

城市可持续发展评价方法及其应用

李 锋¹, 刘旭升², 胡 聘¹, 王如松¹

(1. 城市与区域生态国家重点实验室, 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085 2. 国家林业局调查规划设计院, 北京 100714)

摘要 城市是现代化建设的主要载体, 是国家实施科教兴国和可持续发展战略的主要基地。城市将各种社会的、经济的、环境的、文化的因素与冲突融为一体, 形成一类社会-经济-自然复合生态系统。如何实现城市的可持续发展, 是当今世界研究的重要课题之一。城市可持续发展的评价指标和方法是衡量城市生态规划、建设、管理成效的主要依据。以山东济宁市为例, 建立了济宁市可持续发展的指标体系, 包括经济发展、生态建设、环境保护和社会进步 4 类 45 项指标。采用全排列多边形综合图示法评价城市在各个不同时段的建设成效。研究结果表明, 济宁市可持续发展综合指数 2004 年为 0.24, 处于 IV 级水平, 可持续发展能力较差; 2006 年达到 0.45, 处于 III 级水平, 可持续发展能力一般; 2010 年达到 0.62, 进入 II 级水平, 可持续发展能力较好; 2020 年达到 0.84, 进入 I 级水平, 可持续发展能力优良。评价指标全面, 方法直观明了, 反映了整体大于或者小于部分之和的系统整合原理, 评价结果符合实际, 可为城市可持续发展提供参考。

关键词 : 可持续发展, 城市, 生态评价, 指标, 济宁

文章编号: 1000-0933 (2007) 11-4793-10 中图分类号: Q149 文献标识码: A

Evaluation method and its application for urban sustainable development

LI Feng¹, LIU Xu-Sheng², HU Dan¹, WANG Ru-Song¹

1 State Key Laboratory of Urban and regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 Chinese Academy of Forest Inventory and Planning, State Forestry Administration, Beijing 100714, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (11) 4793 ~ 4802.

Abstract : City is a kind of complex ecosystem, which is composed of social, economic, environmental and cultural factors. How to achieve a sustainable development is an important problem for most cities in the world. Sustainable development indexing system and the related evaluation methods can largely support urban ecological planning, construction and management. Taking the Jining city, Shandong Province as the case study, the research set up a sustainable development index system. The system consists of 45 indicators of Jining including economic development, ecological construction, environment protection and social progress. The construction effectiveness are evaluated at different urban development phases using Full Permutation Polygon Synthesis Index method. The research results indicate that the complex index of sustainable development of Jining city is 0.24 in 2004, which belongs to class IV. It will reach to 0.45 in 2007, and 0.62 in 2010, and 0.84 in 2020. Accordingly, the sustainable development ability will be improved from class IV to class I. The Full Permutation Polygon Synthesis Index method is comprehensive and straightforward. It can be a reference for decision-making of urban sustainable development.

Key Words : sustainable development; ecology; evaluation; index; Jining

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目 (70433001)

收稿日期: 2006-10-13; 修订日期: 2007-03-30

作者简介: 李锋 (1973 ~), 男, 内蒙古人, 博士, 主要从事城市与产业生态学、生态规划与管理研究。E-mail: lifeng@rcees.ac.cn

Foundation item : The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 70433001)

Received date 2006-10-13; **Accepted date** 2007-03-30

Biography LI Feng, Ph. D, mainly engaged in urban and industrial ecology, ecological planning, and management. E-mail: lifeng@rcees.ac.cn

城市是现代化建设的主要载体,是国家实施科教兴国和可持续发展战略的主要基地。城市将各种社会的、经济的、环境的、文化的和系统的冲突融为一体,形成一类社会-经济-自然复合生态系统^[1]。城市可持续发展不是经济、社会、环境和生态某个单系统的可持续发展,也不是这几个方面简单的线性相加,而是这几方面的协调发展。如何实现城市的可持续发展,是当今世界研究的重要课题之一^[2-10]。随着可持续发展战略特别是《21世纪议程》在全球范围内的贯彻实施,我国于1994年制定了《中国21世纪议程》,提出人类住区发展的目标是建设成规划布局合理、配套设施齐全、有利工作、方便生活、住区环境清洁、优美、安静、居住条件舒适的人类住区。随后一些大城市先后为贯彻实施《中国21世纪议程》做了不懈的努力。经济学、环境学、生态学、地理学等工作从不同的学科角度展开了对城市可持续发展理论与实践的研究^[11-16]。

城市可持续发展的评价指标和方法是衡量城市生态规划、建设、管理成效的主要依据。目前国内外城市可持续发展评价研究还处于起步探索阶段,评价指标和方法侧重某一方面,还没有形成一套成熟的评价指标和方法^[17-22]。一些学者从结构性、协调性、持续性等方面^[17],也有学者从经济支持、社会支持、资源环境支持、基础设施支持和管理支持等方面提出了城市可持续发展评价指标体系^[22],评价方法一般采用 Delphi 法和层次分析(AHP)法,指标权重的主观性较大。王如松等从发展状态、发展动态和发展实力3方面对扬州市可持续发展进行了评价^[24]。本文从经济发展、生态建设、环境保护和社会进步四方面提出了城市可持续发展评价指标体系,采用全排列多边形综合图示法进行了综合评价,结果比较符合实际。

1 研究区域概况

济宁市位于山东省南部,地处华东与华北、山东半岛与中原地区、长江流域与黄河流域的结合部,鲁苏豫皖四省交界带。市辖12个县、市、区,面积10684.9 km²,人口798.9万。全市气候条件优越,属暖温带大陆性季风气候区,四季分明,光照充足,年平均降水量597(820)mm。地貌以平原、洼地为主,分别占总面积的47.6%和17.3%,其他为湖泊、山地和丘陵,分别占总面积的13.7%、13.6%和7.8%。由于煤矿的开采导致了环境污染和生态破坏,急需进行生态修复。2003年,全市国内生产总值达到882.6亿元,人均国内生产总值11048元。济宁历史悠久、文化灿烂,迄今已有6000余年的开发史,是孔子、孟子、颜子、曾子、子思子五大圣人的故乡,古老的始祖文化、儒家文化、运河文化、水浒文化源远流长。

2 研究方法

2.1 城市可持续发展评价指标体系建立的原则

城市可持续发展评价指标体系要体现城市可持续发展的状态、过程和实力,反映城市经济、环境、生态和社会等方面的建设情况。建立指标体系时遵守以下基本原则^[23]:

完备性 可持续发展指标体系中,社会、经济、生态、环境、机制等方面都应该得到体现,而且应得到同样的重视,并相对的比较完备。

客观性 指标体系应当客观体现可持续发展的科学内涵,特别是要体现人们需求的系统性和代际公平性。

独立性 各项指标意义上应互相独立,避免指标之间的包容和重叠。

可测性 指标应可以定量测度,定性指标也应有一定的量化手段进行处理。

数据可获得性 要充分考虑到数据的采集和指标量化的难易程度。

动态性 指标体系中的指标对时间、空间或系统结构的变化应具有一定的灵敏度,可以反映社会的努力和重视程度、可持续发展的态势。

相对稳定性 指标体系中的指标应在相当长一个时段内具有引导和存在意义,短期问题应不予考虑。但绝对不变的指标是不可能的,指标体系将随着时间的推移和情况的改变有所变化。

2.2 全排列多边形综合图示法

设共有 n 个指标(标准化后的值),以这些指标的上限值为半径构成一个中心 n 边形,各指标值的连线构成一个不规则中心 n 边形,这个不规则中心 n 边形的顶点是 n 个指标的一个首尾相接的全排列, n 个指标总

共可以构成 $(n - 1) ! / 2$ 个不同的不规则中心 n 边形 综合指数定义为所有这些不规则多边形面积的均值与中心多边形面积的比值 [24]。

指标值标准化方法采用标准化函数：

$$F(X) = a \frac{X+b}{X+c} \quad a \neq 0, X \geq 0,$$

$F(X)$ 满足：

$$F(X)|_{X=L} = -1, F(X)|_{X=T} = 0, F(X)|_{X=U} = +1,$$

式中 U 为指标 X 的上限 L 为指标 X 的下限 T 为指标 X 的阈值。根据上面 3 个条件, 可得：

$$F(x) = \frac{(U-L)(U-T)}{(U+L-2T)X + UT + LT - 2LU}$$

$F(x)$ 特点 可以证明, 当 $x \in [L, U]$ 时 $F(X)$ 有如下性质：

- (1) $F(X)$ 有意义, 即在定义区间无奇异值；
- (2) $F'(X) \geq 0$, 即 $F(X)$ 单调, $F(X)$ 可逆；
- (3) 当 $X = (U+L)/2$ 时, $F'(X) = 0$, 这时 $F(X)$ 线性；
- (4) 当 $x \in (T, U]$ 时, $F''(X) > 0$ ；
- (5) 当 $x \in [L, T)$ 时, $F''(X) < 0$ ；
- (6) 当 $X = T$ 时, $F'''(X) = 0$ ；

由 $F(X)$ 性质可知 标准化函数 $F(X)$ 把位于区间 $[L, U]$ 的指标值压缩到 $[-1, +1]$ 区间。且压缩后的值改变了指标的增长速度, 当指标值位于阈值以下时, 标准化后指标增长速度逐渐降低; 当指标位于阈值以上时, 标准化后指标增长速度逐渐增加, 即指标由没有标准化以前的沿 X 轴的线性增长变为标准化后的由快 - 慢 - 快的非线性增长。

指标标准化计算公式为：

$$S_i = \frac{(U_i - L_i)(X_i - T_i)}{(U_i + L_i - 2 \cdot T_i)X_i + U_i \cdot T_i + L_i \cdot T_i - 2 \cdot U_i \cdot L_i}$$

利用 n 个指标可以作出一个中心正 n 边形 n 边形的 n 个顶点为 $S_i = 1$ 时的值, 中心点为 $S_i = -1$ 时的值, 中心点到顶点的线段为各指标标准化值所在区间, 而 $S_i = 0 (X_i = T)$ 时构成的多边形为指标的临界区。临界区的内部区域表示各指标的标准化值在临界值以下, 其值为负; 外部区域表示各指标的标准化值在临界值以上, 其值为正 (图 1)。

从这个多边形示意图上既可以看出各单项指标的大小及其与最大、最小和临界值的差距和随时间的变化动态, 又可以从各指标两两组成的 $\frac{n(n-1)}{2}$ 个三角形计算其综合指标值。

n 个指标可以构成的以多边形中心为顶点的不同的三角形个数为：

$$n(n-1)/2$$

其面积之和为：

$$0.5 \sin\left(\frac{\pi}{n}\right) \sum_{i \neq j} (S_i + 1)(S_j + 1)$$

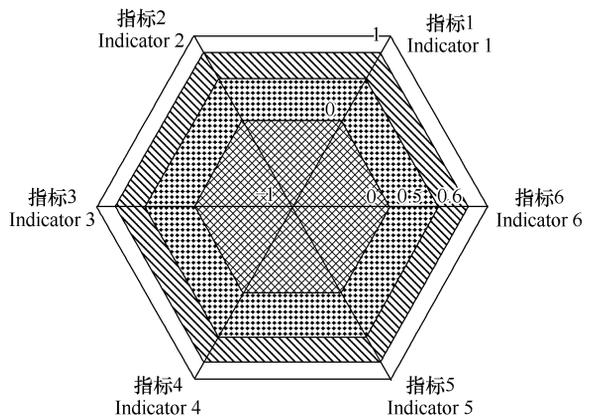


图 1 全排列多边形综合图示法示意图

Fig. 1 Full Permutation Polygon Synthesis Illustration method

式中 S_i 为分项指标 i 的值 $S_i + 1$ 为第 i 个指标到中心的长度 (指标的标准化区间为 $[-1, +1]$)。

$(n - 1)!$ / 2 个指标共有 $n \cdot (n - 1)!$ / 2 = $n!$ / 2 个三角形, 总面积为:

$$0.5 \sin\left(\frac{\pi}{n}\right) \sum_{i \neq j} (S_i + 1)(S_j + 1) \cdot \frac{n!}{2 \cdot n(n-1)}$$

而相应的 $(n - 1)!$ / 2 个规则中心多边形的面积为 (多边形的边长为 2):

$$0.5 \cdot 4 \cdot n \cdot \frac{(n-1)!}{2}$$

二者比值即为全排列多边形综合指数:

$$S = \frac{\sum_{i \neq j} (S_i + 1)(S_j + 1)}{2 \cdot n \cdot (n - 1)}$$

式中 S 为综合指标。同样可以将综合指标标准化再计算以 S 为次级指标的更上一级指标值。

3 济宁城市可持续发展评价指标体系的构建与结果分析

3.1 济宁城市可持续发展评价指标体系

参考各种统计年鉴、公报等相关资料数据及国家和国际上相应指标的标准和规范, 确定指标的临界值和上下限值, 并设计出一个 4 级分级标准 (表 1)。

国家环保总局颁布的《生态市建设指标》包括经济发展、环境保护和社会进步 3 类 28 项指标, 本文的指标体系参考国家环保总局对生态市建设的标准要求, 结合山东省和济宁市的实际情况, 增加了 13 个指标 (国土 GDP 产出率、环保投入占 GDP 的比例、城市建成区绿化覆盖率、矿区生态环境恢复治理率、湿地面积比例、生态县比例、农村污水排放达标率、化肥施用强度、规模化畜禽养殖场粪便综合利用率、工业废水排放达标率、人均受教育年限、每万人拥有的中专中技及以上人数和人均期望寿命), 制定了济宁城市可持续发展的指标体系, 包括经济发展、生态建设、环境保护和社会进步 4 类 45 个指标, 并结合当地的“十五”、“十一五”计划和“市长任期目标责任书”, 在与当地政府、计委等各有关部门反复协调的基础上, 制定了 2007、2010 年和 2020 年不同发展阶段的规划值, 比较符合实际情况 (表 2)。

表 1 城市可持续发展能力分级标准

Table 2 Classification criterion of urban sustainable development ability

等级 Grade	指数值 Value	定性评价 Qualitative evaluation
I	>0.75	能力优良 Excellent
II	0.5 ~ 0.75	能力较好 Better
III	0.25 ~ 0.5	能力一般 General
IV	<0.25	能力较差 Bad

3.2 结果分析

采用全排列多边形综合图示法对指标进行标准化处理, 按照不同的规划阶段, 对济宁市可持续发展能力从经济发展、生态建设、环境保护和社会进步 4 个方面进行评价, 最后进行综合评价 (图 2、图 3、图 4、图 5、图 6、表 3)。

据综合评价结果可知:

经济发展 目前济宁市的经济发展指数较低, 仅为 0.10, 处于 IV 级水平, 主要原因是人均国内生产总值、人均财政收入、农民人均纯收入和国土 GDP 产出率较低, 但第三产业占 GDP 的比例较高。经济发展指数随着规划时段的推移逐渐增长, 到 2007 年经济发展指数将达到 0.26, 进入 III 级水平, 到 2010 年达到 0.51, 进入 II 级水平, 到 2020 年将达到 0.80, 处于 I 级良好水平。总体来说, 济宁市只有抓住机遇, 实现资源开发性产业向静脉产业、物流产业、阳光产业、文化产业和旅游产业的生态转型, 经济发展还是有很大的发展潜力 (图 2)。

接表 2

接表2续表

生态建设 目前济宁市的生态建设指数较低,仅为 0.17,处于Ⅳ级水平,主要原因是矿区生态环境恢复治理率、退化土地恢复率、城镇人均公共绿地面积和森林覆盖率较低。生态建设指数随着规划时段的推移逐渐增长,到 2006 年生态建设指数将达到 0.35,达到Ⅲ级水平,到 2010 年将达到 0.58,处于Ⅱ级水平;到 2020 年将达到 0.88,达到Ⅰ级良好水平。总体来说,济宁市只有搞好采煤塌陷区和退化土地的恢复治理,提高绿色空间的的比例和它的服务功能,建设多功能的复合生态功能区,生态建设才能不断推向前进(图 3)。

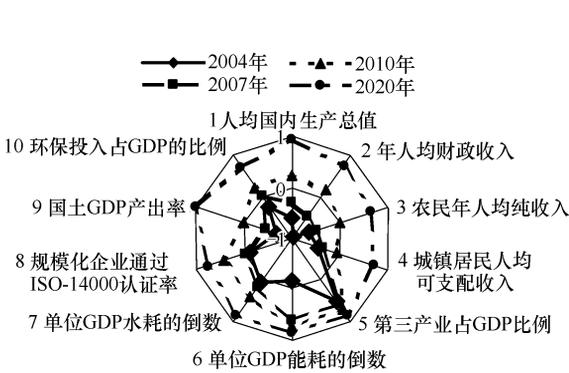


图 2 济宁市经济发展综合评价

Fig. 2 Comprehensive evaluation of economic development of Jining city

1 GDP per capita ; 2 Average annual revenue per capita ; 3 Average annual income per farmer ; 4 Average annual income per urban resident ; 5 Ratio of service industry to GDP unit ; 6 Energy consumption per GDP unit ; 7 Water consumption per GDP unit ; 8 Ratio of ISO- 14000 qualified company ; 9 GDP per km² land ; 10 Ratio of environmental investment to GDP

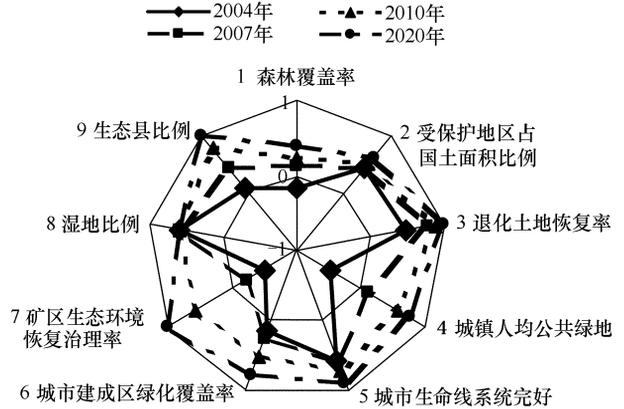


图 3 济宁市生态建设综合评价

Fig. 3 Comprehensive evaluation of ecological construction of Jining city

1 Forest coverage ; 2 Ratio of protected area to total area ; 3 Ratio of restoration land to degradation land ; 4 Public urban green space per person ; 5 Ratio of qualified infrastructure ; 6 Green coverage in urban built-up area ; 7 Ratio of restored land in mining area ; 8 Ratio of wetlands ; 9 Ratio of eco-counties

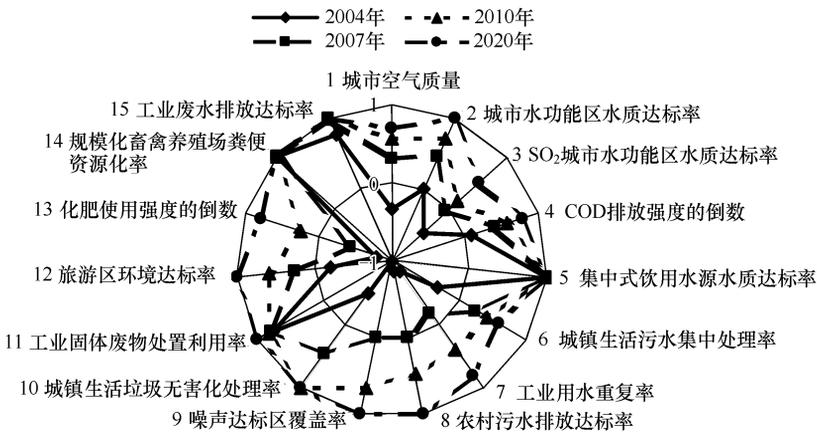


图 4 济宁市环境保护综合评价

Fig. 4 Comprehensive evaluation of environment protection of Jining city

1 Urban air quality ; 2 Water environment quality ; 3 SO₂ discharging intensity ; 4 COD discharging intensity ; 5 Ratio of qualified urban drinking water supply ; 6 Ratio of centralized treatment of urban sewage ; 7 Ratio of industrial water recycling ; 8 Ratio of qualified rural sewage discharging ; 9 Noise environment ; 10 Ratio of innocuous treatment of urban living wastes ; 11 Ratio of treatment and reuse of industrial solid wastes ; 12 Ratio of environment satisfaction of tourism site ; 13 Chemical fertilizer using intensity ; 14 Ratio of treatment of livestock wastes ; 15 Ratio of qualified discharging of industrial sewage

环境保护 目前济宁市的环境保护指数为 0.19,处于Ⅳ级水平,主要原因是城镇生活污水集中处理率、

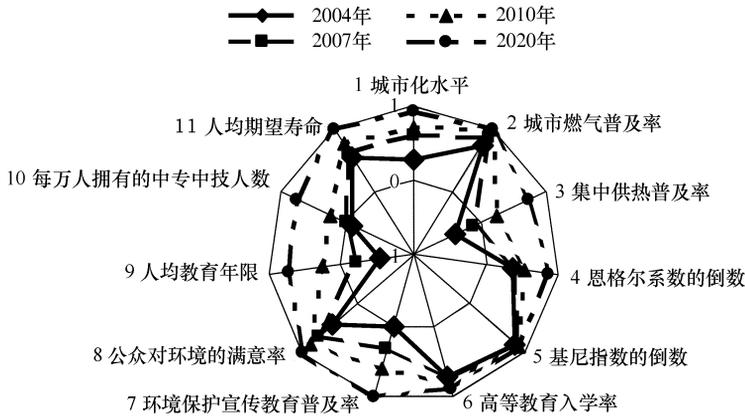


图 5 济宁市社会进步综合评价

Fig. 5 Comprehensive evaluation of social progress of Jining city

1 Urbanization level ; 2 Ratio of natural gas use ; 3 Ratio of urban centralized heating ; 4 Engle's coefficient ; 5 Gini coefficient ; 6 Ratio of high school graduate entering in university/college ; 7 Ratio of propaganda popularization of environment education ; 8 Ratio of peoples satisfied with their environment ; 9 Citizens' average education years ; 10 People graduated from technical and high school and above per 10000 people ; 11 Average life expectancy

农村污水排放达标率、工业用水重复率、城镇生活垃圾无害化处理率、SO₂ 排放强度和城市空气质量较低,但规模化畜禽养殖场粪便资源化率、工业固体废物处置利用率和工业废水排放达标率较高。环境保护指数随着规划时段的推移逐渐增长,到 2006 年经济发展指数将达到 0.48,处于 III 级水平,但接近 II 级水平;到 2010 年将达到 0.69,处于 II 级水平;到 2020 年将达到 0.94,达到 I 级良好水平。总体来说,与生态市建设的经济发展、生态建设和社会进步相比,济宁市在环境保护方面做了大量很有成效的工作,已奠定了较好的基础,在未来有较大的发展潜力和较高的增长指数,但还要抓好南四湖等水体的防污治污和都市区空气质量的改善等工作(图 4)。

社会进步 目前济宁市的社会进步指数一般,为 0.33,处于 III 级水平,主要原因是高等教育入学率、城市气化率和人均期望寿命较高,但人均受教育年限和每万人拥有的中专中技人数较低。

社会进步指数随着规划时段的推移逐渐增长,到 2006 年社会进步指数达到 0.48,将处于 III 级水平,但接近 II 级水平;到 2010 年将达到 0.64,处于 II 级水平;到 2020 年将达到 0.86,达到 I 级良好水平。总体来说,济宁市在社会进步方面有较好的基础,以后发展有较大的潜力。在未来要提高人均受教育年限,以提高人口素质,多培养中专中技人员以及生态建设和管理人员,同时要应对由于人口年龄结构变化而带来的问题和挑战,加强市民环境知识普及和参与率(图 5)。

可持续发展综合能力 目前济宁市可持续发展综合指数为 0.24,处于 IV 级水平,发展能力较弱,主要原因是经济发展和生态建设方面较差,但环境保护和社会进步方面较好。济宁市经济发展基础薄弱、生态建设起点低、环境欠债多且要求高、特别是南水北调工程对区域水质的要求高。由于生态城市建设的开展,2006 年综合指数达到 0.45,处于 III 级水平,可持续发展能力一般;2010 年达到 0.62,进入 II 级水平,可持续发展能

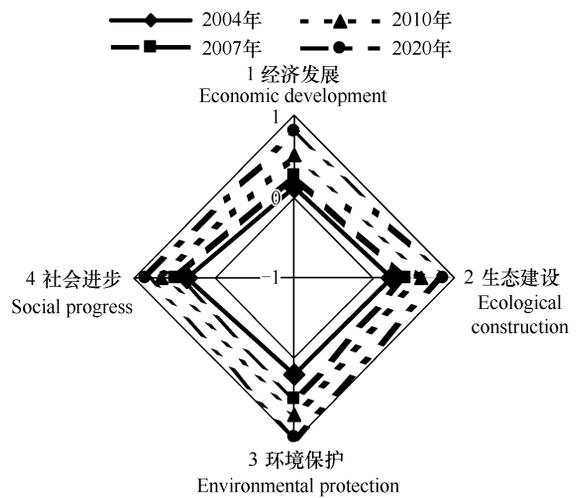


图 6 济宁城市可持续发展综合评价

Fig. 6 Comprehensive evaluation of Jining urban sustainable development

力较好,2020 年达到 0.84,进入 I 级水平,可持续发展能力优良。但离理想状态尚有 16% 的差距,说明济宁市的可持续发展任重道远,需要长时间持续不断的努力和积累(图 6、表 3)。

表 3 济宁城市建设各阶段可持续发展能力综合评价

Table 3 Comprehensive evaluation of Jining urban sustainable development ability

指标 Index	2004		2010		2015		2020	
	指数 Value	等级 Grade						
经济发展 Economic development	0.10	IV	0.26	III	0.51	II	0.80	I
生态建设 Ecological construction	0.17	IV	0.35	III	0.58	II	0.88	I
环境保护 Environmental protection	0.19	IV	0.48	III	0.69	II	0.94	I
社会进步 Social progress	0.33	III	0.48	III	0.64	II	0.86	I
综合指数 Comprehensive index	0.24	IV	0.45	III	0.62	II	0.84	I

4 讨论

本文提出的全排列多边形综合图示法既有单项指标又有综合指标,既有几何直观图示,又有代数解析数值,既有静态指标,又有动态趋势;与传统简单加权法相比,不用专家主观评判确定系数的大小,只要参考相关阈值确定与决策相关的上限、下限和临界参考值即可,减少了主观随意性。综合方法改传统加法为多维乘法,反映了整体大于或小于部分之和的系统整合原理。

济宁城市可持续发展指标体系在不同发展阶段的规划值是和当地政府及有关部门多次讨论和交流的结果,能比较真实地反映济宁城市的建设情况,评价结果符合实际。由于每一大类指标由许多相互联系的具体指标构成,而且经过处理之后的指标值是相对值,所以缺少或增加某一指标对综合评价影响不大,在不同城市应用时可以根据实际情况和特色可以增加或减少几个指标,但绝大多数指标是相同的,因此可以比较不同城市的可持续发展能力。

城市的可持续发展是一个长期、艰巨的任务,本研究的 3 个时段只是城市可持续发展的初级阶段。必需经过至少半个世纪的不懈努力才能全面实现可持续发展的宏伟蓝图,使济宁市社会、经济和环境综合实力接近可持续发展的理想水平。城市可持续发展是一项创新性的系统工程,必须统一规划,分阶段、科学地制定目标,合理地安排各项建设任务,制定切实可行的保障措施确保城市各项建设指标的实现。

References :

- [1] Ma S J, Wang R S. Social-economic-natural complex ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, 1984, 4 (1): 1-9.
- [2] Pauleit S, Ennos R, Golding Y. Modeling the environmental impacts of urban land use and land cover change — a study in Merseyside, UK. *Landscape And Urban Planning*, 2005, 71: 295-310.
- [3] Wang R S. The Frontiers of Urban Ecological Research In Industrial Transformation. *Acta Ecologica Sinica* 2000 20 (5) 830-840.
- [4] Wang R S, Wang X R, Hu D, et al. Eco-services of urban survival and development. Beijing: China Meteorological Press, 2004.
- [5] Wang, R S, Chi J, Ouyang Z Y. Eco-integration approaches for middle and small sized cities' and towns' sustainable development. Beijing: China Meteorological Press, 2001.
- [6] Li F, Wang R S, Paulussen J, et al. Comprehensive concept planning of urban greening based on ecological principles: a case study in Beijing, China. *Landscape And Urban Planning*, 2005, 72: 325-336.
- [7] Li F, Wang R S, Liu X S, et al. Urban forest in china: development patterns, influencing factors and research prospects. *The International Journal of Sustainable Development And World Ecology*, 2005, 12: 197-204.
- [8] Costi P, Minciardi R, Robba M, et al. An environmentally sustainable decision model for urban solid waste management. *Waste Management*, 2004, 24: 277-295.

- [9] Colville R N , Kaur S , Britter R , *et al.* Sustainable development of urban transport systems and human exposure to air pollution. *Science of The Total Environment* 2004 , 334-335 : 481 — 487.
- [10] Timmer V , Seymoar N K , The livable city. *The International Centre For Sustainable Cities* , 2005.
- [11] Repetti A , Desthieux G. A relational indicator set model for urban land-use planning and management : methodological approach and application in two case studies. *Landscape And Urban Planning* , 2006 , 77 : 196 — 215.
- [12] Haughton G. Developing sustainable urban development models. *Cities* , 1997 , 14 (4) : 189 — 195.
- [13] Nichol J , Wong M S. Modeling urban environmental quality in a tropical city. *Landscape and Urban Planning* , 2005 , 73 : 49 — 58.
- [14] Riley J. Indicator quality for assessment of impact of multidisciplinary systems. *Agriculture , Ecosystems and Environment* , 2001 , 87 : 121 — 128.
- [15] Cheng J Q , Turkstra J , Peng M J , *et al.* Urban land administration and planning in China : opportunities and constraints of spatial data models. *Land Use Policy* , 2006 , 23 : 604 — 616.
- [16] Button K. City management and urban environmental indicators. *Ecological Economics* , 2002 , 40 : 217 — 233.
- [17] Li Z Y , Le W. Sub-index and comprehensive index of urban sustainable development. *Urban Environment and Urban Ecology* , 2002 , 15 (2) : 34 — 36.
- [18] Holden M. Urban indicators and the integrative ideals of cities. *Cities* , 2006 , 23 (3) : 170 — 183.
- [19] Zhang J J , Xu X Q , Advances of chinese urban sustainable development. *Areal Research and Development* , 1999 , 18 (1) : 22 — 26.
- [20] Su Z M , Lin B Y. Quantitative analysis on urban sustainable development degree and its phase states. *Areal Research and Development* , 2006 , 25 (1) : 10 — 12.
- [21] Huang S L , Wong J H , Chen T C. A framework of indicator system for measuring taipei's urban sustainability. *Landscape and Urban Planning* , 1998 , 42 : 15 — 27.
- [22] Li Z G , Liu C Y , Tang X L. Indicator system and integrated evaluation for urban sustainable development of tianshui city. *Planner* , 2005 , 21 (11) : 94 — 97.
- [23] Zhang Y , Yang Z F , Yu X Y. Measurement and evaluation of interactions in complex urban ecosystem. *Ecological Modeling* , 2006 , 196 : 77 — 89.
- [24] Wang R S , Xu H X. A comprehensive approach for Yangzhou eco-city development. Beijing : China Science and Technology Press , 2005.

参考文献 :

- [1] 马世骏,王如松. 社会-经济-自然复合生态系统. *生态学报* , 1984 , 4 (1) : 1 ~ 9.
- [3] 王如松. 转型期城市生态学前沿研究进展. *生态学报* 2000 20 (5) : 830 ~ 840.
- [4] 王如松,王祥荣,胡聃,等. 城市生存与发展的生态服务功能研究. 北京 : 气象出版社 2004.
- [5] 王如松,迟计,欧阳志云. 中小城镇可持续发展的生态整合方法. 北京 : 气象出版社 2001.
- [17] 李祚泳,乐为. 城市可持续发展评价的分指数及综合指数公式. *城市环境与城市生态* , 2002 , 15 (2) : 34 ~ 36.
- [19] 张俊军,许学强. 中国城市可持续发展研究进展. *地域研究与开发* , 1999 , 18 (1) : 22 ~ 26.
- [20] 苏振民,林炳耀. 城市可持续发展度及其相态的量化分析. *地域研究与开发* , 2006 25 (1) : 10 ~ 12.
- [22] 李志刚,刘传玉,唐相龙. 天水城市可持续发展指标体系及综合评价. *规划师* , 2005 , 21 (11) : 94 ~ 97.
- [24] 王如松,徐洪喜. 扬州生态市建设规划方法研究. 北京 : 中国科学技术出版社 2005.

表2 济宁市可持续发展评价指标体系

Table 2 Evaluation index system of Jining urban sustainable development

一级指标 1 st level indicator	二级指标 2 nd level indicator	三级指标 3 rd level indicator	参考值 Reference value	现状值 Status value 2004	生态市建设各阶段规划值 Planning value of each year			
					2007	2010	2020	
城市可持续发展综合能力 Comprehensive ability of urban sustainable development	1 经济发展 Economic development	1 人均国内生产总值 (元)	≥33000	13700	18000	25000	55000	
		2 年人均财政收入 (元)	≥5000	674	1000	2500	5000	
		3 农民年人均纯收入 (元)	≥11000	3648	4000	6000	11000	
		4 城镇居民年人均可支配收入 (元)	24000	10254	10600	13000	24000	
		5 第三产业占 GDP 比例 (%)	≥45	34.6	40	45	55	
		6 单位 GDP 能耗 (t 标煤/万元)	≤1.4	2.68	1.3	1.0	0.5	
		7 单位 GDP 水耗 (m ³ /万元)	≤150	240	180	150	50	
		8 规模化企业通过 ISO14000 认证比率 (%)	≥20	3.8	4.9	10	20	
		* 9 国土 GDP 产出率 (万元/km ²)	5000	826	1200	2000	5000	
		* 10 环保投入占 GDP 的比例 (%)	8	1.31	1.7	2.1	3.0	
	2 生态建设 Ecological construction	11 森林覆盖率 (%)	≥19	17	23	24	27	
		12 受保护地区面积占国土面积比例 (%)	≥17	16.3	17.7	18	20	
		13 退化土地恢复率 (%)	≥90	34.5	49.1	70	100	
		14 城镇人均公共绿地面积 (m ²)	≥11	3.54	8	15	20	
		15 城市生命系统完好率 (%)	≥80	84	86	90	95	
		* 16 城市建成区绿化覆盖率 (%)	≥45	33	37.5	40	45	
		* 17 矿区生态环境恢复治理率 (%)	100	34	48	85	100	
		* 18 湿地面积比例 (%)	-	18.2	18.2	18.2	18.2	
		* 19 生态县比例 (%)	80	0	20	50	80	
		3 环境保护 Environmental protection	20 空气质量 (好于或等于 2 级标准的天数/a)	≥280	161	240	280	340
	21 城市水功能区水质达标率 (%)			100,且城市 无超 4 类水体	60,城市 水体超 5 类	80,且城市 无超 4 类水体	90,且城市 无超 3 类水体	100,且城市 无超 3 类水体
	22 SO ₂ 排放强度 (kg/万元 GDP)		<5.0	16.6	8.8	7.0	5.0	
	23 COD 排放强度 (kg/万元 GDP)		<5.0	7.3	3.7	3.5	2.5	
	24 集中式饮用水源水质达标率 (%)		100	100	100	100	100	
	25 城镇生活污水集中处理率 (%)		≥70	33.3	65	70	80	
	26 工业用水重复率 (%)	≥50	3.3	23	50	80		

续表

一级指标 1 st level indicator	二级指标 2 nd level indicator	三级指标 3 rd level indicator	参考值 Reference value	现状值 Status value 2004	生态市建设各阶段规划值 Planning value of each year		
					2007	2010	2020
		* 27 农村污水排放达标率 (%)	-	10	60	80	100
		28 噪声达标区覆盖率 (%)	≥95		80	95	100
		29 城镇生活垃圾无害化处理率 (%)	100	34	80	100	100
		30 工业固体废物处置利用率 (%)	≥80	92	95	95	100
		31 旅游区环境达标率 (%)	100	60	80	90	100
		* 32 化肥施用强度 (千克/hm ²)	300	884	420	400	300
		* 33 规模化畜禽养殖场粪便综合利用率 (%)	100	27	100	100	100
		* 34 工业废水排放达标率 (%)	100	97	100	100	100
	4 社会进步 Social progress	35 城市化水平 (%)	≥55	38	50	55	65
		36 城市燃气普及率 (%)	≥92	91	96	100	100
		37 集中供热普及率 (%)	80	32	45	60	80
		38 恩格尔系数 (%)	<40	39	38	35	30
		39 基尼系数	0.3 ~ 0.4	0.32	0.31	0.3	0.3
		40 高等教育入学率 (%)	≥30	70	75	80	85
		41 环境保护宣传教育普及率 (%)	>85	60	75	85	100
		42 公众对环境的满意率 (%)	>90	80	90	95	100
		* 43 人均受教育年限 (a)	14	6.5	8	10	12
		* 44 每万人拥有的中专中技及以上人数 (Person)	-	324	360	420	600
		* 45 人均期望寿命 (a)	90	74	75	77	80

不带“*”者是国家生态市建议指标,带“*”者是结合山东省和济宁市实际情况增加的指标。The indicators without * are demanded by The State Environmental Protection Bureau of China; The indicators with * are added according to the status of Shandong Province and Jining city; 1 GDP per capita; 2 Average annual revenue per capita; 3 Average annual income per farmer; 4 Average annual income per urban resident; 5 Ratio of service industry to GDP unit; 6 Energy consumption per GDP unit; 7 Water consumption per GDP unit; 8 Ratio of ISO-14000 qualified company; 9 GDP per km² land; 10 Ratio of environmental investment to GDP; 11 Forest coverage; 12 Ratio of protected area to total area; 13 Ratio of restoration land to degradation land; 14 Public urban green space per person; 15 Ratio of qualified infrastructure; 16 Green coverage in urban built-up area; 17 Ratio of restored land in mining area; 18 Ratio of wetlands; 19 Ratio of eco-counties; 20 Urban air quality; 21 Water environment quality; 22 SO₂ discharging intensity; 23 COD discharging intensity; 24 Ratio of qualified urban drinking water supply; 25 Ratio of centralized treatment of urban sewage; 26 Ratio of industrial water recycling; 27 Ratio of qualified rural sewage discharging; 28 Noise environment; 29 Ratio of innocuous treatment of urban living wastes; 30 Ratio of treatment and reuse of industrial solid wastes; 31 Ratio of environment satisfaction of tourism site; 32 Chemical fertilizer using intensity; 33 Ratio of treatment of livestock wastes; 34 Ratio of qualified discharging of industrial sewage; 35 Urbanization level; 36 Ratio of natural gas use; 37 Ratio of urban centralized heating; 38 Engle's coefficient; 39 Gini coefficient; 40 Ratio of high school graduate entering in university/college; 41 Ratio of propaganda popularization of environment education; 42 Ratio of peoples satisfied with their environment; 43 Citizens' average education years; 44 People graduated from technical and high school and above per 10000 people; 45 Average life expectancy