

刘贝贝,何守阳. 岩溶山区城镇化进程与资源环境耦合协调关系的演变特征——以贵阳市为例[J]. 江苏农业科学,2018,46(13):288-294.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.13.067

岩溶山区城镇化进程与资源环境耦合 协调关系的演变特征 ——以贵阳市为例

刘贝贝¹, 何守阳^{1,2}

(1. 贵州大学国土资源部喀斯特环境与地质灾害重点实验室, 贵州贵阳 550025; 2. 贵州大学资源与环境工程学院, 贵州贵阳 550025)

摘要:采用灰色关联度模型及耦合协调模型分析了贵州省贵阳市城镇化进程与资源环境系统及其两者耦合协调关系的演变特征。结果表明,城镇化水平逐年提升,城镇化的资源支撑需求以及环境风险持续增加;城镇化与资源环境的关联度在 0.54~0.68 之间,处于中度较强关联状态;整体耦合度介于 0.37~0.50 之间,处于拮抗阶段;耦合协调度介于 0.31~0.62 之间,呈现由低度协调向高度协调的转变特征。城镇化进程中的行政区划、产业结构以及政策调整等是两者耦合协调关系的致变因素。

关键词:岩溶山区;城镇化;资源环境;关联度;耦合协调度

中图分类号: X22 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)13-0288-07

城镇化是伴随工业化发展,非农产业在城镇集聚、农村人口向城镇集中的自然历史过程,是人类社会发展的客观趋势,是国家现代化的重要标志,这一现代化必由之路很大程度上取决于城镇化区域的资源环境基础。城镇化进程中的城市规模扩张、人口数量集聚增加、产业结构调整与优化引起的水土资源需求量增加加剧了人-地、人-水关系的矛盾;与此同时城镇化进程中的土地利用变化、资源消耗、废物排放等引起的环境污染也影响了城镇化发展的质量,进而影响国家的现代化进程。资源环境是城镇化发展的空间载体,两者存在着既相互支撑又彼此制约的协作协调关系,局部地区城镇化进程所面临的资源环境问题已经凸显^[1-3],两者关系是否协调已成为影响城镇发展水平质量与速度以及健康可持续发展的关键因素,如何认识、理顺和构建两者之间健康和可持续的耦合协调关系已成为城市管理者、研究者和城市居民关注的焦点。

国外有关城镇化与资源环境关系的研究起步较早,在城镇化与水资源^[4-7]、土地资源^[8-9]、生态环境^[10-12]等之间的关系研究方面较为集中。Grossman 等早在 1995 年就提出著名的环境库兹涅兹曲线(environment kuznets curve, EKC),并通过对 42 个国家的面板数据分析发现随着城镇化水平的不断提高,生态环境质量存在倒“U”形的演变规律^[10];Meinzen-Dick 等分析了水资源对城镇发展的约束作用,水资

源量的供给和水污染物的处理对人类生活 and 环境质量产生较大影响,在城镇化进程中应加强水质监测、废水处理、水污染防治,并提高公民的水资源保护意识^[4];Wakode 等以印度海得拉巴城市为例,采用 GIS 技术分析了城镇化对地下水资源的影响,城镇化进程中人类活动改变了地下水的自然补给方式,地下水资源量受到影响^[6];Jantz 等利用土地覆盖图,结合城镇化进程中的土地利用变化情况,对 1990—2000 年美国切萨皮克湾流域土地资源流失数据进行了测算与分析,分析结果显示随着城镇化的快速发展,土地利用类型发生转变,大量的林地、农田、湿地等自然资源被用于商业用地和住宅用地^[8];Portnov 等通过对巴勒斯坦南部内盖夫地区城镇化进程的研究,认为城镇化可以更有效地缓解生态环境压力^[12]。

国内学者关于城镇化与资源环境耦合协调关系的研究在城镇化与资源环境^[13-14]、城镇化与生态环境^[15-18]、社会经济与资源环境^[19-21]等方面集中开展。Li 等采用耦合协调度模型(CCDM)对 2000—2008 年中国连云港地区的城镇化与资源环境耦合协调程度的动态变化进行了研究,结果表明在快速城镇化进程中,城镇化与环境的耦合协调动态呈“U”形曲线^[22];赵安周等分别通过构建城镇化与资源环境的数量模型、遥感及 GIS 技术与 VAR 模型对城镇化与资源环境的动态关系及耦合作用机制进行了实证研究,研究结果均表明城镇化发展对资源环境产生胁迫作用,所产生的资源环境问题反过来对城镇化发展产生约束效应^[23-24];段东平对城镇化与资源环境的相互效应进行了研究,研究结果显示城镇化与资源环境耦合协调程度在 2002—2003 年处于良好协调阶段,其余年份处于优质协调状态,且水土资源不足于对西安的城镇化进程构成约束^[25];张引等采用耦合分析法开展了重庆市新型城镇化质量与生态环境承载力耦合协调度的时间序列特征及空间分异规律研究,提出以提高资源开发利用效率、转移产业等方式增强城镇化发展动力和生态环境承载力^[15];方创琳等对中国特大城市群的城镇化与生态环境耦合关系进行了研

收稿日期:2018-3-15

基金项目:国家自然科学基金(编号:41763019);贵州省自然科学基金(编号:黔科合 JZ 字[2014]2006 号);贵州省一流学科建设项目(编号:GNYL[2017]007);贵州省重点学科建设项目(编号:黔学位合字 ZDXK[2016]11 号)。

作者简介:刘贝贝(1992—),女,河北邯郸人,硕士研究生,研究方向为城镇化与资源环境。Tel:(0851)84735885;E-mail:bellaliubb@163.com。

通信作者:何守阳,博士,副教授,研究方向为岩溶地下水与环境。E-mail:syhe@gzu.edu.cn。

究,并提出关于特大城市群的研究将成为未来近 10 年的趋势^[26];刘耀彬等通过构建耦合度模型对徐州市近 10 年城市化与生态环境的耦合度进行分析,选用人工神经网络中应用最为普遍的 BP 反馈模型来预测耦合度动态变化情况,并对耦合度值的类型进行划分^[27];易武英等以贵阳市为例,运用模糊集对模型并结合耦合协调模型对喀斯特城市的社会经济与水资源协调关系进行了实证探索,结果显示社会经济与自然资源的耦合作用整体处于拮抗阶段^[20];赵文亮等运用耦合协调度模型对中原经济区经济-社会-资源环境的耦合协调关系进行了评价,研究结果表明中原经济区的社会经济与资源环境的耦合作用一直处于拮抗阶段,系统的耦合协调度整体呈稳步上升状态,其空间分异的主导因素是社会经济,资源环境对其影响不大^[28]。

受到自然和区位条件、国家和地方政策以及区域经济增长差异等多重因素影响,城镇化路径与模式在时间和空间上具有显著的区域性、阶段性和差异性特征,城镇化进程与资源环境耦合协调关系也随之呈现动态递演特征。当前我国岩溶山区的城镇化已经步入快速发展和转型的关键时期,理清城镇化进程与资源环境的相互制约及耦合协调关系,是岩溶山区城市可持续发展的关键基础。本研究以贵州省贵阳市为例,利用熵值法、灰色关联度分析和耦合协调模型等分析方法从长时间尺度上对岩溶山区城镇化进程与资源环境的耦合机理与协调关系进行量化分析,以期识别与揭示两者的耦合协调关系及其演变特征和规律,理清相互制约的耦合关系,为促进岩溶山区城市良性发展和管理、城镇化方案制定与优化调整提供一定参考价值。

1 研究方法

1.1 数据来源及处理

本研究数据主要来源于历年的《贵阳年鉴》《贵阳统计年鉴》《中国城市统计年鉴》《中国环境年鉴》《中国环境统计年鉴》《贵阳市水资源公报》《贵阳市环境状况公报》及《贵阳市国民经济与社会发展统计公报》等。为消除量纲和数量级不同带来的影响,对原始数据进行标准化处理,将其转化为 0 与 1 之间的无量纲数据,标准化处理公式如下:

正向指标(指标越大越好):

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_j)}{\max(X_j) - \min(X_j)} \quad (1)$$

负向指标(指标越小越好):

$$X'_{ij} = \frac{\max(X_j) - X_{ij}}{\max(X_j) - \min(X_j)} \quad (2)$$

式中: X'_{ij} 表示第 i 年第 j 项评价指标的值, $\max(X_j)$ 和 $\min(X_j)$ 分别表示所有年份中第 j 项评价指标的最大值和最小值。

对综合指标体系进行评价过程中,需要对每一个元素变量进行权重赋值,指标的权重直接反映了该指标对所在系统的重要性。为避免引入决策者的主观判断,文献常采用熵值法对数据进行权重计算^[23]。计算步骤如下:

计算第 i 年第 j 项指标的权重:

$$Y_{ij} = X'_{ij} / \sum_{i=1}^m X'_{ij} \quad (3)$$

计算第 j 项指标的熵值:

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m Y_{ij} \ln Y_{ij}, \text{其中 } k = \frac{1}{\ln m} \quad (4)$$

计算第 j 项指标的冗余度:

$$D_j = 1 - E_j \quad (5)$$

计算第 j 项指标的权重:

$$W_j = D_j / \sum_{j=1}^n D_j \quad (6)$$

式中: m 为评价年数, n 为评价指标数。

1.2 评价方法

本研究运用灰色关联度模型、耦合协调模型对贵阳市城镇化与资源环境的耦合关系进行计算与评价。

1.2.1 综合指数计算 在评价指标的标准化值及权重值基础上,对贵阳市的城镇化系统及资源环境系统的综合评价指数进行计算,公式如下:

$$U_i = \sum_{j=1}^n W_j \times X'_{ij} \quad (7)$$

式中: U_i 表示第 i 个被评价对象的综合水平得分。

1.2.2 灰色关联度分析 灰色关联度主要分析 2 个元素或多个系统之间的关系。为分析城镇化与资源环境的相互关联程度,采用数理统计的灰色关联度模型,通过比较灰色关联度的大小,对贵阳市城镇化与资源环境两系统之间的关系进行评价,计算方法:

$$\zeta_i(j)(t) = \frac{\min_i \min_j |Z_i^X(t) - Z_j^Y(t)| + \rho \max_i \max_j |Z_i^X(t) - Z_j^Y(t)|}{|Z_i^X(t) - Z_j^Y(t)| + \rho \max_i \max_j |Z_i^X(t) - Z_j^Y(t)|}; \quad (8)$$

$$\gamma_{ij} = \frac{1}{k} \sum_{t=1}^k \zeta_i(j)(t) \quad (9)$$

式中: $\zeta_i(j)(t)$ 为 t 时刻的关联系数, $Z_i^X(t)$ 、 $Z_j^Y(t)$ 分别为 t 时刻城镇化系统、资源环境系统中各指标的标准化值, ρ 为分辨系数, $\rho \in [0, 1]$,通常取 $\rho = 0.5$ 。由于指标较多,为便于比较,采用关联系数的平均值 γ_{ij} 来反映两系统间的复杂关系以及时序变化规律, k 为样本数。当 $\gamma_{ij} = 1$ 时,表明两系统间的关系密切;当 $0 < \gamma_{ij} < 1$ 时, γ_{ij} 值越大表明两系统间的关系越紧密, γ_{ij} 值越小表明两系统间关联性越弱。关联系数的划分标准如表 1 所示。

表 1 关联度的划分标准

γ_{ij} 的大小	系统之间的关系
$0 < \gamma_{ij} \leq 0.35$	表明两系统之间的关联度为弱相关
$0.35 < \gamma_{ij} \leq 0.65$	表明两系统之间的关联度为中度相关
$0.65 < \gamma_{ij} \leq 0.85$	表明两系统之间的关联度为较强相关
$0.85 < \gamma_{ij} \leq 1$	表明两系统之间的关联度为极强相关

1.2.3 耦合度及耦合协调度计算 城镇化进程与资源环境耦合协调关系是典型的 2 个(或 2 个以上)系统或运动通过各种相互作用而彼此影响的现象。借鉴物理学中的容量耦合概念及容量耦合系数模型,采用耦合度模型来计算城镇化与资源环境系统的耦合度^[27],计算公式如下:

$$C = \left[\frac{U_1 U_2}{(U_1 + U_2)^2} \right]^{1/2} \quad (10)$$

式中: C 为耦合度, $C \in [0, 1]$ 。一般将其划分为低水平耦合阶段、拮抗阶段、磨合阶段、高水平耦合阶段来反映城镇化与资源环境耦合的程度。当 $C = 0$ 时,城镇化与资源环境两系统间处于无关状态;当 $C = 1$ 时,系统耦合度达到最大值; C 值

越大,说明城镇化与资源环境的耦合程度越高,反之越低。 U_1 、 U_2 分别表示城镇化系统、资源环境系统的综合指数。

耦合协调度可用来评价城镇化系统与资源环境系统的协调发展水平,采用耦合协调度模型^[29]来计算两系统间的协调发展程度,其计算公式为

$$D = \sqrt{CT}; \tag{11}$$

$$T = \alpha U_1 + \beta U_2。 \tag{12}$$

式中: D 为耦合协调度; T 为城镇化与资源环境系统的综合调和指数; α 、 β 为待定系数,由于城镇化系统与资源环境系统同等重要,因此取 $\alpha = \beta = 1/2$ 。对耦合度及耦合协调度进行等级划分^[27],如表 2 所示。

表 2 耦合度及耦合协调度划分标准

耦合度	耦合度划分标准	耦合协调度	耦合协调度划分标准
$C = 0$	系统之间处于无关状态	$0 < D \leq 0.4$	低度协调的耦合
$0 < C \leq 0.3$	低水平耦合阶段	$0.4 < D \leq 0.5$	中度协调的耦合
$0.3 < C \leq 0.5$	拮抗阶段	$0.5 < D \leq 0.8$	高度协调的耦合
$0.5 < C \leq 0.8$	磨合阶段	$0.8 < D < 1$	极度协调的耦合
$0.8 < C \leq 1$	高水平耦合阶段		
$C = 1$	良性共振耦合且趋向新的有序结构		

表 3 贵阳市城镇化与资源环境综合指标体系及权重(1990—2015 年)

系统层	一级指标层	二级指标层	指标性质	权重
城镇化综合水平	人口城镇化	非农业人口比重(%)	正向指标	0.08
		第三产业就业人口比重(%)	正向指标	0.05
		全市人口密度(人/km ²)	正向指标	0.05
	经济城镇化	人均 GDP 总值(元)	正向指标	0.10
		人均地方财政收入(元)	正向指标	0.11
		城镇常住居民人均可支配收入(元)	正向指标	0.07
		第三产业与第二产业值比(%)	正向指标	0.05
		每万人大学生在人数(人)	正向指标	0.10
	社会城镇化	城市居民人均消费性支出(元)	正向指标	0.06
		每万人拥有医生数(人)	正向指标	0.07
		人均道路面积(m ² /人)	正向指标	0.05
	土地城镇化	建成区面积(km ²)	正向指标	0.13
		建成区绿化覆盖率(%)	正向指标	0.03
		人均公共绿地面积(m ² /人)	正向指标	0.04
资源环境综合水平	资源支撑	全年供水总量(万 t)	正向指标	0.03
		全年用电总量(万 kW·h)	正向指标	0.12
		年末实有耕地面积(khm ²)	正向指标	0.14
		森林覆盖率(%)	正向指标	0.11
		工业废水排放量(万 t)	负向指标	0.09
	环境压力	工业废气排放量(亿 m ³)	负向指标	0.08
		工业固体废弃物产生量(万 t)	负向指标	0.12
	环境保护	工业废水达标排放率(%)	正向指标	0.10
		工业固体废弃物综合利用率(%)	正向指标	0.06
		生活垃圾清运量(万 t)	正向指标	0.15

城镇化系统中,人均地方财政收入和建成区面积的权重值较大,且均超过 0.10;建成区绿化覆盖率、人均公共绿地面积的权重值低于 0.05;其他评价指标的权重值介于 0.05 ~ 0.10 之间。资源环境系统中,生活垃圾清运量、年末实有耕地面积、全年用电总量、工业固体废物产生量和森林覆盖率的权重值超过 0.10,全年供水总量的权重值低于 0.05,其他评价指标的权重值均介于 0.05 ~ 0.10 之间。其中权重值相对较大的评价指标为影响力较大的因素,也是城镇化与资源环境耦合协调关系演变的重要影响因子。

1.3 指标体系的构建

城镇化与资源环境之间存在着动态耦合的关系,从城镇化与资源环境的内涵出发,遵循可操作性、科学性、层次性、数据可得性等原则^[30],并参考已有研究成果^[23,31-34],结合研究区城镇化与资源环境特征与实际情况,从人口、社会、经济、土地 4 个方面选取 14 个指标构建城镇化指标体系,以反映贵阳市城镇化综合发展水平。从资源支撑、环境压力 and 环境保护 3 个方面选取 10 个指标构建资源环境指标体系,以反映贵阳市资源承载力情况、人类活动对周围环境的影响及人类在污染治理及环境保护方面的努力,并根据熵值法计算得出贵阳市近 30 年来城镇化与资源环境综合指标相应的权重(表 3)。

根据公式(7)至公式(12)的计算,得到贵阳市 1990—2015 年城镇化与资源环境耦合协调度水平以及两系统间的关联度,如表 4 所示。

2 城镇化进程与资源环境演变特征分析

城镇化与资源环境之间存在着复杂又密切的联系,两者相互影响又相互制约。在城镇化水平不断提高的过程中,资源环境综合指数也会发生相应的变化,而资源环境亦可反过来制约城镇化的发展。

表 4 贵阳市城镇化与资源环境关联度及耦合协调度 (1990—2015 年)

年份	城镇化综合 指数 U_1	资源环境 综合指数 U_2	两子系统间 关联度 γ_{ij}	耦合度 C	耦合 协调度 D
1990	0.20	0.47	0.60	0.46	0.39
1991	0.19	0.51	0.55	0.45	0.40
1992	0.18	0.53	0.54	0.43	0.39
1993	0.16	0.54	0.54	0.42	0.39
1994	0.17	0.48	0.57	0.44	0.38
1995	0.17	0.53	0.55	0.43	0.39
1996	0.09	0.45	0.58	0.37	0.31
1997	0.12	0.55	0.54	0.38	0.36
1998	0.14	0.42	0.60	0.43	0.35
1999	0.16	0.50	0.57	0.43	0.37
2000	0.18	0.48	0.62	0.44	0.38
2001	0.20	0.48	0.63	0.46	0.39
2002	0.23	0.45	0.67	0.47	0.40
2003	0.30	0.46	0.68	0.49	0.43
2004	0.28	0.48	0.64	0.48	0.43
2005	0.34	0.46	0.66	0.49	0.44
2006	0.36	0.47	0.67	0.50	0.45
2007	0.39	0.49	0.64	0.50	0.47
2008	0.42	0.51	0.64	0.50	0.48
2009	0.46	0.55	0.63	0.50	0.50
2010	0.52	0.57	0.61	0.50	0.52
2011	0.57	0.59	0.59	0.50	0.54
2012	0.65	0.58	0.57	0.50	0.56
2013	0.68	0.62	0.61	0.50	0.57
2014	0.82	0.67	0.66	0.50	0.61
2015	0.86	0.70	0.67	0.50	0.62

2.1 城镇化发展特征

贵阳市常住人口城镇化率由 1990 年的 43.91% 增加到 2015 年的 73.25%, 近 30 年城镇化水平提升了 29.34%, 依据诺瑟姆曲线^[35], 1990—2012 年贵阳市城镇化发展处于加速阶段, 2012 年城镇化率突破 70%, 进入城镇化发展的后期阶段, 如表 5 所示。

表 5 贵阳市城镇化率演变 (1990—2015 年)

年份	城镇化率 (%)
1990	43.91
2000	61.17
2010	68.13
2012	70.53
2015	73.25

注: 数据资料来源于贵阳市第四次人口普查资料、贵阳市第五次人口普查资料、《贵阳年鉴》。

由图 1 可知, 总体来看, 贵阳市近 30 年城镇化系统综合指数整体呈上升趋势, 城镇化综合指数从 1990 年的 0.20 上升到 2015 年的 0.86, 人口、经济、社会 and 土地城镇化水平均得到了大幅度的提升。人口城镇化指数从 0.07 增加到 0.12, 城镇人口从 1990 年的 175.43 万人增加到 2015 年的 338.55 万人; 第三产业就业人口比重从 23.86% 增加到 49.42%; 全市人口密度从 354.92 人/km² 增加到 574.61 人/km²; 非农业人口比重由 66.51% 增加到 1995 年的 68.26%, 1996 年降低到研究时期内的最低值 43.63%, 于 2015 年增加到 49.34%。经济城镇化指数代表了贵阳市的经济发展水平, 呈逐年递增趋势, 且增长速率逐年加快, 由 1990

年的 0.002 增至 2015 年的 0.32, 增长了 159 倍; 人均 GDP 总值由 2 155 元增加到 63 003 元, 增加了 60 848 元, 增长了 28.24 倍; 人均地方财政收入由 445.13 元增加到 15 649.67 元; 城镇常住居民人均可支配收入由 1 558 元增加到 27 241 元; 经济结构不断调整优化, 第一产业比重略有下降, 第二产业比重大幅下降, 第三产业比重则快速上升, 一二三产业在国民经济中的比重进一步优化, 由 1990 年的 10.29 : 58.09 : 31.62 不断优化调整为 2015 年的 4.49 : 38.34 : 57.17。社会发展水平不断提高, 社会城镇化指数从 1990 年的 0.08 提高到 2015 年度的 0.25, 每万人大学生在校人数由 67.87 人增加到 940.65 人, 城市居民人均消费性支出由 1 361.00 元增加到 22 532.00 元, 每万人拥有医生数由 46.00 人降低到 1996 年贵阳市行政区划调整后的 23.69 人, 后增加到 2015 年的 31.33 人, 人均道路面积由 1990 年的 1.20 m²/人增加到 2015 年的 7.81 m²/人。土地城镇化指数由 0.05 增加到 0.16, 其中城市建成区面积由最初的 85 km² 扩张到 2015 年的 299 km², 扩张了约 2.52 倍; 建成区绿化覆盖率从 29.40% 增加到 38.57%; 人均公共绿地面积从 1990 年的 15.80 m² 减少到 1996 年贵阳市行政区划调整后的 8.20 m², 后逐渐增加到 2015 年的 10.95 m²。上述各指标数据来源于《中国城市统计年鉴 (1991—2016 年)》《贵阳年鉴 (1991—2016 年)》《贵阳统计年鉴 (1999—2016 年)》。

以 1996 年为时间节点, 1996 年前贵阳市城镇化综合指数保持在 0.18 左右, 1996 年因贵阳市出现行政区划调整, 城镇化综合指数突降至 0.09, 城镇化系统中的人口、经济、社会和土地城镇化指数均受到行政区划调整的影响 (图 1)。1996 年之前, 贵阳市城镇化发展以人口和社会城镇化为主, 人口和经济城镇化水平逐年递增; 社会和土地城镇化呈现波动下降趋势, 1996 年土地城镇化降至历史最低水平。1996 年行政区划调整后贵阳市城镇化综合指数逐年增加, 由 1996 年的 0.09 增加到 2003 年的 0.30, 增长了 2 倍之多, 这期间贵阳市的人口、经济、社会和土地的城镇化指数均出现逐年增长的态势, 且以基本相同的速度增长, 表明贵阳市的城镇化处于齐头并进的快速发展态势。2003—2012 年期间, 贵阳市在人口、经济、社会和土地城镇化方面处于快速发展阶段, 上述指标均出现快速增长特征, 其中经济城镇化水平提升速度最快, 其次为社会城镇化, 人口、经济和社会城镇化水平均高于土地城镇化水平。2012 年贵阳市城镇化率超过 70%, 进入城镇化后期发展阶段, 城镇化综合指数由 2012 年度的 0.65 跃增至 2015 年的 0.86, 经济城镇化水平在城镇化系统中处于主导地位, 说明经济的快速发展对贵阳市城镇化进程的加快贡献较大并起到主导作用, 其次为社会和土地城镇化, 而人口城镇化明显滞后于上述 3 个指标。从贵阳市近 30 年城市发展来看, 城镇化过程中的政策调整对城镇化发展具有明显的影响特征, 如人口、产业结构以及行政区划等政策调整均会对城镇化水平产生制约和影响, 可见城镇化发展相关政策的制定、实施及不断优化是一个城市发展水平不断提升的关键。

2.2 资源消耗与环境演变特征

资源环境是城镇化的基础支撑, 采用资源环境综合指数表征贵阳市城镇化进程的资源环境变化。由图 2 可知, 近 30 年来贵阳市资源环境综合评价指数总体呈波动提升的趋势,

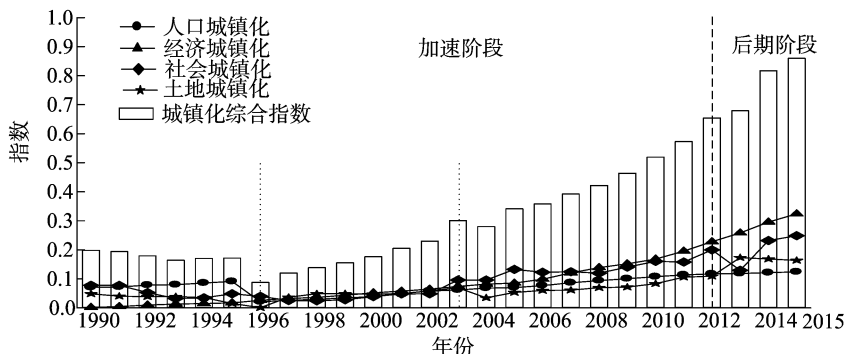


图1 贵阳市城镇化综合指数演变过程(1990—2015年)

资源环境综合指数从1990年的0.47提升到2015年的0.70。其中资源支撑指数从1990年的0.14增加到2015年的0.36，表明贵阳市城镇化进程中资源需求与消耗日益增长，全年供水总量从14 289.00万t增加到29 634.00万t；全年用电总量从404 812.20万kW·h增加到2 398 500.00万kW·h；年末实有耕地面积由早期的109 km²降到最低的95.59 km²，整体呈减少的趋势；而森林覆盖率则从14.50%增加到45.50%，增长了约2.14倍。环境保护指数由1990年的0.09增长到2015年的0.26，增长了1.89倍，表示城镇化过程中的污染治理及环境保护能力与水平逐步提升，其中工业废水达标排放率由58.36%增加到98.30%；工业固体废物综合利用率从43.26%增加到48.15%；生活垃圾清运量从51.90万t增加到111.88万t。而环境压力指数为负向指标，指数越小表示环境压力越大，贵阳市近30年环境压力指数从1990年的0.25降低到2015年的0.08，表明城镇化进程中存在环境压力的风险，城镇化进程中的污染排放量逐渐增加，其中工业固体废弃物排放量从115.00万t增加到1 200.95万t，增长了近10倍；工业废气排放量从438.00亿m³增加到2 321.94亿m³。上述各指标数据来源于《中国城市统计年鉴(1991—2016年)》《中国环境年鉴(1991—2016年)》《贵阳年鉴(1991—2016年)》《贵阳市环境状况公报(2000—2015年)》《贵阳市水资源公报(2002—2015年)》。

贵阳市城镇化进程中资源支撑、环境压力 and 环境保护及其所构成的资源环境系统呈现阶段性特征(图2)。1990—1995年资源环境综合指数波动上升阶段，从1990年的0.47增长到1995年的0.53，整体呈现上升趋势；资源支撑与环境保护水平逐渐上升，分别从0.14增长到0.22和0.09增长到0.11；而负向指标环境压力指数缓慢下降，从0.25下降到0.20，表明城镇化中的环境压力趋增。1995—2005年为水平波动阶段，资源环境综合指数从1995年的0.53波动下降到2005年的0.46，整体呈波动下降趋势，期间的行政区划调整政策以及资源利用方式变化可能是资源环境指数经历2次大波动的原因；但环境保护指数持续增加，从0.11增加到0.13，而环境压力指数从0.20下降到0.16，城镇化进程中的环境压力持续增加。2005—2012年为稳步上升阶段，在该阶段资源环境综合指数从2005年的0.46逐年上升到2012年的0.58；资源支撑指数与环境保护指数增加，分别由2005年的0.17增加到0.24和0.13增加到0.25；而环境压力指数波动下降，从0.16下降到0.10，压力趋增。2012—2015年为快速上升阶段，资源环境综合指数从2012年的0.58增长到2015年的0.70，而资源支撑指数明显快速提升，从0.24增长到0.36，城镇化的快速增长以资源的快速消耗为支撑；环境压力指数依然保持下降趋势，从0.10下降到0.08，城镇化进程中的环境风险持续增加。

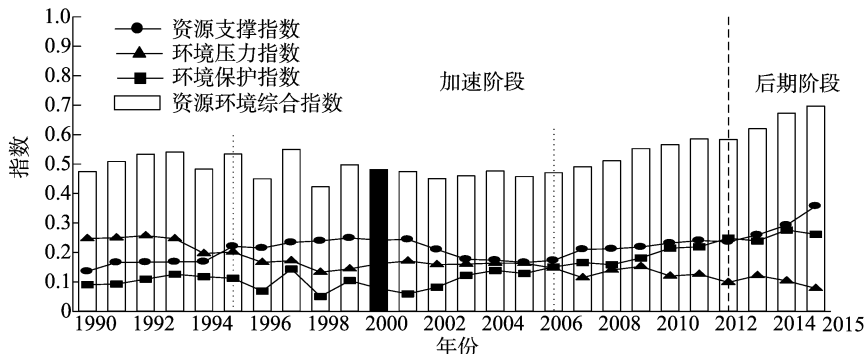


图2 贵阳市资源环境综合指数演变过程(1990—2015年)

3 耦合协调关系及其演变分析

城镇化系统与资源环境系统各要素之间存在着错综复杂的关系，系统之间也存在着较为复杂的耦合作用，两者相互关联、相互耦合。

3.1 关联性分析

由城镇化系统与资源环境系统各指标间灰色关联度计算

结果可知，两者关联度介于0.54~0.68之间，城镇化进程中的关联度呈现阶段性特征(图3)。1990—2001年间关联度在0.54~0.63之间，两者中度关联，其中，1990—1993年期间关联度有所下降，从0.60下降到的0.54，而1994—2001年城镇化与资源环境关联度逐渐提升，两者关联性不断加强。2002—2008年两者在中度—较强相关之间波动，2008年后关联度指数出现下降特征，两者回到中度关联状态。在关联度

演变过程中,关联度越高,城镇化综合指数与资源环境综合指数演变规律趋于相似。2003—2012 年期间关联度呈波动下降阶段,城镇化进程加快,城镇化指数的增长速度快于资源环境指数的增长速度,相关性由较强相关退为中度相关。2012 年城镇化发展进入后期阶段,城镇化综合指数与资源环境综

合指数均呈快速上升态势,且演变规律趋于相似,关联度快速上升并从 2012 年的 0.57 增长到 2015 年的 0.67,由中度相关向较强相关迈进。因此,在追求城镇化快速发展的同时,应注重资源环境质量的提高。

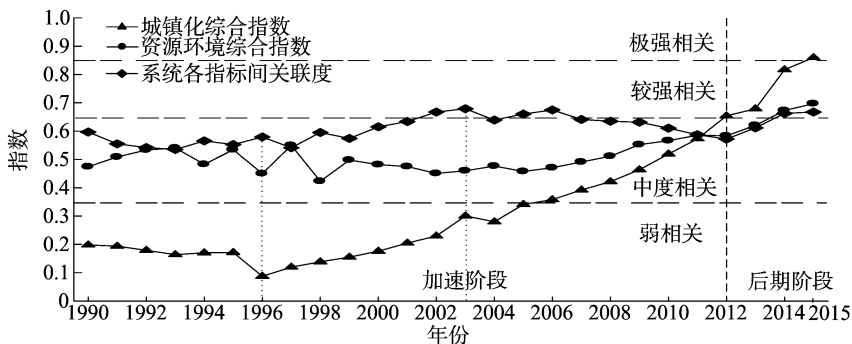


图3 贵阳市城镇化与资源环境系统关联度的时序变化(1990—2015年)

3.2 系统耦合度的时序演变分析

1990—2015 年共计 26 年期间,贵阳市城镇化与资源环境的耦合度值介于 0.37~0.50 之间,耦合度总体上呈上升趋势,耦合状态由拮抗向磨合阶段演变,当前处于拮抗-磨合过渡阶段。整个耦合度时序演变曲线呈先下降、后上升态势,总体划分为缓慢下降(1990—1996 年)、快速上升(1996—2006 年)、停滞不前(2006—2015 年)3 个阶段(图 4)。

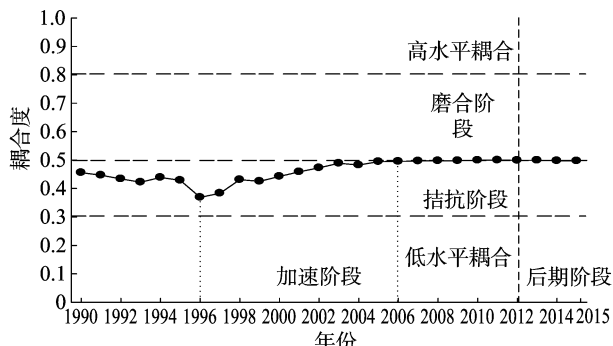


图4 贵阳市城镇化与资源环境的耦合度演变(1990—2015年)

1990—1996 年期间,贵阳市城镇化与资源环境系统的耦合度呈缓慢下降状态,早期城镇化以粗放的资源消耗和经济发展模式为主,其变化幅度由最初的 0.46 波动下降到 1996 年的 0.37,1996 年系统间耦合度大幅下降,出现历史最低值,与城镇化综合指数的演变趋势基本相似。1996 年贵阳市行政区划调整导致辖区面积增加,人口基数增大,致使城镇化水平发生显著变化,进而影响城镇化与资源环境的耦合关系。1996 年之后耦合度呈快速上升趋势,从 1996 年的 0.37 持续升高到 2006 年的 0.50,城镇化与资源环境耦合度达到历史最高值,与这期间贵阳市实施的循环经济建设密切相关,两者耦合度逐渐趋于磨合阶段。2006—2015 年耦合度值基本维持在 0.50 左右,说明贵阳市城镇化与资源环境的耦合度在向磨合阶段过渡。近 30 年来贵阳市城镇发展模式以粗放型为主,以资源开发为主,且对资源环境具有较大的影响,城镇化发展对资源的依赖性较大,因此在贵阳市城镇化发展过程中,协调好与资源环境的任务较为艰巨。

3.3 系统耦合协调度的时序演变分析

1990—2015 年的近 30 年里,贵阳市城镇化与资源环境系统的耦合协调状态不断优化,整体上呈上升趋势,耦合协调度从 1990 年的 0.39 增长到 2015 年的 0.62,城镇化与资源环境耦合协调关系呈良性发展趋势(图 5),说明贵阳市城镇化与资源环境的耦合协调程度处于中高度水平,城镇化的发展模式与资源环境之间的相互影响较大。

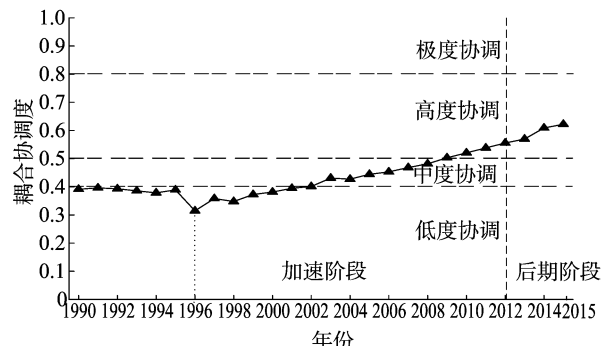


图5 贵阳市城镇化与资源环境的耦合协调度演变(1990—2015年)

耦合协调度在时序演变上呈现先下降、后上升趋势,可以分为 2 个阶段:波动下降阶段(1990—1996 年)、持续上升阶段(1996—2015 年)。1990—1996 年期间,贵阳市城镇化与资源环境系统耦合协调度的时序变化呈波动下降态势,协调度由最初的 0.39 下降至 1996 年的 0.31,耦合协调水平处于低度协调状态。一定程度反映出贵阳市城镇化发展初期,以资源和能源消耗、环境破坏为代价,资源环境的承载力不断下降,城镇化与资源环境系统的协调发展呈退化态势。经历 1996 年的行政区划调整后,系统协调度逐年递增,从 1996 年的 0.31 持续上升到 2015 年的 0.62,耦合协调程度整体上呈优化态势,对照耦合协调度的划分标准,耦合协调水平由低度协调向高度协调演进。随着城镇化进程的加快,产业结构不断升级,环境保护力度及国家对构建生态文明城市的力度日益加大,生态文明意识不断增强是两者耦合协调度逐渐增加的原因,贵阳市城镇化与资源环境系统的耦合协调发展逐渐走向优质协调的状态,但城镇化与资源环境较高度度的协调

发展空间潜力巨大。

4 结论

城镇化与资源环境之间的协调发展是城市可持续发展的基础,基于熵值法、灰色关联度分析方法和耦合协调模型对贵阳市1990—2015年城镇化与资源环境耦合协调关系的时序演变特征进行分析,主要结论如下:(1)贵阳市城镇化进程不断加快,城镇化综合指数整体呈上升趋势,人口、经济和土地城镇化是推动城镇化进程的主要驱动力。城镇化进程中的资源消耗与污染物排放致使城市环境压力和风险增加。(2)贵阳市城镇化与资源环境系统间关联度时序演变表现出阶段性特征,关联性整体由中度相关向较强相关转变。两者耦合度整体处于拮抗阶段,并逐渐向磨合阶段过渡。城镇化与资源环境的耦合协调度由低度协调向高度协调演进,城镇化进程中的行政区划、产业结构以及政策的调整是两者耦合协调关系的致变因素。

参考文献:

- [1] 史亚楠. 黑龙江省城镇化建设中生态环境保护问题研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2014.
- [2] 唐志强. 河西走廊城镇化进程中的资源环境压力定量测评研究[J]. 干旱区地理,2017,40(4):860-865.
- [3] 李剑. 关中地区城市化与资源环境耦合机制及其协调发展研究[D]. 西安:西北大学,2011.
- [4] Meinzen-Dick R, Appasamy P P. Urbanization and intersectoral competition for water [M]. Washinton D. C.: Woodrow Wilson International Center of Scholar,2001:27-51.
- [5] Tiffen M. Transition in sub-Saharan Africa: agriculture, urbanization and income growth [J]. World Development,2003,31(8):1343-1366.
- [6] Wakode H B, Baier K, Jha R, et al. Assessment of impact of urbanization on groundwater resources using GIS-techniques - case study of Hyderabad, India [J]. International Journal of Environmental Research,2014,8(4):1145-1158.
- [7] Hayashi T, Tokunaga T, Aichi M, et al. Effects of human activities and urbanization on groundwater environments; an example from the aquifer system of Tokyo and the surrounding area [J]. Science of the Total Environment,2009,407(9):3165-3172.
- [8] Jantz P, Goetz S, Jantz C. Urbanization and the loss of resource lands in the chesapeake bay watershed [J]. Environ Manage,2005,36(6):808-25.
- [9] Weber C, Puissant A. Urbanization pressure and modeling of urban growth: example of the Tunis metropolitan area [J]. Remote Sensing of Environment,2003,86(3):341-352.
- [10] Grossman G M, Krueger A B. Economic growth and the environment [J]. Quarterly Journal of Economics,1995,110(2):353-377.
- [11] Dafforn K A, Glasby T M, Airoidi L, et al. Marine urbanization: an ecological framework for designing multifunctional artificial structures [J]. Frontiers in Ecology and the Environment,2015,13(2):82-90.
- [12] Portnov B A, Safriel U N. Combating desertification in the Negev: dryland agriculture vs. dryland urbanization [J]. Journal of Arid Environments,2004,56(4):659-680.
- [13] 陈聪, 丁志伟, 康珈瑜, 等. 河南省城镇化与资源环境的耦合协调发展研究[J]. 河南大学学报(自然科学版),2017,47(1):8-15.
- [14] 宋超山, 马俊杰, 杨风, 等. 城市化与资源环境系统耦合研究——以西安市为例[J]. 干旱区资源与环境,2010,24(5):85-90.
- [15] 张引, 杨庆媛, 闵婕. 重庆市新型城镇化质量与生态环境承载力耦合分析[J]. 地理学报,2016,71(5):817-828.
- [16] 黄金川, 方创琳. 城市化与生态环境交互耦合机制与规律性分析[J]. 地理研究,2003,22(2):211-220.
- [17] 曾浩, 邓宏兵. 武汉市城市化与生态环境协调发展定量评价与分析[J]. 华中师范大学学报(自然科学版),2012,46(5):611-615.
- [18] 乔标, 方创琳. 城市化与生态环境协调发展的动态耦合模型及其在干旱区的应用[J]. 生态学报,2005,25(11):211-217.
- [19] 刘承良, 段德忠, 余瑞林, 等. 武汉城市圈社会经济与资源环境系统耦合作用的时空结构[J]. 中国人口·资源与环境,2014,24(5):145-152.
- [20] 易武英, 苏维词. 典型喀斯特城市水资源与社会经济发展耦合度评价——以贵阳市为例[J]. 中国岩溶,2012,31(4):402-408.
- [21] 张妍, 尚金城, 于相毅. 城市经济与环境发展耦合机制的研究[J]. 环境科学学报,2003,23(1):107-112.
- [22] Li Y, Li Y, Zhou Y, et al. Investigation of a coupling model of coordination between urbanization and the environment [J]. Journal of Environmental Management,2012,98(1):127-133.
- [23] 赵安周. 陕西省城市化水平的时空演变及其与资源环境的耦合关系研究[D]. 西安:陕西师范大学,2012.
- [24] 李红祥, 徐鹤, 赵立腾, 等. 中国城镇化与资源环境耦合关系实证研究[J]. 生态经济,2016,32(2):31-33.
- [25] 段东平. 西安城市化与资源环境的效应关系及协调性评判[D]. 西安:西北大学,2010.
- [26] 方创琳, 周成虎, 顾朝林, 等. 特大城市群地区城镇化与生态环境交互耦合效应解析的理论框架及技术路径[J]. 地理学报,2016,71(4):531-550.
- [27] 刘耀彬, 宋学锋. 城市化与生态环境的耦合度及其预测模型研究[J]. 中国矿业大学学报,2005,34(1):91-96.
- [28] 赵文亮, 丁志伟, 张改素, 等. 中原经济区经济-社会-资源环境耦合协调研究[J]. 河南大学学报(自然科学版),2014,44(6):668-676.
- [29] 廖重斌. 环境与经济协调发展的定量评判及其分类体系——以珠江三角洲城市群为例[J]. 热带地理,1999,19(2):171-177.
- [30] 罗上华, 马蔚纯, 王祥荣, 等. 城市环境保护规划与生态建设指标体系实证[J]. 生态学报,2003,23(1):45-55.
- [31] 方创琳, 杨玉梅. 城市化与生态环境交互耦合系统的基本定律[J]. 干旱区地理,2006,29(1):1-8.
- [32] 赵安周, 李英俊, 卫海燕, 等. 陕西省城市化与资源环境的耦合演进分析[J]. 农业现代化研究,2011,32(6):725-729.
- [33] 刘李星. 山东城镇化进程与资源环境变化关系的实证分析[J]. 统计与决策,2012(17):147-150.
- [34] 赵惠芬. 湖南省新型城镇化与资源环境关系的实证研究[D]. 长沙:湖南大学,2012.
- [35] Northam R M. Urban geography [M]. New York: John Wiley & Sons,1979:65-67.