

近10年海河流域用水结构特征及演变趋势研究

孙凯艳¹, 张浩², 缪萍萍³, 韩东辉²

(1. 海河流域水环境监测中心, 天津 300170; 2. 海河流域水资源保护局, 天津 300170;
3. 水利部河北省水利水电勘测设计研究院, 天津 300250)

摘要: 根据2003–2012年用水资料, 利用信息熵、方向系数和Mann–Kendall检验对海河流域用水结构特征及其演变趋势进行了研究与分析。结果表明: 海河流域用水结构均衡度存在上升趋势, 但趋势不显著, 用水系统稳定性逐步增强。随着海河流域各类生态补水项目的实施, 流域用水结构的改变主要向着生态用水方向发展。

关键词: 用水结构; 信息熵; Mann–Kendall检验; 海河流域

中图分类号: TV213.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)06-0102-03

Study on characteristics of water utilization structure and evolution tendency in Haihe river basin in recent 10 years

SUN Kaiyan¹, ZHANG Hao², MIAO Pingping³, HAN Donghui²

(1. Haihe River Water Environmental Monitoring Center, Tianjin 300170, China; 2. Water Resources Protection Bureau of Haihe River Basin, Tianjin 300170, China; 3. Hebei Reserach Institute of Survey & Design of Water Conservancy & Hydropower of MWR, Tianjin 300250, China)

Abstract: According to data of water demand from 2003 to 2012, the paper analyzed the water utilization structure characteristics and evolution trend in Haihe river basin by use of information entropy, direction coefficient and Mann–Kendall test. The results showed that balanced degree of structure in the basin has rising trend which is not obvious. The stability of water utilization system gradually strengthens. With the operation of ecological water recharge projects in Haihe river basin, the water utilization structure mainly develop towards the ecological water use.

Key words: water utilization structure; information entropy; Mann–Kendall test; Haihe river basin

水资源是影响经济社会系统和生态环境系统的关键要素之一, 海河流域是我国政治、经济、文化中心和发达地区, 地理区位优势、工业和科技基础雄厚, 但同时也是我国水资源严重短缺的地区, 人均水资源占有量仅为全国平均水平的1/8, 与经济社会发展对水资源的需求极不相称。研究流域用水结构特征^[1–4], 分析流域用水结构演变趋势, 对水资源系统的发展演化特性进行科学判断, 能够为处理好水资源开发与保护关系, 落实好最严格水资源管理制度, 协调好生活、生产和生态用水提供决策依据。

1 研究区概况

海河流域位于华北地区, 西以山西高原与黄河流域交界, 北以蒙古高原与内陆河交界, 南接黄河,

东临渤海, 总面积32.06万km², 占全国总面积的3.3%。海河流域属于温带半湿润、半干旱大陆性季风气候区, 降水时空分布呈明显的地带性、季节性和年际差异。多年平均降水量535 mm, 是我国东部沿海降水最少的地区。流域划分为滦河及冀东沿海诸河、海河北系、海河南系和徒骇马颊河4个水资源二级区。水资源分区分布情况见图1。

2 研究方法

2.1 信息熵理论

熵是热力学中描述任何体系或物质运动的混乱度和无序度的概念, Shannon在信息论中引入了不确定程度的概念, 并将熵的值用来衡量这种不确定程度。用水结构的演变作为一个动态变化并且近似

收稿日期: 2014-07-21; 修回日期: 2014-09-12

基金项目: 国家国际科技合作专项项目(2013DFA71340)

作者简介: 孙凯艳(1966-), 女, 天津人, 学士, 工程师, 主要从事水资源保护工作。

通讯作者: 张浩(1986-), 男, 山东滕州人, 硕士, 工程师, 主要从事水资源管理与保护、水生态修复工作。

不可逆的过程,适合信息论中信息熵的运用。

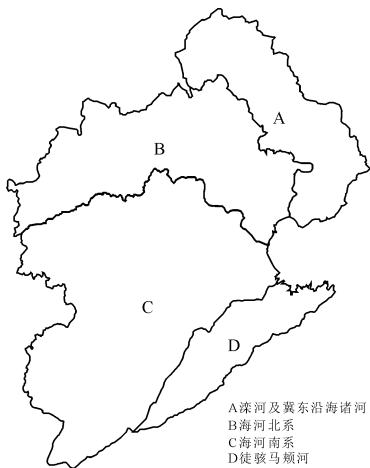


图 1 海河流域水资源二级区示意图

设流域年用水总量为 Q , 共有 n 种用水类型, 那么:

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i \tag{1}$$
$$J = H/H_{\max} \tag{2}$$
$$H_{\max} = \ln(n) \tag{3}$$
$$z = (1 + x_i)(1 + X) \tag{4}$$

式中: H 为流域用水系统的信息熵; P_i 为每种用水类型相应的用水比重; J 为均衡度, 均衡度越大表示单一用水类型的优势度越小, 用水系统均衡性越强, 用水结构越稳定。 z 为流域用水结构演变方向系数, 反映用水结构演变的方向; x_i 为第 i 种用水年均变化速度; X 为用水总量年均变化速度。

2.2 Mann - Kendall 检验

水文时间序列往往呈现出一定的趋势性, Mann - Kendall 法属于非参数检验, 不受样本值、分布类型等的影响, 因此被广泛应用^[5-7]。 Mann - Kendall 法检验趋势特征的途径是通过 U 值与假设的置信水平的标准值进行比较, 得出有无显著趋势特征。

设水文时间序列为: $X_i(t = 1, 2, \cdots, i)$

$$p = \sum_{i=1}^n r_i \tag{5}$$

式中: p 为对偶数; r_i 为判别数。

$$r_i = \begin{cases} 1, & \text{当 } X_i < X_j \\ 0, & \text{当 } X_i \geq X_j \end{cases}, \quad j = 1, 2, \cdots, i \tag{6}$$

再根据 p 值确定 τ , 进而得出统计量 $\text{Var}(\tau)$ 和 U :

$$\tau = \frac{4p}{n(n-1)} - 1 \tag{7}$$

$$\text{Var}(\tau) = 2(2n+5)/[9n(n-1)] \tag{8}$$

$$U = \tau/\text{Var}(\tau)^{1/2} \tag{9}$$

当 $U > 0$ 时, 表明该序列存在上升趋势, 当 U

< 0 时, 表明该序列存在下降趋势, 当 $U = 0$ 时, 表明该序列无趋势; 当 $|U| \geq U_{0.05} = 1.96$ 时, 表明该序列趋势变化显著, 当 $|U| < U_{0.05} = 1.96$ 时, 则表明没有显著趋势。

3 海河流域用水结构特征及演变趋势

本研究按农业用水、工业用水、生活用水和生态用水 4 个方面分析海河流域用水结构及演变趋势, 所用数据来源于 2003 - 2012 年《海河流域水资源公报》^[8], 海河流域及 4 个水资源二级区用水量见表 1。

根据信息熵理论, 由公式 (1) ~ (3) 计算出 2003 - 2012 年海河流域及各水资源二级区的用水结构均衡度, 全流域用水结构均衡度由 2003 年的 0.6121 上升到 2012 年的 0.7158, 从 4 个水资源二级区的角度比较, 海河北系均衡度最高, 徒骇马颊河最低, 这是因为海河北系地区工业发展水平较高, 三次产业用水比例更为均衡, 徒骇马颊河地区主要以农业用水为主。结果详见图 2。

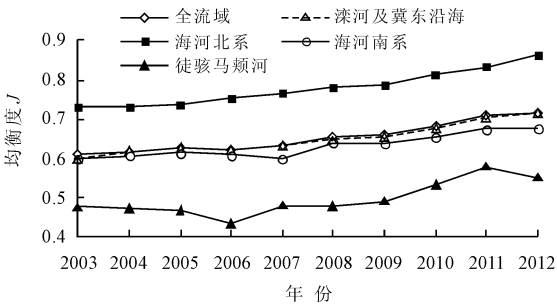


图 2 2003 - 2012 年海河流域用水结构均衡度

采用 Mann - Kendall 法对全流域及各水资源二级区的均衡度系列进行趋势检验, 由公式 (5) ~ (9) 分别计算出 5 个系列的 U 值, 全流域用水结构均衡度呈上升趋势, 各水资源二级区中, 除徒骇马颊河外均呈上升趋势, 结果详见表 2。

利用公式 (4) 计算 2003 - 2012 年海河流域用水结构演变方向系数, 其中生态用水的方向系数最大, 说明海河流域用水结构正向保障生态用水的方向发展, 结果详见表 3。

4 结 语

(1) 信息熵理论与转换系数、Mann - Kendall 检验相结合, 构造出海河流域用水系统信息熵和均衡度, 可以较好地用来衡量用水系统结构演变的方向与趋势, 能够为处理好水资源开发与保护关系, 落实好最严格水资源管理制度, 协调好生活、生产和生态用水提供决策依据。

表 12003 – 2012 年海河流域用水量统计表

亿 m³

分区	用水类型	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
全流域	农业	261.92	256.14	263.68	274.72	269.37	255.84	253.30	247.61	239.15	239.41
	工业	59.66	56.58	56.73	56.84	52.06	51.30	49.21	51.72	55.08	55.16
	生活	53.53	52.51	55.53	56.55	56.33	57.09	57.84	59.00	62.67	63.07
	生态	1.90	2.75	3.85	4.58	6.71	9.15	9.68	11.6	12.69	14.22
滦河及冀东沿海	农业	24.41	24.40	24.49	26.09	25.72	24.93	24.34	22.84	22.57	22.00
	工业	5.82	6.33	6.84	7.59	7.77	7.95	7.21	7.40	8.01	7.21
	生活	4.84	4.83	4.82	4.70	4.90	5.05	5.17	5.27	5.74	5.93
海河北系	生态	0.01	0.08	0.15	0.13	0.12	0.16	0.26	0.31	0.46	0.65
	农业	45.63	46.5	47.41	46.84	46.99	45.60	44.38	42.95	43.02	39.83
	工业	13.66	13.52	13.39	13.20	11.96	11.16	10.56	11.26	11.69	11.99
	生活	17.86	18.38	18.89	19.67	19.67	20.29	20.28	20.24	22.01	22.66
海河南系	生态	0.98	1.16	1.33	1.93	2.97	3.72	4.02	4.91	5.39	6.66
	农业	135.88	135.40	134.93	139.29	139.07	129.75	129.77	128.9	126.89	129.16
	工业	31.39	31.10	30.77	30.81	26.65	26.47	26.02	26.53	28.22	29.21
	生活	25.00	25.10	25.25	25.49	25.34	25.21	25.64	26.8	27.97	27.94
徒骇马颊河	生态	0.69	1.17	1.64	1.75	2.27	4.31	4.13	4.74	5.28	5.45
	农业	56.00	56.40	56.85	62.49	57.59	55.56	54.81	52.92	46.68	48.42
	工业	8.28	7.00	5.73	5.24	5.68	5.73	5.42	6.53	7.16	6.75
	生活	5.82	6.20	6.57	6.69	6.43	6.54	6.75	6.69	6.95	6.54
	生态	0.23	0.48	0.73	0.77	1.35	0.97	1.27	1.64	1.56	1.46

表 22003 – 2012 年海河流域用水结构均衡度 U 值表					
分区	全流域	滦河及冀东沿海	海河北系	海河南系	徒骇马颊河
U	0.7155	0.7155	0.8944	0.3577	0

表 32003 – 2012 年海河流域用水结构演变方向系数				
分区	农业	工业	生活	生态
全流域	1.0568	1.0600	1.0503	1.2903
滦河及冀东沿海	1.0654	1.0918	1.0567	2.1777
海河北系	1.0506	1.0640	1.0595	1.2757
海河南系	1.0482	1.0588	1.0385	1.3312
徒骇马颊河	1.0778	1.1367	1.0650	1.4126

(2)2003 – 2012 年,海河流域用水结构均衡度除徒骇马颊河外,均存在上升趋势,但 $|U| < U_{0.05}$,上升趋势不显著,表明海河流域用水结构向着多元化发展,用水系统稳定性逐步增强。

(3)生态用水的用水结构演变方向系数最大。尤其是滦河及冀东沿海生态用水的演变方向系数达到 2.177,反映出海河流域用水结构的改变主要向着生态用水方向发展,这与海河流域实施的各类生态补水项目有关^[9-11]。

参考文献:

[1] 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.

[2] 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.

[3] 陈守煜. 复杂水资源系统优化模糊识别理论与应用[M]. 长春: 吉林大学出版社, 2002.

[4] 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.

[5] 张浩, 户超. 引黄调水对衡水湖湿地水质水量影响研究[J]. 人民黄河, 2012,34(10):86 – 88.

[6] Khaled H H. Trend detection in hydrologic data: The mann – kendall trend test under the scaling hypothesis[J]. Journal of Hydrology, 2008,349(3 – 4):350 – 363.

[7] 张建云, 章四龙, 王金星, 等. 近 50 年来中国六大流域年际径流变化趋势研究[J]. 水科学进展, 2007,18(2):230 – 234.

[8] 海河流域水资源公报[Z]. 水利部海河水利委员会. 2003 – 2012.

[9] 刘静玲, 杨志峰, 林超, 等. 流域生态需水规律研究[J]. 中国水利, 2006(13):18 – 21.

[10] 林超, 何杉. 海河流域生态现状用水量调查和生态需水量计算方法[J]. 水利规划与设计, 2003(2):11 – 18.

[11] 裴源生, 王建华, 罗琳. 南水北调对海河流域水生态环境影响分析[J]. 生态学报, 2004,24(10):2115 – 2123.