

常州市老城区小型泵闸站过闸流量 估算方法

陶晓明, 朱东明, 庄 杨, 曹 琦, 刘晨烨

(常州市城市防洪工程管理处, 江苏 常州 213022)

摘要:工程管理一线计算过闸流量通常存在经验公式种类繁多,水流形态不易分辨,各项系数难以确定,计算所需实测数据缺失等问题,简单且较为精确的小型泵闸站过闸流量计算方法既有利于运管单位的日常管理,也可以为评估市区调水工作的开展进程提供理论依据。通过简化传统水力学公式,并以常州市运北片防洪包围圈上的 15 座水利枢纽的过闸流量作为校核标准,检验简化公式的实用性,探寻老城区建设资料或者观测设备不齐全的小型泵闸站过闸流量的简易计算方法。

关键词:过闸流量;水力学公式;相关性分析;常州市

中图分类号:TV131.4 **文献标识码:**B **文章编号:**1007-7839(2020)02-0033-05

Research on the estimation method of crossing flow of small gate station in Changzhou City

TAO Xiaoming, ZHU Dongming, ZHUANG Yang, CAO Qi, LIU Chenye

(Changzhou Urban Flood Control Project Management Office, Changzhou 213022, Jiangsu)

Abstract: There are usually problems as a variety of empirical formulas, water flow patterns difficult to distinguish, various coefficients difficult to determine, and missing the measured data required for calculation, and so on in project management front-line calculation of gate flow. Simple and accurate calculation methods for gate flow of small pump gates is beneficial to the daily management of the transportation management unit, and can also provide a theoretical basis for evaluating the progress of urban water exchange work. By simplifying the traditional hydraulics formula and taking the flow through sluice of 15 water conservancy projects in Yunbei Area of Changzhou City as the check standard, the practicability of the simplified formula was tested, and a simple calculation method for the flow through gate of the old city construction data or small pump gate stations with incomplete observation equipment was explored.

Key words: gate flow; hydraulics formula; relevance analysis; Changzhou City

常州市坐落于江苏省南部,地属太湖流域,地势高低相间,变化幅度平缓,北靠长江,南衔太湖,腹部有洮滆两湖,河网密布^[1]。目前,常州市城市防洪工程管理处统管 16 座防洪包围圈水利枢纽以及 34 座市区小型泵闸站,包括:殷家桥泵站、花园

后塘河泵站、后塘河西站、三井河西站、三井河东站、龙游河北站、龙游河南站等。

2017 年 7 月,常州市政府政务会议审议通过《常州市运北片主城区“畅流活水”总体方案》,通过引调长江水,新建 4 座活动堰,致力于增强市区内

收稿日期:2019-05-27

作者简介:陶晓明(1982—),男,工程师,主要从事防洪与水利工程管理养护工作。

部水流的调控能力,提高小河道水体流动性,并于 2018 年和 2019 年持续开展市区调换水工作,在水质整治工作上投入了大量人力、物力和财力。

但是大部分城区小型泵闸站建成已久,建设资料缺失,且未安装流量检测设备,日常管理人员又不具备自主选择流量公式以及各项计算系数的专业知识,一直难以对实际过闸流量进行较为准确的估算。考虑到河道的实际过流情况与河道水体改善效果直接相关,该项数据的缺失既不利于对市区换水效果进行有效评估,也不利于实现科学管理。本文拟探寻常州市老城区小型泵闸站适用的过闸流量估算方法,为推算河道过流能力,评估换水工作实际效果提供理论依据。

1 概况

1.1 国内外研究进展

目前,国内外常用的过闸水流量计算方法有:传统水力学公式($Q = \varepsilon mb \sqrt{2gH_0^{3/2}}$);亨利公式($H_0 \geq 0.81h_t (h_t/e)^{0.72}$, $\mu_0 = 0.611 [(H_0 - e)/(H_0 + 15e)]^{0.072}$);杜 峙 公 式 ($\mu_0 = 0.54 (e/H)^{-0.138}$);儒科夫斯基公式($\mu = \varepsilon_2 \varphi \sqrt{1 - \varepsilon_2 e/H}$)等多种^[2],专家学者侧重于对侧向收缩系数、流量系数等相关系数的精确取值进行深入研究,尝试从不同角度提高过闸流量计算的精度。但是这类研究通常需结合模型试验,偏理论化,在科研层面的利用价值高于一线实际应用。考虑到基层水管单位工作人员专业知识欠缺,并且不具备开展过闸流量监测条件,结合老城区小型泵闸站实际情况,对过闸流量的计算公式进行简化,探讨简便合理的过闸流量估算方法相比追求高精度的计算结果在一线管理工作中更具有实用性。

1.2 工程概况

常州市区小型泵闸站水闸前、后水位落差小。目前,水利工程管理单位已经完成了水利信息自动化两级管理平台的基础创建工作,平台从 2014 年开始通过超声波水位仪、摄像机、PLC 控制柜等智能化设备,能自动检测水位、监管厂房、河道情况,确保了水情、雨情的实时监控,为探寻小型泵闸站过闸流量的简便计算方法积攒了长期的水位数据。

2 过闸流量的简易算法

2.1 传统水力学公式

常州市小型泵闸站大多属于开敞式小型节制

闸。影响闸孔过流能力的因素众多,包括闸孔宽度、闸门类型、闸门相对开度、闸门底坎形式、上下游水深以及水位差等^[3]。为了针对实际情况选取合适的计算公式,首先要对水闸的过流情况进行分类,通常闸上的水流形式分为堰流和闸孔出流,判别标准是闸门开度与堰上水头的比值,当 $e/H > 0.65$ 时,水流为堰流,当判断水流为堰流的情况时,流量方程^[4]如下:

$$Q = \sigma_s \varepsilon mb \sqrt{2gH_0^{3/2}} \quad (1)$$

$$\text{其中 } \varepsilon = 1 - \frac{a}{\sqrt{0.2 + \frac{P}{H}}} \sqrt{\frac{b}{B}} \left(1 - \frac{b}{B}\right)$$

$$m = \varphi k \sqrt{1 - \xi}$$

$$\text{其中 } \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi}}$$

式中: Q 为过闸流量, m^3/s ; ε 为侧收缩系数; m 为堰流的流量系数; b 为闸门宽度, m ; g 为重力加速度, m/s^2 ; H_0 为堰顶水头, m ; a 为墩形系数; P 为上游堰高, m ; H 为堰上水头, m ; B 为闸口总净宽, m ; φ 为流速系数; k 为反映堰顶水流垂直收缩系数; ξ 为修正系数。

对于闸孔出流的情况,基本公式为 $Q = \mu b e \sqrt{2gH_0}$, 根据闸下游水深 h_c 和跃后水深 h_c' 的比值,区分淹没出流或自由出流^[4]。

$$\text{淹没出流: } Q = \sigma_s \mu_0 e b \sqrt{2gH_0} \quad (2)$$

$$\text{自由出流: } Q = \mu_0 e b \sqrt{2gH_0} \quad (3)$$

$$\mu_0 = \varphi k \sqrt{1 - k \frac{e}{H}}$$

式中: σ_s 为闸孔淹没出流时的淹没系数; μ_0 为流量系数,其值受闸门形式的影响,以上系数均可查表确定。在无侧收缩的条件下,闸门的垂直收缩系数 k 与闸门的相对开度 e/H 存在相关性, φ 为流速系数。

由上可见,用传统水力公式计算过闸流量,除了区分水流形态,不同的出流状态对应不同的流量计算公式以外,还要根据闸门情况和闸底坎形式以及闸门开度等实际情况,选取计算流量系数的不同经验公式,或者查表选取各项系数,这种方法在一线实际应用中过于复杂,部分数据不易获取,对专业知识的掌握程度也要求较高。

2.2 简化传统水力学公式

鉴于老市区小型泵闸站通常为开敞式单孔构造,闸门为平面钢闸门,调度运行又多采取全开和关闭两种状态,可以将过闸水流简单归类于宽顶堰

自由出流状态。

由于这类水闸只在上下游翼墙处设有水位尺,不具备测量闸前水头、闸孔水深、水流速度等数据的条件。根据能量方程: $H_0 = H + \frac{\alpha_0 v_0^2}{2g} = h + \frac{\alpha v^2}{2g} + \xi \frac{v^2}{2g}$, $\alpha = 1.0$, 在缺少水流速度的情况下,总水头 H_0 难以测定。按照工程经验,平原区河道水流速度一般为 $1 \sim 3 \text{ m/s}$,考虑到常州市平坦的地形条件,尝试用略小于总水头的上游水位尺读数 H 替代 H_0 。

在这样的前提条件下,使用公式(1)计算过闸流量,根据《水闸设计规范》(SL265—2016)和《水力计算手册》对公式中的各系数进行赋值,当堰下游水位升高到影响宽顶堰溢流能力时,及下游堰上水深与堰顶总水头的比值大于 0.8 时,需查表确定淹没系数,但考虑到实际应用过程中,工程现场不具备获取下游堰上水深和堰顶总水头的条件,故直接将 σ_s 设定为 1;根据小型泵闸站实际情况,经查表将单孔堰的侧收缩系数 ε 定为 0.912; m 在未考虑水流的行近流速的状态下,受堰的进口形状和相对高度的影响,取值范围为 0.32 ~ 0.385。过闸流量计算公式系数赋值见表 1。

表 1 过闸流量计算公式系数赋值表

淹没系数 σ_s	侧收缩系数 ε	流量系数 m
1.0	0.912	0.32 ~ 0.385

计算可得:

$$Q \approx 1 \times 0.91 \times (0.32 \sim 0.385) \times b \sqrt{2g} H_0^{3/2} \approx 0.91 \times (0.32 \sim 0.385) b \sqrt{2g} H^{3/2}$$

3 校核简化公式的可行性

常州市城市防洪工程管理处 2018 年曾聘请江苏省太湖水利规划设计研究院有限公司绘制了运北片防洪包围圈上 15 水利枢纽的节制闸流量与水位关系曲线图(堰流),以北塘河枢纽节制闸为例,过闸流量与上下游水位差存在如图所示的曲线关系(图 1)。

常州地区的节制闸工程管理规范要求水闸控制最大水位差均小于 0.4 m。本文拟根据 15 座枢纽 2018 年全年月平均水位统计数据,分别对水位差为 0.1 m、0.2 m、0.3 m 的 3 种情况从其水位与流量关系曲线图上获得相应的过闸流量,同时用简化的宽顶堰自由出流流量公式代入上游侧水尺读数计

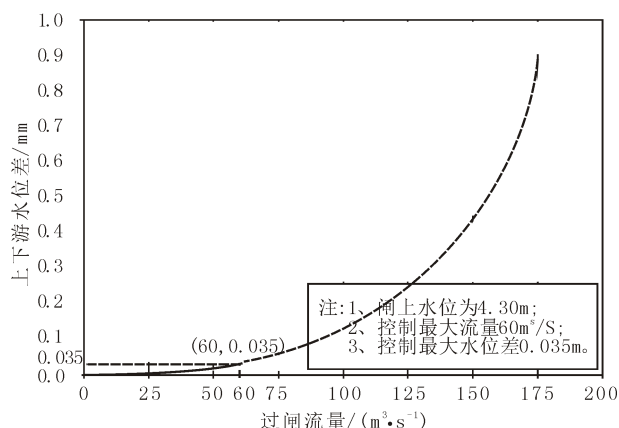


图 1 北塘河枢纽节制闸水位与流量关系曲线图(堰流) 算相应的过闸流量,分类绘图,进行比较,以此验证简化公式的实用性。

其中,15 座节制闸孔宽列表见表 2,2018 年 15 座水利枢纽月平均水位统计见表 3。不同水位差时计算所得各枢纽过闸流量见图 2~4。

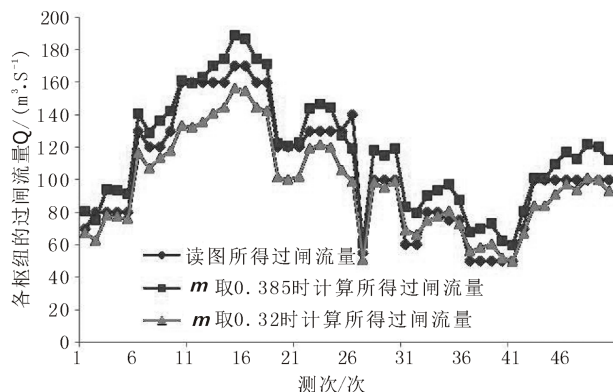


图 2 水位差为 0.1m 时读图和公式计算所得各枢纽过闸流量

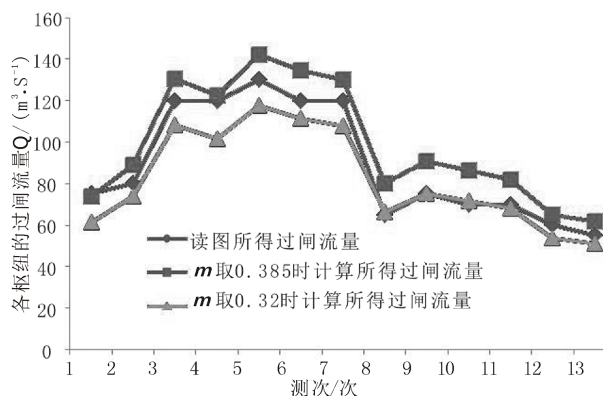


图 3 水位差为 0.2m 时读图和公式计算所得各枢纽过闸流量

剔除个别因统计失常造成的错误水位记录后,得到不同水位差时计算所得各枢纽过闸流量见图 2~4。由图 2~4 可知,按照太湖水利规水位流量曲线图获得的过闸流量与简化后的传统水力学公式计算结果走向大体一致。 m 为 0.385 时计算所得结果大体大于读图结果, m 为 0.32 时计算流量则略小于读图所得过闸流量,符合正常规律,由此推

表 2 15 座节制闸孔宽列表

(单位: m)

枢纽名称	串新河枢纽	南运河枢纽	北塘河枢纽	大运河东枢纽	采菱港枢纽	丁横河枢纽
闸孔宽度 b	8	12	12	16	10	6

枢纽名称	横峰沟枢纽	横塘河北枢纽	横塘河南枢纽	老澡港河枢纽	糜家塘枢纽	童子河闸站
闸孔宽度 b	6	10	10	8	6	8

枢纽名称	西界河闸站	永汇河枢纽	澡港河南枢纽
闸孔宽度 b	6	8	10

表 3 2018 年 15 座水利枢纽月平均水位统计结果

(单位: m)

枢纽	水位	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
串新河 枢纽	内河平均水位	3.63	3.28	3.32	3.60	3.65	3.52	3.85	3.83	3.77	3.68	3.77	3.64
	相应外河水位	3.52	3.20	3.21	3.47	3.60	3.74	3.54	3.62	3.88	3.79	3.68	3.52
南运河 枢纽	内河平均水位	3.58	3.51	3.76	3.54	3.66	3.70	3.84	4.09	3.99	3.74	3.68	3.60
	相应外河水位	3.50	3.42	3.65	3.47	3.54	3.60	3.53	3.89	3.83	3.63	3.55	3.51
北塘河 枢纽	内河平均水位	3.49	3.51	3.66	3.63	3.77	3.87	3.92	3.87	3.90	3.69	3.73	3.70
	相应外河水位	3.39	3.40	3.66	3.64	3.56	3.71	3.72	3.66	3.70	3.49	3.61	3.59
大运河 东枢纽	内河平均水位	3.47	3.45	3.62	3.50	3.60	3.66	3.86	3.86	3.83	3.66	3.62	3.63
	相应外河水位	3.38	3.34	3.42	3.49	3.49	3.45	3.55	3.66	3.72	3.55	3.51	3.51
采菱港 枢纽	内河平均水位	3.40	3.47	3.68	3.51	3.55	3.76	3.90	3.95	3.81	3.60	3.50	3.51
	相应外河水位	3.51	3.36	3.55	3.40	3.67	3.65	3.71	3.74	3.92	3.70	3.61	3.63
丁横河 枢纽	内河平均水位	3.56	3.51	3.74	3.54	3.47	3.70	3.78	3.92	3.85	3.68	3.46	3.47
	相应外河水位	3.34	3.33	3.49	3.35	3.37	3.43	3.45	3.61	3.69	3.44	3.21	3.55
横峰沟 枢纽	内河平均水位	3.44	3.54	3.61	3.49	3.50	3.59	3.60	3.24	3.40	3.28	3.65	3.64
	相应外河水位	3.34	3.39	3.58	3.38	3.66	3.66	3.95	3.90	3.74	3.60	3.68	3.67
横塘河 北枢纽	内河平均水位	3.54	3.53	3.65	3.59	3.74	3.80	3.89	3.88	3.86	3.68	3.68	3.68
	相应外河水位	3.54	3.53	3.65	3.59	3.74	3.83	3.90	3.93	3.81	3.68	3.68	3.68
横塘河 南枢纽	内河平均水位	3.66	3.55	3.88	3.68	3.87	3.60	3.79	3.81	3.94	3.74	3.82	3.80
	相应外河水位	3.75	3.66	3.79	3.60	3.76	3.78	3.88	3.95	3.82	3.84	3.70	3.70
老澡港 河枢纽	内河平均水位	3.38	3.34	3.39	3.71	3.77	3.92	3.71	3.77	4.01	3.74	3.77	3.81
	相应外河水位	3.49	3.34	3.39	3.71	3.77	4.10	3.91	3.87	4.10	3.84	3.79	3.69

(续表 3)

枢纽	水位	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
糜家塘枢纽	内河平均水位	3.00	3.29	3.64	3.72	3.58	3.69	3.84	3.95	3.89	3.78	3.72	3.23
	相应外河水位	3.39	3.41	3.70	3.81	3.78	3.82	4.02	4.15	4.05	3.88	3.78	3.69
童子河闸站	内河平均水位	3.55	3.55	3.54	3.42	3.65	3.73	3.75	3.71	3.90	3.70	3.67	3.68
	相应外河水位	3.44	3.46	3.66	3.54	3.76	3.84	3.95	3.91	3.90	3.70	3.68	3.66
西界河闸站	内河平均水位	3.55	3.37	3.54	3.42	3.55	3.63	3.74	3.71	3.90	3.70	3.68	3.67
	相应外河水位	3.44	3.46	3.66	3.54	3.76	3.84	3.95	3.91	3.90	3.70	3.68	3.55
永汇河枢纽	内河平均水位	3.48	3.48	3.69	3.58	3.69	3.74	3.88	3.95	3.87	3.73	3.65	3.50
	相应外河水位	3.48	3.37	3.69	3.58	3.58	3.53	3.67	3.75	3.66	3.62	3.55	3.62
澡港河南枢纽	内河平均水位	3.48	3.38	3.58	3.57	3.84	3.65	3.74	3.74	3.81	3.62	3.73	3.70
	相应外河水位	3.40	3.49	3.69	3.47	3.73	3.76	3.94	3.95	3.92	3.52	3.74	3.72

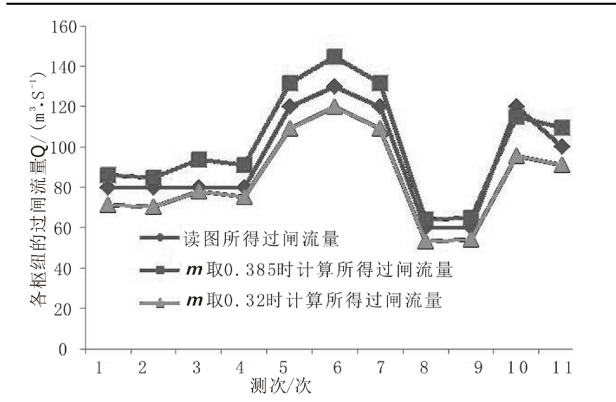


图 4 水位差为 0.3m 时读图和公式计算所得各枢纽过闸流量
断通过改变相关系数的取值可以使得简化公式的
计算结果与水位流量曲线图的过闸流量更加接近,
以 m 为例进行 2 种过闸流量计算方法的相关性分
析(图 5~10)。

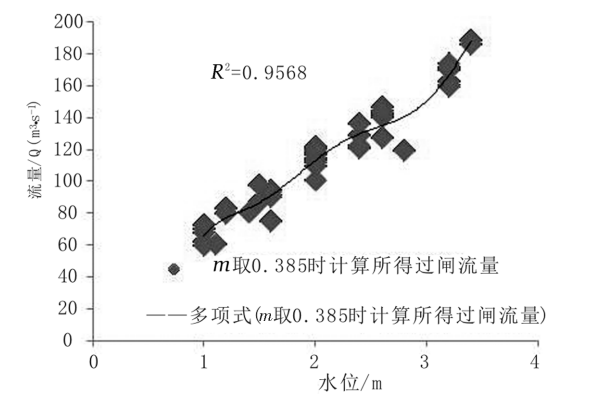


图 5 水位差为 0.1m $m=0.385$ 时的相关性分析
由图 5~10 可知,2 种方法所得过闸流量的 R^2
均大于 0.95,由此可以确定,简化的传统水力学公

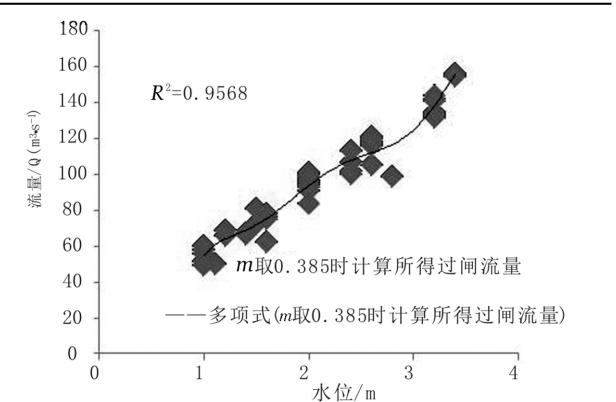


图 6 水位差为 0.1m $m=0.32$ 时的相关性分析

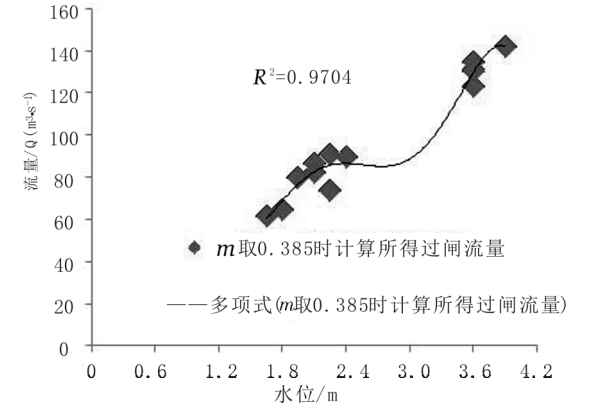


图 7 水位差为 0.2m $m=0.385$ 时的相关性分析
式用于估算过闸流量具有可行性。同时根据 m 在
取值范围内取上限或下限, R^2 没有明显变化这一现
象可以推断,对于河网水系密布的常州地区,市区
小型泵闸站在上下游水位差不大于 0.4 m,且采用
全开的闸门运行模式时,一线工作人员可以直接根
(下转第 41 页)

(上接第 37 页)

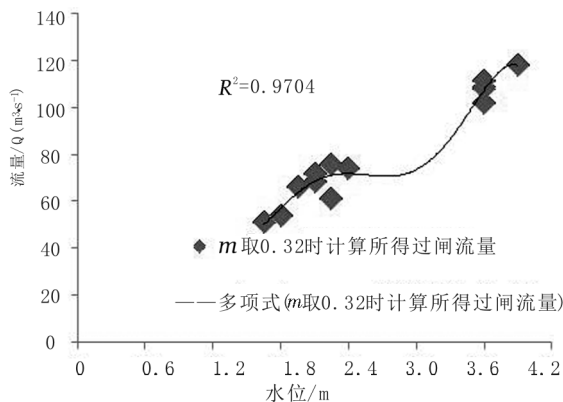


图 8 水位差为 0.2m $m=0.32$ 时的相关性分析

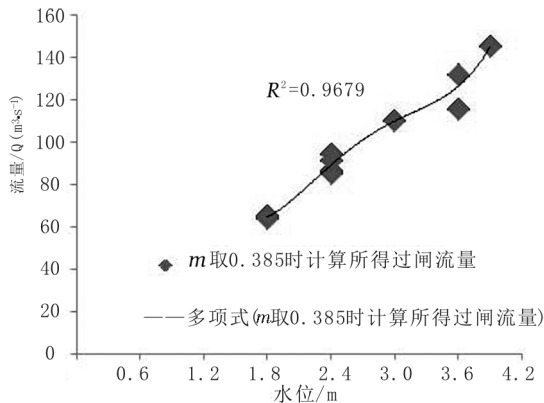


图 9 水位差为 0.3m $m=0.385$ 时的相关性分析

据上游的水位尺读数,利用简化的传统水力学公式: $Q \approx 0.321b \sqrt{2gH^{3/2}}$, 其中 σ_s 取 1, ε 取 0.912,

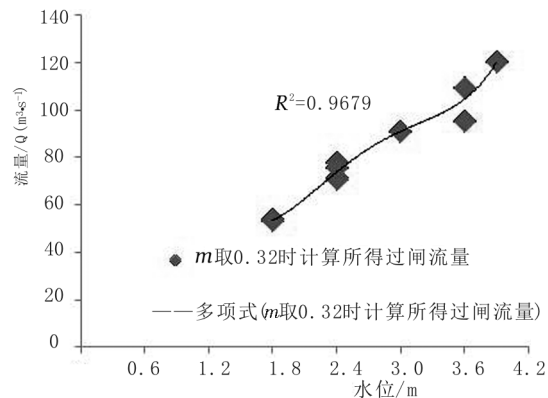


图 10 水位差为 0.3m $m=0.32$ 时的相关性分析

m 取中间值 0.353, 对过闸流量进行快速估算, 计算过程得以简化。

参考文献:

- [1] 颜亚琴, 庄杨, 刘丹杰, 等. 常州市运北片区汛期平均径流系数的探析[J]. 江苏水利, 2017(7):48-51.
- [2] 徐苏, 窦明, 米庆彬, 等. 五种过闸流量计算方法在槐店闸的适用性及改进的杜屿公式精度分析[J]. 水电能源科学, 2016(3):36-39.
- [3] 吴门伍, 陈立, 周家俞. 大和水闸过闸流量分析[J]. 武汉大学学报(工学版), 2003, 36(5):5.
- [4] 范强, 程征, 林义林. 水电站闸门过闸流量计算方案与实现[J]. 智慧工厂, 2016(9):80-82.