



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2016.02.032

拜亚茹, 邱秀云, 赵涛, 等. 人工加糙明渠糙率值与水流流态关系试验[J]. 2016, 14(2): 183-186.

BAI Ya ru, QIU Xiur yun, ZHAO Tao, et al. Experimental study on the relationship between flow pattern and open channel roughness value of artificial roughness[J]. 2016, 14(2): 183-186. (in Chinese)

# 人工加糙明渠糙率值与水流流态关系试验

拜亚茹, 邱秀云, 赵涛, 吴思

(新疆农业大学 水利与土木工程学院, 乌鲁木齐 830052)

**摘要:** 采用3种不同粒径粗糙度的人工加糙明渠和光滑PVC壁面明渠, 在9种不同底坡、6组不同的流量条件下, 研究了明渠均匀流中糙率值与粗糙度、弗汝德数间相关关系。研究表明:(1)相同流量条件下: 随着弗汝德数  $Fr$  的增大, 糙率  $n$  值逐渐增大。同一弗汝德数  $Fr$  下, 粗糙度  $\Delta$  越大, 糙率  $n$  值越大。(2)不同绝对粗糙度下: 随着弗汝德数  $Fr$  增大, 糙率  $n$  值增大。当  $Fr < 0.70$  时(即缓流), 糙率  $n$  值与弗汝德数  $Fr$  有关, 与绝对粗糙度  $\Delta$  关系不大, 即  $n = f(Fr)$ ; 当  $0.7 < Fr < 1.0$  时(即缓流), 糙率值  $n$  与弗汝德数  $Fr$  和绝对粗糙度  $\Delta$  都有关系, 即  $n = f(Fr, \Delta)$ ; 当  $Fr > 1.0$  时(即急流), 糙率  $n$  值与绝对粗糙度  $\Delta$  有关, 与  $Fr$  关系不大, 即  $n = f(\Delta)$ 。

**关键词:** 粗糙度; 均匀流; 糙率系数; 弗汝德数

**中图分类号:** TV135.3    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1672-1683(2016)02-0183-04

## Experimental study on the relationship between flow pattern and open channel roughness value of artificial roughness

BAI Ya ru, QIU Xiur yun, ZHAO Tao, WU Si

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

**Abstract:** The relationships between the roughness values and roughness, Froude number of open channel flow were investigated using 3 kinds of different roughness of artificial roughness channel, in 9 different bottom slopes and 6 groups of different flow conditions. The results showed that: (1) Under the same flow condition, with the increase of Froude number  $Fr$ , the roughness value  $n$  increased. Under the same Froude number  $Fr$ , the greater the roughness  $\Delta$ , the greater the roughness value  $n$ . (2) Under different absolute roughness, when  $Fr < 0.70$ , the roughness value  $n$  was related with Froude number  $Fr$ , and had little relation with absolute roughness  $\Delta$ ,  $n = f(Fr)$ . When  $0.7 < Fr < 1.1$ , the roughness value  $n$  had a relationship with the Froude number  $Fr$  and absolute roughness  $\Delta$ ,  $n = f(Fr, \Delta)$ . When  $Fr > 1.1$ , the roughness value  $n$  was related with absolute roughness  $\Delta$ , and had little relation with Froude number  $Fr$ ,  $n = f(\Delta)$ .

**Key words:** roughness; uniform flow; roughness values; Froude number

## 1 概述

明渠渠道是具有自由表面水流的一种渠道。明渠水流由于表面不受约束, 对其研究较复杂, 而明渠水流的水力计算是水利工程计算中一个重要的组成

部分, 其中, 在工程设计及投资中糙率值的确定具有非常重要的意义<sup>[1-2]</sup>。无论在天然渠道还是人工渠道中, 从水力学的角度出发, 河床面的粗糙程度和流态是水流沿程能量损失的重要影响因素。在河道中水流多属于紊流, 经试验证明, 在此条件下, 水流沿

收稿日期: 2015-04-13    修回日期: 2015-06-27    网络出版时间: 2016-04-14  
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20160414.1435.005.html>

基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金资助项目(2015211A025)

Fund: Natural Science Foundation of Xinjiang Uygur Autonomous Region (2015211A025)

作者简介: 拜亚茹(1990), 女(回族), 新疆乌鲁木齐人, 主要从事水力学及河流动力学方面研究, E-mail: 1099345308@qq.com

通讯作者: 赵涛(1976), 男(满族), 新疆乌鲁木齐人, 副教授, 主要从事水力学及河流动力学方面研究, E-mail: zhaotao\_xjau@126.com

程损失只与河流床壁粗糙度有关, 边界表面越粗糙, 其糙率值就越大<sup>[36]</sup>。

多年来, 对于人工渠道糙率系数变化规律的探索, 国内外学者进行了大量研究, 结果表明: 人工渠道的糙率与渠道的流量、平均水深、流速、水力半径、壁面粗糙度、底坡、断面形状、弗汝德数等水力因素有关<sup>[7, 15]</sup>。如何建京<sup>[16]</sup>在粗糙床面均匀流试验中说明粗糙程度对均匀流的糙率系数影响较大, 实际工程也表明粗糙度对其影响, 如礼河二级电站尾水工程过水能力不足的原因, 主要是通流表面的粗糙程度远远超过了允许限度<sup>[17]</sup>。但到目前为止, 许多关系并无定论, 甚至有一些相悖的结论。如杨岑在不同人工加糙渠道试验中得出糙率系数随弗汝德数的增加而呈幂函数下降趋势<sup>[18]</sup>, 而在变底坡渠道试验结果表明当流量相同时, 随着弗汝德数  $Fr$  的增大, 糙率  $n$  值增大<sup>[19]</sup>。

本文从明渠均匀流着手, 在不同粗糙度、不同底坡条件下, 对糙率值的变化规律以及水流的水力特性展开试验研究, 探索糙率系数与粗糙度、弗汝德数之间的相关关系, 为研究糙率系数性质的基础理论和糙率系数正确选取提供依据。

## 2 试验装置及方案

### 2.1 试验装置

试验在新疆农业大学水利与土木工程学院水工实验大厅进行, 采用长 15 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后期调整渠道坡度。试验系统包括泵房、供水管道、调节阀门、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稳定时, 使其产生均匀流。试验系统见图 1。

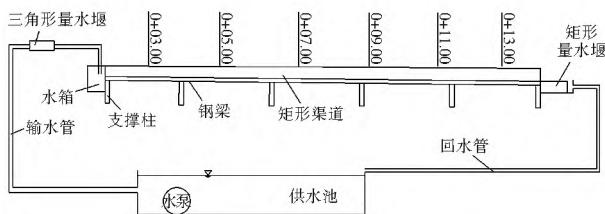


图 1 试验系统

Fig. 1 Test system

### 2.2 试验方案

由于要对渠道的底坡进行多次调整, 故在渠道底板上架设了钢梁。渠道与水箱采用橡皮材质连接, 便于调整底坡。为保证渠道底坡的精度, 将渠道分为 11 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。取 0+ 03、0+ 04、0+ 05、0+ 06、0+ 07、0+ 08、0+ 09、0+ 010、0+ 011、0+ 012、0+ 013 作为测量水深的断面。使用水位测针对水深进行测量。每个测量断面分别布置左、中、右 3 个测点, 计算时采用以上 3 点的均值。

试验在 3 种粒径人工加糙壁面和 PVC 光滑壁面上进行。将渠道底部和两侧边壁都黏贴砂砾, 其砂粒粒径分别为  $d=1\sim 2\text{ mm}$ 、 $d=2\sim 3\text{ mm}$  和  $d=3\sim 5\text{ mm}$ , 其绝对粗糙度  $\Delta$  分别为 1.5 mm, 2.5 mm, 4 mm。其中, PVC 光滑壁面的绝对粗糙度  $\Delta$  分别为 0.015 mm<sup>[21]</sup>。选取 0.01、0.02、0.03、0.008、0.006、0.004、0.002、0.001、0.0005 共 9 种不同的底坡进行试验。试验中通过流量调节阀门和量水堰控制流量大小及精度。每种底坡条件下均选取 6 组流量, 试验流量的变化范围为 13~ 28 L/s, 流量调节幅度为 3 L/s。

## 3 试验结果及分析

明渠均匀流中糙率系数计算采用谢才-曼宁公式<sup>[1]</sup>如下:

$$n = \frac{1}{v} R^{2/3} J^{1/2} \quad (1)$$

式中:  $n$  为糙率;  $v$  为断面平均流速 (m/s);  $R$  为断面的水力半径 (m);  $J$  为水力比降, 在均匀流中,  $J = i$ 。

弗汝德数  $Fr$  是断面平均流速和波速的比值, 计算公式为

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gh}} \quad (2)$$

式中:  $v$  为断面平均流速 (m/s);  $g$  为重力加速度, 取  $9.81\text{ m/s}^2$ ;  $h$  为断面平均水深 (m)。

根据不同粗糙度壁面、不同底坡、不同流量下实测的流量、水深, 计算出  $v$  和  $R$ , 再通过公式 (1) 计算出所对应的糙率值。通过公式 (2) 可得相对应弗汝德数  $Fr$ 。由计算结果绘制糙率  $n$  与弗汝德数  $Fr$  的关系, 试验结果见图 2。

### 3.1 相同流量下 $n$ 与 $Fr$ 关系

由图 2 可以看出, 当流量相同时, 随着弗汝德数  $Fr$  的增大, 糙率  $n$  值增大。同时还可以看出, 当弗汝德数  $Fr < 1$  时 (即缓流), 渠道糙率随弗汝德数  $Fr$  变化的速率很快。当弗汝德数  $Fr > 1$  时 (即急流), 渠道糙率随弗汝德数  $Fr$  变化的速率较慢, 这与赵锦程<sup>[19]</sup>的试验结果相同。图 2 还可以看出, 同一弗汝德数  $Fr$  下, 粗糙度越大, 糙率值越大, 这与何建京<sup>[7]</sup>、杨岑<sup>[18]</sup>等人的试验结果相同, 验证试验数据有效可用。

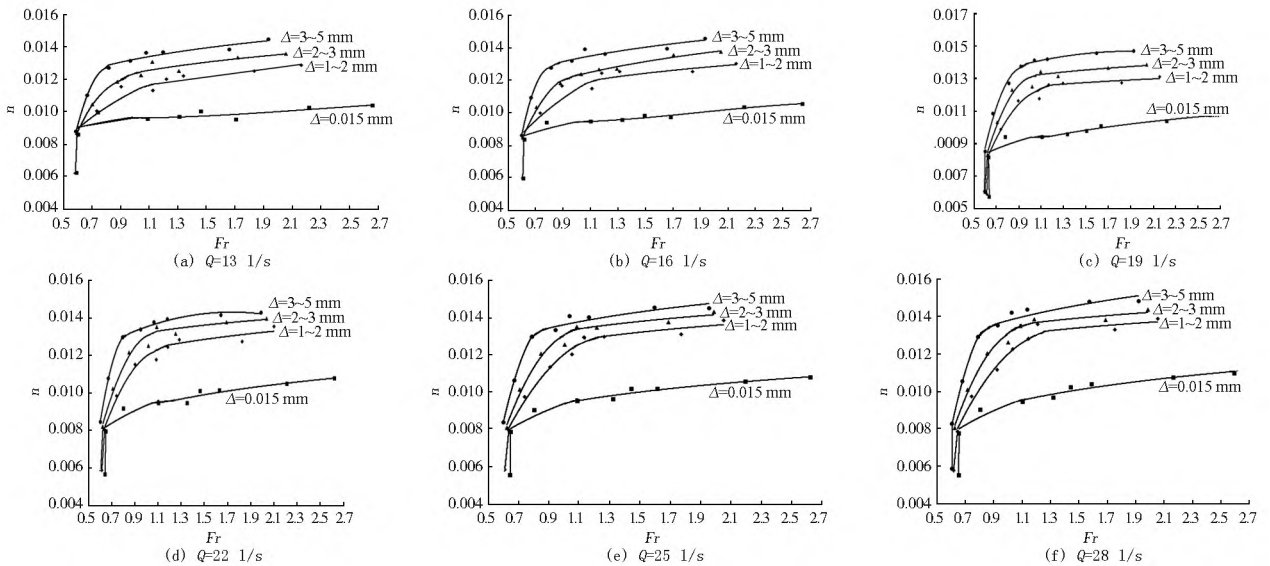


图2 相同流量下  $n-Fr$  图

Fig. 2  $n-Fr$  figure under the same flow

### 3.2 不同粗糙度下 $n-Fr$ 关系

将糙率值  $n$  与弗汝德数  $Fr$  依据绝对粗糙度  $\Delta$  点绘于图3。

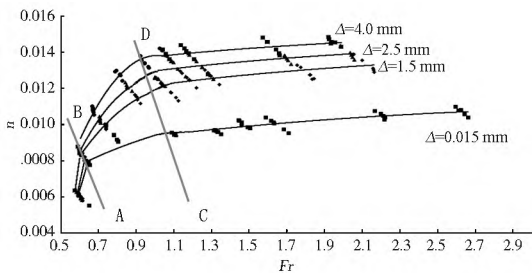


图3 不同绝对粗糙度下  $n-Fr$

Fig. 3  $n-Fr$  under different absolute roughness

由上图实测数据图可以看出,糙率值随弗汝德数的变化可以分三个阶段研究:

(1) 当  $Fr < 0.70$  时(即缓流),此时试验点集中在 AB 直线左侧,这表明此时的糙率  $n$  值与壁面绝对粗糙度  $\Delta$  关系不大,与弗汝德数  $Fr$  关系较大,即  $n = f(Fr)$ ;

(2) 当  $0.70 < Fr < 1.0$  时(即缓流),此时试验点落在 AB 直线与 CD 直线之间,且曲线呈现相同规律:随着  $Fr$  增大,糙率  $n$  值增大,同时绝对粗糙度  $\Delta$  越大,直线越陡。这表明此时的糙率  $n$  值不仅与  $Fr$  有关,还与绝对粗糙度  $\Delta$  有关,即  $n = f(Fr, \Delta)$ ;

(3) 当  $Fr > 1.0$  时(即急流),此时试验点都落在 CD 直线右侧,各试验点虽然落在不同曲线上,但各曲线基本与横线坐标轴  $Fr$  平行。这表明此时的糙率  $n$  值与绝对粗糙度  $\Delta$  关系较大,与  $Fr$  关系小,即  $n = f(\Delta)$ 。

### 4 结语与展望

通过对不同人工加糙明渠变底坡试验研究得出以下几点结论:

(1) 相同流量下:随着弗汝德数  $Fr$  增大,糙率  $n$  值增大。当  $Fr < 1$  时(即缓流),渠道糙率  $n$  随弗汝德数  $Fr$  变化的速率很快。当  $Fr > 1$  时(即急流),渠道糙率  $n$  随弗汝德数  $Fr$  变化的速率较慢。相同弗汝德数  $Fr$ ,粗糙度  $\Delta$  越大,糙率  $n$  值越大。

(2) 不同绝对粗糙度  $\Delta$  下:随着弗汝德数  $Fr$  增大,糙率  $n$  值增大。当  $Fr < 0.70$  时(即缓流),糙率值  $n$  与弗汝德数  $Fr$  关系较大,与绝对粗糙度  $\Delta$  关系不大,即  $n = f(Fr)$ ;当  $0.70 < Fr < 1.0$  时(即缓流),糙率值  $n$  与弗汝德数  $Fr$  和绝对粗糙度  $\Delta$  都有关系,即  $n = f(Fr, \Delta)$ ;当  $Fr > 1.0$  时(即急流),糙率  $n$  值与绝对粗糙度  $\Delta$  关系较大,与弗汝德数  $Fr$  关系不大,即  $n = f(\Delta)$ 。

(3) 本试验结论分析所采用边界值  $Fr = 0.7$  和  $Fr = 1.0$  是由试验数据分析图图3直接分析所得,由于本次试验组数较少,所得试验点稀疏,从试验曲线上仅能够得出糙率  $n$ 、弗汝德数  $Fr$  和壁面绝对粗糙度  $\Delta$  的初步规律,如果要获得三者间数值化关系,更准确选取糙率系数,就需要获得三个阶段准确分界点值,这就需要增加试验组数,加大试验点的密度。这将是今后进一步研究的工作。

#### 参考文献(References):

[1] 邱秀云. 水力学[M]. 乌鲁木齐: 新疆电子出版社, 2008. (QIU Xirun. Hydraulics[M]. Urumqi: Xinjiang Electronic Press,

2008. (in Chinese))
- [2] 张小琴, 包为民, 梁文清. 河道糙率问题研究进展[J]. 水力发电, 2008, 34(6): 98-100. (ZHANG Xiaoqin, BAO Weimin, LIANG Wenqing, et al. Recent studies and progress of the river roughness[J]. Water Power, 2008, 34(6): 98-100. (in Chinese))
- [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: 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. (LV Hongxing, LU Zesheng, LUAN Weigong, et al. Prototype observation research on roughness of main channel of Taohe River Water Transfer First phase Project: result and economic benefit of prototype observation [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2010, 27(2): 37-41. (in Chinese))
- [4] 姜淑坤, 付艳红. 河道糙率问题的探讨[J]. 吉林水利, 2005(3): 25-26. (JIANG Shukun, FU Yanhong. Discussion on the problem of roughness of river [J]. Jilin Water Conservancy Project, 2005(3): 25-26. (in Chinese))
- [5] 曾祥, 黄国兵, 段文刚. 混凝土渠道糙率调研综述[J]. 长江科学院院报, 1999, 16(6): 1-4. (ZENG Xiang, HUANG Guobing, DUAN Wengang. Summarization of investigation on roughness of concrete channels[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 1999, 16(6): 1-4. (in Chinese))
- [6] B H 利亚平. 加大河床底部糙率的水利计算[J]. 水利水电快报, 1995(11): 04-06. (B H Leah flat. Hydraulic calculation at the bottom of the river bed roughness[J]. Water Conservancy and Hydropower letters, 1995(11): 04-06. (in Chinese))
- [7] 何建京, 王惠民, 粗糙床面明渠水力特性研究[J]. 水利水运工程学报, 2004(9): 19-22 (HE Jianjing, WANG Huimin. Research on rough bed open channel hydraulic characteristics[J]. Journal of Sediment Research, 2004(9): 19-22. (in Chinese))
- [8] 李榕. 关于影响曼宁粗糙系数  $n$  值的水力因素探讨[J]. 水利学报, 1989, 19(12): 62-66. (LI Rong. About the factors influencing the manning roughness coefficient  $n$  value of hydraulic [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1989, 19(12): 62-66. (in Chinese))
- [9] Griffiths G A. Flow resistance in coarse gravel bed rivers[J]. Journal of the Hydraulics Division, 1981, HY7, 899-918.
- [10] 罗肇森, 孙梅秀. 河工模型中几种人工糙率的计算[J]. 水利水运科学研究, 1981(2): 70-82. (LUO Zhaosen, SUN Meixiu. The physical model of several kinds of artificial roughness calculation [J]. Journal of Sediment Research, 1981(2): 70-82. (in Chinese))
- [11] M Asim, 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. (M Asim, WANG Long, ZHENG Jun, et al. Research on open channel test roughening. [J]. Water resources and Hydropower Engineering, 2008, 39. (2): 67-70. (in Chinese))
- [12] 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. (ZHANG Xiaoqin, BAO Weimin, LIANG Wenqing, et al. Recent studies and progresses of the river roughness [J]. Water Power, 2008, 34(6): 98-100. (in Chinese))
- [13] 王开, 魏加华, 王光谦. 大型渠道糙率系数设计取值的不确定性及影响分析[J]. 应用基础与工程科学学报, 2008, 12(6): 870-878. (WANG Kai, WEI Jiahua, WANG Guangqian. Uncertainty in design value of roughness coefficient for large scale channel and effects analysis [J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2008, 12(6): 870-878 (in Chinese))
- [14] 张靖, 拾兵, 薛旂云. 糙率变化对明渠水深影响的探讨[J]. 人民黄河, 2012, 34(9): 121-123. (ZHANG Jing, SHI Bing, XU E Yiyun. Discussions on influence of roughness variation to the open channel flows [J]. Yellow River, 2012, 34(9): 121-123. (in Chinese))
- [15] 徐慧敏. 关于水利工程中河道糙率的研究[J]. 水利科技与经济, 2010, 16(11): 1253-1256. (XU Huimin. Research on roughness of river in water conservancy projects. [J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2010, 16(11): 1253-1256. (in Chinese))
- [16] 何建京, 王惠民. 粗糙床面明渠水力特性研究[J]. 水利水运工程学报, 2004(9): 19-22 (HE Jianjing, WANG Huimin. Research on rough bed open channel hydraulic characteristics [J]. Journal of Sediment Research, 2004(9): 19-22. (in Chinese))
- [17] 董槐三, 潘永贤, 陈耀忠. 几种衬砌渠道糙率的原型观测[J]. 水力发电, 1981(12): 39-43. (DONG Huaisan, PAN Yongxian, CHEN Yaoshong. The prototype observation of several lining Channel Roughness [J]. Water Power, 1981(12): 39-43. (in Chinese))
- [18] 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. (YANG Cen, LU Zesheng, LUAN Weigong, et al. Experimental study on friction law of artificial rough wall rectangle channel [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2011, 28(1): 34-38. (in Chinese))
- [19] 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. (ZHAO Jincheng, Experimental study on effect factors of the artificial channel roughness [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2013. (in Chinese))
- [20] 南京水利科学研究所, 水利水电科学研究院. 水工模型试验[M]. 北京: 水利电力出版社, 1959. (Nanjing Water Conservancy Science Research Institute, Water Conservancy and Hydroelectric Power Research Institute. Hydraulic Model Test [M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1959. (in Chinese))