

空气污染如何抑制了经济增长

——基于劳动力迁移视角的解释

胡志高 胡羽琦*

内容提要 对空气污染与经济增长关系的认知偏差，导致了地方政府治理空气污染的内在激励不足，进而对空气污染的长效治理形成了挑战。虽然越来越多的证据表明空气污染可能会制约经济增长，但证据分散和论证不足导致这一观点并未受到地方政府重视。为了证实这一观点，提升政府治污的主观意愿，本文从劳动力迁移视角出发，采用中介效应模型和调节中介效应模型检验了空气污染影响经济增长的劳动力迁移机制，及该机制中的环境规制调节和协同集聚调节作用。结果表明：第一，空气污染能够显著抑制经济增长，而且这一作用可以通过劳动力迁移机制来传导；第二，环境规制一方面会抑制劳动力迁出，促进经济增长，另一方面还会在与空气污染的交互作用下促进劳动力迁出，抑制经济增长；第三，协同集聚和劳动力迁入的交互作用有利于经济增长，但由于空气污染对劳动力迁入的抑制效应，在协同集聚程度更高的地区，空气污染的经济损失反而更大。这些结论对区域可持续发展具有重要启示：首先，环境质量和经济增长之间并非此消彼长的关系，二者可以共赢；其次，劳动力因污染而迁移的机制是缓解地区发展差距的重要突破口；最后，环境规制对劳动力迁移机制的调节意味着政府治理污染应该当机立断、重拳出击。

关键词 空气污染 劳动力迁移 经济增长 作用机制 调节中介效应模型

* 胡志高，汕头大学商学院，电子邮箱：472496481@qq.com；胡羽琦，上海财经大学财经研究所，电子邮箱：huyq@163.com。作者感谢全国统计科学研究一般项目“联合国可持续发展统计指标本土化研究”（2021LY022）和汕头大学科研启动经费项目“产业生态化视角下粤港澳大湾区建设研究”（STF20023）的资助。

一 问题提出

中国区域经济的演化已经形成了城市抱团发展的格局，但大城市对小城市的极化效应强而扩散效应弱是不争的事实。处在圈内的小城市尚且难以享受足够的溢出效应，圈外城市更难有效融入大城市的发展进程。然而，实现经济的快速增长是每个地区居民和政府的共同愿望，竞争优势不足、发展观念不正以及早期的政治晋升锦标赛已经导致部分城市走上了牺牲环境换取增长的错误道路。反思当前经济环境发展的现状，如果没有国家层面强力而持久的环境规制政策，那么走上错误道路的城市将会层出不穷。

自 2013 年大范围雾霾频发以来，日益严格的环境规制已经坚持了 7 年之久，但空气污染问题仍未完全解决。这固然有自然因素、经济因素、法律因素、制度因素的影响，地方政府本身治理污染的主观意愿不强也是一个非常重要的原因（胡志高等，2019）。政府治理污染主观意愿不强会导致在具体政策的制定与实施过程中各层级、各部门无法同心协力，不但难以解决外部问题，甚至可能产生内部阻力。而污染治理主观能动缺失的症结在于对空气污染与经济增长关系的认知偏差。长期以来，地方政府治理污染的动力主要源于中央政府的压力。在地方政府眼中，空气污染与经济增长之间就是此消彼长的关系，空气污染治理得越彻底，经济增长的代价就越高昂。在这种观念下，地方政府自然没有治理污染的决心和推进合作的耐心。因此，只有正确认知空气污染与经济增长之间的关系，才能增强政府部门治理污染的主观意愿，才能从内部加强污染治理合作。

对于经济增长与空气污染之间的理论关系，早期大量文献认为空气污染只是经济增长的一个负面结果。这类文献已经将经济增长对环境污染的影响研究得较为深入和全面，甚至近期的研究还考虑了反向因果关系（邵帅等，2016），遗憾的是这一做法仅仅出于排除可能的干扰这一严谨性目的。相关文献并没有切实认识到空气污染对经济增长影响的重要性，也没有深入分析和评估空气污染对经济增长的抑制作用。只有少数学者注意到，空气污染也能显著制约经济增长。Hao et al. (2018) 认为，在其他条件不变的情况下， $PM_{2.5}$ 浓度增加 $5\mu g/m^3$ 可能导致人均地区生产总值（GDP）下降约 2500 元，但其同时也指出该作用存在的根源是环境规制而非污染本身，这一观点也将空气污染与经济增长关系的认知推回到了起点。谢婷婷和王勇（2022）则明确指出，空气污染本身也会对经济增长产生抑制作用。该研究采用中国人口普查、夜间灯光和

基于卫星反演的大气污染等数据分析空气污染的经济增长效应。结果发现，空气污染不但降低了经济增长的速度，还降低了经济增长的质量。因此，最新的研究已经初步确认了空气污染对经济增长的负面影响。本文则以此为基础，分析空气污染影响经济增长的作用机制，从而增强最新研究的可靠性并发掘作用渠道中的经济原理，为提升政府治理污染的主观意愿做出边际贡献。

虽然少有研究探讨空气污染对经济增长的影响，但关于空气污染经济社会危害的研究却不少见。这些无心插柳的文献为探究空气污染影响经济增长的作用机制开拓了思路，也在一定程度上支持了空气污染对经济增长的抑制效应。一方面，部分文献证实，空气污染可以通过抑制森林生产力、粮食蔬菜产量和质量以及旅游业发展等途径，直接制约部分产业的发展（Smith, 1990）。另一方面，部分文献还证实，空气污染可以通过限制劳动供给、智力投入和劳动生产效率影响整个宏观经济（Chang et al., 2019; Pun et al., 2017）。

本文想要考察的则是空气污染影响经济增长的另一条机制——劳动力迁移机制。原因有二：第一，对于解释空气污染的经济危害，探讨劳动力迁移机制更加具体。相比于劳动效率、创新程度和全要素生产率等因素，劳动力的迁移更加直接，容易感知。而且，以此为中介因素也更容易被政府和公众所认同，对于提升政府治污的主观意愿也更有帮助。第二，探讨劳动力迁移机制本身就是一大创新。虽然空气污染与劳动力迁移关系的研究和劳动力迁移与经济增长关系的研究日益丰富，将三者放在同一框架下进行讨论的研究却十分有限。而且，探讨空气污染影响经济增长的劳动力迁移机制，也是以上两类研究在理论上的交织与延伸，其合理性也会进一步增强。

具体而言，本文采用中国省级面板数据，结合中介效应和调节中介效应模型，验证空气污染影响经济增长的作用机制。首先，本文在基准模型、一系列稳健性策略及包含工具变量的中介效应模型基础上，分别从短期和长期验证空气污染通过抑制劳动力迁入或加快劳动力迁出制约经济增长的作用机制。其次，从劳动力的迁入和迁出角度、空气污染严重程度和经济长期发展维度三个层面，探讨劳动力迁移机制在不同情境中的异质性。最后，基于环境规制对空气污染的重要性和制造业与生产性服务业协同集聚水平对劳动力迁移的重要性，验证劳动力迁移机制中的环境规制调节效应和协同集聚调节效应。

本文的创新之处在于以下三个方面：第一，证实了空气污染作用于经济增长的劳动力迁移机制；第二，发现了劳动力迁移机制中的环境规制调节效应和协同集聚调节效应；第三，提出了一个简单的空气污染工具变量。本文接下来的内容安排如下：第

二部分是空气污染与劳动力迁移的特征性事实分析；第三部分是理论假说的提出；第四部分是实证研究的方法和数据的介绍；第五部分是劳动力迁移机制的检验结果；第六部分是劳动力迁移机制在不同情境中的异质性分析；第七部分是劳动力迁移机制中调节效应的检验；最后是文章结论。

二 空气污染与劳动力迁移的特征性事实

（一）空气污染的特征性事实

自 2013 年大范围雾霾频发以来，中国空气质量的改善有目共睹。即便以空气污染监测数据开始完备的 2014 年为参照，中国空气污染治理成效依然显著。2014 年空气污染最严重的地区年均 $PM_{2.5}$ 浓度为 $201\mu g/m^3$ ，2018 年下降到了 $71\mu g/m^3$ ，也就是所有地区年平均空气污染程度已经降至轻度污染以下。在此期间，整体高污染地区也从华北、西北、西南、东北等地区的大范围镶嵌式分布，收缩到了河北、河南和新疆等地区。正是由于法律法规的完善程度、覆盖广度和落实深度都达到了前所未有的地步，才使中国空气污染的治理取得了较大的成效。但即便如此，实现空气污染的全面改善仍路途漫长。2018 年中国年均空气质量为优的地区仅有广东、云南、西藏、海南的部分城市以及其他省份的少数城市。从月度空气污染的均值来看，还存在 $PM_{2.5}$ 浓度达 $200\mu g/m^3$ 的重度污染地区，轻度污染的地区也覆盖了华中、华北、西北、西南的许多城市。而全年轻度污染以上天气超过 30 天的地级以上城市达到了 166 个，特别是河北、山西的部分城市轻度污染以上天气甚至达到了 120 天。

由此可见，中国空气质量的改善仍然存在较大空间。但 2018 年到 2020 年间，这种改善幅度极小，甚至部分地区还出现了倒退。这就意味着中国空气污染的治理出现了瓶颈。这固然有长期污染导致生态基础遭到削弱的缘故，然而基于外部压力而实施的环境保护行动难以长效维持和进一步推进也是一个重要原因。特别是中国正面临严峻的国际政治合作环境和巨大的国内经济下行压力，容易导致环境治理的松懈，从而不利于空气污染的长效治理。所以，从总体来看，中国的空气污染治理已经取得了一定成效，但进一步改善甚至维持治理成效还面临一定挑战，而且河北、新疆和山西等地区以及许多中小城市的空气质量仍然不容乐观。

（二）劳动力迁移的特征性事实

规模庞大的可迁移劳动力是中国经济建设的中坚力量。近年来，劳动力迁移不仅表现出较强的区域特征和人口结构特征，迁移的原因也趋于多样化（张海峰等，

2019)。不仅如此，从2020年百度迁徙大数据中还可以发现，劳动力迁移目的地的选择也存在一些值得深思的特征。仅从日度数据就可以发现，不论在省份层面还是城市层面，劳动力迁入最多的几个地区几乎都是劳动力迁出最多的地区。所以，中国的劳动力迁移大部分是有回流的短期迁移。从这个角度来看，中国经济建设的主力军仍然面临难以在工作地扎根的困境。户籍改革和社会保障体系的完善仍然是今后经济体制改革的重点。将迁入和迁出规模加总得到迁移总量这一指标，可以有效反映地区经济社会发展与国内其他地区的关联。以2020年百度迁徙大数据为基础，可以得出广东、江苏、河南、浙江、四川等省份的发展与国内其他省份的关联最大，而广州、北京、深圳、上海等城市的发展与国内其他城市的关联最大。

从劳动力的迁移关系角度来看，城市层面的劳动力迁移具有支援省内或周边重要城市的特征。例如，深圳的外来劳动力主要源自东莞、惠州、梅州等地，广州的外来劳动力则主要来源于佛山、清远、湛江等地；北京的外来劳动力主要来自廊坊、保定、张家口等地；杭州的外来劳动力则主要源自绍兴、嘉兴、金华、湖州等地；南京的外来劳动力主要源自镇江、滁州、马鞍山、淮安等地；而重庆的外来劳动力主要源自广安、达州、遵义、泸州等地。省际劳动力的迁移则表现出一定的区域差异。例如，湖南、江西和广西的劳动力绝大部分迁往广东，河南劳动力主要迁往江浙沪和广东，河北和东北三省的劳动力主要迁往北京，而安徽的劳动力主要迁往江浙沪地区。此外，许多北方城市的劳动力选择迁移目的地时既会考虑北方也会考虑南方，而南方城市的劳动力则更多会选择南方作为迁移目的地。由此可见，总体而言，中国劳动力迁移中的“孔雀东南飞”故事仍然在延续，只是这故事的背景已然发生了改变。

（三）空气污染与劳动力迁移的关系

结合空气污染的区域分布特征和劳动力迁移特征，还可以发现劳动力迁出城市总体上空气污染较为严重，而劳动力迁入城市空气质量相对较好。即便北京作为中国的政治、经济、文化中心，对于劳动力的吸引力得天独厚，其外来劳动力的主力也是空气质量更差的河北地区。为了进一步确认空气污染与劳动力迁移的关系，我们单独提取10~12月份劳动力迁移的样本和空气污染数据进行分析。因为一年中不同城市的空气污染程度差异在10~12月份达到最大，而劳动力的迁移目的在这一期间却不会发生明显变化^①。这一处理方式下，空气污染与劳动力迁移之间的关联变得更加显著。

为了从严格的统计分析中发现二者的关联，我们还引入了半参数估计的方法。在

^① 当然，此处排除了东北三省迁往海南的样本。

对变量关联进行分析时，半参数估计得到的图形可以排除其他因素的干扰，对于合理考察变量关系非常有效。排除其他因素干扰后，可以得到空气污染与劳动力迁移的关系图（图 1）。我们发现，空气污染与劳动力迁出之间存在显著的正向关联。不仅如此，在半参数估计下，空气污染与经济增长也存在显著负相关关系。所以，空气污染很可能促进劳动力迁出，抑制劳动力迁入，进而阻碍当地经济增长。

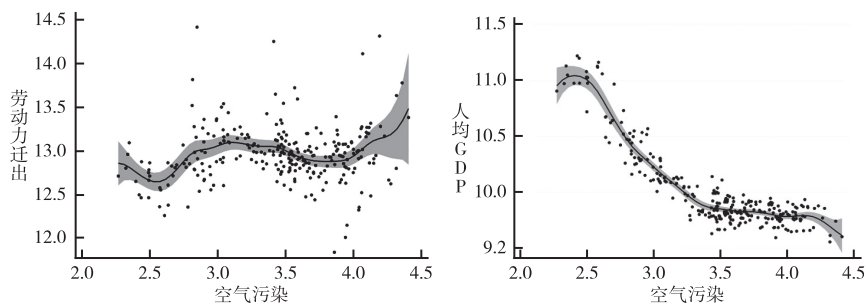


图 1 空气污染与劳动力迁出和经济增长的关系

资料来源：根据作者收集数据整理和计算得到。

三 假说提出

（一）劳动力迁移的中介效应

劳动力迁移由多重因素共同决定，伴随环境经济领域的研究不断深入，环境污染成为考察劳动力迁移的重要因素。Xu & Sylwester (2016) 基于多国样本数据得出，不论是在国际还是国内，环境污染都是推动劳动力迁移的重要因素，居民迁徙很大程度上是为了规避迁出地的环境污染。孙伟增等 (2019) 则采用中国的流动人口抽样调查数据，证实了空气污染对于劳动力的就业选址具有显著的负向影响，城市的 $PM_{2.5}$ 浓度每上升 $1\mu g/m^3$ ，流动人口到该城市就业的概率就会显著下降 0.39%。

所以，随着经济社会的发展和收入水平的提升，居民对健康和美好生活的追求会使得劳动力在迁移过程中更多地考虑环境污染问题。此外，劳动力的迁入对当地经济发展、社会进步和环境改造具有较强的积极作用，迁出则具有较强的消极作用 (Jia et al., 2017)。因此，本文提出第一个假说：

H1：空气污染可以通过抑制劳动力迁入和促进劳动力迁出阻碍当地经济增长。

（二）环境规制的调节效应

空气污染能够影响劳动力迁移的根本原因，在于劳动力环境意识的觉醒和健康意

识的提升。如果没有这一前提，空气污染就不能作为一个重要因素纳入到劳动力的迁移决策之中。基于此，空气污染对劳动力迁移决策的影响程度便会受到其他因素的调节和制约。这些因素一方面来自劳动力自身，另一方面来自区域特征给劳动力主观带来的影响。比如地区环境规制强度就会通过影响劳动力对未来环境污染的预期来影响劳动力迁移决策，这其中就伴随着影响劳动力行为决策的两种心理或效应。

第一种效应是环境规制对劳动力迁移的直接影响。严格的环境规制会提升劳动力对政府控污力度和决心的信任程度，进行长期决策的劳动力可能会预期未来环境质量改善，从而降低当前的迁移需求。第二种效应则是环境规制对劳动力迁移的间接影响。当空气污染程度较高时，环境规制强度大可能意味着政府治理污染的能力不足。高程度的空气污染与高强度的环境规制长期并存会使劳动力更倾向于认为政府已经尽己所能但仍然无法治理环境污染。此时，环境规制强度越大，越容易加强劳动力因规避污染而迁移的动机，从而空气污染对劳动力迁出的影响效果就越大。因此，环境规制一方面会直接抑制劳动力的迁出，另一方面会在空气污染影响劳动力迁移的过程中加强空气污染促进劳动力迁出的作用。所以，本文提出第二个假说：

H2：空气污染影响经济增长的劳动力迁移机制会受到环境规制的正向调节。

（三）协同集聚的调节效应

劳动力迁移能够影响经济增长的原因在于，劳动力迁入会补充当地生产所需的劳动要素并增加人力资本溢出，劳动力迁出则相反。如果这些作用受到其他因素的干扰，那么劳动力迁移对经济增长的影响就会受到限制。制造业与生产性服务业的协同集聚（下文简称协同集聚）会影响劳动力的有效投入和人力资本的溢出，因此劳动力迁移对经济增长的影响会受到协同集聚水平的调节。同时，这也说明协同集聚水平的提升不仅能够直接促进经济增长，还能通过与劳动力的耦合间接促进经济增长。

协同集聚水平的提升可以通过促进城镇化、提高全要素生产率和增强城市创新能力等方式促进经济增长（伍先福、杨永德，2016）。但从根本上讲，协同集聚促进经济增长的原因还在于它能使工作机会更为集中，从而减少分散生活的成本，最终让居民接受更低工资的同时提升家庭有效收入，让企业降低劳动支出和共享商业设施使生产成本更低（胡尊国等，2015）。因此，协同集聚影响经济增长的根本途径是通过降低生产和生活中的隐性成本，使资源配置效率更高。具体而言，协同集聚水平的提升不仅会减少资本错配，还有利于降低劳动力错配（崔书会等，2019）。从这一点出发，劳动力的迁移要想更好地发挥对经济增长的影响，还需要与协同集聚因素相互作用（黄繁

华等, 2020)。基于此, 本文提出第三个假说:

H3: 空气污染影响经济增长的劳动力迁移机制会受到协同集聚水平的正向调节。

四 模型的构建与数据的说明

(一) 模型构建

本文致力于考察空气污染如何通过作用于劳动力迁移而影响经济增长, 因此采用中介效应模型进行估计。模型具体形式如下:

$$PGDP = \alpha_0 + \alpha_1 pollution + AX + e_1 \quad (1)$$

$$migration = \theta_0 + \theta_1 pollution + \Theta X + e_2 \quad (2)$$

$$PGDP = \varphi_0 + \varphi_1 pollution + \varphi_2 migration + \Phi X + e_3 \quad (3)$$

其中, $PGDP$ 为各地区经济增长水平, $pollution$ 为各地区空气污染水平, $migration$ 为劳动力迁移变量, e 为随机误差项, X 为其他控制变量的集合。首先考察第一个式子中 $pollution$ 变量的显著性, 若 α_1 不显著, 则本文考察的关系不成立, 无需继续做中介效应的检验; 若 α_1 显著, 则依次考察后两个式子中 $pollution$ 变量的显著性。若 θ_1 和 φ_2 均显著, 则可根据 φ_1 的显著性判定模型属于完全中介效应模型还是不完全中介效应模型; 若 θ_1 和 φ_2 中有一个不显著, 则需要根据 Sobel 检验的结果来进一步判定 $pollution$ 是否会通过作用于 $migration$ 来影响 $PGDP$ 。

(二) 变量选取

为了验证空气污染可以通过作用于劳动力迁移影响经济增长, 需要采用一个包含以上三个因素的中介效应模型。其中, 经济增长变量采用人均 GDP 来度量, 空气污染采用 $PM_{2.5}$ 浓度来衡量, 劳动力迁移采用劳动力净迁入率来衡量。具体而言, $PM_{2.5}$ 浓度采用哥伦比亚大学解析的空气污染遥感数据, 而劳动力迁移数据源自公安部流动人口调查数据。此外, 为了反映经济的长期增长能力, 我们还引进了长期经济发展指数。

为了保证估计结果的准确性, 模型进一步控制了人口规模、工业比重、增长目标、地区创新、环境规制和协同集聚等因素。其中, 人口规模因素在经济增长模型中意味着劳动力池的规模, 人口规模越大越有利于劳动供给, 对于企业与劳动力之间的双向选择也更为有利。所以, 人口规模越大越有利于经济增长。在劳动力迁移的模型中, 人口规模则意味着劳动力关系的数量。人口规模越大, 越有可能吸引具有一定关联关系的劳动力前来投靠 (Parla, 2011)。因此人口规模越大也越有利于劳动力的迁入。

工业比重因素在经济增长模型中既意味着污染又意味着产出，因此工业比重因素会同时影响地区空气质量和地区经济增长，控制工业比重有利于减少经济增长模型中可能存在的内生性（Fang et al., 2020）。而在劳动力迁移模型中，工业比重又意味着就业岗位，工业比重越大的地区可能提供的就业岗位越多，越有利于劳动力的迁入。

中国会预设一个经济增长的目标，虽然这一目标并不是政府必须达成的硬性指标，但对于政府的短期经济行为会产生较大的影响，从而也可能会影响经济增长。对于劳动力迁移而言，经济增长目标的设立也是居民对地区经济发展预期的重要参考。由于劳动力会因为预期收入而迁移，因此经济增长目标的设立也可能影响劳动力的迁移。

创新氛围也是影响经济增长和劳动力迁移的重要因素。对经济增长而言，地区的创新氛围越浓厚，越有利于企业研发和竞争力提升，同时越能吸引企业入驻，对地区经济增长越有利（Ucar, 2018）。对于劳动力而言，创新氛围越浓厚，越有利于劳动力的学习和交流，也越容易发挥人力资本的溢出作用。具体而言，采用《中国城市和产业创新力报告 2017》中发布的城市创新指数来衡量。

另外，环境规制和协同集聚虽然是调节变量，但在基准模型中也不可遗漏。其中，政府对环境的规制一方面有利于控制当地空气污染，另一方面环境规制的创新效应还可能带来企业竞争力的提升，从而促进经济增长（Chuang & Huang, 2018）。因此，控制环境规制有利于更准确地估计空气污染对经济增长的影响。而且正如理论假说中指出的那样，由于环境规制会影响劳动力对空气污染的预期，所以也能在一定程度上影响劳动力的迁移。本文采用工业二氧化硫去除率和排污费收入衡量环境规制。

生产性服务业和制造业的协同集聚能够有效降低企业的交易费用，提升企业的经济利润，从而促进企业发展和地区经济增长（Ke et al., 2014）。此外，生产性服务业与制造业的协同集聚有利于进一步扩大劳动力的供给。协同集聚能够使得家庭成员在同一地区获取适合的岗位，从而降低异地就业带来的生活成本。而且，相比于异地而居，共同生活带来的感情收益也能提升居民福利。因此，产业的协同集聚有利于进一步释放家庭劳动力的供给。借鉴杨仁发（2013）的做法，通过生产性服务业和制造业各自集聚规模的相对差异来衡量两者的协同集聚程度，计算公式为： $cag = 1 - |mag - sag| / (mag + sag)$ ，其中 mag 表示制造业集聚规模， sag 表示生产性服务业集聚规模（徐现祥、梁剑雄，2014）。

此外，为了更加准确地验证模型反映的中介关系，本文还控制了地形坡度特征、气候固定效应、东中西区域固定效应以及年度固定效应。以上因素都可能影响经济增长或劳动力迁移，因此，控制以上因素有利于减少遗漏变量导致的内生性。

(三) 数据说明

本研究采用省级层面的面板数据进行考察。其中，流动人口统计数据是根据 2004 年到 2012 年公安部治安管理局编印的《中华人民共和国全国分县市人口统计资料》整理而得。该数据的流动人口是按照人口流动的实际迁入和迁出来统计的。需要指出的是，流动人口统计资料并未发行电子版，而是每个年度发行一册，2014 年发行完 2012 年数据后停止发行。因此，所能获取的数据只到 2012 年。经济增长目标的数据来自于徐现祥和梁剑雄（2014），地形坡度数据源自封志明等（2007）。气候类型数据通过查询相关气候网站手工整理。其他经济、社会发展指标来自 EPS 数据平台。表 1 是相关变量的描述性统计。

表 1 主要变量的描述性统计

变量	均值	标准差	最小值	最大值	样本量
经济增长(对数)	10.0265	0.6528	8.8519	11.6935	270
长期经济发展(指数)	50.5672	2.2752	45.3051	58.0244	270
空气污染(对数)	3.4459	0.4905	2.2698	4.4058	270
劳动净迁移率(%)	-0.5956	0.9063	-7.2175	1.6592	270
劳动力迁出量(对数)	12.9630	0.8363	10.5095	15.0578	270
劳动力迁入量(对数)	13.1145	0.7073	11.0977	15.0387	270
人口规模(对数)	17.3367	0.8001	15.4154	18.5093	270
工业占比(%)	48.3057	8.2318	22.6150	67.3052	270
经济增长目标(%)	10.3741	1.5300	0.0000	15.0000	270
协同集聚程度(指数)	0.7318	0.1071	0.5123	0.9892	270
创新程度(指数)	0.6504	1.5906	-1.8828	6.0647	270
环境规制(%)	0.3878	0.1722	0.0000	0.7315	270

资料来源：根据作者收集数据计算得到。

五 空气污染影响经济增长的劳动力迁移机制

(一) 基准回归结果

对中介效应的估计采用结构方程形式，表 2 中第 1 列到第 3 列构成一个中介效应模型，第 4 列到第 6 列为另一个中介效应模型。其中，第一个中介效应模型在分析空气

污染与经济增长的关系时没有考虑其他因素的影响，第二个模型则考虑了其他因素的影响。从表 2 所有经济增长方程的估计结果中可以看出，空气污染对经济增长存在显著的抑制作用。大量研究证实了空气污染对劳动要素的制约和对不同产业的损害作用 (Aragón et al., 2017)，而本文则在此基础上直接评估了空气污染对经济增长的影响。当然，由于空气污染与经济增长之间存在较强的双向因果关系，基准模型得到的空气污染对经济增长的抑制作用可能低估真实效应 (Zhu et al., 2019)。但即便如此，在控制劳动力迁移和其他因素前后，空气污染对经济增长的抑制作用都非常显著，证明二者之间存在很强的因果关联。

对于本文重点关注的中介效应，两个模型的估计结果则差异较大。在第一个中介效应模型中，由于第 2 列空气污染对劳动力净迁入的影响系数不显著，所以，整个中介效应的存在性需要根据 Sobel 检验的结果来判定。而 Sobel 检验结果显示，该模型中介效应不显著。因此，在验证劳动力迁移是否为空气污染制约经济增长的一种重要传导机制时，还需要考虑其他经济社会因素的影响。当然，这也为后文其他模型引入控制变量提供了依据。第二个中介效应模型分别控制了环境规制、人口规模、工业比重、地区增长目标、地区创新能力及制造业和生产性服务业的协同集聚水平等变量。结果表明，相比第一个中介效应模型，第二个模型中空气污染对经济增长的总效应和直接效应分别提升到了 -0.6510 和 -0.6311 ，而间接效应方程也变得显著。所以，控制其他经济社会特征后的模型估计结果更加符合预期。结合第 6 列空气污染系数的显著性可知，空气污染通过劳动力迁移影响经济增长的机制属于不完全中介效应。

表 2 劳动力迁移机制的基准模型

	不控制其他变量的中介效应模型			控制其他变量的中介效应模型		
	经济增长	劳动力净迁入	经济增长	经济增长	劳动力净迁入	经济增长
空气污染	-0.4397^{***} (0.0707)	-0.1604 (0.1696)	-0.4184^{***} (0.0673)	-0.6510^{***} (0.0410)	-0.3194^* (0.1642)	-0.6311^{***} (0.0401)
劳动力净迁入			0.1328^{***} (0.0250)			0.0622^{***} (0.0155)
环境规制				0.3017^{***} (0.0981)	0.1840 (0.3932)	0.2902^{***} (0.0952)
人口规模				0.0263 (0.0284)	-0.0199 (0.1138)	0.0275 (0.0275)
产业结构				0.0163^{***} (0.0020)	-0.0144^* (0.0081)	0.0172^{***} (0.0020)

续表

	不控制其他变量的中介效应模型			控制其他变量的中介效应模型		
	经济增长	劳动力净迁入	经济增长	经济增长	劳动力净迁入	经济增长
增长目标				0.0044 (0.0093)	-0.0848 ** (0.0373)	0.0097 (0.0091)
创新氛围				0.2733 *** (0.0141)	0.1169 ** (0.0566)	0.2661 *** (0.0138)
协同集聚				0.1984 (0.1895)	2.0819 *** (0.7598)	0.0688 (0.1867)
截距项	12.8577 *** (0.3537)	0.8588 (0.8479)	12.7436 *** (0.3366)	11.8331 *** (0.5969)	2.1134 (2.3929)	11.7015 *** (0.5802)
年度固定	控制	控制	控制	控制	控制	控制
地区固定	控制	控制	控制	控制	控制	控制
气候固定	控制	控制	控制	控制	控制	控制
地形固定	控制	控制	控制	控制	控制	控制
R ²	0.7646	0.2979	0.7885	0.9338	0.4477	0.9379
观察值个数	270	270	270	270	270	270

注：***、** 和 * 分别代表在 1%、5% 和 10% 水平下显著；括号内为标准误。
资料来源：根据作者收集数据计算得到。

(二) 稳健性检验

对于空气污染通过影响劳动力迁移作用于经济增长这一机制的探讨，本研究走在前列。为了避免结果的偶然性给后续研究带来困扰，在此采用三种方式进行稳健性检验。第一，将空气污染因素滞后一年。空气污染是本文的核心解释变量，但空气污染一方面会妨碍经济增长，另一方面经济增长也有可能在一定程度上决定空气污染 (Zhu et al., 2019)。为了减轻这种相互影响对模型估计结果造成的干扰，我们将空气污染因素滞后一期后考察整个中介效应的显著性 (表 3 第 1~2 列)。结果显示，上一期的空气污染不仅不利于当期的劳动力迁入，对当期的经济增长也存在较强的抑制作用，中介效应传导机制非常显著。

第二，排除省内迁入的劳动力。由于劳动力的同省流动可能面临更严重的亲属投靠问题，所以对于劳动力的省内流动可能存在一些难以控制的因素。在劳动力迁移的统计指标中扣除省内迁移量得到省外劳动力迁入指标，代回到基准中介效应模型中，可以有效排除不确定因素的干扰 (第 3~4 列)。结果显示，排除省内劳动力的流入后，劳动力迁入对经济增长的影响依然显著，但空气污染对劳动力迁入的影响不再显著。所以，排除省内劳动力流入的做法并未支持基准结果的稳健性。但这一结果可能意味

着空气污染对劳动力的省际迁移作用有限，值得后续研究继续跟进。

第三，替换经济增长指标。人均 GDP 反映的经济增长只能评价经济系统的短期变化，而在短期更有可能存在不确定因素的干扰，所以采用长期经济发展指数衡量经济的长期发展能力。将人均 GDP 替换成长期经济发展指数后，空气污染对劳动力迁移和长期经济发展的影响显著，符合预期。所以，总体而言，空气污染通过劳动力迁移影响经济增长的作用机制比较稳健，由此假说 1 初步得证。

表 3 劳动力迁移机制的稳健性分析

	解释变量滞后		排除省内流入		替换指标	
	劳动力净迁入	经济增长	劳动力净迁入	经济增长	劳动力净迁入	长期经济发展
空气污染			0.3380 (0.2828)	-0.6701 *** (0.0379)	-0.3194 * (0.1642)	-3.4918 *** (0.2137)
I. 空气污染	-0.3059 * (0.1795)	-0.6504 *** (0.0428)				
劳动力净迁入		0.0647 *** (0.0161)		0.0563 *** (0.0085)		0.1900 ** (0.0825)
截距项	3.2176 (2.5816)	11.9236 *** (0.6131)	1.8880 ** (0.7771)	11.7019 *** (0.6028)	2.1134 (2.3929)	67.8058 *** (3.0945)
其他变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
年度固定	控制	控制	控制	控制	控制	控制
地区固定	控制	控制	控制	控制	控制	控制
气候固定	控制	控制	控制	控制	控制	控制
地形固定	控制	控制	控制	控制	控制	控制
R ²	0.4487	0.9355	0.8678	0.9438	0.4477	0.8545
观察值个数	240	240	270	270	270	270

注：***、** 和 * 分别代表在 1%、5% 和 10% 水平下显著；括号内为标准误。

资料来源：根据作者收集数据计算得到。

(三) 内生性分析

前文已经指出，空气污染与经济增长之间存在较强的内生性问题。不仅如此，由于中介效应模型的显著性还与中介变量相关，这就意味着可靠的中介效应模型估计结果不仅需要考虑核心解释变量的内生性，还要考虑中介变量的内生性。好在引入两个不同功能的工具变量并非唯一的解决方法，Dippel et al.(2020) 提出了一种解决中介效应模型内生性问题的分析框架。在这一框架下，即便核心变量和中介变量可能同时存

在内生性问题，但只需要获得核心解释变量的工具变量，就可以克服中介效应模型中互为因果的内生性问题。而且，他们还通过严密的数学推导，从理论上证实了这一做法的可靠性。

现阶段，广泛使用的空气污染工具变量是通风系数（Hering & Poncet, 2014; Zhang et al., 2020）。但这一工具变量的使用存在处理复杂度高、获取难度大等缺陷，对基础研究的推动作用有限。本文认为，中国空气污染的一个有效工具变量是财政收入中的罚没收入。合格的工具变量需要同时满足与解释变量相关及与扰动项无关两个要求。一方面，当空气污染较为严重时，罚没收入会显著增多。不仅是非法排放增加更容易被发现和举报，合规途径的排放成本也可能会通过“以罚代缴”的形式计入罚没收入中，所以罚没收入与空气污染高度相关。另一方面，罚没收入虽然构成财政收入的一部分，但其比重较低，难以对经济增长和劳动力迁移产生影响。所以，从理论上讲，罚没收入可以成为空气污染的一个工具变量。而从统计分析角度看，将罚没收入作为空气污染的工具变量进行弱工具变量检验时，Cragg-Donald Wald F 统计量 (47.704) 大于 Stock-Yogo weak ID test 在 10% p 值处的水平 (16.38)，拒绝弱工具变量原假设。至此，可以判定罚没收入是空气污染的一个非常合理的工具变量。

表 4 克服内生性的中介效应估计

	经济增长	Z 统计值	长期经济发展	Z 统计值
总效应	-1.1423	-9.4647 ***	-5.2525	-9.3552 ***
直接效应	-0.4752	-4.8776 ***	-2.9233	-7.3309 ***
间接效应	-0.6671	-2.1923 **	-2.3292	-1.9876 **

注：***、** 和 * 分别代表在 1%、5% 和 10% 水平下显著。
资料来源：根据作者收集数据计算得到。

将罚没收入作为空气污染的工具变量克服了内生性问题后，再来讨论中介效应模型的结果。可以发现，空气污染对经济增长的总效应为 -1.1423，直接效应为 -0.4752，而通过劳动力迁移作用于经济增长的间接效应为 -0.6671。相比于修正前的结果，总效应和间接效应都有所提升，而直接效应略有降低。从各效应的统计显著性来看，修正后的标准误显著降低，估计结果可靠性明显增强。此外，为了证明新模型的稳健性，本文还给出了用长期经济发展替代经济增长的结果。可以发现，从经济长期发展角度看，空气污染的危害依然非常显著。因此，假说 1 确证。

六 劳动力迁移机制中的异质性分析

（一）劳动力的迁入与迁出效应

基准模型评价了劳动力的净迁入因素在空气污染影响经济增长过程中发挥的作用，但只对净迁入效果进行考察，会忽视空气污染对劳动力迁入和迁出作用的差别，也会掩盖劳动力迁入和迁出对经济增长影响的差异，所以有必要分别考察迁入效应和迁出效应并分析其作为传导机制时的不同。表5是劳动力迁入和迁出视角下的中介效应检验。从面板A中的劳动力迁入量方程估计结果来看，空气污染会显著抑制劳动力的迁入。即本地污染越严重，外地劳动力迁入本地的倾向就越低。但根据面板A的第2列结果，劳动力的迁入并未显著提升当地经济增长水平。因此，模型结果初步显示，空气污染通过抑制劳动力迁入阻碍当地经济增长的中介效应似乎并不成立。但从面板B的计算结果可知，克服内生性问题后劳动力迁入对经济增长的促进作用变得显著，而且从迁入视角来看，空气污染通过影响劳动力迁移影响经济增长的间接作用，甚至强于空气污染对经济增长的直接作用。

究其原因，可以从劳动力和政府两个层面来解释。从政府角度看，劳动力的迁入会增加短期的社会管理成本，对短期经济增长造成不利影响。而从劳动力角度来看，一方面，劳动力的迁入很可能面临短暂的摩擦性失业，一段时间内无法创造出社会财富；另一方面，由于次优择业选择或初次到岗以致对工作环境和业务熟练度不足会限制劳动力价值发挥，造成劳动力在短期内有效投入不足。所以，即便空气污染通过抑制劳动力迁入制约本地经济增长的作用非常显著，在短期不利因素的干扰下也只有严格的模型才能捕捉到这一中介效应。为了证实这一猜想，本文把经济增长替换为长期经济发展指标后，再来考察空气污染通过作用于劳动力迁入影响经济发展的机制。结果表明，以长期经济发展为考察对象，劳动力迁入的系数显著为正，此时整个中介效应也变得高度显著（面板A第3列）。因此，从经济发展的长期来考察，空气污染通过抑制劳动力迁入阻碍经济增长的机制非常显著。

从劳动力迁出视角来看，空气污染不但会显著促进劳动力的迁出，劳动力的迁出也会对经济增长产生不利影响（表5第4~5列）。因此，中介效应模型支持空气污染通过促进劳动力迁出影响经济增长的作用机制。其经济原理在于，劳动力迁出会造成熟练劳动力的缺位和生产活动的短期调整，从而损害经济的增长。劳动力迁出势必造成原有工作岗位的短期空缺或非熟练劳动力的接替，这不但可能造成工作效率的降低，

表 5 迁入和迁出视角下的劳动力迁移机制

面板 A: 迁入和迁出视角下的中介效应参数估计结果						
	迁入视角			迁出视角		
	劳动力迁入量	经济增长	长期经济发展	劳动力迁出量	经济增长	长期经济发展
空气污染	-0.1135 ** (0.0533)	-0.6431 *** (0.0413)	-3.4455 *** (0.2103)	0.1535 ** (0.0758)	-0.6268 *** (0.0396)	-3.5542 *** (0.2161)
劳动力迁入/出		0.0695 (0.0490)	0.9435 *** (0.2496)		-0.1575 *** (0.0331)	0.0107 (0.1806)
截距项	1.8880 ** (0.7771)	11.7019 *** (0.6028)	66.4262 *** (3.0718)	-3.7163 *** (1.1048)	11.2476 *** (0.5852)	68.2472 *** (3.1943)
其他变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
年度固定	控制	控制	控制	控制	控制	控制
地区固定	控制	控制	控制	控制	控制	控制
气候固定	控制	控制	控制	控制	控制	控制
地形固定	控制	控制	控制	控制	控制	控制
R ²	0.8774	0.9343	0.8596	0.8618	0.9394	0.8514
观察值个数	270	270	270	270	270	270

面板 B: 克服内生性后的中介效应计算结果				
	迁入视角		迁出视角	
	经济增长	长期经济发展	经济增长	长期经济发展
总效应	-1.1423 *** (0.1207)	-5.2525 *** (0.5615)	-1.1423 *** (0.1207)	-5.2525 *** (0.5615)
直接效应	-0.4627 *** (0.1208)	-2.8796 *** (0.5089)	-0.5210 *** (0.0645)	-3.0832 *** (0.3205)
间接效应	-0.6796 * (0.3625)	-2.3729 * (1.4321)	-0.6213 *** (0.2161)	-2.1693 ** (0.9390)

注:***、**和*分别代表在1%、5%和10%水平下显著;括号内为标准误。
资料来源:根据作者收集数据计算得到。

还可能使原生产活动进程迟滞,从而在短期内给经济增长带来不利影响。但如果从长期经济发展的角度出发,短期调整因素的影响就会在一定程度上被抚平。只要劳动岗位及时得到补充,技能熟练度的提升也会使劳动力逐渐胜任工作岗位。在劳动力迁出规模不大的情况下,劳动力迁出对经济增长的影响在长期中就会变得不显著。为了验证这一猜想,本文同样使用长期经济发展代替短期经济增长,评估空气污染通过促进劳动力迁出影响经济发展的中介作用。结果表明,在长期中,劳动力迁出会使得劳动力市场的均衡发生变化,在负反馈作用下,缺失的劳动力得到一定程度的补充,从而

造成劳动力迁出没有显著抑制经济的发展。但排除系统内生性的干扰，仅仅考察劳动力迁出这一过程对经济系统的影响时，可以发现，即便在长期，空气污染通过促进劳动力迁出抑制当地经济发展的效应依然非常显著。

综上所述，从劳动力的迁入视角和迁出视角，分别考察空气污染影响经济增长的劳动力迁移机制时，存在一定差别。虽然克服内生性的模型在长期和短期内，都捕捉到了空气污染通过劳动力迁入或迁出对经济增长造成的影响，但空气污染通过劳动力的迁入和迁出对经济增长造成的影响仍存在差异。劳动力的迁入对经济增长的促进作用存在短期无效率情形，所以空气污染影响经济增长的劳动力迁入机制在长期更有效；而劳动力迁出对经济增长的抑制作用在长期更容易被缓和，所以空气污染影响经济增长的劳动力迁出机制在短期更有效。

（二）空气污染程度的门槛效应

将样本按照空气污染的严重程度划分为高污染样本和低污染样本，然后考察空气污染程度的差异是否会对中介效应产生影响（表6）。面板A前2列为高污染样本下的劳动力净迁入方程和经济增长方程，后2列则是低污染样本下的劳动力净迁入方程和经济增长方程。前2列估计结果表明，空气污染程度较高时空气污染会显著抑制劳动力的迁入，而劳动力迁入会促进经济的增长。所以空气污染较为严重时，通过抑制劳动力迁入损害经济增长的中介机制非常显著。后2列的估计结果则表明，空气污染程度较低时虽然劳动力迁入也会促进经济增长，但空气污染对劳动力迁入的抑制作用不显著，所以此时空气污染难以通过劳动力迁移机制影响经济的增长。

面板B则采用前文所述方法处理了模型的内生性问题后，对不同污染程度地区的中介效应进行了计算。结果也表明，高污染地区的总效应、直接效应和中介效应都比较显著，而低污染地区的直接效应和中介效应都不显著。通过将经济增长替换为长期经济发展指标后再次审视这一结果，发现不同空气污染程度下中介效应的差异依然稳健。因此，可以认为，污染程度较高时，空气污染会通过抑制劳动力迁入制约经济增长；而污染程度较低时，空气污染难以通过影响劳动力迁移作用于经济增长。

需要指出的是，由于样本限制，我们无法准确估计污染程度的门槛值，但分样本估计结果的差异也足够说明，必然存在一个空气污染的门槛值使得劳动力迁移机制在不同污染水平下出现差别。这与关于空气污染影响劳动力健康状况和劳动力生产率的门槛效应的研究在理论上遥相呼应（Hu et al., 2015; Ouyang et al., 2019）。不仅如此，这一结果对现实政策也具有借鉴意义。空气污染程度与劳动力的迁出和经济增长之间的关系并非线性，当污染程度足够低时，空气污染就不会显著影响劳动力的迁出或抑

制经济增长。所以，一旦能够把空气污染控制在合理范围内，污染治理对经济增长的益处就能快速而显著地表现出来。这对于激励治污士气、贯彻治污理念非常重要。

表 6 不同污染程度下的劳动力迁移机制

面板 A: 不同污染程度下的中介效应参数估计结果				
	高污染样本		低污染样本	
	劳动力净流入	经济增长	劳动力净流入	经济增长
空气污染	-0.4983* (0.2811)	-0.2748*** (0.0461)	-0.1809 (0.2817)	-1.2695*** (0.0759)
劳动力净流入		0.0535*** (0.0146)		0.0452* (0.0243)
截距项	-0.5237 (2.9477)	8.9434*** (0.4772)	-7.4338* (3.7676)	16.7865*** (1.0299)
其他变量	控制	控制	控制	控制
年度固定	未控制	未控制	未控制	未控制
地区固定	控制	控制	控制	控制
气候固定	未控制	未控制	未控制	未控制
地形固定	控制	控制	控制	控制
R ²	0.6016	0.9847	0.2640	0.8861
观察值个数	135	135	135	135
面板 B: 克服内生性后的中介效应计算结果				
	高污染样本		低污染样本	
	经济增长	长期经济发展	经济增长	长期经济发展
总效应	-0.6034*** (0.0814)	-4.9688*** (0.7286)	-2.9319*** (0.7946)	-10.5459*** (3.1437)
直接效应	-0.1585* (0.1086)	-2.4781*** (0.7691)	1.3073 (10.9042)	5.1656 (40.0284)
间接效应	-0.4448* (0.2302)	-2.4907* (1.4879)	-4.2392 (20.2640)	-15.7115 (74.5016)

注：由于分组导致模型样本量降低，为了避免自由度损失过多造成估计偏差，在此没有控制年度特征和气候特征；***、**、*和*分别代表在1%、5%、10%和15%水平下显著；括号内为标准误。

资料来源：根据作者收集数据计算得到。

(三) 发展维度的分异效应

从经济发展的长期视角来考察时，还可以将长期经济发展分解为发展度、协调度和持续度三个层面。因此，我们可以分别考察劳动力迁移作为中介变量时，空气污染对经济长期发展的影响在这三个方面的差异。

表7第1列是空气污染影响地区劳动力迁入的估计结果，第2~7列是空气污染或劳动力迁入影响经济长期发展不同层面的结果。第1列与发展度、协调度和持续度的估计结果分别构成一个中介效应模型。第2~3列结果显示，空气污染与劳动力迁入的系数都符合预期，这表明空气污染不仅可以直接影响发展度，还能通过劳动力迁移的作用间接制约发展度。同理，第4~5列结果表明，空气污染通过劳动力迁移影响协调度的机制也成立。但第6~7列的结果则表明，虽然空气污染对劳动迁移的影响显著，但劳动力迁移对持续度的影响系数不显著，所以空气污染通过劳动力迁移影响持续度的机制并未通过检验。

表7 不同发展维度下的劳动力迁移机制

面板 A: 不同发展维度下中介效应的参数估计结果							
	劳动力净迁入	发展度		协调度		持续度	
空气污染	-0.3194 * (0.1642)	-2.6269 *** (0.0939)	-2.5863 *** (0.0925)	-0.3352 ** (0.1508)	-0.2941 * (0.1507)	-0.5904 *** (0.1206)	-0.6114 *** (0.1213)
劳动力净迁入			0.1270 *** (0.0357)		0.1288 ** (0.0582)		-0.0658 (0.0468)
截距项	2.1134 (2.3929)	30.5524 *** (1.3688)	30.2839 *** (1.3395)	16.6746 *** (2.1966)	16.4024 *** (2.1827)	20.9805 *** (1.7578)	21.1195 *** (1.7571)
其他变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
年度固定	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
地区固定	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
气候固定	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
地形固定	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
R ²	0.4477	0.9133	0.9176	0.8812	0.8835	0.8067	0.8082
观察值个数	270	270	270	270	270	270	270
面板 B: 克服内生性后的中介效应计算结果							
	发展度	Z 统计值	协调度	Z 统计值	持续度	Z 统计值	
总效应	-3.6907	-13.3768 ***	-1.0590	-2.8731 ***	-0.5028	-1.6913 *	
直接效应	-2.3318	-11.4462 ***	-0.0994	-0.4602	-0.4920	-3.1180 ***	
间接效应	-1.3588	-2.1589 **	-0.9596	-1.6352 *	-0.0109	-0.0290	

注：***、**和* 分别代表在1%、5%和10%水平下显著；括号内为标准误。

资料来源：根据作者收集数据计算得到。

所以，从空气污染对经济长期发展不同层面的影响来看，其对发展度的影响最大且最显著，其次是协调度，对持续度的影响不显著。表面上看，这一结论似乎与我们

的经济直觉相违背。但从发展度、协调度和持续度的内涵出发，这一结论就变得有据可依。由于持续度更多地偏向于反映经济社会系统的基础发展属性，如收入分配结构、基础设施建设、人口结构、城乡差距等，这些因素很难被空气污染所影响。所以，空气污染很难通过劳动力迁移的作用，间接对持续度的变化产生影响。而发展度更多地偏向于反映经济社会系统的即期增长属性，如人均 GDP、财政收入、产业结构等，这些因素更容易响应空气污染的变化，所以空气污染很容易通过劳动力迁移的作用影响到发展度。而协调度则主要反映经济社会系统的连接匹配属性，如科研投入占比、就业结构和储蓄率等，这些因素对空气污染的敏感程度介于前两类之间。所以，空气污染通过劳动力迁移作用影响协调度的效应能够被捕捉，但显著程度不及对发展度的效应。

七 劳动迁移机制中的调节效应

(一) 调节中介效应模型

从理论假说的分析来看，环境规制和协同集聚在空气污染影响经济增长的劳动力迁移机制中发挥了重要作用。因此，需要将环境规制和协同集聚作为调节变量加入到中介效应模型中进行分析。本研究在中介效应模型的基础上，将模型改写成包含调节效应的中介效应模型。根据 Preacher et al.(2007) 的观点，包含调节效应的中介效应模型分为以下五种类型（图 2）。

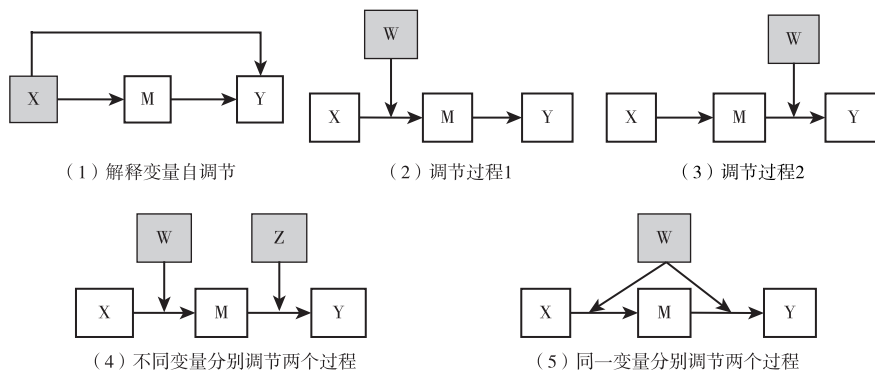


图 2 调节中介效应模型的五种理论形式

资料来源：根据 Preacher et al. (2007) 绘制。

由理论假说部分内容可知，本文主要验证的调节中介效应更适合第二、三、四种形式。第二种类型是调节变量影响解释变量与中介变量之间的关系，对应模型如下：

$$migration = a_0 + a_1 pollution + a_2 w + a_3 pollution * w + a_4 X + e_1 \quad (4)$$

$$PGDP = b_0 + b_1 migration + b_2 pollution + b_3 w + b_4 pollution * w + b_5 X + e_2 \quad (5)$$

其中， w 指代调节变量。此时，条件间接效应为 $b_1(a_1 + a_3 w)$ 。第三种类型是调节变量影响中介变量与被解释变量之间的关系，对应模型如下：

$$migration = a_0 + a_1 pollution + a_2 X + e_1 \quad (6)$$

$$PGDP = b_0 + b_1 migration + b_2 pollution + b_3 w + b_4 migration * w + b_5 X + e_2 \quad (7)$$

此时，条件间接效应为 $a_1(b_1 + b_4 w)$ 。第四种类型是两个不同的调节变量，一个影响解释变量与中介变量间的关系，另一个影响中介变量与被解释变量间的关系，对应模型如下：

$$migration = a_0 + a_1 pollution + a_2 w + a_3 pollution * w + a_4 X + e_1 \quad (8)$$

$$PGDP = b_0 + b_1 migration + b_2 pollution + b_3 w + b_4 pollution * w + b_5 z + b_6 migration * z + b_7 X + e_2 \quad (9)$$

其中， z 为区别于 w 的另外一个调节变量。此时，条件间接效应为 $(b_1 + b_6 z)(a_1 + a_3 w)$ 。

(二) 环境规制的调节

从模型估计结果来看（表8第1~2列），加入环境规制及其与空气污染的交互项后，原本的中介效应模型依然显著，且调节效应结果也非常符合预期。具体而言，在劳动力迁移方程中，环境规制系数显著为正，环境规制与空气污染交互项系数显著为负。这表明，在直接作用上，环境规制会促进劳动力迁入；而在间接作用上，环境规制会通过空气污染的作用抑制劳动力迁入。所以整体而言，环境规制对劳动力迁入存在两种相反的作用。一方面，环境规制越强，劳动力对未来空气质量改善的预期就越足，越有利于劳动力的迁入；另一方面，当空气污染较为严重时，环境规制越强，劳动力预期污染治理措施的效力越差，越不利于劳动力的迁入。将空气污染的均值带入交互项后观察环境规制对劳动力迁入的影响，发现环境规制对劳动力迁入的符号仍然为正。因此，从平均程度来看，空气污染与环境规制的交互对于环境规制影响劳动力迁移而言，只是一种负反馈调节。另外，在经济增长方程中，环境规制的系数同样显著为正，且与空气污染交互项的系数显著为负。这表明，环

境规制对劳动力迁移的两种效应的确可以有效地传导到对经济增长的影响上来。所以，假说 2 得证。

表 8 劳动力迁移机制中的调节中介效应

面板 A: 调节中介效应模型的参数估计结果						
	环境规制调节污染对迁移		协同集聚调节迁移对增长		环境规制和协同集聚双调节	
	劳动力净迁入	经济增长	劳动力净迁入	经济增长	劳动力净迁入	经济增长
空气污染	-2.6752 ** (1.0992)	-2.0135 *** (0.2525)	-0.3872 ** (0.1570)	-0.6166 *** (0.0360)	-2.6752 ** (1.0992)	-1.6375 *** (0.2669)
劳动力净迁入		0.0541 *** (0.0138)		-0.5460 *** (0.1049)		-0.4034 *** (0.1109)
环境规制	1.2646 ** (0.5726)	0.6820 *** (0.1313)			1.2646 ** (0.5726)	0.5183 *** (0.1360)
空气污染 × 环境规制	-0.3548 ** (0.1679)	-0.2118 *** (0.0385)			-0.3548 ** (0.1679)	-0.1560 *** (0.0404)
协同集聚				0.0748 (0.1672)		-0.0423 (0.1658)
劳动力净迁入 × 协同集聚				0.8413 *** (0.1438)		0.6366 *** (0.1529)
其他因素	控制	控制	控制	控制	控制	控制
年度固定	控制	控制	控制	控制	控制	控制
地区固定	控制	控制	控制	控制	控制	控制
气候固定	控制	控制	控制	控制	控制	控制
地形固定	控制	控制	控制	控制	控制	控制
观察值个数	270	270	270	270	270	270
面板 B: 调节中介效应的计算结果						
	环境规制调节污染对迁移		协同集聚调节迁移对增长		环境规制和协同集聚双调节	
中介效应	显著		显著		显著	
调节效应	显著		显著		显著	
调节变量取均值减标准差	-0.0012 (0.0124)		-0.0079 (0.0083)		0.0028 (0.0182)	
调节变量取均值	-0.1388 ☆ (0.0097)		-0.0270 ** (0.0122)		-0.0307 ** (0.0141)	
调节变量取均值加标准差	-0.0266 ** (0.0113)		-0.0619 ** (0.0265)		-0.0642 * (0.0331)	

注：面板 B 第 3 列结果有节选；***、**、* 和 ☆ 分别代表在 1%、5%、10% 和 15% 水平下显著；括号内为标准误。

资料来源：根据作者收集数据计算得到。

（三）协同集聚的调节

空气污染影响劳动力迁移的过程会受到环境规制的调节，而劳动力迁移影响经济增长的过程则会受到协同集聚因素的调节。从模型估计结果来看（表8第3~4列），将协同集聚对这一过程的调节作用纳入中介效应模型后，中介效应模型依然显著成立。而且就协同集聚的调节作用来看，虽然协同集聚变量在经济增长方程中不显著，但协同集聚与劳动力迁入的交互项系数显著为正。这意味着，协同集聚程度的提升会在一定程度上增强劳动力迁入对当地经济增长的促进作用。而由于空气污染会抑制劳动力迁入，所以随着协同集聚程度的增加，空气污染影响经济增长的劳动力迁移效应会加强，假说3得证。当然，值得一提的是，协同集聚单独引入经济增长模型时其系数显著为正，而加入协同集聚与劳动力迁移的交互项后，前者不再显著而后者非常显著。这就意味着，协同集聚对经济增长的影响很大程度上要通过劳动力迁移的作用实现。制造业与生产性服务业的协同集聚对经济系统的影响，主要在促进创新和降低成本两个方面（胡尊国等，2015）。交互项的引入会夺取协同集聚变量的贡献，则说明了现阶段中国制造业与生产性服务业的协同集聚对经济的影响，主要体现在扩大就业和降低用工成本上。

此外，为了进一步证明模型结果的可靠性，将环境规制和协同集聚对劳动力迁移机制的调节作用放到同一个中介效应模型（表8第5~6列）。可以发现，在整体中介效应模型显著的前提下，环境规制对前一过程的调节显著，而且协同集聚对后一过程的调节也显著。此外，由于两条调节机制被合并到同一个模型中考察，它们对经济增长的贡献也被重新分配。空气污染与环境规制的交互项和协同集聚与劳动力迁移的交互项的系数绝对值都有所缩小，这就意味着合并后的模型进一步修正了单独考察模型的估计偏误，其中的调节中介效应得到了更加准确的估计。从面板B结果中还可以进一步得出，随着环境规制强度的提升，空气污染通过劳动力迁移影响经济增长的作用加强；而且随着协同集聚水平的提升，空气污染通过作用于劳动力迁移影响经济增长的作用也越来越强。

八 结论与启示

本文采用省级面板数据，结合中介效应模型和调节中介效应模型，验证了空气污染影响经济增长的劳动力迁移机制，及该机制中存在的环境规制调节和协同集聚调节作用。结果表明：第一，空气污染能够显著抑制经济增长，而且这一作用部分通过劳

动力迁移机制来传导；第二，环境规制一方面会直接抑制劳动力的迁出，另一方面会加强空气污染促进劳动力迁出的作用；第三，协同集聚和劳动力迁入的交互作用有利于当地经济增长，但由于空气污染对劳动力迁入的抑制效应，在协同集聚程度更高的地区，空气污染的经济损失反而更高。以上结论存在以下三个方面的政策含义。

第一，进一步证实了环境质量和经济增长之间并非此消彼长的关系。政府各部门缺乏治理污染的内在激励，很大程度上是出于对空气污染与经济增长关系的不全面认知。治理污染固然要占用大量经济资源，挫伤企业生产积极性，并且治污本身见效缓慢，但如果放任污染不管，那么污染对经济增长的损害只会更加广泛而深远。从宏观到微观，从长期到短期，空气污染对经济增长的制约作用无处不在，经济增长的成果也大量被污染所侵蚀。而在过去，只是由于污染没有掩盖经济增长的成果，污染反而成了经济增长的“功臣”，如今确认空气污染是根植于经济增长的恶性肿瘤，地方政府就应该对治污抱有壮士断腕的决心。治污固然要付出代价，但这代价同样也是释放潜在产出的投入。

空气污染对经济增长的抑制是多维度的，治理空气污染不仅可以消除其对农业、林业、旅游业等行业发展的限制，增加有效劳动供给，为经济的长期发展带来便利，还能促进劳动力迁入、抑制劳动力迁出，对短期经济增长也有一定裨益。形成这种对空气污染与经济增长关系的全面认知，对于地区经济发展和污染治理都至关重要。污染治理和经济发展都是地区建设的头等大事，认识到二者可以得兼，就能够增强政府治污的信心与决心，提升加强合作的耐心与恒心。

第二，劳动力因污染而迁移的机制是缓解地区差距的重要突破口。劳动力的迁移不仅能够反映区域经济的演变格局，还能决定区域增长优势的扩大或消弭。劳动力的迁入可以支撑产业发展，扩大消费需求，提升市场活力。高技能人才的迁入甚至还能补强人才队伍，加快知识溢出，推进地区创新。而劳动力的大量迁出则会加速市场萎缩，对产业发展也有根本性危害。对于空气污染、劳动力迁移和经济增长之间的关系还有一个重要的问题需要理清：从一个封闭经济整体来看，劳动力有迁入必有迁出，那么是否意味着从劳动力迁移视角看，治污对经济增长的影响只有转移效应呢？答案并非如此。均衡状态下劳动力的迁入和迁出必然是一个动态平衡，但中国经济增长的事实是，劳动力的迁移很大程度上受到经济因素的影响。这就会造成经济发展水平高的地区能够不断累积经济优势，而发展水平低的地区会不断丧失发展的基础。唯有打破这种局面才能弱化地区发展的马太效应，才能避免区域发展差异进一步扩大。

对于劳动力迁移而言，环境因素是独立于经济优势的重要力量，落后地区可以通

过环境优势的建立来吸引劳动力迁入，从而减小区域发展的不平衡。此外，劳动力在不同区域集聚对经济增长也会产生不同效果。劳动力过度集聚的地区城市拥挤、房价高涨，而劳动力集聚不足的地区产业凋零、市场冷清。劳动力从经济优势较大的地区迁移到环境优势较大的地区，不仅有利于迁入城市的发展，还能解决大城市的拥堵病，同时改善迁入地与迁出地的发展环境。从这一点来看，劳动力迁移对于经济全局而言也具有创造效应。

第三，环境规制对劳动力迁移机制的调节作用意味着，政府治理污染应该当机立断、重拳出击。如果污染不能快速有效得到控制，污染程度与环境规制的交互影响就会对经济增长产生抑制作用。从总体效果上看，环境规制对经济增长的创新补偿效应就会不断减弱。当污染程度非常严重时，环境规制对经济增长甚至会产生不利影响。而且，在较高的环境规制强度下没有将空气污染水平显著降低，就会使居民逐渐丧失对政府治污能力的信心，最终造成劳动力流失，进一步制约经济增长。所以，治理空气污染长痛不如短痛，必须一步到位、严控到底，否则污染反复，不仅前期治污投入收效甚微，环境规制本身对经济增长的影响也会从促进转向抑制。因此，不管是为了实现经济的长期还是短期增长，污染较重地区都应该加强环境规制，落实执行手段，多管齐下治出效果。

参考文献：

- 崔书会、李光勤、豆建民（2019），《产业协同集聚的资源错配效应研究》，《统计研究》第2期，第76-87页。
- 封志明、唐焰、杨艳昭、张丹（2007），《中国地形起伏度及其与人口分布的相关性》，《地理学报》第10期，第1073-1082页。
- 胡志高、李光勤、曹建华（2019），《环境规制视角下的区域大气污染联合治理——分区方案设计、协同状态评价及影响因素分析》，《中国工业经济》第5期，第24-42页。
- 胡尊国、王耀中、尹国君（2015），《劳动力流动、协同集聚与城市结构匹配》，《财经研究》第12期，第26-39页。
- 黄繁华、郭卫军（2020），《空间溢出视角下的生产性服务业集聚与长三角城市群经济增长效率》，《统计研究》第7期，第66-79页。

- 邵帅、李欣、曹建华、杨莉莉 (2016), 《中国雾霾污染治理的经济政策选择——基于空间溢出效应的视角》, 《经济研究》第 9 期, 第 73 - 88 页。
- 孙伟增、张晓楠、郑思齐 (2019), 《空气污染与劳动力的空间流动——基于流动人口就业选址行为的研究》, 《经济研究》第 11 期, 第 102 - 117 页。
- 伍先福、杨永德 (2016), 《生产性服务业与制造业协同集聚提升了城镇化水平吗》, 《财经科学》第 11 期, 第 79 - 90 页。
- 谢婷婷、王勇 (2022), 《环境质量与中国城市发展沉浮: 人力资本视角的解释》, 《世界经济》第 1 期, 第 133 - 157 页。
- 徐现祥、梁剑雄 (2014), 《经济增长目标的策略性调整》, 《经济研究》第 1 期, 第 27 - 40 页。
- 杨仁发 (2013), 《产业集聚与地区工资差距——基于我国 269 个城市的实证研究》, 《管理世界》第 8 期, 第 41 - 52 页。
- 张海峰、林细细、梁若冰、蓝嘉俊 (2019), 《城市生态文明建设与新一代劳动力流动——劳动力资源竞争的新视角》, 《中国工业经济》第 4 期, 第 81 - 97 页。
- Aragóna, Fernando, Juan Miranda, Paulina Oliva (2017). Particulate Matter and Labor Supply: The Role of Caregiving and Non-Linearities. *Journal of Environmental Economics and Management*, 86, 295 - 309.
- Chang, Tom, Joshua Zivin, Tal Gross & Matthew Neidell (2019). The Effect of Pollution on Worker Productivity: Evidence from Call-Center Workers in China. *American Economic Journal: Applied Economics*, 11 (1), 151 - 172.
- Chuang, Shun-Pin & Sun-Jen Huang (2018). The Effect of Environmental Corporate Social Responsibility on Environmental Performance and Business Competitiveness: The Mediation of Green Information Technology Capital. *Journal of Business Ethics*, 150 (4), 991 - 1009.
- Dipple, Christian, Andreas Ferrara & Stephan Heblich (2020). Causal Mediation Analysis in Instrumental-Variables Regressions. *The Stata Journal*, 20 (3), 613 - 626.
- Fang, Jiayu, Xue Tang, Rui Xie & Feng Han (2020). The Effect of Manufacturing Agglomerations on Smog Pollution. *Structural Change and Economic Dynamics*, 54, 92 - 101.
- Hao, Yu, Hui Peng, T. Temulunbi, Liqun Liu, Jie Mao, Zhinan Lu & Hao Chen (2018). How Harmful is Air Pollution to Economic Development? New Evidence from PM_{2.5} Concentrations of Chinese Cities. *Journal of Cleaner Production*, 172, 743 - 757.
- Hering, Laura & Sandra Poncet (2014). Environmental Policy and Exports: Evidence from

- Chinese Cities. *Journal of Environmental Economics and Management*, 68 (2), 296 – 318.
- Hu, Jianlin, Qi Ying, Yungang Wang & Hongliang Zhang (2015). Characterizing Multi-Pollutant Air Pollution in China: Comparison of Three Air Quality Indices. *Environment International*, 84, 17 – 25.
- Jia, Peng, Yang Du & Meiyang Wang (2017). Rural Labor Migration and Poverty Reduction in China. *China & World Economy*, 25 (6), 45 – 64.
- Ke, Shanzi, Ming He & Chenhua Yuan (2014). Synergy and Co-agglomeration of Producer Services and Manufacturing: A Panel Data Analysis of Chinese Cities. *Regional Studies*, 48 (11), 1829 – 1841.
- Ouyang, Xiao, Qinglong Shao, Xiang Zhu, Qingyun He, Chao Xiang & Guoen Wei (2019). Environmental Regulation, Economic Growth and Air Pollution: Panel Threshold Analysis for OECD Countries. *Science of The Total Environment*, 657, 234 – 241.
- Parla, Ayşe (2011). Labor Migration, Ethnic Kinship, and the Conundrum of Citizenship in Turkey. *Citizenship Studies*, 15 (3 – 4), 457 – 470.
- Preacher, Kristopher, Derek Rucker & Andrew Hayes (2007). Addressing Moderated Mediation Hypotheses: Theory, Methods, and Prescriptions. *Multivariate Behavioral Research*, 42 (1), 185 – 227.
- Pun, Vivian, Justin Manjourides & Helen Suh (2017). Association of Ambient Air Pollution with Depressive and Anxiety Symptoms in Older Adults: Results from the NSHAP Study. *Environmental Health Perspectives*, 125 (3), 342 – 348.
- Smith, William (1990). *Air Pollution and Forests*. New York: Springer.
- Ucar, Erdem (2018). Local Creative Culture and Corporate Innovation. *Journal of Business Research*, 91, 60 – 70.
- Xu, Xu & Kevin Sylwester (2016). Environmental Quality and International Migration. *Kyklos*, 69 (1), 157 – 180.
- Zhang, Ning, Ran Ren, Qiong Zhang & Tao Zhang (2020). Air Pollution and Tourism Development: An Interplay. *Annals of Tourism Research*, 85, <https://doi.org/10.1016/j.annals.2020.103032>.
- Zhu, Lingyun, Yu Hao, Zhinan Lu, Haitao Wu & Qiying Ran (2019). Do Economic Activities Cause Air Pollution? Evidence from China's Major Cities. *Sustainable Cities and Society*, 49, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101593>.

How Air Pollution Inhibits Economic Growth: An Interpretation from the Perspective of Labor Migration

Hu Zhigao¹ & Hu Yuqi²

(School of Business, Shantou University¹;

Institute of Finance and Economics, Shanghai University of Finance and Economics²)

Abstract: A biased view on air pollution and economic growth leads to a lack of intrinsic incentives for local governments to control air pollution, which in turn poses a challenge to long-term control of air pollution. Given the fragmentary evidence and insufficient argument on air pollution inhibiting economic growth, this paper uses a mediation model to examine the air pollution effect on economic growth through a labor migration perspective. The findings include, first, air pollution can significantly inhibit economic growth, and this effect can be transmitted through labor migration mechanisms. Second, environmental regulations can reduce labor outflow and promote economic growth, but the effect can be narrowed by severe air pollution. Third, the interaction between co-agglomeration and labor migration is beneficial to economic growth, but due to the inhibiting effect of air pollution on labor migration, the economic loss of air pollution in regions with higher degree of co-agglomeration is greater. These conclusions have important implications for regional sustainable development. First, there is no trade-off between environmental quality and economic growth. Second, the labor migration due to air pollution is an important breakthrough to alleviate the regional development gap. Finally, the moderating effect of environmental regulation on labor migration mechanism suggests that the government should make an immediate decision on pollution control.

Keywords: air pollution, labor migration, economic growth, influence mechanism, moderated mediation model

JEL Classification: C21, J61, O10, P28, Q56

(责任编辑: 合羽)