

基于 MIKE 模型的湘阴县雨水管网健康度评价

傅春¹, 林国聪², 黄金燕², 黄慧敏¹, 郑抒晨¹, 余鑫¹, 钱伟¹

(1. 南昌大学工程建设学院, 江西 南昌 330031; 2. 南昌大学资源与环境学院, 江西 南昌 330031)

摘要:以洋沙湖镇涝溪桥村地区为例,采用 MIKE 模型分析了岳阳市湘阴县在遭遇暴雨干扰时的雨水管网健康度。在采用一次降雨过程中严重内涝点的实测积水深度对模型进行率定和验证的基础上,利用该模型模拟了重现期为 1、3、5、10、20 a 的 2 h 设计降雨,重点分析了重现期为 3a 的降雨过程,并结合排水能力、管网结构、环境因素、社会因素 4 项综合指标和 15 项子指标构建了雨水管网健康度评价指标体系。结果表明:该区域管网的排水能力综合指标的得分为 0.48,管网结构综合指标的得分为 0.78,环境因素综合指标的得分为 1,社会因素综合指标的得分为 0.66,综合健康度为 0.54,综合健康度等级为较差;重现期越大,积水深度也越大,但最大积水深度到达的时间并不受重现期影响;积水风险较大、积水较深位置均位于健康度较低的管道附近。

关键词:雨水管网;健康度;城市内涝;MIKE 模型;层次分析法;湘阴县

中图分类号:TV125 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2023)06-0103-08

Health degree evaluation of rainwater pipe network in Xiangyin County based on MIKE model//FU Chun¹, LIN Guocong², HUANG Jinyan², HUANG Huimin¹, ZHENG Shuchen¹, YU Xin¹, QIAN Wei¹ (1. School of Infrastructure Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China; 2. School of Resources and Environment, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

Abstract: Using Laoxiqiao Village in Yangshahu Town as an example, the MIKE model was used to analyze the health degree of a rainwater pipe network system in Xiangyin County of Yueyang City during rainstorm interference. The model was calibrated and validated using the measured water depth of severe waterlogging points during a rainfall process. Design rainfall with a duration of 2-hour and return periods of 1, 3, 5, 10, and 20 years was simulated, and the 3-year 2-hour rainfall process was studied in detail. A health evaluation index system for rainwater pipe networks considering four comprehensive indicators including drainage capacity, pipe network structure, environmental factors and social factors with 15 sub-indicators was constructed. The results show that the comprehensive scores for drainage capacity, pipe network structure, environmental factor and social factor are 0.48, 0.78, 1 and 0.66, respectively. The overall health degree is 0.54, indicating a poor comprehensive health level. The greater the recurrence period, the deeper the water depth, but the arrival time of the maximum water depth is not affected by the recurrence period. The locations with greater risk of waterlogging and deeper water are located near pipelines with lower health degree.

Key words: rainwater pipe network; health degree; urban waterlogging; MIKE model; analytic hierarchy process; Xiangyin County

近年来,随着我国城市化的快速发展,不透水地表面积不断增大,加上突发性暴雨等极端天气频发,我国城市内涝越来越严重^[1]。雨水管网是排除地面雨水、防止城市内涝灾害发生的重要基础设施,若雨水管网健康度低,则无法充分发挥应有的排水能力和效率,影响城市正常的运行秩序和安全^[2]。因此,雨水管网健康度研究对城市防涝排洪具有重要意义。健康度是指地下管道在规定的时间和条件下

稳定、持续地完成预定功能,且不对社会、经济、环境造成负面影响的能力,是表述管道综合状况好坏的指标^[3]。

目前国内外普遍采用两类方法对雨水管网健康度进行分析和评价。一类是通过管道的实际检测结果进行分析和评价,如林明波^[4]采用闭路电视检测(CCTV)技术,借助声纳、潜望镜、红外线等探测设备,从管材、管径、管龄 3 个方面对三八泵站上游

片区污水管道进行了实地检测与评估,从而掌握了管道运行的实际健康状况;杨利伟等^[5]根据 CCTV 检测结果,基于层次分析法和遗传算法优化 BP 神经网络,构建了包含环境影响、排水能力、适应及修复能力 3 个影响要素及管龄、维护管理水平等 14 个子指标的健康状况评估体系以及基于数据驱动的污水管道系统健康状况评估模型,该模型可为评估过程节省大量成本,但要实现较高的预测准确率需要大量的样本数据进行训练。另一类分析和评价方法是进行水力模型模拟并将结果作为评价指标,如马晴晴等^[6]发明了一种考虑设计偏离分析的雨水管网健康度评价方法,该方法基于暴雨洪水管理模型 (SWMM) 对实际管网数据建模,根据模拟结果与管网测绘数据构建了包含排水能力指标与工程属性指标的多层次评价指标体系,通过对指标赋权,利用逼近理想排序 (TOPSIS) 法进行信息融合来评价雨水管网健康度;袁浩^[7]结合 SWMM 对目标区域的多工况动态数值进行模拟,提出了排水系统健康度的评价方法和评价指标,将模型模拟结果作为评价雨水管网健康度的依据。

上述研究工作的开展极大地丰富了管网健康状况的分析内容,推动了管网健康状况评估工作的发展。但是,相关研究大多选择基于管网系统结构等物理属性、现状资料或依据模型模拟获得排水能力等功能属性结果,对管网健康状况评价较为片面,对雨水管网自身管道结构状况和管网排水性能相结合的研究较少,同时很少关注社会环境因素^[8]。考虑到健康的管道应是管网结构等物理属性和服务功能等社会属性的辩证统一^[9],本文基于 MIKE 模型构建了包含排水能力、管网结构、环境因素和社会因素 4 大类综合指标的雨水管网健康度评价体系,并以洋沙湖镇涝溪桥村地区为例,采用层次分析法来分析岳阳市湘阴县在遇暴雨干扰时的雨水管网系统健康度。

1 研究区概况和设计降雨

1.1 研究区概况

研究区位于湖南省岳阳市湘阴县洋沙湖镇涝溪桥村,占地面积约 3.06 km²,雨水管网总管长为 12.269 km。该区东南部城市化程度较高,建筑密度相对较高,而西部城市化程度较低,建筑密度较低,地势起伏较小,最大高程为 58.71 m,最低高程为 39.56 m。研究区属亚热带季风气候,气候温和,降水充沛,雨热同期,四季分明。研究区降雨四季分布不均,暴雨汛期一般在 4—9 月,汛期年均降水量为 929.9 mm,占年总降水量的 64.9%^[10]。

研究区包含建筑用地、绿化用地、水源、道路用地、未利用地等 5 种土地利用类型 (图 1),其中,未利用地包括裸露的岩石、荒地等路面,绿化用地包括路边绿化、公园绿化等。

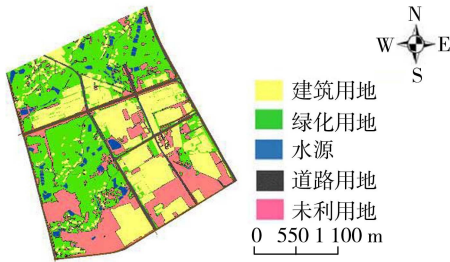


图 1 研究区土地利用类型

为了得到研究区内的雨水径流量,在 MIKE URBAN 软件中采用时间-面积曲线模型^[11]进行计算,将模型分为两大模块,即产流控制模块和汇流控制模块。

在产流控制模块中,首先要设置不同的下垫面径流系数。考虑到雨水存在植被截留、填洼、下渗和蒸发等损失影响,参考金牧青^[12]关于下垫面布局对降雨径流的影响的研究及 GB 50014—2021《室外排水设计标准》中不同地面径流系数规定来确定不同类型下垫面的综合径流系数,建筑用地、道路用地、未利用地、绿化用地、水源的综合径流系数分别为 0.85、0.80、0.60、0.15、0。

在汇流控制模块中,采用等流时线法来计算城市地表雨水汇流量^[13]。

1.2 设计降雨

参考文献[14],设计降雨雨型可利用芝加哥雨型合成而得,岳阳市的暴雨强度公式为

$$q = \frac{1201.291 \times (1 + 0.819 \lg P)}{(t + 7.3)^{0.589}} \quad (1)$$

式中: q 为暴雨强度; P 为降雨重现期; t 为降雨历时。

在芝加哥雨型中,雨峰系数即为设定雨峰出现的时间段,由于岳阳市的实际降雨中雨峰位置位于 1/3 处,故雨峰系数设置为 0.33^[15],取 1、3、5、10、20 a 共 5 种设计重现期,降雨历时设置为常引起城市内涝的短历时降雨 2 h。因此,设计降雨过程如图 2 所示。

2 基于 MIKE 模型的雨水管网数据处理

2.1 数据来源及处理

研究区雨水管网的初始数据由湖南省规划厅提供,包括检查井底标高、管底标高、管径与管长,为 AutoCAD 格式。管网数据首先由 ArcGIS 处理为节点和管道 shp 文件,然后导入 MIKE URBAN 软件。

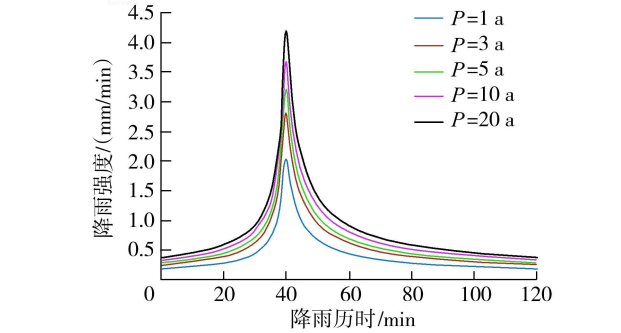


图2 不同重现期设计降雨过程

降雨数据来自湖南省岳阳市气象监测站。地形数据是由 ArcGIS 提取 AutoCAD 格式节点高程后,创建不规则三角网 (TIN) 表面,然后通过 TIN 转栅格的工具获得最终 DEM 栅格数据。

处理后,研究区雨水管道系统共有 273 个节点,其中 10 个为排水口;管道总数为 263 根,均为圆形管道,最大直径为 1 200 mm,最小直径为 300 mm。

2.2 一维排水模型

将研究区内收集的降水量和边界条件引入 MIKE URBAN 软件后,确定研究区雨水管道系统的拓扑关系,并利用系统自有泰森多边形法将汇水区划分为面积 0.005 ~ 10.55 hm² 不等的 263 个子汇水区^[16],划分结果如图 3 所示。

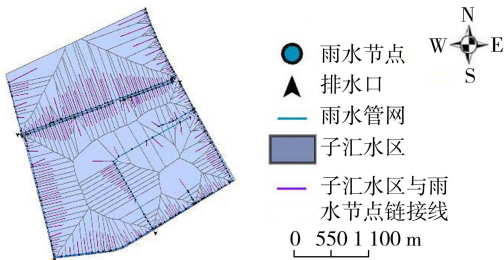


图3 研究区子汇水区划分

2.3 二维地表漫流模型

在 ArcGIS 进行地形数据处理后,将处理后的地形数据再导入 MIKE21 软件中进行二维地表漫流模型的构建和地表漫流计算。为了强调道路排水和建筑物挡水能力,将地形图上道路用地的高度降低了 0.15 m,建筑物的高度增加了 5 m。同时,将研究区域外的地方高度升高以起到关闭边界的作用。

2.4 耦合模型

待二维模型建立完成后,利用 MIKE 模型将 MIKE URBAN 一维管网模型与 MIKE21 二维地表漫流模型通过节点连接的方式进行耦合,最终 MIKE 模型耦合结果如图 4 所示。

2.5 模型模拟结果验证

基于从湘阴县气象局收集的 20210720 降雨事件以及实地访问、研究和社交媒体报道的数据,完成

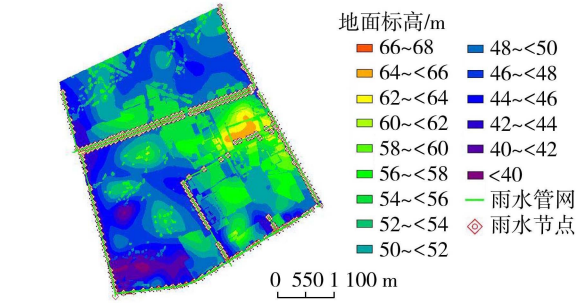


图4 MIKE 模型耦合结果

模型的校准和验证。

2.5.1 20210720 暴雨过程

收集统计了 2021 年 7 月 20 日 0:00 到 24:00 的实测降雨资料,降水量为 66.5 mm。其中 2021 年 7 月 20 日的降雨大部分发生在 17:00 至 21:00,暴雨主要发生在 17:00 至 19:00 之间,占总降水量的 96.99%。因此,在建模过程中,暴雨的边界条件设置为 17:00 至 19:00。

2.5.2 模型参数的校准和测试

为了使模型区域的降雨模拟结果与当前雨水管网和地表漫流情况更好地匹配,必须校准模型参数并测试模型。只有校准和测试结果在允许的误差范围内,才能进一步模拟和分析该地区在不同雨水设计情景下的内涝状况。调整下垫面的综合径流系数,计算相应严重内涝点附近深度的误差,误差在 -20% ~ 10%^[17] 范围内即视为校准符合要求。20210720 暴雨严重内涝点如图 5 所示,可见模拟得到的内涝点与本次降雨中积水点位置基本一致。

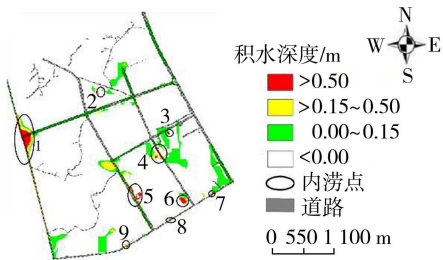


图5 20210720 暴雨严重内涝点

表 1 为 20210720 暴雨 9 个严重内涝点的模拟积水深度,与实际积水深度相比,相对误差在允许范围内,模拟结果与实际结果接近,表明模型参数合理。建筑用地、道路用地、未利用地、绿化用地的总径流系数最终取值分别为 0.85、0.77、0.52、0.12。

结合该地区降雨相关数据和 GB 50014—2021《室外排水设计标准》,确定了不同重现期的降雨过程,依据模拟积水深度进行内涝等级划分。模拟结果表明,当降雨重现期为 1 ~ 20 a 时,研究区 90 min 设计降水量的积水量最大。图 6 为不同重现期下的内涝等级划分结果。

表 1 20210720 暴雨严重内涝积水深度对比

编号	模拟积水深度/m	实测积水深度/m	相对误差
1	0.80	0.70 ~ 0.86	-12.5% ~ 7.5%
2	1.50	1.30 ~ 1.61	-13.3% ~ 7.3%
3	0.74	0.65 ~ 0.80	-12.2% ~ 8.1%
4	1.20	1.08 ~ 1.30	-10.0 ~ 8.3%
5	0.73	0.64 ~ 0.80	-12.3% ~ 9.6%
6	0.95	0.82 ~ 1.03	-13.7% ~ 8.4%
7	0.80	0.68 ~ 0.86	-15% ~ 7.5%
8	0.68	0.60 ~ 0.73	-13.3% ~ 7.3%
9	0.54	0.50 ~ 0.57	-8% ~ 5.5%

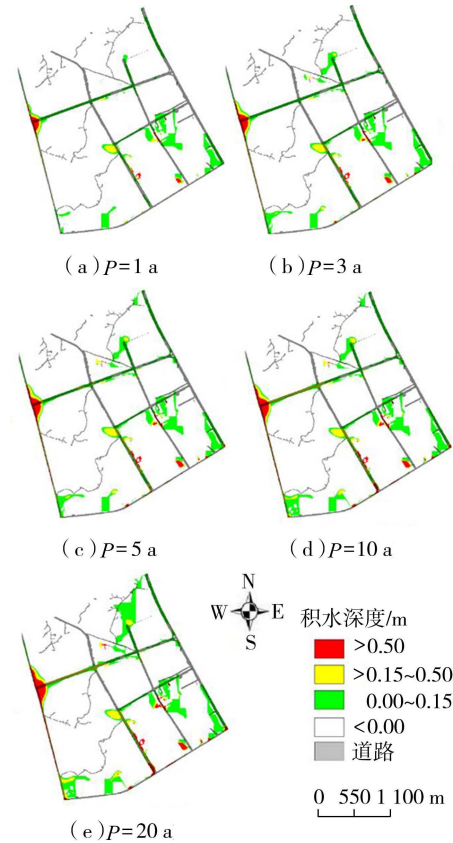


图 6 不同重现期下研究区 90 min 设计降水量的内涝等级划分

3 雨水管网健康度评价方法

3.1 评价指标体系

目前对城市排水管道健康分析的评价指标还没有达成共识。颜文涛等^[3]提出了城市排水管道预报健康度灰色关联综合分析模型,将分析管道指标集与虚拟最健康管道指标集作比较,从而确定管道的综合健康状况。但这种方法要根据不同区域的具体情况确立不同的虚拟最健康管道指标,不具备普适性。本文参考马晴晴等^[6]关于健康度的评价内容,并加上环境因素和社会因素,考虑排水能力、管网结构、环境因素、社会因素 4 个方面进行筛选,构建雨水管网健康度评价指标体系如图 7 所示(括号中数据为指标权重)。



图 7 雨水管网健康度评价指标体系

3.2 指标值

合理的指标值可以反映不同指标中评估对象的优势和劣势。考虑到 MIKE 模型在市政管道中的广泛应用以及该模型的模拟结果与实际情况越来越一致,使用 MIKE 模型的模拟结果作为雨水管网排水能力指标值;管网结构指标值根据工程实际情况确定;环境和社会因素指标值参考相关资料^[18-19]选取。结合现有技术法规、国家标准、行业规范中排水管道的安全性和风险^[20-21],采取合理的等级赋分,将评价指标分为 I、II、III、IV 4 个等级,分别赋分 >0.8 ~ 1.0、>0.6 ~ 0.8、>0.3 ~ 0.6、0 ~ 0.3。

充满度 C_1 、检查井溢流量 C_2 、检查井溢流时间 C_3 3 个指标的取值基于 MIKE 模型模拟结果, C_1 取为 MIKE 模型模拟全过程中雨水管道的最大充满度, C_2 取为 MIKE 模型模拟全过程中雨水管道上游连接的检查井产生的最大溢流量; C_3 取为 MIKE 模型模拟全过程中雨水管道上游连接的检查井发生溢流所持续的时间。其他雨水管网健康度评价指标的取值范围如表 2 所示。

由于 C_1 、 C_2 、 C_3 这 3 项指标之间量纲和量级的不同,给综合分析造成不便,为方便计算,采用极值处理法^[22]进行无量纲化处理,计算公式为

$$x_j = \frac{x_{jmax} - x'_j}{x_{jmax} - x_{jmin}} \tag{2}$$

式中: x_j 为无量纲指标值; x'_j 为指标值; x_{jmin} 为指标 j 的最小值; x_{jmax} 为指标 j 的最大值。采用该方法处理后的标准指标值数据分布范围为 $[0, 1]$ 。

3.3 指标权重确立与健康度耦合

为了体现不同指标在雨水管网健康度评价指标体系中的重要性,采用层次分析法^[23-25]进行指标赋权。指标影响越大的,权重越大;反之,权重越小。

在确定了评价指标的权重后,可计算得到各方

表2 雨水管网健康度评价指标的取值范围

等级	坡度 $C_4/\%$	管长 C_5/m	管径 C_6/mm	管材 C_7	雨污混接 C_8	覆土厚度 C_9/m
I	>5.5	30 ~ 45	>1 000	钢筋混凝土	不存在混接	3.5 ~ 5.0
II	>2.0 ~ 5.5	>15 ~ <30 或 >45 ~ <55	>600 ~ 1 000	双壁波纹管	轻度混接(1级)	>2.5 ~ <3.5 或 >5.0 ~ <5.5
III	≤ 2.0 ^①	≤ 15 或 ≥ 55	>400 ~ 600	PE 管	中度混接(2级)	0.6(0.7) ^② ~ 2.5 或 ≥ 5.5
IV			300 ~ 400		重度混接(3级)	
等级	管龄 C_{10}/a	土壤类型 C_{11}	地下水位 C_{12}	用地类型 C_{13}	道路等级 C_{14}	管道功能 C_{15}
I	≤ 25	岩石	地下水最高水位上 ^③	绿地/果园或水体	非机动车道	支管
II	>25 ~ 45	石土、砂土	地下水常年水位上	广场用地	支路	干管
III	>45	细粒土	地下水常年水位下	工业用地/仓储用地/ 市政公用设施用地/对外交通用地	次干道	主干管
IV		黏土	地下水最低水位下 ^③	公共设施用地/居住用地	主干道	截流干管

注:①坡度要求均满足 GB 50014—2021《室外排水设计标准》雨水管的不同管径的最小坡度要求;②按 GB 50014—2021《室外排水设计标准》要求:人行道最小覆土为 0.6 m,车行道最小覆土为 0.7 m;③最高、最低水位参考《中国地质环境监测网地下水位年鉴》历年湖南省地下水水位数据。

案的加权指标值,并以加权指标值对所有待选方案进行综合分析值计算。但是在计算过程中,综合分析值与各指标间的函数关系未确定,若以简单的线性关系求和,难以保证决策结果的准确性、合理性^[26]。本文采用 TOPSIS 法对雨水管道在众多指标下的健康状况分析信息进行耦合。该方法将每根雨水管道看作是在 n 个评价指标组成的 n 维空间上的一个个具体的点,将各点到最理想化解的相对距离进行排序,从而反映各雨水管道的相对差距,也可以为每根雨水管道提供一套针对性的解决方案。TOPSIS 法还具有对原始数据的利用比较充分、数据分布及样本含量没有严格限制、信息损失少、计算过程简单易行等优点^[27]。

健康度计算步骤如下:

a. 构造加权标准化矩阵。由于标准化矩阵 $\mathbf{X} = (x_{ij})_{m \times 15}$ 已经进行过无量纲化处理,所以在求理想解时可以把各指标均按照权重越大、取值越大的方式进行处理,构造加权标准化矩阵 $\mathbf{Z}$:

$$\mathbf{Z} = (z_{ij})_{m \times 15} = (w_j x_{ij})_{m \times 15} \quad (3)$$

式中: w_j 为指标 j 的权重; m 为雨水管道序号; x_{ij} 和 z_{ij} 分别为第 i 根管道第 j 项指标的加权标准化指标值和初始指标值。

b. 计算正理想解和负理想解:

$$S_j^+ = \max_{1 \leq i \leq m} z_{ij} \quad (j = 1, 2, \dots, 15) \quad (4)$$

$$S_j^- = \min_{1 \leq i \leq m} z_{ij} \quad (j = 1, 2, \dots, 15) \quad (5)$$

c. 计算样本与理想解间的欧氏距离。设目标 Z_{ij} 到正理想解和负理想解之间的欧氏距离分别为 D_i^+ 和 D_i^- ,则可得到

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{15} (z_{ij} - S_j^+)^2} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (6)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{15} (z_{ij} - S_j^-)^2} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (7)$$

d. 计算相对贴近度 η_i ,即健康度。计算公式为

$$\eta_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (8)$$

将 η_i 从小到大排列,排序结果即为雨水管道的健康度顺序。综合每根管道管长 l_i 占管网总长的比重作为权重,通过式(9)计算雨水管网的综合健康度 η :

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^m l_i \eta_i}{\sum_{i=1}^m l_i} \quad (9)$$

4 结果与分析

4.1 指标值确定与标准化

考虑到城市化的发展,基于 GB 50014—2021《室外排水设计标准》,雨水管网的 MIKE 模型选择重现期为 3 a,模拟得到管道充满度、溢流量、溢流时间等参数。对于其他无法通过模拟实现的定量或定性指标,由湖南省规划厅根据初步雨水管网数据和实地调查获得,如表 3 所示。

对各项具体指标进行赋分处理,其中根据式(2)对每根管道的 C_1 、 C_2 、 C_3 指标值进行无量纲化处理,且对无量纲化后的指标值的分布情况判断是否存在异常,将其中的异常值重新确定为正常值区间内的相应上限值或下限值。图 8 为每根管道的标准化指标值的分布情况。

4.2 指标权重计算与健康度耦合

结合专家的意见,采用改进层次分析法^[22]确定研究区域内排水能力、管网结构、环境因素与社会因素 4 项综合指标的相对重要程度,最终确定 B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 的权重分别为 0.569 3、0.264 3、0.060 9、0.105 5。具体评价指标权重基于改进层次分析法确定,依据专家意见确定排水能力指标的相对重要顺序为 $C_1 > C_2 > C_3 > C_4 > C_6 = C_7 > C_5$,管网结构指标

表 3 重现期 3 a 时不同等级评价指标对应的管长和管长占比

指标	等级	管长/km	管长占比/%
充满度 C_1	I	0.856	6.98
	II	1.202	9.80
	III	1.596	13.01
	IV	8.615	70.21
检查井溢流量 C_2	I	7.424	60.52
	II	1.378	11.23
	III	2.085	16.99
	IV	1.382	11.26
检查井溢流时间 C_3	I	9.646	78.61
	II	1.361	11.09
	III	0.781	6.37
	IV	0.481	3.92
坡度 C_4	I	4.193	34.18
	II	3.189	25.99
	III	4.887	39.83
管长 C_5	I	5.072	41.34
	II	2.092	17.05
	III	5.105	41.61
管径 C_6	I	1.082	8.82
	II	0.736	6.00
	III	10.293	83.89
	IV	0.158	1.29
管材 C_7	I	1.788	14.57
	II	0.801	6.53
	III	9.680	78.90
雨污混接 C_8	I	0.395	3.22
	IV	11.177	96.78
覆土厚度 C_9	I	8.912	72.64
	II	1.965	16.02
	III	1.392	11.34
管龄 C_{10}	I	12.269	100
土壤类型 C_{11}	IV	12.269	100
地下水位 C_{12}	I	12.269	100
用地类型 C_{13}	I	6.501	52.99
	III	5.768	47.01
道路等级 C_{14}	I	8.575	69.89
	II	1.398	11.39
	III	2.069	16.87
	IV	0.227	1.85
管道功能 C_{15}	I	0.179	1.46
	II	1.807	14.73
	III	10.283	83.81

的相对重要顺序为 $C_8>C_9>C_{10}$,环境因素指标的相对重要顺序为 $C_{11}>C_{12}$,社会因素指标的相对重要顺序为 $C_{13}=C_{14}>C_{15}$ 。据此构建 4 类指标的比较矩阵与判断矩阵,并进行一致性检验,采用一致性比率(一致性指标和平均随机一致性指标的比值)进行判断,当一致性比率小于 0.1 时,判断矩阵通过一致性检验。4 类指标的一致性指标值分别为0.020 8、0.008 8、0、0,平均随机一致性指标值分别为1.36、0.52、0、0.52,由此可见判断矩阵满足一致性。指标权重的计算结果如图 7 所示。

根据式(3)~(8)计算每一根管道的健康度,并

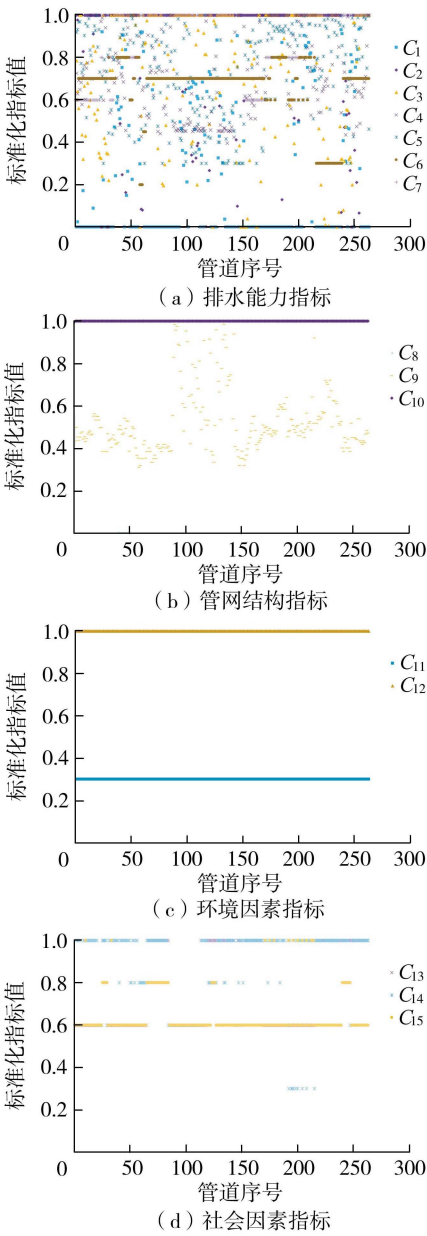


图 8 标准化指标值的分布

将其数值从小到大进行排序,得到健康度最小为 0.363,最大为 0.891;参照文献[28]和研究区域内的实际情况,将管网的健康状况分为危险、较差、及格、良好和优秀 5 个等级(表 4),得到研究区整体雨水管网的综合健康度等级分布如图 9 所示。

表 4 雨水管网的综合健康度等级

综合健康度	健康状况	含义	应对措施
0.80 ~ <0.90	优秀	发生故障概率低	可将来再次评测
0.70 ~ <0.80	良好	发生故障概率较低	定期进行评测
0.60 ~ <0.70	及格	可以完成供水任务	定期检测
0.47 ~ <0.60	较差	发生故障概率较高	加强检测
0.35 ~ <0.47	危险	发生故障概率高	尽快更新改造

根据式(9)可得到该区域雨水管网的综合健康度为 0.54,整体健康状况处于较差水平。同理,可得到该区域的排水能力指标的综合得分为 0.48,管

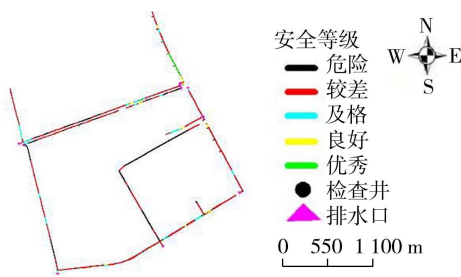


图9 雨水管网健康度等级分布

网结构指标的综合得分为0.78,社会因素指标的综合得分为0.66,其中环境因素指标没有差异计算,综合得分为1。最终根据各项综合指标得分情况,排水能力指标应作为该区域管网养护和局部改造的重点。

4.3 健康度评价结果的合理性验证

为了验证雨水管网健康度评价结果的合理性,确定健康度是否能充分反映管道的真实状态,将健康度评价结果与 MIKE 模型耦合形成的积水风险结果进行叠加分析。

由于该区域管网的设计标准为2~3 a,故将降雨重现期为3 a 时积水风险评估结果与管网叠加分析,结果如图10所示。由图9和图10可知,积水风险较大、积水较深的一些区域附近的管道健康度等级也相对较差,说明雨水管网健康度评价结果有一定的合理性。

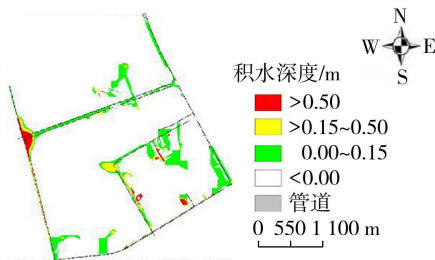


图10 积水深度与管道分布($P=3\text{ a}$)

5 结 论

a. 研究区域雨水管网的综合健康度为0.54,整体健康状况处于较差水平。在排水能力、管网结构、环境因素、社会因素4项综合指标得分中,排水能力得分最低,仅为0.48。鉴于其指标权重最大而得分最低,后续关于管网维护的整治中应将其作为重点对象。

b. 设计降雨重现期为1~20 a 的2 h 短历时降雨过程中,重现期越大,积水深度也越大,但达到最大积水深度的时间并不受重现期影响,且均为90 min时最大,此时雨水管网的健康度也最低。

c. 通过对研究区的管网健康度评价结果与积水分布状况进行叠加分析,积水较深的一些区域附

近的管道健康度等级也相对较差,验证了雨水管网健康度评价的合理性。

参考文献:

- [1] 王兆礼,陈昱宏,赖成光. 基于 TELEMAC-2D 和 SWMM 模型的城市内涝数值模拟[J]. 水资源保护,2022,38(1):117-124. (WANG Zhaoli, CHEN Yuhong, LAI Chengguang. Numerical simulation of urban waterlogging based on TELEMAC-2D and SWMM model[J]. Water Resources Protection, 2022, 38(1): 117-124. (in Chinese))
- [2] PENG Haiqin, LIU Yan, WANG Hongwu, et al. Assessment of the service performance of drainage system and transformation of pipeline network based on urban combined sewer system model[J]. Environmental Science and Pollution Research,2015,22(20):15712-15721.
- [3] 颜文涛,陈朝晖,何强,等. 城市污水管道预报健康度评价模型及其应用研究[J]. 中国给水排水,2009,25(7):97-101. (YAN Wentao, CHEN Zhaohui, HE Qiang, et al. Study on assessment model for predictive health degree of municipal sewer systems and its application[J]. China Water & Wastewater, 2009, 25(7): 97-101. (in Chinese))
- [4] 林明波. 福州市三八泵站上游片区污水管道健康状况检测与分析[C]//华东地区给水排水技术情报网第十九届年会论文集.2014:1-8.
- [5] 杨利伟,邢雯雯,张莉平,等. 基于 GA 优化 BP 神经网络模型的污水管道系统健康状况评估[J]. 给水排水,2021,47(9):123-131. (YANG Liwei, XING Wenwen, ZHANG Liping, et al. Evaluation of the health status of sewage pipeline system based on GA optimized BP neural network model [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021,47(9):123-131. (in Chinese))
- [6] 马晴晴,吴珊,王昊,等. 雨水管网健康度评价与应用[J]. 水利水电技术(中英文),2022,53(3):195-204. (MA Qingqing, WU Shan, WANG Hao, et al. Health degree evaluation and application of rainwater pipe network [J]. Water Resources and Hydropower Engineering,2022,53(3):195-204. (in Chinese))
- [7] 袁浩. 城市既有雨排系统运行健康度评价方法研究[D]. 成都:西南交通大学,2013.
- [8] 李晓峰. 城镇污水管网健康状况评价与修复技术优选研究[D]. 苏州:苏州科技大学,2019.
- [9] 王和平. 排水管道健康状况评估方法的研究[J]. 给水排水,2011,37(8):112-116. (WANG Heping. Research on the health assessment method of drainage pipelines [J]. Water & Wastewater Engineering,2011,37(8):112-116. (in Chinese))
- [10] 蔡海朝,马琴. 1951—2017 年长沙汛期降水气候特征分析[J]. 南方农机,2018,49(19):202-203. (CAI

- Haichao, MA Qin. Analysis of climatic characteristics of precipitation during the flood season in Changsha from 1951 to 2017[J]. China Southern Agricultural Machinery, 2018, 49(19): 202-203. (in Chinese)
- [11] 李品良, 覃光华, 曹冷然, 等. 基于 MIKE URBAN 的城市内涝模型应用[J]. 水利水电技术, 2018, 49(12): 11-16. (LI Pinliang, QIN Guanghua, CAO Lingran, et al. Application of MIKE URBAN-based urban waterlogging model[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2018, 49(12): 11-16. (in Chinese))
- [12] 金牧青. 典型下垫面空间布局对城市降雨径流的影响: 以漯河市为例[D]. 郑州: 河南农业大学, 2018.
- [13] 周玉文, 娄富豪, 刘子龙, 等. 城市内涝风险分析模型系统开发与应用[J]. 河北科技大学学报, 2018, 39(1): 84-90. (ZHOU Yuwen, LOU Fuhao, LIU Zilong, et al. Development and application of urban storm water risk analysis modeling system[J]. Journal of Hebei University of Science and Technology, 2018, 39(1): 84-90. (in Chinese))
- [14] 孙波, 谢水波, 王志远, 等. 基于多种 LID 模式的深圳市内涝防治研究[J]. 人民长江, 2020, 51(6): 17-22. (SUN Bo, XIE Shuibao, WANG Zhiyuan, et al. Shenzhen City waterlogging prevention based on multiple LID schemes[J]. Yangtze River, 2020, 51(6): 17-22. (in Chinese))
- [15] 王光明, 廖玉芳, 曾向红, 等. 湖南短历时暴雨雨型分析[J]. 暴雨灾害, 2017, 36(1): 86-90. (WANG Guangming, LIAO Yufang, ZENG Xianghong, et al. The analysis of the short-duration rainstorm pattern over Hunan Province[J]. Torrential Rain and Disasters, 2017, 36(1): 86-90. (in Chinese))
- [16] 傅春, 付耀宗, 肖存艳, 等. 基于 MIKE FLOOD 模型的鹰潭市内涝弹性分析[J]. 水利水电科技进展, 2022, 42(1): 33-39. (FU Chun, FU Yaozong, XIAO Cunyan, et al. Analysis of urban waterlogging resilience based on MIKE FLOOD model in Yingtan City[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2022, 42(1): 33-39. (in Chinese))
- [17] 李俊, 吴珊, 赵昕, 等. 雨型选择对 LID 措施效果影响的分析探讨[J]. 给水排水, 2018, 44(5): 21-27. (LI Jun, WU Shan, ZHAO Xin, et al. Analysis on the effect of rain type selection on LID measures[J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(5): 21-27. (in Chinese))
- [18] 邢雯雯. 基于 GA-BP 神经网络模型的排水管道系统健康状况评估[D]. 西安: 长安大学, 2021.
- [19] 颜文涛, 龙腾锐, 陈朝晖, 等. 城市污水管道实际健康度评价模型及应用研究[J]. 中国给水排水, 2009, 25(9): 79-82. (YAN Wentao, LONG Tengrui, CHEN Chaohui, et al. Assessment model for actual health degree of municipal sewer systems and its application[J]. China Water & Wastewater, 2009, 25(9): 79-82. (in Chinese))
- [20] 江涛, 邢翰文. 基于层次分析法的排水管网状态评估体系研究[J]. 智能城市, 2022, 8(4): 53-55. (JIANG Tao, XING Hanwen. Study of drainage pipe network evaluation system based on analytic hierarchy process[J]. Intelligent City, 2022, 8(4): 53-55. (in Chinese))
- [21] 刘威, 董婉琪. 基于 AHP-熵权法组合赋权的排水管网风险评估方法研究[J]. 安全与环境学报, 2021, 21(3): 949-956. (LIU Wei, DONG Wanqi. Risk assessment on the drainage pipe network based on the AHP-entropy weight method[J]. Journal of Safety and Environment, 2021, 21(3): 949-956. (in Chinese))
- [22] 杜栋, 庞庆华, 吴炎. 现代综合评价方法与案例精选[M]. 3 版. 北京: 清华大学出版社, 2015.
- [23] 刘莹昕, 刘飒, 王威尧. 层次分析法的权重计算及其应用[J]. 沈阳大学学报(自然科学版), 2014, 26(5): 372-375. (LIU Yingxin, LIU Sa, WANG Weiyao. Computation of weight in AHP and its application[J]. Journal of Shenyang University (Natural Science), 2014, 26(5): 372-375. (in Chinese))
- [24] 徐晓敏. 层次分析法的运用[J]. 统计与决策, 2008(1): 156-158. (XU Xiaomin. Application of analytic hierarchy process[J]. Statistics & Decision, 2008(1): 156-158. (in Chinese))
- [25] 焦树铎. AHP 法中平均随机一致性指标的算法及 MATLAB 实现[J]. 太原师范学院学报(自然科学版), 2006, 5(4): 45-47. (JIAO Shufeng. The algorithm of mean random consistency index in AHP and its implementation[J]. Journal of Taiyuan Normal University (Natural Science Edition), 2006, 5(4): 45-47. (in Chinese))
- [26] 赵书强, 汤善发. 基于改进层次分析法、CRITIC 法与逼近理想解排序法的输电网规划方案综合评价[J]. 电力自动化设备, 2019, 39(3): 143-148. (ZHAO Shuqiang, TANG Shanfa. Comprehensive evaluation of transmission network planning scheme based on improved analytic hierarchy process, CRITIC method and TOPSIS[J]. Electric Power Automation Equipment, 2019, 39(3): 143-148. (in Chinese))
- [27] 陈长坤, 陈以琴, 施波, 等. 雨洪灾害情境下城市韧性评估模型[J]. 中国安全科学学报, 2018, 28(4): 1-6. (CHEN Changkun, CHEN Yiqin, SHI Bo, et al. An model for evaluating urban resilience to rainstorm flood disasters[J]. China Safety Science Journal, 2018, 28(4): 1-6. (in Chinese))
- [28] 江敏. 基于改进层次分析法的供水管网漏损评价工作体系研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2017.

(收稿日期: 2022-11-28 编辑: 俞云利)