

# 中国建筑业贸易隐含能源跨区域流动及其拉动力

李昭成

(河南省社会科学院 创新发展研究所, 中国河南 郑州 451464)

**摘要:**文章基于多区域投入产出模型、改进的假设抽取法以及莫兰指数,首先利用2012—2022年中国30个省份的建筑业能源消耗数据,分析其能耗变化的空间关联效应;然后依据2012—2017年中国多区域投入产出表作为数据基础,测算其贸易隐含能源消耗量,探究其流动网络与空间特征;最后构建出贸易隐含能源流动拉动力系数模型,并对各省份的建筑业拉动力类型进行划分。结果表明:①东部和中部地区各省份的建筑业贸易隐含能源消耗量整体高于东北和西部地区,且除吉林、黑龙江、北京、上海、甘肃以及江苏之外,其余省份的建筑业贸易隐含能源消耗量均呈现上升趋势;②中国各省份的建筑业贸易隐含能源流动路径数量年均高达400条以上,有263条流动路径呈现出增长趋势,343条流动路径呈现出下降趋势,其中重庆流入至广西、重庆流入至新疆、浙江流入至河南的路径位列前三,且各省份的建筑业能源消耗变化存在显著空间正相关性;③中国各省份建筑业在经济系统中的角色各有不同,贸易隐含能源供给型和接收型行业均为15个;④中国各省份的建筑业对于经济系统的贸易隐含能源流动存在不同类型的影响,具有拉动力作用的10个省份多集中在东部和西部地区,其中重庆、宁夏和江苏为拉动力最大的3个省份。

**关键词:**隐含能源;流动网络;建筑业;多区域投入产出模型;改进的假设抽取法;莫兰指数

**中图分类号:**F206;F061.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-8462(2026)04-0034-12

**DOI:**10.15957/j.cnki.jjdl.2026.04.004

## Inter-regional Flow of Embodied Energy in Construction Industry Trade and Its Driving Forces in China

LI Zhaocheng

(Institute of Innovation and Development, Henan Academy of Social Sciences, Zhengzhou 451464, Henan, China)

**Abstract:** Based on the methods of the multi-regional input-output model, the modified hypothetical extraction method and the Moran index, this paper uses the energy consumption data from the construction industry across 30 provincial-level regions in China from 2012 to 2022 to analyze the spatial correlation effects of energy changes. Then, it uses the multi-regional input-output table in China from 2012 to 2017 to calculate the embodied energy consumption of provincial-level construction industry trade, analyzes its flow network and spatial characteristics. On the basis of the above, it constructs a driving force coefficient model for embodied energy flow in construction industry trade, and classifies the driving force types of the provincial-level construction industry. The main conclusions include that: 1) The embodied energy consumption of provincial-level construction industry trade in the eastern and central regions are higher than that in the northeastern and western regions. Except for Jilin, Heilongjiang, Beijing, Shanghai, Gansu and Jiangsu, all other provincial-level regions show an upward trend in the embodied energy consumption of construction industry trade. 2) The number of embodied energy flow paths of the inter-provincial construction industry trade exceeds 400 annually. 263 flow paths show the upward trend and 343 flow paths show the downward trend. The embodied energy flow paths of the inter-provincial construction industry trade from Chongqing to Guangxi, Chongqing to Xinjiang, and Zhejiang to Henan rank as the top three. Additionally, there is a significant positive spatial correlation in changes in construction industry energy consumption across provincial-level regions. 3) The roles of the provincial construction industry are different. There are 15 supplies and 15 receivers of embodied energy in construction industry trade. 4) The construction industries of Chinese provinces exhibit different types of influence on the embodied energy flow in trade within the economic system. 10 provincial-level regions, mostly concentrated in the eastern and western regions, play a driving role, with Chongqing, Ningxia, and Jiangsu being the top three provincial-level regions with the strongest driving force.

**Keywords:** embodied energy; flow network; construction industry; multi-regional input-output model; modified hypothetical extraction method; Moran index

收稿时间:2025-08-20;修回时间:2025-11-17

基金项目:河南省社会科学院基本科研费项目(26E062)

作者简介:李昭成(1994—),男,博士,助理研究员,研究方向为能源经济、区域经济等。E-mail: lzc1516171@163.com

建筑业作为国民经济支柱产业,在促进我国经济社会发展的同时也带来了高能耗问题<sup>[1]</sup>。根据《2024中国城乡建设领域碳排放研究报告》显示,2022年我国建筑业建造能耗占全国能源消费总量的22.8%。2024年3月国务院办公厅同意并转发国家发展改革委、住房城乡建设部《加快推动建筑领域节能降碳工作方案》,其中明确指出“建筑领域是我国能源消耗和碳排放的主要领域之一。加快推动建筑领域节能降碳,对实现碳达峰碳中和、推动高质量发展意义重大”。可见,建筑业已经成为我国实现“双碳”目标的重点节能行业。然而,我国各省区能源分布、经济发展水平以及建筑业规模存在一定差异,这就导致各省际建筑业能源消耗情况各有不同,因此从省际视角探究建筑业能源消耗问题存在一定必要性<sup>[2-3]</sup>。

值得注意的是,在现实的生产活动中能源消耗既包括直接消耗,又存在间接消耗<sup>[4]</sup>,仅从直观的能源消费数据无法反映出真实能耗情况。因此,能够反映直接和间接能源消耗总量的隐含能源成为能源领域的新热点<sup>[5]</sup>,它隐含在不同地区不同行业的产品和服务之中,并随着贸易往来而产生流动<sup>[6]</sup>。在区域协调发展步伐不断加快的背景下,跨省区间的合作更加密切,产品和服务在不同省际行业间频繁流通,各省份行业间的关联愈发紧密,存在于贸易往来之间的隐含能源流动情况日益复杂<sup>[7]</sup>。在此背景下,各省份建筑业间的贸易与产业联动日趋紧密。需要说明的是,本文所指的建筑业跨区域间的贸易往来,其范畴为中国各省份,主要是指不同省份建筑业之间的生产活动,不包含省份内部的经济往来,并用其生产活动中所产生的全部价值量来衡量。近年来,我国建筑业及各省份建筑业的贸易规模均不断扩大。国家统计局公布的最新数据显示,2023年我国建筑业生产过程中的总投入达30.87万亿元,相较于2012年的13.86万亿元,增长了122.73%。其中,2017年各省区建筑业间的中间投入为0.42万亿元,较2012年(0.31万亿元)增长了35.48%。有鉴于此,探究中国省际建筑业贸易隐含能源及其流动网络,不仅能够量化分析各省区建筑业能源真实消耗情况,更能够明确各省区建筑业的贸易隐含能源关联情况,揭示建筑业隐含能源在各省区间的流动路径及流动量,这对于加快推进我国建筑业节能减排具有助力作用。

对于资源流动领域而言,投入产出(IO)模型已然成为较为主流的研究方法<sup>[8]</sup>。IO模型是由诺贝

尔经济学奖得主经济学家 Leontief 所提出,它描述了某一经济系统中不同行业之间的经济关联<sup>[9-10]</sup>。经过多年发展,IO模型的研究范畴也不再仅局限于经济关联,在多种资源使用关联以及资源流动领域中也常有学者使用IO模型进行相关研究<sup>[11-12]</sup>。从描述的资料范围角度来看,IO模型通常分为单区域投入产出(SRIO)模型和多区域投入产出(MRIO)模型,MRIO模型相较于SRIO模型而言较为复杂且出现较晚。此外,SRIO模型的研究范畴仅局限在某一地区,MRIO模型不仅可以探究单一区域内部不同行业之间的关联情况,而且能够反映不同区域不同行业间的关联。因此,早期关于隐含资源流动的研究主要通过SRIO模型对单一区域内的流动情况进行分析<sup>[13]</sup>。随着MRIO模型的出现,研究者们开始对不同区域内不同行业隐含资源的流动进行分析<sup>[14]</sup>。

随着IO分析方法的不断发展,学者Schultz基于IO框架提出了假设抽取法(HEM),其核心思想是假设经济系统中某一行业不再运行,然后通过比较假设前后经济系统整体产出变化情况,以此来分析行业间的关联效应<sup>[15]</sup>。此后,HEM常被学者们应用于关联性分析<sup>[16]</sup>、关键性产业部门的识别<sup>[17]</sup>、碳排放关联效应<sup>[18]</sup>以及各行业间的关联效应研究<sup>[19]</sup>等。然而,HEM仅能够探究直接效应,尚不能反映行业间的间接效应<sup>[20]</sup>。因此,Duarte等在HEM的基础之上结合能够体现直接和间接效应的纵向集成消耗,提出了改进的假设抽取法(MHEM),进一步地将关联效应划分为4个不同的组成部分:内部效应、复合效应、净后向关联效应以及净前向关联效应<sup>[21]</sup>。MHEM的出现为IO分析领域带来了新的研究方法,学者们也基于MHEM开始对隐含碳排放转移<sup>[22]</sup>、水资源关联<sup>[23]</sup>、隐含水转移及流动进行了探究<sup>[24]</sup>。可以看出,相较于传统的HEM而言,MHEM不但能分析行业间的间接关联,更能够探究资源的流动情况<sup>[25]</sup>。

综上所述,尽管已有学者在建筑业能源消耗问题以及MHEM的应用方面取得一定的研究成果,并为本研究奠定了基础:一方面,证明了不同行业间能源消耗存在关联效应,在一定程度上佐证了本文研究对象和视角选取的可行性;另一方面,MHEM的相关研究进展,为本文研究方法的选取提供了一定理论支撑和可靠性依据。但是,当前研究尚存在一些问题:①现有关于建筑业能源消耗问题的研究多集中在对能源消耗与碳排放、经济增长或城镇化

等其他指标之间的关系进行分析<sup>[26-28]</sup>；②尽管有少数学者对能源流动进行分析，但其研究对象多为单一区域或全行业<sup>[29-30]</sup>；③基于MHEM对隐含资源流动的研究目前仍以水资源为主<sup>[31-32]</sup>。

鉴于此，本文基于MRIO模型、MHEM以及莫兰指数，首先利用2012—2022年中国30个省份的建筑业能源消耗数据，分析其能耗变化的空间关联效应；然后依据2012—2017年中国多区域投入产出表作为数据基础，测算其贸易隐含能源消耗量，并分析其变化趋势，进而刻画各省际建筑业的贸易隐含能源流动网络，分析其空间特征并定位各省份建筑业在能源消耗中的角色；最后构建出多区域贸易隐含能源拉动系数模型，测算各省际建筑业贸易隐含能源流动拉动系数，并对其拉动类型进行划分。

## 1 研究方法和数据处理

### 1.1 研究方法

#### 1.1.1 多区域贸易隐含能源投入产出模型

IO表由诺贝尔经济学奖获得者Leontief基于其他学者对于经济活动中的相互依存关系的研究，于1930年代率先提出研究及编制的。基于IO表发展出用于分析不同行业间经济关系的IO模型，通常分为SRIO模型和MRIO模型。然而，SRIO模型无法分析不同区域之间的经济关系<sup>[22]</sup>。与SRIO模型相比，MRIO模型不仅可以探究区域内部不同行业之间的关联情况，而且能够反映不同区域不同行业间的经济关联<sup>[33]</sup>。假设某一经济系统中含有 $m$ 个区域，每个区域包含 $n$ 个行业，则其投入产出模型可用矩阵形式表示为：

$$T = (I - A^*)^{-1} Y^* \quad (1)$$

式中： $T$ 代表总输出，为一个 $mn \cdot 1$ 的列向量； $Y^*$ 同样为一个 $mn \cdot 1$ 的列向量，代表最终使用向量； $(I - A^*)^{-1}$ 为Leontief逆矩阵； $A^* = (a_{ij}^{uv})$ 是一个 $mn \cdot mn$ 的矩阵，代表直接消耗系数矩阵。 $a_{ij}^{uv}$ 为 $v$ 地区 $j$ 行业对 $u$ 地区 $i$ 行业的直接消耗系数，令 $x_{ij}^{uv}$ 为从 $v$ 地区 $j$ 行业投入至 $u$ 地区 $i$ 行业的中间投入( $i, j=1, 2, 3, \dots, n$ )，则 $a_{ij}^{uv}$ 表达式如下：

$$a_{ij}^{uv} = x_{ij}^{uv} / T_j^v \quad (2)$$

基于式(2)，本文引入直接能源消耗系数 $\varnothing_j^v$ ，代表 $v$ 地区 $j$ 行业的直接能源消耗系数，令 $\Delta_j^v$ 为 $v$ 地区 $j$ 行业能源直接消耗量，则 $\varnothing_j^v$ 表达式为：

$$\varnothing_j^v = \Delta_j^v / T_j^v \quad (3)$$

根据式(1)和(3)，多区域贸易隐含能源投入产出(MEIO)模型可用下式表示：

$$MEIO = \varnothing(I - A^*)^{-1} Y^* = \#Y^* \quad (4)$$

式中： $\#$ 为完全能源消耗系数，代表着单位需求所消耗的直接和间接能源。

#### 1.1.2 改进的假设抽取法

Schultz首次提出并利用假设抽取法(HEM)探究不同行业间的关联效应，此方法由投入产出模型演变而来<sup>[15]</sup>。当前，HEM已经被广泛应用至经济部门对经济系统的影响的研究范畴<sup>[22]</sup>。HEM的基本思想为假设从经济系统中抽取某一部部门，进而比较抽取前与抽取后经济系统中产出变化情况，最后以抽取前后的变化来衡量行业间的关联情况及被抽取部门对经济系统的影响程度。假设经济系统中有且仅有两个行业群，分别为 $\omega_b$ 和 $\omega_{-b}$ ，其中 $\omega_b$ 由一个或多个行业组成的行业群， $\omega_{-b}$ 为其余行业组成的行业群。根据式(1)和(3)，经济系统可用下式表示：

$$\omega = \begin{bmatrix} \omega_b \\ \omega_{-b} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \xi_{b,b} & \xi_{b,-b} \\ \xi_{-b,b} & \xi_{-b,-b} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_b \\ Y_{-b} \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中： $\begin{bmatrix} \omega_b \\ \omega_{-b} \end{bmatrix}$ 代表总产出向量； $\begin{bmatrix} \xi_{b,b} & \xi_{b,-b} \\ \xi_{-b,b} & \xi_{-b,-b} \end{bmatrix} = (I - A_{b,b})^{-1}$ 表示Leontief逆矩阵； $\begin{bmatrix} Y_b \\ Y_{-b} \end{bmatrix}$ 为最终需求向量。在假设的情况下， $\omega_b$ 行业群不再与其他部门进行交易活动，则此时的经济系统可以被描述为：

$$\omega^\# = \begin{bmatrix} \omega_b^\# \\ \omega_{-b}^\# \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (I - A_{b,b})^{-1} & 0 \\ 0 & (I - A_{-b,-b})^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_b \\ Y_{-b} \end{bmatrix} \quad (6)$$

基于式(5)和(6)，可以得到假设前后经济系统的产出变化：

$$\omega - \omega^\# = \begin{bmatrix} \xi_{b,b} - (I - A_{b,b})^{-1} & \xi_{b,-b} \\ \xi_{-b,b} & \xi_{-b,-b} - (I - A_{-b,-b})^{-1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Y_b \\ Y_{-b} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$= \begin{bmatrix} P_{b,b} & P_{b,-b} \\ P_{-b,b} & P_{-b,-b} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Y_b \\ Y_{-b} \end{bmatrix}$$

Duarte等基于HEM结合能够体现直接和间接效应的纵向集成消耗(VIC)提出了MHEM，进而将关联效应分为内部效应(IE)、复合效应(ME)、净后向关联效应(NBL)和净前向关联效应(NFL)四种效应类型<sup>[21]</sup>。此外，MHEM研究框架下存在以下关系式： $VIC = IE + ME + NBL$ 。

#### 1.1.3 多区域贸易隐含能源流动模型

基于改进的假设抽取法的研究思路，将多区域多行业能源消耗系数融入，进而结合式(4)和(7)可

得多区域贸易隐含能源4个关联效应指标。其中,  $MEIC_b^u$  表示  $u$  地区  $b$  行业内部所消耗的能源量, 即仅与  $u$  地区  $b$  行业自身生产活动相关的能源消耗量, 其表达式如下:

$$MEIC_b^u = \varnothing_b (I - A_{b,b}^*)^{-1} Y_b^* \quad (8)$$

$MEMC_b^u$  是  $u$  地区  $b$  行业能源复合消耗, 代表  $u$  地区  $b$  行业产品出售至其他部门用于生产活动, 之后又被  $u$  地区  $b$  行业购入作为中间投入所产生的能源消耗量, 即包含  $u$  地区  $b$  行业自身及其他行业的能源消耗部分, 其公式如下:

$$MEMC_b^u = \varnothing_b P_{b,b}^* Y_b^* = \varnothing_b \left[ \xi_{b,b}^* - (I - A_{b,b}^*)^{-1} \right] Y_b^* \quad (9)$$

$MENBC_b^u$  为  $u$  地区  $b$  行业能源净后向消耗, 代表  $u$  地区  $b$  行业为满足自身的最终需求而从其他行业吸收的能源, 即  $u$  地区  $b$  行业能源流入量, 其表达式如下:

$$MENBC_b^u = \varnothing_{-b} P_{-b,b}^* Y_b^* = \varnothing_{-b} \xi_{-b,b}^* Y_b^* \quad (10)$$

$MENFC_b^u$  是  $u$  地区  $b$  行业能源净前向消耗, 表示  $u$  地区  $b$  行业产品被其他行业购入用于生产活动所产生的能源消耗量, 即  $u$  地区行业能源流出量,  $u$  地区  $b$  行业总能源净前向消耗, 可用下式表达:

$$MENFC_b^u = \varnothing_b P_{b,-b}^* Y_{-b}^* = \varnothing_b \xi_{b,-b}^* Y_{-b}^* \quad (11)$$

基于 MHEM 框架下的 VIC、IE、ME、NBL 之间的关系式及其经济含义, 结合式(8)、(9)和(10), 可得 MHEM 视角下多区域贸易隐含能源消耗量, 其表达式如下:

$$\begin{aligned} MEVIC_b^u &= MEIC_b^u + MENBC_b^u + MEMC_b^u \\ &= \varnothing_b \begin{bmatrix} \xi_{b,b}^* \\ \xi_{b,-b}^* \end{bmatrix} Y_b^* \end{aligned} \quad (12)$$

基于式(10)和(11)可得 MHEM 视角下出多区域贸易隐含能源流动模型(MEF),  $MEF_b^u$  代表着  $u$  地区  $b$  行业达到最终需求所需的直接和间接能源量。此方法的优点是将直接消耗系数、完全需要系数以及最终需求进行结合, 其表达形式为数量而非系数<sup>[25]</sup>, 表达式如下:

$$\begin{aligned} MEF_b^u &= MENFC_b^u - MENBC_b^u \\ &= \varnothing_b \xi_{b,-b}^* Y_{-b}^* - \varnothing_{-b} \xi_{-b,b}^* Y_b^* \end{aligned} \quad (13)$$

式中:  $MEF_b^u$  代表  $u$  地区  $b$  行业的隐含能源流动, 若此值大于0, 则表示  $u$  地区  $b$  行业的贸易隐含能源为流出状态; 若小于0, 则代表此行业的贸易隐含能源为流入状态。

#### 1.1.4 多区域贸易隐含能源流动拉动力系数

为分析不同省份建筑业的贸易隐含能源流动对整个经济系统的影响类型及程度, 参考 Rasmus-

sen 型指标的思想及相对指标概念<sup>[25]</sup>, 本文基于式(13), 在此构建多区域贸易隐含能源流动拉动力系数(MEL)模型:

$$MEL_b^u = \frac{MEF_b^u}{MEF_b^{u'}} \quad (14)$$

式中:  $MEL_b^u$  为  $u$  地区  $b$  行业的贸易隐含能源流动拉动力系数, 代表着  $u$  地区  $b$  行业对经济系统的贸易隐含能源流动的影响程度;  $MEF_b^{u'}$  为经济系统中各区域各行业贸易隐含能源流动的算术平均数。  $MEL_b^u$  以1为阈值, 反映了  $u$  地区  $b$  行业贸易隐含能源流动的作用力类型及大小, 若此数值大于1则代表增强了经济系统的贸易隐含能源的流动, 若此数值小于1代表削弱了贸易隐含能源流动, 其数值越大表示此行业对整个经济系统的贸易隐含能源流动的拉动力越强。

#### 1.2 数据来源与说明

本文所使用数据主要包括能源数据和多区域投入产出表两个方面。能源数据方面, 主要包括中国30个省份的建筑业能源消耗量, 数据来自各省份的统计年鉴, 最新年份为2022年, 故本文选取2012—2022年作为研究时段; 多区域投入产出表方面, 多区域投入产出表来自中国碳核算数据库。需要说明的是, 由于多区域投入产出表涉及中国34个省级行政区的多个行业, 其编制难度较大, 因此当前公布的中国多区域投入产出表最新年份仅为2017年。鉴于此, 本文选取2012—2017年中国多区域投入产出表作为数据基础。此外, 因数据获取原因, 研究范围未包括西藏及港澳台地区(表1)。

## 2 实证分析

### 2.1 省际建筑业能源消耗空间关联效应分析

隐含能源跨省区的流动会引起各省份能源消耗总量的变化, 只有先分析各省份间的能源消耗变化是否存在空间相关性, 才能准确把握区域能源联动格局, 为后续探究隐含能源的跨省区流动奠定基础, 使研究更贴合区域能源空间互动的现实逻辑。因此, 在探究建筑业隐含能源跨省区流动之前, 有必要先对各省份建筑业能源消耗变化的空间关联进行分析。地理学第一定律指出, 空间关联性现象是普遍存在的, 莫兰指数作为评价空间关联情况的常用指标一般分为全局莫兰指数和局部莫兰指数, 二者分别能够反映区域整体空间关联程度和不同区域间空间关联程度。

本文首先使用全局莫兰指数检验2012—2022

表1 中国30个省级行政区代码  
Tab.1 Codes of 30 provincial-level administrative regions in China

代码	省份	代码	省份	代码	省份
P1	北京	P11	浙江	P21	海南
P2	天津	P12	安徽	P22	重庆
P3	河北	P13	福建	P23	四川
P4	山西	P14	江西	P24	贵州
P5	内蒙古	P15	山东	P25	云南
P6	辽宁	P16	河南	P26	陕西
P7	吉林	P17	湖北	P27	甘肃
P8	黑龙江	P18	湖南	P28	青海
P9	上海	P19	广东	P29	宁夏
P10	江苏	P20	广西	P30	新疆

年中国省际建筑业能源消耗变化是否存在空间相关性,为更准确地测度省际建筑业能源消耗的空间关联情况,本文将2012—2022年划分为3个时段,且时间长度不断增加,分别为2012—2016、2016—2022和2012—2022年。检验结果显示,3个时段各省份的建筑业能源消耗变化率全局莫兰指数分别为0.123、0.176和0.207,Z值分别为2.067、2.882和3.165,P值分别为0.039、0.004和0.002。这表明,3个时段内省际建筑业能源消耗变化率均存在显著的空间正相关性,即在空间层面存在集聚特征,说明建筑业能源消耗变化会对邻近省份产生积极影响。

进一步地,本文对中国省际建筑业能源消耗变化率的局部莫兰指数进行测算。根据表2可知,2012—2016年北京、天津、河北、山西、内蒙古和宁夏为“L-L”型聚集区域,河南为“H-L”型聚集区域。2016—2022年广东、贵州和云南为“L-H”型聚集区域,湖北、湖南、重庆和四川为“H-H”型聚集区域,吉林为“H-L”型,北京、天津、河北和内蒙古为“L-L”型聚集区域。2012—2022年北京、天津、河北、山西、内蒙古和山东处于“L-L”型聚集区域,湖南和广东为“L-H”型聚集区域,辽宁和吉林为“H-L”型聚集区域。其中,湖南由“H-H”型转变为“L-H”型聚集区域。可以看出,东部地区省份多表现为“L-L”和“L-H”型聚集,中部地区省份多表现为“L-L”及“H-H”型聚集,西部地区省份多表现为“L-H”和

“H-H”型聚集,东北地区多表现为“H-L”型聚集。

## 2.2 省际建筑业贸易隐含能源分析

上述分析结果证明了省际建筑业能源消耗存在空间相关性,为下文的研究提供了依据。据此,本文基于最新公布的中国多区域投入产出表,对省际建筑业贸易隐含能源消耗、能源跨区域流动及其拉动力进行分析。图1展示了2012—2017年中国30省份的建筑业贸易隐含能源消耗量。整体而言,东部地区和中部地区的建筑业贸易隐含能源消耗总量高于东北地区和西部地区。其中,2012—2017年浙江省的建筑业贸易隐含能源消耗总量最大,为21168万tce;位列第二的是山东省,其建筑业贸易隐含能源消耗量为18946万tce;紧接其后的是江苏省,其建筑业贸易隐含能源消耗量高达17998万tce。这表明,东部及中部地区有大量的基础设施建设、房地产开发等项目正在推进,如修建高速公路、铁路、桥梁、商业写字楼和居民住宅等,这是经济快速发展、城市化进程加快的表现。

然而,2012—2017年海南、青海以及吉林的建筑业贸易隐含能源消耗总量最小,仅分别为2561、1969及3988万tce。从中看出,东部地区的建筑业贸易隐含能源消耗量总体较大,东北和西部地区的建筑业贸易隐含能源消耗量相对较小。这表明,东北和西部地区的经济建设活跃度较低,处于经济转型期或发展相对缓慢,大规模的建筑项目较少,基础设施建设和房地产开发等活动不频繁。

据表3可知,2012—2017年中国30个省份中仅有6个省份的建筑业贸易隐含能源呈现下降的趋势,其余省份均呈现上升趋势。其中,广西的建筑业贸易隐含能源消耗量增长趋势最大,增长188.4%,涨幅较大;其次为青海省,涨幅高达94.2%;新疆增长66.2%,位列第三。然而,吉林、黑龙江、北京、上海、甘肃、江苏的建筑业呈现下降趋势,期间下降比例分别为19.9%、15.3%、13.6%、10.5%、10.0%和2.7%。其可能原因为:一是产业政策。2011年下半年后,国家层面相继出台《“十二五”节能减排综合性工作方案》《绿色建筑行动方案》等政策,6省份结合自身产业特征制定实施细

表2 2012—2022年中国30个省级建筑业的能源消耗变化局部莫兰指数分析结果  
Tab.2 Results of local Moran index of energy consumption changes of the construction industry in 30 provincial-level regions of China from 2012 to 2022

时段	“L-H”型	“H-H”型	“H-L”型	“L-L”型
2012—2016	-	-	河南	北京、天津、河北、山西、内蒙古、宁夏
2016—2022	广东、贵州、云南	湖北、湖南、重庆、四川	吉林	北京、天津、河北、内蒙古
2012—2022	湖南、广东	-	辽宁、吉林	北京、天津、河北、山西、内蒙古、山东

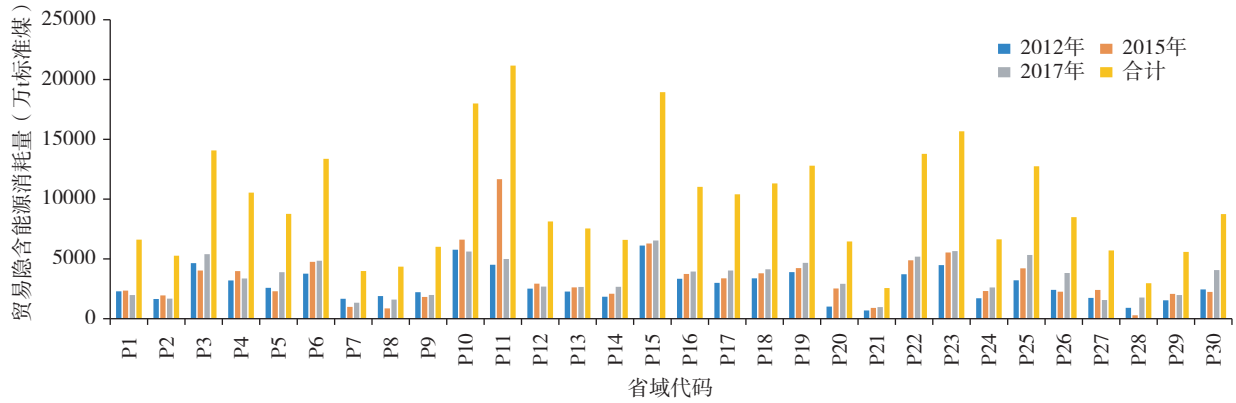


图1 2012—2017年中国30个省级建筑业的贸易隐含能源消耗量

Fig.1 Embodied energy consumption of construction industry trade in 30 provincial-level regions of China, from 2012 to 2017

则,从“源头管控”遏制高耗能建材生产与低效工程建设,直接推动隐含能源消耗下降;二是技术变革。随着相关科技及建筑业智能化的发展,建筑业施工技术智能化以及能源利用效率不断提高,优化了6省份建筑业隐含能源消耗结构。这表明,除吉林、黑龙江、北京、上海、甘肃和江苏之外,中国其余省份建筑业规模处于扩张趋势,其产业结构仍较为依赖建筑业等重化工业或大型基础设施依赖型产业。

2.3 省际建筑业贸易隐含能源流动网络特征

图2为2012—2017年建筑业贸易隐含能源在30个省份之间的流动网络。就流动网络复杂程度而言,30个省际建筑业每年的贸易隐含能源流动路径数量较为庞大,均为435条。然而,各年份之间流动路径总数差异性较小,未出现大幅波动。这表明,一方面中国省际建筑业贸易隐含能源联系较为密切,其流动路径错综复杂,各省份建筑业在生产过程中,通过原材料采购、设备供应、劳务协作等贸易活动,形成了庞大的能源流动网络;另一方面,2012—2017年各省份建筑业之间的经济合作和相互依赖程度没有出现大的起伏,区域经济格局保持着相对的均衡。同时,也代表中国30个省份建筑业的产业结构以及省际间的贸易模式没有发生显

著变化,各省份在建筑业领域的分工和协作关系较为稳固,其能源消耗结构处于较为稳定的状态。其可能的原因为:一是省际建筑业分工协作格局变化较小,如原材料的供需关系较为稳定,其流动路径数量处于较为稳定状态;二是产业政策与要素约束限制路径调整,建筑业依赖的建材生产、运输布局及技术体系短期难变,且各省份节能降碳政策多聚焦于能耗强度而非贸易对象的调整,未对省际贸易流向产生颠覆性影响,因此其流动路径总数维持稳定。

就省际建筑业间贸易隐含能源流动关键路径而言,2012年重庆建筑业流入至河北的隐含能源量最大,高达1.08万tce。此外,重庆建筑业流入至云南建筑业、江苏建筑业流入至河北建筑业的隐含能源量分列所有流动路径中第二、三位,其隐含能源流动量分别为0.86及0.80万tce。2015年由宁夏建筑业流入至云南建筑业、江苏建筑业流入至云南建筑业、浙江建筑业流入至云南建筑业的隐含能源量位列前三名,其隐含能源流动量分别为1.54、1.47、1.18万tce。2017年隐含能源由重庆建筑业流入至广西建筑业、重庆建筑业流入至新疆建筑业、浙江建筑业流入至河南省建筑业的流动量最大,这3条

表3 2012—2017年中国30个省级建筑业的贸易隐含能源消耗变化趋势  
Tab.3 Change of embodied energy consumption of construction industry trade in 30 provincial-level regions of China from 2012 to 2017

代码	变化幅度(%)	排名	代码	变化幅度(%)	排名	代码	变化幅度(%)	排名	代码	变化幅度(%)	排名	代码	变化幅度(%)	排名
P1	-13.55	28	P7	-19.85	30	P13	16.87	18	P19	19.78	16	P25	66.02	4
P2	2.03	24	P8	-15.27	29	P14	45.22	8	P20	188.44	1	P26	58.54	5
P3	16.22	19	P9	-10.51	27	P15	6.94	21	P21	41.03	9	P27	-10.03	26
P4	5.13	23	P10	-2.67	25	P16	18.03	17	P22	39.68	10	P28	94.24	2
P5	50.42	7	P11	10.74	20	P17	34.37	11	P23	26.08	14	P29	28.70	13
P6	28.84	12	P12	6.80	22	P18	22.31	15	P24	52.99	6	P30	66.20	3

路径的隐含能源流动量分别为4.20、3.64、2.15万tce。此外,2012—2017年重庆建筑业流入至广西建筑业、重庆建筑业流入至新疆建筑业、浙江建筑业流入至河南建筑业的隐含能源总量位列前三,为最关键的3条流动路径,其流动量分别为4.31、3.81及2.27万tce。其中,重庆、广西、新疆、浙江和河南为最关键流动路径所涉及的主要省份。同时也看出,2012—2017年重庆和浙江的建筑业贸易隐含能源流动量在所有流动路径中最大。这表明,重庆和浙江的建筑业在与其它省份的建筑业贸易中,能够输出大量的隐含能源,其产品或服务可能具有较强的竞争力。可能的原因是,重庆和浙江的建筑业与其它省份的建筑业之间存在着紧密的产业联系,在

省际建筑产业链中占据重要地位,不仅能够满足本地建筑业的发展需求,还能为其他省份的建筑业发展提供支持,对区域经济发展的带动作用日益显著。

图3展示了将2012—2017年中国30个省份的建筑业贸易隐含能源流动路径进行合并后可以得出贸易隐含能源流动总量。其中,有15个省份的建筑业为贸易隐含能源供给行业,主要集中在西部、中部和东部地区。其中,重庆建筑业向经济系统中其余省份建筑业输出的贸易隐含能源最多,为18.22万tce;其次为宁夏建筑业,期间输出的贸易隐含能源量为10.14万tce;湖北建筑业输出了6.32万tce的贸易隐含能源,在所有省份建筑业中位列第

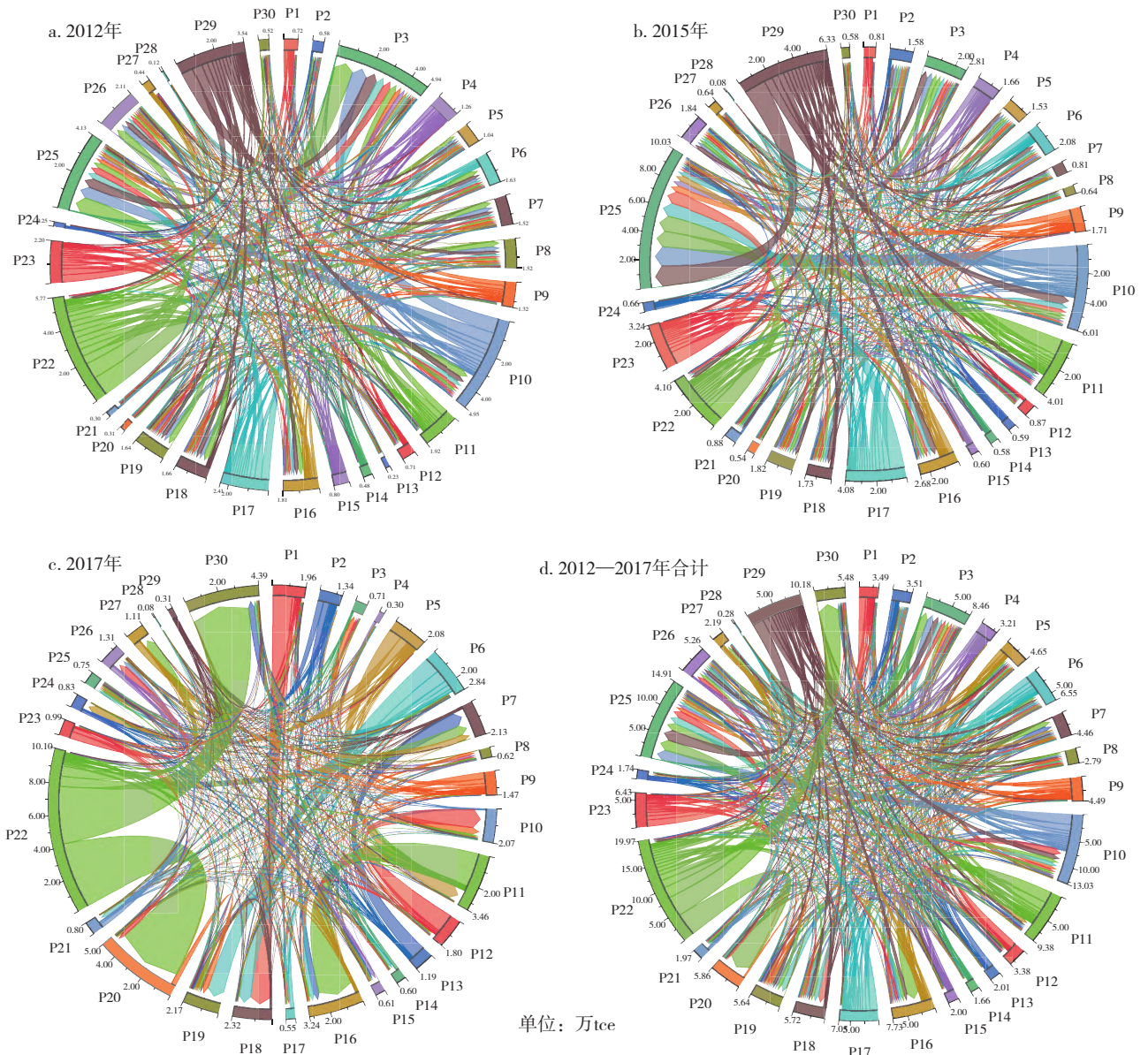


图2 2012—2017年中国30个省级建筑业的贸易隐含能源流动网络

Fig.2 Embodied energy flow networks of 30 provincial-level construction industry in China from 2012 to 2017

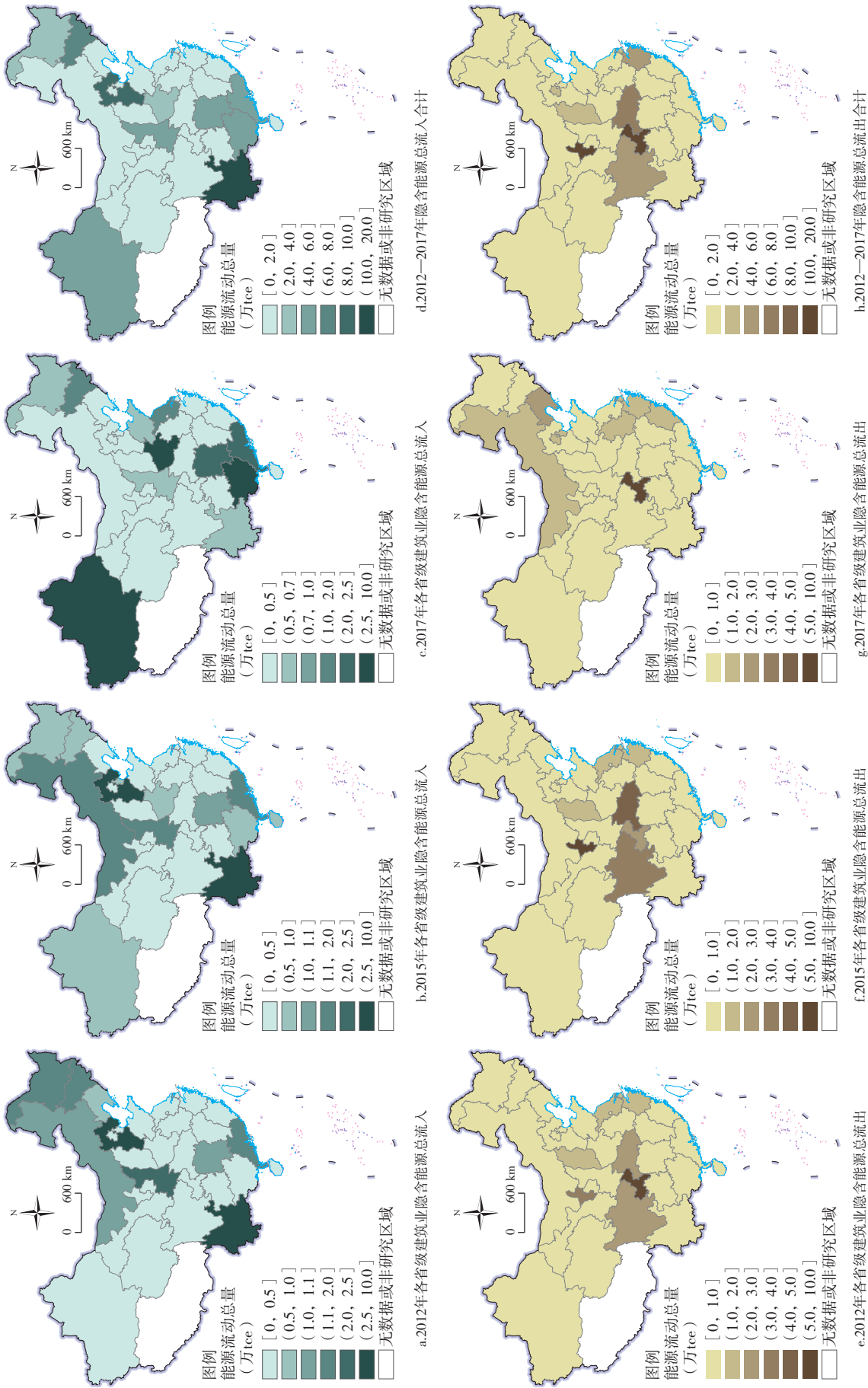


图3 2012—2017年中国30个省级建筑业贸易隐含能源流动总量空间分布  
 注:该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为GS(2023)2763号的标准地图制作,底图无修改。

三。这表明,中国各省份的建筑业贸易隐含能源供给行业主要集中在西部、中部和东部地区。其中,重庆、宁夏和湖北的建筑业为最大的3个贸易隐含能源供给行业。

此外,有15个省份建筑业为贸易隐含能源接收行业,主要集中在西部、东部和东北地区。其中,云南建筑业接收了其余省份建筑业的贸易隐含能源量最大,高达14.75万tce;其次分别为河北和广东的建筑业,二者接收的贸易隐含能源为8.02和5.60万tce。这表明,中国各省份的建筑业贸易隐含能源接收行业主要集中在西部、东部和东北地区。西部和东部地区部分省份的建筑业在经济系统中不仅为贸易隐含能源供给行业,同样也是接收行业。其中,云南、河北和广东和建筑业为最大的3个贸易隐含能源接收行业。

#### 2.4 省际建筑业贸易隐含能源流动变化趋势

图4为2012—2017年中国30个省份建筑业间的贸易隐含能源流动网络变化情况。从中看出,有263条流动路径呈现出增长趋势,其中重庆建筑业流入至广西建筑业的隐含能源增长最多,高达4.13万tce。其次为由重庆建筑业流入至新疆的建筑业,期间其贸易隐含能源流动增多了3.54万tce。紧接其后的是浙江建筑业流入至河南省建筑业的贸易隐含能源,这期间增长了2.08万tce。由此看出,重庆建筑业流入至其余省份的建筑业隐含能源增长较为明显。可能的原因是,重庆和浙江的建筑业在全国相关市场中的参与度及影响力逐渐提升,为其他省份的建筑业提供的相关产品和服务不断增加。这种增长趋势还反映出重庆和浙江的建筑业自身处于动态发展以及不断优化和调整过程中。

此外,有343条流动路径呈现出下降趋势,其中重庆建筑业流入至河北建筑业、江苏建筑业流入至河北建筑业、重庆建筑业流入至云南建筑业的贸易隐含能源下降程度最大,分别为1.06、0.80以及0.78万tce。可以看出,其他省份建筑业流入至河北和云南的建筑业隐含能源下降较为明显。可能的原因是:一方面,河北和云南的建

业正在推进产业结构转型,与其他省份的建筑业经济关联及区域合作模式发生变化;另一方面,受技术进步、市场需求改变影响,两省建筑业对省外产品或服务的依赖度降低,资源与产品自给能力有所提升。

#### 2.5 省际建筑业贸易隐含能源流动拉动力系数

表4为2012—2017年中国30个省际建筑业间的贸易隐含能源流动拉动力系数及其排名情况。表中系数的大小代表此行业对经济系统的贸易隐含能源流动的影响程度,若其值大于1则代表增强了经济系统的贸易隐含能源的流动,小于1代表削弱了贸易隐含能源流动,数值越大表示此行业对整个经济系统的贸易隐含能源流动的拉动力越强。2012—2017年中国建筑业贸易隐含能源流动拉动力系数大于1的省份共有10个,分别是重庆、宁夏、江苏、浙江、湖北、四川、上海、辽宁、北京和山西。其中,重庆的建筑业贸易隐含能源流动拉动力系数位列第一位,其值高达6.60;宁夏的拉动力系数为3.51,排名第二;紧接其后的是江苏的建筑业,其贸易隐含能源流动拉动力系数为2.50。

由表4进一步分析可知,对于贸易隐含能源流动起拉动作用的省份多集中在东部和西部地区,其

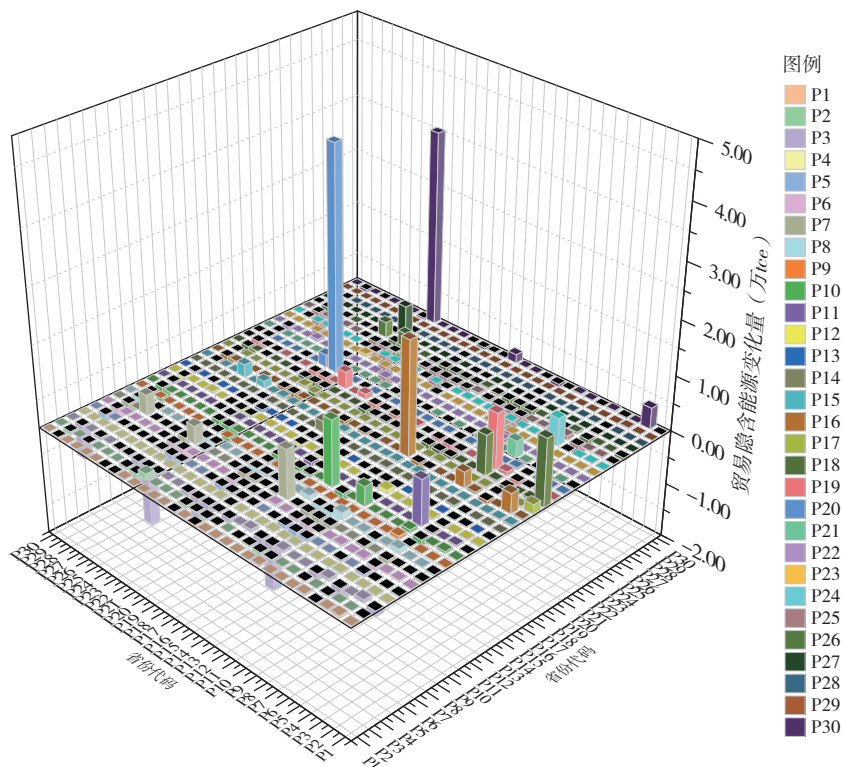


图4 2012—2017年中国30个省级建筑业的贸易隐含能源流动网络变化趋势  
Fig.4 Change of embodied energy flow network of construction industry trade in 30 provincial-level regions of China from 2012 to 2017

表4 2012—2017年中国30个省级建筑业的贸易隐含能源流动拉动力系数及其排名  
Tab.4 Driving force coefficient of embodied energy flows of construction industry trade in 30 provincial-level regions of China from 2012 to 2017 and its ranking

省域代码	拉动力指数				总排名	省域代码	拉动力指数				总排名	省域代码	拉动力指数				总排名
	2012	2015	2017	总拉动			2012	2015	2017	总拉动			2012	2015	2017	总拉动	
P1	0.67	0.59	1.88	1.04	9	P11	1.97	2.61	2.62	2.43	4	P21	0.12	0.14	0.43	0.23	21
P2	0.12	0.21	1.29	0.54	15	P12	0.35	0.22	1.60	0.71	11	P22	6.58	3.22	10.51	6.60	1
P3	0.07	0.01	0.16	0.08	24	P13	0.01	0.51	1.24	0.60	14	P23	2.57	2.90	0.89	2.14	6
P4	1.46	1.46	0.18	1.04	10	P14	0.49	0.44	0.20	0.37	17	P24	0.18	0.50	0.26	0.33	18
P5	0.00	0.01	2.13	0.70	12	P15	0.91	0.44	0.01	0.44	16	P25	0.08	0.02	0.00	0.03	26
P6	0.57	0.82	2.71	1.37	8	P16	0.82	0.98	0.23	0.69	13	P26	0.02	0.02	0.36	0.13	22
P7	0.01	0.01	0.19	0.07	25	P17	2.83	3.71	0.25	2.31	5	P27	0.26	0.20	0.48	0.31	19
P8	0.01	0.01	0.03	0.01	28	P18	0.33	0.23	0.15	0.23	20	P28	0.01	0.03	0.00	0.01	27
P9	1.38	1.45	1.46	1.43	7	P19	0.00	0.02	0.00	0.01	30	P29	4.17	5.80	0.31	3.51	2
P10	3.96	3.46	0.12	2.50	3	P20	0.00	0.00	0.32	0.11	23	P30	0.01	0.01	0.00	0.01	29

中重庆、宁夏和江苏的建筑业为拉动力最大的3个省份。可能的原因是:一方面,东部和西部地区,尤其是重庆、宁夏和江苏积极推动建筑业的发展,其建筑产业规模不断扩大,这些省份将自身的资源优势转化为建筑业发展的动力,通过建筑业的产品和服务输出,将隐含在其中的能源输送到其他省份,进而实现了建筑业贸易隐含能源的跨省份流动。另一方面,东部地区具有发达的交通运输网络和雄厚的经济基础,在跨省份贸易中其商品源源不断地输往其他省份,大量的能源被隐含在这些商品的生产、运输等环节中,从而拉动了贸易隐含能源流动;西部地区蕴含着丰富的煤炭、石油、天然气等能源资源,在国家西部大开发战略等政策推动下,西部地区的能源开发与利用不断深化,将部分能源资源直接输送到其余省份,满足其余省份庞大的能源需求,促进了贸易隐含能源的流动。

### 3 结论与建议

#### 3.1 研究结论

本文基于多区域投入产出模型、改进的假设抽取法和莫兰指数,构建出多区域贸易隐含能源流动拉动力系数模型。首先,利用2012—2022年中国30个省际建筑业能源消耗数据,分析其能耗变化的空间关联效应。其次,依据2012—2017年中国多区域投入产出表作为数据基础,测算其贸易隐含能源消耗量,进而分析其变化趋势。然后,刻画各省份建筑业的贸易隐含能源流动网络,分析其空间特征并定位各省份建筑业在能源消耗中的角色。最后,测算各省份建筑业贸易隐含能源流动拉动力系数,并对其拉动力类型进行划分。主要结论如下:

①中国各经济区域的建筑业贸易隐含能源消耗量存在一定差异,东部和中部地区各省份的建

业贸易隐含能源消耗量整体高于东北和西部地区。除吉林、黑龙江、北京、上海、甘肃和江苏之外,其余省份的建筑业贸易隐含能源消耗量均呈现上升趋势,其中广西(188.4%)、青海(94.2%)和新疆(66.2%)涨幅最大。此外,全局莫兰指数结果显示,30个省份的建筑业能源消耗变化存在显著空间正相关性,即在空间层面存在集聚特征;局部莫兰指数显示,东部地区省份多表现为“L-L”和“L-H”型聚集,中部地区省份多表现为“L-L”和“H-H”型聚集,西部地区省份多表现为“L-H”和“H-H”型聚集,东北地区省份多表现为“H-L”型聚集。

②中国省际建筑业贸易隐含能源流动网络错综复杂,其能源流动路径数量较为庞大,年均高达400条以上。其中,重庆建筑业流入至广西建筑业、重庆建筑业流入至新疆建筑业、浙江建筑业流入至河南建筑业的隐含能源量位列前三,分别为4.31、3.81及2.27万tce。此外,有263条流动路径呈现出增长趋势,343条流动路径呈现出下降趋势。

③中国各省份建筑业在经济系统中的角色各有不同,有15个省份建筑业为贸易隐含能源供给型行业,其中重庆、宁夏和湖北的建筑业为最大的3个贸易隐含能源供给型行业;有15个省份建筑业为贸易隐含能源接收型行业,其中云南、河北和广东的建筑业为最大的3个贸易隐含能源接收型行业。

④中国各省份建筑业对于经济系统的贸易隐含能源流动存在不同程度的影响,对于贸易隐含能源流动起拉动作用的共有10个省份,多集中在东部和西部地区。其中,重庆、宁夏和江苏的建筑业拉动力系数分别高达6.60、3.51及2.50,为全国最大的3个省份。

#### 3.2 政策建议

根据以上研究结论,为促进建筑业节能目标的

达成,本文从省域视角提出以下政策建议:

①制定差异化节能目标。由于各省份建筑业贸易隐含能源消耗规模存在一定差异,东部和中部地区省份整体高于东北和西部地区省份,且增减趋势亦有不同。东部和中部地区凭借经济发展优势在城镇化和基础设施建设上进展较快,拉动其建筑业的快速发展,而东北和西部地区的经济发展水平较低、人口较少,大型基础设施建设和房地产开发项目较少,进而导致东部和中部地区的建筑业隐含能源消耗规模大于东北和西部地区。因此,对于隐含能源消耗量较大东部和中部地区省份的建筑业,如浙江、山东及江苏等,应制定相对更有力的节能政策,促使其快速实现节能目标。例如,将建筑业相关产品(建材等)的隐含碳排放纳入考量,利用市场机制更有力地推动其节能减排进展;而消耗较小的东北和西部地区省份则应制定较为缓和的政策,如青海、吉林等,使其稳步提升节能目标。例如,可通过传统的经济手段(退税、低碳建筑补贴等),激励开发商和消费者选择低碳建筑和建材,使建筑业向绿色转型目标稳步推进。

②建立跨省份的节能协同治理机制,开展区域协同减排试点工作。一方面,鉴于各省份建筑业贸易隐含能源流动网络错综复杂,能源流动路径数量较为庞大。因此,需建立跨省份的节能协同治理机制,打破地区壁垒,推动各省份在能源统计、监测与政策执行上的信息共享与协作,形成政策合力。此外,应鼓励各省份之间加强在绿色建筑、建筑节能等领域的技术交流与协同创新。特别是在连片区域内,可以协同推进清洁能源输送通道建设,协调优化各区域清洁能源占比结构。尤其是,重庆与广西、重庆与新疆、浙江与河南这3条关键流动路径之间的协同合作。另一方面,开展区域协同减排试点工作,建立协同合作基金,搭建节能减排技术共享平台,主要以拉动力较强以及关键路径所涉及的省份为核心试点,如重庆、宁夏、江苏、广西、新疆、浙江、河南等。从国家层面而言,可考虑优化高耗能建材产业的区域布局,引导新增产能向可再生能源富集、环境容量相对较大的地区有序转移,使得能源富集但经济发展不足的区域提升经济水平,而经济水平较高但环境压力较大的区域优化环境,达到促进经济与环境协调发展的目的。

③建立分类施策机制。各省份建筑业在经济系统中的角色各有不同,针对贸易隐含能源供给型省份,如重庆、宁夏以及湖北等,重点支持其节能技

术研发与应用,降低单位产出的隐含能源消耗量。例如,重点关注并推广能够提升建筑物及相关材料的使用寿命、可循环性的技术,推动建筑业及相关产品生态设计规则的完善,并考虑引入建筑废弃物生产者延伸责任制度;而对于接收型省份,如云南、河北及广东等,则应强化需求侧管理,通过严格的能效标准促使建筑企业提升能源利用效率,减少对外部高耗能产品与服务的依赖。例如,可借鉴欧盟的数字产品护照(DPP)经验,提升建材碳足迹的透明度,鼓励各省份制定或提升超低能耗、近零能耗建筑标准。

④建立责任分摊机制。各省份建筑业在经济系统中的能源消耗特征和定位存在一定差异,可按照不同的能源角色制定节能减排责任分摊机制。例如,贸易隐含能源供给型省份重点承担建筑业相关材料生产过程中的直接排放责任,重点考核其单位建材产品的碳排放强度,如重庆、宁夏以及湖北等;贸易隐含能源接收型省份侧重承担建筑消费端责任,着重考核其建筑全生命周期碳排放总量,如云南、河北及广东等。此外,在全球经济一体化的背景下,中国作为贸易大国,与其他国家(地区)的联系非常密切,因此中国与其他国家(地区)之间的隐含能源联系是未来值得进一步探讨和研究的方向。

由于数据的可获取性等方面原因,本文还存在以下可提升空间:一是时间维度上,尽管本文所涉及的能源消耗数据和多区域投入产出表均采用了当前所公布的最新年份,但是随着相关数据的公布,未来可进行更长时间跨度的探究;二是研究尺度上,本文的研究尺度为省级层面,未来可从市级或县级层面进行更细尺度的分析。

#### 参考文献:

- [1] 段海燕,陈思颜,刘源源,等. 生命周期视角下中国建筑业能源区域消耗特征研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(7): 57-65.
- [2] Xu G Y, Wang W M. China's energy consumption in construction and building sectors: An outlook to 2100[J]. Energy, 2020, 195: 117045. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117045>.
- [3] 肖与轩,胡希军,韦宝婧. 长江经济带建筑业、能耗与碳排放关系及其时空演变[J]. 经济地理, 2025, 45(2): 47-57.
- [4] 王锋,高长海. 中国产业部门隐含能源的测度、分解与跨境转移——基于CRIO模型的研究[J]. 经济问题探索, 2020(9): 1-11.
- [5] Yang Y, Zhou Y N, Shan Y L, et al. The shift of embodied energy flows among the Global South and Global North in the post-globalisation era [J]. Energy Economics, 2024, 131: 107408.

- <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107408>.
- [6] 郭珊,韩梦瑶,杨玉浦. 中国省际隐含能源流动及能效冗余解析[J]. 资源科学,2021,43(4):733-744.
- [7] 赵良仕,江家喜,王泽宇. “海丝”沿线国家渔业贸易隐含能源流动网络特征及影响因素[J]. 自然资源学报,2024,39(11):2691-2720.
- [8] Shen S, Jiang Y F, Cheng C X. Inversed virtual water flow pattern and its influencing factors in Northwest China[J]. Ecological Indicators,2024,158(1):1-11.
- [9] Leontief W W. Quantitative input and output relations in the economic systems of the United States[J]. The Review of Economics and Statistics,1936,18:105-125.
- [10] 杨成凤,韩会然,宋金平. 功能疏解视角下北京市产业关联度研究——基于投入产出模型的分析[J]. 经济地理,2017,37(6):100-106.
- [11] 檀勤良,韩健,刘源. 基于投入产出模型的省际虚拟水流动关联分析与风险传递[J]. 中国软科学,2021(6):144-152.
- [12] 张晓宇,何燕,吴明,等. 世界水资源转移消耗及空间解构研究——基于国际水资源投入产出模型[J]. 中国人口·资源与环境,2015,25(S2):89-93.
- [13] An Q, An H Z, Wang L, et al. Analysis of embodied exergy flow between Chinese industries based on network theory[J]. Ecological Modelling,2015,318:26-35.
- [14] 吴乐英,赵义义,苗长虹,等. 黄河流域省际贸易隐含能源流动格局及其产业链路径[J]. 资源科学,2024,46(11):2150-2162.
- [15] Schultz S. Approaches to identifying key sectors empirically by means of input-output analysis[J]. Journal of Development Studies,1977,14(1):77-96.
- [16] 刘宇. 产业的关联性分析及其产业选择[J]. 中国经济问题,2011(3):52-61.
- [17] 陈效珍. 基于产业关联强度识别关键产业——根据虚拟消去法(HEM)以鲁苏粤三省为例[J]. 经济问题探索,2015(2):40-45.
- [18] Zhang L, Liu B, Du J, et al. CO<sub>2</sub> emission linkage analysis in global construction sectors: Alarming trends from 1995 to 2009 and possible repercussions[J]. Journal of Cleaner Production,2019,221:863-877.
- [19] Song Y, Liu C L, Langston C. Exploring intersectoral linkages between real estate and construction[J]. International Journal of Construction Management,2008,8:73-85.
- [20] Chen Z X, Song Y, Li Y Y, et al. Assessing the contaminant reduction effects of the COVID-19 pandemic in China [J]. Journal of Cleaner Production,2023,424:138887.
- [21] Duarte R, Sánchez-Chóliz J, Bielsa J. Water use in the Spanish economy: An input-output approach [J]. Ecological Economics,2002,43:71-85.
- [22] Zhang L, Liu B, Du J, et al. Internationalization trends of carbon emission linkages: A case study on the construction sector [J]. Journal of Cleaner Production,2020,270:122433. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122433>.
- [23] 和夏冰,王媛,张宏伟,等. 我国行业水资源消耗的关联度分析[J]. 中国环境科学,2012,32(4):762-768.
- [24] Deng G Y, Wang L, Xu X Y. Linkage effect of virtual water trade in China's industrial products-based on generalized hypothetical extraction method[J]. Ecological Indicators,2018,93:1302-1310.
- [25] 马忠,徐中民. 改进的假设抽取法在产业部门用水关联分析中的应用[J]. 水利学报,2008(2):176-182.
- [26] Yuan R, Behrens P, Rodrigues J F D. The evolution of intersectoral linkages in China's energy-related CO<sub>2</sub> emissions from 1997 to 2012[J]. Energy Economics,2018,69:404-417.
- [27] Ahmad M, Zhao Z Y, Li H. Revealing stylized empirical interactions among construction sector, urbanization, energy consumption, economic growth and CO<sub>2</sub> emissions in China [J]. Science of the Total Environment,2019,657:1085-1098.
- [28] Wang R Y, Ren H, Cai W G, et al. Effects of various stages and modes of urbanization on building energy consumption intensity in China [J]. Journal of Environmental Planning and Management,2023,66:1147-1166.
- [29] Wang X C, Yang L, Wang Y T, et al. Imbalances in virtual energy transfer network of China and carbon emissions neutrality implications [J]. Energy, 2022, 254: 124304. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124304>.
- [30] 董志良,贾妍婧,安海岗. 产业部门间间接能源流动及依赖关系演化特征[J]. 复杂系统与复杂性科学,2023,20(4):61-68.
- [31] 蔡国英,赵继荣. 基于假设抽取法的黑河流域中游行业用水关联分析[J]. 生态学报,2015,35(12):4215-4223.
- [32] Deng G Y, Qin X Y. Research on the association of China-US virtual water trade based on hypothesis extraction method[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2023, 19: 54644-54656.
- [33] Guo J E, Zhang Z K, Meng L. China's provincial CO<sub>2</sub> emissions embodied in international and interprovincial trade [J]. Energy Policy,2012,42:486-497.