引文格式：王越,石淼,文琳,等. 车载移动测量技术在市政道路调查中的应用[J]. 地理空间信息, 2024, 22(6): 89-93. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2024.06.021

车载移动测量技术在市政道路调查中的应用

王　越[1]，石　淼[1]，文　琳[1]，李凤华[1]，王树根[2]
（1. 武汉市测绘研究院，湖北 武汉 430022；2. 武汉大学 遥感信息工程学院，湖北 武汉 430079）

摘　要：首次提出了将车载移动测量技术应用于全国自然灾害综合风险普查的市政道路调查工作中，设计了市政道路调查的技术路线，研究了道路点云和街景影像数据采集及其处理方法，制作了道路三维矢量地图和360°可量测街景地图，并建立了市政道路调查数据库。通过武汉市第一次市政道路调查项目的应用实践证明，利用车载移动测量技术可有效克服传统外业测量调查方法的不足之处，有利于提高道路调查工作的精确度和效率。此外，通过一次调查还可同时获得道路三维矢量地图和街景地图等附加产品，提升了道路调查成果的潜在应用价值。

关键词：车载移动测量；市政道路调查；点云；街景地图
中图分类号：P258　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）06-0089-05

Application of Vehicle-borne Mobile Measurement Technology in Municipal Road Survey

WANG Yue[1], SHI Miao[1], WEN Lin[1], LI Fenghua[1], WANG Shugen[2]
(1. Wuhan Geomatics Institute, Wuhan 430022, China;
2. School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

Abstract: For the first time, we applied vehicle-borne mobile measurement technology into the municipal road survey of the national natural disaster risk census, and designed a technical route of municipal road survey. Then, we studied data collection and processing methods of road point cloud and street view image, produced 3D vector map of road and the 360° measurable street view map, and established the municipal road survey database. Through the application practice of the first municipal road survey project in Wuhan, it is proved that the use of vehicle-borne mobile measurement technology can effectively overcome the shortcomings of traditional field survey methods, which is conducive to improving the accuracy and efficiency of road survey work. In addition, additional products such as 3D road vectors and street view maps can be obtained at the same time through one survey, which can enhance the potential application value of road survey results.

Key words: vehicle-borne mobile measurement, municipal road survey, point cloud, street view map

全国自然灾害综合风险普查是一项重大的国情国力调查，是提升自然灾害防治能力的基础性工作[1]。市政道路作为城市防灾及救灾系统的关键组成部分，与交通安全和生产生活关系密切，是风险普查工作的重要调查内容之一[2]。由于市政道路数量多、里程长、分布广，加上城市道路车流量大、交通情况复杂等因素，其调查工作任务重、组织实施难度大。若采用全野外实测等传统方法来完成市政道路调查，存在劳动强度大、工作效率低、属性记录难和作业安全风险高等问题[3]。而且受二维数据表达和要素种类不全等限制，传统测量方法采集的道路信息已难以满足数字城市建设和城市精细化管理对三维地理信息的需求。

车载移动测量系统是一种可快速获取沿道路地表及其周边地物三维空间信息的采集系统，具有非接触、主动式、采集效率高、数据精度高等特点[4-8]。通过该系统获取的三维激光点云和全景影像数据能够高效、全面地得到道路及沿街附属设施空间和纹理信息，可为市政道路调查工作提供重要数据支撑。本文根据武汉市第一次自然灾害综合风险普查中的市政道路调查工作总体要求，设计了基于车载移动测量技术的市政道路调查技术路线，研究了道路点云和街景影像数据采集及其处理方法，并利用所制作的道路三维矢量地图和360°可量测街景地图2种主要产品，开展了全市市政道路的调查工作，为摸清城市道路及沿街设施现状提供了一种行之有效的解决方法。

收稿日期：2023-03-04。
项目来源：湖北省自然资源厅科技项目（ZRZY2023KJ23）；武汉市第一次全国自然灾害综合风险普查项目。
第一作者简介：王越（1989—），硕士，工程师，主要从事LiDAR技术相关的研究及应用工作，E-mail：ywangwhu@163.com。

1 市政道路调查技术路线

按照第一次全国自然灾害综合风险普查的任务要求，武汉市的市政道路调查工作分为内业资料收集和外业现场调查2个部分进行。其中，内业是通过道路的设计单位、建设单位、属地管理部门以及城建档案馆，多渠道收集道路基本信息及安全信息资料；外业现场调查主要包括道路信息复核测量，道路沿线重要承灾体和设施的信息调查，以及调查成果数据的抽检核查3项内容。鉴于上文提到的传统道路现场调查方法所存在的不足，本文采用车载移动测量技术来代替传统的道路现场调查方法，即通过制作360°可量测街景地图和道路3维矢量地图来辅助市政道路调查，可将大量外业现场工作转换到内业完成，以提高调查效率。

基于车载移动测量技术的市政道路调查，其工作流程主要包括外业数据采集、内业数据处理和市政道路调查实施建库3个阶段，具体技术路线如图1所示。



图1 基于车载移动测量技术的市政道路调查技术路线

2 车载移动测量数据采集与处理

2.1 外业数据采集

外业数据采集的内容包括基于移动测量车的道路点云和影像数据、基于CORS（continuously operating reference station）基准站的车载设备定位数据，以及控制点信息3个方面。本文选用中海达HiScan-VUX型车载移动测量系统进行外业数据采集，具体方法为：①道路数据：首先根据道路调查任务的工作底图对采集线路进行科学规划，同时为确保道路点云和影像的质量，应根据天气和交通路况等因素合理安排作业时间，数据采集过程中应尽量控制车速并保持匀速行驶。由于道路调查需要统计道路红线范围内的完整路幅形式及路面宽度等信息，所调查路段应实现点云和影像的全覆盖。因此，对于双向6车道以上道路和主辅分离的道路，需往返多次采集；对于包含有高架桥的路段，桥上桥下应分别采集。②车载设备定位数据：以武汉市连续运行卫星定位服务系统（WHCORS）的观测数据作为基准站，通过与移动测量车搭载的GPS进行联合差分解算实现对车载设备的定位。③外业控制点信息：为保证供道路调查用的点云精度，需沿道路走向按折线方式布设少量外业控制点，分别作为点云位置纠正的控制点和检查点使用；对于GPS信号遮挡较为严重的区域，还需适当加密控

制点的数量。

2.2　内业数据处理

2.2.1　点云数据处理

外业数据采集完成后，利用车载POS和WHCORS数据进行联合差分与定位，将移动测量车轨迹与车载LiDAR激光扫描数据进行融合解算，获得WGS-84坐标系下的初始点云三维坐标，并对点云数据进行如下处理：

1）点云坐标转换和高程精化。将初始点云平面坐标由WGS-84坐标系转换到WH2000坐标系，并利用似大地水准面精化成果将高程改算至1985国家高程基准，以便于道路调查成果基准的统一。

2）点云位置纠正。点云位置精度易受环境条件影响，尤其在城市中心高楼、高架桥密集区域，GPS信号遮挡较为严重，使得同一路段的重访点云间可能存在一定的几何偏差，此时需对点云位置进行纠正。通常先利用点云分段特征实现重访点云间的局部配准，再借助外业控制点进行全局点云整体优化配准。经纠正后的点云位置应满足《车载移动测量数据规范》（CH/T 6003-2016）中车载激光点云类Ⅰ级精度的要求，即点位精度优于0.1 m，高程精度优于0.05 m。

3）点云分类。先利用系统配套的后处理软件HD_3LS_SCENE对噪声点进行剔除，再结合道路规划设计资料中的道路红线范围，去除道路红线范围外的点云，以减少数据冗余。在此基础上，结合车载移动平台轨迹数据按高程进行过滤，分离出道路面所在一定高度范围内的点并将其划分为地面点，作为道路三维矢量提取的主要数据源。

4）道路三维矢量提取。首先，利用点云智能处理软件Point2Model对道路调查要素（如道路边线、道路标志线、道路分隔设施等）进行自动提取和分类[9]。然后，在点云和全景影像精确配准的基础上，对无法实现自动识别的道路调查要素进行人工采集和绘制。最后，为满足道路调查数据建库需要，还需在道路三维矢量提取的基础上，对不同道路功能分区（如机动车道、非机动车道、人行道）进行构面。

2.2.2　影像数据处理

点云数据处理完成后，还需对影像数据进行如下处理：

1）全景影像拼接。全景影像拼接是将由全景相机拍摄的多幅原始影像拼接成一幅360°的全景影像，主要用于街景发布。本文采用HDPanoFactory软件进行影像拼接处理，其原理是利用影像重叠部分的多对同名点，通过影像配准实现对影像的两两拼接，最终将5个镜头的影像拼接成一幅全景影像。

2）点云与影像配准。所采集的街景数据经过融合解算处理后，点云与全景影像理论上应该是完全配准的。但由于各种外界因素的影响，两者之间可能出现旋转、偏移等现象，导致全景影像不能很好地与点云配准。为此，可利用HD_3LS_SCENE软件，通过调整全景影像的6个参数（3个平移、3个旋转），使其与点云完全配准。

3）街景地图制作。街景发布数据由HD PtCloud StreetView软件生产，该软件可根据点云预处理后所输出的数据制作可量测街景地图。可量测街景地图生产的作业流程包括全景模糊、生成深度图、面片提取、轨迹编辑、添加标注、全景切片等步骤[10]。全景切片完成后，再利用HD MapCloud RealVision软件进行360°可量测街景地图服务发布上线。

3　市政道路调查实践及结果分析

本文将车载移动测量技术成功地应用于武汉市市政道路调查工作中，在道路资料信息复核测量、道路沿线重要承灾体及设施调查，以及调查成果抽检核查等过程中进行了实践。

3.1　市政道路调查实践

3.1.1　道路资料信息复核测量

道路资料信息复核测量的主要任务是对道路信息收集过程中录入的道路空间位置、路幅形式、路面宽度、车道数等内容，通过外业调查的方式进行复核确定。实际调查工作中，利用360°可量测街景地图作为调查复核依据，按照“路口-路段-路口”的顺序步进式漫游，依次对道路起终点、道路路名、路幅形式、车道数等内容进行确认或修改。通过街景发布软件的测距工具，可对道路上任意2点间的空间距离进行量测，如获取机动车道、非机动车道及人行道的宽度等信息。如图2所示，量取的某路段机动车道单车道宽度为3.75 m。



图2　基于街景地图的车道宽度量测示意图

3.1.2　道路沿线重要承灾体及设施调查

道路沿线重要承灾体及设施调查的主要任务是采集道路沿线机关、医院、学校、避难场所等重要公

共设施的位置分布情况和开口类别，以及道路沿线桥梁、隧道、高架、立交等交通基础设施的空间位置分布情况和结构类型等信息。由于内业数据处理过程中已实现点云和全景影像的精确配准，因此可直接借助点云的位置信息进行道路沿线重要承灾体及设施的定位，再利用全景影像判定承灾体及设施的类别、结构形式及开口类型，并记录其隐患点位图片信息。

3.1.3 调查成果抽检核查

为保证市政道路调查数据成果的质量，还需开展调查成果的抽检核查。在抽样核查过程中，可充分利用具有调查现场真实还原效果的360°街景影像辅助开展调查成果的信息查验，并与前期的调查录入信息进行比对分析。实际作业过程中只需对全景影像中无法辨别或存疑的调查数据进行人工现场核实，可大幅减少外业工作量，提高抽检核查的工作效率。

3.2 市政道路调查结果分析

3.2.1 调查精度分析

为验证本文方法的市政道路调查成果的空间精度，利用RTK和全站仪在调查路段采集了30个检查点，通过实地测量的检查点坐标真值与基于点云提取的道路三维矢量特征点位坐标值进行对比，分别计算平面较差△S、高程较差△Z和空间距离较差△D，精度检测结果如图3所示。

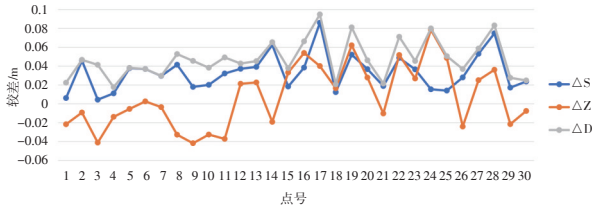


图3 市政道路调查成果精度检测结果

经计算，市政道路调查成果的平面中误差为0.038 m，高程中误差为0.034 m，空间距离中误差为0.051 m。武汉市第一次市政道路调查项目要求其成果精度需符合《城市测量规范》（CJJ/T 8–2011）1∶500地形图的规定，即在平坦地区，平面≤0.25 m，高程≤0.15 m，点间距≤0.2 m。本文方法的实际调查成果精度远优于项目要求的精度指标。

3.2.2 调查效率分析

传统市政道路调查方法是借助RTK、全站仪、激光测距仪或钢尺对道路宽度等信息进行复核，并对道路分幅形式、车道数情况以及沿线重要承灾体和设施的出入口位置及分布情况进行拍照定位。这种通过人工外业测量的扫街式调查方式不仅劳动强度大、作业安全风险高，且很容易造成调查错漏导致返工。而利用车载移动测量技术制作的360°可量测街景地图和道路三维矢量地图来辅助市政道路调查，可在保证调查精度的同时，大幅减少外业工作量、提高调查效率。以完成100 km市政道路调查为例，本文车载移动测量方法与传统方法的道路调查效率对比见表1。

表1 车载移动测量方法与传统方法的道路调查效率对比

	车载移动测量外业采集	车载移动测量内业处理	本文方法	传统方法
人员投入/人	2（1车）	4	6	15
调查时间/d	2	2（同时进行）	2	2
工作量/d	4	8	12	30

4 市政道路调查成果建库及应用

4.1 市政道路调查数据建库

基于市政道路内、外业调查成果，建立武汉市市政道路调查数据库。该数据库由道路空间数据库和沿线重要承灾体及设施数据库组成。道路空间数据库包含道路中心线、道路边线和道路功能面3个图层。其中，道路边线的空间位置是从道路三维矢量成果中获取，并根据机动车道、非机动车道、人行道的边线位置，按照不同的道路功能分区构建道路面。承灾体及设施数据库包含道路沿线各类重要设施的点位、类别、开口类型及隐患信息等。设施数据建库时应与道路数据进行位置关联，然后将道路的调查属性信息挂接至空间数据库中，经图形属性一致性和拓扑关系等检查，最终形成武汉市市政道路调查数据库，并建立武汉市市政道路调查信息“一张图”，如图4所示。



图4 武汉市市政道路调查信息“一张图”示意图

4.2 调查成果应用

结合市政道路调查成果查询、统计、分析、管理等实际应用需求，作者设计了武汉市市政道路基础信息管理系统，开发了基于调查结果的道路信息查询、道路面积统计、道路横断面分析、道路缓冲区分析等功能。其中，道路信息查询可通过范围或属性字段筛选，查看道路的基本信息、分段信息、道路面信息及

沿街设施分布情况等；道路面积统计可按不同道路功能分区，对指定路段或区域的道路进行面积统计；道路横断面分析可通过在道路任意位置勾绘横断线，实现该位置处的路面宽度测量，并自动生成路幅形式结构图；道路缓冲区分析则是通过设置缓冲区搜索半径，可沿道路查找附近的各类重要承灾体及设施分布情况，并生成设施信息列表。

5 结　语

通过武汉市第一次市政道路调查项目的应用实践表明，车载移动测量技术不仅可用于全国自然灾害综合风险普查的市政道路调查，还可有效解决传统道路调查作业方式中存在的人工投入大、工作效率低、安全风险高等问题。利用道路点云和街景影像相结合所具有的对调查现场高度还原的特性，以此为基础不仅可确保调查成果的空间精度和属性准确性，还能通过一次调查获得道路三维矢量地图和360°可量测街景地图等附加产品，使调查成果具有更广阔的应用前景。

参考文献

[1] 邵泽兴,张雨,陈鹏,等. 基于FME的自然灾害风险普查数据整合与质检方法研究——以房屋建筑普查为例[J].地理空间信息,2022,20(9):14-17

[2] 王圣伟. 承灾体调查中的市政设施调查[J].城市与减灾,2021,137(2):30-34

[3] 孙宇. 全景测绘技术在市政工程建设中的应用[J].测绘通报,2022(增刊):303-305+326

[4] 王文峰. 车载LiDAR在智能化全息测绘中的应用[J]. 地理空间信息,2021,19(2):54-55

[5] 南红涛. 车载激光点云道路提取技术研究与应用[D]. 郑州:战略支援部队信息工程大学,2020

[6] Clode S, Rottensteiner F, Kootsookos P, et al. Detection and Vectorization of Roads from Lidar Data[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2007, 73(5):517-535

[7] Zai D，Li J，Guo Y，et al. 3-D Road Boundary Extraction from Mobile Laser Scanning Data Via Supervoxels and Graph Cuts[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2018, 19(3):802-813

[8] 李真,吕志慧,张浩. 基于车载雷达技术的城市部件普查研究[J]. 地理空间信息,2021,19(9):34-37

[9] 刘如飞,马新江,卢秀山,等. 利用多元LBP特征自动提取城市道路边界[J]. 遥感学报,2022,26(3):541-554

[10] 刘勤,刘坚耿,严俊. 可量测360°街景地图建库与在线发布技术分析[J]. 地理空间信息,2015,13(1):48-49

（上接第73页）

4 结　论

本文针对监测数据的变化特点建立了灰色模型。为提高灰色模型拟合与预测精度，考虑到将灰色作用量表示为随时间的变化的线性函数，建立了以时变参数优化灰色作用量以及背景值的优化的改进灰色模型。通过建立不同灰色模型并对预测效果进行对比分析，基于优化背景值的时变参数模型具有较好的预测效果，弥补了灰色模型灰色作用量以及背景值固定不变导致的降低预测结果精度的问题。同时，针对权重参数的计算方法，除了黄金分割法还有其他的一维无约束搜索算法，有待进一步对比研究。

参考文献

[1] 潘红宝,宋绍溥,傅志峰,等. ARIMA与GM(1,1)模型在某深基坑沉降预测中的对比分析[J]. 勘察科学技术,2022(4):39-43

[2] 杨恒,岳建平,丛康林,等. 基于GM(1,1)模型的高速铁路沉降分析预测[J]. 地理空间信息,2020,18(10):95-98

[3] 闫小辉,徐泮林. 基于GM(1,1)与Verhulst模型的建筑物沉降预测分析[J]. 地理空间信息,2020,18(9):110-112

[4] 陈树. 残差修正模型GM(1,N)在地铁基坑周边建筑沉降预测中的应用[J]. 北京测绘,2020,34(11):1 657-1 660

[5] 闫利祥. 改进新陈代谢GM(1,1)模型在地表沉降预测中的应用[J]. 测绘技术装备,2021,23(2):45-48

[6] 李浩飞,常伟纲,楚宪亮. 新信息优先的灰色模型在沉降预测中的应用[J]. 测绘地理信息,2020,45(6):97-99

[7] 程朋欢,卢德基. 一种基于沉降预测的灰色模型背景值优化方法[J]. 测绘地理信息,2022,47(5):51-53

[8] 黎湛明. 基于背景值优化改进的灰色沉降预测模型研究[J]. 测绘与空间地理信息,2022,45(12):243-244

[9] 雷永巍. 基于黄金分割法改进的GM(1,1)公路货运量预测[J]. 科学技术创新,2021(19):168-170

[10] 谭小容,许江宁,何泓洋,等. GM(1,1)模型初始条件优化及其在GNSS钟差预报中的应用[J]. 大地测量与地球动力学,2022,42(9):919-924

[11] 王炳新. 基于卡尔曼GM(1,1)模型的基坑变形分析研究[J]. 城市勘测,2022 (3):146-150

[12] 赵磊磊,花向红,邵桔,等. 改进的新陈代谢GM(1,1)模型在建筑物沉降预测中的应用[J]. 测绘地理信息,2019,44(6):120-122

[13] 张振超,张军,袁德宝,等. 优化背景值的时变参数GM(1,1)在铁路沉降中的应用[J]. 测绘科学,2020,45(3):39-45