

# 施工导流工程风险的保险费用厘定方法研究

陈志鼎, 胡志根

(武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 武汉 430072)

[摘要] 在分析导流工程风险因素、综合风险率和工程保险期限的基础上,研究导流工程失效后淹没基坑造成损失的次数及其分布规律,提出导流系统失效后的总损失服从非齐次复合 Poisson 过程,建立基于导流工程保险损失的聚合风险模型,给出施工导流工程保险费用的厘定方法及其数学表达,为水利水电工程保险费的厘定提供理论方法。

[关键词] 导流风险;工程保险;保险费;非齐次复合 Poisson 过程

[中图分类号] TV551.1;F840.681 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2011)04-0106-07

## 1 前言

水电工程建设过程受诸多的风险因素影响,其中洪水风险是主要因素之一。在评估洪水风险对水电工程建设影响时,应该克服一个认识上的误区:即以项目设计的防洪标准来评估项目的建设风险。项目设计的防洪标准是指在项目建设完成之后抵御洪水风险的能力,而在项目建设过程中的大部分时期内,则不具备这样的防洪能力。如大坝设计防洪能力为 100 年一遇,而在建设过程中导流系统设计防洪可能是 20 年一遇,在坝体建设达到一定高度之前,应更多关注导流系统的防洪能力。施工导流建筑物作为临时建筑物,其运行期风险是水电工程施工导流方案选择的重要指标,是施工导流科学决策的理论基础。据国外水电建设的统计,施工导流费用占工程总费用的 5%~20%,其中河床式电站约占 15%。我国施工导流费用一般占总工程投资的 4%~15% 或占主体建筑物(坝、电站)等总投资的 10%~30%<sup>[1]</sup>。施工导流的成败直接影响到主体工程建设。洪水漫顶垮堰可能使工程建设严重受阻,工期大幅延长,从而带来巨大的损失。因此,应通过风险分析和比较选择最优的导流标准进行导流

工程设计。然而,导流标准主要是指选择施工导流设计流量的标准,导流设计流量是一个定量,是根据建筑物施工和运行期内可能遭遇的最大施工导流或最不利施工流量所确定的设计流量,它是一个预估值,与实际施工流量存在着误差。也就是说,在导流工程施工和运行期内存在着超标洪水的可能,而超标洪水出现可能使导流系统失效,淹没基坑而造成工程建设上的损失。因此,为了降低工程损失可通过工程保险将导流工程风险转嫁给保险公司。

对于导流风险的研究,国内外研究者们进行了广泛而深入的探讨<sup>[2-7]</sup>。工程保险研究方面,Imriyas和赵挺生等分析了建筑工程意外伤害保险及其费率的厘定<sup>[8-11]</sup>;Wang 等对我国监理职业责任保险开展研究,提出监理职业责任保险制度的基本框架<sup>[12]</sup>;王雪青以天安保险公司的监理责任保险条款为基础确定基本费率,将影响费率的其他因素根据其影响力的大小定量为修正系数,加入定价模型中以确定工程监理责任保险的最终费率<sup>[13]</sup>;傅鸿源等将径向基函数(radical basis function, RBF)神经网络方法引入风险分析,建立基于 RBF 网络的工程保险费率确定模型,进行纯保险费费率的厘定<sup>[14]</sup>;Islam H El-Adaway 等提出用实物期权理论进行建设

[收稿日期] 2010-08-31

[基金项目] 国家“十一五”科技支撑计划项目(2008BAB29B02);国家自然科学基金项目(51079115)

[作者简介] 陈志鼎(1974—),男,湖北黄梅县人,副教授,主要从事工程风险与保险研究方面的工作;E-mail:chen\_zhiding@163.com

工程保险定价<sup>[15]</sup>,并在研究建设工程风险组合保险的可行性基础上,提出了自助法进行保险费的厘定,用实例验证了该方法的有效性<sup>[16]</sup>。对导流工程保险与保险费厘定的研究文献很少,盛继亮等在对风险及工程风险进行综合阐述的基础上,对施工导流系统遭遇超标准洪水情况下的工程保险进行了一些初步探讨,提出了结合工程的具体特性进行保险的思路,但没有给出具体的导流工程保险费的厘定数学表达<sup>[17]</sup>。文章将在具体分析导流工程失效后损失的基础上,建立基于导流工程失效后总损失的聚合风险模型,并在确定单次失效损失分布的基础上,进行工程保险费厘定。

## 2 导流工程风险

导流系统的主要功能是为保证主体工程干地施工提供条件,如果导流系统功能失效,洪水将会淹没基坑,阻碍工程建设,给工程带来损失。因此,可将施工导流风险定义为导流系统在其使用寿命期内,不能够发挥其功能或失效的可能性。影响导流工程功能发挥的因素有施工洪水的随机性、导流建筑物的泄洪随机性、施工进度随机性和其他随机性。而水文、水力随机性引起的导流系统风险与由施工进度的随机性引起的导流系统风险是随机相互独立的。在不考虑其他随机性因素的情况下,根据文献<sup>[18]</sup>由独立事件概率计算的特点计算综合风险 $R$ ,即

$$R = (1 + R_s)P\{Z_{ul}(t) \geq H_{uc}(t)\} \quad (1)$$

式(1)中, $Z_{ul}(t)$ 为第 $t$ 月上游围堰堰前水位或坝体坝前水位; $H_{uc}(t)$ 为第 $t$ 月上游围堰堰顶高程或坝体顶部高程; $R_s$ 为施工进度风险。

## 3 导流风险工程保险

对于建设工程转移风险有两种方式:一是通过建设承包合同实现的在业主和承包商之间的转移,此时遵循谁最有能力承担风险和承担风险成本最小原则进行风险分担<sup>[19]</sup>;二是通过保险合同实现风险向保险公司的转移。前者是在工程内部环境中进行风险分担,后者的转嫁则是在工程内部环境和外部环境之间进行。导流工程作为水电工程,是关键的工程,其失事后的损失并非某一工程建设参与方能独立承担的,因此可将其风险通过保险合同的形式转嫁给保险公司。

### 3.1 工程保险时限

工程保险属财产保险的一种,普通财产保险的

保险期一般为12个月,但工程保险特别是建筑工程保险期限与普通财产保险不同,原则上是根据工期来确定。导流工程风险的保险时限又不同于一般的建筑工程保险,因为导流系统是为了使水工建筑物能在干地上进行施工,而用围堰围护基坑将水流引向预定的泄水通道向下游宣泄的系统。因此,导流工程风险的保险时限应为导流工程开始使用到导流工程发挥完其系统功能的时间,也就是导流系统的使用期,如图1所示从 $t_2$ 到 $t_4$ 的时间,即保险期限大小为 $t_4 - t_2$ 。

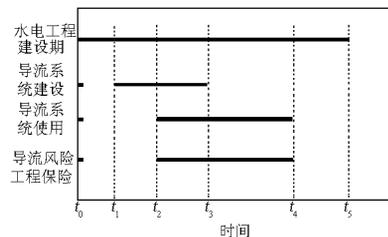


图1 施工导流工程风险的保险期限

Fig. 1 Insurance period of construction diversion project

### 3.2 保险费的构成

保险费是保险基金的主要来源,也是保险人履行赔偿与给付义务的基础,是投保人转移风险应支付的成本。保险费由纯保费或风险保费、附加费用和利润组成<sup>[20]</sup>。

纯保费一般是根据损失来制定,作为风险事故发生后支付赔偿的费用。在数量上纯保费等于赔偿的费用。在工程保险费率厘定的过程中,由于对损失期望值的估计是人们对客观随机风险做出的主观判断或者对历史数据做的先验推断,因此实际的赔付期望值可能会高于预先估计值,给保险公司造成经营风险。为了消除这方面的风险,保险公司在厘定费率时一般会考虑风险不确定性的影响,增加一个安全浮动数,这样得到的保险费称为风险保费。附加费用是指保险公司在厘定保费时考虑保险运营成本、税赋、代理人佣金、管理费等成本。一般情况下附加费用是按损失期望的一定比例计算。利润是指保险进保险经营活动中应获得的合理利润,利润按损失期望的比例进行计算。

### 3.3 保险费的厘定

由保险费构成分析可知,保险费可按式(2)进行计算。

$$P_r = E(S) + F(I(S)) + k_1 E(S) + k_2 E(S)$$

$$\begin{aligned}
 &= E(S) + Fl(S) + (k_1 + k_2)E(S) \\
 &= E(S) + Fl(S) + kE(S) \quad (2)
 \end{aligned}$$

式(2)中,  $P_r$  为保费;  $E(S)$  为损失  $S$  的期望;  $Fl(S)$  为安全浮动数;  $E(S) + Fl(S)$  为纯保险费或风险保费;  $k_1$  为附加费系数;  $k_2$  为利润系数;  $k$  为附加费与利润综合系数。

### 3.3.1 安全浮动数的确定

安全浮动数  $Fl(S)$  可以用以下 3 种方法确定。

期望值原理:

$$Fl(S) = \theta E(S) \quad (3)$$

标准差原理:

$$Fl(S) = \theta \sigma \quad (4)$$

方差原理:

$$Fl(S) = \theta \sigma^2 \quad (5)$$

式(3)~(5)中,  $\theta$  为浮动系数;  $\sigma$  为损失的标准差。

### 3.3.2 保险费确定

由安全浮动数确定的 3 种方法, 可得保险费的计算方法。将式(3)~(5)代入式(2)可得相应的保险费计算:

期望值原理:

$$P_r = E(S) + \theta E(S) + kE(S) \quad (6)$$

标准差原理:

$$P_r = E(S) + \theta \sigma + kE(S) \quad (7)$$

方差原理:

$$P_r = E(S) + \theta \sigma^2 + kE(S) \quad (8)$$

由式(6)~(8)可知, 只要  $E(S)$ 、 $\theta$ 、 $k$  3 个参数确定就可以厘定出工程的保险费。 $E(S)$  的计算取决于所选的样本即历史数据;  $\theta$  取决于对  $E(S)$  预测的准确程度;  $k$  值只需对保险公司往年财务成本支出和利润预期进行分析就可得到, 一般取 0.06 ~ 0.12。

## 4 基于导流风险的工程保险费厘定

### 4.1 导流系统失效次数

工程保险费主要是在确定导流系统使用期内发生导流系统失效后总损失的基础上进行厘定, 总损失与失效次数以及每次失效后的损失有关。根据式(1)求得导流系统综合风险率, 是导流系统失效的可能概率。当量洪水是指与导流综合风险率具有等量年发生概率的洪水, 为了计算导流系统失效次数, 将导流综合风险率转换成当量洪水重现期  $T_c$  (洪水重现期是洪水频率的一种表示方法, 是指堰

址处发生某一强度洪水多年平均重复出现的时间间隔, 即多少年一遇, 例如, 20 年一遇洪水是指这一洪水强度在很长一段时间内平均 20 年才出现一次, 其每年发生的概率为 0.05, 若将导流综合风险率看作洪水发生的概率, 则其倒数即为当量洪水重现期, 即当量洪水重现期  $T_c$  为:

$$T_c = \frac{1}{R} \quad (9)$$

用设计标准来评估导流系统失效次数时, 若当量洪水重现期大于设计洪水重现期, 则将会使失效次数的估计偏大; 若当量洪水重现期小于设计洪水重现期, 将会使失效次数的估计偏小, 因此用当量洪水重现期来评估导流系统失效次数更为合理。根据当量洪水重现期, 确定当量挡水流量  $Q_c$ , 再根据当量挡水流量与历史水文数据进行分析统计确定导流系统失效次数。

根据河道水文流量变化特点及工程实际情况, 选取某一单位时间 (该单位时间应视具体情况而定, 一般不能过大或过小, 因为在工程实际中两次靠得很近的洪水可视作一次洪水。而单位时间选得过大, 则会将两次相距较远的洪水视作一次洪水而丢失一些信息, 一般按工程实际情况多取月为单位<sup>[21]</sup>) 内最大流量值, 以此组成 (月) 最大流量序列, 则可统计出年内各单位时间如月流量大于当量挡水流量  $Q_c$  的记数强度:

$$\hat{\lambda}_j = \frac{n_j}{n_0} \quad (j=1, 2, \dots, 12) \quad (10)$$

式(10)中,  $\hat{\lambda}_j$  为第  $j$  月遭遇超过当量洪水时的记数强度  $\lambda_j$  的估计值;  $n_0$  为样本容量, 即已知实测水文资料年数;  $n_j$  为  $n_0$  年内第  $j$  月遭遇超过当量洪水的统计个数。

若设计导流系统使用期为  $t$  年, 则区间  $(0, t]$  内 Poisson 过程的累积计数强度为:

$$A_t = \int_0^t \lambda(t) dt \quad (11)$$

其离散的估计值为:

$$\hat{A}_t = [t] \sum_{j=1}^{12} \hat{\lambda}_j + \sum_{j=1}^{[12t - 12[\cdot]]} \hat{\lambda}_j \quad (12)$$

式(12)中,  $[\cdot]$  为对  $\cdot$  取整数。则在导流系统使用寿命期  $(0, t]$  内导流系统失效发生损失的点事件记数过程  $\{N_t, t \geq 0\}$  有记数概率:

$$P(N_t = k) = \frac{\hat{A}_t^k}{k!} \exp(-\hat{A}_t) =$$

$$\frac{\left[ \sum_{j=1}^{12} \hat{\lambda}_j + \sum_{j=1}^{[12r-12[ i]]} \hat{\lambda}_j \right]^k}{k!} \exp\left\{ - \sum_{j=1}^{12} \hat{\lambda}_j - \sum_{j=1}^{[12r-12[ i]]} \hat{\lambda}_j \right\} \quad (13)$$

## 4.2 导流系统失效引起的工程损失分布

### 4.2.1 损失的内容

导流系统一旦失效导致基坑过水所引起的损失主要有三类。一类是工程修复费用,主要包括导流建筑物的修复费用和主体工程的修复费用。主体工程修复费用是指主体工程遭破坏后修复到过水前状态的费用。第二类是工程施工相关的费用,主要包括施工场地清理费用(包括基坑再次排和基坑淤)、施工人员和设备的闲置费用及施工人员和设备的转移费用(指施工人员和设备的再进场费用)、施工设备的损失费用和施工人员伤亡的赔偿费用。第三类费用是指社会经济损失,主要包括工期损失导致的发电等综合损失和其他损失费用,其他损失是指导流系统失效后,对下游城镇、交通干线、工矿企业等造成的损失。

在上述损失中,施工设备的损失、施工人员伤亡等一般有各自的险种或相应的附加险进行赔偿。工期损失导致的发电等综合损失和其他损失费用一般不属于工程保险理赔范围之内。因此,文章讨论的工程保险所赔偿的损失主要包括导流建筑物的修复费用、主体工程修复费用、施工场地清理费用、施工人员和设备闲置费用、施工人员和设备的转移费用。

设对于任意一次导流系统失效后可保险的损失为  $X$ ,如第  $i$  次失效后的损失为  $X_i$ ,则:

$$X_i = x_{i1} + x_{i2} + x_{i3} + x_{i4} + x_{i5} = \sum_{j=1}^5 x_{ij} \quad (14)$$

式(14)中,  $X_i$  为导流系统第  $i$  次失效后的损失;  $x_{i1}$  为导流系统第  $i$  次失效后,导流建筑物的修复费用;  $x_{i2}$  为主体工程的修复费用;  $x_{i3}$  为施工场地清理费用;  $x_{i4}$  为施工人员及设备的闲置费用;  $x_{i5}$  为施工人员和设备的转移费用。

在工程实施过程中,由于受多种偶然的因素影响,上述各种损失  $x_{ij}$  均表现出某种随机性,因此  $X_i$  也是随机变量。

### 4.2.2 损失的分布及其数字特征

我国工程保险产生和发展的历史不长,对经验数据和历史资料的统计、积累、分析有限,水电工程导流风险的工程保险数据资料就更少了。因此,下面仅对几种特殊的损失分布进行讨论。

1) 若第  $i$  次导流系统失效造成的损失  $X_i$  服从正态分布:  $X_i \sim N(\mu, \sigma_X)$ , 则  $E(X) = \mu, D(X) = \sigma_X^2$ ;

2) 若第  $i$  次导流系统失效造成的损失  $X_i$  服从均匀分布:  $X_i \sim U(a, b)$ , 则  $E(X) = \frac{a+b}{2}$ ,

$$D(X) = \frac{(b-a)^2}{12};$$

3) 若第  $i$  次导流系统失效造成的损失  $X_i$  服从三角分布:  $X_i \sim T(a, m, b)$ , 则  $E(X) = \frac{1}{3} \left[ \frac{m-a}{b-a} + 1 \right]$ ,  $D(X) = \frac{1}{18} \left[ 1 - \frac{m-a}{b-a} \times \frac{b-m}{b-a} \right]$ 。

## 4.3 总损失模型

### 4.3.1 聚合风险模型

设导流系统在其使用寿命期年内,发生洪水淹没次数为  $N$  次,第  $i$  次的保险赔付损失为  $X_i$ ,各次损失是独立同分布(*i. i. d.*),则导流系统在使用寿命期年总损失  $S$  为  $N$  个随机变量  $X_i$  的总和,即:

$$S = X_1 + X_2 + \dots + X_N \quad (15)$$

则  $S$  的数字特征如下<sup>[22]</sup>:

$$\begin{aligned} E(S) &= E_N\{E(S|N)\} \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} E(X_1 + X_2 + \dots + X_n | N = n) P(N = n) \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} [nE(X)] P(N = n) \\ &= E(X)E(N) \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} D(S) &= D_N\{E(S|N)\} + E_N\{D(S|N)\} \\ &= D_N\{E(X) \cdot N\} + E_N\{N \cdot D(X)\} \\ &= E^2(X)D(N) + D(X)E(N) \end{aligned} \quad (17)$$

### 4.3.2 基于导流风险的工程保险费总损失模型

在导流系统使用寿命期  $(0, t]$  内导流系统失效的随机记数过程  $\{N_t, t \geq 0\}$  可用 Poisson 过程描述,而对任意一次(如第  $i$  次,  $0 \leq i \leq N_t$ ) 失效后损失费用可用随机变量  $X_i$  表示,则在导流时段内导流系统失效后总损失费用  $S(t)$  可表示为:

$$S(t) = \sum_{i=1}^{N_t} X_i \quad (18)$$

一般  $\{X_i\}$  是与时间过程和记数过程无关的随机变量序列,且序列  $\{X_i\}$  各元素本身是独立同分布的随机变量,故式(18)是一个典型的非齐次复合 Poisson 过程。则其矩母函数为:

$$\begin{aligned} M_S(u) &= E(e^{us(t)}) = \sum_{n=0}^{\infty} P\{N(t) = n\} \\ &\quad E[e^{us(t)} | N(t) = n] \end{aligned}$$

$$= \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t} E(e^{u(X_1+X_2+\dots+X_n)})$$

$$N(t) = n$$

$$= \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t} (E(e^{uX_1}))^n \quad (19)$$

$X$  的矩母函数为:

$$M_X(u) = E(e^{uX}) \quad (20)$$

故

$$M_S(u) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(\lambda t M_X(u))^n}{n!} e^{-\lambda t} = e^{\lambda t M_X(u) - 1} \quad (21)$$

对式(21)在  $u=0$  处求一阶导数和二阶导数得:

$$E(S) = M'_S(u) = \lambda t E(X) \quad (22)$$

$$D(S) = M''_S(u) = \lambda t E(X^2) \quad (23)$$

#### 4.4 施工导流风险的工程保险费厘定

下面就针对不同损失分布讨论导流工程失效所造成损失的保险费的厘定。

##### 4.4.1 损失服从正态分布

期望值原理计算保险费为:

$$P_r = (1 + \theta + k) \lambda t \mu \quad (24)$$

标准差原理计算保险费为:

$$P_r = (1 + k) \lambda t \mu + \theta \sqrt{\lambda t (\sigma_X^2 + \mu^2)} \quad (25)$$

方差原理计算保险费为:

$$P_r = (1 + k) \lambda t \mu + \theta \lambda t (\sigma_X^2 + \mu^2) \quad (26)$$

##### 4.4.2 损失服从均匀分布

期望值原理计算保险费为:

$$P_r = (1 + \theta + k) \lambda t \frac{a+b}{2} \quad (27)$$

标准差原理计算保险费为:

$$P_r = (1 + k) \lambda t \frac{a+b}{2} + \theta \sqrt{\lambda t \frac{b^2 + ab + a^2}{3}} \quad (28)$$

方差原理计算保险费为:

$$P_r = (1 + k) \lambda t \frac{a+b}{2} + \theta \lambda t \frac{b^2 + ab + a^2}{3} \quad (29)$$

##### 4.4.3 损失服从三角形分布

期望值原理计算保险费为:

$$P_r = (1 + \theta + k) E(S) = \frac{1}{3} (1 + \theta + k) \lambda t \left[ \frac{m-a}{b-a} + 1 \right] \quad (30)$$

标准差原理计算保险费为:

$$P_r = \frac{1}{3} (1 + k) \lambda t \left[ \frac{m-a}{b-a} + 1 \right] + \theta \lambda t \sqrt{\frac{1}{6} \left[ 1 + \frac{m-a}{b-a} + \left( \frac{m-a}{b-a} \right)^2 \right]} \quad (31)$$

方差原理计算保险费为:

$$P_r = \frac{1}{3} (1 + k) \lambda t \left[ \frac{m-a}{b-a} + 1 \right] + \frac{1}{6} \theta \lambda t \cdot \left[ 1 + \frac{m-a}{b-a} + \left( \frac{m-a}{b-a} \right)^2 \right] \quad (32)$$

各种损失分布情况下的3种原理的保险费计算汇总见表1。

表1 保险费计算表达式汇总表

Table 1 Summary of premium calculation formulas

	正态分布 $X_i \sim N(\mu, \sigma_X)$	均匀分布 $X_i \sim U(a, b)$	三角形分布 $X_i \sim T(a, m, b)$
期望值原理	$(1 + \theta + k) \lambda t \mu$	$(1 + \theta + k) \lambda t \frac{a+b}{2}$	$\frac{1}{3} (1 + \theta + k) \lambda t \left[ \frac{m-a}{b-a} + 1 \right]$
标准差原理	$(1 + k) \lambda t \mu + \theta \sqrt{\lambda t (\sigma_X^2 + \mu^2)}$	$(1 + k) \lambda t \frac{a+b}{2} + \theta \sqrt{\lambda t \frac{b^2 + ab + a^2}{3}}$	$\frac{1}{3} (1 + k) \lambda t \left[ \frac{m-a}{b-a} + 1 \right] + \theta \lambda t \sqrt{\frac{1}{6} \left[ 1 + \frac{m-a}{b-a} + \left( \frac{m-a}{b-a} \right)^2 \right]}$
方差原理	$(1 + k) \lambda t \mu + \theta \lambda t (\sigma_X^2 + \mu^2)$	$(1 + k) \lambda t \frac{a+b}{2} + \theta \lambda t \frac{b^2 + ab + a^2}{3}$	$\frac{1}{3} (1 + k) \lambda t \left[ \frac{m-a}{b-a} + 1 \right] + \frac{1}{6} \theta \lambda t \left[ 1 + \frac{m-a}{b-a} + \left( \frac{m-a}{b-a} \right)^2 \right]$

上述各种保险费计算方法各有其特点。期望值原理将安全浮动数按损失期望值  $E(S)$  的比例进行

计算,虽然没有直接体现损失  $S$  的波的程度,但计算简单,易于操作。标准差原理和方差原理都反映了损失  $S$  的波动,标准差原理可以方便地根据置信水平来确定  $\theta$  的取值,但对于两个相互独立的风险的保险费计算不能相加,而按方差原理计算相互独立风险的保险费时,可以直接相加。

## 5 结语

施工导流工程风险是水电工程建设期间主要的工程风险之一。在水电工程建设期内主体工程还未发挥挡水作用的情况下,应以导流工程风险作为分析对象研究工程保险费的厘定。施工导流风险受施工洪水随机性、导流建筑物的泄洪随机性、施工进度随机性等诸多因素影响,设计导流标准(设计洪水重现期)不能完全反映导流风险的各影响因素,因此分析了导流工程综合风险率的基础,确定当量洪水重现期,用当量挡水流量与历史水文数据进行分析统计,从而确定导流系统在保险期限内失效次数。导流系统失事后的总损失是进行工程保险费厘定的基础,文章将导流系统在保险期限  $(0, t]$  内遭遇系统失事次数看做随机记数过程  $\{N_t, t \geq 0\}$ , 则这一随机计数过程可用 Poisson 过程来描述,导流系统失事后总损失是非齐次复合 Poisson 过程。根据期望值原理、标准差原理和方差原理 3 种保险费计算原理,假定每次损失服从正态分布、均匀分布和三角形分布 3 种分布情形下工程保险费的厘定,为水电工程施工导流风险的保险费用厘定提供了理论方法。

## 参考文献

[1] 肖焕雄. 国外施工导流情况综述及几个有关问题的探讨[J]. 水力发电, 1985(2): 54 - 58.

[2] Ben - Chie Yen. Stochastic methods and reliability analysis in water resources [J]. Water Resources Research, 1988, 24(9): 2213 - 2241.

[3] Afshar A, Barkhordary A, Marino M A. Optimizing river diversion under hydraulic and hydrologic uncertainties[J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 1994, 120(1): 36 - 47.

[4] 肖焕雄, 孙志禹. 不过水围堰超标洪水风险率计算[J]. 水利学报, 1996, 27(2): 37 - 42.

[5] Ahmed Al - Futaisi, Jery R Stedinger. Hydraulic and economic uncertainties and flood risk project design[J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 1999, 125(6): 314 - 324.

[6] 胡志根, 刘全, 贺昌海, 等. 基于 Monte - Carlo 方法的土石围堰挡水导流风险分析[J]. 水科学进展, 2002, 13(5): 634 - 638.

[7] 范锡峨, 胡志根, 刘全. 基于效用的施工导流方案多目标决策模型[J]. 中国工程科学, 2008, 10(7): 137 - 140, 157.

[8] Kamardeen Imriyas, Low Sui Pheng, Evelyn Ai - Lin Teo. A framework for computing workers' compensation insurance premiums in construction [J]. Construction Management and Economics, 2007, 25(6): 563 - 584.

[9] Kamardeen Imriyas, Low Sui Pheng, Evelyn Ai - Lin Teo, et al. Premium-rating model for workers' compensation insurance in construction [J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2008, 134(8): 601 - 617.

[10] Kamardeen Imriyas. An expert system for strategic control of accidents and insurers' risks in building construction projects [J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36(2): 4021 - 4034.

[11] 赵挺生, 胡曙海, 周伟. 基于预防的建筑意外伤害保险机制[J]. 土木工程学报, 2008, 41(10): 106 - 110.

[12] Wang Jiayuan, Liu Jian, Huang Liyuan. Study on the professional liability insurance system of the supervision engineer in China [J]. Construction Management and Economics, 2007, 25(7): 801 - 810.

[13] 王雪青, 孟海, 涛喻刚. 建设工程监理责任保险费率问题研究[J]. 土木工程学报, 2009, 42(1): 130 - 134.

[14] 傅鸿源, 姚尧, 李良. 基于 RBF 网络的工程保险费率厘定研究[J]. 系统工程理论与实践, 2008, 28(7): 169 - 172.

[15] Islam H El - Adaway, Amr A Kandil. Contractors' claims insurance: A risk retention approach [J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2009, 135(9): 819 - 825.

[16] Islam H El - Adaway, Amr A Kandil. Construction risks: single versus Portfolio insurance [J]. Journal of Management in Engineering, 2010, 26(1): 2 - 8.

[17] 盛继亮, 邓念武, 肖焕雄. 水利工程导流风险与保险研究初探[J]. 水利发展研究, 2003(9): 37 - 39.

[18] 胡志根, 范锡峨, 刘全, 等. 施工导流系统综合风险分配机制的设计研究[J]. 水利学报, 2006, 37(10): 1270 - 1277.

[19] Griffis F H, Christodoulou. Construction risk analysis tool for determining liquidated damages insurance premiums: Case study [J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2000, 126(6): 407 - 413.

[20] Tsanakas A, Desli E. Measurement and pricing of risk in insurance markets [J]. Risk Analysis, 2005, 25(6): 1653 - 1668.

[21] 肖焕雄, 孙志禹. 过水围堰初期导流费用风险率计算模型研究[J]. 武汉水利电力大学学报, 1994, 27(6): 622 - 627.

[22] Philip J Boland. Statistical and Probabilistic Methods in Actuarial Science [M]. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 2007.

# Insurance ratemaking method for risk of construction diversion project

Chen Zhiding, Hu Zhigen

(State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science,  
Wuhan University, Wuhan 430072, China)

[**Abstract**] Based on analyzing risk factors of diversion project, synthetic risk rate and engineering insurance period, the frequency and distribution law of loss were researched on the grounds that foundation pit is submerged after diversion project ceases to be effective. And then, the standpoint that these total losses are subject to non-homogeneous compound Poisson process is put forward. Furthermore, the collective risk model of the total losses about engineering insurance is established on the basis of construction diversion project risk. Ultimately, insurance ratemaking method for construction engineering risk and its mathematical expression is presented, which provides theoretical method for the insurance ratemaking of hydropower engineering to some extent.

[**Key words**] diversion risk; engineering insurance; insurance premium; non-homogeneous compound Poisson process