

基于 AHP-EWM 法对于城市积水成因分析

许若宇

泰国格乐大学

DOI : 10.12238/jpm.v6i4.7948

[摘要] 本文聚焦城市积水问题，鉴于其危害严重且成因复杂，提出运用 AHP-EWM 法进行分析。构建涵盖自然、人为和排水系统因素的评价指标体系，通过专家判断与数据处理确定各指标权重，剖析其影响程度。经案例验证，该方法能精准定位关键成因。基于此，从优化排水系统、加强绿地及海绵城市建设、强化城市管理与公众意识培养等方面提出治理建议，希望为城市积水治理提供科学依据与有效策略。

[关键词] 城市积水；层次分析法（AHP）；熵权法（EWM）；成因分析；治理建议

Analysis on the origin of urban water accumulation based on AHP-EWM method

Xu Ruoyu

Krirk University

[Abstract] This paper focuses on the problem of urban water accumulation, in view of its serious harm and complex causes, proposed to use AHP-EWM method for analysis. An evaluation index system covering natural, man-made and drainage system factors is constructed, and the weight of each index is determined through expert judgment and data processing, and its influence degree is analyzed. According to the case verification, this method can accurately locate the key causes. Based on this, some suggestions are put forward from the aspects of optimizing drainage system, strengthening the construction of green space and sponge city, strengthening urban management and public awareness cultivation, hoping to provide scientific basis and effective strategy for urban water management.

[Key words] urban water accumulation; hierarchical analysis method (AHP); entropy weight method (EWM); cause analysis and governance suggestions

一、引言

城市积水问题在全球范围内日益凸显，随着城市化进程的加速，城市下垫面硬化面积增加，改变了自然的水文循环，加之极端气候事件频发，暴雨强度和频率不断加大，城市排水系统面临着巨大挑战。城市积水不仅影响城市交通、破坏基础设施，还可能危及居民的生命财产安全，阻碍城市的可持续发展。层次分析法（AHP）能够将复杂问题分解为多个层次，通过比较各因素之间的相对重要性，确定各因素的权重，有效处理多目标、多层次的决策问题。熵权法（EWM）则依据数据本身的离散程度来确定权重，避免了人为因素的干扰，使权重更加客观准确。将 AHP 与 EWM 相结合，充分发挥二者的优势，能够更科学、全面地分析城市积水的成因。

二、城市积水相关理论概述

（一）城市积水的概念与危害

城市积水是指在降雨过程中或雨后，城市区域内出现的地面水积聚现象。当降雨量超过城市排水系统的承载能力，或者

排水系统存在故障、阻塞等问题时，雨水无法及时排出，就会形成积水。城市积水的危害广泛且严重，在交通方面，积水会导致道路湿滑，增加交通事故的发生率，影响公共交通的正常运行，造成交通拥堵，给居民的出行带来极大不便。

在经济领域，积水可能会淹没商业区域、工厂等，导致货物受损、生产中断，造成直接的经济损失。积水还会对城市基础设施造成破坏，如浸泡道路基础，导致路面塌陷；损坏地下管道、电缆等设施，影响城市的正常运转。积水还可能引发疾病传播，威胁居民的身体健康。

（二）城市积水的形成机制

城市积水的形成是多种因素共同作用的结果。降雨是城市积水的主要诱发因素，降雨强度、降雨持续时间和降雨总量都会影响积水的形成。短时间内的强降雨，如暴雨，会使大量雨水迅速汇集，超出排水系统的排水能力，从而引发积水。长时间的降雨也会使地面饱和，增加积水的可能性。

城市下垫面条件对积水形成有重要影响。城市中大量的不

透水地面,如建筑物屋顶、道路、广场等,阻碍了雨水的下渗,使得雨水更容易形成地表径流。不透水地面的增加还改变了地表的粗糙度,影响了雨水的流速和流向。植被覆盖度低的区域,其对雨水的截留和涵养能力较弱,也会加剧积水的形成。

城市排水系统的完善程度直接关系到积水的排除效率。排水管网的管径大小、排水能力、布局合理性以及是否存在堵塞、损坏等问题,都会影响排水效果。如果排水管网管径过小,无法满足暴雨时的排水需求;或者排水管网布局不合理,存在排水不畅的节点,就容易导致积水。排水泵站的运行效率、雨水口的数量和分布等因素也会对积水形成产生影响。

三、AHP-EWM 法原理与步骤

(一) 层次分析法 (AHP) 原理与实施步骤

层次分析法由美国运筹学家萨蒂 (T. L. Saaty) 提出,是一种将复杂问题分解为多个层次,通过比较各层次元素之间的相对重要性来确定权重的方法。运用 AHP 分析城市积水成因时,首先要明确目标,即分析城市积水的成因。然后建立层次结构模型,将问题分解为目标层、准则层和指标层。在城市积水成因分析中,准则层可能包括自然因素、人为因素、排水系统因素等,指标层则是具体的影响因素,如降雨量、地形坡度、人口密度等。

构造判断矩阵是 AHP 的关键步骤。通过对同一层次各元素进行两两比较,确定它们之间的相对重要性。采用 1-9 标度法对比较结果进行量化,构建判断矩阵。计算权重向量时,常用的方法有特征根法、和积法等。通过计算判断矩阵的最大特征根及其对应的特征向量,得到各元素的相对权重。需要对判断矩阵进行一致性检验,以确保判断结果的合理性。计算一致性指标 (CI) 和一致性比率 (CR),当 $CR < 0.1$ 时,认为判断矩阵具有满意的一致性。

(二) 熵权法 (EWM) 原理与计算过程

熵权法是一种客观赋权法,依据数据本身的离散程度来确定权重。对于某项指标,其数据的离散程度越大,所包含的信息量就越大,该指标的权重也就越高。在城市积水成因分析中,假设有 n 个样本, m 个评价指标,首先要对原始数据进行标准化处理,消除量纲和数量级的影响。对于正向指标,标准化公式为 $x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)}$; 对于负向指标,标准化公式为 $x_{ij}^* = \frac{\max(x_j) - x_{ij}}{\max(x_j) - \min(x_j)}$,其中 x_{ij} 为第 i 个样本的第 j 个指标值, x_{ij}^* 为标准化后的指标值。

计算第 j 项指标的信息熵 E_j ,

$$\text{公式为 } E_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij}, \text{ 其中 } p_{ij} = \frac{x_{ij}^*}{\sum_{i=1}^n x_{ij}^*}。 \text{ 计}$$

算指标的熵权 ω_j , 公式为 $\omega_j = \frac{1 - E_j}{\sum_{j=1}^m (1 - E_j)}$ 。通过熵权法得到的权重能够更客观地反映各指标在评价体系中的重要程度。

(三) AHP-EWM 法的优势与互补性

AHP-EWM 法结合了 AHP 的系统性和 EWM 的客观性。AHP 能够将复杂的城市积水成因问题分解为有序的层次结构,便于决策者进行分析和判断,充分考虑了人的主观判断和经验。但 AHP 在确定权重时,可能会受到决策者主观因素的影响,导致权重

的准确性受到一定的质疑。

EWM 则完全基于数据的客观信息,依据指标数据的离散程度来确定权重,避免了人为因素的干扰,使权重更加客观合理。然而,EWM 没有考虑指标之间的相互关系和层次结构,对于复杂问题的分析可能不够全面。将 AHP 与 EWM 相结合,可以弥补各自的不足。AHP 确定的主观权重和 EWM 确定的客观权重进行综合,可以得到更科学、更合理的权重,为城市积水成因分析提供更可靠的依据。

四、基于 AHP-EWM 法的城市积水成因分析

(一) 构建城市积水成因评价指标体系

构建科学合理的评价指标体系是准确分析城市积水成因的基础。从自然因素、人为因素和排水系统因素三个方面选取影响城市积水的指标。自然因素方面,降雨量是导致城市积水的直接原因之一,降雨量越大,积水的可能性就越高;降雨强度也很关键,短时间内的强降雨更容易引发积水。地形坡度影响雨水的流速和流向,坡度较小的区域容易积水。土壤类型影响雨水的下渗能力,透水性差的土壤会使地表径流增加,加剧积水。

人为因素中,城市化进程导致城市下垫面硬化面积增加,不透水地面阻碍了雨水的下渗,使地表径流增多。人口密度反映了城市人类活动的密集程度,人口密度高的区域,对排水系统的压力也较大,容易出现积水。绿地率对积水有调节作用,绿地能够截留雨水、涵养水源,降低积水的风险。排水系统因素包括排水管网密度、管径大小和排水泵站的排水能力。排水管网密度低、管径过小或排水泵站排水能力不足,都会影响排水效果,导致积水的产生。

(二) 运用 AHP-EWM 法确定各指标权重

邀请相关领域的专家,包括城市规划师、水利工程师、气象学家等,对各层次元素进行两两比较,构建判断矩阵。运用和积法计算判断矩阵的权重向量,并进行一致性检验。对收集到的各指标数据进行标准化处理,计算各指标的信息熵和熵权。将 AHP 确定的主观权重和 EWM 确定的客观权重进行综合,采用加权平均的方法,得到各指标的综合权重。

假设 AHP 确定的权重向量为 $\omega_{AHP} = (\omega_1^{AHP}, \omega_2^{AHP}, \dots, \omega_m^{AHP})$, EWM 确定的权重向量为 $\omega_{EWM} = (\omega_1^{EWM}, \omega_2^{EWM}, \dots, \omega_j^{EWM})$, 综合权重向量为 $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)$, 则 $\omega_j = \alpha \omega_j^{AHP} + (1 - \alpha) \omega_j^{EWM}$, 其中 α 为权重分配系数,可根据实际情况确定,一般取 $\alpha = 0.5$ 。通过 AHP-EWM 法确定的权重,能够更全面、准确地反映各指标在城市积水成因中的重要程度。

(三) 分析各指标对城市积水的影响程度

根据综合权重的大小,对各指标对城市积水的影响程度进行排序。权重较大的指标,对城市积水的影响程度较大,是城市积水治理的重点关注对象。在自然因素中,降雨量和降雨强度的权重可能较高,说明它们对城市积水的影响较大。在人为因素中,城市化进程导致的下垫面硬化面积增加,可能是引发城市积水的重要因素之一。

在排水系统因素中,排水管网密度和管径大小的权重较高,表明它们对排水效果的影响较大。通过分析各指标的影响程度,可以明确城市积水治理的关键环节,为制定针对性的治理措施提供依据。对于影响程度较大的指标,应加大治理力度,

如优化排水管网布局、扩大管径等;对于影响程度较小的指标,也不能忽视,可采取相应的措施进行改善,以提高城市的整体排水能力。

五、案例分析

(一) 案例城市概况

选取位于我国南方的某市作为案例城市。该市地处亚热带季风气候区,夏季降水丰富,多暴雨天气。城市地形较为平坦,地势起伏较小。近年来,随着城市化的快速发展,城市规模不断扩大,人口密度逐渐增加,城市下垫面硬化面积也大幅增加。然而,城市排水系统的建设相对滞后,排水管网老化、管径偏小等问题较为突出,城市积水问题日益严重,给居民的生活和城市的发展带来了诸多困扰。

(二) 数据收集与处理

收集该市多年的气象数据,包括降雨量、降雨强度、降雨持续时间等;获取城市地形数据,如地形坡度、高程等;收集城市土地利用数据,计算城市化率、绿地率等指标;调查城市排水系统数据,包括排水管网密度、管径大小、排水泵站的数量和排水能力等。对收集到的数据进行整理和分析,对于缺失的数据,采用插值法或其他合适的方法进行补充。对数据进行标准化处理,消除量纲和数量级的影响,以便进行后续的计算和分析。

(三) AHP-EWM 法应用与结果分析

运用 AHP-EWM 法对该市城市积水成因进行分析。邀请专家构建判断矩阵,计算各指标的 AHP 权重和 EWM 权重,并综合得到各指标的综合权重。结果显示,在自然因素中,降雨强度的权重最高,说明高强度降雨对该市城市积水的影响较大;在人为因素中,城市化率的权重较大,表明城市化进程的加快导致城市下垫面硬化面积增加,是引发城市积水的重要原因之一;在排水系统因素中,排水管网管径的权重较高,反映出排水管网管径过小是影响排水效果的关键因素。

根据分析结果,该市在城市积水治理方面,应重点加强对暴雨天气的监测和预警,提高城市排水系统应对高强度降雨的能力;控制城市化进程,增加城市绿地面积,改善城市下垫面条件;加大对排水管网的改造力度,扩大管径,优化排水管网布局,提高排水系统的排水能力。通过实施这些措施,可以有效缓解该市的城市积水问题。

六、城市积水治理建议

(一) 优化排水系统规划与建设

科学合理规划排水系统是解决城市积水问题的关键。在城市规划阶段,应充分考虑地形、地貌等自然条件,合理布局排水管网,确保排水顺畅。根据城市的发展规划,预测未来的排水需求,合理确定排水管网的管径和排水泵站的规模,提高排水系统的承载能力。在建设过程中,严格按照规划设计要求进行施工,确保排水管网的质量。加强对排水管网的维护和管理,定期进行清淤、疏通,及时修复损坏的管道,保证排水管网的正常运行。还可以引入智能化排水系统,利用传感器、物联网等技术,实时监测排水系统的运行状态,实现智能化调度和管理,提高排水效率。

(二) 加强城市绿地与海绵城市建设

城市绿地具有截留雨水、涵养水源、调节径流等功能,能够有效缓解城市积水问题。加大城市绿地的建设力度,提高城市绿地率,特别是在易积水区域,增加绿地面积。合理规划绿地布局,建设雨水花园、绿色屋顶等生态设施,增强绿地对雨水的吸纳和净化能力。

积极推进海绵城市建设,采用渗、滞、蓄、净、用、排等措施,实现对雨水的自然循环和有效利用。建设透水铺装道路、下沉式绿地、蓄水池等海绵设施,提高城市的雨水调蓄能力。海绵城市建设还可以改善城市生态环境,提高城市的生态系统服务功能,促进城市的可持续发展。

(三) 强化城市管理与公众意识培养

加强城市管理,严格控制城市开发建设过程中的下垫面硬化面积,避免过度开发导致排水系统不堪重负。加强对建筑工地、道路施工等的管理,防止施工过程中对排水管网造成破坏。建立健全城市排水设施的管理制度,明确各部门的职责,加强监督检查,确保排水设施的正常运行。

通过宣传教育、科普活动等方式,提高公众对城市积水危害的认识,增强公众的环保意识和责任意识。鼓励公众积极参与城市积水治理工作,如节约用水、减少污水排放、爱护排水设施等。公众还可以通过举报、建议等方式,监督城市排水系统的运行,为城市积水治理提供支持。

七、结语

城市积水问题严重制约城市发展,运用 AHP-EWM 法可有效剖析其成因。通过案例分析明确关键影响因素,为治理提供方向。未来,应持续优化排水系统,大力推进海绵城市建设,强化城市管理与公众参与,多方协同,共同解决城市积水难题,保障城市安全运行,推动城市可持续发展,营造良好的城市居住环境。

【参考文献】

[1]魏军,陈笑娟,李婷,徐艺芙.基于等效水量法的城市内涝模型实时订正技术研究[J].中国农村水利水电,2024(7):19-25

[2]许绘香,刘炜.基于长短期记忆网络的城市积水内涝风险预警[J].计算机仿真,2024,41(9):505-509

[3]李祥锋,梁春.滨海丘陵城市内涝灾害风险评估方法优化研究[J].青岛大学学报(工程技术版),2024,39(3):104-110

[4]任东风,魏鑫,王佳龙,王飞跃.最优尺度变换—层次分析法视角下城市内涝风险评估[J].水文,2024,44(4):62-68

[5]徐苏,方勇,谢超,周明明.基于层次分析法的城市防洪风险综合评价研究[J].吉林水利,2024(1):71-75

[6]杨寿泉,闻平,姜泮珊,徐佳瑞,解智强,张弓.基于城市洪涝径流和积水特征的绿色屋顶空间布局优化研究[J].水利水电技术(中英文),2023,54(4):22-36

作者简介:许若宇,出生年月:1996.12,女,民族:汉,籍贯:河南,学历:本科,研究方向:工程,单位信息:泰国格乐大学。