

DOI :10.3880/j.issn.1006-7647.2011.04.011

平底溢洪闸综合流量系数试验

马 静 ,张庆华 ,宋学东 ,崔世彬

(山东农业大学水利土木工程学院 ,山东 泰安 271018)

摘要 :分析现行平底宽顶堰流量系数确定方法 ,指出流量系数确定方法存在以下问题 :①没有考虑堰上水深 ;②虽然在侧收缩系数中考虑了水深 ,但其综合流量系数得到的结果却与实际情况相反。通过对 9 座水库溢洪道水工模型试验结果的分析 ,得到平底溢洪闸综合流量系数为 0.33 ~ 0.37 ,并利用统计分析方法提出了确定其综合流量系数的经验公式。

关键词 :平底溢洪闸 ;宽顶堰 ;综合流量系数

中图分类号 :TV135.2 文献标识码 :A 文章编号 :1006-7647(2011)04-0049-03

Experimental study on integrated flow coefficient of spillway gates with bottom-flat weirs//MA Jing , ZHANG Qing-hua , SONG Xue-dong , CUI Shi-bin (College of Water Conservancy and Civil Engineering , Shandong Agricultural University , Tai 'an 271018 , China)

Abstract :The existing methods to determine the coefficient of bottom-flat broad-crest weir flows were analyzed. The following problems in the methods for determining the flow coefficients were put forward :first , some methods neglected the water depth over the weir ;secondly , although some methods considered the water depth in the lateral contraction coefficient , their results of the integrated flow coefficient were contrary to the actual situations. Based on the analysis of hydraulic model test results of spillways for 9 reservoirs , the integrated flow coefficient of bottom-flat weirs was 0.33 ~ 0.37. An empirical formula to determining the integrated flow coefficient was proposed by means of the statistical methods.

Key words : spillway gate with bottom-flat weir ; broad-crest weir ; integrated flow coefficient

水库枢纽工程设计中 ,大坝坝顶高程的确定是一项重要的工作。水库的坝顶高程是依据工程设计和校核洪水标准 ,通过水库调洪验算确定的水库设计和校核洪水位 ,再加上波浪爬高和安全超高确定的。而水库设计和校核水位与溢洪道起调水位和溢洪闸过流能力有关。在大多数情况下 ,溢洪闸的过流能力计算是按照宽顶堰进行的 ,而宽顶堰的流量计算关键在于确定流量系数。笔者通过对多座水库溢洪道的水工模型试验分析发现 ,现行平底宽顶堰流量系数确定方法存在以下不足 :①没有考虑堰上水深 ;②虽然在侧收缩系数中考虑了水深 ,但其综合流量系数得到的结果却与实际情况相反^[1] ;③根据现有无坎宽顶堰流量系数表 ,利用回归方法提出了经验公式 ,但仍未考虑水深^[2]。

笔者利用 9 座水库溢洪道水工模型试验结果 ,对宽顶堰流量系数的特点进行了分析 ,提出了常见溢洪闸(平底宽顶堰)综合流量系数的计算方法。

1 现行溢洪闸过流能力计算方法分析

1.1 现行溢洪闸过流能力计算方法

在溢洪道规划设计中 ,对平底溢洪闸的过流能力计算一般按宽顶堰计算 ,流量计算公式为^[3]

$$Q = \sigma_s \epsilon m n b \sqrt{2g} H_0^{3/2} \tag{1}$$

式中 : Q 为过闸流量 ; σ_s 为淹没系数 ; ϵ 为侧收缩系数 ; m 为自由溢流的流量系数 ; n 为溢洪闸孔数 ; b 为每孔净宽 ; g 为重力加速度 ; H_0 为包括流速水头在内的堰上水深。

式(1)的关键在于 m 的确定。

对有底坎宽顶堰堰顶入口为直角的宽顶堰 :

$$m = 0.32 + 0.01 \frac{3 - \frac{P}{H}}{0.46 + 0.75 \frac{P}{H}} \tag{2}$$

对堰顶入口为圆角的宽顶堰 :

作者简介 :马静(1986—),女,山东泰安人,硕士研究生,从事水利工程经济与管理研究。E-mail :majing861221@163.com
通讯作者 :张庆华(1960—),男,山东招远人,教授,从事水利工程经济与管理教学与研究。E-mail :zqh@sdau.edu.cn

$$m = 0.36 + 0.01 \frac{3 - \frac{P}{H}}{1.2 + 1.5 \frac{P}{H}} \quad (3)$$

式中： P 为堰高； H 为堰上水深。

侧收缩系数按式(4)计算：

$$\epsilon = 1 - \frac{\alpha_0}{\sqrt[3]{0.2 + \frac{P}{H}}} \sqrt[4]{\frac{b}{B}} \left(1 - \frac{b}{B}\right) \quad (4)$$

式中： α_0 为考虑墩头及堰入口的形状系数； B 为上游引水渠宽度。

由于大多数溢洪道的溢洪闸为平底宽顶堰，因此，流量计算中一般不单独考虑侧向收缩的影响，而是把它包含在流量系数中综合考虑。另外，因溢洪闸后一般紧接陡坡，其水流不形成淹没，为自由泄流，因此，流量计算公式为

$$Q = m'nb \sqrt{2g} H_0^{3/2} \quad (5)$$

式中： m' 为溢洪闸综合流量系数。

对平底溢洪闸的综合流量系数，文献[3]给出了不同进口翼墙形式及平面收缩程度的溢洪闸综合流量系数表。

对宽顶堰流量系数，溢洪道设计规范[1]则给出了不同底坎形式的流量系数，侧收缩系数按式(6)计算：

$$\epsilon = 1 - 0.1 \left[\xi_k + (n - 1) \xi_0 \right] \frac{H_0}{nb} \quad (6)$$

式中： ξ_k 为边墩形状系数； ξ_0 为中墩形状系数。

文献[4]通过对陕西省汉江旬阳水电站冲沙闸的单体水工模型试验分析研究，得到 m' 在 0.298 ~ 0.329 之间。

1.2 现行计算方法存在的问题

溢洪闸过流能力计算关键在于流量系数和侧收缩系数。分析式(1)~(4)可知，文献[3]提出的流量系数计算公式仅适用于有坎宽顶堰。

对于无坎宽顶堰，文献[3]提出的宽顶堰综合流量系数仅与引水渠宽度与溢洪闸净宽的比值有关。文献[1]提出的流量系数在无坎情况下($P/H=0$)均为 0.385，由式(6)侧收缩系数可知，在闸墩形状一定的情况下堰上水深越大则侧收缩系数越小，即综合流量系数越小。

根据水力学堰流理论，宽顶堰流的条件为： $2.5 < \delta/H < 10$ (δ 为堰宽)，而当 $0.67 < \delta/H < 2.5$ 时，即为实用堰。可见，在 δ 相同的条件下，堰上水深增加到一定程度，宽顶堰流即变为实用堰流，而实用堰的流量系数比宽顶堰要大。

上述分析可以看到，现行平底宽顶堰流量系数确定方法存在明显的不足：①流量系数没有考虑堰上水深；②虽然在侧收缩系数中考虑了水深，但其综

合流量系数得到的结果却与实际情况相反[1]，这一点可从本文试验结果得到证明；③文献[2]根据现有无坎宽顶堰流量系数表，利用回归方法提出了经验公式，但仍未考虑堰上水深。

2 试验成果与分析

2.1 试验成果

近几年来笔者结合山东省大中型水库除险加固工程，做了 20 多座水库溢洪道水工模型试验。本文按照以下条件选择试验数据：溢洪闸为平底，闸前铺盖宽度与闸室宽度相同，且翼墙直立，溢洪闸为自由出流，且符合宽顶堰流条件($\delta/H < 10$)。模型试验中符合上述条件的无坎溢洪闸共 9 座水库：①龙泉水库。进水渠长 47.6 m，梯形断面，闸室长 14.6 m，总宽 43.9 m，4 孔，每孔净宽 10 m，中墩墩头为流线型。②唐村水库。进水渠长 120 m，梯形断面，闸室长 18 m，总宽 32.8 m，3 孔，每孔净宽 10 m，中墩墩头为流线型。③牟山水库。进水渠长 25 m，边墙直立，闸室长 18 m，总宽 118 m，10 孔，每孔净宽 10 m，中墩墩头为流线型。④黄前水库。进水渠为对称式喇叭口形式，长 24.4 m，边墙直立，闸室长 16 m，总宽 83.4 m，7 孔，每孔净宽 10 m，中墩墩头为流线型。⑤坤龙邢水库。进水渠为对称式喇叭口形式，长 222.8 m，梯形断面，闸室长 16 m，总宽 35.6 m，4 孔，每孔净宽 8 m，中墩墩头为流线型。⑥尚庄炉水库。进水渠对称式布置，两侧设直立圆弧翼墙，长 32 m，闸室长 14.4 m，总宽 31.6 m，4 孔，每孔净宽 7 m，中墩墩头为流线型。⑦会宝岭水库。进水渠底宽 55.6 m，长 210 m，梯形断面，边坡 1:1，闸室长 14 m，总宽 55.6 m，5 孔，每孔净宽 10 m，中墩墩头为流线型。⑧直界水库。进水渠长 5 m，两侧设锥面与闸边墩、大坝相连，边墙直立，闸室长 13.3 m，总宽 20 m，3 孔，每孔净宽 6 m，中墩墩头为流线型。⑨红旗水库。进水渠长 38.5 m，边墙直立，闸室长 18.5 m，总宽 27.5 m，4 孔，每孔净宽 6 m，中墩墩头为流线型。9 座水库的模型试验实测水库水位 ~ 溢洪闸泄量共 127 组数据，利用式(5)计算溢洪闸综合流量系数，结果见图 1 和表 1。

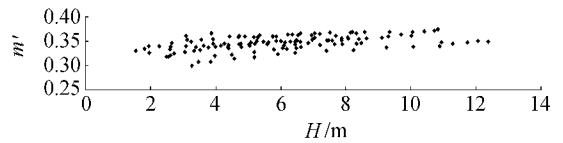


图 1 实测溢洪闸堰上水深 ~ 综合流量系数关系

表 1 中溢洪闸堰上水深 = 水库水位 - 堰顶高程，之所以选择水库水位而不选择闸前水位，是基于在水库调洪验算中所用水位为水库水位。

表 1 无坎溢洪闸综合流量系数测试成果

龙泉水库		唐村水库		牟山水库	
H/m	m'	H/m	m'	H/m	m'
2.640	0.3462	3.090	0.3604	3.264	0.3004
3.120	0.3525	3.860	0.3654	3.840	0.3076
3.560	0.3531	4.720	0.3605	4.576	0.3144
3.920	0.3543	5.175	0.3582	5.184	0.3177
4.420	0.3597	6.220	0.3631	5.912	0.3238
4.700	0.3580	6.605	0.3655	6.440	0.3260
5.290	0.3578	7.195	0.3648	7.408	0.3303
4.900	0.3592	7.500	0.3673	8.232	0.3317
5.350	0.3619	8.190	0.3685	9.256	0.3366
5.750	0.3592	8.320	0.3664	10.072	0.3386
5.860	0.3595	8.570	0.3682	10.880	0.3394
6.350	0.3635	9.340	0.3685	10.944	0.3476
6.530	0.3624	10.050	0.3684	11.280	0.3447
6.950	0.3618	10.415	0.3694	11.736	0.3473
7.040	0.3652	10.715	0.3709	12.064	0.3496
1.540	0.3309	10.835	0.3732	12.376	0.3484
1.810	0.3339				
2.260	0.3391				

黄前水库		坤龙邢水库		尚庄炉水库	
H/m	m'	H/m	m'	H/m	m'
1.945	0.3390	3.460	0.3083	2.530	0.3189
3.255	0.3489	3.980	0.3191	3.390	0.3381
4.270	0.3452	4.490	0.3227	3.915	0.3443
5.250	0.3503	5.195	0.3278	4.395	0.3359
5.865	0.3494	5.785	0.3327	4.765	0.3441
6.485	0.3513	6.050	0.3350	5.210	0.3442
6.955	0.3524	6.109	0.3338	5.610	0.3467
7.425	0.3507	6.480	0.3361	6.010	0.3504
7.870	0.3519	6.620	0.3377	6.470	0.3518
8.470	0.3456	7.195	0.3420	7.035	0.3562
8.630	0.3551	7.650	0.3432	7.690	0.3604
9.105	0.3561	7.885	0.3432	8.055	0.3581
9.310	0.3588	8.325	0.3444	8.140	0.3672
9.705	0.3627				
10.005	0.3599				

会宝岭水库		直界水库		红旗水库	
H/m	m'	H/m	m'	H/m	m'
4.365	0.3384	2.484	0.3180	1.965	0.3263
5.050	0.3402	2.604	0.3204	2.600	0.3334
5.585	0.3432	2.724	0.3249	2.615	0.3383
6.090	0.3411	3.044	0.3275	3.075	0.3395
6.300	0.3485	3.344	0.3302	3.635	0.3409
6.445	0.3439	3.524	0.3321	4.160	0.3412
6.600	0.3490	3.764	0.3373	4.780	0.3375
6.845	0.3464	3.992	0.3375	5.080	0.3473
7.475	0.3507	4.392	0.3421	5.615	0.3476
7.875	0.3557	4.724	0.3438	6.125	0.3479
8.065	0.3550	5.016	0.3436	6.435	0.3486
8.400	0.3542	5.452	0.3492	7.580	0.3508

2.2 试验成果分析

分析表 1 实测的 127 组溢洪闸综合流量系数实测数据,得到以下结论:

a. 溢洪道无坎溢洪闸在宽顶堰流情况下,溢洪闸综合流量系数在 0.30~0.373 之间。综合流量系数频数统计见表 2。

表 2 综合流量系数频数统计

范围	频数	频率/%	累计频率/%
0.30~0.31	3	2.36	2.36
0.31~0.32	5	3.94	6.30
0.32~0.33	8	6.30	12.60
0.33~0.34	25	19.69	32.28
0.34~0.35	35	27.56	59.84
0.35~0.36	28	22.05	81.89
0.36~0.37	21	16.54	98.43
0.37~0.38	2	1.57	100.00

由表 2 可知,平底溢洪闸综合流量系数大部分集中在 0.33~0.37 之间,在实测的 127 组数据中占 85.83%。

b. 溢洪闸综合流量系数和堰上水深有关,堰上水深越大,综合流量系数越大,该规律在单个水库的实测数据中更为明显。

另外,文献[5]对丹江口水库溢流坝及丹江口第二围堰(宽顶堰)原、模型流量系列资料进行了分析,文献[6]应用 3 次多项式拟合出石门子站堰流流量系数,得出该站应用水工建筑物法推流的公式;文献[7]依据安徽省巢湖闸扩孔前后淹没堰流的实测流量资料,分析扩孔前后淹没堰流流量系数的变化,也得出了溢流堰流量系数随堰上水头的增加而增大的结论。

3 溢洪闸综合流量系数确定方法

从上述分析可以看出,平底溢洪闸综合流量系数与堰上水深有关,根据堰流理论,堰水流流态与堰宽和堰上水深的比值(δ/H)有关,依据 δ/H 把堰分为薄壁堰、实用堰和宽顶堰。因此,将表 1 中的堰上水深实测数据转换为堰上水深与堰宽的比值(H/δ),并与综合流量系数进行比较,如图 2 所示。

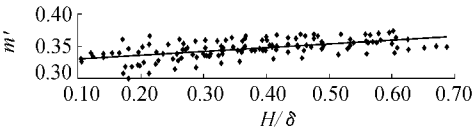


图 2 m' 与 H/δ 的关系

由图 2 可知, m' 随 H/δ 增大而增加,其关系基本与图 1 相同。

根据表 1 实测溢洪闸综合流量系数,以 H/δ 为参数,对 127 组数据进行回归分析,得到溢洪道平底溢洪闸综合流量系数与 H/δ 的相关关系为

$$m' = 0.3247 + 0.059 \frac{H}{\delta} \tag{7}$$

式中: δ 为堰宽(溢洪闸室长)。

根据相关系数显著性检验表^[8],观测数据组数为 100、相关水平 $\alpha = 0.01$ 情况下, $R_{0.01} = 0.254$ 。经计算,式(7)的相关系数 $R_0 = 0.556$, (下转第 94 页)

[4] 田嘉宁.半封闭性港口化学需氧量数值模拟[J].西安理工大学学报 ,1995 ,11(4) 292-296.

[5] 何波 ,张兆华.广州港南沙港区总体规划方案[J].水运工程 ,2004 ,36(3) 76-78.

[6] 辛文杰 ,罗小峰.广州港南沙港区总体布局方案平面二维潮流泥沙数值模拟[R].南京 :南京水利科学研究院 ,2001.

[7] 杨树森.广州港南沙港区起步和总体布局方案港池与航道泥沙淤积计算和分析[R].天津 :天津水运工程研究所 ,2001.

[8] 辛文杰 ,何杰.广州港南沙港区南沙作业区控制性详细规划潮流泥沙数学模型研究[R].南京 :南京水利科学研究院 ,2007.

[9] 何杰 ,辛文杰.含有紊动黏性项浅水方程的数值求解[J].水利水运工程学报 ,2010 ,9(3) 95-100.

[10] 何杰.半封闭港池水交换的数值模拟及其应用[D].南京 :南京水利科学研究院 ,2009.

[11] 何杰 ,辛文杰.挖入式港池水体交换能力研究[J].水利学报 ,2007 ,38(增刊) 330-333.

(收稿日期 2010-11-29 编辑 :方宇彤)

(上转第 48 页)

之间的相互转换关系 ,使其能与雾化近区模型进行边界耦合。最后 ,结合实际工程的雾化原型观测数据对数学模型进行验证 ,计算结果较为合理。

参考文献 :

[1] 柳海涛 ,孙双科.挑流水舌空中形态与含水浓度的数值解法[C]//唐洪武.2007 水力学与水利信息学进展.南京 :河海大学出版社 ,2007 511-516.

[2] LIU Shi-he , SUN Xiao-fei , LUO Jing. Unified model for splash droplets and suspended mist of atomized flow[J]. Journal of Hydrodynamics Ser B ,2008 ,20(1) :125-130.

[3] 孙笑菲 ,刘士和.雾化水流溅抛水滴运动深化研究[J].水动力学研究与进展 :A 辑 ,2008 ,23(1) 61-66.

[4] 张华.挑流水舌的水滴随机喷溅数学模型[J].水利学报 ,2003 ,34(8) :21-25.

[5] 柳海涛 ,刘之平 ,孙双科.水舌入水喷溅的随机数学模

型[J]. 水利水电科技进展 ,2009 ,29(6) :1-4.

[6] 柳海涛 ,孙双科 ,刘之平 ,等.泄洪雾化预测的人工神经网络方法探讨[J].水利学报 ,2005 ,36(10) :1241-1245.

[7] 刘士和.高速水流[M].北京 :科学出版社 ,2005 :165-166.

[8] 柳海涛.挑流消能泄洪雾化理论与计算模型研究[D].北京 :中国水利水电科学研究院 ,2009.

[9] ATLAS D , ULBRICH C W. Path and area integrated rainfall measurement by microwave attenuation in the 1-3 cm band [J]. Journal of Applied Meteorology ,1977 ,16 :1322-1331.

[10] 龚康贤 ,王连仲.雨滴谱参数估计优化方案及其微物理资料检验[J].电波科学学报 ,2001 ,16(4) :493-497.

[11] 刘黎平.雨区衰减及谱变化影响雷达测雨精度的数值模拟[J].南京气象学院院报 ,1994 ,17(2) 255-258.

[12] 刘之平 ,刘继广 ,郭军.二滩水电站高双曲拱坝泄洪雾化原型观测报告[R].北京 :中国水利水电科学研究院 ,2000.

(收稿日期 2010-11-24 编辑 :高建群)

(上接第 51 页)

$R_0 > R_{0.01}$ 为显著相关 ,可认为 m' 与 H/δ 之间的线性关系密切。因此 ,可用式 (7) 计算平底溢洪闸综合流量系数。但应注意式 (7) 的适用条件为 $0.1 < H/\delta < 0.4$,即符合宽顶堰条件。对小型工程或中型工程的可行性研究阶段 ,平底溢洪闸 m' 也可近似按 $0.33 \sim 0.37$ 取值。

4 结 语

在溢洪道工程设计中 ,平底溢洪闸是常见的工程布置形式 ,因此 ,本文提出的其综合流量系数确定方法具有实用参考价值。但由于本文的试验数据均为溢洪闸在自由泄流 (非淹没) 情况下取得的 ,因此 ,综合流量系数计算公式 (式 (7)) 不适用于溢洪闸淹没出流情况。

参考文献 :

[1] SL253—2000 溢洪道设计规范[S].

[2] 单长河 ,齐清兰.无坎宽顶堰流量系数的计算及讨论[J].研究与设计 ,2008(5) 31-32.

[3] 吴持恭.水力学[M].2 版.北京 :高等教育出版社 ,2001 :392-399.

[4] 杨健 ,万继伟 ,吴桐 ,等.大变幅相对淹没度下冲沙闸的水力特性试验[J].水利水电科技进展 ,2009 ,29(2) :22-25.

[5] 夏毓常 ,张黎明.水工水力学原型观测与模型试验[M].北京 :中国电力出版社 ,1999 22-25.

[6] 郭福厚.水工建筑物堰流流量系数拟合[J].农业与技术 ,2006 ,26(1) 94-96.

[7] 高玉芹.平底闸扩孔后堰流流量系数变化初探[J].治淮 ,2007(5) :18-19.

[8] 肖筱南.新编概率论与数理统计[M].北京 :北京大学出版社 ,2002 379.

(收稿日期 2010-10-26 编辑 :方宇彤)