

# 城市燃气管道泄漏监测系统设计

王 韬

礼泉胜利天然气开发利用有限公司 陕西 咸阳 713201

**摘 要：**城市燃气管道泄漏监测系统设计至关重要。其基础要素涵盖以安全保障和提升效能为核心的设计目标，以及源于城市环境与管道特性的核心约束。核心模块设计包括兼顾精度、适应性与灵活性的监测终端，兼顾速率、稳定性等的信号传输网络，还有负责数据接收等的数据处理中心。此外，设计了泄漏识别与预警机制，并从技术选型、质量管控、运维管理三方面提出保障措施，以实现系统精准监测、稳定运行，保障城市燃气管道安全。

**关键词：**城市燃气管道；泄漏监测；系统设计

引言：城市燃气管道作为城市能源供应的关键基础设施，其安全稳定运行关乎城市的正常运转与居民的生命财产安全。然而，燃气管道泄漏事故时有发生，给城市带来严重危害。为有效应对这一问题，设计一套科学合理的城市燃气管道泄漏监测系统至关重要。该系统需综合考虑多方面因素，从明确设计目标与核心约束条件出发，精心设计核心模块，构建完善的泄漏识别与预警机制，并落实技术选型、质量管控、运维管理等保障措施，以实现燃气管道泄漏的精准监测与高效处置。

## 1 城市燃气管道泄漏监测系统设计的基础要素

城市燃气管道泄漏监测系统设计需基于管道运行特性与监测需求，明确目标与约束条件，为模块设计指明方向，其基础要素包含设计目标与核心约束。

设计目标以安全保障和提升监测效能为核心，具体有三个方面。(1) 实时精准监测，能快速捕捉管道泄漏特征信号，准确识别泄漏状态，将检出时间控制在合理范围，降低误报、漏报率。(2) 精准定位，对泄漏点实现厘米级或米级定位，为应急处置提供精准位置。(3) 可靠稳定运行，系统要适应城市复杂的电磁环境、温湿度波动、地质沉降等，具备长期连续运行能力，极端环境下核心功能仍有效。(3) 系统需兼顾经济性与可操作性，在满足需求前提下优化方案，控制建设与运维成本<sup>[1]</sup>。

核心约束条件源于城市环境与管道特性。(1) 空间约束，城市地下管线密集，地面建筑物和交通设施多，监测终端部署要规避空间冲突，减少对城市正常运行的干扰。(2) 环境约束，城市电磁干扰源多、温湿度变化大，部分区域有积水、腐蚀性土壤等恶劣环境，监测设备需具备抗干扰、抗腐蚀、耐温湿度波动能力。(3) 技术约束，系统要与现有燃气输配管理系统兼容，实现数据互通共享，且具备低功耗特性，保障户外无供电条件监测终端长期稳定运行并便于维护。(4) 性能约束，要平衡监测

范围与精度，在广覆盖基础上有效识别微量泄漏。

## 2 城市燃气管道泄漏监测系统的核心模块设计

### 2.1 监测终端设计

监测终端是泄漏信号采集的核心单元，其设计需兼顾监测精度、环境适应性与部署灵活性，主要包括传感器选型、硬件电路设计与外壳防护设计三部分。传感器选型需根据监测对象特性匹配，核心传感器包括燃气浓度传感器、压力传感器与流量传感器：燃气浓度传感器优先选用响应速度快、灵敏度高、抗干扰能力强的类型，适配不同燃气组分的检测需求；压力与流量传感器用于监测管道内部介质参数的异常波动，间接辅助判断泄漏状态，需保证测量精度与稳定性。硬件电路设计以低功耗为核心目标，整合信号采集模块、数据预处理模块、通信模块与供电模块，其中数据预处理模块需具备信号滤波、放大与A/D转换功能，提升原始信号质量；供电模块采用“市电+备用电池”或太阳能供电模式，适配不同部署场景，备用电源需保障终端在断电情况下仍能持续工作一定时长。外壳防护设计需满足IP65及以上防护等级，具备防水、防尘、防腐蚀性能，同时考虑土壤压力、地面碾压等机械冲击影响，确保终端在地下或户外环境中稳定运行。

### 2.2 信号传输网络设计

信号传输网络承担监测终端与数据处理中心之间的数据交互任务，设计需兼顾传输速率、稳定性、覆盖范围与成本控制，采用“无线+有线”融合的传输架构。对于户外分散部署的监测终端，采用无线传输方式，优先选用物联网（IoT）、LoRa等低功耗广域网技术，其具备覆盖范围广、功耗低、抗干扰能力强的特性，适配城市大范围监测场景；对于靠近管控中心、数据传输量大的区域，采用光纤有线传输方式，保障数据传输的高速率与稳定性。传输网络需嵌入数据加密模块，对采集数据

进行加密处理,防止数据在传输过程中被篡改或泄露;同时设计冗余传输链路,当主传输链路故障时,自动切换至备用链路,提升网络可靠性。此外,网络设计需具备可扩展性,能够适应监测终端数量的增减与监测范围的扩展需求。

### 2.3 数据处理中心设计

数据处理中心是系统的核心决策单元,负责数据接收、分析、存储与预警发布,设计重点包括硬件配置、软件功能与算法模型三部分。硬件配置需满足海量数据处理与存储需求,配备高性能服务器、大容量存储设备与冗余备份设备,确保系统运行的稳定性与数据安全性;同时配置可视化监控终端,实现监测数据与系统状态的直观展示。软件功能采用模块化设计,核心模块包括数据管理模块、分析诊断模块与预警发布模块:数据管理模块实现数据的接收、清洗、存储、查询与统计功能,剔除异常数据,保障数据质量;分析诊断模块基于算法模型对监测数据进行深度分析,识别泄漏状态并定位泄漏点;预警发布模块根据分析结果触发不同等级的预警,通过多种方式推送预警信息。算法模型是数据处理的核心,包括泄漏识别算法与泄漏定位算法,通过多维度数据融合分析提升泄漏判断的精准性<sup>[2]</sup>。

## 3 泄漏识别与预警机制设计

### 3.1 泄漏识别算法设计

泄漏识别算法旨在精准区分管道正常运行波动与泄漏引发的异常信号,采用“阈值判断+趋势分析+数据融合”的复合算法逻辑。(1) 阈值判断算法处于基础层,预先设定燃气浓度、压力、流量等关键参数的正常阈值范围。一旦监测数据超出该范围,立即触发疑似泄漏预警,为后续分析提供初步判断依据。(2) 趋势分析算法则进一步挖掘数据变化趋势特征,如浓度持续上升的速率、压力骤降的幅度等。通过对这些特征的分析,有效排除短期随机波动产生的干扰,显著提升泄漏识别的准确性。(3) 数据融合算法整合多传感器采集的数据,运用加权融合分析方法,实现跨维度数据的互补验证。这能极大降低单一传感器故障或误检测引发的误报率。(4) 算法设计需具备自适应能力,可根据管道运行工况的变化,动态优化参数阈值与分析模型,从而适配不同场景下的监测需求,确保泄漏识别的高效性与可靠性。

### 3.2 泄漏定位算法设计

泄漏定位算法依托监测终端的部署位置及所采集的数据,精确计算泄漏点的坐标,其核心采用“多终端协同定位”策略,结合信号传播特性与时间差分析达成定位目的。(1) 针对配备燃气浓度传感器的终端,依据浓

度梯度定位原理开展工作。通过分析相邻终端采集的浓度数据差异,结合传感器之间的间距以及气体扩散特性,构建浓度场模型,进而推算出泄漏点的位置。(2) 对于安装压力与流量传感器的终端,采用基于压力波传播时间差定位原理。精准捕捉泄漏引发的压力波信号,测量不同终端接收该信号的时间差,再结合已知的压力波传播速度,通过计算得出泄漏点的位置。(3) 考虑到城市复杂环境会对信号传播产生干扰,定位算法需引入环境校正因子,对计算模型进行优化,以此提升定位精度。同时,算法支持多终端数据冗余验证机制,当部分终端数据出现异常时,可凭借有效数据依然实现可靠定位,确保系统定位功能的稳定性与准确性。

### 3.3 分级预警机制设计

分级预警机制依据泄漏程度和风险等级,科学划分不同预警级别,并精准匹配对应的响应措施,以达成预警信息的精准推送与高效处置。该预警等级明确划分为三级。(1) 预警针对微量泄漏情况,此时风险相对较低。系统会仅向运维人员推送提示信息,提醒其加强对重点区域的巡检力度,以便及时发现潜在问题。(2) 预警对应中度泄漏,风险程度较高。系统不仅向运维人员,还会向应急处置人员推送预警信息,且附带详细的泄漏位置和监测数据,同时启动现场核查流程,确保快速掌握实际情况。(3) 预警用于大量泄漏状况,风险极高。系统会立即触发声光报警,并通过短信、平台弹窗等多种方式发出预警,同时推送应急处置指引,为快速有效处置提供有力支撑。(4) 预警机制需具备预警阈值动态调整功能,能根据管道运行负荷、环境条件的变化优化阈值参数,保证预警的及时性与合理性,还要记录预警触发、处置过程与结果,形成完整的闭环管理<sup>[3]</sup>。

## 4 城市燃气管道泄漏监测系统设计的保障措施

### 4.1 技术选型保障

技术选型是城市燃气管道泄漏监测系统稳定运行的基础,需严格遵循“适配性、先进性、可靠性”原则,构建严谨的技术选型与验证机制。(1) 在具体操作中,优先挑选经过大量实践检验、技术成熟的传感器、通信模块以及算法模型。这是因为不成熟技术可能潜藏诸多未知风险,一旦应用于系统,极有可能引发运行故障,影响监测效果。对于核心设备与关键技术,要开展小样测试与试点验证工作。通过模拟目标环境,评估其在该环境中的适应能力与性能表现,提前发现潜在问题并加以解决。(2) 建立技术选型评审机制至关重要。组织多领域专家,对设备选型、算法模型、传输技术等进行全面综合评审,从专业角度确保选型方案科学合理。同时,要

充分考虑技术的兼容性与可扩展性,为系统后续的升级改造与功能拓展预留充足空间,保障系统能够与时俱进,持续满足城市燃气管道监测的需求。

#### 4.2 质量管控保障

为保障城市燃气管道泄漏监测系统的质量,需构建一套全流程质量管控体系,全面覆盖设计、采购、集成、调试各个阶段。(1)在设计阶段,组织专业人员开展设计评审与校核工作。仔细审查设计方案的每一个细节,确保其准确无误且完整无缺,从源头上为系统质量奠定坚实基础。(2)采购阶段,严格审核供应商的资质,对关键设备实施进场检验。详细核查产品合格证、性能检测报告等文件,坚决杜绝任何不合格产品进入施工现场,防止因设备质量问题影响系统整体性能。(3)集成阶段,遵循标准化作业流程,加强各模块连接与调试的质量把控。每一个连接点、每一项调试参数都要严格把关,保证集成质量符合高标准要求。(4)调试阶段,制定详尽的测试方案与严格的验收标准,对系统的各项性能指标进行全面检测。只有测试全部合格,系统方可交付使用。此外,建立质量追溯机制,详细记录各阶段的质量控制数据。一旦出现质量问题,能够迅速追溯到具体环节,实现闭环处理,持续提升系统质量<sup>[4]</sup>。

#### 4.3 运维管理保障

运维管理保障是确保城市燃气管道泄漏监测系统长期稳定运行的关键环节,需构建一套常态化运维管理体系。(1)制定完善且细致的运维管理制度。明确运维人员具体的岗位职责,清晰界定每个人在系统运维中的任务与责任;规范巡检流程,确定巡检的周期、路线和重点检查内容;制定故障处理规范,针对不同类型故障给出标准化的处理步骤;同时制定应急处置预案,预设可能出现的紧急情况及相应的应对措施,确保在突发状况

下能迅速响应。(2)加强运维人员专业培训。通过系统培训,提升运维人员对系统结构、运行原理、操作方法以及故障诊断的掌握程度。使其能够快速准确地识别系统运行中的问题,并采取有效措施加以解决。(3)构建运维管理信息平台,实时监测监测终端运行状态、传输网络质量和系统性能指标,及时发现设备故障与系统异常。建立设备台账与运维记录,定期开展设备校准、固件升级和维护保养工作,延长设备使用寿命,保障系统始终处于良好的运行状态,为城市燃气管道安全提供可靠支撑。

#### 结束语

城市燃气管道泄漏监测系统设计是一个系统性工程,从基础要素的明确,到核心模块的精心打造,再到泄漏识别与预警机制的精细规划,以及保障措施的全方位落实,每一环节都紧密相连、不可或缺。通过科学合理的设计,系统能够实现对燃气管道泄漏的实时精准监测、精准定位与分级预警,有效提升城市燃气管道运行的安全性。而严格的技术选型、质量管控与运维管理保障,则为系统的稳定可靠运行筑牢了坚实防线。未来,随着技术的不断进步,该系统将持续优化升级,为城市燃气供应安全提供更有力的保障。

#### 参考文献

- [1]郝向南,张浩.城市燃气管道泄漏监测系统设计[J].科技与创新,2025,(03):69-71+75.
- [2]郝向南,张浩.城市燃气管道泄漏监测系统设计[J].科技与创新,2025,(03):69-71+75.
- [3]罗晨光.基于物联网的燃气阀门井泄漏报警监测系统研究[J].中国设备工程,2023,(13):11-13.
- [4]李红卫,梁智宇.城市商业综合体管道燃气泄漏监测系统研究与应用[J].城市燃气,2023,(10):34-37.