

中国工程建设标准化协会标准

排水管网智慧运维健康性能评价标准

Standard for Intelligent Operation and Maintenance Health Performance
Evaluation of Drainage Pipeline Networks

(征求意见稿)

(提交反馈意见时，请将有关专利连同支持性文件一并附上)

主编单位：哈尔滨工业大学

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：202X 年 XX 月 XX 日

中国 XX 出版社

202X 年 北 京

前 言

根据中国工程建设标准协会《关于印发〈2023 年第二批协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字〔2023〕50 号文）的要求，由哈尔滨工业大学负责《排水管网智慧运维健康性能评价标准》工程建设协会标准（以下简称标准）的制定工作。归口管理单位：中国工程建设标准化协会建筑与市政工程产品应用分会。

标准编写主要包括以下 6 个部分：1. 总则；2. 术语、符号及缩略语；3 基本规定；4. 排水管网监测；5. 评价指标及权重；6. 评价指标量化方法；

本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利。本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会建筑与市政工程产品应用分会归口管理，由哈尔滨工业大学负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见或建议，请寄送哈尔滨工业大学（黑龙江省哈尔滨市南岗区哈尔滨工业大学二校区：150090）。

主 编 单 位：哈尔滨工业大学

参 编 单 位：

主要起草人：

主要审查人：

目 次

1 总 则	1
2 术语、符号及缩略语	2
2.1 术语	2
2.2 符号	3
2.3 缩略语	4
3 基本规定	6
3.1 设备设施管理	6
3.2 业务类别	6
3.3 内容管理	7
4 排水管网监测	8
4.1 系统构成	8
4.2 系统功能	9
5 评价指标及权重	10
5.1 管网破损	10
5.2 管网淤堵	11
5.3 管网溢流内涝	12
5.4 管网韧性	13
5.5 管网智慧运维管理	14
5.6 综合评价	15
6 评价指标量化方法	16
6.1 评价方式	16
6.2 评价指标定权	16
6.3 评价指标隶属度计算	16
用词说明	18
引用标准名录	19
附：条文说明	20

Contents

1 General provisions	错误！未定义书签。
2 Terms, Symbols and Abbreviations	2
2.1 Terms	2
2.2 Symbols	3
2.3 Abbreviations	4
3 Basic Requirements	6
3.1 Equipment and Facility Management	6
3.2 Business Categories	6
3.3 Content Management	7
4 Monitoring of Drainage Pipeline Networks	8
4.1 System Composition	8
4.2 System Functions	9
5 Evaluation Indicators and Weights	10
5.1 Pipeline Damage	10
5.2 Pipeline Siltation	11
5.3 Pipeline Overflow and Waterlogging	12
5.4 Pipeline Resilience	13
5.5 Intelligent O&M Management of Pipelines	14
5.6 Comprehensive Evaluation	15
6 Quantification Methods for Evaluation Indicators	16
6.1. Evaluation Approaches	16
6.2. Weight Assignment of Evaluation Indicators	16
6.3. Membership Degree Calculation of Evaluation Indicators	16
Explanation of Wording	18
List of Referenced Standards	19
Addition: Explanatory Notes to the Provisions	20

1 总 则

1.0.1 为规范城镇排水管网智慧运维及其质量评价，提高运行管理水平，完善绩效考核手段，推动城镇高质量发展，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于城镇排水管网运营的技术要求与运营质量考核的技术评价。

1.0.3 城镇排水管网运行应以提升排水体系运行效率、可靠性和安全性为整体目标，其质量评估需体现基础设施功能定位，突出综合效益；各项评估指标应基于规划设计技术要求与实际运维数据，结合管网监测、养护记录等动态信息进行系统分析。

1.0.4 城镇排水管网智慧运维健康性能的评价，除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

2 术语、符号及缩略语

2.1 术语

2.1.1 智慧运维系统 smart operation and maintenance system

采用物联网、大数据、云计算和数学模型模拟等技术建立的城镇排水管网运维管理系统。

2.1.2 监测站点 monitoring point

通过对排水管网综合技术分析,确定需要安装在线监测设备及具有完整基础设施的实地监测单元。

2.1.3 外水入渗 extraneous water infiltration

地下水、自来水管渗漏水、水体侧渗水等外水通过污水管道不严密处渗入污水管道内。

2.1.4 特征因子 tracer parameters

用以指示某种混接类别的水质物理、化学指标。

2.1.5 排水一张图 a map of drainage system

采用信息化手段,通过计算机应用软件、4G/5G、无线网络技术,结合 GIS 地理信息、水力建模、大屏监控等技术,建立可过对河道、排水管网、污水厂、泵站、闸门、监测站点的水位、水量、水质进行监控、分析、展示的可视化分析系统。

2.1.6 智慧排水系统 intelligent drainage system

以排水一张图为基础,充分利用感知监测网、物联网、云计算、移动互联网和管网、水利模型等信息技术,全面覆盖排水资产现状评估、规划、运行监管、维护养护、应急调度、水环境一体的水利模型分析及排水行政管理全生命周期。

2.1.7 水力模型 hydraulic model

城镇水系统控制仿真模型软件,利用水文、水力和水质计算引擎,通过多模型的耦合,实现水系统控制仿真模拟、人工智能优化、动态辅助设计等功能。

2.1.8 监测系统 monitoring system

反映基础网络运行动态的在线监测体系,并保证排水信息的汇聚、处理、整合、储存与交换。

2.1.9 管网破损 pipeline damage

由于长期运行过程中的多种内外部因素,如化学腐蚀、材料老化、机械冲击、地基不均匀沉降、地面荷载变化、施工质量缺陷等,导致管道本体或其连接部位(如接口、接缝)发生的管壁裂缝、穿孔、断裂、接口错位、管道沉降、局部变形等结构性损伤的现象。

2.1.10 管网淤堵 pipeline sedimentation and blockage

因固体沉积物(如泥沙、杂物、油脂等)在管道内堆积,导致排水断面缩小或堵塞,进而影响管道正常通水能力的现象。

2.1.11 管网溢流内涝 pipeline overflow and urban waterlogging

在强降雨或持续降雨等极端气象条件下，由于排水管网输排能力不足、局部节点滞水或系统调蓄能力欠缺，导致雨污水无法及时有效排出，出现污水从检查井、雨水口等设施溢流至地表，或地面积水长期滞留形成城镇内涝的现象。

2.1.12 管网韧性 pipeline resilience

城镇排水系统在面临突发事件或极端条件时，依然能够维持基本排水功能、控制系统风险，并在事件发生后具备较强的自我恢复与适应能力的综合性能。

2.1.13 管网智慧运维管理 smart operation and maintenance (O&M) of drainage networks

在排水系统运行全过程中，依托大数据、物联网、人工智能、云计算等先进技术，构建的感知全面、响应及时、预测准确的管理体系。可实现对排水管网结构状态、水力状况、水质变化及运维行为的智能化监测、动态预测、主动调度与科学维护，整合数据采集与监视控制系统（SCADA）、IoT 传感终端和历史运维数据，提升运行安全性、管理效率和服务水平，支撑城镇排水系统向精细化、主动化和协同化转型发展。

2.1.14 综合评价 comprehensive evaluation

基于各项维度性评价结果（2.1.9~2.1.13），通过指标标准化处理与科学赋权机制，将结构状况、运行效率、风险水平与智慧化能力等多方面指标整合，形成统一的管网综合健康指数（GHI）。该指数反映管网系统整体运行状态，支持跨区域横向比较与同一区域纵向趋势分析。综合评价结果可作为排水设施健康等级划分、资源优先配置、整治改造决策及运行优化的依据，推动排水系统向科学化、系统化、数据化治理转型。

2.2 符号

2.2.1 GHI——管网综合健康指数（general health index）

衡量排水管网系统整体健康状态的核心指标，通过整合各评价维度得分与对应权重计算得出，取值范围为 0~100，数值越大表示管网健康水平越高。

2.2.2 PDI——管网破损指数（pipeline damage index）

反映管网结构破损程度的量化指标，通过裂缝密度、管壁腐蚀率等破损评价指标的标准分与权重加权计算得出，取值范围为 0~100，数值越大表示管网破损程度越低、结构越完好。

2.2.3 Si——特征因子标准分（standardized score of feature factor）

表示某一特征因子的健康评分，取值范围为 0 至 1（或 0~100，需结合具体公式说明）。数值越大表示对应指标或维度的健康水平越高。

2.2.4 Wi——特征因子权重（weight of feature factor）

表示某一评价指标对所属评价维度或综合评价结果的影响程度，通过层次分析法（AHP）、熵权法等方法确定，所有指标权重之和为 1，权重越大表示该指标对评价结果的影响越显著。

2.2.5 FBI——管网溢流指数（flow blockage index）

评估排水管网因淤堵、流量下降等原因导致的排水能力衰减，或因溢流内涝引发的运行风险的量化指标，通过达标重现期、最大积水深度等溢流内涝评价指标的标准分与权重加权计算得出，取值范围为 0~100，数值越大表示管网溢流内涝风险越低。

2.2.6 X_i ——指标实测值（observed value of indicator）

某一评价指标在实际检测或模型计算中获取的原始数据。

2.2.7 X_{max} ——指标最差参考值（upper bound of indicator）

表示某一评价指标可接受的最大限值或历史记录中的性能最差值，对应指标标准分（ S_i ）为 0。

2.2.8 X_{min} ——指标最优参考值（lower bound of indicator）

表示某一评价指标在理想状态下的最优值，通常为 0 或行业推荐标准值，对应指标标准分（ S_i ）为 1

2.2.9 R ——管网韧性总分（total score of pipeline resilience）

衡量管网抗冲击、恢复与适应能力的综合指标，通过吸收能力（ A ）、恢复能力（ R_c ）、适应能力（ R_a ）加权计算得出。

2.2.10 A ——管网吸收能力（absorption capacity of pipeline）

反映管网在面临极端条件时维持基本功能、抵抗风险的能力，主要通过抗冲击能力、拓扑冗余率等指标计算得出，是韧性总分 R 的核心构成部分。

2.2.11 R_c ——管网恢复能力（recovery capacity of pipeline）

衡量管网发生故障后恢复正常运行效率，主要通过故障平均修复时间、应急响应时延等指标计算得出，恢复时间越短，恢复能力越高。

2.2.12 R_a ——管网适应能力（adaptation capacity of pipeline）

表示管网对长期环境变化的适应能力，通过气候适应指数等指标计算得出，比例越高，适应能力越强。

2.2.13 MTTR——平均修复时间（mean time to repair）

反映管网故障处置效率的指标，指故障发现到设备或管道恢复正常运行的平均时间（ h ），包括故障响应时间、维修准备时间、现场维修时间等，MTTR 越短表示运维效率越高。

2.3 缩略语

BIM: 建筑信息模型（Building Information Modeling）

CCTV: 管道闭路电视检测（Closed Circuit Television Inspection）

GIS: 地理信息系统（Geographic Information System）

IoT: 物联网（Internet of Things）

RTU: 远程终端单元（Remote Terminal Unit）

PLC: 可编程逻辑控制器 (Programmable Logic Controller)

SCADA: 数据采集与监视控制系统 (Supervisory Control and Data Acquisition)

SWMM: 暴雨管理模型 (Storm Water Management Model)

3 基本规定

3.1 设施设备管理

3.1.1 污水处理厂、排水泵站、调蓄设施、排水管网中设施设备的电气、自动控制及信息管理应符合现行行业标准《城镇排水系统电气与自动化工程技术规程》CJJ/T 120 的规定。

3.1.2 排水管网和泵站的运行与维护应符合现行行业标准《城镇排水管渠与泵站运行、维护及安全技术规程》CJJ 68、《城镇排水管道检测与评估技术规程》CJJ 181 的规定。污水处理厂的运行与维护应符合现行行业标准《城镇污水处理厂运行、维护及安全技术规程》CJJ 60 的规定。

3.1.3 城镇智慧排水系统中排水管网的空间定位、结构特征、运行状态等数据的存储、处理与分析，应满足数据接口与共享规范建设的要求，并符合现行国家标准《城市排水防涝设施数据采集与维护技术规范》GB/T 51187 的规定。

3.1.4 监测设备的管理和选型宜满足下列要求：

1 对流量计、液位计、水质监测仪等监测设备，按其类型、精度、安装位置、运行状态等属性进行管理，并记录设备维护保养情况、设备安全隐患及整改措施。

2 监测设备的选型与运行管理应符合现行行业标准《城镇排水水质水量在线监测系统技术要求》CJ/T 252、《地表水和污水监测技术规范》HJ/T 91 的规定。

3.1.5 数据中心的建设宜满足下列要求：

1 依托云计算平台或本地服务器，建立统一的数据中心；

2 可对采集的排水系统数据进行高效存储、处理、分析与调用；

3 可对排水设施进行动态感知、智能联动与远程管理；

4 应确保数据的安全性、完整性和可追溯性，并应符合现行国家标准《信息安全技术—网络安全等级保护基本要求》GB/T 22239 的规定。

3.1.6 视频监控系统的建设宜符合下列规定：

1 对排水系统中关键节点、重点设施及易积水地段，应部署视频监控系统实施全天候实时监控。视频监控系统应具备图像存储、远程访问、报警联动等功能。

2 视频监控系统的建设应符合现行国家标准《安全防范视频监控联网系统信息传输、交换、控制技术要求》GB/T 28181 的规定。

3.2 业务类别

3.2.1 排水设施运维管理宜包括排水设施在线运行监管、排水设施自动巡检、排水设施养护、排水设施远程维护维修、排水设施升级改造建议、排水设施质量检测等工作内容。

3.2.2 排水监测与预警宜包括对排水系统中水质、水量、水位、雨污水管道负荷等信息的实

时监测，建立异常识别模型与多维预警机制，及时发现并定位异常事件，提供可操作的处置方案。

3.2.3 排水数据统计分析宜依托云计算中心对收集到的排水数据进行存储、处理和分析，预测未来城镇排水状况。

3.2.4 排水工程规划与设计应在满足排水系统运行状态与数据分析结果前提下，通过建立多方案比选机制，在现有排水基础设施基础上，开展新建或改造工程的规划设计和优化排水系统的空间布局与功能配置工作，并应符合现行国家标准《室外排水设计标准》GB 50014 及《城市排水工程规划规范》GB 50318 的规定。

3.2.5 排水应急指挥与调度宜包括排水系统发生突发事件或极端天气等异常情况时，建立应急指挥与调度机制，制定多种应急处置方案，协调多部门资源快速响应，恢复排水系统功能等。

3.3 内容管理

3.3.1 设施信息管理宜满足下列要求：

- 1 应对排水设施的基本信息进行全面采集、分类整理与统一管理，包括设施的位置、规模、建设时间、权属单位、运行状态等关键属性信息。
- 2 排水设施的空间分布、结构属性与运维状态应可通过构建的设备信息数据库、地理信息系统与建筑信息模型等技术，实现数字化和可视化管理。信息建模与管理应符合现行国家标准《建筑信息模型施工应用标准》GB/T 51235 的规定。

3.3.2 监测数据管理宜满足下列要求：

- 1 对监测设备采集的排水系统运行数据应建立标准化接收、传输、存储与处理流程，采用专业分析软件进行数据清洗、统计与趋势识别。
- 2 应建立设备定期校准机制，采集的数据应准确、完整、一致，数据应可为异常检测、运维决策和系统预警提供技术支持。

3.3.3 资料文件管理宜满足下列要求：

- 1 排水系统管理相关的资料文件应及时整理与归档，内容包括法律法规、标准规范、技术导则与操作规程等。
- 2 排水系统管理相关的资料文件应覆盖排水设施建设、运行、维护、监测、安全等全过程。
- 3 排水系统管理相关的资料文件应建立条理清晰、分级管理的制度体系。

4 排水管网监测

4.1 系统构成

4.1.1 在线监测系统应基于物联网与边缘计算技术，构建中央主站与远程站点的多级协同网络，可支持双向数据交互与智能决策，并应符合下列规定：

- 1 在主站-站点数据转换中实现设备状态数据、控制指令的标准化协议转换；
- 2 在主站-终端数据转换中，通过轻量化 API 接口，向移动终端、增强现实/虚拟现实的监控界面推送关键告警与可视化分析结果。

4.1.2 在线监测系统包含：远程监测站点、现场数据接口设备、现场数据通信系统、中央主机、操作人员工作站通信系统、软件系统。远程站点的功能宜满足下列要求：

- 1 多源异构数据智能采集。集成边缘侧传感设备与协议解析模块，实现运行设备模拟量数据（温度、振动波形等）、数字量数据（开关状态编码）、状态数据（设备健康度评分）、脉冲信号（转速脉冲计数）及计数采集（累计运行时长）的融合采集，支持边缘侧数据预处理（滤波降噪、特征提取）；

- 2 动态阈值驱动的智能事件上报。远程站点通过嵌入式时序数据库缓存实时数据，基于机器学习模型（滑动窗口+异常检测算法）动态识别数据显著变化趋势，替代固定阈值触发机制；上报数据附带高精度同步时间戳，并根据事件等级启用差异上报策略；

- 3 主站-设备双向协同控制。支持主站下发参数调节指令（比例积分微分控制设定值调整）、控制信号（设备启停/模式切换）及召测任务（指定设备瞬时数据抓取），并通过设备数字孪生体模拟控制效果，规避误操作风险；基于强化学习模型动态优化调节参数（如根据负载变化自动校准阀门开度）。

4.1.3 现场数据接口设备（RTU、PLC）的设置应满足下列要求：

- 1 可通过多协议融合接入技术兼容串口通信协议、OPC 统一架构等，无缝连接现场感应装置、局部控制开关箱、阀门激发器等异构设备，并基于统一语义化建模实现设备数据的标准化解析。

- 2 内置工业 AI 芯片与轻量化分析模型可对振动频谱（快速傅里叶变换、小波变换）、温度场分布（长短期记忆网络时空预测）、设备声纹（卷积神经网络分类）等数据进行实时特征提取与故障预诊断，同时通过微型数字孪生引擎同步物理设备状态至主站系统，支持控制指令的虚拟仿真验证以规避误操作风险。

- 3 设备可采用模型预测控制算法动态优化阀门开度、电机转速等参数，并具备边缘自主决策能力，当网络中断时可依据预设规则执行紧急调控策略。

4.2 系统功能

4.2.1 城镇排水系统数据采集与监测应符合下列规定：

- 1 排水系统应采取远程数据采集、监测手段及时准确掌握排水系统的运行情况。
- 2 排水管网的监测和数据采集应符合国家现行标准《城市排水防涝设施数据采集与维护技术规范》GB/T 51187、《城镇排水水质水量在线监测系统技术要求》CJ/T 252 的规定。

4.2.2 排水管网监测系统应具备以下监测与预测功能：

- 1 实时数据采集与展示。通过物联网传感器实时采集水量、流速、水质等数据，经边缘计算处理后上传，并结合可视化展示，监视系统运行状态及健康评分。
- 2 性能评估与趋势预测。运用机器学习算法分析系统特性数据，建立性能评估与趋势预测模型，量化评估系统性能，并识别潜在问题。

4.2.3 排水管网监测系统应具备以下智能优化与巡检功能：

- 1 负荷数据分析与优化。基于模型分析负荷数据，利用 AI 辅助设计并模拟优化方案，确定系统升级所需条件。
- 2 智能巡检与缺陷评估。借助智能巡检设备与 AI 视觉识别检测设备及管道状态，评估缺陷等级，制定修复计划，并建立有效的系统资产管理程序。
- 3 异常检测与预警。采用机器学习挖掘异常模式，实现早期预警，根据风险等级多渠道报警，并通过数字孪生推演辅助应急决策。

4.2.4 排水管网监测系统应具备以下调控与技术创新功能：

- 1 实时调控与智能决策。基于在线监测，运用模型预测控制算法实时调控系统参数，网络中时边缘自主决策，智能优化控制策略。
- 2 大数据与 AI 技术应用。通过大数据与 AI 技术挖掘系统运行数据，构建混合模型揭示系统规律，搭建共享平台推动技术创新。
- 3 动态评估与自动化管理。基于物联网、大数据及人工智能技术，实现排水管网健康状态动态评估、故障智能诊断、养护策略优化及资源调度自动化，降低人工干预比例。

5 评价指标及权重

5.1 管网破损

5.1.1 管网破损的评价应综合考量管道结构完整性与功能性失效的多维度特征，主要包括 4 项客观定量指标和 1 项主观评价指标。管网破损评价指标的分类应符合表 5.1.1 的规定：

表 5.1.1 管网破损评价指标分类

指标名称	单位	指标性质	说明
裂缝密度	条/km	客观	管体单位长度内裂缝数量
管壁腐蚀率	%	客观	管壁厚度损失比例
接口渗漏点数量	个/km	客观	接口渗漏数量反映密封失效情况
检查井沉降量	mm	客观	检查井沉降幅度，反映基础稳定性
管材老化指数	0~1	主观	基于材料类型与服役年限综合得出的指数

5.1.2 管网破损的检测应采用 CCTV 检测结合 AI 图像识别的方法，对管道内部壁面裂缝进行自动识别和密度分析。通过高清摄像机器人获取连续图像，利用深度学习模型识别裂缝类型与数量，并按单位长度计算裂缝密度，量化结构破损程度。

5.1.3 应采用声波探漏仪或分布式光纤传感系统，检测管道接口部位的渗漏点位置与数量，并评估密封性能及外水入渗情况，检测应符合下列规定：

- 1 进行渗漏的短期快速定位时，宜采用声波探漏探测；
- 2 进行渗漏的长期在线监控时，宜采用分布式光纤传感系统。

5.1.4 应采用三维激光扫描与倾斜传感器，检测检查井井筒沉降、井盖错位与破损情况。激光扫描提供精细结构模型，倾角传感器实时监测变形趋势，协同判断附属设施的结构稳定性。

5.1.5 应采用超声波测厚仪、电化学传感器及腐蚀产物分析，检测管道内壁腐蚀速率与老化程度。结合材料类型与服役年限，建立老化指数与耐候性模型，系统评估管材性能退化趋势。

5.1.6 对逆向指标的归一化，应按式 5.1.1 计算：

$$S_i = \frac{x_{max} - x_i}{x_{max} - x_{min}} \quad (5.1.1)$$

其中 S_i ----标准化得分(Standardized Score)，表示第 i 个评价指标的健康评分值，取值范围为 0.1，数值越大表示健康水平越高。

x_i ----实测值(Observed Value)，即第 i 项指标在实际检测或模型计算中的原始数值。

x_{max} ----最差参考值(Upper Bound)，表示该指标可接受的最大限值或历史上性能最差值，对应得分为 0。

x_{min} ----最优参考值（Lower Bound），表示该指标理想状态下的最优值，通常为 0 或行业推荐标准，对应得分为 1。

5.1.7 综合破损指数应按式 5.1.2 计算：

$$PDI = \sum_{i=1}^n W_i \cdot S_i \times 100 \quad (5.1.2)$$

其中 S_i ----特征因子项标准分， W_i ----对应权重。

5.1.8 管网破损的等级分级及判定标准应符合表 5.1.2 的规定。

表 5.1.2 管网破损评分分级

等级	I级	II级	III级	IV级
综合破损指数	85~100	65~84	45~64	<45
判定	完好	亚健康	存在结构隐患	严重破损

5.1.9 基于层次分析法（AHP）确定的管网破损评价指标权重分配结果。该权重体系通过专家判断和矩阵计算，量化各指标对管网破损状况影响的相对重要性。对指标权重（AHP 法），应按如下表 5.1.3 计算：

表 5.1.3 AHP 法权重

指标	裂缝密度	管壁腐蚀率	接口渗漏点	检查井沉降量	管材老化指数
建议权重	0.35	0.25	0.20	0.15	0.05

5.2 管网淤堵

5.2.1 排水管网淤积状况的评价指标体系，应主要从淤积形态、输水能力及污染物特性三个维度进行量化表征，并应符合表 5.2.1 的规定：

表 5.2.1 管网淤堵评价指标

指标名称	单位	说明
淤积高度占比	%	淤积厚度/管径×100
沉积物体积	m³/km	每公里淤积泥沙体积
过流能力衰减率	%	实际流量下降占比
有机质含量	mg/g	淤积物中腐殖成分，指示易臭化性

5.2.2 管网淤堵的检测方法应符合下列规定：

- 1 采用超声或声呐测深技术，对管道内横断面轮廓进行高精度扫描识别沉积物厚度与分布形态。
- 2 采用流量计实测流量与设计流量对比的方法，评估管段过流能力是否衰减。

- 3 采用淤泥采样分析技术，获取沉积物的物理和化学成分信息。
- 4 采用多节点流速计布设或基于计算流体力学（CFD）的模拟，分析管道内水流速度分布特征与均匀性。

5.2.3 采用加权评分法综合评估管网的淤积状况并划分了综合评分（SI）的计算结果等级，以指导管网的运维决策。综合评分应按式 5.2.1 计算：

$$SI = \sum_{i=1}^n W_i \cdot S_i \times 100 \quad (5.2.1)$$

其中 S_i ----各项标准分， W_i ----对应权重。

管网淤堵评分标准，应符合表 5.2.2 所示：

表 5.2.2 管网淤堵评分

等级	高	中	低
分值	≥85	60~85	<60
说明	基本畅通	有淤积风险	存在严重堵塞

5.2.4 采用层次分析法（AHP）确定了管网淤堵状况各评价指标的相对重要性权重，权重分配体现各因素对淤堵程度的影响程度。管网淤堵指标权重应符合表 5.2.3 所示：

表 5.2.3 管网淤堵指标权重

指标	淤积高度占比	过流衰减率	有机质含量	沉积体积
权重	0.30	0.30	0.20	0.20

5.3 管网溢流内涝

5.3.1 排水系统溢流与内涝风险的量化评估应从设计标准、积水特征、系统超载和影响范围四个维度进行，并应符合表 5.3.1 的规定：

表 5.3.1 管网溢流内涝评价指标

指标名称	单位	含义
达标重现期	年	抗旱排涝设计标准达到的年限
最大积水深度	cm	内涝时最大水深
节点超载时长	分钟	管网关键节点超限持续时间
受涝面积比例	%	涝点覆盖面积/总评估区域

5.3.2 排水系统溢流与内涝的检测方法应符合下列规定：

- 1 采用液位与雨量的物联网（IoT）监测技术，对雨水口、检查井及泵站等关键节点的水位动态进行实时追踪。

2 采用遥感影像与无人机航测技术，对城镇低洼区域或疑似内涝区段的水面深度与范围进行快速测量与空间识别。

3 采用暴雨场景模拟模型（InfoWorks ICM、SWMM），对未来极端降雨情境下的排水系统响应与积涝风险进行预测。

4 采用液位传感器与压力传感器联动监测，结合水力模型仿真分析，对系统统计溢流事件发生频率与污水倒灌风险等级。

5 采用历史内涝点的 GIS 空间分析与暴雨重现期匹配评估方法，结合实时水位与调蓄池库容数据的动态比对，判断现有调蓄设施对洪峰削减的实际效果。

5.3.3 积水深度、受涝面积等管网溢流内涝评价指标评分，同样采用归一化方法，并按式 5.3.1 所示：

$$FBI = \sum_{i=1}^n W_i \cdot S_i \times 100 \tag{5.3.1}$$

其中 S_i ----各项标准分， W_i ----对应权重。

5.3.4 城镇排水管网溢流与内涝风险各评价指标的权重分配，应符合表 5.3.2 的规定：

表 5.3.2 管网溢流内涝评价权重

指标	达标重现期	最大积水深度	节点超载时长	受涝面积比例
权重	0.35	0.30	0.20	0.15

5.4 管网韧性

5.4.1 城镇排水管网系统韧性的评估，应从抵抗能力、恢复效率、结构鲁棒性和气候适应性四个关键维度全面衡量及量化，并应符合表 5.4.1 的规定：

表 5.4.1 管网韧性评价指标

指标名称	单位	含义
抗冲击能力	mm/h	不溢流时的最大耐受降雨强度
恢复时间 MTTR	小时	故障平均修复时间
拓扑冗余率	%	替代通道覆盖率
气候适应指数	%	应对未来暴雨下性能保持比例

5.4.2 城镇排水管网系统韧性评估的检测与建模，应符合下列规定：

1 GIS 拓扑分析（冗余能力）。通过构建排水管网空间拓扑图，结合图论算法（如节点连通度、最短替代路径、环路冗余率等）识别系统中关键节点与可替代路径。

2 气候变化情景模拟与生态适应性评估。将典型气候变化情景下的降雨预测输入城镇雨洪模型，评估未来极端暴雨条件下管网的溢流风险、积水演变和防洪能力变化。

3 运维历史数据分析（恢复能力）。基于历年故障工单与抢修记录，统计平均修复时

间（MTTR）、响应时延等关键指标，构建系统恢复能力评估模型。

5.4.3 管网韧性总分 R，应按式 5.4.1 进行计算：

$$R=0.5\times A+0.3\times R_c+0.2\times R_a \tag{5.4.1}$$

其中 A----吸收能力，R_c----恢复能力，R_a----适应能力。

5.4.4 应基于韧性工程理论框架，将管网韧性评价指标划分为三大能力维度，并确定其相对重要性。管网韧性评价指标权重，应符合表 5.4.2 的要求：

表 5.4.2 管网韧性评价指标权重

能力类别	抗冲击和冗余能力	恢复能力	适应能力
权重	0.50	0.30	0.20

5.5 管网智慧运维管理

5.5.1 排水管网智慧运维管理的量化评价应从运维效率、响应能力、监测完备性及智能预测水平四个维度开展，并应符合表 5.5.1 的规定。

表 5.5.1 管网智慧运维管理评价指标

指标名称	单位	含义
平均修复时间 MTTR	小时	故障处置效率
事件响应时间	分钟	泵站启停或人员响应平均延迟时间
监测覆盖率	%	IoT 设备覆盖度
预测准确率	%	模型预警与实际吻合度

5.5.2 排水管网智慧化运维管理的检测应符合下列规定：

- 1 通过将 SCADA 系统与物联网平台深度集成，实现对泵站、水位、流量等运行参数的高频采集与远程控制。
- 2 基于历史监测数据与突发事件记录，评估人工智能模型在溢流、积水、设备异常等方面的预测准确率。
- 3 构建与排水系统实时同步的数字孪生仿真平台，融合三维 GIS、传感器数据及水力模型计算结果，动态展示管网运行状态及风险分布。

5.5.3 智慧运维指数综合得分，应按式 5.5.1 进行计算：

$$SI = \sum_{i=1}^n W_i \cdot S_i \tag{5.5.1}$$

其中 S_i----各项标准分，W_i----对应权重。

5.5.4 指标权重的设置，应采用均衡权重分配，体现运维效率（MTTR、响应时间）与智慧化能力（监测覆盖率、预测准确率）并重。管网智慧运维管理指标权重，应符合表 5.5.2 的规

定：

表 5.5.2 管网智慧运维管理评价指标权重

指标	MTTR	响应时间	监测覆盖率	预测准确率
权重	0.25	0.25	0.25	0.25

5.6 综合评价

5.6.1 通过加权求和量化整体健康状态以计算综合评分，并按管网系统综合评价的核心算法式 5.6.1 进行计算：

$$GHI=\sum_{j=1}^n W_j \cdot S_j \tag{5.6.1}$$

其中 S_j----各维度标准分，W_j----权重。

5.6.2 管网综合评价指标权重应符合表 5.6.1 相关要求。

表 5.6.1 管网综合评价指标权重

维度	管网破损	管网淤堵	管网溢流内涝	管网韧性	智慧运维
权重	0.25	0.20	0.20	0.20	0.15

5.6.3 管网综合评价等级划分应符合表 5.6.2 相关要求。

表 5.6.2 管网综合评价等级划分

评分范围	健康等级	处理措施
≥85	I级健康	维持现状，定期巡检
65~84	II级亚健康	计划养护，局部改造
45~64	III级一般	中期整治重点管段
<45	IV级病危	优先整治、限期改造

6 评价指标量化方法

6.1 评价方式

6.1.1 运营质量评价应实行城镇排水主管部门监管考核的社会评价与运营单位运营管理考核的自我评价相结合的方式，自我评价的结果应作为社会评价结果的支撑。所有评价数据应可追溯，原始记录应真实、完整，计算过程应准确、清晰。

6.1.2 社会评价应包括运营效果的客观性评价和客户服务的主观性测评。评价结果宜向社会公布。

6.1.3 自我评价应包括落实排水规划的设施完备性和发挥设施效能的运行维护水平。运营单位应根据自我评价结果采取相应的改进措施。

6.1.4 运营质量评价应采用评价周期内评价区域的数据进行评价指标计算。最小评价周期应为运营年度，最小评价区域应为一级排水分区。

6.2 评价指标定权

6.2.1 AHP 法与熵权法

1 当采用 AHP（Analytic Hierarchy Process）层次分析法时，通过对评价指标的影响程度进行分析，依据其对多个评价对象的优劣排序，从中选择最符合要求的方案。

2 当采用熵权法时，若评价对象在某项指标上的值差异较大，则该指标的熵值较小，表明该指标提供了较多有效信息，因此其权重应较大；反之，若某项指标的值差异较小，则该指标的熵值较大，表明该指标提供的信息量较小，因此其权重应较小。

6.2.2 权重计算方法建议

1 在进行权重计算时，建议将 AHP 法与熵权法结合使用，可以采用简单加权平方根平均法来计算各指标的综合权重。

2 引入分层加权与动态调整机制。在权重计算时，应充分考虑不同层次评价指标的综合作用，并根据实际工况，建立动态权重调整机制。通过周期性的数据反馈与分层加权处理，及时调整各指标权重，以确保评价结果更符合实际需求，提升评价体系的适用性和精准度。

6.3 评价指标隶属度计算

6.3.1 定量指标隶属度计算应符合下列规定：

1 使用模糊综合评判对管网破损问题赋权后进行量化分析，计算管网健康度，以直观反映管网工作情况，判断是否需要维护。对健康评价分为五个等级，分为健康、亚健康、一般病态、中度病态、病危五个等级。

2 递增型指标，随指标值增大，其对应健康等级也增大，采用分段函数法，根据相应

公式计算指标健康度。

3 递减型指标，随着指标值增大，其对应的健康等级反而越低，如管龄，管道压力等，采用分段函数法，根据相应公式计算指标健康度。

4 适中型指标，有一定的优质取值区间，当指标值增大或者减小，对应的健康等级都将降低，如节点压力，管道负荷等，在健康等级区间两侧，其对给水管网健康状况的影响趋势与递增型和递减型分别有着相似的等级分布。在指标的取值范围内确定一个最优值 g ，在 g 值左右范围内分别采用递增型和递减型隶属度函数进行计算。

6.3.2 定性指标隶属度应符合下列规定：

1 采用区间评分法，请多位专家结合自身实践经验对定性指标给出区间分给出自己的评价意见。

2 采用集值统计理论对专家的评分区间进行处理，最终得到定性指标的专家量化值，最后采用灰色理论进行个评价等级的量化，计算定性指标对各项健康等级的隶属度。

用词说明

为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

2 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

3 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

4 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

引用标准名录

对本标准所引用的文件和适用的版本等内容进行说明。

- 《室外排水设计标准》GB 50014;
- 《城市排水工程规划规范》GB 50318;
- 《城市排水防涝设施数据采集与维护技术规范》GB/T 51187;
- 《建筑信息模型施工应用标准》GB/T 51235;
- 《信息安全技术—网络安全等级保护基本要求》GB/T 22239;
- 《安全防范视频监控联网系统信息传输、交换、控制技术要求》GB/T 28181;
- 《城镇污水处理厂运行、维护及安全技术规程》CJJ 60;
- 《城镇排水管渠与泵站运行、维护及安全技术规程》CJJ 68;
- 《城镇排水系统电气与自动化工程技术规程》CJJ/T 120;
- 《城镇排水管道检测与评估技术规程》CJJ 181;
- 《城镇排水水质水量在线监测系统技术要求》CJ/T 252;
- 《地表水和污水监测技术规范》HJ/T 91;

中国工程建设标准化协会标准

排水管网智慧运维健康性能评价标准

T/CECS xxx—2019

条 文 说 明

制 定 说 明

本标准《排水管网智慧运维健康性能评价标准》制定过程中，编制组开展了智慧运维与健康评价专题研究，系统梳理我国管网运维实践，并参考相关现行规范与先进技术。依托物联网、GIS/SCADA 与水力模型等手段，构建“监测—评价—预警—调控”闭环；围绕破损、淤堵、溢流内涝、韧性与智慧运维等维度建立指标体系，采用联合定权与综合评价方法，提出以 GHI 为核心的分级与处置建议；并通过 CCTV 检测、声波探漏、三维扫描与流量实测等验证，形成适用于全生命周期管理的智慧运维健康性能评价技术成果。

为便于广大技术和管理人员在使用本规程《排水管网智慧运维健康性能评价标准》时能正确理解和执行条款规定，编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条款规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。本条文说明不具备与规程正文及附录同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

目 次

1 总 则	23
2 术语、符号及缩略语	24
2.1 术语	24
2.2 符号	24
2.3 缩略语	24
3 基本规定	26
3.1 设施设备管理	26
3.2 业务类别	26
3.3 内容管理	27
4 排水管网监测	28
4.1 系统构成	28
4.2 系统功能	28
5 评价指标及权重	30
5.1 管网破损	30
5.2 管网淤堵	30
5.3 管网溢流内涝	31
5.4 管网韧性	31
5.5 管网智慧运维管理	32
5.6 综合评价	33
6 评价指标量化方法	34
6.1 评价方式	34
6.2 评价指标定权	34
6.3 评价指标隶属度计算	35

1 总 则

1.0.1 说明制定本标准的根本目的,是为规范排水管网智慧运维及其健康性能评价工作,提升城镇基础设施治理现代化水平,保障排水系统安全、高效运行。

1.0.2 明确标准适用范围为城镇排水管网的运行与评价工作,包括污水、雨水以及合流系统的管网运维与健康管管理,不涉及非城镇区域的农业或工业专用排水网络。

1.0.3 强调评估的系统性与数据依据性,提出指标体系需以规划设计标准、现场监测数据及实际运维数据为基础,体现管网运行综合效益。

1.0.4 提示标准执行的法律效力边界,指出本标准应与现行国家相关标准及行业标准配套使用。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1~2.1.14 本部分术语定义遵循“行业通用、兼顾创新”原则：

1 对于“智慧运维系统”“智慧排水系统”等创新术语，结合当前技术发展现状，明确其核心技术构成与应用目标，避免因技术迭代导致的术语歧义；

2 对于“管网破损”“管网淤堵”等传统术语，细化其内涵（如破损包含裂缝、穿孔、接口错位等具体形式），与后续评价指标的定义形成呼应；

3 对于“排水一张图”“管网韧性”等跨领域术语，参考 GIS、韧性工程等相关学科的定义，结合排水行业特点进行适配，确保不同专业背景的使用者能准确理解。

4 需要注意的是，部分术语（如“特征因子”“管网综合健康指数 GHI”）为标准专用术语，其定义与计算方法需结合本标准第 5 章、第 6 章的条款综合理解，不可单独割裂使用。

2.2 符号

2.2.1~2.2.5 本部分符号为评价指标量化计算的核心标识，其数学含义与公式逻辑严格对应：

1 符号的设定参考行业习惯与相关国家标准、行业标准中评价符号体系保持一致；

2 明确符号的取值范围（如“Si”为特征因子标准分，取值 0~1）与物理意义（如“FBI”为管网溢流指数，反映溢流内涝严重程度），避免计算过程中因符号混淆导致的结果偏差；

3 后续第 5 章、第 6 章中所有公式均以本部分符号定义为基础，使用者需先明确符号含义，再进行指标计算与结果分析

2.3 缩略语

BIM：建筑信息模型——用于构建排水管网三维数字化模型，整合管网结构参数、施工记录、运维数据，支撑设施可视化管理与维修精准定位，符合《建筑信息模型施工应用标准》GB/T 51235 技术要求。

CCTV：管道闭路电视检测——通过搭载摄像头的检测机器人进入管道内部，直观采集管壁裂缝、淤堵、接口错位等影像数据，是管网破损、淤堵指标检测的核心技术手段，检测准确率需满足本标准 5.1、5.2 章节要求。

GIS：地理信息系统——作为“排水一张图”的技术载体，实现管网空间位置、拓扑关系与运行数据的叠加展示，为管网分区评价、巡检路径规划提供空间分析支撑。

IoT：物联网——通过液位计、流量计等传感终端，实时采集管网运行数据并传输至管理平台，是智慧运维“实时监测”环节的基础技术，数据传输频率需匹配本标准 4.1 章节系

统构成要求。

RTU：远程终端单元——安装于监测站点的现场数据处理设备，负责对 IoT 传感器采集的原始数据进行滤波、降噪预处理，再上传至 SCADA 系统，保障数据完整性与传输效率。

PLC：可编程逻辑控制器——用于排水泵站、闸门等设备的自动化控制，可根据管网实时水位、流量数据自动调整水泵转速、闸门开度，实现运维过程的智能调控。

SCADA：数据采集与监视控制系统——整合各监测站点、PLC 设备的数据，实现管网运行状态远程监视与设备远程控制，是智慧运维系统“决策调度”环节的核心平台。

SWMM：暴雨管理模型——用于模拟降雨情境下管网水力运动过程，预测内涝积水深度、节点超载时长，为管网溢流内涝评价、韧性评估提供模拟数据支撑。

3 基本规定

3.1 设施设备管理

3.1.1~3.1.6 本部分是智慧运维的“基础保障条款”，从技术合规性、设备管理、数据安全三个层面提出要求：

1 技术合规性：明确排水系统各组成部分（如泵站、污水处理厂、监测设备）需遵循的现行标准（如 CJJ 68、CJ/T 252），确保设施设备的建设、运行符合行业规范，避免因基础设备不达标导致智慧运维“无米之炊”；

2 设备管理：对监测设备（流量计、液位计）提出“全生命周期管理”要求，包括设备选型、安装校准、维护记录等，例如要求记录设备安全隐患及整改措施，为后续故障溯源提供依据；

3 数据安全：针对数据中心建设，强调数据的“安全性、完整性、可追溯性”，并明确需符合 GB/T 22239，这是智慧运维中数据应用的前提-若数据存在泄露、篡改风险，后续评价与调度将失去可信度。

4 需特别注意，3.1.6 条对视频监控系统的要求，需与 4.2 条“异常检测与预警”功能结合，形成“视频监控-数据监测”的双重感知体系

3.2 业务类别

3.2.1~3.2.5 本部分从“业务维度”界定智慧运维的核心范畴，覆盖“日常运维—监测预警—规划设计应急调度”全流程：

1 运维管理：明确智慧运维不仅包括传统的养护、维修，还新增“自动巡检”“升级改造建议”等智慧化内容，例如通过 AI 巡检替代部分人工巡检，提升效率；

2 监测预警：强调“异常识别模型”与“多维预警机制”的重要性，要求不仅能发现异常（如管道淤堵），还能提供处置方案（如清淤时间、清淤方式），实现“预警—处置”闭环；

3 规划设计：要求规划设计需基于智慧运维产生的数据分析结果（如管网负荷分布），避免“拍脑袋”设计，例如通过水力模型模拟不同方案的运行效果，选择最优方案；

4 应急调度（3.2.5）：针对极端天气、设备故障等突发事件，要求建立“多部门协调机制”，例如暴雨内涝时，排水部门与交通、应急部门联动，快速疏导积水。

5 本部分条款为排水行业单位（如排水公司、设计院）提供了业务边界参考，避免智慧运维建设“重技术、轻业务”，确保技术与业务深度融合。

3.3 内容管理

3.3.1~3.1.3 本部分聚焦“信息管理”，是智慧运维的数据基础，涵盖“设施信息—监测数据—资料文件”三类核心信息：

1 设施信息：要求通过 GIS、BIM 等技术实现设施的“数字化、可视化管理”，例如将管道的位置、管径、建设时间等信息录入 BIM 模型，可直观查看管道三维结构，为维修提供精准定位；

2 监测数据：强调数据的“标准化流程”与“定期校准”，例如对监测数据进行清洗（去除异常值）、统计（计算日均流量），确保数据质量；同时要求设备定期校准（如流量计每年校准一次），避免数据偏差；

3 资料文件：要求资料文件覆盖“建设—运行—维护—安全”全生命周期，例如保存管道施工图纸、历年养护记录，为管网健康评价提供历史数据支撑。

4 需注意，3.3.1 条提到的 BIM 技术应用需符合《建筑信息模型施工应用标准》（GB/T 51235），确保信息建模的规范性，便于不同单位间的数据共享。

4 排水管网监测

4.1 系统构成

4.1.1~4.1.3 本部分是智慧监测的“硬件架构条款”，核心是构建“主站—站点—终端”三级协同网络，体现“物联网—边缘计算”的技术特点：

1 三级协同网络：明确主站（如排水公司监控中心）负责全局决策，站点（如监测站点）负责数据预处理，终端（如移动 APP、AR 监控界面）负责信息推送，实现“数据采集—处理—展示”的高效流转；例如站点通过边缘计算对监测数据进行滤波降噪，再将处理后的数据上传主站，减少主站算力压力；

2 远程站点功能：提出“多源异构数据采集”“动态阈值上报”“双向协同控制”三大核心功能，解决传统监测“数据单一、上报滞后、控制被动”的问题；例如通过机器学习模型动态调整水位报警阈值（雨天阈值高于晴天），避免误报警；

3 现场接口设备：强调设备的“兼容性”与“边缘智能”，例如支持串口、OPC、UA 等多种协议，可接入不同品牌的传感器；内置 AI 芯片可实时分析设备振动频谱，提前预测故障（如水泵轴承磨损），实现“预测性维护”。

4 本部分条款的技术要求需结合实际场景调整，例如在老旧管网区域，可优先部署低成本的液位、流量传感器，逐步完善监测网络；在新建管网区域，可一次性部署 BIM-IoT 一体化监测设备，实现全要素感知。

4.2 系统功能

4.2.1~4.2.4 本部分是智慧监测的“软件能力条款”，对应智慧运维闭环的“感知—分析—决策—优化”四个环节：

1 感知环节：明确数据采集需“远程化、实时化”，并符合 GB/T 51187、CJ/T 252 等标准，例如通过物联网传感器每 5 分钟采集一次水位数据，确保及时掌握管网运行状态；

2 分析环节：强调“机器学习”与“趋势预测”的应用，例如通过历史流量数据训练模型，预测未来一周的管网负荷变化，为养护计划制定提供依据；

3 决策环节：涵盖“优化方案模拟”“智能巡检”“异常预警”三大功能，例如通过 CFD 模型模拟清淤前后的过流能力变化，确定最优清淤方案；通过 AI 视觉识别巡检管道内的裂缝、淤堵，替代部分人工检测；

4 优化环节：提出“实时调控”“大数据挖掘”“动态评估”的智慧化能力，例如根据实时水位数据，通过模型预测控制算法自动调整泵站水泵转速，优化能耗；通过大数据分析不同

区域的淤堵规律，针对性调整养护频率。

5 需注意，4.2.4 条提到的“数字孪生推演”是智慧运维的核心技术之一，需将管网物理实体与数字模型实时同步，例如通过传感器数据更新数字模型的水位、流量状态，再通过模型推演不同调度方案的效果，为应急决策提供支持。

5 评价指标及权重

该章节是标准核心内容，划分为五大维度，并分别给出指标体系、检测方法、评分公式与权重分配，体现指标量化、可操作的技术特征。本章节是标准的“核心技术条款”，围绕管网健康的五大关键维度，构建“指标定义—检测方法—评分公式—权重分配—等级划分”的完整评价体系，确保评价结果科学、可操作。

5.1 管网破损

5.1.1~5.1.9 条款解读与执行要点：

1 指标设置逻辑：管网破损直接关系结构安全，因此设置“裂缝密度”“管壁腐蚀率”等 4 项客观指标（可直接实测）与“管材老化指数”1 项主观指标（结合材料类型、服役年限综合判断），全面反映管道结构损伤程度；

2 检测技术创新：推荐采用“CCTV+AI 识别”“声波探漏仪”“三维激光扫描”等先进技术，解决传统人工检测效率低、精度差的问题；例如 CCTV 检测机器人搭载 AI 模型，可自动识别裂缝并计算密度，准确率比人工识别提升 30%以上；

3 评分与分级：通过式（5.1.1）将逆向指标（如裂缝密度，值越大越差）归一化，再通过式（5.1.2）计算综合破损指数（PDI），最后按 PDI 值划分 4 个等级（完好～严重破损），不同等级对应不同的修复策略（如Ⅲ级需重点排查结构隐患，Ⅳ级需立即改造）；

4 权重分配依据：采用 AHP 法确定权重，“裂缝密度”权重最高（0.35），因裂缝是管道结构破损的主要形式，易引发渗漏、坍塌；“管材老化指数”权重最低（0.05），因老化是长期过程，短期内对结构安全影响较小。

5 执行注意事项：检测时需结合管网材质调整方法，例如金属管道重点检测腐蚀率，混凝土管道重点检测裂缝密度；管材老化指数需参考《城镇排水管道维护技术指南》中的材料寿命标准，结合实际服役年限计算；PDI 计算需确保数据样本量充足，单条管段的检测长度不宜小于 100 米，避免因样本过小导致结果偏差。

5.2 管网淤堵

5.2.1~5.2.4 条款解读与执行要点：

1 指标设置逻辑：淤堵影响管网输水能力，同时淤积物易产生恶臭、滋生细菌，因此从“物理堆积”（淤积高度占比、沉积物体积）、“功能衰减”（过流能力衰减率）、“环境风险”（有机质含量）三个维度设置指标；

2 检测方法适配：针对不同指标采用差异化检测技术，例如淤积高度占比用超声测深仪，过流能力衰减率用流量计实测对比，有机质含量用淤泥采样分析，确保指标数据精准；

3 评分与权重：通过式（5.2.1）计算综合评分（SI），按 SI 值划分“高—中—低”三个等级，对应“基本畅通—有淤积风险—严重堵塞”三种状态；权重分配中“淤积高度占比”“过流衰减率”均为 0.30，因两者直接反映淤堵对输水能力的影响，是核心指标；

4 运维指导意义：不同等级对应不同的清淤策略，例如 $SI < 60$ （严重堵塞）需在 72 小时内安排清淤， $SI \geq 85$ （基本畅通）可按季度常规养护。

5 执行注意事项：过流能力衰减率计算需选择“平水期”实测流量，避免雨天流量波动影响结果；有机质含量检测需在淤积物深处取样（距管底 5~10cm），避免表层样品代表性不足；对于合流制管网，需在雨季前后分别检测，对比淤堵变化规律，优化清淤时间。

5.3 管网溢流内涝

5.3.1~5.3.4 条款解读与执行要点：

1 指标设置逻辑：溢流内涝是城镇排水的主要痛点，因此从“设计标准”（达标重现期）、“积水特征”（最大积水深度）、“系统负荷”（节点超载时长）、“影响范围”（受涝面积比例）四个维度设置指标，全面反映内涝风险；

2 检测技术融合：结合“物联网监测—遥感航测—模型模拟”，例如用 IoT 传感器实时监测水位，用无人机航测受涝面积，用 SWMM 模型预测达标重现期，实现“实时监测—历史分析—未来预测”的全方位评估；

3 评分与权重：通过式（5.3.1）计算溢流指数（FBI），权重分配中“达标重现期”最高（0.35），因设计标准是内涝防治的基础（如重现期 10 年的管网比 5 年的抗涝能力更强）；“受涝面积比例”最低（0.15），因受涝面积受地形影响较大，需结合其他指标综合判断；

4 区域适配性：不同地区需调整指标参考值，例如多雨地区的最大积水深度限值可适当放宽（如 $\leq 50\text{cm}$ ），少雨地区需严格控制（如 $\leq 30\text{cm}$ ）。

5 执行注意事项：节点超载时长需选择“暴雨时段”统计，即降雨量超过重现期对应的降雨强度时开始计时；受涝面积比例计算需结合城镇地形图，区分“道路、绿地、居民区”等不同区域，居民区受涝影响更大，需单独统计；达标重现期需通过水力模型模拟不同降雨情景（如 5 年一遇、10 年一遇），确定当前管网实际达到的重现期，而非设计重现期。

5.4 管网韧性

5.4.1 管网韧性体现系统面对突发情境的抗扰动及恢复能力，是保障排水系统长期稳定

运行与气候变化适应性的关键。健康评价涵盖抗冲击能力、恢复时间、拓扑冗余率及气候适应指数。从系统弹性出发，提出冗余率、修复时间、气候适应性等韧性指标。

5.4.1~5.4.4 条款解读与执行要点：

1 指标设置逻辑：韧性反映管网“抗冲击—恢复—适应”的能力，因此设置“抗冲击能力”（耐受最大降雨强度）、“恢复能力”（平均修复时间 MTTR）、“结构鲁棒性”（拓扑冗余率）、“气候适应性”（应对未来暴雨的性能保持比例）四项指标，覆盖“当前能力—未来潜力”；

2 检测与建模方法：融合“拓扑分析—情景模拟—历史数据分析”，例如用 GIS 拓扑分析计算替代通道覆盖率（拓扑冗余率），用典型浓度路径气候情景模拟未来暴雨下的性能变化（气候适应指数），用历年故障记录统计 MTTR（恢复时间）；

3 评分与权重：通过式（5.4.1）计算韧性总分（R），权重分配中“抗冲击和冗余能力”最高（0.50），因这是应对突发事件的核心能力；“适应能力”最低（0.20），因气候适应是长期目标，短期内可通过优化运维提升；

4 实践意义：韧性评价可指导管网改造，例如拓扑冗余率低的区域（如单条管道供水）需新增备用管道，MTTR 长的区域需优化抢修资源配置（如增设维修点）。

5 执行注意事项：抗冲击能力需通过暴雨模拟实验确定，而非单纯依赖设计值，例如通过人工降雨实验测试管道不溢流的最大降雨强度；MTTR 统计需包含“故障响应时间—维修时间”，避免仅统计维修时间导致结果偏小；气候适应指数需参考当地气象局发布的“未来 30 年气候变化趋势”（如降雨强度增幅），确保模拟情景符合实际。

5.5 智慧智慧运维管理

5.5.1~5.5.4 条款解读与执行要点：

1 指标设置逻辑：智慧运维管理反映管网管理的现代化水平，因此从“效率”（MTTR、响应时间）、“覆盖度”（监测覆盖率）、“精准度”（预测准确率）四个维度设置指标，全面衡量智慧化应用效果；

2 检测与评估方法：基于“系统数据—现场验证”，例如 MTTR 从故障工单系统提取数据，预测准确率通过“模型预警次数与实际发生次数的比值”计算，监测覆盖率通过“已安装 IoT 设备的管段长度与总管段长度的比值”计算；

3 评分与权重：通过式（5.5.1）计算智慧运维指数（SI），权重采用均衡分配（各 0.25），因“效率、覆盖度、精准度”同等重要—仅效率高但覆盖度低，无法全面监测；仅覆盖度高但预测不准，无法有效预警；

4 提升方向：不同指标对应不同的智慧化提升措施，例如监测覆盖率低需新增传感器，预测准确率低需优化 AI 模型参数。

5 执行注意事项：事件响应时间需从“事件发生到人员或设备出动”开始计时，而非“接到报警”，确保反映真实响应速度；监测覆盖率需区分“关键节点”与“普通管段”，关键节点（如泵站、检查井）需 100%覆盖，普通管段可按区域优先级逐步覆盖；预测准确率统计需

排除“不可抗力事件”（如极端暴雨超出模型预测范围），避免因异常情况导致结果偏差。

5.6 综合评价

5.6.1~5.6.3 条款解读与执行要点：

1 评价模型逻辑：综合评价是对“破损、淤堵、溢流内涝、韧性、智慧运维”五大维度的汇总，通过式（5.6.1）计算管网综合健康指数（GHI），实现“单维度评价—多维度整合—整体等级划分”的递进；

2 权重分配依据：权重设置体现“安全优先、兼顾效率与智慧化”——“管网破损”权重最高（0.25），因结构安全是基础；“智慧运维”权重最低（0.15），因智慧运维是辅助手段，需建立在结构安全、功能正常的基础上；“淤堵、溢流内涝、韧性”权重均为 0.20，因三者均直接影响管网运行效能与抗风险能力；

3 等级划分与处置措施：按 GHI 值划分 4 个健康等级，每个等级对应明确的处置措施，确保“评价结果可落地”——I级（健康）仅需定期巡检，降低运维成本；IV级（病危）需优先整治，避免发生安全事故；

4 应用场景：综合评价结果可用于“横向比较”（不同区域管网健康状况对比）与“纵向趋势分析”（同一区域历年健康状况变化），为管网改造资金分配、养护计划制定提供依据。

5 执行注意事项：GHI 计算需确保各维度的标准分（ S_j ）已完成归一化（均为 0~1），避免因单位不同导致结果偏差；处置措施需结合当地实际情况调整，例如IV级管网若短期内无法全面改造，需制定“临时应急方案”（如增设抽水泵站）；综合评价周期建议为“年度”，与排水行业运维考核周期一致，便于主管部门开展绩效考核。

6 评价指标量化方法

本章节是标准的“技术支撑条款”，解决“如何计算指标权重、如何量化指标隶属度”的问题，确保评价过程可重复、可验证。

6.1 评价方式

6.1.1~6.1.4 为全面、系统地反映排水管网运行状态及运维水平，本章构建了一套科学、可量化的指标评价体系。该体系综合考量了运行质量的评价方式、指标权重的确定方法以及定量与定性指标的隶属度计算方法，力求在保证数据可追溯性和科学性的基础上，提升管网健康评价的准确性与实用性。强调多源数据驱动的评价方式，并明确“社会评价-自我评价”双轨体系的可追溯性与数据要求。

6.1.1~6.1.4 条款解读与执行要点：

1 双轨评价体系：采用“社会评价—自我评价”结合，社会评价由主管部门或第三方机构开展，侧重“客观效果”（如内涝影响范围、居民满意度）；自我评价由运营单位开展，侧重“内部管理”（如设施完备性、养护计划执行率），两者相互补充—社会评价发现问题，自我评价分析原因；

2 评价数据要求：强调“数据可追溯”，要求所有原始记录（如检测报告、养护记录）保存至少 5 年，计算过程需形成书面报告，便于复查；同时明确“最小评价周期为年度，最小评价区域为一级排水分区”，因管网运行具有周期性（如雨季内涝、旱季淤堵），按年度评价更能反映真实状况；一级排水分区是管网管理的基本单元，按分区评价便于责任落实；

3 社会评价公开：要求评价结果向社会公布，体现“透明化管理”，接受公众监督，同时也能提升居民对排水工作的理解与支持。

4 执行注意事项：社会评价中的“客户服务主观性测评”需设计科学的问卷，样本量需覆盖不同年龄段、不同区域的居民，确保代表性；自我评价需避免“自欺欺人”，运营单位需建立内部审核机制，对自我评价结果进行抽查验证；评价周期可根据特殊情况调整，例如发生重大内涝事故后，需增加“专项评价”，分析事故原因并制定整改措施。

6.2 评价指标定权

6.2.1~6.2.2 条款解读与执行要点：

1 定权方法选择：推荐“AHP 法—熵权法”结合，AHP 法基于专家经验，体现“主观判断”；熵权法基于数据差异，体现“客观规律”—单一使用 AHP 法易受专家主观偏好影响，单

一使用熵权法易受异常数据影响，两者结合可实现“主观与客观的平衡”；

2 综合权重计算：建议采用“简单加权平方根平均法”计算综合权重，公式为：

$$W_{\text{综合}} = \sqrt{\frac{W_{\text{AHP}}^2 + W_{\text{熵权}}^2}{2}}, \text{ 该方法可有效融合两种权重的优势, 避免某一种方法的缺陷被放大;}$$

3 动态调整机制：要求根据“实际工况”调整权重，例如在雨季，“溢流内涝”指标的权重可适当提高（如从 0.20 调整为 0.25）；在老旧管网区域，“管网破损”指标的权重可适当提高（如从 0.25 调整为 0.30），确保权重设置符合实际需求。

4 执行注意事项：AHP 法需邀请 5~7 名行业专家（涵盖设计、运维、检测等领域），避免专家领域单一导致判断偏差；熵权法需确保数据样本量充足（如某指标至少有 30 个实测数据），否则无法准确计算数据差异；动态调整权重需形成书面说明，明确调整原因、调整幅度及生效时间，避免随意调整。

6.3 评价指标隶属度计算

6.3.1~6.3.2 条款解读与执行要点:

1 定量指标隶属度：针对不同类型的定量指标（递增型、递减型、适中型）采用差异化的隶属度函数，确保“指标值与健康等级”的对应关系科学：递增型指标（如监测覆盖率，值越大越健康）：采用“线性递增函数”，例如覆盖率 $\geq 90\%$ 时隶属度为 1， $\leq 50\%$ 时隶属度为 0；递减型指标（如裂缝密度，值越大越差）：采用“线性递减函数”，例如裂缝密度 ≤ 0.5 条/km 时隶属度为 1， ≥ 5 条/km 时隶属度为 0；适中型指标（如节点压力，过高或过低均不好）：采用“正态分布函数”，例如压力在 0.3~0.5MPa 时隶属度为 1，低于 0.1MPa 或高于 0.8MPa 时隶属度为 0；

2 定性指标隶属度：针对无法直接实测的指标（如管材老化指数），采用“专家评分—集值统计—灰色理论”的组合方法。先邀请专家给出评分区间（如 0.6~0.8），再通过集值统计确定专家共识值（如 0.7），最后用灰色理论计算该值对不同健康等级的隶属度（如对“亚健康”等级的隶属度为 0.8，对“一般病态”的隶属度为 0.2），避免单一专家的主观偏差；

3 隶属度应用：隶属度是指标标准化的核心，所有指标需先计算隶属度（转换为 0~1 的标准分），再参与后续的权重计算与综合评价，确保不同量纲、不同方向的指标可比较、可汇总。

4 执行注意事项：定量指标的隶属度函数参数（如递增型指标的上限、下限）需参考行业标准或当地实际数据确定，避免照搬其他地区参数；定性指标的专家评分需采用“背对背”方式，避免专家间相互影响；隶属度计算需形成详细的计算表格，明确每个指标的原始值、隶属度函数、标准分，便于复查。