

# 多尺度下区域绿色交通发展时空演化及影响因素实证研究

马飞<sup>1</sup>, 赵成勇<sup>2</sup>, 吴群琪<sup>1</sup>, 孙启鹏<sup>1</sup>, 尚震<sup>1</sup>

(1. 长安大学 经济与管理学院, 陕西 西安 710064;

2. 长安大学 运输工程学院, 陕西 西安 710064)

**摘要:**为研究影响绿色交通发展的主要影响因素,基于DPSIR(驱动力-压力-状态-影响-响应)模型构建城市绿色交通发展模型框架,以关中平原城市群为研究对象,利用2009~2018年关中平原城市群面板数据,构建城市绿色交通评价指标体系,从城市群和城市尺度下对关中平原城市群绿色交通发展水平进行评价,结合空间自相关法分析其时空演化特征并讨论其影响因素。研究认为,城市群尺度下关中平原绿色交通水平发展速度较为缓慢,存在明显的空间分布差异,呈现“中间高,边缘低”的空间格局,城市尺度下各城市绿色交通发展水平不均衡,且主要影响因素存在明显差异;因此,要充分发挥西安市核心城市作用,推动绿色交通一体化发展,推进和完善城市立体化公共交通体系建设,还要针对城市所处绿色交通发展不同阶段制定持续稳定的响应举措,并随着城市绿色交通发展水平的变化进行调整。

**关键词:**绿色交通;DPSIR模型;空间自相关;关中平原城市群;交通基础设施;区域城市

中图分类号:U121

文献标志码:A

文章编号:1671-6248(2020)06-0038-12

## Spatial-temporal evolution and influencing factors of regional green transportation development at multi-scale

MA Fei<sup>1</sup>, ZHAO Chengyong<sup>2</sup>, WU Qunqi<sup>1</sup>, SUN Qipeng<sup>1</sup>, SHANG Zhen<sup>1</sup>

(1. School of Economics and Management, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China;

2. School of Transportation Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

**Abstract:** Green transportation is an important direction of urban transportation development under

收稿日期:2020-10-31

基金项目:国家社会科学基金项目(18BGL258);陕西省社科界重大理论与现实问题研究项目(2020Z354);西安市社会科学规划基金重点项目(JG-33);西安市科技计划项目(XA2020-RKXYJ-0205);西安市未央区科技计划项目(202023)

作者简介:马飞(1979-),男,陕西咸阳人,教授,博士研究生导师,管理学博士。

the goal of achieving ecological civilization and building national strength in transportation. The evaluation of green transportation is a crucial link for cities to attain green transportation transformation. Based on the DPSIR (driving force-pressure-state-influence-response) model, the paper built an urban green transportation development model framework and a regional green index system for transportation development evaluation. Using panel data of the Guanzhong Plain urban agglomeration from 2009 to 2018, the paper evaluated its green transportation development from the urban agglomeration scale and the urban scale. Meanwhile, the paper also analyzed its spatial and temporal evolution characteristics in conjunction with the spatial autocorrelation method and analytically determined its impact. The results show that: The development speed of the green transportation level in the Guanzhong Plain at the urban agglomeration scale is relatively slow, and there are obvious differences in spatial distribution, showing a spatial pattern of "high in the middle and low at the edge". There are obvious differences in the main influencing factors. Therefore, it is necessary to formulate a continuous and stable dynamic response mechanism for different stages of the city. A novel method to measure the level of regional green transportation development is provided. Our findings contribute to the understanding of the green transportation development process of urban agglomerations and are of significance for promoting the transformation and upgrading of the transportation system of the Guanzhong Plain urban agglomeration and participating in the "Belt and Road" construction.

**Key words:** Green transportation; DPSIR model; Spatio-temporal evolution; Guanzhong plain urban agglomeration; transport infrastructure; regional city

党的十九大以来,中国将生态文明建设与可持续发展摆在了突出位置。于城市交通系统而言,即要构建城市绿色交通体系,推动城市交通绿色化转型升级。因此发展绿色交通,对推动中国交通运输行业转型、实现交通强国战略目标具有重大意义。绿色交通体系在国外推行较早,在中国的绿色交通发展主要包括推动交通运输节能、强化生态保护、开展污染防治、加强环保监管等。在绿色交通发展理念下,减少交通拥堵、降低能耗、促进环境友好等是城市交通系统建设的目标,城市交通系统规划要注重环境保护和生态环境质量,推动公交优先发展,建立以公共交通为主导的城市综合交通系统<sup>[1]</sup>。

当前国内外绿色交通研究主要聚焦在绿色交通内涵、评价及政策实施等方面。Bradshaw 最早提出“绿色交通体系”,即以步行、自行车、公共交通、出租车、多人乘用车等交通工具为主的交通体系<sup>[2]</sup>。沈添财结合“绿色交通体系”概念,提出绿色

交通旨在发展多元化城市交通工具,通过降低污染、缓解拥堵实现交通、经济、绿色统一<sup>[3]</sup>。付丽等认为绿色交通是利用多元化城市交通工具来完成社会经济活动以实现交通与环境、交通与资源、交通与社会、交通与发展相协调的协调交通系统<sup>[4]</sup>。Chen et al. 指出绿色交通是以步行、自行车和使用绿色能源的公共交通为主要交通方式的更加经济、可行和可持续的交通服务体系<sup>[5]</sup>。

关于绿色交通评价,国内外学者综合考虑各类因素,提出了多种指标体系构建方式。Haghshenas et al. 基于系统动力学模型,选取代表环境、经济和社会可持续发展等各关键类别的 9 个可持续交通评价指标,对伊斯法罕市的交通运输可持续性进行评价,提出发展公交网络是城市可持续发展的重要策略<sup>[6]</sup>。Ma et al. 基于中心三角形白化权重函数,采用熵权-APH 复合模型确定评价指标权重,对城市绿色交通规划进行综合评价<sup>[7]</sup>。Rajak et al. 提出使用模糊逻辑进行城市交通可持续发展绩效评估,通

过确定适当的可持续性指标解决经济可持续、社会可持续、环境可持续和交通系统有效性等主要方面问题<sup>[8]</sup>。范厚明等结合 DPSIR 模型,建立城市低碳交通评价指标体系,分析各方面关系及其相互作用机理,为城市低碳交通建设决策提供理论依据<sup>[9]</sup>。金丹等在 DPSIR 模型基础上结合 AHP-熵权法构建绿色交通发展评价指标体系,对徐州市绿色交通发展水平进行评价,并从时间维分析其发展趋势,对主要影响因素进行分析<sup>[10]</sup>。黄伟宏等将绩效管理思想应用到绿色交通体系建设,基于计划、管理、评估等绩效管理三要素,针对绿色交通不同发展阶段特点和需求提出绩效管理基本导向<sup>[11]</sup>。朱嘉等基于已有绿色交通相关评价体系,采用模块化理论,着眼于政府、企业、社会 3 种对象,形成适用性强、针对性突出的模块化考核评价体系<sup>[12]</sup>。

综上,现有对城市绿色交通发展水平的评价以多指标定量评价为主,研究水平保持在单一尺度范围,鲜有针对城市群区域绿色交通发展评价和时空演化特征的研究,尤其未将区域绿色交通发展空间特征纳入城市绿色交通发展趋势分析中。城市群是在特定区域范围内以一个或两个特大城市为中心,依托一定自然环境和交通条件,城市间内在联系不断加强,共同构成一个相对完整的城市“集合体”,对国家重大区域发展战略具有强力的推动作用。因此,本文基于 DPSIR(驱动力-压力-状态-影响-响应)模型,构建城市绿色交通发展模型框架,建立关中平原城市群绿色交通发展评价指标体系,在“城市群-城市”多尺度下对区域绿色交通发展水平进行分析,并使用 ArcGIS 分析区域绿色交通发展空间分布形态及时空演化特征。然后引入贡献度指标,对影响绿色交通发展的重要因素进行识别与分析。最后根据研究结果有针对性地对关中平原城市群区域绿色交通发展提出政策建议。

## 一、DPSIR 模型构建

DPSIR(驱动力-压力-状态-影响-响应)模型,是

基于环境管理问题建立的一种评价指标选取体系,包括驱动力(driving force),压力(pressure),状态(state),影响(impact),响应(response)5种要素<sup>[13-14]</sup>。DPSIR模型表明社会发展和人类行为对资源消耗与生态环境的影响,也表明了人类行为产生的影响对社会发展的反馈过程,提供了一套基于“发生了什么,为什么发生,造成什么影响,如何应对”的分析框架<sup>[15-18]</sup>,对分析多指标的复杂逻辑关系具有很强的优势。

### (一) 区域城市绿色交通发展 DPSIR 模型框架

DPSIR模型能够从系统角度分析人与资源环境之间的相互作用,反映出人类活动与资源环境变化之间的因果及制约关系。本文基于 DPSIR 模型,构建区域城市绿色交通发展的模型框架。

在区域城市绿色交通体系发展过程中,社会经济发展、城市化水平提高、人口增长等作为城市绿色交通发展的驱动力,刺激城市交通需求,给城市交通带来直接压力。在驱动力带来的压力下,城市交通系统表现出不同的状态。城市交通状态的改变,会对环境、社会产生正面或负面影响。最后,城市交通发展造成的影响激励人们采取相应的措施对其进行响应,并针对驱动力、压力、状态、影响的动态变化制定相应的政策和采取相应的措施,以推进城市绿色交通稳定发展<sup>[19-20]</sup>。基于上述分析,以关中平原城市群为例,构建区域城市绿色交通发展 DPSIR 模型框架,如图 1 所示。

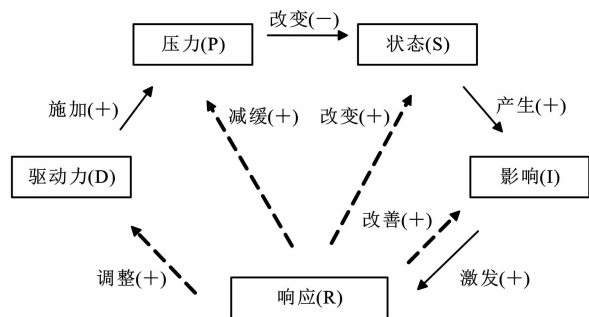


图 1 关中平原城市群城市绿色交通发展 DPSIR 模型框架

### (二) 评价指标体系构建

通过应用理论分析以及频度统计等方法对现

有评价指标体系进行归纳,本文基于构建的城市绿色交通发展 DPSIR 模型框架,结合关中平原城市群经济发展、社会环境及交通状况,对评价指标进行筛选。第一,遵循客观性原则,确保数据指标选取客观可靠。第二,依据完备性原则,从评价体系的不同视角进行指标选取,完整反映绿色交通体系结构。第三,遵循导向性、独立性原则,选取具有一定导向性作用且能够独立反映城市绿色交通发展水平的指标<sup>[21-22]</sup>。基于以上原则依据政府相关部门工作报告等数据来源,对初始指标进行筛选和调整,最终确定关中平原城市群绿色交通发展 DPSIR 模型框架的 21 个基础指标,如表 1 所示。

表 1 关中平原城市群绿色交通发展评价指标体系

目标层	准则层	指标层	单位	指标方向
区域城市绿色交通发展评价指标体系	驱动力 (D)	D1 地区生产总值增长率	%	正
		D2 生产总值	亿元	正
		D3 城市化水平	%	负
		D4 民用汽车拥有量	辆	负
		D5 人均生产总值	元	正
		D6 城区人口密度	人/km <sup>2</sup>	负
	压力 (P)	P1 人均城市道路面积	人/m <sup>2</sup>	正
		P2 万人公交车拥有量	辆	正
		P3 出租车拥有量	辆	正
		P4 建成区路网密度	km/km <sup>2</sup>	正
	状态 (S)	S1 公交车客运量	万人次	正
		S2 道路交通设施用地比重	%	正
		S3 道路路灯覆盖率	%	正
	影响 (I)	I1 环境空气质量优良天数比例	%	正
		I2 城市主要污染物浓度	ug/m <sup>3</sup>	负
		I3 道路交通噪声平均值	dB	负
		I4 单位 GDP 能耗增长率	%	负
	响应 (R)	R1 道路桥梁建设投资占比	%	正
		R2 市容环境建设投资占比	%	正
		R3 建成区绿化覆盖率	%	正
		R4 天然气汽车加气站	座	正

## 二、研究方法

### (一) 熵权法

熵权法是一种客观赋值方法,利用信息熵计算

每个指标的熵权,再根据熵权对每个指标的权重进行修正,得出较客观的指标权重。为避免不同指标间数量级和量纲的不同,分别利用公式(1)、(2)对原始指标数据进行标准化处理<sup>[19-21]</sup>。

$$\text{正向指标 } r_{ij} = \frac{B_{ij} - B_{\min}}{B_{\max} - B_{\min}} \quad (1)$$

$$\text{负向指标 } r_{ij} = \frac{B_{\max} - B_{ij}}{B_{\max} - B_{\min}} \quad (2)$$

式中: $r_{ij}$ 为标准化处理后的值, $i$ 表示第  $i$  个研究对象, $j$ 表示第  $j$  个指标, $B_{ij}$ 表示指标数据的观测值, $B_{\max}$ 和  $B_{\min}$ 表示所选指标在研究范围中的最大值和最小值。

利用公式(3)计算第  $j$  项指标的信息熵  $E_j$

$$E_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^m \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}} \ln \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}} \quad (3)$$

式中: $E_j$ 表示第  $j$  项指标的熵值, $n$ 表示研究对象的样本数目。

利用公式(4)计算第  $j$  项指标的权重

$$W_j = \frac{1 - E_j}{m - \sum_{j=1}^m E_j} \quad (4)$$

式中: $W_j$ 表示第  $j$  项指标的权重, $m$ 表示指标的数目。

为更客观地对构建的区域城市绿色交通发展评价指标进行权重赋值,采用熵值法对指标数据进行标准化处理,进而对评价指标权重进行赋值,以此为基础,对关中平原城市群城市绿色交通发展水平进行客观评价。

### (二) 空间自相关

空间自相关是研究空间中某单元要素的观察值与其相邻单元要素间是否存在相关性及相关程度的空间分析方法,常用的空间自相关包括全局空间自相关和局部空间自相关。全局空间自相关是对某个单元要素属性在整个研究区域的空间特征的描述,判断其在空间上是否存在聚集、分散或者随机性分布等特征。全局莫兰指数(Global Moran's I)是常用的全局空间自相关测度指标,用来研究区域上所有空间单元间的关联程度及显著性水平<sup>[22-24]</sup>,

如公式(5)所示。

$$I_d = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (5)$$

式中: $n$ 为研究对象的数目; $X_i$ 为研究区域*i*的观测值, $X_j$ 为研究区域*j*的观测值; $W_{ij}$ 为衡量研究单元区域*i**j*空间连接邻近关系的空间权重矩阵。

采用全局空间自相关法,从“城市群-城市”多尺度下对关中平原城市群绿色交通发展的时空演化过程进行分析,进一步探索关中平原城市群城市绿色交通发展的区域空间特征及发展趋势,分析关中平原城市群城市间绿色交通发展的城市联系及相互作用规律。Moran's I指数值介于-1与1之间, $I > 0$ 表示具有空间正相关,空间上呈聚集分布,其值越大空间相关性越明显; $I < 0$ 表示空间负相关,空间上呈离散分布,其值越小空间差异越大; $I = 0$ 时,表示空间呈随机分布,不存在空间自相关性。

### 三、研究区域与数据来源

#### (一) 研究区域

关中平原城市群地处中国内陆中心,是西部地区第二大城市群,本文以关中平原城市群为研究对象。关中平原城市群以国家中心城市西安为核心,包括宝鸡、咸阳、铜川、渭南、商洛、天水、平凉、庆阳、运城、临汾等重要节点城市,在国家现代化建设大局和全方位开放格局中具有独特的战略地位。

#### (二) 数据来源

本文选取2009~2018年间数据,主要来源于《中国统计年鉴》《陕西统计年鉴》《甘肃发展年鉴》《山西统计年鉴》《城市建设统计年鉴》《中国环境年鉴》等以及各城市2009~2018年城市统计年鉴和城市经济社会发展统计公报、政府工作报告等,另有部分数据咨询或查阅相关城市的统计局、交通运输局、住建局、城建局等相关部门政府网站,以确保数据来源的准确性和权威性<sup>[23-24]</sup>。

## 四、实证分析

### (一) 区域绿色交通发展评价

#### 1. 城市群尺度下区域绿色交通发展评价

按照公式(1)、(2),对2009~2018年关中平原城市群各城市绿色交通发展评价指标数据进行标准化处理,按照公式(3)、(4),确定评价指标权重,如表2所示。

表2 城市绿色交通发展评价指标权重

指标	权重	指标	权重
D1	0.016 8	S1	0.219 0
D2	0.097 3	S2	0.010 9
D3	0.020 0	S3	0.010 2
D4	0.005 1	I1	0.018 9
D5	0.041 6	I2	0.006 6
D6	0.042 5	I3	0.023 3
P1	0.035 7	I4	0.003 9
P2	0.044 5	R1	0.029 4
P3	0.128 7	R2	0.068 3
P4	0.007 3	R3	0.007 8
		R4	0.162 0

根据得到的评价指标体系权重和指标数据,第*i*个准则层的评价值 $Z_i$ 为

$$Z_i = \sum_{j=1}^n w_j \times r_j \quad (6)$$

式中: $n$ 为该准则层下评价指标的个数, $r_j$ 为各指标经标准化后的数值, $w_j$ 为该指标的权重。

进而,绿色交通水平综合评价指数*G*为

$$G = \sum_{i=1}^n Z_i \quad (7)$$

由此得到关中平原城市群2009~2018年城市群绿色交通水平综合指数,如图2所示。

由图2可见,自2009年开始关中平原城市群绿色交通发展水平总体呈缓慢增长趋势。城市群绿色交通水平综合指数由2009年2.411 8增长到2014年2.811 7,增长幅度达到16.6%。随后在2014年至2017年间出现略微下降,到2017年进入关中平原城市群绿色交通发展的转折点。在2018年关中平原城市群绿色交通水平综合指数达到

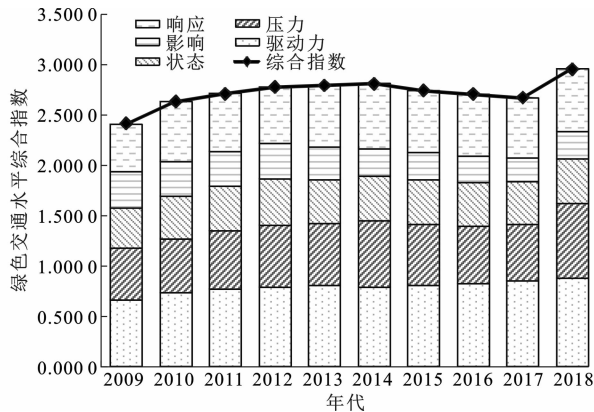


图2 关中平原城市群绿色交通发展分系统评价结果

2.958 8,相比2017年增长10.66%。究其原因,自2017年党的十九大召开以来,生态文明建设被提到新的战略高度,各省市制定了相应的计划行动方案,如陕西省制定《铁腕治霾打赢蓝天保卫战三年行动方案(2018~2020年)》,积极调整产业、能源、用地结构,优化运输结构,发展绿色交通体系,推进污染源治理,推动绿色交通建设快速发展。

### 2. 城市尺度下区域绿色交通发展评价

在城市尺度下,按照公式(6)、(7)计算得出2009~2018年关中平原城市群各城市绿色交通水平综合指数,如表3所示。

由表3可以看出,各城市绿色交通水平在2009~2018年间均有不同程度增长。2009年除西安绿色交通水平综合指数达0.6216外,综合指数达到0.2000的城市有宝鸡(0.2289)、渭南(0.2005),其他城市综合指数均在0.1400~0.2000之间。

2014年,绿色交通水平综合指数达到0.3000的城市有西安(0.7130)、宝鸡(0.3059),达到0.2000的城市有铜川(0.2024)、咸阳(0.2337)、庆阳(0.2403)、运城(0.2211),其他城市绿色交通水平较往年均有小幅度增长。究其原因,西安作为核心城市,依托其国家中心城市建设目标及国际交通枢纽的重要位置,其城市绿色交通发展水平远高于其他城市。宝鸡是关中平原城市群次核心城市,毗邻西安市,是国家重要交通枢纽之一。可见,城市发展基础的差异及地理位置会导致城市绿色交通发展水平出现明显的差距。从表3可知,关中平原各城市绿色交通发展存在明显的区域分层,西安发展水平突出且发展迅速,宝鸡、咸阳、运城呈现出较为稳定的上升趋势,铜川、庆阳、临汾、渭南等地区则呈现波动性发展且发展水平缓慢。

## (二) 区域绿色交通发展时空演化分析

### 1. 城市群尺度区域绿色交通发展空间演化

在对关中平原城市群区域绿色交通水平进行综合评价后,利用ArcGIS软件,对2009~2018年不同时期区域绿色交通发展空间的演化过程进行展示,如图3所示。

可见,城市群尺度下,关中平原城市群区域绿色交通发展存在明显的空间分布差异,呈现出“中心高、边缘低”的空间格局。在核心区附近,绿色交通发展高水平区域辐射范围逐渐向宝鸡、咸阳等地

表3 2009~2018年关中平原城市绿色交通水平综合指数

地区	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
西安	0.6216	0.6488	0.6730	0.6791	0.6836	0.7130	0.7213	0.6824	0.6950	0.7278
铜川	0.1478	0.1679	0.1688	0.1590	0.1853	0.2024	0.1736	0.1764	0.1604	0.1652
宝鸡	0.2289	0.2407	0.2614	0.2858	0.3140	0.3059	0.3015	0.3036	0.2937	0.3241
咸阳	0.1804	0.2162	0.2398	0.2230	0.2378	0.2337	0.2644	0.2711	0.2499	0.2816
渭南	0.2005	0.2164	0.2149	0.2531	0.1990	0.1922	0.1916	0.1877	0.2150	0.2316
商洛	0.1964	0.2040	0.1842	0.1877	0.1704	0.1606	0.1553	0.1637	0.1820	0.2425
天水	0.1375	0.1789	0.1625	0.1526	0.1907	0.1766	0.1787	0.1822	0.1548	0.1656
平凉	0.1912	0.2043	0.2118	0.2046	0.2218	0.1898	0.1995	0.2044	0.2020	0.2150
庆阳	0.1895	0.2071	0.2264	0.2185	0.2125	0.2403	0.1958	0.1801	0.1528	0.1978
运城	0.1693	0.1828	0.1884	0.2025	0.2134	0.2211	0.2142	0.1979	0.2321	0.2346
临汾	0.1488	0.1656	0.1814	0.2125	0.1669	0.1762	0.1502	0.1608	0.1360	0.1731

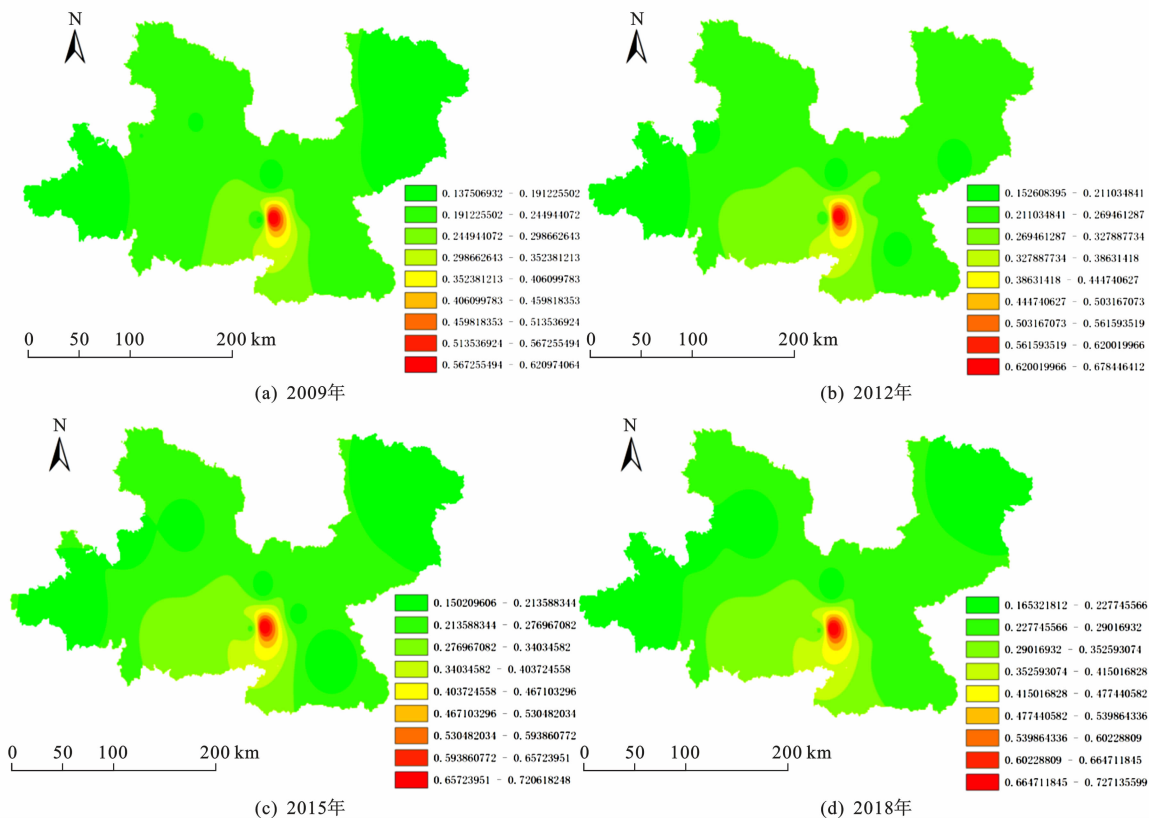


图3 城市群尺度下区域绿色交通发展空间演化

区方向扩张。在边缘地区,绿色交通发展水平显著较低,但是从2009~2018年间,绿色交通发展低水平范围逐渐缩小,如东北、东部和西部等地区,表明边缘地区绿色交通水平也在不断提高,但是发展速度相对缓慢。

## 2. 城市尺度区域绿色交通发展空间分布

基于关中平原各城市不同时期城市绿色交通水平综合指数,对其空间分布特征进行展示,如图4所示。根据综合得分和关中平原区域特点,将关中平原城市群绿色交通水平等级划分为高水平(0.5~1.0)、较高水平(0.3~0.5)、较低水平(0.2~0.3)、低水平(0.0~0.2)4个阶段。

可见,在城市尺度下,2009年只有西安市绿色交通发展水平达到高水平。自2012年以来,出现除西安市以外的绿色交通发展较高水平城市。2015年,部分城市绿色交通水平有所下降,但是绿色交通发展较高水平区域集中程度进一步加强。究其原因,可能是在2015年前,随着工业化、城镇化的快

速发展,关中地区区域性复合型大气污染问题日益突出,到2014年关中城市群已经成为全国大气污染严重的地区之一,导致绿色交通水平出现回落。同时,一系列“治污降霾,保卫蓝天”行动计划开始相继实行,到2018年,关中平原城市群绿色交通水平开始出现明显提高,城市绿色交通发展呈现出向西南地区倾斜的特点。

## 3. 关中平原城市群绿色交通发展空间自相关分析

在对关中平原城市群区域绿色交通发展空间的演化特征分析后,利用全局空间自相关法进一步分析关中平原城市群区域绿色交通发展情况。通过计算2009~2018年间不同时期城市群全局自相关Moran's I指数,反映关中平原城市群区域绿色交通发展空间相关关系及演化规律,如表4所示。

由表4可见,关中平原城市群绿色交通发展全局自相关Moran's I指数均通过Z检验,结果具有可信度,P值均为 $0.0010 < 0.0100$ ,表明在99%置信

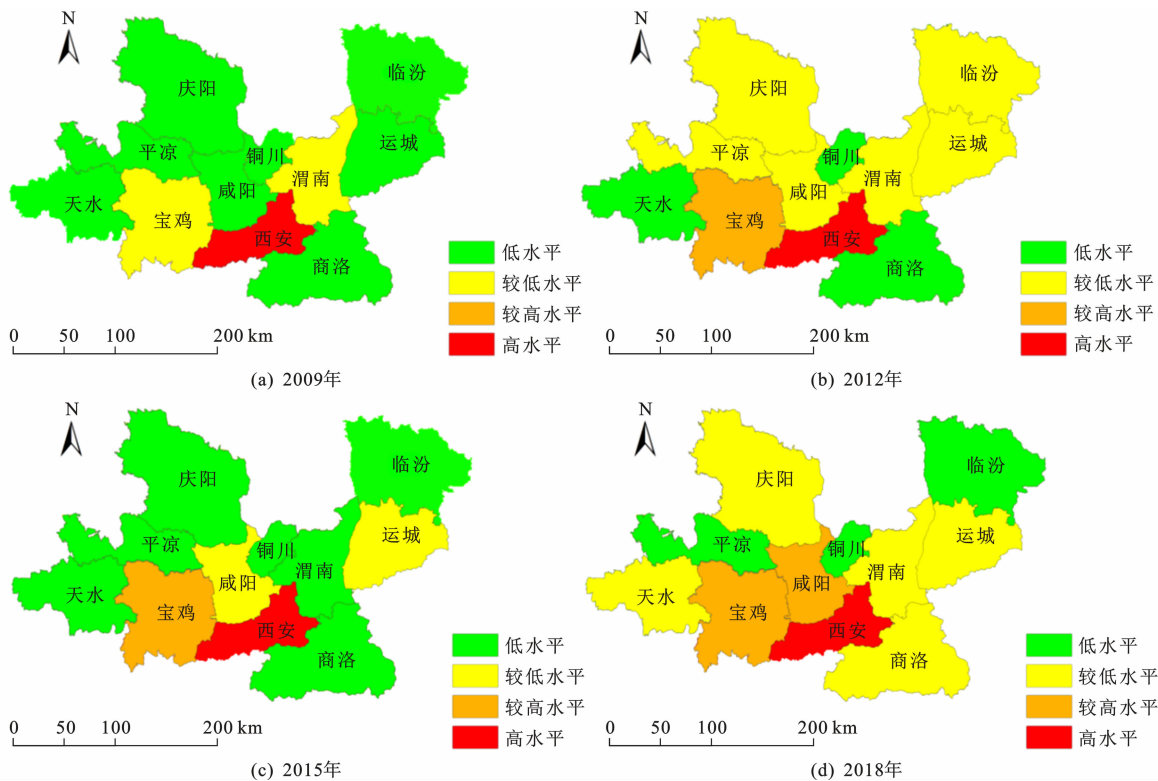


图4 城市尺度下绿色交通发展水平空间分布

通过上述分析可知,关中平原城市群区域绿色交通发展呈现出明显的时空演化特征:城市群核心区域城市绿色交通发展水平高、速度快,边缘区域城市发展水平低,且速度相对缓慢,区域整体发展不均衡。如图5所示。

表4 关中平原城市群全局自相关 Moran's I 指数

年份	Moran's I	P	Z
2009	-0.245 0	0.001 0	-3.747 6
2010	-0.266 0	0.001 0	-4.524 3
2011	-0.286 8	0.001 0	-4.671 5
2012	-0.260 9	0.001 0	-3.425 1
2013	-0.309 6	0.001 0	-4.504 3
2014	-0.273 2	0.001 0	-3.844 2
2015	-0.332 2	0.001 0	-4.882 4
2016	-0.357 1	0.001 0	-5.245 2
2017	-0.326 5	0.001 0	-4.490 7
2018	-0.337 0	0.001 0	-4.640 3

度水平下,关中平原城市群绿色交通发展水平存在显著的空间差异。在2009~2016年间,Moran's I 指数绝对值由0.245 0上升到0.357 1,整体空间差异化呈现增长趋势。究其原因,西安市高度发展的城市基础设施是造成区域空间差异化的主要因素,另外随着宝鸡、咸阳、平凉、渭南等城市绿色交通发展水平不断提高,其他城市发展速度较慢,导致区域空间差异化不断扩大。

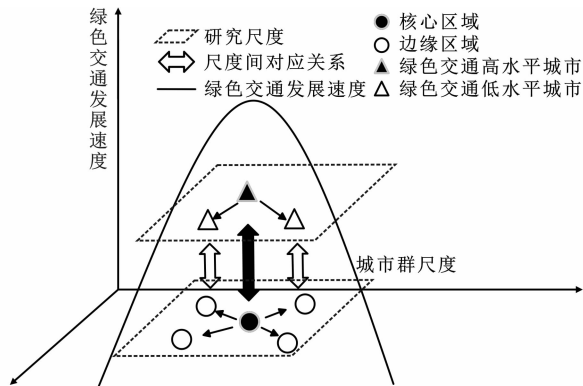


图5 关中平原城市群区域绿色交通发展时空演化特征

### (三) 区域绿色交通发展影响因素分析

1. 城市群尺度下区域绿色交通发展指标贡献度  
为进一步探究关中平原城市群绿色交通发展

的重要影响因素,本文引入贡献度来考量各准则层指标对于城市绿色交通发展的作用。贡献度  $C_i$  计算公式为

$$C_i = \frac{\sum_{j=1}^n r_j \times w_j}{Z} \quad (8)$$

式中: $Z$  为城市绿色交通水平综合指数, $n$  为该准则层下的指标数量, $r_j$  为该准则层下各指标经标准化处理的数据, $w_j$  为对应指标的权重。

基于公式(8),得到关中平原城市群各准则层指标的贡献度分布情况,如图6所示。

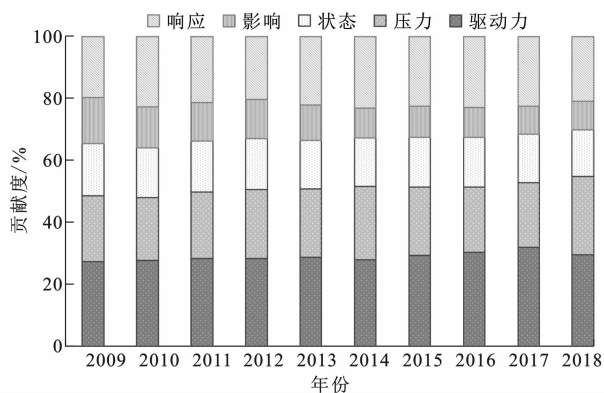


图6 关中平原城市群准则层指标贡献度分布变化

可见,在区域绿色交通发展中,社会经济发展等驱动力因素一直是主要影响因素。随着驱动力的不断增加,城市交通系统的压力也在不断加强,关中平原城市群区域越来越注重对城市交通系统压力的关注程度,并采取相应措施对产生的影响进行响应,从而导致压力指标与响应指标的贡献度提升。但是状态指标和影响指标的贡献度依然较低,因此,城市交通出行结构优化、增加交通基础设施建设、推进公共交通运行、提升城市环境是关中城市群区域绿色交通未来发展的重点关注方面之一。

## 2. 城市尺度下区域绿色交通发展指标贡献度

在城市尺度下,按照公式(8)对关中平原城市群各城市准则层指标的贡献度进行测算,得到各准则层指标贡献度的分布情况和发展趋势,如图7所示。

可见,对于绿色交通水平较低的城市,驱动力

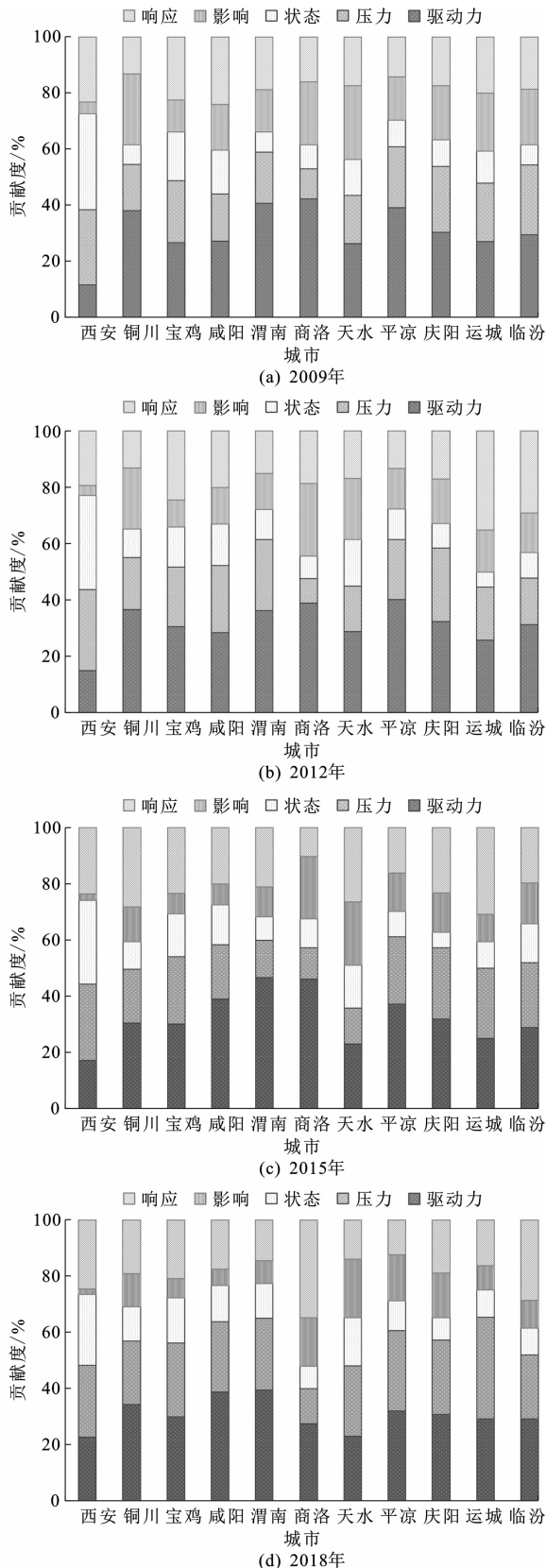


图7 关中平原城市群各城市准则层指标贡献度分布

指标是主要推动指标,如渭南、商洛、庆阳等。随着城市绿色交通发展水平提升,准则层指标贡献度开始向压力、响应指标发展,影响指标贡献度开始降低,如西安作为绿色交通高水平城市,准则层指标贡献度向状态、压力和响应指标倾斜,影响指标贡献度明显低于其他指标。

由此可见,关中平原城市群城市绿色交通的发展路径是:对绿色交通发展水平较低的城市,驱动力是初期的主要影响因素。随着城市发展,主要因素开始向压力、状态、响应指标倾斜,但由于城市发展过程中交通基础设施建设的不足以及城市经济社会的快速发展,导致影响指标贡献度下降。因此,需要针对城市绿色交通发展不同阶段制定相应政策措施,形成持久稳定的政策响应,同时加大对城市环境等问题的关注。

## 五、研究结论与政策建议

### (一) 研究结论

通过以上研究,本文得出如下结论:

(1)关中平原城市群绿色交通发展水平呈缓慢增长趋势,近10年间增长幅度在10%左右。各城市绿色交通发展水平综合指数普遍较低(除西安市达到0.6),城市绿色交通发展水平处在不同程度增长过程中。

(2)在区域绿色交通发展时空演化方面,可以看出关中平原城市群绿色交通发展存在显著空间分布差异,区域发展不均衡,核心效应明显,呈现出以西安为中心、发散式发展的趋势。

(3)在城市群尺度下,驱动力指标是影响关中平原城市群绿色交通发展的主要因素,因此城市基础设施建设和城市环境、社会影响改善是其未来绿色交通发展的主要着力方向。

(4)在城市尺度下,绿色交通发展水平较高城市的状态、压力、响应指标贡献度较高,影响指标贡献度较低;绿色交通发展水平较低的城市,驱动力

指标是主要影响因素。随着城市绿色交通水平提高,主要影响因素开始向压力指标和响应指标发展,影响指标贡献度开始下降。因此,加快城市基础设施建设的同时要加强对城市环境的保护,根据城市绿色交通发展所处不同阶段制定相应响应措施。

### (二) 政策建议

#### 1. 城市群层面

针对城市群绿色交通发展不均衡问题,要加强城市间联系,充分发挥西安市核心城市作用,带动周边城市,推动区域绿色交通一体化发展。鼓励各城市依照发展体系标准进行城市绿色交通规划与政策实施。加大对城市交通体系和城市建设过程的管理,完善对城市空气环境、声环境等监测,减少对城市社会、环境带来的影响。鼓励各城市加强城市交通基础设施建设,建立持续的交通响应措施。

#### 2. 城市层面

(1)绿色交通发展水平较高的城市继续完善轨道交通规划与建设,坚持公共交通优先发展,逐步完善常规公共交通为网络、出租车为补充、慢行交通延伸的立体化公共交通体系。升级公交信息化系统,提升公共交通服务的质量和广度。依托高度发展的城市基础,建立绿色循环的公路基础设施、公共交通基础设施,严格把控污染物排放指标,减少机动车尾气排放。完善公共停车场建设,严格进行停车管理。

(2)绿色交通发展水平较低的城市完善城市道路基础设施建设和公共交通基础设施建设,积极推进城市公共交通体系建设。加强城市发展过程中的环境监测与管理,减少城市交通发展带来的资源浪费、环境污染等问题。加大节能减排力度,推进新能源应用,加强绿色交通宣传。依托城市群优势,学习核心城市建设发展经验,加强与其他城市的联系。依据城市发展特点制定完备的绿色交通发展规划,建立持续性城市交通发展响应措施,改

善交通拥堵,优化城市公交线路,提高公交运行效率,营造绿色出行的社会环境,及时对城市绿色交通发展状况进行把握,随着城市绿色交通发展水平的变化对响应措施进行调整。

## 六、结语

绿色交通是当前城市交通发展的热点问题,绿色交通评价是实现城市绿色交通发展转型的重要阶段。本文为研究关中平原城市群绿色交通发展时空演变特征和影响因素,基于 DPSIR 模型建立城市绿色交通发展模型框架,针对关中平原城市群构建城市绿色交通评价指标体系,从城市群和城市尺度下对关中平原城市群绿色交通发展水平进行评价,进一步对城市群区域绿色交通发展水平空间分布及时空演化特征进行分析,对影响绿色交通发展的主要影响因素进行讨论。研究结果有利于对关中平原城市群绿色交通发展过程进行全面掌握,提出的创新方法能够作为长期衡量区域绿色交通发展水平的重要工具,对推动关中平原城市群交通体系转型升级、深入参与“一带一路”建设具有重要意义。

由于研究数据获取有限等原因,本文仍存在不足之处,未来在如下方面可开展进一步研究:优化区域绿色交通发展评价指标体系,在城市绿色交通发展模型框架下考虑加入慢行交通等相关指标;考虑深化研究尺度,加入县区尺度,完善对城市绿色交通发展的多尺度研究;深化对影响绿色交通发展的重要指标识别分析,对城市绿色交通发展提出更具有针对性的政策建议。

### 参考文献:

[1] 陆化普. 城市绿色交通的实现途径[J]. 城市交通, 2009,7(6):23-27.  
 [2] 何玉宏. 城市交通发展的绿色转向[J]. 中州学刊, 2018(7):61-67.  
 [3] 沈添财. 绿色交通与空气质量的改善[J]. 城市交通,

2001(2):1-7.  
 [4] 付丽,杨顺顺,赵越,等. 基于绿色交通理念的城市交通可持续发展策略[J]. 中国人口·资源与环境, 2011,21(S1):367-370.  
 [5] Chen N, Wang C-H. Does green transportation promote accessibility for equity in medium-size U. S. cities? [J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment. 2020(84):102-365.  
 [6] Haghshenas H, Vaziri M, Gholamialam A. Evaluation of sustainable policy in urban transportation using system dynamics and world cities data: A case study in Isfahan [J]. Cities, 2015(45):104-115.  
 [7] Ma F, He J, Ma J P, et al. Evaluation of urban green transportation planning based on central point triangle whitening weight function and entropy-AHP[J]. Transportation Research Procedia, 2017(25):3634-3644.  
 [8] Rajak S, Parthiban P, Dhanalakshmi R. Sustainable transportation systems performance evaluation using fuzzy logic[J]. Ecological Indicators, 2016(71):503-513.  
 [9] 范厚明,徐振林,张锐. 基于 DPSIR 的城市低碳交通评价指标分析——以大连市为例[J]. 生态经济, 2018,34(4):64-69.  
 [10] 金丹,董晓. 基于 DPSIR 模型的城市绿色交通发展评价研究[J]. 生态经济, 2018,34(5):79-85.  
 [11] 黄伟宏,高波,胡兴华. 基于发展阶段的绿色交通体系绩效评价研究[J]. 综合运输, 2019,41(6):27-33.  
 [12] 朱嘉,曾良,乔心格,等. 基于模块化的综合性绿色交通考核评价体系构建及动态作用机理研究[J]. 交通节能与环保, 2020,16(1):81-85.  
 [13] Svarstad H, Petersen L K, Rothman D, et al. Discursive biases of the environmental research framework DPSIR [J]. Land Use Policy, 2008,25(1):116-125.  
 [14] Niemeijer D, de Groot R S. Framing environmental indicators: moving from causal chains to causal networks[J]. Environment, Development and Sustainability, 2006, 10(1):89-106.  
 [15] Jago-on K A B, Kaneko S, Fujikura R, et al. Urbanization and subsurface environmental issues: an at empt at DP-SIR model application in Asian cities[J]. Science of the

- Total Environment,2009,407(9):3089-3104.
- [16] Tscherning K, Helming K, Krippner B, et al. Does research applying the DPSIR framework support decision making? [J]. Land Use Policy,2012,29(1):102-110.
- [17] Cao H J. An initial study on DPSIR model[J]. Environmental Science and Technology,2005,28(S1):110-111.
- [18] Tong C. Review on environmental indicator research[J]. Research On Environmental Science,2000,13(4):53.
- [19] Ma F,Wang Z,Sun Q, et al. Spatial-temporal evolution of urban resilience and its influencing factors:evidence from the Guanzhong plain urban agglomeration [J]. Sustainability,2020,12(7):33-34.
- [20] Zhu X,Wei G. Discussion on the excellent standard of dimensionless method in entropy method[J]. Stat. Decis, 2015,31:12-15.
- [21] 张完定,王广三. 基于TOPSIS-熵权法的陕西创新驱动发展评价指标研究[J]. 长安大学学报(社会科学版),2019,21(1):32-41.
- [22] Ma F,Ren F X. The spatial coupling effect between urban public transport and commercial complexes:a network centrality perspective [J]. Sustainable Cities and Society,2019,10:5-10.
- [23] Aljoufie M, Brussel M, Zuidgeest M, et al. Urban growth and transport infrastructure interaction in Jeddah between 1980 and 2007[J]. International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation,2013,21:100-110.
- [24] 孙欣,曾菊芬. 中国区域绿色技术创新效率的空间分布及影响因素分析[J]. 长安大学学报(社会科学版),2019,21(6):29-44.