

三维激光扫描技术在地下空间测量中的应用

闫明磊

山东正元地球物理信息技术有限公司 山东 济南 250101

摘要:在城市不断发展的过程中,地下市政基础设施建设越来越众多,对地下市政基础设施进行勘察和信息化建设,是我国基础设施建设中的一个重要支撑。地下空间是地下市政设施中的一个重要部分,对其进行准确测量与构建模型对于智慧城市与数字孪生提供数据支撑具有重要意义。通过对外业测量,数据采集,点云数据处理,三维模型制作,成果编绘和质量检查等方面的研究,对三维激光扫描技术应用于地下空间测量进行了完整地阐述。通过研究,表明三维激光扫描技术在地下空间测量中具有非接触性、实时动态、高精度、高密度、数字化程度高,成果内容丰富等特点,可以在相关项目中推广使用。

关键词:地下市政设施普查;地下空间测量;三维激光扫描;三维立体建模;质量检查

引言

现阶段,我国对于地下空间实地测量方法研究比较多的是地下管线的物探和测量方法,主要有电磁感应法、高密度电法、高精度磁测法、地质雷达探测法等^[1]。在更广泛的地下空间设施测量中以上方法同样适用,但是由于地下空间范围更为广泛,结构更为复杂,还需要综合应用其他测量方法,如全站仪测量方法、三维激光扫描法等。

这些设备与传统地面测量方法相比具有明显优势,尤其是其操作简便,无需人员参与和大量投入,因此受到广大工程技术人员欢迎。本文就三维激光扫描在地下空间测量中的应用展开研究,讨论三维激光扫描外业测量、数据处理、三维建模、成果展示等内容。

1 外业测量

1.1 控制测量

地下市政基础设施普查的控制测量按作业区域分为地面控制测量和地下控制测量。地下空间普查控制测量作业前对地下空间范围进行实地踏勘,在充分了解地下空间地面以及地下市政基础设施的整体分布状况后,针对分布情况进行布设控制点。

1.1.1 地面控制测量

(1) 地面首级控制测量,在卫星信号接收良好区域,运用连续运行卫星定位综合服务系统技术采用网络RTK的方法按一级GNSS点精度进行布设与观测;在RTK

信号不好的地方,采用二级导线测量方式进行加密。在首级控制测量完成后,图根控制点采用RTK方法和图根导线测量方法。各级别控制测量在满足普查精度要求的情况下可进行越级布设。

(2) 地面首级控制点布设在地下设施的地面出入口或地面与地下联系测量处附近。控制点成对布设,有相应的检核点,并保持相互通视。在现有的地面控制点能够满足对地下设施进行测量的情况下,经检核复核精度要求的可以直接利用。

1) 首先利用城市区域内原有的平面控制点点位;

2) 控制点位选择时满足GNSS对卫星信号的观测要求($PDOP \leq 6$, 卫星高度截至角 $> 15^\circ$, 卫星数 ≥ 5);

3) GNSS RTK测量每天开始作业前,作业人员应进行测量检核,检核结果满足平面位置较差 $\leq 5\text{cm}$,可进行测量;

4) GNSS RTK测量时,GNSS接收机采用三脚架对中整平;测量时,在采集软件中设置平面收敛阈值 $\leq 2\text{cm}$,垂直收敛阈值 $\leq 3\text{cm}$;控制点按照要求测回数进行采集数据,各测回采集的数据的平面坐标分量较差 $\leq 2\text{cm}$,取各测回平均值作为坐标成果;

5) RTK测量结束后要进行检查;对内业进行100%的检查和外业不少于10%的检查。检查时,检查点均匀分布测区,采用重复测量方式进行。

1.1.2 地下控制测量

(1) 地下控制测量基本要求

1) 地下控制测量包括平面控制测量和高程控制测量,其精度等级选用图根级精度。

2) 地下设施有车行或人行出入口的,地下控制测量

个人简介:闫明磊(1989.08-),男,山东青州人,大学本科学历,现工作于山东正元地球物理信息技术有限公司,任物探工程部副经理,工程师,研究方向为三维激光扫描技术应用、地下市政设施调查、地下管网探测项目的技术、管理等。

的起算成果采用地面首级控制测量成果；需进行成果传递的，通过联系测量进行传递坐标、方位、高程成果。

(2) 地下平面控制测量

地下平面控制测量采用导线测量方法进行，采用与地面测量相同的主要技术及观测要求。

地下控制测量导线根据地下设施出入口数量及分布范围布设。有两个以上出入口的，布设附和导线；有一出入口一竖井的，布设一端定向的导线；对于小型地下地下市政基础设施且仅有一个出入口的，布设支导线，测定左右角，边长应往返观测。

(3) 地下高程控制测量

地下高程控制测量采用导线测量方法；测量的精度等级选用图根级。

1.2 地下空间设施测量

对于没有资料的地下空间测量根据其特性不同，应分类别进行测量。

1.2.1 测量内容

地下停车场等地下交通设施测量内容

地下交通设施应直接采集外壁角点及特征点坐标，外壁角点不具备测绘条件时，先采集内壁角点坐标和高程，然后根据设施施工竣工图数据或现场实测外墙厚度数据推算外轮廓坐标。

① 地下交通设施的高程采用三角高程测量方法测定。

② 地下车行通道测绘还应包括路幅宽度量测、应急通道等附属设施测绘。

③ 地下交通设施以结构顶板作为起点和终点，其余对空出露部分不作为地下通道，需实测内部车行道起点、终点、最低点和变坡点的地坪高程和净高，测量处用油漆进行标记。

④ 地下人行通道（过街地道）以结构顶板作为起点和终点，其余对出露部分作为出入口表示，实测人行通道底面的地坪高和净高，测量处用油漆进行标记。

1)人防工程等地下其他工程设施测量内容

① 地下其他工程轮廓及特征点的平面位置可采用全站仪坐标法或交会法测定。当现场空间狭小时，采用几何作图法进行测量。

② 地下其他工程应直接采集外壁角点及特征点坐标，外壁角点不具备测绘条件时，先采集内壁角点坐标和高程，然后根据竣工图数据或现场实测外墙厚度数据推算外轮廓坐标；没有竣工数据，现场实测不到的根据同类型的设施资料进行推算。

③ 净高测量，净高存在不一致时，量取结构主体位置净高，首先在采集处用油漆做好标记，采用手持激光

测距仪或钢尺进行采集，每个净高分别采集记录两次，取平均值。

1.2.2 地下空间设施测量方法

对于收集到的审批或竣工资料已标注地面高程和顶板高程的，实地采集相同或相近点位高程进行高程转换。资料没有标注或没有资料的地下交通设施、地下其他工程设施等地下空间测量，在采用三维激光扫描仪作业时进行获取。具体作业流程如下：

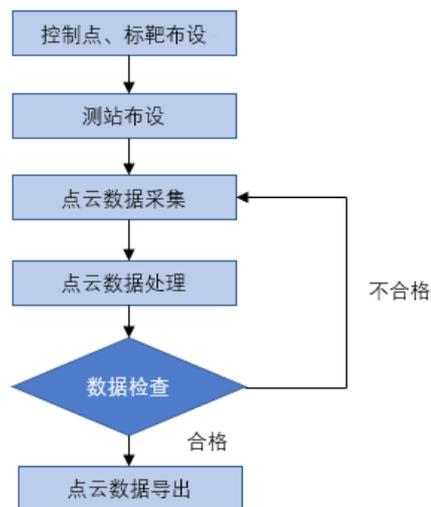


图1-1 三维激光扫描流程图

(1) 标靶布设

标靶布设时要求：

- 1) 标靶在作业范围内布置均匀；
- 2) 标靶可以选择明显特征点或布设的图根控制点，以提高效率。

(2) 测站布设

三维激光扫描仪作业前需对现场进行踏勘，然后根据作业区地形特征、范围以及扫描仪的测距范围、精度等，制定外业测量的技术方案，包括扫描站点的布设、扫描仪参数的设置等。

测站的布设应符合以下要求：

- 1) 所有测站的有效扫描区域要完整覆盖整个测区，以确保点云数据的完整性；
- 2) 测区内测站分布要尽可能的均匀，以提高后续内业点云坐标转换的精度；
- 3) 为了提高后续内业点云拼接的准确度，在外业采集的过程中，相邻测站之间应保证至少30%的点云重合度，困难地区不低于15%；
- 4) 为了避免点云数据冗余，测站布设路线应尽量避免路线往返重复。

(3) 点云数据扫描

根据现场踏勘的作业区地形特征、范围结果及资料收集情况,制定外业扫描方案。

点云数据扫描满足下列要求:

1) 作业前仪器整平且有作业人员在附近确保仪器安全,防止汽车、行人的冲撞;

2) 相邻测站之间应保证至少30%的点云重合度,困难地区不低于15%;扫描站点在外业作业草图上标注测站位置,并通用方式命名测站,存储扫描数据。

外业扫描作业结束后,及时将扫描数据导入电脑;进行预览拼接,检查点云数据覆盖范围;对于缺失和异常的数据,安排补充设站扫描,保持数据的完整性。

2 三维实景建模

根据实际应用需求,采用激光扫描技术建立三维实景模型,反映真实环境情况,数据应全面、直观。

2.1 点云预处理

数据预处理包括点云数据配准、降噪与抽稀等主要流程。

2.1.1 点云数据配准

外业扫描采集的点云,都是基于每测站三维激光扫描仪中心为原点的独立坐标系,配准的目的在于将所有数据拼接成一个整体。

2.1.2 降噪与抽稀

噪声由仪器自身,扫描环境和目标物体表面介质诸多因素共同影响。

点云数据降噪与抽稀应符合下列要求:

1) 采用滤波或人机交互对脱离扫描目标的异常点、孤立点进行降噪。

2) 经过抽稀处理的点云数据,不能影响目标物特征的识别与提取。

2.2 纹理图像采集

纹理数据采集主要使用现场拍照,制作标准纹理库方法。

地下建筑物纹理相对单一,利用现场拍照采集纹理信息,建立对应工程的标准纹理库用于标准纹理部分快速建模,包括地面、立面、顶面、柱子等。

2.3 三维模型制作

2.3.1 三维建模内容

依托外业采集点云数据进行三维模型制作,需建模内容:

(1) 地下空间主体结构:墙体、支柱、台阶、门、地面基础、楼层顶板、地下空间出入口、通风主管道、消防主管道;

(2) 停车位:机动车停车位范围线需进行建模,车

位号不进行数据采集;

2.3.2 三维模型制作

三维模型通过3Ds Max软件建立,通过格式转换,把预处理好的点云数据载入3Ds Max软件,并以该软件中地下空间点云数据作为基准利用该软件中建模工具进行建模,所述材质编辑器用于贴图得到地下空间实景三维模型。

(1) 三维模型制作

模型制作根据已制作完成点云为基础,采用3Ds Max软件进行操作建模,精确反应地下空间内部主体结构、车位及各类附属设施等。主要采用LOD3细节层次。不同部件采用不同细节层次展现,模型制作要求如下:

1) 模型共面和相距太近的面要删除。当两个目标共面时,将小面模型的共面面删除,作业过程中避免破面、漏面、漏缝等情况。

2) 删除冗余的点、线、面,以及重合线、重叠面,保证模型无裂缝。

3) 弧形结构用6段表现,柱形结构用12段表现,球形结构用24段表现,保证模型展现效果。

3 成果图编绘

城市地下市政基础设施普查的成果图为彩色图,城市地下市政基础设施要素用彩色表示,各类设施符号、颜色要求按要求执行,以普查范围内1:500或1:2000地形图为基础背景图,其背景图采用灰色表示。

城市地下市政基础设施普查的成果图包括城市地下市政基础设施普查单元分布图、城市地下市政基础设施分布图等,多层的地下市政设施外轮廓的投影不一致时,以最大外轮廓线表示,并标注设施名称。

4 成果质量检验

地下市政设施普查成果质量实行“两级检查”和“一级验收”制度;确保普查成果质量合格率达到100%,普查成果质量优良品达80%以上。

4.1 过程检查

过程检查包括以下作业组自查互查、项目部检查、生产部门专检3道检查工序。

1) 每个作业小组都要对自己的作业成果进行严格的检查,主要成果资料要经过100%的审核才能提交。未经过检查或检查不合格的,不能进入下道工序。

2) 项目部检查员一般由项目负责、技术负责兼任,常驻测区对作业小组的过程成果进行日常跟踪检查。

3) 生产部门检查是指在项目各工序成果完成后进行的检查,主要包括数学精度检查、数据库检查等工作内容。

4.2 最终检查

最终检查由技术质量管理部门执行,包括外业检查和内业检查。对项目所有成果进行100%的内业检查,外业检查按照抽样检查进行,检查完成后对项目成果进行质量评价并出具《测绘成果质量检查报告》,《测绘成果质量检查报告》在项目验收时一并提交。

4.3 成果提交

地下市政基础设施普查项目完工后,以项目为单位,按纸质资料和电子数据的形式提交地下市政基础设施测绘成果数据资料。

纸质资料成果主要为文档成果,包括:技术设计书、技术总结、质量检查报告、权属单位审核确认书、质量检验报告等。

电子数据包含数据库成果、文档成果扫描件及设施相关附件成果。

相关附件包括收集到的设施总平图、竣工图、纵横

剖面图等其他图件的电子数据或扫描件及普查中拍摄的相关照片。

结语

通过对三维激光扫描技术在地下市政设施(地下空间)普查中应用的论证,经过项目的实践,证明了三维激光扫描在该类项目中的优势。利用三维激光扫描技术,可以拓展测量成果的应用,实景建模的模型可以应用于实景城市建设,为智慧城市、数字孪生城市等提供数据支持。

参考文献

- [1]赵洪涛.城市地下管线探测技术方法及其应用[J].科技创新与应用,2014,(9):286~286.
- [2]王静.地下建筑物三维测绘技术的研究[D].西安:西安科技大学,2012.
- [3]周京春,黄瑾,谢江山.昆明市地下空间设施普查测量的实践与认知[J].工程勘察,2017,(12):50~54