

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2023.06.019

张家口市各区县用水结构时空演变及其驱动因素分析

张佳磊¹, 李彦学¹, 刘德富¹, 周小国², 丁一凡², 曾一恒¹, 张文祺¹

(1. 湖北工业大学土木建筑与环境学院, 湖北 武汉 430068; 2. 长江生态环保集团有限公司, 湖北 武汉 430062)

摘要:以张家口市14个区县为研究区域,分析其用水量和用水结构时空演变特征并据此划分区县类型,运用偏最小二乘法(PLS)分析不同类型区县用水量和用水结构的驱动因素及其阈值。结果表明:2005—2025年间张家口各区县用水量和用水结构维持稳定,用水结构整体处于相对均衡状态;各区县间存在极显著差异,依据用水量和用水结构时空演变特征划分为用水状态最优组(用水量低、均衡度高)、良好组(用水量低、均衡度低)、中等组(用水量高、均衡度高)和及格组(用水量高、均衡度低);社会因素(总人口、城镇人口和农村人口数量)和经济因素(耕地面积)分别是所有类型区县用水量和用水结构的关键驱动因素,制定总体用水规划方案时通过政策引导用水量较高区县人口向较低区县流动,制定不同类型区县的用水定额,鼓励用水量较高区县种植低耗水的经济作物并推进节水技术的应用,可以优化人口数量和结构并调整耕地面积,实现用水量减少、均衡度提高的规划目标。

关键词:用水量;均衡度;偏最小二乘法;驱动因素;用水规划;张家口市

中图分类号:TV213.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2023)06-0145-07

Analysis on evolution and driving factors of water consumption structure of districts and counties in Zhangjiakou City//ZHANG Jialei¹, LI Yanxue¹, LIU Defu¹, ZHOU Xiaoguo², DING Yifan², ZENG Yiheng¹, ZHANG Wenqi¹
(1. College of Civil and Environmental, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China; 2. Changjiang Eco-environmental Protection Group Co., Ltd., Wuhan 430062, China)

Abstract: Taking the 14 districts (counties) in Zhangjiakou city as the study area, the evolution and driving factors of water consumption and structure were analyzed by using the partial least squares (PLS). The results show that the water consumption and equilibrium degree of Zhangjiakou city are stable from 2005 to 2025, and the water consumption structure tended to relatively balanced. There are significant difference among the 14 districts (counties). The study area are divided into the following four types according to the characteristics of water consumption and structure: the optimal area (low water consumption and high equilibrium), the good area (low water consumption and low equilibrium), the medium area (high water consumption and high equilibrium) and the qualified area (high water consumption and low equilibrium). Social (total population, rural and urban population) and economic (cultivated area) factors are the main driving factors affecting the water consumption and structure, respectively. Improving population and crop structure, formula water consumption quota, and promoting advanced water-saving technologies are effective control measures of water consumption planning to realize the efficient utilization of water sources and balance of water consumption structure.

Key words: water consumption; equilibrium degree; partial least squares; driving factors; water consumption planning; Zhangjiakou City

张家口市位于京津冀西北区,定位为首都北京的水源涵养功能区、京津绿色农副产品保障基地和生态环境支撑区^[1-2],探明该区域的用水量和用水

结构时空演变特征和驱动因素,据此制定用水规划能有效缓解水资源供需矛盾,为该区域社会经济可持续发展提供有力保障。

基金项目:中国三峡集团有限公司科研项目(HB/ZB2021156);国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07101003-008)

作者简介:张佳磊(1983—),女,副教授,博士,主要从事生态水文学研究。E-mail:zhangjialei2015@sina.com

通信作者:刘德富(1962—),男,教授,博士,主要从事生态水文学研究。E-mail:dfliu@189.cn

近年来,国内外相关学者对北京市、安阳市和广州市等区域围绕着用水量和用水结构时空演变及其驱动因素开展了一系列的研究。用水量的时空演变主要受自然、社会和经济等因素的协同影响^[3-6]。驱动因素筛选主要采用灰色关联分析法、主成分分析法与相关性分析法,但自变量组和因变量组内部相互干扰会造成这些分析方法的结果出现一定偏差,而偏最小二乘法能有效避免这一干扰,分析结果更科学合理^[7-10]。用水结构演变规律的研究主要集中在用水结构量化评价方法体系和驱动机制两方面。相关研究将经济学、生态学和统计学等交叉学科的信息熵理论、协调度模型、水足迹理论、生态位理论、基尼系数和洛伦兹曲线应用到用水结构定量评价中^[11-16],其中信息熵理论利用均衡度量化评价区域用水结构,具有计算简便、结果直观的优势,因此被广泛用于区域间用水结构量化评价中^[17-18]。用水结构主要受自然因素(包含降水量、气温和水资源条件等)和社会、经济因素(人口数量、国民经济生产总值及组成结构、科技进步和政策法规等)的影响^[16,19]。预测方法包括指标分析法、灰色预测法、人工神经网络法和趋势外推法等,其中人工神经网络充分考虑了社会经济因素的不确定性对用水量的影响,因此被广泛应用于主要受社会经济要素影响区域的用水量预测中^[20-22]。综上所述,虽然在北京市、安阳市和广州市等区域用水量和用水结构时空演变及其驱动因素方面取得了一些研究成果,但不同研究区域自然因素、社会和经济因素具有其特异性,将该研究成果真正运用到张家口市各区县的用水规划时,必须明确张家口市各区县的用水量和用水结构时空演变特征及其驱动因素阈值。

邓欧等^[19]以张家口市为研究对象开展了供用水结构时空演变及驱动力研究,发现张家口市供用水结构极不均衡,用水量和用水结构均衡度主要受到社会因素(人口数量及结构)、经济因素(农作物播种面积、有效灌溉面积、经济规模、产业结构)和水资源条件(降水量)的协同作用。由于张家口各区县水资源条件、社会和经济条件各异,因此以张家口市整体为研究对象的研究结果尚未真正有效应用到当地用水规划中。本文基于2005—2016年间张家口市14个区县社会、经济和水资源的基础数据,运用BP神经网络预测2017—2025年张家口市14个区县用水量和用水结构,分析其时空演变特征,并据此划分区县类型;通过偏最小二乘法明确张家口市各区县用水量及用水驱动因素及其阈值,提出不同类型区县用水量和结构的优化参数及其范围,以期为张家口区域用水规划提供基础数据和技术支

撑,同时也为我国最严水资源管理制度背景下京津冀版块缓解水资源供需矛盾,实现社会经济可持续发展提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 研究区概况及数据来源

1.1.1 研究区概况

张家口市(113°50′~116°30′E,39°30′~42°10′N)的自然地理、水文气象与京津冀地区其他城市相似,具有一定的代表性(图1)^[1],包括张家口市区(包含桥东区和桥西区)、宣化区和崇礼区等14个区县,高程在470~2325 m之间,地势上呈现西北高、东南低,坡度大多在40°以下^[1],属于典型温带大陆季风气候,一年四季温差较大,冬季寒冷干燥,夏季炎热多雨,年平均气温为7.7℃,多年最高气温可达42.0℃,最低气温为-34.7℃^[1],年均降水量为350~400 mm,雨量有明显季节特征,6—9月的汛期降水量约占全年雨量的75%^[2]。张家口市供用水量基本持平,年平均总供水量为8.04亿m³,以地下水为主(占比为66.0%);农业用水占张家口水资源消耗的主导地位(占比为72.40%)^[2]。张家口市常住人口为469.75万人,以农村人口为主(占比为68.80%)。国民生产总值共计1466亿元,占比最高的是第三产业(为44.53%)^[2]。

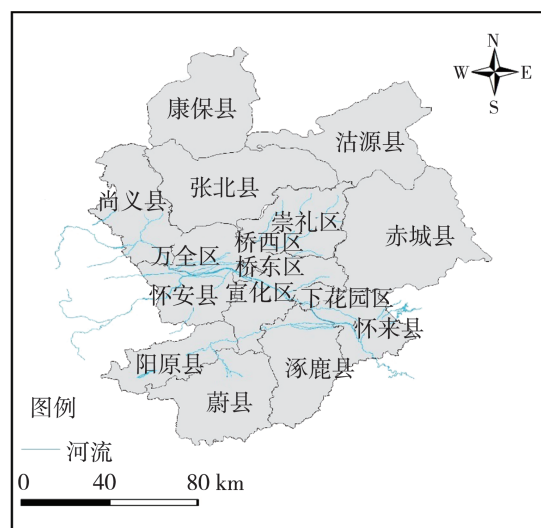


图1 研究区示意图

Fig.1 Site of study area

1.1.2 数据来源

社会、经济数据来源于《张家口市经济年鉴(2005—2016年)》,水资源总量、用水量及用水结构数据来源于《水资源公报(2003—2015年)》《河北省张家口市水资源评价报告》和《张家口市逐年公报(2005—2015年)》^[23]。

1.2 数据处理及分析方法

1.2.1 信息熵与均衡度

信息熵与均衡度计算具有所需数据量较小、计算过程相对简单和结果直观的优势^[24]。其中信息熵用于量化评价用水结构均衡度,信息熵越大,表明单一用水类型的优势性越弱,用水结构越均衡,其计算公式为

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i \quad (1)$$

式中: H 为张家口市不同区县的信息熵值,当用水结构中仅有一种用水类型时系统处于最有序的状况,最小信息熵值为 0,当各用水类型占比相同时系统处于最无序的状态时,最大信息熵 $H_{\max} = \ln n$ (n 为用水类型数); P_i 为各用水类型在用水量中的占比。

为实现张家口市不同区县信息熵的标准化和可比性,引入均衡度 J ($0 \leq J \leq 1$), J 值越大,表明某一用水类型的用水比例越合理,用水系统越稳定,当 $J=1$ 时用水结构达到理想状态,其计算公式为

$$J = \frac{H}{H_{\max}} = - \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i / \ln n \quad (2)$$

1.2.2 BP 神经网络

BP 神经网络算法充分考虑了自变量组对因变量组的影响,在预测精度方面优于灰色预测、趋势外推和指标分析等方法,能够将用水量的变化与社会经济因素紧密相联,是我国用水量预测方法中最常用的方法^[20-21,25-26]。因此本文采取 BP 神经网络算法预测张家口市各区县用水量,基于 matlab2016B 平台,通过神经网络工具箱,以 2005—2016 年历史数据作为神经网络的输入值,以对应的预测年作为神经网络的输出值构建并训练神经网络^[20-22]。通过最大最小值标准化法对输入值和输出值进行无量纲化处理,然后创建神经网络并设置训练参数,其中隐藏层个数为 $2n' + 1$ (n' 为输入层指标个数),以 tansig 作为隐含层的传递函数,以 trainlm 作为训练函数、以 sim 作为仿真函数,最大迭代次数为 5 000,学习速率为 0.001,训练精度为 1×10^{-6} 。最后开始训练神经网络并检验神经网络的预测结果,其中以前 90% 组数据作为网络训练样本,以后 10% 组数据作为网络预测检验样本,使用决定系数 R^2 和相对误差 E 作为检验神经网络预测精度的指标。相对误差 E 越小,预测模型的精度越高;决定系数 R^2 的取值范围在 $[0,1]$ 之间, R^2 越接近 1,模型预测结果越好,越接近 0,模型预测结果越差^[20-22]。

1.2.3 偏最小二乘法

偏最小二乘法 (partial least squares, PLS) 可以

消除自变量组和因变量组内部的多重相关性的干扰,计算结果更全面客观^[7-10]。用水量受自然、社会和经济等因素的协同影响,且 3 种因素之间存在较强的关联性,因此本文选取偏最小二乘法分析张家口市用水量与用水结构演变的驱动因素,使用 SIMCA 软件,以用水量或用水结构均衡度为因变量,以其相关的影响因素为自变量,分析得出相关的影响因素对用水量和用水结构均衡度的重要性,并以变量投影重要性 (variable important in project, VIP) 作为衡量其重要性的定量指标。VIP 值是一个表征模型中自变量对因变量重要性大小的参数,其计算公式为

$$V_j = \frac{P}{R_d(Y, t_1, t_2, \dots, t_m)} \sum_{h=1}^m R_d(Y, t_h) W_{hj}^2 \quad (3)$$

式中: V_j 为第 j 个分量的 VIP 值, $j = 1, 2, \dots, p$, p 为自变量的个数; $R_d(Y, t_1, t_2, \dots, t_m)$ 为所有主成分 $t_1, t_2, \dots, t_m$ 对因变量 Y 的累计解释能力; $R_d(Y, t_h)$ 为提取的主成分 $t_1, t_2, \dots, t_h$ 对因变量 Y 的累计解释能力; W_{hj} 为 W_h 轴的第 j 个分量。一般认为, VIP 值大于 0.9 的因子对因变量具有显著影响,因此,舍弃 VIP 值小于 0.9 的因子来保证模型的有效性^[7-10]。

2 结果与分析

2.1 张家口市各区县用水量和用水结构时空演变特征及其类型划分

2.1.1 张家口市各区县用水量时空演变特征

张家口市各区县历史期 (2005—2016 年) 和预测期 (2017—2025 年) 用水量时空演变特征如图 2 所示。从图 2 可见,张家口市历史期和预测期用水量在时间尺度上均维持稳定 ($P > 0.05$), 变化范围

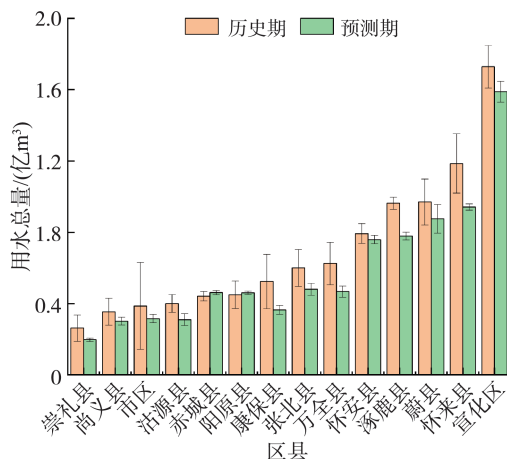


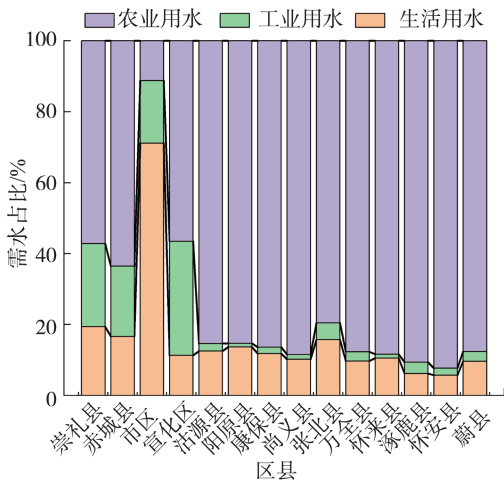
图2 张家口市各区县历史期和预测期用水量时空演变特征

Fig.2 Temporal and spatial evolution characteristics of water consumption in districts and counties of Zhangjiakou City in historical period and forecast period

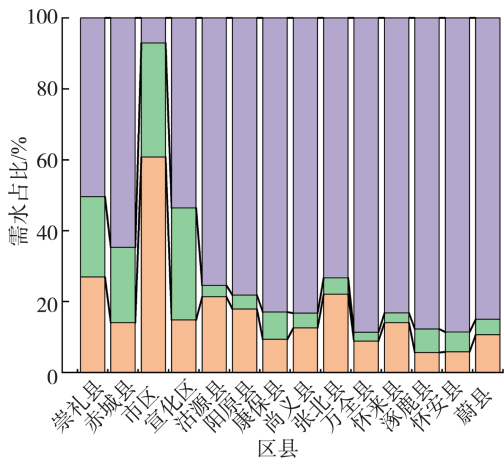
分别为 8.41 亿 ~ 10.95 亿 m^3 和 8.22 亿 ~ 8.58 亿 m^3 , 年均用水量分别为 (9.71 ± 0.85) 亿 m^3 和 (8.29 ± 0.13) 亿 m^3 ; 历史期和预测期用水量在区县间存在极显著差异 ($P < 0.01$), 基于历史期和预测期用水量正态分布规律, 分别以 0.62 亿 m^3 和 0.64 亿 m^3 为阈值划分用水量较高组和较低组, 用水量较高组包括宣化区、怀来县、涿鹿县、蔚县和怀安县, 用水量较低组包括崇礼区、尚义县、沽源县、张家口市区、康保县、阳原县、赤城县、万全县与张北县。

2.1.2 张家口市各区县用水结构时空演变特征

张家口市各区县历史期和预测期用水结构特征如图 3(a) 和 (b) 所示。从图 3 可以看出, 在时间尺度上, 各区县的用水结构维持稳定; 张家口市区、宣化区、赤城县和崇礼区由农业用水、工业用水和生活用水共同组成, 呈现多样化特征; 其余区县用水结构单一, 以农业用水为主。



(a) 历史期



(b) 预测期

图3 张家口市各区县历史期和预测期用水结构特征

Fig.3 Water consumption structure characteristics of districts and counties in Zhangjiakou City in historical period and forecast period

张家口市各区县历史期和预测期用水结构均衡度如图 4 所示。时间尺度上, 张家口两个时期用水结构均衡度均维持稳定 ($P > 0.05$), 分别在 0.59 ~ 0.66 和 0.67 ~ 0.70 间波动, 表明张家口市用水结构整体处于相对均衡状态; 空间尺度上, 张家口市各区(县)间均衡度存在极显著差异 ($P < 0.01$), 基于历史期和预测期用水结构均衡度的正态分布规律, 分别选取 0.52 和 0.60 作为阈值划分用水结构相对均衡组和不均衡组, 用水结构相对均衡组包括崇礼区、赤城县、张家口市区和宣化区, 用水结构相对不均衡的区县为蔚县、沽源县、阳原县、康保县、尚义县、张北县、万全县、怀来县、怀安县和涿鹿县。

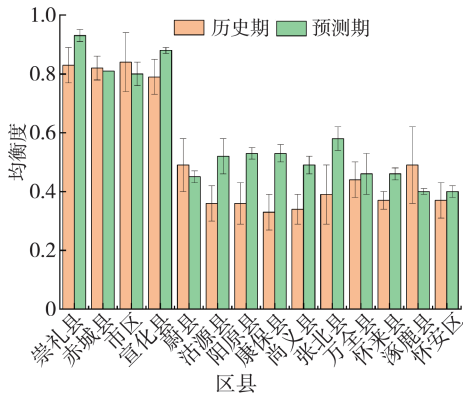


图4 张家口市各区县历史期和预测期用水结构均衡度时空演变特征

Fig.4 Temporal and spatial evolution characteristics of equilibrium degree of water consumption structure in districts and counties of Zhangjiakou City in historical period and forecast period

2.1.3 张家口市各区县用水状态类型划分

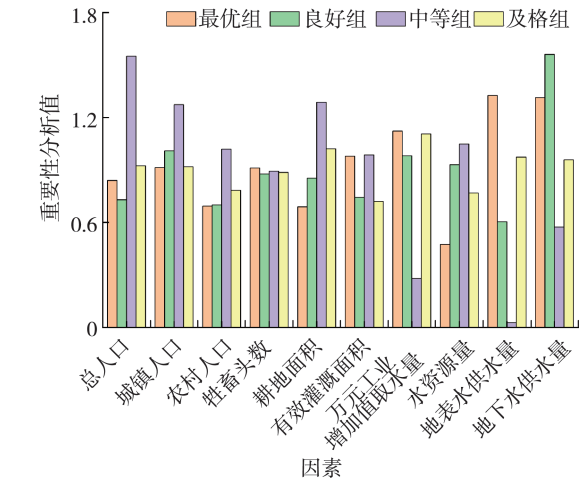
基于历史期和预测期张家口市各区县用水量和用水结构均衡度时空演变特征分析结果, 将张家口市 14 个区县划分为 4 种类型: ①第一组为用水状态最优组(用水量低, 均衡度高), 包括张家口市区、赤城县和崇礼区; ②第二组为用水状态良好组(用水量低, 均衡度低), 包括尚义县、沽源、康保县、阳原县和张北县; ③第三组为用水状态中等组(用水量高, 均衡度高), 主要是宣化区; ④第四组为用水状态及格组(用水量高, 均衡度低), 包括怀安县、怀来县、涿鹿县、蔚县和万全县。

2.2 张家口市各区县用水量及用水结构驱动因素对比分析

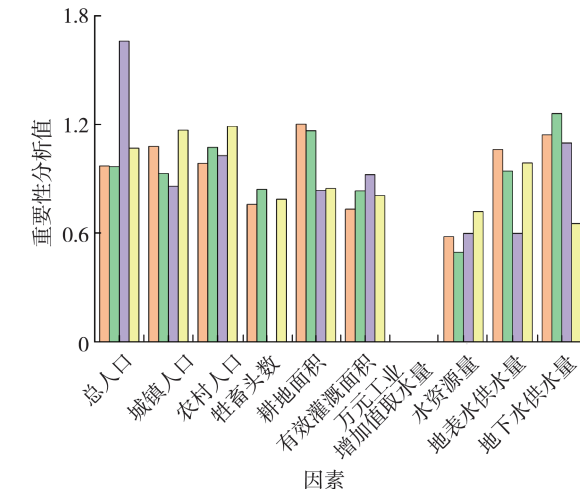
2.2.1 张家口市不同用水状态类型区县用水量驱动因素对比分析

历史期和预测期张家口市各区县用水量驱动因素如图 5 所示。社会因素(城镇人口)和水资源条

件(地表水和地下水供水量)是张家口用水状态最优组用水量的关键驱动因素,社会(总人口、城镇人口)、经济(耕地面积)和水资源条件(地表水和地下水供水量)是用水状态良好组用水量的关键驱动因素,社会(总人口和农村人口)和经济(有效灌溉面积)因素是用水状态中等组关键驱动因素,总人口是用水状态及格组用水量关键驱动因素。综上所述,社会因素(总人口、城镇人口和农村人口数量)是张家口所有用水状态的关键驱动因素,历史期城镇人口是影响张家口所有用水状态类型用水量的关键因素,预测期总人口和农村人口是影响张家口所有用水状态类型用水量的关键因素,对比分析表明未来用水规划优化城镇化率可有效减少所有类型区县的用水量。



(a) 历史期



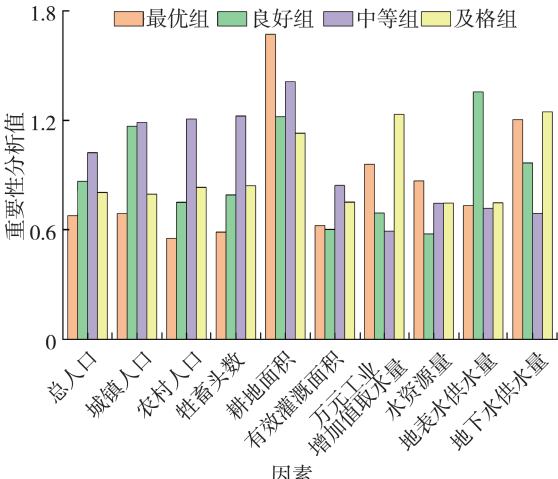
(b) 预测期

图5 历史期和预测期不同类型区县用水量驱动因素重要性对比分析

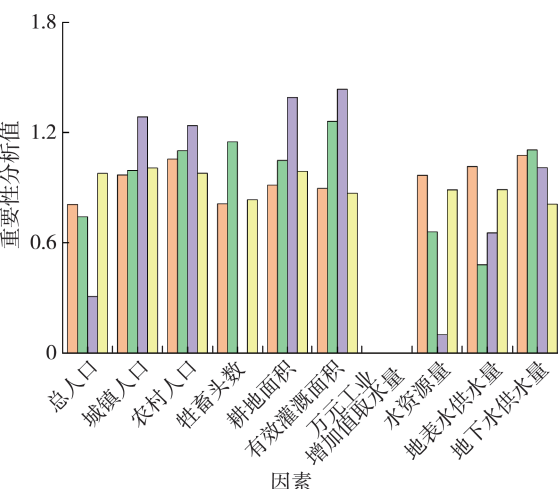
Fig.5 Comparative analysis of the importance of driving factors of water consumption in different types of districts and counties in historical period and forecast period

2.2.2 张家口市不同用水状态类型区县用水结构均衡度驱动因素对比分析

影响历史期和预测期不同区县用水结构均衡度的因素如图6所示。经济因素(耕地面积)和水资源条件(地下水供水量)是用水状态最优组均衡度的关键驱动因素,社会(城镇人口)和经济(牲畜头数和耕地面积)因素是用水状态良好组均衡度的关键驱动因素,社会(城镇人口和农村人口)经济(耕地面积)因素是用水状态中等组的关键驱动因素,经济(耕地面积)因素是用水状态及格组均衡度关键驱动因素。综上所述,耕地面积是张家口所有用水状态类型用水结构的关键驱动因素,制定用水规划时通过调整耕地面积可以有效提升所有区县的均衡度,同步优化人口数量和结构可以提高均衡度减



(a) 历史期



(b) 预测期

图6 历史期和预测期不同类型区县用水结构均衡度驱动因素重要性对比分析

Fig.6 Comparative analysis of the importance of driving factors of equilibrium degree of water consumption structure in different types of districts and counties in historical period and forecast period

少用水量;用水状态良好组还可同步调整牲畜头数提高均衡度。

2.2.3 张家口市不同用水状态类型区县用水量及用水结构与驱动因素阈值确定

依据张家口市各区县用水量和用水结构时空演变特征明确不同类型区县的用水规划目标(减少用水量、提高均衡度或两者均有),通过张家口市各区县用水量及用水驱动力对比分析构建调整参数与规划目标的关系曲线,提出用水规划参数优化范围。

良好组的规划目标是提高均衡度。历史期调控各区县耕地面积为 7.48 万 hm^2 时,均衡度达到最高值(关系曲线为 $y = -0.000126x^2 + 0.028528x - 1.19$ ($R^2 = 0.62$));预测期调控各区县耕地面积为 8.56 万 hm^2 并扩大有效灌溉面积,能使均衡度达到最高值(关系曲线分别为 $y = -2 \times 10^{-5}x^2 + 0.006x + 0.1639$ ($R^2 = 0.57$), $y = 0.0044x + 0.408$ ($R^2 = 0.38$));对比历史期和预测期驱动因素阈值,建议调整尚义县、沽源和康保县等区县耕地面积至 7.48 万 ~ 8.56 万 hm^2 ,提升该类区县的均衡度。

中等组规划目标为降低用水量。历史期通过政策引导调整人口数量和耕地面积分别为 42.2 万人和 4.3 万 hm^2 时,用水量达到最小值(关系曲线分别为 $y = 112.35x + 10671$ ($R^2 = 0.48$), $y = 296.98x + 3454.5$ ($R^2 = 0.70$));预测期通过政策引导调整人口数量为 59.8 万人时用水量达到最低值(关系曲线 $y = 787.95x^2 - 94314x + 3 \times 10^6$ ($R^2 = 0.46$))。对比历史期和预测期驱动因素阈值,建议政策引导宣化区人口流动调整人口数至 42.2 万 ~ 59.8 万人,可显著减少该类型区县用水量。

及格组规划目标是减少用水量并提高均衡度:历史期调整人口数量至 24.60 万人并调控耕地面积为 6.00 万 hm^2 时,可以有效降低用水量并显著提高均衡度(关系曲线分别为 $y = 109.34x + 5609.6$ ($R^2 = 0.67$), $y = -0.0074x^2 + 1.33x - 2.02$ ($R^2 = 0.43$));预测期通过政策引导人口为 39.04 万人并调控耕地面积为 4.98 万 hm^2 时,可以有效降低用水量并显著提高均衡度(关系曲线分别为 $y = -8.05x^2 + 362.26x + 5431.6$ ($R^2 = 0.44$), $y = 162.08x + 5177.3$ ($R^2 = 0.67$) 和 $y = 3 \times 10^{-5}x^2 - 0.0049x + 0.5681$ ($R^2 = 0.60$))。对比历史期和预测期驱动因素阈值,建议政策引导怀安县、怀来县和涿鹿县等区县的人口数量至 24.60 万 ~ 39.04 万人、耕地面积至 4.98 万 ~ 6.00 万 hm^2 ,可显著减少该类型区县用水量并提高均衡度。

3 结 语

a. 2005—2025 年间张家口各区县用水量和用

水结构,在时间尺度上维持稳定,用水结构整体处于相对均衡状态;在空间尺度上存在极显著差异。基于张家口区县用水量和均衡度的正态分布规律,用水量以 0.62 亿 m^3 和 0.64 亿 m^3 为阈值划分用水量较高组和用水量较低组,均衡度以 0.52 和 0.60 为阈值划分相对均衡组和不均衡组。综合各区县用水量和用水结构时空演变特征,划分为用水状态最优组(用水量低,均衡度高),良好组(用水量低,均衡度低),中等组(用水量高,均衡度高)和及格组(用水量高,均衡度低)4 种类型。

b. 社会因素(总人口、城镇人口和农村人口数量)是张家口所有类型区县的关键驱动因素,耕地面积是所有类型区县均衡度的关键驱动因素,制定张家口总体用水规划方案时,通过优化人口数量和结构并调整耕地面积至适宜范围,可减少用水量,提高均衡度。以提高均衡度为目标的良好组还可同步调整牲畜头数以进一步提高均衡度。通过政策引导用水量较高区县的人口向用水量较低区县流动,制定不同类型区县的用水定额,鼓励用水量较高区县种植低耗水的经济作物,并推进节水技术的应用是制定用水规划主要策略。

参考文献:

- [1] 蒋万军,刘宏伟,马震,等. 张家口地区水资源与环境问题研究现状[J]. 地球与环境, 2021, 49(1): 92-105. (JIANG Wanjun, LIU Hongwei, MA Zhen, et al. Research status of water resources and environmental issues in Zhangjiakou region [J]. Earth and Environment, 2021, 49(1): 92-105. (in Chinese))
- [2] 韩雁,张小玲. 张家口水资源优化配置与可持续利用研究[J]. 草业科学, 2020, 37(7): 1376-1385. (HAN Yan, ZHANG Xiaoling. Study on water resources optimization allocation and its sustainability development in Zhangjiakou [J]. Pratacultural Science, 2020, 37(7): 1376-1385 (in Chinese))
- [3] 李彦彬,闫文晶,张海涛,等. 基于改进 GM-LSSVR 模型的郑州市用水量预测[J]. 中国农村水利水电, 2022(1): 141-146. (LI Yanbin, YAN Wenjing, ZHANG Haitao, et al. Forecast of water consumption in Zhengzhou City based on improved GM-LSSVR model [J]. China Rural Water and Hydropower, 2022(1): 141-146. (in Chinese))
- [4] 程亮,胡霞,王宗志,等. 考虑水文气象贡献的区域用水总量驱动因子识别[J]. 应用基础与工程科学学报, 2020, 28(6): 1350-1360. (CHENG Liang, HU Xia, WANG Zongzhi, et al. A regional total water use driver identification model considering the contribution of hydro-climatic variability [J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2020, 28(6): 1350-1360. (in Chinese))

- [5] 何凡,顾冰,何国华,等. 中国用水量变化的驱动效应[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2022, 20(3): 417-428. (HE Fan, GU Bing, HE Guohua, et al. Driving effect evolution and spatial differentiation of water use change in China[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2022, 20(3): 417-428. (in Chinese))
- [6] 沈际杰,柏欣莉,衣鹏. 节水建设城市用水时空差异模型研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2022, 50(1): 38-43. (SHEN Jijie, BAI Xinli, YI Peng. Research on the temporal and spatial difference model of urban water use for water-saving construction[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2022, 50(1): 38-43. (in Chinese))
- [7] JU Cunyong, CAI Tijiu, LI Wenhong, et al. Improving forest burn severity estimations with partial least squares regression and orthogonal signal correction methods in Daxing' an Mountains, China [J]. Journal of Forestry Research, 2020, 32: 1-9.
- [8] YUAN Kehai, WEN Yong, TANG Jiashan. Regression analysis with latent variables by partial least squares and four other composite scores: consistency, bias and correction [J]. Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal, 2020, 27(3): 333-350.
- [9] DRUICĂ E, VĂ C, LANOLE-CĂLIN R, et al. Exploring the link between academic dishonesty and economic delinquency: a partial least squares path modeling approach[J]. Mathematics, 2019, 7(12): 1241.
- [10] 焦士兴,王安周,陈林芳,等. 中国省域三维水生态足迹及其驱动研究[J]. 世界地理研究, 2022, 31(5): 988-997. (JIAO Shixing, WANG Anzhou, CHEN Linfang, et al. Three-dimensional water ecological footprint measurement and its driving factors in China's provinces[J]. World Regional Studies, 2022, 31(5): 988-997. (in Chinese))
- [11] 刘宝勤,姚治君,高迎春. 北京市用水结构变化趋势及驱动力分析[J]. 资源科学, 2003(2): 38-43. (LIU Baoqin, YAO Zhijun, GAO Yingchun. Trend and driving forces of water consumed struture changes in Beijing[J]. Resources Sciences, 2003(2): 38-43. (in Chinese))
- [12] 黄锋华,黄本胜,洪昌红,等. 粤港澳大湾区水资源空间均衡性分析[J]. 水资源保护, 2022, 38(3): 65-71. (HUANG Fenghua, HUANG Bensheng, HONG Changhong , et al. Analysis of water resources spatial equilibrium in Guangdong, Hong Kong and Macao Greater Bay Area [J]. Water Resources Protection, 2022, 38, (3): 65-71. (in Chinese))
- [13] 焦士兴,李青云,王安周,等. 基于生态位的安阳市用水结构与产业结构动态演化分析[J]. 水资源保护, 2021, 37(1): 79-85, 109. (JIAO Shixing, LI Qingyun, WANG Anzhou, et al. Dynamic evolution analysis of water consumption structure and industrial structure based on niche in Anyang City[J]. Water Resources Protection, 2021, 37(1): 79-85, 109. (in Chinese))
- [14] 魏卿,薛联青,王桂芳,等. 玛纳斯河流域用水结构时空演化及水资源空间匹配分析[J]. 水资源保护, 2021, 37(5): 124-130. (WEI Qing, XUE Lianqing, WANG Guifang , et al. Spatial and temporal evolution of water structure and spatial matching analysis of water resources in Manas River Basin [J]. Water Resources Protection, 2021, 37(5): 124-130. (in Chinese))
- [15] 范嘉炜,黄锦林,袁明道,等. 广州市用水结构空间均衡差异性分析[J]. 水资源保护, 2020, 36(4): 82-86, 99. (FAN Jiawei, HUANG Jinlin, YUAN Mingdao, et al. Analysis of spatial equilibrium of water consumption structure in Guangzhou City [J]. Water Resources Protection, 2020, 36(4): 82-86, 99. (in Chinese))
- [16] 徐蕴韵,吴昊,李永泰,等. 南水北调东线江苏段用水结构及其时空演变[J]. 水资源保护, 2022, 38(2): 97-102. (XU Yunyun, WU Hao, Li Yongtai, et al. Water consumption structure and its temporal and spatial evolution in Jiangsu section of east route of South-to-North Water Diversion Project [J]. Water Resources Protection, 2022, 38(2): 97-102. (in Chinese))
- [17] 徐晋轩,杨默远,潘兴瑶,等. 基于水足迹的北京市水资源开发利用演变特征分析[J]. 水资源保护, 2022, 38(5): 96-104. (XU Jinxuan, YANG Moyuan, PAN Xingyao, et al. Analysis of evolution characteristics of water resources development and utilization in Beijing based on water footprint [J]. Water Resources Protection, 2022, 38(5): 96-104. (in Chinese))
- [18] 易晶晶,陈志和,杨创鹏,等. 基于信息熵原理的区域用水结构时空演变特征研究[J]. 水文, 2019, 39(4): 12-17. (YI Jingjing, CHEN Zhihe, YANG Chuangpeng, et al. Spatial and temporal evolution characteristics of regional water use structure based on information entropy principle [J]. Journal of China Hydrology, 2019, 39(4): 12-17. (in Chinese))
- [19] 邓欧,李亦秋,鲁春霞,等. 张家口市供水结构时空演变及驱动力分析[J]. 草业科学, 2020, 37(7): 1354-1361. (DENG Ou, LI Yiqiu, LU Chunxia, et al. Spatio-temporal evolution analysis and underlying driving forces of water supply and consumption structures in Zhangjiakou [J]. Pratacultural Science, 2020, 37(7): 1354-1361. (in Chinese))
- [20] ZAN Fei A, BRENTAN B M, MENAPACE A, et al. Graph convolutional recurrent neural networks for water demand forecasting [J]. Water Resources Research, 2022, 58(7): e2022WR032299.
- [21] SALLOOM Tony, KAYNAK Okyay, HE Wei. A novel deep neural network architecture for real-time water demand forecasting[J]. Journal of Hydrology, 2021, 599: 126353.

(下转第 177 页)

- quality and change pattern of residual water in reservoir environmental dredging and plate and frame dewatering project[J]. Journal of Lake Sciences, 2022, 34(2): 468-477. (in Chinese))
- [37] 陆昊, 杨柳燕, 杨明月, 等. 太湖流域上游降水量对入湖总氮和总磷的影响[J]. 水资源保护, 2022, 38(4): 174-181. (LU Hao, YANG Liuyan, YANG Mingyue, et al. Influence of rainfall in upper reaches of the Taihu Basin on inflow fluxes of total nitrogen and total phosphorus into Taihu Lake [J]. Water Resources Protection, 2022, 38(4): 174-181. (in Chinese))
- [38] 王亚宁, 徐明, 许静波, 等. 里下河腹部地区典型湖泊浮游动物演替特征及水质评价[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2022, 50(5): 49-57. (WANG Yaning, XU Ming, XU Jingbo, et al. Zooplankton succession characteristics and water quality evaluation of typical lakes in the hinterland of Lixia River [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2022, 50(5): 49-57. (in Chinese))
- [39] 王璇, 牛司平, 宋小龙, 等. 城市湖泊沉积物微塑料污染特征[J]. 环境科学, 2020, 41(7): 3240-3248. (WANG Xuan, NIU Siping, SONG Xiaolong, et al. Characterization of microplastic pollution of sediments from urban lakes [J]. Environmental Science, 2020, 41(7): 3240-3248. (in Chinese))
- [40] 潘鑫, 杨子, 杨英宝, 等. 基于高分六号卫星遥感影像的太湖叶绿素 a 质量浓度反演[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2021, 49(1): 50-56. (PAN Xin, YANG Zi, YANG Yingbao, et al. Mass concentration inversion analysis of chlorophyll a in Taihu Lake based on GF-6 satellite data [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2021, 49(1): 50-56. (in Chinese))
- [41] 查阳. 太湖流域农业面源污染控制技术评估及微塑料污染赋存特征研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2022. (收稿日期: 2023-01-08 编辑: 施业)

(上接第 151 页)

- [22] 马于航, 索梅芹. 基于 GA-BP 神经网络与正态区间估计的需水预测: 以邯郸市为例[J]. 中国农村水利水电, 2022(3): 19-24. (MA Yuhang, SUO Meiqin. Research on water demand forecasting in handan city based on GA-BP Neural network and normal interval estimation [J]. China Rural Water and Hydropower, 2022(3): 19-24. (in Chinese))
- [23] 张家口市水文局. 河北省张家口市水资源评价报告[R]. 张家口: 张家口市水文局, 2005.
- [24] SHANNON C E. A mathematical theory of communication [J]. Bell System Technical Journal, 1948, 27(4): 100-110.
- [25] DENG Yi, XING Chengyue, XIE Xiaodan, et al. The comprehensive study of the urbanization development and environmental damage response mechanism [J]. Sustainable Computing: Informatics and Systems, 2022, 36: 100782.
- [26] 牛欣怡, 鲁程鹏, 卢佳赞, 等. 机器学习模型在地下水埋深模拟中的适应性分析[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2022, 50(4): 74-82. (NIU Xinyi, LU Chengpeng, LU Jiayun. et al. Adaptability analysis of machine learning model in groundwater depth simulation [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2022, 50(4): 74-82. (in Chinese)) (收稿日期: 2022-11-14 编辑: 彭桃英)

《水资源保护》征订启事

《水资源保护》(ISSN 1004-6933, CN 32-1356/TV)是教育部主管、河海大学和中国水利学会环境水利专业委员会共同主办的科技期刊, 针对我国水资源短缺、水污染严重、水环境恶化等突出问题, 探讨水资源保护工作中的基础研究、宏观管理及水环境治理、水生态修复等问题, 主要栏目有“特约专家论坛”“水资源”“水环境”“水生态”等。

《水资源保护》1985 年创刊, 经过 30 多年的努力, 《水资源保护》办刊成绩斐然, 目前是美国《工程索引》(EI) 收录期刊、中国科学引文数据库(CSCD) 来源期刊、中文核心期刊、中国科技核心期刊、RCCSE 中国权威学术期刊、中国精品科技期刊、中国高校百佳科技期刊、华东地区优秀期刊, 同时被荷兰《文摘与引文数据库》(Scopus)、美国《化学文摘》(CA)、波兰《哥白尼索引》(IC) 等数据库收录。

《水资源保护》一直以来都是水利界和环保界备受关注的重点期刊, 是国内较有影响的水利期刊之一, 主要读者对象是全国从事与水资源保护工作有关的科技人员、管理人员以及大专院校师生。

《水资源保护》现为双月刊, 30 元/册, 全年共计 180 元, 每逢单月 20 日出版。邮发代号: 28-298。

地址: 210098 南京市西康路 1 号 电话: (025) 83786642

电子邮箱: bh1985@vip.163.com; bh@hhu.edu.cn