引文格式：苏勤龙,范学峰,周航,等. 一种连续运行GNSS观测墩高度测定的装置与方法[J]. 地理空间信息, 2025, 23(10):94-97. doi:10. 3969/j. issn. 1672-4623.2025.10.020

一种连续运行GNSS观测墩高度测定的装置与方法

苏勤龙[1]，范学峰[1]，周　航[1]，何德俊[1]，吴　鼎[1]，杨曦承[1]
（1. 湖北省测绘工程院，湖北 武汉 430074）

摘　要：针对目前连续运行GNSS观测墩高度在3.8 m左右，采用传统的三角高程测量或水准测量，测定GNSS观测墩强制对中顶面高度存在诸多困难。研究利用水平视线照准水准标尺读数的原理，定制一种实用型装置，借助激光水平仪激光线，通过3根0.5 mm分划钢直尺，在不中断GNSS数据采集的情况下，把GNSS观测墩强制对中顶面的高度及连接杆高度，传递给水准标尺，利用水准仪观测水准标尺，精确测定连续运行GNSS观测墩高度。开发基于安卓系统的移动端App数据采集程序及PC端资料整理程序，实现数据采集的电子化、程序化，数据资料整理的规范化、自动化。通过实用型装置与方法的实验、实践，结果表明：高度测定的精度可靠，经济效益提升约60%。

关键词：钢直尺；水准仪；水准标尺；GNSS观测墩；高度测定；装置
中图分类号：P228　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）10-0094-04

Continuous Operation GNSS Observation Pier Height Measurement Device and Method

SU Qinlong[1], FAN Xuefeng[1], ZHOU Hang[1], HE Dejun[1], WU Ding[1], YANG Xicheng[1]
(1. Hubei Surveying and Mapping Engineering Institute, Wuhan 430074, China)

Abstract: At present, the height of GNSS observation pier in continuous operation is about 3.8 m, so it is difficult to determine the height of top surface of GNSS observation pier by traditional trigonometric leveling or leveling. We studied the principle of reading the leveling scale with a horizontal line of sight, and customized a practical device. With the help of laser line of laser level, through three 0.5 mm graduated steel rulers, we transferred the height of forced centering top surface of GNSS observation pier and the height of connecting rod to the leveling scale without interrupting the GNSS data acquisition. Then, we used level to observe leveling scale, to accurately determine the height of continuous operation GNSS observation pier. Finally, we developed a mobile App data acquisition program based on the Android system and the PC-side data collation program to realize the electronization and programming of data acquisition, as well as the standardization and automation of data collation. Through experiments and practices of the practical device and method, the results show that the accuracy of height measurement is reliable, and the economic benefits are improved by about 60%.

Key words: steel ruler, level, leveling scale, GNSS observation pier, height measurement, device

湖北省现代测绘基准体系基础设施在“十一五”期间完成[1-3]，“十四五”重点工程提出：开展省级基准站点二等水准联测，推进全省基准站网坐标框架动态更新，实现与国家测绘基准的统一[4]。通过建立连续运行GNSS基准站大地高与国家高等级高程控制点的关联关系，有效监测垂直变化[5]，实现大地基准与高程基准的监测、维持与更新[6-10]。

《国家现代测绘基准体系基础设施建设技术规程》中规定：GNSS观测墩高出地面3.8 m[11]。在不中断GNSS数据采集的前提下，精确、高效测定观测墩强制对中顶面及天线盘连接杆高度值，提出了新的要求。王俊民[12]等研究了采用全站仪精确测定CORS基准站天线高的方法；陈振防[13]提出了采用搭建脚手架实现CORS观测墩水准高引测的方法。本文在总结以往各种连续运行GNSS观测墩高度属性测定方法的基础上，研究在不中断GNSS数据采集的前提下，高效、高精度实施连续运行GNSS观测墩强制对中顶面及天线盘连接杆高度属性测定的装置与方法。

1　基本原理与技术指标

1.1　测定基本原理

要精确测定基准站天线的高度，只需要精确测定

第一作者简介：苏勤龙（1980—），硕士，高级工程师，主要从事基础测绘、自然资源调查监测生产与管理工作，E-mail：107674119@qq.com。

连续运行GNSS观测墩强制对中顶面及天线盘连接杆的高度，通过查阅天线盘的天线型号，即可精确得到天线盘相位中心的高度，实现大地高与正常高的同步。连续运行GNSS观测墩高出地面约3.8 m，传统方法是提前断电并拆卸天线盘，采用三角高程测量、水准测量及钢尺量距的方法完成。连续运行GNSS基准站作为现代测绘基准的组成，精度高且连续观测，实施断电并拆卸天线盘，需对GNSS基准站位置重新观测，复杂且工作量大。在不中断GNSS数据采集的前提下，高效、高精度获取天线盘相位中心高度成为关键。

本研究充分利用水平视线照准标尺读数的原理，定制实用型装置，借助激光水平仪光线，通过3根0.5 mm分划钢直尺，在不中断GNSS数据采集的情况下，把GNSS观测墩强制对中顶面及连接杆的高度传递给水准标尺，利用水准仪测得GNSS观测墩强制对中顶面及观测墩底部的水准点的读数，获取天线盘型号，精确得到天线盘相位中心高度。实用型装置如图1所示，观测示意图如图2所示。

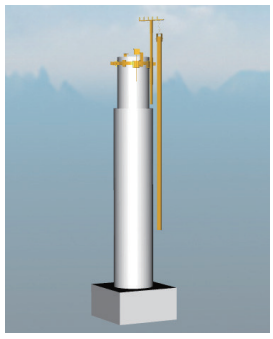


图1　实用型装置

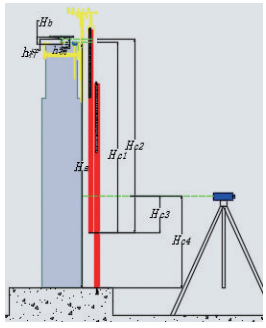


图2　观测示意图

实用型装置包括抱箍部件、挂标尺部件、激光水平仪承台部件、辅助小尺部件等4个。抱箍部件主要功能是通过2个开合的钢板，在观测墩顶部适当位置，围合形成抱箍，与观测墩融为一体，构建一个稳定的平台；挂标尺部件主要功能是实现标尺的水平、高度方向的稳定且可任意上下快速调节，在观测中，确保测量标尺处于铅垂状态；激光水平仪承台为安置激光水平仪，可上下、前后按位置需要进行调节。激光水平仪提供一条360°方向的水平视线；辅助小尺部件，主要功能是传递GNSS观测墩强制对中顶面高度到激光水平仪光线，方便测量读数。

根据观测示意图可知：需要得到的结果是观测墩强制对中顶面距离基准站水准点的高度 Ha 和天线盘连接杆的高度 $H_{杆}$。通过激光水平仪水平光线，照准辅助小尺部件、水准标尺上的钢直尺，得到读数为：$h_{辅}$、H_{C1}；激光水平仪上升或下降，实现照准准天线盘底部（连接杆顶部）位置，得到水准标尺上的钢直尺读数为 H_{C2}。依据读数，可以得到 $H_{杆}$ 高度为：

$$H_{杆}=H_{C2}-H_{C1}+h_{辅} \tag{1}$$

同时，可得到GNSS观测墩强制对中顶面与水准标尺零点的距离为：

$$H_{C1}-h_{辅} \tag{2}$$

在地面上，离水准标尺约3 m位置处，安置数字水准仪，观测同一根水准标尺在挂标尺部件的读数 H_{C3}、基准站水准点读数 H_{C4}，可得到观测墩强制对中顶面距离基准站水准点的高度为：

$$H_a=H_{C1}-h_{辅}+H_{C4}-H_{C3} \tag{3}$$

查阅天线盘型号，依据 $H_{杆}$、H_a 高度，得到天线盘相位中心 H_b 为：

$$H_6=H_{杆}+H_a \tag{4}$$

依据上述原理，开发了基于安卓系统的数据采集移动端App和基于Windows7及以上操作系统的数据资料处理PC端，实现了数据采集的电子化、程序化，数据成果整理的规范化、自动化。

1.2　测定技术指标

在进行外业观测时，应满足实用性装置安装的稳定性、各项观测数据的系统误差如钢尺温度改正、水准标尺尺长改正等的正确性。抱箍部件，应稳定、牢固安装在观测墩顶端适当位置，确保无松动、摇摆等情形。激光水平仪承台安置在抱箍部件，通过调节激光水平仪承台位置，使激光水平仪到水准标尺的水平距离与到天线盘连接杆的水平距离大致相等，减少由于激光水平仪光线距离不一致引起的读数系统差。在开始测量前，应在现场对激光水平仪进行检校。检校时，可将激光水平仪安置于适当高度，启动设备，使用经检定合格的水准仪，照准激光水平仪发出的激光线，在激光水平仪0.3 m处及远离激光水平仪约3 m处，用钢尺比对激光光线在水准仪视准线的偏差，

高度方向偏差≤0.5 mm为合格。由于激光水平仪的激光线有一定宽度（约1.5 mm），每次都以激光线上沿分界线或下沿分界线为准。选择检定的水准标尺，结合现场作业的温度，进行水准标尺长度改正和水准标尺温度改正。钢直尺的尺长，受温度影响较大，可达到0.5 mm，钢直尺的观测量 H_{C1} 、 H_{C2} 需进行温度尺长改正。受粘贴钢直尺的操作影响，应对钢直尺与测量标尺2 m对齐的间隙差进行测定。具体为：在合适位置安置整平水准仪，通过视准线观测竖直的水准标尺上的钢直尺0.2、0.5、0.8 m三处条码尺读数、钢直尺读数，三组读数差的平均值为间隙差。3组读数差之差≤1.5 mm为合格。为避免由于人为读数等因素引起的错误，本方法须观测2个测回，测回间较差≤1.0 mm。钢直尺温度改正、水准标尺尺长改正、水准标尺温度改正等，依据仪器设备检定参数，内置于数据采集移动端App中，确保观测数据的及时改正。

2 实用型装置安装与观测方法

2.1 实用型装置安装

2.1.1 主要仪器设备

主要仪器设备为：激光水平仪、数字水准仪、水准标尺、钢直尺、实用型装置等。其中激光水平仪一台。激光水平仪选择固童亚金激光水平仪绿光线高精度强光自动调平仪，水平精度5 m±1 mm，激光线宽约1.5 mm/5 m，光线颜色为翠绿色，适合室内/室外使用。数字水准仪一台套。选择徕卡电子水准仪（型号/规格：DNA03），徕卡水准标尺（型号/规格：GPCL3）一对及其他辅助设备如三脚架等。钢直尺3根。钢直尺选择亲和测定钢直尺（SHINWA）1 m长一根，0.15 m长两根，不锈钢尺身、刻度清晰、平整光滑。钢直尺规格为长×宽×厚度（mm）分别为1 050×35×1.5、175×15×0.5，单根钢直尺分划刻度有0.5、1 mm两种。

2.1.2 实用型装置安装

实用型装置安装步骤：①工作时，首先拆卸GNSS观测墩顶部天线罩，然后单人携抱箍部件（未紧固），从上而下，挂置于GNSS观测墩顶端，采用电动扳手，紧固抱箍部件的2个弧形钢板，确保抱箍部件内置加厚橡胶防震垫块与GNSS观测墩外表面紧密贴合，没有上下前后摇摆、松动等不稳定情形。②安置挂标尺部件。首先是安装挂标尺部件的抱箍部件稳定器，利用抱箍部件稳定器插口间隙，确保在适当位置，使抱箍部件稳定器稳定安置在抱箍部件上。其次是安置挂标尺部件，通过调节方形钢管适当高度、确保弹簧卡扣及304快速重型旋转8字环、标尺套盒等部件处于铅锤状态且在上下方向无伸缩。③安装水准标尺。钢直尺（如1 m长）用双面胶紧贴于水准标尺上部，钢直尺底部零点位置与水准标尺2 m处大致一致，测定钢直尺与水准标尺的间隙差 $h_{间隙}$。将水准标尺顶部伸入标尺套盒内部，通过两侧卡扣螺杆紧固件固定，304弹簧扣与标尺套盒的圆环连接，利用水准标尺自身重力，实现水准标尺在竖直方向的铅垂挂置（注意消除由于风等因素对水准标尺不铅垂的影响）。④安装激光水平仪承台及激光水平仪。按照挂标尺部件的抱箍部件稳定器的安装方法，安置激光水平仪承台的稳定器，在适当位置，安置激光水平仪；⑤安置辅助小尺部件。依据天线盘连接杆的高度，选择适宜的辅助小尺部件，确保小钢尺零点位于观测墩强制对中顶面，小钢尺处于竖直状态。

2.2 观测方法

观测方法步骤：①程序启动与配置设置。启动App程序，按程序要求设置基准站信息，观测日期、观测者、检查者、天气及温度等配置信息。②钢直尺读数。启动激光水平仪，在合适位置得到一条水平视线，分别照准辅助小尺部件及水准标尺，读钢直尺上的读数。在强制对中顶面靠连接杆120°不同方位位置处，分别放置辅助小尺部件，观测激光线的上边沿线在辅助小尺上的读数 $h_{辅}$，精确到0.1 mm。如图3所示，3个方向3个读数。同时，用钢直尺量出辅助小尺部件中心到连接杆中心的距离，分别记录。③水准标尺钢直尺读数。保持激光水平仪不动，观测激光线的上边沿线在水准标尺钢尺上的读数 H_{C1}（精确到0.1 mm），如图4所示（读数为0.814 4 m）。④上移激光水平仪的光线，使激光线上边沿线切天线盘底部（连接杆顶部），读水准标尺的钢直尺读数 H_{C2}（精确到0.1 mm），如图4所示（读数为0.860 9 m）。⑤水准仪读数。在水准标尺与基准站水准点的连线，垂直平分线的延长线水平距离约3 m处，安置水准仪并整平，观测水准标尺读数 H_{C3}，从挂标尺部件取下水准标尺并竖直安置在基准站水准点上，观测水准标尺读数 H_{C4}。⑥重复②、③、④、⑤步骤，得第二测回数据。⑦数据质量评定。比较两测回结果，H_a 、 H_b 两次测量较差≤1.0 mm，数据合格，若超过，查找原因或重测。

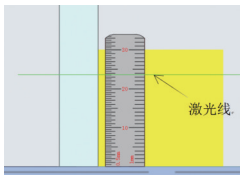


图 3　辅助小尺部件激光线示意图

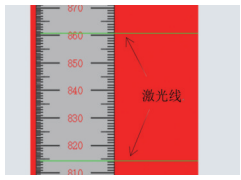


图 4　水准标尺粘贴钢直尺激光线示意图

3　实验可行性分析及应用

3.1　精度分析评定

根据基本原理可知：

$$\begin{cases} H_a = H_{C1} - h_{辅} + H_{C4} - H_{C3} + H_{间隙} \\ H_{杆} = H_{C2} - H_{C1} + h_{辅} \end{cases} \tag{5}$$

依据胡建人[14]研究的结果：取 0.5 mm 分划的 1/2 来估读并评定测量精度。钢尺的估读中误差为 0.25 mm，数字水准仪观测水准标尺的估读中误差为 0.01 mm[15]。由误差传播定律可知：

$$\begin{cases} m_{H_a}^2 = m_{H_{C1}}^2 + m_{h_{辅}}^2 + m_{H_{C4}}^2 + m_{H_{C3}}^2 + m_{间隙}^2 \\ m_{H_{杆}}^2 = m_{H_{C2}}^2 + m_{H_{C1}}^2 + m_{h_{辅}}^2 \end{cases} \tag{6}$$

式中，m_{H_a} 为观测墩强制对中顶面高度值中误差；m_{HC1} 为激光水平仪激光线在钢直尺的读数中误差；$m_{h辅}$ 为激光水平仪激光线在辅助小尺部件的读数中误差；m_{HC4} 为水准仪观测水准标尺的读数中误差；m_{HC3} 为水准仪观测水准标尺的读数中误差；$m_{h间隙}$ 为钢直尺与水准标尺 2 m 对齐处的间隙中误差；$m_{H杆}$ 为 GNSS 观测墩强制对中顶面到天线盘底部的高度值中误差；m_{HC2} 为激光水平仪激光线在天线盘底部的读数中误差。

由公式（1）计算得到中误差：

$$m_{H_a} = \pm\sqrt{m_{H_{C1}}^2 + m_{h_{辅}}^2 + m_{H_{C4}}^2 + m_{H_{C3}}^2 + m_{间隙}^2} = \pm 0.434\ \text{mm} \tag{7}$$

由公式（2）计算得到中误差：

$$m_{H_{杆}} = \pm\sqrt{m_{H_{C2}}^2 + m_{H_{C1}}^2 + m_{h_{辅}}^2} = \pm 0.433\ \text{mm}$$

忽略天线盘底部到相位中心的中误差，则天线相位中心到观测墩底部水准点的中误差为：

$$m = \pm\sqrt{m_{H_a}^2 + m_{H_{杆}}^2} = 0.613\ \text{mm} \tag{8}$$

3.2　实验结果及应用

为验证实用型装置与方法所测成果的精度，采用与二等水准测量方法所测测段成果比对。选择室外合适场地，在距离地面高约 3 m 处的上下位置，设置一水准标志 N 模拟连续运行 GNSS 基准站水准点，在其上方位置，设置一水准标志 D 模拟连续运行 GNSS 观测墩顶面。采用二等水准，测段从 N 点向 D 点，往返测取高差的平均值作为二等水准观测成果：h_{ND} =2.992 6 m。采用本文所述实用型装置与方法测量，结果为：h_{ND}' =2.992 3 m。2 种方法所测结果较差为±0.3 mm。实验结果表明：实用型装置可行，测量结果精度可靠。

采用传统的 GNSS 观测墩高度测量方法，如王俊民[12]等采用全站仪精确测定 CORS 基准站天线高的方法，陈振防[13]采用搭建脚手架实现 CORS 观测墩水准高引测的方法，2 种方案均需拆卸 GNSS 观测墩天线，须对 GNSS 站网数据进行数据处理。采用本文所述定制实用型装置，在湖北省连续运行 GNSS 观测墩如 HG01 黄冈站等多个站点实践应用，充分借助 GNSS 观测墩的稳定性、牢固性，可高效获取数据并实时得到测量成果。表 1 从不同施测方案、施测人数、施测时间及是否拆卸天线等因素，与传统 GNSS 观测墩测量方法对比进行分析。由表可知，采用定制实用型装置进行连续运行 GNSS 观测墩高度测定，从经济效益上评估，约能提升 60%。

表 1　GNSS 观测墩高度测定不同施测方案对比

施测方案	施测人数	施测时间/d	是否拆卸天线	经济效益评估/%
全站仪	3~5	0.7	是	90
水准仪	4~6	0.7~1.5	是	100
实用型装置	2~3	0.5	否	40

注：以施测方案经济效率最底为参考，其他施测方案相对经济效益最低的进行评估。

4　结　语

现代测绘基准体系建设，实现大地基准与高程基准的监测、维持与更新，需要精确测定连续运行 GNSS 观测墩高度属性。本文通过一种连续运行 GNSS 观测墩高度属性测定装置与方法介绍，详细阐述了激光水平仪结合钢直尺、水准仪等，借助实用型装置，通过采集程序开发，实现了不中断 GNSS 数据采集的情况下，精确、高效测定连续运行 GNSS 观测墩高度。从理论上评定了观测精度，实验了测定结果，提供了一套程序规范、精度可靠、方法通用的解决方案。后续，实用型装置可进一步改进，通过电子设备代替人眼的观测读数，提升正常高与大地高的联系精

（下转第 124 页）