

一种回淤层取土器的研制

胡建平, 王年喜

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 适航水深资源开发关键技术是如何利用现行水深以下淤泥质回淤层进行通航, 以达到增加航深和降低航道维护费用之目的。国内外针对淤泥质港区或呈淤泥特性航道适航回淤层取样技术主要集中在非接触与接触两大类。目前, 以荷兰 Silas 系统为代表的非接触类取样技术已趋于成熟, 并在国内外广泛应用; 而用于现场回淤层接触类取样技术至今尚未取得显著突破。工程实践中, 需对非接触类技术获取的取样数据进行验证。研发一种具有稳定、高效的原状淤泥性土取土器, 丰富并完善这一领域接触类取样手段, 具有现实意义。

关键词: 适航水深; 取土器; 浮泥

中图分类号: U652.2⁺1; P634.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2015)01-0055-05

Development of a Soil Sampler in Back Silting Layer/HU Jian-ping, WANG Nian-xi (CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: The key development technology of nautical depth is how to use the silty back silting layer under current water depth as navigation channel in order to increase the navigation depth and reduce the maintenance costs. The sampling technique used in silty harbor or the silt characteristics nautical back silting layer is mainly divided into categories of non-contact detection and contact sampling both in China and abroad. At present, the non-contact detection technique represented by Dutch Silas system has been mature, which has been widely applied worldwide; while there is no significant breakthrough in contact detection technique in back silting layer. In engineering practice, the detection data by non-contact technique should be verified. It is necessary to develop a stable and efficient sampler for undisturbed silty soil sampling and the contact sampling technique should be enriched and perfected.

Key words: nautical depth; soil sampler; fluid mud

1 概述

适航水深资源开发是利用淤泥质港区或呈淤泥特性的沿海航道现行水深以下适航层进行通航, 这样既可增加航深, 又可降低航深的维护费用, 延长港口、航道的疏浚周期^[1], 在节约能耗的同时, 进一步提升港口经济效益。20世纪50年代 Inglis 等^[2]首次提出浮泥(Fluid Mud)的概念, 国外已开始在一些港口, 如荷兰鹿特丹港、比利时泽布勒赫港、曼谷苏里南等相继开展了适航临界重度(12.0~13.0 kN/m³)层航行研究, 效果显著。我国自20世纪70年代开始进行了适航水深研究, 2006年发布了首部《淤泥质海港适航水深应用技术规范》(JTJ/T 325—2006)^[3], 并取得了一系列研究成果。

适航水深的关键是测得回淤层浮泥重度及流变等特性, 从而确定适航厚度。规范中对适航回淤层取样主要集中在非接触走航式和接触式重力器

具^[3]二类, 接触式中也提到现场样本采集, 但未涉及到采样方法。现场采样是进行室内颗粒组成分析、泥沙沉降、重度、流变特性试验等关键, 验证与分析非接触类技术获取的数据, 最终确定适航重度值。目前, 国内现有针对适航回淤层取样方法呈五花八门, 良莠不齐, 有些取样结果甚至造成原本适航的水深, 变成了必须疏浚的结论, 以至疏浚周期的缩短, 造成浪费。

本文围绕适航水深资源开发采用的接触与非接触二类技术展开探讨, 为精确获取适航回淤层重度等参数, 研发一种具有稳定、高效的原状浮泥取土器, 望能推进现有适航资源开发接触类勘探技术科技进步, 丰富并完善这一领域的取样手段。

2 淤泥性土定义

淤泥的准确名称应为淤泥性土, 它是指在静水

收稿日期: 2014-06-01; 修回日期: 2014-10-25

作者简介: 胡建平, 男, 汉族, 1956年生, 教授级高级工程师, 从事岩土工程勘察新技术开发与管理工作, 上海市松江区莘砖公路518号1号楼, hu_jp2004@163.com。

或缓慢的流水环境中沉积,根据孔隙比、天然含水率、重度(又称密度)可细分为浮泥、流泥、淤泥、淤泥质土^[4-5],如表1所示。

表1 淤泥性土分类

| 土名 | 孔隙比 e | 含水量 $w/\%$ | 重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$ |
|------|--------------------|-------------------|-------------------------------------------|
| 浮泥 | | $w \geq 150$ | < 12.8 ^[5] |
| 流泥 | $e \geq 2.4$ | $85 \leq w < 150$ | 12 ~ 15 |
| 淤泥 | $1.5 \leq e < 2.4$ | $55 \leq w < 85$ | 15 ~ 18 |
| 淤泥质土 | $1.0 \leq e < 1.5$ | $36 \leq w < 55$ | > 18 |

淤泥性土各层面的划分标准因不同地区泥质而异,其中按重度划分较为科学。适航水深资源开发就是利用淤泥质港区和呈淤泥特性航道适航厚度通航(图1),适航厚度重度($10.3 \sim 15 \text{ kN/m}^3$)的准确测定成为判别各类测定技术的优劣。

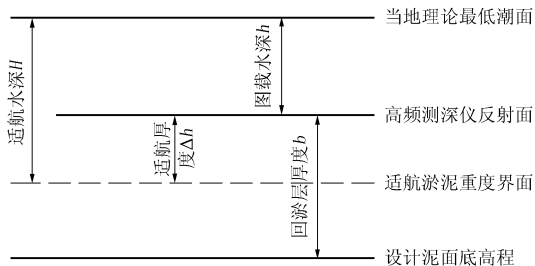


图1 适航水深界面关系

号的强度,则可以高精度地测出重度的梯度值, Densitune 音叉密度仪可高精度测量标定点的绝对重度,为建立发射信号强度和重度之间的对应关系提供可靠的参考点。近年来, Silas 系统在荷兰、德国、法国、美国和印度等适航水深资源开发中得到广泛应用。在我国天津港、连云港、广州南沙港、洋山深水港、黄浦江隧道等工程应用中,该系统测量数据的稳定性、重度测量的准确性及作业效率得到广泛好评^[7-8]。Silas 系统测定技术实际上是音叉密度计与双频测深仪两种手段的耦合,是当前极具发展前景的获取非接触适航水深的手段。

辛文杰等^[9]在研究港珠澳大桥工程伶仃洋水沙运动规律发现,不同的泥沙环境,对水下超声回波信号的干扰和影响差异有时会很大,很多情况下,仅根据高频与低频测深数据的差值,并不一定能划分出浮、淤泥的层厚。另,由于测深仪低频穿透能力有限,当浮泥重度或厚度较大,低频反射面反映的密度会偏小,导致检测的准确性降低。

3.2 接触类取样技术

适航水深资源开发接触类取样主要有:测深砵、三爪砵及回淤层取土器。国内外普遍认为,“眼见为实”的勘探仍然是取样的唯一手段,采用取土器采集原始淤泥样本,通过室内测定获取天然重度等指标。目前,国内用于原状软粘性土(重度 $> 15 \text{ kN/m}^3$)的取土器设计与制造技术取得了很大进展,具有代表性的有:固定式活塞薄壁取土器、单动三重(二重)管取土器等,它们的取土质量均较高,满足了工程地质资料分析的需求。由于我国适航水深资源的开发起步较晚,针对回淤层取土器的研究与国际标准尚有差距,但不乏一些较优秀的研发成果受到关注。

(1)一种中闭锁式泥土取样器^[10],采用管状结构,包括上部取土管、中部闭锁装置和下部取土管3部分。上部取土管连接中部闭锁装置,中部闭锁装置由轴阀座和轴阀组成,轴阀镶嵌在轴阀座中,中部闭锁装置连接下部取土管,上部取土管为取土内管,外部装有制动外管,制动外管下端部有垂直导向槽和弧形制动槽,导向槽致使悬挂体仅能垂直向上下移动,弧形制动槽致使轴阀仅能水平轴向转动。

(2)一种齿型取样器封口装置^[11],封口装置包括卡环式导杆、可开合阻泥片、筒体和齿型封口片;卡环式导杆固定于取土器下端,导杆滑动机械连接

3 回淤层取样机理

3.1 非接触类取样技术

为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,天津水运工程勘察设计院于2003年成为我国首家引进荷兰STEMA公司 Silas 适航水深测量系统的单位^[6]。STEMA公司开发的 Silas 系统主体有声学数据采集及处理软件、Densitune 振动密度计;外选设备有:普通双频测深仪(带数据转换器),带 A/D 转换卡的电脑, DGPS 定位系统及导航软件共5部分组成。Silas 系统采用双频测深仪向海底发射高、低频声波信号,高频声波被反射而低频声波则穿透海底一定厚度的浮泥层,发射回波信号取决于回淤层的重度变化。这种重度变化被定义为“重度梯度”。反射信号的幅度大小是由反射层的重度梯度确定的,重度梯度越大,反射信号越强。由于声波的反射和重度梯度之间的关系是已知的,即每一次反射都是因为重度的梯度变化引起的,这样就可以对重度的梯度进行定量化处理。利用标定过的声源信号来记录反射信

筒体,筒体上端装有可开合阻泥片,筒体下端通过弹簧连接齿型封口片。提取取土器时,利用泥土的阻力使阻泥片张开,筒体下移,封口片封闭土样下端开口。

(3)一种逆止封闭式取土器^[12],包括活塞、土样管、逆止封闭管和活动管靴;活塞依次连接土样管、逆止封闭管、活动管靴,活塞、土样管、逆止封闭管固定相连在一起,活动管靴与逆止封闭管为滑动式机械连接结构,逆止封闭管内装有活动管靴触动的逆止片。提取取土器时,利用泥土的阻力使活动管靴下滑,带动逆止片封闭土样。

上述3种取土器都可用于水下回淤层浮泥采集,但具有局限性,第1种取土器下部结构采用真空负压取样,为现行勘探技术普遍采用,适用于具有形态的软—可塑土取样。第2、3种取土器采用了封口装置,对成功采集浮泥是一项进步,但由于封口装置由若干逆止(封口)片组成,封口片实施同步关闭较为困难及封口片间隙等因素,均会造成高含水量浮泥中水的渗漏,造成测定的重度值偏大,影响数据准确性。再者,现有技术均未涉及采样时试样上部开口封盖,难以保证整个样本原状性。由此引发开发一种全封闭回淤层浮泥取土器的设想。

3.3 全封闭回淤层取样装置实现

首先使翻盖张开,翻盖下端支撑在控制圈上,使取土器处于待采样状态。将本装置连接在钻杆下面,插入水下回淤层中,随着取土器不断下降,上部浮泥依次经过控制圈内壁,取样筒的下端开口、上端开口,由通孔排出,直到指定深度。然后,将空气压缩机的气压或高压水泵的水压通过钻杆内孔压入缸套中,推动活塞向下运动,使耳朵盖板向下运动,封闭取样筒的上端开口;同时,控制圈随之下移,控制圈与翻盖脱离接触,翻盖在扭簧作用下瞬间关闭,将取样筒下端开口封闭。这样,浮泥样本就被密封在取样筒中,提起钻杆,在勘探平台上完成取土器中取样筒的取出操作。

具体步骤如下:

(1)先使控制圈朝上,钻杆接头朝下,整个取土器与勘探平台基本垂直;

(2)卸下控制杆下端的两个螺帽,往上取出控制圈,旋下翻板架;

(3)在取样筒的下端开口处(当前朝上)旋上一个密封盖;

(4)然后将取土器倒过来,使取样筒上的密封盖朝下,钻杆接头朝上;

(5)旋开活塞杆,取出耳朵盖板,旋开中间筒;

(6)在取样筒的上端开口处也旋上一个密封盖,然后分开半合管的左右两个半圆管;

(7)取出取样筒,写上编号、入土深度等标识,贴在取样筒上,在取样筒与密封盖之间的缝隙处绕上密封带并进行蜡封,储存在样本箱内,统一运送至试验室进行试验。

4 回淤层取土器研制

4.1 设计原理

设计一个取土器,核心部件有驱动缸、取样筒、翻盖控制等,通过勘探平台上现有的动力泵施加水或气压力,使驱动缸实施翻盖,达到取样筒上下端开口封闭,克服现有技术的缺陷^[13]。设计原理如图2所示。

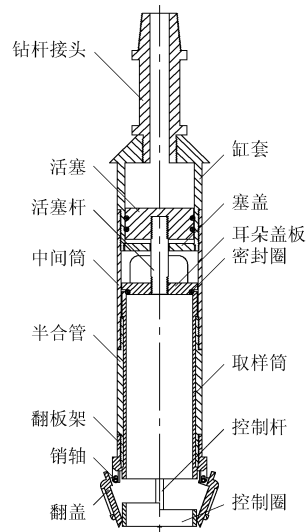


图2 取土器设计原理

4.2 设计方案

一种淤泥质浮泥取土器^[14],主要包括以下部件:驱动缸、外套筒、取样筒、耳朵盖板、翻盖、控制圈和控制杆等。驱动缸包括缸套、活塞和活塞杆等;外套筒固定连接在缸套下方;取样筒可拆卸地安装在外套筒内部;耳朵盖板与活塞杆的下端固定连接,并可以封闭所述取样筒的上端开口;翻盖可翻转地安装在外套筒下端,并可以封闭取样筒的下端开口;控制圈位于取样筒的下方,用于挡住呈打开状态的翻盖;控制杆上端与耳朵盖板相连接,下端与控制圈相

连接,剖面结构如图3所示。驱动缸利用水或气压力带动耳朵盖板和翻盖分别封闭取样筒的上端开口和下端开口,在取样筒封闭之前,无需提升采样装置,从而可以很好地实现泥样的原状性;并且不受环境、水深等影响。

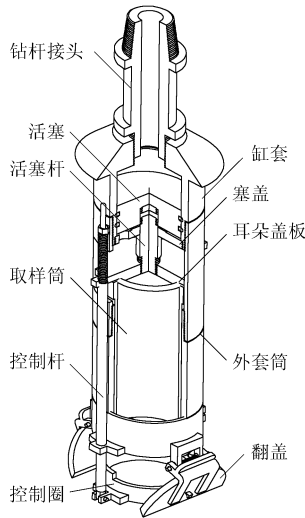


图3 取土器剖面结构示意图

4.3 结构设计

为了限制活塞的运动范围,在缸套的下端固定连接一个塞盖,塞盖与缸套的内壁螺纹配合,塞盖上设有供活塞杆穿过的中心孔,还设有排气孔,在活塞的运动过程中,排气孔可以起到平衡活塞下方压力的作用(图4)。

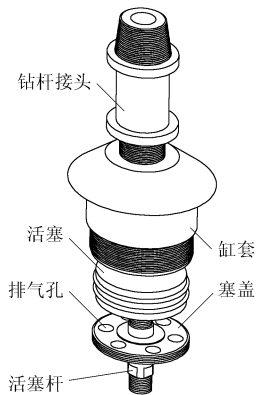


图4 驱动缸结构示意图

(1)驱动缸内活塞柱面上设有密封圈与缸套内壁密封配合,并可在缸套的内腔中上下运动,活塞杆的上端通过螺纹与活塞固定连接,活塞杆的下端延伸到一个外套筒并与一个耳朵盖板通过螺纹固定连接;活塞杆的中段可以设置为方形截面或六边形截

面,以便于利用扳手拧螺纹。缸套的上端通过螺纹与一个钻杆接头连接,钻杆接头呈中空管状,与缸套的内腔相通,可以将外部的气或水压力压入缸套的内腔中,推动活塞向下运动。钻杆接头上端设有外螺纹,可以螺纹连接若干长度的钻杆,钻杆长度从勘察平台垂直延伸到水面,再延伸到采样点。

(2)外套筒内部还可拆卸地安装一个取样筒,取样筒的上、下端均设有开口,其中取样筒的上端开口与所述耳朵盖板正对,并可以被耳朵盖板的底面封闭,耳朵盖板的底面上设有O形密封圈,可与取样筒的上端开口密封配合。

外套筒可以由中间筒、半合管和翻板架连接而成,其中中间筒的上端与缸套的下端螺纹连接;而半合管由两片半圆管拼合而成,半合管的上端与中间筒的下端螺纹连接,半合管的下端与翻板架螺纹连接;所述翻盖通过销轴安装在翻板架上,销轴上套有扭簧,扭簧作用于翻盖上一个闭合扭矩,也就是对翻盖施加使其向内翻转(闭合)的作用力(图5)。

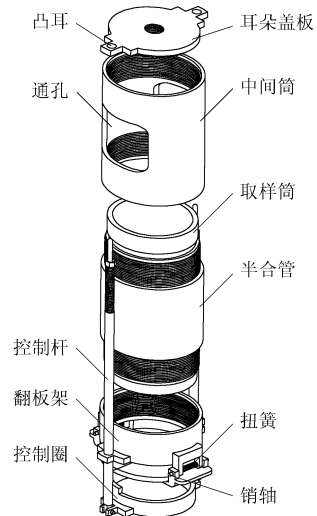


图5 外套筒上下控制结构示意图

(3)取样筒的下端超过外套筒的下端,在外套筒的下端安装有可翻转的翻盖。在取样筒外壁的上、下端各设有凸缘,而半合管的两端位于所述凸缘之间,从而将取样筒轴向限位(图6)。

在中间筒的侧壁上开有矩形的通孔,耳朵盖板可以从通孔放入中间筒的内部,耳朵盖板两端的凸耳从通孔中伸到中间筒的外部,并与控制杆相连接。当耳朵盖板在活塞杆的带动下向下运动时,通孔也可以为耳朵盖板两端的凸耳提供活动空间。

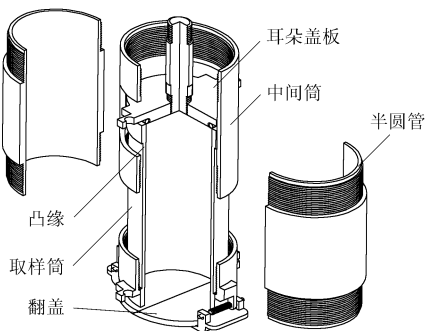


图 6 取样筒结构示意图

5 装置测试验证

为了保证实际工程中应用,我们设计了一个 3 m × 3 m 搅拌水池,逼真模拟现场河床沉积环境,采用研制的回淤层浮泥取土器产品进行了近百次取样测试及室内数据验证。

(1)按照规范^[4-5]配置成不同砂、粉、粘粒含量的浮、流泥土,进行土工颗粒组成分析、重度等物理试验,部分测试数据如表 2 所示。

表 2 室内测试数据

| 土样编号 | 测试深度/m | 含水量 w/% | 重度 γ/(kN·m ⁻³) | 砂粒含量/% | 粉粒含量/% | 粘粒含量/% | W _L /% | W _p /% | I _p |
|-------|---------|---------|----------------------------|--------|--------|--------|-------------------|-------------------|----------------|
| Kf-01 | 0.1~0.3 | 189.0 | 11.1 | 7.2 | 68.1 | 24.7 | 36.4 | 21.0 | 15.4 |
| Kf-02 | 0.6~0.8 | 154.6 | 12.2 | 8.0 | 69.5 | 22.5 | 37.6 | 22.1 | 15.5 |
| Kf-03 | 1.0~1.2 | 97.2 | 14.3 | 7.2 | 69.7 | 23.1 | 35.9 | 21.5 | 14.4 |

(4)翻盖有 2 个,左右对称地安装在外套筒下端。当翻盖向内翻转时,可以封闭取样筒的下端开口,2 个翻盖的上表面各设有一层半圆形密封垫,以保证密封效果。在取样筒的下方向隔一定距离设有一个内径与取样筒相同的控制圈,当翻盖向外翻开时,翻盖的下端可以被控制圈挡住,使其保持打开状态;控制圈与控制杆的下端相连接,控制杆的上端与耳朵盖板相连接。

2 个翻盖的端部都设有斜面,闭合状态下,所述 2 个翻盖的端部通过斜面相搭接,这样可以增加接触面,增强密封效果。但这种搭接,需要控制 2 个翻盖先后完成翻转,即右侧的翻盖需要先翻上去,然后,左侧的翻盖再翻上去,使它们的斜面相重叠,形成搭接。本设计通过合理地设置控制圈的形状,来达到这种效果(如图 7 所示)。右侧的翻盖相接触的控制圈右侧轴向长度短一些,而与左侧的翻盖相接触的控制圈左侧轴向长度要长一些,也就是说,控制圈左侧的上边缘高于右侧的上边缘,这样,当控制圈在控制杆的带动下向下运动时,右侧的翻盖先与控制圈右侧脱离接触,会先翻上去;然后左侧的翻盖再与控制圈左侧脱离接触,后翻上去,形成搭接。

(2)回淤层取土器装置密闭性测试,取土后大于 1 h 时间渗漏现象(图 8),模拟取土后,浮泥取土器装置提升到甲板,打开装置取出样本筒,整套过程密封性检测。实验说明,适航水深回淤层取样装置完全达到了设计要求。



图 7 取样后装置密封性渗漏测试

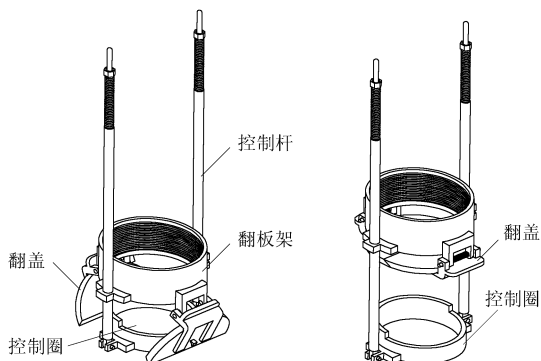


图 7 控制圈封闭结构示意图

6 结语

(1)以测深砣、三爪砣为代表的接触式回淤层取样手段对环境 and 人员要求较高,取样精度受水动力、浮泥发育情况和作业人员感知、熟练程度等综合影响,所获取的数据与实际误差较大。

(2)不同水域的回淤层泥质差别较大,采用非接触类技术确定浮淤泥上下界面重度时须进行现场

(下转第 84 页)

表7 南龙铁路某钻孔指标实测值与隶属度

| 指 标 | 实 测 值 | 指标的隶属度 | | |
|---------|---------------------------------------|--------|-----|-----|
| | | 优良 | 合格 | 不合格 |
| 终孔孔深 | 35 m(进入弱风化基岩 10 m,非灰岩),较好的设计要求 | 1 | 0 | 0 |
| 终孔孔径 | 89 cm | 0 | 1 | 0 |
| 岩心采取率 | 粉质粘土:97%;碎石类土:68%;强风化岩石:85%;弱风化岩石:96% | 0.3 | 0.7 | 0 |
| 记录及时性 | 记录落后一个钻进回次 | 0 | 1 | 0 |
| 分层描述准确性 | 地层界线深度平均偏差值为 4 cm | 1/3 | 2/3 | 0 |
| 描述准确性 | 描述准确、客观与钻取岩心一致 | 1 | 0 | 0 |
| 标贯试验 | 试验点平均间距 2 m,规范操作 | 1/2 | 1/2 | 0 |
| 动探试验 | 试验点平均间距 3 m,规范操作 | 0 | 1/2 | 1/2 |

对上式综合评判结果,采用最大隶属度原则,最大隶属度为 0.5555,属于评价集的优良等级,因此可判断该钻孔质量为“优良”等级。

3 结论

在铁路工程地质勘察钻孔质量分析中,相比较以前单因素、分散的、定性的评价,采用层次-模糊综合评判体系,建立合理的因素集与评价集,可减少受技术人员的专业水平因素与个人主观判断因素影响,从多层次、多因素、多系统方面考虑,较为客观的、量化评价每个钻孔的质量等级。在高铁的工程地质钻探的评价中具有重要的意义,具有较大的优越性。

参考文献:

- [1] 赵晋乾. 山岭公路隧道注浆效果评价及技术指南研究[D]. 四川成都:成都理工大学,2006.
- [2] 王铭文. 模糊数学讲义[M]. 吉林长春:东北师范大学出版社,1988.
- [3] 刘新宪,朱道立. 选择与判断——AHP(层次分析法)决策[M]. 上海:上海科学普及出版社,1990.
- [4] 许树伯. 层次分析法原理[M]. 天津:天津大学出版社,1988.
- [5] TB 10012—2007,铁路工程地质勘察规范[S].
- [6] TB 10014—2012,铁路工程地质钻探规程[S].
- [7] JGJT 87—2012,建筑工程地质勘探与取样技术规程[S].
- [8] 张春宇. 二级模糊综合评判在公路边坡稳定性分析中的应用[J]. 公路工程,2008,33(5).

(上接第 59 页)

取样,对泥沙颗粒、级配、状态等进行试验室数据验证及分析,才能确保适航厚度数据的准确。

(3) 现场定点取样是室内准确获取颗粒组成分析、泥沙沉降分析、重度、淤泥流变特征等唯一手段,开发回淤层浮泥采集装置是非接触走航式检测手段的补充与完善,具有广阔的应用市场和发展前途。

参考文献:

- [1] 黄建维. 粘性泥沙运动规律在淤泥质海岸工程中的应用[J]. 海洋工程,2011,29(2):52-58.
- [2] Inglis C. C., Allen F. H. The regimen of the Thames estuary as affected by currents, salinities, and river flow[C]. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Maritime and Waterways Engineering Division Meeting,1957:827-868.
- [3] JTJ 325—2006,淤泥质海港适航水深应用技术规范[S].
- [4] JTS 133—2013,水运工程岩土勘察规范[S].

- [5] JTJ/T 320—96,疏浚岩土分类标准[S].
- [6] 牛桂芝,沈小明,裴文斌. SILAS 适航水深测量系统测试研究[J]. 海洋测绘,2003,23(5):24-26.
- [7] 王志东. Silas 和 Densitune 系统在航道工程中的应用[J]. 港口技术,2011,48(1):51-53.
- [8] 蔡耀军,孙云志,魏岩峻,等. 中国水利工程地质勘察科技发展前沿[J]. 水利学报,2005,12(S1):524-531.
- [9] 辛文杰,贾雨少,何杰. 港珠澳大桥沉管隧道试挖槽回淤特征分析[J]. 水利水运工程学报,2012,(2):71-78.
- [10] 程瑾,陈尚士,胡宝安,等. 一种中闭锁式泥土取样器:中国,ZL201020513399.0[P]. 2011-05-11.
- [11] 程瑾,陈尚士,赵海涛,等. 一种齿型取样器封口装置:中国,ZL201220330329.0[P]. 2013-01-02.
- [12] 陈尚士,程瑾,曹凯,等. 一种逆止封闭式取土器:中国,ZL201220330330.3[P]. 2013-02-06.
- [13] 闻邦椿. 机械设计手册[M]. 第5版. 北京:机械工业出版社,2010.
- [14] 钮建定,胡建平,张成,等. 淤泥质浮泥采集装置:中国,ZL201320430416.8[P]. 2013-07-18.