

中国工业行业间 R&D 溢出效应研究

朱平芳¹ 项歌德² 王永水³

(1.3 上海社会科学院数量经济研究中心 2. 申银万国期货有限公司)

内容提要: 本文根据中国工业行业的特征, 用垂直溢出效应和水平溢出效应两个维度来研究本土工业行业间的 R&D 溢出效应, 其中垂直溢出效应可进一步分为前向溢出和后向溢出。根据对中国 37 个工业行业 2003-2011 年间的面板数据分析, 借助空间计量经济学方法, 寻找这些行业间两个维度 R&D 溢出效应的特点。研究发现, 无论采用何种 R&D 活动产出代理变量, 水平溢出效应均十分显著, 而垂直溢出效应呈现非对称性—前向溢出效应不显著, 后向溢出效应显著; 数量关系上, 水平溢出效应远大于垂直溢出效应。将 37 个工业行业按照技术层次划分为高、中和低技术行业, 发现中国工业行业部门的技术水平与之对应的 R&D 前向溢出效应之间存在一种“斜 S”型关系; 后向溢出与水平溢出效应都比较显著。论文还解释了这些溢出效应所对应的可能的经济现象。

关键词: 工业行业 R&D 溢出效应

R&D Spillover Effect between Chinese Industrial Sectors

Abstract: From this perspective of independent innovation, it is a strong practical significance to study local R&D spillover between industrial sectors. According to the characteristics of industrial sectors, R&D spillover can be studied from two dimensions, namely vertical and horizontal spillover, and vertical spillovers can be further divided into forward and backward spillover. This paper regards 33 industrial sectors of China between 1998-2008 panel data as the object, and analyzes the features of these two dimensions R&D spillover. It is found that that the asymmetry of vertical spillover effects and the forward spillover is not significant, with the significance of backward spillover and horizontal spillover. The 33 industries are divided into high-tech industries and low technology industries according to the technical level, and the local R&D investment is found to exhibit the substitution effect with high-tech industry R&D investment in the level of horizontal spillover and the complementary effects with low-tech industries R&D investment in the backward and horizontal spillover.

Key Words: Industrial Sectors R&D Spillover Effect

引 言

大量的实证分析都表明, 无论是本地的 R&D 活动还是相邻 (或国外) 地区的 R&D 活动都对本地技术创新能力乃至经济增长具有明显的影响作用, 如 Nadiri (1993)、Coe 和 Helpman(1995)、Eaton 和 Kortum(1997)等。近些年来, 不少学者通过研究发现 R&D 活动的溢出效应已成为促进经济增长的重要源泉, 因而又有大量的研究聚焦在这种溢出效应的度量 and 影响作用上, 如 Eaton 和 Kortum(1999)、Keller (2004) 等。

目前对 R&D 溢出效应的空间研究大多集中于通过 FDI 途径发达国家对于发展中国家之间的技术外溢,但这种溢出效应的发挥和吸收实际上是非常有限的,而且有不少实证研究对此仍然存在争议。如 Arrow (1971)、Findlay(1978)的研究认为,FDI 的技术外溢发生机理与疾病发生机制类似,与 FDI 相距越近或与之接触越频繁都会加速技术外溢,企业吸收的技术溢出效应也越大。而 Haddad 和 Harrison (1993) 利用摩洛哥公司层面的数据进行分析后,表明了更高技术水平的 FDI 并不一定会带来国内研发能力的提高。Aitken & Harrison (1999)也认为并不能如此肯定地认为 FDI 的溢出效应为正,而应该一分为二地看待:外商直接投资除了对东道国企业存在正的技术外溢效应,同时还存在负的竞争外溢效应,他们利用委内瑞拉制造业数据进行实证研究后发现 FDI 溢出的“局部优势”确实并不显著。归结起来,FDI 对东道国的技术溢出效应包括“抑制论”、“促进论”以及“双刃剑论”(王红领、李稻葵和冯俊新,2006)。

需要注意的是,引进发达国家的技术是为了消化和吸收并以此为基础进行二次创新,只有具备自主知识产权,才能抢占世界经济制高点。引进国外先进技术,发展出自己独立自主的研究与开发体系是开放政策成功的标志,是国家真正具有国际竞争能力、跻身于世界经济强国的基础(王红领等,2006)。按照技术溢出理论,FDI 可能直接或间接地促进东道国的技术创新能力,但若一个国家过于依赖外部技术,容易陷入工业化道路受制于人的境地,且值得担忧的是,东道国的企业可能只是简单地模仿和复制引进的技术,消化、吸收不够,这容易使其丧失自主创新能力从而陷入“技术陷阱”和“路径依赖”。对于发展中国家而言,经济发展带来的产业升级和产业独立势必引起与发达国家之间的竞争,出于维护自身的产业竞争优势和既得利益战略目的,发达国家会限制发展中国家高层次的技术引进和技术转移,仅仅依赖 FDI 引进、提升技术进步方式就面临很大挑战(张杰、张少军和刘志彪,2007)。因此,内生主导的自主创新应该成为 R&D 溢出效应发挥的主要推动力。中国现在正处于工业化和城市化进程的关键阶段,工业行业自身创新能力如何,是否能够在不同工业行业特别是制造业之间形成技术溢出,这种溢出是否又能够促进工业行业整体的创新能力提升,这些问题形成了本文研究的目的。

Griliches(1979)和 Scherer (1982)较早地发现一个企业技术性创新会影响到其他行业的生产效率,Romer(1986)则将技术创新溢出效应作为生产要素引入生产函数中,提出了内生增长理论模型。紧随其后国内外大批学者专注于 R&D 溢出效应的度量,这些实证研究的空间范围可以按宏观、中观和微观三个层次进行划分:宏观层面的研究由于涵盖地理空间范围较广,必然涉及到诸如 FDI、国际贸易的影响因素;而微观层面的数据可得性不强,企业样本的选取具有一定的主观性导致代表性不足,且微观个体间溢出效应分析最终也多回归到行业层面;中观层面就是以产业部门为研究对象,分析由于产业之间生产制造活动的联系,知识或技术如何在不同产业之间随同中间品而产生转移,从而使得 R&D 活动在不同产业部门之间产生了溢出效应。本文的研究对象就限定于中国国内工业行业部门之间的 R&D 溢出效应,但不包含 FDI 或国际贸易等途径带来的溢出效应。

目前在行业层面研究国内 R&D 溢出效应的文献主要都从 FDI 影响的角度考虑,而纯粹针对本土行业内 R&D 溢出效应的代表研究并不多见,归结起来这方面的研究主要包括两类:一类是通过构建指标来研究行业间溢出效应,如尹静、平新乔(2006)通过构造中国制造业

行业之间的技术相邻指标和技术溢出指标分析了制造业行业之间的技术溢出特点；另一类是对特定行业的 R&D 溢出效应进行研究：胡健、焦兵（2010）选择我国西部、东北和华北等油气资源富集地区为研究样本，基于 Jaffe（1986）定义的行业间技术距离公式，对我国石油天然气行业的技术溢出效应进行了比较研究；韩颖等（2010）应用基于投入产出的产业间 R&D 溢出效应计算方法，计算了我国 1997、1999、2000、2002、2005 这 5 个年份中采掘、各类制造等 7 个产业间 R&D 的溢出效应，但该研究选择特定年份和行业来说明行业间 R&D 溢出效应存在一定的片面性；魏守华等（2009）利用长三角地区高技术产业的行业数据，从分行业、分区域两个维度分析了本土技术溢出对长三角高技术产业创新绩效的影响；潘文卿等（2011）借助投入产出表构建了衡量产业间技术溢出的指标，对于中国工业行业之间的横向溢出效应进行了估算。

分析已有文献可以发现，目前国内类似的研究还没有对本土工业行业部门之间的 R&D 溢出效应进行多维度的空间计量经济分析，并且对于这种溢出效应也缺乏深入的机理和途径的探讨，从而难以准确度量溢出效应的大小。本文研究的目标就是分析中国本土工业行业部门自身创新能力的特征，在以往宏观、微观层面研究基础上，研究行业部门之间这一中观层面的 R&D 溢出效应；并试图在方法运用上有所创新，利用空间计量经济学方法研究行业之间溢出效应的特点，由此提出一个比较完整的本土行业间 R&D 溢出效应机理模型。

本文余下部分结构安排如下：第二部分描述了制造业行业之间 R&D 溢出效应的机理、模型和测度方法；第三部分是对变量的说明和利用空间计量方法对工业行业之间 R&D 溢出效应进行测度；第四部分是对不同技术层次行业之间 R&D 溢出效应进行测度；第五部分总结和建议。

2 行业间 R&D 溢出效应的定义与测度方法

一般在 R&D 溢出效应的实证研究中遇到的最主要问题即是“溢出效应”无法被准确的度量。正如 Kaiser（2002）所指出的那样，R&D 活动产生的“知识流”是不可见的，它们不会在图纸或者文件中显示出自己的流动轨迹，因而任何理论学者都可以假定它们的存在或者活动的形式。正是由于这一点，很多研究 R&D 溢出效应的学者都是采用一些代理变量来表征这种效应，这些代理变量的选择一方面存在主观性，另一方面可能与实际溢出效应存在较大差异。尽管如此，这些研究还是提供了一个度量 R&D 溢出效应的途径。大多数研究 R&D 溢出效应的代理变量都采用这样一种处理方法，定义一种地区、产业或者企业之间的“R&D 空间邻接性”或者是“技术距离”。比如，当位于同一研发区域中的两个企业，如果拥有类似的技术结构或专利申请类别，一般都认为它们之间在“技术空间”上距离邻近。

2.1 垂直溢出效应

最早关于行业之间技术溢出的研究方法是由 Scherer（1982）提出的基于一个名为“Yale matrix”的矩阵分析方法，在这个矩阵中描述了知识从生产部门到使用部门的流动过程。尽管这种方法可以很好的用于分析技术溢出与生产率提高之间的关系，但是由于该方法完全基于知识生产者-用户关系，忽视了生产者部门之间的技术溢出效应，这一重要的缺陷导致其没有得到继续发展。随着投入产出方法在知识生产研究中的应用，投入产出矩阵成为定义这种“R&D 空间邻接性”或者是“技术距离”的新方法。投入产出矩阵能够揭示生产过程中

各产业部门之间相互依存和相互制约的经济技术联系，中间产品在不同产业部门之间的流动。作为 R&D 活动产出的知识或技术必然随着这些中间产品在不同的部门之间进行传播和使用，无论从流动方向还是流量大小上看，投入产出矩阵同样能够揭示知识或技术在不同产业部门之间的溢出。投入产出矩阵中，任何一个行业部门都可以从其他行业部门获取生产投入来源（即该行业的上游行业部门），也可以为其他行业部门提供产出作为其投入来源（即该行业的下游产业部门）。从这一点来看，在投入产出矩阵中，不同行业之间的关联是“垂直”方向（即上游-下游）的。

基于供应方-购买方关系的投入产出矩阵可以体现知识或技术在不同行业部门之间的流动方向和流量大小，从而能够用于衡量不同行业部门之间的 R&D 活动溢出效应。由于这种溢出效应体现的是上下游产业之间的流动，我们可以将这种溢出效应定义为“垂直溢出效应”。同时根据投入产出矩阵中的流动方向，我们可以把这种垂直溢出效应进一步细分：来自于该行业部门上游行业的 R&D 溢出效应我们称为“前向溢出效应”；来自于该行业部门下游行业的 R&D 溢出效应我们称为“后向溢出效应”。

2.2 水平溢出效应

另一个普遍应用的方法是基于 Jaffe (1986)从技术的视角建立的一个分析框架。Jaffe 基于企业的 R&D 活动特点定义了一个企业之间的技术距离，而企业之间的技术溢出效应可以通过其他企业的知识存量来进行测度，这个知识存量是用技术距离权重矩阵进行加权。Jaffe (1986) 在研究企业的 R&D 活动对他们之间的产出效率是否存在溢出效应影响时，为了衡量这种溢出效应，他定义了一个技术距离计算方法。

$$a_{ij} = F_i F_j' / [(F_i F_i')(F_j F_j')]^{1/2} \quad (1)$$

按照 Jaffe (1986) 的定义，(1) 式中的 F_i 和 F_j 分别表示企业 i 和 j 在整个制造业中产出中的份额行向量。我们可以把 Jaffe (1986) 的研究方法从微观层面推广到行业部门层面，因此在本文研究中， F_i 和 F_j 分别表示 i 行业与 j 行业的工业生产总值占到所有行业工业生产总值的比例。这样， a_{ij} 就表征了不同行业部门之间的技术距离，在此基础之上就可以度量不同行业部门之间的 R&D 活动溢出效应。其中 $0 \leq a_{ij} \leq 1$ ，当 i 行业与 j 行业的产业结构越类似，则 a_{ij} 越接近 1，反之 a_{ij} 越接近 0。

从基于 Jaffe (1986) 技术距离定义的方法中可以看出，与垂直溢出效应借助投入产出矩阵不同，这种方法的溢出效应并没有指定的方向，不同行业之间也并不一定是一种上下游部门的关系，而是考虑产业结构比较类似的行业之间产生技术溢出的可能性更大一些。在已有的文献中，胡健，焦兵 (2010) 就是采用这种方法。

2.3 R&D 溢出效应模型

Kaiser (2002) 就指出，对于 R&D 溢出效应的度量很大程度上依赖于这种溢出是如何利用一个代理变量来表征的，由于这种度量的角度并不唯一，因而 R&D 溢出效应就会表现出多种维度。而只有从不同的维度去描述这种溢出效应，才能够实现更为准确、完整的度量。从产业分工与协作角度来看，产业链包含了横向与纵向的分工协作，基于此，本文认为在中国行业部门之间的 R&D 溢出效应至少应该包括两个维度：垂直溢出效应和水平溢出效应。

在考察 R&D 溢出效应的研究中，大多都是分析空间上相邻（采用特定的空间加权矩阵定义）的地区、行业的 R&D 产出对本地区、本行业 R&D 产出的影响作用。这种分析实际上仅仅只是考虑了 R&D 溢出效应的一种途径。Keller（1998）指出当技术和知识作为一种公共物品来看待的时候，在研究 R&D 溢出效应时不应该将 R&D 的投入仅仅局限于本地范围内，实际上其他相邻经济体的 R&D 投入也会对本地的 R&D 产出有影响作用。而从产业链上看，某一个行业的研究与创新投入在很大程度上会带动其他行业进行创新；同样地，一个行业的 R&D 创新产出也会带动其他行业创新产出的提升。我们根据 R&D 溢出的这种特点，认为在不同的行业部门之间的溢出也是来自于两个不同的途径：这种效应可能是直接的，即技术上“相邻”行业部门的 R&D 投入直接影响到本行业部门 R&D 活动产出，这种溢出效应发挥的途径包括 R&D 活动的合作、贸易活动等；这种效应也可能是间接的，即其他行业部门的 R&D 产出，通过知识溢出的外部性、相互之间的 R&D 活动竞争等途径，间接影响到本行业部门的 R&D 产出，比如上游行业创新产出所获得产品质量的提高带动下游行业产品质量的提高。

综合上述两种维度、两个途径的 R&D 溢出效应的定义，我们可以得到中国制造业行业部门之间 R&D 溢出效应模型，如图 1 所示。

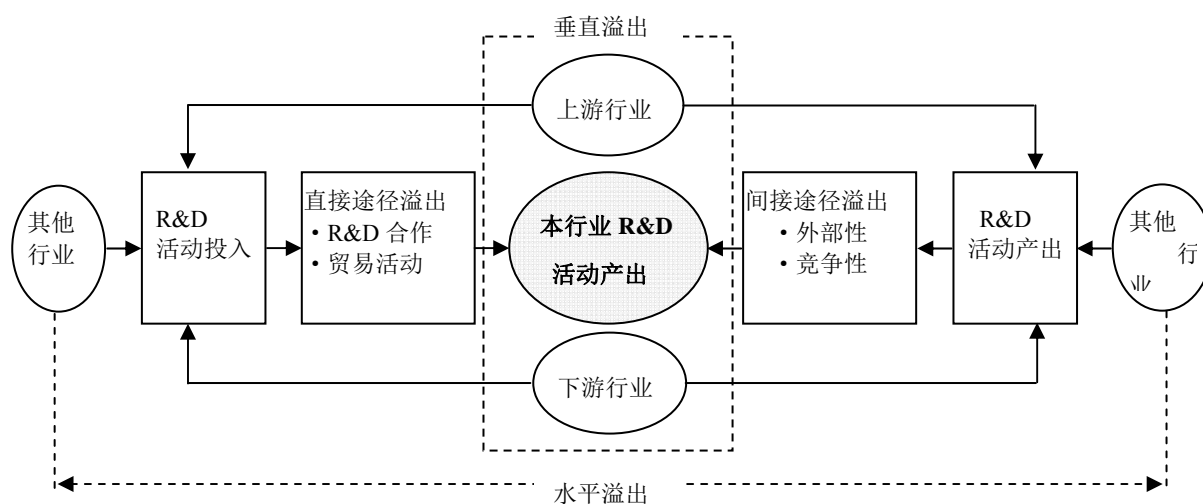


图 1 中国工业行业两种维度 R&D 溢出效应模型

2.4 测度模型和方法

研究 R&D 溢出一般都是从经典知识生产函数出发，即 Griliches-Jaffe 生产函数：

$$I_{it} = A_{it}H_{it}^{\alpha}K_{it}^{\beta}e^{\epsilon_{it}} \quad (2)$$

(2) 式中， I_{it} 代表 R&D 活动产出， H_{it} 表示 R&D 活动人员数， K_{it} 表示 R&D 资本存量， A_{it} 表示一些其他影响因素。这个函数是从索罗模型的 Cobb-Douglas 函数形式类推而来，描述了自身 R&D 投入与产出之间的关系，但是这个函数无法体现 R&D 的溢出效应。Jaffe（1986）提出了一个基于（2）式的改进模型，通过这个模型可以度量企业或者行业之间的 R&D 溢出效应。对（2）式取对数，并引入一个溢出效应变量 IRD_{it} ，可以得到（3）式：

$$\ln I_{it} = \beta_{0it} + \beta_{1}\ln H_{it} + \beta_{2}\ln RD_{it} + \beta_{3}\ln IRD_{it} + \epsilon_{it} \quad (3)$$

在（3）式中， IRD_{it} 表示其他行业对于*i*行业的R&D活动投入的外部资本存量。按照Jaffe (1986)的方法，如果行业之间确实存在R&D活动溢出效应， β_3 应该是显著的。对于 IRD_{it} 的定义，相关研究一般都是参照Jaffe (1986)提出的技术距离加权外部R&D资本存量而得到。

从两种维度的R&D溢出效应的定义中可以看出，对技术距离或者R&D空间相邻性的不同的定义将会得出不同的溢出效应测度。如果仅仅按照（3）式进行测度，首先无法体现两个途径（直接途径和间接途径）的溢出，因为仅仅包含了直接途径中的一种投入的影响作用；其次也无法把握这种溢出效应的方向。空间计量经济学的发展为解决这一问题提供了新的思路，Anselin（1990）提出通过引入空间加权矩阵可以对变量之间的空间相关性有一个更准确的把握。按照Anselin（1990）的理论，空间加权矩阵主要是基于不同研究个体在地理空间上的邻接性而设定，本文在研究过程中对此定义加以拓展，将本文中的行业部门定义为R&D活动空间中的个体，它们之间的“邻接性”可以用“技术距离”或“R&D活动相关性”来表征。根据我们定义的两维度R&D溢出效应，我们可以得到两种空间加权矩阵的定义方法。

我们定义 W_{IO} 为垂直溢出效应中的空间加权矩阵。根据Anon Higon（2007）在研究英国制造业部门技术溢出中的做法，我们并不简单的把投入产出矩阵作为 W_{IO} ，而是采用投入产出矩阵改造的Leontief逆矩阵作为 W_{IO} ，这样处理的原因在于后者相比前者更能够说明不同行业之间的上下游产业关联度。按照垂直溢出效应的定义，又可以进一步分为前向溢出效应和后向溢出效应。为了说明前向溢出效应和后向溢出效应，这里对 W_{IO} 进行处理：将 W_{IO} 分为上下两个三角阵，上三角阵进行对称化处理得到了一个新的对称矩阵 W_B ， W_B 用于测度后向溢出效应，因为其表示的该产业部门为其他生产部门提供中间产品流向；对 W_{IO} 的下三角阵同样作对称化处理得到了一个新的对称矩阵 W_F ， W_F 则用于测度前向溢出效应，因为其表示的那些为该产业部门提供消耗的其他产业部门与之关联度。

我们还要定义测度水平溢出效应中的空间加权矩阵 W_J 。按照Jaffe (1986)所采用的方法，设 w_{ij} 为 W_J 矩阵中的第*i*行第*j*列元素，从而 w_{ij} 即为行业*i*与行业*j*之间的技术距离，而技术距离的定义如（1）式所示。 W_J 是一个主对角元素为零的对称矩阵。

在（3）式的基础上，根据对不同空间加权矩阵的定义，我们可以得到反映两个维度的行业间R&D溢出效应的三阶空间计量滞后回归模型，如式（4）-（6）所示。

$$\ln I_{it} = \beta_{0it} + \beta_1 \ln H_{it} + \beta_2 \ln RD_{it} + \beta_3 \sum w_{ij}^F \ln I_{it} + \beta_4 \sum w_{ij}^B \ln I_{it} + \beta_5 \sum w_{ij}^J \ln I_{it} + \epsilon_{it} \quad (4)$$

$$\ln I_{it} = \beta_{0it} + \beta_1 \ln H_{it} + \beta_2 \ln RD_{it} + \beta_3 \sum w_{ij}^F \ln H_{it} + \beta_4 \sum w_{ij}^B \ln H_{it} + \beta_5 \sum w_{ij}^J \ln H_{it} + \epsilon_{it} \quad (5)$$

$$\ln I_{it} = \beta_{0it} + \beta_1 \ln H_{it} + \beta_2 \ln RD_{it} + \beta_3 \sum w_{ij}^F \ln RD_{it} + \beta_4 \sum w_{ij}^B \ln RD_{it} + \beta_5 \sum w_{ij}^J \ln RD_{it} + \epsilon_{it} \quad (6)$$

式（4）-（6）中， \sum 算子为求和运算且*i* ≠ *j*。式（4）是间接途径下的对两个维度R&D溢出效应的测度，式（5）是直接途径下其他行业的R&D人力投入对本行业R&D产出的两

个维度下的溢出效应，式（6）是直接途径下其他行业的 R&D 经费投入对本行业 R&D 产出的两个维度下的溢出效应。

3 空间计量方法度量行业之间 R&D 溢出效应

3.1 数据来源

《中国科技统计年鉴》对于中国大中型工业行业的科技活动进行了统计，一般针对工业行业 R&D 活动的研究数据来源均选自该年鉴，目前比较完整的工业行业科技活动统计时间序列从 1998 年开始计算。但是值得指出的是根据国家统计局发布的《国民经济行业分类》（GB/T4754—2002），对于工业行业分类进行了较大调整，因此 2003 年以前的工业行业统计数据不具有延续性¹。本文所选的统计时间序列为 2003-2011 年期间。

《中国科技统计年鉴》按照分行业大中型工业企业口径统计的数据在 2008 年和 2012 年的年鉴中缺失，我们采用另外一本年鉴——《工业企业科技活动统计资料》（2012 年更名为《工业企业科技活动统计年鉴》）中对于不同规模企业（分为大型企业、中型企业口径）统计的数据进行加总得到大中型工业企业口径的行业统计数据。

最后，本文选择了中国大中型工业行业中的 37 个行业 2003-2011 年期间的研发活动数据作为研究对象，剔除了《中国科技统计年鉴》中 39 个工业行业中的“其他采矿业”和“废弃资源和废旧材料回收加工业”。

3.2 变量说明

本文研究所选取的相关变量的说明如表 1 所示。R&D 活动的产出有多种变量来表征，发达国家主要把专利产出和新产品作为最重要的变量进行度量。大量相关研究认为专利数量可以用来作为衡量 R&D 活动产出的指标。有些研究认为专利申请量相比授权量更适宜作为衡量 R&D 活动产出的指标，因为无论是否获得授权，申请的行为本身就反映了 R&D 活动的过程和其持有的成本。还有 Liu（2007）采用新产品销售收入来描述 R&D 活动的产出。本文结合研究对象的特点，也是采用专利申请量作为 R&D 活动产出的代理变量。

表 1 回归变量说明	
变量名称	经济含义
I_{it}	i 行业第 t 年的 R&D 活动产出
H_{it}	i 行业第 t 年的 R&D 人力投入（万人·年）
RD_{it}	i 行业第 t 年的 R&D 资本存量（万元）
K_{it}	i 行业第 t 年的固定资产净值年平均余额（亿元）
L_{it}	i 行业第 t 年的从业人数（万人）
Y_{it}	i 行业第 t 年的新产品销售收入（亿元）

¹ 值得指出的是，不少针对工业行业 R&D 活动效率的研究并未考虑这一变动，比如潘文卿等（2011）就是直接将 1997-2008 年工业行业数据视作面板数据。

衡量一个地区或行业 R&D 人力投入的指标有很多，常见的比如科技活动人员数、科学家与工程师数、R&D 人员全时当量等。在这些指标中 R&D 人员全时当量最能够准确描述 R&D 活动的人力投入，但是由于《中国科技统计年鉴》中没有这一变量进行统计，本文只能采用科技活动人员数来表征一个行业 R&D 人力投入状况。邓明和钱争鸣（2009）等在研究中国地区之间 R&D 溢出效应的时候就采用科技活动人员数这一指标。

一个行业的 R&D 经费投入是一个流量指标，如果要准确的衡量 R&D 经费投入对产出的影响，需要计算 R&D 资本存量。本文借鉴朱平芳等（2003）的计算方法可以得到各个行业 1998-2008 年之间的 R&D 资本存量数据。计算方法为：

$$RDSTOCK_{it} = RDSTOCK_{it-1} \cdot (1 - \delta) + RDINPUT_{it} \quad (7)$$

$$RDSTOCK_{i,2003} = \frac{RDINPUT_{i,2003}}{g_i + \delta} \quad (8)$$

$RDSTOCK_{it}$ 是 i 行业第 t 年的 R&D 资本存量， $RDINPUT_{it}$ 是 i 行业第 t 年的 R&D 经费支出总额， $RDSTOCK_{i,2003}$ 是 i 行业基年（2003 年）的 R&D 资本存量， δ 是折旧率（这里取 10%）， g_i 是指 i 行业 2003-2011 年的工业总产值增长率。同时借鉴 Cameron 等（2005）的研究，给出了如（8）式说明的基年 R&D 资本存量近似算法。

上述的三个变量 I_{it} 、 H_{it} 和 RD_{it} 在计算过程中的原始数据均可从 2004-2012 年《中国科技统计年鉴》和《工业企业科技活动统计资料》中获得。相关变量的描述性统计见表 2：

表 2 变量统计性描述

变量名称	样本数	平均值	标准差	最小值	最大值
I_{it}	333	3144.643	6794.91	2	60168
H_{it}	333	24889.57	40301.66	98	284592
RD_{it}	333	648767.3	1194203	986	8451150
K_{it}	333	3848.389	6300.143	160.24	55638.66
L_{it}	333	212.7964	172.7265	14.54	819.48
Y_{it}	333	1.21e+07	2.61e+07	0	1.95e+08

中国行业间 R&D 活动垂直溢出效应所需的空问加权矩阵 W_{IO} 可以采取前述方法借助投入产出表获得。2004-2012 年期间国家统计局仅仅公布了 2007 年中国投入产出表，考虑到空问加权矩阵的固定性和稳定性，我们认为采用 2007 年投入产出表为基础进行推导较为合适。根据 Anon Higon（2007）指出的，直接采用基本流量表作为加权矩阵并不合适，将其转化为 Leontief 逆矩阵更能够准确反映上下游的关联关系。本文沿用此思路，计算获得 W_{IO} 。而计算中国工业行业间 R&D 活动水平溢出效应的空问加权矩阵 W_J 中 a_{ij} 可由式（1）计算得到，其中的 F_i 和 F_j 分别表示行业 i 和 j 在整个制造业产出中的 9×1 维份额向量。

3.3 回归结果

我们对式（4）-（6）所对应的模型分别进行回归，被解释变量为 $\ln I_{it}$ 。式（4）对应的模型中解释变量含有被解释变量的空问滞后项，是一个 SAR（Spatial Autoregressive Model）模型，存在内生性问题，如果直接采用 OLS 回归会导致估计偏误。因为其中含有多个不同

的空间加权矩阵滞后项，无法直接采用 Matlab 中空间计量模型程序包²进行回归。Arellano-Bond (1991)提出的动态面板回归估计方法，又被称为差分 GMM。而后又被进一步发展为系统 GMM 方法，该方法针对短面板数据（即时间跨度较短，但是跟踪样本点较多），采用两步法回归，进行标准误更正，能够克服模型中的内生性和数据异质性的问题。我们采用 STATA 软件中的 XTABOND2 命令来进行系统 GMM 两步法回归。

表 3 中第 1-4 列的回归结果表明，无论是否考虑到其他行业的各种 R&D 溢出效应，本行业的 R&D 资本存量和人力投入都对本行业的 R&D 产出有显著的促进作用，并且这种作用在所有的因素中处于主导地位。这一点与 Nadiri (1988)，Los (2000) 等人的研究结论是一致的。需要指出一点的就是，当考虑不同途径下不同维度的 R&D 溢出效应时，自身的 R&D 投入对产出推动作用的显著性略有降低，一方面说明在行业自身 R&D 产出的决定因素中，自身的投入并不是唯一的；另一方面也说明其他行业的溢出效应对自身的 R&D 产出也有一定的贡献作用。

表 3 回归结果揭示了两种溢出途径下，不同维度的溢出效应特点。在垂直溢出效应的分析中，前向溢出效应和后向溢出效应的作用表现出明显的非对称性。前向溢出效应不显著，无论是从直接溢出途径还是间接溢出途径来看，上游行业部门的 R&D 活动并没有对本行业的 R&D 产出产生正向溢出效应。按照 Kline 和 Rosenberg (1986) 提出的 R&D 活动“链式模型”，R&D 活动流程应该呈现出一种自下而上的良性循环过程，即通过基础研究的突破和创新推动应用研究，以及更高层次的新产品研发的发展，而来自上游产业部门在这个过程中扮演着极其重要的推动作用，迄今为止的每次技术重大革新多是循此路径。由于来自上游原材料或中间产品的供给方对本行业 R&D 活动的推动作用不足，使得中国的制造业 R&D 活动的流程并没有完全呈现出这种良性循环过程。

表 3 空间计量模型回归结果

变量名称	OLS	间接途径	直接途径	直接途径
$\ln RD_{it}$	1.14E-07(2.04)**	9.19E-08(1.81)*	8.71E-08(1.67)*	8.07E-08(1.74)*
$\ln H_{it}$	0.9968141(23.26)	0.9865917(24.2)	1.017457(23.71)	1.01721(23.91)***
$\sum w_{ij}^F \ln I_i$		-0.0001209(-0.17)		
$\sum w_{ij}^B \ln I_i$		0.0665467(5.97)		
$\sum w_{ij}^J \ln I_i$		0.1797963(7.81)		
$\sum w_{ij}^F \ln H$			-0.0002679(-0.49)	
$\sum w_{ij}^B \ln H$			0.0260362(2.74)	

² 仅仅含有一阶空间滞后项的 SAR 模型 Matlab 回归程序包可以在 www.spatial-econometrics.com 下载获得。

$\sum w_{ij}^J \ln H$			0.1170374(7.29)	***
$\sum w_{ij}^F \ln R$				8.32E-09(1.19)
$\sum w_{ij}^B \ln R$				3.49E-08(1.7)*
$\sum w_{ij}^J \ln R$				2.31E-06(5.03)***
R^2	0.7768	0.8243	0.8112	0.7935

注：模型回归变量系数右方的括号内是 t 统计量值。***：表示在 1%显著性水平下通过检验；**：表示在 5%显著性水平下通过检验；*：表示在 10%显著性水平下通过检验。以下表格说明相同。

与此形成鲜明对比的是，无论是从直接途径或是间接途径两个方面来看，来自下游行业部门的后向溢出效应都十分显著。这一结论从另外一个角度看也比较符合目前中国制造业的分工现状。如今，尽管从体量上看中国已经成为世界制造大国，但制造业的发展更多的是依赖于外部需求，从而导致制造业的 R&D 活动也呈现出明显的需求导向——本行业的 R&D 活动更多的受到了来自其下游产业部门的溢出效应影响，上游制造行业陷入到下游行业的“需求锁定”当中。这会导致行业部门的 R&D 活动具有太强的短期视野，仅以短期市场为导向而更多的关注最终产品局部技术、外观或者功用设计方面的更新，却忽略本该重视的基础 R&D 活动，削弱了自主创新能力的培养与积累。

水平溢出效应比较显著。这说明在不考虑行业上下游产业关联的前提下，行业之间由于产业结构相似性关系，在不同的行业之间存在显著的 R&D 活动溢出。表明在那些技术结构或者产品结构比较相似的产业之间，更容易产生 R&D 活动溢出效应，这一结论也与 Nadiri (1988)，Los (2000) 等的研究结果一致，它一方面反映了相似类型工业之间 R&D 活动存在一定程度的互补效应，另一方面也反映相似类型工业之间 R&D 活动存在一定程度的同质竞争。

有意思的是，无论是直接途径的溢出还是间接途径的溢出，水平效应均大于垂直效应，一种可能的解释是在性质类似的行业中，中国本土企业之间设置的技术仿制与模仿壁垒较低，并且这些行业之间的 R&D 人才流动频繁，人才的流动可能将某一行业创新产出得到的新的“知识流”带入到相类似的行业中；与此同时，由于市场配置研发经费资源的机制还不成熟，可能造成类似行业的 R&D 活动出现较多的同质竞争。而反映上下游产业之间技术溢出的垂直效应，受制于上下游之间“基础研究”、“应用研究”和“试验发展”不同分工所存在的较高技术壁垒，以及上下游人才垂直流动相较于在类似行业间的水平流动小得多，这些因素都可能导致行业间 R&D 溢出的水平效应远大于垂直效应。

从两种溢出途径——直接溢出途径与间接溢出途径的比较来看，它们对两种维度的 R&D 溢出效应的检验结果比较类似：前向溢出效应不显著，后向溢出效应与水平溢出效应都比较显著。在直接途径中，无论是其他行业的 R&D 经费支出还是 R&D 人力投入也都表现出类似的检验结论。

3.4 稳健性检验

正如我们在前文所指出的那样，用于代表 R&D 产出的变量并不仅限于专利数量，新产品销售收入一般也用于衡量创新产出。采用新产品销售收入主要有两个方面的考虑：第一，新产品销售收入最能够反映市场对 R&D 活动最终的成果——新产品的接受程度；第二，有些 R&D 活动直接产出由于商业保密或者其他原因并没有提出专利申请，在这种情况下我们采用新产品销售收入能够全面准确的来度量 R&D 活动产出，而如果简单的采用专利申请或者授权数就会有明显的遗漏误差。基于这种考虑，本文认为需要对表 3 的估计结果进行稳健性检验，具体思路就是采用新产品销售收入 (Y_{it}) 作为创新产出的代理变量，继续对 (4) - (6) 式对应的模型进行估计检验。

同时，值得指出的是如果采用新产品销售收入作为产出变量，结合古典经济增长理论模型，必须考虑到企业本身固定资产投资 (K_{it}) 和从业人员数量 (L_{it}) 的贡献作用。因此，将 K_{it} 和 L_{it} 作为控制变量引入到模型的估计中。这里固定资产投资用固定资产净值年平均余额指标来表示。 K_{it} 和 L_{it} 的行业数据来自国研网工业统计数据库。稳健性检验估计结果如表 4 所示。

表 4 稳健性检验结果

变量名称	OLS	间接途径	直接途径	直接途径
$\ln RD_{it}$	1.11e-07 (2.49) ***	1.22e-07 (2.67) ***	3.16e-08 (2.37) **	1.22e-08 (2.15) **
$\ln H_{it}$	0.3755116 (2.62) ***	0.3761283 (2.71) ***	1.566798 (10.67) ***	1.501784 (10.12) ***
$\ln K_{it}$	0.930892 (5.87) ***	0.9203782 5.94) ***	0.6436847 (5.48) ***	0.5389036 (3.86) *
$\ln L_{it}$	5.112167 (4.10) ***	4.8136 (4.07) ***	1.693908 (2.14) **	1.419718 (1.81) ***
$\sum w_{ij}^F \ln Y_i$		-0.0029195 (-1.61)		
$\sum w_{ij}^B \ln Y_i$.0358738 (3.39) ***		
$\sum w_{ij}^J \ln Y_i$		0.1023106 (2.71) ***		
$\sum w_{ij}^F \ln H$			0.0010866 (0.68)	
$\sum w_{ij}^B \ln H$			0.0244613 (2.43) ***	
$\sum w_{ij}^J \ln H$			0.0860661 (4.84) ***	
$\sum w_{ij}^F \ln R$				-2.58e-08 (-1.53)

$\sum w_{ij}^B \ln R$				2.68e-09 (2.22)*
$\sum w_{ij}^J \ln R$				1.78e-06 (3.48)

R^2	0.8165	0.8740	0.8789	0.8784

表 4 估计结果中，我们可以看到 R&D 资本存量与人力投入都对本行业新产品销售收入有显著的促进作用，该结果与表 3 保持一致。不同途径的溢出效应测度结果中，水平溢出效应仍然比较显著，这意味着不同行业之间行业结构相似性越高，新产品研发的水平溢出效应也越显著。垂直溢出效应的测度结果中：前向溢出效应仍然不显著，这一点尤其凸显在直接途径的溢出效应测度结果中；后向溢出效应也仍然呈现为显著的正向效应。同样地，行业间的水平溢出效应远大于垂直溢出效应。

稳健性检验结果表明，无论采用何种代理变量描述 R&D 活动的产出，中国工业行业 R&D 溢出效应都呈现如下特征：前向溢出效应不显著，后向溢出效应与水平溢出效应都比较显著，水平溢出效应远大于垂直溢出效应。

4 不同技术层次行业之间的 R&D 溢出效应分析

Audretsch (1996) 对荷兰制造业之间的 R&D 溢出效应进行研究，认为自身 R&D 投入与外部 R&D 投入的作用效果取决于每一个行业的技术选择，并且发现在高技术产业中，这两种 R&D 投入呈现出一种互补关系，而在低技术产业中，却呈现出一种替代关系。Los (2000) 在研究美国制造业产业部门之间的 R&D 溢出效应时，将产业部门按其技术层次划分为高技术部门、中技术部门和低技术部门，发现在这三种技术层次部门中溢出效应都是显著的，但是其大小和影响有明显差异。沿着这个思路，本文也将中国的工业行业部门按照技术层次进行划分为不同类型，并将讨论在不同类型的产业部门之间，R&D 溢出效应的方向和大小差异。

对不同产业按照其技术层次进行划分，OECD 最早对此提出过划分的依据，采用 R&D 投入强度 (R&D 经费支出占工业总产值的比重) 作为界定高、低技术产业的标准。根据 2002 年 7 月国家统计局印发的《高技术产业统计分类目录的通知》，中国高技术产业的统计范围包括航天航空器制造业、电子及通信设备制造业、电子计算机及办公设备制造业、医药制造业和医疗设备及仪器仪表制造业等行业。但是这六大行业与《中国科技统计年鉴》中的行业划分有明显差异，这里我们沿用 OECD 的划分标准和思想，对本文研究的 37 个工业行业部门进行技术层次划分。根据 2012 年《中国科技统计年鉴》的统计数据，全国规模以上工业行业平均 R&D 投入强度为 0.71%，高于这一水平的行业有 11 个，我们可以定义这 11 个行业为高技术行业。在剩余的 26 个行业中，R&D 投入强度低于 0.4% 的有 15 个，我们定义为低技术行业。其余 11 个行业定义为中技术行业。我们按照上述标准将 37 个工业行业构成的样本分为三组，仍然对式 (4) 所对应的模型进行回归，得到的回归结果如表 5 所示。

表 5 不同技术类型行业 R&D 溢出效应空间计量模型回归结果

变量名称	高技术行业	中技术行业	低技术行业
------	-------	-------	-------

$\ln RD_{it}$	6.62E-08(1.77)*	1.27E-06(4.00)***	2.06E-06(2.76)***
$\ln H_{it}$	1.14261(17.65)***	0.4331322(3.58)***	0.8378926(8.56)***
$\sum w_{it}^J \ln Y_{it}$	46.71588(1.75)*	0.151996(4.22)***	2.863942(4.25)***
$\sum w_{it}^F \ln Y_{it}$	0.0056928(3.70)***	-0.0004973(-0.14)	-0.0024303(-2.45)***
$\sum w_{it}^B \ln Y_{it}$	0.0559149(3.51)***	0.0442038(3.51)***	0.1364836(5.13)***
R^2	0.9278	0.6218	0.7536

无论是否考虑 R&D 溢出效应，高技术行业与中、低技术行业部门的自身 R&D 经费投入都对其 R&D 活动产出有显著的促进作用，只是中技术行业自身 R&D 投入贡献最为显著，但是数值最低，而且水平溢出效应也均大于垂直溢出效应。各类行业自身 R&D 活动人力投入对产出的贡献也比较显著。这一结论与未作技术层次分类（表 3）的研究结果是一致的。

对比溢出效应估计结果，在将 R&D 经费投入按技术层次进行细分后，不同维度的 R&D 溢出效应存在明显差异：

（1）从水平溢出效应测度结果看，尽管不同技术层次工业部门的溢出效应大小和显著性存在差异，但反映的结论均一致：工业行业部门之间行业相似度越高，部门之间的水平溢出效应越大。我们认为，除了不同技术层次工业部门的溢出效应存在合理的成份外，同质竞争较强，错位竞争与研发资源配置严重扭曲的现象依然存在，如光伏、太阳能等产业产能过剩就是后果。

（2）从垂直溢出效应测度结果看，不同技术层次工业部门的前向溢出效应存在显著差距：高技术行业部门之间呈现显著的正向溢出；中技术行业部门之间的溢出效应并不显著；低技术行业部门之间呈现显著的负向溢出。该结果意味着，中国工业行业部门的技术水平与之对应的 R&D 前向溢出效应之间存在一种“斜 S”型关系。这说明在中国高技术工业部门之间 R&D 活动表现出自下而上的一定的良性溢出效应，但是在中低技术水平工业部门中并没有呈现这种效应，这一点尤其凸显在低技术水平的工业行业部门中。

（3）不同技术层次工业部门均表现出同一特征：行业间 R&D 水平溢出效应远大于垂直溢出效应。高技术工业部门之间 R&D 活动后向溢出效应约为前向效应的 10 倍；高技术工业相似度高的行业部门之间的溢出效应更大，约为其后向效应的 90 倍，表明高技术工业部门之间除了存在互补效应外，同样存在很强烈的同质竞争，很可能造成低研发产出的低效率。

（4）表 5 的结果还表明，不同技术层次工业部门之间的后向溢出效应都比较明显，但在低技术工业部门之间这种后向溢出效应表明可能存在着较强的挤出效应。

从上述分析中可以看出，对于高、中、低技术行业部门在技术溢出中的定位还要结合具体维度的 R&D 溢出效应分析才能够得出更为准确的结论。如考察第一个方程的空间溢出效应说明行业与个体之间可能存在互补效应，也可能存在挤出效应。互补效应表明各个行业的专利产出存在相互带动，表现同增同减的现象。我国已经成为世界专利产出大国，却远非专利产出强国。虽然国内专利申请数与授权数都很大，但国际专利授权数（PCT）却很少，表明我国大量的专利都是低水平、没有太大创新价值的。我国的自主创新能力要得到真正的提升需要长期的积累过程与体制完善和改进。

5 总结和建议

本文从两种描述技术距离方法的角度出发,定义了两种维度下的不同工业行业部门之间的 R&D 溢出效应。借助空间计量经济技术,本文对中国工业中的 39 个行业进行了空间面板模型分析。通过模型分析发现:在两种途径下,垂直溢出效应中前向溢出效应不明显,而后向溢出效应十分显著,同时水平溢出效应也比较显著。本文还按照技术层次类型将中国 39 个工业行业划分为 11 个高技术行业部门、11 个中技术行业部门和 15 个低技术行业部门。通过不同维度的 R&D 溢出效应实证分析发现,中国工业行业部门的技术水平与之对应的 R&D 前向溢出效应之间存在一种“斜 S”型关系。

基于对中国工业行业间 R&D 溢出效应的特征研究,针对如何更好发挥这种溢出效应对提升工业行业创新能力的推动作用,我们建议:

(1) 努力转换和调整 R&D 活动现有的路径。要从过多依靠外部需求转向供给与内部需求同时推动的路径,重视和加强基础工业的自主研发的发展战略,争取在重大技术突破上从跟踪学习的技术追随者逐步向前沿技术的引导者转变。只有在战略上强化这些转变目标,在实践中逐步实现这些转变,才能使得中国工业行业部门的 R&D 活动溢出效应走上良性发展的轨道。

(2) 政府应引导社会逐步建立由市场决定 R&D 资源的合理配置的机制,并使相似行业尽可能错位竞争,推动与促进它们之间产生互补效应;尽量避免相似行业的 R&D 活动出现较多的同质竞争而造成的资源浪费与低效率。

(3) 政府应从国家发展战略的角度加大对诸如材料、工艺等基础上游制造业 R&D 投入的力度,力争有效提升基础工业(材料工业、工艺流程等)自主创新的能力与实力,避免上游制造业陷入到下游行业的“需求锁定”当中。从根本上克服行业部门的 R&D 活动过强的短期视野,尤其是仅以短期市场为导向而更多的关注最终产品外观形状或者实用功能方面的更新。

(4) 科技政策的制定与执行中应注意适当加大对中低技术行业的扶持力度,促进高技术行业之间以及高技术行业对中低技术行业的 R&D 溢出效应的发挥。政府还应该通过知识产权保护机制以及完善高校、研究机构与企业之间人才流动机制,鼓励产学研技术合作联盟的发展,促进高校和科研机构成果产业化,提升新产品开发与研制的的能力,引导科技创新要素向企业集聚。

参考文献

- 邓明,钱争鸣.2009.我国省际知识存量、知识生产与知识的空间溢出.数量经济技术经济研究,(5):42~53.
- 韩颖,李丽君,花园园等.2010.我国7个产业的产业间R&D溢出效应纵向比较分析.科学学研究,28(4):542~548.
- 胡健,焦兵.2010.我国石油天然气行业技术溢出效应的比较研究——从技术视角探讨“资源诅咒”问题.科学研究,28(2):250~255.
- 潘文卿,李子奈,刘强.2011.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.经济研究,(7):18~29.
- 王红领,李稻葵,冯俊新.2006.FDI与自主研发:基于行业数据的经验研究.经济研究,(2):44~56.

- 魏守华, 姜宁, 吴贵生. 2009. 内生创新努力, 本土技术溢出与长三角高技术产业创新绩效. 中国工业经济, (2): 25~34.
- 尹静, 平新乔. 2006. 中国地区(制造业行业)间的技术溢出分析. 产业经济研究, (1): 1~10.
- 张杰, 张少军, 刘志彪. 2007. 多维技术溢出效应, 本土企业创新动力与产业升级的路径选择——基于中国地方产业集群形态的研究. 南开经济研究, (3): 47~67.
- 朱平芳, 徐伟民. 2003. 政府的科技激励政策对大中型工业企业 R&D 投入及其专利产出的影响. 经济研究, (6): 45~53.
- Aitken B, Harrison A. 1999. Do Domestic Firms Benefit from Direct Foreign Investment ? Evidence from Venezuela. *American Economic Review*, 89(3): 605~618.
- Anon Higon D. 2007. The impact of R&D spillovers on UK manufacturing TFP: A dynamic panel approach. *Research policy*, 36(7):964~979.
- Anselin L. 1990. Spatial dependence and spatial structural instability in applied regression analysis. *Journal of Regional Science*, 30(2): 185~207.
- Arellano M, Bond S. 1991. Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations. *The review of economic studies*, 58(2): 277~297.
- Arrow K. 1971. *Essays in the Theory of Risk Bearing*. Amsterdam: NorthHolland.
- Audretsch D B, Menkveld A J, Thurik A R. 1996. The decision between internal and external R&D, *Journal of Institutional and Theoretical Economics*, (3).
- Cameron G, Proudman J, Redding S. 2005. Technological convergence, R&D, trade and productivity growth. *European Economic Review*, 49(3): 775~807.
- Coe D T, Helpman E. 1995. International r&d spillovers. *European Economic Review*. 39(5): 859~887.
- Eaton B, Kortum S. 1997. Engines of growth: Domestic and foreign sources of innovation. *Japan and the World Economy*, 9(2): 235~259.
- Eaton B, Kortum S. 1999. International technology diffusion: Theory and measurement. *International Economic Review*, 40(3): 537~570.
- Findlay R. 1978. Some Aspect s of Technology Transfer and Direct Foreign Investment. *American Economic Review*, 68(2): 275 ~279.
- Zvi G. 1979. Issues in Assessing the Contribution of Research and Development to Productivity Growth. *The Bell Journal of Economics*, 10: 92~116.
- Haddad M, Harrison A. 1993. Are There Spillovers from Direct Foreign Investment ? Evidence from Panel Data for Morocco. *Journal of Development Economics*, 42: 51 ~74.
- Jaffe A. 1986. Technological Opportunity and Spillovers of R&D: Evidence from Firms' Patents, Profits, and Market Value. *American Economic Review*, 76(5): 984~1001.
- Kaiser U. 2002. Measuring knowledge spillovers in manufacturing and services: an empirical assessment of alternative approaches. *Research Policy*, 31(1): 125~144.
- Keller W. 1998. Are international R&D spillovers trade-related? Analyzing spillovers among randomly matched trade partners. *European Economic Review*, 42(8): 1469~1481.
- Keller W. 2004. International technology diffusion. *Journal of economic literature*, 42(3): 752~782.

- Kline S J, Rosenberg N. 1986. An overview of innovation. The positive sum strategy: Harnessing technology for economic growth: 275~ 305.
- Liu X, Buck T. 2007. Innovation performance and channels for international technology spillovers: Evidence from Chinese high-tech industries. *Research Policy*, 36(3): 355~366.
- Los B. 2000. The empirical performance of a new inter-industry technology spillover measure. *Technology and Knowledge*: 118~151.
- Nadiri M I. 1993. Innovations and technological spillovers. National Bureau of Economic Research.
- Romer P M. 1986. Increasing Returns and Long-Run Growth. *Journal of Political Economy*, 94:1002~1037.
- Scherer F M. 1982. Inter-industry technology flows in the United States. *Research policy*, 11(4): 227~245.
- Scherer F M. 1982. Inter-Industry Technology Flows and Productivity Measurement. *Review of Economics and Statistics*, 64: 627~634.