

ICS 号
CCS 号

团体标准

T/SHSSW 001-2024

无人船流量测验技术规范

Technical specification for discharge measurement of unmanned
surface vehicle

2024-02-29发布

2024-04-01实施

上海市水文协会 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本规定	2
5 测验系统	2
5.1 系统组成.....	2
5.2 功能要求.....	2
5.3 性能指标.....	3
6 测验要求	3
7 流量流速测验	4
7.1 大断面测量.....	4
7.2 流量测验.....	4
7.3 流速测验.....	5
7.4 误差来源与精度要求.....	5
8 无人船维护与保养	5
附录 A（规范性）无人船流量流速测验记载表	6
附录 B（规范性）无人船设备故障记载表	7
附录 C（规范性）无人船定期维护与保养记录表	8

前 言

本文件按 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由上海市水文协会提出并归口。

本文件起草单位：上海水辰信息科技有限公司

长江水利委员会水文局长江口水文水资源勘测局

太湖流域管理局水文局（信息中心）

上海华测导航技术股份有限公司

上海市青浦区水文勘测队

河海大学水文水资源学院

上海达华测绘科技有限公司

上海博优环境科技发展有限公司

杭州开闳流体科技有限公司

本文件主要起草人：钟镇龙 谢丽艳 徐卫东 许宝华 刘桂平 黎忠林 王 珏 秦 红
刘传杰 刘金涛 陈 林 金 松 刘 敏 谢 炜 傅 琰 吴 彬
宋沁文 毛新伟 赵 博 韩萌萌 陈曦远 朱佳庆 王 露 潘与佳
周春霖 王辰鹏 韦双慧 刘大伟 程公德 朱巧云 薛剑锋 丁国川
施晓文 廖志丹 周 密 韩小乐 张兴强 张正昌 许立忠 季同德
房振南

本文件为首次发布。

无人船流量测验技术规范

1 范围

本文件规定了无人船流量测验的系统组成、性能指标、测验要求、测验方法、船只维护与保养等内容。

本文件适用于采用小型电动无人船搭载声学多普勒流速剖面仪 (Acoustic Doppler Current Profiler, 简称 ADCP) 对中小河流、湖泊 (荡)、水库等水体进行的流速流量测验及数据处理等工作, 其它水体的无人船流量测验可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中, 注日期的引用文件, 仅该日期对应的版本适用于本文件; 不注日期的引用文件, 其最新版本 (包括所有的修改单) 适用于本文件。

GB/T 50095 水文基本术语和符号标准

GB 50179 河流流量测验规范

SL 257 水道观测规范

SL 732 感潮水文测验规范

T/CHES 61 声学多普勒流量测验规范

3 术语和定义

GB/T 50095 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

无人船 unmanned surface vehicle (USV)

遥控或自主航行的非载人小型水面船艇。

3.2

手动模式 manual mode

使用遥控器操作无人船进行流量测验的模式。

3.3

自动模式 auto mode

无人船按照预定断面自动进行流量测验的模式。

3.4

数据缺失 data dropout

因各种因素导致的流速流量测验数据缺失或者异常现象，在 ADCP 数据采集软件终端上显示流量剖面 and 流速剖面呈空白状。

3.5

续航里程 endurance mileage

无人船在最大动力储备下可连续航行的总里程。

4 基本规定

4.1 无人船的船体结构、通信方式及设备、导航控制、数据采集、安全性等应满足流速流量测验任务的需求。

4.2 采用的测验仪器应检定或校准合格，并在有效期内。

4.3 测验人员应经过技术培训，掌握无人船及仪器设备的操作技能、配套软件使用、常见故障检查与排除、日常维护保养等技术。

4.4 测验前应进行基础资料收集和现场踏勘，踏勘工作除应符合 T/CHES 61 的要求外，还应了解作业范围内无人船投放与回收条件及是否存在测量通信干扰源。

4.5 测验前应编制测验方案。测验方案宜包括下列内容：

- a) 项目概况、测验目的与任务。
- b) 测验区域概况。
- c) 编制依据。
- d) 采用的平面及高程基准。
- e) 无人船设备及测验仪器。
- f) 主要工作内容、测验方法及技术要求。
- g) 工作进度安排、完成时间。
- h) 质量和安全保障措施。
- i) 提交资料的名称和数量。
- j) 测验布置示意图。

测验方案在执行过程中，可根据水情及天气变化情况进行必要的调整。

4.6 测验数据应按 T/CHES 61 的要求进行处理和计算，成果资料应归档。

4.7 感潮河段流量测验应符合 SL 732 的相关要求。

5 测验系统

5.1 系统组成

测验系统由船体、控制系统、动力系统、智能避障系统、通信系统、岸基系统、导航定位系统、任务载荷系统以及保障系统等组成。

5.2 功能要求

5.2.1 无人船应具有手动模式、自动模式、智能避障、低电量自动返航、失联自动返航、防丢失定位、自适应水流直线航行、原位保持等功能。

5.2.2 推进器应符合低转速、低噪音的要求。

5.2.3 智能避障系统可自行避开船只、浮标、堤岸、桥墩、浅滩、礁石等水上、水下障碍物。

- 5.2.4 通信系统应符合高带宽、远距离、低延时、低能耗的要求，能在船载系统与岸基系统之间准确传输测控指令、测量数据以及视频监控、雷达扫描等信息。
- 5.2.5 岸基系统应具备作业管理与监控功能，能够实时控制、下发或变更作业任务，并对测验过程中的数据质量、运行环境、无人船运动状态等进行远程监控。
- 5.2.6 导航定位系统应采用高精度全球导航卫星系统（Global Navigation Satellite System，简称 GNSS）定位设备，能给出包括速度和位置的全姿态导航信息，并能向走航式 ADCP 输出符合 NMEA-0183 协议的 GGA、VTG、HDT 等格式的数据。
- 5.2.7 无人船应能集成搭载单波束测深仪、走航式 ADCP 等任务载荷设备，设备安装、拆卸便捷，投放与回收便利。
- 5.2.8 保障系统应提供无人船安全搬运、释放和回收设备以及所有测验仪器设备的电力支持。
- 5.2.9 无人船应配备符合船舶航行信号规定的有效声光警示装置。
- 5.2.10 无人船船体两侧应有清晰准确的吃水线标记，标记分辨率应达到 0.01m。

5.3 性能指标

- 5.3.1 无人船空载吃水深度应不小于 0.15m。
- 5.3.2 无人船单组电池续航时间应不少于 3h，续航里程不少于 25km。
- 5.3.3 定点观测时，原位保持偏离半径应小于 1m。
- 5.3.4 GNSS 接收机平面定位精度应优于亚米级。
- 5.3.5 无人船与岸基系统的通信距离应大于 1km。

6 测验要求

6.1 测验水域应具备无人船安全航行条件，作业环境应符合下列要求：

- a) 测验区域风力不大于 4 级；
- b) 浪高不大于 0.5m；
- c) 测验水域流速不大于 3m/s；
- d) 测验断面及邻近水域无成片漂浮物（水葫芦、水草等），水体无大量浮萍、蓝藻。

6.2 应根据测验水体水深、流速、水体含沙量等情况，按照 T/CHES 61 和 SL 257 的要求，分别选配无人船搭载的走航式 ADCP 型号和测深仪型号。

6.3 可根据测验任务要求和作业环境条件，确定是否需要外接测深仪、外部罗经等设备。

6.4 测验断面应远离水闸闸门、引排水泵站、桥墩等易产生紊流、回流的区域。

6.5 水下断面测量时，偏航距应小于 2m。

6.6 流量测验时，岸边距测量误差应小于 1m。

6.7 设备安装与调试

6.7.1 根据要求正确安装连接无人船通信天线、操控终端、电池、GNSS、测深仪、走航式 ADCP 等设备。

6.7.2 测验前应对船体、动力系统、控制系统、通信系统、岸基系统、导航定位系统、智能避障系统、任务载荷系统以及保障系统进行检查测试，确认其处于正常工作状态。

6.7.3 安装与调试按以下要求进行：

- a) 测试无人船遥控器，手动模式和自动模式应能正常切换，手动模式下无人船应能按指令做出正确响应，自动模式下应能按照规划航线航行；
- b) 测试推进器，无人船应能按操控指令完成前进、后退、转向等动作；

- c) 测试控制软件运行状况,使其能正常收发指令,设置无人船航迹、航速等工作参数;
- d) GNSS 接收机开机稳定后,有效观测卫星数应不少于4颗,点位几何图形因子(PDOP)值应不大于6,能正常输出定位和导航数据;
- e) 走航式 ADCP 安装与调试按照 T/CHES 61 的要求进行;
- f) 测深仪安装与调试按照 SL 257 的要求进行;
- g) 测试采集和储存流量测验数据和水深测量数据,确认数据采集和存储正常。

6.8 流量流速测验记录可按附录 A 要求填写。设备故障记载可参照附录 B。

7 流量流速测验

7.1 大断面测量

7.1.1 流量测验时均应进行大断面测量。

7.1.2 大断面测量范围、测深垂线布设、测量精度、误差来源与控制应符合 GB 50179 的要求。

7.1.3 水深测量时,应预先开启测深仪和 GNSS,待仪器收发及记录正常后,方可进行水深测量工作。

7.1.4 正确量取换能器入水深度,并在软件上加以设置;在断面附近测量声速,并对测深仪进行声速改正。

7.1.5 水深测量时船速宜控制在 2.5m/s 以内,且应保持匀速、直线航行。测船进入浅水区和接近岸边时,船速宜控制在 1m/s 以内。

7.1.6 水深测量时水位控制应符合 SL 257 的要求,或采用无验潮 RTK 模式测量水深。

7.2 流量测验

7.2.1 流量测验仪器设备安装、参数设置、现场操作、测回数及测验文件编制和存档应按 T/CHES 61 的要求执行。

7.2.2 无人船搭载仪器设备后,在水上静止状态下准确读取吃水线数值,设置换能器入水深度。

7.2.3 流量测验前,应按 T/CHES 61 的规定进行 ADCP 罗经校准。罗经校准作业可按以下要求进行:

- a) 在测验断面处操控无人船转两圈进行罗经校准;
- b) 校准时水流平稳、水面平静没有风浪,没有底沙运动或底沙运动速度较小;
- c) 水下地形平坦无陡坎、水深适宜,应能测到 3~5 个质量良好的数据;
- d) 应避免航运繁忙时段,避免因过往船只干扰而改变航向;
- e) ADCP 参数设置同测验时一致;
- f) 转圈时,半径不大于 10m,角度变化应小于 1°/秒,转圈结束时航向角(heading)应闭合。

7.2.4 对于初次测验断面,正式测验前应先预测一次流量,根据预测的断面深度、形状及流速大小设置合适的参数。

7.2.5 宜固定同一测次不同测回的起点和终点位置,必要时可在起点和终点设置标志杆。岸边距测量采用测距仪或 GNSS 接收机。

7.2.6 无人船应逆流驶入测验断面并沿断面航行,航行速度宜与水流速度相当,且测船不应有大幅摆动。

7.2.7 测验过程中,作业人员应密切监视无人船的航速航向、偏航距、航行姿态、电量等数据,一旦出现异常,应及时发送指令进行干预,干预无效时应终止作业,操控无人船返航。

7.2.8 作业人员应时刻关注计算机终端上的实时测验动态,若有数据缺失且缺失量达到总数据量的 10%时,其测验结果应予以作废并重新测验;数据缺失量小于总数据量 10%的,应在内业数据处理时对缺失情况及处理方法给予说明。

- 7.2.9 测验过程中应经常检查无人船有无渗水及线路接口松动情况，发现异常及时处理。
- 7.2.10 作业人员应时刻关注作业水域过往船舶动态，发现情况提前处置，避免无人船与过往船只碰撞。
- 7.2.11 自动模式下测验结束时，切换为手动模式操控无人船返回回收点。
- 7.2.12 宜在视距范围内操作无人船。
- 7.2.13 无人船在搬运、释放和回收的过程中，应避免磕碰。
- 7.2.14 因作业环境突变严重影响测验时，应控制无人船返航或就近靠岸。
- 7.2.15 流量测验期间应同时观测水位。

7.3 流速测验

- 7.3.1 采用无人船搭载 ADCP 沿断面逐一垂线进行垂线流速测验时，应按照任务书要求并结合断面形态合理布置垂线数目和垂线位置，避免在断面突变处设置垂线，垂线数目不得少于 GB 50179 的规定。
- 7.3.2 垂线流速流向测验历时应不少于 50s，将历时范围内实测数据平均后作为垂线平均流速流向。
- 7.3.3 采用从走航 ADCP 流量测验数据中提取垂线流速流向时，可根据任务书要求和测验时 ADCP 参数设置情况，确定提取垂线的数量、位置及方法，测点流速提取的数目和位置应按 GB 50179 的规定执行。

7.4 误差来源与精度要求

- 7.4.1 误差来源除参照 GB 50179 外，还包括以下内容：
 - a) 水位、吃水深、水边距离测量误差。
 - b) 数据缺失产生的误差。
 - c) 由于风浪等原因造成无人船姿态不稳定产生的误差。
 - d) 盲区流速插补产生的误差。
- 7.4.2 测验精度要求应按 T/CHES 61 执行。

8 无人船维护与保养

- 8.1 测验完成后应用清水冲洗船身和推进器，检查船体有无受损。
- 8.2 清洗后的无人船自然风干或擦干，水平放置于专用支架上，并选择阴凉干燥处存放。
- 8.3 使用后的电池应在冷却半小时后及时充电，电池不得长时间处于过放电状态。
- 8.4 无人船定期维护和保养按以下要求进行：
 - a) 无人船长期存放时，应至少每半年给电池充一次电，维护电池性能，保证电池符合续航里程的要求；
 - b) 定期检查无人船动力设备、通信设备及辅助设备状态，维护其性能；
 - c) 定期检查无人船密封性能，发现密封件老化、破损、皲裂应及时更换；
 - d) 定期检查无人船天线、遥控器等部件的性能；
 - e) 维护与保养记录应按附录 C 的要求填写。

附录 A
(规范性)
无人船流量流速测验记载表

表 A.1 _____ 站(断面)无人船流量流速测验记载表

日期:	天气:	风力风向:	测次:	开始时间:	结束时间:							
无人船型号:	通信设备及型号:	动力设备及型号:	ADCP 型号:	ADCP 序列号:	ADCP 固件版本:							
ADCP 软件版本:	GNSS 接收机型号:	罗经型号:	探头入水深度: m	盲区:	深度单元尺寸:							
单元数量:	开始水位: m	结束水位: m	平均水位: m	定点流速测验垂线号及坐标:								
序号	开始			结束		测验历时 (s)	数据文件名	流量 (m ³ /s)	垂线流速			无人船 工作状态
	岸别	时间	岸边距 (m)	时间	岸边距 (m)				垂线号	起点距 (m)	流速 (m/s)	
	左 右											
	左 右											
	左 右											
	左 右											
	左 右											
	左 右											
	左 右											
	左 右											
	左 右											
	左 右											
	左 右											
说明: 1、开始水位和结束水位分别为一次完整流量测验过程的开始和结束时的水位。 2、当无人船固定在某一垂线上进行流速流向测验时, 需填写定点流速测验垂线号及坐标。 3、当无人船沿预定断面逐一垂线进行流速流向测验时, 需填写垂线流速栏内的内容。												

作业员:

现场复核:

共 页, 第 页

附录 C
(规范性)

无人船定期维护与保养记录表
表 C.1 无人船设备维护保养记录表

无人船型号:	动力设备及型号:	通信设备及型号:
维护保养情况		
设备名称	检查及维护保养详情	备注
船 体		
动力设备		
通信设备		
遥控设备		
避障设备		
电 池		
报警设备		
辅助设备		
上次维护保养时间	年 月 日	

维保人员:

时间: 年 月 日