

# T/CIEP

中国工业环保促进会团体标准

T/CIEP XXXX—XXXX

## 工业管网智慧系统建设及应用指南

Guidelines for Industrial pipeline smart system construction and application

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国工业环保促进会 发布

## 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。

本文件由中国工业环保促进会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

# 工业管网智慧系统建设及应用指南

## 1 范围

本标准提供了工业管网智慧系统建设及应用过程中涉及的建设原则、精细化感知节点设计、数据采集与处理、应用赋能技术、系统集成与测试以及标准化数据结构等方面的指导。

本标准适用于石油、天然气、化工及供热管网中的安全与节能智慧感知系统与应用模块的设计、部署和运行管理。

## 2 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/T 20271 信息安全技术 信息系统通用安全技术要求

GB/T 41004.1 智能管网系统 第1部分：总则

GB/T 41004.2 智能管网系统 第2部分：智能塑料管材、管件及阀门

GB/T 42135 智能制造 多模态数据融合技术要求

GB/T 44250.1 面向油气长输管道的物联网系统 第1部分：总体要求

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**工业管网智慧系统** *Industrial pipe network intelligent system*

应用智慧感知、数据处理、分析决策等技术，实现对工业管网安全与节能的全面感知、精细管理、科学运维的系统。

### 3.2

**精细化感知节点** *fine sensing node*

用于采集工业管网相关数据的各类设备及装置，包括光纤感应设备、嵌入式智能传感器等。

### 3.3

**多维度数据** *multi-dimensional data*

从不同角度、不同层面反映工业管网状态的信息，如压力、温度、流量等。

### 3.4

**多模态数据** *multi-modal data*

多种形态的数据。

[来源：GB/T 42135-2022, 3.1]

### 3.5

**高颗粒度数据** *high granularity data*

具有较高细节程度和精度的数据，能够更精准地反映被监测对象的状态。

## 4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CAN: 控制器局域网 (controller area network)

JSON: JavaScript 对象表示法 (javascript object notation)

MQTT: 消息队列遥测传输 (message queuing telemetry transport)

NB-IoT: 窄带物联网 (NarrowBand Internet of Things)  
 NTP: 网络时间协议 (network time protocol)  
 SSL: 安全套接层协议 (secure sockets layer)  
 TCP: 传输控制协议 (transmission control protocol)  
 TLS: 传输层安全协议 (transport layer Security)  
 XML: 可扩展标记语言 (eXtensible Markup Language)

## 5 总则

### 5.1 设计原则

#### 5.1.1 系统性与协同性

系统设计宜涵盖感知层、边缘层、平台层及应用层,需符合 GB/T 41004.1-2021中对管网系统的规定,各层级间宜具备兼容性和互操作性,实现数据无缝流转与业务流程衔接。

#### 5.1.2 可靠性与稳定性

系统宜采用冗余设计提升关键设备可靠性,具备抗电磁干扰、温湿度波动等工业环境影响的能力。可以通过定期维护、检测与升级机制,保障系统长期稳定运行,满足工业管网连续运行的安全需求。

#### 5.1.3 安全性与保密性

安全性需符合 GB/T 20271—2021 的要求,部署防火墙、入侵检测系统等网络安全防护设施,防范非法访问与恶意攻击。敏感数据宜采用加密技术进行存储与传输,防止数据泄露、窃取或篡改。

#### 5.1.4 先进性与前瞻性

系统设计宜考虑技术发展趋势与业务拓展需求,预留技术升级与功能扩展接口,具备可扩展性。

### 5.2 设计要点

#### 5.2.1 设备选型与部署

设备选型宜综合考虑性能、可靠性、兼容性和成本等因素:

- 感知设备宜选择精度高、抗干扰能力强的产品,适应工业现场的复杂环境;
- 网络设备宜具备高带宽、低延迟的特点,满足大量数据传输的需求;
- 对于塑料材质的管网部件,可依据 GB/T 41004.2-2021 选择;
- 服务器、存储设备等宜根据系统规模和数据量进行合理配置,确保系统的高效运行。

设备部署宜结合管网布局和监测需求,在关键节点和重点区域进行加密部署,提高监测的全面性和准确性。

#### 5.2.2 数据管理与应用

数据管理宜建立完善的数据采集、存储、清洗和共享机制。

- a) 采集的数据宜进行标准化处理,统一数据格式和编码规则,便于后续的分析应用;
- b) 数据存储宜采用分布式存储技术,确保数据的安全性和可靠性,同时具备良好的扩展性;
- c) 宜定期对数据进行清洗和校验,剔除异常数据,提高数据质量。

数据应用方面,可通过大数据分析、人工智能算法等技术,实现管网运行状态评估、故障预警、优化调度等功能。

#### 5.2.3 功能模块设计

功能模块设计宜围绕管网的全生命周期管理展开。

- a) 监测模块宜实时显示管网的运行参数和状态信息,提供异常报警功能;
- b) 故障诊断模块应具备智能识别和定位故障的能力,分析故障原因并给出处理建议;
- c) 维护管理模块宜实现维护计划制定、维护记录管理、备品备件管理等功能;
- d) 调度管理模块宜根据管网运行状态和用户需求制定调度方案,实现资源的合理配置。

### 5.2.4 运维与迭代设计

运维设计宜建立完善的运维管理制度和流程，定期对系统进行巡检、维护和故障处理，确保系统的稳定运行。迭代设计宜考虑系统的可扩展性和兼容性，预留技术升级和功能扩展的空间。

## 6 系统架构

系统架构涵盖感知层、边缘层、平台层及应用层。工业管网智慧系统构架示意图见图1：



图1 工业管网智慧系统构架示意图

## 7 数据采集

### 7.1 设备构成

数据采集设备主要由以下构成：

- 光纤；
- 嵌入式智能传感器；
- 温度探针；
- 应变片。

### 7.2 要求

#### 7.2.1 设备兼容性

光纤、嵌入式智能传感器、温度探针、应变片等设备之间及与系统其他层级应具备良好的兼容性，支持标准化接口协议，实现数据的顺畅交互与共享。

### 7.2.2 技术参数匹配

各类设备的技术参数应与管网监测需求相匹配。

- 光纤的传输带宽、传感距离需适配管网长度及数据传输量；
- 嵌入式智能传感器的测量范围、精度应覆盖管网压力、流量等参数的监测要求；
- 温度探针的测温范围需适应管网介质及环境温度变化；
- 应变片的灵敏度应满足管网结构形变监测的精度标准，确保采集数据能准确反映管网实际状态。

### 7.2.3 环境适应性集成

集成方案需考虑电磁干扰、温湿度波动、振动等工业管网复杂环境的影响，采取抗干扰、防腐、防爆等防护措施。

## 7.3 部署规范

### 7.3.1 点位规划

宜依据管径大小、管材类型、敷设方式等管网结构特性，按照 GB/T 44250.1-2024中的相关规定，规划设备部署点位。

- 在介质压力突变段、腐蚀易发段等高风险区域宜加密部署嵌入式智能传感器、应变片等设备；
- 在长距离直管段，宜结合管网介质稳定性及监测精度需求确定间距部署光纤、温度探针。

### 7.3.2 安装适配性

设备安装方式需适配管网环境及设备特性。

- 光纤宜沿管网外壁平行敷设，采用耐高温、抗老化的固定件确保与管网紧密贴合，减少外界振动对数据传输的影响；
- 嵌入式智能传感器应通过法兰或螺纹接口与管网本体连接，保证测量端与介质充分接触，同时做好密封处理以防泄漏；
- 温度探针需插入管网介质内部（插入深度根据管径及介质流速确定），确保测温精准；
- 应变片应粘贴于管网表面应力集中区域，粘贴前需对管网表面进行除锈、打磨处理，保证粘贴牢固且应变传递高效。

### 7.3.3 环境适配性

针对化工管网的腐蚀性氛围、供热管网的高温环境等不同管网类型的特殊环境，部署时需采取对应防护措施。

- 对暴露在室外的设备，宜加装防水、防尘、防晒的防护外壳；
- 在易燃易爆区域，选用防爆型设备，且设备防爆等级与区域危险等级匹配；
- 在靠近高压设备处强电磁干扰区域，对光纤及传感器线路采取屏蔽处理。

### 7.3.4 协同性部署

多类型设备部署应形成协同监测体系。

- 同一监测点位的光纤、传感器、探针等设备应统筹布局，避免信号相互干扰；
- 设备部署密度宜与数据采集频率、传输能力相匹配，确保边缘层能高效处理并发采集数据；
- 部署方案应便于后期系统集成测试，确保设备采集的数据能顺利接入系统数据链路，满足多维度数据融合分析的需求。

## 7.4 采集方法

采用在线采集与离线采集相结合的方式。

- 在线采集适用于需实时监测的管网压力、流量等动态参数，通过光纤、嵌入式智能传感器等设备实现数据的持续获取与传输；

——离线采集可用于温度、应变等相对稳定参数的定期记录，结合人工巡检或定时存储设备完成数据收集，补充在线采集的覆盖范围。

## 8 数据管理

### 8.1 数据处理

#### 8.1.1 数据预处理

##### 8.1.1.1 数据清洗

##### 8.1.1.2 异常值处理

异常值处理方式可根据数据特征选择，对于偶然出现的孤立异常值，宜采用线性插值法、邻近平均值插值法进行修正。对于连续异常值，宜标记为缺失状态并记录异常时段，同时触发数据采集设备状态排查机制。

##### 8.1.1.3 缺失值处理

因传感器临时故障导致的随机缺失值，宜根据数据时序特征采用前向填充、后向填充进行补充；因设备离线导致的长时间缺失，宜在数据集中明确标记缺失区间，并关联设备故障记录，避免补充数据对后续分析造成干扰。

##### 8.1.1.4 重复值处理

同一感知点在同一时间戳下的重复数据，宜保留精度最高的记录。时间戳间隔小于 1 秒的重复数据，可根据数据波动幅度选择保留最大值、最小值或平均值，同时记录去重操作日志。

#### 8.1.2 数据整合与对齐

##### 8.1.2.1 多源数据整合

多源数据整合宜建立以管网节点 ID、设备唯一标识、时间戳作为关联维度的统一的数据关联键，将来自不同传感器、不同系统的数据关联成结构化数据集。

##### 8.1.2.2 时间序列数据对齐

采样频率不同的数据，宜统一重采样至相同时间粒度，采样点数据可采用均值、最大值或插值计算。远程传输的传感器数据等存在时间延迟的数据，宜根据传输延迟模型进行时间校准，确保数据在时间轴上的准确性。

##### 8.1.2.3 空间与属性数据整合

空间数据与属性数据整合宜基于地理信息坐标实现关联，将管网的空间位置信息与对应的管径、材质、当前压力等运行参数关联，形成包含空间属性的数据集，支持基于空间位置的数据分析。

#### 8.1.3 智能监控数据处理

围绕运行状态的监测与预警，对预处理后的数据进行深度分析与特征提取：

- a) 采用统计分析、时序模式识别等方法，挖掘管网运行状态的关键特征参数，建立正常运行基线；
- b) 通过实时比对当前数据与基线差异，结合预设阈值，实现管网异常状态的快速识别与预警，提升状态预警的及时性与精准度。

### 8.2 统一数据格式

#### 8.2.1 实时监测数据

对压力、流量、温度等实时监测物理量参数，宜采用CSV 格式或关系型数据库表结构。

#### 8.2.2 设备数据

设备运行数据及资产信息数据宜采用JSON 或 XML 格式等具有层次结构的格式。对于设备故障代码等标准化信息，宜参照相关行业设备故障代码标准进行定义，确保数据的通用性。

### 8.2.3 管网属性数据

管网空间地理数据宜采用符合地理信息系统(GIS)通用标准的格式，可选用 Shapefile 或 KML 格式。

### 8.2.4 数据编码规则

字符型数据宜采用 UTF-8 编码格式，确保中文、英文及特殊符号的正确显示。

数值型数据的编码宜遵循十进制计数规则。

## 8.3 接口服务

接口类型及技术规范宜根据对接对象的不同进行划分。

——与现场监测设备的接口，宜采用 Modbus、OPC UA 等符合工业通用标准的通信协议；

——与 ERP、MES 企业管理信息系统的接口，宜采用基于 XML 或 JSON 格式的 Web Service 接口，支持结构化数据的高效传输与交互；

——与第三方公共服务平台的接口，宜遵循相关行业规范和数据交换标准，保障跨平台数据共享的安全性和一致性。

## 8.4 通信服务

通信协议选择宜兼顾技术成熟度与场景适用性。

——对于工业管网现场设备间的实时通信，宜采用 PROFINET 或 EtherCAT 具备确定性和实时性的工业以太网协议，满足毫秒级数据传输需求；

——对于跨区域的远程通信，宜采用 4G/5G 等移动通信技术或光纤通信方式，平衡传输速率与覆盖范围；

——对于系统内部各功能模块间的通信，宜采用 MQTT 轻量级消息队列协议，支持异步通信和设备端到云端的数据交互，减少网络带宽占用。

## 8.5 数据安全

### 8.5.1 数据传输

数据传输过程中，不同级别数据宜采用不同强度的加密措施。

——对于一般数据，可选用 SSL/TLS 等通用加密协议保障传输安全；

——对于重要数据和核心数据，宜采用国密算法 SM2、SM4 等更高级别的加密算法，对数据进行端到端加密；

宜建立数据传输监控机制，实时监测数据传输的完整性、准确性以及传输链路的稳定性，对异常传输行为及时发出告警并采取阻断措施。

### 8.5.2 数据储存

数据库管理系统宜具备完善的访问控制、身份认证和数据加密功能，不同级别数据宜采取差异化存储策略，核心数据可考虑采用专用存储设备并进行物理隔离存储；

存储介质应定期进行巡检与维护，确保数据存储的稳定性与持久性；

宜建立数据备份与恢复策略，对重要数据和核心数据可采用异地备份、多副本备份等方式，定期进行数据备份操作。

### 8.5.3 数据使用

数据使用环节宜执行最小权限原则。

——系统用户的操作权限宜根据其工作职能和业务需求进行精细划分，仅授予其完成工作所需的最低限度的数据访问权限，对敏感数据的访问可采用双人授权、审批流程等额外管控措施；

——宜建立数据使用审计机制，详细记录用户对数据的操作行为，包括操作时间、操作人、操作内容及数据对象等；

## 9 系统应用

### 9.1 智能决策

#### 9.1.1 异常分析

管网异常分析宜采用“工艺机理 + 数据特征”双驱动模式。

——对于多介质混输、压力调控节点等复杂工艺环节，宜通过 PipePhase、HYSYS 等工艺模拟软件构建机理模型，结合感知数据中的组分浓度波动、压力瞬变波形微变特征定位异常源头；

——对于常规工艺段，可利用 DBSCAN 聚类算法挖掘历史异常数据特征，建立数据驱动的异常识别模型。

#### 9.1.2 故障预警

##### 9.1.2.1 模型构建

模型输入宜包含多维度数据，包括：

——运行参数：压力、流量、温度、振动幅值；

——工艺参数：介质组分、设计压力、允许流速；

——环境因素：土壤腐蚀性、气温变化；

——设备属性：服役年限、维护记录。

##### 9.1.2.2 预警阈值设置

预警阈值设置宜体现工艺差异性，启停阶段、满负荷运行、检修过渡阶段等不同工艺条件下可采用动态阈值，系统可根据当前工艺阶段自动调取对应阈值参数。

##### 9.1.2.3 流程

故障预警流程宜包含数据预处理、特征提取、故障识别、预警生成及推送环节，并形成闭环管理。

#### 9.1.3 能效评估

能效评估宜建立覆盖工艺全流程的指标体系，结合感知数据量化关键能效参数。

——针对输送工艺，可计算单位介质输送能耗（kWh/t），关联感知的管径、流速、压力等数据，分析工艺参数对能耗的影响权重；

——针对换热工艺，可通过感知的进出口温度、流量数据计算换热效率，对比工艺设计值评估能效水平。

#### 9.1.4 预测性维护模型

预测性维护模型宜纳入工艺负荷对设备的影响因子，结合振动频谱、温度场分布等设备状态感知数据，与运行时长、负荷波动次数等工艺运行数据，建立设备剩余寿命预测模型。

## 9.2 智慧运行

### 9.2.1 自适应调节

智慧运行系统宜实现管网运行参数的自适应优化调节，达到管网在不同工况下的动态平衡与高效运行。

### 9.2.2 调节方式

系统宜基于历史运行数据与工艺机理模型，预测未来 5-10 分钟参数变化趋势，提前生成预调节方案。结合实时感知数据与预测偏差，动态修正调节指令。

### 9.2.3 迭代

系统宜建立调节策略的自迭代机制。通过记录每次调节的输入参数、执行过程与输出结果，分析策略在不同场景下的适配性，采用强化学习算法优化调节参数权重。

### 9.3 智能可视化

#### 9.3.1 数字孪生显示

借助数字孪生技术，对工业管网进行 1:1 数字化建模，以 3D 渲染效果呈现管网的分布和运行状态。管网按类型用不同颜色表示，清晰标注管线流向，展示设备的空间位置及相关运行数据。

#### 9.3.2 GIS 地图显示

基于地理信息系统（GIS）技术，绘制燃气管线、阀门等的地理分布图，展示管网资源的地理位置和分布情况。

#### 9.3.3 大屏显示

采用 LED 监控大屏，将工业管网的关键运行数据、实时监控画面、预警信息等集中展示，管理人员可以全面掌握整个管网系统的运行状况。

#### 9.3.4 视频显示

系统可接入现场摄像头的视频画面，实时展示作业点位的情况，操作人员可通过操作平台查看视频，还能进行手动报警、云台控制、录屏、截屏等操作。

---