

◆宏观经济◆

我国30个省（市）交通基础设施空间溢出效应研究

易其国 马 灿 丁 锐

【摘 要】以地理学第一定律、万有引力定律与人口流动理论，利用30个省（市）空间关联、经济发展和人口流动数据，构建三种权重矩阵，对比分析公路铁路在不同矩阵下的空间溢出效应，进一步对比分析东中西部地区。结果发现，铁路的溢出效应在不同矩阵下都大于公路，在三大地区比较时发现东部公路的溢出效应最强，而中部铁路的溢出效应最强。本研究拓展了区域交通基础设施溢出效应研究方法，对我国区域交通建设有一定的理论指导意义。

【关 键 词】交通基础设施；区域经济；空间溢出效应；空间计量经济模型

【基金项目】贵州省教育厅自然科学研究项目“林木生物质热转化技术评估与潜在环境影响研究”（黔教合KY字（2015）365）；贵州省教育厅人文社会科学研究项目“低碳经济背景下贵州农业生物质能发展研究”（2016ZC041）。

【作者简介】易其国，贵州财经大学副教授，博士，研究方向：区域生态经济；马灿，贵州财经大学硕士研究生，研究方向：区域经济；丁锐（通讯作者），贵州财经大学副教授，博士，研究方向：区域经济、交通网络、城乡规划。

一、引言

交通基础设施一直以来被认为是经济发展的先行要素，亚当·斯密在《国富论》中提出交通对扩展市场的重要作用，其后罗丹的“大推进理论”、罗斯托的“起飞”理论都将交通基础设施视为区域经济发展的重要因素。交通基础设施是地区之间经济要素流动的前提条件，可以加强区域之间的联系，同时交通基础设施也被当作是经济发展的重要资本，可以提高全社会的产出。我国也十分重视交通基础设施建设，比如我国2008年投资4万亿元，

其中一半以上用于投资铁路、公路等交通基础设施；“一带一路”沿线国家大力投资交通基础设施；2018年我国交通部发布《交通运输服务决胜全面建成小康社会开启全面建设社会主义现代化国家新征程三年行动计划（2018-2020年）》；2019年中共中央、国务院印发《交通强国建设纲要》，这都表现出交通基础设施投资对经济发展的重要性。改革开放以来，随着经济的快速发展，交通基础设施建设也得到极大提高，其中铁路里程在1978年为5.17万公里，2017年为12.7万公里，增

长了145.6%，公路里程也从1978年的89.02万公里增加到2017年的477.35万公里，年增长率为11.19%（数据来源《中国统计年鉴》）。随着交通基础网络建设的日趋完善，交通基础设施的网络性及外部性愈加明显，不同地区的经济活动通过交通网络连成一个整体，发展较快的区域通过扩散效应拉动发展较慢的区域，表现为正的空间溢出效应，但也存在发展较快的区域通过集聚效应吸收周围地区的生产要素来实现自身的发展，表现为负的空间溢出效应。但在传统经济学中，人们选择忽略这种溢出效应。随着新经济地理学、空间计量经济学以及地理信息系统的不断发展，学者开始关注空间溢出效应，并且提出了度量空间溢出效应的各种空间计量模型。

目前对交通基础设施的空间溢出效应研究成果很多，主要是建立空间计量模型，通过最大似然法、工具变量法、广义矩阵法或贝叶斯马尔科夫链方法进行估计分析，但是得出的结果不尽相同，有的甚至用同一样本数据，但使用不同的空间计量模型或者使用不同的空间权重矩阵却得出相反的结果，故在研究空间溢出效应时，选择合适的模型和空间权重是非常必要的。空间计量模型种类非常多，比如空间自回归模型、空间误差模型、空间杜宾模型以及这些模型的互相嵌套模型，目前学界在研究空间溢出效应时常常根据自己的研究目的和研究对象的特征来选择空间计量模型，并通过豪斯曼检验、LM检验来检验模型的选取。相对于空间模型的选取，空间权重矩阵的选择显得更加主观，缺乏系统的经济理论。针对该问题，本文依据地理学第一定律、万有引力定律及人口流动理论更为客观地构建空间权重矩阵，通过对比不同矩阵模型的回归结果来更全面地度量交通基础设施的空间溢出效应，这对丰富空间权重矩阵的经济理论、全面科学地度量空间溢出效应具有重要意义。

二、研究综述

交通基础设施是经济发展的前提条件，对经济

发展起着举足轻重的作用，因此二者关系的研究一直是国内外学者研究的重点，研究成果也相当丰富。随着新经济地理学、空间计量经济学等学科及Arcgis软件的发展，学者对交通基础设施空间溢出效应的研究更加深入。

（一）空间溢出效应的估计

由于交通基础设施的网络性及外部性，交通基础设施的投资不仅促进本地区经济增长，而且通过集聚与扩散的作用对其他地区经济增长产生影响，即空间溢出效应。目前国内外对该问题的研究主要通过空间权重矩阵构建空间计量模型，利用似然估计法估计不同国家或地区交通基础设施的空间溢出效应。如Álvarez-Ayuso等（2012）通过构建空间计量模型，利用似然估计对西班牙1980—2007年面板数据进行回归，得出交通基础设施对其他地区经济增长既有积极作用也有消极作用^[1]。Chen与Haynes（2015）用同样的方法研究了美国东北部地区1991—2009年不同类型的交通基础设施的空间效应，发现高速路、铁路、航空三种类型交通基础设施的空间溢出效应为正，而公路的空间溢出效应为零^[2]。Dehghan Shabani（2018）基于伊朗2001—2011年的面板数据研究也得出相似的结论，并且发现铁路的空间溢出效应大于公路^[3]。

国内对该问题的研究与国外相似，2012年张学良通过空间权重矩阵构造包含交通基础投资和多维经济变量的计量空间模型，对我国交通基础设施的空间溢出效应研究更加深入。另外其他许多学者也对该问题进行了研究，如张强与张映芹（2016）、马卫与曹小曙等（2018）运用空间计量分析方法对丝绸之路经济带的空间溢出效应进行研究，发现交通基础设施对区域经济增长存在正的空间溢出效应^[4,5]。同时也有学者运用相同计量方法研究我国不同种类交通基础设施对区域经济增长的空间溢出效应，如武勇杰与张梅青（2017）通过构建以地理、经济、产业与技术距离为权重的空间计量模型研究我国2000—2015年铁路与公路的空间溢

出效应,结果发现公路具有积极的空间溢出效应且显著,而铁路的空间溢出效应不显著^[6]。同时黄苏萍与朱咏(2017)计算2005—2016年长三角地区公路、铁路的人流、物流指标发现,相邻公路、铁路投资对本地区经济增长呈现空间正溢出效应^[7]。

(二) 空间权重矩阵的选取

目前国内外对空间效应的研究几乎都是通过建立空间计量模型,而空间计量模型相较于传统计量模型最大的区别在于空间计量模型中包含空间权重矩阵^[8]。该空间权重矩阵把研究范围内所有区域空间内相关经济要素带入模型中,从而研究区域间的空间溢出效应。不言而喻,空间权重矩阵的科学构建对空间溢出效应的研究颇为重要,但是目前对空间权重矩阵的构建还没有经济理论作为指导^[9],空间权重矩阵的构建也因研究者的不同而显得主观。

在众多研究交通基础设施空间溢出效应的文献中,很多学者采用了简单的0-1矩阵,地理上一阶相邻的地区定义为1,不相邻的则为0。如国外学者 lei 与 Xu 等(2015)^[10]、Yu 与 De Jong 等(2013)^[11],国内学者有胡艳与朱文霞(2015)^[12]、郭晓黎与李红昌(2017)^[13]、梁喜与李思遥(2018)等^[14]皆采用该种矩阵来研究空间溢出效应。0-1矩阵因其计算简单而被广泛使用,但是其表示只有在空间地理上邻接的地区之间才存在溢出效应,而空间上不接壤的地区则不存在空间溢出效应,这是不符合客观事实的^[15]。由于空间权重矩阵的构建缺乏统一的标准,除了采用简单的0-1矩阵,也有其他多种类型的矩阵用于研究空间溢出效应,但空间权重矩阵的构建总体上都局限于地理距离与经济距离两个方面。如 Jiang 与 Zhang(2016)以地区之间人均GDP差值的倒数构建矩阵,认为空间溢出效应在经济水平发展相似的地区更明显^[16]。Merkel(2017),Dehghan Shabani 与 Sa-faie(2018)以地理距离的倒数构建空间权重矩阵,认为地区间的空间溢出效应与地理距离成反

比^[17,18]。Jiang 与 Zhang(2016)在其文献中同时以地区之间交通路线(包括公路、铁路和水路)的数量来构建连通性加权矩阵,认为地区之间交通路线的数量越多,地区间的相互影响越大,即空间溢出效应更明显^[16]。国内学者除了使用0-1矩阵外,还以不同地区人均GDP差值、人口数量差值、地区间交通干线数量分别构建空间权重矩阵。马卫与曹小曙(2018)在研究丝绸之路沿线交通基础设施空间溢出效应时,以国家间的贸易量(国内省市间的铁路货运量)构建空间权重矩阵来测度空间溢出效应^[5]。还有的学者也以地区间铁路与公路的里程总数来构建空间权重矩阵,总之空间权重矩阵的构建目前还没有统一的规则,学者往往根据自己的研究目的来构建,有一定的主观随意性。空间权重矩阵的构建可以说是研究空间溢出效应的核心问题,故科学地构建空间权重矩阵,使之有一定的经济理论作为支撑,对科学地测度空间溢出效应具有重要意义。

三、模型建立

本文参照前人研究方法建立空间杜宾模型来研究交通基础设施的空间溢出效应,并分别基于地理学第一定律、万有引力定律及人口流动理论构建空间权重矩阵。

(一) 变量选取

本文变量选取借鉴了胡煜(2017)研究该问题时变量的选择,选择资本存量、人力资本为控制变量,以交通基础设施投资为自变量构建经济增长模型,对部分变量取对数^[19]。公式如下:

$$\ln(y) = \beta_0 + \beta_1 \ln(k) + \beta_2 k_{t1} + \beta_{43} k_{t2} + \beta_4 h + \varepsilon \quad (1)$$

本文将30个(不包含我国西藏及我国港澳台地区)省市作为独立个体,其中 y 表示消除物价因素后的实际人均生产总值; k 表示全社会资本存量; k_{t1} 、 k_{t2} 表示交通基础设施投资,分别以公路、铁路里程为代理变量; h 表示人力资本,是

内生经济增长因素,主要包括在教育、健康、培训等方面的支出,目前人力资本的测度方法比较多,本文借鉴胡煜(2017)的做法,以在校大学生人数为人力资本的代理变量^[19]。以上变量所需数据皆来源于中国30个省市2001-2018年统计年鉴。

(二) 空间杜宾模型

由于交通基础设施具有网络性及外部性特征,交通基础设施对经济增长的影响不仅仅局限于本地区,还包括交通基础设施所经过的地方。为了分析区域间的空间溢出效应,参考马卫、曹小曙(2018),李慧玲与陈军(2017)做法构建空间杜宾模型^[15,20]。空间杜宾模型假设一区域的被解释变量的变化不仅受其他区域被解释变量的影响,还受到其他区域解释变量的影响,模型如下所示:

$$Y = \rho WY + \gamma WX + \beta X + \varepsilon \quad (2)$$

其中 ρ 为空间自相关系数,表示其他地区的因变量对本地区因变量的空间影响; γ 为空间滞后系数,代表了其他地区自变量对本地区自变量的影响, W 表示空间权重矩阵,其对研究区域内所有自变量值赋予权重并包含在生产函数模型中,空间权重矩阵是空间计量模型的核心所在。

空间杜宾模型分为固定效应模型与随机效应模型,通过豪斯曼检验得出本文应该使用固定效应模型,最终模型为个体固定效应模型。模型如下:

$$\ln y_{it} = \beta_0 + \rho W \ln y_{it} + \beta_1 \ln k_{it} + \beta_2 k_{it} + \beta_3 k_{it}^2 + \beta_4 \ln h_{it} + \sigma W \ln k_{it} + dWk_{it} + \kappa Wk_{it}^2 + \eta W \ln h_{it} + \omega_i + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

其中 ρ 为空间自相关系数,表示其相邻省实际人均GDP对本省实际人均GDP的影响, W 为空间权重矩阵,本文共有三种类型的空间权重矩阵,分别从地理距离、经济水平与人口流动上构建,意在从地理距离和经济距离以及交通基础设施的人口流动来考察省份之间的空间溢出效应。

σ 、 d 、 κ 、 η 分别表示自变量的空间滞后系数,需要注意的是其值并不等于空间溢出效应。 ω_i 表示面板数据的个体效应, ε_{it} 表示模型的随机误差项。

(三) 空间权重矩阵

空间权重矩阵的构建有多种方法,不同的学者由于研究目的和研究内容构建不同的空间权重矩阵。为了使矩阵构建规范化,本文参照叶阿忠、吴继贵(2015),依据地理学第一定律、万有引力定律及人口流动理论分别构建空间权重矩阵^[15]。

1. 基于地理学第一定律。地理学第一定律指任何事物与其周围事物之间存在联系,而这种联系随着距离的增大而衰减。基于该理论构建如下空间权重矩阵 W_1 。

$$w_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{d_{ij}^2}, & d_{ij} < d \\ 0, & i = j \text{ or } d_{ij} > d \end{cases} \quad (4)$$

其中 w_{ij} 为空间权重矩阵 W_1 的元素, d_{ij} 为两地区间距离,是由两地区的经纬度计算的欧几里得距离。 d 为阈值,阈值为16.2公里,最终选取是通过多次试验以及参考胡煜(2017)^[19]阈值的选取。两地区间距离超过指定阈值大小则其空间相关性可忽略不计,这与0-1矩阵所描述的空间溢出仅仅存在于有共同边界的地区,且相邻的地区间空间溢出效应强度相同的观点不同, W_1 认为地区间的空间溢出效应与地理距离成反比。

2. 基于万有引力定律。物理学中万有引力定律指两个物体之间的引力与他们的质量乘积成正比,但是和他们的距离平方成反比。诺贝尔经济学奖获得者Tinbergen(1962)提出引力模型来研究贸易问题,同样也可用于区域经济问题研究。区域经济联系并不仅仅局限于共同边界或距离的远近,还与地区之间的发展水平相关,如地区间发展水平越相似,其技术交流与合作的吸引力往往越强,空间溢

出效应越明显。基于该理论提出引力矩阵 W_2 。

$$w_{ij} = \begin{cases} \frac{m_i m_j}{d^2}, i \neq j \\ 0, i = j \end{cases} \quad (5)$$

其中 w_{ij} 为空间权重矩阵 W_2 的元素； m_i 、 m_j 分别表示地区 i 和地区 j 的经济发展水平，用统计期内平均实际人均 GDP 表示。通过做图描述 2000 年、2005 年、2010 年和 2015 年实际人均 GDP 的分布，颜色越深表示其经济越发达，颜色相同的地区表示实际人均 GDP 相似（图略）。很明显可以发现区域经济存在高一高、低—低聚集的特征，经济发展水平高的地区其邻近地区经济发展水平也高，经济发展水平低的地区其邻近地区经济发展水平也呈现出低的特征，表现出正的空间溢出效应。

3. 基于人口流动理论。在区域经济研究中，经济资源如人口、资本等流动是一种普遍的现象。LeSage（2015）认为人口的流动会产生空间溢出效应^[21]。以人口流动理论为基础构建空间权重矩阵，地区之间人口流动越大则其相互作用越大，空间溢出效应也越大。在内生经济增长理论中人口因素对经济增长极其重要，故本文以地区间的人口流动来构建空间权重矩阵 W_3 。

$$w_{ij} = \begin{cases} P_{ij}, i \neq j \\ 0, i = j \end{cases} \quad (6)$$

在矩阵 W_3 中， P_{ij} 表示地区 i 、 j 间的人口流动数量。本文对以上矩阵进行标准化，数据来源于中国统计年鉴及第六次人口普查。通过分析我国大陆地

区间人口流动，后果发现广东人口流动最大。

空间溢出效应是指区域空间的经济活动对其他相邻区域的经济产生影响，通过集聚效应对相邻地区产生负面影响，为负的空间溢出效应；通过扩散作用对相邻地区产生正面影响，为正的空间溢出效应。故其研究对象必须是多个区域，但是市级层面的交通基础设施投入难以度量，故选择我国 30 个省市为研究对象。

四、实证分析

本文以我国 30 个省市为区域研究对象，选取 2000 年至 2017 年数据，建立空间杜宾模型，来分析交通基础实施的空间溢出效应。数据来源于相应年份的各省份中国统计年鉴和第六次人口普查数据。

（一）数据的描述性分析

变量的描述性统计结果见表 1，该表统计了变量的均值、标准差、最小值、最大值与样本容量，其中本文样本量为 540 个，同时包含截面数据和时间数据两个维度，样本容量较大，有利于提高估计的准确性。

（二）空间自相关检验

空间自相关一般表述为位置相近的空间具有相似的变量取值，高值与高值聚集，低值与低值聚集。国际上最常用的空间自相关检验为莫兰指数检验，莫兰指数取值介于 -1 到 1 之间，大于 0 表示正相关，小于 0 表示负相关，接近 0 则表示不存在空间自相关^[22]。为了探求我国 30 个省市的空间自相关性，本文利用三个不同的矩阵分别进行全局莫兰指数 I 与局部莫兰指数 I 检验，检验结

表 1 变量统计

变量	最小值	最大值	均值	标准差	样本容量
lny	7.910	11.460	9.772	0.721	540
lnk	7.359	16.849	13.916	1.820	540
lnh	-1.514	4.045	2.272	1.091	540
kt1	0.430	33.000	10.985	7.272	540
kt2	0.020	1.270	0.298	0.185	540

果如表2所示,其中局部莫兰指数用2017年莫兰散点图表示。

由表2可以发现我国30个省市存在很强的空间自相关性,在以反距离矩阵为权重计算空间相关关系时莫兰指数为0.317-0.362,在以引力矩阵为权重时莫兰指数为0.362-0.417,以人口流动矩阵为权重时莫兰指数为0.212-0.273,并且全部在1%、5%的水平下显著,表明我国30个省份与其邻近地区存在强烈的空间自相关关系,即空间溢出效应。最具代表性的区域如珠江三角洲地区、长江三角洲地区、京津冀地区,在这些连片区域中,省市、城市群通过交通基础设施产生集聚扩散效应,相互影响,共同发展,表现出显著的空间溢出效应。另外其空间相关系数从2000到2009

年呈现上升的趋势,在2009到2017年有逐年衰减的趋势,但总体上还是存在较强的空间自相关关系。

全局莫兰指数反映在整个研究区域内,具有相似观测值的集聚情况,而分析具体区域的空间自相关性就需用到局部莫兰指数。图1与图2分别表示以反距离矩阵、引力矩阵和人口流动矩阵为权重的局部莫兰散点图(反距离矩阵与引力矩阵莫兰散点图区域分布相同),结果发现大部分地区分布在第一、三象限,表现出正的空间自相关关系,其中落在第一象限内的区域具有较高的y值,并且其临近区域也有较高的y值,表现为高-高聚集,综合三个不同权重矩阵发现落在第一象限的区域有天津市、内蒙古自治区、辽宁省、吉林省、黑

表2 2000—2017年实际人均GDP空间自相关检验(全局Morans' I)

年份 \ 矩阵	反距离矩阵		引力矩阵		人口流动矩阵	
	莫兰值	z值	莫兰值	z值	莫兰值	z值
2017	0.317***	3.993	0.378***	4.757	0.254***	2.348
2016	0.318***	4.005	0.378***	4.757	0.247***	2.292
2015	0.323***	4.059	0.381***	4.791	0.247***	2.288
2014	0.329***	4.128	0.386***	4.840	0.248***	2.300
2013	0.339***	4.243	0.394***	4.939	0.255***	2.356
2012	0.348***	4.348	0.402***	5.037	0.263***	2.422
2011	0.353***	4.413	0.408***	5.103	0.268***	2.465
2010	0.361***	4.502	0.415***	5.197	0.273***	2.509
2009	0.362***	4.522	0.417***	5.224	0.267***	2.467
2008	0.360***	4.509	0.414***	5.196	0.256***	2.382
2007	0.357***	4.483	0.410***	5.160	0.250***	2.332
2006	0.355***	4.466	0.406***	5.123	0.242**	2.272
2005	0.346***	4.378	0.397***	5.038	0.234**	2.216
2004	0.334***	4.255	0.383***	4.894	0.223**	2.131
2003	0.325***	4.160	0.374***	4.787	0.215**	2.069
2002	0.320***	4.116	0.368***	4.729	0.216**	2.082
2001	0.319***	4.110	0.365***	4.702	0.216**	2.083
2000	0.317***	4.086	0.362***	4.667	0.212**	2.050

注:***、**分别表示在1%、5%水平下显著。

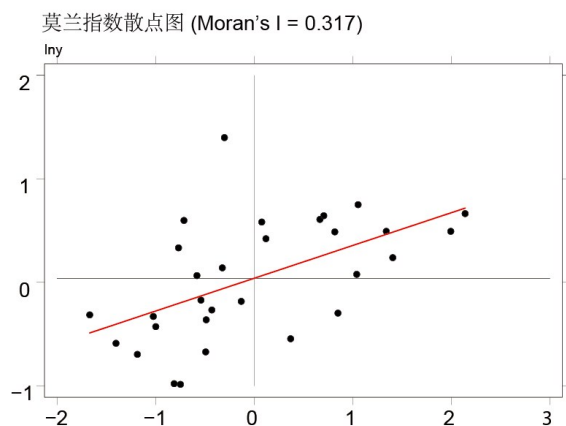


图1 2017年实际人均GDP局部莫兰指数散点图
(反距离矩阵与引力矩阵)

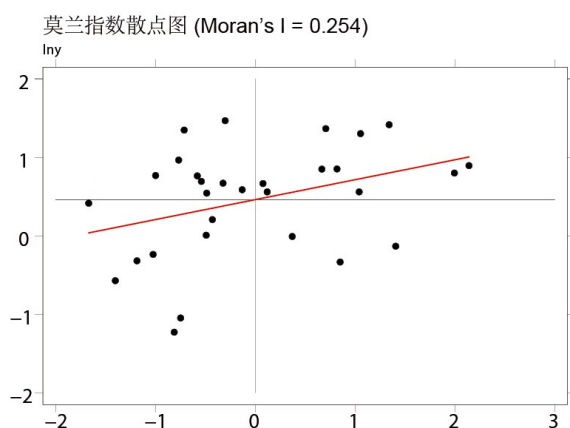


图2 2017年实际人均GDP局部莫兰指数散点图
(人口流动矩阵)

龙江省、上海市、江苏省、浙江省、福建省、山东省，主要集中在东部地区，表现为高-高集聚；落在第二象限的地区有河北、山西、安徽和江西，表现为低-高集聚；落在第三象限的地区为四川、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏和新疆地区，主要集中在西部地区，表现为低-低集聚；第四象限的地区有重庆和广东，表现为高-低集聚。

利用不同的权重矩阵进行全局空间自相关检验和局部空间自相关检验都发现本文研究区域存在空间自相关关系，即区域间经济增长受到邻近地区的影响。空间溢出效应存在多种动因，本文通过建立空间杜宾模型从因变量和自变量的空间滞后项来解

释，但自变量交通基础设施的空间溢出效应的分析仍是本文的核心部分。

(三) 空间溢出效应分析

由 Moran 指数得出本文面板数据存在空间自相关，故 OSL 估计是有偏的，本文通过软件 stata14 运用最大似然估计方法进行回归，回归结果如表 3。

为了更加清楚地分析交通基础设施的空间溢出效应，本文首先进行固定效应面板模型估计，得到表 3 第一列结果，3 个自变量的系数在 1% 的显著性水平下均为正，自变量的选取合理。但由于不同地域单元的变量个体存在空间相关性，不满足经典计量经济学假设，其估计系数是有偏的，需对其进行最大似然估计。

回归结果中空间自相关系数 (Rho) 分别为 0.759、0.804、0.779，并且通过 1% 的显著性检验，本地区实际人均 GDP 受到相邻地区的实际人均 GDP 的影响，表现出空间溢出效应。空间溢出效应也称间接效应，其中自变量对因变量的总效应为直接效应 (对本地区的影响) 和间接效应 (对邻近地区) 的总和。当然仅仅通过 X 的系数与 WX 的滞后系数来判定直接效应和间接效应 (空间溢出效应) 是不正确的^[23]。我们需要进一步计算出其总效应、直接效应与间接效应 (空间溢出效应)，来分析其空间溢出效应，回归结果见表 4。

1. 回归结果分析。表 4 中自变量 X 的直接效应与表 3 中自变量的回归系数不同，且表 4 中除了资本存量以外的自变量其直接效应大于表 3 中的自变量系数，如在反距离矩阵中人力资本 h 的直接效应为 0.175，而其回归系数为 0.171，相差 0.004，原因是存在反馈效应。反馈效应是空间溢出效应的一种表现机制，如本地区对 h 的投资增加，由于空间溢出效应会对邻近地区产生影响，邻近地区变量受到影响反过来又影响本地区的经济变量。在三个不同的空间权重矩阵下，人力资本、公路里程和铁路里程都表现出正的反馈效应，而资本存量的反馈效应表现出负值。反馈效应作为一种特殊的空间溢出

表3 基于不同空间权重矩阵的回归结果

估计方法	固定效应面板模型	反距离矩阵	引力矩阵	人口流动矩阵
常数项	7.373*** (76.27)	—	—	—
lnk	0.064*** (5.74)	0.155*** (9.26)	0.171*** (10.09)	0.200*** (11.24)
lnh	0.366*** (12.69)	0.171*** (8.35)	0.202*** (9.84)	0.195*** (9.34)
kt1	0.017*** (6.60)	0.008*** (7.04)	0.008*** (6.76)	0.010*** (8.08)
kt2	1.658*** (13.85)	0.412*** (6.76)	0.404*** (6.5)	0.452*** (6.92)
W _x				
Rho	—	0.759*** (25.73)	0.804*** (28.33)	0.779*** (31.22)
lnk	—	-0.156*** (-8.84)	-0.169*** (-9.43)	-0.204*** (-11.04)
lnh	—	-0.107*** (-3.75)	-0.163*** (-5.53)	-0.110*** (-3.86)
kt1	—	0.001*** (0.56)	0.001 (0.19)	-0.006** (-2.27)
kt2	—	0.447*** (3.07)	0.379** (2.46)	0.497*** (4.41)

注：Rho为空间自相关系数，***、**、*分别表示在1%、5%、10%的水平下显著。

表4 效应分解

估计方法	反距离矩阵			引力矩阵			人口流动矩阵		
	直接效应	间接效应	总效应	直接效应	间接效应	总效应	直接效应	间接效应	总效应
lnk	0.147*** (8.94)	-0.153*** (-5.74)	-0.006 (-0.26)	0.164*** (9.76)	-0.151*** (-4.73)	0.013 (0.41)	0.185*** (10.64)	-0.202*** (-7.08)	-0.017 (-0.63)
lnh	0.175*** (9.04)	0.092 (1.21)	0.267*** (3.45)	0.201*** (10.22)	-0.006 (-0.06)	0.195* (1.91)	0.208*** (10.47)	0.178** (2.04)	0.386*** (4.23)
k ₁₁	0.010*** (8.15)	0.029*** (3.24)	0.039*** (4.07)	0.010*** (7.57)	0.033*** (2.61)	0.043*** (3.2)	0.010*** (6.84)	0.008 (0.76)	0.018 (1.6)
k ₁₂	0.576*** (9.36)	2.976*** (8.38)	3.55*** (9.41)	0.576*** (8.87)	3.398*** (6.86)	3.974*** (7.6)	0.737*** (10.33)	3.564*** (8.87)	4.301*** (9.79)

注：***、**、*分别表示在1%、5%、10%的水平下显著。

效应，其值很小，但是在研究中也不能忽视其对地区经济增长的作用。

通过直接效应与自变量X的估计系数间对比得出反馈效应的值，这为我们分析空间溢出效应找到了一种新的视角。表4中间接效应即为我们所求的空间溢出效应，总体上人力资本、公路里程和铁路里程表现出正的空间溢出效应，与上文分析的反馈效应符号一致；而资本存量表现出负的空间溢

出效应。本文主要研究交通基础设施的空间溢出效应，故我们的关注点是交通基础设施的代理变量：公路里程与铁路里程的空间溢出效应分析。

首先关注公路里程，在反距离矩阵中，1%的显著性水平下其空间溢出效益为0.029，表明在以距离平方的倒数为权重的模型中，邻近区域通过公路对本地的空间溢出效益为0.029；在引力矩阵下，其空间溢出效应更高，值为0.033，但在人口

流动矩阵下其空间溢出效应并不显著。由此可以得出公路的空间溢出效应主要表现在地理邻近和经济发展水平相似的区域,而通过人口流动表现出的溢出效应并不显著。

相较于公路,铁路的空间溢出效应表现得更强更显著。在不同的空间权重矩阵模型中其空间溢出效应分别为2.976、3.398、3.564,该溢出效应是指模型中权重矩阵元素不为0所表示的地区对本地区空间溢出效应的叠加^[23]。铁路无论是以地理距离、经济距离还是地区间人口流动为权重都表现出极强的空间溢出效应。

2. 空间溢出效应分析。以下分析前文结果的原因,使我们对交通基础设施的空间溢出效应能有更加深刻的认识。

交通基础设施的外部性与网络性。外部性指个体的经济行为对其他个体产生影响,即对其他个体的福利产生影响,若表现为增加其他个体福利则为正的外部性,相反则为负的外部性。交通基础设施的外部性是其最基本的特征,交通设施的投资修建为原料、劳动力等经济要素的流动提供条件,促进企业间、地区间的交流与合作,降低生产成本,提高要素生产率,从而表现出正的外部性^[24]。交通基础设施的不断发展,逐渐呈现出网络的特征,网络由节点和边组成,节点之间通过边的连接建立联系。在实际交通网中我们通常把城市或者站点抽象为节点,交通线路为边,建立地区间的联系通道。由于网络具有自我强化效应,越来越多的交通线使得交通网络中节点与节点的联系更加便利,从而提高经济要素的空间传输效率^[25]。交通基础设施的外部性与网络性使得人们无法再忽视区域经济发展中的空间因素,经济要素通过交通网络在空间集聚或者扩散,影响着生产者生产的决策及区位布局,使得不同区域之间经济发展联系加深,在交通基础设施的正外部性和网络性特征下,邻近区域之间的经济发展存在正向空间自相关关系。

公路网络的短程输客特征。由前文结果得出公路在地理距离邻近区域及经济发展水平相近的地区具有正向空间溢出效应,这是由公路的外部性及网络特征决定。同时发现在以人口流动矩阵为权重时其空间溢出效应并不显著,主要原因是公路主要用于短程输客。但在省际间的长途出行时,由于轨道技术的快速发展,轨道输客相较于公路输客具有不拥堵、准时、价格低且舒适性高等特点,乘客主要选择轨道交通出行,特别是省际间的人口流动,主要是通过轨道输送。故公路交通以人口流动为权重的省际溢出效应并不显著。

铁路运输的优良性。交通强国,铁路先行,随着我国轨道技术的发展,铁路运输的优势越加明显,具有运输成本低、运输距离长、舒适度高、准时等优势,铁路运输大大降低运输成本,使得企业不再受材料地或者销售地的限制,从而追求规模效应所带来的收益最终选择在空间上集聚^[26],如长江三角洲地区、珠江三角洲地区。这些集聚地区通过铁路网络的连通产生扩散效应,辐射周围邻近地区,带动其经济发展,表现出空间邻近区域的空间溢出效应。在上述结果中显示铁路在三个不同的权重矩阵下都表现出显著的空间溢出效应,高于公路的空间溢出效应,这是铁路运输的优势所决定的。同时发现在人口流动权重矩阵中,铁路的空间溢出效应为3.564,不同于该权重矩阵下的公路的溢出效应,其溢出效应值大于以地理距离和经济距离为权重的溢出效应值,也是由于铁路在长途客运中具有优势。我国地大物博,人口流动非常频繁,特别是春节期间,人口在流动过程中不仅增加了消费,并且使不同地区的文化、美食、技术等要素得到传播,从而带动当地经济增长,表现出正的空间溢出效应。

3. 分地区的扩展分析。以上结果为我国30个省份所表现出的空间溢出效应,在促进区域协调发展的战略背景下,详细分析我国东部、中部和西部

地区交通基础设施的空间溢出效应具有重要意义。在上文数据基础上,分东部、中部、西部三组,测度交通基础设施的空间溢出效应。结果如表5、表6所示。

由表5可以发现东部、中部以及西部地区都表现出空间溢出效应,即地区间的经济增长存在空间相关性。东部地区空间溢出效应处于0.809-0.866之间;中部地区在0.857-0.861之间;西部地区在0.562-0.598。发现东部、中部地区空间溢出效应值相差不大,但均明显大于西部地区。

在表6中具体分析交通基础设施的空间溢出效应,可以发现,无论是东部、中部还是西部公路和铁路的直接效应都为正,对本地区经济增长起到正向促进作用。再分析其空间溢出效应,首先着眼于公路,通过三个不同的权重矩阵回归结果综合分析,发现东部与西部地区公路的空间溢出效应显著为正,且东部地区公路溢出效应大于西部地区,但中部地区公路溢出效应并不显著。其次分析铁路的空间溢出效应,发现在不同的权重矩阵下东部、中

部以及西部地区铁路的空间溢出效应均显著为正,东部地区介于1.405-2.145之间,中部地区在2.301-2.491之间,西部地区在1.832-2.408之间,通过比较发现中部西部铁路空间溢出效应大于东部地区。

综合对东部、中部和西部地区的分析发现,三个地区的交通基础设施空间溢出效应均显著为正,具体细分在公路交通和铁路交通上时,发现三者的铁路交通均大于公路交通的空间溢出效应,这与以30个省份为整体分析时结论一致;同时通过对比三个地区交通设施空间溢出效应发现,在东部、西部地区公路的空间溢出效应显著为正,且东部大于西部,但中部该溢出效应不显著;三个地区铁路的空间溢出效应均为正,但与公路不同的是,铁路的空间溢出效应为中部大于西部大于东部。

五、结论建议及展望

(一) 结论

本文分别根据地理学第一定律、万有引力定律及人口流动理论,采用30个省(市)相关数据,

表5 分东、中、西部地区回归结果

变量 \ 方法	反距离矩阵			引力矩阵			人口流动矩阵		
	东部	中部	西部	东部	中部	西部	东部	中部	西部
lnk	0.489*** (24.15)	0.136*** (6.83)	0.007 (0.28)	0.494*** (23.73)	0.139*** (7.22)	0.013 (0.57)	0.521*** (26.16)	0.146*** (7.73)	0.048* (2.01)
lnh	0.068*** (3.89)	-0.035 (-1.36)	0.138** (2.55)	0.070*** (3.7)	-0.037 (-1.47)	0.124** (2.33)	0.070*** (4.15)	-0.015 (-0.55)	0.160*** (3.18)
k ₁₁	0.007*** (6)	-0.001 (-1.11)	0.015*** (6.93)	0.007*** (5.54)	-0.002 (-1.2)	0.015*** (7.08)	0.007*** (6.14)	-0.001 (-1.1)	0.015*** (6.81)
k ₁₂	0.460*** (5.51)	0.522 (4.52)	0.440*** (5.42)	0.377*** (4.41)	0.551*** (4.89)	0.450*** (5.65)	0.521*** (6.38)	0.609*** (5.47)	0.451*** (5.58)
rho	0.828*** (30.39)	0.861*** (40.81)	0.598*** (10.99)	0.866*** (36.29)	0.865*** (42.48)	0.565*** (10.16)	0.809*** (31.64)	0.857*** (43.8)	0.562*** (11.03)
W _x									
lnk	-0.480*** (-22.89)	-0.132 (-6.59)	-0.019 (-0.71)	-0.478*** (-22.12)	-0.136*** (-6.39)	-0.026 (-1.02)	-0.512*** (-25.22)	-0.140*** (-7.27)	-0.057** (-2.17)
lnh	0.067*** (-2.74)	0.074** (2.43)	0.021 (0.34)	-0.089*** (-3.29)	0.075** (2.48)	0.027 (0.45)	-0.054** (-2.43)	0.047 (1.54)	-0.026 (-0.46)
k ₁₁	0.008*** (3.24)	0.004** (2.19)	0.001 (0.11)	0.006*** (2.06)	0.004** (2.25)	0.003 (0.79)	0.007*** (3.37)	0.004*** (2.85)	0.006* (1.77)
k ₁₂	0.042 (0.37)	-0.026 (-0.17)	0.790*** (3.27)	-0.106*** (-0.83)	-0.074 (-0.5)	0.925*** (3.75)	-0.023 (-0.25)	-0.098 (-0.73)	0.641*** (3.38)

表6 东、中、西部地区效应分解

方法 变量		反距离矩阵			引力矩阵			人口流动矩阵		
		东部	中部	西部	东部	中部	西部	东部	中部	西部
直接效应	lnk	0.438*** (-11.99)	0.118*** (5.93)	0.005 (0.21)	0.453*** (22.61)	0.120*** (6.19)	0.011 (0.49)	0.449*** (24.39)	0.124*** (6.5)	0.042* (1.88)
	lnh	0.060*** (3.06)	0.018 (0.59)	0.156*** (3.16)	0.044* (1.86)	0.018 (0.58)	0.138*** (2.85)	0.071*** (3.75)	0.037 (1.1)	0.172*** (3.82)
	k ₁₁	0.017*** (7.36)	0.002 (0.64)	0.017*** (7.18)	0.018*** (5.33)	0.002 (0.61)	0.017*** (7.75)	0.018*** (7.52)	0.003 (0.293)	0.018*** (7.98)
	k ₁₂	0.743*** (6.64)	1.026*** (6.61)	0.636*** (8.29)	0.554*** (3.91)	1.071*** (6.66)	0.641*** (8.57)	0.830*** (6.99)	1.251*** (7.35)	0.648*** (8.31)
间接效应	lnk	-0.382*** (-11.99)	-0.092** (-2.52)	-0.034 (-1.08)	-0.326*** (-7.25)	-0.091** (-2.48)	-0.040 (-1.35)	-0.405*** (-15.69)	-0.080** (-2.42)	-0.063* (-2.13)
	lnh	-0.056 (-0.62)	0.264** (2.41)	0.243*** (2.7)	-0.193*** (-1.36)	0.262** (2.36)	0.211** (2.55)	0.012 (0.18)	0.189* (1.95)	0.134* (1.84)
	k ₁₁	0.073*** (5.07)	0.015 (1.48)	0.021** (2.37)	0.085*** (3.61)	0.014 (1.45)	0.025*** (3.08)	0.058*** (5.74)	0.016* (1.89)	0.028*** (5.08)
	k ₁₂	2.145*** (4.77)	2.491*** (4.49)	2.408*** (5.98)	1.405* (1.85)	2.429*** (4.33)	2.504*** (6.79)	1.744*** (5.03)	2.301*** (4.87)	1.832*** (6.65)
总效应	lnk	0.056* (1.78)	0.025 (0.58)	-0.029 (-1.15)	0.127*** (2.68)	0.029 (0.66)	-0.029 (-1.25)	0.044* (1.7)	0.044 (1.06)	-0.021 (-0.91)
	lnh	0.003 (0.03)	0.281** (2.17)	0.399*** (4.66)	-0.149 (-0.94)	0.280* (2.11)	0.349*** (4.58)	0.084 (1.07)	0.226* (1.85)	0.306*** (4.33)
	k ₁₁	0.090*** (5.48)	0.016 (1.33)	0.038*** (3.64)	0.104*** (3.86)	0.016 (1.29)	0.042*** (4.47)	0.076*** (6.2)	0.019* (1.69)	0.046*** (6.61)
	k ₁₂	2.888*** (5.38)	3.517*** (5.24)	3.045*** (7.19)	1.959*** (2.22)	3.501*** (5.1)	3.145*** (8.13)	2.574*** (5.75)	3.553*** (5.8)	2.480*** (8.29)

构建了表示地理距离、经济距离及人口流动的空间权重矩阵，并带入空间杜宾模型，来度量交通基础设施的空间溢出效应。其中三个矩阵的空间自相关系数分别为0.759、0.804、0.779，且通过1%显著性检验，这与前文莫兰指数检验结果一致。因变量y存在显著的正向空间溢出效应，即区域经济增长会带动其邻近区域的经济增长，同时对周边地区产生辐射带动作用，如京津冀城市群、长江三角洲地区、珠江三角洲地区、成渝经济带等经济区都表现在正的空间溢出效应。

通过效应分解找到了一种度量空间溢出效应的新视角，即是本地区经济变量通过反馈机制对本地经济变量的一种溢出效应，大体上变量的反馈效应与间接效应的符号一致，本文交通基础设施的反馈效应和间接效应都表现出正值。其中在地理距离、经济距离权重矩阵下公路的空间溢出效应值分别为

0.029、0.033，而以省际间人口流动为权重时，其空间溢出效应不显著；对铁路而言，在以地理距离、经济距离以及人口流动为权重时，其空间溢出效应分别为2.976、3.398、3.564。通过分东、中、西部地区空间溢出效应的对比发现，公路的空间溢出效应在东部大于西部，而铁路的空间溢出效应为中部大于西部大于东部。

(二) 建议

通过本文的实证分析发现我国30省市间存在空间溢出效应，由于交通网络和信息技术快速发展，地区之间的交流与合作越来越便捷，越来越频繁，地区经济增长并不是独立的，而是通过集聚与扩散作用，以交通基础设施为载体相互影响，表现出空间溢出效应。在促进区域协调发展的大战略背景下，制定区域发展政策时要充分考虑区域间的空间溢出效应，从而对交通基础设施投资更具科学

性。在明确交通基础设施具有空间溢出效应的前提下,合理布局投资交通基础设施具有重要意义。通过分地区的扩展分析发现公路、铁路在东部、中部以及西部地区的空间溢出效应的强度并不相同,各有其优势。东部城市密集,省际间地理距离相较于中、西部较近,而西部地区城市相对东部地区更加稀疏,省际间距离较远,特别是新疆地区尤为明显,针对东西部的地理情况,结合前文分析,东部地区公路溢出效应值大于西部地区,而铁路在西部地区和中部地区的空间溢出效应大于东部地区,故在交通基础设施规划时,东部地区应更多的偏向于公路的修建,而在西部、中部地区则更加倾向于铁路轨道的投资修建,实现交通基础设施投资收益最大化。

(三) 展望

依据地理学第一定律、万有引力定律与人口流动理论构建三个不同的矩阵从不同的角度来研究交通基础设施的空间溢出效应,丰富了空间计量模型中矩阵构建的理论依据,这对准确科学地度量空间溢出效应十分重要。同时本文研究也存在不足之处,以下几个方面还需未来进一步的完善。

1. 由于本文的结构安排,主要对空间权重矩阵的构建进行了理论分析及回归结果的对比分析,而没有对不同的空间计量模型进行比较分析,本文参照前文文献选取空间杜宾模型,通过豪斯曼检验采用使用固定效应模型。而我们清楚采用不同的空间计量模型得到的结果存在较大的差异,故在采取不同空间计量模型的对比分析时,采用什么检验方法,如何识别最佳的回归结果更接近实际值,这是我们需要努力的方向。

2. 在研究我国30个省份的空间溢出效应时,得出的结果是30个省份的平均溢出效应,但是每个地区的空间溢出效应存在差异性,甚至存在方向相反的情况。虽然扩展分析部分从东部、中部、西部地区分别分析了其空间溢出效应,但也无法得知每个地区的实际的空间溢出效应。如果未来空间计

量经济学可以分析出单个地区空间溢出效应,会使得研究结果更加具有针对性和实际意义。

3. 本文分析交通基础设施的空间溢出效应是以公路里程和铁路里程为交通基础设施的代理变量,但在实际情况中交通基础设施对经济发展的影响不仅仅由其里程决定,同时公路的分级,公路的使用频率等因素对经济发展也具有重要的影响。铁路的运行速度、运营路线对地区经济发展也有举足轻重的作用。故通过不同维度详细区分交通基础设施,构建有向加权交通网络来研究交通基础的空间溢出效应是我们应该进一步考虑的。

参考文献

- [1]Álvarez- Ayuso, I.C.,M.J. Delgado- Rodríguez. High- capacity road networks and spatial spillovers in Spanish regions[J]. Journal of Transport Economics Policy, 2012, 46(2).
- [2]Chen, Z.,K. Haynes. Regional impact of public transportation infrastructure: A spatial panel assessment of the US Northeast megaregion [J]. Economic Development Quarterly, 2015, 29(3).
- [3]Dehghan Shabani, Z.,S. Safaie. Do transport infrastructure spill- overs matter for economic growth? Evidence on road and railway transport infrastructure in Iranian provinces[J]. Regional Science Policy Practice, 2018, 10(1).
- [4]张强,张映芹. “丝绸之路经济带” 西北五省区交通基础设施对经济增长的空间溢出效应[J]. 统计与信息论坛, 2016, 31(8).
- [5]马卫,曹小曙,黄晓燕,刚毅. 丝绸之路沿线交通基础设施空间经济溢出效应测度[J]. 经济地理, 2018, 3
- [6]武勇杰,张梅青. 交通基础设施,空间溢出与经济增长关系的实证分析[J]. 统计与决策, 2017(11).
- [7]黄苏萍,朱咏. 铁路、公路交通基础设施对经济增长的空间溢出效应——以长三角为例[J]. 华东经济管理, 2017(11).
- [8]张学良. 中国交通基础设施促进了区域经济增长吗——兼论交通基础设施的空间溢出效应[J] 中国社会科学, 2012(03).
- [9]J. 保罗. 埃尔霍斯特. 空间计量经济学从横截面数据到空间面板[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2015.
- [10]Lei, T., J. Xu, X. Jia,W. Meng, Spatial Spillover Effects of Highway Transport Infrastructure on Economic Growth in Northwest China[M]. in ICTE 2015, 2015.
- [11]Yu, N., M. De Jong, S. Storm,J. Mi. Spatial spillover effects of

transport infrastructure: evidence from Chinese regions[J]. Journal of Transport Geography, 2013, 28

[12]胡艳,朱文霞. 交通基础设施的空间溢出效应——基于东中西部的区域比较[J]. 经济问题探索, 2015(01).

[13]郭晓黎,李红昌. 交通基础设施对区域经济增长的空间溢出效应研究[J]. 统计与决策, 2017(04).

[14]梁喜,李思遥. 交通基础设施对绿色全要素生产率增长的空间溢出效应研究[J]. 区域经济与区域发展战略, 2018(3).

[15]叶阿忠, 吴继贵, 陈生民. 空间计量经济学[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2015.

[16]Jiang, X., L. Zhang, C. Xiong, R. Wang. Transportation and regional economic development: analysis of spatial spillovers in China provincial regions[J]. Networks Spatial Economics, 2016, 16(3).

[17]Merkel, A. Spatial competition and complementarity in European port regions[J]. Journal of Transport Geography, 2017, 61

[18]Shabani, Z.D., S. Safaie. Do transport infrastructure spillovers matter for economic growth? Evidence on road and railway transport infrastructure in Iranian provinces[J]. Regional Science Policy, 2018, 10 (1).

[19]胡煜. 中国交通枢纽的空间溢出效应研究[D]. 北京交通大学, (2017).

[20]李慧玲, 陈军. 交通基础设施、空间溢出与区域经济增长——基于空间 Durbin 模型的经验分析 [J]. 华东经济管理, 2017, 31 (08).

[21]LeSage, J., Spatial econometrics. in Handbook of research methods and applications in economic geography. Edward Elgar Publishing, 2015.

[22]张娜, 吴福象. “一带一路”国内段节点城市创新空间差异及溢出效应[J]. 统计与决策, 2019(18).

[23]LeSage, J. Spatial econometrics[J]. Handbook of research methods and applications in economic geography, 2015

[24]姚影. 城市交通基础设施对城市集聚与扩展的影响机理研究[D]. (博士), 北京交通大学, (2009).

[25]刘生龙, 胡鞍钢. 交通基础设施与中国区域经济一体化[J]. 经济研究, 2011, 46(03).

[26]范月娇. 物流通道的区域经济聚散机制及其集聚效应检验——基于中国 11 条物流通道的实证[J]. 中国软科学, 2018(02).

(责任编辑: 杨艳军)

A Study on the Spatial Spillover Effect of Transportation Infrastructure of 30 Provinces (Cities) in China

YI Qi-guo, MA Can, DING Rui

Abstract: Based on the first law of geography, the law of universal gravity and the theory of population mobility, this paper establishes three kinds of weight matrix by using the spatial correlation, economic development and population mobility data of 30 provinces (cities) to make a contrastive analysis of spatial spillover effects of highways and railways under different matrices, and a further contrastive analysis of the east, middle, and west. The results show that the spillover effect of the railway is larger than that of the highway under different matrices, and the spillover effect of the eastern highway is the strongest while the central railway has the strongest spillover effect in the comparison of those of the three major regions. This study extends the research methods of regional transportation infrastructure spillover effect, and has some theoretical guidance for the construction of regional transportation infrastructure in China.

Key words: Traffic infrastructure; Regional economy; Spatial spillover effects; Spatial econometric models