



## 疏浚泥水混合物电导率特性初探

王费新<sup>1,2</sup>, 洪国军<sup>1,2</sup>, 张忱<sup>1,2</sup>, 罗荣民<sup>1,2</sup>

(1. 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 上海 200120;

2. 航道疏浚技术交通行业重点实验室, 上海 200120)

**摘要:** 为论证电导率测试法用于测定疏浚泥浆浓度的可行性, 探讨疏浚泥浆电导率与泥浆浓度间的关系及影响因素, 选取国内较有代表性的淤泥质土、粉土、粉砂以及细砂等疏浚泥样, 配置成不同浓度的混合物, 测试了配置混合物的电导率以及温度和盐度对混合物电导率的影响。试验结果表明: 混合物中水的盐度、泥沙体积浓度、混合物温度等参数与混合物电导率存在明显的相关关系; 泥沙粒径级配对混合物电导率也有一定影响。因此, 通过电导率测试法用于测定疏浚泥浆浓度是可行的, 但须注意对混合物温度和盐度的影响进行补偿或相关处理。

**关键词:** 电导率; 浓度; 疏浚泥沙; 盐度; 温度

中图分类号: U 616

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)12-0111-04

### Primary study on conductivity characteristics of dredging soil-water mixture

WANG Fei-xin<sup>1,2</sup>, HONG Guo-jun<sup>1,2</sup>, ZHANG Chen<sup>1,2</sup>, LUO Rong-min<sup>1,2</sup>

(1. Shanghai Waterway Engineering Design and Consulting Co., Ltd., Shanghai 200120, China;

2. Key Laboratory of Waterway Dredging Technology, Ministry of Transport, PRC, Shanghai 200120, China)

**Abstract:** Several representative dredging materials in China, including muddy soil, silt, silty sand, and fine sand, are selected and tested, to analyze and discuss the relationship between conductivity and concentration of dredging soil-water mixture and its influencing factors, also the feasibility of dredging slurry concentration determination by conductivity testing method. The conductivity of selected slurries with different concentration is tested, as well as the impacts of temperature and salinity on slurry conductivity. The results show that there is evident correlation relationship between slurry conductivity and its salinity, volume concentration, temperature. Moreover, sediment particle size gradation also has certain impact on slurry conductivity. Thus, it is feasible to determine slurry concentration by measuring its conductivity, when the influencing factors, such as salinity and temperature, are compensated or treated.

**Key words:** conductivity; concentration; dredging material; salinity; temperature

疏浚作业过程中, 泥浆浓度的高低直接体现了疏浚作业系统的挖掘和输送效率, 并影响到输送管道内泥浆的流动规律及阻力特性, 以及耙吸挖泥船装舱溢流等施工工艺的实施效果, 从而决定了挖泥船的动力配置、施工安全和运行能耗<sup>[1]</sup>, 已成为疏浚作业系统动态监控的一个重要参数之一。

现阶段, 泥浆浓度的测量多采用单点式连续

测量或多点式间断测量方法, 使用较为广泛的测试方法和仪器有 $\gamma$ 射线浓度计、超声波浓度计及取样称重法等。其中, 取样称重法只适合单点静态测量; 而 $\gamma$ 射线浓度计和超声波浓度计被广泛应用于疏浚、污水处理、造纸、化工、制药等领域输送管道内流体浓度的测试, 具有性能稳定、精度高, 非接触等特点, 不受流动介质的压力、

收稿日期: 2012-09-27

作者简介: 王费新(1979—), 男, 博士, 工程师, 主要从事疏浚技术研究。

黏性或流量的影响,易于实现对生产工艺流程的监控<sup>[1-3]</sup>,但普遍价格过高,不适合于阵列布置实现多点多断面实时测量。

根据材料科学领域研究成果,由固体颗粒和液体混合形成的溶胶体系中,溶胶的电导率与固体颗粒的百分比浓度有关<sup>[4-5]</sup>,因此通过测试泥浆的电导率来推求泥浆中固体颗粒的浓度,成为泥浆浓度测试的可能途径之一。国外已有电导型浓度计产品,但未见应用于水-沙两相混合物浓度的测试。Delft技术大学马亚生和Miedema等<sup>[6]</sup>提出了一种基于电导率测试和层析成像方法的管道断面密度和流速分布测试方法,但未见用于泥浆流体的试验测试验证和工程应用方面的报道。戴茜等<sup>[7]</sup>测试了两种海水盐度下两种粒径黄河口悬沙含沙量与电导率之间的关系,验证了高悬沙含量海区电导率法实现现场监测悬浮泥沙含量的可行性,但测试悬沙的体积浓度最大仅为8.3%左右。

本文拟选取国内较具典型性的疏浚泥沙为代表,用淡水和NaCl溶液分别配置成不同浓度的均匀混合物并测试其电导率,用于分析泥浆浓度与混合物电导率的相关关系,以及水的盐度、环境温度、泥沙粒径级配等因素对混合物电导率的影响,论证电导率测试法用于测定疏浚泥浆浓度的可行性。

## 1 试验方法

### 1.1 试验土样

试验土样取自长江口、黄骅等地疏浚土样,共计5个样品。5个样品的粒径级配曲线及特征粒径分别见图1和表1,分别为淤泥质土、粉土、粉砂和细砂,其中值粒径分别为14.64 μm, 59.54 μm, 137.13 μm, 156.85 μm, 246.5 μm,是国内内河航道及沿海港口航道疏浚土中较具代表性的几种土类。

表1 泥样特征粒径

泥样名称	μm			
	$D_{50}$	$D_{10}$	$D_{60}$	$D_{90}$
淤泥质土	14.64	2.09	18.93	43.52
粉土	59.54	25.51	72.88	195.12
粉砂	137.13	34.31	157.88	260.20
细砂1	156.85	95.28	172.77	249.93
细砂2	246.50	184.90	265.80	401.50

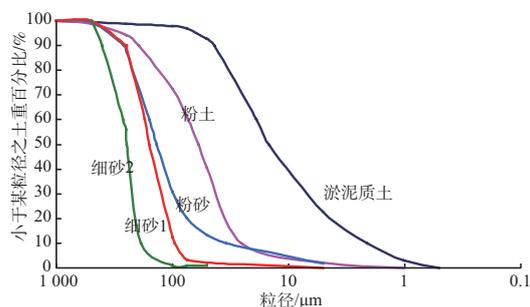


图1 泥样粒径级配曲线

### 1.2 泥浆配置

试验前先称取适量土样,烘干处理后用于精确配置特定浓度的泥水混合物。

为分析水的盐度对泥浆电导率的影响,试验中分别采用纯净水和盐度35‰的NaCl溶液来配置混合物。配置NaCl溶液时,盐度计算公式见式(1),其中, $S‰$ 为盐度, $Cl‰$ 为氯度,即NaCl溶液中Cl元素的质量千分含量:

$$S‰ = 1.80655 \times Cl‰ \quad (1)$$

配置混合物时,采用称重法,即按事先计算好的质量精确称量土样、纯水和NaCl,通过充分搅拌形成特性浓度和盐度的混合物。

### 1.3 测试仪器和方法

试验选用CM-508型双通道电导监控仪接DJS-1型电导电极组成的电导率仪(图2)。



图2 CM-508型监控仪及DJS-1型电导电极

电导率测试中,泥浆浓度以体积浓度计,变化范围为0%~27%。为确保实验过程中泥沙充分悬浮,测试过程中保持不间断搅拌直至测试结束。此外,试验在恒温水箱中进行,以对泥浆温度进行控制和调节,并在试验过程中实时测试并记录泥浆温度。除温度影响试验外,其余试验均控制混合物温度在 $(20 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 内。

## 2 结果及分析

### 2.1 淡水-泥沙混合物电导率测试结果

采用淡水配比形成混合物的情况下,不同浓

度下泥浆电导率测试结果见图3。

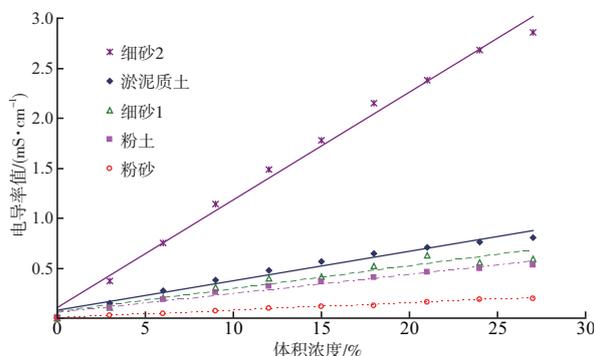


图3 淡水混合物电导率测试结果

由图3可以看出, 就单个土样而言, 在试验测定浓度范围内, 淡水-泥沙混合物电导率随混合物浓度的增加而增加, 两者呈较明显的线性正相关关系。同时, 相同浓度的混合物, 细砂2电导率最大, 其余依次为淤泥质土, 细砂1、粉土和粉砂。不过, 从上述试验结果很难分析出电导率与土样粒径级配之间的关系。

笔者认为, 对于纯水配置的混合物而言, 电导率的大小与混合物中可溶盐的质量成正比, 而混合物中可溶盐的质量与泥沙浓度是成正比的, 因此该混合物的电导率是与泥沙浓度成正比的, 这与测试结果是一致的。本文采用的试验样品取自不同地区, 化学成分、吸附盐分等都不同, 进而导致了电导率的不同。

因此, 从淡水-泥沙混合物的电导率测试结果来看, 只要标定准确, 利用测量电导率来测量泥沙浓度是可行的。

## 2.2 NaCl溶液-泥沙混合物电导率测试结果

实际疏浚过程中, 尤其在沿海港口航道疏浚工程中, 水体环境并非电导率很小的纯水, 可溶盐的存在导致其电导率值要远大于纯水。由于电解质含量对疏浚泥浆电导率值具有很大的影响, 为此, 作者测试了不同浓度的5种泥沙-盐水混合物的电导率, 盐水采用盐度35‰的NaCl溶液, 测试结果见图4。

由图4可以看出, 与淡水-泥沙混合物电导率测试结果相比, NaCl溶液形成的泥水混合物的电导率变化特性明显不同:

1) 35‰盐度情况下, 在试验浓度范围内,

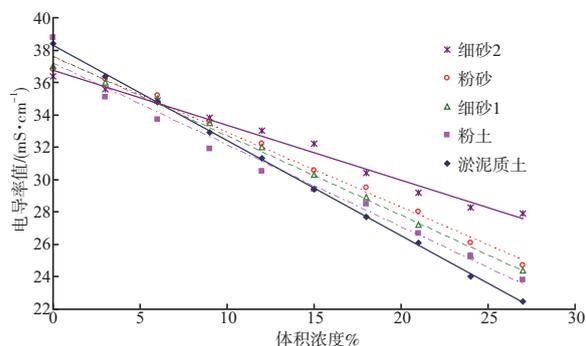


图4 NaCl溶液混合物电导率测试结果

NaCl溶液混合物的电导率远大于同土样同浓度下淡水混合物的电导率, 两者的差别在一个量级以上。

2) 2种混合物电导率与泥沙浓度的相关关系不同。对于盐水配置的混合物, 电导率随泥沙浓度的增加而减小, 两者呈明显的负线性相关关系, 与文献<sup>[4-5,7]</sup>结果一致。

3) 同一浓度下, 土样的种类对混合物电导率的影响小于淡水-泥沙混合物, 同时还体现了一定的规律性: 除了中值粒径与粉砂相近的细砂1以外, 中值粒径越大的泥沙, 浓度的增加对混合物电导率的影响越小。如绘制电导率随浓度变化的幅度与土样粒径关系, 如图5所示, 则两者间存在一定的相关关系, 这一结果与文献<sup>[4-5]</sup>的分析测试结果也是一致的, 即固体颗粒变小时, 混合物的电导率下降。

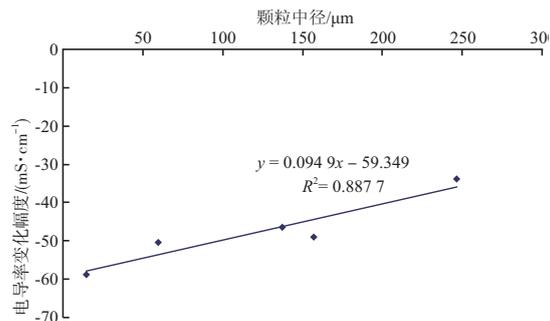


图5 NaCl溶液-泥沙混合物电导率变化幅度与土样中值粒径关系

## 2.3 盐度影响测试

上述两种混合物电导率测试结果表明, 盐度对混合物电导率的影响是显著的。为此, 选取了纯水和体积百分比浓度为21%的细砂1为代表, 测试了不同盐度下2种NaCl溶液(混合物)的电导率, 以揭示盐度对混合物电导率的影响。试验结果见图6。

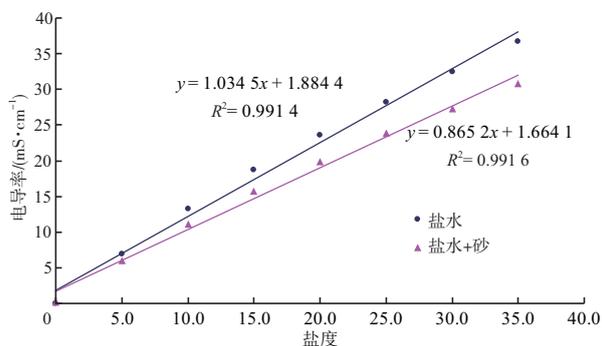


图6 盐度与混合物电导率关系

根据图6, 盐度和NaCl溶液(混合物)电导率的有明显相关关系, 两者呈显著的正线性相关。其中, 盐度每增加1度, NaCl溶液的电导率增加1.034 5 mS/cm, 试验泥浆的电导率增加0.865 2 mS/cm, 表明盐度对混合物电导率的影响是显著的。此外, 由于固体颗粒的存在, 相同盐度下混合物电导率要小于NaCl溶液的电导率, 且随着盐度的增加, 这种减小的幅度也相应增加。以上结果表明, 电导率测试法用于测定混合物浓度时, 必须考虑到盐度变化对测试结果的影响, 这在盐度变化较为明显的感潮河段, 尤其值得引起注意。

#### 2.4 温度影响测试

温度是影响液体电导率的重要参数之一。为此, 选取了体积百分比浓度为21%的细砂1混合物为代表, 测试了温度变化对混合物电导率的影响, 测试结果见图7。

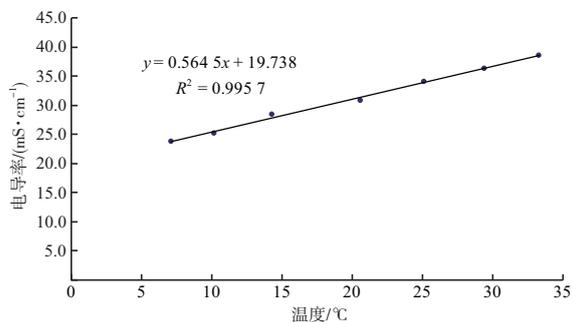


图7 温度与混合物电导率关系

根据图7, 测试混合物电导率与混合物温度呈显著的正线性相关关系, 温度每增加1℃, 混合物电导率增加0.564 5 mS/cm。因此, 电导率法用于测定混合物浓度时, 也需注意对温度的影响进行补偿。

### 3 结论

本文测试了典型疏浚土样混合物的电导率, 分析了混合物浓度与混合物电导率之间的相关关系, 以及泥沙粒径、盐度、温度对混合物电导率的影响, 探讨了电导率法测定混合物浓度的可行性。主要结论如下:

1) 混合物中液相盐度是决定混合物电导率的关键因素之一, 两者明显为正线性相关。

2) 对于淡水环境下的泥水混合物, 其电导率随混合物浓度的增加而线性增大; 对于同一浓度的不同种类泥沙, 影响混合物电导率的主要是泥沙中可溶盐的含量, 泥沙粒径级配的影响较小。

3) 对于盐水环境下的泥水混合物, 其电导率随混合物浓度的增加而线性减小; 对于同一浓度的不同种类泥沙, 影响混合物电导率的主要是泥沙粒径级配, 且通常情况下电导率有随粒径减小而减小的趋势。

4) 温度是影响混合物电导率的另一重要因素, 相同条件下, 两者明显为正线性相关。

综上, 通过电导率测试法用于测定疏浚泥浆浓度是可行的, 但须注意对混合物温度和盐度的影响进行补偿或相关处理, 这在应用于盐度变化明显的感潮河段和温度变化明显的地区时尤其值得引起注意。

#### 参考文献:

- [1] 徐立群, 倪福生. 管道泥沙浓度分布的伽玛射线测量[J]. 计算机测量与控制, 2005(11): 1 207-1 209.
- [2] 贾春娟, 唐懋官, 超声反射法测量悬浊液浓度分布的特性研究[J]. 泥沙研究, 1998(1): 88-92.
- [3] 张叔英, 钱炳兴. 高浓度悬浮泥沙的声学观测[J]. 海洋学报 2003, 26(6): 54-60.
- [4] 杨丽珍, 郝燕萍, 杨莉. 固体颗粒对溶胶系统电导率的影响[J]. 北京印刷学院学报, 2008, 16(2): 68-71.
- [5] 杨莉军, 周震. 固体颗粒-溶剂系统电导率理论研究[J]. 北京印刷学院学报, 2006, 14(2): 35-37.
- [6] 马亚生, Miedema S A, Matousek V, et al. 层析成像方法用于密度和流速分布测量[C]// 芝加哥: 23届WEDA技术会议及35届TAMU疏浚研讨会, 2003.
- [7] 戴茜, 单红仙, 孟祥梅, 等. 基于电导率测定海水悬沙含量试验研究[J]. 海洋学报, 2008, 30(5): 137-142.

(本文编辑 郭雪珍)