

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20190064

# 大型水工建筑物流量测验方法探究

孙正兰

(江苏省江都水利工程管理处, 江苏 扬州 225200)

**摘要:**以江都水利枢纽大型水闸和泵站水工建筑物为例,依据多年流速仪实测资料,以系统误差和随机不确定度等指标分析各垂线平均流速推算断面流量的精度。结果表明:大型水闸和泵站的上下游河道断面稳定,均存在多条测速垂线,其平均流速与断面平均流速在高、中、低水期都有很好的相关关系。与断面平均流速相关性较高且推算断面流量精度较高的测速垂线,均位于测流断面主流区,即中水位时河道中部约 1/3 水面宽的区域。河道主流区中泓两侧相距较远的相关性较高的 2 条测速垂线,综合反映了全断面的水流状态、测站特性和水工建筑物运行控制的特点,其平均流速推算断面流量的精度远高于相关性较高的任意单垂线,且对水工建筑物在闸门低开启或开启高度不一致等工况下的出流,均可达到一类精度水文站的规范要求。分析成果具有较好的代表性,可供全国同类型水文站的流量测验精简分析借鉴和参考,为实现高精度的在线流量监测提供分析的依据。

**关键词:**大型水工建筑物;流量;单垂线简测法;双垂线简测法;精度分析

**中图分类号:**P332.4

**文献标识码:**A

**文章编号:**1000-0852(2020)03-0040-06

大型泵站和水闸大多分布于大江大河或流域性骨干河道,在防御洪涝旱灾、跨流域调水、改善水资源供给、保障工农业生产和生活用水、促进社会发展等方面发挥了不可估量的作用。江苏省 150 多个水文站中一半以上是堰闸站,在 20 世纪 90 年代提出了水工建筑物测流方法,由于自然地理条件、水流流态以及运行工况不同,已建水工建筑物的形式、结构、边界条件和水力条件等很难符合标准型式设计,因此利用水工建筑物测流难以满足规范精度。近年来,郭红丽等<sup>[1]</sup>针对断面稳定的河道站提出了与断面平均流速等效的垂线流速,王鸿杰等<sup>[2]</sup>提出的垂线平均流速分布模型和熊珊珊等<sup>[3]</sup>提出的二线能坡法,为大洪水期间抢测洪峰、水文应急监测等提供了很好的流量测验方法。

上述研究多从测验方法原理或以流量相对误差来分析流量监测方法的可行性,较少利用系统误差和随机不确定度等指标进行精度评定。大量的流量实测数据是对河势特点、监测环境和测站特性的综合反映,依据大量实测的流量资料得到的高精度测验方

法,应具有一定的代表性和广泛性。本文以大型水闸万福闸和金湾闸、大型泵站江都抽水站等水工建筑物为例,分析在闸坝控制和泵站控制情况下河道断面垂线流速与断面平均流速的关系,确定与断面平均流速相关性较高的测速垂线,对其平均流速推算的断面流量与实测流量进行误差分析和精度评定。在计算流量符合规范精度要求的测速垂线位置安装实时监测设备,可为实现高精度、高频次、不依赖于运行工况参数的流量在线监测创造条件。

## 1 工程概况

江都水利枢纽是南水北调东线的源头,也是江苏省江水北调源头和伟大治淮的重要节点控制工程。工程主要由 4 座大型电力抽水站、12 座大中型节制闸组成。在北方发生干旱时,4 座电力抽水站抽引长江水沿京杭大运河及其平行河道输水北送;当淮河发生洪水时,淮河入江水道经归江控制主要口门万福闸、太平闸、金湾闸等排泄 70%以上的洪水入江。枢纽自建成以

收稿日期:2019-03-10

基金项目:国家重点研发计划课题“非接触式流量在线监测技术与装备研发”(2017YFC0405703)

作者简介:孙正兰(1968-),女,江苏扬州人,高级工程师,主要从事水文测验及管理工作。E-mail:sunzhenglan@126.com

来,在防汛抗旱中发挥了巨大的社会效益。

仅万福闸、太平闸、金湾闸 3 闸即有 111 孔,闸孔净宽均为 6.0m;3 闸泄洪有淹没式孔流和淹没式堰流等流态;根据调度要求闸门有部分开启、开启高度不一致以及提出水面运行等工况。江都抽水站 4 座泵站共计 33 台立式轴流泵,4 座泵站的设计扬程和效能曲线均不相同。水闸闸孔数量多,泵站机组台数多,常年运行,调度频繁,运行工况复杂。依据运行工况参数进行在线监测,常因闸位计和电功率等仪表的维护难度较大,很难保证运行工况参数采集的可靠性,流量精度达不到规范要求。

万福闸、江都抽水站等大型水工建筑物自工程建成即设有国家重要水文站,均为一类测验精度的大河流量控制站。

## 2 数据与方法

### 2.1 资料情况

江都水利枢纽水工建筑物的上下游河道多为人工开挖或整治,河道多顺直,无大的浅滩、回流、串沟、死水等现象,断面稳定,不同水位级下的测深、测速垂线位置相对固定。泵站和水闸的上游河道水位日变化较小,下游为感潮河段,因位于潮流界末端<sup>[6]</sup>,受到长江潮汐涨落影响但不显著,各站水位流量关系线多为单一线。建站初期,各站为满足率定水位流量关系线的需要,在工程运行期间进行了各种工况的流量实测,在水位流量关系曲线稳定后,通常在特殊水情和逢零、逢五年份实施校测。因此,各站积累了大量流速仪实测的断面垂线流速资料。文中分析的断面数据和流量测次均源于《水文年鉴》刊印资料,相应垂线流速资料摘自江苏省水文水资源勘测局资料库。

### 2.2 分析方法

建立各站测流断面垂线平均流速与断面平均流速的相关关系,利用皮尔逊乘积矩系数公式计算其确定性系数  $r^2$ ,  $r^2 \in [0, 1]$ 。确定性系数的大小反映趋势线的估计值与对应实测数据之间的拟合程度。 $r^2 \rightarrow 1$ ,表示拟合越好,趋势线的可靠性越高; $r^2 \rightarrow 0$ ,表示拟合越差,趋势线的可靠性越低。对确定性系数较高的单垂线、双垂线,用其平均流速推算流量,与断面实测流量进行误差比较和精度评定。在满足规范精度的前提下,用尽可能少的垂线测流,可以减少测量工作量、节约人力物力、缩短测流时间、提高工作效率。

确定性系数  $r^2$  的计算公式为:

$$r^2 = \frac{\left( \sum_{i=1}^n (U_i - \bar{U})(V_i - \bar{V}) \right)^2}{\sum_{i=1}^n (U_i - \bar{U})^2 \sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2} \quad (1)$$

式中: $U_i$ 、 $\bar{U}$ 分别为单垂线或双垂线平均流速及其历年平均值; $V_i$ 、 $\bar{V}$ 分别为实测断面平均流速及其历年平均值。

### 2.3 精度评定

为直观判断垂线平均流速推求流量的误差,以累积频率 75%以上的误差不超过 4%、累积频率 95%以上的误差不超过 8%进行分析比较。

流量计算精度以系统误差和置信水平 95%的随机不确定度为评定指标<sup>[9]</sup>。当实测点与趋势关系线无明显系统偏离时,系统误差可采用实测点对关系线相对误差的平均值。

系统误差计算公式:

$$x = \sum_{i=1}^n x_i / n \quad (2)$$

式中: $x_i$ 为相对误差,%; $n$ 为实测流量的总数。

相对误差计算公式:

$$x_i = \frac{Q_{\text{实测}} - Q_{\text{线}}}{Q_{\text{线}}} \times 100\% \quad (3)$$

式中: $Q_{\text{实测}}$ 为实测的断面流量, $\text{m}^3/\text{s}$ ; $Q_{\text{线}}$ 为由单垂线或双垂线平均流速依据拟合趋势线计算得到的断面流量, $\text{m}^3/\text{s}$ 。

随机不确定度为 2 倍的标准差,即:

$$X'_0 = 2S_e \quad (4)$$

式中: $X'_0$ 为 95%置信水平的随机不确定度,%; $S_e$ 为实测点标准差,%。

标准差计算公式:

$$S_e = \left[ \frac{1}{n-2} \sum \left( \frac{Q_{\text{实测}} - Q_{\text{线}}}{Q_{\text{线}}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

一类精度水文站单一曲线法的系统误差在  $\pm 1\%$  内,95%置信水平的随机不确定度  $\leq 8\%$ ;水力因素法的系统误差在  $\pm 2\%$  内,95%置信水平的随机不确定度  $\leq 10\%$ 。

## 3 结果与分析

### 3.1 断面稳定性分析

对万福闸站 1970~2015 年、金湾闸站 1980~2015 年、江都抽水站 1985~2015 年期间逢零、逢五年份河道实测大断面计算历年面积变化(见图 1),结果为:万福闸站在 8.0m 高程时为  $-1.6\% \sim 1.2\%$ ,金湾闸站在

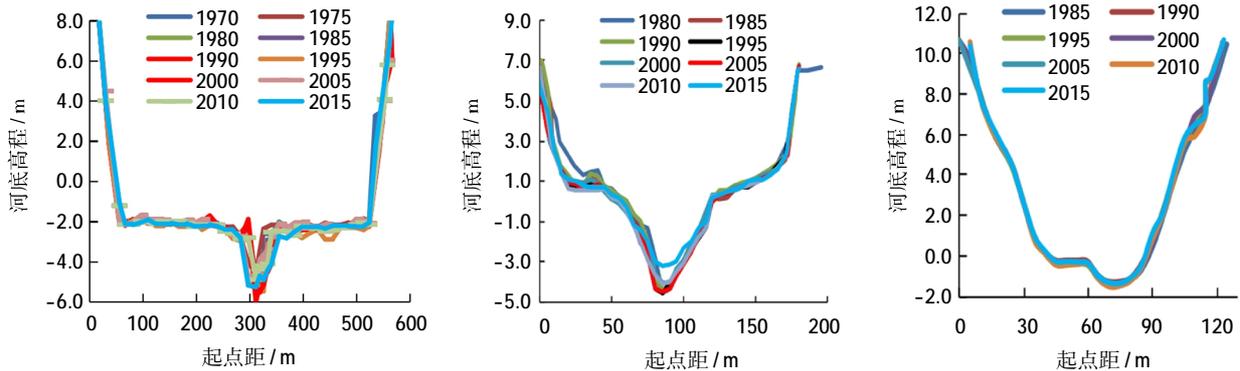


图1 1970~2015年万福闸站、1980~2015年金湾闸站、1985~2015年江都抽水站实测大断面

Fig.1 The observed cross-sections of the Wanfu sluice station during 1970~2015, Jinwan sluice station during 1980~2015 and Jiangu pumping station during 1985~2015

7.0m 高程时为-2.5%~1.9%，江都抽水站在 8.6m 高程时为-2.0%~1.8%，各站多年面积变化均小于 3%。可见，多年来各站大断面基本保持稳定，冲淤变化很小，不会对流量测验精度产生影响。

3 站河道大断面多为规则的复式断面，除了在河底地形或测点流速沿河宽分布有较明显变化处布设测速垂线，断面垂线多为均匀布设。

### 3.2 确定性系数

各站流速仪实测资料为：万福闸站为 1970~2003 年 591 次，金湾闸站为 1977~2006 年 413 次，两站均为超过 85% 的闸孔数在小开启高度、不同开启高度或提出水面运行等工况下的泄洪流量测次；江都抽水站 1977~2006 年共 445 次，包括一、二、三、四站在不同组合工况下的抽水流量测次。

由于水位、流量均受人控制和工程调节，年内、年际变化较大，水位分级采用年特征值法和典型年法划分均不合理，参照水库下游水文站水位分级方法<sup>[6]</sup>，即采用水位变幅法分级，比较符合测站实际情况。

从表 1 可见，各站河道主流区测速垂线的确定性系数均高于近岸边的测速垂线，表明河道主流区的流

表1 各站垂线平均流速与断面平均流速的确定性系数

Table1 The deterministic coefficients of the mean vertical velocity and at the cross sections of various stations

序号	万福闸		金湾闸		江都抽水站	
	起点距 /m	确定性系数	起点距 /m	确定性系数	起点距 /m	确定性系数
1	56	0.961	25	0.858	30	0.978
2	124	0.973	45	0.944	40	0.991
3	196	0.982	65	0.991	50	0.996
4	268	0.994	85	0.988	60	0.996
5	340	0.971	105	0.979	70	0.993
6	412	0.984	120	0.986	80	0.993
7	484	0.971	140	0.986	90	0.984
8	523	0.946	160	0.975	100	0.951

速相对均匀、平顺、稳定。万福闸站断面垂线的确定性系数沿河宽分布与金湾闸基本一致，位于主流区临近深槽边界处的测速垂线，其确定性系数略偏小；江都抽水站断面主流区的测速垂线确定性系数均在 0.98 以上，表明河底高程变化较小的过流断面，其流速分布相对均匀稳定，测速垂线的确定性系数相应也较高。

图 2 为各站历年垂线平均流速的均值沿河宽的

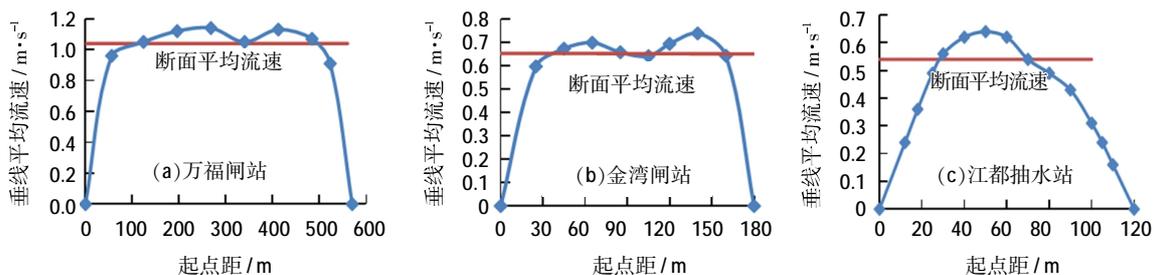


图2 万福闸站、金湾闸站、江都抽水站宽浅河道垂线平均流速沿河宽分布

Fig.2 The distribution of the mean vertical velocity in wide and shallow river channels along river widths at Wanfu sluice station, Jinwan sluice station and Jiangu pumping station

分布图。3站垂线平均流速沿河宽的变化情况与确定性系数一致,即万福闸与金湾闸站位于主流区临近深槽边界处的测速垂线,其确定性系数和平均流速均略偏小,而抽水站测速垂线的确定性系数和平均流速沿河宽均平缓变化。万福闸与金湾闸站测验河段具有深槽复式河道的特点<sup>[7]</sup>,水流在深槽和滩地交界处发生相互掺混、阻滞作用,降低了过水能力,使得流速相对较小;因交界处流速分布相对不均匀不稳定,垂线平均流速与断面平均流速的确定性系数相应略偏小。垂线平均流速和确定性系数沿河宽的分布情况,真实反映了测站特性、河势特点对水流的影响。

将流量测点按水位级进行分类,对各站确定性系数在0.96以上的测速垂线,分别计算在高、中、低水位下垂线平均流速与断面平均流速的确定性系数 $r^2$ ,分析在不同水位级下 $r^2$ 的分布情况,结果见表2~4。结果表明,垂线的确定性系数越高,在高、中、低水位下的确定性系数相应也高。

表2 万福闸站单垂线简测法计算断面流量精度分析  
Table2 The accuracy analysis of cross-section discharge calculated by single vertical simple test method at the Wanfu sluice station

起点距 /m	确定性系数			相对误差符合测次占百分比 /%		系统误差 /%	随机不确定度 /%	综合精度最高的垂线
	高	中	低	≤4%	≤8%			
124	0.993	0.974	0.975	57	78	0.6	16.6	
196	0.995	0.986	0.980	68	86	0.7	16.8	
268	0.993	0.990	0.990	73	93	-0.1	8.5	√
340	0.973	0.970	0.971	53	76	-0.1	15.7	
412	0.989	0.983	0.980	66	82	0.2	13.5	
484	0.986	0.966	0.965	49	71	-0.1	18.3	

表3 金湾闸站单垂线简测法计算断面流量精度分析  
Table3 The accuracy analysis of cross-section discharge calculated by single vertical simple test method at the Jinwan sluice station

起点距 /m	确定性系数			相对误差符合测次占百分比 /%		系统误差 /%	随机不确定度 /%	综合精度最高的垂线
	高	中	低	≤4%	≤8%			
65	0.992	0.990	0.990	69	100	0.0	9.5	
85	0.990	0.990	0.984	75	97	-0.1	7.7	√
105	0.988	0.987	0.967	59	92	0.2	11.0	
120	0.978	0.989	0.980	68	96	0.2	9.5	
140	0.992	0.987	0.981	70	93	0.2	10.2	
160	0.972	0.975	0.974	59	84	0.2	14.3	

表4 江都抽水站单垂线简测法计算断面流量精度分析  
Table4 The accuracy analysis of cross-section discharge calculated by single vertical simple test method at the Jiangdu pumping station

起点距 /m	确定性系数			相对误差符合测次占百分比 /%		系统误差 /%	随机不确定度 /%	综合精度最高的垂线
	高	中	低	≤4%	≤8%			
30	0.969	0.978	0.983	41	62	2.0	29.2	
40	0.978	0.991	0.991	51	81	1.2	15.6	
50	0.992	0.995	0.996	67	97	0.3	8.8	√
60	0.991	0.994	0.996	68	95	0.4	8.3	√
70	0.991	0.992	0.993	59	86	-0.2	12.5	
80	0.988	0.993	0.992	56	82	-0.2	16.8	
90	0.983	0.985	0.984	49	73	-0.1	30.1	

由表2~3可知,万福闸和金湾闸堰闸站在高水位时的确定性系数普遍略高于中、低水位,万福闸和金湾闸的下游为感潮河段,潮水涨落对流速有一定影响,相对于中、低水位,在高水位行洪时,水流流速分布比较均匀。由表4可见,抽水站在高、中、低水位时垂线的确定性系数较高且接近一致,表明抽水站输水时,河道断面垂向的水流流速分布相对均匀稳定。

### 3.3 精度比较

对万福闸站1970~2003年591次、金湾闸站1977~2006年413次、江都抽水站1977~2006年445次实测流量,按高、中、低水位时垂线平均流速与断面平均流速的趋势关系线,分别推求断面流量,进行精度评定。

#### 3.3.1 单垂线推求断面流量

由表2~4计算结果可知,3站推求断面流量精度较高的垂线,均位于河道主流区,即中水位时河道中部约1/3水面宽的区域;综合精度最高的单垂线,均位于河道主流区中泓附近。如万福闸起点距为268m的垂线和金湾闸起点距为85m的垂线,其73%以上的测次相对误差≤4%,93%以上的测次相对误差≤8%,系统误差均小于1%,随机不确定度均小于10%,基本达到一类精度水文站的规范要求。

江都抽水站河道主流区的各垂线平均流速推求断面流量的精度,均略低于万福闸和金湾闸站。如主流区中泓起点距50m或60m的垂线为全断面综合精度最高,相对误差≤4%的测次只有67%左右,相对误差≤8%的测次为95%以上,系统误差小于1%,随机不确定度小于10%,基本满足一类精度水文站的规范要求。

结合图2垂线平均流速沿河宽分布图可知,3站

与断面平均流速相近的垂线,如万福闸站起点距为124m、340m和484m的垂线、金湾闸站起点距为45m和160m的垂线、江都抽水站起点距为30m和70m的垂线,其平均流速计算断面流量的精度均低于河道主流区的中泓垂线。

### 3.3.2 双垂线推求断面流量

对主流区双垂线进行推流精度分析,计算结果见表5~7。3站均有多组双垂线,其平均流速计算断面流量的精度远高于断面中任意单垂线,且推流精度均达到或高于一类精度水文站的要求。万福闸和金湾闸站均有两组或以上的双垂线,其75%以上的测次相对误差 $\leq 4\%$ ,96%以上的测次相对误差 $\leq 8\%$ ,系统误差均小于1%,随机不确定度均 $\leq 7.7\%$ 。

江都抽水站双垂线平均流速计算断面流量的精度仍略小于万福闸站和金湾闸站,但仍有多组双垂线,其75%以上的测次相对误差 $\leq 4\%$ ,96%以上的测次相对误差 $\leq 8\%$ ,系统误差均小于1%,随机不确定度均 $\leq 8\%$ ,各项指标均满足一类精度水文站的规范要求。

尽管江都抽水站河道主流区的测速垂线,其确定性系数略高于万福闸和金湾闸站,但其垂线平均流速计算断面流量的精度,不管是单垂线还是双垂线,都略

低于万福闸和金湾闸站。分析是万福闸和金湾闸站的断面平均流速均比抽水站大,同样的流速紊动强度,抽水站较小的断面平均流速引起的误差相对较大、精度略低。

由表5~7分析结果可知,一定误差限度要求的累积频率越大,系统误差和95%置信水平的随机不确定度等指标值相应越小,表明衡量推流精度的指标具有一致性。结合图1可知,3站推流综合精度最高的双垂线,均为中水位时断面主流区中泓两侧相距较远的2条相关性较高的测速垂线,其综合反映了全断面的水流状态、测站特性和水工建筑物运行控制的特点。

## 4 结论

测站特性、河势特点及其工程控制等因素决定了断面上不同垂线推求断面流量的精度。河道主流区测速垂线的确定性系数越高,垂线平均流速计算断面流量的精度相应也越高;推求断面流量精度最高的单垂线位于河道主流区中泓附近;河道主流区中泓两侧相距较远的相关性较高的双垂线,其计算断面流量的精度远高于断面中任意单垂线,且推流精度均达到或高于一类精度水文站的规范要求。

表5 万福闸站双垂线简测法计算断面流量精度分析

Table5 The accuracy analysis of cross-section discharge calculated by double vertical simple test method at the Wanfu sluice station

双垂线 起点距	相对误差符合 测次占百分比/%		系统 误差 /%	随机 不确 定度/%	综合 精度 最高的 垂线
	$\leq 4\%$	$\leq 8\%$			
124+196	63	91	0.4	15.7	
124+268	72	95	0.0	8.9	
124+340	65	91	-0.2	9.4	
124+412	76	96	-0.1	7.7	√
124+484	71	92	-0.3	9.8	
196+268	74	95	0.1	9.7	
196+340	70	94	-0.2	8.7	
196+412	75	96	0.0	7.6	√
196+484	68	93	-0.2	10.9	
268+340	71	96	-0.4	8.7	
268+412	74	95	-0.2	8.0	
268+484	64	94	-0.4	10.3	
340+412	62	89	0.9	10.5	
340+484	57	91	-0.3	12.3	
412+484	58	86	-0.5	13.2	

表6 金湾闸站双垂线简测法计算断面流量精度分析

Table6 The accuracy analysis of cross-section discharge calculated by double vertical simple test method at the Jinwan sluice station

双垂线 起点距	相对误差符合 测次占百分比/%		系统 误差 /%	随机 不确 定度/%	综合 精度 最高的 垂线
	$\leq 4\%$	$\leq 8\%$			
65+85	81	98	-0.1	7.8	√
65+105	78	98	0.0	7.7	√
65+120	82	99	0.0	7.0	√
65+140	81	99	0.0	7.2	√
65+160	76	96	-0.1	8.3	
85+105	71	94	-0.1	9.2	
85+120	79	97	-0.1	8.2	
85+140	81	98	-0.1	7.6	
85+160	70	93	-0.2	9.5	
105+120	69	96	0.1	9.0	
105+140	70	96	0.0	8.9	
105+160	64	91	0.0	10.4	
120+140	66	93	0.1	9.7	
120+160	67	92	0.0	10.6	
140+160	62	87	0.1	11.8	

表7 江都抽水站双垂线筒测法计算断面流量精度分析  
Table7 The accuracy analysis of cross-section discharge calculated by double vertical simple test method at the Jiangdu pumping station

双垂线 起点距	相对误差符合 测次占百分比/%		系统 误差 /%	随机 不确 定度/%	综合 精度 最高的 垂线
	≤4%	≤8%			
30+40	42	64	1	21.0	
30+50	59	83	0.1	13.3	
30+60	62	81	0.1	12.8	
30+70	65	91	-0.5	11.0	
30+80	66	88	-0.6	12.0	
30+90	53	76	-0.7	18.5	
40+50	68	92	0.2	10.1	
40+60	76	95	0.2	8.1	
40+70	75	97	-0.3	7.9	√
40+80	77	96	-0.5	8.0	√
40+90	67	88	-0.8	11.9	
50+60	78	96	0	8.3	
50+70	75	95	-0.5	8.3	
50+80	75	92	-0.6	8.4	
50+90	70	90	-1	10.5	
60+70	66	93	0.3	10.2	
60+80	70	94	-0.6	8.9	
60+90	68	90	-0.9	11.1	
70+80	60	85	-0.7	12.8	
70+90	61	82	-1.2	13.6	

水文测验中,流量测验是一项重要的工作。本文提出单垂线筒测法、双垂线筒测法,在满足规范精度的要求下,用较少的测速垂线推算断面流量,对减轻测站负担、缩短测流历时、提高测流效率,对应急监测甚至实现流量在线监测,都具有重要的现实意义。

## Study on Flow Measurement Method for Large-scale Hydraulic Structures

SUN Zhenglan

(Jiangdu Water Control Project Administrative Office of Jiangsu Province, Yangzhou 225200, China)

**Abstract:** Taking the hydraulic structures of large sluices and pumping stations of Jiangdu Water Control Project as examples, according to the observed data over the years, this paper analyzed the vertical and average velocity to calculate the flow accuracy of the sections based on the system error and random uncertainty. The results show that the upstream and downstream river sections of large sluices and pumping stations are stable, and the average velocities of many vertical lines have good correlation with that of the sections in high, middle and low water periods. The vertical line of high correlation with the average velocity of cross-section and high accuracy in estimating the discharge of cross-section is located in the main stream area of the cross-section that about 1/3 width of the water surface in the middle of the channel during the middle water level. In the main stream area, two velocity vertical lines with relatively high correlation are far apart from each other. For estimation of cross-section discharge, accuracy of double vertical mean velocity is much higher than that of any single vertical lines. The discharge of hydraulic structures under conditions of low gate opening height or inconsistent gate opening height can achieve high accuracy that meets the requirements of on-line flow monitoring specifications.

**Key words:** large-scale hydraulic structure; flow; single vertical line measurement method; double vertical simple test method; accuracy analysis

## 参考文献:

- [1] 郭红丽,谢悦波,胡健伟,等. 水文站在线流量测验方法初探[J]. 水文, 2018,38(1):41-45. (GUO Hongli, XIE Yuebo, HU Jianwei, et al. Discussion on online discharge measurement method for hydrometry station [J]. Journal of China Hydrology, 2018,38(1):41-45. (in Chinese))
- [2] 王鸿杰,贺旭东. 垂线平均流速分布模型原理及在淮河上的应用[A]. 全国水文监测新技术应用学术研讨会论文集 [C]. 河南省水文水资源局, 2015:126-132. (WANG Hongjie, HE Xudong. Principle of vertical average velocity distribution model and its application in Huaihe River [A]. Papers Porceedings of the Academic Symposium on the Application of New Technologies in Hydrological Monitoring [C]. Henan Provincial Bureau of Hydrology and Water Resources, 2015:126-132. (in Chinese))
- [3] 熊珊珊,潘卉,王光磊. 二线能坡法流量测验方法探讨 [J]. 水文, 2015,35(6):87-89. (XIONG Shanshan, PAN Hui, WANG Guanglei. Discussion on flow test by two line energy gradient method [J]. Journal of China Hydrology, 2015,35(6):87-89. (in Chinese))
- [4] 徐汉兴,樊连法,顾明杰. 对长江潮区界与潮流界的研究[J]. 水运工程, 2012,(6):15-20. (XU Hanxing, FAN Lianfa, GU Mingjie. On tidal mark and tidal current mark in the Yangtze River [J]. Port and Waterway Engineering, 2012,(6):15-20. (in Chinese))
- [5] SL247-2012, 水文资料整编规范 [S]. (SL247-2012, Code for Hydrologic Data Processing [S]. (in Chinese))
- [6] 魏国峰. 关于测流断面水位级划分方法的探讨 [J]. 水文, 2000,20(3):36-37. (WEI Guofeng. Study on the classification method of water level grade at flow measuring cross-section [J]. Journal of China Hydrology, 2000,20(3):36-37. (in Chinese))
- [7] 吴迪,孙可明,郭维东. 复式交汇河道水流紊动特性分析[J]. 沈阳农业大学学报, 2009,40(1):76-79. (WU Di, SUN Keming, GUO Weidong. Turbulent characteristics of water flow at junction of compound channel [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2009,40(1):76-79. (in Chinese))