

苏北输水干线里运河段输水损失及用水效率分析

黄 炜¹, 顾春峰², 钱睿智²

(1. 江苏省水文水资源勘测局, 江苏 南京 210029;

2. 江苏省水文水资源勘测局扬州分局, 江苏 扬州 225001)

摘要: 通过对苏北输水干线里运河段的输水损失现场测验, 采用水量平衡计算方法, 确定了里运河段高、中两种水位工况下的输水损失量。从流量、水位、蒸发、河床地质、与2000年输水损失成果对比等方面对输水损失值的合理性进行了分析, 并对沿线用水组成和用水效率进行了分析。结果表明, 该河段输水损失值符合河段的实际情况, 可为沿线用水管理、用水调度和水量核定提供技术支持。

关键词: 输水损失; 水量平衡; 现场测验; 苏北输水干线

中图分类号: TP301

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839 (2016) 12-0012-06

Analysis of water loss and water use efficiency on Grand Canal segment of Northern Jiangsu Water Transferring Line

HUANG Wei¹, GU Chunfeng², QIAN Ruizhi²

(1. Jiangsu Hydrology and Water Resources Investigation Bureau, Nanjing 210029, Jiangsu;

2. Yangzhou Hydrology and Water Resources Investigation Bureau of Jiangsu Province, Yangzhou 225001, Jiangsu)

Abstract: By the field test about water loss of Grand Canal segment of Northern Jiangsu Water Transferring Line, water balance method is used for calculating water loss under the working condition with high and middle water level. Rationality of water loss value is analyzed from discharge, water level, evaporation and the water loss value in 2000 year. Water use composition and water use efficiency along the Grand Canal is analyzed. The results show that the water loss values can be approved technical support for water management, water control and water quantity approval.

Key words: water loss; water balance; field test; Northern Jiangsu Water Transferring Line

苏北输水干线是以江都水利枢纽为龙头, 以京杭运河沿线大型提水泵站为节点, 以洪泽湖、骆马湖、微山湖等主要湖库为调蓄湖库, 沟通江、淮、沂沭泗三大水系的跨流域水资源调配工程, 也是实现苏北地区供水、调水、排涝、航运和改善水环境等水资源保护综合目标的重要保障。苏北输水干线里运河段南起扬州市江都抽水站, 北至淮安抽水站, 为半地上行水河道, 长期保持高水位, 以

满足自流灌溉和航运的需要。在输水过程中, 水量消耗主要为沿线船闸、工农业取水口、自流灌区灌溉闸洞、引排水涵闸、河道交叉涵闸等, 这部分可以直接测定。而对于河道渗漏和蒸发, 这些不能直接测定的输水河道自然损失量, 称之为河道输水损失。在灌溉用水期, 里运河段的大运河水位一般高出运东里下河区地面约2~4 m, 高出运西邵伯、高邮湖水面约1~2 m, 因此该河段的输

收稿日期: 2016-10-18

作者简介: 黄炜 (1981-), 男, 博士, 工程师, 主要从事水文测验及站网管理研究。

水损失较大, 而且随着区域经济的发展, 输水干线日益增多, 由此引起的闸门漏水和交通、民用、冲污取用水量较大, 也造成输水干线沿线取用水损失较大。为了探索里运河输水干线沿线供用水实际情况、掌握河道的蒸发、渗漏等综合损失情况和沿线用水效率情况, 有必要合理确定该输水河道的输水损失。本文通过对苏北输水干线里运河段的输水损失现场测验采用水量平衡计算方法, 确定了里运河段高、中两种水位工况下的输水损失量, 并对沿线用水效率进行了分析, 成果可为供水计量、调水管理提供技术支撑。

1 输水损失计算方法

输水损失是核定沿线行政区域用水量的基础^[1], 也是强化沿线用水管理和调度的保证, 其主要输水过程中水量的自然损耗, 包括水面蒸发和河床渗漏。输水损失通常可采用渗流理论计算或水量平衡公式计算^[2]。渗流理论计算主要是求解各种初、边界条件下的渠道的渗流基本方程, 从损失机理、结果表达方面是相对精确的, 但对于初始边界条件要求较严, 操作上较为复杂, 生产上应用不多。水量平衡公式计算是指依据水量平衡的原理, 通过对现场实测资料的统计分析, 分析计算河道在某一时段内水量的自然损耗。该方法具有原理清晰、方法简单、可操作性强等优点^[3]。基于水量平衡的输水损失计算公式如下所示:

$$Q_{入}+P_{降}=Q_{出}+q_{用}+q_{损}-\Delta W_{蓄} \tag{1}$$

$$q_{用}=q_{漏}+q_{船}+q_{取} \tag{2}$$

$$q_{损}=q_{渗}+q_{蒸} \tag{3}$$

式中:

- $Q_{损}$ —河段输水损失量 (m^3/s);
- $Q_{入}$ —河段入口断面流量 (m^3/s);
- $Q_{出}$ —河段出口断面流量 (m^3/s);
- $Q_{漏}$ —河段出水口门涵闸漏水量 (m^3/s);
- $Q_{船}$ —河段船闸通航用水量(有进有出)(m^3/s);
- $Q_{取}$ —河段内发生的工业、生活等取用水量(m^3/s);
- $Q_{蓄}$ —河段槽蓄量(有正有负) (m^3/s)。

2 输水损失测验及成果

2.1 现场测验

2.1.1 测验河段和测验时机

输水损失与气温、湿度、风力, 以及河床地质、

水位等有关, 而且这些因素随时间、河长变化而变化, 因此测验河段和测验时间的选择十分重要。本次测验河段选择在苏北输水干线里运河段, 南起扬州市江都抽水站(南水北调东线工程第一梯级泵站), 北上至淮安抽水站(南水北调东线工程第一梯级泵站), 全长 128 公里, 其中扬州市境内 113 km, 淮安市境内 15 km。测验时间选择在 11 月下旬, 主要原因是测验前期降水、蒸发与同期相比正常, 且这一时期沿运河两侧灌溉需水量极少, 沿运涵闸处于非运行状态, 船闸、涵闸漏水、取水相对平稳, 可以尽可能减少测验误差, 保证输水损失成果的准确性和可靠性。

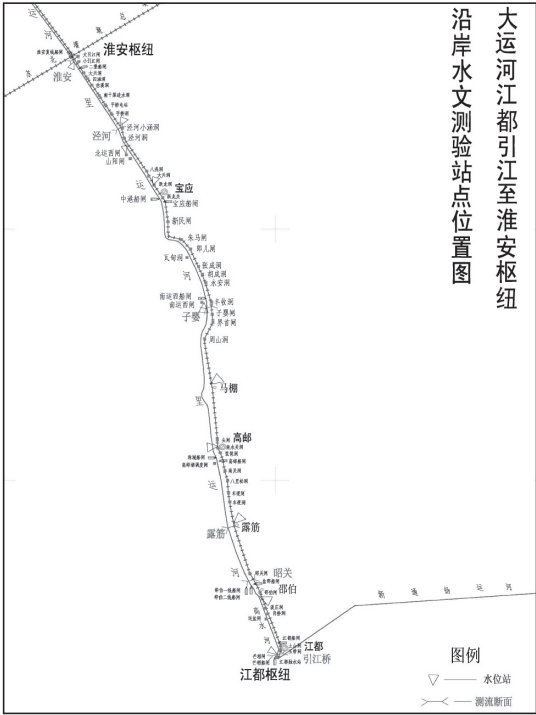


图 1 里运河段输水损失测验站点布置位置示意图

2.1.2 工程调度

测验采用高、中水两种工况, 主要通过沿线水利工程进行水位调节, 其中高水工况水位代表站芒稻闸闸上水位控制在 8.2 ~ 8.3 m, 淮安站下水位控制在 6.3 m 左右; 中水工况芒稻闸闸上水位控制在 7.2~7.3 m, 淮安站下水位控制在 5.5 m 左右。

2.1.3 流量测验

沿线共设置 6 个流量监测断面, 均采用走航式 ADCP 等方式进行测量, 每两小时监测 1 次, 两种工况各连续监测 72 小时。对于沿线漏水涵闸, 采用低速流速仪监测其闸门关闭时的漏水流量,

每天 2 次。

2.1.4 水位监测

沿线共设置 8 个水位监测断面,其中昭关、露筋、马棚、子婴监测断面采用人工观测,观测频次与流量观测同步,其余水位断面均采用遥测水位数据。

2.1.5 水面宽测量

水面宽测量采用 GPS (江苏 CORS 网)RTK 模式测量测验河段水边线,测算河段水面面积、河段长度和平均水面宽。测量水边线以能控制水边线变化转折点为原则,高、中水两种工况各测 1 次。

2.1.6 降水量、蒸发量监测

测验河段周边布设有 5 个雨量站分别为万福闸、六闸、高邮、宝应、运东闸,以及 1 个蒸发站,为六闸站,其中降水量采用遥测数据,蒸发量监测采用人工观测。

2.1.7 现场调查

按高、中水位两种水情工况,现场调查沿线 11 个船闸,9 个工业民用取水口,1 个给水泵站、6 个自流灌区和 6 个冲污涵洞的用水情况,其中船闸要求 24 小时全时段调查,其他用水量的调查频次均为一天一次。

2.2 输水损失成果

根据测流断面流量资料,结合区间降水量、涵闸漏水、冲污用水、船(套)闸通航放水、水厂用水和调查成果,运用始末水位推算河道蓄水变量后,按水量平衡方程式(1)计算河道输水损失量,成果见表 1。

表 1 苏北输水干线沿线梯级河段输水损失成果

序号	河段	江都 - 淮安	
		高水	中水
1	河段长度 (km)	128	128
2	河段入流量 (m³/s)	808	731
3	河段出流量 (m³/s)	741	684
4	涵闸 (支流河道) 出入水量 (m³/s)	26.4	14.61
5	船闸放水量 (m³/s)	13.1	6.42
6	冲污涵洞水量 (m³/s)	2.49	2.71
7	工农业用水量 (m³/s)	3.28	3.28
8	河道蓄水量 (m³/s)	-2.89	6.08
9	总损失量 (m³/s)	24.7	14.6
10	每公里输水损失 (m³/s.km)	0.193	0.114

3 输水损失测验成果分析

3.1 影响因素分析

3.1.1 流量、水位影响因素

输水损失测验成果与输水流量、水位有很大的关系。图 2、图 3 为各测流断面全时段流量过程对照图,从图中可以看出测验河段上、下游流量过程线形状基本一致,各测流断面除淮安抽水站是恒定抽水流量外,各断面之间有明显的流量削减过程。但测验前期流量并不十分稳定。这与江都抽水站开机抬高大运河水位需要一个时间过程有关,受此影响,高、中水期测验前期流量、水位均出现波动。由于对输水损失成果主要与水位变化关系较大,而受流量变化的影响较小,但为保证输水损失计算精度,在输水损失测验成果分析中需选取水位流量平稳期数据进行统计分析。

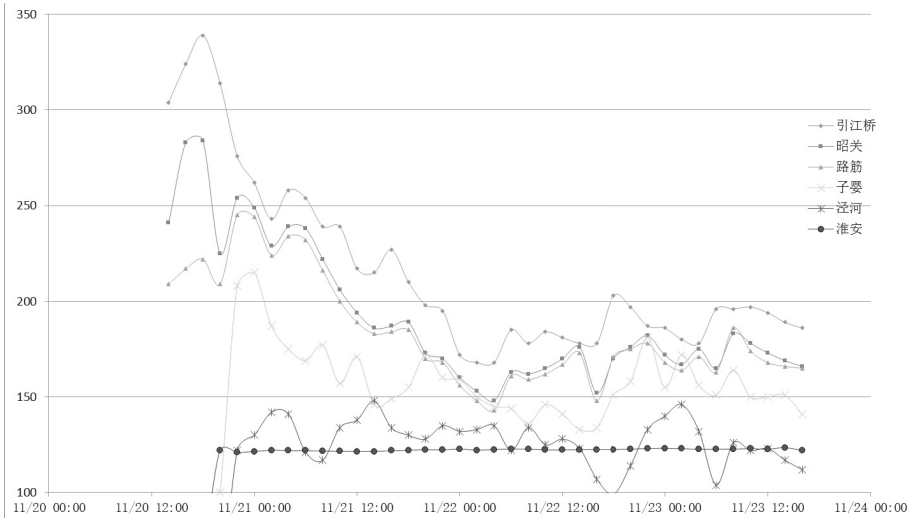


图 2 高水工况各测验段流量过程线图

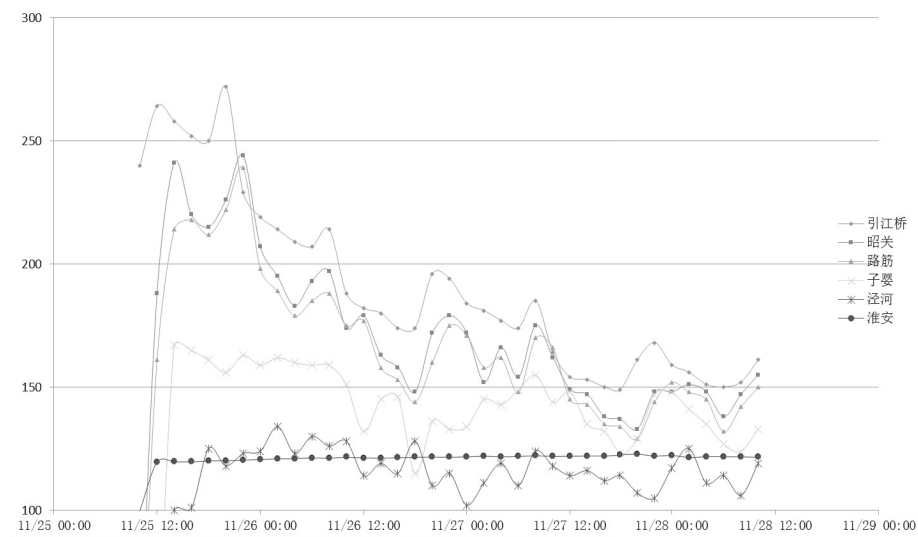


图 3 中水工况各测验段流量过程线图

3.1.2 蒸发影响分析

对一个封闭河段而言,当上游来水量一定,流量会随河长不断减小,如果没有来水或降水(相当于死水塘),河段水位会随时间不断降低。这就是自然损耗,它包括水面蒸发和河道渗漏两个方面。河道渗漏是指河水向河床接触面以下渗流,是地表水补给地下水的途径之一,输水损失主要是这部分水量^[4]。水面蒸发量的大小受气温、风力、湿度等气象因素影响,还与水面大小和水质有关^[5]。通过对蒸发代表站六闸站资料进行统计(折算为流量),高水、中水工况蒸发量分别为 0.208 m³/s 和 0.076 m³/s,占河段损失总量分别 0.84% 和 0.52%。本次测验在 11 月下旬进行,苏北地区正常供水期在 6~7 月份,测验期间的蒸发量比正常供水期蒸发量有所

偏小。据实测水文资料统计,测验河段 11~12 月份的平均蒸发量约为 6 月份(多年)平均蒸发量的 30%。但总体来讲,蒸发量损失占河段输水损失总量比重较小。

3.1.3 河床土质影响

一般认为,河道渗漏量损失量与河道水面宽、水位落差(水面高出河外地面差)关系密切,在河床土质条件相近时,损失量与水面宽、水位落差成正比,沙质土壤大于粘性土壤^[6]。江都~淮安测验河段虽然较长,但河床土质差异较小,反映在不同河段的渗漏量也相差较小,各河段渗透损失能力基本相当,高水工况各河段每公里输水损失值大于中水工况,与实际相符,可认为成果合理。

3.2 与往年测验成果比较分析

表 2 各河段输水损失成果合理性表

河段名称	测验工况	输水损失 (m ³ /s)/km		水位 (m)	地面高程 (m)	河床土质
		分工况	平均			
引江桥~昭关	高水位	0.189	0.142	8.22	高水河东堤 5.5~6.0m;	粉质粘土护坡翻砌
	中水位	0.095		7.29	运河西堤 5.0~5.5m	
昭关~露筋	高水位	0.188	0.144	8.21	运河东堤 10.36~10.72m;	粉土、粉质粘土
	中水位	0.101		7.27	运河西堤 10.52~12.18m	
露筋~子婴	高水位	0.203	0.155	8.18	运河东堤 11.23~11.35m;	粉土、粉质粘土
	中水位	0.107		7.21	运河西堤 11.84~12.37m	
子婴~泾河	高水位	0.184	0.156	8.06	运河东堤 12.61~12.83m;	粉土、粉质粘土
	中水位	0.127		7.03	运河西堤 12.32~12.64m	
泾河~淮安	高水位	0.195	0.162	7.95	右堤外 15.0~16.0m	粉土、粉质粘土
	中水位	0.129		6.88	左堤外 15.0~16.0m	

为进一步论述输水损失成果的合理性,将本次测验成果与往年成果进行比较分析。2000 年 1 月该河段曾进行了一次输水损失测验,具体安排如下:1 月 15 日江都抽水站开机抬高大运河水位,待河道水位趋于平稳后,1 月 19 日 8 时~21 日 8 时江都抽水站抽进流量 200 ~ 250 m³/s,淮安抽水站抽出流量 145 ~ 166 m³/s。江都水位控制在 7.2 ~ 7.3 m 之间;淮安水位控制在在 6.4 ~ 6.5 m,相当于本次测验的中水工况。两次测验成果比较情况见表 3。

由表 3 可知,2000 年测验全河段输水损失量为 25.8 m³/s,平均每公里河长 0.201 m³/s;本次中水工况全河段输水损失量为 14.6 m³/s,平均每公里河长 0.114 m³/s,后者的输水损失明显小于 2000

年的输水损失值。通过对测验河段现场调查分析,这与沿线部分河段今年来采取堤防防渗加固及护坡砌岸等工程措施有关。经防渗和护坡措施处理后的河段输水损失明显小于未处理前。

4 输水干线沿线用水效率分析

为了便于分析输水干线沿线用水效率,根据水量平衡原理和公式(2)、(3),将沿线涵闸渗漏、船闸用水、工农业取用水等归为耗用水量,将河道渗漏和蒸发量归为河道输水损失量,将河道输水损失量与耗用水量合并归为耗损水量,并按河道、县级、市级三个方面对沿线用水效率进行分析。详见表 4、表 5。

表 3 与 2000 年比较成果表

比较内容	2014 年情况	2000 年情况
测验时间	2014 年 11 月 20 日~28 日	2000 年 1 月 19 日~21 日
测验工况	高水工况:江都控制水位为 8.17 ~ 8.25m; 淮安水位控制在 7.77m~8.05m; 邵伯水位高出邵伯湖水位 3.2m, 高邮水位高出高邮湖水位 2.0m; 中水工况:江都水位控制在 7.24 ~ 7.38m; 淮安水位控制在 6.53m~7.02m; 邵伯水位高出邵伯湖水位 2.1m, 高邮水位高出高邮湖水位 1.1m。	江都水位控制在 7.2 ~ 7.3m 之间; 淮安水位控制在在 6.4 ~ 6.5m; 邵伯水位高出邵伯湖水位 2.5m, 高邮水位高出高邮湖水位 1.2m。
降雨情况	测验期前一个月受水区降雨 9 ~ 11 天,面平均降水量 26mm。测验期降水量集中 23 日和 27 日,最大日降水量分别为 18.5mm, 15.0mm。	测验前一个月受水区降雨 3~5 天,面平均降雨量 47mm。测验期无降雨
日平均蒸发量	1.5mm	1.1mm
平均地下水埋深	约为 2~4m	约为 1m
全河段输水损失	高水: 0.193m ³ /s.km; 中水: 0.114m ³ /s.km	0.201m ³ /s.km

表 4 各测验河段耗损和耗用水量分析表

单位: m³/s

划分	河段	河段起迄名称	耗损水量		耗用水量		用水效率 %	
			高水	中水	高水	中水	高水	中水
按河道分	高水河段	引江桥 - 昭关	19.0	11.8	16.0	10.3	84.2%	87.3%
	里运河段	昭关 - 淮安	51.0	29.8	29.3	16.7	57.5%	56.0%
按县级分	江都段	引江桥 - 露筋	22.6	14.2	17.5	11.6	77.4%	81.7%
	高邮段	露筋 - 子婴	16.9	12.2	8.01	7.49	47.4%	61.4%
	宝应段	子婴 - 泾河	26.2	22.1	18.6	16.8	71.0%	76.0%
按市级分	扬州段	引江桥 - 泾河	65.7	48.4	44.1	35.9	67.1%	74.2%
	淮安段	泾河 - 淮安	4.30	-6.78	1.20	-8.84	27.9%	-
	全河段	引江桥 - 淮安	70.0	41.6	45.3	27.0	64.7%	64.9%

表 5 各测验河段耗用水量分析表								单位 :m ³ /s
划分	河段	河段起迄名称	涵闸漏水量		船闸用水量		水厂取水量	
			高水	中水	高水	中水	高水	中水
按河道分	高水河段	引江桥 - 昭关	4.92	3.25	10.2	6.17	0.890	0.890
	里运河段	昭关 - 淮安	24.0	14.1	2.93	0.25	2.39	2.39
按县级分	江都段	引江桥 - 露筋	6.42	4.49	10.2	6.17	0.890	0.890
	高邮段	露筋 - 子婴	6.79	6.46	0.29	0.100	0.930	0.930
	宝应段	子婴 - 泾河	11.5	8.19	5.66	7.17	1.46	1.46
按市级分	扬州段	引江桥 - 泾河	24.7	19.1	16.2	13.4	3.28	3.28
	淮安段	泾河 - 淮安	4.22	-1.82	-3.02	-7.02	0	0
全河段		引江桥 - 淮安	28.9	17.3	13.2	6.42	3.28	3.28

按河道划分, 高水河段和里运河段的耗用水量分配比约为 3:7, 其中高水河段耗用水量所占比例由大到小依次为: 船闸用水量、涵闸漏水量、水厂取水量。

按县级划分, 则中水工况用水效率明显高于高水工况下的用水效率。耗用水量由大到小依次为宝应段、江都段、高邮段。测验期间除江都段船闸用水量所占比高于涵闸漏水量外, 其余各段均为涵闸漏水量所占比最高, 所有河段水厂用水量所占比都最小。因江都芒稻船闸、高邮运东船闸处于扩容建造中, 芒稻船闸、运东船闸运行后江都段、高邮段实际耗用水量都将有所增大。

对于按市级划分时, 可以明显看出扬州段两种工况下的用水效率均高于淮安段。淮安段在中水工况下耗用水量和耗损水量总值为负值, 分析其原因主要是因为该段上下游水位差变大, 造成淮安三线船闸等对大运河河段没有水量消耗, 反而进行了水量补充。

对于全河段, 高中水两种工况下, 用水效率分别为 64.7% 和 64.9%, 其中尤以涵闸漏水量占比最大。

5 结论与建议

输水是一个动态的过程, 输水损失亦非定值。在影响输水损失量大小的诸多因素中, 只有河床地质组成是稳定的, 其他诸如天气、河道水位、水面宽度、河道两侧地下水埋深等是随时在变化的。

本次输水损失采用水量平衡法研究输水损失, 通过测验时间、测次安排同步, 测验方法、手段统一, 测验精度、技术标准同一等保证了测验成果的准确性, 经对照分析认为测验河段输水损失量合理性较好。但是由于测验河段水位工况与实际用水期工况有较大差别, 且测验期间的调度从高水到中水工况, 使得堤防浸泡后处于饱和状态, 降低了后期河道渗漏量, 故高水与中水工况输水损失结果相差较大。因此建议在以后的输水损失河段的选取应尽量减少控制断面测验误差的影响, 可选择在翻水站机组停运时机选择前期降水量少、农灌用水为零、外因影响小的河段进行试验。

参考文献:

[1] 王万科. 大运河淮安—江都段输水损失初步分析 [J]. 江苏水利, 1999 (2): p. 39-40.

[2] 雷声隆. 防渗渠道输水损失的估算 [J]. 灌溉排水学报, 2003. 22 (3): p. 7-10.

[3] 于维丽, 周黎明, 张建泽. 引黄济青输水河工程输水损失分析. [J] 人民黄河, 2003. 25 (2): p. 34-35.

[4] 徐明. 京杭大运河扬州段输水损失和用水分析 [J]. 人民长江, 2009. 40 (11): p. 48-50.

[5] 仇宝云. 水面蒸发对南水北调江苏段调水效率的影响 [J]. 排灌机械工程学报, 2011. 29 (3): p. 219-223.

[6] 丁建国, 陈家大, 寇军. 苏北供水干线输水损失测验与分析 [J]. 治淮, 2011 (6): p. 13-15.

备注: 本文图 123 电子图参见本刊网站
(责任编辑: 华智睿)