

---

# 武汉理工大学

数学建模暑期培训论文

## 第 3 题

基于河道一维污染源控制优化模型

## 第 21 组

姓名	方向
肖善	建模
易雨谦	建模
林荣武	编程

2016 年 8 月 13 日

---

# 基于河道一维污染源控制优化模型

## 摘要

本文针对河道一维水质污染源控制反问题建立了优化模型。在已知下游 10km 监测点污水最大浓度条件下要求求解 3km 处污染源最大排放量,在此过程,污染物存在随位移的对流、扩散以及随时间的降解过程。

首先,以下游为研究范围,将问题分解为两个阶段,第一部分是下游 0 至 3km 处,第二部分是下游 3km 至 10km,建立一维对流扩散方程,根据下游 0 位移 0 时刻初始浓度以及降解函数等给出相应的初始条件和边界条件,利用隐式差分法将偏微分方程转化为差分方程,并运用“追赶法”进行数值求解。给定流速 0.2m/s 第一阶段得到 3km 末时刻处浓度为 4.91mg/l。

然后,每次给定 3km 非恒流污染点排污后的初始混合浓度,用差分法计算 10km 末时刻监测点处污染物浓度,直到浓度达到最大值 10mg/l。在 matlab 中解得 3km 处初始混合浓度为 20.47mg/l

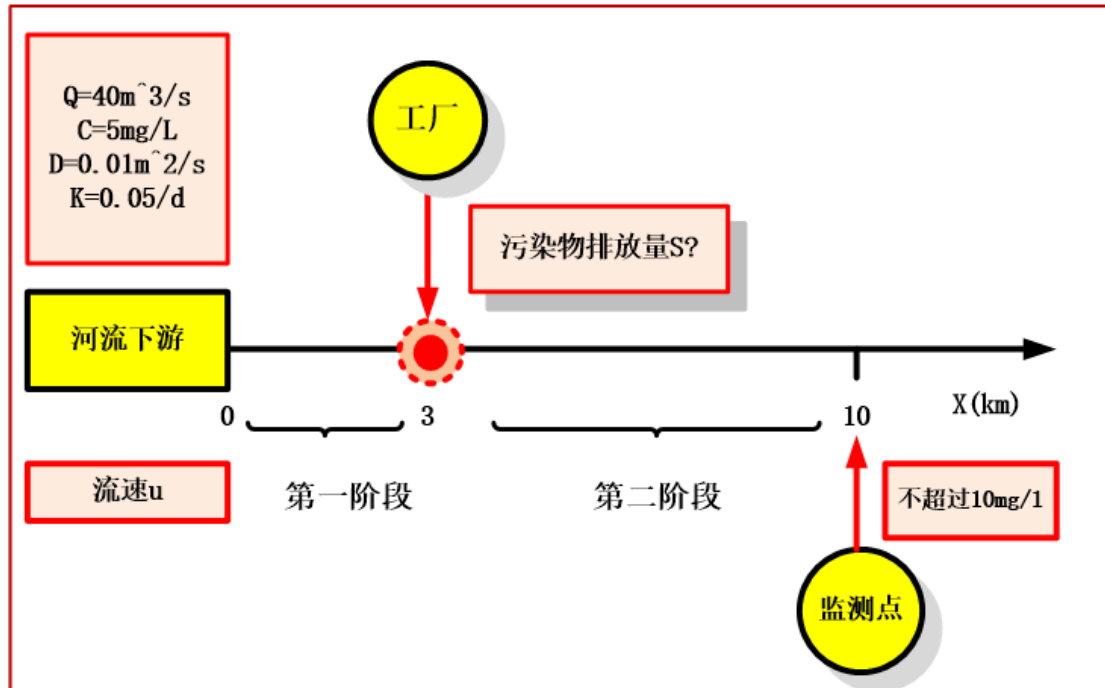
最后,结合污染物混合浓度公式,以污染源排放量最大为目标函数,构造污染源控制问题优化模型,并用粒子群算法在 matlab 中求得最大污染物单位面积单位时间排放量 1.564kg/s,相应的最大排放浓度为 34mg/L。

本文的优点是,求出结果以后改变河水流速从 0.02 至 0.18 得到流速改变情况下污染浓度变化曲线并联系实际针对三维问题等进行模型改进。

**关键词:** 对流扩散 一维水质模型 粒子群算法 隐式差分 追赶法 反问题

## 一、问题重述

某河流长为 28km，上游常年流量为  $40\text{m}^3/\text{s}$ ，某污染物浓度为大约为  $5\text{mg/L}$ ，下游 3km 处有工厂需排放相同污染物，河道的该污染物降解系数  $0.05\text{L/day}$ ，扩散系数为  $0.01\text{m}^2/\text{s}$ ，为保证下游水源安全，10km 处的该污染物监测不得超过  $10\text{mg/L}$ 。试确定该工厂最大的排污量。本题示意图如下：



## 二、问题分析

### 2.1 问题一的分析

本问题要求在满足监测点污染物浓度达标的情况下计算出污水厂的最大污水排放量，考虑到影响监测结果的最主要是污染物的浓度，而浓度的变化又是和时间及位置有关的，首先，建立一维水质对流扩散二阶偏微分方程，给出相应的初始条件和边界条件，利用隐式差分法将偏微分方程转化为差分方程，并运用“追赶法”进行数值求解。我们将此问题分解为两部分，一部分是下游 0 至 3km，在这部分中，下游初始距离初始时刻的污染物浓度已知，在这段距离时间里污染物会发生对流、扩散和降解，求到工厂时刻原有的污染物浓度，接着，工厂排放一定的污染物，对此重新计算时间与距离的变化，并且多次设定在 3km 处的污染物混合浓度直到监测点 10km 处浓度达到最大值  $10\text{mg/L}$ ，在 Matlab 中求解得到

工厂排放的最大污染物浓度，得出了在监测位置时候污染物的浓度值，再结合题目对于浓度的要求，转化为一个极大目标函数的优化问题。在 Matlab 中运用粒子群算法最终求得污水厂的最大排放污水量。

### 三、问题假设

- 1.假设河水流量及流速不发生变化。
- 2.假设污水厂排污到污染物混合于水中时间极短。
- 3.假设污染物在水中的运动形式只有对流和扩散。
- 4.假设污水厂未开始排放污水时河水中的原有污染物浓度处于稳定状态。
- 5.忽略气温，水压，空气湿度等一系列环境因素对污染物浓度的影响。

### 四、符号说明

符号	含义
$C(x,t)$	污染物浓度
$t$	时间
$x$	位置距离
$u$	流速
$E_x$	扩散系数
$K$	降解系数
$S$	污水厂排放污水量
$Q$	流量
$A$	河流横截面积
$q$	污水流量
$\overline{C_0}$	初始混合浓度
$C_w$	工厂排放污染物浓度
$\alpha$	混合系数
$C_R$	河水原有污染物浓度

---

## 五、模型的建立和求解

### 5.1 模型的建立与求解

#### 5.1.1 模型建立

##### (1) 水质混合方程

由假设 2 可知工厂排出的污水与水体混合的时间很小, 在这里我们不予考虑, 但是污水和原有水体混合之后所影响到的污染物的浓度改变是不能忽略的, 因此, 我们在下面给出水质混合浓度的计算公式<sup>[1]</sup>:

$$\bar{C}_0 = \frac{C_w q + C_R \alpha Q}{\alpha Q + q} \quad (1-1)$$

其中  $C_w$ ,  $C_R$  分别表示工厂排放的污水中污染物的浓度和河流中本身的污染物原有浓度,  $\alpha$  表示混合系数, 通常可以认为其数值等于 1<sup>[2]</sup>,  $Q$ 、 $q$  分别表示河流流量以及污水流量,  $C_w q$  即为污水厂的污水排放量<sup>[3]</sup>, 设为  $S$ 。谁知混合方程刻画了污水与河流的混合关系, 下面的扩散方程是在此基础上建立的。

##### (2) 扩散对流方程

污染物在水中存在多种运动状态, 由假设可知, 污染物的运动状态只有对流和扩散两种方式, 并且这种状态满足扩散方程<sup>[4]</sup>如下所示:

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} &= E \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - kC \\ \left\{ \begin{array}{l} C(x, 0) = 5 \\ C(0, t) = 5e^{-kt} \\ 0 < x < 10 \\ 0 < t < \frac{x}{u} \end{array} \right. \end{aligned} \quad (1-2)$$

其中  $C$  是一个关于时间  $t$  和距离  $x$  的一个二元函数，表示的是混合水体后水体中污染物的浓度。 $u, E, k$  分别表示河道的流速、水体中的扩散系数、污染物的降解系数。这是一个偏微分方程，利用差分的思想可以进行数值求解。

其中边界条件 0km 处和 3km 处污水降解函数图像如下：

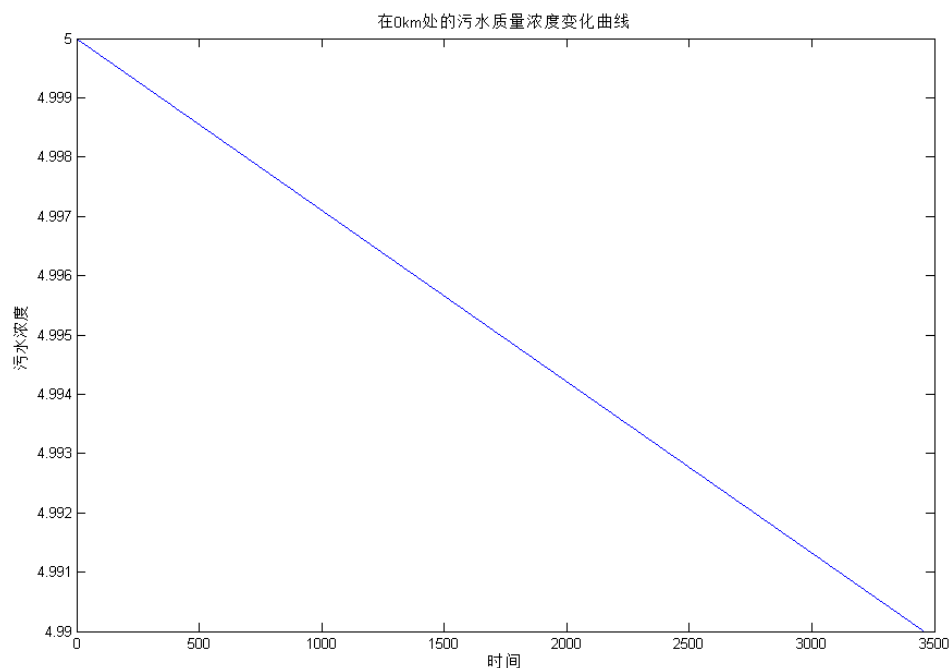


图 1 0km 处污水浓度降解曲线

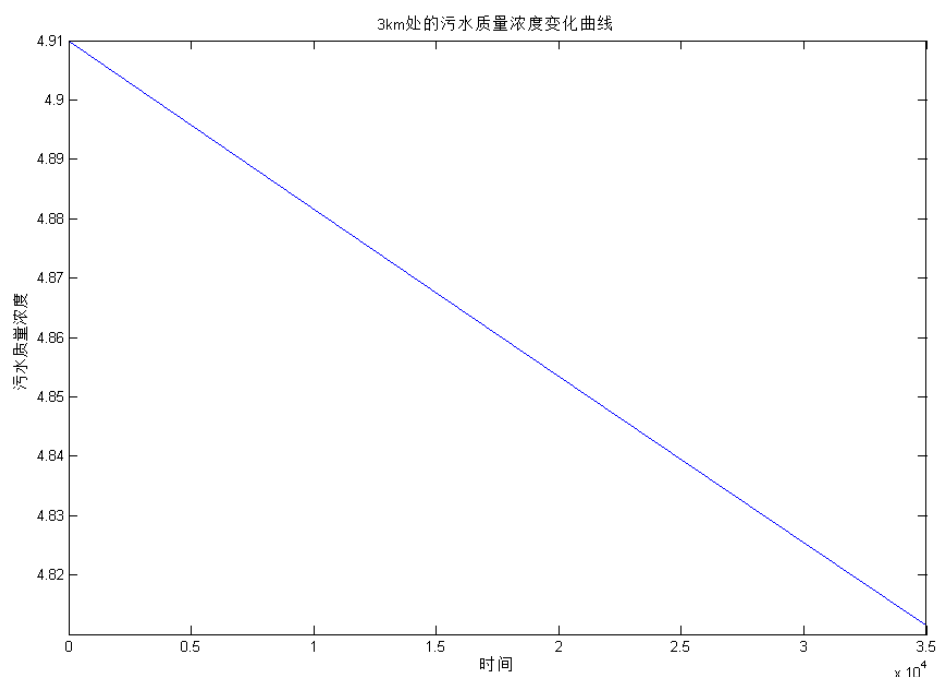


图 2 3km 处污水浓度降解曲线

### (3) 优化模型建立

这就将本问题最终转化为一个优化问题来处理。对此，首先将下游分为两个阶段，第一阶段为 0 至 3km，在这一个阶段中不存在水质混合问题，设在这一阶段中污染物浓度为  $C_1$ ；第二阶段为 3km 至 10km，在这一个阶段中，由于初始时刻工厂排放了一定浓度的污水，所以在第二阶段我们考虑的是混合浓度的变化，设为  $\bar{C}$ ； $C_1, \bar{C}$  都是满足扩散方程 (1-2)。由此，所建立的优化模型如下所示：

$$\begin{aligned} & \max C_w q \\ & \left\{ \begin{array}{l} C_2(7, \frac{7}{u}) \leq P_{\max} \\ \frac{\partial C_2}{\partial t_2} + u \frac{\partial C_2}{\partial x_2} = E \frac{\partial^2 C_2}{\partial x_2^2} - k C_2 \\ \frac{\partial C_1}{\partial t_1} + u \frac{\partial C_1}{\partial x_1} = E \frac{\partial^2 C_1}{\partial x_1^2} - k C_1 \\ C_1(0, t_1) = 5e^{-kt_1} \\ C_1(x_1, 0) = 5 \\ C_1(3, \frac{3}{u}) = C_R \\ \bar{C}_0 = \frac{C_w q + C_R Q}{Q + q} \\ C_2(0, t_2) = \bar{C}_0 e^{-kt_2} \\ C_2(x_2, 0) = \bar{C}_0 \\ 0 \leq x_1 \leq 3, 0 \leq x_2 \leq 7 \\ 0 \leq t_1 \leq \frac{3}{u}, 0 \leq t_2 \leq \frac{7}{u} \end{array} \right. \quad (1-3) \end{aligned}$$

式中  $P_{\max}$  表示允许的最大污染浓度，数值为 10， $C_w q$  为工厂污水排放量，

而  $C(7, \frac{7}{u})$  则表示在监测位置时的污水浓度。其余约束条件实际上是两个阶段污水浓度变化所满足的偏微分方程及其边界条件。对于此优化问题，我们运用粒子群算法进行求解。

### 5.1.2 模型求解

#### (1) “追赶法”求解扩散方程数值解

公式 (1-2) 是一个属于抛物线类型的二阶偏微分方程，我们关注的是在 3km 和 10km 处的污水浓度，所要求解的是某一个时刻某一个距离所对应的污染物浓度的量，采取数值求解此偏微分方程，所采用的求解思想是差分，由于隐式差分比显式差分具有更加精确以及稳定的结果<sup>[5]</sup>，因此我们采用隐式差分对此方程进行求解，将此方程转化为一个二阶差分方程如下所示：

$$\frac{C_i^{j+1} - C_i^j}{\Delta t} + u \frac{C_{i+1}^{j+1} - C_i^{j+1}}{\Delta x} = E \frac{C_{i+1}^{j+1} - 2C_i^{j+1} + C_{i-1}^{j+1}}{\Delta x^2} - kC_i^j \quad (2-1)$$

其中  $C_i^j$  表示距离为  $i$ ，时刻为  $j$  的污染物浓度，具体数值是和分割的步长有关的。

我们将方程 (1-2) 进行差分并整理，得到如下形式：

$$\begin{aligned} \alpha_i C_{i-1}^{j+1} + \beta_i C_i^{j+1} + \gamma_i C_{i+1}^{j+1} &= \delta_i \quad (i=1, 2, \dots, n) \\ \left\{ \begin{aligned} \alpha_i &= -\frac{E}{\Delta x^2} \\ \beta_i &= \frac{1}{\Delta t} + \frac{2E}{\Delta x^2} - \frac{u}{\Delta x} + k \\ \gamma_i &= \frac{u}{\Delta x} - \frac{E}{\Delta x^2} \\ \delta_i &= \frac{C_i^j}{\Delta t} \end{aligned} \right. \quad (2-2) \end{aligned}$$

同时我们给出边界条件如下所示：

$$\begin{cases} C_0^{j+1} = C e^{-kt} \\ C_i^0 = C \end{cases} \quad (2-3)$$

$$\text{其中 } C = \begin{cases} 5 & \text{第一阶段} \\ \bar{C} & \text{第二阶段} \end{cases}$$

对于式子 (2-2)，转化为“三对角阵”方程组的形式表示如下：



$$\begin{bmatrix}
\beta_1 & \gamma_1 & 0 & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 0 \\
\alpha_2 & \beta_2 & \gamma_2 & 0 & & & & & & \vdots \\
0 & \alpha_3 & \beta_3 & \gamma_3 & & & & & & \vdots \\
\vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & & & & & \vdots \\
\vdots & & & & \ddots & \ddots & \ddots & & & \vdots \\
\vdots & & & & & \alpha_{n-2} & \beta_{n-2} & \gamma_{n-2} & 0 & C_{n-2}^{j+1} \\
\vdots & & & & & 0 & \alpha_{n-1} & \beta_{n-1} & \gamma_{n-1} & C_{n-1}^{j+1} \\
0 & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 0 & \alpha'_n & \beta'_n & C_n^{j+1}
\end{bmatrix}
\begin{bmatrix}
C_1^{j+1} \\
C_2^{j+1} \\
C_3^{j+1} \\
\vdots \\
\vdots \\
\vdots \\
C_{n-2}^{j+1} \\
C_{n-1}^{j+1} \\
C_n^{j+1}
\end{bmatrix}
=
\begin{bmatrix}
\delta'_1 \\
\delta_2 \\
\delta_3 \\
\vdots \\
\vdots \\
\vdots \\
\delta_{n-2} \\
\delta_{n-1} \\
\delta_n
\end{bmatrix} \quad (2-4)$$

其中  $\alpha'_n = \alpha_n - \gamma_n$ ,  $\beta'_n = \beta_n + 2\gamma_n$ ,  $\delta'_1 = \delta_1 - \alpha_1 C_0^{j+1}$ 。

这是一个三对角线性方程组，通常的求解方法是利用“追赶法”求解。采用托马斯的追赶法<sup>[6]</sup>求解该方程组，求解的原理方法如下所示：

$$\begin{cases}
w_1 = \frac{\gamma_1}{\beta_1} \\
w_i = \frac{\gamma_i}{\beta_i - \alpha_i w_{i-1}} \quad (i = 2, 3, \dots, n-1) \\
g_1 = \frac{\delta_1}{\beta_1} \\
g_i = \frac{\delta_i - \alpha_i g_{i-1}}{\beta_i - \alpha_i w_{i-1}} \\
C_n^{j+1} = g_n \\
C_i^{j+1} = g_i - w_i C_{i+1}^{j+1} \quad (i = n-1, n-2, \dots, 1)
\end{cases} \quad (2-5)$$

以上方程可以看出，对于  $t_{j+1}$  时间层，因  $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$  已知，可由  $g_i, w_i$  计算公式自  $i=1$  至  $n$  顺序算出  $g_1, w_1, g_2, w_2, \dots, g_n$ ；然后再反过来，自  $i=n$  至  $i=1$  逆序求得  $C_n^{j+1}, C_{n-1}^{j+1}, \dots, C_1^{j+1}$ ；顺序计算  $g_i, w_i$  称为“追”，逆序推求  $C_n^{j+1}, C_{n-1}^{j+1}, \dots, C_1^{j+1}$  称为“赶”，所以此方法即为“追赶法”。

通过 Matlab 软件，求解第一阶段，我们设定的距离步长数为 150m，时间步长数为 1500s，我们很快求得在 3km 处的原河流中的污水浓度为 4.91mg/L。

## (2) 运用粒子群算法求解优化问题

在前面我们已经求得在第一阶段 3km 处的初始污染浓度，通过式 (1-1) 可以求得含有参数  $q$  及  $C_w$  的排污瞬时浓度表达式，接下来进行第二阶段的求解，粒子群算法具有快速收敛的优点，我们在 Matlab 中利用粒子群算法进行模型求解，设粒子群在一个  $n$  维空间中搜索，由  $N$  个粒子组成种群  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_N\}$ ，

其中每个粒子所处的位置  $X_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}\}$  都表示问题的一个解。粒子通过不断调整自己的位置  $x_{id}$  来搜索新解。每个粒子都能记住自己搜索到的最优解，记做  $p_{id}$ ，以及整个粒子群经历过的最好的位置，即目前搜索到的最优解，记做  $p_{gd}$ 。

此外每个粒子都有一个速度，记做  $V_i = \{v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in}\}$ ，当两个最优解都找到后，每个粒子根据速度位移公式（3-1）来更新自己的速度和位移。

$$\begin{cases} v_{id}(t+1) = \omega v_{id}(t) + \eta_1 rand()(p_{id} - x_{id}(t)) + \eta_2 rand()(p_{gd} - x_{id}(t)) \\ x_{id}(t+1) = x_{id}(t) + v_{id}(t+1) \end{cases} \quad (3-1)$$

①具体的操作步骤如下：

Step1: 随机生成粒子的位置和速度:污水中的污染物浓度  $C_w$  与污水流量  $q$ ；

Step2: 计算每个粒子的适应度值: 先通过粒子的污染物浓度与流量与公式计算出污水排放后的混合浓度，作为初始值，带入差分方程中，计算出在下游 10km 处的浓度，在适应度函数中，当浓度大于 10 或远远小于 10，引入罚函数，适应度函数等于目标函数加上罚函数。这里的目标函数即为式(1-3)中的  $S$ 。

Step3: 求出每个粒子的个体最优值。

Step4: 求出整个群体的全局最优值。

Step5: 根据速度位置公式对粒子进行进化。

Step6: 检查是否满足结束条件，满足迭代次数或算法已收敛，是，输出结果，否，进行下次迭代。

②具体算法的实现流程图如下所示：

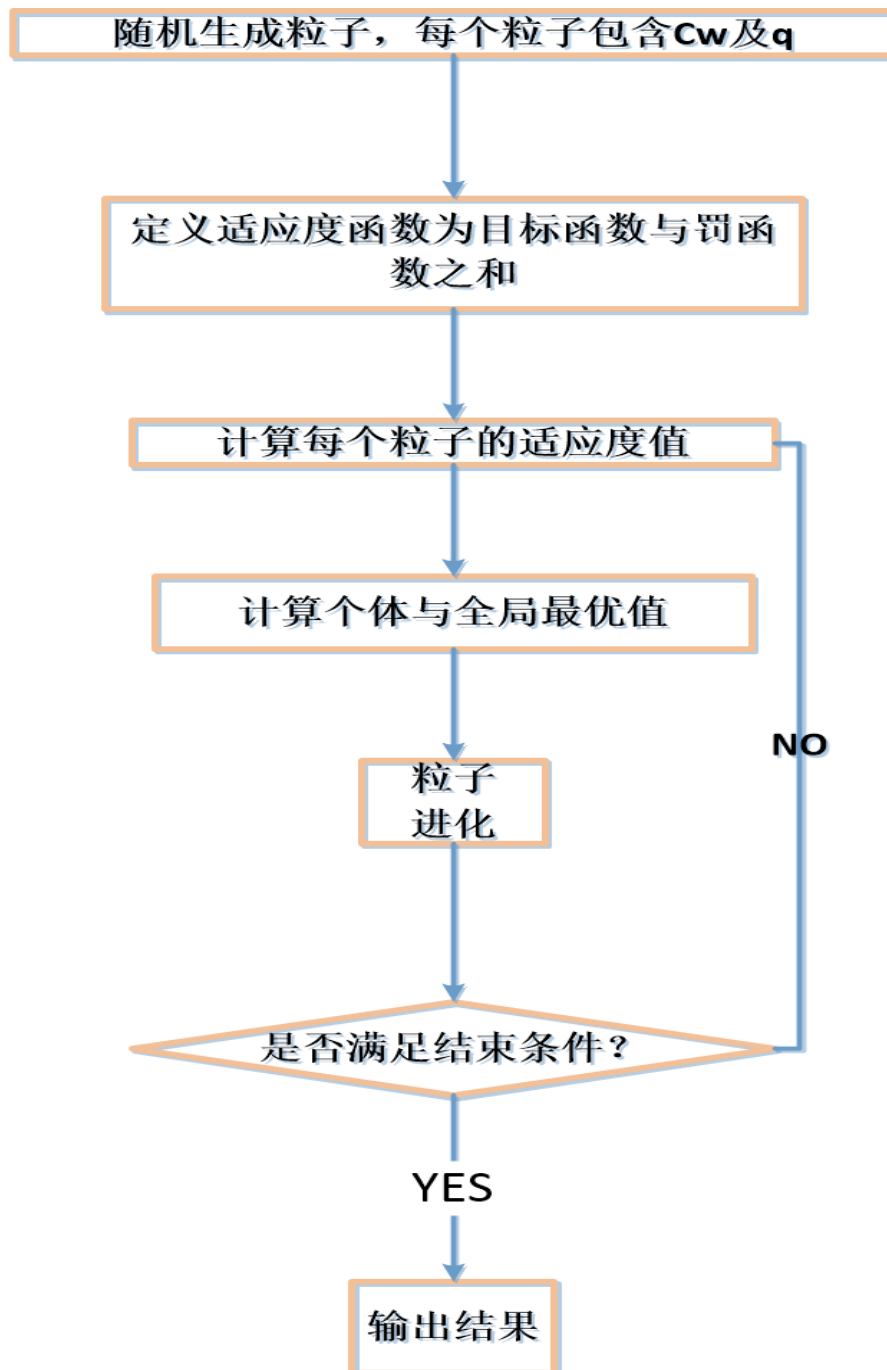


图 3 pso 算法流程图

通过这种方法，我们最终求得混合后的浓度为 20.47mg/L，最大排放量为 1.564kg/s.

## 5.2 结果与分析

### 5.2.1 流速等于 0.2 时结果分析

当流速  $u=0.2$ ，以下游开端为原点，随着时间推移位移增加，污染物发生降

解和扩散,分析 0 到 3km 河段 0 到 1500s 时刻,取时间步长 1500,位移步长 150,得到第一阶段末点即 3km 位置 15000s 时刻污染物浓度为 4.91mg/l,具体数据见附表,得到第一阶段浓度随时间、位移变化结果图形如下:

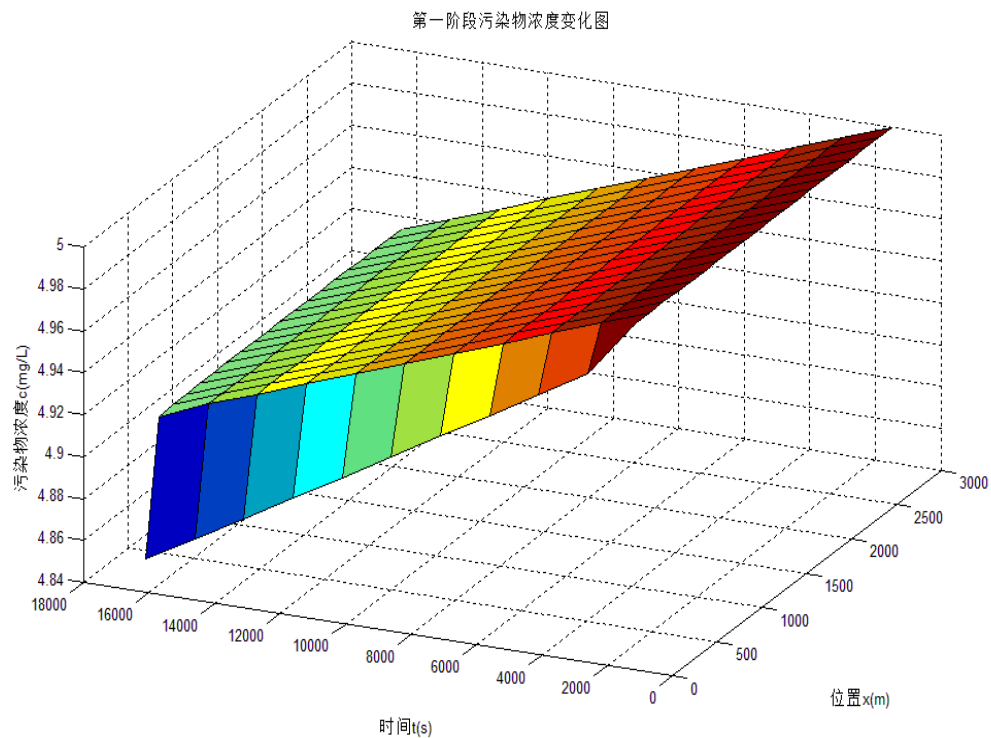


图 4 第一阶段污染物浓度随时间、位移变化图

当流速为  $u=0.2$ ,以 3km 为起点,将反问题正向求解,每次给定污染源排污混合后起始浓度,直到 10km 处浓度达到最大值 10mg/L,分析 3km 到 10km 河段,取时间步长 20s,位移步长 20m,得到第二阶段末点即 10km 监测点处污染物浓度为 9.9998mg/l 时,3km 处混合浓度为 20.47mg/l,最后求得最大排放量 1.564kg。得到第二阶段浓度变化图如下。

第二节阶段河水污染物的浓度变化图

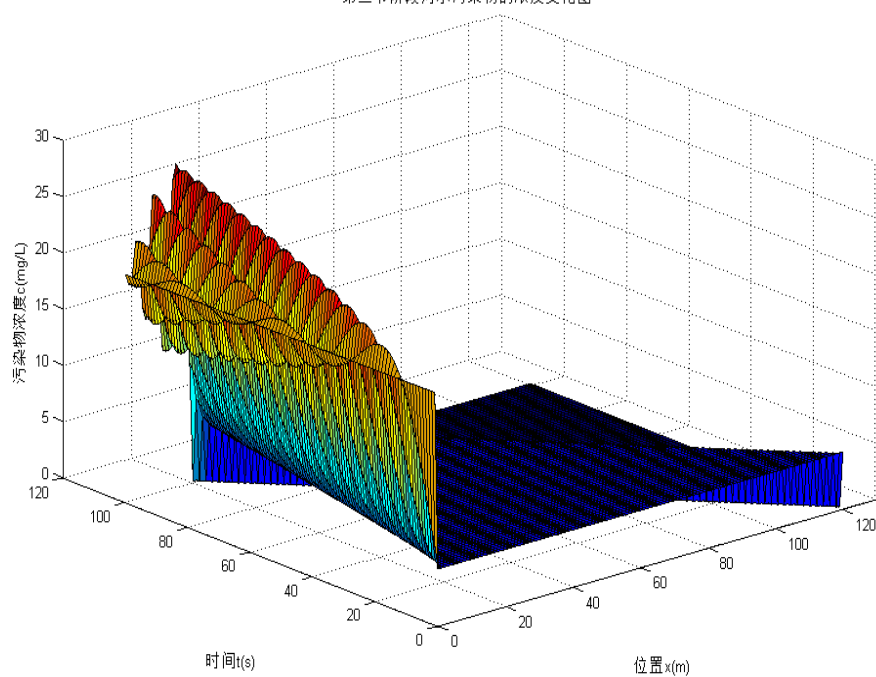


图 5 第二阶段污染物浓度随时间、位移变化图

### 5.2.2 当流速改变时结果分析

考虑一般的情况，由于题目并未给定流速，我们在下面给出了不同流速下的污水浓度的变化。取流速  $0.02\text{m/s}$  到  $0.18\text{m/s}$ ，可以看到浓度也随着流速增加而增加。：

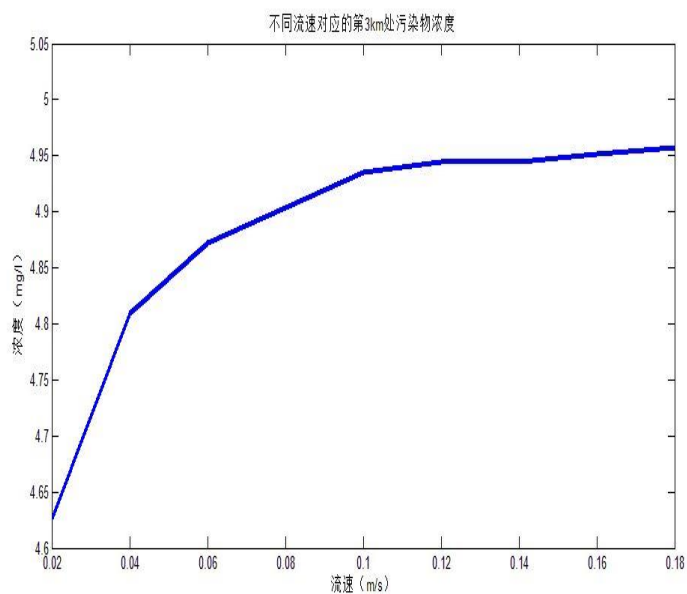


图 6 3km 处不同流速下污水浓度变化曲线

## 六、 模型的评价和推广

### 6.1.模型优点：

- ①所建立的水质模型，即对流-扩散方程，有着较强的理论依据，并且能够较为真实的反映出河道中污水质量的变化。
- ②运用差分的思想将二阶偏微分方程转化为相应的二阶差分方程进行求解，使得计算在一定程度上得到了简化。
- ③将偏微分方程数值解与优化问题结合并且运用粒子群算法与隐式差分结合求解优化问题，使得我们最终的求解结果准确可靠，这也是我们建模的一大创新之处。

### 6.2.模型缺点：

- ①本次模型中认为工厂排放污水到污染物溶解于河水中是一个瞬时过程，但在实际生活中并非如此，污水中的污染物进入水中是有一个动态变化的过程。
- ②运用前后差分的方法解决相应的二阶偏微分方程，所得到的数值结果具有一定的误差。

### 6.3 模型的改进：

#### (1) 模型改进

在本次模型中仅仅只是考虑到了一维的扩散对流状态，在实际生活中，河流中水及其污染物的流向是由三种方向共同决定的，即纵向方向（河流方向）、横向方向（河宽方向）、垂向方向（水深方向），由此可以建立一个三维的对流-扩散方程。同时，考虑到污染物在水中的运动方式的多样性，包括随流、分子扩散、絮动扩散和剪切离散，这样，完整的三维水质模型应当如下所示：

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u_x \frac{\partial C}{\partial x} + u_y \frac{\partial C}{\partial y} + u_z \frac{\partial C}{\partial z} = (\varepsilon_t + \varepsilon_m) \left( D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right) + KC + \frac{SQ}{U}$$

其中  $\varepsilon_t, \varepsilon_m$  分别表示絮动扩散和剪切离散系数。

这是一个较为典型的抛物线方程，通过设定边界条件（与原模型同理），并且利用差分的方法可以更加准确的得到在三维状态下工厂最大污水排放量。

#### (2) 求解改进

本次模型所用到的求解偏微分方程的方法是隐式差分法，还是存在一定的误差，从寻找精确解的思想来看，可以改进运用“格子搜索法”，这是一种基于格子搜索的用于解决抛物线偏微分方程<sup>[11]</sup>的一种优良算法，另外，从数学理论的角度上可以利用变分<sup>[12]</sup>的思想进行偏微分方程的求解，特别是抛物线类型的偏微分方程，不少学者已经做过相关的研究。由于时间关系本次论文并未使用。

---

## 参考文献

- [1]董建强,李春光,景何仿. 流动控制方程中对流项离散格式的比对分析[J]. 数学的实践与认识, 2016, 10:143-151.
- [2]曹芳平. 河流一维水质模拟及其可视化研究[D]. 中南大学, 2008.
- [3]张纪华,王心源,田兵,李祥. 河流污染一维扩散模型可视化实现[J]. 计算机技术与发展, 2008, 03:240-242.
- [4]毛献忠,李子. 河流突发性污染事故反演模型建模及其应用[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2014, 07:853-858.
- [5]任照阳,邓春光. 二维水质模型在污染带长度计算中的应用[J]. 安徽农业科学, 2007, 07:1984-1985+2037.
- [6]苗红波. 城市河流排污口近区污染物二维水质模型[D]. 四川大学, 2004.
- [7]卢璟莉. 南湖周边排污口调查及排污口附近水域水质模型研究[D]. 武汉理工大学, 2005.
- [8]姜福厚. 基于随机扩散过程的污染物迁移研究[D]. 华中科技大学, 2012.
- [9]刘圣勇. 一维水质模型对河流污染物扩散的简单模拟[J]. 水运管理, 2005, 04:33-35.
- [10]韩龙喜. 河道一维污染源控制反问题[J]. 水科学进展, 2001, 01:39-44.
- [11]胡少伟,聂建国. 抛物型偏微分方程的新型差分格式[J]. 清华大学学报(自然科学版), 1999, 04:85-88.
- [12]何朗. 基于解析逼近偏微分方程的并行求解算法[D]. 武汉理工大学, 2008.

## 附录

附表一 第一阶段污染物浓度随时间、位移变化结果

位移 0~3000 步长 150										
时间 0~15000s 步长 1500	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	4.9	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	72185	.991335	.991335	.991335	.991335	.991335	.991335	.991335	.991335	.991335
	4.9	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	58371	.982658	.982684	.982684	.982684	.982684	.982684	.982684	.982684	.982684
	4.9	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	4462	.974042	.974049	.974049	.974049	.974049	.974049	.974049	.974049	.974049
	4.9	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	3093	.965395	.965428	.965428	.965428	.965428	.965428	.965428	.965428	.965428
	4.9	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	17302	.956811	.956824	.956823	.956823	.956823	.956823	.956823	.956823	.956823
	4.9	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	03736	.948183	.948228	.948231	.948231	.948232	.948232	.948232	.948232	.948232
	4.8	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	9023	.939674	.93967	.939661	.939658	.939657	.939656	.939656	.939656	.939656
	4.8	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	76784	.930921	.93105	.93108	.93109	.931094	.931095	.931095	.931095	.931095
	4.8	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	63399	.922921	.922684	.922594	.922564	.922554	.922551	.92255	.922549	.922549
	4.8	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	50074	.912826	.913649	.913901	.913982	.914007	.914015	.914017	.914018	.914018

5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
.991335	.991335	.991335	.991335	.991335	.991335	.991335	.991335	.991335	.991335
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
.9826	.9826	.9826	.9826	.9826	.9826	.9826	.9826	.9826	.9826



---

84	84	84	84	84	84	84	84	84	84
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
.9740	.9740	.9740	.9740	.9740	.9740	.9740	.9740	.9740	.9740
49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
.9654	.9654	.9654	.9654	.9654	.9654	.9654	.9654	.9654	.9654
28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
.9568	.9568	.9568	.9568	.9568	.9568	.9568	.9568	.9568	.9568
23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
.9482	.9482	.9482	.9482	.9482	.9482	.9482	.9482	.9482	.9482
32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
.9396	.9396	.9396	.9396	.9396	.9396	.9396	.9396	.9396	.9396
56	56	56	56	56	56	56	56	56	56
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
.9310	.9310	.9310	.9310	.9310	.9310	.9310	.9310	.9310	.9310
95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
.9225	.9225	.9225	.9225	.9225	.9225	.9225	.9225	.9225	.9225
49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
.9140	.9140	.9140	.9140	.9140	.9140	.9140	.9140	.9140	.9140
18	18	18	18	18	18	18	18	18	4 .9140 18

附表二 第二阶段污染物浓度随时间、位移变化结果

位移 0~7000 步长 20m										
时间 0-25000s	4 .9140 18	4 .9140 18	4 .9140 18	4 .9140 18	4 .9140 18	4 .9140 18	4 .9140 18	4 .9140 18	4 .9140 18	4 .9140 18
	2 0.466 41	4 .9130 23	4 .9130 23	4 .9130 23	4 .9130 23	4 .9130 23	4 .9130 23	4 .9130 23	4 .9130 23	4 .9130 23
	2 0.462 27	6 .4678 11	4 .9120 28	4 .9120 28	4 .9120 28	4 .9120 28	4 .9120 28	4 .9120 28	4 .9120 28	4 .9120 28
	2 0.458 13	8 .0218 81	5 .0666 56	4 .9110 33	4 .9110 33	4 .9110 33	4 .9110 33	4 .9110 33	4 .9110 33	4 .9110 33
	2 0.453 98	9 .5596 74	5 .3767 94	4 .9256 05	4 .9100 38	4 .9100 38	4 .9100 38	4 .9100 38	4 .9100 38	4 .9100 38
	2 0.449 84	1 1.065 65	5 .8392 19	4 .9712 95	4 .9106 01	4 .9090 44	4 .9090 44	4 .9090 44	4 .9090 44	4 .9090 44
	2 0.445 7	1 2.524 59	6 .4475 96	5 .0631 73	4 .9158 33	4 .9082 05	4 .9080 49	4 .9080 49	4 .9080 49	4 .9080 49
	2 0.441 56	1 3.921 91	7 .1925 65	5 .2153 59	4 .9303 38	4 .9079 89	4 .9070 71	4 .9070 55	4 .9070 55	4 .9070 55
	2 0.437 42	1 5.243 99	8 .0619	5 .4405 74	4 .9600 84	4 .9093 23	4 .9061 7	4 .9060 63	4 .9060 61	4 .9060 61
	2 0.433 28	1 6.478 39	9 .0407 38	5 .7497 15	5 .0122 17	4 .9137 21	4 .9055 03	4 .9050 8	4 .9050 68	4 .9050 68
	2 0.429 14	1 7.614 21	1 0.111 89	6 .1514 75	5 .0948 19	4 .9234	4 .9053 73	4 .9041 3	4 .9040 75	4 .9040 74
	2 0.425	1 8.642 23	1 1.256 22	6 .6520 2	5 .2166 2	4 .9413 52	4 .9063 07	4 .9032 67	4 .9030 88	4 .9030 81
	2 0.420 87	1 9.555 18	1 2.453 04	7 .2547 23	5 .3866 63	4 .9713 89	4 .9091 23	4 .9025 95	4 .9021 13	4 .9020 88
	2 0.416 73	2 0.347 82	1 3.680 62	7 .9599 86	5 .6139 47	5 .0181 46	4 .9150 1	4 .9023 04	4 .9011 71	4 .9010 98

2 0.412 59	2 1.017 12	1 4.916 66	8 .7651 38	5 .9070 44	5 .0870 37	4 .9256 01	4 .9026 95	4 .9002 99	4 .9001 13
2 0.408 46	2 1.562 27	1 6.138 83	9 .6644 18	6 .2737 16	5 .1841 7	4 .9430 41	4 .9042 33	4 .8995 65	4 .8991 4
2 0.404 33	2 1.984 67	1 7.325 32	1 0.649 06	6 .7205 36	5 .3162 12	4 .9700 4	4 .9075 88	4 .8990 82	4 .8981 93
2 0.400 2	2 2.287 94	1 8.455 31	1 1.707 46	7 .2525 32	5 .4902 15	5 .0099 04	4 .9136 91	4 .8990 29	4 .8972 97
2 0.396 06	2 2.477 75	1 9.509 54	1 2.825 43	7 .8728 64	5 .7134 02	5 .0665 52	4 .9237 86	4 .8996 76	4 .8964 94
2 0.391 93	2 2.561 71	2 0.470 72	1 3.986 55	8 .5825 52	5 .9929 2	5 .1445 02	4 .9394 79	4 .9014 14	4 .8958 54
2 0.387 8	2 2.549 14	2 1.323 96	1 5.172 57	9 .3802 58	6 .3355 6	5 .2488 22	4 .9627 93	4 .9047 84	4 .8954 83
2 0.383 67	2 2.450 86	2 2.057 16	1 6.363 87	1 0.262 14	6 .7474 77	5 .3850 59	4 .9961 98	4 .9105 23	4 .8955 42
2 0.379 55	2 2.278 89	2 2.661 24	1 7.540 05	1 1.221 77	7 .2338 79	5 .5591 24	5 .0426 48	4 .9195 96	4 .8962 6
2 0.375 42	2 2.046 17	2 3.130 37	1 8.680 41	1 2.250 18	7 .7987 45	5 .7771 54	5 .1055 91	4 .9332 41	4 .8979 62
2 0.371 29	2 1.766 19	2 3.462 11	1 9.764 59	1 3.335 92	8 .4445 38	6 .0453 38	5 .1889 62	4 .9530 09	4 .9010 86
2 0.367 17	2 1.452 71	2 3.657 36	2 0.773 12	1 4.465 27	9 .1719 57	6 .3697 15	5 .2971 62	4 .9807 99	4 .9062 19
2 0.363 04	2 1.119 38	2 3.720 38	2 1.688 03	1 5.622 49	9 .9797 26	6 .7559 54	5 .4350 02	5 .0188 91	4 .9141 23
2 0.358 92	2 0.779 42	2 3.658 58	2 2.493 31	1 6.790 17	1 0.864 43	7 .2091 12	5 .6076 33	5 .0699 71	4 .9257 67
2 0.354	2 0.445	2 3.482	2 3.175	1 7.949	1 1.820	7 .7333	5 .8204	5 .1371	4 .9423

79	31	28	47	65	4	9	42	42	63
2	2	2	2	1	1	8	6	5	4
0.350	0.128	3.204	3.723	9.081	2.839	.3318	.0789	.2239	.9653
67	51	42	89	49	69	82	23	24	99
2	1	2	2	2	1	9	6	5	4
0.346	9.839	2.840	4.131	0.166	3.912	.0063	.3885	.3342	.9966
55	15	1	23		1	35	27	35	63
2	1	2	2	2	1	9	6	5	5
0.342	9.585	2.406	4.393	1.183	5.025	.7569	.7544	.4723	.0382
43	88	22	61	77	28	33	88	61	79
2	1	2	2	2	1	1	7	5	5
0.338	9.375	1.920	4.510	2.116	6.164	0.582	.1816	.6428	.0927
31	63	89	76	22	95	1	26	98	2
2	1	2	2	2	1	1	7	5	5
0.334	9.213	1.402	4.486	2.946	7.315	1.478	.6741	.8506	.1628
19	55	93	12	22	1	35	45	74	2
2	1	2	2	2	1	1	8	6	5
0.330	9.102	0.871	4.326	3.658	8.458	2.440	.2354	.1006	.2517
07	88	37	7	56	37	18	15	54	8
2	1	2	2	2	1	1	8	6	5
0.325	9.044	0.344	4.042	4.240	9.576	3.460	.8677	.3978	.3631
95	97	81	94	47	45	01	59	19	56
2	1	1	2	2	2	1	9	6	5
0.321	9.039	9.840	3.648	4.682	0.650	4.528	.5722	.7470	.5008
84	3	96	4	07	49	19	43	24	27
2	1	1	2	2	2	1	1	7	5
0.317	9.083	9.376	3.159	4.976	1.661	5.633	0.348	.1528	.6689
72	59	11	42	72	63	11	48	44	63
2	1	1	2	2	2	1	1	7	5
0.313	9.173	8.964	2.594	5.121	2.591	6.761	1.194	.6193	.8719
61	93	71	61	29	53	28	47	96	58
2	1	1	2	2	2	1	1	8	6
0.309	9.304	8.618	1.974	5.116	3.422	7.897	2.106	.1501	.1143
49	96	91	34	37	86	6	45	57	54
2	1	1	2	2	2	1	1	8	6
0.305	9.470	8.348	1.320	4.966	4.139	9.025	3.078	.7477	.4007
38	12	31	14	29	88	61	79	7	48
2	1	1	2	2	2	2	1	9	6
0.301	9.661	8.159	0.654	4.679	4.728	0.127	4.103	.4138	.7356
27	87	71	04	13	94	84	98	6	72
2	1	1	1	2	2	2	1	1	7
0.297	9.872	8.056	9.997	4.266	5.178	1.186	5.172	0.148	.1234
16	02	93	96	53	93	22	55	84	64
2	2	1	1	2	2	2	1	1	7

0.293 05	0.091 98	8.040 78	9.373 02	3.743 42	5.481 72	2.182 51	6.273 25	0.951 75	.5681 19
2 0.288 94	2 0.313 08	1 8.109 12	1 8.798 92	2 3.127 67	2 5.632 51	2 3.098 79	1 7.393 04	1 1.820 1	8 .0731 31
2 0.284 83	2 0.526 89	1 8.256 96	1 8.293 36	2 2.439 57	2 5.630 06	2 3.917 96	1 8.517 39	1 2.749 75	8 .6413 25
2 0.280 72	2 0.725 45	1 8.476 68	1 7.871 51	2 1.701 33	2 5.476 89	2 4.624 28	1 9.630 45	1 3.734 82	9 .2746 82
2 0.276 61	2 0.901 57	1 8.758 37	1 7.545 55	2 0.936 4	2 5.179 3	2 5.203 82	2 0.715 4	1 4.767 66	9 .9741 73
2 0.272 5	2 1.049 09	1 9.090 2	1 7.324 33	2 0.168 8	2 4.747 34	2 5.644 97	2 1.754 78	1 5.838 82	1 0.739 59
2 0.268 4	2 1.162 97	1 9.458 82	1 7.213 09	1 9.422 47	2 4.194 6	2 5.938 9	2 2.730 93	1 6.937 16	1 1.569 38
2 0.264 29	2 1.239 57	1 9.849 85	1 7.213 37	1 8.720 46	2 3.537 97	2 6.079 87	2 3.626 42	1 8.049 89	1 2.460 56
2 0.260 19	2 1.276 65	2 0.248 41	1 7.322 94	1 8.084 3	2 2.797 2	2 6.065 6	2 4.424 55	1 9.162 82	1 3.408 56
2 0.256 09	2 1.273 46	2 0.639 63	1 7.535 94	1 7.533 32	2 1.994 41	2 5.897 45	2 5.109 77	2 0.260 53	1 4.407 16
2 0.251 98	2 1.230 75	2 1.009 13	1 7.843 11	1 7.084 05	2 1.153 53	2 5.580 53	2 5.668 26	2 1.326 65	1 5.448 47
2 0.247 88	2 1.150 7	2 1.343 55	1 8.232 08	1 6.749 69	2 0.299 6	2 5.123 75	2 6.088 33	2 2.344 27	1 6.522 94
2 0.243 78	2 1.036 83	2 1.631	1 8.687 82	1 6.539 69	1 9.458 12	2 4.539 68	2 6.360 85	2 3.296 22	1 7.619 4
2 0.239 68	2 0.893 84	2 1.861 42	1 9.193 18	1 6.459 45	1 8.654 24	2 3.844 34	2 6.479 72	2 4.165 58	1 8.725 18
2 0.235 58	2 0.727 44	2 2.026 95	1 9.729 49	1 6.510 15	1 7.912 06	2 3.056 89	2 6.442 09	2 4.936 05	1 9.826 29

2 0.231 49	2 0.544 13	2 2.122 18	2 0.277 15	1 6.688 68	1 7.253 87	2 2.199 17	2 6.248 68	2 5.592 47	2 0.907 59
2 0.227 39	2 0.350 93	2 2.144 3	2 0.816 34	1 6.987 75	1 6.699 45	2 1.295 17	2 5.903 9	2 6.121 28	2 1.953 1
2 0.223 29	2 0.155 17	2 2.093 19	2 1.327 71	1 7.396 1	1 6.265 46	2 0.370 41	2 5.415 92	2 6.510 95	2 2.946 29
2 0.219 2	1 9.964 15	2 1.971 38	2 1.793 01	1 7.898 88	1 5.964 89	1 9.451 26	2 4.796 6	2 6.752 41	2 3.870 49
2 0.215 1	1 9.784 96	2 1.783 98	2 2.195 74	1 8.478 12	1 5.806 57	1 8.564 21	2 4.061 37	2 6.839 46	2 4.709 22
2 0.211 01	1 9.624 13	2 1.538 45	2 2.521 71	1 9.113 33	1 5.794 91	1 7.735 04	2 3.228 89	2 6.769 1	2 5.446 65
2 0.206 91	1 9.487 48	2 1.244 3	2 2.759 54	1 9.782 14	1 5.929 69	1 6.988 16	2 2.320 73	2 6.541 76	2 6.068 08
2 0.202 82	1 9.379 87	2 0.912 78	2 2.901 01	2 0.461 09	1 6.206 01	1 6.345 73	2 1.360 81	2 6.161 52	2 6.560 3
2 0.198 73	1 9.305 01	2 0.556 45	2 2.941 42	2 1.126 39	1 6.614 38	1 5.827 08	2 0.374 9	2 5.636 15	2 6.912 11
2 0.194 64	1 9.265 39	2 0.188 67	2 2.879 66	2 1.754 74	1 7.141 06	1 5.447 98	1 9.389 89	2 4.977 12	2 7.114 7
2 0.190 55	1 9.262 14	1 9.823 21	2 2.718 31	2 2.324 1	1 7.768 34	1 5.220 13	1 8.433 09	2 4.199 48	2 7.162 04
2 0.186 46	1 9.295 02	1 9.473 64	2 2.463 52	2 2.814 45	1 8.475 2	1 5.150 73	1 7.531 5	2 3.321 6	2 7.051 19
2 0.182 37	1 9.362 42	1 9.152 93	2 2.124 82	2 3.208 53	1 9.237 86	1 5.242 2	1 6.710 96	2 2.364 85	2 6.782 61
2 0.178 28	1 9.461 46	1 8.872 9	2 1.714 72	2 3.492 38	2 0.030 59	1 5.491 96	1 5.995 43	2 1.353 12	2 6.360 31
2 0.174	1 9.588	1 8.643	2 1.248	2 3.655	2 0.826	1 5.892	1 5.406	2 0.312	2 5.791

2	06	85	35	88	55	48	21	3	94
2 0.170 11	1 9.737 12	1 8.474 15	2 0.742 83	2 3.693 12	2 1.598 61	1 6.431 42	1 4.961 26	1 9.269 63	2 5.088 85
2 0.166 03	1 9.902 69	1 8.369 93	2 0.216 75	2 3.602 6	2 2.320 32	1 7.091 93	1 4.674 57	1 8.253 01	2 4.265 93
2 0.161 94	2 0.078 23	1 8.334 9	1 9.689 44	2 3.387 33	2 2.966 75	1 7.853 13	1 4.555 67	1 7.290 25	2 3.341 43
2 0.157 86	2 0.256 82	1 8.370 16	1 9.180 27	2 3.054 74	2 3.515 39	1 8.690 67	1 4.609 18	1 6.408 26	2 2.336 65
2 0.153 78	2 0.431 43	1 8.474 17	1 8.708 02	2 2.616 47	2 3.946 88	1 9.577 53	1 4.834 63	1 5.632 31	2 1.275 5
2 0.149 69	2 0.595 19	1 8.642 83	1 8.290 1	2 2.087 92	2 4.245 76	2 0.484 78	1 5.226 3	1 4.985 19	2 0.184
2 0.145 61	2 0.741 64	1 8.869 61	1 7.942 01	2 1.487 84	2 4.400 99	2 1.382 53	1 5.773 32	1 4.486 54	1 9.089 67
2 0.141 53	2 0.864 97	1 9.145 78	1 7.676 68	2 0.837 57	2 4.406 41	2 2.240 89	1 6.459 85	1 4.152 14	1 8.020 82
2 0.137 45	2 0.960 25	1 9.460 74	1 7.504 05	2 0.160 39	2 4.260 97	2 3.030 94	1 7.265 49	1 3.993 36	1 7.005 89
2 0.133 38	2 1.023 61	1 9.802 4	1 7.430 67	1 9.480 65	2 3.968 85	2 3.725 7	1 8.165 82	1 4.016 66	1 6.072 56
2 0.129 3	2 1.052 38	2 0.157 65	1 7.459 44	1 8.822 96	2 3.539 36	2 4.301 04	1 9.133 09	1 4.223 33	1 5.247 06
2 0.125 22	2 1.045 23	2 0.512 81	1 7.589 49	1 8.211 25	2 2.986 67	2 4.736 58	2 0.136 99	1 4.609 22	1 4.553 32
2 0.121 15	2 1.002 17	2 0.854 16	1 7.816 19	1 7.667 96	2 2.329 39	2 5.016 35	2 1.145 62	1 5.164 78	1 4.012 23
2 0.117 07	2 0.924 59	2 1.168 45	1 8.131 28	1 7.213 2	2 1.589 98	2 5.129 48	2 2.126 43	1 5.875 19	1 3.640 95
2	2	2	1	1	2	2	2	1	1

	0.113 19	0.815 19	1.443 4	8.523 19	6.864	0.793 95	5.070 55	3.047 29	6.720 64	3.452 3
2	2	2	2	1	1	1	2	2	1	1
0.108 92	0.677 93	1.668 16	8.977 42	6.633 66	9.969 09	4.839 96	3.877 49	7.676 83	3.454 2	
2	2	2	1	1	1	2	2	1	1	
0.104 85	0.517 83	1.833 72	9.477 04	6.531 29	9.144 46	4.443 92	4.588 82	8.715 64	3.649 32	
2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	
0.100 78	0.340 82	1.933 27	0.003 32	6.561 36	8.349 4	3.894 39	5.156 49	9.805 82	4.034 83	
2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	
0.096 71	0.153 49	1.962 48	0.536 41	6.723 54	7.612 49	3.208 72	5.560 06	0.913 96	4.602 3	
2	1	2	2	1	1	2	2	2	1	
0.092 64	9.962 88	1.919 64	1.056 08	7.012 68	6.960 54	2.409 17	5.784 16	2.005 46	5.337 77	
2	1	2	2	1	1	2	2	2	1	
0.088 57	9.776 19	1.805 8	1.542 42	7.418 91	6.417 61	1.522 21	5.819 11	3.045 56	6.221 99	
2	1	2	2	1	1	2	2	2	1	
0.084 5	9.600 53	1.624 7	1.976 63	7.927 95	6.004 13	0.577 67	5.661 34	4.000 48	7.230 88	
2	1	2	2	1	1	1	2	2	1	
0.080 43	9.442 61	1.382 66	2.341 73	8.521 63	5.736 1	9.607 8	5.313 67	4.838 52	8.336 06	
2	1	2	2	1	1	1	2	2	1	
0.076 37	9.308 53	1.088 39	2.623 17	9.178 47	5.624 49	8.646 12	4.785 29	5.531 08	9.505 62	
2	1	2	2	1	1	1	2	2	2	
0.072 3	9.203 49	0.752 65	2.809 44	9.874 45	5.674 74	7.726 36	4.091 62	6.053 68	0.704 98	
2	1	2	2	2	1	1	2	2	2	
0.068 24	9.131 63	0.387 86	2.892 5	0.583 86	5.886 56	6.881 2	3.253 89	6.386 86	1.897 86	
2	1	2	2	2	1	1	2	2	2	
0.064 17	9.095 86	0.007 68	2.868 12	1.280 22	6.253 77	6.141 2	2.298 52	6.516 9	3.047 41	
2	1	1	2	2	1	1	2	2	2	
0.060 11	9.097 69	9.626 46	2.736 11	1.937 24	6.764 52	5.533 64	1.256 37	6.436 42	4.117 24	

4 .9140	4 .9140	4 .9140	4 .9140	4 .9140	4 .9140	4 .9140	4 .9140	4 .9140	4 .9140
------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------





.8991 11	.8991 1	.8991 1	.8991 1	.8991 1	.8991 1	.8991 1	.8991 1	.8991 1	.8991 1
4 .8981 22	4 .8981 17	4 .8981 17	4 .8981 17	4 .8981 17	4 .8981 17	4 .8981 17	4 .8981 17	4 .8981 17	4 .8981 17
4 .8971 37	4 .8971 26	4 .8971 25	4 .8971 25	4 .8971 25	4 .8971 25	4 .8971 25	4 .8971 25	4 .8971 25	4 .8971 25
4 .8961 63	4 .8961 35	4 .8961 33	4 .8961 33	4 .8961 33	4 .8961 33	4 .8961 33	4 .8961 33	4 .8961 33	4 .8961 33
4 .8952 07	4 .8951 46	4 .8951 42	4 .8951 42	4 .8951 42	4 .8951 42	4 .8951 42	4 .8951 42	4 .8951 42	4 .8951 42
4 .8942 86	4 .8941 61	4 .8941 51	4 .8941 5	4 .8941 5	4 .8941 5	4 .8941 5	4 .8941 5	4 .8941 5	4 .8941 5
4 .8934 27	4 .8931 84	4 .8931 61	4 .8931 59	4 .8931 59	4 .8931 59	4 .8931 59	4 .8931 59	4 .8931 59	4 .8931 59
4 .8926 72	4 .8922 19	4 .8921 72	4 .8921 68	4 .8921 68	4 .8921 68	4 .8921 68	4 .8921 68	4 .8921 68	4 .8921 68
4 .8920 85	4 .8912 78	4 .8911 86	4 .8911 78	4 .8911 77	4 .8911 77	4 .8911 77	4 .8911 77	4 .8911 77	4 .8911 77
4 .8917 63	4 .8903 77	4 .8902 06	4 .8901 88	4 .8901 86	4 .8901 86	4 .8901 86	4 .8901 86	4 .8901 86	4 .8901 86
4 .8918 43	4 .8895 43	4 .8892 34	4 .8891 99	4 .8891 96	4 .8891 96	4 .8891 96	4 .8891 96	4 .8891 96	4 .8891 96
4 .8925 2	4 .8888 13	4 .8882 78	4 .8882 13	4 .8882 06	4 .8882 05	4 .8882 05	4 .8882 05	4 .8882 05	4 .8882 05
4 .8940 6	4 .8882 47	4 .8873 48	4 .8872 3	4 .8872 17	4 .8872 15	4 .8872 15	4 .8872 15	4 .8872 15	4 .8872 15
4 .8968 22	4 .8879 29	4 .8864 6	4 .8862 53	4 .8862 28	4 .8862 26	4 .8862 25	4 .8862 25	4 .8862 25	4 .8862 25
4 .9012 75	4 .8879 75	4 .8856 38	4 .8852 87	4 .8852 41	4 .8852 36	4 .8852 36	4 .8852 36	4 .8852 36	4 .8852 36

4 .9080 26	4 .8885 49	4 .8849 17	4 .8843 37	4 .8842 57	4 .8842 47	4 .8842 46	4 .8842 46	4 .8842 46	4 .8842 46
4 .9178 45	4 .8898 7	4 .8843 49	4 .8834 14	4 .8832 77	4 .8832 59	4 .8832 57	4 .8832 57	4 .8832 57	4 .8832 57
4 .9316 93	4 .8922 3	4 .8840 05	4 .8825 32	4 .8823 03	4 .8822 72	4 .8822 68	4 .8822 68	4 .8822 68	4 .8822 68
4 .9507 46	4 .8960 09	4 .8839 86	4 .8817 13	4 .8813 4	4 .8812 86	4 .8812 8	4 .8812 79	4 .8812 79	4 .8812 79
4 .9764 29	4 .9016 94	4 .8844 27	4 .8809 89	4 .8803 94	4 .8803 04	4 .8802 92	4 .8802 9	4 .8802 9	4 .8802 9
5 .0104 35	4 .9099 03	4 .8855 08	4 .8804 04	4 .8794 74	4 .8793 26	4 .8793 05	4 .8793 02	4 .8793 02	4 .8793 02
5 .0547 53	4 .9214 04	4 .8874 69	4 .8800 19	4 .8785 93	4 .8783 54	4 .8783 19	4 .8783 14	4 .8783 14	4 .8783 13
5 .1116 8	4 .9371 38	4 .8906 19	4 .8799 18	4 .8777 72	4 .8773 94	4 .8773 35	4 .8773 27	4 .8773 26	4 .8773 25
5 .1838 39	4 .9582 48	4 .8953 51	4 .8802 15	4 .8770 36	4 .8764 49	4 .8763 53	4 .8763 4	4 .8763 38	4 .8763 38
5 .2741 73	4 .9860 97	4 .9021 64	4 .8810 58	4 .8764 25	4 .8755 3	4 .8753 77	4 .8753 53	4 .8753 5	4 .8753 5
5 .3859 46	5 .0222 94	4 .9116 77	4 .8826 44	4 .8759 9	4 .8746 47	4 .8744 07	4 .8743 69	4 .8743 63	4 .8743 62
5 .5227 19	5 .0687 11	4 .9246 49	4 .8852 24	4 .8758 03	4 .8738 18	4 .8734 48	4 .8733 86	4 .8733 76	4 .8733 75
5 .6883 18	5 .1275	4 .9420 04	4 .8891 2	4 .8759 56	4 .8730 67	4 .8725 04	4 .8724 06	4 .8723 9	4 .8723 88
5 .8867 88	5 .2011 03	4 .9648 44	4 .8947 36	4 .8765 74	4 .8724 25	4 .8715 83	4 .8714 3	4 .8714 05	4 .8714 02
6 .1223	5 .2922	4 .9944	4 .9025	4 .8778	4 .8719	4 .8706	4 .8704	4 .8704	4 .8704

25	57	8	73	17	37	96	61	21	15
6 .3992 05	5 .4039 85	5 .0324 43	4 .9132 48	4 .8798 94	4 .8716 63	4 .8698 57	4 .8695 02	4 .8694 4	4 .8694 3
6 .7216 78	5 .5395 84	5 .0805 05	4 .9275 1	4 .8830 64	4 .8716 8	4 .8690 87	4 .8685 58	4 .8684 61	4 .8684 44
7 .0938 66	5 .7026	5 .1406 92	4 .9462 59	4 .8876 59	4 .8720 91	4 .8684 13	4 .8676 34	4 .8674 86	4 .8674 6
7 .5196 29	5 .8967 86	5 .2152 95	4 .9705 65	4 .8940 87	4 .8730 29	4 .8678 72	4 .8667 41	4 .8665 17	4 .8664 77
8 .0024 31	6 .1260 52	5 .3068 73	5 .0016 83	4 .9028 51	4 .8746 64	4 .8675 15	4 .8658 91	4 .8655 58	4 .8654 96
8 .5451 92	6 .3943 97	5 .4182 5	5 .0410 78	4 .9145 62	4 .8772 11	4 .8674 07	4 .8651 01	4 .8646 12	4 .8645 18
9 .1501 28	6 .7058 3	5 .5525 02	5 .0904 33	4 .9299 56	4 .8809 4	4 .8676 32	4 .8643 95	4 .8636 85	4 .8635 44
9 .8186	7 .0642 71	5 .7129 36	5 .1516 65	4 .9499 1	4 .8861 84	4 .8683 01	4 .8638 05	4 .8627 85	4 .8625 75
1 0.550 95	7 .4734 47	5 .9030 62	5 .2269 35	4 .9754 59	4 .8933 57	4 .8695 53	4 .8633 71	4 .8619 23	4 .8616 15
1 1.346 37	7 .9367 65	6 .1265 43	5 .3186 49	5 .0078 14	4 .9029 58	4 .8715 66	4 .8631 49	4 .8611 14	4 .8606 67
1 2.202 74	8 .4571 86	6 .3871 43	5 .4294 58	5 .0483 75	4 .9155 92	4 .8745 61	4 .8632 1	4 .8603 77	4 .8597 36
1 3.116 54	9 .0370 8	6 .6886 54	5 .5622 52	5 .0987 46	4 .9319 8	4 .8788 13	4 .8636 43	4 .8597 4	4 .8588 29
1 4.082 73	9 .6780 87	7 .0348 17	5 .7201 35	5 .1607 49	4 .9529 78	4 .8846 59	4 .8645 66	4 .8592 38	4 .8579 56
1 5.094 74	1 0.380 97	7 .4292 25	5 .9064 05	5 .2364 3	4 .9795 88	4 .8925 13	4 .8661 23	4 .8589 14	4 .8571 28
1	1	7	6	5	5	4	4	4	4

6.144 37	1.145 47	.8752 17	.1245 12	.3280 62	.0129 76	.9028 7	.8684 98	.8588 3	.8563 63
1 7.221 89	1 1.970 18	8 .3757 61	6 .3780 15	5 .4381 51	5 .0544 85	4 .9163 27	4 .8719 16	4 .8590 59	4 .8556 84
1 8.316 03	1 2.852 41	8 .9333 27	6 .6705 14	5 .5694 18	5 .1056 51	4 .9335 91	4 .8766 57	4 .8596 99	4 .8551 19
1 9.414 13	1 3.788 12	9 .5497 54	7 .0055 87	5 .7247 95	5 .1682 08	4 .9554 94	4 .8830 6	4 .8608 69	4 .8547 06
2 0.502 3	1 4.771 81	1 0.226 12	7 .3867	5 .9073 94	5 .2441 01	4 .9830 09	4 .8915 35	4 .8627 2	4 .8544 95
2 1.565 61	1 5.796 47	1 0.962 61	7 .8171 16	6 .1204 8	5 .3354 89	5 .0172 61	4 .9025 75	4 .8654 4	4 .8545 49
2 2.588 36	1 6.853 59	1 1.758 37	8 .2997 87	6 .3674 29	5 .4447 43	5 .0595 42	4 .9167 66	4 .8692 57	4 .8549 46
2 3.554 41	1 7.933 2	1 2.611 42	8 .8372 44	6 .6516 73	5 .5744 45	5 .1113 22	4 .9348 01	4 .8744 54	4 .8557 87
2 4.447 46	1 9.023 87	1 3.518 5	9 .4314 74	6 .9766 37	5 .7273 68	5 .1742 59	4 .9574 92	4 .8813 69	4 .8571 96
2 5.251 52	2 0.112 91	1 4.475 05	1 0.083 8	7 .3456 69	5 .9064 66	5 .2502 09	4 .9857 81	4 .8904 12	4 .8593 3
2 5.951 22	2 1.186 47	1 5.475 06	1 0.794 74	7 .7619 51	6 .1148 38	5 .3412 25	5 .0207 56	4 .9020 68	4 .8623 76
2 6.532 33	2 2.229 77	1 6.511 13	1 1.563 91	8 .2284 09	6 .3556 97	5 .4495 64	5 .0636 6	4 .9169 15	4 .8665 69
2 6.982 13	2 3.227 35	1 7.574 39	1 2.389 89	8 .7476 05	6 .6323 22	5 .5776 79	5 .1159 06	4 .9356 31	4 .8721 9
2 7.289 83	2 4.163 36	1 8.654 59	1 3.270 1	9 .3216 34	6 .9480 01	5 .7282 08	5 .1790 83	4 .9590 07	4 .8795 78
2 7.447 03	2 5.021 92	1 9.740 14	1 4.200 75	9 .9520 01	7 .3059 7	5 .9039 59	5 .2549 63	4 .9879 57	4 .8891 38

2 7.448 03	2 5.787 46	2 0.818 26	1 5.176 72	1 0.639 51	7 .7093 3	6 .1078 85	5 .3455 1	5 .0235 34	4 .9013 51
2 7.290 18	2 6.445 12	2 1.875 09	1 6.191 56	1 1.384 14	8 .1609 68	6 .3430 54	5 .4528 75	5 .0669 38	4 .9167 84
2 6.974 14	2 6.981 17	2 2.895 99	1 7.237 4	1 2.184 94	8 .6634 64	6 .6126 05	5 .5793 96	5 .1195 27	4 .9361 01
2 6.504 1	2 7.383 4	2 3.865 68	1 8.305 03	1 3.039 91	9 .2189 85	6 .9197 01	5 .7275 9	5 .1828 28	4 .9600 72
2 5.887 81	2 7.641 57	2 4.768 63	1 9.383 91	1 3.945 91	9 .8291 81	7 .2674 71	5 .9001 36	5 .2585 39	4 .9895 86
2 5.136 7	2 7.747 76	2 5.589 3	2 0.462 25	1 4.898 6	1 0.495 08	7 .6589 37	6 .0998 55	5 .3485 4	5 .0256 63
2 4.265 7	2 7.696 74	2 6.312 59	2 1.527 16	1 5.892 33	1 1.216 96	8 .0969 45	6 .3296 82	5 .4548 88	5 .0694 62
2 3.293 12	2 7.486 3	2 6.924 12	2 2.564 81	1 6.920 16	1 1.994 27	8 .5840 72	6 .5926 31	5 .5798 19	5 .1222 92
2 2.240 3	2 7.117 5	2 7.410 71	2 3.560 59	1 7.973 8	1 2.825 5	9 .1225 38	6 .8917 49	5 .7257 39	5 .1856 21
2 1.131 26	2 6.594 84	2 7.760 73	2 4.499 46	1 9.043 69	1 3.708 07	9 .7141 07	7 .2300 64	5 .8952 1	5 .2610 82
1 9.992 19	2 5.926 38	2 7.964 51	2 5.366 14	2 0.118 97	1 4.638 29	1 0.359 98	7 .6105 22	6 .0909 34	5 .3504 76
1 8.850 85	2 5.123 79	2 8.014 74	2 6.145 48	2 1.187 68	1 5.611 26	1 1.060 7	8 .0359 21	6 .3157 27	5 .4557 78
1 7.735 92	2 4.202 21	2 7.906 76	2 6.822 81	2 2.236 79	1 6.620 82	1 1.816 04	8 .5088 28	6 .5724 87	5 .5791 28
1 6.676 27	2 3.180 15	2 7.638 91	2 7.384 27	2 3.252 45	1 7.659 55	1 2.624 89	9 .0314 99	6 .8641 52	5 .7228 33
1 5.700	2 2.079	2 7.212	2 7.817	2 4.220	1 8.718	1 3.485	9 .6057	7 .1936	5 .8893

2	13	77	26	17	75	18	84	58	5
1 4.834 64	2 0.923 36	2 6.633 31	2 8.110 76	2 5.125 07	1 9.788 46	1 4.393 78	1 0.233 03	7 .5638 76	6 .0812 71
1 4.104 37	1 9.739 25	2 5.909 06	2 8.255 77	2 5.952 14	2 0.857 58	1 5.346 45	1 0.913 99	7 .9775 54	6 .3013 02
1 3.531 23	1 8.554 8	2 5.052 05	2 8.245 6	2 6.686 62	2 1.913 91	1 6.337 73	1 1.648 71	8 .4372 43	6 .5522 36
1 3.133 42	1 7.399	2 4.077 8	2 8.076 29	2 7.314 29	2 2.944 34	1 7.360 96	1 2.436 45	8 .9452 2	6 .8369 12
1 2.924 82	1 6.301 1	2 3.005 12	2 7.746 82	2 7.821 85	2 3.934 99	1 8.408 25	1 3.275 54	9 .5034 01	7 .1581 75
1 2.914 48	1 5.289 87	2 1.855 83	2 7.259 39	2 8.197 29	2 4.871 46	1 9.470 48	1 4.163 38	1 0.113 25	7 .5188 27
1 3.106 16	1 4.392 76	2 0.654 42	2 6.619 6	2 8.430 25	2 5.739 04	2 0.537 35	1 5.096 27	1 0.775 7	7 .9215 63
1 3.498 02	1 3.635 16	1 9.427 54	2 5.836 5	2 8.512 42	2 6.523 05	2 1.597 46	1 6.069 41	1 1.491 03	8 .3689 14
1 4.082 51	1 3.039 6	1 8.203 49	2 4.922 67	2 8.437 85	2 7.209 09	2 2.638 43	1 7.076 82	1 2.258 8	8 .8631 65
1 4.846 35	1 2.625 04	1 7.011 54	2 3.894 1	2 8.203 32	2 7.783 42	2 3.647 05	1 8.111 35	1 3.077 72	9 .4062 85
1 5.770 77	1 2.406 16	1 5.881 26	2 2.770 01	2 7.808 54	2 8.233 31	2 4.609 42	1 9.164 63	1 3.945 61	9 .9998 37
1 6.831 81	1 2.392 79	1 4.841 76	2 1.572 62	2 7.256 44	2 8.547 39	2 5.511 26	2 0.227 13	1 4.859 31	1 0.644 89

附表 4：不同流速下模型的求解结果

3km 末 浓度	4.625 806	4.808 861	4.871 656	4.903 396	4.935 365	4.944 541	4.944 541	4.951 436	4.956 806
流速	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.12	0.14	0.16	0.18
3km 混 合浓度	25.65 156	19.92 35	19.94 87	20.26 785	19.97 41	19.98 06	20.48 394	19.98 057	20.41 16
10km 浓度	9.797 606	9.055 8	9.385 3	9.983 821	9.668	9.740 1	9.918 724	9.815 341	9.987 4
排放量	2508	1485	1176	1008	2548	2394	915	1800	882

代码：

**B 点混合浓度计算代码：**

```
function c=PianWeifen(pop)
Q=40;%流量
C=4.91401813825403;%下游 3000m 的初始浓度
E=1*10^-2;%扩散系数
a=1;%混合系数
c=(pop(1)*pop(2)+a*C*Q)/(pop(2)+a*Q);%混合浓度
end
```

**隐式差分代码：**

```
clear
format long;
E=1*10^-2;
u=4*10^-2;
k=5.787*10^-7;
x=3000;
t=x/u;
n=100;
m=20;
hx=x/n;
ht=t/m;
c0=5
for i=1:n
    c(1,i)=c0;
end
for i=2:m+1
    c(i,1)=c0^exp(-k*(i-1)*ht);
end
C(1:m,0.3*n)=c0;

a=-E/(hx^2);
b=1/ht+2*E/(hx^2)-u/hx+k;
y=u/hx-E/(hx^2);
```



```

ap=a-y;
bp=b+2*y;

for j=1:m
for i=1:n
    g(i)=c(j,i)/ht;
end
gp=g(1)-a*c(j+1,1);

w(1)=y/b;
G(1)=gp/b;
for i=2:n-1
    w(i)=y/(b-a*w(i-1));
    G(i)=(g(i)-a*G(i-1))/(b-a*w(i-1));
end
G(n)=(g(n)-ap*G(n-1))/(bp-ap*w(n-1));
c(j+1,n)=G(n);
for i=n-1:-1:1

c(j+1,i)=G(i)-w(i)*c(j+1,i+1);
end
end

```

### 粒子群代码:

```

%% 清空环境
clc % 清屏
clear all; % 删除 workspace 变量
close all; % 关掉显示图形窗口
%% 参数初始化
%粒子群算法中的两个参数
c1 = 1.49445;
c2 = 1.49445;

maxg=100; % 进化次数
sizepop=100; %种群规模

Vmax=1;
Vmin=-1;
popmax=50;
popmin=35;

%% 产生初始粒子和速度

```

---

```

for i=1:sizepop
    %随机产生一个种群
    pop(i,:)=15*rands(1,2)+35;          %初始种群
    V(i,:)=rands(1,2);                  %初始化速度
    %计算适应度
    c=PianWeifen(pop(i,:));
    uu=afdasd(c);
    fitness(i)=fun(pop(i,:),uu);        %染色体的适应度
end

%找最好的染色体
[bestfitness bestindex]=min(fitness);
zbest=pop(bestindex,:);                %全局最佳
gbest=pop;                             %个体最佳
fitnessgbest=fitness;                  %个体最佳适应度值
fitnesszbest=bestfitness;              %全局最佳适应度值

%% 迭代寻优
for i=1:maxg
    maxg %迭代次数
    for j=1:sizepop

        %速度更新
        V(j,:) = V(j,:) + c1*rand*(gbest(j,:) - pop(j,:)) + c2*rand*(zbest - pop(j,:));
        V(j,find(V(j,*)>Vmax))=Vmax;
        V(j,find(V(j,*)<Vmin))=Vmin;

        %种群更新
        pop(j,:)=pop(j,')+0.5*V(j,:);
        pop(j,find(pop(j,*)>popmax))=popmax;
        pop(j,find(pop(j,*)<popmin))=popmin;

        %自适应变异
        if rand>0.8
            k=ceil(2*rand);
            pop(j,k)=rand;
        end

        %适应度值
        c=PianWeifen(pop(j,:));
        uu=afdasd(c);
        fitness(j)=fun(pop(j,:),uu);
    end
end

```

---

```

        %个体最优更新
        if fitness(j) < fitnessgbest(j)
            gbest(j,:) = pop(j,:);
            fitnessgbest(j) = fitness(j);
        end

        %群体最优更新
        if fitness(j) < fitnesszbest
            zbest = pop(j,:);
            fitnesszbest = fitness(j);
        end

    end
    yy(i)=fitnesszbest;

end

%% 结果分析
plot(yy,'Linewidth',2)
title(['适应度曲线' , '终止代数=' num2str(maxg)]);
grid on
xlabel('进化代数');ylabel('适应度');
% 结果输出
zbest %最佳个体值

```