

从生产网络变迁看中国产业结构转型^{*}

郭凯明

摘 要：客观认识中国生产网络变迁特征，有助于准确把握产业结构转型的经济动因。在生产网络变迁内生于技术进步的视角下，全面评估 1995—2022 年技术进步对中国产业结构转型的影响。研究发现：第二产业中性技术进步显著推动了产业结构转型和生产网络变迁；第二产业中性技术进步和第三产业资本偏向型技术进步的影响，分别主要源于高技术制造业和生产性服务业的贡献；通过加快要素结构转变，产业中性技术进步对冲了资本偏向型技术进步的影响，使劳动收入份额发生 U 型转变；第二产业资本偏向型技术进步或将成为今后推动产业结构转型的主导因素。当前，推动中国产业深度转型升级，应着力发挥生产网络传播效应，提高人力资源供需匹配程度，充分释放创新活力与人才红利。

关键词：产业结构转型 技术进步 生产网络 有偏技术 劳动收入份额

作者郭凯明，中山大学岭南学院教授（广州 510275）。

引 言

产业结构转型升级是中国经济转型与改革发展的典型特征之一，也将在新发展阶段为构建现代化产业体系和发展新质生产力提供内在动力与基本支撑，准确把握其经济动因和演化趋势具有重要意义。根据经济学主流理论，技术进步是推动产业结构转型的根本性因素，其核心经济机制是技术进步及其推动的要素结构变化在供给侧通过改变价格推动了产业替代，在需求侧通过提高收入拉动了消费转型。^① 这对解释中国产业结构转型具有借鉴意义，但却忽略了生产网络变迁对于全面准确评估技术进步作用的重要影响，将其直接应用于经历着生产网络变迁的中国经济存在

* 本文为国家社会科学基金重大项目“人口结构重大转变对中国收入分配格局的影响研究”（23&·ZD044）阶段性成果。

① 参见郭凯明、杭静、颜色：《中国改革开放以来产业结构转型的影响因素》，《经济研究》2017 年第 3 期；B. Herrendorf, R. Rogerson and Á. Valentinyi, “Chapter 6—Growth and Structural Transformation,” in P. Aghion and S. N. Durlauf, eds., *Handbook of Economic Growth*, vol.2, Amsterdam: North-Holland, 2014, pp.855-941.

一定局限性。

生产网络是指经济生产和需求的投入产出关联，包括产业、行业、企业或产品之间的投入产出关联，要素与产出之间的关联，产出和需求之间的关联等。生产网络变迁是指在不同产业、行业、企业或产品的生产过程中，增加值和中间品的相对比重及其内部结构呈现趋势性变化。表 1 总结了我国生产网络变迁的特征事实。可以看到，1995—2022 年我国三次产业产出中增加值和中间品的相对比重并不是稳定的。其中，第一、第二产业产出中增加值所占比重分别从 61.67% 和 29.25% 下降至 58.33% 和 23.69%，降幅分别达 3.34 个和 5.56 个百分点，第三产业也有所下降。而每个产业的中间品或增加值的内部结构，表现出一定程度的转型过程。来自第二产业的产出在第一产业中间品投入中所占比重提高了 7.59 个百分点，在第三产业降低了 15.99 个百分点。而在第二和第三产业中间品投入中，来自第三产业的产出所占比重分别提高了 4.33 个和 18.21 个百分点，来自第一产业的产出所占比重则有所降低；增加值中劳动投入所占比重在三次产业均呈 U 型转变趋势，整个时期看分别变化了 8.16 个、-7.72 个和 -0.10 个百分点。

表 1 1995—2022 年中国生产网络变迁过程

(单位:%)

指标	第一产业		第二产业		第三产业	
	1995	2022	1995	2022	1995	2022
增加值 占产出的比重	61.67	(58.33)	29.25	(23.69)	52.07	(50.74)
来自第一产业的产出 占中间品投入的比重	40.49	(31.22)	9.76	(5.70)	3.95	(1.73)
来自第二产业的产出 占中间品投入的比重	43.72	(51.31)	73.47	(73.20)	51.19	(35.20)
来自第三产业的产出 占中间品投入的比重	15.79	(17.47)	16.77	(21.10)	44.86	(63.07)
劳动投入 占增加值的比重	87.52	(95.68)	45.12	(37.40)	48.36	(48.26)

注：数据来源见后文。表中不加括号的数据为 1995 年比重，加括号的数据为 2022 年比重；1 减去增加值占产出的比重即为中间品占产出的比重；1 减去劳动投入占增加值比重即为资本投入占增加值比重。

我国生产网络变迁过程对把握其产业结构转型中的技术进步作用具有重要影响。一方面，产业内部增加值所占比重和中间品内部结构变化，意味着在研究产业结构转型时，使用不考虑生产网络的宏观动态一般均衡框架可能是有偏误的。多数文献只关注增加值生产函数，其前提是生产网络结构保持稳定，即使技术进步等因素通过生产网络影响到产业结构转型，也无须专门模型化生产网络。但在生产网络发生变迁时，这些因素也可能会显著作用于生产网络，进而通过这一渠道影响产业结构转型。此时，生产网络变迁就有必要被纳入进行分析。另一方面，产业增加值内部

结构的显著变化,意味着在研究产业技术进步的作用时,使用不考虑要素偏向型技术进步的宏观动态一般均衡框架也可能是有偏误的。多数文献使用常替代弹性为1的生产函数刻画产业技术,其前提是增加值中资本和劳动投入所占比重保持稳定,只考虑中性技术进步就可以较好纳入产业生产率和要素分配特征。但在这些比重发生变化时,有偏技术进步可能较快,也会对产业结构转型和生产网络变迁产生重要影响。因此,研究技术进步作用有必要与中性技术进步区别对待、全面分析。基于这些考虑,可以构建一个内生产业结构转型和生产网络变迁的宏观动态一般均衡框架,系统研究产业中性技术进步和要素偏向型技术进步对产业结构转型的影响。

从里昂惕夫、库兹涅茨等经济学家起,产业结构转型和生产网络就成为发展经济学、宏观经济学和产业经济学的重要研究对象,而近十余年相关领域研究快速发展,逐步形成了体系完备且范式独特的研究框架。在产业结构转型领域,现有文献提出价格效应和收入效应是推动产业结构转型的两大理论机制,但促成相对价格变化或收入增长的归根结底还是技术进步和要素禀赋变化,而后者也部分受技术进步影响,因此技术进步是推动产业结构转型的根本性因素。^①其中一些文献分别从消费结构、国际贸易和投资结构等视角,拓展了技术进步的作用机制,另一些文献则直接关注有偏技术进步的影响,但均没有直接考察生产网络的影响。^②不少研究指

① P. Kongsamut, S. Rebelo and D. Xie, "Beyond Balanced Growth," *The Review of Economic Studies*, vol. 68, no. 4, 2001, pp. 869-882; L. R. Ngai and C. A. Pissarides, "Structural Change in a Multisector Model of Growth," *The American Economic Review*, vol. 97, no. 1, 2007, pp. 429-443; D. Acemoglu and V. Guerrieri, "Capital Deepening and Nonbalanced Economic Growth," *Journal of Political Economy*, vol. 116, no. 3, 2008, pp. 467-498.

② 参见郭凯明、罗敏:《有偏技术进步、产业结构转型与工资收入差距》,《中国工业经济》2021年第3期;徐朝阳、王韡:《部门异质性替代弹性与产业结构变迁》,《经济研究》2021年第4期;T. Uy, K.-M. Yi and J. Zhang, "Structural Change in an Open Economy," *Journal of Monetary Economics*, vol. 60, no. 6, 2013, pp. 667-682; T. Boppart, "Structural Change and the Kaldor Facts in a Growth Model with Relative Price Effects and Non-Gorman Preferences," *Econometrica*, vol. 82, no. 6, 2014, pp. 2167-2196; B. Herrendorf, C. Herrington and Á. Valentinyi, "Sectoral Technology and Structural Transformation," *The American Economic Journal: Macroeconomics*, vol. 7, no. 4, 2015, pp. 104-133; B. Herrendorf, R. Rogerson and Á. Valentinyi, "Structural Change in Investment and Consumption—A Unified Analysis," *The Review of Economic Studies*, vol. 88, no. 3, 2021, pp. 1311-1346; D. Comin, D. Lashkari and M. Mestieri, "Structural Change with Long-Run Income and Price Effects," *Econometrica*, vol. 89, no. 1, 2021, pp. 311-374; M. García-Santana, J. Pijoan-Mas and L. Villacorta, "Investment Demand and Structural Change," *Econometrica*, vol. 89, no. 6, 2021, pp. 2751-2785.

出,在评估技术进步通过产业结构转型影响经济增长和发展绩效时,生产网络的部分结构变化或国家异质性具有重要中介作用。^①但现有研究没有直接关注生产网络的全面变迁过程,更没有专门研究中性技术进步特别是要素偏向型技术进步的作用。在生产网络领域,现有文献认为,生产网络结构在宏观层面的生产率波动、经济增长和发展绩效中发挥了重要中介作用。^②其中一些文献特别关注生产网络的内生形成过程,分别提出联系成本、搜寻匹配和技术选择是决定企业间是否建立投入产出关联的决定性机制,但没有直接关注内生生产网络对产业结构转型的影响。^③此外,一些文献在其模型框架中允许生产网络的部分结构变化,也可以使其随技术进步而变化,但并未专门关注生产网络变迁对产业结构转型的影响。^④

- ① L. R. Ngai and R. M. Samaniego, "Mapping Prices into Productivity in Multisector Growth Models," *Journal of Economic Growth*, vol. 14, no. 3, 2009, pp. 183-204; M. Spasi, "Evolving Comparative Advantage, Sectoral Linkages, and Structural Change," *Journal of Monetary Economics*, vol. 103, 2019, pp. 75-87; J. Cravino and S. Sotelo, "Trade-Induced Structural Change and the Skill Premium," *The American Economic Journal: Macroeconomics*, vol. 11, no. 3, 2019, pp. 289-326; M. Duarte and D. Restuccia, "Relative Prices and Sectoral Productivity," *Journal of the European Economic Association*, vol. 18, no. 3, 2020, pp. 1400-1443.
- ② D. Acemoglu et al., "The Network Origins of Aggregate Fluctuations," *Econometrica*, vol. 80, no. 5, 2012, pp. 1977-2016; E. Liu, "Industrial Policies in Production Networks," *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 134, no. 4, 2019, pp. 1883-1948; S. Bigio and J. La' O, "Distortions in Production Networks," *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 135, no. 4, 2020, pp. 2187-2253; A. T. Foerster et al., "Aggregate Implications of Changing Sectoral Trends," *Journal of Political Economy*, vol. 130, no. 12, 2022, pp. 3286-3333; H. Fadinger, C. Ghiglini and M. Teteryatnikova, "Income Differences, Productivity, and Input-Output Networks," *The American Economic Journal: Macroeconomics*, vol. 14, no. 2, 2022, pp. 367-415.
- ③ D. Acemoglu and P. D. Azar, "Endogenous Production Networks," *Econometrica*, vol. 88, no. 1, 2020, pp. 33-82; J. Boehm and E. Oberfield, "Misallocation in the Market for Inputs: Enforcement and the Organization of Production," *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 135, no. 4, 2020, pp. 2007-2058; A. B. Bernard et al., "The Origins of Firm Heterogeneity: A Production Network Approach," *Journal of Political Economy*, vol. 130, no. 7, 2022, pp. 1765-1804; Y. Miyauchi, "Matching and Agglomeration: Theory and Evidence from Japanese Firm-to-Firm Trade," *Econometrica*, vol. 92, no. 6, 2024, pp. 1869-1905; B. Demir et al., "O-Ring Production Networks," *Journal of Political Economy*, vol. 132, no. 1, 2024, pp. 200-247.
- ④ A. Moro, "Structural Change, Growth, and Volatility," *The American Economic Journal: Macroeconomics*, vol. 7, no. 3, 2015, pp. 259-294; J. Grobovšek, "Development Accounting with Intermediate Goods," *The B. E. Journal of Macroeconomics*, vol. 18, no. 1, 2018, pp. 20160223; D. R. Baqaee and E. Farhi, "Productivity

现有文献在研究技术进步对产业结构转型的影响时，还没有系统探究生产网络变迁的中介作用；在研究技术进步通过生产网络传播机制对经济增长的影响时，也没有全面考察其对产业结构转型的影响。基于中国生产网络显著变迁的特征事实，在生产网络变迁内生于技术进步的新视角下，全面研究中性和有偏技术进步对产业结构转型的影响，有助于拓展关于产业结构转型的经济动因的理论解释。而把握产业结构转型和生产网络变迁两大经济结构转型的系统关系，评估其对生产效率和收入分配的重要影响，无疑具有重要的理论价值和现实意义。

一、理论框架

（一）技术进步的建模基础

技术进步作为提升生产率的关键动力，可能对不同要素的边际产量和收入份额产生不同程度的影响。经济学理论较早将技术进步分为中性技术进步、劳动扩展型技术进步和资本扩展型技术进步三类，通常称为希克斯中性、哈罗德中性和索洛中性技术进步。实际上，只要技术进步与单方面增加特定要素投入对提升产出的影响相同，就可以将这种技术进步视为该要素扩展型技术进步，如技能扩展型技术进步、土地扩展型技术进步等。特定要素扩展型技术进步不仅会提高该要素边际产量，也会提高其他要素边际产量。只有在技术进步更大幅度提高特定要素相对其他要素的边际产量或价格时，才将这种技术进步称为该要素偏向型技术进步，即有偏技术进步，而这又取决于该要素与其他要素之间的替代弹性。也就是说，特定要素扩展型技术进步并不必然是该要素偏向型技术进步。

常替代弹性生产函数在刻画上述技术进步方向和要素替代弹性时简洁清楚、含义明确，在定量分析时与数据匹配度好、估计可行性高，因此被广泛应用于经济学研究。虽然相较更一般形式的生产函数而言，这类生产函数限定要素替代弹性须为常数，但并没有预设要素替代弹性是否大于1这一关键特征，也没有预设技术进步是有偏的还是中性的。在当前文献特别是宏观经济研究文献普遍使用的生产函数中，常替代弹性生产函数是最为一般性的生产函数，并不依赖特别苛刻的假设。因此在产业层面将常替代弹性生产函数纳入不同技术进步类型时，基于该生产函数使用现实数据的估计结果，决定了产业技术进步的方向性及其结构性影响。

在现实经济中，技术进步的表现形式和影响方式是多样的，任何一类技术进步

and Misallocation in General Equilibrium,” *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 135, no. 1, 2020, pp. 105-163; P. Gaggl, A. Gorry and C. vom Lehn, “Structural Change in Production Networks and Economic Growth,” CESifo Working Paper, no. 10460, 2023.

都可能是偏向特定要素的技术进步。从宏观层面和产业层面看技术进步方向，要素偏向型技术进步类似索洛余项，是要素价格之比或要素收入份额变化中剔除要素结构或市场结构因素后的余项。或者说，即使技术进步首先作用在特定要素上，也可以表现为其他要素扩展型技术进步，而即使技术进步是特定要素扩展型技术进步，也可以表现为其他要素偏向型技术进步。因此，既有研究中通常只是基于宏观层面和产业层面的现实数据反推技术进步具有方向性，但如果没有使用更细分层面数据做深入分析，就难以把某一具体技术进步识别为偏向哪种要素的技术进步。^①

比如，作为通用目的技术的重要表现，第一产业普及应用农业机械、第二产业普及应用自动化设备和机器人、第三产业普及应用计算机和交通运输设备，以及这些机器设备的质量改进，都是以嵌入资本的形式发生的技术进步，但也可以是劳动扩展型技术进步，且既可能偏向资本又可能偏向劳动。^②同理，第一产业普及使用化肥或转基因种子等技术进步以嵌入土地的形式发生，但也可能是劳动扩展型技术，而是否为劳动偏向型技术还要取决于要素替代弹性；干中学效应使劳动者产生创新性想法，企业组织和管理方式优化降低了劳动者协调合作成本，这些技术进步以嵌入劳动的形式发生，但也可能是资本扩展型或资本偏向型技术进步。再比如，当前人工智能等数字技术蓬勃兴起、方兴未艾，既可能在某些行业或领域表现为资本偏向型技术进步，如促进智能机器替代劳动力，也可能在另一些行业或领域表现为劳动偏向型技术进步，如促进使用人工智能应用的劳动力替代传统设备，或者还可能偏向特定技能或特定职业的劳动和工作任务。^③

① R. Klump, P. McAdam and A. Willman, "Factor Substitution and Factor-Augmenting Technical Progress in the United States: A Normalized Supply-Side System Approach," *The Review of Economics and Statistics*, vol. 89, no. 1, 2007, pp. 183-192; M. A. León-Ledesma, P. McAdam and A. Willman, "Identifying the Elasticity of Substitution with Biased Technical Change," *The American Economic Review*, vol. 100, no. 4, 2010, pp. 1330-1357.

② B. F. Jones and X. Liu, "A Framework for Economic Growth with Capital-Embodied Technical Change," *The American Economic Review*, vol. 114, no. 5, 2024, pp. 1448-1487.

③ 参见余玲铮等：《工业机器人、工作任务与非常规能力溢价——来自制造业“企业—工人”匹配调查的证据》，《管理世界》2021年第1期；刘青、肖柏高：《劳动力成本与劳动节约型技术创新——来自AI语言模型和专利文本的证据》，《经济研究》2023年第2期；D. Acemoglu and P. Restrepo, "The Race between Man and Machine: Implications of Technology for Growth, Factor Shares, and Employment," *The American Economic Review*, vol. 108, no. 6, 2018, pp. 1488-1542; P. Aghion, B. F. Jones and C. I. Jones, "Artificial Intelligence and Economic Growth," in A. Agrawal, J. Gans and A. Goldfarb, eds., *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda*, Chicago: University of Chicago Press, 2019, pp. 237-290; D. Acemoglu and P. Restrepo, "Tasks,

尽管特定技术进步偏向哪种要素需做具体分析，但大量文献已较好展示了宏观层面和产业层面中国技术进步方向的特征事实。从宏观层面看，中国经济表现为资本偏向型技术进步和技能偏向型技术进步，而部分研究发现 2010 年左右转向了劳动偏向型技术进步。^①从产业层面看，不同产业或行业的技术进步方向可能存在差别，且会发生方向性转变，其中工业基本上表现为资本偏向型技术进步和技能偏向型技术进步，也有研究发现 2010 年左右转向了劳动偏向型技术进步，与宏观层面总体经济的技术进步方向基本相符。^②

（二）理论模型的建立

这里构建一个内生产业结构转型和生产网络变迁的动态一般均衡模型。模型纳入了产业层面中性技术进步和有偏技术进步过程，且内生于生产网络变迁，这为量化技术进步对产业结构转型的影响提供了一个更为综合系统的分析框架。

模型变量用下标 $t \in (1, 2, \dots)$ 表示时间。产业分为 J 个，用下标 $j, j' \in (1, 2, \dots, J)$ 进行区分。每个产业生产由一个代表性企业的最优性选择进行刻画。每个产业的产出用变量 Q_{jt} 表示，用于中间投入或最终使用。中间投入即每个产业的产出作为中间品用于生产，用变量 $M_{jj't}$ 表示产业 j' 生产过程中由产业 j 生产的中间品投入；最终使用分为消费和投资，分别用变量 C_{jt} 和 X_{jt} 表示。于是有：

$$Q_{jt} = C_{jt} + X_{jt} + \sum_{j'} M_{jj't} \quad (1)$$

每个产业使用增加值和复合中间品进行生产，增加值由资本和劳动贡献，复合中间品由 J 个产业产出形成，生产函数满足常替代弹性生产特征：

Automation, and the Rise in U.S. Wage Inequality,” *Econometrica*, vol. 90, no. 5, 2022, pp. 1973-2016; P. Trammell and A. Korinek, “Economic Growth under Transformative AI,” NBER Working Paper, no. 31815, 2023.

- ① 参见黄先海、徐圣：《中国劳动收入比重下降成因分析——基于劳动节约型技术进步的视角》，《经济研究》2009年第7期；戴天仕、徐现祥：《中国的技术进步方向》，《世界经济》2010年第11期；宋冬林、王林辉、董直庆：《技能偏向型技术进步存在吗？——来自中国的经验证据》，《经济研究》2010年第5期；段巍等：《无形资产、资本—技能互补与技能溢价》，《经济研究》2023年第3期；徐少锋等：《多部门视角下偏向性技术进步对中国收入分布的影响》，《中国工业经济》2024年第6期。
- ② 参见李小平、李小克：《偏向性技术进步与中国工业全要素生产率增长》，《经济研究》2018年第10期；王林辉、袁礼：《有偏型技术进步、产业结构变迁和中国要素收入分配格局》，《经济研究》2018年第11期；余东华、张鑫宇、孙婷：《资本深化、有偏技术进步与全要素生产率增长》，《世界经济》2019年第8期；郑江淮、荆晶：《技术差距与中国工业技术进步方向的变迁》，《经济研究》2021年第7期；柏培文、王亚文：《中国细分行业技能资本替代弹性与技术偏向性》，《经济研究》2023年第3期；尹恒、李辉、张道远：《中国制造业技术进步方向的识别与估计》，《经济研究》2023年第4期。

$$Q_{jt} = A_{jt}^q [(B_{jt}^y Y_{jt})^{(\sigma_j^q - 1)/\sigma_j^q} + (B_{jt}^m \widetilde{M}_{jt})^{(\sigma_j^q - 1)/\sigma_j^q}]^{\sigma_j^q / (\sigma_j^q - 1)} \quad (2)$$

其中，变量 Y_{jt} 和 \widetilde{M}_{jt} 分别表示产业 j 的增加值和复合中间品投入。变量 A_{jt}^q 表示产出衡量的全要素生产率，其取值变化反映了以产出衡量的中性技术进步。变量 B_{jt}^y 和 B_{jt}^m 分别表示增加值扩展型技术和复合中间品扩展型技术。参数 $\sigma_j^q > 0$ 表示增加值投入与复合中间品投入之间的替代弹性。分别用 P_{jt} 、 P_{jt}^y 和 P_{jt}^m 表示产出、增加值和复合中间品的价格，企业利润最大化的最优性条件为：

$$P_{jt} (A_{jt}^q B_{jt}^y)^{(\sigma_j^q - 1)/\sigma_j^q} (Q_{jt}/Y_{jt})^{1/\sigma_j^q} = P_{jt}^y, P_{jt} (A_{jt}^q B_{jt}^m)^{(\sigma_j^q - 1)/\sigma_j^q} (Q_{jt}/\widetilde{M}_{jt})^{1/\sigma_j^q} = P_{jt}^m \quad (3)$$

每个产业增加值投入由资本和劳动两类要素贡献，满足常替代弹性特征：

$$Y_{jt} = A_{jt}^y [(B_{jt}^k K_{jt})^{(\sigma_j^y - 1)/\sigma_j^y} + (B_{jt}^l L_{jt})^{(\sigma_j^y - 1)/\sigma_j^y}]^{\sigma_j^y / (\sigma_j^y - 1)} \quad (4)$$

其中，变量 K_{jt} 和 L_{jt} 分别表示产业 j 的资本和劳动。变量 A_{jt}^y 表示增加值衡量的全要素生产率，其取值变化反映了以增加值衡量的中性技术进步。变量 B_{jt}^k 和 B_{jt}^l 分别表示资本扩展型和劳动扩展型技术。参数 $\sigma_j^y > 0$ 表示资本与劳动之间的替代弹性。当 $\sigma_j^y > 1$ 时， B_{jt}^k/B_{jt}^l 上升会提高资本和劳动的边际产量之比，此时反映了资本偏向型技术进步，而 B_{jt}^l/B_{jt}^k 上升则反映了劳动偏向型技术进步；反之亦然。用变量 R_{jt} 和 W_{jt} 分别表示资本租金和劳动工资，企业利润最大化的最优性条件为：

$$P_{jt}^y (A_{jt}^y B_{jt}^k)^{(\sigma_j^y - 1)/\sigma_j^y} (Y_{jt}/K_{jt})^{1/\sigma_j^y} = R_{jt}, P_{jt}^y (A_{jt}^y B_{jt}^l)^{(\sigma_j^y - 1)/\sigma_j^y} (Y_{jt}/L_{jt})^{1/\sigma_j^y} = W_{jt} \quad (5)$$

由于现实经济中不同产业资本租金或劳动工资并不相等，引入外生的资本和劳动市场摩擦因子 ξ_{jt}^R 和 ξ_{jt}^W ，在要素价格与基准产业 j' 比较时满足： $R_{jt} = R_{j't} \xi_{jt}^R$ ， $W_{jt} = W_{j't} \xi_{jt}^W$ 。要素市场摩擦因子反映了非市场竞争因素或非理性选择因素的影响，是模型外影响产业投入产出的其他因素。

每个产业复合中间品投入由各产业生产的中间品以常替代弹性复合而成：

$$\widetilde{M}_{jt} = A_{jt}^m [\sum_{j'} (B_{j't}^m M_{j't})^{(\sigma_j^m - 1)/\sigma_j^m}]^{\sigma_j^m / (\sigma_j^m - 1)} \quad (6)$$

其中，变量 A_{jt}^m 表示复合中间品衡量的全要素生产率，其取值变化反映了以复合中间品衡量的中性技术进步过程。变量 $B_{j't}^m$ 表示中间品扩展型技术。参数 $\sigma_j^m > 0$ 表示中间品投入中不同产业的替代弹性。企业利润最大化的最优性条件为：

$$P_{jt}^m (A_{jt}^m B_{j't}^m)^{(\sigma_j^m - 1)/\sigma_j^m} (\widetilde{M}_{jt}/M_{j't})^{1/\sigma_j^m} = P_{j't} \quad (7)$$

投资品生产部门由一个代表性企业的最优性选择进行刻画。该企业使用 J 个产业生产的产出作为投入进行生产，满足常替代弹性生产特征：

$$X_t = A_t^x [\sum_j (B_{jt}^x X_{jt})^{(\sigma^x - 1)/\sigma^x}]^{\sigma^x / (\sigma^x - 1)} \quad (8)$$

其中，变量 X_t 表示投资品，变量 A_t^x 表示投资品生产部门全要素生产率，变量 B_{jt}^x 表示产业产出在形成投资品时的扩展型技术。参数 $\sigma^x > 0$ 表示投资中不同产业的替代弹性。用变量 P_t^x 表示投资品价格，企业利润最大化的最优性条件为：

$$P_t^x (A_t^x B_{jt}^x)^{(\sigma^x-1)/\sigma^x} (X_t/X_{jt})^{1/\sigma^x} = P_{jt} \quad (9)$$

消费结构由一个代表性家庭最优化选择进行刻画。家庭购买 J 个产业生产的产出 C_{jt} 进行消费，获得效用。效用函数采用价格无关扩展线性偏好设定，满足：

$$V_t = \frac{1}{\epsilon} \left[\frac{E_t}{\prod_j (P_{jt})^{\theta_j}} \right]^\epsilon - \sum_j v_j \log P_{jt} \quad (10)$$

其中，变量 V_t 表示效用，变量 E_t 表示消费总支出。参数 $0 < \epsilon < 1$ ， $\theta_j \geq 0$ 且 $\sum_j \theta_j = 1$ ， $\sum_j v_j = 0$ 。家庭提供所有资本和劳动，获得收入 $\sum_j (R_{jt} K_{jt} + W_{jt} L_{jt})$ 。家庭把收入的 $0 < s_t < 1$ 比例用于储蓄，剩余部分用于消费：

$$\sum_j P_{jt} C_{jt} = E_t = (1 - s_t) \sum_j (R_{jt} K_{jt} + W_{jt} L_{jt}) \quad (11)$$

求解家庭效用最大化问题，由罗伊恒等式可知，消费中产业 j 所占比重满足：

$$\frac{P_{jt} C_{jt}}{\sum_j P_{jt} C_{jt}} = \theta_j + v_j \left[\frac{E_t}{\prod_j (P_{jt})^{\theta_j}} \right]^{-\epsilon} \quad (12)$$

家庭储蓄用于投资，形成新增资本。用变量 K_t 表示资本总量，满足：

$$P_t^x X_t = s_t \sum_j (R_{jt} K_{jt} + W_{jt} L_{jt}), K_{t+1} = \zeta_t X_t + (1 - \delta) K_t \quad (13)$$

其中，参数 $0 < \delta < 1$ 表示资本折旧率。变量 ζ_t 表示资本形成因子，反映模型外影响资本深化的因素。用变量 L_t 表示劳动总量。资本和劳动市场出清条件为：

$$K_t = \sum_j K_{jt}, L_t = \sum_j L_{jt} \quad (14)$$

(三) 理论模型的分析

上述模型反映了产业技术进步通过生产网络推动产业结构转型的影响机制。用各产业的就业比重、增加值比重和产出比重衡量产业结构，这些比重发生变化反映了产业结构转型过程；用各产业生产过程中增加值投入占产出比重、产业生产的中间品占复合中间品投入比重和劳动投入占增加值比重衡量生产网络，这些比重变化反映了生产网络变迁过程。与相关文献保持一致，如无特别说明，下文涉及的中性技术进步均指以增加值衡量的中性技术进步。

根据理论模型，技术进步对产业结构转型的影响机制可分为收入效应和价格效应。收入效应机制较为直观，由于消费的非位似性，技术进步提高了收入，进而扩大消费需求收入弹性较高的产业比重，推动产业结构转型。而价格效应的影响大小与生产网络相关，这里主要对此进行详细分析。在生产网络视角下，技术进步通过价格效应推动产业结构转型的影响机制可总结为三个有机相连的传导渠道。

传导渠道 1：产业技术进步通过降低生产成本进而降低增加值价格。用变量 ω_{jt}^k 和 ω_{jt}^l 表示增加值生产函数中资本和劳动产出弹性，由 (4) 式和 (5) 式可得：

$$d \log P_{jt}^y = -d \log A_{jt}^y - \omega_{jt}^k d \log B_{jt}^k - \omega_{jt}^l d \log B_{jt}^l + \omega_{jt}^k d \log R_{jt} + \omega_{jt}^l d \log W_{jt} \quad (15)$$

由 (15) 式可知，中性技术 A_{jt}^y 变化或要素偏向型技术进步 B_{jt}^k 和 B_{jt}^l 变化都会降低增加值价格，但影响程度不同。中性技术进步对增加值价格的影响弹性是 1，而要

素偏向型技术进步的影响弹性等于要素产出弹性。技术进步既会通过影响生产网络和产业结构改变要素需求，进而间接影响产业生产成本和增加值价格，也会通过加快资本深化降低资本租金，进而间接降低产业增加值价格。不同类型技术进步产生的这些间接机制是类似的，对不同产业的影响大小由资本和劳动的产出弹性决定。

传导渠道 2：产业增加值价格通过生产网络改变产出价格，产出生产函数中增加值产出弹性越高，其产出价格受增加值价格影响越大，但这一渠道还受由里昂惕夫逆矩阵决定的生产网络影响。由 (2) — (7) 式得到：

$$\partial \log P_t = [\mathbf{I} - \mathbf{\Omega}_t (\mathbf{I} - \mathbf{\Gamma}_t)]^{-1} (\mathbf{\Gamma}_t \partial \log P_t^y - \partial \log A_t^q) \quad (16)$$

其中，列向量 P_t 、 P_t^y 和 A_t^q 分别表示变量 P_{jt} 、 P_{jt}^y 和 A_{jt}^q 按产业排序组成的列向量；矩阵 \mathbf{I} 表示单位矩阵；对角矩阵 $\mathbf{\Gamma}_t$ 表示以变量 γ_{jt}^y 按产业排序形成的对角矩阵，而变量 γ_{jt}^y 是产业的增加值投入占产出比重；矩阵 $\mathbf{\Omega}_t$ 表示以变量 $\omega_{jj't}^m$ 作为第 j 行第 j' 列取值的矩阵，而变量 $\omega_{jj't}^m$ 是产业 j' 的生产过程中，由产业 j 生产的中间投入在总中间投入中所占比重。因此矩阵 $[\mathbf{I} - \mathbf{\Omega}_t (\mathbf{I} - \mathbf{\Gamma}_t)]^{-1}$ 即为里昂惕夫逆矩阵。由 (16) 式可知，产出生产函数中的增加值产出弹性越高，其增加值价格对产出价格的影响越大，进而通过生产网络影响各产业的产出价格。由于里昂惕夫逆矩阵测度了产业增加值价格变化对产业产出相对价格的差异化影响，生产网络变迁改变了里昂惕夫逆矩阵，也就改变了技术进步通过产业增加值价格渠道对其产出相对价格的影响。

传导渠道 3：产业产出相对价格变化改变了消费、投资和中间品的产业构成，影响方向取决于不同产业产出在其中的替代弹性。由 (7) 式和 (9) 式得：

$$\frac{P_{jt} M_{j't}}{P_{jt}^m \tilde{M}_{j't}} = \frac{(P_{j't}/B_{j't}^m)^{1-\sigma_j^m}}{\sum_{j'} (P_{j't}/B_{j't}^m)^{1-\sigma_j^m}}, \quad \frac{P_{jt} X_{jt}}{P_{jt}^x X_t} = \frac{(P_{jt}/B_{jt}^x)^{1-\sigma_j^x}}{\sum_{j'} (P_{j't}/B_{j't}^x)^{1-\sigma_j^x}} \quad (17)$$

由 (17) 式可知，如果产业产出价格 P_{jt} 下降，就会促使该产业替代其他产业，但其在投资和中间投入中所占比重如何变化，还取决于不同产业的产出替代弹性 σ_j^x 和 σ_j^m 。在这一替代弹性小于 1 时，产业间难以相互替代，其相对数量变化幅度就会小于相对价格变化幅度，因此相对价格下降的产业所占比重就会随之下降，反之亦然。由 (12) 式可知，如果 $v_j > 0$ 且相对较大，消费中不同产业的产出替代弹性相对较低，产业产出价格下降就会降低其在消费中所占比重，反之亦然。

技术进步在上述传导渠道中的作用大小受生产网络变迁影响，而生产网络变迁本身也与技术进步带来的价格效应相关。由 (3) 式和 (5) 式可得：

$$\frac{W_{jt} L_{jt}}{P_{jt}^y Y_{jt}} = \frac{(W_{jt}/B_{jt}^l)^{1-\sigma_j^y}}{(W_{jt}/B_{jt}^l)^{1-\sigma_j^y} + (R_{jt}/B_{jt}^k)^{1-\sigma_j^y}}, \quad \frac{P_{jt}^y Y_{jt}}{P_{jt} Q_{jt}} = \frac{(P_{jt}^y/B_{jt}^y)^{1-\sigma_j^q}}{(P_{jt}^y/B_{jt}^y)^{1-\sigma_j^q} + (P_{jt}^m/B_{jt}^m)^{1-\sigma_j^q}} \quad (18)$$

技术进步在推动产业结构转型的同时，影响了生产网络变迁过程。具体的，由 (18) 式可知，要素偏向型技术进步直接影响了产业劳动投入占增加值比重，影响方向取决于技术进步是偏向资本还是劳动；两类技术进步带来的增加值价格变化，影

响了产业增加值投入占产出比重,影响方向取决于增加值和复合中间品的替代弹性。结合(17)式可知,产业增加值价格变化带来的产业相对价格变化,同时影响了产业中间品占复合中间品的比重,影响方向取决于中间品之间的替代弹性。

二、基准模型模拟

(一) 数据来源与处理

上述理论模型可使用1995—2022年中国产业数据进行基准模拟,模型中 J 个产业对应三次产业。投入产出表数据来自世界投入产出数据库2013年和2016年发布的世界投入产出表(World Input-Output Tables,简称WIOT),以及亚洲开发银行2023年发布的多区域投入产出数据库(Multiregional Input-Output Database,简称MRIO)。这两个数据库均提供了细分行业投入产出数据,将其加总到三次产业,可以计算与模型对应的产业结构和生产网络(要素投入除外),以及投资结构和消费结构。其中,1995—2014年数据取自WIOT,2015—2022年数据取自MRIO。

三次产业的劳动数据来自中国国家统计局历年发布的中国统计年鉴中的产业就业数量,时间跨度为1995—2022年。三次产业的资本数据主要由世界投入产出数据库2014年发布的社会经济账户(Socio-Economic Accounts,简称SEA)计算。把SEA提供的细分行业资本直接加总到三次产业,其时间跨度为1995—2009年。由于缺少相关统计数据,基于三次产业就业和劳动投入占增加值比重等数据使用(5)式间接计算2010—2022年三次产业资本数据。

关于三次产业的增加值价格、复合中间品价格和产出价格,主要使用SEA提供的细分行业价格数据,按照托恩奎特指数法加总到三次产业得到。这一过程将1995年作为基期年,即价格指数为1,由价格增长因子计算历年的价格指数,时间跨度为1995—2014年。对于2015—2022年的价格数据,使用MRIO进行计算。MRIO分别提供了当年价格和2010年价格衡量的投入产出表,可计算细分行业的增加值价格、复合中间品价格和产出价格,同样使用托恩奎特指数法计算三次产业价格指数。三次产业的产出、增加值和复合中间品投入的名义值可由SEA提供的细分行业数据加总得到,时间跨度为1995—2014年。关于2015—2022年名义值,由MRIO提供的名义增长率间接计算得出。把三次产业的产出、增加值和复合中间品投入的名义值除以对应的价格指数,即可得到对应的实际值。

三次产业的资本投入和劳动投入占增加值比重,即资本收入份额和劳动收入份额,可基于SEA提供的细分行业数据加总得到,时间跨度为1995—2009年。关于2010—2017年要素收入份额,由中国产业生产率数据库(China Industrial Productivity)提供的细分行业数据加总得到;2017—2022年要素收入份额,基于国

家统计局公布的投入产出表数据，采用插值法计算得到。把每个产业资本收入和劳动收入除以资本和劳动投入数量，可计算得出资本租金和劳动工资。最后根据（5）式，把第二产业作为比较基准计算要素市场摩擦因子。

投资品价格数据首先可直接取自 SEA，时间跨度为 1995—2009 年。关于 2010—2022 年的投资品价格，由世界银行的世界发展指数（World Development Indicator）中的中国资本形成总额的名义值与实际值之比进行衡量。根据 WIOT 和 MRIO 计算 1995—2022 年投资率和名义投资，用名义投资除以投资品价格得到实际投资。设定资本折旧率为 10%，根据（13）式可反推每年的资本形成因子。

（二）参数估计和基准模拟结果

采用广义可行非线性最小二乘法，估计生产函数和效用函数中的相关变量和参数。估计时设定有偏技术变量的相对比值匀速变化，且满足 Logistic 函数形式。关于增加值生产函数，利用三次产业的劳动投入占增加值比重、资本租金和劳动工资等数据，对（5）式进行估计，估计结果如表 2 所示。由第（1）（3）（5）列可知，参数估计结果均在 1% 水平上显著，三次产业资本和劳动之间的替代弹性 σ_j^y 均小于 1，第二产业的替代弹性更高。并且，第一产业技术变量 B_{1t}^k/B_{1t}^l 上升，而第二产业 B_{2t}^k/B_{2t}^l 和第三产业 B_{3t}^k/B_{3t}^l 下降，说明第一产业发生了劳动偏向型技术进步，而第二和第三产业发生了资本偏向型技术进步。如果直接假设不发生有偏技术进步，估计结果见第（2）（4）（6）列，理论模型对现实数据的拟合效果显著恶化。因此，只有中性技术进步的生产函数难以准确刻画产业增加值内部结构变化趋势，有偏技术进步对这一趋势有着关键性影响。

表 2 增加值生产函数的估计结果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
σ_j^y	0.139*** (0.029)	0.124*** (0.008)	0.670*** (0.028)	0.005 (0.052)	0.146*** (0.015)	1.018*** (0.038)
a_{j1}^y	0.634*** (0.052)	2.013*** (0.012)	-0.583*** (0.062)	0.195*** (0.071)	-1.420*** (0.006)	0.816*** (0.064)
a_{j2}^y	0.014*** (0.001)		-0.031*** (0.002)		-0.024*** (0.001)	
赤池信息量准则	-160.832	-110.771	-115.494	-62.505	-129.204	-44.308
要素投入比重均方根误差	0.001	0.005	0.004	0.026	0.003	0.048

注：***、**、* 分别表示系数在 1%、5%、10% 水平上显著，括号内为标准误。为有效识别，设定资本和劳动扩展型技术变量 B_{it}^k 和 B_{it}^l 分别满足 $(B_{it}^k)^{\sigma_j^y-1} = \alpha_{jt}^y = 1/[1 + \exp(a_{j1}^y + a_{j2}^y t)]$ 和 $(B_{it}^l)^{\sigma_j^y-1} = 1 - \alpha_{jt}^y$ ，其中 a_{j1}^y 和 a_{j2}^y 为常数。当 $a_{j2}^y > 0$ 时技术进步是劳动偏向型；当 $a_{j2}^y < 0$ 时技术进步是资本偏向型。当 $a_{j2}^y = 0$ 时， B_{it}^k 和 B_{it}^l 均为常数，此时不发生有偏技术进步，相关结果见第（2）（4）（6）列。

其他估计结果也较为合理。^① 在产出生产函数中，三次产业增加值与复合中间品之间的替代弹性分别为 1.006、0.821 和 0.348，说明第一产业生产函数的替代弹性接近于 1，第二和第三产业的替代弹性相对更低；并且，三次产业均发生了复合中间品偏向型技术进步。在复合中间品生产函数中，第一产业内来自三次产业的中间品之间的替代弹性大于 1，第二产业和第三产业小于 1，说明第一产业内中间品之间更易于替代，而第二和第三产业内互补性更强；并且，有偏技术进步使三次产业中第一产业的产出投入占比相对下降，使第三产业的产出在第一产业中的投入占比下降而在第二和第三产业中的投入占比上升。在投资生产函数中，三次产业产出之间的替代弹性小于 1；并且，有偏技术进步使投资品生产过程对第一产业的产出需求下降，第三产业的产出需求上升。在消费效用函数中，第一和第二产业消费需求收入弹性小于 1，而第三产业消费需求收入弹性大于 1。

使用前文构造数据和估计参数，可以计算各类要素偏向型技术变量和中性技术变量。其中，三次产业资本和劳动扩展型技术变量之比 B_{it}^k/B_{it}^l 年均增速分别为 1.67%、-8.97% 和 -2.75%；以增加值衡量的全要素生产率增长较快，第一、第二和第三产业年均增速分别为 5.98%、3.29% 和 3.34%。因此，1995—2022 年中国要素偏向型技术进步具有产业异质性，在第一产业表现为劳动偏向型，在第二和第三产业表现为资本偏向型，说明技术进步倾向于提高第一产业劳动产出弹性和劳动收入份额，降低第二和第三产业劳动产出弹性和劳动收入份额。

把使用上述外生变量和参数的模型作为基准模型进行数值模拟，表 3 汇报了基准模拟结果。基准模型较好再现了 1995—2022 年中国产业结构转型趋势，对三次产业比重变化趋势有较高解释力。由表 3 可知，1995—2022 年，基准模型中第一、第二和第三产业就业比重分别变化 -28.53 个、3.45 个和 25.09 个百分点，现实数据中分别变化 -28.12 个、5.77 个和 22.35 个百分点。增加值比重方面，基准模型中三次产业名义增加值比重分别变化 -11.83 个、-11.10 个和 22.93 个百分点，现实数据中分别变化 -12.25 个、-7.46 个和 19.71 个百分点；基准模型中实际增加值比重分别变化 -15.14 个、13.84 个和 1.30 个百分点，现实数据中分别变化 -15.70 个、17.37 个和 -1.67 个百分点。产出比重方面，尽管基准模型和现实数据在部分年份差距相对较大，但从整个模拟时期看，基准模型中三次产业名义产出比重分别变化 -8.09 个、-4.78 个和 12.87 个百分点，现实数据中分别变化 -7.91 个、-3.62 个和 11.53 个百分点；基准模型中实际产出比重分别变化 -9.73 个、10.54 个和 -0.80 个百分点，现实数据中分别变化 -9.70 个、11.82 个和 -2.13 个百分点，二者差别基本都在 1 个百分点左右。基准模型也能较好拟合中国生产网络变迁趋势，三次产业增加值和中间品的投入比重及其内部结构的变化趋势与现实数据基本一致，差距基本在 3 个百分点以内。

^① 具体估计结果可向作者索取。

表 3 基准模型和反事实模拟结果

(单位: %)

指标		现实数据 (1)	基准模型 (2)	要素偏向型技术进步作用 (3)			中性技术进步作用 (4)				
				第一产业	第二产业	第三产业	第一产业	第二产业	第三产业		
产业结构	就业比重	第一产业	-28.12	-28.53	0.63	3.25	3.93	-6.15	-17.87	-8.25	
		第二产业	5.77	3.45	-0.22	-11.06	5.57	0.51	-8.83	0.84	
		第三产业	22.35	25.09	-0.40	7.82	-9.49	5.64	26.70	7.40	
	名义增加值比重	第一产业	-12.25	-11.83	0.11	-0.33	-0.39	-1.62	-1.20	-0.96	
		第二产业	-7.46	-11.10	-0.02	-2.74	1.87	0.11	-5.18	2.99	
		第三产业	19.71	22.93	-0.09	3.06	-1.48	1.51	6.37	-2.02	
	实际增加值比重	第一产业	-15.70	-15.14	-0.39	-1.08	0.19	2.72	-17.81	-5.23	
		第二产业	17.37	13.84	0.29	9.87	-7.45	-1.79	22.88	-9.32	
		第三产业	-1.67	1.30	0.10	-8.80	7.26	-0.93	-5.07	14.55	
	名义产出比重	第一产业	-7.91	-8.09	0.06	-0.09	-0.29	-0.84	-0.57	-0.72	
		第二产业	-3.62	-4.78	-0.02	-0.66	0.24	0.23	-2.03	-0.12	
		第三产业	11.53	12.87	-0.04	0.75	0.06	0.61	2.60	0.83	
	实际产出比重	第一产业	-9.70	-9.73	-0.14	-0.36	-0.08	1.19	-5.62	-2.49	
		第二产业	11.82	10.54	0.03	4.15	-3.18	0.39	8.33	-4.76	
		第三产业	-2.13	-0.80	0.11	-3.79	3.27	-1.58	-2.71	7.25	
	生产网络	增加值投入占产出比重	第一产业	-3.34	-0.68	-0.01	-0.02	0.01	0.15	-0.18	-0.09
			第二产业	-5.56	-7.58	-0.03	-0.76	0.62	0.43	-1.56	0.95
			第三产业	-1.34	-1.45	-0.11	3.00	-2.38	1.63	3.56	-5.29
第一产业中间品投入结构		第一产业	-9.27	-8.91	-0.34	-0.58	0.17	3.94	-5.52	-2.76	
		第二产业	7.59	9.76	0.25	1.09	-0.66	-2.80	5.09	1.06	
		第三产业	1.68	-0.85	0.09	-0.52	0.49	-1.14	0.43	1.70	
第二产业中间品投入结构		第一产业	-4.05	-3.90	0.10	0.19	-0.06	-1.43	1.42	0.77	
		第二产业	-0.27	-0.88	-0.06	-1.32	1.05	0.73	-2.75	1.61	
		第三产业	4.32	4.78	-0.05	1.13	-1.00	0.70	1.33	-2.37	
第三产业中间品投入结构		第一产业	-2.23	-1.88	0.01	0.00	0.00	-0.07	0.07	0.06	
		第二产业	-15.98	-18.99	0.00	-0.23	0.19	-0.06	-0.34	0.38	
		第三产业	18.21	20.87	-0.01	0.23	-0.19	0.13	0.27	-0.44	
劳动投入占增加值比重		第一产业	8.15	8.72	1.96	-0.74	-1.40	1.22	17.63	4.19	
		第二产业	-7.72	-8.32	0.03	-22.36	-3.61	2.28	14.40	6.14	
		第三产业	-0.10	-0.88	0.08	-4.76	-24.26	6.30	34.64	16.70	

注：现实数据和基准模型两列数据表示 2022 年各指标相对 1995 年的变化；要素偏向型技术进步作用和中性技术进步作用对应的数据表示 2022 年基准模型与对应产业分别不发生技术进步的反事实模拟的差别。

三、反事实模拟

下面重点进行两类反事实模拟。第一类模拟依次设定三次产业不发生要素偏向型技术进步，历年相关技术变量 B_{jt}^k 和 B_{jt}^l 均保持在1995年取值。第二类模拟依次设定三次产业不发生中性技术进步，历年相关技术变量 A_{jt} 均保持在1995年取值。基准模型与反事实模拟的差别，将反映三次产业特定技术进步的影响。

(一) 要素偏向型技术进步的作用

表3中的(3)列和图1汇报了要素偏向型技术进步的作用。可以看到，第一产业劳动偏向型技术进步的影响较小，除第一产业劳动投入占增加值比重的提高幅度超过1个百分点，其他产业结构和生产网络的相关比重变化幅度均低于1个百分点。

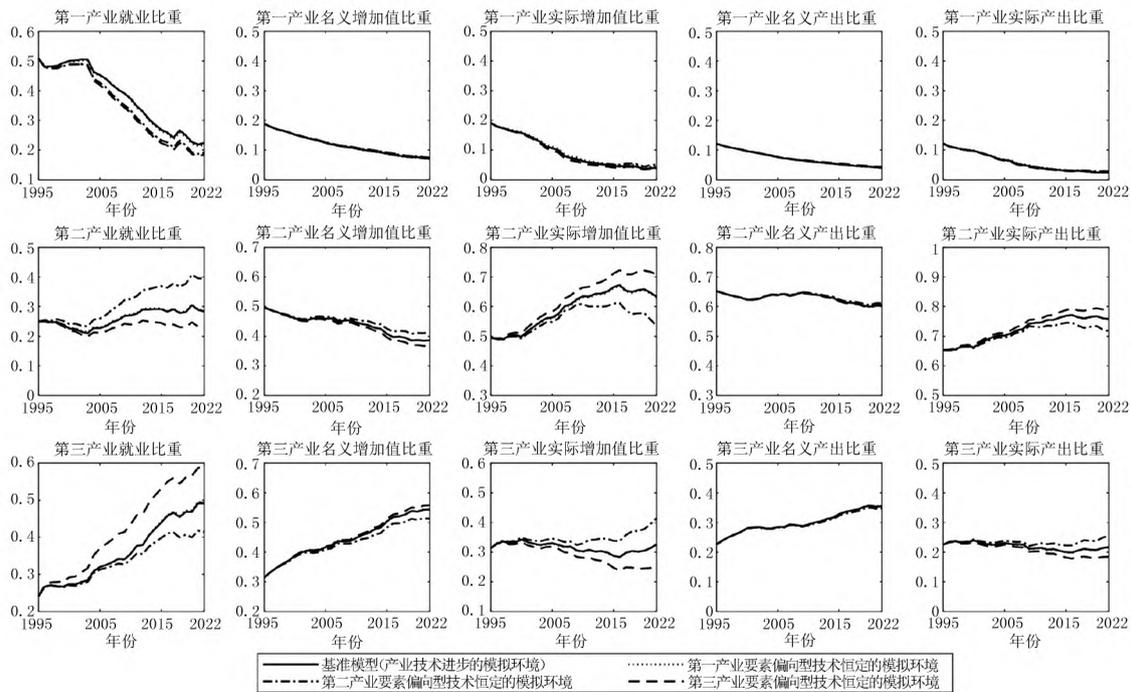


图1 要素偏向型技术进步对中国产业结构转型的影响模拟

第二产业资本偏向型技术进步的影响较大，尤其是对第二产业就业比重、增加值比重与劳动投入占增加值比重的影响最为明显。产业结构方面，技术进步对就业比重影响较大，使三次产业就业比重分别变化3.25个、-11.06个和7.82个百分点；实际增加值比重变化也较为明显，第二和第三产业实际增加值比重分别变化9.87和-8.80个百分点；第二和第三产业实际产出比重变化幅度更小，分别变化

4.15 和 -3.79 个百分点；其他产业结构的相关比重变化幅度基本在 3 个百分点以内。生产网络方面，技术进步对第三产业的增加值投入占产出比重影响较大，使之上升 3 个百分点；对三次产业中间品投入结构的影响相对有限，比重变化均在 2 个百分点以内；对第二产业劳动投入占增加值比重的影响非常显著，下降幅度高达 22.36 个百分点，第三产业也下降 4.76 个百分点。

第三产业资本偏向型技术进步的影响介于第一和第二产业要素偏向型技术进步之间，其中，就业比重、增加值比重和劳动投入占增加值比重的变化较为明显。产业结构方面，技术进步使三次产业就业比重分别变化 3.93 个、5.57 个和 -9.49 个百分点，第二和第三产业实际增加值比重分别变化 -7.45 个和 7.26 个百分点，第二和第三产业实际产出比重变化幅度也超过 3 个百分点。生产网络方面，技术进步对第三产业的增加值投入占产出比重影响较大，使之下降 2.38 个百分点；对三次产业中间品投入结构的影响也相对有限，变化幅度基本在 1 个百分点以内；对第三产业劳动投入占增加值比重的影响较为显著，降幅高达 24.26 个百分点。

由于第二和第三产业内部增加值和复合中间品之间的替代弹性均小于 1，资本偏向型技术进步通过降低第二和第三产业增加值价格，降低增加值投入占产出比重和产业产出价格；又由于各类投入中三次产业产出替代弹性基本小于 1，产业产出价格下降会进一步降低产业名义增加值比重和就业比重、提高产业实际增加值比重。资本偏向型技术进步直接影响了资本和劳动的相对需求，因此对就业比重的影响比对增加值比重的影响更为显著。

（二）中性技术进步的作用

表 3 中的（4）列和图 2 汇报了中性技术进步的作用。可以看到，第一产业中性技术进步的影响较为显著，对三次产业就业比重、第一产业中间品投入结构与劳动投入占增加值比重的影响也较为显著。产业结构方面，技术进步分别改变了三次产业就业比重 -6.15 个、0.51 个和 5.64 个百分点；提升了第一产业实际增加值和实际产出比重，但变化幅度均在 3 个百分点以内。生产网络方面，技术进步提高了第一产业中间品投入结构中第一产业所占比重 3.94 个百分点，而其他产业的中间品投入结构变化幅度均在 3 个百分点以内；分别提高了三次产业劳动投入占增加值比重 1.22 个、2.28 个和 6.30 个百分点。

第二产业中性技术进步对产业结构转型和生产网络变迁的影响均最为显著，特别是三次产业就业比重、增加值比重和产业内劳动投入占增加值比重。产业结构方面，技术进步对就业比重影响较大，使三次产业就业比重分别变化 -17.87 个、-8.83 个和 26.70 个百分点；实际增加值比重变化也较为明显，三次产业实际增加值比重分别变化 -17.81 个、22.88 个和 -5.07 个百分点；第二产业实际产出比重上升 8.33 个百分点，而第一和第三产业实际产出比重下降；产业结构的其他比重变

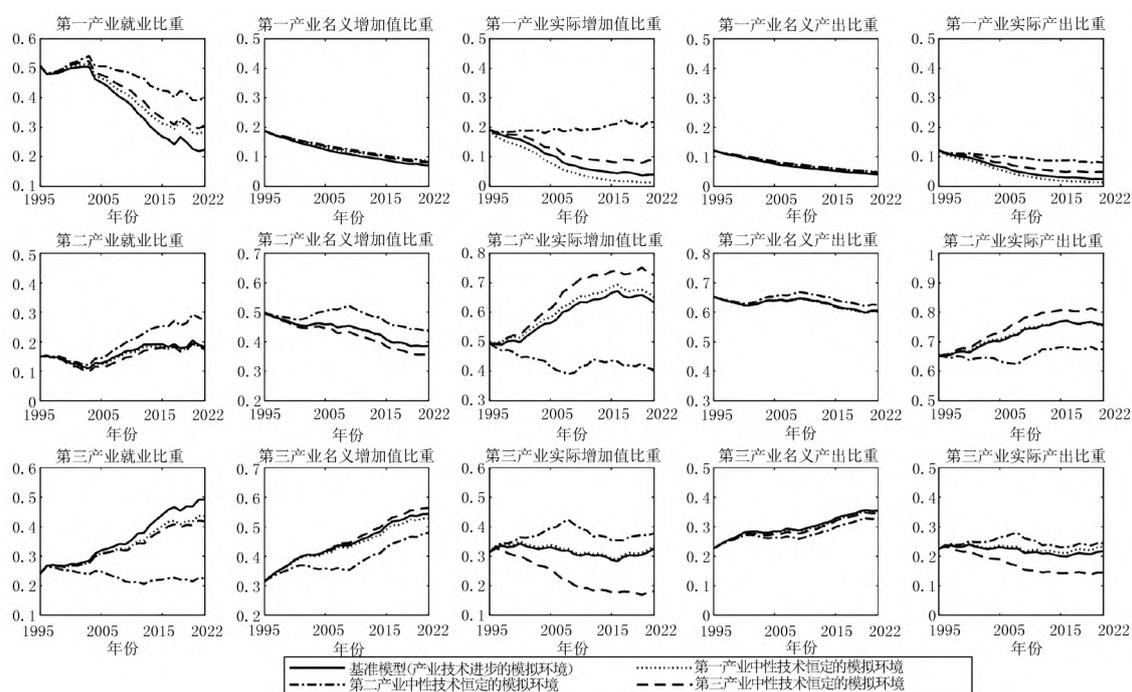


图2 中性技术进步对中国产业结构转型的影响模拟

化幅度均在7个百分点以内。生产网络方面,技术进步对第三产业的增加值投入占产出比重影响较大,使之上升了3.56个百分点;对第一产业中间品投入结构的影响也较大,相关比重的变化幅度在6个百分点以内;使三次产业劳动投入占增加值比重分别上升了17.63个、14.40个和34.64个百分点。

第三产业中性技术进步的影响介于第一和第二产业的影响之间,其中,对三次产业就业比重、增加值比重和产业内劳动投入占增加值比重的影响相对显著。产业结构方面,技术进步使三次产业的就业比重分别变化-8.25个、0.84个和7.40个百分点,三次产业实际增加值比重分别变化-5.23个、-9.32个和14.55个百分点;推动第一和第二产业名义和实际产出比重下降,第三产业比重上升,变化幅度均在8个百分点以内。生产网络方面,技术进步对第三产业的增加值投入占产出比重影响较大,使之下降了5.29个百分点;相对其他比重而言,对三次产业中间品投入结构影响较小,变化幅度均在3个百分点以内;提高了三次产业劳动投入占增加值比重,其中第三产业上升了16.70个百分点。

由于第二产业内部增加值和复合中间品之间的替代弹性小于1,中性技术进步通过降低增加值价格,降低增加值投入占产出比重和产业产出价格;又由于各类投入中三次产业产出替代弹性基本小于1,产业产出价格下降会进一步降低第二产业名义增加值比重和就业比重、提高实际增加值比重。但同时,第一产业实际增加值比重和就业比重明显下降,说明中性技术进步的收入效应也较强,通过改变消费需求结构,拉动了第一产业向第二和第三产业的转型。中性技术进步并不直接影响资

本和劳动的相对需求，因此对就业比重和增加值比重的影响无显著差别。

（三）进一步分析^①

比较两类技术进步的作用，有以下三点值得关注。（1）虽然第二和第三产业资本偏向型技术进步对产业就业比重与要素投入结构有着显著影响，但三次产业中性技术进步的影响总体强于要素偏向型技术进步。比如，第二产业中性技术进步提升了第三产业就业比重 26.70 个百分点，而资本偏向型技术进步降低了第二产业就业比重 11.06 个百分点，前者的影响幅度显著大于后者。（2）同一产业的中性技术进步和资本偏向型技术进步的影响方向是相反的。比如，第二产业资本偏向型技术进步使第一产业就业比重上升 3.25 个百分点，而中性技术进步使其下降 17.87 个百分点，第二和第三产业资本偏向型技术进步降低了三次产业劳动投入占增加值比重，而中性技术进步则表现出提升作用。（3）2012 年后资本偏向型技术进步对产业结构转型的影响持续增强，中性技术进步的影响则明显减弱。比如，第二产业资本偏向型技术进步在 2012 年前提高了第三产业就业比重 2.41 个百分点，在 2012 年后的提高作用则超过 5 个百分点，而超过一半的中性技术进步作用都体现在 2012 年之前。

为评估生产网络变迁的影响，设定存在生产网络但生产网络不发生变迁和不存在生产网络两个模拟情形，重新进行所有数值模拟。结果表明，这两种情形下，两类技术进步对产业结构转型的影响相比基准情形均会明显变化，说明生产网络变迁机制对把握这一影响机制起着重要作用。在存在生产网络但生产网络不发生变迁的设定下，第二产业要素偏向型技术进步对第三产业就业比重的提高作用缩小了 3.58 个百分点，第二产业中性技术进步对第三产业劳动投入占增加值比重的提高作用缩小了 8.35 个百分点。在不存在生产网络的设定下，第二产业要素偏向型技术进步对第二产业实际增加值比重的提高作用扩大了 3.89 个百分点，第三产业中性技术进步对第三产业就业比重的提高作用扩大了 7.16 个百分点，变化均较为显著。

为在更细分产业层面检验技术进步的作用，进一步把第二产业分为低技术制造业和高技术制造业，第三产业分为生产性服务业和消费性服务业，重新进行参数估计、基准模型和反事实模拟。此时量化方法均与前文一致，只是 1995—2020 年劳动投入数据来自经济合作与发展组织的就业贸易数据库（Trade in Employment），2021 年和 2022 年的数据由之前年份平均增速推算得到。结果表明，要素偏向型技术进步对产业结构转型和生产网络变迁有着重要作用，其中低技术制造业、高技术制造业和生产性服务业的资本偏向型技术进步对各自产业就业比重的降低作用分别

^① 下文具体模拟过程及结果可向作者索取。

达到了 6.33 个、7.49 个和 9.49 个百分点。中性技术进步对产业结构转型和生产网络变迁的影响总体上强于要素偏向型技术进步，其中高技术制造业中性技术进步使第一产业和生产性服务业的就业比重分别变化 -16.28 个和 15.10 个百分点，使第一产业和高技术制造业的实际增加值比重分别变化 -13.68 个和 28.14 个百分点。比较而言，第二产业中性技术进步和第三产业资本偏向型技术进步的作用分别主要来自高技术制造业和生产性服务业的贡献。

为考察定量结果稳健性，分别进行如下检验：一是检验要素市场摩擦因子的影响，设定其取值为 1 或在较大范围内变化；二是检验资本和劳动替代弹性的影响，分别设定三次产业资本和劳动替代弹性取值 0.75、0.5 或相关文献估计值；三是检验增加值和复合中间品替代弹性的影响，分别设定三次产业增加值和复合中间品替代弹性取 0.75 或 0.5；四是检验存在国际贸易的影响，在模型中引入外生给定的产业净出口率；五是检验人力资本的影响，使用 SEA 数据库不同技能劳动力的就业小时数和劳动工资数据，计算有效劳动投入，替换劳动人数。上述检验结果显示，主要定量结果仍然成立，保持了较高稳健性。

四、拓展讨论

（一）技术进步对要素收入分配结构的影响

基准模型较好拟合了 1995—2022 年中国劳动收入份额的 U 型变化趋势。样本期内劳动收入份额在基准模型中下降了 7.25 个百分点，在现实数据中下降了 7.05 个百分点，二者非常接近，且每年的差别也基本在 2 个百分点以内。对基准模型进行反事实模拟，可以得出产业技术进步对劳动收入份额的影响（见图 3）。

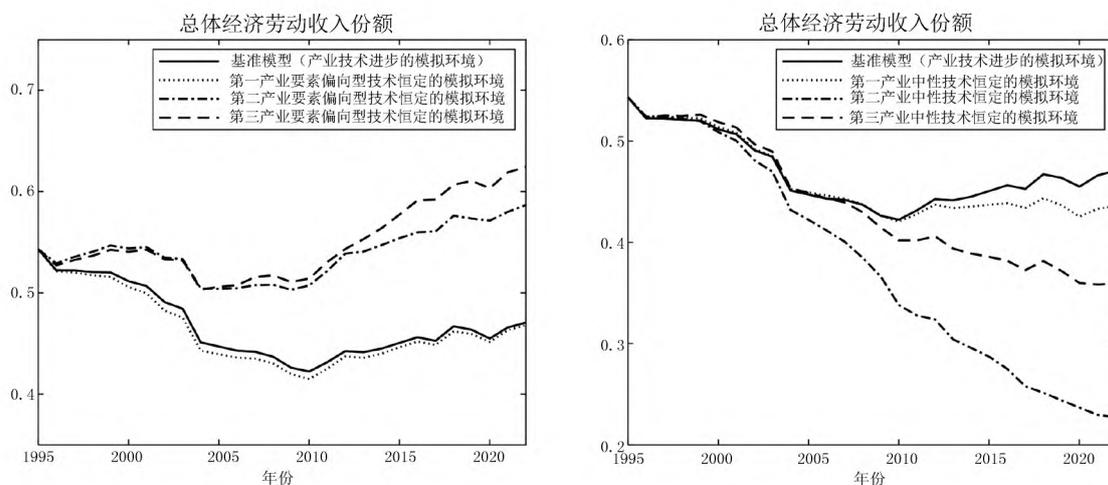


图 3 产业技术进步对中国劳动收入份额变化趋势的影响模拟

由图 3 可知,第二和第三产业资本偏向型技术进步分别降低了总体经济劳动收入份额 11.60 个和 15.36 个百分点,影响均非常显著,第一产业劳动偏向型技术进步的作用几乎可以忽略不计。三次产业中性技术进步均会显著提升总体经济劳动收入份额,影响分别为 3.53 个、24.35 个和 11.16 个百分点,第二产业中性技术进步作用最强,而第一产业作用相对有限。产业层面资本偏向型技术进步直接降低了产业内部劳动收入份额,进而降低总体经济劳动收入份额,这一影响机制相对直观。产业层面中性技术进步虽不会直接影响产业内部劳动收入份额,但通过加快资本深化提升了所有产业的资本劳动比,在资本和劳动的替代弹性低于 1 时就会进一步提高所有产业的劳动收入份额,从而提升总体经济劳动收入份额。因此,第二和第三产业资本偏向型技术进步对劳动收入份额起着降低作用,而三次产业中性技术进步则表现为提升作用,二者影响方向相反。这意味着,2010 年后中国劳动收入份额由降转升的 U 型变化趋势,是由于产业中性技术进步的提升作用对冲了资本偏向型技术进步的降低作用,产业中性技术逐渐成为劳动收入份额变化的主导性技术。

(二) 技术进步对产业结构转型的影响展望

通过对基准模型进行进一步的反事实模拟,可以评估未来技术进步对中国产业结构转型的可能影响。首先,设定 2023—2035 年三次产业要素偏向型和中性技术均以 2012 年后 10 年的年均速度变化,其他外生变量取 2022 年值,由此得到 2023—2035 年产业结构相对 2022 年的变化,体现了所有产业技术进步的影响。其次,只改变某一产业某一类型技术变量,使之保持 2012 年后 10 年的年均速度,其他外生变量和技术变量取 2022 年值,由此得到 2023—2035 年产业结构相对 2022 年的变化,反映了该产业该类技术进步的影响(见表 4)。

可以看到,如果三次产业技术进步延续 2012 年后 10 年的演变趋势,2035 年三次产业就业比重将相对 2022 年分别变化 -1.94 个、-3.07 个和 5.01 个百分点,第一和第三产业保持之前的变化趋势,但第二产业由升转降。其他比重的变化幅度相对较小,基本在 2 个百分点以内。只有第二产业资本偏向型技术发生进步时产业结构转型更快,2035 年第二产业就业比重和名义增加值比重将相对 2022 年分别下降 7.08 个和 1.84 个百分点,实际增加值比重上升 6.70 个百分点,第三产业就业比重和名义增加值比重分别上升 9.08 个和 1.81 个百分点,实际增加值比重下降 5.19 个百分点。中性技术进步下的三次产业就业比重、增加值比重和产出比重的变化幅度有所缩小,意味着中性技术进步的作用将弱于要素偏向型技术进步的作用,第二产业资本偏向型技术进步有望成为推动产业结构转型的主导因素。

表 4 技术进步对中国产业结构转型的未来影响估计

(单位:%)

2035 年相对 2022 年的变化		两类技 术进步	要素偏向型技术进步作用			中性技术进步作用			
			第一产业	第二产业	第三产业	第一产业	第二产业	第三产业	
产业结构	就业 比重	第一产业	-1.94	-3.28	-2.00	-1.28	-5.72	-3.27	-3.65
		第二产业	-3.07	-1.94	-7.08	1.17	-1.48	-1.61	-1.24
		第三产业	5.01	5.22	9.08	0.11	7.20	4.88	4.89
	名义增加 值比重	第一产业	-0.91	0.17	0.03	0.00	-0.76	0.12	0.14
		第二产业	0.50	-0.75	-1.84	0.22	-0.64	-0.43	0.19
		第三产业	0.41	0.58	1.81	-0.22	1.40	0.31	-0.32
	实际增加 值比重	第一产业	1.14	-1.34	-1.51	-1.14	2.07	-1.08	-1.54
		第二产业	-3.57	2.96	6.70	-0.95	0.64	1.74	-0.75
		第三产业	2.43	-1.62	-5.19	2.09	-2.71	-0.66	2.29
	名义产 出比重	第一产业	-0.52	0.10	0.06	-0.03	-0.39	0.07	0.04
		第二产业	-0.03	-0.29	-0.55	-0.15	-0.11	-0.21	-0.20
		第三产业	0.56	0.19	0.49	0.17	0.50	0.14	0.16
实际产出 比重	第一产业	0.28	-0.53	-0.58	-0.49	0.70	-0.43	-0.67	
	第二产业	-1.30	0.89	2.46	-0.77	0.72	0.44	-0.83	
	第三产业	1.02	-0.36	-1.89	1.26	-1.42	-0.01	1.50	

注：表中数据表示在各类技术进步时各类指标 2035 年相对 2022 年的变化。

结 语

从生产网络变迁的视角出发，构建内生产业结构转型和生产网络变迁的动态一般均衡模型，可以在宏观层面更为全面地考察技术进步对产业结构转型的影响。从理论机制看，技术进步既会通过收入效应影响消费结构的渠道拉动产业结构转型，也会通过价格效应影响各类投入结构的渠道推动产业结构转型。后者表现为技术进步改变了产业生产成本和增加值价格，进而通过生产网络影响产出价格，促使产业产出在消费、投资和中间投入中相互替代。产业结构转型的技术进步作用既推动了生产网络变迁，又受生产网络变迁反向影响。从中国实践看，（1）1995—2022 年要素偏向型技术进步和中性技术进步对中国产业结构转型与生产网络变迁均有着重要作用，后者的影响总体强于前者；第二产业中性技术进步的影响最为显著，第二和第三产业资本偏向型技术进步也有较大影响。（2）第二产业中性技术进步作用和第三产业资本偏向型技术进步作用，分别主要源于高技术制造业和生产性服务业的贡献。（3）第二和第三产业资本偏向型技术进步降低了劳动收入份额，三次产业中性技术进步则表现为提升作用，由于后者对冲了前者的影响，中国劳动收入份额发生

了 U 型转变。2012 年后资本偏向型技术进步对产业结构转型的影响持续增强，中性技术进步的影响有所减弱。(4) 如果到 2035 年技术进步保持之前 10 年的平均趋势，第二产业资本偏向型技术进步或将成为推动产业结构转型的主导因素。(5) 在生产网络不发生变迁或不考虑生产网络的研究框架中，定量结果会出现明显变化，说明准确把握技术进步作用需重视生产网络变迁的经济机制。

上述研究结论可得到如下政策启示。一方面，技术进步对中国产业结构转型的推动作用受生产网络变迁影响，随着新一轮科技革命和产业变革加速演进，数字技术、绿色技术正在成为推动产业结构转型的关键动力。因此，着力发挥生产网络传播效应以充分释放技术红利，需要进一步增强新兴技术的通用属性、降低产业协同转型成本。一是提高基础研究经费支出比重，支持各类企业在通用人工智能、绿色低碳等方面的技术研发投入；二是大力推动数字基础设施和绿色基础设施建设，加快重点领域通用设备更新和能源结构转型；三是加大针对高技术制造业和生产性服务业中关键节点行业的定向政策支持，积极引导中小企业向专业化和价值链中高端延伸，推动科技创新和产业创新深度融合以及中国生产网络向纵深发展。

另一方面，中国就业结构与产业结构密切联系、相互作用，随着技术进步持续推动生产网络变迁和产业结构转型，就业形势正在发生结构性变化并可能导致转型速度放缓。因此，着力提高人力资源供需匹配程度以加快产业结构调整，需要优化劳动力供给结构和空间布局，提高劳动力市场配置效率。一是注重拓宽人才培养途径，进一步壮大包括大批专业技术人员、高技能人才和高水平工程师在内的人才队伍，培养多层次多样化人才；二是围绕新产业、新业态、新模式，着力支持和规范发展新就业形态，聚焦先进制造、服务消费、民生保障等重点领域，加力就业岗位挖潜扩容，缓解结构性就业矛盾；三是构建与现代化产业体系相适配的劳动力市场机制，促进劳动力要素在城乡、区域、产业间自由流动和优化配置，盘活人才资源，促进人才合理布局和协调发展。

〔责任编辑：张天悦〕

relations. The findings offer a fresh perspective on the institutional logic underpinning central-local fiscal dynamics in the post-tax-sharing reform era and provide useful insights for refining these relations and developing a modern fiscal system aligned with Chinese path to modernization.

The Statutory Typification of Absolute Rights in Chinese Patent Transactions

Zhang Yi • 78 •

The statutory typification of absolute rights in patent transactions has received limited attention in Chinese academic discourse. While the principle of *numerus clausus* (a closed list of real rights) does not directly apply to patent law, the creation of new types of absolute rights within this domain is nonetheless subject to significant legal constraints. A typological analysis of absolute rights in the patent system reveals significant constraints on their contractual creation. Paradoxes arising from the patent licensing demonstrate that existing legal provisions fail to substantiate the *erga omnes* effect of licenses and therefore fail to justify contractual freedom in defining absolute rights. Even under the principle of party autonomy, the distinctive features of patent transactions indicate that the absence of statutory typification of absolute rights would lead to increased transaction costs, compromised transaction security, and undue restrictions on third-party conduct.

China's Structural Transformation Through the Lens of Evolving Production Networks

Guo Kaiming • 97 •

An objective understanding of the evolution of China's production networks offers valuable insight into the economic drivers behind the country's structural transformation. From the perspective that changes in production networks are endogenous to technological progress, this paper comprehensively assesses the impact of such progress on China's industrial structure from 1995 to 2022. The study reveals that neutral technological change within the secondary sector has played a key role in both structural transformation and the reconfiguration of production networks. Specifically, the effects of neutral technological change in the secondary sector and capital-biased technological change in the tertiary sector stem primarily from the development of high-tech manufacturing and productive service industries, respectively. Moreover, by accelerating changes in the factor structure, neutral technological change within industries has offset the effects of capital-biased change, resulting in a U-shaped shift in the labor income share. Looking ahead, capital-biased technological change in the secondary sector may emerge as the dominant force driving structural transformation. To support China's continued industrial upgrading, policy should focus on leveraging the diffusion effects of production networks, improving the alignment between human resource supply and demand, and fully unleashing the potential of innovation and talent.

• 206 •