

变态河工模型断面平均流速偏离度影响研究

王勤香^{1,2}, 赵德华³

(1. 黄河水利职业技术学院, 河南 开封 475004;

2. 小流域水利河南省高校工程技术研究中心, 河南 开封 475004; 3. 云南省宣威市水务局, 云南 宣威 655424)

摘要:河工模型试验中, 变态河工模型量测的断面平均流速与正态河工模型量测的断面平均流速有一定的偏离, 变率取值越大, 变态模型的断面平均流速与正态模型的断面平均流速偏离度越大。通过同变率典型工程模型试验得出: 变态模型的断面平均流速总体大于正态模型的断面平均流速。变态河工模型断面平均流速偏离度受变率选取、边界条件及流量大小影响, 边界顺直、水流平稳处, 变态模型的断面平均流速偏离度小于 20%; 边界变化较大、流态紊乱处, 变态模型的断面平均流速偏离度大于 20%。

关键词:变态河工模型; 变率选取; 断面平均流速; 偏离度; 影响因素

中图分类号:TV83

文献标识码:A

文章编号:1008-486X(2014)02-0001-04

0 引言

工程水流及泥沙问题研究的重要手段是采用河工模型试验。一般认为, 正态河工模型精确度往往高于变态河工模型。但受具体条件的限制, 往往不得不选择变态河工模型试验。由于量测的变态河工模型的断面平均流速与正态河工模型的断面平均流速有一定偏离度。所以, 研究变态模型不相似的偏离程度与哪些因素有关、不同变率变态河工模型如何影响水流现象和水流速度、变态河工模型变率对断面平均流速的影响等偏离度问题, 可以修正、还原变率选取对变态模型试验结果影响, 提高变态模型试验精度, 使变态模型较真实反映实际水流情况, 为工程决策提供真实可靠的参考指导^[1]。

1 变率取值及对水流运动的影响

1.1 变态模型变率限制

变态河工模型中, 水平长度比尺与垂向长度比尺的比值($\eta = \lambda_l / \lambda_h$)称为变率。变率的选取关系到水流运动的相似程度。一系列的变率模型试验研究表明, 当变率大于 4、模型宽深比小于 5 时, 模型变态对断面平均流速分布、弯道水流动力轴线及其河床变形影响较大。张红武、李保如的研究结果表明, 当变率 $\eta = 2 \sim 4$ 时, 模型变态对流场相似性的影响较小^[2]。参考其提出的变态模型相对保证率

的公式, 可得出如式(1)所示的变率限制式(相对保证率为 0.85)。

$$\eta \leq 0.0319B/H + 0.85 \quad (1)$$

式中: B 为河道内代表断面河宽; H 为水深。

将河宽 B 、水深 H 的数值代入式(1), 可求得 $\eta \leq 3.74$ 。

窦国仁从控制变态模型边壁阻力与河底阻力的比值以保证模型水流与原型相似的概念出发, 提出了限制模型变率的关系式, 如式(2)所示。

$$\eta \leq 1 + B/20H \quad (2)$$

将河道内代表断面河宽 B 、水深 H 代入式(2), 求得 $\eta \leq 5.54$ 。

张瑞瑾等学者认为, 过水断面水力半径对模型变态十分敏感。由此, 推出变率指标表达式为

$$D_R = (2 + B/H) / (2\eta + B/H) \quad (3)$$

当变率 $\eta = 1 \sim 5$ 时, 将河道代表断面的河宽 B 、水深 H 代入式(3), 可计算出模型变率指标 $D_R = 0.92 \sim 1.01$, 其值基本上位于模型与原型相似的理想区段($D_R = 0.95 \sim 1$ 为理想区)。

根据以上分析, 在变态河工模型试验中, 变率取值限制为 1~5。

1.2 变态河工模型变率对水流运动影响

在限制值范围内, 变率越大, 对水流运动的影响

收稿日期: 2013-12-20

基金项目: 河南省教育厅科学技术研究重点项目(12A570006); 黄河水利职业技术学院科研基金项目(2012KXJS003)

作者简介: 王勤香(1969-), 女, 河南中牟人, 教授, 硕士, 主要从事治河防洪及水力学研究与教学工作。

越大。这是因为,变率越大,惯性力与重力的比值相差越大。惯性力与重力的比值不相似主要表现在铅直方向的不相似,从而使得垂向流速相似性受影响越明显。采用变态模型,垂直方向惯性力与重力的比值不相似而产生的误差为

$$\frac{\lambda_u^2 \lambda_h}{\lambda_g \lambda_l^2} = \frac{\lambda_u^2}{\lambda_g \lambda_h} \frac{\lambda_h^2}{\lambda_l^2} = \frac{1}{\eta^2} \quad (4)$$

式中: λ_u 为流速比尺; λ_h 为垂向长度比尺; λ_l 为水平长度比尺; λ_g 为重力加速度比尺; η 为变率。

由式(4)可以看出,模型惯性力与重力的比值为原型惯性力与重力比值的 η^2 倍。所以,变率取值越大,模型中铅直方向的惯性力作用夸大越明显,变态模型的断面平均流速与正态模型的断面平均流速偏离度越大^[3]。因此,为提高模型精度,尽可能选取小变率。

2 典型工程案例

不同变率模型的断面平均流速相似性不一样。同样变率、不同边界条件下,变率对断面平均流速的影响不同。下面通过两个典型工程案例的河工模型试验,对同变率($\eta=2$)变态模型断面平均流速偏离度进行分析。

2.1 典型工程案例

2.1.1 苏丹 SUE 水电站河工模拟

苏丹 SUE 水电站平面布置如图 1 所示。为了分析变态模型断面平均流速与正态模型断面平均流速的偏离度,分别选取该电站坝前 1-1 断面、闸后 2-2 断面、下游海漫 3-3 断面、下游分叉河段 4-4 断面 4 个量测断面,比较不同流量下,正态模型、变态模型各断面的平均流速,其结果如表 1 所示。

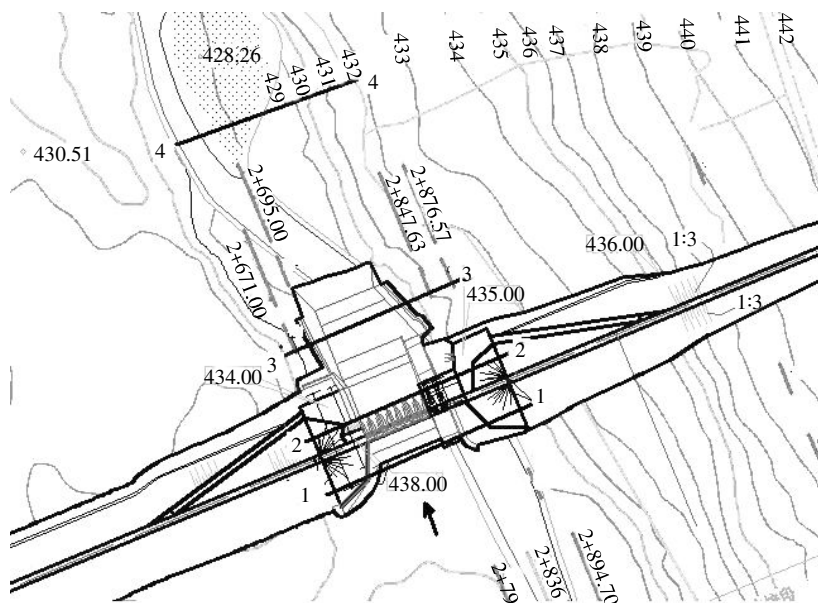


图 1 苏丹 SUE 水电站平面布置图

Fig.1 Sudan SUE hydropower station plane layout

2.1.2 南水北调中线安阳河倒虹吸河工模拟

南水北调中线安阳河倒虹吸平面布置如图 2 所示。在 3 种布设方案下(口门宽度分别为 135 m、165 m、195 m)^[4],选总干渠口门轴线处过水断面为量测断面,对不同流量,正态模型、变态模型各断面的平均流速进行测算对比,结果如表 1 所示。

2.2 变态模型流速与正态模型流速对比分析

根据测算的典型工程正态模型、变态模型在不同流量下各断面的平均流速,计算偏离度、平方差(如表 1 所示),并绘制所有量测断面正态模型流速与变态模型流速关系图,如图 3 所示。通过分析两种

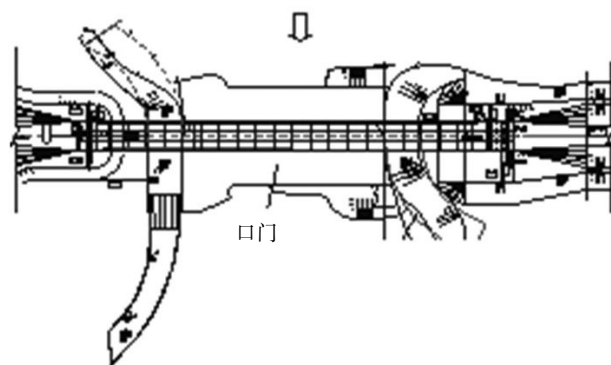


图 2 南水北调中线安阳河倒虹吸平面布置图

Fig.2 Inverted siphon plane layout of the middle line of South-to-North Water Project through Anyang river

表 1 典型工程整体河工模型试验数据对比分析

Table 1 Test data comparison analysis of typical construction river models

断面位置	$Q/\text{m}^3/\text{s}$	$v_{\text{正}}/\text{m}/\text{s}$	$v_{\text{变}}/\text{m}/\text{s}$	$v_{\text{变}}/v_{\text{正}}$	偏离度	平方差
SUE 水电站坝前 渐变流 1-1 断面	1 880	1.19	1.08	0.91	0.09	0.991
	1 500	0.95	0.85	0.89	0.11	
	1 200	0.76	0.65	0.85	0.15	
	1030	0.65	0.47	0.82	0.18	
	900	0.57	0.54	0.83	0.17	
SUE 水电站下游 闸孔后 2-2 断面	1 880	3.26	2.94	0.90	0.10	0.927
	1 500	2.60	2.56	0.99	0.01	
	1 200	2.22	2.32	1.04	0.04	
	900	1.56	2.29	1.47	0.47	
	600	1.11	1.87	1.68	0.68	
	300	0.60	0.98	1.63	0.63	
SUE 水电站下游 海漫顺直河段 3-3 断面	1 880	1.35	1.38	1.02	0.02	0.996
	1 500	1.10	1.10	1.00	0.00	
	1 200	0.94	0.95	1.01	0.01	
	900	0.72	0.79	1.09	0.09	
	600	0.50	0.55	1.10	0.10	
	300	0.29	0.30	1.02	0.02	
SUE 水电站下游 分叉河道处 4-4 断面	1 880	0.66	1.25	1.90	0.90	0.219
	1 500	0.65	1.20	1.86	0.86	
	1 200	0.60	1.10	1.85	0.85	
	900	0.56	1.00	1.77	0.77	
	600	0.55	0.90	1.62	0.62	
	250	0.64	0.79	1.24	0.24	
穿河倒虹吸平顺 口门处干渠轴线 断面(3 种口门 宽度)	5 166	3.58	3.69	1.03	0.03	0.992
	3 433	2.72	2.97	1.09	0.09	
	1 655	1.72	1.98	1.15	0.15	
	5 166	2.88	2.97	1.03	0.03	
	3 433	2.19	2.35	1.07	0.07	
	1 655	1.37	1.46	1.07	0.07	
	5 166	2.44	2.49	1.02	0.02	
	3 433	1.86	2.01	1.08	0.08	
	1 655	1.18	1.38	1.17	0.17	

模型断面平均流速的相关关系,绘制不同流量下各量测断面两种模型流速对比套绘图(如图4所示),从而研究变率对断面平均流速的影响。

由图3可以看出,两种模型的断面平均流速呈多项式关系,即 $y = -0.0375x^2 + 1.0712x + 0.1588$,平方差为 0.915。由图4可以看出,变态模型的断面平均流速总体大于正态模型的流速。因为边界条件不同,流量不同,各断面偏离度也不同。边界条件突变处(如河道分叉处),流态紊乱,偏离度大,平方差小;边界条件顺直

处,流态平稳,偏离度小,平方差趋近 1.0。同平顺边界条件下,流量不同,偏离度也不同,但偏离度并不随着流量变大而变大。

2.3 影响变态河工模型断面平均流速偏离度的因素

根据苏丹 SUE 水电站和南水北调中线安阳河倒虹吸河工模拟试验数据可以得出:(1)同变率下,不同流态及边界条件,偏离度及平方差不一样。所有量测断面的正态模型流速与变态模型流速总体平方差为 0.915。(2)边界突变、流态紊乱处,变态模型平

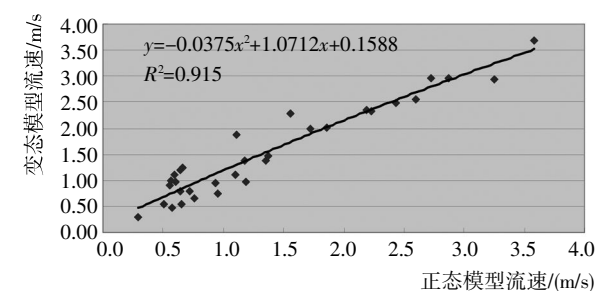


图3 正态模型流速与变态模型流速总体关系

Fig.3 Total relations of normal model velocity and distorted model velocity

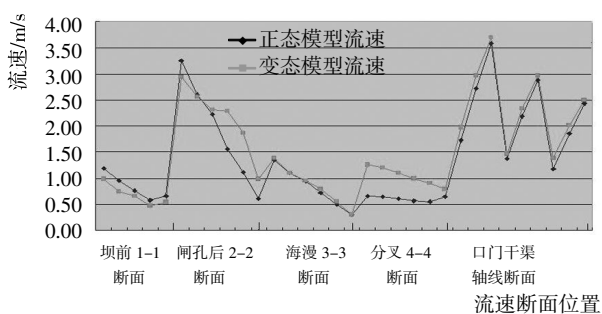


图4 正态模型流速与变态模型流速对比套绘图

Fig.4 Comparison drawings of normal model velocity and distorted model velocity

均流速为正态模型平均流速的 1.8 倍左右, 偏离度大于 20%; 边界顺直、流态平稳处, 变态模型的断面平均流速与正态模型的断面平均流速基本相等, 偏

离度一般小于 10%。

3 结语

(1) 变率在 1~5 之间取值, 其取值越大, 变态模型断面平均流速与正态断面平均流偏离度越大。变率取值较小时, 变态模型断面平均流速与正态模型断面平均流速相关性较好。

(2) 变率相同时, 边界突变、流态紊乱处, 变态模型的断面平均流速为正态模型断面平均流速的 1.8 倍左右, 偏离度大于 20%; 边界顺直、流态平稳处, 变态模型断面平均流速与正态模型断面平均流速基本相等, 偏离度小于 10%。

(3) 同变率变态河工模型断面平均流速偏离度受边界条件、流量影响。同边界条件下, 流量不同, 偏离度也不同, 但偏离度并不随着流量的增大而增大。

参考文献:

- [1] 李旺生. 变态河工模型垂线流速分布不相似问题的初步研究[J]. 水道港口, 2001(3): 113-117.
- [2] 李保如. 游荡性模型几何比尺变率的限制条件//[M] 李保如. 李保如河流研究文选北京: 中国水利电力出版社, 1994: 182-186.
- [3] 谢鉴衡. 河流模拟 [M]. 北京: 中国水利电力出版社, 1990: 85.
- [4] 王勤香, 朱鸿庆. 南水北调中线穿河倒虹吸口门位置及尺寸试验[J]. 水利水电科技进展, 2008, 28(3): 62-66.

[责任编辑 杨明庆]

Research on Distorted River Model Vertical Velocity Deviation Influence

WANG Qin-xiang^{1,2}, ZHAO De-hua³

(1. Yellow River Conservancy Technical Institute, Kaifeng 475004, China;

2. Engineering Technology Research Center of Small Watershed Conservancy University of Henan Province, Kaifeng 475004, China;

3. Yunnan Xuanwei Water Authority, Xuanwei 655424, Yunnan, China)

Abstract: In river model experiment, the section average flow velocity is different between distorted river model and normal model, the deviation degree of average flow velocity increases with the increase of distorted rate. The typical construction experiment shows that the section average flow velocity of distorted river model is faster than normal model; it is affected by distorted rate, boundary conditions and flow. The deviation degree of section average flow velocity is less 20% in boundary straight and flow smoothly, otherwise the opposite.

Key Words: River model; distorted rate; section average flow velocity; deviation degree; influencing factor