

IPCC/TEAP 特别报告

保护臭氧层和全球气候系统：与氢氟碳化物和全氟化碳相关的问题

决策者摘要

IPCC 第一、三工作组报告

和

技术摘要

IPCC 第一、三工作组已接受但尚未详细通过的报告



根据《联合国气候变化框架公约》和《蒙特利尔议定书》的要求，政府间气候变化专门委员会（IPCC）和技术与经济评估专家组（TEAP）撰写了此报告



IPCC/TEAP 特别报告

**保护臭氧层和全球气候系统：
与氢氟碳化物和全氟化碳相关的问题**

决策者摘要

IPCC 第一、三工作组报告

和

技术摘要

IPCC 第一、三工作组已接受但尚未详细通过的报告

根据《联合国气候变化框架公约》和《蒙特利尔议定书》的要求，
政府间气候变化专门委员会（IPCC）和技术与经济评估专家组（TEAP）
撰写了此报告

前言

1988年，世界气象组织（WMO）和联合国环境规划署（UNEP）共同创立了政府间气候变化专门委员会（IPCC），旨在评估可以获得的有关气候变化科学、影响、经济学以及减缓和/或适应气候变化选择方面的信息。另外，IPCC应联合国气候变化框架公约（UNFCCC）缔约方大会（COP）的要求提供科学、技术及社会经济方面的建议。IPCC已完成一系列评估报告、特别报告、技术报告、方法学报告及其它方面的报告，这些文件已成为标准参考文献，并被决策者、科学家和其他专家广泛使用。

《保护臭氧层和全球气候系统特别报告》是应《联合国气候变化框架公约》¹（UNFCCC）（以下简称《公约》）和《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》²（以下简称《蒙特利尔议定书》）邀编写的。IPCC和《蒙特利尔议定书》技术和经济评估专家组（TEAP）受命合作撰写科学、技术及政策相关的而且涵盖均衡的特别报告，并要求该报告科学地评估臭氧层和气候变化之间的相互关系，提供便于用户使用的、政策中性的信息，以帮助各缔约方和利益相关者在评估消耗臭氧层物质的替代品时做出明智的决定。

长久以来一直在讨论这些议题，包括在《公约》第4次缔约方大会（1998年在布宜诺斯艾利斯举行）上进行的审议，此次大会邀请各缔约方和所有其它相关组织向《公约》秘书处提供有关限制氢氟碳化物（HFCs）和全氟化碳（PFCs）（作为消耗臭氧层物质的替代品）排放的可以利用的潜在方法和手段的信息。1999年，召开了IPCC/TEAP专家会议³，会议讨论了这一问题，获得了目前相关工作的重要背景以及所需的科学、技术

和政策的新信息。

在《公约》第8次缔约方大会做出决定之后，《蒙特利尔议定书》第14次缔约方会议（2002年11月25—29日，意大利罗马）对此项决定表示欢迎，并要求TEAP与IPCC合作撰写本特别报告，而且要求向《蒙特利尔议定书》及《公约》附属科技咨询机构（SBSTA）下属的开放工作组同时提交该报告。2003年2月19—21日在法国巴黎召开的IPCC第20次全会期间的全体会议上通过了本特别报告的范围、结构和大纲。

按照IPCC惯例，该报告的成功完成主要是依靠全球许多相关学科专家的热情与合作。我们要感谢所有主要作者召集人、主要作者、撰稿人、编审和评审专家。他们投入了大量的时间和精力来完成该报告，我们非常感谢他们对IPCC工作的支持。

我们还要向该报告的指导委员会表达诚挚的谢意，该指导委员会由来自技术和经济评估专家组（TEAP）和政府间气候变化专门委员会（IPCC）的联合主席组成：

技术和经济评估专家组（TEAP）的 Stephen Andersen, Lambert Kuijpers 和 José Pons, 以及政府间气候变化专门委员会（IPCC）的 Susan Solomon, Ogunlade Davidson 和 Bert Metz（指导委员会主席）

我们相信，该特别报告提供了涵盖均衡的科学、技术和政策相关的评估，它将有助于所有相关部门在考虑采用消耗臭氧层物质的各类替代品时做出决定。

世界气象组织秘书长
米歇尔·雅罗
(Michel Jarraud)

联合国环境规划署执行主任
及联合国驻内罗毕办事处总干事
克劳斯·托普菲尔
(Klaus Töpfer)

¹ 决议 12/CP.8, FCCC/CP/2002/7/ 补充 1, 第 30 页。2002 年 10 月 23—11 月 1 日，印度新德里，UNFCCC 第 8 次缔约方大会

² 决议 14/10 UNEP/OzL.Pro.14/9, 第 42 页。2002 年 11 月 25—29 日，意大利罗马，蒙特利尔议定书第 14 次缔约方会议

³ IPCC/TEAP 限制排放 HFCs 和 PFCs 选择方案联合专家会议记录，1999 年 5 月 26—28 日，荷兰 Petten，见 <http://www.ipcc-wg3.org/docs/IPCC-TEAP99/index.html>

序

保护臭氧层和全球气候系统特别报告是应《联合国气候变化框架公约》和《蒙特利尔议定书》缔约方之邀编写的。保护臭氧层和全球气候系统涉及到复杂的科学和技术方面的因素，本报告提供了关于这两个全球环境问题的决策的信息。2003年2月19-21日在法国巴黎召开的IPCC第20次全会批准通过了本特别报告的范围、结构和大纲，IPCC第一和第三工作组及《蒙特利尔议定书》技术和经济评估专家工作组（TEAP）被指定负责准备本报告，并成立了IPCC/TEAP联合指导委员会（见下），按照IPCC程序管理本报告的准备过程。

背景

把氯氟碳化物（CFCs）和其他消耗臭氧层物质（ODSs）与全球臭氧层耗损联系起来的科学证据导致在《蒙特利尔议定书》（1987年）下开始控制和逐步淘汰这些化学品；其修正案（1990年）增加了更多的ODSs，并加速了其淘汰进程。这一国际进程导致：（1）大多数CFCs、甲基氯仿和哈龙生产的停止；（2）现有氢氯氟碳化物（HCFCs）使用的增加；（3）开始各种工业含氟化学品的生产，包括新型的HCFCs、氢氟碳化物（HFCs）和全氟化碳（PFCs）；（4）非卤烃化学替代品的使用，例如碳氢化合物、二氧化碳和氨；（5）另类替代方法例如水洁程序的开发。

在20世纪70年代，首次发现了CFCs和其他ODSs还可能影响气候系统。在过去30年里，卤烃包括HFCs对全球变暖的有效性得到了进一步的阐明。例如，1989年的平流层臭氧科学评估包括了一个关于卤烃全球变暖潜势（GWPs）的章节，1989年的技术评估在讨论绝热泡沫材料、制冷和空调能效的重要性时介绍了这些GWPs。随着在《蒙特利尔议定书》下各种逐步淘汰ODSs方法的开发，人们认识到可采取一些行动以减少臭氧层的未来耗损，特别是HFCs和PFCs的采用可能增加或减少了全球变暖的影响。

这些科学技术信息使得《蒙特利尔议定书》缔约方选择各种ODSs替代方法，注意全球变暖的影响，并在《蒙特利尔议定书》多边基金的某些投资决策中反映出来。当1997年《京都议定书》出台以后，各国有了新的激励政策来考虑如何选择替代品以影响这两个议定书的目标。这些考虑产生了对更综合的ODS替代选择信息的需求，而ODS替代选择既考虑保护臭氧层需求、又考虑保护全球气候系统需求。1999年5月，IPCC和TEAP举办了一个关于限制HFCs和PFCs排放选择的专家联合会议；1999年10月，TEAP发表了“包含在《京

都议定书》中的HFCs和PFCs对《蒙特利尔议定书》的影响”的报告；2005年完成的本特别报告则体现了最新的合作努力。

每种ODS替代品影响气候系统的潜力不仅取决于替代品本身的物理和化学特性，而且取决于影响向大气排放的因素，诸如密封性、循环利用、销毁及特定应用中的能效。本报告所考虑的气体、应用和部门与CFCs、HCFCs、HFCs和PFCs排放相关，并与HFCs和PFCs使用的替代品相关。本报告不考虑无关行业或相同化学品的其他应用。本报告包括了正在使用的或在未来十年里可能使用的化学品和技术。

报告的结构

本报告提供了考虑各种ODSs替代品选择所需的科学背景（第1章和第2章）；评估各种选择的可能方法（第3章）；与包括制冷、空调、泡沫材料、气雾剂、消防和溶剂在内的每个部门温室气体减排机遇相关的技术问题（第4-10章）。本报告还讨论了未来HFCs的可获得性（第11章）。

第1章和第2章讨论了臭氧层耗损和气候变化之间的联系，并从以前的国际科学评估特别是WMO、UNEP和IPCC赞助的周期性评估（例如最近的《臭氧层耗损科学评估》，2002；《臭氧层耗损的环境影响评估》，2002；《气候变化：科学基础》，2001）中汲取了相关信息。第1章包括平流层化学和动力学及其与气候变化的耦合，第2章则包括每种相关气体的辐射强迫及其在对流层化学和空气质量中的作用。本报告并不试图对臭氧层和气候变化进行更为专业的广泛和深入的评估，而是提供有关这两个环境问题之间相互作用的概述以帮助理解和应用本报告的其他部分。

第3章总结了可用于描述或比较技术的各种方法（例如生命周期气候特性参数，LCCP），特别是那些应用于本报告所包括的不同部门的方法。

第4-10章提供了使用卤烃的各关键部门的技术描述和信息：制冷（第4章），住宅和商业空调及采暖（第5章），移动空调（第6章），泡沫材料（第7章），医用气雾剂（第8章），消防（第9章），非医用气雾剂、溶剂及来自HCFC-22生产的HFC-23副产品排放（第10章）。每章提供了部门概况、相关技术、有关气体消费和排放的信息、减少排放及其净增暖影响的做法和替代技术，包括考虑应用过程的改进、密封性的改进、运

行期间的回收和循环利用、使用期限结束时的回收、处置和销毁。在每一部门的诸多选择中进行抉择必须详尽地考虑各种技术因素，包括性能、环境健康和安全、成本、替代品的可获得性以及能源和资源的总效率。

第 11 章包括了 HFCs 的供需问题，并估算了部门和区域的排放。该章综合了来自不同部门的各种化学品的排放信息，并考虑了 HFCs 供需之间的平衡。

和以前的 IPCC 报告一样，本报告除主报告以外还包含决策者摘要 (SPM) 和技术摘要 (TS)。SPM 和 TS 的每一节都参考了主报告的相关章节，所以 SPM 和 TS 中的素材可以很容易地从相关章节中找到详细的内容。本报告还包含了以下附录：作者和评审专家名单、术语表、首字母缩写词和缩略语表、单位和转换因子表、本报告所考虑物质的主要化学分子式和名称一览表。

2003 年 8 月至 2005 年 4 月期间，本报告由来自 35 个国家的 145 位专家编辑而成。报告草稿首先进行了专家评审，这些专家提交了有价值的修改建议；之后又进行了政府和专家评审。在这两轮评审中，收到了来自 175 个专家、政府和非政府组织的大约 6600 条意见。这一评审过程是 IPCC 评估的固有组成部分，受到独立于作者队伍的编审的监督，对于确保评估产品的质量和可信度非常重要。

2005 年 4 月 6 - 8 日，在埃塞俄比亚首都亚的斯亚贝巴召开的 IPCC 第一和第三工作组联合会议上审议了最终报告，其中 SPM 被逐行批准通过；主报告被 IPCC 全会接受。

致谢

指导委员会真诚地感谢所有的主要作者召集人、主要作者和编审，他们的专长、勤奋和耐心奠定了成功完成本报告的基础，他们为此慷慨地贡献了大量的工作时间和私人时间；同时感谢许多贡献作者和评审专家所做出的有价值的辛勤工作和贡献。

我们还感谢 UNEP 臭氧秘书处的 Marco Gonzalez 和 Megumi Seki，感谢他们对本报告准备过程的赞助、财政支持和参与。

我们感谢荷兰、美国、日本和阿根廷政府主办了四次报告起草会议，感谢埃塞俄比亚政府和亚的斯亚贝巴联合国中心主办了 IPCC 第一和第三工作组联合会议。

我们还感谢 IPCC 秘书 Renate Christ 以及 IPCC 秘书处的全体工作人员，他们为政府联络以及来自发展中国家和经济转轨国家的专家旅行提供了后勤支持。

最后，我们还感谢 IPCC 第一和第三工作组技术支持小组 (TSU) 的全体工作人员在本报告准备过程中所做的工作，特别感谢 David de Jager (指导委员会秘书，第三工作组 TSU)、Martin Manning (第一工作组 TSU 组长)、Leo Meyer (第三工作组 TSU 组长) 在科学和管理方面的支持，感谢 Tahl Kestin、Scott Longmore、Melinda Tignor (第一工作组)、Heleen de Coninck、Anita Meier、Martin Middelburg、Rob Puijk、Thelma van den Brink (第三工作组) 在技术和后勤方面的支持。特别感谢 Christine Ennis、Dave Thomas 和 Pete Thomas 审阅了本报告的最终稿。

本报告的指导委员会成员如下：

Stephen O. Andersen, TEAP 联合主席
Ogunlade Davidson, IPCC 第三工作组联合主席
Lambert Kuijpers, TEAP 联合主席
Bert Metz, IPCC 第三工作组联合主席 (指导委员会主席)
José Pons, TEAP 联合主席
Susan Solomon, IPCC 第一工作组联合主席

目录

决策者摘要

1. 引言	2
2. 卤烃、臭氧层耗损和气候变化	4
2.1 过去和目前消耗臭氧层物质及其替代品对地球气候和臭氧层的影响是什么？	4
2.2 逐步淘汰消耗臭氧层物质又如何影响应对气候变化和臭氧层耗损的努力？	5
2.3 替代消耗臭氧层物质对于空气质量及其他大气化学相关环境问题的影响是什么？	6
3. 生产、库存和排放	8
3.1 任一特定年份的生产、库存和排放有何关联？	8
3.2 观测到的大气浓度可以告诉我们有关库存和排放的什么信息？	8
3.3 如何预估 2002 - 2015 年期间产生的库存和排放量？	8
4. 逐步淘汰消耗臭氧层物质和减少温室气体排放的选择	11
4.1 已经发现哪些减少温室气体排放的主要机遇以及如何评估这些机遇？	11
4.2 2015 年的部门减排潜力及其相关成本是多少？	12
4.3 当前的政策、措施和法律手段是什么？	14
4.4 关于未来发展中国家有哪些 HFCs/PFCs 可以使用问题有何谏言？	14

技术摘要

1. 引言	16
2. 卤烃、臭氧层耗损和气候变化	18
2.1 氯氟碳化物及其替代品如何对气候系统的辐射强迫做出贡献？	18
2.2 氯氟碳化物及其替代品排放到大气中以后可以滞留多长时间？	19
2.3 氯氟碳化物、哈龙、氢氯氟碳化物、氢氟碳化物和全氟化碳的大气浓度和排放如何变化？	20
2.4 与工业革命之前以及 1970 年相比，卤烃气体及其替代品对于气候系统正的辐射强迫的贡献有多大？	22
2.5 最近几十年平流层臭氧的变化及其原因是什么？	23
2.6 臭氧层耗损如何影响气候系统的辐射强迫？	23
2.7 预计控制下一世纪臭氧层的因素是什么？臭氧层将会“恢复”到出现臭氧洞以前的数值吗？这种恢复是否已经开始？	24
2.8 预计氯氟碳化物、氢氯氟碳化物及其可能替代品对于未来气候系统辐射强迫的影响有多大？	25
2.9 什么是全球增暖潜势？如何使用？	26
2.10 预计氢氯氟碳化物、氢氟碳化物或其替代品对于未来环境化学的其他影响是什么？	28
3. 逐步淘汰消耗臭氧层物质和减少温室气体排放的选择	29
3.1 何处会产生与消耗臭氧层物质及其替代品使用相关的温室气体排放？	29
3.2 如何预估 2002 - 2015 年期间产生的库存和排放量？	29
3.3 哪些选择可以减少温室气体排放？	36
3.4 哪些评估工具可以提供技术选择的信息？	36
3.5 区域差异是什么？	39
3.6 已经发现哪些减少与消耗臭氧层物质及其替代品使用相关的温室气体排放以及相关间接排放的主要机遇？	39

3.7 哪些政策手段可以用来减少本报告所讨论的 温室气体排放?	46
3.8 关于未来在发展中国家有哪些 HFCs/PFCs 可 以使用有何谏言?	46
4. 关于使用消耗臭氧层物质及其替代品行业的 重要结论	48
4.1 关于制冷行业的最重要结论是什么?	48
4.2 关于住宅和商业空调及采暖的最重要结论 是什么?	55
4.3 关于移动空调的最重要结论是什么?	57
4.4 关于泡沫材料的最重要结论是什么?	60
4.5 关于医用气雾剂的最重要结论是什么?	67
4.6 关于消防的最重要结论是什么?	69
4.7 关于非医用气雾剂和溶剂以及 HFC-23 排放 的最重要结论是什么?	73
附录 1 术语表	79
附录 2 主要化学分子式和名称	83

**政府间气候变化专门委员会 / 技术和经济评估专家组特别报告：
保护臭氧层和全球气候系统：与氢氟碳化物和全氟化碳相关的问题**

决策者摘要

1. 引言

本 IPCC 特别报告是应《联合国气候变化框架公约》¹ (UNFCCC) (以下简称《公约》) 和《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》² (以下简称《蒙特利尔议定书》) 之邀编写的, 目的是提供一份有关影响全球气候系统的**消耗臭氧层物质** (ODSs) 替代品的科学、技术和政策相关的而且涵盖均衡的报告。该报告由政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 和《蒙特利尔议定书》的技术经济评估委员会 (TEAP) 组织编写。

由于 ODSs 能造成平流层臭氧的耗损³, 其生产和消费受到《蒙特利尔议定书》的控制。《蒙特利尔议定书》的发达国家和发展中国家缔约方正努力逐步淘汰 ODSs。ODSs 及其某些替代品都是温室气体 (GHGs), 对气候变化做出了贡献 (见图 SPM-1)。一些 ODS 替代品特别是氢氟碳化物 (HFCs) 和全氟化碳 (PFCs) 是包含在《公约》及其《京都议定书》下的温室气体。因此, 保护臭氧层的各种选择可能会影响到气候变化, 而气候变化也可能间接影响到臭氧层。

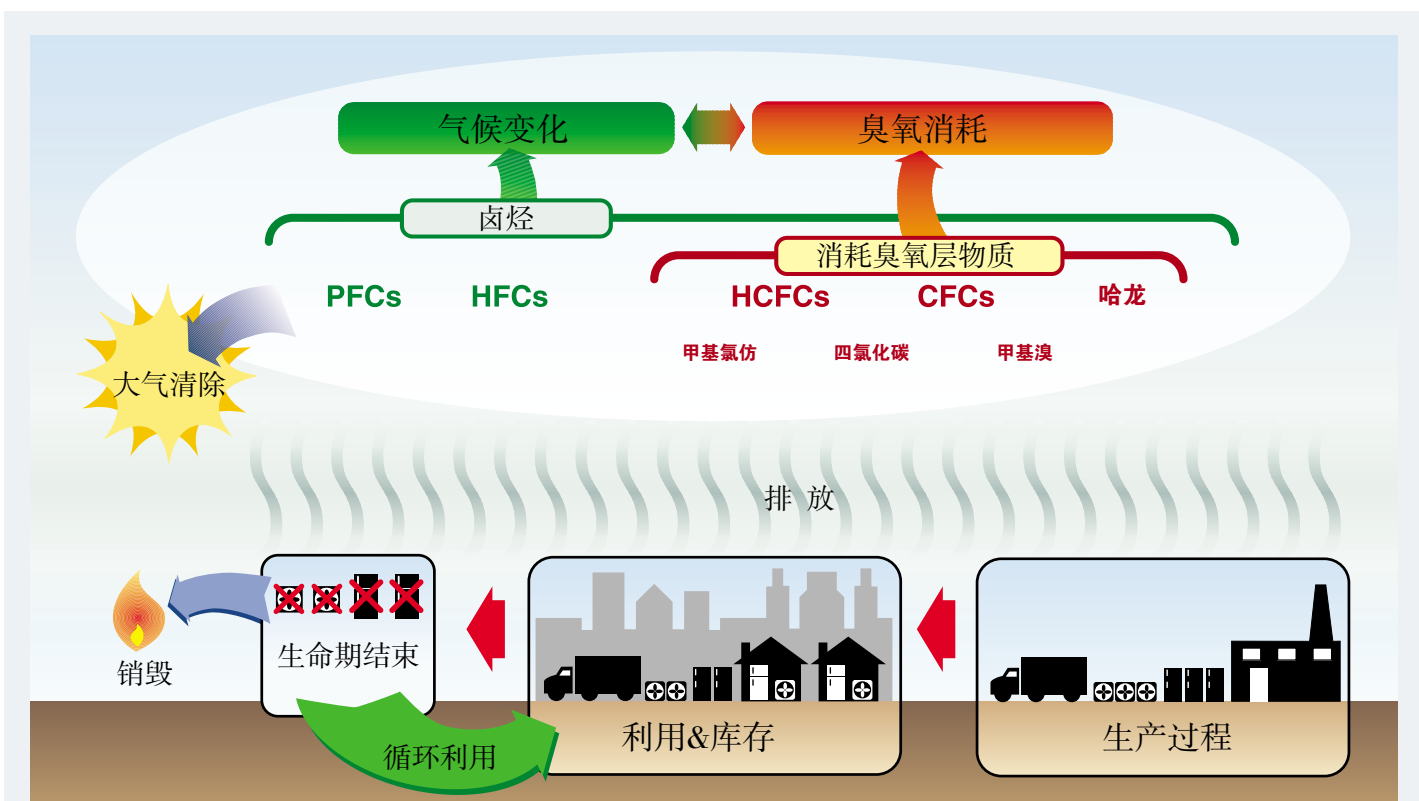


图 SPM-1: 本报告论述的主要问题示意图。氯氟碳化物 (CFCs)、哈龙和氢氯氟碳化物 (HCFCs) 对臭氧层耗损和气候变化都有贡献, 而氢氟碳化物 (HFCs) 和全氟化碳 (PFCs) 只对气候变化有贡献, 它们是消耗臭氧层物质 (ODSs) 的替代品。红色表示受《蒙特利尔议定书》及其修正案⁴控制的气体, 绿色表示受《公约》及其《京都议定书》控制的气体。本报告考虑的减少卤烃排放的各种选择包括: 改进密封性、回收、循环利用、副产品和现有库存⁵的销毁、以及使用替代过程或者那些全球增暖潜势较低或可以忽略不计的物质。

¹ 决定 12/CP.8, FCCC/CP/2002/7/Add.1, 第 30 页。

² 决定 14/10 UNEP/OzL.Pro.14/9, 第 42 页。

³ 除非另外说明, 本报告中的臭氧是指平流层臭氧。

⁴ 以下简称为《蒙特利尔议定书》。

⁵ 库存是指包含在现有设备、化学品库、泡沫材料和其他产品里尚未释放到大气中的物质的总量。

本报告考虑 ODSs 及其替代品的总排放对气候系统和臭氧层的影响。特别是，该报告提供了理解替代选择如何影响全球变暖的背景。本报告并不试图全面阐述替代选择对臭氧层的影响。

本报告考虑了各行业减少卤烃排放的各种选择以及涉及到替代物质和技术的各种选择，以减少温室气体排放。本报告还考虑了在 ODSs 替代范围内的 HFC 和 PFC 排放。来自铝或半导体生产或其他行业的 HFC 和 PFC 排放并未包括在内。

ODSs 及其 HFC/PFC 替代品的主要应用行业包括制冷、空调、泡沫、气雾剂、消防和溶剂。这些物

质的排放源于制造过程和各种副产品的无意释放、有意的排放性应用、使用、测试和维护期间来自设备和产品中库存的蒸发和泄漏，以及使用期限结束时的处理。

关于特定的减排选择，本报告通常只涵盖直到 2015 年的时期，因为对于这些快速发展的行业而言，只能获得这一时期关于具有巨大市场潜力的替代选择的可靠文献。本报告同时还考虑了技术性能、潜力评估方法学、能源利用的间接排放⁶以及成本、人类健康和安全、对空气质量的影响、未来可获得性问题等。

⁶ 应该指出，国家清单报告团体使用“间接排放”的术语，是特指由于环境中另一种物质的分解而引起的温室气体排放。这与本报告中该术语的用法存在差异，本文中特指涉及生命周期评估（LCA）方法如等效增暖影响总量（TEWI）或生命周期气候特性（LCCP）相联系的与能源相关的 CO₂ 排放。

2. 卤烃、臭氧层耗损和气候变化

2.1 过去和目前消耗臭氧层物质及其替代品对地球气候和臭氧层的影响是什么？

卤烃特别是 ODSs 对于正的直接辐射强迫⁷ 和与此相关的全球平均地面温度的上升做出了贡献（见图 SPM-2）。从 1750 年到 2000 年期间，由于工业产生的 ODS 和非 ODS 卤烃的增加引起的正的直接辐射强迫总量估计约为 $0.33 \pm 0.03 \text{ Wm}^{-2}$ ，相当于同期所有混合温室气体增加引起的总辐射强迫的 13%。大部分卤烃的增加发生在最近几十年。2001 ~ 2003 年期间，大气中 CFCs 浓度保持稳定或减少（0 ~ -3%/ 每年），而哈龙以及替代品氢氯氟碳化物（HCFCs）和 HFCs 的浓度增加（分别为 +1 ~ +3%/ 每年，+3 ~ +7%/ 每年，+13 ~ +17%/ 每年）。[1.1, 1.2, 1.5 和 2.3]⁸

自 1970 年以来观测到的平流层臭氧耗损主要是由于氯化物和溴化物的浓度增加引起的，而这两种化合物都是在人为 ODSs 的降解过程中产生的，人为的 ODSs 包括哈龙、CFCs、HCFCs、甲基氯仿（ CH_3CCl_3 ）、四氯化碳（ CCl_4 ）、甲基溴化物（ CH_3Br ）。[1.3 和 1.4]

臭氧层耗损产生负的气候辐射强迫，是 ODSs 的一种间接冷却效应（见图 SPM-2）。通常认为臭氧变化对全球平均辐射强迫的贡献约为 $-0.15 \pm 0.10 \text{ Wm}^{-2}$ 。由于臭氧层耗损的详细垂直分布存在不确定性，因此 ODSs 引起的间接辐射强迫存在大的不确定性。这一负的辐射强迫很可能¹⁰ 小于 ODSs 引起的正的直接辐射强迫（ $0.32 \pm 0.03 \text{ Wm}^{-2}$ ）。[1.1, 1.2 和 1.5]

ODSs 引起的增暖以及与臭氧层耗损相关的变冷是两种截然不同的气候强迫机制，并不能简单地相互抵消。臭氧层耗损的冷却效应的空间和季节分布不同于增暖效应。有限的全球气候模拟和统计学研究表明，臭氧层耗损是一种可能影响气候变率分布的机制，而

这对于两个半球的对流层环流和温度非常重要。然而，观测到的这些变率分布的变化不可能明确地归因于臭氧层耗损。[1.3 和 1.5]

每种气体具有不同的温室增暖效应和臭氧层耗损效应（见图 SPM-2），主要取决于其历史排放、作为温室气体的有效性、生命期以及每个分子中氯和 / 或溴的数量。通常，含溴气体的冷却效应远大于其增暖

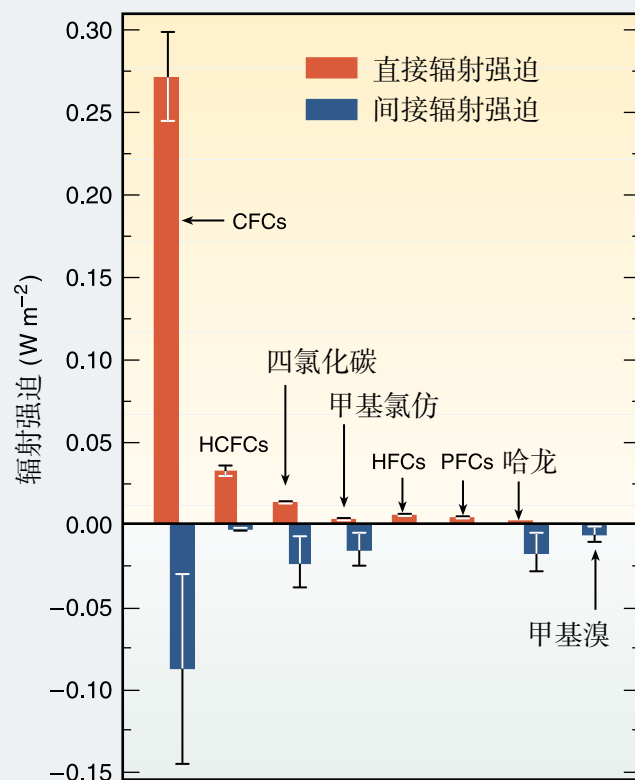


图 SPM-2: 1750 ~ 2000 年期间由于卤烃变化产生的直接和间接辐射强迫 (RF)⁹。误差划线表示 ± 2 标准偏差的不确定性。[基于表 1.1]

⁷ 辐射强迫可以度量某种因子对改变地 - 气系统能量收支平衡的影响，是该因子作为潜在气候变化机制的重要性的指标，用每平方米瓦 (Wm^{-2}) 来表示。温室气体通过对辐射的吸收和排放产生直接辐射强迫，并可能通过影响其他温室气体或颗粒物的化学作用产生间接辐射强迫。

⁸ 方括号里的数字表示主报告的相应章节，说明相关段落的基本素材和参考资料可以在这些章节中查找。

⁹ 用于 ODS 替代物质的 PFCs 对于 PFC 总辐射强迫的贡献很小。

¹⁰ 在本决策者摘要中，下面的措词被用在适当的地方表示对可信度的判断：很可能（90 ~ 99% 的机率）；可能（66 ~ 90% 的机率）；不可能（10 ~ 33% 的机率）；非常不可能（1 ~ 10% 的机率）。

效应，而 CFCs 和 HCFCs 的增暖效应则大于其冷却效应，HFCs 和 PFCs 只有增暖效应。[1.5 和 2.5]

2.2 逐步淘汰消耗臭氧层物质又如何影响应对气候变化和臭氧层耗损的努力？

在《蒙特利尔议定书》下采取的行动将导致用 HCFCs、HFCs 及其他物质和过程替代 CFCs。由于替代物质通常具有较低的全球增暖潜势¹¹ (GWPs)，并且因为卤烃的总排放已经减少，所以其 CO₂ 的综合当量（直接 GWP 加权）排放也已经减少。从大气中观测到的 CFCs、HCFCs 和 HFCs 的总 CO₂ 当量排放从 1990 年左右的 7 GtCO₂ 当量/年减少到 2000 年左右的 2.5 ± 0.2 Gt CO₂ 当量/年，分别相当于来自全球化石燃料燃烧的 CO₂ 年排放的 33% 和 10%。平流层的氯水平已经接近稳定，并且可能已经开始减少。[1.2, 2.3 和 2.5]

氟和那些用作卤烃替代品的碳氢化合物 (HCs) 在大气中的生命期从数天变化到数月不等，与其作为替代品使用相关的直接和间接辐射强迫对于全球气候的影响很可能可以忽略不计。也可能需要考虑与其使用有关的能源排放的变化。（见第 4 节有关 ODS 替代选择的综合评估方法。）[2.5]

基于本报告中提出的基准 (BAU) 情景，估算的 2015 年 HFCs 的直接辐射强迫约为 0.030 Wm⁻²；基于 IPCC 排放情景特别报告 (SRES) 的情景，2015 年 PFCs⁹ 的辐射强迫约为 0.006 Wm⁻²。上述 HFC 和 PFC 的辐射强迫分别相当于估算的 2015 年温室气体辐射强迫的 1.0% 和 0.2%，ODSs 的贡献大约是 10%。尽管本报告特别着重于直到 2015 年的情景，但对于 2015 年以后的时期，则考虑了 IPCC 的 SRES 情景，但未被重新评估。这些 SRES 情景预计在未来数十年里 HFCs 的辐射强迫有显著的增长，但由于不断增加的技术和政策方面的不确定性，上述估算值可能非常不确定。[1.5, 2.5 和 11.5]

观测数据和模式计算表明，全球平均臭氧层耗损量目前已经趋于稳定（例如，见图 SPM-3）。尽管预计臭氧的逐年变率相当大，在极地地区的耗损最大，但是，假设完全遵守《蒙特利尔议定书》，预计在未

来数十年里，由于 ODS 浓度的下降，臭氧层将开始恢复。[1.2 和 1.4]

在长时期内，预计的其他温室气体的增加可能通过使平流层变冷及改变平流层环流而越来越影响臭氧层。作为冷却效应和 ODS 浓度下降的结果，臭氧可能在平流层的大部分地方增加，但在某些地区包括北极可能减少。然而，与气候变化相关的大气环流变化的影响可能要大于这些因素。目前，大气温室气体浓度增加对臭氧总量的净影响在量级和信号上都是不确定的。基于当前的模式，类似于当前在南极观测到的北极“臭氧洞”非常不可能出现。[1.4]

CFCs、HCFCs、HFCs、PFCs 和哈龙排放的未来相对增暖和冷却效应随气体的生命期、化学特性和排放时间而变（见表 SPM-1）。对于大多数 HFCs 和 HCFCs，其在大气中的生命期大约为 1 ~ 20 年；对于一些 HFCs 及大多数哈龙和 CFCs，其在大气中的生命期为数十年到数百年；对于 PFCs，其在大气中的生命期则为 1000 ~ 50000 年。卤烃的直接 GWPs 范围从 5 年到超过 10,000 年，预计 ODS 的间接冷却效应将随着臭氧层的恢复而终止，所以与间接冷却效应相关的 GWPs 取决于排放的年份、对《蒙特利尔议定书》的遵守、气体的生命期。这些间接 GWPs 的不

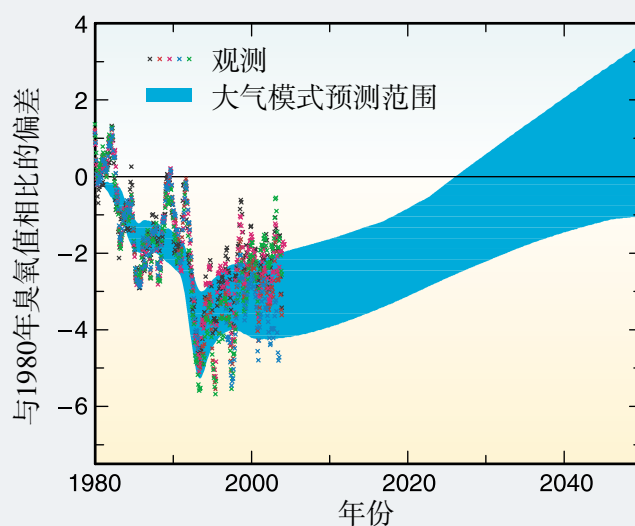


图 SPM-3: 观测和模拟的中、低纬度 (60° S - 60° N) 臭氧柱总量与 1980 年臭氧值相比的偏差 (百分比)。[框 .7]

¹¹ GWPs 是比较一种温室气体的脉冲排放固定在固定的时间范围内相对于同等 CO₂ 排放所产生的气候综合影响的指标。

确定性通常比直接 GWP_s 要大得多。[1.5, 2.2 和 2.5]

2.3 替代消耗臭氧层物质对于空气质量及其他大气化学相关环境问题的影响是什么？

空调、制冷和泡沫发泡中用 HFCs、PFCs 和其他气体如碳氢化合物替代 ODSs 预计不会对全球对流层化学产生重大影响。在局地排放源附近可能会对空气质量产生很小但不能忽略的影响，这种影响可能会

受到某种程度的关注，例如在目前不符合当地标准的地区。[2.4 和 2.6]。

HFCs 和 HCFCs 的持续降解产品（例如三氟乙酸，TFA）可以通过沉积和冲洗过程从大气中清除。然而，现有的环境风险评估和监测研究指出，这些物质预计不会导致造成重大生态系统损害的环境浓度。海水中的 TFA 测量表明，TFA 的人为源要小于自然源，但自然源尚未被完全识别出来。[2.4]

表 SPM-1: 目前在《蒙特利尔议定书》和《公约》及其《京都议定书》下报告并在本报告中针对 100 年时间范围相对于 CO₂ 进行评估的卤烃的 GWP_s 值及其生命期, 以及在《公约》下报告所使用的 GWP_s 值。蓝色 (较深的阴影) 标注的气体是受《蒙特利尔议定书》控制的, 黄色 (较浅的阴影) 标注的气体是受《公约》控制的。[表 2.6 和 2.7]

气体	直接辐射强迫的 GWP ^a	间接辐射强迫的 GWP (2005 年排放 ^b)	生命期 (年)	UNFCCC 报告的 GWP ^c
CFCs				
CFC-12	10,720 ± 3750	-1920 ± 1630	100	n.a. ^d
CFC-114	9880 ± 3460	无	300	n.a. ^d
CFC-115	7250 ± 2540	无	1700	n.a. ^d
CFC-113	6030 ± 2110	-2250 ± 1890	85	n.a. ^d
CFC-11	4680 ± 1640	-3420 ± 2710	45	n.a. ^d
HCFCs				
HCFC-142b	2270 ± 800	-337 ± 237	17.9	n.a. ^d
HCFC-22	1780 ± 620	-269 ± 183	12	n.a. ^d
HCFC-141b	713 ± 250	-631 ± 424	9.3	n.a. ^d
HCFC-124	599 ± 210	-114 ± 76	5.8	n.a. ^d
HCFC-225cb	586 ± 205	-148 ± 98	5.8	n.a. ^d
HCFC-225ca	120 ± 42	-91 ± 60	1.9	n.a. ^d
HCFC-123	76 ± 27	-82 ± 55	1.3	n.a. ^d
HFCs				
HFC-23	14,310 ± 5000	~0	270	11,700
HFC-143a	4400 ± 1540	~0	52	3800
HFC-125	3450 ± 1210	~0	29	2800
HFC-227ea	3140 ± 1100	~0	34.2	2900
HFC-43-10mee	1610 ± 560	~0	15.9	1300
HFC-134a	1410 ± 490	~0	14	1300
HFC-245fa	1020 ± 360	~0	7.6	- ^e
HFC-365mfc	782 ± 270	~0	8.6	- ^e
HFC-32	670 ± 240	~0	4.9	650
HFC-152a	122 ± 43	~0	1.4	140
PFCs				
C ₂ F ₆	12,010 ± 4200	~0	10,000	9200
C ₆ F ₁₄	9140 ± 3200	~0	3200	7400
CF ₄	5820 ± 2040	~0	50,000	6500
哈龙				
哈龙-1301	7030 ± 2460	-32,900 ± 27,100	65	n.a. ^d
哈龙-1211	1860 ± 650	-28,200 ± 19,600	16	n.a. ^d
哈龙-2402	1620 ± 570	-43,100 ± 30,800	20	n.a. ^d
其他卤烃				
四氯化碳 (CCl ₄)	1380 ± 480	-3330 ± 2460	26	n.a. ^d
甲基氯仿 (CH ₃ CCl ₃)	144 ± 50	-610 ± 407	5.0	n.a. ^d
甲基溴 (CH ₃ Br)	5 ± 2	-1610 ± 1070	0.7	n.a. ^d

^a 直接正辐射强迫的 GWP_s 的不确定性定为 ±35% (2 个标准偏差) (IPCC, 2001)。

^b 间接负辐射强迫的 GWP_s 的不确定性考虑估算为臭氧层恢复时间的不确定性以及臭氧层耗损引起的负辐射强迫的不确定性。

^c 《公约》报告指南使用来自 IPCC 《第二次评估报告》的 GWP 值 (参阅 FCCC/SBSTA/2004/8, <http://unfccc.int/resource/docs/2004/sbsta/08.pdf>)。

^d 未被包括在《公约》下的 ODSs。

^e IPCC 第二次评估报告没有包含 HFC-245fa 和 HFC-365mfc 的 GWP 值。然而,《公约》报告指南包含了与报告所有存在 IPCC 评估的 GWP 值的温室气体排放相关的条款。

3. 生产、库存和排放

3.1 任一特定年份的生产、库存和排放有何关系？

当前 ODSs 及其替代品的排放主要是由其历史应用分布决定的。对于 CFCs 和 HCFCs, 主要的贡献 (目前以及未来数十年) 来源于各自的库存。尽管一些国家已经为这一目的制订了有效的国家政策, 但《蒙特利尔议定书》和《公约》及其《京都议定书》都没有规定限制这些 CFC 和 HCFC 排放的义务。

库存是指包含在现有设备、化学品库、泡沫材料和其他产品里尚未释放到大气中的物质的总量 (见图 SPM-1)。在缺乏其他库存管理措施的情况下, 相对新的 HFCs 应用的库存累积也将极大地决定 2015 年以后的排放。

3.2 观测到的大气浓度可以告诉我们有关库存和排放的什么信息？

大气浓度观测值以及生产和使用分布的资料能够说明库存的重要性, 而不是准确的库存量。

对于 CFC-11 和 CFC-12 排放的最准确估算是从大气浓度观测值中推导出来的, 这些排放值大于与当前生产相关的释放估算值, 这说明排放中有相当一部分来自过去生产所累积的库存。大气浓度观测值表明, 目前 HFC-134a 的全球排放小于所报告的生产量, 这意味着其库存正在增长。目前大气中的 HFC-134a 全球总量被认为与库存量相当。[2.5 和 11.3.4]

在 CFC-11 和其他气体的情况下, 有关使用分布信息的缺乏使得很难评估其对于观测到的当前生产和使用排放的贡献。在这一领域还需要进一步工作以澄清这些排放源。

3.3 如何预估 2002 – 2015 年期间产生的库存和排放量？

在 2002 年, CFCs、HCFCs、HFCs 和 PFCs 的库存量估计约为 21 GtCO₂ 当量^{12,13}。在基准 (BAU) 情景下, 预计库存在 2015 年将减少为 18 GtCO₂ 当量¹⁴。[7, 11.3 和 11.5]

在 2002 年, CFC、HCFC 和 HFC 的库存分别约为 16、4 和 1 GtCO₂ 当量 (直接 GWP 加权) (见图 SPM-4)。在 BAU 情景下, 到 2015 年库存分别为 8、5 和 5 GtCO₂ 当量。在 2002 年, 作为 ODS 替代的 PFCs 库存大约为 0.005 GtCO₂ 当量。

在 2002 ~ 2015 年期间, 预计与制冷、固定空调 (SAC)¹⁵ 和移动空调 (MAC) 设备相关的 CFC 库存将从 6 GtCO₂ 当量减少为 1 GtCO₂ 当量, 这主要是由于释放到大气中, 部分是由于使用期限结束时的回收和销毁。预计同期泡沫材料中 CFC 库存的减少要缓慢得多 (从 10 GtCO₂ 当量减少为 7 GtCO₂ 当量), 这反映出, 与制冷和空调行业制冷剂的类似库存量相比, 来自泡沫材料的库存发泡剂的释放要缓慢的多。

HFC 的库存已经开始累积, 预计在 2015 年达到 5 GtCO₂ 当量左右。其中, 库存在泡沫材料中的 HFCs 仅为 0.6 GtCO₂ 当量, 但预计在 2015 年以后将进一步增加。

¹² 利用 CO₂ 当量表述的温室气体 (GHG) 排放和库存使用 GWP_s 表示 100 年时间范围内的直接辐射强迫。除非另外说明, 这里使用最新的 GWP_s 值。本报告对这些值进行了评估, 并列在表 SPM-1 中 (“直接辐射强迫的 GWP”)。

¹³ 和正直接辐射强迫相比, 哈龙产生了相当大的副间接辐射强迫。为了清楚起见, 这里没有给出它们的效应。

¹⁴ 在 BAU 预测中, 假设所有现有的措施包括《蒙特利尔议定书》(逐步淘汰) 和相关的国家政策将继续执行; 在各种做法、替代品渗透和排放因子方面的当前趋势将维持到 2015 年; 并假设使用期限结束时的回收率不变。

¹⁵ 在本决策者摘要中, “制冷” 行业由民用、商业、工业 (包括食品加工和冷藏) 和交通制冷组成。[4] “固定空调” (SAC) 包括住宅和商业空调及采暖; [5] “移动空调” (MAC) 用于小汽车、公共汽车和卡车的乘客室。

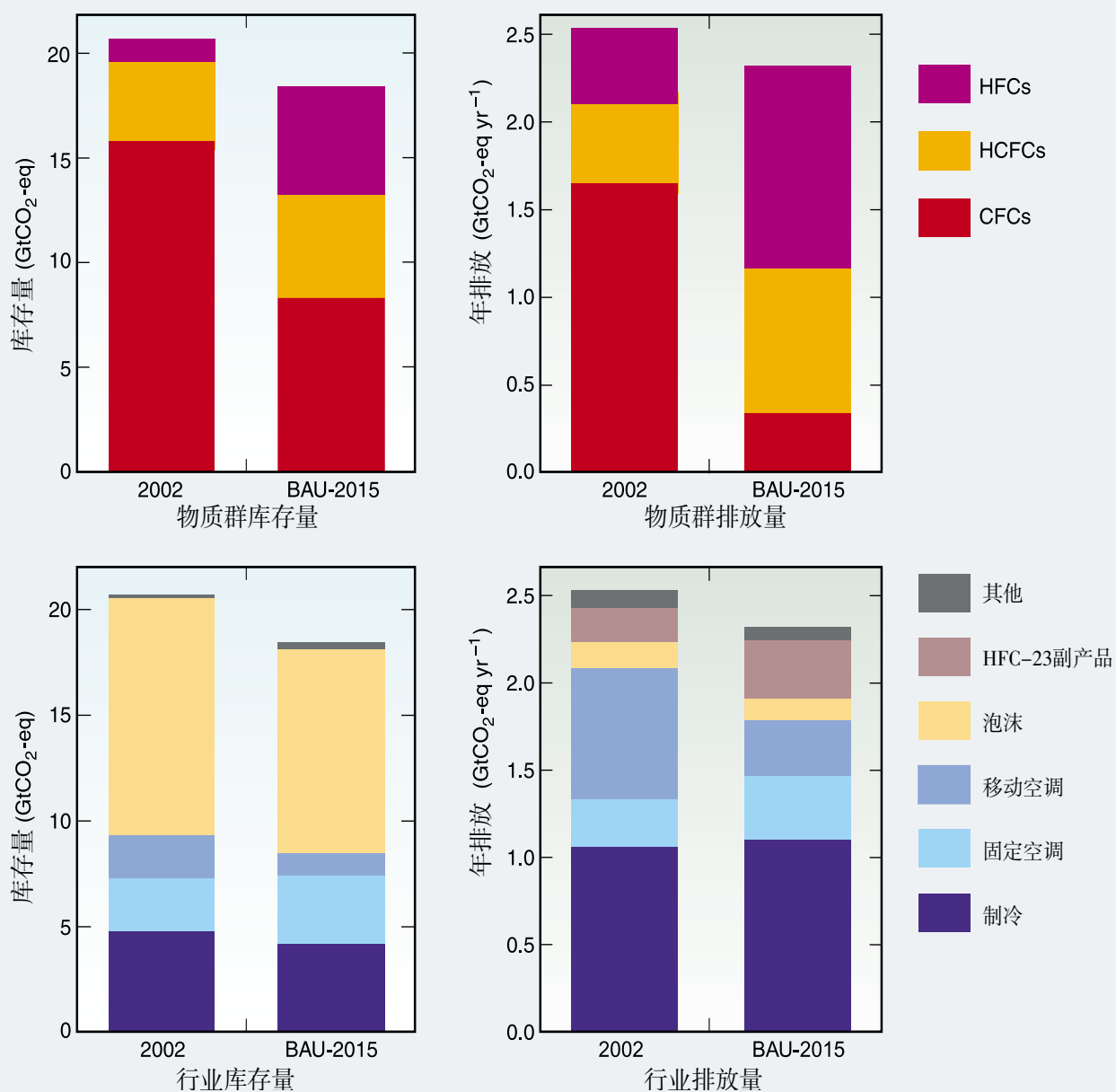


图 SPM-4: 与 CFCs、HCFCs 和 HFCs 使用相关的温室气体 CO₂ 当量库存 (左) 和直接年排放 (右), 2002 年为历史资料, 2015 年为基于 BAU 的预测值。按照温室气体组 (上) 和排放部门 (下) 分类。“其他” 包括医用气雾剂、消防、非医用气雾剂和溶剂。 [11.3 和 11.5]

在 BAU 情景下，预计 CFCs、HCFCs、HFCs 和 PFCs 的直接排放总量到 2015 年将达到 2.3 GtCO₂ 当量/年（2002 年为 2.5 GtCO₂ 当量/年）。CFC 和 HCFC 的排放总量将从 2002 年的 2.1 GtCO₂ 当量/年下降到 2015 年的 1.2 GtCO₂ 当量/年，HFCs 的排放将从 2002 年的 0.4 GtCO₂ 当量/年增加到 2015 年的 1.2 GtCO₂ 当量/年。来自 ODS 替代使用的 PFC 排放 在 2002 年约为 0.001 GtCO₂ 当量/年，预计将减少。[11.3 和 11.5]

图 SPM-4 描述了与 ODSs 及其替代品使用相关的不同行业对全球直接温室气体（GHG）排放的相对贡献。制冷以及 SAC 和 MAC 的应用贡献了大部分的全球直接 GHG 排放，这与制冷剂库存的较高排放速率是一致的。来自泡沫材料的最大 GHG 排放预计在 2015 年之后出现，因为大多数是在使用期限结束时释放。

随着新的生产量的减少，CFC 的库存总量将由于运行和废弃期间释放到大气而减少。在没有额外措施的情况下，大部分的 CFC 库存将在 2015 年之前排放。因此，预计 CFC 年排放将从 2002 年的 1.7 GtCO₂ 当量/年减少到 2015 年的 0.3 GtCO₂ 当量/年。

由于 HCFC 在（商业）制冷和 SAC 中的预期使用将迅速增长，预计 HCFC 的排放将从 2002 年的 0.4 GtCO₂ 当量/年增加到 2015 年的 0.8 GtCO₂ 当量/年。

预计 HFC 的排放将增长三倍，这是由于 HFCs

在制冷、SAC 和 MAC 行业中使用的增加，同时也由于来自增加的 HCFC-22 生产中的副产品 HFC-23 的排放。（在 BAU 情景下，HCFC-22 的生产从 2002 年的 195 兆吨 CO₂ 当量/年增加到 2015 年的 330 兆吨 CO₂ 当量/年）。

排放估算中的不确定性显著。大气测量值与清单计算值的结果比较表明，每组物质之间的差异为 10 ~ 25%。对于单个气体，差异更大。这是由于未被识别的一些物质的应用排放造成的，在清单计算中没有考虑这些排放；并且应用中的设备地理分布数据集也存在不确定性。[11.3.4]

文献并未考虑与能源消费相关的间接 GHG 排放总量的估算。对于个别的应用，一个生命周期内间接 GHG 排放的相关性从低到高；对于某些应用，可能达到大于直接 GHG 排放的量级。这极大地取决于特定的行业和产品/应用特性、整个应用生命周期内所消耗电能和燃料的碳强度、以及库存物质使用期限结束时的处理。[3.2, 4 和 5]

¹⁶ 对于这些排放值，使用了最新的 GWPs 值（见表 SPM-1，第二栏“直接辐射强迫的 GWP”）。如果使用《公约》的 GWPs 值（见表 SPM-1，最后一栏“《公约》报告的 GWP”），那么报告的 HFC 排放（用吨 CO₂ 当量来表示）将会偏低大约 15%。

4. 逐步淘汰消耗臭氧层物质和减少温室气体排放的各种选择

4.1 已发现那些减少温室气体排放的主要机遇以及如何评估这些机遇？

本报告讨论的所有行业都可以通过以下途径来减少直接温室气体排放：

- 改进物质的密封性；
- 减少设备中物质的注入量；
- 使用期限结束时物质的回收、循环利用或销毁；
- 增加具有较低或可忽略不计的 GWP 的替代物质的使用；
- 另类技术¹⁷。

综合评估将包括直接排放和间接的能源相关排放、整个生命周期、以及健康、安全和环境方面的考虑。然而，由于获得的公开资料及相关分析比较有限，目前几乎没有进行综合评估。

决定哪一种技术选择具有最大 GHG 减排潜力的方法应对卤烃或其替代品的直接排放以及整个生命周期内与能源相关的间接排放进行评估。而且，综合方法¹⁸还要评估广泛的环境影响。另外，存在简化方法¹⁹可以评估生命周期的影响，通常可为某一应用生命周期内的温室气体排放提供有用的指标。应用这些方法进行的透明比较很少被公布，其结论对于有关特定应用、特定区域和时间参数（例如特定地点的情形、主要的气候条件、能源系统特性）的假设很敏感。[3.5]

比较经济分析对于确定减排选择的成本效益非常重要。然而，它们要求使用共同的方法和假设（例如成本核算方法学、时间框架、折现率、未来经济条

件、系统边界）。开发简化的标准化方法可以在未来进行更好的比较。[3.3]

在大多数情况下，可以使用标准化方法来评估健康和影响的风险。[3.4 和 3.5]

与能源消费相关的 GHG 排放在本报告考虑的设备生命期内是相当大的。因此，提高能效可以减少来自这些设备的间接排放，这取决于所使用的特定能源和其他情况。提供能效可以降低净成本，特别是当设备的使用阶段较长时（例如制冷和固定空调）。

评估的文献并未考虑这一减排潜力的全球估算，尽管在技术和国家层面上的几个案例研究说明了这一点。

通过应用当前的最好做法²⁰和回收方法，到 2015 年的潜力是减少大约一半 BAU 情景下 ODSs 及其替代品的直接排放（1.2 GtCO₂ 当量/年）²¹。大约 60% 的潜力与 HFC 的排放相关，HCFCs 和 CFCs 则分别为 30% 和 10%。

上述估算值基于减缓情景²²，该情景采用了存在区域差异的假设，即在这些物质的生产、使用、替代、回收和销毁方面应用最好做法。行业贡献如图 SPM-5 所示。[11.5]

¹⁷ 另类技术是指不使用卤烃而达到相同的产品目的，通常是采用替代方法或非正规技术。例如，使用操纵杆或喷雾泵除臭剂取代 CFC-12 气雾除臭剂；使用矿物棉取代 CFC、HFC 或 HCFC 绝缘泡沫；使用干粉吸入器（DPIs）取代 CFC 或 HFC 计量剂量吸入器（MPIs）。

¹⁸ 对于许多环境影响来说，综合方法如生命周期评估（LCA）涵盖了生命周期的所有阶段。在国际 ISO 标准如 ISO 14040:1997、ISO 14041:1998、ISO 14042:2000 和 ISO 14043:2000 中，对各种方法学的描述都非常详细。

¹⁹ 典型的简化方法包括等效增暖影响总量（TEWI），该方法只评估与使用阶段和废弃相联系的直接和间接温室气体排放；生命周期气候特性（LCCP），该方法还包括来自活动物质制造过程中的直接和间接温室气体排放。

²⁰ 对于本报告，最好做法被认为是在某一给定时间，通过在卤烃或卤烃产品的生产、使用、替代、回收和销毁过程中采用商业化技术，可以实现的最低卤烃排放（具体数字见表 TS-6）。

²¹ 为了比较，2000 年与化石燃料燃烧和水泥生产相关的 CO₂ 排放约为 24 GtCO₂/年。

²² 本报告使用的减缓情景基于存在区域差异的最好做法的假设，预测了直到 2015 年的卤烃减排。

直到 2015 年期间可以防止的与库存相关的排放中，大部分在制冷业的应用中，其 BAU 排放速率要远远大于同期来自泡沫材料的排放。愈早采取行动，例如回收 / 销毁和改进密封性，从 CFC 库存中可以捕获的排放就愈多。

4.2 2015 年的行业减排潜力及其相关成本是多少？

在制冷应用中，直接 GHG 排放可以减少 10 ~ 30%。对于整个制冷行业，减缓情景表明，到 2015 年直接排放总量大约减少 490 兆吨 CO₂ 当量 / 年，其中大约 400 兆吨 CO₂ 当量 / 年预计来自商业制冷。特定的成本范围为 10 ~ 300 美元 / 吨 CO₂ 当量^{23,24}。系统能效的提高也能极大地减少间接 GHG 排放。

在整个超市系统里，高达 60% 的较低 LCCP19 值可以通过使用替代制冷剂、改进密封性、分布式系统、间接系统或等级系统来获得。对于商业制冷行业

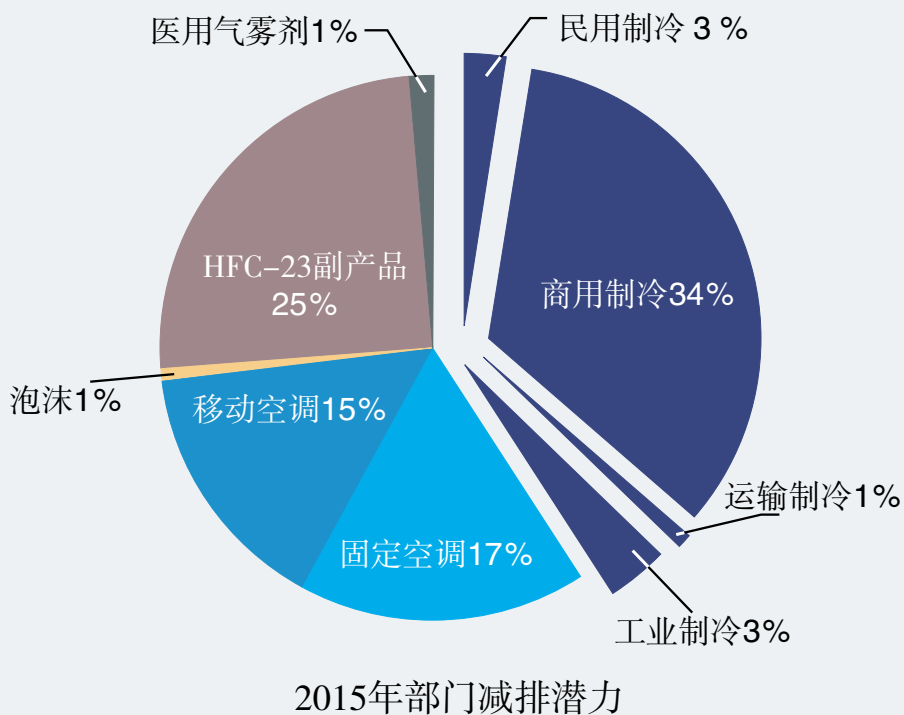
而言，制冷特定排放的减排成本范围为 20 ~ 280 美元 / 吨 CO₂ 当量。

在食品加工、冷藏和工业制冷中，预计未来氨的使用将增加，同时 HFCs 将取代 HCFC-22 和 CFCs。工业制冷剂的特定减排成本确定在 27 ~ 37 美元 / 吨 CO₂ 当量。在交通制冷中，具有较低 GWP 的替代品如氨、烃、氨 / 二氧化碳已经商业化了。

民用制冷的减排潜力相对较小，特定成本范围为 0 ~ 130 美元 / 吨 CO₂ 当量。针对不同的电力生产的碳强度，使用 HFC-134a 或异丁烷 (HC-600a) 系统的间接排在总排放中占优势。使用 HFC-134a 和异丁烷系统之间的 LCCP¹⁹ 差异很小，使用期限结束时的回收(增加一些成本)将进一步减小差异的量级。[4]

相对于 BAU 情景，到 2015 年，住宅和商业空调及采暖设备 (SAC) 的直接 GHG 排放可以减少大约 200 兆吨 CO₂ 当量 / 年，特定的成本范围为 -3 ~ 170 美元 / 吨 CO₂ 当量²³。当与能够减少间接 GHG

图 SPM-5: 与 BAU 预测相比，2015 年减少 CFCs、HCFCs 和 HFCs 直接排放的部门潜力。总减排潜力大约是 BAU 情景下直接 GHG 排放的一半(1.2 GtCO₂ 当量 / 年)。



²³ 介绍的成本数据只与直接排放的减少有关。考虑到能效的提高甚至可能导致净的负特定成本(节省)。

²⁴ 除非另外说明，本报告中的成本按 2002 年的美元给出。

排放的系统能效的提高相结合时,在许多情况下,可以增加净经济效益。减少直接 GHG (即制冷剂) 排放的机遇是: (1) 更有效地回收使用期限结束时的制冷剂 (在减缓情景下假设发展中国家和发达国家分别回收 50% 和 80%); (2) 减少制冷剂的注入量 (高达 20%); (3) 更好的密封性; (4) 在适合的应用中使用具有较低或可忽略不计的 GWP 的制冷剂。

改进建筑物外墙的完整性可以减少热量的获得或损失,从而对间接排放产生显著影响。

在发达国家,对于较小的系统,HFC 混合物和碳氢化合物 (HCs) 可以替代 HCFC-22。对于那些可以安全地采用 HCs 的应用,能效可与碳氟化合物制冷剂相比。未来的技术发展可以减少制冷剂的注入量,扩大 HCs 的适用性。[5]

在移动空调中,到 2015 年,减排潜力为 180 兆吨 CO₂ 当量/年,并能以 20 ~ 250 美元/吨 CO₂ 当量的成本来实现²³。特定的成本随地区和方法而异。改进密封性、使用期限结束时 (CFC-12 和 HFC-134a) 的回收以及 (HFC-134a 的) 循环利用能够减少高达 50% 的直接 GHG 排放。移动空调的 GHG 总 (直接和间接) 排放可以减少 30 ~ 40%,并使车辆所有者得到一定的经济效益。使用 CO₂ 或 HFC-152a 的新系统,具有相当的 LCCP,可能进入市场,到 2015 年减少 50 ~ 70% 的系统 GHG 总排放。估计每辆车增加的特定成本为 50 ~ 180 美元。

烃和烃混合物已在有限范围内得到应用,表现出适当的热动力特性,并允许达到较高的能效。然而,由车辆制造商和供应商确定的安全性和责任方面的关注限制了在新的车辆中使用烃的可能性。[6.4.4]

由于大多数泡沫应用的生命期具有长时间跨度,到 2015 年只有非常有限的减排,约为 15 ~ 20 兆吨 CO₂ 当量/年,特定的成本预计为 10 ~ 100 美元/吨 CO₂ 当量²³。减排潜力在未来几十年里将增加。

几个短期的减排措施已经取得进步,并作为 BAU 的一部分来考虑,例如在欧洲计划停止 HFC 在单一成分泡沫材料中的使用。在泡沫行业中,还存在两个具有减排潜力的关键区域。第一是在新制造的泡沫材料中减少哈龙的潜在使用。然而,混合物使用的增加和碳氟化合物使用的逐步淘汰都取决于进一步的技术开发和市场接受。在 2010 ~ 2015 年期间,减少 50% HFC 使用的行动将会减少大约 10 兆吨 CO₂ 当量

/年的排放,成本为 15 ~ 100 美元/吨 CO₂ 当量,之后将进一步减少²³。

第二个减排机遇可以从现有建筑物和设备的绝缘泡沫材料里所包含的世界范围的哈龙库存 (在 2002 年,CFC 和 HCFC 分别为 9 千兆吨 CO₂ 当量和 1 千兆吨 CO₂ 当量) 中发现。尽管回收的有效性尚未得到证实,并且迄今几乎没有什么相关经验,但是,特别是在建筑行业,商业运作已经正在以 10 ~ 50 美元/吨 CO₂ 当量的价格回收设备中的哈龙²³。到 2015 年,可能减排大约 7 兆吨 CO₂ 当量/年。不过,这一潜力在 2030 ~ 2050 年期间可能极大地增加,届时大量的建筑物绝缘泡沫材料将超过使用期限。[7]

由于医学方面的限制,医用气雾剂的减排潜力有限,替代品的排放水平相对较低但成本较高。除了 BAU 已经假设的变化外,计量剂量吸入器 (MDIs) 对 GHG 减排的主要贡献 (相对于 BAU 的 40 兆吨 CO₂ 当量/年) 到 2015 年减少为 14 兆吨 CO₂ 当量/年将是完成从 CFC 到 HFC 的 MDIs 转换。在进行治疗决策时,病人的健康和安全被认为是首要的,因此,相当大的医用局限性限制了 HFC 的 MDIs 使用。如果舒喘宁 MDIs (约为 MDIs 总量的 50%) 被干粉吸入器取代 (在减缓情景中并未作此假设),到 2015 年将减少大约 10 兆吨 CO₂ 当量/年的年排放,预计成本为 150 ~ 300 美元/吨 CO₂ 当量。[8]

在消防中,由于相对低的排放水平,到 2015 年减排潜力很小。在过去,重大的改变是使用类替代品,引进新的设备需要漫长的过程。2015 年 (BAU 情景),该行业的直接 GHG 排放估算约为 5 兆吨 CO₂ 当量/年。在最早的哈龙应用中,75% 已经转换为不产生气候影响的替代品,4% 继续使用哈龙,其余的 21% 已经转换为 HFCs,并有少量应用转换为 HCFCs 和 PFCs。新的固定系统已经不再需要 PFCs,在一种便携式灭火器的媒介混合物中,PFCs 被限于用作挥发剂。由于漫长的试验过程、对新的消防设备类型和媒介的认可及市场接受等原因,到 2015 年,没有额外的选择可能产生明显的影响。随着 2002 年氟化酮 (FK) 的引进,到 2015 年,该行业以较高成本进行额外减排是可能的。与其他行业相比,估算的减排量很小。[9]

对于非医用气雾剂和溶剂，存在几个减排机遇，但是减排潜力可能相当小，因为大多数剩余的使用对于性能或安全是至关重要的。到 2015 年，预计的溶剂和气雾剂的 BAU 排放分别约为 14 兆吨 CO₂ 当量 / 年和 23 兆吨 CO₂ 当量 / 年。在技术气雾剂的外衣下，用 HFC-152a 替代 HFC-134 是一种减少 GHG 排放的主要选择。对于接触式清洁器和塑料铸模释放媒介，用较低 GWP 的氢氟醚（HFEs）和 HFCs 来替代 HCFCs 提供了一种减排的机遇。一些国家在化妆品以及方便、新颖的气雾剂产品中已经禁止使用 HFC，尽管出于安全的原因，在许多国家继续使用 HFC-134a。

在许多应用中，各种有机溶剂可以替代 HFCs、PFCs 和 ODSs。这些替代液体包括具有较低 GWP 的化合物如传统的氯化溶剂、HFEs、HCs 和氧化溶剂。许多另类技术包括不洁和水洁工艺也是可行的替代方法。[10]

到 2015 年，源于 HCFC-22 生产过程中的 HFC-23 副产品排放的销毁具有高达 300 兆吨 CO₂ 当量 / 年的减排潜力。根据 2000 年进行的两个欧洲研究的结果，特定的成本低于 0.2 美元 / 吨 CO₂ 当量。

由于市场力量或国家政策导致的 HCFC-22 生产的减少，或者在设备设计和施工方面的改进也可能减少 HFC-23 的排放。[10.4]

4.3 当前的政策、措施和手段是什么？

可以采用各种政策、措施和手段以减少 ODSs 及其替代品如 HFCs 和 PFCs 的使用和排放，包括法规、经济手段、自愿承诺和国际合作。此外，通常的能源或气候政策将影响 ODSs 及其替代品以及另类替代应用的间接 GHG 排放。

本报告包含了一些国家（主要是发达国家）已经

采取的减少 ODSs 及其替代品使用或排放的政策和措施的信息。相关的政策和手段包括：

- 法规（例如性能标准、证书、限制、生命周期结束时的管理）；
- 经济手段（例如税收、排放贸易、经济激励、补贴和押金返还）；
- 自愿协议（例如自愿减少使用和排放、工业伙伴关系、执行好的做法指南）；
- 国际合作（例如清洁发展机制）。

应当指出，政策考虑取决于特定的应用、国情和其他因素。

4.4 关于未来在发展中国家有那些 HFCs/PFCs 可以使用问题有何谏言？

没有公开发表的资料可以用来预测未来的生产能力。然而，由于对 HFC 和 PFC 的生产不存在技术或法律上的限制，可以假设全球生产能力通常将继续满足或超过需求。因此，在本报告中，通过累计行业需求而对未来生产进行估算。

在 BAU 情景下，预计全球生产能力将扩大，额外的增长主要是通过合资发生在发展中国家。全球 HFC 和 PFC 的生产能力通常超过当前需求。在发达国家有许多 HFC-134a 的生产厂家，在发展中国家只有一个生产厂家，其他工厂尚在计划中。其他 HFC 的少量工厂几乎无一例外地都在发达国家。欧盟提出的在新车的移动空调中逐步淘汰 HFC-134a 以及减少 50% HFC-134a 排放的企业自愿计划将影响需求、生产能力和产量。发展中国家迅速扩大的市场，特别是对 CFCs 的替代，正在导致氟化气体的新的生产能力，这种气体目前正通过扩大 HCFC-22 和 HCFC-141b 生产能力而达到饱和。[11]

政府间气候变化专门委员会 / 技术和经济评估专家组特别报告：

保护臭氧层和全球气候系统：与氢氟碳化物和全氟化碳相关的问题

技术摘要

主要作者协调人

David de Jager (荷兰), Martin Manning (美国), Lambert Kuijpers (荷兰)

主要作者

Stephen O. Andersen (美国), Paul Ashford (英国), Paul Atkins (美国), Nick Campbell (法国), Denis Clodic (法国), Sukumar Devotta (印度), Dave Godwin (美国), Jochen Harnisch (德国), Malcolm Ko (美国), Suzanne Kocchi (美国), Sasha Madronich (美国), Bert Metz (荷兰), Leo Meyer (荷兰), José Roberto Moreira (巴西), John Owens (美国), Roberto Peixoto (巴西), José Pons (委内瑞拉), John Pyle (英国), Sally Rand (美国), Rajendra Shende (印度), Theodore Shepherd (加拿大), Stephan Sicars (德国), Susan Solomon (美国), Guus Velders (荷兰), Dan Verdonik (美国), Robert Wickham (美国), Ashley Woodcock (英国), Paul Wright (英国), Masaaki Yamabe (日本)

编审

Ogunlade Davidson (塞拉利昂), Mack McFarland (美国), Pauline Midgley (德国)

1. 引言

本 IPCC 特别报告是应《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC)(以下简称《公约》)^{1,2} 和《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》³ 之邀编写的,目的是提供一份有关影响全球气候系统的**消耗臭氧层物质**(ODSs)替代品的科学、技术和政策相关的而且涵盖均衡的报告。该报告由政府间气候变化专门委员会(IPCC)和《蒙特利尔议定书》的技术经济评估委员会(TEAP)组织编写。

由于 ODSs 能造成平流层臭氧⁴的耗损,其生产和消费受到《蒙特利尔议定书》的控制,《蒙特利尔议定书》的发达国家和发展中国家缔约方正在努力逐步淘汰 ODSs。ODSs 及其许多替代品都是**温室气体**(GHGs)对**气候变化**做出了贡献(见图 TS-1)。一些 ODS 替代品特别是**氢氟碳化物**(HFCs)和**全氟化碳**(PFCs)是包含在《公约》及其《京都议定书》下的温室气体。因此,保护臭氧层的各种选择可能会影响气候变化,而气候变化也可能间接地影响臭氧层。

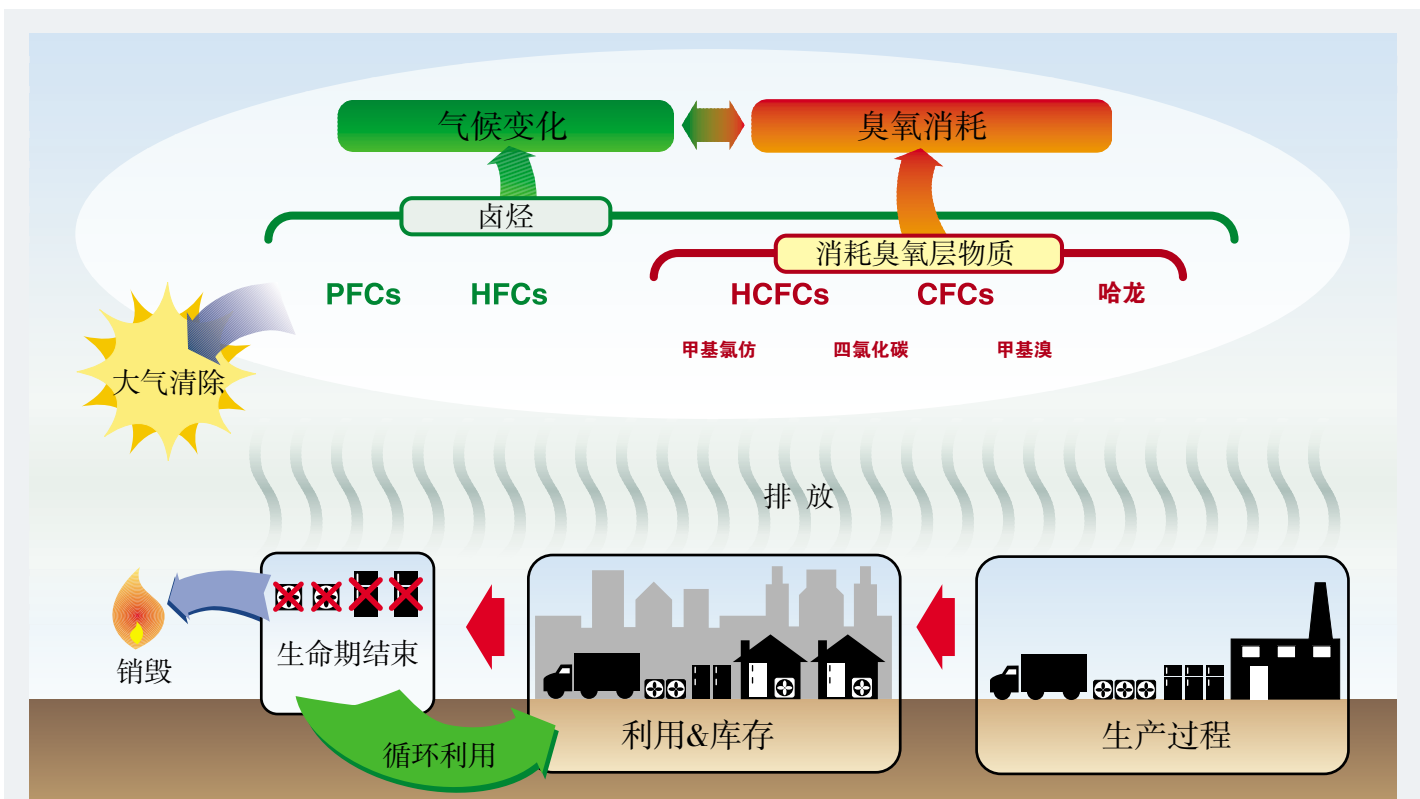


图 TS-1 本报告讨论的主要问题的示意图。氟氯碳化物(CFCs)、哈龙和氢氯氟碳化物(HCFCs)对臭氧层破坏和气候变化均有贡献,而氢氟碳化物(HFCs)和全氟化碳(PFCs)只导致气候变化,属于可能不造成臭氧耗损的ODSs替代物。红色表示的是在《蒙特利尔议定书》及其修改和调整版本⁵中包括的气体,绿色表示的是在UNFCCC和及其《京都议定书》中包括的气体。在本报告中考虑的减少卤烃排放的可选方案包括改进密封、回收、再生、销毁副产品和现库存量⁶、采用替代过程、使用具有减少的或者可忽略的全球增暖潜势的替代物。

¹ 决议 12/CP.8, FCCC/CP/2002/7/Add.1, 第 30 页。

² 术语表中定义的术语首次出现时用颜色标记出来。

³ 决议 XIV/10 UNEP/OzL.Pro.14/9, 第 42 页。

⁴ 除非另外说明,本报告中的臭氧是指平流层臭氧。

⁵ 以下简称为《蒙特利尔议定书》。

⁶ 库指在现有的设备、化学品库存、泡沫和其他仍未释放到大气中的产品中所包含的物质总量。

本报告考虑 ODSs 及其替代品的总排放对气候系统和臭氧层的影响。特别是，该报告提供了理解替代选择如何影响全球变暖的背景。本报告并不试图全面阐述替代选择对臭氧层的影响。

在一些应用中，**氢氯氟碳化物**（HCFCs）被用来替代**氯氟碳化物**（CFCs），因为它们在大气中的生命周期较短，因而造成较少的**臭氧层耗损**。HFCs 和 PFCs 被认为是潜在的 ODSs 长期替代品，因为它们既不包含溴也不包含氯，不会造成任何重大的臭氧层耗损。可是，所有这些物质都是温室气体，因此在不同程度上对气候变化做出了贡献。**卤烃**使用的其他替代品包括氨和有机物，其直接排放对于气候的影响很小，但其间接排放可能很重要。

本报告考虑了各行业减少卤烃排放的各种选择以及涉及到替代物质和技术的各种选择，以讨论温室气体减排问题。本报告还考虑了在 ODSs 替代范围内的 HFC 和 PFC 排放。来自铝或半导体生产或其他不涉及 ODS 替代行业的 HFC 和 PFC 排放并未包括在内。

使用 ODSs 及其 HFC/PFC 替代品的主要应用行业包括制冷、空调、泡沫、**气雾剂**、消防和**溶剂**。这些物质的排放源于制造过程和各种副产品的无意释放，有意的排放性应用，使用、测试和维护期间来自设备和产品中**库存**的蒸发和泄漏，以及使用期限结束时的处理。

关于特定的减排选择，本报告通常只涵盖直到 2015 年的时期，因为对于这些快速发展的行业来说，只能获得这一时期关于具有巨大市场潜力的替代选择

的可靠文献。本报告同时还考虑了技术性能、潜力评估方法学、能源利用的间接排放⁷以及成本、人类健康和安全、对空气质量的影响、未来可获得性问题等。

技术摘要（TS）汇集了来自主报告的关键信息，并在一定程度上根据主报告的结构，分为三个部分。第一部分描述了平流层臭氧耗损和气候变化之间的科学联系，提供了有关**辐射强迫**、观测到的强迫因子及排放的变化的信息（第 2 节），并讨论了逐步淘汰 ODSs 如何正在影响平流层臭氧和气候变化及其对于空气质量和局地环境问题的影响。本报告并不试图对臭氧层和气候变化进行其他专业的广泛和深入的评估，而只是评估与考虑替代选择相关的这两个环境问题之间的相互作用。

第二部分评估了替代 ODSs 的各种选择，包括环境、健康、安全、可获得性和技术性能问题（第 3 节和第 4 节）。本报告评估了每个应用行业减少排放及其净增暖影响的做法和替代技术，包括考虑应用过程的改进，**密封性**的改进，使用期限结束时的**回收、循环利用**、处理和**销毁**，以及相关的政策和措施。

第三部分讨论了供需问题。本报告综合了可以得到的有关行业和区域排放的所有信息，考虑了供需之间的平衡，并考虑了那些与发展中国家关联的问题（第 3.8 节）。

⁷ 应该指出，国家清单报告团体使用“间接排放”的术语，是特指由于环境中另一种物质的破坏而引起的温室气体排放。这与本报告中该术语的用法存在差异，这里是特指与生命周期评估（LCA）方法如等效增暖影响总量（TEWI）或生命周期气候特性（LCCP）相联系的与能源相关的 CO₂ 排放。

2. 卤烃、臭氧层耗损和气候变化

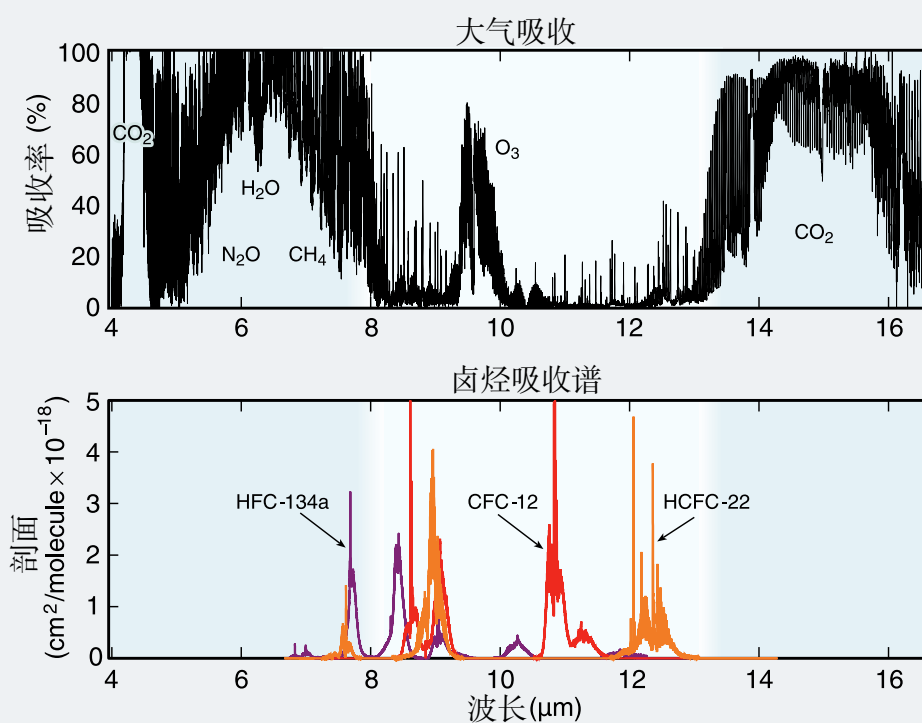
2.1 氯氟碳化物及其替代品如何对气候系统的辐射强迫做出贡献?

许多卤烃包括 CFCs、PFCs、HFCs 和 HCFCs 是有效的温室气体,因为它们吸收某一光谱范围的地球红外辐射,这一光谱范围的能量不能被二氧化碳(CO₂)或水汽吸收(有时候被称为大气窗,见图 TS-2)。卤烃分子吸收地球辐射能量的效率要比 CO₂ 分子高出数千倍,少量的这类气体就可以对气候系统的辐射强迫⁸ 做出重大贡献。[1.1]⁹

表 TS-1 列出了在《蒙特利尔议定书》和《京都议定书》下报告的卤烃和其他混合温室气体的辐射效率($\text{W m}^{-2} \text{ppb}^{-1}$)。对于这里考虑的大多数气体来说,一种气体所产生的直接辐射强迫的大小可以通过其混合比(十亿分之几, ppb)与辐射效率的乘积得到。对于含量更为丰富的温室气体如 CO₂、甲烷和氧化亚氮,其混合比与辐射强迫之间存在非线性关系。[1.1]

CO₂ 和水汽的主要辐射效应是增暖地表气候但使平流层变冷。然而,由于卤烃在大气窗中的吸收作用,其直接辐射效应是既增暖对流层,又增暖平流层。[1.2 和注释窗 1.4]

图 TS-2 顶部: 大气的红外吸收 (0 代表没有吸收而 100% 代表完全吸收), 数据来自卫星 IMG/ADEOS 辐射率测量 (1997 年 4 月 3 日, 9.5° W, 38.4° N)。底部: 红外大气窗口中卤烃 (HCFC-22, CFC-12, HFC-134a) 的吸收截面。大气窗分布于由 CO₂, H₂O, O₃, CH₄ 和 N₂O 的强烈吸收所造成的几个几乎不透明的区域之间。[图 2.6]



⁸ 辐射强迫可以度量某种因子对改变地-气系统能量收支平衡的影响,是该因子作为一种潜在气候变化机制的重要性的指标,用每平方米瓦(W m^{-2})来表示。温室气体通过对辐射的吸收和排放产生直接辐射强迫,还可能通过影响其他温室气体或颗粒物的化学相互作用产生间接辐射强迫。

⁹ 方括号里的数字表示主报告的相应章节,说明相关段落的基本素材和参考资料可以在这些章节中查找。

表 -1. 根据蒙特利尔议定书和京都议定书正常报告的均匀混合的温室气体和卤烃类化合物的辐射效应、寿命，以及由于其在 1750 年到 2000 年和 1970 年到 2000 年间的浓度上升所导致了正直接辐射强迫。详细情况请查阅第 1.1 节，特别是表 1.1；还有 2.2 节，尤其是表 2.6..

气体种类	辐射效应 (W m ⁻² ppb ⁻¹)	寿命 (年)	强迫辐射 (W m ⁻²)	
			1750-2000	1970-2000
CO ₂	1.55 × 10 ⁻⁵ ^a	∞ ^b	1.50	0.67
CH ₄	3.7 × 10 ⁻⁴	12 ^c	0.49	0.13
N ₂ O	3.1 × 10 ⁻³	114 ^c	0.15	0.068
CFC-11	0.25	45	0.066	0.053
CFC-12	0.32	100	0.173	0.136
CFC-113	0.3	85	0.025	0.023
CFC-114	0.31	300	0.005	0.003
CFC-115	0.18	1700	0.002	0.002
HCFC-22	0.20	12	0.0283	0.0263
HCFC-123	0.14	1.3	0.0000	0.0000
HCFC-124	0.22	5.8	0.0003	0.0003
HCFC-141b	0.14	9.3	0.0018	0.0018
HCFC-142b	0.2	17.9	0.0024	0.0024
HCFC-225ca	0.2	1.9	0.0000	0.0000
HCFC-225cb	0.32	5.8	0.0000	0.0000
HFC-23	0.19	270	0.0029	0.0029
HFC-32	0.11	4.9	0.0000	0.0000
HFC-125	0.23	29	0.0003	0.0003
HFC-134a	0.16	14	0.0024	0.0024
HFC-152a	0.09	1.4	0.0002	0.0002
HFC-227ea	0.26	34.2	0.0000	0.0000
哈龙-1211	0.3	16	0.0012	0.0012
哈龙-1301	0.32	65	0.0009	0.0009
哈龙-2402	0.33	20	0.0001	0.0001
CCl ₄	0.13	26	0.0127	0.0029
CH ₃ Br	0.01	0.7	0.0001	0.0000
CH ₃ CCl ₃	0.06	5	0.0028	0.0018
CF ₄	0.08	50,000	0.0029	0.0029
C ₂ F ₆	0.26	10,000	0.0006	0.0006
C ₃ F ₈	0.26	2600	0.0001	0.0001
乙烷	0.0032	0.21	-	-
戊烷	0.0046	0.010	-	-

注释

^a CO₂ 的辐射效应是随着其浓度的上升而下降。

^b CO₂ 从大气中的去除包含许多不同的过程，去除率不可能用单一的寿命来准确地表达。尽管如此，碳循环模式通常估计有 30%-50% 的排放到大气中 CO₂ 会在大气中滞留一百年以上。

^c CH₄ 和 N₂O 的寿命已经包含了每种气体的排放对其自身寿命的间接影响。

除直接气候效应外，某些气体通过其降解产品产生的辐射强迫或通过其对大气化学的影响还具有间接效应。包含氯和溴的卤烃是 ODSs。由于臭氧是一种强烈的 UV 辐射吸收体，因此，与其直接增暖效应相比，它们具有相当大的间接冷却效应。对于碳氢化合物，与对流层臭氧产生相关的间接效应可能要比其直接效应大得多。[1.1, 1.5, 注释窗 1.3, 2.2 和 2.5]

2.2 氯氟碳化物及其替代品排放到大气中以后可以滞留多长时间？

具有较长生命期的气体停留在大气中，因此可能更长的时期内对气候产生影响。几种卤烃及其替代品的生命期如表 TS-1 所示。大多数 CFCs 在 50 ~ 100 年的时间尺度内可以从大气中清除。除 HFC-23（其生命期为 270 年）以外，通过大气化学氧化过程可以有效地清除对流层中的 HCFCs 和 HFCs，因此，

它们的生命期范围大约为1年到几十年。PFCs是非常惰性的分子，其排放对气候系统增暖的贡献可以超过1000年的时间尺度。[2.2]

大多数卤烃气体的生命期足够长，因此在它们被清除之前，可以在整个大气层充分混合。所以，它们在整个对流层的混合比接近常数。相反，氨和有机化合物的典型生命期范围为数天到数周，因而它们的空间和时间分布不稳定。[2.2]

2.3 氯氟碳化物、哈龙、氢氯氟碳化物、氢氟碳化物和全氟化碳的大气浓度和排放如何变化？

从图TS-3的示例可以看出，大气观测值表明全球CFCs浓度从20世纪70年代到90年代期间大幅度增加，因此，CFCs对辐射强迫的贡献也主要在这一时期内增长，而替代品的浓度目前正在增加之中。HCFC-22是含量最丰富的HCFC，当前浓度为160 ppt。其浓度在20世纪70年代早期开始增加，同时增加的还有CFCs的浓度；而其他重要的HCFCs浓度主要在20世纪90年代增加，同时增加的还有HFCs的浓度。[1.2, 2.3]

目前在ODSs中观测到的变化速率不同，主要取决于其排放和大气生命期（见表TS-2）。根据《蒙特利尔议定书》及其后来的修正案，ODS的生产和排放已经大幅度减少。某些CFCs的浓度已经达到峰值，而其他CFCs的浓度预计在未来将下降。在完全没有排放的情况下，这些气体的浓度将以缓慢的速率下降，这一速率由其数十年到数百年的大气生命期决定。持续的排放将引起这些气体浓度的增加，或减小其浓度下降的速率。大气浓度年度变化的观测数据提供了对于长生命期气体的全球排放总量的最可靠估算。例如，观测到CFC-11将以比没有排放情况下的速率低60%的速率下降，而CFC-12却略有增加，这表明上述两种气体仍在持续排放。可是，CFC-113正在以接近没有排放情况下的速率下降。表TS-2给出了观测到的主要CFCs、哈龙、HCFCs、HFCs和PFCs的全球浓度和增长或衰减的速率，以及为了解释目前观测到的趋势所估算的向大气的排放量。[2.3, 2.5]

图TS-3 估计的CFC-11, HCFC-22和HFC-134a的全球对流层混合比(ppt)，分为南北两个半球表示。红色和蓝色符号表示从AGAGE（高级全球大气气体实验）和CMDL（气候监测与诊断实验室测量）网络所测量到的数据，红线和蓝线表示基于排放和大气寿命估计而模拟出的CFC-11浓度。黑线和阴影区域表示CFC-11和HCFC-22的估计值和不确定性的范围，源自南极冰雪冰原空气测量和坎普格里姆（Cape Grim）观测站的现场观测的综合反演。有箭头和误差条的粗黑色水平线表示1940年以前CFC-11浓度的单独上限估计，该估计基于南极冰原空气测量的数据。注意这里所标示的气体被用于不同的行业用途，仅作参考。[图1.8]

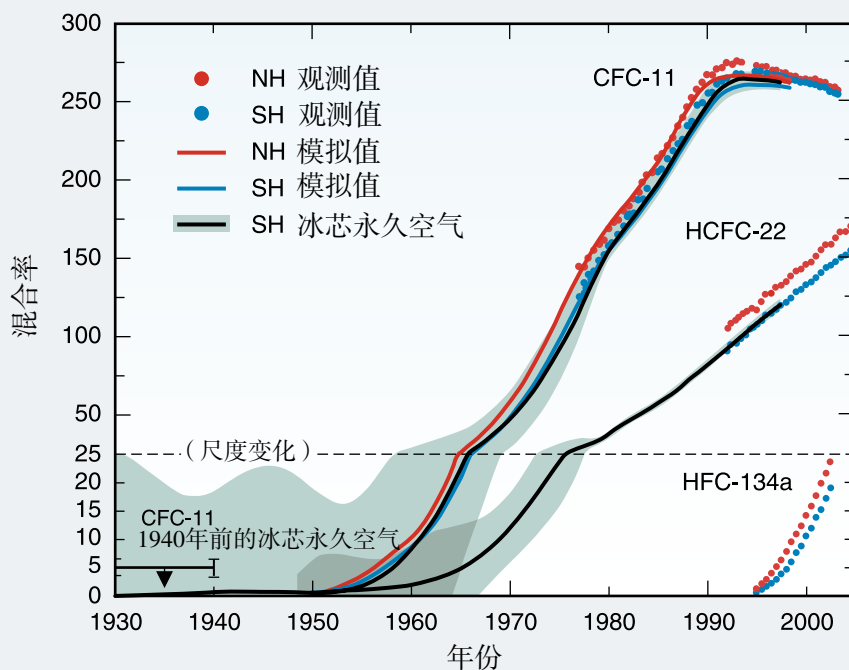


表 TS-2. 在接近 2003 年观测到的一些含量最丰富的 CFCs、HCFCs、HFCs 和 PFCs 的全球浓度和趋势，以及解释这些趋势所需要的全球总排放量。为了比较，下面列出了 1990 年的估计排放量，即在总臭氧层耗损物质排放峰值迟后一点。详见 2.3 节，特别是表 2.1 和图 2.4。

种类	2003 年的浓度 (ppt)	2001-2003 年的 变化趋势 ^a (ppt/年)	以浓度 百分率表示的 变化趋势 ^b %		估计的 2002 年排放量 ^b (kt 年)	估计的 1990 年排放量 ^c (kt 年)	1990 年排放量 ^c (GtCO ₂ 当量/年) ^d
			2001-2003 年的 变化趋势 ^a (ppt/年)	百分率表示的 变化趋势 ^b %			
CFC-11	256	-1.9 - -2.7	-0.7 - -1.1		70 - 90	280 - 300	1.31 - 1.40
CFC-12	538	+0.2 - +0.8	+0.04 - +0.16		110 - 130	400 - 430	4.29 - 4.61
CFC-113	80	-0.6 - -0.7	-0.8 - -1.0		5 - 12	180 - 230	1.09 - 1.39
主要 CFCs 总量					185 - 232	860 - 960	6.68 - 7.40
HCFC-22	157	+4.5 - +5.4	+2.8 - +3.4		240 - 260	185 - 205	0.33 - 0.36
HCFC-123	0.03	0	0		n.a. ^e	0	0
HCFC-141b	16	+1.0 - +1.2	+6.3 - +7.5		55 - 58	0	0
HCFC-142b	14	+0.7 - +0.8	+4.3 - +5.7		25	10 - 20	0.02 - 0.05
主要 HCFCs 总量					320 - 343	195 - 225	0.35 - 0.41
HFC-23	17.5	+0.58	+3.3		13	6.4	0.09
HFC-125	2.7	+0.46	+17		9 - 10	0	0
HFC-134a	26	+3.8 - +4.1	+15 - +16		96 - 98	0	0
HFC-152a	2.6	+0.34	+13		21 - 22	0	0
主要 HFCs 总量			139 - 143		0.36	0.09	
哈龙-1211	4.3	+0.04 - +0.09	+0.9 - +2.8		7 - 8	11.5	0.02
哈龙-1301	2.9	+0.04 - +0.08	+1.4 - +2.8		1 - 2	5.1	0.04
CCl ₄	95	-0.9 - -1.0	-1.0 - -1.1		64 - 76	120 - 130	0.17 - 0.18
CH ₃ CCl ₃	27	-5.6 - -5.8	-21 - -23		15 - 17	646	0.09
CF ₄	76	n.a. ^e	n.a. ^e		n.a. ^e		
C ₂ F ₆	2.9	+0.1	+3.4		n.a. ^e		
C ₃ F ₈	0.26	n.a. ^e	n.a. ^e		n.a. ^e		

^a来自不同监测网络的对流层平均浓度和趋势和范围。

^b从现在浓度和趋势估算

^c基于第二章图 2.4 估计的 1990 年的排放量，HFC-23 排放来源于第十章。

^d用本报告中的直接 GWP 来加权计算所得的排放。(译者注：GWP 为全球变暖潜势的英文缩写)

^en.a. - 无。没有可靠的数据去确定趋势的可靠性或者排放量。

为比较起见，表 TS-2 还给出了 1990 年排放的早期估算值 (WMO, 2003)¹⁰，略在 ODS 排放峰值之后。CFC-113 和 CH₃CCl₃ 主要都用作溶剂，没有累积的库存，其排放从 1990 年到 2000 年约减少了十分之九。平流层氯水平已经趋于稳定，并且可能已经开始下降。[2.3]

表 TS-2 所给出的当前 CFC-11 和 CFC-12 排放的估算值要大于对其新的生产量的估算值，这说明排放的大部分源自过去所生产的这些化学品的累积库存，包括包含在泡沫、空调、制冷和其他应用中的材料。相反，几乎所有 HCFCs 和 HFCs 的当前生产量都要大于其排放量，这意味着这些化学品的库存目前正在累积，可能对未来的辐射强迫做出贡献。一种度量此类库存适当性的指标是库存量与已经进入大气的排放量之比。例如，就 HFC-134a 来说，库存量与排放量的估算值基本相等。[2.3, 2.5 和 11.3]

目前，持续的 CFCs 和其他 ODSs 的大气观测值能够改进对生产与排放到大气之间的滞后的估算值的验证。这可以提供关于库存以及与未来 HCFC 和 HFC 替代品使用相关的使用期限结束时各种选择的总体重要性的新的见解。[2.5]

对于某些气体而言，目前具有充分的大气观测数据，可以确定其全球以及某些地区的区域排放。例如，大气观测值表明：在 1995 ~ 1998 年和 1996 ~ 2000 年期间，欧洲地区 HFC-134a 和 HFC-152a 的排放急剧增加，之后达到稳定，直到 2003 年。[2.3]

2.4 与工业革命之前以及 1970 年相比，卤烃气体及其替代品对于气候系统正的辐射强迫的贡献有多大？

表 TS-1 和图 TS-4 综述了 1750 ~ 2000 年和 1970 ~ 2000 年期间由于卤烃浓度增加对直接辐射强迫的贡献。从 1750 年到 2000 年期间，由于这些增加产生的直接辐射强迫估计约为 $0.33 \pm 0.03 \text{ W m}^{-2}$ ，相

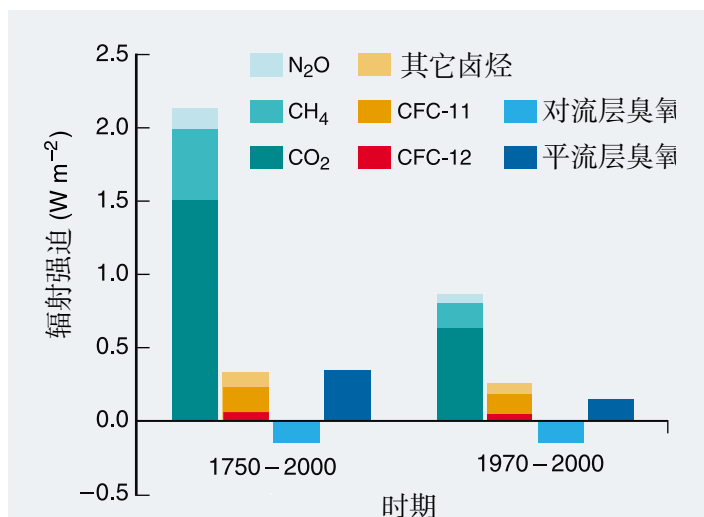


图 TS-4 由于在 1750-2000 年和 1970-2000 年时段均匀混合的温室气体和臭氧的变化而造成的辐射强迫 (W m^{-2})。1970 到 2000 年期间由于哈龙的排放而引起平流层臭氧的耗损，从而出现了平流层臭氧引起的负辐射强迫。相反，对流层臭氧辐射强迫却与卤烃的辐射强迫基本无关。[图 1.3]

当于同期所有混合温室气体增加产生的总辐射强迫的 13%。CFCs、HCFCs 和 HFCs 的贡献分别约为 0.27 W m^{-2} 、 0.033 W m^{-2} 和 0.006 W m^{-2} 。[1.1 和 1.5]

由于卤烃浓度的增加主要发生在过去的 30 年里，因此其对总辐射强迫的相对贡献在这一时期较大。从 1970 年到 2000 年期间，由于卤烃增加产生的直接辐射强迫为 $0.27 \pm 0.03 \text{ W m}^{-2}$ ，相当于所有混合温室气体增加产生的总辐射强迫的 23%。目前，HCFCs 对直接辐射强迫的贡献以 HCFC-22 为主，而 HFCs 的贡献则以 HFC-134a 和 HFC-23 为主，后者主要是 HCFC-22 生产过程中排放出的副产品。[1.1, 1.5]

¹⁰ WMO, 2003: 臭氧耗损科学评估: 2002. 全球臭氧研究和监测项目 - 第 47 号报告, 世界气象组织, 日内瓦, 498 页.

2.5 最近几十年平流层臭氧的变化及其原因是什么？

如图 TS-5 所示，在过去几十年里平流层臭氧量已经减少，特别是在南极地区。自 1980 年以来，观测到南极地区春季臭氧的减少量最大（南极臭氧洞）。在九月和十月，每月的臭氧柱总量约比出现臭氧洞之前的数值低 40 ~ 50%。[1.2, 1.3 和 1.4]

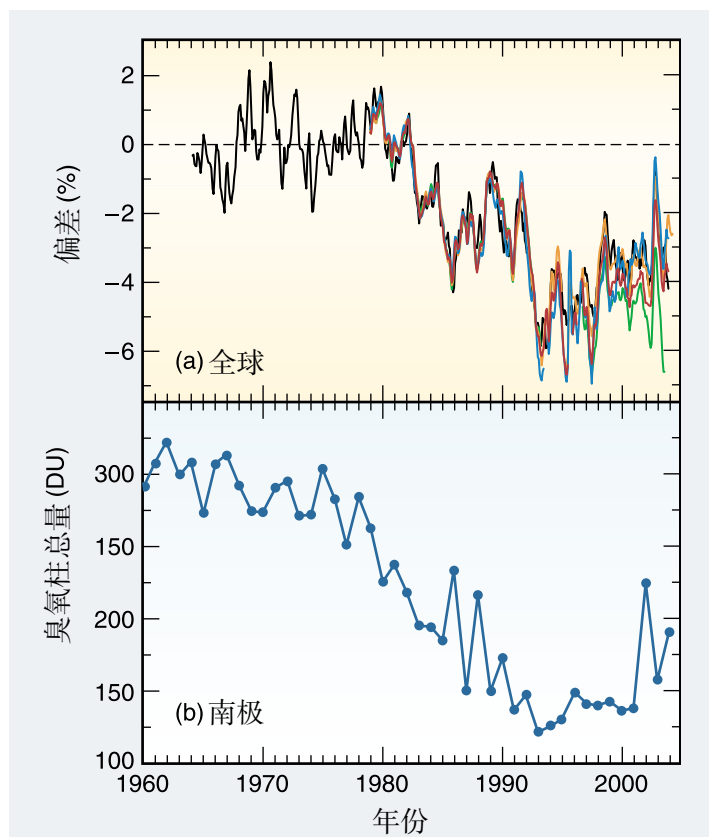


图 TS-5 顶部：从五组不同的数据集估计的、去除季节变化的全球平均臭氧柱总量距平的时间序列。数据来自地基观测（黑线）和卫星（彩色线）观测资料。以 1964-1980 年时间平均值的百分数表示距平。]底部：南极哈雷站 (73.5° S, 26.7° W) 的 Dobson 分光光度计测得的十月平均臭氧柱总量值。[图 1.4 和 1.5]

在任何指定的年份，北极臭氧的耗损都极大地取决于气象条件。在近来较冷的年份，北极臭氧已经通过化学方式耗损了 30%，而在温暖年份，观测到的耗损非常小。自 1980 年以来，全球平均臭氧量大约减少了 3%。臭氧柱在南半球中纬度地区 (35° ~ 60°) 减少了 6%，在北半球减少了 3%。在热带地区尚未观测到臭氧柱的重大长期变化。观测数据和模式计算表明，全球平均臭氧层耗损量目前已经基本趋于稳定（见图 TS-5）。[1.2]

观测到的臭氧变化由化学和动力因素引起，其中以化学因素为主。臭氧层耗损主要是由于活性氯化物和溴化物的浓度增加引起的，而这两种化合物都是在人为 ODSs 的降解过程中产生的，人为的 ODSs 包括哈龙、CFCs、HCFCs、甲基氯仿 (CH₃CCl₃)、四氯化碳 (CCl₄) 和甲基溴化物 (CH₃Br)。自 1970 年以来，人类活动已经使平流层氯含量相对于估算的自然背景水平增加了五倍。CFCs 是导致这种变化的主要根源，而目前 HCFCs 对于平流层氯含量的贡献约为 5%。[1.2, 1.3 和 1.4]

2.6 臭氧层耗损如何影响气候系统的辐射强迫？

观测和模拟表明：臭氧层耗损使得平流层变冷，反过来又造成对流层和地表的冷却。ODSs 引起的气候增暖以及与臭氧层耗损相关的变冷是两种截然不同的机制，由不同的物理过程和反馈控制，对这两种机制的科学理解水平也完全不同。在本报告中，根据 IPCC (2001)¹¹ 假设观测到的耗损完全由 ODSs 引起，并且臭氧辐射强迫被认为是 ODSs 引起的一种间接效应。含溴的气体（如哈龙）是特别有效的消耗臭氧层物质，在分子水平上，其对于间接效应的贡献要比其他消耗臭氧层气体如 CFCs 大。[1.1, 1.2, 1.3 和 1.5]

¹¹ IPCC, 2001: 气候变化 2001: 科学基础. 政府间气候变化专门委员会第三次评估报告第一工作组撰写 [Houghton, J. T., 丁一汇, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, 和 C. A. Johnson (eds.)]. 英国, 剑桥, 剑桥大学出版社, 美国, 纽约, 944 页。

1970 ~ 2000 年期间与臭氧层耗损相关的负的间接辐射强迫的最佳估算值为 $-0.15 \pm 0.10 \text{ Wm}^{-2}$ ，其中大的不确定性由模式估算值的范围决定，并且主要是由于臭氧层耗损的详细垂直分布存在不确定性而引起。间接效应很可能¹²小于 ODSs 引起的正的直接辐射强迫 ($0.32 \pm 0.03 \text{ Wm}^{-2}$) (对此已经很好地了解)。如果一部分观测到的全球臭氧层变化不能归因于 ODSs 的话，那么这一间接效应的大小将会减少。[1.5]

不同种类气体对于正的直接辐射强迫和负的间接辐射强迫的相对贡献如图 TS-6 所示。然而，由直接和间接辐射强迫产生的增暖和冷却效应并不能简单地相互抵消，因为这两种气候效应的空间和季节分布不同。[1.2, 1.5 和注释窗 1.4]

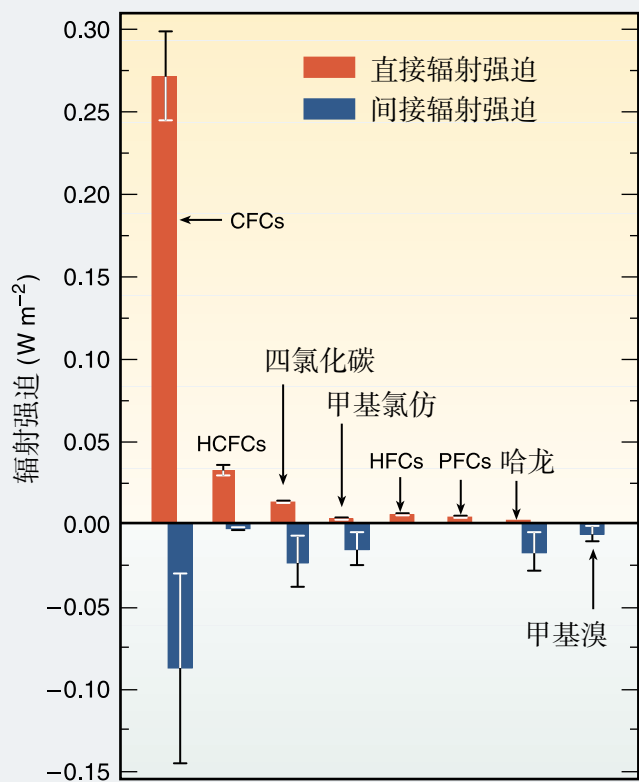


图 TS-6 由于 1750-2000 年卤烃变化引起的辐射强迫 [根据表 1.1]。

有限的全球气候模拟和统计学研究表明，臭氧层耗损是一种可能影响气候变率分布的机制，而这对于两个半球的对流层环流和温度非常重要。特别是，发生在南极地区平流层臭氧的重大耗损可能已经影响到平流层环流，并因此影响对流层。有迹象表明，南极臭氧洞已经对观测到的南极高原的变冷和南极半岛地区的增暖做出了贡献。[1.3]

2.7 预计控制下一世纪臭氧层的因素是什么？臭氧层将会“恢复”到出现臭氧洞以前的数值吗？这种恢复是否已经开始？

由于排放量减少而引起的 ODS 浓度的下降，预计全球臭氧层将随着平流层氯和溴含量的减少而恢复。虽然可以预期这是臭氧层恢复的主要因素，但其他温室气体（如 CO₂、甲烷和氧化亚氮）的排放也能影响对流层和平流层化学及气候，从而对臭氧层恢复产生某种影响。[1.3 和 1.4]

图 TS-7 给出了 60° S ~ 60° N 纬度范围内平流层臭氧变化的预报值，这些数值是根据二维光化学模式以及直到 2003 年的地基和卫星测量数据得到的。这类计算机模拟结果表明：全球臭氧层正随着卤素气体排放和浓度的减少在逐渐恢复。可是，关于恢复的时间，模式结果之间的差异很大，取决于模式对未来气候和大气成分所作的假设，因而相当不确定。[1.4 和注释窗 1.7]

预计与 GHG 排放相关的未来温度变化将会使平流层部分区域的臭氧耗损增强，其他区域的臭氧耗损减弱。预计 CO₂ 浓度的增加将使平流层变冷，从而降低平流层大部分区域气态臭氧破坏的速率，因而将增加 25 公里高度附近的臭氧浓度。相反，较低的温度可能会减少较低高度的臭氧浓度。尽管认为后一效应在北极暮冬到早春季节最为重要，但与其他过程相比可能很小，并且将因氯和溴含量的减少而随着时间缓慢减小。此外，可能发生与 GHG 增加相关的平流层环流变化，这种变化既可能增加也可能减少未来中纬度和极地地区的臭氧量。未来 GHG 排放对于全球臭氧层的净影响取决于这些效应的综合，其影响的量级和方向目前都是非常不确定的。[1.3 和 1.4]

¹² 在本报告中，下面的措词被用在适当的地方表示对可信度的判断：很可能(90 ~ 99% 的机率)；可能(66 ~ 90% 的机率)；不可能(10 ~ 33% 的机率)；非常不可能(1 ~ 10% 的机率)。

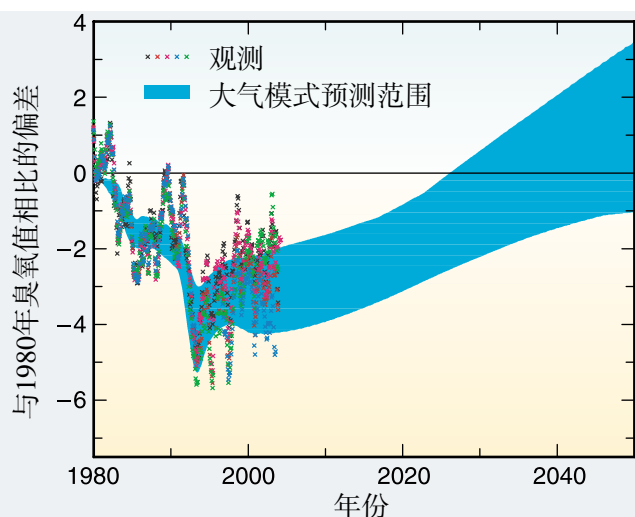


图 TS-7 与 1980 年相比中低纬度地区 ($60^{\circ}\text{S} - 60^{\circ}\text{N}$) 去除季节性后的臭氧柱总量的观测和模拟值的变化。黑色符号表示地基遥感观测, 彩色符号代表各种卫星观测数据集。模式预测的范围来自一些使用相同的卤烃的排放情景的不同的二维光化学模式; 一些模式考虑 CO_2 浓度变化对于平流层温度的影响。这些测量方法表明, 在南北纬 60 度之间的臭氧柱总量从 20 世纪 80 年代早期就开始下降, 模式很好地再现了下降的时间和程度。模拟的含卤素气体浓度在 21 世纪初期的下降, 这应该归功于《蒙特利尔议定书》, 因此模拟的臭氧值增加并且恢复到 1980 年前的水平 [框图 1.7]。

从图 TS-7 所示的观测数据可以看出, 很难检测臭氧层是否已开始恢复, 因为臭氧水平的变率很大。这一变率既是由于气象变率所引起, 也是由于火山爆发对臭氧层的混合影响。因此, 尚不能声明已经明确无误地发现臭氧层开始恢复。[1.2., 1.4 和注释窗 1.7]

模式结果表明南极臭氧的最低水平已经出现, 或者在未来几年内应该出现。有关北极臭氧最低水平出现时间的预测较不确定, 这是因为该地区臭氧的自然变率要大得多, 但是模式结果表明应该在未来 20 年内出现。类似于当前在南极观测到的北极“臭氧洞”非常不可能出现。[1.3 和 1.4]

2.8 预计氯氟碳化物、氢氯氟碳化物及其可能替代品对于未来气候系统辐射强迫的影响有多大?

基于 SRES 排放情景估算的 2015 年 HFCs 的辐射强迫为 $0.022 - 0.025 \text{ Wm}^{-2}$; 基于本报告第 11 章的情景估算的这一辐射强迫的范围则为 $0.019 - 0.030 \text{ Wm}^{-2}$ 。基于 SRES 情景, 2015 年 PFCs 的辐射强迫约为 0.006 Wm^{-2} 。上述 HFC 和 PFC 的辐射强迫分别相当于估算的 2015 年 CFCs 和 HCFCs 引起的辐射强迫总量 (对于基准情景估算为 0.297 Wm^{-2}) 的 6 - 10% 和 2%。[2.5 和 11.5]

图 TS-8 给出了基于情景的未来辐射强迫的预估。由于不断增长的未來技术和政策不确定性的影响, 这种较长时间尺度的预估不太确定。但是基于 SRES 排放情景的范围, 到 2100 年 HFCs 的贡献可能为 $0.1 - 0.25 \text{ Wm}^{-2}$, 而 PFCs 的贡献可能为 $0.02 - 0.04 \text{ Wm}^{-2}$ 。[1.5 和 2.5]

图 TS-8 给出了卤烃的过去排放 (即目前大气中的物质)、假设当前做法不变源自新的生产的未来排放 (基于 WMO 的 Ab 情景) 以及来自当前库存的排放对于未来卤烃辐射强迫的贡献估算值。图中给出了两种不同的库存估算值, 一种基于 WMO (2003) 臭氧评估, 另一种基于本报告的后面章节。尽管当前 ODS 库存量很不确定, 但预计其对于辐射强迫的贡献可与未来几十年里排放到大气中的 HFC 的辐射强迫相当。这说明, 与使用期限结束时各种做法 (如当前库存材料的销毁) 相关的选择可以极大地有益于气候系统。使用期限结束时的回收、循环利用和销毁做法还能减少所有新近生产的卤烃的排放, 从而减少如图 TS-8 所示的其对辐射强迫的贡献。[1.5]

除了减少大气中氯含量以外, 在《蒙特利尔议定书》及其修正案下采取的行动还能减少 CO_2 当量排放总量, 这是由于替代品通常具有较低的全球增暖潜势 (GWPs), 并且卤烃排放总量已经减少。通过比较表 TS-2 中给出的 1990 年和 2000 年的排放数据, 可以看出这种减少, 并且, 图 TS-9 也更一般性地显示出这种减少。因此, CFCs、HCFCs 和 HFCs 的 CO_2 当量排放总量已经从 1990 年左右的峰值 $7.5 \pm 0.4 \text{ GtCO}_2$ 当量/年下降到 2000 年左右的 $2.5 \pm 0.2 \text{ GtCO}_2$ 当量/年, 相当于同期全球化石燃料燃烧所产生排放的 10%。[2.3 和 2.5]

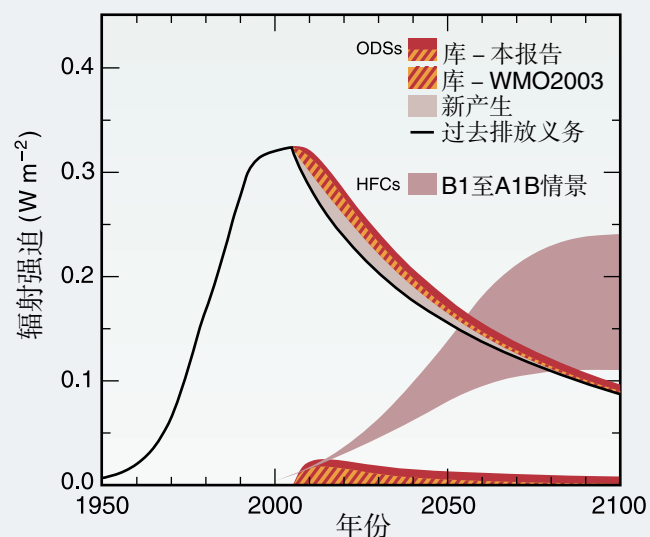


图 TS-8 所有 ODSs 的直接辐射强迫与 SRES 预估的 HFCs 相比。直接辐射强迫分为对过去排放承担义务的贡献(黑色实线)和允许按《蒙特利尔议定书》规定新产生物质的释放和 2004 年 ODS 现有库存量的释放。对后者的排放给出了两种估计 - 详见第二章。SRES B1 和 A1B 情景(红色阴影的边界)下表示由于 HFCs 而引起的辐射强迫。由于推迟释放库存的 ODSs 的贡献被分开表示, 该贡献与推算的未来二十年的 HFCs 影响具有可比性。ODSs 也对辐射强迫有其他的间接影响。[图 1.19]

氨和那些用作卤烃替代品的碳氢化合物在大气中的生命期从数天变化到数月, 与其作为替代品使用相关的直接和间接辐射强迫对于全球气候的影响很可能可以忽略不计。

2.9 什么是全球增暖潜势? 如何使用?

GWP 是对某种物质排放在选择的时间范围内相对于同等 CO₂ 排放所产生的未来辐射效应的一种度量。一种物质的 GWP 值与其辐射效率成正比, 并随其大气生命期而增加。GWPs 在度量混合温室气体(其大气生命期由类似的过程控制, 包括大多数卤烃)的直接辐射强迫所产生的相对气候响应时最为有用。[2.5 和注释窗 2.4]

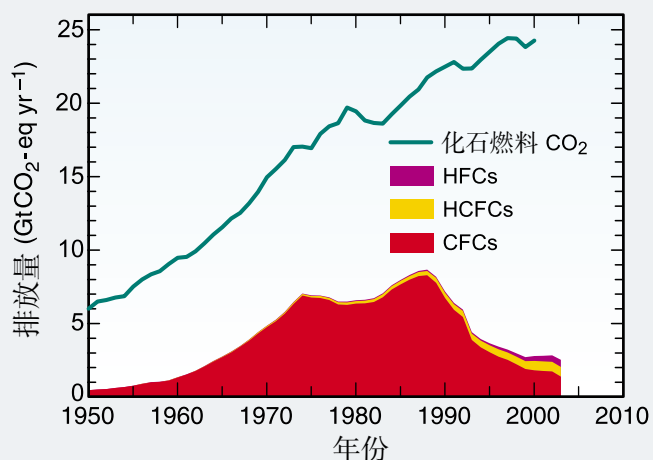


图 TS-9 CFCs、HCFCs 和 HFCs 直接的、GWP 加权后的排放(百年时间范围)与化石燃料燃烧和水泥生产造成的二氧化碳排放总量的比较。[图 2.11]

时间范围的选择是一种政策考虑, 是在短期效应和长期效应的相对权重之间进行折衷。当前最通常的做法是使用在 100 年时间范围内计算得到的 GWPs。这一做法没有考虑具有高辐射效率和极长生命期的气体的所有效应, 例如 PFCs 在大气中的停留时间远远超过 100 年。同样, 100 年的集成也会减少短生命期气体的贡献, 因为相对于 CO₂, 其贡献只能持续一段时间, 而 CO₂ 对辐射强迫的贡献可以持续整个 100 年的时间范围, 并延续到以后。[2.5]

表 TS-3 给出了直接 GWP 值。相对于以前的评估 (IPCC, 1996)¹³, 这些 GWP 值在 IPCC 第三次评估报告 (IPCC, 2001) 中有所不同, 这是由于对 CO₂ 的辐射效率以及其他气体的生命期和辐射效率进行了修正。对本报告中一些气体 GWP 值的修正主要是由于使用了如 2.5.4 节所述的最新生命期。[2.5]

表 TS-3 给出了与各种 ODSs 引起的臭氧层耗损相关的间接 GWPs。由于 ODS 的间接冷却效应预计将随着臭氧层的恢复而停止, 因此, 它们的持续时间不仅取决于气体的生命期, 而且取决于臭氧层恢复的时

¹³ IPCC, 1996: 气候变化 1995: 气候变化科学. 政府间气候变化专门委员会第二次评估报告第一工作组撰写 [Houghton, J. T., L. G. Meira Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, 和 K. Maskell (eds.)]. 英国, 剑桥, 剑桥大学出版社, 美国, 纽约, 572 页。

表 TS-3. 根据蒙特利尔议定书、联合国气候变化框架公约和及其京都议定书通常报告的并在本报告中评估的卤烃的全球增暖潜势 (相对于二氧化碳一百年的时间范围), 及其寿命和按联合国气候变化框架公约报告使用的全球增暖潜势。用蓝色表示的内容 (阴影) 是蒙特利尔议定书覆盖的气体; 用黄色表示的气体 (浅色阴影部分) 的内容则是联合国气候变化框架公约覆盖的气体。[Tables 2.6 and 2.7]

气体	直接辐射强迫的全球增暖潜势 ^a	间接辐射强迫的全球增暖潜势 (2005年的排放 ^b)	寿命 (年)	联合国气候变化框架公约报告的全球增暖潜势 ^c
CFCs				
CFC-12	10,720 ± 3750	-1920 ± 1630	100	n.a. ^d
CFC-114	9880 ± 3460	无	300	n.a. ^d
CFC-115	7250 ± 2540	无	1700	n.a. ^d
CFC-113	6030 ± 2110	-2250 ± 1890	85	n.a. ^d
CFC-11	4680 ± 1640	-3420 ± 2710	45	n.a. ^d
HCFCs				
HCFC-142b	2270 ± 800	-337 ± 237	17.9	n.a. ^d
HCFC-22	1780 ± 620	-269 ± 183	12	n.a. ^d
HCFC-141b	713 ± 250	-631 ± 424	9.3	n.a. ^d
HCFC-124	599 ± 210	-114 ± 76	5.8	n.a. ^d
HCFC-225cb	586 ± 205	-148 ± 98	5.8	n.a. ^d
HCFC-225ca	120 ± 42	-91 ± 60	1.9	n.a. ^d
HCFC-123	76 ± 27	-82 ± 55	1.3	n.a. ^d
HFCs				
HFC-23	14,310 ± 5000	~0	270	11,700
HFC-143a	4400 ± 1540	~0	52	3800
HFC-125	3450 ± 1210	~0	29	2800
HFC-227ea	3140 ± 1100	~0	34.2	2900
HFC-43-10mcc	1610 ± 560	~0	15.9	1300
HFC-134a	1410 ± 490	~0	14	1300
HFC-245fa	1020 ± 360	~0	7.6	- ^e
HFC-365mfc	782 ± 270	~0	8.6	- ^e
HFC-32	670 ± 240	~0	4.9	650
HFC-152a	122 ± 43	~0	1.4	140
PFCs				
C ₂ F ₆	12,010 ± 4200	~0	10,000	9200
C ₆ F ₁₄	9140 ± 3200	~0	3200	7400
CF ₄	5820 ± 2040	~0	50,000	6500
哈龙				
哈龙-1301	7030 ± 2460	-32,900 ± 27,100	65	n.a. ^d
哈龙-1211	1860 ± 650	-28,200 ± 19,600	16	n.a. ^d
哈龙-2402	1620 ± 570	-43,100 ± 30,800	20	n.a. ^d
其它卤烃				
四氯化碳 (CCl ₄)	1380 ± 480	-3330 ± 2460	26	n.a. ^d
甲基氯仿 (CH ₃ CCl ₃)	144 ± 50	-610 ± 407	5.0	n.a. ^d
甲基溴 (CH ₃ Br)	5 ± 2	-1610 ± 1070	0.7	n.a. ^d

^a 直接正辐射强迫的全球增暖潜势的不确定性在 ±35% 之间 (标准偏差的两倍) (IPCC, 2001)。

^b 间接负辐射强迫的全球增暖潜势的不确定性考虑了评估的臭氧层修复时间上的不确定性, 同时考虑了臭氧耗损导致的负辐射强迫方面的不确定性。

^c 联合国气候变化框架公约的报告准则采用来自 IPCC 第二评估报告的全局增暖潜势值 (见 FCCC/SBSTA /2004/8, <http://unfccc.int/resource/docs/2004/sbsta/08.pdf>)。

^d 联合国气候变化框架公约没有涵盖的臭氧层耗损物质。

^e IPCC 第二评估报告没有包涵 HFC-245fa 和 HFC-365mfc 的全球增暖潜势值。但是, 联合国气候变化框架公约的报告准则包括了有关排放报告的规定

间。估算间接 GWP_s 时具体考虑了后一因素，即规定当等效平流层氯（EESC）回复到 1980 年前的值时，所有的间接效应为零。因此，间接 GWP_s 取决于排放的年份，具有较大的不确定性。这些不确定性源自臭氧层耗损引起的辐射强迫的不确定性；把 EESC 归因于每种气体的不确定性；以及 EESC 回复到 1980 年前水平的时间的不确定性。[1.5 和 2.5]

考虑到与 ODSs 直接和间接辐射强迫相关的科学认识和不确定性的水平存在较大差异，以及缺乏对其地面气候效应的抵消，并且间接 GWP_s 对排放年份的依赖性很大，因此，本报告并未考虑使用综合直接和间接效应的净 GWP_s 值。在使用 ODS 排放的直接 GWP 值或构建 CO₂ 当量值时，应该认识到在未来几十年里间接效应也可能相当重要。[1.2, 1.5, 注释窗 1.4 和 2.5]

2.10 预计氢氯氟碳化物、氢氟碳化物或其替代品对于未来环境化学的其他影响是什么？

预计在制冷和空调中进行 ODSs 替代而引起的有机气体（包括 HCFCs、HFCs、PFCs 和碳氢化合物）

和氨的排放不会对空气质量产生大尺度的重要影响。碳氢化合物和氨替代物的局地影响可以通过比较各种源的预期排放与局地排放来获得。在局地排放源附近可能会产生很小但不能忽略的影响，这种增加可能会受到某种程度的关注，例如在目前不符合当地标准的地区。[2.4 和 2.6]

HFCs 和 HCFCs 的持续降解产品（例如三氟乙酸，TFA）可以通过沉积和冲洗过程从大气中清除。当浓度达到 1000 微克 / 升时，TFA 对于一些水生生物是有毒的。然而，识别出的降解源不能解释观测到的 TFA 在海洋、地表水域和大气中的富集，这说明存在较大的 TFA 自然源。当前的观测数据表明海洋中的典型浓度约为 0.2 微克 / 升，而在死海和内华达湖观测到的浓度高达 40 微克 / 升，这表明 TFA 浓度与盐化学之间存在联系。基于 HCFC 和 HFC 排放预估值的计算表明，由于 HCFC 和 HFC 的降解，预计 2010 年雨水中的 TFA 浓度在 0.1 ~ 0.5 微克 / 升之间。因此，当前的研究结果不支持这样一个结论，即：使用卤烃使得特定生态系统中的 TFA 浓度上升到 1000 微克 / 升的有毒水平。[2.4]

3. 逐步淘汰消耗臭氧层物质和减少温室气体排放的选择

3.1 何处会产生与消耗臭氧层物质及其替代品使用相关的温室气体排放？

消耗臭氧层物质（ODSs）及其替代品被广泛应用于各种产品和过程。许多此类物质（或其制造过程中释放的副产品）是温室气体（GHGs），其排放将对正的直接气候强迫做出贡献。GHGs 的直接排放可能发生在这些物质的制造期间、产品和过程的使用期间、以及这些产品使用期限结束时（见图 TS-1）。库存是指包含在现有设备、化学品库、泡沫材料和其他产品里尚未释放到大气中的物质的总量。

ODSs 及其替代品应用的间接 GHG 排放是指该应用的整个生命周期内与能源消费（燃料和电力）相关的 GHG 排放⁷。这一效应不同于前面章节讨论的 ODSs 的负的间接辐射强迫。

《联合国气候变化框架公约》讨论了未受《蒙特利尔议定书》控制的所有温室气体的源的人为排放和汇的清除，其《京都议定书》控制二氧化碳（CO₂）、甲烷（CH₄）、氧化亚氮（N₂O）、HFCs、PFCs 和六氟化硫（SF₆）的排放。另一方面，《蒙特利尔议定书》并不控制 ODSs 的排放，而只是控制 ODSs 的生产和消费。因此，由于现有 CFCs 和 HCFCs 库存（例如制冷设备、泡沫材料）释放而产生的排放既不受《蒙特利尔议定书》的控制，也不受《公约》及其《京都议定书》的控制。这些排放可能对未来全球增暖做出重大贡献。

3.2 如何预估 2002 ~ 2015 年期间产生的库存和排放量？

当前的库存和排放

当前 ODSs 及其替代品的排放廓线主要是由其历史使用分布决定的，从而导致库存在设备和泡沫材料中的 CFCs 和 HCFCs¹⁴（目前以及未来数十年）的贡献较大。在 2002 年，CFCs、HCFCs、HFCs 和 PFCs 的年排放约为 2.5 GtCO₂ 当量/年（见表 TS-4^{15,16}）。制冷应用连同固定空调（SAC）和移动空调（MAC）贡献了绝大部分的全球直接 GHG 排放。2002 年排放量的 80% 源自 CFCs 和 HCFCs。

贮藏在设备和泡沫材料中的库存，在产品生命周期的使用阶段及使用期限结束时（如果未被回收或销毁的话）可能发生泄漏。不同应用的库存周转期差别很大，从数月（如溶剂）、数年（制冷应用）到超过半个世纪（泡沫绝热）。

根据估算，2002 年 CFCs、HCFCs、HFCs 和 PFCs 的库存约为 21 GtCO₂ 当量，其中 CFCs、HCFCs 和 HFCs 的库存分别为 16 GtCO₂ 当量、4 GtCO₂ 当量和 1 GtCO₂ 当量（见表 TS-5），而作为 ODS 替代的 PFCs 仅为 0.005 GtCO₂ 当量。在缺乏其他库存管理措施的情况下，（相对）新的 HFCs 应用的库存累积将很大程度上决定未来（2015 年以后）排放。

¹⁴ 只与作为 ODS 替代品使用的 HFCs 和 PFCs 排放相关。由于存在来自本报告范围以外的其他应用（例如来自铝生产和半导体行业）的排放，HFCs 特别是 PFCs 的排放总量较高。

¹⁵ 以 CO₂ 当量表示的温室气体（GHG）排放和库存使用 GWPs 表示 100 年时间范围内的直接辐射强迫。除非另外说明，使用本报告所评估的并在表 TS-3 中列出的最新 GWPs 值。

¹⁶ 哈龙产生的负的间接辐射强迫要比其正的直接辐射强迫大得多。为了清楚起见，其效应未被包括在以 MtCO₂ 当量表示的排放和库存总量的估算值中。

表 TS-4 温室气体（用全球增暖潜势加权的）CO₂ 当量哈龙、CFCs、HCFCs、HFCs 的年排放，以及作为 ODS 替代品的 PFCs 的年排放：按温室气体分组和排放类别划分。2002 年的历史资料、2015 年照常排放情景 (BAU) 以及 2015 年减缓情景 (MIT) 下的排放。2015 年 BAU 和 MIT 情景下的差值即为减排潜力。

注释：百年范围的直接 GWPs 是从 IPCC (2001) 和 WMO (2003) 中得来的（如表 TS-3 所示）。由于四舍五入，‘总计’并不与各数值的总和一致。

2002年	年排放量 (MtCO ₂ 当量/年)								总计
	制冷 ^a	固定空调 ^b	移动空调 ^c	泡沫	医用 气雾剂	消防	HFC-23 副产品	其他 ^d	
哈龙 ^e	-	-	-	-	-	[47] ^e	-	-	[47] ^e
CFCs	726	99	641	117	69	0	-	0	1651
HCFCs	232	164	15	32	-	0.1	-	6	447
HFCs	102	9	93	3	6	1	195	25	434
PFCs	0	0	0	0	-	0.1	-	1	1
总计 ^e	1060	271	749	152	75	1	195	32	2534

2015年 BAU 情景	年排放量 (MtCO ₂ 当量/年)								总计
	制冷 ^a	固定空调 ^b	移动空调 ^c	泡沫	医用 气雾剂	消防	HFC-23 副产品	其他 ^d	
哈龙	-	-	-	-	-	[12] ^e	-	-	[12] ^e
CFCs	136	50	49	85	17	0	-	0	338
HCFCs	570	210	19	20	-	0.1	-	9	828
HFCs	391	109	247	18	23	4	332	27	1153
PFCs	0	0	0	0	-	0.1	-	0.1	0.2
总计 ^e	1097	370	315	124	40	5	332	37	2319

2015年 MIT情景	年排放量 (MtCO ₂ 当量/年)								总计
	制冷 ^a	固定空调 ^b	移动空调 ^c	泡沫	医用 气雾剂	消防	HFC-23 副产品	其他 ^d	
哈龙	-	-	-	-	-	[12] ^e	-	-	[12] ^e
CFCs	84	24	32	81	0	0	-	0	221
HCFCs	359	86	12	17	-	0.1	-	9	484
HFCs	164	60	92	9	26	4	33	27	416
PFCs	0	0	0	0	-	0.1	-	0.1	0.2
总计 ^e	607	170	136	107	26	5	33	37	1121

2015年 减排潜力	年排放量 (MtCO ₂ 当量/年)								总计
	制冷 ^a	固定空调 ^b	移动空调 ^c	泡沫	医用 气雾剂	消防	HFC-23 副产品	其他 ^d	
哈龙	-	-	-	-	-	n.q.	-	-	-
CFCs	53	26	17	4	17	-	-	-	117
HCFCs	210	124	7	3	-	n.q.	-	n.q.	344
HFCs	227	49	155	10	-3	n.q.	299	n.q.	737
PFCs	-	-	-	-	-	-	-	-	0
总计 ^e	490	200	179	17	14	n.q.	299	n.q.	1198

注释：

n.q. 尚未量化

^a ‘制冷’包括家用、商用、工业用（包括食品加工和冷藏）和冷藏运输。

^b ‘SAC’（固定空调）包括民用和商业空调和采暖。

^c ‘MAC’（移动空调）应用于汽车、公共汽车和乘客车厢。

^d ‘其他’包括与医用无关的气雾剂和溶剂。

^e 哈龙引起比正直接辐射强迫大得多的负辐射强迫，为了清楚起见，它们的影响不含在总计中，而是一起表示于表格的方括弧里。

表 TS-5 温室气体（用全球增暖潜势加权的）CO₂ 当量哈龙、CFCs、HCFCs、HFCs 的储存量，以及作为 ODS 替代品的 PFCs 的储存量：按温室气体分组和排放类别划分。2002 年的历史数据、2015 年 BAU 情景和 MIT 情景下的排放。

注释：百年范围的直接 GWPs 是从 IPCC (2001) 和 WMO (2003) 中得来的（如表 TS-3 所示）。由于四舍五入，因此‘总计’并不与各数值的总和一致。

2002年	储存量 (MtCO ₂ 当量)							总计
	制冷 ^a	固定空调 ^b	移动空调 ^c	泡沫	医用气雾剂 ^f	消防	其他 ^{d,f}	
哈龙 ^e	-	-	-	-	-	[531] ^e	-	[531] ^e
CFCs	3423	631	1600	10,026	69	0	0	15,749
HCFCs	810	1755	36	1229	-	5	6	3841
HFCs	518	123	350	16	6	65	25	1103
PFCs	0	0	0	0	-	4	1	5
总计 ^e	4751	2509	1987	11,270	75	74	32	20,698

2015年 BAU情景	储存量 (MtCO ₂ 当量)							总计
	制冷 ^a	固定空调 ^b	移动空调 ^c	泡沫	医用气雾剂 ^f	消防	其他 ^{d,f}	
哈龙	-	-	-	-	-	[206] ^e	-	[206] ^e
CFCs	653	208	138	7286	17	0	0	8302
HCFCs	1582	1536	42	1696	-	6	9	4871
HFCs	1922	1488	896	644	23	226	27	5227
PFCs	-	-	-	0	-	4	0.1	4
总计 ^e	4157	3232	1076	9626	40	236	37	18,404

2015年 MIT情景	储存量 (MtCO ₂ 当量)							总计
	制冷 ^a	固定空调 ^b	移动空调 ^c	泡沫	医用气雾剂 ^f	消防	其他 ^{d,f}	
哈龙	-	-	-	-	-	[206] ^e	-	[206] ^e
CFCs	627	208	138	7286	0	0	0	8258
HCFCs	1466	1134	41	1696	-	6	9	4352
HFCs	1455	1586	712	494	26	226	27	4527
PFCs	-	-	-	0	-	4	0.1	4
总计 ^e	3548	2928	891	9475	26	236	37	17,141

注释：

¹ ‘制冷’包括家用、商用、工业用（包括食品处理和冷藏）和冷藏运输。

^b ‘SAC’（固定空调）包括民用和商业空调和采暖。

^c ‘MAC’（移动空调）应用于汽车、公共汽车和乘客车厢。

^d ‘其他’包括与医用无关的气雾剂和溶剂。

^e 哈龙引起比正直接辐射强迫大得多的负辐射强迫，为了清楚起见，其影响不含在总计中，而是表示在表格的方括弧内。

^f 对于直接排放性使用情况，其储存量假设与同每年的排放量相等。

2015 年照常排放基准情景预估

在照常排放基准情景（BAU）下，第 4～10 章对 CFCs、HCFCs、哈龙、HFCs 和某些（用作 ODS 替代的）PFCs 的使用和排放进行了预估。这些预估假设所有现行的措施（包括逐步淘汰 ODS 的《蒙特

利尔议定书》及相关的国家法规）将继续下去；通常的做法和排放速率直到 2015 年都将保持不变；使用期限结束时的回收率也不再增加。表 TS-6 概述了有关 2015 年 BAU 预估的关键假设。

表 TS-6 照常排放 (BAU) 和减缓 (MIT) 情景的关键假设

行业类别	市场每年的增长率2002-2015 (包括BAU和MIT) (%/年)				最佳做法的假设				
	欧盟 %/年	美国 %/年 ¹	日本 %/年	发展中国家 ¹ %/年	减排方式	欧盟 BAU	美国 BAU	日本 BAU	发展中国家 BAU
固定和移动 空调制冷	1	2.2	1.6	2-4.8	物质	HFC-134a / HC-600a HC-600a	HFC-134a / HC-600a HC-600a (50%)	HC-600a	CFC-12 / Plus HC- HFC-134a (50% in 2010)
					回收	0%	80%	80%	0%
商业制冷	1.8	2.7	1.8	2.6-5.2	物质	R-404A / R-410A	R-404A / R-410A (50%)	R-404A / R-410A (50%)	CFC / R-404A / HCFC
					回收	0%	80%	80%	0%
工业制冷	1	1	1	3.6-4	征收费用	-30%	-30%	-30%	-10%
					物质	HFC-NH ₃ (35%)	HFC-NH ₃ (60%)	HFC-NH ₃ (70%)	HFC-NH ₃ (40-70%)
运输制冷	2	3	1	3.3-5.2	回收	50%	90%	90%	15-25%
					征收费用	-40%	-40%	-40%	-10%
固定空调	3.8	3	1	5.4-6	物质	HFCs	HFCs / HCFCs / HFCs	HCFCs / HFCs	CFC / Plus HFCs, HCFC-22 up to 30%
					回收	50%	80%	70%	0%
移动空调	4	4	1	6-8	物质	HFCs	HFCs / HCFCs / HFCs	HCFCs / HFCs	CFC / HCFC-22 (HFCs 30% in some DCs)
					回收	50%	80%	80%	0%
移动空调	4	4	1	6-8	征收费用	-20%	-20%	-20%	-10%
					物质	HFC-134a / CO ₂ (10%) as of 2008	HFC-134a / CO ₂ (30%) as of 2008	HFC-134a / CO ₂ (30%) as of 2008	CFC / HCFC-134a
移动空调	4	4	1	6-8	回收	50%	80%	70%	0%
					征收费用	700 g	500 g	900 g	700 g

表 TS-6 (续)

行业类别	市场每年的增长率 2002-2015 (包括 BAU 和 MIT) (%/年)	最佳做法的假设
泡沫	大约 2%/年	BAU MIT
		物质用途的假设 (见本技术摘要 4.4 节) HCF 消费量减少: 2010 到 2015 使用 HFC 的使用量呈线性减少趋势, 到 2015 年可减少 50%。 生产/安装的改进: 产品采用生产减排策略, 从 2005 年开始用于所有块状泡沫塑料, 2008 年开始用于其它泡沫分行业。 寿命末端管理选择: 到 2010 年将现存末端管理手段扩展到所有电器和钢制面板, 加上回收 20% 的其他建筑用泡沫。
医用气雾剂	1.5-3%/年	BAU MIT
		部分淘汰 CFCs 完全淘汰 CFCs
消防	-4.5%/年 (所有物质)	BAU
	+0.4%/年 (HCFCs/HFCs/PFCs)	淘汰哈龙 MIT
HFC-23 副产品	2.5%/年	BAU
		尚未量化 HCF-23 现存生产能力的排放量: HCFC-22 产量的 2% (in kt) HFC-23 新增生产能力的排放量: HCFC-22 产量的 4% (in kt)
非医用气雾剂和溶剂		MIT
	在 2002-2015 年时期内 16% 的二氧化碳总加权排放量的增长期	见第 10 章 BAU MIT

注释:

¹DCs: 发展中国家

预计 2002 ~ 2015 年期间产生**碳氟化合物**排放的活动将大幅度增长。这些活动和服务（例如制冷、空调和绝热）将由许多技术以及包括 CFCs 和 HCFCs 在内的物质来提供。在工业化国家，根据《蒙特利尔议定书》逐步淘汰的要求，其 CFCs 和 HCFCs 的使用和排放将随着陈旧设备的报废而减少。在发展中国家，HCFCs 的生产可以持续到 2040 年，因而预计其生产将大幅度增长。表 TS-4 中的数据反映了这些变化及其影响。[11.6]

CFC 排放的减少并不伴随着 HFCs 排放的类似增长，因为持续的趋势是使用非 HFC 的技术以及具有较低 GWP_s 的物质。此外，BAU 情景并未包括以下事实，即对过去所排放的物质的捕获和安全处理可能会使 HFCs 增加，因为这些物质受到《京都议定书》的控制。BAU 情景假设所有现行的措施将继续执行，而减缓情景则包含了可能被实现的假设，即当前最好的减排技术在全球范围内得到应用。

在 BAU 情景下，预计库存到 2015 年将下降为 18 GtCO₂ 当量。与制冷、SAC¹⁷ 和 MAC 设备有关的 CFC 库存预计将从 2002 年的 6 GtCO₂ 当量下降到 2015 年的 1 GtCO₂ 当量，这主要是由于库存释放到大气中，部分是由于使用期限结束时的回收和销毁。泡沫材料中的 CFC 库存将大量地保留下来（同期从 10 GtCO₂ 当量下降到 7 GtCO₂ 当量）。HCFC 库存将从 4 GtCO₂ 当量增加到 5 GtCO₂ 当量，这主要是由于 HCFC-22 在商业制冷中的使用预计将会增加。到 2015 年，HFC 库存总量将开始累积到 5 GtCO₂ 当量。泡沫材料中的 HFC 库存仅为 0.6 GtCO₂ 当量，预计在 2015 年之后将进一步增加。[11.4 和 11.6]

在 BAU 情景下，预计 CFCs、HCFCs、HFCs 和 PFCs 的直接排放总量到 2015 年将达到 2.3 GtCO₂ 当量 / 年（与 2002 年的 2.5 GtCO₂ 当量 / 年相当¹⁶）14。CFC 和 HCFC 的排放总量将从 2002 年的 2.1 GtCO₂ 当量 / 年下降到 2015 年的 1.2 GtCO₂ 当量 / 年，HFCs 排

放将从 2002 年的 0.4 GtCO₂ 当量 / 年增加到 2015 年的 1.2 GtCO₂ 当量 / 年¹⁸。用作 ODS 替代的 PFC 排放 在 2002 年约为 0.001 GtCO₂ 当量 / 年，预计将会下降。

表 TS-4 给出了各行业对与 ODSs 及其替代品使用有关的全球直接 GHG 排放的相对贡献。制冷应用连同 SAC 和 MAC 对全球直接 GHG 排放的贡献最大（在 2015 年 BAU 情景下占 77%），这与**制冷剂**库存具有较高的排放率是一致的。预计来自泡沫材料的 GHG 排放峰值将出现在 2015 年以后，因为大多数释放发生在使用期限结束之时。在 2015 年 BAU 情景下，HFC-23 副产品排放占有直接 GHG 排放的 14%。

由于 CFCs 从库存泄漏到大气中，CFCs 排放将从 2002 年的 1.7 GtCO₂ 当量 / 年下降到 2015 年的 0.3 GtCO₂ 当量 / 年。由于 HCFC 在（商业）制冷和 SAC 中的使用将迅速增长，预计 HCFC 排放将从 2002 年的 0.4 GtCO₂ 当量 / 年增加到 2015 年的 0.8 GtCO₂ 当量 / 年。预计 HFC 的排放将增长三倍，这是由于 HFCs 在制冷、SAC 和 MAC 行业中使用的增加，同时也由于来自增加的 HCFC-22 生产过程中的 HFC-23 副产品排放。预计在 2002 ~ 2015 年期间 HCFC-22 的生产量将增加 40%。[11.4 和 11.6]

文献并未考虑与能源消费相关的间接 GHG 排放总量的估算。对于个别的应用，一个生命周期内间接 GHG 排放的相关性从低到高；对于某些应用，可能达到大于直接 GHG 排放的量级。这极大地取决于特定的行业和产品 / 应用特性、整个应用生命周期内所消耗电能和燃料的碳强度、使用阶段的密封性以及库存物质使用期限结束时的处理。表 TS-7 列出了根据文献得到的各种使用 HFCs 的应用中直接排放与排放总量的比率范围。对于使用其他物质的应用，这些比率可能很不相同。特别是，相对老式的使用 CFCs 的葡萄酒储藏制冷设备可能产生较多的直接排放。[3.2, 4 和 5]

¹⁷ 在本技术摘要中，“制冷”行业包括民用、商业、工业（包括食品加工和冷藏）和运输制冷。[4] “固定空调 (SAC)”包括住宅和商业空调及采暖。[5] “移动空调 (MAC)”应用于小汽车、公共汽车、卡车的乘客车厢。

¹⁸ 对于这些排放值，使用了最新的 GWP_s 值（见表 TS-3）。如果使用《公约》的 GWP_s 值，所报告的 HFC 排放（以吨 CO₂ 当量表示）将低 15% 左右。

表 TS-7 在各种应用中所有直接排放对总寿命期的温室气体排放的贡献百分比（排放量与功能单元关联）- 选择 HFCs 使用作为应用例子。

应用行业	采用方法	系统的终生温室气体排放（用 GWP-100）中 HFC 的排放百分比	系统和关键假设特点
移动空调	TEWI	40-60% - 当前系统（汽油发动机） 50-70% - 当前系统（柴油发动机）	乘客交通工具 HFC-134a 塞韦拉（西班牙）
商业制冷	LCCP	20-50% - 对渗漏率、能效和能源供给的广范围灵敏度测试	直接膨胀制冷装置；超市 (1000 m ²)；R-404A；德国
民用制冷	TEWI	2-3% - 到报废时没有回收	欧洲民用制冷标准；HFC-134a；世界平均电混合比
民用制冷中的绝热泡沫	LCCP	6% - 90% 的发泡剂在处置时被回收 17% - 50% 的发泡剂在处置时被回收	HFC-24fa；欧洲
冷藏车中的 PU（聚胺酯）绝热泡沫	LCCP	2% - 处置时 HFC 完全回收 13% - 处置时 HFC 没有回收	柴油冷藏卡车；德国
工业用平板保暖屋顶中的 PU 喷雾泡沫	LCA	13% - 处置时 HFC 完全回收 20% - 处置时 HFC 没有回收	厚度 4cm； HFC-365mfc；德国
用于私营空心墙的 PU 板料	LCA	4% - 处置时 HFC 完全回收 17% - 处置时 HFC 没有回收	厚度 5cm HFC-365mfc；德国
用于私营建筑树脂保暖屋顶的 PU 板料	LCA	10% - 处置时 HFC 完全回收 33% - 处置时 HFC 没有回收	厚度 10cm HFC-365mfc；德国

2015 年减缓情景预估

已经发现各种减缓选择，并在各行业的章节中进行了描述。本技术摘要的第 4 节将给出有关行业减排机遇的详细信息。在更为综合的水平上，确定了所有行业在 2015 年相对于 BAU 情景的减排潜力。这些估算值基于一种减缓情景，该减缓情景假设在 ODSs 及其替代品的使用、回收和销毁方面的最佳做法得到全球性应用。表 TS-6 列出了情景的假设，表 TS-4 则给出了 2015 年减缓情景下的行业 GHG 排放。

通过最佳做法和回收方法的全球性应用，和 BAU 情景相比，到 2015 年可以减少大约 1.2 GtCO₂ 当量 / 年的直接 GHG 排放。其中，60% 的潜力来自 HFC 减排，HCFCs 和 CFCs 则分别贡献了 30% 和 10%。大约 75% 的减排潜力来自制冷、SAC 和 MAC 行业，另外 25% 的潜力则来自销毁 HCFC-22 生产过程中副产品 HFC-23 的排放。后一选择大约相当于 40% 的 HFC 减排潜力。[11.6]

在 2015 年之前可以防止的与库存相关的排放中，大部分源自制冷剂的应用。在 BAU 情景下，制冷剂

的排放速率要远远大于同期泡沫材料的排放速率。因此，愈早采取行动，能够捕获的 CFC 库存就愈多。

大多数与能源相关的间接 GHG 排放发生在应用的使用阶段，在许多情形下，提高能效可以大幅度减少 GHG 排放，特别是当使用阶段较长时。提高能效是有利可图的，可以降低减排选择的净成本，尽管减排潜力极大地取决于特定的情况。虽然所评估的文献并未考虑这一减排潜力的全球估算值，但在技术层面和国家层面上进行的几个案例研究阐明了这一点。

不确定性

排放预估中的不确定性显著。大气测量值与清单计算值的比较表明，每组物质（CFCs、HCFCs、HFCs 和 PFCs）之间的差异为 10~25%。对于单个气体，差异更大。这些差异是由于未被识别的一些物质（例如 CFC-11、HCFC-141b、HCFC-142b）的应用排放造成的，在清单计算中没有考虑这些排放；并且应用中的设备地理分布数据集也存在不确定性。[11.3.4]

3.3 哪些选择可以减少温室气体排放?

通常，减少直接 GHG 排放的技术选择包括以下途径：

- 改进物质的密封性；
- 减少设备和产品中物质的注入量；
- 使用期限结束时物质的回收、循环利用或销毁；
- 增加具有较低或可忽略不计的 GWP 的替代物质的使用；
- 另类技术。

减少间接 GHG 排放可以通过提高产品和过程的能效（以及减少能源系统的特定 GHG 排放）来实现。为了确定哪种技术选择具有最高的 GHG 减排潜力，必须对直接和间接排放进行评估。技术选择之间的比较并不是一种直截了当的方法，因为甚至在同一种技术应用中也可能发生直接和间接排放的重大变化。图 TS-10 显示了来自客车队移动空调的直接排放分布以及来自超市冷藏库的与能源相关的间接排放分布。图中的曲线表明，即使在单一的技术类别中，通常也存

在相当大的直接和 / 或间接减排潜力的差异。适当地监测、标定和了解系统的性能将是促进短期和中期减排的关键的第一步。不过，为了实现长期减排，必须在已确定的不同技术选择之间进行抉择，因此，需要准备和熟悉标准化的环境评估工具。

3.4 哪些评估工具可以提供技术选择的信息?

保护平流层臭氧和气候需要进行技术选择，这些技术对于气候、健康、安全和其他环境问题以及私人和社会成本的影响不同。分析各种影响可以帮助决策者在参与竞争的替代技术中进行选择。不过，此类分析的结果可能是多样化的，取决于所考虑的许多并非技术本身所固有的因素，包括分析方法（例如自上而下的方法与自下而上的方法）、产品或过程的最优化程度、维修和处理的办法、区域情况以及许多其他输入和假设。因此，为了进行明智的选择，决策者必须了解每种分析所固有的敏感性、不确定性和局限性，还必须能够评估分析中所使用的方法和假设对于各种区域及技术应用时期是否合理。

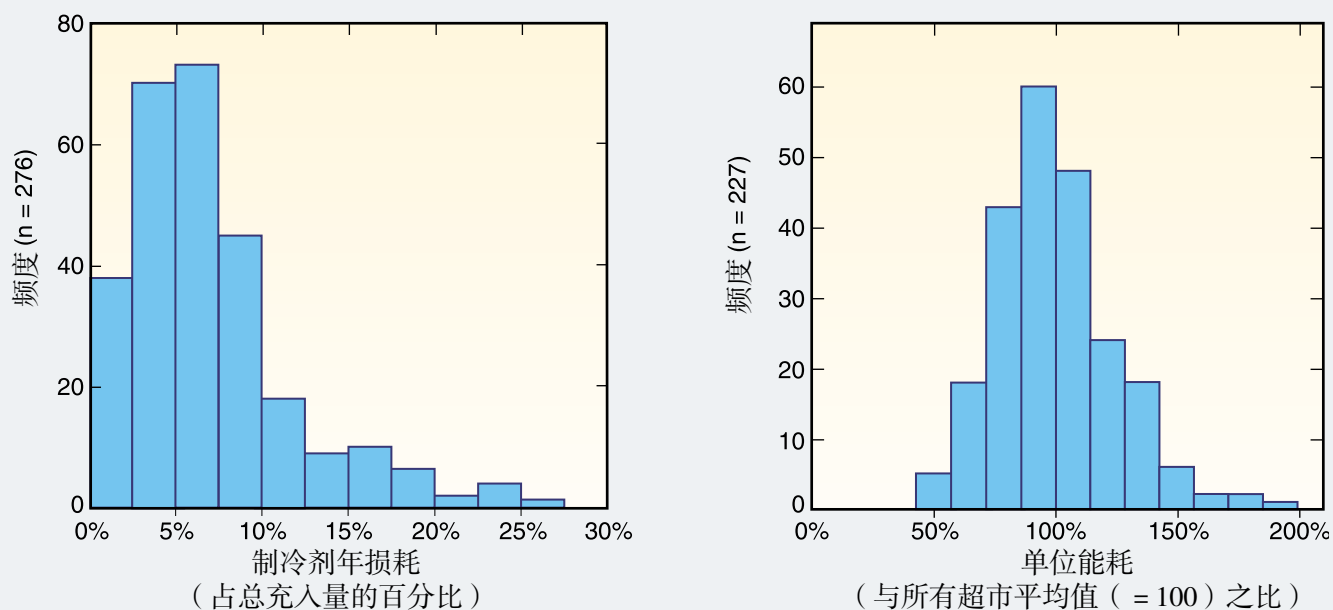


图 TS-10 设备群中直接和间接排放的变化。在一客运车队中汽车空调系统的每年泄漏率。(左框, n=276)。单位能耗, 用一组标准布局的超市制冷单元平均百分比表示 (右框, n=227)。

为了面对这种挑战，需要非常确定的、描述清晰的方法。本报告综述了不同种类的分析，并提供了如何评估和采用这些分析的简要指南。对于每类分析，都讨论了其最重要的分析方法和变量及其敏感性、不确定性和局限性。

对减少排放影响的技术选择进行评估涉及到多种因素的评价，这些因素包括直接和间接排放对辐射强迫的影响、成本、健康、安全及每种应用和化合物的环境影响；可以减少泄漏的维护或设计方面的做法；回收和循环利用的效应。上述因素可能具有较大的不确定性，并随着不同应用和区域而变。此外，还需要考虑各种非技术因素，例如世界各地不同的法规和管理环境、基础设施的可用性、融资和历史因素。在许多情形下，只能获得这些因素的不完整信息，因而限制了评估的综合性。

本报告论述了与卤烃生产、使用和退役相关的直接排放以及能源需求引起的间接排放。根据这里介绍的方法，对这些排放进行了定量分析，并对其减排成本进行了评价。为了进行综合评估，不仅需要定量分析私人成本，而且需要定量分析外部成本，这些外部成本并非由私营行业支付，而是社会应该考虑承担的义务。

本报告关于方法学的章节（第3章）的目的是描述定量分析 ODS 和 GHG 排放及与其减排成本相关的程序。现有各种各样的评估工具，从非常确定的、可在全球层面应用的工具到那些定义宽泛的、未以一致方式应用的工具。表 TS-8 综述了那些被认为与本报告相关的方法。

在评估环境和气候变化影响时，决策者更喜欢全面地了解所有相关的环境问题。然而，除直接和间接 GHG 排放以外的信息通常都很难量化。因此，**等效增暖影响总量**（TEWI，度量使用阶段和处理期间的 GHG 排放）和**生命周期气候特性**（LCCP，还包括制造期间的直接 GHG 排放以及与关注物质所包含能源相关的间接 GHG 排放）要比综合性方法如**生命周期评估**（LCA）、环境负荷以及其他方法更为实用。值得注意的是，对于单一的总分或总量而言，尚不存在确定的降低多重影响结果（如 LCA）的科学基础。

在过去，很少注意要确保不同技术评估结果的可比较性。可以获得各种关于 GHG 特性的不同评估结果，但它们常常是不可比的。对不确定性的处理通常是不完全的，由此得到的建议也不足以进行行业之间

的比较。根据许多假设和不同的方法学，已经发现在达成协议的条件下使用一系列通用的方法和假设进行技术比较具有重要的作用。建议开发简单的、注重实效的标准化方法以及各自的质量标准。需要开展进一步工作以填补应用特定比较结果与可用于整个行业政策设计的充分可靠的结果之间的空白。

对于行业和全球减排潜力的分析建立在有关设备总量和其他产品分布（包含物质排放和能源消费的实地资料）的大量数据库基础之上。从理想上来说，这些数据库应该与国家 GHG 排放清单相一致。需要获得相关行业向不同团体进行流动销售的信息。改进这些用于支持行业可靠决策的相当广泛的数据集需要大量的资源，并导致各种需要谨慎处理的机密性问题。为了获得各行业未来发展的可接受性，决策者可以考虑特别注意增加利益攸关者的参与，并通过提供包括更广泛的方法和假设的参考文献，引进额外措施以增加对外部用户的透明度。

表 TS-8 本报告中所述评估方法的综述

评估方法	综述
直接排放	
生产	1) 认定所有原料和从原料转化为中间产物和最终产品所必须的化学处理阶段。 2) 通过测量和 / 或模拟考虑在每个阶段发生的所有排放
使用	1) 测量估计产生直接排放的设备使用期中所造成的液体损失。 2) 运输和配送耗损作为直接使用排放包括其中。
淘汰	1) 按产品的最终淘汰时计算而得出排放量。 2) 如果没有回收, 所有剩余液体被假定为直接排放。 3) 如果回收, 排放也仍会在液体再生过程中发生。
间接排放	
生产	1) 模拟和 / 或测量工厂中的原料供应、预处理、运输和转化为最终产品过程中设备积累的能量。 2) 模拟与 / 或测量自原料生产一个单位的特殊流体能耗总量。 3) 通过区域或者国家的具体数据建立能耗与温室气体排放的关系。
使用	1) 设备寿命期间的能耗评估 a) 制冷设备、空调和采暖: 模拟与 / 或测量设备的能耗 b) 绝热泡沫: b1) 厚度补偿模拟, 和 / 或 b2) 测量基线和绝热泡沫应用中的能耗 2) 通过区域或者国家的具体数据建立能耗与温室气体排放的关系。
淘汰	1) 产品到使用年限的产品回收或销毁所需要的能耗。 2) 通过区域或者国家的具体数据建立能耗与温室气体排放的关系。
成本	
私营企业成本	成本计算依据私营公司的专业技术计算。主要包括资本成本、劳动力、土地、材料、日常维护费用和管理成本。
社会成本	通常对社会征收的成本, 例如私营行业的产品生产相关的空气和水污染。成本按最终产品产生的收益和引起的破坏进行量化后进行估算。
贴现率	用该贴现率考虑入帐成本的不同时间分布。通过分别考虑为了私营或者社会成本进行(支付的)市场或者社会贴现率, 提出价值或拉平的成本。
可持续发展	对由于液体的生产和使用的改变对社会福利产生的积极和负面影响进行量化或至少定性。
健康及安全	
健康及安全	1) 关注化学制品的的风险评估, 然后通过风险系统对健康和安全的消极影响降至最低限度。 2) 对于相关物质, 参照现存的数据源和数据源。
环境影响	
TEWI (变暖影响总当量) - 计算工作液体以及与能源相关的 CO ₂ 直接排放的各类温室气体	$TEWI = \sum (a_i * b_i + a_i * c_i) + d$ a _i = 排放的气体 i 的 GWP b _i = 在系统整个运行寿命中所释放气体 i 的质量 c _i = 当系统到寿命期淘汰时释放气体 i 的质量 d = 为运行系统所需能源而产生的二氧化碳排放 (整个寿命)
LCCP (生命周期气候性能) - 计算 TEWI 因子和在制造过程中的直接泄漏排放量 (仅限工作液体) 以及与其所含能量相关 CO ₂	$LCCP = TEWI (计算值如上所述) + \sum x_i * y_i + z$ x _i = 液体制造过程中排放气体 i 的 GWP y _i = 液体制造过程中释放气体 i 的质量 z = 所有用于制造液体的材料包含的能量 (比能是用制造每种材料的单位质量乘以总排放质量), 以 CO ₂ 当量表示。
LCA (生命周期评估) - 描述从原材料获取到最终处置过程中生产系统的环境影响	1) 按各单位过程及其相互关系来描述该系统 2) 为每个过程的相关输入和输出以及涉及这些输入和输出系统汇编一个详细的清单 (生命周期清单分析) 3) 评估这些输入和输出对环境的潜在影响最明显的环境影响类别是气候变化和臭氧耗损, 但是一些或者所有的环境类别可能都很重要。

3.5 区域差异是什么？

经济发展之间的差异是解释评估中区域差异的非常重要的因素。有关技术性能指标（诸如设备的使用期限、设备和产品的运行成本）的关键假设从发达国家到发展中国家变化很大，似乎与资本的成本有关。

在发展中国家，通常会考虑传统的私人成本，而其他隐藏的私人成本（例如研发 R&D、培训、环境债务）则很少被考虑。外部成本通常也未得到很好的考虑，因为一般没有适当的法规来应对外部性问题，公众意识也很低。由于在大多数发展中国家存在并执行劳动法，因此，通常会考虑工作现场的健康和安全法规。

在（直接和间接）排放估算的不确定性范围方面，发达国家和发展中国家之间也存在重大差异，这反过来又成为进一步分析的输入。在直接排放情形下，通过《蒙特利尔议定书》多边基金在发展中国家的投资，在排放清单方法的扩散方面已经取得一些进展。不过，对于发达国家和发展中国家，不确定性通常很大。对于所有国家来说，改进对间接 GHG 排放的量化仍然是一个挑战，而间接 GHG 排放相对于 GHG 排放总量来说是相当大的。困难主要集中在诸如能源消费的资料可获得性、所耗能源碳强度的确定、与生产输入所包含能源相关的 GHG 排放估算等问题上。这些挑战表明：如果要向决策者提供支持全球臭氧层和气候政策决策所需的信息，必须做出全球协调一致的努力。

鉴于确定导致直接或间接排放的每种技术对气候和臭氧的影响都需要独特的资料，因而更增加了上述挑战的复杂性。在此情形下，提出了能力、标准、政策和法规方面的问题。尽管尚不够全面，但发达国家已经确定了较好的响应框架。正如本报告所建议的，这强调了必须开发简单的标准化方法以及各自的质量标准。[3.6]

3.6 已经发现哪些减少与消耗臭氧层物质及其替代品使用相关的温室气体排放以及相关间接排放的主要机遇？

表 TS-4 量化地给出了按行业和按物质群分类的减少直接排放的主要机遇。表 TS-9 则综述了行业特性和特定的减排机遇。本技术摘要第 4 节将详细讨论减少 GHG 排放的机遇。

表 TS-9 行业类别和特定应用结果综述

行业类别	行业说明和状况	排放状况、BAU 趋势和减排机遇
民用制冷	<ul style="list-style-type: none"> 发达国家已完成 CFC-12 的生产转变，在发展中国家处在生产过程之中 	<p>排放状况和BAU趋势</p> <ul style="list-style-type: none"> 采用自下而上方法推导出的制冷剂泄漏率表明每年全球的排放率为储存系统负荷的 6%，由老设备中显著 CFCs 的积累引起。新的没有 CFC 的系统典型泄漏率为每年 1%。 这部分预估的排放到 2015 年在 BAU 情景下大约每年 65 MtCO₂ 当量。 <p>减排机遇</p> <ul style="list-style-type: none"> HFC-134a 和 HC-600a 是对于先前使用的 CHC-12 初步可选的替代制冷剂。每种度表明具有大规模生产和安全、有效、可靠和经济用途。对 HFC-134a 或者 HC-600a 的选择随区域而异并受到政策环境和责任的强烈影响。 对于这两种制冷剂，间接排放占总排放的支配地位，几乎没把电力产生的碳强度考虑在内。在相同的能效下，HC-600a 民用制冷设备在到寿命后有或者没有回收的情况下都有一个更好的 LCCP。与 HFC-134a 的差别是很小的，同时在到寿命回收时能更进一步减少差异的量级。 当今最新的制冷产品至少可以比其替代的 20 年前的老产品的能效提高 50%。
商业制冷	<ul style="list-style-type: none"> 商业制冷设备由三个主要类型的设备：单机设备、冷凝单位和成套超级市场系统。 该行业用得最多的制冷剂是 HCFC-22, R-404A 和 HFC-134a 排放状况和 BAU 趋势 	<p>排放状况和BAU趋势</p> <ul style="list-style-type: none"> 采用自下而上方法推导出的制冷剂泄漏率表明每年全球的排放率为储存系统负荷的 30%，这意味着制冷排放通常占系统运行引起的温室气体总排放量的 60%。 1700 个美国和欧洲的成套超市制冷系统的泄漏率在 3%-22%，平均为 18%。 在 2002 年，用于商业制冷设备的所有类型制冷剂 - 主要有 CFCs, HCFCs 和 HFCs - 的储量占用于所有类型、所有制冷设备和空调系统的总计 2691 千吨制冷剂中的 606 千吨，是总制冷设备和空调系统 cm 储存量的 22.5%。 这部分的估算的排放到 2015 年在 BAU 情景下大约为每年排放 902 MtCO₂ 当量。 <p>减排机遇</p> <ul style="list-style-type: none"> 总排放量明显减少，这是由于提高了 LCCP，可以通过用 HFCs、氨或 CO₂，通过减少装载量，通过更有效的密封，通过新的系统设计获得能效的全面提高。 在成套超级市场系统中，可以通过使用替代制冷剂，更好的密封和通过分布式系统、间接系统或者层叠系统获得比传统设计的集中直接供冷系统低 60% 的 LCCP 值。公布的结果表明，替代品的初始成本高 0-35% 和能源利用率比现有系统高 0-20%。 制冷剂的去除成本的范围是每 tCO₂ 当量 20-280 US\$ 之内（以每年 10%-1 的递减率）。新系统的开发工作正在继续降低系统的成本和能源利用率。这将更进一步地降低去除成本。考虑能效的可能提高，可以引起负的去除成本（省钱）的效果。 对小商业单位，即单机设备和冷凝装置（自动贩卖机、冰淇淋机、冰柜等等），环球公司已经开始使用低或者零 GWP 的 HFCs（碳氢化合物和二氧化碳）的替代品和替代技术，这些技术可望减少直接排放，产生可比或更低的间接排放。

表 TS-9 (2) 行业类别和特定应用结果综述

行业类别		行业说明和状况	排放状况、BAU趋势和减排机遇
食品加工和工业制冷	<p>这个涉及面广的行业包含用于食品加工和储藏和冷冻的制冷设备，加上化学制品的工业应用，石油和天然气工业、液化工业及消遣娱乐设中的制冷。</p> <p>在该行业中使用的制冷剂是氨和HCFC-22，同时也有小量的CFCs和HFCs；碳氢化合物主要用于石化工业。</p>	<p>排放状况和BAU趋势</p> <ul style="list-style-type: none"> 2002年，在这一行业库存的的所有类型制冷剂总量达到298千吨（35%的氨和43%的HCFC-22）。每年制冷剂排放量是系统储存量的17%。 到2015年在BAU情景下这部分排放量预估为每年104 Mt CO₂当量。 <p>减排机遇</p> <ul style="list-style-type: none"> 根据预测，预测未来氨的使用将会增加，HFCs 404A、507A、410A和134a则替代HCFC-22和CFCs。CO₂和氨/CO₂复合系统开始用于蒸发温度小于或者等于-40℃的应用中。 通过使用低GWP的制冷剂、系统制冷剂负荷减小、更有效的密封、提高制冷剂的循环利用和通过设计新系统来提高总能量效率实现总排放量的显著减少。LCCP的计算被用于优化制冷剂的选择和设计以对环境影响减少到最低程度。 工业制冷设备的制冷剂的去除成本范围大约是27-37 US\$(2002年)每tCO₂当量（每年8%的贴现率）。 	
运输制冷	<p>冷藏运输行业由公路、铁路、海运和空运冷藏或者冷冻食物的运输系统组成。当前系统使用CFC-12, R-502 (a CFC/HCFC 混合物), HCFC-22, HFCs (HFC-134a, R-404A, R-507A, R-410A, and R-407C) 和少量的氨、碳氢化合物和CO₂作为制冷剂用于蒸汽压缩系统。冰和液体或者固体二氧化碳也作为制冷剂在此行业应用。</p> <ul style="list-style-type: none"> 采用几种类型的制冷装置，像船载系统、包含独立的制冷装置的可以用于海上、铁路和公路运输集装箱，以及制冷卡车和铁路车厢。空运制冷设备主要是用冰或固态CO₂。 	<p>排放状况和BAU趋势</p> <ul style="list-style-type: none"> 相对恶劣的操作环境，例如暴露于过高或过低温度的室外环境、湿度高、盐腐蚀、道路震动和集装箱装卸颠簸都会导致每年25-35%的制冷剂液渗漏率。 到2015年在BAU情景下这子行业的预估排放量大约每年22Mt CO₂当量。 <p>减排机遇</p> <ul style="list-style-type: none"> 通过改善系统的设计更好地实现制冷剂的密封，举一个例子最近公路运输和集装箱冷藏应用低泄漏的密封压缩机系统。 减少能耗可通过改进绝热材料，控制部份负荷状态下压缩机马达频率，船载系统的水冷冷凝器和预防性维护以减少热量转换器中的污垢。 用低GWP的制冷剂，例如氨或者氨/二氧化碳系统用于船上制冷设备和碳氢化合物或者二氧化碳蒸汽压缩系统用于公路、铁路和集装箱冷藏。与含氟碳氢化合物的系统相比较，对低GWP制冷剂利用的考虑应当包括安全要求、系统能量效率的成本和商业化的状况。二氧化碳系统仍然在测试和演示阶段。 	
固定空调和热泵	<ul style="list-style-type: none"> ‘固定空调系统(SAC)和热泵’包括单一的空调（窗口安装，分离系统），集中冷水空调系统（制冷物）和热水泵。 HCFC-22是空冷系统制冷剂中应用最广泛。混合HFC首次在欧洲和日本以显著规模得到使用。全球仍有90%生产的空调使用HCFC-22。在过去的五年中，中国已经成为世界上最大的空调生产和消费的国家。中国生产的数量已经与每年全球其他地方生产的数量近似相等。 目前，大多数售卖的离心制冷机使用HCFC-123和HFC-134a。 	<p>排放状况和BAU趋势</p> <ul style="list-style-type: none"> 用正容积式压缩机的小型制冷机一般用HCFC-22作为制冷剂。该制冷剂正在被HFC-134a、HFC取代。在很小程度上则被氨和碳氢化合物混合物代替。 到2015年在BAU情景下这一行业的预估排放量大约每年370Mt CO₂。 <p>减排机遇</p> <ul style="list-style-type: none"> 改进建筑物外层的完整性（减少热量的获取或损失）能对间接排放有非常显著的影响。 在发达国家，混合HFC（R-407C和R-410A）与碳氢化合物（在欧洲，主要是便携式小系统）是作为替代HCFC-22的替代品。对于那些能够安全使用碳氢化合物的应用，能效可与HCFC-22和R-410A相比。未来技术的开发可以减少制冷剂的负荷，同时拓展碳氢化合物的应用。 	

表 TS-9 (3) 行业类别和特定应用结果综述

行业类别	行业说明和状况	排放状况、BAU趋势和减排机遇
固定空调和热泵 (续)	<ul style="list-style-type: none"> • CFC (离心) 制冷机于 1993 年在全世界停产, 但是由于其较长的设备寿命, 大约 50% 的离心单元仍然用 CFC-11 和 12。 • 商业和住宅空调和采暖消耗大量电量, 同时间接温室气体排放和用电模式通常与典型电力高峰期相符。在一些热带气候区, 它们占了大于 50% 的建筑物用电。在大多数情况下, 与间接能量相关的 GHG 排放远远超出制冷剂的直接排放。 	<p>减排机遇</p> <ul style="list-style-type: none"> • 碳氢化合物的应用受国家和国际标准、规章和建筑规范的限制。 • 住宅区热泵对降低建筑物采暖的能量是个很好的机遇。CO₂ 对于自来水热泵有着特别优势, 因为它可以从逆流热交换的用途和高温运行中获益。 • 在市场上已有高效能设备, 但空调/高冷却器市场容量和高电价均偏高。与平均基础产品比较, 实质的改进可以由此获得: 例如, 最高可减少 33% 的能源。 • 具体去除成本的选择范围从 3-170 美元每吨 CO₂ 当量。提高系统的能效可以明显的减少 GHG 的间接排放, 导致一些情况下有每吨 CO₂ 当量 -75 美元的总成本。
移动空调	<ul style="list-style-type: none"> • 移动空调系统 (MAC) 在 1960 年代早期的美国和 1970 年代的日本开始大量生产。主要的制冷剂是 CFC-12。在欧洲的空调汽车的数量呈现明显的增长开始得比较晚, 大约在 1995 年, 开始推行 HFC-134a 的使用。 	<p>排放状况和 BAU 趋势</p> <ul style="list-style-type: none"> • 到 2015 年在 BAU 情景下这部分的排放预估大约每年 315Mt CO₂ 当量。 <p>减排机遇</p> <ul style="list-style-type: none"> • 减少 MAC 的直接 GHG 影响的选择是: (1) 选择低 GWP 的制冷剂; (2) 更好地密封 HFC-134a; (3) 提高效率减少制冷负荷。 • HFC-152a 和 CO₂ (R-744) 是替代 HFC-134a 的两种主要选择。HFC-152a, 除了可燃性能以外, 在很大程度上与当前的 HFC-134a 技术相似。CO₂ 系统要求新开发的组件和技术。没有一家汽车发动机制造商考虑用碳氢化合物来作为新发动机的选择, 但是在一些国家用碳氢化合物来作为用户制冷剂, 不顾制造商的推荐 (通常违反规定)。 • 与目前的 HFC-134a 系统在 CO₂ 当量上相比, 改进的 HFC-134a 系统表现出可减少 50% 的 GHG 的直接排放, HFC-152 减少 92%, CO₂ 系统接近减少 100% • 通过高系统能效和减少热负荷来减少间接排放不管采用什么制冷剂在技术和经济上都是可行的。 • 对于 HFC-152a 和 CO₂ 系统, 目前技术上可提供的 LCCP 没有明显的差异。 • HFC-152a 和 CO₂ 的商业化障碍主要是需要解决: <ul style="list-style-type: none"> ◦ HFC-152a 制冷剂的易燃性风险和商业供应的保障。 ◦ 窒息风险。 ◦ CO₂ 技术尚未解决的技术问题和成本问题。 • 典型的欧洲 HFC-134a 带有内部控制压缩机的系统的参考费用估计约为 215 美元。CO₂ 系统的额外成本估计在 48 到 180 美元之间。附加一个安全系统的额外成本估计是 48 美元。

表 TS-9 (4) 行业类别和特定应用结果综述

行业类别	行业说明和状况	排放状况、BAU趋势和减排机遇
<p>泡沫</p> <ul style="list-style-type: none"> 泡沫主要分为两种类型——包括（建筑、家用电器、冷藏等）和非绝热的（卧具、家具、包裹、安全等）泡沫。 在过去40年中，另类材料，如像矿物质纤维一样在绝热市场上占有主要份额。尽管如此，泡沫基质绝热材料在过去15年赢得了一部分的市场，在某种程度上，通过增长的预制组装的趋势，它们的结构完整性和重量轻的特点是重要的。阻热性能的长久性也是增长的重要原因。然而尽管如此，投资成本和防火性能继续支持着矿物质纤维作为热量绝热市场的主要材料。 	<p>排放状况和BAU趋势</p> <ul style="list-style-type: none"> 生产的安全性考虑导致小公司用HFC作为发泡剂，它们的安全投资可能对生产成本产生更大的影响。产品安全可以使选择HFC用于一些建筑物中，特别是用于保险公司顾虑的地方。 对于非绝热的刚性和弹性泡沫，目前碳氢化合物的发泡剂尚未广泛使用。碳氢化合物和CO₂（液体或者水基体的）技术已经被证实可以作为不同类型发泡剂的技术可行性，这意味着全球几乎不再继续消费哈龙这类物质。 到2015年在BAU情景下这一行业的排放预估为大约每年124MtCO₂当量。 <p>减排机遇</p> <ul style="list-style-type: none"> 由于要求改进能效，绝热泡沫可望在建筑和家用电器方面对CO₂排放的减少作出显著的贡献。发泡剂的选择能显著影响热性能。 分析LCCP可以比较绝热种类提供依据。尽管如此，计算对能量使用的碳强度，假设的产品寿命，绝热层的厚度和寿命到达时再生/最终处置的程度非常灵敏。 到2015年，碳氢化合物预估将作为在硬泡沫行业里主要使用的发泡剂，到那时期望可以占到总消费量的60%。其他一般柔质发泡剂是HFCs（24%）和HCFCs（16%）。HCFC的使用将主要限制在发展中国家的家电方面。目前对将来HFC使用的估计低于与先前的预测，主要是因为HFC的成本高。加入用CO₂发泡显示出是一种在关键的应用中限制HFC的使用一个重要手段。 采取行动以便在2010-2015年之间将HFC的使用减少50%将让每年减少排放10MtCO₂当量，之后以每吨CO₂当量15~100美元的成本会进一步加大减排量。 尽管回收的有效性仍待证明，特别是在建筑业方面，家电行业的商业回收成本为每吨CO₂当量10-50美元。到2015年减排可能达到每年7MtCO₂当量¹。但是，在2030到2050年之间这种潜力可能会明显的增加，到时大量建筑绝热泡沫将会被淘汰。 	<p>排放状况和BAU趋势</p> <ul style="list-style-type: none"> 到2015年在BAU情景下这一行业的预估排放量大约每年40MtCO₂当量年。 按当前技术的开发所需的时间尺度推断，预计在未来的10到15年内药物吸入器方面不会有重大的突破。 <p>减排机遇</p> <ul style="list-style-type: none"> 对与MDI每年有关的GHG减排的主要影响归结于MDI从CFC向HFC的转变并且超过了BAU的趋势（到2015年是17MtCO₂当量）。 在治疗决策中和在可能影响到这些决定的政策制定方面，对病人的安全和健康是至关重要的。这可能限制DPIs的使用。 基于这种假定情况，从最广泛使用的HFC MDIs改用DPI吸入药品（舒喘宁）将会导致每年减少二氧化碳10 Mt，达到这个目的每年将为17亿美元，有效降低每吨二氧化碳花费150-300美元。
<p>医用气雾剂</p>	<p>哮喘和慢性阻塞性肺病（COPD）是影响全世界3亿人的主要疾病。定量吸入器（MDIs）是最主要的治疗方法。干粉吸入器（DPIs）不包含喷射剂已经越来越广泛的使用，但是不适用于所有的病人而且更昂贵。</p>	<p>排放状况和BAU趋势</p> <ul style="list-style-type: none"> 到2015年在BAU情景下这一行业的预估排放量大约每年40MtCO₂当量年。 按当前技术的开发所需的时间尺度推断，预计在未来的10到15年内药物吸入器方面不会有重大的突破。 <p>减排机遇</p> <ul style="list-style-type: none"> 对与MDI每年有关的GHG减排的主要影响归结于MDI从CFC向HFC的转变并且超过了BAU的趋势（到2015年是17MtCO₂当量）。 在治疗决策中和在可能影响到这些决定的政策制定方面，对病人的安全和健康是至关重要的。这可能限制DPIs的使用。 基于这种假定情况，从最广泛使用的HFC MDIs改用DPI吸入药品（舒喘宁）将会导致每年减少二氧化碳10 Mt，达到这个目的每年将为17亿美元，有效降低每吨二氧化碳花费150-300美元。

表 TS-9 (5) 行业类别和特定应用结果综述

行业类别	行业说明和状况	排放状况、BAU趋势和减排机遇
消防	<ul style="list-style-type: none"> 原始哈龙 75% 的使用已经改用对气候没有影响的化学试剂。原始哈龙 4% 的应用继续作为哈龙使用。其余的 21% 转用 HFCs 和少量的哈龙转用 PFCs 和 HCFs。 HFCs 和惰性气体已经成为最普遍使用的气体化学试剂同时已经达到了一定程度的市场应用和份额。 新的已经商品化的 FK 几乎对气候没有任何影响，但是没有确定其市场接受程度的基础。 	<p>排放状况和BAU趋势</p> <ul style="list-style-type: none"> 到 2015 年在 BAU 情景下这一行业的预估排放量大约每年 5Mt CO₂ 当量（不包括哈龙）。 当与传统灭火试剂，如 CO₂、干化学物质和水的替代灭火器相比较，成本仍然是限制市场接受 HFCs、HCFCs 和 PFCs 使用的主要因素。PFC 的使用现在被限制在混合 HCFC 中的一个很小一部分。 <p>减排机遇</p> <ul style="list-style-type: none"> 当考虑安全性、空间、重量、成本、灭火速度和特殊性能，例如非常冷的条件下、舰上和车上使用时，哈龙和 HFCs 是在大量固定系统应用中仅有的两种可选物质。PFCs 和 HCFCs 没有超越其他的优点。一种新的在一些特殊应用中还没有测试的低 GWP 氟酮（FK）将提供未来的额外选择，同时也有气候影响的额外低成本。由于对新型灭火器具和药剂的测试过程以及审批和市场接受过程长，预计到 2015 年不大可能有低影响的额外选择。 只要可能，尽量使用对环境没有影响的试剂可以减少该行业的 GHG 排放，前提是它们的使用可以高成本效益方式满足防火的要求。 哈龙，HFC，HCFC 和 PFC 的储存管理需要特别的注意，因为这可以实现生产经济刺激保证政策意图的实行（如：强制淘汰）。 实施负责试剂管理将减少固定系统的储存每年的排放到 2 ± 1%，便携式灭火器储存减到 4 ± 2%。
非医用气雾剂产品	<ul style="list-style-type: none"> 该行业包括技术、安全性、消费和新型的气雾剂。 在发达国家大于 98% 的非医用气雾剂，已经从 CFCs 改用对臭氧和对气候安全的物质。 在非医用气雾剂生产中最大最独特的 HFCs 的用途是‘吹粒机’，加压气体用于从工作台面和设备上吹出颗粒。 	<p>排放状况和BAU趋势</p> <ul style="list-style-type: none"> 到 2015 年在 BAU 情景下这一行业的预估排放量大约为每年 23MtCO₂ 当量。 <p>减排机遇</p> <ul style="list-style-type: none"> 减排潜力具有不确定性，估计非常小。 气雾剂喷射技术上用 HFC-152a 替代 HFC-134a 可导致 GHG 减排的一个选择。对于接触式清洁剂和塑料成型模具释放剂，用低 GWP 值的 HFEs 和 HFCs 代替 HCFCs 为减排提供了一个机遇。在不能使用易燃的推进剂和配方成分的情况下，安全气雾剂产品继续依靠 HFC-134a，这正式由于它的不可燃特性所致。一些国家禁止 HFC 用于生产新气雾剂产品。由于安全原因，HFC-134a 继续在许多国家使用。

表 TS-9 (6) 行业类别和特定应用结果综述

行业类别	行业说明和状况	排放状况、BAU趋势和减排机遇
溶剂	<ul style="list-style-type: none"> 在《蒙特利尔议定书》之前，甲基氯仿被作为清洗金属、电子、精密制造行业和组织用途中广泛使用。在这些行业使用CFC-113和ODS产品已经被禁用或者大幅度削减。现在大部分的清洗溶剂的使用依赖于另类替代品。小份额的已经或预计改用HFCs或HFES。PFC使用呈逐渐下降趋势预计到2025年可以完全被淘汰。 	<p>排放状况和BAU趋势</p> <ul style="list-style-type: none"> 到2015年在BAU情景下这一行业的预估排放量大约每年14Mt CO₂当量。 <p>减排机遇</p> <ul style="list-style-type: none"> 在许多用途中，有各类有机溶剂都可以替代HFCs, PFCs和ODSs。 这些替代溶液由低GWP成分组成，像传统的含氯有机溶剂、HFES和丙基溴。一些另类技术，包括碳氢化合物和含氧溶剂在一些用途中均可以选择。 安全性，特别是毒性，在选择溶剂方面占有关键地位。在毒性报告不完整的情况下采用任何替代品都应该事先引起注意。 HFC溶剂主要用于特殊技术用途中，且只在被选择的国家应用。它们的使用趋于集中在没有其他替代品的关键用途。未来消费量也许呈下降趋势。 PFC限于在一些很小的用途中使用，因为有限的溶解性、高成本并可用低GWP替代品所取代。 在现有用途中进一步改进密封性是十分重要，因为优化的设备在一些用途中可以减少溶剂的消费量高达80%。由于它们的高成本和回收中的易纯化性，氟化溶剂经常可以被回收和循环利用。
HFC-23的副产品	<ul style="list-style-type: none"> HFC-23是HCFC-22生产过程中的副产品 尽管为了直接使用而生产的HCFC-22在发达国家已经结束，而且在发展中国家也将最终结束生产，它作为原料的生产据推测将继续增长。 	<p>排放状况和BAU趋势</p> <ul style="list-style-type: none"> 到2015年在BAU情景下这一行业的预估排放量大约为每年332Mt CO₂当量。 HFC-23排放的上限是HCFC-22产量的4%。优化处理程序可以将平均减排量减少到2%或者更小。尽管如此，实际达到的减少程度是与具体设备有关。 <p>减排机遇</p> <ul style="list-style-type: none"> 通过热氧化过程捕获和销毁HFC-23是减排的一个高度有效的选择，按每吨CO₂当量低于0.2美元的成本。减排可超过90%。

3.7 哪些政策手段可以用来减少本报告所讨论的温室气体排放？

正如 IPCC 第三次评估报告所讨论的那样，可以采用各种政策、措施和手段以减少 GHG 排放，包括：

- 法规（例如强制性技术和性能标准；产品禁令）；
- 经济激励（例如对排放、生产、进口和消费征税，补贴及政府直接支出和投资，押金返还系统，贸易和非贸易许可）；
- 自愿协议。

为了减少 ODSs 及其替代品如 HFCs 和 PFCs 的使用或排放，可以考虑或执行几乎所有上述的政策手段。而且，通常的能源或气候政策将影响 ODSs 及其替代品或另类替代应用的间接 GHG 排放。此外，已经制定了专门政策以减少 ODS 替代品（即 HFCs 和 PFCs）的 GHG 排放。相关实例见表 TS-10。

3.8 关于未来在发展中国家有哪些 HFCs/PFCs 可以使用有何谏言？

没有公开发表的资料可以用来预估未来的生产能力。然而，由于对 HFC 和 PFC 的生产不存在技术或法律上的限制，可以假设全球生产能力通常将继续满足或超过需求。因此，在本报告中，通过累计行业需求而对未来生产进行估算。

在 BAU 情景下，预计全球生产能力将扩大，额外的增长主要是通过合资发生在发展中国家。全球 HFC 和 PFC 的生产能力通常超过当前需求。在发达国家有许多 HFC-134a 的生产厂家，在发展中国家只有一个生产厂家，其他工厂尚在计划中。其他 HFC 的少量工厂几乎无一例外地都在发达国家。欧盟提出的在新车的移动空调中逐步淘汰 HFC-134a 以及减少 50% HFC-134a 排放的企业自愿计划将影响需求、生产能力和产量。发展中国家迅速扩大的市场，特别是对 CFCs 的替代，正在导致氟化气体的新的生产能力，这种气体目前正通过扩大 HCFC-22 和 HCFC-141b 生产能力而达到饱和。[11]

表 TS-10 减少 ODS 替代品的 GHG 排放量的政策手段。

手段类型	具体手段例子
法规	<p>强制性性能标准： 能效执行标准和防渗陋密封性能标准在一些国家的冷藏和制冷用应用中已经到位。禁止排放和要求回收的法规已在许多国家都已经立法，但执行起来经常很困难。有效应用需要其他强制补充计划和技术人员的强制技术培训。车辆排放标准（例如：严格控制车的 GHGs 排放量，包括所有的燃料和移动空调排放）正被考虑之中（例如：加利福尼亚州）。</p> <p>有义务利用经认证的公司开展仪器和设备安装服务（例如荷兰的‘STEK’方案）</p> <p>禁止和限制在某些应用中使用特殊的物质：HFCs 在一些国家实行或提议进行逐步淘汰的计划（如澳大利亚、丹麦和瑞士）。拟议中的欧盟指令的目的是修改现行的欧洲车辆类型批准的立法程序，将对移动空调中的 HFCs 的使用提出一个 GWP 临界值。</p> <p>报废管理措施，如强制回收和禁止销售。</p>
金融刺激和市场机制	<p>替代 ODSs 的 HFCs/PFCs 和其他替代品的相对成本将影响用户和制造商对这些物质的选择。HFCs 和 PFCs 是复杂的化学品，比它们所替代 ODSs 更昂贵，这将进一步鼓励去选择其他替代品质。金融政策刺激有助于形成物质与技术之间的成本差。</p> <p>一些国家对 HFC 的进口和生产实行押金或征税政策。押金和征税将会增加 HFCs 的成本，因此使改进密封和回收更具有吸引力。</p> <p>对向销毁机构提供使用过的 HFCs 和 PFCs 者实行退税政策，这是减排的刺激政策。挪威的退税政策是每吨 CO₂ 当量退 183 挪威克郎 (26 美元)。</p> <p>补贴：根据蒙特利尔议定书建立的多边基金提供国际补贴之外，例如，全球环境资金，国家政府还资助研究和开发项目以及为采用新的低 GHG 排放技术提供补贴。 荷兰在 2004 年储存哈龙和 CFC 成为非法之前，对收集和销毁哈龙和 CFCs 成本提供 50% 的补贴，以防止将其转售他人。</p> <p>HFCs 和 PFCs 的减排可以通过京都议定书中的清洁发展机制（CDM）的渠道提供资金。CDM 项目在韩国和中国已存在，印度和墨西哥的项目正在建立之中。</p> <p>大点源 HFCs 可包含进排放交易方案中。至今，这些源（如：HCFC-2 生产过程中 HFC-23 副产品排放）仍没有包括在排放交易方案之中，虽然英国方案是一个值得注意的例外。监测这些物质从更加分散的排放源中的排放不太切合实际。</p>
自愿协议	<p>有一些由工业和政府发起的有关减排和负责任使用的计划。遵守负责使用的原则可以使 HFC 的减排超过目前的预估量。负责使用原则包括：</p> <ul style="list-style-type: none"> • 只在保证安全性、能效高、对环境或者具有关键经济或公众健康有利的地方使用 HFCs。 • 在设备和产品的生产、使用和处置过程的 HFCs 排放限制在最低特别水平。 • 如果使用了 HFCs，则选择对气候影响最小的可以满足应用要求的化合物或系统。 <p>针对设备的选择和维护方面已经制定出良好做法指南，包括改进物质密封以及在服务过程中和报废时进行回收。</p>

4. 关于使用消耗臭氧层物质及其替代品行业的重要结论

4.1 关于制冷行业的最重要结论是什么？

到目前为止，制冷剂是直接 GHG 排放的最大贡献者。在本报告中，制冷行业被归类为以下子行业：民用制冷、商业制冷、工业制冷、食品加工和冷藏以及运输制冷。住宅和商业空调及采暖（SAC）以及移动空调（MAC）行业分别在本技术摘要的不同章节（4.2 和 4.3 节）介绍。表 TS-11 列出了所有使用制冷剂行业的库存及其直接 GHG 排放的详细资料。

对于制冷行业，减少直接 GHG 排放的五种通常选择如下所列：

- 改进密封性：防渗漏系统；
- 在维修期间及设备使用期限结束时对制冷剂进行回收、循环利用和销毁；
- 应用减少制冷剂注入量的系统：
 - 减少单位冷却能力的制冷剂注入量；
 - 降低制冷能力需求；
- 使用具有较低或可忽略不计的全球变暖潜势的替代制冷剂（例如碳氢化合物（HCs）、二氧化碳（CO²）、氨等）；
- 另类技术。

这些原则同样适用于 SAC 和 MAC 行业。

4.1.1 民用制冷

民用冰箱用于全球住宅和非商业区如办公室的食物贮藏。每年约生产 8 千万台，其内部贮藏能力从 20 升到超过 850 升。由于设备的平均使用期限估计为 20 年，所以，安装的设备总量接近 15 亿台。根据《蒙特利尔议定书》的要求，制造商在 20 世纪 90 年代初期开始从 CFC 制冷剂转向其他替代品。这一转换在发达国家已经完成，在发展中国家也取得了重大进展。不过，由于民用冰箱的典型使用期限较长，因此，已安装的大部分冰箱都是使用 CFC-12 制冷剂的，反过来这在很大程度上延缓了维修行业对 CFC-12 制冷剂需求的下降速率。

在新的民用制冷设备中，异丁烷（HC-600a）和 HFC-134a 是替代 CFC-12 的主要制冷剂（见表 TS-12）。已经证实这两种制冷剂都具备安全、有效、可靠和实用的大规模生产能力，其中任何一种制冷剂的使用都能产生类似的产品效率。独立的研究已经得出结论：与制冷剂的选择相比，应用设计参数可引起更大的效率变化。制冷剂选择的综合标准包括安全、环境、功能、成本和性能方面的要求。制冷剂的选择受到地方法规和诉讼环境的强烈影响。每台冰箱通常包含 50 ~ 250 克的制冷剂，封装在出厂焊接的密封系统内。这两种制冷剂在技术方面的相关考虑因素简单综合如下：

- 在历史上，HC-600a 使用常见的矿物油作为密封系统的润滑剂。制造过程和设计必须适当地处理这种制冷剂的易燃性，包括需要适当的工厂通风和适宜的电力设备；防止制冷剂泄漏及使用电子元件；当接近泄漏的制冷剂时，使用密封的或无火花的电子元件；采用适当的铜焊工艺，或者更适宜的是，对注入系统避免进行铜焊操作。实地维修程序也必须适当地考虑制冷剂的可燃性。
- HFC-134a 使用湿敏的多羟基化合物油作为密封系统的润滑剂。制造过程和维修程序必须适当地注意维持较低的湿度水平。与 CFC-12 或 HC-600a 相比，其长期可靠性需要更小心地避免生产或维修期间的污染物。

使用碳氢化合物与丙烷（HC-290）/异丁烷（HC-600a）的混合物可以匹配 CFC-12 的容积功率，并避免重组压缩机带来的资本支出。这些混合物引进了复杂的制造过程，对于具有不同沸点成分的制冷剂混合物来说，需要采用适当的注入工艺。在 20 世纪 90 年代，这些混合物在欧洲的应用是作为转向使用重组压缩机的 HC-600a 的过渡性步骤。对于碳氢化合物混合物的安全考虑与 HC-600a 的一致。

表 TS-11 在 2002 年和 2015 年的照常排放 (BAU) 和减缓 (MIT) 情景下制冷行业, 住宅和商业空调和采暖 (固定空调) 以及移动空调行业 CFCs, HCFCs, HFCs 以及其他物质 (碳氢化合物、氨和二氧化碳) 的制冷剂和储量和直接排放量

	库储量 (kt)				排放量 (kt/年)							排放量(MtCO ₂ 当量/年) SAR/ TAR ^b	排放量(MtCO ₂ 当量/年) 本报告 ^c	
	CFCs		其他		合计		CFCs	HCFCs	HFCs	其它	合计			
	HCFCs	HFCs	HCFCs	HFCs	HCFCs	HFCs	其它	HFCs	其它	其它				
2002														
制冷	330	461	180	108	1079	71	132	29	18	250	848	1060	这份报告	
- 民用制冷	107	-	50	3	160	8	-	-	0.5	9	69	91		
- 商业制冷	187	316	104	-	606	55	107	23	-	185	669	837		
- 工业制冷设备 ^a	34	142	16	105	298	7	24	2	18	50	92	110		
- 运输用制冷设备	2	4	10	-	16	1	1	3	-	6	19	22		
固定空调	84	1028	81	1	1194	13	96	6	0.2	115	222	271		
移动空调	149	20	249	-	418	60	8	66	-	134	583	749		
2002年总计	563	1509	509	109	2691	144	236	100	18	499	1653	2080		
2015 BAU情景														
制冷	64	891	720	136	1811	13	321	115	21	471	919	1097		
- 民用制冷	37	-	189	13	239	5	-	-	8	1	13	51	65	
- 商业制冷	6	762	425	-	1193	5	299	89	-	393	758	902		
- 工业制冷 ^a	21	126	85	123	356	4	21	11	21	56	88	104		
- 运输制冷	0.1	2.8	20.3	-	23.2	0.1	1.3	7.4	-	9	22	26		
固定空调	27	878	951	2	1858	7	124	68	0	199	314	370		
移动空调	13	23	635	4	676	5	11	175	1	191	281	315		
BAU情景下2015年总计	104	1792	2306	143	4345	25	455	359	23	861	1514	1782		
2015年MIT情景														
制冷	62	825	568	186	1641	8	202	52	15	278	508	607		
- 民用制冷	35	-	105	60	200	3	-	3	1	6	27	35		
- 商业制冷	6	703	378	-	1087	3	188	40	-	230	414	494		
- 工业制冷 ^a	21	120	65	126	331	3	13	5	14	36	53	63		
- 运输制冷	0.1	2.8	20.3	-	23.2	0.0	0.9	4.3	-	5	13	15		
固定空调	27	644	1018	2	1691	3	50	38	0	91	145	170		
移动空调	13	23	505	70	611	3	7	65	7	82	119	136		
MIT情景下2015年总计	102	1493	2090	259	3943	14	259	155	22	451	772	914		

注释:

^a 包括食品加工/冷藏

^b GHG CO₂-当量 (GWP 加权) 排放量, 采用 IPCC 的直接 GWP_s 值 (1996, 2001) (SAR/TAR)。

^c GHG CO₂-当量 (GWP 加权) 排放量, 采用本报告第二章的直接 GWP_s 值。

表 TS-12 行业摘要：民用制冷，当前状况和减排选择

产品配置	冷墙式	外露散热式	无霜式
制冷能力 从	60 W	60 W	120 W
至	140 W	140 W	250 W
制冷剂载荷 从 (HFC)	40g	40g	120g
至	170g	170g	180g
占行业配置制冷剂库存量 (160 kt) 的近似百分比	20/85 台 @ 100 g 平均 占 160 kt 的 18%	15/85 台 @ 100 g 平均 占 160 kt 的 14%	50/85 台 @ 150g 平均 占 160 kt 的 68%
子行业占整个行业的制冷剂排放量 (8950 吨) 的近似百分比	占 8950 吨的 18%	占 8950 吨的 14%	占 8950 吨的 68%
主要技术	HC-600a	HFC-134a	HFC-134a
其他商业化技术	HFC-134a, CFC-12	HC-600a, CFC-12	HC-600a, CFC-12
市场上有一般或较好潜力并可替代 CFC/HFC 的低 GWP 值技术	HC-600a	HC-600a	HC-600a
替代品状况	完全开发并在生产中	完全开发并在生产中	完全开发并在生产中
HC-600a 生产成本费	无费用	3-5 美元	8-30 美元
资本投资	0	45-75 百万美元	400-1500 百万美元
减排	1432 吨	1253 吨	6086 吨

对于特定的应用或主要驱动力不同于常规民用冰箱的情况，将继续应用替代制冷技术如斯特林循环、吸收循环以及热电、热离子和热声系统。在可预见的未来，预计这些技术选择不会显著地改变蒸汽压缩技术作为民用制冷技术选择的状况。

蒸汽压缩技术是一种确定的、全球容易获得的技术。当前的技术设计基于 HC-600a 或 HFC-134a，通常比它们所替代设备的电力需求少一半以上，并且不需要借助较高的成本或更复杂的设计来提供这种可靠的性能。可以预计将会不断地改进设备性能和 / 或提高能效。有关能效及其分类计划的政府法规和自愿协议已经证明其在几个国家推动提供更高能效产品方面的有效性。

设计、制造和维修中的好的做法将最大限度地减少冰箱生产和使用阶段的制冷剂排放。然而，必须特别注意大量包含 CFC-12 设备的报废。由于冰箱通常具有 20 年的使用期限，所以，每年报废和处理的冰箱约占安装总量的 5%。这意味着每年大约要处理 7500 万台冰箱，每台冰箱含 100 克制冷剂，因而，制冷剂总量为 7500 吨。至少在未来十年里，最主要的制冷剂仍将是 CFC-12。每台冰箱很少的制冷剂注入量削弱了制冷剂回收的经济合理性。世界各地的管

理机构已经采取激励或惩罚措施以促进对这种 ODS 的回收。

根据 2002 年的数据，当前民用冰箱的 HFC-134a 年排放率在产品使用期间为 1.0%。2002 年民用制冷的 HFC 排放约为 480 吨；在 BAU 情景下，到 2015 年将增加到 7800 吨；在减缓情景下，由于改进制冷剂的密封并进行制冷剂回收，2015 年的排放为 2800 吨。表 TS-12 综述了在 HC-600a 制冷剂应用增加中的减排机遇。类似地，列出了三种最常见冰箱进行制冷剂替代所需的额外制造成本、投资和开发成本。

4.1.2 商业制冷

商业制冷主要包括三类设备：独立应用设备、冷凝设备及完整的超级市场系统。各种各样的制冷系统都属于商业制冷，从与民用冰箱差异不大的冷却功率约为 200 瓦的冰淇淋机，到耗电几百千瓦包含多个压缩机架的机房。商业制冷最常用的制冷剂是 HCFC-22、R-404A 和 HFC-134a。

2002年,商业制冷行业的所有制冷剂库存量(以包含CFCs、HCFCs和HFCs的设备为主)达到60.5万吨,约占制冷和空调库存总量的22%,所有制冷和空调系统的各种制冷剂总量为269万吨。

从全球来说,商业制冷是最大的制冷剂排放的行业,以CO₂当量计算,约占制冷剂排放总量(制冷、SAC和MAC)的40%。排放水平(包括逃逸排放以及维修期间和使用期限结束时的破裂及其排放)通常很高,特别是在超级市场和巨型超级市场。注入量愈多,平均排放率就愈大,由此导致使用非常长的管道及大量的配件和阀门,因而发生破裂时就会产生非常大的排放。

根据自下而上方法推导出的制冷剂泄漏率表明,全球年排放率是库存系统注入量的30%。通常,制冷剂排放约占系统运行所排放的GHG总量的60%,其余的是电力生产引起的间接排放。这些百分比说明在该行业进行减排非常重要。

根据来自美国和欧洲的1700多个完整的超级市场系统的资料,每年制冷剂泄漏率为系统注入量的3~22%,平均为18%。因此,可以得出结论:如果从全球来说30%的排放估算是正确的话,那么3~22%的数值很可能表示这些超级市场所在的国家非常强调减排。

表TS-11给出了基于不同情景预估的未来卤烃制冷剂的排放。一些发展中国家的高速经济增长将对制冷剂的库存和排放产生非常显著的影响。

可以通过以下途径实现大幅度减排(即改进的LCCP),包括使用诸如HFCs、碳氢化合物、氨或CO₂等制冷剂;减少注入量;更有效的密封;通过新的系统设计提高能效。表TS-13对此进行了综述。如果使用有毒的或易燃的制冷剂,就必须考虑安全问题。这

取决于国家法规或在偶然情况下取决于地方法规,从而可能限制了这些制冷剂的使用。

在完整的超市系统里,可以通过使用替代制冷剂的直接系统、更好的密封性以及分布式系统、间接系统或分级系统来获得约比传统设计的中央直接系统低60%的LCCP值。

公开发表的结果表明:与当前系统相比,替代系统的初始成本要高0-35%,能源使用量要高0-20%。

减少制冷剂排放的成本范围为20~280美元/吨CO₂当量。正在继续进行新系统的开发工作以降低这些系统的成本和能源使用量,这将进一步降低减排成本。此外,考虑到能效的可能提高会导致负的减排成本。

对于小型的商业设备即独立应用设备和冷凝设备(售货机、冰淇淋机、步入式冷却设备等),全球的公司都已经开始使用较低或零GWP的物质(碳氢化合物和CO₂)替代HFCs,以及使用替代技术。这些选择都承诺要减少直接排放以及同等的或较少的间接排放。

4.1.3 食品加工、冷藏和工业制冷

食品加工和冷藏是重要的制冷应用之一,即在保持营养不受影响的同时,保存和销售食品。在所有的国家包括发展中国家,这一制冷应用的规模都非常大,具有经济上的重要性。该应用包括冷藏(温度从-1℃到10℃)、冷冻(从-30℃到-35℃)以及冷冻产品的长期贮藏(从-20℃到-30℃)。冷藏食品约比冷冻食品多10到12倍。

表 TS-13 行业摘要：商用制冷，当前状况和减排选择

子行业类别	独立设备	凝结单元	成套超市制冷系统				
			直接集中	间接集中	分布式	混合式	
制冷能力	从 至	0.2 kW 3 kW	2 kW 30 kW	20 kW >1000 kW			
制冷剂的负荷	从 至	0.5 kg ~2 kg	1 kg 15 kg	100 kg 2000 kg	20 500 kg	* *	* *
子行业占整个行业的制冷剂库存量的近似百分比	占 606 kt 的 11%	占 606 kt 的 46%	占 606 kt 的 43%	* 这些类别的替代品已经实现商业化，但是目前的系统数量有限，只供选择以下方案时参考。			
子行业占整个行业的制冷剂排放量的近似百分比	占 185 kt 的 3%	占 185 kt 的 50%	占 185 kt 的 47%				
2002 年制冷剂库存量加权百分比	CFCs 33%, HCFCs 53%, HFCs 14%						
典型的年平均的排放率	30%						

子行业类别	独立设备	凝结单元	成套超市制冷系统			
			直接集中	间接集中	分布式	混合式
减少 LCCP 的技术	改进的 HFC SD NA	改进的 HFC SD NA	改进的 HFC EmR 30 ChEU 0 ChCst 0-10	氨 EmR 100 ChEU 0-20 ChCst 20-30	HFC EmR 75 ChEU 0-10 ChCst 0-10	阶式 - HFC/CO ₂ EmR 50-90 ChEU 0 ChCst 0-15
		R-410A SD NA	CO ₂ (全部 CO ₂) EmR 100 ChEU 0-10 ChCst 0-10	HC EmR 100 ChEU 0-20 ChCst 20-30	经济型 R-404A SD NA	阶式 - 氨 / CO ₂ SD NA
	HCS D NA	HC SD NA		HFC EmR 50-90 ChEU 0-20 ChCst 10-25	经济型 R-410A SD NA	阶式 - HC/CO ₂ SD NA
	CO ₂ SD NA	CO ₂ SD NA			CO ₂ SD NA	
LCCP 减少潜力 (用电力生产的世界平均排放因子)	SD NA		35-60%			
去除成本 (10 年寿命, 10% 利率)	SD NA		减少每吨 CO ₂ 当量需要 20-280 美元			

注释:

EmR (%): 直接减排 (与安装的系统相比)

ChEU (%): 能量利用变化 (+ 或 -) (与目前科技水平相比)

ChCst (%): 成本改变 (+ 或 -) (与目前科技水平相比)

SDNA: 文献中没有充足的排放减少、能量利用和成本改变方面的数据。

大多数食品加工和冷藏的制冷系统使用活塞式和螺旋式压缩机。氨、HCFC-22、R-502 和 CFC-12 是历史上使用过的制冷剂。目前在某些地区，正在使用 HFC 制冷剂来替代 CFC-12、R-502 和 HCFC-22。首选的 HFCs 是 HFC-134a 以及 HFC 与具有小的温度滑动的物质如 R-404A、R-507A 和 R-410A 的混合物。

另外，还使用氨 /CO₂ 分级系统。碳氢化合物则是间接系统的主要制冷剂。

对于此类制冷，已有关于 TEWI/LCCP 的有限数据。对于使用 R-404A、R-410A 和 HC-290 制冷剂的 11 千瓦制冷系统的性能和 LCCP 计算进行的最新研究

表明，基于计算所使用的假设，LCCP 的差异可忽略不计。

在 4.2 节的最后，给出了有关食品加工、冷藏和工业制冷行业的制冷剂泄漏以及减排选择的补充信息。

工业制冷包括各种各样的冷却和冷冻应用，例如在化学品、石油和天然气行业、工业和娱乐制冰以及空气液化中的应用。大多数系统是蒸汽压缩循环，蒸发器温度从 15℃ 到 -70℃。低温应用甚至在更低的温度条件下运行。设备功率从 25 千瓦到 30 兆瓦，系统通常是定制的，在现场建造。最适宜使用的制冷剂是单一成分制冷剂或共沸点混合物制冷剂，因为许多此类系统为了达到较高效率使用泛滥式蒸发器。一些设计使用含有热传递液体的间接系统以减少制冷剂注入量和 / 或最大限度地降低与制冷剂直接接触的风险。

这些制冷系统通常位于工业区，公众的接近非常有限。氨是最主要的制冷剂，并且其使用仍在日益增加。根据使用量，列在第二位的最常用制冷剂是 HCFC-22，尽管自 2001 年 1 月起欧洲的法规已经禁止所有制冷设备的新系统使用 HCFC-22。HFC-134a 及 R-404A、R-507A 和 R-410A 正在替代较少量的 CFC 制冷剂 CFC-12 和 R-502；而 CFC-13 和 R-503 正在被 HFC-23 和 R-508A 或 R-508B 替代。HCFC-22 正在被 R-410A 替代，因为 R-410A 系统的能效略高于 HCFC-22 系统，并且 R-410A 的蒸发温度类似于氨，可低至 -40℃。在历史上，碳氢化合物已经被用于石油和天然气行业的大型制冷设备。

在该制冷子行业中，CO₂ 被开始用作分级系统中的低温制冷剂，氨在高级阶段使用，CO₂ 在低级阶段使用。CO₂ 系统的能效类似于 HCFC-22、氨和 R-410A 系统的能效，蒸发器的温度范围为 -40℃ ~ -50℃。CO₂ 还被用作间接系统的热传递液体。

根据估算，每年工业制冷系统的制冷剂泄漏率约为 7 - 10%，而在 2002 年所报告的食品加工、冷藏和工业制冷的总体泄漏率为系统制冷剂库存总量的 17%。按重量计，制冷剂库存包括 35% 的氨和 43% 的 HCFC-22，其余的是 CFCs、HFCs 和碳氢化合物。表 TS-1 列出了 2002 年整个行业主要制冷剂及其排放的分布。

减排选择包括使用具有较低 GWP 的制冷剂、改进设备的设计和运行从而减少系统的制冷剂注入量、改进制冷剂的密封和回收以及通过新的系统设计提高能效。为了实现最小的环境影响，在进行制冷剂的最优化选择和系统的最优化设计时应该进行 LCCP 计算。工业制冷的制冷剂减排成本范围被确定为 27 ~ 37 美元 / 吨 CO₂ 当量（每年 8% 的贴现率）。

4.1.4 运输制冷

运输制冷子行业由通过公路、铁路、空中和海上运输冷藏或冷冻货物的制冷系统组成。通常使用几种制冷系统，例如船运系统，具有单独制冷设备的集装箱，可以通过海上、铁路或公路以及冷藏卡车和火车来运输。运输子行业还包括捕鱼船的制冷系统，船上的制冷系统用于食品加工和贮藏。

表 TS-14 行业摘要：食品加工、冷藏和工业制冷（2002）

	CFCs CFC-12 和 R-502	HCFC-22	氨 NH ₃	HFCs HFC-134a, R-404A, R-507A, R-410A
制冷能力	25 kW-1000 kW	25 kW-30 MW	25 kW-30 MW	25 kW-1000 kW
排放量, 吨/每年	6900	23,500	17,700	1900
库存制冷剂, 吨	48,500	127,500	105,300	16,200
排放百分比, %/年	14%	18%	17%	12%

表 TS-15 运输制冷特点及替代品

子行业类别	海运和渔业	公路运输	铁路运输	集装箱运输
制冷能力 从	5 kW	2 kW	10 kW	大约 5 kW
至	1400 kW	30 kW	30 kW	
制冷剂载 从	1 kg	1 kg	10 kg	大约 5 kg
荷 至	几吨	20 kg	20 kg	
子行业占整个行业的制冷剂库存量的近似百分比	占 15,900 吨的 52%	占 15,900 吨的 27%	占 15,900 吨的 5%	占 15,900 吨的 16%
子行业占整个行业的制冷剂排放量的近似百分比	占 6000 吨的 4%	占 6000 吨的 30%	占 6000 吨的 6%	占 6000 吨的 18%
主要技术	HCFC-22	HFC-134a, R-404A, R-410A	HFC-134a, R-404A, R-410A	R-404A
其它商业化技术	适应低温的各种 HFCs, 氨 /CO ₂ 适用于储气罐的碳氢化合物体系; 冷负荷的部分的吸附系统	碳氢化合物、液态或者固态 CO ₂ 、冰浆、共晶板材	固态 CO ₂	HFC-134a, HCFC-22
市场上有一般或较好潜力并可替代 CFC/HFC 的低 GWP 值技术	适应低温的氨, 氨 /CO ₂	碳氢化合物、CO ₂ 压缩系统; 对短途送货, 结合固体碳氢化合物或者氨与液体 CO ₂ 、冰浆或共晶板材	碳氢化合物、CO ₂ 压缩系统; 对特别运输 (如水果) 结合固体碳氢化合物或者氨与液体 CO ₂ 、冰浆或共晶板材	CO ₂ 压缩系统
替代品状况	已经全面开发。有些成本问题涉及船载氨设备的安全。碳氢化合物主要适合按防爆标准 (例如: 气体载体) 建造的船舶	碳氢化合物系统成功地通过了场地测试, 但是缺乏需求, 和其它需求 (驾驶员训练、停车) 液体 CO ₂ 系统已经商业化。CO ₂ 压缩机的样机已经过了测试, 但是许多系统需要开放式压缩机, 造成泄漏仍是问题。	固态 CO ₂ 是标准用途, 但是能效不是很高, 很难掌握且有高基础设施要求, 因此目前正被逐步淘汰。扩大利用为优化铁路运输要求、适应铁路运输而设计 (抗震动) 的系统。	仍处正在开发和样机测试阶段; 如果有需求可以在不久的将来提供。

运输制冷设备的技术需求比许多其他制冷设备更为严格。设备必须在各种环境温度以及极端易变的天气条件 (太阳辐射、降雨等) 下运行。运输设备必须能够运送具有不同温度要求的各种各样的货物, 在通常十分苛刻的运输环境下必须坚固和可靠。尽管运输制冷设备设计的坚固耐用, 但由于震动、突然的撞击、与其他物体的碰撞及海水侵蚀等原因, 制冷系统内部可能会出现泄漏。必须确保所有的工作液体安全

运行, 例如在海运的情况下, 如果出现制冷剂的泄漏, 并没有很容易的疏散选择。必须通过选择不同的液体使得安全成为系统固有的特性, 或者通过采取许多技术措施来确保安全。有关设备的维护, 需要确保连续性, 因为运输设备在全球许多地方都能够得到维修。

制冷系统通常使用 CFC-12、R-502、HCFC-22、HFC-134a、R-404A、R-507A、R-410A 和 R-407C。

具有较低 GWP 的替代品如氨、碳氢化合物和氨 /CO₂ 在一些蒸汽压缩制冷系统中已经得到商业化应用。在运输制冷的某些行业如公路、铁路和空运中，使用冰和液态或固态 CO₂。表 TS-15 综述了目前的不同制冷应用以及替代品的发展状态。据估算，目前制冷剂的库存包括 3300 吨 CFCs、3200 吨 HCFC-22 以及 9500 吨 HFCs 和 HFC 混合物。预计库存总量将从目前的 16,000 吨增加到 2015 年 BAU 情景下的 23,200 吨；并且制冷剂的年排放总量将从目前的每年 6000 吨增加到 2015 年 BAU 情景下的每年 8700 吨；如果大量增加对制冷剂的回收和循环利用并且使用密封压缩机来改进密封性的话，制冷剂排放则为每年 5250 吨。后一选择将会大幅度降低 CO₂ 当量排放，正如用较低 GWP 的物质替代碳氟化合物一样。

如表 TS-15 所示，在目前使用 CFCs、HCFCs 和 HFCs 的所有运输制冷应用中，可以选择使用各种较低 GWP 的制冷剂替代品。在几种情形下，由于存在与设备和安全相关的成本，所以这些选择可能会增加制冷系统的成本。必须记住：对于运输设备的所有者来说，在缺乏外部激励的情况下，运输系统和制冷设备的初始成本远比设备的运行成本更为重要。

由于制冷剂的泄漏率为 25 ~ 35%，因此，如果能源消耗量并不比目前系统高得多的话，从 HFC 如 R-404A 转换为较低 GWP 的替代品通常将导致 TEWI 的减少。在几个应用中，TEWI 的减少可能非常显著。

有许多机遇可以减少运输制冷系统的能源消耗量，包括改进绝热以减少制冷损失和负荷；在部分负荷条件下控制压缩机频率；船运系统采用水冷压缩机；进行预防性维护以减少热交换器的结垢。

4.2 关于住宅和商业空调及采暖的最重要结论是什么？

住宅和商业空调及采暖所包括的应用、设备和产品可以分为三类：固定空调（包括冷却空气的设备和直接加热空气的热泵）、冷却器、水暖热泵。

固定空调一般分为六种截然不同的类型：（1）窗式空调；（2）非管道输送的分体式住宅和商业空调；（3）非管道输送的单体式空调；（4）非管道输送的水冷空调；（5）管道输送的分体式和单体式住宅空调；（6）管道输送的分体式和单体式商业空调。水冷却器与空气调节和分布式系统的耦合通常可为大型商业建

筑物提供舒适的空调。利用各种热源如空气及来自池塘、河流和地下的水来制造水暖热泵。

过去使用了哪些制冷剂？

- 在单元式空调中使用 HCFC-22；
- 在水暖热泵中使用 HCFC-22 和 R-502；
- 在离心式水冷却器中使用 CFC-11、CFC-12、HCFC-22 和 R-500；
- 在容积式水冷却器中使用 HCFC-22 和 CFC-12（在很小的范围内）。

固定空调：大量的固定空调（和采暖热泵）采用以 HCFC-22 作为制冷剂的蒸汽压缩循环技术。几乎所有 2000 年之前制造的气冷空调都使用这种制冷剂作为工作液体。

水冷却器：采用螺旋式、卷轴式和活塞式压缩机的冷却器一般用 HCFC-22 作为制冷剂。一些较小的活塞式冷却器（100 千瓦以下）用 CFC-12 作为制冷剂。美国、亚洲和欧洲还制造离心式冷却器，在 1993 年之前，这些冷却器用 CFC-11、CFC-12、R-500 和 HCFC-22 作为制冷剂。

水暖热泵：在过去，蒸汽压缩热泵最常用的制冷剂是 R-502 和 HCFC-22。

当前的做法是什么？

固定空调：粗略的估算指出，目前全球生产的 90% 以上的气冷空调（和热泵）设备仍使用 HCFC-22 作为制冷剂。在《蒙特利尔议定书》规定的时间表之前，一些国家已经开始逐步淘汰这种制冷剂。对于所有类型的固定空调来说，替代 HCFC-22 的制冷剂选择是相同的，即使用 HFC-134a、HFC 混合物和碳氢化合物，此外还可以考虑使用 CO₂。目前，在大量的非 ODS 系统中使用 HFC 混合物，在少量的低注入量系统中使用碳氢化合物。

水冷却器：在新的容积式冷却器中开始用 HFCs 和 HFC 混合物（特别是 R-407C 和 R-410A）替代 HCFC-22。较大型的水冷螺旋式冷却器（例如 350 千瓦以上）已经开始用 HFC-134a 替代 HCFC-22。氨被用于欧洲的一些冷却器中，并且那里每年也生产少量的使用碳氢化合物的小型冷却器。自 1993 年以来，所生产的离心式冷却器已经用 HCFC-123 和 HFC-134a 替代 CFC-11 和 CFC-12。

水暖热泵：在发达国家，最常用的制冷剂仍然是 HCFC-22，但是已经引进 HFC 替代品。在发展中国家，在有限范围内仍使用 CFC-12。在小型的住宅和商业水暖系统中，HFCs 的替代品包括碳氢化合物和 CO₂。欧洲正在使用碳氢化合物和 CO₂，而亚洲正在使用 CO₂。

未来的可能趋势是什么？

减少住宅和商业空调及采暖设备 GHG 排放的各种选择包括改进全球适用的所有设备中 CFC/HCFC/HFC 蒸汽压缩系统的密封性以及使用非 CFC/HCFC/HFC 系统。鉴于经济、安全和能效方面的考虑，后一选择并非适用于所有的情况。

可通过以下途径实现系统的密封性，包括改进系统的设计、安装和维护以减少泄漏；最大限度地减少系统的制冷剂注入量；在维修和设备处理期间进行制冷剂回收、循环利用和再生。为了最大限度地减少安装、维修和处理期间的排放，需要训练有素的工人，并使用专门设备。表 TS-11 列出了基准排放以及 2015 年减缓情景下的排放。

有哪些可供选择的低 GWP 制冷剂？

根据不同的应用，住宅和商业空调及采暖设备中 HFCs 的替代制冷剂可以选择碳氢化合物、氨、水和 CO₂。

固定空调：在制冷剂注入量大于 1 公斤的气冷空调产品中使用碳氢化合物已经成为许多风险分析和安全标准开发活动（例如欧洲标准 EN 378）的焦点。当考虑采用碳氢化合物作为制冷剂时，制造商所面临的最重大问题就是确定可以接受的风险水平及相关的障碍。

作为制冷剂，CO₂ 具有许多令人满意的特性，如可获得性、低毒性、低直接 GWP 以及低成本。CO₂ 系统还可能比使用普通制冷剂的系统要小。这些优点被以下事实所抵消，即在空调应用中使用 CO₂ 需要较高的运行压力，且 CO₂ 系统的运行效率较低，因此，由于能耗较高而使间接 CO₂ 排放增加。非最优化的空调系统的实际测试表明：当入口处气温为 35℃ 时，COPs 为 2.25，而对于通常的 HCFC-22 设备，COPs 可达 4.0。

水冷却器：使用氨作为制冷剂的容积式冷却器的功率范围为 100 千瓦到 2000 千瓦，少数的冷却器

具有更大的功率。推荐的做法指南限制在公共建筑物中采用大型的氨制冷系统。氨被限于机房，那里安装的警报器、通风装置和净气器可以确保安全。可以获得有关氨制冷系统安全设计和应用的指南。现代化工厂建造的包含氨的简洁设备比老式的氨设备要高效得多。

在石油化工厂的工业冷却器中，用碳氢化合物作为制冷剂已有很长的历史。在 1997 年以前，由于对系统的安全性能存有疑虑，碳氢化合物未被用于空调冷却器设备中。目前，欧洲的制造商们提供了各种容积式碳氢化合物冷却器。每年，碳氢化合物冷却器设备的销售量可达 100 到 150 台，主要是在北欧。与欧洲所安装的超过 77,000 台的 HCFC 和 HFC 冷却器相比，这一销售量很小。通常的安全措施包括：冷却器的适当安装和 / 或密封、应用低注入量的系统设计、自动防止故障的通风系统、气体检测器警报启动系统。碳氢化合物冷却器的效率类似于 HCFC-22 同等产品的效率，但其成本高于 HCFC 或 HFC 同等设备的成本。

正在调研 CO₂ 的各种潜在应用。不过，对于典型的水冷应用而言，CO₂ 并不能与使用碳氟化合物制冷剂的系统能效相比，因此，不存在环境激励促进在冷却器中用 CO₂ 替代 HFCs。到目前为止，CO₂ 尚未在冷却器中得到商业化应用。

水是一种有吸引力的替代品，因为水无毒、不可燃。可是，水是一种压力很低的制冷剂。在水汽压缩系统所需的低压和极高的容量流速使得在空调领域罕见的压缩机设计成为必要。几乎不存在用水作为制冷剂来冷却水或通过水池的直接蒸发来生产冰浆的应用。目前，这些系统比常规系统的成本要高 50% 以上，而这一较高的成本是固有的，与水汽冷却器的较大体积以及复杂的压缩机技术相关。

水暖热泵：一些欧洲的制造商们正在用丙烷（HC-290）或丙烯（HC-1270）作为小型低注入量住宅和商业水暖热泵的制冷剂。碳氢化合物制冷系统的线路通常位于室外或有通风设备的室内，并使用环境空气、土壤或地下水源。

在水暖应用中，丙烷将产生与 HCFC-22 相同或略高的能效。在设计新的热泵系统使用丙烷或其他易燃制冷剂时，必须采取适当的安全预防措施以确保安全运行和维护。在欧洲、澳大利亚和新西兰，已经存在或正在开发几种控制在热泵中使用碳氢化合物的标

准，其中正在开发的一个标准的实例就是更新的欧洲标准 EN 378。

超临界状态的 CO₂ 循环展示了在高温一侧的显著温度滑动，这种滑动对逆流式热交换器有益。用 CO₂ 作为制冷剂的热泵可以产生高达 90℃ 的水温，在日本已被开发为家庭使用，其典型的采暖功率为 4.5 千瓦。

中等和大功率的热泵已经采用氨作为制冷剂，主要是在斯堪的纳维亚半岛、德国、瑞士和荷兰。此类热泵系统的安全要求类似于氨冷却器。

有哪些可供选择的另类技术？

研究发现许多其他非传统技术具有减少 HFCs 消费和排放的潜力，包括干燥剂系统、斯特灵循环系统以及热电、热声和磁力制冷。除斯特灵循环和干燥剂以外，这些系统都受到较大的效率损失，由此产生的间接排放超过了减少直接排放的效益。尽管存在可以接受的研究兴趣，但斯特灵循环仍然限于小范围的应用，从未在空调中得到商业化应用。在主要的潜在负荷应用中，干燥剂系统被用来补充传统机械空调的潜在性能。

总的减排潜力有多大？

到 2015 年，相对于 BAU 情景，住宅和商业空调及采暖的直接 GHG 排放约减少 200 MtCO₂ 当量 / 年⁻¹，特定成本范围从 -3 到 170 美元 / 吨 CO₂ 当量。提高系统能效可以显著减少间接 GHG 排放，在某些情形下，可以总共节省 75 美元 / 吨 CO₂ 当量。减少直接 GHG（即制冷剂）排放的机遇包括：（1）在使用期限结束时更有效地回收制冷剂（在减缓情景下，假设发展中国家和发达国家的回收率分别为 50% 和 80%）；（2）减少注入量（可达 20%）；（3）改进密封性；（4）在适当的应用中使用非碳氟化合物制冷剂。

4.3 关于移动空调的最重要结论是什么？

移动空调的过去和当前趋势是什么？

自 20 世纪 60 年代初期和 20 世纪 70 年代以来，

美国和日本已经批量生产了 MAC 系统。在 1995 年前后，欧洲空调小汽车的数量大幅度增加；之后，发展中国家空调小汽车的数量也开始显著增加。

正如表 TS-16 所指出的，以 CFC-12 作为 MAC 制冷剂的全球小汽车总量已经从 1990 年的接近 2.12 亿辆减少到 2003 年的 1.19 亿辆，而以 HFC-134a 作为 MAC 制冷剂的小汽车总量则从 1992 年的少于 1 百万辆增加到 2003 年的 3.38 亿辆。

基于 BAU 情景，并且考虑发展中国家的高速经济增长，图 TS-11 给出了空调小汽车增长的预估值，预计到 2015 年可能达到 9.65 亿辆。

当前的排放和预估值是多少？

当包括所有的排放（逃逸排放可达 220 克 / 年 / 辆）时，来自继续使用以 CFC-12 作为制冷剂的 MAC 系统的车辆排放量为 531 克 / 年 / 辆。在一些国家，当车辆的使用期限结束时，对 CFC-12 进行了回收和循环利用。但是，除非销毁这些 CFC-12，否则在回收和循环利用之后，这些 CFC-12 最终仍将释放到大气中。在 2002 年，来自全球以 CFC-12 作为制冷剂的空调汽车的年排放量约为 514 MtCO₂ 当量 / 年⁻¹（其中逃逸排放可达 213 MtCO₂ 当量 / 年⁻¹）。预估结果表明，MAC 行业对气候系统辐射强迫的影响最早可在 2006 年将由 CFC-12 排放占据支配地位。

据估算，来自全球以 HFC-134a 作为制冷剂的 MAC 系统的汽车直接排放量约为 220 克 / 年 / 辆，其中逃逸排放为 130 克 / 年 / 辆。当以 CO₂ 当量表示时，大约为 96 MtCO₂ 当量 / 年⁻¹，其中逃逸排放为 56 MtCO₂ 当量 / 年⁻¹。与使用更有效的液体分发系统的专业维修相比，当前使用一次性液体罐为空调重新注入制冷剂的“自己动手做”工具箱至少增加了两倍的排放。

表 TS-11 强调了由于履行《蒙特利尔议定书》而导致的制冷剂选择的快速变化。

表 TS-16 从 1990 年到 2003 年空调车的演变和制冷剂的选择

年	空调车 (百万辆)	
	CFC-12	HFC-134a
1990	212	-
1991	220	-
1992	229	0.7
1993	229	10
1994	222	27
1995	215	49
1996	206	74
1997	197	100
1998	186	128
1999	175	161
2000	163	198
2001	149	238
2002	134	285
2003	119	338

来自移动空调运行的与能源相关的间接 CO₂ 排放是多少?

通过增加燃料使用及相关的 CO₂ 排放, 全球范围内 MAC 系统的运行导致了重大的间接效应。目前, 汽车工业的燃料消耗测试和标准并未明确地评估这一间接效应, 该效应可能随气候区而变。据估算, 视不

同的气候条件, MAC 系统的额外燃料消耗量可达 2.5 ~ 7.5%, 约为 126 公斤 CO₂/年/辆 (日本东京) 到 369 公斤 CO₂/年/辆 (美国菲尼克斯)。2003 年, 由于空调汽车总量达到 4.57 亿辆, 相对于 750 MtCO₂ 当量/年的直接排放, 间接效应达到 114 万 MtCO₂ 当量/年 (基于全球汽车总量进行平均, 假设平均值为 250 公斤 CO₂/年/辆)。

移动空调的未来可能趋势是什么?

减少 GHG 排放的选择如下: (1) 增加当前的 HFC-134a 系统; (2) 转向使用较低 GWP 的制冷剂如 HFC-152a 或 CO₂。尽管碳氢化合物是低 GWP 的制冷剂, 并且适当使用时效率很高, 但出于安全方面的考虑, 尚未见到汽车制造商和供应商把碳氢化合物作为适当的选择。

HFC-134a “改良” 系统正被逐步引入市场, 每个系统的额外成本从 24 美元到 36 美元。这些系统使用了更紧的软管、压缩机和维修阀门, 因而减少了泄漏。最近的研究表明, HFC-134a 改良系统及维修的改进可以产生大约 70 克/年/辆的排放, 约比当前 HFC-134a 系统的排放量低 60%。在回收做法和维修培训方面的改进可以进一步减少排放。使用具有外部控制的变容式压缩机可以显著地节能, 这种压缩机正被逐步引入市场。额外的节省与融合能效限制因素的 MAC 系统设计有关。

几个最新研究建议, 通过诸如以开/关控制代替标准的连续运行以及车门和车顶的绝热等措施来提高能效, 可以减少 30 ~ 40% 的排放, 约为 30 ~ 40 MtCO₂ 当量/年。

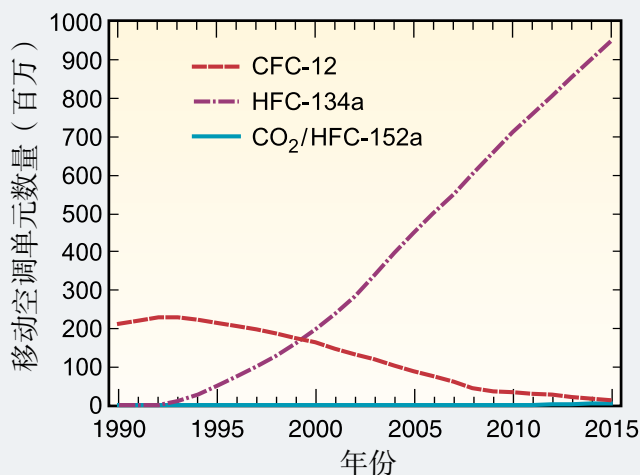


图 TS-11 在 BAU 情景下从 1990 到 2015 年移动空调的变化。

表 TS-17 移动空调选择方案的比较

	HFC-134a(基准型)	HFC-134a 改进型	CFC-12(旧式)	CO ₂ (开发阶段)	HFC-152a(直接制冷系统, 开发阶段)
物质特点					
散热效率 (W m ⁻² ppb ⁻¹)	0.16	0.16	0.32	见第二章	0.09
在大气中的寿命 (年)	14	14	100		1.4
直接全球增暖潜势 (100 年时间范围)					
- 本报告	1410	1410	10,720	1	122
- UNFCCC ^a	1300	1300	8100	1	140
技术数据					
开发阶段	商业化	近商业化	商业化	演示阶段	演示阶段
系统寿命	12-16	12-16	12-16	12-16	12-16
制冷能力 (kW)	6	5	6	6	6
载荷 (kg / 系统)
- 范围	0.7-0.9	0.6-0.75	1-1.21	0.5-0.7	0.45-0.55
- 相关比例	100%	80%	25%	70%	70%
超期的载荷数量	2-3	1-2	4	2-4	1-2
性能系数 (COP)	0.9-1.6	1.2-2.5	0.9-1.2	0.9-2.0	1.2-2.0
能耗 (相关比例)	100%	80%	130%	70%	70%
每功能单元的排放量					
直接排放					
- 载荷 / 年 ⁻¹ 的百分比					
- 千克 CO ₂ - 当量年 ⁻¹ (相关比例)	15	7	20	15	7
	166	64	1782	0.09	4.9
	100%	40%	1043%	0.05%	2.9%
间接 CO ₂ 排放 (千克 CO ₂ 年 ⁻¹)					
- 塞维拉	184	147	239	129	129
- 东京	126	101	163	88	88
- 凤凰城	369	295	480	258	258
报废期排放的回收率	0%	50%	0%	0%	50%
TEWI (kg CO ₂ 当量 14 年中)					
- 塞维拉	4900	2954	28,294	1807	1875
- 东京	4088	2310	27,230	1233	1301
- 凤凰城	7490	5026	31,668	3613	3681
(无回收) ^b					
每功能单元的成本					
投资成本 (美元)	215	24-36	无	48-180	48

注释:

^a 计算中使用 GWP 值为 UNFCCC 的 GWP 值。

^b 由于回收有效率的巨大的不确定性, TEWI 计算还没有考虑回收, 因此 ‘改进的 HFC-134a 系统’ 的直接排放平均值是每年 -1100 克。

使用 CO₂ 的 MAC 系统已经成功地应用于载客交通工具和商业性公共汽车。CO₂ 的 GWP 值比 HFC-134a 小 1300 倍，因而限制了单位注入量的直接排放。可是，CO₂ 系统的运行压力要比 CFC-12 和 HFC-134a 系统高 8 倍（排气压的量级为 12 兆帕），并且由于泄漏速率与气压的平方相关，因此，这意味着很难对 CO₂ 系统进行密封。到目前为止，在较冷的气候下，CO₂ 系统已表现出相当于或高于 HFC-134a 改良系统的能效，但在较暖的气候下其能效可能较低。尽管如此，正如表 TS-17 所指出的，由于 CO₂ 系统的直接效应几乎可以忽略不计，其 TEWI 值远远低于 HFC-134a 改良系统。商业化的障碍包括额外成本的分解、与车厢内 CO₂ 释放及维护相关的安全问题以及服务系统的转换成本。

HFC-152a 也已经被成功地应用于 MAC 系统。尽管 HFC-152a 系统使用与 HFC-134a 系统相同的部件，但前者需要额外的安全系统，因为 HFC-152a 易燃，而 HFC-134a 不易燃。（以 CO₂ 当量表示的）直接排放非常低（相对于 HFC-134a 系统，可减少 92% 的排放）。到目前为止，HFC-152a 系统已表现出相当于或高于 HFC-134a 改良系统的能效。但如果出于安全考虑采用次级循环系统的话，能量方面的收益可能会丧失。不过，以 TEWI 表示的总体气候影响仍然远远低于 HFC-134a 系统，与 CO₂ 系统的量级相同。目前，商业化的主要障碍是要解决易燃性的风险，并确保在全球范围内可以商业化地获得 HFC-152a。

表 TS-17 比较了目前使用的、正在开发的或已经示范的主要 MAC 系统，指出了每种选择的相对成本问题，以及在评估其对气候系统辐射强迫的影响（包括间接影响）时需要考虑的因素。必须强调的是，由于所有的制冷剂库存在目前的车辆中，并将从这些车辆中排放，因此，如在某一特定年份选择某一特定技术，那么在技术引进初期的影响将非常有限。

4.4 关于泡沫材料的最重要结论是什么？

目前使用泡沫材料的应用及其原因有哪些？

在历史上，泡沫（或多孔）聚合物被用于各种利用其潜力创造柔性或刚性结构的应用。柔性泡沫材料继续被有效地用于家具缓冲垫、包装及碰撞管理（安全）；刚性泡沫材料则主要应用于器具、运输及建筑物的绝热。此外，刚性泡沫材料还用来提供结构的完整性和浮力。

对于绝热应用（大多数刚性泡沫材料的用途）来说，矿物纤维（例如玻璃纤维和矿物棉）一直是，并将继续是主要的另类替代品。表 TS-18 说明了这两种替代品的主要优点和局限性。

上述相对优点和局限性的影响随产品种类和应用而变化，因此无法得出关于优先选择的一般性结论。当前的绝热市场支持各种各样的产品（至少 15 种主

表 TS-18 绝热应用中使用矿物纤维和多孔聚合物的效益和局限性

	矿物纤维	多孔聚合物
效益	<ul style="list-style-type: none"> • 初始成本 • 现有 • 承受最高温度的程度高 • 具有防火性能 	<ul style="list-style-type: none"> • 发泡剂绝热特性 • 抗潮 • 结构完整性 • 重量轻
局限性	<ul style="list-style-type: none"> • 空气绝热特性 • 防潮^a • 结构完整性低 	<ul style="list-style-type: none"> • 防火性能（有机） • 承受最高温度有限 • 初始成本（在某些情况下）

注释：

^a 对长期绝热性能有潜在影响

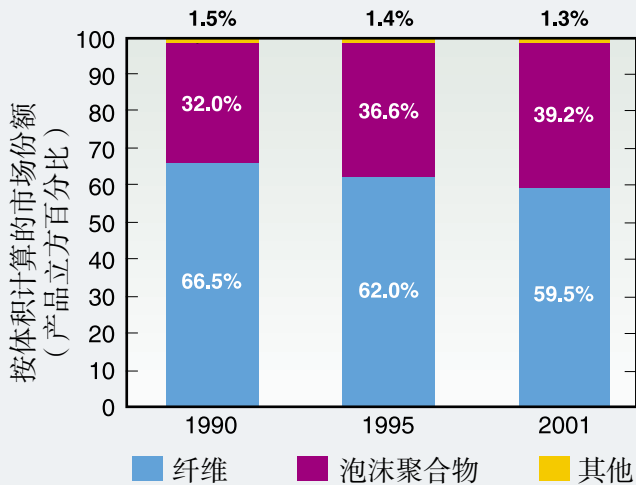


图 TS-12 绝热体积随欧洲产品类型 (1990-2001 年) 的变化。

及气候条件。

纯粹是为了举例，对欧洲绝热市场进行了系统性、周期性的分析，因而确定了其 1990 ~ 2001 年期间的趋势 (图 TS-12)。该分析指出，在绝热应用中，对于泡沫产品的信心正在增加，这部分是由于金属饰面板在欧洲的使用增加，反过来增加了对泡沫核心的依赖。不过，在未来五年里，欧洲消防的统一分类可能会延缓上述的增加趋势，甚至造成相反的趋势。这正是此类市场的反复无常所在，因此，有必要维持市场产品的多样性。

在评论另类选择时，必须承认持续的发展。例如，似乎有可能会增加在民用冰箱中使用真空绝热板 (真空的和密封的泡沫模具)。事实上，在战略设计中大多数日本设备已经包含了至少一块这样的绝热板。其他机遇包括多层反射箔，但其热效率尚未得到证实。

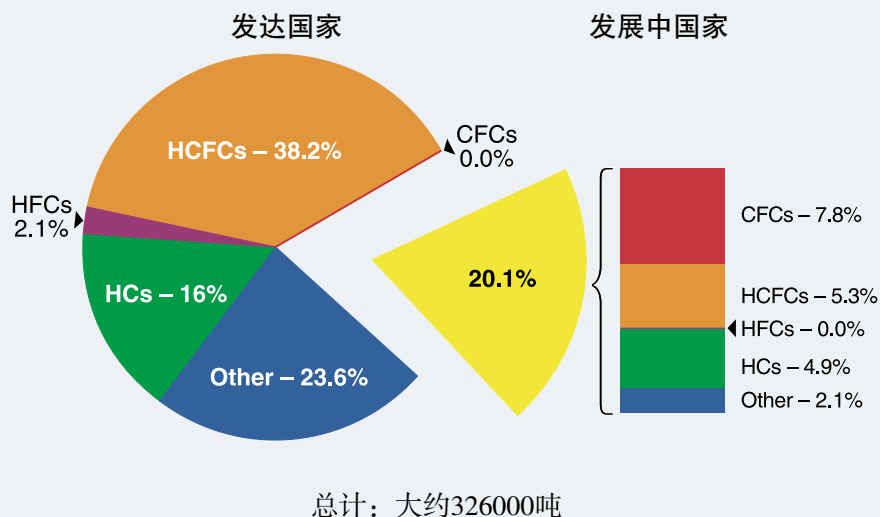
要的产品类型)，这反映出该应用的需求范围。遗憾的是，在全球和区域水平上，只能得到关于绝热市场的有限资料。进行全球市场分析的复杂性之一就是全球建筑绝热做法的差异，这通常对应于可获得的材料

表 TS-19 非绝热和绝热泡沫的产品类型与应用之间的主要相互关系

泡沫类型 (绝热)	应用领域							
	制冷和运输			建筑物和建筑服务				
	家用电器	其他电器	冷藏和运输	墙壁绝热	房顶绝热	地板绝热	管道绝热	冷藏
聚氨酯	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
塑聚苯乙烯			✓	✓	✓	✓	✓	✓
酚类树脂				✓	✓		✓	✓
聚乙烯						✓	✓	

泡沫类型 (非绝热)	应用领域						
	运输		舒适		包装	浮力	
	座椅	安全性	寝具	家具	食品和其他	海洋和休闲	
聚氨酯	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
挤塑聚苯乙烯					✓	✓	
聚乙烯					✓	✓	

图 TS-13 不同种类和不同国家类别发泡剂使用的细目 (2001)



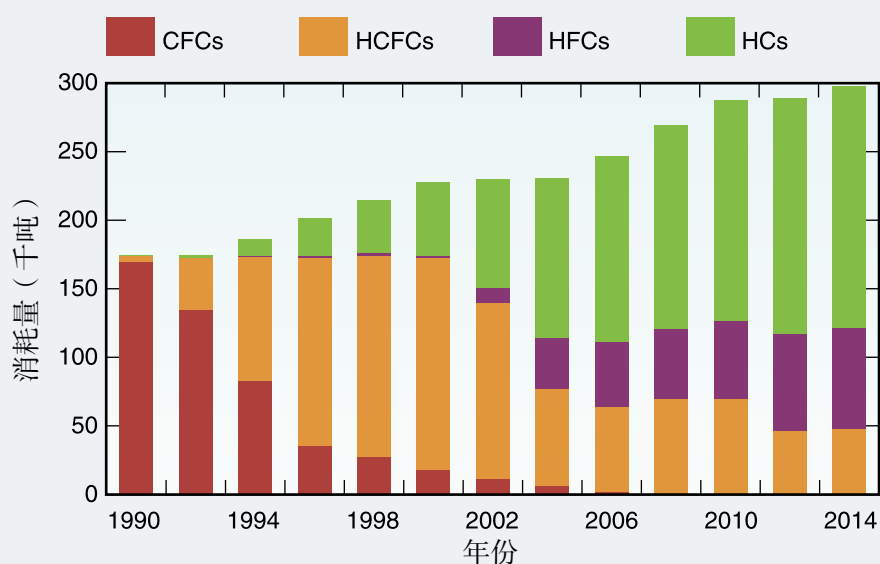
泡沫产品、制造过程和应用之间的关系很复杂。表 TS-19 综述了非绝热和绝热泡沫材料的一般产品类型和应用之间的主要相互关系，而主要章节讨论了制造过程的额外覆盖。

历史上使用的发泡剂有哪些及其未来趋势如何？

事实上，在 20 世纪 80 年代初期发现臭氧洞时，上面列出的所有应用和产品类型都使用 CFCs 作为主要的发泡剂（刚性泡沫材料）或辅助的发泡剂（柔性

泡沫材料）。1986 年，泡沫行业的 CFCs 消费总量约为 25 万吨（其中刚性泡沫 16.5 万吨，柔性泡沫 8.5 万吨）。尽管提高了发泡剂的效率，并减少了损耗，但在未来 15 年，发泡剂的使用量将再增加 30%。不过，与此同时，各种替代发泡剂已经得到评估和应用，包括 HCFCs（作为过渡性物质）、碳氢化合物、HFCs、亚甲基氯化物（用于柔性泡沫）以及各种形态的 CO₂。图 TS-13 综述了 2001 年的情况。

图 TS-14 刚性泡沫的发泡剂消费量预估增长量 - 2000 年以后。



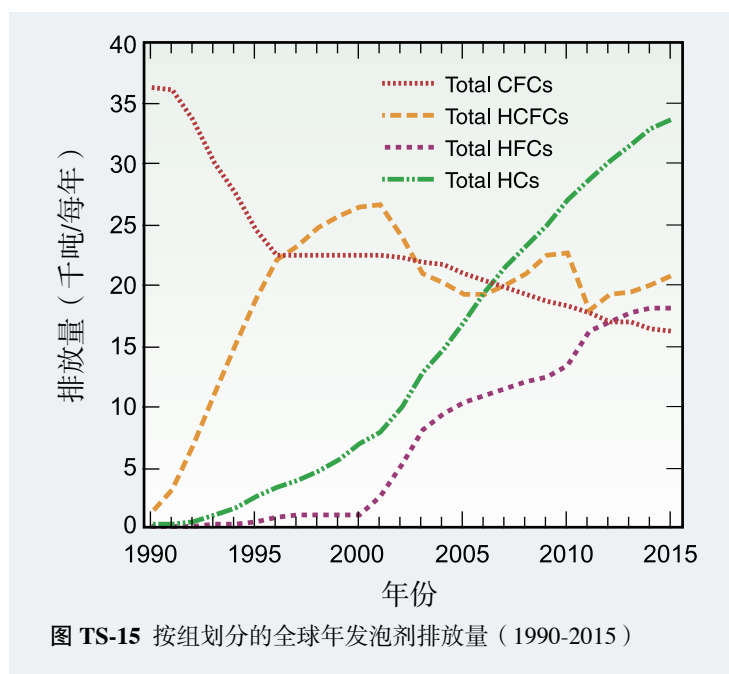


图 TS-15 按组划分的全球年发泡剂排放量 (1990-2015)

图 TS-14 给出了到 2015 年期间刚性泡沫行业发泡剂消费增长的预估。

过去、现在和未来使用格局的影响是什么？

过去、现在和未来的使用格局影响到库存发泡剂的排放及其增长。图 TS-15 给出了基于泡沫行业发泡剂的历史和未来使用量所预估的 1990 ~ 2015 年之间的排放，曲线显示了到 2015 年各种发泡剂的年排放预估值。表 TS-20 评估了不同区域库存和应用领域的预期发展。显然，用于建筑物的泡沫材料尚未产生大量排放。

选择发泡剂的驱动因素有哪些？

热传导率

保留发泡剂在泡沫材料中的能力提供了改进充气产品绝热效率的机遇。可是，只有当保留发泡剂

表 TS-20 按类别提供的各类发泡剂的全球累计总库存量 (1990-2015).

应用领域	发泡剂	1990 (吨)		2000 (吨)		2015 (吨)	
		发达国家	发展中国家	发达国家	发展中国家	发达国家	发展中国家
电器和运输	CFC	378,000	108,000	238,000	222,000	450	15,500
	HCFC	0	0	177,000	32,100	75,700	265,000
	HFC	0	0	1150	0	154,000	0
	HC	0	0	87,100	31,600	354,000	329,000
	所有试剂	378,000 (24.6%)	108,000 (53.7%)	503,250 (20.1%)	285,700 (58.1%)	584,150 (17.2%)	609,500 (58.5%)
聚氨酯板合计	CFC	233,000	34,300	283,000	70,500	262,000	75,100
	HCFC	0	0	96,000	3700	142,000	94,800
	HFC	0	0	2150	0	135,000	0
	HC	0	0	43,800	250	238,000	0
	所有试剂	233,000 (15.1%)	34,300 (17.1%)	424,950 (16.9%)	74,450 (15.1%)	777,00 (22.9%)	169,90 (16.3%)
建筑物和其他合计	CFC	921,000	58,800	964,000	127,300	769,000	106,000
	HCFC	5200	0	568,000	4650	683,000	156,000
	HFC	0	0	200	0	269,000	150
	HC	1150	0	47,500	50	311,000	0
	所有试剂	927,350 (60.3%)	58,800 (29.2%)	1,579,700 (63.0%)	132,000 (26.8%)	2,032,000 (59.9%)	262,150 (25.2%)
总计	CFC	1,532,000	201,100	1,485,000	419,800	1,031,450	196,600
	HCFC	5200	0	841,000	40,450	900,700	515,800
	HFC	0	0	3500	0	558,000	150
	HC	1,150	0	178,400	31,900	903,000	329,000
	所有试剂	1,538,350	201,100	2,507,900	492,150	3,393,150	1,041,550

的热传导率低于空气时才能获得这种效益。对于图 TS-16 着重强调的所有发泡剂来说，情况都是如此。可是，各种发泡剂的相对性能随温度而变化，例如，HFCs 对碳氢化合物的比较优势在冰箱（平均温度 5℃）中要大于在水加热器（平均温度 40℃）中。此外，泡沫中小孔的大小和形状也会影响泡沫材料的总体性能，因此，产品之间的比较并不总是直截了当的。

易燃性（产品和过程）

泡沫产品的总体易燃性受到聚合物基体选择、饰面材料以及发泡剂选择的影响。然而，通常的情形是，发泡剂的成分可能会改变产品的分类，或改变保险公司对所冒风险的态度。此外，如何处理某些易燃发泡剂对于一些泡沫的生产过程构成了重大挑战。对于中小企业（SME）来说更是如此，因为这些企业的经济不成规模，不连续的生产过程占据支配地位。在易燃发泡剂的情况下，投资规模变化很大，取决于是否投资建立新的工厂，还是投资改造现有工厂。在后一种情形下，如果工厂很旧或由中小企业所有，那么成本通常很高。在某些极具诉讼传统的地区，雇主的债务问题也可能是关注的一个因素。

已经做了哪些事情以最大限度地减少使用？

当考虑上述三个因素时，在几个关键行业 HFCs 显然是优先选择，尽管在开发替代技术方面所取得的进展已经确保其增长受到限制。例如，碳氢化合物技术的应用正在继续扩大。然而，即使在采用 HFCs 的情形下，仍需要考虑以下两点：

- (1) 为了达到所要求的性能，在配方中需要多少 HFC？
- (2) 应选择哪种 HFC？

HFCs 的成本可能是限制其增长的一个普通因素。发泡剂的成本通常是影响总的可变成本的重要因素。因此，发泡剂成本的大幅度上升对于可变成本的影响可以达到 15%。在高度竞争的市场上，这种不可持续的成本上升阻止了对这种较昂贵发泡剂的选择，除非改变配方以减少对其的依赖性。例如，通过以 HFC 为基础的聚亚安酯泡沫与产生于异氰酸酯和水反应的 CO₂ 共同发泡。

尽管如此，要在综合考虑发泡剂的直接成本、相关配方问题（例如使用增加的火焰延缓剂或泡沫密度补偿）、产品性能、生产过程的安全性和资金成本的

基础上进行全面决策是非常复杂的。正如前面所指出的，资金成本与中小企业及其他普通用户特别有关。

上述考虑 HFC 需求选择的最终结果是使 1999 年预估的 2010 年 11.5 万吨消费量减少为本报告预估的 6 万吨，这被认为是泡沫行业采取合理利用原则所促进的减排。

最低 GWP 的选择

由于两种主要的液态 HFCs（HFC-245fa 和 HFC-365mfc）具有类似的 100 年 GWP，因此，在这两者之间进行选择更多地是考虑各自的沸点和发泡效率。对于气态发泡剂而言，HFC-152a 的 100 年 GWP 比 HFC-134a 低得多。但 HFC-152a 比 HFC-134a 更易燃，并且从某些种类的泡沫材料（例如模压的聚苯乙烯）中排放的相当快，这意味着 HFC-152a 的短期影响可能与 HFC-134a 一样大。此外，HFC-152a 的绝热效益可能是短期的。在选择适当的发泡剂时，必须对所有这些因素进行评估。

有哪些额外措施可以进一步减少未来排放以及需要采取哪些行动？

进一步替代

尽管在 HFC 选择中采取合理利用标准已经成功地使泡沫行业的 HFCs 消费量比 1999 年预测值减少了近 50%，但在未来 5~10 年里，仍可能在一些领域进行进一步替代。例如：

- 在聚亚安酯喷雾泡沫中更广泛地使用碳氢化合物；
- 在模压的聚苯乙烯（XPS）中更广泛地使用 CO₂；
- 在泡沫器具中更广泛地使用碳氢化合物；
- 改变保险公司对在板材中使用碳氢化合物的态度。

尽管可以单独模拟上述每种趋势的影响，但由于不确定性太大因而没有意义。因此，在本报告中，为了评估这些选择的影响，提出了两种高级减缓情景。

好做法的过程

有关制定识别并最大限度减少生产过程损耗的程序工作已经启动。尽管这一工作对于确定在泡沫生产过程中适当处理 HFCs 的基调很重要，但是节约潜力不可能超过生命周期排放总量的 2~3%，因为大多数生产过程已经具有良好的密封性。一个例外可能是聚亚安酯喷雾泡沫应用期间的排放，对此还需要进一步努力以便量化损耗。未来的努力可能会导致在喷雾头设计方面的改进。

废弃物管理

废弃物最小化是所有企业的明确目标。可是，泡沫制造商面临特定的挑战：

- 产品扩散需要更通用的生产过程；
- 固有的制造损耗（例如来自建材泡沫的管道切断部分）。

因此，废弃物管理是最大限度减排的关键问题。基于减缓情景的模式评估了改进生产过程和废弃物管理的综合效果。

库存管理（冰箱）

已经估算了在设备和运输行业中发泡剂的现有和未来库存量。基准情景已经考虑了在欧洲和日本的回收活动，因此，库存量本身并不等同于未来排放量。如果采用经过证实的技术以及目前估算的 10 ~ 50 美元 / 吨 CO₂ 当量的回收成本，并且相关的工厂投资适当地按地理分布扩散的话，那么，显然可以合理地假设到 2015 年所有冰箱中的泡沫材料在使用期限结束时都可以得到处理。但这涉及到在发展中国家以及发达国家的投资。本报告评估的一种情景检验了所有设备在使用期限结束时以超过初始发泡剂用量 80% 的预期回收水平进行处理的潜在影响。

库存管理（建筑物）

对于建筑行业，发泡剂回收的技术可行性和经济生存能力不太确定，诸如日本建筑材料测试中心（JTCCM）计划的相关活动有助于进一步了解该领域的发展。但是，目前普遍认为这种回收将比从设备中回收要昂贵的多，这是由于其产量较低（由使用和回收阶段的损耗引起）并且销毁废弃物需要额外成本。

上述趋势的一个例外是在金属饰面的板材市场，由于发泡剂的保持和易分解可以允许通过现有的冰箱厂家进行回收。对聚亚安酯板材的库存量进行了评估，预计到 2015 年碳氟化合物发泡剂将超过 70 万吨，并且预计其回收成本与从设备中进行回收的成本相同，但需要继续进行研究以确认这一点。对两种情景都进行了模拟，但对传统建筑物的预期回收率只有 20%。

这些潜在的情景对于更广泛的气候和臭氧政策有何重要意义？

图 TS-16 给出了 BAU 情景下的基准排放。由于泡沫材料的生命周期非常长，因此本节所有曲线都

描述了到 2100 年减排情景的可能影响。基准假设是 HCFCs 和 HFCs 都停留在 2015 年的消费水平上，并假设在 2030 ~ 2040 年期间 HCFCs 被线性地逐步淘汰。考虑到泡沫行业的技术发展可能会继续下去，预计 2030 年以后不再依赖 HFCs，并假设 HFCs 从 2020 年开始线性减少。作为进一步的参照，该图还显示出 2015 年来自己确定库存的排放。减缓情景的三种基本要素综述如下：

- 2010 ~ 2015 年期间 HFCs 使用线性减少，到 2015 年可减排 50%；
- 自 2005 年起对所有建材泡沫、2008 年起对其他泡沫行业采取减少生产排放策略；
- 到 2010 年把使用期限结束时的现有处理措施扩展到所有设备和钢铁饰面的板材，自 2010 年起从其他建筑泡沫材料中的回收率为 20%。

上述三种措施产生的影响如图 TS-17 和表 TS-21 所示。

可见，注重于减少 HFC 消耗量提供了直到 2015 年期间的最大减排，并且按此类减少外推得到 2015 年以后的使用格局，这种方法也提供了到 2100 年的最大“HFC 特定”效益。与此相反，使用期限结束时的措施在直到 2015 年期间产生了较低的减排。但如果考虑所有发泡剂的话，这些措施的确具有直到 2100 年期间产生更多减排的潜力。对于 CFCs 来说，由于其 GWP_s 高，因此这一潜力相当大，并且具有臭

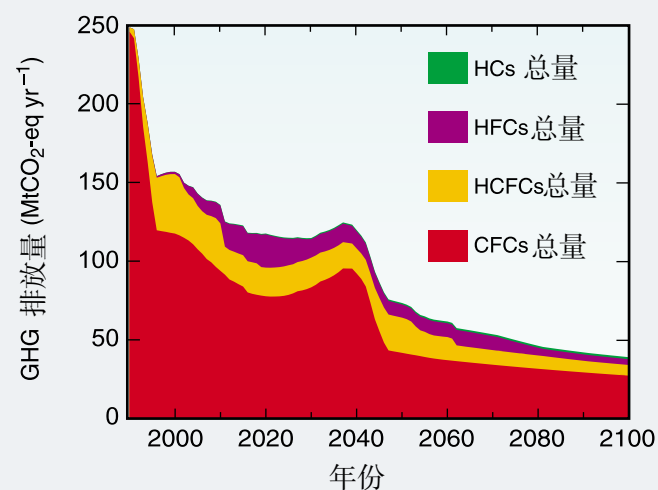


图 TS-16 在照常排放情景下，按组划分的 GWP 加权后的发泡剂排放量（1990-2100）

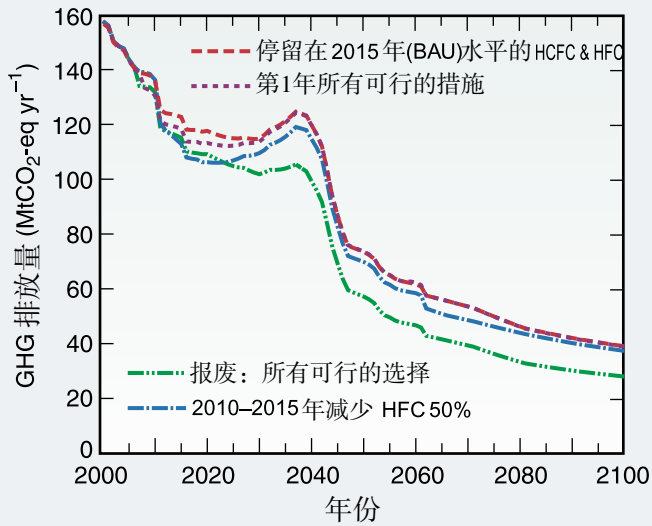


图 TS-17 包装措施的影响概述。

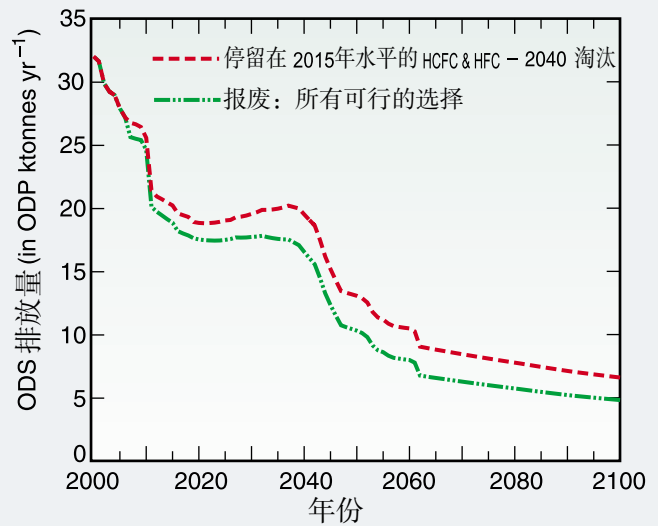


图 TS-18 所有可行的报废处置方法对 ODS 减排的影响。

氧层耗损的递增效应。

在消耗臭氧潜力（ODP）吨数基础上，图 TS-18 给出了使用期限结束时采取所有可行措施产生的 ODSs 减排潜力。可以看出，到 2100 年将会产生量级为 2000 ~ 3000 ODP 吨数的逐年减排。

本分析所得到的通过使用期限结束时的措施进行 GHG 和 ODS 减排的估算值是相当保守的，因为这些数值是相对于以下基准估算的，即当泡沫被填埋

时只考虑了 10 ~ 20% 的发泡损耗。这部分地解释了 2065 年以后产生大量排放的原因。事实上，垃圾填埋场已经成为其自身的库存。如果对被填埋的泡沫作更大胆假设（即填埋地点 100% 排放）的话，那么图 TS-20 说明了 GHG 排放的后果。

尽管已经认识到真理可能位于两个极端之间的某处，但发泡剂在相当短时期（2030 ~ 2050 年）内的大量潜在释放，引起了人们对于使用期限结束时的管理措施（作为一种减缓选择具有递增潜力）的关注。

表 TS-21 按发泡剂类型划分的不同措施包装的影响摘要：在每种不同情景估计下的累积减排

措施	年份	累积减排			
		CFCs (吨)	HCFCs (吨)	HFCs (吨)	CO ₂ -当量 (MtCO ₂ -当量)
HFC消费减少(2010-2015)	2015	0	0	31,775	36
	2050	0	0	225,950	259
	2100	0	0	352,350	411
生产/安装的改善	2015	78	14,450	16,700	36
	2050	58	31,700	32,700	68
	2100	47	24,350	26,500	55
报废时管理选择	2015	8545	16,375	105	52
	2050	64,150	144,650	88,540	540
	2100	137,700	358,300	194,800	1200

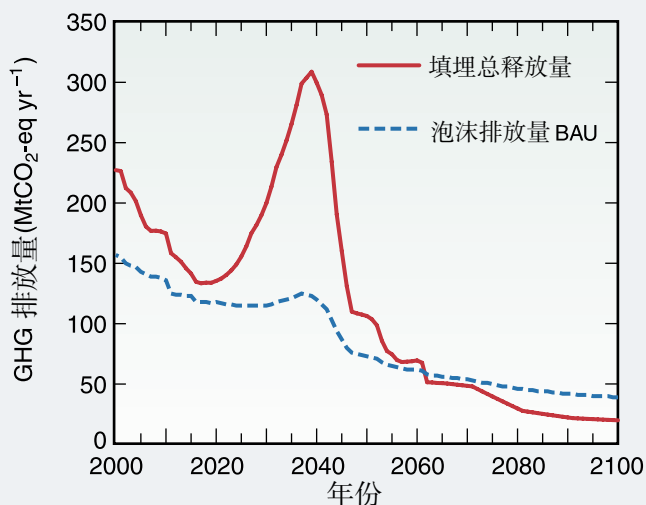


图 TS-19 采用不同的原始填埋设想的影响。

4.5 关于医用气雾剂的最重要结论是什么？

在治疗哮喘和 COPD 中医用气雾剂的重要性

哮喘和慢性障碍性肺病（COPD）是最常见的肺部呼吸道（气管或支气管）慢性疾病，影响全球超过 3 亿的人口。这些疾病造成了很大的卫生保健开支，并带来大量工作和学习时间的损失。此外，COPD 还会导致夭折。

哮喘是慢性病，其主要病症是气管炎症和气管变窄。大多数哮喘患者每天都会出现症状，并伴随间歇性的严重发作。哮喘通常开始于孩提时期，某些国家如印度尼西亚的发病率接近 1%，而在新西兰和澳大利亚超过 30% 的儿童患有哮喘。

COPD 的代表病症是气管变窄和气管炎症以及对肺部组织的损害。它主要由吸烟引起，环境污染也是一个潜在的辅助因素，最终可导致永久性残疾和死亡。在许多发达国家，COPD 在 40 岁以上人群中的发病率为 4 ~ 17%。发展中国家的数据不太确定，但被引用的发病率可高达 26%。在某些发达国家吸烟正在减少，但在发展中国家吸烟和 COPD 正在增加。

吸入式疗法是目前并可能继续是治疗上述疾病的最佳方法。吸入特定大小（1 ~ 5 微米）颗粒的气

雾剂药物可以达到最好的局部临床效果，并且副作用最小。为了响应治疗和环境的双重需求，吸入气雾剂已经成为重大研发投资的目标。目前，对于大多数患者，释放呼吸药物的两种主要方法是**计量剂量吸入器（MDI）**和**干粉吸入器（DPI）**。

什么是 MDI？

MDIs 是全球范围内治疗哮喘和 COPD 的最流行的方式。MDI 在 20 世纪 50 年代中期引入，以 CFC-11 和 CFC-12 作为推进气体；之后引入了 CFC-114。为了实现《蒙特利尔议定书》对 CFCs 的逐步淘汰，MDI 行业进行了详尽的研究以寻找适当的替代气雾剂推进气体。医用推进气体必须对人体使用安全，并要满足额外的与安全和功效相关的严格标准：（1）具有适当蒸汽压的液化气体；（2）低毒性；（3）非易燃性；（4）化学性质稳定；（5）（从味道和气味方面来说）患者的可接受性；（6）适当的溶解特性；（7）适当的密度。很难找到符合上述所有标准的化合物，最终，只有两种 HFCs 即 HFC-134a 和 HFC-227ea 成为可行的 CFCs 替代品。

为了使用新的 HFC 推进气体，必须大幅度改变 CFC 型 MDIs 的成分和配方。作为一种药物装置，MDIs 受到国家卫生权威机构的全面控制以确保产品安全、产品功效和制造质量。因此，HFC 型 MDIs 的开发过程本质上与开发一种全新的药物产品相同，对于每种重新配方的 MDI 都要进行完整的临床试验。据估算，在 1999 年从 CFC 型 MDIs 向 HFC 型 MDIs 转换的开发成本（包括技术上的、制药上的、临床上的）接近 10 亿美元，而今后的成本将会更高。可以预期，重新开发 DPI 以替代现有的 MDIs 也将需要类似的成本。

什么是 DPI？

DPIs 释放特定颗粒大小的干粉状药物，不使用推进气体，因而对臭氧或气候不产生影响。以干粉形式释放活性药物存在技术方面的困难，例如，由于颗粒之间的吸附力，可吸入的颗粒通常具有较差的流动性。因此，大多数 DPI 配方对于加工、贮藏和使用期间的湿气很敏感，所以限制了 DPI 在潮湿气候下的使用。

在 20 世纪 60 和 70 年代，早期的 DPIs 只能提供预先量好的单次剂量，因而使用有限。在过去 10 年

里, 重大技术进步使得易于患者使用且可提供多剂量的 DPIs 得到更广泛的使用, 从而已经减缓了 MDI 使用的增加。DPIs 已经成功地配制了许多种吸入式药物, 目前可在许多(但不是所有)国家广泛获得。不过, 它们并不适用于所有的患者, 也不能替代所有药物的 MDIs。

DPIs 的相对成本较高, 特别是与包含舒喘宁的 MDIs 相比, 这种 MDIs 仍占全球 MDIs 处方总量的 50%。根据在七个欧洲国家进行的成本比较研究, 舒喘宁 DPIs 的成本平均比 MDIs 高 2.6 倍。

影响治疗选择的因素有哪些?

从根源上预防哮喘尚不可行, 而预防 COPD 就必需不吸烟。哮喘和 COPD 的发病率可能会继续增加。

选择最适当的药物和吸入器是由医生和患者根据许多方面的因素(包括疾病及其严重程度、依从性、使用的轻松程度、成本、可获得性及患者的偏爱)来决定的。吸入器装置只有在正确使用时才有效。患者通常能够使用一种装置而不是另一种。MDIs 和 DPIs 都在治疗中起着重要的作用, 没有哪一种释放系统可以在全球范围内被所有患者接受。保持治疗选择的范围很关键。

MDIs 是全球范围内治疗哮喘和 COPD 的最主要方式。在发达国家, 目前 MDI 对 DPI 的使用比例在不同国家之间变化很大, 美国为 9:1 (MDI:DPI), 英国为 7:3, 瑞典为 2:8。这与许多因素相关, 包括可获得性(例如, 与瑞典拥有长期 DPI 制造历史的地方公司相比, 美国直到最近才能获得多剂量的 DPIs)以及经济实力。

未来的技术发展如何?

预计到 2015 年, 全球哮喘 /COPD 吸入式药物市场的年增长率约为 1.5 ~ 3%。大部分 CFCs 正在被 HFCs (大约包括 90% 的 HFC-134a 和 10% 的 HFC-227ea) 替代, 到 2010 年发达国家所有的 MDI 将使用 HFC。1987 ~ 2000 年为 CFC 使用量的高峰期, 年度使用量超过 15,000 吨; 2001 ~ 2004 年期间, CFC 在 MDIs 中的使用量已经下降到 8000 吨, 而 HFC 使用量为 3000 ~ 4000 吨。到 2015 年, 预计 HFC 使用量可以增加到 13,000 ~ 15,000 吨。与 CFC 使用的峰值相比, 较低的 HFCs 使用量部分是由于 DPIs 使用的增加, 部分是因为一些 HFC 型 MDIs 每次使用较少的推进气体。

预计短时期内在装置技术上不会出现重大的技术突破。新的吸入式产品的研发是一个漫长的、代价昂贵的过程, 在技术方面具有挑战性, 并且通常需要花 10 年以上的时间才能进入市场。未来的吸入装置如喷雾器和使用干粉的 DPIs 使得它们能够独立于患者的呼吸。少量含水的多剂量装置将比目前的 DPIs 更为昂贵, 甚至比 HFC 型 MDIs 更为昂贵。

在发展中国家, 吸入式治疗几乎全都使用 MDIs, 这些 MDIs 或者是来自跨国公司, 或者是来自当地的制造商。随着经济状况的改善以及采用国际治疗指南, 吸入式治疗可能会大幅度增加。从技术上来说, 可以买得起的并且不太复杂的 DPIs 是可行的, 可在发展中国家就地制造。在湿热气候下, 制药方面将会出现重大困难, 因此按照每剂的成本, 它们将比 MDIs 更昂贵。如果可以获得这些技术, 并能达到相当大的市场份额, 那么它们可以减缓未来 MDIs 所需的 HFC 使用量的增加。

从 HFC 型 MDIs 完全转到 DPIs 的成本有多大?

通常, 较新的多剂量 DPIs 包含更昂贵的药物, 而大约 50% 的 MDIs 包含舒喘宁, 这是一种不太昂贵的药物, 并且不再受专利保护。这可以部分地解释单个吸入器成本之间的差异。据估算, 到 2015 年可能多达 3.4 亿个 HFC 型 MDI 包含舒喘宁。如果把这些 MDI 转换为等量的舒喘宁 DPI, 将会大幅度增加卫生保健系统的成本。从 HFC 型 MDIs 完全转换到 DPIs (假设在价格上最少增加两倍) 的可能成本约为每年额外增加 17 ~ 34 亿美元 (150 ~ 300 美元 / 吨 CO₂ 当量)。到 2015 年, 可实现减排约 10 MtCO₂ 当量 / 年⁻¹。这一额外成本将对患者的治疗产生极大影响。

从 HFC 型 MDIs 转到 DPIs 是否存在医学方面的限制?

让患者接受可靠、有效的治疗对于患者的健康和安​​全将产生重大影响。在对环境进行强制性改变之前, 提供各种安全的替代品非常关键。任何可能影响患者使用 HFC 型 MDIs 的进一步环境政策措施都需要仔细地考虑, 并应与医生、患者、国家卫生权威机构以及其他卫生保健专家磋商。

关键结论是什么?

- 减少 MDIs 的 GWP 的主要影响是完成从 CFC 型 MDIs 向 HFC 型 MDIs 的转化。
- 假设在所涉及的时间尺度内技术和发展保持现状, 预计在未来 10 ~ 15 年内, 吸入式药物释放不会出

现较大的突破。

- 在进行治疗决策时以及制定可能影响这些决策的政策时，患者的健康和安全性是极端重要的。
- 基于最广泛使用的吸入式药物（舒喘宁）从 HFC 型 MDIs 向 DPI 转换的假设情形，预计到 2015 年，每年的重复成本为 17 亿美元，有效减排成本为 150 ~ 300 美元 / 吨 CO₂ 当量，大约减排 10 MtCO₂ 当量 / 年。

4.6 关于消防的最重要结论是什么？

消防的过去和当前趋势是什么？

在消防应用中，哈龙是特别安全、高效和清洁的气体，自 20 世纪 60 年代初期开始在全球范围内得到广泛应用，包括固定式和便携式灭火设备。由于哈龙具有较高的 ODPs，所以在《蒙特利尔议定书》下，政府和消防专业人员最早在行业范围内逐步淘汰哈龙，因而开发了对于新系统的各种有效替代品。由于消防是一个高度管理的部门，采用替代品需要广泛地改变地方、国家和国际的标准、做法和技术。这些改变已经减少了来自哈龙库存的不必要排放，同时也被应用于哈龙替代品。

有两类消防应用需要哈龙或其替代品，即固定式和便携式灭火器。在《蒙特利尔议定书》之前，哈龙 1301 在固定系统的市场上占据优势地位，2000 年其剩余库存约为 4.5 万吨。哈龙 1211 主要用于便携式灭火器，据估算，其在 2000 年的库存为 15.4 万吨。哈龙 2402 主要用于前苏联，从文献中无法获得有关其库存或排放的信息。哈龙 1301 在 2000 年的排放估计为 0.23 万吨，哈龙 1211 为 1.78 万吨，或者说，分别约为各自年库存量的 5% 和 11%。一项研究提出，如果以一种超乎寻常的努力适当地跟踪并贮备哈龙以提供应急性消防的话，哈龙在除船舶、飞机和军用系统以外的固定系统中的排放率可少至 0.12%/ 年。在某一地区已经达到极度低（0.12%/ 年）的排放率，主要是由于该地区具有独特的文化因素以及采取罕见的强制性行动，所有这些都难以复制。平均来说，固定系统的排放率大约为 $2 \pm 1\%$ / 年，便携式灭火器的排放率大约是固定系统的两倍，即为库存的 $4 \pm 2\%$ / 年（包括重新注入的库存）。

在大多数国家，对消防有严格的规定，新的灭火剂 / 技术只有在根据特定的协议并按照可以接受的安

全和灭火性能演示之后才能被使用。为了防止引进不安全的或效率低的替代品，那些没有国家标准的国家应该努力采取国际标准所建议的做法，这一点很重要。

选择哈龙替代品涉及到对各种因素进行评估，这些因素包括空间、重量、成本、安全、对“清洁”的需求（即例如在唱片储藏或文化遗产建筑物方面不会产生残留物或损害）、环境性能、对于某种特定火灾威胁的有效性（固体材料火灾为 A 类，易燃液体火灾为 B 类，通电的电力设备火灾为 C 类，以及特殊情景如极端寒冷条件下的火灾）。

大多数（>95%）新设备不再使用哈龙，而这些设备在《蒙特利尔议定书》之前是使用哈龙的。其他仍使用哈龙的新设备主要用于商业飞机和一些军事用途，对于这些应用，尚未发现有效的哈龙替代品。在以前采用哈龙保护的各种应用中，目前大约一半的新设备使用非气态替代品如水和干粉，而另外一半则使用气态灭火剂，包括各种卤烃和惰性气体。

在需要清洁灭火剂的固定系统中，目前可用的替代品是 CO₂、惰性气体（例如氮和氩）、HFCs、PFCs、HCFCs 以及最近使用的氟化酮（FK）。其中一些替代品不会对气候系统产生重大影响，而其他替代品则具有较高的 GWP_s，HCFCs 还是消耗臭氧层物质。在履行《蒙特利尔议定书》的早期阶段，使用了 PFCs 和 HCFCs，但并未提供任何优于其他卤烃清洁灭火剂的效益。目前不再引进新的 PFC 系统，因为与其他具有类似能力和成本的替代品相比，PFCs 会对气候产生影响。CO₂ 系统对于某些应用可能是适当的，但达到灭火所必需的浓度却是致命的。惰性气体系统对于某些应用也可能是适当的，但系统的重量和体积相当大，在灭火速度重要的情形下，不会被推荐使用，因为该系统的释放率比其他卤烃系统慢五到六倍。

表 TS-22 比较了目前使用的、正在开发的或得到证实的主要系统，这些系统是清洁的、固定的灭火系统，适用于已占用的空间（通常替代哈龙 1301）。表中列出了每种选择的相对成本，并列出了在评估这些选择对气候系统辐射强迫影响时所必须考虑的各种因素，以及实用性方面的关注诸如系统的重量和空间需求、特殊的能力及可获得性。

图 TS-20 描述了 1965 ~ 2015 年期间哈龙 1301 及其 HFC/PFC/HCFC/FK 替代品的生产、排放水平及由此而导致的库存量。预计 2002 年哈龙 1301 的库存量为 42,434 吨，排放量为 2052 吨，这与大气测量

值所指出的 1000 ~ 2000 吨的排放量非常一致。据估算, 2004 年在固定系统中所有 HFC/PFC/HCFE/FK 替代品的库存总量为 26,700 吨, PFCs 占总量的 2.5%, HCFC 则可能高达 3600 吨 (约 13%)。研究指出, 目前在这些系统中每年 $2 \pm 1\%$ 的排放率是符合实际的。以 2% 的排放率计算, 2004 年的排放量可达 1.4 百万吨 CO_2 当量 (MtCO_2 当量)。

对于便携式灭火器来说, 火灾种类和成本是选择替代品 (通常替代哈龙 1211) 的主要驱动因素。HFCs 和 PFCs 便携式灭火器的市场接受度有限, 这主要是因为与更传统的灭火剂如 CO_2 、干燥化学品和水相比, 它们的成本较高。对于 HCFC 便携式灭火器的市场接受度要大一些, 但也受到其高成本 (与更传统的灭火剂相比) 的限制。干燥化学品灭火剂大约比清洁灭火剂便宜 6 ~ 16 倍, 并且从灭火等级上来说更有效, 但其缺点是产生灭火剂残留物。从灭火性能 (即其灭火等级) 上来说, HFCs、PFCs 和 HCFCs 最为昂贵且效率最低。表 TS-23 比较了各种可供选择的便携式灭火器。表中列出了每种选择的相对成本、气候影响的考虑以及实用性方面的关注如重量和尺寸。过去使用哈龙 1211 便携式灭火器的用户目前有三种选择, 包括: 选择单一的 HFC/HCFC 灭火器 (但成本增加); 如果可以容忍灭火剂残留物的话, 选择单一的干燥化学品灭火器; 或者选择两种灭火器, 即对于普通的易燃物质使用水灭火器, 对于易燃液体或通电设备使用 CO_2 灭火器。地方和国家法规通常规定了对便携式灭火器的选择。

图 TS-21 描述了 1965 ~ 2015 年期间哈龙 1211 及其 HFC/PFC/HCFE/ 替代品的生产、排放水平及由此而导致的库存量。预计 2002 年哈龙 1211 的库存量为 124,843 吨, 排放量为 17,319 吨, 这近似为大气测量值所预期的 7000 ~ 8000 吨排放量的两倍。尽管从文献中无法获得数据, 但结合生产商提供的信息以及模拟结果, 2002 年底便携式灭火器的 HCFCs、HFCs 和 PFCs 库存量估计约为 1471 吨, 排放量为 0.12 MtCO_2 当量。以 4% 的排放率计算, 2004 年的库存量为 1852 吨, 排放量为 0.16 MtCO_2 当量, 其中, 大约 68% 是 HCFCs、30% 是 HFCs、2% 是 PFCs。

消防的未来可能趋势是什么?

根据模拟, 2010 年和 2015 年在固定灭火系统中的卤烃替代品排放量分别高达 2.74 和 3.72 MtCO_2 当

量。在便携式灭火器中, 模拟的排放量分别达到 0.25 和 0.34 MtCO_2 当量。这些估算值是基于固定系统库存的排放率为 2%/年, 便携式灭火器库存的排放率为 4%/年, 并假定年增长率为 3%。如果作出进一步努力减少灭火系统中的不必要排放, 那么使以上数值降低约 50%, 而如果不关注综合减排的话, 这些数值则可能增加约 50%。因此, 固定灭火系统的排放率范围为 $2 \pm 1\%$ 年⁻¹, 便携式灭火器的排放率范围为 $4 \pm 2\%$ 年⁻¹。

尽管在消防上已经提出了几种 HFCs 的替代品, 包括惰性气体、氟化酮 (FKs) 和水雾, 但是 HFCs 和惰性气体已经成为目前最常用的清洁灭火剂, 并达到了市场平衡, 看来这一情形可能要保持下去。由于测试和批准新型的灭火设备需要漫长的过程, 因此, 到 2015 年之前, 没有其他选择可能产生显著影响。FK5-1-12 已经商业化, 目前可以使用, 但尚无依据来预测其市场接受率或其对已经建立的市场平衡的影响。目前也无法估算到 2015 年在消防中 HFC/PFC/HCFCs 使用量或排放量的任何减少。此外, 哈龙库存量和 HFCs 使用量之间存在相关关系, 哈龙使用量的减少将导致 HFCs (和其他替代品) 使用量的增加以满足消防的需求。为了确保适当的哈龙可获得性, 必须继续注意对哈龙库存的管理。因此, 对清洁灭火剂的需求将受到经济增长以及管理者和哈龙所有者所制定的有关被淘汰系统灭火剂处理措施的影响。

预计在 2010 年和 2015 年, 哈龙 1301 的库存量分别为 3.1 万吨和 2.4 万吨, 哈龙 1211 的库存量分别为 3.3 万吨和 1.9 万吨。但是排放量和库存量将取决于控制泄漏及使用期限结束时回收的各种做法的有效性。固定系统中 HFC/PFC/HCFE/FK 库存量的排放率为 2%, 预计在 2010 年排放 4.4 万吨, 2015 年排放 6.3 万吨, 其中 HCFCs 排放约 0.36 万吨。便携式灭火器库存的排放率为 4%, 预计在 2010 年排放 0.3 万吨, 2015 年排放 0.39 万吨, 假定年增长率为 3%, 其中约 68% 是 HCFCs, 30% 是 HFCs, 2% 是 PFCs。展望未来, 来自卤烃清洁灭火剂系统的 GHG 排放可能增加也可能减少, 取决于未来市场对于哈龙替代品的接受程度。随着新型消防技术研究的继续, 2015 年以后可能出现另外的替代选择。

表 TS-22 对比表 - 适合占据空间的清洁剂体系

固定系统	哈龙 1301 (基准)	HFC-23	HFC-227ea	HFC-125	FK- 5-1-12	惰性气体
物质特性						
散热效率 ($W m^{-2} ppb^{-1}$)	0.32	0.19	0.26	0.23	0.3	无
在大气中的寿命 (年)	65	270	34.2	29	0.038	无
直接全球辐射潜势 (百年时间范围)						
- 本报告	7030	14,310	3140	3450	无 ²	无
- IPCC (1996)	5400	11,700	2900	2800		
臭氧耗损潜力	12	~0	-	~0	-	无
技术数据						
演示出特别能力	有	有 ³	有 ⁴	有 ⁴	注 ⁶	无
重量 ($kg m^{-3}$) ^a	0.8	2.3	1.1	1.1	1.2	4.3
面积 ($m^2/m^3 \times 10^4$) ^b	5.8	12.0	6.8	7.4	7.3	28.2
体积 ($m^3/m^3 \times 10^4$) ^c	8.6	18.0	13.1	14.4	13.8	56.6
排放率 ^d	2 ± 1%	2 ± 1%	2 ± 1%	2 ± 1%	2 ± 1%	2 ± 1%
成本						
投资成本 (与哈龙1301相比)	100%	535%	377%	355%	484%	458%
附加服务成本 (美元 kg^{-1}) ^e	0.15	0.43	0.60	0.53	0.72	0.31
报废时附加的回收成本 (美元 kg^{-1}) 表示收入 ^f	(3.85)	(10.75)	(15.07)	(13.20)	(18.00)	0.00
HFC 去除成本 (美元/ tCO_2 当量) ^g	-	-	-	-	21-22	14-27
商业考虑						
多试剂制造商	-	有	有	有	无 ⁷	有

注释:

^a 试剂存储容器的平均重量和溶剂 (以受保护的体积每立方米千克表示)。

^b 柱体试剂库的正方形或长方形平均面积以受保护的体积的每立方米多少平方米 x 104 来表示。

^c 平均体积是面积乘以柱体的到阀门顶部的高度, 用受保护的体积每立方米 x 104 来表示。

^d 服务寿命期间总平均每年排放率, 包括火灾引起的泄露和意外泄露。

^e 年附加服务成本按每年补充 2% 的试剂载荷计算。

^f 对于卤烃试剂, 报废的试剂价值为正, 当试剂被回收、再生和再次出售用于新系统或补充现存系统时, 相当于回收了 50% 试剂成本。

^g 去除 HFC 换为 FK-5-1-12 和惰性气体的成本按 HFC-227ea (主要是 HFC) 作为基准值计算。比较低的价值反映以 4% 的贴现率和 0% 税率计算的每吨 CO_2 -当量的成本 (美元)。这个范围包括了美国、美国之外的附件 1 和非附件 1 中列出国家的最低和最高成本。

特别能力的解释:

- 按一些国家的管辖权限, HFC-125 不允许使用被占用的空间, 但在其他地方在某种条件下是允许使用。
- 由于在大气中的寿命短, 所以没有给出 GWP 值。对于所有实际用途此值可以忽略不计 (Taniguchi, 2003)。其他内容请参见第 2.5.3.3 节 - ‘甚短寿命的碳氢化合物’。
- 由于高蒸汽压力, HFC-23 在低温 (冷气候) 和大体积下是有效的。
- HFC-227ea 在船舶和车辆应用方面是有效的, 由于开展了广泛和大规模的测试工作, 因此制定了使用参数并演示出 HFC-227ea 在这些用途方面的特殊能力。
- HFC-125 在汽车和飞机发动机应用中是有效的, 由于开展了广泛和大规模的测试工作, 因此制定了使用参数并演示出 HFC-125 在这些用途方面的特殊能力。
- FK-5-1-12 处于产品寿命周期的初期阶段, 并且尚有待通过按 ISO 和 NFPA 类别标准要求常规测试验收的方式对超出有用途之外的特殊应用开展测试。
- 虽然 FK-5-1-12 试剂是一个独家生产的专利产品, 它可从多个系统的生产商处得到。

图 TS-20 用于固定灭火系统的哈龙 1301 和卤烃替代物的时间序列。

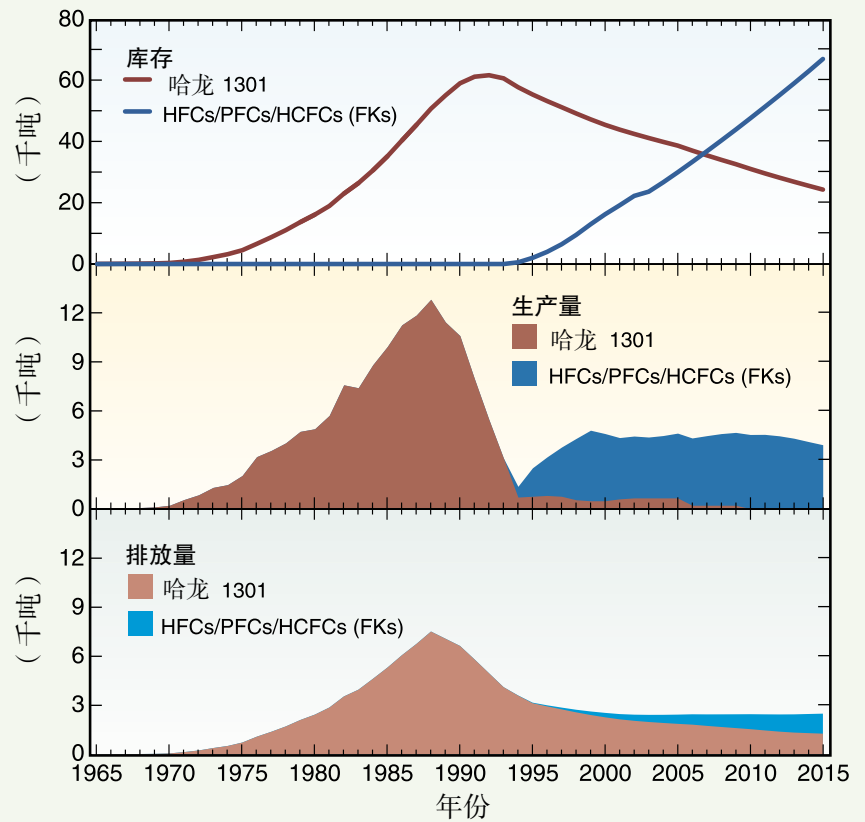


图 TS-21 用于便携式灭火器的哈龙 1211 的时间系列

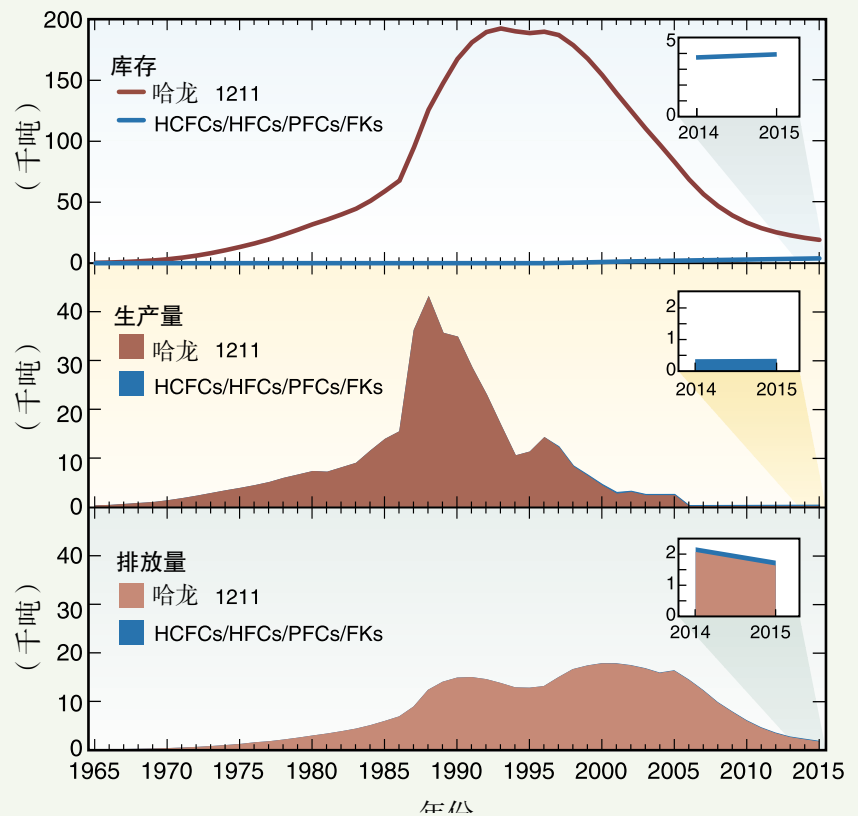


表 TS-23 对比表格 - 便携式灭火器的灭火剂

便携系统	哈龙 1211 (基准)	HCFC 混合B	HFC-236fa	碳氧化物	干化学品	水
物质特性						
散热效率 (W m ⁻² ppb ⁻¹)	0.3	注释 ^a	0.28	见第2章	-	-
在大气中的寿命 (年)	16	注释 ^a	240	见第2章	-	-
直接GWP (100-年 时间范围)						
- 本报告	1860	<650 ^a	9500	1	-	-
- IPCC (1996)	未给出	<730 ^a	6300	1	-	-
臭氧耗损潜力	5.3	<0.02 ^a	-	-	-	-
技术数据						
排放后的剩余物	无	无	无	无	有	有
适宜A级火险	适宜	适宜	适宜	不适宜	适宜	适宜
适宜B级火险	适宜	适宜	适宜	适宜	适宜	适宜
适宜强电	适宜	适宜	适宜	适宜	适宜	不适宜
灭火器灭火等级 ^b	2-A:40-B:C	2-A:10-B:C	2-A:10-B:C	10-B:C	3-A:40-B:C	2-A
试剂载荷 (kg)	6.4	7.0	6.0	4.5	2.3	9.5
灭火器注剂后重量(kg)	9.9	12.5	11.6	15.4	4.15	13.1
灭火器高度(mm)	489	546	572	591	432	629
灭火器宽度 (mm)	229	241	241	276	216	229
排放率 ^c	4 ± 2%	4 ± 2%	4 ± 2%	4 ± 2%	4 ± 2%	4 ± 2%
成本						
投资成本 (与哈龙1211相比)	100%	186%	221%	78%	14%	28%
附加服务成本(US\$/kg)	- ^d	- ^d	- ^d	- ^d	- ^d	- ^d
报废时附加回收成本(US\$/kg)	- ^d	- ^d	- ^d	0.00	0.00	0.00

注释:

^a HCFC 混合 B 是 HCFC-123、CF₄ 和氩的化合物。虽然成分比例被视为与生产厂家的专利，但是两个来源的报告表明 HCFC-123 占该化合物比例的 90% 以上，CF₄ 和氩占其余 10%。HCFC-123 的大气寿命为 1.3 年，而 CF₄ 的大气寿命为 50,000 年。

^b 灭火器灭火等级符合 Underwriters Laboratories, Inc 的要求。数值越高，灭火效率就越高。

^c 该值是没到寿命的每年排放率的总平均值，包括意外火灾和疏忽引起的泄露。

^d 由于保密原因，该信息既不能从文献中找到，也无法从其他来源获得。

4.7 关于非医用气雾剂和溶剂以及 HFC-23 排放的最重要结论是什么？

过去和当前的趋势是什么？

在《蒙特利尔议定书》之前，ODSs 被广泛用作金属、电子工业和精密应用的洗涤剂，以及作为消费气雾剂、技术气雾剂和安全气雾剂的推进气体或溶剂。在这些应用中已经淘汰或大幅度减少使用 ODS。目前，大多数清洁剂方面的应用依赖于另类替代品，少量应用已经或预期转为使用 HFCs 或氢氟醚 (HFEs)。PFC 的使用量正在减少，预计到 2025 年将被淘汰。

非医用气雾剂

气雾剂产品利用气体的压力以可控的雾滴大小和数量喷出液体、糊状或粉末状活性成分。它们也可以只利用气体制造产品。在发达国家，目前 98% 的非医用气雾剂使用具有 GWP 的推进气体（为非消耗臭氧层物质，如碳氢化合物、二甲基醚、CO₂ 或氮）。在 1977 ~ 2001 年期间，这些替代品总共减少了超过 99% 的源自非医用气雾剂的 GHG 排放。其余的气雾剂产品使用 HCFCs（允许发展中国家使用 HCFC 直到 2040 年）或者 HFCs（HFC-152a 和 HFC-134a），因为这些推进气体为用户提供了安全、功效或健康方

面的好处。此外，HFCs 在非医用气雾剂中的使用进一步受到成本的限制，HFCs 要比碳氢化合物贵五到八倍。在 2003 年，气雾剂中 HFC 使用的排放总量为 22 MtCO₂ 当量。

溶剂

据估算，到 1999 年，通过节约和使用另类技术（不洁溶剂、水的或半水的清洁剂及碳氢化合物溶剂）替代，已经减少了 90% 的 ODS 溶剂使用。其余的 10% 溶剂使用由几种有机溶剂替代品分享。CFC-113 和 CFC-11 的替代品包括 HCFCs、PFCs、HFCs 和 HFEs。目前使用的最合适 HCFC 溶剂是 HCFC-141b 和 HCFC-225ca/cb。大多数 HCFC-141b 被用于泡沫发泡剂，其在 2002 年的应用占全球溶剂应用的 10% 以下。目前，欧盟已经禁止使用 HCFC-141b，在其他发达国家其使用也在迅速减少。在发展中国家，HCFC-141b 的使用仍在随着经济的高速增长而增加，特别是在中国、印度和巴西。HCFC-225ca/cb 的使用限于很小的范围，考虑到它的 ODP 和逐步淘汰时间表，它正在逐步被 HFC、HFE 和另类替代品所替代。

生产的副产品和逸物

在碳氟化合物生产期间，也会产生 ODSs、HFCs 和 PFCs 的排放，或者是作为不受欢迎的副产品，或者是作为有用物质的逃逸排放损耗。逃逸损耗很小，通常占总生产量的 1% 以下。最重要的副产品是在 HCFC-22 制造期间产生的 HFC-23（三氟甲）。尽管《蒙特利尔议定书》最终将逐步淘汰 HCFC-22 的直接使用，但其作为原料可以无限期地继续使用下去，因为它不会向大气释放 HCFC-22。全球原料需求正在增加，并且预期将继续增加到 2015 年以后。在发展中国家，HCFC-22 的生产正在迅速增长，特别是在中国和印度。在发达国家，HCFC-22 的商业化（非原料）使用到 2020 年将会停止，在发展中国家则到 2040 年停止。

HFC-23 排放量为 HCFC-22 生产总量的 1.4 ~ 4%，取决于生产管理和过程状况。HFC-23 是最有效（GWP 为 14,310）、最持久（大气生命期为 270 年）的 HFCs。据估算，1990 ~ 1995 年期间，全球 HFC-23 排放量增加了 12%，这是由于同期全球 HCFC-22 生产量出现了类似的增加。不过，由于发达国家普遍实行了生产过程的最优化和热销毁，这一趋势并未继续下去。自 1995 年起，HFC-23 的排放量已经小于生产量的增加。

可以采取的减排选择有哪些？

非医用气雾剂

尽管非医用气雾剂产品从 CFCs 转换到替代品不存在技术方面的障碍，但在 2001 年，发展中国家和经济转轨国家（CEIT）的 CFCs 使用量约为 4300 吨。技术气雾剂是加压的气体产品，用于清洁、维护、修理、测试、制造或消毒各种设备，或用于许多过程中。在技术气雾剂中，HFCs 的最大使用是除尘器，用 HFC-152a 替代 HFC-134a 是减少 GHG 排放的最主要因素。对于清洁剂（接触式清洁剂、熔剂去除剂）和模具释放剂来说，用较低 GWP 的 HFEs 和 HFCs 替代 HCFC-141b 提供了额外减排的机遇，并且这种替代不会产生重大技术问题。由于 HFC-134a 的非易燃性，安全气雾剂（安全信号警报器、轮胎充气机）以及飞机和受限制区域的杀虫剂将继续依赖于使用 HFC-134a。装饰性的、便利的、新奇的气雾剂产品包括人造雪、梦幻彩喷条和噪音制造器（喇叭）。大部分噪音制造器（>80%）使用碳氢化合物；人造雪和彩喷条等新奇产品最初转向使用碳氢化合物，但在其安全事件受到高度关注之后，又重新配方使用 HFC-134a。欧盟正禁止在装饰性的、便利的和新奇的气雾剂中使用 HFC。

表 TS-24 比较了各种非医用气雾剂替代品。

溶剂

尽管在所有地区都可以获得 HFCs，但 HFCs 主要是在发达国家被用作溶剂，这是由于其成本较高，并且在高科技产业中的应用较多。随着对于气候保护的日益关注，HFC 使用的趋势是限于没有其他替代品的关键性应用。目前认为在发达国家 HFC 使用已经达到峰值，在未来甚至可能减少。

对于大多数应用而言，PFC 溶剂不再具有技术上的必要性，并且由于其非常有限的性能和较高的成本，其使用局限于一些小的环境应用中。自 20 世纪 90 年代中期以来，由于使用了低 GWP 的溶剂替代品，PFC 使用量已经减少。

溶剂应用方面的减排选择分以下两类：

- (1) 改进现有使用的密封性。新型的和式样翻新的设备可以大幅度减少所有溶剂的排放。在某些应用中，最优化的设备可以减少多达

表 TS-24 非医用气雾剂替代品的比较

	HCFC-22	HFC-134a	HFC-152a	二甲醚	异丁烷 ^a
物质特性					
散热效率 (W m ⁻² ppb ⁻¹)	0.20	0.16	0.09	0.02	0.0047
在大气中的寿命(年)	12	14	1.4	0.015	0.019
GWP (100-年时间范围)					
- 本报告	1780	1410	122	1	无
- IPCC (1996)	1500	1300	140	1	
消耗臭氧潜力 (ODP)	0.05	~0	-	-	-
近地层臭氧影响					
- MIR (g-O ¹ /g-物质)	<0.1	<0.1	<0.1	0.93	1.34
- POCP (相对单位)	0.1	0.1	1	17	31
可燃性 (依据燃点)	无	无	易燃	易燃	易燃
技术数据					
开发阶段	商业化	商业化	商业化	商业化	商业化
应用类型:					
- 气雾剂技术	X	X	X	X	X
- 气雾剂安全性	X	X			
- 消费产品	已在工业化国家淘汰		X	X	X
排放			在所有情况下用完全排放		
成本			装罐设备特别安全	装罐设备特别安全	装罐设备特别安全
附加投资成本			要求	要求	要求

注释:

^a 所列出的数值只涉及异丁烷。其它碳氢化合物类气雾用于非医用气雾剂用途, 如第十章说示。

80% 的溶剂消费量。由于氟化溶剂的高成本和易循环利用, 这种溶剂通常被回收, 并被终端用户或供应商再次利用。

- (2) 使用替代液体和技术。在许多应用中, 各种有机溶剂可以替代 HFCs、PFCs 和 ODSs。这些替代液体包括低 GWP 的化合物如传统的氯化溶剂、HFEs 和 N- 丙基溴化物。在某些应用中, 众多的另类技术包括碳氢化合物和氧化溶剂也是可行的替代品。在采用任何替代品之前, 必须谨慎对待那些对其毒性了解不完全的替代品。在有限的应用中, 由于 HFC 或 PFC 所具有的独特性能特点, 尚无可用的替代品。

表 TS-25 和 TS-26 比较了各种溶剂替代品。

生产的副产品和逸物

从技术上来说, 通过对 HFC-23 副产品的捕获和清除, 可以从 HCFC-22 生产中减少 90% 以上的 HFC-23 排放。但从现在起到 2015 年期间, 由于预期 HCFC-22 生产将会增加, HFC-23 排放量的增加可能多达 60%, 即从 1.5 万吨 / 年增加到 2.3 万吨 / 年。HFC-23 的排放上限为 HCFC-22 生产量的 3 ~ 4%, 但 HFC-23 的实际生产量部分地取决于每个工厂的运行过程。

通过生产过程的最优化, 减少 HFC-23 产生的工艺和程序可以平均减少 2% 或更少的排放。可是, 实际减排因每个工厂而异, 并且通过这种手段不可能清除 HFC-23 的排放。通过热氧化对 HFC-23 进行捕获和清除是一种非常有效的减排选择, 清除率可达 99%

表 TS-25 HFCs, PFCs 和 HCFCs 溶剂应用综述

	HCFC-141b	HCFC-225ca/cb	HFC-43-10mee	HFC-365mfc	PFC-51-14 (C ₆ F ₁₄)
物质特性					
散热效率 (W m ⁻² ppb ⁻¹)	0.14	0.2/0.32	0.4	0.21	0.49
在大气中的寿命 (年)	9.3	1.9/5.8	15.9	8.6	3,200
GWP (100-年 时间范围)					
- 本报告	713	120/586	1,610	782	9,140
- IPCC (1996, 2001)	600	180/620	1,300	890	7,400
消耗臭氧潜力 (ODP)	0.12	0.02/0.03	-	-	-
近地层臭氧影响					
- MIR (g-O ₃ /g-物质)	<0.1	<0.1	无	无	无
- POCP (相对单位)	0.1	0.2/0.1	无	无	无
近地层臭氧影响	无	无	无	无	无
可燃性 (依据燃点)	无	无	无	易燃	无
技术数据					
开发阶段	商业化	商业化	商业化	商业化	商业化
应用类型:					
- 电子清洁	X	X	X		
- 精密清洁	X	X	X	X	X
- 金属清洁	X	X	X		
- 干燥	X	X	X	X	
- 载体溶剂	X	X	X		X

以上, 但必须考虑热氧化设备的“停机时间”对排放的影响。假设其技术生命期为 15 年, 那么, 可以计算出特定的减排成本小于 0.2 美元 / 吨 CO₂ 当量。

为了计算 HFC-23 排放量, 不仅需要 HCFC-22 的生产量 (活动) 和排放率 (受过程设计和运行文化的影响) 资料, 而且需要减排程度的资料。这对于 HFC-23 未来排放的估算具有特别的影响。

表 TS-27 比较了作为减少 HFC-23 副产品排放选择的过程最优化和热氧化。

未来的可能趋势是什么?

非医用气雾剂

据估算, 2010 年非医用气雾剂的 HFC 排放为 23 MtCO₂ 当量。预计到 2015 年这一行业排放的增长较少。尽管设计不使用 HFCs 的消费产品并不存在技术

上的障碍, 但在美国某些产品如头发定型剂和除臭剂中 HFC-152a 的使用量将会增加, 这是由于执行了控制来自碳氢化合物排放的臭氧生成基准水平的法规。目前, 在欧洲控制使用的挥发性有机化合物 (VOC) 中并未排除 HFCs, 这是因为 VOC 的定义很宽泛 (在标准气压 / 温度条件下, 沸点 <250℃)。在世界其他地区尚未发现相关的 VOC 法规限制在非医用气雾剂中使用碳氢化合物。

溶剂

大多数用途的溶剂本质是排放性的, 库存周期短, 为几个月到两年。尽管所使用的溶剂能够并在当地被蒸馏和循环利用, 但实际上所有售出的产品最终都被排放出去。对于这些应用, 消费量和排放量之间的差异 (即库存) 并不太大。预计在 2010 年和 2015 年, 来自溶剂使用的全球 HFCs 和 PFCs 排放分别为 4.2 和 4.4 MtCO₂ 当量。假设 PFCs 排放线性减少, 到 2025 年它们将不再被用于溶剂应用中。

表 TS-26 溶剂应用中可替代液体和不同技术综述

	CH ₂ Cl ₂ ^a	HFE-449s1 ^b	n-溴代正丙烷	免清洗	碳氢化合物/含 氧溶剂	水/半水物质
物质特性						
散热效率 (W m ⁻² ppb ⁻¹)	0.03	0.31	0.3	无		无
在大气中的寿命 (年)	0.38	5	0.04	无		无
GWP (100-年 时间范围)						
- 本报告	10	397				
- IPCC (1996, 2001)	9	未给出	无	无		无
消耗臭氧潜力 (ODP)	-	-	-	-	-	-
近地层臭氧影响						
- MIR (g-O ₃ /g-物质)	0.07	无	无			
- POCP (相对单位)	7	无	无			
近地层臭氧影响	低到中	无	低到中	无	低到中	无
可燃性 (依据燃点)	无	无	无	无	易燃	无
技术数据						
开发阶段	商业化	商业化	商业化	商业化	商业化	商业化
应用类型:						
- 电子清洁		X	X	X	X	X
- 精密清洁		X	X		X	X
- 金属清洁	X	X	X		X	X
- 干燥					X	
- 载体溶剂	X	X	X		X	

注释:

^a 所列值仅指 CH₂Cl₂。在这些用途中使用其它的氯化溶剂, 如第十章所示。

^b 所列值仅指 HFE-449s1。在这些用途中使用其它的 HFE, 如第十章所示。

HFC-23 的副产品排放

HFC-23 生产量 (以及潜在的可能排放量) 与 HCFC-22 的生产量直接相关, 因此, 其排放预测需要未来 HCFC-22 生产的情景, 而这将取决于发达国家的消费量 (正在减少)、发展中国家的消费量及全球对含氟聚合物原料的需求量 (这两者正在增加)。

基于严格遵循《蒙特利尔议定书》要求的 BAU 情景, 非原料使用的 HCFC-22 消费量和生产量到 2015 年将比 2000 ~ 2003 年发达国家的平均水平下降 10 倍。同样, 在发达国家, 预计对含氟聚合物原料的需求量将继续线性增长, 到 2015 年需求量将增加一倍。在发展中国家, 原料使用和非原料使用的 HCFC-22 生产量近年来都在迅速增长, 1997 ~ 2001 年期间, 商业化 (或非原料) 使用的生产量以每年 2 万吨的速率增长, 原料使用量以每年 0.41 万吨的速

率增长。预计这种增长将持续到 2015 年, HCFC-22 的全球总需求量将达到 73 万吨/年, 其中约 40% 为原料使用, 与之相比, 2000 年的总需求量为 47 万吨/年 (表 TS-28)。

在到 2015 年的 BAU 情景下, 已经假设来自现有生产能力 (包括发达国家和发展中国家) 的排放将继续以 HCFC-22 生产量的 2% 的速率进行, 新的生产能力 (主要在发展中国家) 将以 4% 的速率排放 HFC-23。因此, 从现在起到 2015 年, HFC-23 排放量可能增长 60%, 从 2003 年的 1.5 万吨/年增加到 2.3 万吨/年 (表 TS-28)。

在变异的 BAU 情景下, 从 2005 年开始, 目前包括“出口气体”捕获和热氧化的最佳做法技术正被

表TS-27 HCFC-22产生过程中HFC-23副产品的减少方案的比较：过程优化和热氧化

HCFC-22		HFC-23		
物质特性				
散热效率 ($W m^{-2} ppb^{-1}$)	0.20	0.19		
在大气中的寿命(年)	12	270		
GWP (100-年 时间范围)				
- 本报告	1780	14,310		
- IPCC (1996)	1500	11,700		
消耗臭氧潜力 (ODP)	0.05	~0		
可燃性	没有	没有		
HFC-23减排选择		无优化	过程优化	热氧化
开发阶段		商业化	商业化	商业化
直接排放		产生3-4%的HCFC-22	产生2-3%的HCFC-22	产生<1%的HCFC-22
附加成本		基准	依靠过程和市场情况，可以从少量节约变到显著处罚	2-8百万美元的基础安装成本和189000-350000美元的运行成本。

逐步引进所有设施。假设清除技术 100% 有效，并且 HCFC-22 工厂的在线运行时间达 90%。计算 BAU 情景下来自同一活动（以假定的未来 HCFC-22 生产方式）的减排量。这两种 HFC-23 预测值之间的差异无疑就是由于应用清除技术的程度所引起的。上述预测值只是表示了潜在的极端情况，未来活动的变化将趋于增加一种或另一种可能性。

到 2015 年，从 HCFC-22 生产中清除 HFC-23 副产品排放具有高达每年 300 MtCO₂ 当量的减排潜力，并且根据 2000 年在欧洲进行的两项研究，其特定成本低于 0.2 美元 / 吨 CO₂ 当量。由于市场力量或国家政策或设备设计和结构的改进所造成的 HCFC-22 生产量的减少也可能减少 HFC-23 排放。[10.4]

表 TS-28 HFC-23 的历史和未来排放量

年份	HCFC-22 生产情景 (kt)	HFC-23 BAU 情景 (kt)	HFC-23 当前最佳做法 的排放量(kt)
1990	341	6.4	6.4
1995	385	7.3	7.3
2000	491	11.5	11.5
2005	550	15.2	13.8
2010	622	19.0	8.8
2015	707	23.2	2.3

附录 1 术语表

此表中的定义只涉及那些在臭氧和气候特别报告决策者摘要中使用的术语。

气雾剂

气体中含有非常微小的固态或液态颗粒的悬浮液。该术语也用作喷雾（或“气雾剂”）罐的通用名称，这种容器充满了产品和挥发剂，并被加压以便能够以细微的喷雾释放产品。

库存

库存是指包含在现有设备、化学品库、泡沫材料和其他产品里尚未释放到大气中的物质的总量。

最佳做法

对于本报告，最好做法被认为是在某一给定时间，通过在卤烃或卤烃产品的生产、使用、替代、回收和销毁过程中采用商业化技术，可以实现的最低卤烃排放。

混合物（制冷）

两种或多种纯净液体的混合物。混合物被用于达到多种制冷目的。例如易燃和非易燃成分的混合可以得到非易燃的混合物。混合物可以被分成三种类型：共沸混合物、非共沸混合物、近似共沸混合物。

发泡剂（泡沫）

在泡沫加工过程可以产生气体的那些气体、挥发性液体或化学品。气体可以在泡沫的塑料结构中造成泡沫或气泡。

照常排放（BAU）情景（2015 年本报告）

一种用于卤烃及其替代品使用的基线情景，假设所有现有的法规和逐步淘汰措施包括《蒙特利尔议定书》和相关的国家法规将继续执行到 2015 年，并且通常的做法（包括使用期限结束时的回收）和排放速率直到 2015 年都保持不变。

二氧化碳（CO₂）

一种可以自然生成的气体，也是燃烧化石燃料和生物质以及其他工业过程和土地利用变化的副产品。它是影响地球辐射平衡的主要人为温室气体，是度量其他温室气体的参照气体。

氯氟碳化物（CFCs）

只包含氯、氟和碳原子的卤烃。CFCs 既是消耗臭氧层物质（ODSs），也是温室气体。

气候变化

气候变化是指具有统计学意义的气候平均状态或其变率的巨大改变，这种改变持续较长一段时间（典型的为数十年或更长）。气候变化的原因可能是自然的内部进程，或是外部强迫，或是持续的对大气组成成分和土地利用的人为改变。

注意：《联合国气候变化框架公约》第一条将“气候变化”定义为“经过相当长时间的观测，在自然气候变率之外由人类活动直接或间接地改变全球大气组成所导致的气候改变”，因而将因人类活动改变大气组成造成的“气候变化”与因自然原因引起的“气候变率”区分开来。

气候变率

在所有时空尺度上超出单独天气事件的气候平均态和其他统计量（如标准偏差和极端事件的发生频率）的变异。气候变率可能由于气候系统内部的自然过程（内部变率）造成，也可能由于自然的或人为的外部强迫变化（外部变率）造成。另见：气候变化。

CO₂ 当量

能够产生与另一种特定数量温室气体相同的辐射强迫的二氧化碳量。当用浓度表示时，指由温室气体或相当的二氧化碳量产生的瞬时辐射强迫。当用排放表示时，指在特定的时间范围内，由排放引起的浓度变化产生的时间累积的辐射强迫。另见：全球增暖潜势。

臭氧柱

地表上方垂直气柱内的臭氧总量。臭氧柱的度量单位是 DU (Dobson Units)。

密封性 (制冷)

应用维护技术或专门设计的设备以消除或减少制冷剂在制冷和空调设备安装、运行、维护或废弃过程中的损失。

销毁

为了避免消耗臭氧层物质 (ODSs) 的排放, 使用经过核准的设备销毁 ODSs。

干粉吸入器 (DPI) (医用气雾剂)

一种对计量剂量吸入器 (MDIs) 的替代技术。如果药物治疗被摒弃, DPIs 可以被满意地用于细微干粉的配制, 因而排除了化学挥发剂的使用。

碳氟化合物

包含氟原子的卤烃, 包括 CFCs、HCFCs、HFCs 和 PFCs。

氟化酮 (FKs)

一种有机化合物, 其中, 两个完全氟化的烃基附着在一个羰基上 (C=O)。

全球增暖潜势 (GWP)

比较一种温室气体排放相对于等量二氧化碳排放所产生的气候影响的指标。GWP 被定义为在固定时间范围内 1 公斤物质与 1 公斤 CO₂ 的脉冲排放引起的时间累积的辐射强迫的比率。另见: 辐射强迫。

温室气体 (GHGs)

大气中由自然或人为产生的能够吸收和释放地球表面、大气和云所放射的热红外辐射的气体成分。这一特性导致温室效应。地球大气中主要的温室气体是水汽 (H₂O)、二氧化碳 (CO₂)、氧化亚氮 (N₂O)、甲烷 (CH₄) 和臭氧 (O₃)。此外, 大气中还有许多完全由人为因素产生的温室气体, 如受《蒙特利尔议定书》控制的卤烃以及其他含氯和溴的物质。其他一些痕量气体如

六氟化硫 (SF₆)、氢氟碳化物 (HFCs) 和全氟化碳 (PFCs) 也是温室气体。

卤烃

包含碳原子、一个或多个卤素如氯 (Cl)、氟 (F)、溴 (Br) 和碘 (I) 原子的化合物。完全卤化的卤烃只包含碳原子和卤素原子, 而部分卤化的卤烃还包含氢 (H) 原子。释放氯、溴和碘进入平流层的卤烃可以引起臭氧层耗损。卤烃也是温室气体, 包括 CFCs、HCFCs、HFCs、PFCs 和哈龙。

哈龙

完全卤化的卤烃, 包含溴和氟原子。

碳氢化合物 (HCs)

由仅被一个氢原子环绕的一个或多个碳原子组成的化合物。

氢氯氟碳化物 (HCFCs)

只包含氢、氯、氟和碳原子的卤烃。由于 HCFCs 包含氯, 因此对于臭氧层耗损有贡献, 同时也是温室气体。

氢氟碳化物 (HFCs)

只包含碳、氢和氟原子的卤烃。由于 HFCs 不包含氯、溴或碘, 因此不耗损臭氧层。和其他卤烃一样, 它们是强有力的温室气体。

氢氟醚 (HFEs)

由氢、氟和醚组成的化学制品, 具有与某些 ODSs 类似的性能特征, 可用作溶剂。

生命周期评估 (LCA)

对一种产品在其整个生命周期 (制造、使用、循环利用或废弃) 内的总体环境影响所进行的评估。

生命周期气候特性 (LCCP)

一种对基于整个生命周期内相关温室气体总排放的设备的全球增暖总体影响的度量。LCCP 是对 TEWI 的扩充, 考虑了制造期间产生的直接逃逸排放以及与其

所包含能源相关的温室气体排放。

计量剂量吸入器 (MDIs) (医用气雾剂)

一种分发可吸入肺部药物的方法。

易混合的

两种液体或气体均一地相互溶解的能力。不能混合的液体将分成可以区别的两层。

另类技术 (NIK)

另类技术是指不使用卤烃而达到相同的产品目的,通常是采用替代方法或非正规技术。例如,使用操纵杆或喷雾泵除臭剂取代 CFC-12 气雾除臭剂;使用矿物棉取代 CFC、HFC 或 HCFC 绝缘泡沫;使用干粉吸入器 (DPIs) 取代 CFC 或 HFC 计量剂量吸入器 (MPIs)。

单一成分泡沫材料 (OCF)

发泡剂在其中既充当发泡剂又充当挥发剂的泡沫材料。这些泡沫材料主要用于填补裂缝(防止空气渗透)而不是用于热绝缘本身。诸如此类的发泡剂使用是完全排放的。

臭氧

大气中由三个氧原子组成 (O_3) 的气态成分。在对流层中,臭氧通过涉及自然和人为活动产生的气体的光化学反应生成(“烟雾”)。对流层臭氧是一种温室气体。在平流层中,臭氧通过太阳紫外辐射和氧分子的相互作用生成。平流层臭氧在平流层的辐射平衡中起主要作用。在臭氧层中,臭氧的浓度最高。

消耗臭氧层物质 (ODSs)

已知的消耗平流层臭氧的物质。受《蒙特利尔议定书》及其修正案控制的 ODSs 包括氯氟碳化物 (CFCs)、氢氯氟碳化物 (HCFCs)、哈龙、甲基溴 (CH_3Br)、四氯化碳 (CCl_4)、甲基氯仿 (CH_2Cl_2)、氢溴氟碳化物 (HBFCs) 和溴氯甲烷。

臭氧层耗损

由于人类活动产生的物质的存在而加速的对平流层臭氧的化学破坏。

全氟化碳 (PFCs)

合成产生的卤烃,只包含碳和氟原子,具有极端稳定性、不可燃性、低毒性、不消耗臭氧、较高的全球增暖潜势等特点。

辐射强迫

辐射强迫是指由于气候系统内部变化或如大气中二氧化碳浓度或太阳辐射变化等外部强迫引起的对流层顶净辐射的变化(用每平方米瓦表示: Wm^{-2})。辐射强迫一般在平流层温度重新调整到辐射平衡之后计算,而期间对流层性质保持着它未受扰动之前的值。如果不考虑平流层温度的变化,辐射强迫又被称为瞬时辐射强迫。另见:全球增暖潜势。

回收

在运行期间或废弃之前,从机器、设备、密闭容器等中收集和存储受控制的物质,不必以任何方式进行检验或处理。

循环利用

在基本的清洁过程如过滤和干燥之后,重新利用回收的受控制物质。对于制冷剂而言,循环利用通常涉及到重新注入设备,因此通常发生在“现场”。

制冷剂 (制冷)

一种热传递的媒介,通常是液体,在电冰箱、冷冻机、空调等设备中使用。

溶剂

任何被设计用于通过溶解其表面的污染物来清洁一种或多种成分的产品(水的或有机的)。

(减排选择的)特定成本

减排选择与参照情形相比的成本差异,用相关的特定单位表示。在本报告中,温室气体减排选择的特定成本通常用减少每吨 CO_2 当量需多少美元(美元/吨 CO_2 当量)来表示。

SRES 情景

由 IPCC 排放情景特别报告（2000）发展的排放情景。

平流层

大气中对流层之上较高的层结区域，其高度从高纬度的 8 公里和热带地区的 16 公里一直延伸到 50 公里左右。这一区域的特性是温度随高度的增加而增加。

等效增暖影响总量（TEWI）

对设备运行期间以及使用期限结束时运行液体废弃期

间相关温室气体总排放的全球增暖总体影响的度量。TEWI 考虑直接逃逸排放及设备运行期间耗能所产生的间接排放。TEWI 用 CO² 当量的质量单位来度量。另见：生命周期气候特性（LCCP）。

对流层

地表上方大气的最低层，云和“天气”现象均发生于其中。对流层的厚度在高纬度地区平均为 9 公里，中纬度地区为 10 公里，热带地区为 16 公里。对流层内的温度通常随高度的增加而降低。

附录 2 主要化学分子式和名称

本附录提供了几种决策者摘要中提到的包含卤素及其他气体的化学分子式和名称。

《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》控制下列卤烃的生产和消费：氯氟碳化合物（CFCs）、氢氯氟碳化合物（HCFCs）、哈龙、氢溴氟碳化物（HBFCs）、四氯化碳（ CCl_4 ）、甲基氯仿（ CH_3CCl_3 ）、甲基溴（ CH_3Br ）和溴氯甲烷（ CH_2BrCl ）。

《联合国气候变化框架公约》包含了未受《蒙特利尔议定书》控制的温室气体的人为排放，其《京都议定书》包含了二氧化碳（ CO_2 ）、甲烷（ CH_4 ）、氧化亚氮（ N_2O ）、氢氟碳化物（HFCs）、全氟化碳（PFCs）和六氟化硫（ SF_6 ）等六种温室气体。

卤烃

对每种卤烃，下面的信息分栏列出：

- 化合物[异构体的数量]（或俗名）
- 化学分子式
- 化学名称（或替代名称）

氯氟碳化合物（CFCs）		[其生产和消费受《蒙特利尔议定书》控制] ¹
CFC-11	CCl_3F	三氯氟甲烷
CFC-12	CCl_2F_2	二氯二氟甲烷
CFC-13	CClF_3	氯三氟甲烷
CFC-113 [2]	$\text{C}_2\text{Cl}_3\text{F}_3$	三氯三氟乙烷
CFC-113	$\text{CCl}_2\text{FCClF}_2$	1,1,2- 三氯 -1,2,2- 三氟乙烷
CFC-113a	CCl_3CF_3	1,1,1- 三氯 -2,2,2- 三氟乙烷
CFC-114 [2]	$\text{C}_2\text{Cl}_2\text{F}_4$	二氯四氟乙烷
CFC-114	$\text{CClF}_2\text{CClF}_2$	1,2- 二氯 -1,1,2,2- 四氟乙烷
CFC-114a	CCl_2FCF_3	1,1- 二氯 -1,2,2,2- 四氟乙烷
CFC-115	CClF_2CF_3	一氯五氟乙烷

氢氯氟碳化物 (HCFCs)		[其生产和消费受《蒙特利尔议定书》控制] ²
HCFC-21	CHCl ₂ F	二氯氟乙烷
HCFC-22	CHClF ₂	氯二氟乙烷
HCFC-123 [3]	C ₂ HCl ₂ F ₃	二氯三氟乙烷
HCFC-123	CHCl ₂ CF ₃	2,2- 二氯 -1,1,1- 三氟乙烷
HCFC-123a	C ₂ HCl ₂ F ₃	1,2- 二氯 -1,1,2- 三氟乙烷
HCFC-123b	C ₂ HCl ₂ F ₃	1,1- 二氯 -1,2,2- 三氟乙烷
HCFC-124 [2]		氯四氟乙烷
HCFC-124	CHClFCF ₃	2- 氯 -1,1,1,2- 四氟乙烷
HCFC-124a	C ₂ HClF ₄	1- 氯 -1,1,2,2- 四氟乙烷
HCFC-141b	CH ₃ CCl ₂ F	1,1- 二氯 -1- 氟乙烷
HCFC-142b	CH ₃ CClF ₂	1- 氯 -1,1- 二氟乙烷
HCFC-225ca	CHCl ₂ CF ₂ CF ₃	3,3- 二氯 -1,1,1,2,2- 五氟丙烷
HCFC-225cb	CHClFCF ₂ CClF ₂	1,3- 二氯 -1,1,2,2,3- 五氟丙烷

¹ 注意这里介绍的物质是从受《蒙特利尔议定书》控制的物质中选择出来的。

哈龙		[其生产和消费受《蒙特利尔议定书》控制] ²
哈龙 -1202	CBr ₂ F ₂	二溴二氟甲烷
哈龙 -1211	CBrClF ₂	溴氯二氟甲烷 (氯二氟溴甲烷), R-12B1
哈龙 -1301	CBrF ₃	溴三氟甲烷, R-13B1
哈龙 -2402	CBrF ₂ CBrF ₂	1,2- 二溴四氟乙烷 (1,1,2,2- 四氟 -1,2- 二溴乙烷, 1,2- 二溴 -1,1,2,2- 四氟乙烷)

其他卤烃		[其生产和消费受《蒙特利尔议定书》控制] ²
四氯化碳	CCl ₄	哈龙 104, R-10
甲基氯仿	CH ₃ CCl ₃	1,1,1- 三氯乙烷
甲基溴	CH ₃ Br	哈龙 -1001, 溴化甲烷
溴氯甲烷	CH ₂ BrCl	哈龙-1011

氢氟碳化物 (HFCs)		
HFC-23	CHF_3	三氟甲烷
HFC-32	CH_2F_2	二氟甲烷
HFC-41	CH_3F	氟甲烷 (甲基氟)
HFC-125	CHF_2CF_3	五氟乙烷
HFC-134 [2]	$\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$	四氟乙烷
HFC-134	CHF_2CHF_2	1,1,2,2-四氟乙烷
HFC-134a	CH_2FCF_3	1,1,1,2-四氟乙烷
HFC-143 [2]	$\text{C}_2\text{H}_3\text{F}_3$	三氟乙烷
HFC-143	CH_2FCHF_2	1,1,2-三氟乙烷
HFC-143a	CH_3CF_3	1,1,1-三氟乙烷
HFC-152 [2]	$\text{C}_2\text{H}_4\text{F}_2$	二氟乙烷
HFC-152	$\text{CH}_2\text{FCH}_2\text{F}$	1,2-二氟乙烷
HFC-152a	CHF_2CH_3	1,1-二氟乙烷
HFC-161	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{F}$	氟乙烷
HFC-227 [2]	C_3HF_7	七氟丙烷
HFC-227ca	$\text{CF}_3\text{CF}_2\text{CHF}_2$	1,1,1,2,2,3,3-七氟丙烷
HFC-227ea	$\text{CF}_3\text{CHFCF}_3$	1,1,1,2,3,3,3-七氟丙烷
HFC-236 [4]	$\text{C}_3\text{H}_2\text{F}_6$	六氟丙烷
HFC-236ca	$\text{CHF}_2\text{CF}_2\text{CHF}_2$	1,1,2,2,3,3-六氟丙烷
HFC-236cb	$\text{CH}_2\text{FCF}_2\text{CF}_3$	1,1,1,2,2,3-六氟丙烷
HFC-236ea	$\text{CHF}_2\text{CHF}_2\text{CF}_3$	1,1,1,2,3,3-六氟丙烷
HFC-236fa	$\text{CF}_3\text{CH}_2\text{CF}_3$	1,1,1,3,3,3-六氟丙烷
HFC-245 [5]	$\text{C}_3\text{H}_3\text{F}_5$	五氟丙烷
如HFC-245ca	$\text{CH}_2\text{FCF}_2\text{CHF}_2$	1,1,2,2,3-五氟丙烷
HFC-245fa	$\text{CHF}_2\text{CH}_2\text{CF}_3$	1,1,1,3,3-五氟丙烷
HFC-365mfc	$\text{CH}_3\text{CF}_2\text{CH}_2\text{CF}_3$	1,1,1,3,3-五氟丁烷
HFC-43-10mee	$\text{CF}_3\text{CHFCHFCF}_2\text{CF}_3$	1,1,1,2,2,3,4,5,5,5-十氟戊烷 (2H,3H-全氟戊烷)
HFC-c-447ef	$\text{c-C}_5\text{H}_3\text{F}_7$	七氟环戊烷

全氟化碳 (PFCs)		
PFC-14	CF_4	四氟甲烷 (四氟化碳)
PFC-116	$\text{C}_2\text{F}_6(\text{CF}_3\text{CF}_3)$	全氟乙烷 (六氟乙烷)
PFC-218	$\text{C}_3\text{F}_8(\text{CF}_3\text{CF}_2\text{CF}_3)$	全氟丙烷 (八氟乙烷)
PFC-318 or PFC-c318	$\text{c-C}_4\text{F}_8(-(\text{CF}_2)_4-)$	全氟环丁烷 (八氟环丁烷)
PFC-3-1-10	C_4F_{10}	全氟丁烷
PFC-5-1-14	C_6F_{14}	全氟环己烷
PFC-6-1-16	C_7F_{16}	全氟庚烷
PFC-7-1-18	C_8F_{18}	全氟辛烷

氟化醚		
HFE-449s1	$C_5H_3F_9O$ $CF_3(CF_2)_3OCH_3$ $(CF_3)_2CFCF_2OCH_3$	甲基九氟丁基醚 全氟乙丁基醚
HFE-569sf2	$C_6H_5F_9O$ $CF_3(CF_2)_3OCF_2CF_3$ $(CF_3)_2CFCF_2OCF_2CF_3$	乙基全氟丁基醚 乙基全氟异丁基醚
HFE-347pcf2	$C_4H_3F_7O(CF_3CH_2OCF_2CHF_2)$	1,1,2,2- 四氟乙基 2,2,2- 三氟乙基醚

其他卤烃		
三氟哌酸 (TFA)	$C_2HF_3O_2(CF_3COOH)$	全氟酸

非卤化的碳氢化合物		
甲烷	CH_4	R-50
乙烷	$C_2H_6(CH_3CH_3)$	R-170
丙烷	$C_3H_8(CH_3CH_2CH_3)$	R-290
丁烷	$C_4H_{10}(CH_3CH_2CH_2CH_3)$	R-600, n- 丁烷
异丁烷	$C_4H_{10}((CH_3)_2CHCH_3)$	R-600a, i- 丁烷, 2- 甲基丙烷
戊烷	$C_5H_{12}(CH_3(CH_2)_3CH_3)$	R-601, n- 戊烷
异戊烷	$C_5H_{12}((CH_3)_2CHCH_2CH_3)$	R-601a, i- 戊烷, 2- 甲基丁烷

保护臭氧层和全球气候系统：与氢氟碳化物和全氟化碳相关的问题”特别报告提供了关于保护臭氧层和气候系统这两个涉及复杂科学和技术因素的全球环境问题的决策信息。根据《联合国气候变化框架公约》和《蒙特利尔议定书》的要求，政府间气候变化专门委员会（IPCC）和技术与经济评估专家组（TEAP）撰写了本报告。

把氯氟碳化物（CFCs）和其他消耗臭氧层物质（ODSs）与全球臭氧层耗损联系起来的科学证据导致在《蒙特利尔议定书》（1987年）下开始控制和逐步淘汰这些化学品；其修正案（1990年）增加了更多的ODSs，并加速了其淘汰进程。随着各种逐步淘汰ODS方法的开发，人们认识到，为减少未来臭氧层消耗而采取的一些行动，特别是HFC和PFC的采用，可能影响到全球变暖。当1997年谈判《京都议定书》时，各国有了新的激励政策来考虑如何选择替代品以影响这两个议定书的目标。

每种ODS替代品影响气候系统的潜力不仅取决于替代品本身的物理和化学特性，而且取决于影响其向大气排放的各种因素，诸如密闭性、循环利用、销毁及特定应用中的能效。在本报告的11个章节和补充附录中提供了考虑各种ODSs替代品选择所需的科学背景；评估各种选择的可能方法；与包括制冷、空调、泡沫材料、气雾剂、消防和溶剂在内的每个部门温室气体（GHG）减排机遇相关的技术问题。本报告还讨论了未来HFC的可获得性。

世界气象组织和联合国环境规划署（UNEP）联合建立了政府间气候变化专门委员会（IPCC）。《蒙特利尔议定书》缔约方建立了UNEP技术与经济评估专家组（TEAP）。这些机构提供了权威性的关于气候变化科学、技术和社会经济信息（IPCC）以及保护平流层臭氧的技术状况（TEAP）的国际评估。

本特别报告由剑桥大学出版社（<http://www.cambridge.org>）出版，报告的电子版可通过IPCC秘书处网站获得（<http://www.ipcc.ch>）或从IPCC秘书处索取CDRom。本书包括该报告的决策者摘要和技术摘要。