

Research on an Intelligent Monitoring System for Outdoor Drainage in Metro Stations Based on the Internet of Things

Haijun Li¹ Zhilong Li^{2*} Yifan Zhang¹ Xiangyue Liao¹ Congsheng Liu²

1. Guangzhou Metro Construction Management Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510330, China

2. Guangzhou Metro Design & Research Institute Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510010, China

Abstract

[Objective] The outdoor drainage system of urban subways in China is confronted with problems such as incomplete basic data, inefficient information acquisition, insufficient maintenance, and the lack of digital research. The traditional management mode is difficult to meet the development needs of subways. **[Method]** This paper proposes a solution for an intelligent monitoring system of outdoor drainage in metro stations based on Internet of Things (IoT) technology, constructing an integrated technical architecture of the perception layer, network layer, platform layer and application layer, to achieve real-time monitoring, intelligent early warning and remote control of parameters such as the status of drainage facilities, water level and water quality. **[Results and Conclusions]** The research clarified the overall system architecture, designed the software platform functions and the Internet of Things platform. Through all-weather real-time perception and intelligent operation and maintenance, the operational reliability and management efficiency of the drainage system were significantly enhanced. This achievement provides technical support for the safe operation of subways, fills the gap in the digitalization field of domestic rail transit drainage engineering, and offers practical reference paths and examples for the construction of smart subways.

Keywords

Subway; Internet of Things (IoT); Drainage System; Intelligent Monitoring; Early Warning

基于物联网的地铁车站室外排水智能监控系统研究

李海军¹ 李志龙^{2*} 张一凡¹ 廖湘悦¹ 刘从胜²

1. 广州地铁建设管理有限公司, 中国·广东广州 510330

2. 广州地铁设计研究院股份有限公司, 中国·广东广州 510010

摘要

[目的] 国内城市地铁室外排水系统面临基础数据不全、信息获取低效、维护不足等问题, 且数字化研究空白, 传统管理模式难以满足地铁发展需求。**[方法]** 本文提出基于物联网技术的地铁车站室外排水智能监控系统解决方案, 构建感知层、网络层、平台层和应用层一体化技术架构, 实现排水设施状态、水位、水质等参数的实时监测、智能预警与远程控制。**[结果及结论]** 研究明确了系统总体架构, 设计了软件平台功能及物联网平台, 通过全天候实时感知与智慧化运维, 显著提升排水系统运行可靠性与管理效率。该成果为地铁运营安全提供技术保障, 填补国内轨道交通排水工程数字化领域空白, 并为智慧地铁建设提供实践参考路径与范例。

关键词

地铁; 物联网; 排水系统; 智能监控; 预警

1 研究概述

地铁车站站内排水设备, 已采取了实时监控手段, 可有效地应对站内排水系统故障, 但室外检查井作为排水系统

【基金项目】 “广州市轨道交通十一号线室外数字化排水系统研究” (项目编号: JS111-101211-24001)。

【作者简介】 李海军 (1980—), 男, 中国山东潍坊人, 硕士, 从事控制工程研究。

【通讯作者】 李志龙 (1981—), 男, 中国江西抚州人, 本科, 从事给水排水工程研究。

的室外排水构筑物, 无任何监测功能, 发生井盖掩埋/缺失、管网积水或偷排问题都无法第一时间知晓, 错过最佳提醒、纠错时间。物联网技术的成熟为解决上述问题提供了可能。本研究旨在利用物联网、传感器、地理信息、计算机网络及其他无线通信等技术, 构建一个集实时监测、智能预警、远程控制和决策支持于一体的地铁车站室外排水智能监控系统, 实现从“被动应对”到“主动保障”的转变。

2 研究路线

踏勘及调研地铁车站室外数字排水系统物探资料和运行状况, 确定适合工程实际使用需求的室外数字排水智能监

控系统技术方案。系统构成主要由监测设备、后台数据处理单元(含网络层)2个部分组成。对于监测设备功能需求,考虑从检查井井盖状态、水位监测等方面进行考察调研,选择可靠适用的监测设备;对于后台数据处理单元部分,需在机房部署服务器、防火墙等核心设备或云平台部署并配置应用系统方式,以满足在线监测系统正常运行与展示等进行构建。

监测设备数据与后台数据处理单元之间,数据上传拟考虑采用无线通信技术实现,在现有的无线连接技术中,主要有 LoRa 和 NB-IoT 两种技术,考虑 NB-IoT 无线网络建设方式灵活、经济可靠、易维护性的需求,拟基于 NB-IoT 技术为主要无线通讯技术开展项目研究。^[1]

3 室外数字化排水系统解决方案

3.1 总体设计

3.1.1 系统原理及架构

通过排水动态感知,在井盖上直接安装监测设备,当其姿态、位置或状态发生异常变化时,监测设备立即通过 NB-IoT 通信方式,将信息传送至管理中心。系统架构由感知层、基础设施层、平台层(含数据平台、技术平台、模型平台)、应用层、用户层组成,安全、标准与运行管理体系建设贯穿其中。室外数字化排水系统网络拓扑如图 1 所示。

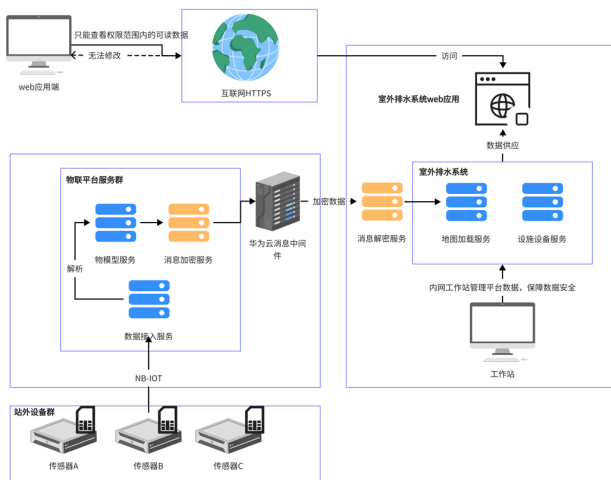


图 1 室外数字化排水系统网络拓扑图

3.1.2 系统功能

监测设备可加装在现有井盖下方,可通过周期性更新或触发上行数据向监控中心发送信息,也可用于日常物资的盘点、清查工作。如当井盖出现非法开启、监测设备发生拆卸等状况时,该设备检测到井盖、液位等状态变化同时发出报警信号,监控中心第一时间接收相应反馈做出及时调度及管理。

以井盖倾斜告警引擎为例:预设规则 IF(倾斜角度 $\geq 30^\circ$) THEN 判定为“非法打开告警”,根据上述预设规则自动触发告警,并推送至应用层。^[2]

3.2 物联网技术

3.2.1 物联网平台

物联网平台作为连接业务应用和设备的中间层,屏蔽了各种复杂的设备接口,设备可以通过 4G/5G、NB-IoT 等多种网络接入物联网平台。考虑华为云物联网平台在 NB-IoT 场景中依托运营商网络优势,提供了一套完整的设备接入解决方案,支持设备注册、状态监控、远程控制等功能模块,快速搭建稳定的物联网应用。本研究暂以运营商 NB-IOT 网络+华为云物联网平台为基础设施层,将监测设备联接到云,支撑设备数据采集上云和云端下发命令给设备进行远程控制。

3.2.2 设备接入物联网平台

在物联网平台中,可通过定义产品模型的服务能力来描述设备具备的业务能力。比如环境温度、环境湿度等,这些都可以单独创建一个模型保存。以智能井盖为例,智能井盖具有多种能力,如上报井盖角度、告警、电量、连接等各种数据,并且能够接受服务器下发的各种命令。产品模型文件在描述智能井盖的能力时,可划分五个服务(基础、告警、电池、传输规则、连接),每个服务都需要定义上报属性或命令。^[3]

3.3 感知层监测设备

从监测设备的硬件、软件、通信功能等方面对监测设备终端开发设计进行建议和要求。监测设备硬件设计主要包括传感器模块和控制模块两部分,其中传感器模块主要负责采集井盖状态信息,控制模块则负责数据处理和通信。

3.3.1 硬件设计

传感器模块:可考虑采用三轴加速度传感器、水位传感器、温度传感器、湿度传感器、水质检测传感器等,主要用于井盖倾斜、井下水位、温湿度和水质监测。

控制模块:主要包括微控制器和 NB-IoT 模组,主要负责传感器数据采集、处理和通信模块与 NB-IoT 模组之间的通信。

3.3.2 软件设计

微控制器程序设计主要包括三个模块:传感器采集模块、数据处理模块和通信模块。其中传感器采集模块负责采集传感器数据并进行处理;数据处理模块根据采集的数据进行逻辑处理,判断井盖状态;通信模块负责与 NB-IoT 模组之间的通信,将处理后的数据上传至物联网平台。

由于 NB-IoT 监测终端设备一般采用电池供电,合理提出电池供电的省电需求,是一个非常核心的设计目标。NB-IoT 技术本身在设计时就考虑了低功耗特性,考虑该项目应用场景对实时性要求不高的特点,可采用 PSM(省电模式),监测设备终端在发送数据包后,立刻进入一种休眠状态,终端进入 PSM 状态会关闭收发信号机,与网络无任何消息交互(网络状态保持),处于最省电状态,最大程度降低功耗。因为设备在 PSM 期间,网络无法主动下发数据,唤醒只能

由设备内部定时器或外部事件触发驱动,所以尽可能延长PSM时间,根据应用需求与运营商协商设置尽可能长的定时器值,可作为一种省电的最大利器。^[4]

3.3.3 通信相关功能

结合目前 NB-IoT 业务的特点，可以将 NB-IoT 业务场景分为 3 类：监测上报类、下发控制类、综合定制类。根据项目研究需求，主要场景为监测上报类和下发控制类。监测上报类场景（属于设备到平台的信号传输）主要包括触发型业务和周期性业务。

4 室外数字化排水系统实施方案

4.1 室外排水设施监测需求

参考《广东省窖井盖安全管理工作指引》，明确窖井盖 12 项安全隐患类型，并逐一明确了判定标准。根据可能造成的人员安全事故的危害程度，该指引将窖井盖安全隐患分为重大风险、较大风险、一般风险和低风险四个安全风险等级。对于一类安全隐患，如井盖破损、缺失、位移等，要求养护部门在非特殊情况下 2 个小时内必须赶到现场，并立即设置警示标志、采取防护措施和更换安装井盖，当井盖采用智能化提升后，可采用线上智能巡护，可及时消除一级安全隐患风险。^[5]

4.2 智能井盖布设原则

按照监测内容和实施技术路线，监测点布置应遵循以下几点原则：

需求导向原则：智能井盖的布置和监测指标的选择应全面考虑地铁运维需求，为全面掌握智能井盖运行状态、预警预报提供必要的支撑数据。

代表性原则：所选取的监测点要具有代表性，能客观反映一定区域排水管路由及排向变化的检查井，在相同的条件下尽量不要重复选取。

便利性原则：监测点位的选择要考虑便利性原则，有较好地安装和后期运维条件。

可行性原则：监测点位确定后要及时进行现场安装环境勘察，确认是否具备安装条件。

经济高效原则：分阶段部署，优先覆盖高价值区域，逐步扩展。

4.3 智能井盖布设方案

智能井盖的部署需以风险防控和数据价值为核心，通过标准化安装与智慧平台联动，将传统排水设施转化为安全感知节点。基于全生命周期成本考虑，轨道交通工程室外排水系统智能井盖布设方案如下：

车站、车辆基地、控制中心、变电所等建筑宜设置并盖智能装置；高架区间不宜设置智能井盖。

征地红线范围内检查井不宜设置智能井盖，水质检测井除外。

征地红线范围外检查井，当布设在非机动车道、广场、

绿地内时宜设置智能井盖，对于管道转弯处检查井，宜考虑增设智能井盖；当布设在机动车道内时不宜设置智能井盖。

水质检测井应设置监测设备。

压力消能井，考虑为混凝土盖板，且一般在红线内，原则上可不设置智能井盖。

与其他地块共用检查井不宜设置智能井盖。

4.4 试点方案

4.4.1 设备选型及方案

下面对广州地铁某车站室外排水系统进行试点安装, 选用以“定位+倾角”为主的监测设备, 额外增设 1 个“定位+倾角+液位”的监测设备作为研究方案。

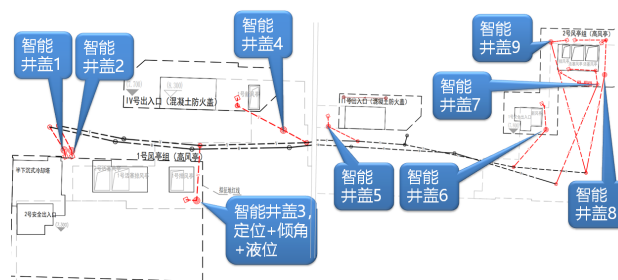


图 2 广州地铁某车站井盖监测设备布置图

4.4.2 工程量及预算金额

广州地铁某车站室外排水智能监控系统工程量及预算金额如表 1 所示。

表 1 工程量及预算金额

序号	开项	数量	单位	单价 (万元)	总价 (万元)
1	智能井盖 定位+倾角	8	个	0.25	2.00
	智能井盖 安装费	8	个	0.03	0.24
2	智能井盖 定位+倾角+液位	1	个	0.80	0.80
	智能井盖 安装费	1	个	0.03	0.03
3	本地工作站(防火墙、 交换机等)	1	套	15.00	15.00
4	软件平台开发	1	套	20.00	20.00
5	调试费	1	系统	2.00	2.00
6	排水管线勘察	1	万 m2	2.00	2.00
	合计				42.07

5 结语

智能井盖是一种通过物联网技术实现对井盖状态监测和管理的设备，通过 NB-IOT 网络 + 华为云物联网平台为基础，可实现地铁车站室外数字化排水系统，解决室外检查井井盖移位、倾斜、缺失、雨污混排等痛点问题，并通过软件平台及手持终端设备在验收移交及运营维护真正实现去图

纸化。

整体介绍了系统硬件和软件设计的各个环节，对相关产品的开发提供了一定的参考价值和设计思路。该系统可与城市水务系统进行信息共享联动，发挥城市管理协调机制作用，强化部门协调联动，调动社会各方面的积极性，共同推进检查井盖问题治理工作。未来，随着人工智能和大数据技术的深度应用，该系统将进一步向智慧化、预测性运维的方向演进。

参考文献

- [1] 郭金鹏,刘彦辉,王敏,等.智能井盖在供水管网中的建设与应用[J].给水排水, 2021, 47(S2):484-487;
- [2] 中国电信NB-IoT终端开发参考白皮书 2018-09-14.
- [3] 智能井盖管理系统构建与实践[J]. 李晓东张文鑫乔阳张兆中沈睿.电工技术 . 2022 (22)
- [4] 智慧水务大数据分析标准研究和展望[J]. 谢晋;蒋怀德;张晔明;罗贤伟.给水排水,2021(S1), 454-457
- [5] 《智能井盖》GB/T 41401-2022