

竖管式扩散器排放近区数值模拟研究

⑩

国延恒

严忠民[✓] 赵斌x703
TU992.23

39-41

(南京市环境保护科学研究所 南京 210013)

(河海大学 南京 210098)

摘要 结合我国排放口设计的发展方向,通过数值模拟方法研究了竖管式多孔扩散器排放近区的稀释特性和数值预报模型。针对前人二维当量长孔浮射流理论不能考虑扩散器附近单个浮射流的混合特征的不足之处,提出了多孔浮射流混合前后的耦合模拟方法,建立了竖管式扩散器排放近区单侧混合的数值模型,并通过模型试验加以验证。结果表明,数值计算成果与模型试验成果基本一致,可以直接用于竖管式扩散器表层初始稀释度的预报。

关键词 污水排海工程 扩散器 数值模拟 稀释度 排放管

在浅大陆架的近海排放工程中,大都采用带竖管的多孔扩散器。为防止海浪的冲击和过往船只拖锚的影响,排放管通常埋置在海床以下,排放废水通过竖管上的喷孔喷出,形成多股细小的浮射流。在排放动量和浮力通量作用下,浮射流相互混合并与受纳水体激烈掺混,从而提高了排放废水的初始稀释程度。

试验研究表明^[1],竖管式扩散器的表层初始稀释度与喷孔的布置有很大的关系。受传统的二维当量长孔浮射流理论的影响,以往的扩散器设计都采用喷孔密集排列的方式,即所谓“密排”,以获得与二维当量长孔浮射流理论预测相一致的初始稀释度。文献[2]研究表明,密排不是唯一有效的排放方式。在有限的排放水深条件下,排放废水在扩散器两侧形成两股独立的二维线浮射流,反而可以获得较高的稀释度。因此,分析扩散器单侧浮射流的混合特性,并建立相应的预报模型,是当前排放工程扩散器设计急需解决的课题。

1 模拟方法

当污水从排放管喷孔射出后,先以单个

圆孔浮射流的形式运动,由于混掺作用,浮射流不断卷吸着周围水体而使自身体积增加并导致相邻浮射流相互混合,最终形成二维线浮射流。因此扩散器单侧混合区由单股圆孔浮射流和混合后的二维线浮射流组成。相邻浮射流混合后,各基本参量分布的相似性遭到破坏,积分法难以应用。传统的二维当量长孔浮射流理论又因略去单个圆孔浮射流的混合特征,使计算结果与实际值差异较大。笔者在总结前人研究的基础上,提出修正的二维当量长孔浮射流混合模型。其基本思路是:在相邻浮射流混合以前采用单个圆孔浮射流混合模型,混合后则采用二维当量长孔浮射流混合模型。为保证浮射流平均稀释度沿射流轨迹变化的连续性,在两个模型的耦合点即相邻射流的混合点处,两个模型所计算的稀释度应保持相等,并以此为控制条件,求得圆孔浮射流转化成二维当量长孔浮射流的方法。

2 修正的二维当量长孔浮射流数学模型

浮射流数值计算方法很多,其中主要是

第一作者简介:国延恒,女,硕士,从事环境水力学研究。

微分法和积分法两种,前者求解一组偏微分方程,所需经验系数较多;后者通过积分将微分方程化成一组积分方程,可以减少求解过程中所需的试验常数。因此,积分法一直是浮射流计算的常用方法,本文也采用这一方法,推导出基本方程。

2.1 基本假定

a. 相邻浮射流间的作用并不影响射流要素的平均性质,但影响射流半径。

b. 模型计算结果只是反映浮射流的平均性质。

c. 在浮射流横断面上速度和密度分布符合高斯分布,即

$$u/u_m = \exp[-(\frac{r}{b})^2] \quad (1)$$

$$\Delta/\Delta_m = C/C_m = \exp[-(\frac{r}{\lambda b})^2] \quad (2)$$

式中 u, Δ 分别为速度和密度差; C 为浮射流内部各点浓度,下标 m 代表中心轴线; r 为径向距离; b 为浮射流名义半径; λ 为经验系数。

d. 混掺假定。混掺有两种机理,一种是由于射流本身紊动引起的环境水体被挟带而产生的稀释,另一种是由于环境来流和射流本身碰撞而形成的,亦称强迫混掺,在静水中强迫混掺量为零。

e. 表面污水层假定。污水上升到自由水面后会形成污水层,阻止污水的进一步掺混、稀释。根据文献[3],取表面污水层厚度为 $0.1H$,在计算中假定有效排放水深为实际水深(H)减去污水层厚度。

2.2 微分方程

根据上述假定可推导出单个圆孔浮射流和二维线浮射流均适用的微分方程组,即

$$\begin{cases} dx/ds = \cos\theta \\ dz/ds = \sin\theta \\ dQ/ds = E \\ dM/ds = h\sin\theta \\ d\theta/ds = h\cos\theta/M \\ dB/ds = 0 \end{cases} \quad (3)$$

式中 z 为浮射流上升距离; x 为浮射流水平运动距离; s 为沿浮射流轴线的距离; θ 为浮射流轴线与水平方向所成角度; 对单孔射流 Q 为单孔流量,对线射流 Q 为单宽流量; B 为单位浮力通量; E 为卷吸流量; M 为单位动量通量。

圆孔浮射流:

$$h = \frac{1+\lambda^2}{2} \cdot \frac{BQ}{M} \quad (4)$$

$$E = 2\sqrt{2\pi M}(0.057 + 0.085 \frac{BQ^2}{M^{3/2}}) \quad (5)$$

二维线性浮射流:

$$h = \sqrt{\frac{1+\lambda^2}{2}} \cdot \frac{BQ}{M} \quad (6)$$

$$E = 2\sqrt{2} \frac{M}{Q}(0.055 + 0.087 \frac{BQ^3}{M^3}) \quad (7)$$

λ 的取值可通过速度场与浓度场分布规律求得。根据前人大量的实验资料,圆孔浮射流 λ 取 1.14,线浮射流 λ 取 1.35。

2.3 计算初始条件

假定射流出流后即完全紊动,则初始值为扩散器喷孔处值: $x(0) = 0; z(0) = 0; Q(0) = Q; M(0) = M_0 = U_0 Q_0; \theta(0) = \theta_0$ 。

3 计算成果分析

根据假定,本模型计算考虑的是浮射流掺混的平均特性,计算结果反映的仅仅是表层平均稀释度 S_a ,但工程上往往关心的是表层最小稀释度 S_m ,即排放废水在受纳水体表层的最大浓度。其转换关系为

$$\text{圆浮射流: } S_a = \frac{1+\lambda^2}{\lambda^2} S_m = 1.77 S_m \quad (8)$$

$$\text{线浮射流: } S_a = \sqrt{\frac{1+\lambda^2}{\lambda^2}} S_m = 1.25 S_m \quad (9)$$

以计算值为纵坐标,试验值为横坐标,将数学模型结果取不同的 S_a/S_m 值与试验结果相比较,见图 1 和图 2。

由图可见,数值计算结果在 S_a/S_m 取值恰当时可以获得较高的精度。在计算参数取 $S_a/S_m = 1.77$ 时,竖管相对间距 $H/l < 3$ 的点基本落在对称线(45°)上,计算结果与试验结

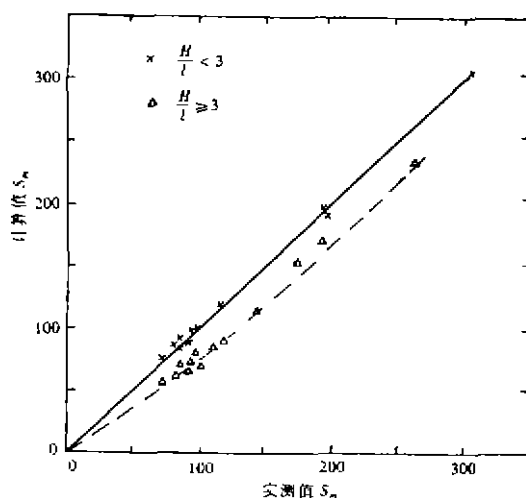


图1 模型实测值与计算值比较 ($S_a/S_m \approx 1.77$)

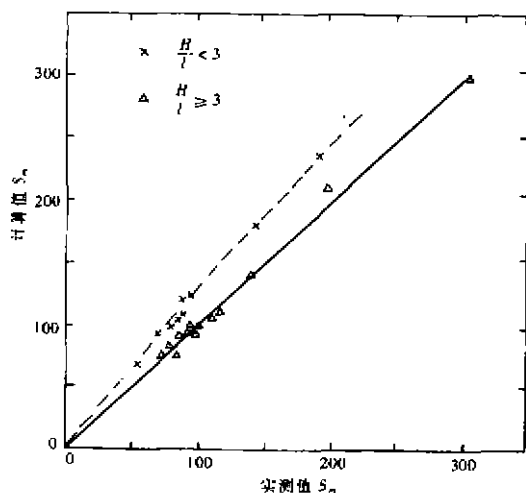


图2 模型实测值与计算值比较 ($S_a/S_m = 1.25$)

果基本一致,而 $H/l \geq 3$ 的点则偏离对称线 30% 左右,计算结果低于试验结果。在计算参数取值 $S_a/S_m = 1.25$ 时,则 $H/l < 3$ 的点偏离对称线 30% 左右,计算结果高于试验值。而 $H/l \geq 3$ 的点则落在对称线上,计算结果与试验结果基本一致。因此对不同的竖管相对间距 (H/l) 取不同的计算参数,模型预报可以取得较高的精度。

4 结 语

本文采用积分法,推导出同时适合单孔圆浮射流和二维线浮射流的基本方程,提出了单孔圆浮射流混合成二维线浮射流时混合点处的稀释度应保持连续的耦合模拟方法,

建立了竖管式扩散器单侧混合后的表层初始平均稀释度的预报模型,并给出了表层平均稀释度与最小稀释度的转换关系,计算结果与试验结果较为一致,可直接用于竖管式扩散器表层初始稀释度的预报。

参考文献

- 1 Pau Liseth. Waste water disposal by submerged manifolds. *Journal of the Hydraulics Division*, 1976 (HY1): 1 ~ 14
- 2 严忠民, 蒋传丰, 周春天等. 城市污水潜管排放试验研究. *中国给水排水*, 1996 (1): 8 ~ 9
- 3 Wright S J, Roberts P J W, Yan Zhongmin, et al. Surface dilution of round submerged buoyant jets. *Journal of Hydraulic Research*, 1991, 29 (1): 67 ~ 89

(收稿日期: 1996-10-04 编辑: 张志琴)

· 简讯 ·

一种新型输水管道保护剂

美国佐治亚州亚特兰大市的 Aqua Smart 股份有限公司研制了一种名为 Sequest 的新型输水管道保护剂,该产品是一种粒状复合无机磷酸盐掺合剂,可用来解决输水管道中遇到的系列问题。

当该产品投放到地表水和井水中时,能使天然水源中的矿物质(钙、镁、二氧化硅及所有的二价金属)悬浮并失活。在无需添加其它添加剂的情况下,该产品即可独自消除水中的铁锈及污物,既可防止水垢产生,又能除去输水管道、阀门及设备中已有的水垢和锈蚀物。它还能在金属管道和设备内表面自动形成一单分子保持层,最大限度地降低进一步的腐蚀,增大管道压力,增强对抽水设备的保护。此外,它还能减少细菌污染的发生,最大限度地降低溶解铅和溶解铜的含量,从而提供含铅、铜量低的饮用水。它在 pH 值保持为 5 ~ 11 的范围内均有效,且可降低 pH 值,从而减少三卤甲烷的形成。在不需控制 pH 值的情况下,该产品也具有最佳防蚀功能。

Sequest 可以通过增大输水管道内的流量及降低动力消耗减少用户开支。另外,它在应用时不需调节 pH 值,并可以节省管道清洗、保护层加复以及管道更换的费用。总之,该产品将对饮用水水质的进一步改善及供水系统的总体效率产生深远的影响。

(摘自 1998 年 1 月 5 日《水信息》)