

# 人工渠道糙率系数影响因素的试验研究

拜亚茹<sup>1</sup>, 赵锦程<sup>2</sup>, 邱秀云<sup>1</sup>, 赵涛<sup>1</sup>

(1. 新疆农业大学 水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052;

2. 水利部新疆水利水电勘测设计研究院, 新疆 乌鲁木齐 830000)

**摘要:** 通过物理模型试验资料分析,探讨了矩形渠道的糙率与渠道水深、弗汝德数的变化规律。分析得出:当底坡不变时,随着弗汝德数  $Fr$  的增大,糙率  $n$  值逐渐减小。在缓流渠道中,渠道糙率  $n$  随弗汝德数  $Fr$  变化的速率很快;在急流渠道中,渠道糙率  $n$  值随弗汝德数  $Fr$  的速率较慢。糙率系数  $n$  随水深  $h$  的变化关系与流态有关。缓流中,随着水深  $h$  的增大,糙率  $n$  值减小;急流中,当弗汝德数  $1 < Fr < 1.51$  时,糙率  $n$  值先是随着水深  $h$  的增大而减小,达到某一值后再随水深  $h$  的增大而增大;当弗汝德数  $Fr > 1.51$  时,糙率系数  $n$  随水深  $h$  的增大而增大。

**关键词:** 人工渠道; 均匀流; 糙率; 水深; 弗汝德数

中图分类号: TV135.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)04-0229-04

## Experiment on influence of factors on roughness coefficient of artificial channel

BAI Yaru<sup>1</sup>, ZHAO Jincheng<sup>2</sup>, QIU Xiuyun<sup>1</sup>, ZHAO Tao<sup>1</sup>

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2. Xinjiang Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Institute of MWR, Urumqi 830000, China)

**Abstract:** Through the analysis of test data of physical model, The paper discussed the regularity of roughness changing with water depth and Froude number in rectangular channel. The result showed that when slope is constant, with the increase of  $Fr$ , the roughness  $n$  value decreases gradually. In the slow flow channel, the roughness value of  $n$  changes quickly with  $Fr$ ; in the jet stream channel, the roughness value of  $n$  changes more slowly with  $Fr$ . That the roughness  $n$  changes with water depth relates to flow pattern. With the increase of water depth  $h$ , the value of  $n$  decreases gradually; when  $Fr$  is larger than 1 and less than 1.51, the value of  $n$  decreases first with the increase of  $h$  and then increases with the increase of  $h$  at a certain number; when  $Fr$  is larger than 1.51, the value of  $n$  increases with the increase of  $h$ .

**Key words:** artificial channel; uniform flow; roughness coefficient; water depth; Froude number

在明渠水流的计算中,对其糙率系数的研究,是实现明渠水流准确计算的关键难题之一,糙率系数的确定对于工程设计及投资具有非常重要的意义<sup>[1]</sup>。多年来,对于糙率系数变化规律的研究,国内外很多学者进行了理论分析和试验研究<sup>[2-12]</sup>。李榕通过分析影响  $n$  值变化的各种因素,得到了对糙率  $n$  值的变化起决定性作用的是弗汝德数  $Fr$  和平均水深与水力半径比值  $h/R$  的结论,其中,弗汝德数为最主要影响水力的因素,在同一底坡渠道中,当弗汝德数  $Fr$  增大时,糙率  $n$  值减小。同样,杨岑等通过对 3

种不同粗糙度的人工加糙渠道进行试验,总结了水力条件变化时糙率系数的变化规律:对同一粗糙度明渠,糙率随着弗汝德数的增加而呈幂函数减小<sup>[9]</sup>。

笔者对赵锦程人工渠道糙率试验数据<sup>[2]</sup>进行分析,考虑到实际工程中渠道底坡固定不变的特点,分析了同一底坡下明渠均匀流时糙率  $n$  随佛汝德数  $Fr$ 、水深  $h$  的变化规律,探究糙率  $n$  与佛汝德数  $Fr$ 、水深  $h$  的相互关系,为进一步探明糙率系数的特性和今后水力计算中糙率值的选取和修正提供依据。

收稿日期:2014-02-19; 修回日期:2014-04-03

基金项目:新疆水利水电工程重点学科基金项目(xjslgczdxk20101202)

作者简介:拜亚茹(1990-),女,新疆人,硕士研究生,研究方向为水力学及河流动力学。

通讯简介:邱秀云(1955-),女,江苏人,博士生导师,教授,研究方向为水力学及河流动力学。

# 1 试验布置及方案

## 1.1 试验布置

赵锦程试验研究在新疆农业大学水利与土木工程学院水力学实验室水工大厅进行,采用长 10 m,宽 0.36 m,深 0.29 m 的 PVC 板矩形渠道,底板下放置钢梁以便于后期调整渠道坡度。试验系统包括:泵房、供水管道、调节阀门、三角形量水堰、矩形量水堰、水箱、地下回水渠道。为了获得试验所需要的明渠均匀流,在渠道前端安设水箱,用以稳定水流,当固定流量条件下的上下游水位一致时,便形成了明渠恒定流。试验中取渠道中间均匀流段为量测对象。

## 1.2 试验方案

由于要对渠道的底坡进行多次变化,所以在渠道底板上架设了钢梁,当要调整一个新的底坡,先将水箱与渠道分离,再对渠道底坡进行调整。为保证渠道底坡的精度,将分离后的渠道分为 10 个断面,通过水准仪控制每个断面的高程。水准仪的测量精度为 0.1 mm。

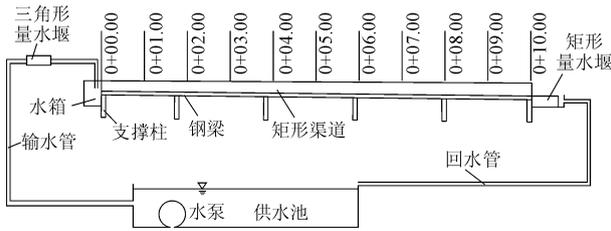


图 1 试验系统图

如图 1,取 0+03.0、0+05.0、0+07.0 处作为测量水深的断面。使用水位测针对水深进行量测。每个测量断面分别布置左、中、右 3 个测点。其中左右测点距离边壁 5 cm,中点为断面的中点,距离边壁 18 cm,计算时采用左、中、右 3 点的均值。选取 0.0005、0.001、0.002、0.004、0.006、0.008、0.01、0.02、0.03 共 9 种不同的底坡进行试验。试验中通过流量调节阀门和上下游量水堰控制流量大小及其精度。每种底坡下均选取 6 组流量,试验流量的变化范围为 0.013 ~ 0.028 m<sup>3</sup>/s,流量调节幅度为 0.003 m<sup>3</sup>/s。因此试验共进行了 6 × 9 = 54 组。

# 2 试验结果及分析

## 2.1 相同底坡下弗汝德数 $Fr$ 与糙率的关系

弗汝德数  $Fr$  是断面平均流速和波速的比值,其计算公式为:

$$Fr = \alpha \frac{v}{\sqrt{gh}} \quad (1)$$

式中: $\alpha$  为动能修正系数,一般  $\alpha = 1.0$ ;  $v$  为断面平均流速, m/s;  $g$  为重力加速度,取 9.81 m/s<sup>2</sup>;  $h$  为断面平均水深, m。由弗汝德数的物理意义可知,弗汝德数表征水流的惯性力与重力的比值,故当  $Fr > 1$  时,表明水流中惯性力的作用大于重力作用,流动是急流流态;反之  $Fr < 1$  时,重力作用占优势,流动为缓流流态;当  $Fr = 1$  时,二者达到某种平衡状态,流动为临界流。

试验中分别量测出不同底坡所对应的流量、水深,利用公式(1)算得不同底坡、不同流量所对应的糙率值见表 1。

表 1 相同底坡  $n - Fr$  值

$Q$	m <sup>3</sup> /s					
	$i = 0.0005$		$i = 0.001$		$i = 0.002$	
	$n$	$Fr$	$n$	$Fr$	$n$	$Fr$
0.013	6.20	0.59	8.58	0.61	9.94	0.745
0.016	5.98	0.61	8.37	0.62	9.41	0.785
0.019	5.72	0.64	8.16	0.63	9.38	0.785
0.022	5.65	0.64	7.93	0.65	9.15	0.80
0.025	5.59	0.65	7.87	0.65	9.07	0.80
0.028	5.51	0.65	7.75	0.65	9.03	0.80
$Q$	m <sup>3</sup> /s					
	$i = 0.004$		$i = 0.006$		$i = 0.008$	
	$n$	$Fr$	$n$	$Fr$	$n$	$Fr$
0.013	9.72	1.07	9.65	1.31	10.00	1.46
0.016	9.32	1.12	9.64	1.33	9.83	1.49
0.019	9.19	1.14	9.63	1.34	9.78	1.51
0.022	9.23	1.13	9.45	1.35	10.10	1.46
0.025	9.33	1.11	9.64	1.32	10.20	1.45
0.028	9.61	1.08	9.67	1.32	10.22	1.44
$Q$	m <sup>3</sup> /s					
	$i = 0.01$		$i = 0.02$		$i = 0.03$	
	$n$	$Fr$	$n$	$Fr$	$n$	$Fr$
0.013	9.50	1.71	10.25	2.22	10.36	2.66
0.016	9.71	1.69	10.33	2.22	10.55	2.64
0.019	10.06	1.63	10.38	2.22	10.76	2.63
0.022	10.12	1.63	10.48	2.21	10.78	2.62
0.025	10.21	1.62	10.57	2.20	10.80	2.62
0.028	10.38	1.59	10.74	2.17	10.96	2.59

注: $n$  值为表中值乘以 10<sup>-3</sup>。

根据表 1 绘制出相同坡度下的  $Fr - n$  关系曲线,见图 2。

由图 2 可以看出,当底坡相同时,随着弗汝德数  $Fr$  的增大,糙率  $n$  值逐渐减小。同时还可以看出,在不同底坡下,糙率随弗汝德数的变化规律基本一致。

## 2.2 相同底坡水深与糙率的关系

试验中分别量测出不同底坡不同流量所对应的水深见表 2。

根据表 2 绘制出相同坡度下的  $h - n$  关系曲线,见图 3。

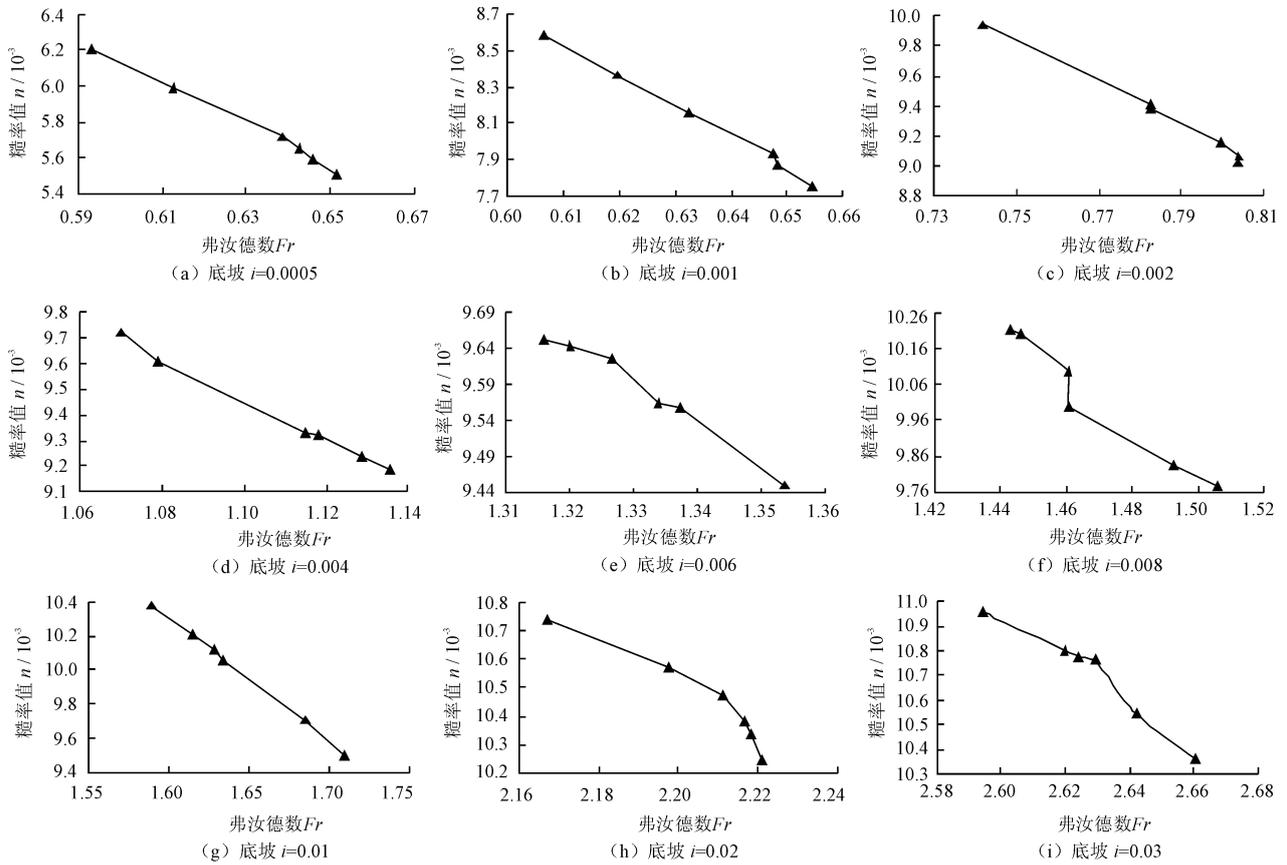


图2 相同底坡下的  $Fr - n$  关系图

由图3可知,糙率系数  $n$  随水深  $h$  的变化关系与流态有关。缓流中,随着水深  $h$  的增大,糙率  $n$  值减小;急流中,当弗汝德数  $1 < Fr < 1.51$  时,糙率  $n$  值先是随着水深  $h$  的增大而减小,达某一值后再随水深  $h$  的增大而增大,赵锦程称此段为缓流向急流的过渡段;当弗汝德数  $Fr > 1.51$  时,糙率系数  $n$  随水深  $h$  的增大而增大。

早在1959年,钱宁学者对黄河及其他3条河流水位(水深)与糙率的实测资料进行分析,发现在水位较低时,糙率一般都非常大;随着水深的增加,流速的加大,糙率急剧减小,达到一个最低值,然后又因水位的上升而略有回增。可以看出,这与本实验所得结论是一致的。

由图3可见,糙率系数  $n$  与水深  $h$  之间存在很好的相关关系,由此拟合出以下公式:

对于  $Fr < 1$  时的PVC板矩形渠道。

$$n = \ln(h) [40400i^2 - 1216i - 1.031] - 1.8375\ln(i) + 16.183 \quad (2)$$

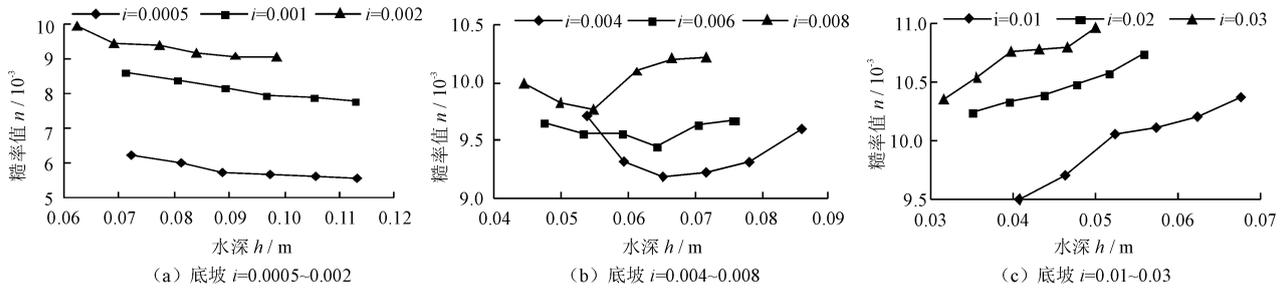
对于弗汝德数  $Fr > 1.51$  时的PVC板矩形渠道。

$$n = \ln(h) [4139.5i^2 - 190.45i + 3.0393] + 11310i^2 - 476i + 18.308 \quad (3)$$

表2 相同底坡  $n - h$  值  $m^3/s, m$

$Q$	$i = 0.0005$		$i = 0.001$		$i = 0.002$	
	$n$	$h$	$n$	$h$	$n$	$h$
	0.013	6.20	0.07	8.58	0.07	9.94
0.016	5.98	0.08	8.37	0.08	9.41	0.07
0.019	5.72	0.09	8.16	0.09	9.38	0.08
0.022	5.65	0.10	7.93	0.10	9.15	0.08
0.025	5.59	0.11	7.87	0.11	9.07	0.09
0.028	5.51	0.11	7.75	0.11	9.03	0.10
$Q$	$i = 0.004$		$i = 0.006$		$i = 0.008$	
	$n$	$h$	$n$	$h$	$n$	$h$
	0.013	9.72	0.05	9.65	0.04	10.00
0.016	9.32	0.05	9.56	0.05	9.83	0.04
0.019	9.19	0.06	9.56	0.05	9.78	0.05
0.022	9.23	0.07	9.45	0.06	10.10	0.06
0.025	9.33	0.07	9.64	0.07	10.20	0.06
0.028	9.61	0.08	9.67	0.07	10.22	0.07
$Q$	$i = 0.01$		$i = 0.02$		$i = 0.03$	
	$n$	$h$	$n$	$h$	$n$	$h$
	0.013	9.50	0.04	10.25	0.03	10.36
0.016	9.71	0.04	10.33	0.03	10.55	0.03
0.019	10.06	0.05	10.38	0.04	10.76	0.03
0.022	10.12	0.05	10.48	0.04	10.78	0.04
0.025	10.21	0.06	10.57	0.05	10.80	0.04
0.028	10.38	0.06	10.74	0.05	10.96	0.05

注: $n$ 的实际值为表中值乘以  $10^{-3}$ 。

图3 相同底坡  $h-n$  关系图

### 3 结 语

通过对矩形人工渠道的试验研究,得出以下几点结论:

(1) 底坡不变时,随着弗汝德数  $Fr$  的增大,糙率  $n$  值逐渐减小。在缓流渠道中,渠道糙率  $n$  随弗汝德数  $Fr$  变化的速率很快;在急流渠道中,渠道糙率  $n$  值随弗汝德数  $Fr$  变化的速率较慢。

(2) 糙率系数  $n$  随水深  $h$  的变化关系与流态有关。缓流中,糙率  $n$  值随着水深  $h$  的增大而减小;急流中,当  $1 < Fr < 1.51$  时,糙率  $n$  值先是随着水深  $h$  的增大而减小,达某一值后再随水深  $h$  的增大而增大;当  $Fr > 1.51$  时,糙率系数  $n$  随水深  $h$  的增大而增大。

(3) 本文仅对 PVC 板的矩形渠道试验资料进行了研究分析,至于渠道边壁的绝对粗糙度对粗糙系数的影响本文尚未涉及,这也是笔者后面将要继续进行的研究。

#### 参考文献:

- [1] 邱秀云. 水力学[M]. 新疆:新疆电子出版社, 2008.  
 [2] 赵锦程. 人工渠道糙率影响因素的试验研究[D]. 乌鲁

木齐:新疆农业大学,2013.

- [3] 吕宏兴,路泽生,栾维功,等. 引洮供水一期工程总干渠糙率原型观测(2)——糙率原型观测结果及经济效益[J]. 长江科学院院报,2010,27(2):37-41.  
 [4] 路明,霍自民,范志高,等. 人工加糙对明渠紊动特性影响的试验研究[J]. 水利水电技术,2008,39(9):44-46.  
 [5] 张小琴,包为民,梁文清,等. 河道糙率问题研究进展[J]. 水力发电,2008,34(6):98-100.  
 [6] 何建京,王惠民. 流动型态对曼宁糙率系数的影响研究[J]. 水文,2002,22(6):22-24+53.  
 [7] 王光谦,黄跃飞,魏加华,等. 南水北调中线工程总干渠糙率综合论证[J]. 南水北调与水利科技,2006,4(1):08-14.  
 [8] 马吉明,史哲. 南水北调典型宽浅渠道糙率系数研究[J]. 水力发电学报,2007,26(5):75-79.  
 [9] 杨岑,路泽生,栾维功,等. 矩形渠道人工加糙壁面阻力规律试验研究[J]. 长江科学院院报,2011,28(1):34-38.  
 [10] Asim M.,王龙,郑钧,等. 明渠试验加糙方法研究[J]. 水利水电技术,2008,39(2):67-70.  
 [11] 史明礼,苏娅,乔丛林,等. 山区河道糙率变化规律浅析[J]. 水文,2000,20(2):19-22.  
 [12] 陈耀忠. 引滦入津隧洞糙率两次原型观测成果综述[J]. 水利水电科技进展. 2005,25(2):58-61.