

南昌市用水结构变化及驱动力分析

孔祥仟^{1,2}, 许新发², 李国芳¹

(1. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 2. 江西省水利科学研究院, 江西 南昌 330029)

摘要: 研究城市用水结构变化及其驱动力, 对于城市可持续用水, 科学合理配置水资源有重要意义。基于南昌市 2005 ~ 2014 年水资源公报的用水量数据, 采用信息熵理论和均衡度方法分析用水结构演变规律, 运用 SPSS 软件的主成分分析法分析南昌市用水结构驱动力因子。结果表明: 南昌市用水结构体现在农业用水量较大, 工业和生活用水量次之, 生态用水量较小; 用水结构信息熵和均衡度呈上升趋势; 因子分析结果表明, 社会经济因子为用水结构演变主要驱动力。

关键词: 南昌市; 用水结构; 信息熵; 因子分析; 驱动力

中图分类号: TV211 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-4701(2016)05-0367-04

0 引言

用水结构是一个国家或区域农业用水、工业用水、生活用水和生态用水之间相互关联、相互依存的结合方式以及比例关系^[1]。随着社会经济的发展和自然环境的变化, 用水结构可在短期内产生明显变化, 这将导致区域内水资源利用矛盾突出。本文以南昌市为例, 研究区域用水结构演变及影响因子, 分析其用水结构演变过程, 并探索该区域用水结构驱动力因子。

1 南昌市近 10 年来用水结构演变

1.1 研究区域概况

南昌市是江西省省会, 处长江中下游, 全市划分赣江下游、抚河、修河和鄱阳湖环湖区 4 个水资源计算分区, 国土面积约为 7 403 km²。南昌市多年平均降雨量 1 589 mm, 多年平均气温约为 17.5℃, 多年平均径流量为 61.53 亿 m³。但人均拥有水资源量 1 174 m³, 不到江西省人均水资源量 3 600.6 m³ 的三分之一, 由此可见, 南昌市是江西省人均拥有水资源量较少的城市。目前南昌市用水已经接近“用水总量控制红线”, 城市水资源供需矛盾日益突出, 对南昌市用水结构的演变规律及驱动力进行分析, 了解用水结构变化内因, 有助于合理调整各部门用水, 促进水资源合理利用, 为城市有限的水资源开发利用奠定基础。

1.2 水资源利用现状

以 2014 年为例, 根据南昌市水资源公报^[2] 及江西省统计年鉴^[3] 的数据可知, 南昌市供水总量 31.42 亿 m³, 其中地表水源供水 30.21 亿 m³, 地下水源供水 1.12 亿 m³, 其它水源供水 0.09 亿 m³; 从用水部门来说, 农业用水为 17.35 亿 m³, 所占比重最大, 达 55.22%; 工业用水为 8.92 亿 m³, 占用水总量的 28.39%; 生活用水为 4.54 亿 m³, 占用水总量的 14.45%; 生态用水为 0.61 亿 m³, 占用水总量的 1.94%。

1.3 用水量变化

根据 2005 ~ 2014 年江西省统计年鉴及水资源公报数据, 对南昌市用水结构统计分析见表 1, 用水结构变化趋势图见图 1。

由表 1 和图 1 可以看出, 南昌市 2005 ~ 2014 年用水总量及用水结构有以下变化:

(1) 用水总量。随着社会的发展, 2005 ~ 2014 年南昌市用水总量整体呈递增趋势, 由 2005 年的 28.14 亿 m³ 增加到 2014 年的 31.42 亿 m³, 年均增长 0.33 亿 m³。其中, 2007 年较 2006 年增幅较大, 用水总量增加 4.84 亿 m³, 2008 年较 2007 年有所减少, 用水总量 2009 年达到最大值 33.42 亿 m³, 此后用水总量呈稳定上下波动。

(2) 农业用水。表 1 和图 1 可知, 农业用水是南昌市用水大户, 均超过了用水总量的 50%, 且农业用水和用水总量变化趋势相近。2005 年和 2006 年农业用水量接近, 在 2007 年达到最大值 21.27 亿 m³, 此后一直到 2012 年, 农业用水量稳中递减至 14.68 亿 m³, 在 2013 年和 2014 年又略有增加。农业用水比重整体呈递减趋势, 2005 和 2006 年两年均为 60% 左右, 2007 年

比重达到最大为 65.35%，此后逐年下降，在 2012 年农业用水仅占 50.94%。此后维持在 55% 以上。

表 1 南昌市用水结构变化

亿 m³

年	总用水量	农业		工业		生活		生态	
		用水量	百分比/%	用水量	百分比/%	用水量	百分比/%	用水量	百分比/%
2005	28.14	16.92	60.13	8.30	29.50	2.60	9.24	0.32	1.14
2006	27.71	16.73	60.38	8.11	29.27	2.52	9.09	0.35	1.26
2007	32.55	21.27	65.35	7.51	23.07	2.92	8.97	0.85	2.61
2008	30.42	19.73	64.86	6.90	22.68	2.94	9.66	0.85	2.79
2009	33.42	20.15	60.29	6.57	19.66	3.21	9.61	3.49	10.44
2010	30.87	17.37	56.27	7.51	24.33	3.49	11.31	2.50	8.10
2011	31.26	17.7	56.62	8.97	28.69	4.03	12.89	0.56	1.79
2012	28.82	14.68	50.94	9.20	31.92	4.36	15.13	0.58	2.01
2013	32.62	18.23	55.89	9.35	28.66	4.45	13.64	0.59	1.81
2014	31.42	17.35	55.22	8.92	28.39	4.54	14.45	0.61	1.94

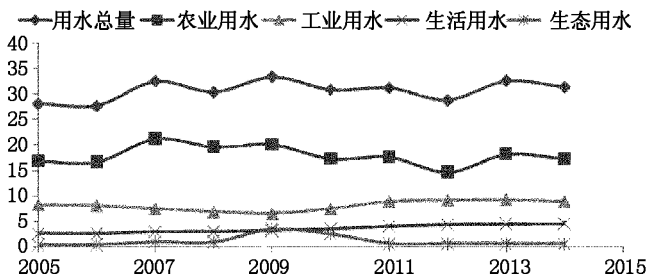


图 1 南昌市用水结构变化曲线

(3) 工业用水。总体上看，南昌市工业用水量从 2005 年到 2009 年间呈现递减趋势，由 8.72 亿 m³ 减少到 6.57 亿 m³。2009 年至 2013 年，整体呈递增趋势，2014 年略有上升。工业用水比重先降后升，比例变化不大。

(4) 生活用水。生活用水量 2006 年较 2005 年略有降低，在 2006 年之后，生活用水量由 2.52 亿 m³ 增加到 4.54 亿 m³，生活用水量比重由 9.09% 增加到 14.45%。

(5) 生态用水。生态用水整体是先递增后递减的趋势，在 2009 年和 2010 年间生态用水量远大于其他年份，这是因为江西省赣抚平原管理局为南昌市辖区环境大量供水导致。2011 年之后生态用水年均增加 0.1 ~ 0.2 亿 m³。

1.4 用水结构演变的信息熵分析

将信息熵^[4]的理论应用到水资源系统，来分析用水结构演变规律。假设在一定的尺度内，区域各部门用水总量为 Q ，共有 n 个用水部门 (x_1, x_2, \dots, x_n)，每个用水部门用水量为 (q_1, q_2, \dots, q_n)，各用水部门用水量所占比例为 (p_1, p_2, \dots, p_n)，其中 $p_i = q_i/Q$ ，且 $\sum p_i =$

$1, p_i \neq 0$ 。则用水系统的信息熵 H 可由公式 (1) 表示为：

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

式中： H 表示用水系统结构信息熵，单位为 nat。

信息熵值的大小可以反映系统的均匀程度。通常来说，能量分布越均匀，熵值越大，系统表现越无序，结构性就越差；反之，能量分布越集中，熵值越小，系统越有序，结构性越强。根据信息熵的这一理论，可分析城市用水结构演变规律。理论上，当各用水部门用水量相等时，即 $p_i = 1/n$ 时，信息熵达到最大值，最大熵值 $H_{\max} = \ln n$ ，此时，各用水部门在用水量上达到均衡状态。

在实际应用中，城市在不同的发展阶段，水资源用水部门数量会发生变化，因此单纯用信息熵来分析用水结构缺乏可比性，在信息熵的基础上，引入均衡度 J ，其表达式见公式 (2) 所示：

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

均衡度^[5]是系统实际信息熵与最大信息熵比值，由公式 (2) 可知， $0 \leq J \leq 1$ ，当 $J = 0$ 时，城市用水处于最不均匀状态，当 $J = 1$ 时，城市用水达到理想状态。由此可见，引入均衡度的概念，可以更直观的描述水资源利用情况。

2005 ~ 2014 年南昌市用水结构信息熵与均衡度见表 2。

由表 2 及图 2 可知，南昌市用水结构信息熵和均衡度在 2005 ~ 2008 年间较稳定，维持在 0.94，在 2008 ~ 2010 年陡增到 1.10 左右，此后呈波浪式逐渐下降最终趋于 1.03。整体上看，南昌市用水信息熵和均衡度均有所提高，说明用水结构无序性增加，结构性减弱，但用水分布较为均匀。随着城市化的发展，农业用水比例逐

渐降低,生活用水比重逐渐增加,用水系统更加合理,而生态用水的增加,表明人们已经更加意识到水的生态功效,同时这增加了用水的均衡性。综上所述,南昌市水资源开发利用逐渐向均衡与稳定方向发展。

表 2 南昌市近年用水结构信息熵与均衡度

年	信息熵 /nat	均衡度	年	信息熵 /nat	均衡度
2005	0.94	0.68	2010	1.12	0.81
2006	0.94	0.68	2011	1.02	0.73
2007	0.93	0.67	2012	1.07	0.77
2008	0.94	0.68	2013	1.03	0.74
2009	1.09	0.78	2014	1.04	0.75

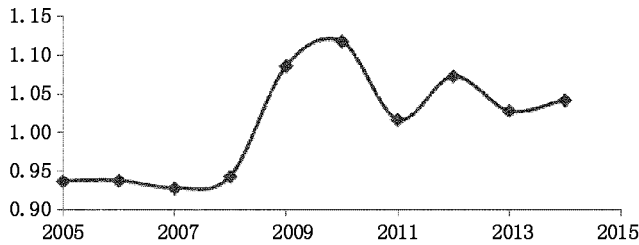


图 2 南昌市近年用水结构信息熵曲线

2 用水结构驱动力分析

研究用水结构的信息熵及均衡度的变化,一定程度上可以反映用水结构的演变规律,归根结底不能反映导致用水结构发生变化的内在因素。因此进一步分析影响南昌市用水结构变化的驱动因子,为区域用水结构调整和高效利用、实现水资源的经济效益打下基础。

结合南昌市用水结构演变情况,此次研究选定人口、城镇化率、GDP、固定资产投资、农业产值、工业产值、粮食产量、城市绿化覆盖面积、有效灌溉面积、降雨量和气温等 11 个因素为驱动因子,为了更进一步揭示用水驱动力类型及各个因子的贡献率,利用 SPSS 软件的主成分分析法进行计算。方差分解主成分结果如表 3,驱动力因子分析旋转负荷矩阵结果如表 4。

首先对样本数据进行 KMO 检验,KMO 是用于比较变量间相关系数的一个指标^[6]。KMO 值越接近 1,说明变量之间相关性越强,变量数据越适合做因子分析,当 KMO 值小于 0.5 时,数据不再适合因子分析。由基础数据计算得出 KMO 值为 0.687,可以进行因子分析。根据累计方差贡献率大于 85% 原则确定主成分个数,由表 3 可知,前 3 个成分累积贡献率达 90.991%,说明前 3 个因子可以很好的描述南昌市用水情况。

表 3 主成分分析结果

成份	初始特征值			提取平方和载入		
	合计	方差的%	累积/%	合计	方差的%	累积/%
1	7.251	65.922	65.922	7.251	65.922	65.922
2	1.838	16.711	82.634	1.838	16.711	82.634
3	0.919	8.358	90.991	0.919	8.358	90.991
4	0.611	5.554	96.545			
5	0.303	2.756	99.301			
6	0.063	0.572	99.874			
7	0.010	0.094	99.967			
8	0.003	0.025	99.992			
9	0.001	0.008	100.000			
10	0.000	0.000	100.000			
11	0.000	0.000	100.000			

由表 3 及表 4 分析可知,第一主成分贡献率为 65.922%,其中以人口、GDP、固定资产投资、农林牧渔业产值、工业产值、粮食产量和城市绿化覆盖面积对第一主成分贡献最大,这些因子反应了南昌市用水变化与社会经济发展的关系,因此将其定义为社会经济因子。因子 2 贡献率占 16.711%,其中降雨量、气温和有效灌溉面积对因子 2 贡献较大,分别为 0.866、-0.856 和

0.534,这些因子反应了自然因素对用水结构的影响,将其定义为自然环境因子。因子 3 贡献率占 8.358%,其中城镇化率对因子 3 贡献率最大,因此将其定义为城市化因子。

由以上分析结果表明:(1)在影响南昌市用水结构长期演变驱动力因子中,以人口、GDP、固定资产投资、农林牧渔业产值、工业产值、粮食产量和城市绿化覆盖

面积为代表的社会经济因子是主要的驱动力因子。(2)以降雨量、气温和有效灌溉面积为代表的自然环境因子为南昌市用水结构变化的次要驱动因子,主要原因是农业用水量受自然环境因子影响。(3)城市化率对南昌市用水结构演变有一定的影响。

表4 驱动力因子分析旋转负荷矩阵

	成份		
	社会经济因子	自然环境因子	城市化因子
人口	0.952	0.191	-0.139
城镇化率	0.548	-0.020	0.781
GDP	0.997	0.038	-0.039
固定资产投资	0.994	0.052	0.063
农林牧渔业产值	0.992	0.052	-0.066
工业产值	0.990	0.062	-0.115
粮食产量	0.931	-0.118	-0.147
城市绿化覆盖面积	0.980	-0.092	0.023
有效灌溉面积	-0.499	0.534	0.167
降雨量	0.148	0.866	0.295
气温	0.041	-0.856	0.361

3 结论

(1)在2005~2014年间,南昌市用水总量增加3.28亿m³,农业用水量较大,工业和生活用水量次之,生态用水量较小。近10年间,南昌市农业用水比例整

体下降,工业用水比例基本持平,生活用水比例逐年递增,生态用水比例无明显规律。

(2)南昌市用水结构信息熵和均衡度整体上升,说明南昌市用水正朝各部门用水均衡方向发展。

(3)通过SPSS软件对11个驱动因子进行主成分分析,以人口、GDP、固定资产投资、农业产值、工业产值、粮食产量和城市绿化面积等为代表的社会经济因子是影响南昌市用水结构变化主要的驱动力因子;以降雨量、气温和有效灌溉面积等为代表的自然环境因子为用水结构变化的次要驱动因子,同时城市化的进程对用水结构有一定影响。

参考文献:

- [1]王玉宝,吴普特,赵西宁,等.我国农业用水结构演变态势分析[J].中国生态农业学报,2010(18):399~404.
- [2]江西省水利厅.2005~2014年南昌市水资源公报[R].江西省水利厅,2005~2014.
- [3]江西省统计局.2005~2014年江西省统计年鉴[M].江西:江西省统计局,2005~2014.
- [4]马黎华,唐绍忠,粟晓玲.西北干旱内陆区石羊河流域用水结构演变及其驱动力分析[J].干旱地区农业研究,2008(1):125~130.
- [5]赵菲菲,刘东,于苗,等.建三江分局用水结构演变及其驱动机制研究[J].水土保持研究,2012(4):244~247.
- [6]王小军,张建云,贺瑞敏,等.区域用水结构演变规律与调控对策研究[J].中国人口资源与环境.2011(2):61~65.

编辑:张绍付

Analysis of water consumption structure variation and its driving forces in Nanchang city

KONG Xiangqian^{1,2}, XU Xinfu², LI Guofang¹

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

2. Jiangxi Provincial Institute of Water Sciences, Nanchang 330029, China)

Abstract: It is important to study the change of urban water consumption structure and its driving force, which is of great significance to the sustainable development of water resources in the city, and the rational allocation of water resources. Based on the water quantity data of water resources of Nanchang city during 2005–2014, by using information entropy and equilibrium degree analysis method, the evolution law of water consumption structure and the driving force factor of water structure in Nanchang city was analyzed by SPSS. The results indicated that agricultural water consumption is the greatest in the whole water consumption structure, followed by industrial and domestic water consumption, and the ecological water consumption is the smallest; overall information entropy and equilibrium degree of water utilization structure showed upward trend. The factor analysis results showed that the social–economic factor is the principal driving force of water utilization structure evolution.

Key words: Nanchang city; Water consumption structure; Information entropy; Factor analysis; Driving force

翻译:付莎莎