

自由落体贯入设备在疏浚准备和适航深度确定中的应用

高 亮,郑 江

(广州欧美大地仪器设备有限公司,广东 广州 510030)

摘要:自由落体贯入设备利用一种创新性的竖向剖面测量技术,在一个自由下落的轨道上对水下沉积层的深度、厚度、密度和强度进行测量。该设备以与轮船相似的速度侵入淤泥此,试验获取的反力将与船体穿过淤泥层时所受的阻力相当或者更大,通过强度参数可以对准确的适航深度进行优化。该设备可与声波法等配合使用,用于疏浚准备工作中,对疏浚方案进行优化,有效减少疏浚工作的费用。

关键词:自由落体贯入设备;适航深度确定;疏浚准备;密度;流变学

中图分类号:TV85 **文献标志码:**A **文章编号:**1004 - 6933 (2016) S1 - 0118 - 04

1 自由落体贯入设备介绍

自由落体贯入设备(图 1)的工作原理是在其自身重力作用下在沉积层内加速下滑,下滑贯入过程中,设备对水下沉积层进行测量分析,设备可穿过流状淤泥层和一定深度的固结淤泥层。设备重 7 ~ 10 kg,自由下落速度可达 6.5 m/s,长度为 0.9 m,直径 0.05 m,深度测量精度为 0.05 m。

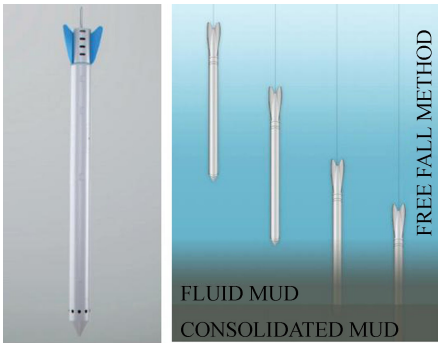


图 1 自由落体贯入设备

当前,欧洲的大部分港口通过密度测量来表征流状淤泥层的特性,与水的密度进行对比分析。淤泥由惰性颗粒如砂、粉土等,和反应颗粒如黏土、有机物材料等组成,淤泥密度的变化取决于组成淤泥的颗粒含量。在许多欧洲港口,用 1.2 t/m³ 作为淤泥层是否适航的标准,这个判断标准来源于淤泥密度和反力强度的关系。

淤泥流变是在外力作用下的弹塑性变形,自由落体贯入设备在贯入过程中外部力来源于重力,对

于淤泥层中船体来说,外部力来源于推进力。当设备贯入淤泥层中,存在两种形式的反力(图 2),第一种力作用在设备的圆锥体部分,将淤泥推开并使其变形;第二种力是当设备套管贯入到淤泥层中,淤泥将沿套管产生一个摩擦作用力。

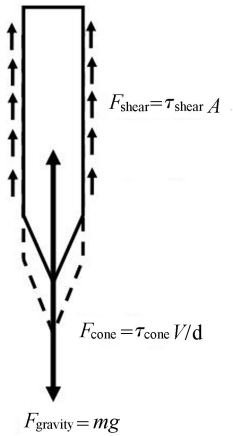


图 2 自由落体贯入设备上的作用力

密度和沉积层的流变通过在自由落体设备上独立的传感器装置进行测量。流变和密度的变化在时间上并不一致,因此没有一一对应的关系。压力传感器用于确定软弱沉积层中的孔压从而导出密度,这是必需的参数,因为新的淤泥层孔压力相当于淤泥层的荷载。设备上的加速度传感器数据用于确定速度和导出一个动态模型,动态模型可用来补偿外部力因素,如拖拉力,从而修正在淤泥层中的测量工作。设备输出结果是一个高精度的圆锥贯入阻力和剪切力,精度可达到 2%,在设备贯入过程中,每厘

米有多个数据采集点。圆锥形贯入阻力造成的能量损失是圆锥体贯入单位体积能量损失的总和,剪切应力造成能量的损失分布在套管经过每个单位深度的过程中。

图 3 为自由落体贯入设备在某一港口测量得到的参数,选用 1.2 t/m^3 作为试航深度的判别标准,由图 3 可见,不排水抗剪强度很明显表明这个点处于

高反力固结淤泥层。

图 4 为自由落体贯入设备在另外一个港口测量得到的参数,同样以 1.2 t/m^3 作为适航深度判别标准。这个港口不排水抗剪强度在具体水平上却是很低的,并且随深度的变化没有变化,表面可做开放性的选择。

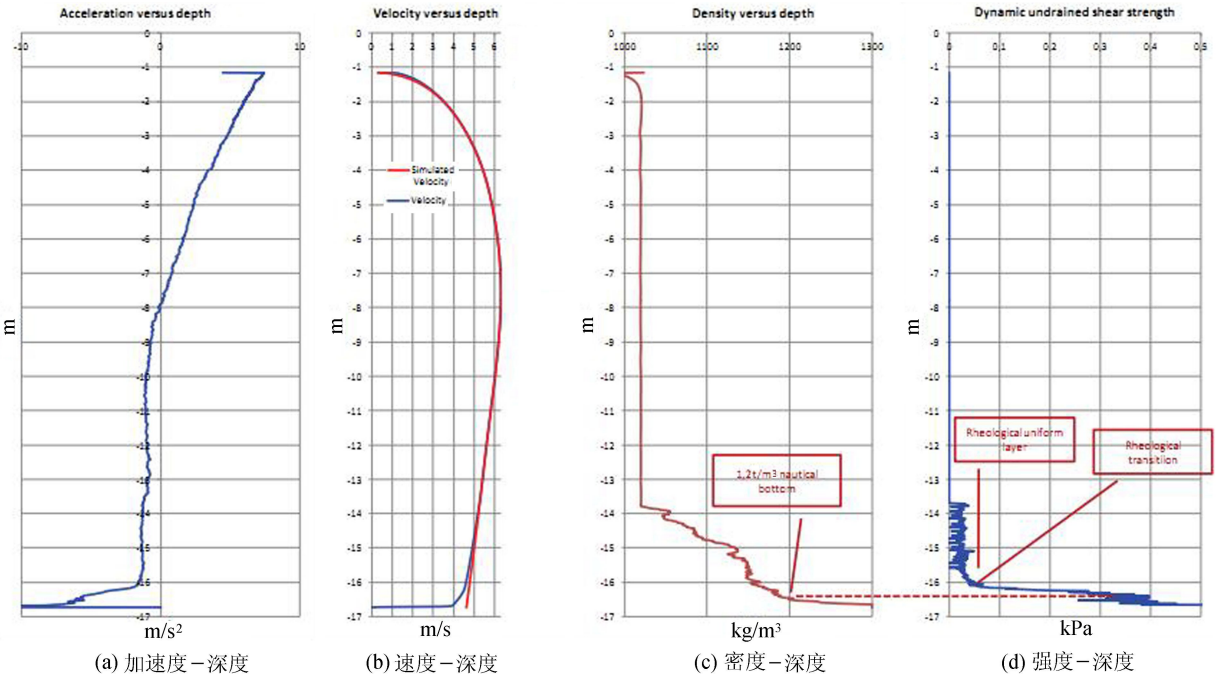


图 3 某港口沉积层特征曲线

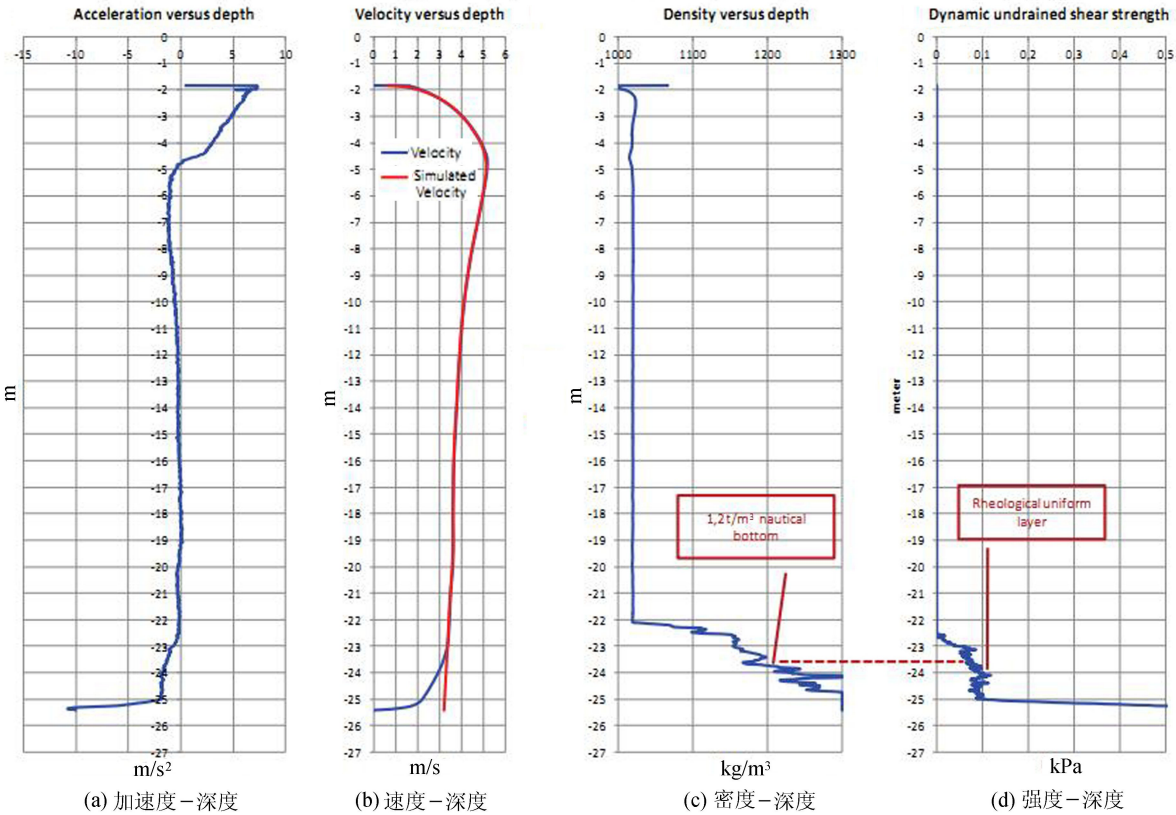


图 4 另一港口沉积层特征曲线

2 自由落体贯入设备的应用

2.1 应用领域

自由落体贯入设备可用来精确确定水下沉积层的深度和厚度,可作为多波束回声数据在沉积层结构和层理方面的补充信息。由图 5 可见,210 kHz 声波可确定沉积层的顶部,但 33 kHz 声波却不能确定适航的底部,在这样的情况下,可以利用自由落体贯入设备进行测量,在得到沉积层密度-强度曲线后,通过加速度计算可对沉积层进行准确描述。

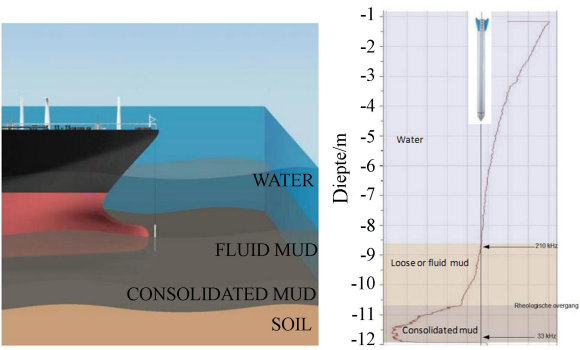


图 5 声学法的互补数据

自由落体贯入设备在软弱淤泥层中的运动特点与船体在淤泥中穿过时的特点相似,因此可利用自由落体贯入设备来预测船体在淤泥中穿行时的摩擦力。当船体通过淤泥层时,船体弓部影响区域与淤泥位移有关,船体底部的摩擦作用将很明显。根据 Abelev 等预测物体与淤泥层相互作用特点的另一个重要的参数是作用速度。在软弱淤泥层的开始几米中,自由落体贯入设备的平均作用速度为 5~6 m/s,因为更高的速度时,通过自由落体贯入设备计算的反力将超过船体实际的作用力。

2.2 应用实例

2.2.1 鹿特丹港

在鹿特丹港利用自由落体贯入设备进行的例行测量工作中,在一个沉积活跃区划分了测量网格,目的是对新沉积层的密度和强度的发展情况进行评价。最近 2 幅以月为间隔的多波束图表现了沉积层发展的真实情况(图 6)。一个最大差异为 1.5 m 的沉积层发展情况在监测之下,淤泥的最大堆积厚度

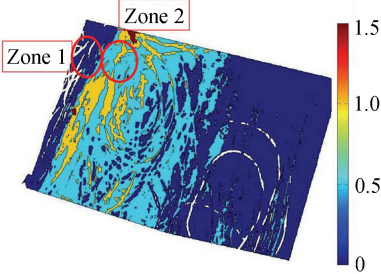


图 6 不同的多波束图

为 0.5~1.0 m,1.0 m 位置是以前疏浚施工时形成的沟壑重新被淤泥填满。

调查了 2 个区域,区域 1 在入口位置内部的西侧,没有新的沉积层生成(深蓝色);区域 2 在入口位置外部的西侧,新的沉积层堆积了超过 6 周。第一次测量命名为 T0,6 周后的第二次测量命名为 T1。

研究区域 1 的 101 位置已有淤泥层上部新沉积层密度和流变之间的关系,与 Staelens (2013) 的模拟试验进行对比分析,结果见图 7。

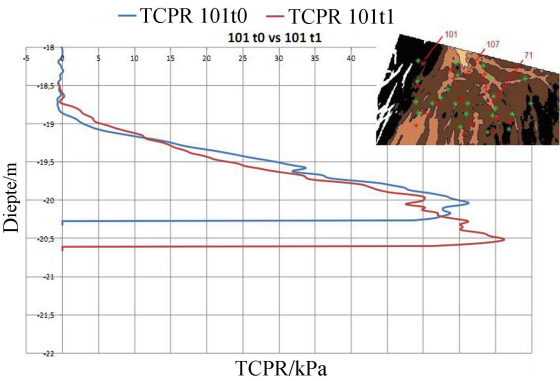


图 7 区域 1 的 101 位置 2 个测值对比

图 8 为区域 2 的 107 位置 2 次测量的数据,107 位置在多波束图上存在 1 m 左右的差异。在 T0 测量时,淤泥层的顶部位于 23.6 m,而在 T1 测量时,淤泥层的顶部位于 22.6 m。

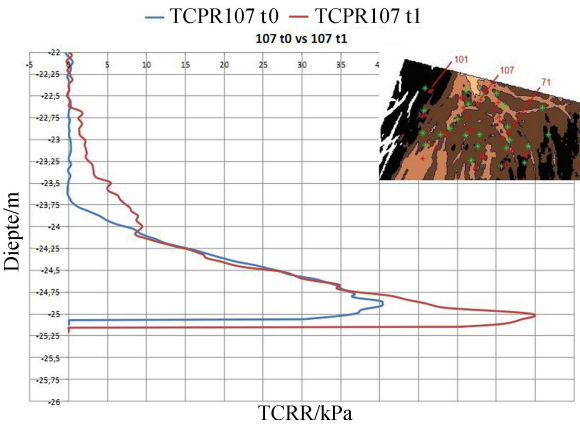


图 8 区域 2 的 107 位置 2 个测值对比

新淤泥层的圆锥体总的贯入阻力最大达到 8 kPa,其能量损失相当于剪切强度为 100Pa,被认为是适航淤泥的最大屈服强度。基于这些假定, Pianc (1997) 指出在屈服极限内的新沉积层对于船体来说仍然是可接近的。

在同一位置,利用自由落体贯入设备的竖向采样器测量密度,在区域 2 的 107 位置即新沉积层被测量的位置的 1m 处采集了试样,得到新淤泥层的密度曲线见图 9,可见从淤泥层的顶部到以下 1 m 范围内密度相同。水面下悬浮淤泥不同深度的密度

随时间变化见图 10。

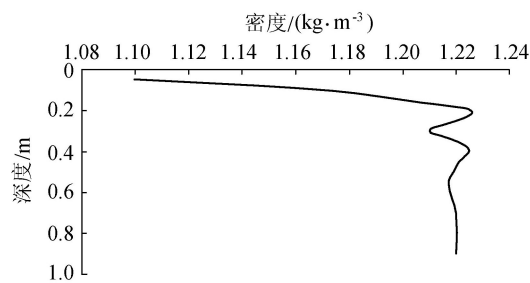


图 9 新淤泥层的密度曲线

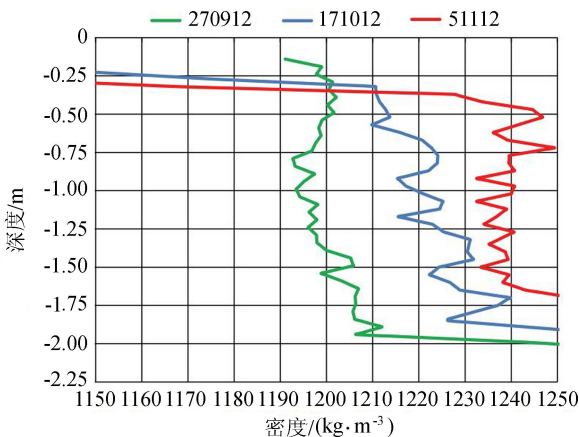


图 10 鹿特丹港水面下悬浮淤泥不同深度的密度随时间变化

2.2.2 贯入试验的外推

在鹿特丹港的试验中,进行了 24 次自由落体贯入试验,测量结果进行了插值处理,从 3D 强度模型中生成横截面图,图 11 中为取样位置的总体图,截取了第 400 行位置的横截面图。

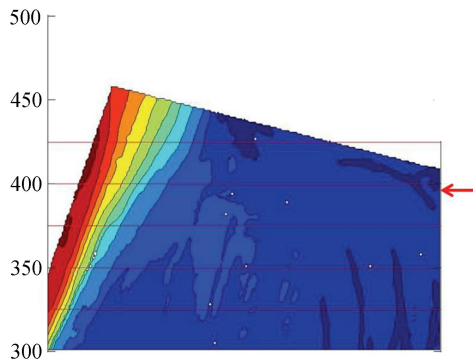
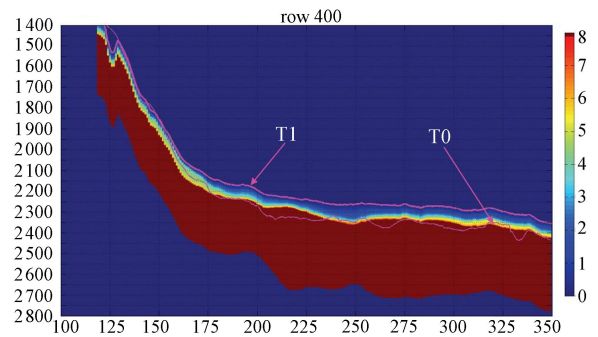


图 11 第 400 行位置的剖面图

图 12 为横截面图,2 条线显示了 T0 和 T1 测量时的多波线,区别是不同新旧程度的沉积层,可见沿着横截面的沉积层的强度仍然远低于 8KPa 的圆锥体贯入阻力或 100KPa 的剪切力。

2.2.3 疏浚准备中应用

Rotterdam 港用密度准则控制和评价疏浚工作效果,可以利用自由落体贯入设备。目标深度是 23.65m,当目标深度以上的沉积层密度超过 1.2 t/m³ 时,沉积层需要被清理,新沉积层满足疏浚的条件。



注:图例代表圆锥贯入阻力 (kPa),贯入阻力超过 8 kPa 的区域都显示为深色

图 12 贯入强度的插值图

在这个例子中,沉积层的顶部在 23.65 m 以上,平均密度为 1.22 t/m³ 从有利的角度看,沉积层非常的松软,剪切强度尚未达到 PIANC (1997) 年提出的 100Pa 的水平。

Staelens (2013) 的固结试验表明,在第一阶段,密度的发展要比强度的发展快,强度的发展是由疏浚时沉积层的排水系统和沉积层荷载引起的,而密度的发展只需要排水系统。因为绝大部分新鲜沉积层的厚度在 0.5 ~ 1.0 m,在这个案例中,沉积层上的荷载是非常低的,因此,强度的发展是非常慢的。这种现象在模型试验中也存在,模型试验和现场观测成果吻合,可准确的预测强度和密度的发展。参考密度和强度随时间的变化可对疏浚方案进行优化,有效减少疏浚工作的费用。

3 结 论

自由落体贯入设备可进入沉积层的深部,提供与沉积层强度和地层相关的准确参数和沉积层流变学的相关信息。利用自由落体贯入设备,原位试验可在不因取样而破坏淤泥层的情况下完成测量,可获得更好的测量结果。另外,自由落体贯入设备以与轮船相似的速度侵入淤泥此,试验获取的反力将与船体穿过淤泥层时所受的阻力相当或者更大,通过强度参数可以对准确的适航深度进行优化。

(收稿日期:2016 - 11 - 23 编辑:王 芳)

