

《船载水陆一体化点云测距系统校准规范》

编制说明

（征求意见稿）

规范编制组

2023 年 7 月

目 录

| | |
|-------------------|----|
| 一、任务来源 | 1 |
| 二、制定背景 | 2 |
| 三、编制过程 | 2 |
| 四、编制依据 | 4 |
| 五、主要技术内容的论据 | 6 |
| 六、不确定度评定 | 12 |
| 七、其他说明 | 12 |

一、任务来源

根据国家市场监督管理总局文件《市场监管总局办公厅关于国家计量技术规范制定、修订及宣贯计划有关事项的通知》（市监计量发[2022]70号），由浙江省水利河口研究院（浙江省海洋规划设计研究院）组织成立了《船载水陆一体化点云测距系统校准规范》国家计量校准规范起草小组，承担校准规范的编制工作。《船载水陆一体化点云测距系统校准规范》归口于全国水运专用计量器具计量技术委员会。

本规范主要起草人及其分工见表1。

表1 规程主要起草人及其主要工作

| 序号 | 姓名 | 单位 | 职务/职称 | 主要工作内容 |
|----|-----|--------------------------|--------|------------------------------------|
| 1 | 孙月文 | 浙江省水利河口研究院（浙江省海洋规划设计研究院） | 工程师 | 确定船载水陆一体化点云测距系统的技术参数，规范材料编制。 |
| 2 | 阳凡林 | 山东科技大学 | 副校长/教授 | 规范形式和规范内容审核。 |
| 3 | 段文义 | 浙江省水利河口研究院（浙江省海洋规划设计研究院） | 主任/正高 | 规范形式和技术内容审核。 |
| 4 | 柳义成 | 交通运输部天津水运工程科学研究所 | 工程师 | 负责规范所用仪器设备装置的量值溯源 |
| 5 | 石波 | 山东科技大学 | 副教授 | 船载水陆一体化点云测距系统各传感器外方位确定。 |
| 6 | 金国栋 | 杭州市水库管理服务中心 | 主任/副高 | 负责船载水陆一体化点云测距系统试验场地维护，协助室外试验的正常开展。 |
| 7 | 卫进进 | 浙江省水利河口研究院（浙江省海洋规划设计研究院） | 助理工程师 | 船载水陆一体化点云测距系统校准试验 |

二、制定背景

1、目的意义

船载水陆一体化点云测距系统又称为船载多传感器水上水下一体化测量系统、船载水上水下一体化移动三维测量系统、船载水陆一体化测量系统及水岸一体综合测量系统，通常将多波束测深深系统、三维激光扫描仪和定位设备、姿态测量设备等多种传感器集成于一体，使用多波束测深系统对水下地形进行量测，使用三维激光扫描仪对陆域地形进行量测，并使用定位设备和姿态测量设备获取位置信息和姿态信息，实现对近岸的水上水下地形数据同步、高精度、高效率采集。与传统的陆域水域数据分开采集的技术相比，该系统获取数据可以大幅减少测量盲区，提高测量精度和效率，可为交通运输、港口建设、安全通航、河口海岸工程开发、水陆联运和海洋经济及海洋资源开发提供重要的基础数据支撑。另外，船载水陆一体化点云测距系统被列入《水运计量技术规范体系》，需要保证其量值的准确可靠。2022年1月，市场监管总局为加快构建国家现代先进测量体系，适应国际计量体系深刻变革的时代要求，强化国家战略科技力量的支撑，联合科技部、国资委等有关单位印发了《关于加强国家现代先进测量体系建设的指导意见》，进一步强调了国家的测量能力和水平，较大幅度上反映本国科技、经济、社会发展的实际状况和能力，是国家核心竞争力的重要标志，也是国家战略科技力量的重要支撑。

2、国内外现状

船载水陆一体化点云测距系统是复杂的多传感器高度集成的系统。国内外在传感器技术指标方面性能差距不大，而载体平台设计方面，国内研发的船载水陆一体化点云测距系统并未达到国外测量船整体标定、普通车型即可便携运输、安置平台仅需简易拆装的设计水准。其中，人工安装误差是船载水陆一体化点云测距系统最大的误差来源。数据处理方面，国外在海底无特征地形时采用重叠区激光雷达数据校准多波束水深数据，国内对此研究处于起步阶段。相比之下，国内在船载水陆一体化点云测距系统校准方面的研究基础还较为薄弱。涉及核心技术，国内外有关船载水陆一体化点云测距系统公开的资料较少，下面对目前已知的相关设备的资料进行一些整理和介绍。

21世纪初，美国、英国、新西兰等多个国家开始了集成三维激光扫描仪

(TLS)、多波束测深仪(MBES)、惯性测量单元(IMU)、GNSS 定位接收机、工业全景相机(CCD)、同步控制器等多传感器系统的研制,并成功将其应用于港口、码头、桥梁、海岛礁等水陆结合部的地理信息采集,验证了水下与陆地地形无缝拼接测量的可行性,成果达到了最新海道测量精度指标的各项要求。

2010 年,美国 Geosolutions iLinks 公司推出一款商业便携式多波束激光雷达系统 PMLS-1。理论上,对于主流采集软件所支持的多波束测深仪和三维激光扫描仪,均可根据不同的应用需求和应用目的,进行船载水陆一体化点云测距系统的灵活集成。而船载水陆一体化点云测距系统集成多个传感器,因此各传感器相对空间位置的精确定定是影响最终数据成果质量的一个关键因素。针对这一问题,通过分析两测线的测量数据求解了激光扫描仪或多波束测深仪相对于惯性导航系统的角度安装误差;2013 年, Kongsberg 公司提出便携式综合地形测量解决方案,该方案可配置 EM 2040C 多波束测深仪和 Riegl、MDL、Optech 等品牌的激光扫描仪,最后生成了 ArcGIS、AutoCAD、MapInfo、CARIS 等完全兼容的数据产品。

2009 年起,山东科技大学开始对船载多传感器综合测量系统进行理论研究,克服了动态吃水改正、VTK 技术点云实时显示等难题,取得了一系列科研成果。2015 年,青岛秀山移动测量有限公司推出船载水陆一体测量 Vsurs-W 系统及其配套的软件。山东省国土测绘院 2018 年购置该系统,并应用于海岸带测量;2012 年,国家海洋局第一海洋研究所引进了国外水上水下一体化测量系统,并将该系统成功应用于海岛测绘;2012 年,广州中海达卫星导航技术股份有限公司(中海达)研制出 iScan 一体化移动测量系统,之后升级为 iAqua 系统;2016 年,北京海卓同创科技有限公司发明了一体化多波束测深装置;2016 年浙江省河海测绘院以自有扫描仪、惯导及多波束系统为基础,成功的将系统集成,并应于项目生产实践。2017 年,深圳大学对伶仃岛进行了水岸一体综合测量,对测量结果进行了验证,并探讨了系统的应用前景。因整个系统价格昂贵目前国内大多以自主集成为主,整套购买为辅。国内已有多家航道测绘、海洋测绘单位成功组装船载水陆一体化点云测距系统,其中,中水珠江规划勘测设计有限公司组装的系统经验证点位中误差可达 0.281 m,陆地高程中误差为 0.252 m,水下地形高程中误差为 0.310 m。

目前，统一基准、水陆无缝同步采集数据的船载水陆一体化点云测距系统是目前工程测量和海洋测绘研究的高尖端设备，也是未来发展的必然趋势。国内外已经有成熟的产品应于项目生产实践。在同一基准下采集的水上及水下数据一致性及所测点云相对位置是否准确，是衡量系统的关键性指标。虽然已经有针对部分传感器的计量检定或校准手段。例如，对多波束测深系统，拥有交通运输部计量检定规程 JT/T 1154-2017《多波束测深仪 浅水》；对三维激光扫描仪，拥有国家计量技术规范 JJF 1406-2013《地面激光扫描仪校准规范》；对卫星定位设备，拥有国家计量技术规范 JJF 1118-2004《全球定位系统 (GPS)接收机(测地型和导航型)校准规范》；对姿态传感器，拥有交通运输部计量检定规程 JJG（交通）170-2020《水运工程 姿态测量仪》。这些校准规范或规程只是针对各独立的传感器使用进行校准或检定，即对各传感器所测数据质量情况进行评定；而高度集成的船载水陆一体化点云测距系统主要受各传感器性能及的安装误差的影响，往往传感器的数据质量的好坏不能代替船载水陆一体化点云测距系统数据质量的好坏。整个船载水陆一体化点云测距系统的国家、部门和地方计量检定或校准规范尚无，缺少相应的评价依据。生产或科研单位大多使用水上水下特征点来进行校准，校准方法各不相同，其校准结果的准确与否很大程度上受限于各单位的技术水平，缺少统一的校准方法，观测数值质量存在较大隐患。另一方面，每个产品的市场应用都是随着计量工作开始的，正所谓想测量必计量。船载水陆一体化点云测距系统属于高尖端设备，当前的发展是百家争鸣，没有形成一套有效的校准方法，即缺乏行业普遍认同的校准方法，严重制约着该行业的发展。制定船载水陆一体化点云测距系统的现场校准方法对于其量值溯源，推动该行业的高质量健康发展至关重要。

因此，针对船载水陆一体化点云测距系统的校准需求，研制特定校准装置或方法，开展相应的测试试验，建立溯源体系，形成统一的船载水陆一体化点云测距系统校准规范和校准方法，为船载水陆一体化点云测距系统的性能评价及数据质量提供保障，以指导该设备的检定校准工作具有重要意义。

综上，不管是通过购买整套系统或是自主集成都缺少相应的校准规范，对测量结果的质量进行控制，急需船载水陆一体化点云测距系统校准规范以对生产单位进行指导。

三、编制过程

1、编制原则

项目是由浙江省水利河口研究院（浙江省海洋规划设计研究院）结合船载水陆一体化点云测距系统校准现状向国家市场监督管理总局提出制定《船载水陆一体化点云测距系统校准规范》项目，由全国水运专用计量器具计量技术委员会归口管理，并对国内市场上的船载水陆一体化点云测距系统进行重新梳理，形成船载水陆一体化点云测距系统国家计量技术规范。编制原则如下：

（1）科学性

规范的编制，在理论分析及试验验证的基础上，科学规定船载水陆一体化点云测距系统的相关计量技术指标及校准方法。

（2）继承性

相关计量技术指标和校准方法充分考虑 JT/T 1154-2017 多波束测深仪 浅水、JJF 1406-2013 地面激光扫描仪校准规范、JJG(交通) 170-2020 水运工程 姿态测量仪、JJG(交通)122-2015 水运工程 声速剖面仪、HY/T0350-2023 船载海陆地形地貌一体化调查技术要求等规范的相关要求，确定计量技术指标及校准方法并对其进行试验验证。

（3）适用性

规范的编制应充分考虑国内市场大多数仪器设备的校准需求，对国产设备和进口设备的技术特点具有共同的适用性。

2、工作进程

在全国水运专用计量器具计量技术委员会的指导下，规范承担单位于 2022 年 1 月填报《船载水陆一体化点云测距系统校准规范》的国家计量技术法规项目计划任务书，2022 年 7 月获得国家市场监督管理总局下达的制定计划通知。

收到文件后，在承担单位的主持下，《船载水陆一体化点云测距系统校准规范》起草小组组建成立并开始进行校准规范的编制。首先进行资料搜集以及对船载水陆一体化点云测距系统进行调研，汇总分析国内外与船载水陆一体化点云测距系统相关的标准规程规范等，根据我国目前船载水陆一体化点云测距系统的实际应用情况与特点，结合船载水陆一体化点云测距系统校准规范测量技术需求进行编制。依据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001

《通用计量术语与定义》、JJF1059.1-2010《测量不确定度评定与表示》，规范起草小组于2023年8月形成初次草稿。

经过起草小组多次讨论，并经多次试验论证后，于2023年9月形成征求意见稿。

2022年5月~2023年7月，开展相关试验验证，编制规范、编制说明及实验报告初稿。

2023年8月召开技术咨询会，对编制规范、编制说明及实验报告初稿广泛技术咨询，咨询了近10家国内生产单位和时使用单位。

四、编制依据

本规范以JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》和JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》为基础型系列规范进行制定。并在编写中参考了以下有关文件：

JJF 1406—2013 地面激光扫描仪校准规范

JJG 741-2022 标准钢卷尺

JJG 100-2003 全站型电子速测仪

JJG 741—2022 标准钢卷尺

HY/T 0350-2023 船载海陆地形地貌一体化调查技术要求

五、主要技术内容的论据

按照JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》要求，本规范包括9个章节和五个附录：1 范围、2 引用文件、3 术语、4 概述、5 计量特性、6 校准条件、7 校准项目和校准方法、8 校准结果表达、9 复校时间间隔，以及附录A 船载水陆一体化点云测距系统检校方法，附录B 基于半径约束的球型靶标球心坐标拟合方法，附录C 船载水陆一体化点云测距系统校准记录表格式，附录D 船载水陆一体化点云测距系统校准证书内页格式，附录E 船载水陆一体化点云测距系统校准评定示例。

1、范围

规范适用于船载水陆一体化点云测距系统的校准。

2、引用文件

规范中对所用引用的文件进行了说明，并规定注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3、术语

规范中所提及的专业术语，“点云”引用“CH/T 8023—2011 机载激光雷达数据处理技术规范”术语和定义 3.3，“球棒”引用“JJF 1406—2013 地面激光扫描仪校准规范”术语和定义 3.5，“球型靶标”则改写“JJF 1406—2013 地面激光扫描仪校准规范”术语和定义 3.1，而“空间相对距离”和“一致性”则直接给出了定义。

4、概述

主要对船载水陆一体化点云测距系统的组成和用途等方面进行了简要概述，并给出了船载水陆一体化点云测距系统的构成及示意图。

5、计量特性

船载水陆一体化点云测距系统是通过集成多传感器的先进测量系统，由于各传感器在集成时存在安装偏差检校不准确以及各传感器的误差，易造成同一目标物水上部分与水下部分点云拼接存在水平和垂直方向上的错位。对于各传感器已有相应的校准规范或检定规程，因此规范针对整个系统提出了空间相对距离和一致性的计量特性，用于评估整个系统所测数据质量情况。此外，针对计量特性规范给出了示值误差的要求，并明确示值误差要求不作为仪器设备合格判定的依据。计量性能的提出主要依据多种国内外现有产品的技术参数、参考标准、征求意见、专家咨询、试验结果以及相关实践，并结合了目前水运工程应用需求和实际测量水平以及国内自主研发产品的技术水平。

6、校准条件

校准条件包括校准时的环境条件以、计量标准器和辅助设备，

规范中对校准条件进行规定。

6.1 环境条件

因船载水陆一体化点云测距系统受空气环境和水环境的影响，因此规范将检定环境分水上环境和水下环境，分别对水上和水下环境进行规定，校准环境的编制主要依据《水文仪器基本环境检定条件及方法》（GB/T9359-2016）起草。

6.2 计量标准器

计量标准器规范选用全站仪、钢卷尺和球棒（见图1），其中全站仪和钢卷尺可以溯源至浙江省计量科学研究院；而球棒为研发的特定装置，包含球型靶标和连接杆。

规范对选用的全站仪和钢卷尺做成了规定。全站仪采用测距Ⅰ级，测角最大允许误差 $\pm 0.5''$ ，免棱镜；钢卷尺采用测量范围0 m~10 m，准确度等级Ⅱ级；同时对于球棒也做出了要求，其中球型靶标表面应漫反射，无投射型靶标（推荐选用表面喷砂处理的不锈钢制品），直径不小于0.5 m，直径变化量不大于3 mm；连接杆（推荐选用不锈钢制品）长度5 m，每隔0.3 m应设置定位点，各定位点距两球型靶标球心连线的距离不大于3 mm。球型靶标可溯源至浙江省计量科学研究院，连接杆的长度可通过钢卷尺直接测量获得，对于连接杆上的定位点应距离两球型靶标球心连线的距离不大于3 mm的要求，则在设备加工的过程中应满足要求，对与其准确度可通过已溯源的工业测量系统测量获得，或直接送至浙江省计量科学研究院进行量值溯源。

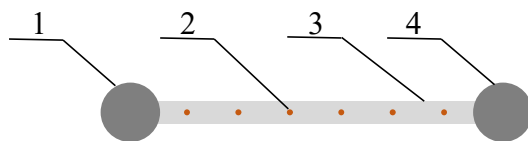


图1 球棒示意图

1——球型靶标1；2——定位点；3——连接杆；4——球型靶标2；

6.3 辅助设备

对辅助设备做出的要求，主要是为满足船载水陆一体化点云测距系统校准工作的开展。

7、校准项目和校准方法

7.1 校准项目

规范中给出了校准项目名称，包括空间相对距离和一致性。空间相对距离主要衡量船载水陆一体化点云测距系统水上或水下部分所测成果准确度，而一致性主要衡量船载水陆一体化点云测距系统水上部分所测成果与水下部分所测成果的拼接情况。

7.2 校准基本原理

规范通过安装不同位置的 3 组球棒对船载水陆一体化点云测距系统进行校准（见图 2）。在规范 7.2.1 中明确了 3 组球棒的安装方法和要求，保持球棒铅垂，各球棒的间距互不相等且水上球型靶标球心不共线，水上球型靶标球心不在同一高度且距离水面高度不小于 2 m。通过高度和方位不同的一组球棒可以更加客观的衡量船载水陆一体化点云测距系统的空间相对距离和一致性的准确度情况。

校准前的准备工作包括两部分内容：一是校准装置的安装，对校准装置的安装提出了要求，并给出校准项目标准值的获得方法。由于校准项目“空间相对距离”和“一致性”是相对参考量，因此，在获得标准值时规范规定采用任意设站，以测站坐标系为基准，不在对所用的地理坐标系做出要求。二是对被校准设备在校准前应保证仪器设备的正常工作所进行的准备工作。

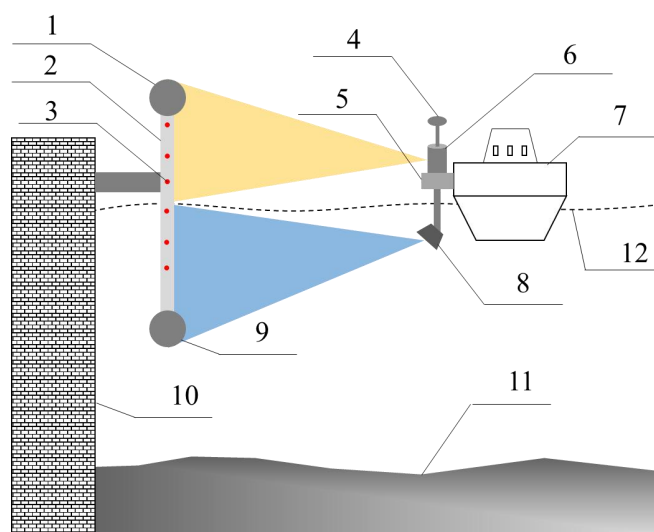


图2 船载水陆一体化点云测距系统校准原理

- 1—球型靶标1；2—连接杆；3—定位点；4—定位仪；5—姿态仪；
 6—三维激光扫描仪；7—测量船；8—多波束测深仪；9—球型靶标2；
 10—试验平台；11—水底；12—水面；

7.2.1 空间相对距离标准值和一致性标准值

如图 3，按照要求将 3 组球棒安装至试验平台，使用全站仪测量连接杆上的定位点（不少于 3 个），得到定位点在测站坐标系下的坐标，结合规范 7.2.1 中公式（1）确定定位点连线的空间直线方程；然后由水上或水下球型靶标距离定位点的距离，结合规范 7.2.1 中公式（2）、（3）、（4）即可计算球型靶标的测站坐标，最后由规范 7.2.1 中公式（5）、（6）即可确定球棒水上部门或水下部分球型靶标球心的空间相对距离标准值，对于一致性的标准值则可通过规范 7.2.1 中公式（7）、（8）计算获得。

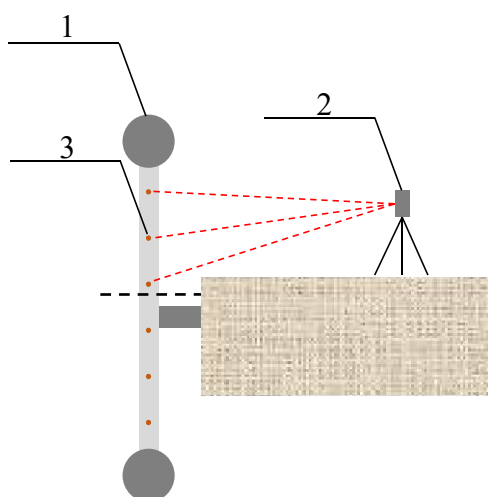


图3 全站仪测量定位点示意图

1—球棒；2—全站仪；3—定位点；

7.2.2 空间相对距离示值误差和一致性示值误差

空间相对距离示值误差和一致性示值误差使用船载水陆一体化点云测距系统对球棒进行测量然后计算获得。规范中，明确了在校准前应对船载水陆一体化点云测距系统进行必要的准备工作，包括各传感器的检查、预热，确保被检设备能够正常工作。一方面，由于船载水陆一体化点云测距系统的性能受各传感器安装偏差的影响，有必要在校准前对各传感器的安装偏差进行检校，规范在附录 A 中给出了详细检校方法，检校方法引用“HY/T 0350—2023 船载海陆地形地貌一体化调查技术要求”附录 A。另一方面，由于船载水陆一体化点云测距系统的数据采集与处理工作较为复杂，限于规范篇幅，规范中不在对数据采集和处理的详细过程进行规定，只给出了所参照的规范，并要求形成水上和水下点云成果。

此外，由于被检系统的空间相对距离和一致性与校准装置的距离相关，规范中明确了在距离校准装置 4m 和 8m 处布置计划线，并按照计划线进行数据采集。而对于船速规范中，规范规定不大于 2 节，主要考虑不同型号多波束测深仪发射 PING 率不相同，过低的发射 PING 率可能导致数据质量不佳，因此规范通过对船速做出规定以确保数据采集的质量。

最后，为获取被检设备的空间相对距离和一致性的示值，规范 7.3 和 7.4 中给出详细的计算过程。其中，球型靶标的球心坐标通过半径约束的球型拟合算法计算得到，该算法在规范附录 B 中给出了详细的计算公式。

8、校准结果

依据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》要求对校准结果中的校准证书信息进行了规定。

9、复校时间间隔

建议船载水陆一体化点云测距系统的复校时间间隔为 12 个月。由于复校时间间隔的长短是由船载水陆一体化点云测距系统的使用情况、使用者等诸因素所决定的，因此，建议送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

六、不确定度评定

规范中对船载水陆一体化点云测距系统空间相对距离的校准结果进行了不确定度评定，评定示例见规范附录 E《船载水陆一体化点云测距系统不确定度评定示例》。

七、其他说明

1、检测方法、检测技术的创新性

利用自研的船载水陆一体化点云测距系统校准装置，将校准装置安装至室外试验平台，通过 3 组球棒构建空间相对距离和一致性校准的标准值，最后使用船载水陆一体化点云测距系统在不同距离处对校准装置进行扫测，实现对船载水陆一体化点云测距系统水上水下点云一致性校准；采用全站仪、钢卷尺、球棒作为主标准器，能够准确的复现校准装置安装之后的位置信息且可溯源，相比于海上自校有效规避了涌浪、潮汐、水流等复杂环境的影响因素，提升了测量的准确度。

2、对重大分歧意见的处理结果和依据等

无。