿物，其入海后的分异作用也应是这种分布的控制因素之一；而在那些较少受现代陆源物质影响的残留沉积区和冲绳海槽区，高岭石的低值一方面说明现代陆源供应微弱，另一方面可以说明这些地区的沉积形成时期的环境特点不适合于高岭石矿物的广泛存在。假设我们在海上取样时均抓取相同厚度的所谓“表层样品”（如几厘米甚至几十厘米），那么由于现代沉积速率各处不一，这些被抓取的表层沉积物的形成时限即不一样。显然，在残留沉积区和冲绳海槽这样的沉积速率极缓的地区，其形成时限可能超过上万年以上。通过以上分析，可以认识到表层沉积物样品所代表的由于沉积速率不同所造成的不同时期的成因问题。显然，1 万年以前的

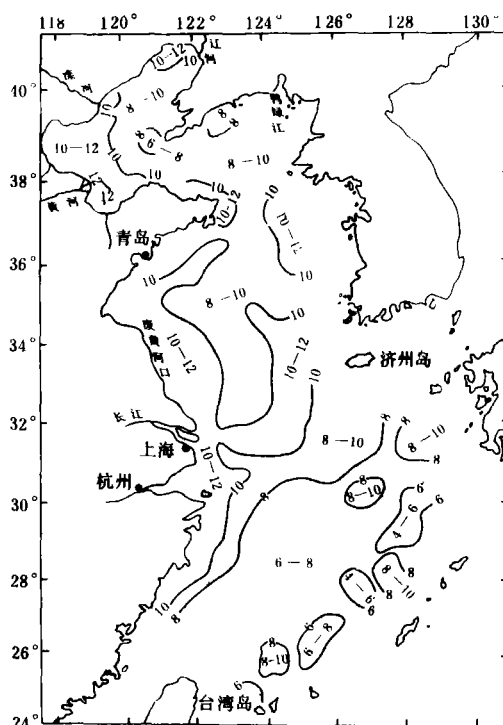


图 4 渤、黄、东海细粒沉积物中高岭石矿物的相对百分含量

环境要比现在寒冷、干燥，在这种陆上环境下出现的粘土矿物供给不可能是含丰富的高岭石矿物的。从以后的分析还可看出，在这种情况下，绿泥石、伊利石等矿物的分布也将直接受到影响。

5. 南黄海中部泥质 (Oin, Y. S. and Li Fan, 1983)^[11] 沉积区中，高岭石含量均在 8—10% 之间，似乎显示出它与现代黄河物质或废黄河口物质有明显的差别。这表明，这片一向被解释为现代黄河物质搬运沉积成因的泥质沉积区确切成因问题值得进一步讨论。

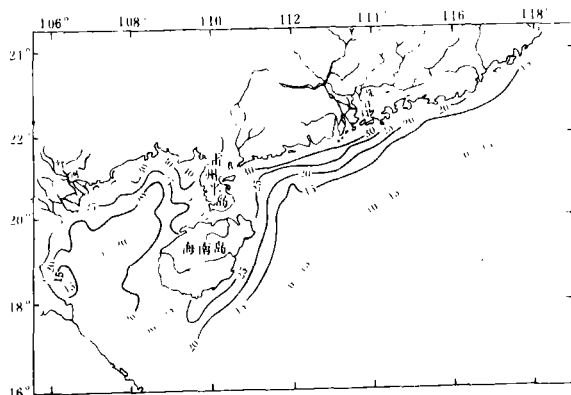


图 5 南海及北部湾细粒沉积物中高岭石矿物的相对百分含量

(二) 绿泥石矿物

海洋沉积物中的绿泥石矿物多是陆上寒冷、干燥、机械风化作用强烈环境供应的物质^[2]；但也有少量文献报道过火山物质在强烈的化学风化作用下，由三水铝石转变为绿

泥石^[2, 12] 中国近海沉积物中的绿泥石矿物的成因似与此二成因均有关系。从图6和图7中可看出绿泥石矿物呈以下分布趋势:

1. 总体上看, 绿泥石矿物的分布规律与高岭石矿物的分布相反, 呈沿岸含量较低向外海增高的趋势。

2. 南北纬度分带现象不明显。地处亚热带的南海近岸的绿泥石含量与地处温带的东海近岸和黄海中部和东北部相当 (15—20%), 而比黄海西部及渤海和北部湾稍高。这显然不能用一种成因机制来解释。

3. 除了明显受控于长江物质供应的长江口附近及珠江口以西偏转南下的珠江影响的南海近岸区域外, 残留沉积大面积出露的东海陆架东南部和南海外陆架及陆源物质供应贫乏的冲绳海槽均出现明显的绿泥石高值。与这些地区的绿泥石高含量相符合的是相应的高岭石含量低值。显然, 这说明形成这些地区表层沉积物时, 气候寒冷、干燥的冰期环境使陆上供应物质提供了丰富的绿泥石和相对贫乏的高岭石矿物。

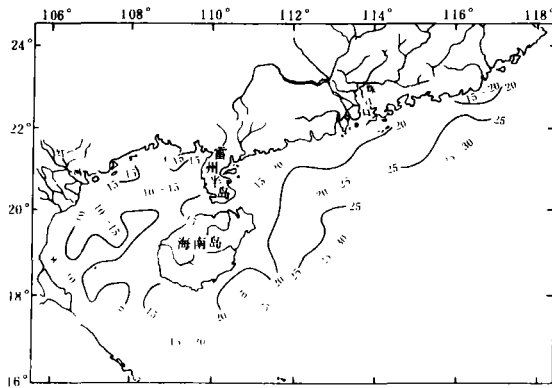


图7 南海及北部湾细粒沉积物中绿泥石矿物的相对百分含量

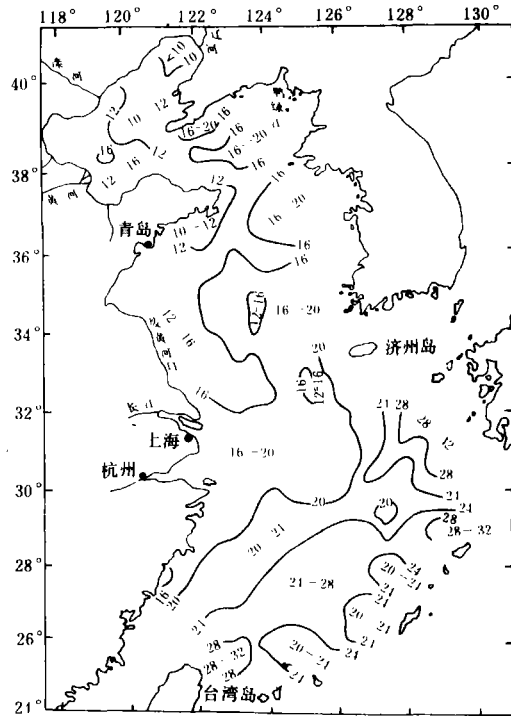


图6 渤、黄、东海细粒沉积物中绿泥石矿物的相对百分含量

4. 冲绳海槽地区绿泥石矿物含量较高, 且分布极其复杂。造成这种分布状况也许正说明其成因的复杂性, 如低海面时期陆源物质供应 (应该富含绿泥石)、原地火山物质风化、周围岛屿火山风化物质输入、浊流活动或底流把陆架物质输运进入海槽等均可能是造成这一复杂分布状况的原因。

5. 南黄海中部冷水团区域的泥质沉积区中, 绿泥石含量偏高, 与高岭石偏低形成一致性, 说明了它的成因不应与现代黄河物质输入直接相关。

(三) 蒙皂石矿物

蒙皂石矿物可以是火山物质风化而成, 也可以是非火山成因的, 就物理性质而言, 蒙

皂石矿物是粘土矿物中比较细小的矿物, 较容易随水搬运; 从化学性质上来看, 它是不稳定的物相, 一定条件下可以转变为伊利石和海绿石。中国近海蒙皂石矿物的分布特点显示了它既受控于水动力条件, 又反映出其成因方面的差异。

1. 半封闭性质的北部湾和渤海, 蒙皂石含量均较高, 而且显示出离远物源的区域蒙皂石的含量更高。这似乎是由于蒙皂石随水搬运能力较强所造成的。

2. 开敞性的东海和南海蒙皂石的含量分布受物质运输影响较明显, 只是大河口区近岸并非是蒙皂石最高的区域, 而相反在河口外海显示出高值, 而再向外海扩展则又由高向低值发展。这说明蒙皂石应具有在河口区不易沉积的性质。

3. 南黄海中部泥质沉积区中, 蒙皂石的含量并不高, 这与黄河物质富含蒙皂石的特征不相一致, 又一次说明该区沉积物不应属于黄河沉积物。

4. 不受现代陆源物质影响的东海陆

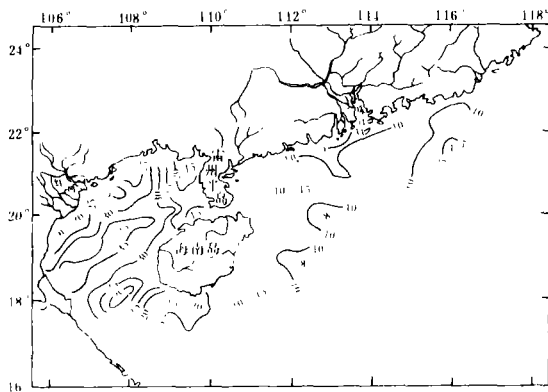


图9 南海及北部湾细粒沉积物的相对百分含量

架东南部及南海外陆架地区及冲绳海槽部分地区出现低蒙皂石的现象, 这反映出其形成时期的陆源环境与现今不同。

(四) 伊利石矿物

伊利石矿物并不是一种单独的矿物, 它是碎屑沉积物中可作为粘土矿物组分的云母族矿物的总称^[13-15], 反映在X射线图谱上为尖锐的10埃(001)衍射峰(见图3)。它是粘土矿物中最稳定的物相之一, 无论是在中国近海还是在世界大洋, 它都在组成上占优势, 是一种最常见的粘土矿物。中国近海的伊利石可以是现代陆源物质, 也可以是低海面时期的陆源物质供应而至今仍未被覆盖; 也可能是由蒙皂石矿物转变而来的物相。

中国近海沉积物中伊利石矿物的分布规律不像其他几种矿物的分布规律性明显, 但总

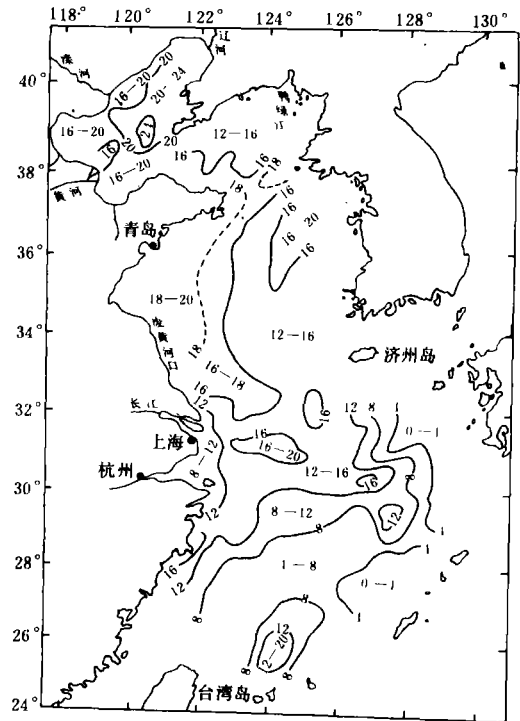


图8 渤、黄、东海细粒沉积物中蒙皂石矿物的相对百分含量

架东南部及南海外陆架地区及冲绳海槽部分地区出现低蒙皂石的现象, 这反映出其形成时期的陆源环境与现今不同。

体上与绿泥石矿物分布相似，即：(1) 沿岸含量较低，向外海增加；(2) 较少受现代物质影响的外陆架残留沉积区和冲绳海槽区含量较高。所不同的是，伊利石分布在局部地区出现明显的起伏，如东海陆架和冲绳海槽，这也许与当地的具体环境有关，但确切的解释尚需进一步研究。

三、各海区粗土矿物的含量平均值、组合类型及其成因分析

在各个海域几十个样品的定量分析基础上，计算海区中的矿物含量平均值，研究海域中的矿物组合特点，从而为进行环境评价和分析提供必要的基础资料，这是海洋粘土矿物研究目的之一。表1给出了中国近海各研究海域粘土矿物的平均含量，结合表1形象地描绘了中国近海各海域粘土矿物的组合特征于图12中。

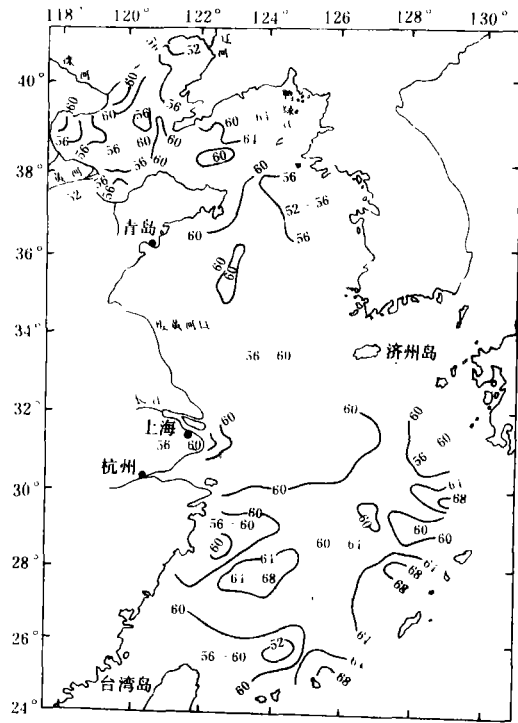


图10 渤、黄、东海沉积物中伊利石矿物的相对百分含量

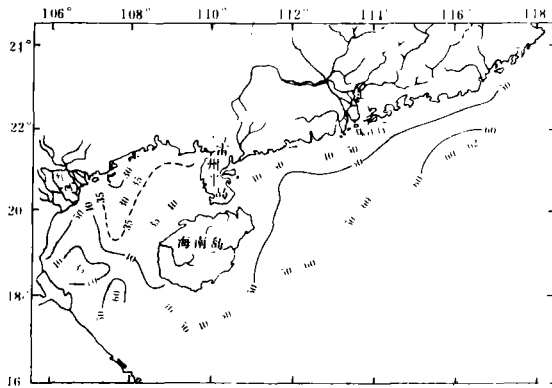


图11 南海及北部湾细粒沉积物中伊利石矿物的相对百分含量

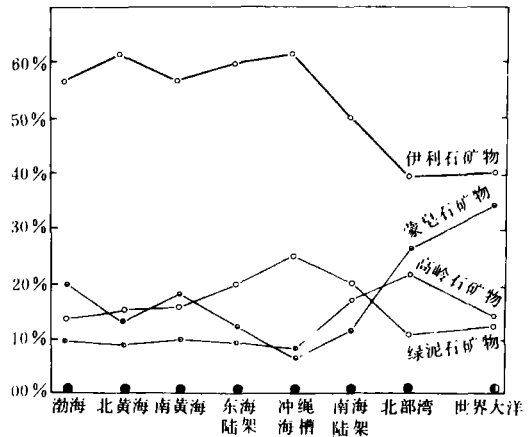


图12 中国近海各海区粘土矿物的组合状态

从图12可看出，与世界大洋一样，中国近海的粘土矿物也是以伊利石矿物为主，所不同的是，伊利石矿物在沉积物中的相对含量更高（一般在60%±）。与世界大洋平均值相比较，中国近海中除北部湾蒙皂石含量较高外，其他海域蒙皂石含量均较低，其中以冲绳海

表 1 中国近海各区区粘土矿物含量平均值

海 域	分析样品数 (个)	伊利石矿物 (%)	绿泥石矿物 (%)	高岭石矿物 (%)	蒙皂石矿物 (%)
渤 海	60	56.5	13.2	10.2	19.4
北 黄 海	19	61.6	15.3	8.9	14.3
南 黄 海	38	56.8	16.3	9.6	17.7
东海陆架	62	59.7	19.6	8.9	11.8
冲绳海槽	34	61.4	25.1	7.2	6.4
南海陆架	51	49.7	20.7	17.4	12.2
北 部 湾	50	39.3	11.7	22.1	26.7
世界大洋*	8.46*	40.2*	12.8*	14.0*	34.2*

* 据Griffin^[2]整理。

槽为最低，其次是北黄海。绿泥石矿物由渤海向南，出现递增的趋势，到冲绳海槽达到最高，然后开始降低，到了北部湾又降为最低，接近世界大洋的平均值，但基本上均高于世界大洋平均值。高岭石矿物在处于温带的渤海、南黄海、北黄海、东海陆架区和冲绳海槽 5 个海域含量值均在 10% ±；到了南海北部陆架则急剧变高，达 17.4%；至北部湾则达到最高值 22.1%。后两个处于热带和亚热带海区的高岭石含量均超出了世界大洋平均值。

由于伊利石矿物在样品中始终处于优势地位，为简便起见，在讨论矿物组合时给以省略。这样，若以其余三种矿物的含量多少次序来划分矿物组合，则出现以下几种组合：

(1) 蒙皂石-绿泥石-高岭石矿物组合，出现于渤海和南黄海，这显然说明黄河物质(富含蒙皂石^[9])在此二海域的明显影响。(2) 绿泥石-蒙皂石-高岭石矿物组合，出现于北黄海和东海陆架区，只是后者的绿泥石含量更高，而蒙皂石的含量偏低。这反映一种既有现代陆源物质供应，又存在残留沉积的混合作用环境。(3) 绿泥石-高岭石-蒙皂石矿物组合，出现于冲绳海槽和南海北部陆架区，但二海域的差异也很大，前者的绿泥石含量比后者高，而后者的绿泥石含量则明显地高于前者。这说明，虽然二者在矿物组合上有一定的相似性，但所显示出的差异性还是很大的。(4) 蒙皂石-高岭石-绿泥石矿物组合，出现于北部湾。这一组合的最大特点是绿泥石含量极低，这与其地处热带环境还是相符合的。

由以上分析可看出，由于不同的海区环境不同，其矿物组合也不尽相同。控制矿物组合的因素主要有二，一为现代物质供应的程度，二为残留沉积的发育程度。据此可把中国近海粘土矿物的组合类型与环境类型联系起来，尝试一下成因环境类型与矿物组合的划分。这种划分虽然有一定的片面性，但显然可提供一条用粘土矿物的组合类型来反映环境特点的思路(表 2)。

四、几点认识

1. 粘土矿物在中国近海的分布格局显示出它明显地受控于现代陆源物质供应。在现代黄河口、黄海废黄河口、长江口、珠江口等海域出现的粘土矿物扩散态势充分地证明了

这一点。这表明,粘土矿物的分布研究已为研究现代河流物质入海后的搬运范围提供了一种有效的手段。

2. 受现代物质影响的和较少受现代物质影响的残留沉积区显示出不同的矿物分布特征。前者显示出现代物质供应的矿物组合,往往与近岸相似,而后者则反映出与近岸物质不同的组合特征,一般为相对地绿泥石含量偏高,而高岭石含量降低。这一现象的发现至少有两方面的意义。一是研究残留沉积中的粘土矿物分布有利于分析其受现代沉积作用改造的程度,再就是研究未知沉积区域的粘土矿物的分布有助于发现和圈定未被发现的残留沉积区域。

3. 不同的环境下出现的不同的矿物组合和分布特征,显示出海底沉积物中粘土矿物的研究有可能找到底质环境评价的一些新的指标。

表 2 中国海粘土矿物组合与成因环境类型

大 类	亚 类	海 区	矿物组合型	标志性矿物
现代陆源物质型	温带陆源型	渤海、南黄海	“蒙皂-绿泥”	蒙皂石
	亚热带陆源型	北部湾	“蒙皂-高岭”	蒙皂石、高岭石
现代、残留物质混合型	冰期残留陆源型	冲绳海槽	“伊利-绿泥”	绿泥石
	冰期亚热带残留、 现代陆源混合型	南海北部陆架	“绿泥-高岭”	绿泥石、高岭石
	冰期温带残留、现 代陆源混合型	北黄海、东海陆架	“绿泥-蒙皂”	绿泥石、蒙皂石

本文是在导师秦蕴珊研究员指导下完成的。工作中,尚得到陈丽蓉、杨作升研究员的指教。李坤业、杨惠兰、何丽娟、吴贤汉、张敬芝等同志提供实验场地和设备,在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] Revelle, R., Marine bottom samples collected in the Pacific Ocean by the CARNEGIE on its seventh cruise, Carnegie Inst., Washington Publication.
- [2] Griffin, J. J., The distribution of clay minerals in the world ocean, *Deep Sea Research*, 15 (1968), 433—459.
- [3] Biscaye, P. E., Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 76 (1965), 803—832.
- [4] 吴文中等, 南海的粘土矿物, *热带海洋*, 2 (1983), 1.
- [5] 时应民等, 东海大陆架沉积物中粘土矿物的研究, *黄东海地质*, 科学出版社, 1982, 105—123.
- [6] 朱凤冠等, 东海测区沉积物中粘土矿物的初步分析, *海洋实践*, 1978, 2:20—30.
- [7] 赵全基, 渤海表层沉积物中的粘土矿物的研究, *黄渤海海洋*, 5 (1987), 1.
- [8] 何良彪, 渤海表层沉积物中的粘土矿物, *海洋学报*, 6 (1983), 2:272—276.
- [9] Yang, Z. S., et al., Fine-grained sediments of the Changjiang and Huanghe rivers and sediment sources of East China Sea, *Proc. Int. Sym. Sedimentation on the Continental Shelf, with Spec. Ref. to the East China Sea*, China Ocean Press, Beijing, 1983, 405—415.
- [10] 李国刚, X射线衍射粘土矿物分析制样方法, *海洋科学*, 10 (1986), 2.

-
- [11] Qin, Y.S. and Li Fan, Study of influence of sediment loads from Huanghe river on sedimentation in Bohai Sea and Huanghai Sea, *Proc. Int. Sym. Sedimentation on the Continental Shelf, with Spec. Ref. to the East China Sea*, China Ocean Press, Beijing, 1983, 83—92.
- [12] Swindale, L.D. and Pow-Foong Fan, Transformation of gibbsite to chlorite in ocean bottom sediments, *Science*, **157** (1967): 799—800.
- [13] Grim, R.E., R.H. Bray and W.F. Bradley, Mica in argillaceous sediments, *Am. Miner.*, **22** (1937), 813—829.
- [14] Bradley, W.F. and R.E. Grim, Mica clay minerals, *X-ray Identification and Crystal Structures of Clay Minerals*, G. Brown (ed.), 1961, Mineral Soc., London, 208—241.
- [15] Keller, W.D., Processes of origin and alteration of clay minerals, *Soil Clay Mineralogy, Asymposium*, C. I. Rich and C. W. Kunze, (eds.), Univ. N. Carolina Press, 1964, 3—76.