

基于耦合模型的赣江水源保护区城市发展与水资源环境关系研究

吕添贵, 吴次芳, 李冠, 沈孝强

(浙江大学 公共管理学院, 杭州 310029)

摘 要:识别和评价流域水源保护区城市发展与水资源环境耦合状态,可为促进区域生态环境建设提供参考。本研究以赣江上游水源保护区为例,通过构建耦合度模型对 2001—2011 年赣江上游流域城市发展与水资源环境耦合状态进行评价,并提出了相应优化路径。结果表明:(1) 研究期内赣江水源保护区城市经济发展指数与水资源环境指数呈同步上升趋势,基本处于协调状态;(2) 城市经济发展与水资源环境系统呈现出交互耦合状态,具有波动向前发展趋势,整体上经历了拮抗阶段和磨合阶段 2 个阶段;(3) 研究期内耦合度变化明显,由低度协调共生阶段向协调发展阶段转变,具有明显后发优势。在此基础上,为实现城市发展与水资源环境耦合由低水平协调共生阶段向高水平耦合阶段演化,提出了基于稳定性理念的保障路径以及可持续性发展的激励路径,以期为实现流域水源保护区社会经济的可持续发展提供借鉴。

关键词:赣江流域; 耦合模型; 水源保护区; 城市发展; 水资源环境

中图分类号:X24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2014)06-0271-07

Study on the Relationship Between the Urban Development and the Environment of Water Resources in Ganjiang River Based on Coupling Model

LÜ Tian-gui, WU Ci-fang, LI Guan, SHEN Xiao-qiang

(College of Public Administration, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract: The identification and evaluation of coupling states between urban development and water resources environment is the key to development of the regional ecological environment in water protection areas. In this paper, the water resources protection area of Ganjiang River was taken as an example. The method of coupling degree model was employed to evaluate and identify the states between the urban development and water resources environment from 2001 to 2011, and also the corresponding strategy was put forward based on what were mentioned above. The results indicate that:(1) it is synchronized rise between urban development and water resources conservation in Ganjiang River in recent 10 years, which is at the state of coordination;(2) the urban development and water resources environment system are presenting the interactive coupling state and with volatility development trend, and also from the overall experience antagonistic state to running stage;(3) the coupling degree significantly changes from the low coordination to coordinated development in the study period, which has obvious advantage of backwardness. Furthermore, the incentive and sustainable measures were put forward to promote the regional development, which is beneficial to achieving the low level to the high level coordination symbiotic evolution stages or coupled stage. According to the results mentioned above, the references for realizing the sustainable development in Ganjiang River can be also provided.

Key words: Gan River basin; coupling model; water source protection areas; urban development; water resources environment

随着城镇化与工业化进程的推进,高强度的土地利用开发导致对水资源的需求在不断增加,流域作为典型的社会、经济、自然复合生态系统,是城镇化建设的重要组成部分。而流域上游的水源保护区是人类社会活动相对活跃区域,由于水资源的自然流动规律,其水资源环境质量安全深刻影响流域中下游地区的社会经济发展。因此,如何识别和评价流域水源保护区内城市社会经济发展与水资源环境之间的内在关系,已受到相关学者的广泛关注^[1]。杨丽华等学者以松花江流域为例,从流域单元角度分析了研究区域社会经济发展与水环境之间的耦合协调关系^[2],夏霆等学者则以城市发展为视角探讨了镇江市社会经济发展与水环境之间的协调程度^[3],卢杰等则以太湖水库为例,提出了社会经济发展与水资源环境协调之间的内在关系研究^[4]。从已有研究内容来看,目前多数研究主要集中在流域大尺度和中小尺度范围,对以中等尺度的流域单元研究则相对较少。而流域中等尺度研究,使该类型区域生态环境建设更具针对性。有鉴于此,探讨流域水源保护区城市经济发展与水资源环境内在关系对促进区域可持续发展具有现实意义。

赣江上游作为鄱阳湖流域重要的水源涵养区和生态环境保护区,其水资源环境将直接影响流域中下游区域生态环境。其流域水土资源生态环境较脆弱,属南方典型红壤侵蚀丘陵地区,也是赣江流域的主要产沙区,多年平均输沙量为 $6.59 \times 10^2 \text{ t}$,占赣江输沙量的 71.6%,上游 4 条支流平均输沙模数大于 $1.4 \times 10^2 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ^[5],水土资源开发利用活动易造成泥沙下泄、洪涝灾害增加,进而严重制约当地经济发展。特别是随着鄱阳湖生态经济区建设^[6]和赣南苏区振兴发展规划的推进^[7],赣江上游城市社会经济建设已呈加快发展趋势,同时城市发展与水资源环境两者关系矛盾日益凸显,如何优化好城市社会经济发展与水资源环境之间的关系已成为赣江上游流域乃至整个流域社会经济发展亟待解决的重要课题。基于此,为能够更好地解决上游经济发展与生态环境保护之间矛盾,本研究以赣江流域上游城市为对象,并通过构建耦合模型,研究其 2001—2011 年城市发展与水资源环境内在关系,进而为实现赣江流域水源保护区城市发展与水资源环境协调耦合提供借鉴。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

赣江位于长江中下游南岸,作为江西省境内鄱阳湖水系第一大河,流经赣州、吉安、南昌等主要城市,最终汇入鄱阳湖,其流域面积占全省国土面积的

48%。同时,赣江流域也是鄱阳湖流域水平衡、水质量和水生态的保护区域,是实现和维护整个鄱阳湖生态经济区建设发展的重要屏障^[8]。赣江上游流域作为赣江流域源头独特的地理位置决定了该区域是鄱阳湖流域中的水源涵养区、生态环境保护与恢复的核心区和重点区域,其可持续性是整个流域生态系统赖以存续的基础,也是整个流域生态系统可持续发展的前提条件。赣江上游作为流域水源地区,是江西省饮用水水源二级保护区和二类水质保护目标区^[8]。据山江湖工程^[9]和江西水系^[10]划分,赣江上游流域包含 1 个市辖区,13 个县级及 2 个县级市,区域人口密度 $215 \text{ 人}/\text{km}^2$ ^[11],社会经济发展与资源环境矛盾日渐突出。随着鄱阳湖生态经济区建设和赣南苏区振兴规划上升为国家战略,既要突出生态环境建设重要性,又要促进赣江水源区域社会经济发展,将城市发展与水资源环境耦合思想引入到生态屏障建设与区域经济发展中,并在时间序列展现其变化,有助于建立区域综合规划,内化流域源头生态系统外部性。因而,在整个鄱阳湖生态经济建设和赣南苏区发展振兴的框架内,研究赣江源头城市发展与水资源环境关系变化是实现区域发展的必然选择。

1.2 研究方法

1.2.1 耦合度模型 耦合是物理学概念,指两个(或两个以上)体系或运动形式通过各种相互作用而彼此影响的现象。从协同学的角度来看,耦合作用及其协调程度决定了系统在达到临界区域时走向何种序或结构,即决定了系统由无序走向有序的趋势,这种协同作用决定了系统相变的特征和规律,耦合度正是反映这种协同作用的度量^[12]。借鉴耦合概念模型可以探索城市经济发展与水资源环境质量的内在关系。然而,城市经济发展与水资源生态环境变化过程是一种非线性过程,其稳定性取决于一次近似系统特征根的性质。因此,城市发展与水资源环境耦合变化过程的一般函数方程如下:

$$F(c) = \sum a_j x_j \quad (i=1,2,3,\dots,n) \quad (1)$$

$$F(w) = \sum b_j x_j \quad (j=1,2,3,\dots,n) \quad (2)$$

式中: $F(c)$ ——经济发展系统; $F(w)$ ——水环境系统; i,j ——两系统的元素; g,h ——各元素的权重,由于两者重要程度抑制,各取值 0.5。同时,为进一步确定城市经济发展与水资源环境交互耦合的程度,引入耦合协调度模型:

$$T = gF(c) + hF(w) \quad (3)$$

$$C = \sqrt{\frac{f(c) + f(w)}{(f(c) \cdot f(w))^2}} \quad (4)$$

$$D = \sqrt{T \times C} \quad (5)$$

式中: T ——城市发展与水资源环境演变的综合发展

指数; C ——城市发展与水资源环境系统的协调指数; D ——耦合协调度,指城市经济系统与水环境系

统相互耦合的程度,参考已有研究成果^[2],耦合协调度其取值范围从0到1,如表1所示。

表1 城市发展与水资源环境耦合协调评价标准

耦合协调度	耦合协调阶段	城市发展与水资源环境耦合特征
$D=0$	最低耦合阶段	系统之间或系统内部要素处于无关状态,系统将向无序发展
$0\leq D<0.3$	低水平耦合	城市发展与水资源环境处于区域非均衡性状态
$0.3\leq D<0.5$	拮抗时期	城市发展的区域差异缩小,水资源环境的区域差异扩大
$0.5\leq D<0.8$	磨合阶段	城市发展的区域差异增强,水资源环境的区域差异缩小
$0.8\leq D<1$	高水平耦合阶段	城市发展和水资源环境质量的区域差异小且处于高水平阶段
$D=1$	最优耦合阶段	系统之间或系统内部要素达到良性共振耦合,趋向新的有序结构

1.2.2 系统协调发展模型 由于城市经济发展与水资源环境之间存在相互胁迫关系,可将其作为一个复合系统来考虑, $F(c)$ 和 $F(w)$ 即为复合系统的主导部分。其系统的演化过程可以表示为:

$$A=F(c,t)=\frac{dF(c)}{dt}=A_1f(c)+A_2f(w) \quad (6)$$

$$B=F(w,t)=\frac{df(w)}{dt}=B_1F(w)+B_2F(c) \quad (7)$$

式中: A,B ——受自身与外来影响下城市经济子系统和水资源环境子系统的演化状态; V_A,V_B ——两系统在受自身和外界条件影响下的演化速度。

$$V_A=\frac{dA}{dt}; V_B=\frac{dB}{dt} \quad (8)$$

在式(8)的复合系统中, A 与 B 相互影响,任何一个子系统的变化都将导致整个系统的变化。系统演化速度 V 可看作是 V_A 和 V_B 的函数,即 $V=f(V_A,V_B)$,这样就可以将 V_A 与 V_B 作为控制变量,通过分析 V 的变化来研究整个系统以及两个子系统间的协

调耦合关系。

即假定城市经济发展与水资源环境的动态关系呈周期性变化,可将 V_A 和 V_B 的演化轨迹投影在二维平面(V_A,V_B)中来分析 V 的变化过程,如图1所示。

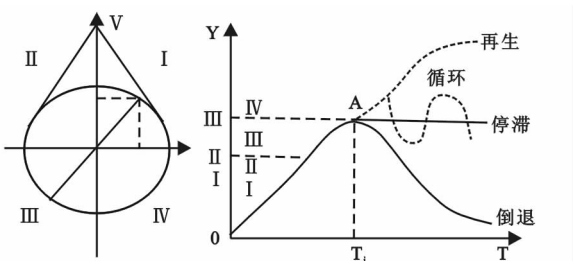


图1 城市发展与水资源环境的耦合变化^[13]

从图1可知, V_A 与 V_B 的夹角 β 可满足 $\text{tg}\beta=V_A/V_B$,则 $\beta=\arctg(V_A/V_B)$,定义 β 为系统耦合度。在一个演化周期内,整个系统将经历低级协调共生(I)、协调发展(II)、极限发展(III)和螺旋式上升(IV)4个阶段^[13],如表2所示。

表2 城市经济发展与水资源耦合度变化评价标准

耦合度 β	耦合阶段	经济与环境耦合特征
$-90^\circ\leq\beta<0^\circ$	低协调共生(I)	经济发展过程缓慢,并且基本不受水环境的限制和约束,经济发展对水环境的影响几乎为零
$0^\circ\leq\beta<90^\circ$	协调发展(II)	经济发展开始显现出对水环境的胁迫作用,水环境对经济发展的约束和限制日渐突出,矛盾开始显露,但并不明显
$90^\circ\leq\beta<180^\circ$	极限发展(III)	经济发展对水资源需求和破坏日渐加大,矛盾突出不可调节,通过工程技术手段缓解城市化与水环境之间矛盾,两者处于高级协调共生
$-180^\circ\leq\beta<-90^\circ$	再生发展(IV)	城市化与水环境之间的交互胁迫关系重组,并由相互胁迫转化为相互促进的关系,整个系统最终达到城市化与生态环境高级协调共生发展状态

1.2.3 指标体系构建 城市发展与水资源环境协调性是指两者之间以及系统组成要素之间在发展演化过程中彼此互动关系与一致性趋势程度,其指标体系务必反映城市发展与水资源环境系统本身结构组成相互作用。同时,由于城市发展与水资源环境质量两个系统的复杂性和动态性,研究在参考相关文献的基础上,结合研究区域自身的特点,构建了城市经济系统与水资源环境系统的评价指标体系。其中,城市发展系统基于经济规模—效率—经济分析框架进行选

择;此外,由于赣江水源保护区城市化建设具有明显后发优势,但快速城市化建设使得水资源消耗与废水排放环境问题日益加重,因而水资源环境系统则以赣江城市发展过程中水资源环境压力—状态—响应进行整体衡量。

由于城市发展与水资源保护是一项复杂的系统工程,协调评价指标权重计算采用主客观相结合的方法。其中,权重主观计算方法采用层次分析法,其在处理系统复杂性方面具有明显优势,基本原理是将城

市发展与水资源协调目标作为目标层,将 6 项二级指标作为准则层,并通过“目标层—准则层”以及“准则层—指标层”两级判断矩阵的构造、矩阵标准化处理、一致性偏离度检验等数学计算^[14];权重客观法则采用熵权法,其原理是根据各指标在竞争意义上的激烈程度即指标值在待评估样本之间的差异性来确定指

标权重^[15]。在借鉴相关研究指标^[2-4]选择和遵循数据代表性、可获取性等原则基础上,分别选取指标表征,并通过咨询城市管理与水资源管理专家的意见,认为该指标体系能够有效地测度城市发展与水资源环境协调水平,对权重进行加权平均值,即为指标权重。具体结果见表 3。

表 3 赣江流域上游城市发展与水资源环境系统耦合评价指标体系

指标名称	一级指标	二级指标	AHP 法	熵权法	权重
经济系统	经济规模(0.45)	人均 GDP	0.05	0.16	0.105
		人均财政收入	0.25	0.34	0.295
		人均固定资产投资	0.32	0.22	0.270
		人均社会消费品零售额	0.38	0.28	0.330
	经济效率(0.35)	财政收入增长率	0.24	0.28	0.26
		固定资产投资增长率	0.3	0.21	0.255
		人均社会消费额增长率	0.15	0.26	0.205
		工业产值比重增长率	0.31	0.25	0.28
	经济结构(0.20)	规模以上工业增加值占 GDP 比重	0.45	0.51	0.48
		第三产业比重	0.55	0.49	0.52
水资源环境系统	资源压力(0.45)	万元 GDP 工业废水排放量	0.25	0.21	0.23
		工业废水排放量	0.18	0.21	0.195
		城镇居民生活废水排放量	0.15	0.09	0.12
		人均工业废水排放量	0.11	0.18	0.145
		单位 GDP 用水量	0.17	0.12	0.145
		人均日生活用水量	0.14	0.19	0.165
	资源状态(0.20)	工业废水排放达标率	0.45	0.5	0.475
		城镇居民生活废水排放达标量	0.55	0.5	0.525
	资源响应(0.35)	人均公共绿地面积	0.25	0.21	0.23
		年降水量	0.15	0.23	0.19
		亩均水资源量	0.17	0.15	0.16
		森林覆盖率	0.12	0.11	0.115
		人均水资源量	0.19	0.21	0.200
		区域水资源总量	0.12	0.09	0.105

注:社会经济数据来源于《江西省统计年鉴 2001—2011 年》,水资源环境数据来源于《江西省环境统计资料 2001—2011 年》和《江西省环境质量报告 2001—2011 年》。

2 计算结果与分析

2.1 城市发展系统与水资源环境系统的变化水平

通过对数据进行无量纲化,可分别得出 2001—2011 年赣江上游城市发展系统与水资源环境系统内在变化水平。从图 2 可以看出,研究区域城市发展指数与水环境指数整体呈上升趋势。与 2001 年相比较,当前社会经济指数增幅较快,主要是自 2001 年以来流域源头城市因其独特区位优势和资源后发优势影响,其社会经济增长速度较快,对城市发展指数影响明显。研究期间,城市发展指数与水环境指数差异值在逐渐减小,说明研究期内城市建设发展对水资源环境质量影响在逐渐降低。究其原因,主要是下游地区的鄱阳湖生态经济区生态屏障建设需求,促使上游城市通过划定水源保护区以及加大水资源环境基础设

施投入,以提高城市建设与水资源之间的耦合水平。

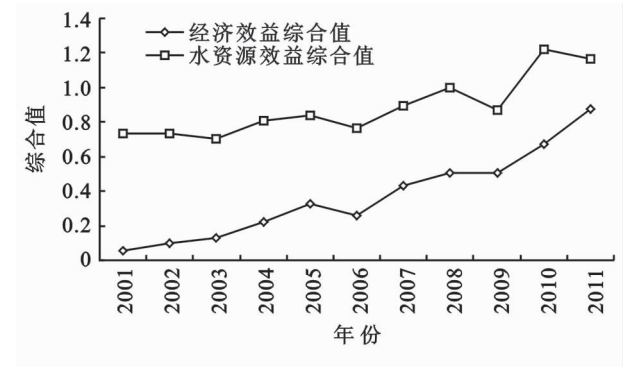


图 2 赣江上游城市系统与水资源环境系统演化趋势

2.2 城市发展系统与水资源系统耦合协调度

通过计算可知,赣江流域上游城市发展综合指数(T)、协调指数(C)和耦合协调度(D)均呈上升趋势(图 3)。

(1) 从综合发展指数变化趋势来看,城市发展与水资源环境系统总体呈现逐步增加,但中间出现起伏波动。其中,在2001—2003年,其平均综合发展指数为0.350,但呈逐渐下降趋势,说明城市发展对水资源环境胁迫在逐渐增强;在2004—2007年,综合发展指数平均值为0.410,较前一阶段有缓慢提升,城市发展快于水资源环境投入,出现明显滞后现象;在2008—2011年,其综合平均值为0.530,较前期值有明显变化,究其原因是赣江下游鄱阳湖生态经济区生态屏障建设,使得上游水资源环境投入相应增加,城市经济建设与水资源环境较为同步所致。

(2) 从协调指数来看,2001—2006年,协调指数呈逐步上升趋势,从0.266增加到0.474,城市经济发展与水资源环境投入同步发展所致;在2007—2011年,其数值为维持在0.5这个相对稳定均值水平,城市经济发展与水资源环境保持了相对均衡的发展水平,而在2011年,协调指数出现大幅度降低。究其原因,是当年该区域年降雨量不足,导致流域源头地区水资源供给难以满足城市建设需要,进而出现异常现象。

(3) 从耦合协调度来看,其数值范围呈三阶段的“阶梯式”特征(图4),协调系数总体为逐渐递增趋势,但协调状态的变化情况却不尽相同,呈现出阶梯式逐级增长。根据协调系数变化过程。

第一阶段为2001—2006年,为缓慢增长期,其平均值为0.382,表明两者处于较低协调水平的拮抗阶段,经济发展的区域差异较大,水资源环境区域差异较小,城市社会经济建设的加速已对水资源环境造成轻微的影响;

第二阶段为2007—2009年,为平稳增长期,其平均值为0.460,此时经济发展与水资源环境处于较高层次拮抗阶段,区域经济实力差异逐渐缩小,可以为水资源环境质量提升与改善提供资金支撑,但由于水环境质量的滞后型,区域水环境质量改善程度不同,因此水环境质量的区域差异在扩大,经济实力对环境质量的影响显现;

第三阶段为2010—2011年,为快速增长期,其平均值为0.595,城市经济发展与水资源环境差异突出显示出更多的资金投入环境质量改善中,地区间经济差异的缩小带来水环境环境质量区域差异的缩小,两者开始进入良性耦合阶段,此时赣江流域在鄱阳湖生态经济区建设需求下,对社会经济发展差异在逐渐缩小,由磨合阶段向高水平耦合阶段的过渡将需要较长时间。倘若磨合效果不佳,受到其他外在因素影响,很可能回到耦合磨合前的阶段。另一方面,从整

个研究期间协调系数变化幅度来看,2006—2007年和2009—2010年二个时期的变化系数最大,分别为0.065,0.176,说明这两个时期赣江水源保护区城市发展中水资源环境投入效果较为明显;而2001—2002年变化系数仅为0.001,一定程度反映了该时期城市经济发展过程中对水资源基础设施改善投入较为滞后的现状。

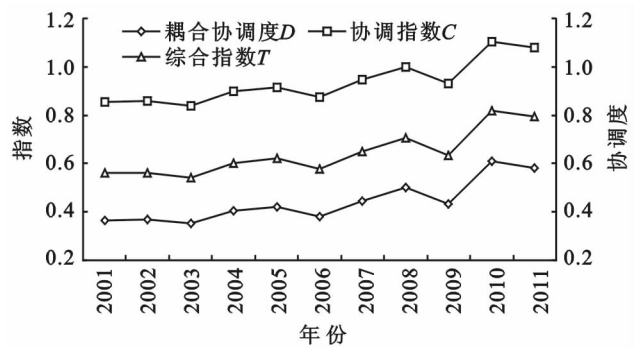


图3 赣江流域上游城市经济发展与水资源环境耦合变化情况

2.3 城市发展系统与水环境系统耦合度

将经济发展与水环境质量的两条变化曲线分别拟合:

$$A=F(c,t)=0.0030x^4-0.0064x^3+0.0466x^2-0.0724x+0.0912 \quad (R^2=0.9791)$$
$$B=F(w,t)=-0.0002x^5+0.0043x^4-0.0437x^3+0.1968x^2-0.4166x+0.9435 \quad (R^2=0.8165)$$

对两者分别求导,可得:

$$V_A=\frac{dA}{dt}=0.0120x^3-0.0192x^2+0.0932x-0.0724$$
$$V_B=\frac{dB}{dt}=-0.001x^4+0.0172x^3-0.1311x^2+0.3936x-0.4166$$

表4 赣江流域上游城市发展与水资源环境协调值

年份	V_A	V_B	$\text{tg}\beta$	β	协调阶段
2001	0.01	-0.14	-0.10	-5.65°	低协调共生阶段
2002	0.13	-0.03	-1.54	-57.01°	低协调共生阶段
2003	0.36	-0.03	9.93	84.25°	协调发展阶段
2004	0.76	-0.09	6.25	80.91°	协调发展阶段
2005	1.41	-0.20	-0.92	-42.75°	低协调共生阶段
2006	2.39	-0.36	-0.46	-24.92°	低协调共生阶段
2007	3.76	-0.59	-0.12	-6.72°	低协调共生阶段
2008	5.59	-0.95	0.41	22.18°	协调发展阶段
2009	7.96	-1.52	1.67	59.09°	协调发展阶段
2010	10.94	-2.39	-7.29	-82.19°	低协调共生阶段
2011	14.60	-3.70	-1.04	-46.18°	低协调共生阶段

结合耦合度协调模型与表4可以看出,在2001—2010年,赣江上游城市发展与水资源环境的协调值 β 一直处于 $[-90^\circ, 90^\circ]$,说明城市发展与经济发展系统整体处于低协调共生与协调发展阶段。城市发展已

显现出对水资源环境的胁迫影响,而水环境对经济发展约束和限制日渐突出,且小幅变化呈扩大趋势。

3 城市发展与水资源环境耦合优化路径选择

城市发展与水资源环境耦合关系的最佳状态是实现系统之间或系统内部要素达到良性共振耦合,趋向新的有序结构和再生循环阶段。即城市发展与水资源环境保护同步进行,而在2001—2011年,赣江上游城市尽管实现了从拮抗到磨合的过渡,同时耦合度从低协调共生到协调发展状态,随着上游社会经济发展,容易逐步向极限发展阶段演化。城市发展与水资源耦合形势总体较为乐观。但随着赣江流域下游地区鄱阳湖生态经济区以及赣南地区城市化与工业化进程加快,这些城市经济建设的推进需要以水资源保障为依托。在城镇化建设对资源环境带来胁迫同时,资源有限性本身也将成为经济发展的制约因素。从表2和表4结果可知,城市经济发展与水资源环境耦合状态出现起伏波动,出现稳定性不足与持续性乏力现象。因此需要从稳定性与持续性两方面进行政策优化:一方面,通过从水权构建和水资源综合规划提高耦合状态的稳定性;另一方面,同时从基础设施建设和生态旅游开发等增加激励机制,以保障城市发展与水资源环境最佳耦合状态的持续性,如图4所示。

3.1 基于稳定性理念的保障路径选择

(1) 制定流域水源保护功能区综合规划,提高城市建设与水资源开发利用的有序性。由于流域水源保护区的工业废水、生活废水与经济增长之间存在负相关而抑制了城市经济的稳定发展,针对赣江流域存在的水资源空间规划布置问题。一是在调查与评价流域水资源空间分布,确定水资源的数量、质量与空间分布,确定流域水资源开发利用现状,实现流域水资源开发利用、经济社会发展与生态环境保护相协调;二是制定水资源功能空间规划,确定流域水源保护区内在利用分布,划定流域水资源保护禁止区、一般开发区及重点建设区,真正实现整个流域内在区域之间、用水目标之间、用水部门之间进行水资源的合理配置,处理好生活、生产与生态用水之间的关系,进而统筹保障流域水源保护区开发利用的有序性和整体性,以满足国民经济发展和生态环境保护需要。

(2) 加强污水处理基础设施建设,提高流域点源与非点源污水治理水平。对于赣江流域水源地区,一方面加强农村生产生活废弃物排放管理。应控制农田农药化肥施用量,积极采取措施推广使用绿色农药化肥,以减少入库总氮负荷,改善流域源头,污水收集

设施和处理工艺选择,解决农村污水排放分散等问题。同时建立农村固体废弃物处理设施,集中处理固体废弃物。另一方面,增加流域源头地区城镇生产生活废水处理水平。促进城镇居民生活废水排放达标率,加大工业点源达标治理,减少高能耗和高污染的生产落后工艺向农村转移所带来的污染。

3.2 基于可持续性发展理念的激励路径选择

(1) 引入流域水权交易制度,构建流域水资源生态补偿机制。近年来,赣江中下游的鄱阳湖流域资源型缺水和水质型缺水是造成城市用水紧张的主要原因,为了保证城市供水的水质要求,划分水源保护区是行之有效的措施,但因水资源保护区生态环境和水质的外部性特征,使得流域中下游地区成为赣江水源保护的受益者。因而,通过恰当的水权交易制度对流域水源区进行补偿是必不可少的。即以水权模式,将流域水资源生态环境补偿费通过水权交易形式确定,由赣江流域中下游地区向源头地区购买优质水资源,其具体费用包括控制生态破坏、环境恶化以及遏制水资源衰竭的生态环境损失价值和污染价值。首先,将生态环境补偿作为流域水源保护区激励措施,由生产者和消费者的决策以环境费用的形式体现出来。如由用水地区从财政收入中设立专项补偿资金,用于保护区人民发展生产及改善生存条件;二是由用水地区乡镇与保护区有关乡镇组织成立发展共同体,依托经济优势与资源优势,发展技术含量高、附加值高且无污染工业项目,以达到优势互补、共同发展的目的;三是适当提高水资源费标准,将增收部分列为保护区发展基金,专款专用以促进该地区经济发展^[14]。

(2) 推动生态移民与生态旅游业发展,提高当地居民生活水平。流域水资源生态环境保护建设不仅需要政府的支持与投入,还需要来自当地居民的支持。作为流域水源保护区重要的行为主体,激励其行为积极性是实现资源保护的重要组成部分。一是实行水源保护区的生态移民政策。对处于水源保护核心区域的居民,实行有序的生态移民政策,降低该区域的人类开采活动,降低由于人类活动而区域资源环境产生的分散、隐蔽、随机和发生不确定性影响,建立“源一流一汇”的逐级防控技术体系^[10];其次,利用当地红色文化历史,发展绿色旅游产业,带动区域经济共同发展。赣南中央苏区作为中国重要的革命圣地,有着丰富的旅游资源,同时也有着美丽的绿色旅游资源,结合红色文化与绿色环境设计出独具特色的生态旅游路线,通过观光旅游带动基础设施建设以及提高居民生活收入来源,进而通过激励模式,促进流域水源保护区城市发展与水资源环境建设。

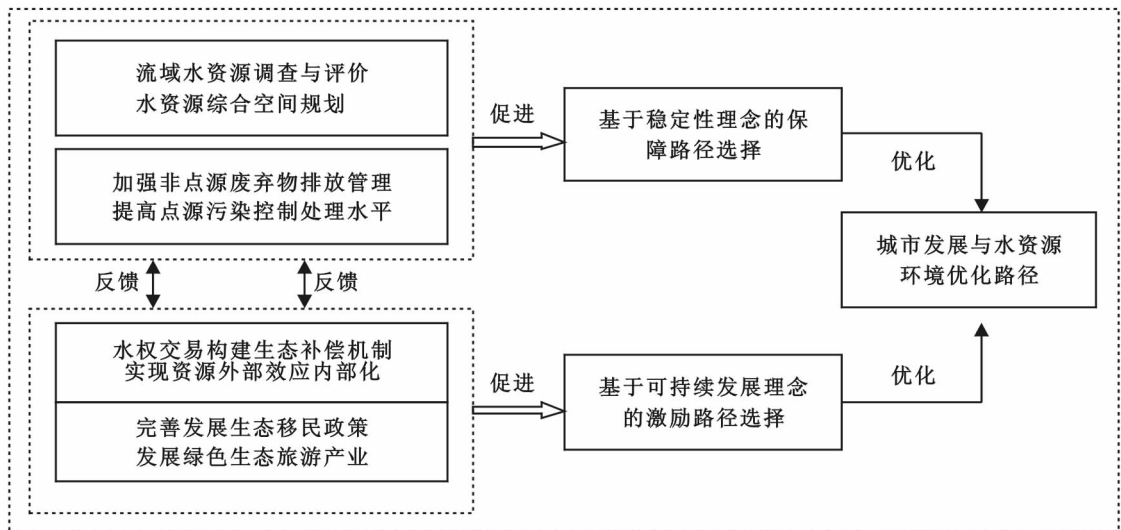


图4 赣江流域城市发展与水源环境同步耦合优化路径

4 结论

本研究以赣江流域源头地区为对象,构建了城市发展与水资源环境评价指标体系,并利用耦合模型对其耦合状况进行了分析,重点结合城市发展与水资源环境耦合变化特点,提出了促进两者关系的耦合优化路径。主要结论包括:(1)城市发展与水资源环境指数在时间序列上呈基本同步上升的趋势,且两者系统发展呈现从低协调共生到协调发展状态,短时期内城市经济发展并未对水资源环境造成较大胁迫影响;(2)城市发展与水资源环境系统呈交互耦合状态具有复杂性、非线性和时变性特点,耦合度从2001年的0.312增加到2011年0.503;整体上经历了拮抗时期和磨合两个阶段,协调状态处于 $[-90^{\circ}, 90^{\circ}]$ 之间,两系统发展呈现从低协调共生到协调发展状态;(3)提高区域建设稳定性和激励行为持续性形成的内生和外在动力是促进城市发展与水资源环境耦合的有效路径。其中,以稳定性理念为核心的水资源综合规划与城市污染控制是保障城市发展与水资源环境保护的内生驱动,而以可持续性为核心的水权交易与生态旅游产业政策是激励社会经济发展的外在动力。

当前赣江流域城市发展与水资源环境耦合状态还处于协调发展阶段,尽管水环境管理略滞后于社会经济发展,但由于水资源具有资源开发技术和管理理念等后发优势,使得城市发展系统与水资源环境系统耦合水平还有极大的提升空间。值得注意的是,城市发展与水资源环境协调评价指标选取是研究的关键和难点,特别是在现实生活中,城市经济发展与水环境的交互作用不仅仅取决于城市自身的经济发展水平,还与其内部的产业结构以及赣江流域上中下游的城市之间联系等因素有关,这些将对协调指标体系结

果产生影响,因而未来研究中还需加以完善。

参考文献:

- [1] 揣小伟,黄贤金,王婉晶,等.社会经济与水环境质量协调发展研究[J].生态经济,2012(7):57-61.
- [2] 杨丽花,佟连军.吉林省松花江流域经济发展与水环境质量的动态耦合及空间格局[J].应用生态学报,2013,24(2):503-510.
- [3] 夏霆,朱伟,赵联芳.镇江市社会经济—水环境系统协调发展[J].水资源保护,2007,23(4):52-55.
- [4] 卢杰,丁金城,施汉昌,等.水资源保护区水环境保护与社会经济协调发展:以太河水库为例[J].安全与环境工程,2005,12(3):11-14.
- [5] 龚向民,李昆,刘筱琴,等.赣江流域水土流失现状与发展态势研究[J].人民长江,2006,37(8):48-50.
- [6] 国务院.鄱阳湖生态经济区规划[Z].北京:国务院,2009.
- [7] 国务院.国务院关于支持赣南等原中央苏区振兴发展的若干意见[Z].北京:国务院,2012.
- [8] 张海星,谭斌.基于GIS方法的赣江流域水环境功能区研究[J].江西科学,2003,21(1):26-29.
- [9] 江西省水文局.江西水系[M].武汉:长江出版社,2007.
- [10] 王晓鸿,鄢帮有,吴国琛,等.山江湖工程[M].北京:科学出版社,2006.
- [11] 江西省统计局.江西统计年鉴(2001—2011年)[M].北京:中国计划出版社,2010.
- [12] 吴大进,曹力,陈立华.协同学原理和应用[M].武汉:华中理工大学出版社,1990.
- [13] 梁红梅,刘卫东,刘会平,等.深圳市土地利用社会经济效益与生态环境效益的耦合关系研究[J].地理科学,2008,28(5):636-641.
- [14] 朱再显,陈美球,吕添贵,等.赣江源自然保护区生态补偿机制的探讨[J].价格月刊,2009(11):83-86.
- [15] 赵磊,刘洪彬,于国锋,等.基于确权法土地资源可持续利用综合评价研究:以辽宁省葫芦岛市为例[J].资源与产业,2012,14(4):63-68.