

中国制造业在世界创新网络中的 多维定位与融入路径研究^①

陈 婷 玉

(东北财经大学经济学院)

研究目标：测度并分析中国制造业在世界创新网络中的地位及融入路径。**研究方法：**构建世界创新网络，将中国制造业纳入创新价值链中。**研究发现：**国内需求引致的中国制造业研发支出快速增长，国外需求引致中国制造业研发投入最多的是美国、日本等发达国家，金砖国家外需引发中国制造业研发投入增长的速度最快。中国制造业前向与后向技术关联指数的变动稳中有升，其中前向技术关联一直大于后向技术关联，中国制造业在世界创新网络中的供给地位更为显著。**研究创新：**基于节点、路径、关联三维视角综合评估“中国制造”在世界创新网络中的参与程度，并对其如何嵌入世界创新网络进行动态分析。**研究价值：**为增强“中国制造”的技术影响力，向“中国创造”与“中国精造”转变提供参考依据。

关键词 中国制造业 世界创新网络 全球价值链 融入路径

中图分类号 F415.2 **文献标识码** A

引 言

随着全球化竞争与合作程度的加深，不同经济体之间产品和服务的交换范围不断扩大，形成遍布世界的经济贸易网络。同时，技术密集型产品贸易和知识密集型服务贸易在国际贸易中所占的比重持续增加。根据内生增长理论可知，技术和知识的价值凝结在产品的生产过程中，并在交换过程中发生流动，不仅体现出作为公共产品的外部性，而且逐渐成为经济持续增长的内在动力。许多学者从创新要素的流动角度对创新网络进行了解释（Freeman, 1991; Cooke, 1996; Boschma 和 Frenken, 2010），指出以国际贸易网络中的经济体为节点、经济活动为传导路径，知识要素在节点之间流动形成的网状结构即为世界创新网络。

改革开放以来，中国不仅凭借丰富的资源禀赋和劳动力低成本优势构建了种类完备且层次多样的制造业生产体系，而且参与了从技术引进、原材料购买，到中间品和最终产品出口的完整价值链过程。中国制造业加速融入世界贸易网络的同时，参与创新网络的水平也不断提高。特别是自2016年《国家创新驱动发展战略纲要》实施以来，现代装备制造业、高技术产业产出迅速增长，新动能培育壮大的效果显著，传统要素密集型产业的创新成果产出也逐年增加。需要指出的是，尽管中国制造业的自主创新能力和产品技术复杂度不断提高，但“大而不强”仍然是其面临的主要问题。

^① 本文获得国家社会科学基金后期资助项目（18FJY003）的资助。

自2010年以来,中国制造业生产规模已经连续多年稳居世界第一并且份额持续扩大,但是,2018年中国制造业增加值在国内生产总值(GDP)中所占比重仅为29.41%^①,与之相对,发达国家制造业在GDP中的占比大多在35%以上,制造业的整体绩效水平与发达国家相差较大。在研究与实验发展(R&D)经费投入中,中国高端制造业研发经费投入与GDP之比即研发投入强度偏低的现象十分突出,2017年全国研发投入强度为2.13%,高技术制造业、装备制造业研发投入强度分别仅为2%和1.65%^②,与创新型国家研发投入强度2.5%以上相比还有一定差距。

多数研究发现,中国制造业在全球价值链中处于相对低端的环节,尤其是中国高技术制造业的增值能力严重不足(刘志彪和张杰,2007;黄群慧,2018),对生产网络的关注普遍集中在产品贸易与增加值贸易,而对创新投入这一影响中国制造业高端化关键因素的研究有所欠缺,不能从根本上解释中国制造业“大而不强”的深层次原因。因此,应将生产活动与研发投入紧密结合,以实现对中国制造业在世界创新网络中的精准定位。除此之外,对中国制造业参与跨区域技术流动、融入世界创新网络的路径进行分解,测算不同路径下中国制造业与其他经济体的技术关联,对于改善研发支出结构、提高研发支出效率以获取更高的创新附加值,推动中国由“世界工厂”向全球制造中心转变具有十分重要的意义。

一、文献综述

国内外学者有关创新网络的研究始于如何对产业部门间的技术溢出效应进行有效的测度。Arrow(1962)研究发现产业部门间存在技术溢出现象,即生产部门进行研发支出以更新产品和服务的过程中,新技术会通过各种渠道渗透到其他产业部门。此后,对技术溢出进行测度的文献逐渐增多,研究方法大多是建立研发投入部门和技术使用部门之间的回归模型,单向计算从技术溢出方到技术受益方的垂直溢出效应(Aitken和Harrison,1999;Javorcik,2004;Keller,2010)。考虑经济体之间的直接与间接技术关联,Schnabl(1995)率先从子系统视角出发建立了研发支出矩阵,Düring和Schnabl(2000)则根据技术流动方向的不同定义了前向研发系数矩阵和后向研发系数矩阵,比较不同国家部门之间研发支出结构的变化。

由于生产活动与研发活动紧密相关,反映产业部门间生产技术联系的投入产出表就不可避免地成为了研究产业间知识或技术溢出效应的重要工具。代表性的研究如Hauknes和Knell(2009)以列昂惕夫逆矩阵为基础,运用投入产出方法考察了不同国家行业之间的直接与间接知识溢出效应,通过测度生产部门与使用部门之间的技术关联,发现高新技术产业对中低技术产业存在明显的知识溢出。国内学者通过投入产出表构造了一系列测度产业之间技术溢出的指标,对中国不同产业部门间的技术溢出效应进行了多个维度的对比分析(张红霞和冯恩民,2005;潘文卿等,2011;朱平芳等,2014)。

在描述创新网络的结构特征时,学者们大多聚焦于网络节点的个体位置与空间关联,由点到面对创新网络进行多维分析。Powell等(1996)指出占据中心位置的经济体对技术创新有更强的吸附和控制能力,能够利用其位置优势吸收有价值的技术成分,同时控制技术溢

① 资料来源:中经网统计数据库和作者计算,网址:<http://db.cei.cn/page/Default.aspx>。

② 资料来源:《2017年全国科技经费投入统计公报》,国家统计局网站,网址:<http://www.stats.gov.cn/>,2018年10月9日。

出的强度和规模。因此,对创新网络进行中心性分析有利于判断节点对信息资源的吸收能力与利用效率。部分学者还将社会网络分析中的结构洞理论应用到对创新网络的分析中,描述节点之间的关联特征,实现了点与线的结合、由点向面的扩展(Burt, 1992; Maggioni 和 Uberti, 2009; Wanzenböck 等, 2014; 张宝建等, 2011)。

在创新网络结构的多维度分析中,钱锡红等(2010)认为开放式网络有助于提升企业的创新效率,网络中心度较高、占据丰富结构洞以及间接联系密切的企业创新效率提高显著。卢艳秋和张公一(2010)分别通过网络中心度、网络量度和关系属性三个维度综合评估跨国技术联盟创新网络,证实了跨国技术联盟有效促进了创新网络效率的提升。除了对创新绩效的影响因素进行分析外,邵汉华等(2018)对中国不同地区创新发展的空间网络结构特征和关联关系进行了探索,研究发现中国创新发展的区域网络具有明显的“核心—边缘”分布形态,创新要素空间溢出效应呈现出显著的梯度变化特征。然而,大多数研究主要基于企业、行业和地区的视角,对世界创新网络节点位置及关联特征的研究明显不足。

一国或产业主要通过国际贸易和参与全球价值链的方式嵌入世界创新网络。Grossman 和 Helpman (1991)将内生技术进步与技术扩散纳入新增长理论来解释全球经济增长,认为国际贸易对一国经济的长期创新率具有正向影响。Coe 等(1997)从国际技术转移的视角出发,发现进口中间产品可以直接提高国内的劳动生产率。随着产品内分工的不断细化,世界创新网络的规模日益扩大,学者们开始通过分解创新价值链,对经济体的科技创新水平及影响因素进行分析。范兆斌和苏晓艳(2008)认为在全球创新价值链中,不同生产层级中要素投入的差异引致跨国公司利用比较优势组成遍布世界的垂直化分工网络。许和连等(2015)通过世界高端制造业贸易网络,综合评估了一国在“一带一路”贸易网络中的地位,发现中国、印度为网络地位重要的国家,在相关国家的技术获得中发挥着枢纽作用。

基于增加值贸易的视角,考察中国制造业这一特定行业在全球价值链中参与程度和增值能力的研究也逐渐增多,但是研究结论存在一定分歧(王岚和李宏艳, 2015; 张定胜等, 2015)。然而,中国制造业在全球价值链中的分工位置逐步上升已经成为共识,张同斌等(2017)对不同生产环节上中国制造业为世界各国提供的经济贡献进行了分解,结果显示中国制造业在全球价值链生产中的地位明显提升。张会清和翟孝强(2018)在综合评估了中国和主要经济体的前向贸易联系与后向贸易联系后,同样认为中国制造业在全球价值链中表现出了较强的国际竞争力。研发创新是决定中国制造业增值能力的重要因素,其中一个关键问题是,中国制造业的研发投入主要是由哪种价值链参与方式引致的,即不同价值链环节对应的研发投入有何差异,并没有得到系统梳理和全面分析。

综合上述研究可得,现有文献将中国制造业纳入创新价值链,对其在世界创新网络中地位及融入路径进行动态分析的研究还比较缺乏。因此,本文基于国际投入产出表,构建世界“经济产出—研发投入”矩阵,基于创新网络中节点、路径、关联三个视角,不仅对中国制造业在世界创新网络中进行科学定位,而且从全球价值链角度对中国制造业嵌入世界创新网络的路径进行分解,测算并比较中国制造业与主要经济体的技术关联,探索中国制造业在世界创新网络中的竞争优势与不足之处,为增强中国制造业的国际竞争力提供现实依据。

二、世界研发创新网络的构建与结构特征分析:基于节点的视角

1. 基于国际投入产出表的创新网络构建与指标测度

本文基于国际多区域投入产出表,将体现各国经济关联的投入产出数据与体现科技创新

水平的研发支出数据结合, 构建了国家之间的研发创新矩阵。设国家 i 代表中国, M 、 N 分别为中国制造业和中国非制造业上标。国际多区域投入产出表的基本形式如式 (1) 所示。

$$X = AX + Y$$

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_i^M \\ x_i^N \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}, A = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1i}^M & a_{1i}^N & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{i1}^M & \cdots & a_{ii}^{MM} & a_{ii}^{MN} & \cdots & a_{in}^M \\ a_{i1}^N & \cdots & a_{ii}^{NM} & a_{ii}^{NN} & \cdots & a_{in}^N \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{ni}^M & a_{ni}^N & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix}, Y = \begin{pmatrix} \sum_{j=1}^n y_{1j} \\ \vdots \\ \sum_{j=1}^n y_{ij}^M \\ \sum_{j=1}^n y_{ij}^N \\ \vdots \\ \sum_{j=1}^n y_{nj} \end{pmatrix} \quad (1)$$

其中, X 为总产出列向量, X 的元素 x_i^M 和 x_i^N 分别表示中国制造业和中国非制造业的总产出。 A 为直接消耗系数矩阵, A 的元素 a_{ii}^{MM} 、 a_{ii}^{MN} 、 a_{ii}^{NM} 、 a_{ii}^{NN} 分别为在中国内部, 制造业对制造业、非制造业对制造业、制造业对非制造业、非制造业对非制造业产品的直接消耗系数。 Y 为最终需求列向量, 元素 $\sum_{j=1}^n y_{ij}^M$ 和 $\sum_{j=1}^n y_{ij}^N$ 分别为国家 j 对中国制造业和非制造业产品的最终需求。

国际投入产出表体现了产品在国家间的流向, 研发投入和创新要素通过国际贸易流动形成世界创新网络。参照 Montresor 和 Marzetti (2009) 的研究, 本文构建国际研发矩阵如下:

$$R = (\hat{r})(\hat{x})^{-1}(I - A)^{-1}Y = \hat{R}BY \quad (2)$$

其中, $\hat{r}$ 、 $\hat{x}$ 分别为各国的研发支出对角矩阵、总产出对角矩阵, $R = (\hat{r})(\hat{x})^{-1}$ 为单位产出相应研发支出的对角阵, $B = (I - A)^{-1}$ 为列昂惕夫逆矩阵, 其元素 b_{ij} 代表国家 i 即中国为满足国家 j 的单位最终需求而生产的总产出。国际研发矩阵 R 的元素 r_{ij} 表示国家 i 为满足国家 j 的最终需求而在生产过程中进行的研发支出。

在进行网络分析时, 首先需要确定创新网络中经济体之间是否具备创新关联。选择合适的门限值 l , 将原始研发矩阵 R 转化为二值矩阵 D , D 中的元素 d_{ij} 由 0 或 1 组成, d_{ij} 满足:

$$d_{ij} = \begin{cases} 1, r_{ij} > l \\ 0, r_{ij} \leq l \end{cases} \quad (3)$$

如果 d_{ij} 为 1, 表示国家 i 与国家 j 之间存在创新关联, d_{ij} 取 0 则代表两国之间不存在创新关联。对世界创新网络进行结构特征分析时, 需要分别计算国际研发二值矩阵 D 的密度和中心度指标, 具体而言:

(1) 网络密度。世界创新网络密度 δ 体现创新网络节点之间联系的疏密程度, 计算方法为国家之间确定的创新关联数与整个网络中最大可能的创新关联数之比, 如式 (4) 所示。

$$\delta = \frac{\sum_i \sum_j d_{ij}}{n(n-1)}, d_{ij} \in \{0, 1\}, i \neq j, 0 \leq \delta \leq 1 \quad (4)$$

(2) 中心度。中心度是基于个体角度研究经济体在创新网络中是否处于关键位置的指标。参考 Freeman (1979) 对中心度指标计算方法的系统性梳理, 以及池仁勇 (2005) 和李

敬等(2014)通过中心度指标对中国区域创新网络和经济增长网络进行的结构特征分析,本文计算了节点的度数中心度、中间中心度和接近中心度,刻画经济体在创新网络中的位置与功能。

将世界创新网络中国家*i*的点入度 c_i^{in} 和点出度 c_i^{out} 定义为:

$$c_i^{in} = \sum_j d_{ji}, i \neq j, 0 \leq c_i^{in} \leq n-1 \quad (5)$$

$$c_i^{out} = \sum_j d_{ij}, i \neq j, 0 \leq c_i^{out} \leq n-1 \quad (6)$$

其中,点入度是指一国在网络中获得的创新关系数日,点出度则是一国通过国际贸易、对外投资等经济活动向其他国家输出的创新关系数量。

度数中心度计算的是创新网络中能够与某一经济体直接建立创新关联的经济体数目。由于绝对度数无法直接比较,本文计算了国家*i*的相对度数中心度 θ_i ,如式(7)所示。

$$\theta_i = \frac{c_i^{in} + c_i^{out}}{2(n-1)} \quad (7)$$

在创新网络中,如果一个节点位于连接其他两个节点的路径中间,则该节点作为“枢纽”,具有控制经济体之间形成技术关联的能力。基于此,计算国家*i*的中间中心度 μ_i ,公式如下:

$$\mu_i = \sum_j \sum_k \frac{p_{jk}(i)}{p_{jk}}, i \neq j \neq k, j < k \quad (8)$$

其中, p_{jk} 为使国家*j*和国家*k*建立创新关联的最短路径数目, $p_{jk}(i)$ 为其中经过国家*i*的路径。

与中间中心度区分个体对创新网络控制能力不同,接近中心度描述网络节点的可达性,即节点是否能够较为便利地与其他节点建立技术关联。国家*i*的接近中心度 σ_i 定义为:

$$\sigma_i^{-1} = \frac{\sum_j q_{ij} + \sum_j q_{ji}}{2(n-1)} \quad (9)$$

其中, q_{ij} 为国家*i*到国家*j*的捷径距离。

一般而言,位于中心位置的节点拥有更多路径汇集来自不同经济体的互补性技术,同时也可以利用渠道优势更有效地进行创新技术扩散,进而提高自身的创新竞争力。

2. 世界创新网络的结构特征分析与中国制造业的定位

本文选取了世界投入产出数据库(World Input-Output Database, WIOD)中的37个代表性经济体,并将中国的产业部门按照行业类型划分为制造业和非制造业两类。中国制造业的研发支出数据来自《中国科技统计年鉴》,其他经济体的研发支出数据则来自世界发展指标(World Development Indicators, WDI)数据库,对于缺失数据本文采用二次样条差值法进行补齐。根据式(2)建立2000~2014年每一年的国际研发矩阵。

在由式(3)构建国际研发二值矩阵时,关键环节是选取合理的门限值。网络密度对于门限值的选取非常敏感,门限值设定越小,创新网络中损失的创新关系就越少,但过小的门限值则会导致全部经济体之间普遍存在创新关联而不能有效凸显主要关系。因此,本文在保证网络密度递增的基础上,以保留关系数适中和不同年份间网络密度波动较小为标准,最终确定门限值 $l=0.424$ 。

(1) 主要经济体中心度指标比较分析。本文将与中国制造业紧密关联的 13 个主要经济体划分为发达国家、金砖国家和新兴经济体国家三类^①，运用网络分析集成软件（UCI-NET），根据式（5）～式（9）计算并比较不同国家的三类中心度及变动情况，结果如表 1 所示。

表 1 代表性经济体 2000～2014 年三类中心度及其变动									
	2000 年			2014 年			2000～2014 年		
	度数 中心度	中间 中心度	接近 中心度	度数 中心度	中间 中心度	接近 中心度	度数中心 度变动	中间中心 度变动	接近中心 度变动
美国	0.85	59.86	1.44	0.96	28.39	2.01	+0.11	-31.47	+0.57
加拿大	0.64	7.73	1.21	0.72	1.41	1.66	+0.08	-6.32	+0.45
德国	0.92	135.93	1.54	0.97	44.89	2.02	+0.05	-91.04	+0.47
法国	0.84	51.94	1.44	0.95	23.36	2.00	+0.11	-28.59	+0.56
英国	0.82	46.50	1.41	0.97	64.40	2.02	+0.15	+17.9	+0.61
日本	0.73	19.59	1.38	0.86	10.87	1.90	+0.14	-8.72	+0.52
俄罗斯	0.68	23.89	1.30	0.91	32.81	1.92	+0.23	+8.92	+0.63
印度	0.41	0.00	1.02	0.68	1.78	1.61	+0.27	+1.78	+0.59
巴西	0.46	1.10	1.03	0.70	1.19	1.64	+0.24	+0.09	+0.60
中国	制造业	0.62	5.00	1.23	0.93	20.70	1.99	+0.31	+15.70
	非制造业	0.28	0.00	0.96	0.80	4.56	1.79	+0.51	+4.56
韩国	0.62	4.93	1.23	0.81	6.13	1.85	+0.19	+1.21	+0.62
土耳其	0.36	0.06	0.94	0.84	9.23	1.80	+0.47	+9.17	+0.85
墨西哥	0.36	0.00	0.94	0.57	0.15	1.46	+0.20	+0.15	+0.52

表 1 中，比较发达国家、金砖国家和新兴经济体国家度数中心度的变动可得，2000～2014 年，金砖国家度数中心度的增幅最大，新兴经济体国家次之，增幅最小的是发达国家。金砖国家在世界创新网络中位置提升最为明显，主要得益于金砖国家经济的迅速增长以及各类经济体之间的密切合作。近年来，世界经济运行逐渐由过去发达国家单一主导的“中心—外围”模式，发展成为发达国家和金砖国家共同参与的“双环流”体系。金砖国家在与发达经济体维持着紧密经济合作，参与“上环流”的同时，抓住金砖合作带来的发展机遇，利用人口红利优势逐渐成长为新兴的全球制造业中心；同时，金砖国家与工业化程度较低的亚非拉国家开展经济往来，利用产业互补形成“下环流”。创新要素通过两个循环体系在金砖国家间频繁流动，推动金砖国家成为世界创新网络中的活跃节点。

在中间中心度指标方面，大多数发达国家的这一中心度都呈现变小的特征，其中降幅最大的为德国，达到 91.04，其次为美国和法国。随着越来越多的国家参与全球价值链分工，发达国家在世界创新网络中的中心地位在一定程度上被弱化了。相对而言，金砖国家和新兴经济体国家的中间中心度大幅增加，发达国家与发展中国家中间中心度变化的差异来源于技术进步速度的差别，金砖国家和新兴经济体国家研发投入水平和科技成果转化率

^① 发达国家包括：美国、加拿大、德国、法国、英国、日本；金砖国家包括：俄罗斯、印度、巴西、中国；新兴经济体国家包括：韩国、土耳其、墨西哥。

垄断地位。

与中间中心度不同,表1显示,随着时间推移各国的接近中心度均有增加,且增幅较为接近。由于产品内国际分工的细化,不同国家和地区根据自身的禀赋优势承接不同的生产环节,生产要素在国际间的流动更为频繁,创新网络中技术的转移路径也随之缩短。其中,2000年和2014年发达国家的平均接近中心度分别为1.40和1.94,均大于金砖国家和新兴经济体国家。发达国家将具有技术领先优势的产品出口至其他经济体,再通过累积效应拓展其世界创新网络中与其他经济体的技术联系,因此发达国家的接近中心度维持高位且稳步提升。

(2) 中国制造业中心性指标变动特征分析。为进一步考察中国制造业在世界创新网络中所处位置的变化,本文对数据进行了标准化处理,分别计算中国制造业的中心性指标在2000年和2014年的累积概率分布,并绘制相应雷达图,如图1所示。

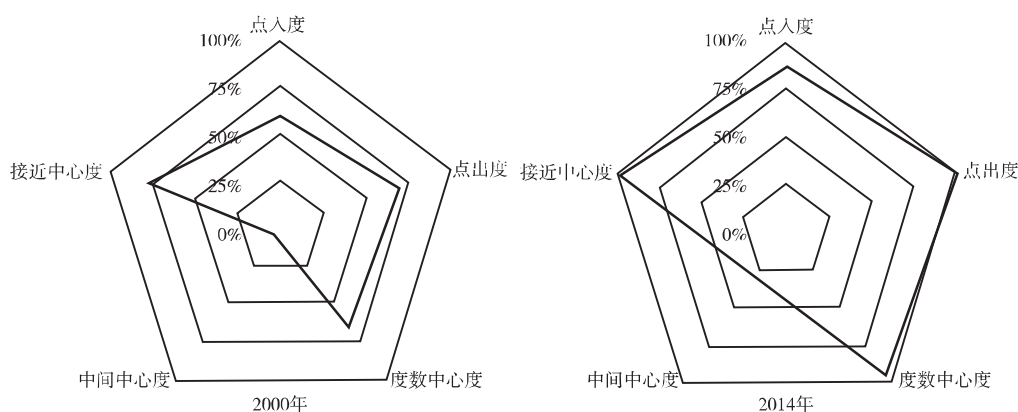


图1 2000年和2014年中国制造业中心度雷达图

整体而言,2000~2014年,中国制造业各项中心性指标的累积概率分布值均有增加,表明“中国制造”在世界创新网络中的中心地位明显提高。与2000年相比,2014年中国制造业的点出度累积概率分布值由70.27%提升至100%,点入度由60.71%提升至88.46%,度数中心度由66.15%增大至95.16%。中国制造业作为知识输出方与技术受益方,在世界创新网络中的参与程度均大幅提高,其中,点出度的累积概率分布增幅大于点入度的增幅。中国在加入世界贸易组织之后,逐渐成为国际高端制造业的生产外包基地,特别是自2004年起,中国高新技术产品贸易首次由逆差转变为顺差,在出口的高新技术制成品中包含着大量创新要素的“附加出口”,对中国制造业在世界创新网络中点出度的上升产生了重要的影响。

中国制造业接近中心度的累积概率分布值由2000年的75.75%增大至2014年的97.84%,表明其与各经济体之间的技术连接路径显著缩短。可能的解释是,“中国制造”在全球范围内取得了一定程度的低成本和高质量优势,某些产品的生产成本与销售价格均低于发达国家的同质产品。因此,以中国制造业为中心,更多的创新要素通过高技术产品贸易流向发展中国家,扩散渠道也随着中国制造业技术竞争力的增强而更为便捷。根据联合国商品贸易数据库公布的数据计算可得,2002~2016年,中国对日本的贸易逆差增长113.7亿美元,为2002年贸易逆差额的2.3倍,对土耳其、印度的贸易顺差分别增长131亿美元和

462.36 亿美元,增幅达到 2002 年的 16 倍和 116 倍^①。

与度数中心度、接近中心度形成鲜明对比,2014 年中国制造业中间中心度的累积概率分布仅为 32.2%,尽管较 2000 年的 3.7%有较大幅度提升,但与美国、英国、德国等发达国家相比,中间中心度的绝对值仍位于中等偏低水平。中国制造业“两头在外”的生产模式决定了其世界创新网络中处于“枢纽”位置,随着垂直专业化分工的发展,中国制造业发挥其网络位置优势,协调上下游生产环节的生产关系,对来自发达国家的创新资源进行消化吸收再创新,增强了对国际技术溢出的耦合能力,增进了创新网络中各个节点的可达性。然而,中国制造业通过承接发达国家技术水平偏低、可替代性较强的产业转移嵌入全球价值链,发达国家可以向生产成本更低的发展中国家进口中间品,或通过加征关税等贸易保护手段减少对中国出口高科技产品,致使中国制造业被锁定在全球价值链的中低端环节,对创新网络中技术关联的控制力很弱,形成了度数中心度和接近中心度高、中间中心度低的典型特征。

三、中国制造业融入世界创新网络的渠道分解：基于路径的视角

知识要素通过商品或服务的研发、制造、销售和使用,在世界范围内流动形成覆盖全球和地区的一体化创新活动和创新路径。Hansen 和 Birkinshaw (2007) 基于价值链理论提出了“创新价值链”的概念,认为创新过程由创新的生产、转化和传播三个阶段构成,分别对应于投入研发资源产生新技术、将新的研发成果物化成为有形产品、将产品推向市场获得经济效益三个过程。在由价值链向创新价值链扩展的过程中,产品内国际分工对于经济价值链以及创新价值链都具有显著影响(唐海燕和张会清,2009),中国制造业也通过不同的生产环节参与全球价值链并融入创新价值链和世界创新网络。为进一步考察中国制造业在世界创新网络中的地位,在这一部分,本文通过测度中国制造业在全球价值链不同增值环节进行的研发支出,分解中国制造业通过增加值贸易融入世界创新网络的路径。

1. 全球价值链参与视角下国际研发矩阵的分解方法

Wang 等(2017)按照增加值贸易的方式,将一国参与全球价值链的路径分为四种类型,即生产最终产品用于本国需求、直接出口最终产品满足国外需求、生产中间品供东道国加工后最终使用、生产中间品供东道国加工后再返回本国或出口至第三国。在此基础上,本文从全球创新价值链的视角出发,根据研发支出的来源与流向,对国际研发矩阵进行分解。

生产资料的来源和产品的流动可以发生在同一个经济体内部,也可以在不同的经济体之间进行,因此将直接消耗系数和最终需求划分为经济体内部和经济体外部两个部分,如式(10)和式(11)所示。

$$A = A^D + A^F = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & a_{ii}^{MM} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & a_{ii}^{NN} & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & a_{mi} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & \cdots & a_{1i}^M & a_{1i}^N & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{i1}^M & \cdots & 0 & a_{ii}^{MN} & \cdots & a_{in}^M \\ a_{i1}^N & \cdots & a_{ii}^{NM} & 0 & \cdots & a_{in}^N \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{ni}^M & a_{ni}^N & \cdots & 0 \end{pmatrix} \quad (10)$$

^① 资料来源:联合国商品贸易统计数据库,网址: <https://comtrade.un.org>。

$$Y = Y^D + Y^F = \begin{pmatrix} y_{11} \\ \vdots \\ y_{ii}^{MM} \\ y_{ii}^{NN} \\ \vdots \\ y_{mi} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \sum_{j=2}^n y_{1j} \\ \vdots \\ \sum_{j=1, j \neq i}^n y_{ij}^M + y_{ii}^{MN} \\ \sum_{j=1, j \neq i}^n y_{ij}^N + y_{ii}^{NM} \\ \vdots \\ \sum_{j=1}^{n-1} y_{nj} \end{pmatrix} \quad (11)$$

其中, A^D 和 A^F 分别为经济体内部的直接消耗系数和不同经济体之间的直接消耗系数。 Y^D 和 Y^F 分别代表经济体内部的最终需求和其他经济体的最终需求。

将式 (10) 和式 (11) 代入投入产出表的基本形式式 (1) 中, 得到式 (12):

$$X = A^D X + Y^D + A^F X + Y^F \quad (12)$$

对式 (12) 进行整理, 可以得到式 (13):

$$X = (I - A^D)^{-1} Y^D + (I - A^D)^{-1} Y^F + (I - A^D)^{-1} A^F X \quad (13)$$

根据 $X = (I - A)^{-1} Y$, 整理可得:

$$X = (I - A^D)^{-1} Y^D + (I - A^D)^{-1} Y^F + (I - A^D)^{-1} A^F (I - A)^{-1} Y \quad (14)$$

在式 (14) 的基础上, 进一步分解得到式 (15):

$$X = (I - A^D)^{-1} Y^D + (I - A^D)^{-1} Y^F + (I - A^D)^{-1} A^F (I - A^D)^{-1} Y^D + (I - A^D)^{-1} A^F [(I - A)^{-1} Y - (I - A^D)^{-1} Y^D] \quad (15)$$

式 (15) 根据产品生产和贸易往来是否参与跨国生产合作, 即产品类型是否为最终产品、最终产品是否用于满足本国的需求, 将总产出分解为等式右边的四个产出矩阵, 分别用 LY^D 、 LY^F 、 $LA^F LY^D$ 、 $LA^F (BY - LY^D)$ 表示, 即:

$$X = LY^D + LY^F + LA^F LY^D + LA^F (BY - LY^D) \quad (16)$$

其中, $L = (I - A^D)^{-1}$ 为国内列昂惕夫逆矩阵, $B = (I - A)^{-1}$ 为列昂惕夫逆矩阵。在跨国生产合作中, 产品出口国被称为母国, 产品进口国被称为东道国, 因此在总产出矩阵 X 中, LY^D 表示母国满足国内最终需求生产的产品, LY^F 表示母国满足东道国最终需求生产的产品。从产业关联的视角出发, 母国的中间产品会作为生产要素投入东道国的产品生产过程中, 在东道国加工成为最终产品后, 一部分通过一次跨境贸易满足东道国的最终需求, 参与简单的跨境生产合作活动, 其余则出口至母国或第三国, 发生至少两次跨境贸易, 参与复杂的跨境生产合作活动。式 (16) 对母国的总产出进行分解, 其中涉及中间品跨境贸易的产出矩阵为 $LA^F LY^D$ 和 $LA^F (BY - LY^D)$, $LA^F LY^D$ 表示母国生产的用于简单跨境生产合作活动的中间产品, $LA^F (BY - LY^D)$ 则代表用于复杂跨境生产合作活动的中间产品。

经济体通过中间品和最终产品的跨境贸易融入世界生产网络, 在生产不同产品时会引致相应的研发投入, 将式 (1) 和式 (16) 代入式 (2) 中, 对国际研发矩阵 R 进行分解:

$$R = \hat{R} LY^D + \hat{R} LY^F + \hat{R} LA^F LY^D + \hat{R} LA^F (BY - LY^D) \quad (17)$$

式 (17) 将国际研发矩阵分解为四个子研发矩阵, 矩阵中每一个元素都代表了经济体通

过不同的生产方式和贸易路径融入世界创新网络时进行的研发支出。本文以国家 j 、中国制造业和国家 k 三个主体为例，分别对式 (17) 中的四个子研发矩阵进行说明。

对于研发矩阵 $\hat{R}LY^D$ 而言，将其表示为矩阵形式，如式 (18) 所示：

$$\hat{R}LY^D = \begin{pmatrix} \hat{r}_j l_{jj} y_{jj} & 0 & 0 \\ 0 & \hat{r}_i l_{ii}^{MM} y_{ii}^{MM} & 0 \\ 0 & 0 & \hat{r}_k l_{kk} y_{kk} \end{pmatrix} \quad (18)$$

其中， $\hat{R}LY^D$ 是一个对角矩阵，主对角线元素 $\hat{r}_j l_{jj} y_{jj}$ 、 $\hat{r}_i l_{ii}^{MM} y_{ii}^{MM}$ 、 $\hat{r}_k l_{kk} y_{kk}$ 分别表示国家 j 、中国制造业和国家 k 生产自身所需最终产品时的研发投入，产品的生产和消费都发生在经济体内部，这一部分称为国内需求引致的研发投入。

当生产在经济体内部进行、最终产品的使用发生在其他经济体时，生产过程中的研发投入可表示为主对角线元素为 0 的研发矩阵 $\hat{R}LY^F$ ，如式 (19) 所示：

$$\hat{R}LY^F = \begin{pmatrix} 0 & \hat{r}_j l_{ij} y_{ji}^M & \hat{r}_j l_{ij} y_{jk} \\ \hat{r}_i l_{ii}^{MM} y_{ij}^M & 0 & \hat{r}_i l_{ii}^{MM} y_{ik}^M \\ \hat{r}_k l_{kk} y_{kj} & \hat{r}_k l_{kk} y_{ki}^M & 0 \end{pmatrix} \quad (19)$$

其中，非主对角线元素 $\hat{r}_i l_{ii}^{MM} y_{ij}^M$ 和 $\hat{r}_i l_{ii}^{MM} y_{ik}^M$ 分别代表为满足国家 j 和国家 k 对中国制造业产品的最终需求，中国制造业在生产过程中进行的研发投入，称为国外需求引致的中国制造业研发投入。

国内最终需求和国外最终需求引致的研发投入测度了中国制造业生产最终产品中的创新含量，生产过程不涉及产品内国际分工以及中国制造业参与跨境生产的问题。当中国制造业通过中间品贸易融入全球价值链中开展跨境生产活动时，以跨境次数差异为区分标准，可将其研发投入分为简单跨境生产活动中进行的研发投入和复杂跨境生产活动中进行的研发投入，即参与简单价值链生产活动、参与复杂价值链生产活动引致的中国制造业研发投入。

参与简单价值链活动引致的中国制造业研发投入可采用研发矩阵 $\hat{R}LA^F LY^D$ 表示：

$$\hat{R}LA^F LY^D = \begin{pmatrix} 0 & \hat{r}_j l_{jj} a_{ji}^M l_{ii}^{MM} y_{ii}^{MM} & \hat{r}_j l_{jj} a_{jk} l_{kk} y_{kk} \\ \hat{r}_i l_{ii}^{MM} a_{ij}^M l_{jj} y_{jj} & 0 & \hat{r}_i l_{ii}^{MM} a_{ik}^M l_{kk} y_{kk} \\ \hat{r}_k l_{kk} a_{kj} l_{jj} y_{jj} & \hat{r}_k l_{kk} a_{ki}^M l_{ii}^{MM} y_{ii}^{MM} & 0 \end{pmatrix} \quad (20)$$

其中，非主对角线元素 $\hat{r}_i l_{ii}^{MM} a_{ij}^M l_{jj} y_{jj}$ 和 $\hat{r}_i l_{ii}^{MM} a_{ik}^M l_{kk} y_{kk}$ 分别表示中国制造业向东道国 j 和东道国 k 出口中间产品，用于生产由东道国 j 和东道国 k 使用的最终产品，中国制造业在生产出口中间品时进行的研发投入。

除了简单价值链生产活动之外，母国还会通过复杂跨境生产合作活动进行研发投入，用研发矩阵 $\hat{R}LA^F (BY - LY^D)$ 表示，如式 (21) 所示^①：

$$\hat{R}LA^F (BY - LY^D) = \begin{pmatrix} rf_{jj} & rf_{ji}^M & rf_{jk} \\ rf_{ij}^M & rf_{ii}^{MM} & rf_{ik}^M \\ rf_{kj} & rf_{ki}^M & rf_{kk} \end{pmatrix} \quad (21)$$

① 由于篇幅限制，式 (21) 的具体形式并未列出，如有需要，可向作者索取。

复杂价值链生产活动即为国际贸易中的进料加工贸易，东道国加工企业向母国进口中间产品，加工为制成品后再次出口至第三国或返回母国。在式（21）中，主对角线元素和非主对角线元素分别代表制成品回到母国和用于满足第三国最终需求引致的研发投入。以中国制造业为例，主对角线元素 rf_{ii}^{MM} 表示为满足本行业的最终需求，中国制造业生产的中间产品由其他经济体加工为最终产品后，再次通过跨境贸易回到中国制造业，引致中国制造业在生产中间产品时进行的研发投入；非主对角线元素 rf_{ij}^M 和 rf_{ik}^M 分别表示为满足国家 j 和国家 k 的最终需求，中国制造业在生产向第三国出口的中间产品时进行的研发投入。

2. 中国制造业融入世界创新网络的路径分解与测算

本文根据式（18）～式（21）所示的分解方法，对由式（2）构建的2000～2014年每一年的国际研发矩阵进行了分解，并整理其中涵盖中国制造业通过不同路径融入世界创新网络时进行的研发支出，结果如下。

（1）融入路径之一：国内需求。根据式（18）分解得到2000～2014年每年由内需引致的中国制造业研发投入，并计算其增长率，如图2所示。

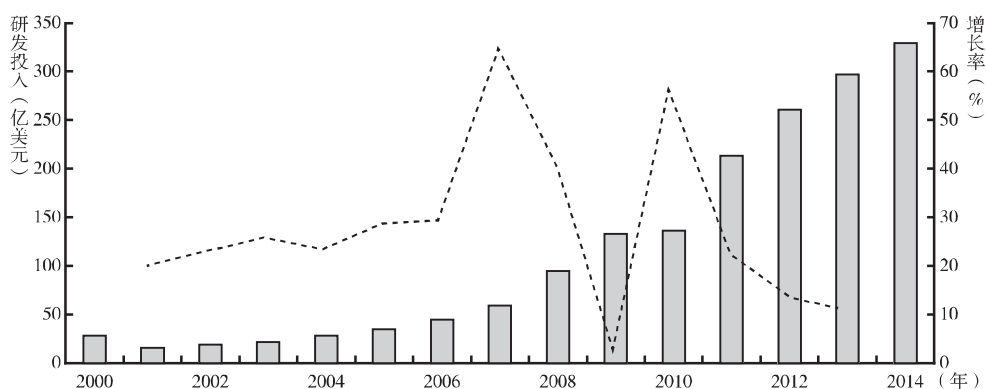


图2 国内需求引致的中国制造业研发投入

图2显示，中国制造业为满足国内需求进行的研发投入从2000年的26.97亿美元上升至2014年的330.12亿美元，增长幅度超过12倍。与国内需求相对应的研发投入增加一方面是中国制造业企业转型升级与技术进步中研发经费投入快速增长的反映；另一方面，国内市场对制造业产品特别是高新技术产品的需求大幅增加，消费结构升级带动产业结构升级，促使中国制造业企业增大创新经费投入，以实现转型升级进而推进产业高端化。

国内需求引致中国制造业研发投入增长率的变动特征如图2中折线图所示，其波动幅度较大。2008年之前，中国经济整体呈现快速增长的趋势，2007年的GDP增长速度为2000年以来新高，达14.2%，国内对中国制造业产品需求的大幅提升，导致中国制造业为满足内需进行的研发投入增长率高达64.9%。2008～2010年，在国际金融危机影响下，内需大幅减少以及为稳定经济采取的政策，使得经济大幅波动的同时，国内需求引致的中国制造业研发投入增长率呈现震荡特征，且其波动幅度远大于经济的波动。2010年以来，中国经济稳中趋缓的态势十分明显，经济发展进入增速换挡阶段，由内需引致的中国制造业研发投入增速也随之进入下降阶段，增长率由2010年的56.83%降至2013年的10.69%。除了经济增长影响因素之外，中国制造业的科技基础较为薄弱，尚未建立稳固的创新体系与完善的创

新政策,加之面对“人口红利”的消退,要素驱动和投资驱动难以维持经济长期稳定增长等制度性因素和结构性因素,都推动中国制造业研发活动进入了由数量扩张向质量提高的转化时期。

(2) 融入路径之二:国外需求。整理式(19)计算结果中不同年份国外需求引致的中国制造业研发投入,列于表2。

表2 国外需求引致的中国制造业研发投入 (单位:百万美元)

年份	美国	加拿大	德国	法国	英国	日本	俄罗斯	印度	巴西	韩国	土耳其	墨西哥
2000	485.37	36.01	76.20	35.04	59.98	217.22	6.05	9.03	4.87	28.42	4.51	7.45
2002	369.81	28.01	47.11	23.31	42.74	152.22	16.87	7.16	3.10	28.17	2.30	9.92
2004	669.57	58.91	102.01	54.73	73.52	295.60	25.02	20.52	10.54	54.56	11.08	23.40
2006	1181.18	130.01	215.60	102.65	134.48	458.56	75.01	67.64	34.52	101.88	33.19	51.57
2008	1860.48	236.51	439.16	215.00	239.61	658.34	267.12	167.97	104.99	170.59	84.98	96.11
2010	2108.02	257.66	509.67	248.46	254.40	839.95	378.06	268.95	143.48	212.34	127.33	131.23
2012	3497.09	398.79	632.27	266.32	423.43	1545.63	714.57	272.56	259.68	376.58	150.53	221.27
2014	3783.43	410.62	807.61	307.48	518.61	1842.87	847.90	317.73	317.39	472.98	210.07	294.73

如前所述,国外需求引致的中国制造业研发投入,是中国制造业产品通过一般贸易出口至其他经济体、直接满足东道国的最终需求,即在直接出口满足外需时中国制造业投入的研发经费。表2显示,2000~2014年,外需引致中国制造业投入研发经费最多的国家是美国、日本等发达国家。中国制造业凭借成本比较优势,与发达国家建立了较为稳定的经济联系,逐渐形成出口导向型增长模式,扮演着“世界工厂”的角色,为发达国家输入了大量的消费品,在劳动密集型产品生产技术方面已经达到先进水平。在新兴经济体国家和金砖国家中,外需引致中国制造业研发投入较多的国家为俄罗斯和韩国,2014年分别达到了847.90百万美元和472.98百万美元,上述国家与中国的地理位置较为邻近,在资源互补和技术互补等多个方面存在便利条件,与中国制造业的贸易联系与技术关联也更为紧密。

比较不同经济体需求引致中国制造业研发投入随时间推移的变动特征可得,金砖国家引致中国制造业研发投入增长的幅度最大、速度最快,发达国家引致的研发投入增幅相对最小,中国出口贸易的地区差异可以对其进行解释。根据商务部发布的进出口数据显示,2016年,中国对俄罗斯、印度的出口增长率分别为14.1%和6.5%,远远高于对欧盟的出口增速1.2%和对美国的出口增速0.1%。除了出口产品增速的地区差异外,出口产品种类的变化更能体现出与外需相关的中国制造业研发投入和技术水平的变迁特征。随着中国在高技术领域自主研发能力的增强,出口贸易中技术附加型贸易所占的比重逐渐增加,就出口产品类型而言,2016年中国的机电产品出口为7.98万亿元,占出口总额的57.7%。2017年,机电产品出口份额提升0.7个百分点,其中汽车、计算机和手机等技术含量较高的产品增幅均超过10%,而同期传统劳动密集型产品的出口份额则有下降趋势。与部分新兴经济体国家、发展中国家相比,“中国制造”的技术优势得以凸显,特别是在“一带一路”建设和金砖合作深入的背景下,上述国家对中国制造业产品需求增加,促使中国制造业加大研发投入和提升技术水平。

(3) 融入路径之三:简单价值链生产活动。当中国制造业将原材料加工为中间产品后出

口至东道国,由东道国进一步装配成为最终产品并在东道国内部消费时,中国制造业参与了简单跨境生产合作活动或简单价值链生产活动。在这一过程中,中国制造业进行的相应研发支出,可以用于测度其通过简单价值链生产活动融入世界创新网络的程度。式(20)的分解结果包括了2000~2014年不同东道国中间品需求引致中国制造业的研发投入,如表3所示。

表3 制造业研发投入 (单位:百万美元)

年份	美国	加拿大	德国	法国	英国	日本	俄罗斯	印度	巴西	韩国	土耳其	墨西哥
2000	176.57	17.09	33.84	18.17	30.50	110.32	3.40	17.88	6.23	48.17	6.19	15.07
2002	126.26	12.20	21.04	11.72	19.81	69.47	2.91	13.75	4.38	40.77	3.68	17.93
2004	333.46	30.57	65.23	28.64	40.61	140.86	7.57	30.91	10.90	87.29	11.43	50.18
2006	636.25	56.71	103.64	48.28	66.11	219.86	22.87	96.73	25.92	154.45	27.81	99.05
2008	1022.42	106.93	214.33	106.52	121.34	391.75	74.35	195.05	87.97	301.25	68.15	167.97
2010	1310.39	135.45	299.64	136.60	139.27	450.55	77.63	315.15	123.02	309.04	86.73	226.08
2012	1169.34	198.40	262.55	177.13	224.51	721.89	155.04	281.79	229.75	599.66	95.81	232.77
2014	1952.33	290.31	324.11	222.02	282.98	952.83	217.38	375.87	316.75	759.16	143.96	288.51

在表3中,通过中间品需求引致中国制造业研发投入较多的国家为美国和日本,2014年分别为1952.33百万美元和952.83百万美元,但低于表2中最终需求引致的研发投入。作为传统创新型国家,美国和日本在高端制造业领域具有较强的竞争优势,加之国内劳动力成本较高,其与中国制造业的一般贸易以直接进口最终产品为主,对中间产品的进口相对较少。对比表3和表2可得,在金砖国家和新兴经济体国家中,韩国、印度、墨西哥通过中间品需求引致的中国制造业研发投入较大,且均高于由直接最终需求引致的中国制造业研发投入。以印度、墨西哥等国为例,上述国家的劳动力价格相对低廉,国内加工制造业的发展比较成熟,出于节约成本和促进就业的考虑,通过引入中国制造业提供的初级产品和中间产品,便于在国内进行再加工成为满足最终需求的产品。

需要注意的是,自2009年起中国制造业通过简单价值链生产活动,向印度、巴西等发展中国家出口中间产品时,引致的研发投入增速明显加快,且上述国家中间品需求引致的研发投入开始逐渐超过部分发达国家。2014年,印度、巴西和墨西哥引致中国制造业的研发投入分别为375.87百万美元、316.75百万美元和288.51百万美元,高于法国、英国等发达国家。产生这一现象的原因在于:第一,发达国家自2008年全球金融危机后开始实施“制造业回归”战略,一部分制造业企业回归本土;第二,随着我国劳动力优势逐步减退,发达国家在劳动力成本更低的发展中国家投资设厂,原来由中国制造业承接的部分中间品生产活动得到了分散和转移;第三,发达国家在海外投资上广泛采取“距离先近后远、技术由易到难”的投资路径,发展中国家主要提供劳动力负责装配环节,对中国制造业所生产半成品的依赖程度较高。在中国制造业出口的中间产品中,技术含量较高的半成品相比于零部件具有明显优势,这也导致其他发展中国家引致中国制造业进行中间品生产时相应研发投入增长。

(4) 融入路径之四:复杂价值链生产活动。除了参与简单价值链生产活动引致的中国制造业研发投入之外,本文基于式(21)计算得到了中国制造业在参与复杂跨境生产合作活动,即复杂价值链生产活动时进行的研发投入,如表4所示。

表 4 参与复杂价值链生产活动引致的中国制造业研发投入 (单位: 百万美元)

年份	美国	加拿大	德国	法国	英国	日本	俄罗斯	印度	巴西	韩国	土耳其	墨西哥
2000	149.07	16.16	32.17	17.91	29.12	70.89	2.78	6.56	3.70	29.12	2.94	7.09
2002	112.37	11.80	21.10	11.21	19.86	47.01	4.54	4.76	2.46	21.48	1.62	6.38
2004	212.40	25.36	48.83	28.31	41.96	83.82	8.70	10.13	5.12	36.90	5.91	15.01
2006	412.59	53.93	101.09	54.16	69.80	146.61	27.50	32.93	13.84	71.06	15.03	33.34
2008	749.32	106.85	217.95	114.94	138.53	252.52	83.18	75.76	43.16	128.66	37.61	64.64
2010	961.21	141.57	280.42	146.61	155.60	341.79	109.13	117.05	66.98	188.58	53.77	85.69
2012	1221.08	184.03	333.93	187.77	211.44	535.85	210.86	139.31	122.27	226.38	68.33	116.89
2014	1582.33	224.90	462.90	249.78	272.96	652.62	265.18	174.75	164.85	301.61	98.85	162.29

在参与复杂价值链生产活动时,中国制造业首先将中间产品出口至东道国,由东道国进一步加工成为最终产品后再出口至第三国或满足中国制造业的最终需求,生产这部分中间品时进行的研发投入即为复杂价值链生产活动引致的中国制造业研发投入。由表 4 可得,通过复杂价值链活动引致中国制造业研发投入最多的国家仍然是美国和日本,新兴经济体国家和金砖国家通过这一渠道进口中国制造业中间品,由此引发的中国制造业研发投入,与表 3 中简单价值链生产活动相比均明显更低。换言之,大多数发展中国家从中国制造业进口中间产品在加工后,更多的是用于自身需求,而不是再次出口。对于巴西、印度、墨西哥等发展中国家而言,中国制造业虽然不具备显著的劳动力成本优势,但生产中间品的技术含量较高,上述发展中国家将其用于自身需求的成本较低,但加工再出口的竞争优势不足。

综合表 3 与表 4,并与表 2 进行比较可得,大多数发达国家通过中间产品需求和最终产品需求引致中国制造业的研发投入基本相当;对于发展中国家而言,中国制造业在向其出口中间产品时进行的研发投入明显高于出口最终产品时进行的研发投入。这在一定程度上反映出,中国制造业向发达国家的出口贸易模式已经实现了一般贸易与加工贸易的平衡,在世界创新网络中的地位得到了一定程度的提升。相比于其他发展中国家,中国制造业对其出口的产品以工业半成品为主,涉及加工组装等更多生产环节的最终产品出口占比下降,再次显示中国制造业的劳动力低成本优势已经逐渐弱化,在最终品研发方面的投入也相对较低。

四、中国制造业在世界创新网络中的技术联系分析:基于关联的视角

1. 中国制造业技术关联的计算方法

为进一步考察中国制造业在世界创新网络中的参与程度,本文参考了程大中(2015)通过中间品进口测度中国与主要经济体产业关联的方法,借鉴 Wang 等(2017)的研究思路,从经济体生产增加值的流向与使用增加值的来源定义经济关联,测算了中国制造业在世界创新网络中通过中间品贸易与其他主要经济体建立的前向技术关联与后向技术关联。

具体而言,中国制造业通过产品的供给需求关系与其他经济体建立关联,作为上游生产部门时,中国制造业的研发投入包含在去往下游生产部门的中间产品中,由此产生与下游经济体的前向技术关联;当中国制造业作为下游部门时,在进口的中间产品与最终产品中,同样包含着来自上游部门生产中间产品时进行的研发投入,形成中国制造业与上游经济体的后向技术关联。本文将中国制造业融入世界创新网络的路径,以及由此引致的技术关联用示意图 3 表示,其中实线和虚线分别表示最终产品和中间产品的流动路径。

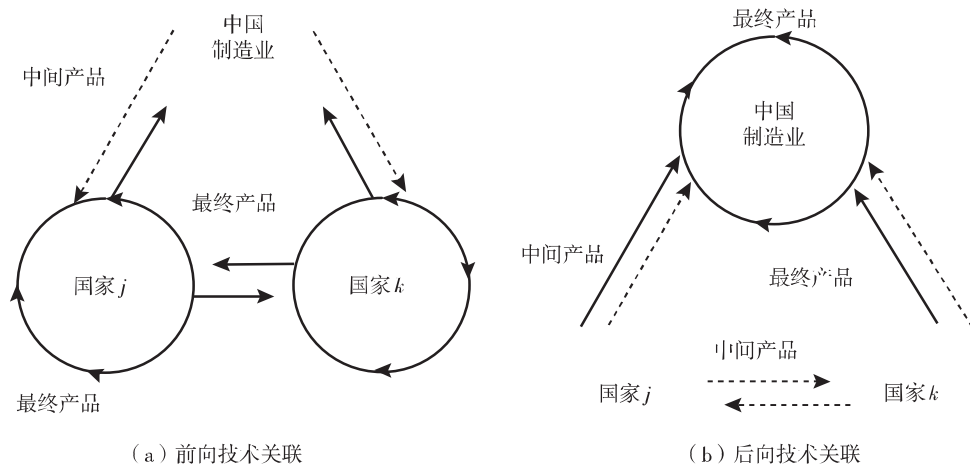


图3 中国制造业的前向与后向技术关联

基于图3, 本文对中国制造业与其他经济体的前向、后向技术关联进行详细解释。如图3(a)所示, 中国制造业生产的中间产品出口至国家 j 和国家 k , 在国家 j 和国家 k 完成加工后, 一部分用于满足其国内的最终需求, 另一部分用于满足中国制造业和其他经济体的最终需求, 中国制造业在生产用于出口的中间产品时进行的研发投入, 建立了与下游国家的前向技术关联。后向技术关联如图3(b)所示, 国家 j 为中国制造业和国家 k 提供中间产品, 出口至中国制造业的中间产品一部分被加工成为满足国内最终需求的成品, 同时出口至国家 k 的中间产品完成加工后, 一部分成品再次流向中国制造业用于最终消费, 中国制造业的最终需求引致国家 j 和国家 k 对出口中间产品进行的研发投入促进了中国制造业与上述两国后向技术关联的形成。

根据上述定义, 中国制造业的前向技术关联指数 FRM_i 可定义为向下游生产部门出口中间产品中包含的研发投入在全部研发投入中所占的份额, 计算公式为:

$$FRM_i^M = \frac{\sum_{j=1}^n (\hat{R}LA^F LY^D)_{ij}^M + \sum_{j=1}^n [\hat{R}LA^F (BY - LY^D)]_{ij}^M}{\sum_{j=1}^n R_{ij}^M} \quad (22)$$

其中, R_{ij}^M 为国际研发矩阵 R 中第 i^M 行第 j 列的元素, 表示中国制造业为满足 j 国的最终需求, 在产品生产过程中投入的全部研发支出; $(\hat{R}LA^F LY^D)_{ij}^M$ 为研发矩阵 $\hat{R}LA^F LY^D$ 中第 i^M 行第 j 列的元素, 表示中国制造业通过简单价值链生产活动对国家 j 出口中间品中的研发投入; $[\hat{R}LA^F (BY - LY^D)]_{ij}^M$ 为研发矩阵 $\hat{R}LA^F (BY - LY^D)$ 中第 i^M 行第 j 列的元素, 表示中国制造业为满足国家 j 的最终需求, 通过复杂价值链生产活动出口中间产品中的研发投入。

与前向技术关联指数不同, 中国制造业的后向技术关联指数 BRM_i 定义为中国制造业满足最终需求从上游生产部门获得产品中, 中间产品部分研发投入所占的比重, 如式(23)所示:

$$BRM_i^M = \frac{\sum_{j=1}^n (\hat{R}LA^F LY^D)_{ji}^M + \sum_{j=1}^n [\hat{R}LA^F (BY - LY^D)]_{ji}^M}{\sum_{j=1}^n R_{ji}^M} \quad (23)$$

作为下游部门,中国制造业为满足自身的最终需求,分别通过简单价值链生产活动与复杂价值链生产活动引入上游产业部门生产的中间产品。式(23)中,以第 j 国家为例, R_{ji}^M 为中国制造业为满足最终需求进口中间产品和最终产品时引致上游国家 j 的全部研发支出; $(\hat{R}LA^F LY^D)_{ji}^M$ 和 $[\hat{R}LA^F (BY-LY^D)]_{ji}^M$ 分别为中国制造业通过简单价值链生产活动、复杂价值链生产活动进口中间产品时,引致国家 j 在中间产品生产投入的研发经费。

2. 前向关联和后向关联的计算结果

根据式(22)和式(23),本文计算了中国制造业2000~2014年的前向技术关联与后向技术关联,结果列于表5。

表5 中国制造业的前向技术关联与后向技术关联

年份	中间品的前向研发投入 (百万美元)	前向研发投入 (百万美元)	前向技术关联 指数(FR_i^M)	中间品的后向研发投入 (百万美元)	后向研发投入 (百万美元)	后向技术关联 指数(BR_i^M)
2000	4217.81	8232.62	0.5123	4942.93	9659.92	0.5117
2001	2384.41	4612.55	0.5169	4866.37	12054.58	0.4037
2002	2989.73	5794.14	0.5160	5631.59	14171.44	0.3974
2003	3796.10	7392.80	0.5135	6961.66	17114.09	0.4068
2004	4926.89	9575.34	0.5145	8831.37	20886.50	0.4068
2005	6513.27	12505.87	0.5208	10464.93	24355.90	0.4297
2006	8813.32	16592.62	0.5312	13122.75	29632.32	0.4429
2007	11940.09	22091.04	0.5405	16739.63	36630.57	0.4570
2008	18951.56	34562.34	0.5483	23298.30	48962.00	0.4758
2009	25968.90	46529.11	0.5581	31925.77	67521.04	0.4728
2010	27442.99	48601.41	0.5647	36903.99	83060.76	0.4443
2011	42987.05	76120.73	0.5647	48975.13	101086.44	0.4845
2012	50901.12	92280.66	0.5516	52306.55	111941.74	0.4673
2013	60258.43	108056.82	0.5577	59055.89	124764.81	0.4733
2014	70088.52	123316.54	0.5684	66741.91	138387.47	0.4823

2001~2014年中国制造业生产用于出口的中间产品时进行的研发投入,即中间品前向研发投入由2384.41百万美元增加至70088.52百万美元,年均增长率高达30.5%。中国制造业的全部前向研发投入由2001年的4612.55百万美元增加至2014年的123316.54百万美元,年均增长达到了29.5%。中国制造业出口中间产品价值的快速增长,既是出口产品数量扩张导致的,也是其技术含量不断提高的结果。基于联合国商品贸易数据库中的数据计算得到,中国中间产品的出口额由2003年的1598亿美元增加到2012年的8318亿美元,占出口总额的比重由36.5%增加到40.6%。制造业出口产品由传统劳动或资源密集型产品向可以带来更高经济附加值的技术密集型产品转变,提高了中国制造业与其他经济体的前向技

术关联。

由表5可得,在中间品出口快速增长的同时,中国制造业作为下游部门对中间产品的进口规模也不断扩大,引致上游经济体生产中间产品时的后向研发投入由2001年的4866.37百万美元增加至2014年的66741.91百万美元,年均增长率为22.7%,但低于中间品前向研发投入的增长率。与之不同,中国制造业引致上游经济体进行产品生产时的全部后向研发投入由12054.58百万美元增加至138387.47百万美元,始终高于全部的前向研发投入,这反映出中国制造业的国际分工地位有所上升,但在关键技术领域对进口的依赖度仍然较高。

2001年,中国制造业供给产品进行的前向研发投入与需求产品引致的后向研发投入差距显著,2014年,这一差距大幅减小,说明中国制造业在世界创新网络中的位置逐渐平衡、结构不断优化。以输入端为例,中国进口产品中半成品和消费品占比不断减少,对零部件的进口数量增加。据统计,2003~2012年中国进口半成品的比重逐年下降,由32.8%降至22.7%,且在2005年后,零部件进口比重一直保持高于半成品。^①

为清晰比较中国制造业与其他经济体的前向技术关联与后向技术关联,本文根据表5中的数据绘制了前向技术关联指数与后向技术关联指数的对称条形图,如图4所示。其中,纵轴表示年份,横轴表示技术关联度。

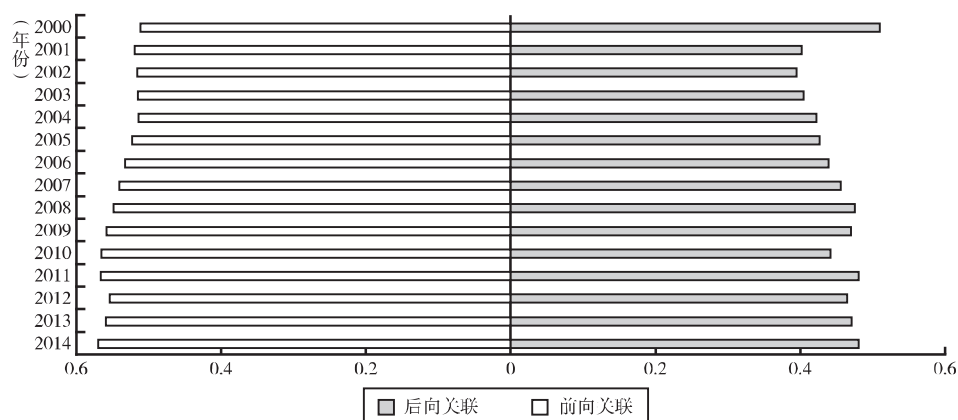


图4 中国制造业前向技术关联与后向技术关联指数的对称条形图

由图4可得,中国制造业前向技术关联指数与后向技术关联指数的变动趋势大致相近,呈现出整体稳定且稳中有升的“M”形特征。结合表5可得,2001~2014年,中国制造业的前向技术关联由0.52上升至0.57,后向技术关联由0.4上升至0.48,中国制造业通过中间品贸易作为参与国际分工的主要路径,加速融入全球价值链的同时,在世界创新网络中的参与程度得到提升。虽然中间品贸易量实现了快速增长,但中国制造业与其他经济体的前向技术关联始终保持在0.5以上,后向技术关联维持在0.45左右,两者随时间的变化波动幅度较小,中间品贸易的技术结构没有明显改善。原因在于,中国制造业在世界创新网络中的地位虽有提升,但在高端制造业领域的技术比较优势仍然有所欠缺,短时间内难以实现规模经济与范围经济,对长期形成的固有贸易模式的扭转能力有限。以汽车制造业为例,2010

^① 资料来源:联合国商品贸易统计数据库,根据BEC分类计算得到。

年,中国向日本、德国等发达国家进口零部件金额为237.72亿美元,占汽车零部件进口总额的86.9%,而出口金额为211.98亿美元,仅占出口总额的51.2%,且产品大多以劳动密集型和资源密集型零部件为主。

将中国制造业的前向技术关联指数与后向技术关联指数进行对比可得,2001~2014年前向技术关联指数的平均值为0.54,高于后向技术关联指数0.45,显示中国制造业作为上游产业部门时下游产业部门对其中间产品的技术依赖程度,高于中国制造业作为下游产业部门时对其上游产业部门中间产品的技术依赖度,在世界经济网络和创新网络中的供给地位和输出特征更为显著,这与中国制造业的资源禀赋优势及其一直以来的“出口导向型”加工贸易增长模式是吻合的。例如,中国制造业在与主要经济体的经济贸易中持续保持贸易顺差,进口一些零部件产品后,加工出口大量技术含量较高的半成品,即在“两头在外”特征中,与输入端相比,输出端的数量更大、权重更高,因而决定了中国制造业具有较低的后向技术关联和高度的前向技术关联。

五、结论与政策建议

本文基于创新网络中的节点、路径和关联三维视角,对中国制造业在世界创新网络中进行精准定位,从全球价值链角度对中国制造业嵌入世界创新网络的路径进行分解,测算了中国制造业的前向与后向技术关联。研究结论表明:

随着中国逐步融入世界经济体系和深度参与全球价值链,作为知识输出方与技术受益方,中国制造业在世界创新网络中的中心地位明显提高。虽然中国制造业“两头在外”的生产模式决定了其世界创新网络中处于“枢纽”位置,与创新网络中各个节点的可达性较好,然而中国制造业处于全球价值链的中低端环节,对世界创新网络中技术联系的控制力很弱,形成了度数中心度和接近中心度高、中间中心度低的典型特征。

在网络特征分析的基础上,本文分解了中国制造业通过增加值贸易融入世界创新网络的路径。研究发现,大部分发达国家通过中间产品需求和最终产品需求引致中国制造业的研发投入基本相当,对于发展中国家而言,中国制造业在向其出口中间产品时进行的研发投入则明显高于出口最终产品时进行的研发投入,这反映中国制造业向发达国家的出口贸易模式逐步实现了一般贸易与加工贸易的平衡,同时中国制造业相比于其他发展中国家的劳动力低成本优势已经弱化。

为进一步考察中国制造业在世界创新网络中的参与程度,本文测算了中国制造业在世界创新网络中与其他主要经济体的前向技术关联与后向技术关联。中国制造业前向与后向技术关联指数的变动趋势大致相近,呈现稳中有升的特征。其中,中国制造业的前向技术关联指数一直大于后向技术关联指数,表明中国制造业作为上游产业部门时下游产业部门对其中间产品的技术依赖程度,高于中国制造业作为下游产业部门时对其上游产业部门中间产品的技术依赖度,即中国制造业在世界经济网络和创新网络中的供给地位和输出特征更为显著。

中国经济已经进入高质量发展阶段,中国制造业通过加大研发支出融入世界创新网络时也应由数量扩张向质量提升转变。特别是在中国制造业规模大、门类全的现实背景下,不可能在大多数领域实现技术突破并打破发达国家在世界创新网络中长期占据的垄断地位,而应积极推动创新资源向中国制造业具备比较优势和潜在竞争优势的部分领域集中,特别是在一些新兴领域实现技术突破,通过累积效应和扩散效应不断增强中国制

造业在世界创新网络中的控制力和影响力,推进“中国制造”向“中国创造”与“中国精造”的过渡。

参 考 文 献

- [1] Aitken B., Harrison A., 1999, *Do Domestic Firms Benefit from Direct Foreign Investment? Evidence from Venezuela* [J], *American Economic Review*, 89 (3), 605~618.
- [2] Arrow K. J., 1962, *Economic Welfare and the Allocation of Resources for Innovation* [A], In R. Nelson (ed.), *The Rate and Direction of Economic Activity* [C], New York: Princeton University Press.
- [3] Boschma R., Frenken K., 2010, *The Spatial Evolution of Innovation Networks: A Proximity Perspective* [A], in *The Handbook of Evolutionary Economic Geography* [C], Cheltenham: Edward Elgar Publishing.
- [4] Burt R. S., 1992, *Structural Holes: the Social Structure of Competition* [M], Cambridge, MA: Harvard University Press.
- [5] Coe D., Helpman E., Hoffmaister A., 1997, *North-South R&D Spillovers* [J], *Economic Journal*, 107 (440), 134~149.
- [6] Cooke P., 1996, *The New Wave of Regional Innovation Networks: Analysis, Characteristics and Strategy* [J], *Small Business Economics*, 8 (2), 159~171.
- [7] Düring A., Schnabl H., 2000, *Imputed Inter-Industry Technology Flows: A Comparative SMFA Analysis* [J], *Economic Systems Research*, 12 (3), 363~375.
- [8] Freeman L. C., 1979, *Centrality in Social Networks: Conceptual Clarification* [J], *Social Networks*, 1 (3), 215~239.
- [9] Freeman, C., 1991, *Network of Innovators: A Synthesis of Research Issues* [J], *Research Policy*, 20 (5), 499~514.
- [10] Grossman G. M., Helpman E., 1991, *Quality Ladders in Theory of Growth* [J], *Review of Economic Studies*, 58 (1), 43~61.
- [11] Hansen M. T., Birkinshaw J., 2007, *The Innovation Value Chain* [J], *Harvard Business Review*, 85 (6), 121~130.
- [12] Hauknes J., Knell M., 2009, *Embodied Knowledge and Sectoral Linkages: An Input-output Approach to the Interaction of High-and Low-tech Industries* [J], *Research Policy*, 38 (3), 459~469.
- [13] Javorcik B., 2004, *Does Foreign Direct Investment Increase the Productivity of Domestic Firms? In Search of Spillovers through Backward Linkages* [J], *American Economic Review*, 94 (3), 605~627.
- [14] Keller W., 2010, *International Trade, Foreign Direct Investment, and Technology Spillovers* [J], *Handbook of the Economics of Innovation*, (2), 793~829.
- [15] Maggioni M. A., Uberti T. E., 2009, *Knowledge Networks across Europe: Which Distance Matters?* [J], *Annals of Regional Science*, 43 (3), 691~720.
- [16] Montresor S., Marzetti G. V., 2009, *Applying Social Network Analysis to Input-Output Based Matrices: An Illustrative Application to Six OECD Technological Systems for the Middle 1990s* [J], *Economic Systems Research*, 21 (2), 129~149.
- [17] Powell W. W., Koput K. H., Smith-Doerr L., 1996, *Interorganizational Collaboration and the Locus of Innovation: Networks of Learning in Biotechnology* [J], *Administrative Science Quarterly*, 41 (1), 116~145.
- [18] Schnabl H., 1995, *The Subsystem-MFA: A Qualitative Method for Analyzing National Innovation System: the Case of Germany* [J], *Economic Systems Research*, 7 (4), 383~396.
- [19] Wang Z., Wei S. J., Yu X. D., Zhu K. F., 2017, *Measures of Participation in Global Value*

Chains and Global Business Cycles [R], NBER Working Paper No. 23222.

[20] Wanzenböck C. I., Scherngell T., Brenner T., 2014, *Embeddedness of Regions in European Knowledge Networks: A Comparative Analysis of Inter-Regional R&D Collaboration, Co-patents and Co-publications* [J], *Annals of Regional Science*, 53 (2), 337~368.

[21] 程大中:《中国参与全球价值链分工的程度及演变趋势——基于跨国投入—产出分析》[J],《经济研究》2015年第9期。

[22] 池仁勇:《区域中小企业创新网络形成、结构属性与功能提升:浙江省实证考察》[J],《管理世界》2005年第10期。

[23] 范兆斌、苏晓艳:《全球研发网络、吸收能力与创新价值链动态升级》[J],《经济管理》2008年第11期。

[24] 黄群慧:《改革开放40年中国的产业发展与工业化进程》[J],《中国工业经济》2018年第9期。

[25] 李敬、陈澍、万广华、付陈梅:《中国区域经济增长的空间关联及其解释——基于网络分析方法》[J],《经济研究》2014年第11期。

[26] 刘志彪、张杰:《全球代工体系下发展中国家俘获型网络的形成、突破与对策——基于GVC和NVC的比较视角》[J],《中国工业经济》2007年第5期。

[27] 卢艳秋、张公一:《跨国技术联盟创新网络与合作创新绩效的关系研究》[J],《管理学报》2010年第7期。

[28] 潘文卿、李子奈、刘强:《中国产业间的技术溢出效应:基于35个工业部门的经验研究》[J],《经济研究》2011年第7期。

[29] 钱锡红、徐万里、杨永福:《企业网络位置、间接联系与创新绩效》[J],《中国工业经济》2010年第2期。

[30] 邵汉华、周磊、刘耀斌:《中国创新发展的空间关联网络结构及驱动因素》[J],《科学学研究》2018年第11期。

[31] 唐海燕、张会清:《产品内国际分工与发展中国家的价值链提升》[J],《经济研究》2009年第9期。

[32] 王岚、李宏艳:《中国制造业融入全球价值链路径研究——嵌入位置和增值能力的视角》[J],《中国工业经济》2015年第2期。

[33] 魏守华等:《技术溢出的机制、测度与我国创新模式优化策略》[M],北京:经济科学出版社,2018。

[34] 吴红雨:《价值链高端化与地方产业升级》[M],北京:中国经济出版社,2015。

[35] 许和连、孙天阳、成丽红:《“一带一路”高端制造业贸易格局及影响因素研究——基于复杂网络的指数随机图分析》[J],《财贸经济》2015年第12期。

[36] 张宝建、胡海青、张道宏:《企业创新网络的生成与进化——基于社会网络理论的视角》[J],《中国工业经济》2011年第4期。

[37] 张定胜、刘洪愧、杨志远:《中国出口在全球价值链中的位置演变——基于增加值核算的分析》[J],《财贸经济》2015年第11期。

[38] 张红霞、冯恩民:《R&D部门间溢出效应及中美日三国的比较分析》,《大连理工大学学报(社会科学版)》2005年第2期。

[39] 张会清、翟孝强:《中国参与全球价值链的特征与启示——基于生产分解模型的研究》[J],《数量经济技术经济研究》2018年第1期。

[40] 张同斌、王树贞、鲍曙明:《“中国制造”对世界经济增长的贡献及分解研究》[J],《数量经济技术经济研究》2017年第11期。

[41] 朱平芳、项歌德、王永水:《中国工业行业间R&D溢出效应研究》[J],《数量经济研究》2014年第2期。

Research on Multidimensional Positioning and Integration Path of China's Manufacturing Industry in the Global Innovation Network

Chen Tingyu

(School of Economics, Dongbei University of Finance and Economics)

Research Objectives: Calculate and analyze the position and the integration path of China's manufacturing industry in the global innovation network. **Research Methods:** Construct a global innovation network and add China's manufacturing industry into the innovation value chain. **Research Findings:** The R&D expenditures due to domestic demands of China's manufacturing industry have been growing rapidly. The United States, Japan and other developed countries lead to most of China's manufacturing industry's R&D expenditures source from foreign demands, while the BRICS countries trigger the fastest growth of them. The changes of the forward and backward technical linkage indexes of Chinese manufacturing industry are characterized by rising and stability. Among them, the forward technical linkage has always been greater than the backward technical linkage, China's manufacturing industry has a more significantly supply status in the global innovation network. **Research Innovations:** Based on three dimensional perspectives associated with nodes, paths and linkages, systematically evaluate the participation of "Made in China" in the global innovation network and dynamically analyze how the China's manufacturing industry embedded into it. **Research Value:** Provide a reference for the enhancement of the technological influence of "Made in China" and the transformation to "Created in China" and "Well Made in China".

Key Words: Manufacturing Industry; Global Innovation Network; Value Chain; Integration Path

JEL Classification: F10; O14; O19

(责任编辑: 白延涛)