

基于 GIS 的城市供水管网监控与应急管理系统研究

文 / 楼 锴 杭州萧山环境投资建设集团有限公司

蒋永红 杭州领图信息科技有限公司

彭立云 杭州领图信息科技有限公司

摘要：城市供水管网是保障城市居民生活和工业生产的重要基础设施。随着城市化进程的加快和供水需求的增加，供水管网的监控与应急管理面临诸多挑战。本文基于GIS技术，设计了一套供水管网监控与应急管理系统，旨在提高供水系统的运行效率和安全性。通过对GIS与传感器的集成、数据实时监控、故障诊断、大数据分析等关键技术的应用，本文构建了一个具备实时监控、应急预案、资源调度、信息共享与决策支持等功能的系统，并结合典型案例对系统的功能与效能进行了验证。研究表明，基于GIS的供水管网监控与应急管理系统能够有效提升供水系统的管理水平和应急处理能力，保障城市供水的安全性和连续性。

关键词：城市供水管网；地理信息系统（GIS）；监控系统；应急管理；大数据分析

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.06.005

引言

城市供水管网系统是城市基础设施的重要组成部分，其功能是保障居民和企业的日常用水需求，直接影响城市的运行与发展。随着城市规模的扩大和用水需求的增加，供水管网的安全性和管理面临着诸多挑战，如管网老化、漏水事故频发以及突发性供水污染等问题。因此，如何对供水管网进行有效的监控和应急管理，成为城市供水系统可持续发展的关键之一。^[1]

一、供水管网监控的需求分析

城市供水管网的监控需求主要包括水质监测、压力监测、流量监测以及漏水检测等方面。水质监测对于确保供水安全至关重要，能够及时发现水质变化并采取相应措施^[2]；压力监测和流量监测则是保证供水系统正常运行的关键，通过实时监测供水压力和流量，可以有效防止管网的破裂和供水不足问题；漏水检测对于减少水资源浪费和降低运营成本具有重要意义。为了满足这些监控需求，供水系统采用GIS技术，结合传感器和大数据分析，实现对供水管网的实时、全面的监控，提升管理效率和应急响应能力。

二、基于 GIS 的供水管网监控系统设计

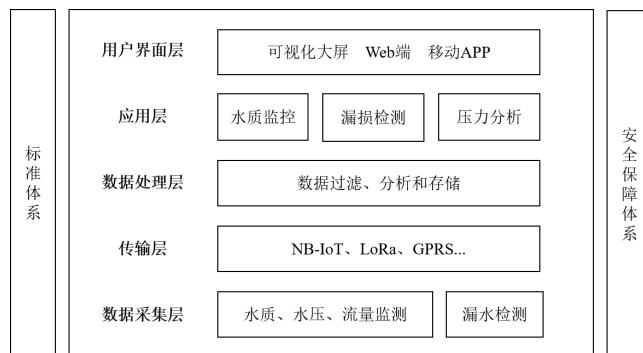
（一）GIS 技术在供水管网中的应用

GIS技术在供水管网的监控与管理中具有重要的应用价值。通过GIS可以实现供水管网的空数据可视化，将管道、阀门、水泵站等设施以图层的方式呈现在数字地图上^[3]。GIS可以结合传感器数据进行实时监控，如流量、压力、温度等指标的动态更新，及时发现问题并进行定位。GIS还可以用于管网的规划与优化，通过分析地形、用户分布等空间因素，设计更加科学合理的管网布局。基于GIS的空间分析功能，可以实现管网老化评估、故障预测、漏损分析等，为供水管网的安全运行提供有力支持。

（二）系统总体架构设计

基于GIS的供水管网监控系统总体架构包括数据采集层、传输层、数据处理层、应用层和用户界面层。数据采集层通过传感器、智能水表等设备收集管网的水质、水压、流量等数据；传输层则利用无线通信技术（如NB-IoT、GPRS等）将数据传送至中央处理中心。数据处理层负责对采集的数据进行过滤、分析和存储，并

基于GIS技术进行空间关联和处理；应用层则提供包括水质监控、漏损检测、压力分析等具体功能模块，用于支持供水管网的日常管理与应急响应。用户界面层则是整个系统与用户交互的桥梁，通过可视化手段呈现供水管网的运行状态及相关监测数据，方便管理人员进行决策与调度^[4]。



总体架构图

（三）数据采集与传输模块设计

数据采集与传输模块是供水管网监控系统的重要组成部分，负责收集现场的各种数据并将其传输到系统中心。数据采集采用安装在供水管网上的各种传感器，获取关键运行参数。为保证数据的可靠传输，系统采用多种通信方式相结合的设计，确保在不同条件下的稳定传输。数据传输过程中使用加密技术，确保数据的安全性，为系统运行提供强有力的数据基础。

（四）数据库设计与数据管理

数据库设计是供水管网监控系统的核心内容之一，主要包括空间数据库和属性数据库两部分。空间数据库存储供水管网的空数据信息，如管道位置、长度、材质等，利用GIS技术实现对这些空数据的管理与分析；属性数据库则用于存储监控传感器的数据，如水质、流量、压力等属性信息。数据库采用关系型数据库与空数据库相结合的方式，以便于空数据和属性数据的联合查询与处理^[5]。

（五）用户界面与数据可视化

用户界面与数据可视化是供水管网监控系统中用户

与系统交互的窗口，直接影响用户的操作体验和工作效率。系统通过基于GIS的可视化平台，将供水管网的空间信息和实时监控数据直观地展现在数字地图上，实现对管网状态的全景展示。管理人员可以通过点击地图上的设施，查看其详细信息，包括位置、材质、历史维修记录等。数据可视化模块提供了多种图表和曲线，用于展示水质、压力、流量等实时变化情况，以帮助管理人员快速了解系统的运行状态和变化趋势。

三、应急管理系统设计

（一）应急管理系统的功能需求

应急管理系统在城市供水管网中的功能需求主要包括实时监控、预警、应急调度、信息共享以及事后分析。应急管理系统需要具备实时监控能力，以便在出现异常时快速响应。系统需要具有自动预警功能，当水压、水质等指标超出设定阈值时，可以自动发出预警。系统应提供应急预案管理与应急资源调度功能，支持快速制定和执行应急处理方案。应急管理系统需要实现多部门间的信息互通，以便在突发事件中形成合力。

（二）应急预警与响应机制

应急预警与响应机制是应急管理系统的核心功能之一，其作用是通过对供水管网的实时监控，发现潜在的风险并迅速采取应对措施。应急预警机制首先依托于监测数据的收集与分析，当监测数据超出阈值时，系统会自动触发预警，通知管理人员。预警信息包括事件位置、严重程度、可能影响等，帮助相关部门做出快速判断。在响应机制方面，系统建立了详细的应急处理流程，分为预警确认、应急预案启动、资源调配等步骤。管理人员可以通过系统快速查看现场情况，调度应急资源，以最快速度降低事故影响。

（三）突发事件监测与风险评估

突发事件监测与风险评估是应急管理系统的重要功能，能够帮助管理人员及时发现供水管网中可能出现的各种异常情况，并对其进行科学的评估。监测系统通过传感器网络实时收集供水管网的各项运行数据，借助GIS技术可以快速定位异常发生的地点，并评估其对周边供水系统的影响。风险评估模块则基于监测数据和历史数据，结合地理环境、管网老化程度、用户分布等信息，对突发事件的严重性和影响范围进行预判。评估结果可以用于决策支持，帮助管理人员选择合适的应急措施，降低突发事件对供水的影响。

（四）应急资源调度与指挥

应急资源调度与指挥是应急管理系统确保突发事件处理高效有序的重要环节。系统需具备对各类应急资源的实时调度和统一指挥的能力，包括抢修队伍、应急物资、设备车辆等。通过GIS平台，系统能够直观显示资源的分布情况以及事故发生地点的空间位置。资源调度模块根据事件的类型、严重程度以及可用资源，自动生成最优的调度方案，并提供相应的指挥建议。指挥功能通过无线通信技术，保持调度中心与现场人员之间的实时沟通，确保信息传递的准确和及时。系统可以对调度过程进行记录，以便事后进行评估和改进，提升未来的应急管理水平。

（五）多部门协同与信息共享

多部门协同与信息共享是应急管理系统中不可或缺的组成部分，特别是在面对复杂的供水管网突发事件时，往往需要多个部门的合作才能有效应对。应急管理系统应建立信息共享平台，将水务部门、应急管理

部门、消防部门的信息汇集到统一的系统中，以实现数据的实时互通。协同模块支持跨部门的应急调度和联合行动，系统可以根据事件的影响范围，通知相应部门并自动分配任务，确保各方在突发事件中迅速响应、通力合作。信息共享还包括对突发事件处理过程和结果的反馈，为各部门的协调提供数据支持，最终实现多部门的联动和统一行动。

四、系统集成与关键技术

（一）GIS与传感器技术的集成

GIS与传感器技术的集成是供水管网监控系统实现实时监控与智能管理的基础。GIS技术通过地理信息系统为供水管网提供直观的空间可视化，能够精准展示供水管道、阀门、泵站等设施的空间位置。而传感器技术则通过布设在供水管网的各类传感器来获取实时的运行数据。传感器与GIS的集成使得系统具备了空间数据和属性数据的结合能力，不仅能实时监测数据变化，还能将异常数据迅速定位到具体位置，有效提升了供水系统的监控和管理效率。

（二）数据实时监控与传输技术

数据实时监控与传输技术是供水管网监控系统的重要技术环节，它直接影响到系统对供水管网运行状态的把控能力。数据监控依托于布设在供水管网各处的传感器设备，传感器采集的水质、压力、流量等数据需通过稳定且快速的传输技术上传至监控中心。为实现实时传输，系统采用了多种通信技术，这些技术具有覆盖范围广、功耗低、传输稳定等特点，能够确保数据的连续性与可靠性。中央监控平台接收到这些数据后，可以通过大数据处理和分析技术，进行实时状态更新和异常预警。

（三）基于模型的供水管网故障诊断技术

基于模型的供水管网故障诊断技术是提高供水管网安全性和可靠性的重要手段。该技术通过建立供水管网的数学模型或物理模型，结合实际运行数据，对管网的健康状况进行评估和故障诊断。模型的建立考虑了管网结构、管道材质、流体动力学特性等多种因素，形成了管网的数字孪生体，用于模拟运行状态。通过将实时监测数据与模型运行结果进行比对，系统可以快速检测出管网中的异常情况，例如管道漏水、压力异常等问题。故障诊断系统还能够对故障进行定位，确定故障发生的具体位置和可能的原因，并提出维修建议。

（四）大数据分析支持与决策支持

大数据分析支持与决策支持在供水管网监控与管理中发挥着重要作用。供水系统每天都会产生大量的运行数据，包括水质、压力、流量等多维度的监测信息，这些数据为大数据分析提供了丰富的基础。通过大数据分析技术，可以对历史数据进行挖掘，识别出供水系统的运行规律和潜在问题，如管道的老化趋势、漏损位置的高发区域等。系统基于这些分析结果，能够预测未来可能出现的故障，提出预防性维护建议，从而提高供水管网的运行可靠性。大数据分析还支持应急管理中的决策支持，例如在突发事故时，通过对历史数据的分析快速生成应急调度方案，优化资源分配与现场指挥。

五、系统实现与案例分析

（一）系统开发环境与技术选型

系统开发环境与技术选型是供水管网监控与应急管理系统成功实现的基础。开发环境主要包括软件开发工具和硬件设施。软件方面，系统使用Leadmap GIS

Engine作为地理信息处理和展示的主要平台，结合Java语言进行系统开发，同时使用Spring框架来构建系统的后端服务，提供可靠的数据接口和业务逻辑支持。前端开发则采用Vue.js来实现交互界面的动态展示。数据库方面，采用PostgreSQL结合PostGIS扩展来实现空间数据的存储与管理。硬件设施包括用于数据采集的各种传感器设备、物联网通信模块，以及服务器集群用于数据处理和存储。

(二) 系统功能实现

供水管网监控与应急管理系统的功能实现包括实时监控、应急预警、资源调度、信息共享以及数据可视化等模块。实时监控模块通过传感器收集管网各节点的水压、水质、流量等数据，并在GIS地图上实时展示这些数据的变化情况。应急预警模块负责设定各项监控指标的阈值，当监测数据超出阈值时，系统会自动发出预警并通知管理人员。资源调度模块支持在突发事件中对应



功能实现逻辑图

急物资和抢修人员的调度，结合GIS地图可以直观地展示资源的分布和行动路径。

(三) 典型案例分析

为验证系统的有效性，选取某城市供水管网发生的漏水事件作为典型案例进行分析。系统的实时监控模块检测到某区域的夜间最小流量出现异常增大，流量曲线图上异常区间显示为红色警告。应急预警模块随即发出警报，提示可能存在管道破裂。管理人员根据系统提供的位置信息，迅速派遣抢修人员到现场进行调查和处理。通过应急资源调度模块，抢修队伍在最短时间内到达故障点，并利用携带的设备进行了快速抢修。整个过程得益于系统的数据实时监控与快速预警功能，有效减少了漏水带来的损失，并避免了大范围的供水中断。案例分析表明，基于GIS的供水管网监控与应急管理系统在突发事件中具有高效性和可靠性，能够显著提升供水安全保障能力。

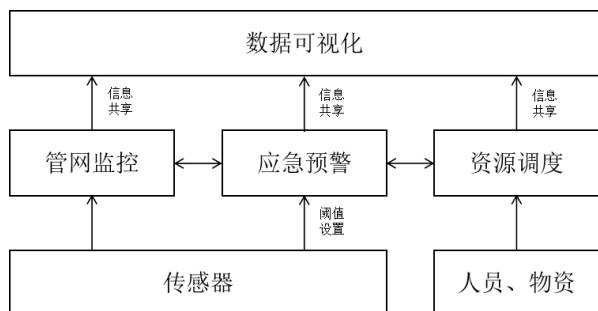
行过程中，系统在对供水管网的各项指标（如水质、水压、流量）的实时监控上表现出良好的稳定性，数据采集和传输过程未出现明显延迟和中断现象，确保了供水管网的安全监控。系统的应急响应模块在突发事件中，能够迅速发出警报并提供合理的资源调度建议，大幅缩短了从事件发生到抢修处理的时间，提高了应急响应的效率。在用户使用反馈中，系统的可视化界面和便捷的操作体验受到管理人员的好评，用户普遍认为GIS地图的可视化展示和大数据分析结果能有效帮助他们了解供水管网的实时状况和潜在风险。

结束语

城市供水管网的监控与应急管理是保障供水安全的关键环节。本文提出的基于GIS的供水管网监控与应急管理系统，通过集成GIS技术与传感器、采用实时监控和大数据分析，为供水管网的日常管理和突发事件的应急处理提供了有效的技术支持。系统的功能实现与案例分析证明了其在提高应急响应速度、减少供水事故影响方面的显著效果。

参考文献

- [1] 王梓璇. 山地城市供水管网水质预警系统研究[D]. 重庆大学, 2022.
- [2] 贾玲, 汪宇, 汪林, 等. 城市供水安全与节水全程监控管理系统研究与应用[J]. 水利发展研究, 2021, 21(08): 1-6.
- [3] 乔文佳, 卓正. 城市供水管网信息GIS系统V1.0. 河南省, 河南卓正电子科技有限公司, 2021-07-14.
- [4] 李岸. 节水 在技术管控和节能改造中前行[N]. 包头日报, 2021-06-25(006).
- [5] 崔浩. GIS技术在城市供水管网管控中的应用分析[J]. 信息记录材料, 2021, 22(01): 89-90.



异常报警

(四) 系统运行效果评估

系统运行效果评估主要从系统的稳定性、响应速度、数据准确性以及用户满意度等方面进行。在实际运