

城市防洪工程效益分析*

吴新¹, 黄强¹, 邓晓青²

(1 西安理工大学 水电学院, 陕西 西安 710048; 2 西安市 市政工程管理处, 陕西 西安 710001)

[摘要] 针对防洪工程的特点, 根据实际发生的历史洪水灾害淹没调查资料, 采用数理统计的方法, 推导出了工程防洪效益函数。通过蒙特卡罗模拟计算工程使用期的防洪效益, 为工程设计阶段和工程竣工时的工程防洪效益分析计算提供了一个可资利用的方法。

[关键词] 城市防洪; 防洪工程; 效益分析

[中图分类号] TV 87; F407.903.8

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2005)07-0108-03

我国是一个洪涝灾害频繁发生的国家, 许多城市都有防洪要求, 特别是沿海城市, 建立、健全城市防洪体系, 是保障城市健康发展、人民安居乐业的基础^[1]。城市防洪体系本身不创造直接的经济效益, 只有防洪工程抵御了一定标准的致灾洪水, 减免城市遭受洪涝损失, 才能使其效益得到体现。

城市防洪体系如此重要, 规划防洪工程时, 是否标准越高越好。分析城市防洪工程效益的产生机制, 可以看出, 防洪工程抵御不同频率的致灾洪水, 就会产生不同的防洪减灾效益。如果防洪工程设计标准很高, 在工程有限的生命期内, 很少或没有遇到设计洪水, 将会使工程无法充分发挥其防洪减灾作用。从风险分析的角度来看, 防洪堤设计标准低, 堤防建设费用就低, 但城市要承担较大的防洪风险; 反之, 防洪堤设计标准高, 堤防建设费用就高, 则城市要承担较大的经济风险。

如何在城市的防洪工程规划设计阶段选择合适的设计标准? 如何准确评价现存防洪工程的功效? 要解决这些问题就必须进行防洪工程的效益计算。

目前, 国外主要采用支付意愿法(willingness to pay)^[2,3]和效益价值树(benefits' value tree)^[4]计算防洪工程的效益。而国内计算防洪工程分析效益的方法有两种^[5,6]: (1) 频率法。计算不同频率洪水在有、无工程情况下的洪水损失差值, 则所有频率的洪水损失差值之和即为防洪工程的效益。(2) 实际年系列法。在实际发生的洪水系列中, 选择典型的洪水系列, 计算每次洪灾的损失, 洪灾损失的算术平均值即

为防洪工程的效益。以上两种防洪工程效益的分析方法各有利弊, 频率法中, 工程使用期内遭遇的洪水频率组合为未知数, 而实际年系列法中典型洪水系列的选择带有很大的主观性, 故这两种分析方法的计算结果偏差较大, 且无法对所得到的计算结果进行统计分析。

本研究根据防洪工程的特点和实测历史资料, 采用数学模拟工程效益计算的方法, 推导出了防洪工程效益函数, 以期防洪工程设计和效益计算提供科学依据。

1 城市防洪工程效益的随机模拟计算

城市防洪工程的效益表现为: 当遇到小洪水时, 防洪工程可以保证城市不受损失; 当遇到致灾洪水时, 防洪工程可以减少损失; 当遇到超设计洪水时, 洪灾损失值可能陡增(图 1)。一般情况下, 有防洪工程时的致灾洪水流量要大于没有防洪工程时的流量, 但洪灾损失总量还是小于无防洪工程时的情况, 其关系如图 1 所示。

2 防洪工程效益计算

防洪工程的效益可以分为一场洪水的效益和工程使用期内的效益。一场洪水的效益是防洪工程遭遇某频率洪水时产生的效益; 工程使用期内的效益是工程使用期内遭遇致灾频率洪水组合产生的减灾效益之和。显然, 一场洪水的效益是个确定性问题, 工程使用期内的效益是随机不确定问题。

* [收稿日期] 2004-09-14

[基金项目] 陕西省教育厅水资源与环境重点实验室项目“人类活动对区域水循环的影响”(02JS37)

[作者简介] 吴新(1964-), 男, 四川广安人, 在读博士, 主要从事水文水资源研究。

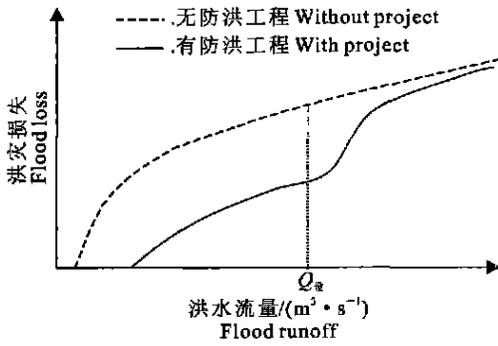


图 1 洪峰流量与洪灾损失关系曲线

Fig 1 The relation curve of peak flood runoff and flood loss

现以某城市防洪堤效益计算为例, 建立城市防洪工程效益计算模型, 探索工程设计阶段或工程竣

工时防洪效益的计算方法。该工程的现状是: 某北方城市拟投资 3.84 亿元按 50 年一遇设计洪水标准 (相应洪峰流量为 23 600 m³/s), 三级堤防设计, 超高 1.5 m 对原有城市防洪堤进行加高, 培厚 9.359 km, 补强加固 10.968 km, 修新堤 14.08 km。按静态投资计算, 此工程占已有防洪堤投资的 8%, 按长度本工程处理的堤防长度为现存防洪堤长度的 11%。为分析计算此次投资对整个城市防洪发挥的作用, 按整个城市防洪堤效益的 10% 计算本工程的效益。

2.1 一场洪水的效益计算

根据该市历史洪水灾害淹没统计表, 此防洪工程竣工前 (1989 年) 洪水淹没面积按无本工程计算, 此后该工程发挥效益, 减少了洪水淹没面积, 见表 1。

表 1 北方某市历史洪水淹没资料统计

Table 1 Flood information in the history of the North China city

时间 Time	淹没面积/万 hm ² Flooded area	洪峰流量/ (m ³ ·s ⁻¹) Peak runoff	时间 Time	淹没面积/万 hm ² Flooded area	洪峰流量/ (m ³ ·s ⁻¹) Peak runoff
1961-07	3.36	2 270	1981-08	3.80	5 380
1961-10	4.04	2 700	1982-08	0.73	1 620
1962-07	2.36	3 540	1983-09	2.02	4 160
1963-05	2.63	4 570	1984-09	0.46	3 900
1964-09	3.53	5 130	1986-06	0.09	2 980
1965-07	1.32	3 200	1988-08	0.55	3 980
1966-07	2.87	5 180	1989-08	0.13	2 630
1968-09	1.16	5 000	1990-07	0.44	3 250
1973-09	1.67	5 010	1991-06	0.03	1 680
1974-09	0.12	3 150	1992-08	3.22	3 950
1975-10	1.82	4 010	1994-07	0.77	2 000
1976-08	0.35	4 900	1996-07	2.37	3 500
1977-07	2.20	4 470	1998-08	0.20	1 620
1980-07	1.48	3 770	2000-10	1.90	1 890

依此数据拟合本工程建成前后的洪水淹没线 (图 2)。

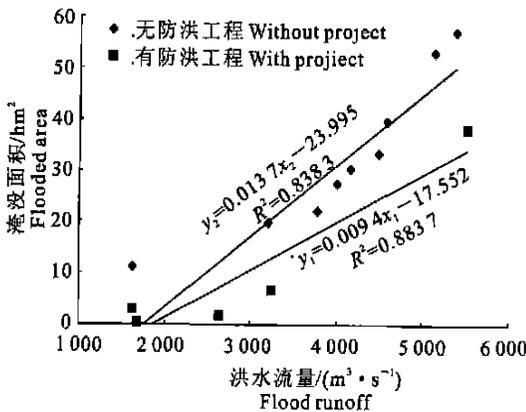


图 2 北方某市有无防洪工程时的洪水淹没面积比较

Fig 2 Flood damage of the North China city with or without flood control project

由图 2 可知, 有防洪工程时的洪水淹没面积为:

$$Y_1 = 0.0094X_1 - 17.552 \quad (1)$$

式中, X₁ 为洪峰流量 (m³/s); Y₁ 为淹没面积 (万 hm²)。

无防洪工程时的洪水淹没面积为:

$$Y_2 = 0.0137X_2 - 23.995 \quad (2)$$

令 X₁ = X₂ = Q, 则本工程减少的洪水淹没面积为:

$$Y = Y_2 - Y_1 = 0.0043Q - 6.443 \quad (3)$$

该地区 2003 年洪水的洪峰流量为 3 570 m³/s, 代入式 (3) 可知本工程减少洪水的淹没面积为 0.593 万 hm²。通过调查分析此次洪水损失情况, 该地区每万 hm² 淹没面积损失为 5.865 亿元, 则本工程一次洪水的减灾效益为:

$$b = 5.865 \times (0.0043Q - 6.443) =$$

$$5.865 \times 0.593 = 3.48 \text{ (亿元)} \quad (4)$$

2.2 工程使用期内的效益模拟计算

工程使用期的静态效益为:

$$B = \sum_{i=1}^n b_i \quad (5)$$

式中, B 为工程使用期内的静态效益; n 为工程使用年限; b_i 为第 i 年工程的防洪效益。如果考虑效益的时间价值, 以工程竣工产生效益的年份为效益评价计算基准年, 则其效益为:

$$B = \sum_{i=1}^n \frac{b_i}{(1 + i_s)^n} \quad (6)$$

式中, i_s 为社会折现率。因为 b_i 是洪水流量 Q 的函数, 即 $b_i = f(Q)$ 。代入(6)式得:

$$B = \sum_{i=1}^n \frac{f(Q_i)}{(1 + i_s)^n} \quad (7)$$

由(7)式可知, 工程使用期内的效益是一系列随机未知数 Q_i 的函数, 虽然可以通过各种方法求得函数 $f(Q)$ 的表达式, 但 B 还是无法解析计算。

为求 B , 可以用蒙特卡罗 (Monte Carlo) 方法^[7]。蒙特卡罗方法又称为随机模拟 (Random simulation) 法或统计试验 (Statistical testing) 法^[8], 其基本思想是假设 X 是随机变量 ξ 的数学期望 $E(\xi)$, 那么近似确定 X 的方法是对 ξ 进行 N 次重复抽样, 产生相互独立的 ξ 值序列 $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \dots, \xi_n$, 并计算其算术平均值:

$$\bar{\xi}_n = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \xi_n \quad (8)$$

根据柯尔莫哥罗夫加强大数定理有:

$$P(\lim_{N \rightarrow \infty} \bar{\xi}_n = x) = 1 \quad (9)$$

即(7)的求解变成计算一系列随机模拟洪水流量值产生的效益均值问题。

该市防洪工程使用期定为 30 年, 社会折现率 i_s 取为 7%, 效益计算基准年定为 2003 年, 则(7)式可

写为:

$$B = \sum_{i=1}^{30} \frac{5.86 \times (0.0003Q_i - 0.43)}{(1 + 7\%)^i} \quad (10)$$

根据该市设计洪水成果, Q 均值为 $8880 \text{ m}^3/\text{s}$, 偏差系数 C_v 为 0.56, 离差系数 C_s 为 2.24, 按 P-III 型分布, 用舍选法^[9]随机生成一组 30 个洪水系列值 Q_1, Q_2, \dots, Q_{30} , 代入(10)式中, 可得到 1 个效益值 B 。不断重复这一步骤, 可得到表 2 所示的结果。

表 2 工程使用期防洪效益模拟

Table 2 Random simulation project benefit 亿元

模拟次数 Simulation times	效益均值 Benefit average	标准差 Standard error
1 000	83.39	11.20
5 000	85.64	12.09
10 000	85.63	11.62
20 000	85.14	11.65

由表 2 可知, 该市防洪工程使用期防洪效益 (2003 年折现值) 为 85 亿元, 本次建设的防洪工程使用期防洪效益 (2003 年折现值) 为 8.5 亿元。

3 结 论

从本文的分析、计算过程可知: (1) 基于蒙特卡罗随机模拟的工程效益计算方法, 概念清晰, 物理含义明确, 能模拟工程使用期所有可能的效益组合情况, 为工程设计、管理提供很好的可预见性。(2) 在工程规划设计阶段和工程竣工时, 该效益计算方法通过大量洪水系列的模拟, 涵盖了有利和不利的洪水系列组合, 便于工程设计人员和管理人员了解工程使用期间可能发生的状况。(3) 当效益模拟次数足够多时, 其均值趋于稳定, 效益评价结果可信度较高。

[参考文献]

[1] Zbigniew W K, Jun X. Towards and improved flood preparedness system in China[J]. Hydrological Sciences Journal, 2004, 49(6): 941-944

[2] Shabman L, Stephenson K. Searching for the correct benefit estimate: empirical evidence for an alternative perspective[J]. Land and Economics, 1996, 72(11): 433-449

[3] Shabman L, Stephenson K. The possibility of community-wide flood control benefits: evidence from voting behavior in a bond referendum[J]. Water Resources Research, 1992, 28(4): 959-964

[4] Banae Costa C A, Antao da Silva P, Correia F N. Multicriteria evaluation of flood control measures: the case of ribeira do livramento[J]. Water Resources Management, 2004, 18(3): 263-283

[5] 董 胜, 王 腾. 防洪工程项目的风险评估[J]. 水利学报, 2003, (9): 19-24

[6] 白炳华. 防洪效益计算方法综述[J]. 水利经济, 1995, (2): 15-22

[7] 董 胜, 刘德辅. 防洪效益的随机模拟[J]. 中国海洋大学学报, 1998, 28(1): 118-122

[8] 徐钟济. 蒙特卡罗方法[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985

[9] 丁 晶, 刘授权. 随机水文学[M]. 北京: 水利水电出版社, 1997

(下转第 114 页)

- [7] 张雅彬, 孙在宏, 吴长彬, 等. 基于 GIS 的土地利用总体规划管理信息系统的开发与研究[J]. 南京师范大学学报(自然科学版), 2004, 27(2): 107- 110
- [8] 毕宝德, 柴 强, 李 铃. 土地经济学[M]. 第 4 版. 北京: 中国人民大学出版社, 2001.

Designing and developing of urban land rent collection management system based on GIS

REN L i-yan¹, L I W ei-fang¹, HUANG T ian-yuan¹, NIE Y i-m in²

(1 The Faculty of Architectural Civil Engineering and Environment, Ningbo University, Ningbo, Zhejiang 315211, China;

2 The College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China)

Abstract: This paper introduced the design principles, system configurations and basic functions of the land rent collection management system based on GIS. The realization of data editing, land rent calculating and data analysing applying VBA and internet distribution with ArcMS were discussed. This system realized the basic functions of land rent collection management, and achieved the information management and dynamic management primarily.

Key words: land rent collection; GIS; ArcGIS; VBA

(上接第 110 页)

Abstract ID: 1671-9387(2005)07-0108-EA

Benefit analysis of city flood control project

WU X in¹, HUANG Q iang¹, DENG X iao-q iang²

(1 College of Water Resource and Hydroelectricity Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China;

2 Xi'an Municipal Administration Bureau, Xi'an, Shaanxi 710001, China)

Abstract: In terms of the real flood damage investigation, the benefit function was obtained. The project's duration benefit induced by using Monte Carlo random simulation will be helpful in making the analysis of flood control benefits during the project designing and completing periods.

Key words: city flood; flood control project; benefit analysis