

宝应抽水站抗旱调水时三阳河 输水流量率定分析

孙正兰, 王 成, 李江艳, 王 江, 沙 慧

(江苏省江都水利工程管理处, 江苏 扬州 225200)

摘要:根据 2013 年、2017 年和 2019 年宝应抽水站抗旱运行期间实测的三阳河输水流量资料, 针对宜陵闸不同的控制工况分别进行了水位流量关系分析。结果表明: 江都东闸下游与宜陵闸上游水位差和三阳河输水流量具有较好的相应性, 水位流量点据定线精度均达到三类精度以上。对三阳河输水流量的定量分析, 可为宝应抽水站在设计工况下高效安全运行提供技术参考, 对抽引江水北送、充分发挥泵站经济社会效益具有现实意义。

关键词:水位流量关系; 率定分析; 流量占比

中图分类号: TV123

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839(2020)06-0040-05

Analysis on the flow rate of the Sanyang River during pumping for drought resistance in the Baoying Station

SUN Zhenglan, WANG Cheng, LI Jiangyan, WANG Jiang, SHA Hui

(Jiangdu Water Conservancy Project Management Office, Yangzhou 225200, China)

Abstract: According to the measured water flow data of the Sanyang River during the drought resistant operation of the Baoying Pumping Station in 2013, 2017 and 2019, the stage - discharge relationship were analyzed for different control conditions of the Yiling Gate. The results showed that the water level difference between the lower reaches of Jiangdu east sluice gate and the upper reaches of Yiling sluice gate had a good correspondence with the water flow of Sanyang River, and the accuracy of the water level and flow points according to the alignment was more than three types of accuracy. The quantitative analysis of the flow rate of Sanyang River could provide a technical reference for the efficient and safe operation of Baoying pumping station under the design condition, and it's of practical significance for the pumping station to pump water from the Yangtze River to the north and give full play to the economic and social benefits.

Key words: stage - discharge relationship; calibration analysis; flow occupies compared

1 工程概况

为了满足南水北调东线一期工程抽引江水北送达到 $500 \text{ m}^3/\text{s}$ 的规划要求, 宝应抽水站 (以下简称宝应站) 于 2003 年 9 月开工建设, 2005 年 10 月竣工投入运行, 设计流量 $100 \text{ m}^3/\text{s}$, 设计扬程 7.6 m,

配套电机功率 3 400 kW, 总装机容量 13 600 kW; 与江都 4 座泵站共同组成南水北调东线第一级抽水站。南水北调东线各工程相对位置见图 1。

宝应站位于江苏省宝应县汜水镇境内, 上游为里运河 (京杭大运河江苏段), 下游为里下河地区的潼河。长江水通过江都西闸、江都东闸引入新通扬

收稿日期: 2019-12-25

作者简介: 孙正兰 (1968—), 女, 高级工程师, 主要从事水文测验及水资源管理工作。E-mail: sunzhenglan@126.com

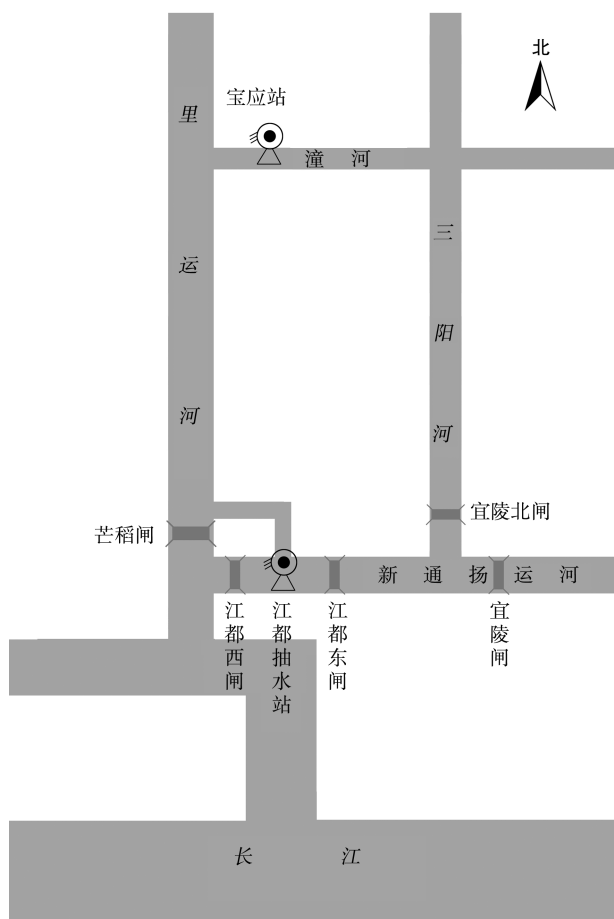


图1 南水北调东线各工程位置示意

运河,在江都东闸下游 11 km 处有三阳河分叉河道将新通扬运河长江水引入潼河供宝应站抽引江水北送。距离分叉处 500 m 的三阳河上有宜陵北闸 1 座,建于 1975 年 9 月,主要作用是防止新通扬运河高水侵入三阳河两岸大片低田,干旱时可控制引长江水北调灌溉和冲淤,洪涝时又是三阳河及周边地区排涝的主要通道,现已成为南水北调东线水源工程之一宝应站输水的控制工程。距离分叉处下游 450 m 的新通扬运河上有宜陵闸 1 座,建于 1963 年 7 月,主要作用是解决新通扬运河高低地之间的引、排水矛盾,并可与宜陵北闸配合使用选择引、排新通扬运河或三阳河水流^[1]。

江都东闸既是南水北调宝应站调水的源头,也是长江水自流东引里下河腹部地区的重要口门。江都东闸水文站为国家重要水文站,水位流量关系曲线定线精度为一类^[2]。宜陵闸、宜陵北闸在工程建成投入运行时均设有水文站,后因上述 3 座控制性水闸区间面积小,水流受工程频繁控制、流速流向流态波动不稳定,尤其是宜陵闸、宜陵北闸上下游经常处于小水位差状态,给推流精度带来较大影

响^[3],导致区间水量不平衡而被降级或撤销。宜陵北闸水文站于 1980 年降级为水位站,1997 年 5 月撤销;宜陵闸水文站于 1999 年降级为水位站,观测至今。

在宜陵闸向东约 35 km,2002 年建成投入运行的泰州引江河高港枢纽,提高了向里下河和通南地区的灌排标准,也使得淮北地区旱情严重时江都东闸的引水量能充分保证宝应站最大能力抽引江水北送,为提高泵站效能、最大程度发挥泵站经济社会效益奠定了基础。近年来,由于宝应站运行管理的需要,江苏省防指经常要求临时性巡测三阳河实时水情。本文根据宝应站近年来抗旱运行期间在三阳河实测的流量资料,分析针对宜陵闸不同控制工况、三阳河无任何水文设施情况下宜陵北闸下游断面的水位流量关系,旨在为掌握三阳河水流情势、更好地服务于宝应站运行管理提供技术依据。

2 流量监测与率定

2.1 流量施测

宝应站抽水北送抗旱时,宜陵北闸闸门均提出水面运行,宜陵闸根据三阳河水情需要进行控制。在 2013 年、2017 年和 2019 年苏北地区旱情较严峻期间,为测试三阳河输水流量是否满足宝应站最大能力抽引江水北送,按江苏省防指要求,江都水利工程管理处水文站在三阳河上顺直稳定河段、距离宜陵北闸约 500 m 的下游设置测流断面^[4],用声学多普勒流速仪(简称 ADCP)监测河道流量。每测次流量均按规范要求为至少连续 2 个半测回流量的平均值^[5],多数测次为连续 4 个半测回流量的平均值,共实测稳定流量 82 次,其中宜陵闸闸门开高 2.0 m 及以上时 53 次,闸门开高 0.7 ~ 1.0 m 时 29 次。宜陵北闸下游流量实测及分流比情况见表 1。

为了计算宜陵北闸下游断面流量占江都东闸总口门引水流量的分流比,根据江都东闸与宜陵闸上、下游水位过程线推求水流传播时间,平均约为 30 min^[6],即采用宜陵北闸流量实测时间提前 30 min 的江都东闸流量和宜陵北闸断面流量计算。2013 年 5 月 11 ~ 31 日,宜陵闸 13 孔闸门全部出水,江都东闸下游与宜陵闸上游水位差较小,变幅为 0.03 ~ 0.14 m,相应流量变幅为 71.2 ~ 146 m³/s,宜陵北闸分流江都东闸引水流量为 46% ~ 69%,平均分流 56%。2017 年 6 月 16 至 24 日和 2019 年 7 月 19 ~ 21 日,宜陵闸 13 孔闸门开高以 2.0 m 控制,江都东闸下游与宜陵闸上游水位

表 1 实测宜陵北闸下游流量及分流比

测流时间 (年.月.日)	实测 流量次数	水位差变幅/ m	流量变幅/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	宜陵闸闸门 控制状态	宜陵北闸占江都东闸流量比值/%			
					分段平均	分段变幅	总平均	总变幅
2013-05-09—05-31	27	0.03 ~ 0.14	71.2 ~ 146	出水	56	46 ~ 69		
2017-06-16—06-24	18	0.13 ~ 0.33	141 ~ 294	开高 2.0m			58	46 ~ 78
2019-07-19—07-21	8	0.16 ~ 0.19	184 ~ 220		61	51 ~ 78		
2019-07-22—07-23	3	0.13 ~ 0.20	254 ~ 256	开高 1.0m	71	71 ~ 72		
2019-07-23—07-28	17	0.10 ~ 0.29	171 ~ 300	开高 0.7m			89	71 ~ 100
2019-11-20—11-22	9	0.03 ~ 0.19	129 ~ 216	开高 0.7m	91	75 ~ 100		

差较大,变幅为 0.13 ~ 0.33 m,相应流量变幅为 141 ~ 294 m^3/s ,宜陵北闸分流为 51% ~ 78%, 平均分流 61%。2019 年 7 月 22 至 23 日,宜陵闸 13 孔闸门较短时间以开高 1.0 m 控制,仅施测流量 3 次,水位差变化较小,为 0.16 ~ 0.19 m,相应流量平均为 255 m^3/s ,宜陵北闸分流比约为 71%。2019 年 7 月 23 ~ 28 日和 11 月 20 至 22 日,宜陵闸 13 孔闸门开高均为 0.7 m 控制,共施测流量 26 次,水位差变幅为 0.03 ~ 0.29 m,相应流量变幅为 129 ~ 300 m^3/s ,宜陵北闸分流比为 75% ~ 100%, 平均分流 91%^[7]。

实测资料表明,宜陵闸闸门开高越小,通过宜陵北闸的流量越大;在宜陵闸闸门控制一定的情况下,江都东闸下游与宜陵闸上游水位差越大,宜陵北闸实测流量也越大,分流比相应增大。

2.2 水位流量关系率定

点绘分析宜陵北闸下游断面输水流量与相应江都东闸、宜陵闸的水位,发现江都东闸下游与宜陵闸上游水位差和宜陵北闸下游断面的输水流量具有较好的相应性,测点分布呈明显的点带关系,宜陵闸开高在 2.0 m 及以上和 0.7 ~ 1.0 m 时各为点带系列。2013 年 5 月 11 至 31 日因闸门全部出水,水位差较小、水位流量点据均位于点带下部,而闸门开高 2.0 m 时的水位流量点据均位于点带中上部,但 2 种工况下的点据基本呈一个系列,故合并定线。开高 1.0 m 时流量测次太少,且与开高 0.7 m 时的点带系列偏小不大,故将闸门开高 0.7 ~ 1.0 m 时的水位流量点据合并定线。

分别对两系列进行线性拟合计算,宜陵闸开高在 2.0 m 及以上时,点据线性拟合确定性系数为 0.96,表明具有很高的相关性。宜陵闸开高为 0.7 ~ 1.0 m 时,点据线性拟合确定性系数为 0.76,

具有较高的相关性;开高 1.0 m 时 3 个流量测次均位于拟合关系线偏小一侧,水位流量点据的分布真实反映了河道水流情势。不同工况下宜陵北闸下游水位流量关系曲线见图 2。

对线性拟合的水位流量关系线进行检验和定线精度评定,3 种检验均符合规范要求;其中宜陵闸开高 2.0 m 及以上时的水位流量关系曲线定线精度为二类,开高 0.7 ~ 1.0 m 控制时的水位流量关系曲线定线精度为三类。水位流量关系曲线检验计算结果见表 2。

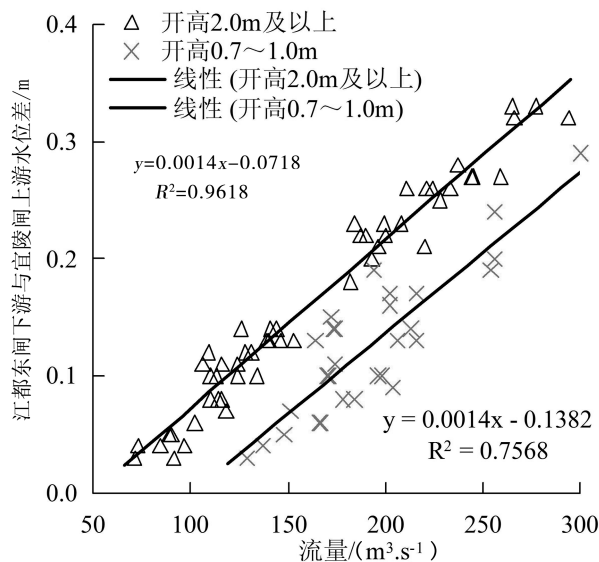


图 2 不同工况下宜陵北闸下游水位-流量关系曲线

3 分析与建议

3.1 定线精度分析

流量施测期间,宜陵闸上游最高水位为 2.37 m,最低为 1.15 m,平均为 1.70 m,宜陵闸闸底板高程为 -2.0m(文中高程均为废黄河口基面)。

表 2 水位-流量关系曲线检验计算

项目	检验参数	参数符号	开高 2.0 m 及以上关系线	开高 0.7 ~ 1.0 m 关系线
符号检验	测点总数	n	53	29
	正或负号个数	k	26	14
	检验统计量	u	0	0
	显著性水平	α	0.25	
	检验临界值	$u_{1-\alpha/2}$	1.15	
检验结果	合理		$ u < u_{1-\alpha/2}$	
适线检验	测点总数	n	53	29
	变换符号个数	k	21	14
	检验统计量	u	1.25	-0.19
	显著性水平	α	0.1	
	检验临界值	$u_{1-\alpha}$	1.28	
检验结果	合理		$ u < u_{1-\alpha}$	
偏离数值检验	测点总数	n	53	29
	自由度	$k = n - 1$	52	28
	检验统计量	$ t $	0.39	0.02
	显著性水平	α	0.1	
	检验临界值	$t_{1-\alpha/2}$	1.68	1.70
检验结果	合理		$ t < t_{1-\alpha/2}$	
定线精度	标准差	Se	5.9	9.4
	随机不确定度	X'_Q	11.8	18.8
	系统误差	P	0.3	0.0
精度评定			二类	三类

当宜陵闸闸门全部出水时,过闸水流为淹没堰流;闸门开高为 2.0 m 时,宜陵闸上、下游基本水尺断面水位落差为 0.04 ~ 0.29 m,过闸水流流态大多为淹没或半淹没堰流,闸门对水流的控制作用较小。当宜陵闸闸门对水流不控制或控制作用较小时,江都东闸下游与宜陵闸上游之间的水位落差和与宜陵北闸下游测流断面之间的水位落差基本一致,因此,江都东闸下游与宜陵闸上游之间的水位落差与宜陵北闸下游的流量也就具有较高的一致性,建立

的水位流量关系曲线标准差以及 95% 的随机不确定度均较小,定线精度达到二类精度以上水文站的要求。

当闸门开高在 0.7 ~ 1.0 m 时,宜陵闸过闸水流为淹没孔流,闸门对水流的控制作用较大,水流受阻导致宜陵闸上游水位壅高,此时江都东闸下游与宜陵闸上游之间的水位落差小于江都东闸下游与宜陵北闸下游测流断面之间的水位落差,因而江都东闸下游与宜陵闸上游的水位差和宜陵北闸下游

流量的相应性也就较差,水位流量关系曲线的标准差和 95% 的随机不确定度均较大,定线精度基本为三类水文站的要求。可见,宜陵闸闸门控制作用越小,江都东闸下游与宜陵闸上游水位差和宜陵北闸下游断面流量的相应性越高,水位流量关系曲线的定线精度也越高,反之则较低。

以上分析可知,在不同控制工况下提高水位流量关系线的定线精度,即提高河道水位与流量的相应性,关键是提高与宜陵北闸下游流量相一致的水位落差精度。三阳河长约 66.5 km,顺直较稳定且无分叉支流,具有较好的水位观测条件。

3.2 实施建议

随着经济社会快速发展,水多时不能淹、水少时无旱灾成为新时期防汛防旱工作的高标准要求,不断完善的水利防洪防旱工程体系正不断改变原有河道的水情情势,原有的水文站网布局已不能满足变化条件下新的区域工程运用和经济社会发展的需要^[7],实时监控三阳河输水水情是确保宝应站安全运行和效能发挥的前提,因此,在三阳河上布设水位观测设施、根据防洪抗旱情势开展流量巡测从而把握宜陵北闸下游的过流情况是必要的。

宜陵闸由于受下游 35 km 处泰州高港枢纽自流引江水北送里下河腹部地区的影响,在大潮汛时,下游水位经常有壅高现象。在宜陵闸闸门提出水面运行时,水流壅高有时可影响到上游基本水尺断面,上、下游水位常出现倒比降,因此,宜陵闸上、下游水位与过闸流量的相应性较差。根据三阳河上的水位落差与宜陵北闸下游实测流量建立水位流量关系曲线,不仅定线精度将会大大提高到一类精度,同时也可以实时掌握宜陵闸的过流情况,为区域水利工程科学精准调度、水资源合理分配提供

技术支撑。

4 结 论

2019 年苏北地区虽遭受 60 年未遇的气象性干旱,但完善的水利工程体系确保了苏北人民群众生活生产有序,虽有旱情却无旱灾。本文基于宝应站抗旱调水期间多年的实测资料,揭示了在工程不同控制状态下三阳河输水流量的变化规律;针对区域现有各工程运行情况下河道水流情势进行了分析,并就变化条件下如何调整水文站点准确监测监控区域水情,使水文工作适应区域经济社会发展的需要提出了建议,对区域防汛抗旱、水资源合理配置、工程安全运行和精准调度都具有一定的现实意义。

参考文献:

- [1] 江苏省地方志编纂委员会. 江苏省志·水利志[M]. 南京:江苏古籍出版社, 2001.
- [2] 水利部水文局. SL247—2012 水文资料整编规范[S]. 北京:中国水利水电出版社, 2013.
- [3] 王成, 孙正兰, 李江艳, 等. 落差指数法在沿江大型水闸淹没堰流定线中的应用[J]. 江苏水利, 2017 (8):11-15.
- [4] 中华人民共和国水利部. GB50179—2015 河流流量测验规范[S]. 北京:中国计划出版社, 2015.
- [5] 水利部水文局. SL337—2006 声学多普勒流量测验规范[S]. 北京:中国水利水电出版社, 2006.
- [6] 钱睿智, 王永东, 杨咏梅, 等. 江都东闸引水期宜陵节点分流比模型研究[J]. 江苏水利, 2017 (8):5-10.
- [7] 李爱芹, 刘融融, 王志堂. 关于里下河地区水文业务工作的思考[J]. 水文, 2010, 30(2):93-95.