

尖角地形对于异重流影响的实验研究

贾复 吴乃华 张伯寅
(中国科学院力学研究所) (北京大学力学系)

异重流是一种流体在另一种流体中由于其间的重度差所引起的流动。流体比重差异可由种种原因造成，因而异重流也广泛地存在于许多不同的场合中。海陆风、沙暴、冷却水中及河口处由于水体温盐特性不同或含泥沙不同均可造成异重流。Simpson^[1] (1982) 对于异重流的各种表现及研究现状给予了很好的总结。关于地形对于异重流的影响，迄今主要研究了沿斜坡下滑的情况，一些有趣结果可参见 Britter 及 Linden^[2] (1980) 的工作。

本文考察二维水平异重流进入一尖角地形时的运动速度变化规律。由于在大 Reynolds 数 (>5000) 时，异重流动力学特征由浮力及惯性力平衡决定，底面粘性摩擦力影响不大，所以与本实验研究相关的实际问题之一是倾斜的底部地形对于较轻流体(如热电站排放的热水)所形成的异重流运动的影响问题。

所有实验在 200cm × 30cm × 18cm 的水槽中进行，用清水及盐水作为比重不同的两种流体介质，盐水密度通过折射率测定换算。实验采用闸板换水方式，参见图 1。闸板撤走

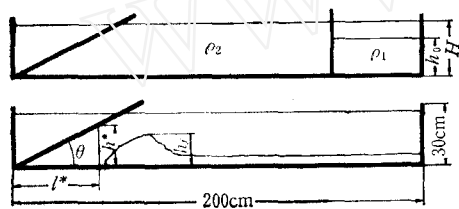


图 1

后所产生的异重流特征量如头部高度，位置及湍流混合情况均用阴影法在槽壁阴影屏上显示，连同数字式计时器由电影机或连拍照相机摄影记录。Rottmann 及 Simpson^[3] 最近指出，闸板换水方式产生的异重流按其头部速度规律分为：(i) 常速运动的第一阶段，(ii) 反射波追上头部及 (iii) 小 Reynolds 数的第二、三阶段。现仅限于考察尖角地形对于第一阶段异重流的影响。

为此，对于 200cm 长的水槽把闸板恒置于距端壁 40cm 处，这样可保证对于不同 h_0/H (参见图 1) 值的异重流在进入尖角区时均处于第一阶段。作为来流条件的第一阶段异重流，可有下列无量纲量关系

$$F(U/\sqrt{g'h_0}, h_0/H) = 0$$

其中 U 为异重流头部速度， $g' = g \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1}$ ， g 为重力加速度，密度 ρ_1, ρ_2 及 h_0, H 均为图 1 所示量。函数形式 F 已由 Simpson 及 Britter^[4] (1979) 等人通过实验给出。

图 2 示出典型的异重流头部位置随时间关系的电影记录结果 (图中 x 坐标以尖角区开始处为原点，与其它图情形不同)。明显的是当头部进入尖角区后并未观察到头部速

本文于 1984 年 1 月 7 日收到。

度 u_f 的立即减小,而是继续维持常值。直到距尖角顶点一定距离 l^* 处后, u_f 开始受到边界阻滞而减小。各种工况的结果均与图 2 所示类似,因此不同于尖角区的一个减速区是明显存在的。 l^* 显然依赖于张角 θ 及异重流所携动量等。进入减速区后, u_f 的变化规律可一般地写为:

$$\frac{u_f}{U} = f\left(\frac{x}{l^*}, \theta, \frac{h_f}{l^*}, \dots\right) \quad (1)$$

其中 h_f 为某一特征长度。

在前述试验系统中,对于

$$0.225 \leq h_0/H \leq 1$$

的九种情况及 $13.6^\circ \leq \theta \leq 21.6^\circ$

四个角度进行了实验考察。

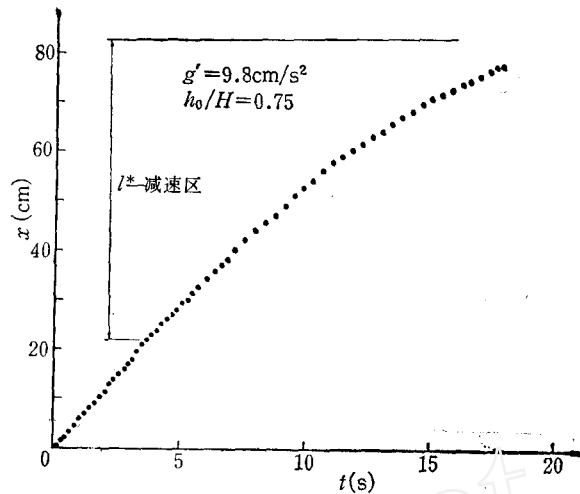


图 2 重力流头部位置随时间的关系

不同条件下 l^* 的值不同,但在减速区内 u_f 的变化呈现出彼此类似的规律。根据摄影记录算出头部速度与位置的关系,发现当以 l^* 及 U 为距离(距尖角顶点)及速度的特征量

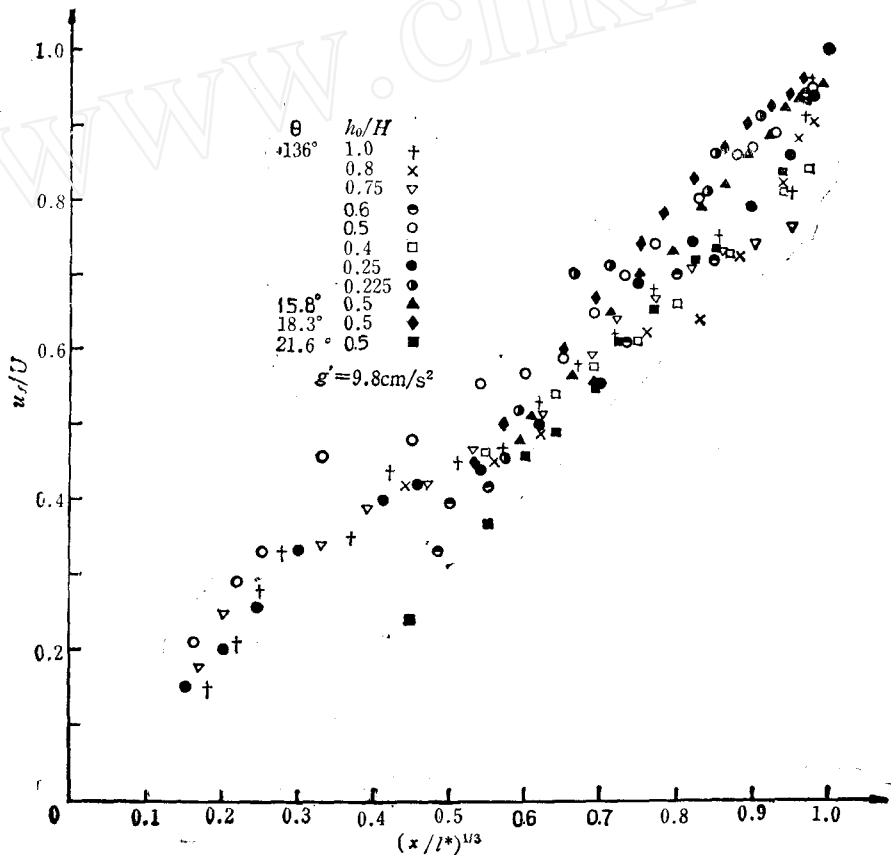


图 3 u_f/U 与 $(x/l^*)^{1/3}$ 的关系

所构成的 u_f/U 与 x/l^* 间具有接近幂次规律的关系

$$u_f/U = \left(\frac{x}{l^*}\right)^n f_1\left(\theta, \frac{h_f}{l^*}\right) \quad (2)$$

对所有数据进行线性回归得到的最佳拟合值为 $0.25 \leq n \leq 0.39$, 其算术平均为 $n \approx 1/3$. 根据 $n = 1/3$ 整理的数据示于图 3. 由图看来, 作为粗略估计, $1/3$ 幂次律是可以接受的. 根据实验确定的 l^* , 该处异重流头高 h_f 与边界高度 h^* 可构成 h_f/h^* 与 h_0/H 的关系 (示于图 4), 其中 h_f/h^* 粗略地表征边界对于异重流的几何阻塞作用. 图 4 表明, 这种阻

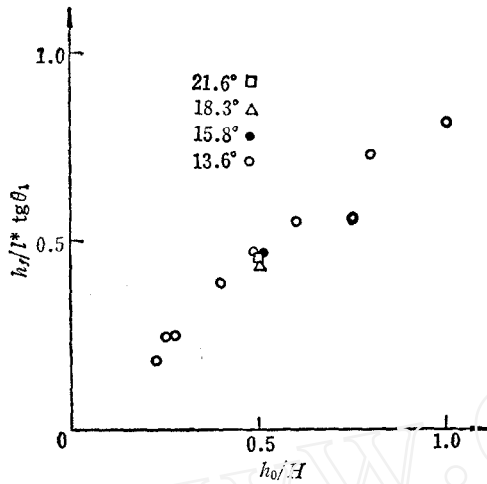


图 4 h_f/h^* 与 h_0/H 的关系

塞作用对于不同动量通量的异重流的效果不同 (对于相同的 g' , $\frac{h_0}{H}$ 表征着异重流动量通量). 对于 $h_0/H = 0.5$, $\theta = 13.6^\circ$, 18.3° , 15.8° , 21.6° 四种情况所测量到的 $\frac{h_f}{h^*}$, 彼此重合的程度是满意的. 这表明, 对于相同密度差的异重流可简单地有

$$h_f/l^* = \text{tg } \theta_f f_2\left(\frac{h_0}{H}\right) \quad (3)$$

f_2 近似线性. 再把四种不同 θ 值的实验中的 u_f/U 及 $(x/l^*)^{1/3}$ 进行关联 (示于图 3), 看到 $n = 1/3$ 幂次规律仍近似成立. 这就是说, 在所实验的 θ 角范围内, 尖角区的减

速区内异重流头部速度的近似通用速度型为

$$u_f/U = (x/l^*)^{1/3} \quad (4)$$

尚需指出, 我们对于 l^* 的考察还不充分, 这是因为对于闸板换水 (即等体积) 方式产生的异重流本身了解尚未完善, 还未建立起 h_0/H 与动量通量之间的明显关系. 看来, 更为理想的途径是采用等体积通量方式产生异重流以考察这个问题, 这有待于今后的工作.

作者们对于 J. E. Simpson 博士的有益建议表示感谢.

参 考 文 献

- [1] Simpson, J. E., *Annu. Rev. Fluid. Mech.*, 14 (1982), 213—234.
- [2] Britter, R. E. and Linden, P. F., *J. Fluid. Mech.*, 99(1980), 531—543.
- [3] Rottmann, J. W. and Simpson, J. E., *J. Fluid Mech.*, 135 (1983), 95—110.
- [4] Simpson, J. E., Britter, R. E., *J. Fluid Mech.*, 94 (1979), 477—495.

GRAVITY CURRENT FLOWING INTO A CORNERED REGION

Jia Fu, Wu Naihua

(Institute of Mechanics, Academia Sinica)

Zhang Boyin

(Peking University)

Abstract

Laboratory experiments concerning the effects of a corner-shaped boundary on the motion of a horizontal gravity current are described. In the deceleration region, an approximate 1/3 power law seems to hold between the nondimensional head velocity and the nondimensional distance to the corner apex.

www.cnki.net