

文章编号 :1671 - 683X(2002)03 - 0022 - 03

水资源系统灰色风险计算模型

吴泽宁¹, 王 敬¹, 赵 南²

(1. 郑州大学环境与水利学院, 河南 郑州 450002; 2. 信阳市水利局, 河南 信阳 464000)

摘 要: 针对水资源系统中广泛存在的灰色不确定性的特征, 从水资源系统风险的一般概念和表示方法出发, 将灰色系统理论和风险分析理论相结合, 提出了水资源系统灰色风险率、灰色风险度的概念, 并导出了相应的计算公式. 以某河道的洪水风险分析为例, 对模型和方法进行了验证, 结果证明模型和方法是可行性的, 可用于水资源系统灰色不确定因素产生的风险分析计算.

关键词: 风险分析; 水资源; 灰数; 灰色风险率; 灰色风险度

中图分类号: TV 213.9 **文献标识码:** A

在水资源系统的规划与管理过程中, 不可避免地要碰到大量的不确定因素. 这些不确定因素必将导致水资源系统规划管理和运行决策具有风险. 因此, 研究和完善水资源系统风险分析模型和方法, 对提高水资源系统决策的科学性、减小决策失误, 具有理论和实用价值. 现有的水资源系统风险分析方法主要是针对随机不确定性, 采用概率统计方法, 来定量描述风险出现的概率(即风险率)和风险的变异性(即风险度). 但是, 大量实践表明, 在水资源系统决策过程中, 除存在随机不确定性、模糊不确定性^[1]之外, 还广泛存在着部分信息已知、部分信息未知的灰色不确定性. 对这种不确定性产生的风险, 概率统计方法已难以处理. 鉴于此, 本文在实践的基础上, 将灰色数学理论和风险的一般概念及表示方法相结合, 针对灰色不确定性, 探讨灰色风险分析的计算模型和方法, 以期丰富和完善水资源系统风险分析手段.

1 风险的概念及度量方法

1.1 水资源系统风险的概念

由于水资源系统的复杂性和人类认识的局限性, 水资源开发利用活动和决策都伴随着不确定性的影响, 因而不可避免地冒一定风险. 如洪水灾害、水环境污染等等. 有关水资源系统风险的定义

甚多, 且各有侧重. 概括起来, 水资源系统风险泛指在特定时空环境条件下, 水资源系统中所发生的非期望事件. 具体讲, 是指水体及其环境和人类水事活动过程中潜在的对社会经济及生态环境构成不利影响或危害的非期望事件. 从结构工程的角度, 可应用广义荷载 λ 与广义阻尼 p 的关系来定义系统风险. 广义荷载反映系统在某一外部压力作用下的行为, 广义阻尼是描述系统克服外部荷载能力的特征变量. 当系统荷载超过阻尼 ($\lambda > L$) 时, 系统发生失事事件 A , 系统风险即为系统荷载大于阻尼的可能性, 即

$$P(A) = P(\lambda > L). \quad (1)$$

例如, 在供水工程为满足各用户需要而供水的条件下, 广义荷载就是用户总需水量, 而广义阻尼就是供水工程的供水量, 则供水事故风险率为供水量不能满足总需水量的事件发生的可能性.

1.2 随机事件的概率及风险率

在风险分析中, 对风险出现的可能性及大小有两种度量方法: 一种是基于风险出现的概率, 采用“风险率”度量; 一种是基于风险的变异性测度, 采用“风险度”度量.

随机事件 A 的概率 $P(A)$ 可以表达为

$$P(A) = \int_A dp; \quad (2)$$

收稿日期: 2002 - 05 - 14; 修订日期: 2002 - 06 - 10

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G1999043608) 2000 年度河南省杰出青年科学基金项目; 河南省科技攻关项目(0224660030).

作者简介: 吴泽宁(1963 -) 男, 河南省光山县人, 郑州大学教授, 河海大学在读博士研究生, 主要从事水资源系统分析和水利经济领域方面的研究.

或

$$P(A) = \sum_{x_i \in A} p(x_i); \tag{3}$$

$$P(A) = \int \chi_A(x) dp = E(\chi_A(x)). \tag{4}$$

式中： $\chi_A(x)$ 为 A 的特征函数； $E(\cdot)$ 为期望值。

根据事件 A 的性质，风险率有两种确定方法：

(1)如果事件 A 为“失事事件”(如洪水灾害)，则事件 A 的风险率就是事件 A 的概率，即

$$FP = P(A) \tag{5}$$

(2)如果事件 A 为“安全事件”(如可供水量)，则事件 A 的风险率计算式为

$$FP = 1 - P(A). \tag{6}$$

1.3 风险度计算

期望值计算式

$$E(x) = \sum_{x_i \in A} x_i p(x_i), \tag{7}$$

或
$$E(x) = \int_A x f(x) dx, \tag{8}$$

式中： $x_i, p(x_i)$ 为离散型风险变量及相应的概率； $f(x)$ 为连续型风险变量的密度函数。

标准差计算式为

$$\sigma = \sqrt{D(x)} = \sqrt{E(x - \bar{x}^2)}; \tag{9}$$

风险度(即变异系数)计算式为

$$FD = \frac{\sigma}{E(x)}. \tag{10}$$

2 灰数的概念及数学描述

由于事物的复杂性、信道上的噪音干扰，以及接受系统能力的限制，人们只能把握系统的部分信息或信息所呈现的大致范围，而不知其全部信息或确切信息量。这种部分已知，部分未知的信息称为灰色信息^[2]。邓聚龙教授 1987 年把“某个只知道大概范围，而不知道其确切值的数”，称为灰数^[3]。可见，描述灰色量的数——“灰数”不是普通的数，也不是模糊数，而是只知其范围、不知其真值的数集。

2.1 灰集合定义

所谓 G 是论域 U 上的一个灰子集，是指给定了从 U 到闭区间 $[0, 1]$ 的两个映射

$$\bar{\mu}_G: U \rightarrow [0, 1], u \rightarrow \bar{\mu}_G(u) \in [0, 1]$$

和

$$\underline{\mu}_G: U \rightarrow [0, 1], u \rightarrow \underline{\mu}_G(u) \in [0, 1]$$

其中， $\bar{\mu}_G \geq \underline{\mu}_G$ ， $\bar{\mu}_G$ 与 $\underline{\mu}_G$ 分别称为 G 的上隶属函数和下隶属函数。 $\bar{\mu}_G(u)$ 与 $\underline{\mu}_G(u)$ 分别称为元素

u 相对于 G 的上隶属度和下隶属度。

2.2 灰数定义

设论域 $U = R$ ，则称灰集合

$G = \{x, \underline{\mu}(x), \bar{\mu}(x) | x \in R, \underline{\mu}(x), \bar{\mu}(x) \in [0, 1]\}$ 为灰数，并简记作 G 。

3 灰色风险计算模型

把上述风险率、风险度计算方法引进到灰色系统中，得到灰色风险分析的计算模型。

3.1 灰色风险率计算

灰色事件 \hat{A} 的灰色概率 $P(\hat{A})$ 可以表达为

$$P(\hat{A}) = \int_U \frac{\underline{\mu}(x) + \bar{\mu}(x)}{2} dp = E\left(\frac{\underline{\mu}(x) + \bar{\mu}(x)}{2}\right), \tag{11}$$

或

$$P(\hat{A}) = \sum_{x_i \in \hat{A}} \frac{\underline{\mu}(x_i) + \bar{\mu}(x_i)}{2} p(x_i). \tag{12}$$

式中： $p(x_i)$ 为 x_i 对应的概率；其它符号同前。

设灰色事件 \hat{A} 的灰色概率为 $P(\hat{A})$ ，则灰色风险率的计算也有两种情况：

(1)如果灰色事件 \hat{A} 为“失事事件”(如洪水灾害)，则灰色事件 \hat{A} 的灰色风险率就是灰色事件 \hat{A} 的概率，即

$$FP(\hat{A}) = P(\hat{A}). \tag{13}$$

(2)如果灰色事件 \hat{A} 为“安全事件”(如安全供水量)，则灰色事件 \hat{A} 的灰色风险率计算式为

$$FP(\hat{A}) = 1 - P(\hat{A}). \tag{14}$$

灰色风险率表示灾害出现可能性的大小，其数值越大，出现灾害的可能性也越大。

3.2 灰色风险度计算

灰色事件 \hat{A} 的期望值：

$$E(\hat{A}) = \frac{\int_U x \frac{\underline{\mu}(x) + \bar{\mu}(x)}{2} dp}{\int_U \frac{\underline{\mu}(x) + \bar{\mu}(x)}{2} dp} = \frac{\int_U x \frac{\underline{\mu}(x) + \bar{\mu}(x)}{2} dp}{P(\hat{A})}; \tag{15}$$

或

$$E(\hat{A}) = \frac{\sum_{x_i \in \hat{A}} x_i \frac{\underline{\mu}(x_i) + \bar{\mu}(x_i)}{2} p(x_i)}{P(\hat{A})}. \tag{16}$$

方差定义为

$$\sigma^2(\hat{A}) = \frac{1}{P(\hat{A})} \int_U (x - E(\hat{A}))^2 \frac{\underline{\mu}(x) + \bar{\mu}(x)}{2} dx = E(\hat{A}^2) - (E(\hat{A}))^2. \tag{17}$$

其中 $E(\hat{A}^2) = \frac{1}{P(\hat{A})} \int_U x^2 \frac{\mu(x) + \bar{\mu}(x)}{2} dp. (18)$

灰色事件 \hat{A} 的灰色风险度定义为

$$FD(\hat{A}) = \frac{\sqrt{\sigma^2(\hat{A})}}{E(\hat{A})}$$
$$= \frac{\sqrt{\frac{1}{P(\hat{A})} \int_U (x - E(\hat{A}))^2 \frac{\mu(x_i) + \bar{\mu}(x)}{2} dx}}{\frac{\int_U x \frac{\mu(x_i) + \bar{\mu}(x)}{2} dx}{P(\hat{A})}}$$
$$= \frac{\sqrt{E(\hat{A}^2) - (E(\hat{A}))^2}}{E(\hat{A})}. \tag{19}$$

灰色风险度用来表示风险的高低,其数值越

大,表示风险越高;反之,风险越低.

4 应用举例

某河道上无骨干控制工程,为提高其防洪决策水平,拟对该河道洪水进行风险分析.根据其控制水文站的长期观测资料,进行统计分析,得到控制站洪峰流量(单位: m^3/s)不同区间 $(0, 1500)$, $(1500, 2500)$, $(2500, 3500)$, $(3500, 4500)$, $(4500, \infty)$ 及其概率如表 1 所示.为了表达方便,用代表流量值 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 分别代表各区间.

表 1 河道洪峰流量区间及对应概率

Tab.1 Interval and its probability of peak flood observed in a river

序号 i	1	2	3	4	5
流量区间/ m^3/s	$(0, 1500)$	$(1500, 2500)$	$(2500, 3500)$	$(3500, 4500)$	$(4500, \infty)$
流量代表值 x_i / m^3/s	1000	2000	3000	4000	5000
概率 $p(x_i)$	0.7	0.1	0.1	0.05	0.05

仅就“洪水”概念而言,它是一个模糊概念.但,对于“洪水灾害”事件本身,是一个灰色事件.比如说,同一流量的洪水,会因自然条件和人为条件的不同,可能带来不同大小的洪水灾害.于是,可以用一个灰数来进行表达.根据该河道历史上洪灾的实际情况,定义洪灾灰色事件 \hat{A} , 即

$$\hat{A} = (0, 0)/1000 + (0, 0.5)/2000 + (0.5, 1)/3000 + (1, 1)/4000 + (1, 1)/5000.$$

由式(12)得 \hat{A} 的灰色概率为

$$P(\hat{A}) = 0.7 \times 0 + 0.1 \times 0.25 + 0.1 \times 0.75 + 0.05 \times 1 + 0.05 \times 1 = 0.2.$$

则 \hat{A} 的灰色风险率为

$$FP(\hat{A}) = P(\hat{A}) = 0.2.$$

由(15)式得 \hat{A} 的期望值:

$$E(\hat{A}) = (1000 \times 0 \times 0.7 + 2000 \times 0.25 \times 0.1 + 3000 \times 0.75 \times 0.1 + 4000 \times 1 \times 0.05 + 5000 \times 1 \times 0.05)/0.2 = 3620.5;$$

由式(17)得 \hat{A} 的方差:

$$\sigma^2(\hat{A}) = (1000^2 \times 0 \times 0.7 + 2000^2 \times 0.5 \times 0.1 + 3000^2 \times 0.75 \times 0.1 + 4000^2 \times 1 \times 0.05 + 5000^2 \times 1 \times 0.05)/0.2 - 3620.5^2 = 1516979.75;$$

由式(18)得 \hat{A} 的灰色风险度为

$$FD(\hat{A}) = \frac{\sqrt{1516979.75}}{3620.5} = 0.340.$$

由计算结果可知,该河道洪灾风险率为 0.2,即发生洪灾的可能性为 20%,且洪灾风险度为 0.34,说明该河道的洪水风险是比较大的.因此,

在防洪工作中,要及时收集洪水信息,采取必要的工程和非工程措施,以降低洪水风险.

5 结束语

本文针对水资源系统中广泛存在的灰色不确定性可能带来的风险,在分析灰色不确定性特征的基础上,从水资源系统风险的一般概念和表示方法出发,将灰色系统理论和风险分析理论结合,提出了水资源系统灰色风险率、灰色风险度的概念,并导出了相应的计算公式.由于水资源系统中引起“水灾害”的有些特征参数是一个区间灰数,其引起灾害的可能性也是一个区间灰数,采用灰色风险分析方法来计算这些特征参数产生的风险,考虑了“水灾害”上下隶属度(即灰色性)的作用,更充分地利用了数据信息,使计算结果更合理.通过某河道的洪灾风险的分析计算,证明模型是可行性的,模型和方法是对传统水资源系统分析手段的有益补充.

参考文献:

[1] 左其亭, 吴泽宁. 模糊风险计算模型及应用研究[J]. 郑州工业大学学报, 2001, 22(3): 78~80.
[2] 贺北方, 刘正才. 灰色系统理论方法与应用[M]. 北京: 气象出版社, 1995. 11~37.
[3] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1987. 64~65.

48.

[7] BRUNDTLAND G H. Our Common Future , Report of the World Commission on Environment and Development[M]. Oxford :Oxford University Press ,1987. 3 – 15.

[8] SIMONOVIC A P. Modeling and management of sustainable basin-scale water resource systems ,proceedings of I-

AHS symposium 6[J] ,IAHS Publication . 1995 ,231 :1 – 11.

[9] ZBIGNIEW W ,KUNDZEWIOZ. Water resources for sustainable development[J]. Hydrological Sciences ,1997 ,42 (4) 467 – 480.

Theory and Application of Hydraulic Plan Oriented to Sustainable Development

ZUO Qi – ting¹ , ZHANG Hao – hua² , OU Jun – li³

(1. College of Environmental & Hydraulic Engineering ,Zhengzhou University ,Zhengzhou 450002 ,China ; 2. Zhengzhou Management Office of Municipal Engineering ,Zhengzhou 450000 ,China ; 3 Xinjiang Institute of Water Resources & Hydroelectric Investigation and Design ,Urimuq 810002 ,China)

Abstract : Sustainable Development has become basic guiding ideology of social development and economic development , especially when the contradiction between environment and development is becoming more and more acute. Under the condition of the new idea ,the hydraulic plan and management have been given a new meaning. The idea of sustainable development must been considered in hydraulic plan new. In this paper new concepts about hydraulic plan under the idea of sustainable development have been introduced. The quantitative study method and study steps are firstly put forward. At the end of the paper a case study , water resources management of the Bositeng Lake that is the biggest inland fresh water lake in the inland region of Northern-West part of China ,has been addressed. A series of analysis and case study are given to show that the idea and method are very good. The paper provides exercisable and concrete methods for practical application of hydraulic plan oriented to sustainable development.

Key words : sustainable development ; management of sustainable water resources ; hydraulic plan ; quantitative method

(上接第 24 页)

Grey Risk Calculation Model for Water Resources System

WU Ze – ning¹ , WANG Jing¹ , ZHAO Nan²

(1. College of Environmental & Hydraulic Engineering ,Zhengzhou University ,Zhengzhou 450002 ,China ; 2. Xinyang Water Conservancy Bureau ,Xinyang 464000 ,China)

Abstract : Characteristics of grey uncertainty existing widely in water resources system is discussed. From the general concept and expression of risk ,the concepts of grey risk probability , grey risk degree and their calculation models are put forward combining grey system theory with risk analysis theory. Taking a river flood risk analysis , the model and method are certified. The result shows that the model and method are applicable and can be used to calculate the risk resulting from grey uncertainty factors.

Key words : risk analysis ; grey ; grey number ; grey risk probability ; grey risk degree