

基于混沌理论的建设项目环保投资估算研究

段晓晨, 郭兰英, 张小平

(石家庄铁道大学 经济管理学院, 河北 石家庄 050043)

摘要:采用混沌时间序列分析技术对我国高速公路环保投资做了较为全面的研究,分析了1997年—2006年我国部分高速公路环保投资的数据。首先对数据结构进行定性分析,通过频数分布图,发现环保投资数据与正态分布之间存在着差异。功率谱分析、主分量分析则清楚表明序列具有非线性性质,主分量分析还表明序列具有混沌迹象。在定性分析的基础上,通过计算序列的有关非线性特征值对其混沌性质进行进一步确认。采用G-P算法计算序列的相关维,采用小数据量法计算最大Lyapunov指数。计算得到的最大Lyapunov指数为正数,说明环保投资序列处于混沌状态,可以使用混沌时间序列方法对建设项目可行性研究阶段环保投资进行估算。

关键词:公路建设项目;环保投资;混沌时间序列;投资预测

中图分类号:TU723 **文献标识码:**A **文章编号:**2095-0373(2010)02-0021-06

0 引言

环境保护是实现我国国民经济和社会持续发展的基础。随着我国对基本建设投入的加大,使经济发展对环境的影响越来越大,特别是开发建设项目造成的环境破坏现象十分严重。建设项目不仅在运营阶段而且在施工阶段会引起多方面的环境问题,例如对生态环境的影响,包括土地占用、植被破坏、生物多样性的减少、景观及生态敏感区影响,造成水污染、噪声污染、空气污染、固体废物污染等问题等等。据统计,全国平均每年因开发建设活动等人为造成新增的水土流失面积已超过 $1 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。目前,我国水土流失面积已占国土面积的38%,成为世界上少数几个水土流失严重的国家之一^[1]。由于水土流失的日趋严重,致使我国生态环境呈继续恶化的趋势。特别是近几年,由于生态环境的破坏,大自然对人类的惩罚越来越严重,肆虐的沙尘暴,严重的土地沙化,势如猛兽的泥石流,铺天盖地的洪水,使人类充分认识到保护环境已刻不容缓。为了从根本上遏制环境破坏,特别是控制因开发建设项目人为造成的环境破坏,国家相继制定了一系列环境保护的法律法规,加快了治理建设项目中环境保护的步伐,建设项目造价中环保投资比重进一步加大,无论是新建还是增建、扩建改造项目,环保工程均成为投资建设文件的重要内容。针对现阶段我国建设项目环保投资存在界定不统一,线性模型预测拟合度、准确性差等问题。将混沌理论应用于建设项目全生命环保投资估算,探讨提高建设项目环保投资预测水平和准确性的途径和方法。

1 国内外研究动态

混沌时序分析包括对各种动力系统的时间序列进行混沌判别及预测控制。在混沌时序建模及预测技术的研究过程中,国内外学者做了大量卓有成效的研究工作,到目前为止已经发展了许多的混沌时间序列建模和预测方法。这些预测方法大致分为全局预测法、局域预测法和非线性自适应预测法。全局预测法指对重构相空间中的所有状态点拟合出一个光滑函数作为预测模型。局域预测法不是对相空间的

收稿日期:2010-04-27

作者简介:段晓晨,男,1962年出生,博士,教授。从事工程经济与造价管理、虚拟施工管理的研究。曾主持国家自然科学基金、铁道部和河北省重大科研项目等国家和省部级项目20多项,发表论文70余篇,其中EI检索9篇。出版学术专著6部和教材2部,获国家省部级以上奖励8项。

所有状态点进行拟合,而只是选出需要预测状态点最邻近的几个状态点来拟合预测函数。自适应预测就是自适应调整某些参数来跟踪混沌的运动轨迹。国内外学者经过不懈的努力对混沌时间序列预测得到了大量的成果。Farmer 和 Sidorowich^[2]提出了状态空间重构方法预测混沌时间序列,它的性能优于传统的 AR 模型。Linsay^[3]提出了线性内插法。Navone 和 Ceccatto^[4]提出局域超平面近似法。ZhongLiu 等^[5]从理论上证明了 3 种局域预测法等价。Cao Liangyue 等^[6]提出了小波网络预测模型。Platt. J^[7]提出了资源分配网络。LiuYingwei, N. Sundararajan 等^[8]提出了组合资源分配网络和基于隐含层节点对总输出贡献的修剪策略。George G. Szpiro^[9]提出了用遗传算法快速预测混沌时间序列。由上可见混沌时间序列的预测吸引了越来越多学者的重视,许多预测方法和模型被应用在不同的领域。袁坚和肖先赐研究了混沌通信的混沌对抗。张家树和肖先赐提出了基于混沌预测的非线性自适应滤波方法^[10-11]。V. Kavitha 和 D. Naryana^[12]研究了生物医学信号的检测和压缩传输。目前,在国内将神经网络技术等非线性理论应用于建筑工程快速估算已经得到了科学验证,但是利用混沌理论进行工程项目投资预测还是一个崭新的课题。本论文尝试将混沌理论应用于建设项目环境成本的预测,试图运用基于最大 Lyapunov 指数的混沌时间序列预测理论,在技术层面上得到环保投资拟建项目工程造价预测的具体可行的实现方法。

2 建设项目环保投资组成及测算方法

2.1 环保投资概念

环境保护投资就是社会各有关投资主体从积累基金和各种补偿基金中,拿出一定的数量用于防治环境污染、维护生态平衡及与其相关联的经济活动,其目的是促进经济建设与环境保护的协调发展,使环境得到保护和改善。环保投资具有投资主体多元性、经济外部性、环境效益滞后性、投资持续性、投资效益难以用货币计量等特点。按照目前我国环保投资的一般分法,即以环境保护对象来分,环境保护投入可以分为环境污染治理投入、资源和生态环境保护投入、环境管理与科技投入三类。

2.2 建设项目环保投资

2.2.1 建设项目产生的环境问题

建设项目在施工期、运营期都引起了不容忽视的环境问题,建设项目引起的环境问题主要有生态环境问题如土地占用、植被破坏、水土流失、生物多样性减少和对景观及生态敏感区影响等,环境污染问题如声污染与震动污染、水环境污染和大气环境污染等,社会环境问题如拆迁与再安置、对基础设施的影响、对文物等资源的影响和对沿线居民的影响等。

2.2.2 建设项目环保投资分类

(1)按投入阶段划分。按照建设项目不同阶段的环保投资来分类,建设项目环保投资可以分为:建设前期的环保投资;施工期的环保投资;运营期的环保投资。

(2)按投入目的进行划分。按照建设项目不同使用目的来分类,建设项目环保投资可以分为:环境评价、设计等投入;环境污染治理投入;生态环境保护投入;社会经济保护投入;环境管理及其科技投入。

2.2.3 环保投资总体规模结构

本文以高速公路建设项目为例,分析建设项目环保投资的规模结构。对公路建设项目环保投资的规模分析,主要采用环保投资占总投资的比例和每公里环保投资额两个指标进行分析。在这里选择表 1 所示的东、中、西部不同的省市的 18 条高速公路的环保投资进行具体分析,这 18 条公路都已通过国家有关部门组织的环保验收。

由表 1 可知所选高速公路环保投资占总投资的平均值为 2.22%,平均每公里的环保投资为 92.07 万元,由于选择的分析对象是高速公路,所以这两个数据应该高于有关资料估算的新建建设项目环保投资的全国平均水平 1%。

2.2.4 公路环保投资使用结构分析

公路在建设前期、施工期和运营期的环保投资的数额存在明显的差异。根据调研资料发现,一般公路施工期环保投资要远大于建设前期和运营期环保投资,甚至部分公路不予考虑施工前环保投资,运营

期环保投资也未在可行性设计阶段加以考虑,这样势必造成后期运营中环保投资高的结果。

表 1 我国部分高速公路环保投资状况

省份	名称	里程/km	总投资/万元	环保投资/万元	环保投资占总投资比例/%	每 km 环保投资/万元
福建	福州至宁德	141.2	739 900	29 651	4.60	210.02
福建	邵三高速公路(某合同段)	12.49	16 601	516.29	3.11	41.34
浙江	金华至丽水	113.1	420 000	3 477	0.83	30.37
浙江	台缙高速	67.49	373 000	6 490.2	1.74	96.17
山东	日照至竹园	114.3	209 449	13 300	6.35	116.36
天津	津汕高速(天津段)	52.54	480 000	6 864	1.43	130.64
河北	青银线(河北段)	181.86	462 000	2 079	0.45	11.43
辽宁	阜新至盘锦	95.12	463 244	13 989.9	3.02	147.07
河南	泌阳至桐柏	36.39	176 770	1 873.76	1.06	51.49
河南	三门峡至灵宝段	70.2	205 613	3 860	1.88	55.01
吉林	通化至下排	49.6	244 906	6 808.35	2.78	137.26
湖北	武当山至许家棚段	27.7	101 200	727.9	0.72	26.29
湖北	宜都至长阳	42.45	240 412	3 005.15	1.25	70.79
甘肃	永昌至山丹	75.12	794 000	8 416.4	1.06	112.05
甘肃	清水至嘉峪关	95.5	184 400	3 245.44	1.76	33.98
广西	马江至梧州	76.16	365 900	2 122.22	0.58	27.86
陕西	榆林至靖边	118.2	181 714	20 258	11.15	171.39
陕西	宁强至棋盘关	17.95	83 254	1 049	1.26	58.44

2.3 现行环保投资测算方法

现行环保投资测算方法主要有:

(1)0.6 指数法。该方法是利用类似工程的环保投资指标来概略地估算同类型但不同规模的建设项目环保投资的方法。如已知某一高速公路的环保投资,要求另一高速公路的环保投资,用 $X^{0.6}$ 乘以已知的环保投资,即可得到另一高速公路的环保投资。用下式计算 $y_2 = y_1(x_2/x_1)^n$ 。

(2)比例估算法。这种方法是根据同类型已建项目的有关资料计算出拟建项目的各项环保投资费占总环保投资的百分比,求出各项环保投资,然后把各项环保投资相加,再加上拟建项目的其他有关环保费用即为该项目的总环保投资。计算公式为: $X = L(1 + f_1P_1 + f_2P_2 + \cdots + f_nP_n) + I$ 。

(3)综合指数估算法。这种方法是根据国家有关规定,国家或行业、地方的定额、指标和取费标准以及设备和主材价格等,来估算初始环保投资投资。目前主要是依据《建设项目环境保护管理条例》及各环评单位的相关要求来进行初步估算。

现行环保投资测算方法的主要缺陷是拟合性和准确性差,不能准确反映环保投资随机性和非线性特点。混沌分析方法具有对随机性和非线性数据高保真、高拟合性特点,本文探讨运用混沌时序分析方法解决现行环保投资测算方法存在问题,提高环保投资预测准确性。

3 建设项目环保投资混沌估算模型及验证

本文以公路建设项目中同类工程施工期环保投资为研究对象。数据来自公路建设项目工程量清单,然后将清单中数据编辑成本文分析所需要的时间序列数据。数据样本区间为 1997 年 1 月到 2006 年 12 月,一个月为采样间隔,共 120 个数据。

3.1 建设项目环保投资非线性特征的定性描述

(1)随机正态曲线拟合比较分析。文中将每公里公路工程环保投资的频数分布情况与正态随机分布曲线进行比较。图 1 为我国高速公路建设项目环保投资在去除地区差异后的频数分布图,图 1 中的曲线为拟合的正态分布曲线图。表 2 为其统计描述。从图 1 可以看到,高速公路建设项目环保投资数据呈尖峰状,且左边出现厚尾状,由此可以看出高速公路建设项目环保投资不服从随机正态分布的假定,而且具有分形分布的尖峰厚尾特征,表明高速公路建设项目环保投资序列处于非线性状态。

表 2 对数去除趋势后环保投资序列的统计描述

数据	均值	标准差	偏度	峰度
环保投资序列	0	0.938	-0.648	1.584

(2)主分量分析法(PCA 分析)。图 2 是对公路环保投资时间序列数据的 PCA 分析,选取合适的嵌入维 m 和时间滞后 τ 对时间序列进行相空间重构,得到轨线矩阵 $X_{l \times m}$,最后计算出 $\ln(\lambda_i/\gamma)$ 。这里采用的 τ 值为 3,嵌入维分别取 $d = 3, 5, \dots, 15$,对应不同的嵌入维值得到的结果分别都标绘在图上。从图 2 可以看到,公路环保投资数据的主分量图谱是向右下方倾斜的,主分量大小不相等,能量在各个主轴上的分布存在着差异,与混沌信号有着相同的主分量图谱。

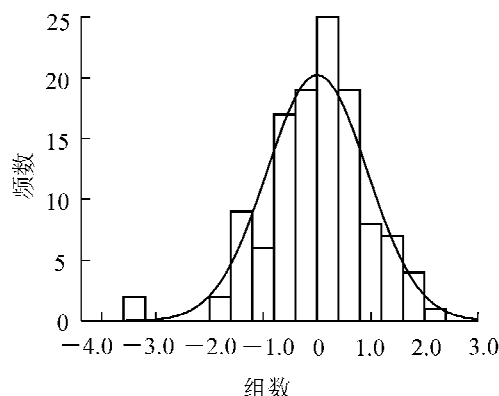


图 1 高速公路环保投资频数分布

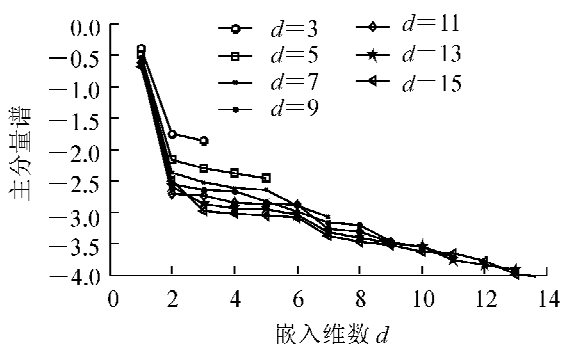


图 2 时间序列的 PCA 分析

(3)频谱分析。谱图具有这样的性质:谱图若具有单峰或几个峰,则对应于周期序列;若没有明显的峰或连成一片,则对应于非周期序列;图 3 是高速公路建设项目环保投资时间序列的功率谱分析,该图是把这些建设项目每公里环保投资直接导入 Matlab,然后通过傅里叶变换得到的。从图 3 中,可以发现高速公路建设项目环保投资时间序列对应于非周期序列,具有明显的非线性特征。

3.2 建设项目环保投资非线性特征的定量描述

3.2.1 环保投资时间序列最佳时间延迟与嵌入维的确定

(1)时间滞后 τ 的确定。本文采用自相关算法来确定时间延迟,此算法发展已经很成熟,而且,对于数据量比较少的时间序列,采用自相关算法是比较合适的。具体算法我们借助 matlab 工具,利用函数 $[\tau] = \text{AutoCorrelation}(X, \text{maxLags}, \text{IsPlot})$,计算可得时间延迟 $\tau = 3$,如图 4 所示。

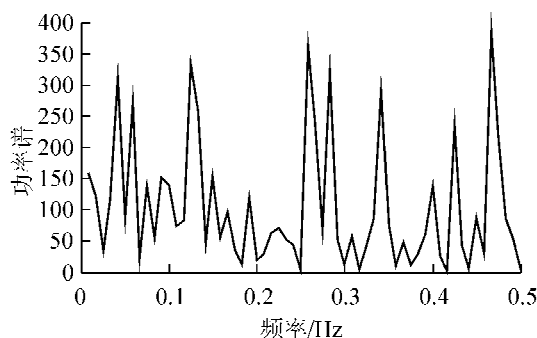


图 3 高速公路建设项目环保投资功率谱分析

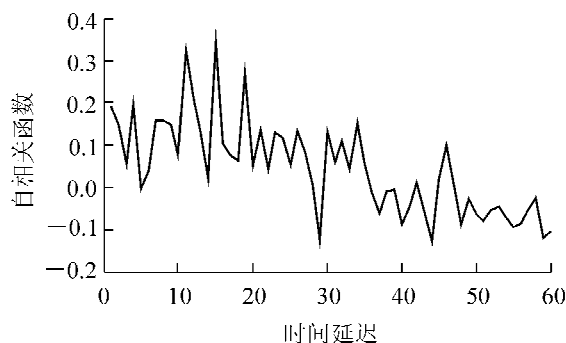


图 4 自相关算法选取时间延迟(最大延迟=60)

(2)嵌入维数的确定。本文选用计算嵌入维数的经典算法 G-P 算法。根据上面计算所得时间延迟 $\tau = 3$,取最小嵌入维数 $m_{\min}$ 为 1、最大嵌入维数 $m_{\max}$ 为 12,计算关联维(以上均由计算机编程实现)。 $\ln C(r) - \ln r$ 的关系图形见图 5,图 5 表明,不同嵌入维 m 下, $\ln C(r) - \ln r$ 曲线中,存在直线相关部分,随着嵌入维数 m 的增加, $\ln r$ 在 5.0 ~ 5.4 之间逐渐平行,即关联维达到饱和。因此公路环保投资时间序列分布具有分形的特征,并且每一条曲线中的直线段部分的斜率就是各自嵌入维所对应的关联维数,然后

由 $m \geq 2d + 1$ 确定嵌入维数 m 为 3。

3.2.2 关联维数计算

图 6 为采用不同嵌入维 m 值计算的公路环保投资时间序列关联维数 $D(m)$ 。从图 6 可以看到,环保投资时间序列的关联维在嵌入维 m 增加到 3 后便不再增加,稳定的收敛在 0.8 附近。这一结果一方面说明环保投资时间序列具有混沌性质;另一方面也说明环保投资时间序列的最佳嵌入维的选取是合理的。

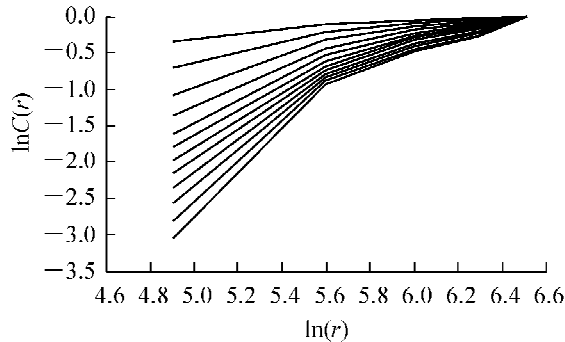


图 5 $\ln(r)$ 与 $\ln C(r)$ 的关系

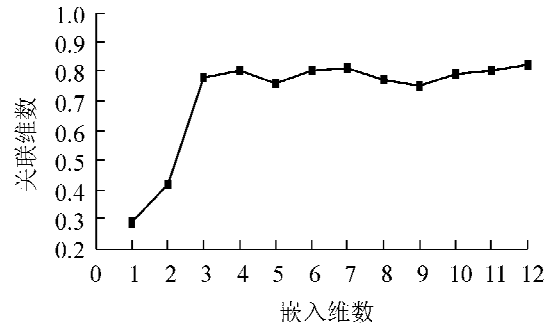


图 6 关联维随嵌入维的变化曲线

3.2.3 混沌时间序列最大 Lyapunov 指数计算

借助 matlab 工具编制函数 $y = \text{biggest_lyapunov_P1}(\text{data}, m, \text{tau})$ 的运算程序,绘制各个离散时间步 ii 与对应的 $y(ii)$ 之间的近似线性关系图,如图 7 所示。利用最小二乘法,调用 matlab 自带函数 $\text{polyfit}(x, y, n)$,取 $n = 1$,可以运算得出近似回归直线方程 $y(ii) = 0.0045 \times ii + 5.2876$ 。其中,拟合直线斜率即为时间序列 X 的最大 Lyapunov 指数 $\lambda_1 = 0.0045$,如图 7 所示。

3.3 基于最大 Lyapunov 指数的环保投资预测模型验证

由前面内容可知时间序列 X 的最大 Lyapunov 指数 $\lambda_1 = 0.0045 > 0$,该时间序列 X 为混沌时间序列,也即是建设项目环保投资预测和控制是混沌的。下面利用基于最大 Lyapunov 指数的预测模型对类似高速公路环保投资进行预测。借助 matlab 工具编制函数运算程序,计算可得建设项目环保投资预测值,与实际值进行比较见图 8,并计算出预测误差值如表 3 所示。

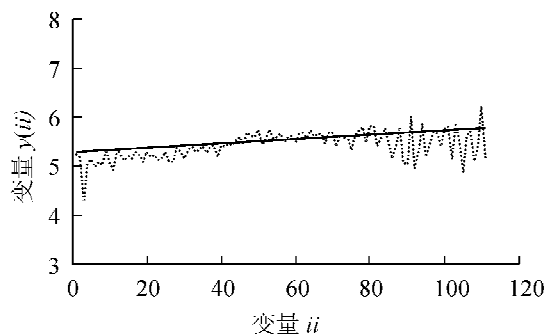


图 7 最大 Lyapunov 指数计算

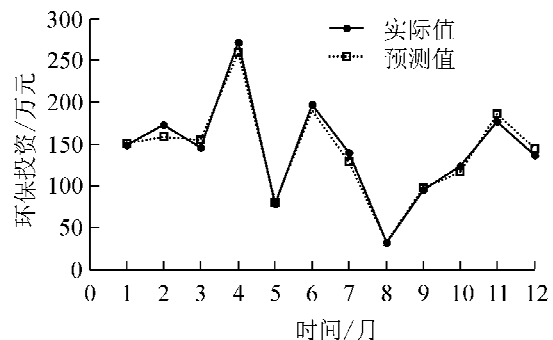


图 8 2006 年高速公路环保投资预测值与实际值比较

表 3 预测模型计算误差分析表

月份	预测值/ (万元·km ⁻¹)	实际值/ (万元·km ⁻¹)	相对 误差/%	月份	预测值/ (万元·km ⁻¹)	实际值/ (万元·km ⁻¹)	相对 误差/%
1	150.32	148.13	1.48	7	128.69	139.14	-7.51
2	158.73	172.26	-7.85	8	32.72	31.67	3.32
3	154.46	145.73	5.99	9	97.54	95.07	2.59
4	258.95	271.31	-4.56	10	116.32	123.06	-5.48
5	80.48	77.63	3.67	11	185.48	176.26	5.23
6	189.82	196.32	3.31	12	144.59	136.36	6.04

由表 3 可知,预测误差在 $\pm 10\%$ 范围之内,符合可行性研究预测误差范围,因此该预测模型合理。

4 结论

(1) 使用随机正态曲线拟合比较分析法、PCA 分析法、功率谱分析法定性的验证了建设项目环保投资时间序列具有混沌特性。

(2) 时间序列的最大 Lyapunov 指数 $\lambda = 0.0045 > 0$, 定量的证明了建设项目环保投资时间序列具有混沌特性。

(3) 建立了混沌时间序列预测模型, 预测误差在 $\pm 10\%$ 范围之内, 符合可行性研究预测误差范围, 因此该预测模型是合理的。

参 考 文 献

- [1] 王健蕾. 设计概算必须打足环保和水保的投资[J]. 铁路工程造价管理, 2000(4): 13-14.
- [2] FARMER J D, SIDOROWICH J J. Predicting chaotic time series[J]. Phys. Rev. Lett, 1987, 59(8): 845-848.
- [3] LINSAY P S. An efficient method of forecasting chaotic time series using linear interpolation[J]. Phys. Lett. A, 1991, 153(6): 353-356.
- [4] NAVONE H D, CECCATTO H A. Forecasting chaos from small data sets: a comparison of different nonlinear algorithms[J]. Phys. A: Math. Gen, 1995, 28(12): 3381-3388.
- [5] LIU ZHONG, REN XIAO-LIN, ZHU ZHI-WEN. Equivalence between different local prediction methods of chaotic time series[J]. Phys. Lett. A, 1997, 277: 37-40.
- [6] CAO LIANG-YUE, HONG YI-GUANG, FANG HAI-PING, et al. Predicting chaotic time series with wavelet networks[J]. Physica D, 1995, 85: 225-238.
- [7] PLATT J. A resource allocating network for function interpolation[J]. Neural computation, 1991, 3: 213-225.
- [8] LU YING-WEI, SUNDARAJAN N, SARATCHANDRAN P. A sequential learning scheme for function approximation using minimal radial basis function neural networks[J]. Neural computation, 1997, 9: 461-478.
- [9] GEORGE G SZPIRO. Forecasting chaotic time series with genetic algorithms[J]. Phys. Rev. E, 1997, 55(3): 2557-2567.
- [10] 张家树, 肖先赐. 混沌时间序列的 Volterra 自适应预测[J]. 物理学报, 2000, 49(3): 403-408.
- [11] 张家树, 肖先赐. 混沌时间序列的自使用高阶非线性滤波预测[J]. 物理学报, 2000, 49(7): 1221-1227.
- [12] KABITHA V, NARYANA D DUTT. Use of chaotic modeling for transmission of EEG data[J]. Proc. ICICS, 1997, 3: 1262-1265.

Research on Environmental Cost Estimation of Highway Construction Projects Based on Chaotic Theory

Duan Xiaochen, Guo Lanying, Zhang Xiaoping

(School of Economics and Management, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: This paper adopts Chaos time series to forecast environmental cost of highway construction projects in China. The data of environmental cost of some highway projects from 1997 to 2006 are analyzed. First of all, the data structure is analyzed by qualitative analysis, such as frequency, power spectral analysis and principal content analysis (PCA). Through the frequency distribution statistics, the differences have been found between environmental investment data and normally distributed random data. Nonlinear character of the time series is determined by the power spectral analysis, and the chaos character of the time series is easily illustrated by the PCA. Moreover, significantly chaotic dynamics can be further confirmed in terms of calculating the nonlinear property value of the time series. G-P algorithm is employed to determine correlation dimensions, and small data set method is employed to determine maximum Lyapunov exponents. The maximum Lyapunov exponent of the time series is positive number, which means that the environmental investment time series is in chaotic state and chaotic time series can be used to predict environmental investment of construction projects at feasibility research phase.

Key words: highway construction project; environmental investment; chaotic time series; cost estimation