

# 危险气体监测系统在预防城市排水系统气体爆炸事故的应用\*

茅 伟<sup>1</sup> 朱 思<sup>1</sup> 汪圣华<sup>2</sup> 朱建森<sup>2</sup>

1.宁波市城市排水有限公司 2.浙江省安全生产科学研究院 浙江省安全工程与技术研究重点实验室

**【摘 要】**为了有效预防排水系统可燃气体爆炸事故发生,从排水系统组成特点出发,通过气体的检测,分析了排水系统中危险气体类型和积聚关键点,开发了危险气体监测系统,并在排水系统泵站的集水池进行了气体监测,初步探索了排水系统中危险气体的变化规律以及与排水系统运行工艺之间的关系。系统的应用结果表明:排水系统中泵站集水池是可燃气体易积聚的地方;早晨大气气流稳定时泵站集水池中危险气体容易产生积聚;在排水工艺发生流量不稳定时,泵站集水池中危险气体容易得到释放并积聚。这些规律的发现有利于根据时间和排水工艺进行危险气体变化的预测,为预防排水系统气体爆炸事故的发生提供依据。

**【关键词】**危险气体;监测系统;城市排水系统;气体爆炸

近年来,随着我国城市现代化建设的不断发展,承担城市各项保障功能的市政公共设施也在逐步完善。在这些市政公共设施中,城市排水系统占据着重要地位<sup>[1]</sup>。城市排水系统由排水管道、检查井、泵站、污水处理厂等组成,在日常运行中,这些部位比较容易形成相对封闭的有限空间,造成有毒有害气体的积聚,从而引发安全生产事故。据国家安全生产监督管理总局统计,2006~2008年期间,共有15起污水处理设施较大安全事故发生,共造成56人死亡<sup>[2]</sup>。其中大多数事故均与排水系统中形成的危险气体相关,事故类型主要有中毒窒息和可燃性气体爆炸两类。对于中毒危害,通过作业前有毒气体的检测以及严格的作业控制可以明显地降低事故的发生,而城市

排水系统在日常的运行过程中,对气体爆炸事故方面的预防却被忽视了。爆炸事故的危害往往具有极大的破坏性,涉及公共安全,社会影响比较大。

目前国内重庆、广州、北京等地有研究者通过可燃气体的监测系统来进行城市排水系统气体爆炸事故的预防研究<sup>[3-5]</sup>,但主要还是对下水道进行甲烷的监测。而城市排水系统下水道管网众多、气体类型多样,仅仅对下水道进行甲烷气体的监测,不能综合反应排水系统的安全状态。而且监测系统中气体传感器的布置点和选型,没有从排水系统的运行工艺、管网分布特征,以及爆炸性气体类型和积聚的特点去考虑和优化。因此本文从排水系统的设施的组成、运行工艺以及爆炸性气体的类型和积聚特点,将危险

\*基金项目:宁波市科技局科技惠民项目(2016C51043)

气体监测系统在城市排水进行了应用探索,为气体爆炸事故的预防工作提供科学指导。

## 1 排水系统工艺过程与可燃性气体

排水系统一般由排水管道系统、附属构筑物(包括检查井、溢流井等)、泵站、污水处理厂等组成。工厂、居民污水汇流后以自流方式通过排水管道流至泵站,然后通过泵站进行提压,将水汇集至污水处理厂进行处理。如果以污水处理厂为起点,工厂、居民区的污水出水口为终点,管网为分支,则形成自上而下的城市排水系统树状结构<sup>[6]</sup>。

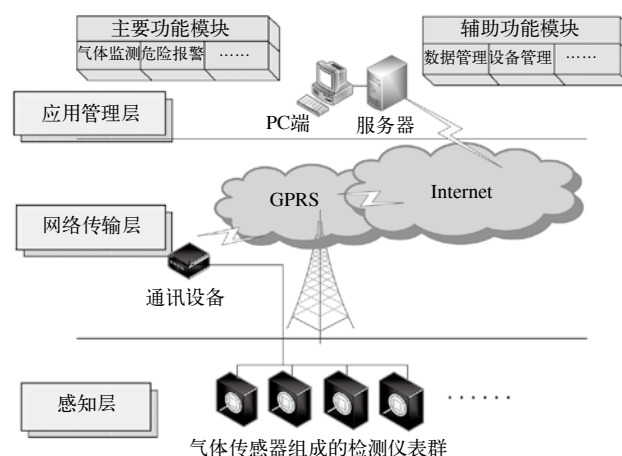
城市排水系统中易燃性气体主要来源于三个方面:一是生产性企业的可燃气体或城市燃气管网意外泄漏,易燃气体扩散进入排水管网,这种情况比较少见。二是城市生活污水中的有机物质在特定环境下发生复杂的生物化学反应,自身分解产生一些易燃气体,最常见是沼气,其主要成分为甲烷( $\text{CH}_4$ )和一些有机挥发气,同时也包含硫化氢、氨气、磷化氢等气体<sup>[1,7-9]</sup>。三是工业废水中存在的化学物质发生化学反应产生可燃性气体,如氨气、一氧化碳等。由于排水管网中污水处于流动状态,停留时间短,产生的可燃性气体不大容易聚集,往往充当过路者的角色。而管网的交汇处、泵站成为了城市排水系统的关键中间节点,污水停留时间长,产生的可燃性气体容易形成积聚。

## 2 危险气体监测系统

### 2.1 监测系统设计

由于城市排水系统可燃性气体的积聚主要分布在如泵站、检查井、管网交汇点等具备有限空间结构的关键节点,这些关键节点分布于城市各个角落,因此为了实现对各个关键监控节点的统一监测和管理,进行基于GPRS或者IP/TCP网络传输的气体监测系统的设计。监测系统主要分为前端信息采集和后台信息监测管理两个部分,并对应应用管理层、网络传输层和感知层三个层次。其感知层是由各种气体传感器组成的气体检测仪表群,网络传输层是基于GPRS或者网线的网络远程传输方式,应用管理层则实现上传数据的分析、管理等功能。系统总体结构示

意图,如图1。



### 2.2 气体传感器选型

由于气体种类繁多,性质各异,对气体的检测所采用的原理和检测方法各不相同,而适用于可燃气体检测的传感仪表类型有催化燃烧式、红外式、电化学式等<sup>[10]</sup>。由于催化燃烧式原理检测方法可靠性、稳定性好,寿命期较长且成本较低,因此对排水系统中最为常见的甲烷、有机挥发气等不需要很高选择性的可燃气体选用催化燃烧式原理的气体传感器;而对于硫化氢、氨气、一氧化碳等比较特殊的可燃气体的检测,需要提高气体检测的选择性,选择成本相对较低的且具备良好选择性的电化学式原理的气体传感器。

### 2.3 网络传输实现

对排水系统中各关键节点进行气体监测,如果不采用网络远程传输的方式,那么就不能实现统一监测管理,而且在各个节点建设气体监测系统,则会增加很多成本。因此采用GPRS转换模块或者串口服务器模块将气体传感器的RS-485输出接口转换成IP/TCP接口,保持与远端服务器通信,实现数据网络传输。

### 2.4 监测系统软件设计

系统软件主要是两种模式,基于C/S(Client/Server,客户端/服务器端)的两层软件结构和基于B/S(Browse/Server,浏览器端/服务器端)的三层与多层软件结构。C/S结构的系统软件需要开发专门的软件,数据的采集、处理以及应用都在同一个客户端,

对客户端的硬件要求比较高,这种模式在开发和维护时需要在客户端/服务器端两端进行,比较麻烦,而且拓展有限,用户使用受到限制。而B/S结构的软件模式,开发和维护都在服务器端进行,大量的数据处理任务由服务器来承担,客户端不受硬件配置影响,使用非常方便,而且客户端省去软件的安装环节,只需要一台能连接网络的电脑或者移动终端就可以使用,适应各类用户的需要<sup>[1]</sup>。因此B/S结构的软件比较适合城市排水系统危险气体的监测管理。

系统软件开发分成服务器端和客户前台软件两部分。服务器端拥有Internet上的固定IP地址,监测系统服务器端软件一直侦听服务端口,接收各传感器的数据,并将接收到的数据进行解析,并存入数据库的透明度表中,透明度表包含传感器地址、气体浓度、时间等字段;客户PC端的前台软件设计根据实际使用的要求,本着结构简单、实用方便的原则,将软件分成以下几个功能模块,前台软件的功能模块和界面,如图2、3。

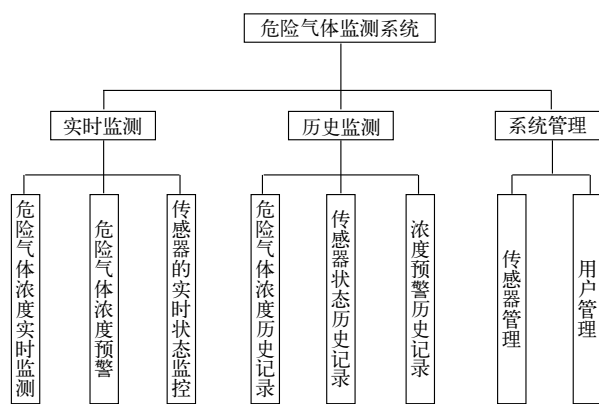


图2 系统前台软件的功能模块



图3 系统前台软件

### 3 危险气体监测系统应用与分析

#### 3.1 监测现场概况

排水系统中污水汇集至泵站集水池进行提压再输送,停留在集水池中的污水在微生物的反应下容易产生甲烷、硫化氢、氨气、磷化氢等可燃性气体积聚。某排水公司一泵站在运行中,曾经发生过两次爆炸事故,都是因为集水池中的可燃气体产生积聚。采用便携式气体检测仪对该泵站集水池中的气体进行检测分析(见下表),发现在城市排水系统中存在甲烷、硫化氢、氨气、一氧化碳等可燃气体。对集水池中的气体进行气相色谱和质谱分析,还发现排水系统中存在大量的以烷烃类为主的有机挥发气体。这些气体是排水系统发生气体爆炸事故的主要危险源。为有效预防气体爆炸事故的发生,选择该泵站集水池进行了监测系统的应用。

表 泵站集水池中的危险气体

甲烷 (LEL%)	氨气 (ppm)	硫化氢 (ppm)	磷化氢 (ppm)	一氧化碳 (ppm)
2	34	9	1.4	1

#### 3.2 运行结果分析

利用该系统采集的数据,分析了某日凌晨1:30到上午11时共9.5小时的甲烷气体( $\text{CH}_4$ )、氨气( $\text{NH}_3$ )、硫化氢( $\text{H}_2\text{S}$ )和磷化氢( $\text{PH}_3$ )的浓度变化,如图4。

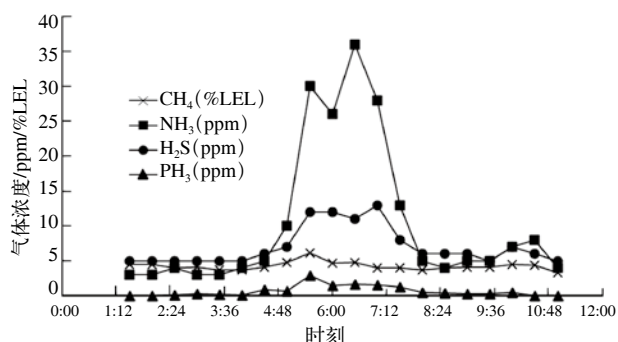


图4 某排水系统泵站气体浓度从凌晨1:30到11时的变化趋势

通过气体浓度变化趋势可知,该泵站在早晨4时以前甲烷、氨气、硫化氢、磷化氢四种气体浓度比较稳定,从4时开始气体浓度急剧上升,到上午8时左右气体浓度回落。气体浓度的最高点基本上在5时到7时这两个小时中,在这一段时间中气体浓度高可能是有两个方面的原因,一方面是这段时间空气密度

大,流动性慢,大气气流比较稳定,导致危险气体比较容易聚集,因此浓度较高,另一方面,可能是由于这段时间由于污水汇集较多,产生危险气体的反应物增加,造成气体浓度变高。

为分析排水系统的运行工艺对气体变化的影响,利用监测系统对一天中集水池中硫化氢气体浓度和液位进行同时观察,如图5。

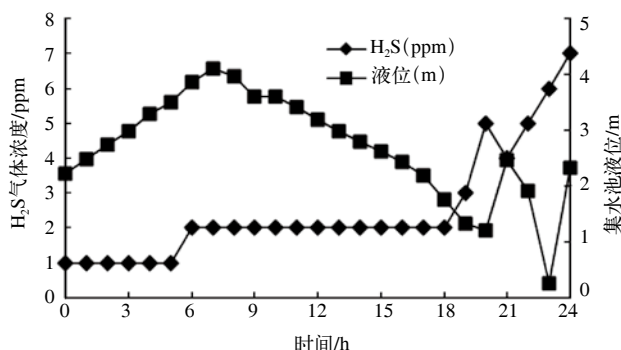


图5 气体浓度与液位变化之间的关系

从气体浓度和液位变化趋势图可看出,液位在基本处于线性缓慢变化的过程中,气体浓度相对稳定。液位在发生反向变化或剧烈变化时,气体的浓度会急剧的升高。液位线性缓慢变化,说明污水净流量稳定,集水池中污水处于相对平衡状态,没有发生扰动,污水内部的气体得不到释放,只是污水表面少量气体产生,因此气体浓度相对稳定;而当液位发生剧烈变化,说明污水流入流出不稳定,可能是污水流入流量不稳或者泵的开启变化,导致集水池中污水发生剧烈扰动,污水内的气体得到释放,浓度迅速升高。

## 4 结论

城市排水系统存在着很多危险气体,特别是可燃性爆炸气体在排水系统的日常安全管理中遭到忽视,容易发生气体爆炸事故,社会影响大。本文在排水系统气体分析的基础上,设计危险气体监测系统,并在城市排水系统中进行可燃性气体的监测应用。通过应用分析得出的结论,对有效预防城市排水系统的气体爆炸事故起到一定的指导作用。

(1) 提出在城市排水系统中可燃气体的监测点应该在气体容易发生积聚的泵站、检查井等排水系统交叉节点和污水停留较长的位置,这样既能有效的反映和分析整个排水系统气体变化情况,又能减少监测点的安装,节约成本。

(2) 排水系统中甲烷、硫化氢、氨气、一氧化碳等可燃气体在早晨大气稳定时,浓度容易达到高峰,是最容易发生爆炸事故的时段,需要引起重视。

(3) 排水系统中泵站集水池中气体的浓度变化与运行工艺存在一定的关系,当集水池液位缓慢变化或者液位处于稳定状态,气体浓度处于稳定状态,一旦液位发生剧烈变化,则打破了集水池的平衡状态,导致溶解在污水中的可燃性气体释放,气体浓度的上升,积聚在集水池所形成的有限空间中,存在气体爆炸风险。

## 参考文献

- [1] 陈兵,王海龙,张金锋,等.城市排水有限空间爆炸性气体产生机理与防治对策[J].中国安全生产科学技术,2011,7(5):67-71
- [2] 高琼,吴春江,彭昕.污水处理厂有限空间安全管理的探索与实践[J].北京水务,2009,(4):1-4
- [3] 米莉.城市下水道和化粪池气体爆炸风险评估与预警机制研究[D].重庆:重庆大学,2010
- [4] 包亮,王里奥,陈萌,等.基于的市政下水道气体安全监测预警系统[J].中国给水排水,2009,25(15):39-42
- [5] 杨静,梁伟臻,孟庆强.城市下水道可燃有毒气体的监测方法[J].中国给水排水,2005,21(1):89-90
- [6] 金波.城市排水系统建模及其控制方法研究[D].杭州:杭州电子科技大学,2011
- [7] R.R. Sayers Source. Gas Hazards in Sewers and Sewerage-treatment Plants. Public Health Reports(1896-1970)[R]. 1997,(49):145-155
- [8] Ward A.David SH. Effect of Autothermal Treatment on Anaerobic Digestion in the Dual Digestion Process[J]. Water Science Technology,1998,38(8-9):435-442
- [9] 朱雁伯,王溪蓉,张礼文,等.排水系统中硫化氢的危害及预防措施[J].中国给水排水,2000,16(9):45-47
- [10] 瞿旻.可燃气体报警系统的研究与开发[D].南京:南京信息工程大学,2008
- [11] 王平,贾化萍.C/S和B/S结合模式下应用系统的研究与开发[J].电脑与信息技术,2006,14(1):50-53