

等宽明渠交汇口水流一维数学模型

茅泽育, 罗昇, 赵升伟, 张磊

(清华大学 水利水电工程系, 北京 100084)

摘要: 本文采用理论分析及试验手段, 对等宽明渠缓流交汇水流进行了研究。对交汇口流动的各种影响因素进行了量纲分析, 确定表征流动特性的主要物理量。根据水力学基本理论, 建立了交汇口上下游水深比的普遍方程, 方程中考虑了动量修正系数、动能修正系数、支流汇入角等影响因素的影响, 并对水深比与交汇角、流量比及水流Fr数之间的变化关系进行了讨论。解析表达式的计算结果与实验结果符合较好。

关键词: 明渠交汇口; 水深比; 流量比; 等宽渠道; 缓流

中图分类号: TV133 **文献标识码:** A

对于一般的顺直河道, 流量与水位存在单一对应关系, 但当有支流汇入时, 交汇口上下游的流量与水位不再呈单一对应关系。支流汇入主流后, 由于干支流的相互混掺和顶托, 在交汇口上游水面壅高, 交汇口下游附近形成水流分离区及断面环流现象^[1, 2], 如图1所示。文献[3]对明渠交汇口三维流动特性进行了试验研究, 文献[4]对明渠交汇口水流分离区形状及尺寸进行了理论分析和试验研究, 提出了分离区收缩系数 μ 及能量损失系数的解析表达式。1944年Taylor^[5]对矩形断面明渠交汇水流首先进行了试验研究, 并应用动量方程得出了上游支渠、下游干流断面水深与流量比的关系表达式。此后, 不少研究工作者曾针对各种不同几何形状交汇口及不同水流条件分别从能量方程、动量方程及势流理论等途径对汇流口流动的水深变化情况进行了研究探索^[6~10], 得出一维简化近似数学表达式。但是, 正如许多研究工作者指出, 为了正确分析交汇口的流动特征, 在计算支流汇入干流动量时, 必须考虑支流汇入断面水流入射角 ϕ 的影响。还有, 以往的大多研究成果并没有考虑动量修正系数和动能修正系数影响(即流速分布影响), 不考虑支渠两侧边壁的动水压力影响, 也是导致现有各种预测模型与试验结果不符的主要原因。

有鉴于此, 本文主要目的在于采用水力学基本理论及试验手段对交汇口水流控制体进行了研究, 提出了等宽明渠缓流交汇口水流计算的一维综合数学模型。

1 交汇口流动影响因素的理论分析

文中符号如图1所示, 下标 u 、 b 、 d 、 t 、 c 分别表示过流断面AB, GH, 分离区下游附近断面IJ, 支流入汇断面EF, 最大收缩断面CD; 各断面流量分别为 Q_u 、 Q_b 、 Q_d 、 Q_t 、 Q_c ; 水深分别为 Y_u 、 Y_b 、 Y_d 、 Y_t 、 Y_c ; 渠宽分别为 W_u 、 W_b 、 W_d 、 $W_t (=W_b/\sin\theta)$ 、 $W_c (= \mu W_d)$; 对于等宽渠道则有 $W_u=W_b=W_d=W_t \sin\theta$; μ 为收缩系数($0 < \mu < 1.0$); 流量比 $R_0=Q_b/Q_d$, 水深比 $\bar{Y}=Y_u/Y_d$; θ 为几何交汇角, ϕ 为水深平均支流汇入角, $\varphi = \theta - \phi$ 为支流汇入偏离角。

收稿日期: 2004-03-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50079008)

作者简介: 茅泽育(1962-), 男, 浙江人, 副教授, 主要研究方向为水力学及河流动力学。

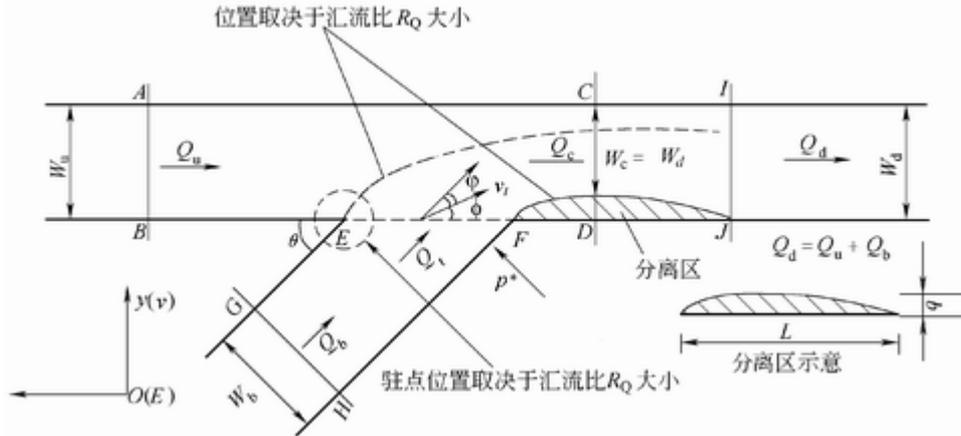


图1 交汇口水流动特征示意

大量研究表明^[3], 交汇口上游水深 Y_u 和 Y_b 与以下一些因素有关, 即干支流流量 $Q_u (=Q_d - Q_b)$ 、 Q_b , 干支渠宽度 W_u 、 W_b , 交汇角 θ , 重力加速度 g , 交汇口上下游渠底坡度、下深水深 Y_d 及渠道宽度 W_d 。它们之间关系可表示为

$$F_1(Y_u, Y_b, Q_b, Q_d, W_u, W_b, Y_d, W_d, g, \theta, i_u, i_b, i_d) = 0 \quad (1)$$

应用量纲分析的 π 定理, 取几何学变量 Y_d , 运动学变量 Q_b 作为独立变量, 得无量纲数

$$\pi_1 = \frac{Y_u}{Y_d}, \pi_2 = \frac{Y_b}{Y_d}, \pi_3 = \frac{Q_b}{Q_d}, \pi_4 = \frac{W_u}{Y_d}, \pi_5 = \frac{W_b}{Y_d}, \pi_6 = \frac{W_d}{Y_d}, \pi_7 = \frac{Y_d^5 g}{Q_d^2} = \frac{1}{\frac{W_d^2}{Y_d^2} F_{rd}^2}, \text{ 其中,}$$

$$F_{rd} = \sqrt{\frac{Q_d^2}{g W_d^2 Y_d^3}}。 \text{ 因此, 方程(1)可写成}$$

$$F_2 \left(\frac{Y_u}{Y_d}, \frac{Y_b}{Y_d}, \frac{Q_b}{Q_d}, \frac{W_u}{Y_d}, \frac{W_b}{Y_d}, \frac{W_d}{Y_d}, \frac{1}{\frac{W_d^2}{Y_d^2} F_{rd}^2}, \theta, i_u, i_b, i_d \right) = 0 \quad (2)$$

若令交汇口上游干支渠宽度分别为 $W_u = k_1 W_d$, $W_b = k_2 W_d$, 则式(2)变成

$$F_2 \left(\frac{Y_u}{Y_d}, \frac{Y_b}{Y_d}, \frac{Q_b}{Q_d}, k_1 \frac{W_d}{Y_d}, k_2 \frac{W_d}{Y_d}, \frac{W_d}{Y_d}, \frac{1}{\frac{W_d^2}{Y_d^2} F_{rd}^2}, \theta, i_u, i_b, i_d \right) = 0$$

或

$$F_2 \left(\frac{Y_u}{Y_d}, \frac{Y_b}{Y_d}, \frac{Q_b}{Q_d}, \frac{W_d}{Y_d}, \frac{1}{\frac{W_d^2}{Y_d^2} F_{rd}^2}, \theta, i_u, i_b, i_d, k_1 k_2 \right) = 0$$

根据大量的试验研究结果^[5~10], 交汇口上游附近的干支渠水深近似相等, 即 $Y_u=Y_b$, 则上式变成

$$F_2 \left(\bar{Y}, R_Q, \frac{W_d}{Y_d}, \frac{1}{\frac{W_d^2}{Y_d^2} F_{rd}^2}, \theta, i_u, i_b, i_d, k_1 k_2 \right) = 0$$

或

$$\bar{Y} = F_3(R_Q, W_d/Y_d, F_{rd}, \theta, i_u, i_b, i_d, k_1 k_2)$$

对于干支渠等宽的简单情形, $k_1=k_2=1$, 同时忽略底坡影响, 则有

$$\bar{Y} = F_4(W_d/Y_d, F_{rd}, R_Q, \theta) \tag{3}$$

方程(3)表明: 对于等宽平底(或底坡影响可忽略不计)明渠交汇水流, 交汇口一维水流模型可由, $\bar{Y}, R_Q, F_{rd}, \theta$ 和下游宽深比 W_d/Y_d 来表征, 或 $\bar{Y} = Y_u/Y_d$ 是下游宽深比 $W_d/Y_d, F_{rd}, R_Q$ 和 θ 的函数。

2 交汇口上下游水深比 \bar{Y} 理论表达式

如图1所示, 由质量守恒方程(连续性方程)得

$$Q_u + Q_b = Q_c = Q_d \tag{4}$$

对控制体ABEFDCA, 假设动水压力为静压分布, 并忽略边壁和底部摩擦力影响, 则一维平底交汇明渠水流沿主流方向的动量守恒方程为

$$\rho Q_c \beta_c V_c - \rho Q_u \beta_u V_u - \rho Q_b \beta_t V_t \cos \Phi = p_u Y_u W_u - p_c Y_c W_d$$

式中, β 为动量修正系数, 即单位时间内通过断面的实际动量与单位时间内以相应的断面平均流速通过的动量比值。各断面的动量修正系数分别为 $\beta_u, \beta_b, \beta_d, \beta_t, \beta_c$; 各断面平均压强和平均流速分别为 $p_u, V_u, p_b, V_b, p_c, V_c, p_d, V_d, p_t$, 因 $Q_b = V_t \sin \Phi A_t$, 所以支流汇入断面的平均流速 $V_t = Q_t / (A_t \sin \Phi) = Q_b / (Y_t W_t \sin \Phi)$, 代入上式得

$$\frac{gW_u Y_u^2}{2} + \frac{\beta_u Q_u^2}{W_u Y_u} + ctg\Phi \frac{\beta_t Q_b^2}{W_t Y_t} = \frac{gW_d Y_c^2}{2} + \frac{\beta_c Q_d^2}{\mu W_d Y_c} \quad (5)$$

对控制体CDJI, 根据动量方程得

$$\rho Q_d \left(\beta_d \frac{Q_d}{Y_d W_d} - \beta_c \frac{Q_d}{\mu W_d Y_c} \right) = (p_c Y_c - p_d Y_d) W_d$$

整理得

$$\frac{\beta_c Q_d^2}{\mu W_d Y_c} + \frac{g Y_c^2 W_d}{2} = \frac{g Y_d^2 W_d}{2} + \frac{\beta_d Q_d^2}{Y_d W_d} \quad (6)$$

将式(6)代入式(5)得

$$\frac{gW_u Y_u^2}{2} + \frac{\beta_u Q_u^2}{W_u Y_u} + ctg\Phi \frac{\beta_t Q_b^2}{W_t Y_t} = \frac{gW_d Y_d^2}{2} + \frac{\beta_d Q_d^2}{W_d Y_d} \quad (7)$$

式(7)中左边第三项代表支流沿主渠下游流动方向的动量输入。

对控制体EGHF, 沿支流流动方向的动量方程为: $\rho Q_b \beta_t V_t \cos \varphi - \rho Q_b \beta_b V_b = p_b Y_b W_b - p_t [Y_t W_t \cos(90 - \theta)]$, 式中: $\theta = \phi + \varphi$ 。由上式可得

$$\frac{g}{2} W_b Y_b^2 + \frac{\beta_b Q_b^2}{W_b Y_b} = \frac{g}{2} W_b Y_t^2 + \beta_t Q_b V_t \cos(\theta - \Phi) \quad (8)$$

假定 $Y_u = Y_b = Y_t$, 则有 $Y_b = Y_t = \bar{Y} Y_d$ 。考虑等宽渠道情况, 令 $W_u = W_b = W_d = W$, 式(8)两边同除 Y_d^2 , 并代入 V_t 的表达式, 则得

$$ctg\Phi = \frac{1}{\cos \theta} \left(\frac{\beta_b}{\beta_t \sin \theta} - \sin \theta \right) \quad (9)$$

将式(9)、式(4)代入式(7), 得

$$\bar{Y}^3 - \left(1 + \frac{2}{\mu} \beta_d F_{rd}^2 \right) \bar{Y} + 2\beta_d F_{rd}^2 \left[\frac{\beta_u}{\beta_d} (1 - R_Q)^2 + \frac{\beta_b R_Q^2}{\beta_d \cos \theta} - \frac{\beta_t R_Q^2 \sin^2 \theta}{\beta_d \cos \theta} \right] \quad (10)$$

式(10)为关于 \bar{Y} 的三次方程, 方程表明, 对于平底等宽明渠交汇水流, 如果已知 R_0 , θ , β , μ 及下游水流条件, 通过求解上述三次多项式可以得到 \bar{Y} 。其中收缩系数 μ 与控制断面AB、GH、CD、IJ的动能与

动量修正系数、 R_Q 、 θ 等因素有关^[4]，与动量修正系数类似，动能修正系数表示单位时间内通过断面的实际能量与单位时间内以相应断面平均流速通过的能量的比值。当缺乏实测资料时，若令所有的动能和动量修正系数为 1.0，则由式(10)得 $\bar{Y} = f_1(\mu, \theta, R_0, F_{rd})$ ，而 $\mu = f_2(R_0, \theta)$ 。因此只要知道 θ 、 R_Q 及 F_{rd} ，即可得到 \bar{Y} 的近似估计值。

根据式(10)可以对水深比 \bar{Y} 的特征进行分析。为了简单起见，令方程(10)中的动量修正系数均为 1.0，并令

$$F(\bar{Y}) = \bar{Y}^3 - \left(1 + \frac{2}{\mu} F_{rd}^2\right) \bar{Y} + 2F_{rd}^2 \left[(1 - R_Q)^2 + R_Q^2 \cos \theta \right] \quad (11)$$

根据上式可得： $F(-\infty) < 0$ ， $F(0) > 0$ ， $F(1) < 0$ ， $F(+\infty) > 0$ ，因此满足方程 $F(\bar{Y}) = 0$ 有 3 个根，其中 1 个负根，2 个正根（分居 $\bar{Y} = 1.0$ 的两侧），3 个根分别位于区间 $(-\infty, 0)$ ， $(0, 1)$ ， $(1, +\infty)$ ，分别设为， $-\infty < \bar{Y}_1 < 0$ ， $0 < \bar{Y}_2 < 1.0$ ， $1.0 < \bar{Y}_3 < +\infty$ 。显然，负根不符合实际情况。

在交汇口上下游均为缓流的条件下，存在

$$F_{rd}^2 = \frac{Q_d^2}{gW_d^2 Y_d^3} < 1.0, F_{ru}^2 = \frac{Q_u^2}{gW_u^2 Y_u^3} < 1.0, F_{rb}^2 = \frac{Q_b^2}{gW_b^2 Y_b^3} < 1.0 \quad (12)$$

根据不等式的运算法则及零点原理，由式(11)、(12)可以证明（因篇幅原因，具体推导省略），只有 3 为式(11)的解，而位于区间 $(0, 1)$ 的正实根 \bar{Y}_2 不满足上下游均为缓流的条件，即式(12)。因此，在上下游均为缓流情况下，水深比 $\bar{Y} = Y_u/Y_d > 1.0$ 。许多研究者的试验结果都表明存在这一水力现象，本文从数学上进行了证明。

进一步，根据式(11)和式(12)讨论参数 R_0 、 F_{rd} 、 θ 对水深比影响。对 θ 求导得

$$\frac{d\bar{Y}}{d\theta} = \frac{2F_{rd}^2 R_Q^2 \sin \theta}{3\bar{Y}^2 - \left(1 + \frac{2}{\mu} F_{rd}^2\right)} > 0 \quad (13)$$

因为在上、下游均为缓流的条件下（即 $\bar{Y} > 1.0$ ），可以证明式(13)中的分母为正，因此在其它条件保持不变时，随着 θ 增大，水深比 \bar{Y} 增加。式(11)对流量比 R_0 求导得

$$\frac{d\bar{Y}}{dR_Q} = \frac{4F_{rd}^2 \left[(1 - R_Q) - R_Q \cos \theta \right]}{3\bar{Y}^2 - \left(1 + \frac{2}{\mu} F_{rd}^2 \right)} > 0 \quad (14)$$

显然, 由式(14)可以得到, 当流量比 $R_Q = R_Q^* = \frac{1}{1 + \cos \theta}$ 时, \bar{Y} 达到极大值。 $R_Q < R_Q^*$ 时, $\frac{d\bar{Y}}{dR_Q} > 0$;

$R_Q > R_Q^*$ 时, $\frac{d\bar{Y}}{dR_Q} < 0$ 。式(11)对 F_{rd} 求得

$$\frac{d\bar{Y}}{dF_{rd}} = \frac{4F_{rd}^2 \left[\frac{\bar{Y}}{\mu} - (1 - R_Q)^2 - R_Q^2 \cos \theta \right]}{3\bar{Y}^2 - \left(1 + \frac{2}{\mu} F_{rd}^2 \right)} > 0 \quad (15)$$

3 试验设备和参数

交汇水流实验设备由水流循环系统、流量调节系统、量测系统及辅助设备组成, 干支槽交汇角 θ 分别为 30° 、 45° 、 60° 和 90° , 如图2所示。水流循环系统由2台4 潜水泵、输水管路、汇流水槽以及蓄水库组成的半封闭自循环系统; 由潜水泵从尾水库提水进入输水管路, 然后分别注入量水堰箱(三角形薄壁堰箱和矩形薄壁堰箱), 并经实验水槽流回水库; 输水管路上装有控制节门, 可同时对汇流水槽的干、支槽水流量进行调节控制。在干槽和支槽入口处各装有三层多孔有机玻璃筛板, 以起平水作用。试验汇流水槽由过渡段、交汇段及合流段组成, 试验段有效长度为9m, 其中交汇口以上有效长度为5m。水槽过流断面为矩形, 宽 $W = 0.25\text{m}$, 高 $h = 0.2\text{m}$ 。下游水槽尾水水深由一个可调节的尾水闸门控制。

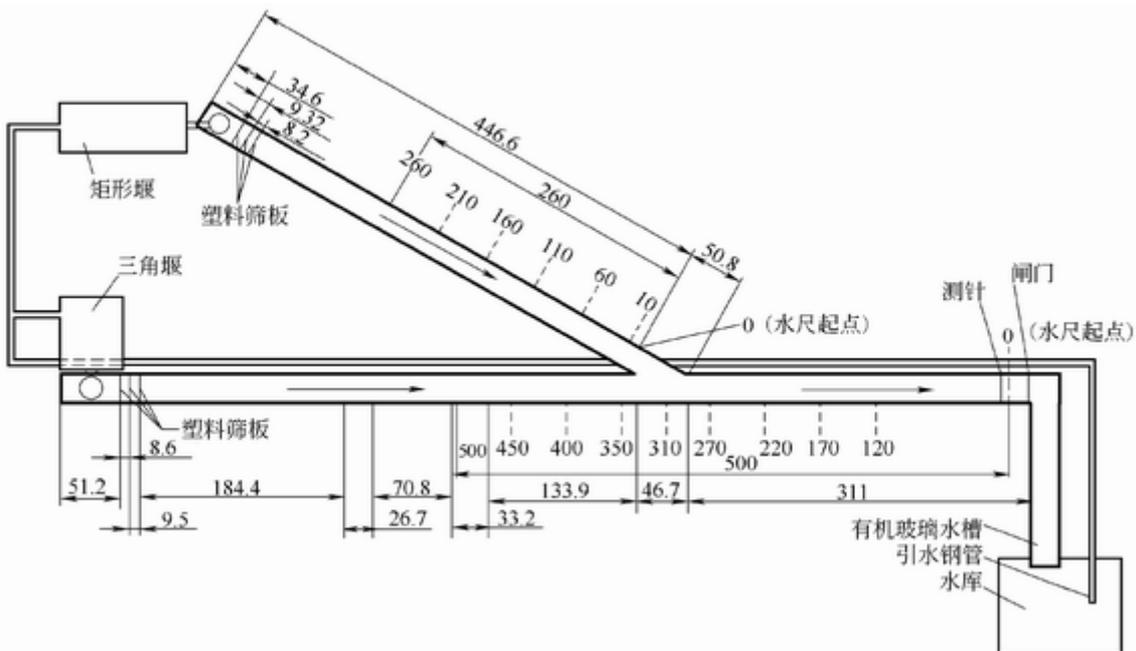


图2 交汇水流试验水槽平面(单位: cm)

对交汇口附近15个断面的水深及流速进行了系列量测。交汇口流场由五孔测球量测得到^[3]。每个断面沿横向等距划分15条垂线，每条垂线等高分8个测点，最低点位于距离槽底14mm，最高点位于水面下14mm。水深由测针量测得到(精度为0.1mm)。本文研究所采用的交汇口上游干支渠水深 Y_u 和 Y_b 为2倍槽宽处水深。在所有试验工况条件下，干支渠上下游水流均为缓流，下游弗劳德数 F_{rd} 变化范围为 $F_{rd} < 0.572$ ，实验最大雷诺数 $Re_{max} = 72300$ 。

4 试验成果分析

图3~4给出了交汇口附近各控制断面的水深量测结果，显然，在试验条件下(即上下游均为缓流)，假设 $Y_u = Y_b = Y_t$ 是合理的，这与以往许多研究者所得结论相一致。

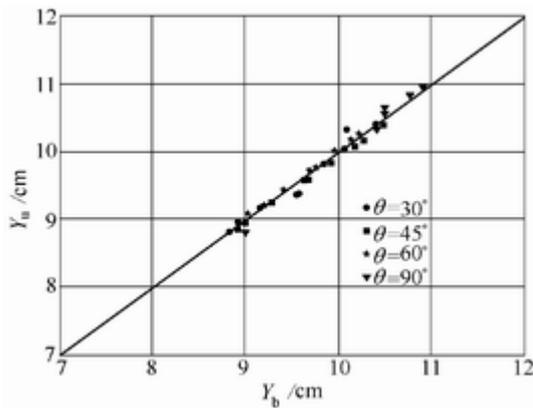


图3 断面AB水深 Y_u 与断面GH水深 Y_b 关系

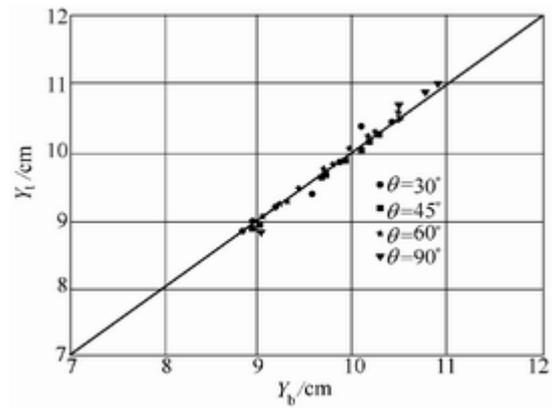


图4 断面EF水深 Y_t 与断面GH水深 Y_b 关系

图5~8给出了由流速分布量测结果计算得到的各控制断面的能量修正系数随流量比的变化情况，图9~12给出了动量修正系数随流量比的变化情况。从图中可以看出：当 R_Q 接近0.5时， α 和 β 均达到最小值，表明这时两股水流汇合时的紊动混掺程度最小。当 R_Q 较小时，即 Q_b 相对较小，这时支流受主流影响较大，导致其流速分布发生较大变化。当 R_Q 较大时，即 Q_b 相对较大，这时主流受支流影响较大，导致其流速分布发生较大变化。而对于下游IJ断面，其动能修正系数随 R_Q 的变化并不明显，其原因是汇合水流经分离区之后，基本恢复典型的明流状态。

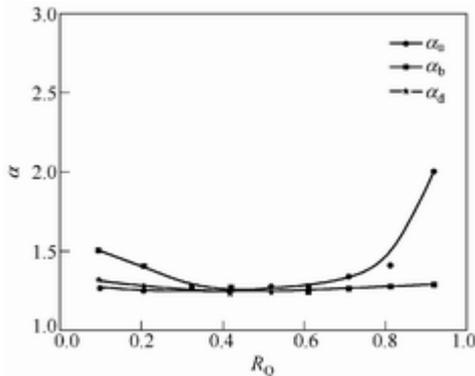


图5 动能修正系数 α 与流量比 R_Q 关系($\theta = 30^\circ$)

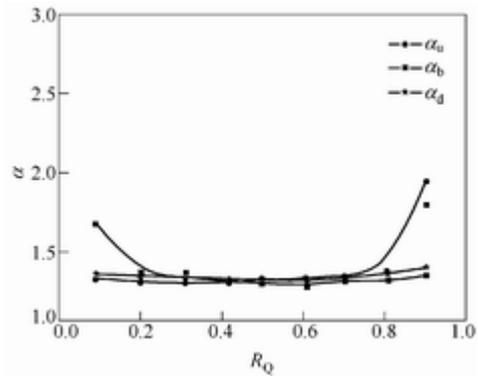


图6 动能修正系数 α 与流量比 R_Q 关系($\theta = 45^\circ$)

图13给出了不同交汇角时，支流汇入断面EF上的断面平均支流汇入角 ϕ (取断面EF中点垂线上水深方向8个测点的平均值)与流量比 R_Q 的变化关系。从图中可以看出，对于不同的 θ 角， ϕ 与随 R_Q 的增加而增加，两者基本呈良好的线性关系。 ϕ 值随 θ 的增大而增大，但 $\phi < \theta$ 。试验中还发现，EF断面上 ϕ 存在较大变

化, 在交汇口上游E点附近, 干流偏向交汇口侧, ϕ 值较大, 说明在交汇口上游角附近, 水流运动类似于射流扩散。沿EF方向, ϕ 值减小, 并逐渐趋于 θ 。

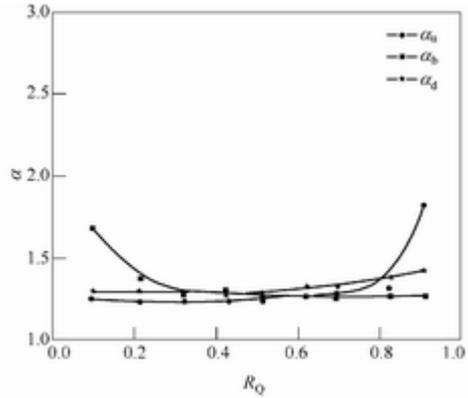


图7 动能修正系数 α 与流量比 R_Q 关系 ($\theta = 60^\circ$)

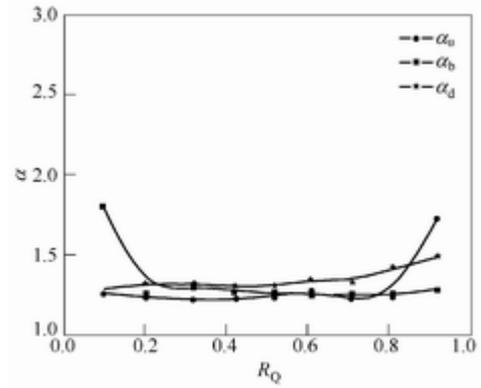


图8 动能修正系数 α 与流量比 R_Q 关系 ($\theta = 90^\circ$)

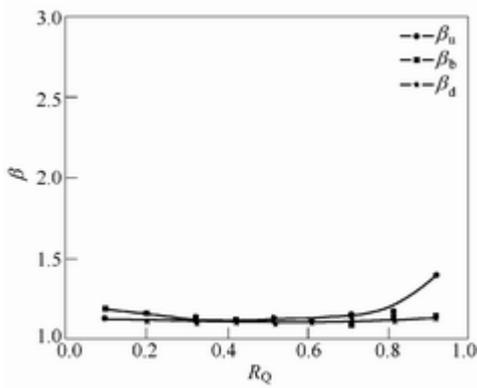


图9 动量修正系数 β 与流量比 R_Q 关系 ($\theta = 30^\circ$)

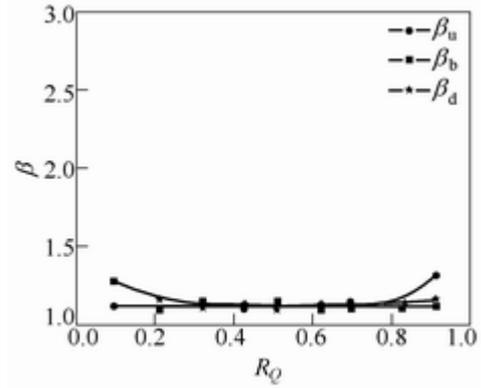


图10 动量修正系数 β 与流量比 R_Q 关系 ($\theta = 45^\circ$)

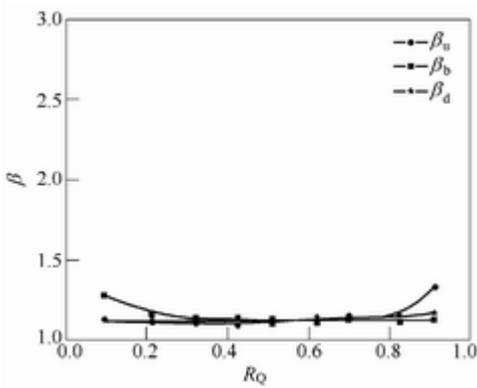


图11 动量修正系数 β 与流量比 R_Q 关系 ($\theta = 60^\circ$)

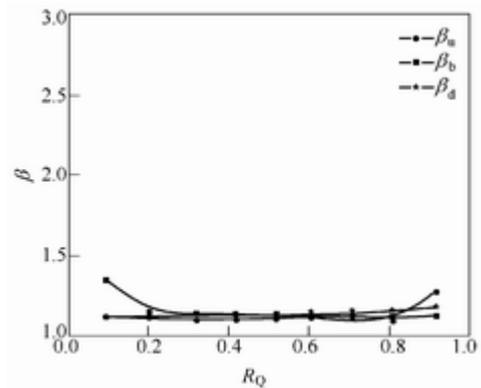


图12 动量修正系数 β 与流量比 R_Q 关系 ($\theta = 90^\circ$)

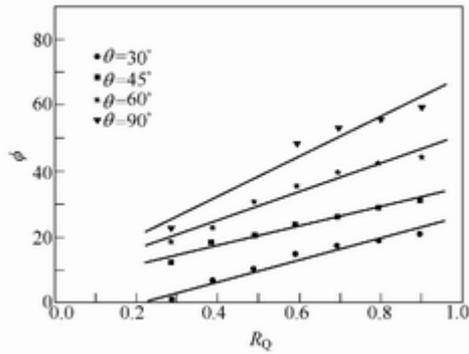
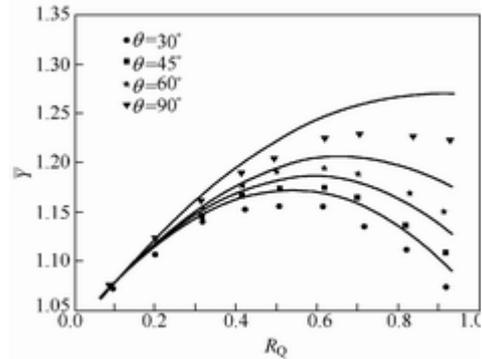
图13 EF断面支流平均汇入角 ϕ 与流量比 R_0 关系图14 水深比 \bar{Y} 的计算与试验结果比较

图14给出针对不同交汇角, 根据式(10)得到的 \bar{Y} 随 R_0 变化关系的计算结果和试验结果比较, 其中曲线为计算结果的拟合表达式。从图中可以看出, 在 $0^\circ < \theta < 90^\circ$ 范围内, \bar{Y} 随 θ 增加而增加。当 $\theta \neq 90^\circ$ 时, $\bar{Y} = Y_u/Y_d$ 的最大值出现在 $R_0 = \cos \theta / (1 + \cos \theta)$; 当 $\theta = 90^\circ$ 时, \bar{Y} 随 R_0 增大而增加, 但增加趋势有所减小。实验值比理论值稍小一些, 最大相对误差为4.0%左右, 总体上讲, 理论计算和实验结果符合较好。产生两者误差的主要原因, 可能是由于测量误差和支流汇入角沿EF的变化。对于给定流量比 R_0 , 通过调节下游尾门得到不同的 F_{rd} , 发现 \bar{Y} 随 F_{rd} 增加而增加。但由于水槽高度仅为0.2m, 为防止槽中水溢出, 只改变了3个水深值, 因此 \bar{Y} 随 F_{rd} 的详细变化关系有待于进一步深入研究。

5 结论

交汇口上下游水深变化可由流量比、几何交汇角、水流佛汝德数等表示。本文采用理论分析及试验研究, 针对平底等宽渠道, 交汇角 $\theta = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ 和 90° 的缓流交汇水流进行了研究; 提出了交汇口上下游水深比的综合方程式并得到了试验结果证实, 方程中考虑了流速分布及支流汇入角等因素影响。对影响交汇水流的各种因素进行了分析研究。本文提出的明渠交汇口一维水流模型可以应用于非恒定流数值计算的内边界条件。

致谢: 本研究过程中, 得到李春华高级工程师, 吕敬华师傅在水槽改建及量测仪器制作方面的帮助, 在此表示谢意。

参考文献:

- [1] 茅泽育, 张磊, 陈嘉范, 黄继汤. 数字粒子图像处理技术及其在明渠交汇口流速测量中的应用[J]. 水利学报, 2003, (6): 65-71.
- [2] Wu R, Mao Z Y. Numerical simulation of open-channel flow in 90-degree combining junction [J]. Tsinghua Science and Technology, 2003, 8(6): 713-718.
- [3] 茅泽育, 赵生伟, 张磊, 黄继汤. 明渠交汇口三维水力特性试验研究[J]. 水利学报, 2004, (2): 1-7.

- [4] 茅泽育, 赵升伟, 罗昇, 张磊. 明渠交汇口水流分离区研究, 水科学进展(录用并将于近期正式发表).
- [5] Taylor E H. Flow characteristics at rectangular open-channel junctions [J]. Trans. ASCE, 1944, 109: 893-902.
- [6] Gurram S K. Transitional flow in channel junction[J]. J. Hydr. Res., 1993, 31(5): 601-604.
- [7] Hager W H. Transitional flow in channel junctions [J]. J. Hydr. Eng. ASCE, 1989, 115(2): 243-259.
- [8] Hsu C C, Wu F S, Lee W J. Flow at 90° equal-width open-channel junction[J]. J. Hydr. Eng. ASCE, 1998, 124(2): 186-191.
- [9] Ramamurthy A S, Carballada L B, Tran D M Combining open-channel flow at right-angled junctions[J]. J. Hydr. Eng., ASCE, 1988, 114(12): 1449-1460.
- [10] Hsu C C, Lee W J, Chang C H. Subcritical open-channel junction flow[J]. J. Hydr. Eng. ASCE, 1998, 124(8): 847-855.

One-dimension mathematical model for flow at equal-width open-channel junction

MAO Ze-yu, LUO Sheng, ZHAO Sheng-wei, ZHANG Lei

(Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The flow phenomenon at the junction of two open channels was studied theoretically and experimentally. The dimension analysis method was applied to determine the major factors affecting the flow characteristics. On this basis, the universal analytical expression for the ratio of the flow depth upstream of the junction to the flow depth downstream of the junction was deduced according to the principle of hydraulics. In the expression, the momentum correction coefficient, energy correction coefficient and the influence of confluence angle were taken into account. The relationships between depth ratio and confluence angle, discharge ratio as well as Froude number are investigated. The validity of this analytical expression is verified by model test.

Key words: open-channel junction; depth ratio; discharge ratio; equal width; subcritical flow