

## 关于消耗臭氧层物质的 蒙特利尔议定书

Distr.: General  
8 June 2023

Chinese  
Original: English

### 关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书

#### 缔约方第三十五次会议

2023年10月23日至27日，内罗毕

高级别会议临时议程\*项目3

#### 各评估小组介绍其关于2022年四年期评估的 综合报告

## 科学评估小组、环境影响评估小组及技术和经济评估小组 2022年评估综合报告

### 秘书处的说明

1. 本说明在附件中载列了一份综合报告，重点介绍根据《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》第6条编写的以下三份2022年四年期评估报告的主要调查结果：

(a) 科学评估小组编写的《臭氧消耗的科学评估：2022年》；

(b) 环境影响评估小组编写的《平流层臭氧消耗、紫外线辐射及其与气候变化相互作用的环境影响：2022年评估报告》；

(c) 技术和经济评估小组编写的《技术和经济评估小组：2022年评估报告》。

2. 本综合报告由各评估小组的共同主席编写。各项评估报告发布在臭氧秘书处网站的各评估小组门户网站<sup>1</sup>以及蒙特利尔议定书缔约方不限成员名额工作组第四十五次会议门户网站上，<sup>2</sup>供各缔约方审议。秘书处谨对三个评估小组所做的工作表示衷心感谢。

\* UNEP/OzL.Pro.35/1。

<sup>1</sup> <https://ozone.unep.org/science/assessment/sap>；<https://ozone.unep.org/science/assessment/eeap>；<https://ozone.unep.org/science/assessment/teap>。

<sup>2</sup> <https://ozone.unep.org/meetings/45th-meeting-open-ended-working-group-parties/pre-session-documents>。

## 附件

# 科学评估小组、环境影响评估小组及技术和经济评估小组 2022 年评估综合报告

## 各评估小组的共同主席

### 科学评估小组

David W. Fahey, 美利坚合众国国家海洋和大气管理局地球系统研究实验室化学科学司

Paul A. Newman, 美利坚合众国国家航空航天局戈达德空间飞行中心

John A. Pyle, 大不列颠及北爱尔兰联合王国剑桥大学国家大气科学中心

Bonfils Safari, 卢旺达大学科学和技术学院

### 环境影响评估小组

Paul Barnes, 美利坚合众国新奥尔良洛约拉大学

Janet F. Bornman, 澳大利亚莫道克大学气候适应性农业研究、教育与培训、食品未来研究所

Krishna K. Pandey, 印度木材科学与技术研究所

### 技术和经济评估小组

Bella A. Maranion, 美利坚合众国美国环境保护局

Marta Pizano, 哥伦比亚独立专家

Ashley Woodcock, 大不列颠及北爱尔兰联合王国曼彻斯特大学国民保健服务基金会信托基金

## 一、 引言

1. 科学评估小组、环境影响评估小组及技术和经济评估小组负责在其专门知识领域内向《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》缔约方提供定期评估。本报告归纳综合了三个评估小组的 2022 年评估报告。其中重点介绍与《蒙特利尔议定书》相关的科学和技术问题以及《议定书》的气候和环境惠益，详细讨论见这些评估小组各自的评估报告：

科学评估小组

(<https://ozone.unep.org/science/assessment/sap>)

环境影响评估小组

(<https://ozone.unep.org/science/assessment/eeap>)

技术和经济评估小组

(<https://ozone.unep.org/science/assessment/teap>)

2. 本报告提供最新资料，重点介绍《蒙特利尔议定书》在限制臭氧消耗物质和氢氟碳化物的大气丰度增长，从而减少平流层臭氧消耗、避免进一步加剧气候变化并保护环境方面取得的成功。越来越清晰的迹象表明，这些行动正在使臭氧得到恢复，特别是平流层上部和南极地区上空的臭氧。随着旨在逐步削

减氢氟碳化物的 2016 年《蒙特利尔议定书基加利修正》得到执行，未来可以在很大程度上避免气候变暖，此外，根据《议定书》的规定减少臭氧消耗物质生产和消费，也可以避免气候变暖。

3. 由于有了《蒙特利尔议定书》，避免了平流层臭氧消耗及其引起的紫外线辐射增加对人类健康和环境造成的重大影响。由于臭氧层需要几十年才能完全恢复，因此仍必须长期监测臭氧消耗物质、氢氟碳化物、臭氧和紫外线辐射。

## 二、 主要调查结果

### A. 根据《蒙特利尔议定书》采取的行动继续使受控臭氧消耗物质的大气丰度下降，并推进平流层臭氧层的恢复

4. 2018 年四年期评估以来，长寿命臭氧消耗物质造成的对流层总氯和对流层总溴的大气丰度均有所下降。在《蒙特利尔议定书》受控物质中，观测到的对流层氯和对流层溴的下降速率分别为每年万亿分之  $15.4 \pm 4.1$  氯和每年万亿分之  $0.18 \pm 0.05$  溴，接近于 2018 年评估的基线设想情况。极短寿命气体产生的对流层氯的增速为每年万亿分之  $2.1 \pm 0.6$  氯，这些气体的来源主要是人为的，不受《蒙特利尔议定书》的管制。

5. 住宅、商业、工业、农业、医疗和军事部门均在逐步淘汰臭氧消耗物质方面继续取得进展，臭氧消耗物质的生产和消费已经在全世界的许多应用中逐步淘汰。

- 非第 5 条缔约方逐步淘汰二氟氯甲烷消费和生产的工作已基本完成，第 5 条缔约方正在取得进展。
- 在逐步淘汰泡沫中的含氢氯氟烃用途方面取得了重大进展。如今几乎每种泡沫应用都有可以用于商业用途的替代发泡剂。
- 甲基溴受控用途的逐步淘汰工作已基本完成，但仍有大量的检疫和装运前用途，因为它们目前得到豁免，不受《蒙特利尔议定书》管制。然而，其中很大一部分用途已经确定了替代品，并且一些国家已在使用替代品。
- 在灭菌用途中逐步淘汰受控物质的工作被视为已完成。所有气雾剂应用都有在技术和经济上可行的替代品，但并非所有替代品都适合于所有地点的所有应用。
- 全球升温潜能值低的替代制冷剂可用于所有制冷、空调和热泵应用，这些应用占有所有含氢氯氟烃和氢氟碳化物排放的主要部分。这些替代品正在一些应用和区域得到广泛应用，但可获得性仍然是大规模采用全球升温潜能值低的制冷剂和推进实现《基加利修正》逐步削减时间目标的一大障碍。

6. 随着臭氧消耗物质丰度下降，臭氧以同等速度恢复的证据得到加强。

- 虽然在气象的年际变化驱动下，臭氧洞大小、强度和寿命的年际变化很大，但南极的臭氧柱总量继续恢复。
- 在南极地区以外（从北纬 90 度到南纬 60 度），1996 年以来臭氧柱总量恢复的证据有限，而且置信度很低。

- 预计南极的臭氧柱总量将在 2066 年左右恢复到 1980 年的数值，北极为 2045 年左右，而恢复到接近全球平均水平（北纬 60 度到南纬 60 度）的时间则在 2040 年左右。

7. 平流层臭氧的趋势因海拔和地理区域而异。

- 在极地地区以外，观测和模型均一致显示平流层上部的臭氧在继续恢复。
- 相比之下，平流层下部的臭氧尚未出现恢复迹象。
- 模型模拟得出两个半球中纬度平流层下部臭氧小幅恢复，但观测中未见。调和这一差异是确保充分了解臭氧恢复情况的关键。

8. 迄今为止还没有公开发表的证据能够表明，与冠状病毒病（COVID-19）大流行有关的封锁措施影响了臭氧消耗物质或其替代品的大气丰度趋势，亦或是影响了平流层臭氧的趋势。据了解，由于与 COVID-19 相关的供应链和物流问题、原材料短缺、制造问题和恶劣天气，加上同时期的全球需求不断增加，某些部门从 2020 年开始遇到全球升温潜能值低的替代品供应短缺问题。虽然这些供应问题现在已不那么严重，但仍需要认真监测，因为长期供应短缺可能会导致各使用部门过渡到不使用氢氟碳化物的时间滞后。

## **B. 《蒙特利尔议定书》为环境可持续性以及人类健康和福祉作出贡献，符合许多可持续发展目标**

9. 《蒙特利尔议定书》通过保护平流层臭氧层和促进减缓气候变化，继续为落实许多可持续发展目标作出贡献。相关的目标涉及气候变化、空气和水质、生物多样性和生态系统、可持续生产和消费、粮食安全、污染物和材料，以及人类健康。因此，《蒙特利尔议定书》通过保护人类健康以及维持健康、多样的陆地和水生生态系统，对可持续性具有广泛的意义。

10. 如果没有《蒙特利尔议定书》，全世界地表所受的太阳紫外线 B 辐射水平将会上升，而极地地区的变化将是最大的（例如南极仲夏紫外线指数原本可能在 1975 至 2065 年期间从 3 上升到 33）。此外，一项对极端设想情况的建模研究估计，如果世界上没有《蒙特利尔议定书》，紫外线 B 辐射大幅上升将对陆地植被造成影响，导致植物光合作用吸收的二氧化碳数量急剧减少。碳固存的减少反过来又会造成大气中的二氧化碳水平上升，导致到 2100 年全球平均地表温度额外上升 0.5–1.0 摄氏度。

11. 通过保护地球免受极端的紫外线 B 辐射，《蒙特利尔议定书》在保护人类健康方面发挥着关键作用。一项建模研究将经修正和调整的《蒙特利尔议定书》与臭氧消耗物质不受管制并在整个二十一世纪以每年 3% 的速度增加的极端设想情况进行了比较。该分析估计，由于有了《蒙特利尔议定书》，在 1890 至 2100 年出生的美利坚合众国人口中，避免了 1 100 万例黑色素瘤、4.32 亿例基底细胞癌和鳞状细胞癌（角质形成细胞癌）和 6 300 万例白内障（全球失明的主要原因）。其中约有一半病例是由于对最初于 1987 年通过的《蒙特利尔议定书》进行修正和调整而得以避免的。《蒙特利尔议定书》还使得人们能够通过户外活动接受适当的阳光照射，获得有益的健康效应（例如产生维生素 D 和改善免疫系统功能）。

12. 太阳紫外线辐射导致塑料的光降解，最终碎裂后形成微米和纳米塑料（直径分别小于 5 毫米和 0.1 微米的颗粒）。《蒙特利尔议定书》的执行可能减少了环境中新增微塑料的数量，但减少的具体数量及其生物后果仍然不确定。

### C. 《基加利修正》的各项规定预计将大幅减少氢氟碳化物排放，极大地保护未来的气候

13. 氢氟碳化物日益成为制冷和空调、气溶胶和泡沫部门的臭氧消耗物质替代品，并被用作灭火剂。虽然它们不含消耗臭氧的氯或溴，但它们是温室气体。2016 年通过并于 2019 年生效的《基加利修正》为在全球逐步削减特定氢氟碳化物的生产和消费制定了时间表。尽管目前氢氟碳化物的辐射强迫很小，但《基加利修正》旨在避免今后几十年的预测需求增加可能导致的排放量无节制增长及相关的升温。

14. 目前测量的大多数氢氟碳化物的大气丰度继续上升，与 2018 年评估的基线设想情况所预测的情况相符。2016 至 2020 年期间，第 5 条缔约方和非第 5 条缔约方的以二氧化碳当量计的氢氟碳化物全球排放量增加了 18%。

15. 目前预测的氢氟碳化物排放量低于 2018 年评估中的预测。在 2022 年更新的《基加利修正》设想情况中，2020–2050 年的累计排放量比上次评估中的相应设想情况低 14–18 皮克二氧化碳当量。新设想情况遵循非第 5 条国家对氢氟碳化物消费和生产采取的国家控制措施，反映出中国报告的消费量降低，依据关于非第 5 条国家氢氟碳化物用途的最新历史信息，采用 2020 年之前观测到的混合比率作为约束条件，并纳入关于减少氢氟碳化物的商业和工业制冷用途的假设条件。新设想情况还假定所有国家都遵守《基加利修正》的规定。

16. 根据 2022 年更新的《基加利修正》设想情况，预计 2100 年氢氟碳化物造成的年平均地表升温幅度为 0.04 摄氏度，而不采取控制措施的设想情况为 0.3–0.5 摄氏度。如果逐步削减氢氟碳化物的速度快于《基加利修正》的要求，则氢氟碳化物造成的气候变化可以得到进一步限制。

17. 大气观测得出的 2019 年全球三氟甲烷排放量为  $17.2 \pm 0.8$  千吨/年，远高于基于活动的估计数得出的该年的排放量 2.2 千吨/年。这些基于活动的估计数来自《联合国气候变化框架公约》下的排放报告、在《蒙特利尔议定书》下提交的关于生产和减排的信息，以及国家条例的估计效应。三氟甲烷的大气水平与向联合国气候变化框架公约秘书处报告的减排量大幅增加的情况不符。

18. 预计三氟甲烷排放量将在今后几十年增加。三氟甲烷作为二氟氯甲烷生产和其他工艺的副产品释放。其他此类工艺包括二氟甲烷生产、用二氟氯甲烷原料制造四氟乙烯（TFE）和六氟丙烯（HFP）、其他全氟化碳生产工艺（例如 HFC-125、HFC-134a 和 HFC-143a）以及氢氟烯烃（HFO）生产的一些步骤。

19. 在《基加利修正》下规划的逐步削减氢氟碳化物的工作，以及地区法规，正在推动工业界转向全球升温潜能值低的氢氟碳化物替代品和创新应用，特别是在制冷、空调和泡沫方面。然而，全球升温潜能值较低的新产品种类很多，为每种应用寻找最佳解决方案颇具挑战性，因为要考虑可燃性、毒性、可得性、成本、可及性和操作条件等因素。

20. 三氟乙酸（TFA）是某些氢氟碳化物、含氢氯氟烃、氢氟烯烃、氢氯氟烯烃（HCFO）和氟酮在大气中分解的产物。大气中形成的三氟乙酸迅速在降水中沉积并在到达地表（土壤或水），与碱金属（例如钠、钾、钙）形成盐。

三氟乙酸盐不发生反应，具有较长的环境寿命，但容易被动物排泄，因此不会在食物链中发生生物累积。像其他矿物盐一样，三氟乙酸盐在海洋和盐湖中积累。由于氢氟烯烃和氢氯氟烯烃的用途增加，预计未来几十年大气中形成的三氟乙酸数量将增加。虽然继续在环境中、包括在偏远地区发现三氟乙酸，但浓度非常低，目前认为它不太可能对人类和生态系统产生不利的毒理学后果。尽管如此，由于三氟乙酸在局部沉积方面有不稳定性，并对一些未检测的海洋生物有潜在影响，因此建议继续进行监测和评估。

#### **D. 在逐步削减氢氟碳化物时提高能效，可能加速并进一步增加《基加利修正》带来的气候惠益**

21. 全球对制冷和空调的需求迅速增长。在逐步削减氢氟碳化物的同时提高新的制冷、空调和热泵设备的能效有助于减少能源使用，从而有可能使逐步削减氢氟碳化物带来的气候惠益加倍。这种办法能在近期内为迈向温室气体净零排放作出成本效益较高的贡献。尽早改用含有全球升温潜能值低的替代品的高效制冷、空调和热泵设备，可降低能源成本，并避免全球升温潜能值高的氢氟碳化物制冷剂存量越积越多。

22. 随着技术的快速发展，所有部门都有了使用全球升温潜能值为低到中等的制冷剂且能效较高的制冷、空调和热泵设备，但不一定在所有国家都易于获得这类设备。

#### **E. 缔约方的成功行动扭转了 2013 至 2017 年期间观察到的排放量意外上升趋势**

23. 科学评估小组的 2018 年评估发现，2013–2017 年期间全球三氯氟甲烷排放量意外上升，但其 2022 年评估的结论是，全球三氯氟甲烷排放量在 2018 年后有所下降。鉴于最初的三氯氟甲烷排放量上升情况，进行了大量科学调查和政策应对。由于这些工作，三氯氟甲烷排放量在 2019 年和 2020 年均降至  $45 \pm 10$  千兆克。这一下降幅度表明，2012 年以后发生的大部分意外排放已经消除。

24. 三氯氟甲烷意外排放的很大一部分来自中国东部地区。该结论依据的是从几个东亚站点得到的区域观测数据。中国东部的三氯氟甲烷排放量自 2018 年以来的下降，可以解释所观测到的全球排放量降幅的  $60 \pm 30\%$ 。虽然全球地面观测站网络提供了三氯氟甲烷总排放量的估计数，但该网络的地理分布过于稀疏，无法充分评估区域排放量。

25. 仅三氯氟甲烷存量造成的排放无法解释 2013–2017 年上升的原因，意味着在此期间有未报告的三氯氟甲烷生产和使用情况，最有可能的用途是闭孔泡沫。在较早时期，即 2007 至 2012 年期间也可能发生了未报告的生产。

26. 区域观测表明，某些二氟二氯甲烷排放可能与未报告的三氯氟甲烷生产有关。存量造成的排放的不确定性很高，而且观测网络的薄弱环节过多，因而无法确定二氟二氯甲烷意外排放是否已经完全停止。

#### **F. 四氯化碳丰度继续下降，下降速度低于根据以往趋势所预计的速度**

27. 四氯化碳的大气丰度继续下降，但下降速度低于根据以往趋势预测的速度。2016 和 2020 年，基于大气观测的全球四氯化碳排放量平均估计数均为  $44 \pm 15$  千兆克/年。

28. 2013–2019 年期间，中国东部地区的四氯化碳排放量表现出的逐年变化可能与三氯氟甲烷生产有关。排放量在 2013 年之后上升，2016 年达到  $11.3 \pm 1.9$  千兆克/年，2019 年下降到  $6.3 \pm 1.1$  千兆克/年。

29. 近年来，四氯化碳的产量有所增加，主要原因是对氢氟碳化物、氢氟烯烃/氢氯氟烯烃和全氯乙烯生产原料的需求不断增长。由于对氢氟烯烃/氢氯氟烯烃的需求不断增加，四氯化碳产量可能会继续增加。大部分排放是四氯化碳的生产、搬运、供应链和使用所造成的。其他的四氯化碳排放可能来自非氯甲烷生产，例如乙烯基链生产工艺，这被确定为四氯化碳排放的潜在新来源。

## G. 大气中若干次要臭氧消耗物质的丰度一直在上升；这些物质累积起来最终可能对平流层臭氧产生影响

30. 次要物质 CFC-13、CFC-112a、CFC-113a、CFC-114a 和 CFC-115 的全球丰度从 2016 年的万亿分之  $16.0 \pm 0.3$  上升到 2020 年的万亿分之  $17.2 \pm 0.3$ 。大气观测证实，东亚是重要的来源区域。上述调查结果可能表明，这些丰度相对较低的化合物的排放量有所上升或保持稳定。其中一些无法解释的排放可能是由于原料或副产品泄漏而发生的，其余的则情况不明。这些物质对平流层氯负荷和平流层臭氧消耗的影响很小。

31. 短寿命氯化溶剂的生产和使用不受《蒙特利尔议定书》的管制，有些溶剂的使用量很大。它们对平流层臭氧的影响及其臭氧消耗潜能值因排放季节和地点而异。这些物质的排放量今后可能增加，即使长寿命臭氧消耗物质的排放量下降。用作原料的短寿命化学品的重要实例是  $\text{CHCl}_3$ （氯仿）、 $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ （二氯甲烷或 DCM）、 $\text{CHCl}=\text{CCl}_2$ （三氯乙烯或 TCE）和  $\text{CCl}_2=\text{CCl}_2$ （全氯乙烯或 PCE）。极短寿命氯化物质的人为排放量持续上升（正如二氯甲烷在过去二十年来的情况），将导致今后平流层臭氧消耗增加。

32. 二氯甲烷（寿命期 180 天）是极短寿命含氯物质的主要成分。其大气丰度在 2016 至 2020 年期间继续上升，增长速度略低于 2016 年之前。上升的主要原因是亚洲的二氯甲烷排放量增长。鉴于化学品生产和二氯甲烷用途的市场趋势，目前预计全球的二氯甲烷产量和大气浓度在今后几十年内不会显著上升。二氯甲烷的主要用途是溶剂（如用于制药、脱漆、粘合剂等领域）和发泡剂，也用作生产工业用二氟甲烷（HFC-32）的原料。近年来，一些区域（如欧洲联盟和美国）的溶剂用途有所减少，而另一些区域（如南亚和东亚）的溶剂用途大幅增加。二氯甲烷作为 HFC-32 生产原料的用途在全球持续增加。今后的全球趋势很难预测。鉴于二氯甲烷具有毒性，一般溶剂用途正日益受到监管。尽管如此，用于溶剂和原料用途的二氯甲烷的全球产能目前正在增加。

33. 自上次评估以来，2020 年极短寿命物质造成的平流层氯输入量估计增加了约万亿分之 10，达到万亿分之  $130 \pm 30$ ，约占氯总输入量的 4%。极短寿命溴化物质主要来自天然来源，对平流层溴的贡献为万亿分之  $5 \pm 2$ ，而且没有显示出长期变化。

34. 新证据表明，极短寿命含碘物质（主要来自天然来源）被输送到平流层，以颗粒或气相形式贡献万亿分之 0.3–0.9 的碘。未能通过观测获得趋势估计数。

## H. 生产、附带生产、原料用途和中间体

35. 自 2002 年以来，所报告的臭氧消耗物质总产量略有增加，原料用途产量的增加抵消了受控排放用途产量的减少。在过去十年，臭氧消耗物质的原料用途总体上增加，主要原因是含氢氟烃（特别是二氟氯甲烷）的原料用途增加，而近来氢氟烯烃得到采用，推动四氯化碳的原料用途增加。

36. 化学制造过程中的排放是产品、平行产品、副产品、原料或中间体造成的：

- 在生产工艺中，受控物质附带生产的发生途径是，在生产预期产品的过程中反应过度或反应不足、存在正在发生反应的杂质，以及非预期的副反应。
- 中间体是原料在经过化学转化成为产品时形成的化学构件。中间体的排放率远低于最终产品。

37. 一些生产工艺会产生三氟甲烷附带生产和排放，包括在二氟氯甲烷和三氟甲烷生产过程中。其他碳氟化合物生产工艺也可能导致三氟甲烷附带生产，但速率较低（另见上文第三节）。

38. 二氟氯甲烷主要用作生产四氟乙烯和六氟丙烯的原料，而四氟乙烯和六氟丙烯的用途是生产含氟聚合物。用二氟氯甲烷原料生产四氟乙烯/六氟丙烯会产生三氟甲烷和八氟环丁烷（PFC-c-318 或 c-C4F8）附带生产和排放，这两种物质的全球升温潜能值都很高。在不考虑可能减排的情况下，上述排放的合计数量（以二氧化碳当量计）大于二氟氯甲烷生产造成的三氟甲烷估计排放量。

39. 目前，全氯氟烃与含氢氟氯烃的合计全球升温潜能值加权排放量与氢氟碳化物相当。要减少今后全氯氟烃和含氢氟氯烃的排放量，就要解决存量以及生产、附带生产和原料用途产生的排放问题。长寿命三氟甲烷（主要是生产二氟氯甲烷的副产品）的全球排放量可能增长，除非加大减排力度或减少二氟氯甲烷的原料用途。

## I. 虽然哈龙丰度正在缓慢下降，但对哈龙 1301 的需求仍然存在，如果没有新的生产，则今后可能无法满足这种需求

40. 哈龙产生的对流层溴含量从 2006 年的万亿分之  $8.5 \pm 0.1$  的峰值下降到 2020 年的万亿分之  $7.3 \pm 0.1$ 。2016 至 2020 年，哈龙 1211、哈龙 2402 和哈龙 1202 的丰度继续下降。哈龙 1301 的变化率仍近乎为零。2020 年，哈龙 1301 是大气中丰度最高的哈龙物质。

41. 哈龙 1301 的排放量似乎高于灭火用途的固定存量得出的预期数量，这表明存在其他排放源，例如原料生产和使用。如若不然，则排放量较高的原因可能是哈龙 1301 存量的排放速度高于预期。如果是这种情况，则哈龙-1301 存量可能远低于满足当前需求所需的数量。

42. 对哈龙的消防用途的需求持续存在，如果不采用替代品，现有存量最终将无法需求。哈龙有持续的长期用途（例如用于石油天然气设施、核设施和军事设施），而且民航对哈龙 1301 的需求日益增长，原因是新飞机发动机和货舱消防方面的应用缺乏替代品。目前估计的哈龙 1301 耗尽时间范围是 2030 至 2049 年，届时将不再供应哈龙 1301，这意味着民用航空业（和其他行业）必须依靠自己的哈龙 1301 库存，以避免由于缺乏适当的防火措施而使飞机停飞。



军事部门的新飞机设计可能只能使用哈龙 1301 或全球升温潜能值高的氢氟碳化物，以满足严格的设计/生命安全要求。

43. 非第 5 条缔约方的逐步削减氢氟碳化物的法规对氢氟碳化物灭火剂的成本和供应量的影响比最初预计的要大，因为氢氟碳化物的全球升温潜能值高，而一种适合于某些应用的全球升温潜能值低的氟化酮类物质已有供应。随着新生产的防火用氢氟碳化物的供应因执行逐步削减法规而减少，氢氟碳化物再循环在满足需求方面将起到更重要的作用。

## **J. 量化臭氧消耗物质存量及其持续排放的时间进程是确定臭氧层恢复速度及对气候的潜在影响的关键**

44. 必须监测受控物质存量并评估其在设备和产品中的积累情况，因为它们的排放不受控制，对臭氧消耗和气候造成潜在影响。存量的定义是包含在现有设备、库存、泡沫和其他产品中，因此尚未释放到大气中的受控物质的总量。其中包括“可及”存量，又称“活跃”存量，即受控物质包含于正在使用的设备或产品中，因而在使用寿命结束进入废物流时可能可及或可得，从而能够进行管理。相反，“不可及”或“不活跃”存量指的是与设备或产品一起被填埋或非法倾倒的物质。

45. 对活跃的臭氧消耗物质和氢氟碳化物存量进行有效管理，旨在通过尽量减少排放和支持通过回收氢氟碳化物以进行再循环、再生和再利用来逐步减少氢氟碳化物，从而尽量减少与臭氧消耗物质和氢氟碳化物的释放相关的全球影响。《蒙特利尔议定书》鼓励在寿命结束时以无害环境方式销毁过剩或受污染的臭氧消耗物质和氢氟碳化物，因为这样做可以避免不必要的排放，并保护平流层臭氧层和（或）气候。由于非第 5 条缔约方的存量不断减少以及第 5 条缔约方迅速采用含氢氟碳化物的设备，第 5 条缔约方、特别是制冷和空调以及泡沫部门的臭氧消耗物质和氢氟碳化物存量正在迅速增长，到 21 世纪 30 年代初将在全球存量中占主导地位。对于制冷和空调以及泡沫部门，2022 年活跃存量中含有的臭氧消耗物质和氢氟碳化物估计总量为 6 000 千吨，相当于 16 千兆吨二氧化碳当量。

## **K. 大气中甲基溴浓度自 2016 年以来没有下降**

46. 2016–2020 年期间，全球大气中甲基溴（ $\text{CH}_3\text{Br}$ ）的平均丰度在万亿分之 6.5 和万亿分之 6.9 之间变化，没有清晰的总体趋势。北半球的丰度比南半球高大约万亿分之 0.8。据报告，甲基溴受控、非豁免（即非检疫和装运前）用途的逐步淘汰工作已基本完成。缔约方报告说，到 2023 年 1 月 1 日，此类受控用途的 66 428 吨基线消费量中的 99.8% 以上已逐步淘汰。这意味着甲基溴目前几乎完全用于检疫和装运前用途，消费量大体上稳定在每年 1 万吨，并集中在大约 17 个消费国。

47. 检疫和装运前用途已有经济和技术上可行的替代品，可以取代目前约 40% 的用途。甲基溴的回收和（或）再循环可避免检疫和装运前用途所产生的甲基溴排放中的大约 70%；不过，这种技术成本高昂，而且几乎没有采用这种技术的激励因素。减少甲基溴的所有剩余的检疫和装运前用途的排放，以及查明和停止任何未报告的用途，据认为是使大气中的浓度恢复到自然水平的重要因素。由于甲基溴在大气中的寿命相对较短（0.7 年），因此如果采用适当的替代品，以及在某些情况下进行回收/销毁，在有助于很快降低其大气浓度。

## L. 平流层臭氧恢复的时间和程度取决于今后臭氧消耗物质和温室气体的浓度

48. 模型的模拟结果表明，假设《蒙特利尔议定书》继续得到遵守，则今后极地地区以外臭氧层的恢复情况将主要由温室气体决定。今后二氧化碳、甲烷（CH<sub>4</sub>）和一氧化二氮（N<sub>2</sub>O）的可能浓度水平范围很广，这是一个重要的局限因素，导致难以准确预测今后的全球臭氧以及臭氧空洞和其他地理区域的情况。与温室气体排放量较小（气候强迫较低）的设想情况相比，在假设温室气体排放量较大（气候强迫较高）的设想情况下，臭氧柱总量恢复到1980年数值的速度较快。

49. 对于南纬60度到北纬60度的地区，模拟结果表明，在气候强迫较高的设想情况下，臭氧总量恢复到1980年水平的速度较快，因为今后二氧化碳和甲烷大幅增加趋于导致臭氧增加。在低气候强迫的设想情况下，根据模型预测，南纬60度到北纬60度上空的臭氧可能无法在本世纪末达到1980年的水平。在这种气候强迫较低的模拟中，今后臭氧总量下降受一氧化二氮上升的驱动，其作用超过今后二氧化碳和甲烷引起的臭氧小幅增加。对于中等气候强迫设想情况，预计南纬60度到北纬60度上空的臭氧总量将在2040年左右恢复到1980年的水平。

50. 除了臭氧消耗物质和温室气体浓度的变化外，对今后臭氧水平的预测还取决于影响大气化学性质和成分的其他因素：

- 未来的商用超音速或高超音速飞机机队可能会通过向平流层排放大量水蒸气和氮氧化物而导致平流层臭氧消耗。
- 火箭发射目前对平流层臭氧总量的影响很小（远低于0.1%）。然而，火箭系统使用新推进剂（例如氢和甲烷）和发射频率增加可能会在未来产生重大影响。此外，空间硬件在重返大气层时解体，可能对平流层的化学性质和成分产生影响，进而影响到臭氧。
- 火山爆发产生的平流层气溶胶和水蒸气的变化，可能导致臭氧消耗增加和平流层环流改变。随着臭氧消耗物质浓度在今后几十年下降，臭氧对火山喷发的敏感性将降低。
- 正在研究刻意向平流层注入硫酸盐气溶胶，作为减少气候变暖及相关影响的一种可能选择。模型的模拟结果表明，注入气溶胶有可能通过化学和动力学过程造成臭氧变化，这些变化的幅度和迹象在很大程度上取决于设想的注入方式以及人为活动造成的气候变化状况。

## M. 平流层臭氧消耗与气候变化有关

51. 如以往的评估报告所述，臭氧消耗物质是导致地表升温的强温室气体。臭氧本身也是一种温室气体，其变化会影响气候。二氧化碳增加和臭氧减少都趋于使平流层降温（而今后臭氧增加将造成升温趋势）；远离极地地区的平流层降温可以减缓臭氧破坏的速度，导致平流层臭氧浓度升高。

52. 根据观测结果，估计全球平流层中上部的长期降温速率（每十年0.6开式度）与先前的评估相似。长期趋势主要是受二氧化碳和平流层臭氧增加的驱动。今后，温室气体增加和臭氧恢复效应将对平流层温度和环流产生相反的影响。

53. 新证据表明，臭氧恢复导致观测到的南半球大气环流趋势在臭氧消耗期和恢复期之间发生改变。模型的模拟结果支持将这些改变归因于臭氧恢复。这些结果提供的证据表明，《蒙特利尔议定书》带来南极臭氧恢复之后，南半球环流趋势相应地发生改变。

54. 虽然没有检测到北极臭氧的长期变化对地表造成影响，但新证据表明，在个别年份，春季北极臭氧量低可能会放大现有的平流层环流异常及其对对流层环流和地表气候的影响。

55. 新证据证实，臭氧消耗不太可能引起自 1979 年以来观测到的高纬度海面降温和南极海冰变化。

## N. 遵守《蒙特利尔议定书》的规定可确保平流层臭氧和气候得到保护

56. 全面遵守《蒙特利尔议定书》的规定有助于臭氧恢复和气候保护（如上所述）：

- 臭氧柱总量将在 2066 年左右恢复到 1980 年的数值，北极为 2045 年左右，而恢复到接近全球平均水平的时间则在 2040 年左右。
- 2020 年，《蒙特利尔议定书》避免了  $0.17 \pm 0.06$  摄氏度的全球地表升温和  $0.45 \pm 0.23$  摄氏度的北极地表升温。预测数据表明，到本世纪中叶，与臭氧消耗物质排放不受控制的设想情况相比，《议定书》有可能避免  $0.79 \pm 0.24$  摄氏度的升温。
- 到 2100 年，《基加利修正》将避免 0.3–0.5 摄氏度的升温。

57. 各评估小组的专家在科学和技术领域开展了成功协作，促成了协调研究和分析，为 2013 至 2017 年发生的三氯氟甲烷意外排放来源提供了答案。该问题突出表明必须保持警惕，以维持履约、保证臭氧层的恢复，并最大限度地加快恢复速度。

58. 为加速臭氧层的恢复和保护气候而采取行动的其他备选办法包括，消除剩余的臭氧消耗物质及其排放，例如原料用途产生的排放、副产品排放、检疫和装运前应用造成的甲基溴排放、极短寿命物质排放以及受控物质库存的排放。每项行动能够单独带来小到中等的臭氧惠益；但它们可以形成合力，将臭氧恢复时间提前最多 16 年。

## O. 科学、技术和环境政策考虑

59. 按照目前对今后几年消除臭氧消耗物质原料排放的估计，中纬度平流层有效氯当量（EESC）恢复到 1980 年的丰度的时间可以提前近四年，主要原因是四氯化碳减少，同时臭氧消耗物质的合计气候强迫下降。必须更好地了解 and 监测生产、附带生产和原料使用中受控物质的排放情况，因为它们对全球总排放量的贡献很大。

60. 2021 年，所报告的甲基溴生产几乎全是用于检疫和装运前用途，而这不属于《蒙特利尔议定书》规定的受控用途。目前已有甲基溴的替代品，以及可用于减少排放量的回收技术。消除《蒙特利尔议定书》目前允许的检疫和装运前用途在今后造成的甲基溴排放，可以使中纬度平流层有效氯当量提前两年恢复到 1980 年的丰度（如先前的评估所指出）。

61. 以二氯甲烷为主的人为极短寿命含氯物质的排放量继续增长，并导致臭氧消耗。如果二氯甲烷排放量继续保持目前的水平，则它们消耗的全球臭氧柱总量年平均值为大约 1 个多布森单位。消除这些排放将迅速扭转这种消耗。

62. 人为一氧化二氮排放现在是最大的不受管制的臭氧消耗物质排放来源，因为其他较大的排放源（三氯氟甲烷、二氟二氯甲烷和三氟三氯乙烷）已被逐步淘汰。2023–2070 年期间人为一氧化二氮排放量平均减少 3%，可能导致同期全球臭氧柱总量的年平均值增加约 0.5 个多布森单位，并在 2023–2100 年期间使辐射强迫平均减少约 0.04 瓦特/平方米。

63. 随着第 5 条国家、特别是制冷和空调以及泡沫部门的臭氧消耗物质和氢氟碳化物存量增加，这些国家有可能用于回收和管理的数量可望增加。氢氟碳化物的消费主要发生在制冷、空调和热泵部门，据估计，该部门占第 5 条国家消费量的 95% 左右，占全球消费量的 80%。鉴于较大第 5 条国家的氢氟碳化物存量规模和增长情况，及时努力建立和资助报废管理能力以防止氢氟碳化物排放可能具有重要意义。为支持报废臭氧消耗物质和氢氟碳化物的优先回收/再循环和无害环境销毁、从而最大限度地减少其排放，消除报废臭氧消耗物质和氢氟碳化物越境转移的障碍十分重要。

64. 各缔约方正在根据《基加利修正》推进制定逐步削减氢氟碳化物的国家法规，这刺激了市场对全球升温潜能值较低的替代品和能效较高设备的需求。即便如此，但全球升温潜能值较低的替代品种类很多，所以不易为每种应用寻找最佳解决方案，因为要考虑可燃性、毒性、可得性、成本、可及性，以及设备和系统的操作条件等因素：

- 全球升温潜能值超低、低和（或）中等的替代制冷剂可用于所有制冷、空调和热泵应用，并且已经在一些制冷、空调和热泵应用中及在一些区域得到广泛应用。可获得性仍然是大规模采用的一大障碍。
- 大多数全球升温潜能值超低、低和中等的制冷剂具有不同的可燃性等级（可燃性较低、可燃和可燃性较高）。制冷、空调和热泵部门继续更新相关的安全标准，以推动使用替代制冷剂（例如提高独立式商用制冷、空气对空气式空调和纯加热式热泵应用的可燃制冷剂允许充注量限值）。
- 针对含有全球升温潜能值高且能效低的制冷和空调设备的活跃存量采取措施，可有助于进一步减少能源需求，并减少全球升温潜能值高的有害制冷剂的存尾维修用量。
- 随着氢氟烯烃和氢氯氟烯烃替代品的新产能建成，一些部门的全球升温潜能值低的替代品的供应短缺情况得到了缓解，但短缺已经导致各使用部门过渡到不使用氢氟碳化物的时间滞后。需要监测今后是否有充足的供应来满足因逐步削减氢氟碳化物而导致的不断增长的需求，以避免未来供应中断。
- 在大多数第 5 条缔约方，尤其是在消费量低和极低的国家，大部分臭氧消耗物质和氢氟碳化物制冷剂用于维修用途，因此，确保支持进行适当培训和正确维修，可以减少臭氧消耗物质和氢氟碳化物制冷剂的直接排放，并减少制冷、空调和热泵设备在设备使用寿命期间的能效损失。

- 由于一些全球升温潜能值低的替代品的可得性、安全性和成本因素，以及产品性能要求，在具体的泡沫应用中仍然存在一些挑战，特别是对于一些第 5 条国家的小型企业而言。
- 虽然全球用于电子制造和镁生产的氢氟碳化物消费量相对较小，但用于电子制造的消费量正在增加，目前氢氟碳化物的替代品包括其他氟化气体，其中许多气体的全球升温潜能值较高。
- 弃用全球升温潜能值高的氢氟碳化物加压计量吸入器是一项重大任务，如果不加以认真管理，则可能有严重的公共卫生风险。

65. 大气监测站网络对长寿命臭氧消耗物质和氢氟碳化物的人为排放所造成的全球地面浓度进行观测。然而，区域大气监测方面的薄弱环节限制了科学界查明和量化许多来源地区排放的受控物质的能力。

66. 几台能够对臭氧相关大气成分（例如活性氯、水蒸气和长寿命迁移示踪剂）进行高垂直分辨率全球测量的空间仪器将在几年内退役。如果不更换这些仪器，今后监测和解释平流层臭氧层变化的能力将受到削弱。

67. 有人提出平流层气溶胶注入这种办法，作为抵消全球升温的一种可能的选择；根据 2022 年科学评估小组报告的职权范围，评估了平流层气溶胶注入对臭氧层的影响。查明了一些重要的潜在后果，例如南极臭氧洞加深和臭氧恢复时间延迟。许多知识差距和不确定性导致目前无法进行更可靠的评价。

68. 影响二十一世纪臭氧层的各种因素受到更大关注，包括：

- 一氧化二氮、甲烷和二氧化碳浓度进一步上升；
- 臭氧消耗物质和氢氟碳化物原料的使用和排放迅速扩大；
- 甲基溴的检疫和装运前用途继续存在而且甚至增加；
- 热带地区臭氧柱总量造成的气候变化；
- 异乎寻常的野火和火山爆发；
- 民用火箭发射频率增加，以及拟新增的超音速商用飞机机队的排放。

69. 虽然对紫外线辐射影响的认识正在提高，但在充分评估今后的地表太阳紫外线辐射和气候变化对人类健康、粮食安全、生态系统健康和生物多样性的交互影响方面仍然存在许多挑战。存在这些挑战的部分原因是，无法确定气候逐渐变化和周期性极端气候事件的效应将如何改变地球表面紫外线照射，进而影响快速变化的环境中的物种适应能力以及生态系统结构和功能。因此，显然需要将太阳紫外线辐射与其他气候变化因素一起纳入针对人类健康以及水生和陆地生态系统的实验和建模研究，以便能够更可靠地评估不同的未来全球气候设想情况下紫外线辐射变化的环境效应。