

江西省用水结构变化及影响因素分析

秦欢欢^{1,2}, 赖冬蓉¹, 万卫^{1,3}

(1. 东华理工大学核资源与环境国家重点实验室, 江西 南昌 330013;

2. 东华理工大学水资源与环境工程学院, 江西 南昌 330013; 3. 东华理工大学地球科学学院, 江西 南昌 330013)

摘要:根据江西省1999~2016年共18年的用水量数据,分析了农业、工业、生活和生态环境用水结构的变化,采用信息熵的方法对江西省用水结构变化的趋势进行了分析,总结了影响各类用水量变化的因素.结果表明:(1)江西省总用水量呈波动上升趋势,农业用水量呈波动略微上升趋势,工业用水量呈明显的波动上升趋势,生活用水量呈直线上升趋势,生态环境用水量呈稳中有升趋势;(2)从信息熵演化和均衡度的角度来看,江西省水资源开发利用结构向着更均衡、更稳定的方向发展;(3)影响江西省用水结构变化的因素是多样的,包括降水量、灌溉面积、工业增加值、万元工业增加值用水量、总人口、人均生活用水量、城镇化率及政府和民众对生态环境的重视等.

关键词:用水结构变化;信息熵;影响因素;江西省

中图分类号:TV213.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-4701(2018)05-0324-05

0 引言

水资源在人类社会经济活动中起着举足轻重的作用,为人类的发展提供了基本的物质基础和条件^[1].随着人口的增长和经济的发展,人类对于水资源的需求在不断增大,同时由于人类对于水资源的过度开发利用及污染,世界各地均出现了不同程度的缺水问题,人类对水资源需求的增长与水资源有限性之间的矛盾愈发突出,因此,水资源的合理利用是人类社会面临的最重要的问题之一^[2-6].用水结构是指农业、工业、生活和生态环境用水量之间相互关联及依存的结合方式及其比例关系^[1].农业、工业、生活和生态环境用水量占总用水量的比重能在一定程度上反映区域的经济水平、文明程度及科技水平.用水结构具有显著的地域差异,和区域的社会经济发展及水资源状况有很大关系,随着社会经济的发展 and 科技水平的进步而处在不断变化之中^[1,7-9].用水结构变化对于区域用水总量及其合理性有着至关重要且直接的影响,而且会进一步影响区域水资源的可持续利用及社会经济的可持续发展^[10,11].因此,对用水结构变化的趋势进行深入研究,合理分析用水结构变化的规律,探求影响用水结构变化的因素,对

于区域水资源的合理配置及有效管理,发挥水资源的最大潜力,保障区域水资源的可持续利用,促进社会经济的协调发展具有重要的现实意义和科学价值^[2,5,11-13].

我国水资源的分布具有“南多北少”的空间不均性,缺水问题在我国的北部、西部等地区比较突出^[14],目前针对华北、西北等干旱半干旱地区的用水结构及影响因素的研究较多,而对南方富水地区用水结构及影响因素的研究则较少^[2,7,10,12,15-20].冯天梅等^[2]利用信息熵理论对包头市用水结构变化的趋势进行了分析,结果表明包头市以农业用水为主,生活和工业用水占较小比例.包头市用水结构的信息熵呈增加的趋势,说明包头市用水结构有较小的向无序化方向发展的趋势.雷欢等^[12]分析了陕西省2001~2010年农业、工业、生活及生态用水的结构变化,结果表明,陕西省用水总量在波动中缓慢上升,农业用水量和比重都在下降,工业用水量变化较缓,生活和生态用水量呈持续增长趋势.

江西省地处中国东南部、长江中下游南岸,北纬24°29'14"~30°04'41",东经113°34'36"~118°28'58"之间,面积 $1.669 \times 10^5 \text{ km}^2$,与闽、浙、粤、湘、鄂、皖等省份相邻,属于经济相对落后的省份^[21].江西省水资源丰富,多年(1999~2016)平均降水量为1 674.6 mm,多年平均水资源量为 $1.60 \times 10^{11} \text{ m}^3$.2016年江西省年平均

收稿日期:2018-06-14

项目来源:东华理工大学博士科研启动基金项目(DHBK2016104)

作者简介:秦欢欢(1986-),男,博士,讲师.

降水量 1 996.1 mm,较常年偏多 19.2%;平均气温 18.9℃,较常年偏高 0.9℃;平均日照时数 1 485.8 小时,较常年偏少 9%。虽然江西省属于多水的省份,但从整体来看,江西省在水资源的利用过程中存在诸如降水时空分布不均、水资源供需矛盾较突出、水资源开发利用率低、水环境问题日益突出等问题^[22]。本文在搜集江西省 1999~2016 年农业、工业、生活和生态环境用水量数据的基础上,基于信息熵原理,计算江西省各年份用水结构信息熵和均衡度,探究江西省用水结构变化的趋势,总结影响江西省各部门用水量变化的因素。

1 江西省 1999~2016 年用水结构变化分析

江西省用水部门包括农业用水、工业用水、生活用水和生态环境用水,其中农业用水包括农田灌溉用水和林牧渔畜用水两部分,生态环境用水从 2003 年开始纳入用水统计。用水资料搜集自 1999~2016 年的《江西省水资源公报》,农业、工业和生活用水量数据跨度从 1999~2016 年,而生态环境用水量数据跨度则从 2003 至 2016 年。

1.1 总用水结构变化分析

图 1 是江西省 1999~2016 年各用水部门的用水量和总用水量的变化情况。从图中可以看出,1999~2016 年江西省总用水量整体呈现波动上升的趋势,由 1999 年

的 $217.08 \times 10^8 \text{ m}^3$ 上升为 2016 年的 $245.40 \times 10^8 \text{ m}^3$,年均增长 $1.67 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。总用水量在增长的过程中,阶段性变化不是很明显,其中 1999~2003 年整体呈下降趋势,而 2003~2016 年整体呈上升趋势,2003 年总用水量最小 ($172.50 \times 10^8 \text{ m}^3$),2013 年总用水量最大 ($264.81 \times 10^8 \text{ m}^3$)。全省分地区来统计(表 1),赣中地区(宜春、新余、吉安、萍乡和抚州五市)用水量 ($102.79 \times 10^8 \text{ m}^3$) 最大,约占江西省总用水量的 45%,其次为赣北地区(南昌和九江两市)(用水量 $53.14 \times 10^8 \text{ m}^3$) 和赣东北地区(上饶、景德镇和鹰潭三市)(用水量 $43.58 \times 10^8 \text{ m}^3$),分别占全省总用水量的 23% 和 19%,赣南地区(赣州市)用水量 ($29.41 \times 10^8 \text{ m}^3$) 最少,约占全省总用水量的 13%。

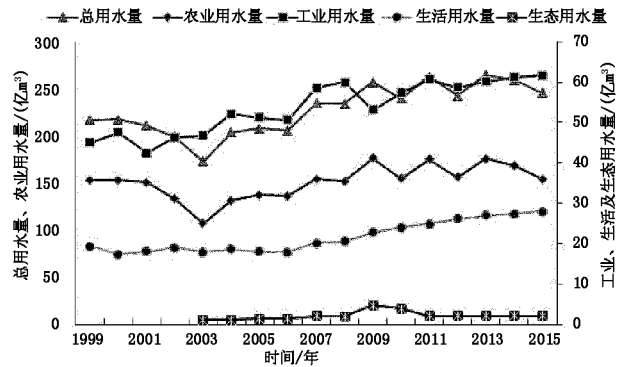


图 1 江西省 1999~2016 年各部门用水量的变化

表 1 江西省 1999~2016 年各区域总用水量 (10^8 m^3) 及占全省总用水量的比例 (%)

年份	赣北		赣东北		赣中		赣南	
	用水量	占比	用水量	占比	用水量	占比	用水量	占比
1999	44.92	20.69	46.79	21.55	96.36	44.39	29.01	13.36
2000	45.65	20.98	46.30	21.27	94.44	43.39	31.25	14.36
2001	47.96	22.74	45.14	21.40	88.45	41.94	29.37	13.92
2002	48.20	24.25	44.29	22.28	83.34	41.93	22.92	11.53
2003	43.88	25.44	31.55	18.29	72.96	42.30	24.11	13.98
2004	49.46	24.30	40.43	19.87	89.35	43.90	24.28	11.93
2005	52.78	25.37	42.26	20.31	88.38	42.48	24.63	11.84
2006	54.29	26.40	40.91	19.89	86.79	42.20	23.68	11.51
2007	57.97	24.68	40.87	17.40	106.82	45.48	29.21	12.44
2008	54.32	23.19	43.88	18.74	106.83	45.61	29.17	12.46
2009	57.42	22.35	44.32	17.25	122.69	47.75	32.52	12.66
2010	57.75	24.09	40.16	16.75	113.58	47.37	28.26	11.79
2011	61.02	23.21	45.07	17.15	123.48	46.98	33.29	12.66
2012	56.30	23.21	41.05	16.93	113.60	46.84	31.59	13.02
2013	58.86	22.23	48.32	18.25	121.65	45.94	35.98	13.59
2014	57.30	22.10	48.44	18.68	117.98	45.50	35.58	13.72
2015	54.16	22.03	47.61	19.37	111.66	45.43	32.38	13.17
2016	54.27	22.11	46.97	19.14	111.94	45.62	32.18	13.11
平均	53.14	23.30	43.58	19.14	102.79	44.72	29.41	12.84

1.2 农业用水结构变化分析

农业作为江西省的用水大户,其用水量在1999~2016年呈波动略微上升的趋势,平均在 $151 \times 10^8 \text{ m}^3$ 左右波动(图1),由1999年的 $152.86 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增为2016年的 $154.20 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。其中1999~2003年呈现非常明显的下降趋势,而2003~2016年则呈波动上升的趋势,2003年农业用水量最小($106.79 \times 10^8 \text{ m}^3$),而2009年农业用水量最大($176.24 \times 10^8 \text{ m}^3$)。农业用水量对总用水量有着较大的影响,由图2可以看出,江西省农业用水量占总用水量的比例呈波动下降的趋势,由1999年的70.42%下降为2016年的62.84%,年均下降约0.45%。其中1999~2001年农业用水比例略微上升,2001~2003年农业用水比例明显下降,而2003~2016年农业用水比例呈波动略微下降的趋势。江西省农业用水包括农田灌溉用水和林牧渔畜用水两部分,其中农田灌溉用水(年均 $142.14 \times 10^8 \text{ m}^3$)是主要用水部分,占农业用水量的90%以上,基本在94%左右波动;而林牧渔畜用水量(年均 $9.07 \times 10^8 \text{ m}^3$)占农业用水量的比例很小,基本在6%左右波动(表2)。

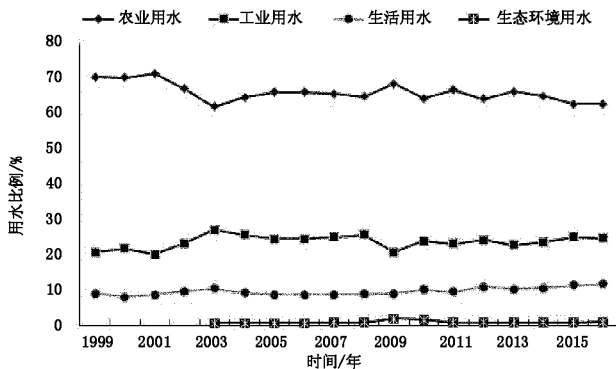


图2 江西省各用水部门用水量占总用水量的比例

1.3 工业用水结构变化分析

江西省工业用水量呈明显的波动上升趋势(图1),从1999年的 $45.01 \times 10^8 \text{ m}^3$ 上升到2016年的 $60.50 \times 10^8 \text{ m}^3$,年均增长 $0.91 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中2001、2006和2009这三年工业用水量出现了下降的波动,其余年份则保持持续的增长。2003年工业用水量最小($42.45 \times 10^8 \text{ m}^3$),2015年工业用水量最大($61.62 \times 10^8 \text{ m}^3$)。过去的18年,江西省工业用水变化保持平稳的状态,其占总用水量的比例保持在24%左右(图2),其中1999~2003年工业用水量占总用水量的比例有小幅上升,2009年该比例有小幅下降,其余年份该比例保持较稳定的波动状态。

1.4 生活用水结构变化分析

和农业用水量、工业用水量不同,生活用水量在1999~2016年呈直线增长的趋势(图1),从1999年的 $19.21 \times 10^8 \text{ m}^3$ 快速增长到2016年的 $28.50 \times 10^8 \text{ m}^3$,年均增长 $0.55 \times 10^8 \text{ m}^3$,且这种增长的趋势无停止的迹象。2000年生活用水量最小($17.35 \times 10^8 \text{ m}^3$),2016年生活用水量最大($28.50 \times 10^8 \text{ m}^3$)。生活用水量占总用水量的比例呈稳定小幅上升的趋势,从1999年的8.85%上升到2016年的11.61%,年均上涨0.16%(图2)。

生活用水可分为城镇公共用水和居民生活用水两部分(从2003年开始单独统计这两部分用水),前者保持了持续增长,从2003年的 $2.56 \times 10^8 \text{ m}^3$ (占生活用水量的14%)快速上升为2016年的 $6.20 \times 10^8 \text{ m}^3$ (占生活用水量的22%),年均增长 $0.28 \times 10^8 \text{ m}^3$,其占生活用水量的比例增长了8%;而后者则从2003年的 $15.31 \times 10^8 \text{ m}^3$ (占生活用水量的86%)增长为2016年的 $22.30 \times 10^8 \text{ m}^3$ (占生活用水量的78%),年均增长 $0.54 \times 10^8 \text{ m}^3$,其占生活用水量的比例下降了8%。

表2 江西省1999~2016年农业用水结构($10^8 \text{ m}^3, \%$)

年份	农田灌溉用水	占农业用水比例	林牧渔畜用水	占农业用水比例
1999	144.09	94.26	8.77	5.74
2000	141.99	92.93	10.80	7.07
2001	140.21	93.21	10.22	6.79
2002	123.51	92.54	9.95	7.46
2003	93.90	87.93	12.89	12.07
2004	120.74	91.69	10.95	8.31
2005	130.00	94.54	7.51	5.46
2006	128.51	94.54	7.42	5.46
2007	146.82	95.20	7.40	4.80
2008	144.71	95.36	7.04	4.64
2009	168.67	95.70	7.57	4.30
2010	147.00	95.14	7.51	4.86
2011	166.73	95.10	8.59	4.90
2012	146.06	93.83	9.60	6.17
2013	165.70	94.32	9.98	5.68
2014	159.01	94.31	9.60	5.69
2015	145.39	94.33	8.74	5.67
2016	145.46	94.33	8.74	5.67
平均	142.14	93.85	9.07	6.15

1.5 生态环境用水结构变化分析

生态环境的重要性日益凸显,亦受到国家和江西省

的重视,江西省从2003年开始把生态环境用水单列统计。生态环境用水量整体上呈稳中有升的趋势,平均在 $2.16 \times 10^8 \text{ m}^3$ 左右波动,由2003年的 $1.09 \times 10^8 \text{ m}^3$ 变化为2016年的 $2.2 \times 10^8 \text{ m}^3$,年均增长 $0.09 \times 10^8 \text{ m}^3$ (图1)。其中2003~2009年生态环境用水量呈上升的趋势,而2009~2016年则呈下降的趋势。2003年的生态环境用水量最小($1.09 \times 10^8 \text{ m}^3$),而2009年的生态环境用水量最大($4.77 \times 10^8 \text{ m}^3$)。生态环境用水量占总用水量的比例很小,在波动中呈稳定的变化状态,从2003年开始,该比例基本保持在0.9%左右,由2003年的0.6%变化到2016年的0.9%(图2)。

2 基于信息熵的江西省1999~2016年用水结构变化分析

信息熵是热力学概念的熵在信息学领域的应用,用来描述信源的不确定度(混乱度和无序度),指的是信息中排除了冗余后的平均信息量。鉴于用水结构变化是一个动态、近似不可逆的过程,信息熵在用水结构变化的研究中有诸多应用^[5,9,10,12,18,23,24]。因此,本文采用信息熵的理论对江西省1999~2016年的用水结构变化情况进行研究。

对于某个研究区域,在某段研究时间内总用水量为 W ,该区域共有 m 种不同的用水部门 $U_i (i=1 \sim m)$,每个用水部门用水量占总用水量的比例为 $p_i (p_i = U_i/W, \sum_{i=1}^m p_i = 1 \text{ 且 } p_i \neq 0)$,那么该研究区用水系统结构信息熵的计算公式为: $H = -\sum p_i \ln p_i$,其单位为nat。对于同一个研究区域,不同时间尺度内所具有的不同用水部门所计算出来的用水结构信息熵不具可比性,为此,引入均衡度的概念进行统一研究。均衡度计算公式为: $J = H/H_{\max}$,其中 H 为用水系统结构信息熵, H_{\max} 为该用水系统结构最大信息熵, $H_{\max} = \ln m$ 。系统的信息熵越大,表示该系统的无序度越大,系统结构的分配越平均;而系统的均衡度越大,表示该系统均衡性越强,系统越稳定。

表3是江西省1999~2016年用水结构信息熵和均衡度的计算结果,从中可以看出,江西省1999~2016年用水结构信息熵整体上呈小幅波动且缓慢增长的趋势,变化范围是0.774 0~0.929 5 nat,18年间增长了18%;均衡度整体上在波动中呈缓慢下降的趋势,变化范围是0.622 8~0.756 4,18年间减少了6.5%。计算结果表明,江西省在1999~2016年之间用水结构缓慢

向无序的方向发展,系统结构的分配愈发平均;均衡度的变化比较小,呈现出稳定的状态,说明江西省用水系统的均衡度趋向于稳定。

表3 江西省1999~2016年用水系统结构信息熵、均衡度计算结果

年份	信息熵/nat	均衡度	年份	信息熵/nat	均衡度
1999	0.787 8	0.717 1	2008	0.884 1	0.637 7
2000	0.782 2	0.712 0	2009	0.873 3	0.630 0
2001	0.774 0	0.704 5	2010	0.922 6	0.665 5
2002	0.830 9	0.756 4	2011	0.869 4	0.627 2
2003	0.917 6	0.661 9	2012	0.908 3	0.655 2
2004	0.877 8	0.633 2	2013	0.879 7	0.634 6
2005	0.863 3	0.622 8	2014	0.896 7	0.646 9
2006	0.863 3	0.622 8	2015	0.927 8	0.669 2
2007	0.873 4	0.630 1	2016	0.929 5	0.670 5

在过去的18年,由于社会经济的发展和人口的增加,江西省工业和生活用水在总用水中的比重在逐渐加大,农业用水的重心地位在下降,这使得江西省用水系统的功能变得更加全面;而以2003年开始生态环境用水单列统计为代表的用水类型的增加,使得用水结构比例得到了平衡,提高了系统的均衡度,亦表现了江西省政府和江西民众对水资源生态功能重要性的充分认识,表明江西省目前正由单目标开发利用水资源向多目标开发利用水资源的方向发展,同时亦在逐步考虑水资源综合利用范围的扩大和水资源生态环境系统的协调发展。从信息熵演化和均衡度这两个角度来看,江西省水资源开发利用结构向着更均衡、更稳定的方向发展。

3 江西省1999~2016年用水结构变化的影响因素分析

3.1 农业用水影响因素分析

根据前文的分析,江西省农业用水中90%以上是农田灌溉用水。影响农田灌溉用水量的因素包括降水量、灌溉面积、灌溉方式等。降水量对农田灌溉用水量及农业用水量有很大影响,从图3可以看出,2007、2009、2011和2013年的降水量分别为1 298 mm、1 392 mm、1 304 mm和1 464 mm,是降水量较少的年份,而这几年的农业用水量分别为 $154.22 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $176.24 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $175.32 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $175.68 \times 10^8 \text{ m}^3$,是用水量较多的几个年份。降水量变化与农业用水量变化基本呈

相反的趋势,降水量多,农业用水量少,降水量少,农业用水量则多。

江西省是全国13个主要产粮区之一,江西省粮食生产不仅能满足本省的需求,而且每年向国家提供数亿公斤商品粮。在过去的18年,江西省耕地面积呈增长的趋势(图4),这在一定程度上也增加了农业用水量。另外,随着农业节水灌溉技术的推广应用,江西省农田灌溉用水量在一定程度上有所减少,同时也提高了用水效率。与此同时,农村产业结构调整也导致农业内部用水结构的变化,随着国家和江西省对本省水利行业投入的增加,有效灌溉面积在稳定中保持了一定的增长(图4),这不仅保证了江西省粮食产量的增长,也在一定程度上增加了农田灌溉用水量。

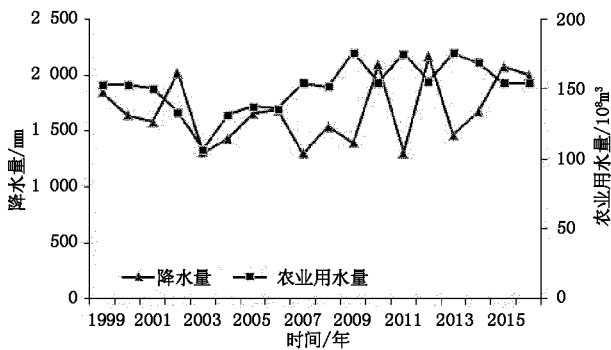


图3 江西省1999~2016年农业用水量及降水量变化曲线图

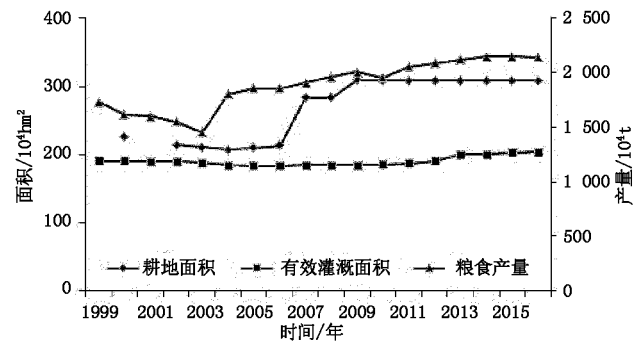


图4 江西省1999~2016年耕地面积、有效灌溉面积和粮食产量变化曲线

3.2 工业用水影响因素分析

江西省工业用水量变化的影响因素主要是工业增加值、万元工业增加值用水量、工业内部结构的调整及工业节水技术的进步等。从1999~2016年,江西省工业保持了较高速度的增长,工业增加值从1999年的503.79亿元增长为2016年的7219.11亿元(表4),增长了约13.33倍,年均增长约395.02亿元,这对工业需求水量的增长产生了直接的影响。与此同时,江西省坚持“节水、防污”并重的原则,把工业节水与防污有机结合,用水效率逐步提高,万元工业增加值用水量从1999年的893.43 m³/万元下降到2016年的83.81 m³/万元(表4),下降了约90%,取得节水、减污、降低成本的多重效应,表明江西省工业用水的效率在不断提高,工业

表4 江西省1999~2016年工业增加值(亿元)和万元工业增加值用水量(m³/万元)的变化

年份	工业增加值	万元工业增加值用水量	年份	工业增加值	万元工业增加值用水量
1999	503.79	893.43	2008	2906.86	206.13
2000	543.88	873.35	2009	3196.56	166.37
2001	603.23	703.71	2010	4286.76	133.78
2002	702.42	659.86	2011	5411.86	112.05
2003	863.31	541.52	2012	5828.20	100.75
2004	1140.00	457.54	2013	6452.41	93.19
2005	1455.50	351.46	2014	6848.63	89.43
2006	1905.15	265.44	2015	6918.00	89.07
2007	2412.30	242.92	2016	7219.11	83.81

发展模式由高耗水模式向低耗高效的节水型模式迈进。

不同工业结构下的用水规模及万元工业增加值用水量相差很大,这是导致工业用水量变化的重要因素。近年来,江西省通过对产业结构的优化和高耗水企业扩张的控制,在政策和资金方面进行引导和投入,单位工业增加值的用水量和能源消耗均逐年下降,工业的发展

和节水降耗取得了长足的进步。另外,在科技进步的推动下,江西省工业节水技术得到了广泛的推广和应用,逐年提高了工业用水的重复利用率,由此缓解了工业用水量快速增加的趋势。

3.3 生活用水影响因素分析

影响生活用水结构变化的因素主要是人口、人均生

活用水量及城镇化率。江西省总人口从1999年的4 231万增长为2016年的4 592万,增长了约8.5%,其中城镇人口由1999年的1 133万(城镇化率26.78%)增长为2016年的2 438万(城镇化率53.10%),增长了约1.15倍,这直接导致了生活用水量的增长。同时,人均生活用水量由1999年的 $45.40 \text{ m}^3/\text{人}$ 上升为2016年的 $62.06 \text{ m}^3/\text{人}$,增长了约36.7%,这也直接导致了江西省生活用水量的增长。

3.4 生态环境用水影响因素分析

生态环境用水包括城镇和农村环境用水,前者包括河湖补水及绿化、清洁用水,后者是指人工措施对湖泊、洼地、沼泽的补水^[1]。随着国家、政府对水生态、水环境安全的重视及民众对生活环境的日益关注,江西省的生态环境用水从2003年单列统计开始即保持了稳定的增长状态(年均增长 $0.09 \times 10^8 \text{ m}^3$),并且在未来很长一段时期内生态环境用水都将维持持续增长的趋势。

4 结 论

(1)江西省总用水量整体呈波动上升的趋势,年均增长 $1.67 \times 10^8 \text{ m}^3$;农业用水量呈波动略微上升的趋势,基本在 $151 \times 10^8 \text{ m}^3$ 左右波动;工业用水量呈明显的波动上升趋势,年均增长 $0.91 \times 10^8 \text{ m}^3$;生活用水量呈直线增长的趋势,年均增长 $0.55 \times 10^8 \text{ m}^3$;生态环境用水量整体上呈稳中有升的趋势,年均增长 $0.09 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

(2)从信息熵演化和均衡度这两个角度来看,江西省水资源开发利用结构向着更均衡、更稳定的方向发展。

(3)江西省用水结构变化的影响因素是多样的,包括降水量、灌溉面积、灌溉方式、工业增加值、万元工业增加值用水量、工业内部结构的调整、工业节水技术的进步、人口、人均生活用水量、城镇化率及政府和民众对生态环境的重视等。

参考文献:

- [1] 雷欢. 陕西省用水结构变化特征及驱动力分析[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2014.
- [2] 冯天梅,张鑫. 包头市用水结构的演变分析[J]. 节水灌溉,2014(2): 69~73.
- [3] WANG X J,ZHANG J Y,SHAHID S,et al. Water resources management

strategy for adaptation to droughts in China[J]. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change,2012,17(8):923~937.

- [4] 朱一中,夏军,谈戈. 关于水资源承载力理论与方法的研究[J]. 地理科学进展,2002,21(2):180~188.
- [5] 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(6):477~484.
- [6] 刘昌明. 二十一世纪中国水资源若干问题的讨论[J]. 水利水电技术,2002,33(1):15~19.
- [7] 马黎华. 石羊河流域用水结构的数据驱动模拟机缺水风险研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2012.
- [8] 徐勇俊. 基于系统模拟的区域用水结构与国民经济协同演变规律研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2015.
- [9] 张曼,吴佳斌. 泉州市1999~2009年用水结构演变规律及驱动分析[J]. 水资源与水工程学报,2012,23(5):111~114.
- [10] 顾鹤南,王建平. 青岛市近20a用水结构变化及其驱动力研究[J]. 人民黄河,2012,34(9):55~57.
- [11] 何艳虎,李深林,杨洁,等. 我国不同区域用水结构变化及其驱动因素分析[J]. 水资源与水工程学报,2016,27(4):1~6.
- [12] 雷欢,张鑫. 陕西省近10年用水结构演变及驱动力分析[J]. 水资源与水工程学报,2012,23(4):125~128.
- [13] 许士国,吕素冰,刘建卫,等. 白城地区用水结构演变与用水效益分析[J]. 水电能源科学,2012,30(4):106~108+214.
- [14] 田贵良,顾巍,谢文轩. 基于虚拟水贸易战略的缺水地区用水结构优化研究[J]. 水利经济,2013,31(1):1~6.
- [15] 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.
- [16] 孙凯艳,张浩,缪萍萍,等. 近10年海河流域用水结构特征及演变趋势研究[J]. 水资源与水工程学报,2014,25(6):102~104.
- [17] 黄晶,宋振伟,陈卓. 北京市水足迹及农业用水结构变化特征[J]. 生态学报,2010,30(23):6546~6554.
- [18] 刘燕,胡安焱,邓亚芝. 基于信息熵的用水系统结构演化研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2006,34(6):141~144.
- [19] 施丽珊,张曼. 基于生态位理论的福建省用水结构研究[J]. 水资源与水工程学报,2014,25(6):109~112.
- [20] 商玲,李宗礼,于静洁. 宁波市用水结构分析[J]. 水利水电技术,2013,44(9):12~16.
- [21] 王晰哲. 江西省水资源利用效率研究[D]. 南昌:江西财经大学,2015.
- [22] 孟丽红,陈亚宁,胥志彪,等. 江西省水资源可持续利用评价研究[J]. 水土保持通报,2013,33(6):166~170.
- [23] 崔婧,赵鹏宇,步秀芹,等. 基于信息熵的忻州市用水结构演变及其驱动力的因子分析[J]. 节水灌溉,2015,(6):58~61.
- [24] 粟晓玲,赵晨,马黎华. 关中地区近20年用水结构演变及其驱动力研究[J]. 灌溉排水学报,2008,27(5):71~73.

编辑:张绍付

(下转第368页)