

江都东闸引水期宜陵节点分流比模型研究

钱睿智, 王永东, 杨咏梅, 张文兴

(江苏省水文水资源勘测局扬州分局, 江苏 扬州 225002)

摘要: 江都东闸作为南水北调和江水东引的重要口门, 其引水期宜陵节点分流比模型研究对于水资源合理调度起到至关重要的作用。基于水量平衡关系构建三阳河、新通扬运河分流比模型, 模型验证计算结果与实测资料计算的分流比成果完全一致, 宜陵节点分流比主要受宝应抽水站运行影响, 在宝应抽水站不开机时, 新通扬运河的行水能力要大于三阳河的行水能力, 而当宝应抽水站开机时则反之。

关键词: 引水期; 宜陵节点; 水量平衡; 分流比

中图分类号: TV131.65 **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-7839 (2017) 08-0005-06

Study on the split ratio model of Yiling node at diversion stage of Jiangdu East Gate

QIAN Ruizhi, WANG Yongdong, YANG Yongmei, ZHANG Wenxing

(Yangzhou Hydrology and Water Resources Investigation Bureau of Jiangsu Province,
Yangzhou 225002, Jiangsu)

Abstract: As an important gate of the South-North Water Transfer Project and the Yangtze River Water Diversion Project, the split ratio model of Yiling node at diversion stage of Jiangdu East Gate plays an important role in reasonable water resources scheduling. Based on the relationship of water balance, the split ratio model of Sanyang River and Xintongyang canal was established. The model validation results were exactly consistent with the measured results. The split ratio of Yiling node was mainly affected by the operation of Baoying pumping station. The water capacity of Xintongyang canal was bigger than Sanyang River when Baoying pumping station was not running, and vice versa.

Key words: diversion stage; Yiling node; water balance; split ratio

1 研究背景

江都东闸引水期宜陵节点三阳河、新通扬运河分流比模型研究是在江都东闸引水条件下, 监测三阳河、新通扬运河沿线的水位、流量, 通过水文测验成果整编与分析^[1], 寻求三阳河、新通扬运河水位流量关系, 分析三阳河、新通扬运河分

流比, 为工程调度和水资源配置提供更合理化的科学依据^[2]。

2 分流比模型研究

综合说明: 除了避免产生歧义必须使用全称之外, 为使模型结构简洁、文字叙述方便, 特作如

收稿日期: 2017-05-22

作者简介: 钱睿智 (1987-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事水文分析计算和水文情报预报工作。

下规定。

(1) 所用物理量采用国家相关规范的规定代码及国际单位分别为:

水位—— $Z(\text{m})$, 水位差—— $\Delta Z(\text{m})$, 流速—— $V(\text{m/s})$,

闸门开启宽度—— $B(\text{m})$, 闸门开启高度—— $e(\text{m})$, 流量—— $Q(\text{m}^3/\text{s})$ 。

(2) 水位站站名简称及代码为:

江都东闸(闸上游)水位——东闸上, Z_1

江都东闸(闸下游)水位——东闸下, Z_2

宜陵北闸(闸上游)水位——宜北上, Z_3

宜陵闸(闸上游)水位——宜陵上, Z_3 ; 因其与宜陵北闸(闸上游)水位近似相等, 故通用该代码。

樊川(三)水位——樊川, Z_4

泰州(泰)水位——泰州, Z_5

(3) 水位差代码为:

东闸上与东闸下的水位差—— ΔZ_{12}

宜北上与樊川的水位差—— ΔZ_{34}

宜陵上与泰州的水位差—— ΔZ_{35}

(4) 断面流量代码为:

江都东闸断面流量—— Q_1

宜陵北闸断面流量—— Q_2

宜陵闸断面流量—— Q_3

江都东闸引水期宜陵节点三阳河、新通扬运河分流比模型示意图见图1。

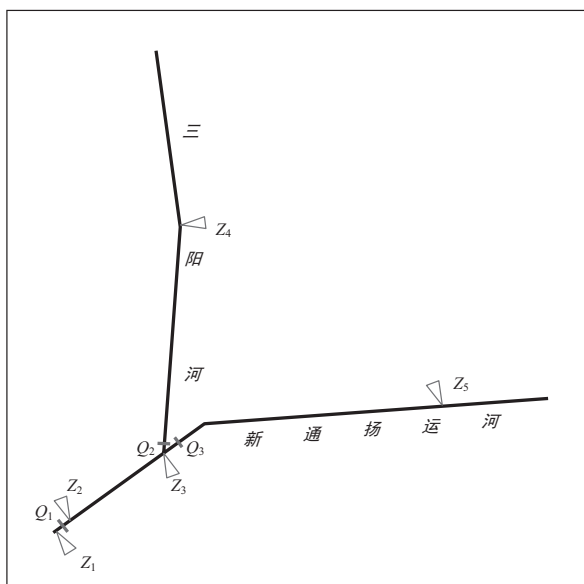


图1 江都东闸引水期宜陵节点三阳河、新通扬运河分流比模型示意图

2.1 水位流量关系

2.1.1 三阳河宜陵北闸断面水位流量关系

根据监测成果多重组合分析^[3]: 以实测 Q_2 、同时段 Z_3 建立水位流量关系, 相关性决定系数 $R^2=0.7496$; 以实测 Q_2 、同时段 ΔZ_{34} 建立水位差与流量的关系, 相关性决定系数 $R^2=0.9514$; 以实测 Q_2 、同时段 Z_3 、同时段 ΔZ_{34} 建立水位、水位差与流量的关系, 相关性决定系数 $R^2=0.9280$ 。

根据物理意义和监测成果综合分析, 选取方案二, 即: $Q_2 \sim \Delta Z_{34}$ 水位差与流量关系, 其物理意义明确, 相关性较好。得到下列公式:

$$Q_2 = 544.14 \Delta Z_{34}^{0.9488} \quad (1)$$

式中:

Q_2 —宜陵北闸过闸流量, m^3/s ;

ΔZ_{34} —宜北上与樊川的水位差, m ;

二者相关性决定系数 $R^2=0.9514$ 。

2.1.2 新通扬运河宜陵闸断面水位流量关系

根据监测成果多重组合分析: 以实测 Q_3 、同时段 Z_3 建立水位流量关系, 相关性决定系数 $R^2=0.8697$; 以实测 Q_3 、同时段 ΔZ_{35} 建立水位差与流量关系, 相关性决定系数 $R^2=0.6303$; 以实测 Q_3 、同时段 Z_3 、同时段 ΔZ_{35} 建立水位、水位差与流量的关系, 相关性决定系数 $R^2=0.8414$ 。

根据相关性决定系数 R^2 值, 方案一最优, 但是其物理意义不准确, 流量为0时, 水位不应为0。因而, 根据物理意义和监测成果综合分析, 选取方案三, 以实测 Q_3 、同时段 Z_3 、同时段 ΔZ_{35} 建立水位、水位差与流量的关系, 其物理意义明确, 相关性较好。得到下列公式:

$$Q_3 = 10.828 Z_3^{5.306} \Delta Z_{35}^{0.158} \quad (2)$$

式中:

Q_3 —宜陵闸过闸流量, m^3/s ;

Z_3 —宜陵闸(闸上游)水位, m ;

ΔZ_{35} —宜陵上与泰州的水位差, m ;

三者相关性决定系数 $R^2=0.8414$ ($R=0.91729$)。

新通扬运河宜陵闸断面水位、水位差、流量线性拟合图见图2。

2.2 误差分析

根据公式^[4]进行计算, 三阳河宜陵北闸、新通扬运河宜陵闸断面水位流量关系线误差分析成果见表1。

通过对表1的分析, 三阳河宜陵北闸断面水位流量关系线最大相对误差为-12.9%, 满足允许

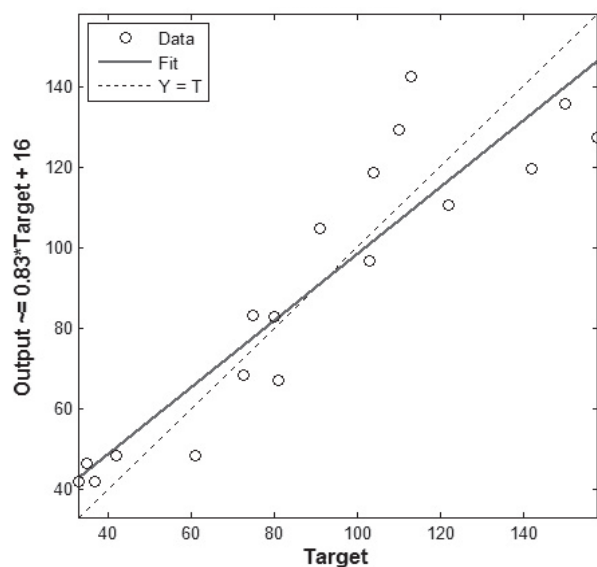


图 2 新通扬运河宜陵闸断面水位、水位差、流量线性拟合图

表 1 三阳河宜陵北闸、新通扬运河宜陵闸断面水位流量关系线误差分析成果

断面	样本数 (个)	平均相对误差 (%)	最大相对误差 (%)	最小相对误差 (%)
三阳河宜陵北闸断面	18	-0.3	-12.9	-0.2
新通扬运河宜陵闸断面	18	1.4	-25.6	3.6

误差指标,可以参与模型的计算;新通扬运河宜陵闸断面水位流量关系线最大相对误差为-25.6%,故不满足允许定单一线的定线要求,不能参与模型的计算,其误差较大的原因为:新通扬运河宜陵闸至泰州(泰)段长度 27.09 km,沿线有 12 条支流,较大的支流是野田河、龙耳河、泰州引江河、卤汀河等,尤其是泰州(泰)的水位受到高港闸引水的影响。因此,实测 Q_3 、同时段 Z_3 、同时段 ΔZ_{35} 之间无法建立较好的水位流量关系。

2.3 模型的修正

新通扬运河江都东闸至宜陵闸段较为封闭,无大的支流,在不考虑流量损失的情况下,根据水量平衡定律,江都东闸引水的流量除通过宜陵北闸向北输送入三阳河外,剩余流量都通过宜陵闸向东输送入新通扬运河。即将三阳河作为新通扬运河的支流, Q (江都东闸) - Q (宜陵北闸) = Q (宜陵闸)。

据此,模型修正为:在江都东闸引水条件下,监测三阳河的水位、流量。通过监测成果,寻求三阳河的水位流量关系,根据水位流量关系公式,由宜陵北闸(闸上游)和樊川(三)的水位差推算出

三阳河宜陵北闸断面流量,再结合江都东闸的实测流量推算出新通扬运河宜陵闸断面流量,从而分析三阳河、新通扬运河分流比。

2.4 分流比计算

根据三阳河(宜陵北闸断面)、新通扬运河(宜陵闸断面)流量监测成果分析,三阳河、新通扬运河分流比计算结果见表 2。

通过对表 2 的分析,三阳河、新通扬运河分流比是一个动态的变化值,它与宜陵节点水位及上下游水位差密切相关。从实测数据系列分析中可以看出,在不同流量级中三阳河流量整体上大于新通扬运河流量,经综合分析,本次江都东闸分流比测量期间受到宝应抽水站开机抽水的影响。

2.5 模型的验证

根据修正模型的方法,首先验证江都东闸断

面实测流量、三阳河宜陵北闸断面实测流量和新通扬运河宜陵闸断面实测流量间关系,考虑到江都东闸断面流量传输到宜陵闸(宜陵北闸)断面处需要一个时间过程,经过三闸断面实测流量成果关系分析,取此时间过程为 30 min。

三闸断面实测流量成果关系分析表见表 3。

通过对表 3 的分析,江都东闸实测流量与宜陵北闸和宜陵闸断面合计流量之间差值很小,平均差值仅为 $-1.58 \text{ m}^3/\text{s}$,平均相对误差仅为 -1.1%。因此,可以采用修正模型的水量平衡法,即:由江都东闸断面提前 30 min 的实测流量和宜陵北闸断面的线上推求流量之差,求得宜陵闸断面的流量,进而计算宜陵北闸断面流量与宜陵闸断面流量的分流比。

根据模型计算,三阳河、新通扬运河分流比计算结果见表 4。

现分析分流比误差,即将实测分流比与模型计算分流比进行比较,见表 5。

由表 5 可见,三阳河宜陵北闸断面与新通扬运河宜陵闸断面的实测分流比,与模型分流比基本一致,其绝对误差绝对值最大值为 9.9,最小值

表 2 三阳河、新通扬运河实测资料分流比成果表

时 间	三阳河宜陵北闸		新通扬运河宜陵闸	
	实测过闸流量 (m ³ /s)	实测分流比 (%)	实测过闸流量 (m ³ /s)	实测分流比 (%)
2013-5-09 16:00	54.9	61.1	35.0	38.9
2013-5-10 16:00	45.6	55.3	36.8	44.7
2013-5-11 16:00	71.9	63.1	42.1	36.9
2013-5-12 16:00	87.2	72.7	32.8	27.3
2013-5-13 16:00	90.1	59.7	60.9	40.3
2013-5-14 16:00	99.2	57.7	72.8	42.3
2013-5-15 16:00	111.0	58.1	80.0	41.9
2013-5-16 16:00	128.0	58.4	91.0	41.6
2013-5-17 16:00	142.0	55.7	113.0	44.3
2013-5-20 16:00	142.0	56.3	110.0	43.7
2013-5-21 16:00	158.0	51.3	150.0	48.7
2013-5-22 16:00	142.0	47.3	158.0	52.7
2013-5-23 16:00	126.0	47.0	142.0	53.0
2013-5-24 16:00	116.0	52.7	104.0	47.3
2013-5-28 16:00	113.0	58.2	81.0	41.8
2013-5-29 16:00	133.0	63.9	75.0	36.1
2013-5-30 16:00	120.0	53.8	103.0	46.2
2013-5-31 16:00	108.0	47.0	122.0	53.0
平 均	110.0	56.6	89.4	43.4
最 大	158.0	72.7	158.0	53.0
最 小	45.6	47.0	32.8	27.3

表 3 三闸断面实测流量成果关系分析表

时 间	江都东闸 实测流量 (m ³ /s)	宜陵北闸 实测流量 (m ³ /s)	宜陵闸 实测流量 (m ³ /s)	宜陵北闸和宜陵 闸实测流量合计 (m ³ /s)	江都东闸流量与合计 流量的绝对误差 (m ³ /s)	江都东闸流量与 合计流量的相对 误差 (%)
平 均	198.0	110.0	89.4	200.0	-1.58	-1.1
最 大	317.0	158.0	158.0	308.0	-22.0	-16.7
最 小	74.9	45.6	32.8	82.4	0.0	0.0

表 4 三阳河、新通扬运河模型计算分流比成果表

时 间	江都东闸		宜陵北闸		宜陵闸	
	实测过闸流量(m ³ /s)	推算过闸流量 (m ³ /s)	推算分流比(%)	推算过闸流量 (m ³ /s)	推算分流比 (%)	
平 均	198.0	110.0	57.6	88.1	42.4	
最 大	317.0	152.0	70.2	177.0	55.8	
最 小	74.9	49.5	44.2	25.4	29.8	

表 5 实测分流比与模型计算分流比误差分析表

时 间	三阳河宜陵北闸断面			新通扬运河宜陵闸断面		
	实测分流比 (%)	模型分流比 (%)	绝对误差	实测分流比 (%)	模型分流比 (%)	绝对误差
平 均	56.6	57.6	0.9	43.4	42.4	-0.9
最 大	72.7	70.2	9.9	53.0	55.8	-9.9
最 小	47.0	44.2	-0.2	27.3	29.8	0.2

为 0.2, 平均值为 0.9, 即江都东闸 100 m³/s 时, 实测分流比与模型计算分流比仅相差 0.9 m³/s。本模型采用水量平衡法, 故两断面实测分流比与模型分流比的绝对误差之和为 0。

上述分流比模型误差分析成果表明, 该模型建立的技术路线正确、方法合理, 可以用来进行江都东闸引水条件下的三阳河与新通扬运河的分流比计算。

2.6 模型的应用

在 2013 年各站水文资料中, 分别从汛前、汛期、汛后选取一段江都东闸连续开闸引水的时间段, 运用模型进行三阳河、新通扬运河分流比计算。

(1) 采用汛前水文资料, 计算三阳河、新通扬运河的分流比, 见表 6。

运河的分流比, 见表 7。

由表 7 可知, 在 8 月 8 ~ 22 日宝应抽水站未开机的情况下, 三阳河、新通扬运河的平均分流比为 $Q_2 : Q_3 = 28\% : 72\%$ 。

而由前面表 4 可见, 在 5 月 8 ~ 31 日宝应抽水站开机的情况下, 三阳河、新通扬运河的平均分流比为 $Q_2 : Q_3 = 58\% : 42\%$ 。

(3) 采用汛后水文资料, 计算三阳河、新通扬运河的分流比, 汛后宝应抽水站未开机的情况下, 分流比计算成果见表 8。

由表 8 可知, 在 10 月 1 ~ 3 日宝应抽水站未开机的情况下, 三阳河、新通扬运河的平均分流比为 $Q_2 : Q_3 = 32\% : 68\%$ 。

汛后宝应抽水站开机的情况下, 分流比计算

表 6 模型应用三阳河、新通扬运河的分流比 (汛前, 宝应抽水站未开机)

时 间	江都东闸		三阳河宜陵北闸断面		新通扬运河宜陵闸断面	
	日均流量 (m ³ /s)	日均流量 (m ³ /s)	分流比 (%)	日均流量 (m ³ /s)	分流比 (%)	
平均值	221.0	92.9	42.1	129.0	58.1	
最大值	264.0	109.0	47.6	156.0	63.9	
最小值	171.0	65.5	36.4	89.8	52.5	

注: 由于流量取三位有效数字, 宜陵北闸和宜陵闸断面的分流比之和≈ 100%, 下同。

由表 6 可知, 在 3 月 30 日 ~ 4 月 8 日宝应抽水站不开机的情况下, 三阳河、新通扬运河的平均分流比为 $Q_2 : Q_3 = 42\% : 58\%$ 。

(2) 采用汛期水文资料, 计算三阳河、新通扬

成果见表 9。

由表 9 可知, 在 10 月 20 ~ 27 日宝应抽水站开机的情况下, 三阳河、新通扬运河的平均分流比为 $Q_2 : Q_3 = 60\% : 40\%$ 。

表 7 模型应用三阳河、新通扬运河的分流比(汛期,宝应抽水站未开机)

时 间	江都东闸	三阳河宜陵北闸断面		新通扬运河宜陵闸断面	
	日均流量 (m ³ /s)	日均流量 (m ³ /s)	分流比 (%)	日均流量 (m ³ /s)	分流比 (%)
平均值	202.0	56.2	27.6	146.0	72.5
最大值	255.0	83.7	32.8	171.0	80.4
最小值	171.0	35.4	19.8	132.0	67.1

表 8 模型应用三阳河、新通扬运河的分流比(汛后,宝应抽水站未开机)

时 间	江都东闸	三阳河宜陵北闸断面		新通扬运河宜陵闸断面	
	日均流量 (m ³ /s)	日均流量 (m ³ /s)	分流比 (%)	日均流量 (m ³ /s)	分流比 (%)
平均值	199.0	62.7	31.5	136.0	68.5
最大值	226.0	52.0	33.3	254.0	70.6
最小值	177.0	64.3	29.4	125.0	66.8

表 9 模型应用三阳河、新通扬运河的分流比(汛后,宝应抽水站开机)

时 间	江都东闸	宜陵北闸		宜陵闸	
	流量 (m ³ /s)	流量 (m ³ /s)	分流比 (%)	流量 (m ³ /s)	分流比 (%)
平均值	190.0	114.0	60.0	75.3	40.0
最大值	271.0	206.0	83.2	135.0	65.9
最小值	169.0	61.2	34.2	33.0	16.8

注:因此段时间江都东闸未连续开闸引水,计算时段为闸门开启 2 h 后的整点时间~闸门关闭 2 h 前的整点时间。

3 结论

(1) 模型结构为:在江都东闸引水条件下,以江都东闸水位差流量关系($Q_1=Vp \times B \times e$, $Vp=3.2223\Delta Z_{12}^{0.525}$)河宜陵北闸水位差流量关系($Q_2=544.14\Delta Z_{34}^{0.9488}$)推算 Q_2 ,以水量平衡关系($Q_3=Q_1-Q_2$)推算新通扬运河宜陵闸断面流量 Q_3 ,从而计算出三阳河、新通扬运河分流比。

(2) 运用模型计算三阳河、新通扬运河的分流比,与实测资料计算的分流比成果完全一致,分流比模型验证的误差分析成果表明,该模型研究的技术路线正确、方法合理、采用数据准确可靠,可以应用于江都东闸引水期宜陵节点各河道的分流比计算。

(3) 选取多个引水时段,应用模型进行分流比计算,其结果表明在宝应抽水站不开机时,宜陵节点三阳河的流量均小于新通扬运河的流量,其概化分流比:汛期为 3:7、非汛期为 4:6 或 3:7。根据水力学定理,说明新通扬运河的行水能力要大于三阳河的行水能力。而当宝应抽水站开机时,不

管是汛期还是枯期,宜陵节点三阳河的流量均大于新通扬运河的流量,其概化分流比为 6:4,物理成因是:抽水使樊川水位下降、三阳河沿线水面比降增大,导致三阳河宜陵北闸断面流量加大。

(4) 由分流比模型可知,河道断面流量与水位、水位差和上下游进出水量等因子密切相关,因此,江都东闸引水期宜陵节点三阳河、新通扬运河分流比,可以通过本模型计算,但它是动态的变化值,并不能通过宝应抽水站开机或不开机的简单分类,而认为分流比是一个定量。

参考文献:

- [1] SL247-2012 水文资料整编规范[S].2012.
- [2] 雷四华.平原河网地区水流模型及其在水资源调度中的应用[D].河海大学,2007.
- [3] 李林华.水文巡测技术方案的制定及适用验证[J].水文,2000,20(6):32-36.
- [4] SL195-97 水文巡测规范[S].1997.

(责任编辑:徐丽娜)