

长江口粘性细颗粒泥沙絮凝试验研究

金 鹰,王义刚,李 宇

(河海大学交通与海洋工程学院,江苏 南京 210098)

摘要 :长江口航道淤积的主要成因是河流从上游带来的大量粘性细颗粒泥沙 ,在河口盐、淡水交汇处遇强电解质海水 ,产生絮凝形成絮团而加速沉降形成的 .用长江口粘性泥沙在不同盐度的人工海水中做了大量的试验 ,研究结果表明 影响絮凝的主要因素为含盐度、颗粒大小、含沙量、泥沙矿物成分、有机质含量等 ,这些因素和絮团形成的大小有密切关系 .

关键词 : 沉速 ;含沙量 ;淤积 ;絮凝 ;泥沙颗粒 ;长江口

中图分类号 :TV149 文献标识码 :A 文章编号 :1000-198X(2002)03-0061-03

长江口每年从上游带来大量泥沙入海 ,粘性泥沙约占总量的 90% 以上 .由于粘性泥沙颗粒细 ,有较大的表面积 ,具有特有的电化性质 ,表面带有负电荷并形成双电层产生 ζ 电位 .见图 1 .

由于细颗粒泥沙的双电层特性 ,长江水中所带的大量粘性泥沙 ,在长江口遇强电解质海水 ,在海水中阳离子作用下 ,中和颗粒表面的负电荷使电位下降扩散层变薄 ,粘性细颗粒泥沙之间吸力增强 ,从而产生絮凝现象形成絮团 ,土粒凝结加快泥沙沉降速度 ,在长江口造成淤积 ,形成拦门沙堵塞了航道 .粘性细颗粒泥沙絮凝机理及影响絮凝的因素是一个较为复杂的问题 ,广大学者多年来已经做了大量的研究工作 .近年 ,作者在这方面的试验和分析研究证实 ,影响絮凝的主要因素为 :含盐度、含沙量、泥沙粒径大小、有机质含量、泥沙矿物成分、泥沙表面的 ζ 电位、电解质中阳离子价数、水流流速及紊动情况、介质的 pH 值、电导率等 .这其中有细颗粒泥沙本身性质的影响 ,也有外因条件的影响^[1] .

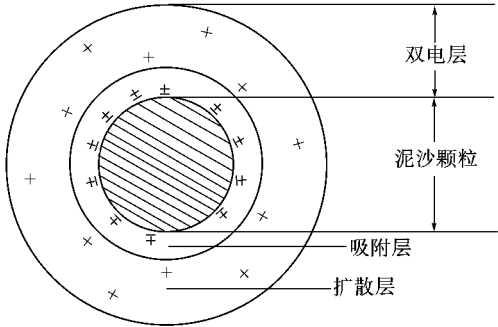


图 1 细颗粒泥沙的双电层结构

Fig.1 Double ionosphere structure of fine sediment

1 泥沙的理化性质对絮凝团大小及絮凝量多少的影响

通过多组试验分析 ,粘性细颗粒泥沙的理化性质对絮凝量大小影响的主要因素为 :泥沙本身的粒径大小 ,矿物成分 ,有机质含量 ,泥沙表面的 ζ 电位大小等 .

1.1 粒径大小和絮凝量的关系

将长江口粘性泥沙进行分散处理 ,处理后取不同级别中值粒径泥沙 ,在盐度 1% 的人工海水中做沉降试验 ,结果见表 1 .由表 1 可看出泥沙颗粒越粗 ,其絮凝作用越弱 ,粒径大于 0.03mm 的泥沙絮凝作用不显著 ,絮凝量也很小 .密尼奥用絮凝因素 F 来表示 :

$$F = \omega_{F_{50}} / \omega_{D_{50}}$$

表 1 粒径大小和絮凝的关系

Table 1 Relation between floc size and grain size

泥沙初始粒径 d_{50}/mm	絮团粒径 d_{50}/mm
0.03	0.032
0.01	0.016
0.007	0.023
0.005	0.030
0.003	0.035
< 0.003	0.041

式中： $\omega_{F_{50}}$ 和 $\omega_{D_{50}}$ 分别为絮团和泥沙基本粒径沉速^[1]。

絮凝因素和泥沙粒径大小成反比。粒径越细，絮凝量越大，这是由于泥沙越细，其表面积越大， ζ 电位也越大，遇阳离子中和其表面负电荷后，电位下降，碰撞增多，更易形成絮团，沉降量也就增加，这也说明，其电位越大，就不易絮凝，反之，电位减小易生成絮团，絮凝量就增加。

1.2 泥沙有机质含量对絮凝量的影响

用同一种粒径的长江口泥沙，取去除有机质（加双氧水处理）和未去除有机质两种泥沙，在同一盐度人工海水中做沉降试验。其结果为去除有机质的泥沙在盐水中絮团中值粒径为 0.043 mm，未去有机质的泥沙在盐水中絮团中值粒径为 0.030 mm。去除有机质其絮团中值粒径明显较未处理的大，也就是说，有机质含量大小与絮凝沉降量有较大关系。这是因为，有机质是网状结构，它使一些细颗粒成团，在加双氧水去除有机质后，其网状结构被破坏，就恢复其单颗粒，粒径变细，在盐水中絮团就增大，絮凝量也随之增大。

1.3 泥沙矿物成分对泥沙絮凝量的影响

表 2 不同矿物在盐水中絮团大小比较

泥沙的矿物成分很多，长江口粘性细颗粒泥沙的主要成份为：伊利土、蒙脱土、高岭土、石英及少量绿泥石、长石等。石英为非粘土矿物，粘土矿物和非粘土矿物，不同粘土矿物在电解质中絮凝程度也有较大差异，在同一盐度人工海水（1.2%）中，用纯矿物：石英、蒙脱石、伊利土、高岭土做了多组静水沉降试验，其结果见表 2。从实验结果可以看出，非粘土矿物絮凝量很小，而各种纯粘土矿物的絮凝程度为：伊利土大于高岭土、高岭土又大于蒙脱土。从长江口粘性泥沙的矿物分析来看，伊利土的含量很大，这也是导致长江口粘性泥沙沉降淤积较厉害的成因之一。至于为什么粘土矿物较非粘土矿物易絮凝，这主要因其结构不同，粘土矿物为层状硅酸盐，晶层之间联结薄弱易破裂，同时薄片板上带负电荷，遇电解质易中和产生并结^①。

Table 2 Comparison of floc size for different mineral in seawater

矿物名称	石英沙	蒙脱土	高岭土	伊利土
絮团 d_{50}/mm	0.015	0.027	0.040	0.053

2 外因对粘性细颗粒泥沙絮凝量的影响

影响粘性细颗粒泥沙絮凝量的外因很多，如：含沙浓度、含盐度、水的 pH 值、水温、电解质中阳离子的价数等。就这些因素，我们做了大量实验分析。

2.1 含盐度对絮凝量的影响

含盐度是影响絮凝量的重要因素，实验证实正离子是使粘性泥沙产生絮团的主要因子。海水中含大量钙、镁、钠高价离子，所以粘性细颗粒泥沙在海水中大量絮凝沉降，然而也并非盐度越大絮凝量越大。用长江口粘性泥沙在盐度为 0.2% ~ 2.2% 的人工海水中做了 12 组静水沉降试验，分析各种盐度下泥沙形成絮团的 d_{50} 变化，结果见图 2。从图中可看出，长江口粘性泥沙在盐度为 1% ~ 1.6% 时絮团 d_{50} 最大，也就是说长江口粘性泥沙的最佳絮凝盐度为 1.2% 左右。因为长江口水域实际盐度在 1.0% ~ 1.2%，这就是长江口在盐、淡水交汇处淤积量最大的主要原因。

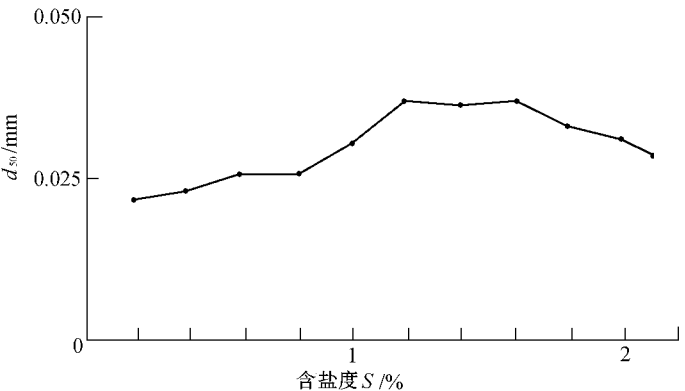


图 2 长江口泥沙中值粒径 d_{50} 与含盐度变化曲线

Fig.2 Median diameter d_{50} of sediment vs. salinity for Yangtze River Estuary

上述试验所用人工海水是以 Subow 配方配制的，见表 3。作者用标准海水和 Subow 人工海水进行过多次絮凝沉降试验比较，结果一致，从经济条件出发，做絮凝研究可用 Subow 人工海水^[2]。

表 3 人工海水的配方（1000 mL）

Table 3 Composition of artificial seawater (1000 mL)

试剂	NaCl	MgCl ₂	MgSO ₄	CaCl ₂	KCl	NaHCO ₃	NaBr
试量/g	26.518	2.447	3.305	1.141	0.725	0.202	0.083

① 任汝述. 粘性泥沙运动规律研究. 港口航道海岸近海工程研究论文集. 河海大学, 1992. 321 ~ 330.

2.2 含沙量对絮凝沉降的影响

含沙量大小对絮凝作用和絮团沉速的影响也非常敏感,在同一盐度人工海水中,絮团量随含沙量增大,而逐渐增大直到 10 kg/m^3 左右,但含沙量超过 10 kg/m^3 ,其絮团沉速又减小,见图 3.这是因为含沙量增加,其碰撞机会增加,絮团量增大增多沉速加大;当含沙量到一定程度,浑水比重增大,形成蜂窝状的絮团成为粗颗粒后沉降受阻,因而沉速减小.浓度越大,受阻越大,沉速也就变小^[3].

2.3 紊动、流速对絮凝沉降的影响也很多

从资料分析来看,紊动和流速大小对絮团沉速有两种相反作用.紊动和流速增加,颗粒碰撞机会也增加,而另一方面紊动和流速过大又可能使其絮团破坏.因此,在一定紊动和流速条件下,颗粒碰撞机会大,而又不破坏絮团.关于这一点作者在环形水槽中做了多组试验,并在进一步验证分析找出其关系.

2.4 其它因素的影响

影响絮凝沉降的条件非常复杂,除上述几点外,还有水中阳离子数量及其价数、水温条件、水的 pH 值、电解质的电导率等.一般来讲,常温下水温越高,颗粒的布朗运动速度加大,碰撞机会增大,絮凝量增大,离子价数高的絮凝量大.海水中絮凝量和阳离子关系为

$$\text{Fe}^{+++} > \text{Al}^{+++} > \text{H}^{+} > \text{Ba}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^{+} > \text{Na}^{+}$$

3 结 论

影响长江口粘性细颗粒泥沙的因素很多,机理也较复杂.主要在内、外因两个方面,内因主要是泥沙矿物成份、粒径大小、有机质含量等,外因主要为介质水的含盐度、离子价数、含沙浓度、流速、pH 值等,这些因素和絮凝量的关系式是研究泥沙淤积的重要手段,然而这一问题是较复杂的,须做大量实验分析总结,找出絮凝条件和量的关系,为淤积计算提供条件.

参考文献:

[1] 钱宁,万兆惠.泥沙运动力学[M].北京:科学出版社,1983.14~28.
[2] 金鹰.细颗粒泥沙实验计算方法探讨[A].1997 年海峡两岸港口与海岸开发研讨会论文集[C].北京:海洋出版社,1997.403~406.
[3] 中国水利学会泥沙专业委员会.泥沙手册[M].北京:中国环境出版社,1992.7~72.

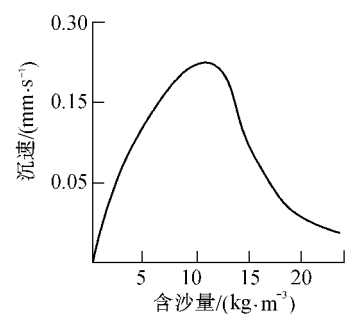


图 3 含沙量和沉速关系曲线
Fig.3 Sediment concentration vs. settling velocity

Experimental Study on Flocculation of Cohesive Fine Grain Sediment at Yangtze River Estuary

JIN Ying , WANG Yi-gang , LI Yu

(College of Traffic and Ocean Engineering , Hohai Univ. , Nanjing 210098 , China)

Abstract : The main factors causing sediment deposition on the waterway at the Yangtze River Estuary are the flocculation of large amounts of cohesive fine grain sediment from the upper reaches , induced by strong electrolyte seawater at the border of seawater and freshwater , and the quick settling of flocs. A number of experiments performed on cohesive sediment in artificial seawaters of different salinities show that the main factors affecting flocculation and floc size are salinity , grain size , sediment concentration , mineral characteristics of sediment , organic solid concentration of seawater , and so on. The results can be applied to the research of sediment movement at the Yangtze River Estuary.

Key words : settling velocity ; sediment concentration ; deposition ; flocculation ; sediment grain ; Yangtze River Estuary