

# 排入河道砷废水分流渠处理措施的优化研究

郑云中

上海平和双语学校 上海 200000

**摘要:** 在芯片工业中,砷化镓被用于化合物半导体的生产。由于人类生存环境的恶化和社会舆论压力,政府开始制定并实施了《电子工业水污染物排放标准》。为了保护环境,避免处罚,减小运营成本以及维护公司声誉,砷废水排放对策的制定是十分重要的。本文主要探究特定河道分流渠横截面积和拦网深度对于砷污水排出效率的影响,运用CFD软件建立了河道,砷污水排入口和分流渠的数学模型,采用Realizable  $k-\varepsilon$  湍流双方程模型对该河道的流场和浓度场进行了数值计算,而后采用正交试验,比较分析了分流渠高度、分流渠宽度及拦网深度这三种因素的变化对于河道内流场的影响,从而对河道内的砷污水排出进行优化。

**关键词:** 河道; 砷废水; 分流渠

## Study on optimization of treatment measures for arsenic wastewater discharged into river channels

Yunzhong Zheng

Shanghai Pinghe Bilingual School, Shanghai 200000

**Abstract:** In the chip industry, gallium arsenide is used in the production of compound semiconductors. Due to the deterioration of human living environment and the pressure of public opinion, the government began to formulate and implement the Discharge Standard of Water Pollutants in Electronic Industry. In order to protect the environment, avoid punishment, reduce operating costs and maintain the company's reputation, it is very important to formulate countermeasures for arsenic wastewater discharge. In this paper, the influence of cross-sectional area and blocking depth of a specific channel on arsenic wastewater discharge efficiency is mainly explored. The mathematical models of channel, arsenic wastewater discharge inlet and channel are established by CFD software, and the flow field and concentration field of the channel are numerically calculated by the Realisable  $K-\varepsilon$  turbulence two-equation model. Then, the influence of the height, width and blocking depth of the channel on the flow field in the channel is compared and analyzed by orthogonal experiment, so as to optimize the arsenic wastewater discharge in the channel.

**Keywords:** river course, arsenic wastewater, diversion canal

### 前言:

砷进入了河流之后会被河流冲走,渗入到地下水。因此,当人们饮用该处的地下水时会含有砷。当人们饮用了含有砷的水之后有患上癌症的几率。人类体内过量的砷会影响细胞的新陈代谢,影响细胞的氧化反应和呼吸作用。砷还会损伤人体的血管,引起血容量降低。砷中毒还分急性,亚急性,和慢性三种。急性砷中毒可能会引起脱水甚至休克。亚急性砷中毒会导致多发性神经炎的症状。慢性砷中毒会引起脱发,贫血等症状。砷不仅会对人体健康产生影响,还会对农作物有不良影响包

括植物根条数减少,根的体积减少,植株矮小,生长发育迟缓等<sup>[1]</sup>。

目前国内对于砷污染的处理方式为吸附法和絮凝法。刘传松提出了使用活性氧化铝来吸附砷的砷废水治理方案,并检测了治理前后河水中砷浓度的变化趋势。结果表明:当取浓度为0.4mg/L的水,用活性氧化铝吸附柱对其进行处理,处理后水中砷的浓度为0.006-0.01mg/L,满足<0.05mg/L的标准。

本文主要探究在某河道排入含砷废水后,采用分流渠和拦网的方式去除该含砷废水的最优方案。分流渠的

高度和宽度及拦网深度对于砷废水排出效率的影响,运用CFD软件建立了河道排出废水的数学模型,而后采用正交试验,比较分析了河道分流渠的高度和宽度及拦网深度这三个因素的变化对于河道内流场的影响,从而对河道内的废水排除进行优化。

### 1 数值模拟方法

#### 1.1 基本假设

- (1) 砷化物完全溶于水,不考虑出现沉淀的情况;
- (2) 砷化物溶于水后与水的性质基本相同;
- (3) 砷化物与拦网接触后不会粘接到拦网上;
- (4) 不考虑砷化物溶于水后出现的温度变化。

#### 1.2 物理模型(三个方案)

本文选取的研究对象为某一河道,河道的结构为长方体,在河道上游通过圆管排入含砷废水,在其下游布置拦网,在河岸对面布置分流渠,具体结构如图1所示。

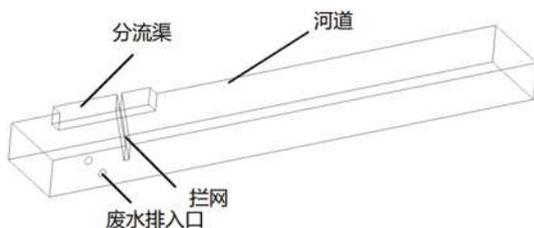


图1 河道及分流渠及拦网结构示意图

本文选用ANSYS Fluent 15软件求解。在自然水流动过状况下,经过对于河道内部以及水流进出口雷诺数的计算,河道内的水流流动应为湍流,因此采用k-ε湍流模型进行计算。

#### 1.3 数值模型

连续性方程:

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

动量方程:

$$\frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu_{eff} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] - \frac{\partial P}{\partial x_j} \quad (2)$$

描述湍流运动的k-ε双方程模型:

$$k \text{ 方程: } \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\mu_{eff}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G - \rho \epsilon \quad (3)$$

$$\epsilon \text{ 方程: } \left[ \frac{C_{\epsilon 1} G \epsilon}{k} - \frac{C_{\epsilon 2} \rho \epsilon^2}{k} \right] \quad (4)$$

其中,  $G = \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left( \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right)$ ;

有效粘度  $\mu_{eff} = \mu_t + \mu_l = \mu_l + \rho C_\mu k^2 / \epsilon$ ; (5)

模型中的常数采用Spalding所推荐的如下数据:

$C_{\epsilon 1} = 1.43, C_{\epsilon 2} = 1.92, C_\mu = 0.09, \sigma_k = 1.0, \sigma_\epsilon = 1.3$

#### 1.4 网格划分与边界条件设置(采用1个方案去描述)

河道的几何模型如图2所示,在这里要注意的是,这仅仅是初始模型。由于本文研究的要素包括河道分流渠的高度和宽度及拦网深度,因此河道的几何模型也会随研究对象的改变而作出调整。对几何模型进行网格划分,使废水排入口至少包含三层网格,并且在划分完成后对结果进行检查与修正,尽量使各网格呈规则四面体,网格数量约为309374个。在设置边界条件时,河床、河岸及水面设置为“墙壁”边界条件;河流入口和废水排入口设置为速度边界条件,其中河流入口速度为0.1m/s,砷废水排放口的度为1m/s。

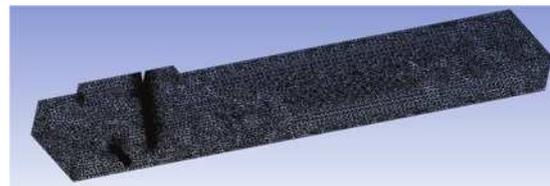


图2 河道内进行网格划分后的结果

### 2 实验方案与结果分析

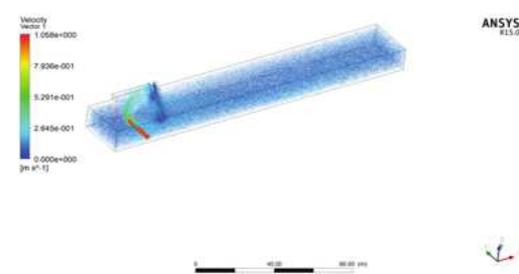
#### 2.1 因素、水平及正交试验表的选取

河流中砷废水排出的影响因素有很多,在本文中,我们选取河道分流渠的高度和宽度及拦网深度共3个影响因素作为主要影响因素。由因素与水平选取L9(3<sup>3</sup>)型正交试验表,表1为试验方案。

表1 试验方案表

试验号	A (拦网深度/m)	B (排出口高度/m)	C (排出口宽度/m)
1	2.0	3.0	30
2	2.0	5.0	40
3	2.0	7.0	50
4	4.0	3.0	40
5	4.0	5.0	50
6	4.0	7.0	30
7	6.0	3.0	50
8	6.0	5.0 </td <td>30</td>	30
9	6.0	7.0	40

#### 2.2 流场分布图分析



a

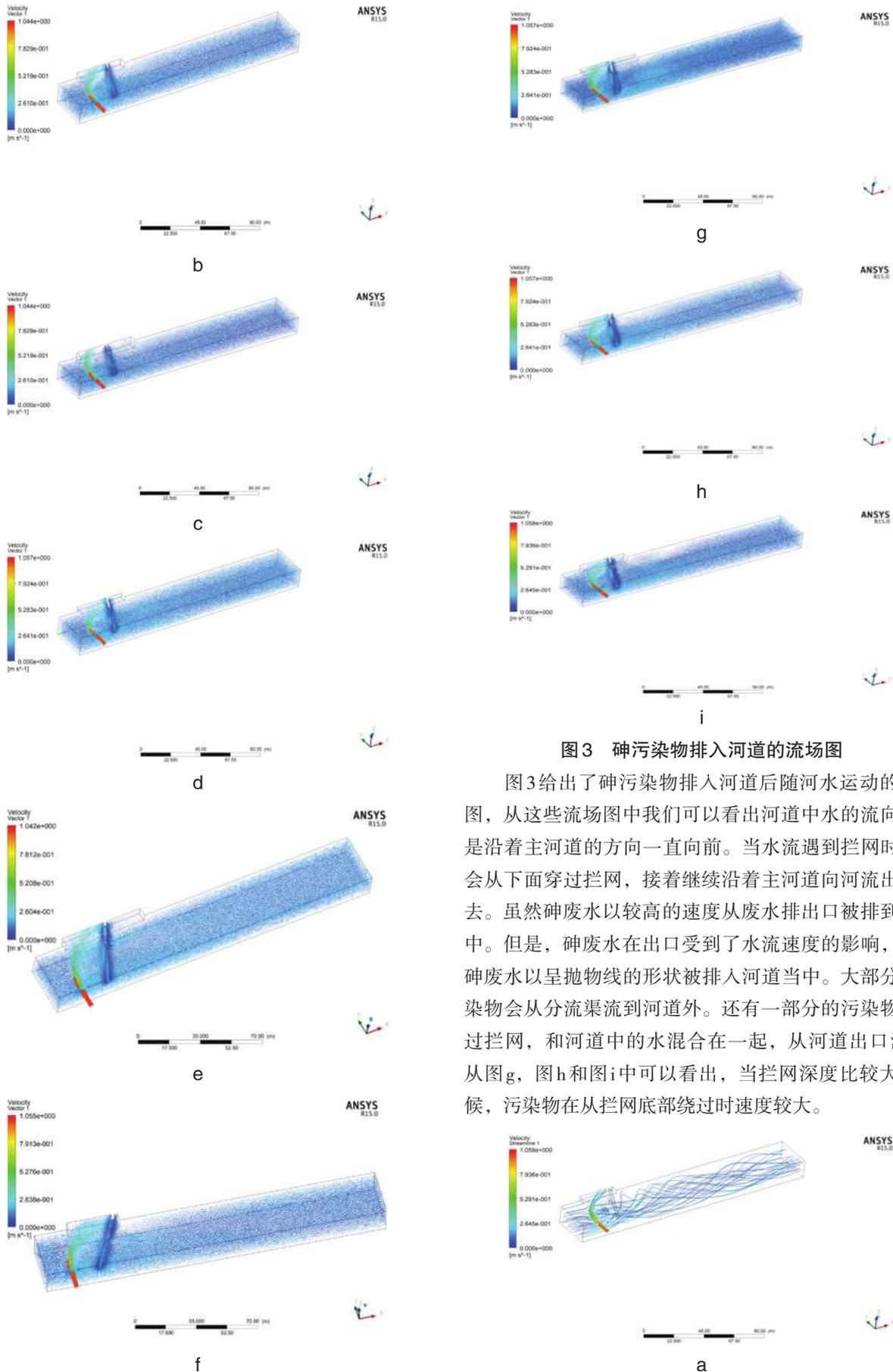


图3 砷污染物排入河道的流场图

图3给出了砷污染物排入河道后随河水运动的流场图，从这些流场图中我们可以看出河道中水的流向主要是沿着主河道的方向一直向前。当水流遇到拦网时，它会从下面穿过拦网，接着继续沿着主河道向河流出口流去。虽然砷废水以较高的速度从废水排出口被排到河道中。但是，砷废水在出口受到了水流速度的影响，使得砷废水以呈抛物线的形状被排入河道当中。大部分的污染物会从分流渠流到河道外。还有一部分的污染物会绕过拦网，和河道中的水混合在一起，从河道出口流出。从图g，图h和图i中可以看出，当拦网深度比较大的时候，污染物在从拦网底部绕过时速度较大。

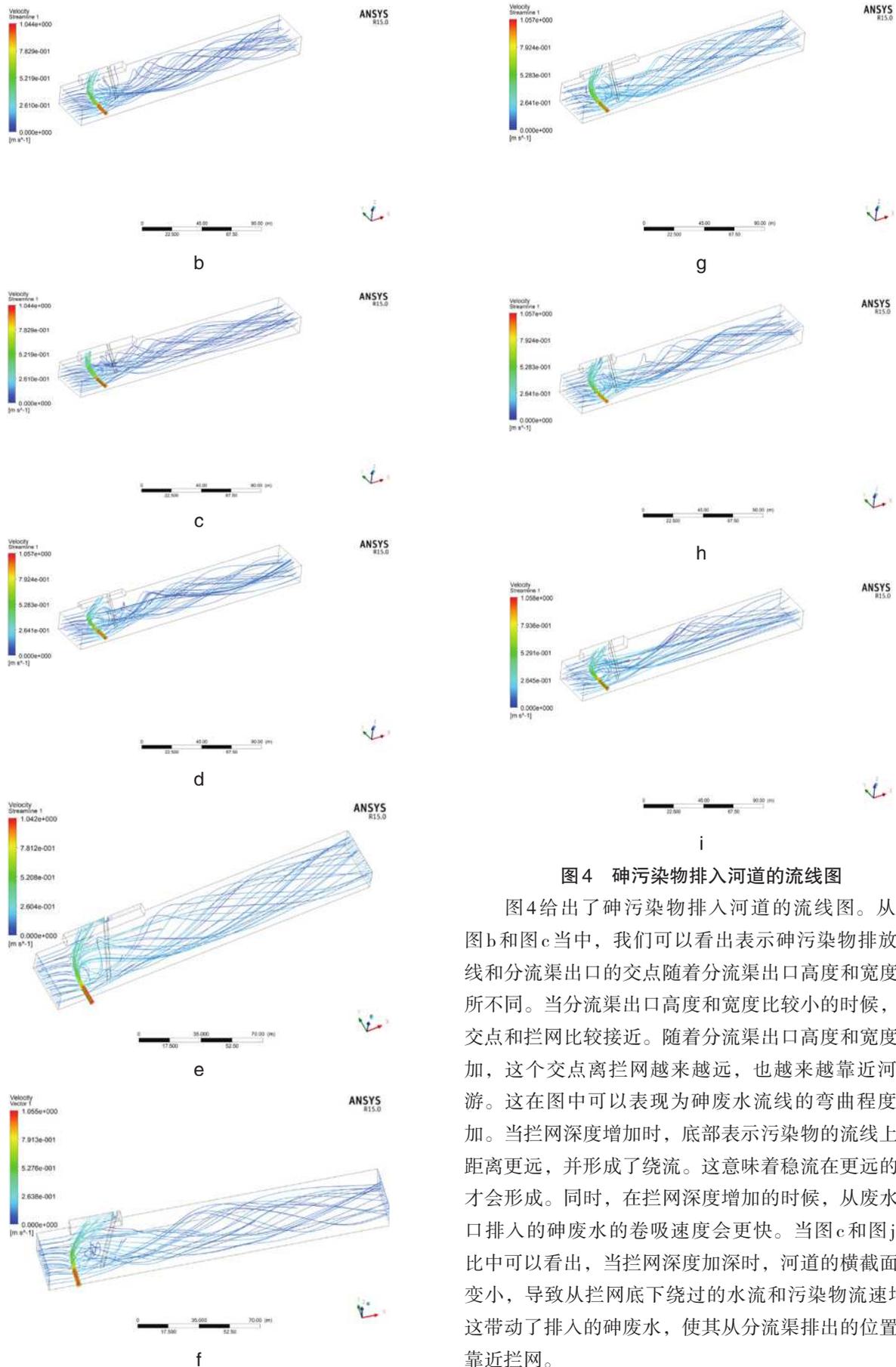


图4 砷污染物排入河道的流线图

图4给出了砷污染物排入河道的流线图。从图a, 图b和图c当中, 我们可以看出表示砷污染物排放的流线和分流渠出口的交点随着分流渠出口高度和宽度而有所不同。当分流渠出口高度和宽度比较小的时候, 这个交点和拦网比较接近。随着分流渠出口高度和宽度的增加, 这个交点离拦网越来越远, 也越来越靠近河流上游。这在图中可以表现为砷废水流线的弯曲程度的增加。当拦网深度增加时, 底部表示污染物的流线上浮的距离更远, 并形成了绕流。这意味着稳流在更远的距离才会形成。同时, 在拦网深度增加的时候, 从废水排入口排入的砷废水的卷吸速度会更快。当图c和图j的对比中可以看出, 当拦网深度加深时, 河道的横截面积会变小, 导致从拦网底下绕过的水流和污染物流速增加。这带动了排入的砷废水, 使其从分流渠排出的位置更加靠近拦网。

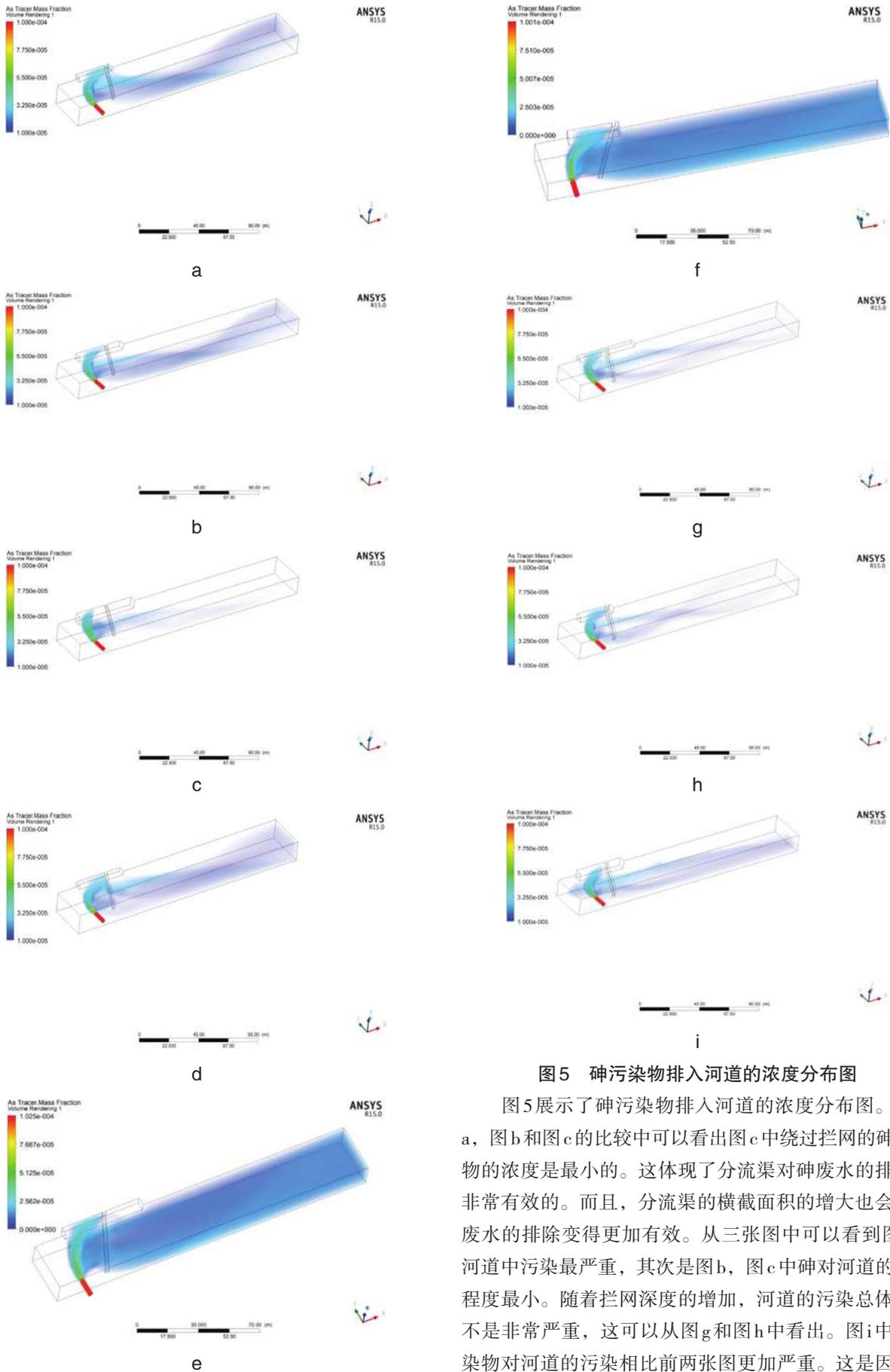


图5 砷污染物排入河道的浓度分布图

图5展示了砷污染物排入河道的浓度分布图。从图a, 图b和图c的比较中可以看出图c中绕过拦网的砷污染物的浓度是最小的。这体现了分流渠对砷废水的排除是非常有效的。而且, 分流渠的横截面积的增大也会使砷废水的排除变得更加有效。从三张图中可以看到图a的河道中污染最严重, 其次是图b, 图c中砷对河道的污染程度最小。随着拦网深度的增加, 河道的污染总体来说不是非常严重, 这可以从图g和图h中看出。图i中砷污染物对河道的污染相比前两张图更加严重。这是因为尽

管拦网深度加深了, 绕过拦网的水流速度也变快了, 因为河道的横截面积变小了。这造成了卷吸, 让砷污染物刚离开排污口就被水流带到河道中。

### 2.3 模拟结果分析

经Fluent软件运算得到的试验数据如表2所示, 采用正交法进行数据分析。

表2

试验号	A (拦网深度/m)	B (分流渠出口高度/m)	C (分流渠出口宽度/m)	I (河道出口砷水质量比)
1	2.0	3.0	30	1.1082562e-05
2	2.0	5.0	40	1.0103492e-05
3	2.0	7.0	50	6.4194151e-06
4	4.0	3.0	40	1.1371884e-05
5	4.0	5.0	50	9.89*10 <sup>-6</sup>
6	4.0	7.0	30	1.05*10 <sup>-5</sup>
7	6.0	3.0	50	8.6606133e-06
8	6.0	5.0	30	9.6856193e-06
9	6.0	7.0	40	9.6637841e-06

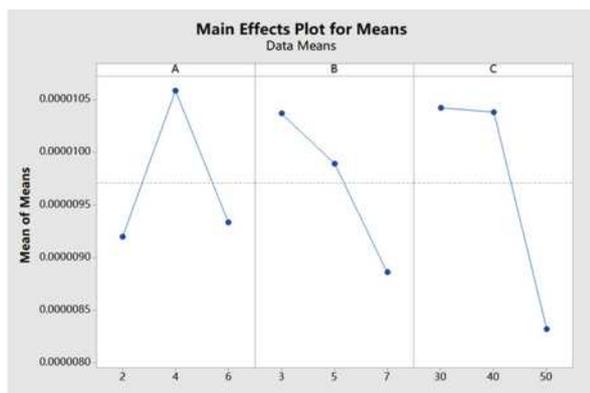


图6 对河道出口污染物含量进行数据分析得出的结果

#### 2.3.1 正交结果

图6给出了河道出口污染物含量进行数据分析得出的正交结果。由上述图表可得出以下结论:

##### 1、单个因素对于河道出口砷污染物浓度的影响

(1) 在以拦网深度为因素的情况下, 河道出口砷污染物浓度在拦网深度较小或者较大时要比拦网深度是4时要小。在上述实验中, A1条件下的河道出口砷污染物浓度最小。

(2) 在以分流渠出口高度为因素的情况下, 河道出口砷污染物浓度随着分流渠高度的增加而减少。在上述实验中, B3条件下的河道出口砷污染物浓度最小。

(3) 在以分流渠出口宽度为因素的情况下, 河道出口砷污染物浓度随着分流渠宽度的增加而减少。在上述实验中, C3条件下的出风口平均出风量最大。

#### 2.3.2 各因素对于通风量的影响

根据试验结果所作的图表如上图所示, 河道出口砷浓度分别于拦网深度水平1、分流渠出口高度水平3与分流渠出口宽度水平3时达到最大, 其组合即为试验方案3, 因此无需补充试验。如上图所示, 在以分流渠出口宽度为因素的情况下, 河道出口砷污染物的浓度的降低更明显。因此, 可以得出结论: 分流渠出口宽度对于河道出口砷污染物浓度的影响最大。

#### 2.3.3 各因素组合后的最优解

由上述结论1、2、3, 可以得出结论: 在本次试验中, A1B3C3是最优组合。

### 3 总结

1、建立了模拟砷污染物在河道中扩散的模型, 考虑了拦网深度和分流渠出口高度及分流渠出口宽度这三个因素, 水平分别为(2.0米, 4.0米, 6.0米)、(3.0米, 5.0米, 7.0米)、(30.0米, 40.0米, 50.0米)。

2、设计了L9(3<sup>3</sup>)正交实验, 分析了各种情况下河道内的流场。

3、经过对于河道内流场图, 流线和浓度分布图的分析, 得出以下结论: 随着拦网深度的加深, 河道的横截面积会变小, 并进一步导致从拦网下方绕过的水流速度变快, 造成卷吸, 使得砷污染物被带入到拦网之后的河道当中。

#### 4、经过对于极差的分析, 得出以下结论:

(1) 在以拦网深度为因素的情况下, A1条件下的河道砷污染物浓度最小。

(2) 在以分流渠出口高度为因素的情况下, B3条件下的河道砷污染物浓度最小。

(3) 在以分流渠出口宽度为因素的情况下, C3条件下的河道砷污染物浓度最小。

(4) 在本次试验中, A1B2C2是最优的排除污染物方案组合。

#### 参考文献:

[1]常思敏, 马新明, 蒋媛媛, 贺德先, 张贵龙.土壤砷污染及其对作物的毒害研究进展.河南: 河南农业大学.2005年6月.