

# 基于 SEM 的云南省 URTT 复合系统 耦合协调机制研究

戢晓峰<sup>1, 2</sup> 谢世坤<sup>1, 21</sup>

(1. 昆明理工大学 交通工程学院, 中国云南 昆明 650504;

2. 云南综合交通发展与区域物流管理智库, 中国云南 昆明 650504)

**【摘要】:** 为获取城市化、区域经济、交通运输和旅游业(简称 URTT 复合系统)系统间具体的作用路径及作用强度, 揭示 URTT 复合系统之间的耦合协调机制, 文章构建 URTT 复合系统协调发展综合评价指标体系, 运用基于改进的欧式距离耦合协调度模型定量测度 URTT 复合系统的耦合协调度, 引入趋势面分析、结构方程模型等定量模型, 分析云南省 16 州市 URTT 复合系统的耦合协调度时空演化特征、作用路径及作用效应(直接效应、间接效应和总效应)。结果表明:①2006—2015 年, 云南省 16 州市 URTT 复合系统耦合协调度逐年上升, 但总体水平不高, 93.75%的州市处于不同程度失调状态, 空间上呈“中部高边缘低—东高西低—北高南低”的分布格局。②云南省 16 州市 URTT 复合系统作用路径网络化、复杂化特征更加显著。城市化系统和区域经济系统是影响 URTT 复合系统耦合协调发展水平的重要因素, 交通运输业和旅游业系统作用路径较为直接和单一。③城市化系统对 URTT 复合系统的总体作用效应最大(2.239), 区域经济系统次之(1.570), 交通运输系统较低(0.158), 旅游业系统不显著且主要表现为间接作用效果。④城市化和区域经济系统与潜变量间的作用效果较显著。因此, 需重点从交通基础设施建设、旅游资源开发和配套设施建设等方面入手, 着力提高交通运输水平和旅游服务水平, 推动区域协调发展。

**【关键词】:** URTT 复合系统 耦合机制 空间分析 结构方程模型 旅游业 协同发展 云南省

**【中图分类号】:** F299.1 **【文献标志码】:** A **【文章编号】:** 1000-8462 (2019) 06-0046-12

习近平总书记在党的十九大报告中明确提出实施区域协调发展的基本战略, 而城市化(Urbanization)、区域经济(Regional Economy)、交通运输(Transportation)和旅游业(Tourism)(以下简称 URTT 复合系统)是区域协调发展的重要组成部分, 作为既相互独立又紧密联系的四个不同系统, 四者相互作用、相互影响, 在一定程度上反映了区域发展的协调性与可持续性。近年来, 随着我国“一带一路”倡议、构建孟中缅印经济走廊等一系列国家战略的实施, 云南省在全国对外开放战略格局中的区位优势日益凸显, 迎来快速发展的战略机遇期。截至 2017 年底, 其城市化率达到 46.69%, GDP 总量达到 16531.34 亿元, 国内外旅游总人数 5.81 亿人次, 旅游业总收入 6922.23 亿元, 占 GDP 总量 41.87%。可见, 云南省 URTT 复合系统快速发展, 如区域各系统间缺乏协调性与整体性, 将降低区域发展的整体效益。因此, 将城市化—区域经济—交通运输—旅游业四个子系统复合为一个交互的 URTT 系统, 并研究其中的耦合协调作用机制是很有必要的。首先, 能够探索辨识出制约区域协调发展的关键因素, 科学地认识我国现代化进程中面临的发展问题。其次, 有利于云南省针对特殊的区位优势, 及时调整城市发展定位和产业发展结构, 形成新的经济增长极。最

**作者简介:** 戢晓峰(1982-), 男, 湖北随州人, 博士, 教授, 博士生导师。主要研究方向为综合交通规划与区域发展。

E-mail: yiluxinshi@si-na.com。

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(71563023); 云南省哲学社会科学重大项目(ZDZB201708); 云南省交通科技创新示范研究项目(2017A09)。

后, URTT 复合系统的协调发展, 还有利于加强各州市内部联系与合作, 以优带劣, 使云南省整体协调发展水平更上一个台阶。

目前, 国内外关于城市化系统、区域经济系统、交通运输系统和旅游业系统的相关研究主要集中于两个系统之间耦合关系的研究。如蔺雪芹<sup>[1]</sup>、陈明星<sup>[2]</sup>等分析了城市化效率与经济发展水平的作用机制, 发现城市化与经济发展存在动态耦合关系。戢晓峰等通过分析云南省 126 个县域 2000—2014 年城镇化与交通优势度的时空协同性演化特征, 揭示了城镇化与交通基础设施相互促进又相互制约, 存在正负双向反馈的作用关系<sup>[3]</sup>。Ai qin<sup>[4]</sup>、罗文斌<sup>[5]</sup>、彭邦文<sup>[6]</sup>等分析了旅游产业与城市化之间协调发展的作用机理, 并剖析了二者之间的互动关系。此外, 一些学者也通过构建耦合协调度模型, 定量研究了经济系统与交通运输系统<sup>[7-8]</sup>、经济系统与旅游系统<sup>[9-10]</sup>、交通运输系统与旅游业系统<sup>[11-12]</sup>之间协调发展的作用机理, 发现城市化、旅游、交通、经济系统间存在相互制约、相互影响的关系, 系统间的协调发展是推动区域可持续发展的关键因素。同时, 汤玲<sup>[13]</sup>、孙倩<sup>[14]</sup>等指出区域协调度实际上是一个相对值, 反映并取决于系统实际状态与理想协调状态之间的距离, 因此提出欧式距离协调度模型, 并综合考虑区域发展度分析了我国科技与经济系统的协调发展状况。现阶段, 对于系统耦合的研究方法主要集中于系统动力学模型、耦合度或耦合协调度模型等方法<sup>[15-17]</sup>, 而 URTT 复合系统是一个复杂的灰色系统, 内部耦合要素多为不可直接观测的变量, 这些方法在描述和解译系统内部要素复杂的互动关系和作用路径方面略有不足, 而结构方程模型 (SEM) 不仅可以描述分析系统的潜在变量, 又可研究潜变量之间的关系<sup>[18]</sup>, 而且在统计假设、模型设置等方面有所改善, 使研究者在误差处理的同时又能分析潜变量之间具体的作用路径及作用效应<sup>[19-21]</sup>。

总体来看, 国内外对城市化系统、区域经济系统、交通运输业和旅游业两两之间的耦合协调机制进行了大量探讨, 对多个系统复杂的耦合机制研究关注不多, 且大多数研究限于不同系统耦合协调度的空间特征分析, 未能精确量化系统之间的作用机制, 并且耦合协调度模型缺乏统计检验。因此, 本文聚焦于 URTT 复合系统, 建立 URTT 复合系统综合评价指标体系, 通过改进的耦合协调度模型定量测度 URTT 复合系统的耦合协调度, 引入趋势面等方法定量分析 URTT 复合系统耦合协调度时空演化特征。在此基础上, 运用结构方程模型 (SEM) 分析 URTT 复合系统在不同时空下的作用路径及作用效应 (直接效应、间接效应和总效应)。最后, 选取云南省 16 个州市为例, 根据相关统计数据, 对 URTT 复合系统耦合协调作用机制进行探讨。

## 2 研究方法 with 数据来源

### 2.1 研究区域与数据来源

本文以云南省 (97° 31' E~106° 11' E, 21° 8' N~29° 15' N) 为研究对象, 16 个州 (市) 为研究单元, 对云南省 2006、2010、2015 年 URTT 复合系统发展水平的耦合协调发展度进行量化研究。指标体系中的原始数据均直接或间接来源于《云南省统计年鉴》(2007—2016 年), 同时, 以《云南省交通统计资料汇编》《各州 (市) 国民经济与社会发展统计公报》中相关数据作为必要补充。对于少量缺失数据, 依据历年平均增长率进行推算后予以赋值。

### 2.2 研究方法

#### 2.2.1 基于熵值法的综合评价模型

本文研究遵循了整体对应、比例适当、总量与均值指标相结合、数据的可获性和可比性等主要原则, 在借鉴相关研究基础上, 选取城市化率、人均 GDP、公路通车里程、旅游总收入等具有代表性的 20 项指标, 构建了 URTT 复合系统评价指标体系。针对各指标度量单位不同, 本文采取极值法对各个指标进行标准化处理, 以消除量纲问题, 其标准化公式为:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n) \quad (1)$$

采用熵值法确定各指标权重,一定程度上避免主观因素的影响偏差,计算方法如下:根据各指标标准化后的数据求出第 i 个研究单元的第 j 项指标值的比重,通过公式(2)~(5)计算得到第 j 项指标的权重值,结果见表 1。由公式(6)加权求和测算出 URTT 复合系统各子系统的综合指数。

$$P_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sum_{i=1}^m x'_{ij}}, k = \frac{1}{\ln m} \tag{2}$$

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \tag{3}$$

$$d_j = 1 - e_j \tag{4}$$

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \tag{5}$$

$$U_i = \sum_{j=1}^n w_j x'_{ij} \tag{6}$$

式中: $x_{ij}$ 表示研究单元 i 的指标 j 的样本值; $x'_{ij}$ 为第 i 个研究单元的第 j 个指标值; $p_{ij}$ 为第 i 个研究单元第 j 个指标的归一化值;k 为系数;m 为研究单元总数; $e_j$ 为指标 j 的熵值; $d_j$ 为指标 j 的熵值冗余度; $w_j$ 为指标 j 的权重; $U_i$ 为系统综合发展指数。

表 1 URTT 复合系统评价指标体系及权重

| 系统               | 潜在变量   | 观测指标          | 单位     | 性质 | 权重     |
|------------------|--------|---------------|--------|----|--------|
| URTT<br>复合<br>系统 | 城市化系统  | 城市化率          | %      | 正  | 0.2062 |
|                  |        | 非农业人口占总人口比重   | %      | 正  | 0.2043 |
|                  |        | 城镇居民人均可支配收入   | 元      | 正  | 0.2108 |
|                  |        | 城乡人均收入比       | /      | 正  | 0.1679 |
|                  |        | 人均社会固定资产投资额   | 元/人    | 正  | 0.2108 |
|                  | 区域经济系统 | 人均 GDP        | 元/人    | 正  | 0.2005 |
|                  |        | 第二产业增加值       | 亿元     | 正  | 0.1998 |
|                  |        | 第三产业增加值       | 亿元     | 正  | 0.1999 |
|                  |        | 全社会固定资产投资     | 亿元     | 正  | 0.1999 |
|                  |        | 社会消费品零售总额     | 亿元     | 正  | 0.1998 |
|                  | 交通运输系统 | 公路通车里程        | 公里     | 正  | 0.2002 |
|                  |        | 货物周转量         | 万 t·km | 正  | 0.2003 |
|                  |        | 旅客周转量         | 万人·km  | 正  | 0.2003 |
|                  |        | 高速公路总里程       | km     | 正  | 0.199  |
|                  |        | 等级公路里程        | km     | 正  | 0.2002 |
|                  | 旅游业系统  | 国内旅游人数        | 万人     | 正  | 0.2029 |
|                  |        | 海外旅游人数        | 万人     | 正  | 0.1976 |
|                  |        | 旅游总收入         | 亿元     | 正  | 0.2011 |
|                  |        | 旅游总收入占 GDP 比重 | %      | 正  | 0.1976 |

|  |  |              |   |   |        |
|--|--|--------------|---|---|--------|
|  |  | 旅游总收入占第三产业比重 | % | 正 | 0.2007 |
|--|--|--------------|---|---|--------|

## 2.2.2 基于欧氏距离的耦合协调度模型

根据协调度理论,协调度本身其实是一个相对值,而非绝对值<sup>[22]</sup>。因此,本文对协调度模型进行改进,引入欧氏距离公式衡量系统的协调性,构建出以欧氏距离为基础的欧氏距离协调度基本模型。有效地反映系统实际运行状态与理想协调状态之间的距离,直观地体现出协调度的本质含义。距离实际状态和理想状态距离度量公式如下:

$$\bar{S}_i = \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{it} - x'_{it})^2} / \sqrt{\sum_{i=1}^m s_i^2} \quad (7)$$

$$s_i = \max \{ |x_{it} - x'_{it}| \} \quad (8)$$

$\bar{S}_i$  值越大,系统实际状态越偏离理想协调状态,进一步构建距离协调度模型:

$$\begin{aligned} C'_i &= \left( \sqrt{1 - \bar{S}_i} \right)^r \\ &= \left( 1 - \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{it} - x'_{it})^2} / \sqrt{\sum_{i=1}^m s_i^2} \right)^r \\ &= \sqrt{1 - \sqrt{\sum_{i=1}^4 (x_{it} - x'_{it})^2} / \sqrt{\sum_{i=1}^4 s_i^2}} \end{aligned} \quad (9)$$

改进后的耦合协调度为:

$$T = \alpha U_{urb} + \beta U_{econ} + \chi U_{trans} + \gamma U_{tour} \quad (10)$$

$$D = \sqrt{C' \times T} \quad (11)$$

式中: $x_{it}$ 和 $x'_{it}$ 分别表示第 $t$ 年发展度的实际值和理想值; $\bar{S}_i$ 为第 $t$ 年系统的实际状态与理想状态的距离; $C'_i \in [0, 1]$ ,并且其值越大,表明系统协调性越高; $r$ 为调节系数,通常令 $r=2$ ;  $D$ 为耦合协调度; $T$ 为URTT复合系统综合发展指数; $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\chi$ 、 $\gamma$ 为待定参数,且和为1。由于城市化是交通运输、区域经济和旅游业发展的动力引擎,而经济发展又是城市化、交通运输和旅游业三大系统发展的资金保障,同时交通运输是沟通不同区域间需求与供给的桥梁,是区域经济和旅游业发展的基础和前提,最后,旅游业可通过带动关联产业发展增加地方收入,为旅游目的地发展产生反馈性客观响应,本文认为URTT复合系统在同一时空序列中交互影响,对促进区域协调发展具有同等重要作用,再结合参考文献<sup>[23-25]</sup>,终确定 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\chi$ 、 $\gamma$ 取值均为0.25。利用均匀分布函数法确定耦合协调度的评价标准(表2)。

表2 耦合协调度标准及划分

| D 值范围 | 耦合协调度划分 | 等级 |
|-------|---------|----|
|-------|---------|----|

|           |      |     |
|-----------|------|-----|
| 0.00~0.20 | 严重失调 | I   |
| 0.20~0.40 | 中度失调 | II  |
| 0.40~0.60 | 濒临失调 | III |
| 0.60~0.80 | 中度协调 | IV  |
| 0.80~1.00 | 高级协调 | V   |

### 2.2.3 基于 SEM 的 URTT 复合系统理论框架

城市化、区域经济、交通运输和旅游业作为既相互独立又紧密联系的四个不同系统, 四者之间相互作用、彼此影响, 构成一个耦合协调的 URTT 复合系统。城市化系统主要通过人口、产业集聚提高居民收入、促进旅游需求等, 对其他产业产生驱动作用; 区域经济系统是各系统发展的基础, 为各系统发展提供资金支持保障; 而交通运输主要是促进人才、资金和技术等流动, 扩大服务范围; 最后, 旅游业系统通过增加地方收入, 带动服务业、第三产业等关联产业等为旅游目的地发展产生反馈性客观响应。可见, 城市化、区域经济、交通运输和旅游业 4 个系统相互作用, 各个系统在达到自身发展目标的同时, 促进相关产业共同发展。为此, 本文将城市化、区域经济、交通运输和旅游业视为潜在变量, 设定四个系统之间的作用关系(图 1)。需要说明的是, 上述模型仅从理论上较为合理, 并非本文分析使用的最终模型, 需要以图 1 为基础, 使用软件 AMOS21.0 对模型进行估计, 根据估计结果对相关变量或变量间相互关系进行调整, 找到最优模型。

## 3 云南省 URTT 复合系统耦合特征分析

### 3.1 URTT 复合系统耦合协调类型划分

根据耦合协调度  $D$ , 城市化系统指数  $U(u)$ 、区域经济系统指数  $U(e)$ 、交通运输系统指数  $U(t)$  和旅游业系统指数  $U(j)$  大小的平均值, 将全省 16 个州(市) URTT 复合系统的耦合状态分为 3 大类, 5 亚类和 10 小类, 见表 3。

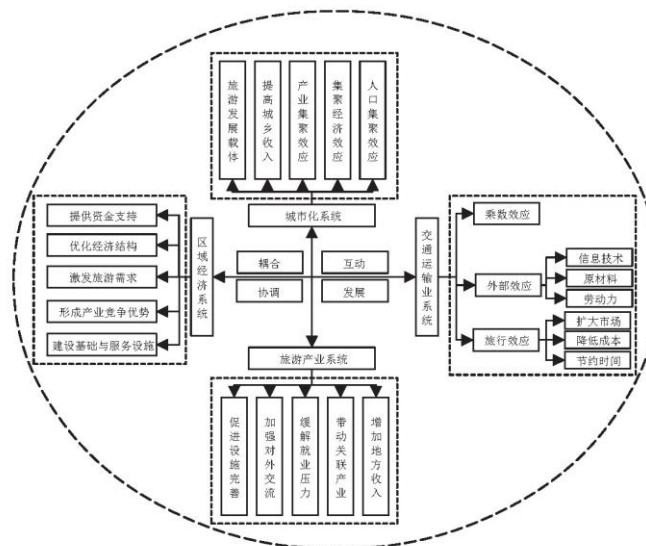


图 1 URTT 复合系统作用路径理论框架

(1) 协调发展阶段 ( $D > 0.8$ ): 云南省 16 个州市中仅有昆明市的 URTT 复合系统达到高级协调发展状态 ( $D$  为 0.874), 进入协调发

展阶段,且属于经济超前—交通、城市化同步领先—旅游业相对滞后型。得天独厚的区位优势促进昆明市经济发展,经济增长所带来的正向效应可以将更多资金投入城市化、交通和旅游业的发展,为 URTT 复合系统的发展奠定基础。但在未来的发展规划当中,还需充分地利用昆明市旅游资源优势,加大对旅游产业的投入;与此同时,积极地发挥城市化以及交通的带动作用,促进旅游业快速发展。

(2) 转型发展阶段 ( $0.4 < D < 0.8$ ): 曲靖、玉溪、红河、大理这 4 个州市进入转型发展阶段。其中,曲靖、玉溪、红河属于交通领先—城市化较高—经济良好—旅游滞后型,旅游业是制约该类型州(市)耦合协调度发展的主要原因。因此,在推动经济发展和快速城市化的过程中,应充分考虑当地的旅游资源,推动旅游业发展水平向其它产业靠近。而大理属于交通领先—旅游较高—城市化良好—经济滞后型,经济系统是制约大理耦合协调发展的关键因素。因此,应充分利用该地区的滇西交通枢纽优势、旅游资源优势,带动该地区的经济发展。

(3) 不协调发展阶段 ( $D < 0.4$ ): 除了协调发展和转型发展地区其外的 11 个州市处于不协调发展阶段。可以看出不协调发展类型占到协调发展类型总数的 68.75%,说明云南省的 URTT 复合系统耦合协调发展程度总体偏低。其中,中度失调地区有楚雄、昭通、临沧、保山、文山、丽江、西双版纳、德宏、迪庆、普洱等 10 个州市,严重失调地区仅有怒江州。由表 3 进一步发现,经济系统是制约这类城市不协调发展的主要因素,地理因素的特殊性决定了交通运输较发达区的耦合协调发展程度普遍高于交通运输发展水平较低的西部区域。因此,应加强交通基础设施建设,提高交通通达性,促进该地区旅游业的发展,同时为其经济发展打开门户。

3. 2 URTT 复合系统耦合协调度时空演变特征

为进一步探索云南省 16 州市 URTT 复合系统的空间分异特征,利用 ArcGIS 软件绘制出云南省 16 个州市 URTT 复合系统 2006、2010、2015 年耦合协调度的空间分布图(图 2)和趋势面演化图(图 3)。

3. 2. 1 耦合协调度时空差异特征显著

由图 2 可以发现,云南省各州市 URTT 复合系统的耦合协调度整体偏低,但表现出逐渐上升的发展态势,且空间分异特征显著。(1) 总体上,云南省绝大多数(93.75%)的州市处于不同程度失调状态,仅有昆明市处于协调发展状态。但从发展趋势来看,绝大多数州市(如红河州、曲靖市等)耦合协调度水平稳步上升,整体趋于良性发展态势。(2) 从时序演变上来看,传统的 URTT 复合系统耦合协调度低值区有所减少,高值区以原昆明市核心区为中心逐步扩张。具体而言,2006—2010 年玉溪市和红河州由中度失调转为濒临失调,临沧市由严重失调转为中度失调。2010—2015 年大理、丽江、曲靖 3 市由中度失调转为中度协调,怒江州由严重失调转为中度失调。需特别指出的是,昆明市在两个阶段一直处于协调发展状态,URTt 复合系统耦合协调发展水平相对较好。(3) 从空间演化特征来看,云南省 16 州市 URTT 复合系统的空间分异特征显著,滇中地区的耦合协调发展水平明显高于外围地区,整体上表现为以昆明为核心的“核心—边缘”梯度递减的结构特征。形成了以丽江、大理为中心的滇西次区域和以昆明、玉溪、曲靖、红河为中心的滇中次区域,但两大次区域 URTT 复合系统的耦合协调度差异较大,滇西次区域耦合协调度在三个阶段均以中度失调和濒临失调为主,整体耦合协调水平低于滇中次区域。因此,在空间上形成“中部高一滇西次一四周低”的分布格局。

表 3 云南省 16 州市 URTT 复合系统协调发展度类型划分

| 综合类别 | D       | 亚类别  | 系统指数对比                      | 子类别                         | 区域 | 类型 |
|------|---------|------|-----------------------------|-----------------------------|----|----|
| 协调发展 | 0.8-1.0 | 高级协调 | $U(e) > U(t) = U(u) > U(j)$ | 经济超前—交通、城市化同步领先<br>—旅游相对滞后型 | 昆明 | V  |
|      | 0.6-0.8 | 中度协调 | /                           | /                           |    | /  |

|       |         |      |                             |                       |         |      |
|-------|---------|------|-----------------------------|-----------------------|---------|------|
| 转型发展  | 0.4-0.6 | 濒临   | $U(t) > U(u) > U(e) > U(j)$ | 交通领先—城市化较高—经济良好       | 曲靖、玉溪、  | III1 |
|       |         | 失调   | $U(t) > U(j) > U(u) > U(e)$ | —旅游滞后型                | 红河      |      |
|       |         |      |                             | 交通领先—旅游较高—城市化良好       | 大理      |      |
|       |         |      |                             | —经济滞后型                |         | III2 |
|       |         |      | $U(t) > U(u) > U(e) > U(j)$ | 交通领先—城市化较高—经济良好       | 楚雄、昭通、临 |      |
|       |         |      | $U(t) > U(u) > U(j) > U(e)$ | —旅游滞后型                | 沧       |      |
| 不协调发展 | 0.2-0.4 | 中度   | $U(j) > U(u) > U(t) > U(e)$ | 交通领先—城市化较高—旅游良好       | 保山、文山   | II 1 |
|       |         |      |                             | —经济滞后型                |         | II 2 |
|       |         | 失调   | $U(u) > U(j) > U(t) > U(e)$ | 旅游领先—城市化较高—交通良好       | 丽江、西双版纳 | II 3 |
|       | 0-0.2   |      |                             | —经济滞后型                |         | II 4 |
|       |         |      | $U(u) > U(j) > U(t) = U(e)$ | 城市化领先—旅游较高—交通、经济同步滞后型 | 迪庆      |      |
|       |         |      | $U(t) > U(u) > U(e) = U(j)$ | 交通领先—城市化良好—旅游、经济同步滞后型 | 普洱      |      |
|       |         | 严重失调 | $U(u) > U(t) > U(j) = U(e)$ | 城市化领先—交通较高—旅游、经济滞后型   | 怒江      | I    |

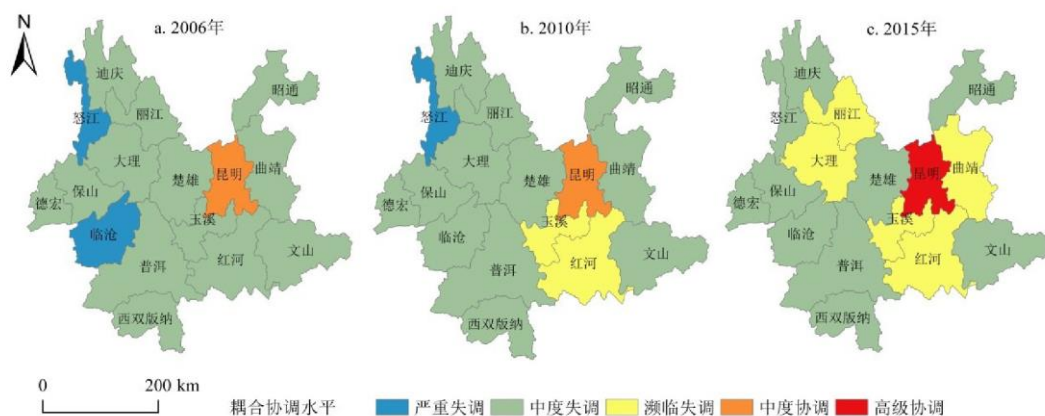


图2 云南省16州市URT复合系统耦合协调度

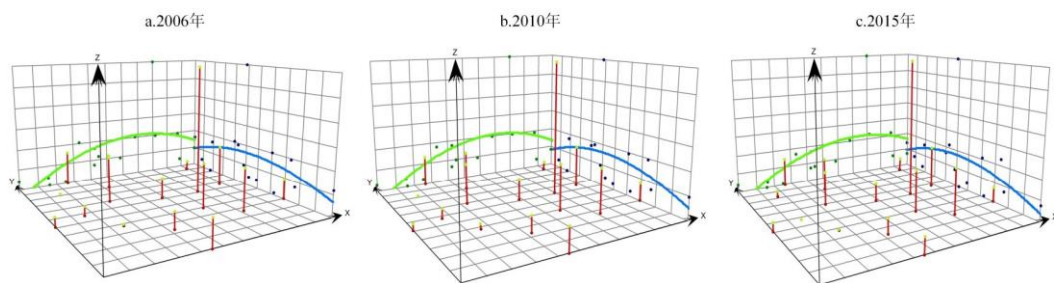


图3 云南省16州市URT复合系统耦合协调度趋势面演化

3.2.2 耦耦合合协协调调度度全全局局呈呈“中间高边缘低—东高西低低——北北高高南南低低”格局

图 3 中 X 轴表示正东方向, Y 轴表示正北方向, Z 轴表示 URTT 复合系统耦合协调度大小。绿色线条代表东西方向上耦合协调度的拟合曲线, 蓝色线条代表南北方向上耦合协调度的拟合曲线。从曲线特征来看, 2006—2015 年云南省 16 州市 URTT 复合系统的耦合协调度的趋势效应特征较为明显, 呈现“中间高边缘低—东高西低—北高南低”的趋势与上文通过空间可视化得出的“中部高一滇西次—四周低”空间演化特征相同, 验证了空间分布特征的一致性; 且趋势效应存在显著变化, 东西方向的拟合曲线小幅上升, 并表现出缓和趋势, 说明云南省 16 州市 URTT 复合系统的耦合协调发展水平在东西方向上的差异逐步缩小, 区域间协调性得到改善。南北方向的拟合曲线整体表现出增涨趋势, 但北高南低趋势略有加剧, 说明云南省 16 州市 URTT 复合系统在南北方向上的协调发展水平差异略微加大。

#### 4 云南省 URTT 复合系统作用路径分析

通过耦合协调类型分析及耦合协调度评价, 只能刻画 URTT 复合系统在整体上的耦合协调发展水平, 不能精确剖析各个子系统具体的作用路径及作用强度, 也无法深入揭示这四个子系统之间的耦合机制。根据前文可以发现 2010—2015 时间段内作用效应较为显著, 为此, 选取 2010 和 2015 年为时间截面, 采用结构方程模型进一步透视云南省 16 个州市 URTT 复合系统内部具体的作用路径和作用强度。

##### 4.1 模型检验结果与修正

在提出的研究假设和各观测变量的基础上, 选取云南省 16 个州市 2006—2015 年 4 个潜在变量的面板数据样本, 将进行标准化处理过的数据导入 AMOS21.0 软件, 采用最大似然估计法 (Maximum Likelihood) 对结构方程模型进行参数估计, 对初始概念模型参数估计结果进行检验。从模型拟合结果来看, 发现部分作用路径的 P 值大于显著性水平 0.05 的要求, 拟合效果一般。同时, 所估测的相关参数并未真实反映潜在变量之间的相互作用关系, 因此, 对初始概念模型进行修正。

根据输出结果中各路径系数或因素负荷量的显著性水平, 同时参考拟合指数修正建议, 从两个方面对概念模型进行修正: 一是进行模型扩展, 即添加初始模型中不存在的变量间的相关关系; 二是模型限制, 即删除或者限制初始模型中不存在的变量关系。经过反复修正后, 部分模型拟合指数计算结果见表 4。

表 4 结果显示, 模型 I (2010 年) 和模型 II (2015 年) 的卡方与自由度比值 (CMIN/DF) 均小于 5, 模型规准适配度 (NFI)、增值适配指数 (IFI)、比较适配度指数 (CFI) 结果虽未达到临界值 0.9 的标准, 但均大于 0.8, 都在可接受范围。因此从总体上看, 尽管存在需要具体讨论的方面, 但模型整体的拟合效果基本达到预想。本文假设模型与样本数据的拟合是可接受的<sup>[26-27]</sup>。可见, 经修正得到了拟合效果较好的修正模型, 修正后模型如图 4 和图 5 所示。

表 4 修正后的 URTT 复合系统结构方程模型拟合指数及计算结果

| 拟合指数    | 判定标准   | 拟合结果          |                |
|---------|--------|---------------|----------------|
|         |        | 模型 I (2010 年) | 模型 II (2015 年) |
| CMIN    | —      | 529.033       | 601.763        |
| DF      | —      | 141           | 136            |
| P       | <0.005 | 0.000         | 0.000          |
| CMIN/DF | <5     | 3.752         | 4.425          |
| NFI     | >0.8   | 0.808         | 0.801          |
| IFI     | >0.8   | 0.852         | 0.838          |
| CFI     | >0.8   | 0.849         | 0.835          |

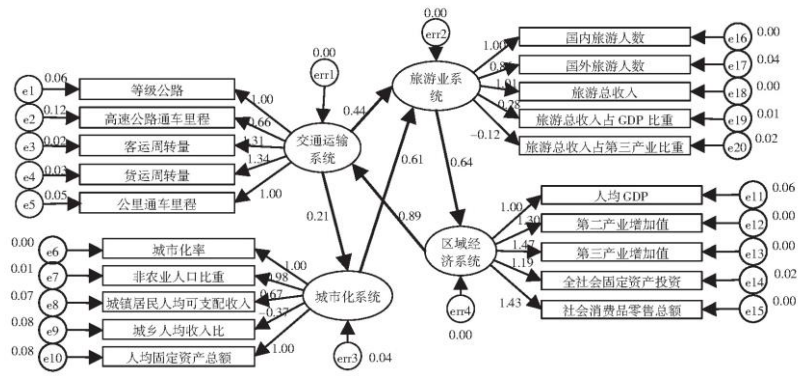


图 4 修正的 URTT 复合系统作用路径及作用强度 (2010 年)

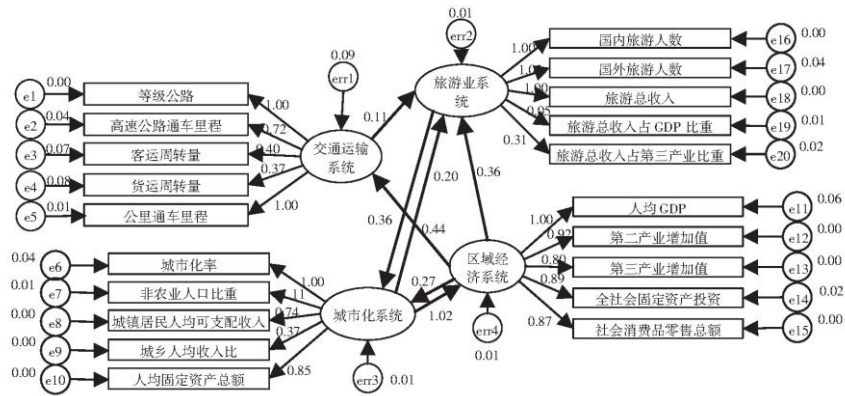


图 5 2015 年 URTT 复合系统作用路径及作用强度 (2015 年)

## 4.2 模型结果分析

### 4.2.1 作用路径分析

通过结构方程模型拟合,得出 URTT 复合系统 4 个潜在变量间的相互作用关系,即城市化系统、区域经系统、交通运输系统和旅游业系统之间的作用路径系数,并计算出模型参数估计结果(表 5)。模型中绝大部分潜在变量与潜在变量间的回归系数(路径系数)统计显著性结果 P 值小于 0.05,表明模型中的参数估计具有较高的显著性水平,较好地验证了潜在变量间作用路径符合原假设<sup>[28-30]</sup>。各潜在变量间通过作用路径直接或者间接作用于彼此,以三种演化表现形式最终驱动云南省 16 州市 URTT 复合系统协调发展。

(1)扩散衍生路径。由图 6 可以发现,城市化系统和区域经系统在 URTT 复合系统中的作用路径由单一路径向多主体路径演化,由直接作用转向混合作用,形成复杂的、系统的扩散衍生路径。2010 年,城市化和区域经系统均主要以直接作用于一个潜在变量体现(城市化→旅游业,区域经→交通运输),再通过潜在变量作用于其他系统,进而影响 URTT 复合系统的整体发展。2015 年,城市化系统新增 1 条直接作用路径(城市化→区域经)和 1 条间接作用路径(城市化→区域经→交通运输→旅游业),这与城市化快速发展产生经济集聚效应,促进产业结构升级,带动区域经济发展的实际情况相符。此外,区域经系统不仅新增 2 条直接作用路径(区域经→城市化,区域经→旅游业),还衍生出诸多间接作用路径(如区域经→交通运输→旅游业→城市化)。表明 URTT 复合系统内的城市化和区域经系统其他系统的作用路径不断增多,路径的交织变复杂,形

成扩散衍生路径,从多个潜在变量影响着 URTT 复合系统整体协调发展。

(2)收缩转换路径。由图 7 可以发现,交通运输系统在 URTT 复合系统中的作用路径由双主体收缩转向单一主体,形成单一的链式作用结果。2010 年,交通运输系统直接影响旅游业和城市化系统发展(交通运输→城市化,交通运输→旅游业),间接作用于区域经济系统。但根据 P 值检验结果显交通运输系统的直接作用路径无法通过显著性检验,说明交通系统推动 URTT 复合系统协发展效果不显著。2015 年,交通运输系统通过直接作用于旅游业系统来驱动 URTT 复合系统发展(交通运输→旅游业→城市化→区域经济),且通过显著性检验。可见,交通运输系统对其他潜在变量的作用路径不断收缩,但作用效果演化为显著,形成单一的、链式作用路径,从而促进 URTT 复合系统发展,说明交通运输系统对 URTT 复合系统的协调发展逐步凸显。

表 5 URTT 复合系统作用路径估计结果

| 模型           | 作用路径           | Estimate | S. E. | C. R.  | P     |
|--------------|----------------|----------|-------|--------|-------|
| 模型 I (2010)  | 交通运输 <--- 区域经济 | 0.887    | 0.211 | 4.202  | ***   |
|              | 旅游业 <--- 交通运输  | 0.436    | 0.207 | 2.112  | 0.035 |
|              | 区域经济 <--- 旅游业  | 0.639    | 0.118 | 5.421  | ***   |
|              | 旅游业 <--- 城市化   | 0.610    | 0.131 | 4.659  | ***   |
|              | 城市化 <--- 交通运输  | 0.213    | 0.522 | 0.408  | 0.683 |
| 模型 II (2015) | 交通运输 <--- 区域经济 | 0.442    | 0.141 | 3.139  | **    |
|              | 旅游业 <--- 城市化   | 0.358    | 0.101 | 3.554  | ***   |
|              | 区域经济 <--- 城市化  | 1.017    | 0.089 | 11.425 | ***   |
|              | 城市化 <--- 区域经济  | 0.271    | 0.209 | 1.300  | 0.194 |
|              | 旅游业 <--- 区域经济  | 0.357    | 0.106 | 3.363  | ***   |
|              | 城市化 <--- 旅游业   | 0.201    | 0.143 | 1.411  | 0.158 |
|              | 旅游业 <--- 交通运输  | 0.113    | 0.022 | 5.138  | ***   |

注:\*\*\*、\*\*、\*分别表示在 1%、5%、10%水平上显著。

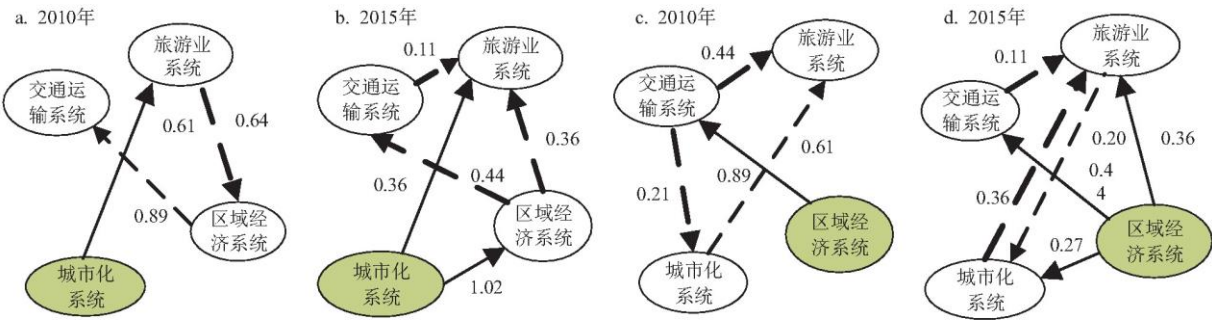


图 6 城市化和区域经济系统作用路径演化

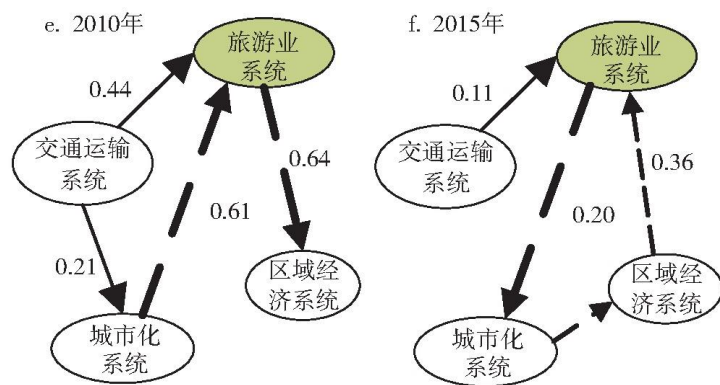


图 7 交通运输系统作用路径演化

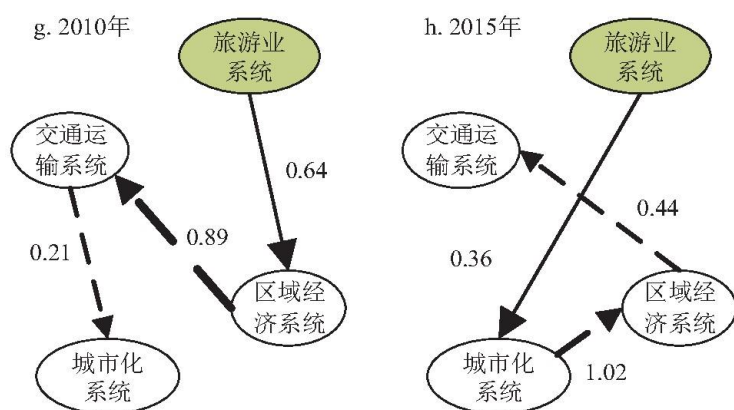


图 8 旅游业系统作用路径演化

表 6 URTT 子系统间的直接和间接作用效应

| 作用路径 |      |      | 2010  |       |       | 2015  |       |       |
|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|      |      |      | 直接效应  | 间接效应  | 总效应   | 直接效应  | 间接效应  | 总效应   |
| 区域经济 | <--- | 城市化  | 0.000 | 0.390 | 0.390 | 1.017 | 0.000 | 1.017 |
| 交通运输 | <--- | 城市化  | 0.000 | 0.347 | 0.347 | 0.000 | 0.447 | 0.447 |
| 旅游业  | <--- | 城市化  | 0.610 | 0.000 | 0.610 | 0.358 | 0.417 | 0.775 |
| 城市化  | <--- | 区域经济 | 0.000 | 0.187 | 0.187 | 0.271 | 0.082 | 0.353 |
| 交通运输 | <--- | 区域经济 | 0.877 | 0.000 | 0.887 | 0.442 | 0.000 | 0.442 |
| 旅游业  | <--- | 区域经济 | 0.000 | 0.392 | 0.392 | 0.357 | 0.146 | 0.503 |
| 城市化  | <--- | 交通运输 | 0.213 | 0.053 | 0.266 | 0.000 | 0.022 | 0.022 |
| 区域经济 | <--- | 交通运输 | 0.000 | 0.282 | 0.282 | 0.000 | 0.023 | 0.023 |
| 旅游业  | <--- | 交通运输 | 0.436 | 0.128 | 0.564 | 0.113 | 0.000 | 0.113 |
| 城市化  | <--- | 旅游业  | 0.000 | 0.120 | 0.120 | 0.201 | 0.000 | 0.201 |
| 区域经济 | <--- | 旅游业  | 0.639 | 0.000 | 0.639 | 0.000 | 0.204 | 0.204 |
| 交通运输 | <--- | 旅游业  | 0.000 | 0.570 | 0.570 | 0.000 | 0.090 | 0.090 |

(3) 调节嵌入路径。由图 8 可以发现, 旅游业系统在 URTT 复合系统中与其他潜在变量的作用路径由区域经济系统调节到城市化系统。2010 年, 旅游业系统直接作用于区域经济系统, 并通过区域经济系统与 URTT 复合系统内其他潜在变量实现影响(旅游业 $\rightarrow$ 区域经济 $\rightarrow$ 交通运输 $\rightarrow$ 城市化), 进而促进 URTT 复合系统整体协调发展。2015 年, 旅游业系统在 URTT 复合系统中与其他潜在变量的作用路径仍表现为单一的嵌入路径, 但其具体作用路径转向通过对城市化系统的直接作用来影响 URTT 复合系统(旅游业 $\rightarrow$ 城市化 $\rightarrow$ 交通运输 $\rightarrow$ 区域经济), 表明旅游业的发展对推进城市化进程有较大影响。可见, 旅游业系统对其他潜在变量形成的链式作用路径, 在对单个潜在变量直接作用的基础上, 嵌入式地影响 URTT 复合系统发展。

#### 4.2.2 作用效应分析

在模型输出结果中, 可以得到各潜在变量间的作用路径的相关效应值, 因此, 进一步探讨 URTT 复合系统中各个潜在变量间作用路径的直接效应、间接效应和总体效应, 结果见表 6。

根据表 6、图 4、图 5 可知: (1) 城市化系统。2010 年, 城市化对旅游业的影响是单一的、直接的正向作用, 其总效应(即直接作用效应)为 0.610。而对区域经济和交通运输的主要影响是以间接效应体现的, 前者主要是通过旅游业间接作用于区域经济, 作用总效应为  $0.390(=0.610 \times 0.640)$ ; 后者主要是通过旅游业和区域经济间接作用于交通运输, 作用总效应为  $0.347(=0.610 \times 0.640 \times 0.890)$ 。2015 年, 城市化对区域经济和交通运输的影响转为单一的、直接的正向作用, 其总效应分别为 1.017 和 0.447。而对旅游业的影响变为复杂的、多向的正向作用, 其作用总效应为 0.775。一方面, 城市化进程的快速推进, 直接影响旅游业发展, 直接作用效应为 0.358, 即城市化每提升 1 个单位, 将会通过直接效应促进旅游业提升 0.358 个单位; 另一方面, 城市化通过作用于区域经济从而带动旅游业发展, 还通过交通继而作用于旅游业, 间接作用总效应为  $0.417(=1.020 \times 0.440 \times 0.110 + 1.020 \times 0.360)$ 。表明城市化的快速推进, 对加快区域经济、交通运输和旅游业发展均有着显著影响。

(2) 区域经济系统。2010 年, 区域经济对交通运输具有单一的、直接的、显著的正向作用, 其直接作用效应为 0.887。表明在其他条件不变的情况下, 区域经济每提升 1 个单位, 交通运输业将直接提升 0.887 个单位。而通过影响交通运输进一步促进城市化和旅游业, 其间接作用效应分别为  $0.187(=0.890 \times 0.210)$  和  $0.392(=0.890 \times 0.440)$ 。表明区域经济发展首先推动交通运输业发展, 其次带动旅游业发展, 对推进城市化进程影响较弱。2015 年, 区域经济对交通运输的直接作用效应为 0.442, 较 2010 年减少了 0.445, 表明经济对交通的直接促进作用减弱。而对城市化和旅游业均表现出多路径、复杂的、交叉的积极带动作用, 其直接效应、间接效应和总效应分别为 0.357、0.146  $(=0.440 \times 0.110 + 0.270 \times 0.360)$  和 0.503, 即在其他条件不变的情况下, 区域经济每增加一个单位, 旅游业系统直接增加 0.357 个单位, 间接增加 0.146 个单位。可以发现区域经济对旅游业的影响直接效应远大于间接效应, 直接效应是间接效应的 2.5 倍。此外, 根据 P 值检验结果可知, 区域经济系统对城市化系统作用未通过显著性检验, 因此不做详细分析。

(3) 交通运输系统。2010 年, 交通运输对城市化和旅游业均表现为单一的、直接的正向作用效果, 对区域经济是通过作用于城市化和旅游业进而间接影响区域经济。根据 P 值检验结果显示, 交通运输对城市化和旅游业系统的作用未通过显著性检验, 因此不做详细分析, 这与 2010 年云南省交通基础设施建设力度较为薄弱的实际情况相符合。2015 年, 交通运输对旅游业的影响是单一的、直接的正向作用, 其直接作用效应为 0.113。相比其他潜在变量间的作用效应略小, 主要原因可能由于旅游业基础设施建设投入力度较小及旅游配套设施有待完善, 导致交通运输对旅游业影响效应偏小。此外, 交通运输业对城市化和区域经济系统的影响主要是以间接效应体现的, 其作用路径主要是通过旅游业系统间接作用于城市化系统, 进一步作用于区域经济系统, 其间接作用效应分别为  $0.022(=0.110 \times 0.200)$  和  $0.023(=0.110 \times 0.200 \times 1.020)$ 。表明交通运输系统的发展对城市化、区域经济和旅游业的直接作用效应不显著。

(4) 旅游业系统。2010 年, 旅游业对区域经济的影响是直接的、单一的、显著的正向作用, 其直接作用效应为 0.639。即在其他条件不变的情况下, 旅游业每提升 1 个单位, 将会直接促进区域经济提升 0.639 个单位。而对城市化系统和交通运输系统的主要通过间接效应影响, 其间接作用效应分别为  $0.120 (=0.640 \times 0.890 \times 0.210)$  和  $0.570 (=0.640 \times 0.890)$ , 即旅游业系统每增加 1 个单位, 城市化系统和交通运输系统将依次提升 0.120 和 0.570 个单位。2015 年, 旅游业系统直接影响城市化, 其直接作用效应为 0.201, 即在其他条件不变的情况下, 旅游业系统增加 1 个单位, 城市化系统将提升 0.201 单位。此外, 旅游业对区域经济和交通运输的影响主要通过间接作用反映, 其间接作用效应分别为  $0.204 (=0.200 \times 1.020)$  和  $0.090 (=0.200 \times 1.020 \times 0.440)$ 。但根据 P 值检验结果可知, 旅游业系统对城市化系统作用未通过显著性检验, 说明旅游业的发展对城市化、区域经济和交通运输的发展不具备显著直接作用。

#### 4.3 URTT 复合系统耦合机制分析

(1) 城市化水平是区域经济和旅游业发展的重要影响因素。一方面, 人口向较大规模的城市集中时, 会造成更大的集聚经济和规模效应, 因此有利于推动经济的快速发展<sup>[27]</sup>。另一方面, 城市化的快速推进, 提高城乡居民的人均可支配收入, 加大旅游需求最终带动旅游产业的发展。对于交通运输业, 主要是通过间接路径作用于区域经济与旅游系统来影响其发展, 最终影响 URTT 复合系统的耦合协调发展水平。(2) 区域经济发展在加快城市化进程、推动交通运输业和旅游业发展等方面均发挥着显著作用。经济发展促进产业结构集聚, 经济结构转型升级, 为区域发展提供资金支持。在资金投入的支撑下, 大量的基础设施得以建设, 效益产出得到显著提升, 从而使得 URTT 复合系统耦合协调度不断提升。由此表明, 区域经济的发展与耦合协调发展水平密切相关。(3) 交通运输系统直接影响旅游业发展的综合水平。交通运输业的发展, 改善了旅游目的地交通环境和服务水平, 提高了旅游景区可达性, 降低旅行成本, 进而创造大量的旅游需求, 推动旅游业系统发展。通过旅游业第三产业的联系间接推动城市化进程, 继而促进区域经济发展。(4) 旅游业 URTT 复合系统另外三个系统作用效果不显著, 说明旅游业主要通过与工业、第三产业等关联产业间接影响 URTT 复合系统协调发展。具体而言, 旅游业直接带动住宿业、餐饮业等第三产业发展, 创造更多的就业机会, 促使相关产业资源(如人才、企业、资金等)在该地区聚集, 加快城市化进程。通过城市化系统间接促进交通运输发展, 进而为区域经济发展创造基础条件, 并最终驱动区域 URTT 复合系统整体协调发展。

## 5 结论与对策

### 5.1 结论

本文聚焦于 URTT 复合系统, 通过建立 URTT 复合系统综合评价指标体系, 运用基于欧式距离的耦合协调度模型, 定量测度了云南省 16 州市 URTT 复合系统耦合协调度, 并运用趋势面分析对耦合协调度的时空演变特征进行了定量分析。然后构建了 URTT 复合系统结构方程模型, 对云南省 16 州市 URTT 复合系统内各系统间的作用路径和作用效应进行了实证分析, 结果表明:

(1) 2006–2015 年, 云南省 16 州市 URTT 复合系统耦合协调水平呈逐年上升趋势, 但总体水平不高。从空间上来看, 93.75% 的州市处于不同程度失调状态, 且存在明显的空间差异特征, 仅有昆明市处于高级协调发展状态, 表现为“中部高边缘低—东高西低—北高南低”的分布格局。按照 URTT 复合系统耦合协调发展类型划分标准, 将云南省 16 个州市耦合协调发展水平划分成协调发展类、转型发展类和不协调发展类等 3 个大类、5 个亚类和 10 个基本类型。

(2) 从 URTT 复合系统各子系统的作用路径演化来看, 城市化系统和区域经济系统是影响 URTT 复合系统的耦合协调发展水平的重要作用路径, 交通运输业和旅游业系统对子系统的作用路径较为单一和直接。其中, 城市化系统和区域经济系统在 URTT 复合系统中的作用路径由单一路径向多主体路径演化, 由直接作用转向直接与间接共同作用, 形成复杂的、系统的扩散衍生路径。交通运输系统在 URTT 复合系统中的作用路径由双主体收缩转向单一主体, 形成单一的链式作用结果。旅游业系统在 URTT 复合系统中与其他潜在变量的作用路径由区域经济系统调节到城市化系统, 形成链式作用路径, 在对单个潜在变量直接作用的基础上, 嵌入式地影响 URTT 复合系统发展。

(3)从 URTT 复合系统结构方程潜变量间的作用效应分析来看,城市化系统对 URTT 复合系统的总体作用效应最大。2015 年城市化系统对经济、交通和旅游三个子系统总的作用效应为 2.239,较 2010 年提升了 52.73%。区域经济系统对 URTT 复合系统的总体效应次之,2015 年区域经济每增加 1 个单位,城市化、交通和旅游业将总体提升 1.570 个单位,且区域经济对城市化、交通和旅游业的直接作用效果远远大于间接作用效应( $1.070>0.228$ )。交通运输系统对 URTT 复合系统发展的影响明显减弱,2015 年总体作用效果为 0.158,较 2010 年有大幅下降,说明交通运输系统不是影响 URTT 复合系统发展的关键因素。而旅游业系统主要通过间接作用(0.294)影响 URTT 复合系统子系统,进而促进云南省各州市 URTT 复合系统协调发展。

(4)云南省 URTT 复合系统的耦合协调发展程度总体上升趋势明显,发展空间较大。未来发展需重视各系统的整体协调发展,同时也要关注滇中城市群以外区域发展的差异性,促进云南省整体协调发展。结合 URTT 复合系统作用路径演化和作用效应的分析,城市化系统对区域经济(1.017)、交通运输(0.447)、旅游业(0.775)均存在显著作用;区域经济系统与交通运输(0.442)和城市化(0.503)相互作用,但与旅游业作用效果不显著;交通运输对旅游业(0.113)、城市化(0.022)、区域经济系统(0.023)相互作用,但作用强度较小;而旅游业对城市化、区域经济和交通运输均不具备显著作用效果。

## 5.2 对策建议

第一,政府高度统筹,加强“多规合一”的顶层设计。针对云南省 URTT 复合系统协调发展水平整体偏低的问题,政府应统筹规划,制定集国民经济与社会发展、综合交通和旅游业等“多规合一”规划。

第二,区域优势互补,提升滇中城市群协调发展的辐射作用。针对云南省 URTT 复合系统耦合协调发展水平的空间发展不均衡问题,应充分发挥昆明、曲靖、红河和玉溪等耦合协调发展水平较好的“滇中城市群”带头作用,促进全省 URTT 复合系统协调发展。

本文旨在探索云南省 URTT 复合系统的作用路径及耦合作用机制,提出有效可行的评价指标体系。虽然本文提出了对 URTT 复合系统之间耦合作用关系的理解,但仍存在一定的改善空间。后续研究中,考虑加入系统动力学的相关研究方法来验证对策采取后的相关效果。

## 参考文献:

- [1] 蔺雪芹,王岱,任旺兵,等.中国城镇化对经济发展的作用机制[J].地理研究,2013,32(4):691-700.
- [2] 陈明星,陆大道,查良松.中国城市化与经济发展水平关系的国际比较[J].地理研究,2009,28(2):464-474.
- [3] 戢晓峰,姜莉,陈方.云南省县域城镇化与交通优势度的时空协同性演化分析[J].地理科学,2017,37(12):1875-1884.
- [4] Aiqin D. The coupling effect measure and countermeasures between tourism industry and new urbanization in guanzhong area[J]. Agro Food Industry Hi-Tech, 2017, 28(3):1286-1290.
- [5] 罗文斌,谭荣.城市旅游与城市发展协调关系的定量评价——以杭州市为例[J].地理研究,2012,31(6):1103-1110.
- [6] 彭邦文,武友德,曹洪华,等.基于系统耦合的旅游业与新型城镇化协调发展分析——以云南省为例[J].世界地理研究,2016,25(2):103-114.
- [7] 陈博文,陆玉麒,柯文前,等.江苏交通可达性与区域经济发展水平关系测度——基于空间计量视角[J].地理研

---

究, 2015, 34 (12):2283-2294.

[8] Saidi S, Hammami S. Modeling the causal linkages between transport, economic growth and environmental degradation for 75 countries[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2017, 53:415-427.

[9] 刘定惠, 杨永春. 区域经济-旅游-生态环境耦合协调度研究——以安徽省为例[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20 (7): 892-896.

[10] Ohlan R. The relationship between tourism, financial development and economic growth in India[J]. Future Business Journal, 2017, 3 (1): 9-22.

[11] Van Truong N, Shimizu T. The effect of transportation on tourism promotion: literature review on application of the Computable General Equilibrium (CGE) model[J]. Transportation Research Procedia, 2017, 25:3 096-3 115.

[12] 王峰, 刘安乐, 张斌丰, 等. 云南省交通优势度与旅游产业发展水平空间耦合态势研究[J]. 世界地理研究, 2014, 23 (2): 166-175.

[13] Tang L, Li J P, Yu L A, et al. Quantitative evaluation methodology for system coordination development based on distance coordination degree model[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2010, 30 (4): 594-602.

[14] 孙倩, 汤放华. 基于欧氏距离协调发展度聚类模型的区域协调发展状况研究——以湖南省为例[J]. 城市发展研究, 2012, 19 (1): 35-40.

[15] 刘艳军, 刘德刚, 付占辉, 等. 哈大巨型城市带空间开发-经济发展-环境演变的耦合分异机制[J]. 地理科学, 2018, 38 (5): 662-670.

[16] 史进, 黄志基, 贺灿飞. 城市群经济空间、资源环境与国土利用耦合关系研究[J]. 城市发展研究, 2013, 20 (7): 26-34.

[17] 戢晓峰, 张力丹, 陈方, 等. 云南省自驾游发展水平与旅游交通可达性的空间分异及耦合[J]. 经济地理, 2016, 36 (5): 195-201.

[18] 吴明隆. 结构方程模型——AMOS 的操作与应用 (第 2 版) [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2010.

[19] Li H, Liu Y, Peng K. Characterizing the relationship between road infrastructure and local economy using structural equation modeling[J]. Transport Policy, 2017, 61: 17-25.

[20] Jiang X, He X, Zhang L, et al. Multimodal transportation infrastructure investment and regional economic development: A structural equation modeling empirical analysis in China from 1986 to 2011[J]. Transport Policy, 2017, 54: 43-52.

[21] 戢晓峰, 刘丁硕. 基于 3D 理论与 SEM 的县域交通可达性与空间贫困的耦合机制[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 27 (7): 1467-1476.

---

[22]陈西蕊. 基于距离协调度的区域社会经济与环境协调发展动态评价——以陕西省为例[J]. 西安文理学院学报:自然科学版, 2013, 16(1):99-104.

[23]孟德友, 沈惊宏, 陆玉麒. 中原经济区县域交通优势度与区域经济空间耦合[J]. 经济地理, 2012, 32(6):7-14.

[24]李晓静, 王兆峰. 张家界旅游流与交通耦合协调发展研究[J]. 资源开发与市场, 2013, 29(5):529-532.

[25]穆哈拜提·帕热提, 左停, 等. 新疆城镇化与经济发展耦合协调关系研究[J]. 地域研究与开发, 2016, 35(3):19-22.

[26]Najaf P, Thill J C, Zhang W, et al. City-level urban form and traffic safety: A structural equation modeling analysis of direct and indirect effects[J]. Journal of Transport Geography, 2018, 69:257-270.

[27]李洁. 基于结构方程模型的居民就医行为个体因素分析[J]. 医学与社会, 2016, 29(6):48-50.

[28]蒋晓娟, 王月菊, 陈兴鹏, 等. 中国人口-经济-空间-社会城市化耦合协调的时空演变分析[J]. 兰州大学学报:社会科学版, 2015, 43(5):63-71.

[29]徐维祥, 张凌燕, 刘程军, 等. 城市功能与区域创新耦合协调的空间联系研究——以长江经济带 107 个城市为实证[J]. 地理科学, 2017, 37(11):1659-1667.

[30]吕海萍, 池仁勇, 化祥雨. 创新资源协同空间联系与区域经济增长——基于中国省域数据的实证分析[J]. 地理科学, 2017, 37(11):1649-1658.