|  |  |
| --- | --- |
| ICS | 23.060.01 |
| CCS | |  | | --- | | D:\000000部门项目\09标准化插件开发\程序源代码\StandardEditor_ShanDongKeXieYuan\团标首页面字母T.pngD:\000000部门项目\09标准化插件开发\程序源代码\StandardEditor_ShanDongKeXieYuan\团标首页面字母T后面的反斜杠.png XZBX |   J 74 |

西安市质量与标准化协会团体标准

T/XZBX 0086—2025

压力管道泄漏智能检测技术规范

Specification for intelligent detection technology of pressure pipeline leakage

2025 - 09 - XX发布

2025 - 09 - XX实施

西安市质量与标准化协会  发布

目次

[前言 III](#_Toc207024579)

[引言 V](#_Toc207024580)

[1 范围 1](#_Toc207024581)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc207024582)

[3 术语和定义 1](#_Toc207024583)

[4 总体原则 2](#_Toc207024584)

[5 系统架构 3](#_Toc207024585)

[6 关键技术 4](#_Toc207024586)

[7 检测方法 5](#_Toc207024587)

[8 运行管理 6](#_Toc207024588)

[9 安全保障 7](#_Toc207024589)

[10 评价改进 9](#_Toc207024590)

1. 前言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由西安市质量与标准化协会提出并归口。

本文件起草单位：内蒙古自治区特种设备检验研究院赤峰分院。

本文件主要起草人：王永武。

1. 引言

压力管道作为能源、化工、冶金等行业的重要输送设施，承担着液体、气体和蒸汽等介质的长距离传输任务，其运行安全直接关系到工业生产和公共安全。然而，由于腐蚀、疲劳、焊缝缺陷、外力破坏及长期运行磨损等因素，压力管道泄漏事件时有发生，可能导致环境污染、能源浪费甚至严重事故。如何实现对压力管道泄漏的早期识别与准确定位，已成为保障管道运行安全的关键问题。

传统的泄漏检测方法如人工巡检、压力差法和流量平衡法在一定程度上发挥了作用，但存在响应慢、检测盲区大、精度不足等局限。随着传感器技术、物联网、人工智能和大数据的发展，智能化泄漏检测技术逐渐成熟。通过布设多类型传感器、引入声学、光学、红外与流体动力学信号的综合分析，并结合机器学习与智能算法，可以实现对泄漏的实时监测、快速定位与趋势预测。

然而，目前在压力管道泄漏智能检测领域仍存在标准体系不完善、检测方法不统一、评价指标缺乏共识等问题，不利于行业推广与工程应用。因此，制定本文件具有重要意义。本文件旨在明确压力管道泄漏智能检测的总体原则、关键技术要求、数据融合与分析方法、运行管理与安全保障措施，为相关企业、科研机构及监管部门提供统一的技术依据，推动智能检测技术的标准化、规范化与工程化应用，提升管道全生命周期的安全性与可靠性。

压力管道泄漏智能检测技术规范

* 1. 范围

本文件规定了压力管道泄漏智能检测的总体原则、系统架构、关键技术、检测方法、运行管理、安全保障及评价改进等内容。

本文件适用于石油、天然气、化工等行业中压力管道泄漏的智能检测系统的设计、建设、运行、维护及评价。

本文件不适用于单纯依靠人工巡检或单一物理方法的传统泄漏检测方式，也不适用于非压力管道的泄漏检测。

* 1. 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 32167—2015 油气输送管道完整性管理规范

GB/T 4208—2017 外壳防护等级(IP代码)

GB/T 20801.1—2020 压力管道规范 工业管道 第1部分:总则

GB/T 20801.5—2020 压力管道规范 工业管道 第5部分:检验与试验

GB/T 24259—2023 石油天然气工业 管道输送系统

GB/T 22239—2019 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求

GB/T 42033—2022 油气管道完整性评价技术规范

* 1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

压力管道 pressure pipeline

用于输送气体、液体或蒸汽等介质，并在一定压力条件下运行的管道系统，广泛应用于能源、化工和冶金等行业。

泄漏 leakage

由于腐蚀、裂纹、焊接缺陷或外力损伤等原因，导致压力管道中介质从管体或接口处非正常外泄的现象。

智能检测 intelligent detection

依托传感器、物联网、大数据和人工智能等技术，实现对压力管道泄漏的自动监测、识别、定位与预警的检测方式。

数据融合 data fusion

通过算法和模型对多模态数据进行综合处理，获取比单一数据源更准确、全面和鲁棒的检测结果。

泄漏定位 leakage localization

通过分析检测数据，确定泄漏点在管道中的具体位置的过程。

风险预警 risk early warning

利用智能算法对管道运行状态和检测数据进行实时分析，提前识别潜在泄漏风险并发出预警信号。

* 1. 总体原则
     1. 安全优先

压力管道泄漏检测应以保障人身安全、环境安全和管网运行安全为首要目标。系统设计、建设与运行过程中必须严格遵守相关安全标准和法规，确保检测过程不对管道运行造成二次风险。

* + 1. 实时监测

泄漏检测系统应具备实时在线监测能力，对压力、流量、声学、温度及视觉信号等多源数据进行连续采集与分析，实现早期识别与快速响应。

* + 1. 智能融合

检测系统应充分利用多模态数据融合与人工智能算法，提高泄漏检测的灵敏度和定位精度，减少误报与漏报，提升系统的整体可靠性。

* + 1. 系统兼容

系统建设应考虑与现有管道监控、SCADA（数据采集与监视控制系统）及安全管理平台的兼容性，避免形成“信息孤岛”，支持多平台协同工作。

* + 1. 经济合理

在满足安全性与可靠性的前提下，应综合考虑建设成本、运行维护成本和检测效果，实现技术应用的经济性与可持续性。

* + 1. 可扩展性

系统架构应具备扩展能力，能够适应未来传感器类型、检测技术及算法模型的更新，支持不同规模和复杂程度的管道工程应用。

* + 1. 环境友好

在检测过程中，应尽量减少对周边生态环境的干扰，优先采用低功耗、低噪声和可回收利用的设备与材料，实现绿色监测与环保目标。

* 1. 系统架构
     1. 总体要求

压力管道泄漏智能检测系统应采用分层、模块化架构设计，以保证不同传感器、数据处理平台和应用系统之间能够高效协同。系统应覆盖从数据采集、传输、处理到结果应用的全过程，形成完整的监测与预警闭环。

* + 1. 系统分层

系统整体可划分为感知层、传输层、平台层和应用层。感知层侧重于传感器与监测设备的部署，传输层保证数据安全稳定传递，平台层完成数据融合与智能分析，应用层则将检测结果转化为决策依据和运维措施。

系统架构的主要分层功能见表1。

1. 系统架构分层功能表

| 层级 | 主要功能 | 技术要点 |
| --- | --- | --- |
| 感知层 | 实时采集压力、流量、声学、温度数据 | 传感器布设、数据采样精度、低功耗设计 |
| 传输层 | 保证数据高效、安全、稳定传输 | 光纤/无线专网、5G、数据加密与容错机制 |
| 平台层 | 完成数据清洗、融合与智能诊断 | 大数据平台、机器学习算法、模式识别模型 |
| 应用层 | 提供泄漏定位、风险预警与决策支持 | 可视化界面、SCADA 集成、应急预案触发 |

* + 1. 模块化设计

在系统分层的基础上，应进一步细化为功能模块：

1. 传感器网络模块：实现压力、流量、声学与温度多点监测；
2. 数据管理模块：负责数据预处理、存储与调用；
3. 智能分析模块：利用人工智能算法进行泄漏检测与定位；
4. 预警与决策模块：在异常发生时触发告警并输出应急措施。

模块化设计的优势在于可根据实际应用需求灵活配置，并具备良好的扩展性与可维护性。

* + 1. 系统接口与标准化

系统应支持标准化接口协议，保证与 SCADA 系统、GIS 平台及第三方安全监控系统的互联互通。数据格式应符合国家和行业标准，避免因设备差异导致的“信息孤岛”。

* + 1. 综合说明

通过分层与模块化架构设计，压力管道泄漏智能检测系统能够实现从数据采集到风险预警的全流程覆盖。这种架构既保障了系统的稳定性与可扩展性，也为不同应用场景下的工程化落地提供了统一的技术框架。

* 1. 关键技术
     1. 总体要求

关键技术是压力管道泄漏智能检测系统有效运行的核心支撑。应在传感器部署、数据采集与传输、智能分析算法、泄漏定位及风险预警等环节提出明确的性能要求，确保系统具有高灵敏度、低误报率和良好的鲁棒性。

* + 1. 传感器与监测技术

传感器是泄漏检测的前端基础，应实现压力、流量、声学和温度等多模态信号的实时采集。不同类型传感器各有优势，合理组合和布设可显著提升检测效果。为了便于系统设计与实施，常见传感器及监测技术分类见表2。

1. 常用传感器及监测技术分类

| 技术类型 | 主要设备或手段 | 特点及优势 | 应用场景 |
| --- | --- | --- | --- |
| 压力监测 | 压力传感器、压力波监测单元 | 灵敏度高，能发现压力波动异常 | 长距离输送管道泄漏监测 |
| 流量监测 | 超声流量计、电磁流量计 | 实时监测流量差，适合大管径 | 输油、输气管道流量平衡检测 |
| 声学监测 | 声波传感器、声发射探头 | 对泄漏产生的高频声敏感 | 气体管道小泄漏早期识别 |
| 温度监测 | 红外热成像、光纤温度传感器 | 可监测泄漏导致的局部温度异常 | 高温介质或地下管道泄漏监测 |
| 视觉监测 | 工业相机、无人机巡检 | 非接触、覆盖范围大 | 地面管道及阀室巡检 |

通过多种传感器协同布设，可形成全方位的监测网络，有效提升泄漏检测的灵敏度与准确性。

* + 1. 数据处理与融合

在数据采集后，需对不同模态信号进行预处理（滤波、去噪、归一化），并通过多传感器数据融合提升检测精度。融合方式包括信号级、特征级和决策级融合。为直观展示不同方法的特点与适用性，相关内容见表3。

1. 数据融合方法与性能指标

| 融合方法 | 技术特点 | 性能指标要求 | 适用场景 |
| --- | --- | --- | --- |
| 信号级融合 | 直接对原始数据进行加权处理 | 响应时间 ≤ 1 s，误报率 ≤ 5% | 实时性要求高的长距离管道监测 |

表3 数据融合方法与性能指标（续）

| 融合方法 | 技术特点 | 性能指标要求 | 适用场景 |
| --- | --- | --- | --- |
| 特征级融合 | 融合不同模态的特征参数 | 定位精度提升 ≥ 10%，噪声容忍 5% | 多传感器协同分析 |
| 决策级融合 | 独立识别后进行综合判断 | 综合准确率 ≥ 95% | 大规模网络化检测系统 |
| 智能算法 | 利用机器学习/深度学习进行融合 | 检测灵敏度提升 ≥ 15%，自适应能力强 | 复杂环境下的小泄漏识别与预测 |

这些数据融合方法可结合实际需求灵活选择，以保证检测系统在不同运行条件下的精确性和稳定性。

* 1. 检测方法
     1. 总则

压力管道泄漏检测方法应以安全性、可靠性和适用性为基本原则，优先选用成熟、可验证的技术手段。检测过程应确保对管道运行无破坏性干扰，并符合国家及行业相关标准。不同检测方法可单独使用，也可联合应用，以形成多维度的监测与验证机制。

* + 1. 声学检测法

声学检测法通过布设声波传感器或声发射探头，监测泄漏过程中产生的高频声信号：

1. 适用范围：气体或液体管道的小规模泄漏识别；
2. 关键要求：检测灵敏度≥90%，定位精度≤5 m；
3. 优势：对早期微小泄漏响应快；
4. 局限：易受环境噪声干扰。
   * 1. 压力波检测法

利用泄漏导致的瞬态压力波动进行分析，识别泄漏点位置：

1. 适用范围：长距离输油、输气管道；
2. 技术要求：响应时间≤1 s，误报率≤5%；
3. 说明：宜与流量监测结合，提高准确率。
   * 1. 流量平衡法

基于进出口流量差异判断泄漏：

1. 适用范围：大口径、稳定输送管道；
2. 关键指标：流量差异检测灵敏度不低于1%；
3. 优势：方法直观，实施简便；
4. 不足：难以发现小泄漏。
   * 1. 温度与红外监测法

利用红外热成像或光纤温度传感器监测泄漏点周围温度异常：

1. 适用范围：高温介质管道、地下管道；
2. 技术要求：温度异常响应灵敏度±0.5 ℃；
3. 说明：适合作为声学、压力法的补充。
   * 1. 视觉检测法

通过工业相机、无人机巡检或视频监控识别液体或气体泄漏迹象：

1. 适用范围：地面管道、阀室及敷设较浅的管道；
2. 特点：非接触、覆盖范围广；
3. 局限：受光照、天气条件影响明显。
   * 1. 多模态融合方法

将声学、压力、流量、温度及视觉数据进行多模态融合，利用机器学习与智能算法进行综合分析：

1. 适用范围：复杂环境或大规模管网；
2. 要求：综合准确率≥95%，定位误差≤3 m；
3. 说明：应建立模型训练与验证机制，保证算法稳定性。
   * 1. 方法选择与组合

根据管道类型、输送介质、运行环境与风险等级，合理选择单一或组合检测方法。推荐的典型方法组合示例见表4。

1. 检测方法选择与组合示例

| 管道类型 | 输送介质 | 推荐方法 | 辅助方法 |
| --- | --- | --- | --- |
| 长距离输气管道 | 天然气 | 压力波检测+声学检测 | 流量平衡、红外监测 |
| 石化工厂管道 | 液体化工品 | 流量平衡+声学检测 | 红外监测、视觉检测 |
| 高温蒸汽管道 | 蒸汽 | 温度监测+声学检测 | 视觉检测 |
| 城市燃气管网 | 燃气 | 多模态融合方法 | 无人机巡检 |

* 1. 运行管理
     1. 总则

压力管道泄漏智能检测系统的运行管理应贯穿系统全生命周期，包括建设、调试、运行、维护和改进环节。运行管理的目标在于确保系统稳定、可靠、持续发挥作用，并与管道运行管理体系有效衔接。

* + 1. 运行组织与职责

运行管理应明确责任主体，建立由运行单位、安全管理部门、信息技术支持团队等组成的管理架构：

1. 运行单位：负责系统的日常运行与巡检；
2. 安全管理部门：监督运行合规性，审查预警与应急响应；
3. 信息技术支持团队：提供数据存储、网络安全和算法优化支持。
   * 1. 运行流程

运行流程应涵盖数据采集、传输、处理、分析、预警及反馈六个关键环节：

1. 采集与传输：保证数据实时上传，建立冗余通道；
2. 数据处理与分析：定期校准算法，确保识别准确性；
3. 预警与反馈：异常情况须在30 s内生成预警，并推送至值班人员。
   * 1. 系统维护

系统维护应包括定期巡检、设备校准和功能升级：

1. 巡检周期：不少于每季度一次，特殊工况下可适当缩短周期；
2. 设备校准：传感器至少每年校准一次；关键节点可采用第三方检测；
3. 功能升级：应随技术发展更新算法与硬件，并做好版本管理。
   * 1. 数据管理

运行过程中产生的检测数据应分类存储、加密保护，并建立备份机制：

1. 存储要求：原始数据和处理结果保存期限不少于5年；
2. 访问权限：应分级授权，避免越权访问；
3. 数据共享：在符合网络安全与隐私保护要求的前提下，支持与行业监管平台对接。
   * 1. 培训与考核

为保证运行效果，应建立运行人员培训和考核制度：

1. 培训内容：包括系统操作、应急响应、数据管理与网络安全；
2. 考核频率：每年至少一次，考核结果纳入绩效评价。
   * 1. 持续改进

运行管理应形成闭环反馈机制，根据运行效果和事故案例不断优化管理措施与技术配置。建议每三年开展一次全面评估，并提出改进计划。

* 1. 安全保障
     1. 总则

压力管道泄漏智能检测系统的安全保障应遵循“预防为主、防控结合”的原则，确保系统在设计、建设、运行和维护全过程中不对人员、管道及环境造成额外风险。

* + 1. 系统安全

系统安全是压力管道泄漏智能检测系统可靠运行的首要条件。在设计与实施过程中，应全面考虑设备、电气及安装等方面的安全要求，确保监测系统在各种运行环境下均能稳定工作。主要包括以下内容：

1. 设备安全：传感器、监测终端和通信设备应符合国家安全标准，具备防爆、防水、防腐蚀等能力；
2. 电气安全：供电系统应配置过载、短路保护，关键区域应使用安全电压或防爆电源；
3. 安装安全：设备安装应符合施工安全规定。
   * 1. 数据与信息安全

在智能检测过程中，海量监测数据和系统运行信息是保障泄漏预警准确性的核心资源。为防止数据丢失、泄露或被恶意篡改，应建立完善的数据与信息安全机制，具体要求如下：

1. 数据保护：监测数据应进行加密存储和传输，避免被篡改或泄露；
2. 网络安全：系统接入的通信网络应符合 GB/T 22239 等网络安全等级保护要求；
3. 访问控制：建立分级权限管理机制，敏感信息仅限授权人员访问；
4. 监测过程安全：采集设备应保证在全生命周期内稳定运行，避免对管道造成二次破坏；
5. 应急响应：在发生泄漏预警时，系统应自动触发应急预案，联动阀门关闭或减压措施；
6. 人机交互安全：操作界面应提供明确告警信息，避免因误操作引发次生风险。
   * 1. 环境安全

在泄漏智能检测过程中，数据和信息安全是保障系统正常运行的重要基础。为防止数据丢失、泄露或被恶意篡改，应建立健全的数据与信息保护措施：

1. 数据保护：监测数据应进行加密存储和传输，避免被篡改或泄露；
2. 网络安全：系统接入的通信网络应符合网络安全等级保护要求；
3. 访问控制：建立分级权限管理机制，敏感信息仅限授权人员访问。
   * 1. 运行安全

在系统运行环节，应注重保障检测过程和人机交互的安全性，避免因系统运行带来新的风险。具体要求包括：

1. 监测过程安全：采集设备应保证在全生命周期内稳定运行，避免对管道造成二次破坏；
2. 应急响应：在发生泄漏预警时，系统应自动触发应急预案，联动阀门关闭或减压措施；
3. 人机交互安全：操作界面应提供明确告警信息，避免因误操作引发次生风险。
   * 1. 环境安全

考虑到管道分布区域环境复杂，检测系统应具备良好的环境适应性，并减少运行过程中对周边环境的不良影响：

1. 环境适应性：系统应能在高温、低温、高湿度、粉尘及电磁干扰等环境下稳定运行；
2. 绿色运行：应优先采用低功耗、可回收材料与环保工艺，减少对环境的不利影响。
   * 1. 风险管理

风险管理是保障检测系统长期有效运行的关键环节，应对潜在风险进行识别、分级并实施控制措施：

1. 风险识别：定期评估管道运行环境与系统运行状况，识别潜在风险点；
2. 风险分级：根据泄漏后果严重性和发生概率，将风险分为高、中、低三级；
3. 控制措施：对高风险区域应加密传感器布设，并建立专门监控策略。
   * 1. 审核与监督

为确保安全保障措施得到落实，应建立多层次的监督与改进机制，具体要求如下：

1. 内部审核：运行单位每年至少开展一次内部安全审核；
2. 外部监督：行业主管部门应定期开展监督检查，确保系统符合国家安全要求；
3. 改进机制：针对审核与监督中发现的问题，应及时制定整改计划并落实。
   1. 评价改进
      1. 总则

压力管道泄漏智能检测系统应建立科学的评价与改进机制，对系统性能、运行效果和安全保障措施进行定期评估，并在此基础上不断优化。评价与改进应遵循客观性、持续性和可操作性原则。

* + 1. 评价指标

评价指标应涵盖技术性能、运行管理和安全保障三个方面：

1. 技术性能指标：包括检测灵敏度、定位精度、误报率、漏报率、响应时间等；
2. 运行管理指标：包括系统稳定性、数据完整性、设备完好率、运行合规性；
3. 安全保障指标：包括系统安全事件发生率、应急响应效率、网络安全防护水平。

压力管道泄漏智能检测系统评价指标体系见表5。

1. 压力管道泄漏智能检测系统评价指标体系

| 评价类别 | 指标内容 | 参考要求 |
| --- | --- | --- |
| 技术性能 | 检测灵敏度 | ≥90% |
| 定位精度 | ≤3 m |
| 误报率 | ≤5% |
| 响应时间 | ≤30 s |
| 运行管理 | 数据完整性 | ≥99% |
| 设备完好率 | ≥95% |
| 合规性审查通过率 | 100% |
| 安全保障 | 系统安全事件发生率 | ≤1 次/年 |
| 应急响应效率 | ≥95% |
| 网络安全防护等级 | 达到等保二级及以上 |

* + 1. 评价方法

为了保证评价结果的科学性和可操作性，应采用多种方法进行综合验证，主要包括：

1. 现场检测与比对：通过模拟泄漏实验或与传统方法比对，验证系统检测效果；
2. 运行数据分析：利用运行日志、历史数据，对系统长期表现进行统计分析；
3. 第三方评估：鼓励委托具备资质的第三方机构进行独立评价；
4. 用户反馈调查：收集运维人员、管理部门的反馈意见，作为改进依据。
   * 1. 改进措施

在评价结果的基础上，应采取针对性的改进措施，持续优化系统运行效果。主要方向包括：

1. 技术优化：基于评价结果改进算法、优化传感器布局、升级硬件设备；
2. 管理提升：完善运行流程，强化数据管理与人员培训；
3. 应急改进：对发现的应急响应不足之处，及时修订预案并演练；
4. 持续投入：在资金和人力上保持合理投入，确保系统不断升级。
   * 1. 持续改进机制

为确保改进措施长期有效，应建立闭环的持续改进机制，将评价与优化形成循环：

1. 建议每年开展一次系统性能评价；
2. 每三年至少进行一次全面改进评估；
3. 在技术更新、法规变化或重大事故后，应及时开展专项改进。

