

城市可持续发展的指数普适公式及评价模型

李祚泳¹,程红霞¹,邓新民¹,赵晓宏²(1. 成都信息工程学院大气电子技术研究所,成都 610041; 2. 中国环境科学研究院,北京 100012)

摘要:为了建立城市可持续发展的评价模型,分析了社会、经济和环境指标体系所具有的特征,提出了基于 GA 优化的分类单项指标的发展指数普适公式,并采用广义对比运算和层次分析法对不同层次指标赋权,建立了社会、经济和环境可协调持续发展评价模型.该模型应用于大理市的可协调持续发展评价结果表明:基于 GA 优化参数后的分类单项指标的发展指数公式和评价模型不仅简单、实用,而且具有可比性、易操作性和普适性.

关键词:可持续发展;指标体系;评价;GA 优化;协调发展

中图分类号: X11 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3301(2001)06-04-0108

An Exponential Universal Formula and Evaluation Model of Sustainable Development for Cities

Li Zuoyong¹, Cheng Hongxia¹, Deng Xinmin¹, Zhao Xiaohong²(1. Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610041, China; 2. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: In order to study an evaluation model of sustainable development for cities, analysis was performed to study the features of indicator system of community, economy and environment. Based on the genetic algorithms optimum, an exponential universal formula of single indicator was proposed. Evaluation model of sustainable development about the coordinative development of community, economy and environment was developed using weightting method combining the general contrast algorithm with analytic hierarchy process for different structure. The evaluation results of sustainable development for examples using this model showed that the exponential formula of single indicator based on parameters optimum and the evaluation model are not only simple and practical, but also comparisonable, realizable and general.

Key words: sustainable development; indicator system; evaluation; GA optimum; coordinative development

城市可持续发展评价是城市可持续发展规划的前提.近年来,国内外学者对城市可持续发展评价的指标体系和评价模型进行了不少研究^[1~5],但至今还未建立一个能被一致认可的可持续发展的评价模型.本文建立了基于遗传算法优化的分类指标的发展指数普适公式,并分别采用对比加权法和层次分析法对每类中的单项指标的发展指数和分类综合分指数加权,得出社会、经济和环境可协调持续发展综合指数公式.

1 遗传算法简介

遗传算法(genetic algorithm, GA)是基于达

尔文进化论和孟德尔遗传学的一种全局优化搜索算法,它特别适用于公式中的参数优化. GA 优化求解问题包含以下步骤:①对给定的优化问题,设立目标函数;②设置被估参数变化区间;③对被估参数进行二进制编码;④随机产生初始种群;⑤计算种群中每个个体的适应度,并进行评价;⑥被估参数父代个体的交叉;⑦被估参数子代个体的突变;⑧反复迭代,直到满足特定指标或一定遗传代数停止. GA 的原理及实

基金项目:国家“九五”重点科技攻关项目(96-911-08-03)

作者简介:李祚泳(1944~),男,硕士,教授,主要研究方向为多元分析、物元分析、人工神经网络、投影寻踪技术和遗传算法在多个领域的应用基础研究.

收稿日期:2001-02-16

现过程详见文献^[5].

2 分类指标的发展指数普适公式及综合分指数

2.1 评价指标和评价标准

社会、经济类指标和除环境质量指标外的其余生态指标,应尽量采用单位均值、百分率和增长率表示,以满足真实性、可比性、普适性、易操作性和实用性需要.环境质量指标的评价标准,应选取国家环境质量标准;社会、经济类指标和除环境质量指标以外的其余生态指标的评价标准,应结合不同发展时期的发展规划要求,或不同地域的发展水平,制订相应的级别标准.

2.2 单项指标的发展指数普适公式

社会、经济发展一般经历缓慢、快速和饱和 3 个阶段;而污染物的浓度从低到高变化对环境造成的危害程度也由较弱、迅速增强和趋于饱和的类似情况.因此,描述社会、经济和环境各类单项指标的发展程度,均可采用 S 型生长曲线指数公式来表示.若对每类中的各项指标的单位,分别选取适当的 a_j 因子进行扩大或缩小规范处理,使规范处理后同级标准的各指标的数值差异不大(一般不超过 1 个数量级),则可用 GA 将指数公式中不同指标的参数优化成公共值 a 、 b ,从而指数公式可表示为:

$$PI = \frac{1}{1 + ae^{-bx_j}} \tag{1}$$

2.3 每类指标的协调发展综合分指数

每类指标协调发展综合分指数采用下面公式计算:

$$PI(C) = \sum_{j=1}^n w_j PI_j \tag{2}$$

式中, PI_j 为由式(1)计算的 j 指标的发展指数; w_j 为 j 指标的广义对比归一化权值; n 为每类中的指标数目.考虑到将单项发展指数综合成综合分指数时,应适当增强指数 PI_j 较小的指标的作用,而适当削弱 PI_j 较大的指标的作用,宜采用按指数所属等级对比加权公式计算权值:

$$w'_j = \begin{cases} (u_j/2)^{1/2} & 0 \leq u_j < 0.5 \\ 1 - [(1 - u_j)/2]^{1/2} & 0.5 \leq u_j \leq 1 \end{cases} \tag{3}$$

对划分为 3 级标准,当 PI_j 分别属于 I、II、III 级时,分别取 u_j 为 0.3、0.5 和 0.7;当超过 III 级取 0.9.代入式(3),计算出 w'_j 分别为 0.3873、0.5、0.6127 和 0.7764.求出 w'_j 后还需归一化为 w_j .

3 层次分析加权 and 可协调持续发展综合指数

采用层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)确定社会、经济和环境之间协调发展的相对重要性,根据 AHP 判别原则,通过每 2 类之间的重要性程度比较,组成判断矩阵,求出判断矩阵的主特征值相应的主特征矢量元素的大小作为各类的权值 w_C ,从而获得社会、经济和环境可协调持续发展综合指数:

$$PI = \sum_{C=1}^3 w_C PI(C) \tag{4}$$

4 实例分析

云南省大理市“八五”期间(1991~1995 年)及 1996~1998 年的社会、经济 and 环境的 30 项指标的规范化后的数值及这 30 项指标的规范化后的 3 级分级标准值如表 1 所示.各类目标函数均构造为:

$$\min f(x) = \sum_{k=1}^3 \sum_{j=1}^n |PI_{kj}^1 - PI_k^1| \tag{5}$$

式中, PI_{kj} 为由式(1)计算得到的 j 指标的 k 级标准的指数值; PI_k 为由式 $PI_k = I_0(I_9/I_0)^{i/9}$, 计算的 k 级目标值($I_0 = 0.01$, $I_9 = 0.99$),当 $i = 4, 6, 8$ 时,得到 3 级标准相应的目标值分别为 $PI_1 = 0.077$, $PI_2 = 0.214$ 和 $PI_3 = 0.594$; n 为每类中指标数目.

分别将表 1 中各类指标的分级标准值和目标值代入式(1)和(5),用 GA 优化得出 3 级标准的社会、经济 and 环境的分类单项指标的发展指数普适公式分别为:

$$\begin{aligned} PI_j(C_1) &= \frac{1}{1 + 175.953e^{-0.1955x_j}} \\ PI_j(C_2) &= \frac{1}{1 + 200e^{-0.6354x_j}} \\ PI_j(C_3) &= \frac{1}{1 + 200e^{-0.0978x_j}} \end{aligned} \tag{6}$$

表 1 大理市的社会 经济和生态环境指标值(“八五”期间和 1996 ~ 1998 年)及其评价标准¹⁾

Table 1 Values of social , economic and ecological environment indexes in Dali City (1991 ~ 1998) as well as the assessment standards of indexes

指标 类型	指标 名称	评价标准			大理市 90 年代指标值			
		I 级	II 级	III 级	八五期间	1996	1997	1998
社会发展 指标(C ₁)	x ₁	8. 33	10	12. 5	12. 5	10. 97	13. 39	12. 26
	x ₂	9. 8	9. 95	10	9. 81	9. 96	9. 96	9. 98
	x ₃	10	15	30	9. 87	10. 95	11. 17	11. 31
	x ₄	15	20	30	16. 40	17. 20	15. 60	17. 10
	x ₅	10	15	25	8. 30	10. 40	10. 80	10. 60
	x ₆	10	25	50	7	8	8	8
	x ₇	15	30	50	24	25	25	25
	x ₈	15	30	50	5. 54	12. 09	14. 78	16. 38
	x ₉	5	15	30	1. 28	4. 15	6. 06	8. 60
经济发展 指标(C ₂)	x ₁₀	3	5	10	1. 49	2. 85	3. 34	3. 52
	x ₁₁	5	7	10	5. 14	6. 15	5. 74	7. 35
	x ₁₂	7	10	20	2. 77	5. 37	6. 44	7. 21
	x ₁₃	5	7	10	2. 48	4. 53	5. 06	5. 45
	x ₁₄	1	1. 5	3	0. 54	0. 87	1. 00	1. 03
	x ₁₅	3	5	10	2. 40	1	0. 50	1. 10
	x ₁₆	8	12	15	20	27	10	6. 50
	x ₁₇	3. 5	4. 5	6	2. 95	3. 57	3. 34	3. 47
生态环境 指标(C ₃)	x ₁₈	10	16. 67	50	28. 57	35. 71	47. 62	50
	x ₁₉	6. 67	10	20	66. 67	76. 92	55. 56	76. 92
	x ₂₀	20	33. 30	83. 30	44. 05	51. 02	83. 33	57. 80
	x ₂₁	1. 56	10	62. 50	31. 56	53. 76	52. 36	52. 63
	x ₂₂	9. 09	43. 48	200	33. 33	50	50	50
	x ₂₃	8. 30	33. 30	100	26. 32	27. 78	35. 71	26. 32
	x ₂₄	1. 43	5. 60	20	11. 76	13. 33	7. 46	7. 19
	x ₂₅	7. 50	25	80	36	34. 50	32. 20	35. 90
	x ₂₆	12. 86	20	33. 33	15. 17	23. 42	27. 40	23. 47
	x ₂₇	50	70	100	53	46. 50	52. 80	57. 70
	x ₂₈	60	80	100	45. 70	89. 60	90. 90	92. 40
	x ₂₉	50	70	100	32. 40	67. 30	79. 30	80. 20
	x ₃₀	25	35	50	33. 60	33. 70	33. 70	33. 90

1) ①为了与社会 经济评价标准的排序性质相一致,表中环境质量指标(x₁₈ ~ x₂₅)的 I 、II级评价标准是将国家的 I 、III级标准互换了;②表中的指标名称及其单位的规范计算: x₁ = 100/ 人口自然增长率(‰); x₂ = 儿童入学率(‰) · 10⁻¹; x₃ = 城市人口比例(‰); x₄ = 科技投入占 GDP 比例(‰) · 10; x₅ = 医疗卫生占 GDP 比例(‰) · 10; x₆ = 每万人中在学校大学生数(个/ 万人); x₇ = 每万人中医务人员数(个/ 万人); x₈ = 人均储蓄存款余额(百元/ 人); x₉ = 人均邮电业务量(千元/ 人); x₁₀ = 人均国民生产总值(千元/ 人); x₁₁ = 人均社会固定资产投资(百元/ 人); x₁₂ = 人均社会总产值(千元/ 人); x₁₃ 人均财政收入(百元/ 人); x₁₄ = 人均社会消费额(千元/ 人); x₁₅ = 人均外贸收购总额(千元/ 人); x₁₆ = 国民经济年增长率(‰); x₁₇ = 第三产业占 GDP 比例(‰) · 10⁻¹; x₁₈ = 1/ SO₂(mg/ m³); x₁₉ = 1/ NO_x(mg/ m³); x₂₀ = 10/ TSP(mg/ m³); x₂₁ = 100/ Chl-a(mg/ L); x₂₂ = 1/ TP(mg/ L); x₂₃ = 10/ TN(mg/ L); x₂₄ = 10/ BOD₅(mg/ L); x₂₅ = 10 · SD(m); x₂₆ = 1000/ 噪音超标率(‰); x₂₇ = 工业废水处理率(‰); x₂₈ = 工业废气处理率(‰); x₂₉ = 工业固体废弃物综合利用率(‰); x₃₀ = 森林覆盖率(‰) .

用 AHP 法对社会、经济和环境进行两两重要性比较,构成判断矩阵:

$$R = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & C_3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{matrix} & \begin{vmatrix} 1 & 4/3 & 3/4 \\ 3/4 & 1 & 1 \\ 4/3 & 1 & 1 \end{vmatrix} \end{matrix} \quad (7)$$

采用几何均值法,得出表示 3 类之间相对重要性的归一化权值分别为 $W_{C_1} = 0.3019$, $W_{C_2} = 0.3323$, 和 $W_{C_3} = 0.3658$,根据式(2)~(4)和

(6) 计算出分类指标发展指数和综合指数的分级标准及大理市“八五”期间和 1996~1998 年的分类综合分指数及综合指数见表 2.可持续发展程度与综合指数 PI 取值范围的对应关系为:极弱持续:(0, 0.1065];弱持续:(0.1065, 0.2795];基本持续:(0.2795, 0.6385];强持续:(0.6385, 1].可见,“八五”期间属弱持续发展;1996~1998 都属基本可持续发展,其中 1996、1997 两年协调程度较好,而 1998 年可持续发展程度有减弱的趋势.

表 2 分类指标发展指数和综合指数的分级标准及大理市各年分类综合分指数及综合指数

Table 2 classed standards of classified index exponentials and comprehensive exponential as well as the comprehensive partial exponentials and comprehensive exponential in Dali City

指数 类型	分级标准			大理市各年综合分指数和综合指数			
	I (弱持续)	II (基本持续)	III (强持续)	“八·五”期间	1996	1997	1998
$PI(C_1)$	0.0540	0.2612	0.6113	0.1040	0.1056	0.1155	0.1224
$PI(C_2)$	0.1350	0.3200	0.6462	0.2493	0.2764	0.2294	0.1704
$PI(C_3)$	0.1240	0.2574	0.6540	0.2495	0.4496	0.5025	0.5153
PI	0.1065	0.2795	0.6385	0.2055	0.2882	0.2950	0.2820

5 讨论与结论

(1) 分类单项指标发展指数式(6)不仅对表 1 中的分类指标是适用的,对某类中的新指标,只要该指标经适当规范处理后的各级标准值与表 1 中该类指标相应的各级标准值差异不大,由于 GA 算法具有鲁棒性,就可认为式(6)对该新指标同样适用.因此式(6)具有“广义”的普适性.

(2) 本文提出的评价模型采用了对同类指标按指数所属等级进行对比加权;对不同类指标整体,按 AHP 法确定其重要性加权,这种混合加权具有规范性和灵活性.

(3) 分类单项指标的发展指数和指标权值计算均简单、实用,易于操作;对指标数目多少没有限制,评价结果具有可比性.

(4) 若选取的指标分级标准值与表 1 中的标准值差异较大,则优化得到的参数 a 、 b 值不

同,因此,制订既能反映城市可持续发展的普遍规律,又适合国情特点的评价指标体系和评价标准还有待进一步完善.

参考文献:

1 Beghin J D, Roland Holst, D van der Mensbrugghe. Trade liberalization and the environment in the pacific basin. American Journal of Agricultural Economics, 1995, 77: 778 ~ 785.

2 Maclaren V W. Urban sustainability reporting. Journal of the American Planning Association, 1996, 62(2): 185 ~ 202.

3 陈玉成,吴晓芳,梁菁.我国城市可持续发展能力评价.重庆环境科学,1999,21(5):1~3,6.

4 李乃炜,左玉辉.南京市可持续发展评价指标体系研究.上海环境科学,1999,18(6):249~251.

5 李祚泳,沈仕伦,邓新民.社会、经济与环境协调发展指数评价模型.上海环境科学,2000,19(5):201~204.

6 周明,孙树栋编著.遗传算法原理及应用.北京:国防工业出版社,1999.1~60.

7 李祚泳,刘国东,丁晶.适用于多指标的水质指数公式.环境工程,2001,19(3):53~55.