

静水中正方形孔口的有障碍浮射流(I) ——数学模型及计算方法的验证*

槐文信¹, 方神光², 戴会超¹

(1. 水资源与水电工程科学国家重点实验室 武汉大学, 武汉 430072;

2. 清华大学 水利系, 北京 100084)

(刘宇陆推荐)

摘要: 对静水中正方形孔口之上放置一正方形阻力盘的浮射流进行了试验, 测量了不同工况下盘后自相似区域轴线上浓度的分布, 并建立了其相应的三维数学模型, 对不同工况进行了数值模拟计算, 数值模拟结果与试验结果吻合较好。将结果与静水中圆孔有阻力浮射流的经验公式进行了比较, 发现正方形孔口上放置一正方形阻力盘与圆孔上放置一圆盘在盘后自相似区轴线上浓度分布规律基本一致。对盘后不同高度位置处横截面上的温度等值线分布进行了分析, 发现离正方形盘较近的一段高度内温度等值线呈现独特的星形分布, 随着离盘距离的增加则变为与圆孔浮射流类似的同心圆形状

关键词: 浮力射流; 正方形孔口; 障碍射流; 三维数学模型; 稀释度

中图分类号: O358 **文献标识码:** A

引 言

许多大城市都是沿江和沿海分布, 每年会向这些水体中排放大量的污水, 若处理不当, 会给生态环境造成严重污染或破坏, 因此如何减小其对环境的影响一直是国内外学者所探讨的主要课题。采用扩散器进行排放一直是国内外的主要做法, 对其所做的研究和探讨工作较多。如 Neece 等^[1] 研究在靠近污水放流管出口的前段设置吸孔以对污水在排放之前进行预稀释, 通过实验验证了其效果; Agg 和 White^[2] 研究了不同形状的喷口情形的射流的稀释特性; Sharp^[3] 研究了沿一水平固壁边界水平排放的浮射流, 并通过实验证实了其在提高表面稀释度方面时该设计的有效性。

Noutsopoulos 和 Yannopoulos^[4] 与槐文信和方神光^[5,6] 分别通过试验和数值模拟计算证实了圆孔有阻力浮射流能提高轴线稀释度, 并同时给出了盘后轴线上浓度分布的经验公式。因此设想对正方形孔口有阻力浮射流是否也存在相似的轴线浓度分布规律呢? 为验证这一结论, 本文对设置正方形阻力盘的正方形孔口热水浮射流分别进行了试验和大量的数值模拟计算。并将由试验和计算得到的结果与圆孔有阻力浮射流的轴线稀释度进行了比较。

* 收稿日期: 2005_03_14; 修订日期: 2005_12_18

基金项目: 教育部优秀教师资助计划资助项目(2003_99)

作者简介: 槐文信(1963—), 男, 陕西乾县人, 教授, 博士(联系人, Tel: + 86_27_68772211; Fax: + 86_27_68772310; E_mail: wxhuai@whu.edu.cn)。

1 试验装置和测量系统

试验是在一个能补充冷水的水箱中进行的,水箱长 150 cm,深 80 cm,宽 80 cm,整个试验装置如图 1 所示。为保证水箱内水位的恒定,将水箱左右两边设计成尖顶堰形式,从堰顶溢出的水通过引水槽流走。试验水箱的前后两个侧壁面采用厚度为 10 mm 的透明玻璃,可以便于观察热水射流的流态。一横截面为正方形的 30 cm 长的铝制管,边长 $l = 1$ cm,垂直放置在试验水箱底部的中间位置,且伸入水箱内的长度为 1 cm。铝管通过工业用 PVC 管与热水水箱相联。射流热水来自加热水箱,箱内装有电热管,自动温控仪与电热管相连,用以控制水箱内水温,保证恒定的射流温度。

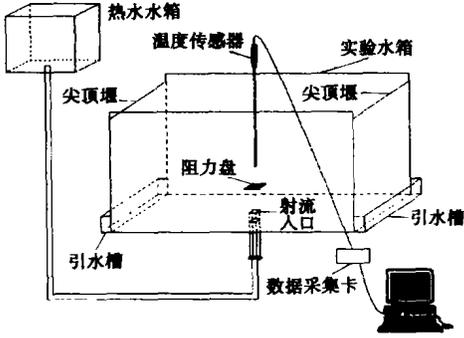


图 1 试验装置示意图

温度测量系统所采用的温度测量仪器包括数据采集和数据处理两部分。数据采集部分包括温度感应器和采集卡,根据测量的需要可以做成不同的形状。它的前端约 3 mm 段为感应端,通过绝热段与测杆连接,测杆中空,内部有连接线连接到感应端和数据采集卡。感应端的信号传到数据采集卡上,经过相应的软件处理即可以在电脑上显示出瞬时的温度值,测量的精度可以达到 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。可以设定取平均值的时间范围(本试验选为 20 s)即可得到时均的温度值。

2 数学模型

静水中正方形孔口射流的流场必须采用三维数值模拟,本文在 Yakhot 和 Orszag^[7]所推荐 RNG 紊流模型的基础上,考虑浮力的影响,得到基于射流出口流速 v_j 、射流正方形孔口边长 l 和环境水体密度 ρ_a 为特征量的无量纲恒定三维紊流 RNG 的 $k-\varepsilon$ 模型为

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \quad (1)$$

$$Re_l \left[u - 2 \frac{\partial v_l}{\partial x} \right] \frac{\partial u}{\partial x} + Re_l \left[v - \frac{\partial v_l}{\partial y} \right] \frac{\partial u}{\partial y} + Re_l \left[w - \frac{\partial v_l}{\partial z} \right] \frac{\partial u}{\partial z} = \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] + Re_l \left[- \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{2}{3} \frac{\partial k}{\partial x} + \frac{\partial v_l}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial v_l}{\partial z} \frac{\partial w}{\partial x} \right], \quad (2)$$

$$Re_l \left[u - \frac{\partial v_l}{\partial x} \right] \frac{\partial v}{\partial x} + Re_l \left[v - 2 \frac{\partial v_l}{\partial y} \right] \frac{\partial v}{\partial y} + Re_l \left[w - \frac{\partial v_l}{\partial z} \right] \frac{\partial v}{\partial z} = \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right] + Re_l \left[- \frac{\partial p}{\partial y} - \frac{2}{3} \frac{\partial k}{\partial y} + \frac{\partial v_l}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v_l}{\partial z} \frac{\partial w}{\partial y} \right] + \beta g \Delta T \frac{l}{v_j}, \quad (3)$$

$$Re_l \left[u - \frac{\partial v_l}{\partial x} \right] \frac{\partial w}{\partial x} + Re_l \left[v - \frac{\partial v_l}{\partial y} \right] \frac{\partial w}{\partial y} + Re_l \left[w - 2 \frac{\partial v_l}{\partial z} \right] \frac{\partial w}{\partial z} = \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right] + Re_l \left[- \frac{\partial p}{\partial z} - \frac{2}{3} \frac{\partial k}{\partial z} + \frac{\partial v_l}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial v_l}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial z} \right], \quad (4)$$

$$Re_k \left[u - \frac{1}{\sigma_k} \frac{\partial v_l}{\partial x} \right] \frac{\partial k}{\partial x} + Re_k \left[v - \frac{1}{\sigma_k} \frac{\partial v_l}{\partial y} \right] \frac{\partial k}{\partial y} + Re_k \left[w - \frac{1}{\sigma_k} \frac{\partial v_l}{\partial z} \right] \frac{\partial k}{\partial z} = \left[\frac{\partial^2 k}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 k}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 k}{\partial z^2} \right] + Re_k \left[P_k - \varepsilon + \alpha g \frac{v_l}{P_n} \frac{\partial T}{\partial z} \frac{l}{v_j^2} \right], \quad (5)$$

$$Re\epsilon \left\{ u - \frac{1}{\sigma_k} \frac{\partial v_l}{\partial x} \right\} \frac{\partial \epsilon}{\partial x} + Re\epsilon \left\{ v - \frac{1}{\sigma_k} \frac{\partial v_l}{\partial y} \right\} \frac{\partial \epsilon}{\partial y} + Re\epsilon \left\{ w - \frac{1}{\sigma_k} \frac{\partial v_l}{\partial z} \right\} \frac{\partial \epsilon}{\partial z} = \left\{ \frac{\partial^2 \epsilon}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \epsilon}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \epsilon}{\partial z^2} \right\} + Re\epsilon \left\{ C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} \left[P_k + \alpha g \frac{v_l}{P_n} \frac{\partial T}{\partial y} \frac{L}{v_j^2} \right] - C_{\epsilon 2} \frac{\epsilon^2}{k} \right\}, \quad (6)$$

$$Re_T \left\{ u - \frac{1}{P_n} \frac{\partial v_l}{\partial x} \right\} \frac{\partial T}{\partial x} + Re_T \left\{ v - \frac{1}{P_n} \frac{\partial v_l}{\partial y} \right\} \frac{\partial T}{\partial y} + Re_T \left\{ w - \frac{1}{P_n} \frac{\partial v_l}{\partial z} \right\} \frac{\partial T}{\partial z} = \left\{ \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right\}, \quad (7)$$

式中 x, z 是水平方向坐标, y 是垂直浮力方向坐标, u, v, w 分别是 x, y, z 方向的流速, p, k, ϵ, T 表示压强, 紊动能, 紊动耗散率和温度。

$$Re_t = \frac{Re}{1 + ReW}, \quad Re_k = \frac{Re}{1 + ReW/\sigma_k}, \quad Re_\epsilon = \frac{Re}{1 + ReW/\alpha_\epsilon},$$

$$Re_T = \frac{1}{1/(ReP_n) + W/P_n}, \quad Re = \frac{v_j l}{\nu}, \quad v_l = C_\mu \frac{k^2}{\epsilon},$$

P_n, P_n 分别是普朗特数和紊流普朗特数, 取值均为 0.7; ν 是运动粘性系数; W 是紊动粘性系数。

$$P_k = v_l \left[2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 \right], \quad (8)$$

模型中的常数取值: $C_\mu = 0.085, C_{\epsilon 1} = 1.42 - \eta(1 - \eta/\eta_0)/(1 + \beta\eta^3), \eta = Sk/\epsilon, S = (P_k/W)^{1/2}, \beta = 0.015, C_{\epsilon 2} = 1.68, \sigma_k = 0.7179, \sigma_\epsilon = 0.7179, \Delta T = (T - 1)t_a$ 称为超温, t_a 是环境水体的实际温度, β 是水的热膨胀系数, 随水温变化而变化, 流场中不同位置处热膨胀系数的取值采用 Batchelor^[8] 所建议的函数形式

$$\beta(t) = (-0.773 + 0.19t - 0.0027t^2 + 0.000021t^3) \times 10^{-4}, \quad (9)$$

其中 t 是局部温度, 其单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$)。

3 边界条件

所模拟计算的区域为一静止半无限环境中单正方形孔口射流, 定义 t_j 为射流出口温度, 该区域 6 个面的边界条件如下

底面边界

$$y = 0 \text{ 射流孔口处 } u = 0, v = 1, w = 0, T = t_j/t_a, k_0 = 0.006, \epsilon_0 = 0.0001 \bullet$$

射流孔口之外 $v = 0$, 边界上的流速 u, w, k, ϵ 采用壁函数处理, 温度采用二类边界, 即

$$\frac{\partial T}{\partial y} = 0 \bullet$$

左右边界

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial w}{\partial x} = \frac{\partial k}{\partial x} = \frac{\partial \epsilon}{\partial x} = \frac{\partial T}{\partial x} = 0, v = 0 \bullet \quad (10)$$

前后边界

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\partial w}{\partial z} = \frac{\partial k}{\partial z} = \frac{\partial \epsilon}{\partial z} = \frac{\partial T}{\partial z} = 0, v = 0 \bullet \quad (11)$$

上边界

$$\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{\partial w}{\partial y} = \frac{\partial k}{\partial y} = \frac{\partial \epsilon}{\partial y} = \frac{\partial T}{\partial y} = 0 \bullet \quad (12)$$

阻力盘边界

阻力盘前后左右和上下壁面的 u 、 v 、 w 、 k 、 ε 边界条件通过求解壁函数获得, 温度仍采用二类边界。

4 计算方法

前述数学模型中的偏微分方程(2)~(7)都可以写成下列的统一形式

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = 2A \frac{\partial \Phi}{\partial x} + 2B \frac{\partial \Phi}{\partial y} + 2C \frac{\partial \Phi}{\partial z} + G, \quad (13)$$

方程(13)为拟线性椭圆型偏微分方程, 采用混合有限分析法对其进行离散求解(槐文信, 沈毅一, 小松利光^[9], 曾玉红和槐文信^[10])。为了避免相同结点上求解所有的未知量时出现的不合理的锯齿状压力分布, 而应用交错网格法。计算网格采用非均匀网格, 喷口处和盘附近的网格较密, 根据不同工况计算区域和网格数有所调整。控制误差选用各方程残差的最大值, 流速 u 、 v 、 w 控制精度为 1×10^{-3} , 其余方程迭代计算的控制精度为 1×10^{-5} 。

5 有障碍正方形孔口浮射流轴线浓度

5.1 验证与对比

为便于与已有资料进行比较, 依据水的温度与密度的对应关系, 将试验和计算得到的温度场转化为相应的密度场。定义有效重力加速度 $g' = g \Delta \rho / \rho_a$, $\Delta \rho = \rho_a - \rho_j$, g 为重力加速度, ρ_a 为环境水体温度, ρ_j 是射流孔口处热水的密度; 密度弗劳德数: $F_0 = v / \sqrt{g'l}$, l 是正方形射流孔口边长, 出口为圆形时则要取孔口直径 d 。特征轴线上的浓度定义为: $c_m = (\rho_a - \rho_m) / (\rho_a - \rho_j)$, ρ_m 为轴线上的密度。为便于与已有的试验和数值模拟资料进行对比, 对正方形射流孔口轴线上的温度进行了测量。鉴于主要的影响参数为密度傅氏数 F_0 , 正方形阻力盘边长 L/l 和盘离射流孔口的距离 H/L , 所设计的试验工况为

$$L/l = 2, H/L = 1, 2, 3, 4; L/l = 4, H/L = 1, 2, 3, 4; L/l = 6, H/L = 1, 2, 3, 4$$

出口傅氏数的变化范围在 3~20 之间。采用 Chen 和 Rodi^[11] 对长度和浓度的分析方法, 取无量纲

长度

$$Y = (y/l) F_0^{-1}. \quad (14)$$

浓度

$$S_D = c_m F_0. \quad (15)$$

与圆孔有阻力射流相似, 盘后一段区域内为回流段, 浓度最大值不出现在轴线上。此段距离之后浓度分布具有自相似性。在参考 Noutsopoulos 和 Yannopoulos^[4] 试验经验的基础上, 结合对大量的三维有阻力正方形孔口浮射流的计算结果的分析, 对盘后大约 15 l 距离后轴线上的温度分布值进行取值和测量。同时也采用 Chen 和 Rodi^[11] 的坐标系, 即认为傅氏数的影响在建立浓度 S_D 和长度 Y 时已经被考虑进来, 这一点已经得到了 Noutsopoulos 和 Yannopoulos^[4] 试验以及槐文信和方神光^[5,6] 数值模拟结果的证实。同时也认为盘后轴线上的浓度主要受到 H/L 的影响, 由此图 2 给出了 4 个不同 H/L 在所有 L/l 和 F_0 时的试验和数值计算结果, 还给出了 Noutsopoulos 和 Yannopoulos^[4] 的圆孔有阻力浮射流轴线上的浓度分布经验公式。通过试验和数值模拟都可以看到, 正方形孔有阻力浮射流与圆孔有阻力浮射流阻力盘后自相似区域轴线上的浓度分布基本一致。

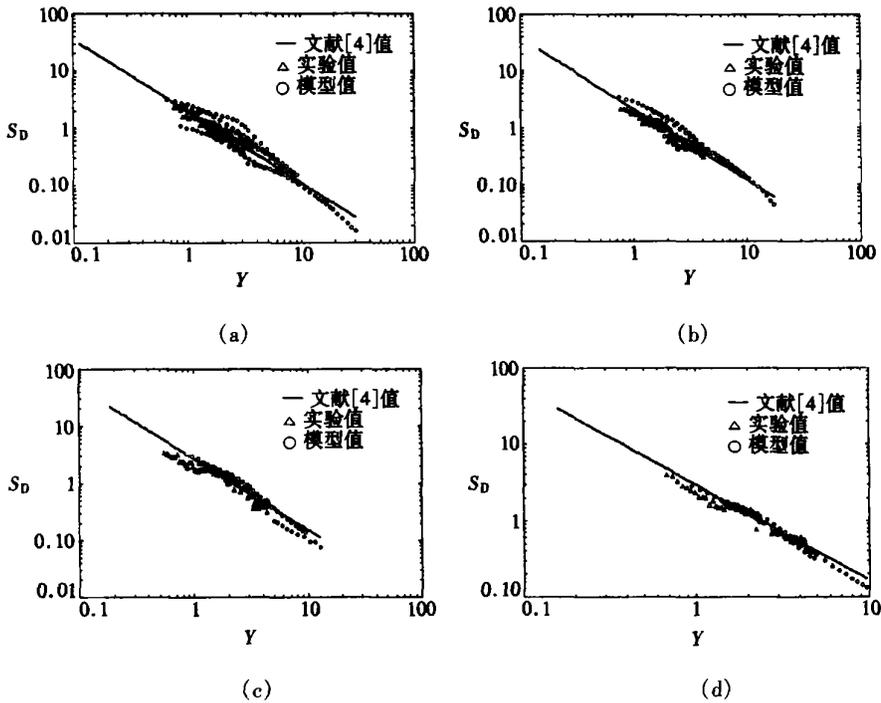


图2 正方形阻力盘浮射流的轴线浓度分布

5.2 通用公式

基于上述结论, 仿照文献[4]对有障碍圆形浮射流的分析方法, 将有阻力盘的浮射流盘后轴线浓度和自由浮力射流的轴线浓度进行比较, 有

$$S_D = \mu S, \tag{16}$$

其中 S_D, S 分别表示有障碍和自由浮力射流轴线上的无量纲浓度, μ 称为校正系数, 则得出有障碍方形孔口浮射流轴线浓度公式为

过渡区

$$0.5 < Y < 5, \quad \mu = 1 - 0.608e^{-0.03(H/L)^2}, \quad S = 4.8Y^{5/4}. \tag{17}$$

羽流区域

$$Y > 5, \quad \mu = [0.511 - 0.311e^{-0.03(H/L)^2}] Y^{5/12}, \quad S = 9.4Y^{-5/3}. \tag{18}$$

通过轴线上浓度的数值模拟和试验资料的比较可以看到, 采用该数学模型和计算方法可以较为准确地模拟正方形孔口有阻力射流的整个流态, 以下给出温度场的数值模拟成果。

6 温度场分布

相对于圆孔有阻力浮射流的温度场分布为完全轴对称形状, 正方形孔有阻力射流的温度场并不是在所有位置都是轴对称的(图3)。图3给出了工况 $H/L = 1, L/l = 2$ 和 $F_0 = 8.52$ 时阻力盘之后法线方向为 y 的不同位置处横截面上的温度等值线分布图。比较得出, 在离阻力盘很近处(如 $y/l = 3$), 射流绕过正方形阻力盘后整个射流横截面的外边界呈现规则的四边形形状, 是阻力盘作用的结果, 4个角较圆滑则是射流相互掺混的结果, 必须指出的是其温度分布从轴线向外依次是先增加, 达到一最大值后再依次减小; 离开阻力盘一定距离后($y/l = 7$), 由于阻力盘后轴线处负压中心的吸附作用, 使轴线周围的流体质点向轴线靠拢, 显然离轴线越

近的质点受到的吸附作用越强,向轴线运动的距离越大,而离轴线较远的水质点则受到的吸附作用越小,向轴线运动的距离越小,导致四边形各边长的中点向轴线凸的最厉害,整个射流体的外边界呈现规则的星形;很明显,正因为盘后的吸附作用使温度较高的水体不断向轴线靠拢,最终形成轴线处水温最高,向外则依次递减的趋势;随着离盘的距离增大($y/l = 14$),轴线处的负压开始减弱并逐渐消失,同时射流热水与环境水体不断的掺混,可以看到射流流体的外边界重新趋于平滑;至更远距离($y/l = 30$),温度等值线变为以轴线为中心的同心圆,与静止水体中的圆孔浮射流的横截面温度等值线分布图形状一致。

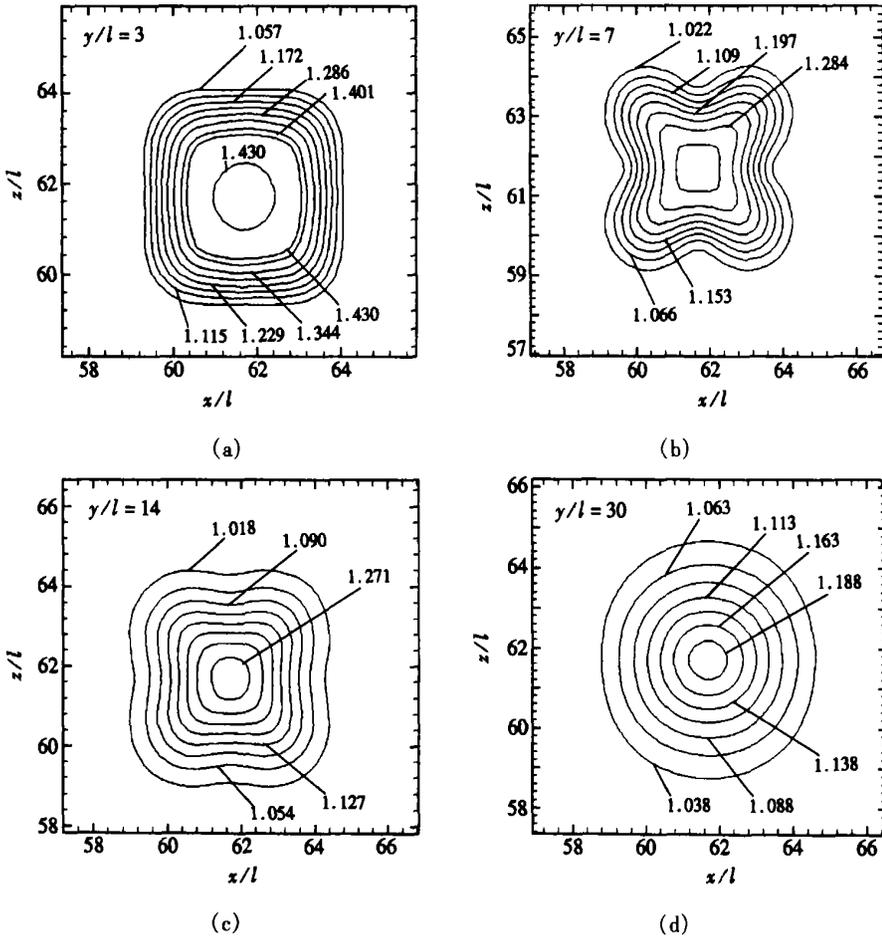


图3 $H/L = 1, L/l = 2, F_0 = 8.52$ 时不同高度处的温度等值线图

可以看到,由于正方形阻力盘的作用导致阻力盘后一段距离内出现的星形温度等值线分布与圆形阻力盘相比较为特别,它是正方形盘与轴线负压共同作用的结果,值得注意的是在同一工况下,不同的傅氏数对该形状影响较大。图4给出工况 $H/L = 1, L/l = 2, F_0 = 8.52$ 和 17.0 在 $y/l = 7$ 时的横截面温度等值线图,可以很清楚的看到,傅氏数较大($F_0 = 17.0$)时四边形各边的中点向轴线弯曲的愈厉害,可以推测到中心处形成的负压比傅氏数较小($F_0 = 8.52$)时的负压大。

图5给出了射流绕过阻力盘后不同高度位置处横截面上的温度分布,同样可以看到在离阻力盘一定距离后各横截面上的温度分布具有自相似性,横断面上的影响区域都限制在 $-0.2 < x/y < 0.2$ 之间。从数值模拟得到的温度达到自相似所要求的距离来看,它比 Noutsopoulos

和 Yannopoulos^[4]对圆孔有阻力盘浮射流提出的至少离阻力盘 $10d$ (d 表示圆孔直径) 所要求的距离要大, 正方形孔有阻力浮射流所要求的距离大致应该在 $15l$ 左右。

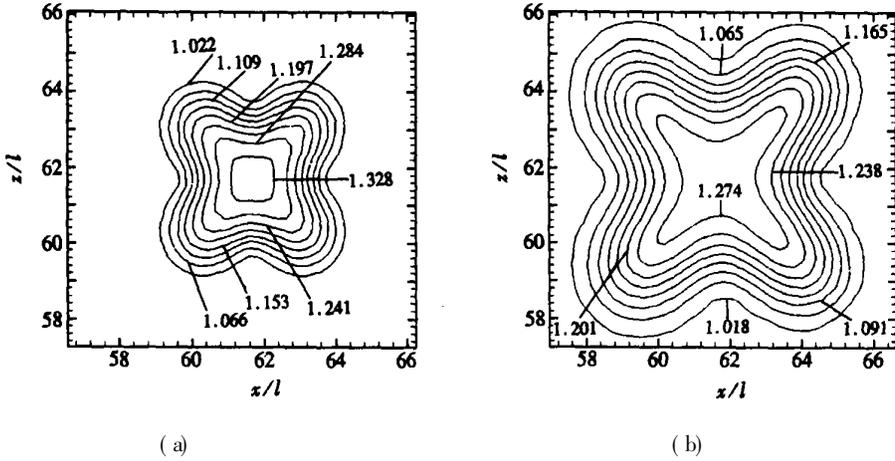


图4 工况 $H/L = 1, L/l = 2$ 在 $y/l = 7$ 处不同傅氏数下温度等值线分布图

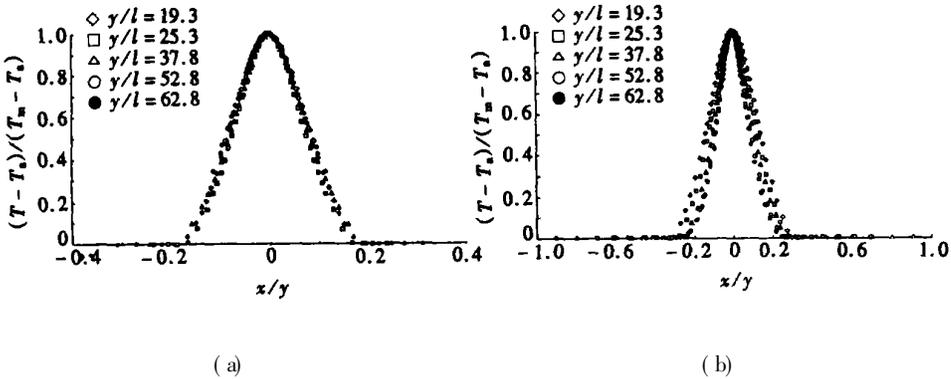


图5 横截面上的温度分布

7 结 论

对正方形孔口有阻力浮射流分别进行试验和数值模拟, 得到了其盘后自相似区域轴线上的浓度分布与圆孔有阻力浮射流轴线上的浓度分布规律相同。给出了不同高度位置处温度等值线分布状况, 发现射流绕过正方形阻力盘后一定距离内出现的等值线呈星形分布, 该形状为正方形阻力盘所特有, 同时得到了傅氏数和正方形阻力盘边长大小对该形状的影响。该形状形成的原因主要是由于射流绕过正方形阻力盘时各边上的水质点受到中心负压吸附强度不同导致各位置点向轴线移动的距离不同形成的; 在离阻力盘距离逐渐增加时, 该形状也逐渐消失, 并最终形成以轴线为中心的同心圆形状, 该形状与圆盘绕流在自相似区的横截面上温度等值线分布一致。给出了自相似区不同高度位置上的温度分布曲线, 发现它们同样存在着自相似性, 即证实了自相似区的存在。

[参 考 文 献]

[1] Nece R E, Goldstem P P, Black J L. Single_port suction manifolds[J]. Journal of the Hydraulics Division, 1966, 92(1): 43—64.
 [2] Agg R A, White R W. Devices for the predilution of sewage at submerged outfalls[J]. Proceedings of

- the Institution of Civil Engineers, 1974, **57**(1): 1—20.
- [3] Sharp J J. The use of a buoyant wall jet to improve the dilution of a submerged outfall[J]. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 1975, **58**(3): 527—534.
- [4] Noutsopoulos G C, Yannopoulos P C. Axial dilution in obstructed round buoyant jet[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1989, **115**(1): 71—81.
- [5] 槐文信, 方神光. 静止环境中阻力圆盘浮力射流特性的研究(I) ——数学模型及计算方法的验证[J]. 水科学进展, 2004, **15**(6): 549—554.
- [6] 方神光, 槐文信. 静止环境中阻力圆盘浮力射流特性的研究(II) ——流场特性分析[J]. 水科学进展, 2004, **15**(6): 555—560.
- [7] Yakhot V, Orszag S A. Renormalization group analysis of turbulence[J]. Journal of Scientific Computing, 1986, **1**(1): 3—5.
- [8] Batchelor G K. An Introduction to Fluid Dynamics[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1970, 76—77.
- [9] 槐文信, 沈毅一, 小松利光. 浅水回流的混合有限分析解[J]. 应用数学和力学, 2003, **24**(9): 956—962.
- [10] 曾玉红, 槐文信. 圆形垂直浮力射流的稳定性与混合特性研究[J]. 应用数学和力学, 2005, **26**(1): 83—91.
- [11] Chen C J, Rodi W. A Review of Experimental Data of Vertical Turbulent Buoyant Jets[M]. Oxford: Pergamon Press, 1978, 19—20.

Behavior of Obstructed Square Buoyant Vertical Jets in Static Ambient(I)—Verification of Mathematical Model and Numerical Method

HUAI Wen_xin¹, FANG Shen_guang², DAI Hui_chao¹

(1. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science,

Wuhan University, Wuhan 430072, P. R. China;

2. Department of Hydraulic Engineering, Tsinghua University,

Beijing 100084, R. R. China)

Abstract: Some experiments were made for the buoyant jet from a square orifice with a square disc placed on it in static ambient and concentration along the axis in self-similar area behind disc was measured. And at the same time a three-dimensional mathematical model was established to simulate the whole flowing under different conditions. All the results predicted by the numerical calculation are substantiated by the experiments. The results were compared with experiential formula for obstructed round buoyant vertical jets in static ambient and it was found that the two concentration distributions had good accordance. Star shape of temperature isolines on cross sections in the near areas from the disc was found and it was a very special figure for obstructed square buoyant vertical jets with a square disc. The shape will transform to concentric circles gradually alike to the round buoyant vertical jet in self-similar area with increasing of the distance from the disc.

Key words: buoyant jets; square orifice; obstructed jet; three-dimensional model; dilution