

往复流中射流的流态研究

马 健^{1,2}

(1. 浙江大学 土木工程系, 浙江 杭州 310027; 2. 台州市公路管理处, 浙江 台州 318000)

摘要: 为研究近海水域的排污扩散规律, 推导了往复流中射流流团运动轨迹与计算式. 对排污工程进行概化, 给出了模型的边界条件与数值模拟的工况, 利用重组化群紊动能-紊动耗散率紊流模型, 对往复流中射流流态进行了模拟, 验证了数值模拟结果, 研究了射流流速分量等值线分布, 采用半经验半理论的方法分析了射流流团涡心运动规律. 结果表明, 受横流控制, 射流 z 轴方向流速分量 w 等值线 (简称: 射流 w 等值线) 在对称面上手形对称, 形成两排平行的流团, 流团在运动过程中互相掺混, 形成 Y 状外形. 在 z 剖面上射流 w 等值线形成一对同心圆. 得到了流团涡心运动轨迹 x 与 z 分量随时间 t 变化的函数关系式.

关 键 词: 往复流; 射流; 流态; 等值线

中图分类号: TV135.2

文献标识码: A

文章编号: 1009-640X(2009)01-0040-07

近海水域同时受潮汐与波浪影响, 会形成典型的往复流. 工业废水、城市污水等在近海水域的排放过程可以简化为射流在往复流中的扩散, 故研究射流在往复流中的流态具有现实意义. 在实验研究方面, Sharp^[1] 于 1986 年对浮力射流在深水与浅水波中的扩散过程进行了研究. David^[2,3] 于 1987 年对表面波中排水稀释过程的影响进行了研究, 于 1988 年对浮力射流与表面波的相互作用进行了探讨. Koole 等人^[4] 于 1994 年对二维水平非浮力射流在行进波中的扩散规律进行了研究. Anwar 等人^[5] 利用热线流速仪测量了潮流的流速场, 揭示了往复流动的流速变化规律. 陈道毅^[6] 利用二维 LDV 测速系统测量了回荡横流中垂向射流在不同时刻的流速场特性, 并分析了射流的流态转变过程. 王立新^[7] 借助流动图像显示技术获得了水槽中模拟的潮流底部和侧边射流的总体形态, 并与同流流场的特性进行了比较. 陈朝泉^[8] 利用数字图像和 PLIF 技术研究了非恒定潮流垂向多孔射流的浓度场特性. 在数值模拟方面, 刘成等^[9-12] 对长江口水域的污水扩散进行了数值模拟. 前人主要对在静止水域或恒定横流中的射流扩散特性进行了研究, 对非恒定横流中的射流流动特性研究相对较少. 本文利用数值模拟的方法, 对纯射流在往复横流中近场的流动规律进行研究, 揭示射流的掺混扩散机理及流场结构, 推导了射流 w 等值线涡心的运动方程.

1 RNG $k-\varepsilon$ 紊流模型及数值算法

1.1 RNG $k-\varepsilon$ 紊流模型

不同紊流模型采用不同的假定与推导方式, 有各自的适用范围. 由于射流具有较强的各向异性, 为了获得更精确的结果, 采用能较好地模拟应变大和流线弯曲度大的流动问题的重整化群 (RNG) $k-\varepsilon$ 紊流模型^[13] 进行计算.

连续方程:

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

收稿日期: 2008-05-13

基金项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划资助项目 (批准号 NCET-04-0525)

作者简介: 马 健 (1978-), 男, 浙江黄岩人, 在读博士后, 主要从事管理科学与工程研究. E-mail: mj2616@163.com

式中: ρ 为水的密度 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$); t 为时间 (s); u_i 为水流速度分量 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); x_i 为坐标分量.

$$\text{动量方程: } \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \mu_t \right) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (2)$$

式中: p 为压力 (Pa); μ 为分子动力黏性系数; $\mu_t = \frac{C_\mu \rho K^2}{\varepsilon}$ 为紊动黏性系数, 其中 $C_\mu = 0.085$.

$$k \text{ 方程: } \frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i k)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G - \rho \varepsilon \quad (3)$$

式中: $G = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$; k 为紊动动能; $\sigma_k = 0.7179$.

$$\varepsilon \text{ 方程: } \frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i \varepsilon)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] + C_1 \frac{\varepsilon}{k} G - C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (4)$$

式中: ε 为紊动耗散率; $\sigma_\varepsilon = 0.7179$; $C_1 = 1.42 - \frac{\tilde{\eta}(1 - \tilde{\eta}/\tilde{\eta}_0)}{1 + \beta \tilde{\eta}^3}$; $C_2 = 1.68$; $\tilde{\eta} = Sk/\varepsilon$; $S = (2S_{ij}S_{ij})^{1/2}$;

$$\tilde{\eta}_0 = 4.38; \beta = 0.015; S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right).$$

1.2 数值算法

采用交错网格的有限体积法离散方程, 将压力 p 、紊动能 k 、紊动耗散率 ε 等标量布置在网格的中点, 将速度分量 u_i 布置在计算网格边界上, 对流-扩散项的离散采用幂函数格式. 采用 SIMPLEC 算法求解离散方程, 编制相应的计算程序.

2 试验工况与结果验证

2.1 边界条件

近海水域受潮汐与波浪的影响形成独特的周期性往复流, 本文把横流流速 (u_a) 简化为正弦变化流,

$$u_a = A \sin(2\pi ft) \quad (5)$$

式中: A 为振幅; f 为频率; t 为时间.

自然界中原型的边界相当复杂, 为了方便研究, 对边界进行简化, 假定射流在矩形水槽中排放, 为减少计算量, 仅取对称面的一侧进行计算 (见图1). 底部、上部和后侧采用粘性无滑移条件的壁面边界, 并假定没有质量交换. 进口边界^[14] $u = u_a, v = w = 0, k = 0.005u_a^2, \varepsilon = C_\mu k^{1.5}/H$; 出口边界采用水流质量出口: 当 $u_a > 0$ 时, 左侧采用进口边界, 右侧采用出口边界; 当 $u_a < 0$ 时, 右侧采用进口边界, 左侧采用出口边界. 前侧是对称面, 假定在对称面处垂直于对称面的速度分量等于零, 且各变量沿对称面的法向梯度为零, 即 $\partial \varphi / \partial y = 0$, 其中 $\varphi = u, w, k, \varepsilon, v = 0$; 喷嘴边界给出速度分量 $w = u_0, u = v = 0, k = 0.005u_0^2, \varepsilon = C_\mu k^{1.5}/H, u_0$ 为射流初始流速.

2.2 试验工况

为了能方便地研究 u_0, A 及 f 参数对纯射流在往复横流中的扩散规律, 对不同参数组合的工况进行了模拟. 为消除初始条件对计算结果造成的影响, 用于成果分析的数据均进行相邻两个周期的计算结果误差对比. 具体工况见表1.

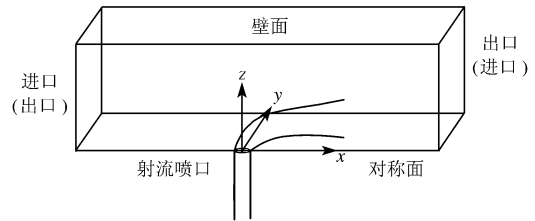


图1 计算区域结构示意图

Fig.1 Sketch of simulation area

表 1 数值模型的试验工况

Tab. 1 Experiment conditions of numerical model

		Set1	Set2	Set3	Set4	Set5	Set6	Set7	Set8	Set9	Set10	Set11
u_0 (m/s)		0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.6
u_a (m/s)	A (m)	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.08	0.15	0.18	0.1
	f (r/s)	1	1	0.5	0.2	2	5	1	1	1	1	1
		Set12	Set13	Set14	Set15	Set16	Set17	Set18	Set19	Set20	Set21	Set22
u_0 (m/s)		0.4	1	1.2	0.8	0.8	2.4	1.8	1.2	0.6	0.3	0.15
u_a (m/s)	A (m)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	0.3	0.2	0.1	0.05	0.025
	f (r/s)	1	1	1	2.5	4	0.00001	0.00002	0.00005	0.00008	0.0001	0.0002

2.3 网格独立性与计算区域影响分析

采用射流喷口附近加密的非结构网格对计算区域进行剖分,共约 279 万个四面体网格,计算区域外形尺寸: $x=1.6\text{ m}$, $y=0.15\text{ m}$, $z=3.2\text{ m}$, $D=0.0075\text{ m}$. 为验证网格独立性,对比采用 279 万个与 537 万个四面体单元的计算结果表明,两者基本一致. 为检验边界对结果的影响,对比了计算区域: $x=1.8\text{ m}$, $y=0.18\text{ m}$, $z=3.6\text{ m}$, $D=0.0075\text{ m}$ 与 $x=1.6\text{ m}$, $y=0.15\text{ m}$, $z=3.2\text{ m}$, $D=0.0075\text{ m}$ 的模拟结果,发现两者近场的流动规律相似. 本文采用的计算网格具有独立性,计算区域基本不影响近场的流动规律.

2.4 数值模拟结果验证

鉴于目前还未能查到射流在往复流中的物理模型试验结果,本文采用往复流中特例与恒定横流中射流轴线的轨迹进行对比验证,采用射流各断面上最大流速点的连线作为射流的轴线,对工况 Set17~22 射流轴线的轨迹进行了拟合(见图 2),并与张晓元^[15,16]及 Kamotani^[17]流速比 $R=6$ 的试验结果进行对比,发现数值模拟结果真实可信.

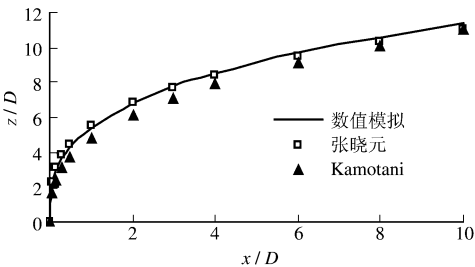


图 2 数值模拟与物理模型试验结果的对比
Fig. 2 Results of numerical simulation and physical model

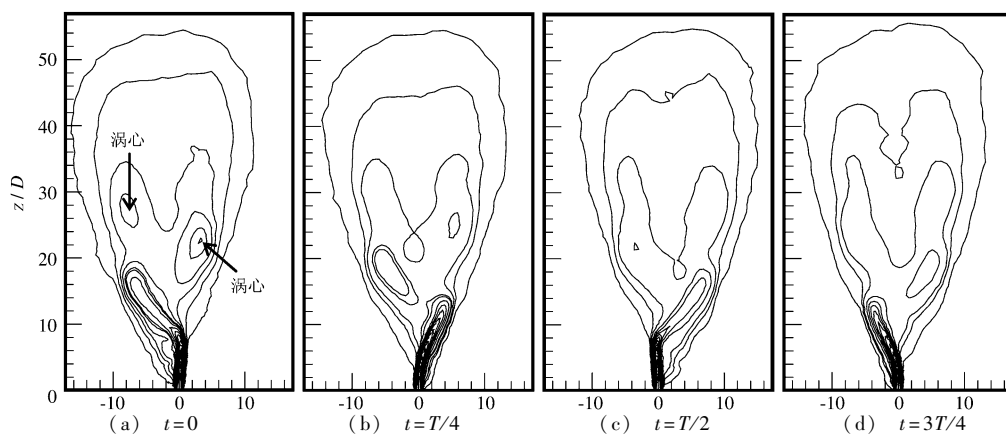
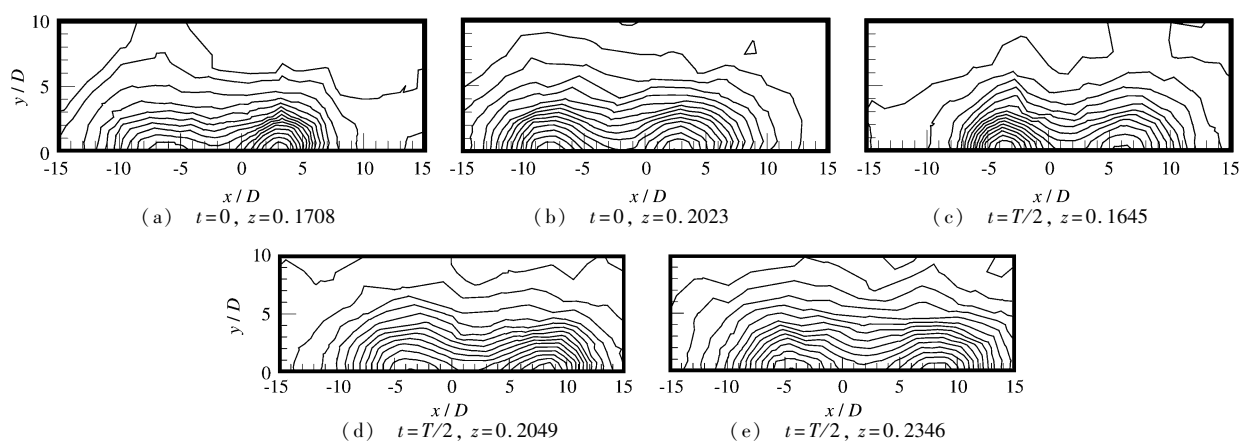
3 模拟成果分析

掌握射流 w 等值线的扩散规律,对了解污染物与水流动量扩散的影响范围有指导性意义.

3.1 射流 z 轴方向流速分量 w 等值线的分布

3.1.1 对称面上射流 w 等值线分布图 在往复流作用下,射流左右甩动,在 $x/D=0$ 断面两侧交替形成两排并行的朝着 z 轴正方向运动的射流 w 等值线流团. 由于流团在移动过程中逐渐掺混,形成 Y 型等值线,最终在外缘形成灯泡状的等值线. 篇幅所限,仅给出 Set1 对称面上射流 w 等值线分布图,其中,图 3(a)与图 3(c)是憩流时刻的射流 w 等值线分布图,图 3(b)与图 3(d)分别是正向与反向流速最大时刻的射流 w 等值线分布图.

3.1.2 z 断面上射流 w 等值线分布图 为了形象地描述射流 w 等值线的分布规律,分别在射流 w 等值线涡心(涡心示意图见图 3)对应 z 坐标值的位置截取射流 w 等值线图(见图 4). z 断面上射流 w 等值线的分布规律与静止水域中自由紊动射流的分布规律不同,静止水域中 z 轴断面射流 w 等值线以 z 轴为圆心,呈同心圆分布. 往复流中射流 w 等值线在 $x/D=0$ 的两侧形成同心圆,两侧同心圆在 $x/D=0$ 附近融合,形成类似“ ∞ ”的外形,等值线的外形由“ ∞ ”形变为椭圆形,最后成为圆形. w 峰值出现在涡心位置,涡心峰值差值的大小随着 z 坐标值增大而逐渐减小, w 等值线影响范围随着 z 坐标值的增大而增大.

图3 Set1 对称面上射流 w 等值线分布图Fig. 3 The jet w contour distribution of Set1 on symmetry section图4 Set1 z 断面射流 w 等值线的分布图Fig. 4 The jet w contour distribution of Set1 on z section

3.2 射流 w 等值线涡心运动轨迹方程

根据运动分解原理,把射流涡心运动轨迹方程分解为 x 方程与 y 方程,分别拟合.

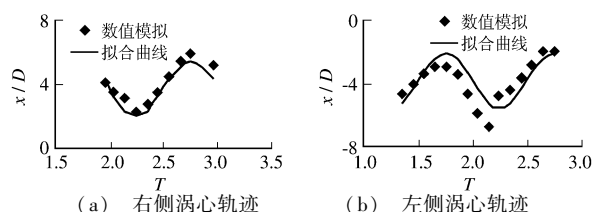
3.2.1 射流 w 等值线涡心运动轨迹 x 分量的变化规律 假定涡心运动轨迹 x 分量随时间 t 的变化规律受横流流速控制. 对横流流速变化关系式(5式)对时间 t 积分并无量纲化得(6)式,其中: t_0 为初始时刻; x_0 为初始位置.

$$X/D = - \{ A / (2\pi f) \cos[2\pi f(t + t_0)] \} / D + x_0 / D \quad (6)$$

分析典型工况 Set1, 得出右侧涡心初始位置 $x_0 = A / (\pi f)$, 左侧涡心初始位置 $x_0 = -A / (\pi f)$, 初始时刻 $t_0 = -T/4$. 采用待定系数法, 假定 x_0 符合(7)式的变化规律, 其中 a, b 与 c 为待定系数, 右侧涡心初始位置 x_0 取正值, 左侧涡心初始位置 x_0 取负值

$$x_0 = \pm A / (\pi f) (0.1/A)^a f^b (u_0/0.8)^c \quad (7)$$

采用数值模拟结果确定方程(7)中的待定系数 a, b 与 c . 分析工况 Set1、2、7~10 得出, 当仅有 A 变化, 其它参数不变时, $a = 0.5$. 篇幅所限, 仅给出了 Set8 运动轨迹 x 分量的变化曲线(见图5). 分析工况 Set1、3~6、15 得出,

图5 Set8 射流 w 等值线涡心轨迹 x 分量变化曲线Fig. 5 Change curve of the jet x component w isoline patch vortexes centers of Set8

当仅有 f 变化,其他参数不变时, $b=0.5$. 分析工况 Set1、11~14 得出,当仅有 u_0 变化,其他参数不变时, $c=0$. 5. 通过总结,得出射流 w 等值线流团涡心运动轨迹 x 分量随时间 t 变化的函数关系式(见(8)式),其中右侧涡心初始位置 x_0 取正值,左侧涡心初始位置 x_0 取负值.

$$X/D = - \{ A / (2\pi f) \cos[2\pi f(t - T/4)] \} / D \pm (Au_0/f)^{0.5} / (2\sqrt{2}\pi D) \quad (8)$$

3.2.2 涡心运动轨迹 z 分量的变化规律 假定 w 等值线流团涡心运动轨迹 z 分量的关系式与静止水域中自由紊动射流轴线运动轨迹的变化曲线服从相似的幂函数扩散形式. 根据射流断面流速符合高斯正态分布与射流厚度线性扩展的假定^[14],静止水域中自由紊动射流轴线流速的计算式见(9)式,其中: u_m 为静止水域中自由紊动圆射流轴线流速.

$$\frac{u_m}{u_0} = \frac{1}{\sqrt{2}\xi} \left(\frac{D}{z} \right) \quad (9)$$

基于(9)式,假定往复流中涡心运动轨迹 z 分量的变化规律符合(10)式,其中: w_0 为涡心运动速度在 z 轴方向上的分量; α' 为待定系数.

$$\frac{w_0}{u_0} = \frac{1}{\sqrt{2}\xi} \left(\frac{D}{z} \right)^{\alpha'} \quad (10)$$

把 $w_0 = dz/dt$ 代入(10)式,积分得 $z = \left(\frac{\alpha' D^{\alpha'} u_0 t}{\sqrt{2}\xi} \right)^{\frac{1}{\alpha'+1}}$, 令 $\alpha = \left(\frac{\alpha' D^{\alpha'}}{\sqrt{2}\xi} \right)^{\frac{1}{\alpha'+1}}$, $\delta = \frac{1}{\alpha' + 1}$ 得

$$z = \alpha (u_0 \cdot t)^{\delta} \quad (11)$$

至此,(11)式仅与参数 u_0 相关,在(11)式中继续加入参数 A 与 f ,且假定涡心运动轨迹 z 分量服从(12)式的变化规律,其中: $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ 为待定系数; t_0 为初始时刻.

$$Z/D = \alpha A^{\beta} f^{\gamma} \{ [u_0 \cdot (t - t_0)] / D \}^{\delta} \quad (12)$$

结合数值模拟结果,确定(12)式中系数 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ 及 t_0 . 分析工况 Set1、11~14 发现,当仅有 u_0 变化,其它参数不变时, $\alpha=0.00242$, $\delta=0.8$,右侧涡心 $t_0=T/2$ 、左侧涡心 $t_0=0$. 篇幅所限,仅给出 Set13 的运动轨迹 z 分量的变化曲线(见图6). 分析工况 Set1、2、7~10 发现,当仅有 A 变化,其它参数不变时, $\beta=-0.3$. 分析工况 Set1、3~6、15 发现,当仅有 f 变化,其它参数不变时, $\gamma=-0.45$. 通过总结,得出射流 w 等值线流团涡心运动轨迹 z 分量随时间 t 变化的函数关系式. 通过分析,发现 z/D 值随着 u_0 增大而增大,随着振幅 A 与频率 f 增大而减小,随着时间延长,在 z 轴方向的涡心运动速度分量逐渐变小.

右侧涡心运动轨迹 z 分量拟合关系式: $z/D = 0.0012 \{ [u_0(t - T/2)] / D \}^{0.8} A^{-0.3} f^{-0.45} \quad (13)$

左侧涡心运动轨迹 z 分量拟合关系式: $z/D = 0.0012 [(u_0 t) / D]^{0.8} A^{-0.3} f^{-0.45} \quad (14)$

4 结 语

(1)对浅海水域中的排污工程进行了概化,给出了模型的边界条件与数值模拟工况,对数值模拟结果进行了验证;

(2)给出了对称面上射流 w 等值线的分布图,发现由于射流的左右甩动,在 $x/D=0$ 断面两侧交替形成两排并行的 w 等值线流团. 流团在运动过程中逐渐掺混,最终形成灯泡状的外缘;

(3)给出了 z 断面上射流 w 等值线的分布图,发现在 $x/D=0$ 的两侧各自形成一个同心圆,随着同心圆

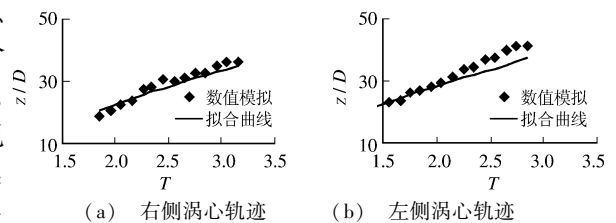


图6 Set13射流 w 等值线涡心轨迹 z 分量变化曲线

Fig.6 Change curve of the jet z component w isoline patch vortices centers of Set13

融合,形成类似“ ∞ ”的外形;

(4) 对射流 w 等值线流团涡心运动轨迹的 x 分量与 z 分量的变化规律进行了分析,通过半经验半理论的方法推导了涡心运动轨迹 x 与 z 分量随时间 t 变化的函数关系式,并通过数值模拟结果确定了函数关系式中的系数.

参 考 文 献:

- [1] Sharp J J. The effects of waves on buoyant jets[J]. **Proc Inst Civ Eng**, 1986, 81: 471-475.
- [2] Chin D A. Influence of surface waves on outfall dilution[J]. **Journal of Hydraulic Engineering, ASCE**, 1987, (113): 1006-1018.
- [3] Chin D A. Model of buoyant-jet surface-wave interaction[J]. **Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE**, 1988, (114): 331-345.
- [4] Koole R, Swan C. Measurements of a 2-D non-buoyant jet in a wave environment[J]. **Coastal Engineering**, 1994, 24: 151-169.
- [5] Anwar H O, Otkins R. Turbulence measurements in simulated tidal flow[J]. **J Hydr Div, ASCE**, 1980, 106, (8): 1273-1289.
- [6] 陈道毅. 非恒定环境中紊动射流的研究[D]. 北京: 清华大学, 1988. (CHEN Dao-yi. Research of turbulent jet in unsteady ambient[D]. Beijing: Tsinghua University, 1988. (in Chinese))
- [7] 王立新. 潮汐流动中的排放特性与数字图像处理技术的应用[D]. 北京: 清华大学, 1990. (WANG Li-xin. Recharge character and numerical chart disposal technology application in tidal flowing ambient[D]. Beijing: Tsinghua University, 1990. (in Chinese))
- [8] 陈朝泉. 数字图像和 PLIF 技术研究潮流底部多孔射流浓度场及其分形[D]. 北京: 清华大学, 1997. (CHEN Zhao-quan. Numerical chart and PLIF technology research of concentration field and fractal of multi-orifice jet in tidal flow bottom [D]. Beijing: Tsinghua University, 1997. (in Chinese))
- [9] 刘 成, 李行伟, 韦鹤平, 等. 长江口水动力及污水稀释扩散模拟[J]. 海洋与湖沼, 2003, 34(5): 473-483. (LIU Cheng, Joseph Hun-wei LEE, WEI He-ping, *et al.* Numerical simulation of the hydrodynamics and sewage diffusion in the Changjiang River estuary[J]. **Oceanology and Limnology**, 2003, 34(5): 473-483. (in Chinese))
- [10] 刘 成, 何 耘, 李行伟, 等. 上海市污水排放口污染物运动轨迹模拟[J]. 水利学报, 2003, (4): 114-118. (LIU Cheng, HE Yun, Joseph Hun-wei LEE, *et al.* Numerical simulation on pollutant tracking released from the sewerage outfalls in Shanghai[J]. **Journal of Hydraulic Engineering**, 2003, (4): 114-118. (in Chinese))
- [11] 陈祖军, 韦鹤平, 陈美发. 长江口水域三维水动力数值模拟研究[J]. 海洋预报, 2004, 21(3): 37-44. (CHEN Zu-jun, WEI He-ping, CHEN Mei-fa. 3-D hydro-dynamic numerical simulation research in Yangtze River estuary[J]. **Marine Forecasts**, 2004, 21(3): 37-44. (in Chinese))
- [12] 徐高田, 韦鹤平. 动水环境单喷口浮射流稀释扩散效果数学模型研究[J]. 水利学报, 2001, (1): 18-22. (XU Gao-tian, WEI He-ping. Mathematical model for dilution and dispersion of single port buoyant jet in current[J]. **Journal of Hydraulic Engineering**, 2001, (1): 18-22. (in Chinese))
- [13] Yakhot V, Orszag S A. Renormalization group analysis of turbulence[J]. **Journal of Scientific Computaiton**, 1986, (1): 3-51.
- [14] 余常昭. 紊动射流[M]. 北京: 高等教育出版社, 1993: 21-23. (YU Chang-zhao. Turbulent jet[M]. Beijing: 1993: 21-23. (in Chinese))
- [15] 张晓元, 李 炜, 李长城. 均匀横流环境中铅直圆形射流数值研究[J]. 水动力学研究与进展(A 辑), 2003, 18(1): 73-80. (ZHANG Xiao-yuan, LI Wei, LI Chang-cheng. Numerical study of vertical round jets in uniform cross flows [J]. **Journal of Hydrodynamics(Ser. A)**, 2003, 18(1): 73-80. (in Chinese))
- [16] 张晓元, 李 炜, 李长城. 横流环境中射流的数值研究[J]. 水利学报, 2003, (3): 32-43. (ZHANG Xiao-yuan, LI Wei, LI Chang-cheng. Numerical simulation for the flow field of vertical round turbulent jet entering the cross current[J].

Journal of Hydraulic Engineering, 2003, (3): 32–43. (in Chinese))

[17] Kamotani Y, Greber I. Experiments on a turbulent jet in a cross flow[J]. *AIAA Journal*, 1972, 10(11): 1425–1429.

Flow behavior of jet in reversing flow

MA Jian^{1, 2}

(1. *Department of Civil Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China*; 2. *Highway Management Department of Taizhou, Taizhou 318000, China*)

Abstract: For study of diffusion law of drainage in shallow sea water, the jet patch movement track and formulas are gotten in reversing flow. The drainage constructions are generalised, and the boundaries and engineering conditions of numerical simulation are put forward in this paper. Renormalization Group $k-\varepsilon$ turbulent model is used to simulate flow behavior of jet in reversing flow, the calculation result is validated, the flow velocity component isoline distribution of jet is researched, and the semi-empirical method is adopted to analyze the movement track of jet patch vortex center. Results show that by influence of crossflow, the z axis component w contour of jet (shorten form: w contour of jet) is hand-symmetry in the symmetry surface, two rows of parallel vortexes are formed, and flow patches dash with each other and change into Y shape in the process of movement. The w contour of jet forms one pair of homocentric circles in the z sections. Functions of flow patch vortex center track x and z components changing with time t are gained.

Key words: reversing current; jet; flow regime; isoline

《水利水电科技进展》再次被评为双核心期刊

依据文献计量学的原理和方法,经研究人员对相关文献的检索、计算和分析,以及学科专家评审,《水利水电科技进展》已入编《中文核心期刊要目总览》2008 年版(即第五版)之水利工程类核心期刊。同时,《水利水电科技进展》再次被收录为中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊)。

《水利水电科技进展》由河海大学主办,是全国水利系统优秀期刊,华东地区优秀期刊,江苏省优秀期刊。该刊国内刊号为 CN32-1439/TV,国际刊号为 ISSN1006-7647,为 A4 开本双月刊,邮发代号:28-244。主要刊登水科学、水工程、水资源、水环境、水管理方面的科技论文,主要栏目有水问题论坛、研究探讨、工程技术、水管理、专题综述、国外动态等,适合与水利、水电、水科学、水工程、水资源、水环境有关的科研、工程、管理人员以及大专院校师生阅读。

编辑部地址:210098 南京市西康路 1 号《水利水电科技进展》编辑部,联系电话:025-83786335, E-mail: jz@hhu.edu.cn,网址: <http://kkb.hhu.edu.cn>