

水文水资源中不确定性的信息熵分析方法综述

张继国¹,刘新仁²

(1. 河海大学常州校区,江苏 常州 213022;2. 河海大学水文水资源及环境学院,江苏 南京 210098)

摘要:介绍了信息熵的简要历史与基本概念,然后详细综述了它在水文分布的生成、参数估计、水文预报、水文站网规划及降雨分布等方面的应用。

关键词:水文水资源;信息熵;不确定性;信息传输;最大熵原理

中图分类号:TV211.0236 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-1980(2000)06-0032-06

不确定性广泛存在于各种社会现象、自然现象及工程实践之中。由于事物在其发生、发展及演变过程中受到来自不同方面的诸多因素的共同影响,使得它的状态始终体现为一种不稳定、模糊、无序或混沌等现象,这种现象即被认为是事物的不确定性。不确定性按形态可分为二类,一类是模糊不确定性,用模糊数学的方法来描述;另一类是随机不确定性,用随机分析的方法来描述。

陈守煜^[1]认为,水文水资源系统中许多概念的外延存在不确定性,对立概念之间的划分具有中间过渡阶段,这些都是典型而客观存在的模糊现象。为此,他提出了“模糊水文学”的新概念,其系统研究成果可参见文[2]。随机水文学是水文水资源学科中成功引用随机分析方法的重要领域之一。周文德^[3]认为,由于自然界中的水文现象非常复杂,要精确地说明它的规律,解释它的现象是相当困难的。他在列举了一系列传统的研究方法之后说,最恰当的方法是将随机数学的理论与实际问题的物理过程联系起来,这就是所谓的随机水文学。丁晶与邓育仁在文[4]中比较系统地综合了随机水文学领域的基本理论和方法以及研究成果。随机分析的方法还广泛被用于水文预报、水文计算、水文频率计算、水文风险分析及各种水文随机模型之中。

近 20 多年来,熵(entropy)成为研究水文水资源科学领域中不确定性的另一个有效工具。国外不少学者在这方面做了大量工作,取得了令人瞩目的成就。本文将主要介绍水文水资源学科中不确定性的信息熵分析方法及其研究成果。

1 信 息 熵

熵的概念有三个形式不同但具有内在联系的来源^[5]。熵是一个历史颇长的概念,19 世纪中叶,Clausius 首先把熵引进热力学,接着 Boltzmann 推导出熵在统计力学中的表达式,即著名的 Boltzmann 公式: $s = k \log W$ 。热力学与统计力学中的熵都是描述热力学系统的无序程度的。熵又是一个近代的概念,1948 年,Shannon 在创立信息论时,找到了一个唯一的量来度量信源的不确定性,这个量与热力学和统计力学中的熵在数学形式和物理意义都相近,所以也称为熵。为明确起见,信息论中的熵被称为“信息熵”。本文所讨论的熵正是信息熵。熵具有一系列有用的性质。请详细参见文献[6]。

De Luca 与 Termini^[7]以模糊集理论的形式定义了一种非概率熵—模糊熵。它是对状态模糊程度的一种度量,它也可被看成在作出决策时收到的一种平均内在信息。对于一个定义在论域 I 上的模糊集 f ,模糊程度可被定义为

$$d(f) = (H)f + H(\bar{f}) \tag{1}$$

其中 $\bar{f}$ 是 f 的补集,函数 $H(f)$ 类似于 Shannon 熵,但从概念上而言又是不同的。

$$H(f) = -k \sum_{i=1}^N f(x_i) \ln f(x_i) \tag{2}$$

其中 N 是论域 I 中元素的个数, k 是正常数, 因此 $d(f)$ 可利用 Shannon 函数 $S(x)$

$$S(x) = -x \ln x - (1-x) \ln(1-x) \tag{3}$$

写成

$$d(f) = k \sum_{i=1}^N S(f(x_i)) \tag{4}$$

在实际问题中, 存在三类信息, 第一类与试验的可数个结果相联系, 能利用信息熵去确定, 这是客观信息; 第二类与判断、经验及理解有关系, 很少能以传统的数学模型来表示, 这类信息被当成主观的, 这种主观印象的度量可用模糊熵给出; 第三类是既包含有客观的内涵又有主观的意志, 体现为一种模糊随机现象, 可用模糊随机变量^[8]去描述, 此时其整体熵为

$$H_t = F(p, f) = - \sum_{i=1}^N p_i \ln p_i + D \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N p_i S[f(x_j)] \tag{5}$$

其中 D 是个需被确定的乘数, H_t 刚好为信息熵与模糊熵之和, 显然式(5)满足下面的性质: 如果 $p_i = 1$, 此时随机性不存在, 则 $H_t = D \sum_{j=1}^N S[f(x_j)]$; 反之若每一个 $f(x_j) = 0$ 或 1 , 模糊性不存在, 则 $H_t = - \sum_{i=1}^N p_i \ln p_i$.

2 信息传输

熵是随机现象不确定性的度量, 或是所含信息量的度量. 文献[9]在进行数据网络设计时定义了站对(station pairs)之间的有向信息传输指数(DIT, a directional information transfer index). 它认为在流域内, 站对之间存在一种信息流, 根据信息流的强度, 可以判断某一站点在未来的站网设计中是否处于有利的位置.

$$DIT = T / (H - h_{\text{lost}}) = 1 - H_{\text{lost}} / H \tag{6}$$

其中 T 是两个站点 X 与 Y 之间的互信息^[6], H 为站点 X 的熵, H_{lost} 为条件熵 $H(X/Y)$.

从(6)式可见, DIT 在 0 与 1 之间变化. $DIT = 0$ 时, 表示 X 与 Y 完全独立, 两站之间没有信息传输. 当 $DIT = 1$ 时, 表示信息全部传输, 不存在信息损失.

文献[10]对(6)式予以了调整, DIT 被调整后记为 $DITI$

$$DITI(X, Y) = T(X, Y) / H(Y) = 1 - H(Y/X) / H(Y) \tag{7}$$

$$DITI(Y, X) = T(Y, X) / H(X) = 1 - H(X/Y) / H(X) \tag{8}$$

$DITI(X, Y)$ 表明了站 X 对站 Y 传输信息的一种能力.

所以 $DITI$ (或 DIT) 有两个特征, 其一是信息传输能力, 其二是站对之间的关联程度.

设 S 是包含 m 个站点的集合, 第 i 个站在集合内的 $DITI$ 记为

$$SDITI(i) = \sum_{j=1, j \neq i}^m SDITI(i, j) \tag{9}$$

整个集合的 $DITI$ 记为

$$SDITI = \sum_{i=1}^m SDITI(i) \tag{10}$$

它度量了站点集合的内在关联性的大小.

3 最大熵原理

除了上面叙述的信息传输以外, 使得熵具有广阔应用领域的另一重要概念是 Jaynes^[11]提出的最大熵原理(POME, principle of maximum entropy). 热力学第二定律告诉我们, 一个物质系统如果与外界环境隔离开, 那么这一系统中的熵将自动加大到它能达到的极大值, 这有时又被称为熵增加原理. 熵增加原理在统计物理与热力学中是非常有用的, 人们把用于非热力学领域的熵增加原理称为最大熵原理(或最大熵方法^[12]).

下面对 POME 作一简单的描述.

在数学、物理、工程技术及其它领域中, 常常要根据测量的数据, 所给的条件或所作的假设求解. 对于求解, 通常关心三个问题: 存在性、唯一性和稳定性. 如果这三个要求中至少有一个不满足, 则认为是不适定性问题. 对于此类问题, POME 是有效方法之一. POME 是说, 在所有可行的解中, 在满足一定约束条件时, 应该选择其熵最大的一个. 从熵作为不确定程度的度量来看, 此时的解包含的主观成分最少, 因而是最客观的.

4 生成分布

POME 已被用来生成一系列的分布,其中一部分在水文水资源学科中得到广泛的应用, Singh 与 Fiorentino^[13]对此作了总结. Kapur^[14]在一个有限区间上对连续随机变量生成了 POME - 分布, Li 等人^[15]概括了广泛用于环境与水科学的一大类分布, Basu 与 Templemar^[16]提出一种对统计数据生成 POME - 分布的算法.

当不存在约束时, X 从 1 到 n 取值, 则 POME 会生成均匀分布, 具有概率 $p_i = 1/n$. 当引入过多的约束之后, 则生成的分布会变得更尖窄和扁状. 以这种方式, 熵 H 会从均匀分布时的最大值, 直至加入确定的约束时, 它会减少到零.

Sogawa 等人^[17]利用 POME 生成了一个多元分布, 并同时研讨了它在年降雨及日最大降雨中的应用. Lind 与 Hong^[18]利用最小交互熵原理^[12, 19] (POMCE, principle of minimum cross entropy) 连同部分约束 (fractile constraints) 去生成了几个概率分布, 根据这种方法, 它们去为复合的极端水文现象建模, 比如在暴雨条件下建立极端海平面.

5 参数估计

参数估计是水文统计的一个重要方面, 当通过某种方式确立了水文变量的分布形式后, 紧接着的工作就是估计其参数. 估计的方法有许多, 传统的方式有矩法、概率权重矩法、极大似然法、适线法等及其它各种方法^[20~23]. 近来, POME 成功地被利用来估计一些概率分布的参数^[24~28], 文献^[13]对此作了总结. 在对各种方法予以比较之后, 认为 POME 方法或者超过或者兼容了矩法、极大似然法等其他一些方法.

Singh 与 Rajagopal^[29]利用 POME 建立了一种新的参数估计方法——参数空间扩张法 (Parameter-space expansion method), 此种方法可应用于具有有限多个能显示表达参数的任何概率分布. 如果 $f(x)$ 是 X 的概率密度函数, 具有参数 a_i ($i = 1, 2, \dots, k$), 则使熵 $H(f)$ 达到最大的参数 a_i ($i = 1, 2, \dots, k$) 为下面方程组的解

$$\begin{cases} \frac{\partial H(f)}{\partial b_i} = 0 & i = 1, 2, \dots, k-1 \\ \frac{\partial H(f)}{\partial a_i} = 0 & i = 1, 2, \dots, k \end{cases}$$

其中 b_i 是拉格朗日乘数. 文献^[29]利用此法估计了威布尔分布及极值 III 型分布的参数.

6 水文预报

水文预报对于洪水预警、发电、航运、水资源供应、灌溉及污染控制等等是至关重要的, 所以这种预报必须是准确、可靠与及时的.

水文预报始于时间序列的出现. 李纪人与刘德平^[30]比较系统地从事理论与实践两个方面介绍了水文时间序列模型及其预报方法, 其中自回归 (AR) 与自回归滑动平均求和 (ARIMA) 模型最具代表性. 不引用雨量数据, AR 模型也可以在一个确定的预见期内预测流量, 而且其精确度较高. ARIMA 模型可用于混合流量过程, 比如由降雨与融雪所导致的洪水, 不过它的致命缺点是参数估计的复杂性, 尤其是滑动平均部分, 所以有学者建议将 ARIMA 模型与其它模型结合起来使用. 状态空间模型, 比如卡尔曼滤波模型也被用作流量预报^[31], 不过卡尔曼滤波模型也存在参数估计的问题. 人工神经网络也用在流量预报上^[32].

最近, 以熵为基础的三类预报模型被利用. 第一类模型是贝叶斯熵模型^[33], 它是最大熵原理与贝叶斯预报处理器的结合. 这个模型具有普遍性, 当然也可以利用它来作水文预报. 第二类模型是基于熵极大极小方法生成的, 根据这个模型, 文献^[34]使用七个雨量站对干旱作过长期预测. 第三类模型是基于谱分析的熵模型. 谱分析可用来鉴别时间序列的显著性周期. 由 Burg^[35]引入的最大熵谱分析 (MESA) 是一种有效的方法, 它具有分辨率高及适应短序列的优点. MESA 的基本思想是在尽可能少的约束之下, 选择这样一种频率的非负函数, 它对应着最随机或最不可测的时间序列, 而这个时间序列的自相关函数又与一组已知值相同. 文献^[36, 37]讨论了 MESA 在水文学中的优势.

Jaynes^[11]证明 MESA 与其它一些谱分析法, 比如 Schuster, Blackman-Tukey, 极大似然法, 贝叶斯及自回归 (AR, ARMA 或 ARIMA) 等模型不冲突, 同时 AR 模型还是 MESA 的特例.

黄忠恕^[38]利用 MESA 分析了长江上游洪水的周期性问题,并比较了调和分析、功率谱分析及 MESA 三种方法,最后认为 MESA 在分辨率、谱偏移和对短序列的适应性等方面为最优。Rao 等人^[39]在将几种谱分析方法与 MESA 比较后,也得出了同样的结论。Krstanovic 与 Singh^[40-41]将 MESA 用于流量长期预测,他们建立的模型可用于三种类型的预测:前向、后向及插补,而且这种模型可精确地预报周期及未来流量的发展趋势。Krstanovic 与 Singh^[42-43]将 MESA 拓展到实时洪水预报之中,其模型可用于任何一对相关的水文过程,比如径流与雨量。Padmanbham 与 Rao^[37-44]也将 MESA 用于分析降雨与流量时间序列。Eilbert 与 Christender^[35]分析流域单年水文预测的问题。Dalezios 与 Tyraskis^[45]也利用 MESA 分析了多元降水时间序列。

7 水文网络与降雨分布

Krstanovic 与 Singh^[46-47]利用熵在 Louisiana 州就降雨网络在空间与时间评估方面建立了一套方法,评估是对 5 个样本区间:一天、二天、一周、一月和一年及两个不相邻的季节进行的。雨量观测站之间的空间与时间依赖性用自协方差与互协方差矩阵来检验,与不同的依赖性相关,多元分布利用 POME 而产生,对每个分布的边缘熵来说,联合熵与互信息可得到,是保留还是撤销一个雨量站取决于它是减少了还是增加了信息,以这种方式,雨量站的最佳组合可得到,等量信息线被构造以帮助扩展已存在的网络还是撤销不必要的雨量站的决策。

Yang 与 Burr^[9]利用熵的概念为数据集合网络设计建立了一套方法,方法的核心是网络中站对之间的信息流的测度(见(6)式)这种测度是基于站点的熵及站对之间的熵。

DIT 的概念能被应用到网络系统的区域化中,如果 $DIT(X, Y)$ 与 $DIT(Y, X)$ 都比较大,那么站 X 与 Y 依赖性相当强,所以应该处于一个群体中。如果都不高,那么它们是相互独立的,故应该在不同的群体中。若仅有 DIT (比如说 $DIT(X, Y)$) 高,那么 Y 与 X 可结合在一起,这里假定 Y 不属于任何其它群体,否则, Y 应在自己的群内。

Husain^[48]以水文学和熵为基础,对水文网络的优化(减少站点)与扩展(补充站点)做了一些研究,根据信息传输最大化原理对稠密网络予以优化,利用信息插补概念与最小水文信息带的鉴别来扩充稀疏网络。

张继国与刘新仁^[10-49]利用信息传输研究了淮河流域蚌埠站以上区域降雨的时空分布不均匀的问题,他们对文献[9]中的 DIT 作了一定的调整(见式(7))(8)),通过有向信息传输指数(DITI)与距离的关系给出信息传输图,并认为在该流域信息传输具有显著的方向性,并且降雨带是东西展开,南北推移的。文[49]还对雨量场予以抽象化处理,模拟出连续的雨量场,并且提出了信息传输函数,信息距离等新概念,最后通过模糊聚类法得出结论,熵确实蕴含了流域内包括地形、高程及气候等物理因素在内的绝大部分信息,熵作为研究不确定性的工具是相当有效的。

8 结 语

不确定性现象确实是水文水资源系统中不容否认的客观存在,所以,如何去研究这种不确定性是必然的事情。以往的方法,比如随机的方法就是去刻划不确定性的分布机理,但熵的方法则不同,它是以整体的观念去度量水文变量所含有的不确定性,而不去拘泥与每个孤立的点,对不确定性可以说是一种更高层次的刻划。水文资料短缺不全或质量不高是水文工作者经常会碰到的问题,此时,熵分析方法更能显示出其优越性。

熵还在可靠性工程、风险分析及水环境工程等方面都具有广泛的应用^[50],此外还在气象^[51]与系统工程^[52]等领域亦有应用。

当然,熵理论与方法还不够完善,没能自成体系,所以,充其量只是一种技术方法。不过,至目前为止,它对研究不确定性的有效性还是值得推广与肯定的。

参考文献:

- [1] 陈守煜. 模糊水文学[J]. 大连理工大学学报, 1981(1): 93~97.
- [2] 陈守煜. 系统模糊决策理论与应用[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 1994.
- [3] 程天文, 陈洪经. 随机水文学——周文德教授来华讲学主要内容之一[J]. 水文, 1981(2): 30~33; 1981(3): 37~43.

- [4] 丁晶, 邓育仁. 随机水文学[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1988.
- [5] 王彬. 熵与信息[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1994. 17~25, 123~132.
- [6] 孟庆生. 信息熵[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1986. 1~24.
- [7] Deluca A, Termini S. A definition of a non-probabilistic entropy in the setting of fuzzy sets theory[J]. Information Control, 1972, 20: 301~312.
- [8] Kwakemaak H. Fuzzy random variables I, II[J]. Information Science, 1978, 15: 1~29; 1979, 17: 253~278.
- [9] Yang Y, Burn D H. An entropy approach to data collection network design[J]. J of Hydrology, 1994, 157: 307~324.
- [10] 张继国, 刘新仁. 降雨时空分布不均匀性的信息熵分析(I) [J]. 水科学进展, 2000.
- [11] Jaynes E T. On the rationale of maximum entropy method[J]. Proc TEEE, 1982, 70: 939~952.
- [12] 吴乃龙, 袁素云. 最大熵方法[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1991. 1~50.
- [13] Singh V P, Fiorentino M. A historical perspective of entropy applications in water resources[A]. In: Singh V P, Fiorentino. M, (Eds) Entropy and Energy Dissipation in Water Resources, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1992, 21~61.
- [14] Kpur J N. Maximum-entropy probability distribution for a continuous random variable over a finite interval[J]. J Math Phys Sci, 1982, 16(1): 97~109.
- [15] Li Y, Singh V P, Cong S. Entropy and probability distribution[A]. In: Singh V P (ed), Hydrologic Frequency Modeling, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, 1987, 367~382.
- [16] Basu P C, Templeman A B. An efficient algorithm to generate maximum entropy distribution[J]. Int J Num Meth Engng, 1984, 20: 1039~1055.
- [17] Sogawa N, Araiki M, Imai T. Studies on multivariate conditional maximum entropy distribution and its characteristics[J]. J Hydrosoci Hydraul Eng, 1986, 4(1): 79~97.
- [18] Lind N H, Hong H P. Entropy estimation of hydrological extremes[J]. Stoch Hydrol Hydraul, 1991, 5: 77~87.
- [19] Woodbury A D, Ulyrch T J. Minimum relative entropy: forward probabilistic modeling[J]. Water Resources Research, 1993, 29(8): 2847~2860.
- [20] 丛树铮, 谭维炎. 水文频率计算中参数估计方法的统计试验研究[J]. 水利学报, 1980(3): 1~15.
- [21] 宋德敦, 丁晶. 概率权重矩法及其在 P-III 分布中的应用[J]. 水利学报, 1988(3): 1~11.
- [22] 刘光文. 皮尔逊 III 型分布参数估计[J]. 水文, 1990(4): 1~15; (5): 1~13.
- [23] 邱林, 陈守煜. P-III 型分布参数估计的模糊加权优化适线法[J]. 水利学报, 1998(1): 33~38.
- [24] Singh V P, Guo H. Parameters estimation for 2-parameter Parete distribution by POME[J]. Water Resour Manage, 1995, 9: 81~93.
- [25] Singh V P, Guo H. Parameters estimation for 2-parameter generalized Parete distribution by POME. Stoch[J]. Hydrol Hydraul, 1997, 11: 211~227.
- [26] Singh V P, Guo H. Parameters estimation for 3-parameter generalized Parete distribution by POME[J]. Hydrol Sci J, 1995, 4: 165~181.
- [27] Singh V P, Guo H, Yu F X. Parameters estimation for 2-parameter log-logistic Parete distribution (LLD3) by maximum entropy[J]. Civil Engng Systems, 1995, 12: 343~357.
- [28] Singh V P, Guo H. Parameters estimation for 3-parameter log-logistic Parete distribution (LLD2) by POME[J]. Stoch Hydrol Hydraul, 1993, 7: 163~177.
- [29] Singh V P, Rajagopal, A K. A New method of parameters estimation for hydrologic frequency analysis[J]. Hydrol Science and Technology, 1987, 3(3): 33~40.
- [30] 李纪人, 刘德平. 水文时间序列模型及预报方法[M]. 南京: 河海大学出版社, 1991.
- [31] Bergman M J, Delleur J W. Kalman filter estimation and prediction of daily streamflows. I, II[J]. Water Resources Bulletin, 1985, 21(5): 815~832.
- [32] 蔡煜东, 姚林声. 径流长期预报的人工神经网络方法[J]. 水科学进展, 1995, 6(1): 61~65.
- [33] Souza R C. A bayesian entropy approach to forecasting[D]. University of Warwick, Coventry, U K, 1978.
- [34] Eilbert R F, Christensen R A. Performance of the entropy hydrological forecasts for California water year 1949—1977[J]. J of Calimate and Applied Meteorology, 1983, 22: 1645~1357.
- [35] Burg J P. Maximum entropy spectral analysis[A]. 37th Ann. Intern[C]. Meeting Soc Explor Geophys, Oklahoma City, Oklahoma, 1967.
- [36] Krstanovic P F, Singh V P. A multivariate stochastic flood analysis using entropy[A]. In: Singh V P (ed), Hydrologic Frequency Modeling, Dordrecht, Holland: D. Keide Publishing Co., 1987. 515~539.

[37] Padmanahan G , Rao A R. Maximum entropy spectral analysis of hydrologic data[J]. Water Resources Research , 1988 , 24 (9) : 1519 ~ 1533 .

[38] 黄忠恕. 波谱分析方法在水文上的应用[J]. 水文 , 1983 , 3 : 13 ~ 20 .

[39] Rao A R , Padmanahan G , Kashyap R L. Comparison of recently developed methods of spectral analysis[A]. Proceedings , Third International Symposium on Stochastic Hydraulics , Tokyo , 1980 , 165 ~ 175 .

[40] Krstanovic P F , Singh V P. An univariate model for long-term streamflow forecasting : I . Development[J]. Stoch Hydrol Hydraul , 1991 5 : 173 ~ 188 .

[41] Krstanovic P F , Singh V P. An univariate model for long-term streamflow forecasting : II . Application[A]. Stoch Hydrol Hydraul , 1991 5 : 189 ~ 205 .

[42] Krstanovic P F , Singh V P. A real-time flood forecasting model based on maximum-entropy spectral analysis : I. Development[J]. Water Resources Management , 1993 , 7 : 109 ~ 129 .

[43] Krstanovic P F , Singh V P. A real-time flood forecasting model based on maximum-entropy spectral analysis : II. Application[J]. Water Resources Management , 1993 , 7 : 131 ~ 151 .

[44] Padmanahan G , Rao A R. Maximum entropy spectral of some rainfall and river flow time series from southern and central India[J]. Theory Appl Climatology , 1986 , 37 : 63 ~ 73 .

[45] Dalezios N R , Tyraskis P A. Maximum entropy for regional precipitation analysis and forecasting[J]. J of hydrology , 1989 , 109 : 25 ~ 42 .

[46] Krstanovic P F , Singh V P. Evaluation of rainfall network using entropy : I . Theoretical development[J]. Water Resources Management , 1992 , 6 : 279 ~ 293 .

[47] Krstanovic P F , Singh V P. Evaluation of rainfall network using entropy : II . Application[J]. Water Resources Management , 1992 , 6 : 295 ~ 314 .

[48] Husain T. Hydrologic uncertainty measure and network design[J]. Water Resources Bulletin , 1989 , 25 (3) : 527 ~ 534 .

[49] 张继国 , 刘新仁. 降雨时空分布不均匀性的熵分析(II) [J]. 水科学进展 , 2000 .

[50] Singh V P. The use of entropy in hydrology and water resources[J]. Hydrology Processes , 1997 , 11 : 587 ~ 626 .

[51] 张学文. 熵气象学[M]. 北京 : 气象出版社 , 1992 .

[52] 李习彬. 熵-信息理论与系统工程方法论的有效分析[J]. 系统工程理论与实践 , 1994 , 2 : 37 ~ 42 .

Summary on the Information Entropy Analysis Methods of Uncertainty in Hydrology and Water Resources

ZHANG Ji-guo¹ , LIU Xin-ren²

(1. Changzhou Branch of Hohai Univ. , Changzhou 213022 , China ;
2. College of Water Resources and Environment , Hohai Univ. , Nanjing 210098 , China)

Abstract : A brief history and concept are introduced of information entropy and a detailed summary is given on applications of information entropy in derivation of hydrological distribution , parameter estimation , hydrological forecasting , design of hydrological networks , precipitation distribution , and so on .

Key words : hydrology and water resources ; information entropy ; uncertainty ; information transfer ; principle of maximum entropy