

# 河流水质规划的随机方法研究

黄 平  
(地理学系)

## 摘 要

运用随机微分方程理论, 推导了一个水质模型, 提出了河流水质管理的随机规划方法。该法能提供投资与风险的关系, 较好地反映了水污染过程的不确定性对水质规划的影响。

**关键词** 随机模型, 水污染, 最优化

由于工业及城市的高度发展, 大量工业和生活废水、废物排入江河湖海, 造成水体污染。

随着水污染控制工程的发展, 消除污染所需的代价也越来越大, 为了节省资金, 在不破坏河流水体的各种功能前提下, 采用处理一部分, 直接排放一部分, 充分利用水体的稀释自净能力的做法, 为系统分析技术在水污染控制规划中的应用开辟了广阔前景。

把系统优化理论运用于水质规划, 首先是建立水质模型。由于污染物浓度的沿程变化是一个不确定性过程, 故须依赖随机水质模型的建立, 相应的河流水质规划也应研究随机方法。

## 1 随机模式的建立与求解

在河流水力条件给定的情况下, 设河流中某污染物浓度变化由一随机过程 $\phi(x, \beta)$ 所定义,  $x$ 为河段距离,  $\beta$ 表示影响浓度变化的随机因素。再设 $f(\phi, x, \beta)$ 表示 $\phi(x, \beta)$ 的概率密度函数, 则据文献[1]推导的随机过程与密度函数的关系, 有

$$\frac{\partial f(\phi, x, \beta)}{\partial x} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n!} \frac{\partial^n}{\partial \phi^n} [a'_n(\phi, x, \beta) f(\phi, x, \beta)] \quad (1)$$

式中

$$a'_n = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{a_n(\phi, x, \beta)}{\Delta x}, \quad a_n(\phi, x, \beta) = \frac{1}{i^n} \left. \frac{\partial^n g}{\partial w^n} \right|_{w=0}$$

本文1988年4月18日收到

函数 $g$ 的定义为随机变量 $\phi(x + \Delta x, \beta) - \phi(x, \beta) = \Delta\phi$ 在条件 $\phi(x, \beta) = \phi'$ 下的条件特征函

数, 即  $g = g(w, \Delta\phi, \Delta x, \beta/\phi', x, \beta) = E\{e^{i w \Delta\phi} / \phi', x, \beta\}$

对式(1)两边乘上流速 $u(x)$ , 得:

$$u(x) \frac{\partial f(\phi, x, \beta)}{\partial x} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n!} \frac{\partial^n}{\partial \phi^n} [\alpha_n(\phi, x, \beta) f(\phi, x, \beta)] \quad (2)$$

式中  $\alpha_n(\phi, x, \beta) = u(x) \cdot \alpha'_n(\phi, x, \beta) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} (\alpha_n(\phi, x, \beta) / \Delta t)$

$\Delta t = u(x) / \Delta x$  表示水流传播时间

又由 $\alpha_n$ 的表达式可导得

$$\alpha_1 = E\left\{ \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \right\}, \quad \alpha_2 = E\left\{ \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\phi^2}{\Delta t} \right\}$$

对于本文问题,  $\Delta\phi / \Delta t$ 表示浓度变化率, 故当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,  $\Delta\phi^2 / \Delta t$ 要比 $\Delta\phi / \Delta t$ 小很多, 可略去不计, 于是有

$$u(x) \frac{\partial f(\phi, x, \beta)}{\partial x} = - \frac{\partial}{\partial \phi} [\alpha_1(\phi, x, \beta) f(\phi, x, \beta)] \quad (3)$$

式(3)便是反映污染物浓度随机变化的密度函数方程。

另外, 由于 $\alpha_1$ 表示浓度变化率, 故对BOD而言,  $\alpha_1 = -(K_1 + K_3)L + L_a$ , 对OD(氧亏)而言,  $\alpha_1 = K_1L - K_2D + D_b$ , 式中 $L$ 、 $D$ 分别表示BOD及OD浓度值,  $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$ 依次是耗氧、复氧及沉降系数,  $L_a$ 、 $D_b$ 分别是BOD及OD的沿程增减速率。于是从式(3)可得到与BOD、OD有关的密度函数方程

$$\begin{cases} u \frac{\partial f_L}{\partial x} = (K_1 + K_3)f_L + [(K_1 + K_3)L - L_a] \frac{\partial f_L}{\partial L} \\ u \frac{\partial f_D}{\partial x} = K_2f_D - (K_1L - K_2D + D_b) \frac{\partial f_D}{\partial D} \end{cases} \quad (4)$$

由式(4)得到与之等价的常微分方程组

$$\begin{cases} \frac{dx}{u} = \frac{dL}{-(K_1 + K_3)L + L_a} \\ \frac{dx}{u} = \frac{dD}{K_1L - K_2D + D_b} \end{cases} \quad \begin{cases} \frac{dx}{u} = \frac{df_L}{(K_1 + K_3)f_L} \\ \frac{dx}{u} = \frac{df_D}{K_2f_D} \end{cases} \quad (5)$$

当只考虑式(5)中的 $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$ 为随机常系数, 而 $L_0$ 、 $D_0$ 、 $L_a$ 、 $D_b$ 及流速 $u$ 为一般常数时, 上式左边方程组的解为

$$\begin{cases} L = L_0 C_1 + \frac{L_a}{K_1 + K_3} (1 - C_1) \\ D = D_0 C_2 + \left[ \frac{D_b}{K_2} + \frac{K_1 L_a}{K_2 (K_1 + K_3)} \right] (1 - C_2) \\ + \left[ \frac{K_1 L_a}{(K_1 + K_3)(K_2 - K_1 - K_3)} - \frac{K_1 L_0}{K_2 - K_1 - K_3} \right] (C_2 - C_1) \end{cases} \quad (6)$$

式中 $L_0$ 、 $D_0$ 为初始值,  $C_1 = e^{-(K_1+K_3)x/u}$ ,  $C_2 = e^{-K_2x/u}$   
 右边方程组的解为

$$\begin{cases} f_L(L, K_1, K_2) = f_0(L_0, K_1, K_2) e^{-(K_1+K_3)\frac{x}{u}} \Big|_{L_0 = g_1} \\ f_D(D, K_1, K_2, K_3) = f_0(D_0, K_1, K_2, K_3) e^{-K_2\frac{x}{u}} \Big|_{D_0 = g_2} \end{cases} \quad (7)$$

式中 $g_1$ 、 $g_2$ 可由式(6)求得。

进一步假定 $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$ 相互独立, 可推得

$$\begin{cases} P(L \leq y_1) = \iint_{L < y_1} f_1(K_1) f_3(K_3) dK_1 dK_3 \\ P(D \leq y_2) = \iiint_{D < y_2} f_1(K_1) f_2(K_2) f_3(K_3) dK_1 dK_2 dK_3 \end{cases} \quad (8)$$

式中 $P$ 表示概率,  $f_1(K_1)$ 、 $f_2(K_2)$ 、 $f_3(K_3)$ 依次表示 $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$ 的密度函数。

对式(8)进行数值积分, 便可分别求得 $L$ 与 $D$ 的概率值, 如依次给出不同的 $y_1$ 与 $y_2$ 值, 并重复求解(8)式, 则可求得 $L$ 与 $D$ 的分布函数<sup>[2]</sup>。

## 2 实例分析

在 $T$ 江的一个江段上, 根据用水要求, 划分了3个水质保护段(图1), 各保护段上断面距起始断面的距离依次是74.6, 168.4, 217.9km。根据地区水质控制规划的一个方案, 1990年拟建污水处理厂如图1所示, 以保证各水质保护段的水质达到标准(保护段上断面的标准为:  $BOD_5 \leq 3.0$ ,  $OD \leq 3.07$ , 即相当于 $20^\circ\text{C}$ 的情况下 $DO \geq 6.0$ )。

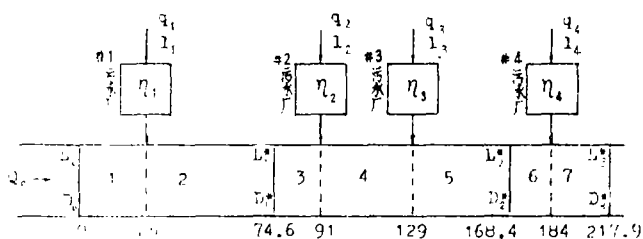


图1 水污染控制规划方案  
 Fig. 1 A controlling program for water pollution

根据江段两侧工业发展及布局情况, 预测得到进入各污水处理厂的污水流量及 $BOD_5$ 浓度于表1, 规划时河道设计流量采用 $Q_0 = 35\text{m}^3/\text{s}$ 。

表1 各污水厂污水处理量  
 Tab.1 the treated wastewater flow at each plant

污水厂序号	#1	#2	#3	#4
处理的污水量( $q_i$ )	3.09	1.36	0.90	1.02
$BOD_5$ 浓度( $l_i$ )	85.9	135.3	170.0	178.1

(污水量单位为 $\text{m}^3/\text{s}$ , 浓度单位为 $\text{mg}/\text{l}$ )

因拟建的污水处理厂投资费用 $C$ 与污水厂的处理效率 $\eta$ 有经验公式<sup>1)</sup>:  $C = q^{0.85} (1 + 10\eta^5)$  (式中 $q$ 为需处理的污水流量, 单位用 $l/s$ , 费用单位为万元), 故上述的水质规划中, 各污水处理厂的处理效率便有一个最优组合问题, 即在使各水质保护段的水质达标前提下, 各污水厂的投资如何分配, 才能使费用最省. 另外, 还需回答水污染过程的不确定性变化对方案的投资影响问题.

采用随机水质规划解决上述问题, 可分两个步骤,

(1) 确定模型参数分布, 进行水质随机模拟.

根据 $T$ 江现实的水污染情况, 收集江段上的水文、水质数据, 确定公式(6)中的  $L_a = 0$ ,  $D_b = 0.55$ , 并建立水质参数与水力参数的经验关系如下:

$$K_1 = k_1 + \beta_1 \frac{u}{\sqrt{gH}}, \quad K_2 = \beta_2' Q^\alpha = \beta_2 (uH)^\alpha, \quad K_3 = \beta_3 / H \quad (9)$$

式中 $k_1 = 0.106$ 为实验室中测定的耗氧系数,  $Q$ 、 $u$ 与 $H$ 分别是流量、流速与水深,  $g$ 为重力加速度,  $\alpha$ 为待定常数,  $\beta_i (i = 1, 2, 3)$ 为待定随机系数. 这样处理可使得率定参数 $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$ 的问题转化成率定 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_3$ 及 $\alpha$ 的问题, 其结果有两个好处, 一是增强了 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_3$ 之间的独立性(因为 $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$ 均受到流速、水深的影响, 独立性稍差), 使求解条件得到满足; 二是使 $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$ 具有动态性质, 提高模拟精度.

通常认为<sup>[3,4]</sup>:  $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$ 服从对称分布. 假定 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_3$ 服从截头尾的正态分布, 这样处理便能保证 $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$ 分布的对称, 还可使其取值具有合理性(如不取负值).

截头尾正态分布形式如下

$$f(\beta_i) = \frac{d_i}{\sqrt{2\pi} \sigma_i} e^{-(\beta_i - B_i)^2 / 2\sigma_i^2} \quad \text{其中 } \beta_i \in (0, 2B_i) \quad i = 1, 2, 3$$

$$\left. \begin{aligned} \text{式中截断系数 } d_i &= \sqrt{2\pi} \int_{-B_i/\sigma_i}^{B_i/\sigma_i} e^{-t^2/2} dt, \quad \beta_i \text{ 的均值 } E(\beta_i) = B_i \\ \beta_i \text{ 的方差 } D(\beta_i) &= \sigma_i^2 \left( 1 - \frac{2d_i}{\sqrt{2\pi}} \frac{B_i}{\sigma_i} e^{-\frac{1}{2} (B_i/\sigma_i)^2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

知道 $E(\beta_i)$ 及 $D(\beta_i)$ 后, 便能确定 $B_i$ ,  $\sigma_i$ 及 $d_i$ , 从而将 $\beta_i$ 的密度函数确定.

$E(\beta_i)$ 及 $D(\beta_i)$ 的值由研究江段上实测 $BOD_5$ 及溶氧值来推算, 计算方法详见文[5], 结果列于表2.

表2 参数率定结果  
Tab. 2 The identifying results of parameters

类别 系数	$E(\beta)$	$D(\beta)$	B	$\sigma$	d	取值区间
$\beta_1$	2.89	0.60	2.39	0.784	1.003	(0, 4.78)
$\beta_2$	0.73	0.05	0.73	0.225	1.002	(0, 1.46)
$\beta_3$	0.132	0.0034	0.132	0.067	1.052	(0, 0.264)
$\alpha$	$\alpha = 0.70$					

1) 张兰生, 污水处理厂费用函数建立与分析, 清华大学, 1982.

确定了 $\beta_i(i=1,2,3)$ 的分布及 $\alpha$ 之值后,便可将(9)、(10)式代入(6)、(8)式,再据给定的初始条件,便能进行水质模拟。表3及表4分别是184km断面上部分 $BOD_5$ 与 $OD$ 的随机计算结果与实测值的比较。

由表可知,实测值均落在计算分布的范围内,这说明模型中随机参数所用的分布形态及系数取值是可行的;另外, $BOD_5$ 与 $OD$ 的计算分布是偏态的,这同国外用偏态分布(常用对数正态分布)来模拟断面上的 $BOD_5$ 与 $OD$ 的变化也相吻合。

表3  $BOD_5$ 浓度分布计算结果Tab. 3 Probability distribution function of  $BOD_5$ 

测次序号	1	2	3	4	5	
BOD <sub>5</sub> 小于该值的 概率	0.05	0.93	0.99	1.95	2.61	1.59
	0.15	1.00	1.06	2.07	2.76	1.69
	0.35	1.08	1.15	2.20	2.95	1.82
	0.45	1.10	1.19	2.26	3.04	1.88
	0.55	1.16	1.23	2.33	3.13	1.94
	0.65	1.20	1.27	2.38	3.19	2.00
	0.75	1.24	1.32	2.47	3.32	2.08
	0.85	1.29	1.37	2.55	3.43	2.16
	0.95	1.36	1.44	2.68	3.61	2.27
	1.00	1.55	1.64	3.02	4.05	2.58
众值	1.11	1.18	2.26	3.04	1.88	
中值	1.14	1.21	2.30	3.09	1.91	
均值	1.14	1.22	2.30	3.10	1.92	
方差	0.017	0.019	0.055	0.098	0.046	
实测值	1.24	1.04	2.25	3.55	1.62	

表4 氧亏浓度分布计算结果

Tab. 4 Probability distribution function of OD

测次序号	1	2	3	4	5	
氧亏 小于该值的 概率	0.05	2.42	2.34	2.13	2.21	2.31
	0.15	2.77	2.76	2.42	2.51	2.69
	0.25	3.08	3.08	2.73	2.80	2.97
	0.35	3.37	3.37	2.92	3.01	3.23
	0.45	3.59	3.60	3.17	3.28	3.52
	0.55	3.85	3.90	3.36	3.52	3.77
	0.65	4.28	4.34	3.67	3.83	4.10
	0.75	4.64	4.73	3.96	4.14	4.44
	0.85	5.04	5.15	4.26	4.54	4.83
	0.95	6.20	6.32	5.11	5.35	5.83
众值	3.61	3.46	3.17	3.28	3.50	
中值	3.73	3.77	3.29	3.43	3.63	
均值	3.96	4.01	3.42	3.57	3.82	
方差	1.40	1.58	0.95	1.11	1.29	
实测值	4.11	3.26	3.68	5.11	3.96	

## (2) 建立随机优化模式, 求算投资风险曲线。

按照本节提出的优化问题, 并据图1所示的污水厂设置, 可得随机规划模型如下:

$$\begin{cases} \min C = \sum_{i=1}^4 q_i^{0.85} (1 + 10\eta_i^5) & 0 \leq \eta_i \leq 0.85 \quad i=1,2,3,4. \\ \text{s.t. } P(L_j^* \geq 3) \leq \gamma, & P(D_j^* \geq 3.07) \leq \gamma \quad j=1,2,3. \end{cases} \quad (11)$$

式中 $C$ 为总投资费用, $q_i$ ,  $\eta_i$ 是第 $i$ 个污水厂的处理流量及效率, $\gamma$ 是污染物浓度超过标准的概率(即风险率),  $L_j^*$ 及 $D_j^*(j=1,2,3)$ 分别是各水质保护段上断面的 $BOD_5$ 浓度及氧亏浓度, 它们与断面上游的污水厂处理率 $\eta_i$ 有关。表达式如下

$$L_1^* = (L_0 e^{-(K_{11} + K_{31}) \frac{x_1}{u_1}} + q_1 l_1 (1 - \eta_1)) e^{-(K_{12} + K_{32}) \frac{x_2}{u_2}} / (Q_0 + q_1)$$

$$D_1^* = D_0 e^{-\sum_{p=1}^2 K_{2p} \frac{x_p}{u_p}} + \sum_{p=1}^2 \left\{ \frac{D_b}{K_{2p}} (1 - e^{-K_{2p} \frac{x_p}{u_p}}) + \frac{K_{1p} l'_{p-1}}{K_{2p} - K_{1p} - K_{3p}} \right. \\ \left. \cdot [e^{-(K_{1p} + K_{3p}) \frac{x_p}{u_p}} - e^{-K_{2p} \frac{x_p}{u_p}}] e^{-\sum_{j=p+1}^2 K_{2j} \frac{x_j}{u_j}} \right\}$$

其中:  $l'_0 = L_0$ ,  $l'_1 = L_0 e^{-(K_{11} + K_{31}) \frac{x_1}{u_1}} + \frac{q_1 l_1 (1 - \eta_1)}{Q_0 + q_1}$

$$L_2^* = [l'_3 e^{-(K_{14} + K_{34}) \frac{x_4}{u_4}} + \frac{q_3 l_3 (1 - \eta_3)}{Q_0 + q_1 + q_2 + q_3}] e^{-(K_{15} + K_{35}) \frac{x_5}{u_5}}$$

$$D_2^* = D_1^* e^{-\sum_{p=3}^n K_{2p} \frac{x_p}{u_p}} + \sum_{p=3}^5 \left\{ \frac{D_b}{K_{2p}} (1 - e^{-K_{2p} \frac{x_p}{u_p}}) + \frac{K_{1p} l'_{p-1}}{K_{2p} - K_{1p} - K_{3p}} \right. \\ \left. \cdot [e^{-(K_{1p} + K_{3p}) \frac{x_p}{u_p}} - e^{-K_{2p} \frac{x_p}{u_p}}] e^{-\sum_{j=p+1}^5 K_{2j} \frac{x_j}{u_j}} \right\}$$

其中:  $l'_2 = L_1^*$ ,  $l'_3 = L_1^* e^{-(K_{13} + K_{33}) \frac{x_3}{u_3}} + \frac{q_2 l_2 (1 - \eta_2)}{Q_0 + q_1 + q_2}$

$$l'_4 = l'_3 e^{-(K_{14} + K_{34}) \frac{x_4}{u_4}} + \frac{q_3 l_3 (1 - \eta_3)}{Q_0 + q_1 + q_2 + q_3}$$

$$L_3^* = (L_2^* e^{-(K_{16} + K_{36}) \frac{x_6}{u_6}} + \frac{q_4 l_4 (1 - \eta_4)}{Q_0 + q_1 + q_2 + q_3 + q_4}) e^{-(K_{17} + K_{37}) \frac{x_7}{u_7}}$$

$$D_3^* = D_2^* e^{-\sum_{p=6}^7 K_{2p} \frac{x_p}{u_p}} + \sum_{p=6}^7 \left\{ \frac{D_b}{K_{2p}} (1 - e^{-K_{2p} \frac{x_p}{u_p}}) + \frac{K_{1p} l'_{p-1}}{K_{2p} - K_{1p} - K_{3p}} \right. \\ \left. \cdot (e^{-(K_{1p} + K_{3p}) \frac{x_p}{u_p}} - e^{-K_{2p} \frac{x_p}{u_p}}) e^{-\sum_{j=p+1}^7 K_{2j} \frac{x_j}{u_j}} \right\}$$

其中:  $l'_6 = L_2^*$ ,  $l'_7 = L_2^* e^{-(K_{16} + K_{36}) \frac{x_6}{u_6}} + \frac{q_4 l_4 (1 - \eta_4)}{Q_0 + q_1 + q_2 + q_3 + q_4}$

上式中的  $K_{1p}$ ,  $K_{2p}$ ,  $K_{3p}$ ,  $x_p$ ,  $u_p$  分别是第  $p$  个河段中的耗氧系数, 复氧系数, 沉降系数, 河段长度及流速。河段编号及其余符号的意义见图 1 所示,  $L_0$ 、 $D_0$  是起始断面上的  $BOD_5$  浓度与  $OD$  浓度, 计算时取值为  $L_0 = 3.0$ ,  $D_0 = 1.0$ 。

式(11)是一个机遇约束的优化问题, 但由于在约束中, 随机变量存在于指数的位置

上,不可能将其集中于不等号的一边,因此,式(11)的求解不能运用Charnes和Cooper<sup>[6]</sup>提出的方法,应另寻途径。

运用惩罚函数,将式(11)变成无约束的优化问题:

$$\begin{aligned} \min F = & \sum_{i=1}^4 q_i^{0.85} (1 + 10\eta_i^*) + \sum_{j=1}^3 \gamma_1 \max[P(L_j^* \geq 3) - \gamma, 0] \\ & + \sum_{j=1}^3 \gamma_1 \max[P(D_j^* \geq 3.07) - \gamma, 0] + \sum_{i=1}^4 \gamma_2 [\max(-\eta_i, 0) \\ & + \max(\eta_i - 0.85, 0)] \end{aligned} \quad (12)$$

式中 $\gamma_1$ 及 $\gamma_2$ 称惩罚因子,取较大正值。当 $\eta_i$ 取值使得概率约束不满足,或者 $\eta_i$ 在 $(0, 0.85)$ 外取值时,由于惩罚因子的作用, $F$ 的函数值将较大,反之, $F$ 的函数值才会降下来,所以惩罚因子的作用是迫使 $\eta_i$ 在其可行域中取值。

在式(12)中,虽然 $P(\dots)$ 中有随机变量,但 $P(\dots)$ 本身是一个确定值,只随 $\eta_i$ 的变化而变化,因此,式(12)也可看成是一个确定性的规划问题,这个确定性规划将随着风险率 $\gamma$ 的取值不同而有不同的最优解,当给出一系列的 $\gamma$ 值后,通过对式(12)求优,便可得到一系列的投资数,从而可建立投资与风险的关系。

由于式(12)的目标函数的导数难于计算,故其优化须采用直接搜索法,现用单纯形法来对式(12)寻优。

单纯形法寻找最优点的思想是:在 $n$ 维空间中对 $(n+1)$ 个点(它们构成一个单纯形的顶点,如平面上一个三角形的三个顶点)上的函数值进行比较,丢掉其中最坏点,并在最坏点的反对称方向进行搜索找到一个新点,从而构成一个新的单纯形,以此逐步逼近极小点。

在上述优化过程的每一步中,都要求算 $L_j^*$ 及 $D_j^*$ 的分布函数,这可由式(6)及(8)来解决。

表5给出了式(12)的优化计算结果,将表5中各个断面的最大超标风险与投资费用点绘图形得图2。

表5 随机水质规划计算结果

Tab. 5 Computing results of stochastic water quality programm

风 险 约 束	各断面超标风险率计算值						各污水厂处理率最佳组合				最小费用 (万元)
	1		2		3						
	BOD <sub>5</sub>	OD	BOD <sub>5</sub>	OD	BOD <sub>5</sub>	OD	# 1	# 2	# 3	# 4	
0.05	0.01	0.05	0.00	0.05	0.05	0.01	0.81	0.61	0.64	0.40	6074.4
0.10	0.10	0.09	0.05	0.10	0.10	0.06	0.66	0.52	0.58	0.42	3668.8
0.20	0.20	0.13	0.20	0.18	0.20	0.11	0.62	0.44	0.50	0.48	3189.8
0.35	0.35	0.17	0.35	0.28	0.35	0.18	0.57	0.42	0.47	0.45	2827.9
0.50	0.50	0.20	0.50	0.30	0.50	0.25	0.50	0.40	0.38	0.44	2490.8

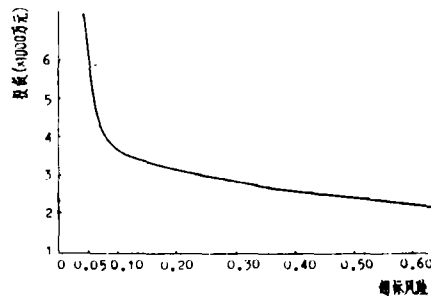


图2 投资~风险曲线

Fig. 2 Relationship between investment and risk

### 3 结 语

(1) 水流中的污染物运移、降解过程是确定性过程与随机过程的相互交织, 因此, 采用随机微分模型来描述水质变化, 研究河流水质规划的随机方法, 很有必要。

(2) 随机水质模型的计算结果给出浓度分布函数(见表3~4), 从该分布中, 既能了解浓度变化的主要趋势, 又能知道浓度变化的极端情况, 因此, 用随机模型来模拟受到众多不确定因素影响的水质变化过程, 有其独到之处。

(3) 随机规划模型将风险概念引进水质规划, 其计算结果可由投资风险关系给出(见表5及图2), 这个关系充分反映了水质变化的不确定性对工程投资的影响。由图可知, 投资与风险成反比, 投资大, 工程运行中的失误风险便小, 反之, 风险便大。该曲线揭示了规划过程中的利弊关系, 为决策者在选择方案时提供权衡、比较的余地。另外, 根据曲线的变化情况还可知道, 当要将较大的超标风险降低若干时, 只需投资少许便能收到“事半功倍”之效, 而试图使本来就较小的风险进一步降低时, 就要花费较多的资金才能达到。

### 参 考 文 献

- [1] 张炳根、赵玉芝, 科学与工程中的随机微分方程, 海洋出版社, 1980, 227—232
- [2] 黄平, 武汉水利电力学院学报, 1986, 6, 10—18
- [3] Finny B.A., Bowles D.S. and Windham, M.P. *Water. Resour. Res.*, 18(1982), 1, 112—134
- [4] Deway R.J., *J. Environ. Eng.*, 110(1984), 412—429
- [5] 黄平, 水利学报, 1988, 3, 41—48
- [6] Burna D. H. and Mcbean E.A., *Water. Resour. Res.*, 21 (1985), 7, 934—940

## The Study of the Stochastic Method for Water Quality Programme in a River

Huang Ping\*

### Abstract

This paper deduces a water quality model by using the theory of random differential equations, and proposes a stochastic method for water quality management at a river. The method can provide a relationship between investment and risk, and reveal better the effects of uncertain variations of water pollution process on water quality programme.

**Keywords** stochastic model, water pollution, optimization

---

\* Department of Geography

(上接第67页)

## Studies on the Infectivity of *Plasmodium cynomolgi bastianellii* to *Anopheles dirus*

Li Daosheng\*    Liang Dongshen    Bai Qinshen

### Abstract

*Anopheles dirus* of Hainan island origin is a good mosquito vector for plasmodium, *c. bastianellii*. The relationship of the mosquito infection to the density of parasitemia indicates that the optimum time is ten days after the peak of parasitemia. The mosquito-infection is not influenced by the method of storage of malaria parasite.

**Keywords** *plasmodium cynomolgi*, *anopheles dirus*, infectivity

---

\* Department of Biology