

极端气温对中国家庭能源贫困的非对称影响研究

邓明艳，杨 丹，刘自敏

（西南大学 经济管理学院，重庆 400716）

摘 要：在全球气温变化的背景下，消除能源危机、有效保障家庭能源安全是国家发展的战略性目标和实现人类可持续发展的基础。本文基于2010—2020年中国家庭追踪调查数据，采用固定效应模型实证分析了极端气温对家庭能源贫困的影响及其机制。研究发现：以制冷度日数和供暖度日数衡量的极端气温对家庭能源贫困具有显著的正向影响，不同季节的气温冲击对家庭能源贫困的影响存在差异；以气温区间衡量的气温变化对家庭能源贫困的影响呈现非对称U型关系，即在基准气温区间两侧，家庭能源贫困发生的概率随着气温与基准气温差距的增加而上升；极端气温对家庭能源贫困的影响存在收入和地区异质性，不同气候带地区的极端气温对家庭能源贫困的影响也存在异质性；极端气温会影响家庭能源消费支出、家庭人均收入、工作休闲分配和可再生能源技术创新水平，从而影响家庭能源贫困的发生。本文所提供的极端气温影响家庭能源贫困的经验证据，可为政府采取积极措施应对极端气温，缓解家庭能源贫困以保障家庭能源安全提供科学依据。

关键词：极端气温；气温变化；气候带；家庭能源贫困

中图分类号：F320；F328 **文献标识码：**A **文章编号：**1000-176X(2024)10-0117-13

一、问题的提出

随着2020年中国脱贫攻坚任务的圆满完成，学者对贫困问题的关注逐步从绝对贫困转移到相对贫困。能源贫困作为一种新型的相对贫困形式，其缓解工作成为中国建立解决相对贫困长效机制的重要组成部分。为了提升地区能源普遍服务水平，2018年国家能源局发布《进一步支持贫困地区能源发展助推脱贫攻坚行动方案（2018—2020年）》，鼓励贫困地区因地制宜发展风能、太阳能、生物质能等可再生能源。同时，为了应对气候变化，党的十八大以来，中国政府相

收稿日期：2024-06-07

基金项目：国家社会科学基金重点项目“乡村振兴视域下脱贫摘帽地区内生发展能力提升的适宜路径与精准政策研究”（21AGL029）；重庆市研究生科研创新项目“协同推进共同富裕与双碳目标的理论建模、微观验证及政策构建研究”（CYB22087）；西南大学教师党支部“揭榜挂帅”项目“重庆探索超大城市现代化治理新路子研究”（SWU2409402）

作者简介：邓明艳（1995-），女，四川冕宁人，博士研究生，主要从事资源与环境经济研究。E-mail: mingyandeng@126.com

杨 丹（1981-），女，湖北宜昌人，教授，博士，博士生导师，主要从事资源与环境经济研究。E-mail: zncdyd@163.com

刘自敏（1981-），男，四川德阳人，教授，博士，博士生导师，主要从事资源与环境经济研究。E-mail: ziminliu@126.com

继发布了《城市适应气候变化行动方案》《国家适应气候变化战略2035》等文件。此外,2023年生态环境部发布《中国应对气候变化的政策与行动2023年度报告》,强调要优化能源结构,大力发展非化石能源,促进节能提效。因此,将气温变化与家庭能源安全联系起来,构建清洁低碳、安全高效的能源体系,探究极端气温冲击下的家庭能源贫困问题,实现应对极端气温与减缓家庭能源贫困的协同治理是社会经济可持续发展的重要路径。^①

极端气温不仅会影响人体健康和认知能力^[1-2],从而降低劳动生产率,增加劳动力成本^[3]。同时,极端气温会降低农产品的全要素生产率、产品质量与产量^[4]。研究表明,极端高温对第二产业造成的损失最大,而对第一产业的影响最小^[5]。为了应对极端高温对家庭福利产生的不利影响,中国政府要求用人单位向劳动者提供“高温补贴”等福利;法国出台了15项应对高温的预防措施;西班牙则禁止员工在高温时段工作;德国发布了“防热计划”等。为了应对极端低温对家庭福利产生的不利影响,中国在部分地区实施了冬季集中供暖补贴政策。

研究表明,极端气温对家庭能源贫困的影响。极端气温会导致能源系统的脆弱性,从而约束能源的供给与消费^[6-7]。特别地,Lai等^[8]发现,气温过高或过低都会对能源产品的消费产生影响。气温升高会增加居民的制冷需求^[9],空调设备的使用率会提高。当气温偏离20℃—22℃时,空调的使用会增加家庭能源消费支出,从而增加低收入家庭陷入能源贫困的风险^[10]。Li等^[11]发现,在高温冲击下,人们可能会偏向于室内休闲活动,从而增加能源消耗、加剧家庭能源贫困。Feeny等^[12]发现,气温冲击可能会通过减少农业产出,从而加剧家庭能源贫困。Longden等^[13]发现,高用电量的家庭在非常热或非常冷的情况下有1/3的概率经历断电。此外,Fung等^[14]发现,气温每升高1℃,家庭用电量将增加9.2%。特别地,Li等^[11]发现,低温和高温对电力消耗存在非对称影响。

综上所述,现有研究已充分探讨了极端气温对人类及经济发展的深远影响。然而,气温波动对家庭能源安全及家庭能源贫困的具体影响机制尚待深入挖掘。鉴于此,本文旨在通过分析全国范围内的调查数据,揭示极端气温冲击下,低温日和高温日如何影响家庭能源贫困状况,特别是聚焦于气温变化对中国家庭能源贫困的非对称影响。本文可能的贡献与创新点主要表现为以下三个方面:一是基于家庭能源贫困视角,探究了低温日和高温日对家庭能源贫困的非对称影响及其机制,丰富了极端气温对微观家庭能源消费影响的研究。二是从多个维度刻画极端气温,包括日最高(最低)气温、制冷度日和供暖度日、气温冲击、气温箱等方式,从而可以全面分析中国极端气温的影响。三是研究发现,极端气温对家庭能源贫困的影响存在季节差异,不同气候带地区的极端气温对家庭能源贫困的影响存在异质性。

二、理论分析

(一) 极端气温与家庭能源可负担性

相较于工商业部门,家庭能源消费受极端气温的影响更大,极端气温会显著改变家庭的电力消费^[15]和天然气消费等^[16]。家庭能源消费是对极端气温的一种适应性反应:在寒冷的天气中确保足够的室内供暖,以及在炎热的天气中提供有效的制冷,不仅能预防严重的健康问题,还能避免身体和心理上的不适,从而抵消极端气温所带来的福利损失。

基于此,本文通过效用最大化理论分析了极端气温与能源可负担性之间的关系。本文假设家庭效用函数 $u(\cdot)$ 是关于非能源商品 x 、能源商品 e 和极端气温天数 c 的函数,如式(1):

$$u(x,e,c) = u(x)[1 - f(e,c)] \quad (1)$$

其中, $0 < f(e,c) < 1$ 表示家庭效用损失函数, $f(e,c)$ 越大,则效用损失越大。极端气温会

^① 气候指某个地区长时间内的平均天气状况,气候变化包括气温变化。极端气温主要指极端高温和极端低温。

增加居民面临的健康风险,但通过使用空调等设备调节室内气温,可以有效抵消这些不利影响,即能源支出的增加可以有效减少气温升高引致的风险。由此, $1 - f(e, c)$ 表示在一个气温适宜的环境中居住的概率,效用损失函数 $f(e, c)$ 满足 $f_e(e, c) < 0$ 、 $f_c(e, c) > 0$ 且 $f_{ec}(e, c) < 0$ 。由此,在效用最大化的目标下,式(1)可以转化为式(2):

$$\begin{aligned} \max u(x, e, c) &= u(x) [1 - f(e, c)] \\ \text{s.t. } x + pe &\leq y \end{aligned} \quad (2)$$

其中, p 表示能源商品的价格, y 表示家庭人均收入。由此,消费者可以选择是否通过增加能源消耗以适应极端气温,从而使居住环境的气温更舒适。家庭能源消费支出越高,即家庭能源消费支出占收入的比重越高,那么家庭陷入家庭能源贫困的风险越高^[17]。

面对极端气温,对于选择增加能源消费的家庭而言,由式(2)可知,效用水平为式(3):

$$u(y - pe) [1 - f(e, c)] \quad (3)$$

面对极端气温,对于不选择增加能源消费的家庭而言,由式(2)可知,效用水平为式(4):

$$u(y) [1 - f(0, c)] \quad (4)$$

对于不选择增加能源消费以适应极端气温的家庭而言,如果增加消费能源时的效用恰好等于不消费能源时的效用水平,需要满足式(5):

$$u \left[y \left(1 - \frac{pe_0}{y} \right) \right] [1 - f(e_0, c)] = u(y) [1 - f(0, c)] \quad (5)$$

令 $\theta = \frac{pe_0}{y}$ 为家庭能源消费收入比,即家庭能源消费支出占收入的比重。由此,将 $\theta = \frac{pe_0}{y}$ 带入式(5),然后对 θ 关于极端气温天数 c 的隐函数求偏导,可得式(6):

$$\frac{\partial \theta}{\partial c} = \frac{u(y)f_c(0, c) - u[y(1 - \theta)]f_c(e, c)}{u'[y(1 - \theta)]y[1 - f(e, c)]} \quad (6)$$

当一个家庭通过能源消费来抵消极端气温带来的效用损失时,家庭能源消费收入比会随着极端气温天数的增加而增加。可见,极端气温会导致越来越多的居民无法获取基本用能需求或承担较高的用能成本^[18]。这部分家庭需要将较高比例的收入用于能源服务^[7]。例如,英国能源贫困家庭需要将10%以上的收入用在能源消费上,从而保证家庭有气温适宜的居住环境。

(二) 极端气温影响家庭能源贫困的理论逻辑

基于上述分析,可以看出气温变化会增加家庭的能源消费负担,进而影响家庭能源贫困。因此,本文将从家庭能源消费支出、家庭人均收入、工作休闲分配和可再生能源技术创新水平等维度探讨极端气温影响家庭能源消费支出,进而影响家庭能源贫困的理论逻辑,如图1所示。

第一,极端低温和极端高温冲击下,家庭用于采暖或制冷的能源支出会增加,加重了家庭的能源消费负担。对于生活在极端气温下的家庭而言,其面临的气候变化风险更高,很难抵御气温冲击产生的不利影响。极端气温会增加家庭的能源需求,特别是夏季的制冷需求将大幅增加能源需求,而能源需求的增加会增加家庭能源消费支出,从而加剧家庭能源贫困。

第二,极端气温会影响家庭人均收入,从而对能源消费的可负担性产生影响。研究表明,极端气温会对家庭人均收入产生影响,且收入是影响家庭能源贫困的重要因素^[18]。与高收入国家相比,低收入国家更容易受到极端气温事件的影响^[19]。气温升高会降低地区的经济发展水平及人均收入,从而使得地区的贫困状况恶化。同时,极端气温会减少室外工作时间,从而降低家庭人均收入。此外,高温会导致不适、疲劳,甚至出现认知障碍,从而降低劳动生产率,最终影响收入。收入降低又限制了家庭负担和获得现代能源商品和服务的能力。

第三,极端气温在个人的工作休闲分配中发挥着重要作用,进而影响家庭人均收入。极端气温会影响个人劳动的边际生产率,从而改变其工作时间的分配。这种影响在不同行业中存在差

异, 对农业、建筑业等需要长时间在室外工作的行业而言, 影响更为显著, 因为这些行业的从业者无法利用采暖或制冷设备来调节其工作环境的气温。在高温下, 分配给劳动的时间会减少, 从而导致家庭人均收入下降; 并且, 随着休闲娱乐活动的减少, 居家时间的增加, 家庭的能源消耗和能源费用也会相应上升。

第四, 可再生能源技术创新水平是影响能源供给与消费的关键驱动因素。2013年《国务院关于促进光伏产业健康发展的若干意见》明确提出要加快提升光伏技术和装备水平, 通过技术创新提高能源系统的供给能力。良好的外部环境是提升创新水平的强大动力, 因而极端气温冲击可能不利于可再生能源的技术创新, 从而阻碍能源转型, 不利于保障家庭能源安全。相关研究表明, 可再生能源技术创新水平每提高1.0%, 可使可再生能源发电能力增加0.4%, 同时技术扩散还能使邻近省份的可再生能源发电能力提升3.3%。并且, 利用可再生的太阳能技术可以有效预防能源不安全的问题^[20]。

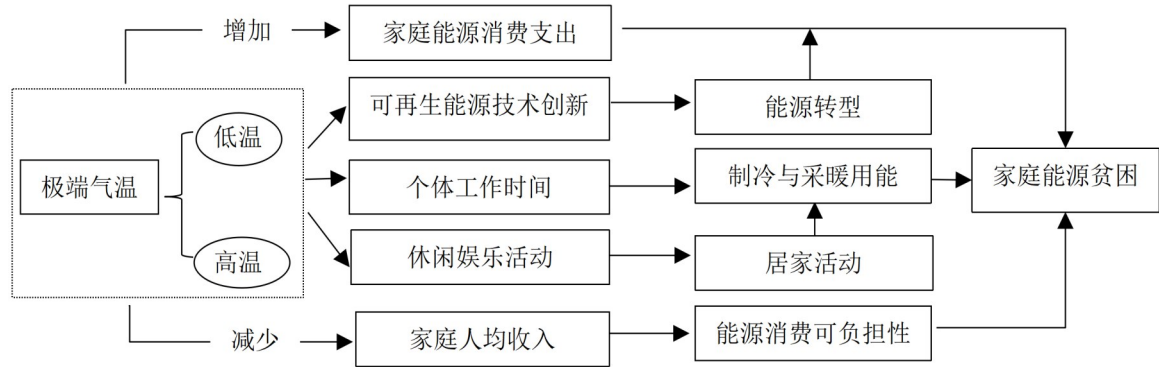


图1 极端气温影响家庭能源贫困的理论逻辑

三、研究设计

(一) 数据说明

本文所使用的数据主要包括两部分：一是来自2010—2020年共6期的中国家庭追踪调查数据(China Family Panel Study, CFPS)，该数据涵盖中国25个省份(除新疆、西藏、青海、内蒙古、宁夏、海南和港澳台地区)，共包括162个县及635个村庄(社区)，涉及14 798个家庭。本文重点关注家庭层面数据中的电力、暖气和燃料等各项收支信息。为了剔除通货膨胀的影响，本文以2009年为基期，对收入和支出数据进行了相应调整。二是来自中国气象科学数据中心(China Meteorological Administration, CMA)的中国气象要素站点观测逐日数据集。该数据集涵盖1980—2020年，全国2 400多个气象站点自建站以来的日度气温、气压、降水量、相对湿度、风向风速、日照时数等数据，数据准确率接近100%^[3, 10]。

(二) 变量定义

相关变量定义和描述性统计结果如表1所示。

被解释变量：家庭能源贫困(EP)。现有研究中，运用最广泛的家庭能源贫困测度方法包括“10%”指标、lihc指标(low income high cost)、基本需求法和多维家庭能源贫困指数法。研究表明，随着经济和社会条件的变化，使用家庭能源消费收入比中位数的两倍作为临界值，比采用固定的临界值更为有效^[17]，这种方法能够更好地反映家庭能源消费的可支付性和负担能力。因此，本文采用“两倍中位数”的家庭能源消费收入比作为临界值识别家庭能源贫困人群。具体地，将家庭能源消费收入比定义为FPR，即 $FPR_i = E_i/I_i$ 。E_i为个体(即家庭)i的家庭能源消费支出，包括电费、暖气费、燃料费；I_i为个体i的收入水平。如果 $FPR_i > 2\theta$ ，则个体i存在家庭能源贫

困， θ 表示家庭能源消费支出占比的中位数。

表1 变量定义和描述性统计结果

变 量	符 号	观测值	均 值	标准差	最小值	最大值
家庭能源贫困	EP	61 183	0. 2688	0. 4433	0	1
气温>25℃的天数	CDD	61 183	60. 1039	48. 3388	0	206
气温>25℃的天数（春）	CDDs1	61 183	0. 9529	2. 7877	0	30
气温>25℃的天数（夏）	CDDs2	61 183	33. 9832	24. 9014	0	92
气温>25℃的天数（秋）	CDDs3	61 183	24. 8925	22. 7058	0	88
气温>25℃的天数（冬）	CDDs4	61 183	0. 2753	1. 2211	0	15
气温<18℃的天数	HDD	61 183	206. 7142	58. 7279	23	358
气温<18℃的天数（春）	HDDs1	61 183	75. 1222	17. 2493	2	89
气温<18℃的天数（夏）	HDDs2	61 183	13. 3018	16. 8944	0	89
气温<18℃的天数（秋）	HDDs3	61 183	30. 9859	23. 1916	0	92
气温<18℃的天数（冬）	HDDs4	61 183	87. 3043	10. 8309	21	92
家庭能源消费支出（元，取对数）	lnenergy	61 183	5. 5437	2. 0539	0	9. 8627
家庭人均收入（元，取对数）	lninome	61 183	9. 2294	1. 1961	3. 8991	12. 7908
个体工作时间（小时/周，取对数）	lnworktime	40 960	1. 6923	1. 8712	0	4. 6634
休闲娱乐开支（元，取对数）	lnleisure	61 183	4. 2811	3. 4592	0	11. 1105
可再生能源技术创新水平	RET	61 183	2. 7448	2. 8217	0. 1600	20. 3800
年 龄	age	61 183	52. 7276	13. 5325	16	84
性别（男性=1；女性=0）	gender	61 183	0. 5875	0. 4923	0	1
户口（农业=1；非农=0）	hukou	61 183	0. 6904	0. 4623	0	1
受教育水平	edu	61 158	2. 5072	1. 3101	1	8
婚姻状况（已婚=1；未婚=0）	marriage	61 182	0. 8501	0. 3570	0	1
就业情况（有=1；无=0）	employ	61 183	0. 6426	0. 4792	0	1
家庭人口规模	familysize	61 183	3. 8127	1. 7713	1	9
拥有汽车（有=1；无=0）	car	61 182	0. 1845	0. 3879	0	1
住房面积（平方米）	size	60 812	124. 6539	88. 0271	12	500
拥有住房数	zhufang	61 183	1. 0301	0. 4953	0	2
日照时数（小时，取对数）	lnsun	61 183	7. 5782	0. 2428	6. 6710	7. 9987
降水量（mm，取对数）	lnrain	61 183	6. 7444	0. 4243	5. 6169	7. 7686
气压（hpa，取对数）	lnatmo	61 183	6. 8664	0. 0731	6. 5601	6. 9241
风速（m/s）	wind	61 183	2. 1674	0. 5521	1. 0101	4. 5541
相对湿度（%）	wet	61 183	67. 8960	8. 3806	41. 8150	85. 5948

注：（1）文盲/半文盲=1；小学=2；初中=3；高中/中专/技校/职高=4；大专=5；本科=6；硕士=7；博士=8。（2）已婚指已婚、同居未婚；未婚指单身、离异、丧偶、分居未离婚。（3）拥有住房中，2套及以上住房=2；1套住房=1；无住房=0。

解释变量：极端气温，主要采用现有研究常用的制冷度日数（Cooling Degree Days，CDD）和供暖度日数（Heating Degree Days，HDD）这两个指标进行衡量^[10-11]。CDD和HDD衡量了气温与人体舒适气温之间的差异，如式（7）和式（8）：

$$CDD = \sum_{t=1}^{365} rd(T_t - T_{b2}) \tag{7}$$

$$HDD = \sum_{t=1}^{365} rd(T_{b1} - T_t) \tag{8}$$

其中， T_t 表示第 t 天的平均气温； T_{b1} 、 T_{b2} 分别表示达到人体舒适气温时的临界值，当 $T_t > T_{b2}$ 或 $T_t < T_{b1}$ 时， $rd(\cdot) = 1$ ，否则 $rd(\cdot) = 0$ 。关于 T_{b1} 、 T_{b2} 的取值，现有研究尚未完全统一，

但通常以 $T_{b1}=18^{\circ}\text{C}$ 、 $T_{b2}=25^{\circ}\text{C}$ 作为临界值。其中,伯克利热舒适模型评估的人体舒适气温为 25°C ,否则就会出现疾病等问题。易福金等^[2]在研究高温对老年人认知能力的影响时,同样将 25°C 作为高温的临界值。本文将低温的阈值设定为 18°C ,高温的阈值设定为 25°C 。此外,也有学者利用其他临界值划分低温日和高温日^[10, 15],本文也采用其他临界值进行了稳健性分析。

机制变量:家庭能源消费支出、家庭人均收入、个体工作时间、休闲娱乐开支和可再生能源技术创新水平。需要说明的是,本文是采用可再生能源技术创新的知识存量来衡量可再生能源技术创新水平。

控制变量:本文控制了年龄、性别、户口、受教育水平、婚姻状况、就业情况、家庭人口规模、拥有汽车、住房面积、拥有住房数等户主个体特征和家庭特征。本文还控制了日照时数、降水量、气压、风速、相对湿度等其他气象特征。

(三) 模型设定

在面板数据的基础上,本文采用固定效应模型分析气温变化对家庭能源贫困的影响,具体实证模型设定如式(9):

$$EP_{ijt} = \alpha_0 + \alpha_1 CDD_{ijt} + \alpha_2 HDD_{ijt} + \beta' Z_{ijt} + \delta' W_{ijt} + \gamma' F_{ijt} + \varepsilon_{ijt} \quad (9)$$

其中, i 、 j 、 t 分别表示个体、县域和年份; EP 表示家庭能源贫困; CDD 和 HDD 分别表示制冷度日数和供暖度日数; Z 表示个体和家庭特征; W 表示其他气象特征; F 表示各类固定效应,包括个体固定效应、年份固定效应、县域固定效应; α 、 β 、 δ 、 γ 均表示待估参数; ε 表示随机扰动项,服从标准正态分布。需要说明的是,一旦控制县域和年份固定效应,其他气象条件,以及特定地区的时间趋势后,气温可以视为外生变量^[11]。

四、实证结果与分析

(一) 基准回归结果与分析

1. 高温和低温对家庭能源贫困的影响

为了分析高温和低温对家庭能源贫困的影响是否存在非对称性,本文分别用 CDD 、 HDD 表征制冷度日数和供暖度日数,探究其对家庭能源贫困的影响,回归结果如表2所示。

从表2列(1)和列(2)可以看出,逐步控制个体特征、家庭特征、其他气象特征等变量后,制冷度日数和供暖度日数对家庭能源贫困的影响系数大小和显著性水平略有变化,但总体保持稳定且始终显著为正。从中可以看出, CDD 每增加1天,发生家庭能源贫困的可能性将增加0.05个百分点; HDD 每增加1天,发生家庭能源贫困的可能性将增加0.06个百分点。这与现有研究得出的结论基本一致^[21]。进一步地,本文探究了不同季节的 CDD 和 HDD 对家庭能源贫困影响的差异性,结果如表2列(3)和列(4)所示。从中可以看出,在考虑季节性特征后,仅春秋两季的 HDD 增加、夏季的 CDD 增加会加剧家庭能源贫困,其余季节的 CDD 和 HDD 变化对家庭能源贫困的影响均不显著。可见, CDD 和 HDD 对家庭能源贫困的影响存在明显的季节性差异。这与现有研究的结论也基本一致^[22]。因此,在制定极端气温政策及保障家庭能源安全的相关政策时,应该重点考虑中国的季节性特征。

2. 气温适应性对家庭能源贫困的影响

为了进一步探究不同季节间的差异性,以及气温适应性对家庭能源贫困的影响。本文采用不同季节的气温冲击来表征气温适应性。具体地,将地区 j 在时期 t 的气温冲击定义为在 t 期观察到的特定季节 s 的气温与长期平均值之间的差异,除以长期气温的标准差,即: $Z_{jt}^s = \frac{(T_{jt}^s - \mu_{j, 1980-2008}^s)}{\sigma_{j, 1980-2008}^s}$ 。其中, Z_{jt}^s 表示地区 j 在时期 t 的季节性平均气温; μ_j^s 、 σ_j^s 分别表示地区 j 在时期 t 的特定季节的长期(1980—2008年)平均气温和标准差。由此, Z_{jt}^s 则测度了地区 j 在时期 t 的季

节特定气温偏离其长期平均值的程度。《中国气候变化蓝皮书（2022）》数据显示：1951—2021年中国地表年平均气温的升温速率为0.26℃/10年。因此，本文分别选择0.3℃、0.5℃、0.7℃作为不同程度的气温升高冲击，同时确保足够数量的观测值。当 $Z_{jt}^s > 0.3$ 时， $TS_{jt}^s = 1$ ，表示地区j在时期t和季节s的平均气温对长期气温的偏离程度大于0.3；否则， $TS_{jt}^s = 0$ 。当面临其他的气温冲击时，同理。气温适应性对家庭能源贫困影响的回归结果如表3所示。

表2 高温和低温对家庭能源贫困影响的回归结果

变 量	(1)	(2)	(3)	(4)
	EP	EP	EP	EP
CDD	0.0005** (0.0002)	0.0005* (0.0003)		
HDD	0.0007** (0.0003)	0.0006** (0.0003)		
CDDs1			-0.0015 (0.0016)	-0.0009 (0.0017)
HDDs1			0.0012** (0.0005)	0.0012** (0.0005)
CDDs2			0.0012*** (0.0003)	0.0011*** (0.0004)
HDDs2			-0.0004 (0.0006)	-0.0004 (0.0006)
CDDs3			-0.0003 (0.0004)	-0.0002 (0.0004)
HDDs3			0.0014*** (0.0004)	0.0013*** (0.0004)
CDDs4			-0.0008 (0.0024)	-0.0024 (0.0025)
HDDs4			-0.0014 (0.0009)	-0.0014 (0.0009)
个体/家庭特征	控制	控制	控制	控制
其他气象特征	不控制	控制	不控制	控制
个体/县域/年份FE	控制	控制	控制	控制
常数项	0.7713*** (0.1906)	12.1436** (6.1942)	0.9018*** (0.2062)	13.0780** (6.2560)
观测值	57 473	57 473	57 473	57 473
R ²	0.3652	0.3661	0.3661	0.3660

注：***、**和*分别表示在1%、5%和10%水平下显著，括号内为稳健标准误，下同。

表3 气温适应性对家庭能源贫困影响的回归结果

变 量	(1)	(2)	(3)
	$Z_{jt}^s > 0.3$	$Z_{jt}^s > 0.5$	$Z_{jt}^s > 0.7$
春季气温冲击	-0.0330*** (0.0051)	0.0036 (0.0087)	0.0428** (0.0174)
夏季气温冲击	0.0195*** (0.0050)	0.0080 (0.0068)	-0.0023 (0.0126)
秋季气温冲击	-0.0418*** (0.0058)	-0.0265** (0.0106)	-0.0485*** (0.0186)
冬季气温冲击	0.0125** (0.0059)	0.0035 (0.0102)	0.0288 (0.0297)
个体/家庭/其他气象特征	控制	控制	控制
个体/县域/年份FE	控制	控制	控制
常数项	11.4309* (6.1308)	11.8890* (6.2350)	10.4331 (6.5131)
观测值	57 473	57 473	57 473
R ²	0.3672	0.3662	0.3661

不同季节的气温冲击存在非对称性。当气温冲击为0.3时，春、秋两个季节发生家庭能源贫困的概率分别会降低3.30个百分点、4.18个百分点，分别占样本均值的12.3%、15.6%，这两个季节的气温冲击会缓解家庭能源贫困；夏、冬两个季节发生家庭能源贫困概率分别会上升1.95个百分点、1.25个百分点，分别占样本均值的7.3%、4.7%，这两个季节的气温冲击会加剧家庭能源贫困。当气温冲击为0.5时，只有秋季的气温冲击会对家庭能源贫困产生显著影响，其余季节的气温冲击并无显著影响。具体地，当秋季气温超过季节特定长期平均气温0.5个标准

差, 家庭能源贫困发生的概率将下降 2.65 个百分点, 占样本均值的 9.9%。当气温冲击为 0.7 时, 春季的气温冲击将会加剧家庭能源贫困。具体地, 当春季气温超过季节特定长期平均气温 0.7 个标准差, 家庭能源贫困发生的概率将上升 4.28 个百分点, 占样本均值的 15.9%。秋季的气温冲击则可以缓解家庭能源贫困, 即当秋季气温超过季节特定长期平均气温 0.7 个标准差, 家庭能源贫困发生的概率将降低 4.85 个百分点, 占样本均值的 18.0%。

3. 气温变化对家庭能源贫困的非线性影响

为了体现气温变化的非线性影响, 本文采用气温箱的方式来刻画气温变化^[11]。具体地, 本文以 5℃ 的气温区间划分了 10 个气温箱。这种方法可以有效区分气温的分布, 同时可以分析每个气温箱对家庭能源贫困的不同影响。为了排除共线性问题, 将 [16℃, 20℃) 作为基准组, 结果如图 2 所示。从图 2 可以看出, 以气温区间度量的气温变化对家庭能源贫困的影响呈现非对称 U 型关系, 即在基准气温区间两侧, 家庭能源贫困发生的概率随着气温与基准气温差距的增加而变大。在相同气温波动情形下, 高温日比低温日导致的家庭能源贫困发生的概率更高。具体来说, 相对于气温箱内 [16℃, 20℃) 的 1 天, 在一年中如果日均气温在 32℃ 以上的天数增加, 那么家庭能源贫困发生的概率会上升 1.3% 左右。相对于气温箱内 [16℃, 20℃) 的 1 天, 如果日均气温低于 8℃ 的天数增加, 家庭能源贫困也会加剧。具体地, [4℃, 8℃) 的天数每增加 1 天, 家庭能源贫困发生的概率上升 1.0%; [0℃, 4℃) 的天数每增加 1 天, 家庭能源贫困发生的概率上升 0.4%; 小于 0℃ 的天数每增加 1 天, 家庭能源贫困发生的概率上升 0.9%。

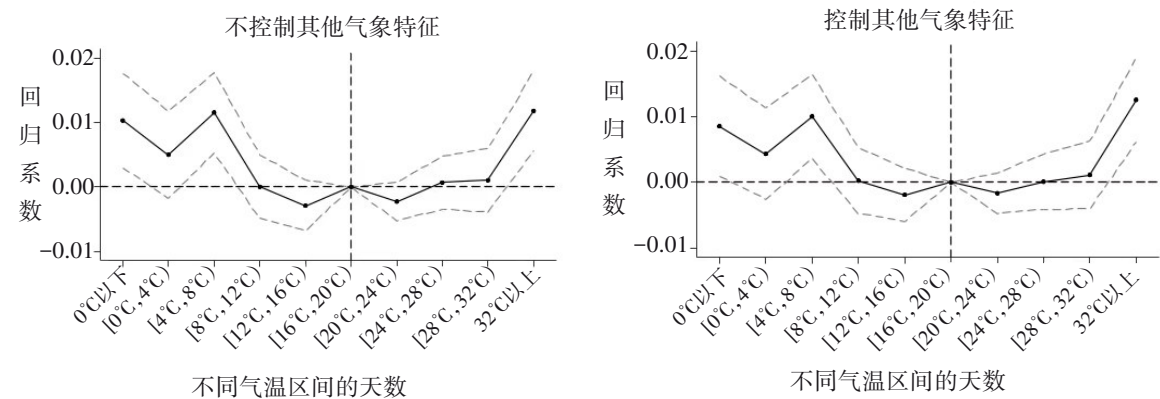


图 2 不同气温区间对家庭能源贫困的影响

(二) 异质性分析

1. 收入异质性

因为不同收入水平家庭的支付能力和用能偏好存在差异, 所以本文对比了低收入家庭与高收入家庭在面临气温变化时, 家庭能源贫困存在的异质性。本文以地区平均收入的 40% 作为收入相对贫困线, 划分出低收入家庭和高收入家庭, 结果如表 4 列 (1) 和列 (2) 所示。对于高收入家庭而言, CDD 对家庭能源贫困具有显著的正向影响, HDD 对家庭能源贫困的影响则不显著。相比之下, 对于低收入家庭而言, CDD 对家庭能源贫困的影响不显著, HDD 对家庭能源贫困则存在显著的正向影响。可见, 不同收入水平的家庭对极端气温的敏感性不同, 高收入家庭对高温日更敏感, 制冷需求更高; 低收入家庭对低温日更敏感, 供暖需求更高。

2. 地区异质性

考虑到中国南北地区 (以秦岭—淮河一线为界) 的用能差异性及能源政策的差异性等, 本文分析了南北居民的能源需求对极端气温的敏感程度。表 4 列 (3) 和列 (4) 展示了南方和北方的

CDD、HDD对家庭能源贫困的影响。结果表明，南北居民的能源需求对极端气温的敏感程度存在显著的差异。对于南方居民而言，CDD会加剧家庭能源贫困，但HDD能够缓解家庭能源贫困。对于北方居民而言，只有CDD会加剧家庭能源贫困，HDD对家庭能源贫困的影响不显著。可见，相对于北方家庭，南方家庭对极端气温更为敏感。这可能是因为北方地区实施集中供暖政策，且有财政补贴。考虑到城乡居民间的用能差异，本文也分析了极端气温对农村和城市（按户籍划分）居民家庭能源贫困的异质性影响，如表4列（5）和列（6）所示。气温变化对城市居民的影响较农村居民更显著。具体而言，HDD会增加城市居民陷入家庭能源贫困的风险。原因可能是农村居民的户外活动时间更多，且农村居民在冬季通常采用柴草或煤炭作为取暖方式，相较于使用空调取暖或集中供暖，其家庭能源消费支出较低，所以HDD对农村居民影响不大。此外，农村居民和城市居民的工作方式不同，农村居民一般是在户外工作，而城市居民一般是在室内工作，能源需求相对更高。

表4 收入与地区异质性的回归结果

变 量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	高收入	低收入	南方	北方	农村	城市
CDD	0.0004* (0.0003)	-0.0001 (0.0007)	0.0009*** (0.0003)	0.0013** (0.0005)	0.0002 (0.0004)	0.0000 (0.0004)
HDD	0.0003 (0.0003)	0.0014** (0.0007)	-0.0007** (0.0003)	-0.0004 (0.0005)	0.0002 (0.0004)	0.0011*** (0.0004)
个体/家庭/其他气象特征	控制	控制	控制	控制	控制	控制
个体/县域/年份FE	控制	控制	控制	控制	控制	控制
常数项	2.6986 (5.6052)	1.6047 (18.3364)	9.5188 (6.6982)	25.8235 (20.0304)	-0.1557 (8.2415)	30.5776*** (9.9004)
观测值	42 027	11 072	33 022	24 451	29 252	26 958
R ²	0.3714	0.5172	0.3790	0.3581	0.3751	0.3972

3.气候特征异质性

本文基于寒（中）温带、暖温带、（亚）热带和高原气候带，将研究区域划分为四类，进行了异质性分析，结果如表5所示。

表5 气候特征异质性的回归结果

变 量	(1)	(2)	(3)	(4)
	寒（中）温带	暖温带	（亚）热带	高原气候带
CDD	0.0045*** (0.0009)	-0.0012** (0.0006)	0.0012*** (0.0003)	0.0014 (0.0042)
HDD	0.0009 (0.0009)	0.0009* (0.0005)	-0.0008** (0.0004)	-0.0001 (0.0023)
个体/家庭/其他气象特征	控制	控制	控制	控制
个体/县域/年份FE	控制	控制	控制	控制
常数项	110.9921 (68.1696)	17.3450 (14.0973)	20.3248** (8.5378)	11.3595 (17.1639)
观测值	9 849	21 775	24 305	1 544
R ²	0.3664	0.3641	0.3783	0.4422

从表5可以看出，不同气候带地区的极端气温对家庭能源贫困存在异质性影响。在寒（中）温带地区，CDD会加剧家庭能源贫困，HDD对家庭能源贫困不存在显著影响。在暖温带地区，CDD会缓解家庭能源贫困，而HDD会加剧家庭能源贫困；在（亚）热带地区，极端气温对家庭能源贫困的影响与暖温带正好相反，CDD会加剧家庭能源贫困，而HDD会缓解家庭能源贫困。在高原气候带地区，极端气温的影响不显著。上述结果说明，不同气候带地区的极端气温对家庭

能源贫困的影响存在显著差异,原因是不同气候带地区的居民气温适应性行为存在差异。同时,不同气候带地区居民的生产生活方式也会存在差异性,会引致收入来源和消费行为的差异性,从而导致能源消费可负担性的不同。

(三) 稳健性检验

由于现有研究也有采用18℃、22℃或18℃、24℃作为人体适宜气温(即CDD、HDD)的临界值^[10-11, 15]。为此,本文替换了CDD、HDD的临界值进行稳健性检验。^①结果发现,无论如何选择CDD、HDD的临界值,当日均气温不在最佳气温区间时,都会对家庭能源贫困产生影响。因此,本文的估计结果是稳健的。同时,本文也利用日最高(低)气温,结合世界气象组织气候委员会(WMO-CCI)提出的极端气温指标,采用相对指数和绝对指数两种方式衡量极端高温和极端低温。其中,相对指数是指冷夜日数TN10和暖昼日数TX90,绝对指数是指夏季日数SU25和冰点日数FD0。结果发现,极端气温对家庭能源贫困的不利影响均是稳健的。此外,本文还加入年份—省份联合固定效应来控制那些既随时间变化又随地区变化的不可观测变量的影响,基准结论依然成立。

五、机制分析

通过上述的理论和实证分析可知极端气温会影响家庭能源贫困,但是,极端气温是通过何种路径来影响家庭能源贫困的呢?为此,本文进一步探究了极端气温是否会通过家庭能源消费支出、家庭人均收入、个体工作时间、休闲娱乐开支和可再生能源技术创新水平等影响家庭能源贫困。模型设定如式(10):

$$\text{Mechanism}_{ijt} = \alpha_0 + \alpha_1 \text{CDD}_{ijt} + \alpha_2 \text{HDD}_{ijt} + \beta'Z_{ijt} + \delta'W_{ijt} + \gamma'F_{ijt} + \varepsilon_{ijt} \quad (10)$$

其中, Mechanism为本文的机制变量,其余变量与基准回归模型式(9)一致。由此,机制分析的回归结果如表6所示。

首先,本文探究了极端气温对家庭能源消费支出的影响。研究表明,CDD和HDD均会显著增加家庭能源消费支出。CDD每增加1天,家庭能源消费支出就会显著增加0.19%;HDD每增加1天,家庭能源消费支出就会显著增加0.88%。CDD和HDD对家庭能源消费支出的影响是非对称的。极端高温天气促使家庭更频繁地使用制冷设备,而极端低温则会导致家庭更多地依赖供暖设备。这两种情况均会使得家庭的能源消耗增加,从而加重家庭能源消费负担。

其次,本文探讨了极端气温对家庭人均收入的影响。研究表明,HDD对家庭人均收入具有显著的负向影响。HDD每增加1天,家庭人均收入就会显著减少0.10%。虽然CDD对家庭人均收入的影响不显著,但其系数依然为负。随着家庭人均收入水平的降低,家庭能源消费收入比也会下降。可见,极端气温会减少家庭人均收入,从而不利于支持家庭消费或负担更多的能源,加剧家庭用能负担。

再次,本文探究了极端气温对个体工作时间和休闲娱乐开支的影响。对于工作时间而言,CDD会显著降低个体工作时间,CDD每增加1天,工作时间就会显著减少0.06%。但是,HDD会显著增加个体工作时间,HDD每增加1天,工作时间会显著地增加0.11%。可见,对于工作时间的而言,高温对人体的危害比低温更严重。进一步地,对于家庭的休闲娱乐开支而言,CDD会显著减少休闲娱乐开支,因为在高温日人们更偏好在家里休息,不愿意外出活动。具体地,CDD每增加1天,休闲娱乐支出就会显著减少0.60%,而HDD虽然对休闲娱乐开支的影响系数为负,但影响并不显著。家庭工作时间和外出休闲活动的降低,会减少收入水平、增加家庭能源消耗。可见,极端气温会影响家庭工作和休闲时间,进而影响家庭能源消费水平。

① 稳健性检验结果未在正文中列出,留存备索。

最后，在消除家庭能源贫困的过程中，提升可再生能源技术创新水平是十分重要的。本文探讨了极端气温对可再生能源技术创新水平的影响。研究表明，CDD和HDD均会显著降低可再生能源技术创新水平。可再生能源技术水平的下降会约束现代能源的供给，不利于保障家庭能源安全。因此，为应对极端气温的不利影响，政府需要给予企业一定的政策支持，鼓励企业提升可再生能源技术创新水平。

表6 机制分析的回归结果

变 量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	lnenergy	lnincome	lnworktime	lnleisure	RET
CDD	0.0019** (0.0008)	-0.0004 (0.0005)	-0.0006* (0.0004)	-0.0060*** (0.0016)	-0.0067*** (0.0005)
HDD	0.0088*** (0.0009)	-0.0010** (0.0005)	0.0011*** (0.0003)	-0.0006 (0.0016)	-0.0024*** (0.0006)
个体/家庭/其他气象特征	控制	控制	控制	控制	控制
个体/县域/年份FE	控制	控制	控制	控制	控制
常数项	69.3171*** (16.3697)	7.3726 (13.0138)	-10.7574 (10.0687)	-72.1931 (49.4545)	-11.1888 (9.7015)
观测值	57 473	57 473	37 078	57 473	57 473
R ²	0.6644	0.6681	0.9661	0.5672	0.9423

六、结论与政策建议

本文基于2010—2020年共六期的CFPS数据，分析了极端气温对中国家庭能源贫困的非对称影响。研究发现：极端气温对家庭能源贫困具有显著的正向影响，制冷度日数和供暖度日数对家庭能源贫困的影响存在季节性差异。特别地，以气温区间度量的气温变化对家庭能源贫困的影响呈现非对称U型曲线关系，即在基准气温区间两侧，家庭能源贫困发生的概率随着气温与基准气温差距的增加而上升。并且，在相同气温波动情形下，高温日比低温日导致的家庭能源贫困发生的概率更高。相对于气温箱内〔16℃，20℃）的1天，如果一年中日均气温在32℃以上的天数增加，那么家庭能源贫困会增加1.3%左右；小于0℃的日数增加时，家庭能源贫困发生的概率会增加0.9%。在异质性方面，极端气温对家庭能源贫困的影响存在收入异质性和地区异质性，且不同气候带地区低温日和高温日对家庭能源贫困的影响也不同。最后，极端气温会增加家庭能源消费支出、减少家庭人均收入、减少工作时间、减少休闲娱乐开支、降低可再生能源技术创新水平，从而导致家庭能源贫困。

因此，为了确保家庭能源安全，制定能源经济政策时应考虑不同季节气温变化对家庭能源贫困的异质性影响，并据此推行差异化的能源策略。同时，需要建立极端气温事件下的监测预警、能源系统保护和应急调度等适应策略。“因时制宜”“因地制宜”“因人制宜”地制定差异化应对极端气温的政策措施，从而更加有针对性地缓解家庭能源贫困。并且，需要重点加强不同气候特征地区的气温适应性城市建设，推动和完善居民气温适应性行为，提升个体的抗寒和耐热能力，减少家庭进行非必要的采暖或制冷需求，减少极端气温对家庭生活产生的负面冲击。考虑由政府统一实施类似于集中供暖政策的“集中供冷”政策，降低采暖或制冷的能源需求，减少家庭用能负担。此外，需要逐渐提升家庭能源使用效率，更有效地满足家庭用能需求。特别地，对家庭能源贫困家庭给予一定的能源补贴，降低家庭用能负担。要加快能源转型，加快可再生能源技术创新，大力推广屋顶分布式光伏项目，弥补家庭能源短缺，加强跨地区合作，促进绿电消费的增加^{〔23〕}。

参考文献:

- [1] HUA Y, QIU Y, TAN X, et al. The effects of temperature on mental health: evidence from China[J]. *Journal of population economics*, 2022, 36(3): 1293–1332.
- [2] 易福金, 余露芸, 周天昊, 等. 高温与认知能力——基于中老年群体的实证研究[J]. *经济学(季刊)*, 2023, 23(1): 389–408.
- [3] 李卫兵, 罗念一. 高温变化会提高企业劳动力成本吗?[J]. *华中科技大学学报(社会科学版)*, 2022, 36(5): 108–120.
- [4] BUTLER E E, HUYBERS P. Adaptation of US maize to temperature variations[J]. *Nature climate change*, 2013, 3(1): 68–72.
- [5] 郑殿元, 黄晓军, 潘安琪. 基于劳动生产率视角的高温对市域经济损失评估与实证[J]. *经济地理*, 2023, 43(6): 13–21.
- [6] 宋敏, 王宏新, 王岩, 等. 能源系统面对气候变化的脆弱性与适应举措研究[J]. *中国能源*, 2021, 43(1): 26–32.
- [7] JESSEL S, SAWYER S, HERNÁNDEZ D. Energy, poverty, and health in climate change: a comprehensive review of an emerging literature[J]. *Frontiers in public health*, 2019, 7(1): 00357.
- [8] LAI W, LI S, LIU Y, et al. Adaptation mitigates the negative effect of temperature shocks on household consumption[J]. *Nature human behaviour*, 2022, 6(2): 837–846.
- [9] PILLI-SIHVOLA K, AATOLA P, OLLIKAINEN M, et al. Climate change and electricity consumption: witnessing increasing or decreasing use and costs?[J]. *Energy policy*, 2010, 38(5): 2409–2419.
- [10] ZHANG S, GUO Q, SMYTH R, et al. Extreme temperatures and residential electricity consumption: evidence from Chinese households[J]. *Energy economics*, 2022, 107(9): 105890.
- [11] LI X, SMYTH R, XIN G, et al. Warmer temperatures and energy poverty: evidence from Chinese households[J]. *Energy economics*, 2023, 120(3): 106575.
- [12] FEENY S, TRINH T A, ZHU A. Temperature shocks and energy poverty: findings from Vietnam[J]. *Energy economics*, 2021, 99(3): 105310.
- [13] LONGDEN T, QUILTY S, RILEY B, et al. Energy insecurity during temperature extremes in remote Australia[J]. *Nature energy*, 2021, 7(1): 43–54.
- [14] FUNG W Y, LAM K S, HUNG W T, et al. Impact of urban temperature on energy consumption of Hong Kong[J]. *Energy*, 2006, 31(14): 2623–2637.
- [15] 刘明辉, 李江龙, 孟观飞, 等. 气候冲击背景下温度变化如何影响家庭能源消费? ——基于需求异质性视角[J]. *西安交通大学学报(社会科学版)*, 2022, 42(4): 74–85.
- [16] SPOLADORE A, BORELLI D, DEVIA F, et al. Model for forecasting residential heat demand based on natural gas consumption and energy performance indicators[J]. *Applied energy*, 2016, 182(15): 488–499.
- [17] BOARDMAN B. Fixing fuel poverty[M]. London: Earthscan, 2010: 130–135.
- [18] CHARLIER D, KAHOULI S. From residential energy demand to fuel poverty: income-induced non-linearities in the reactions of households to energy price fluctuations[J]. *The energy journal*, 2019, 40(2): 101–137.
- [19] HEROLD N, ALEXANDER L, GREEN D, et al. Greater increases in temperature extremes in low versus high income countries[J]. *Environmental research letters*, 2017, 12(3): 034007.
- [20] IRAM R, ANSER M K, AWAN R U, et al. Prioritization of renewable solar energy to prevent energy insecurity: an integrated role[J]. *The Singapore economic review*, 2020, 66(3): 391–412.
- [21] CHURCHILL S A, SMYTH R, TRINH T A. Energy poverty, temperature and climate change[J]. *Energy economics*, 2022, 114(11): 106306.
- [22] CIAN E, LANZI E, ROSON R. Seasonal temperature variations and energy demand: a panel cointegration analysis for climate change impact assessment[J]. *Climatic change*, 2013, 116(3/4): 805–825.
- [23] 李少林, 郭晓雨. 能耗双控转向碳排放双控的理论逻辑与实践路径[J]. *东北财经大学学报*, 2024(1): 37–50.

Asymmetric Effects of Extreme Temperature on Household Energy Poverty in China

DENG Ming-yan, YANG Dan, LIU Zi-min

(School of Economics and Management, Southwest University, Chongqing 400716, China)

Summary: In recent years, extreme climatic events, such as extremely high temperatures and extremely low temperatures, have frequently occurred. Moreover, the “energy crisis” characterized by continuous electricity shortages, production restrictions, and soaring prices of oil, gas, and electricity is detrimental to ensuring household energy security and exacerbates the likelihood of residents falling into a vicious circle of energy poverty.

This paper analyzes the impact of temperature changes under extreme climate shocks on household energy poverty and its mechanism based on the micro-data of six rounds of China Family Panel Studies (CFPS) from 2010 to 2020. It reveals how temperature changes affect household energy poverty under extreme temperatures, especially focusing on the potential asymmetric effects of temperature changes on household energy poverty in China. The findings of the empirical study are as follows.

Firstly, extreme temperatures measured by cooling degree days and heating degree days have a significantly positive impact on energy poverty. The impact of temperature shocks on energy poverty varies in different seasons. Secondly, the impact of temperature changes measured by the temperature box on energy poverty presents a non-symmetric U-shaped curve, i.e., the rate of energy poverty development increases as the gap between temperature and the reference temperature increases on both sides of the reference temperature box. Thirdly, the impact of extreme temperatures on energy poverty has income and regional heterogeneity, and the impact of extreme temperatures on energy poverty in different climate zones also has heterogeneity. Finally, extreme temperatures affect household energy consumption expenditures, incomes, work and leisure, and renewable energy technology innovation, thereby affecting household energy poverty.

Compared with previous studies, the potential innovations and contributions of this paper are manifested in the following aspects. Firstly, from the perspective of energy poverty, this study explores the asymmetric impact of temperature changes on household energy poverty and its mechanism, enriching research on the micro-level impact of temperature changes on household energy consumption. Secondly, using multiple dimensions to depict extreme temperatures, including daily maximum (minimum) temperature, cooling degree days, heating degree days, temperature shocks, and temperature boxes, this paper comprehensively analyzes the impact of temperature changes in China. Thirdly, this paper not only explores the seasonal differences in the impact of temperature changes on energy poverty but also clarifies the heterogeneous impact between different climate zones. This paper reveals the inherent logic of temperature changes and family energy consumption in the context of global extreme temperatures, offering a scientific basis for the government to adopt proactive measures to cope with global extreme temperatures, establish a clean, low-carbon, safe, and efficient energy system, and alleviate energy poverty to ensure household energy security.

Key words: extreme temperature; temperature change; climatic zone; household energy poverty

(责任编辑: 邓 菁)

[DOI]10.19654/j.cnki.cjwtyj.2024.10.010

[引用格式]邓明艳,杨丹,刘自敏. 极端气温对中国家庭能源贫困的非对称影响研究[J]. 财经问题研究,2024(10): 117-128,封三.