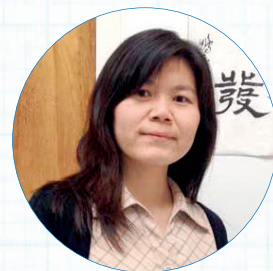


改善空气质量，保护公众健康， 从一家一户做起

■ 王书肖



细颗粒物（PM_{2.5}）是对公共健康危害最大的污染物之一，在我国其污染状况尤为严重。自2005年以来，我国在电力、工业、交通等重点行业领域都采取了强有力的污染控制措施，显著改善了环境空气质量，但空气污染的形势依然严峻。2017年，京津冀地区年均PM_{2.5}浓度仍高达64微克/立方米，明显超过35微克/立方米的国家二级标准。相比环境空气污染，室内空气污染对人体健康的潜在威胁可能更为突出，因为人们80%的时间在室内度过。室内空气污染源，特别是家庭中用于采暖或炊事的炉灶，产生的污染物直接排放到生活环境中，相比室外污染源有更大可能被人体吸入，从而对健康产生严重损害。然而，室内污染源尚未得到学术界和公众的充分重视。

✦ 王书肖
清华大学环境学院国家环境保护大气复合污染来源与控制重点实验室主任

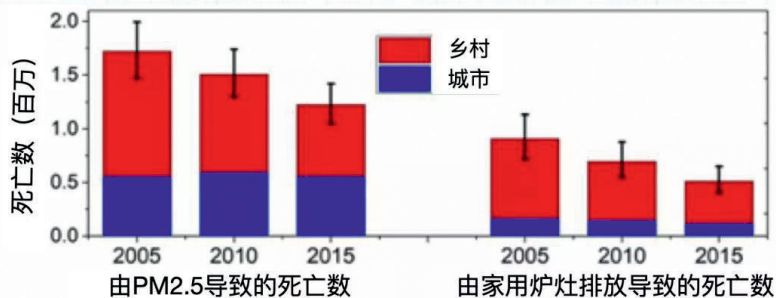
清华大学与美国加州大学洛杉矶分校、加州大学伯克利分校等研究机构合作，对室内和室外的PM_{2.5}污染及其对健康的影响进行了系统评估，发现在中国由PM_{2.5}导致的过早死亡人数中，一半以上是由家用炉灶引起的。过去十年间，随着经济发展和城市化推进，家用固体燃料（主要是煤、薪柴和秸秆）使用量减少，有效减少了居民的过早死亡，但仍需采取措施进一步推进居民用能清洁化。

家用炉灶对人体健康的影响

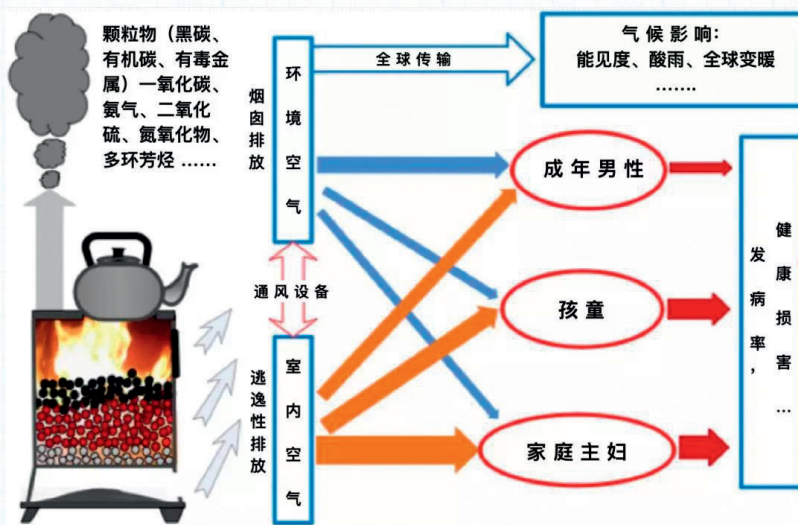
居民炉灶可排放颗粒物、二氧化硫、挥发性有机物等多种污染物。这些污染物可在室内直接被人体吸入，也可能扩散到室外环境中，直接或通过复杂的大气化学反应增加环境PM_{2.5}浓度。此前的研究往往只关注环境空气污染或室内空气污染中的某一方面，而要量化居民炉灶对人体健康的影响，需对其造成的室内及室外污染进行综合评估。最近，我们在《美国科

学院院报》(PNAS)和《国际环境》(Environmental International)上发表了研究成果,综合大气化学传输模型、微环境人体暴露评估模型和健康影响模型,建立了室内外PM2.5污染综合评估模型框架。利用这一模型可以发现,在中国由PM2.5导致的过早死亡人数中,一半以上是由家用炉灶固体燃料燃烧导致。主要因为家用炉灶所产生的污染物被封闭在室内狭小空间中,不易扩散,被人体吸入的比例高。

研究发现,在2005-2015年间,中国由PM2.5导致的过早死亡人数减少了30%。其中,家用固体燃料的减少每年避免了约40万人过早死亡,占全部死亡人数减少量的80%。导致上述变化的原因,一方面是在城市化过程中,农村居民搬迁到城市,有机会使用更清洁的燃料(如天然气、电力等),对燃煤灶、薪柴灶的使用随之减少;另一方面,随着居民收入的增加,越来越多的居民能够承担清洁燃料的支出,出于改善生活质量的需要,燃煤炉灶逐渐被取代。但这是否意味着家用固体燃料会逐渐自行消失呢?答案是否定的。随着经济发展和城市化进程放缓,家用燃料自发的清洁化进程明显变慢。更为重要的是,炊事燃料的清洁替代相对容易,而采暖燃料的清洁化则难得多,需要大量基础设施建设、财政补贴和充足的清洁能源供应才能实现。



2005-2015年中国由PM2.5导致的过早死亡总人数及由家用炉灶贡献的过早死亡人数,误差线表示95%置信区间。来源: Zhao et al., 2018, PNAS, 115 (49) 12401-12406



家庭炉灶的环境和健康影响

家用炉灶的清洁能源替代的公共健康效益

推进家用炉灶,特别是采暖炉的清洁能源替代,需要强有力的政策支持,以克服基础设施建设、清洁能源供应、经济成本提升等多方面的阻力。北京市从上世纪末开始,便开始分阶段性对中心城区的家用炉灶进行清洁燃料改造。但在全国大多数地区,家用炉灶的大气污染控制没有得到应有的重视。2017年12月,国家发改委等多部门发布《北方地区冬季清洁取暖规划(2017~2021年)》,首次在国家层面明确居民



农村炉灶冒出的黑烟（2015年浙江衢州）

采暖清洁化的政策方针。文件提出，到2021年，北方14省清洁采暖率应达到70%，相当于要对55%的采暖用炉灶进行清洁能源改造。如果该政策得以实施，可使全国和北方地区的人口加权平均PM2.5暴露量分别降低10%和21%左右，若考虑该政策对炊事能源清洁化的间接促进作用，其环境效果将更明显。而如果将全国所有采暖和炊事炉灶均替代为清洁能源，可使全国人口加权平均PM2.5暴露量降低60%左右，从而每年减少约50万人过早死亡。采暖、炊事炉灶的清洁能源替代有着巨大的公共健康效益，但同时也是一个长期而艰巨的任务，需要有计划、有步骤地实施。

如何有效推进家用燃料的清洁化

我国现行大气污染防治政策以环境空气质量目标为核心，农村室内空气污染的问题未被纳入。空气污染控制的终极目标是保护人体健康，我们建议采用PM2.5室内外综合暴露而不仅仅是环境PM2.5浓度作为污染控制的决策依据。如果以室

内外综合暴露为依据，就能有效推进和强化家用炉灶的污染控制，最大限度地改善公共健康。

有效控制家用炉灶的污染物排放，需要完善的配套政策措施。首先，需确保清洁燃料的充分供应。特别是对于使用天然气采暖，会在采暖期产生显著的消费峰值，对天然气供应能力产生挑战。过去两个冬天，中国北方局部地区就曾出现明显的“气荒”问题，天然气的供应能力和调控调度能力需要进一步加强。其次，需协同推进基础设施建设。天然气采暖需建设入村管网，电采暖要求农村电网大幅扩容。第三，需要完善的财政保障机制。煤改气或煤改电后，采暖成本有所增加，超出了不少农村居民的负担能力。需要加大补贴力度，采用灵活的电价、气价调节机制。此外，还要因地制宜选择适合的技术路线（改电、改气、改工业余热等），推进建筑节能改造降低总体能源需求，加强环保、能源、住建等相关部门的协调，也都是高效、经济地推进清洁能源改造的重要措施。☑