

# 落差指数法在沿江大型水闸淹没堰流定线中的应用

王 成, 孙正兰, 李江艳, 王骏秋

(江苏省江都水利工程管理处, 江苏 扬州 225200)

**摘要:** 水文规范中指出水闸淹没堰流通常采用堰闸流量系数法定线推流, 但由于水闸堰流时, 上下游水位差很小, 水位观读误差对流量的精度产生较大影响, 无法满足定线精度要求。笔者结合实测流量资料, 引入落差指数法率定水位流量关系曲线, 精度完全满足规范要求, 可在沿江受潮汐影响的大型水闸中推广应用。

**关键词:** 大型水闸; 淹没式堰流; 落差指数法

**中图分类号:** TV132+.2      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1007-7839(2017)08-0011-05

## Application of fall index method in diversion line of submerged weir flow for large sluice along Yangtze River

WANG Cheng, SUN Zhenglan, LI Jiangyan, WANG Junqiu

(Jiangu Water Conservancy Project Management Office, Yangzhou 225200, Jiangsu)

**Abstract:** It is pointed out by hydrology code that sluice flooded weir flow normally uses weir gate flow coefficient method to determine the line plug flow. But during sluice weir flow, the upstream-downstream water level difference is very small, the water level reading error has great influence on the flow rate accuracy, thus it is unable to meet the requirements of precision alignment. In this paper, the authors combine the measured flow data and introduce the drop index method to determine the water level flow relationship curve. The accuracy meets the standard requirements and can be popularized and applied in large sluices along the Yangtze River.

**Key words:** large sluice; submerged weir flow; fall index method

## 1 工程概况

万福闸位于江苏省扬州市湾头镇, 是淮河入江水道的主要控制工程之一。该闸共 65 孔, 每孔净宽 6 m, 总净宽 390 m, 闸底高程 -2 m, 设计流量 8270 m<sup>3</sup>/s。万福闸上游约 9 km 处为邵伯湖, 下游廖家沟连接长江, 泄洪时流量受长江潮汐影响。建成以来累计泄洪 8477 亿 m<sup>3</sup>, 工程效益非常显著。

## 2 堰闸流量系数法定线存在的不足

万福闸属于平底闸, 根据规范, 可以采用堰闸流量系数法率定水位流量关系, 其定线流量公式为:

$$Q=C_2 B h_1 (\Delta Z)^{0.5} \quad (1)$$

式中:

$Q$ —流量;

$C_2$ —淹没式堰流的流量系数;

$B$ —闸门总开宽;

$h_1$ —下游水头;

$\Delta Z$ —上下游水位差。

收稿日期: 2017-05-05

作者简介: 王成(1984-), 男, 本科, 工程师, 研究方向为水文水资源。

从式(1)中可知,流量与下游水头以及上下游水位差密切相关。根据2016年万福闸淹没堰流实测流量,计算流量系数,并点绘 $h_1 \sim C_2$ 关系图,如图1所示,因测点散乱,无法拟合出合适的曲线。

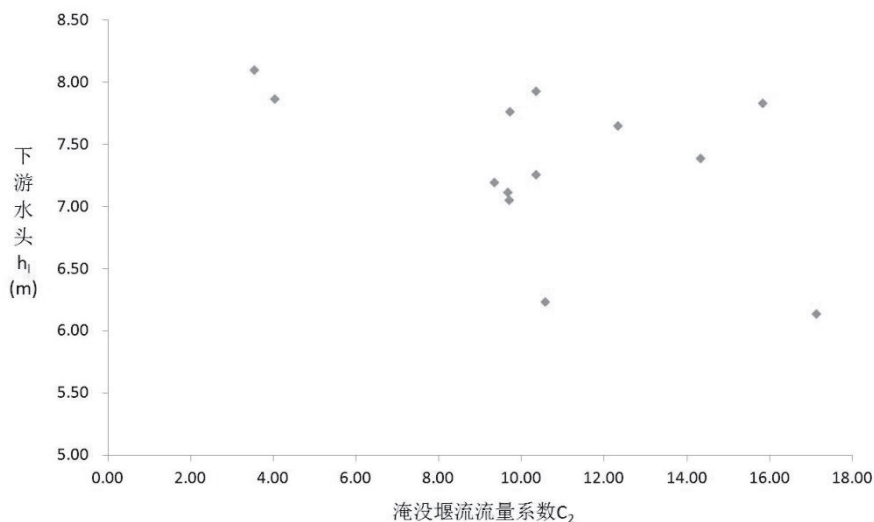


图1 流量系数与下游水头关系曲线

目前,水文测站中普遍采用的遥测水位计观测精度仅仅达到 $\pm 1\text{ cm}$ ,水位的观读误差会对流量系数的计算产生影响。随着上下游水位差变小,水位观读误差的影响权重逐渐增加,计算的流量系数就会存在误差,导致下游水头与流量系数关系非常离散。当万福闸淹没堰流时,上下游水位差很小,就会出现图1所示的散乱情形,定线推流精度无法保证。因此,万福闸淹没堰流不宜采用堰闸流量系数法定线。

### 3 落差指数法定线原理

采用落差指数法的测站河段宜顺直,河槽宜基本稳定,且落差应具有代表性。假定同水位不同落差的流量符合下式:

$$Q_1/(\Delta Z_1^\beta) = Q_2/(\Delta Z_2^\beta) = q \quad (2)$$

式中:

$Q_1$ 、 $Q_2$ —同水位不同落差的流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$\Delta Z_1$ 、 $\Delta Z_2$ —与 $Q_1$ 、 $Q_2$ 相应的落差,  $\text{m}$ ;

$\beta$ —落差指数;

$q$ —流量与落差 $\beta$ 次方之比(或称校正流量因数)。

推求流量时,根据优选的 $\beta$ 值所定的 $Z \sim q$ 曲线,用本站水位推求 $q$ 值。根据落差参证站的

水位过程计算的落差 $\Delta Z$ ,计算相应的 $\Delta Z^\beta$ ,与相应 $q$ 值的乘积即为推求的流量。

## 4 在万福闸水文站的应用

### 4.1 落差站的选择

万福闸上游河段顺直,河槽稳定。万福闸淹没式堰流时,闸门提出水面,水流不受闸门控制影响,流量主要影响因素为河道坡降、上游洪水以及下游潮汐顶托等。万福闸上游约9 km处为六闸(三)水位站,下游约20 km处为三江营水位站。六闸(三)站位于邵伯湖,水位稳定,水位变化主要受到上游来水以及区间降水影响,而三江营站位于长江口,受长江潮汐影响,一日的水位变化较大,不便于计算落差值。因此,选择六闸(三)水位站作为参证站,用其水位与本站水位计算落差值。

### 4.2 落差指数 $\beta$ 值优选

水文资料整编规范中规定: $\beta$ 的变化范围为0.2~0.8,在此区间内,可采用试错法或优选法,以定出的 $Z \sim q$ 关系曲线,通过适线检验、符号检验、反曲检查且不确定度最小时的 $\beta$ 为最优 $\beta$ 值。

根据2016年万福闸实测流量资料,选取其中淹没式堰流32个测次,采用试错法,假定若干个 $\beta$ 值,分别计算校正流量因素 $q$ ,点绘 $Z \sim q$ 曲线,计算各曲线相关系数 $R^2$ 。当值为0.80时,测点离散程度最小,相关系数最接近于1。 $\beta$ 值为0.80的计算表见表1。

根据表1中32次实测点,点绘万福闸上游水位 $Z$ 与流量校正因素 $q$ 关系点,并拟合相关曲线,

表 1 万福闸淹没式堰流落差指数法定线计算表

序号	$Z_{\text{六闸}}(\text{m})$	$Z(\text{m})$	$Q(\text{m}^3/\text{s})$	$\Delta Z(\text{m})$	$q$	序号	$Z_{\text{六闸}}(\text{m})$	$Z(\text{m})$	$Q(\text{m}^3/\text{s})$	$\Delta Z(\text{m})$	$q$
1	5.72	4.11	3580	1.61	2450	17	5.50	4.88	2450	0.62	3590
2	6.00	4.13	4220	1.87	2560	18	6.38	5.08	4380	1.30	3550
3	5.74	4.14	3720	1.60	2550	19	6.38	5.08	4220	1.30	3420
4	5.98	4.26	4060	1.72	2630	20	6.40	5.14	4240	1.26	3520
5	5.66	4.38	3360	1.28	2760	21	6.42	5.22	4140	1.20	3580
6	5.98	4.42	4060	1.56	2840	22	6.44	5.28	4140	1.16	3680
7	5.99	4.46	4010	1.53	2850	23	6.48	5.40	4130	1.08	3880
8	5.69	4.46	3410	1.23	2890	24	6.46	5.51	3910	0.95	4070
9	5.38	4.46	2880	0.92	3080	25	6.48	5.66	3680	0.82	4310
10	5.99	4.49	4020	1.50	2910	26	6.53	5.78	3600	0.75	4530
11	5.69	4.50	3360	1.19	2920	27	6.53	5.84	3420	0.69	4600
12	6.00	4.53	3980	1.47	2920	28	6.31	5.90	2140	0.41	4370
13	5.70	4.53	3260	1.17	2880	29	6.54	5.94	3200	0.60	4820
14	6.00	4.58	4020	1.42	3040	30	6.38	6.12	1580	0.26	4640
15	6.01	4.63	3920	1.38	3030	31	6.42	6.18	1580	0.24	4950
16	5.48	4.73	2680	0.75	3370	32	6.52	6.24	1980	0.28	5480

注:  $Z_{\text{六闸}}$ 为六闸(三)水位,  $Z$ 为万福闸上游水位,  $q$ 为流量校正因素。

如图 2 所示。从图 2 中可看出, 万福闸淹没式堰流时, 上游水位与流量校正因素曲线关系点密集, 成带状分布, 均匀对称分布于趋势线两侧, 正偏和负

偏测点大致相等, 与趋势线吻合良好。

4.3 关系曲线检验与分析

率定水位流量关系曲线后, 需要对关系线是

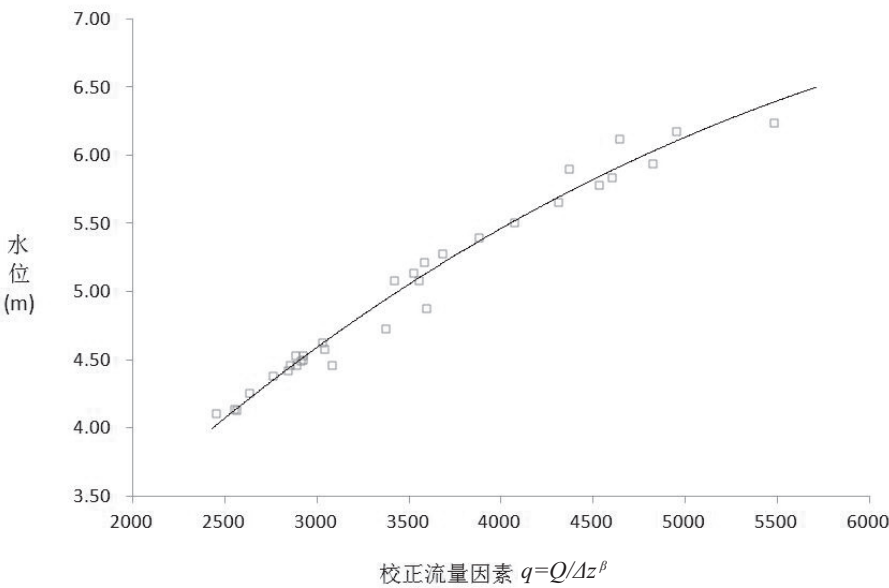


图 2 万福闸落差指数法  $Z \sim q$  关系曲线

否合理给出科学的判断,需要对关系线进行检验,即符号检验、适线检验和偏离检验。符号检验主要判断所定水位流量关系曲线两侧点数分配是否均衡合理;适线检验根据实测点偏离曲线正负号

的排列情况,判断定线有无明显系统偏离;偏离数值检验主要检验测点偏离关系曲线的平均偏离值是否在合理范围内。三种检验计算及成果见表 2 和表 3。

表 2 万福闸淹没式堰流三种检验计算表

序号	$Z$ (m)	校正流量因素 $q$	线上校正因素 $q_c$	$P_i$ (%)	$P_i^2$	$(P_i - \bar{P})^2$
1	4.11	2450	2530	-3.16	10.00	10.73
2	4.13	2560	2550	0.39	0.15	0.08
3	4.14	2550	2560	-0.39	0.15	0.25
4	4.26	2630	2670	-1.50	2.24	2.60
5	4.38	2760	2790	-1.08	1.16	1.41
6	4.42	2840	2830	0.35	0.12	0.06
7	4.46	2850	2870	-0.70	0.49	0.66
8	4.46	2890	2870	0.70	0.49	0.34
9	4.46	3080	2870	7.32	53.54	51.89
10	4.49	2910	2910	0.00	0.00	0.01
11	4.50	2920	2920	0.00	0.00	0.01
12	4.53	2920	2940	-0.68	0.46	0.63
13	4.53	2880	2950	-2.37	5.63	6.18
14	4.58	3040	2990	1.67	2.80	2.43
15	4.63	3030	3040	-0.33	0.11	0.20
16	4.73	3370	3150	6.98	48.78	47.20
17	4.88	3590	3300	8.79	77.23	75.24
18	5.08	3550	3530	0.57	0.32	0.21
19	5.08	3420	3530	-3.12	9.71	10.43
20	5.14	3520	3600	-2.22	4.94	5.46
21	5.22	3580	3690	-2.98	8.89	9.58
22	5.28	3680	3760	-2.13	4.53	5.02
23	5.40	3880	3920	-1.02	1.04	1.29
24	5.51	4070	4060	0.25	0.06	0.02
25	5.66	4310	4270	0.94	0.88	0.68
26	5.78	4530	4440	2.03	4.11	3.66
27	5.84	4600	4530	1.55	2.39	2.05
28	5.90	4370	4620	-5.41	29.28	30.52
29	5.94	4820	4680	2.99	8.95	8.28
30	6.12	4640	4980	-6.83	46.61	48.18
31	6.18	4950	5080	-2.56	6.55	7.14
32	6.24	5480	5190	5.59	31.22	29.97

注:  $Z$  为万福闸上游水位。

表 3 三种检验成果表

	显著性水平 $\alpha$	临界值	统计量	结果
符号检验	0.25	$\mu_{1-\alpha/2}=1.15$	$\mu=0.18$	$\mu < \mu_{1-\alpha/2}$ ，通过
适线检验	0.10	$\mu_{1-\alpha}=1.28$	$k > 0.5 (n-1)$	免检
偏离数值检验	0.20	$t_{1-\alpha/2}=1.31$	$t=0.19$	$t < t_{1-\alpha/2}$ ，通过

如表 3 所示，三种检验均能通过，表明率定的水位流量关系曲线正确，符合规范要求。

4.4 精度分析

万福闸主汛期淹没式堰流所率定的水位流量关系线成功地通过了三种检验，表明此关系曲线能够满足淹没式堰流流态下的流量推算，其平均相对偏离值即平均相对误差为 -0.1%。

根据系统标准差及随机不确定度公式：

$$S_e = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n P_i^2}$$
 (3)

$$X'_Q=2S_e$$
 (4)

式中：

$S_e$ —系统标准差；

$n$ —测次总数；

$P_i$ —相对误差；

$X'_Q$ —随机不确定度。

经过计算，系统标准差  $S_e$  为 3.48%，其随机不确定度  $X'_Q$  为 6.96%。

本次万福闸主汛期淹没式堰流水位流量关系曲线，经过随机不确定度的计算， $X'_Q$  小于 10%，达到了一类精度的指标。

5 结语

综上所述，采用落差指数法推求水闸淹没式堰流流量，定线精度可达到一类精度指标，完全满足规范要求，可以在沿江受潮汐影响的大型水闸中推广应用。应用落差指数法的关键就是最优  $\beta$  值的确定，最优  $\beta$  值又与落差密切相关，所以，在应用落差指数法时，水位落差参证站选择尤为重要，需要根据各测站特性、上下游水位站分布情况综合分析后确定。由于笔者只采用了 2016 年一年的实测资料进行分析，资料系列还不充分，代表性还不够强，分析的结果可能存在一定的局限性，需要继续加强实测资料的收集，并作进一步分析和检验。

参考文献：

[ 1 ] SL247-2012 水文资料整编规范 [ S ] .2012 .  
[ 2 ] 谢悦波 . 水文信息技术 [ M ] . 北京 : 中国水利水电出版社 , 2009 .  
[ 3 ] 林传真 , 周忠远 . 水文测验与查勘 [ M ] . 南京 : 河海大学出版社 , 1987 .  
[ 4 ] 李世镇 , 林传真 . 水文测验学 [ M ] . 南京 : 河海大学出版社 , 1998 .  
[ 5 ] 牛占 , 陈松生 , 余达征 , 等 . 水文勘测 [ M ] . 郑州 : 黄河水利出版社 , 2011 .

(责任编辑: 徐丽娜)