

美国为何加严PM_{2.5}标准，如何算的“经济账”？

Why US EPA strengthened air quality standards for PM_{2.5}

■文 / 万薇 袁楠 王秋怡 张伟豪

2024年5月6日，美国最新修订的《国家环境空气质量标准》（National Ambient Air Quality Standards, NAAQS）正式生效。在这次修订中，美国国家环境保护局（US Environmental Protection Agency, USEPA）将细颗粒物（PM_{2.5}）年均浓度一级标准限值由12μg/m³加严至9μg/m³。是什么驱动了这一新标准的出台？新标准的实施又会产生多大的成本和效益变化？本文将解读美国最新PM_{2.5}标准修订的政策考量和“经济账”。

美国为何加严PM_{2.5}标准？

进一步保护公众健康的需求驱动了美国在2024年最终加严PM_{2.5}标准。2021年6月10日，USEPA宣布重新审议关于PM_{2.5}国家标准的决定，因为当前积累的科学技术证据和技术信息表明，现行标准（PM_{2.5}年均浓度一级标准为12μg/m³）可能不足以保护公共健康和福祉。经过多轮评估，USEPA最终确定将PM_{2.5}年均浓度的一级标准修订为9μg/m³，这一限值已低于世界卫生组织（WHO）《全球空气质量指南》中提出的最严格过渡阶段目标值IT-4（年均浓度10μg/m³）。这也是继2021年WHO将PM_{2.5}年均浓度指导值收紧至5μg/m³后

最受关注的一次标准修订。USEPA开展的预评估显示，新标准预计能够额外避免4500例人过早死亡、80万人出现哮喘症状和29万个工作日损失，到2032年，预计将带来高达460亿美元的净健康效益。

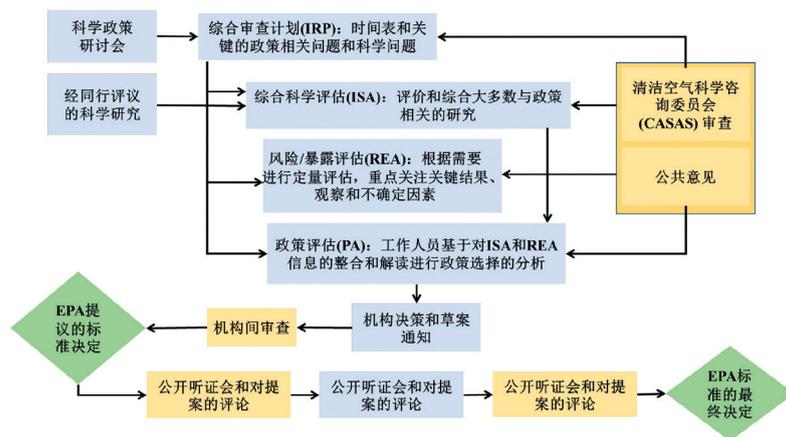
值得一提的是，USEPA和首个美国空气质量标准的诞生都源自1970年的《清洁空气法》修订案。该法案的核心任务就是以科学证据为基础，制定以保护公众健康为首要目标的环境空气质量标准。USEPA对标准设定了两类法定限值要求：一级标准（Primary Standards）代表保护公众健康的浓度限值，二级标准（Secondary Standards）旨在设定保护公共福祉的浓度限值，一级标准比二级标准更为严格。美国空气质量标准初期的颗粒物指标为总悬浮颗粒物（TSP），1987年设定PM₁₀标准，1997年将PM_{2.5}纳入标准，后于2006年和2012年对PM_{2.5}的标准限值进行加严，均基于当时健康效应相关研究取得的重要进展。

在制定新标准或修订现有标准时，USEPA需要基于科学证据和技术信息，并考虑不确定性因素，提供一个足够的“安全边界”，从而充分保护公众健康。那么，USEPA是如何将相

关科学证据与技术信息纳入标准修订考量范围的？美国《清洁空气法》规定了国家环境空气质量标准的制定、审查和修订流程，明确要求以五年为滚动周期定期审查标准所依据的科学证据以及标准本身，具体流程包括：规划（Planning）、综合科学评

估（Integrated Science Assessment, ISA）、风险/暴露评估（Risk/Exposure Assessment, REA）、政策评估（Policy Assessment, PA）和行政立法（Rulemaking）等环节。

2024年美国加严标准的决策参考了2019年的



美国国家空气质量标准的审查过程
图片来源: USEPA, 复旦大学公共卫生学院编译

综合科学评估 (ISA)、ISA的补充材料、政策评估 (PA)、定量风险/暴露分析 (REA), 以及清洁空气科学咨询委员会 (CASAC) 的建议和公众听证评论。综合各项建议与证据, USEPA认为长期和短期的PM_{2.5}暴露与死亡率和心血管问题之间存在因果关系, 长期暴露还可能导致出现呼吸系统、神经系统问题和癌症风险。2019年的ISA及其补充材料评估了许多流行病学研究, 最新的流行病学研究强化了对较低PM_{2.5}浓度下健康效应关联性的支持。此外, 实验性证据, 如动物毒理学和控制人体暴露的新研究, 加强了对PM_{2.5}暴露与死亡率和心血管问题之间因果关系的支持, 同时也支持了长期PM_{2.5}暴露与呼吸系统问题、神经系统问题以及癌症之间可能存在的因果关系。根据对美国30个地区的研究, PM_{2.5}的年均浓度降低到不同水平时对死亡风险的影响有所不同。研究考察了将PM_{2.5}年均浓度调整至11.0μg/m³、10.0μg/m³、9.0μg/m³和8.0μg/m³这四个不同的限值时, 全因死亡率风险的变化情况。结果显示, 当PM_{2.5}年均浓度降至9.0μg/m³时, 相关过早死亡风险降低了22%—28%。

除了参考上述PM_{2.5}健康效应相关科学依据之

外, USEPA在标准修订时还考虑了环境正义, 并将新冠疫情与PM_{2.5}污染影响健康的关联纳入标准修订的科学分析之中。在新一轮PM_{2.5}标准的修订过程中, 考虑到特定人群面临的更高风险, USEPA重点评估了环境空气中的PM_{2.5}对于脆弱人群 (儿童、老年人、心血管疾病或呼吸系统疾病患者、低社会经济地位种族与社群) 的健康影响, 通过设定更严格的标准实现维护公众健康、促进环境正义的目标。由于全球新型冠状病毒 (COVID—19) 在2020年开始大流行, ISA的补充材料参考了2018年1月到2021年3月期间发表的一系列相关研究。其中, 美国和加拿大的流行病学研究, 涉及PM_{2.5}暴露与严重急性呼吸综合征冠状病毒2 (SARS—CoV—2) 感染和COVID—19死亡之间的关系, 被列入此次修订需要考虑的“关键科学主题”中。初步证据显示, SARS—CoV—2感染和COVID—19死亡与PM_{2.5}暴露之间存在正相关性, 但这些发现还存在不确定性。

如何开展PM_{2.5}标准修订的经济分析?

根据美国政府行政命令12866和13563号令的规定, USEPA在制定重要的国家空气污染相关法规时,



图片来源:pixabay

需要开展规制监管影响分析 (Regulatory Impact Analyses, RIA) 并公布报告。RIA报告应包含对法规的潜在社会效益和社会成本的评估结果描述,也要描述无法以货币形式量化的影响。环境空气质量标准作为一项重要的国家法规,也需开展RIA分析。自1971年首次制定国家环境空气质量标准以来,USEPA针对各项污染物指标的标准限值进行过多达18次的修订,多次标准修订都开展了RIA分析。截至目前,最新两次RIA分析分别支持了2015年的O₃标准修订与本次的PM_{2.5}标准修订。

尽管《清洁空气法》要求USEPA在制订和修订国家环境空气质量标准时应将充分保护健康作为最重要的考虑因素,而非依据经济影响做决定,但这并不代表成本、效益和其他经济影响的考量不重要。以此次修订PM_{2.5}标准为例,尽管修订过程和结果得到了美国科学界、医学界和环保界的普遍认可和支持,但也有部分行业代表和议员提出了反对意见,甚至在审议过程中敦促USEPA撤销其提出的PM_{2.5}新标准。反对声音认为,收紧PM_{2.5}标准将导致全国范围内的非达标区域增多,增加许可和监管负担,可能对经济产生负面影响,如制造业外流、就业流失和能源不安全,并呼吁USEPA在下一个《清洁空气法》的常规五年审查周期中重新评估全国空气质量标准,确保标准在技术和经济上是可行的。

由此可见,在推动标准修订和实施的进程中,开展标准修订情景和达标策略相关的经济分析十分重要。USEPA可以通过RIA向政府决策部门和公众提供公开的、全面的、最新的、经同行评议认可的社会效益和成本的信息,包括公众健康、福祉和生态改善效益,以及这一法规对美国宏观经济的影响。

为支撑此次PM_{2.5}标准的修订,USEPA基于现行标准中的PM_{2.5}年均浓度限值和24小时浓度限值组合12/35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,同时考虑了联邦及各州法规、执法行动、人口变化及潜在的经济增长,建立了基线情景。此外,USEPA围绕两个拟议的标准情景组合10/35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和9/35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,以及两个更加严格的替代标准组合8/35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和10/30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 开展评估,对在目标年份2032年达到新标准的成本与收益进行了估算。

成本评估针对的是减排措施和技术的年均直接成

表 美国国家环境保护局加严PM_{2.5}标准限值的成本与效益分析(以2017年百万美元计)

	10/35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 情景	10/30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 情景	9/35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 情景	8/35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 情景
毛效益	8500和17000	10000和21000	22000和46000	48000和99000
成本	200	340	590	1500
净效益	8300和17000	9900和21000	22000和46000	46000和97000

注:由于四舍五入,各行存在误差。

来源:USEPA, 2024年

本,也就是企业投入减排带来的成本增量变化,包括减排措施与技术的投入、运营和维护成本等。对直接成本的估算采用了两种方法,分别是基于设施减排成本的单位成本法和基于优化减排路径的优化成本法。前者是基于法案要求的特定减排措施或技术要求来计算单位减排成本;而后者则是在特定目标下,基于成本最小化的减排路径来计算成本,有助于识别更划算的减排策略。此外,对成本的评估还纳入了减排措施经验积累带来的学习曲线效应的理念,也就是说,随着减排措施和技术的推广和普及,特定技术的成本会逐步降低。结果显示,新的PM_{2.5}标准(9μg/m³)相应的达标工程成本为3.9亿美元,而在8μg/m³的标准情景下,达标工程成本将大幅提升至18.2亿美元。

效益评估最主要的部分是健康效益的评估及其价值货币化。大量针对环境政策和相关项目的经济分析结果表明,健康效益通常是总效益最重要的组成部分。美国开展的多次政策经济评估结果表明,健康效益占总效益的比例均在九成以上。本次RIA报告基于两项不同流行病学研究对PM_{2.5}的健康风险进行估计,新的PM_{2.5}标准将带来的健康收益为460亿或220亿美元,其最高净效益可达460亿美元。此处估算的收益是针对拟议空气质量标准实施控制策略可以带来的健康收益。如果不考虑达标可行性,假设在目标年份充分达到拟议及替代标准组合的空气质量,预估的健康效益将增加一倍左右。除健康效益外,评估还对能见度效益以及气候变化协同效应做出了简要说明,但并未开展定量分析。

除直接成本与效益外,减排政策也会对宏观经济产生一系列相关影响,包括GDP、经济结构、家庭福

祉、就业等。需要强调的是,清洁空气政策对于宏观经济的影响并非只有负面,空气质量改善可以降低医疗支出,减少过早死亡和发病风险,从而增加劳动力资源。同时,治理措施也会带来环保领域相关就业机会的增加。

宏观经济影响的分析通常通过可计算的一般均衡(Computable General Equilibrium, CGE)模型进行。2008年针对O₃标准修订的RIA中,USEPA采用了动态CGE模型,即政策影响模型(EMPAX),来估算末端治理措施成本的宏观经济影响,模拟了工程成本以外的消费者和生产者对价格变化的反应,但未能模拟环境外部性的社会效益。2015年,USEPA在科学顾问委员会(Scientific Advisory Board, SAB)中召集研究团队,讨论使用整体经济模型来评估监管措施的成本、收益和经济影响的技术优点和挑战。在2015年O₃标准修订的RIA中开展了经济影响的定性分析,包括关于安装污染防治设施的公司/行业,其消费品和中间品在内的产品价格上升的影响,及引致的收入变化产生和消费变化。尽管如此,USEPA认为这些分析仍无法得出标准实施对任何单一市场的价格和数量变化影响的定性结论,也就是说无法得出关于国际贸易、盈利、设施关停、社会成本等经济影响的明确结论。其后,USEPA又开发了新的CGE模型SAGE,并由SAB完成同行评审。但由于这一模型尚不具备准确模拟受控排放清单部门(例如,区域扬尘清单部门、住宅木材燃烧清单部门)所需的分辨率,因此在最新的PM_{2.5}标准修订的分析中并未使用该模型进行定量分析。

作者单位:亚洲清洁空气中心



图片来源:pixabay