

日流量过程分维估计*

丁晶, 刘国东

(四川大学, 四川 成都 610065)

摘 要: 探讨了日流量过程的分形特性, 重点研究了分维估计方法。结果表明: 分维数可以表征日流量过程的变化特性。分维估计方法较多, 当前以计盒法为最好。

关键词: 分形; 分维; 日流量过程

中图分类号: P333

文献标识码: A

文章编号: 1001-2184(1999)04-0074-03

1 概 述

日流量过程线的变化特性是水文分析的重点之一。长期以来, 对这种变化特性只能作定性分析, 难以定量表示。但近年来的研究^{[1][2]}表明, 日流量过程线可看作是一种分形, 其变化的复杂程度以分维数定量表示。本文探讨了日流量过程线分维数的估计方法, 以及以金沙江屏山站 53 年汛期日流量资料估计出各年过程线的分维数, 并作了分析。最后结果表明: 各种方法估计的分维数相差较大, 当前以计盒法的成果为最好。分维数作为一个定量指标来刻画日流量过程线的变化特性基本上是可行的。

2 分维数估计

日流量过程线分维由两种途径估计: 一是基于定义的直接途径; 二是基于一定假定的间接途径。

2.1 直接途径

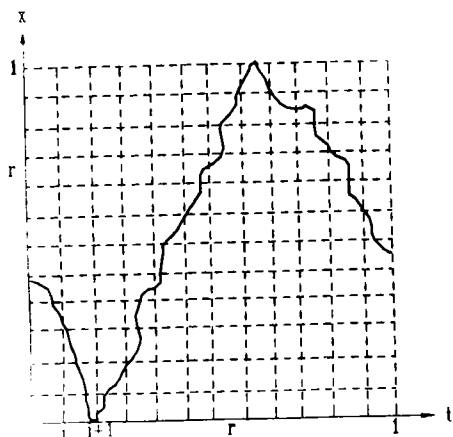


图 1 计盒法计算分维示意图

图 1 为曲线图, 纵横座标均标准化(以单位长度计), 给定一个标尺 r , 就得到许多正方形网络, 若 $N(r)$ 为曲线与正方形网格相交的总网格数, 则曲线的分维 d , 由定义得^[3]

$$d = -\frac{\log N(r)}{\log r} \quad (1)$$

选定若干个 r 值, 得相应的 $N(r)$, 由图解法或最小二乘法即可估计出 d 。这是由定义出发直接估计曲线分维的直接途径。该途径的关键是给定 r 后, 如何方便而可靠地估计出相应的 $N(r)$ 。为了合理地计算 $N(r)$, 本文在文献^[4]所介绍的方法基础上提出了改进的计盒法。若 m 是大于或等于 $1/r$ 的最小整数, 则 m 为时间轴 t 上的分块数(见图 1)。为了较精确地估计分维数, 在选择 r 时尽可能使 $1/r$ 为整数。如图 1 所示, 设在 i 和 $(i+1)$ 区间内与曲线相交的正方形个数为 $n_i(r)$, 显然,

$$N(r) = \sum_{i=0}^{m-1} n_i(r) \quad (2)$$

设 $\max[ir, (i+1)r]$ 和 $\min[ir, (i+1)r]$ 为区间 $[ir, (i+1)r]$ 内曲线的最大值和最小值, 则

$$n_i(r) = \text{INT} \left\{ \frac{\max[ir, (i+1)r]}{r} \right\} - \text{INT} \left\{ \frac{\min[ir, (i+1)r]}{r} \right\} + 1 \quad (3)$$

式中 $\text{INT}\{\}$ 表示对 $\{\}$ 的数值取整数。在 $\frac{\max[ir, (i+1)r]}{r}$ 和 $\frac{\min[ir, (i+1)r]}{r}$ 同时为整数的情况下, 则式(3)改为

$$n_i(r) = \frac{\max[ir, (i+1)r]}{r} - \frac{\min[ir, (i+1)r]}{r} \quad (4)$$

当然, 在绝大多数情况下, 估计 $n_i(r)$ 时用式(3)。

将式(3)代入式(2)得

$$N(r) = \sum_{i=0}^{m-1} \left[\text{INT} \left\{ \frac{\max[ir, (i+1)r]}{r} \right\} - \text{INT} \left\{ \frac{\min[ir, (i+1)r]}{r} \right\} + 1 \right]$$

$$\text{INT}\left\{\frac{\min[ir, (i+1)r]}{r}\right\} + 1 \quad (5)$$

以式(5)估计 $N(r)$, 进而由式(1)估计 d 的方法称为计盒法。

2.2 间接途径

在合理的假定基础上, 由反映曲线时序变化特性的统计参数间接推算。一般而言, 这些统计参数由简单的式子便可估计出来。因此, 间接途径较直接途径方便得多。

假定图 1 上的曲线为分数布朗运动的结果。在这种情况下, 曲线具有自仿射分形的特性^[5]。自仿射分形的重要特点是它的各向异性, 即在时间轴和函数轴上以不同的比例放大。一般有

$$h(t) = \lambda^{-H} h(\lambda t) \quad (6)$$

式中 t 为自变量, $h(t)$ 是以 t 为函数的因变量, λ 为比尺, H 为标度参数。对于以分数布朗运动表示的曲线, 其局域分维为^[5]

$$d = 2 - H \quad (7)$$

估计出 H 后, 便可由式(2)估计分维。下述的间接途径均基于式(7)。估计方法的差异仅是估计 H 不同而已。

(1) 赫斯特系数法

给定一个序列 $x_i (i=1, 2, \dots, n)$, 其赫斯特系数 K , 由下式估计^[6]

$$K = \frac{\log(R/s)}{\log(n/2)} \quad (8)$$

式中 R 为序列离均偏差累积值的极差, s 为序列的标准差, n 为序列的长度, K 表征序列的长滞时相关结构特性, 即反映序列曲线的变化特性, 将 K 看作 H 的估计值, 则

$$d = 2 - K \quad (9)$$

(2) 自相关系数法

对给定序列 $x_i (i=1, 2, \dots, n)$, 自相关系数 r_k 由下式估计^[6]

$$r_k = \frac{\sum_{i=1}^{n-k} (x_i - \bar{x})(x_{i+k} - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (10)$$

式中 r_k 为滞时 k 的自相关系数, \bar{x} 为序列的平均值。 r_k 表征序列短滞时相关结构特性, 亦反映曲线变化特性, 以自相关系数估计 H 的关系式为^[4]

$$H = \frac{1}{2} \cdot \frac{\log(1-r_k)}{\log k} \quad (11)$$

于是

$$d = 2 - \frac{1}{2} \cdot \frac{\log(1-r_k)}{\log k} \quad (12)$$

(3) 半变异函数法

给定序列 $x_i (i=1, 2, \dots, n)$, 半变异函数为^[7]

$$\nu(k) = \frac{1}{2(n-k)} \sum_{i=1}^{n-k} (x_{i+k} - x_i)^2 \quad (13)$$

当 k 较小时, $\nu(k)$ 和 H 的关系有^[7]

$$\nu(k) = ck^{2H} \quad (14)$$

式中 c 为常数, 由不同的 k 及相应的 $\nu(k)$ 据式(14)通过最小二乘法或图解法估计 H 。

(4) 自仿射法

这是提出的一种估计尺度参数 H 的新方法。由式(6)得

$$H = \frac{\log[h(\lambda t)/h(t)]}{\log \lambda} \quad (15)$$

我们选用变量函数 $h(t)$ 为 $R(t)$ 。 $R(t)$ 和式(8)的 R 意义相同, 即极差。对给定的序列 $x_i (i=1, 2, \dots, n)$ 选择不同的 λ 计算出相应的 $R(\lambda t)$, 最后由式(15)估计 H 。具体计算方法简要说明如下: 如选 $\lambda = 2$, 则 t 定为 $n/2$, $\lambda t = 2t = n$ 。这样 $R(\lambda t) = R(n)$, $R(t) = R(n/2)$ 。据给定序列的全部直接估计 $R(n)$ 。对给定序列的前半部(序列长 $n/2$)估计出 $R_1(n/2)$, 对后半部估计出 $R_2(n/2)$, $R(n/2) = \frac{R_1(n/2) + R_2(n/2)}{2}$ 。余类推。

3 金沙江屏山站洪水期日流量过程线分维的估计和分析

依据金沙江屏山站汛期(5~10月)的 53 年的日流量资料(1940~1992 年)计算了该站各年日流量过程的分维数。各种方法的结果相差较大, 由于计盒法从基本定义出发未作任何假定, 该法的结果是较可靠的。其它各种方法均是从过程线的某一特性出发在分数布朗运动假定的基础上间接估计分维数, 其值有些情况下偏大, 有些情况下偏小。赫斯特系数反映序列的长滞时特性, 而自相关系数反映短滞时特性。单独从某个特征系数来间接估计分维总是不全面的。半变异函数法基本上和自相关系数法类似, 只是适用的条件更宽^[7]。自仿射法需要分段估计极差, 极差受系列长度影响很大, 系列较短时, 极差难以正确估计, 所以该法的应用受到限制。

综上所述, 在目前情况下, 建议在计算日流量过程线分维时采用计盒法。表 1 为计盒法估计屏山站各年汛期日流量过程的分维数。该站汛期日流量过程的分维数从最小的 1.12 变化到最大的 1.41, 平均值为 1.26。由于平面上曲线的分维在 1~2 之间变化, 平均值 1.26 表明日流量过程变化在总体上不

是很剧烈(即变化较小)。分维数的标准差为 0.07 (变差系数 $C_v=0.05$)表明日流量过程虽各年有所差异,但变化不是很大(即过程线的形状差别不是很大)。这些都符合屏山站的水文特性。图 2 和图 3 分别为屏山站 1964 年和 1958 年的汛期日流量过程线。显然 1964 年的变化较 1958 年复杂,所以前者的分维明显大于后者。

表 1 屏山站汛期日流量过程分维数

年	1940	1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948
分维数	1.18	1.34	1.24	1.30	1.21	1.20	1.28	1.29	1.26
年	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957
分维数	1.30	1.26	1.20	1.25	1.20	1.24	1.19	1.35	1.32
年	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966
分维数	1.12	1.27	1.24	1.34	1.14	1.30	1.41	1.25	1.24
年	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975
分维数	1.31	1.27	1.19	1.24	1.39	1.15	1.24	1.25	1.29
年	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
分维数	1.20	1.31	1.31	1.34	1.19	1.24	1.27	1.27	1.25
年	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	
分维数	1.20	1.36	1.22	1.24	1.41	1.32	1.23	1.38	

注:53 年平均值为 1.26,标准差为 0.07。

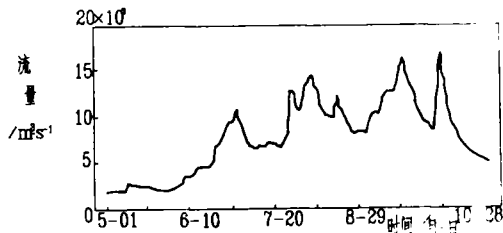


图 2 屏山站 1964 年汛期日流量过程线(分维数为 1.11)

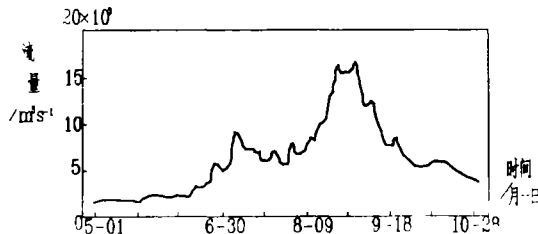


图 3 屏山站 1958 年汛期日流量过程线(分维数为 1.12)

(上接第 73 页)

可避免的。如果工程师、业主能结合实际情况,正确运用合同赋予的权力,妥善处理好工程变更引起的有关合同事宜,无疑会对工程建设的顺利进行带来积极的影响,并适时弥补工程在前期工作或合同签订等方面的不足。反之,可能引发合同双方的争端,转移工程建设的精力,进而可能使合同里程碑的按时实现变得黯然,这对工程本身和合同的任何一方都无益处。当然,这并不是说工程变更越多越好,对于业主和工程师而言,笔者认为,他应该自始至终地掌握“可变可不变时就不变”的原则。实践证明,工程

4 小 结

通过上述分析,可得出以下几点初步结论:

- (1)日流量过程线具有一定的自相似性,可以看作是一种分形。描述分形的定量指标是分维。分维数的大小可以表征日流量过程变化的复杂程度,分维数愈大说明过程变化愈复杂。
- (2)当前估计分维数的方法较多,以计盒法为最好。但该法计算较繁杂,有待进一步改进。
- (3)本文仅作了初步探讨,尚有不少问题需继续研究,例如,如何方便而客观地估计分维数,分维数作为定量参数表征过程线的变化特性、敏感性如何等。

致谢:四川大学水电学院王东志同志作了大量的计算工作,特表谢意。

参考文献:

[1] 丁晶等.水文分析和计算方法的新进展[J].水文科技情报,1992,(2):1~4.
[2] 吴伯贤等.分形与水文学[J].中国水文展望,南京:河海大学出版社,1991,103~106.
[3] 陈颢等著.分形与混沌在地球科学中的应用[J].学术期刊出版社,1989,11~14.
[4] 肯尼思,法尔科内著(曾文曲和刘世耀译).分形几何——数学基础及其应用[C].东北大学出版社,1991,199~201,212~213.
[5] 刘式达和刘式适编著.孤波和湍流[M].上海:上海科学教育出版社,1994,70~74.
[6] 丁晶和邓育仁编著.随机水文学[M].成都:成都科技大学出版社,1988,36~37,277~279.
[7] I. J. and D. W. Reed. Effective Fractal Dimension and Correction to the Mean of Annual Maxima [J]. Journal of Hydrology, Vol. 157, 1994, 13-34.

作者简介:

丁 晶(1935 年—),男,江苏扬州人,四川大学水电学院教授,博士生导师,从事水文计算和预测研究。
刘国东(1962 年—),男,安徽六安人,四川大学水电学院副教授,博士,从事水环境研究。

承包合同中许多争议及索赔案例都与工程变更及其处理有着直接或间接的联系。不同的业主、承包商和工程师对工程变更更自然有不同的态度、立场及处理原则和方法。然而,合同规定的条款和条件乃是我们共同遵守的法典和可运用的武器,客观及时的文件记录是处理工程变更不可缺少的依据。

作者简介:

蒋跃光(1970 年—),男,四川简阳人,国家电力公司成都勘测设计研究院,助理工程师,学士,从事国际土木工程监理。
张国荣(1962 年—),男,江苏人,中国东方电气集团公司,高级工程师,学士,从事国际土木工程承包及监理。

ABSTRACT

Reservoir Sedimentation at Tongjiezi Hydropower Station

LINGHU Ke-hai

(Gonzui General Hydropower Plant, Leshan, Sichuan, 614900)

Abstract: Operation of Tongjiezi reservoir, characteristics of water inflow and sediment inflow, evolution of sediment accumulation and the main factors leading to sediment accumulation are generally described. Under the upstream reservoir operation, sediment accumulation in the Tongjiezi reservoir is comparatively concentrated in a period of time; Sediment entering into reservoir is suspended load and accumulates rapidly in delta.

Key words: Tongjiezi hydropower station; sediment accumulation; delta; factors

Reconstruction of Drainage System for Seepage from Powerhouse at Gongzui Hydropower Plant

LIU Fu-kun HU Rui-lin CHEN Cao-lu

(Gonzui General Hydropower Plant, Leshan, Sichuan, 614900)

Abstract: Reconstruction of drainage system for seepage from powerhouse at Gongzui Power plant is introduced. Due to actual large seepage flow, oil-laden flow and abundant sediment, development and arrangement design improvement for sewage sump pump are performed by advanced PLC auto-measuring and controlling system, thus ensuring safe operation of the hydropower station, which is used as reference for the similar projects.

Key words: Gongzui hydropower station; seepage from powerhouse; drainage system; arrangement design; sewage sump pump; reconstruction

Brief Introduction On Satellite Auto-Observing And Predicating System For Water Regime At Gongzui Hydropower Station

ZHANG Xiang-jin

(Gonzui General Hydropower Plant, Leshan, Sichuan, 614900)

Abstract: The satellite auto-observing and predicating system for water regime during rectification is introduced. It is pointed out that application of satellite mechanics of communication in high mountain area where communication conditions are poor can meet needs of water regime observation and predication. Disadvantages for satellite communication is analyzed and some suggestions are provided.

Key words: satellite communication; water regime observation and predication; time and frequency division technique; network center

Estimation of Fractal Dimension for Daily Flow Hydrograph

DING Jing LIU Guo-dong

(Sichuan University, Chengdu, Sichuan, 610065)

Abstract: The methods for estimating fractal dimensions of daily flow hydrograph in a river are mainly presented. The results have shown that a box counting method is the best one among the five methods involved in the analysis.

Key words: Fractals; fractal dimension; daily flow hydrograph

Predication of Rockfill Material Size After Blasting by Revised KUZ-RAM Mathematical Model

WANG Min-shou¹ JIANG Xiao-ming² LONG Wen-fei³

(1. Sichuan University, Chengdu, Sichuan, 610065; 2. Sichuan Power Industry Bureau, Chengdu, Sichuan, 610061; 3. Sichuan Agricultural Water Conservancy Bureau, Chengdu, Sichuan, 610017)

Abstract: Based on experience from construction of the Tianshengqiao I hydropower station (key project in China), size control after rock blasting for rockfill material of concrete-face rockfill dam with is studied. In-situ test and construction procedure for IIIA material and IIIB material and blasting parameters which meet the requirements of gradation for design rockfill material size are mainly studied. According to in site construction features, a revised KUZ-RAM model is used as parametric model for predicting appropriate size of rock blasted. By programming and calculating, real time control of rockfill gradation in site is realized.

Key words: rockfill dam; borrow blasting; rockfill material size control; revised KUZ-RAM model