



### GNSS-IR水位变化监测标准潜在需求研究

武慧琳, 蒋大鹏, 吴桐, 赵鑫, 王恒利

#### Potential demand research on GNSS-IR water level change monitoring standards

WU Huilin, JIANG Dapeng, WU Tong, ZHAO Xin, and WANG Hengli

引用本文:

武慧琳, 蒋大鹏, 吴桐, 等. GNSS-IR水位变化监测标准潜在需求研究[J]. *全球定位系统*, 2025, 50(2): 31-37. DOI: [10.12265/j.gnss.2024219](https://doi.org/10.12265/j.gnss.2024219)

WU Huilin, JIANG Dapeng, WU Tong, et al. Potential demand research on GNSS-IR water level change monitoring standards[J]. *Gnss World of China*, 2025, 50(2): 31-37. DOI: [10.12265/j.gnss.2024219](https://doi.org/10.12265/j.gnss.2024219)

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12265/j.gnss.2024219>

### 您可能感兴趣的其他文章

#### Articles you may be interested in

#### GNSS-IR解译地表环境参数研究进展及展望

Research progress and prospects of GNSS-IR interpretation of surface environmental parameters

*全球定位系统*. 2023, 48(3): 12-23

#### GNSS-R水位监测研究进展与其在我国水利行业应用展望

Research progress of GNSS-R water level monitoring and its application prospect in China's water conservancy industry

*全球定位系统*. 2024, 49(1): 34-44

#### 基于GPS信噪比观测值的水位反演研究

Research on water level inversion based on GPS SNR data

*全球定位系统*. 2020, 45(1): 105-109

#### 北斗全频段GNSS-R水位反演研究

Research on BeiDou full-band GNSS-R water level inversion

*全球定位系统*. 2023, 48(3): 52-56, 92

#### 卫星导航应用标准分析研究

Analysis and research on application standards of satellite navigation

*全球定位系统*. 2020, 45(3): 115-118

#### 低成本GNSS对流层水汽变化监测

Tropospheric water vapor variation monitoring based on low-cost GNSS

*全球定位系统*. 2024, 49(6): 95-103



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.12265/j.gnss.2024219

# GNSS-IR 水位变化监测标准潜在需求研究

武慧琳<sup>1</sup>, 蒋大鹏<sup>1</sup>, 吴桐<sup>1</sup>, 赵鑫<sup>1</sup>, 王恒利<sup>2</sup>

(1. 自然资源部 测绘标准化研究所, 西安 710054; 2. 长安大学 地质工程与测绘学院, 西安 710054)

**摘要:** 全球导航卫星系统干涉反射测量 (Global Navigation Satellite System Interferometric Reflectometry, GNSS-IR) 技术作为一类新兴的地表环境监测手段, 在我国水资源管理效能提升及水位监测精确性与时效性保障方面发挥着至关重要的作用。当前, 在相关技术方法、作业流程及成果应用方面尚缺乏统一标准进行规范。本文专注于探讨 GNSS-IR 水位变化监测标准的潜在需求, 通过对涉及的水域类型、监测设备、波段特性、评价指标等进行了分类统计与梳理, 深入剖析了 GNSS-IR 在国内外的标准现状, 系统研究了我国 GNSS-IR 技术标准体系的构建框架, 旨在为我国 GNSS-IR 技术的标准化建设与推广工作提供参考, 进一步提升我国在该技术领域的应用水平与行业影响力。

**关键词:** 全球导航卫星系统干涉反射测量 (GNSS-IR); 水位; 变化监测; 标准; 标准体系

中图分类号: P228; P951

文献标志码: A

文章编号: 1008-9268(2025)02-0031-07

## 0 引言

在经济社会发展的进程中, 水资源作为一种基础性的战略资源, 占据着核心地位。它是农业灌溉的命脉, 是维系农田生态系统稳定、保障农作物正常生理活动的关键。及时的水资源供给可以实现农业的高产、稳产, 保障粮食安全。在工业生产中, 它是众多工艺流程的基本要素, 是许多化学反应、冷却、洗涤等环节不可或缺的物质基础, 合理的水资源供应有助于提升工业生产效率。同时, 在服务业及其他领域, 水资源同样发挥着重要的作用。无论是商业活动中的卫生清洁、餐饮服务, 还是旅游业中的景观营造与维护, 都离不开水资源的保障。精确的水位数据对于水资源的科学管理与合理利用具有极其重要的意义。通过先进的水位监测技术, 实时掌握水位的动态变化, 能够为水资源的优化调配提供科学依据。基于不同区域的水资源禀赋差异、各行业独特的用水特性以及不同时段的水需求, 利用监测数据可以实现水资源的合理分配, 从而保障生产生活用水的稳定供应。特别是在水资源短缺地区, 通过精确的水位监测与科学的水量调配, 可以有效避免水资源的浪费与过度开采, 实现水资源的可持续利用<sup>[1]</sup>。

目前, 人工读取水位标尺仍为获取水位数据的主

要手段, 效率低下且难以实现全天候监测。自动化水位测量技术, 包括浮子式、压力式、超声波、雷达波及光纤式水位计等, 虽有所应用, 但存在安装成本高、运维难度大、环境适应性差等问题。近年来, 全球导航卫星系统干涉反射测量 (Global Navigation Satellite System Interferometric Reflectometry, GNSS-IR) 技术的发展为水位监测带来了新的机遇。GNSS-IR 技术以其高精度、全天候、低成本和广泛适用性等优势<sup>[2]</sup>, 在河流、湖泊和沿海潮汐的水位监测中得到了广泛应用。美国、德国、日本等国家已成功将 GNSS-IR 技术应用于上述领域, 显著提高了监测效率和精度。这些研究为全球水资源管理、防灾减灾和气候变化研究提供了关键技术支持<sup>[3]</sup>。

我国 GNSS-IR 技术研究虽起步较晚, 但依托北斗卫星导航系统 (BeiDou Navigation Satellite System, BDS) 的快速发展, 在该领域迅速积累了丰富经验。各高校和科研机构在技术优化、设备开发及实际应用等方面均取得了显著成果。这些成果不仅证实了 GNSS-IR 技术在水位监测中的可靠性, 还推动了其在生态修复与保护、水资源可持续发展等领域的作用, 为未来的标准化和大规模推广奠定了坚实基础。

随着 GNSS-IR 技术的持续进步, 存在的问题也愈发明显, 例如数据格式不统一、测量精度缺乏对比

收稿日期: 2024-12-28

通信作者: 蒋大鹏 E-mail: 79778625@qq.com

基准、跨区域或跨机构数据整合困难等。技术标准的研究制定变得愈发紧迫,亟需对上述方面进行标准规范和约束。本文旨在探究 GNSS-IR 技术标准需求,讨论其关键技术、应用场景、数据处理等标准化问题,以支持 GNSS-IR 技术的进一步发展与应用。

## 1 GNSS-IR 水位变化监测技术

### 1.1 GNSS-IR 水位变化监测原理

当 GNSS 卫星发射的信号抵达地面后,除了有一部分信号直接被接收机接收,形成直射信号,还有一部分信号会被水面反射。由于反射路径与直射路径的长度存在差异,这两种信号在接收机处相互叠加,便会产生干涉现象。这种干涉会使接收信号的强度和相位发生变化,这些变化与反射面,即水面的高度紧密相关。通过处理接收机采集到的包含直射和反射信号叠加的原始数据,进而分析信号的信噪比(signal-to-noise ratio, SNR)等特征。当水面高度发生变化时,反射信号的延迟时间也会随之改变,进而引起 SNR 曲线波动。利用数学模型对 SNR 曲线波动进行分析和解算,可推算出水面高度相对于接收机天线的变动量,从而实现水位变化的监测<sup>[5]</sup>。

### 1.2 GNSS-IR 水位变化监测仪器设备

GNSS 接收机,作为 GNSS-IR 系统不可或缺的核心组件,承担着接收来自卫星发射信号的重要任务,这些信号来源广泛,涵盖了 GPS、GLONASS、Galileo 以及 BDS 等多个 GNSS。现代 GNSS 接收机配备了高精度时钟与先进的信号处理程序,能够精准地捕捉并记录信号的到达时间、强度等关键信息。以 Trimble 公司的部分型号接收机为例,其采用的多通道接收技术可同步跟踪多颗卫星,这一特性大幅提升了数据采集的效率与准确性,为后续的数据分析与研究提供了坚实的数据基础。

天线用于卫星信号的接收与传输,是 GNSS-IR 系统中的重要部件。在 GNSS-IR 的应用场景下,通常会采用特制天线,这类天线具有较宽的波束宽度,能够更有效地接收反射信号,提高系统对反射信号的捕获能力。此外,天线增益与相位中心的稳定性是影响系统性能的关键参数。稳定的相位中心可以有效降低测量误差,提高测量的精度。部分专用天线还具备抗多路径干扰能力,能够进一步优化信号的接收质量,减少多路径效应带来的影响,提升 GNSS-IR 系统的可靠性<sup>[6]</sup>。

### 1.3 GNSS-IR 水位变化监测测站

水位监测站选址需综合考量多方面因素。其一,

应邻近监测水域且视野通透,确保能接收到充足的卫星信号,同时保障反射信号无遮挡。通常要求在天线周围特定范围(如仰角  $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$  以上)内不存在高大建筑物、山体等障碍物。其二,测站需构建于稳定的地面基础之上,以削减地面沉降等因素对测量结果的影响,例如可建于基岩或坚实的混凝土基础之上。GNSS-IR 测站通常由 GNSS 接收机、天线、数据记录器以及电源设备等构成。接收机与天线安装于适宜高度的支架上,天线朝向开阔水域方向。数据记录器用于存储接收机采集的原始数据,以供后续处理分析。电源设备为整个系统提供持续稳定的电力供应,可采用市电、太阳能电池板与蓄电池组合等供电模式。选址示例如图 1 所示。



图 1 测站选址示例

## 2 GNSS-IR 水位变化监测国内外研究现状

### 2.1 GNSS-IR 水位变化监测国外研究现状

国外对于 GNSS-IR 技术的研究起步较早,多个国家的科研机构在该领域开展了深入研究并取得了显著成果。美国 NASA 兰利研究中心在 1996 年开展了利用双频 GPS 信号海面前向散射获取电离层延迟的实验研究工作。2013 年,美国科罗拉多大学的 Larson 教授创新性地提出了一种基于 SNR 数据的测高模型,并选取了 2 个测站展开试验研究。结果表明,在日潮位变化幅度较小的测站中,该测高模型展现出了较高的精度,这一成果为相关领域的进一步研究与应用提供了重要的参考依据<sup>[7]</sup>。德国波茨坦地学研究中心(Helmholtz-Centre Potsdam - German Research Centre for Geosciences, GFZ)利用 GNSS-IR 技术进行长时间序列的水位监测,显著提高了 GNSS 技术在河流流域管理中的应用效果,为洪水风险评估提供了重要数据支持<sup>[8]</sup>。日本东京大学利用 GNSS-IR 技术监测沿海地区的海洋潮汐和风暴潮,在台风等极端天气事件期间,该技术能够实时提供高精度的潮位数据,为日本

的防灾减灾提供数据支持<sup>[9]</sup>。英国纽卡斯尔大学团队开展了针对英国沿海和河流区域的GNSS-IR潮位与水位监测研究,GNSS-IR潮位测量与传统潮位计测量的误差可控制在2~3 cm范围内<sup>[10]</sup>。澳大利亚悉尼大学研究团队在大堡礁附近应用GNSS-IR技术进行潮位监测与海洋生态环境评估,研究成功捕捉了珊瑚礁区细微的潮汐变化,为海洋生态保护提供了高精度数据支持<sup>[11]</sup>。挪威科技大学团队利用GNSS-IR技术开展极地水文研究,重点关注冰雪覆盖地区的水位变化,在极端气候条件下,GNSS-IR仍能提供高精度的水位监测数据,为研究气候变化和极地水资源提供支持<sup>[12]</sup>。法国国家空间研究中心(National Centre for Space Studies, CNES)将GNSS-IR技术用于内陆湖泊和水库的水位监测,成功监测了多个湖泊的季节性水位变化,为水资源管理提供了数据支持<sup>[13]</sup>。

尽管国外在GNSS-IR技术的研究和应用方面已经取得了较为成熟的成果,形成了相对完善的技术体系,但权威机构如国际标准化组织(International Organization for Standardization, ISO)和国际电信联盟(International Telecommunication Union, ITU)等尚未发布专门针对GNSS-IR水位监测的技术标准和规范。

## 2.2 GNSS-IR水位变化监测国内研究现状

我国的GNSS-IR技术研究起步相对较晚,各高校院所在吸纳国外已有成果的基础上,优化算法、改进设备,取得了一定进展<sup>[14]</sup>。武汉大学研究团队提出了一种基于GNSS-IR的多测站融合水位监测方法,旨在提高反演结果的稳定性和鲁棒性<sup>[15]</sup>。河海大学利用GNSS-IR技术开展水库水位动态监测,验证了该

技术在静水环境中的高精度测量能力<sup>[16]</sup>。黄河水利委员会在黄河流域引入GNSS-IR技术,用于水位变化的实时监测和预警<sup>[17]</sup>。香港理工大学基于HKQT测站长达4年的GNSS数据,利用GNSS-IR技术进行潮位变化监测<sup>[18]</sup>。南京林业大学利用BDS与GNSS-IR技术结合,开展湖泊水位变化监测研究<sup>[19]</sup>。清华大学研究团队将小波分析与BP神经网络相结合,提升GNSS-IR技术的水位反演精度<sup>[20]</sup>。众多学者均对GNSS-IR水位反演进行了深入透彻的研究,在水库湖泊、内河航道、沿海地区等不同的水域环境开展了诸多实验,并且取得了较好地实验成果<sup>[21-24]</sup>。然而,与国外情况类似,我国目前也尚未发布GNSS-IR相关标准。

综上所述,GNSS-IR水位变化监测技术在国内外已趋近成熟,且应用日益广泛,但相关标准的缺失导致该技术在实际应用中缺乏统一规范,影响了其进一步的推广和发展。因此,制定出台相应的标准对其进行规范和指导已成为当务之急。

## 3 GNSS-IR水位变化监测标准体系构建思路及需求分析

### 3.1 GNSS-IR水位变化监测标准体系构建思路

本文通过对国内外GNSS-IR水位变化监测技术应用现状及发展趋势开展深入分析,梳理该技术在不同水域应用中的仪器选取、信号波段筛选、技术指标等方面的情况,进而明确GNSS-IR水位变化监测技术的标准需求,构建科学合理的标准体系框架。构建思路如图2所示。

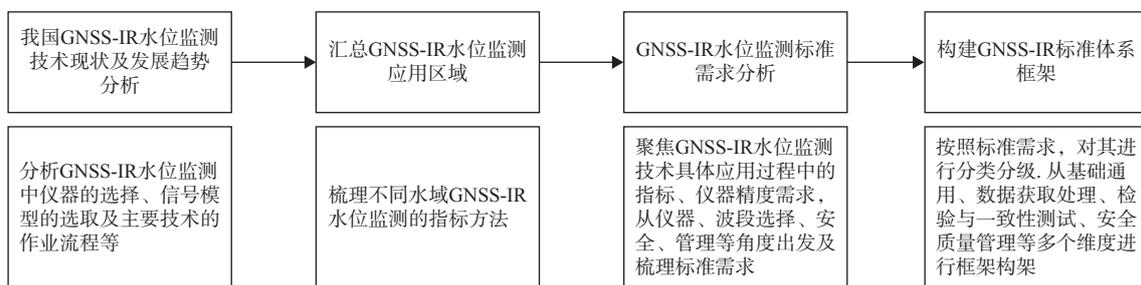


图2 构建思路流程

首先,聚焦GNSS-IR水位监测技术的具体应用过程,包括仪器的选择、信号模型的选取、主要技术的作业流程等。然后针对不同水域GNSS-IR水位监测的相关情况进行归纳总结,分析其在实际应用中存在的问题和需求。按照标准需求,对其进行分类分级,从基础通用、获取与处理、应用服务、检验与测试、质量管理等多个维度出发,构建标准体系框架。

### 3.2 GNSS-IR水位变化监测标准体系需求分析

经由知网、万方等学术数据库开展文献检索,调研诸多强相关文献,相关统计结果呈现如图3所示。对图中各年度发表文献数量予以剖析可得,自2012年起,我国在GNSS-IR水位变化监测方面的研究力度持续攀升,其基础理论架构业已发展成熟,且在诸多领域均有着广泛的应用实践。

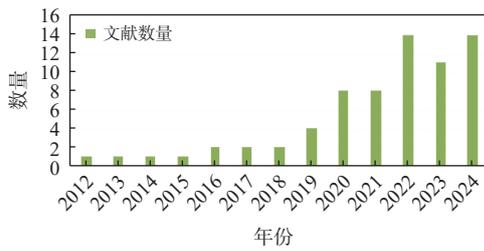


图 3 GNSS-IR 水位变化监测文献数量统计

上述文献研究大多面向的还是海面潮位,面向河流水位、湖面水位的占比很少,不同水域在仪器的使用上没有特定的接收机型号,多数以 Trimble NetR 系列为主;对信号波段的选取也没有针对性的区分,以 L1、L2 为主;技术指标的衡量标准也没有系统地分类,大多是以均方根误差 (root mean square error, RMSE)、相关系数为主。由于在海面潮位、河流水位、湖面水位等不同水域对仪器、信号波段的选取缺乏标准化和规范化,对实用精度的范围也缺少标准的统一指导,导致当前水位监测领域评判指标呈现出一种混乱无序的状态,各个地区、机构所采用的水位监测评判指标千差万别,彼此之间难以相互参照与衔接,致使整个水位监测工作难以形成一个有机的、协调的标准体系。为了实现精准、高效的水位监测目标,迫切需要对 GNSS-IR 水位变化监测技术的应用推广建立体系进行顶层设计指导,构建一套共建共用乃至国际兼容的标准体系。

## 4 GNSS-IR 水位变化监测标准体系框架构建

在遵循国家标准 GB/T 13016-2018《标准体系构建原则和要求》的前提下,结合 GNSS-IR 水位变化监测技术的特点和实际需求,构建 GNSS-IR 水位变化监测标准体系。本文提出的 GNSS-IR 水位变化监测标准体系主要由以下 5 个一级类构成。

### 4.1 基础通用类标准

基础通用类主要提供 GNSS-IR 水位变化监测技术的基础性、公共性标准,确保获取水位监测基础信息的互联互通。该类标准作为其他类标准的基础和依据<sup>[16-17]</sup>,可为 GNSS-IR 水位变化监测提供统一的基础,具有普遍指导意义。该类标准主要包括基本术语、时空基准、参考模型共 3 个二级类目。

### 4.2 获取与处理类标准

获取与处理类标准是对 GNSS-IR 水位变化监测中信号获取处理的专用标准。该类标准可具体分为 GNSS-IR 水位变化监测数据的采集、处理、存储等 3 个方面的标准。数据采集标准主要是规定数据采集系统的硬件配置、软件设计、信号处理算法等方面的要求。数据采集标准应确保采集到的数据具有高精度、高可靠性和高一一致性,以满足后续处理和应用的需。数据处理标准主要规定数据处理的方法、流程、参数设置等方面的要求。

### 4.3 应用服务类标准

应用服务类标准是对 GNSS-IR 水位变化监测的不同应用水域制定的专用标准。针对不同水域的特点和需求,分别制定相应的标准,规范水位监测的方法、技术指标、数据应用等方面的内容,以提高水位监测的针对性和有效性。该大类可分为水库湖泊、内河航道、沿海地区 3 个二级类。

### 4.4 检验与测试标准

检验与测试类标准以 GNSS-IR 水位变化监测具体成果及测试环境为基础,该大类可分为仪器检验、软件测试、环境检测 3 个二级类目。仪器检验标准规定了对 GNSS-IR 水位监测仪器的性能指标、精度要求、校准方法等方面的检验内容和方法,确保仪器的可靠性和准确性。软件测试标准明确了对数据处理软件、应用服务软件等的测试方法和要求,保证软件的功能和性能符合基本要求。环境检测标准则规定了对监测环境的要求和检测方法,确保监测数据的准确性不受环境因素的影响。

### 4.5 质量管理类标准

质量管理类标准以 GNSS-IR 水位变化监测涉及的具体项目为基础,对其对象所进行的成果质量管理通用标准。该大类可分为成果质量管理、项目管理和安全管理共 3 个二级类目。成果质量管理标准规定了对水位监测成果的质量评价方法、质量控制要求等,确保监测成果的质量符合相关标准和要求。项目管理标准明确了项目实施过程中的组织管理、进度管理、成本管理等方面的要求,保证项目的顺利实施。安全管理标准则规定了在水位监测过程中涉及的人员安全、设备安全、数据安全等方面的管理要求,确保监测工作安全进行。

具体框架如图 4 所示。

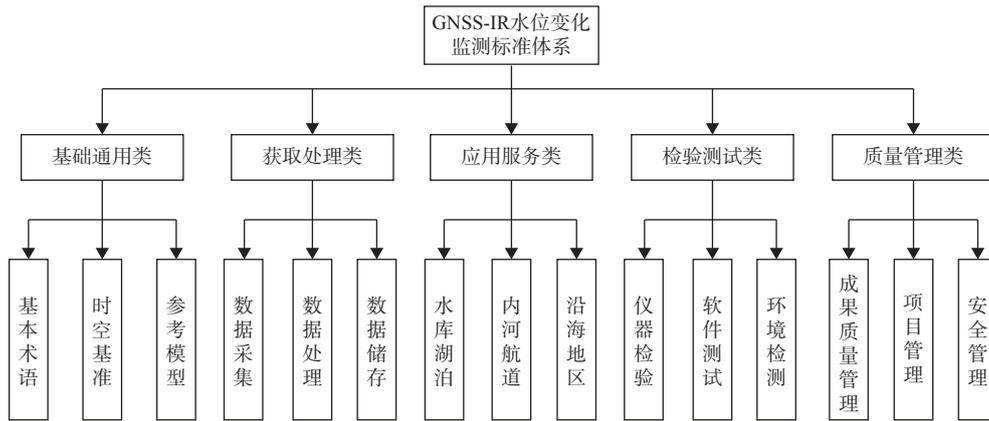


图 4 GNSS-IR 水位变化监测标准体系框架图

## 5 相关标准制定建议

目前,我国 GNSS-IR 水位变化监测技术在生产应用领域尚处于起步阶段.在此背景下,制定相关标准时需高度注重针对性、互通性与可操作性,同时紧密结合 GNSS 遥感领域先进技术的发展趋势<sup>[23]</sup>.具体可从以下两个方向推进:

1) 深化数据采集与数据处理标准体系建设.尤其在在线自动化实时监测方面,应大力加强对 GNSS-IR 水位变化监测技术的数据采集与数据处理标准的研制力度.通过这一举措,不仅要增加我国在该领域标准的数量,更要显著提升其质量,从而在国际竞争中占据优势地位.基于 GNSS 遥感应用产业化发展的实际需求,应迅速开展专项标准的研究与制定工作<sup>[24]</sup>.在数据采集标准方面,需进一步细化硬件配置要求,通过优化信号处理算法,实现数据采集精度与可靠性的双重提升.在数据处理标准方面,要深入研究并制定科学、高效的数据处理方法和流程,确保数据处理的准确性与高效性,为后续的数据分析与应用提供坚实基础.

2) 构建 GNSS-IR 水位变化监测标准化技术协作联盟.在 GNSS-IR 水位变化监测标准规范的搭建过程中,应充分整合国内科研院所、企业、高校及专业机构的技术优势,促进各方之间的深度合作与交流.同时,积极拓展与水文、气象等相关领域的合作,实现跨领域的优势互补与经验共享.通过建立标准化技术组联盟,能够有效保障标准规范的一致性和可继承性,确保不同组织机构在数据描述和应用过程中保持协调统一.此外,还应积极开展重点标准的宣贯工作,加强与国际机构的交流与合作,分享标准制定的成果与实施经验,大力培养标准化专业人才,推动全球范围内 GNSS-IR 水位变化监测标准的研制,提升我国在该领域的国际影响力<sup>[25]</sup>.

## 6 结论与展望

当前,GNSS-IR 水位变化监测技术在我国诸多领域已得到应用,在大部分水域实现了有效覆盖.然而,该技术在发展过程中仍面临着严峻的标准化问题.从基础通用标准到数据获取处理、应用服务、检验检测以及成果质量安全等各方面标准均存在滞后现象,这无疑成为了限制该技术进一步拓展与深化应用的瓶颈.

本文通过系统地剖析 GNSS-IR 水位变化监测技术在国内外的发展态势,创新性地提出了构建 GNSS-IR 水位变化监测标准体系的思路与框架.但现阶段该体系框架尚处于初步构建阶段,存在顶层设计统筹力度欠缺、标准供给严重不足等亟待解决的问题.未来,随着标准化工作的持续深入开展,需要紧密结合生产生活实际,对标准的应用需求、应用对象以及实测成果进行动态更新与统筹规划,以提供长期有效的体系框架和技术指导,进而有力地推动 GNSS 遥感技术领域的持续创新与发展,更好地契合新时代国防建设和经济发展的多元需求,为相关领域的高质量发展提供坚实的技术支撑与标准保障<sup>[26]</sup>.

### 参考文献

- [1] 万玮,李黄,洪阳,等. GNSS-R 遥感观测模式及陆面应用[J]. 遥感学报, 2015, 19(6): 882-893.
- [2] OZEKI M, HEKI K. GPS snow depth meter with geometry-free linear combinations of carrier phases[J]. *Journal of geodesy*, 2012, 86: 209-219. DOI: 10.1007/s00190-011-0511-x
- [3] 张朋杰,庞治国,路京选,等. GNSS-R 水位监测研究进展与其在我国水利行业应用展望[J]. *全球定位系统*, 2024, 49(1): 34-44.
- [4] 孙铭滔,庞治国,吕娟,等. 地基 BDS/GNSS 水汽监测在水利领域的研究进展与展望[J]. *全球定位系统*, 2024, 49(1):

- 19-33.
- [5] 周昕, 张双成, 张勤, 等. GNSS-IR 解译地表环境参数研究进展及展望 [J]. *全球定位系统*, 2023, 48(3): 12-23.
- [6] 武慧琳. 岸基 GNSS 解译潮位及潮波系数提取研究 [D]. 西安: 长安大学, 2020.
- [7] LARSON K M, LÖFGREN J S, HAAS R. Coastal sea level measurements using a single geodetic GPS receiver[J]. *Advances in space research*, 2013, 51(8): 1301-1310. DOI: [10.1016/j.asr.2012.04.017](https://doi.org/10.1016/j.asr.2012.04.017)
- [8] VARUN K S, Kumar K A, CHOWDARY V R, et al. Water level management using ultrasonic sensor (automation)[J]. *International journal of computer sciences and engineering*, 2018, 6(6): 799-804. DOI: [10.26438/ijcse/v6i6.799804](https://doi.org/10.26438/ijcse/v6i6.799804)
- [9] WILLIAMS S D P, PENNA N T. Non-tidal ocean loading effects on geodetic GPS heights[J]. *Geophysical research letters*, 2011, 38(9). DOI: [10.1029/2011GL046940](https://doi.org/10.1029/2011GL046940)
- [10] MALIK J S, BHATTI U I. Remote sensing of ocean, ice and land surfaces using bistatically scattered GNSS signals from low earth orbit[C]//The 4th International Conference on Aerospace Science and Engineering (ICASE), 2015. DOI: [10.1109/ICASE.2015.7489519](https://doi.org/10.1109/ICASE.2015.7489519)
- [11] SANTAMARIA-GOMEZ A, WATSON C. Remote leveling of tide gauges using GNSS reflectometry: case study at Spring Bay, Australia[J]. *GPS solutions*, 2017, 21: 451-459. DOI: [10.1007/s10291-016-0537-x](https://doi.org/10.1007/s10291-016-0537-x)
- [12] LOFGREN J S, HAAS R, JOHANSSON J M. et al. Monitoring coastal sea level using reflected GNSS signals[J]. *Advances in space research*, 2011, 47(2): 213-220. DOI: [10.1016/j.asr.2010.08.015](https://doi.org/10.1016/j.asr.2010.08.015)
- [13] ANDERSON K D. Determination of water level and tides using interferometric observations of GPS signals[J]. *Journal of atmospheric and oceanic technology*, 2000, 17(8): 1118-1127. DOI: [10.1175/1520-0426\(2000\)0172.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(2000)0172.0.CO;2)
- [14] JIN S G, NAJIBI N. Sensing snow height and surface temperature variations in Greenland from GPS reflected signals[J]. *Advances in space research*, 2014, 53(11): 1623-1633. DOI: [10.1016/j.asr.2014.03.005](https://doi.org/10.1016/j.asr.2014.03.005)
- [15] 单强, 姜卫平, 陈渠森, 等. 基于稳健估计的 GNSS-IR 多测站融合水位监测方法 [J/OL]. [2025-03-18]. 武汉大学学报 (信息科学版), 2025:1-15. <https://doi.org/10.13203/j.whugis.20240117>
- [16] 宋敏峰, 何秀凤. 基于 GNSS-IR 技术高精度水库水位监测研究 [J]. *无线电工程*, 2021, 51(10): 1099-1103.
- [17] 康前程. GNSS-IR 技术用于黄河水位监测及软件设计 [D]. 西安: 长安大学, 2022.
- [18] 叶脉, 李琳琳, 彭冬菊, 等. GNSS-IR 测量水位的精度评估和站点对比: 以中国南海北部和日本南部站点为例 [J]. *海洋预报*, 2024, 41(1): 61-73.
- [19] 杨晓峰, 魏浩翰, 张强, 等. 小波与 BP 神经网络联合反演 GNSS-IR 高精度水库水位变化 [J]. *导航定位与授时*, 2023, 10(1): 54-64.
- [20] 朱德军, 李浩博, 王晓明. GNSS 遥感技术在智慧水利建设中的应用展望 [J]. *水利水电技术*, 2022, 53(10): 33-57.
- [21] 金双根, 张勤耘, 钱晓东. 全球导航卫星系统反射测量 (GNSS+R) 最新进展与应用前景 [J]. *测绘学报*, 2017, 46(10): 1389-1398.
- [22] 王洁, 王娜子, 徐天河, 等. 组合 GNSS 观测值反演海面高度 [J]. *测绘学报*, 2022, 51(2): 201-211.
- [23] 杨东凯, 李杰. GNSS 反射信号陆面遥感应用综述 [J]. *全球定位系统*, 2023, 48(3): 3-11,32.
- [24] 张双成, 武慧琳, 张化疑, 等. 中国沿海 GPS 站用于潮波系数提取分析 [J]. *海洋测绘*, 2019, 39(3): 1-5,15.
- [25] 郭玉芳, 武慧琳, 任福. 我国测绘地理信息团体标准的发展现状与对策研究 [J]. *地理空间信息*, 2024, 22(9): 129-132.
- [26] 冯霞. 标准体系构建方法研究——以北斗卫星导航系统为例 [J]. *中国标准化*, 2017(20): 24-25,28.

### 作者简介

**武慧琳** (1994—), 女, 工程师, 研究方向为 GNSS-IR 水位监测技术及测绘标准制修订. E-mail: [478875326@qq.com](mailto:478875326@qq.com)

**蒋大鹏** (1983—), 男, 高级工程师, 研究方向为测绘标准制修订. E-mail: [79778625@qq.com](mailto:79778625@qq.com)

**吴桐** (1987—), 男, 高级工程师, 研究方向为测绘标准制修订. E-mail: [122718196@qq.com](mailto:122718196@qq.com)

## Potential demand research on GNSS-IR water level change monitoring standards

WU Huilin<sup>1</sup>, JIANG Dapeng<sup>1</sup>, WU Tong<sup>1</sup>, ZHAO Xin<sup>1</sup>, WANG Hengli<sup>2</sup>

(1. *Institute of Surveying and Mapping Standardization, Ministry of Natural Resources, Xi'an 710054, China*; 2. *College of Geology Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an 710054, China*)

**Abstract:** As an emerging means of surface environmental monitoring, the Global Navigation Satellite System Interferometric Reflectometry (GNSS-IR) technology plays a crucial role in enhancing the efficiency of water resources management in China and ensuring the accuracy and timeliness of water level monitoring. Currently, there is a lack of unified standards to regulate the relevant technical methods, operation processes, and application of achievements. This paper focuses on exploring the potential needs for the standard of GNSS-IR water level change monitoring. Through the categorization and systematic review of the involved water body types, monitoring equipment, band characteristics, evaluation indicators and so on. This paper deeply analyzes the current standard situation of GNSS-IR at home and abroad, and systematically studies the construction framework of the technical standard system of GNSS-IR in China. The aim is to provide a reference for the standardization construction and promotion of GNSS-IR technology in China, and further improve the application level and industry influence of China in this technical field.

**Keywords:** GNSS-IR; water level; change monitoring; standards; standard system

(上接第 21 页)

noise ratio (SNR) data from multiple GNSS is collected using two smartphones: the iQOO Neo 3 (IN3) and Xiaomi 8. After processing the data with a multi-scale wavelet decomposition algorithm, a nonlinear least squares method is employed to extract the oscillation frequency of the high-frequency coefficients via waveform fitting, retrieving the reflector heights between the land surface and the antenna phase center. Finally, the performance of the proposed method is validated by comparing the reflector heights obtained with in situ measurements and those from geodetic GNSS receivers. The results demonstrate that noise signals negatively impact altimetry using Android smartphone-based GNSS-MR. The root mean square error (RMSE) of GNSS-MR altimetry for both GPS and BDS satellites are less than 10 cm, and the stability is significantly better than that of other single-system estimations. Compared to geodetic GNSS receivers, smartphones benefit from longer SNR arcs. The proposed method provides a foundational theory for developing low-cost ground-based and low-altitude airborne GNSS-MR monitoring equipment.

**Keywords:** Android smartphone; GNSS-MR; signal-to-noise ratio (SNR); wavelet decomposition; reflector height