

底坡对人工渠道糙率影响的试验

赵锦程,邱秀云,杜利霞,惠康,陈超

(新疆农业大学水利与土木工程学院,新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要:为探究不同底坡对渠道糙率的影响,采用 9 种不同底坡的人工渠道,在 6 种不同的流量条件下研究糙率随底坡和流量变化的规律。试验结果表明:在明渠均匀流条件下,随着底坡的变化,渠道糙率存在 3 种不同的变化规律。当 $Fr < 1$ 时,随着流量的增大,糙率逐渐减小;当 $1 < Fr < 1.51$ 时,随着流量的增大,糙率先减小后增大;当 $Fr > 1.51$ 时,随着流量的增大糙率逐渐增大。当流量相同时,随着底坡的增大,糙率逐渐增大。在缓流渠道中,渠道糙率随底坡变化的速率很快;在急流渠道中,渠道糙率随底坡变化的速率较慢,糙率趋于某一常数。

关键词:糙率;底坡;均匀流;人工渠道;试验研究

中图分类号:TV135.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2013)06-0048-04

Experimental study on effect of bottom slope on the artificial channel roughness//ZHAO Jincheng, QIU Xiuyun, DU Lixia, HUI Kang, CHEN Chao (College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: In order to analyze the effect of different bottom slopes on the artificial channel roughness, an experiment is carried out under nine artificial channels of different bottom slopes with six different flow discharges to discuss the regularity of roughness changing with the bottom slope and flow discharge. The experimental results indicate that under an uniform flow, with the change of the bottom slope, channel roughness exists three different variation rules. With the increase of the flow, roughness value decreases gradually when $Fr < 1$. With the increase of the flow discharge, roughness value decreases and then increases when $1 < Fr < 1.51$, and increases gradually when $Fr > 1.51$. With the increase of the bottom slope, roughness value increases gradually under the same flow condition. With the change of channel bottom slope, the change rate of channel roughness is fast in the subcritical flow channel, the change rate of channel roughness is slow in the torrent channel, and roughness value tends to be a constant.

Key words: roughness coefficient; bottom slope; uniform flow; artificial channel; experimental research

明渠是一种具有自由表面水流的渠道。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,其中糙率的确定对于工程设计及投资具有非常重要的意义^[1-2]。多年来,国内外很多学者对糙率的变化规律进行了理论分析和试验研究^[3-11]。马吉明等^[12]对南水北调中线工程的宽浅渠道进行模型试验,认为对于水力半径较大、断面形状和尺寸一定的渠道来说,糙率将随流量的加大而加大。而杨岑等^[13]采用 3 种不同粗糙度的人工加糙渠道进行试验,得出同一粗糙度的明渠糙率随流量的增加呈对数减小的趋势。二者所得结论恰好相反。由此可以看出,关于糙率随流量的变化规律目前还没有定论。寻求糙率的变化规律是水力学中的重要课题,解决该课题,将会对水力学等相关学科的发展有重要意义。

笔者在总结前人研究成果的基础上,试验分析了不同底坡条件下明渠均匀流糙率随流量的变化规律,探究糙率与不同水力要素间的相互关系,为进一步研究糙率的特性以及选取、修正水力计算中糙率的取值提供了依据。

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

作者简介:赵锦程(1986—),男,陕西西安人,硕士研究生,主要从事水工结构研究。E-mail:309229273@qq.com

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,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。试验系统见图1。

1.2 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,当要调整一个新的底坡,先将水箱与渠道进行分离,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。

如图1所示,取0+03.00、0+05.00、0+07.00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,其中左、右测点距离边壁5 cm,中间测点为断面的中心点,距离边壁18 cm,计算时采用以上3点的均值。选取0.000 5、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。每种底坡条件下均选取6组流量,试验流量的变化范围为0.013~0.028 m³/s,流量调节幅度为0.003 m³/s。共进行了6×9=54组试验。

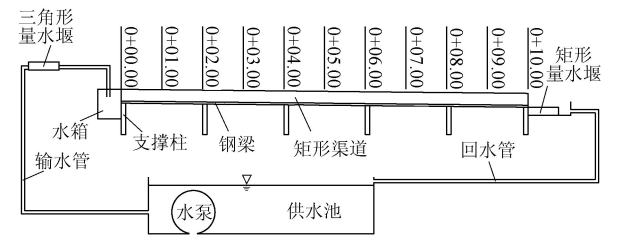


图1 试验系统

2 试验结果及分析

由明渠均匀流公式(式(1))和曼宁公式(式(2))可得糙率的计算表达式(式(3)):

Q = AC√Ri (1)

C = 1/n R^{1/6} (2)

n = AR^{2/3} / √i (3)

式中:Q为渠道过水流量,m³/s;A为过水断面面积,m²;C为谢才系数;R为断面的水力半径,m;i为渠道底坡;n为糙率。

试验中分别量测出不同底坡所对应的流量、水深,然后利用式(3)计算不同底坡、不同流量所对应的糙率,计算结果见表1。

2.1 糙率与流量的关系

根据表1绘制出不同坡度下的Q-n关系曲线,见图2。

表1 不同底坡、不同流量的糙率值

i	n/10 ⁻³					
	Q=	Q=	Q=	Q=	Q=	Q=
	0.013 m³/s	0.016 m³/s	0.019 m³/s	0.022 m³/s	0.025 m³/s	0.028 m³/s
0.000 5	6.20	5.98	5.72	5.65	5.59	5.51
0.001	8.52	8.37	8.16	7.93	7.87	7.75
0.002	9.94	9.41	9.38	9.15	9.07	9.03
0.004	9.72	9.32	9.19	9.23	9.33	9.61
0.006	9.65	9.56	9.56	9.45	9.64	9.67
0.008	10.00	9.83	9.78	10.10	10.20	10.22
0.01	9.50	9.71	10.06	10.12	10.21	10.38
0.02	10.25	10.33	10.38	10.48	10.57	10.74
0.03	10.36	10.55	10.76	10.78	10.80	10.96

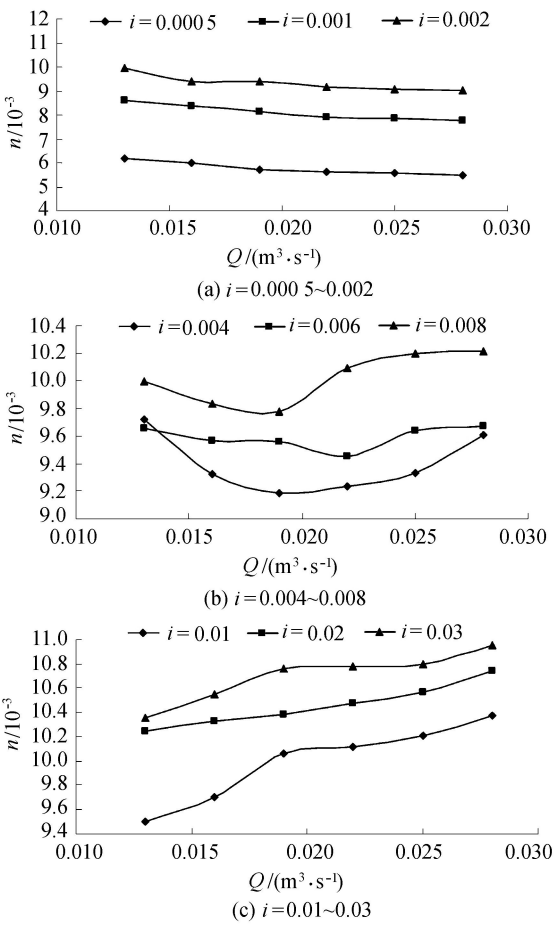


图2 不同底坡下的Q-n关系曲线

由表1和图2可以看出,当i=0.000 5、0.001、0.002时,随着Q的增大,n逐渐减小,此时Fr<1,属于缓流;当i=0.004、0.006、0.008时,n先随着Q的增大而减小,达到某一值后再随Q的增大而增大,此时Fr>1,属于急流,Fr在1.07<Fr<1.51范围内;当i=0.01、0.02、0.03时,随着Q的增大,n逐渐增大,此时Fr>1,属于急流,Fr>1.51。

由此笔者认为,糙率随流量的变化关系与流态有关。缓流中,随着流量的增大,糙率减小;急流中,当1<Fr<1.51时,糙率先随着流量的增大而减小,达到某一值后再随流量的增大而增大,称此段为缓

流向急流的过渡段;当 $Fr>1.51$ 时,糙率随流量的增大而增大。

李榕^[3]曾通过量纲分析法导出以下公式:

$$n = n_s - \alpha \left(\frac{R}{h} \right)^{0.35} \lg Fr \tag{4}$$

其中 $\bar{h} = \frac{A}{B}$

式中: n_s 为 $Fr=1$ 时的糙率; α 为系数; R 为水力半径; $\bar{h}$ 为平均水深; A 为过水断面积; B 为自由水面宽度。

由式(4)可以看出,当流动为缓流,即 $Fr<1$ 时, $\bar{h}/R$ 值的增大会引起 n 的减小;当流动为急流,即 $Fr>1$ 时, $\bar{h}/R$ 值的增大会引起糙率的增大。由本试验可得,随着流量的增大, $\bar{h}/R$ 值亦增大。由此得出,本试验所得结论与式(4)是一致的。

2.2 糙率与底坡的关系

图3为不同流量条件下的 $i-n$ 关系曲线。由图3可以看出,当流量相同时,随着底坡的增大,糙率逐渐增大。同时还可以看出,当底坡 $i=0.0005$ 、 0.001 、 0.002 时,渠道糙率随底坡变化的速率很快。由表1知,此时 $Fr<1$,为缓流流态。当底坡 $i=0.004$ 、 0.006 、 0.008 、 0.01 、 0.02 、 0.03 时,渠道糙率随底坡变化的速率较慢,糙率趋于稳定。由表1知,此时 $Fr>1$,为急流流态。

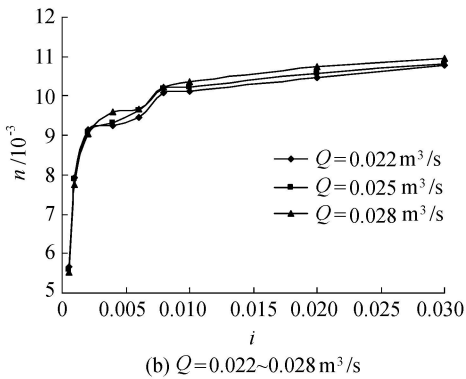
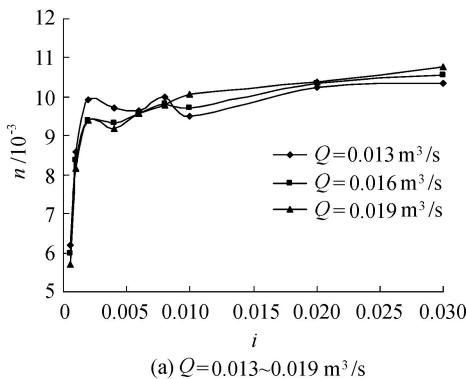


图3 不同流量下的 $i-n$ 关系曲线

由此可以得出结论,在缓流渠道中,渠道糙率随底坡变化的速率很快;在急流渠道中,渠道糙率随底

3 结 语

通过对不同底坡的矩形人工渠道的试验研究,得出以下几点结论:①糙率随流量的变化关系与流态有关。缓流中,糙率随着流量的增大而减小;急流中,当 $1<Fr<1.51$ 时,糙率先随着流量的增大而减小,达到某一值后再随流量的增大而增大;当 $Fr>1.51$ 时,糙率随流量的增大而增大。②当流量相同时,随着底坡的增大,糙率逐渐增大。在缓流渠道中,渠道糙率随底坡变化的速率很快;在急流渠道中,渠道糙率随底坡变化的速率较慢,糙率趋于某一常数。

本试验仅对 PVC 板的矩形渠道进行了研究,所得结果仅仅表明糙率随流量的变化规律以及底坡对粗糙的影响。至于渠道边壁的绝对粗糙度、断面形状对粗糙的影响尚未涉及。

参考文献:

[1] 邱秀云. 水力学[M]. 乌鲁木齐:新疆电子出版社, 2008.

[2] 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. (LÜ 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))

[3] 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))

[4] 董槐三,陈耀忠. 引滦入津隧洞糙率的原型观测[J]. 水力发电,1987(3):46-52. (DONG Huaisan, CHEN Yaoshong. Prototype observation of tunnel roughness for water diversion tunnel from Luanhe River to Tianjin City [J]. Journal of Hydroelectric Power, 1987(3): 46-52. (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] 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. (HE Jianjing, WANG

- Huimin. The effects of types of flow on Manning's roughness coefficient[J]. Hydrology, 2002, 22(6): 22-24. (in Chinese))
- [7] 李丽, 王加虎, 王建群, 等. 自适应随机搜索算法在河网数学模型糙率反演中的应用[J]. 水利水电科技进展, 2011, 31(5): 64-67. (LI Li, WANG Jiahu, WANG Jianqun, et al. Application of adaptive random search algorithm in roughness inversion of mathematical model for river networks[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2011, 31(5): 64-67. (in Chinese))
- [8] 李红英, 罗永钦. 水工模型多条有压隧洞联合泄流糙率校正方法[J]. 水利水电科技进展, 2011, 31(6): 14-15. (LI Hongying, LUO Yongqin. Roughness correction methods for hydraulic model tests on combined discharge of multiple pressure tunnels[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2011, 31(6): 14-15. (in Chinese))
- [9] 辛小康, 刘刚, 张向东, 等. 基于遗传优化的河网数学模型糙率参数反演[J]. 水利水电科技进展, 2009, 29(6): 21-24. (XIN Xiaokang, LIU Gang, ZHANG Xiangdong, et al. Investigation on parameter identification for river network model by using genetic algorithm[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2009, 29(6): 21-24. (in Chinese))
- [10] 吴航, 拾兵, 陈志娟. 淹没状态下河道植物偏斜高度与糙率的关系[J]. 水利水电科技进展, 2008, 28(1): 20-22. (WU Hang, SHI Bing, CHEN Zhijuan. Relationship between height of vegetation after deflection and roughness coefficient of vegetated channels in submerged state[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2008, 28(1): 20-22. (in Chinese))
- [11] 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. (CHEN Yaoshong. Summary of two times' prototype observation results of roughness coefficient for water diversion tunnel from Luanhe River to Tianjin City[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2005, 25(2): 58-61. (in Chinese))
- [12] 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. (MA Jiming, SHI Zhe. Research on the absolute roughness of the typical channel of the south-to-north water diversion project[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2007, 26(5): 75-79. (in Chinese))
- [13] 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))

(收稿日期: 2012-12-17 编辑: 骆超)

(上接第 32 页)

- [9] 黄毅, 曹忠杰. 单喷头变雨强模拟侵蚀降雨装置研究初报[J]. 水土保持研究, 1997, 4(4): 105-110. (HUANG Yi, CAO Zhongjie. Modeling erode rainfall device by using moni-spray gun to change rain intensity[J]. Research of Soil and Water Conservation, 1997, 4(4): 105-110. (in Chinese))
- [10] 刘素媛, 韩奇志, 聂振刚, 等. SB-YZCP 人工降雨模拟装置特性及应用研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(2): 47-53. (LIU Suyuan, HAN Qizhi, NIE Zhengang, et al. Study on characteristic and application of SB-YZCP artificial rainfall simulator[J]. Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation, 1998, 4(2): 47-53. (in Chinese))
- [11] 陈文亮, 唐克丽. SR 型野外人工模拟降雨装置[J]. 水土保持研究, 2000, 7(4): 106-110. (CHEN Wenliang, TANG Keli. A new SR style field artificial rainfall simulator[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2000, 7(4): 106-110. (in Chinese))
- [12] 高小梅, 李兆麟, 贾雪, 等. 人工模拟降雨装置的研制与应用[J]. 辐射防护, 2000, 20(1/2): 86-90. (GAO Xiaomei, LI Zhaolin, JIA Xue, et al. Development and application of artificial rainfall device[J]. Radiation Protection, 2000, 20(1/2): 86-90. (in Chinese))
- [13] 徐向舟, 刘大庆, 张红武, 等. 室内人工模拟降雨试验研究[J]. 北京林业大学学报, 2006, 28(5): 52-58. (XU Xiangzhou, LIU Daqing, ZHANG Hongwu, et al. Laboratory rainfall simulation with controlled rainfall intensity and drainage[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2006, 28(5): 52-58. (in Chinese))
- [14] 刘艳华, 龚壁卫, 苏鸿. 非饱和土的水土特征曲线研究[J]. 工程勘察, 2002(3): 8-11. (LIU Yanhua, GONG Biwei, SU Hong. Study on characteristic curve of soil and water of unsaturated soil[J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2002(3): 8-11. (in Chinese))
- [15] FREDLUND D G, MORGENSTERN N R. Stress state variables for unsaturated soils[J]. ASCE J Geotech Eng Div, 1977, 103(5): 447-466.
- [16] FREDLUND D G, XING A. Equations for the soil water characteristic curve[J]. Can Geotech J, 1994, 31: 521-532.

(收稿日期: 2013-05-02 编辑: 骆超)