

一种排水管网智能监测终端的研究与实现

谭桃川 陈洋* 王兴强*

重庆对外经贸学院 重庆合川 401520

摘要: 随着城市化进程加速,传统排水管网监测方式难以满足需求。本研究聚焦排水管网智能监测终端的研发,采用高精度传感器实时采集流量、水位、水质等关键参数。硬件设计选用低功耗微控制器,集成CAT1无线通信模块,电池供电,实现数据远程稳定传输。软件构建分层架构,运用数字滤波与机器学习算法,提升数据质量并实现智能预警。实验测试表明,该终端在多参数监测精度、数据传输稳定性、低功耗及智能预警准确性等方面表现优异,能有效提升排水管网运行效率,降低维护成本,为城市排水系统智能化管理提供有力支撑。

关键词: 排水管网; 低功耗; CAT1 无线通信; 智能预警

引言

(1) 研究背景。由于全球气候变化及人类活动的影响,近年来我国城市内涝灾害频发,给城市建设管理和带来的严峻挑战。同时,由于排水系统未与城市建设同步升级,排水设施陈旧、智能化管理水平低下,内涝情况只增不减,给城市运行带来了严重安全隐患。具体体现在以下几个方面:

1) 排水管网 / 系统人工调度,亟需建立在线监控系统。我国已在排水管网系统建设进行了大量投入,根据住建部《城市统计年鉴》的数据,截止 2020 年底我国排水建设固定资产投资额达到 3766.2 亿元。由于我国大部分排水防涝设备由市政、城建、城管、水利等各个不同的管理单位分散管理,数据难以高效共享,设备由对应管理单位指挥调度,单兵作战的调度方式协同性过低影响调度效率。此外排水调度多以人工方式为主,物联网、大数据、信息化技术运用偏少。智慧管网系统的空缺,难以及时监控和反馈排水管网问题和预警城市洪涝灾害。

2) 城市内涝频发,亟需建立监测预警体系。全国 35 座个城市中有 62% 的城市发生过城市内涝,发生 3 次以上城市内涝的城市有 137 座。据水利部相关数据显示,2010-2016 年,我国平均每年有超过 180 座城市进水受淹或发生内涝。排水设施未能与城市建设同步升级,排设施陈旧、损坏严重,雨水调蓄设施不足,排水设施智能化管理维护水平低,造成“逢雨必涝”。因此,以不同国家和地区城市暴雨内涝的成功案例为启示,结合我国城市暴雨内涝防治的新形势,提出切实可行应对城市内涝问题的预警机制势在必行。

(2) 研究内容。针对目前排水管网监管以及目前市面上存在的排水管网监控设备存在的问题,本系统主要研究一套基于物联网、智能传感技术的排水管网智能监测终端,可实现排水管网液位、流量等状态监测,并上传至排水管网监测监测平台,实现排水管网运行状态遥测、遥传。同时位城市内涝监测、预警和管理体系提供数据支撑。

(3) 研究意义。通过智能管网监测终端对管网液位、流量数据监测,实现排水管网运行状态遥测、遥传。为城市内涝监测、预警和管理体系提供数据支撑,推动我国城市建设的深同时入开展,并对城市防汛减灾安全保障能力的提高及城市雨洪应对与应急管理水平的提升具有一定的参考价值。帮助政府、企业、公众提升城市内涝积水监测预警能力,在典型区域、重点区域、易涝区域实现。

1 系统总体设计

1.1 设计目标

(1) 实时监测: 液位、流速、pH 值、溶解氧等多参数采集。(2) 智能预警: 阈值超限、趋势异常、设备故障三级预警。(3) 长续航能力: 大容量锂电池供电, 低功耗运行机制, 续航 ≥ 2 年。(4) 可靠通信: 支持 CAT1 无线通信, 地理天线, 地下穿透距离 $\geq 300m$ 。(5) 边缘计算: 本地数据预处理, 减少云端传输量 90% 以上。

1.2 系统架构设计

智能排水管网系统由感知层、网络层和平台应用层。感知层安装在排水管网监控点现场端, 包括多参数传感器和边缘处理模块。前端监测传感器包括排水管网液位、高低水位状态

监测设备、流量监测设备。网络层基于 CAT1 无线通信。平台应用层基于服务器，实现大数据分析、决策支持。从而实现监测远程管理、远程诊断。系统总体架构设计如下图 1 所示：

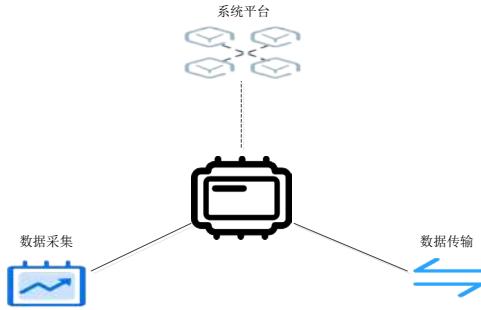


图 1 系统架构设计图

1.2.1 液位监测设备。城市水位观测应以自动监测为主，水位自动监测仪器可选用雷达液位计、电子水尺、压力式液位计、地埋式液位计等。排水管网多采用雷达非接触式传感器实现管网液位监测。

1.2.2 流量监测设备。常见的流量监测设备有雷达流量计、多普勒流量计、电磁流量计、超声波流量计等。排水管网多采用多普勒流量计实现管网流量液位监测。

1.2.3 数据采集和传输设备（遥测终端）。智慧排水管网一体化建设中，遥测终端起到至关重要的作用。由于管网环境复杂，对设备稳定性要求较高，遥测终端应具备大容量电池，支持井下工作 1 年以上，具备稳定、多样的传输方式，内置多种通讯协议，以适应管网内多种设备不同参数的采集。由于排水管网工况恶劣，常年潮湿，常有腐蚀性气体、液体，往往要求设备达到 IP68 防护等级且支持水下 1 米浸泡 24 小时仍能正常工作。

(1) 数据接口：遥测终端宜具备模拟量、数字量、通信接口。支持液位计、流量计、雨量计等传感器接入。
(2) 通信接口：支持有线 RS485/Ethernet、无线 LoRa/NB-IoT/4G/5G 等多种传输方式。根据不同监测场景采用适宜的通信方式。
(3) 多中心通信：端支持多中心通信和数据收发，可同时与多个后台服务器按不同协议进行通信，且各服务器可采用不同的通信方式。
(4) 协议标准：支持标准水文、水资源、MQTT 通讯协议、标准 modbus 协议、TCP/IP 协议、SL651-2014 水文协议、GB/T 28181 视频协议及地方扩展协议。

1.2.4 云平台。集成站点数据，自动生成积水过程线；数据统计预警；GIS 地图展示内涝站点分布，提供科学直观内涝示意图，了解积涝情况；支持查看站点周边照片，了解

站点环境；支持站点信息管理展示功能；站点状态管理，支持低电压预警等告警。

2 硬件系统研究与实现

智能管网监测终端其主要由供电单元、传感器接入单元、通信单元和 CPU 组成。设计框图如图 2 所示。

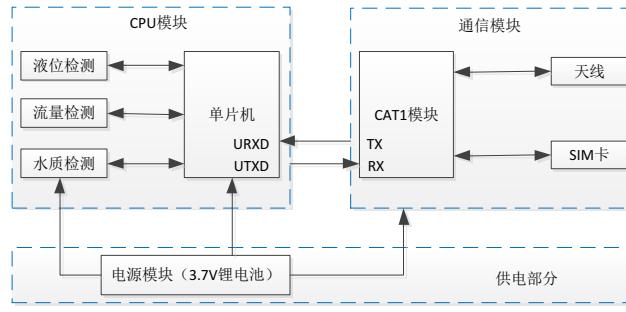


图 2 硬件设计框图

2.1 CPU 单元

采用低功耗 STM32L 系统单片机。实现信号采集、数据处理及传输。可运行与工作模式和低功耗休眠模式。

2.2 供电单元

智能排水管网监测终端采用可充电锂电池供电，电池配置为直流 DC+3.7V，容量为 50A.H~200A.H。给低功耗单片机进行供电，为满足低功耗供电要求，前端设计限流电路^[4]。供电单元电路图如下图 3 所示：

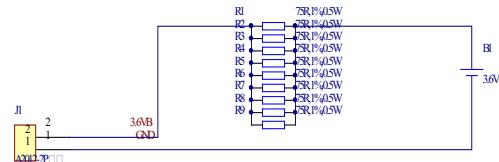


图 3 供电单元电路图

其电量可维持传感器工作一年以上。既满足地下管网取电难应用场景，同时电池可循环充电利用，经济环保。

2.3 通信单元

常见的无线通信方式有 LoRa、Zigbee 和 NB-IOT、CAT1 等。系统用在地下管网监测，地下光网大多面临着信号覆盖面积小、信号差等状况，而 NB-IOT 和 CAT1 的网络覆盖最广^[3]，功耗低等特点。综合考虑，本系统采用 CAT1 方式通信。

2.4 天线设计

在本项目中，采用过普通胶棒天线，贴片天线，并装于管网井内，由于地下管网井盖对信号屏蔽强，同时不同区域信号强度也不一致，因此在测试过程中经常数据丢帧和乱

码异常。为确保数据能稳定传输,从如下几个方面设计天线。(1)天线安装位置不能全在井内,考虑安装在井外或井圈部门。(2)安装后不损坏地井外型结构和强度。(3)天线不能损坏。于是设计了地理天线。体积小,防腐性能强、硬度高,不怕碾压。可从设备引出,埋在管网周边有信号区域水泥地下即可。

3 软件系统研究与实现

软件功能包括传感器数据采集、数据处理及传输。功能模块包括:多传感器同步采集、多传感器同步采集、设备自检与故障诊断、预警条件判断、紧急数据优先上传、常规数据缓存管理、按策略上传数据、低功耗管理模块。唤醒有两种方式,定时唤醒和高液位唤醒。其系统主流程如图4所示。

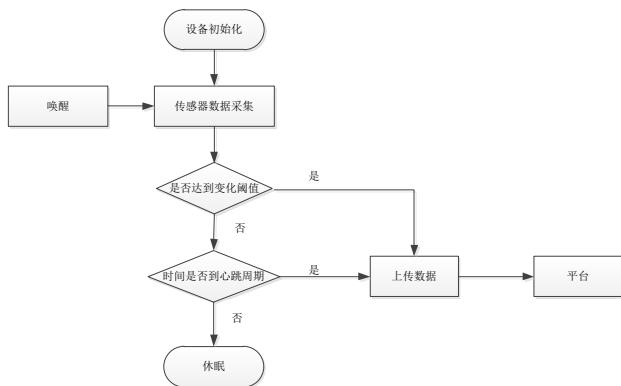


图4 系统主流程图

4 关键技术创新

4.1 多源数据融合算法

提出基于D-S证据理论的传感器数据融合模型,有效解决单一传感器误差累积问题:

$$m(A) = (m_1 \oplus m_2 \oplus \dots \oplus m_n)(A) = \\ (1/K) * \sum (\prod (1-m_i(B))) * \prod m_i(A) (B \neq A)$$

其中K为归一化常数,实验表明融合后数据可信度提升35%。

4.2 自适应通信策略

设计动态切换算法,根据信号强度(RSSI)和剩余电量自动选择通信监测频率。

4.3 低功耗优化技术

智能管网监测终端采用电池供电,为确保设备长时间工作。低功耗策略尤为重要,本研究主要包括CPU选型、电源管理、软件层面低功耗策略。

4.3.1 CPU选型。选用低功耗单片机,支持运行于工作模式和休眠模式,休眠模式工作电流小于2uA。

4.3.2 电源管理。除CPU外,其他模块当工作时,打开

电源,工作完成后,关闭电源。主要通过MOS管电源切换开关实现。

4.3.3 软件策略。数据通信时,瞬间电流大,功耗高。本系统采用如下策略,既满足低功耗要求,也满足监测和数据传输实时性要求^[2]。

(1) 动态时钟频率调整(DCFS)。(2) 非均匀采样算法:(根据液位变化率调整采样间隔)。(3) 通信窗口优化:唤醒周期1h~4h,避免频繁传输数据,消耗电量。(4) 当出现报警和异常状态,即使没有到信号传输周期,立即上传,确保应急性需求。

5 结论

通过不断论证、设计与调试,最终完成了智能管网监测终端设计与实验。满足排水管网监测需求、低功耗运行需求,实现如下效果:(1)内涝预警准确率提升(2)污水溢流事件减少(3)人工巡检频次降低。通过排水管网领域研究,通过智能排水管网监控终端研究与实现,再结合城市内涝运维监管的全生命周期平台系统,可完美实现了对于排水管网的安全管理、监测的及时性、准确性、高效性以及维护的便捷性。同时为解决城市内涝提供有限的监测、预警和运维措施,保障城市安全运行生命线。

参考文献:

- [1] 黄宋桢,邵坚强.智慧给排水管网监测与漏损控制技术应用[J].市政工程,2025-07.
- [2] 王敏,李强.智能管网监测终端的数据处理与分析[J].数据采集与处理,2023.
- [3] 石明钧,夏青.基于NB-IoT的城市供水管网监测系统设计与实现[J].电脑知识与技术,2023.
- [4] 刘洋,陈晨.智能管网监测终端的低功耗设计[J].电子技术应用,2023.
- [5] 李华,王强.嵌入式系统在智能管网监测中的应用[J].自动化仪表,2022.

作者简介:

谭桃川(1985-05),男,汉族,四川邻水,本科/高级工程师,研究方向:物联网、嵌入式,智能感知。

通信作者:陈洋(1995-11)男,汉族,四川广安,硕士研究生/讲师,研究方向:无线通信,嵌入式技术。

通信作者:王兴强(1984-02),男,汉族,湖北武汉,硕士研究生/讲师,研究方向:物联网,软件工程。