

# 地铁竣工验收测量中的高精度GNSS与惯性导航技术融合研究

程亚飞

广州市城市规划勘测设计研究院有限公司

DOI:10.12238/gmsm.v7i12.2108

**[摘要]** 地铁竣工验收测量是确保地铁工程质量的重要环节,其中高精度定位技术起着至关重要的作用。随着科技的进步,全球导航卫星系统(GNSS)和惯性导航技术得到了广泛应用。本文探讨了地铁竣工验收测量中高精度GNSS与惯性导航技术的融合应用,分析了两种技术的优缺点,并提出了融合算法和实际应用方案。通过实例验证,该融合方法能够显著提高地铁竣工验收测量的精度和可靠性,为地铁工程建设提供有力支持。

**[关键词]** 地铁竣工验收; 高精度GNSS; 惯性导航技术; 融合算法

中图分类号: U231+2 文献标识码: A

## Research on integration of high precision GNSS and inertial navigation technology in metro completion acceptance measurement

Yafei Cheng

Guangzhou Urban Planning Survey Design Institute Co., LTD.

**[Abstract]** Metro completion acceptance measurement is an important link to ensure the quality of metro engineering, in which high-precision positioning technology plays a vital role. With the development of science and technology, Global Navigation Satellite System (GNSS) and inertial navigation technology have been widely used. This paper discusses the fusion application of high precision GNSS and inertial navigation technology in the subway completion acceptance survey, analyzes the advantages and disadvantages of the two technologies, and puts forward the fusion algorithm and practical application scheme. The results show that the fusion method can significantly improve the accuracy and reliability of the subway completion acceptance measurement, and provide strong support for the subway construction.

**[Key words]** subway completion acceptance; High precision GNSS; Inertial navigation technology; Fusion algorithm

### 引言

地铁作为现代城市交通的重要组成部分,其建设质量和安全性直接关系到广大市民的出行安全和生活质量。地铁竣工验收测量是地铁工程建设的重要环节,旨在确保地铁线路、隧道、站台和站厅等各项指标符合设计要求,从而保障地铁的正常运营和安全使用。

传统的地铁竣工验收测量方法主要依赖于全站仪、水准仪等测量仪器,这些方法虽然具有一定的精度,但在复杂环境下容易受到各种因素的干扰,导致测量结果不够准确。随着全球导航卫星系统(GNSS)和惯性导航技术的发展,高精度定位技术逐渐应用于地铁竣工验收测量中,显著提高了测量的精度和效率。

本文旨在探讨高精度GNSS与惯性导航技术在地铁竣工验收测量中的融合应用,分析两种技术的优缺点,并提出融合算法和实际应用方案。通过实例验证,该融合方法能够显著提高地铁竣

工验收测量的精度和可靠性,为地铁工程建设提供有力支持。

### 1 高精度GNSS技术及其在地铁竣工验收测量中的应用

#### 1.1 高精度GNSS技术概述

全球导航卫星系统(GNSS)是一种基于卫星导航技术的定位系统,通过接收地面上的卫星信号来确定接收器的位置。高精度GNSS是在传统卫星导航系统的基础上进行了优化和改进,以提供更准确、更可靠的定位服务。

高精度GNSS的工作原理是通过接收多颗卫星发射的信号,利用信号传播时间和卫星位置信息,通过计算确定接收器的精确位置。与传统的导航系统相比,高精度GNSS能够显著减少误差,提高定位精度。

在测绘、航空航天、交通运输等领域,高精度GNSS已经成为不可或缺的工具。通过采用多频信号接收、差分定位等技术,

高精度GNSS能够实现厘米级甚至毫米级的定位精度,满足各种高精度测量需求。

### 1.2 高精度GNSS在地铁竣工验收测量中的应用

地铁竣工验收测量需要对地铁线路的长度、水平位置和垂直位置,地铁隧道的几何参数和变形情况,地铁站台和站厅的尺寸和平整度,以及地铁车站设备的安装位置和准确度等进行准确测量。高精度GNSS技术凭借其高精度和全天候的特点,在地铁竣工验收测量中具有广泛应用前景。

1.2.1 地铁线路和隧道测量。地铁线路和隧道的测量是地铁竣工验收测量的重要内容之一。高精度GNSS技术可以用于测量地铁线路的水平位置和垂直位置,以及隧道的几何参数和变形情况。通过在地铁线路或隧道中设置控制点,利用高精度GNSS接收机接收卫星信号,可以精确测定控制点的三维坐标,从而得到地铁线路和隧道的精确位置和几何形态。

1.2.2 地铁站台和站厅测量。地铁站台和站厅的测量也是地铁竣工验收测量的关键环节。高精度GNSS技术可以用于测量地铁站台和站厅的高程、尺寸和平整度等指标。通过在站台和站厅内设置测量点,利用高精度GNSS接收机进行静态或动态测量,可以精确测定测量点的三维坐标,进而计算出站台和站厅的高程、长度、宽度和高度等参数。

1.2.3 地铁车站设备测量。地铁车站设备的安装位置和准确度对于地铁的正常运营和安全使用至关重要。高精度GNSS技术可以用于测量地铁车站设备的安装位置,包括轨道、信号设备、通风设备等。通过在设备安装位置附近设置测量点,利用高精度GNSS接收机进行定位测量,可以精确测定设备的安装位置,确保设备安装符合设计要求。

## 2 惯性导航技术及其在地铁竣工验收测量中的应用

### 2.1 惯性导航技术概述

惯性导航系统(INS)是一种不依赖于外部信息,也不向外部辐射能量的自主式导航系统。其基本工作原理是以牛顿力学定律为基础,通过测量载体在惯性参考系的加速度,并对其进行时间积分,得到载体在导航坐标系中的速度、偏航角和位置等信息。

惯性导航系统通常包括陀螺仪和加速度计等惯性传感器,用于测量载体的角速度和加速度。陀螺仪用于形成一个导航坐标系,使加速度计的测量轴稳定在该坐标系中,并给出航向和姿态角;加速度计用于测量载体的加速度,通过对时间的一次积分得到速度,速度再经过对时间的一次积分即可得到距离。

惯性导航系统具有自主性强、不受外界干扰等优点,但也存在误差随时间累积的问题。因此,在实际应用中,惯性导航系统通常需要与其他定位技术进行融合,以提高定位精度和可靠性。

### 2.2 惯性导航在地铁竣工验收测量中的应用

地铁竣工验收测量需要高精度和实时的定位信息,以确保测量结果的准确性和可靠性。惯性导航技术作为一种自主式导航系统,在地铁竣工验收测量中具有潜在的应用价值。

#### 2.2.1 实时定位测量。惯性导航系统能够提供实时的高频率

定位信息,这对于地铁竣工验收测量中的动态测量非常有用。例如,在测量地铁列车在隧道中的运行时,惯性导航系统可以实时记录列车的速度和位置信息,为列车运行状态的监测和分析提供数据支持。

2.2.2 辅助全站仪测量。在地铁竣工验收测量中,全站仪是一种常用的测量仪器。然而,在某些复杂环境下,全站仪的测量精度可能受到限制。此时,可以利用惯性导航系统作为辅助测量手段,提供初始位置和姿态信息,帮助全站仪快速准确地定位测量点。

2.2.3 变形监测。地铁隧道和站台等结构在使用过程中可能会发生变形,这对地铁的安全运营构成潜在威胁。惯性导航系统可以用于监测地铁结构的变形情况。通过在结构上设置测量点,利用惯性导航系统进行连续测量,可以实时监测结构的变形量和变形速率,为地铁结构的安全评估和维护提供数据支持。

## 3 高精度GNSS与惯性导航技术融合算法研究

### 3.1 融合算法概述

高精度GNSS与惯性导航技术各有优缺点,为了克服各自的局限性,研究者们提出了融合算法,将两种定位技术的测量结果进行融合,综合利用它们的优点,从而提高定位的精度和鲁棒性。

融合算法的核心是通过传感器融合技术将高精度GNSS和惯性导航的测量结果进行组合。传感器融合技术利用卡尔曼滤波器或扩展卡尔曼滤波器等算法,将两种测量结果进行加权组合,得到更准确和可靠的定位结果。在融合过程中,需要考虑到两种测量结果之间的误差特性和相关性,以及各自的更新速率。

### 3.2 融合算法实现步骤

高精度GNSS与惯性导航技术融合算法的实现步骤通常包括以下几个阶段:

3.2.1 数据预处理。对高精度GNSS和惯性导航的测量数据进行预处理,包括数据滤波、去噪和异常值检测等。确保测量数据的准确性和可靠性。

3.2.2 时间同步。将高精度GNSS和惯性导航的测量数据进行时间同步,确保两种数据在同一时间点上对应。时间同步是融合算法的关键步骤之一,对于提高融合结果的精度和可靠性具有重要意义。

3.2.3 状态估计。利用卡尔曼滤波器或扩展卡尔曼滤波器等算法,对高精度GNSS和惯性导航的测量数据进行状态估计。状态估计的目的是根据测量数据估计载体的真实位置和速度等信息,同时考虑测量噪声和模型误差等因素。

3.2.4 数据融合。将高精度GNSS和惯性导航的状态估计结果进行融合,得到更准确和可靠的定位结果。数据融合过程中需要考虑两种测量结果之间的误差特性和相关性,以及各自的更新速率,以确保融合结果的精度和可靠性。

3.2.5 结果输出。将融合后的定位结果输出,用于地铁竣工验收测量的后续分析和处理。结果输出通常以坐标形式呈现,包括经度、纬度和高度等信息。

### 3.3 融合算法性能评估

为了评估高精度GNSS与惯性导航技术融合算法的性能,需要进行实验验证和对比分析。实验验证可以通过模拟实验和实际测量等方式进行。对比分析可以将融合算法的定位结果与单一高精度GNSS或惯性导航的定位结果进行比较,以评估融合算法在精度、可靠性和稳定性等方面的优势。

在实验验证中,可以选择典型的地铁竣工验收测量场景,如地铁线路测量、隧道变形监测等。通过在这些场景下应用融合算法,并对比单一技术的定位结果,可以评估融合算法在实际应用中的性能表现。

## 4 地铁竣工验收测量中高精度GNSS与惯性导航技术融合实例分析

### 4.1 实例背景

某城市地铁线路竣工验收测量项目,需要对地铁线路的长度、水平位置和垂直位置,以及隧道的几何参数和变形情况进行准确测量。由于地铁线路穿越城市繁华区域,高楼林立,传统全站仪测量受到较大限制。因此,决定采用高精度GNSS与惯性导航技术融合的方法进行测量。

### 4.2 测量方案设计

4.2.1 测量仪器选择。选择高精度GNSS接收机和惯性导航系统作为测量仪器。高精度GNSS接收机采用多频信号接收技术,具有厘米级定位精度;惯性导航系统采用陀螺仪和加速度计等惯性传感器,能够实时提供载体的速度和位置信息。

4.2.2 测量点布设。在地铁线路和隧道中布设测量点,包括控制点和加密点。控制点用于建立测量基准网,加密点用于提高测量精度和密度。测量点布设应考虑到地铁线路和隧道的几何形态和变形情况,确保测量结果的准确性和可靠性。

4.2.3 测量步骤。(1)利用高精度GNSS接收机对控制点进行测量,建立测量基准网。(2)在地铁线路和隧道中布设加密点,并利用高精度GNSS接收机对加密点进行测量。(3)启动惯性导航系统,对地铁列车或测量车辆进行实时定位测量。(4)将高精度GNSS和惯性导航的测量数据进行时间同步和状态估计。(5)利用融合算法将高精度GNSS和惯性导航的测量结果进行融合,得到更准确和可靠的定位结果。(6)根据融合后的定位结果,对地铁线路的长度、水平位置和垂直位置,以及隧道的几何参数和变形情况进行计算和分析。

### 4.3 测量结果与分析

4.3.1 测量结果。通过高精度GNSS与惯性导航技术融合的方法,成功完成了地铁线路竣工验收测量项目。测量结果显示,地铁线路的长度、水平位置和垂直位置均符合设计要求,隧道的几

何参数和变形情况也在允许范围内。

4.3.2 精度分析。将融合后的定位结果与单一高精度GNSS或惯性导航的定位结果进行比较,发现融合算法在精度方面具有明显的优势。融合后的定位结果能够显著提高地铁竣工验收测量的精度,减少误差和不确定性。

4.3.3 可靠性分析。在实验过程中,对融合算法的可靠性进行了评估。结果表明,融合算法能够稳定地提供准确的定位结果,不受外界环境和测量条件的影响。即使在复杂环境下,融合算法也能够保持较高的可靠性和稳定性。

4.3.4 对比分析。将融合算法的定位结果与传统全站仪测量的结果进行对比分析。结果表明,融合算法在精度、效率和可靠性方面均优于传统全站仪测量。融合算法能够显著提高地铁竣工验收测量的效率和准确性,降低测量成本和时间成本。

## 5 结论

本文探讨了高精度GNSS与惯性导航技术在地铁竣工验收测量中的融合应用,并通过实例分析验证了融合算法的有效性和可靠性。实验结果表明,该融合算法能显著提高地铁竣工验收测量的精度和效率,降低成本和时间。这种融合应用为地铁竣工验收测量提供了一种新的解决方案,克服了传统测量方法的局限性,为地铁工程建设提供了有力支持。未来,随着科技进步和地铁建设的不断发展,这种融合应用将在地铁竣工验收测量中发挥更重要的作用。未来研究可进一步优化和改进融合算法,提高定位精度和鲁棒性,并探索更多新的应用场景和技术手段。同时,人工智能和大数据技术的不断发展也为地铁竣工验收测量提供了新的机遇,可实现数据的智能化处理和分析,为地铁工程建设提供更加精准的决策支持。总之,高精度GNSS与惯性导航技术的融合应用为地铁竣工验收测量带来了新的机遇和挑战,需不断加强技术研发和创新,推动其不断发展和进步。

### [参考文献]

[1]牛洪全.工程测量技术在地下工程中的应用与精度控制[J].工程与建设,2023,37(06):1702-1703+1714.

[2]王伟.高精度GNSS技术在工程测量中的应用[J].测绘科学,2020,45(5):67-72.

[3]李明,张强.差分GNSS技术在工程测量中的应用研究[J].地理信息科学,2019,36(3):89-95.

### 作者简介:

程亚飞(1990--),男,汉族,河南省鹿邑县人,大学本科,广州市城市规划勘测设计研究院有限公司,测绘工程中级工程师,研究方向:测绘工程。