

我国不同区域用水结构变化及其驱动因素分析

何艳虎^{1,2}, 李深林¹, 杨洁², 许洋洋², 温智文², 涂传鹏²

(1. 中山大学 水资源与环境研究中心, 广东 广州 510275; 2. 南昌工程学院, 江西 南昌 330099)

摘要:以江西、湖北, 山东、江苏, 以及贵州、西藏等6省(自治区)为例, 采用信息熵和主成分分析方法, 从经济社会、水文气象、农业及用水4方面选取了13个因子, 揭示了我国中、东、西部地区1999-2014年间用水结构变化特征及各主导因素的影响机制, 分析了最严格水资源管理制度实施于用水结构产生的效果。结果表明: (1) 近16年来, 东部地区的山东省总用水量持续下降, 用水结构信息熵值升降趋势明显, 处于较高水平; 西部地区的西藏自治区总用水量增加显著, 用水结构信息熵值处于较低水平, 其余地区总用水量总体保持平稳, 生产用水量占总用水量的平均比重为91%; (2) 最严格水资源管理制度实施以来, 各省生产用水量逐渐减少, 用水结构的信息熵值表现为不同程度的上升趋势; (3) 影响各地区用水结构变化的主要驱动因子依次为各产业产值和人口、地区水资源禀赋和总耗水量。

关键词: 用水结构; 信息熵; 主成分分析; 最严格水资源管理制度; 驱动因素

中图分类号: TV21

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2016)04-0001-06

Change of water use structure and its driving factors in different regions of China

HE Yanhu^{1,2}, LI Shenlin², YANG Jie², XU Yangyang², WEN Zhiwen², TU Chuanpeng²

(1. Department of Water Resource and Environment, SunYat-Sen University, Guangzhou 510275, China;

2. Nanchang Institute of Technology, Nanchang 330099, China)

Abstract: Taking 6 provinces including Jiangxi, Hubei, Shandong, Jiangsu, Guizhou and Tibet for example, the paper used information entropy theory and principal component analysis to open out the variation characters of water structure as well as the impact mechanism of driving factors in different areas in China from 13 factors which involves four aspects such as economy, society, hydro meteorology, agriculture and water resources. It also analyzed the effect of the most stringent water management system on water use structure. The results showed that (1) In the past 16 years, the total amount of water used in Shandong Province in east China continually declined, and its information entropy of water use structure was at a high level with an obvious rising trend; the total amount of use water in Tibet in west China increased markedly, and its information entropy was at a low level. There is no big change of the total amount of water use in other areas, and 91 percent of water is production water supply on average. (2) The production water has gradually decreased since the most stringent water management system was published, and the information entropy of water structure in each province has a rising trend. (3) The main factors driving the variation of water structure in these areas are industrial output value, population, and local water resources amount and total water consumption.

Key words: water structure; information entropy; principal component analysis; the most stringent water management system; driving factor

水资源是支撑国家或地区经济社会发展的战略性基础资源,用水结构反映了一定时期国家或地区生产、生活和生态用水量之间的比例关系^[1],体现了经济社会发展对水资源的需求差异^[2]。国外主要采用产业供需水预测、调查与比较等研究手段,对变化环境下的地区用水结构问题进行了深入探讨。如国民经济各行业用水量的动态变化^[3-4],可能的影响因素^[5]及其对水资源持续利用与管理的影响^[6]等是人们比较关注的问题。国外学者认为技术变革通过作用于农业、工业及生活用水,进而是影响地区用水结构不可忽视的因素之一^[5-6]。随着水资源短缺问题的日益突出,国内学者也逐渐重视用水结构问题,主要体现在不同空间尺度(流域、省、地级市)上用水结构的变化及其驱动因素^[7-11],用水结构预测及其与产业结构的关系^[12-13],以及农业用水结构演变分析^[14-15]等方面。通过研究,有些学者认为我国农业用水量所占比重逐年降低,工业用水量、生活用水量及其所占比重保持稳定或逐年增长,我国欠发达地区用水结构与产业结构的演变呈现出第一产业缩减、第三产业扩张的特征^[5-6];耕地面积的连年下降和节水灌溉面积的增加很大程度上导致了农业用水量持续减少,我国农业产业内部用水比例协调程度不断提高^[15];工业用水重复利用率的增加及万元工业产值用水量的减少是工业用水效率提高的重要原因,而人口增长是生活用水持续增加的主要因素^[10]。现有区域用水结构及其驱动因素研究取得了许多成果,但大多停留在单一空间尺度层面,缺乏对我国处于不同地理位置与发展阶段的区域用水结构的比较分析,也未能充分体现最严格水资源管理制度实施下的区域用水结构变化特征。因此,本文以江西、湖北,山东、江苏以及贵州、西藏等6省(自治区)分别为中、东、西部地区典型,选取影响各行业用水量的若干驱动因子,重点研究并对比分析各地区用水结构变化及其驱动因素,揭示最严格水资源管理制度实施对用水结构的影响,为我国不同地区因地制宜地进行水资源约束下的产业结构调整提供科学决策依据,也为评估最严格水资源管理制度的实施效果提供技术支撑。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 研究方法

本文根据研究区 1999 - 2014 年各行业用水量,采用信息熵方法^[8],研究各地区用水系统的结构性差异。信息熵由 Shannon 于 1948 年首次提出,以表

示一个不确定性系统的状态特征。对于离散型随机变量,设 X 取值为 $X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$, 对应的概率为 $P = (p_1, p_2, p_3, \dots, p_n)$ 且有 $\sum P_i = 1$, 则该系统的信息熵为:

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

熵值越大,系统的无序度增加,系统的功能和稳定性越高。本文以历年各行业用水量为离散型随机变量,计算各地区用水结构的信息熵,信息熵值越大,表明用水量在各个用水部门间的分配越处于平均的状态,结构用水量的差异越小,用水系统的功能和稳定性越高。本文根据选取的研究区 1999 - 2014 年经济社会发展指标及水文气象因子,采用主成分分析法^[16]分析引起各地区用水结构变化的主要驱动因素。主成分分析法拟通过将多个变量用线性变换的方式选出重要变量,即综合因子,这些综合因子可反映原来绝大多数的信息,进而能代表原来的众多变量,是多元统计分析中的一种重要方法。本文采用 Matlab 编程实现该方法在各地区用水结构变化的主要驱动因素识别中的应用。

1.2 数据来源

本文采用的基础分析数据主要是各研究区 1999 - 2014 年共 16 年的数据,包括第一、二、三产业国内生产总值,城镇人口、农村人口,地表水资源量、地下水资源量和水资源总量,降雨,粮食产量,耕地面积,废污水排放量和总耗水等。数据源于各省(自治区)水利厅发布的 1999 - 2014 年水资源公报,中国统计数据库及相关年份的各地区统计年鉴。

2 不同区域用水结构演化特征

2.1 各行业用水量变化

1999 - 2014 年 6 省(自治区)生产、生活和生态用水量变化如图 1 所示。由图 1 可知,1999 - 2014 年间,除山东省总用水量明显下降而西藏自治区用水量显著上升外,其余省份总用水量有小幅波动,总体保持平稳。生活及生态用水量稳中有升,贵州及西藏等西部地区生态用水占总用水量比重较中、东部地区高。各地区生产用水量近 16 年来占总用水量的平均比重为 91%,最小比重为 87%,最大比重达到 95%。不难发现,6 省(自治区)2011 年以后总用水量持续下降,具体表现为生产用水的减少,表明最严格水资源管理制度的实施在促进中、东及西部地区提高用水效率,减少用水浪费,控制总水量方面取得了初步成效。

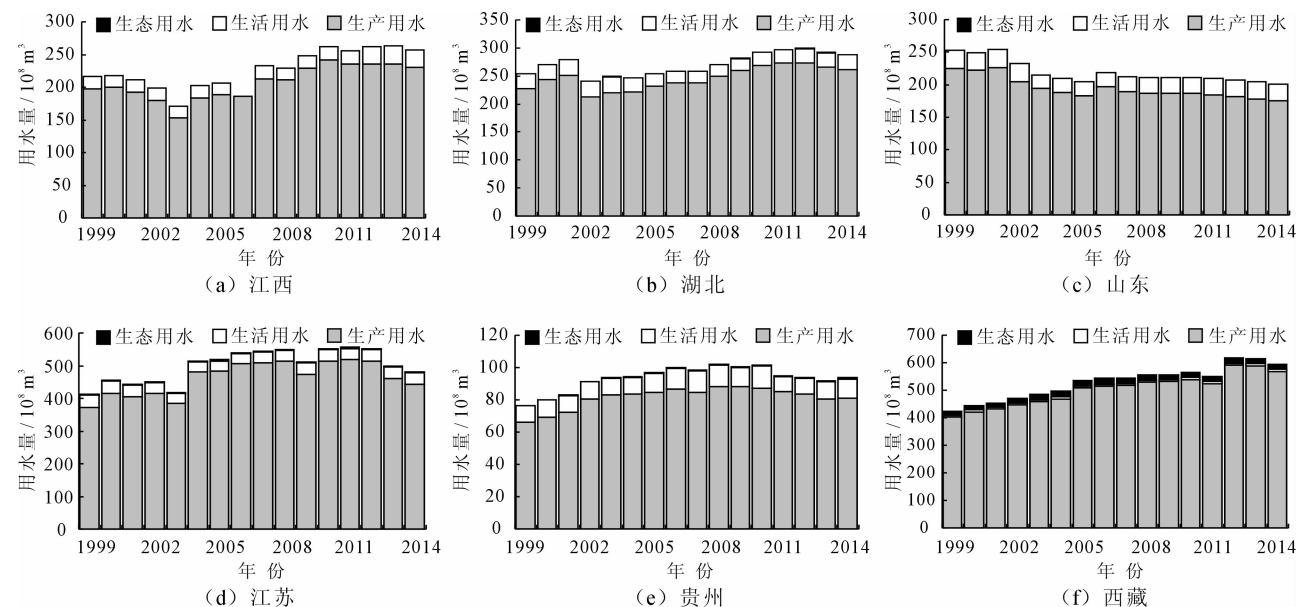


图1 6省(自治区)1999-2014年生产、生活和生态用水量变化

2.2 用水结构信息熵变化

1999-2014年6省(自治区)用水结构信息熵如图2所示。由图2可知,山东、江西和贵州省用水结构信息熵值自1999年以来呈上升趋势,而江苏、湖北和西藏自治区用水结构信息熵值则呈下降趋势,说明我国中、东、西部地区用水结构并未呈现出一致的变化规律,如信息熵值的一致上升或下降趋势。其中东部地区山东省用水结构信息熵值上升较为显著,表明该地区用水系统稳定性趋于增强;西部西藏自治区用水结构信息熵值处于较低水平,且呈下降趋势,表明该地区用水结构不尽合理,尚有较大调整空间。不难发现,山东省近16年来总用水量中,生产用水量下降显著,尤其是自2006年以来,生产用水量持续下降,而生活与生态用水稳中有升,因此,用水结构趋于合理,信息熵值增加,用水系统稳定性增强;西藏自治区生产用水量自1999年以来增长迅速,由1999年的 $402.9 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增加至2014年的 $568.7 \times 10^8 \text{ m}^3$,尽管生活和生态用水量稳中有升,但生产用水所占总用水量的比重过大且持续增加,因此用水结构信息熵值较小且呈现下降趋势,这是由西藏自治区独特的自然地理环境 and 经济产业结构决定的。

总体上,近16年来,东部的山东省与西部的西藏自治区用水结构信息熵值差距在逐渐增加,其余4省用水结构信息熵值总体保持平稳,中部的江西省与西部的贵州省信息熵值在2002年以后高于东部的江苏省与中部的湖北省。因此,近16年来各省

用水结构信息熵值及其变化在我国并未呈现出中、东、西部的一致区域性特征。

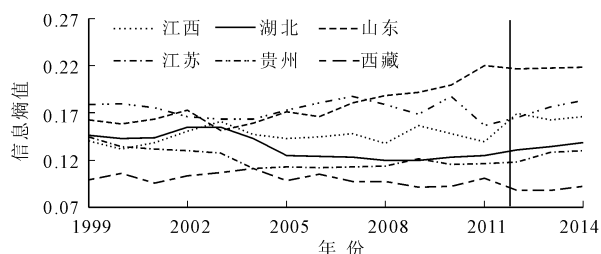


图2 6省(自治区)1999-2014年用水结构信息熵变化

同时,由图2可知,2011年以后,各省份(自治区)用水结构的信息熵值表现为不同程度的上升趋势,表明最严格水资源管理制度实施后,通过用水总量控制和用水效率控制,农业灌溉水利用系数逐渐提高,万元工业产值用水量逐渐下降,生产用水量得到有效遏制,生态用水逐渐得到保证,生活用水稳中有升,用水结构趋于合理。

3 用水结构演化驱动因素分析

3.1 用水结构驱动因子选择

影响地区用水结构的因素众多,本文根据所搜集到的各省(自治区)经济社会和水文气象等基础资料,同时考虑主成分分析研究的基本要求,选取了代表社会经济、水文气象、农业及用水4个方面的13个分析因子,以各因子1999-2014年的数据为分析样本。简化起见,以 $X_1, \dots, X_{13}$ 分别代表各因子: X_1 为总耗水, 10^8 m^3 ; X_2 为废污水排放量, 10^8

m^3 ; X_3 为降雨, mm ; X_4 为耕地面积, hm^2 ; X_5 为粮食产量, t ; X_6 为地表水资源, 10^8 m^3 ; X_7 为地下水资源, 10^8 m^3 ; X_8 为水资源总量, 10^8 m^3 ; X_9 为城镇人口, 10^4 人; X_{10} 为农村人口, 10^4 人; X_{11} 为第一产业产值, 10^8 元; X_{12} 为第二产业产值, 10^8 元; X_{13} 为第三产业产值, 10^8 元。

3.2 主成分分析

依据影响地区用水结构主成分的累积贡献率来选取主成分个数, 本文要求所选取的主成分累积贡献率达到 85% 以上^[16]。累积贡献率越大, 表明该主成分所包含的原始信息越强, 越具有代表性。限于篇幅, 本文仅列出研究区所选取分析的主成分特征值和贡献率(如表 1)。

由表 1 可知, 江西、湖北两省第一、第二及第三主成分的累积贡献率达到 88% 以上, 其余省(自治区)第一、第二主成分的累积贡献率已达到 85% 以上。且各主成分的特征值均大于 1, 符合分析要求。各分析因子在上述所选取的主成分上的载荷如表 2

所示。

表 1 特征值和主成分贡献率

省份	主成分	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
江西	1	5.99	0.46	46.09
	2	4.04	0.31	77.17
	3	1.83	0.14	91.26
湖北	1	6.53	0.50	50.23
	2	3.55	0.27	77.56
	3	1.43	0.11	88.59
山东	1	7.24	0.56	55.67
	2	3.82	0.29	85.08
江苏	1	7.19	0.55	55.27
	2	3.93	0.30	85.52
贵州	1	8.23	0.63	63.32
	2	2.09	0.22	85.36
西藏	1	8.47	0.65	65.14
	2	3.60	0.28	92.80

表 2 主成分载荷矩阵

变量	第一主成分						第二主成分						第三主成分	
	江西	湖北	山东	江苏	贵州	西藏	江西	湖北	山东	江苏	贵州	西藏	江西	湖北
X_1	-0.06	0.32	-0.52	0.62	0.15	0.89	-0.03	-0.32	0.62	-0.1	<u>-0.92</u>	0.07	<u>0.96</u>	<u>-0.80</u>
X_2	0.62	0.4	<u>0.97</u>	0.83	0.58	0.81	-0.31	0.37	0.04	-0.04	-0.66	0.44	0.25	0.15
X_3	0.22	-0.48	0.05	0.15	-0.56	-0.02	<u>-0.93</u>	<u>0.85</u>	<u>-0.97</u>	<u>-0.94</u>	-0.46	<u>0.96</u>	-0.07	-0.06
X_4	0.23	0.82	-0.43	<u>-0.97</u>	0.66	<u>0.97</u>	-0.43	0.09	0.58	0.01	-0.37	0.04	0.83	-0.51
X_5	0.86	0.79	0.83	0.48	-0.58	<u>0.98</u>	0.29	0.31	0.07	0.57	-0.60	0.1	0.13	-0.30
X_6	0.22	-0.53	-0.10	0.40	<u>-0.90</u>	-0.41	<u>-0.96</u>	<u>0.83</u>	<u>-0.96</u>	<u>-0.90</u>	-0.16	0.88	-0.13	-0.11
X_7	0.34	-0.54	-0.65	0.10	<u>-0.92</u>	-0.04	-0.86	0.79	-0.49	<u>-0.96</u>	0.02	<u>0.93</u>	-0.23	-0.19
X_8	0.23	-0.54	-0.12	0.39	<u>-0.90</u>	-0.37	<u>-0.95</u>	<u>0.83</u>	<u>-0.97</u>	<u>-0.91</u>	-0.16	<u>0.91</u>	-0.14	-0.12
X_9	<u>0.93</u>	<u>0.90</u>	<u>0.97</u>	<u>0.98</u>	<u>0.94</u>	<u>0.97</u>	0.3	0.31	-0.11	0.08	-0.19	0.01	-0.15	0.17
X_{10}	<u>-0.90</u>	-0.70	<u>-0.96</u>	<u>-0.98</u>	<u>0.95</u>	<u>0.98</u>	-0.33	-0.25	0.12	-0.07	-0.05	0.01	0.17	-0.57
X_{11}	<u>0.98</u>	<u>0.93</u>	<u>0.98</u>	<u>0.94</u>	<u>0.91</u>	<u>0.99</u>	0.16	0.32	0.06	0.24	0.04	0.05	-0.01	0.04
X_{12}	<u>0.98</u>	<u>0.93</u>	<u>0.99</u>	<u>0.97</u>	<u>0.93</u>	<u>0.97</u>	0.13	0.32	0.02	0.19	0.03	0.07	0.01	0
X_{13}	<u>0.97</u>	<u>0.92</u>	<u>0.95</u>	<u>0.93</u>	<u>0.93</u>	<u>0.99</u>	0.11	0.33	0.13	0.23	0.07	0.05	0.05	0.02

注: 表中下划线数字表示相关性较大。

由表 2 可知, 在 6 省(自治区)中, 第一主成分与城镇人口(X_9), 农村人口(X_{10}), 第一产业产值(X_{11}), 第二产业产值(X_{12}), 第三产业产值(X_{13})等 5 个因素有较大相关, 这些因素表征了经济社会发展及人口增长, 因此第一主成分可视为经济社会发展与人口的代表。此外, 在第一主成分中, 水资源禀赋于贵州省, 废污水排放量于山东省, 耕地面积与粮

食产量与西藏自治区也有密切关系; 第二主成分主要集中于地表水资源(X_6)、地下水资源(X_8)等水资源禀赋以及降雨(X_3)等, 因此第二主成分可视为水资源禀赋的代表。此外对于东部地区的江苏省及西部地区的西藏自治区, 地下水资源量的影响不容忽视; 对于中部地区江西与湖北两省, 第三主成分主要体现在总耗水方面, 可反映用水效率^[17], 是用水

效率的代表。因此,依据表 2 所反映的主成分载荷,将所选取的 13 个因子归为 3 类:经济社会发展、地区水资源禀赋以及用水效率。以上分析表明,影响我国中、东、西部地区用水结构的主要因素是地区经济发展与人口增长、水资源禀赋以及总耗水量。

3.3 主要驱动因素对用水结构变化影响分析

3.3.1 经济社会发展与人口对用水结构变化的影响 用水结构的变化主要体现在生产用水、生活用水及生态用水所占总用水比例的相互变化。一定时期内总用水量下生产、生活及生态用水所占份额的此消彼长关系由上述经济社会发展与人口等的驱动胁迫作用决定。由表 2 主成分分析结果,将第一主成分所包含的几个主要影响因素(为统一简化,以总人口替代城镇人口与农村人口)及用水结构信息熵值 1999 - 2014 年年均变化率列于表 3。

表 3 各地区 1999 - 2014 年经济社会发展指标及用水结构信息熵增速					
省份	总人口	第一产业 产值	第二产业 产值	第三产业 产值	用水结构 信息熵
江西	0.47	9.08	18.88	14.60	1.45
湖北	0.02	12.24	16.63	15.83	-0.23
山东	0.91	9.68	15.00	16.54	2.14
江苏	0.66	9.17	14.89	17.43	-0.59
贵州	1.27	11.25	17.47	19.57	0.39
西藏	1.37	6.93	20.31	16.82	-0.25

由表 3 可知,6 省(自治区)总人口与各产业产值近 16 年来均表现出了不同程度的增速。中、东部省份人口增长较为缓慢,平均为 0.52%,西部省份平均达到 1.32%;第一产业产值除西藏自治区外,其余省份增速均超过 9%;第二、三产业产值年均增速普遍高于第一产业产值,东部地区省份二产产值增速相对较低,但也在 14% ~ 15% 之间,西部地区省份三产产值年均增速较高,平均为 18.2%,与中、东部地区差异不大。可以看出,人口增速较快的地区(如西藏),同时工业产值增速较高,生产用水较之生活用水所占份额仍较大,因此用水结构信息熵值年均增速为 -0.25%;以东部地区山东省和江苏省为例,两省用水结构信息熵值年均增长率分别为 2.14% 和 -0.59%,各产业产值增速相近,江苏省第三产业产值增速高于山东省,而人口增速略低,总体上山东省生活用水与生产用水趋于合理,而江苏省则需进一步降低生产用水,提高生活与生态用水比

例,进而使用水系统趋于稳定。

3.3.2 地区水资源禀赋对用水结构变化的影响 我国中、东、西部各地区气候及地质地貌条件相异,水资源禀赋也不尽相同。如近 16 年来,东部地区的江苏省年均径流深为 348 mm,中部的江西省为 919 mm,西部的贵州省则为 1 226 mm。水资源禀赋决定了地区产业结构的布局与发展,进而对用水结构,尤其是农业用水产生重要影响。如中部的江西省地表水资源较东部的江苏省多 $1\ 161 \times 10^8\ \text{m}^3$,年均耕地面积也多出 $63 \times 10^4\ \text{hm}^2$,而第一产业年均用水却少了 $128 \times 10^8\ \text{m}^3$,这可能是不同的种植、养殖结构所致,也说明了江苏省开采利用地下水资源进行农业灌溉的现状与需求。另外水资源量的年际年内变化也会对地区用水结构产生直接影响。一定时期内地区生活用水与工业用水需求量是较为稳定的,而农业用水则受降雨气候、种植结构、节水措施等因素的综合影响而在年内、年际之间呈现出较大波动^[18],具体表现为丰水年农业灌溉定额较少,农业用水量低,反之亦然。如江苏省近 16 年来耕地面积持续减少,由 1999 年的 $502.4 \times 10^4\ \text{hm}^2$ 下降至 2014 年的 $460 \times 10^4\ \text{hm}^2$,而第一产业年用水量却稳中有升,2011 年达到 $310 \times 10^8\ \text{m}^3$,其中因水资源来水量的丰枯交替引起的农业灌溉用水定额的增加是农业用水量增加的主要原因之一。

3.3.3 用水效率对用水结构变化的影响 用水效率是某一用途的有效汲水量占该用途下的总用水量的比重,是反映水资源有效利用水平的重要指标,主要包括农田灌溉水有效利用系数、万元工业增加值用水量等。如农田灌溉水有效利用系数的提高,万元工业增加值用水量的减少,将降低单位产值的农业用水和工业用水,进而影响地区用水结构。受产业结构、经济水平、技术效率的增长、地区水资源禀赋及开发利用、水资源价格和政府影响力等影响^[17],我国东、中、西部地区用水效率存在差异。以上述 6 省(自治区)为例,近 16 年来,尽管各地区第一、二、三产业产值逐年增加(表 3),而相应产业用水量并未出现显著增加,而是总体保持稳定,甚至在用水效率较高的地区,如山东省(图 1),生产用水量持续下降,趋势明显,这表明用水效率的提高降低了生产用水,进而对区域用水结构产生重要影响;而对于西部西藏自治区,用水效率目前仍处于较低水平,经济的迅速发展引起的工、农业用水需求仍持续增加,且份额较大,进而使得其用水结构信息熵值呈下降趋势(图 2)。尤其是 2011 年最严格水资源管理

制度实施以来,在保证地区经济持续增长和社会发展前景下,相应产业用水量保持平稳或下降,进而使得用水结构趋于合理。

4 结论与讨论

(1)用水量变化方面,近16年来,除东部地区的山东省总用水量持续下降而西部地区的西藏自治区用水量显著上升外,其余地区总用水量总体保持平稳,生产用水量占总用水量的平均比重为91%,2011年最严格水资源管理制度实施以来,各省份生产用水量逐渐减少。

(2)用水结构信息熵变化方面,东部的山东省用水结构信息熵值上升降趋势明显,处于较高水平,西部的西藏自治区用水结构信息熵值处于较低水平,其余4省用水结构信息熵值总体保持平稳,最严格水资源管理制度实施以后,各省份(自治区)用水结构的信息熵值表现为不同程度的上升趋势。

(3)用水结构变化主要影响因素方面,以各产业产值和人口为代表的经济社会因素为第一主成分,是引起地区用水结构变化的主导因素,其次是地区水资源禀赋及总耗水量。

影响地区用水结构的因素众多,本文选取了与用水结构密切相关的若干经济社会因素、水文气象因素及用水指标进行分析,并依据主成分分析法识别了引起用水结构变化主导因素,对各主导因素于地区用水结构的影响分析主要以定性为主,尚需做进一步细致的定量分析,这也是下一步需要深入研究的方向。此外,限于资料,本文仅选取了6个省(自治区)作为中、东、西部地区的研究典型,今后可依据经济社会发展和用水指标资料,增加相应地区的研究典型,以增强代表性。

参考文献:

- [1] 潘雄锋,刘凤朝,郭蓉蓉. 我国用水结构的分析与预测[J]. 干旱区资源与环境,2008,22(10): 11-14.
- [2] 马海良,王若梅,訾永成. 中国省际水资源利用的公平性研究[J]. 中国人口·资源与环境,2015,25(12): 70-77.
- [3] Jacob N. Agricultural and industrial water use in the Cevennes since the 19(th) century: the contribution of archives for present decisions [J]. Houille Blanche - revue Internationale De L Eau,2005(3):97-102.
- [4] Behera U K, Panigrahi P, Sarangi A. Multiple water use protocols in integrated farming system for enhancing productivity [J]. Water Resources Management, 2012, 26(9): 2605-2623.
- [5] Kumar V, Vasto - Terrientes L D, Valls A, et al. Adaptation strategies for water supply management in a drought prone Mediterranean river basin: Application of outranking method[J]. Science of The Total Environment, 2016,540: 344-357.
- [6] Yalçıntaş M, Bulu M, Küçükvar M, et al. A framework for sustainable urban water management through demand and supply forecasting: The case of istanbul[J]. Sustainability, 2015, 7(8): 11050-11067.
- [7] 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.
- [8] 吴孝情,陈晓宏,何艳虎. 东江流域用水结构演变特征及其成因分析[J]. 灌溉排水学报,2014,33(6): 32-37.
- [9] 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): 101-104.
- [10] 武猛,程伍群,吴现兵. 河北省用水结构变化规律及其影响因素研究[J]. 河北农业大学学报,2015,38(4): 121-124+129.
- [11] 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.
- [12] 刘晓霞,解建仓. 山西省用水结构与产业结构变动关系[J]. 系统工程,2011,29(4): 45-52.
- [13] 刘慧敏,周戎星,于燕青,等. 我国区域用水结构与产业结构的协调评价[J]. 水电能源科学,2013,31(9): 159-163.
- [14] 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.
- [15] 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]. 中国农业生态学报,2010,18(2): 399-404.
- [16] 吴美琼,陈秀贵. 基于主成分分析法的钦州市耕地面积变化及其驱动力分析[J]. 地理科学,2014, 34(1): 54-59.
- [17] 姜蓓蕾,耿雷华,卞锦宇,等. 中国工业用水效率水平驱动因素分析及区划研究[J]. 资源科学,2014, 36(11): 2231-2239.
- [18] 顾文权,邵东国,黄显峰,等. 水资源优化配置多目标风险分析方法研究[J]. 水利学报,2008, 39(3): 339-345.