

基于信息熵的厦门市用水结构演变及其驱动力的灰色关联分析

陈秀芬

(福建师范大学地理科学学院, 福建 福州 350108)

摘要: 基于1999–2010年厦门市水资源公报中农业用水、工业用水和生活用水数据,采用信息熵的方法描述用水结构的演变规律,运用灰色关联度分析影响用水结构演变的主要驱动力。结果表明:厦门市用水结构信息熵和协调度都于2006年起逼近于最大值,越接近最大值说明各部门间用水比重越趋于均衡,说明厦门用水结构系统趋向于无序、均衡的状态发展。灰色关联度反映了社会经济发展对用水结构的演变具有较强的影响,其中以产业结构对其的影响最为突出。

关键词: 用水结构; 信息熵; 灰色关联度; 厦门市

中图分类号: TU991.31

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2013)02-0188-04

Analysis of grey relation degree based on water utilization evolution and driving force of information entropy in Xiamen

CHEN Xiufen

(College of Geographic Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350108, China)

Abstract: Based on the data including industrial, agricultural and daily domestic water consume from the communiques of water resources in Xiamen (1999–2010), information entropy was used to describe the process of water utilization structure. By use of grey relational degree analysis, the major driving forces of the change were found out. The results indicate that the information entropy and balance degree of water utilization structure in Xiamen is approaching to the maximum since 2006. The more the number is close to the maximum, the more the balance system becomes. Water utilization structure tends to disorder and equilibrium. Grey relational degree reflects that the socio-economic development has a strong impact on the evolution of water utilization structure, especially the industrial structure.

Key words: water utilization structure; information entropy; grey relational degree; Xiamen City

1 概述

厦门市位于福建省东南沿海地区,由海岛和大陆两部分组成,属南亚热带季风气候,降水季节性变化大,没有大河流经,当地河流均属山丘短小河流,具有流程短、流域面积小、流量小的特点,开发利用难度大,水资源严重不足^[1]。2010年水资源总量13.13亿m³,人均水资源占有量371.70m³,只有全省的1/10,远远低于国际公认的人均水资源1700m³的警戒线^[2]。随着社会经济发展,对水资源的需求日益增长,厦门对当地水资源的开发程度也越来越高,全市建有大小水库26座以上,地表水资源利用率达到42.6%,地下水利用率高达21.3%,同时又高度依赖外来引水,水资源供需矛盾突出,水资源已成为制约厦门市经济发展的重要因

素。目前对厦门市水资源的研究主要集中在水资源供需问题和承载力等方面,于2012年出版了《厦门市水资源功能区划》,对厦门市水资源供需现状及其配置对策进行了较为系统的分析^[1,3]。刘启明等应用系统动力学模型方法,通过建立综合指标体系,对厦门城市水资源承载力进行趋势分析与预测^[4]。因此有必要深入地分析用水结构现状和驱动力因子,为深化调整产业结构提供依据。

目前关于用水结构现状与影响因素的研究主要采用对农业用水、工业用水或生活用水进行定性分析,并以定性描述的形式阐述影响各部门用水的因素^[5–8]。随着定量分析的发展,学者们开始对用水结构现状进行定量分析。黄晶等引入虚拟水的概念,通过分析北京农业用水足迹,定量分析了北京农

业用水内部结构的现状与趋势^[9]。王小军等利用信息论中信息熵的概念,从整体上对用水结构的优势度和均衡度进行定量分析,得到城市用水结构的动态演化情况,克服了各部分用水分别定性描述的不足,数据量小,计算过程较简单^[10-12]。关于用水结构驱动力的分析,目前较多学者采用主成分分析方法进行定量分析,对影响因素进行提取、归类分析,可以得到几类对用水结构影响大的因子,但无法得知其对用水结构演变过程的影响,也无法进行定量预测^[13]。云逸等利用最小偏二乘回归分析,建立用水结构与单一因素产业结构的回归方程^[14],证明用水结构与产业结构的变动具有一致性。吕翠美等采用灰色关联分析法,量化了多种驱动力对用水结构的影响,但仍然是对各部门用水进行分别分析,未从用水整体演变上进行分析^[15]。因此,本文尝试结合信息熵与灰色关联度两种方法,从整体上定量分析厦门市用水结构的演变过程,及其驱动力因素,为厦门市水资源可持续开发利用提供参考。

2 厦门市用水结构变化研究

根据历年《厦门市水资源公报》,收集整理 1999 - 2010 年厦门市农业、工业和生活用水数据(见表 1),分析 12 年间厦门总用水量和用水结构变化趋势。

2.1 总用水量变化

厦门市 1999 - 2010 年总用水量整体呈现在波动中上升的趋势。从 1999 年 4.65 亿 m³ 增加到 2010 年 6.07 亿 m³,年均增长 0.12 亿 m³,年均增长率 2.45%,用水量呈现上升趋势。用水总量在上升过程中明显分成三个波动阶段,1999 - 2001 年为一阶段,用水量大幅上升阶段,年均增长率从 1993 - 1998 年间 3.54%^[1] 增长到 6.95%,用水量达到 5.32 亿 m³;2002 - 2006 年为一阶段,用水量在 2002 年小幅下降后,以年均 5.09% 的幅度增长,2006 年达到近年峰值 6.25 亿 m³;2007 - 2010 年阶段,经 2007 年用水量回落到 5.83 亿 m³ 后,以年均增长率 1.31%,呈现小幅增长。

2.2 用水结构的变化

(1) 农业用水量稳中略降,但用水比重大幅下降。在 1999 - 2010 年间,农业一直是厦门的用水大户,从表 1 中可以看出农业用水量与总用水量的增减趋势大体一致,说明其对总用水量的影响较大。此外,农业用水量长期高于其他用水量,但在波动中略有下降。然而 2006 年开始工业和生活用水量逼近农业,农业用水比重呈现明显的下降态势,如图 1

所示,从 1999 年 54.00% 下降到 2010 年 34.70%,甚至于 2010 年低于生活用水 1.2%。

表 1 厦门市 1999 - 2010 年用水量 亿 m³, %

年份	总用水量	农业		工业		生活	
		用水量	比重	用水量	比重	用水量	比重
1999	4.65	2.51	54.00	1.09	23.44	1.05	22.56
2000	4.81	2.41	50.16	1.18	24.52	1.22	25.32
2001	5.32	2.57	48.33	1.34	25.12	1.41	26.55
2002	5.12	2.17	42.41	1.57	30.58	1.38	27.01
2003	5.60	2.37	42.29	1.76	31.41	1.47	26.30
2004	6.08	2.73	44.91	1.80	29.70	1.55	25.39
2005	6.17	2.73	44.31	1.84	29.77	1.60	25.92
2006	6.25	2.50	40.05	1.95	31.15	1.80	28.80
2007	5.83	2.19	37.61	1.76	30.22	1.88	32.17
2008	5.74	2.03	35.34	1.78	31.06	1.93	33.60
2009	5.89	2.21	37.58	1.61	27.39	2.07	35.03
2010	6.07	2.11	34.70	1.78	29.37	2.18	35.93

(2) 工业用水量整体呈现增长趋势,而比重趋于稳定。工业用水在近 12 年间从 1.09 亿 m³ 增加到 1.78 亿 m³,2006 年出现 12 年最高值 1.95 亿 m³,整体呈现增长趋势,年均增长率为 4.57%。从用水比重上看,工业用水比重从 2002 年增长到 30.58% 后趋于稳定,在 31% 和 29% 之间波动,振幅不大。

(3) 生活用水量持续增长。生活用水包括城镇生活用水和农业生活用水,从 1999 年 1.05 亿 m³ 到 2010 年 2.18 亿 m³,用水量持续增加,年均增长率达到 6.88%,高于农业、工业年均增长率,其所占比重更是增长迅速,除了 2004 和 2005 年比重略有下滑,整体年均增长率达到 4.32%,于 2007 年以 32.17% 比重超过工业,成为第二用水大户,接着仅用 3 年时间以 35.93% 份额超过农业,成为厦门 2010 年第一用水大户。2010 年成为第一用水大户只是开始,生活用水是否能长期保持第一并不确定,但是其在厦门用水结构中的重要性已凸显出来,不容小觑。

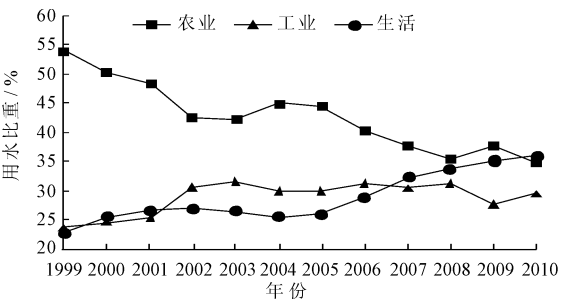


图 1 厦门市 1999 - 2010 年用水比重变化

3 基于信息熵的用水结构演变分析

3.1 信息熵基本原理

熵作为热力学的一个概念,Shannon 首先将其

引入信息论中,将其定义为信息熵^[11],用以描述任何体系或物质运动的混乱度和无序度。用水结构的演变具有一定的阶段性,其演变作为一个动态变化并且近似不可逆的过程,因而适合信息论中信息熵的运用^[8],因此本文引入信息论中信息熵的概念对厦门用水结构的演变进行研究。

设在一定时间尺度内,总用水量为 Q ,共有 n 种水资源利用类型 $X_i (i = 1, 2, \dots, n)$,每种类型相应的用水比重为 P_i ,并且满足 $\sum P_i = 1$,且所有 $P_i \neq 0$ 。根据 Shannon 公式,信息熵 $H = - \sum P_i \ln P_i$,考虑到不同时间尺度所包含的水资源利用类型不同,引入均衡度 J ,即 $J = H/H_{\max}$,其中 n 种类型下信息熵的最大值 $H_{\max} = \ln(n)$ 。信息熵 H 越大,表明系统无序度的增加,系统结构的分配越平均。均衡度 J 越大表示单一用水类型优势度越弱,系统均衡性越强,系统越稳定^[13]。

3.2 模型计算结果

设厦门总用水量为 Q ,共有农业用水、工业用水和生活用水三种利用类型,即 $n = 3$,得到厦门市 1999 – 2010 年用水结构信息熵和均衡度的变化情况,如图 2 所示。从图中可以看出厦门用水结构的信息熵由 1999 年 1.009 增加到 2010 年 1.095,呈现上升的趋势,并于 2006 年后趋近 3 种水资源利用类型下最大信息熵($H_{\max}$) 1.099,说明厦门用水结构趋向于无序的方向发展。从均衡度看,用水结构的均衡度也呈现上升趋势,2008 年达到峰值 0.999,表明厦门用水结构趋向无序发展的同时,系统分配越来越均匀,单一用水类型的优势度降低,系统的均衡度增强,并且 2007 年起极逼近于 1,说明系统受单一因素的影响已极小,系统结构复杂,受到各种用水类型综合作用,系统趋于稳定。

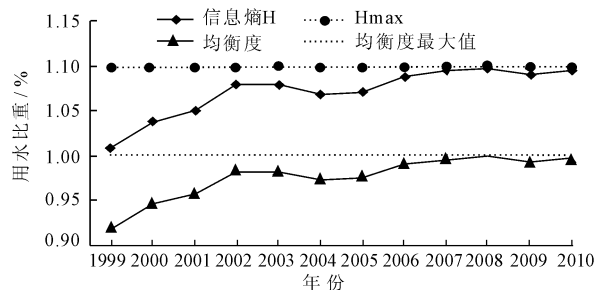


图 2 厦门 1999 – 2010 年用水结构信息熵和均衡度变化

通过观察 12 年间厦门市用水结构的信息熵发展变化,可以将其分为 4 个阶段。第一阶段 1999 – 2002 年,低熵值快速增长阶段,用水结构熵值以 2.29% 的年均增长率从 1.009 增加到 1.080。第二阶段 2002 – 2005 年,4 年间用水结构的熵值在 1.075

之间波动,是一个处于高熵的调整阶段,期间正值厦门市行政区划调整时期,反映了社会经济发展波动和调整。第三阶段 2005 – 2007 年,熵值回升发展阶段,期间熵值持续增长,突破第二阶段的最高值,并趋近于最大值 1.1。第四阶段 2007 – 2010 年,高熵值稳定发展,2007 年后一直处于无限逼近于最大值 1.1 的状态,用水结构系统趋于无序、均衡。虽然 2009 年受到国际金融危机的影响,熵值略有下降,但仍处于 1.090 的高位上,并于 2010 年回升到 1.095,继续逼近 1.1,说明系统受到的影响不大,也体现了用水结构与社会经济发展息息相关。

4 影响用水结构演变的社会经济因素

4.1 灰系统关联度分析方法基本原理

灰色关联分析法由邓聚龙先生创立灰色系统理论时提出,主要对系统动态发展过程进行量化分析,它克服了相关分析、主成分分析等数理统计分析要求数据量大或具有典型分布的局限,能够利用少量的样本并且不需要符合某种分布规律,应用上具有更强的广泛性^[16]。

利用灰色系统关联度分析影响用水结构的因子首先设定用水结构信息熵的时间序列为参考序列:

$$X_0 = \{\chi_0(1), \chi_0(2), \dots, \chi_0(n)\}$$

将选取的 m 个驱动力因子的时间序列作为比较序列:

$$X_i = \{\chi_i(1), \chi_i(2), \dots, \chi_i(n)\}, i = 1, 2, \dots, m$$

将参考序列与比较序列带入灰色关联度公式,得到各驱动力因子的关联系数 ξ :

$$\xi = \frac{\min_i \min_k |\chi_0(k) - \chi_i(k)| + \theta \max_i \max_k |\chi_0(k) - \chi_i(k)|}{\min_i \max_k |\chi_0(k) - \chi_i(k)| + \theta \max_i \max_k |\chi_0(k) - \chi_i(k)|} \quad (1)$$

式中: θ 为关联参数,一般取 0.5。

$$\text{关联度 } R_i: R_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k) \quad (2)$$

关联度越大,表示该因素对参考序列的影响越大,关联度越小,对其影响越小。

4.2 灰色关联模型分析结果

运用灰色关联模型,将厦门市用水结构信息熵作为参考序列 X_0 ,从社会经济发展的人口规模、经济发展、社会生活、旅游和外贸等角度选取九项对比指标 X_i ,分别为:人口(人): X_1 ,人均 GDP(元): X_2 ,第一产业占 GDP 比重: X_3 ,第二产业占 GDP 比重: X_4 ,第三产业占 GDP 比重: X_5 ,社会固定资产投资(万元): X_6 ,人

均可支配收入(元): X_7 , 旅游收入(亿元): X_8 , 外贸进出口总值(万美元): X_9 , 得到各指标与信息熵的关联度 R_i 。为了便于定性与定量分析的结合, 将灰色关联强度划分为三级: 0 ~ 0.35 为弱关联度, 0.35 ~ 0.70 为中关联度, 0.70 ~ 1.0 为强关联度^[17]。

根据用水结构信息熵演变的 4 个阶段, 得到不同阶段各因素与信息熵之间的关联度如表 2。1999 - 2002 年第一阶段 R_1 、 R_3 、 R_4 、 R_5 、 R_6 为强关联度, 其他为中关联度。2002 - 2005 年第二阶段 R_1 、 R_3 、 R_4 、 R_5 为强关联度, 其他为中关联度。2005 - 2007 年第三阶段 R_1 、 R_3 、 R_4 、 R_5 为强关联度, 其他指标为中关联度。2007 - 2010 年第四阶段 R_1 、 R_3 、 R_4 、 R_5 、 R_6 为强关联度, 其他指标与用水信息熵中度关联。

表 2 厦门市用水结构信息熵不同发展阶段灰色关联度									
阶段	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9
1	0.76	0.65	0.88	0.96	0.93	0.72	0.67	0.62	0.59
2	0.70	0.61	0.84	0.94	0.97	0.58	0.63	0.63	0.57
3	0.73	0.68	0.88	0.96	0.94	0.57	0.67	0.68	0.66
4	0.70	0.63	0.94	0.93	0.93	0.75	0.62	0.66	0.63

总体而言, 选取的九个社会经济因素与用水结构信息熵的变化都有一定的关联, 其中产业结构、人口规模和社会固定资产投资等因素与用水结构的演变存在着中度以上的关联性, 又以产业结构最为突出, 一直具有强关联度, 表明厦门市产业结构的调整与用水结构的演变之间具有较强的联系。厦门工业以电子、机械和化工等高耗能、高耗水产业为主导, 并保持在一定的增长中, 造成水资源利用与产业发展相互制约的局面, 因此, 有必要在水资源制约的条件下调整产业结构, 提高水资源重复利用率, 利用新能源解决工业和生活能源问题, 促进第三产业与生活中节水与循环技术的发展等, 从而提高产业结构与水资源之间的协调度。

5 结 语

厦门市 1999 - 2010 年 12 年间, 用水结构信息熵不断增大, 已趋近于最大值, 说明随着社会经济的发展, 厦门市用水结构系统发展趋向于均衡化发展, 但仍有小幅波动。通过灰色关联度分析, 从整体的角度定量分析得到影响厦门用水结构发展的主要因素是三大产业的发展, 其次是人口规模与社会固定资产投资, 旅游和外贸等其他社会因素也与用水结

构的演变存在着中关联度的关系, 说明了用水结构演变与社会经济发展具有多方面的关联性, 可为今后进行用水结构合理配置研究提供参考。

鸣谢: 衷心的感谢陈兴伟教授的悉心指导。

参考文献:

[1] 厦门市计划委员会. 厦门市水资源合理配置与对策研究 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001: 1 - 50.

[2] 林俊宏. 厦门市水资源可持续利用评价 [J]. 水资源保护, 2010, 26(6): 51 - 69.

[3] 厦门市水利局. 厦门市水功能区划报告 [R]. 厦门: 厦门市水利局, 2012.

[4] 刘启明, 张晨岚, 林锦美, 等. 厦门城市水环境承载力综合指标体系评价 [J]. 华侨大学学报, 2008, 29(1): 94 - 96.

[5] 翟远征, 王金生, 郑洁琼, 等. 北京市近 30 年用水结构演变及驱动力 [J]. 自然资源学报, 2011, 26(4): 634 - 635.

[6] 苏龙强. 福建省近 10 年用水结构变化及驱动力分析 [J]. 水资源与水工程学报, 2010, 21(1): 101 - 103.

[7] 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, 25(2): 38 - 40.

[8] 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 - 77.

[9] 黄 晶, 宋振伟, 陈 阜. 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.

[10] 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, 21(2): 61 - 64.

[11] 马黎华, 绍 忠, 栗晓玲. 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, 26(1): 125 - 129.

[12] 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 - 143.

[13] 栗晓玲, 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.

[14] 云 逸, 邹志红, 王惠文. 北京市用水结构与产业结构的成分数据回归分析 [J]. 系统工程, 2008, 26(4): 67 - 69.

[15] 吕翠美, 吴泽宁, 胡彩虹. 用水结构变化主要驱动力因子灰色关联度分析 [J]. 节水灌溉, 2008(2): 39 - 41.

[16] 苗成林, 周 宏. 基于灰色模型的水质预测 [J]. 中国农村水利水电, 2007(2): 126 - 128.

[17] 范建刚. 1983 - 2004 年陕西粮食产量和主要投入要素的灰色关联分析 [J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(3): 209 - 212.