

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2015.02.045

南水北调京石段应急供水输水损失规律分析

田景环, 常思源, 黄鑫, 王文川

(华北水利水电大学, 郑州 450011)

摘要: 影响渠道输水损失率的因素很多, 但主要因素是渠道施工质量、天气条件、输水流量等。利用南水北调中线京石段应急输水运行的实测数据, 采用水量平衡原理, 对不同时段输水损失率进行分析计算, 得出输水渠道在正常运期、汛期、冰期不同输水阶段的损失率规律, 为即将开始的中线南水北调工程全线输水调度运行提供技术支撑。

关键词: 南水北调京石段; 输水损失率; 输水时段; 水量平衡; 分析

中图分类号: TV213 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)02-0395-04

Analysis of water conveyance loss of Beijing Shijiazhuang emergency water supply section in South to North Water Diversion Project

TIAN Jing-huan, CHANG Si-yuan, HUANG Xin, WANG Wen-chuan

(North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450011, China)

Abstract: Water conveyance loss can be affected by many factors, including weather conditions, canal construction quality, and water conveyance flow. Based on the measured water flow data of Beijing Shijiazhuang emergency water supply section in the South to North Water Diversion Project, water balance principle was adopted to analyze the water conveyance loss rates in the normal season, flood season, and ice season, which can provide technical support for the water conveyance operation in the Middle Route of the South to North Water Diversion Project.

Key words: Beijing Shijiazhuang section in the South to North Water Diversion Project; water conveyance loss rate; water conveyance period; water balance; analysis

南水北调工程是缓解我国北方水资源严重短缺、优化水资源配置、改善生态与环境的重大战略基础设施^[1], 中线工程是解决京津及华北地区缺水问题的重大战略基础设施^[2]。为了使工程顺利实施和运行, 许多学者和工程师利用工程开工前或施工中有限的时间对有关问题进行研究, 以便为设计和运行提供必要的技术支撑^[3]。如张忠波^[4]、黄会勇^[5]、蒋云钟^[6]、张小勇^[7]等对南水北调中线输水调度方案进行了相关研究, 为南水北调未来输水调度奠定了良好基础; 刘恒^[8]、胡丹^[9]、杜霞^[10]、熊雁晖^[11]等对南水北调中线运行的风险分析进行了相关研究, 为南水北调未来运行的风险管理奠定了良好基础; 赵嘉诚^[12]、汪易森^[13]和郭熙灵^[14]等人也对南水北调不同方面进行了相关研究, 为南水北调中线安全输水提供了有力的技术支撑。

南水北调中线干线京石段工程起点为石家庄古运河枢纽进口, 终点为北京市团城湖, 渠线总长 307.5 km。渠线总

长 227.39 km, 其中建筑物长 26.34 km, 渠道长 201.05 km, 采用明渠自流输水方式; 北京段从北拒马河支南开始, 途径房山区、丰台区, 至总干渠终点团城湖, 总长 80.05 km, 采用管涵输水方式。为缓解首都北京水资源短缺, 自 2008 年 9 月至今京石段工程已四次向北京市应急供水, 累计入京水量超过 15 亿 m³。因此, 有必要对京石段输水损失率进行计算、分析^[15]。本文利用现代数据挖掘技术, 从大量第一手资料中分析总结出南水北调京石段工程历次应急供水输水损失率的规律, 为即将开始的中线全线调度运行提供有力的技术支撑。

1 输水损失率的计算

输水损失率是指输水损失水量占输水总量的比率。它是反映输水效率的重要指标, 分析影响输水损失率的因素对提高水资源利用效率和指导输水工程准确调度有重要意义。渠道输水损失主要是由沿线的渗漏损失和蒸发损失造成。

收稿日期: 2014-06-06 修回日期: 2015-02-01 网络出版时间: 2014-03-19

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20150319.0928.006.html>

基金项目: 2013 年河南省重点科技攻关计划项目(132102110046); 河南省高校科技创新人才支持计划项目(13HASTIT034)

作者简介: 田景环(1965-), 女, 河北涿州人, 教授, 主要从事水力学及河流动力学的教学和科研工作。E-mail: Tianjinghuan@126.com

通讯作者: 常思源(1990-), 女, 河北邢台人, 主要从事水文学水资源系统分析、优化建模等方面的研究。E-mail: yishuiqingxiang@126.com

渗漏损失与渠道地质条件、渠道衬砌质量、内外压力差以及渠道湿周等有关,而渠道衬砌、内外压力差和渠道湿周又与渠道水深直接相关,渠道水深对总干渠渗漏损失有显著影响。而蒸发损失与天气、渠道水面宽度密切相关,分析研究相应阶段在不同水位、流量下的损失率,对降低输水损失、制定精确的输水调度方案有重要意义。

输水损失计算可以采用理论或经验公式计算,理论计算方法主要是求解各种初、边界条件下的渠道的渗流基本方程。理论计算方法从损失机理、结果表达方面是相对精确的,但对于初边界条件的要求较为严格,操作上较为复杂,生产上应用不多^[16]。经验公式计算主要通过到现场实测资料的统计分析和或专门试验得出的。

由于京石段运行年数有限,实测数据并不充足,致使诸如流量系数、渗透系数等参数无法进行准确的估算,故本次输水损失率采用水量平衡原理,区分不同时段进行计算,以便减小由数据的可获取性所带来的误差。输水损失率按下式计算:

$$p = \frac{w_p}{w_i - w_h} \% \quad (1)$$

$$w_p = (w_s - w_e) + w_i - w_j - w_h \quad (2)$$

式中: p 为输水损失率; w_p 为计算时段内的损失水量; w_i 为计算时段内入渠水量, w_h 为计算时段内渠道分水量; w_s 为计算时段初渠道水体体积; w_e 为计算时段末渠道水体体积; w_j 为计算时段内入京水量。

2 输水损失率的计算

2.1 历次输水期的总损失率

南水北调中线工程京石段自 2008 年以来,共输水四次。利用公式(1)对各次输水期的输水损失率进行计算,结果见表 1。

可以看出,南水北调中线工程京石段自通水以来,输水损失率呈逐次递减的趋势,其中:

第一次输水运行期间,由于初次运行防渗漏措施准备不够完善,运行水位相对较高,流量相对较小所导致输水损失率较大。

第二次输水损失率较第一次有所下降,这是因为第二次通水时渠道经过维修处理后防渗漏能力有所改善,运行水位较低,流量相对较大。

第三次通水输水损失率最小,因为渠道经两次输水后维修后防渗漏能力更强,运行水位较低,流量相对更大。

第四次输水(统计时输水还未结束,根据现有的资料计算到 2013 年 6 月 18 号)的计算周期短,冰期运行时间较长结冰量较大,且计算时间内滹沱河分水量和洗渠退水量较大,导致第四次输水损失率较大。

表 1 四次通水输水损失率计算

Tab. 1 The water conveyance loss rates for four times

第 n 次输水	时间	损失率 (%)
第一次输水	2008-9-21 至 2009-8-20	6.52
第二次输水	2010-5-25 至 2011-5-9	2.61
第三次输水	2011-7-22 至 2012-7-31	1.66
第四次输水	2012-12-21 至 2013-6-18	11.13

2.2 历次通水各月输水损失率

为分析不同时段的输水损失率规律,将南水北调京石段输水工程的四次输水分别以月份为时段进行输水损失率计算。发现有的月份的损失率为负值。究其原因:一是相关数据测量不够准确;二是没有运行期相应的降水、结冰与融冰观测资料,无法考虑降水、结冰与融冰等因素对输水损失计算造成的影响。因此只将损失率为正值的月份总结如表 2-表 5。

表 2 第一次通水分月损失率计算(2008-10-21 至 2009-7-21)

Tab. 2 The monthly water conveyance loss rates for the first water conveyance (2008-10-21 至 2009-7-21)

时间	10-21 至 11-21	11-21 至 12-21	12-21 至 1-21	1-21 至 2-21	2-21 至 3-21	3-21 至 4-21	4-21 至 5-21	5-21 至 6-21	6-21 至 7-21	7-21 至 8-20
损失率 (%)	7.64	23.73	8.21	24.73	4.27	6.80	5.66	3.16	2.18	23.68

表 3 第二次通水分月损失率计算(2009-5-25 至 2010-4-25)

Tab. 3 The monthly water conveyance loss rates for the second water conveyance (2009-5-25 至 2010-4-25)

时间	5-25 至 6-25	6-25 至 7-25	7-25 至 8-25	8-25 至 9-25	9-25 至 10-25	10-25 至 11-25	12-25 至 1-25	1-25 至 2-25	2-25 至 3-25	3-25 至 4-25
损失率 (%)	1.97	3.31	4.19	2.99	6.16	5.42	13.85	12.05	10.28	8.61

表 4 第三次通水分月损失率计算(2011-8-1 至 2012-7-1)

Tab. 4 The monthly water conveyance loss rates for the third water conveyance (2011-8-1 至 2012-7-1)

时间	8-1 至 9-1	9-1 至 10-1	10-1 至 11-1	11-1 至 12-1	12-1 至 1-1	1-1 至 2-1	2-1 至 3-1	4-1 至 5-1	5-1 至 6-1	6-1 至 7-1
损失率 (%)	0.99	1.80	2.22	16.81	9.39	8.70	7.45	4.82	6.82	3.32

表 5 第四次通水损失率计算(2012-11-21 至 2013-6-18)

Tab. 5 The monthly water conveyance loss rates for the fourth water conveyance (2012-11-21 至 2013-6-18)

时间	11-21 至 12-21	12-21 至 1-21	1-21 至 2-21	2-21 至 3-21	3-21 至 4-21	5-21 至 6-18
损失率 (%)	7.11	21.63	22.75	14.48	9.71	4.89

2.3 汛期、冰期、正常输水损失率

输水损失率与输水时间有关。将 2008 年-2013 年间四

次通水实测数据按正常输水期、冰期、汛期分别统计计算,可得出四次输水运行在不同时段的输水损失率,结果见表 6。

表6 四次通水综合输水损失率计算结果表

Tab. 6 The comprehensive water conveyance loss rates for four times

序号	通水次序	计算时段	典型运行工况	入京流量 / (m ³ · s ⁻¹)	入渠流量 / (m ³ · s ⁻¹)	输水损失率 (%)
1	一	2008-10-1 至 2008-11-30	正常输水	10	12.9	17.2
2		2008-12-11 至 2009-2-21	冰期输水	9	11.6	17.5
4		2009-6-1 至 2009-6-30	汛期输水	20	20.7	2.6
5	二	2010-7-1 至 2010-9-30	汛期输水	14	15.1	3.6
6		2010-11-1 至 2010-11-30	正常输水	13.5	13.4	5.6
7		2010-12-17 至 2011-2-25	冰期输水	10	12	13.8
9	三	2011-8-1 至 2011-8-31	汛期输水	10	11	0.59
10		2011-11-1 至 2011-11-30	正常输水	14	14.9	3.2
11		2011-12-17 至 2012-2-25	冰期输水	14	15.6	8.5
12	四	2012-12-17 至 2013-1-18	冰期输水	9.5	12.6	18.9
13		2013-3-9 至 2013-3-22	正常输水	10.8	13.7	5.26
14		2013-8-1 至 2013-8-31	汛期输水	14	14.1	2.99

从表6中可以看出,流量越大,输水损失率越小。根据表6中四次通水的输水损失率,可绘制各典型运行工况折线图(图1)。

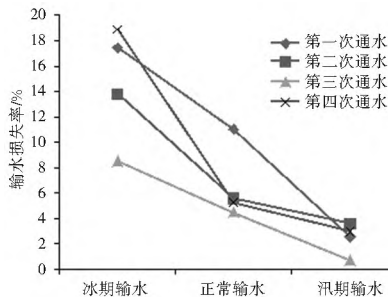


图1 四次通水典型运行工况输水损失率

Fig. 1 The water conveyance loss rates under typical conditions for four times

从图1中可以看出,在冰期、汛期、正常输水三个时期中,冰期输水损失率最大,非汛期输水损失率次之,汛期正常输水损失率最小。这是因为冰期输水时,北方天气寒冷,河道中结冰量大,造成入渠流量部分以冰的形式滞留在渠道中,导致输水损失量很大。但冰块在融冰后同样参与输水,就全年的输水损失来说,基本没有结冰影响。汛期输水时,经常有降水补给,但在输水损失率计算中又没有降水量观测资料,无法考虑降水的补水影响,故降水量越大,汇流入渠的水量越大,计算得到的输水损失率越小。渗漏是影响输水损失率的重要因素,冬天冰期土地较为干旱,混凝土容易开裂,渗漏也可能较为严重,夏季汛期降水较多,土地较为湿润,渗漏损失可能会小些。

3 回归分析

对表1-表6输水损失率及其对应的入渠流量,绘制散点图,并拟合曲线(图2-图4),可以发现:

冰期输水,入渠流量越大,输水损失率越小;正常输水,入渠流量越大,输水损失率越小;汛期输水,入渠流量和损失率之间没有明显的相关关系,原因是汛期降水补给渠道,对输水损失计算影响很大,但降水的随机性大且目前没有相关

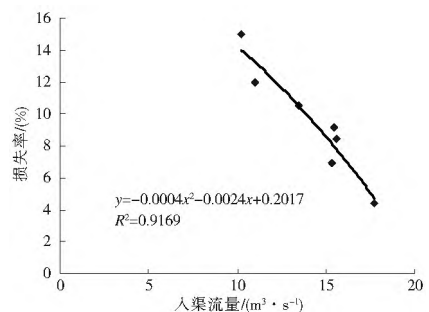


图2 冰期输水入渠流量与输水损失率关系

Fig. 2 Relationship between the canal flow and water conveyance loss rate in the ice period

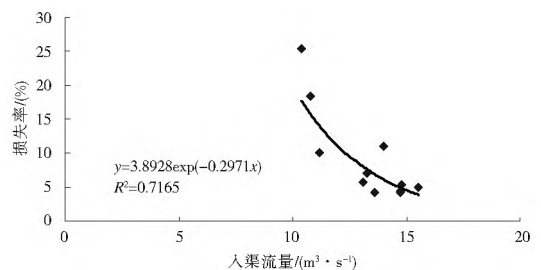


图3 正常输水入渠流量与输水损失率关系

Fig. 3 Relationship between the canal flow and water conveyance loss rate in the normal season

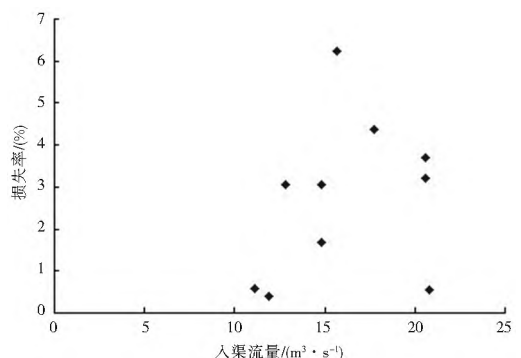


图4 汛期输水入渠流量与输水损失率关系

Fig. 4 Relationship between the canal flow and water conveyance loss rate in the flood season

降水量的实际观测资料,无法考虑降水对渠道输水降水的影响。

4 结论

南水北调京石段工程处于试运行阶段,和正常供水的水量规模尚有一定差距,但输水损失率是反映输水效率的重要指标,总结输水损失规律对提高水资源的利用和渠道输水调度的准确性依然具有重要意义。本文以南水北调京石段工程运行 5 年的应急输水实测调度数据为基础,利用水量平衡原理,计算分析工程不同输水时段的损失特征,发现输水损失的大小与输水时段有关,即冰期运行输水损失率最大,正常输水期损失率次之,汛期输水损失率最小;输水损失与输水流量大小有关,输水流量越大、输水损失率越小。

由于输水期降水、结冰、融冰等对输水损失的计算有很大影响,今后应加强这些因素的监测工作,为相关研究提供完善的资料基础。

参考文献(References):

- [1] 刘之平,陈文学,吴一红.南水北调中线工程输水方式及冰害防治研究[J].中国水利,2008,(21):60-62.(LIU Zhi ping, CHEN Wei xue, WU Yi hong. Type of water diversion and icing disaster prevention of middle Route Scheme of SNWDP[J]. China water resource, 2008, (21): 60-62. (in Chinese))
- [2] 王汉东,黄少华,黄会勇,等.南水北调中线一期工程水量调度系统设计与实现[J].人民长江,2013(9):100-103.(WANG Han dong, HUANG Shao-hua, HUANG Hui yong, et al. Design and realization of water quantity dispatching system of Middle Route Project of South to North Water Diversion[J]. Yangtze River, 2013, (9): 100-103. (in Chinese).)
- [3] 郭熙灵,程展林.南水北调中线工程科研综述[J].人民长江,2005,36(12):13-15.(GUO Xi ling, CHENG Zhan lin. The scientific research of South to North Water Transfer Project[J]. Yangtze River, 2005, 36(12): 13-15. (in Chinese))
- [4] 张忠波,张双虎,蒋云钟.南水北调中线一期工程水量调度方案制定分析[J].南水北调与水利科技,2011,6:5-10.(ZHANG Zhong-bo, ZHANG Shuang-hu, JIANG Yun-zhong. The analysis of working out the first stage of the Middle Route South to North Water Diversion Project scheduling schemes[J]. South to North Water Diversion and Water Science & Technology, 2011, 6: 5-10(in Chinese))
- [5] 黄会勇,毛文耀,范杰,等.南水北调中线一期工程输水调度方案研究[J].人民长江,2010,41(16):8-16.(HUANG Hui yong, MAO Wen yao, FAN Jie, et al. Study of water conveyance schemes of Phase I Works of Middle Route Project of S N Water Diversion [J]. Yangtze River. 2010. 41(16): 8-16. (in Chinese))
- [6] 蒋云钟,赵红莉,董延军,等.南水北调中线水资源调度关键技术研究[J].南水北调与水利科技,2007,8(4):1-4.(JIANG Yun-zhong, ZHAO Hong-li, DONG Yan-jun, et al. Key technology research of water resources operation for Middle Route Project of South to North Water Diversion[J]. South to North Water Diversion and Water Science & Technology, 2007.8(4): 1-4(in Chinese.))
- [7] 张晓勇,贵勤,付建军,等.南水北调中线水源工程调水管理研究[J].南水北调与水利科技,2009,12(6):258-261.(ZHANG Xiaoyong, GUI Qin, FU Jianjun, et al. Water source diversion management in the Middle Route of the South to North Water Transfer Project[J]. South to North Water Diversion and Water Science & Technology, 2009. 12(6): 258-261. (in Chinese.))
- [8] 刘恒,耿雷华.南水北调运行风险管理研究[J].南水北调与水利科技,2010,8(4):1-6.(LIU Heng GENG Lei-hua. Risk Management of the South to North Water Transfer Project[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2010, 8(4): 1-6(in Chinese))
- [9] 胡丹,郑良,李硕,等.南水北调中线明渠工程运行风险评价方法研究[J].南水北调与水利科技,2013,11(6):98-101.(HU Dan, ZHENG Liang, LI Shuo, et al. Study on the risk evaluation method for the open channel operation in the Middle Route of South to North Water Diversion Project [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2013, 11(6): 98-101(in Chinese))
- [10] 杜霞,耿雷华.南水北调中线工程运行风险分析[J].水利水电技术,2011,42(3):85-88.(DU Xia, GENG Lei-hua. Risk analysis on operation of Mid route of South to North Water Transfer Project[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2011, 42(3): 85-88. (in Chinese))
- [11] 熊雁晖,漆文刚,王忠静.南水北调中线运行风险研究(一)—南水北调中线工程风险识别[J].南水北调与水利科技,2010,6(3):1-5.(XIONG Yan-hui, QI Wen-gang, WANG Zhong-jing. Operation risk study on the Middle Route of the South to North Water Diversion Project(Part I)—risk identification in the Middle Route of the South to North Water Diversion Project[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2010, 6(3): 1-5. (in Chinese))
- [12] 赵嘉诚,韩黎明,王术国.浅议南水北调中线京石段工程冰期输水技术[J].南水北调与水利科技,2009,7(5):37-39.(ZHAO Jia-cheng, HAN Li-ming, WANG Shu-guo. Technologies of operation on Beijing-Shijiazhuang section of Middle Route Project of South to North Water Diversion in Ice Period [J]. 2009. 7(5): 37-39. (in Chinese))
- [13] 汪易森.南水北调中线京石段应急供水工程设计和施工中的主要技术问题[J].水利水电技术,2009,40(1):10-28.(WANG Yi-sen. Key technical problems during design and construction of emergency water supply project for Beijing Shijiazhuang section in Mid route of South to North Water Transfer Project[J]. Water Resources and Hydropower Engineering. 2009. 40(1): 10-28. (in chinese))
- [14] 郭熙灵,程展林.南水北调中线工程科研综述[J].人民长江,2005,36(12):13-15.(GUO Xi ling, CHENG Zhan lin. The scientific research of South to North Water Transfer Project [J]. Yangtze River, 2005, 36(12): 13-15. (in Chinese))
- [15] 张亭,程德虎,韩黎明,等.南水北调中线京石段工程输水损失率分析[J].水科学与工程,2012(3).(ZHANG Ting, CHENG De-hu, HAN Li-ming, et al. Analysis on the rate of water conveyance loss of Beijing-Shijiazhuang section in South to North Water Diversion Middle Route Project [J]. Water Sciences and Engineering Technology, 2012(3). (in Chinese))
- [16] 资红建.渠道水利用系数估算[J].新材料新装饰,2014(2).(ZI Hong-jian. Estimate of canal water Use coefficient [J]. New Material New Decoration. 2014(2). (in Chinese))