

论述与研究

深层隧道排水区域液位在线监测系统研究

周午阳, 孙志民, 汤舒

(广州市市政工程设计研究总院, 广东 广州 510060)

摘要: 广州市东濠涌流域排水系统由浅层排水系统与深层隧道排水系统组合而成,系统构成复杂,且在国内无可参考的调度运行经验,管理难度较大。基于广州深层隧道排水系统东濠涌试验段工程的建设,结合给水排水、物联网和自动化控制等专业技术,设计构建了一套排水管网液位在线监测系统,使得调度人员能够远程掌握排水管网的实时液位情况,及时作出调度决策。经测试运行,该系统能有效实现内涝点液位、设备工况等数据信息的实时采集与无线远程传输,液位信息在线查询以及历史数据调用,实现对东濠涌深隧排水系统内涝监测优化,并为深隧排水系统优化调度研究提供实时、准确的基础数据,有利于最大化发挥深隧排水系统减少内涝和溢流污染的作用,同时以优先利用浅层排水系统为原则,降低深层隧道的使用频率,降低运行成本。

关键词: 深层隧道排水系统; 浅层排水系统; 液位; 在线监测; 调度

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2018)01-0001-06

Research on Liquid Level On-line Monitoring System of Deep Tunnel Drainage Basin

ZHOU Wu-yang, SUN Zhi-min, TANG Shu

(Guangzhou Municipal Engineering Design & Research Institute, Guangzhou 510060, China)

Abstract: Based on the construction of the test section of Guangzhou Donghao river deep tunnel drainage system, the drainage system of Donghao river basin is made up of shallow drainage system and deep tunnel drainage system. The system is complex, and there is no dispatching operation experience for reference on the mainland, so the management of it is so hard. Aiming at this problem, a set of liquid level on-line monitoring system for drainage network is established based on water supply and drainage, Internet of things and automatic control technology etc. The dispatcher can control the real-time liquid level of the drainage network remotely and make the scheduling decision in time. Through testing, the real-time collection, wireless remote transmission, information online query and history database query function of waterlogging point liquid level, equipment condition are realized. It also can achieve the optimization of waterlogging monitoring of Donghao river deep tunnel drainage system and provide real-time and accurate data for optimization of Donghao river deep tunnel drainage system. It is beneficial to maximize the use of deep tunnel drainage system to reduce waterlogging and overflow pollution. And because of taking advantage of shallow drainage system first, optimization can reduce the uses of deep tunnel drainage system and reduce its operation and maintenance costs.

Key words: deep tunnel drainage system; shallow drainage system; liquid level; on-line monitoring; operation

近些年来,我国诸多城市在雨季发生了危害市民人身和财产安全的内涝事件,所引发的城市内涝和溢流污染问题备受关注。城市内涝的成因较综合,既有城市下垫面硬化造成的洪峰提前和汇流量急剧增加,也有城市热岛效应造成的暴雨频率增加;既有城市排水管网设计重现期偏小,也有管道建成后运营管理手段薄弱等不足。对于城市建成区,下垫面和气候条件等客观因素无法改变,而且城市老城区建筑密集,加上地铁和综合体开发,浅层地下空间利用难度和成本都越来越大^[1]。为此,需寻找新的思路解决中、大型城市老城区的城市内涝问题。

深隧排水系统(简称深隧)建设在地面以下40 m左右的深层地下空间,可避免大量征地和拆迁,在国外已得到诸多工程应用,为改善城市排水能力的重要手段之一。但深隧因深埋于地下,并且需做好与浅层排水管网的配合使用,管理难度大,传统的排水管网管理手段已不能满足此类复杂排水系统的现代化管理需求。因此,提出通过建设现代化的排水管网液位在线监测系统,优化排水管网的运行调度方式。

1 液位在线监测系统建设需求

1.1 深隧排水系统调度运行需求

据广州市水务相关部门统计,在2010年—2014年东濠涌流域发生过内涝的地点约30处,重现期处于0.5~5年之间不等,为提高深隧排水系统对内涝的调控能力,需对深隧排水系统上游的浅层管网内涝点进行实时监测,采集更广泛的数据作为调度控制依据。因此,如何获取精确、实时的监测数据是实现深隧排水系统精确调度运行的重要问题。液位在线监测系统通过不断采集大量的内涝点液位数据,建立庞大的数据库,可开发出基于实测内涝点液位数据的深隧排水系统调度运行方案,指导相关闸、泵的开或关,可使深隧排水系统的调度控制方案更加科学、精确,实现对城市内涝的精确控制。

1.2 排水管网运行管理和优化需求

现阶段,我国大部分城市判断排水管网状况时,多采用经验判断而非科学有效的技术手段。经调研,东濠涌流域内的排水泵站和闸站等排水设施的运行,通常是按照经验水位进行泵、闸的开启和关闭,存在调度时间滞后、准确性不高等缺陷。

通过内涝水位监测系统,实现对排水管网液位实时、动态的监测,不仅是深隧排水系统精确调度运

行的重要手段,同时也为其他类型排水系统的运行管理提供了科学、信息化的手段。基于实测的液位数据,可对排水泵站的水泵组合进行优化,不仅可以降低能耗,而且能提高闸、泵站对城市内涝的调控能力^[2]。监测数据还可供防汛、运行管理、养护等相关部门使用,为实现排水管网科学管理和管网改造提供依据。

1.3 内涝预警需求

我国部分城市正在开展路面积水在线监测和预警,通过实时监测掌握道路积水情况^[3,4]。然而,仅监测路面积水情况,无法在内涝发生前采取控制措施,常处于事后处理的局面。而排水管网水位监测系统的液位监测设备可安装在窨井内,当内涝点井内水位达到警戒值时,防汛部门可提前根据实时数据制定应急措施,如启用深隧排水系统或进行浅层排水泵站、闸站的调度,防止内涝发生。当路面淹水发生内涝时,本系统的液位监测设备亦可监测到路面积水情况,便于防汛部门及时采取相关措施以及提醒人民群众出行注意安全。

2 液位在线监测系统结构

液位在线监测系统由数据采集层、网络传输层、应用管理层和信息发布层四部分组成。液位在线监测系统的基本架构如图1所示,其中液位计传感器安装于内涝点处的排水管网检查井中以及闸前、泵站集水池处,用于测量内涝点处管网水位和闸门、泵站液位。东濠涌流域设有20余个内涝液位监测点和雨量监测点,数据传输单元(DTU)通过GPRS无线网络,将传感器测量得到的液位数据传输到服务器后台。服务器后台则存储和处理各个内涝点的实时液位数据,作为深隧调度运行和排水管网养护管理的依据。

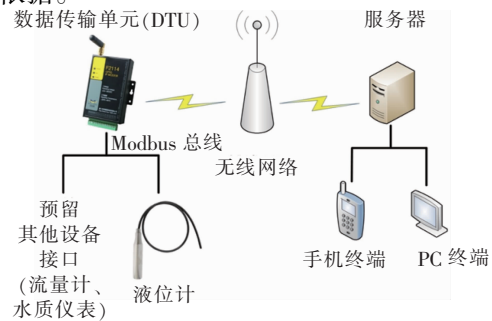


图1 液位在线监测系统架构示意

Fig.1 Schematic diagram of liquid level on-line monitoring system

2.1 数据采集层

数据采集层主要由液位计传感器、数据传输单元(DTU)和电源组成。

① 液位计传感器

液位计传感器是内涝监控点液位监测系统的重要组成部分,其监测数据直接影响到排水管网的调度管理决策及深隧排水系统的调度优化研究结果。液位计传感器需要选择精度高、量程合适、稳定性好的类型。此外,由于内涝点通常位于城市的马路或人行道上,并且分布较为分散,电力和通讯设备难以匹配到位,应选取低能耗的类型;且排水管网的污水环境较为恶劣,需选用防水等级IP68、材质耐腐蚀的设备。针对本系统所选用的压阻式液位传感器,在实验室模拟排水管道窨井,放入液位计并改变窨井中液位,进行实测液位与设定液位的线性回归分析,测量液位值呈现的线性度良好,测量值与设定值线性相关系数为0.997 5,误差较小,精度符合要求(见图2)。此外,在测试过程中,同一液位情况下多次进行测量,测量液位变化不大,稳定性良好。

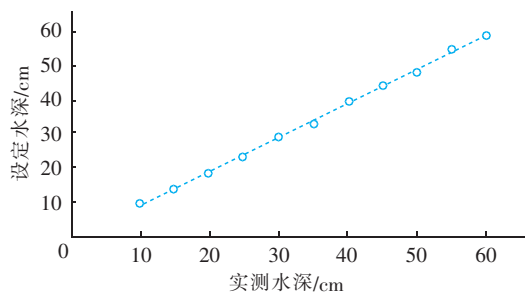


图2 液位计实验室测试结果线性回归分析

Fig. 2 Linear-regression analysis diagram of liquid level indicator laboratory test result

② 数据传输单元

数据传输单元(DTU)是专门用于将串口数据转换为IP数据,通过无线通信网络把数据传输到后台服务器的无线终端设备,实现实时监测数据的传输。DTU安装于内涝点现场,通过模拟量通道或通过Modbus总线技术读取液位计实时液位数据,根据预先设定的时间间隔接收从液位计传感器传来的液位数据,再通过GPRS将数据传输到移动公司数据中心,再传输到通讯服务器供控制台、WEB服务器和数据服务器等使用。

通常情况下DTU处于一直在线的状态,随时保持数据传输通道的畅通,从而及时传输应用数据。

但受内涝点环境的限制,本系统采用锂电池供电,为降低设备能耗,旱天时可让DTU处于待机休眠状态,减少设备运行时间,延长数据采样周期。当发生降雨时,再通过DTU内部的激活方式,如通过电话呼叫DTU或给DTU发送特定短信,使其上线,建立数据传输通道。DTU每隔一段时间向服务器后台发送一个心跳包,检测传输设备的在线状态,发生掉线情况将会自动重连。

③ 电源

此设计采用160 A·h的锂电池供电,可反复充电使用。相比市电供电和太阳能供电等方式,电池供电的优点为:土建开挖少,减少监测系统的建设费用;克服监测点附近供电配套设施不完善等问题;减少雷击对监测设备的影响;可有效避免市电供电方式中的意外断电或太阳能供电方式中遭遇连续阴天导致太阳能供电不足等问题;若将监测设备移往它处时,可反复充电的锂电池便于更换和再利用,避免浪费。

经测试,在不进行设备休眠的情况下,160 A·h锂电池可维持内涝点在线监测系统连续工作3个月;若进行设备休眠,换电池的间隔时间可达半年以上。

2.2 网络传输层

目前的网络技术包括GPRS、zigbee、WLAN、蓝牙和移动通信等形式,可根据排水系统采集点的分布特点分别采用不同的网络技术^[5]。由于城市排水系统规模巨大,内涝点较为分散,常位于马路上,有线传输网络存在布线成本高、信号衰减等问题,因此本液位在线监测系统采用GPRS通讯技术。GPRS通讯技术具有资源利用率高、计费便宜灵活、覆盖范围广、传输速率高等特点,适用于在线采集的液位数据的传输要求。监测设备传感器采集到的数据转换成数字信号,通过TCP/IP协议转换成IP数据包,再利用GPRS网络传输到固定IP地址的服务器后台。

此外,本设计通过中国移动物联网卡的短信功能,实现对监测系统的唤醒和休眠模式的转换控制,以及可选择通过语音功能确保在紧急情况下进行监测系统的唤醒激活。经测试,每套内涝液位监测设备一个月平均所需流量不超过5 MB,所需费用仅为5元/月。监测系统的GPRS网络数据流量所产生的费用较低,合理且容易接受。

2.3 应用管理层

液位监测系统通过 GPRS DTU 实现与数据采集设备通信,采集的数据被保存到数据库中。主要功能如下:

① 数据监测实时显示

实时显示从系统获得的各监控点的液位数据,系统软件根据通信协议解析数据,在界面上以表格形式显示数据或以实时动态图或趋势图的界面形式显示。在发生降雨时,调度管理人员可通过展示界面,实时了解各内涝点的液位情况,以便于及时获得内涝情况并采取应对措施。

② 监测数据的保存与查询

在通信正常情况下,数采设备每 1 min 自动发送内涝点液位、电池电量等数据到服务器后台系统。因市内 GPRS 信号较好,通信状况良好,且设置了断线自动重连程序,因此数采设备无需具有存储功能。

服务器后台系统能够存储海量采集到的数据,并且具有强大的历史数据查询功能,可选择不同的内涝监测点,进行任何时刻、任何参数(液位、电量等)的历史数据查询,这为开展排水系统研究工作提供了数据基础。

③ 数采设备监测管理

采用 160 A·h 锂电池供电的监控点设备,在实行旱季休眠/雨季唤醒的运行机制后,预计可为内涝液位监测设备持续供电半年以上。为保证监测设备正常工作,利用 DTU 电压监测的功能,实时监测各内涝监测点设备的供电情况。此外,还可通过软件界面实现对监测点运行情况的监测,及时发现监测设备掉线等异常情况。当出现电量达到警戒值或设备故障时,可通过软件界面以及短信通知等方式提醒操作人员及时进行处理,以防 DTU 和设备不能正常工作。

④ 数据共享

液位在线监测系统与其他可兼容系统可以实现实时双向连接,或共享数据库数据。通过 ODBC 提供的 SQL 驱动与监控系统建立连接,对数据进行预处理,并存储到独立的数据库中,供其他应用程序调用该连接,让系统以一定时间间隔从 SCADA 系统中获取测量数据,并回送特定的数据,如仿真结果、报警信号等。

除上述功能外,还能实现:绘制历史趋势曲线、进行多条曲线对比、按照用户需求的内容和格式制

作并打印报表,以及提供端口配置、数据库配置等。为了保证整个系统(服务器系统和监测设备终端)时钟的一致,以服务器系统的时钟为准,定时发送时钟信息到各个监测设备终端进行校对。

2.4 信息发布层

信息发布采用网站发布和短信发布相结合的方式,其中信息发布网站可通过电脑或者手机使用 Internet 浏览。深层隧道排水区域液位在线监测系统是如图 3 所示东濠涌深隧优化调度系统的重要组成部分,发布网站由主页、实时监视、报表、系统设置、联系方式等几部分组成,可通过发布网站查询液位监测点的具体位置,在线查询即时数据,以及使用报表查询各监测点的历史数据,并可通过系统设置功能在线查询设备工况,以及唤醒已休眠的设备。短信发布功能则利用短信平台执行,在达到警戒水位的时候,采用群发短信的形式将预警短信发送给预先在系统中设定好的调度管理人员,使得调度人员能够及时采取调度措施。



图3 液位在线监测系统信息发布网站

Fig. 3 Information release website of liquid level on-line monitoring system

3 系统的实现与运行

3.1 监测设备安装

① 在线监测设备组成

为适应污水管道中恶劣的环境,并应对内涝点发生水浸时对整套监测设备的影响,采用防水等级为 IP68 的铸铝防水箱对监测设备进行保护。监测

设备可分为液位计传感器、DTU 控制箱、电源箱三部分,分别通过 IP68 防水等级的航空插头相连接,由电池给 DTU 控制箱供电,再由 DTU 控制液位计传感器(见图 4)。



图 4 排水管网液位监测设备

Fig. 4 Liquid level monitoring equipment for drainage network

② 监测设备安装

目前,液位计监测系统已在研究区域所选内涝点的雨水井中运行,在线监测设备安装如图 5 所示。



图 5 监测设备现场安装

Fig. 5 Installation site of on-line monitoring equipment

结合实际安装环境,考虑到监测设备日后的维护,以及克服管网污水对液位的影响,监测设备安装需要考虑以下几点:DTU 控制箱和电池箱靠检查井口安装,以方便后期更换电池等维护工作;液位计传感器采用镀锌不锈钢管固定保护,可以防止雨水井

内有较大的冲击水流,使得液位计传感器持续晃动,影响液位测量的准确性,同时可避免污水中的生活垃圾对液位计传感器的影响;为防止井底淤泥对液位计传感器的影响,用人工插杆试探后估计数值,并将探头从淤积层抬高一定的高度;液位计固定支架、DTU 控制箱和电池箱紧贴井壁安装,尽可能少地占用井内空间,减少对管网管理部门清淤维护工作的影响。

3.2 系统在线运行测试

2016 年 7 月起,开始对朱紫寮后街、法政路、黄华路、区庄立交等多个液位监测点进行在线液位监测设备的安装,部分液位监测点配套安装了雨量计,并在安装现场对在线监测设备的读数与人工测量值进行了对比,在线监测设备测量结果满足精度要求。

目前液位数据的采集周期为 1 min,即每 1 min 读取一个瞬时液位值和电压等参数。为确保监测设备的正常运行,系统运行测试期间对监测点定期现场巡查,对排水管网液位监测设备工况进行检查。期间发现,华乐隧道内涝监测点液位计固定支架被少量生活垃圾缠绕,但并未影响液位计的正常数据采集,可见液位计套管能够有效保护液位传感器,避免污水中杂物影响传感器的正常工作。因此,当设备运行稳定后,每 2~3 个月前往现场巡查一次即可,维护工作量较小。

每次去现场维护时,将对在线监测设备的读数进行校准,运行 3 个月后,仪表读数与人工测量值之间的误差在 ± 5 cm 以内,仍能满足精度要求。在雷雨天气时,对液位计运行情况进行观察发现,液位计工作不受打雷影响,读数与人工测量值之间的误差在 ± 5 cm 以内,仍能满足精度要求。

液位计采集到的数据信息被上传到后台服务器后,把监测系统软件安装在 Web 服务器上,通过电脑或手机登陆指定发布网站即可实现对各个内涝点实时液位信息、雨量信息、电量信息的查询以及历史数据的查看等功能(如图 6 所示)。

在近几个月的排水管网液位在线监测中,于 2017 年 6 月 2 日监测到朱子寮后街的井内水位达到 126 cm,而井深仅为 138 cm,存在发生内涝的风险;2017 年 3 月 31 日和 6 月 6 日在黄华路省委党校门口和华乐隧道液位在线监测点也分别监测到有发生内涝风险的水位(井深分别为 230、250 cm,而井内水位分别达到了 194、195 cm)。当监测到有发生

内涝风险的警戒水位时,排水管网在线监测系统可即时将液位数据和报警信息发送给排水管网调度人员,为调度人员及时、准确地进行调度决策提供了数据依据。

东濠涌深隧优化调度系统					注册	登录
东濠涌深隧优化调度系统	主页	实时监控	报表	系统设置	联系方式	关于
实时数据						
监测点描述	数值	时间	通讯质量			
新河涌涌 1 号网电量监测	11.335 V	2017/4/1 9:23:31	192	Details		
陶金铁路桥电量监测	10.933 V	2017/4/1 9:23:31	192	Details		
朱紫寮电量监测	12.000 V	2017/4/1 9:23:30	192	Details		
越秀中路电量监测	11.986 V	2017/4/1 9:23:31	0	Details		
华乐涌道电量监测	11.917 V	2017/4/1 9:23:31	192	Details		
黄华路电量监测	11.959 V	2017/4/1 9:23:31	192	Details		
麓景西路电量监测	0.000 V	2017/4/1 9:23:31	0	Details		
孖鱼岗涌电量监测	11.848 V	2017/4/1 9:23:43	0	Details		
孖鱼岗涌电量监测	11.986 V	2017/4/1 9:23:30	192	Details		
新河涌涌 4 号网电量监测	10.153 V	2017/4/1 9:23:31	192	Details		
麓涌电量监测	12.722 V	2017/4/1 9:23:31	192	Details		
区庄立交电量监测	11.770 V	2017/4/1 9:23:31	192	Details		
市政总院雨量监测	43.2 mm	2017/4/1 9:23:30	192	Details		
新河涌涌 4 号网雨量监测	54.4 mm	2017/4/1 9:23:50	192	Details		
麓涌雨量监测	196.5 mm	2017/4/1 9:23:34	192	Details		
区庄立交雨量监测	50.6 mm	2017/4/1 9:23:32	192	Details		
法政路泵站雨量监测	65.1 mm	2017/4/1 9:23:32	192	Details		
东涌六号网液位	117 cm	2017/4/1 9:23:31	192	Details		
新河涌涌 4 号网液位监测	108 cm	2017/3/16 11:11:43	0	Details		
新河涌涌 1 号网液位监测	93 cm	2017/4/1 9:23:32	192	Details		

图 6 排水管网监测点实时数据信息
Fig.6 Real-time data of drainage network monitoring sites

4 结论

获取城市内涝实时的、准确的水位数据信息,是进行深隧排水系统优化调度运行、内涝预警和科学管理的基础。基于上述需求,结合排水管网在线监测存在的困难以及现阶段路面积水在线监测的不足,设计并建立东濠涌深隧排水区域液位在线监测系统,实现了对排水管网关键点的液位、雨量远程在线监测。经实际运行情况分析,该排水管网液位在线监测系统运行稳定,结合即将建立的东濠涌深隧排水系统优化调度运行模型,有助于充分发挥

东濠涌深隧减少内涝和河涌污染的作用。

参考文献:

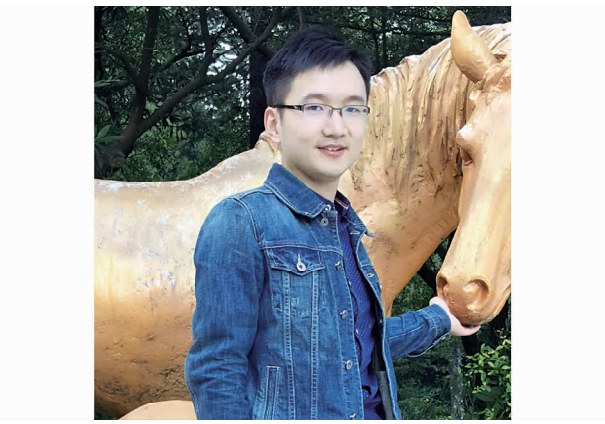
[1] 林忠军. 深隧排水系统在城市排水规划中的应用[J]. 城市道桥与防洪,2014,5:143 – 147.

[2] 童飞,吴佳,高玮寅. 城市排水管网调度系统设计[J]. 自动化仪表,2015,36(1):23 – 26.

[3] 姚伟,李绍峰,高飞,等. 一种基于城市路灯内涝智能监测系统[J]. 电子世界,2017,(3):162 – 164.

[4] 邵鹏飞,赵燕伟,杨明霞. 城市内涝监测预警信息系统研究[J]. 计算机测量与控制,2016,24(2):49 – 52.

[5] 薛敏,李大成,沈晓铃. 基于物联网技术的智慧排水系统构建[J]. 中国给水排水,2012,28(6):62 – 64.



作者简介:周午阳(1990 –),男,江西萍乡人,硕士,助理工程师,从事城市排水管网在线监测与优化调度研究。
E – mail:gdzwy@foxmail.com
收稿日期:2017 – 09 – 25

更正

本刊在 2017 年第 7 期第 105 页发表的文章《低温下 Ni⁺ 及螯合剂对厌氧产气特性的影响研究》,文中 Ni⁺ 应为 Ni²⁺,特此更正。

(本刊编辑部)