

基于层次分析法的城市用地水安全评价

林 彬,曾萃林,向美洲

(浙江工业大学 建筑工程学院,杭州 310014)

摘 要: 城市水安全问题日趋严重,其中的一个重要原因在于不合理的城市土地利用方式。今将土地利用方式按覆盖类型归并为水域、湿地、绿地和硬铺地,阐述这4类土地覆盖类型对水安全问题的影响;利用层次分析法理论建立城市水安全问题的指标体系,定量计算各指标对城市水安全的影响权重。在分析各土地类型对水安全影响权重的基础上,提出了合理的土地利用方式建议。

关键词: 水安全;土地利用;层次分析法

中图分类号: TV213.4

文献标志码: A

文章编号: 1671-8798(2012)01-0058-06

Evaluation of urban water safety based on analytic hierarchy process

LIN Bin, ZENG Cui-lin, XIANG Mei-zhou

(College of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Water safety problems become more and more serious, one of the important reasons is unreasonable urban land utilization ways. Now, land use ways are classified into waters, wetlands, green space and impervious ground according to land coverage; the effects on water security of each land coverage type are expounded; index system of urban water safety is established based on AHP; effect weight of each index to urban water security is calculated quantitatively. Advices on reasonable land-use methods are put forward on the base of analyzing the contributions to the urban water safety.

Key words: water safety; land use; analytic hierarchy process

在快速的城市化进程中,由不合理的土地利用方式引发的城市水污染问题、城市水灾害问题、城市沉降问题和城市气候微循环问题等城市水安全问题日趋严重^[1-3]。对此,各国政府及专家学者进行了广泛的研究。但从已有的研究来看,其研究或侧重于自然科学的定量计算,或侧重于人文科学的定性描述,均缺乏两者的有机结合与整体认识,也缺乏全面定量的深入研究。本文将从城市土地利用方式的人文科学角

度出发,借助层次分析法对城市水安全问题与城市土地利用之间的关系进行定量分析。

1 城市用地变化对水安全影响分析

城市化进程中对水安全问题的影响主要体现在城市土地覆盖的变化,它不仅包括建城区面积的扩大,还包括城镇建筑物、道路及其他基础设施向周边乡村扩散的过程。随着建城区面积的扩大,原本的用地平衡被打破,绿色植被被大量的沥青、水泥等建筑物和城市基础设施所代替,水域、湿地面积被侵蚀(图 1)。根据土地覆盖类型,将现行 GB/T 21010—2007《土地利用现状分类》12 个一级类别适当简化,合并成水域、湿地、绿地及硬铺地 4 类与城市水安全问题直接相关的用地方式(表 1)。

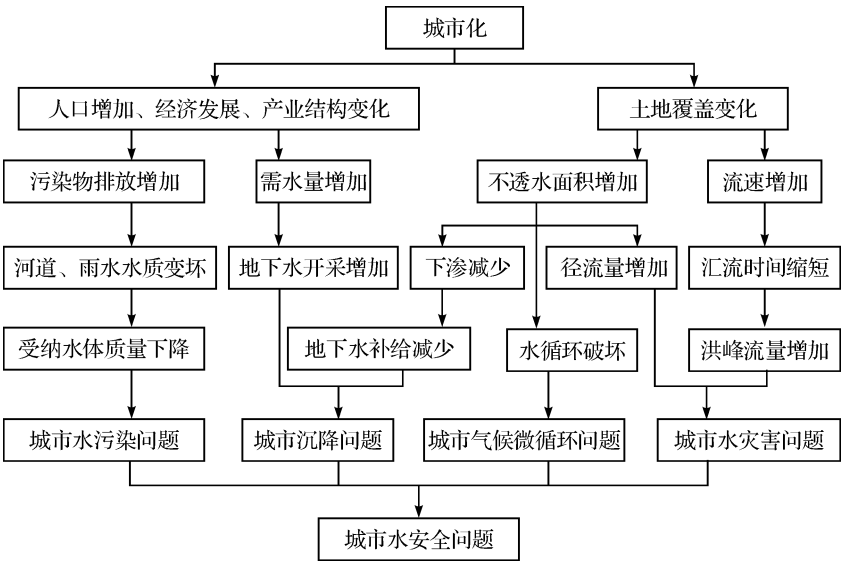


图 1 城市化导致水安全问题分析
Fig. 1 Analysis of water safety caused by urbanization

表 1 城市水安全分析采用的用地分类及其含义表
Table 1 Land use classes and meanings for water safety analysis

| 土地利用现状分类 | | 按土地覆盖类型归并后的用地分类 | | |
|----------|-------------|-----------------|-----|---------------------------------|
| 编码 | 名称 | 编码 | 名称 | 说明 |
| 01 | 耕地 | 01 | 水域 | 指陆地水域,包括河流、沟渠、人工水景等长期被水体覆盖的区域 |
| 02 | 园地 | | | |
| 03 | 林地 | | | |
| 04 | 草地 | | | |
| 05 | 商服用地 | 02 | 湿地 | 在降雨过后一段时间内被水覆盖的区域,包括人工湿地和天然湿地 |
| 06 | 工矿仓储用地 | | | |
| 07 | 住宅用地 | 03 | 绿地 | 包括耕地、园地、林地、草地和其他用地中种植植物的区域 |
| 08 | 公共管理与公共服务用地 | | | |
| 09 | 特殊用地 | | | |
| 10 | 交通运输用地 | 04 | 硬铺地 | 包括居民点、工业、商服用地及交通用地等以不透水下垫面为主的区域 |
| 11 | 水域及水利设施用地 | | | |
| 12 | 其他土地 | | | |

1.1 水域、湿地对水安全的影响

城市发展过程中,其区域内水域、湿地经过千百年的自然演化,必然和本地的水文、生态等系统协调一致,任何人为的改变必然会引起水系统破坏,造成水安全问题。水域具有蓄洪、泄洪功能,设计合理的水域

还可以缓解部分水质问题;湿地以其特有的地形储存暴雨产生的径流,其中丰富的动植物与微生物可以滞留、吸附并净化水中的污染物。城市水域、湿地面积比重的下降,将直接导致城市调蓄能力下降。特别是在较大的暴雨发生时,城市的市政排水管网往往难以承担量少峰高的城市短时暴雨产生的内涝,造成城市短时间大面积严重积水。此外,水域、湿地面积比重的下降也加剧了城市的热岛效应,同时使城市水生动植物失去栖息之地,破坏城市生物的多样性,使城市水系统的自净能力与安全性降低。

1.2 硬铺地对水安全的影响

城市中如屋面、街道、人行道和停车场等硬铺地滞水性极差,直接导致城市径流速度增大和径流量增加,使已有排水明沟、阴沟及桥涵过水能力不足,造成城市水灾害,如交通中断、地下通道淹没、房屋和财产遭受破坏等。由于硬铺地的透水性极差,城市用水大量开采地下水后,不能及时有效地得到补充,导致地面沉降加剧,进一步加大城市防洪除涝压力。由于硬铺地的热力状况,硬铺率的增加破坏了城市气候微循环,加剧了城市的热岛效应,促进城市降水,进而增加雨水径流量。此外,硬铺地上的尘土、杂质、渣滓及各类污染物在降雨期被径流无阻拦、无处理地冲洗进入河道,使城市地区河道中污染物浓度增加。

1.3 绿地对水安全的影响

城市绿地的滞水性与渗透性,可以降低城市的径流速度、减少径流量,并推迟径流峰值的出现、减少峰量,形成对雨水进行地下渗透回归与储存利用的防洪排水系统,极大地减轻城市的防洪排涝压力,补充地下水,改善城市水文系统。城市绿地植物对污染物有截留、固化、净化作用,使得径流进入河道时的污染物浓度降低,防止污染物浓度超过污水处理设施负荷导致的污染物溢出,污染受纳水体。此外,绿地特有的蒸腾作用,可以促进城市气候微循环,缓解热岛效应,进而缓解雨洪压力。

2 层次分析法确定城市用地水安全影响强度

2.1 层次分析法简介

层次分析法(analytic hierarchy process,AHP)是美国数学家 Satty. T. L. 在 20 世纪 80 年代提出的。它综合整理人们的主观判断,把定量与定性相结合,是一种有效处理难以用定量方法来分析问题的手段^[4]。

层次分析法就方法本身来说都是比较成熟的。首先将所要分析的问题层次化,根据问题的性质和要达到的总目标,将问题分解成不同的组成因素,按照因素间的相互关系及隶属关系,将因素按不同层次聚集结合,形成一个多层分析结构模型,最终形成指标层相对于总目标的重要程度的权重问题。运用层次分析法作系统分析,大致经过结构模型建立、判断矩阵构造、指标权重确定和综合评价 4 个步骤。

2.2 建立层次结构模型

根据城市水安全问题的特征,将城市水安全作为目标层(A);将城市水安全中城市水污染问题、城市水灾害问题、城市沉降问题和城市气候微循环问题作为准则层(B);将城市用地方式作为因素层(C),由于城市土地利用方式与水安全之间存在的关系受到土地利用类型及其空间分布的影响^[5-6],因此,因素层包括 4 类用地的比重与空间分布和城市总用地规模 9 个因素。以此建立层次结构模型(图 2)。

2.3 构造判断矩阵并求各要素权重

2.3.1 构造判断矩阵

同一层次中各因素对上一层次中某一准则的重要性进行两两比较,写成如下矩阵形式:

$$A=(b_{ij})_{n\times n}$$

式中,A—判断矩阵;n—两两比较的因素数目; b_{ij} —因素 U_i 比 U_j 相对于某一准则重要性的比例度,可按 1~9 比例标度对重要性程度赋值(表 2)。

先根据相关文献[1,3,7-8]掌握各个水安全问题的严重性,再根据城市规划、水处理和水文环境等 50 多名专家学者的打分求其算数平均(表 3),最后得到 $B_1\sim B_4$ 数据。按照各层因素指标相对应上一层准则层指标影响程度大小建立判断矩阵。

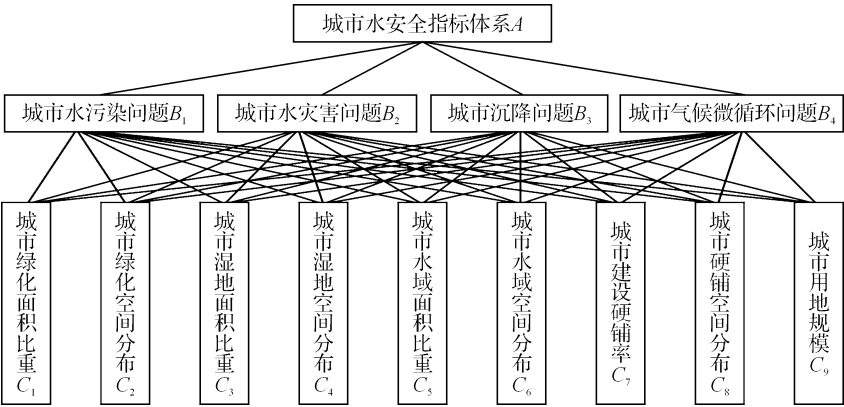


图 2 城市用地水安全参数层次结构模型

Fig. 2 Hierarchical structure model of urban water safety parameters

表 2 相对重要程度对照表

Table 2 Important degree contrast

| 标度 | 含义 |
|---------|---------------------|
| 1 | 2 个要素相比,具有相同重要性 |
| 3 | 2 个要素相比,前者比后者稍重要 |
| 5 | 2 个要素相比,前者比后者明显重要 |
| 7 | 2 个要素相比,前者比后者强烈重要 |
| 9 | 2 个要素相比,前者比后者极端重要 |
| 2,4,6,8 | 上述相邻判断的中间值 |
| 倒数 | 2 个要素相比,后者比前者的重要性标度 |

表 3 各土地利用方式对水环境影响打分平均值

Table 3 Expert scoring on effects of urban land use

| 土地利用 | 水污染 | 水灾害 | 城市沉降 | 气候微循环 |
|---------|-------|-------|-------|-------|
| 绿化面积比重 | 6.963 | 5.370 | 6.222 | 8.077 |
| 绿化空间分布 | 4.926 | 3.407 | 4.111 | 7.120 |
| 湿地面积比重 | 6.444 | 6.148 | 7.704 | 8.162 |
| 湿地空间分布 | 5.815 | 4.296 | 5.407 | 7.361 |
| 水域面积比重 | 5.889 | 6.926 | 6.148 | 6.758 |
| 水域空间分布 | 3.259 | 5.630 | 5.148 | 4.162 |
| 城市建设硬铺率 | 7.630 | 8.592 | 8.926 | 6.683 |
| 硬铺空间分布 | 5.111 | 6.333 | 7.852 | 4.764 |
| 城市用地规模 | 2.037 | 2.778 | 3.963 | 2.157 |

2.3.2 计算判断矩阵的特征向量

计算判断矩阵的特征向量,然后经正规化的特征向量即为相对权重向量。

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, (i, j = 1, 2, \cdots, n)$$
$$W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n b_{ij}$$

2.3.3 一致性检验

一致性检验指标定义为：

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \quad \lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i}$$

式中： $(AW)_i$ — AW 的第*i*个分量， $W = (W_1, W_2, \cdots, W_n)$ ； λ_{\max} —判断矩阵的最大特征根； n —判断矩阵的阶数； W_i —因素*i*的特征向量，即相对权重。

然后，从表 4 中查取随机性指标 RI，计算随机一致性指标 CR， $CR = CI/RI$

阶数>2 时，当 $CR < 0.1$ 时，可认为判断矩阵的一致性符合要求，否则，应重新进行判断，构建新的判断矩阵，使其最终满足一致性检验要求。

经过验证，判断矩阵的一致性检验合格。其计算结果见表 5~8。

表 4 随机性指标 RI 数值

Table 4 Values of randomness index RI

| <i>n</i> | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|
| RI | 0.52 | 0.89 | 1.12 | 1.24 | 1.32 | 1.41 | 1.45 |

2.4 综合评价

采用加权法计算城市土地利用各指标对城市水安全的影响程度,如表 9 所示;对这 9 个指标进行排序,结果如下。城市建设硬铺率 $C_7 >$ 城市绿化面积比重 $C_1 >$ 城市湿地面积比重 $C_3 >$ 城市水域面积比重 $C_5 >$ 城市硬铺空间分布 $C_8 >$ 城市湿地空间分布 $C_4 >$ 城市绿化空间分布 $C_2 >$ 城市水域空间分布 $C_6 >$ 城市用地规模 C_9 。

表 9 权重总排序
Table 9 Total sequencing of weights

| | C_1 | C_2 | C_3 | C_4 | C_5 | C_6 | C_7 | C_8 | C_9 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 权重 | 0.132 | 0.095 | 0.136 | 0.112 | 0.123 | 0.082 | 0.156 | 0.114 | 0.050 |
| 排序 | 2 | 7 | 3 | 6 | 4 | 8 | 1 | 5 | 9 |

按照指标类型分,土地覆盖类型占总影响的 54.7%,各土地覆盖类型分布方式占总影响的 40.3%。按照每类土地覆盖类型面积比重和分布方式的总分,硬铺地对城市水安全影响最大,占 27.0%,其次为湿地,占 24.8%,再次为绿地,占 22.7%,最后为水域,占 20.5%,其中硬铺地与城市水安全为负相关,湿地、绿地和水域为正相关。而城市用地规模所占比例最少,仅为 5.0%。

3 结 语

通过运用层次分析法定量地得到了土地利用参数对城市水安全的影响程度。由前文可见,影响较大的几个指标是建设用地硬铺率、绿化面积比重、湿地面积比重;各类土地覆盖类型的分布方式对城市水安全问题的影响略小于其面积比重,但也是不可忽视的;在控制建设硬铺率,保证绿化、湿地、水域面积比重,合理分布各土地覆盖类型的前提下,城市用地规模对城市水安全影响不大。

因此,水安全在城市化过程中需要合理的土地利用方式加以保证:一是严格控制硬铺率,通过聚集式开发的途径,增大开发强度,提高容积率,以此获得更多的可渗透地面;二是防止建设用地连成一体,使城市在很大范围内缺少透水区域,阻断地下水的补给;三是保持开发土地和开放空间的平衡,并在道路、停车场、广场的设计建设中尽可能地选择一些透水性建筑材料;四是城市中加强绿地与湿地的建设,不仅要考虑绿地、湿地的面积,更要注重其分布方式。在保持相同面积湿地或绿地的前提下,合理的斑块化程度比集中建设有更好的水安全效果。

参考文献:

[1] 史正涛,刘新有. 城市水安全的概念、内涵与特征辨析[J]. 水文,2008,28(5):24-27.
[2] 夏军,左其亭. 国际水文科学研究的新进展[J]. 地球科学进展,2006,21(3):256-261.
[3] 严立冬,岳德军,孟慧君. 城市化进程中的水生态安全问题探讨[J]. 中国地质大学学报:社会科学版,2007,7(1): 57-62.
[4] Satty T L. The analytic hierarchy process[M]. New York: MC-Craw-Hill,1980.
[5] Schultz G A. Remote sensing in hydrology[J]. Journal of Hydrology,1988,100(1/3):239-265.
[6] Smith L C. Satellite remote sensing of river inundation area, stage, and discharge: a review[J]. Hydrological Processes,1997,11:1427-1439.
[7] 李川. 秦淮河流域江宁区水环境承载力评价及可持续利用研究[D]. 南京:河海大学,2008:15-18.
[8] 张翔,夏军,贾绍凤. 水安全定义及其评价指标数的应用[J]. 资源科学,2005(3):145-149.