

基于信息熵的用水系统结构演化研究^{*}

刘 燕¹, 胡安焱¹, 邓亚芝²

(1 长安大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054;

2 西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048)

[摘 要] 将熵的概念引入水资源系统中, 构造了水资源利用结构特征的信息熵和均衡度定量计算公式, 用其来表征水资源开发利用的合理性, 结合熵变理论给出了水资源系统结构演化的判别标准, 并在渭河流域关中地区进行应用。使用结果表明: 渭河流域水资源开发利用结构正向着更加合理、均衡的方向演化。该结果表明信息熵能为人类水资源利用规划调控提供依据。

[关键词] 水资源系统; 信息熵; 系统结构演化; 渭河流域

[中图分类号] TV 211

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2006)06-0141-04

水资源系统是自然、社会、经济和技术共同耦合而成的复杂巨系统, 因而具有复杂巨系统的一般特征, 如开放性、随机性、动态性和远离平衡态等; 在空间和功能上表现出不同的组合关系, 在时间上表现出一定的演化阶段和特征^[1]。

作为水资源开发利用的行为主体, 人类活动的目的性会对水资源开发利用的结构演化产生相当大的影响, 在不同的空间和时间尺度上, 这种影响可以是正面的, 也可以是负面的。因此, 对人类活动影响下的水资源利用系统的有序程度进行定量的评价显得尤为重要, 这不仅可以对水资源系统的发展演化特性进行科学的判断, 还可以对人类开发利用水资源的合理性进行有效的验证。本研究在对水资源系统结构信息熵定义的基础上, 构造水资源系统结构演化判别公式, 并以渭河流域关中地区水资源开发利用系统为例, 对信息熵在用水系统结构演化研究中的应用进行了初步探讨, 以期对关中地区水资源开发利用的合理性进行评价, 从而为水资源利用规划提供依据。

1 水资源利用系统信息熵理论

1.1 信息熵的概念及其含义

“熵”是建立在热力学第二定律基础之上的, 用以描述自发过程不可逆性的状态函数。最初熵的概念是借助于物体间的热量传递来定义的, 但这一定义仅能描述宏观过程的不可逆性, 却不能反映体系

内部的结构变化特征。1948年, Shannon 将熵的概念引入了信息论, 用以描述系统的不确定性、稳定程度和信息量^[2]。信息是系统有序程度的一个度量, 熵是系统无序程度的一个度量, 两者绝对值相等, 符号相反。当系统可能处于不同状态, 每种状态出现的概率为 $p_i (i=1, 2, \dots, m)$ 时, 该系统的熵定义为:

$$H(x) = - \sum_{i=1}^m p(x_i) \log p(x_i), \quad (1)$$

式中, $H(x)$ 为系统信息熵; $p(x_i)$ 为系统处于第 i 种状态的概率。

公式(1)被称为 Shannon 公式, 用其定义的熵为广义熵或泛熵, 可以用来描述任何体系或物质运动的混乱度和无序度。

1.2 信息熵在水资源系统中的引入^[3-5]

水资源系统是人类开发利用水资源所形成的, 具有一定结构且与外界有着广泛物质、能量和信息交换的开放系统。水资源系统结构的形成是水资源功能分异的结果, 系统结构决定系统功能。系统结构合理, 则系统能发挥出最大优势; 反之, 系统功能则不能得到充分体现。随着时间的推移, 水资源系统不断在外部扰动和内部涨落的影响下, 发生结构上的演替和变化。为实现水资源的最佳功能, 科学预测水资源系统的演化规律, 从而确定出更加合理的水资源利用结构模式显得尤为重要。

本文将信息熵概念引入水资源系统来描述系统的结构演化规律。设在一定时间尺度内, 水资源系统

^{*} [收稿日期] 2005-09-12

[基金项目] 国家科技部攻关项目(2002BA 901A 43)

[作者简介] 刘 燕(1978-), 女, 湖北监利人, 博士研究生, 主要从事环境水文与人类活动对水资源影响的研究。

总用水量为 Q , 共有 N 种水资源利用类型 $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$, 每一种利用类型相应的用水量为 $\{q_1, q_2, \dots, q_N\}$, 每个状态的相应概率为 $\{p_1, p_2, \dots, p_N\}$, 可见:

$$\sum_{i=1}^N q_i = Q. \quad (2)$$

再设每一种利用类型所用水量占总用水量的概

率为 $p_i = q_i/Q$, 并满足条件 $\sum_{i=1}^N p_i = 1$, 且对所有的 i , $p_i \neq 0$. 则水资源系统结构的信息熵可定义为:

$$H = - \sum_{i=1}^N p_i \ln p_i, \quad (3)$$

式中, H 为用水系统结构信息熵, 单位为 nat.

考虑到不同时间尺度内所包含的水资源利用类型有多有少, 不同时间尺度内用不同 N 计算出的水资源利用结构信息熵不具可比性. 因此, 有必要把水资源利用类型 N 考虑到信息熵的计算过程, 从而引入均衡度 (J), 则有

$$J = H/H_m = - \sum_{i=1}^N p_i \ln p_i / \ln N, \quad (4)$$

其中

$$H_m = \ln N. \quad (5)$$

式中, H_m 为用水系统最大信息熵, 表示用水系统结构最无序; J 为均衡度, 是实际信息熵 H 与最大信息熵 H_m 的比值. J 与系统实际信息熵 H 大小成正比, 与最大信息熵 H_m 成反比, 显然 J 的取值为 $0 \sim 1$, J 越大表示水资源开发利用过程中单一用水类型的优势性越弱, 系统结构越复杂, 水资源系统的均衡性越强, 系统越稳定, 水资源的开发利用越具有合理

性.

1.3 结构演化判别方法

系统的结构是不断发展变化的, 水资源系统的结构也在一定的内外因作用下不断发展演替. 由信息熵与系统均衡度的联系可知, 水资源系统的演化方向既可良性演化, 也可恶性演化. 利用熵变原理可用下式来检验水资源系统的演化趋势, 即:

$$\Delta S = S(t+1) - S(t), \quad (6)$$

式中, $S(t+1)$ 为系统第 t 时段的末态熵; $S(t)$ 为 t 时段的初态熵; ΔS 为时段 t 系统与外界物能交换所引起的熵变. 根据熵变值 ΔS 的大小, 可判断系统的演化方向和系统的均衡程度. 当 $\Delta S > 0$, 表示系统演化是熵增过程, 无序度加大, 系统由非平衡态向平衡态转化; $\Delta S = 0$, 表示系统无实质变化, 系统熵不变; $\Delta S < 0$, 表示系统演化是熵减过程, 无序度减小, 系统由平衡态向非平衡态转化.

2 实例分析

信息熵和均衡度可以用来描述水资源系统结构的合理性及其演化规律, 并可对人类开发利用水资源的合理性进行验证.

2.1 信息熵计算

受收集资料的限制, 仅对渭河流域关中地区 1980~2000 年典型年份的水资源开发利用状况(表 1)进行分析.

利用前述方法计算出不同年份的水资源利用结构信息熵、均衡度及熵变值, 结果如表 2 所示.

表 1 渭河流域关中地区 1980~2000 年用水系统结构情况

Table 1 Structure of water resources utilization in Guanzhong area of Weihe River basin

万 m^3

年份 Year	各部门用水量 Quantity of water utilization in different departments						总用水量 Total quantity
	农业 Agriculture	工业 Industry	城镇生活 City living	农村生活 Rural living	林牧渔业 Forest fishing	生态环境 Eco-environment	
1980	404 988	44 911	20 010	12 895	4 774	/	490 425
1985	352 875	50 824	24 953	14 956	5 300	/	451 769
1990	369 806	73 183	30 707	17 365	8 661	/	503 034
1995	348 568	101 965	36 202	19 904	13 613	/	524 506
2000	311 595	117 445	43 884	24 294	30 596	800	530 722

表 2 渭河流域关中地区 1980~2000 年用水系统信息熵、均衡度计算结果

Table 2 Information entropy, balance degree of water utilization in Guanzhong area of Weihe River Basin

年份 Year	信息熵/nat Information entropy	均衡度 Balance degree	年份 Year	信息熵/nat Information entropy	均衡度 Balance degree
1980	0.648 271	0.402 793	1995	0.993 388	0.617 227
1985	0.763 711	0.474 520	2000	1.168 004	0.651 875
1990	0.863 464	0.536 500			

2.2 信息熵演变规律

由渭河流域关中地区 1980~2000 年的用水结构(表 1) 可以看出, 关中地区的水资源利用总量由 1980 年的 49 042 5 亿 m^3 增长到 2000 年的 53 072 2 亿 m^3 , 20 年间仅增长了 4 亿 m^3 , 增长速度十分缓慢, 其中除农业用水有所减少外, 其他用水均呈增长趋势, 以工业用水增长幅度最大, 20 年间用水量翻了 1 番还多; 通过信息熵及均衡度计算, 信息熵有较大增长, 20 年间增加了近 1 倍, 由 1980 年的 0.648 271 nat 增长到 2000 年的 1.168 004 nat, 且年均熵增长率呈明显的增加趋势, 由 1980 到 1995 年的 0.023 nat/年, 增加到 1995 到 2000 年的 0.035 nat/年, 这表明关中地区的用水系统结构向加速无序的方向发展; 系统的均衡度也呈显著的增加趋势, 20 年内增加了 62%, 这表明关中地区用水系统在加速无序发展的同时, 用水系统的均衡程度有所提高, 系统均衡性增强。

值得指出的是, 在 20 世纪 80 年代和 90 年代初期水资源开发利用中没有生态环境用水, 而在 2000 年用于生态环境的用水量为 0.8 亿 m^3 , 这不仅是在水资源利用类型的增加, 更表现出人类在利用水资源的过程中充分认识到水的生态功能的重要性, 这说明渭河流域关中地区的水资源开发利用正由单目标开发向多目标开发方向发展, 在扩大综合利用范围的同时也逐步考虑生态系统的协调与发展。综上所述, 无论是从信息熵演化来看, 还是从均衡度来看, 关中地区水资源开发利用结构正向着更加合理、更加均衡的方向发展演化。

2.3 结构演化的动因分析

水资源的开发利用是人类为了满足自身生产生活需要而进行的, 此行为受到了人类意识的高度控制, 因此水资源利用系统结构演化的规律不仅取决于水资源系统自身的演化方向, 更取决于人类活动的运行机制。

一方面, 水资源系统自身处于一种永不停息的演化之中, 这种演化是人类难以左右的, 或者说, 即使能够左右, 其影响也是相对较小的。另一方面, 水

资源系统核心在于人类的开发利用, 因此, 受到人类活动的目的性支配作用。这种作用的影响对整个系统的演化是不可忽视的^[6]。

随着关中地区社会经济的飞速发展, 渭河流域正面临着严峻的水资源短缺、水旱灾害加剧、生态环境恶化等问题。为了协调人类与自然以及各个用水行业部门之间的关系, 人类只有通过其自身行为和运行机制(行业间用水比例的调整、行业内节水技术的实施、增加生态环境用水等)的不断调整来实现水资源利用系统的良性发展。

由表 1 可以看出, 仅 1980~2000 年 20 年间, 农业用水量由 40 498.8 亿 m^3 减少到 31 159.5 亿 m^3 , 这主要是通过大力推行节水农业达到的, 但是由于渭河流域的水利设施建设严重滞后于社会经济的发展, 从另外一个角度来说, 减少的农业用水量中有一部分是因工业用水挤占农业用水而造成的; 工业用水量在 20 年间增加了 7 亿 m^3 之多, 这主要是由于地区经济的飞速发展所致, 而在 90 年代后期增长速度减慢, 其原因在于改进工艺流程, 提高工艺水平, 减少生产过程的耗水量, 并提高水的循环利用率所致; 城市生活用水增长了 1 倍多, 这是城市人口急速膨胀和人民生活水平日益提高的必然结果。而日益突出的生态环境恶化问题让人类在利用水资源时不得不考虑生态环境用水部分, 使水资源利用系统发生了根本性变化。

3 结 论

(1) 信息熵作为系统无序程度的量度, 可以与水资源系统相结合, 构造出用水系统结构的信息熵和均衡度, 用来描述用水结构的演化趋势, 从而对人类开发利用水资源的合理性进行有效验证, 并为水资源利用规划提供依据。

(2) 通过渭河流域关中地区用水结构演化计算发现, 在渭河流域关中地区用水系统结构演化过程中, 信息熵值增大, 系统的有序度减小, 均衡程度提高, 系统功能通过细化而更加完善, 水资源系统向结构更稳定、功能更全面的模式发展。

【参考文献】

- [1] 畅建霞, 黄强, 王义民, 等. 基于耗散结构理论和灰色关联熵的水资源系统演化方向判别模型研究[J]. 水利学报, 2002(11): 107-112
- [2] 李建华, 傅立. 现代系统科学与管理[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1996
- [3] 耿海青, 古树忠, 国冬梅. 基于信息熵的城市居民家庭能源消费结构演变分析——以无锡市为例[J]. 自然资源学报, 2004, 19(2): 257-

- [4] 陈彦光, 刘继生. 城市土地利用结构和形态的定量描述: 从信息熵到分数维[J]. 地理研究, 2001, 20(2): 146-152
- [5] 王 栋, 朱元胜. 信息熵在水系统中的应用研究综述[J]. 水文, 2001, 21(2): 9-14
- [6] 冯国章. 水事活动对区域水文生态系统的影响及其对策研究[D]. 陕西杨陵: 西北农业大学, 1998: 80-86

Study on the evolution of water resource structure based on information entropy

L IU Yan¹, HU An-yan¹, DENG Ya-zhi²

(1 College of Environment Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China;

2 College of Water Resources and Hydroelectric Power, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

Abstract: Concept of entropy is introduced into water resource system, expressions of information entropy and balance degree are given, which can be used to distinguish the rationality of water resource utilization system. On the basis of entropy variation theory, a method is produced to distinguish evolution pattern of water resource utilization system, and it can be used in Guanzhong area in Weihe River basin. Results manifest that water resources utilization in Weihe River basin is becoming more and more reasonable. Entropy provides reference for human to regulate water resource utilization.

Key words: water resource system; information entropy; evolution of system structure; Weihe River basin

(上接第 140 页)

Abstract ID: 1671-9387(2006)06-0137-EA

Study on technical conditions and characteristics of pigments by *Monascus anka* 5040

SUN Fei-fei, YUN Tian-li, YUAN Ya-hong, GAO Zhen-peng

(School of Food Science and Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The fermentation conditions of *Monascus anka* 5040 was optimized to produce monascus pigments; And the change regulation of colour values by *Monascus anka* 5040 in submerged culture and the distribution of red and yellow pigments in monascus pigments were studied. The results showed that:

The optimum fermentation conditions of *Monascus anka* 5040 were 170 r/min in table rotational speed, 32 °C temperature, pH 5.4 and 90 mL/L load. There were three phases in the fermentation course: a lot of the *Monascus anka* grew in the 0-32 h of fermentation, and the pigments were produced stably and largely in the 32-128 h, the *Monascus anka* and the pigments were reduced after 128 h; the pigments were produced stably in the 0-128 h of fermentation. The content of red pigments inside cells were more than that outside cells. There was no regulation about the distribution of yellow pigments inside and outside cells, and the contents of yellow pigments were more than that of red ones, the liquid appeared yellow.

Key words: *Monascus anka*; monascus pigments; colour values; red pigments; yellow pigments