



## Densitune 密度测量的可靠性检测

耿智海

(中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 上海 200120)

**摘要:** 介绍Densitune密度计的功能、工作原理及其测量结果的可靠性, 检测方法和步骤, 统计测量精度。结果表明: 该仪器能够准确获得泥层垂直密度分布数据, 为浮泥监测和适航水深测量提供良好的设备支持。

**关键词:** Densitune; 密度计; 浮泥密度; 密度校正; 适航水深

中图分类号: U612.23

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)-0211-04

### Reliability testing of density measurement by Densitune

GENG Zhi-hai

(CCCC Shanghai Waterway Engineering Design and Consulting Co., Ltd., Shanghai 200120, China)

**Abstract:** This paper introduces the functions and working principle of the Densitune densitometer, illustrates the method and procedure of verifying the reliability of its measured results, and makes a statistics of the measurement precision. The results show that this instrument is able to accurately acquire the vertical density profiles of soil layers and will provide a good device support for navigation bathymetric survey.

**Key words:** Densitune; densitometer; density of fluid mud; density correction; navigable depth

目前, 适航水深测量的常用方法包括: 1) 采样器采取原状样的采样分析<sup>[1]</sup>; 2) 高低频回声测深; 3) 采用音叉密度计直接测量密度; 4) 以Silas系统为代表的用音叉密度计标定低频信号强度以确定密度梯度的方法<sup>[2]</sup>。其中第1种方法工作量大、取样难度大、呈点状分布代表性小; 第2种方法由于浮泥发育、消亡的不同阶段垂向密度分布变化又较大, 根据研究发现低频水深测量值普遍小于实际试航水深, 造成实际适航水深利用程度下降<sup>[3]</sup>; 单纯采用音叉密度计测量较为准确但是存在单点测量和效率不高的缺点; 第4种方法是前3种方法的结合, 即双频测深、密度标定和浮泥分层取样三者的结合。

为解决适航水深的勘测问题, 突破大面积走航式适航水深测量的难题, 提高适航水深测量的可靠性和测量精度, 本公司从荷兰STEMA公司引进了包含Silas和Densitune密度测量的适航水深测量系统。由于是首次引进该产品, 因此需要对它们的

实际精度和稳定性进行检验, 以判定其是否能够满足密度测量的精度要求。其中音叉密度计的密度测量是该系统的一个关键环节。本文主要探讨Densitune密度测量的可靠性。

#### 1 仪器

DensiTune的功能为测量淤泥质的密度, 其基本原理是音叉在不同密度的介质中, 对不同频率振动的响应不同。它可以连续测量采样, 跟踪泥层密度变化并准确反映密度结果。其主要技术指标如下:

- 精确度: <1%;
- 测量范围: 1 000 ~ 1 800 g/L;
- 黏度范围: 0 ~ 600 Pa · s;
- 测深精度: 所测深度的0.15%;
- 分辨率: 1 g/L;
- 温度范围: 0 ~ 60 °C;
- 深度范围: 0 ~ 60 m;
- 更新率: 20 Hz。

收稿日期: 2012-09-27

作者简介: 耿智海(1984—), 男, 助理工程师, 主要从事工程测量方面的工作。

## 2 检测设备和方法

本次检测的泥样和海水均取自连云港徐圩航道中心，主要测验仪器有Densitune泥浆密度仪1套、电子天平1台（精度到0.1 g）、量杯1个（500 mL）。

检测方法：以称重法测得的密度值为标准值，结合Densitune测量值求出密度仪的标定文件，加载该标定文件后改正各密度下的Densitune测量值，然后结合标准值对比分析。

## 3 仪器校正和泥样密度比测

密度计内有温度传感器、倾斜传感器及深度传感器，因此密度计的校正包括温度校正、斜率校正及深度校正，最后进行密度校正。这一步在Rheolog模块内完成。

### 3.1 温度校正

温度对密度测量精度有一定影响。1 °C误差引起密度误差为1 g/L。温度粗差将导致密度粗差。温度校正用两点法，在清水中使2次温度差值大于5 °C，输入温度计测量的实际温度值，校正后检测实际温度测量误差小于0.2 °C即可。

### 3.2 倾斜和深度校正

由于深度传感器测得的是密度计顶端压力孔的压力，再由音叉到压力孔的竖直距离来得出音叉的深度，因此斜率正确与否将影响到系统深度

的准确性。竖直悬挂泥浆密度仪，输入倾斜值0即可完成倾斜校正。外业测量时需进行深度传感器校正，每天测量前在流速小的深水区域进行，最好进行2点水深校正(例如5 m和10 m)，若大于20 m水深采用1点校正即可。

### 3.3 密度校正

泥样放在一个直径40 cm的胶筒里，筒高45 cm。

1) 先将筒中的泥样搅拌均匀，用500 mL的量杯取样，在电子天平上称重以计算密度。然后，将密度仪（用缆绳吊着）放入筒中，放入时注意密度仪前端的圈框不触到筒底活筒壁。使密度仪在筒中轻轻转动约2 min，在电脑记录它的密度“读数”，每次读数不少于1 000次采样。每次做好之后用清水把密度仪清洗干净。

2) 加入同步取出的海水将泥浆稀释，再行拌匀，按第一步操作方法施测。

3) 重复上述过程多次（直至泥样密度接近水的密度），以获取在不同密度下，天平和泥浆密度仪测出的两个密度值。

4) 用密度仪读数和相应的秤出的密度来制作密度校正文件。选择制作标定文件的原始数据时应符合以下要求：①原始数据的取样良好，表现为采样点聚集，离散度低；②可增加在工程关注密度区间的原始数据数量；③密度标定文件的Dens Raster成图较为平滑（图1）。

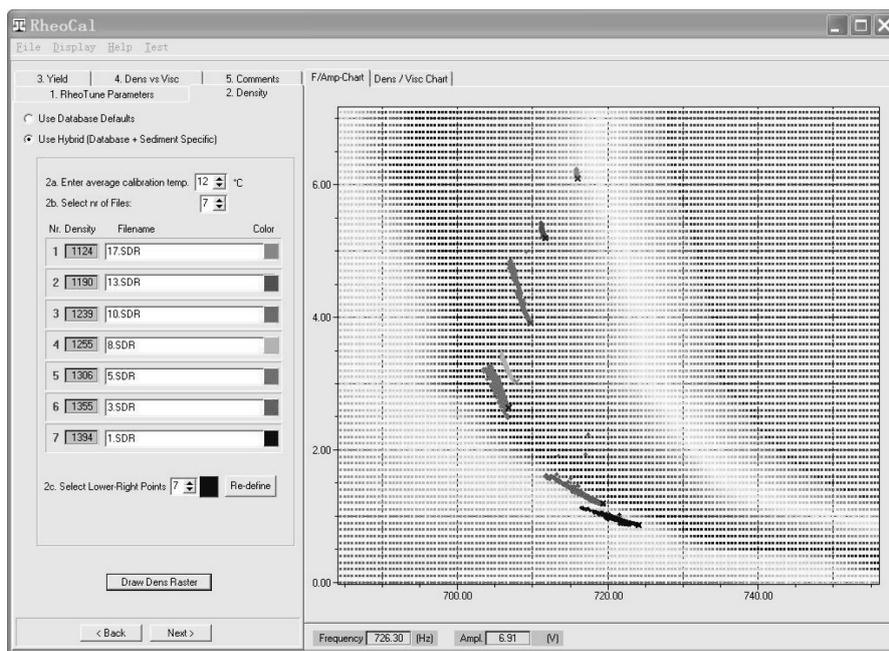


图1 密度校正Dens Raster成图

### 3.4 密度比测

密度仪加载密度校正文件, 重新计算各测次的密度值, 和称重法测出的标准值做对比分析。

据测验条件, 本次密度标定和对比检测进行3组测验, 共取得有效样本数40个, 检定密度范围为0.996 5 ~ 1.367 6 kg/L, 其密度比对情况见表1和图2。

## 4 检测结果及分析

为了减少单次检测对成果精度的影响, 根

由现场检测情况和表1和图2可以得出如下结

论:

分次	编号	称重法密度/(g·L <sup>-1</sup> )	音叉标定后密度/(g·L <sup>-1</sup> )	误差/(g·L <sup>-1</sup> )	误差百分比/%
第1次	1	1 278.43	1 275.92	-2.51	-0.20
	2	1 213.73	1 234.73	21.01	1.73
	3	1 207.84	1 197.60	-10.25	-0.85
	4	1 180.39	1 174.84	-5.55	-0.47
	5	1 160.78	1 163.82	3.04	0.26
	6	1 125.49	1 133.65	8.16	0.73
	7	1 107.84	1 103.77	-4.08	-0.37
	8	1 060.78	1 064.11	3.33	0.31
	9	1 035.29	1 036.85	1.55	0.15
第2次	1	1 394.12	1 374.73	-19.39	-1.39
	2	1 374.51	1 361.71	-12.80	-0.93
	3	1 354.90	1 358.76	3.86	0.28
	4	1 337.25	1 369.24	31.98	2.39
	5	1 305.88	1 315.05	9.16	0.70
	6	1 298.04	1 312.55	14.51	1.12
	7	1 282.35	1 294.73	12.38	0.97
	8	1 239.22	1 236.67	-2.54	-0.21
	9	1 215.69	1 213.49	-2.20	-0.18
	10	1 190.20	1 184.34	-5.86	-0.49
	11	1 170.59	1 174.21	3.62	0.31
	12	1 152.94	1 161.28	8.34	0.72
	13	1 137.25	1 144.63	7.38	0.65
	14	1 123.53	1 131.42	7.89	0.70
第3次	1	1 367.65	1 376.30	8.66	0.63
	2	1 335.88	1 351.83	15.95	1.19
	3	1 324.51	1 315.24	-9.27	-0.70
	4	1 310.98	1 309.62	-1.36	-0.10
	5	1 279.80	1 279.04	-0.77	-0.06
	6	1 264.12	1 270.13	6.02	0.48
	7	1 247.06	1 245.16	-1.90	-0.15
	8	1 227.25	1 230.13	2.87	0.23
	9	1 205.10	1 204.87	-0.23	-0.02
	10	1 184.71	1 189.87	5.17	0.44
	11	1 168.43	1 165.15	-3.28	-0.28
	12	1 147.06	1 144.26	-2.80	-0.24
	13	1 130.78	1 126.40	-4.38	-0.39
	14	1 104.71	1 099.87	-4.83	-0.44
	15	1 081.76	1 083.06	1.29	0.12
	16	1 052.94	1 052.08	-0.86	-0.08
	17	996.47	998.00	1.53	0.15

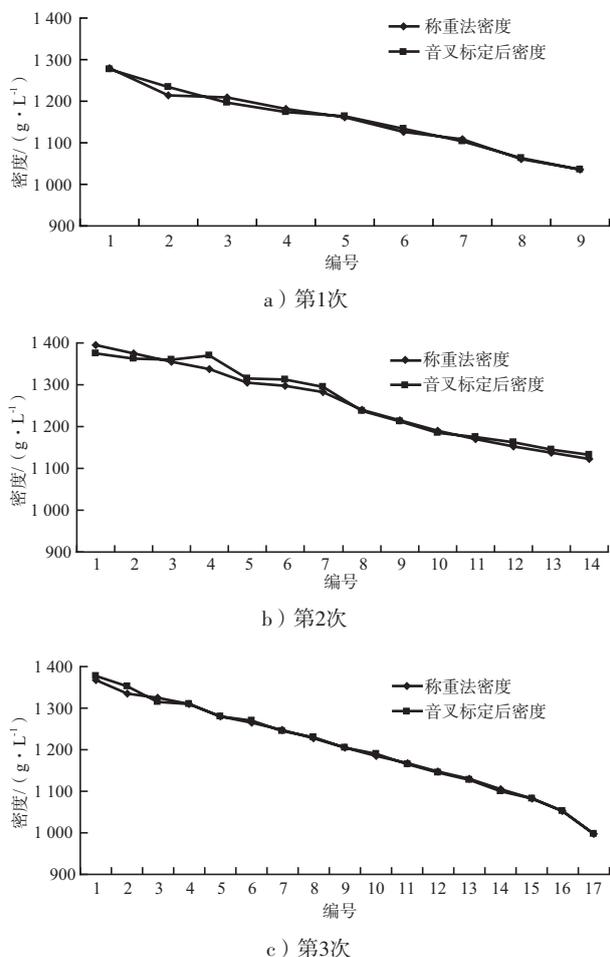


图2 称重法与音叉密度仪测量密度对比

1) 在实验中Densitune测量密度时, 单个样本都进行了1 000次以上采样, 比较每个样本在同一测次各采样值发现, 同一个样本的各次采样值符合良好,数值变化很小, 数据图像上表现为采样点聚集, 离散度低, 这说明Densitune 采样比较稳定。

2) Densitune 的密度测量在低密度区的实测精度良好, 不存在采样器取样时低密度区采样困难的缺点, 最低密度可以测到水的密度。

3) 综合各次试验结果统计计算, 采用正态分布均方差计算公式, 根据40个测量样本, 统计计算Densitune 的密度测量中误差为  $\pm 9.38$  g/L。

4) 统计样本中Densitune测定密度与试验室测定密度差值,  $|相差| \leq 0.5\%$  的样本有25个, 占比62.5%,  $0.5\% \sim 1\%$  的样本有10个, 占比25%, 大于1%的样本有5个, 仅占12.5%。最大的差值为2.392%。

### 5 结语

泥样的对比检测结果表明: Densitune密度计测量与实验室称重结果具有良好的一致性, 结合现场标定及双频测量, 能连续跟踪浮泥层的密度变化, 准确获得泥层密度分布数据, 能够为浮泥监测和适航水深测量提供良好的支持。

这种密度测量方法具有广阔的应用前景。比如: 在水运工程中, 它可用于航道淤积研究和疏浚测量当中准确测定淤泥密度; 在水利行业中, 它可以用于水库和河流底层淤泥密度测量, 为计算其淤泥量提供依据; 在化学工业中, 它可以监测化学原料的密度, 避免人工直接接触造成人身伤害; 等等。

### 参考文献:

- [1] 朱雪琪. 长江口北槽航道浮泥测试仪器简介[J]. 水运工程, 2002(10): 103-104.
- [2] 荷兰STEMA公司 Silas走航式适航水深测量系统用户手册[R].
- [3] 冯俊. 浮泥发育时双频回声测深误差及其对适航水深监测的影响[J]. 水运工程, 2011(8): 83-87.

(本文编辑 郭雪珍)

## · 消 息 ·

### 嘉兴港将实现海河直达

据悉, 杭平申线(浙江段)航道改造工程平湖段初步设计获浙江省发改委批复, 其中青阳汇至柳口段施工图设计获省交通运输厅批复, 标志着担负嘉兴海河联运主力的疏港主航道——杭平申线(浙江段)航道开工改造进入倒计时, 力争2012年底开工。杭平申线(浙江段)航道改造后, 海河联运将实现最理想的方式——海河直达。

杭平申线(浙江段)航道将按三级标准进行改造。改造工程完工后, 嘉兴港3个港区将无缝对接内河高等级航道网。此外, 杭平申线将成为杭州与嘉兴港相连的最便捷通道, 通过三堡船闸, 辐射至钱塘江中上游, 成为浙西地区的出海通道, 为浙江发展海洋经济提供有力支撑。

摘自《中国交通报》