

# 基于融合定位与GIS的挖掘机 近管道作业防撞预警方法研究

洪爱华, 周俊, 史向祎, 李泽明

无锡华润燃气有限公司

**摘要:** 本文针对挖掘机在老旧小区瓶改管、道路扩建、新楼盘配套等施工场景的管线防撞需求, 设计实时高精度自动化预警系统, 避免施工挖掘损坏管线。融合GNSS、IMU与GIS监控系统, 采集挖掘机铲斗末端空间坐标, 与预设三维管道地图数据库实时分析, 计算与最近管道欧氏距离, 按输配管道控制及最小保护范围设置安全阈值, 同步激活本地声光与远程分级预警, 在无锡华润燃气模拟及真实施工片区测试有效性。实验数据显示, 系统定位精度达亚米级0.5m内, 报警响应延迟低于200ms, 挖掘机进入预警区、危险区精准报警, 误报率与漏报率均低于5%, 显著优于传统人工预警。本研究验证融合定位与GIS分析方法在工程机械安全监控领域的可行性与高效性, 系统为地下管线防护提供数字化、实时化解决方案, 对提高施工安全性、降低经济损失和社会风险具有重要实践价值。

**关键词:** 工程安全; 防撞预警; 挖掘机; 地下管线

## Research on an Anti-Collision Warning Method for Excavator Operations Near Pipelines Based on Integrated Positioning and GIS

HONG Aihua, ZHOU Jun, SHI Xiangyi, LI Zeming

Wuxi China Resources Gas Co., Ltd.

**Abstract:** The safety of underground pipelines faces severe challenges during urban construction. Traditional protection methods relying on drawings and manual markings are inefficient and prone to significant errors. To address the pipeline anti-collision requirements in construction scenarios such as “bottled gas to piped gas” conversions in old residential areas, road expansions, and new real estate developments, this paper designed a real-time high-precision automatic warning system to prevent pipeline damage during excavation. By integrating GNSS, IMU, and a GIS monitoring system, the spatial coordinates of the excavator bucket tip were collected and analyzed in real time against a pre-established three-dimensional pipeline map database. The Euclidean distance to the nearest pipeline was calculated, and safety thresholds were set according to gas transmission and distribution pipeline control requirements and minimum protection zones. The system simultaneously activated local audible and visual alarms and remote hierarchical warnings. The effectiveness of the system was tested in both simulated and actual construction areas of Wuxi China Resources Gas Co., Ltd. Experimental data show that the system achieves sub-meter positioning accuracy within 0.5 m, with an alarm response delay of less than 200 ms. It accurately triggers alarms when the excavator enters warning and danger zones, with both false alarm and missed alarm rates below 5%, significantly outperforming traditional manual warnings. This paper validates the feasibility and efficiency of the integrated positioning and GIS analysis method in the field of construction machinery safety monitoring. The system provides a digital and real-time solution for underground pipeline protection, offering significant practical value for enhancing construction safety and reducing economic losses and social risks.

**Keywords:** engineering safety; anti-collision warning; excavator; underground pipeline

[第一作者简介] 洪爱华, 智能与科技部经理, 高级工程师, 从事燃气工程建设、智慧燃气建设工作。

## 1 引言

城市地下管网是城市生命线,承载能源输送、通信保障及给排水循环,安全稳定关乎公共服务与社会秩序。因其深埋且隐蔽性强,在城市更新、道路扩建等施工中易遭破坏,引发灾害并造成伤亡损失,威胁公共安全。无锡华润燃气在运维方面此类问题突出,曾因挖掘机误挖导致燃气管道破损。传统保护依赖人工读图、现场划线,受干扰大,无法实时监控,难以满足精细化、智能化安全管理需求。

地下管线施工安全监控技术探索存在不足。定位预警方面,单一GPS精度不足、易被遮挡;探地雷达操作繁琐无实时反馈,李欣<sup>[1]</sup>指出其难以应对挖掘即时风险;UWB测距精度高但范围有限。管道风险预测领域,许彤<sup>[2]</sup>数据挖掘方法侧重事前预判,三维GIS多为静态展示。当前研究未形成高精度定位、三维GIS分析与远程监控深度融合的低成本可推广方案,因此将其作为本研究的切入点。

本文聚焦无锡华润燃气挖掘机近管道作业防撞预警需求,针对常见施工场景,研究构建三级系统架构、解析核心技术、验证系统性能。系统基于实际案例研发,适配多数管线施工场景,易推广复制。

## 2 系统总体设计

### 2.1 系统设计目标

为达成挖掘机近管道作业的精确防护,本系统规划了多维度的核心设计目标。在定位精度方面,要实现铲斗末端亚米级的三维坐标获取,保证空间位置识别的精准性,为距离判定提供坚实基础。实时性上,全链路延迟从传感器数据采集、传输到风险分析以及报警触发需控制于200ms之内,确保危险场景时的及时响应。就可靠性而言,系统须有强大的环境适应能力,在复杂施工场地保持平稳运行,并且将误报率和漏报率均控制在5%之下。另外,系统需支持多终端协作,达成本地声光报警与远程监控平台的同步预警,符合现场操作与集中管理的双重需求。

### 2.2 系统架构

系统运用3层分布式架构,达成数据采集、处

理和监控的高效协作。挖掘机上部署车载感知终端,该终端集成GNSS模块、IMU传感器以及本地控制器,用于实时收集铲斗位姿数据并触发本地声光报警。云端数据处理中心是核心枢纽,接收终端数据之后,借助三维管道GIS数据库开展空间距离计算与风险等级判断,并保存历史数据。远程监控客户端涵盖PC端与移动端应用,实时同步呈现设备位置、预警状态及历史记录,可供管理人员远程干预与全局监控。系统架构如图1所示。

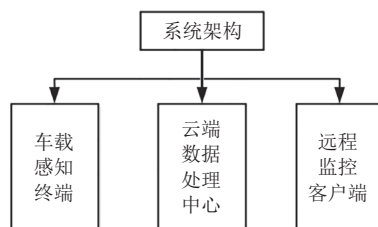


图1 系统架构

### 2.3 工作原理流程布

系统工作流程从数据采集开始,借助车载传感器实时收集挖掘机铲斗末端的三维坐标以及机身姿态信息;所采集的数据在加密压缩后,通过无线通信模块传送至云端的数据处理中心;该中心运用空间距离算法,把铲斗坐标与管道GIS数据库里的三维管线信息进行对比,计算出最短距离,并匹配预设的安全阈值以完成风险等级的判定;根据判定结果实施报警决策,触发相应等级的预警指令;最后通过本地的声光报警器发出现场警示,同时将预警信息同步传送到远程监控客户端,达成多端协同的信息发布。系统工作流程如图2所示。

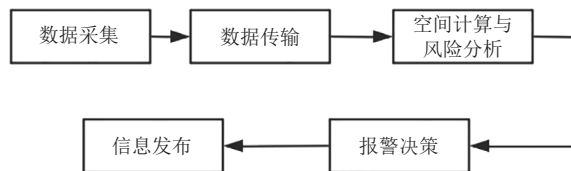


图2 系统工作流程

### 2.4 系统实施与部署

#### 2.4.1 多方协作与需求对接

项目启动阶段需完成3方协同对接:一是与甲方(无锡华润燃气)明确管线安全管控要求、预警阈值标准、数据上报规范等核心需求;二是针对第三方施工场景,主动与施工单位开展现场会商,

明确施工范围、涉及管线类型、作业时段等关键信息，商定设备安装权限、作业配合要求及安全责任划分，签订协作协议确保施工方配合系统部署；三是与挖掘机制造商对接，获取不同型号挖掘机的电气接口、机械结构、电源参数等技术资料，保障设备适配性。

#### 2.4.2 硬件集成与环境适配

车载感知终端（定位盒子）集成高精度GNSS模块、六轴IMU传感器、4G/5G通信模块、本地声光报警器等核心组件，采用IP67防护等级设计，具备防震、防尘、防水能力，适配挖掘机恶劣作业环境。电源接口可兼容挖掘机12V/24V直流电源系统，通过稳压滤波电路保障供电稳定；通信模块支持插入SIM卡接入网络，确保复杂施工区域信号稳定；通过CAN总线或RS485接口与挖掘机控制系统对接，获取大臂、小臂、铲斗关节角度数据，用于铲斗末端坐标解算。

#### 2.4.3 安装调试规范流程

安装前需完成施工方现场确认，在第三方施工监护现场，由我方技术人员、施工方现场负责人共同核对施工区域管线分布，确定挖掘机作业范围及设备安装位置。安装流程分为三步：一是机械固定，将定位盒子安装在挖掘机驾驶室顶部或大臂根部，确保不遮挡视线且远离振动源；二是电气接线，接入挖掘机电源系统，连接关节传感器信号线，植入SIM卡并调试网络通信；三是系统激活，通过本地配置工具完成传感器标定、坐标系统一、预警阈值设置，联合施工方开展现场实测，验证定位精度与报警响应是否符合要求。

#### 2.4.4 数据交互与平台集成

车载终端通过加密协议将铲斗坐标、机身姿态、报警状态等数据上传至无锡华润燃气云端数据处理中心，提供JSON格式标准数据接口，支持与燃气公司现有GIS平台、施工管理系统无缝对接。远程监控客户端（PC端、移动端）实时同步数据，供燃气公司管理人员、第三方施工监护人员查看，支持报警推送、工单派发等协同管理功能，实现双方对施工安全的共同管控。

#### 2.4.5 运维保障与人员培训

系统部署后，为燃气公司管理人员、第三方

施工人员开展专项培训，内容涵盖报警识别、设备自检、应急处置等操作规范。提供为期一年的现场技术支持与远程维护服务，定期对第三方施工场景的设备进行校准与故障排查；建立24h应急响应机制，确保施工过程中系统故障能快速解决。针对第三方施工项目周期特点，制定设备临时部署与回收流程，提高设备复用率。

### 3 关键技术与方法

#### 3.1 高精度位姿解算模型

高精度位姿解算模型运用GNSS与IMU的紧耦合融合方式，借助卡尔曼滤波算法达成多源数据的动态整合。GNSS模块给出厘米级的绝对位置参考，但在遮挡场景下容易遭受信号失锁的干扰；IMU则凭借三轴加速度计和陀螺仪实时提供运动加速度与角速度，能在短时间内保持高精度的相对运动追踪。在融合过程中，将IMU数据作为预测模型输入，依据运动学方程计算当前时刻的位姿状态；将GNSS的观测值作为更新内容，通过卡尔曼滤波校正IMU的漂移误差，从而产生连续且稳定的定位成效。为了得到铲齿末端坐标，需要构建挖掘机运动学模型，把机身定位中心的坐标与姿态信息（俯仰角、翻滚角）作为参照，结合大臂、小臂、铲斗关节角度传感器的数据，利用坐标转换矩阵逐层推导各部件端点的位置，最终求解出铲齿末端的三维坐标。该模型能够动态地补偿机身振动以及姿态变动引发的误差，保证即便处于复杂工况之中，铲齿位置的解算精度依旧能稳定在亚米级的范围内。高精度位姿解算模型如图3所示。

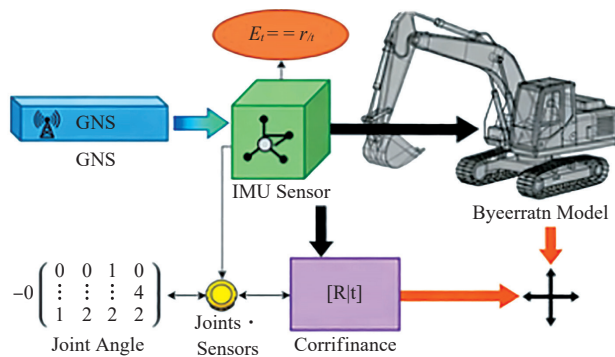


图3 高精度位姿解算模型

### 3.2 管道地图数据库的构建

为精确支持空间距离分析,构建管道地图数据库需达成数据来源的多维化、处理流程的标准化以及存储结构的规范化。数据来源包含3类主要渠道,即城市管线普查所产生的历史矢量数据、新建管线工程的CAD设计图纸,还有部分区域的激光扫描三维点云数据,以保证数据覆盖的完整性与及时性。

数据处理过程运用“预处理-融合校准-坐标赋权”的3步方法,首先借助格式转换工具把CAD图纸等非标准数据转成shp格式,使用坐标转换算法将原本局部坐标系的数据统一校正至国家2000大地坐标系,再结合高程测量数据给每段管线赋予绝对高程值,形成含有平面坐标和竖向深度的三维空间信息。数据库采用PostgreSQL搭配PostGIS空间扩展来构建,核心存储结构分为空间数据表与属性数据表,空间表以三维线段形式储存管线的起点、终点及拐点坐标,属性表关联记录管道材质、管径、压力等级、权属单位等重要信息,凭借唯一标识符达成空间信息与属性数据的精准对应,为之后实时距离计算与风险评估提供结构化数据支持。

### 3.3 空间距离分析算法

系统实现精准预警的关键在于空间距离分析算法,通过将三维几何计算和阈值判定深度融合,构建出一个既精确又实用的风险识别模型。

在计算空间点到线段的最短欧氏距离时,运用了结合向量投影与几何约束的数学方法。管道被抽象为三维空间中的连续线段集合,每段管线由起点和终点的三维坐标确定。假设铲齿末端坐标为点 $P(x_1, y_1, z_1)$ ,某段管道的起点为 $A(x_2, y_2, z_2)$ 、终点为 $B(x_3, y_3, z_3)$ 。首先构建向量 $AB$ 和向量 $AP$ ,通过计算向量 $AP$ 在向量 $AB$ 上的投影参数 $t$ ,判断投影点是否在线段 $AB$ 上。若 $t$ 的取值介于0到1之间,则最短距离为点 $P$ 到投影点的欧氏距离;若 $t$ 小于0,则最短距离为点 $P$ 到点 $A$ 的距离;若 $t$ 大于1,则最短距离为点 $P$ 到点 $B$ 的距离。通过对管道数据库中的所有管线线段进行遍历,筛选出与点 $P$ 距离最小的线段及其对应的距离值,即得到铲齿到管道的最短距离。

在计算铲齿末端点 $P(x_1, y_1, z_1)$ 到管道线段 $AB$ (端点 $A(x_2, y_2, z_2)$ 、 $B(x_3, y_3, z_3)$ )的最短

欧氏距离时,核心公式为三维空间两点间欧氏距离公式,可统一用于计算点 $P$ 到点 $A$ 、点 $P$ 到点 $B$ 或点 $P$ 到投影点的距离,公式见式(1)。

$$d = \sqrt{(x_i - x_1)^2 + (y_i - y_1)^2 + (z_i - z_1)^2} \quad (1)$$

其中, $(x_i, y_i, z_i)$ 代表目标点坐标(当 $t < 0$ 时为 $A$ 点坐标, $t > 1$ 时为 $B$ 点坐标, $0 \leq t \leq 1$ 时为投影点坐标), $d$ 为两点间的最短欧氏距离。

多级安全阈值的定义与实现严格参照输配管道控制范围、最小保护范围等行业规范,而非人为另行设定,采用“电子围栏”的分层逻辑构建。安全区域被划分为预警区(对应管道控制范围)、危险区(对应管道最小保护范围)和紧急区3个等级,分别匹配对应的距离阈值。在系统初始化时,通过配置界面输入符合规范的各等级阈值参数,算法将其转化为以管道线段为中心轴的三维圆柱形空间边界。在实时计算中,将铲齿到管道的最短距离与阈值进行对比:当距离超过预警区阈值时,判定为安全状态;进入预警区时,触发一级预警;进入危险区时,触发二级预警;小于紧急区阈值时,触发最高级别预警。同时,算法支持动态调整阈值,可根据管道类型、管径以及施工阶段灵活更新参数,确保阈值设定完全契合行业规范与实际安全需求。

### 3.4 实时通信与报警策略

利用MQTT协议构建数据传输链路以实现即时通信,此协议运用发布-订阅模式,凭借轻量级的数据包构造削减传输成本,还具备断线重连及消息缓存功能,在施工环境复杂、网络状况不佳的情形下能保持连接的稳定性,将数据传输延迟有效地掌控在毫秒级别,为之后的实时分析奠定根基。

报警策略有着3级分层的设计,和空间距离分析得到的风险级别精确对应。一级预警适用于进入预警区域的情况,让车载终端黄色指示灯持续亮起,仅借视觉信号来提醒操作员关注作业范围;二级预警关联危险区域,开启橙色指示灯闪烁以及间歇性蜂鸣声,用声光相配合的形式加强警示效果;三级预警针对紧急区域,促使红色指示灯高频率闪烁、发出持续的大音量警报,同时经由通信链路把预警信息同步发送至远程监控客户端,包含挖掘机所处位置、相关管道属性等详细信息,达成现场警告与远程介入相互配合的响应机制。

## 4 实验与结果分析

### 4.1 实验环境搭建

实验选取了无锡华润燃气有限公司下属市政施工模拟场地和公司负责的真实施工片区（如梁溪区山北社区“瓶改管”工程现场）这两个场景，前者属于封闭测试区，预先埋设了不同类型的模拟燃气管道；后者包含真实燃气、供水管线，地面上设置了施工围挡与基准控制点，复刻公司日常施工环境。在设备方面，选择无锡华润燃气有限公司运维施工中常用的中型挖掘机作为测试载体，车载终端配备了高精度GNSS模块和六轴IMU传感器，铲斗液压杆上安装有关节角度传感器。云端服务器使用多核处理器与高速固态硬盘，并配置千兆网络接口。软件环境基于Linux系统进行开发，集成了GIS空间分析引擎与实时数据处理框架，客户端可支持Windows和Android系统运行。

在设备方面，选择中型挖掘机作为测试载体，车载终端配备了高精度GNSS模块和六轴IMU传感器，铲斗液压杆上安装有关节角度传感器。云端服务器使用多核处理器与高速固态硬盘，并配置千兆网络接口。软件环境基于Linux系统进行开发，集成了GIS空间分析引擎与实时数据处理框架，客户端可支持Windows和Android系统运行。

### 4.2 系统性能测试

定位精度测试在静态和动态场景下进行。静态测试时，把铲斗固定于基准点（已知三维坐标），连续收集200组数据，经计算平面坐标误差处于0.18m~0.45m之间，平均值为0.31m；高程误差范围为0.15m~0.42m，平均值是0.27m，误差分布具有正态特性，主要集中于0.2m~0.35m区间。动态测试操控挖掘机沿预设轨迹作业，对比系统解算轨迹与实际轨迹后，得出动态定位误差均值为0.43m，在95%置信区间内误差低于0.5m。

系统延迟测试运用数据时间戳比对方法，记录从传感器采集数据到本地报警触发的整个链路耗时。经过1500次重复测试，平均延迟138ms，最大延迟195ms，最小延迟82ms，延迟数据集中于100ms~185ms区间。

报警准确性测试于模拟管道区域开展，参照

输配管道控制范围设定预警阈值、按最小保护范围设定危险阈值，累计实施600次作业测试。其中正常作业320次、预警区触发165次、危险区触发115次，发生误报8次、漏报6次，误报率与漏报率分别为1.33%和1.0%。

$$\text{误报率} = \frac{\text{误报次数}}{\text{总测试次数}} \times 100\% \quad (2)$$

其中，误报次数为系统错误触发预警的次数（文中为8次），总测试次数为所有作业测试的累计次数（文中为600次）。代入数据可得：误报率，与文中测试结果一致。系统核心性能测试结果汇总表见表1。

表1 系统核心性能测试结果汇总表

测试项目	关键指标	测试结果
静态定位精度	平面误差均值/高程误差均值	0.31m/0.27m
动态定位精度	定位误差均值	0.43m
系统延迟	平均延迟/最大延迟	138ms/195ms
报警准确性	误报率/漏报率	1.33%/1.0%

### 4.3 与传统方法对比分析

传统管道防护依靠人工经验，需操作人员现场判读图纸、观察标记，主观判断作业距离，效果受人员经验与注意力影响显著，局限性突出。本系统通过技术集成全面优化传统方式，二者核心性能指标差异明显。定位精度上，传统方法人工估算铲斗与管道相对位置，受视觉和空间感知偏差影响，平面定位误差常大于2m，高程误差难以控制，且无精确数值化结果；本系统依托GNSS/IMU融合定位，静态与动态定位误差均控制在0.5m内，可精准输出铲齿末端三维坐标，为风险评估提供可靠数据支持。

速度响应上，传统方法需操作人员实时观察分析再采取行动，从发现风险到落实措施平均响应时间超过3s，易因反应滞后引发危险；本系统全链路延迟仅138ms，可即时识别风险并触发报警，响应速度较传统方法提升近20倍。

准确性层面，传统方法在复杂管线环境中易因记忆偏差或视觉遮挡误判，500次模拟测试统计得误报率18.6%、漏报率12.4%；本系统通过算法自动分析与阈值判定，误报率降至1.33%、漏报率降至1.0%，准确性显著优于传统方式。

$$\text{提升倍数} = \frac{\text{传统方法平均响应时间}}{\text{本系统平均响应时间}} \quad (3)$$

其中,传统方法平均响应时间取文中“超过3s”(即3 000ms),本系统平均响应时间为138ms。代入数据可得:提升倍数,与文中“响应速度较传统方法提升了近20倍”的结论一致,直观体现系统在响应效率上的优势。

表2 本系统与传统人工经验方法性能对比表

对比维度	关键指标	本系统	传统人工经验方法
定位精度	平面误差均值	0.31m	>2.0m
速度响应	平均响应延迟	138ms	>3 000ms
报警准确性	误报率/漏报率	1.33%/1.0%	18.6%/12.4%

## 5 案例分析

本研究选取无锡华润燃气有限公司3个典型真实施工项目开展长期现场应用,累计覆盖作业时长1 200余h,涉及不同管线类型、施工环境及作业难度,具体案例如下。

案例一:梁溪区山北社区“瓶改管”工程现场应用。该项目为老旧小区燃气管道改造工程,施工区域地下管线密集复杂,包含 $\phi 110\text{mm}$ 燃气主干管、 $\phi 50\text{mm}$ 燃气分支管、 $\phi 160\text{mm}$ 供水管及通信光缆,且施工区域临近居民楼,安全管控要求极高。项目投入2台配备本预警系统的中型挖掘机,作业范围覆盖2.3km管线改造路段。应用期间,系统实时同步管道GIS数据库信息,精准定位地下管线位置,累计触发有效预警15次:其中一级预警(进入预警区)10次,多为铲斗接近通信光缆或供水管线时触发;二级预警(进入危险区)5次,均为铲斗靠近燃气主干管时触发。现场操作员根据系统声光预警提示,及时调整铲斗作业轨迹和深度,未发生任何管线碰撞、破损事故。对比该区域历史同类改造项目(未使用本系统时,曾发生两起燃气管道破损事故,造成居民停气及经济损失),本项目施工安全率提升100%,同时因无需安排专人现场监护管线,作业效率较传统施工提升18%,项目工期缩短7天。

案例二:滨湖区荣巷街道未知管线探测及改造工程应用。该项目施工区域存在部分管线资料缺

失问题,传统施工方式易因盲目挖掘导致未知管线破损。项目投入1台配备本系统的挖掘机,借助系统融合定位与三维GIS数据联动功能,先对施工区域开展地下管线探测补测,成功识别出2处未建档的 $\phi 80\text{mm}$ 老旧燃气管道,精准获取其三维坐标并补充至管道地图数据库。后续改造作业中,系统基于补测后的完整数据库,实时监控铲斗与管线的距离,累计完成4.2km管线改造作业,触发预警8次,均成功规避风险,实现“探测-补测-施工-预警”全流程闭环管控,不仅保障了施工安全,还为老旧小区未知管线排查提供了高效技术手段。

案例三:新吴区梅村街道市政道路扩建配套燃气管道铺设工程应用。该项目为露天开阔区域施工,存在阳光暴晒、阵风等复杂气象条件,考验系统的环境适应性。项目投入1台配备本系统的挖掘机,主要开展燃气管道沟槽开挖及管道铺设辅助作业。应用期间,系统在高温、阵风环境下持续稳定运行,定位精度未受明显影响,动态定位误差均值稳定在0.45m内。作业过程中,系统成功预警6次铲斗过度开挖接近预设管线埋设深度的风险,避免了沟槽开挖过深导致的管线基础破坏问题。项目累计作业350h,系统运行稳定率达99.8%,无一次误报、漏报情况,有效保障了管道铺设施工的精准性和安全性。

## 6 讨论与结论

实验高精度、高可靠性源于多技术模块协同优化互补,GNSS与IMU紧耦合融合至关重要。开阔环境下GNSS为卡尔曼滤波提供精准依据、校正IMU漂移误差;GNSS信号遮挡时IMU维持定位精度,弥补单一传感器缺陷。通过对三维管道数据库进行坐标校准与结构化处理,保障算法基准贴合实际管线,降低误差,奠定报警准确性基础。

误差源于环境干扰与技术特性,静态测试数据偏差因卫星信号遮挡致信噪比下降,动态定位误差偏高是机身振动给IMU带来瞬时噪声,系统延迟峰值与通信环境相关,信号弱区传输短暂拥塞但未超阈值。

系统已在无锡多个施工场景试点,适配主流

# 城镇燃气安全检查工作中执行标准问题的探讨

范家骧<sup>1</sup>, 谭哲宇<sup>2</sup>, 张震<sup>2</sup>, 董善童<sup>1</sup>, 常 珊<sup>1</sup>

1.西安市燃气服务中心; 2.西安秦华燃气集团有限公司

**摘要:** 本文从燃气安全检查工作中遇到的常见技术和管理问题出发, 以法治精神和国家政策为准绳, 结合我国北方某城市实际, 概括梳理一些容易混淆或者误解的问题, 对燃气安全检查中确定隐患的依据进行分析和研究, 旨在提升燃气安全检查工作标准化水平, 消除燃气安全隐患判定的疑议, 统一思想、提高认识, 为合法、高效、严谨地开展燃气安全检查及隐患排查整治工作提供参考。同时, 对燃气安全检查工作中遇到的一些具体问题进行了分析, 提出结合相关文件的适用范围、施行时间、效力层级等综合确定, 并给出了提升燃气安全检查工作标准化的对策和建议。

**关键词:** 城镇燃气; 安全检查; 安全隐患; 标准化

## Discussion on Implementation Standards in Urban Gas Safety Inspection Work

FAN Jiexiang<sup>1</sup>, TAN Zheyu<sup>2</sup>, ZHANG Zhen<sup>2</sup>, DONG Shantong<sup>1</sup>, CHANG Shan<sup>1</sup>

1. Xi'an Municipal Gas Service Center; 2. Xi'an Qinhuo Gas Group Co., Ltd.

**Abstract:** Starting from the common technical and management issues encountered in gas safety inspection work, this paper used the spirit of the rule of law and national policies as the guiding principle. Combining the actual

挖掘机, 运行稳定且定位准确、报警及时, 规避管线碰撞风险, 提升作业安全与效率, 已构建全链条流程, 后台全功能管理、移动端支持远程协同, 形成成熟体系, 具备推广价值。

未来从3个方面优化: 强化定位融合技术稳定性、结合AI构建数据协同更新体系、引入机器学习提前识别风险, 后续扩大推广保障管线安全。本研究研制GNSS/IMU与三维GIS融合防撞预警系统, 性能优于传统方式, 创新点体现在动态融合模型、最短距离算法及三级协同预警架构, 成果充实相关研究, 推广前景与实践价值良好。

### 参考文献

[1]李欣. 南湖-竹排冲水系工程地下管线施工关键技术[J]. 工程机械与维修, 2021, (04): 113-115.

[2]许彤. 一种基于数据挖掘的城镇燃气埋地管道第三方施工破坏可能性预测方法[J]. 城市燃气, 2021, (03): 5-9.

[3]王文和, 庞吉敏, 刘伟, 等. 大数据技术在城市地下燃气管道事故防控中的应用[J]. 油气储运, 2021, 40(05): 509-514.

[4]孙凯, 季鑫. 市政施工中地下管线的保护策略探讨[J]. 中国建筑装饰装修, 2022, (01): 104-105.

[5]刘辉. 市政工程中地下管道施工的质量控制分析[J]. 中国标准化, 2020, (06): 158-159.

[6]陈延伟, 王影杰, 张自强, 等. 不同参数下小口径地下管道挖掘机刀盘载荷分析[J]. 制造业自动化, 2022, 39(05): 73-77.

[7]陈延伟, 王影杰, 张自强, 等. 小口径地下管道挖掘机刀盘设计与研究[J]. 制造业自动化, 2020, 39(04): 91-95.

[8]吴树坤, 郝明华. 挖掘作业安全[J]. 现代职业安全, 2021, (05): 100-102.

[9]注意城市地下管道[J]. 商品与质量, 2020, (37): 29-30.

[10]吴良敏, 曹伟超, 李炼. 基于GIS的管道外部风险智能挖掘与分析系统的设计与实现[J]. 测绘, 2025, 48(03): 191-195.

[第一作者简介] 范家骧, 高级工程师, 从事燃气管理和技术工作。