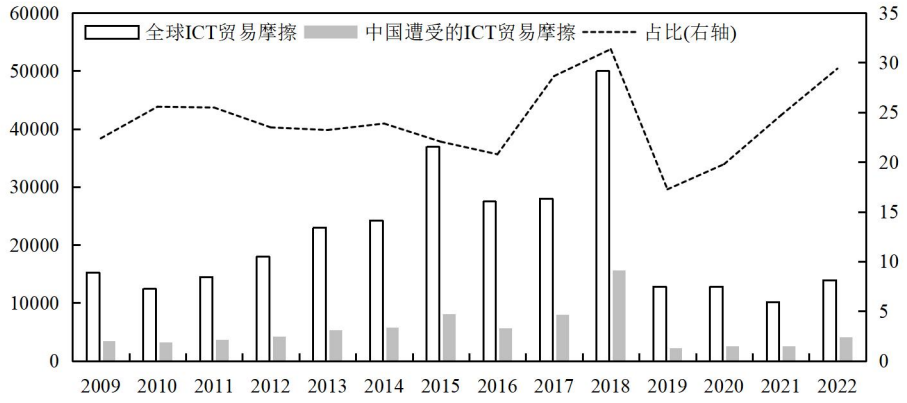


附图 1　　2009—2022 年全球和中国遭受 ICT 贸易摩擦频次

注：数据来源于全球预警数据库（Global Trade Alert,GTA）和作者整理。由于该数据由 2008 年 11 月开始公布，因此图 1 中时间段为 2009-2022 年。GTA 数据库提供了政策或措施公布和实施两个不同的时间点，本文采用宣布日期作为统计时点。

附录 1：ITD_{ij} 指标构建与说明

基于刘林青等（2021）的定义，经济体间依赖与两国直接贸易关系的重要性以及国际贸易网络中两国各自的可替代贸易关系相关。具体指标计算如下：i 经济体对 j 经济体的 ICT 贸易依赖 ITD_{ij} 等于两经济体之间的进出口 ICT 贸易依赖之和，即：

$$ITD_{ij} = Iextd_{ij} + Iimtd_{ij} = P_{ij}^2 \ (C_{pi} / C_{rj}) + R_{ij}^2 \ (C_{ri} / C_{pj}) \tag{1}$$

其中，$Iextd_{ij}$ 表示 i 国对 j 国的 ICT 出口依赖；$Iimtd_{ij}$ 表示 i 国对 j 国的 ICT 进口依赖；P_{ij}^2 表示 i 国对 j 国 ICT 出口额占其总 ICT 出口比重，C_{pi} 为 i 国 ICT 出口集中度，C_{rj} 为 j 国 ICT 进口集中度；类似地，R_{ij} 为 i 国对 j 国 ICT 进口额占其总 ICT 进口比重，C_{ri} 为 i 国自身的 ICT 进口集中度，C_{pj} 为 j 国的 ICT 出口集中度。

C_{pi} 和 C_{rj} 是通过标准化的赫芬达尔-赫希曼指数（HHI）方式构造，能够反映 ICT 贸易依赖关系中其他经济体的影响，计算方式分别为：

$$C_{pi} = \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^{n}\left(\frac{X_{ki}}{X_i}\right)^2 - \sqrt{\frac{1}{n}}}}{1-\sqrt{\frac{1}{n}}}, \quad C_{rj} = \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^{n}\left(\frac{X_{jk}}{X_j}\right)^2 - \sqrt{\frac{1}{n}}}}{1-\sqrt{\frac{1}{n}}} \tag{2}$$

其中，X_{ki} 表示 i 国出口 ICT 产品到 k 国的规模量，X_i 表示 i 国 ICT 产品出口总量，n 代表 i 国 ICT 产品出口国数量。从理论上说，如果国家 i 的 ICT 产品出口到特定经济体 k 占总出口的份额平方和越大，则表明 i 国 ICT 实际出口越集中。同理，X_{jk} 表示 j 国从 k 国进口 ICT 产品的规模量，X_j 代表 j 国 ICT 的进口总量，n 代表 j 国 ICT 产品进口来源国数。如果国

家 j 进口来源国 ICT 进口所占份额越大，则 ICT 产品的实际进口来源越集中。

附录 2：ICT 贸易依赖网络测度指标技术细节

1.整体结构指标。

本文采用一系列网络统计指标对全球 126 个主要经济体 ICT 贸易依赖网络的整体结构特征进行描述。

网络密度（ND）可以衡量 ICT 贸易依赖网络中各个经济体之间关联关系的强弱，如果各经济体间 ICT 贸易依赖关系越多，则网络密度值越大。由于 ICT 贸易依赖网络是有向网络，则各经济体之间可能存在的最大关联关系数量为 $N(N-1)$ ，由此可得有向网络密度：

$$ND = \sum_{ij} ITD_{ij} / N(N-1) \tag{3}$$

式（3）中，$\sum_{ij} ITD_{ij}$ 表示网络中实际存在的 ICT 贸易依赖关系数量，网络中任意两个经济体之间距离的最大值即为网络直径。

平均路径长度（APL）衡量的是 ICT 贸易依赖网络中各经济体之间最短路径的平均值，反映贸易网络中任何一个经济体与其他经济体之间实现贸易依赖关系传递所需最小次数的平均值。

$$APL = \sum_{ij} q_{ij} / N(N-1) \tag{4}$$

式（4）中，q_{ij} 代表经济体 i 和经济体 j 之间的最短路径。APL越短，说明 ICT 贸易依赖网络中信息传递效率越高，ICT 贸易往来越便利。

网络互惠性（RP）衡量了 ICT 贸易依赖网络中各经济体间建立互惠贸易关系的程度，如式（5）所示：

$$RP = 2\sum_{i} ITD_{ij} ITD_{ji} / \sum_{i} ITD_{ij} \tag{5}$$

聚类系数（CC）衡量了 ICT 贸易依赖网络中各经济体间的相互连接程度和聚集程度，如式（6）所示：

$$CC = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \frac{2 \times e_i}{N(N-1)} \tag{6}$$

式（6）中，e_i 代表与经济体 i 实际存在 ICT 贸易关联的所有贸易伙伴经济体数目，衡量了贸易网络全局的聚集性，即各国的贸易伙伴之间联系的紧密程度。CC 越高，说明网络中各经济体整体的集群化程度越高，ICT 贸易合作越密切。

同配性系数（HC）衡量的是 ICT 贸易依赖网络中节点间同配性的程度，即各节点经济体更倾向于与相似的经济体连接还是不同的经济体连接，如式（7）所示：

$$HC = \frac{E_{same} - E_{diff}}{E_{total}} \tag{7}$$

式（7）中，E_{same} 是同类经济体间的连接数量，E_{diff} 是不同类经济体之间的连接数量，

E_{total} 是 ICT 贸易依赖网络中所有可能的连接数量。

2.社团结构指标。

主要通过模块度对 ICT 贸易依赖网络社团层面进行分析。在本文构建的 ICT 贸易依赖网络中，模块度 T_w 指的是社团内部各经济体 ICT 贸易依赖联系紧密程度大于不同社团经济体之间 ICT 贸易联系紧密程度，较为直观地测度了 ICT 贸易依赖网络中的社团划分质量。具体计算公式为：

$$T_w = \frac{1}{\sum_{ij}\omega_{ij}}\left[\omega_{ij} - \frac{\sum_j \omega_{ij}\sum_i \omega_{ij}}{\sum_{ij}\omega_{ij}}\right]\delta\left(CO_i, CO_j\right) \tag{8}$$

式（8）中，ω_{ij} 代表网络中经济体 i 向经济体 j 的 ICT 贸易依赖值；CO_i 和 CO_j 分别代表经济体 i 和经济体 j 所在的社团，若这两个经济体在同一个社团，则 $\delta\left(CO_i, CO_j\right) = 1$，反之为 0。

3.节点中心性指标。

中心性常被用于确定网络中具有系统重要性的节点，是一种“权力”的象征。中心性度量主要包括度数中心度、接近中心度、中介中心度以及指数类指标。指数类指标包括特征向量中心度，Bonacich 中心度等，具体构造原理及公式详见（Newman, 2010）。各中心性衡量指标往往侧重于中心性概念的一个特定方面，现有文献尚未构建出一种被广泛认可并采纳的方法。因此，在实证分析中，需要根据所研究的对象和网络特点，在不同的中心性衡量标准之间做出选择。

度数中心度通过计算一个经济体与其他经济体之间直接建立的 ICT 贸易联系数量来评估网络核心位置。这是一种局部中心性度量，仅考虑节点之间的直接连接，而不涉及节点在网络结构中的位置。与之不同，全局中心性度量有助于揭示一个国家在网络中受其他国家的影响。其中一种常用的度量是接近中心度，它衡量了一个节点相对于所有其他节点的拓扑距离，反映了经济体之间的可达性。另一种重要的全局中心性度量是中介中心度，它主要评估一个经济体在网络中作为“中间人”的程度，即其在连接不同经济体之间的桥梁角色。另外，还可以使用指数类指标，如特征向量中心度来描述全局中心性。特征向量中心度基于一个基本思想，即节点的中心性不仅取决于节点本身在网络中的连接度，还取决于与其相关联节点的中心性。在实际的 ICT 贸易中，中国和美国占据了大部分进口和出口量，一个节点是与核心经济体（例如中国或美国）还是与边缘经济体相连存在较大差异。因此，为了更合理地评估 ICT 贸易网络中的重要节点经济体，本文选择使用特征向量中心度来分析网络结构中心性。记 x_i 是节点 i 的中心性度量，则有：

$$x_i = \lambda^{-1}\sum_{j=1}^{n} ITD_{ij}\, x_j \tag{9}$$

其中，λ^{-1} 为比例常数，ITD_{ii} 如上所述为邻接矩阵 $\boldsymbol{ITD}$ 中的元素，x_i 为节点 j 的中心性。可以将式（9）改写为矩阵形式：$\lambda \boldsymbol{x} = \boldsymbol{ITDx}$。那么，$\boldsymbol{x}$ 是邻接矩阵的特征向量，λ 是相应的特征值，由此导出对应 λ 的唯一非负特征向量中的第 i 个元素为节点 i 的特征向量中心性。

上述特征向量中心度指标能够用于判断某一经济体是否是“中心枢纽”，但难以刻画网络中的经济体是否存在“近朱者赤”特征（吕延方等, 2021）。考虑到 ICT 贸易依赖网络的复杂性，不仅关注经济体在 ICT 贸易依赖网络中是否处于枢纽地位，也想要考察这个“中心经济体”是否能影响到与之相关联的其他经济体。于是，将综合反映“中心枢纽”和“近朱者赤”两大特征的 PageRank 中心度引入到 ICT 贸易依赖网络分析框架中，以更加准确地识别经济体是否处于 ICT 贸易依赖网络中的“绝对中心枢纽”地位。在贸易类文献中，PageRank 中心度常被用来分析贸易动态和价值链，以及确定世界投入产出表中的关键产业。PageRank 中心度指数表示为：

$$PR_i = \frac{(1-\beta)}{N} + \sum_{j=1}^{n} ITD_{ji} \times PR_j \times \frac{\beta}{c_i^{out}} \tag{10}$$

其中，PR_i 为 PageRank 指数，β 为阻尼系数，代表在任意时刻两两经济体开展 ICT 贸易往来的概率，相应地，$1-\beta$ 代表任意经济体两两间终止 ICT 贸易关系，并重新与其他经济体建立 ICT 贸易伙伴关系的概率，c_i^{out} 表示经济体i向其他经济体输出 ICT 贸易依赖关系数量。

附录 3：TERGM 变量说明

按照现有的复杂网络理论，网络的演化同时受到内生因素和外生因素的影响，最终选取构建时间指数随机图模型的变量含义及其假设检验如附表 3-1 所示。

1.内生结构因素。

网络中一些关系的出现往往决定了其他关系出现的概率，这类关系的形成不涉及经济体属性或经济体之间政治、经济和文化差异等因素影响，仅依赖于网络系统的自我组织过程，常被称为内生结构效应。

真实的网络往往表现出互惠性特征，互惠性是观察和揭示网络结构形成机理的重要途径。本文将互惠性（*Reciprocity*）纳入 TERGM 模型中，用于描述各经济体之间形成互惠性关系的倾向，其根源可能在于两个机制，一是信息机制，网络中具有联系的两个经济体之间的贸易流会带动信息流动，提高双方之间的信任水平，从而减少贸易成本。二是贸易平衡机制。各经济体在 ICT 产品生产方面具有不同的比较优势，通过贸易完成资源和要素的交换整合，从而建立了互惠互利的 ICT 贸易依赖关系。因此，预期互惠效应为正。

其次，ICT 贸易依赖网络的经验证据表明，该网络具备明显的核心-边缘分层结构，因此新关系的形成很可能受到地位效应的驱动。地位效应是不对称关系和分层网络结构的根源，本文利用聚敛性（*Cohesiveness*）指标来检验网络中是否存在推动新关系形成的地位效应。聚敛性又称偏好依附性，反映了顶点遵循无标度幂律分布的连接原则。考虑到在贸易依赖关系中，接收方在网络中的地位明显优于发送方，本文重点探讨的是基于入度的偏好依附性，处于网络边缘的经济体无法获取有关其他经济体的有效信息，而网络中接收较多贸易依赖关系的明星节点则会因其具备的生产优势以及信息优势，吸引新的经济体与其进行贸易往来，导致中心经济体的中心地位逐渐加强。因此，预期聚敛性变量系数为负，表示网络中存在少量高入度经济体，具有突出地位的经济体会随着时间的推移形成更多的联系。

此外，ICT 贸易依赖网络具备较强的凝聚效应，本文认为这可能是由于互惠关系惯性机制，以及导致不同经济体之间网络关系闭合程度更高的机会条件（如传递闭合性）。贸易网

络是经济体之间贸易所形成的空间组织和关系状态，传递闭合性可以更容易地监控关系，防止机会主义行为，促进有价值的、隐形的信息交流。传递闭合效应的检验可以通过负的多重连通性（*Multiple2_paths*）和正的三元组闭合性（*Triadic_closure*）系数来解释，表示网络中连通的依赖关系趋于闭合，宏观上表现为经济体间以小团体形式开展联系的倾向。多重连通性在网络图中表示两个节点之间关系的传递需要一个或多个其他节点作为桥梁，是确保网络结构中存在传递闭合效应的基础参数和先决条件。在多连通性的基础上增加一条连接关系则形成了三元组闭合性，指代三个经济体之间的网络关系形成分工闭环，分工闭环越多，则分工小团体特征更明显。ICT 贸易依赖网络存在“小世界”特征，且 2008 年金融危机以来，ICT 贸易依赖网络区域集群化特征愈发突出，因此，预计多重连通性系数为负，三元组闭合性为正。

网络结构在不同时期呈现出差异化特征，网络节点中的依赖关系持续演变。因此，在研究 ICT 贸易依赖网络关联关系的影响因素时，需要考虑时间依赖效应，主要包括稳定性和变异性两个指标。稳定性（*Stability*）描述了网络格局稳定发展的趋势，经济体间建立 ICT 贸易依赖关系后，贸然变更可能会给彼此带来不利影响，因此，各经济体通常并不会轻易更改依赖关系。但一些特殊事件的发生可能会导致依赖关系被破坏或出现新的关联关系，将网络关系在不同时期发生变化的倾向定义为变异性（*Variability*）。本文预期在 ICT 贸易依赖网络关联关系演化中存在时间依赖效应，稳定性为正，变异性为负。

2.外生属性因素。

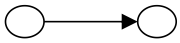
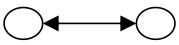
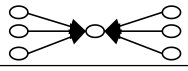
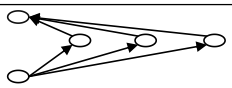
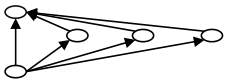
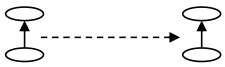
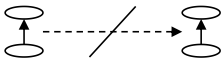
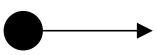
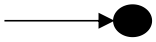
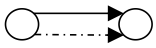
在网络中纳入节点层面的代理变量作为外生属性变量，并将经济体层面的差异视为重要的驱动因素，而非网络变化的结果。ICT 贸易依赖网络的形成以 ICT 贸易流为载体，因此，影响两经济体之间 ICT 贸易关系的因素会同样作用于 ICT 贸易依赖关系。已有研究大多基于引力模型来实证检验贸易关系的形成，在经典引力模型中两国之间的贸易流量被模拟为与他们的经济规模成正比，与两国之间的地理距离成反比的函数。随着研究的深入，学界将是否属于同一经济组织、是否使用同一语言、是否历史上存在殖民关系等解释变量引入引力模型，拓宽了引力模型的适用范围和解释能力。

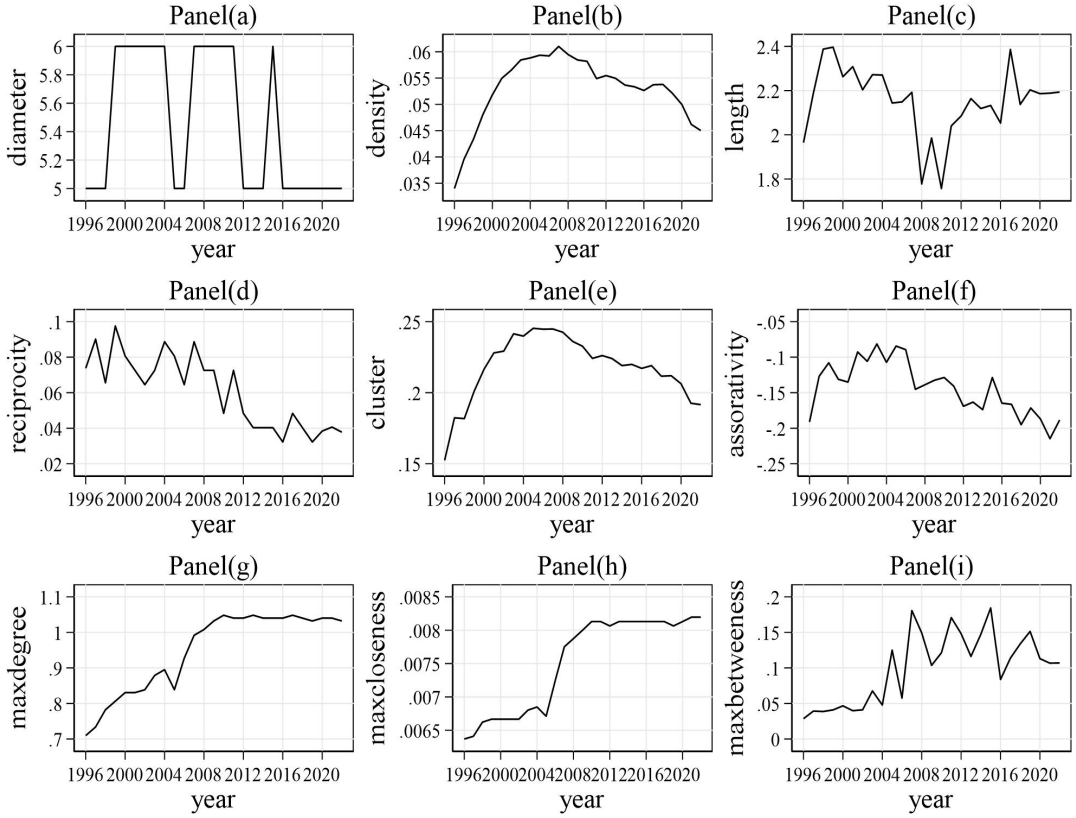
基于引力模型的理论基础，最终选取构建时间指数随机图模型的外生解释变量如下：①经济发展水平。一般来说，一国经济发展水平越高，支持 ICT 贸易分工的综合条件越好，越有利于在全球范围内建立 ICT 贸易依赖关系。经济发展水平选择传统宏观经济特征指标各经济体 GDP 来反映，并取对数后纳入 TERGM 中。②人力资本水平。Skorupinska 和 Torrent-Sellens（2017）评估了东欧国家制造业企业样本中 ICT 与人力资本之间的关系，得到 ICT 对劳动生产率的影响主要取决于劳动力对 ICT 技术的使用。因此，本研究将各经济体人力资本作为影响 ICT 贸易依赖关系生成的重要变量，经济体人力资本水平主要通过各经济体高等院校入学率来衡量。③贸易成本。同盟关系作为消除贸易壁垒的重要手段，RTA 数字贸易规则能够明显提升 ICT 产品贸易流量。通过构造 RTA 的签订以及 RTA 数字化深度两个变量来反映缔结同盟关系对于 ICT 贸易依赖关系的影响。我们使用虚拟变量来表征 RTA 的签订，若两个经济体在第i年签署 RTA，则赋值为 1，否则为 0。RTA 签订深度变量构造借鉴韩剑等（2019）的做法，以 RTA 中涉及数字贸易的条款数量来衡量，并作加 1 取自然对数的处理。④距离。本文扩展了传统引力模型中的地理距离，将语言邻近性和殖民关系纳入

到 TERGM 模型进行估计。地理距离测度的是任意两个经济体之间首都或者核心城市之间的距离，语言邻近性通过不同经济体间的语言差异衡量语言距离，考察历史上是否存在殖民关系以捕捉经济体之间的宗教文化距离。

归结起来，外生属性变量包含以上四个方面共 7 个变量。在 TERGM 模型中，外生属性变量又可以分为两类：第一，行为者属性变量，它解释了特定经济体属性对网络关系形成的影响，可细分为两个效应，发送者效应和接收者效应。第二，外生协变量网络，基于网络中成对的参与者之间存在的某种接近或距离所构成的一切其他网络关系。考虑到变量的数据结构，将上述衡量经济发展水平和人力资本水平的变量作为行为者属性变量，而将衡量贸易成本和距离的变量构造为外生协变量网络。为了考察经济发展水平对 ICT 贸易依赖关系的影响在 TERGM 模型中加入发出 ICT 贸易依赖关系的经济体 $\ln GDP$（$Sender_\ln GDP$）以及接收 ICT 贸易依赖关系的经济体 $\ln GDP$（$Receiver_\ln GDP$）进行估计。探讨经济体人力资本特征对网络关系演变的影响，TERGM 分别对 *Sender_hc* 和 *Receiver_hc* 进行了估计。*NCov_rta* 是基于经济体之间是否签订 RTA 协定指标所构建的网络，*NCov_rtadepth* 则是基于 RTA 签订的数字化程度指标构建协变量网络。*NCov_indist*、*NCov_ling*、*NCov_cle* 分别刻画了经济体之间的地理距离、语言邻近性和历史上的殖民关系网络。

附表 3-1　　TERGM 回归变量的含义及其假设检验

变量名称	含义	模体	假设检验
Edges	边数		作用类似于常数项，一般不作解释
Reciprocity	互惠性		是否经济体间倾向于存在互惠的 ICT 贸易依赖关系
Cohesiveness	聚敛性		是否存在少量“ICT 贸易明星”经济体
Multiple2_paths	多连通性		是否通过多路径传递 ICT 贸易依赖关系
Triadic_closure	三元组闭合性		是否经济体间 ICT 贸易依赖关系倾向于具有集聚性和传递性
Stability	稳定性		是否 ICT 贸易依赖关系在 t+1 期与 t 期保持一致
Variability	变异性		是否随着时间推移，ICT 贸易依赖关系消失或新增
Sender（α）	发出效应		是否具有α属性的经济体更易向其他经济体发送 ICT 贸易依赖关系
Receiver（α）	接收效应		是否具有α属性的经济体更易接收其他经济体 ICT 贸易依赖关系
NCov	网络协变量		是否在其他网络中存在关系的经济体更倾向于 ICT 贸易



附图 2　　1996-2022 年 ICT 贸易依赖网络描述性统计特征

注：数据来源于 CEPII-BACI 数据库和作者计算整理。样本中包括所有年份和所有经济体。

附录 4：单位根检验结果与说明

为了进一步明确 ICT 贸易依赖网络拓扑结构的变化与贸易保护主义盛行时期之间的关系，将注意力转向刻画 1997–1998 年亚洲危机、2008–2009 年全球金融危机以及 2018 年开始的中美贸易摩擦等全球重大事件浪潮中 ICT 贸易依赖网络的动态变化。参考 Clemente 等（1998）对这些网络指标平均值中的一个或两个结构断裂进行单位根检验，结果见附表 4-1。样本期内，ICT 贸易依赖网络出现了一次中断或两次中断。第一次中断出现在 2000-2002 年左右，也就是 20 世纪 90 年代亚洲危机之后的 3-4 年时间。第二次中断出现在中断在 2008-2010 年左右，是在全球金融危机开始后的 1-2 年时间。相对而言，网络密度、聚类系数总是会发生中断，但直径、平均路径长度等则更少发生中断。值得注意的是，当进行一次结构断裂单位根检验时，中断出现在 2021 年的概率较大，但未通过显著性水平。可能的原因在于本文计算的整体网络指标数据截止到 2022 年，时间序列样本量较少导致难以准确判断中美贸易摩擦后的结构性断点。

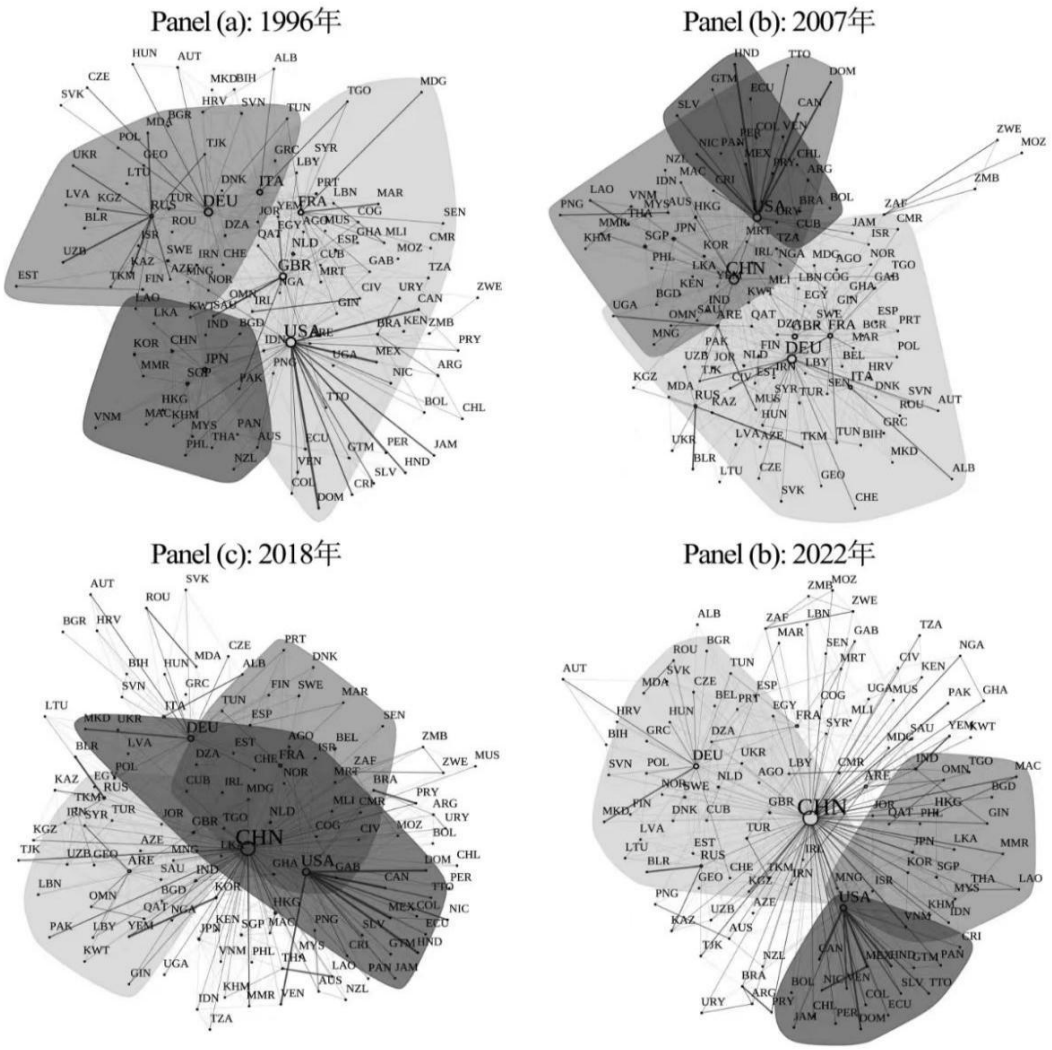
附表 4-1　　单位根测试

	One-break test		Two-break test			
	Break	p-value	First Break	p-value	Second Break	p-value
diameter	2002	0.427	2009	0.590	2013	0.174
density	2021	0.142	**2000**	0.000	**2010**	0.001
length	2008	0.207	2005	0.289	2012	0.527

cluster	2021	0.250	**2002**	0.000	**2009**	0.000
reciprocity	**2009**	0.000	1997	0.524	**2009**	0.000
assortativity	**2008**	0.000	**2008**	0.005	2018	0.110
max degree	**2002**	0.000	**2002**	0.001	**2007**	0.000
max closeness	**2008**	0.000	**2002**	0.000	**2007**	0.000
max betweeness	2004	0.102	2004	0.127	2013	0.365

注：数据来源于 CEPII-BACI 数据库和作者计算整理。选定 1996 年至 2022 年期间的网络指标进行单位根测试，粗体显示在 5%显著性水平上具有统计学意义的中断。

附录 5：社团聚类结果及描述性统计

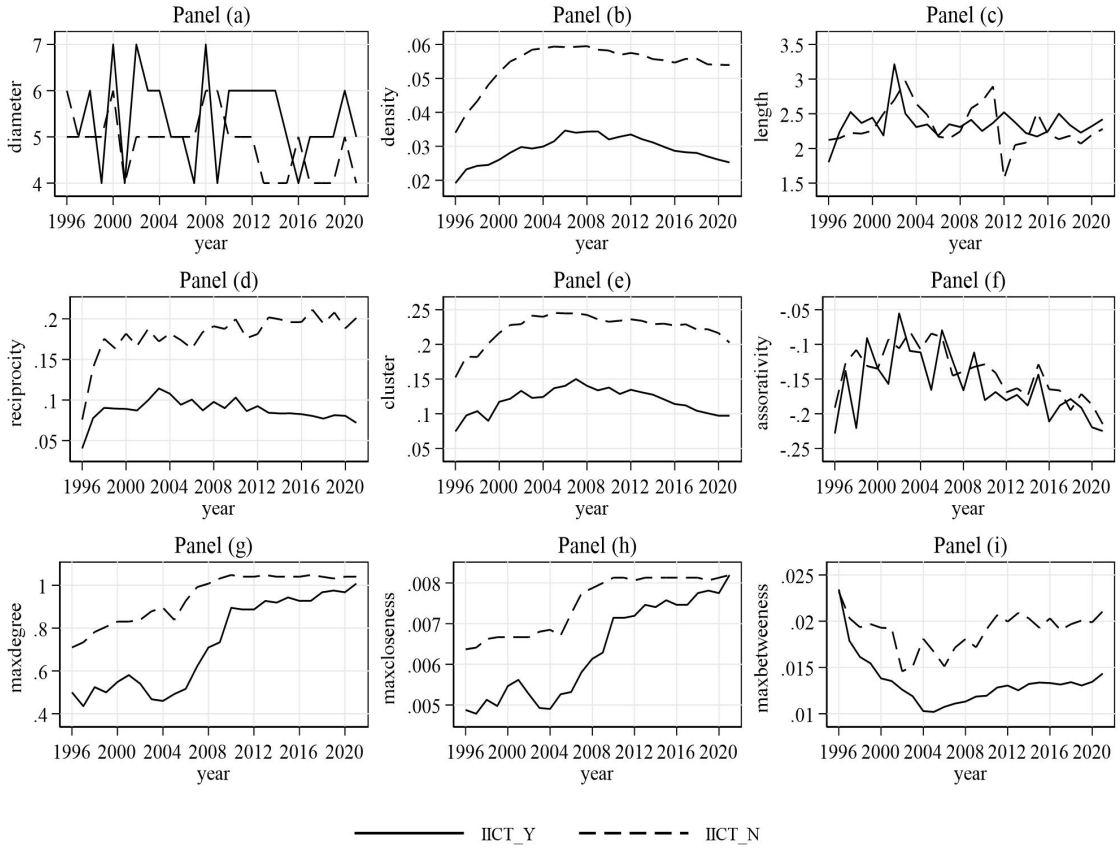


附图 5-1 1996-2022 年间四个代表性年份 ICT 贸易依赖网络可视化与聚类图

注：图中节点代表了不同的经济体，节点大小反映了各经济体在 ICT 贸易依赖网络中度数中心度的大小，边的粗细代表 ICT 贸易依赖关系的强度，节点所在阴影区域展示了 ICT 贸易依赖社团的聚类结果，社团节点位于对应社团标记区域。图中英文字母为在联合国注册的经济体代码，如 CHN 代表中国，USA 代表美国，详细请参见 ISO 3166-1 中国家的三位英文字母代码。网址：https://www.iso.org/obp/ui/#search

附表 5-1 社团聚类结果描述性统计

年份	社团	地区分类属性						连续属性（标准化）	
		亚洲	欧洲	北美洲	南美洲	大洋洲	非洲	ICT 出口占比	ICT 进口占比
1996	C1	11	7	5	3	1	18	0.424	0.580
	C2	11	17	0	0	0	2	0.094	0.186
	C3	17	0	1	0	1	0	0.452	0.202
2007	C1	15	27	1	0	0	15	0.258	0.486
	C2	19	1	5	0	3	2	0.597	0.166
	C3	0	0	7	10	0	0	0.116	0.268
2018	C1	5	9	6	0	0	18	0.617	0.494
	C2	16	0	1	0	3	1	0.192	0.231
	C3	1	17	0	0	0	2	0.124	0.163
2022	C1	7	26	0	0	0	4	0.632	0.483
	C2	22	0	0	0	0	0	0.176	0.192
	C3	0	0	11	7	0	0	0.175	0.180



附图 3 1996-2022 年摩擦和非摩擦 ICT 产品贸易依赖网络异质性分析描述性统计特征

附表 1 稳健性检验

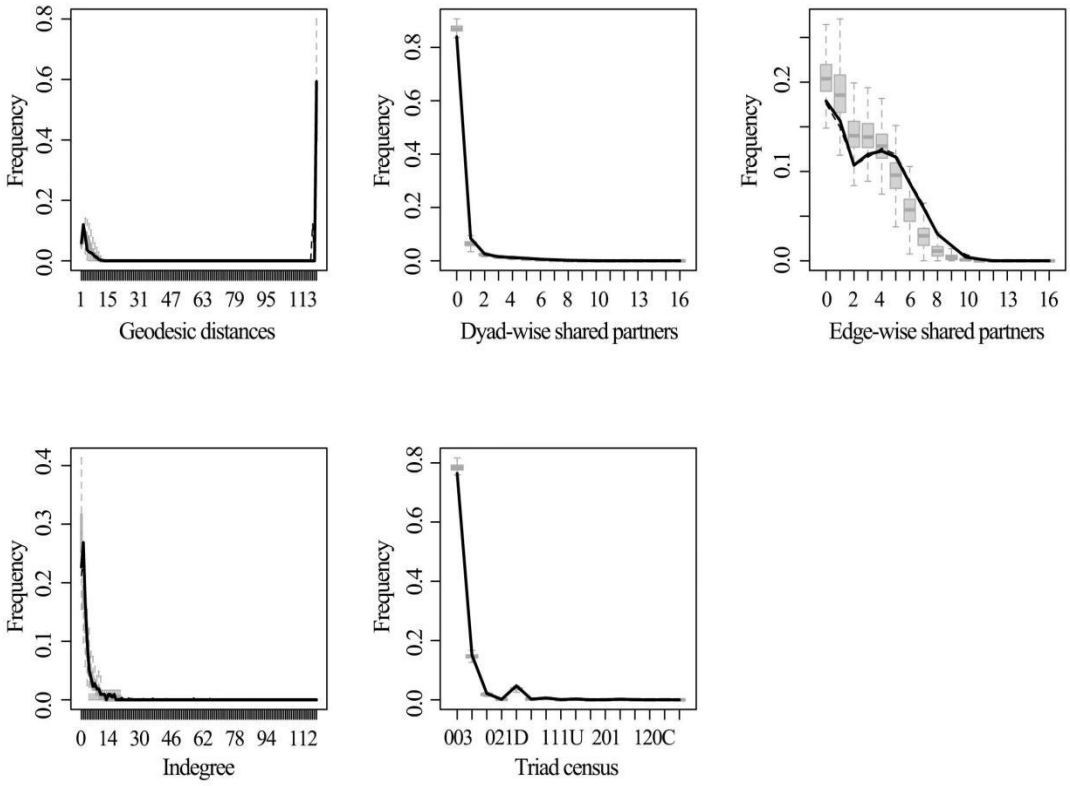
	更换阈值	更换样本	MCMC-MLE	ERGM

Edges	0.3869	-6.4318***	-6.7508***	-8.3973***
	(0.3384)	(0.5147)	(0.7302)	(0.5731)
Reciprocity	1.8106***	0.6741*	0.9985***	1.5559***
	(0.1205)	(0.2757)	(0.1087)	(0.0321)
Cohesiveness	-1.9891***	-1.0229***	-0.7080***	-1.4508***
	(0.0922)	(0.0912)	(0.1098)	(0.1883)
Multiple2_paths	-0.0789***	-0.0465***	-0.0554***	-0.0912***
	(0.0046)	(0.0057)	(0.0026)	(0.0035)
Triadic_closure	0.8404***	0.5853***	0.5410***	0.5909***
	(0.0636)	(0.0695)	(0.0274)	(0.0307)
Stability	2.4115***	2.3603***	2.3277***	0.1734***
	(0.0422)	(0.0429)	(0.0413)	(0.0145)
Variability	-0.0162***	-0.0197***	-0.0164***	
	(0.0015)	(0.0024)	(0.0029)	
*Receiver*_ln*GDP*	0.1180***	0.1661***	0.2042**	0.0175
	(0.0289)	(0.0515)	(0.0665)	(0.0098)
Receiver_hc	0.3229***	0.4204***	0.3490***	0.1724***
	(0.0251)	(0.0511)	(0.0504)	(0.0312)
*Sender*_ln*GDP*	0.1012***	0.0430***	0.0594***	0.0171
	(0.0032)	(0.0019)	(0.0042)	(0.0089)
Sender_hc	-0.0059***	(0.0077)	-0.0464***	(0.0328)
	(0.0014)	(0.1131)	(0.0086)	(0.0349)
NCov_rta	0.2771***	0.3607***	0.4304***	0.1753
	(0.0578)	(0.1002)	(0.0718)	(0.0910)
NCov_rtadepth	1.3545***	1.2841***	1.0526***	1.4510***
	(0.0880)	(0.1023)	(0.1064)	(0.1348)
NCov_indist	-0.4033***	-0.3964***	-0.3749***	-0.0162*
	(0.0315)	(0.0246)	(0.0242)	(0.0058)
NCov_ling	0.6109***	0.6894***	0.6771***	0.2972
	(0.0545)	(0.0931)	(0.0902)	(0.2062)
NCov_cle	1.6860***	0.9411***	0.8227***	0.4601
	(0.0314)	(0.1127)	(0.0692)	(0.9513)

注：括号内为标准误，*、**、***分别表示双尾检验中 5%、1%和 0.1%的显著性水平。

本文采用模拟的方式检验上述网络数据的拟合效果，基本原理是使用上述估计得到的参数模拟大量仿真网络图，再对比仿真网络图的核心参数指标与真实观测值之间的差异。附图 5 展示了根据表 6 中模型（4）的估计参数仿真 10000 次的网络所得到的关键网络特征参数测地距离（Geodesic distance）、二元组共享伙伴（Dyad-wise shared partners）、边共享伙伴（Edge-wise shared partners）、入度中心性（Indegree）、三元组普查（Triad census）的频率分布结果与真实网络相应观测值之间的差距。其中，黑色粗实线是真实网络观测到的各特征参数分布，灰色线及箱线图表示仿真网络各特征参数 95%的置信区间。从中可以观察到，

五个关键网络特征参数的观测值均位于或接近于仿真网络 95%的置信区间，表明基准模型具有良好的拟合效果，能够较好地解释真实网络的结构特征。



附图 4　　TERGM 的拟合优度检验

注：国家 *i* 与国家 *j* 之间的最短路径常被称为 *i* 和 *j* 之间的测地距离。二元组共享伙伴指两条边之间共享节点的数量。边共享伙伴用于衡量边之间的共同连接节点的数量。入度中心性表示其他节点指向该节点的连接数量。三元组普查是指三个节点之间的连接关系。

参考文献

[1] 刘林青，闫小斐， 杨理斯，等. 国际贸易依赖网络的演化及内生机制研究[J]. 中国工业经济，2021(2): 98-116.

[2] 吕延方,方若楠,王冬. 全球数字服务贸易网络的拓扑结构特征及影响机制[J]. 数量经济技术经济研究, 2021，38(10): 128-147.

[3] 韩剑,蔡继伟,许亚云. 数字贸易谈判与规则竞争--基于区域贸易协定文本量化的研究[J]. 中国工业经济,2019(11): 117-135.

[4] Clemente J, Montañés A, Reyes M. Testing for a Unit Root in Variables with a Double Change in the Mean[J]. Economics Letters,1998,59(2):175-182.

[5] Skorupinska A, Torrent-Sellens J. ICT, Innovation and Productivity: Evidence Based on Eastern European Manufacturing Companies[J]. Journal of the Knowledge Economy,2017,8(2):768-788.

[6] Newman M. Networks: an Introduction[M].New York: Oxford University Press,2010.