

长藤结瓜灌溉系统中渠道输配水系统可行域研究

吴彩丽^{1,2}, 师志刚³, 刘洪玲⁴, 张宝忠^{1,2}, 章少辉^{1,2}, 张 凯^{1,2}

(1. 国家节水灌溉北京工程技术研究中心, 北京 100048; 2. 水利部数字孪生流域重点实验室, 北京 100038;
3. 中国水权交易所, 北京 100053; 4. 滨州市引黄灌溉服务中心, 山东 滨州 251700)

摘 要: 灌区输配水渠道的过水能力除了受渠道本身过水能力及上下级渠道的制约之外, 还要受泵站、塘堰、中小型水库等灌区中的提水、蓄水设施的影响。为了保障灌区渠系运行的安全性, 在渠道本身过水能力及上下级渠道的制约研究的基础上, 就提水和蓄水设施两大影响因素, 在考虑水泵对连接渠道过水能力的制约和塘堰、水库等蓄水设施对骨干渠道过水能力的调节作用的基础上, 采用对比分析法进行渠道输配水系统可行域的分析研究, 并且该输配水可行域计算方法在某大型引黄灌区中进行了实例应用, 结果表明, 提出的可行域计算方法, 充分考虑到泵站对于连接渠道过水流量需在水泵设计流量附近运行的要求, 以及水库对渠道最大过水流量的消减作用, 计算结果合理可靠, 可为渠系的合理调度运行以及渠道系统的设计提供科学依据。

关键词: 灌溉系统; 灌区渠道; 输配水能力; 可行域

中图分类号: S274.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2024)05-0087-06

Feasible Area of Water Transfer Capacity of Complex Channel Water Distribution System in Irrigation System

WU Caili^{1,2}, SHI Zhigang³, LIU Hongling⁴, ZHANG Baozhong^{1,2}, ZHANG Shaohui^{1,2}, ZHANG Kai^{1,2}

(1. National Center of Efficient Irrigation Engineering and Technology Research, Beijing 100048, China;

2. Key Laboratory of River Basin Digital Twinning of Ministry of Water Resources, Beijing 100038, China;

3. China Water Exchange, Beijing 100053, China;

4. Binzhou Yellow River Diversion Irrigation Service Center, Binzhou, Shandong 251700, China)

Abstract: The drainage capacity of water distribution channel in irrigation area is not only restricted by the drainage capacity of the channel itself and the upper and lower channels, but also affected by various pumping stations, small and medium-sized reservoirs and other water lifting and storage facilities in irrigation areas. In order to ensure the safety of canal system operation in irrigation area, based on the study on the drainage capacity of the channel itself and the restriction of the upper and lower channels, this study takes into account the two major influencing factors of water lifting and storage facilities, and considers the restriction of the pump on the drainage capacity of the connecting channels and the regulating effect of water storage facilities such as reservoir on the drainage capacity of the backbone channels. Comparative analysis method is used to analyze and calculate the feasible area of the channel water distribution system. The results show that the feasible region calculation method proposed in this study fully takes into account the pumping station's requirement that the water flow of the connecting channel should run near the design flow of the pump, and the reservoir's reduction of the maximum water flow of the channel. The calculation results are reasonable and reliable, and can provide scientific basis for the rational operation of the canal system and the design of the channel system.

Keywords: irrigation system; irrigation channel; water distribution capacity; feasible area

随着我国社会经济的不断发展,各行各业对水资源需求量愈来愈大。特别是我国经济在新时代高质量发展的形势下,水资源的供需矛盾日益严峻^[1]。对于农业用水大户来说,必须按照国家建设现代化节水农业的要求,合理高效配置灌区水资源。由此众多学者根据现代化节水农业的标准,提出了水资源优化配置模型,而灌区中水资源的配置归根结底是要通过渠道来完成的,水流能否顺利地通过渠道系统是水资源配置能否实现的关键因素。因此,研究渠道系统的实际过水能力问题是非常必要的。笔者曾经对渠道系统的过水能力可行域进行了研究,提出了考虑上下级渠道制约的渠道系统可行域的计算方法^[2]。但是在实际中渠道上有多种建筑物,还有灌区渠道上存在的当地径流如塘堰、小水库积蓄的水资源等,都会对渠道系统的过水能力可行域产生影响。

目前灌区渠系输配水优化模型的研究,多采用最优化求解方法,如遗传算法、动态规划、粒子群算法、自适应算法等:

马涛^[3]以整个输水过程时间最短和轮灌组持续引水时间差异最小为双目标函数建立渠系优化配水模型,采用遗传算法进行优化求解;周美林等^[4]建立了下级配水渠道流量不等时的双目标优化配水模型;王忠静等^[5]通过变化输水渠道线性积分时滞控制模型,建立了多级联渠道离散时间状态空间方程;胡宇祥等^[6]针对实际配水过程中下级渠道的流量不相等的问题,建立了输水损失最小的配水优化编组模型;叶雯雯等^[7]针对大型输水明渠这一特殊的控制系统,提出一种可在线调节控制器参数的自适应 PID 控制算法;谭倩等^[8]针对农业水资源多目标规划中存在的权重不确定性难题,建立了基于鲁棒优化方法的农业水资源多目标优化配置模型方法;徐淑琴等^[9]针对黑龙江杨木灌区的灌排两用渠道,以渠道输水过程中水量损失最小、不同时刻干渠净配水流量变化最小、灌排净效益最大为目标函数,建立输水优化调度模型;沈来银等^[10]提出了一种不需要作物需水预测成果的渠系优化配水模型框架,该框架依据春播初期作物水盐要求,将 SHAW 模型嵌入优化配水模型,确定秋浇配水计划;高凯茹^[11]将带精英策略的非支配排序遗传算法应用于灌区骨干渠道优化调度研究中,对灌区渠系输水流量、输水时间以及闸门开启高度等问题进行系统研究;廖相成等^[12]建立了一种渠床湿润状况无后效性特征的渠系优化配水模型,并采用动态规划算法;韩宇等^[13]以河套灌区总干渠、干渠两级渠系作为研究对

象,将水流过渡平稳和渠道渗漏量最小作为优化目标,建立渠系优化配水模型;肖梦君等^[14]采用实时灌溉预报模型计算作物实时需水,根据灌区渠系运行情况建立多目标渠系配水模型,并采用模拟退火算法求解;农翕智等^[15]建立了多级渠系多因素综合影响下的灌渠优化配水模型,运用元启发式优化算法布谷鸟搜索算法进行模型求解。

上述最优化算法模型的求解,一般是由一个满足给定约束和边界条件的初始试验轨迹开始,反复使用递推方程进行择优计算,以确定最优策略。目前的灌区水资源优化配置模型,有些没有考虑渠道系统的过水能力问题,有些仅考虑了渠道本身的过水能力问题,很少考虑上下级渠道相互制约以及泵站和水库、塘堰对渠道过水能力可行域的综合影响情况。

按照担负灌区主要供水任务的水源来划分,一般可分为四种类型:以引为主的、以蓄为主的、以提为主的以及多首制联合供水的长藤结瓜灌溉系统。本文针对多首制联合供水的长藤结瓜灌溉系统的水资源配置进行研究。所研究的灌区水源工程主要由渠首提水泵站和区间(是指在灌溉渠首和斗农渠之间)的塘堰小水库蓄水工程组成。在实际调度运行中,形成了以渠首提水泵站为主,区间塘库为辅的综合水资源调度工程系统。对提水泵站而言,每台水泵都有其限制过流范围,工作中应尽量使水泵在其设计流量、设计扬程等参数附近运行,连接的渠道也需要满足相应的过水能力要求。而对塘堰、水库等蓄水工程而言,在灌区供水高峰期可以发挥削减最大过水流量的作用,从而对连接渠道的过水能力亦有一定影响。因此,研究渠道系统的过水能力,不能只研究渠道本身及上下级互相制约下的可行域,而是需要针对长藤结瓜灌溉系统中受泵站、区间塘库等设施综合影响的渠道输配水系统可行域进行研究。

灌区渠道水流能否顺利地通过渠道系统是水资源配置能否实现的关键因素。因此,研究长藤结瓜灌溉系统中渠道系统可行域,一是为渠系优化配水模型提供初始轨迹的取值范围,为渠系的合理调度与运行提供依据,提高管理水平;二是检验渠道系统设计的合理性,也为渠道的设计提供依据。

1 泵站对渠道系统过水能力的影响

灌区泵站工程是利用机电提水设备及其配套建筑物,给水流增加能量,使其满足灌溉要求的综合性系统工程。每台水泵都有其设计工作点,工作中应尽量使水泵在其设计流量、设计扬程等参数附近运

行。但是,在实际运行中,由于一些偶然因素,实际工作点往往会偏离设计工作点。为了充分发挥水泵工作效率并节约能源,应使其在高效区运行,所以水泵的过水能力需要限制在一个范围之内,故而与泵站连接的渠道的过水能力会受到相应的制约。高效区的选定,一般要求相对于最高效率 $\eta_{\max}$ 的效率降低值不超过 5%~8%,每台水泵都有其限制过流范围,即高效区两端点的流量,记为[泵高效区流量低限,泵高效区流量高限]。运行中要尽量保证水泵在其高效区内运行,否则就需要进行调节。

泵站对渠道系统过水能力影响的计算分两种情况:泵站后连接节点情况和泵站后直接连接用水户情况。

1.1 泵站后连接节点情况

如图 1 所示,设一个节点下连有 $n+m$ 条渠道,其中 n 条上有泵站, m 条上没有泵站,渠道自身的过水能力都已知,且假设考虑上下级渠道过水能力限制的渠道、节点的过水能力可行域已经按考虑渠道系统本身及上下级制约的方法算出。如渠道 j_u 的过水能力为: $[Q_{ju,\min}, Q_{ju,\max}]$ 。

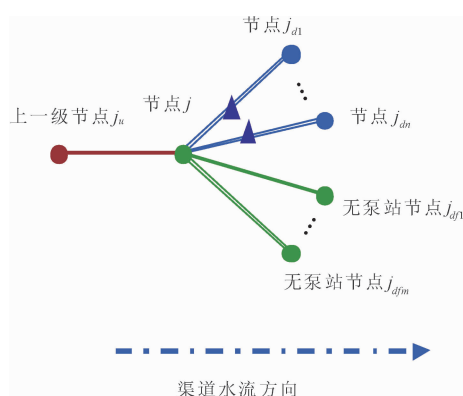


图 1 泵站后连接节点情况

假设第 i 个泵站上有 $n_i + m_i$ 台水泵机组,其中,正常状态, n_i 台水泵工作, m_i 台水泵备用。且每台水泵的过流能力为: $[q_{ni,\min}, q_{ni,\max}] = [q_{ni} - a_{ni}, q_{ni} + b_{ni}]$,其中, q_{ni} 为第 n_i 台水泵的设计流量, $q_{ni,\min}$ 为泵高效区流量低限, $q_{ni,\max}$ 为泵高效区流量高限。一般泵站水泵台数宜为 3~9 台,每天工作时间为 20 h,假定泵站的工作制度允许最少一台水泵运行。为满足检修、用电避峰及发生事故停机时仍能满足设计流量的要求,需要增设备用的水泵 1~2 台。

则第 i 个泵站的过水能力为:

$$[Q_{i,\min}, Q_{i,\max}] = [\min(q_{n1,\min}, \dots, q_{ni,\min}), q_{n1,\max} + \dots + q_{ni,\max}] \quad (1)$$

所以,迭加上渠道本身过水能力,第 i 个泵站所

在渠道 j_{di} 的过水能力为:

$$[Q'_{jdi,\min}, Q'_{jdi,\max}] = [\max(Q'_{jdi,\min}, Q_{i,\min}), \min(Q'_{jdi,\max}, Q_{i,\max})] \quad (2)$$

节点 j 下没有泵站的节点按单纯渠道系统的方法算出。

则节点 j 的过水能力可行域为:

$$[Q_{j,\min}, Q_{j,\max}] = [\min(Q'_{jdl,\min}, \dots, Q'_{jdi,\min}, \dots, Q'_{jdn,\min}, Q_{jdl,\min}, \dots, Q_{jdi,\min}, \dots, Q_{jdn,\min}), Q'_{jdl,\max} + \dots + Q'_{jdi,\max} + \dots + Q'_{jdn,\max} + Q_{jdl,\max} + \dots + Q_{jdi,\max} + \dots + Q_{jdn,\max}] \quad (3)$$

由此可推出,节点 j 上一级的渠道可行域为:

$$[Q'_{ju,\min}, Q'_{ju,\max}] = [\max(Q_{ju,\min}, Q_{j,\min}), \min(Q_{ju,\max}, Q_{j,\max})] \quad (4)$$

1.2 泵站后直接连接用水户情况

如图 2 所示,渠道 m 上某处有 n 个用水户需要用泵站从渠道上抽水,假定泵站的工作制度允许最少一台水泵运行,且假设已按单纯渠道系统方法求出渠道 m 及各节点的过水能力可行域,设泵站 i 的引水能力为: $[Q_{i,\min}, Q_{i,\max}]$ 。

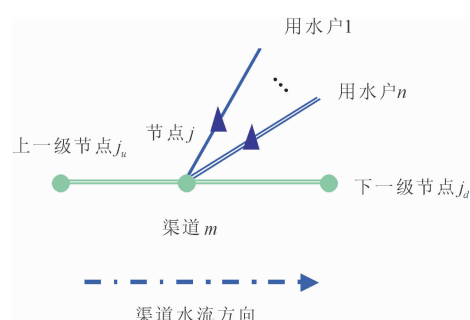


图 2 泵站后直接连接用水户情况

在节点 j 后加上 n 个泵站后,渠道 m 的过水能力在节点 j 处被分为两节,上级渠道(m_{ju})和下级渠道(m_{jd})的过水能力不同。 m_{jd} 的引水流量变小,故而要求下级渠道的过水能力可行域随之变小,其值为未加泵站时的过水能力减去泵站的引水流量,即:

$$[Q'_{jd,\min}, Q'_{jd,\max}] = [Q_{jd,\min} - (Q_{1,\max} + \dots + Q_{i,\max}), Q_{jd,\max} - \min(Q_{1,\max}, \dots, Q_{i,\max})] \quad (5)$$

上级渠道的过水能力可行域不变。若要求下级渠道的过水能力不变(即下级的需水量不变),则上级渠道的过水能力需加大。由于 n 个用水户从渠道 m 上的引水能力为:

$$[Q_{j,\min}, Q_{j,\max}] = [\min(Q_{1,\min}, \dots, Q_{i,\min}, \dots, Q_{n,\min}), Q_{1,\max} + \dots + Q_{i,\max} + \dots + Q_{n,\max}] \quad (6)$$

所以,上级渠道的过水能力为:

$$[Q_{ju,\min}, Q_{ju,\max}] = [Q_{jd,\min} + Q_{j,\min}, Q_{jd,\max} + Q_{j,\max}] \quad (7)$$

上述计算中是以水泵高效区的上下限来计算泵站的过水能力。

2 水库对渠道系统过水能力的影响

长藤结瓜式灌溉系统中,水库及塘堰在非灌溉高峰期渠道对水库及塘堰的补水调节和在灌溉供水高峰期的蓄水调节,可减小干渠的最大过水流量。水库和渠道相互调节的工作制度是:在非灌溉季节和非灌溉高峰期,利用渠道把河水和多余的渠水及沿渠的坡面径流等,引入水库等蓄水设施存蓄起来;而在灌溉季节,尤其是灌溉高峰期用水紧张时,渠道水、水库蓄水可同时进行灌溉,避免了单独靠干渠从渠首引水。非灌溉期用于存蓄水量的这部分水库库容,可以削减灌溉高峰期干渠的最大过水流量,也提高了灌溉供水保证率。因此,灌溉系统中的水库在灌区供水高峰期可以发挥削减干渠最大过水流量的作用,使干渠供水均匀,从而缩小干渠的设计断面。所以,长藤结瓜系统具有减小骨干工程规模及干渠设计断面的功能。

假设某灌区中第 i 个水库片中担负洪峰期削减流量作用的库容为 ΔV_i ,考虑塘库和渠道的工作制度的用水高峰期时间为 t ,水库的供水流量为 Q_i ,水库调蓄库容能够削减的洪峰期干渠流量为 Q'_i ,效率为 η 。假定该灌区中与渠首相连的干渠 i 的考虑自身及上下级渠道制约的可行域为 $[Q_{i,\min}, Q_{i,\max}]$,则:

$$\Delta V = Q_i t \tag{8}$$

$$Q_i = \frac{\Delta V}{t} \tag{9}$$

$$Q'_i = \frac{\Delta V}{t} \cdot \eta \tag{10}$$

考虑塘库和渠道相互调节的工作制度,塘库对灌区干渠 i 引水口的过水能力的影响主要在于削减洪峰期的最大过水流量,则水库调蓄作用后干渠 i 引水口的过水能力可行域为:

$$[Q_{i,\min}, Q_{i,\max} - Q'_i] \tag{11}$$

3 实例应用

以某引黄灌区的骨干渠系为例研究长藤结瓜灌溉系统的输配水渠道系统可行域问题。灌区水利工程主要包括提水泵站、干支骨干输水渠道和建筑物、水库等。提水泵站包括总干泵站,北干泵站、中干泵站和南干泵站。灌溉高峰期,总干渠、北干、中干、南干均为续灌,泵站的水泵轮流开启,工作时间为每天 24 h。灌区基本信息如表 1 所示。

表 1 灌区基本信息表

渠系	泵站最高效率点流量 /($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	渠道长度 /km	设计流量 /($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	控制面积 /万 hm^2	片区用于削减干渠流量的库容 /万 m^3
总干渠	14.69	7.785	16.11	3.40	169.43
北干	4.13	15.784	5.47	0.92	69.13
中干	4.71	32.849	5.61	1.07	54.69
南干	5.20	30.726	4.23	1.18	45.61

干支渠结构布置如图 3 所示。

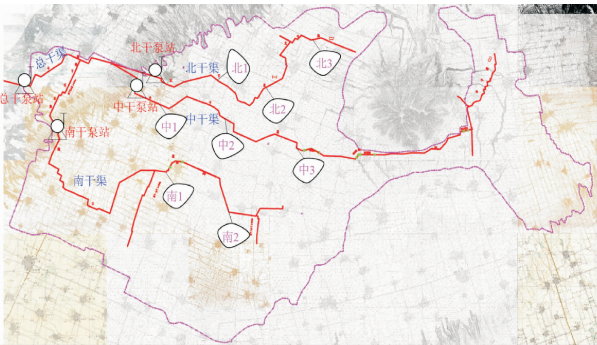


图 3 灌区渠道系统布置图

灌区渠道系统简化图如图 4 所示。

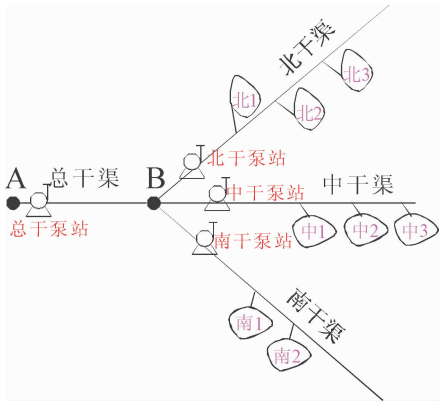


图 4 灌区渠道系统简化图

现以某引黄灌区为例进行分析计算。

某引黄灌区位于山西省西南部,受益区涉及两县 11 个乡镇、122 个行政村、18.03 万人。控制灌溉面积 3.40 万 hm^2 ,设计流量 15.06 m^3/s 。灌区地形比较平坦,地势东北高、西南低。区域内土壤肥沃,气候温和,适宜作物生长,一般年份地面无径流,地下水资源十分缺乏。干旱问题是制约灌区农业发展的主要因素。根据当地近期水资源评价报告,本区域属于贫水区,水资源极度缺乏。目前,在黄河上利用提水泵站是解决灌区干旱缺水的唯一可靠途径。

按照上级取水许可审批工程年供水额度为 1.38 亿 m^3 ,其中,一期供水 0.965 亿 m^3 ,全部用于农业

灌溉。

灌区内土地总面积为 6.89 万 hm^2 ,根据土地利用总体规划及现状,灌区灌溉土地均为耕地,以种植粮食作物(小麦、玉米)和果树为主,小麦面积为 1.36 万 hm^2 ,占灌区耕地总面积 40%,复播 35%;果树面积为 2.04 万 hm^2 ,占灌区耕地总面积的 60%。种植比例为小麦 40%,苹果 60%,复播玉米 35%,

经对灌区灌溉工程实测,灌区现状灌溉水利用系数为 0.544。灌溉设计保证率为 75%。

根据灌区实际需水情况,参照现行灌溉制度及附近试验站多年的灌溉试验资料,结合灌区农业发展规划的产量指标及作物需水量和有效降水量,充分考虑灌区节水措施,按水量平衡原理综合分析确定各种作物的灌溉定额,如表 2 所示。

表 2 某引黄灌区灌溉制度

作物	种植比例 /%	灌水 次数	灌水定额 /($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	田间净灌 水定额 /($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	灌水时间	延续 天数 /d	净灌水率 /($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot$ 667hm^{-2})
小麦	40	播前	690	482.625	10-01—10-17	17	0.16
		冬灌	690	482.625	12-10—12-24	15	0.19
		灌浆	690	482.628	05-02—05-15	13	0.20
苹果	60	冬灌	660	501.930	11-20—12-09	20	0.18
		花后	660	501.930	03-21—04-09	20	0.18
		夏灌	660	501.930	05-16—06-04	20	0.18
		暑灌	660	501.930	07-16—08-09	25	0.15
玉米	35	拔节	735	—	07-01—07-15	15	0.16
		抽穗	735	—	08-10—08-24	15	0.16

灌区泵站由三级提灌泵站群组成。一级站是灌区的渠首,由 7 台水泵组成,总装机 34 300 kW,扬程 148.6 m,设计流量为 14.69 m^3/s 。二级站北干渠首由 3 台机组,扬程 183 m,设计流量 4.13 m^3/s ;二级站中干渠首亦由 3 台机组,扬程 155 m,设计流量 8.84 m^3/s 。二级站总装机 26 350 kW。二级站南干渠首由 4 台机组,装机 10 000 kW,扬程 116.9 m,设计流量 5.2 m^3/s 。北干三级站渠首装机 4 台,1 800 kW,扬程 40.3 m,设计流量 3,12 m^3/s ;中干三级站,装机 3 台,1 065 kW,扬程 76.9 m,设计流量 0.99 m^3/s 。

先按照渠道本身及上下级限制的过水能力计算方法,计算渠道系统过水能力,再考虑泵站和水库对渠道系统过水能力的影响,计算泵站对总干渠、北干、中干、南干的过水能力产生的影响,以及各片区水库用于削减干渠流量的库容对总干渠过水能力产生的影响。

(1) 渠道本身输水约束上下限

按照渠道过水能力的计算方法,取最小流量系数 0.4,加大流量系数 1.2,计算渠道本身输水约束上下限:

总干渠:[$Q_{\text{总干,min}}$, $Q_{\text{总干,max}}$] = [6.444,19.332] (12)

北干渠:[$Q_{\text{北干,min}}$, $Q_{\text{北干,max}}$] = [2.188,6.564] (13)

中干渠:[$Q_{\text{中干,min}}$, $Q_{\text{中干,max}}$] = [2.244,6.732] (14)

南干渠:[$Q_{\text{南干,min}}$, $Q_{\text{南干,max}}$] = [1.692,5.076] (15)

(2) 考虑上下级渠道制约的渠道过水能力可行域

在灌溉期,总干、北干、中干、南干均为续灌,则节点 B 的配水约束上下限为:

[$Q_{\text{节点B,min}}$, $Q_{\text{节点B,max}}$] = [6.124,18.372] (16)

因此,总干渠的过水能力可行域为:

[$Q_{\text{节点B,min}}$, $Q_{\text{节点B,max}}$] = [6.444,18.372] (17)

基于渠道本身过水能力及上下级渠道制约,可以得出总干渠的过水能力可行域为:

总干渠:
[$Q_{\text{总干单,min}}$, $Q_{\text{总干单,max}}$] = [6.444,18.372] (18)

(3) 考虑泵站影响的渠道过水能力可行域

假定高效区位于最高效率点的流量 70% ~ 120% 范围内,则考虑泵站影响的总干过水能力为:

[$Q_{\text{总干泵站,min}}$, $Q_{\text{总干泵站,max}}$] = [10.283,17.628] (19)

北干过水能力为:
[$Q_{\text{北干泵站,min}}$, $Q_{\text{北干泵站,max}}$] = [2.891,4.956] (20)

中干过水能力为:

$$[Q_{\text{中干泵站,min}}, Q_{\text{中干泵站,max}}] = [3.297, 5.652] \quad (21)$$

南干过水能力为:

$$[Q_{\text{南干泵站,min}}, Q_{\text{南干泵站,max}}] = [3.64, 6.24] \quad (22)$$

(4) 考虑水库影响的渠道过水能力可行域

北干片区用于削减干渠流量的库容为 69.13 万 m^3 , 中干片区用于削减干渠流量的库容为 54.69 万 m^3 , 南干片区用于削减干渠流量的库容为 45.61 万 m^3 , 则该灌溉系统中用于削减干渠流量的库容总和为 169.43 万 m^3 , 一次灌溉高峰期的时间为 20 d, 效率为 0.8, 采用第 2 节的计算方法可得, 考虑水库调蓄作用后总干渠过水能力可行域为:

$$[Q_{\text{总干调蓄,min}}, Q_{\text{总干调蓄,max}}] = [10.283, 16.844] \quad (23)$$

结合渠道本身过水能力及上下级渠道制约, 再考虑泵站和水库对渠道系统过水能力的影响, 计算总干渠、北干、中干、南干的复杂渠道系统过水能力可行域分别为:

总干渠:

$$[Q_{\text{总干复,min}}, Q_{\text{总干复,max}}] = [10.283, 16.844] \quad (24)$$

北干渠:

$$[Q_{\text{北干复,min}}, Q_{\text{北干复,max}}] = [2.891, 4.956] \quad (25)$$

中干渠:

$$[Q_{\text{中干复,min}}, Q_{\text{中干复,max}}] = [3.297, 5.652] \quad (26)$$

南干渠:

$$[Q_{\text{南干复,min}}, Q_{\text{南干复,max}}] = [3.64, 6.24] \quad (27)$$

综上, 可以看出, 对总干渠而言, 考虑泵站和水库影响的过水能力可行域是 [10.283, 16.844], 不考虑影响的是 [6.444, 17.628], 考虑影响的可行域缩小了, 尤其是流量最小值, 由于泵站的影响流量最小值从 6.444 m^3/s 提高到了 10.283 m^3/s ; 对北、中、南干渠而言, 考虑泵站影响的过水能力可行域均有不同程度的缩小。因此, 考虑泵站和水库, 对渠道过水能力均有不同程度的影响, 对本实例来说, 都缩小了可行域的范围。对于为渠系优化配水模型提供初始轨迹的取值范围以及为渠系的合理调度与运行提供依据, 考虑泵站和水库的计算结果更为准确合理。

4 结 论

针对灌区长藤结瓜灌溉系统的渠道过水能力可行域进行了探讨, 着重分析了泵站和水库两大影响原因, 研究了这两项因素引起渠道系统过水能力变化的计算方法, 并在某大型引黄灌区的渠道系统中

进行了实例计算, 分别计算了考虑与不考虑泵站与水库的情况下, 渠道过水能力可行域。结果表明, 考虑泵站和水库, 渠道过水能力可行域均有不同程度的缩小。研究复杂渠道输配水系统的过水能力比单纯渠道系统更有实际意义, 计算结果更准确合理, 可以为渠系优化配水模型提供初始轨迹的取值范围, 为渠系的合理调度与运行、渠道的设计提供依据。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国水利部. 2023 年中国水资源公报 [EB/OL]. 2023. http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/szygb/202406/t20240614_1713318.html.
- [2] 吴彩丽, 白美健, 张宝忠, 等. 灌区渠道系统输配水能力可行域研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2023, 21(3): 51-57.
- [3] 马 涛. 基于 GIS 的人民胜利渠灌区渠系优化配水系统研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2013.
- [4] 周美林, 吕宏兴, 韩文霆. 渠系配水优化模型和多目标遗传算法研究[J]. 中国农村水利水电, 2014(9): 5-7.
- [5] 王忠静, 郑志磊, 徐国印, 等. 基于线性二次型的多级联输水渠道最优控制[J]. 水科学进展, 2018, 29(3): 383-389.
- [6] 胡宇祥. 北方灌区输配水系统优化模式及综合效益评价研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2018.
- [7] 叶雯雯, 管光华, 李一鸣, 等. 串联输水明渠 PID 多指标自适应算法及仿真研究[J]. 中国农村水利水电, 2019(1): 120-126.
- [8] 谭 倩, 缙天宇, 张田媛, 等. 基于鲁棒规划方法的农业水资源多目标优化配置模型[J]. 水利学报, 2020, 51(1): 56-68.
- [9] 徐淑琴, 高凯茹, 乐 静, 等. 基于 NSGA-II 灌区两级渠道输配水优化调度[J]. 东北农业大学学报, 2020, 51(3): 71-78.
- [10] 沈来银, 胡铁松, 周 珊, 等. 基于 SHAw 模型的河套灌区秋浇渠系优化配水模型研究[J]. 水利学报, 2020, 51(4): 458-467.
- [11] 高凯茹. 基于遗传算法的富裕灌区渠系输配水优化研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2020.
- [12] 廖相成, 胡铁松. 基于输水损失动态变化特征的渠系优化配水模型研究[J]. 水利学报, 2021, 52(7): 850-861.
- [13] 韩 宇, 邵梦璇, 李彤姝. 河套灌区渠系优化配水模型应用研究[J]. 排灌机械工程学, 2022, 40(10): 999-1006.
- [14] 肖梦君. 灌区渠系实时多目标优化配水模型研究及应用[J]. 农业与技术, 2022, 42(3): 38-40.
- [15] 农翕智, 李中安, 靖 争, 等. 基于布谷鸟算法的灌区渠系配水水量优化调控模型研究[J]. 人民珠江, 2024, 45(6): 55-64.