

西北灌区水资源优化配置模型研究

赵 丹,邵东国,刘丙军

(武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室,湖北 武汉 430072)

摘要:针对西北干旱半干旱地区日益严重的水资源短缺和生态环境问题,以系统分析的思想为基础,建立了面向生态和节水的灌区水资源优化配置序列模型系统,提出了综合考虑节水、水权、生态环境等因素的多目标多情景模拟计算方法,并以南阳渠灌区为例,得出了比较合理的水资源优化配置方案.南阳渠灌区的应用表明,在现有水资源情况下,随着社会经济发展,当地水资源紧缺现象将会日益严重,现状、2010和2030年分别为工农业及城乡生活提供水资源量5641.5万 m^3 ,5796.7万 m^3 和5657.2万 m^3 ,缺水量则达到1544.6万 m^3 ,2100.3万 m^3 和3627.9万 m^3 .

关键词:水资源优化配置;灌区规划;节水;生态环境需水;南阳渠灌区

中图分类号:TV213.9

文献标识码:A

文章编号:1006-7647(2004)04-0005-03

西北地区干旱少雨,水资源短缺,生态系统脆弱,社会、经济、生态三大效益之间的矛盾日益突出^[1],灌区水资源优化配置不仅直接关系到地区水资源和土地资源的高效合理利用,而且还可能影响到灌区产业结构发展与生态环境保护等.西北灌区水资源优化配置需要以可持续发展战略为指导,通过对水资源时空变化规律的科学分析,在满足最小生态环境需水量的前提下,提出不同用水部门和灌溉渠系之间的水资源合理分配方案,以及实现这些方案的工程和非工程措施,以达到灌区内的人与水、水与经济、水与生态环境、水资源与土地资源的相互动态协调发展.

同时,对西北灌区水资源优化配置研究,既要充分利用水源水库调节性能,通过水库水资源优化调度调整水库来用水量的时间分布差异,提高水资源利用率,又要根据灌区内部不同渠系之间的用水需求规律,对满足最小生态环境需水量后的水库供水进行优化分配,以体现不同用水户和渠系之间的水资源利用价值与土地利用价值,实现水资源分配的效率与公平原则.为此,本文建立了水库水资源优化调度模型和面向生态环境的灌区内部不同用水户与渠系的水资源优化分配模型,由此形成了西北灌区水资源优化配置的序列模型系统.

1 灌区水资源优化配置的序列模型

1.1 水库水资源优化调度数学模型

水库优化调度的目标就是要充分利用该地区非

常有限的入库径流,最大限度地满足下游最小生态环境需水量和灌区经济发展对水资源的需求,提高水资源利用效率与用水效率,达到供水量最大、废弃水量最小、生态环境最小需水量基本满足之目的.据此,可采用如下数学模型.

1.1.1 目标函数

考虑到在灌区需水量一定的条件下可以以缺水量最小为目标,而本研究要求生态环境最小需水量基本满足,其缺水量为零,故可将经济用水目标与生态环境用水目标合并为

$$F_1 = \min \sum_{k=1}^n (U_k - W_k) \quad (1)$$

式中: F_1 为灌区总缺水量; U_k , W_k 分别为灌区计划用水量和实际供水量; k 为时段序号,按时间(月或旬)划分; n 为运行期内的总时段数.

同时,为满足水库未来时段或年份的用水要求,应在运行期水库调度过程中充分利用水库调蓄容积去调蓄天然来水量,使水库废弃水量最小^[2].相应的目标函数为

$$F_2 = \min \sum_{k=1}^n R_k \quad (2)$$

式中: F_2 为水库总弃水量; R_k 为水库 k 时段弃水量.

1.1.2 约束条件

a. 水库水量平衡约束.约束方程为

$$S_{k+1} = S_k + Q_k - D_k - L_k \quad (3)$$

式中: Q_k 为 k 时段入库径流量; L_k 为 k 时段水库蒸

发、渗漏损失水量; D_k 为 k 时段水库下泄水量, 包括对灌区的供水量、水库下游生态环境最小需水量约束、水库弃水量 3 个部分; S_k, S_{k+1} 分别为时段初、末水库蓄水量。

b. 水库蓄水量约束. 各时段水库蓄水量应不低于水库灌溉要求的最小蓄水量(本次研究中, 取死库容值)。汛期为了防洪安全需要, 各时段水库蓄水量应不超过水库防洪限制水位所对应的库容值; 非汛期各时段水库蓄水量应不超过水库正常蓄水位所对应的正常兴利库容。

c. 水库时段放水量约束. 包括水库最大泄水能力与下游河道最小流量约束、灌区总干渠首引水能力约束等。

d. 其他约束. 如变量非负约束、灌区经济用水需求量约束、生态环境最小用水需求约束、政策约束等。

1.2 灌区内的水资源优化配置数学模型

1.2.1 灌区内生态环境用水与农村经济用水分配数学模型

根据可持续发展理论, 干旱半干旱地区的水资源优化配置必须以满足生态环境最小需水量为前提。为此, 本文建立了以下灌区生态环境用水与农村经济用水分配数学模型:

$$\begin{cases} W_{ek} = \min[U_k, \max(0, W_k - E_{ck})] \\ W_{ck} = W_k - W_{ek} \end{cases} \quad (4)$$

式中: W_{ek}, E_{ck}, W_{ck} 分别为灌区经济用水的供给量、最小生态环境需水量、生态环境供水量。

1.2.2 灌区内不同渠系间水资源公平分配模型

为了保证灌区内部渠系之间水权分配公平, 实现渠系之间均衡节水与经济发展, 需要根据各渠系灌溉系统的作物种植结构、灌溉面积、当地水资源及其利用情况、灌溉渠道防渗等节水措施规划实施情况等, 建立综合考虑上述因素的灌区内不同渠系间水资源分配模型。由于西北灌区作物结构比较单一, 区内当地地表水和地下水都很缺乏, 各渠系节水措施与用水效率也基本一致, 故可根据各渠系控制灌溉面积进行不同渠系间的水资源公平分配。具体数学关系模型如下:

$$G_{k,j} = \frac{F_j}{\sum_{i=1}^m F_j} W_{ak} \quad (5)$$

式中: $G_{k,j}$ 为在 k 时刻各干、支渠的水资源分配量; F_j 为第 j 条干、支渠的控制面积; m 为各干、支渠的数量和; W_{ak} 为 k 时刻的农业用水供给量。

1.2.3 灌区内不同用水户之间保障优先水权的水资源分配模型

为了地区人口的饮用水问题, 促进乡镇企业、民

营经济与农业生产的协调发展, 本文利用优先水权原理, 在灌区水资源分配过程中, 优先满足城乡居民生活用水, 其次是乡镇企业等民营经济用水和农业用水。数学描述为

$$W_{sk} > W_{gk} > W_{ak} \quad (6)$$

且满足条件:

$$W_{sk} + W_{gk} + W_{ak} = W_{ek}$$

式中: W_{sk} 和 W_{gk} 分别为 k 时刻的生活用水供给量和工业用水供给量; 符号“ $>$ ”表示优先。

当灌区总的供水量在满足生活用水后, 出现民营经济用水与农业灌溉用水的供水不足时, 则根据水权公平分配原则, 按其各自用水需求比例实行均衡亏水。

2 实例计算

2.1 灌区基本情况

南阳渠灌溉工程位于甘肃省东乡族自治县境内, 控制面积 300 km^2 , 主要解决东乡、和政、临夏 3 个县 24 个乡镇 17.99 万人的生活、灌溉和生态环境用水问题, 是甘肃省东乡族自治县的扶贫工程。整个工程包括牙塘水库水源工程和总干渠、干渠、支渠及田间配套等灌溉工程。牙塘水库位于河政县广通河上游支流牙塘河柳眉滩附近, 为接近年调节水库, 控制流域面积 72 km^2 , 多年平均降雨量 1000 mm , 蒸发量 590 mm , 径流量 5046 万 m^3 , 总库容 1920 万 m^3 , 兴利库容 1752.39 万 m^3 , 死库容 20 万 m^3 。汛期 5~9 月, 相应的汛限水位为 2509.28 m , 相应库容为 1635.17 万 m^3 。南阳总干渠全长 56.667 km , 控制灌溉面积 81.4 万 hm^2 , 设计引水流量 $4.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 。南阳渠灌区基本情况及灌溉系统概化网络如图 1 所示。

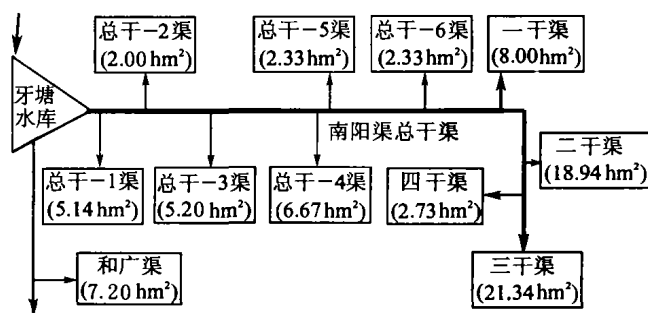


图1 南阳渠灌区灌溉系统概化网络(括号内为灌溉面积)

受气候变化与人类活动的影响, 东乡族自治县干旱少雨, 植被稀疏, 水土流失严重, 是国家级贫困县。在保护生态环境条件下, 提高当地水土资源利用率, 促进地区社会经济发展, 提高人民生活水平, 维护社会稳定, 是兴建南阳渠灌区的重要原因之一。

2.2 灌区需水量的分析预测

根据灌区农作物种植种类与甘肃省半湿润区和半干旱区灌溉试验资料等, 采用彭曼公式对各种作

表1 不同水平年灌区各部门需水量

万 m³

典型年	农业需水量	工业需水量		城乡生活需水量		最小生态需水量	合计
		城镇	乡镇	人口	牲畜		
现状年	4 707.0	19.2	185.8	33.3	637.4	1 603.4	7 186.1
2010 年	4 707.0	44.1	427.4	54.2	1 060.9	1 603.4	7 897.0
2030 年	4 493.0	165.5	1 643.1	84.3	1 295.8	1 603.4	9 285.1

表2 牙塘水库不同水平年调度运行计算成果

万 m³

典型年	来水量			下泄水量			损失水量			年初蓄水量			年末蓄水量			蓄水量变化		
	P=25%	P=50%	P=75%	P=25%	P=50%	P=75%	P=25%	P=50%	P=75%	P=25%	P=50%	P=75%	P=25%	P=50%	P=75%	P=25%	P=50%	P=75%
现状年	5 500.2	5 344.7	4 339.0	5 291.4	5 641.5	5 642.3	220.0	213.8	173.6	1 752.4	1 254.6	1 752.4	1 741.2	744.0	275.5	-11.2	-510.6	-1 476.9
2010 年	5 500.2	5 344.7	4 339.0	5 667.0	5 796.7	5 767.5	220.0	213.8	173.6	1 602.3	1 066.8	1 752.4	1 215.5	401.1	150.3	-386.8	-665.8	-1 602.1
2030 年	5 500.2	5 344.7	4 339.0	6 145.6	5 657.2	5 269.0	220.0	213.8	173.6	1 168.8	526.2	1 103.5	303.4	20.0	20.0	-865.4	-506.3	-1 083.6

注:“-”代表年末水库蓄水量比年初减少。

表3 供水保证率为 50% 情况下的灌区水资源优化分配成果

万 m³

典型年	供水量						缺水量					
	农业	工业		城乡生活		最小生态	农业	工业		城乡生活		最小生态
		城镇	乡镇	人口	牲畜			城镇	乡镇	人口	牲畜	
现状年	3 162.4	19.2	185.8	33.3	637.4	1 603.4	1 544.6	0	0	0	0	0
2010 年	2 606.7	44.1	427.4	54.2	1 060.9	1 603.4	2 100.3	0	0	0	0	0
2030 年	1 868.0	165.5	640.2	84.3	1 295.8	1 603.4	2 625.0	0	1 002.9	0	0	0

物节水灌溉制度进行计算,求得灌区农业灌溉需水量,并根据当地提供的基础数据和城市化发展规划,计算工业及城乡生活需水量。

此外,依据文献[3],海滦河流域生态用水量占当地水资源量的 30%,东辽河流域为 34%,西北地区为 21%,新疆地区为 18%,黑河流域为 27%,因此根据南阳渠灌区当地生态环境及其用水现状调查分析,建议该灌区有必要将现有水资源的 30%留作生态环境用水,以防止灌区经济发展对生态环境的破坏,促进人与自然、水与经济的协调发展。具体计算结果见表 1。

2.3 牙塘水库模拟调度计算

根据上述灌区需水量预测结果,在考虑渠道输水损失后通过推算,得到灌区需要水库下泄水量过程,并根据主管部门提供的 1967~1997 年共 31 年入库径流资料,应用上述模型对牙塘水库进行长系列模拟调度计算,可得在不同来水保证率 P 情况下的水库实际供水过程以及不同水平年现状、2010 和 2030 年的水库供水量,见表 2。

2.4 灌区水资源优化分配计算

根据上面水库调度计算所得下泄水量过程以及上述模型(式(4)(5)(6)),运用模拟技术进行灌区水资源优化分配计算,可得灌区生态环境供水量以及不同渠系的优化配水量和不同用水户的供水量。限于篇幅,在此仅列出供水保证率为 50% 情况下的灌区各部门水资源优化分配成果,见表 3。由表中可见,现状、2010 和 2030 年分别为工农业及城乡生活提供水资源

量 5 641.5 万 m³, 5 796.7 万 m³ 和 5 657.2 万 m³, 缺水量则达到 1 544.6 万 m³, 2 100.3 万 m³ 和 3 627.9 万 m³。

3 结 语

本文针对西北地区日益严重的水资源短缺问题,以系统分析的思想为基础,建立了面向生态和节水的西北灌区水资源优化配置序列模型系统,提出了综合考虑节水、水权、生态环境等因素的多目标多情景模拟计算方法,并以南阳渠灌区为例进行了水资源优化配置研究。结果表明,在西北灌区控制各方面用水需求,大力推行工业、生活和农业节水措施,实行污水、洪水等的资源化利用,建立节水型社会,势在必行。同时,随着西北地区生态用水与经济用水之间的矛盾日益突出,为保持灌区人与自然的协调,实现可持续发展,灌区内最小生态用水与经济用水的分配比例保持在 3:7 是非常必要的,同时建议利用污水、农田排水资源化等措施满足生态环境用水需求,置换现在的清洁水源,以维持经济社会发展对清洁水资源的需求。

参考文献:

- [1] 钱正英,张光斗.中国可持续发展水资源战略研究[M].北京:中国水利水电出版社,2001.
- [2] 邵东国,郭宗楼.综合利用水库水量水质统一调度模型[J].水利学报,2000(8):10~15.
- [3] 苗鸿,魏彦昌,姜立军,等.生态用水及其核算方法[J].生态学报,2003,23(6):1156~1164.

(收稿日期:2004-01-03 编辑:熊水斌)