

doi:10.16055/j.issn.1672-058X.2015.0010.005

城镇排水系统量化指标体系研究*

建 娜¹, 胡玉婷², 肖雪莹¹

(1.重庆大学 城市建设与环境工程学院,重庆 400044;2.青岛市民用建筑设计院有限公司,山东 青岛 266011)

摘 要:为了应对城镇排水系统的现代环境挑战,需要建立科学、系统的量化指标体系识别排水系统的可持续性和合理性,可对不同类型排水系统进行对比研究;基于综合评价理论和生命周期评价(LCA)理念,提出了城镇排水系统量化指标体系建立原则、方法步骤,并且从环境、经济、技术性能和社会效益 4 个方面建立城镇排水系统量化指标体系,最后对各指标的权重进行了讨论;指标体系的建立,为城镇排水系统的设计、管理以及政策决策提供数据支持。

关键词:城镇排水系统;量化指标体系;综合评价;生命周期评价

中图分类号:X132.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-058X(2015)10-0022-06

气候异常、管网和设备的老化和退化^[1],使得城镇排水系统展现了一系列典型的现代环境挑战:需要有成本效益和公众可接受的技术来改善现有的系统,对排水系统的影响进行评估,也需要去探索可持续的方法。当前国内外学者对排水系统的量化评价指标还没有达成共识,排水系统指标分散于排水系统的不同方面,如雨水管理系统^[2-4]、排水管网^[5]及污水处理厂^[6]等,由于各学者关注的问题和层面不同,导致排水系统指标没有相互衔接,缺乏排水系统完整系统的量化指标体系。现有的排水系统相关的指标体系不能直接应用于排水系统量化评价的研究,其提供的信息也不能满足决策者、管理者在不同类型排水系统比较选择的需要,急需建立合理的排水系统量化指标体系,以便科学地对排水系统进行规划、设计、施工管理以及改造,以达到增强排水系统的安全性和合理性,做到排水系统的可持续发展。

1 城镇排水系统量化指标体系研究

1.1 指标及指标体系概述

1.1.1 指标与指标体系含义

指标是反映系统要素或现象的数量概念和具体数值,包括了名称和数值两个部分,指标体系则指由一系列相互联系、相互补充、相互制约并具有层次性和结构性的指标组成的科学完整的总体^[6]。

1.1.2 指标体系构建的原则

城镇排水系统本身的复杂性和多样性,影响因素众多,子系统之间相互作用、相互联系。结合当前有关指标体系设置原则和城镇排水系统的特点,确定了指标体系构建原则^[7-9]:

(1) 科学性和代表性。选取的指标要具有一定的科学内涵,能够准确地反映城镇排水系统的基本特征

收稿日期:2015-04-03;修回日期:2015-05-06.

* 基金项目:重庆大学中央高校基本科研业务费科研专项自然科学类项目(CDJZR10210012).

作者简介:建娜(1991-),女,贵州贵阳人,硕士研究生,从事城镇排水系统量化评价研究.

及其发展趋势,能够代表城镇排水系统的真实情况并针对城镇排水系统发展面临的主要问题。

(2) 完备性和独立性。构建的指标体系要能够比较全面地反映和度量城镇排水系统的主要发展特征和发展状况,并且选取的指标之间具有相对独立性,避免指标间信息的重叠。

(3) 简洁性和综合性。评价指标的选取应当简明、通俗易懂。

(4) 可操作性和可比性。指标的设置尽可能利用已有数据源,具有可测性和可比性,易于量化。

1.2 城镇排水系统量化指标体系的构建

1.2.1 城镇排水系统量化指标体系的功能

(1) 客观实际地反映当前城镇地区排水系统的整体状况和基本特征。

(2) 表征城镇排水系统各要素之间的相互联系,反映当前影响城镇排水系统的主要因素。

(3) 城镇排水系统量化评价指标可以对不同类型排水系统进行对比研究,如截流式分流制排水系统、完全分流制系统及低影响开发雨水管理措施等,可以判别不同类型排水系统的优劣。

1.2.2 城镇排水系统量化指标体系的构建流程

指标构造是从抽象的理论含义到可度量的具体的逻辑思维过程。根据指标体系构建的原则以及相关文献^[7],确定了城镇排水系统量化指标体系的构建步骤,包括:

(1) 理论准备。构建城镇排水系统量化指标体系之前,评价者必须深刻理解城镇排水系统的内涵,透彻的分析其构成要素,对评价目的有着清楚的认识,并对相关的基础理论有一定的了解。

(2) 指标初选。通过特定的方法初步选定指标,采用理论分析法、频度分析法、综合法和专家咨询法构建城镇排水系统指标体系框架。

(3) 指标的筛选和指标体系的完善。对初选指标进行筛选,使得指标体系在完备性的前提下,更加简洁明了,同时也需要对指标体系进行补充、修改和完善。

(4) 指标体系应用。通过对指标体系的实际应用,做出相应的调整和修正。

城镇排水系统量化指标体系的构建流程如图 1 所示:

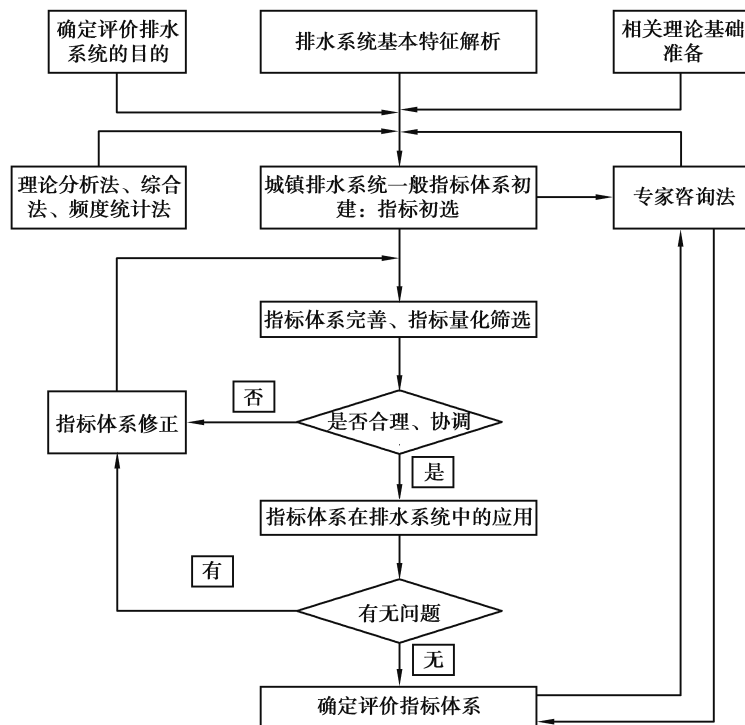


图 1 城镇排水系统量化指标体系的构建流程

1.2.3 城镇排水系统的定义及基本特征

由于人类活动和自然水循环之间的相互作用促使了城镇排水系统的出现和发展。城镇排水系统就是为保障人体健康、生活环境、自然生态环境甚至是人们生命财产安全而建设的污水收集、输送、处理和利用,以及排放等设施以一定方式组合成的总体^[10]。

1.2.4 城镇排水系统量化指标的初选及定量化筛选

指标体系的构建是一项复杂而艰巨的工作,构建评价指标体系时,应该在深刻、透彻理解评价对象内涵的前提下,列出所有可能的评价指标的集合,拟定初选指标,经过征询专家意见,反复交换信息、归纳综合、运用特定的定量及定性分析方法,最后才能确定指标体系^[11]。

(1) 指标初选:通过综合分析城镇排水系统的内涵、基本特征等主要问题,对当前有关城镇排水系统的论文、研究报告进行统计和排序,选择具有代表性和针对性强,使用频率较高的指标。由于雨洪管理理念以及可持续发展理念的普及,要求排水系统在环境保护方面发挥应有的效益,在技术性能、经济上可行,并且在满足基本要求的基础上,能够提供景观改善和防洪排涝等社会效益,故初步从环境、技术性能、经济和社会效益四个方面来对城镇排水系统进行较为全面的评价。

(2) 采用单相关系数法对初选指标进行量化筛选,计算方法如下:假设反映事物同一侧面的指标有 n 个,计算每一指标与其他 $(n-1)$ 个指标的筛选系数(相关系数的平方)的平均值 r_i^2 :

$$r_i^2 = \frac{1}{n-1} \left(\sum_{a=1}^n r_{ij}^2 - 1 \right) \quad (1)$$

式(1)中: $r_{ij} = \frac{s_i}{\sqrt{s_{ii}s_{jj}}}$ 经过比较分析 r_i^2 的大小可以对同一分层的指标进行筛选,删除同层次相关性较小的指标。

(3) 最后以问卷调查、访谈等方式征询专家意见,对指标进行调整,形成最终的量化指标体系(图2)。

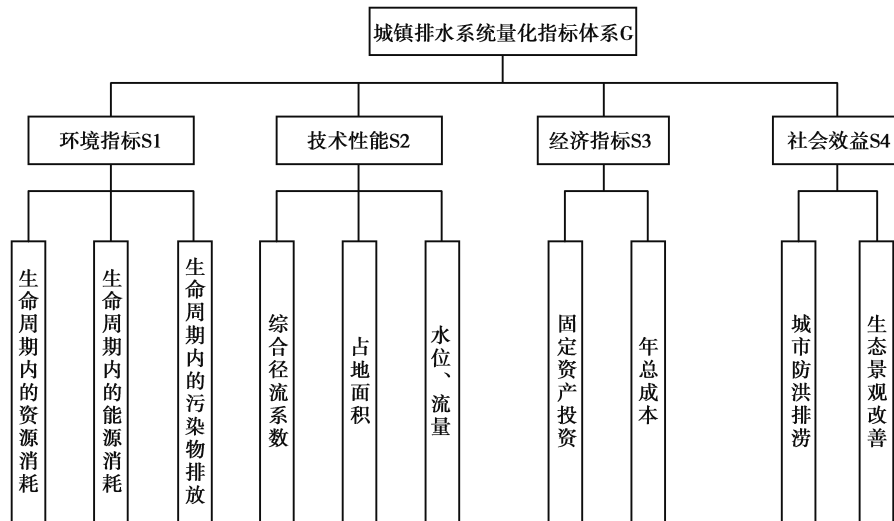


图 2 城镇排水系统量化指标体系

1.2.5 指标含义及计算方法

(1) 环境指标 S_1

指标含义:环境指标主要是考察城镇排水系统的建设、运行及废弃等阶段产生的环境影响和环境效益,以此来判别城镇排水系统的环境友好性。

计算方法:运用生命周期评价(LCA)方法,考虑城镇排水系统的整个生命周期内的环境因素和环境影响^[12]。在清单分析的基础上,采用 SimaPro 8.0 软件来进行城镇排水系统的生命周期评价建模和计算。

(2) 综合径流系数(P_4)

指标含义:综合径流系数是考察该研究区域的下垫面综合产流能力,其直接影响进入排水系统的径流量和排水管道尺寸。

综合径流系数 Ψ 值可按各类地面的面积用加权平均法计算:

$$\Psi = \frac{\Psi_i F_i}{F} \quad (2)$$

式(2)中: F_i 为汇水面积上各类地面的面积; Ψ_i 为相应于各类地面的径流系数; F 为总汇水面积。

(3) 占地面积(P_5)

指标含义:占地面积是考察城镇排水系统的用地空间(地上和地下空间)需求。该数据可以通过施工图、竣工图纸计算得出。

(4) 水位、流量(P_6)

指标含义:水位、流量是评估城镇排水系统水力性能指标。水位、流量可通过现场监测并作记录。

(5) 固定资产投资(P_7)

指标含义:固定资产投资是指达到设计效益和规模所需要的全部工程建设费用,包括土建工程费(含构筑物 and 管道等)、设备及其安装工程费和其他工程费等费用。计算公式如下:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (3)$$

式(3)中: I 为固定资产投资; I_1 为土建工程费; I_2 为设备及安装工程费(含电气工程); I_3 为其他工程费,包括勘察设计费、前期工作费、工程监理和质检费等。

(6) 年总成本(C ,元/a, P_8)

指标含义:城镇排水系统的年总成本是指城镇排水系统在运行阶段的运行成本和维护管理成本。一般包括动力费、维护管理费和折旧费。

① 动力费(C_1 ,元/a)。动力费主要考虑水泵的能耗费用,其他照明等设备所占比例较小,此处忽略不计。

$$C_1 = N \times T \times d \quad (4)$$

式(4)中: N 为全部水泵电机实际功率和其他耗电量之和,Kw; T 为全年水泵电机的工作时间; d 为电费单价,元/kW·h。

② 维护管理费(C_2 ,元/a)。主要包括日常养护、定期修护费用和管理费用,缺乏资料时可按照投资的2%~3%估算。

③ 折旧费(C_3 ,元/a)。折旧费采用平均年限法计算。现简化计算,按照排水工程各部分的投资比例,测算出平均综合基本折旧率,并且国家规定城市公共事业单位固定资产报废时的净残值为4%,然后按下式计算:

$$r = \frac{(1 - e)}{n} \times 100\% \quad (5)$$

$$C_3 = 1 \times r \quad (6)$$

式(5)(6)中: r 为年折旧率; e 为寿命期终了时残余价值率,%; n 为折旧年限,a; 1 为排水工程固定资产原值,元。

年总成本的计算公式为

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad (7)$$

(7) 城市防洪排涝(P_9)

指标含义:该指标是表征排水系统减少城市洪水和内涝的能力,通过外排峰值控制率^[13]。

外排峰值控制率(D_1)是指在某一设计频率降雨条件下,采取了雨水控制措施之后的外排径流量最大值

与未采取雨水控制措施时的外排径流最大值之比百分数的补集。计算公式为:

$$D_1 = \left(1 - \frac{W_1}{W_2}\right) \times 100\% \quad (8)$$

式(8)中: D_1 为雨水控制措施实施后外排峰值控制率; W_1 为雨水控制措施运行后的外排径流量峰值; W_2 为未进行雨水控制措施的外排径流量峰值。

(8) 生态景观改善(P_{10})

指标含义:生态景观改善主要是考察城镇排水系统的生态补水、改善景观同时减少淡水消耗的功能。此处主要计算雨水收集回用率,通过绿色屋顶、雨水花园、雨水储存池等措施来实现。

雨水收集回用率(E_1)是指在某一设计频率降雨条件下,收集、回用的雨水总量与降雨量的比值。回用主要是指灌溉、冲厕、景观补水等利用。

$$E_1 = \frac{W_{\text{回用}}}{W_{\text{降}}} \times 100\% \quad (9)$$

式(9)中: E_1 为雨水收集回用率; $W_{\text{回用}}$ 为雨水的收集回用量; $W_{\text{降}}$ 为总降雨量。

1.2.6 权重的确定

采用改进的层次分析法来确定各指标权重^[14]。通过问卷的方式,请专家对指标的重要性进行评判比较,以此建立比较矩阵和判断矩阵,计算判断矩阵的最大特征值及相应的特征向量,从而得出得到各层次要素对上层次某要素的重要性次序,计算过程略。最终确定权重的结果如表 1 所示:

表 1 城镇排水系统量化指标体系

目标层	准则层(一级指标)	指标层(二级指标)	标准后的权重	
城镇排水系统 量化评价	环境指标 S_1 $W_1 = 0.561$	生命周期内的资源消耗 P_1	0.444	
		生命周期内的能源消耗 P_2	0.444	
		生命周期内的污染物排放 P_3	0.112	
	技术性能 S_2 $W_2 = 0.122$	综合径流系数 P_4	0.640	
		占地面积 P_5	0.100	
		水位、流量 P_6	0.260	
	经济指标 S_3 $W_3 = 0.262$	固定资产投资 P_7	0.500	
		年总成本 P_8	0.500	
		社会效益 S_4 $W_4 = 0.055$	城市防洪排涝 P_9	0.750
		生态景观改善 P_{10}	0.250	

城镇量化排水系统指标体系包含了大量的信息,可以将其与排水系统的规划、设计等进行综合,建立排水系统的综合信息系统和基础数据库,为今后城镇排水系统的量化评价研究打下坚实的基础。

2 结 论

基于综合评价理论,结合生命周期评价(LCA)方法,提出了城镇排水系统量化指标体系建立基本流程,并且从环境、经济、技术性能和社会效益 4 个方面建立城镇排水系统量化指标体系。其中,城镇排水系统环境影响使用生命周期评价(LCA)方法,对排水系统整个生命周期产生的环境负荷和环境效益进行量化研究,同时也解释了经济指标、技术性能指标和社会效益指标并且确定了计算方法,最后对各指标的权重进行了讨论。建立的量化指标体系能够直接应用于排水系统量化评价的研究,可识别单个排水系统的可持续

性,也可以对传统排水系统和新型排水系统进行对比评价,比较优劣;评价结果可为规划者、设计者和决策者等提供选择参考依据和理论基础。

参考文献:

- [1] DEFEQ G, ANTONIOU G, FARDIN H, et al. The Historical Development of Sewers Worldwide [J]. Sustainability, 2014, 6(6): 3936-3974
- [2] KOLSKY P. Performance Indicators for Urban Storm Drainage in Developing Countries [J]. Urban Water, 2002, 4(2): 137-144
- [3] URRUTIAGUER M, LLOYD S, LAMSHED S. Determining Water Sensitive Urban Design Project Benefits Using a Multi-criteria Assessment Tool [J]. Water Science & Technology, 2010, 61(9): 2333
- [4] 龙浩, 李翠梅. 城市雨水管网系统脆弱性评价 [J]. 深圳大学学报: 理工版, 2014(6): 593-599
- [5] 陈明辉, 黄培培, 黎海波. 基于排水管网数据库的评价体系建立及对策研究 [J]. 城乡治理与规划改革, 2014(8): 121-125
- [6] 唐波. 城市生活污水处理厂运行效能评价指标体系研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2014
- [7] 郭亚军. 综合评价理论、方法及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2006
- [8] 曹利军. 可持续发展评价理论与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 1999
- [9] 姜文超. 城镇地区水资源(极限)承载力及其量化方法与应用研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2004
- [10] 严煦世, 刘遂庆. 给水排水管网系统 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008
- [11] 杜小薇. 基于城市绿化的房地产开发评价 [J]. 重庆工商大学学报: 自然科学版, 2014(11): 103-108
- [12] International Standards Organisation G. ISO14040 Environmental management- Life cycle assessment-Principles and framework [S]. 2006
- [13] 潘安君, 张书函, 陈建刚, 等. 城市雨水综合利用技术研究与应用 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010
- [14] 李佩, 杨伟. 改进层次分析法和模糊灰色理论的管道土壤腐蚀评价 [J]. 油气储运, 2006, 25(4): 27-33

Research on Urban Drainage Quantization Index System

JIAN Na¹, HU Yu-ting², XIAO Xue-ying¹

(1. Chongqing University, Chongqing 400044, China; 2. Qingdao Institute of Architectural Design, Qingdao 266011, China)

Abstract: To process the challenge new environment brings to urban drainage system, a scientific and systematic quantization index system is needed to assess the sustainability and rationality of drainage system and to compare different kinds of drainage systems. Based on comprehensive evaluation and life cycle assessment (LCA), establishment principle, methods and procedures of urban drainage quantization index system are put forward, and the urban drainage quantization index system are built from aspects of environment, economy, technical function and social benefit. Finally, the weight of each index is discussed. The index system can provide data support to the design, management and policy decision for urban drainage system.

Key words: urban drainage system; quantization index system; comprehensive evaluation; life cycle assessment