

空间尺度视角下的家庭能源消费研究进展与展望

姜璐^{1,2}, 黄耿志^{3*}, 谢惠春⁴, 王长建², 郭杰², 董志强⁴

(1. 青海师范大学地理科学学院, 西宁 810008; 2. 广东省科学院广州地理研究所/广东省遥感与地理信息系统应用重点实验室/广东省地理空间信息技术与应用公共实验室, 广州 510070; 3. 中山大学地理科学与规划学院, 广州 510275; 4. 青海省青藏高原药用动植物资源重点实验室, 西宁 810008)

摘要: 能源是地理学研究的核心议题, 家庭能源消费活动作为区域典型人地关系活动的形式, 是能源地理精细化研究的一大趋势。论文基于地理学的空间尺度视角, 回顾了能源地理研究的缘起、家庭能源消费的空间特征、形成机制及数据来源, 对存在问题进行述评, 并从当前家庭能源消费面临的机遇出发, 对未来值得进一步深入研究的主题进行了展望和阐释。主要得到3个结论: ① 构建全景式家庭能源数据调查框架, 将地域类型与能源类型、数量、用途纳入调查的视域; ② 中观尺度的研究有待加强, 通过微观—中观—宏观尺度内关系的协调, 从一个相互嵌套式的结构整体中去认识和把握家庭能源消费特征及规律; ③ 构建家庭属性、地理因素、生活方式等多要素综合分析框架, 剖析家庭能源消费空间特征的形成动因, 实现对家庭能源消费空间分异过程的本质理解。研究有助于地理学能源领域的空间研究和实践的国际化, 对中国家庭能源消费的理论视角补充具有积极的学科意义。

关键词: 家庭能源消费; 能源地理; 空间尺度; 空间特征

作为地理学研究的核心议题, 能源与社会保持着一种共生关系, 一方面, 能源是社会空间的重要组成部分, 社会系统的规模和复杂程度往往与能源消费总量成正比, 另一方面, 能源的可得性决定了生活方式, 而经济价值体现又引导着能源消费用途^[1]。实际上, 能源是人类和环境的重要媒介, 通过耦合社会生态系统实现能量转换, 人类转换能源的行为, 既是人类对自然能源流的干预, 也决定着人类在自然系统中的位置^[2]。

当前, 能源的生产和消费模式正在发生变化, 全球对于气候变化和能源安全的关注以及能源系统技术进步, 共同促成了能源供应系统的转向: 一是转向页岩气、油砂等“非常规”化石燃料^[3-4]; 二是

转向可再生能源^[5]。同时, 新的终端使用技术、清洁能源投资改变了能源生产和消费模式^[6], 从而形成了新的地理特征^[7]。需要关注的是, 长期以来能源研究及其实践主要侧重于国家和省市等宏观尺度^[8], 集中于产业经济等部门领域, 关于家庭能源研究较少^[9-10]。主要原因在于传统经济发展模式主导下, 经济活动等领域的能源消耗占比已超 50%~80%^[11]。但我们必须注意到, 随着后工业化和“后疫情”时代的到来, 家庭能源消费增速占全球能源消费增速的比重持续高于工业部门^[12]。家庭, 成为了全球能源需求和碳排放的主要贡献方, 面向家庭的精准能源政策亦成为全球能源转型的重要调控工具^[13]。家庭能源研究自 20 世纪 70 年就已经引起了学者关

收稿日期: 2020-11-11; 修订日期: 2021-07-21。

基金项目: 国家自然科学基金项目(42001130); 广东省科学院发展专项资金(2021GDASYL-20210103002); 青海省重点研发与转化计划项目(2021-SF-138)。[**Foundation:** Natural Science Foundation of China, No. 42001130; GDAS' Project of Science and Technology Development, No. 2021GDASYL-20210103002; Special Project for Transformation of Scientific and Technological Achievements of Qinghai Science and Technology Department, No. 2021-SF-138.]

第一作者简介: 姜璐(1989—), 女, 青海海东人, 博士, 讲师, 主要从事能源经济地理、社会文化地理与区域可持续发展研究。
E-mail: jianglu@gdas.ac.cn

***通信作者简介:** 黄耿志(1986—), 男, 广东汕尾人, 博士, 副教授, 主要从事城镇化、非正规经济与劳动力地理研究。
E-mail: hgzh3@mail.sysu.edu.cn

引用格式: 姜璐, 黄耿志, 谢惠春, 等. 空间尺度视角下的家庭能源消费研究进展与展望 [J]. 地理科学进展, 2021, 40(10): 1788-1798. [Jiang Lu, Huang Gengzhi, Xie Huichun, et al. A review of household energy consumption research from the perspective of spatial scale. Progress in Geography, 2021, 40(10): 1788-1798.] DOI: 10.18306/dlkxjz.2021.10.014

注,家庭能源消费活动是典型人地关系活动的形式之一,对其认识需求和表征能力既要在地域认知的角度实现“是什么(what)”和“在哪里(what)”的现象描述与解释,也要关注“为什么(why)”和“是怎样(how)”的时空变化过程认知^[14],为此,国内外地理学者围绕家庭能源消费模式^[15-16]、能源消费差异^[17]、能源政策响应^[18-19]、能源碳排放和环境效应^[20-21]以及影响机制^[22-23]等开展了系列研究。

中国正处于历史最大规模的城市化进程中,2002—2016年,2.91亿农村人口迁移到城市或就地转换为城市家庭^[24],伴随着这一快速的人口转移,家庭能源消费年均增速达到8%。然而,从跨国横向比较来看,中国家庭能源消费量低于世界平均水平,仅为美国的1/3、英国的1/2^[10]。由此可见,伴随着持续的城市化进程,中国家庭能源消费仍有很大的增长空间,从需求侧的角度对能源进行探讨具有重要意义^[25-27]。为此,学者开展了系列有意义的研究,结果显示,中国家庭能源消费结构以秦岭—淮河线为分界线,具有显著差异,北方地区家庭能源消费量更高,是南方地区的1.82倍^[10]。在消费用途上,北方地区的能源消费以取暖为主,南方地区则以炊事为主^[10]。在驱动机制方面,影响中国家庭能源消费的因素主要包括家庭属性、社会文化、政策机制、地理环境、能源可得性以及能源价格^[30]。

尽管能源和地理的联系十分普遍,但并非能源的所有领域都与地理学有关,地理学的学术贡献和社会价值有待明确^[7]。为此,本文在大量国内外文献阅读整理的基础上,基于地理学空间视角,梳理能源地理的研究脉络,重点总结家庭能源消费的特征和作用机制,进而回答以下2个问题:一是将“地理”尺度视角引入能源研究意味着什么;二是在跨学科研究网络中日益增多的家庭能源研究中,地理学家如何更好地发挥作用。本文认为,中国家庭能源消费具有复杂性和多样性,开展多尺度、多要素的综合性研究,可为地理学下区域可持续发展的地域空间规律研究提供视角补充,对于更为精细地了解人地关系进而优化人地地域系统具有重要的理论意义。

1 能源地理的研究缘起及精细化趋势

1.1 能源地理研究的兴起

能源是可以直接或经转换提供人类所需的光、

热、动力等任一形式能量的载能体资源。按照生产过程可以分为一次能源和二次能源,按照是否能再生则可分为可再生能源和不可再生能源。以上分类都是从供给或生产角度来进行的,如果按照使用能源所要服务的目的,则可以分成生活能源与生产能源2大类,其中,生活能源是指满足生活需求的能源^[28]。

20世纪70年代,地理学者将能源问题置于学科分析的中心位置,主要从空间或区域视角,探讨能源开发、运输、交易和消费的特征及驱动机制,重点关注能源供应链发展策略、能源投资的空间格局、能源设施选址的环境经济风险、能源技术的传播机制以及能源生产、分配和消费的时空变化格局等主题^[2,29]。这一阶段的研究往往采用宏大叙事的方式^[30],成果难以及时发挥指导实践的作用。随着能源消费的持续增加,空气污染和全球气候变化问题愈发突出,学界逐渐转向能源转型研究^[31-32]。能源在社会空间中的角色,是能源地理学者关注的焦点^[33-35],能源由经济资产转向社会关系的过程中,衍生出了“能源景观”概念,学者集中探讨了能源生产和消费对景观、生计等物质关系的影响,以及对感知、表征等非物质关系的影响^[2,36-37]。基于此,“能源地理”被认为是地理想象、空间特性、地方联系与能源供应的协同系统。由于能源生产与消费不仅是一个社会技术提升的时间过程,还是一个涉及政治、文化和深层次地理的过程,使得其研究过程也较为复杂,不仅综合人文—经济地理学人地关系的格局、过程和机理研究的优势,还同时融入了经济学、社会学、环境心理学、遥感等不同学科的研究成果^[38](图1)。

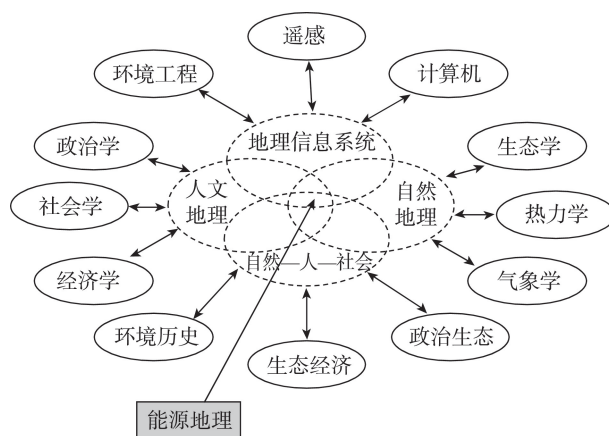


图1 能源地理研究的核心与边界

Fig.1 The core and boundary of energy geography research

1.2 家庭能源消费研究的兴起

在关注研究实效性背景下,能源地理学关注人一物一地等多要素平衡,家庭尺度的能源消费成为精细化研究的一大趋势^[39-41]。实际上,地理意义上的“家”,不仅是一个地方,也是一种空间,被个人、家庭以及物品所居住或填满的空间^[42]。而能源消费,是能源需求和供给共同作用、实现均衡时的结果,尤其强调均衡数量和结构。家庭则是能源消费的基本空间单元^[43],本文关注家庭能源消费的现实状况,因此采用了“家庭能源消费”的表述,以突出供需均衡的结果。

家庭能源消费按照终端用途,可以划分为炊事(热水)、家用电器、照明、采暖、制冷、交通6类^[10],其中,前5种终端用能需求活动属于室内用能范畴,最后的交通用能需求活动属于室外用能范畴(图2)。其中,前5种终端用能需求活动属于室内用能范畴,最后的交通用能需求活动属于室外用能范畴。以家庭能源消费为研究对象,学者取得了诸多成果,如Herendeen^[44]发现贫困家庭用于支付室内能源和汽车燃料的费用占家庭总支出的2/3,而富裕家庭

仅占1/3;此外,城市家庭能耗比农村地区的家庭少10%。Pachauri^[45]将印度家庭能源需求的增加归因于人口的激增。Baiocchi等^[46]研究了英国家庭能源消费产生的碳排放量,发现消费习惯和生活方式对二氧化碳排放量影响较大。

需要指出的是,国外的能源统计体系一般对室内和室外能源进行了区分,将室内能耗纳入家庭部门统计,将居民交通能耗和其他交通能耗统一纳入交通能源统计。但在中国的能源平衡表中,行业分类使用的是“工厂法”而非按照产业活动进行分类。其中“交通运输、仓储和邮政业”部门统计的是交通部门运营车辆的能源消费,而其他行业和居民私人车辆用油没有统计在内^[47]。也就是说,无法直接从交通部门分类下找到与居民交通出行相关的能源消费统计数据,而只能在“家庭消费”分类下,将汽油和柴油消费假定全部用于家庭私人车辆用油,并进一步假定:“家庭消费”的能源扣除用于交通运输的汽油和柴油,余下部分为室内能源消费量。

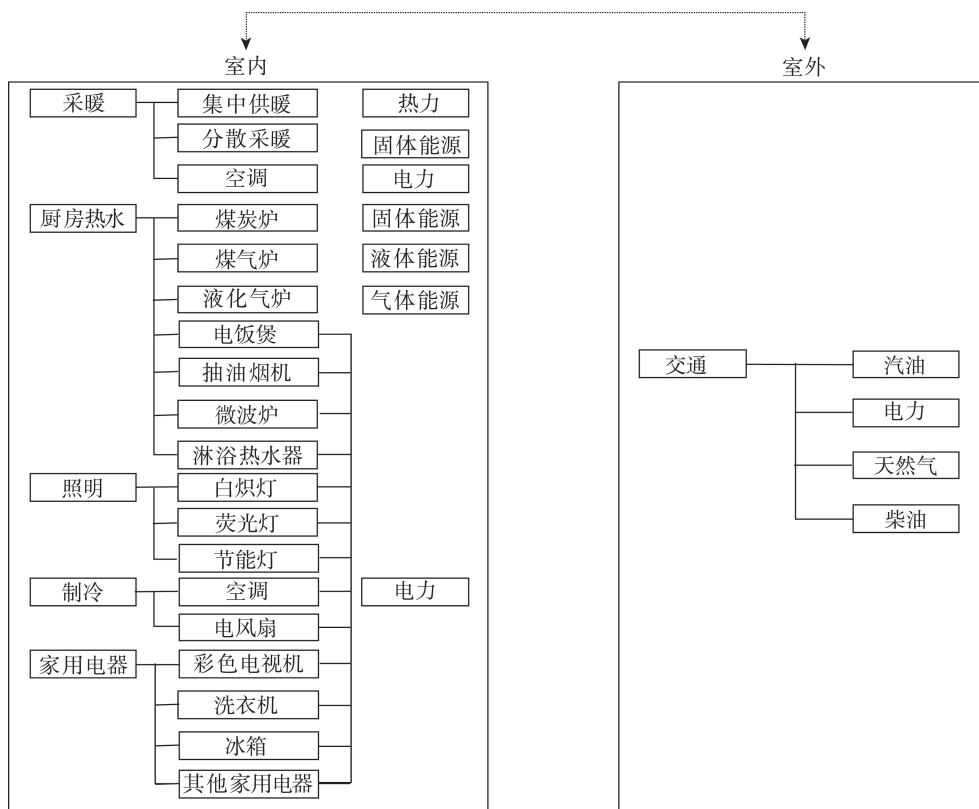


图2 家庭能源消费关键要素

Fig.2 Key elements of household energy consumption

2 空间尺度视角下的家庭能源消费研究进展

尺度是人文地理学的基本概念之一,刘云刚等^[48]归纳出尺度的一个三层框架概念体系,包括现实尺度、分析尺度和实践尺度,其中,现实尺度基于尺度的本体论含义,是实体单元、空间格局和地理过程的真实尺度,是客观存在的、地理现象固有的性质,如城市、流域、地区、全球等;而分析尺度基于尺度的认识论含义,受到研究者视角的影响,是对现实尺度的等级化、建构主义的理解,如宏观—中观—微观的三级尺度、全球—地方的两级尺度、身体—家—社区—地方—区域—国家—全球的七级尺度等。能源是社会空间的组成部分,在能源消费过程中,能源被嵌入不同空间尺度,如“社区”^[49]、“国家”^[50-51]、“家”^[52]、“地方”^[53]和“地区”^[54];实践尺度与本文的关联性不大,故不做论述。因此,本文基于现实尺度,援引分析尺度概念,探讨家庭能源消费研究的空间特征及其作用机制。本文认为,能源分布的地理不均衡是一种空间表现,空间尺度之间的相互作用影响产生了家庭能源消费的空间结构,而每个尺度的地理格局定格时家庭能源消费空间结构是有差别的^[55]。更具体地,中国区域自然地理和社会经济特征差异大,使得家庭能源消费在不同尺度具有异质性,然而,相似尺度的能源消费特征又具有一定的内在规律^[56-57]。

2.1 宏观—微观尺度的两级化

2.1.1 宏观尺度的偏离性

宏观尺度的家庭能源消费研究常采用实地调研与理论分析相结合手段,运用调研和统计数据核算个体能源消费数据,并将其归纳为国家和区/省域的家庭能源消费空间特征。如,在国家尺度上,郑新业等^[10]对中国28个省份开展了能源消费调查,发现家庭能源消费特征呈明显南北差异,北方地区的人均能源消费量明显高于南方,这是因为北方地区居民相较于南方地区,对热舒适度的需求更高,人均生活能源消费也更高。Yun等^[58]调查中国大陆34489户农村居民能源消费情况,发现华北地区农村家庭取暖能源以煤炭为主,燃烧产生的室内空气污染物的浓度是标准的30倍,家庭能源转型难度大。赵雪雁等^[59]研究发现,中国农村能源贫困具有显著空间集聚特征,稳定性热点区集中分布在中部地区,而稳定性冷点区集中在东部沿海地区。陈洪

涛等^[60]基于全国1969个居民数据,采用双对数模型测算中国居民用电的回弹效应,并通过分组回归法探讨影响回弹效应的因素,发现当用电效率提高时,预期节电量的43.51%将被用电成本降低导致额外增加的电量消费所抵消。

在驱动因素上,家庭能源消费主要受家庭收入、家庭规模和户主年龄等家庭因素影响。其中,居民在能源消费时主要考虑经济成本因素,因而家庭收入作为家庭经济属性,对其研究已经十分广泛,且研究结果较为一致:家庭收入是能源消费结构差异的主因^[61]。家庭规模对能源消费量产生了影响,在总能源消费上,家庭规模与家庭总能源消费呈正相关关系。在人均能源消费上,受规模经济效益的影响,随着家庭成员增加,人均能源消费有所减少^[62]。户主年龄影响了传统能源与现代能源的消费结构占比,户主年龄越大,人均薪柴消费量越高。性别差异对家庭用电的回弹效应存在显著影响,男性消费者的回弹效应明显高于女性^[63]。

在区域(省域)尺度上,针对云南^[63]、西藏^[64-65]、甘肃^[56]、内蒙古^[22]、浙江^[66]、青海^[67-68]等省域,国内学者展开了富有成效的研究,并根据不同省域发展特征总结出相应的能源消费特征,并分析其驱动机制。如Jiang等^[68]对青海农区、牧区和农牧交错区的家庭能源消费研究发现,这3大区域具有典型空间差异,农区以秸秆、薪柴为主,牧区以畜粪为主,农牧交错区兼具农区和牧区特征,高海拔地区相较于低海拔地区,炊事和取暖的能源需求均较多,人均能源消费也更高;谢伦裕等^[66]研究发现,浙江省乡村家庭在烹饪、电视机和照明上的用能远高于城镇家庭,而这与农村相对较少的其他娱乐设备、更低能效以及较大面积相关;仇焕广等^[69]调查山东、吉林、陕西和浙江4省的农村家庭能源消费发现,山东和吉林作为农业大省,其农村传统生物质能消费占能源人均消费比重高于陕西和浙江;李艳梅等^[65]研究了西藏牧民定居行为对家庭能源消费的影响,发现住房更新会使牧民产生对能源消费的品质要求,体现在清洁性、便利性以及最大热值。上述研究在区域尺度上,很好地总结了东、西以及北部地区家庭能源消费的空间特征及驱动机制。

总体而言,这一阶段的研究视角以宏观为主,调查数据的应用弥补了统计数据的不足,使得家庭能源消费在较大尺度内的刻画更为精细。用微观数据抽象出宏观特征作为常用的归纳演绎方法,本

身无可非议,但由于空间尺度偏大,用个体层面的微观现象反映区域层面的宏观特征,转换过程容易发生夸大。如用某类行为主体反映整个区域,以偏概全,或用一种地域类型的消费数据解释另一种地域类型的特征,产生偏离问题,使研究结论的实践指导意义有所降低^[70]。

2.1.2 微观尺度的错位性

在“人本主义”转向背景下,个体微观尺度成为新的研究视角^[19]。人被视为空间最基本的单元和最核心的要素,学者采用亲环境态度、环境价值观、感知效能等心理学变量描述个体的能源消费行为^[71]。Armitage等^[72]认为,能源消费行为由态度和主观规范决定,态度和主观规范越有利,个人实施行为的意图就越强烈。随后的研究集中在“价值—行动差距”^[73],发现尽管个人持有亲环境态度,但并不一定表现出相应的亲环境行为,原因可能是,态度过于抽象,难以发挥实质作用。影响能源消费的第二个因素是主观规范,是指个人对于是否采取某项特定行为所感受到的社会压力。这一因素被认为是一种情境影响,是指对个人无法控制的行为的约束^[74]。从这个角度来讲,个人的行为并不独立于文化社会影响,而是不断地将其行为反馈给朋友、家庭等群体^[75]。微观尺度研究视角很好地刻画了个体能源消费特征,但在高度“流动”的现代社会中,受群体社会影响,“原子化个体”行为汇总到家庭、邻里或社区等空间尺度时可能发生变化^[76],也就是说,微观个体特征加在一起的“总和”并不总是构成“整体”。可见,以微观尺度视角描述居民能源消费空间特征存在错位性。为此,学者引入了介于宏观—微观之间的中观尺度视角。

2.2 中观社区尺度的精细化

城市空间尺度可细分为邻里、社区和社会区,其中社区作为城市内中观尺度的地理空间载体,对于深入认识家庭能源消费的空间特征具有重要意义,是观察微观和宏观两极尺度互动关联的重要领域^[48],基于社区尺度的城市家庭能源消费空间规律逐渐成为国际能源地理的研究前沿^[77],例如,Mashhoodi等^[78]对荷兰阿姆斯特丹的城市社区研究发现,中心商业社区和传统社区家庭能源浪费与节约并举,交通能源浪费最严重,但同时居民会通过购买绝缘材料和节能设备等提高能效。外来人口聚集社区的节能知识普及最少,很少关心能效问题。Link等^[79]研究发现位于城郊高档社区的太阳能使

用率更高,并分析可能与社区建成环境相关;Jones等^[80]发现,城市高层社区把能源视为维持社会关系的媒介,产生的炫耀性能源消费较多。

受微观能源数据的匮乏制约,国内关于社区尺度的家庭能源消费研究尚处于初始阶段。黄蕊等^[81]探索了低碳用能导向下的上海家庭电力能源消费的空间特征,填补了国内该学术领域的空白。荣培君等^[26]基于大样本实地调研数据,研究了开封市家庭用能碳排放的空间分异特征,认为城市空间格局是家庭生活用能碳排放空间特性形成的重要原因。这些研究奠定了中国家庭能源消费空间研究的基础,为今后的研究提供了有益的参考。总体而言,在研究家庭能源消费的尺度视角上,以全国/区域和个体尺度开展的宏观—微观两极化研究较为丰富,且集中于农村地区,尚乏在当前中国经济转轨和社会变迁背景下、城市社区空间出现明显分异的过程中,家庭能源消费空间特征的精细化研究(图3)。

3 结论与展望

已有研究对于厘清家庭能源消费空间特征及影响机制提供了基本认知,完善和拓展了能源地理研究的理论与研究方法。但在一些重要问题方面

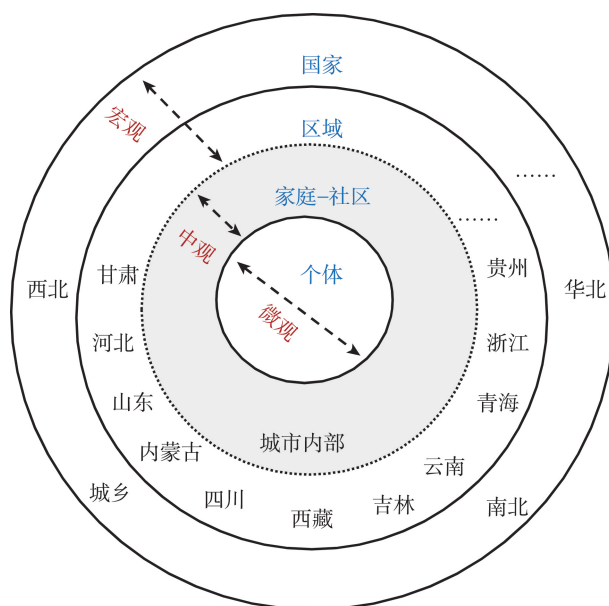


图3 中国家庭能源消费研究的空间尺度示意图

Fig.3 Spatial scales of Chinese household energy consumption research

仍存在空白,尚有许多值得继续探究的领域。

在研究视角方面,社区作为中观尺度嵌套在宏观和微观尺度之间,具有承上启下的作用。中观尺度的研究有待加强,通过微观—中观—宏观尺度内关系的协调,有利于从一个相互嵌套式的结构整体中去认识和把握家庭能源消费特征及规律^[82]。如随着城市人口持续流动,不同阶层家庭在城市内部空间进行“分选”,家庭的人口构成、行为特征以及生活方式等都存在城市内部尺度上的空间分异,也存在社区尺度上的社会空间分异,这些因素使得家庭活动对能源资源的消费和占用呈现空间分异和结构化的特征,结合社区空间结构分析能更好地揭示城市家庭能源消费的地域空间过程。

在数据采集方面,需要建立全景视域下四维家庭能源消费调查框架,以提升地学数据的采集和事实提炼的贡献。既有家庭能源数据收集方式的巨大差异,难以获取覆盖生活能源的来源、消费、用途、转换等信息。核算方法的不统一,亦使得缺乏细致分类分解的、协调一致、时空可比较的数据结构,从而限制了家庭能源消费数据的跨区域比较。因此,有必要通过构建家庭能源活动全景调查框架,将地域类型与能源类型、数量、用途(室内和室外)一起纳入调查的视域。

在驱动机制方面,学者主要围绕以单要素为核心的家庭能源消费空间特征形成机制开展基于家庭收入、地理环境、生活方式等视角的机理探讨和案例剖析,在因果分析上多借助计量回归模型等测度要素之间线性或直接的因果关系。然而,随着城市化持续推进,人口流动、基础设施完善、现代生活方式建立等对家庭能源消费产生了综合性影响。家庭能源消费特征与形成要素在多尺度空间上的影响、作用力的间接与隐蔽性、作用主体的多样性等问题开始更多出现,需要构建家庭属性、地理因素、生活方式等多要素综合集成分析框架,剖析家庭能源消费空间特征的形成动因,实现对家庭能源消费空间分异过程的本质理解。其中,以下3类影响要素值得关注:

(1) 职业选择。城市中的家庭成员外出工作,虽然会降低室内能源消耗,但通勤距离可能会产生更多的室外交通能源消耗;同时,工作也预示稳定的收入,这可能会增加最终能源用途,使得能源消费量增加。因此,如果提高高收入人群的节能环保意识,促使更多环境友好行为发生,当收入增加到

一定水平可能会减少能源消费量。综上,本文认为职业选择可能会对家庭能源消费产生综合影响,需要考虑工作场所位置、工作时间和频率、通勤模式以及工作前后进行的活动等要素纳入统一的框架进行分析。

(2) 生活方式选择。关于健康因素对家庭能源消费影响的研究有待加强,如睡眠时间对能源消费既有正面影响,也有负面影响。在舒适的天气条件下,睡眠时间越长,家用电器使用的频率就越低;而在炎热的天气条件下,睡眠时间越长,空调的使用频率就越高。此外,喜欢运动且更倾向于使用非机动方式出行,可能会减少与汽车相关的能源消耗;但如果经常运动,那么在家洗澡可能会变得更频繁,导致消费更多能源。

(3) 社交休闲选择。更多的户外社交活动意味着更少的时间呆在家里,这导致了家庭能源消耗的下降。更高频率的休闲旅游,可能会导致家庭能源使用的明显下降。不过需要注意的是,即使外出活动与家中的能源消费减少有关,但并不一定意味着家庭的能源消费总量会减少,因为一些外出活动也需要消费能源,如在餐馆吃饭和在百货购物。

总体而言,能源转型不仅涉及基础设施、自然资源,还包括消费者,故其本质上是社会物质转型,也就是说,资源可得性与技术效率本身不足以解释家庭能源消费的格局演变。在这一背景下,地理学者的优势在于,以家庭为研究对象,从微观个体尺度拓展到中观社区尺度,最后拓展到对城市尺度的研究,通过描绘尺度转换,把单一能源消费现象总结为能源消费空间分异规律,并通过系统揭示多要素对能源转型的作用机制,寻找适合家庭能源转型的地理条件。

致谢:衷心感谢广东省科学院广州地理研究所张虹鸥研究员、中国科学院广州能源研究所的蔡国田研究员以及西北师范大学赵雪雁教授在论文构思、撰写过程中给予的指导;衷心感谢二位匿名审稿专家在论文修改过程中给予的专业意见!

参考文献(References)

- [1] Haberl H. The energetic metabolism of societies: Part II: Empirical examples [J]. *Journal of Industrial Ecology*, 2001, 5(2): 71-88.
- [2] Smil V. *Energy in nature and society: General energetics of complex systems* [M]. Cambridge, USA: MIT Press,

- 2008.
- [3] 杨宇, 何则. 能源地缘政治与能源权力研究 [J]. 地理科学进展, 2021, 40(3): 524-540. [Yang Yu, He Ze. Energy geopolitics and power. *Progress in Geography*, 2021, 40(3): 524-540.]
- [4] Greene D L, Hopson J L, Li J. Have we run out of oil yet? Oil peaking analysis from an optimist's perspective [J]. *Energy Policy*, 2006, 34(5): 515-531.
- [5] REN21. Renewables 2014: Global status report [R/OL]. 2014-01-01 [2020-10-02]. <http://www.ren21.net/REN21/Activities/GlobalStatusReport.aspx>.
- [6] van der Kroon B, Brouwer R, van Beukering P J H, et al. The energy ladder: Theoretical myth or empirical truth? Results from a meta-analysis [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, 20: 504-513.
- [7] Bridge G, Bouzarovski S, Bradshaw M, et al. Geographies of energy transition: Space, place and the low-carbon economy [J]. *Energy Policy*, 2013, 53: 331-340.
- [8] 樊杰, 李平星. 基于城市化的中国能源消费前景分析及对碳排放的相关思考 [J]. 地球科学进展, 2011, 26(1): 57-65. [Fan Jie, Li Pingxing. Analysis on the future energy consumption and preliminary discussion on carbon emission of China from the perspective urbanization. *Advances in Earth Science*, 2011, 26(1): 57-65.]
- [9] 姜璐, 余露, 薛冰, 等. 青海省家庭能源消费结构地域特征 [J]. 经济地理, 2019, 39(8): 146-152, 176. [Jiang Lu, Yu Lu, Xue Bing, et al. Regional characteristics of household energy consumption structure in Qinghai Province. *Economic Geography*, 2019, 39(8): 146-152, 176.]
- [10] 郑新业, 魏楚, 虞义华, 等. 中国家庭能源消费研究报告 (2016) [M]. 北京: 科学出版社, 2017. [Zheng Xinye, Wei Chu, Yu Yihua, et al. Chinese household energy consumption research report (2016). Beijing, China: Science Press, 2017.]
- [11] BP. BP statistical review of world energy 2019 [R/OL]. 2019-06-13 [2020-10-03]. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>.
- [12] BP. BP statistical review of world energy 2020 [R/OL]. 2020-06-17 [2020-10-03]. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>.
- [13] Mi Z F, Zheng J L, Meng J, et al. Economic development and converging household carbon footprints in China [J]. *Nature Sustainability*, 2020, 3: 529-537.
- [14] 李小云, 杨宇, 刘毅. 中国人地关系演进及其资源环境基础研究进展 [J]. 地理学报, 2016, 71(12): 2067-2088. [Li Xiaoyun, Yang Yu, Liu Yi. Research progress in man-land relationship evolution and its resource-environment base in China. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(12): 2067-2088.]
- [15] Sovacool B K. Deploying off-grid technology to eradicate energy poverty [J]. *Science*, 2012, 338: 47-48.
- [16] 席建超, 赵美风, 葛全胜. 乡村旅游诱导下农户能源消费模式的演变: 基于六盘山生态旅游区的农户调查分析 [J]. 自然资源学报, 2011, 26(6): 981-991. [Xi Jianchao, Zhao Meifeng, Ge Quansheng. Evolution of household energy consumption patterns induced by rural tourism development and based on household survey data. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(6): 981-991.]
- [17] Wu S M, Zheng X Y, Wei C. Measurement of inequality using household energy consumption data in rural China [J]. *Nature Energy*, 2017, 2(10): 795-803.
- [18] Späth P, Rohrer H. 'Energy regions': The transformative power of regional discourses on socio-technical futures [J]. *Research Policy*, 2010, 39: 449-458.
- [19] 毕凌云, 杨洁. 中国居民生活节能引导政策的效力与效果评估: 基于中国1996—2015年政策文本的量化分析 [J]. 资源科学, 2017, 39(4): 651-663. [Mi Lingyun, Yang Jie. Evaluation of policy efficacy and effect of resident energy conservation based on policy quantification in China from 1996 to 2015. *Resources Science*, 2017, 39(4): 651-663.]
- [20] Shen G F, Ru M Y, Du W, et al. Impacts of air pollutants from rural Chinese households under the rapid residential energy transition [J]. *Nature Communications*, 2019, 10: 3405. doi: 10.1038/s41467-019-11453-w.
- [21] Jiang L, Xing R, Chen X P, et al. A survey-based investigation of greenhouse gas and pollutant emissions from household energy consumption in the Qinghai-Tibet Plateau of China [J]. *Energy and Buildings*, 2021, 235: 110753. doi: 10.1016/j.enbuild.2021.110753.
- [22] 周曙东, 崔奇峰, 王翠翠. 农牧区农村家庭能源消费数量结构及影响因素分析: 以内蒙古为例 [J]. 资源科学, 2009, 31(4): 696-702. [Zhou Shudong, Cui Qifeng, Wang Cuicui. Study on the quantity, structure and influencing factors of rural household energy consumption: A case study in Inner Mongolia. *Resources Science*, 2009, 31(4): 696-702.]
- [23] 何威风, 阎建忠, 花晓波. 不同类型农户家庭能源消费差异及其影响因素: 以重庆市“两翼”地区为例 [J]. 地理研究, 2014, 33(11): 2043-2055. [He Weifeng, Yan Jianzhong, Hua Xiaobo. Differences and influencing factors of rural household energy consumption of different household types: A case study in the "two wings" area of

- Chongqing. *Geographical Research*, 2014, 33(11): 2043-2055.]
- [24] 国家统计局. 中国城市统计年鉴(2018) [M]. 北京: 中国统计出版社, 2018. [National Bureau of Statistics of People's Republic of China. *China city statistical yearbook* (2018). Beijing, China: China Statistics Press, 2018.]
- [25] 王少剑, 苏泳娴, 赵亚博. 中国城市能源消费碳排放的区域差异、空间溢出效应及影响因素 [J]. *地理学报*, 2018, 73(3): 414-428. [Wang Shaojian, Su Yongxian, Zhao Yabo. Regional inequality, spatial spillover effects and influencing factors of China's city-level energy-related carbon emissions. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(3): 414-428.]
- [26] 荣培君, 张丽君, 杨群涛, 等. 中小城市家庭生活用能碳排放空间分异: 以开封市为例 [J]. *地理研究*, 2016, 35(8): 1495-1509. [Rong Peijun, Zhang Lijun, Yang Quntao, et al. Spatial differentiation patterns of carbon emissions from residential energy consumption in small and medium-sized cities: A case study of Kaifeng. *Geographical Research*, 2016, 35(8): 1495-1509.]
- [27] Jiang L, Chen X P, Xue B. Features, driving forces and transition of the household energy consumption in China: A review [J]. *Sustainability*, 2019, 11(4): 1186. doi: 10.3390/su11041186.
- [28] 帕克. 能源百科全书 [M]. 程惠尔, 等 译. 北京: 科学出版社, 1992. [Parker S P. *Encyclopedia of energy*. Translated by Cheng Hui'er, et al. Beijing, China: Science Press, 1992.]
- [29] Chapman J D. A geography of energy: An emerging field of study [J]. *The Canadian Geographer*, 1961, 5(1): 10-15.
- [30] Calzonetti F J, Solomon B D. *Geographical dimensions of energy* [M]. Dordrecht, Netherlands: Springer, 2012.
- [31] Frantál B, Pasqualetti M J, van der Horst D. New trends and challenges for energy geographies: Introduction to the special issue [J]. *Moravian Geographical Reports*, 2014, 22(2): 2-6.
- [32] Solomon B D, Pasqualetti M J, Luchsinger D A. *Energy geography* [M]// Gaile G L, Willmott C J. *Geography in America at the dawn of the 21st century*. New York, USA: Oxford University Press, 2004: 58-94.
- [33] Leach G. The energy transition [J]. *Energy Policy*, 1992, 20: 116-123.
- [34] Zalík A. Oil 'futures': Shell's scenarios and the social constitution of the global oil market [J]. *Geoforum*, 2010, 41(4): 553-564.
- [35] Parker P, Rowlands I H, Scott D. Innovations to reduce residential energy use and carbon emissions: An integrated approach [J]. *The Canadian Geographer*, 2003, 47(2): 169-184.
- [36] Luten D B. The economic geography of energy [J]. *Scientific American*, 1971, 225(3): 164-175.
- [37] Spooner D. *New geographies of energy* [M]// Kent A. *Reflective practice in geography teaching*. London, UK: SAGE Publications Ltd., 2000: 68-83.
- [38] Pasqualetti M J. The geography of energy and the wealth of the world [J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 2011, 101(4): 971-980.
- [39] Calvert K. From 'energy geography' to 'energy geographies': Perspectives on a fertile academic borderland [J]. *Progress in Human Geography*, 2016, 40(1): 105-125.
- [40] Blaschke T, Biberacher M, Gadocha S, et al. 'Energy landscapes': Meeting energy demands and human aspirations [J]. *Biomass and Bioenergy*, 2013, 55: 3-16.
- [41] Shove E, Walker G. Governing transitions in the sustainability of everyday life [J]. *Research Policy*, 2010, 39: 471-476.
- [42] 蔡晓梅, 苏晓波. 新文化地理学文献导读 [M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2020. [Cai Xiaomei, Su Xiaobo. *Introduction to new cultural geography literature*. Beijing, China: China Social Sciences Press, 2020.]
- [43] 张敏, 熊帆. 基于日常生活的消费空间生产: 一个消费空间的文化研究框架 [J]. *人文地理*, 2013, 28(2): 38-44. [Zhang Min, Xiong Guo. Production of consuming spaces: A cultural approach based on theories of everyday life. *Human Geography*, 2013, 28(2): 38-44.]
- [44] Herendeen R. Total energy cost of household consumption in Norway, 1973 [J]. *Energy*, 1978, 3(5): 615-630.
- [45] Pachauri S. An analysis of cross-sectional variations in total household energy requirements in India using micro survey data [J]. *Energy Policy*, 2004, 32(15): 1723-1735.
- [46] Baiocchi G, Minx J, Hubacek K. The impact of social factors and consumer behavior on carbon dioxide emissions in the United Kingdom: A regression based on input-output and geodemographic consumer segmentation data [J]. *Journal of Industrial Ecology*, 2010, 14(1): 50-72.
- [47] 谢伦裕, 陈飞, 虞义华, 等. 乡村振兴背景下的家庭能源消费研究: 以浙江省为例 [M]. 北京: 科学出版社, 2020. [Xie Lunyu, Chen Fei, Yu Yihua, et al. *Household energy consumption under the background of rural revitalization: A case of Zhejiang Province*. Beijing, China: Science Press, 2020.]
- [48] 刘云刚, 王丰龙. 尺度的人文地理内涵与尺度政治: 基于1980年代以来英语圈人文地理学的尺度研究 [J]. *人文地理*, 2011, 26(3): 1-6. [Liu Yungang, Wang Feng-

- long. Concept of scale in human geography and politics of scale: Based on anglophone human geography since 1980s. *Human Geography*, 2011, 26(3): 1-6.]
- [49] Bailey I, Hopkins R, Wilson G. Some things old, some things new: The spatial representations and politics of change of the peak oil relocalisation movement [J]. *Geoforum*, 2010, 41(4): 595-605.
- [50] Perreault T, Valdivia G. Hydrocarbons, popular protest and national imaginaries: Ecuador and Bolivia in comparative context [J]. *Geoforum*, 2010, 41(5): 689-699.
- [51] Bouzarovski S, Petrova S, Sarlamanov R. Energy poverty policies in the EU: A critical perspective [J]. *Energy Policy*, 2012, 49: 76-82.
- [52] Spinney J, Green N, Burningham K, et al. Are we sitting comfortably? Domestic imaginaries, laptop practices, and energy use [J]. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 2012, 44(11): 2629-2645.
- [53] Devine-Wright P. Place attachment and public acceptance of renewable energy: A tidal energy case study [J]. *Journal of Environmental Psychology*, 2011, 31(4): 336-343.
- [54] Vogel E. *Regional power and the power of the region: Resisting dam removal in the Pacific Northwest* [M]. London, UK: Routledge, 2016.
- [55] 宋长青, 程昌秀, 杨晓帆, 等. 理解地理“耦合”实现地理“集成” [J]. *地理学报*, 2020, 75(1): 3-13. [Song Changqing, Cheng Changxiu, Yang Xiaofan, et al. Understanding geographic coupling and achieving geographic integration. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(1): 3-13.]
- [56] 曲建升, 刘莉娜, 曾静静, 等. 基于入户调查数据的中国居民生活碳排放评估 [J]. *科学通报*, 2018, 63(S1): 547-557. [Qu Jiansheng, Liu Lina, Zeng Jingjing, et al. Household CO₂ emissions: An assessment based a large sample survey in China. *Chinese Science Bulletin*, 2018, 63(S1): 547-557.]
- [57] 梁育填, 樊杰, 孙威, 等. 西南山区农村生活能源消费结构的影响因素分析: 以云南省昭通市为例 [J]. *地理学报*, 2012, 67(2): 221-229. [Liang Yutian, Fan Jie, Sun Wei, et al. The influencing factors of rural household energy consumption structure in mountainous areas of southwest China: A case study of Zhaotong City of Yunnan Province. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(2): 221-229.]
- [58] Yun X, Shen G F, Shen H Z, et al. Residential solid fuel emissions contribute significantly to air pollution and associated health impacts in China [J]. *Science Advances*, 2020, 6(44): eaba7621. doi: 10.1126/sciadv.aba7621.
- [59] 赵雪雁, 陈欢欢, 马艳艳, 等. 2000—2015年中国农村能源贫困的时空变化与影响因素 [J]. *地理研究*, 2018, 37(6): 1115-1126. [Zhao Xueyan, Chen Huanhuan, Ma Yanyan, et al. Spatio-temporal variation and its influencing factors of rural energy poverty in China from 2000 to 2015. *Geographical Research*, 2018, 37(6): 1115-1126.]
- [60] 陈洪涛, 岳书敬, 朱雨婷. 居民用电消费回弹效应研究: 基于人均收入和性别差异的视角 [J]. *中国环境管理*, 2019, 11(1): 47-52, 37. [Chen Hongtao, Yue Shujing, Zhu Yuting. A study on rebound effect of Chinese residents' energy consumption from the perspective of per capita income and gender differences. *Chinese Journal of Environmental Management*, 2019, 11(1): 47-52, 37.]
- [61] 林伯强, 刘畅. 收入和城市化对城镇居民家电消费的影响 [J]. *经济研究*, 2016, 51(10): 69-81, 154. [Lin Boqiang, Liu Chang. Impacts of income and urbanization on urban home appliance consumption. *Economic Research Journal*, 2016, 51(10): 69-81, 154.]
- [62] 王钦池. 家庭规模对中国能源消费和碳排放的影响研究 [J]. *资源科学*, 2015, 37(2): 299-307. [Wang Qinchi. Effects of household size on energy consumption and carbon emissions. *Resources Science*, 2015, 37(2): 299-307.]
- [63] 杨小军, 王轶博, 徐晋涛. 少数民族地区农村家庭生活能源消费需求研究: 以甘肃省、云南省为例 [J]. *林业经济*, 2016, 38(6): 14-21, 54. [Yang Xiaojun, Wang Yibo, Xu Jintao. Empirical study on rural households' demand for energy consumption in western ethnical minority areas: Evidence from Gansu and Yunnan provinces. *Forestry Economics*, 2016, 38(6): 14-21, 54.]
- [64] 沈镭, 刘立涛. 中国能源政策可持续性评价与发展路径选择 [J]. *资源科学*, 2009, 31(8): 1264-1271. [Shen Lei, Liu Litao. Sustainability evaluation and energy policies options in China. *Resources Science*, 2009, 31(8): 1264-1271.]
- [65] 李艳梅, 杨涛. 城乡家庭直接能源消费和CO₂排放变化的分析与比较 [J]. *资源科学*, 2013, 35(1): 115-124. [Li Yanmei, Yang Tao. Comparison of urban and rural household direct energy consumption and CO₂ emissions. *Resources Science*, 2013, 35(1): 115-124.]
- [66] 谢伦裕, 陈飞, 相晨曦. 城乡家庭能源消费对比与影响因素: 以浙江省为例 [J]. *中南大学学报(社会科学版)*, 2019, 25(6): 106-117. [Xie Lunyu, Chen Fei, Xiang Chenxi. Urban and rural residential energy consumption and the determinants: Evidences from Zhejiang Province. *Journal of Central South University (Social Sciences)*, 2019, 25(6): 106-117.]
- [67] 姜璐, 邢冉, 陈兴鹏, 等. 青藏高原农区农户的家庭能源消费研究 [J]. *地理科学*, 2020, 40(3): 447-454. [Jiang

- Lu, Xing Ran, Chen Xingpeng, et al. Rural household energy consumption of farmers in the Qinghai-Tibet Plateau. *Scientia Geographica Sinica*, 2020, 40(3): 447-454.]
- [68] Jiang L, Xue B, Xing R, et al. Rural household energy consumption of farmers and herders in the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Energy*, 2020, 192: 116649. doi: 10.1016/j.energy.2019.116649.
- [69] 仇焕广, 严健标, 李登旺, 等. 我国农村生活能源消费现状、发展趋势及决定因素分析: 基于四省两期调研的实证研究 [J]. *中国软科学*, 2015(11): 28-38. [Qiu Huan-guang, Yan Jianbiao, Li Dengwang, et al. Residential energy consumption in rural China: Current situation and determinants for future trend: An empirical study based on field survey data of 4 provinces. *China Soft Science*, 2015(11): 28-38.]
- [70] 马海涛. 知识流动空间的城市关系建构与创新网络模拟 [J]. *地理学报*, 2020, 75(4): 708-721. [Ma Haitao. The theoretical construction and network simulation of inter-city innovative relationships in knowledge flow space. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(4): 708-721.]
- [71] Bisaga I, Parikh P. To climb or not to climb? Investigating energy use behaviour among solar home system adopters through energy ladder and social practice lens [J]. *Energy Research & Social Science*, 2018, 44: 293-303.
- [72] Armitage C J, Conner M. Efficacy of the theory of planned behavior: A meta - analytic review [J]. *British Journal of Social Psychology*, 2001, 40(4): 471-499.
- [73] Vlek C A J. Household consumption, quality-of-life and environmental impacts: A psychological perspective and empirical study [M]. London, UK: Earthscan Publications, 2004.
- [74] Hewstone M, Schut H, de Wit J, et al. The scope of social psychology: Theory and applications (A festschrift for Wolfgang Stroebe) [M]. London, UK: Psychology Press, 2007.
- [75] Burton R J F. Reconceptualising the 'behavioural approach' in agricultural studies: A socio-psychological perspective [J]. *Journal of Rural Studies*, 2004, 20(3): 359-371.
- [76] Sandel Michael J. Public philosophy: Essays on morality in politics [M]. Cambridge, USA: Harvard University Press, 2005: 304.
- [77] Reid L, Sutton P, Hunter C. Theorizing the Meso level: The household as a crucible of pro-environmental behaviour [J]. *Progress in Human Geography*, 2010, 34(3): 309-327.
- [78] Mashhoodi B. Spatial dynamics of household energy consumption and local drivers in Randstad, Netherlands [J]. *Applied Geography*, 2018, 91: 123-130.
- [79] Link C F, Axinn W G, Ghimire D J. Household energy consumption: Community context and the fuelwood transition [J]. *Social Science Research*, 2012, 41(3): 598-611.
- [80] Jones P H, Taylor N W, Jennison Kipp M, et al. Quantifying household energy performance using annual community baselines [J]. *International Journal of Energy Sector Management*, 2010, 4(4): 593-613.
- [81] 黄蕊, 朱永彬, 王铮. 上海市能源消费趋势和碳排放高峰估计 [J]. *上海经济研究*, 2010, 22(10): 81-90. [Huang Rui, Zhu Yongbin, Wang Zheng. Prediction on Shanghai's energy consumption trend and carbon emission peak. *Shanghai Journal of Economics*, 2010, 22(10): 81-90.]
- [82] 王丰龙. 幸福地理学研究中的时空间尺度陷阱 [J]. *人文地理*, 2021, 36(2): 11-19. [Wang Fenglong. Spatio-temporal scalar traps in geographical studies of subjective well-being. *Human geography*, 2021, 36(2): 11-19.]

A review of household energy consumption research from the perspective of spatial scale

JIANG Lu^{1,2}, HUANG Gengzhi^{3*}, XIE Huichun⁴, WANG Changjian², GUO Jie², DONG Zhiqiang⁴

(1. School of Geography Science, Qinghai Normal University, Xining 810008, China; 2. Key Lab of Guangdong for Utilization of Remote Sensing and Geographical Information System, Guangdong Open Laboratory of Geospatial

Information Technology and Application, Guangzhou Institute of Geography, Guangzhou 510070, China;

3. School of Geographical Science and Planning, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

4. Key Laboratory of Medicinal Plant and Animal Resources of Qinghai-Tibet Plateau, Xining 810008, China)

Abstract: Energy is one of the core topics of geographic research. As a typical activity involving regional human-land relationship, household energy consumption is a major trend in the refined research of energy geography. Based on the spatial scale perspective of geography, we reviewed the origins of energy geography research, the spatial characteristics of household energy consumption, formation mechanism, and data sources. Three main conclusions are drawn: 1) Constructing a panoramic survey framework of household energy data, including the geographical type, energy type, quantity, and use in the scope of the survey. 2) Meso-scale research needs to be strengthened. Coordination through the micro-medium-macro-scale relationship is conducive to understanding and grasping the characteristics and patterns of household energy consumption from a nested structure as a whole. 3) Constructing a comprehensive analysis framework of multi-factors such as household attributes, geographic factors, and lifestyles, and analyzing the dynamic drivers for the formation of spatial characteristics of household energy consumption, to realize the essential understanding of the spatial differentiation process of household energy consumption. This study contributes to the internationalization of energy-related spatial research and practice in the field of geography, and has positive significance for supplementing the theoretical perspective of Chinese household energy consumption research.

Keywords: household energy consumption; energy geography; spatial scale; spatial characteristics