

空气污染与中老年人自理能力 ——基于 CHARLS 数据的实证分析^{*}

刘 奎 潘 锐 马玥君

(上海大学经济学院, 上海 200444)

摘 要: 基本养老服务体系的健全与完善须以精准回应中老年群体的实际健康需求为导向。本文基于中国健康与养老追踪调查 (CHARLS) 数据, 采用两阶段最小二乘法 (2SLS) 分析空气污染对我国中老年人自理能力的影响。研究发现, 暴露窗口内 $PM_{2.5}$ 浓度每增加 $1\mu g/m^3$, 中老年人的日常生活自理能力 (ADL)、基本日常生活自理能力 (BADL) 和工具性日常生活自理能力 (IADL) 的受损程度相对于样本均值分别上升 8.40%、7.93% 和 8.90%。异质性分析表明, 空气污染对洗澡、上厕所、购物和财务管理四项活动影响最为显著, 对女性、受教育水平较低、室内空气质量较差及高污染地区的中老年人损害更大。机制分析表明, 空气污染通过增加心血管疾病的患病人次、损害认知水平间接影响自理能力。进一步研究发现, 子女的经济支持和陪伴能有效缓解上述负面冲击。

关键词: 空气污染; 中老年人; 日常生活自理能力; 代际支持

中图分类号: C913.6/X51

文献标识码: A

文章编号: 2095—8072(2026)05—0109—16

一、引言

伴随我国人口结构的深度转型, 人口老龄化已成为贯穿社会发展的长期基本国情。健康老龄化目标的实现与精准化养老保障体系的构建, 愈发依赖于对中老年群体生活自理能力的精准识别。自理能力不仅直接反映个体的基础健康水平, 更从根本上决定了其对家庭照护、社区服务及机构养老等各类养老资源的依赖强度。自理能力一旦受损, 中老年人将难以独立完成进食、穿衣、上厕所等基本生活活动, 进而产生对长期照护的刚性需求。若此类需求在家庭层面无法被充分承接、在社会层面又缺乏及时有效的制度性回应, 则这一群体极易陷入照料缺位、生活质量急剧下降的困境。对此, 《中华人民共和国国民经济和社会发展第十五个五年规划纲要》(以下简称《纲要》) 明确提出, “十五五”期间将“推行长期护理保险, 健全统一的老年人能力评估制度”。其中, “能力评估”的核心是对生活自理能力的系统识别与分级。同时, 《纲要》强调“发展家庭养老床位, 推进居家适老化改造”“加强高龄独居老人和空巢老人关爱帮扶”, 明确了居家养老在服务体系中的基础地位。在这一政策框架下, 准确识别影响中老年人自理能力的关键风险因素, 既是落实“居家养老”基础地位、推进养老服务高质量发展的现实前提, 也是提升养老资源配置效率、防止脆弱群体陷入照料缺位困境的内在要求。

空气污染是一种典型的外部环境冲击, 具有广泛暴露、持续性强且难以个体规避的特点。空气污染能够无差别地渗透至不同社会群体, 对自理能力产生慢性、累积性的侵蚀, 特别是对中老年人而言, 由于身体机能和免疫系统的衰退, 更容易受到空气污染的侵害。生理层面, 长期空气污染物暴露会诱发机体慢性炎症和氧化应激反应, 损害身体机能, 同时也诱发循环、呼吸、代谢系统相关

^{*} 基金项目: 本文受国家社会科学基金一般项目“基于深度学习模型的中国区域投入产出表预测研究”(项目编号: 24BTJ014)资助。

慢性病，这些疾病带来的疼痛增加、呼吸困难或代谢紊乱等症状会进一步制约个体的自理能力；心理层面，空气污染会损伤脑部神经功能，引发认知衰退和抑郁等问题。上述多重路径表明，空气污染对中老年人自理能力的潜在威胁不容忽视。从现实情况看，现阶段我国大气污染治理成效显著，但区域性污染问题依然突出。根据生态环境部发布的《2025中国生态环境状况公报》，全国地级及以上城市PM_{2.5}平均浓度为28μg/m³，较2024年下降4.4%，但仍普遍高于世界卫生组织的指导值（5μg/m³）。尤其是华北、汾渭平原及部分中西部城市，PM_{2.5}浓度仍处于较高水平，秋冬季重污染天气时有发生，长期威胁中老年敏感人群的身心健康。然而，现有研究多聚焦于个体特征、社会经济条件、医疗资源等相对“内源”且具有选择差异的因素对中老年人自理能力的影响，鲜有文献系统探讨空气污染这一外生环境冲击的作用，相关实证证据相对薄弱。

当前，影响中老年人自理能力的风险因素日趋复杂，而现有养老体系的结构性困境进一步放大了这些风险因素的负面冲击。从供给端来看，城乡养老资源布局差异显著，农村社区养老服务设施覆盖率、服务专业性远低于城市地区，基层普惠性养老服务供给短板明显；城市中市场化的养老服务机构存在收费偏高、公信力不足、专业照护人才短缺等问题，难以适配中低收入中老年群体的常态化养老需求。从需求端来看，我国中老年群体基数庞大，刚性照护需求逐年递增，公共养老服务难以实现全覆盖、精细化兜底。在此背景下，以家庭为核心的居家养老模式仍是我国现阶段主流的养老形式，子女代际支持成为弥补社会养老供给不足、缓解中老年照护压力与健康风险的关键支撑。子女提供的经济帮扶、情感陪伴与日常照料，能够从物质保障、心理慰藉、健康监护等多个维度筑牢中老年健康防护屏障，是维系中老年人自理能力、保障居家养老质量的重要力量。

基于此，本文依托中国健康与养老追踪调查（CHARLS）的微观数据，以45岁及以上中老年群体为研究样本，系统检验空气污染对中老年人自理能力的影响及其作用机制。本文可能的边际贡献在于以下三个方面。第一，在因果识别策略上，采用累积平均法确定最优的空气污染暴露窗口，并以逆温现象作为空气污染的工具变量，运用两阶段最小二乘法（2SLS）进行估计，从而较为干净地剥离了模型中可能存在的内生性偏误，提升结论的可靠性。第二，在研究视角上，本文将外生环境风险与健康老龄化、养老保障研究相结合，识别空气污染对中老年人自理能力的影响，不仅拓展了健康老龄化研究的环境维度，也为理解群体健康不平等的结构性成因提供了新的解释路径。第三，在应用价值上，将子女支持细分为经济支持与陪伴两个维度，其中子女的陪伴支持涵盖情感支持与生活照料，分别考察二者在缓解空气污染冲击、维持中老年人自理能力过程中的作用。在此基础上，揭示家庭支持对居家养老模式可持续性的关键支撑功能，为构建多方协同的养老模式提供实证依据。本文的研究框架如图1所示。

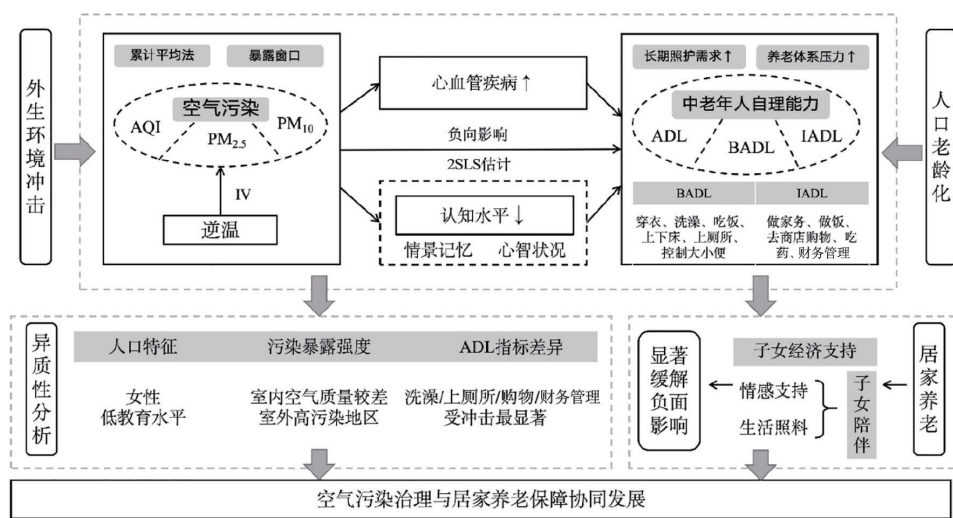


图1 研究框架

二、文献综述

现有国内外文献已普遍证实,空气污染对中老年人的健康有负面影响。在生理健康层面,大量研究指出,大气污染物暴露能够干扰人体正常代谢与器官功能,显著提升心血管、呼吸系统、代谢系统及非肿瘤性消化系统疾病的发病概率,是中老年慢性躯体疾病的重要环境诱因,常用的测量指标包括体质指数(BMI)、血压水平、疾病患病率和发病率等(裴璐等,2019; Mai et al., 2022; Zheng et al., 2024)。与此同时,神经科学与心理卫生领域的研究发现,空气污染可通过诱发神经炎症反应与氧化应激过程,对中老年人人群的抑郁状态和认知表现产生不利影响,相关研究常采用抑郁量表评分和认知测试得分等指标进行评估(徐志虎等,2023; 杨晞雅和田侃,2024; 罗紫意等,2025)。

围绕空气污染对中老年健康状况的影响分析,多数研究以中国健康与养老追踪调查(CHARLS)的微观数据为基础,匹配地区层面空气质量指标进行实证检验。其中,两阶段最小二乘法(2SLS)的应用较为广泛。王玉泽和罗能生(2020)以空气流动系数为工具变量,实证检验了空气污染对中老年人身心健康折旧与医疗成本的显著影响;叶巾祁和黄子骄(2022)利用风向变化构建工具变量,揭示了空气污染对中老年慢性病患者数量和自评健康的长期负面效应;范丹等(2023)以降水量作为工具变量,验证了空气污染对中老年人认知能力的损害。此外,董夏燕和何庆红(2019)采用广义估计方程(GEE)证实了空气污染会增加中老年人的抑郁程度;胡开和杨发祥(2025)采用多层线性模型,证实了空气污染对中老年人健康的负面影响存在明显的城乡差异。

然而,上述研究多聚焦于自评健康状况与慢性病数量等指标,对自理能力的关注相对不足。自评健康状况易受个体心理状态与短期波动的影响,主观性较强。慢性病指标虽与自理能力高度相关,却难以全面反映个体生活能力的状态(宋新明和齐铤,2000)。相比之下,自理能力反映了个体维持独立生活的能力,在评估老年人健康问题和生活质量方面具有不可替代的作用(卢敏等,2018)。日常生活自理能力(Activities of Daily Living, ADL)包括两个层次:基本日常生活自理能力(Basic Activities of Daily Living, BADL)和工具性日常生活自理能力(Instrumental Activities of Daily Living, IADL)。BADL是以照顾自己的身体为导向,使个体能够维持基本生存的能力,如穿衣、吃饭和洗澡等;IADL是个体完成基本的社会活动所需要的能力,涉及的生活活动更加复杂,如做家务、购物和财务管理等。目前关于空气污染对老年人自理能力影响的研究较为缺乏,有学者运用随机效应Logit模型,证明室内空气污染会使BADL与IADL丧失的可能性分别增加39.9%和71.0%,但他们仅关注室内污染,未能评估室外空气污染的全面影响(Wang & Tapia Granados, 2020)。也有学者采用BADL衡量身体残疾,通过断点回归模型发现 PM_{10} 每增加 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$,身体残疾发生率会增加5.4%,但该研究未涉及IADL这一反映社会参与能力的重要指标(Zhao et al., 2023)。基于此,本文将日常生活自理能力作为核心指标,并分别从BADL与IADL两个层面展开,以期丰富空气污染与中老年健康领域的实证研究。

三、指标测度与特征事实

(一) 数据来源

中老年人自理能力的数据来自2018和2020年的中国健康与养老追踪调查(CHARLS)。CHARLS是由北京大学国家发展研究院主导的全国性纵向追踪调查项目,从2011年开始在全国28个省(自治区、直辖市)的150个区县、450个村庄(城市社区)进行调查访问,之后每隔两

至三年进行一次追访调查。问卷全面收集了个体基础信息、健康和精神状况、家庭结构和财务状况等内容。PM_{2.5}、PM₁₀浓度数据和逆温数据均来源于美国航空航天局（NASA）的MERRA-2数据。^①空气质量指数（AQI）数据来源于中国环境监测总站。天气数据来自美国国家环境信息中心（NCEI）的全球每日地表摘要（GSOD），GSOD包含全球9000多个站点的气象观测值，以1973年至今的数据最为完整。

（二）指标测度

1. 中老年人自理能力

自理能力是评价中老年人健康水平与独立生活状态的核心指标，本文参照经典Katz量表，依托CHARLS问卷，选取11项日常生活自理能力的指标，^②并将其划分为两个维度：穿衣、洗澡、吃饭、上下床、上厕所、控制大小便6项归为基本日常生活自理能力，主要反映个体基础生存能力；做家务、做饭、去商店购物、吃药和财务管理5项归为工具性日常生活自理能力，用以衡量个体参与社会生活的能力，具体分类规则见表1。该指标赋值越大，表明中老年人自理能力越弱。

表 1 ADL 指标的分类和赋值

分类	指标	评分	分数
基本日常生活自理能力 (BADL)	穿衣	0=无困难 1=有困难/需帮助/无法完成	0 - 6
	洗澡		
	吃饭		
	上下床		
	上厕所		
	控制大小便		
工具性日常生活自理能力 (IADL)	做家务	0=无困难 1=有困难/需帮助/无法完成	0 - 5
	做饭		
	去商店购物		
	吃药		
	财务管理		

2. 空气污染

本文以PM_{2.5}浓度作为空气污染的核心代理变量，遵循Buchard等（2016）的方法，将PM_{2.5}栅格数据与全国行政区划匹配，提取CHARLS对应城市月度PM_{2.5}浓度均值。PM₁₀与PM_{2.5}同属颗粒物指标，但粒径更大（≤10μm），两者在污染来源、扩散规律和健康效应上存在差异，采用PM₁₀进行检验有助于验证结论对不同粒径颗粒物的稳健性。因此，本文也从MERRA-2中获得PM₁₀浓度数据，并采用与PM_{2.5}同样的处理方式，得到了CHARLS调查城市的月均PM₁₀浓度。AQI是生态环境部发布的综合性空气质量评价指标，涵盖PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂、CO和O₃六种主要污染物，能够更全面地反映区域空气质量状况。本文采用反距离加权法（IDW）将AQI监测数据网格化处理，并进一步汇总至城市层面计算月度均值，该指标也将用于后续的稳健性检验。

3. 逆温

为缓解内生性问题，本文使用逆温作为空气污染的工具变量。逆温是指大气垂直结构中温度随高度增加而上升的异常气象状态，这种状态会抑制空气的垂直对流，导致污染物在地表附近累积，从而加剧污染暴露。由于逆温与PM_{2.5}浓度呈现强正相关，同时其发生主要由地理和气象条件决定，具有很强的外生性，与个体自理能力之间不存在直接关联，因而能够有效克服直接使用空气污染数据可能存在的测量误差与内生性问题（刘孟鑫等，2023）。逆温的构建参照了Zhang等（2022）

① 详见Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, Version 2数据库，<https://gmso.gsfc.nasa.gov/gmso-products/merra-2/>。
② 例如，测量“穿衣”和“去商店购物”的具体题项为：“请问您是否因为健康和记忆的原因，自己穿衣服有困难？穿衣服包括从衣橱中拿出衣服，穿上衣服，扣上纽扣，系上腰带。”、“请问您是否因为健康和记忆的原因，自己去商店买食品杂货有困难？我们这里说的买东西是指决定买什么和付钱。”所有关于身体功能障碍的问题均遵循此结构。

的做法，即如果近地面第一层的温度低于第二层，就认为发生了逆温。由于一天24个小时可以记录四次逆温的发生情况，因此如果一天至少出现一次逆温现象，就认为当天发生了逆温，记为1，反之为0。

4. 控制变量

本文从个体、家庭禀赋和气候条件两个维度设定控制变量，个体和家庭控制变量包括年龄、性别、受教育程度、婚姻状况、生活满意度、身体活动代谢、家庭年收入（万元）等。天气控制变量选取与大气扩散条件密切相关的环境要素，具体包括风速（m/s）、气温（℃）、最大阵风（m/s）、相对湿度（%）与累计降水量（mm）。

（三）描述性统计

现有研究多聚焦60岁及以上老年群体的身体健康状况，往往忽略了45岁至60岁的中年群体的健康风险。45岁以后身体机能会出现一些老年前期的特征，如生理机能的逐渐下降和慢性疾病的早期征兆，且该群体承担着比老年群体更大的工作和家庭压力，因此其健康状况也不容忽视。基于上述考虑，本文采用2018与2020两期CHARLS数据，选取45岁及以上中老年受访者作为研究对象，最终获得有效样本量34862份。为降低极端值对估计结果的潜在影响，本文对所有连续变量进行了双侧1%与99%分位的缩尾处理。对于性别、受教育程度、婚姻状况等分类或有序变量，保持原始取值不做缩尾。变量的描述性统计结果见表2。

表 2 描述性统计				
变量	平均值	标准差	最小值	最大值
中老年人自理能力				
日常生活自理能力 (ADL)	0.94	2.03	0.00	11.00
基本日常生活自理能力 (BADL)	0.44	1.09	0.00	6.00
工具性日常生活自理能力 (IADL)	0.50	1.12	0.00	5.00
空气污染				
PM _{2.5}	30.78	9.69	7.59	49.78
AQI	67.21	19.33	33.70	112.91
PM ₁₀	45.47	13.35	11.39	72.95
逆温				
累计逆温天数	129.70	49.39	3.00	217.00
个体和家庭变量				
年龄	62.76	9.85	46.00	88.00
性别	0.47	0.50	0.00	1.00
受教育程度	2.01	1.04	1.00	4.00
婚姻状况	0.85	0.36	0.00	1.00
生活满意度	3.26	0.80	1.00	5.00
身体活动代谢	6130.72	6096.72	0.00	24318.00
家庭年收入（万元） ^①	4.30	5.39	-2.44	30.68
家庭规模	2.87	1.47	1.00	8.00
家居整洁程度	2.88	1.10	1.00	5.00
子女经济支持	5154.69	8210.44	0.00	48000.00
天气变量				
风速	2.35	0.48	1.39	3.90
气温	25.96	3.27	14.98	30.47
最大阵风	11.02	1.42	7.72	14.82
相对湿度	79.18	5.47	60.58	89.91
累计降水量	196.76	106.26	41.75	592.89

四、模型设定与实证分析

（一）暴露窗口的确定

暴露窗口是指受访者在访谈前特定时间段内暴露于空气污染的时间长度（Liu et al., 2024）。本文参考Deschenes等（2020）的做法，基于受访者家庭住址所在城市的环境监测站点数据，采用累积平均法测算不同时间长度内的污染暴露水平。具体而言，第*i*个受访者在暴露窗口长度为*a*个月

① 家庭年收入为以下五项之和：家户工资收入、个人获得的转移收入、家户农业收入、个体经营和私营企业收入、家户公共转移支付收入。由于经营性收入（如农业、个体经营）在题项中报告了净收入或者亏损的情况，故家庭年收入会出现负值。

时的平均 $PM_{2.5}$ 暴露浓度的计算公式为:

$$Exposure_{i,a} = \frac{1}{a} \sum_{b=0}^{a-1} PM_{2.5,i,b} \quad (1)$$

其中, a 表示暴露窗口的长度, $PM_{2.5,i,b}$ 表示受访者 i 在调查当月往前回溯 b 个月时所在城市的月均 $PM_{2.5}$ 浓度。 $b=0$ 表示调查当月, $b=1$ 表示调查前1个月, 以此类推, 直到 $b=a-1$ 。基于此方法, 本文分别计算了从调查当月至调查前18个月内不同长度暴露窗口下的 $PM_{2.5}$ 平均暴露浓度, 并逐一纳入回归模型, 以估计不同暴露时长下 $PM_{2.5}$ 对中老年人自理能力的影响。

结果发现, 当暴露窗口为3~8个月时, ADL 回归系数为正且95%的置信区间不包含0, 表明空气污染的负面影响达到统计显著水平, $BADL$ 受空气污染显著影响的暴露窗口相对较窄, 主要集中在5~8个月这一较短的关键期内。对于 $IADL$, 负面影响在暴露窗口为2个月时已显著, 并持续稳定至7个月, 效应持续时间最长且系数波动较小。基于上述分析, 本文最终选择7个月作为空气污染的暴露窗口进行分析, 同时将5、6和8个月的暴露窗口纳入稳健性检验, 以验证研究结果的可靠性。

(二) 基准回归

在实证分析空气污染对中老年人自理能力的影响时, 普通最小二乘法(OLS)易受内生性问题干扰, 引发估计偏误。本文内生性主要来源于遗漏变量、测量误差与反向因果三方面。一是遗漏变量。尽管本文已控制个体、家庭和天气层面的特征, 但仍可能存在同时影响空气污染与自理能力的不可观测因素导致估计偏误。二是测量误差。CHARLS中受访者的自理能力信息基于自我报告, 可能受到受访者回忆偏倚、社会称许性偏差或访员记录失误的影响。三是反向因果问题。一般情况下, 自理能力对空气污染的影响小到几乎可以忽略, 不构成传统意义上的反向因果问题, 但区域内个体健康资本的总和仍有可能影响整个地区的人力资本存量, 进而影响社会经济发展和与经济发展密切相关的空气污染(王玉泽和罗能生, 2020), 因此仍需关注反向因果问题。

基于此, 本文首先采用OLS回归模型, 初步检验空气污染对中老年人自理能力的影响。然后参照Deschenes等(2020)的做法, 通过两阶段最小二乘法(2SLS)进行因果识别, 具体模型设定如下:

$$Pollution_{cmy} = \alpha_0 + \alpha_1 TI_{cmy} + \alpha_2 Z_{icmy} + \alpha_3 Wea_{cmy} + \gamma_c + \delta_y + \varepsilon_{cmy} \quad (2)$$

$$Ability_{icmy} = \beta_0 + \beta_1 \widehat{Pollution}_{cmy} + \beta_2 Z_{icmy} + \beta_3 Wea_{cmy} + \gamma_c + \delta_y + \epsilon_{icmy} \quad (3)$$

$Pollution_{cmy}$ 为调查前特定暴露窗口 a 内的城市 $PM_{2.5}$ 平均浓度。 $Ability_{icmy}$ 表示居住于社区 c 的中老年个体 i 在 y 年 m 月调查时的自理能力, 包括 ADL 、 $BADL$ 和 $IADL$ 。 TI_{cmy} 表示在相应暴露窗口内城市的累计逆温天数。 Z_{icmy} 和 Wea_{cmy} 分别表示个体和家庭控制变量与天气控制变量。社区固定效应 γ_c 和年份固定效应 δ_y 分别用于控制不随时间变化的社区特征和全国性时间趋势。由于受访者地理位置仅可识别至城市层面, 且CHARLS未公布具体社区信息, 所有空气污染变量均按城市尺度匹配, 后续标准误亦在城市层面进行聚类。OLS回归结果如表3所示, 在控制个体和家庭控制变量、天气控制变量、社区及年份固定效应后, $PM_{2.5}$ 浓度对 ADL 、 $BADL$ 和 $IADL$ 的影响系数分别为0.0315、0.0120和0.0193, 均具有统计显著性, 表明空气污染暴露水平越高, 中老年人自理能力受损程度越严重。

表3 OLS 回归结果

变量	(1)	(2)	(3)
	ADL	$BADL$	$IADL$
$PM_{2.5}$	0.0315*** (0.0095)	0.0120** (0.0050)	0.0193*** (0.0053)
个体和家庭控制变量	是	是	是
天气控制变量	是	是	是
社区固定效应	是	是	是
年份固定效应	是	是	是
调整后的 R^2	0.1671	0.1323	0.1543
样本量	23647	23647	23760

注: 括号内为聚类到城市层面的标准误; *、**、***分别表示在10%、5%、1%水平上显著, 下表同。

表4报告了两阶段最小二乘法（2SLS）的估计结果。列（2）中第一阶段结果表明，累计逆温天数与PM_{2.5}浓度呈显著正相关，F统计量达22.0517，远大于10的经验临界值，表明逆温是PM_{2.5}的有效工具变量。第二阶段结果显示，在控制个体与家庭特征、天气因素、社区及年份固定效应后，暴露窗口内PM_{2.5}浓度每增加1μg/m³，ADL、BADL和IADL分别增加0.0790分、0.0349分和0.0445分，且都在1%的水平上显著。相对于各自的平均值（0.94、0.44和0.50）分别上升8.40%、7.93%和8.90%。对比OLS结果，2SLS估计系数明显更大，说明内生性的存在低估了空气污染对中老年人自理能力的负面影响，因此采用工具变量的结果是可靠的。

表 4 2SLS 回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	ADL		BADL		IADL	
第二阶段回归结果						
PM _{2.5}	0.0615** (0.0259)	0.0790*** (0.0273)	0.0318** (0.0129)	0.0349** (0.0134)	0.0305** (0.0153)	0.0445*** (0.0166)
第一阶段回归结果						
累计逆温天数	0.0451*** (0.0108)	0.0527*** (0.0112)	0.0451*** (0.0108)	0.0527*** (0.0112)	0.0450*** (0.0107)	0.0526*** (0.0112)
F值	17.5750	22.0517	17.5750	22.0517	17.6440	22.1853
个体和家庭控制变量	否	是	否	是	否	是
天气控制变量	否	是	否	是	否	是
社区固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
样本量	34588	23647	34588	23647	34799	23760

（三）稳健性检验

为确保核心结论的稳健性，本文采用了替换核心解释变量、更换工具变量和替换暴露窗口三种方法进行稳健性检验。

为确保核心结论不依赖于特定空气污染指标，本文分别采用AQI和PM₁₀替代PM_{2.5}进行稳健性检验，表5报告了替换核心解释变量的稳健性检验结果。第（1）至（3）列表明，暴露窗口内AQI每增加1个单位，ADL、BADL和IADL分别增加0.0250分、0.0110分和0.0140分，相对于样本均值分别上升2.66%、2.50%和2.80%。第（4）至（6）列中，PM₁₀的估计结果与AQI的估计结果保持一致。上述结果表明，无论采用AQI还是PM₁₀作为核心解释变量，空气污染与中老年人自理能力均呈现显著相关关系，说明基准回归结果具有较好的稳健性。

表 5 稳健性检验：替换核心解释变量

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	ADL	BADL	IADL	ADL	BADL	IADL
第二阶段回归结果						
AQI	0.0250** (0.0096)	0.0110** (0.0045)	0.0140** (0.0058)			
PM ₁₀				0.0494*** (0.0185)	0.0218** (0.0091)	0.0278** (0.0109)
第一阶段回归结果						
累计逆温天数	0.1667*** (0.0340)	0.1667*** (0.0340)	0.1668*** (0.0340)	0.0843*** (0.0187)	0.0843*** (0.0187)	0.0842*** (0.0187)
F值	24.0032	24.0032	24.0530	20.2358	20.2358	20.3494
个体和家庭控制变量	是	是	是	是	是	是
天气控制变量	是	是	是	是	是	是
社区固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
样本量	23647	23647	23760	23647	23647	23760

表6中用近地第一层和第三层之间的温差确定逆温的发生。列(1)第一阶段回归的F统计量为44.3161,远大于10的经验临界值,工具变量相关性显著增强。第二阶段结果显示,暴露窗口内 $PM_{2.5}$ 每增加 $1\mu g/m^3$,ADL上升0.0442分,BADL上升0.0170分,IADL上升0.0272分。尽管系数大小较基准模型有所下降,但所有估计结果均保持统计显著且方向一致。

鉴于7个月的暴露窗口已用于基准回归分析中,本文用5个月、6个月和8个月作为暴露窗口的替代进行稳健性检验,使用的工具变量是相同暴露窗口内逆温的累计发生天数。结果如表7所示,空气污染对中老年人自理能力的不利影响在替换的暴露窗口内依然是显著的。

(四) 异质性分析

1. 室内空气质量和室外空气污染强度的异质性

中老年人日均室内活动时间较长,室内空气质量对其健康暴露水平具有重要影响。根据《第五次中国城乡老年人生活状况抽样调查基本数据公报》,2021年我国87.3%的老年人选择在家里接受照料服务,其中城镇为83.6%,农村高达91.7%。绝大多数中老年人以居家活动为主,室内空气质量对其健康暴露水平具有决定性影响。同时,室外空气污染强度直接决定了周边环境的污染基线水平。基于此,本文进一步从室内空气质量与室外污染强度两个维度考察了空气污染对中老年人自理能力的异质性影响。

在室内空气质量方面,本文以家中是否配备空气净化器作为室内空气质量的代理变量:家中配有空气净化器视为室内空气质量较好,否则视为较差。结果如表8的第(1)和(2)列所示,空气污染对中老年人自理能力的负面影响对室内空气质量较差的样本影响显著。暴露窗口内 $PM_{2.5}$ 浓度每

表 6 稳健性检验: 替换工具变量

变量	(1)	(2)	(3)
	ADL	BADL	IADL
第二阶段回归结果			
$PM_{2.5}$	0.0442*** (0.0168)	0.0170* (0.0092)	0.0272*** (0.0101)
第一阶段回归结果			
累计逆温天数 (一、三层)	0.0712*** (0.0107)	0.0712*** (0.0107)	0.0712*** (0.0107)
F值	44.3161	44.3161	44.5829
个体和家庭控制变量	是	是	是
天气控制变量	是	是	是
社区固定效应	是	是	是
年份固定效应	是	是	是
样本量	23647	23647	23760

表 7 稳健性检验: 替换暴露窗口

变量	(1)	(2)	(3)
	5个月	6个月	8个月
Panel A: ADL			
第二阶段回归结果			
$PM_{2.5}$	0.0716** (0.0292)	0.0806** (0.0335)	0.0858** (0.0374)
第一阶段回归结果			
累计逆温天数	0.0606*** (0.0155)	0.0502*** (0.0140)	0.0430*** (0.0105)
F值	15.3161	12.9248	16.8105
样本量	23647	23647	23647
Panel B: BADL			
第二阶段回归结果			
$PM_{2.5}$	0.0278* (0.0160)	0.0319* (0.0165)	0.0387** (0.0175)
第一阶段回归结果			
累计逆温天数	0.0606*** (0.0155)	0.0502*** (0.0140)	0.0430*** (0.0105)
F值	15.3161	12.9248	16.8105
样本量	23647	23647	23647
Panel C: IADL			
第二阶段回归结果			
$PM_{2.5}$	0.0439** (0.0172)	0.0492** (0.0206)	0.0474** (0.0229)
第一阶段回归结果			
累计逆温天数	0.0606*** (0.0154)	0.0501*** (0.0139)	0.0429*** (0.0104)
F值	15.4542	13.0187	16.9245
样本量	23760	23760	23760
个体和家庭控制变量	是	是	是
天气控制变量	是	是	是
社区固定效应	是	是	是
年份固定效应	是	是	是

增加 $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ ， ADL 、 $BADL$ 和 $IADL$ 分别增加0.0798分、0.0345分和0.0457分，相对于样本均值上升8.49%、7.84%和9.14%。相比之下，家中配备空气净化器的样本所有估计系数均不显著。

室外污染强度方面，本文以 $PM_{2.5}$ 样本均值（ $30.78\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）为界，将样本划分为低污染和高污染组。第（3）和（4）列表明， $PM_{2.5}$ 浓度对中老年人自理能力的负面影响在高污染组中是显著的。暴露窗口内 $PM_{2.5}$ 浓度每增加 $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，高污染地区中老年人的 ADL 、 $BADL$ 和 $IADL$ 相对于样本均值分别上升了8.28%、8.11%和8.32%。

表 8 室内空气质量和室外空气污染强度的异质性回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	室内空气质量		室外污染强度	
	较好	较差	低污染	高污染
Panel A: ADL				
第二阶段回归结果				
$PM_{2.5}$	0.0369 (0.0586)	0.0798*** (0.0283)	0.0566 (0.0452)	0.0778** (0.0324)
第一阶段回归结果				
累计逆温天数	0.0533*** (0.0150)	0.0526*** (0.0113)	0.0485*** (0.0104)	0.0691*** (0.0168)
F值	12.6793	21.6497	21.8145	16.9697
样本量	631	22981	10902	12744
Panel B: $BADL$				
第二阶段回归结果				
$PM_{2.5}$	-0.0088 (0.0333)	0.0345** (0.0142)	0.0330 (0.0232)	0.0357** (0.0169)
第一阶段回归结果				
累计逆温天数	0.0533*** (0.0150)	0.0526*** (0.0113)	0.0485*** (0.0104)	0.0691*** (0.0168)
F值	12.6793	21.6497	21.8145	16.9697
样本量	631	22981	10902	12744
Panel C: $IADL$				
第二阶段回归结果				
$PM_{2.5}$	0.0501 (0.0394)	0.0457*** (0.0169)	0.0250 (0.0271)	0.0416** (0.0181)
第一阶段回归结果				
累计逆温天数	0.0524*** (0.0142)	0.0526*** (0.0113)	0.0484*** (0.0103)	0.0691*** (0.0167)
F值	13.6695	21.7491	21.9665	17.0847
样本量	634	23090	10961	12798
个体和家庭控制变量	是	是	是	是
天气控制变量	是	是	是	是
社区固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是

2. 不同自理能力指标的异质性

现有研究表明，许多因素会影响自理能力从而导致不同的 ADL 指标存在差异（尹德挺，2007）。因此，空气污染对不同的 ADL 指标也可能会有不同的影响。鉴于各项 ADL 指标均为二分类变量，线性2SLS不再适用，因此本文采用工具变量Probit（IV-Probit）模型进行异质性分析，第二阶段Probit模型如下：

$$Ability_{icmy} = \beta_0 + \beta_1 Pollution_{cmy} + \beta_2 Z_{icmy} + \beta_3 Wea_{cmy} + \gamma_c + \delta_y + \epsilon_{icmy} \tag{4}$$

$$Ability_{icmy} = 1 \text{ (} Ability^*_{icmy} > 0 \text{)} \tag{5}$$

其中， $Ability^*_{icmy}$ 为不可观测的潜变量。模型估计后，本文进一步计算各分项指标的平均边际效应，以反映 $PM_{2.5}$ 浓度每增加 $1\mu g/m^3$ 时自理能力受损概率的具体变化幅度，结果如表9所示。*BADL*层面，6项活动中仅洗澡和上厕所受到显著影响。 $PM_{2.5}$ 浓度每增加 $1\mu g/m^3$ ，边际效应为0.0106和0.0119。这两项活动共同的特点是需要同下力量、平衡能力和关节灵活性，对体力要求较高。相比之下，穿衣、吃饭等上肢主导的活动受影响不显著。*IADL*层面，5项活动中去商店购物和财务管理受损最为严重，暴露窗口内 $PM_{2.5}$ 浓度每增加 $1\mu g/m^3$ ，“去商店购物”和“财务管理”两项*IADL*受损的概率会增加1.43%和1.88%。

表 9 空气污染对不同的 ADL 指标的影响

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	穿衣	洗澡	吃饭	上下床	上厕所	控制大小便
Panel A: <i>BADL</i>						
第二阶段回归结果						
$PM_{2.5}$	0.0270 (0.0351)	0.0727* (0.0402)	0.0644 (0.0535)	0.0461 (0.0320)	0.0581* (0.0344)	0.0117 (0.0477)
边际效应	0.0036	0.0106	0.0082	0.0063	0.0119	0.0013
第一阶段回归结果						
累计逆温天数	0.0537*** (0.0118)	0.0501*** (0.0116)	0.0499*** (0.0124)	0.0531*** (0.0113)	0.0502*** (0.0114)	0.0495*** (0.0119)
F值	21.513	21.513	21.513	21.513	21.513	21.513
样本量	18554	18751	13653	18536	19740	16952
Panel B: <i>IADL</i>						
变量	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	
	做家务	做饭	去商店购物	吃药	财务管理	
第二阶段回归结果						
$PM_{2.5}$	0.0171 (0.0329)	0.0358 (0.0308)	0.1121** (0.0457)	0.0695 (0.0449)	0.1167*** (0.0427)	
边际效应	0.0031	0.0051	0.0143	0.0074	0.0188	
第一阶段回归结果						
累计逆温天数	0.0509*** (0.0112)	0.0521*** (0.0114)	0.0497*** (0.0118)	0.0482*** (0.0115)	0.0505*** (0.0113)	
F值	21.769	21.769	21.769	21.769	21.769	
样本量	23225	22533	21577	20200	22012	
个体与家庭控制变量	是	是	是	是	是	
天气控制变量	是	是	是	是	是	
社区固定效应	是	是	是	是	是	
年份固定效应	是	是	是	是	是	

3. 性别和受教育程度的异质性

不同群体在生理特征、社会角色、家庭分工及社会经济地位上存在显著差异，这些差异可能影响个体对空气污染的暴露水平、防护能力及健康恢复能力，从而导致空气污染的健康损害效应在群体间呈现异质性，表10给出了性别和受教育程度的异质性回归结果。结果表明，空气污染对女性中老年人自理能力的负面影响远大于男性。暴露窗口内 $PM_{2.5}$ 浓度每增加 $1\mu g/m^3$ ，该群体的*ADL*、*BADL*和*IADL*分别增加0.1222分、0.0499分和0.0719分；而男性群体的所有估计均不显著。这一差异可以从生物学和社会行为两个维度解释：在生物学层面，女性气道直径更窄、反应性更高，故在相同污染暴露下会承受更大的生理负荷（Sunyer et al., 2000）；在社会行为层面，女性承担了更多家务劳动比如烹饪，烹饪过程中燃烧的化石燃料会增加室内空气污染的浓度，长期暴露在这种环境下易患上呼吸道和肺部疾病，从而导致身体健康的恶化。

受教育程度异质性方面，空气污染对中老年人自理能力的负面影响随受教育水平提升呈现递减趋势。受教育水平为小学以下和小学的中老年群体受影响最为严重，当教育水平达到初中及以上时，所有估计系数均不再具有统计显著性。教育水平之间的异质性影响可从三个维度解释：第一，职业暴露，受教育程度较低群体更可能从事农业劳动、建筑作业等户外工作，空气污染暴露时间更长、强度更高；第二，防护认知，这类群体对空气污染健康危害的认识相对不足，主动采取防护行为（如佩戴防护口罩）的比例较低；第三，防护资源，受经济条件限制，受教育程度较低群体购买空气净化器、安装新风系统等防护设备的能力较弱。

表 10 性别和受教育程度的异质性回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	性别		受教育程度			
	男性	女性	小学以下	小学	初中	高中及以上
Panel A: ADL						
第二阶段回归结果						
$PM_{2.5}$	0.0306 (0.0241)	0.1222*** (0.0435)	0.1725*** (0.0531)	0.0937* (0.0503)	-0.0729 (0.0555)	-0.0091 (0.0380)
第一阶段回归结果						
累计逆温天数	0.0521*** (0.0112)	0.0531*** (0.0112)	0.0476*** (0.0115)	0.0524*** (0.0124)	0.0531*** (0.0115)	0.0694*** (0.0132)
F值	21.5488	22.3097	17.0967	17.9649	21.2819	27.6545
样本量	11107	12536	9848	5964	5136	2615
Panel B: BADL						
第二阶段回归结果						
$PM_{2.5}$	0.0180 (0.0143)	0.0499** (0.0217)	0.0705** (0.0285)	0.0444 (0.0272)	-0.0293 (0.0302)	-0.0066 (0.0208)
第一阶段回归结果						
累计逆温天数	0.0521*** (0.0112)	0.0531*** (0.0112)	0.0476*** (0.0115)	0.0524*** (0.0124)	0.0531*** (0.0115)	0.0694*** (0.0132)
F值	21.5488	22.3097	17.0967	17.9649	21.2819	27.6545
样本量	11107	12536	9848	5964	5136	2615
Panel C: IADL						
第二阶段回归结果						
$PM_{2.5}$	0.0134 (0.0148)	0.0719*** (0.0258)	0.1039*** (0.0297)	0.0507* (0.0281)	-0.0435 (0.0304)	-0.0007 (0.0242)
第一阶段回归结果						
累计逆温天数	0.0520*** (0.0112)	0.0530*** (0.0112)	0.0476*** (0.0115)	0.0526*** (0.0123)	0.0532*** (0.0115)	0.0691*** (0.0133)
F值	21.5637	22.5471	17.1704	18.3616	21.3507	27.1374
样本量	11147	12609	9873	6041	5144	2618
个体和家庭控制变量	是	是	是	是	是	是
天气控制变量	是	是	是	是	是	是
社区固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是

五、拓展分析

（一）健康水平

作为衡量中老年人生活质量的核心维度，健康水平不仅直接反映个体的身体机能状态，更是影响日常生活自理能力的基础性因素。已有研究表明，空气污染会显著增加心血管疾病的患病率与死亡率（李镒冲等，2021）。因此，空气污染很可能通过引发心血管疾病导致中老年人的自理能力受损。在心理层面，长期暴露于空气污染可能会损伤大脑血管和神经轴突，引发认知衰退、记忆力和

执行功能下降，从而阻碍购物、财务管理等复杂日常自理活动的有序开展（宋新明和陈功，2001；范丹等，2023）。基于此，本文从心血管疾病和认知水平两条路径考察空气污染对中老年人自理能力的影响机制。借鉴江艇（2022）对中介效应检验方法的建议，本文聚焦于识别 $PM_{2.5}$ 对两类中介变量的因果效应，以验证空气污染经由健康水平损害自理能力的理论逻辑。

鉴于心血管疾病的确诊与医疗资源的可及性密切相关，而城乡之间在医疗诊断覆盖率、健康体检普及率及慢性病管理能力等方面存在显著差异，空气污染对心血管健康的损害效应可能在城乡之间呈现不同特征。本文将中风和心脏病（如心肌梗塞、冠心病、心绞痛等）作为心血管疾病的指标，并分城市与农村样本分别进行回归，结果如表11列（1）至列（3）所示。在全样本中， $PM_{2.5}$ 浓度每增加 $1\mu g/m^3$ ，患有心血管疾病的中老年人人次会增加0.0163个，证实了空气污染对心血管系统的负面效应。分样本看，该效应在城镇地区显著，但在农村地区不显著。这可能与城市和农村的建成环境不同有关，城市高密度的居住环境、较高的机动车使用率和较低的绿化覆盖率，会加重空气污染对城市居民心血管疾病的负面影响（李哲等，2020）。

认知水平的测量综合心智状况与情景记忆两个维度：心智状况依据受访者对日期的认知能力、画图能力及计算题正确率进行评分（0~11分），情景记忆依据词组的即时记忆与延迟记忆正确率进行评分（0~10分）。将上述两项得分加总，得到受访者的综合认知水平得分（0~21分），分值越高代表认知功能越强。考虑到城乡之间在教育水平和信息获取能力等方面存在较大差距，空气污染对认知功能的损害也可能呈现城乡异质性，因此本文同样进行了分样本回归。列（4）至列（6）的结果显示，空气污染对认知水平具有显著的负向影响。在全样本中， $PM_{2.5}$ 浓度每升高 $1\mu g/m^3$ ，中老年人认知得分下降0.1256分，且在10%水平上显著。分城乡样本看，该负面效应在农村地区更大，而在城镇地区则并不显著。整体而言，上述结果支持空气污染通过损害认知功能，进而削弱中老年人自理能力的潜在路径。

表 11 空气污染对健康水平的影响

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	心血管疾病			认知水平		
	全样本	城镇	农村	全样本	城镇	农村
第二阶段回归结果						
$PM_{2.5}$	0.0163** (0.0066)	0.0258** (0.0120)	0.0107 (0.0069)	-0.1256* (0.0728)	0.0302 (0.0955)	-0.2229** (0.0983)
第一阶段回归结果						
累计逆温天数	0.0526*** (0.0112)	0.0551*** (0.0149)	0.0526*** (0.0115)	0.0538*** (0.0118)	0.0566*** (0.0157)	0.0535*** (0.0124)
F值	22.1902	13.6217	21.0538	20.9742	13.0533	18.5872
个体和家庭控制变量	是	是	是	是	是	是
天气控制变量	是	是	是	是	是	是
社区固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
样本量	23761	9129	14632	17240	7330	9910

（二）子女支持

子女作为家庭支持的关键主体，其经济支持和陪伴能够显著增强中老年人在应对养老与健康风险时的缓冲能力。因此，本文进一步探讨子女的经济支持和陪伴在空气污染对中老年人自理能力影响中的作用。

为考察子女经济支持水平的异质性影响，本文将样本按支持的金额划分为三组：小于4800元、4800~12000元、大于12000元，并分别对子样本进行回归估计。回归结果如表12所示，子女经济支持在空气污染对中老年人自理能力的负面影响中起到显著的缓解作用，且这种缓解作用存在明确的区间差异：低于4800元时，经济支持严重不足，老年人无力通过改善居住条件或医疗支出来抵御污染冲击；适度水平的子女经济支持（4800~12000元）能够有效缓冲空气污染对老年人自理能力的损害，这可能是由于经济支持改善了老年人的营养状况、医疗可及性或居住环境；而超过12000元后仅IADL的系数显著，这可能与受到高经济支持的中老年群体更频繁的户外活动及更高的污染暴露有关。

表 12 子女经济支持的缓解作用

变量	(1)	(2)	(3)
	ADL	BADL	IADL
Panel A: 经济支持≤4800			
第二阶段回归结果			
$PM_{2.5}$	0.0885** (0.0347)	0.0371** (0.0184)	0.0519** (0.0216)
第一阶段回归结果			
累计逆温天数	0.0469*** (0.0117)	0.0469*** (0.0117)	0.0468*** (0.0116)
F值	16.0983	16.0983	16.2522
样本量	15925	15925	16024
Panel B: 4800<经济支持≤12000			
第二阶段回归结果			
$PM_{2.5}$	0.0078 (0.0644)	0.0181 (0.0347)	-0.0098 (0.0351)
第一阶段回归结果			
累计逆温天数	0.0648*** (0.0119)	0.0648*** (0.0119)	0.0650*** (0.0119)
F值	29.8695	29.8695	30.0348
样本量	4684	4684	4692
Panel C: 经济支持≥12000			
第二阶段回归结果			
$PM_{2.5}$	0.0848 (0.0579)	0.0206 (0.0336)	0.0644* (0.0340)
第一阶段回归结果			
累计逆温天数	0.0688*** (0.0104)	0.0688*** (0.0104)	0.0688*** (0.0104)
F值	43.9908	43.9908	44.0572
样本量	3011	3011	3017
个体和家庭控制变量	是	是	是
天气控制变量	是	是	是
社区固定效应	是	是	是
年份固定效应	是	是	是

注：子女经济支持已作为分组变量纳入模型，故在个体与家庭控制变量中予以剔除，以避免多重共线性问题。

在前文分析子女经济支持的基础上，本文通过构建含交互项的两阶段最小二乘模型，进一步从情感支持与生活照料两个维度考察子女陪伴的影响。其中子女情感支持的衡量采用问卷中“与子女不在一起住的时候，您多长时间跟子女通过电话、短信、微信、信件或者电子邮件联系一次？”衡量情感支持的强度。回答从“1=几乎从来没有”至“9=差不多每天”，分数越高说明子女与父母的联系越密切，情感支持越强烈。对于有多个子女的中老年人，本文选取与父母联系频率最高的回答作为情感支持的最终评分。在生活照料方面，结合问卷中“请问在以上（穿衣、洗澡、吃饭、起床、如厕、家务、做饭、购物、吃药、财务管理等）困难中，都有谁帮助？”和“如果以后您在日

常生活方面需要照顾，比如吃饭，穿衣，有亲人或朋友能长期照顾您吗？”两个问题，若受访者选择子女，则代表有子女提供生活照料，赋值为1，反之为0。

回归结果如表13所示，情感支持方面， $PM_{2.5}$ 与情感支持变量交互项的系数显著为负，证明子女情感支持显著削弱了空气污染对中老年人自理能力的负面影响。生活照料方面，有子女生活照料的中老年群体中， $PM_{2.5}$ 对ADL的不利影响从0.0799降至0.0517，削弱幅度达35.3%；在BADL上的削弱幅度更是达到40.9%，上述结果表明，子女代际支持能有效缓解空气污染对中老年人自理能力的负面影响。

表 13 子女陪伴的缓解作用

变量	(1)	(2)	(3)
	ADL	BADL	IADL
Panel A:子女情感支持			
第二阶段回归结果			
$PM_{2.5}$	0.0796*** (0.0300)	0.0321** (0.0150)	0.0478** (0.0185)
$PM_{2.5}$ *情感支持	-0.0009*** (0.0003)	-0.0003** (0.0001)	-0.0005*** (0.0001)
第一阶段回归结果			
累计逆温天数	0.0523*** (0.0110)	0.0523*** (0.0110)	0.0522*** (0.0110)
F值	22.5421	22.5421	22.6278
样本量	18278	18278	18355
Panel B:子女生活照料			
第二阶段回归结果			
$PM_{2.5}$	0.0799** (0.0316)	0.0288* (0.0153)	0.0523*** (0.0197)
$PM_{2.5}$ *生活照料	-0.0282*** (0.0016)	-0.0118*** (0.0009)	-0.0163*** (0.0009)
第一阶段回归结果			
累计逆温天数	0.0524*** (0.0111)	0.0524*** (0.0111)	0.0524*** (0.0111)
F值	22.2576	22.2576	22.4214
样本量	17604	17604	17690
个体和家庭控制变量	是	是	是
天气控制变量	是	是	是
社区固定效应	是	是	是
年份固定效应	是	是	是

六、结论和建议

中老年群体的日常生活自理能力是决定养老服务需求强度的重要因素。空气污染作为一类广泛存在且难以由个体主动规避的环境暴露因素，可能通过损害中老年人的自理能力而间接推升其长期照护需求，进而对现行养老保障体系形成压力。本文利用2018年与2020年两期CHARLS微观调查数据，结合空气污染和逆温等环境数据，采用2SLS模型实证分析了空气污染对中老年人自理能力的影响及其作用机制。研究发现，暴露窗口内 $PM_{2.5}$ 浓度每增加 $1\mu g/m^3$ ，中老年人的ADL、BADL和IADL得分相对于样本均值分别上升8.40%、7.93%和8.90%。因此，亟须从多维度协同推进空气污染治理：在源头减排层面，应加快能源结构调整，提高清洁能源占比，并强化机动车尾气排放标准与新能源车推广；在环境监管层面，应完善区域联防联控机制，建立精细化的大气污染预警与应急响应体系，尤其针对逆温天气等不利扩散条件提前启动应急减排措施。随着中国人口老龄化进程的加速，空气污染对中老年群体自理能力的负面影响及其衍生的社会经济负担亟待系统关注与深入评估。这不仅关乎中老年健康与照护体系的可持续性，亦涉及公共卫生资源配置与社会福利制度的长期应对。

在中国养老服务体系仍处于发展与完善阶段的背景下，家庭养老依然承担着核心支持功能。应强化家庭养老支持体系，发挥子女的经济支持和陪伴的协同作用。本文发现子女的经济支持和陪伴能有效缓解空气污染的健康损害，当年均子女经济支持超过4800元或子女提供充分的情感支持与生活照料时，上述缓解效应尤为明显。基于此，政策层面应从三个维度加以完善：其一，通过税收减

免、赡养专项附加扣除、照护津贴等经济激励手段,降低子女的赡养成本,鼓励其增加对父母的经济转移支付与照护投入,同时倡导用人单位将“孝亲假”纳入员工福利体系,为子女提供灵活的时间安排以保障情感支持的可及性;其二,积极发展社区服务对家庭养老的辅助功能,建设社区日间照料中心、居家养老服务站等基层设施,通过提供照护技能培训、临时性“喘息服务”及心理疏导等支持方式,有效缓解家庭照护者的身心压力;其三,推进机构养老与家庭养老的衔接,引导养老机构定位为家庭照护的“承接方”,重点发展医养结合服务模式,提升失能半失能老人的专业化照护能力,从而承接家庭难以独立应对的长期照护需求。

与此同时,应精准识别脆弱群体并实施差异化干预策略。异质性分析发现,室内空气质量较差、居住于高污染区域的中老年人面临更高的健康风险。基于此,建议将室内通风系统改造与空气净化设备配置纳入居家适老化改造支持范围,通过物理改造、设备配发或购置补贴等方式优先覆盖高污染地区的中老年家庭;同时,在城市规划与社区更新中应系统性加强绿化覆盖与生态缓冲带建设,并对养老机构、日间照料中心等场所实施常态化的室内空气质量监测与管理,从而多层次降低中老年人的污染暴露风险。此外,不同自理能力指标的异质性结果显示,空气污染对下肢力量与平衡能力依赖度较高的洗澡、上厕所及认知依赖度较高的财务管理、购物等活动影响更大。人口特征上,空气污染对女性中老年人自理能力的负面效应显著大于男性并且低教育水平群体受损程度更大。针对上述脆弱群体,应依托社区与基层卫生服务机构为其建立污染相关健康风险档案,主动提供个性化的行为指导与防护支持,并向自理能力不足的个体发放防护用品,提升其自我防护能力。

参考文献

- [1] 董夏燕,何庆红.空气污染与中老年人心理健康的关系研究[J].中国经济问题,2019(5):50-61.
- [2] 范丹,杨萧鸿,杨中园.空气污染对老年人认知能力的影响[J].中国环境科学,2023(1):394-403.
- [3] 胡开,杨发祥.空气污染对老年人健康影响的城乡差异——基于CHARLS数据与遥感数据的纵向分析[J].社会学评论,2025(2):29-53.
- [4] 江艇.因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J].中国工业经济,2022(5):100-120.
- [5] 李镒冲,刘佳敏,李静.空气污染与心血管疾病专家共识[J].中国循环杂志,2021(1):14-21.
- [6] 李哲,赵伟,于石成,等.城市环境暴露状态与心血管疾病危险因素水平及聚集的关系[J].中国慢性病预防与控制,2020(6):406-412.
- [7] 刘孟鑫,许敬轩,马光荣.空气污染与企业人力资本结构升级——基于逆温现象IV估计的实证检验[J].金融研究,2023(7):154-172.
- [8] 卢敏,黄剑焜,彭希哲.老年人口生活自理能力变迁与老年定义重新思考[J].南方人口,2018(1):58-69.
- [9] 罗紫意,袁诗佳,刘荣杭,等.我国中老年人抑郁症状检出率地区分布及其与细颗粒物的生态学关联[J].中国心理卫生杂志,2025(7):597-603.
- [10] 裴璐,赵梅朵,徐晶,等.北京地区空气污染对老年人高血压患者血压的影响[J].基础医学与临床,2019(5):714-719.
- [11] 宋新明,陈功.高龄老人慢性躯体疾病和认知能力对日常生活自理能力的影响[J].中国人口科学,2001(S1):44-49.
- [12] 宋新明,齐铤.新城区老年人慢性病对日常生活功能的影响研究[J].人口研究,2000(5):45-50.
- [13] 王玉泽,罗能生.空气污染、健康折旧与医疗成本——基于生理、心理及社会适应能力三重视角的研究[J].经济研究,2020(12):80-97.
- [14] 徐志虎,曹茹,黄婧,等.《大气污染防治行动计划》实施后我国城市大气PM_{2.5}浓度下降程度与老年人心理健康状态改善的关系[J].环境与职业医学,2023(2):156-162.
- [15] 杨晞雅,田侃.采用CHARLS数据研究慢性病共病与抑郁症状并发对中国老年人失能风险的影响[J].现代预防医学,2024(23):4266-4271.
- [16] 叶巾祁,黄子骄.空气污染对老年人健康的长期影响研究[J].华中科技大学学报(社会科学版),2022(5):121-135.
- [17] 尹德挺.中国高、低龄老人日常生活自理能力个体影响因素的比较研究[J].北京行政学院学报,2007(1):86-91.
- [18] Buchard, V., A. M. Da Silva, C. A. Randles, et al., “Evaluation of the Surface PM_{2.5} in Version 1 of the NASA MERRA Aerosol Reanalysis over the United States”, *Atmospheric Environment*, 2016, 125: 100-111.

- [19] Deschenes, O., H. Wang, S. Wang, et al., “The Effect of Air Pollution on Body Weight and Obesity: Evidence from China” , *Journal of Development Economics*, 2020, 145: 102461.
- [20] Liu, K., C. Meng, S. Yang, et al., “Air Pollution and Individual Risk Preference: Evidence from China” , *Energy Economics*, 2024, 136: 107738.
- [21] Mai, X., H. Zhou, Y. Li, et al., “Associations between Ambient Fine Particulate (PM_{2.5}) Exposure and Cardiovascular Disease: Findings from the China Health and Retirement Longitudinal Study (CHARLS)” , *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, 29(9): 13114–13121.
- [22] Sunyer, J., J. Schwartz, A. Tobías, et al., “Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease Are at Increased Risk of Death Associated with Urban Particle Air Pollution: A Case–crossover Analysis” , *American Journal of Epidemiology*, 2000, 151(1): 50–56.
- [23] Wang, Q., and J. A. T. Granados, “Household Heating Associated with Disability in Activities of Daily Living among Chinese Middle-aged and Elderly: A Longitudinal Study” , *Environmental Health and Preventive Medicine*, 2020, 25(1): 49.
- [24] Zhang, G., Y. Ren, Y. Yu, et al., “The Impact of Air Pollution on Individual Subjective Well-being: Evidence from China” , *Journal of Cleaner Production*, 2022, 336: 130413.
- [25] Zhao, Q., X. Liu, and Z. Liu, “The Impact of Air Pollution on Physical Disability in a Middle-aged and Older Chinese Population Using Regression Discontinuity Design” , *Health & Place*, 2023, 79: 102958.
- [26] Zheng, X., S. Guo, J. Hu, et al., “Long-term Associations of PM₁ Versus PM_{2.5} and PM₁₀ with Asthma and Asthma-related Respiratory Symptoms in the Middle-aged and Elderly Population” , *ERJ Open Research*, 2024, 10(4): 00972–2023.

【作者简介】刘 奎（通信作者）：上海大学经济学院副教授，硕士生导师。研究方向：能源经济和环境经济。
潘 锐：上海大学经济学院硕士研究生。研究方向：产业经济学。
马玥君：上海大学经济学院硕士研究生。研究方向：产业经济学。

The Impact of Air Pollution on Self-care Ability among Middle-aged and Elderly People: An Empirical Analysis Based on CHARLS

LIU Kui, PAN Rui & MA Yue-jun

(School of Economics, Shanghai University, Shanghai 200444, China)

Abstract: In the context of population aging, the establishment and improvement of the basic elderly care service system must be oriented toward precisely addressing the actual health needs of middle-aged and elderly individuals. Based on data from the China Health and Retirement Longitudinal Study (CHARLS), this paper employs a two-stage least squares (2SLS) approach to analyze the effects of air pollution on the self-care ability of China’s middle-aged and elderly population. The results show that a 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increase in PM_{2.5} concentration during the exposure window raises the impairment levels of Activities of Daily Living (ADL), Basic Activities of Daily Living (BADL), and Instrumental Activities of Daily Living (IADL) by 8.40%, 7.93%, and 8.90% relative to their sample means, respectively. Heterogeneity analyses indicate that air pollution has the most significant effects on four specific activities—bathing, toileting, shopping, and finance management—and inflicts greater damage on women, the less educated, individuals exposed to poor indoor air quality, and residents of highly polluted areas. Mechanism analysis shows that air pollution indirectly affects the self-care ability of middle-aged and elderly people by increasing the incidence of cardiovascular diseases and impairing cognitive ability. Further analysis finds that financial support and companionship provided by children can effectively buffer the above negative shocks.

Keywords: air pollution; middle-aged and older adults; ADL; intergenerational support

（责任编辑：马莹）