

Design and Application of the Bed Load Measuring Device for Medium and Small Rivers

Miao Zhou, Qin Wang, Rufu Zhou, Jian Tang

Jingjiang Bureau of Hydrological and Water Resources Survey, Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission, Jingzhou Hubei
Email: 773732638@qq.com

Received: Jul. 13th, 2020; accepted: Jul. 28th, 2020; published: Aug. 4th, 2020

Abstract

The bed load movement is very complex, and the bed load sediment is mainly concentrated in the flood period, so the bed load sediment measurement and device development are still a world problem and hot issue. This paper describes the design of an accurate bed load testing device for small and medium-sized rivers, the bed load testing device includes three parts: bed load collector, bed load calibrator and shipborne joint control support. Meanwhile, it discusses the specific operation and testing methods of bed load testing device, which can effectively solve the problem of "no way to measure, no substance available for test and inaccurate test" in the bed load of small and medium-sized rivers and provide a certain reference for river bed load testing under new water and sediment conditions.

Keywords

Medium and Small Rivers, Bed Load, Collector, Calibrator, Joint Control Support

中小河流推移质测验装置的设计与应用

周苗, 王琴, 周儒夫, 唐剑

长江水利委员会水文局荆江水文水资源勘测局, 湖北 荆州
Email: 773732638@qq.com

收稿日期: 2020年7月13日; 录用日期: 2020年7月28日; 发布日期: 2020年8月4日

摘要

推移质运动极其复杂, 且推移质泥沙又主要集中在洪水期间, 因而推移质泥沙测验及其装置研制仍是一个世界
作者简介: 周苗, 女, 助理工程师, 主要从事水文测报工作。

难题和热点问题。本文讲述了一种适用中小河流推移质精准测验装置的设计,主要由推移质采集器、推移质校准器和船载联控支架等三部分组成,同时论述了推移质测验装置的具体操作和测验方法,可有效解决中小河流推移质“无法测、测不到、测不准”的难题,为新的水沙条件下河流推移质测验提供一定借鉴和参考。

关键词

中小河流, 推移质, 采集器, 校准器, 联控支架

Copyright © 2020 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

泥沙输移问题一直是国内外泥沙学者研究的热点问题。在推移质运动理论研究方面,尽管取得了丰富的研究成果,但大多成果主要基于单颗粒泥沙运动特性,很少有从群体泥沙颗粒运动角度去探索推移质输移规律,尤其是从群体颗粒内部颗粒间的作用力角度去考虑;对于推移质运动特性的认识,仍停留在对相关现象的定性描述,缺乏对这种现象产生原因的认识,既有学科面窄,无法与基础科学、尖端技术等相比的原因,也有学科本身问题复杂、难度大,测量仪器不能满足科研需求的原因[1]。而在推移质试验方面,主要有水槽输沙实验、推移质输沙率公式计算和现场直接测验等三种方法,而现场直接测验法,迄今为止仍然是确定推移质输沙率的一种不可替代的方法[2]。

推移质运动极其复杂,特别是推移质泥沙又主要集中在洪水期间,如沙市站与监利站的实测推移质泥沙年输移量位于137~388万t之间,而发生在汛期5~10月的输移量占比超过全年的75% [3]。由于汛期洪水浑浊、流速大,加大了推移质测验难度,因此河流泥沙测验及其测验装置仍是一个世界难题。目前推移质现场直接测验国内外方法较多,主要分为器测法和坑测法两大类。器测法是将一种专门设计的机械装置或采样器放至河床直接测量推移质沙样的方法,按采集方式不同分网篮式、盘盆式和槽坑式等四种类型,但总体上采样器总重量多超过250 kg,适用于专用水文测船在大江大河的推移质泥沙测验。而坑测法主要是在河床上沿横断面设置若干个固定式测坑或测槽进行测验推移质,一般适用于浅水、低流速的小河流或沟渠。对于绝大多数中小河流,在无水文测船、较大水深条件下,已有的推移质采样器将无法投入使用[4] [5] [6] [7]。为有效地解决中小河流推移质“无法测、测不到、测不准”的技术难题,研制一种采用压差式与槽坑式相结合、适用于中小河流的推移质测验精准装置十分必要。

2. 工作基本原理

根据负压原理,将采样器出口面积设计成大于进口面积,从而形成压差,使推移质泥沙进入器内。由于器身阻水和进入采样器口门的流速与天然流速不一致,在采样器口门前易将形成一个有别于天然情况的特殊流场(如图1)。

当推移质进入该流场后,推移质运动速度和方向将发生改变,加之采样器对河床的伏贴程度和口门周边的阻力,进入采样器的推移质泥沙与自然输移的泥沙在数量和级配上会有所不同,因此在推移质采样过程中,实质上是推移质泥沙自身惯性力、口门前的流场力及口门周边的相互作用的过程。这种压差式采样器,易造成推移质测验结果总是比实际情况偏大,需要在不同水沙条件下通过器测法与坑测法进行比对,不断调整进水口与出水口的面积比例,改善进口流速系数,并建立相关率定关系,保证推移质测验成果的可靠性、准确性[2]。

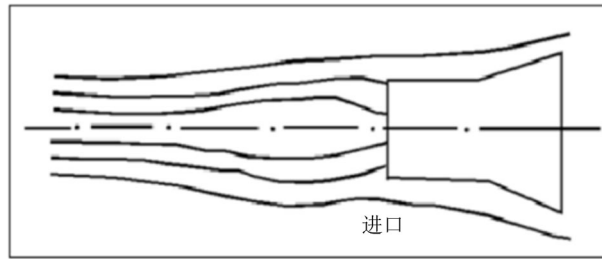


Figure 1. Diffusion and contraction of streamline in front of collector entrance

图 1. 采集器口门前的流线扩散和收缩

3. 装置的设计

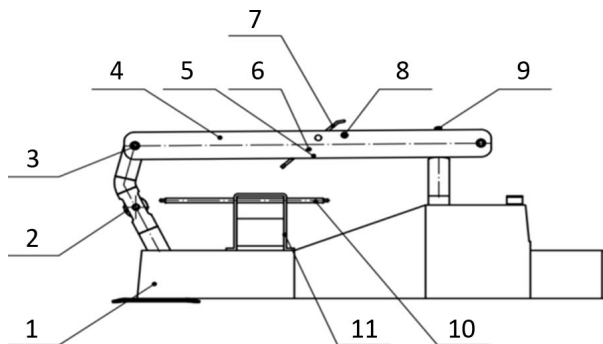
3.1. 总体结构

测验装置包括大口门推移质采集器、推移质校准器和船载联控支架等三部分组成。推移质采集器用于获取某一时段内河床底面及距底面 10 cm 以内水体中推移质沙量；校准器是在浅水区用以验证推移质采集器获取推移质的能力及准确度，并可建立相关率定关系，用以改算河流推移质输沙量；船载联控支架用于采集器与水上平台的固定连接与升降控制，实现机械化操控。

3.2. 主要部件及作用

1、推移质采集器

推移质采集器构造如图 2、图 3 所示，主要包括采样桶，其前端设置有前盖，尾端设置有后盖，且前盖和后盖的上端均通过铰接与采样桶进行连接，采样桶的上方安置有横梁板，呈平行设置有两个，横梁板的尾端与焊接在采样桶尾部上表面的连接杆连接，且横梁板与连接杆之间设置有隔套，横梁板的前端与焊接在采样桶前部上表面固定连接，且两个横梁板的前端之间通过螺钉连接，并在螺钉上设置有套筒，采样桶的中部上表面通过螺丝固定连接有支架，支架的顶端通过转轴与拉杆的中部进行转动连接，同时在两个横梁板中部之间安装有触发板，横梁板通过中部设置的第二无头销轴与绞车的钢丝绳进行连接。前盖通过门控钢丝穿过连接杆中部安装的滑轮与拉杆的一端进行连接，且拉杆的另一端通过门控钢丝与设置在横梁板上的第一无头销轴进行连接。后盖通过门控钢丝穿过套筒与设置在横梁板上的第三无头销轴进行连接。



1.采样桶；2.滑轮；3.横向内六角圆柱头螺钉；4.横梁板；5.第一无头销轴；6.第二无头销轴；7.触发板；8.第三无头销轴；9.竖向内六角圆柱头螺钉；10.拉杆；11.支架；12.后盖；13.套筒；14.施必牢六角兰面螺母；15.前盖；16.隔套

Figure 2. Bed load sampler design drawing (side view)

图 2. 推移质采集器设计图(侧视)

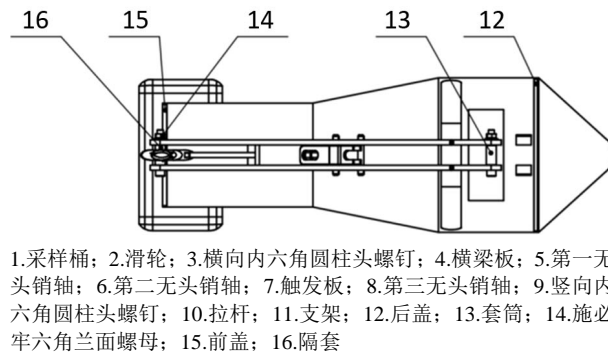


Figure 3. Bed load sampler design drawing (top view)
图 3. 推移质采集器设计图(俯视)

入水前，打开采集器如图 4、图 5 所示的前盖门，使用拉杆和插销固定前盖门；再使用套筒，打开后盖门。当采集器平稳放至河床时，受压差作用水流携推移质不断进入采样桶，并从后盖向上排水，泥沙随水流方向的变化及自重影响而下沉。当需结束样品采集时，通过绞车与采样器连接的钢丝绳上内套击锤(自重 0.5~1 kg)打击触发板带动第一无头销轴与第三无头销轴脱落，瞬间完成采集器的前后窗门同时关闭。待仪器绞出水面，打开前门倒出推移质样品，如此循环反复操作。前后门上装有优质橡胶密封垫，确保采样器无泄漏。

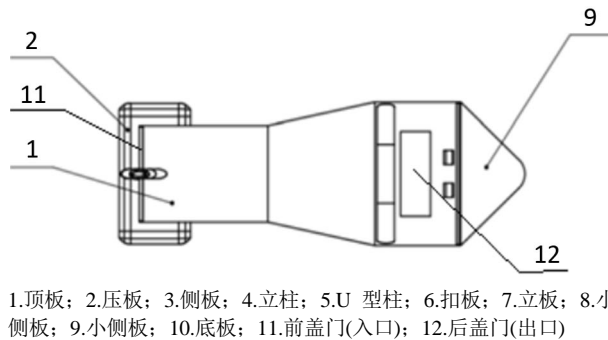


Figure 4. Bed load sampler structure (top view)
图 4. 推移质采样器结构图(俯视)

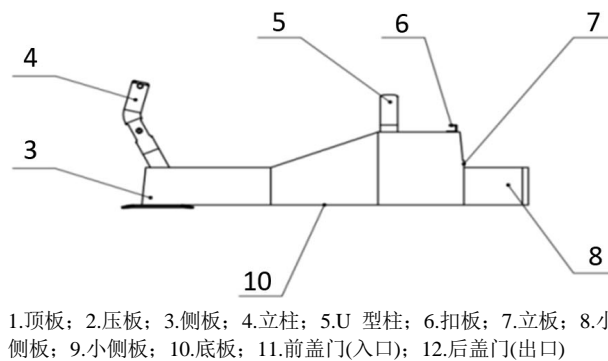


Figure 5. Bed load sampler structure (side view)
图 5. 推移质采样器结构图(侧视)

为适应中小河流小型船只、水流条件及推移质特性，采集器器身长度为 110 cm、最大宽度 30 cm，内腔容量 24 L，外形以流线型设计，以减小水体阻力，且总重量是其他推移质采样器的 1/10~1/3。采集器进口口门为 20 cm (宽度) × 10 cm (高度)，其口门宽度较其他采集器增加了一倍，一方面增加推移质输沙量获取，另一方面

适度减小进口流速系数,使口门进口流速与天然流速基本接近。采集器口门前端有压板,使采集器口门与河床底面完全伏贴,以减少水流阻力和扰动作用,以及使口门前不产生明显的淘刷或淤积。采样器尾部安装的小型双尾翼,具有良好的导向性和平衡性,能保证口门与水流垂直,同时能稳定地搁置在河床上,不产生滑动、翻转、飘离床面现象。为满足不同水流条件,在采样器器体的两侧设计两组钢栓,可加载不同铅鱼块,以增加足够重量保持在河流中稳定性,保证推移质取样的真实性。

2、校准器

由沉积箱和密封盖构成(如图6),沉积箱呈锥形状,密封盖卡放在沉积箱的顶端开口处;沉积箱与密封盖的侧边均为弧形状,且在沉积箱的两侧距顶边缘7 cm下方开挖 8×6 cm长方口,内外层均安装小孔滤网。内外层均安装的小孔滤网,使内外压保持一致,并减少对水流的阻力,以确保水流的流动不会受到影响。

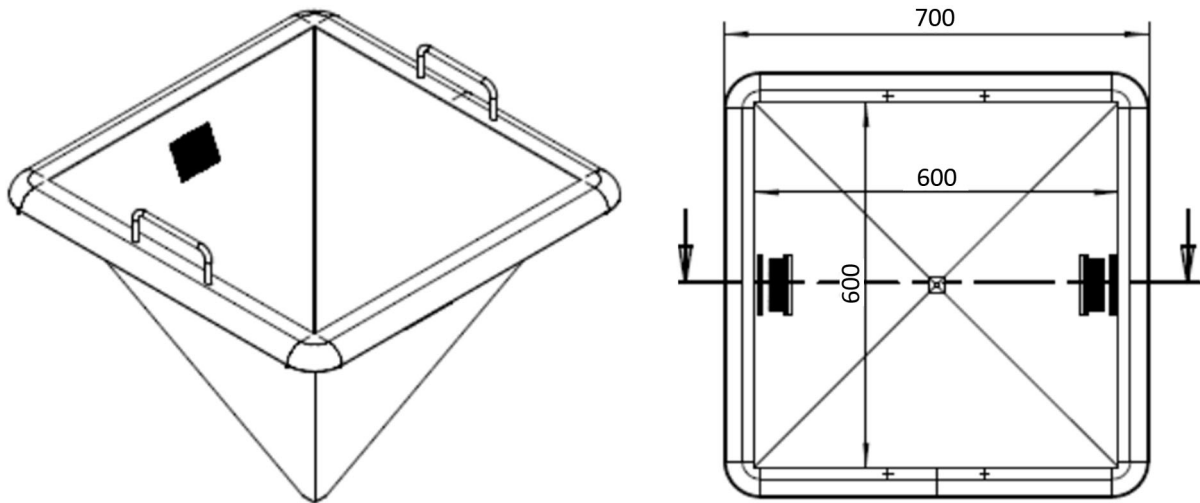


Figure 6. Figure 4. Bed load calibrator construction (Sedimentation tank, Sealing cover)

图6. 推移质校准器构造(左图为沉积箱;右图为密封盖)

在浅水沙质河床相对平缓区域(如洲滩边沿地带,水深宜小于60 cm),将校准器预埋河床中,且沉积箱边缘与河床表面齐平,待沙质河床基本恢复原状后,将密封取出,与推移质采样器平行同步测验,并通过观测河段内多点、多时段同步观测,验证两者获取推移质输沙量能力,并通过率定方法进行改算(推移质校准器为河流推移质输沙量提供基准)。

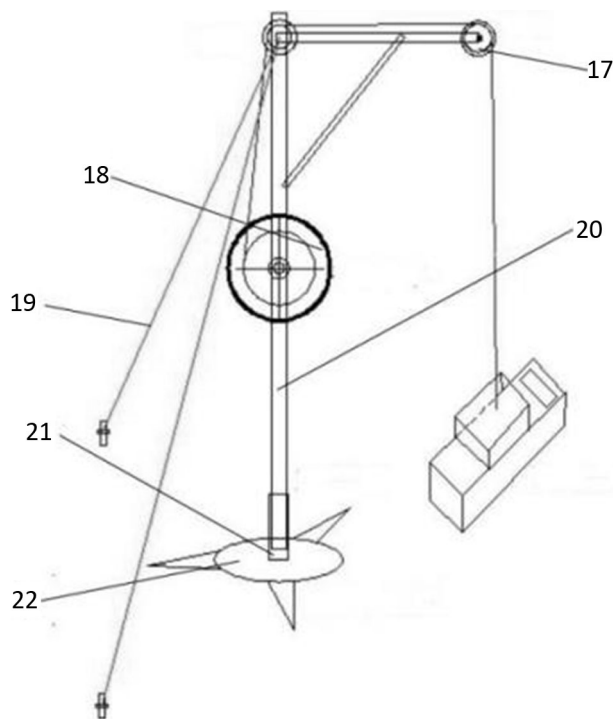
3、船载联动支架

如图7所示,由连接支撑架、活动转轴与焊接支架等三部分构成。连接支撑架的横杆两端分别转动连接有滑轮,连接支撑架的竖杆上安装有手摇绞车,手摇绞车上所缠绕的绞车钢丝绳穿过滑轮与采样器进行连接,连接支撑架的底端通过活动转轴与焊接在船只甲板上的船只焊接支架进行连接,且连接支撑架的顶端通过船只固定钢丝与船只甲板进行连接。整套装置轻便,可与小型船只稳固连接,适合中小河流推移质测验工作。

3.3. 技术参数与制作材料

1、主要技术参数

- 1) 快速准确获取河流沙质推移质输沙量;
- 2) 设计自重为: 20~30 kg;
- 3) 挂载配重 20~40 kg;
- 4) 允许最大流速 3 m/s;



17.滑轮; 18.手摇绞车; 19.船只固定钢丝; 20.连接支撑架; 21.活动转轴; 22.船只焊接支架

Figure 7. Structural diagram of shipboard joint control support
图 7. 船载联控支架构造示意图

5) 最大水深 10 m。

设备不受船舶部位限制，在各种小型船只无电力条件下安装。

2、制作材料

采样器主要采用新型高强度不锈钢材料，配重块采用铅料，其他设备采用了不锈钢、连接法兰等，装备整体结构连贯、紧凑、灵敏与适用，拆装方便，易于维护保养。

4. 应用实例

国家重点研发计划课题“河流通量约束下兴利调度与水沙平衡及水生态健康调控”广东东江沥口枢纽坝下河段底沙推移质观测研究项目，测验河段位于东江沥口枢纽坝下 15 km 河段范围内，床沙断面间距按 1 km 大致布设共计 18 个；推移质测验断面布设 4 个，即猛虎跳墙浅滩首尾各 1 个、岚派浅滩和横岭浅滩中间部位各 1 个。每个推移质断面根据实际输沙带选取 5 个测点，中间点位采取器测法(推移质采集器)，两侧的 4 个点位采取坑测法(推移质校准器)，同时两侧的 4 个点位还分别采用器测法与坑测法同步获取推移质输沙率，并对三者测验结果进行对比分析。在推移质测验时，采用流速仪同步测验对应点流速，以分析水文要素与推移质之间的关系。另外还选取部分推移质典型样品进行粒径级配分析。2019 年 12 月根据现场底沙推移质多少情况，测验时间按 10 min、20 min、30 min、60 min 分组实施。上述断面实测最大单宽输沙率 9.93 g/s.m，最小单宽输沙率为 0。各断面获取三组推移质输沙率相关性较好，满足相关规范精度要求[8]。

5. 结束语

随着中小河流水电工程的梯级开发及水土保持作用等影响，河流水体中悬移质含沙量大幅减少，推移质所占河流搬运物比例日渐增加，加强中小河流推移质测验工作越来越紧迫。该推移质精准测验装置，较好地适用

于中小河流推移质样品采集,能有效地解决新的水沙条件下中小河流推移质“无法测、测不到、测不准”的技术难题,且能有效保障推移质采集样品质量,具有较好的推广运用价值。

基金项目

堤防险情演化机理与隐患快速探测及应急抢险技术装备(2017YFC1502600)。

参考文献

- [1] 张根广,周双,王愉乐,刘余.泥沙输移问题研究进展与展望[J].水利与建筑工程学报,2019,17(4):8-15
ZHANG Genguang, ZHOU Shuang, WANG Yule and LIU Yu. Research progress and prospect of sediment transport. Journal of Water Conservancy and Construction Engineering, 2019, 17(4): 8-15. (in Chinese)
- [2] 刘德春,周建红.川江推移质泥沙观测技术研究[M].武汉:长江出版社,2012.
LIU Dechun, ZHOU Jianhong. Study on observation technology of bed load and sediment in Chuanjiang River. Wuhan: Changjiang Press, 2012. (in Chinese)
- [3] 王洪杨,姚仕明,周儒夫.三峡水库下游荆江河段推移质输沙率计算方法分析[J].泥沙研究,2017(1):6-11.
WANG Hongyang, YAO Shiming, ZHOU Rufu. Analysis on calculation method of bed load sediment transport rate in Jingjiang River reach downstream of Three Gorges Reservoir. Sediment Research, 2017(1): 6-11. (in Chinese)
- [4] 田永生,范中海.典型推移质输沙率计算方法概述[J].东北水利水电,2007(11):40-42.
TIAN Yongsheng, FAN Zhonghai. Summary of calculation method of typical bed load sediment transport rate. Northeast Water Conservancy and Hydropower, 2007(11): 40-42. (in Chinese)
- [5] 韩其为.推移质中的几个理论问题研究[J].中国水利,2004(18):48-52.
HAN Qiwei. Study on several theoretical problems of bed load. China Water Conservancy, 2004(18): 48-52. (in Chinese)
- [6] 刘德春,高焕锦,朱君国.AYT型砾卵石推移质采样器试验研究[J].人民长江,2003(7):26-27+37.
LIU Dechun, GAO Huanjin, ZHU Junguo. Experimental study on AYT gravel bed load sampler. People's Yangtze River, 2003(7): 26-27+37. (in Chinese)
- [7] 易定嵘,程代忠.三峡库区卵石推移质观测方法[J].中国水运,2007(3):48-49.
YI Dingrong, CHENG Daizhong. Observation method of pebble bed load in Three Gorges Reservoir area. China Water Transport, 2007(3): 48-49. (in Chinese)
- [8] 唐剑.广东东江沥口枢纽坝下河段底沙推移质现场观测报告[C].长江委水文局荆江水文水资源勘测局,2020.
TANG Jian. Field observation report on bed load of bottom sediment at the lower reach of Lijiou Junction of Dongjiang River in Guangdong Province. Jingjiang Bureau of Hydrological and Water Resources Survey, Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission, 2020. (in Chinese)