

DOI :10.3880/j.issn.1006-7647.2008.05.004

不同断面形态河槽阻力特性试验

王家生,朱代臣,孙贵洲,朱勇辉

(长江科学院河流研究所,湖北 武汉 430010)

摘要 阻力相似是河工模型关键问题之一。本文通过水槽试验分别对偏 V 形断面和矩形断面明渠加糙后的阻力特性进行对比研究。研究结果表明:在阻力平方区,偏 V 形水槽加糙后随雷诺数增加阻力变化很小,对于矩形水槽加糙后随着雷诺数增加阻力有略微减小的趋势;当雷诺数为 10 000 时,矩形断面加糙后其阻力明显大于偏 V 形断面加糙后的阻力,随着雷诺数增大两者阻力趋于相同值。

关键词 偏 V 形水槽 矩形水槽 水槽加糙 阻力系数

中图分类号 :TV83 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-7647(2008)05-0013-03

Experimental study on resistance characteristics of flumes with different cross-section shapes//WANG Jia-sheng, ZHU Dai-chen, SUN Gui-zhou, ZHU Yong-hui (Department of River Engineering, Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China)

Abstract :Resistance similarity is a key principle in river models. To simulate resistance, the artificial roughening method is employed. Experiments are performed to compare the resistance characteristics of a V-shaped flume and a rectangular flume, both with Y-shaped materials to enhance their roughness. Research results show that, in the turbulent regions, the resistance coefficient of the V-shaped flume changes very little with the Reynolds number, but that of the rectangular flume appreciably decreases with the Reynolds number. When the Reynolds number reaches 10000, the resistance coefficient of the rectangular flume is larger than that of the V-shaped flume. As the Reynolds number increases, the resistance coefficients of both types of flumes trend to have equivalent values.

Key words :V-shaped section flume ;rectangular section flume ;add artificial roughness ;resistance coefficient

在实际的河工模型试验过程中往往通过加糙来实现模型的阻力相似^[1],而加糙也成为河工模型试验的关键技术之一。对于模型加糙,许多学者进行了深入的研究,并取得了大量的成果^[1-6]。这些研究主要关注加糙体的形态和加糙体的布置,例如加糙体由以前的刻槽、砾石到目前的十字片等,而加糙体的布置主要为密实加糙和梅花形加糙^[2],然而以前的成果大多是由矩形水槽试验得出的,加糙体也只是布置在水槽底部^[3,7],对于侧壁有加糙水槽试验研究较少。而实际模型断面形态却多种多样,对于长江中下游的弯曲和蜿蜒型河道来讲,主槽大多是偏 U 形和偏 V 形河道,经过模型比尺缩放,大多为偏 V 形河道^[8]。对于这种偏 V 形河道,像矩形水槽那样的平面槽底很窄甚至没有。矩形水槽加糙后主要作用来自槽底,而偏 V 形断面加糙后很重要的一

部分作用来自边壁。因此用矩形水槽试验得出的结果可能与实际河工模型试验的结果存在着一定的差异,而这些误差将对正确进行河工模型试验产生不利的影响。本文采用与普遍天然河道具有相似断面形态的偏 V 形水槽和矩形水槽进行加糙阻力试验研究,分析不同断面形态加糙后阻力特性的差异。

1 试验设备及方法

1.1 试验设备

偏 V 形水槽有效工作段长 24 m、宽 2.5 m,底坡为 2/1 000,全断面用水泥砂浆抹面。水槽断面为长江防洪模型所模拟的枝城至螺山河段典型断面的深槽部分,断面的起点距和高程如表 1 所示。

试验在水槽进出口断面用水位计测针直接测读水位值。断面流速用 LCY-Ⅲ 型多功能智能流速仪

进行垂线和断面流速测量。流量用电磁流量计直接读取,并通过实测流速进行校核。

表 1 断面的起点距和高程

起点距/m	高程/cm	起点距/m	高程/cm
2.175 0	38	3.587 5	13
2.225 0	37	3.662 5	12
2.337 5	34	3.750 0	10
2.575 0	33	4.012 5	4
2.662 5	32	4.050 0	10
3.725 0	30	4.075 0	15
2.825 0	27	4.100 0	20
2.925 0	25	4.125 0	25
3.162 5	20	4.162 5	30
3.425 0	15	4.175 0	32
3.487 5	14	4.237 5	38

试验使用 Y 形加糙体,Y 形加糙体是用塑料通过磨具加工制成的,由 3 块薄板组成,形如字母“Y”。试验采用的 Y 形加糙体单片长度 $b=1.2\text{ cm}$,高度 $\Delta=1\text{ cm}$,厚度 $d=0.2\text{ cm}$,各板之间的夹角均为 120° (如图 1 所示)。

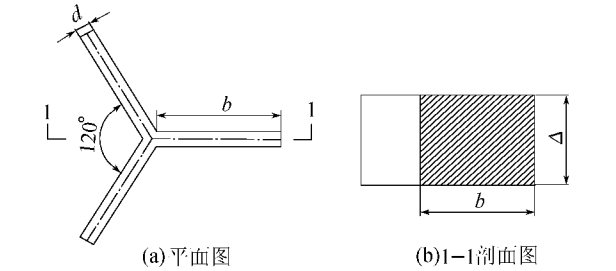


图 1 Y 形加糙体示意图

矩形水槽有效工作段长 15 m,宽 0.6 m,高 0.5 m,底坡 1/5 000,槽壁为玻璃,槽底为砂浆抹面水泥板。矩形水槽试验所用仪器、测量方法以及加糙体均与偏 V 形水槽试验相同。

1.2 试验方法

偏 V 形水槽试验分两部分,即槽底未加任何糙体的阻力试验和水槽全断面粘贴 Y 形糙体阻力试验。两部分的试验组次及相关参数相同。前者试验组次编号为 1,2,3,对应的平均水深分别为 20 cm,25 cm,34 cm,后者试验组次编号为 4,5,6,对应的平均水深分别为 20 cm,25 cm,34 cm。试验组次 1~6 的水流平均流速相同,每组都是 $u_1=0.15\text{ m/s}$, $u_2=0.2\text{ m/s}$, $u_3=0.25\text{ m/s}$, $u_4=0.3\text{ m/s}$, $u_5=0.35\text{ m/s}$, $u_6=0.4\text{ m/s}$ 。

加糙试验的加糙体用强力胶粘贴于槽底,采用

表 2 矩形水槽试验组次及相关参数

试验类型 1		试验类型 2		平均水深 H_p/cm	平均流速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)		
试验组次	加糙体间距 L/cm	试验组次	加糙体间距 L/cm		u_1	u_2	u_3
1	10	5	15	5	0.07	0.10	0.15
2	10	6	15	10	0.10	0.15	0.20
3	10	7	15	15	0.15	0.20	0.25
4	10	8	15	20	0.20	0.25	0.30

梅花形布置(如图 2 所示),加糙体间距相等,均为 10 cm。偏 V 形水槽试验在相同的水深条件下用增大流量来增加流速,通过尾门调节满足水深基本不变,水流尽量满足紊流和恒定均匀流条件,测定不同水流条件下的糙率及阻力系数大小。在水槽测量段前后留有足够长的进口段和出口段,以保证水流平稳过渡以及水流充分紊动。对于均匀流的组次,控制 $\frac{H_{\max}-H_{\min}}{H_p}\times 100\%\leq 5\%$ [3],其中 $H_{\max}$, $H_{\min}$, H_p 分别为试验段最深位置的纵断面最大水深、最小水深及平均水深。

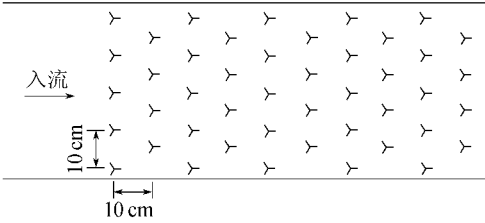


图 2 加糙体布置示意图

在矩形水槽上做 10 cm 和 15 cm 两种加糙体间距的阻力试验,每种加糙体间距试验分 4 个不同水深的组次,水流条件控制和加糙体布置方式与偏 V 形水槽试验相同。矩形水槽试验组次及有关参数见表 2。

2 糙率计算方法

Bathurst 等 [4] 根据相对粗糙度 $\frac{h}{\Delta}$ (水深与糙体高度之比)的不同,将糙体划分为大、中、小尺度糙体。根据此定义,笔者试验所用的加糙体均属于小尺度,且加糙密度较小,因此可直接取床面为计算基准面。

在阻力平方区,引用曼宁公式计算糙率:

$$n = \frac{R^{2/3} J^{1/2}}{u} \tag{1}$$

式中: n 为糙率系数; R 为水力半径; J 为水力坡度; u 为断面平均流速。

对于偏 V 形水槽,其阻力直接用式(1)计算所得的糙率值表示,而对于矩形水槽,要考虑玻璃边壁对需要得到的加糙底板的糙率的影响。笔者采用郝登公式 [5] 计算矩形水槽底板上 Y 形加糙体的糙率:

$$n_m = \left(\frac{\chi n_2^{3/2} - 2 h n_1^{3/2}}{b} \right)^{2/3} \tag{2}$$

式中： n_m 为槽底糙率； n_1 为槽壁即玻璃的糙率系数，一般取 0.007； n_2 为综合糙率，即式(1)计算的糙率值； χ 为湿周； h 为水深。

阻力系数采用糙率与阻力系数关系式计算：

$$f = \frac{8gn^2}{R^{1/3}} \tag{3}$$

对于矩形水槽 n 即为 n_m 。

3 试验结果及分析

图 3 表示偏 V 形水槽未加糙和 Y 形加糙体加糙间距 10 cm 时的阻力系数随雷诺数的变化情况。由图 3 可以看出 加糙后阻力系数明显增加，随着雷诺数的增加，阻力系数变化很小，图中为不同水深的试验结果(水深分别为 20 cm, 25 cm, 34 cm)，而阻力系数在很小的范围内波动，这说明水深对阻力系数影响不大。这是由于偏 V 形水槽是全断面加糙，水深虽然增加但相对粗糙度变化不大，因此水深对阻力系数影响不大。

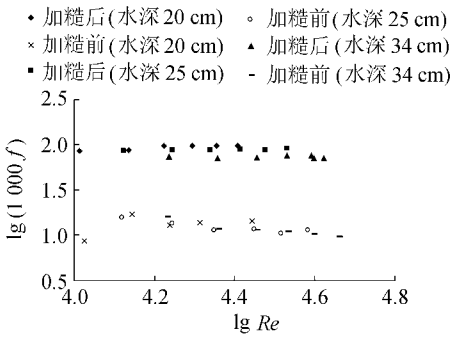


图 3 偏 V 形水槽阻力系数 f 与雷诺数 Re 关系

图 4 为偏 V 形水槽与矩形水槽阻力系数随雷诺数变化的对比。从图 4 矩形水槽 2 种加糙间距的阻力趋势线可以看出 加糙间距大的阻力小，但随雷诺数的变化趋势是一致的，即随雷诺数的增加阻力有所减小。由图 4 还可以看出 偏 V 形水槽的阻力随雷诺数变化没有矩形水槽的阻力随雷诺数变化明显，矩形水槽的阻力系数随着雷诺数的增大而减小，且与雷诺数的对数成线性关系，而偏 V 形水槽的阻力系数值只集中在一个较小的范围内，即随着雷诺数的变化无明显

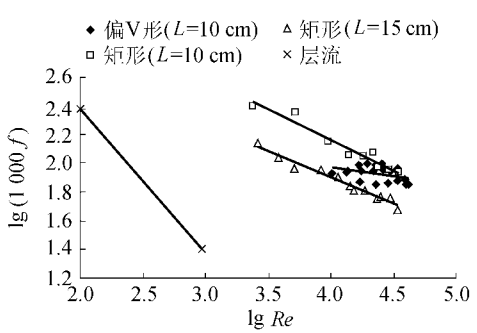


图 4 偏 V 形水槽与矩形水槽阻力系数对比

显的增减，在相同的加糙间距和雷诺数时偏 V 形水槽的糙率或阻力系数略小于矩形水槽，小雷诺数时差值较大，随雷诺数增大则差值越来越小，雷诺数大于 12000 时两者的阻力大小基本相等。

矩形水槽加糙后主要作用来自槽底，而偏 V 形水槽加糙后很重要的一部分作用来自边壁，这是 2 种不同断面水槽加糙后糙率存在差异的根本原因 由于偏 V 形水槽是全断面加糙，水深变化对相对粗糙度并无大的影响，而矩形水槽只在槽底加糙，水深变化时相对粗糙度变化明显，而相对粗糙度对于阻力系数有很重要的影响，这也是两者存在差异的重要原因之一。

4 结 语

通过水槽试验，研究了 Y 形加糙体加糙后的偏 V 形断面水槽和矩形断面水槽的阻力特性，得出以下几点结论：

- a. 偏 V 形断面水槽在 Y 形加糙体加糙后阻力系数明显增大，阻力系数随着雷诺数增加几乎不变。
- b. 矩形断面水槽加糙后阻力系数随着雷诺数增加而减小，加糙间距为 10 cm 时的阻力系数明显大于加糙间距为 15 cm 时的阻力系数。
- c. 在雷诺数较小时 ($Re = 10\ 000$)，相同的水流条件和粗糙程度下，偏 V 形断面明渠阻力系数明显小于矩形断面的阻力系数，随着雷诺数增大两者阻力系数趋于相同值。

参考文献：

- [1] 李昌华,金德春.河工模型试验[M].北京:人民交通出版社,1981 25-44.
- [2] 谢鉴衡.河流模拟[M].北京:水利电力出版社,1990 166-190.
- [3] 虞邦义.河工模型相似理论和自动测控技术的研究及其应用[D].南京:河海大学,2003 50-59.
- [4] BATHURST J C, SIMONOS D B, LI Ruh-ming. Resistance equation for large scale roughness[J]. Hyd Div ASCE, 1981, 107(12): 1593-1613.
- [5] 左东启.模型试验的理论与方法[M].北京:水利电力出版社,1984 61-78.
- [6] 牟献友,文恒.废旧轮胎在闸下消能防冲中的应用[J].水利水电科技进展,2007,27(3): 64-66.
- [7] 卞华,李福田,蒋慧敏,等.二维加糙明渠的阻力特性[J].河海大学学报:自然科学版,1997,25(6): 112-115.
- [8] 余文畴,卢金友.长江河道演变与治理[M].北京:中国水利水电出版社,2005 76-84.

(收稿日期 2008-02-26 编辑 高建群)