

感潮水闸引水量计算方法研究

万晓凌,陆小明,周毅,戈礼宾,仲兆林

(江苏省水文水资源勘测局,南京 210029)

摘要:感潮水闸引水量计算基本采用一潮推流法,但一潮推流法工作量很大,并不适合所有情形的水闸,特别是对于闸门变动较大的水闸,每年需重新校测,测验任务繁重,目前还没有较好的解决方法。以定波闸为例,研究了引水量计算的一种新方法,以水力学公式为基础,分析水位差流量关系,结果表明精度完全达到规范要求。为沿江水闸的引水量统计提供了一个比较精确的简易可行的方法,为精确掌握沿江引水量,实行最严格水资源管理制度提供基础数据。

关键词:感潮;引水量;流量;方法;研究

中图分类号:TV732

文献标志码:A

文章编号:1001-5485(2013)04-0017-04

江苏沿江口门有1 000多处,随着南水北调东线、引江济太等水利工程的运行,江苏长江沿岸通江河道工情变化很大,目前引江水量的计算与实际引江水量出入较大,已与当前的工情和经济社会情况不相适应,分析新时期引江水量的计算方法已迫在眉睫。有水文站的或有水位资料的感潮河道,基本采用一潮推流法,但一潮推流法每年引水需测20个潮次,一般一个潮次要测5 h左右,最长可达8~9 h,其工作量很大,测验任务繁重,特别对沿江中小闸一般难以做到全潮次引排,全潮测量较为困难,有效测验次数较少。另一方面,受到闸门开启高度和潮汐涨落影响,每年一潮推流法定线时点据分布很不均匀,而且每年水位差流量关系、参数都大不相同,因此很有必要研究稳定的适合感潮河道的定线推流方法^[1]。

1 影响因素分析

感潮河道的水位流量变化是受海洋潮汐的顶托影响。受天体引力特别是月球引力的作用,潮汐运动具有周期性,在江苏感潮河段的潮汐和潮流一般属于非正规的半日周期潮,在1个天文日内,有2次涨落过程,涨潮流历时短于落潮流历时,涨潮流与落潮流的最大流速出现在相应的高潮和低潮前,涨落潮转换之间有一段憩流期。

因此,从感潮河道的水流特性来说,引水流量决定于以下因素。①潮汐的强弱:涨潮流(引水)或落

潮流(排水)的潮流强度;②堰闸的调节控制:节制闸门的开启情况(如孔数、高度、频度);③开闸水位:主要反映内河水位的顶托作用;④暴雨:内河水网区受暴雨或洪水的影响;⑤下垫面:感潮河道自身的下垫面因素。

在保证精度的前提下,考虑内业、外业适当简化工作,并易于收集资料的情况下,分析水位差与流量关系。采用水力学模型与相关分析相结合的方法进行研究,找到流量与闸门上下游水位差、闸门开启度等因子的关系。在理论分析的基础上,根据实测数据,进行定线分析,得出新的简便易行的流量推算方法^[2]。

2 水位差流量关系

以定波闸为例分析新方法,定波闸位于锡澄运河与长江交接处,用来调节长江和运河水位。1970年时进行了全面的改造,扭直并且加宽了河道,重建了新闸,现有4孔,设计流量为240 m³/s,闸门结构为平面钢闸门,卷扬式启闭方式,定波闸对无锡北片区域的灌溉、排涝、通航、防洪等发挥着重要作用。

定波闸常出现的流态是淹没式孔流,根据《水文资料整编规范》(SL247—1999),淹没式孔流选用的计算公式为

$$Q = M_2 B e \sqrt{\Delta Z} \quad (1)$$

式中: Q 为过闸引水流量(m³/s); M_2 为淹没式孔流流量系数; B 为闸孔总宽或开启净宽(m); e 为闸

门开启高度(m); ΔZ 上下游水位差(m)。

关系方程式根据不同流态以水力学公式为基础用回归分析法拟合相应的关系方程式,采用水位差与流量建立关系。1个涨潮期从平潮开始引水至涨潮憩流止,期间每0.5 h测流1次,统计平潮时开闸水位作为稳定水位 $Z_{\text{开}}$,开始时间 T_1 ,该涨潮过程高潮水位 $Z_{\text{高}}$,关闸时间 T_2 ,水位差 $\Delta Z = Z_{\text{高}} - Z_{\text{开}}$,一潮历时 $T = T_2 - T_1$,用实测的各次流量面积包围法计算得一潮引水量 W ,一潮平均流量 $Q = W/T$ 。

引水的水位流量关系式为

$$Q = K(B \cdot e)^{\alpha} \Delta Z^{\beta} \quad (2)$$

式中: K 为系数; α 和 β 为指数。

采用水位差关系法,其优点如下:①建立 $\Delta Z - V$ (平均流速)关系,当 $\Delta Z = 0$ 时, V (平均流速) $= 0$,容易定型;②关系点不散乱,线型走向明显;③因受潮汐影响,潮水位变化较大,会发生流态变化,但都反映在 ΔZ 的变化上,具有相应性,因此,可以不分流态一并定线,减少工作量;④相关因素简单,便于推流整理与极值挑选;⑤同一类闸型的关系线其线型基本相同,可以综合分析,对不能满足定线要求的站可以参考分析确定关系线的外延。

对于单孔小闸,堰闸有统一的开启宽度,公式(2)可简化为

$$Q = K_1 e^{\alpha} \Delta Z^{\beta} + K_2 \quad (3)$$

如闸门开启高度每次基本不变,可进一步简化为

$$Q = K_1 \Delta Z^{\beta} + K_2 \quad (4)$$

实际率定时,也可分步:

(1) 求得平均流速,公式为

$$V = f(\Delta Z) \quad (5)$$

(2) 推求流量

$$Q = B \cdot e \cdot V \quad (6)$$

式中: V 为堰闸过水平均流速(m/s)。

3 定线分析

以定波闸的2010年的实测资料率定水位差流量关系为例,如果简单的直接分析水位差与流量可发现点据杂乱、无规律可循,通过多次调试,以水位差与闸门开高作为相关因子来率定关系。

人工不断调整指数 α, β ,以达到相关系数较大、点与关系线偏离较小,经反复调整,指数 α 取3.82, β 取0.20时关系较好,水位差流量关系定线分析计算如表1。通过计算,定波闸引水平均流量计算公式为

$$Q = 0.71 e^{3.82} \Delta Z^{0.20} - 1.22 \quad (7)$$

定波闸站引水平均流量定线见图1。可知,基本无系统偏差,只有一个点相对误差与关系线偏离超过10%,50%以上的点相对误差偏离不超5%。

对引水而言,在实际工作中我们更关注引水总量,20测次的实际引水总量为 $2\,528 \times 10^4 \text{ m}^3$,计算的引水总量为 $2\,538 \times 10^4 \text{ m}^3$,误差仅为0.4%(见表2)。

根据《水文资料整编规范》(SL247—1999)的要求,稳定的水位流量关系必须通过3项检验,即:符号检验、适线检验和偏离数值检验,具体计算见表3至表6。

表 1 水位差流量关系法定线分析
Table 1 Alignment analysis of waterhead-flow relation

日期	历时 $T/10^4 \text{ s}$	水位差 $\Delta Z/\text{m}$	闸门开高 e/m	一潮平均流量 $Q/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	一潮引水量 $W/10^4 \text{ m}^3$	相关因素 $e^{3.82} \Delta Z^{0.20}$	一潮平均流量线上值	
							$Q/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	相对误差/%
2010-05-20	1.926	1.13	3.7	111.0	213.5	151.7	106.5	-3.9
2010-05-21	1.950	1.01	3.7	98.7	192.4	148.4	104.1	5.5
2010-05-26	1.290	0.68	2.8	31.7	40.9	47.4	32.3	1.9
2010-05-27	1.302	0.99	3.9	130.0	169.3	180.7	127.1	-2.3
2010-09-09	1.092	1.67	3.5	89.1	97.3	132.4	93.0	4.4
2010-09-26	1.644	1.58	3.4	83.3	137.0	117.2	82.2	-1.4
2010-10-08	1.890	1.65	3.4	76.6	144.8	118.2	82.9	8.2
2010-10-09	2.040	1.61	3.5	94.9	193.5	131.4	92.3	-2.7
2010-10-11	1.758	1.33	3.5	96.5	169.6	126.6	88.8	-7.9
2010-10-12	1.800	1.21	3.4	76.2	137.1	111.3	77.9	2.2
2010-10-13	0.996	0.46	3.3	55.3	55.0	82.2	56.9	3.0
2010-10-13	1.290	0.73	2.8	35.9	46.3	48.0	32.8	-8.5
2010-10-21	1.710	1.08	3.9	131.0	224.3	183.8	129.3	-1.4
2010-10-22	1.770	1.18	3.9	123.0	217.8	187.0	131.7	7.0
2010-10-26	1.104	1.41	3.7	112.0	123.8	158.4	111.4	-0.7
2010-11-04	1.188	0.77	3.2	58.1	69.0	80.8	56.1	-3.4
2010-11-05	1.626	0.99	3.1	49.2	80.1	75.2	52.2	6.0
2010-11-08	1.530	1.29	3.3	75.2	115.1	100.5	70.2	-6.6
2010-11-09	1.278	0.78	3.1	44.0	56.2	71.8	49.7	13.0
2010-11-10	1.002	0.52	3.1	45.0	45.1	66.3	45.7	1.7

表 2 水位差流量关系法引水总量误差分析

Table 2 Relative errors of total diversion amount calculated by waterhead flow method							
日期	起讫时间	历时 /10 ⁴ s	一潮平均流量/(m ³ ·s ⁻¹)		一潮引水量/10 ⁴ m ³		相对误差/%
			实测值	计算值	实测值	计算值	
2010-05-20	6:22—11:43	1.926	111.0	106.5	213.5	205.2	-3.9
2010-05-21	7:26—12:51	1.950	98.7	104.1	192.4	203.1	5.5
2010-05-26	13:25—17:00	1.290	31.7	32.3	40.9	41.7	1.9
2010-05-27	14:02—17:39	1.302	130.0	127.1	169.3	165.5	-2.3
2010-09-09	14:40—17:42	1.092	89.1	93.0	97.3	101.6	4.4
2010-09-26	15:29—20:03	1.644	83.3	82.2	137.0	135.1	-1.4
2010-10-08	14:09—19:24	1.890	76.6	82.9	144.8	156.7	8.2
2010-10-09	14:50—20:30	2.040	94.9	92.3	193.5	188.3	-2.7
2010-10-10	16:10—21:03	1.758	96.5	88.8	169.6	156.1	-7.9
2010-10-12	16:40—21:40	1.800	76.2	77.9	137.1	140.1	2.2
2010-10-13	5:53—8:39	0.996	55.3	56.9	55.0	56.7	3.0
2010-10-13	17:32—21:07	1.290	35.9	32.8	46.3	42.3	-8.5
2010-10-21	13:09—17:54	1.710	131.0	129.3	224.3	221.2	-1.4
2010-10-22	13:35—18:30	1.770	123.0	131.7	217.8	233.1	7.0
2010-10-26	15:54—18:58	1.104	112.0	111.4	123.8	123.0	-0.7
2010-11-04	12:58—16:16	1.188	58.1	56.1	69.0	66.6	-3.4
2010-11-05	13:34—18:05	1.626	49.2	52.2	80.1	84.8	6.0
2010-11-08	15:19—19:34	1.530	75.2	70.2	115.1	107.5	-6.6
2010-11-09	16:17—19:50	1.278	44.0	49.7	56.2	63.5	13.0
2010-11-10	17:02—19:49	1.002	45.0	45.7	45.1	45.8	1.7
合计					2 528.1	2 537.9	0.4

表 3 定波闸关系线 3 项检验计算

Table 3 Calculation for sign test, curve-fitting test, and deviation value test of the relationship line for Dingbo sluice										
序号	测次	日期	相关因子	一潮平均流量/(m ³ ·s ⁻¹)		P _i /%	符号变换	P _i ²	P _i - \bar{P}	(P _i - \bar{P}) ²
				实测值	定线值					
1	3	2010-05-26	47.3	31.7	32.3	-2.0		4.0	-1.6	2.5
2	12	2010-10-13	48.0	35.9	32.8	9.4	1.0	87.7	9.8	95.5
3	20	2010-11-10	66.1	45.0	45.7	-1.6	1.0	2.4	-1.1	1.3
4	19	2010-11-09	71.7	44.0	49.7	-11.4	0.0	130.5	-11.0	121.4
5	17	2010-11-05	75.2	49.2	52.2	-5.7	0.0	32.2	-5.3	27.8
6	16	2010-11-04	80.7	58.1	56.1	3.6	1.0	12.8	4.0	15.9
7	11	2010-10-13	81.9	55.3	56.9	-2.9	1.0	8.2	-2.5	6.0
8	18	2010-11-08	100.7	75.2	70.2	7.1	1.0	49.7	7.5	55.6
9	10	2010-10-12	111.4	76.2	77.9	-2.1	1.0	4.5	-1.7	3.0
10	6	2010-09-26	117.5	83.3	82.2	1.3	1.0	1.8	1.8	3.1
11	7	2010-10-08	118.5	76.6	82.9	-7.6	1.0	58.1	-7.2	52.1
12	9	2010-10-11	126.8	96.5	88.8	8.7	1.0	75.1	9.1	82.3
13	8	2010-10-09	131.7	94.9	92.3	2.8	0.0	7.9	3.2	10.3
14	5	2010-09-09	132.7	89.1	93.0	-4.2	1.0	17.6	-3.8	14.3
15	2	2010-05-21	148.4	98.7	104.1	-5.2	0.0	27.2	-4.8	23.2
16	1	2010-05-20	151.8	111.0	106.5	4.2	1.0	17.6	4.6	21.2
17	15	2010-10-26	158.6	112.0	111.4	0.5	0.0	0.3	0.9	0.9
18	4	2010-05-27	180.7	130.0	127.1	2.3	0.0	5.3	2.7	7.3
19	13	2010-10-21	183.9	131.0	129.3	1.3	0.0	1.6	1.7	2.9
20	14	2010-10-22	187.2	123.0	131.7	-6.6	1.0	43.4	-6.2	38.2
均值						-0.4				
合计								588.0		584.7

注:P_i 为相对偏离值, \bar{P} 为平均偏离值。

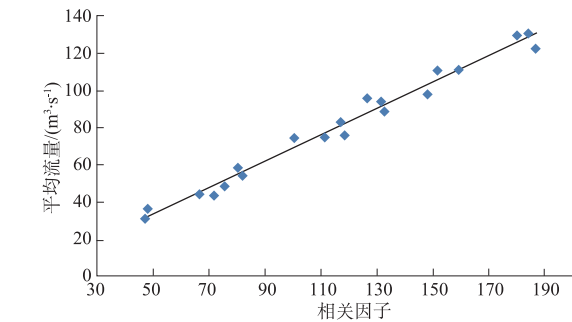


图 1 定波闸站引水平均流量定线图
Fig.1 Alignment diagram of average diverted flow at Dingbo sluice

表 4 定波闸关系线符号检验

Table 4 Results of sign test of the relationship line for Dingbo sluice			
项目	符号	数值	检验结论
测点总数	N	20	合理
正号或负号个数最小值	n ₁	10	
检验统计量	u	0.22	
显著性水平	α	0.25	
检验临界值(查表)	u _{1-α/2}	1.15	

经检验所定关系线合理,通过了 3 项检验,符合规范定线要求;整个曲线上、中、下点据分布均匀,无系统偏差,避免了一潮推流法定线时呈现底部点据

表 5 定波闸关系线适线检验

Table 5 Results of curve-fitting test on the relationship line for Dingbo sluice

项目	符号	数值	检验结论
测点总数	n	20	
正负符号变换次数	m	12	合理
检验统计量	u		$K > = 0.5(N - 1)$
显著性水平	α	0.10	不作该项检验
检验临界值(查表)	$u_{1-\alpha/2}$	1.28	

表 6 定波闸关系线偏离数值检验

Table 6 Results of deviation value test of the relationship line for Dingbo sluice

项目	符号	数值	检验结论
自由度	$K = n - 1$	19	
检验统计的绝对值	$ t $	0.33	合理
显著性水平	α	0.10	
检验临界值	$t_{1-\alpha/2}$	1.73	

密集、上部点据稀少的现象;用水位差作相关,不受闸门变化的影响,避免了因闸门开高观测误差带来的系统偏差。当然这是定波闸的水位差流量关系,目前的研究成果未必适合所有其它闸,还需要根据流态、工情、下垫面等因素,经多次摸索、计算与分析来确定是否适用,定线时特别要有高、中、低水位差的各种测点,来验证水位差流量关系曲线^[3-4]。

4 结 论

闸门开启开度在引水过程中随闸内外水位差的变化,要按设计的调度方案人为进行动态调节,一潮推流法难以适应水闸的具体调度情况。水位差关系法考虑了闸门的变化情况,反映了实际调度情况,同时,水位差流量关系以水力学公式为基础,进行相关分析,提高了平均流量的计算精度。很多小型闸无高程引测,不少使用的是冻结基面,水位差关系法没有使用绝对水位作为参数,使用了水位差,在实际使

用中提高了可操作性。一潮推流法因闸的变化,每年关系需重新率定,至少需要 20 次潮次的资料。水位差流量关系可将多年数据一起定线,比一潮推流法更加简化方便,从而可大大降低了野外的工作量,简化了繁重的测验任务。水位差关系法是方便可行且精度较高的一种方法。

参考文献:

[1] 仲兆林. 常州沿江感潮河道水文站水位流量关系综合定线分析[J]. 广东水电, 2009, (11): 33 - 35. (ZHONG Zhao-lin. Comprehensive Alignment Analysis on the Stage-Discharge Relation at Hydrological Station in Tided Channel along the River in Changzhou[J]. Guangdong Water Resources and Hydropower, 2009, (11): 33 - 35. (in Chinese))

[2] 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): 52 - 54. (WU Men-wu, CHEN Li, ZHOU Jia-yu. Analysis of Water Discharge Through Dahe Sluice[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2003, 36(5): 52 - 54. (in Chinese))

[3] 闻余华, 董家根, 宋玉. 江苏省江水东调工程引江能力分析[J]. 江苏水利, 2002, (2): 43 - 45. (WEN Yuhua, DONG Jia-gen, SONG Yu. Diversion Capacity of Water Diversion Towards the East in Jiangsu Province[J]. Jiangsu Water Resources, 2002, (2): 43 - 45. (in Chinese))

[4] 李旭东. 阜阳闸水文站浅孔水位流量关系分析[J]. 安徽水利水电职业技术学院学报, 2010, 10(4): 61 - 63. (LI Xu-dong. On the Analysis of the Relationship Between Water-Level and Flow of Fuyang Hydrologic Station[J]. Journal of Anhui Technical College of Water Resources and Hydroelectric Power, 2010, 10(4): 61 - 63. (in Chinese))

(编辑:赵卫兵)

Method of Calculating Water Diversion Amount of Tidal Sluice

WAN Xiao-ling, LU Xiao-ming, ZHOU Yi, GE Li-bin, ZHONG Zhao-lin
(Hydrology and Water Resources Investigation Bureau, Jiangsu Province, Nanjing 210029, China)

Abstract: The method of discharge computation for a single tide is generally adopted in the calculation of water diversion amount for tidal sluice. But the method requires long time and large work load. Especially for sluices with changing gates, the measurement and calibration are burdensome. With Dingbo sluice in Wuxi City as a research case, the authors proposed a novel method of calculating the water diversion amount which is based on hydraulic formula to analyze the waterhead-flow relation. Result shows that the calculation accuracy meets the specification requirements. The method is convenient, feasible, and accurate for the statistics of water diversion along the river, and could provide data for the most stringent water resource management regime.

Key words: tidal; water diversion amount; flow; method; research