



定标，启航

环境空气质量标准系列文章

修订篇

亚洲清洁空气中心

关于环境空气质量标准系列文章

环境空气质量标准的制定、修订和实施是持续改善空气质量、保护公众健康的重要基础。亚洲清洁空气中心在能源基金会中国的支持下围绕空气质量标准国际经验开展研究,通过梳理美国、欧盟和亚洲等国家和城市的经验和做法,并结合中国的需求和现状撰写空气质量标准的系列文章。

关于亚洲清洁空气中心

亚洲清洁空气中心(Clean Air Asia, 简称 CAA)是一家国际非营利性组织,致力于改善亚洲区域空气质量,打造健康宜居的城市。CAA 成立于 2001 年,是联合国认可的合作伙伴机构。

CAA 总部位于菲律宾马尼拉,在中国北京和印度德里设有办公室。CAA 拥有来自全球的 261 个合作伙伴,并建立了六个亚洲国家网络——印度尼西亚、马来西亚、尼泊尔、菲律宾、斯里兰卡和越南。

CAA 自 2002 年起在中国开展工作,专注于空气质量管理 and 绿色交通两个领域。2018 年 3 月 12 日,CAA 获得北京市公安局颁发的《境外非政府组织代表机构登记证书》,在北京设立亚洲清洁空气中心(菲律宾)北京代表处。CAA 接受公安部及业务主管单位生态环境部的指导,在全国范围内开展大气治理领域的能力建设、研究和宣传教育工作。

导读：

环境空气质量标准往往不是一步到位，伴随着科学认知加强、保护健康需求的不断提升等各种因素变化，标准会逐步收紧，进而推动空气质量水平的持续改善。自上一次标准修订后的八年间，中国大气环境治理发生了方向性转变和重大进展，空气质量水平和管理水平都获得了长足的进步，越来越多城市进入达标行列。同时，中国现行标准对比 WHO 的空气质量准则值和发达国家的标准，仍有进一步加强的空间。已有的积极进展和未来提标的需求使得大家都热切地关注着下一次的标准修订。标准系列文章的第二篇我们将继续基于中外标准修订的历程来探讨以下问题：什么会成为标准修订的契机和依据？在标准修订中会面临的难题有哪些？标准修订过程中相关方会发挥什么关键角色？

1. 我国标准修订的背景和历程

社会经济发展水平和环境管理需求的提升，推动了我国空气质量标准的制定和修订，其最终目标是改善环境空气质量，保护人体健康和生态环境。

1982 年，由国务院环境保护领导小组批准并发布了首个环境空气质量标准《大气环境质量标准》(GB3095-82)。其后近 40 年的大气污染治理历程中，我国对国家环境空气质量标准进行了 2 次修订，并发布了 2 次修改单。

改革开放后中国的经济和产业进入了快速增长期，1982 年的标准无法有效控制重工业发展造成的生态破坏，例如酸雨等环境退化问题。而同时，我国环保技术发展取得一定成功，从而提高了减排的技术可行性 (Zhao 等, 2016)。基于这两点考量，国家环境保护局开展第一次修订工作并于 1996 年颁布《环境空气质量标准》(GB3095-1996)，旨在补充并加强污染物要素，空气质量分区和数据统计方法等内容。其后，于 2000 年首次发布标准修改单，取消了 NO_x 指标，并放宽 NO_2 和 O_3 浓度限值。详细来说， NO_2 二级标准的年均加倍宽松至 $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，日均由 $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ 修改为 $120\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，小时平均修改为 $240\mu\text{g}/\text{m}^3$ (放宽至 2 倍)。 O_3 一级和二级标准小时平均浓度分别宽松至 $160\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，并沿用至今 (生态环境部, 2000)。

2008 年，环境保护部牵头启动修订 1996 年标准的项目计划，这是基于内外部因素的双重考量。首先是外部因素，世界卫生组织 (World Health Organization, WHO) 于 2005 年发布了《空气质量准则》全球更新版，相继美国也完善空气质量基准文件，欧盟和日本等发达国家，即便是印度也在不断收严标准。其次，我国加入世贸组织后，出口为导向的制造业崛起带来了煤炭消费量大幅攀升，同时快速城市化也伴随着机动车保有量急剧增加，这使得大气污染的特征愈发复杂。在 TSP 和 PM_{10} 污染还未全面解决的情况下， $\text{PM}_{2.5}$ 和 O_3 污染日益严重 (生态环境部, 2011)。所以，1996 年修订的标准不足以应对上述复合空气污染问题和频发的重污染现象。

历经数年研究和讨论，2012 年我国发布了新修订标准 (GB3095-2012)，其中最重要的修订内容为增设了 $\text{PM}_{2.5}$ 和 O_3 的 8 小时平均浓度限值，并收严了 PM_{10} 和 NO_2 等的浓度限值。此外，环境空气质量功能区合并为二类区 (取消三类区的特定工业区)，完善了数据统计的有效性规定。关于 1996 年和 2012 年标准修订的分析比较，详见下表 1：

表 1. 1996 年和 2012 年标准主要污染物限值表

主要污染物项目	平均时间	(GB3005-1996)			(GB3095-2012)		单位
		浓度限值			浓度限值		
		一级	二级	三级	一级	二级	
二氧化硫 (SO ₂)	年平均	20	60	100	20	60	μg/m ³
	24 小时平均	50	150	250	50	150	
	1 小时平均	150	500	700	150	500	
总悬浮颗粒物 (TSP)	年平均	80	200	300	80	200	
	24 小时平均	120	300	500	120	300	
氮氧化物 (NO _x)	年平均	50	50	100	50	50	
	24 小时平均	100	100	150	100	100	
	1 小时平均	150	150	300	250	250	
二氧化氮 (NO ₂)	年平均	40	40	80	40	40	
	24 小时平均	80	80	120	80	80	
	1 小时平均	120	120	240	200	200	
一氧化碳 (CO)	24 小时平均	4	4	6	4	4	mg/m ³
	1 小时平均	10	10	20	10	10	
臭氧 (O ₃)	1 小时平均	120	160	200	160	200	μg /m ³
	日最大 8 小时平均				100	160	
颗粒物 (PM ₁₀)	年平均	40	100	150	40	70	
	24 小时平均	50	150	250	50	150	
颗粒物 (PM _{2.5})	年平均				15	35	
	24 小时平均				35	75	

注[1] 1996 版的污染物除了 CO，单位均已转化为 μg /m³，与 2012 年标准的单位一致。

2018 年发布了第二次修改单将标准状态进行了科学调整, 具体来说, 气态污染物 (SO₂、NO₂、CO、O₃、NO_x) 调整为参比状态 (调整温度), 颗粒物 (PM₁₀、PM_{2.5}、TSP、Pb、BaP) 采用实际监测状态 (调整温度和气压)。本次修改的基本原因是此前我国标准状态参数与主要发达国家和 WHO 不一致, 使得国内外监测结果可比性差, 无法准确地反映出真实的环境空气质量状况, 更会妨碍中国参与全球大气污染治理和开展环境外交等国际事务 (郝吉明, 2018)。标准修改后带来的显著变化是主要气态污染物浓度相对原有方法的浓度水平会整体降低。

中国在大气污染防治进程中取得的积极进展和公众对更清洁空气的期待使得各方已经开始探讨下一次标准修订的基础和方向, 下文将基于中外空气质量标准修订历程来探讨推动标准修订的契机以及可能会面临的障碍, 分析标准修订流程和制度可以如何促进标准的不断完善。

2. 推动标准修订的契机和条件

国家对空气质量标准进行修订的原因有很多，总的来说，伴随社会经济发展，污染水平和特征发生重大变化后需要新标准来应对新的污染问题 and 环境质量改善的需求。一些特殊契机和关键条件往往可以加速推动标准修订的进程，比如引起社会各界高度关注的大事件，还有环境健康影响研究取得重要的进展和新科学共识的产生。

2.1 “大事件”推动标准修订

在我国历次的标准修订历程中，2012 年发布的标准（GB3095-2012）在中国的大气污染防治进程中具有里程碑意义，主要污染物指标 $\text{PM}_{2.5}$ 和 O_3 的 8 小时平均浓度的新增和限值选择均参考了 WHO 的过渡时期目标值，是与国际接轨的有益尝试。那么，这次标准修订是借助了怎样的时机？

奥运助推中国开启标准修订计划

如前所述，GB3095-2012 编制工作始于 2008 年，也是北京奥运之年。2001 年申奥成功后，为了如期达到举办奥运会所需的空气质量要求，北京在能源、工业和交通等行业做出各种短期和长期减排措施（联合国环境署，2019）。并且，卫生部首次发布《国家环境与健康行动计划（2007-2015）》并成立国家环境与健康工作领导小组（生态环境部，2012）。这标志着环境与健康的理念正式融入到社会经济发展的大环境中。

但是，北京当时的空气治理距达到奥委会规定的要求仍有一定差距。国际奥委会主席罗格曾表示，如果北京奥运会期间空气质量条件太差，马拉松和长跑等项目将会重新安排时间（路透社，2008）。奥运空气质量保障得到了中国政府的高度重视，并且 2008 年 3 月国家环保局的行政级别升级为正部级部门，被赋予更高的行政权力，可以最大化保障“绿色奥运”的如期成功举办。

奥运期间，北京相继启动更严苛的一系列紧急预案，然而，并未消除国际社会对北京空气污染的争议。那时，我国 1996 年标准并未纳入污染物 $\text{PM}_{2.5}$ 这一与健康密切相关的重要污染物指标。因此，美国驻华大使馆在奥运前夕，自行在使馆内楼顶部架起空气质量监测器，为美国公民提供北京更准确的空气质量状况和健康建议。此外，还发生了美国运动员戴口罩抵达北京引发舆情争议的事件。其后，公众对空气污染的关注度和认知得以不断上升。

奥运会的举办为北京乃至整个华北的大气污染治理提供了动力和压力，使得相应的科技支撑水平和管理能力都迈上一个新台阶，也助推中国启动了新标准的修订。

重污染事件加快了新标准出台

2008 年启动的标准修订过程进展缓慢，主要原因是围绕是否要新增 $\text{PM}_{2.5}$ 以及限值水平的选择一直未达成统一的意见。直到 2011 年 9 月爆发的重污染“爆表”事件及其引发的高度关注，为我国将 $\text{PM}_{2.5}$ 纳入标准起到了决定性的推波助澜作用。

由于社交媒体兴起时，一些公众人物频频转发美国驻华大使馆监测北京朝阳区的实时 $\text{PM}_{2.5}$ 数据，多次超过美国空气质量指数（AQI）最高风险范围（301-500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）的浓度值引起了

很大公众反响，也使得大家广泛关注 PM_{2.5} 的健康危害。公众围绕为什么中国不公开 PM_{2.5} 实时监测数据，是否美国大使馆的数据能代表北京空气质量等问题进行激烈探讨。2011 年 9 月爆发的重污染“爆表”事件与公众舆论，引起了中央政府高度重视，从而加速标准修订进程，旨在满足公众对更好空气质量的期待。

2011 年 8 月政府筹划组织对标准修订的征求意见稿草稿进行完善，并于 9 月份组织大气环境科学领域的知名专家进行研讨，在短短 3 个月内共计开展两轮意见征询，并于 11 月 7 日形成终稿（环境保护部，2011）。最终于 2012 年 2 月在国务院常务会议一致通过纳入 PM_{2.5} 标准（中央政府门户网站，2012）。其后，以实现环境空气质量标准为目标，2013 年制定出台了《大气污染防治行动计划》（简称《大气十条》），并于 2018 年发布《打赢蓝天保卫战三年行动计划》，旨在持续改善空气质量，增强蓝天幸福感。

公害事件和诉讼推动日本标准制定和修订

不止是中国，“大事件”及其引发的公众和政府的高度关注对标准修订的推动在日本也有体现。日本在半个多世纪的环境保护历程中，一个重要特征就是环境公害事件推动治理进程，其中公众诉讼和社会舆论发挥着关键的作用。

1969 年日本设立首个大气环境标准，为 1959 年前后发生的四日市哮喘公害事件的产物。1970 年发生的光化学烟雾事件，不仅推动日本环境厅（于 2001 年升级为环境省）于 1971 年成立，还促使悬浮颗粒物（SPM），NO₂ 和 O_x 标准于 1973 年制定。1996-2006 年的东京大气污染诉讼案，成功助推日本于 2009 年纳入 PM_{2.5} 标准。所有公害事件以患者为首的原告团均获得全面胜诉，排污企业赔付规模相当大的健康损害赔偿金。

在一系列公害事件中，公众（特别是公害事件受害人）和地方政府发挥着标准制定和修订的主要推动者的角色，各中央职能部门下属咨询机构（由学者和专家组成）提供重要科学依据。下文简要介绍两个标志性案例，可为日本定标准修订机制提供侧写。

四日市哮喘公害事件催生日本首个大气环境质量标准

1954-1964 年日本高速经济发展依赖高硫石油，催化了四大著名公害事件的发生。其中，四日市哮喘公害事件是由于当地工业、电力企业废气中的硫氧化物（SO_x）严重超标，共计 872 名患者于 1967 年提起公害诉讼。该事件产生了严重社会影响，从而促使日本在 1969 年制定 SO_x 标准，并于 1973 年修订非常严苛的 SO₂ 标准，日均和 1 小时平均值低于欧盟和 WHO 过渡期目标-1（IT-1）（日本环境省，2015）。

标准修订旨在加速石油低硫化的发展，所以负责能源保障的经济产业省（METI，前身为通商产业省），负责医疗卫生和社会保障的厚生劳动省（MHLW）和地方自治团体发挥着非常重要的角色。METI 出台推动低硫化的能源计划，并向其下属的咨询机构，即综合能源调查会，对石油含硫量所需下降的比例进行咨询。根据报告结果，存在重污染地区的地方自治体的以请愿书的形式，提出加强 SO_x 排放标准和收严 SO₂ 标准请求。为此，综合能源调查会和 MHLW 下属生活环境审议会共同开展科学研究，并于 1969 年 12 月的内阁会议上通过了非常严苛的 SO_x 排放标准，随后，进一步推动收紧 SO₂ 环境标准（日本环境省，2015）。

东京大气污染诉讼案推动 PM_{2.5} 标准的出台

日本最初空气质量标准中颗粒物的指标为 SPM，在已达到该标准的情况下哮喘儿童患者仍不断增加，因此，耗时近 10 年的东京大气污染诉讼案引起了政府高度关注。与以往公害事件不同，原告为市民团体组建的公害诉讼团，揭露了可能由于 PM_{2.5} 导致疾病的结论。所以其诉讼条款不仅再局限于被告支付原告赔偿金，诉讼团也要求加入创建哮喘患者救助制度，并参与探讨制定 PM_{2.5} 标准和完善自动监测（日本环境省，2015）。另一方面，美国已率先制定此标准，并且 WHO 也发布了空气质量准则。所以，为了应对内部压力并向国际先进做法看齐，2007 年日本环境省向其下属的中央环境审议会提出标准制定的技术咨询，就此成立了 PM_{2.5} 风险评估方法的专家组（Akimoto, 2017）。最终，2009 年修订标准首次纳入了 PM_{2.5}，年均值与 WHO 的过渡时期目标-3（IT-3）一致，日均值向美国的标准看齐。

从上文可知，一些“大事件”往往可为标准的修订提供了契机，但从另一面来看，部分契机是被动产生的，过程中也可能会付出沉重的代价。随着空气质量逐步改善，类似的被动契机将会不复存在，那如何主动出击呢？依据充分的科学依据，基于保护公众健康不断收紧标准是正确的主动出击方式。

2.2 新的科学研究证据成为修订依据和基石

在系列文章第一篇已经介绍过，随着研究积累和空气污染对健康影响的科学认知加强，WHO 不断修订空气质量准则，主要是对污染物指标进行更新，以及收紧浓度指导值。各国对空气质量标准的修订也是类似的，科学研究的新发现和成果积累发挥着至关重要的作用，**本节将以美国为例，阐述新的健康影响研究证据是如何成为标准修订基石的。**

美国环保局（Environmental Protection Agency, EPA）和首个全国空气质量标准都源自 1970 年的《清洁空气法案》修订，**EPA 在建立之初的核心任务就是以科学为基础，制定以保护公众健康为主的环境空气质量标准。**EPA 对标准设定了两类法定要求，主要标准代表保护公众健康的浓度限值，次要标准旨在设定保护公共福祉的浓度限值。在制定新标准或修订现有标准时，EPA 必须提供一个足够的安全边际，用以解决科学和技术信息的不确定性因素。

1977 年，美国政府在宪法修正案中授权 EPA 对每个大气污染物的标准进行制定、审议、和修订，旨在履行其保护公众健康和社会福祉的目标（Bachmann, 2007）。**根据法定要求，EPA 以五年为法定周期进入标准审议流程，基于不断积累的空气污染对健康影响的科学发现来收紧标准限值。**滚动式的法定标准审议分为五个阶段：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)。

由 EPA 成立的独立科学委员会，即清洁空气科学咨询委员会（Clean Air Scientific Advisory Committee, CASAC），主要职责为标准审议和修订提供科学咨询。EPA 每完成一个内部审议文件草案后，都会向 CASAC 和公众进行意见征询，再多次修改草案后发布终稿。

总体来说，在过去 50 年中，EPA 对主要污染物标准进行了多次审议和修订。其中，臭氧(O₃)标准共计开展 6 次周期审议，并进行了 4 次修订。PM_{2.5}标准开展 3 次周期审议和 2 次修订。下文将分别介绍美国如何依据健康影响研究对 O₃ 和 PM_{2.5} 标准进行修订的。

美国臭氧标准修订历程

洛杉矶 1959 年的夏季烟雾事件推动美国加州颁布了美国第一个环境空气标准，也即光化学污染相关指标 Ox 标准。1971 年首次制定 Ox 的 1 小时平均标准后，分别于 1979 年、1997 年、2008 年和 2015 年对光化学污染相关标准进行了修订。

1977 年 EPA 开展第一轮臭氧标准审议工作（历次审议周期见表 2），**基于科学发现并更新空气质量基准文件，这是标准修订决策中的核心环节**。EPA 对空气质量基准文件中的流行病学研究重新解读，提出**臭氧小时平均值在 0.15-0.25ppm 之间会对肺部功能产生不良健康影响**。那时，参与修订咨询的专家学者们在两个问题上有很大分歧，一是修订标准是否要基于免于健康损害的安全阈值，以及是否要考虑达标成本。时任 EPA 局长 Douglas Costle 做出了回应：首先，定标准是一个谨慎的公共卫生实践的判断，而非由安全阈值来决定；而且阈值可能无法识别或者不存在（也就是存在污染就是有害健康的）。其次，EPA 意识到如果要将臭氧浓度限值收紧至非常低的水平，那么标准将会对经济和社会活动产生巨大的影响。然而《清洁空气法》明确规定 EPA 局长的决策判断不应考虑成本和可达性。也就是说，EPA 定标准的决策是建立在保护公众健康需求的基础上，但不应再进行额外的严苛修订，例如不能将浓度限值设置为零。所以，1979 年的最终决策是，**更改臭氧指标 Ox 为 O₃ 并且放宽臭氧的小时平均限值为 0.12ppm**，这既能满足低于 0.15ppm 保障公共健康的要求，又能减少额外的经济代价(USEPA, 2015)。

表 2. 臭氧标准审议周期时间表

审议时间节点	
第一次	1977-1979 年
第二次	1983-1993 年
第三次	1993-1997 年
第四次	2000-2008 年
第五次	2008-2015 年
第六次	2018 年 –至今

此后 20 年中，越来越多的新科学研究发现指出，**臭氧在低浓度水平下暴露 6-8 小时仍会引起不良健康影响**，所以在标准审议过程中，CASAC 建议**替换 O₃ 平均时间的 1 小时平均值为每日最高 8 小时平均浓度**。1997 年，EPA 决定采纳 CASAC 意见，设置主要标准 8 小时平均为 0.08ppm，次要与主要标准的浓度限值保持一致。

基于臭氧在低浓度水平下仍会产生健康影响，2009 年 EPA 意识到再次修订标准的必要性，并把此次修订计划合并到 2008 年已开展的第五次定期审议当中。时任 EPA 局长 Lisa Jackson 公布了新的 O₃ 标准提案，遵循 CASAC 的科学建议，设置主要标准的浓度水平范围在 0.06-0.07ppm 之间。

2015 年，EPA 最终将 O₃ 主要和次要标准的 8 小时平均限值降至 0.07ppm，并对此前指定的未达标区域制定了防倒退要求。这次标准修订基于了最新科学依据支撑，旨在为大多数最危险的敏感人群（尤其是儿童）提供足够的保护，新标准可使得每年减少 23 万人哮喘发病，16 万儿童因哮喘引起学校缺课和 660 人过早死亡。尽管美国医学协会和肺脏协会呼吁标准降至 0.06ppm，EPA 局长判定标准不应低于 0.07ppm 仍是考虑到过低浓度水平而产生的健康影响仍存在科学不确定性 (USEPA, 2015)。

表 3. 臭氧标准修订进程

年份	浓度限值 O ₃ 主要和次要 1 小时平均 (ppm)	O ₃ 主要和次要 8 小时平均 (ppm)
1971 年	0.08 (O _x)	
1979 年	0.12	
1997 年		0.08
2008 年		0.075
2015 年		0.070

美国 PM_{2.5} 标准修订进程

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 (PM_{2.5} 审议周期时间表见表 4)。颗粒物指标在 1987 年从 TSP 转向 PM₁₀ 是因为当时的健康影响研究取得重大进展，认为直径在 10 或以下的微粒会渗入人体的支气管和沉淀在肺部深处，加剧健康危害。

表 4. PM_{2.5} 审议周期时间表

审议时间节点	
第一次	1997-2006 年
第二次	2007-2012 年
第三次	2015 年-至今

那么，PM_{2.5} 是如何纳入美国空气质量标准的呢？是基于国家环境评估中心（随后改名为公共健康和环境评估中心）汇总和更新的科学依据，证明细颗粒物对健康影响的关键作用。不同于独立的科学咨询委员会，该机构是隶属 EPA 的机构，负责编制和更新空气质量基准文件，阐明新的科学信息促使我们对人体暴露关系、颗粒物污染特征的剂量学模式和健康影响差异有更深入的科学理解。

1988 年至 1994 年，新流行病学研究通过追踪工业污染源轧钢厂关闭后 PM 浓度变化引起的健康危害效应，建立与每日死亡率、入院率、和发病率等指标的关联性，揭示了细颗粒物的关键作用，使得 1994 年 EPA 在颗粒物标准审议过程中对粗细颗粒物进行了详细的健康风险评估。有越来越清晰的科学证据指向 PM_{2.5} 污染的长期和短期暴露会引起包括心脑血管疾病、呼吸系统疾病的哮喘发作、支气管炎和过早死亡。因此，美国于 1997 年首次制定 PM_{2.5} 标准，年均值为 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，日均值为 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。WHO 和美国癌症协会 (ACS) 的研究发现，低浓度范围颗粒物的暴露会产生健康危害效应 (WHO, 2005)。所以，为了更好地保护公众健康，美国在首次制定 PM_{2.5} 标准时就采取了较严格的浓度限值。此外，由于 PM_{2.5} 标准不能够保护粗颗粒物（粒径在 10 到 2.5 μm 之间）的短期暴露而导致的健康风险，比如过早死亡率、升高的入院率和急诊就诊率，所以仍需保留 PM₁₀ 浓度限值 (USEPA, 2006)。

2004 年，EPA 再次向 CASAC 进行意见征询关于 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 限值的修订，专家小组一致认可修订 PM_{2.5} 主要标准的必要性，并强调降低日均值尤其重要。基于收集的各方意见，2005 年 EPA 公布新标准提案，即主要和次要 PM_{2.5} 标准的日均由 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 降至 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。此外，鉴于现有证据不足以证明长期暴露于 PM₁₀ 浓度水平造成的不良健康影响，因此决定废

除 PM₁₀ 年均标准，保留 PM₁₀ 日均用于保护短期暴露的健康效应。

而对于 PM_{2.5} 新标准年均的限值设置，EPA 和 CASAC 有很大分歧。CASAC 提出将年均浓度限值收紧至 13-14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，旨在保护高风险人群的健康。这一提议的依据不仅考虑了 WHO 准则值，还基于哈佛六城市，南加州儿童健康研究，和妇女健康倡议的分析报告中强调了 PM_{2.5} 长期和短期暴露对高风险人群影响（USEPA，2006）。

EPA 对这些新研究开展临时评估，评估结果认同提议中的证据，**但因为没有足够时间进行公开意见征询，使得新标准提案仍然维持原状**，维持 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 不做修订（USEPA，2013）。主要原因是《清洁空气法》明确规定标准修订的决策依据（空气质量基准文件中的科学研究和相关信息）必须是被 EPA，CASAC，和公众广泛审查和评价过的。所以，临时评估的结果不足以作为决策的判据。但这次临时评估却仍然具有意义，使得 EPA 局长做决策前掌握当前所有科学信息，保证高度的信息对称性，并且这些证据成为了后续 2012 标准修订的重要依据。

2007 年 EPA 对 PM_{2.5} 年均标准进行新一轮审议，形成了**综合科学评估（ISA）机制**，替代了先前的空气质量基准文件。内容上来看，不仅包含与政策相关科学信息的简明评估和整合，还提供了**风险和暴露评估中（“量化健康风险评估”和“城市能见度评估”）所需的重要科学判据**。EPA 公开的标准提案将 PM_{2.5} 年均降至 12-13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，进行公开意见征询和听证会后，最终决策是在**2012 年修订 PM_{2.5} 主要年均值至 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** ，旨在更好的保障高风险人群的健康（USEPA，2013）。

表 5. 美国 PM_{2.5} 标准修订进程

年份	浓度限值	主要年均 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	次要年均 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	主要和次要日均 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
1997 年		15	15	65
2006 年				35
2012 年		12		

在美国空气质量标准修订的历程中，设立标准审议的固定周期和流程，基于最新的健康影响研究证据对标准修订进行提案，设有专门机构收集和编制科学依据文件作为判据，向独立的科学委员会咨询建议，将保护公众健康放在首位考虑，这些做法都十分值得借鉴。

3. 可能存在的障碍

标准的修订在空气质量管理系统中起着牵一发而动全身的作用，通常是一个耗时多年的漫长过程，不仅是因为科学认知需要长期积累和谨慎筛选可靠的证据，还因为在过程中需要考虑多样的因素和复杂的影响。

上节介绍的契机和条件都是推动标准修订的正向力，另一方面，也存在**阻碍标准修订的反向力**，包括产生污染的产业会形成反对力量，存在达标困难的地方政府也会提出不同声音，还有对于**更高达标成本的担忧**。是否能解决这些阻力和争议也是标准修订的关键一环，下文仍然以美国为例，看 EPA 在修订标准过程中遇到的阻力，以及如何应对和发展出的结果。

3.1 来自排污者的阻力

代表排污者的产业集团会为了避免更严格环境规制去阻碍标准的收紧，包括交通运输行业、化石燃料行业和工业行业的产业集团。**美国卡车运输协会为首的产业集团提出 1997 年 PM_{2.5} 和 O₃ 标准的浓度限值设置不合理并进行诉讼。**最终法院支持 EPA 修订臭氧 O₃ 标准因为有足够的健康影响证据。对于 PM_{2.5} 标准，EPA 并未获得全盘认可，法院在一审中质疑 EPA 缺乏清晰的界限基准来决定浓度水平高低。经过再次上诉后，2001 年美国高院最终裁决是支持 EPA，重申浓度限值是否足够保障公众健康的决策权取决于 EPA 局长的判断力。

2008 年 O₃ 标准决策引起的争议最大。适逢美国总统奥巴马竞选上任，基于其在环境治理方面高度的政治意愿，EPA 重新考虑收严在布什政府期间设定的多个标准限值，主要包括 O₃，PM 和 SO₂ (McCarthy, 2011)。其中，**臭氧标准修订提案（收紧至 0.060-0.070ppm）遭到了石油电力行业和共和党派的强力反对**，认为这将会损害美国 2008 年金融危机过后的经济复苏和大量减少就业率。迫于经济下行的压力，奥巴马命令 EPA 撤回其标准提案，强调这是为减少企业监管负担举措的一部分（路透社，2011）。

但到了 2015 年，**在分析政治经济环境和权衡利弊后，EPA 坚持把空气污染的健康影响置在决策判断的首位**，最终将 O₃ 标准收紧到 0.070ppm。此次立法仍然受到了化石燃料行业集团、制造商行业协会、石油学会等相关方的强烈反对，甚至有组织到国会上访。到 2019 年，法院裁决支持 2015 年的标准修订，并取消了一项规定：允许一些能源和工业设施在诉讼申请程序期间可以不按照新要求合规生产，这意味着不能靠上诉拖延了。

3.2 可能拖后腿的未达标地区

EPA 在修订标准中会遭受来自州、市政府的阻力，特别是那些未达标地区，也会有地方政府将 EPA 诉至法庭的例子。休斯顿市政府对 1979 年 O₃ 标准修订决策发起诉讼质疑修订的合理性，认为本地天然臭氧浓度过高和其他客观物理条件使其很难达标。然而，美国哥伦比亚特区巡回上诉法院（受理侵权诉讼的专属联邦上诉法院，后续简称“法院”）驳回其诉求，并强调了可达性和技术可行性不属于颁布空气质量标准的考量范围（美国法规强调保护健康是首要考虑因素），也明确了 **EPA 无需为各地区进行标准“量身定做”** (USEPA, 2015)。

美国在进行标准修订时，均有未达标区域，**未达标地区并未成为暂缓提标的绊脚石**。美国的标准修订审议报告指出，2010 年，美国一共有 1.19 亿居民生活在 O₃ 标准未达标区域，7000 万人居住在 PM_{2.5} 未达标区域 (McCarthy, 2011)，由于未达标区域的人数众多，会对公众健康带来极大危害，才最终促使美国修订了现行标准。从休斯顿案例，和后来标准修订过程中一些州政府强调很多国家公园本身的天然本底浓度水平高达标困难重重可以看到，美国联邦政府并不会因为难达标的地区而量身定制宽松的标准，反倒会为提前达标的地区制定防倒退政策，以确保空气质量的持续整体改善。类似地，欧盟地区在设置空气质量目标时，同样不会因为部分成员国的空气质量较差而放松整体目标。

标准的可达性需要考虑当前整体空气污染水平，过于严苛且距离整体空气质量水平太远的标准也很难落地。**美国在进行空气质量标准修订时，往往全国整体浓度水平已经达到现行标准**。例如，2008 年争议最大的那次 O₃ 标准修订之前，其全国 8 小时平均浓度在 2007 年

为 0.0797ppm，低于上一版本的标准限值 0.080ppm；2015 年的修订也是如此，已经整体达到了现行标准水平，低于 0.070ppm。EPA 最新一次修订 PM_{2.5} 标准时（2012 年），将 PM_{2.5} 年均限值下调至 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 时，当时美国全国平均 PM_{2.5} 年均浓度已经远低于该标准限值，2011 年其实就达到了 9.790 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

整体来说，美国空气质量标准的修订有助于推动有效的地方政策行动，也即各州实施计划（SIP）的制定和实施。SIP 实施不断取得进展，同时空气质量科学认知也逐步改进，这会影响着标准制定和修订，也会提高空气质量管理的不有效性(Bachmann, 2007)。从美国 PM_{2.5} 的浓度变化趋势（图 1）可以看出，1997 年制定的 PM_{2.5} 标准实施非常成功，2008 年以后 90% 地区浓度已低过 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下。在本底浓度非常低的情况下，仍大幅下降近 40%，2016 年以后美国的 90%地区的平均浓度已低过 WHO 指导值，并于 2018 年年均降至 8.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

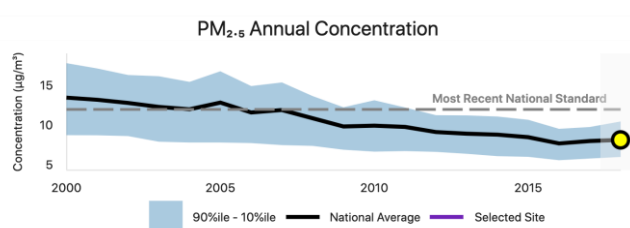


图 1. 2000 年-2018 年：PM_{2.5} 年均浓度（USEPA 网站，2019）

注[1] 90%ile- 10%ile:图中蓝色条带显示了全国各统计点（共有 412 个国控点）中间 80%的空气污染水平分布。90%的统计点的浓度低于最高线，而 10%的统计点浓度低于最低线。

历经 28 年的臭氧污染治理，美国臭氧 8 小时平均浓度呈现近 22% 的下降趋势，从 1990 年的 0.088ppm 降至 2018 年的 0.069ppm，低过现行标准 0.07ppm。值得注意的是，自 2013 年开始，O₃ 浓度反弹，从 2013 年的 0.067ppm 一直上升至 2018 年的 0.069ppm，开始呈现超标趋势。

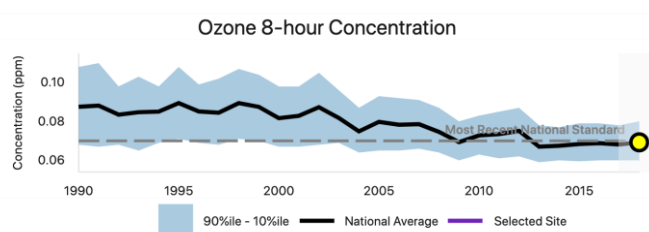


图 2. 1990 年-2018 年：臭氧 8 小时平均浓度（USEPA 网站，2019）

3.3 对达标成本的担忧

标准的收紧意味着更严格的污染防治政策要求，更高的达标投入，普遍存在的一种担忧是会给企业带来成本负担。2015 年美国进行最新的标准修订时，反对方指出标准实施每年将造成 2700 亿美元的额外开支，尤其加重中小型制造企业的成本负担，并且很多地区还没有实

现达标，所以不应修订标准（路透社，2015）。

达标的成本和经济影响是标准修订中绕不开的核心问题，即使是美国这样将降低空气污染健康影响设为首要目标的国家也会因为达标成本和经济影响的考量暂时放慢脚步。对于尚处于快速增长中的亚洲发展中国家来说更是如此，新加坡是一个典型的例子，在制定空气质量目标时明确提出**必须具有可实现性，在保障公众健康的同时，不能对工业产生高昂的减排成本**（新加坡国家环境局，2011）。

然而，在决定是否修订标准时不应当只看到成本而忽略收益，对成本和效益进行权衡后进行决策才能做出正确的选择。因此，在标准修订时进行成本-效益分析是十分必要的。美国将这一评估要求写进了法律，1990年《清洁空气法》修订案812项条款要求EPA开展《清洁空气法》对美国公众健康、经济、和环境影响的科学评估（USEPA，2020）。

无论是对清洁空气政策进行的前瞻性分析还是后评估，大量现有的**成本效益研究结论表明空气质量改善的社会收益往往远高于投入，接下来的美国、欧盟和中国的分析结果均可佐证。**

美国

从1990年美国实施环境空气质量标准至2018年，六种标准污染物的总排放量平均下降74%（USEPA，2018）。EPA共计开展三次成本效益分析，包括对1970-1990年取得的空气质量进展进行的总结性成效分析和1990年后的两次前瞻性分析，结果显示：1970-1990年因空气质量改善带来的经济效益总计22.2万亿美元（采用1990年的美元平均值），包括减少健康危害，提高能见度和避免对农作物造成损害。成本仅为5230亿美元。所以，1990年之前治理空气污染的平均总效益超过总成本的42倍以上（USEPA，1997）。

对1990-2010年《清洁空气法》实施的成本-效益预估结果显示健康和环境效益和成本比例为4比1，即1100亿美元经济价值和270亿成本（USEPA，1999）；第二次前瞻性研究覆盖时期为1990-2020年，2011年发布的研究研究表明，经济效益为2万亿美元，而成本仅为650亿美元。也就是说，平均收益超过标准合规成本的30倍，并且实际效果可能还要更高。

以2010年为例，PM_{2.5}和O₃减排产生的实际效益远超先前的模型预测，共计避免了16万人过早死亡，13万例心脏病发作，1300万旷工天数和170万哮喘发作。此外，预测结果显示，至2020年，将共有23万人免于过早死亡，其中85%的经济效益来自于减少PM_{2.5}污染（USEPA，2011）。

欧盟

2000年后，欧盟主要空气污染物排放量下降了10%-70%。但在大多数欧盟成员国的城市地区，空气质量标准并未实现达标。空气污染持续成为欧盟第一大环境杀手，每年超过40万人过早死亡，这对社会产生非常高的健康相关的外部成本，直接经济损失超过200亿欧元每年（欧盟委员会，2019）。欧洲的健康与环境联盟（2018）指出，保加利亚空气污染导致的过早死亡率为欧盟最高，也就是每10万保加利亚人中，就有217人死亡。并且，空气污染导致了国家GDP损失高达29.5%。这反映了空气污染问题所产生的健康和经济的代价非常之大。

欧盟发布和实施了环境空气质量指令（AAQD）来减少空气污染，取得的相关的健康效益已经超过实行减排措施的成本。欧盟委员会环境总司委托技术公司开展清洁空气规划（CAFE）2000-2020 年的健康效益基准分析，结果显示，欧盟国家如果实现 AAQD 的标准限值，至 2020 年，产生的经济效益预测每年为 870 亿-1810 亿欧元（欧盟委员会，2005）。

中国

自 2012 年修订标准后，大气污染防治行动带来的经济效益也是十分可观的。生态环境部环境规划研究院对《大气十条》政策开展的回顾性成本效益分析结果显示，**我国投入大气污染防治总成本约为 17002 亿元，但仅针对污染物 PM₁₀、PM_{2.5} 和 SO₂ 的减排措施所产生的健康效益高达约 24691 亿元，超过总成本的 1.4 倍多**。尤其是，在经济较为发达的地区广东、江苏、山东、河北和浙江的效益排在前五，均在 2000 亿元以上（蒋洪强，2019）。

如果我们的空气质量继续改善至更高的水平，相应的社会效益也会被放大。北京大学的一项关于降低 PM_{2.5} 污染的健康效益研究结论显示，晚采取治理行动的成本非常高昂，健康损失也会持续增加。如果中国达到现有空气质量标准（35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ），相应的可避免死亡率仅有 23%，也就是约 30 万人避免过早死亡。但假如标准收紧，尽早致力于实现 WHO 更严格的过渡阶段空气质量目标值，可避免过早死亡的人数将会最多约有 90 万人，是现有基础上的 3 倍之多（张世秋等，2019）。

从健康和经济的角度出发，收严标准的好处体现在，不仅可大幅降低患者入院率和医疗开销，还能普遍提高劳动生产力。从深层来看，这更能帮助国家卫生财政负担“减负”，促进社会经济的可持续发展，增加蓝天幸福感指数。

4. 标准修订的流程和机制

我国从法规和制度安排的层面，尚未建立起系统化、常规化的标准修订机制。本节仍将以美国等地的标准修订机制为例，分析如何通过制度设计使得多利益相关方发挥积极的作用，这些制度安排和改进提议对于我国下一轮的标准修订具有一定参考意义。

4.1 标准修订的流程

美国建立了非常系统性的法定标准修订机制和流程，如图 3 所示。EPA 的空气质量规划和标准办公室为主要职能部门，主导标准审议全过程，并负责对 EPA 局长的标准决策进行提议。

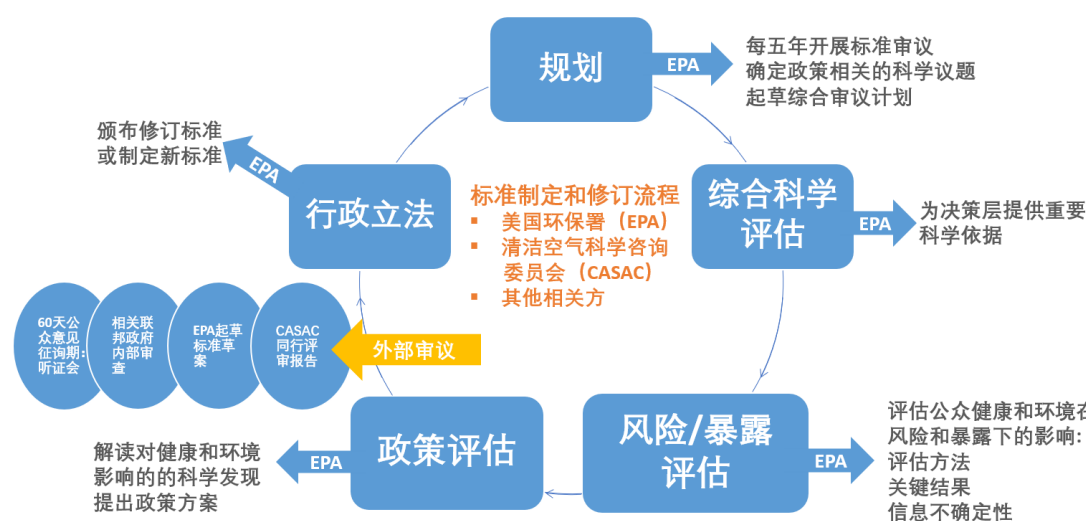


图 3：美国标准修订机制和流程

在规划阶段，EPA 发挥制定审议框架和引导审议的重要作用。通过举办研讨会的形式来确定与核心政策相关的科学议题。根据讨论结果，起草综合审议计划，明确整个审议的时间表和流程。第二个综合科学评估阶段为标准决策者提供最重要的科学依据，旨在对与政策相关的科学研究开展全面审查、综合分析以及评估。基于第一和第二阶段得出的科学结论，风险/暴露评估用于评估公共健康和社会福祉影响，着重于评估方法、关键结果和信息不确定性。第四阶段的政策评估，围绕标准的基本要素探讨对科学发现进行整合和解读，从而提出政策方案供决策者参考。

EPA 完成内部审议后，CASAC 将进行严格的同行评审并提交反馈意见。EPA 有义务考虑其提议，并决定同意或拒绝，如果拒绝，需在意见回函中提供合理的解释和理由。随后，EPA 将起草新标准或标准修订的草案。通过相关联邦部门的内部审查后，EPA 将发布立法草案，接受为期 60 天的公众意见征询，收集来自各州政府和相关机构、产业集团、环境和健康等非政府间组织、研究人员的意见，并举行公开听证会。重大标准决策时，通常会举行 2-3 次左右的听证会。对所有意见进行回应后，EPA 才会正式发布标准。

上述标准机制和流程有几个突出的优势：一是形成了固定的循环机制，使得空气质量标准的审议和更新制度化 and 周期化；二是可以明确评估空气污染的暴露风险和健康影响，为决策提供可靠的科学依据；三是确保了多种利益相关方的充分参与。但这个机制在实施过程种也暴露出一个明显的缺陷，就是流程缓慢，使得一轮审议期限可能会超过 5 年（美国法定要求）。

事实上，EPA 在审议过程中确实出现多次审议期限超过法定要求，被环保组织/公益团体多次诉讼，敦促其加快审议流程。为了优化标准修订流程，2018 年 5 月，时任 EPA 局长 Scott Pruitt 提出了改善提案，旨在使法定审议流程及时、透明和有效的完成（USEPA, 2018）。这个提案中的一系列原则建议对于我国优化标准修订流程同样具有参考价值，列举如下：

精简流程，满足时间节点要求和关键决策需求

将科学综合评估、风险/暴露评估、政策评估合并为一个评估环节，确保每次的标准审议可以如期完成。现有的科学信息和 EPA 健康和环境研究数据库，足以支撑 EPA 在短时间之内找出强有力的科学依据。为了便于 CASAC 和其它相关方有效参与，审议初期文件需要涵盖强有力的关键信息，避免对初稿的多次频繁审查而耽误时间。

为了便于决策参考，政策评估应当阐述一系列的替代选择情景，提炼出最有针对性能帮助到决策的基础科学依据和风险暴露信息，加以解读和分析。需要**区分科学和政策判断**，在科学发现和政策关注问题中建立一个更清晰的区分界限，仅提供给决策者必要的信息，不断缩小科学和政策间的差距。

对关键问题形成标准化回应

对于争议性较大的问题 EPA 要给出标准化回应，例如大气本底浓度的角色，达标可实现性，技术可行性等议题。同时，也需要 CASAC 对健康影响之外的科学问题做出更好回应和提出咨询建议：

- 哪些科学依据能表明是否需要修订现有标准来保护公共健康和自然环境？
- 为评估标准是否足够，有哪些领域需要额外知识补充？
- 哪些分别是自然和人类活动对大气污染浓度的贡献？
- 在达标和维持标准的情景中，空气污染对公共健康、社会福祉、经济和能源效应有哪些负面影响？

及时发布实施细则和指导意见

标准修订的同时，EPA 应及时发布更新版的实施条例和指南，致力于指导各州制定合格的州实施计划(SIP)和达标示范区的展示。此前，经常由于 EPA 滞后多年发布，导致州政府无法在规定时间内完成既定要求。所以，EPA 被要求更好的提供技术支持，协助州政府尽快达标。

4.2 利益相关方参与

一个完善的标准审议和修订的机制需要允许和鼓励不同利益相关方的参与和互动，使得各方可以各司其职，共同形成合力。

在美国的标准修订机制中，科研人员代表发挥着非常重要的作用。独立的科学委员会 CASAC 对综合科学评估报告进行把关，审查现行标准并给 EPA 局长提供科学建议，该委员会也必须有代表性，包括至少一位医生、一位美国国家科学院的委员，和一名地方空气防治部门的官员。

公众和公众代表的参与可以使得决策者更好的聆听其需求和采纳建议。EPA 有重大立法颁布前，通常会举行至少 2 到 3 次的公开听证会，可收集到非常多的公众评论。欧盟在制定清洁空气政策时，会对欧洲利益相关者和公众进行大量的公开咨询。例如，针对清洁空气规划 (CAPE) 开展的第一个公众咨询期于 2011 年开始，以发放两个版本的在线问卷调查的形式分别对公众和专家，其中重要的内容就是针对空气质量指令（相当于欧盟标准）相

关改进的意见征询。第一个简短版本的问卷发放给公众，第二个复杂版本的长问卷发放给参与到欧洲空气质量立法和实施过程中的各国的专家，研究人员，利益集团，健康和环境团体（Eionet 成员）等。欧盟委员会允许公众对空气质量立法的流程，即前期准备、实施和审议的任一阶段提出意见。同时，组织利益相关团体每 6 个月以在线直播的形式公开讨论，包括各国专家、产业集团和非政府间组织，提出对现行 AAQD 实施的建议或提出新举措，公众也可通过专家组在线发表看法（欧盟委员会，2011）。

环境和健康领域的民间组织也可以在标准修订过程中发挥积极的作用。以健康影响研究所（HEI）为代表的公众角色，成功推动 EPA 完善了数据支撑和科学证据的可靠性。在第三次标准审议中，HEI 指出约翰斯·霍普金斯大学发现基准文件第三版草案中，一些重要流行病学研究中的统计软件应用有问题。在 HEI 的要求下，针对这一严重问题，EPA 与 CASAC 展开更广泛的探讨，鼓励研究员重新分析并迅速把更正后的结果提交给 EPA 召集的特别专家小组进行同行评审，最后被纳入更新版的基准文件中。以美国环保协会（EDF）、自然资源保护委员会（NRDC）和美国肺脏协会为代表的一些组织，还参与督促 EPA 设定更严格的标准。

5. 小结与建议

基于保护公众健康的考量，我国现行标准仍然较为宽松，尽早使标准与 WHO 指导值逐步接轨是十分必要的，而空气质量持续提升也将带来巨大的健康效益和社会福祉。标准的修订不需要等待全面达标后启动，更不应该因为部分空气质量较差的地区而裹足不前。但同时，标准的制定也应该考虑现实可达性，制定过于严苛且距离整体空气质量水平太远的标准会遭受阻力和质疑，使修订过程变得缓慢，并且在出台后也将面临难以实施的现实挑战。

我国已经在过去八年取得了空气污染治理的优异成绩，2019 年全国 337 个地级以上城市 PM_{2.5} 浓度为 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，基本接近二级标准（也即 WHO IT-1 指导值），具备了进入标准修订新征程的基础。空气质量标准的修订有助于推动地方治理行动的开展，而**分别设置短期目标和长期目标（例如达到 WHO 指导值的时间表和路线图），则有助于兼顾可达性和保护公众健康的终极目的**。基于本文对国外空气质量标准修订历程和机制的分析，对我国空气质量标准修订机制建议如下：

设置法定周期，定期回顾和审议标准。伴随社会经济发展水平和环境管理需求的提升，空气质量标准需要适时修订，其最终目标是改善环境空气质量，保护人体健康和生态环境。一些“大事件”往往会给政府当局形成动力与压力，促使标准修订的进程，例如我国因为“绿色奥运”的契机加强了空气质量管理，也推动了空气质量标准修订提上议程，而重污染事件引发的公众关注也会形成压力，加速了标准修订。但随着空气质量逐步改善，类似的被动契机将会不复存在，依据充分的科学依据，基于保护公众健康不断收紧标准是正确的主动出击方式。我国大气法第十二条规定“大气环境质量标准、大气污染物排放标准的执行情况应当定期进行评估，根据评估结果对标准适时进行修订”。基于此，建议通过常规的制度将标准的审议和修订固定下来，设置评估周期（例如每 5 年为一个周期），判断是否需要基于空气质量的变化和保护公众健康的更高需求进行标准更新。

组建专家咨询团队，将空气污染对健康影响的研究证据和评估结论作为标准修订的最重要依

据。随着研究积累和空气污染对健康影响的科学认知加强，为了更好地保护公众健康不受损害，标准也需要不断优化。为了使得研究证据更好地支撑标准修订，建立专门的科学咨询与建议团队将是十分必要的。美国成立了独立的清洁空气科学咨询委员会，专门为标准的审议和修订提议提供科学咨询，在历次标准修订中都发挥了很大的作用。我国在以往标准修订研究中也组织专家进行研讨，具备一定的专家咨询团队基础。可基于此，组建下一轮标准修订的专家咨询委员会，探讨修订的可行性和方向。专家咨询委员会应对已有研究进行汇总、分析和梳理，为未来修订适合我国的空气质量标准提供科学支撑，特别需要重视我国本土在环境健康研究领域积累的新成果和科学证据。此外，在前期的标准修订研究中需要厘清一些关键问题，将有助于回应不同的声音（包括提标的呼声，也包括反对的阻力），例如，基于中国的大气污染特征和暴露/影响关系的限值选择应该是什么。

允许和鼓励多利益相关方参与和互动，使得各方可以各司其职，共同形成合力。标准的修订在空气质量管理系统中起着牵一发而动全身的作用，在过程中需要考虑多样的因素和复杂的影响。标准制定机制中允许多利益相关方参与可使得标准更科学，也将能够使得不同利益方的诉求在修订阶段就达到一定程度的平衡，有利于标准的实施。

开展成本-效益分析，为提标算好经济账。建议对标准修订和实施开展前瞻性成本-效益分析或后评估，可以为决策者提供信息参考和有力支撑。已有的国际经验和研究均证明投入治理空气污染带来的效益往往是远高于成本的。并且，近年来大量中外健康影响研究的成果证实，越是清洁的地区，空气质量改善带来的边际健康效益更大。我国重污染地区浓度下降所收获的健康效益“红利”还远远不够，需要通过进一步提标来获得更大社会收益。

参考文献

- Akimoto, H., 日本 PM_{2.5} 和 O₃ 的政策措施和观测数据综述：亚洲城市空气质量改善研究，日本国际协力机构研究所，2017
- Bachmann, J., 美国国家环境空气质量标准历史，《空气与废物管理协会杂志》，2007
- 蒋洪强，环境政策的费用效益分析方法及应用-以“大气污染行动计划”实施 CBA 分析为例（第十四届城市空气质量管理研讨会 PPT），生态环境部环境规划院，2019
- 健康与环境联盟（HEAL），保加利亚空气污染和健康，2018，https://www.env-health.org/wp-content/uploads/2018/11/HEAL-Brief-Pos_AIR_Bulgaria.pdf
- 联合国环境署，北京二十年大气污染治理历程与展望，2019
- 路透社，中国为北京争取更清洁的空气，2008，<https://www.reuters.com/article/environment-olympics-pollution-dc/china-again-vows-cleaner-air-for-beijing-idUSPEK27317420080312>
- 路透社，中国公布奥运会污染应急预案，2008，<https://www.reuters.com/article/us-olympics-pollution-measures/china-unveils-emergency-pollution-plans-for-games-idUSPEK17203320080731>
- 路透社，奥巴马放弃臭氧计划向大企业低头，2011，<https://www.reuters.com/article/us-usa-obama-epa-idUSTRE7813TB20110902>
- 路透社，行业集团反对美国新臭氧标准，2015，<https://www.reuters.com/article/us-usa-pollution-ozone-idUSKCN0R13ZC20150901>
- 美国环保局（USEPA）网站，国家环境空气质量标准（NAAQS），<https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table>

USEPA 网站, NAAQS 审议过程, <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/process-reviewing-national-ambient-air-quality-standards>

USEPA 网站文件, 颗粒物 NAAQS 最终条例, 2006, <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2006-10-17/pdf/06-8477.pdf>

USEPA 网站文件, 颗粒物 NAAQS 最终条例, 2013, <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2013-01-15/pdf/2012-30946.pdf>

USEPA 网站文件, 臭氧 NAAQS 最终条例, 2015, <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2015-10-26/pdf/2015-26594.pdf>

USEPA 网站文件, 实施 2008 年臭氧 NAAQS: 各州实施计划要求, 2015, <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2015-03-06/pdf/2015-04012.pdf#page=1>

USEPA 网站, 《清洁空气法》的效益和成本, <https://www.epa.gov/clean-air-act-overview/benefits-and-costs-clean-air-act>

USEPA 网站文件, 1970-1990 年《清洁空气法》成本效益分析: 回顾性研究, 1997, <https://www.epa.gov/clean-air-act-overview/benefits-and-costs-clean-air-act-1970-1990-retrospective-study>

USEPA 网站文件, 1990-2010 年《清洁空气法》成本效益分析: 首次前瞻性研究, <https://www.epa.gov/clean-air-act-overview/benefits-and-costs-clean-air-act-1990-2010-first-prospective-study>

USEPA 网站文件, 1990-2020 年《清洁空气法》成本效益分析: 第二次前瞻性研究, 2011, <https://www.epa.gov/clean-air-act-overview/benefits-and-costs-clean-air-act-1990-2020-second-prospective-study>

USEPA 网站文件, 审议 NAAQS 的基本流程, 2018, <https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-05/documents/image2018-05-09-173219.pdf>

USEPA 网站, 标准污染物的清洁空气进展, 2019, <https://gispub.epa.gov/air/trendsreport/2019/#naaqs>

McCarthy,J., 第112次美国国会清洁空气问题报告, 2011

欧盟委员会网站文件, 欧洲清洁空气规划(CAFÉ)成本效益分析: 2000-2020年基准分析, 2005, https://ec.europa.eu/environment/archives/cafe/activities/pdf/cba_baseline_results2000_2020.pdf

欧盟委员会网站文件, 环境空气质量指令 (AAQD), 2008, <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/50/oj>

欧盟委员会网站文件, 欧盟空气质量政策的实施和准备全面审议, 2011, https://ec.europa.eu/environment/air/pdf/sec_2011_342.pdf

欧盟委员会网站, 欧洲清洁空气规划 (CAPE), 2013, https://ec.europa.eu/environment/air/clean_air/index.htm

欧盟委员会网站新闻, 空气质量: 委员会将保加利亚和西班牙提交法院, 指控其未能保护公民免受不良空气质量的影响, 2019, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_19_4256

日本环境省, 日本大气环境对策, 2015

世界卫生组织, 关于颗粒物, 臭氧, 二氧化氮和二氧化硫的空气质量准则, 2005 年全球更新版

生态环境部, 《环境空气质量标准》(GB3095-1996), 1996,

<http://www.mee.gov.cn/image20010518/5298.pdf>

生态环境部，关于发布《环境空气质量标准》(GB3095-1996) 修改单，2000，

http://www.mee.gov.cn/gkml/zj/wj/200910/t20091022_171965.htm

生态环境部，《环境空气质量标准》(二次征求意见稿) 编制说明，2011，

<http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgth/201111/W020111116602406614804.pdf>

生态环境部，关于印发第二次国家环境与健康工作领导小组会议有关文件的通知，2012，

http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgth/201203/t20120305_224243.html

生态环境部，《环境空气质量标准》，(GB3095-2012)，2012，

<http://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/dqhjbh/dqhjlzbz/201203/W020120410330232398521.pdf>

生态环境部，关于发布《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 修改单，2018，

http://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk01/201808/t20180815_629602.html

生态环境部网站，专家解读《环境空气质量标准》修改单，2018，

http://www.gov.cn/xinwen/2018-07/23/content_5308493.htm

新加坡国家环境局网站文件，环境空气治理咨询委员会执行摘要报告，2011，

<https://www.nea.gov.sg/docs/default-source/our-services/pollution-control/air-pollution/air-quality/executive-summary.pdf>

中央政府门户网站，温家宝主持召开国务院常务会议同意发布新修订的《环境空气质量标准》，2012，http://www.gov.cn/ldhd/2012-02/29/content_2079351.htm

张世秋等，大气污染防治：经济分析与政策选择评估（第十四届城市空气质量管理研讨会 PPT），北京大学环境科学与工程学院，2019

Zhao.B 等，我国环境空气质量标准的演变与比较评价，《综合环境科学杂志》，2016