

利用超声波测量沙床表面冲刷形貌的方法

杨 兵¹, 崔金声², 马建林¹, 万 云³

(1. 西南交通大学土木工程学院, 四川 成都 610031; 2. 中国科学院力学研究所水动力学与海洋工程重点实验室, 北京 100190;
3. 中铁十一局集团第一工程有限公司, 湖北 襄樊 441104)

摘要 根据超声波测距原理提出一种测量沙床冲刷形貌的方法, 并在此基础上开发了一套实现此方法的测试装置。详细介绍了该方法的原理、测量方案和测试装置。采用3种模型沙床对测量方法及装置进行测试, 结果表明, 该方法可在2 s内完成1个剖面(20个测点)的测量, 测量精度在0.8%以内, 测量探头可置于水体表面, 对沙床表面的冲刷影响很小, 即具有精度较高、测量时间短(可实现实时在线测量)、非接触式的特点。最后简要分析了影响该方法测量精度的环境因素和沙床形貌特征。

关键词 冲刷形貌; 超声波; 非接触测量; 沙床

中图分类号 TV149

文献标识码 B

文章编号 1006-764X(2011)S1-0078-03

在铁道、水利、海洋工程中, 沙土地基是结构物周围常见的地基类型。在水流作用下, 当床面剪应力达到一定值时, 沙土地基表面沙粒将由静止转为运动状态, 即泥沙起动。床面泥沙的运动将引起沙土地基表面形态的变化, 此现象就是冲刷^[1]。由于冲刷的出现, 安置于沙土地基中的结构物(如火车桥梁的桥墩)可能倾斜或松动, 从而给结构物的安全带来一定隐患^[2-4]。合理地预测结构物周围沙土地基的冲刷形态, 为结构物抗冲刷的工程设计提供科学依据是当前科研工作者面临的一大紧迫问题^[5-8]。目前实验室测量冲刷形态的方法主要有测针或钢尺法、经纬仪法、光电反射法、电阻法、自动跟踪地形法、超声波反射法、激光扫描法等^[9-10]。测针法和电阻法在测量时均需人工操作, 效率很低; 光电反射法、自动跟踪地形法从人工测量发展到自动测量, 实现了自动化操作, 但它们均需要探头接触测量面, 都属于接触式的单点测量方法, 对沙床形貌和流场有干扰; 激光扫描法可实现多点自动测量, 但无法实现水下地形的实时测量; 已有的超声波反射法能够实现无接触测量, 但都局限于单点测量, 效率不高。而某些类型的冲刷在冲刷起动的初始阶段冲刷剖面发展非常迅速, 此时需要快速测量整个冲刷剖面, 而目前已有的方法很难满足要求。

基于以上现状, 笔者提出一种高精度、非接触式测量沙床表面冲刷形貌的方法, 同时开发了一套相应的测试装置, 并采用3种模型沙床对该方法及装置的精度、灵活性、实时性进行测试。

1 超声波测量冲刷形貌的原理

在均匀介质中, 超声波的传播方向不变, 但当遇到介质边界或障碍物时, 超声波将发生反射。如果已知超声波在介质中传播速度, 同时能够知道超声波从声源传播到目标点后反射回声源的时间, 则声源到目标间的距离便可计算得到。假设超声波在介质中的传播速度为 c , 超声波垂直于目标点发射, 超声波从声源到目标点后反射回来的时间为 t , 则声源与目标点间的距离 s 可由式(1)计算:

$$s = \frac{1}{2}ct \quad (1)$$

若入射波与反射波有一夹角 θ , 即超声波从声源处不是垂直入射时, 式(1)可修正为

$$s = \frac{1}{2}ct \cos\left(\frac{1}{2}\theta\right) \quad (2)$$

对于精度要求较高的情况, 还应考虑温度对超声波传播速度的影响。根据相关研究, 超声波传播速度 c 与介质温度 T 存在以下关系^[11]:

c = 331.45\sqrt{1 + \frac{T}{273.16}} (3)

式中 :T 为绝对温度 ,K。

2 测量方案及装置简介

根据超声波测距原理 ,在沙床上方一定距离布置超声波发射和接收探头 ,测量沙床表面与发射探头间的距离 ,通过测量超声波从探头表面反射回来的时间和超声波传播速度可得到探头表面与沙床表面间的距离 ,从而可获得沙床表面测点处的高程 ,最后可得到测点处的冲刷深度。将多个探头沿直线布置 ,并将所有探头的数据线集中于中央控制器 ,由中央控制器统一控制每个超声波探头的开关操作 ,设定相邻 2 个探头工作的时间 ,则从第 1 个探头开始工作到最后 1 个探头停止工作的时间便可控制。沿直线布置的各探头在设定时间内工作 1 次 ,则 1 个测量剖面便可得到。探头布置方式见图 1。

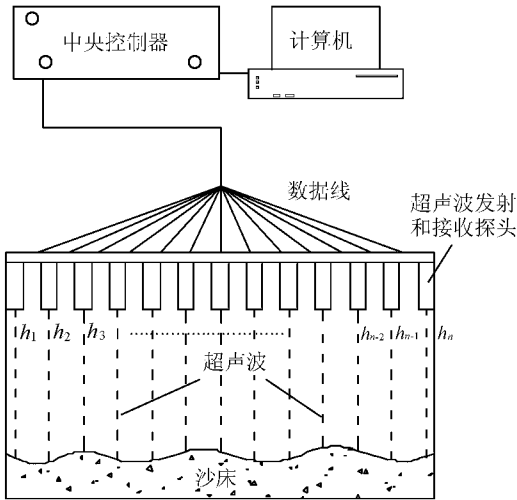


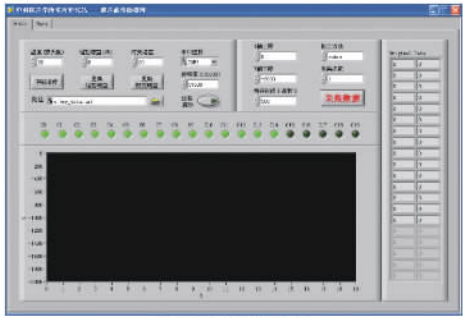
图 1 多个超声波传感器探头沿直线布置示意图

根据上述方案 ,开发了相应的测量装置。此装置主要由中央控制器、传感器阵列(图 2(a))和数据采集软件(图 2(b))构成。中央控制器前面板上布设有电源开关、电源指示灯、远程控制端口和计算机通信的数据端口 ,控制器后面板上设置有与各传感器通信的数据端口。数据采集软件由 Labview 图形语言编制而成 ,实现硬件参数的设置和数据采集的功能。该装置工作程序如下 :由电脑通过中央控制器前面板上的数据通信端口发送程序指令给中央控制器 ,要求某些传感器开始工作 ,则被要求工作的传感器接到指令后按一定时间间隔依次工作一次 ,每个传感器的信号由中央控制器中的 CPU 进行处理和运算 ,并将处理好的传感器信号以距离形式返回给外部电脑绘制成剖面。传感器阵列以单频扫描方式工作 ,在本装置中的 20 个传感器在 1 s 内可以分

别完成 1 次工作 ,则测量完 1 个剖面并获得数据绘制成剖面的所需时间不超过 2 s。



(a) 超声波传感器探头阵列



(b) 数据采集界面

图 2 测量装置实物照片

3 试验结果分析与讨论

为了检验本文所讨论方法的有效性 ,给定了已知剖面形状的沙床模型 ,制作沙床模型的沙土中值粒径 d50 = 0.38 mm ,采用上述测量装置对模型的 3 种表面形貌进行测量。在静态清水的试验测试中 ,每个剖面的测量均在 2 s 内完成 ,所得结果如表 1 所示。从表中数据可看出 ,测量的形貌与实际形貌吻合较好 ,测量点高程与实际高程的最大误差为 3 mm ,精度约为 0.8% ,此精度能满足绝大多数试验的要求。对于浑水状态(肉眼看不见水中物体)和运动水流状态(流速在 0.46 m/s 范围内)也进行了测量 ,所得结果如表 2 所示。分析发现 ,运动水流对测量结果影响很小 ,与静水测量结果相比 ,二者间的误

表 1 模型表面实际高程与测量高程 cm

测点横坐标	实际高程	测量高程	测点横坐标	实际高程	测量高程	测点横坐标	实际高程	测量高程
0.0	-40.3	-40.0	0.0	-41.4	-41.2	0.0	-44.3	-44.6
3.5	-40.5	-40.3	3.5	-40.1	-40.0	3.5	-43.2	-43.1
7.0	-40.5	-40.3	7.0	-41.6	-41.3	7.0	-41.8	-41.8
10.5	-40.4	-40.4	10.5	-42.3	-42.0	10.5	-40.6	-40.3
14.0	-40.5	-40.3	14.0	-40.4	-40.4	14.0	-38.7	-38.5
17.5	-40.6	-40.5	17.5	-39.8	-39.6	17.5	-40.7	-40.5
21.0	-40.5	-40.4	21.0	-42.0	-41.9	21.0	-42.4	-42.1
24.5	-40.6	-40.3	24.5	-41.1	-40.4	24.5	-41.1	-40.9
28.0	-40.4	-40.2	28.0	-39.9	-39.7	28.0	-39.3	-39.3
31.5	-40.6	-40.2	31.5	-41.5	-40.7	31.5	-37.8	-37.6
35.0	-40.3	-40.3	35.0	-40.2	-39.9	35.0	-37.7	-37.5
38.5	-40.4	-40.2	38.5	-40.5	-40.3	38.5	-39.9	-39.8

表 2 模型表面测量高程 cm

测点 横坐标	清水条件测量高程		浑水条件测量高程	
	静水	动水	静水	动水
0.0	-64.2	-64.2	-64.3	-64.2
3.5	-64.2	-64.2	-64.3	-64.3
7.0	-64.1	-64.1	-64.2	-64.2
10.5	-64.2	-64.2	-64.3	-64.3
14.0	-64.2	-64.3	-64.3	-64.3
17.5	-64.2	-64.2	-64.3	-64.3
21.0	-64.2	-64.2	-64.2	-64.2
24.5	-64.3	-64.3	-64.3	-64.3
28.0	-64.2	-64.2	-64.3	-64.3
31.5	-64.3	-64.2	-64.3	-64.3
35.0	-64.2	-64.2	-64.3	-64.3
38.5	-64.1	-64.1	-64.2	-64.2

差在 1 mm 以内,而大部分点的数值是相同的;浑水水体对测量结果有一定影响,与清水条件下的测量值相比,二者间误差在 1 mm 左右。试验中还发现若浑水浓度在空间分布很不均匀,则测量的精度会很差。

由于本试验中所用超声波发射和接收探头的直径为 3 cm,再考虑到安装的因素,因此测点间的水平距离大于 3 cm,又由于探头具有一定面积,所测量的点也具有一定面积,故对于形貌变化剧烈且坡面倾角较大的沙床,本文所述方法及装置不能准确测量其形貌。而对于床面连续变化且坡面倾角较平缓(坡角一般小于 30°)的沙床,本文所述方法及装置能得到满意的测量结果。

4 结 语

针对二维冲刷剖面,笔者提出一种测量沙床表面冲刷形貌的高精度、高效率、非接触式的方法,详细描述了该方法的测量原理和实施方案,同时开发了相应的测试装置。初步测试结果表明,本文所述方法在静态清水中的测量精度可在 0.8% 以内;运动水流(流速在 0.46 m/s 以下)对测量结果影响很小,可忽略不计;浑水水体对测量结果有一定影响,可引起测量误差在 0.25% 以内;所开发的测试装置在 2 s 内可完成 20 个点的测量,可满足一般室内试验(如水槽试验)实时在线测量的要求。

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.

[2] CHIEW Y M. Mechanics of local scour around submarine pipeline[J]. Journal of Hydraulic Engineering ,ASCE ,1990 ,116(4) 515-529.

[3] SUMER B M ,JENSEN H R ,MAO Y ,et al. Effect of lee-wake on scour below pipelines in current[J]. Journal of Waterway , Port ,Coastal and Ocean Engineering ,1988 ,114(5) 599-614.

[4] SUMER B M ,FREDSOE J. The mechanics of scour in the marine environmen[M]. Singapore :World Scientific ,2002.

[5] 杨兵,高福平,吴应湘.单向海流载荷下海底管道局部冲刷试验研究[J].工程力学 ,2008 ,25(3) 206-210.

[6] 杨兵,高福平,吴应湘.海流引起海底管道悬空的数值模拟[J].中国造船 ,2005 ,46(增刊) 221-226.

[7] GAO F P ,YANG B ,WU Y X ,et al. Steady currents induced seabed scour around a vibrating pipeline[J]. Applied Ocean Research ,2006 ,28(5) 291-298.

[8] SUMER B M ,TRUELSEN C ,SICHMANN T ,et al. Onset of scour below pipelines and self-burial[J]. Coastal Engineering ,2000 ,44(4) 313-335.

[9] 王振先,金欢阳.实验室用超声地形测量仪[J].海洋工程 ,2001 ,19(1) 94-98.

[10] 陈诚,唐洪武,陈红,等.国内河工模型地形测量方法研究综述[J].水利水电科技进展 ,2009 ,29(2) :76-94.

[11] 中国机械工程学会无损检测分会.超声波检测[M].北京:机械工业出版社,2000.

(收稿日期 2011-06-12 编辑:骆超)

(上接第 77 页)然而,谏壁节制闸滚轮制作安装时却没有采用这样的工艺。

5.2.5 启闭力计算

计算启闭力时要注意一些细节问题,如止水材料一般都预留压缩量,在计算自重较小的闸门启闭力时建议将压缩橡皮而引起的摩阻力计入^[3];闸门自重计算时若有拉杆则应计入拉杆自重,计算闭门力时还应考虑浮重;计算启闭力时几个滑动摩擦系数要取大值等^[1]。

谏壁节制闸启闭力不足的实际原因已查明,当前通过应急运行管理也基本能够实现常规水情下的控制运用。不过,目前已启动实施的全国大中型水闸除险加固工程应该从中吸取经验教训,在工程设计和施工中避免类似事件的再次发生。

参考文献:

[1] 水利部建设与管理司,水利部水利建设与管理总站.水闸工程通用法规标准选编[M].北京:中国水利水电出版社,2009 503-513,522-527,544,614,1119-1123,1130-1138.

[2] 范崇仁.水工钢结构设计[M].北京:中国水利水电出版社,2000 34-36.

[3] 刘细龙,陈福荣.闸门与启闭设备[M].北京:中国水利水电出版社,2003 77-83,118-119.

(收稿日期 2010-10-28 编辑:高建群)