

# 履行《蒙特利尔议定书》 三十年成就与未来挑战记

Thirty years of achievements and future challenges  
in implementing *the Montreal Protocol*

■文 / 胡建信 陈子薇 张世秋

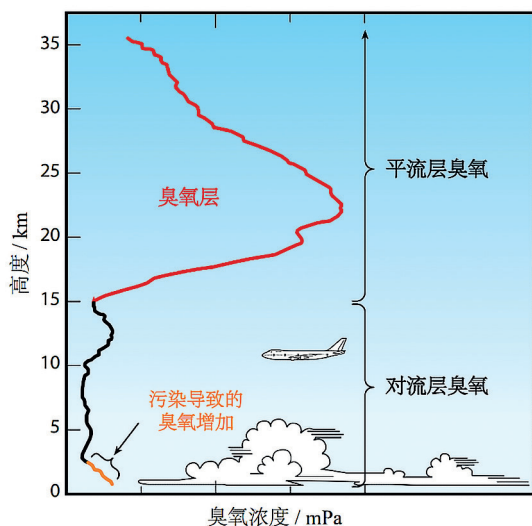


图1 对流层和平流层臭氧变化示意图 (WMO, 2018)

## 一、《蒙特利尔议定书》的由来和履约成效

臭氧 ( $O_3$ ) 是天然大气中的重要组分, 臭氧的浓度随其高度发生变化。约90%的臭氧分布在平流层, 并在距地表20km-25km处出现 $O_3$ 浓度峰值, 因而此处也被称为臭氧层 (图1)。位于平流层的臭氧层能够吸收全部的UV-A以及约90%的UV-B, 可有效阻挡高能紫外辐射到达地面, 进而发挥保护人类与环境的重要作用。而高浓度的近地面臭氧 (位于对流层) 是典型的大气二次污染物, 因具有强氧化性而对人体健康以及动植物生长产生不利影响。

1974年, Molina和Rowland发现被用作制冷剂和喷雾剂的氟氯化碳 (CFCs) 会在平流层中光解产生氯自由基损耗臭氧, 可引起对臭氧层耗损。基于相关科学发现, 1985年3月, 国际社会达成《保护臭氧层维也纳公约》, 首次提出替代淘汰CFCs以保护臭氧层。同年, 英国科学家Farman等人首次报道在南极上空观测到臭氧洞, 进一步让人们意识到保护臭氧层刻不容缓。

基于上述公约, 1987年9月达成了《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》(简称《议定书》), 明确了削减淘汰CFCs、哈龙等消耗臭氧层物质 (ODS) 的时间表。1990年6月, 在中国等国代表的提议下, 《议定书 (伦敦修正案)》提出由发达国家为发展中国家履约提供资金和技术援助, 这也是共同但有区别的责任原则在国际公约中首次体现。

过去三十余年, 在缔约国的共同努力下, ODS的排放量大幅减少, 其大气浓度也开始逐渐降低。观测与模拟研究表明全球臭氧水平正在逐渐恢复, 其中北半球中纬度地区臭氧水平将在2035年恢复到1980年水平, 南极地区则会在2060年恢复到1980年水平 (图2)。

由于绝大多数ODS同时也是温室气体, 因此淘汰ODS

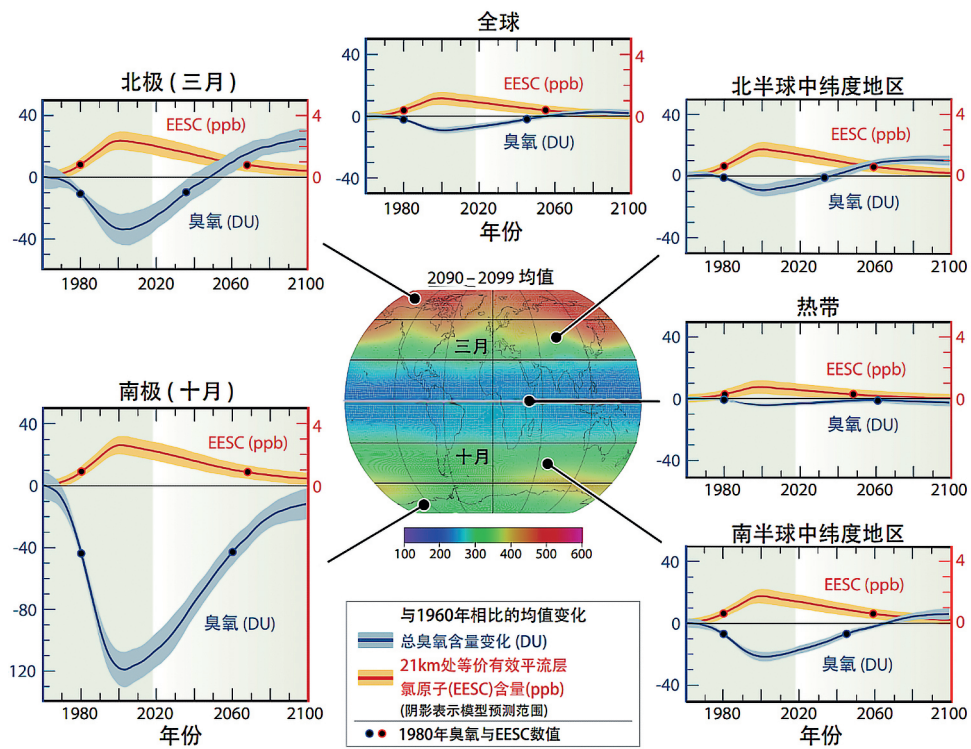


图2 1960-2100年总臭氧含量和等价有效平流层氯原子浓度变化预测 (WMO, 2018)

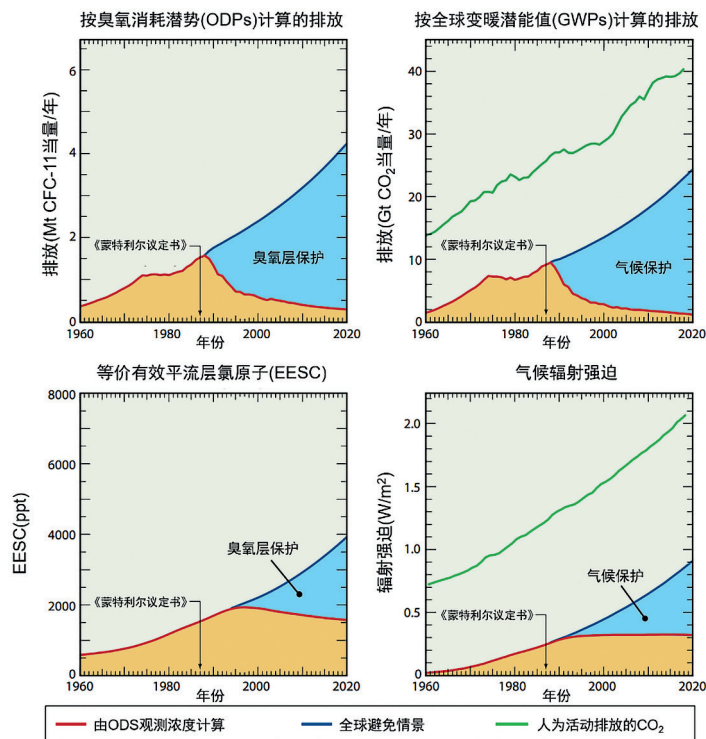


图3 履行《蒙特利尔议定书》的减排效益 (WMO, 2018)

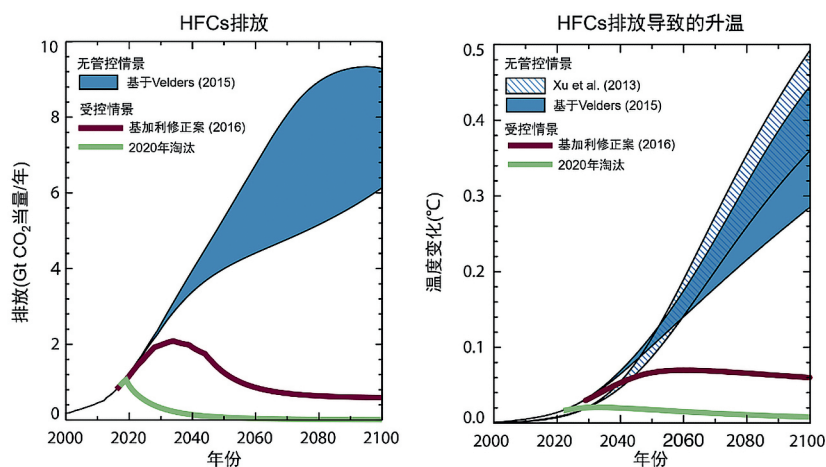


图4 履行《基加利修正案》的气候效益 (WMO, 2018)

也为缓解气候变化做出贡献。相比无公约情景,全球履行《议定书》在2020年一年避免了约230亿CO<sub>2</sub>当量吨的温室气体排放。仅2010年的减排量就相当于100亿CO<sub>2</sub>当量吨,约为《京都议定书》承诺期(2008-2012年)减排目标的5倍(图3)。与此同时,履行《议定书》还促进了替代品研发与绿色经济转型。

## 二、《蒙特利尔议定书》未来的任务

《议定书》被前联合国秘书长安南誉为史上最成功的全球环境协议。但随着ODS的淘汰,作为ODS替代品的氢氟碳化物(HFCs)所带来的气候效应问题凸显。HFCs主要用作制冷剂、发泡剂、清洗溶剂、灭火剂和气雾剂等。因HFCs用途广泛且不会消耗臭氧层,近年来其生产消费量快速增加。但是,HFCs的全球变暖潜能值(GWP)尽管低于CFC等ODS,但仍达53-14800,是受气候变化公约管控的强效温室气体。认识到上述问题,2013年6月习近平主席访问美国期间,首次与美国时任总统奥巴马达成了中美两国关于削减HFCs排放的协议。在中美等国的推动下,2016年10月,《议定书》缔约方签订了《议定书(基加利修正案)》,计划在2045年前削减80%-85%的HFCs生产与消费量,以期到本世纪末能够避免0.3-0.5°C的升温(图4)。《基加利修正案》的核心内容是将HFCs纳入《议定书》管控物质清单(附件F),并规定其生产和消费的削减时间表,以及对缔约国和非缔约国的贸易限制,规定2033年1月1日缔约国禁止同

非缔约国进行HFCs的进出口贸易。为履行公约的常规义务,还将制定相关政策和法规;开展培训和宣传;开展相关科学研究评估HFCs及其替代品的环境影响等工作。

## 三、中国三十年履约行动与成效

中国于1991年正式签署《蒙特利尔议定书》后,三十年中积极履约,1980-2020年累计避免约580万CFC-11当量吨ODS排放,避免了约230亿CO<sub>2</sub>当量吨温室气体排放,为臭氧层恢复与气候保护做出了重要贡献。其成功可归因于以下三个方面的行动。

### (一) 制定可行的履约措施,建立有效的履约机制

中国政府在1993年就制定并实施了《逐步淘汰消耗臭氧层物质国家方案》,这是发展中国家的第一个《国家方案》。方案明确了中国ODS淘汰目标、管理制度、相关政策、各方责任和义务;明确了生产和消费同步淘汰,替代品同步研发,政府法规建设与淘汰活动同步配合的“四同步”工作指导方针。1995年6月开始,为了在各相关行业顺利实施《国家方案》,中国政府组织制定了8个行业淘汰消耗臭氧层物质行业战略。在淘汰活动中,中国政府发布并实施了一系列有关保护臭氧层的政策法规,着眼于社会、经济和制度的变化,以及政策制定和实施过程中的影响因素,不断更新和完善政策体系。这不仅为实现履约目标提供了保障,也为将来的可持续履约奠定了基础。

为了保证履约目标的实现,中国政府建立了强有

力的领导机构和执行机构,不断加强履约能力建设。在国家保护臭氧层领导小组的领导下,生态环境保护部与相关部门相互协作,各行业ODS特别工作组和履约办公室在淘汰行动中发挥了重要作用。特别工作组具体负责淘汰工作的实施,包括淘汰活动的整体安排和部署、培训、配额管理等,从管理的角度保证了行业计划的实施。履约办公室则组织开展了大量的培训工作,为相关部门、行业、管理机构、相关企业的人员提供技术培训,增强了国家整体的履约能力。

### (二) 政府部门、行业协会、科研单位协同合作

中国政府在实施《国家方案》、开展保护臭氧层工作中,自上而下建立起了保护臭氧层的管理监督机构,充分利用了现有行政管理框架和各部门的管理职能,将ODS的淘汰纳入到环境保护和有关行业部门的日常监管工作中。行业协会在组织企业调查、企业培训、替代技术的选择等方面发挥自身优势,完成了大量工作。在替代品和替代技术的研发与推广方面,在国家相关部门的组织下,科研单位与企业联合成功开发了相关替代技术和替代品,为ODS顺利淘汰提供了必要条件。

### (三) 多边基金与技术援助发挥重要作用


中国是一个发展中国家,特别在履约初期,经济实力还相对薄弱,很多行业如冰箱、空调等还处在初级发展阶段,技术水平不高,资金紧张,国家和企业都很难拿出大量资金投入淘汰活动中。在这样的背景下,多边基金对中国淘汰活动的资助,发挥了杠杆作用,撬动和吸引了其他资金的投入,建立了资金渠道。通过多边基金的资助,引进了替代技术,起到了示范引领作用,促进了产业调整和产品升级。多边基金的足额资助和有效的技术转让是保证中国实现履约目标的重要条件。同时,技术援助活动也对ODS淘汰起到了巨大的推动作用。围绕着ODS生产和消费淘汰,各行业普遍开展了诸如培训、替代品趋势调研、政策需求研究、技术标准更新和管理信息系统建设等一系列活动,不仅有效支持了企业的淘汰活动,也对企业提升综合管理能力奠定了长期发展的基础。

## 四、中国未来三十年的机遇与挑战

中国于2021年9月15日正式加入《基加利修正案》。从1999年首次生产HFC-134a,到如今生产全球约60%的HFCs,中国也是最大的HFCs消费国,在未

来的履约行动对于达成气候目标无疑举足轻重。作为第五条款国家,按照《基加利修正案》管控要求,中国预计在2029年开始实质性削减生产量和消费量,在2045年将生产量和消费量削减到基线水平的20%(预计消费量约1.5亿CO<sub>2</sub>当量吨)。在上述控制时间表下,预计HFCs在2035年前后达到排放峰值,2060年排放量接近2亿CO<sub>2</sub>当量吨。

削减HFCs具有显著的温室气体减排效益,并将极大推动技术创新。减少非CO<sub>2</sub>气体排放是中国能够完成温室气体减排目标的关键之一。相关研究指出相较于CO<sub>2</sub>减排驱动的情景,全面控制非CO<sub>2</sub>气体以及CO<sub>2</sub>排放能够帮助实现《巴黎协定》提出的1.5℃目标,并为实现CO<sub>2</sub>净零排放争取必要的时间。同时,HFCs的减排成本为数十至数百元/每CO<sub>2</sub>当量吨,而其他温室气体的减排成本通常高于该水平。因此,优先减排HFCs有利于中国以较低成本实现温室气体总排放量的削减。另一方面,控制HFCs的使用对相关的制冷、保温技术创新和提高产品的能效提出了更高要求,这将推动行业的技术进步与产品更新,进而促进制冷行业、泡沫行业等的能源效率和产业结构调整。

履行《基加利修正案》也面临巨大挑战:(1) HFCs问题归根到底是温室气体的减排问题,HFCs大气寿命从1年到200余年,相同GWP值的不同种类HFCs排放对气候变化贡献并不相同,如何将HFCs减排纳入国家整体温室气体减排规划以应对1.5℃控制目标和碳中和目标,需要进一步深入研究和评估。(2) HFCs替代技术仍有局限。如汽车空调采用HFO-1234yf等物质替代HFC-134a的技术相对成熟,但会显著增加替代成本。其他替代技术的安全性和潜在的环境问题仍待解决,如替代房间空调中HFC-410A的HC-290就具有一定的可燃性,替代过程将增加额外的安全成本。因此,推动替代技术的研发并制定相关标准,对实现减排目标十分必要。(3) HFCs监测与核准体系亟须完善。中国已经建立了HFCs进出口许可证管理制度,对HFCs的进出口监管工作有极大推动作用。但国家层面的HFCs监测与核准体系有待进一步完善,包括针对HFCs的大气浓度观测系统以及企业生产排放的报告核准制度等。监管体系的进一步建设与完善,将为后续的履约成效评估与履约策略制定提供重要支撑。

**作者单位:**北京大学环境科学与工程学院