

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20220422

县域水资源均衡配置研究

向 龙¹, 贾喜田¹, 李士军², 龚泓博¹, 杜倩雯³

(1. 河海大学 水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 2. 泗洪县水利局, 江苏 宿迁 223900;
3. 河海大学 农业科学与工程学院, 江苏 南京 210098)

摘 要:以米易县为例, 针对典型县域最严格水资源红线控制和自然-社会水循环系统特点, 采用总体缺水率最小和分区空间均衡为目标函数, 总量控制、供水能力、分质供水等为约束条件, 并采用改进时间-空间两层精英策略的非支配遗传算法, 构建分区独立供水和库群联调的通用水资源调度与配置(GWAS)模型, 并进行参数率定与验证, 得出相关系数 R 为0.85, Nash效率系数为0.73, 区域水文模块模拟精度较好。方案模拟研究表明, 无论是基准年还是规划年, 相对于水库分区独立供水, 考虑均衡系数的库群联调方案更具优势, 分区供水综合缺水率差异更大, 而库群联调中各乡镇缺水率大幅减少, 缺水差异更小。库群联调方案的水资源配置公平性更好, 空间上各单元间的水量分配配置满足度高, 可基本实现在动态变化下的区域水资源供需平衡。

关键词:GWAS模型; 水资源均衡调配; 多目标; 多用户

中图分类号:P333; TV213.4

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2024)01-0096-08

0 引言

县域是水资源总量控制的最小单元, 随着用水单元的精细化管理需求, 用水网格内的水资源的供需矛盾及相关问题日益突出, 怎样合理利用有限水资源总量, 达到供需平衡是非常重要的。研究表明, 合理构建多目标、多用户的水资源优化配置模型, 有利于有效实现“节水优先、空间均衡”^[1]。

目前, 国内外学者在运用优化算法求解水资源配置方面取得了丰硕成果; 多目标遗传算法^[2]、飞蛾火焰优化算法(MFO)^[3]、粒子群算法^[4]、鲸鱼算法优化方法^[5]以及其算法的改进或融合算法等得到快速发展和应用; 其中遗传算法NSGA-III的解集收敛更好以及运行速度较快, 王一杰等^[6]将此算法运用到安徽省泗县区域, 建立以经济、社会、生态为主要效益的多目标函数, 寻求多用户之间的最优水量分配方案, 为区域小尺度用水分配机制提供了研究

方案。

此外, 在智能优化算法的基础上, 许多的通用模块化工具被开发应用, 例如田进宽^[7]利用MIKE BASIN软件、王冰等^[8]基于ELECTRE-III方法、姜秋香等采用CVaR-TSP模型、向龙等^[10]基于IFMOP模型, 分别应用于不同区域的水资源优化配置研究。随着水资源系统管理的精细化, 自然-社会水循环系统开始耦合动态研究, 桑学锋等^[11-12]研发了GWAS模型, 利用水资源刚性约束来实现最大化的社会经济与生态效益; GWAS模型操作简便被广泛应用, 曹永强^[13]、杜丽娟^[14]等利用GWAS模型, 模拟得到不同区域的水资源优化配置方案。

水资源配置的本质是空间均衡配置和用户间公平性分配的体现, 樊红梅等^[15-16]构建的基于空间均衡的水资源配置模型, 为空间均衡的研究提供了参考, 但现有研究对不同单元之间的空间关系考虑不多。根据米易县用水单元地势高差大与水库分布广的特性, 选取

收稿日期: 2022-10-27

网络首发日期: 2023-10-27

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms2/detail/11.1814.P.20231027.1340.001.html>

基金项目: 国家自然科学基金重点支持项目(U2240217); 国家自然科学基金资助项目(51309078, 41761134090)

作者简介: 向龙(1982—), 男, 四川资阳人, 博士, 副教授, 主要从事水文学及水资源方面的工作。E-mail: xianglong@hhu.edu.cn

通信作者: 贾喜田(1997—), 女, 河南周口人, 硕士研究生, 主要研究方向为水资源规划与配置。E-mail: 1804490645@qq.com

乡镇作为行政管理的基本单元并考虑区域库群补水关系和河系补水特点,进行县域乡镇单元尺度上的水资源优化配置,综合考虑空间均衡和公平性原则,构建在来水动态变化下分区供水和库群联调的水资源优化配置模型进行对比分析,探索县域水资源总量合理均衡调配机制。

1 研究区概况

米易县(北纬 26°42′~27°10′,东经 101°44′~102°15′)地处青藏高原东南缘,位于四川省西南部、安宁河下游、攀枝花市东北部,处于南亚热带干热河谷地区。米易县共有 11 个乡镇,形成相对独立分区子流域;境内有两大江河,分别为雅砻江和安宁河;有楠木河、普威河等主要河道 13 条,均属长江上游金沙江水系。米易县现状水库 21 座,其中马鞍山水库和晃桥水库为中型水库,其他的均为小型水库(主要水库示意图见图 1)。

米易县降水多发生在夏季,多年平均降水量在 900~1 300 mm,但季节差异极大。县境内的地势北高南低,重峦叠嶂,沟谷纵横,其中白坡彝族乡区块的海拔最高,最低的为得石镇区块,这就导致水资源在垂向和水平空间分布极不均匀,水资源状况日益严峻。空间分布型资源性缺水、时间季节性缺水、工程性缺水、水质性缺水、产业用水需求差异等问题叠加,成为米易县精细化水资源调配管理的瓶颈。

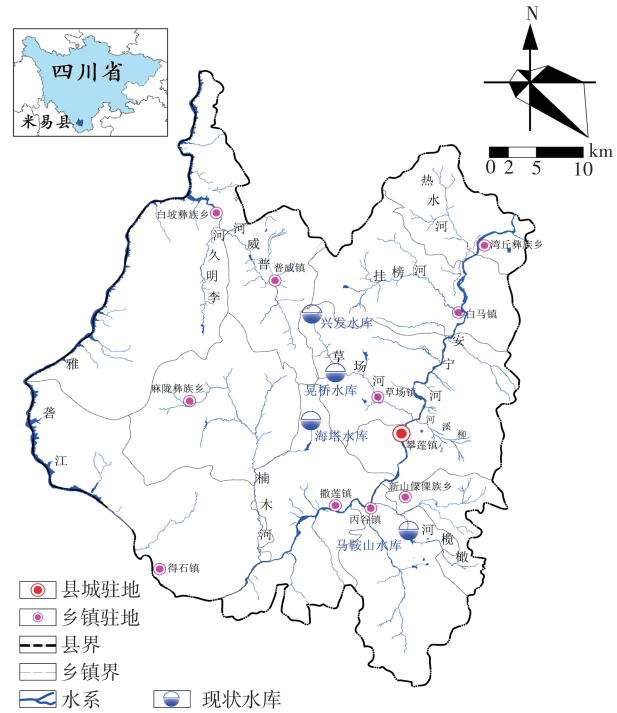


图 1 米易县主要水库及子流域分区示意图
Fig.1 Schematic diagram of main reservoirs and sub-basins in Miyi County

2 原理与方法

结合最严格水资源总量控制和自然-社会水循环系统耦联关系,将米易县水资源系统网络图概化(见图 2),构建分区水资源调度与配置模型,进行水资源精细化配置研究。本文采用“水资源动态配置与模拟通用系统平台”(General Water Allocation and Simula-

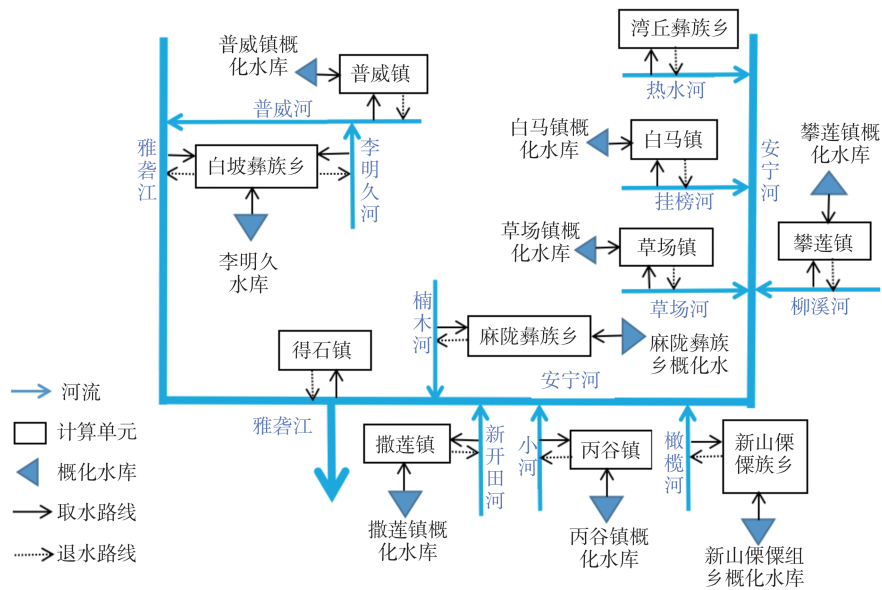


图 2 米易县水资源系统概化图
Fig.2 Generalization diagram of water resources system in Miyi County

tion Model,简称 GWAS)^[11],实现对区域水资源的信息查询、统计、分析和GIS查询等功能,在此基础上根据水资源的实际供用情况进行修正和空间均衡优化建模,构建了四大模块,包括产流模拟、河道汇流、再生水模拟和水资源调配,其中,前3个模块组成自然-社会水循环动态模拟的基础,水资源调配模块考虑水库、河网来水、引排水以及用水户用水等特征,进行水质水量联合配置,同时反馈到水循环模拟过程。

模型中的空间均衡调控原理是基于一种先进的基于人权平等的用水理念——区域的用水状况应该尽可能地均衡,分区用户用水量尽量趋近同权。通过合理的约束条件,即使在总体供水不能全面满足用水户的需求条件下,还可以保障各用水单元的基本公平性和均衡性。

按照水资源分区与行政管理分区,将米易县划分为11个计算单元,采用GWAS模型中的改进的时间-空间两层非支配遗传算法,协同进行求解。此算法考虑了配置主体复杂的互、调配过程以及供需的动态性和联动性,并兼顾水质水量联合耦合调度。

2.1 空间均衡优化配置控制方程

2.1.1 目标函数

(1)空间均衡目标:公平性最优^[11-12]。空间上各单元公平目标函数,缺水率差异最小。

$$\text{Min}F(x) = \sum_{y=1}^y \sum_{n=1}^{12} \sum_{h=1}^h q_h \times GP(X_h) \quad (1)$$

$$GP(X_h) = \sqrt{\frac{1}{mu-1} \times \sum_{u=1}^{mu} (x_h^u - \bar{x}_h)^2} \quad (2)$$

$$0 \leq x_h^u \leq 1, 0 \leq \bar{x}_h \leq 1 \quad (3)$$

(2)荷载均衡目标:缺水率最小^[16-17]。

$$\text{Min}Y(x) = \sum_{y=1}^y \sum_{n=1}^{12} \sum_{h=1}^h q_h \times SW(X_h) \quad (4)$$

$$SW(X_h) = \frac{1}{mu} \times \sum_{u=1}^{mu} |(x_h^u - s_h^n)| \quad (5)$$

$$0 \leq x_h^u \leq 1, 0 \leq s_h^n \leq 1 \quad (6)$$

式(1)~(6)中: $F(x)$ 为空间均衡目标; $GP(x_h)$ 为公平性函数; y 为计算时段的年数; n 为年内月值; h 为区域行业用水户类型的数目; q_h 为行业用户惩罚函数; u 为区域单元的数目; mu 为区域单元的最大数目; x_h^u 为区域单元 u 中行业用户 h 的缺水率; \bar{x}_h 为区域单元 u 中行业用户 h 的缺水率均值; $Y(x)$ 为荷载均衡目标; $SW(X_h)$ 为供水胁迫函数; s_h^n 为区域行业用户 h 的各月供水胁迫目标理想值。

2.2.2 约束条件

(1)总量控制:

$$\sum_{n=1}^n x_{m,n} \leq C_m \quad (7)$$

式中: $x_{m,n}$ 为 m 水源给用户 n 的供水量; C_m 为米易县 m 水源在总用水量中的控制量。

(2)供水能力约束条件:

$$W_{m,t} \leq Q_{m,t} \quad (8)$$

式中: $W_{m,t}$ 、 $Q_{m,t}$ 分别为水源 m 时段 t 的供水量、可供水资源量, m^3 ;

(3)分质供水约束条件:

$$q_{m,n} \leq \bar{q}_n \quad (9)$$

式中: $q_{m,n}$ 、 \bar{q}_n 分别为 m 水源给用户 n 的供水水质、用户 n 的最低水质标准。

(4)变量非负约束条件:

$$\text{所有变量} \geq 0 \quad (10)$$

2.2 模型子模块率定与验证

来水动态模块率定选取相关系数 R 和效率系数 $Nash$ 作为评价模拟精度的指标,相关系数和效率系数的值越大,代表流量过程拟合得越好。 R 的值在0.8~1.0,模拟效果是最好的,相关性最强;强相关性在0.6~0.8;弱相关性在0.2~0.4;小于0.2则为不相关或者相关性极差。效率系数 $Nash$ 的取值越接近于1越精确。本文通过湾滩水文站的出口长序列实测径流量与断面径流模拟进行对比(见图3),拟合相关系数 R 为0.85, $Nash$ 效率系数为0.73,区域水文模块模拟精度较好。

3 调度方案设计与计算

3.1 需水量计算

采用GIS叠加剖分方法将米易县划分为11个供需水计算子单元。子区内的多用户分为四大类,分别为农业、生活(城镇、农村)、生态以及工业,其中米易县生态环境用水类型主要考虑城镇绿化环卫需水量。强化节水模式是在基本节水模式基础上,结合相关节水规划,着力调整产业结构,采取最严格节水模式。本文按照强节水方案对近期规划水平年(2025年)的11个计算单元四类用水户进行需水预测,成果表如表1所示。

3.2 可供水量计算

米易县水资源开发利用以地表水利用为主,依靠引水、蓄水、调水、雨水和提水工程获得供水量,引水、提水的水源主要为安宁河干流过境径流,蓄水工程供水

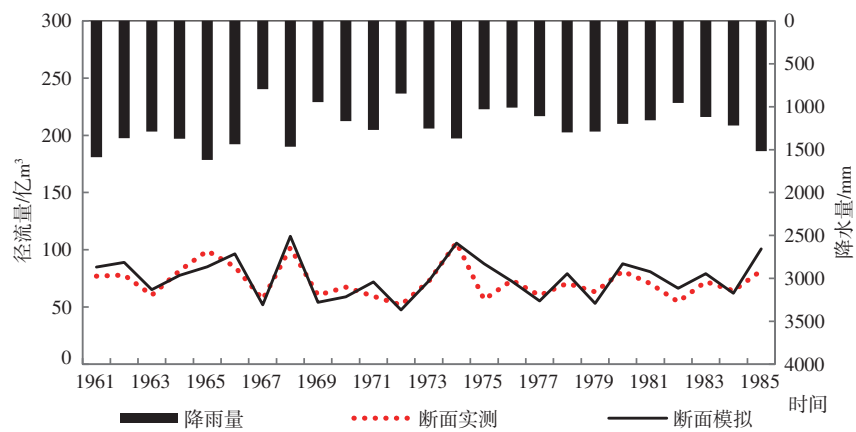


图3 湾滩断面多年实测径流与模拟过程线
Fig.3 Multiyear measured and simulated flow duration curves at Wantan Station

表1 米易县各子区近期规划年(2025年)需水预测成果
Table 1 Forecast results of water demand in each sub-district of
Miyi County in the near future (2025)
单位:万 m³

分区名称	农村生活	城镇生活	农业	工业	生态
湾丘彝族乡	48	30	2282	1675	15
白马镇	100	32	1912	689	30
草场镇	68	24	1656	57	21
攀莲镇	110	706	1741	710	56
新山彝族乡	24	4	208	25	7
丙谷镇	79	42	1811	322	25
撒莲镇	89	25	1596	1132	27
麻陇彝族乡	29	0	909	19	8
得石镇	22	31	551	116	7
普威镇	39	33	475	38	13
白坡彝族乡	33	0	1476	22	10
米易县	641	927	14302	4804	218

以水库为主;地下水开发利用程度低。水资源供水的优先次序为优先利用地表水,具体为雨水、河网来水、水库蓄水以及地下水。米易县2019年(现状基准年)供水量为1.94亿m³,主要用水以农业灌溉为主,工业供水次之,生活用水规模不大。规划2025年前完成对前进渠的整治以及新建水库,2025年增加的多年平均可供水量为0.82亿m³,其中蓄水工程增加蓄水量0.46亿m³、引水量增加0.36亿m³。根据近50年的降雨资料,计算不同来水频率下(50%、75%和95%)的供水预测结果作为本地可供水量基数。在本文中选取75%来水频率下的供水进行水资源配置方案分析。各个乡镇2019年、2025年75%来水频率下的可供水量分布见图4。

3.3 模拟方案设置

空间均衡调控机制采用空间均衡系数和缺水率来约束,使各个单元综合缺水率最小,以及子区之间的差

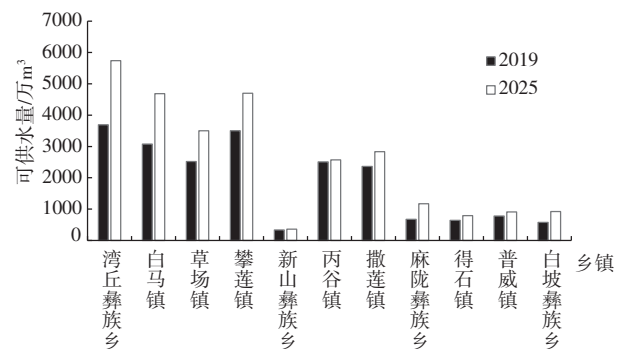


图4 各个乡镇在2019年、2025年75%来水频率下的可供水量
Fig.4 Available water supply for each township at 75% incoming water frequency in 2019 and 2025

异程度最小。根据分区供水方式和地区库群联合引调水方式分对米易县进行水资源调配方案对比拟定。

方案一:水库分区供水。各乡镇内的水库仅为本子区供水,水库之间没有联通,比如为晃桥水库、兴发水库仅为草场镇供水,海塔水库仅为撒莲镇供水,马鞍山水库仅为丙谷镇供水,其余区域内的水库亦是如此。

方案二:跨区库群联合调度。考虑到地势较高且水量不足的区域,可利用麻晃引水工程(见图5),向晃桥水库、海塔水库、兴发水库补水,并使其与马鞍山水库和普威镇、白坡彝族乡的水库实现连通,联合调水,满足区域生产生活生态用水需求。

以上两种方案的配水次序均为生活、生态、工业、农业,模拟计算现状基准年(2019年)与近期规划水平年(2025年)两种方案的水资源动态调配结果。

4 水资源配置成果及讨论

4.1 基准年优化配置分析

现状基准年配置计算是现状来水和工程调度体系

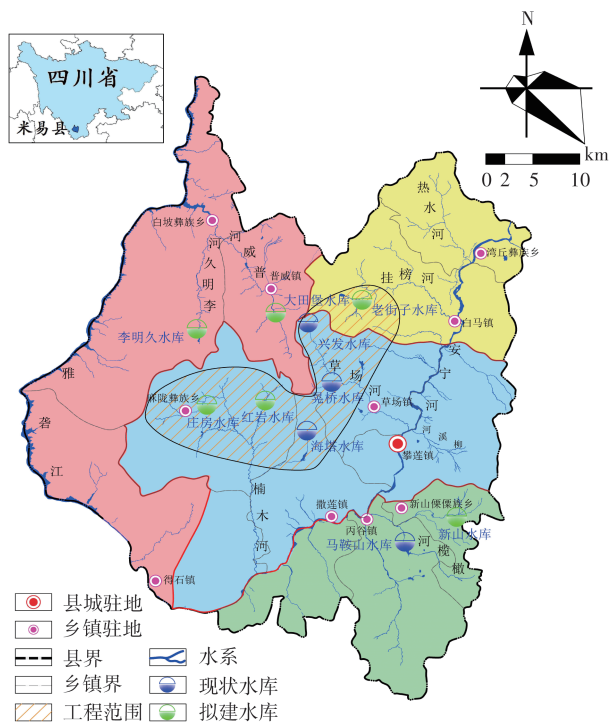


图5 米易县水库群联合调度配置工程示意图

Fig.5 Schematic diagram of joint dispatching and configuration project of reservoir group in Miya County

下水资源系统供需优化。结果表明,2019年(现状基准年)的实际供水量为1.94亿m³,从基准年分区供水的水资源配置情况看,模型模拟配置总量为1.86亿m³,总的缺水率为4%,其中白坡彝族乡的缺水率最大为57.5%,其次为普威镇为3%。从库群联调水资源配置可知,模型模拟配置量为1.93亿m³,误差较小为0.6%。库群联调与分区供水的水资源配置结果相比较,库群联调的模拟结果较好。从库群联调下各乡镇配置的总体情况来看(见图6),其中普威镇缺水率最多为3.4%,

其余乡镇的缺水率均在1%以下(见表2);从库群联调下行业供水配置的总体情况来看(见图7),城市生活与农村生活的缺水率均为0%(优先项,无缺水),工业缺水率为0.3%,农业缺水率为5.3%,生态缺水率为2.6%。现状基准年及局部库群联合调度计算表明,多供水联合调度对区域水量调节的优势较大,而且公平性可以通过有效约束来实现。

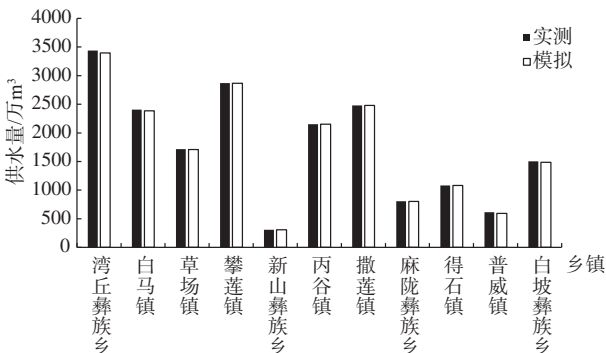


图6 库群联调下各计算单元供水总量模拟情况

Fig.6 Simulation of total water supply of each calculation unit under joint regulation of reservoir group

4.2 规划年优化调配分析

从表3独立分区供水与表4库群联调的规划年配置成果表可知,城市生活、农村生活为优先保证项,缺水率均为0(未列出),生态用水达到供需平衡。在分区供水中,不缺水的乡镇有丙谷镇、撒莲镇和得石镇,缺水量最多的乡镇是白坡彝族乡,其中有工业缺水率为1%,农业缺水率相对较大,为61.4%,总缺水率58.8%,其次为普威镇与湾丘彝族乡,其余乡镇基本达到供需平衡。工业+--供需配置中缺水率最大的为麻陇彝族乡与普威镇,但总工业缺水率为0.3%;农业供需配置中白

表2 基准年库群联调水资源配置成果

Table 2 Achievements of water resources allocation in group transfer of reservoirs in the benchmark year

单位:万 m³

配水子区镇(乡)	生态			工业			农业			总需水量	总供水量	缺水率/%
	需水	供给	缺水率/%	需水	供给	缺水率/%	需水	供给	缺水率/%			
合计	214	209	2.6	3723	3710	0.3	13715	13617	5.3	19372	19256	0.6
湾丘彝族乡	14	14	0.0	1197	1197	0.0	2131	2101	1.4	3439	3409	0.9
白马镇	29	29	1.3	465	465	0.0	1733	1710	1.3	2408	2385	1.0
草场镇	20	20	0.0	30	30	0.0	1542	1534	0.5	1716	1708	0.5
攀莲镇	53	53	0.7	423	422	0.2	1671	1670	0.1	2870	2867	0.1
新山彝族乡	7	7	0.0	12	12	0.4	248	248	0.0	307	307	0.0
丙谷镇	23	23	0.0	216	216	0.0	1758	1758	0.0	2153	2153	0.0
撒莲镇	26	26	0.0	803	803	0.0	1492	1492	0.0	2478	2478	0.0
麻陇彝族乡	8	8	0.0	10	8	20.0	742	740	0.2	805	801	0.4
得石镇	8	8	0.0	496	496	0.0	518	518	0.0	1081	1081	0.0
普威镇	15	14	5.0	47	38	20.0	464	453	2.3	613	592	3.4
白坡彝族乡	11	11	3.2	24	24	1.3	1416	1400	1.1	1502	1485	1.1

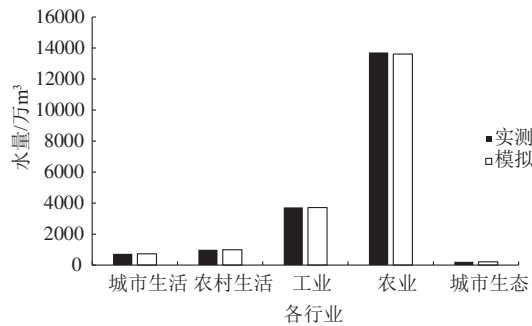


图7 库群联调下各行业供水总量配置模拟情况
Fig.7 Simulation of total water supply allocation in various industries under joint regulation of reservoir groups

坡彝族乡缺水最多,总农业缺水率为7.1%;县域总体综合缺水率为5%。对比现状年配置,在规划条件下分区

供水不能很好解决局部的水资源短缺问题。

在库群联调中,工业供需配置中缺水率最大的为麻陇彝族乡,总工业配水基本供需平衡;农业供需配置中白坡彝族乡缺水最多,总农业配水基本供需平衡;各个乡镇总体综合缺水率为0.5%。

上述分析是在来水频率为75%下的配置结果,其中还有50%与95%频率下配置结果,在两种方案下的模拟结果的趋势是相似的,分区供水下均是麻陇彝族乡缺水最多,其余乡镇在50%频率下不缺水,在95%频率下的普威镇与湾丘彝族乡的缺水量会有所增加;在库群联调下,虽然95%频率的配置结果有一些乡镇会有缺水,但总体基本供需平衡。选取75%频率下的

表3 2025年分区供水方案水资源配置成果(P=75%)
Table 3 Water resources allocation results for single water-supply district in 2025 (P=75%)

镇(乡)	生态			工业			农业			总需水量	总供水量	缺水率/%
	需水	供给	缺水率/%	需水	供给	缺水率/%	需水	供给	缺水率/%			
合计	219	219	0.1	4805	4790	0.3	14617	13578	7.1	21209	20155	5.0
湾丘彝族乡	15	15	0.0	1675	1675	0.0	2282	2204	3.4	4050	3972	1.9
白马镇	30	30	0.0	689	689	0.0	1912	1877	1.8	2763	2728	1.3
草场镇	21	21	0.0	57	57	0.0	1656	1645	0.7	1826	1815	0.6
攀莲镇	56	56	0.0	710	707	0.4	1741	1739	0.1	3323	3318	0.2
新山彝族乡	7	7	0.0	25	24	2.3	208	208	0.0	268	267	0.2
丙谷镇	25	25	0.0	322	322	0.0	1811	1811	0.0	2279	2279	0.0
撒莲镇	27	27	0.0	1132	1132	0.0	1596	1596	0.0	2869	2869	0.0
麻陇彝族乡	8	8	0.0	19	15	20.0	909	906	0.3	965	958	0.7
得石镇	7	7	0.0	116	116	0.1	551	551	0.0	727	727	0.0
普威镇	13	13	0.0	38	30	20.0	475	471	0.7	598	587	1.9
白坡彝族乡	10	9.8	2.5	22	22	1.0	1476	570	61.4	1541	635	58.8

表4 2025年库群联调方案水资源配置成果(P=75%)
Table 4 Water resources allocation results of Reservoir-Group Joint Commissioning Program in 2025 (P=75%)

镇(乡)	生态			工业			农业			总需水量	总供水量	缺水率/%
	需水	供给	缺水率/%	需水	供给	缺水率/%	需水	供给	缺水率/%			
合计	219	219	0.0	4805	4797	0.2	14617	14512	0.7	21209	21096	0.5
湾丘彝族乡	15	15	0.0	1675	1675	0.0	2282	2241	1.8	4050	4009	1.0
白马镇	30	30	0.0	689	689	0.0	1912	1881	1.6	2763	2732	1.1
草场镇	21	21	0.0	57	57	0.0	1656	1640	1.0	1826	1810	0.9
攀莲镇	56	56	0.0	710	707	0.4	1741	1740	0.0	3323	3319	0.1
新山彝族乡	7	7	0.0	25	24	2.3	208	208	0.0	268	267	0.2
丙谷镇	25	25	0.0	322	322	0.0	1811	1811	0.0	2279	2279	0.0
撒莲镇	27	27	0.0	1132	1132	0.0	1596	1596	0.0	2869	2869	0.0
麻陇彝族乡	8	8	0.0	19	15	20.0	909	906	0.3	965	958	0.7
得石镇	7	7	0.0	116	116	0.1	551	551	0.0	727	727	0.0
普威镇	13	13	0.0	38	38	0.0	475	475	0.0	598	598	0.0
白坡彝族乡	10	10	0.0	22	22	1.0	1476	1463	0.9	1541	1528	0.9

配置结果分析,体现出配置方案结果的中位值。

从两个方案2025年(以75%来水频率下为例)的水资源配置成果比较图中可看出(见图8),库群联调的水资源配置的缺水率很小,在空间上计算单元的缺水率最小以及缺水率之间的差异程度较小,可见库群联调的配置结果最好,可使水资源在空间上分配均衡,基本可实现各用水单元的公平性和均衡性以及动态变化下的米易县水资源供需平衡。因此,区域统筹的库群联合调度工程建设有利于水资源配置及优化。

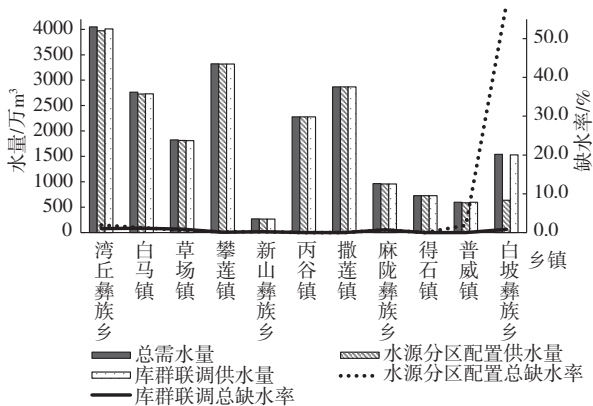


图8 分区供水、库群联调方案的需、供水量及总缺水率成果比较
Fig.8 Comparison of the demand, water supply and total water shortage rate of regional water supply and reservoir-group joint adjustment schemes

5 结论

(1)米易县水资源总量不缺,但是由于地势高差大,北高南低,南北走向,水资源空间分布极不均匀,河谷取水难,工程型缺水严重,水库群是保障山地供水的基础。在县域水资源总量控制和节水优先条件下,采用强化节水模式下的水资源需水预测,再进行水库群联合调度的水资源统筹配置模式是保证水资源合理利用和经济社会可持续发展的决策基础和有力支撑。

(2)针对自然-社会水循环系统特点以及水资源精细化管理的需求,以米易全县域水资源配置为例,考虑了各用水子区的水资源系统配置主体互馈、调配过程的复杂性、供需双侧的动态性和联动性,构建水资源动态变化下综合模拟与调控模型,通过划分11个计算单元和设置调蓄节点,以综合缺水率最小和空间均衡为目标函数,采用时间-空间两层精英策略的非支配遗传算法,实现联合配置,能够充分反映多分区和多用户供水矛盾的基本需求。经过长序列水资源配置以及模型的率定与验证,构建模型模拟的精度较高。

(3)通过现状基准年和近期水平年条件下的独立供水和库群联合调度方案对比模拟表明,在子区独立供水方案中白坡彝族乡总缺水率最大为58.8%,其次为普威镇与湾丘彝族乡,县域综合缺水率为5%。而跨区库群联合调度的总体综合缺水率为0.5%,各乡镇配水均基本达到供需平衡。水库联调配置模拟结果较好,各个计算单元缺水率及其之间的差异较小,基本实现了空间上分配均衡和相对公平性。因此,在县域内统筹库群联合调度有利于区域水资源优化及开发利用。

参考文献:

- [1] 谭安琪,穆振宇,艾学山,等.流域精细化水资源优化配置模型及应用[J].中国农村水利水电,2023,484(2):28-34.
- [2] 冯峰,荣晓明,张文鸽,等.黄河流域区域目标ET的优化配置及调控措施实例研究[J].水文,2014,34(5):39-44.
- [3] 吴云,吴梦烟,杨侃,等.基于改进飞蛾扑火算法的区域水资源优化配置模型研究[J].中国农村水利水电,2019,443(9):8-13.
- [4] 张玲,徐宗学,张志果.基于粒子群算法的水资源优化配置[J].水文,2009,29(3):41-45,23.
- [5] SEYED Z M, ALI M A, ABDALI N, et al. Evaluation of whale and particle swarm optimisation algorithms in optimal allocation of water resources of irrigation network to maximise net benefit case study: Salman Farsi [J]. International Journal of Hydrology Science and Technology, 2021, 12(3).
- [6] 王一杰,王发信,王振龙,等.基于NSGA-Ⅲ的水资源多目标优化配置研究:以安徽省泗县为例[J].人民长江,2021,52(5):73-77,85.
- [7] 田进宽,郭佳航,左其亭,等.沙颍河流域水资源配置思路与计算模型[J].水资源保护,2022,38(2):62-67.
- [8] 王冰,陈伏龙,吴泽斌,等.基于ELECTRE Ⅲ法的引滦水量分配组织实施评估[J].水文,2017,37(2):42-47.
- [9] 姜秋香,曹璐,王子龙等.基于CVaR-TSP的黑龙江城市水资源配置及风险管理[J].水利水电科技进展,2022,42(1):40-46.
- [10] 向龙,龚泓博.基于IFMOP的玉环市区域水资源配置[J].水资源保护,2021,37(6):49-53,73.
- [11] 桑学锋,王浩,王建华,等.水资源综合模拟与调配模型WAS(I):模型原理与构建[J].水利学报,2018,49(12):1451-1459.
- [12] 桑学锋,赵勇,翟正丽,等.水资源综合模拟与调配模型WAS(II):应用[J].水利学报,2019,50(2):201-208.
- [13] 曹永强,李玲慧.基于水资源综合模拟与调配一体化模型的北京市水资源模拟分析[J].水利水电科技进展,2021,41(6):25-31.
- [14] 杜丽娟,陈根发,柳长顺,等.基于GWAS模型的灌区水资源优化配置研究:以渭史杭灌区为例[J].水利水电技术,2020,51(12):26-35.
- [15] 樊红梅,刘晓民,刘廷玺,等.基于空间均衡的水资源合理配置研究[J].水资源与水工程学报,2022,33(2):61-67.
- [16] 朱彩琳,董增川,李冰.面向空间均衡的水资源优化配置研究[J].中国农村水利水电,2018,432(10):64-68.

Research on Balanced Allocation of Water Resources in County

XIANG Long¹, JIA Xitian¹, LI Shijun², GONG Hongbo¹, DU Qianwen³

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Sihong County Water Conservancy Bureau, Suqian 223900, China;

3. College of Agricultural Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Taking Miyi County as a study case, according to the characteristics of the strictest red line control of water resources and the natural-social water circulation system in a typical county, the minimum overall water shortage rate and regional spatial equilibrium were adopted as the objective function, total quantity control, water supply capacity and different quality water supply are the constraint conditions, and a non-dominant genetic algorithm with improved time-space two-layer elite strategy was adopted. The general water resources dispatching and allocation (GWAS) model of regional independent water supply and reservoir group dispatching was constructed. And through parameter calibration and verification, it is concluded that the correlation coefficient R is 0.85 and the efficiency coefficient of Nash is 0.73, and the simulation accuracy of regional hydrology module is good. The scheme simulation shows that, no matter it is the base year or the planning year, compared with the independent water supply of reservoir divisions, the reservoir-group joint regulation scheme considering the equilibrium coefficient has more advantages, and the difference of comprehensive water shortage rate of regional water supply is greater, but in the joint regulation of reservoir groups, the water shortage rate of villages and towns is greatly reduced, and the difference of water shortage is even smaller. The fairness of water resource allocation in the reservoir-group joint regulation scheme is better, and the degree of satisfaction of water allocation and allocation among each unit in space is high, which can basically achieve the balance of regional water resources supply and demand under dynamic changes.

Keywords: GWAS model; balanced allocation of water resources; multi-objective; multi-user

(上接第95页)

[26] CHANDEL V S, GHOSH S. Components of Himalayan River Flows in a Changing Climate [J]. Water Resources Research, 2021, 57(2).

[27] 关志华,陈传友,区裕雄,等. 西藏河流与湖泊[M].北京:科学出版社,1984.

Hydrology Simulation and Glacier Runoff Study in Lhasa River Basin Based on VIC_glacier Model

GU Huanghe^{1,2}, LIU Yuqing¹, WANG Xiaoyan^{1,2}, DAI Bin³, ZHANG Hanwen³, FU Xiaolei⁴, YU Zhongbo^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Hydrology, Water Resources and Hydraulic Engineering Science, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Hydrology and Water Resources Academy, Hohai University, Nanjing 210098, China;

3. Shanghai Survey, Design and Research Institute Co., Ltd, Shanghai 200335, China;

4. College of Hydraulic Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract: Glacial meltwater is an important source for the river runoff in Lhasa River, which is the largest tributary of the Brahmaputra River in the southern Qinghai-Tibet Plateau. Based on the VIC_glacier model, this study simulated the runoff process in the Lhasa River Basin from 1990 to 2010. The results show that: (1) compared with the original VIC model, the VIC_glacier model shows good performance in streamflow simulation. The correlation coefficient between the observed daily streamflow and the simulation was close to 0.8, and the Nash efficiency coefficient is above 0.75. (2) From upstream to downstream, the contribution rate of glacial meltwater to runoff was 21.4% (Punduo Station), 17.7% (Tangjia Station), and 14.5% (Lhasa Station), respectively. (3) The annual changes of both glacial runoff and non-glacial runoff showed "single-peak" shape, and reached its peak in August. (4) From 1990 to 2010, the annual glacier runoff showed an increasing trend, which was consistent with the change of air temperature in the same period. However, there is a opposite trend between the contribution of annual glacial meltwater to runoff and the annual precipitation. The findings could provide a scientific basis for water resources management in the Lhasa River Basin.

Keywords: VIC model; degree day model; glacier melt water; Lhasa River basin