

地下燃气管线三维激光扫描定位技术

冯 时 (沧州华润燃气有限公司, 河北 沧州 061000)

摘要: 本文主要研究地下燃气管线三维激光扫描定位技术的应用与实践。首先介绍了该技术的基本原理和系统组成要素, 然后详细研究了该技术在工程中的具体操作过程, 即前期准备、数据采集、点云处理分析、管线精确测绘和质量评定等环节, 最后通过实例来分析该技术在管网检测维修、动态监测报警和规划改进等方面的实际意义。据研究显示, 该技术由于具备高效的数据获取能力, 所以它在保证城市能源供应安全、提高能源管理水平方面有着较大的应用前景。

关键词: 地下燃气管线; 三维激光扫描定位技术

中图分类号: TU996 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167 (2026) 002-0115-03

Three-dimensional laser scanning and positioning technology for underground gas pipelines

Feng Shi (Cangzhou Huarun Gas Co., Ltd. Cangzhou Hebei 061000, China)

Abstract: This article mainly studies the application and practice of three-dimensional laser scanning positioning technology for underground gas pipelines. Firstly, the basic principles and system components of this technology were introduced. Then, the specific operational process of this technology in practical engineering was studied in detail, including preliminary preparation, data collection, point cloud processing analysis, precise pipeline mapping, and quality assessment. Finally, the practical significance of this technology in pipeline inspection and maintenance, dynamic monitoring and alarm, and planning improvement was analyzed through examples. According to research, this technology has great application prospects in ensuring urban energy supply security and improving energy management level due to its efficient data acquisition capability.

Keywords: underground gas pipeline; 3D laser scanning positioning technology

地下燃气管线是城市能源供应的重要设施, 它的安全稳定运行关系到城市的正常运转以及居民的生活质量。但是地下燃气管线埋在地下, 受到地质情况、周围环境等许多因素的影响, 容易发生腐蚀、变形、破损等问题。三维激光扫描定位技术是一种新的测量手段, 具有精度高、效率高、非接触等优点, 为地下燃气管线的检测、监测、管理提供新的解决途径。本文主要研究地下燃气管线三维激光扫描定位技术的原理、方法及应用, 为该技术的推广应用提供参考。

1 三维激光扫描定位技术基础

1.1 三维激光扫描技术原理

三维激光扫描技术的关键是准确测定目标物体到扫描装置的距离, 再利用空间定位信息进行三维建模。激光测距为其基础部分, 常见的方法有脉冲式、相位式两种。

脉冲式激光测距是发射高能量的激光脉冲, 测量脉冲从发射到接收的时间间隔, 然后根据光速计算距离, 适合长距离测量, 精度较低。相位式激光测距依靠激光连续波在传播过程中发生变化来测距, 通过比较发射与反射信号的相位差来进行更精确的测量, 但覆盖距离较小。

空间定位原理给三维激光扫描提供准确的坐标参

考。全站仪集电子测角、光电测距于一体, 可以同时测得水平角、垂直角和斜距, 再通过坐标变换算法将观测值转换到三维几何模型中, 具有精度高、可靠性好的特点, 在工程测量中得到广泛应用。惯性导航系统通过加速度计、陀螺仪等主要传感器获取运动参数, 比如线加速度和角速率, 然后利用数值积分的方法推算出目标的空间姿态信息, 可以适用于动态环境下的实时跟踪, 不过长时间使用会受到积累误差的影响。

在扫描方式上, 线扫描和面扫描各有利弊。线扫描利用激光束沿一条直线快速扫描, 得到目标物体在该直线上的剖面信息, 适合于细长物体或者某一方向的测量, 如管道内壁扫描。面扫描用激光束对平面进行二维扫描, 可以一次性得到目标物体表面很多点云数据, 速度快, 常用于大面积场景的三维重建, 如建筑物外观扫描。

1.2 三维激光扫描系统组成

三维激光扫描系统是由很多部分共同完成的。其中发射和接收的激光装置为系统主体, 分别负责发出激光束、接收反射信号。其性能指标直接关系到扫描的精度与范围, 激光波长、脉冲宽度、发射功率等参数会影响测距能力以及抗干扰能力, 接收器的灵敏度和带宽也会影响接收质量。

数据采集和处理系统是由硬件和软件两大部分组成。硬件主要是计算机、数据采集卡等，对实时采集并保存扫描得到的数据。软件具有数据预处理、点云拼接、模型重建等作用，对原始数据进行去噪、滤波、配准等一系列处理以提高数据质量，最后将点云数据转化为可视化模型。

辅助装置在扫描作业中起着非常重要的作用。电源模块给系统提供稳定可靠的电力保障，保证设备的运行效率，满足长时间连续工作。支架用来固定扫描仪器，保证扫描仪器操作的稳定、准确。不同的支撑结构依据不同的使用场景被设计出来，三脚架适合平面区域的固定测量，云台更适合多角度动态检测的环境。

2 地下燃气管线三维激光扫描定位技术方法

2.1 扫描前准备工作

开展地下燃气管线三维激光扫描定位工作之前，细致的现场勘查属于重要的前期准备工作。技术人员要依靠地下管线探测仪，地质雷达这些专门的仪器，还要参考已有的地下管网图件资料，才能准确得知目标区域内燃气管道的空间分布范围，走向特征以及埋藏深度等情况。对于历史遗留问题较多的老城区，在以前的测绘资料不完整或者不真实的情况下，必须进行实地勘测以补充和完善，才能进行后续的精准确扫任务。

根据现场勘查数据来制定科学严谨的扫描方案。选择扫描站点要考虑管线布置情况、地形特征、设备探测范围等因素，保证站点可以全方位覆盖待测燃气管网区域，避免产生检测盲区。根据不同种类的管道以及特殊需求，对分辨率、行进速度、激光发射频率等参数进行准确设置。高精度成像可以获取更多的数据信息，但是处理复杂度和耗时都会大幅度提高。合理安排这些技术参数，既可以保证图像质量又可以兼顾作业效率和测量精度。

2.2 扫描数据采集

现场扫描作业流程要严格按照规定的规范进行。第一步是设备安装，在事先选定的测量位置上固定激光扫描仪，调整水平、垂直角度使数据采集方向正确。然后打开仪器，按照事先设定好的参数对目标区域进行测绘。技术人员要密切注意装置的工作情况，随时处理各种突发状况或者异常信号。

多站点云数据采集方案的目的是获得完整的、高质量的管线信息。因为一台设备只能检测一个范围，所以要设置多个采样点来检测全部区域。在各站点的位置安排中要考虑节点间的重叠部分，合理规划空间位置和前后顺序关系，保证所收集的点云数据能很好地融合并且对应准确。经过精心安排的站位布置以及

恰当的路径选择策略，可以最大限度地发挥各个地方采集到的数据互相弥补的效果，从而形成一个整体高效的三维点云数据库系统。

数据采集环节质量控制水平的好坏直接影响扫描成果的精度和可信度。为了解决遮挡物对激光信号传递造成的干扰，在正式作业前应该彻底查找并清除扫描区域内的所有妨碍因素，比如杂草丛生、废品堆积等。对不能移动、面积较大的静态障碍物，可以改进设备的布置方案或者改变观测角度来减小其不利影响。

2.3 点云数据处理与分析

点云数据预处理是后续工作的关键步骤，主要目的就是提高数据质量。去噪操作主要是去除异常值和噪声点，从而改善原始样本集，统计学方法和基于几何距离筛选技术在这方面被广泛使用。滤波主要是对点云表面的细节进行平滑处理，去除高频的噪声因素，提高整体的稳定。配准工序的任务就是将不同来源采集的数据整合到同一个坐标系中，并完成全局一致性校正。采用特征提取、迭代最近点（ICP）算法等手段，得到各个站点之间点云的相对位姿关系，最后形成一个完整的协调空间模型体系。

管线的特征提取方法多种多样，基于几何特征的方法可以从点云数据中提取管线的几何形状，基于纹理特征的方法则是通过对点云数据颜色、反射强度等特征进行识别，得到管线表面特征以及材质信息。

管线三维模型重建就是将加工好的点云数据转换成可视化的三维模型。用三维建模软件，根据取得管线特征参数来塑造管线的三维几何形状。在此过程中可以直观看到地下燃气管线的位置、方向、姿态，对管线进行定位分析并实施控制。

2.4 管线定位与精度评估

管线空间定位技术把坐标转换算法同 GIS 平台融合起来，把所获取的点云数据转变成统一的地理坐标系，准确地表现实际的地理位置。利用 GIS 的功能模块可以实现管道三维模型和地形底图的空间叠加分析，从而达到准确布局，给出直观可视化的方案。

定位精度评价指标体系有平面精度、高程精度等。平面精度反映的是管线在水平方向的定位误差，高程精度反映的是管线在垂直方向的定位误差。通过设置合理的精度指标可以对扫描定位的结果进行量化评价。

精度评价一般用实地测量数据和扫描定位信息对比来完成。在管线核心处设控制点，用高精度测绘设备测量现场坐标数值，确定管道的实际位置参数。然后将实测数据与扫描得到的数据进行匹配运算，衡量两者之间的差异程度，从而判断扫描定位技术的精确

度是否达到事先规定的标准。

3 地下燃气管线三维激光扫描定位技术的应用

3.1 在管线检测中的应用

三维激光扫描定位技术检测地下燃气管线的腐蚀、变形、破损等缺陷的时候,主要是依靠准确获取、分析管线表面的形态以及几何特征。它会发出一束光去打目标物体,然后接收反射回来的信号形成高密度点云数据集,反映管线外壁在三维空间中的分布情况。利用专门的数据分析软件对这些原始的点云信息加以处理,就可以创建出模型来执行细致的结构差异辨别。当管道受到腐蚀影响出现凹凸不平的时候,其点云就会偏离正常设定的数值参数;如果管道出现弯曲或者断裂等情况,也可以通过算法提取异常区域的空间位置规律,完成定量评定,确定具体的损伤范围。

与传统的检测方法相比,三维激光扫描定位技术在检测效率、准确性方面有明显的优势。传统的以人工巡检为主的巡检方式,巡检人员需要沿着管线逐段进行检查,工作量大、耗时长,而且对隐蔽部位的缺陷很难发现。而三维激光扫描技术可以快速得到管线全貌的三维数据,短时间内完成大面积管线的检测任务,大大提高了检测速度。从准确度上来说,传统的检测方法依靠检测人员的经验以及主观判断,容易出现漏检或者误判的情况。依靠高精度点云数据和先进算法分析进行识别的三维激光扫描技术,可以更精确地判断出管线缺陷的类型,明确缺陷的具体位置以及严重程度等信息,为后续的维修养护等工作提供可靠的数据支持。

3.2 在管线监测中的应用

实现地下燃气管线位移、沉降等动态变化的实时监测,三维激光扫描定位技术主要是依靠定期扫描、数据处理分析来完成。在管线的关键位置设置固定的监测点,在固定的时间通过激光扫描设备对监测点进行扫描,得到不同时段的点云数据。通过对比不同时段的点云数据,使用专业的变形分析算法就可以计算出管线位移和下沉量。城市地下施工或者地质活动频繁的地方,对管线位置实施实时监控,可以及时发现管线的异常变化,采取相应的措施防止事故发生。

创建管线健康监测体系,三维激光扫描定位技术起着关键支撑的作用。该系统由激光扫描设备、数据采集传输系统、数据处理分析软件、预警决策辅助模块组成。激光扫描装置随时获取管线的三维资料,经由数据采集与传输系统传送到数据处理中心。使用数据处理及分析软件对资料进行加工分析,得到管线的健康状况报告。当管线位移、下沉等参数超出预警范围时,预警和决策支援板块就会发出警报,并给出处

置意见。

3.3 在管线管理与规划中的应用

以三维激光扫描技术为基础创建的地下燃气管网信息化管理系统,是实现管线数据全方位数字化管理的系统。创建管线的三维模型,并且把管径、材质、敷设时间等属性信息同管线的三维模型联系起来,创建一个完整的数据库。通过该平台管理者可以直观的查看管道的空间分布情况以及具体参数,具有快速查询数据的能力,提高运维水平,并且具有动态更新的能力,反映管网变动的情况,保证基础资料的准确性、时效性。

用三维建模技术做管网规划及改良设计,能明显提高城市燃气供应系统的可靠性和经济性。城市土地规划、基础设施建设时期,凭借三维仿真平台可以全方位评判各种计划里的管道安排是否合理,细致分析外界环境改变给管线运作性能带来的影响机理。联系道路翻新计划和地下资源开采需求,对管路走向和埋藏深度参数做出相应调整,妥善处理与其他市政设施的空间冲突,减小施工难度,节约工程费用。合理布置管网可以提高供气效率、降低能源消耗损失,保证燃料供应稳定性,给地区长远发展提供有力支撑。

4 结束语

地下燃气管线三维激光扫描定位技术有着明显的技术优势,其在管网监测、实时管控、精准养护、科学规划等众多方面都有着广阔的应用前景。利用该技术可以快速获得管道空间分布的高精度数据,及时发现潜在的问题以及变动的情况,为智能化运维提供有力的支持。该技术一方面可以改善设施运行的安全性、稳固性,降低设施运行事故发生的概率,另一方面可以优化城市供气网络的布局,提高能源利用效率,有利于创建资源节约型社会。

参考文献:

- [1] 韩梅,刘宇.三维激光扫描技术在城市地下管线三维建模中的应用[J].地理信息系统,2023,22(3):45-52.
- [2] 谢霆锋,李静.水利工程中三维激光扫描技术的应用与展望[J].水利科技,2023,41(4):112-119.
- [3] 王珺玮.地下燃气管线泄漏智能监测系统的综合应用[J].城市燃气,2022(01):23-27.
- [4] 袁建华.深入探讨探地雷达在城市地下燃气管线探测中的应用思路[J].科技资讯,2010(25):42.
- [5] 伊永强,耿霖.城市地下燃气管线工程测量相关问题浅析[J].建设科技,2016,(21):95-96.

作者简介:

冯时(1991-),男,汉族,河北沧州人,本科,助理工程师,研究方向:城市燃气工程与技术。