

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4701.2019.05-12

吉安市用水结构演变驱动因子分析及用水预测

刘裕辉, 王雪茹, 王志雄, 付小虎, 计勇

(南昌工程学院水利与生态工程学院, 江西 南昌 330099)

摘要: 基于2003~2017年吉安市农业、工业、生活、生态及总用水量数据,采用信息熵与均衡度的方法分析了用水结构的演变过程,运用主成分分析判别出主要的驱动力因子,并建立GM(1,1)模型,预测未来年份的用水量。结果表明:吉安市的用水以农业用水量为主,而生态用水所占比重较小;各部门用水量及总用水量均呈现出上升趋势,但其农业用水比重却呈下降趋势;信息熵和均衡度变化过程为先下降后上升,整体上呈增加趋势,表明区域用水结构正在向理想(平衡)状态演变和发展;影响吉安市用水结构的主要驱动因子有人口、社会经济发展、工农业产出及气候特征等;农业用水量及总用水量在未来呈现减少的趋势,工业用水量、生活用水量及生态用水量呈现增加的趋势。

关键词: 用水结构;主成分分析;GM(1,1)模型;信息熵;均衡度;吉安市

中图分类号: TV213 **文献标识码:** B **文章编号:** 1004-4701(2019)05-0376-06

我国是一个水资源相对短缺的国家,随着经济的快速发展以及人口的增加,水资源在时空分布上存在随机性及不均匀性、水土资源布局的不匹配性,水资源短缺已成为制约我国经济可持续发展的重要因素^[1-3]。建立科学的水资源利用与保护体系,是我国绿色发展道路及生态文明建设的重要基本支撑条件^[4-6]。用水结构的合理确定与科学预测,是制定水资源合理利用及保护体系的前提和基础^[7]。吉安市坐落于江西省中西部区域,地理坐标为113°46'E~115°56'E,25°59'N~27°58'N之间,行政面积25 271 km²。境内东、西、南三面环山,整体上呈现南高北低的趋势,赣江自南向北横贯其中,两岸河网密布,水系纵横^[8]。吉安市地处亚热带季风湿润气候区,雨量充足,其多年平均降水量1 554 mm,多年平均水资源总量224.2亿 m³^[8-11]。但是由于气候特征及耕地分布等因素,吉安市的水土资源在时空上的组成与分配极不均衡,导致其水资源供需产生矛盾^[8],当地亦存在大量的水资源浪费现象,其农业灌溉长期以粗放型灌溉为主,工业和城市用水存在着大量的浪费,水资源利用率低^[9]。谷桂华^[12]基于熵理论对玉溪市用

水结构的演变过程进行了分析;吴昊^[13]以南京市为例,运用信息熵理论和主成分分析方法分析了区域用水结构演变特征以及主要驱动力因子;李璇^[14]采用GM(1,1)模型对济宁市未来的用水结构进行了预测。目前,江西省市区用水结构研究较少,本文基于2003~2017年吉安市农业、工业、生活、生态及总用水量数据对吉安市用水结构的演变过程及其主要驱动因子进行合理分析,并且探讨了吉安市未来年份的各部门用水量及总用水量,旨在建立起科学的水资源利用与保护体系,以期对长江经济带发展及当地乡村振兴战略提供参考依据^[6,7]。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

吉安市2003~2017年的用水量资料以及主成分分析中的各项因子数据均来自于《江西省水资源公报》、《江西省统计年鉴》、《吉安年鉴》。根据水资源综合规划的要求,将用水归纳为农业、工业、生活及生态用水四

收稿日期:2019-06-24

项目来源:江西省高等学校教学改革研究重点项目(JXJG-18-18-3)、南昌工程学院研究生创新计划项目(YJSCX20180002)。

作者简介:刘裕辉(1998-),男,大学本科。

个用水类别。

1.2 研究方法

1.2.1 信息熵及均衡度

采用熵理论来分析用水结构演变时,熵的大小可以直接反映用水结构的分布均匀程度,而均衡度可以更准确地反映用水结构的均衡状况,两者相结合能更好地反映区域用水结构的演变特征^[8-15]。信息熵 H 及均衡度 J 的公式如下:

$$P_i = \frac{q_i}{Q} \quad (1)$$

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i \quad (2)$$

$$J = \frac{H}{H_{\max}} = \frac{- \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i}{\ln n} \quad (3)$$

式中: q_i 为各部门用水量; Q 为总用水量; n 为用水部门数目; H 为信息熵; J 为均衡度。

1.2.2 主成分分析

主成分分析就是将高维变量进行降维,以少数且

相互之间独立的综合性指标来反映出原始变量的绝大多数信息,能够较为客观地确定各主成分的权重值,在一定程度上克服了人为主观因素存在的随意性,提高评价体系的客观性及可信度^[15,16]。

1.2.3 GM(1,1)模型

GM(1,1)模型一种单序列模型,一般应用于时间序列的预测,不受到本身数据以外的变量影响。将其应用到用水结构的预测当中,可将各个用水部门的未来用水单独进行预测,减少其相关性,最终将各部门用水量进行汇总,即为总用水量^[14,17,18]。

2 分析与讨论

2.1 吉安市 2003~2017 年用水量变化分析

吉安市用水量变化按农业、工业、生活和生态用水 4 个部门用水及总用水量进行分析。如表 1 所示,近 15 年来,全市的年均总用水量为 31.17 亿 m^3 ,其中农业年均用水量为 23.65 亿 m^3 ,工业年均用水量为 5.21 亿 m^3 ,生活年均用水量为 2.17 亿 m^3 ,生态年均用水量为 0.14

表 1 吉安市 2003~2017 年用水总量及用水结构变化

年份	农业用水		工业用水		生活用水		生态用水		总用水量/亿 m^3
	用水量/亿 m^3	比重/%	用水量/亿 m^3	比重/%	用水量/亿 m^3	比重/%	用水量/亿 m^3	比重/%	
2003	17.02	83.23	1.75	8.56	1.65	8.07	0.03	0.15	20.45
2004	18.65	73.11	5.05	19.80	1.71	6.70	0.10	0.39	25.51
2005	18.78	73.05	5.14	19.99	1.68	6.53	0.11	0.43	25.71
2006	17.79	72.94	4.78	19.60	1.71	7.01	0.11	0.45	24.39
2007	24.92	77.15	5.31	16.44	1.95	6.04	0.12	0.37	32.30
2008	25.45	77.03	5.49	16.62	1.98	5.99	0.12	0.36	33.04
2009	30.21	78.92	5.70	14.89	2.23	5.83	0.14	0.37	38.28
2010	27.43	75.73	6.34	17.50	2.31	6.38	0.14	0.39	36.22
2011	29.08	79.74	4.91	13.46	2.31	6.33	0.17	0.47	36.47
2012	26.81	77.26	5.30	15.27	2.42	6.97	0.17	0.49	34.70
2013	25.99	75.64	5.74	16.71	2.46	7.16	0.17	0.49	34.36
2014	25.42	75.77	5.49	16.36	2.47	7.36	0.17	0.51	33.55
2015	21.96	72.74	5.57	18.45	2.49	8.25	0.17	0.56	30.19
2016	22.03	71.97	5.84	19.08	2.57	8.40	0.17	0.56	30.61
2017	23.22	73.16	5.77	18.18	2.58	8.13	0.17	0.54	31.74

亿 m^3 。农业用水、工业用水、生活用水和生态用水的用水结构比重分别是:75.83%、16.73%、7.01%、0.43%。吉安市总用水量由2003年20.45亿 m^3 增加到2017年的31.74亿 m^3 ,其增长幅度为0.63亿 m^3/a ,年均增长率为2.97%,其整体的变化过程为增加-减少-增加:2003~2009年为增加阶段,除2006年有所回落外,整体呈现增加趋势,并于2009年达到最大值38.28亿 m^3 ,年均增长率为11.01%;2010~2015年呈现平稳减少阶段,年均下降率为-3.88%;2015年后,总用水量略有增加,但变幅不大。

吉安市的用水大户为农业用水,其农业年均用水量占总用水量的比例75.83%,在整体上呈现增长趋势,其增长幅度为0.41亿 m^3/a ,年均增长率为2.09%,而所占比重却有所下降,其下降幅度为-0.25%/a,年均下降率为-0.86%,其变化过程与总用水量大致相同;工业用水量呈现出增加趋势,其用水量增加幅度为0.14亿 m^3/a ,年均增长率为8.28%,其中2006年~2007年大幅度增长,2014年~2015年大幅度减少,主要因素有2007年发生特大干旱事件,且开荒与国家基建占用耕地也大幅度减少等原因,其耕地数量得到大幅度增长^[19],而2015年农业用水量大幅度减少,得益于2015年为丰水年,降水量偏多;2003年工业用水量是一个特殊年份,其工业用水量仅为1.75亿 m^3 ,其主要原因为2003年,吉安市发生特大干旱,为保证生活及灌溉用水,当年减少发电2915.5万 $kW \cdot h$ ^[20],2004~2017年工业用水量较为平稳,其用水量大致在4.78~6.34亿 m^3 ,其中2010年达到最大值6.34亿 m^3 ,2006年为最小值4.78亿 m^3 ,整体可以分为两个阶段:2004~2010年,除2006年有所回落外,整体上呈现增长趋势;2010年用水量达到最大值后,2011年降至4.97亿 m^3 ,2010年到2011年工业用水量大幅度减少,其主要原因是2011年华能井冈山电厂二期(循环用水,且用一期尾水)运行,减少用水量1.84亿 m^3 ^[21];2011~2017年后整体呈现出增加趋势;生活用水量保持着稳定持续增长的趋势,由2003年的1.65亿 m^3 增长到了2017年的2.58亿 m^3 ,用水总量增长了0.93亿 m^3 ,其增加幅度为0.08亿 m^3/a ,年均增长率为3.02%。而其比重的变化趋势大致为先下降(2003~2010)后增加(2010~2017);生态用水量从2003年列入统计范畴,整体的变化过程历经增加和平稳两个阶段,其中2003~2010年为增加阶段,2011~2017年为平稳阶段。生态用水量占总用水量份额最小,仅为0.43%,整体

上呈现出稳定增加趋势,其年均增长率为9.02%。

2.2 基于信息熵理论的用水结构变化分析

运用信息熵及均衡度理论公式,分别计算出吉安市2003~2017年用水类别结构的信息熵和均衡度,其计算结果见图1。从中可以看出:2003~2017年期间,吉安市的用水类别结构多年平均信息熵为0.71Nat,多年平均均衡度为0.52,低于全省水平^[17],理想(平衡)状态下的信息熵为1.39Nat,均衡度为1.00。信息熵最低为2003年,为0.58Nat,其后的2004~2017年变化不大,在0.65~0.79Nat间,其整体呈现出增加趋势,变化过程大致为先下降后上升,尤其是2011~2017年上升趋势明显,主要原因是国家在2010年后开始对水资源管理实施“三条红线”管控,吉安市做出相应的整改措施,引导了当地经济结构优化,导致农业用水量的比重逐渐减少,而工业用水量、生活用水量等比重逐渐增加,使得用水结构更均衡化。一般来说,单项用水量所占比例越大,信息熵和均衡度的计算值就越小,表明该情况下用水类别在结构上越不均衡,所以吉安市的信息熵变化过程主要受到农业用水的影响。均衡度的变化过程与信息熵大致相同,最小值为2003年(0.42),最大值为2016年(0.57),整体呈现出增加趋势。在计算结果中,信息熵和均衡度在整体上呈现增加趋势,其变化过程大致为先下降后上升,说明吉安市的用水类别结构正在向理想(平衡)状态演变和发展。

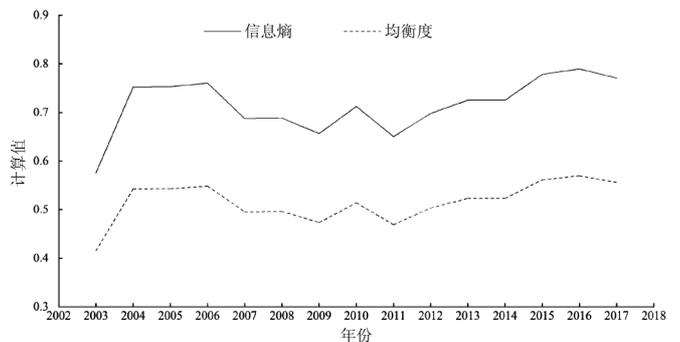


图1 吉安市2003~2017年信息熵及均衡度演变过程

2.3 吉安市用水结构驱动力分析

影响区域用水的主要因素包括社会经济产业结构、气候因素、人口与城市发展等^[13],经过初步的筛选、比较与分析,选取总人口(X_1)、地区总产值(X_2)、农林牧渔业总产值(X_3)、工业总产值(X_4)、固定资产投资(X_5)、有效灌溉面积(X_6)、粮食产量(X_7)、降水量(X_8)、气温

(X_9)、城镇绿化面积(X_{10})等 10 个对用水结构影响较大的驱动力因子指标^[17]。对无量纲处理后的原始变量进行检验,检验出来的 KMO 值为 0.669,满足大于 0.5 的要求^[17],进行主成分分析,其相关系数矩阵见表 2。

主成分特征值及贡献率分析结果表明,前两个主成分特征值分别为 7.44 和 1.23,且累计贡献率为 86.68%,符合特征值大于 1,累积贡献率大于 85%的提

取原则^[10],故提取出来的两个主成分,能够用来反映原始指标的绝大多数信息。从图 2 的主成分荷载矩阵中可以看出,总人口、地区生产总值、农林牧渔业总产值、工业总产值、固定资产投资、粮食产量及城镇绿化面积对第一主成分的影响较为显著,反映的是吉安市的人口、社会经济发展及工农业产出因素对用水结构的影响,而第二主成分中的气温荷载最大,反映的是吉安市

表 2 相关系数矩阵表

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
X_1	1.000	0.989	0.987	0.976	0.981	0.485	0.945	0.471	0.347	0.978
X_2		1.000	0.985	0.982	0.992	0.481	0.928	0.442	0.334	0.968
X_3			1.000	0.977	0.974	0.512	0.954	0.478	0.292	0.976
X_4				1.000	0.962	0.502	0.958	0.394	0.265	0.978
X_5					1.000	0.410	0.908	0.469	0.390	0.944
X_6						1.000	0.624	0.322	-0.172	0.610
X_7							1.000	0.450	0.226	0.977
X_8								1.000	0.044	0.440
X_9									1.000	0.318
X_{10}										1.000

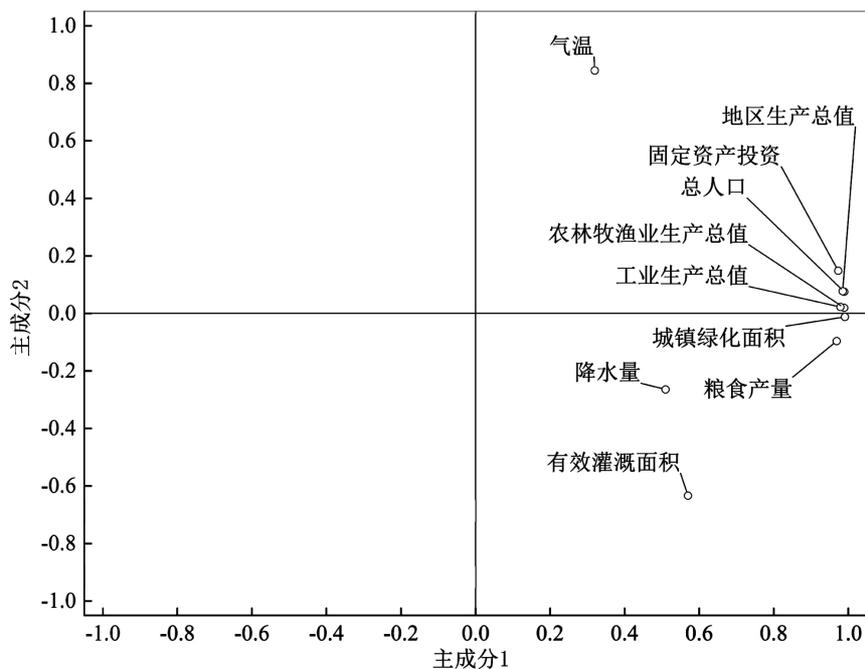


图 2 主成分荷载矩阵图

表3 吉安市各类用水主要年份预测值统计表

预测值	农业用水	工业用水	生活用水	生态用水	总用水量
2020	19.57	6.03	3.01	0.22	28.83
2025	16.12	6.33	3.56	0.27	26.28
2030	13.28	6.64	4.35	0.33	24.60

气候特征对于用水结构的影响。

2.4 吉安市用水量预测分析

根据吉安市 2003~2017 年各部门用水数据, 分别建立起各部门用水量的 GM(1,1)模型, 其中农业用水量波动较大, 所以在建立模型时, 为获得更为贴近实际情况的预测结果, 只选用了近 10 年的农业用水量, 将各部门的未来用水量汇总, 即为总用水量。采用后验差比值 C 及小误差概率 P 检验其预测的精度是否符合精度要求, 检验出的后验差比值 C 均小于 0.40, 误差概率 P 均大于 0.90, 符合预测精度的要求^[18], 可用于预测未来用水量, 其未来主要年份的各部门用水及总用水量预测结果见表 3。从表 3 中可以看出, 农业用水量及总用水量在未来呈现减少的趋势, 工业用水量、生活用水量及生态用水量呈现增加的趋势。农业用水量从 2017 年的 23.22 亿 m³ 减少到了 2030 年的 13.28 亿 m³, 其年均下降率为-4.21%; 工业用水从 2017 年的 5.77 亿 m³ 增加到 6.64 亿 m³, 生活用水从 2017 年的 2.58 亿 m³ 增长到 4.35 亿 m³, 生态用水从 2017 年的 0.17 亿 m³ 增加到 0.33 亿 m³, 其年均增长率分别为 1.09%、4.10%、5.23%; 其总用水量从 2017 年的 31.74 亿 m³ 到 2030 年的 24.60 亿 m³, 其年均下降率为-1.94%, 主要受农业用水的影响。

3 结 论

基于吉安市 2003~2017 年各类用水数据, 对吉安市用水结构演变过程及其主要驱动因子进行分析, 并建立用水量预测模型, 对吉安市未来年份的各类用水量进行预测, 得到的结论如下:

(1) 吉安市的用水以农业用水量为主, 多年均值比重占 75.83%, 生态用水量所占比重最少, 多年均值比重仅为 0.43%; 各部门用水量及总用水量均呈现出增加趋

势, 但农业用水的比重却呈现减小趋势, 总用水量的变化过程为“增加-减少-增加”。

(2) 信息熵和均衡度在整体上呈现增加趋势, 其变化过程大致为先下降后上升, 表明吉安市的用水类别结构正在向理想(平衡)状态演变和发展。

(3) 影响吉安市用水结构的主要因素有人口、社会经济发展、工农业产出及气候特征等。

(4) 根据吉安市 2003~2017 年各部门用水数据, 分别建立各部门用水量的 GM(1,1)模型, 预测出农业用水量及总用水量在未来呈现减少的趋势, 工业用水量、生活用水量及生态用水量呈现增加的趋势。

参考文献:

- [1] 鲍超, 方创琳. 水资源约束力的内涵、研究意义及战略框架[J]. 自然资源学报, 2006, 21(5): 844-852.
- [2] 李九一, 李丽娟. 中国水资源对区域社会经济发展的支撑能力[J]. 地理学报, 2012, 67(03): 410-419.
- [3] 刘佳骏, 董锁成, 李泽红. 中国水资源承载力综合评价研究[J]. 自然资源学报, 2011, 26(02): 258-269.
- [4] 夏军, 翟金良, 占车生. 我国水资源研究与发展的若干思考[J]. 地球科学进展, 2011, 26(09): 905-915.
- [5] 夏军, 石卫. 变化环境下中国水安全问题研究与展望[J]. 水利学报, 2016, 47(03): 292-301.
- [6] 夏军, 左其亭. 中国水资源利用与保护 40 年(1978~2018 年)[J]. 城市与环境研究, 2018(02): 18-32.
- [7] 郑爱勤, 王文科, 段磊. 关中盆地用水结构变化及其驱动因子分析[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(9): 75-79.
- [8] 陈麟君. 关于吉安市水资源及其合理利用问题[J]. 江西水利科技, 1985(02): 47-51.
- [9] 李生根. 吉安市水电资源开发利用问题探讨[J]. 吉林水利, 2010(01): 12-14.
- [10] 李慧明, 康剑萍. 吉安市水资源概况[J]. 水资源保护, 2004(03): 64-65.
- [11] 曾志明, 邱云. 水资源保护的思考和对策——以江西省吉

- 安市为例[J]. 水利发展研究, 2012, 12(07): 70~73.
- [12] 谷桂华, 朱文祥. 基于 Shannon 熵理论的玉溪市用水结构演变分析[J]. 人民长江, 2018, 49(17): 52~56+112.
- [13] 吴昊, 华骅, 王腊春, 等. 区域用水结构演变及驱动力分析[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2016, 44(06): 477~484.
- [14] 李璇, 束龙仓, 鲁程鹏, 等. 济宁市用水结构分析及预测[J]. 水电能源科学, 2017, 35(06): 26~29+146.
- [15] 尚晓三. 安徽省近 10 年用水结构变化特征分析[J]. 人民长江, 2017, 48(18): 45~49.
- [16] 肖迎迎, 宋孝玉, 张建龙. 基于主成分分析的榆林市水资源承载力评价 [J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(04): 218~223+235.
- [17] 程飞. 江西省用水结构演变驱动因子分析及用水预测[D]. 南昌工程学院, 2018.
- [18] 韩美, 杜焕, 张翠, 等. 黄河三角洲水资源可持续利用评价与预测[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(07): 154~160.
- [19] 肖梨芳, 钟全林, 程栋梁, 等. 重点农业基地耕地面积变化特征及其驱动因素——以江西省吉安市为例[J]. 海南大学学报(自然科学版), 2015, 33(01): 78~86.
- [20] 任晓萍, 肖协魁. 吉安市 2003 年旱灾分析与思考[J]. 江西水利科技, 2004(01): 10~12+18.
- [21] 吉安市水利局. 2011 年吉安市水资源公报[Z].

编辑: 张绍付

Driving factors of water structure evolution and water use prediction in Ji'an city

LIU Yuhui, WANG Xueru, WANG Zhixiong, FU Xiaohu, JI Yong

(College of Water Conservancy and Ecological Engineering, Nanchang Institute of Technology,
Nanchang 330099, China)

Abstract: In this study, information entropy and equilibrium degree methods were used to evaluate the water consumption structure evolution from 2003 to 2017 of Ji'an city. The main driving factors were identified by using principal component analysis, and GM (1,1) model was established to predict the water consumption in future years. The results revealed that the main water consumption in Ji'an city was agricultural water consumption, and the proportion of ecological water consumption was less important. The total water consumption showed an increasing trend, among which the proportion of agricultural water consumption showed a decreasing trend. The results of information entropy and equilibrium degree was first declined and then increased, showing an increasing trend on the whole and indicating that the regional water use structure was developed towards an ideal (equilibrium) state. The main driving factors affecting the water structure of Ji'an city include population, social and economic development, industrial and agricultural output and climate characteristics. Agricultural water consumption and total water consumption will decrease in the future, while industrial water consumption, domestic water consumption and ecological water consumption will increase.

Key words: Water utilization structure; Principal component analysis; GM(1,1) model; Information entropy; Balance degree

翻译: 刘裕辉