

王俊岭,熊玉华,张现国,等.基于AHP-模糊综合评价法的城市排水管网状态和运行效能评价:以淮安市淮安区为例[J].环境工程技术学报,2022,12(4):1162-1169.

WANG J L,XIONG Y H,ZHANG X G,et al.Evaluation of the state and operational effectiveness of urban drainage pipe network based on AHP-fuzzy comprehensive evaluation method: taking Huai'an District of Huai'an City as an example[J].Journal of Environmental Engineering Technology, 2022, 12(4): 1162-1169.

基于AHP-模糊综合评价法的城市 排水管网状态和运行效能评价 ——以淮安市淮安区为例

王俊岭¹,熊玉华¹,张现国²,邓玉莲¹

1.北京建筑大学环境与能源工程学院

2.北京首创生态环保集团股份有限公司

摘要 掌握排水管网的建设状态及运行状况,有利于有针对性地制定排水管网养护与修复决策。构建了基于服务性能、建设状态、维护管理的包含14项指标的城市排水管网状态和运行效能评价指标体系,并结合层次分析法(AHP)-模糊综合评价法,对淮安市淮安区管网的状态和运行效能进行了综合评价。结果表明:影响淮安区排水管网状态和运行效能的因素主要为生活污水集中收集率、雨污分流比、污水处理率和管网维护水平,这4项指标权重之和大于另外10项指标的权重之和;淮安区排水管网综合评价水平为中等偏上,其中排水管网的的服务性能以及维护管理处于中等偏上水平,建设状态处于中等偏下水平。结合淮安区管网普查的结果,提出在日后的管网维护工作中,应重点开展管网病害和管道缺陷治理。

关键词 排水管网系统;运行效能评价;指标评价法;层次分析法(AHP);模糊综合评价法

中图分类号:X52, TU990.3 文章编号:1674-991X(2022)04-1162-08 doi:10.12153/j.issn.1674-991X.20210350

Evaluation of the state and operational effectiveness of urban drainage pipe network based on AHP-fuzzy comprehensive evaluation method: taking Huai'an District of Huai'an City as an example

WANG Junling¹, XIONG Yuhua¹, ZHANG Xianguo², DENG Yulian¹

1.School of Environmental and Energy Engineering, Beijing University of Civil Engineering and Architecture

2.Beijing Capital Ecological Environmental Protection Group Co., Ltd.

Abstract Grasping the construction status and operating status of the drainage pipe network is conducive to making targeted decisions on the maintenance and repair of the drainage pipe network. An evaluation index system for the status and operation efficiency of urban drainage pipe network including 14 indexes was established based on service performance, construction status, and maintenance management, and combined with Analytic Hierarchy Process (AHP)-fuzzy comprehensive evaluation method, the status and operation efficiency of the pipe network in Huai'an District, Huai'an City were comprehensively evaluated. The results showed that the main factors affecting the status and operating efficiency of the drainage pipeline network in Huai'an were the centralized collection rate of domestic sewage, the rain and sewage diversion ratio, the sewage treatment rate and the maintenance level of the pipeline network. The sum of the weights of the 4 indicators was greater than the sum of the weights of the other 10 indicators. The comprehensive evaluation level of the drainage pipe network in Huai'an District was above the medium level, among which the service performance and maintenance management of the drainage pipe network were above the medium level and the construction status was below the medium level. Based on the results of the general survey of the pipeline network in Huai'an District, it was proposed that the management of pipeline network

收稿日期:2021-07-26

基金项目:北京市自然科学基金项目(8192009)

作者简介:王俊岭(1973—),男,副教授,博士,研究方向为海绵城市、给排水系统优化等, wangjunling@bucea.edu.cn

*通信作者:熊玉华(1993—),女,硕士研究生,研究方向为给排水系统优化, 1099558400@qq.com

diseases and pipeline defects should be the focus of pipeline network maintenance work in the future.

Key words drainage pipe network system; operation efficiency evaluation; index evaluation method; analytic hierarchy process (AHP); fuzzy comprehensive evaluation method

排水管网系统是地下设施的重要组成部分,排水管网系统的故障会导致城市运营中断,出现环境问题,甚至对人类生活造成威胁。许多国家由于排水管网系统已使用 100 多年,因而存在各种缺陷。例如雨水和污水管道混接错接、河水倒灌及管道淤积、破损等,严重影响着排水管网系统的输水能力和污染物的收集效率。此外,城市排水管网系统运行效能低下,会对污水厂的处理效率和城市水环境质量带来不利影响。掌握城市排水管网的资产效能及运行状况,可以有针对性地制定关于排水管网养护与修复的决策,为城市排水管网系统的运营管理提供便利。我国市政给水管网的绩效评价经过多年研究,已相对成熟,但排水管网状态和运行效能的综合评价还处于起步阶段。随着计算机技术的发展,我国学者对排水管网运行效能的评价提出了一些方法。如程永前等^[1]构建了排水管网规划的评价指标体系,并用分形维数描述了管网的空间分布特征,但该研究针对截流合流制排水管网,其应用性有限;李林等^[2]结合乌鲁木齐排水管网的现状和问题,对排水管网建设效应的评价体系进行了研究,但仅仅使用层次分析法(AHP)分析筛选出了对管网影响较大的指标,无法判断排水管网的整体情况;冷雪^[3]从基础建设、服务水平和驱动力发展 3 个方面建立了排水管网运行效能的综合评价体系,但该指标体系没有考虑管网资产的缺陷状态。总体来看,现有研究对排水管网的评价多偏向于运行效能,针对管网状态方面的评价还很少,且在指标体系的构建上缺乏完整性和系统性,在综合评价方法上缺乏改进和创新。

传统的综合评价一般包含指标体系和评价方法 2 类要素,实现过程通常分为数据的收集与处理、确

定指标权重和综合分析 3 个阶段。由于各阶段的描述存在一定的不确定性,因此一些传统方法很难取得良好的效果。目前,常用的系统评价方法有模糊综合评判法、AHP 等。由于在进行管网评价时,使用的评语常带有模糊性,所以宜采用模糊综合评价方法。应用模糊综合评价法时,各指标权重具有举足轻重的地位,但是模糊评价的权重通常由专家根据经验给出,难免带有主观性。AHP 是一种定量和定性相结合、将人的主观判断用数量形式表达和处理的方法,能够尽可能地减少个人主观臆断所带来的弊端,使评价结果更可信^[4-6]。笔者将这 2 种方法的优点结合起来,通过 AHP 确定子目标和各指标权重,用模糊综合评价法对排水管网状态和运行效能进行综合评价,并以淮安市淮安区为例进行应用,以期建立较为完善的城市排水管网状态和运行效能的综合评价方法提供参考。

1 评价指标体系的构建

排水管网包括雨水收集系统和污水收集系统,其整体效益受到建设、维护及外部环境等多种因素的影响。评价指标体系要尽可能地包括影响排水管网状态和运行效能的各种因素,全面体现城市排水管网的综合状况。在借鉴以往研究成果^[7-10]并征询专家意见的基础上,结合淮安市排水管网现状,从管网的服务性能、建设状态和维护管理 3 个方面进行综合评价指标的筛选,构建指标体系。在指标选取时,遵循科学性、完备性、独立性、主成分分析原则,采用频度统计、理论分析、专家咨询相结合的方法^[11],进行了 3 轮筛选,结果如图 1 所示。由图 1 可知,排水管网状态和运行效能评价指标体系为 3 层

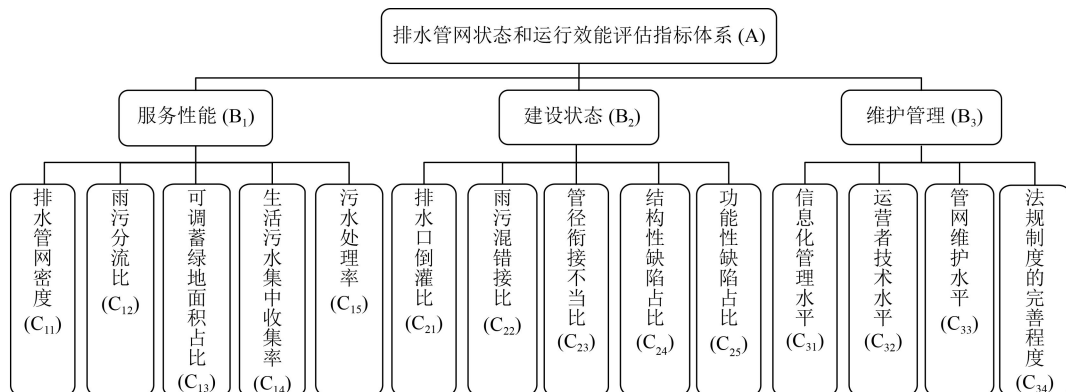


Fig.1 Evaluation index system of state and operation efficiency of the drainage pipe network

网络层次结构,目标层为排水管网状态和运行效能评价,准则层包括服务性能、建设状态和维护管理

3 个方面,指标层包括 14 项指标。各项指标的含义及计算方法如表 1 所示。

表 1 排水管网状态及运行效能评价指标说明

Table 1 Description of the evaluation index of drainage network status and operation efficiency

准则层	指标层	指标含义	数据来源
服务性能(B ₁)	排水管网密度(C ₁₁)/(km/km ²)	单位面积拥有的管网长度	文献[11-15]
	雨污分流比(C ₁₂)/%	雨污分流管道长度占管网总长度的比例	文献[11-15]
	可调蓄绿地面积占比(C ₁₃)/%	能消纳70%降水的绿地面积与总面积之比	文献[16]
	生活污水集中收集率(C ₁₄)/%	进水BOD与居民排放的BOD之比	文献[17]
	污水处理率(C ₁₅)/%	污水处理设施的进水量与城市污水总排放量之比	文献[15-18]
建设状态(B ₂)	排水口倒灌比(C ₂₁)/‰	区域内出现倒灌的排水口数与总排口数之比	文献[19]
	雨污混错接比(C ₂₂)/‰	雨水管道和污水管道混错接点个数与总管道节点数之比	文献[20-23]
	管径衔接不当比(C ₂₃)/‰	衔接不当处(指大管径管道接入小管径管道处)下游小管径管道管长与管网总长度之比	文献[23]
	结构性缺陷占比(C ₂₄)/%	管道结构性缺陷等级为三级和四级的管长与管网总长度之比	文献[21]
	功能性缺陷占比(C ₂₅)/%	管道功能性缺陷等级为三级和四级的管长与管网总长度之比	文献[21]
维护管理(B ₃)	信息化管理水平(C ₃₁)	根据管理工具进行分级。采用专家打分法,10分制	文献[17]
	运营者技术水平(C ₃₂)	指运营者学历、工龄等情况。采用专家打分法,10分制	文献[15]
	管网维护水平(C ₃₃)	管道进行检测、清淤和维修的及时程度和工作质量。采用专家打分法,10分制	文献[22]
	法规制度的完善程度(C ₃₄)	考察排水相关制度是否完备及实施情况。采用专家打分法,10分制	文献[15]

2 AHP-模糊综合评价法

2.1 AHP 确定指标权重

运用 AHP 确定各评价指标的权重^[24],并按照 1~9 标度法通过比较指标间两两重要程度,对各指标的相对重要性进行赋值。根据专家的赋值进行加权加和并求平均,确定各项指标的最终权重。

2.2 模糊综合评价法

模糊综合评价法的基本原理:首先确定被评判对象的因素(指标)集 μ 和评判等级论域集 V ;然后进行单因素模糊评价,获得隶属度矩阵 R ;最后把隶属度矩阵(R)与因素(指标)的权重向量集(W)进行模糊运算并进行归一化,得到模糊综合评判结果集 β 。模糊综合评价又分为一级评价和多级评价,本研究采用多级模糊综合评价,从多级模糊综合评价的结果可以得出每层指标对应于等级论域的隶属度,层次分明,结果可靠,适用于评价因素较多且层次较多的指标体系。

2.2.1 模糊综合评价步骤

(1)确定因素论域

若有 P 个评价指标,则评判因素论域可表示为 $\mu = \{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_p\}$ 。

(2)确定指标权重

采用 AHP 确定 W 。一级指标的权重向量记为 $W = [W_1, W_2, \dots, W_p]$,二级指标的权重向量记为

$W_i = [W_{i1}, W_{i2}, \dots, W_{ip}]$ 。

(3)确定评判等级论域

评判等级论域是由各评价因素的评价结果组成的集合。根据淮安区城市排水管网状态和运行效能评价的特点,将评价等级论域划分为差、中、良、优 4 个级别。在等级论域的基础上进行隶属度的确定。若给定 m 个评判级别,则评判等级论域可表示为 $V = \{V_1, V_2, \dots, V_m\}$,每个评价等级可对应 1 个模糊子集。

(4)进行模糊评价,确定隶属度矩阵

若因素集 μ 中第 i 个元素对评价集 V 中第 1 个级别的隶属度为 r_{i1} ,则对第 i 个元素单因素评价的结果用模糊集合表示为 $R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im})$,以 p 个单因素评价集 R_1, R_2, \dots, R_m 为行组成矩阵 R_{pm} ,称为隶属度矩阵,如下式所示:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{p1} & \dots & r_{pm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

(5)合成结果向量

通过合适的算子对 R 和 W 进行合成运算,得到结果向量 β 。

$$\beta = W \times R = [W_1, \dots, W_p] \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{p1} & \dots & r_{pm} \end{bmatrix} \quad (2)$$

在分析评价结果时,一般遵循最大隶属度原则。最大隶属度的分析原则在特定的使用条件下会损

失过多有用信息, 本研究采用加权平均的方法来确定评价对象的隶属度, 以提高评价结果的准确性^[25-28]。

2.2.2 指标等级论域划分说明

指标评价等级论域主要根据政策标准、工程统

计资料确定^[29], 尽可能最大化地反映排水管网目前的整体情况。定性指标以 10 分制为基础进行划分, 将 4 个评价等级平均划分出 5 个分值范围。等级论域划分结果如表 2 所示。

表 2 指标等级论域划分
Table 2 Classification of index hierarchy

准则层	指标层	等级				分级依据
		差	中	良	优	
服务性能(B ₁)	排水管网密度(C ₁₁)/(km/km ²)	3	8	13	18	文献[30]
	雨污分流比(C ₁₂)/%	30	50	70	90	
	可调蓄绿地面积占比(C ₁₃)/%	20	40	60	80	文献[16]
	生活污水集中收集率(C ₁₄)/%	30	50	70	90	文献[21]
	污水处理率(C ₁₅)/%	60	70	80	90	文献[31]
建设状态(B ₂)	排口倒灌比(C ₂₁)/‰	4	3	2	1	淮安市淮安区管网普查的工程统计数据
	雨污混错接比(C ₂₂)/‰	4	3	2	1	
	管径衔接不当比(C ₂₃)/‰	4	3	2	1	文献[20]
	结构性缺陷占比(C ₂₄)/%	12	9	6	3	
	功能性缺陷占比(C ₂₅)/%	12	9	6	3	
维护管理(B ₃)	信息化管理水平(C ₃₁)	2	4	6	8	专家咨询
	运营者技术水平(C ₃₂)	2	4	6	8	
	管网维护水平(C ₃₃)	2	4	6	8	
	法规制度的完善程度(C ₃₄)	2	4	6	8	

2.2.3 隶属度矩阵的确定

对于定量指标, 采用半梯形分布的隶属度函数来确定隶属度矩阵。评价指标所组成的因素集 $\mu = \{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_p\}$, 评价等级论域 $V = \{V_1, V_2, \dots, V_m\}$, 设 $\{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ 是 $\{V_1, V_2, \dots, V_m\}$ 对应数值, v_j 和 v_{j+1} 为相邻 2 个数值, 且 $v_{j+1} > v_j$ 。根据每个指标的实际取值带入式(3)~式(5)计算, 得到对应单个指标的隶属度向量 (r_1, r_2, \dots, r_m) , 所有因素的隶属度向量组合成隶属度矩阵, 公式如下:

$$r_1 = \begin{cases} 1 & \mu_i < v_1 \\ \frac{v_2 - \mu_i}{v_2 - v_1} & v_1 < \mu_i < v_2 \\ 0 & \mu_i > v_2 \end{cases} \quad (3)$$

$$r_2 = \begin{cases} 1 - r_1 & v_1 < \mu_i < v_2 \\ \frac{v_3 - \mu_i}{v_3 - v_2} & v_2 < \mu_i < v_3 \\ 0 & \mu_i \leq v_1 \text{ 或 } \mu_i \geq v_3 \end{cases} \quad (4)$$

$$r_j = \begin{cases} 1 - r_{j-1} & v_{j-1} < \mu_i < v_j \\ \frac{v_{j+1} - \mu_i}{v_{j+1} - v_j} & v_j < \mu_i < v_{j+1} \\ 0 & \mu_i \leq v_{j-1} \text{ 或 } \mu_i \geq v_{j+1} \end{cases} \quad (5)$$

对于定性指标, 采用百分比统计法来确定其模

糊关系矩阵。邀请专家根据指标评价标准对指标进行定性评价, 统计评价结果中各等级论域的百分比, 将其作为定性指标的隶属度, 计算公式如下:

$$r_{ij} = \frac{M}{N} \quad (6)$$

式中: M 为 μ_i 指标中选 v_j 等级的人数; N 为参与评价的总人数; $i = 1, 2, \dots, p$; $j = 1, 2, \dots, m$ 。

3 实例评价与结果分析

3.1 淮安区概况

淮安市是江苏省重要的中心城市, 其排水管网主体为分流制。目前我国大部分城市的市政排水管网的建设年代较早, 管网病害问题日益严重, 很多省市(如上海市、深圳市、福州市、江苏省等)存在相似管网病害问题, 以淮安市淮安区为例进行评价具有一定的代表性。

淮安市总面积为 10 920 km², 全市人口约 490 万人, 是江苏省新兴的工业城市。淮安区位于淮安市最南端, 全区总面积为 1 452.7 km²。淮安区区域内现状排水管网总长度约 433 km, 其中, 污水管道约 190 km, 雨水管道约 235 km, 其余约 8 km 管道为合流制排水管网。淮安区管网以分流制为主, 截至 2019 年底, 雨污分流管道长度占 98%。管道材质以

混凝土及塑料管为主,其中混凝土管道长度占 69.2%,塑料管道占 30%,剩余极少量管道材质为铸铁和砖。区域内管道的建设年代如图 2 所示。由图 2 可见,2009—2013 年为排水管网全面建设年,管网建设长度占管网建设总长度的 71.6%,其中 2009 年占比为 39.2%。据统计,每年污水管道的更新比例约为 5%。

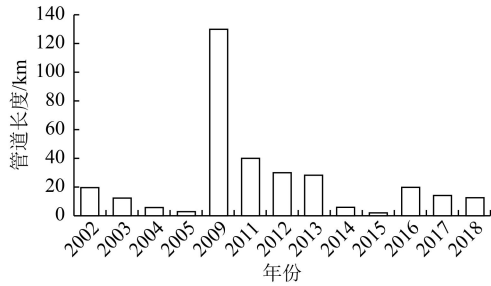


图 2 淮安区不同年份排水管道建设的长度

Fig.2 Length of drainage pipe network construction in different years in Huai'an District

根据《淮安市城市排水(雨水)防涝规划(2017—2030 年)》《淮安市区污水处理专项规划(2016—2030 年)》,淮安区现状排水管网排水能力普遍偏低,管道水位相对较高,降水时段经常发生路面积水的现象。综合分析现状排水管网建设情况发现,淮安区现状管网病害问题较为严重,主要原因为管网设计标准低、淤堵严重、管网年久老化破损、管道存在逆坡、错口、管网竖向坡度不合理以及雨污管道错接混接等。

3.2 淮安区内排水管网状态与运行效能评价

3.2.1 利用 AHP 确定指标权重

采用层次分析法,邀请排水管网设计、施工及运

营领域的 14 位专家使用 1~9 标度法对指标分别进行两两比较打分,选取专家人数占比最大的标度值作为指标相对重要度的最终标度。以 B₁ 层中各指标为例,标度打分百分比的结果如表 3 所示。由表 3 分别得出 A-B、B₁-C、B₂-C、B₃-C 判断矩阵,计算各指标的权重并进行一致性检验,结果如表 4 所示。

3.2.2 构造隶属度矩阵

对于定量指标,采用半梯形分布隶属度函数计算指标的隶属度;对于定性指标,邀请多位淮安市排水管网运营管理方面的专家进行打分,按照百分比统计法确定各指标的隶属度,结果如表 5 所示。

3.2.3 进行多级模糊综合评价

根据指标体系中各层因素(指标)对应的权重和模糊矩阵运算规则,从最低层(指标层)向上一层逐层进行模糊综合评价。根据式(2)进行第一级模糊矩阵运算,得到准则层模糊综合评价结果(表 6)。

将准则层 B₁、B₂、B₃ 看作是目标层 A 的 3 个单因素,则 B₁、B₂、B₃ 的隶属度矩阵 R 为:

$$R = \begin{bmatrix} 0.185 & 0.343 & 0.164 & 0.308 \\ 0 & 0.144 & 0.834 & 0.022 \\ 0.094 & 0.452 & 0.317 & 0.137 \end{bmatrix}$$

准则层的 B₁、B₂、B₃ 相对于目标层 A 的权向量 W=[0.633 3, 0.106 2, 0.260 5],进行第二级模糊矩阵运算,得到目标层的综合评价集 β = W × R = [0.142, 0.350, 0.275, 0.233]。

3.3 综合评价结果分析

由表 4 可知,C 层指标相对于目标层 A 的相对重要度排序为 C₁₄>C₁₂>C₃₃>C₁₅>C₁₁>C₃₁>C₂₂>C₃₄>

表 3 淮安区排水管网状态与运行效能评价 B₁ 层指标专家标度打分百分比统计

Table 3 Statistics on the percentage of indicators scored by experts on the B₁ level of Huai'an District drainage network status and operational efficiency evaluation

指标两两比较	标度打分的百分比/%								
	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
C ₁₄ 、C ₁₅	0.00	0.00	7.14	21.42	14.28	14.28	7.14	7.14	7.14
C ₁₃ 、C ₁₅	7.14	14.28	21.42	57.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C ₁₃ 、C ₁₄	21.42	21.42	28.57	21.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C ₁₂ 、C ₁₅	0.00	0.00	7.14	21.42	28.57	7.14	7.14	14.28	7.14
C ₁₂ 、C ₁₄	0.00	0.00	21.42	42.86	7.14	7.14	14.28	0.00	0.00
C ₁₂ 、C ₁₃	0.00	0.00	14.28	0.00	14.28	7.14	28.57	21.42	7.14
C ₁₁ 、C ₁₅	0.00	0.00	21.42	28.57	14.28	7.14	14.28	0.00	7.14
C ₁₁ 、C ₁₄	7.14	14.28	21.42	35.71	7.14	7.14	0.00	0.00	0.00
C ₁₁ 、C ₁₃	7.14	14.28	21.42	21.42	0.00	28.57	14.28	7.14	14.28
C ₁₁ 、C ₁₂	0.00	0.00	35.71	14.28	14.28	7.14	14.28	7.14	0.00

表 4 各级指标权重
Table 4 Index weight at all levels

一级指标	权重	二级指标	权重	综合权重
服务性能(B ₁)	0.633 3	排水管网密度(C ₁₁)	0.101 0	0.064 0
		雨污分流比(C ₁₂)	0.242 5	0.153 6
		可调蓄绿地面积占比(C ₁₃)	0.054 5	0.034 5
		生活污水集中收集率(C ₁₄)	0.415 4	0.263 1
		污水处理率(C ₁₅)	0.186 6	0.118 2
建设状态(B ₂)	0.106 2	排水口倒灌比(C ₂₁)	0.087 8	0.009 3
		雨污混错接比(C ₂₂)	0.467 4	0.049 6
		管径衔接不当比(C ₂₃)	0.096 0	0.010 2
		结构性缺陷占比(C ₂₄)	0.186 1	0.019 8
		功能性缺陷占比(C ₂₅)	0.162 7	0.017 3
维护管理(B ₃)	0.260 5	信息化管理水平(C ₃₁)	0.221 0	0.058 3
		运营者技术水平(C ₃₂)	0.133 2	0.033 9
		管网维护水平(C ₃₃)	0.484 4	0.126 2
		法规制度的完善程度(C ₃₄)	0.161 4	0.042 0

表 5 淮安区内排水管网状态与运行效能评价指标隶属度

Table 5 Status of drainage pipe network and the degree of subordination of operational efficiency evaluation index in Huai'an District

准则层	指标层	实际值	隶属度			
			差	中	良	优
服务性能(B ₁)	排水管网密度(C ₁₁)	9.84 km/km ²	0	0.632	0.368	0
	雨污分流比(C ₁₂)	98%	0	0	0	1
	可调蓄绿地面积占比(C ₁₃)	42%	0	0.900	0.100	0
	生活污水集中收集率(C ₁₄)	41.09%	0.445	0.555	0	0
	污水处理率(C ₁₅)	83.5%	0	0	0.650	0.350
建设状态(B ₂)	排水口倒灌比(C ₂₁)	2.5‰	0	0.5	0.5	0
	雨污混错接比(C ₂₂)	3‰	0	1	0	0
	管径衔接不当比(C ₂₃)	3.45‰	0.45	0.55	0	0
	结构性缺陷占比(C ₂₄)	12.6%	1	0	0	0
	功能性缺陷占比(C ₂₅)	10.8%	0.6	0.4	0	0
维护管理(B ₃)	信息化管理水平(C ₃₁)		0.154	0.307	0.462	0.077
	运营者技术水平(C ₃₂)		0.077	0.462	0.307	0.154
	管网维护水平(C ₃₃)		0.077	0.462	0.307	0.154
	法规制度的完善程度(C ₃₄)		0.077	0.615	0.154	0.154

C₁₃>C₃₂>C₂₄>C₂₅>C₂₃>C₂₁。 相较其他指标, 生活污水集中收集率(C₁₄)、雨污分流比(C₁₂)、管网维护水平(C₃₃)和污水处理率(C₁₅)4个指标的权重之和为0.661 1, 是影响排水管网运行效能的重要因素。服务性能指标(B₁)评价等级处于中的可能性为34.3%, 处于良的可能性为30.8%, 故可判定淮安区排水管网服务性能处于中等偏上的水平; 建设状态指标(B₂)评价等级处于中的可能性较大, 为63.0%, 处于差的可能性为32.6%, 故可认为淮安区排水管网

表 6 淮安区排水管网状态与运行效能评价
准则层评价结果等级占比

Table 6 Proportion of the evaluation result level of the drainage network status and operation efficiency evaluation criteria in Huai'an District

准则层	在评价等级中的占比/%			
	差	中	良	优
服务性能(B ₁)	18.5	34.3	16.4	30.8
建设状态(B ₂)	0	14.4	83.4	2.2
维护管理(B ₃)	9.4	45.2	31.7	13.7

的建设状态处于中等偏下的水平;维护管理指标(B₃)评价等级处于中的可能性为 45.2%,处于良的可能性为 31.7%,故可认为淮安区排水管网的维护管理处于中等偏上的水平。

淮安区排水管网状态和运行效能的综合评价结果如图 3 所示。由图 3 可知,综合评价结果处于中的可能性为 35.0%,处于良的可能性为 27.5%,处于优的可能性 23.3%,处于差的可能性为 14.2%。因此,可以认为淮安区排水管网状态和运行效能处于中等偏上的水平。

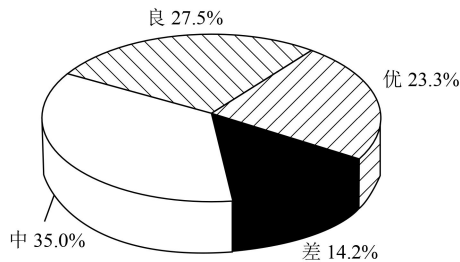


图 3 淮安区排水管网状态和运行效能的综合评价结果各等级占比

Fig.3 Proportion of each grade of comprehensive evaluation results of the status and operation efficiency of the drainage network in Huai'an District

从评价结果来看,淮安区现状排水管网的状态及运行效能的综合评价等级不高,其原因在于建设状态评价等级偏低。淮安区管网的普查结果表明,影响管网建设状态的主要因素在于管网的病害和缺陷治理。现状排水管网的病害问题主要表现在外水入侵、污水直排、雨污管道混错接、管道排水不畅及管网溢流污染 5 个方面。淮安区雨水管道和污水管道中,缺陷最多的均为管道沉积,其长度占比分别为 71% 和 80%,错口、破裂、渗漏、异物穿入、障碍物和残垣坝缺陷也较多。在以后的运营管理中,应针对上述问题进行有针对性地解决,以有效提高排水管网的整体水平。

4 结论

(1)对能合理表征排水管网状态和运行能效的指标进行收集和筛选,建立了基于服务性能、建设状态、维护管理的城市排水管网状态及运行效能的评价指标体系。

(2)应用排水管网状态和运行效能评价模型对淮安区排水管网的整体效能进行评价,结果表明,影响淮安区排水管网状态和运行效能的主要指标为生活污水集中收集率、雨污分流比、污水处理率和管网维护水平 4 项指标,其中生活污水集中收集率的

权重最大(0.263 1)。综合评价结果表明,淮安区排水管网的服务性能处于中等偏上的水平,其中建设状态处于中等偏下水平,维护管理处于中等偏上水平,综合评价淮安区排水管网状态及运行效能为中等偏上水平。

参考文献

- [1] 程永前,宋乾武,张玥,等.排水管网规划评价指标体系构建及分形维数应用[J].环境科学研究,2011,24(4):446-451.
CHENG Y Q, SONG Q W, ZHANG Y, et al. Construction of an index system for drainage pipe network planning and application of fractal dimension[J]. Research of Environmental Sciences, 2011, 24(4): 446-451.
- [2] 李琳,姚娟.乌鲁木齐市市政排水管网建设效应评价体系研究[J].化工管理,2019(36):103-104.
- [3] 冷雪.城镇排水管网系统运行效能评价体系研究[D].长沙:湖南大学,2017.
- [4] 任岩军,张铮,何京东,等.我国燃煤电厂大气汞控制技术综合评估与对策探讨[J].环境科学研究,2020,33(4):841-848.
REN Y J, ZHANG Z, HE J D, et al. Comprehensive evaluation and countermeasures of atmospheric mercury pollution control technology in coal-fired power plants[J]. Research of Environmental Sciences, 2020, 33(4): 841-848.
- [5] 梁广林,贾振宇,高艳妮,等.基于模糊隶属度模型的辽河干流水质评价[J].环境工程技术学报,2021,11(4):693-700.
LIANG G L, JIA Z Y, GAO Y N, et al. Water quality evaluation of the mainstream of Liaohe River based on fuzzy membership model[J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2021, 11(4): 693-700.
- [6] 阮久莉,王艺博,郭玉文.基于层次分析-模糊综合评价法的锌冶炼行业水污染控制技术评价[J].环境工程技术学报,2021,11(5):976-982.
RUAN J L, WANG Y B, GUO Y W. Research on water pollution control technology assessment in zinc smelting industry based on AHP-FCE[J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2021, 11(5): 976-982.
- [7] JI M C, BAI X. Construction of the sponge city regulatory detailed planning index system based on the SWMM model[J]. Environmental Technology & Innovation, 2021, 23: 101645.
- [8] QIU G S, YUAN L P. Measurement of internal audit effectiveness: construction of index system and empirical analysis[J]. Microprocessors and Microsystems, 2021, 92: 104046.
- [9] LI X F, YANG H, JIA J, et al. Index system of sustainable rural development based on the concept of ecological livability[J]. Environmental Impact Assessment Review, 2021, 86: 106478.
- [10] 张丽娜. AHP-模糊综合评价法在生态工业园区评价中的应用[D].大连:大连理工大学,2006.
- [11] 住房和城乡建设部.城市排水防涝设施数据采集与维护技术规范:GB/T 51187—2016[S].北京:中国建筑工业出版社,2017.

- [12] 李佳川, 高剑, 宋小伟, 等.《上海市分流制地区雨污混接调查技术导则》介绍[J]. 上海水务, 2013(2): 17-20.
- [13] 安关峰, 王和平, 周志勇.《城镇公共排水管道检测与评估技术规程》DB44/T 1025—2012主要内容解析[J]. 建筑监督检测与造价, 2012, 5(6): 25-29.
AN G F, WANG H P, ZHOU Z Y. The main content analysis of 《The urban public drainage pipeline detection and evaluation technology regulations》(DB44/T 1025-2012)[J]. Supervision Test and Cost of Construction, 2012, 5(6): 25-29.
- [14] BARIS S, OSSAMA S. Risk assessment of wastewater collection lines using failure models and criticality ratings[J]. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 2012, 3(3): 68-76.
- [15] 赵冬泉, 王浩正, 陈吉宁, 等. 监测技术在排水管网运行管理中的应用及分析[J]. 中国给水排水, 2012, 28(8): 11-14.
ZHAO D Q, WANG H Z, CHEN J N, et al. Application and analysis of monitoring technology in operation and management of urban drainage network[J]. *China Water & Wastewater*, 2012, 28(8): 11-14.
- [16] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于推进海绵城市建设的指导意见[J]. 城镇供水, 2016(1): 11-12.
- [17] 住房和城乡建设部, 生态环境部, 国家发展和改革委员会. 关于印发城镇污水处理提质增效三年行动方案(2019—2021年)的通知: 建城〔2019〕52号[A/OL]. [2021-07-27]. <https://weibo.com/ttarticle/p/show?id=2309404649781447491899>.
- [18] 国家发展和改革委员会, 住房和城乡建设部. “十四五”城镇污水处理及资源化利用发展规划[A/OL]. [2021-07-27]. https://www.ndrc.gov.cn/fzggw/jgsj/hzs/sjdt/202106/t20210610_1283060.html?code=&state=123.
- [19] 住房和城乡建设部. 城市黑臭水体整治: 排水口、管道及检查井治理技术指南(试行)[S/OL]. [2021-07-27]. http://www.360doc.com/content/16/0922/19/36770344_592847300.shtml.
- [20] 住房和城乡建设部. 城镇排水管道检测与评价技术规程: CJJ 181—2012[S/OL]. [2021-07-27]. <https://wenku.baidu.com/view/886a86d30875f46527d3240c844769eae109a36e.html>.
- [21] 住房和城乡建设部, 生态环境部. 城市污水处理提质增效三年行动方案(2019—2021年)[A/OL]. [2021-07-27]. http://xahdgv.com/news_1635.html.
- [22] 住房和城乡建设部. 城镇排水管网维护安全技术规程: CJJ 6—2009[S/OL]. [2021-07-27]. <https://www.antpedia.com/standard/6140489.html>.
- [23] 住房和城乡建设部. 城市排水防涝设施数据采集与维护技术规范: GB/T 51187—2016[S/OL]. [2021-07-27]. <https://www.doc88.com/p-9896306754151.html>.
- [24] 卢仲达, 张江山. 层次分析法在环境风险评价中的应用[J]. 环境科学导刊, 2007, 26(3): 79-81.
LU Z D, ZHANG J S. Application of analytic hierarchy process on environmental risk assessment[J]. *Environmental Science Survey*, 2007, 26(3): 79-81.
- [25] 郭彦霞. 西部欠发达地区中小企业成长方式研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2015.
- [26] 卜明华. 建筑工程设计评标决策模型构建研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2016.
- [27] 李德庆, 李春芳, 向钰. 层次分析法在绿色供应商评价与选择中的应用研究[J]. 昆明理工大学学报(社会科学版), 2011, 11(2): 49-55.
LI D Q, LI C F, XIANG Y. Research on evaluation and selection of green supplier in AHP[J]. *Journal of Kunming University of Science and Technology (Social Science Edition)*, 2011, 11(2): 49-55.
- [28] 胡勇强, 于克信. 层次分析法与国有企业分类改革[J]. 商场现代化, 2018(6): 84-86.
- [29] 住房和城乡建设部. 2020年城乡建设统计年鉴[R/OL]. [2021-07-27]. <http://www.mohurd.gov.cn/xytj/tjzljxsxytjgb/jstjnj/>.
- [30] 国务院. 水污染防治行动计划[A/OL]. [2021-07-27]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-04/16/content_9613.htm.
- [31] 周宏春. 水污染防治行动计划[J]. 绿色中国, 2017(8): 50-53.
ZHOU H C. Water pollution control action plan[J]. *Green China*, 2017(8): 50-53. ⊕