



定标，启航

环境空气质量标准系列文章

限值篇

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：环境空气质量标准在空气质量管理中发挥着统领全局的作用，如何“定标准”和怎样“用标准”都至关重要。我们的系列文章将先从“定标准”开启对环境空气质量标准的探讨。那么，标准是怎么来的？标准为何重要？标准需要定什么内容？什么水平才是合适的呢？这是第一篇要尝试回答的问题。

标准，应劫而生

空气质量标准是从何源起的？西方发达国家开始制定空气质量标准和应对大气污染问题可追溯到20世纪60年代前后。

1959年，洛杉矶复的夏季烟雾事件促使加州颁布了美国境内第一个环境空气质量标准，包含总悬浮颗粒物（TSP）、光化学氧化剂、SO₂、NO₂与CO等5项空气污染物规定限值。其后空气污染成为美国全国范围内的普遍关注的问题，伴随着1970年清洁空气法案修订案，美国出台了首个国家环境空气质量标准。

日本首个大气环境标准是二氧化硫的环境标准，于1969年由政府制定出台，是四日市哮喘公害事件影响下的产物。同时，日本的地方政府也制定了相应的达标计划要求京浜、阪神等大气污染严重地区在十年之期达到目标，对于部分地区还制定了中期目标（日本环境省，2015）。

20世纪60年代，德国高度工业化的鲁尔区的空气污染也非常严重。在1962年12月3日至7日爆发的烟雾事件期间，SO₂日均值达到5mg/m³，TSP的浓度水平达到2.4mg/m³，与2013年1月北京的重污染过程中TSP浓度水平相近（亚洲清洁空气中心，2017）。1964年，德国出台了第一个空气质量标准，包含SO₂、PM、尘、NO₂与CO指标。

尽管中国在1982年就发布了首个《环境空气质量标准》，但开启大气污染治理新纪元的重要里程碑则是2012年发布的修订版GB3095—2012。而这一次标准修订源起于2008年，这个因为北京奥运而被铭刻在中国人共同记忆中的年份。

此前，北京为了兑现“绿色奥运”的承诺做出了极大努力，包括开展奥运空气质量保障的科研项目和实施覆盖了北京及其周边省市的一系列减排措施，也取得了很好的效果。据当年的一则报道，北京市环保局对中外媒体称“8月1日到18日，我市空气质量天天达标，一级天占50%以上，为10年来历史最好水平”（中青报，2008）。从全年来看，当年也是发布空气质量监测数据以来的历史最佳水平，PM₁₀的年均浓度达到了122μg/m³。

但空气污染争议仍然存在。美国大使馆的自行监测和美国运动员戴着口罩来参加奥运的举动引起轩然大波，公众开始关注和讨论PM_{2.5}。这种关注到2010年出现“爆表”事件后达到了高峰，并在其后两年的一次次的重污染过程中不断推波助澜，促成了标准的快速修订和出台。甚至有一种观点认为，美国大使馆的自行监测和发布PM_{2.5}浓度数据，促成了我国制定PM_{2.5}标准。

然而，这个故事还有鲜为人知的另一面，早在美使馆公布自行监测数据之前的几个月，环境保护部就正式下达了环境空气质量标准（GB3095-1996）的修订项目，考虑将PM_{2.5}加入新标准。可以说，公众的高度关注加速了标准的到来。

标准发挥着统领全局的作用

环境空气质量标准的制定和收紧在空气质量管理系统中发挥着统领全局的作用，可以说标准的制定奠定了治理大气污染的基石，而标准的不断升级则是空气质量改善的持续推动力。标准带动全局的作用既体现在空气质量改善上面，也体现在对空气质量管理体系升级的推动方面。

日本、德国和美国等发达国家的空气质量趋势线在标准修订后都呈现了快速下降趋势，而我国在基于新标准开展监测后的城市空气质量数据亦是如此。

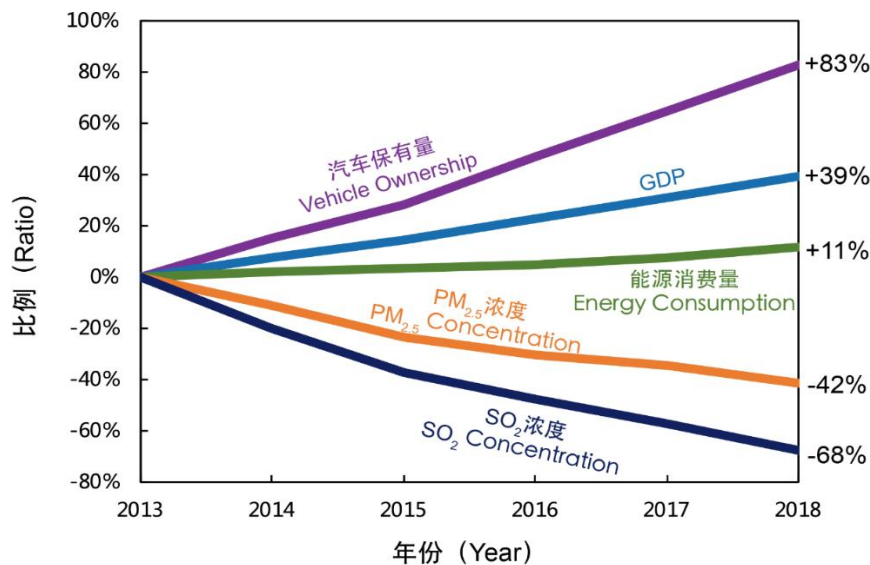


图1. 中国空气质量改善趋势（生态环境部，2019）

美国自1970年《清洁空气法案》和国家空气质量标准发布后，逐步建立了一套空气质量管理框架（如图2）。这个管理流程将不断更新和收紧空气质量标准作为第一步，也是整个管理系统的目标，随后确立减排措施、制定行动计划、通过许可证等政策工具执行和实施减排策略，并不断追踪和评估措施的效果。

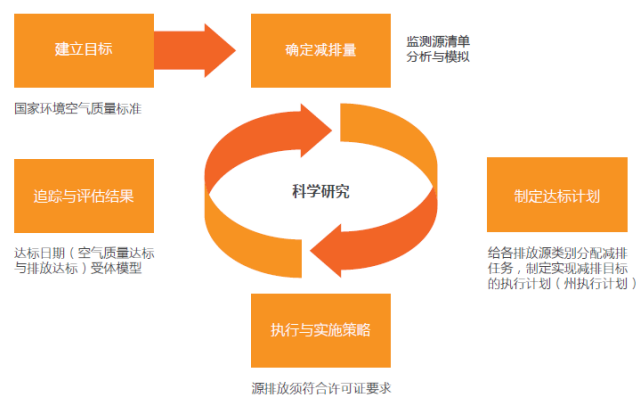


图2. 美国空气质量管理框架（亚洲清洁空气中心，2016）

2012年，我国新标准加入PM2.5的标准后也使得大气环境治理发生了方向性转变和重大进展。

首先，标准的出台还伴随着空气质量监测的实施方案和环境空气质量指数 (AQI) 技术规定，使得监测和数据发布均实现了跨越式发展。具体来说，2012年之前中国的国家环境空气质量监测网络只覆盖113个环保重点城市、共有661个国控监测站点，只监测PM₁₀、SO₂、NO₂这3个标准污染物指标。为实施新标准，2012-2015年间，中国建成覆盖全部地级及以上城市的1436个国控监测站点，监测新标准规定的PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂、CO、O₃全部6项标准污染物指标，并全部采用新标准进行评价。

此外，在国家环境空气质量监测网络建设的同时，各地方的监测网络规模也在扩大。除1436个国控站点外，各地的省、市、区县、乡镇级的空气质量监测站点建设遍地开花，行动计划5年间共新建和升级地方监测点位3000余个，监测全部6项标准污染物指标，形成了国家和地方两级的环境空气质量监测网络，为精确掌握全国的大气污染特征以及空气质量、考核地方环境空气质量与大气污染治理成效提供了坚实的硬件基础。

2012版标准将PM_{2.5}纳入监测和发布范围后，全国各城市陆续以日报和实时报（即每小时播报）的形式，向公众公开空气质量信息，包括6项污染物的浓度信息、AQI、首要污染物、空气质量等级等。公众还可以查询到各个监测站点的实时信息，这意味着公众可就近了解空气质量的变化，以及时准确地应对空气污染。从2015年1月1日起，公众可以获得全国338个城市1436个国控监测点位的空气质量数据。部分省市后续也向公众发布非国控监测点位的空气质量数据。政府发布空气质量信息的方式也极为丰富，除政府网站外，还有电视、广播、官方微博、手机应用APP等多种形式，提高公众获得空气质量信息的便捷性。随着4G时代移动互联应用的普及，一些企业和民间组织也开发了发布空气质量的APP，如在意空气、蔚蓝地图、墨迹天气和空气卫士等，并在数据呈现上进行了优化，满足不同人群对空气质量信息的需求。

而为了尽快实现空气质量改善，向新标准靠拢，我国也在2013年出台了《大气污染防治行动计划》，首次将治理目标由排放总量控制转向质量改善。新的环境空气质量标准成为了国家和城市制定规划和行动计划的依据，也相应产生了阶段性考核目标。为了实现空气质量改善的目标，我国又制修订了数十项大气污染物排放标准并不断出台新的减排政策和措施。

污染物指标的选择与健康影响密切相关

环境空气质量标准是政府对空气污染物的特定浓度水平（一定测量时间范围内均值）和监测评价进行规定，并要求通过防控措施达到的目标。定标准的目标是保护公众健康（包含敏感人群）、生态环境和社会公共福祉（能见度、动物、植物、建筑等）。全球众多的国家和地区都制定了各自的环境空气质量标准，这些标准的核心内容基本一致，主要包括污染物种类、指标、限值。

那么，空气质量标准需要包括哪些污染物呢？我们选取全球具有代表性的一些国家、地区和城市的环境空气质量标准来比较（见表1），可以发现不同国家和地区的标准中规定的污染物不完全一样，但基本大同小异，总结如下表。

表1. 环境空气质量标准覆盖污染物比较

	PM _{2.5}	PM ₁₀	SO ₂	NO ₂	CO	O ₃	Pb	TSP	B[a]P	NO _x	NH ₃	C ₆ H ₆	As	Ni	Cd	C ₂ HCl ₃	C ₂ Cl ₄	CH ₂ Cl ₂	PAH	1,3-丁二烯
中国	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
中国香港	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓													
日本	✓	✓	✓	✓	✓	✓ ^[1]						✓				✓	✓	✓		
韩国	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					✓								
新加坡	✓	✓	✓	✓	✓	✓														
印度	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓						
菲律宾	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓												
欧盟	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					✓	✓	✓	✓				✓	
英国	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					✓							✓	✓
美国	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓													
加拿大	✓		✓	✓		✓														
澳大利亚	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓													
南非	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					✓								

“大同”的主要空气污染物是PM、SO₂、NO₂、CO、O₃。这些污染物被众多国家选取作为通用的污染物是因为它们被证明与健康密切相关，WHO发布的空气污染健康影响的系列技术报告和空气质量准则相关报告为主要污染物的筛选提供了扎实的科学依据。

世界卫生组织（WHO）国际癌症研究机构（IARC）在2013年进行的一项评估得出的结论是，室外空气污染对人类具有致癌性，空气污染中的颗粒物成分与增加的癌症发病率（尤其是肺癌）密切相关。已有研究也观察到室外空气污染与尿道/膀胱癌的增加之间的关联。

WHO（2016）研究估算结果显示，与室外空气污染相关的过早死亡中约有58%是由缺血性心脏病和中风引起的，而分别有18%的死亡是由慢性阻塞性肺疾病和急性下呼吸道感染引起的，而有6%的死亡则是肺癌导致。

今时今日，颗粒物是空气污染物中的罪魁祸首已经成为共识，颗粒物对健康的影响范围很广，包括对心血管系统疾病、呼吸系统疾病、肺癌死亡率增加等。而实际上，科学界对空气污染和健康风险之间关联的认知却是在近半个世纪中不断积累。

1958年，WHO发布了第一份关于空气污染健康影响的报告，当时重点关注的污染物还不是PM_{2.5}，而是SO₂、烟雾和光化学烟雾（指标污染物为O₃），阐明了二氧化硫的刺激性对健康产生的危害，以及光化学烟雾会刺激眼睛和引发肺水肿，并未详细讨论单个污染物的毒理作用。

1964年，WHO的研究又指出，长期暴露会诱发慢性疾病并缩短寿命，而且较低浓度的长期暴露会导致比短期刺激性更严重的健康影响。1972年，WHO首次提出空气质量目标的时候将主要污染物确定在SO₂和相关的悬浮颗粒物指标，还有CO以及光化学烟雾污染物指标O₃，此时悬浮颗粒物是作为烟雾的“绑定”指标来考虑。

表2. WHO空气质量目标值（1964年制定）

污染物	评价指标	限值水平
SO ₂	年均值	60 ug/m ³
	98%观测值需低于	200 ug/m ³
悬浮颗粒物	年均值	40 ug/m ³
	98%观测值需低于	120 ug/m ³
CO	8小时平均值	10 ug/m ³
	1小时最大值	40 ug/m ³
光化学烟雾（O ₃ ）	8小时平均值	60 ug/m ³
	1小时最大值	1200 ug/m ³

1990年，对烟雾事件中人体健康短期急性影响的研究报告建议，减少户外活动可以降低风险，特别是建议患有心肺疾病的人群要在冬季污染情况下减少活动。但是交通管制作为短期减排措施并不被推荐，原因是转向公交出行会增加户外逗留的时间。并且报告强调，采取长期减排措施以降低整体浓度水平是最优策略，因为短期偶尔暴露在高浓度的危害程度比不上长期暴露。

在2000年对空气质量准则进行更新时，WHO才首次将PM作为独立于SO₂之外的指标进行考量。此时，基于大量时间序列研究表明，PM与O₃的浓度与健康风险指标（包括死亡率和住院率）之间存在近似线性的关系。在制定PM污染物准则时，采取了不同于SO₂和NO₂的新方法，以浓度-响应函数来表征相对风险，其后对O₃准则的确定也采取了同样的方法。

2000年前后，依据最新的科学研究成果，为了提高对人体健康和生态环境的保护，美国、欧盟、日本等国家和地区均对本国的环境空气质量标准进行了新一轮修订，修订的重点就是增加PM_{2.5}浓度限值以及O₃的8小时浓度限值，这与全球空气污染和健康影响的研究发展有很大关系。

2005年，WHO在对空气质量准则进行再次更新时，引入了中期目标值，为PM₁₀、O₃和SO₂设置了阶段性目标，因为这三项污染物与特定疾病的死亡风险密切相关。WHO倡议在污染水平较高的地区逐步降低浓度可减少人群健康风险，对应的风险变化比例如下表2：

表3. WHO空气质量目标PM_{2.5}（2005年更新）

年均水平	PM ₁₀ (ug/m ³)	PM _{2.5} (ug/m ³)	选择浓度的基础
过渡时期目标值-I	70	35	该水平的长期暴露死亡风险高于空气质量准则水平15%
过渡时期目标值-II	50	25	相比第一阶段过渡时期目标值，该水平的健康风险低约6%（2-11%）
过渡时期目标值-III	30	15	相比第二阶段过渡时期目标值，该水平的健康风险低约6%（2-11%）
空气质量准则	20	10	推荐PM _{2.5} 浓度水平限值，在该浓度之下观测到的心血管与肺癌相关死亡风险最低。

相比空气质量准则对应的PM浓度水平，第一阶段过度目标值的浓度水平下（也即中国当前标准水平），过早死亡风险高出15%。需要强调的是，污染物对健康的影响不存在阈值，即使在很低的浓度水平，仍然会存在健康损害。例如，欧盟许多城市PM浓度确实符合准则水平，但PM暴露仍会造成平均预期寿命也比正常情况下低8.6个月(WHO，2017)。

除了PM，已有研究还表明其他空气污染物也会引起不同的健康风险：例如臭氧会对呼吸系统造成损害，引发哮喘，降低肺功能并引起肺部疾病；NO₂暴露会造成肺功能下降，加重哮喘儿童的支气管炎症状；SO₂同样会影响呼吸系统和肺部功能，引发炎症、咳嗽、粘液分泌，哮喘加重和慢性支气管炎，使人们更容易呼吸道感染，并刺激眼睛。SO₂浓度较高的情况下，心脏病和死亡率的住院病例会增加（WHO，2017）。WHO在制定其它污染物的准则和过渡时期目标时在不同的水平下也对应着不同的公众健康风险考量（见表3）。

表4. WHO空气质量目标更新O₃（2005年更新）

WHO 臭氧空气质量准则和过渡时期目标：8 小时平均浓度		
	每日最高 8 小时平 均浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	选择浓度的基础
高浓度	240	显著的健康危害；危害大部分的易感人群。
过渡时期目标-1 (IT-1)	160	重要的健康危害；不能够充分地保护公众健康。暴露于该浓度臭氧与以下健康效应相关： - 在该浓度暴露 6.6 小时，可导致进行运动的健康年轻人生理及炎症性肺功能损伤； - 可导致儿童的健康效应（基于儿童暴露于室外臭氧的各种夏令营研究）。 - 估计的日死亡率增加为 3%~5%^a（根据日时间序列研究）。
空气质量准则值 (AQG)	100	充分保护公众的健康，尽管在该浓度可能产生一些不利的健康影响。暴露于该浓度臭氧与以下健康效应相关： - 估计的日死亡率增加为 1%~2%^a（根据日时间序列研究）。 - 实验室和现场研究结果的推断是基于现实暴露是反复发生的这种可能性以及在实验舱研究中排除了高敏感或临床免疫力低下的个体和儿童。 - 室外臭氧作为相关氧化性污染物的标志物的可能性。

除了上述主要空气污染物，一些国家也选择将对健康有害的苯并[a]芘（BaP）和铅（Pb）、砷（As）、镉（Cd）、镍（Ni）等重金属污染物纳入标准中。Pb通过不同的作用机制对多个器官系统产生有害作用，损害神经发育，造成儿童智商损失，影响认知、记忆和行为，影响成人肾功能和心血管功能，并造成贫血，在很多国家也是空气质量标准规定的重要污染物指标。BaP已被国际癌症研究机构（IARC）列为第二类A组人类致癌物，研究发现肺癌发病率、死亡率与所暴露的空气中BaP浓度之间存在较为显著的多元线性关系，我国也将其纳入空气质量标准（生态环境部，2011）。

确定了污染物之后，标准需要规定这些污染物的相应评价指标的取值时间。各国家和地区全部采用对污染物在单位时间内的浓度作为规定指标，只是单位时间有所差异。常见的时间有1小时、8小时、24小时、1年；也有少数指标取值为10分钟、3小时、4小时等。

取值时间的确定也是基于污染物对人体健康影响的研究，主要考虑到短期和长期健康效应两类影响和响应水平。以PM_{2.5}与CO为例：由于PM_{2.5}短期暴露和长期暴露均对人体健康有较大损害，国际上通用的时间有24小时和1年，而CO对人体健康的影响以急性效应为主，所以国际上通用的时间是1小时和8小时。

对于NO₂，短期暴露主要引起气道等呼吸系统反应，WHO认为短期暴露浓度超过200μg/m³时可引起显著的健康效应，短期暴露于200μg/m³以下相对影响较小。儿童长期暴露较低浓度水平下的NO₂，会引起呼吸效应，所以将年平均40μg/m³作为长期暴露健康效应的准则。

对于O₃而言，环境空气质量基准的研究最早关注的是光化学烟雾的急性反应，最初以1小时为取值时间，后来证实在低浓度水平下暴露6~8小时仍然会引起健康效应，且较低浓度水平的8小时暴露引起的健康效应更直接相关，所以自1990年后O₃环境空气质量基准逐渐发展为8小时浓度值，取消了标准中的1小时浓度指标，因为这些国家的臭氧浓度水平已经得到控制，进入较低水平（生态环境部，2011）。各国标准中的详细的单位时间如下表3。

表4 各国环境空气质量标准主要污染物评价指标的时间范围

	PM _{2.5}		PM ₁₀			SO ₂					NO ₂			CO			O ₃		
	1年	24小时	1年	24小时	1小时	1年	24小时	3小时	1小时	10分钟	1年	24小时	1小时	24小时	8小时	1小时	8小时	4小时	1小时
中国	✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓
中国香港	✓	✓	✓	✓			✓			✓	✓		✓		✓	✓	✓		
日本	✓	✓		✓	✓		✓		✓			✓		✓	✓				✓
韩国	✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓
新加坡	✓	✓	✓	✓		✓	✓				✓		✓		✓	✓	✓		
印度	✓	✓	✓	✓		✓	✓				✓	✓			✓	✓	✓		✓
菲律宾	✓	✓	✓	✓		✓	✓					✓			✓	✓	✓		✓
欧盟	✓		✓	✓			✓		✓		✓		✓		✓		✓		
英国	✓		✓	✓			✓		✓		✓		✓		✓		✓		
美国	✓	✓		✓				✓	✓		✓		✓		✓	✓	✓		
加拿大	✓	✓				✓			✓		✓		✓				✓		
澳大利亚	✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓		✓		✓		✓			✓	✓
南非	✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓		

中国现有标准的限值仍处于与国际接轨的起步阶段

制定和修订标准的过程中，除了要选择污染物和取值时间，确定限值水平也是关键的一环。那么，什么空气质量水平才是合意的或者合适的呢？

WHO在全球空气质量标准的提升中发挥了重要作用。1972年，WHO首次提出建立空气质量目标值，后于1987年发布首版空气质量准则（AAQGs），2000年、2005年分别更新。这些准则旨在为保护公众健康与环境免受环境污染损害提供基础，并指导国家与地方政府的风险评估与风险管理决策（WHO，2000a）。随着空气污染流行病学、毒理学和风险评估方法的学科发展和知识累积，WHO不断发展和修订准则。

在WHO早期版本的准则中，每个污染物仅在特定时间范围内设置了一项准则。但在最近更新的版本中，逐步补充了中期目标的概念，鼓励污染水平较高的国家降低污染水平并实现健康风险的大幅减少（CAA，2016），这成为包括中国在内的很多国家进行空气质量标准修订

时的参考目标。

WHO更新于2005年的空气质量准则，包括了PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂、O₃的准则以及三个过渡时期目标值（IT-1、IT-2、IT-3）。空气质量准则可被视为能够重复保护公众健康的合意的空气质量水平，但仍在工业化和城市化进程中的国家和城市往往很难快速达到这个水平，根据2015年数据，亚洲太平洋地区仅有不到8%的人口可以呼吸到满足这个水平的空气（联合国环境署，2019）。对于这些国家和地区来说，选择适合自己的阶段性目标也非常重要。

实际上，包括中国在内的很多国家在制定本国标准时都参考了WHO准则或过渡时期目标值的某一个阶段目标，根据自己的社会发展水平、污染特征和空气质量管理能力制定自身的标准限值。本文对代表性国家和地区现行标准中6项污染物的浓度限值对比如下：

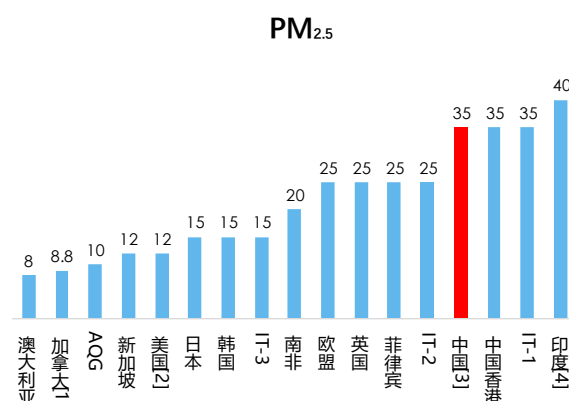


图 3. 部分国家和地区 PM_{2.5} 年均浓度标准限值 (µg/m³)

注[1] 加拿大空气质量标准根据时间分为 2015 年标准、2020 年标准、2025 年标准 3 个级别，本文采用 2020 年标准限值。

注[2] 美国标准限值分为主要标准和次要标准两级，主要标准旨在保护人体健康，次要标准保护公共福利，本文采用前者。

注[3] 中国标准限值分为两级，一级标准适用于自然保护区、风景名胜区和需要特殊保护的区域，这些区域空气质量优良、人烟稀少；二级标准适用于居住区、商业交通居民混合区、文化区、工业区和农村地区等需要着重保护人体健康的地区，本文采用二级标准限值。

注[4] 印度标准分为适用生态敏感区的限值和工业区、居住区等的限值，本文采用后者。

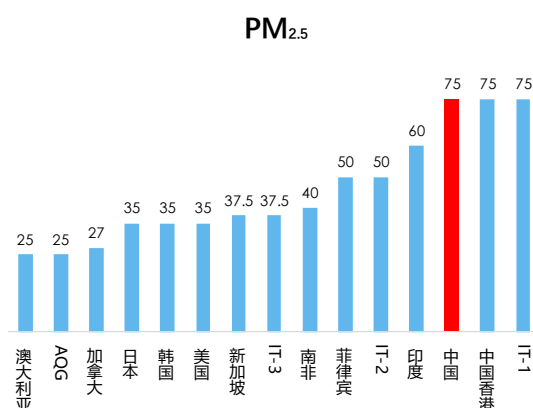


图 4. 部分国家和地区 PM_{2.5} 24 小时平均浓度标准限值(µg/m³)

我国PM_{2.5}年均浓度标准限值（35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）对比其他国家相对宽松，采用了WHO IT-1，尚处于与国际接轨的初级阶段。具体来说，是欧盟标准的1.4倍，日本、韩国的2.3倍，新加坡、美国的2.9倍，仅比印度（40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）要严格一些。

我国PM_{2.5}日均浓度标准限值（75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）的情况也很类似，比日、韩、美、加等发达国家高出两倍以上，甚至略高于印度，是上述所有国家与地区中最为宽松的。

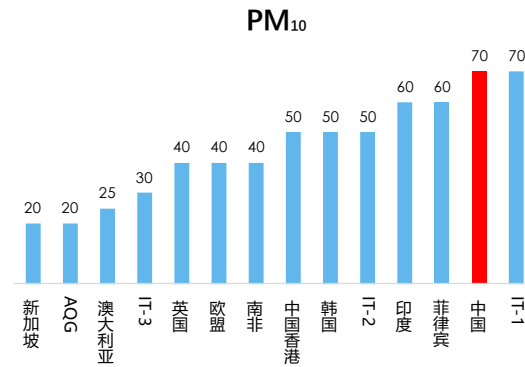


图 5. 部分国家和地区 PM₁₀ 年均浓度标准限值($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

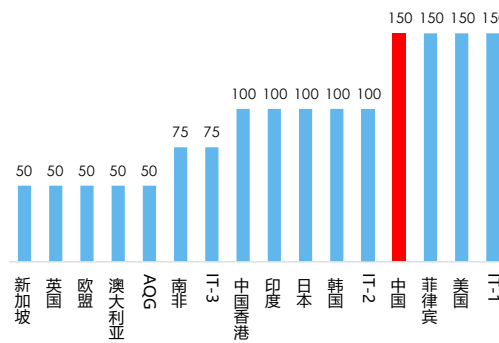


图 6. 部分国家和地区 PM₁₀24 小时平均浓度标准限值($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

我国PM₁₀年均浓度标准限值（70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）和日均浓度标准限值（150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）也采用了WHO IT-1。其中年均值相对最为宽松，日均值和美国、菲律宾相当，高于其他国家和地区。

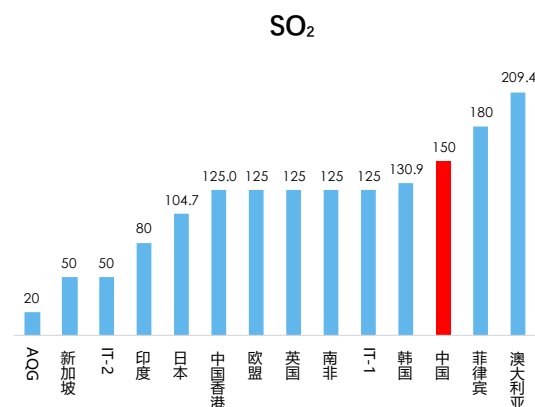


图 7. 部分国家和地区 SO₂24 小时平均浓度标准限值($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

我国SO₂日均浓度标准限值（150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）高于WHO的准则与过度目标值，也比大部分国家更为宽松。

注：在我国SO₂标准的三个取值时间（1年、24小时、1小时）中，24小时也是较多其他国家和《准则》采用的取值时间，故对比SO₂的日均浓度。

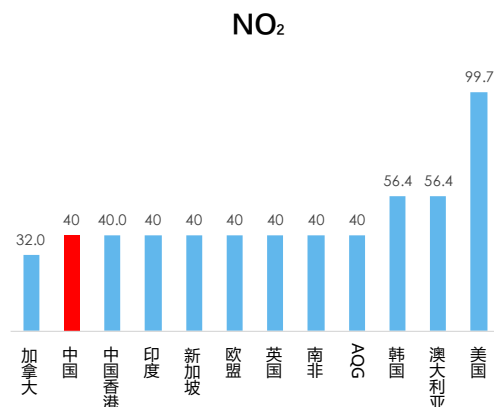


图 8. 部分国家和地区 NO₂ 年均浓度标准限值(μg/m³)

我国NO₂年均浓度标准限值（40μg/m³）采用了WHO的准则，是主要污染物浓度指标里相较其它国家比较严格的一项指标。

注：在我国NO₂标准的三个取值时间（1年、24小时、1小时）中，1年也是较多其他国家和《准则》采用的取值时间，故对比NO₂的年均浓度。

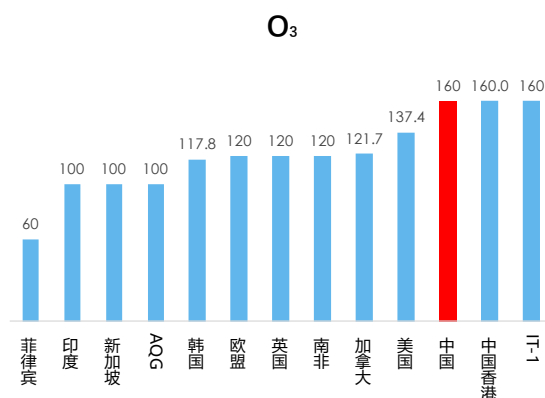


图 9. 部分国家和地区 O₃ 日最大八小时平均浓度标准限值(μg/m³)

我国O₃日最大八小时平均浓度标准限值（160μg/m³）采用了WHO IT-1，相较其它国家和地区也是最为宽松的。

注：在我国O₃标准的三个取值时间（8小时、4小时、1小时）中，8小时也是较多其他国家和《准则》采用的取值时间，对最大的连续8小时平均浓度制定标准限值，故对比O₃的最大8小时平均浓度。

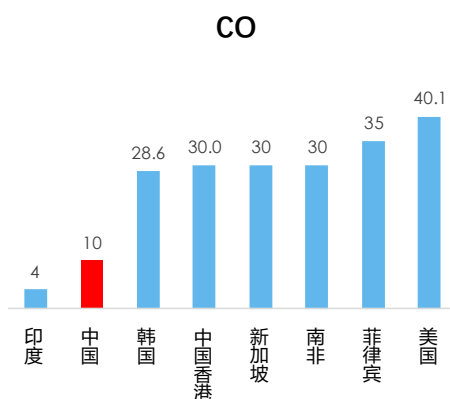


图 10. 部分国家和地区 CO 每小时平均浓度标准限值(µg/m³)

我国CO每小时平均浓度标准限值（10mg/m³）相比美国、南非、菲律宾、新加坡、韩国更严格，仅比印度宽松。

注：我国CO标准有两个取值时间，为24小时和1小时，其他国家中，仅有日本采用了24小时取值时间，更多采用8小时和1小时取值时间，故对比CO的1小时平均浓度。

总的来看，我国环境空气质量标准中，PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、O₃的限值相比其他国家较为宽松，其中PM_{2.5}、PM₁₀、O₃主要采用WHO IT-1，已与国际接轨；而NO₂、CO限值相对较为严格。随着我国空气质量的逐步改善和社会经济水平的不断提升，空气质量标准的升级也将进入新一轮空气质量管理的决策日程。

限值的选择是一个权衡得失的决策过程

既然我国的标准还有很大的进步空间，且空气污染并不存在一个安全阈值，是否意味着标准越为严格、污染物浓度限值越低就越好呢？这个问题并没有一个简单而肯定的答案。因为标准限值的选择不止是一个科学问题，更是需要权衡多种社会、经济因素的综合决策问题。

标准的制定和实施需要考量成本和效益，成本包括社会为空气质量改善所采取措施进行的投入，而效益则是空气质量改善所致的健康收益和避免其他社会福祉的损失。具体来说，实施空气质量标准会减少污染所致的死亡率与健康寿命年损失—也可带来经济成本的减少—住院、急诊与门诊人数、旷工天数。上述情况带来的损失包括过早死亡及因健康状况带来的暂时的或永久性工作能力缺失（新西兰经济研究所，2009）。尽管空气质量标准的成本效益评估存在不确定性，各地的评估结果也相差极大，但总的来说，已有的大量研究表明执行空气质量标准是一笔划算的买卖。

美国环保局（USEPA）2006年对国家环境质量标准中PM指标的成本效益分析的例子表明，每年因PM污染减少带来的经济效益高达40-400亿美元，而成本仅为30亿美元（美国行政管理和预算局,2013）。如果到2020年PM能够完全达标（2012年修订标准），经济效益则高达29亿美元（USEPA，2012）。欧盟空气污染治理系统策略2005年确立，旨在大幅度减少O₃和PM_{2.5}的健康影响，以及酸沉降与富营养化对生态系统的影响—据预测，到2020年该策略每年带来的健康与非健康效益的总和可达420-1360亿欧元（取决于减少颗粒物污染致死需要的货币化价值）。平均到欧盟人口的单位健康效益（年均94-301欧元）超过了成本（年均15

欧元)的6到19倍(Holland 等, 2005)。

除了算经济账, 空气质量标准限值的选择还需要考虑污染现状水平和管理及技术层面的可行性, 甚至可以说标准能够从侧面反映一个国家的发展水平与空气质量管理能力。WHO空气质量准则旨在世界范围内实现对公众健康无害的空气质量水平, 但同时, WHO也意识到政府应该结合自身的情况来设置本地空气质量标准而非直接照搬准则。WHO进一步认为, 根据发展水平与空气质量管理能力所处不同阶段, 各国要尽量平衡健康风险、社会经济与政治条件, 选择一个平衡点(如下图11)。

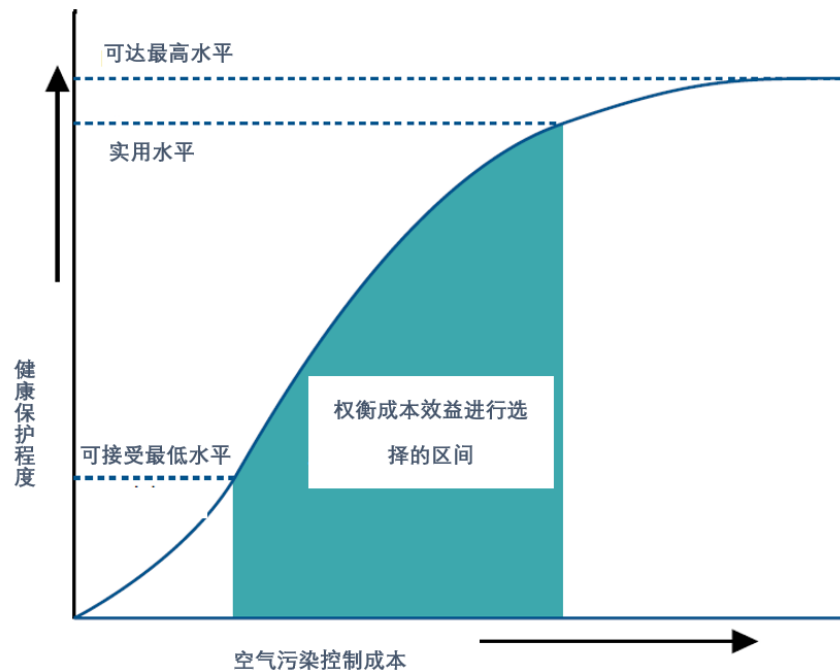


图11. 空气污染控制成本与健康保护程度关系图

有趣的是, 美国首次颁布国家环境空气质量标准和WHO首次发布准则时间非常相近, 在权衡选择时却倒向了“健康第一”的原则。据法庭裁定, 美国清洁空气法案在制定与修订环境空气质量标准时禁止考虑达标成本, 这使得美国环保局能够将公众健康保护作为首要考虑因素(Anderson和Ostro, 1982)。

在衡量标准带来的成本与效益之外, 各国政府在制定空气质量标准时, 还要考虑科学与技术基础(包括流行病学研究和监测技术基础), 也需要考虑社会因素(包括公众意愿), 也会考虑其它国家的现行的环境空气质量标准。

小结

20世纪60年代前后, 日本、德国和美国等发达国家空气污染公害事件频发, 空气质量标准也“应劫而生”, 标准的制定和收紧帮助这些国家实现了持续的空气质量改善。而在中国, 具有里程碑意义的2012年新空气质量标准修订也起到了统领全局的作用, 扭转了我国空气质量趋势, 使得经济发展与主要空气污染水平实现了脱钩, 也促进了空气质量管理体系的构建和完善。

制定空气质量标准包括选择污染物、取值时间和确定限值等关键要素。PM、SO₂、NO₂、CO、O₃与健康影响密切相关，是众多国家“通行”的标准污染物，其中颗粒物因其广泛的健康影响和致癌风险，成为各国标准关注的重中之重，而通过不同时间取值则可以分别减少短期和长期的健康损害。

我国现行的环境空气质量标准中，PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、O₃的限值相比其他国家较为宽松，其中PM_{2.5}、PM₁₀、O₃主要采用WHO IT-1，处于与国际接轨的初级阶段。随着我国空气质量的逐步改善和社会经济水平的不断提升，空气质量标准的升级也将进入新一轮空气质量管理决策日程。如果将PM_{2.5}的浓度从WHO第一阶段过渡目标（也即中国当前实施标准限值）水平降低到准则浓度水平，则可避免15%的过早死亡风险，这也意味着巨大的健康、经济效益和社会福祉改善。

但到底如何逐步收紧空气质量标准仍需诸多方面的考虑，包括实施不同标准限值的成本和效益，污染现状水平和管理及技术层面的可行性等一系列因素。如何修订空气质量标准，我们下回分解。

参考文献

- Anderson, R.C., Ostro, B., 空气质量标准的效益分析, 《自然资源》, 1982
- 澳大利亚环境和能源部, 国家环保(环境空气质量)措施, <http://www.nepc.gov.au/nepms/ambient-air-quality>
- 菲律宾环境自然资源部, 国家环境空气质量指导值, <http://ambientair.emb.gov.ph>
- 韩国环境部, 空气质量标准, <http://www.airkorea.or.kr>
- Holland, M., Watkiss, P., Pye, S., de Oliveira, A., & van Regemortel, D., 空气污染系统策略的成本效益分析, 2005
- 联合国环境署, 《亚洲及太平洋空气污染:基于科学的解决方案》, 2019
- 美国行政管理和预算局, 国会报告草案-无资金准备的授权改革法案联邦法规与机构合规的成本效益分析, 2013
- 美国环保局, 国家环境空气质量标准最终修订版颗粒物标准的影响分析, 2012
- 美国环保局, 国家环境空气质量标准, <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table>
- 南非环境事务部, 空气质量法案, https://www.environment.gov.za/sites/default/files/legislations/nema_amendment_act39.pdf
- 欧盟, 空气质量标准, <https://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>
- 日本环境省, 日本的大气环境对策, 2015
- 日本环境省, 日本环境空气质量标准-空气质量, <http://www.env.go.jp/en/air/aq/aq.html>
- 生态环境部, 《环境空气质量标准》编制说明, 2011
- 生态环境部, 《环境空气质量标准》, 2011
- 生态环境部, 中国空气质量改善报告(2013-2018年), 2019
- 世界卫生组织, 空气质量指南演变, 2017
- 世界卫生组织, 欧洲空气质量指导值, 2000
- 世界卫生组织, 全球疾病负担研究, 2016
- 香港特别行政区环境保护署, 香港空气素质指针, https://www.epd.gov.hk/epd/sc_chi/environmentinhk/air/air_quality_objectives/air_quality_objectives.html

新加坡国家环境局，空气质量目标，<https://www.nea.gov.sg/our-services/pollution-control/air-pollution/air-quality>

新西兰经济研究所，空气质量标准的价值：国家环境空气质量标准成本效益分析回顾与更新，2009

亚洲清洁空气中心，空气质量管理历程德国篇，2017

亚洲清洁空气中心，亚洲城市空气质量改善指导框架，2016

印度环境、森林与气候变化部中央污染控制委员会，国家环境空气质量标准，<https://cpcb.nic.in/air-quality-standard/>

英国环境、食品和农村事务部，空气质量标准，<https://uk-air.defra.gov.uk/air-pollution/uk-eu-limits>

中国青年报，奥运会期间北京空气质量 10 年最佳，2008