

人力资本积累可以降低中国二氧化碳排放吗?

——基于中国省域人力资本与二氧化碳排放的实证研究

刘传江¹, 向晓建², 李雪³

(1. 武汉大学 经济发展研究中心, 湖北 武汉 430072;

2. 武汉大学 人口·资源·环境经济研究中心, 湖北 武汉 430072;

3. 上海立信会计金融学院, 上海 201209)

[摘要] 文章基于1997—2016年中国30个省级面板数据,系统考察了人力资本积累对二氧化碳排放的影响及其传导机制。研究发现:人力资本积累对二氧化碳排放的影响呈现倒U型曲线,当平均受教育年限达到8年左右时,继续增加人力资本会使得碳排放量下降;技术创新和收入水平是人力资本积累影响二氧化碳排放的两个重要传导渠道;人力资本积累能够有效地提高技术创新水平和收入水平,从而显著降低二氧化碳排放,这一影响趋势在环境规制相对严格的地区和沿海省份更为显著。文章的政策启示是人力资本提高有助于提升大气环境和经济发展质量,助推中国经济的高质量发展。

[关键词] 人力资本; 二氧化碳排放; 技术创新; 收入水平

[中图分类号] F062.2, F249.2

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-6973(2021)02-0076-13

一、引言

碳减排问题一直是世界各国环保政策的关注焦点,以全球气温急剧上升为主要特征的气候变化已经威胁到了整个生态系统和人类健康。^[1]根据BP世界能源统计年鉴,中国在2006年就超过美国成为世界第一大碳排放国,在2019年碳排放量更是达到了美国的1.79倍,占世界总碳排放量的27.8%。近年来,为了控制碳排放,国际社会采取积极措施,先后签订了《联合国气候变化框架公约》《京都议定书》《哥本哈根协议》和《巴黎协定》。作为一个负责任大国,中国政府积极主动履行减排责任,从“十一五”到“十四五”规划,均设定了碳排放强度控制指标,就在2020年的联合国气候雄心峰会上,习近平总书记宣布将采取更有力的措施,力争于2030年前中国二氧化碳排放达到峰值,2060年前实现碳中和。作为全球最大的二氧化碳排放国,中国的减排目标和国际承诺如何实现既是一个值得分析的理论问题,也是一个不容置疑的现实问题,研究和分析二氧化碳的排放趋势和主要影响因素,探寻属于中国的节能减排之路已成为亟待解决的难题。

[收稿日期] 2020-11-20

[基金项目] 国家社科基金重点项目“新型城镇化升级与乡村振兴统筹发展视角的农业转移人口市民化研究”(19AJL014)。

[作者简介] 刘传江(1966—),男,湖北鄂州人,武汉大学经济发展研究中心教授,主要研究方向为经济可持续发展;向晓建(1993—),女,湖北巴东县人,武汉大学人口·资源·环境经济研究中心博士研究生,研究方向为人口·资源·环境经济。**通讯作者:** 李雪(1974—),女,湖南宁远人,上海立信会计金融学院国际经贸学院副教授,主要研究方向为产业经济学。

2014 年 IPCC 第五次评估报告指出^①, 气候变化的主要原因是人类活动所导致的大量化石燃料消耗与二氧化碳排放。在此背景下, 众多国内外学者投入到人文因素对二氧化碳排放影响的研究当中, 但主要集中在研究人口总量^[2-3]、人口结构^[4-5]、居民生活与消费^[6-7]等因素对二氧化碳排放的影响, 作为人文因素中最能体现社会人口素质的人力资本, 其对二氧化碳排放是促进还是抑制, 在国内外研究中尚无定论。更重要的是, 目前对人力资本积累与二氧化碳排放的非线性关系研究明显不足。我国经济已进入高质量发展的新阶段, 人力资本积累是否会使环境质量先变差再变好, 还是仅提高环境质量或降低环境质量, 研究这些问题对经济发展质量的提高具有重要启示。因此, 厘清人力资本与经济发展的非合意产出——二氧化碳排放之间的关系以及其内在影响机制极为关键。

有鉴于此, 本文使用 1997 年至 2016 年中国 30 个省、市、自治区(由于数据的可得性, 不包含西藏及港澳台地区)的面板数据, 以 STIRPAT 模型为基础, 实证检验了人力资本积累与二氧化碳排放之间的关系。考虑到中国近年来经济高速发展, 本文通过运用面板数据控制不确定性因素的影响, 以便更好地探求人力资本积累对二氧化碳排放的影响趋势。同时, 本文对人力资本积累与二氧化碳排放之间的影响进行异质性分析, 分别考察不同环境规制强度和区域差异对二者之间关系的影响。最后, 本文运用中介效应模型, 验证技术创新和收入效应这两大传导渠道在人力资本积累与二氧化碳排放之间所起的作用。

本文可能的贡献与启示: 第一, 本文探讨了人力资本积累对二氧化碳排放可能存在的影响机制, 探求两者之间内在的影响机理, 并运用中介效应模型从实证角度予以验证; 第二, 本文考察了环境规制强度、区域异质性下人力资本积累对二氧化碳排放的影响, 以期为我国人力资本的提升和经济高质量发展提供经验证据; 第三, 本文补充了人力资本积累与二氧化碳排放之间定量分析的相关文献, 测算了人力资本积累对二氧化碳排放所产生的“倒 U 型”影响的拐点; 第四, 为政策制定者提供参考。

二、文献评论与理论基础

导致二氧化碳排放的社会经济因素众多且复杂, 人力资本积累是应对气候变化和二氧化碳减排的关键因素之一。^[8]人力资本作为人口素质最直接的体现, 关于人力资本积累与二氧化碳排放的关系, 国内外学者对此观点不一。大部分学者认为人力资本积累对二氧化碳排放具有抑制作用。黄菁和陈霜华(2011)认为人力资本是比物质资本更加清洁的生产选择, 能够在支撑经济发展的前提下缓解环境污染的压力。^[9]车维平和苏睿(2014)运用我国工业行业面板数据实证分析了我国低碳经济发展情况, 认为人力资本积累和经济发展之间的关系调整能够在一定程度上强化人力资本的低碳有效性。^[10]Fleisher 等(2010)研究发现人力资本积累会通过直接和间接的方式影响全要素生产率, 进而对低碳经济发展有着不可忽视的作用。^[11]但也有学者认为人力资本积累会加大碳排放程度, 例如: 吴玉鸣和田斌(2012)基于 2008 年中国省域截面数据, 运用空间计量经济学模型分析省域环境污染的决定因素, 发现高级人力资本更有助于环境污染的减轻, 而中级人力资本却使环境污染加剧;^[12]孙克等(2017)利用基于地理加权回归技术的 STIRPAT 模型研究了人文因素对省域环境污染的影响, 发现人口和经济的增长及推进城镇化的进程将加剧环境污染;^[13]王曾(2010)基于我国 1953—2008 年的时间序列数据, 实证检验了人力资本积累与二氧化碳排放之间的关系, 发现人力资本的提升使二氧化碳排放量也随之提升^[14]。目前, 对人力资本积累与二氧化碳排放之间非线性关系的研究较少, Dou

① IPCC, 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. IPCC, Geneva, Switzerland, 151pp. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>.

(2013)提出,随着人力资本水平的提升,技术的革新、居民消费水平的变化将对二氧化碳排放产生不确定性影响,使二氧化碳排放呈现“倒U型”。^[15]

根据以上综述可知,人力资本积累与二氧化碳排放之间的关系存在不确定性,因此,有必要进行探讨,同时探究其影响机制。通过整理文献,本文认为人力资本积累主要通过两种效应影响二氧化碳排放,具体如下。

(一)技术创新效应

环境问题的解决主要依靠技术进步,而技术进步的根本动力在于人力资本水平的提升。

内生增长理论认为,人力资本是技术进步的驱动力,是研发投资的补充。一方面,人力资本积累能够推动技术创新,而技术创新提高了能源资源的生产和使用效率,促进了能源消耗向清洁能源的转移,减少了二氧化碳的排放。张腾飞等(2016)基于2000—2012年的中国省际面板数据,将城镇化、人力资本积累、清洁生产和碳排放纳入分析框架,结果发现人力资本积累带来的清洁生产技术能够抑制碳排放的增加。^[16] Xu等(2016)研究了人口、经济发展、技术进步与中国二氧化碳排放的关系,发现人力资本积累所引致的技术进步在一定程度上缓解了二氧化碳的排放。^[17]

另一方面,新技术不仅降低了清洁能源和可再生能源商业化的成本,而且也使传统能源的商业化变得更加容易。例如:Howarth等(2011)研究认为水平钻井和水力压裂技术的创新导致页岩油和天然气的钻探热潮,页岩气的温室气体足迹远远高于传统的天然气或石油,这一技术从美国开始逐渐在全球范围内普及,加剧了全球的温室效应;^[18] 张永强等(2019)以农业为研究对象,基于2009年至2016年中国30个省份的面板数据,考察了农村人力资本、农业技术进步和农业碳排放之间的关系,结果发现农村人力资本的提升在一定程度上阻碍了农业技术进步对农业碳排放的正向促进作用^[19]。因此,人力资本积累的确能够通过技术创新影响二氧化碳排放,只是这种影响的结果是未知的。

(二)收入效应

人力资本积累能够通过影响居民的收入和消费水平进而影响二氧化碳的排放。劳动力所蕴含的人力资本水平的提升会促使劳动力产出水平随之提升,进而使其收入增加,收入的增加又将进一步影响其消费水平和消费方式,尤其是能够直接影响居民的能源消费习惯,最终影响二氧化碳的排放。^[20] 一方面, Awaworyi等(2018)认为收入效应假设经济增长对人力资本积累与二氧化碳排放的关系起中介作用,人力资本积累有助于提高劳动生产率和经济增长。然而,经济增长与二氧化碳排放之间的关系具有先验不确定性,取决于该国在环境库兹涅茨曲线(EKC)上的位置,并认为从20世纪50年代到60年代,OECD国家的收入水平提升对二氧化碳排放产生了负面影响。^[21] 曲建升等(2014)对我国1995年至2012年的城乡居民人均生活碳排放影响因素进行了分解分析,结果发现我国居民消费水平的提升使得二氧化碳排放增多。^[22] 田成诗和元伟(2014)利用马尔科夫链分析了收入和二氧化碳排放之间的联合状态转移机制,结果发现影响二氧化碳排放的关键因素就是收入水平,高收入对应着高排放。^[23]

另一方面, Salim等(2017)认为收入水平提高会使消费者的消费观念产生变化,其消费偏好也随之发生改变,开始倾向于选择低碳环保产品替代高碳产品,这种因消费者自觉而选择的低碳排放消费方式,能够从很大程度上实现二氧化碳减排。^[24] 邓慧慧等(2013)经研究发现二氧化碳排放量在经济发展到一定水平之前是随着收入水平增加的,而当经济发展达到临界点之后,二氧化碳排放量将随之降低。^[25] 由此可见,人力资本积累的确通过提高居民收入对二氧化碳排放产生了一定影响。

基于上述对人力资本积累与二氧化碳排放之间的理论分析,本文提出以下3个假设。

假设1:人力资本积累对二氧化碳排放存在着非线性影响。

假设 2:人力资本积累通过影响技术创新进而对二氧化碳排放产生影响。

假设 3:人力资本积累通过影响居民收入进而对二氧化碳排放产生影响。

三、模型方法与数据来源

(一)模型建立与变量选取

本文以 1997 年至 2016 年全国 30 个省、自治区、直辖市(未包含西藏及港澳台地区)为研究对象,探究人力资本对各省二氧化碳排放所产生的影响。为弥补 IPAT 模型无法检验多因素影响,以及假设自变量弹性一定,与“倒 U 型”曲线假说冲突的不足,借鉴 Dietz 和 Rose(1994)、Martínez-Zarzoso(2011)等学者的做法,^[26-27]构建随机模型 STIRPAT,为便于系数解释,对以人均受教育年数表示的人力资本水平不取对数,本文使用 HT 检验、Fisher 检验等多种方法来确定人力资本水平的平稳性。其中,HT 检验 z 统计量为-9.3323,相应的 p 值为 0,强烈拒绝面板单位根的原假设。Fisher 检验使用滞后两期的 ADF 回归进行检验,在加入漂移项并缓解可能存在的界面相关后,所有四个统计量均强烈拒绝面板单位根原假设,p 值均为 0。其余变量通过取对数保证量纲一致性,具体的模型形式如下:

$$\ln CO_{2it} = C + \alpha_1 Edu_{it} + \alpha_2 \ln Pop_{it} + \alpha_3 \ln Ind_{it} + \alpha_4 \ln Rule_{it} + \alpha_5 \ln Trade_{it} + \alpha_6 \ln Rd_{it} + \alpha_7 \ln Urban_{it} + \alpha_8 \ln Govern_{it} + v_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式(1)中: CO_{2it} 表示第*i*个省份第*t*年的 CO_2 排放量; Edu_{it} 为第*i*个省份第*t*年的人力资本水平,用人均受教育程度表示; Pop 为总人口; Ind 为产业结构,用第二产业产值占 GDP 的比例来表示; $Rule$ 为环境规制指数,利用单位产值的三废排放量构造; $Trade$ 为贸易开放度,用进出口总值占 GDP 的比例来度量; Rd 为各省的研发经费投入; $Urban$ 为城镇化率,用城镇年末人口占总人口的比例来度量; $Govern$ 为政府干预,用财政收入占 GDP 的比例来表示; C 为常数项; v_i 和 μ_t 分别代表个体固定效应和年份固定效应; ε_{it} 为随机扰动项。

人力资本积累对二氧化碳排放的影响可以类比于环境库兹涅茨曲线,人力资本积累早期由于发展需要可能会导致碳增排,而在其积累后期可以通过技术创新等途径实现碳减排,为考察人力资本积累对二氧化碳排放的非线性影响,在模型中加入人力资本的平方项,考虑到滞后效应存在的可能性,设计如下时间序列的滞后效应模型以检验人力资本对二氧化碳排放的滞后性影响,其中 τ 表示滞后年份,本文取值为 0、1、2。

$$\ln CO_{2it} = C + \beta_1 Edu_{i,t-\tau} + \beta_2 Edu_{i,t-\tau}^2 + \beta_3 \ln Pop_{i,t-\tau} + \beta_4 \ln Ind_{i,t-\tau} + \beta_5 \ln Rule_{i,t-\tau} + \beta_6 \ln Trade_{i,t-\tau} + \beta_7 \ln Rd_{i,t-\tau} + \beta_8 \ln Urban_{i,t-\tau} + \beta_9 \ln Govern_{i,t-\tau} + v_i + \mu_{t-\tau} + \varepsilon_{i,t-\tau} \quad (2)$$

(二)数据来源与描述性统计

本文对人力资本的测算采用平均受教育年限法,^[28]将 6 岁以上(包括 6 岁)人口的受教育程度分为小学、初中、高中和大专及以上四类,以计算各省的人力资本水平。

人力资本的计算公式如下:

$$Edu = E_1 \times 6 + E_2 \times 9 + E_3 \times 12 + E_4 \times 16 \quad (3)$$

式(3)中, E_1 、 E_2 、 E_3 、 E_4 分别表示 6 岁及以上小学生、初中生、高中生、大专及以上人口所占比例,该数据主要来源于《中国教育统计年鉴》。

由于中国还没有公布各省份二氧化碳排放量的直接监测数据,因此,本文按照 2006 年 IPCC 所给出的方法估算我国 30 个省、直辖市的二氧化碳排放量,该计算方法主要考虑煤炭、焦炭等燃料的消费量,同时还考虑不同能源燃烧的碳排放系数,如表 1 所示。

表1 各类能源碳排放系数

能源种类	碳排放系数	折标煤系数
煤炭	0.7559	0.7143
焦炭	0.8550	0.9714
原油	0.5857	1.4286
汽油	0.5538	1.4714
煤油	0.5714	1.4714
柴油	0.5921	1.4571
燃料油	0.6185	1.4286
天然气	0.4483	1.3300

注:数据来源为《IPCC 碳排放计算指南(2006)》

二氧化碳排放量的计算公式为

$$CO_2 = \sum_{i=1}^8 C_i Q_i, \quad (4)$$

其中, C_i 为第 i 种能源的碳排放系数, Q_i 为第 i 种能源的消耗量。各类能源的消耗量主要来源于《中国能源统计年鉴》《中国统计年鉴》以及各省市的统计年鉴。

借鉴任晓松等(2020)的做法^[29], 构造环境规制指数。首先, 标准化各省单位产值工业废水排放量、 SO_2 排放量以及工业烟尘排放量, 公式如下:

$$UE_{ij}^s = [UE_{ij} - \min(UE_j)] / [\max(UE_j) - \min(UE_j)]。 \quad (5)$$

式(5)中, UE_{ij} 表示第 i 个省第 j 类污染物的单位产值排放量, UE_{ij}^s 为标准化后结果, $\max(UE_j)$ 代表所有省市中第 j 类污染物单位产值排放量的最大值, $\min(UE_j)$ 表示其最小值。进一步计算各污染物权重:

$$W_j = UE / \text{mean}(UE_{ij})。 \quad (6)$$

式(6)中, $\text{mean}(UE_{ij})$ 表示各年度所有省第 j 种污染物单位产值排放的平均值。最后, 得到省 i 的环境规制指数为

$$Rule_i = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 W_j UE_{ij}^s。 \quad (7)$$

该指数越大, 代表环境规制越宽松。三种污染物排放量数据来源于国家统计局, 由 EPS 统计整理。人口数量、城镇化率、产业结构等数据均来源于《中国统计年鉴》, 本文所使用的中介变量人均可支配收入来源于《中国统计年鉴》, 专利申请授权数则来源于《中国科技统计年鉴》, 稳健性检验所使用的碳排放数据来源于中国碳核算数据库。相关变量说明及其描述性统计结果如表 2 所示。

表2 描述性统计结果

变量	变量说明	均值	标准差	最小值	最大值
CO ₂	二氧化碳排放总量/万吨	3098	2311	118.3	13377
RCO ₂	二氧化碳排放总量/万吨	2109	1689	72	8422
Edu	平均受教育年限/年	8.222	1.121	4.693	12.39
Revenue	人均可支配收入/元	10279	6952	2389	41606
Pop	人口规模/万人	4338	2619	496	10999
Ind	产业结构	39.85	18.18	8.317	436.9
Rule	环境规制指数	1	0.715	0.0290	3.538

变量	变量说明	均值	标准差	最小值	最大值
Trade	贸易开放度	31.10	40.16	1.581	184.3
Govern	政府干预	8.866	3.250	3.392	22.73
Rd	R&D	199.8	315.2	0.131	2035
Urban	城镇化率	46.07	19.05	14.04	256.1
Patent	专利申请授权数	17522	38617	56	269944

四、实证研究结果

(一) 基准回归结果

表3报告了中国各省份人力资本积累对二氧化碳排放影响的回归结果。第(1)一(2)列为混合OLS模型报告的结果,在未加入二次项时,人力资本积累对二氧化碳排放作用显著为正,进一步考虑二次关系的存在,发现人力资本水平的一次项系数为正,二次项系数为负,拟合程度提升,系数符号初步说明了人力资本积累与碳排放之间的非线性关系。由于结果不显著,本文进一步使用固定效应模型进行检验,结果显示 $F(29,562)=32.81, P=0$,这说明FE明显优于混合OLS模型,应该允许个体拥有独立截距项。本文还进行了豪斯曼和过度识别检验,p值分别为0.02和0,认为固定效应显著优于随机效应。表3第(3)一(5)列是本文主要考察和分析的对象,所有解释变量分别滞后0期、1期和2期且控制了省份、年份固定效应,使用LSDV方法,结果相比混合OLS模型更加可靠。其中,人力资本的一次项系数分别为0.642、0.565和0.444,二次项系数分别为-0.0402、-0.0373和-0.0319,分别通过了1%和5%水平的显著性检验,这说明人力资本对二氧化碳排放的影响存在一定的滞后性影响。滞后不同阶数后,人力资本系数绝对值依次减小,说明人力资本变化对二氧化碳排放的长期影响变小,符合预期。总的来看,随着人力资本水平的提升,二氧化碳排放呈现出先上升再下降的趋势,对碳排放下降的拐点进行测算,通过公式可知,在双向固定且控制其他因素的条件下,拐点在8年,即平均受教育年限超过8年后,继续积累人力资本有利于碳减排。本文的假设1得到验证。

人力资本水平的提升初期使二氧化碳排放量有所增加,一方面很可能是因为人力资本的提升增加了人均收入,从而改变了人们的消费水平和消费模式,使得高碳产品的消耗有所增加,企业需要生产更多的高碳产品以满足人们的消费需求。另一方面很可能是因为技术水平的提升加速传统能源商业化,从而使二氧化碳排放增多。但随着人力资本水平的进一步提升,居民的减排意识和企业的节能减排技术也在不断提升,最终推动了相对减排,使二氧化碳排放量逐渐降低。

表3 基准回归结果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
变量	$\tau = 0$ lnCO ₂	$\tau = 0$ lnCO ₂	$\tau = 0$ lnCO ₂	$\tau = 1$ lnCO ₂	$\tau = 2$ lnCO ₂
Edu	0.218*** (0.0552)	0.453 (0.296)	0.642*** (0.218)	0.565** (0.211)	0.444** (0.201)
Edu2	-0.0145 (0.0180)	-0.0402*** (0.0139)	-0.0373** (0.0138)	-0.0319** (0.0129)	
LnPop	0.638*** (0.0667)	0.623*** (0.0735)	0.0990 (0.240)	-0.0139 (0.255)	-0.139 (0.267)
Rule	0.124** (0.0582)	0.116* (0.0620)	0.00827 (0.0285)	0.0133 (0.0275)	0.0277 (0.0274)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	$\tau = 0$	$\tau = 0$	$\tau = 0$	$\tau = 1$	$\tau = 2$
变量	$\ln\text{CO}_2$	$\ln\text{CO}_2$	$\ln\text{CO}_2$	$\ln\text{CO}_2$	$\ln\text{CO}_2$
LnTrade	-0.144*** (0.0340)	-0.143*** (0.0336)	-0.131*** (0.0460)	-0.111** (0.0502)	-0.103* (0.0569)
LnRd	0.107** (0.0409)	0.115** (0.0431)	0.0234 (0.0268)	0.0205 (0.0262)	-0.00335 (0.0289)
LnInd	0.751*** (0.189)	0.714*** (0.196)	0.183** (0.0765)	0.177** (0.0759)	0.142* (0.0797)
LnUrban	0.118 (0.132)	0.102 (0.129)	-0.0417 (0.0629)	-0.0900 (0.0636)	-0.108* (0.0587)
LnGovern	0.263 (0.179)	0.272 (0.180)	0.0295 (0.111)	0.0336 (0.134)	0.133 (0.145)
Constant	-2.967*** (0.917)	-3.651*** (1.069)	9.368*** (2.806)	3.991* (2.063)	5.378** (2.128)
个体效应	No	No	Yes	Yes	Yes
时间效应	No	No	Yes	Yes	Yes
观测值	600	600	600	570	540
R ²	0.848	0.849	0.964	0.964	0.964

注:括号内为稳健标准误,*** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$

(二)人力资本影响二氧化碳排放的异质性分析

长久以来,中国在沿海、内陆省市存在人力资本积累速度差距,并且人力资本积累通过波特效应,显著促进环境规制对碳排放效率的积极影响。^[30]为了考察人力资本积累对二氧化碳排放的影响是否存在异质性,本文研究了人力资本积累对不同环境规制力度地区以及中国沿海、内陆区域影响的异质性。

首先,本文根据环境规制力度的不同,将地区划分为宽松、中等、严格三组。分组依据为将环境规制指数由高到低进行排位,前 1/3 的省被定义为“宽松”,中间 1/3 被定义为“中等”,最后 1/3 被定义为“严格”。在多数年份,环境规制力度较大的省份有北京、天津、上海、江苏等,环境规制力度较小的省份包括贵州、宁夏、广西等。本文发现一个有趣的现象,即人力资本积累主要在那些环境规制较为严格的省份产生“倒 U 型”影响,而这些环境规制较为严格的省份,往往是经济发展状况较好的东部沿海省市。该结论在进一步以地区为划分的异质性检验中得到了证实。此外,本文还依据《中国海洋统计年鉴》将中国划分为沿海省份和内陆省份^①。沿海省份和内陆省份的一次项与二次项系数分别通过了 1% 和 5% 水平的显著性检验,支持了假设 1,说明结论稳健。这意味着在各地区都需要提升人力资本水平以实现碳减排。

根据人力资本积累对二氧化碳排放“倒 U 型”的影响拐点计算结果,我们发现环境规制较严格省份拐点在 8.4 年,该数值较全体样本略有上升,内陆省份拐点在 7.5 年,沿海省份拐点在 8.4 年。由于沿海经济较发达地区人力资本水平普遍较高,本文初步认为经济较发达地区对抑制碳排放所需人力资本水平有更高的要求。

① 中国沿海省份除港澳台地区外包括 11 个省级行政单位,分别为天津市、河北省、辽宁省、山东省、江苏省、上海市、浙江省、福建省、台湾省、广东省、广西壮族自治区及海南省。其余省份定义为内陆省份。

表 4 异质性分析结果

解释变量		被解释变量:lnCO ₂		
		宽松	中等	严格
环境规制分组	edu	0.00181 (0.504)	0.171 (0.285)	0.935*** (0.177)
	edu2	0.00278 (0.0358)	-0.00713 (0.0197)	-0.0558*** (0.00939)
	控制变量	Yes	Yes	Yes
	个体、时间效应	Yes	Yes	Yes
	观测值	200	200	200
	R ²	0.957	0.987	0.984
区域分组		内陆省份	沿海省份	
	edu	0.662*** (0.202)	0.846** (0.355)	
	edu2	-0.0439*** (0.0131)	-0.0505** (0.0223)	
	控制变量	Yes	Yes	
	个体、时间效应	Yes	Yes	
	观测值	380	220	
	R ²	0.950	0.987	

注:括号内为稳健标准误,*** p<0.01,** p<0.05,* p<0.1

(三)稳健性检验

为了获得更稳健的结论,本文替换被解释变量为中国碳排放数据库(CEADs)提供的二氧化碳排放数据,并进行检验。该数据使用煤炭开采量而非使用量,并充分考虑中国煤炭含碳量较低的特点,对中国碳排放数据进行重新测算。^[31]样本中存在的少量缺失值运用指数平滑法进行处理。本文利用该数据回归,结果如表5第(1)(2)列所示。除此之外,本文还将样本分为了前十年与后十年,观察人力资本与二氧化碳排放之间的关系是否发生了变化,具体见表5第(3)(4)列。

表 5 稳健性检验结果

	(1)	(2)	(3)	(4)
变量	OLS lnRCO ₂	LSDV lnRCO ₂	1997—2006 lnCO ₂	2007—2016 lnCO ₂
Edu	0.886*** (0.284)	0.735*** (0.254)	0.525*** (0.135)	0.782*** (0.269)
Edu2	-0.0398** (0.0168)	-0.0473*** (0.0145)	-0.0327*** (0.00899)	-0.0417*** (0.0145)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes
个体效应	No	Yes	Yes	Yes
时间效应	No	Yes	Yes	Yes
观测值	600	600	300	300
R ²	0.849	0.978	0.963	0.977

注:括号内为稳健标准误,*** p<0.01,** p<0.05,* p<0.1

依据前文的计算方法,表5第(2)列在替换被解释变量后,同样对碳排放下降的拐点进行测算,通过公式 $x^* = -\hat{\beta}_1 / 2\hat{\beta}_2$ 可知,在双向固定且控制其他因素的条件下,拐点下降到7.8年,差距不大,但是第(3)(4)列前十年与后十年的拐点出现了显著差距,分别为8年和9.4年,这可能说明随着经济发展,碳减排对人力资本要求逐渐提高。当然这仅为本文的一个猜想,需要在未来进一步进行检验。因系数仅存在小幅变动,说明前文结论稳健。

(四)中介效应检验

基于本文的理论分析,为考察人力资本积累通过技术创新效应和收入效应对二氧化碳排放产生的作用,本文参考Dietz等(1994)的做法^[26],在式(4)的基础上引入人力资本与技术创新、人力资本与人均可支配收入的交互作用项,分别考察人力资本和技术创新、人力资本和收入效应的共同作用对二氧化碳排放产生的影响。技术创新效应和收入效应的验证主要参考温忠麟和叶宝娟(2014)所提出的改进的中介效应模型^[32],在基准回归的基础上进一步做以下技术创新效应和收入效应的中介效应检验,控制变量与基准回归相同。

表6的第(1)–(3)列为人力资本对技术创新的影响,人力资本的回归系数分别为0.271、0.274和0.239,均通过了1%水平的显著性检验,即人力资本水平的提高的确促进了该省的技术创新水平,使该省的专利授权数量得到提升。第(4)–(6)列为人力资本对人均可支配收入的影响,人力资本的回归系数为0.0256、0.0113和0.00201,第(4)列的系数通过了显著性检验,即随着人力资本水平的提高该省的人均收入水平也随之提高。

根据温忠麟和叶宝娟(2014)的中介效应模型检验步骤^[32],本文进一步做最后一步的中介效应检验,表7为最终检验结果。根据Dietz等(1994)的做法^[26],本文将重点分析人力资本积累与技术水平以及收入水平的交互项。表7中第(1)–(3)列为技术创新效应的检验,人力资本与技术创新的交互项系数分别为-0.0334、-0.0307和-0.0311,且均通过了5%水平的显著性检验,这说明人力资本积累与技术创新的匹配能够使二氧化碳排放量有所降低,结合基准回归和表7的回归结果,技术创新在人力资本积累对二氧化碳排放的影响中起到了部分中介的作用。表7第(4)–(6)列为收入效应的检验,人力资本与收入水平的交互项系数分别为-0.0104、-0.00946和-0.00820,且该交互项对二氧化碳排放的影响非常显著,说明人力资本积累与收入效应的融合的确在一定程度上降低了二氧化碳排放量,结合基准回归和表7的回归结果,收入水平在人力资本对二氧化碳排放的影响中起到了部分中介的作用,本文的假设2和假设3得到验证。

表6 人力资本对技术创新和人均可支配收入的影响

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	专利申请授权数			人均可支配收入		
变量	$\tau = 0$ lnPatent	$\tau = 1$ lnPatent	$\tau = 2$ lnPatent	$\tau = 0$ lnRevenue	$\tau = 1$ lnRevenue	$\tau = 2$ lnRevenue
Edu	0.271** (0.112)	0.274** (0.106)	0.239** (0.0977)	0.0256** (0.0119)	0.0113 (0.0109)	0.00201 (0.0101)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
个体效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
观测值	600	570	540	600	570	540
R ²	0.979	0.980	0.980	0.996	0.996	0.996

注:括号内为稳健标准误,*** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$

表 7 技术创新效应和收入效应检验

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	技术创新效应			收入效应		
变量	$\tau = 0$ lnCO ₂	$\tau = 1$ lnCO ₂	$\tau = 2$ lnCO ₂	$\tau = 0$ lnCO ₂	$\tau = 1$ lnCO ₂	$\tau = 2$ lnCO ₂
Edu	0.335*** (0.111)	0.290** (0.116)	0.259** (0.118)	0.123** (0.0491)	0.0950** (0.0468)	0.0511 (0.0460)
lnPatent	-0.0119 (0.0294)	-0.0235 (0.0288)	-0.0368 (0.0290)			
Edu * lnPatent	-0.0334*** (0.0126)	-0.0307** (0.0130)	-0.0311** (0.0131)			
lnRevenue				0.528*** (0.135)	0.427*** (0.143)	0.225 (0.157)
Edu * lnRevenue				-0.0104*** (0.00302)	-0.00946*** (0.00305)	-0.00820*** (0.00314)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
个体效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
观测值	600	570	540	600	570	540
R ²	0.962	0.963	0.963	0.963	0.963	0.963

注:括号内为稳健标准误,*** p<0.01,** p<0.05,* p<0.1

五、结论和政策建议

中国早期经济快速发展依赖于消耗大量原材料和能源,由此所产生的环境污染和空气质量问题一直是我国关注的重点。当前中国经济正在从简单的劳动密集型转向人力资本密集型,在我国经济迈入高质量发展的重要关口,人力资本质量的提升将对经济高质量发展产生重要贡献。

本文根据 1997 年至 2016 年全国 30 个省、市、自治区的面板数据(不包含西藏及港澳台地区),实证检验了人力资本积累与二氧化碳排放之间的关系,得出以下几个主要结论:第一,总的来说,人力资本对二氧化碳排放存在滞后性和非线性影响,二氧化碳排放量随着人力资本的提升呈现出先上升再下降的趋势;第二,异质性检验结果显示,环境规制较严格的省,人力资本对二氧化碳排放呈现出“倒 U 型”影响;第三,沿海地区的经济发达程度和人才集中程度通常要高于内地,本文发现其人力资本水平提升对二氧化碳排放影响也大于内地;第四,对碳排放下降的拐点进行测算,发现拐点大约在平均受教育 8 年,但对经济较发达的沿海省份的要求有小幅提高,且近 10 年需要更高的人力资本水平才能实现二氧化碳排放降低,这表明中国还需要持续教育投入以减少碳排放;第五,人力资本所引致的技术创新与收入水平在人力资本与二氧化碳排放的关系之间起到了中介作用,且人力资本与技术创新、收入水平的融合降低了二氧化碳的排放。

基于以上分析与研究结论,为推动我国低碳发展道路的实现,提出以下政策建议:

第一,加强人力资本积累,推动经济实现低碳转型。人力资本的积累需要多主体参与到人力资本的投资当中,政府作为宏观调控的主体,应当加大教育投入,给予欠发达地区更多的教育财政支持,完善教育基础设施,使更多的人力资源转化为人力资本。企业作为市场的主体,应当注重技能培训,并根据自身的发展目标积极储备未来发展所需要的人才,对员工进行专业培训以满足企业自身发展需要。个人作为人力资本投资中的最小主体,也在人力资本质量提升和积累中发挥了重要作用。个人应当加大自身的人力资本投资,强化人力资本投资的理念,树立科学的人力资本价值观,积极主动参

与教育和培训,提升自身的文化程度和技能水平,为我国实现高质量发展提供助力。

第二,优化人力资本配置,实现区域间协调发展。当前我国各地区人力资本发展水平和二氧化碳排放强度存在差异,由于人力资本对二氧化碳排放有明显的影响,因此,应当重视人力资本在地域间的均衡分布,避免部分地区因人力资本水平过低而造成二氧化碳排放强度居高不下的情况。当人力资本积累到一定水平时,才能实现人力资本与其他生产要素的合理匹配,从而发挥人力资本积累降低二氧化碳排放的积极影响。环境规制力度较弱的地区在我国经济发展中处于相对落后的位置,从而使人力资本的配置出现了区域间的不均衡。政府应当加大对这些地区的教育投入,让受教育程度较高的人获得对等的工资,形成正向反馈。此外,政府还应在内陆省份重点实施创新工程,实现跨区域的人才和技术引进,有效改变当前人力资本区域分配不均的现状,发挥出人力资本的溢出效应,在缩小经济发展差异的同时降低二氧化碳排放。

第三,培养低碳技术人才,降低碳排放强度。碳减排的实现主要通过能源结构的调整和清洁技术(碳捕捉与碳封存等技术)的应用与推广,低碳技术领域的人才在技术研发、实验与推广等过程中起到了非常重要的作用。因此,应当从以下两个方面来着重培养专业的低碳技术人才:第一是政府必须要重视对专业低碳人才的培养,除了加大对低碳教育的投入之外,还应鼓励企业向低碳转型,间接推动企业对低碳人才的需求,从而使企业与低碳人才之间形成一个良好的双向需求机制;第二是要坚持本土培养与海外引进相结合的培养方针,鉴于国外在部分低碳技术上的领先地位,应实施多项鼓励政策以吸引国际低碳技术人才,从而助力我国实现二氧化碳减排。

[参 考 文 献]

- [1] BENGANG L, THOMAS G, PHILIPPE C, et al. The contribution of China's emissions to global climate forcing[J]. *Nature*, 2016, 531(7594): 357—361.
- [2] 朱勤,彭希哲,傅雪.我国未来人口发展与碳排放变动的模拟分析[J]. *人口与发展*, 2011, 17(1): 2—15.
- [3] 金瑞庭,王桂新.中国人口城市化与碳排放关系的实证研究——基于1978年—2009年时间序列数据的计量检验[J]. *人口与发展*, 2013, 19(1): 38—43.
- [4] 王芳,周兴.人口结构、城镇化与碳排放——基于跨国面板数据的实证研究[J]. *中国人口科学*, 2012(2): 47—56.
- [5] 沈可,史倩.人口结构与家庭规模对生活能源消费的影响——基于中国省级面板数据的实证研究[J]. *人口研究*, 2018, 42(6): 100—110.
- [6] 彭希哲,朱勤.我国人口态势与消费模式对碳排放的影响分析[J]. *人口研究*, 2010, 34(1): 48—58.
- [7] 周少甫,林享.消费结构升级对碳排放强度的影响研究——基于省级空间面板数据模型的分析[J]. *生态经济*, 2019, 35(1): 24—29.
- [8] SATTERTHWAIT D. The implications of population growth and urbanization for climate change[J]. *Environment & Urbanization*, 2009, 21(2): 545—567.
- [9] 黄菁,陈霜华.环境污染治理与经济增长:模型与中国的经验研究[J]. *南开经济研究*, 2011(1): 142—152.
- [10] 车维平,苏睿.人力资本积累对低碳经济发展的影响[J]. *河北大学学报(哲学社会科学版)*, 2014, 39(4): 105—108.
- [11] FLEISHER B, LI H, ZHAO M Q. Human capital, economic growth, and regional inequality in China[J]. *Journal of Development Economics*, 2010, 92(2): 215—231.
- [12] 吴玉鸣,田斌.省域环境库兹涅茨曲线的扩展及其决定因素——空间计量经济学模型实证[J]. *地理研究*, 2012, 31(4): 627—640.
- [13] 孙克,徐中民,宋晓谕,等.人文因素对省域环境污染影响的空间异质性估计[J]. *生态学报*, 2017, 37(8): 2588—2599.

- [14] 王曾. 人力资本、技术进步与 CO₂ 排放关系的实证研究——基于中国 1953—2008 年时间序列数据的分析[J]. 科技进步与对策, 2010, 27(22): 4—8.
- [15] DOU X. Low carbon-economy development: China's pattern and policy selection[J]. Energy Policy, 2013, 63(12): 1013—1020.
- [16] 张腾飞, 杨俊, 盛鹏飞. 城镇化对中国碳排放的影响及作用渠道[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(2): 47—57.
- [17] XU B, LIN B Q. A quantile regression analysis of China's provincial CO₂ emissions: Where does the difference lie? [J]. Energy Policy, 2016(98): 328—342.
- [18] HOWARTH R W, SANTORO R, INGRAFFEA A. Methane and the greenhouse-gas footprint of natural gas from shale formations[J]. Climatic Change, 2011, 106(4): 679.
- [19] 张永强, 田媛, 王珧, 等. 农村人力资本、农业技术进步与农业碳排放[J]. 科技管理研究, 2019, 39(14): 266—274.
- [20] AHMED Z, WANG Z. Investigating the impact of human capital on the ecological footprint in India: An empirical analysis[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2019(13): 359—376.
- [21] AWAWORYI C S, JOHN I, KRIS I, et al. The environmental kuznets curve in the OECD: 1870—2014[J]. Energy Economics, 2018(75): 389—399.
- [22] 曲建升, 刘莉娜, 曾静静, 等. 中国城乡居民生活碳排放驱动因素分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(8): 33—41.
- [23] 田成诗, 元伟. 中国地区收入与二氧化碳排放的联合动态性研究[J]. 统计研究, 2014, 31(8): 31—38.
- [24] SALIM R, YAO Y, CHEN G S. Does human capital matter for energy consumption in China? [J]. Energy Economics, 2017(67): 49—59.
- [25] 邓慧慧, 虞义华, 李洪坚. 中国地区经济增长对碳排放强度的影响——基于空间面板模型的分析[J]. 浙江社会科学, 2013(8): 40—50.
- [26] DIETZ T, ROSE E A. Rethinking the environmental impacts of population, affluence, and technology[J]. Human Ecology Review. 1994(1): 277—300.
- [27] MARTÍNEZ-ZARZOSO I, MARUOTTI A. The impact of urbanization on CO₂ emissions: Evidence from developing countries[J]. Ecological Economics, 2011, 70(7): 1344—1353.
- [28] 王德文. 教育在中国经济增长和社会转型中的作用分析[J]. 中国人口科学, 2003(1): 22—31.
- [29] 任晓松, 刘宇佳, 赵国浩. 经济集聚对碳排放强度的影响及传导机制[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(4): 95—106.
- [30] 李珊珊, 马艳芹. 环境规制对全要素碳排放效率分解因素的影响——基于门槛效应的视角[J]. 山西财经大学学报, 2019, 41(2): 50—62.
- [31] LIU Z, GUAN D, WEI W, et al. Reduced carbon emission estimates from fossil fuel combustion and cement production in China[J]. Nature, 2015, 524(7565): 335—338.
- [32] 温忠麟, 叶宝娟. 中介效应分析: 方法和模型发展[J]. 心理科学进展, 2014, 22(5): 731—745.

(责任编辑: 蒋萍)

Whether Human Capital Reduce China's Carbon Dioxide Emissions? Empirical Evidence Based on China's Provincial Panel Data

LIU Chuan-jiang¹, XIANG Xiao-jian², LI Xue³

(1. Center for Economic Development Research, Wuhan University, Wuhan, Hubei 430072;

2. Center for Population, Resources and Environmental Economic Studies, Wuhan University, Wuhan, Hubei 430072;

3. Shanghai Lixin University of Accounting and Finance, Shanghai 201209)

Abstract: Using panel data from 30 provinces in China from 1997 to 2016, our analysis confirms an inverted-U relationship between human capital and carbon dioxide emission. When the average time of education is about 8 years, increasing human capital will reduce carbon emissions. By examining the transmission mechanism, we find that human capital accumulation can achieve the goal of reducing carbon emissions by encouraging technological innovation and improving income levels. Compared with other regions, this impact is more significant in coastal provinces and those that have strict environmental regulations. These findings suggest that developing human capital is an important mechanism to improve the environment and economic growth quality in China and policies should be designed for different regions.

Key words: human capital; carbon dioxide emissions; technological innovation; income levels

(上接第 75 页)

The Impact of Manufacturing Upstream Monopoly on Export Technological Sophistication: Based on Chinese Micro-enterprise Data

DU Yun-su, ZHANG Xiao-yu

(School of International Business and Economics, Nanjing University of Finance & Economics, Nanjing, Jiangsu 210023)

Abstract: Export Technological Sophistication (ETS) reflects the status of international division to some degree, and is an important part of constructing a trader of quality. This article uses China's manufacturing micro-data to explore the impact of upstream monopoly of manufacturing on ETS. The study found that upstream monopoly of manufacturing significantly reduced China's ETS. After controlling endogeneity and changing calculation methods, the conclusion remains the same. Furthermore, analysis of the enterprise heterogeneity shows that upstream monopoly of manufacturing has a greater effect on the ETS of mixed trade enterprises, local enterprises, eastern region enterprises and technology-intensive enterprises than on processing trade enterprises, foreign-invested enterprises, western region enterprises, labour and capital-intensive enterprises. In addition, technological innovation and enterprise entry/exit are the two channels for the upstream monopoly of manufacturing to affect ETS. Therefore, during the process of reforming supply-side structure, we should put emphasis on the marketization reform of the upstream industry and break upstream monopoly of manufacturing, which will help China's manufacturing upgrade along the global value chain.

Key words: manufacturing industry; upstream monopoly; export technological sophistication