

控制管理氢氟碳化物（HFCs）影响研究

---机遇与挑战

（摘要）



北京大学环境科学与工程学院

2013 年 1 月 22 日

致谢

本报告获得（中国可持续能源项目）能源基金会北京办公室的资助，在此表示感谢！

本报告编写人员：

胡建信、张剑波、吴婧、方学坤、苏燊燊、胡瑕、韩佳蕊

联系方式：

如果你对报告建议、疑问，请联系：胡建信（62756593，jianxin@pku.edu.cn），在此预先感谢！

1 摘要

1.1 HFCs 的环境影响和全球的应对战略

面对气候变化的威胁，控制温室气体排放已经成为保护全球环境的首要任务。随着过去十年中含氟气体（F-gas）的大气浓度急剧升高（尤其是 HFCs），F-gas 的排在温室气体排放中占有了相当的比例和独特的地位。含氟气体应用范围十分广泛，涉及众多的生产和生活领域，在全球经济发展中发挥着重要作用。

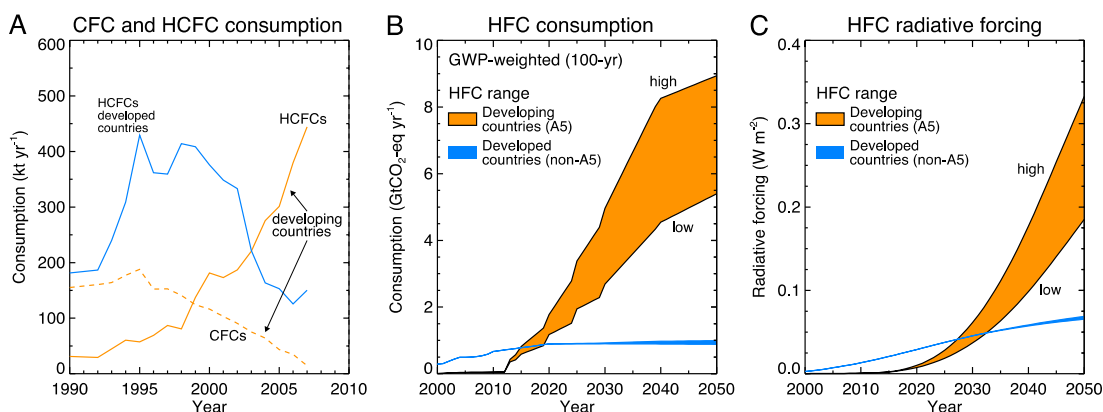


图1 CFC 与 HCFC 历史消费量(A); 2000-2050 年发达国家（A5）与发展中国家（非 A5）HFC 未来消费量（B）与辐射强迫（C）

从 1750 年到 2000 年期间，由于工业卤烃的增加引起的正直接辐射强迫总量估计约为 $0.33 \pm 0.03 \text{ Wm}^{-2}$ ，相当于同期全部温室气体增加引起的总辐射强迫的 13%（IPCC，2007）。其中，HFCs 作为 CFCs 和 HCFCs 的替代品，出现较晚且普及率偏低，目前 HFCs 在全部含氟温室气体（CFCs、HCFCs 和 HFCs 等）中的比例并不高。按照《蒙特利尔议定书》的要求，发达国家基本上在 2010 年完成 HCFCs 的淘汰，发展中国家从 2013 年开始控制 HCFCs 并在 2030 年完成 97.5% 的淘汰量；随着 HCFC 的全面淘汰，替代品 HFCs 的产销量将会在全球范围内剧增。Velders 等预测，假设当前政策技术和相关国际公约不变，到 2050 年 HFCs 的消费将达到 50-90 亿吨 CO₂ 当量水平，相应辐射强迫为 $0.18\text{-}0.33\text{W/m}^2$ ，其中超过 50% 的消费和排放预计来源于中国消费的排放(Velders, 2009)。而《京都议定书》设定在 2008-2012 年期间的年减排目标约为 20 亿吨 CO₂ (Velders, 2007)，可见 HFCs 排放的增长足以抵消《京都议定书》实现的减排的温室气体的效益。

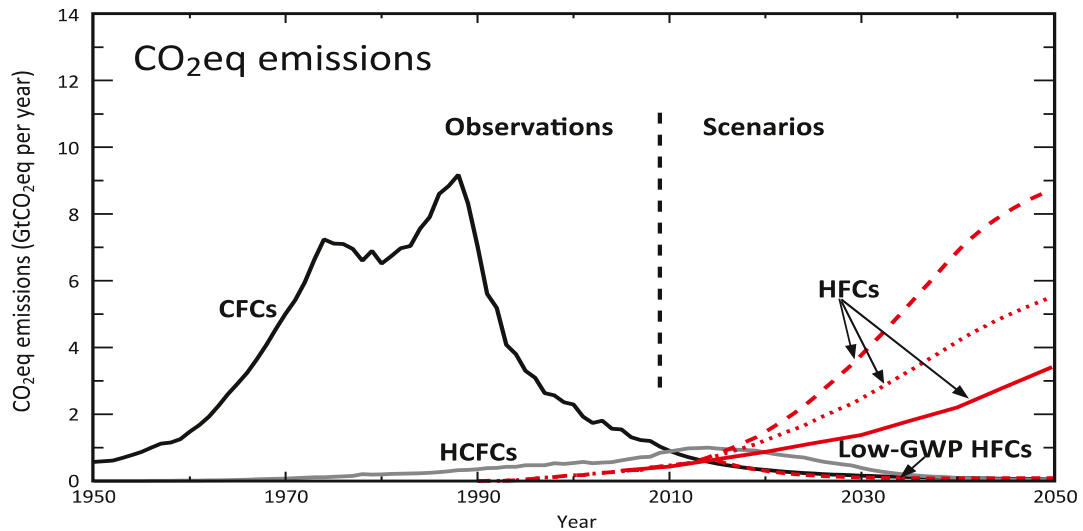


图 2 1995~2050 年 CFCs、HCFCs 和 HFCs 排放量 (CO₂ 当量) 变化趋势

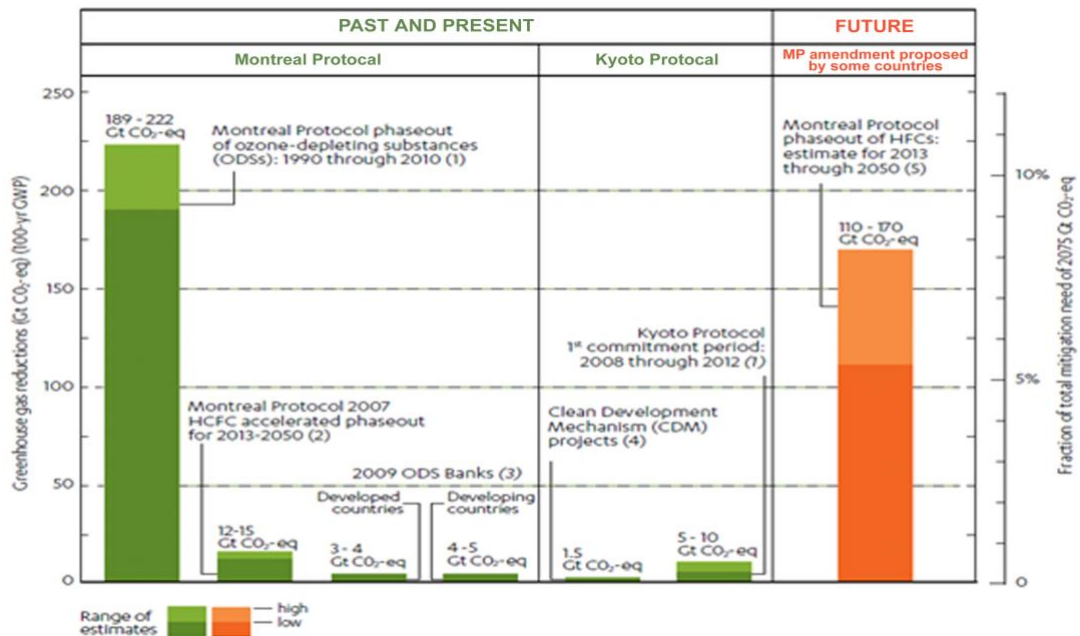


图 3 Climate Protection of the Montreal Protocol and the Kyoto Protocol

目前 HFCs 减排控制工作势在必行, 发达国家已经开始 HFCs 的减排工作, 发达国家的 HFCs 减排潜势非常高。面对保护全球环境的责任, 中国当前和今后对含氟温室气体的控制核心将是 HCFCs 和 HFCs; 但由于 HFCs 将作为重要的替代品之一替代 HCFCs, HCFCs 的淘汰过程将驱动 HFCs 的消费和排放的快速增长。经过近年来的快速发展, 以中国为代表的发展中国家温室气体排放从总量到排放结构均发生了较大的变化, 由于工业化和出口增长等因素影响, 含氟温室气体的生产、消费和排放快速增长, 受到国际社会的广泛关注。

为控制 HFCs 消费和排放的迅速增长，美国为首的部分国家提出了加快淘汰 HFCs 的公约修正案，拟在《蒙特利尔议定书》中增加控制 HFCs 的条款。2012 年 2 月，美国政府协同加拿大等国倡导成立的“清洁空气气候大联盟（CACC）”关注的三种（类）温室气体就包括 HFCs（其它为甲烷和黑炭）。随后全部 G8 国家表示加入该联盟，由此可见 HFCs 淘汰控制已经得到了国际社会肯定的呼声。

1.1.1 氢氟碳化物(HFCs)的应用和温室效应

除作为生产 HCFC-22 产生的副产物 HFC-23 之外，HFCs 的广泛应用是由于全球实施《蒙特利尔议定书》淘汰 CFCs、HCFCs 和哈龙等消耗臭氧层物质(ODS)，逐步采用其作为替代品的结果。

表 1 HFCs 主要应用领域

物质	HFC-134a	HFC-125&HFC-32	HFC-245fa	HFC-152a	HFC-227ea
应用领域	汽车空调制冷剂	房间空调器制冷剂	发泡剂	制冷设备的制冷剂	灭火剂
	制冷设备的制冷剂	制冷设备的制冷剂	清洗剂/溶剂	发泡剂	
	医用气雾剂				
	其它		其它		

1.1.2 国际行动和对策

国际社会已经开始对 HFCs 的控制。2000 年 6 月，欧盟启动了“应对气候变化行动计划”，提出包括 HFCs 在内各领域减少温室气体排放，欧盟各国纷纷采取各种手段进行 HFCs 排放削减和控制。如英国、法国等采取加大温室气体课税、限制使用和制定具体的削减方案措施，减少和控制 HFCs 和 PFCs 等物质的生产和消费。

2009 年 12 月 7 日，美国 EPA 就《清洁空气法》中有关于温室气体的环境和健康影响相关说明性条款（第 202a 节）通过了两项裁定：一是“认为当前和未来预计的六种主要温室气体——二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、一氧化二氮(N₂O)、氢氟化碳（HFCs）、全氟化碳（PFCs）和六氟化硫（SF₆）的大气浓度上升，会威胁到当代及后代人的健康和福利”；二是“认为从新的机动车及新的机动车引擎中排放的上述温室气体促成了温室气体污染，并威胁到公共健康和福利”。上

述两项裁定为美国政府对 HFCs 等温室气体采取进一步控制措施提供了法律和行政管理依据。2010 年 6 月 5 日，美国、加拿大和墨西哥三国联合发布了一项削减和替代 HFCs 这一潜在温室气体的提议，提出扩大《蒙特利尔议定书》的化学品控制范围，将 HFCs 纳入其中以应对气候变化。

1.1.3 中国 HFCs 控制管理的机遇与挑战

全球气候变化问题日益受到国际社会的关注，而减排目标是什么、减排的成本如何、如何减排、谁来减排等成为关注的焦点。与此同时，温室气体的排放的气候效应依然是最基本的科学问题。中国作为 HFCs 的生产和消费大国，其控制 HFCs 的行动将受到国际社会的关注，并面临挑战。

中国政府于 1998 年签署、2002 年批准《京都议定书》，作为发展中国家，暂不承担二氧化碳的减排义务；但中国是二氧化碳排放量较大的国家（Earth policy institute, 2006），减少温室气体排放将成为重点关注问题。尤其是 2009 年中国政府决定到 2020 年将单位国内生产总值(GDP)二氧化碳排放比 2005 年下降 40%至 45%，HFCs 的淘汰控制成为一个重要话题。尽管这一目标相对宏观，但面临快速消费增长和排放增长的 HFCs 行业已经没有什么空间。因为 2005 年，中国的 HFCs 行业才处于起步阶段，2005 年之后消费水平保持 20%以上的水平增长，面临 2020 年不到 10 年时间的减排任务，不得不考虑 HFCs 的控制问题。

从环境浓度的角度，2005 年之后，大气 HFCs 浓度水平年增长速度超过任何其他温室气体，这与中国在相关研究中观测到的大气浓度变化趋势是一致的。这一环境浓度变化更加证实了控制 HFCs 排放的环境保护需求。

按照《蒙特利尔议定书》，中国将从 2013 年开始冻结和淘汰 HCFCs，必将驱动 HFCs 的消费和排放快速增长；尽管中国在淘汰 HCFCs 活动中的替代技术选择尽量避免采用 HFCs，但是由于其它替代技术的可获得性、或者安全性等问题，HFCs 仍可能被广泛用于替代 HCFCs，这也加大了中国控制 HFCs 的难度。

1.2 HFCs 的消费、排放和替代技术

1.2.1 HFCs 在中国的生产和消费

目前中国生产和消费的 HFCs 包括：HFC-134a（用于汽车空调、工商制冷和医用气雾剂），HFC-410A（采用 HFC-125 和 HFC-32 混合配制，用于房间空调器和工商制冷），HFC-245fa（用于泡沫发泡），HFC-152a（用于发泡和制冷），HFC-227ea（用于消防灭火剂），HFC-143a（用于工商制冷混合物）等。其中 HFC-134a 产量由 2010 年 63000 吨增长到 2011 年 84000 吨，HFC-125 产量由 2010 年 40000 吨增长到 2011 年 59000 吨，HFC-32 产量由 2010 年 31000 吨增长到 2011 年 42000 吨，HFC-152a 在 2011 年生产量也接近 50000 吨水平。中国 2011 年排放的 HFCs 相当于 361Gg CO₂。

除了中国国内消费，HFCs 还从以下两个途径出口到国外：一是化学品出口，尤其是 HFC-134a，二是随设备成品出口，如房间空调器中的 HFC-410A。

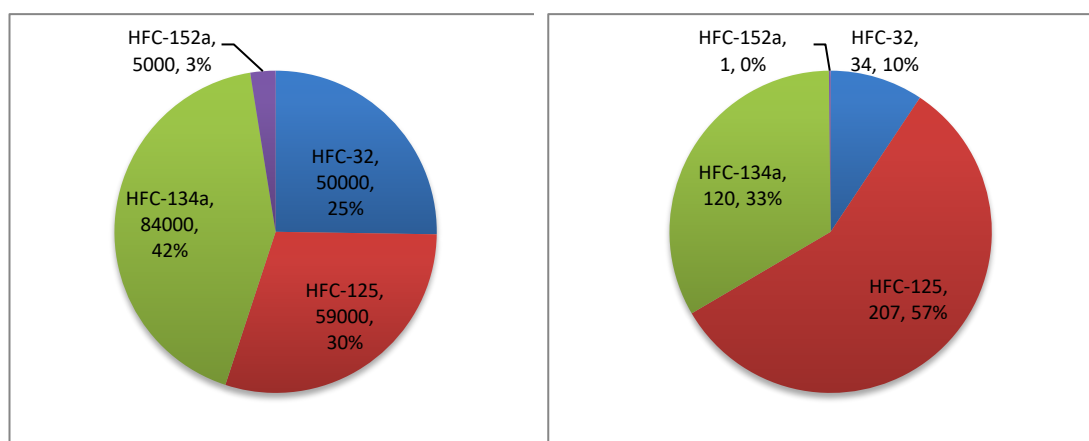


图 4 The Production of main HFCs in China in 2011 (in tons) (A); The Production of main HFCs in China in 2011 (in million tons of CO₂-eq) (B)

1.2.2 中国选择替代技术的基本原则

替代品种类繁多，每种替代品都有优缺点，需对替代技术进行仔细的评估和选择，为中国将来的 HFCs 控制策略提供重要的依据。评估的原则主要遵循：

以替代品基础的物理化学性质为出发点，分清主次，根据不同行业不同用途重点分析替代品的应用特性，同时兼顾考虑其可燃性和毒性。作为发泡剂的替代

品应重点分析替代品的导热性，作为制冷剂的替代品应分析制冷剂的能效比、沸点，蒸汽压，温度滑移等特性，同时注意某些工质如 HC 的爆炸极限。

从可行性，限制因素，适用范围，以及替代品的应用情况等进行替代品的技术可行性分析。

中国自行研发的低 GWP 替代品已经有一定应用，但只开展过小型试验，尚未商业化。对这类技术也应予以重视。替代品的可获取性和价格也是替代品选择的重要影响因素。分析中国自主研发替代品在相关行业中的应用现状和未来使用受限条件，为将来开发廉价可行的替代品提供依据。

选取重点行业进行替代品选择分析，提出重点行业替代品和替代技术的选择对策。天然制品具有一定应用前景，然而现阶段仍存在许多问题，如 HC 的易燃易爆性，天然工质的性能相对于原工质较差，可能会导致终端产品（如冰箱，冰柜，空调机）等耗电量的增加等。但作为有应用前景的替代品仍予以重视。

目前，替代品主要分为天然化合物、人工化合物及混合物三类。以碳氢化合物（丙烷—R290、丁烷—R600 和异丁烷—R600a）、二氧化碳（R744）、氨（R717）等为代表的天然化合物制冷剂的应用已经日益普及，且取得了较好的节能效果。天然化合物制冷工质除在家用冰箱领域得到广泛推广外，近年来在商业冰箱和汽车空调系统中也有一定的应用。

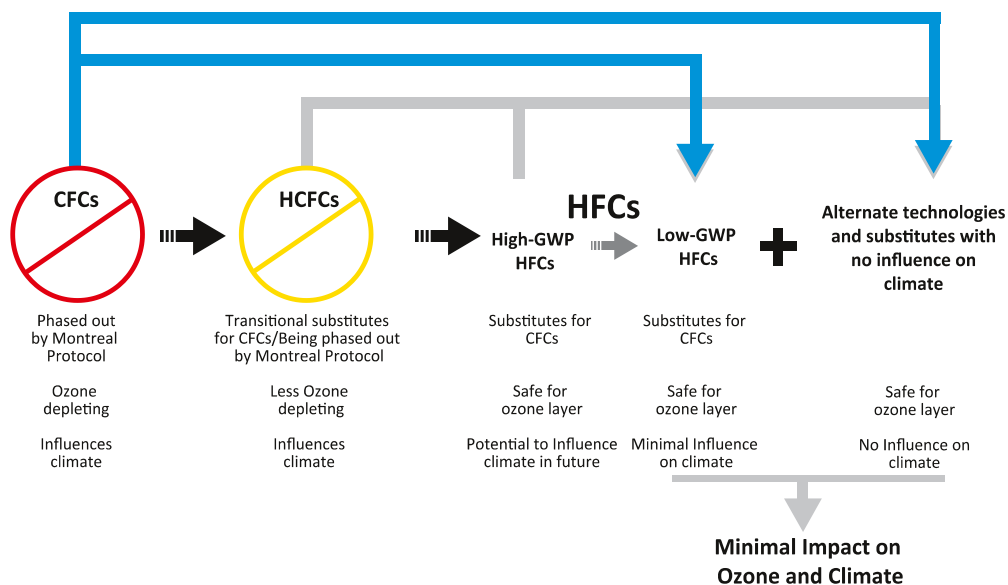


图 5 ODS 淘汰替代进程流程图¹

¹HFCs, a Critical Link in Protecting Climate and the Ozone Layer, UNEP, 2011

在人工替代品方面，目前 HFOs 是最有应用前景的物质之一。2010 年日本监管机构已经批准进口和使用 Honeywell 的 HFO 类制冷剂；2011 年 2 月，美国环保局核准了 HFO-1234yf 为汽车制冷剂用途许可（USEPA, 2011），为替代 HFC-134a 做好了技术准备。这一举措使得 HFO-1234yf 的商业化使用取得重大进展。

汽车空调行业目前较为普遍的是使用 HFC-134a 作为制冷剂，一方面它具有较高的 GWP 值，其导致的全球气候变化效应逐渐受到关注，另一方面 HFC-134a 分子中含有 CF₃ 基团，在大气中解离后易与 OH 自由基或者臭氧反应形成对生态系统危害严重的三氟乙酸。目前 HFO-1234yf 和 HFO-1234ze 被认为是可替代 HFC-134a 的新一代汽车空调制冷剂。Honeywell 进行了大量的可燃性试验和风险评估，认为 HFO-1234yf 可以在汽车空调器系统中被安全的使用。从目前的公开信息来看，HFO-1234yf 与塑料、橡胶等材料不存在兼容性的问题。在汽车空调上，HFO-1234yf 是一种呼声比较高的 HFC-134a 替代品，其特性与 HFC-134a 非常接近，可以直接在 HFC-134a 的汽车空调系统中替代使用。美国德尔福（Delphi）、通用汽车（General Motors）等公司正在研发以 HFC-152a 为制冷剂的汽车空调系统。该系统基本无需更改现有以 HFC-134a 为制冷剂的汽车空调系统的管路部件及生产线，与目前的 HFC-134a 系统相比，可提供相当甚至更好的制冷效果，且性能系数更高。目前汽车空调行业新的研究主要集中在 CO₂ 制冷系统的开发上，CO₂ 作为制冷工质有许多独特的特点：

（1）环保性能优，安全性好，CO₂ 适应各种常用润滑油以及机械零部件材料；（2）具有与制冷循环和设备相适应的热物理性质，单位容积制冷量相当高，运动粘度低；（3）CO₂ 具备优良的流动和传热特性，可显著减小压缩机与系统的尺寸，使整个系统非常紧凑；（4）CO₂ 制冷循环的压缩比要比常规工质制冷循环低，压缩机的容积效率可维持在较高的水平。由于 CO₂ 跨临界循环排热温度高、气体冷却器的换热性能好，比较适合汽车空调这种恶劣的工作环境。除此以外，CO₂ 系统在热泵方面的特殊优越性，可以解决现代汽车冬天不能向车厢提供足够热量的缺陷。2004 年 12 月上海汽车工业总公司与上海三电贝洱汽车空调有限公司、上海交通大学联合完成了“二氧化碳汽车空调压缩机及系统开发”项目，在国内率先成功研制了国内第一套二氧化碳汽车空调系统样机，但 CO₂ 汽车空调的实际应用还有很长的路要走。

房间空调器制冷剂 HFC-410A 最常用的替代品是 HC-290（丙烷）和 HFC-32（二氟甲烷）。丙烷的标准沸点、临界温度、临界压力等物性参数都与房间空调曾经广泛使用的 HCFC-22 制冷剂极其相近。另外，丙烷的热物理性质在许多方面都接近或优于 HCFC-22。丙烷制冷剂的另一个优势是，它与矿物油的相溶性很好；

虽然在容积制冷量与制冷系数两项指标上稍逊于 HCFC-22,但在冷凝压力、压比、制冷量、排气温度上大大优于 HCFC-22。在合适匹配的情况下,其制冷量能够达到 HCFC-22 机型的 97.2%,能效比最高提高了 12.6%。在家用空调方面丙烷比 HFC-410A 系统性能更优越,随着安全意识提高以及相关法规陆续制定,丙烷在空调应该有非常广阔应用前景。

泡沫行业使用含氟温室气体的主要有 PU 泡沫行业和 XPS 泡沫行业。中国目前主要有三种替代技术,即(1) HC 技术,主要使用戊烷,异戊烷,环戊烷等或其组合物,目前发泡技术成熟,保温性能较好,已经在冰箱箱体保温材料中应用;(2) 全水发泡技术,水与多异氰酸酯反应生成 CO_2 ,实际上是 CO_2 留在泡沫中,作为泡沫塑料的发泡剂,可用于非绝热用途的泡沫例如高密度结构泡沫塑料(仿木材)、包装材料、填充材料等;(3) HFO 技术,其可以克服 HFCs 存在的高 GWP 问题,效果值得期待,然而预计在数年之内该物质可能还不具备在国内推广应用的供应量和国内 PU 泡沫企业可以接受的价格。另外,甲酸甲酯也是一种比较有潜力的替代技术。

1.2.3 HFC-23 的无意排放趋势

HFC-23 是 HCFC-22 生产过程中的副产品,在 HCFC-22 的生产过程中,不可避免地会产生 HFC-23,由于基本没有用途,企业一般将其直接排入大气。

HCFC-22 的用途可划分为原料用途和 ODS 用途:原料用途主要用于生产四氟乙烯(TFE),不受《蒙特利尔议定书》控制,随着中国经济的发展和用途的扩大将持续增长;ODS 用途主要用于房间空调制冷剂、工商制冷和发泡剂等,这类消费受到《蒙特利尔议定书》控制,自 2013 年起将逐年消减消费量,并于 2030 年完成淘汰。原料用途消费量将会随着经济增长与消费行业增加而升高,因此 HFC-23 的排放量随着 HCFC-22 产量的增加而升高。

如果不采取控制措施,2050 年 HFC-23 排放量将达到 30000 吨,相当于 447 MtCO₂。

1.3 汽车空调行业 HFC-134a 的减排潜力分析

目前,全球汽车空调,尤其是小型汽车的空调几乎全部采用 HFC-134a 作为制冷工质。其浓度在 2001-2010 年以年增长率 15.9%的速率增长(从 2001 年 23

ppt 增长至 2010 年 87 ppt)。中国 HFC-134a 的生产已具有一定规模，数家生产企业年 HFC-134a 产量均达到约 10 万吨。汽车行业是最大的 HFC-134a 消费行业，也是中国近年来和今后一定时期内快速发展的行业。汽车是使用寿命较长的设备，且空调制冷剂的排放具有滞后性。据估算 2005 年（胡建信, 2009）HFC-134a 的消费量约为 10139 吨，排放量为 7321 吨(折合 105kt CO₂ 当量)。

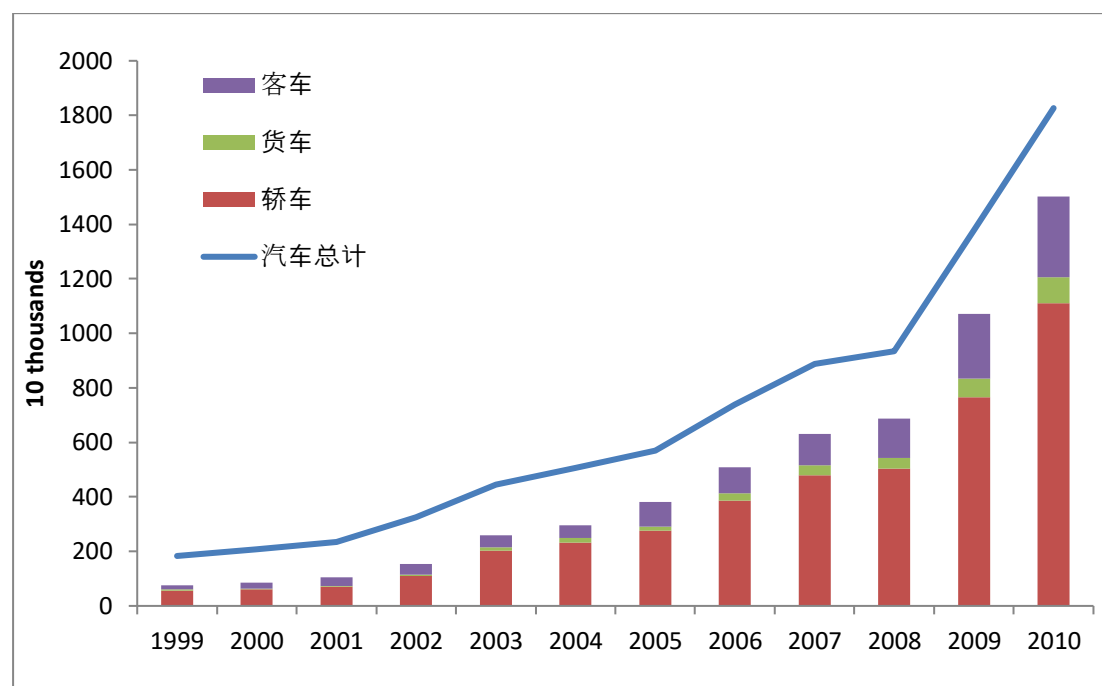


图 6 Production of Total Mobiles and Mobiles with MAC in China

研究中设定基线情景和淘汰情景。基线情景假设完全不对 HFC-134a 采取控制措施。淘汰情景假设不同的淘汰目标和措施，从而讨论不同条件下的排放量。对 HFC-134a 的淘汰情景做出如下假设：1) 情景设定基于维修工人操作技术，政策等不变；2) 淘汰时间设定根据国际汽车行业动态和欧美发达国家的政策走向。

汽车空调使用的工质生命周期包括初始灌装、汽车运行排放、维修、报废等过程。研究主要考虑了生命周期内的重要的直接排放和间接排放变化。

淘汰控制 HFCs 的成本是指实施整个控制淘汰活动的增加成本（相比基线情景），主要包括替代品/替代技术引进成本、替代设备改造和运行成本及宣传培训成本等。

1.3.1 中国汽车需求量预测

中国汽车工业经历了几十年的发展,生产能力不断增长,产品水平日益提高。2002 年、2003 年、2004 年分别突破了年产 300 万辆、400 万辆、500 万辆大关。在 2005 年,中国汽车市场在激烈的竞争中仍保持了适度的快速增长,产销量分别达到 570.7 万辆和 575.8 万辆,同比分别增长 12.56%和 13.54%。2007-2009 年中国的汽车产量达到 888 万辆、935 万辆和 1379 万辆 (中国统计年鉴, 2010),而 2010 年产销量更是达到 1800 万辆。目前中国生产的带空调器轿车、货车和客车已经分别达到 100%、30%和 75%。

研究中选取了 GDP、人口和城镇居民可支配收入等 3 个指标作为影响汽车需求量的因素。根据汽车需求量预测模型对未来几年汽车需求量进行预测,结果如下表所示。

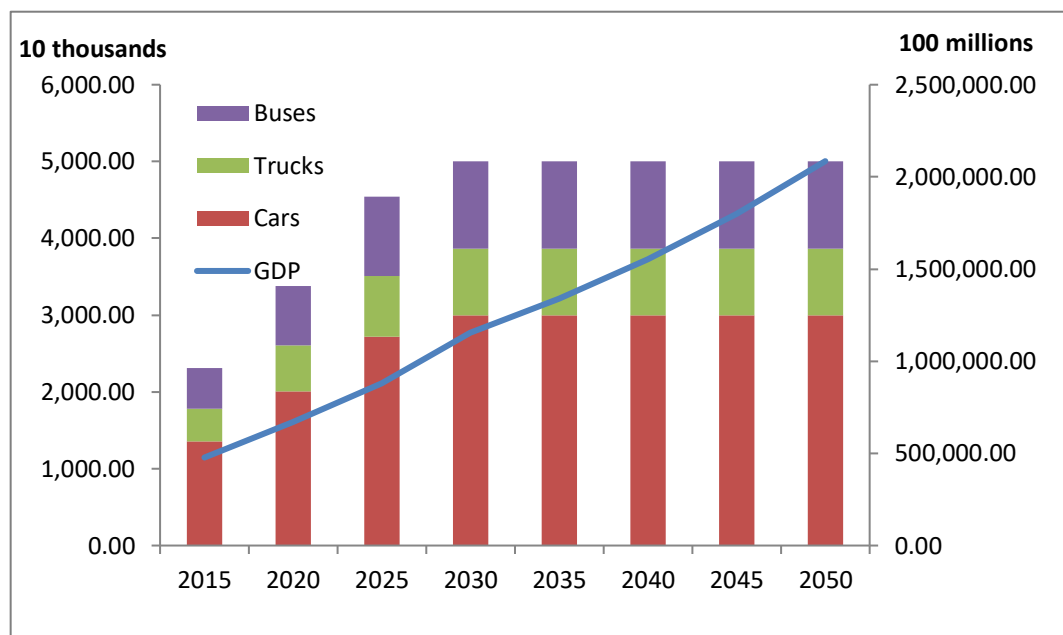


图 7 2011—2050 年不同类型汽车需求量预测（单位：万辆）

根据汽车工业协会的估计,认为中国汽车行业产能高峰为每年 5000 万辆,汽车保有量将超过 2 亿辆。因此认为中国汽车行业最大需求量为每年 5000 万辆,自 2027 年后汽车产量维持在最大产能的水平保持不变。在此情景下,中国 2015、2020、2030、2040 年汽车千人汽车拥有量将分别达到 120.3、201.5、378.7、441.2 辆,由于汽车需求达到饱和,2050 年维持 2040 年的水平。中国假设情景与当前世界一般水平相符。

汽车生产过程灌装汽车空调包括初始填充量，而生产灌装过程的排放量为灌装量的 0.5%（IPCC，2006），而不同汽车品种初始灌装量不同。维修再灌装量也是 IPCC 报告中提到的“运行排放”，包括所有在役汽车空调在运行过程泄漏后，通常维修补充再灌装。运行排放量就等于维修补充再灌装量。

预计中国汽车产量将从当前 1800 万辆的水平持续增长到 2030 年约 5000 万辆的水平。目前，中国汽车灌装 HFC-134a 约为 21000 吨，维修再灌装量约为 16000 吨，年消费量约 37000 吨。

1.3.2 HFC-134a 的减排潜力分析

基于现有数据预测未来汽车需求，进而研究分析：（1）依据当前国际控制 HFC-134a 趋势和替代技术可获得性设计不同控制 HFC-134a 情景；（2）依据设计情景计算不同情景下减排 HFC-134a 的环境效益和其他环境效益；（3）依据可获得成本价格分析计算实现不同环境效益的替代成本。

基线情景设定，中国汽车行业不淘汰 HFC-134a 的情景可以假设为基线情景 (BAU)，基线情景设定及 HFCs 消费量计算如下。

表 2 基线情景主要参数

	排放产生	信息来源或依据
汽车空调生产按照目前技术继续		现有相关政策
HFC-134a 生产工艺和排放维持不变	缺省排放因子是 0.5%	IPCC(采用一个化学品生产排放因子或是假定化学品销售量中的一定额外的比例在生产过程中排放了缺省排放因子是 0.5%)(IPCC, 2006)
全部汽车空调继续采用 HFC-134a 工质	空调器初次灌装泄漏率 0.5%、运行维修率 20%	IPCC 缺省值
报废回收	不回收、不处置，报废残留量 80%	中国无相关强制法规要求进行回收，残留量本文假设（见 4.2.3）交通部对汽车报废企业的营业要求，需要回收设备

淘汰情景设定，依据（1）中国 2020 年的减排目标；（2）欧盟为首的淘汰 HFC-134a 的法令（Directive 2006/40/EC）；（3）以美国为首提出的《蒙特利尔议定书》修正案，以上这些都直接针对 HFC-134a 减排，也就是未来发展过程加速淘汰 HFC-134a 都可能在近期发生根本性转变，为此假设淘汰情景如下：

表 3 淘汰情景设计

	控制	信息来源
淘汰情景 A	2016 年开始逐步淘汰，2020 年全部淘汰，期间线性淘汰	基于中国 2020 年的减排目标，假设 HFC-134a 属于被淘汰的温室气体；再考虑市场全球化的效果（发达国家均淘汰）之后最为快速极端的情况
	全部采用替代技术 HFO-1234yf	假设，也是当前欧美选择的技术
	全部采用 HFC-152a	假设，部分混合工质替代品 GWP 类似
淘汰情景 B	2021 年起消减 HFC-134a，2030 年全部淘汰，期间线性淘汰	假设按照欧盟 F-gas 条例发展中国家推迟 10 年的通常做法
	全部采用替代技术 HFO-1234yf	假设，也是当前欧美选择的技术
	全部采用 HFC-152a	假设，部分混合工质替代品 GWP 类似
淘汰情景 C	2018 年开始淘汰，2034 年全部淘汰，期间线性淘汰	假设按照北美对蒙特利尔议定书修正案中，对发展中国家的情景方案
	全部采用替代技术 HFO-1234yf	假设，也是当前欧美选择的技术
	全部采用 HFC-152a	假设，部分混合工质替代品 GWP 类似

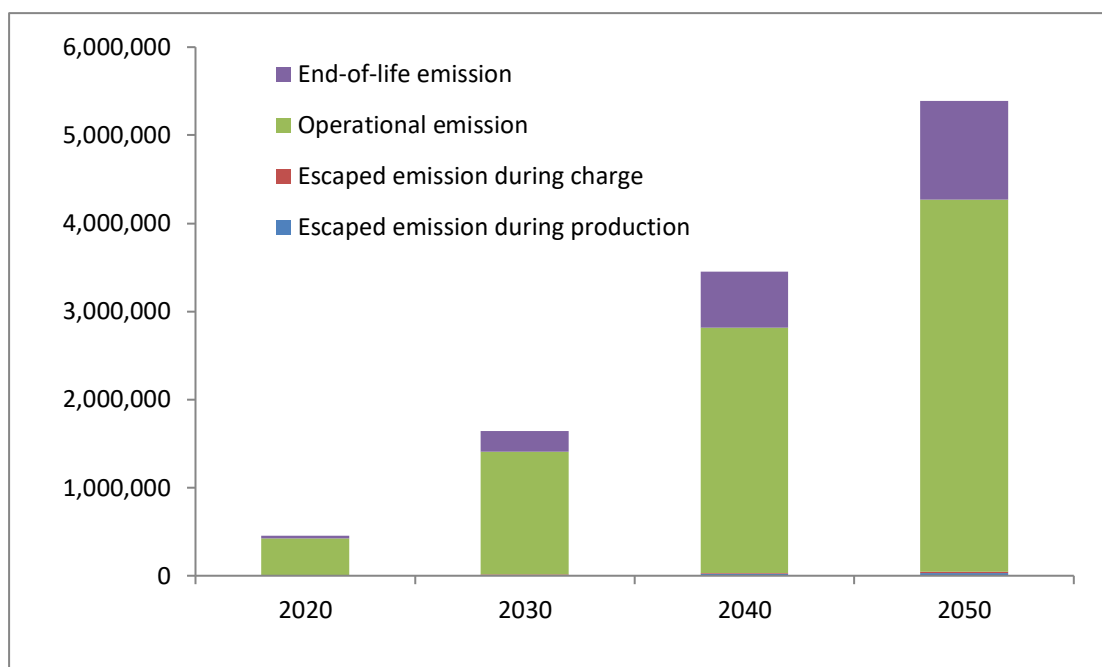


图 8 基线情景下 HFC-134a 各个环节排放量（吨）

从 2011 年起，由于生产 HFC-134a 从化工企业的排放和初次灌装的排放比例分别低于 0.94% 和 0.46%，而且所占比重逐年下降；而运行过程的泄漏（维修需求量）一直占最高比例，从 2011 年的近 95% 排放比重逐渐下降到 2050 年的 74.5%；而汽车报废由于保有量持续增加，报废过程排放比重持续增加，由 2011 年的不到 5%，增加到 2050 年超过 24.9%。这一数据显示，降低汽车运行过程中维修泄漏排放，将有最大减排潜力。

可以看出，不论是采用 HFC-152a 还是 HFO-1234yf，采用情景 A、情景 B 或者情景 C 到 2050 年将分别累计减排温室气体 26-35 亿吨 CO₂-eq 和 29-40 亿吨 CO₂-eq。

此外，由于汽车空调运行过程不同工质将产生不同油耗，显然如果替代工质的能效高于 HFC-134a，且 GWP 值低于 HFC-134a，将减少更多温室气体排放。但是当替代工质的能效低于 HFC-134a，则将带来额外油耗产生负面效益。由下图可知，因空调工质改变，制冷效率降低 5% 时，减排 HFC-134a 带来的效益约高于额外能耗带来的负面影响，仅仅从环境效益的角度依然是正效益。但是当能耗增加 10% 时，减排 HFC-134a 带来的效益不足以抵消额外能耗带来的负面影响，仅仅从环境效益的角度看是负效益。这不包括额外油耗带来的其它污染物如 NO_x、PAH 等的影响。

表 4 不同情景下 HFCs 排放量和不同替代技术减排量

	排放量（吨）							温室气体减排量（百万吨 CO ₂ -eq）					
	HFC-134a				HFC-152a 或者 HFO-1234yf			温室气体减排(全部采用 HFC-152a)			温室气体减排(全部采用 HFO-1234yf)		
	基线情景	情景 A	情景 B	情景 C	情景 A	情景 B	情景 C	情景 A	情景 B	情景 C	情景 A	情景 B	情景 C
2015	41252	41252	41252	41252	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2020	74852	41845	74852	64351	33006	0	10501	41	0	13	47	0	15
2025	114044	31933	75983	66007	82111	38061	48037	102	47	60	117	54	69
2030	152986	0	54851	50726	152986	98135	102260	192	122	127	218	140	146
2035	180961	0	7565	31828	180961	173397	149133	227	217	187	258	247	213
2040	193555	0	0	22286	193555	193555	171269	243	243	215	276	276	244
2045	193555	0	0	8734	193555	193555	184821	243	243	232	276	276	264
2050	193555	0	0	383	193555	193555	193172	243	243	243	276	276	275
累 2020	457673	368877	457673	439702	88796	0	17971	110	0	22	127	0	26
累 2030	1646051	624670	1181916	1078496	1021381	464135	567555	1272	576	705	1456	662	809
累 2040	3453024	624670	1328373	1394889	2828354	2124651	2058135	3540	2656	2574	4033	3030	2935
累 2050	5388575	624670	1328373	1483045	4763905	4060202	3905530	5974	5089	4895	6793	5790	5569

1.3.3 成本-效益分析

采取情景 A 和 B 都将可能带来成本变化，这将包括生产汽车空调企业的设备改造、空调的制造成本（管材、制冷剂等）、运行成本（油耗和空调维修）等方面的变化。考虑到 HFC-152a 和 HFO-1234yf 制冷系统与 HFC-134a 制冷系统接近，本研究计算忽略了企业的设备改造、空调的制造成本非制冷剂部分的成本。主要计算部分包括制冷剂价格变化和油耗变化。

表 5 不同情景减排量和减排成本

	情景 A（HFC-152a）	情景 B（HFC-152a）	情景 C（HFC-152a）	情景 A（HFO-1234yf）	情景 B（HFO-1234yf）	情景 C（HFO-1234yf）
温室气体减排（百万吨 CO ₂ -eq）						
到 2020 年累计减排	104	0	21	127	0	26
到 2025 年累计减排	464	111	206	564	135	250
到 2030 年累计减排	1207	545	667	1456	662	809
到 2035 年累计减排	2233	1386	1465	2675	1674	1761
到 2040 年累计减排	3381	2532	2456	4033	3030	2935
到 2045 年累计减排	4549	3700	3531	5413	4410	4210
到 2050 年累计减排	5717	4868	4681	6793	5790	5569
增加成本（万元）*						
到 2020 年累计	1181448	0	228184	1529886	0	299664
到 2025 年累计	4495886	973837	1906872	5772644	1268365	2461346
到 2030 年累计	9144477	4096362	5163918	12587094	5277865	6723949
到 2035 年累计	13445207	8310239	8700126	19942517	11338216	12451304
到 2040 年累计	16978261	11846062	11823188	26380283	17761845	18007664
到 2045 年累计	19741046	14608847	14495132	31510678	22892241	22738879
到 2050 年累计	21905760	16773561	16662910	35530477	26912040	26696263
单位减排成本（元/吨 CO ₂ -eq）*						
到 2020 年平均	113	-	108	121	-	117
到 2025 年平均	97	88	93	102	94	98
到 2030 年平均	76	75	77	86	80	83
到 2035 年平均	60	60	59	75	68	71
到 2040 年平均	50	47	48	65	59	61
到 2045 年平均	43	39	41	58	52	54
到 2050 年平均	38	34	36	52	46	48

注*：贴现率取 5%，本报告贴现率相同。

全部采用 HFO-1234yf 将最大减少温室气体排放，考虑 5% 的贴现率下，三种情景下采用 HFO-1234yf 的单位减排成本均逐渐降低，到 2050 年平均减排成本分别为 52、46 和 48 元每吨 CO₂-eq，其中情景 B 下平均减排成本最低。采用 HFC-152a 在空调器制造和对汽车成本的影响并不增加，由于 HFC-152a 工质的价格低于 HFC-134a，采用 HFC-152a 反而会降低成本；但是由于采用 HFC-152a 会额外带来汽车油耗将增加汽车运行成本，随着替代时间的延续，单位减排成本会逐渐降低，最终到 2050 年平均减排成本分别为 38、34 和 36 元每吨 CO₂-eq 的水平，其中情景 B 下平均减排成本最低。由于当前 HFO-1234yf 的价格仍然相对较高，如果假设自 2016 年开始，HFO-1234yf 的价格开始线性降低，至 2025 年降为原来价格的 70% 并保持不变，则到 2050 年平均减排成本会降为 30 元每吨 CO₂-eq，较 HFC-152a 具有很大的价格优势。可以推测，如果工质 HFO-1234yf 的价格能够有所降低，并且减少维修需求，则采用 HFO-1234yf 替代 HFC-134a 减排量最大且单位减排成本会达到最低，也是未来的理想情景之一。

1.3.4 结论

中国汽车行业将持续发展，依据回归模型，预计中国汽车需求量在 2030 年左右将达到最大产能 5000 万辆，汽车空调将随同增长，随后至 2050 年间汽车需求维持不变；基线情景下，预计到 2050 年 HFC-134a 消费量将达到 20 万吨，其中 30%用于新车初次灌装，70%用于维修再灌注。从消费角度计算，HFC-134a 消费量折合 2.92 亿吨 CO₂-eq；当年排放量预测则为 2.77 亿吨 CO₂-eq，这也是当前情景下的最大减排潜力。

如从 2016 年开始控制 HFC-134a 并在 5 年内线性淘汰 HFC-134a（2015 年无相应温室气体减排），采用不同的替代技术，预计到 2020 年可累计减少温室气体排放 1.0-1.2 亿吨，到 2050 年可累计减少温室气体排放 57.1-67.9 亿吨；如从 2021 年开始控制 HFC-134a 并在 10 年内线性淘汰 HFC-134a，采用不同的替代技术预计，到 2050 年可累计减少温室气体排放 48.7-57.9 亿吨；从 2018 年开始控制 HFC-134a 并在 27 年内线性淘汰 HFC-134a，采用不同的替代技术预计，到 2050 年可累计减少温室气体排放 46.8-55.7 亿吨。

采用 HFC-152a 将降低汽车制造过程制冷剂初次填充的成本，也将减少汽车空调维修过程制冷剂再灌装的成本；但是，由于能效降低将导致汽车空调运行过程油耗增加，也就产生了额外的汽车空调运行油耗成本和额外的 CO₂ 排放，综合制冷剂成本降低和油耗成本增加，在 5%的贴现率下，到 2050 年累计替代增量成本在 1666-2190 亿元。

采用 HFO-1234yf 将增加汽车制造过程制冷剂初次填充的成本，也将增加汽车空调维修过程制冷剂再灌装的成本；但是，由于能效与 HFC-134a 接近，汽车空调运行过程油耗不变，也不产生额外 CO₂ 排放，在 5%的贴现率下，到 2050 年累计替代增量成本在 2670-3553 亿元。

不同情景下，单位 CO₂ 减排成本从 117-168 元/吨 CO₂-eq，与 CDM 项目 CO₂ 减排价格（10 美元/吨 CO₂-eq）相比，在没有技术改进引发替代技术价格下降的情况下，不同情境单位 CO₂ 减排成本均显著高于 CDM 项目 CO₂ 减排价格。因此，替代过程同时加强汽车空调的密封性、减少维修需求、降低替代品的价格，对今后替代十分重要。

1.4 房间空调行业 HFC-410A 的减排潜力分析

中国是世界上最大的房间空调器生产国和消费国，生产规模占全球 75%，行业年总产值为 2300 亿元。随着中国经济发展和人口增加，未来对房间空调器产品的需求不断增加，制冷剂的需求量和排放量将不断增加。房间空调行业所采用的制冷剂 HFC-410A 的组成包括 HFC-32(质量比 50%)和 HFC-125(质量比 50%)。

1.4.1 房间空调器需求量预测

中国房间空调行业目前使用的制冷剂大部分为 HCFC-22，其生产和使用量快速增长。依照目前发达国家发展态势，如果不考虑《京都议定书》要求，HFC-410A 将是最有可能的替代技术。本章分析中国 HFC-410A 的减排潜力和对策是基于对房间空调器行业未来 HCFC-22 消费量的预测，并根据《蒙特利尔议定书》规定的淘汰 HCFC-22 的目标，以 HFC-410A 替代 HCFC-22 为基线情景，而以 HC-290 或 HFC-32 为替代品替代 HFC-410A，设定不同的淘汰情景，分别计算基线情景和淘汰情景 HFC 工质的（避免的）排放量。

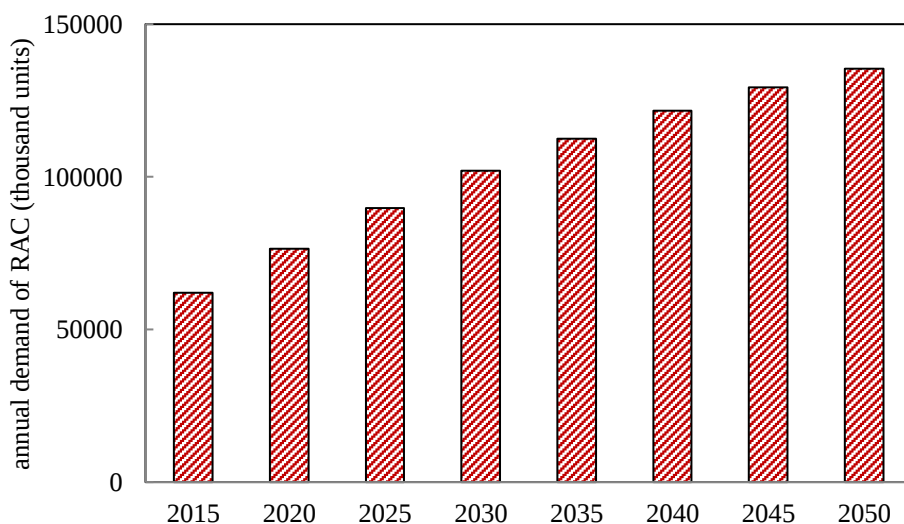


图 9 2012—2050 年房间空调器需求量预测（单位：千台）

影响房间空调器需求量的主导因素为人口的增长和经济的发展。相关分析表明，房间空调器需求量与 GDP、城市化水平、人口、城镇居民可支配收入显著相

关。根据房间空调器需求量预测模型和参数城市化水平预测值对未来几年房间空调器需求量进行预测，结果如下图所示。

制冷剂消费包括新生产房间空调器的灌装以及房间空调器维修过程的再次充灌，以及运输损耗。

基线情景消费量，假设中国房间空调器行业（国内需求，不包括出口部分）以 HFC-410A 完全替代 HCFC-22。2012 年之前，市场上已有部分空调采用 HFC-410A（主要为变频空调）。2011 年家用变频空调将近 99% 采用 HFC-410A 冷媒。2013 年及之后，HCFC-22 消费量受到限制，先满足维修需求，再满足新灌装需求。当 HCFC-22 灌装新空调数量小于国内空调需求量时，以 HFC-410A 进行灌装新空调。基线情景下的 HFC-410A 消费量计算如下。

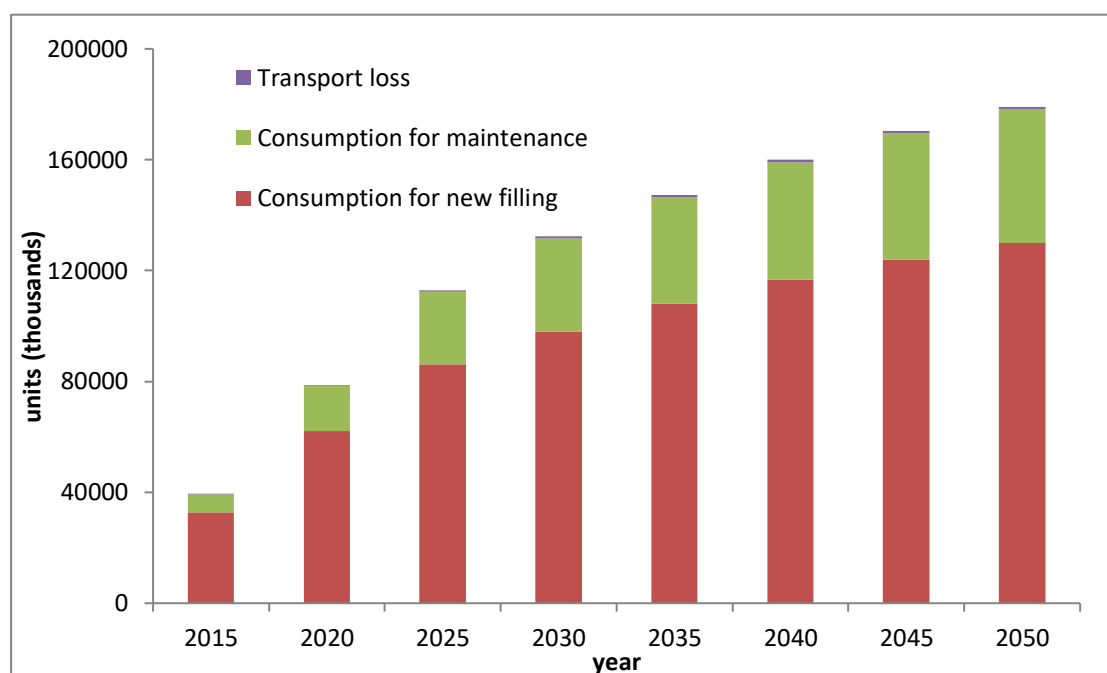


图 10 Projected Annual HFC-410A consumptions in RAC sector within 2010-2050

淘汰情景（避免排放）设定：鉴于 2013 年~2050 年将进行温室气体减排，高 GWP 的物质将逐渐被低 GWP 或 GWP=0 的物质代替，并考虑到房间空调器制冷剂的发展趋势，报告假设 HFC-410A 将被 HC-290 或 HFC-32 代替。不同的淘汰情景如下表所示。

表 6 HFC-410A 的 8 种淘汰控制情景

情景	描述
A-HC290	替代品选用 HC-290。采用北美三国提案建议的淘汰时间
A-HFC32	替代品选用 HFC-32。采用北美三国提案建议的淘汰时间
B-HC290	替代品选用 HC-290。北美三国提案建议的淘汰时间分别延后 5 年，即从 2023 年开始冻结 HFC 消费。冻结水平基准年向后推迟 5 年也即 2010-2013 年。
B-HFC32	替代品选用 HFC-32。北美三国提案建议的淘汰时间分别延后 5 年，即从 2023 年开始冻结 HFC 消费。冻结水平基准年向后推迟 5 年也即 2010-2013 年。
C-HC290	替代品选用 HC-290。从 2013 年开始，原先需用 HFC-410A 灌装的空调中 50% 的空调用 HC-290 进行灌装，同时执行北美三国提案建议的淘汰时间
C-HFC32	替代品选用 HFC-32。从 2013 年开始，原先需用 HFC-410A 灌装的空调中 50% 的空调用 HC-290 进行灌装，同时执行北美三国提案建议的淘汰时间
D-HC290	替代品选用 HC-290。从 2013 年开始，原先需用 HFC-410A 灌装的空调中 50% 的空调用 HC-290 进行灌装
D-HFC32	替代品选用 HFC-32。从 2013 年开始，原先需用 HFC-410A 灌装的空调中 50% 的空调用 HFC-32 进行灌装

经计算，基线情景和淘汰情景下的使用 HFC-410A 的房间空调器量如下图所示。

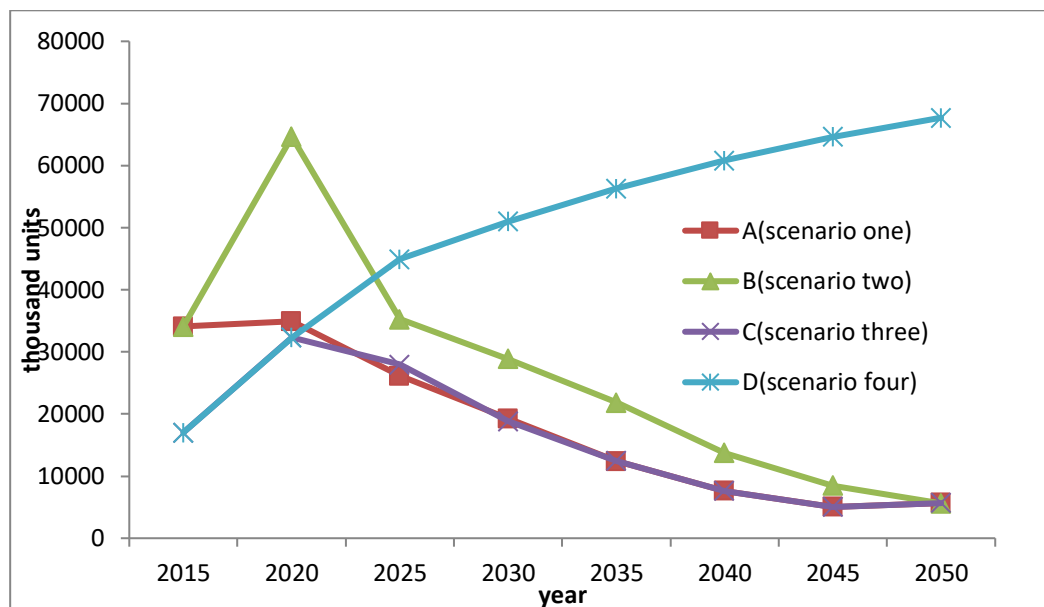


图 11 The projected amounts of RAC filling with HFC-410A as refrigerant under alternative scenarios(thousand units)²

² HCFC-22 is not included, as quantities of RAC filled with HCFC-22 are the same in each scenario.

1.4.2 房间空调行业排放量计算

根据 IPCC/TEAP 特别报告（2005），结合实际调查的中国房间空调器行业用途的特点及专家意见，确定中国工质的排放机制及排放因子，基于消费量和排放因子计算排放量，初始排放率为 0.6%，年度运行排放率为 3%，报废时残留制冷剂约为初始填充量的 75%。中国房间空调器的平均使用寿命为 10 年，且每年存在一定的报废比率以及维修率。

房间空调器制冷剂排放量计算关键参数如下表。

表 7 计算制冷剂排放量参数

内容	数量
房间空调器使用寿命 ^a	10
年度运行排放率 ^b	3%
维修排放率 ^b	100%
废弃排放率 ^b	75%
每台新生产的房间空调器 HCFC-22 的平均灌装量 ^c	1.2kg
每台房间空调器 HCFC-22 的维修灌装量 ^c	1.2kg
每台新生产的房间空调器 HFC-410A 的平均灌装量 ^c	0.96kg
每台房间空调器 HFC-410A 的维修灌装量 ^a	0.96kg
每台新生产的房间空调器 HC-290 的平均灌装量 ^c	0.6kg
每台房间空调器 HC-290 的维修灌装量 ^c	0.6kg
初始排放率 ^b	0.6%

注：数据 a 来自中国家用电器协会调查

数据 b 来自 IPCC, (2006)

数据 c 来自中国房间空调器行业 HPMP

基线情景：下图显示了 BAU 情景下中国房间空调器行业的 HFC-410A 每年消费量和排放量。由图可知，HFC-410A 每年的排放量均低于当年消费量，特别是在 2013-2030 年期间。由于 HFC-410A 储存在房间空调器内，HFC-410A 的排放存在一个延迟效应。当该类型房间空调器的消费量呈现快速增长趋势时，排放量将明显低于消费量。随着时间的推移，HFC-410A 的排放量将逐渐接近 HFC-410A 的每年消费量。

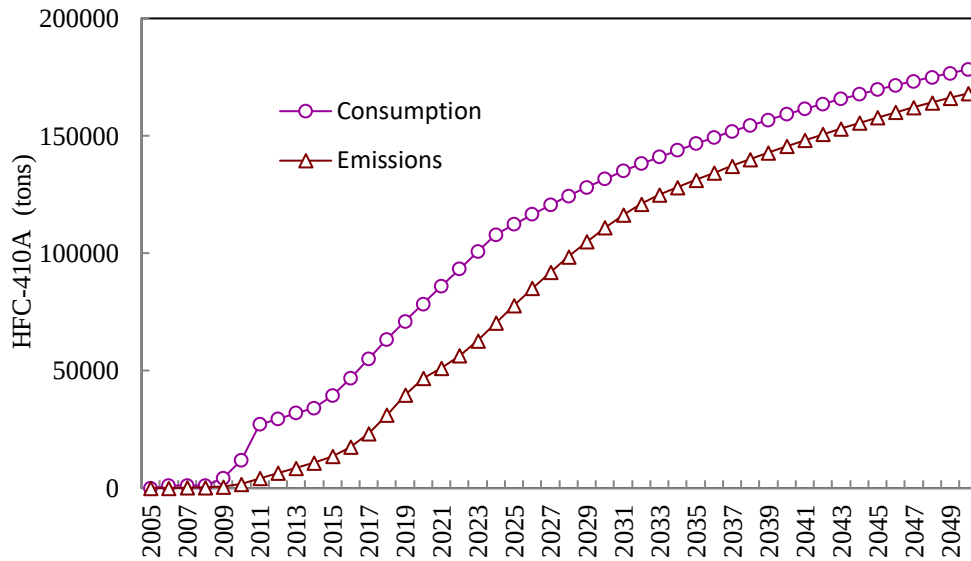


图 12 Projected HFC-410A annual consumptions and emissions within 2005-2050 under BAU scenario

淘汰情景排放量：在各淘汰情景下，HFC-410A 的排放趋势不同，到达排放高峰的年份不同。其中 D-HC290 或 D-HFC32 情景下，HFC-410A 的排放量将逐年增加，在 2050 年达到 84038 吨。A-HC290 或 A-HFC32 情景下，在 2018 年之后 HFC-410A 的排放量增长速率开始小于 BAU 情景，在 2025 年排放量达到最高。B-HC290 或 B-HFC32 情景下，在 2023 年之后 HFC-410A 的排放量增长速率开始小于 BAU 情景，在 2028 年排放量达到最高。C-HC290 或 C-HFC32 情景下，在 2013 年之后 HFC-410A 的排放量增长速率开始小于 BAU 情景，在 2029 年排放量达到最高。

各淘汰情景下，各制冷剂（包括 HCFC-22、HFC-410A，HC-290 或 HFC-32）总和排放量情况不尽相同，无论是 HC-290 还是 HFC-32 作为替代制冷剂，在情景 A、B、C 总和排放量均会到达一个顶峰，然后开始下降。D 情景下，总和排放量不断增加，最终约为 BAU 情景的一半左右。以 HFC-32 作为替代品的情景下，GWP 权重的总和排放量显著高于以 HC-290 为替代品的情景排放量。

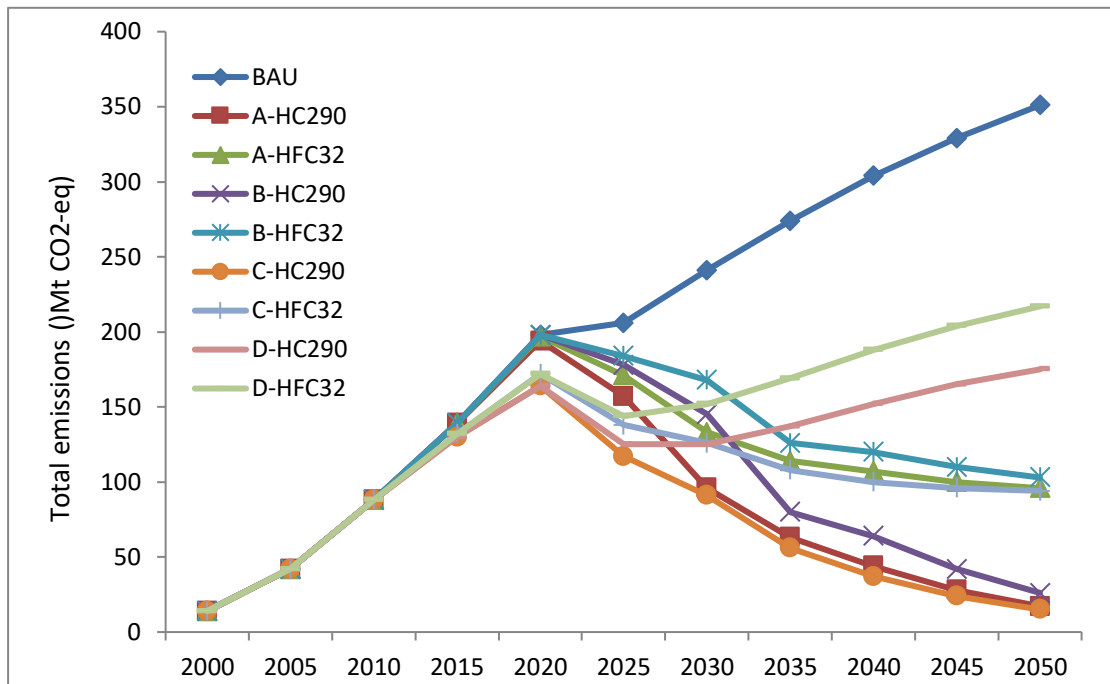


图 13 不同情景下制冷剂年排放量的预测
(百万吨 CO₂eq)

1.4.3 直接成本效益分析

成本效益的计算：房间空调器行业履行《蒙特利尔议定书》的成本包括家电生产商需要引进技术，更换生产线（包括更换新的制冷剂充灌机等设备）的投资增加成本，另外生产商需要更换制冷剂/发泡剂、润滑剂，购买能承受更高压力的新型压缩机，以及更换塑胶管等的运行增加成本。

表 8 中国房间空调器行业淘汰 HFC-410A 成本-效益分析关键参数

内容	房间空调器
一条生产线产能为（万台） ¹	25
转产为 HC-290 生产线增加成本（万元/条） ¹	2,080
转产为 HFC-32 生产线增加成本（万元/条） ¹	0
生产 HC-290 空调器增加成本（元/台） ¹	91
生产 HFC-32 空调器增加成本（元/台） ¹	61.8
HCFC-22 的单价（元/千克） ²	18
HFC-410A 的单价（元/千克） ²	70
HC-290 的单价（元/千克） ²	20

注：数据 1 来自中国家用电器协会；数据 2 来自市场调查

根据建立的中国房间空调器行业环境效益分析模型对年环境效益进行分析，包括气候变化、节电、污染物减排三个方面。

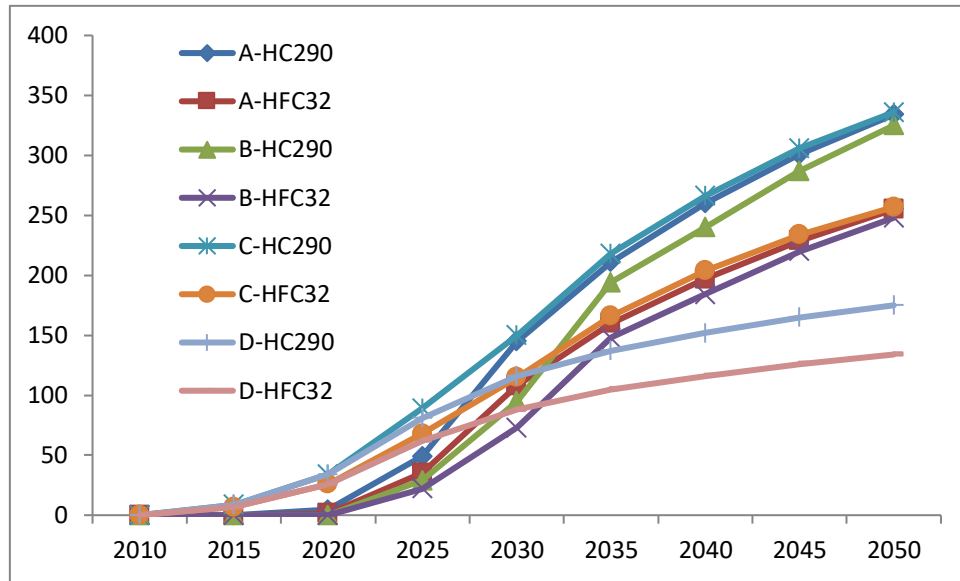


图 14 Projected emission reductions under each scenario in RAC sector (million tons CO₂eq)

中国房间空调器行业淘汰 HFC-410A 产生的减排量如上表所示。2012 年之前，减排量为 0，因为我们假设 HC-290 房间空调器替代 HFC-410A 房间空调器是从 2013 年开始的。2013 年，C-HC290 和 D-HC290 情景减排量为 2.2 百万吨 CO₂-eq，另外两个情景减排量为 0。2018 年，A-HC290 情景开始出现减排，减排量为 1.0 百万吨 CO₂-eq。2020 年，A-HC290，B-HC290，C-HC290 和 D-HC290 的减排量分别为 4.5、0、34、34 百万吨 CO₂-eq。2023 年，B-HC290 情景开始出现减排，减排量为 9.5 百万吨 CO₂-eq。2030 年，A-HC290，B-HC290，C-HC290 和 D-HC290 的减排量分别为 145、95、150、116 百万吨 CO₂-eq。2050 年，A-HC290，B-HC290，C-HC290 和 D-HC290 的减排量分别为 334、325、336、175 百万吨 CO₂-eq。

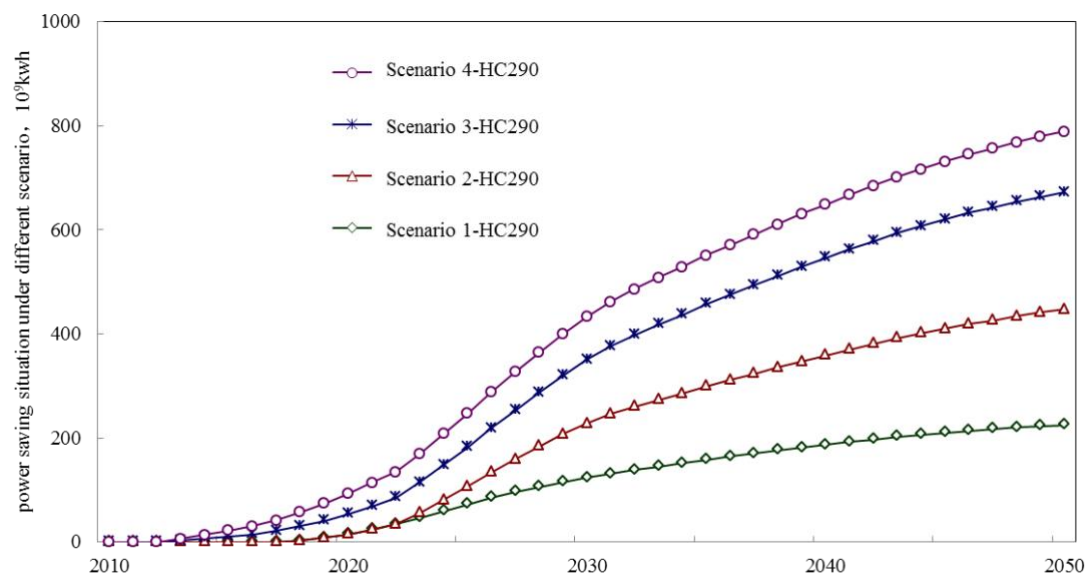


图 15 The projected power savings for China's RAC sector under different scenarios (10⁹ kWh)

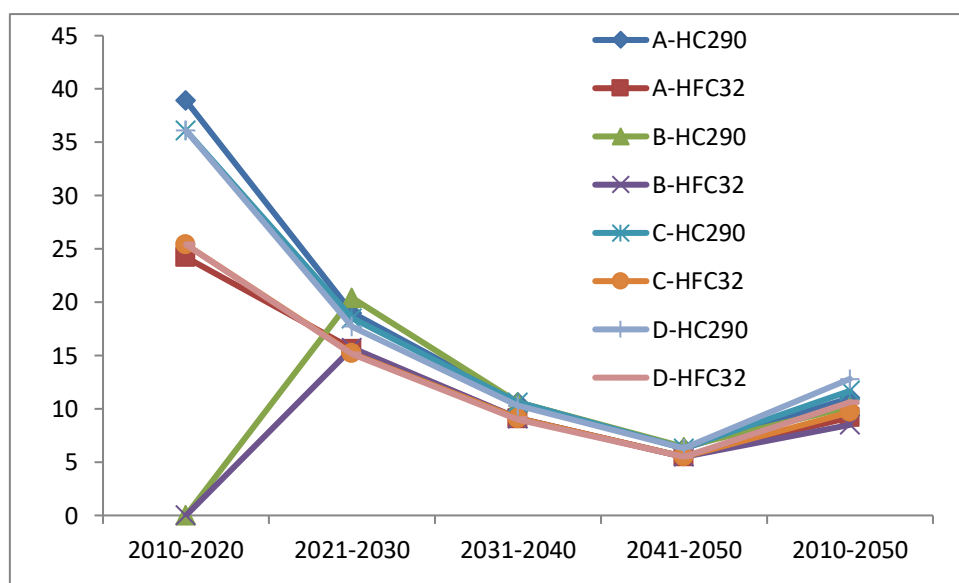
中国房间空调器行业各淘汰情景下的节电量均随着年份增加而增加。2013 年, C-HC290 和 D-HC290 情景节电量为 2×10^9 kWh, 另外两个情景节电量为 0。2020 年, A-HC290, B-HC290, C-HC290 和 D-HC290 的节电量分别为 15×10^9 、 0×10^9 、 38×10^9 、 38×10^9 kWh, 折合当量 CO₂ 为 13、0、34、34 Mt。2050 年, A-HC290, B-HC290, C-HC290 和 D-HC290 的节电量分别为 225×10^9 、 223×10^9 、 225×10^9 、 117×10^9 kWh。2013 年至 2050 年, A-HC290, B-HC290, C-HC290 和 D-HC290 累计节电量折合成当量 CO₂ 达到 1390、1100、1543、1094 Mt。

将中国房间空调器行业淘汰 HFA-410A 产生的节电量折算成污染物的减排量; 由于节电量的逐年增加, 各个污染物的减排量也是逐年增加的。其中, 情景 A-HC290, B-HC290, C-HC290, D-HC290 在 2020 年的环境效益能分别达到减排 13.4×10^6 吨、 0×10^6 吨、 33.9×10^6 吨, 33.9×10^6 吨 CO₂; 0.4×10^6 吨, 0×10^6 吨, 1.0×10^6 吨, 1.0×10^6 吨 SO₂; 0.2×10^6 吨, 0×10^6 吨, 0.4×10^6 吨, 0.4×10^6 吨 NO_x; 3.6×10^6 吨, 0×10^6 吨, 9.1×10^6 吨, 9.1×10^6 吨粉尘。B-HC290 的环境效益为 0, C-HC290 和 D-HC290 的环境效益相同, A-HC290 呈现一定的环境效益, 但数值小于 C-HC290 和 D-HC290。B-HC290 情景在 2023 年开始出现环境效益, 并逐年与 A-HC290、C-HC290 接近。2050 年, 情景 A-HC290, B-HC290, C-HC290 在 2050 年的环境效益已非常接近, 约为 199×10^6 吨 CO₂, 5.9×10^6 吨 SO₂, 3.0×10^6

吨 NO_x, 53.6×10⁶ 吨粉尘; D-HC290 情景下, 环境效益不到其它三个情景的一半, 约为 104×10⁶ 吨 CO₂, 3.1×10⁶ 吨 SO₂, 1.5×10⁶ 吨 NO_x, 27.9×10⁶ 吨粉尘。

依据成本的计算公式, 计算得到中国房间空调器行业 HFC-410A 的每年淘汰成本。由于暂无房间空调器行业制冷剂由 HFC-410A 转化为 HC-290, HFC-32 的成本数据, 这里定义的成本是指由房间空调器行业制冷剂由 HCFC-22 转化为 HC-290、HFC-32 的成本。其中由 HFC-410A 空调生产线改造成 HFC-32 空调生产线的成本可忽略, 故本报告设定其为 0。由图 16 可知逐年淘汰成本呈现先增加后降低的规律。

由于房间空调器的消费与排放之间的滞后效应, 当年的投资实现当年的消费减少量和排放减少量是不相同的, 比如 D-HC290 情景下, 2010-2020 年间, 减少消费量(当量 CO₂)为 420Mt, 而减少的排放量(当量 CO₂)仅为 124Mt, 差别较大。每年的投资将直接体现在每年的减少消费量上, 单位减少消费成本(元/吨 CO₂-eq)维持在一个相对稳定的水平上, 约为 8-13 元/吨 CO₂-eq。前一阶段的投资将在下一阶段显现效应, 使得下一阶段的减排量迅速增加, 造成单位减排成本(元/吨 CO₂-eq)下降, 比如在 A-HC290 情景下, 单位减排成本(元/吨 CO₂-eq)从 719.2 元(2010-2020)下降到 7.0 元(2041-2050 年)。8 种减排情景下, 在 2010-2050 阶段内的平均减排成本(元/吨 CO₂-eq)非常接近, 约为 11-16 元/吨 CO₂-eq, 其中 B-HFC32 的平均减排成本最低, 为 11.3 元/吨 CO₂-eq, D-HC290 的平均减排成本最高, 为 15.7 元/吨 CO₂-eq。



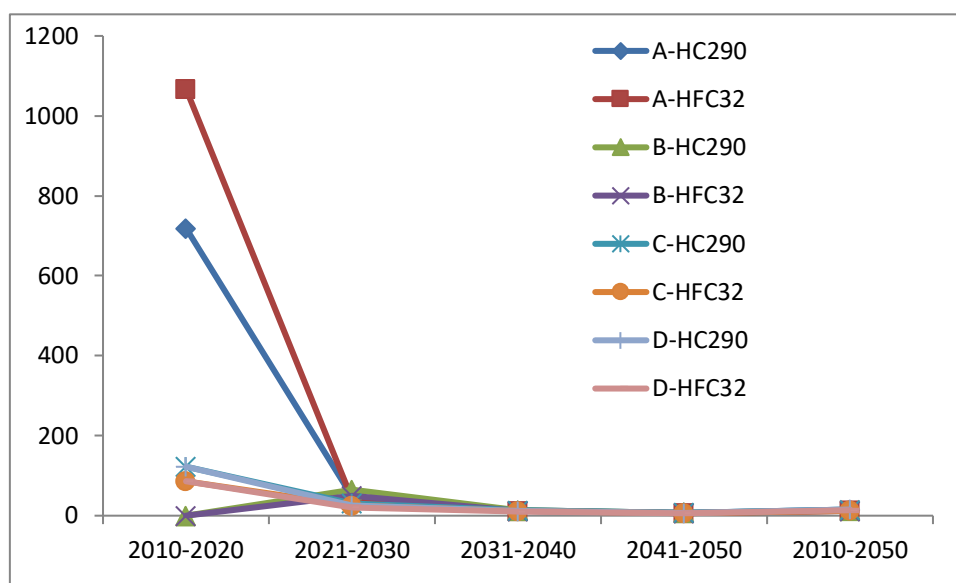


图 17 Cost per consumption reduction (Yuan/ton CO₂-eq) (top panel) and Cost per emission reduction (Yuan/ton CO₂-eq) (bottom panel)

1.4.4 结论

尽可能应用 HC-290 房间空调器。除了某些领域不能使用 HC-290 房间空调器之外，应尽量推行 HC-290 房间空调器，而不是 HFC-410A 房间空调器。若全是 HC-290 房间空调器，在 2021-2030 年间，增加成本共计 29300 百万元，能减少消费 1584Mt 当量 CO₂，单位减少消费成本为 18.5 元/吨 CO₂-eq，并在该阶段减少 958 Mt 的当量 CO₂ 排放，单位减少排放成本为 30.6 元/当量 CO₂ 吨。这是一个较理想的成本-效应关系。

加强回收。结合废弃电子电器回收和再利用管理条例等法规，建立废房间空调器的回收制度并合理处置其中的制冷剂。若使用 HFC-410A 作为制冷剂，2020 年报废排放量和维修排放量将达到 20,145 吨和 16,410 吨，折合 42 Mt 和 34 Mt CO₂ 当量，占当年总排放量的 75%以上。有研究估算 HFC-23 的消减成本为 0.42-2.49 美元/吨 CO₂ 之间。虽未进行 HFC-410A 的回收利用或销毁成本的核算，但相信若对此部分进行回收利用或销毁，能减少相当量的温室气体排放并达到较好的成本-效益关系。

减少制冷剂注入量。在本研究中制冷剂 HFC-410A 的估计填充量为 0.96kg，随着技术进步填充量将进一步下降，若降到 0.8kg，消费量和排放量将相应降低 20%。

激励替代品开发。建立鼓励环境友好替代品应用的经济激励政策措施：根据多边基金增加运行费用的灵活性，利用部分增加运行费用建立鼓励环境友好替代品应用的经济激励政策。比如加强 HC-290 房间空调器的安全性研究，克服其可燃性和不安全性等问题，拓展 HC-290 房间空调器的应用领域。

采用环境友好替代品产品列入政府绿色采购目录：在符合安全要求下，通过政府政策引导，促进采用 HC-290 房间空调器的销售和应用。从大宗采购的方面，对于采用替 HC-290 房间空调器予以支持。

改进密封性。提高房间空调器的密封性，减少房间空调器在运行过程中的泄露问题。在年泄露率 3% 的情况下，若使用 HFC-410A 作为制冷剂，在 2020 年排放量将达到 9824 吨，折合 21 Mt 当量 CO₂，在 2040 年排放量将达到 25314 吨，折合 53Mt 当量 CO₂。

1.5 HCFC-22 生产中释放 HFC-23 的减排潜力分析

HFC-23 是 HCFC-22 生产过程中的副产品，在 HCFC-22 的生产过程中，不可避免地会产生 HFC-23，由于基本没有用途，企业一般将其直接排入大气。HCFC-22 的用途可划分为原料用途和 ODS 用途：原料用途主要用于生产四氟乙烯(TFE)，不受《蒙特利尔议定书》控制，随着中国经济的发展和用途的扩大将持续增长；ODS 用途主要用于房间空调制冷剂、工商制冷和发泡剂等，这类消费受到《蒙特利尔议定书》控制，自 2013 年起将逐年消减消费量，并于 2030 年完成淘汰。

1.5.1 中国 HCFC-22 需求和 HFC-23 的排放

根据未来中国 HCFC-22 产量和未来 HCFC-22 生产趋势可以得到未来 HCFC-22 的生产量和 HFC-23 排放趋势，得到 HFC-23 的排放量。原料用途的消费量来源于年鉴数据，近几年来中国的 PTFE 生产维持在较稳定的增长率，出口数据来源于海关统计；国内 ODS 用途的消费量是对国内各 ODS 消费行业的消费需求进行预测，得到 HCFC-22 的需求量。根据淘汰战略，国家水平上 HCFCs 的 ODS 消费将按照《HCFCs 淘汰国家管理计划》的控制目标执行，因此，认为 2013 年后 HCFC-22 的 ODS 用途生产水平的削减与国家水平的 HCFCs 削减步调保持一致。根据《蒙

特利尔议定书》规定的淘汰方案，2013 年将 HCFC-22 的消费水平冻结在 2009 年和 2010 年的平均水平，2015 年消减冻结水平的 10%。

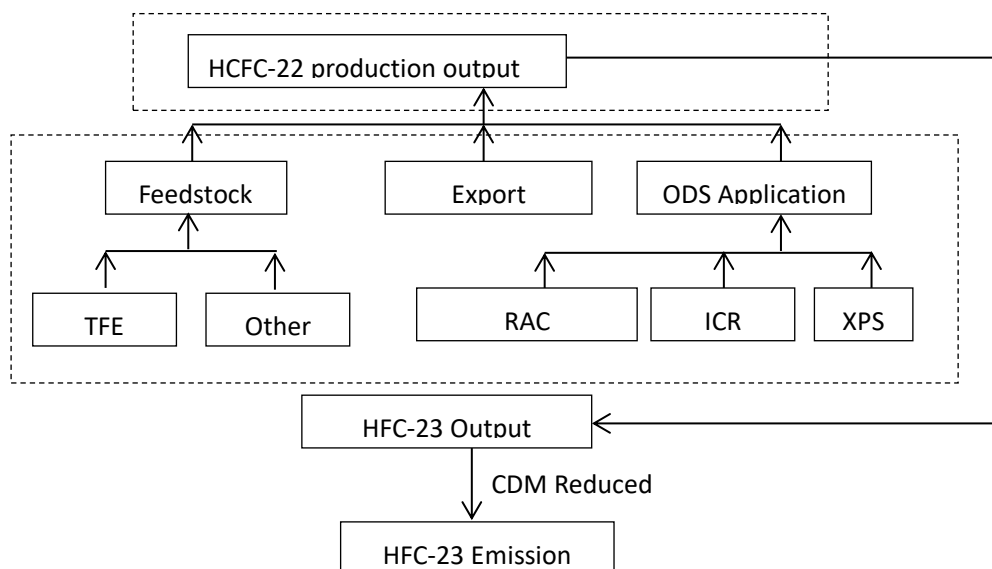


图 18 Technical roadmap to predict production of HCFC-22 and emission of HFC-23

HCFC-22 可以用作原料生产多种含氟精细化学品，其中最主要的产品是四氟乙烯（TFE），再以 TFE 为原料生产其他化学品。从行业统计资料看，国内大部分四氟乙烯都用在了合成聚四氟乙烯方面，四氟乙烯的其他用途开发相对较少，目前已知的技术开发包括作为原料生产 HFC-125 和 HFO-1234yf。

目前，中国国家发展和改革委员会共批准 11 个 HFC-23 分解 CDM 项目，焚烧 HFC-23 的量为 5611 吨，折合年减排量达到 6679 万吨 CO₂-eq。然而，国际社会为防止 CDM 项目产生过度激励作用导致 HCFC-22 产量不合理增长，限制 2002 年后新增 HCFC-22 生产设施所产生的 HFC-23 进入 CDM 市场。新设施产生的 HFC-23 一般不经处理而排入大气，并随着 HCFC-22 产量的增加排放量越来越大。

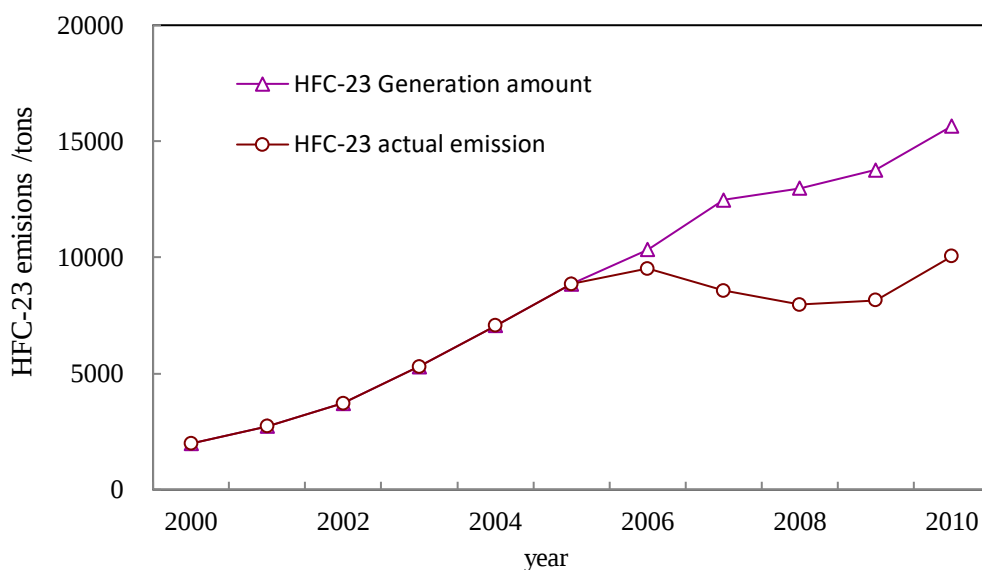


图 19 Generation amount and actual emission of HFC-23 in 2000-2010

如果中国没有实施 HFC-23 减排 CDM 项目，那么从 2000 年到 2010 年 HFC-23 累计排放量为 11.1 亿吨二氧化碳当量。HFC-23 实际产出量保持在平均每年 24.7% 的速率增长，到 2010 年，其实际产出量达到 15654 吨，为 231MtCO₂-eq。2006 年开始陆续有 CDM 项目开始执行，CDM 项目实现的 HFC-23 的减排量最高达到总量的 37.1%，2006-2010 年 CDM 项目共计减排 20954 吨 HFC-23，约 310MtCO₂-eq。

1.5.2 HFC-23 减排潜力分析

根据《蒙特利尔议定书》控制目标的规定以及中国相关行业的淘汰计划，HFC-23 的排放基线情景为，2013 年将 HCFC-22 的非原料用途的生产和消费水平冻结在 2009 和 2010 年的平均消费水平，2013 至 2015 年削减 10%，2020 年削减 35%，2025 年削减 67.5%，2030 年削减所有非原料用途的生产和消费，在各淘汰目标阶段线性削减；原料用途 HCFC-22 的消费按现有趋势保持增长。因此，对基线情景的预测主要为原料用途的 HCFC-22 需求预测。

基线情景下的 HCFC-22 产量如下图。根据未来中国 HCFC-22 的生产量，计算得到 HFC-23 的产出量，2011-2012 年产出量减去中国现有 HFC-23 处置 CDM 项

目所设计年销毁量，得到 HFC-23 的排放量；2012 年之后，根据国际谈判的结果，现有 CDM 项目可能将停止执行。HFC-23 的排放量变化如下图所示。

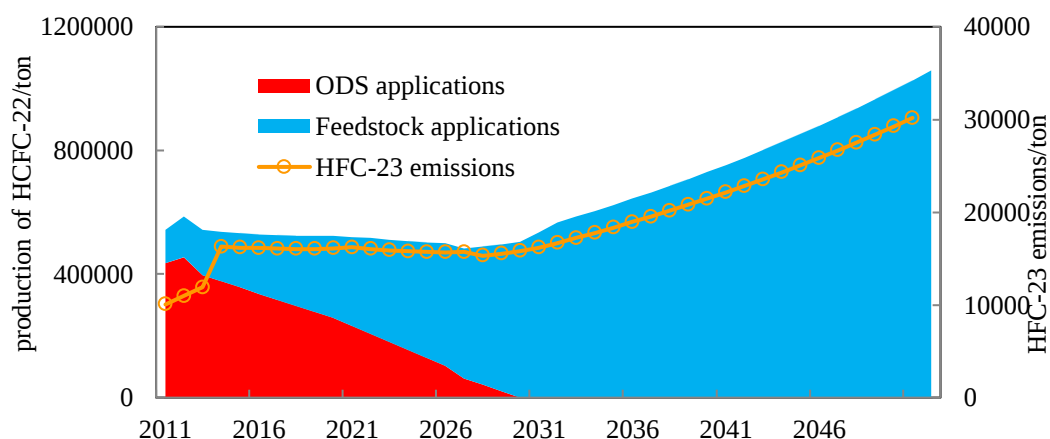


图 20 Projected production of HCFC-22 and emissions of HFC-23(BAU)

减排情景一：焚烧 HFC-23 情景。目前，中国正在实施的 CDM 项目 11 个；焚烧 HFC-23 的量为 5611 吨；但从 2013 年开始，根据目前的国际谈判结果，CDM 项目将不再有国外资金支持，但在原有项目的焚烧设备只要有运行费用的支持，仍可进行 HFC-23 焚烧。假设有其他资金来源的支持，假定所有 CDM 项目设备按设计能力正常运转，从 2013 年至 2020 年其焚烧 HFC-23 的量按比例线性增长达到 2010 年水平，即 2013 年焚烧比例为 0，（因 2013 年已到，但资金尚未落实），2020 年焚烧当年产出量的 35%；从 2020 年至 2050 年焚烧比例线性增长至 100%，2050 年后全部焚烧。

减排情景二：保持 HFC-23 焚烧处理情景：2013 年开始，所有 CDM 项目在其他来源的资金的支持下，仍正常运转；每年减排量与 2010 年 CDM 项目减排量相当，即每年减排 5611 吨 HFC-23，2020 年开始新的设备投入使用，扩大焚烧量，期间线性增加焚烧比例至 100%，即从 2040 年起焚烧所有产生的 HFC-23。

减排情景三：技术优化情景。从 CDM 项目统计可以发现，国内 HCFC-22 生产线 HFC-23 产生率偏高，4 家企业都采用了 3% 的最高值，意味着这部分企业实际产生率大于该值，大部分企业废物产生率在 2% 以上，1 家企业由于没有实测数据采用了 1.5% 的缺省值。另外，统计数据表明，全球 HFC-23 的排放因子在 1.5%-4%，在现有技术下，优化后的设备排放因子可降低至 1.5% (McCulloch and Lindley,

2007)。假设中国企业将通过技术改造,降低 HFC-23 的产率:2013-2020 年 HFC-23 排放因子仍然保持在 2.85%,此后采用技术优化等措施,2021-2040 年线性减少至 1.5%,2040 年之后保持排放因子 1.5%。

情景四:根据 UFCCC 报道,附件一国家的 HFC-23 排放因子,在上个世纪九十年代约为 2%,2003-2007 年已逐步降低至 0.9%,根据美国 EPA 报告中所指出的,2004-2010 美国 HFC-23 排放因子从 1.36 线性递减至 0.76%,0.76%为美国产业统计出可以达到的最低值,因此 EPA 假设在一定的技术条件下,2010 年之后 HFC-23 排放因子保持在 0.76%。此情景假设中国企业通过技术改造可以达到美国企业目前的水平;即 2013-2020 年现有生产线 HFC-23 排放因子线性递减至 2%,2021-2040 年 HFC-23 排放因子递减至美国 EPA 产业统计最低值 0.76%,2040 年之后排放因子保持在 0.76%最低值。

在减排情景一、情景二、情景三、情景四下,2011~2020 年间 HFC-23 累计排放量分别为 551、830、166、422Gg CO₂ 当量;2013~2050 年间累计排放量分别为 7113、8351、3364、6006GgCO₂。技术优化情景(控制排放因子在 0.76%水平)与焚烧情景结果类似。

1.5.3 结论

在中国正常生产 HCFC-22 的 16 家企业中,有 10 家企业 16 条生产线在实施 HFC-23 焚烧清洁发展管理(CDM)项目,年焚烧 HFC-23 的量可达 5611 吨,降低 HFC-23 的实际排放量。但从 2012 年开始,根据目前国际谈判的结果,CDM 项目可能将不再执行。

对基线情景下的 HFC-23 排放进行预测,受控 ODS 用途的 HCFC-22 生产量按《蒙特利尔议定书》规定逐步淘汰,聚四氟乙烯等原料用途的 HCFC-22 生产量随经济增长而逐渐增大,预计到 2050 年,由于 HCFC-22 的生产将排放 30178 吨 HFC-23,折合 447MtCO₂-eq。

到 2020 年,情景一、二、三、四分别累计减排 HFC-23 为 551、830、166、422MtCO₂;到 2050 年,情景一、二、三、四分别累计减排 7113、8351、3364、6006MtCO₂。

采用焚烧技术投资少，见效快，但在一定程度上造成资源的浪费。如果采用技术优化的方式，在高技术优化情景下（控制排放因子在 0.76% 水平）产生的减排量与焚烧减排量相比有较为接近的效果。但从实施成本投入和技术难度上讲，高温焚烧分解技术需要的资金投入相对较低。因此要有效控制 HFC-23 的排放，可考虑焚烧技术和减低 HFC-23 含量技术优化手段的综合利用。

1.6 控制 HFCs 的机遇和挑战

HFCs 被广泛用于制冷剂、发泡剂、溶剂和灭火器等领域，并在生产使用过程中被释放到环境中。HCFC-22 生产过程中释放大量的副产物 HFC-23，需要引起关注。按照《蒙特利尔议定书》，发展中国家将从 2013 年开始冻结和淘汰氢氟氯碳化物（HCFCs），而从发达国家淘汰 HCFCs 的轨迹来看，HFCs 将作为重要的替代品之一替代 HCFCs，这将导致 HFCs 的消费和排放快速增长。如何选择合适的替代品以避免 HFCs 消费的快速增长，对中国来说既是机遇，又是挑战。

1.6.1 中国的 HFCs 排放和减排潜力

1.6.1.1 中国 HFCs 排放

HFC 的排放主要来源于生产、消费和无意排放。根据当前的消费变化趋势和相关行业的发展，中国的 HFCs 消费仍将经历一个迅速增长的阶段。相应 HFC 排放放在 BAU 情景下也将快速增长。

HFC-134a

HFC-134a 主要用作汽车空调与工商制冷行业用作制冷剂和医用喷雾剂。目前，汽车行业是最大的 HFC-134a 消费行业，HFC-134a 的 GWP 值为 1430。2010 年后，中国的汽车产销量将居世界第一。汽车的使用寿命较长，即使在完全淘汰使用 HFCs 后，还会在一个较长的期间内存在排放。随着中国经济的飞速发展，汽车生产量将从现在的 0.18 亿辆增长到 2020 年的 0.26 亿辆。按照 BAU 情景，预计到 2015 年 HFC-134a 消费量将达到 5 万吨，折合 0.7 亿吨 CO₂eq，排放量达到 3.5 万吨，约为 0.5 亿吨 CO₂eq；到 2020 年 HFC-134a 消费量将达到 8 万吨，折合 1 亿吨 CO₂eq，排放量为 0.8 亿吨 CO₂eq。鉴于 2020 年后汽车维修需求的

增加，HFC-134a 排放量将加速上涨。而 2050 年 HFC-134a 消费量预计超过 20 万吨，排放量也将接近 20 万吨(相当于 2.4 亿吨 CO₂eq)。

HFC-410A

HFC-410A 是用 HFC-125 和 HFC-32 混合配制而成，用于房间空调器和工商制冷，其 GWP 值为 2088。中国的空调产销量居世界首位，产出量占世界总量的 75%，总产值约 2300 亿。随着中国经济的发展，空调需求量将持续上升，如果不采取控制措施 HFCs 排放量将增加。据预计，2015 年房间空调器需求量 5932 万台，2020 年房间空调器需求量 7332 万台。结合《蒙特利尔议定书》中 HCFCs 的淘汰进程，假设中国房间空调器行业以 HFC-410A 完全替代 HCFC-22，预测表明，2015 年 HFC-410A 的总需求量 33,000 吨，2020 年 HFC-410A 的总需求量 81,000 吨。而采用 R-290 等任何低 GWP 值替代品（技术），都可以避免或者减少 HFC-410A 的需求。而 2050 年 HFC-410A 消费量预计接近 18 万吨，排放量也将接近 17 万吨(相当于 3.4 亿吨 CO₂eq)。

HFC-245fa

HFC-245fa 用于泡沫行业。根据现有行业计划，采用气候友好的（HC）技术作为目前行业的主要替代技术，从而减少了 HFC-245fa 的使用。可以估算出在非受控情景下，若以 HFC-245fa 替代 HCFC-141b(GWP 值 220)，则在 2015 年 HFC-245fa 需求量为 31,870 吨；在 2020 年，HFC-245fa 需求量为 77,700 吨。

在不采取任何控制政策的前提下，中国的 HFCs 需求预测如下图：

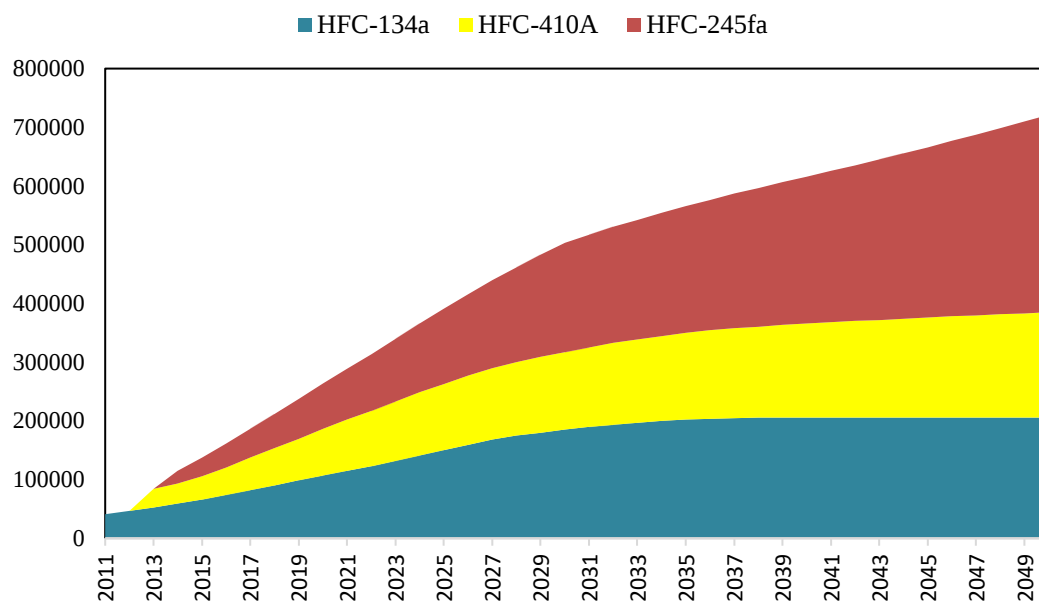


图 21 Demand forecast of HFCs in China by baseline scenario

HFC-23

作为 HCFC-22 生产中的副产物，在 BAU 情景下，到 2050 年 HFC-23 排放量将达到 30178 t，折合 447 MtCO₂eq。

HFC 总排放量

在 BAU 情景下，依照不同行业，不同消费的排放特点，预测出中国的 HFCs 排放量如下图所示（不含工商制冷行业）。根据预测，若不采取控制措施，中国的 HFCs 排放总量在 2015 年为 360 Mt CO₂eq，2020 年达到 500 Mt CO₂eq，2050 年将超过 1000 Mt CO₂eq。

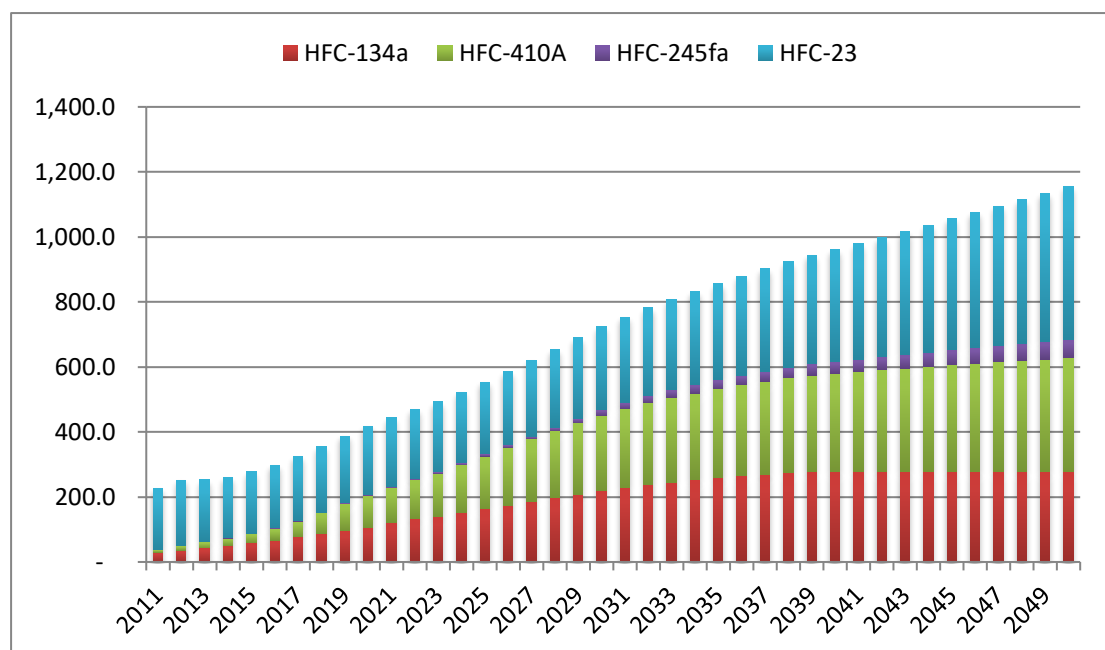


图 22 The predicted emissions under the BAU scenario (图有问题)

1.6.1.2 HFCs 减排潜力分析

中国 HFCs 最大的减排潜力在于：（1）采用技术改造减少 HFC-23 的产生，逐步焚烧处置 HFC-23 以减少排放；（2）逐步替代汽车空调使用的 HFC-134a；（3）在淘汰 HCFCs 过程避免中尽力避免使用 HFCs。由于中国和发达国家技术和经济水平的差异，除 HFC-23 之外，中国 HFCs 的减排潜力主要在 2020 年之后。

汽车空调行业 HFC-134a 的淘汰将采用 HFO-1234yf, CO₂ 等替代技术，预计到 2020 年当年减排量约 4700 万吨 CO₂eq。但 2050 年可实现减排量约相当于 2.4 亿吨 CO₂eq。

根据《蒙特利尔议定书》中 HCFCs 的淘汰进程，中国房间空调器行业从 2013 年起将逐步淘汰 HCFC-22，假设 HFC-410A 逐步替代 HCFC-22，并用 HC-290 替代 HFC-410A；预测表明，2020 年当年的减排量可达 3400 万吨 CO₂eq。而 2050 年实现最大减排量约相当于 3.4 亿吨 CO₂eq；但由于替代技术限制，实现最大减排量尽管成本不高，但是技术的安全性是目前面临的最大问题，实现的不确定性非常高。

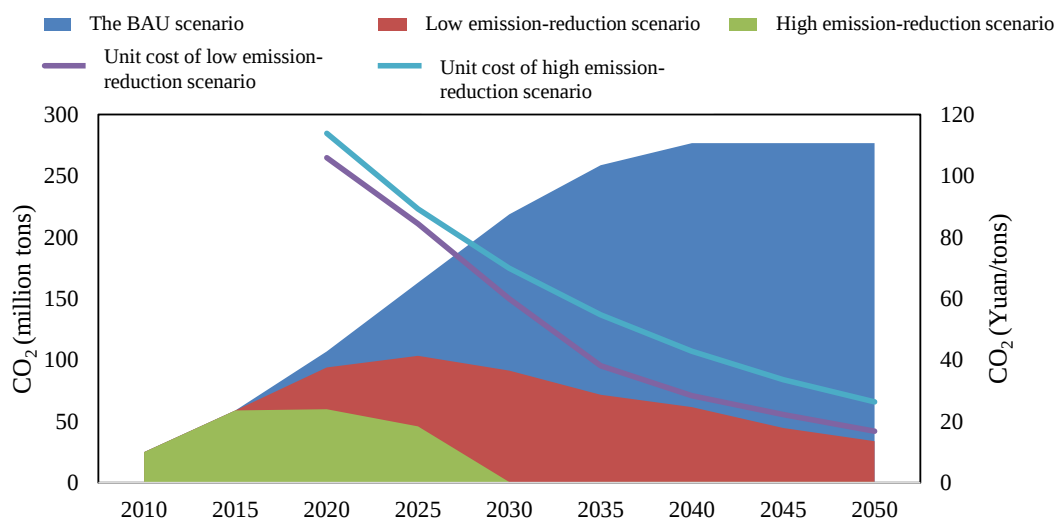


图 23 The HFC-134a emission-reduction potential and cost of the MAC sector

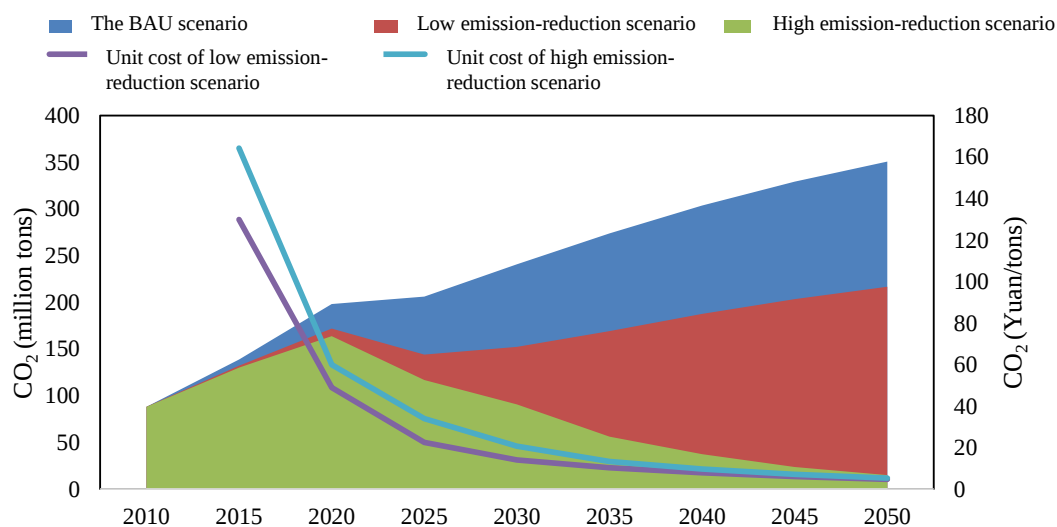


图 24 The HFC-410A emission-reduction potential and cost for the reduction in the RAC sector

根据已经制定的《行业计划》，中国 PU 泡沫行业将从 2013 年开始逐步淘汰 HCFC-141b 的使用，假设以 HFC-245fa 作为替代技术，并用 HC 技术替代 HFC-245fa 的使用，可以估算出在 2020 年减排量为 315 万吨 CO₂eq。而 HFC-245fa 作为发泡剂的保温效果相对较好，对替代技术选择更为困难。

自 2006 年起，中国已陆续实施了 11 个消减 HFC-23 排放的 CDM 项目。截至 2010 年 12 月 31 日，中国 HFC-23 减排 CDM 项目实际销毁 HFC-23 约 2.4 万吨；折合 3.5 亿吨 CO₂eq。但 2012 年后这些项目将到期，如果没有资金支持，企业由于失去经济激励而可能停止焚烧处理 HFC-23，HFC-23 的实际排放量将迅

速增加。为减少排放，企业可采取 HCFC-22 生产技术改造，降低副产物 HFC-23 的含量，或采取焚烧处置技术。如果在其他来源的资金支持下，维持现有焚烧设备的运行，预计在 2020 年，至少可焚烧 5611 吨 HFC-23，其减排量可达 8300 万吨 CO₂eq/年。而 2050 年，预计可实现 HFC-23 排放减排潜力超过 4 亿吨 CO₂ 当量水平。基于现有 HFC-23 的 CDM 项目，减排 HFC-23 的费用低于其他 HFCs 物质。

总之，在今后一段时间内，HFCs 的减排具有很大潜力；将 HFCs 气体减排纳入国家减排温室气体的整体战略中，其对推进国家水平的温室气体减排将做出重要贡献。

1.6.2 机遇

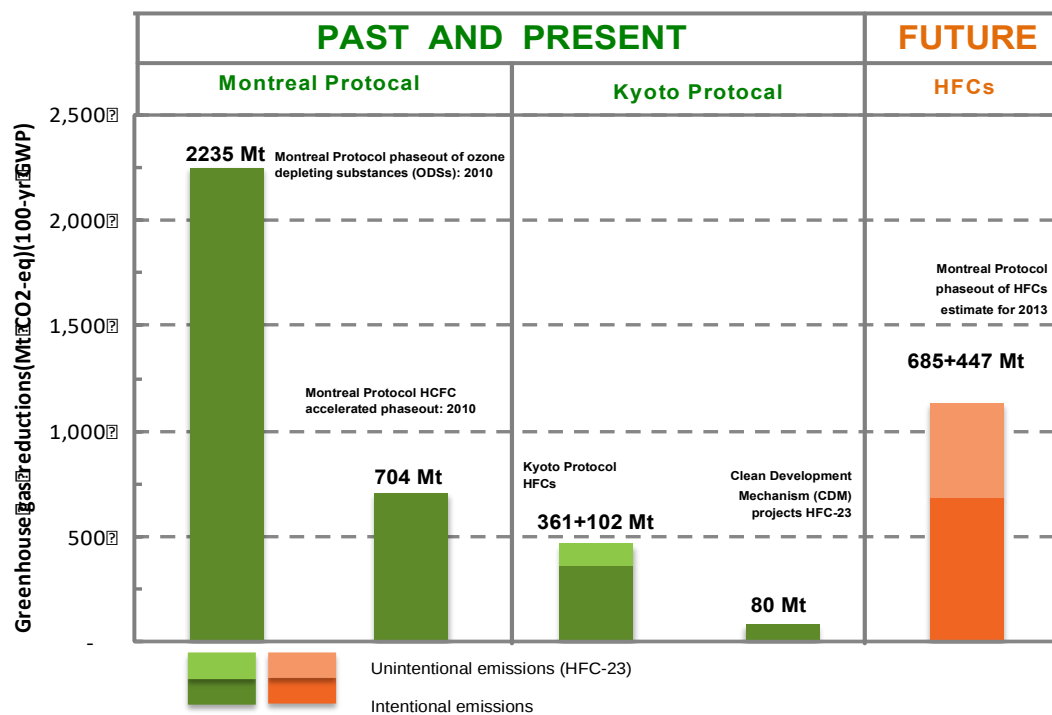


图 25 Climate Protection of the MP and the KP for China

除 HFC-134a 作为汽车空调制冷剂之外，中国其它 HFCs 的消费水平尚处于发展的初级阶段；随着 HCFCs 的淘汰，HFCs 作为替代品，其产销量将迅速上升。目前国际社会为应对气候变化，提出对 HFCs 消费的控制，其对中国相关行业带来了压力，但也为这些行业的技术创新带来了机遇。

1.6.2.1 最佳优先减排温室气体之一

为应对国际社会对控制气候变化的努力，中国政府积极采取行动，改变和优化经济发展模式，在发展经济的同时，保护公众健康和生态环境。中国政府提出了 2020 年将单位 GDP 温室气体排放减少 40-45% 的目标。这一目标的提出，为中国企业改变发展模式提供了机遇，为技术升级换代提供了机遇。

在完成国家对温室气体减排目标的行动中，非 CO₂ 气体排放控制能够在温室气体减排中发挥重大作用；例如德国占 12% 的非 CO₂ 气体减排完成了总减排量的 32%。中国也可以用较小的减排成本，优先减排含氟类温室气体，实现国家的减排承诺。

1.6.2.2 具有相对完备的履约机制

美国、加拿大等国提出建立清洁联盟，共同控制黑炭、甲烷、HFC 等非 CO₂ 温室气体，北美三国提出将 HFC 控制列入《蒙特利尔议定书》控制目标；一方面，这对面临淘汰 HCFCs 的发展中国家来讲，是一个巨大的压力。在目前没有更适宜的替代品的情况下，提出控制 HFCs，无疑加大了 HCFC 的淘汰难度；但是从另一方面讲，对发展中国家来讲也是一个机遇。现在 HFC 等温室气体的淘汰中，缺乏有效的资金机制的支持。发展中国家面临资金、技术等巨大困难。而《蒙特利尔议定书》下的多边基金机制是一个有效并成功运行的机制。如果将 HFC 控制纳入《蒙特利尔议定书》控制范围，无疑为 HFC 的减排提供了有效的基金机制和技术援助机制。

现有控制耗损臭氧层物质的政策管理体系是最适合控制管理 HFCs 的体系，其体现在以下四个方面：（1）从 CFCs、HCFCs 等耗损臭氧层物质到温室气体 HFCs 均是氟化工行业的产品，绝大部分生产和消费 CFCs、HCFCs 的企业，也是生产和消费 HFCs 的企业，也就是说被管理对象基本不变（初步估计 80% 企业参与过淘汰 ODS 的行动）。（2）HFCs 消费应用的行业、产品，基本是 CFCs、HCFCs 消费应用行业和产品；所涉及的产品技术、标准均是相近的。从管理机构、专业、专家绝大部分是相同的。（3）CFCs、HCFCs 到 HFCs 其实均是化学品，其产生的问题也均是全球环境问题，是环境保护部门的职责。（4）现有的控制耗损臭氧层物质的政策管理体系历经 20 余年的发展，建立了从部门、协会、企业、专家、

公众到国际机构参与的机制，已经培养了大批人才，具备了良好的基础。有条件在短时间启动对 HFCs 等含氟温室气体的管制。

1.6.2.3 促进节能减排与技术创新的机遇

由于 HFC 应用技术多与制冷、保温的能量相关技术有关。控制 HFC 的使用，无疑对相关技术的创新提出了新的要求，对提高产品的能源效率提出了更高的要求。其对节能减排，提高能效是一个促进；从而可以推进技术进步、产品更新，促进国际间的合作。因此，减排 HFCs 不仅仅是直接减排温室气体，对保护资源和生态环境也是一个机遇。

中国的能源效率和工业化水平及技术在国际上还落后于发达国家，在替代品替代技术的开发上也不占优势。对于 HFC 的应用，发达国家在技术上比我们更成熟和先进。淘汰 HFC 的使用，对中国企业来讲，是与发达国家站在了同一个起点上，有利于追赶国际先进水平；对中国也是一个机遇。我们可以实现跨越式的淘汰步骤，在 2013 年开始的淘汰 HCFC 的行动中，尽量选择非 HFC 类替代品和替代技术，从而避免二次淘汰；在产品和技术上占据更高的制高点，促进替代技术的进步。

1.6.2.4 有利于节约氟资源

目前应用的氟资源主要来自萤石。世界萤石储量约为 6 亿吨，中国储量约占 54%。近年来全球每年耗用萤石约 460 万吨，其中 60% 供应来自中国。萤石(CaF_2)资源是最主要的氟资源之一，其可用于生产氟化物，应用于军工、冶金、化工、机械、光学仪器、电子等行业。氟资源的国际市场与稀土资源具有相似之处，即中国氟资源供应全球市场的比例远高于中国氟资源占世界全部资源的比例，快速消耗我国氟资源将带来诸多负面影响。氟资源作为一种战略资源，受到国家的高度重视。

我国的氟资源利用在一定层面上面临着类似稀土的出口困境。尽管我国氟资源在全球资源方面并不占有明显丰富的地位，但却供应全球超过 50% 的市场需求。萤石是可用尽且不可再生的宝贵资源。近年来，一些企业对萤石过度开采和生产加工，导致资源保有储量快速下降，环境污染严重，生态环境遭到破坏；另一方面，由于主要产品如 HCFCs 和 HFCs 的全球环境影响，尤其是对气候变暖的影响。

显而易见，节约氟资源的利用，就直接减少了对环境的负面影响，从而达到保护环境的目的。因此，调整我国的氟资源利用对策，节约资源保护全球环境，刻不容缓。

观念是行动的向导。节约氟资源，首先应该建立节约的观念，而氟资源利用节约观念最重要的是有选择地利用氟资源，即将氟资源利用在不可替代或者替代产品价格高，或者氟产品高附加值的领域。如电冰箱行业采用丁烷替代 HFC-134a 就是一个很好的例子。中国采用丁烷作为电冰箱制冷剂，不仅提高了能效，仅供应国内市场的电冰箱还至少每年避免了 4000-5000 吨 HFC-134a 的使用。这不仅减少了数千吨萤石的需求，也相应每年避免了近 600 万吨 CO₂ 当量温室气体的排放。当前消耗氟资源的主要产品 HCFCs 和 HFCs，在许多应用领域也存在替代的机会。

政策制度是实现氟资源节约的必要措施，可有效约束浪费资源或者低效益使用资源。针对我国目前氟资源的开采使用情况，严格控制开采秩序，淘汰破坏资源、污染环境、布局不合理和不符合安全生产条件、技术落后的开采企业，并在环保审批（如环评）等过程控制新增加萤石矿开采的氟化工项目，以及处置开采效率低的项目（企业）势在必行；进一步利用产业结构调整政策，推广高效率、低能耗、环保型新技术、新工艺，推进产业结构调整，并通过提高萤石行业的准入标准，严格规模、技术、节能降耗、环保等方面的要求，淘汰落后生产能力。如针对氟资源利用项目在建设规模及其产业链方面作出要求，提高资源利用效率。

减少国外对我国氟资源的依赖，是提高我国资源利用效率和环境保护的双赢措施。合理引导市场需求，有效缩减萤石的开采量，提高萤石的资源税税率，促使氟产品的质量升级和出口价的提高，从而控制萤石、氢氟酸、HCFCs、HFCs、以及氟初级产品等出口。同时还要谨防萤石出口虽然减少，但氢氟酸等氟初级产品等出口量的增加。借助十二五期间推行的环境税增加上述产品税收，是减少氟资源出口保护氟资源的有效途径之一。

促进氟化工技术升级，更高效使用氟资源。相比发达国家氟资源的利用领域，我国氟资源在许多高技术、高性能、高端产品的应用相差甚远。而多数高端产品不仅性能高，更多显现了较高的环境友好型。如不粘锅涂料、织物整理剂的发展历史从低效率走向高效率的过程，也是产品更加环境友好的过程。通过政策和资金支持，鼓励开发高技术、高性能、高端产品，避免低端使用氟资源，也是对氟资源最好的节约。

节约氟资源，不仅仅是资源的节约，也是保护环境。节约氟资源是从子孙后代、中华民族的长远利益出发，为他们留下充足的资源供他们发展。节约氟资源，

也同时减少对全球环境带来的负面影响，也是保护我们子孙后代、以及全人类的环境。

1.6.3 面临的挑战

在国际社会应对全球气候变化的行动中，中国作为温室气体排放大国和快速发展的新兴经济体也面临巨大的压力和挑战。

1.6.3.1 科学研究显示 HFCs 大气环境浓度升高

不仅 2009 年 PNAS 发表文章预测 HFC 大气浓度将快速增长，有关监测研究结果表明，环境中 HCFC 和 HFC 的浓度正在快速增加。中国仍在大量生产和使用的 HCFCs 和 HFCs 的平均浓度都明显高于全球背景值(为全球背景值的 1.4~4.8 倍)。HCFCs/HFCs 物质的局地排放量及排放强度变化相对较大，其大气浓度变化受到局地排放和气象扩散条件的共同影响，大气浓度时空变化规律更为复杂。从时间变化规律的角度，在局地排放量较大的夏、秋季，HCFCs/HFCs 的整体浓度水平高于冬、春季。从空间分布的角度，大尺度空间东南部高于西部和北部；小尺度空间市区排放量相对较高，其浓度水平也整体上高于郊区。研究结果表明：从时间序列延续发现，HCFCs 和 HFCs 大气浓度正在快速增长；尤其是 HFCs 大气浓度的快速增长，十分值得关注。

1.6.3.2 HFCs 的高需求及其排量的快增长

中国受工业发展水平的限制，工业过程和能量相关技术产品的能耗水平较高，平均能耗是发达国家的 2-3 倍；节能减排技术与世界先进水平差距大。为减少 HFCs 的排放，迫切需要开发新的技术，包括密封技术、循环回收技术等；迫切需提高相关产品的能效水平。由于 HFCs 的应用领域多与能量相关技术产品有关，如制冷设备，保温产品等；在淘汰 HFC 的使用时，还必须考虑产品的能耗改善，即产品的间接排放问题。这对中国的节能技术提出了新的需求和挑战。

从 2000 年至今，中国 HCFCs 和 HFCs 排放量的年均增长率分别达到 25%和 35%。随着中国对 HCFCs 物质的逐步淘汰，HFCs 物质作为替代品在很长的一段时

期内其消费都将迅速增长；其占含氟温室气体排放总量的比例也将逐渐增加，对温室气体排放的贡献将日益增大。从全球来看，HFC-134a 是目前大气环境中浓度最高、全球消费量和排放量最大的含氟温室气体，欧美等发达国家从 2011 年起已开始限制其使用。而中国 HFC-134a 制冷剂的排放量年均增长率保持在 27% 左右，预计 2015 年其排放量将达到 5800 万吨 CO₂-eq。此外，自 2006 年以来，尽管作为副产物排放的 HFC-23 在 CDM 下累计减排了近 3 亿吨 CO₂ 当量，但与此同时，中国每年没有处置的 HFC-23 排放量也在 7000 万吨 CO₂ 当量水平。如果 2015 年 CDM 项目结束并不处置 HFC-23，当年排放将超过 1.5 亿吨 CO₂ 当量的水平。

1.6.3.3 HFCs 替代技术的局限性

中国淘汰控制在用含氟温室气体面临着巨大困难。按照《蒙特利尔议定书》要求，中国将首先淘汰控制 HCFCs 的生产和消费。尽管《京都议定书》没有规定中国的具体控制 HFCs 的义务，但国际社会各种谈判均考虑制定控制时间表，包括针对发展中国家控制 HFCs 的时间表。由于含氟温室气体类物质的特性（基本上满足：无毒、无味、不可燃等）满足环境和安全要求，而要选择技术上可行，又满足环境和安全要求的替代品十分困难；即使有一些满足上述条件的替代品，也基本上被发达国家企业注册专利并受到保护；选择专利保护技术显然成本高昂。因此，替代技术的不足是限制中国淘汰控制含氟温室气体使用和排放的最重要障碍之一。中国对替代品/技术开发和应用滞后，而针对替代 HFCs 产品的技术研究和应用则还没有启动。

1.6.3.4 减排技术研究投入不足

在经济快速发展的同时，中国企业存在的最大风险是研究开发投入不足，缺乏资金支持，企业研发能力不强。面对国际市场的激烈竞争，与发达国家相比，如何提高能效，如何找到合适的替代品，如何不被环境壁垒所困而而丢失市场，对中国企业是一个大的考验。

1.6.3.5 国际社会的压力

当前，中国已成为 HFC 主要的生产国和消费国。以美国、加拿大等国倡导成立的清洁联盟对中国是一个压力；同时北美等国提议将 HFC 纳入《蒙特利尔议定书》控制目标，对中国淘汰 HCFC 增加了难度。

1.6.4 主要的社会和经济影响

1.6.4.1 对相关行业发展的影响

对行业的直接影响主要包括：HFCs 生产企业及其上游原料厂、汽车空调行业、工商制冷行业、HCFC-22 生产企业等。控制管理 HFCs 对绝大部分行业将涉及就业、培训等问题。另外一方面就是生产成本的变化。

汽车行业是经济发展的支柱产业，而空调技术又是汽车技术中的重要部分之一，汽车空调制冷剂的环境效应值得引起关注。按照现有替代技术增加成本估算，减排成本约 100 元/吨 CO₂eq，换言之，如果使用 HFO-1234yf 作为替代品，目前每辆新车因使用替代工质的成本约增加 500 元人民币；而使用 HFC-152a、CO₂ 或其他替代品，会产生其他的增加费用（如空调的能效及汽车的重量发生变化产生的费用）。增加的成本相对于数十万元的汽车来讲影响并不大；中国已经成为世界最大汽车生产和消费市场，采用替代技术将增加汽车产品价格，对汽车市场影响可能不大。但针对中国整个市场来说，每年的增加费用也是巨大的（目前价格水平约 80 亿元）。当然可以预计，伴随替代技术的进步和成本下降，减排成本将逐步下降。采用市场可获得替代技术的优势是社会影响较小，针对汽车维修工的培训需求低，制定和实施新的汽车空调标准的成本和监管成本不会显著增加。

作为房间空调器 HFC-410A 的替代技术成本有限，目前较有可能采用的技术是 HC 技术，减排成本约 3 元/吨 CO₂eq。采用 HC 的直接生产成本并不会增加，但是最值得关注的问题在于目前的替代品是高易燃易爆的工质，无论是生产过程、安装过程和使用过程均存在一定风险；一旦发生事故，可能给企业带来毁灭性影响。而且制冷剂灌装量越大，风险也越大。相当长时期可能只能采取 HFC-32 或者其他非 HC 替代品替代，甚至无法替代 HFC-410A。因此，采用 HC 技术的企业将承担一定的风险。为保证替代工质的安全使用，需要制定大量新的技术标准，

对相关环节的员工进行培训。这都将增加额外的社会和管理成本。从另一方面讲，由于替代技术对管理水平的较高要求，有利于促进企业的技术水平和水平的提高。

1.6.4.2 对环境的影响

实施 HFCs 减排最主要的环境效益就是减少其带来的温室效应，利于控制气候变化。虽然 HFCs 多为无毒的化学品，本身对环境无其他影响。但其生产过程消耗氟资源、消耗硫酸等化工产品；而这些化工产品的生产过程会带来对环境的影响。在可以采用 HC 替代技术的领域，如房间空调行业、PU 泡沫行业，如采用天然工质 R-290 或环戊烷发泡剂，可在一定程度上减少对环境的影响。

此外，采用不同的替代技术带来不同的是间接环境影响。也就是节能与否产生环境影响。如采用替代技术后，一些产品的能效会改变。而能源产业是产生环境污染的典型行业，如火力发电行业等。能效的改变可能导致相关污染物如 VOC、SO₂、NO_x、颗粒物等排放的变化。但如果可以采用节能替代技术，将减少相关污染物排放。

1.6.4.3 彰显中国对保护全球环境（国际履约）的贡献

控制温室气体、减缓气候变化已成为国际社会关注的热点，中国作为温室气体排放大国也承受着巨大的国际压力。随着中国经济的快速发展，排放量不断增加，是中国承受的压力越来越大。中国积极采取措施控制 HFCs 的排放，切实实现单位 GDP 减低 40-45% 温室气体排放的目标，无疑会彰显中国对全球环境问题的重视，对国际履约的贡献，体现中国负责任的大国形象。

1.6.5 可能的减排 HFCs 的措施

面对中国的经济发展需求，我们应该制定切实可行的减排目标，制定适宜的政策和战略，尽早采取行动，争取主动，为减排温室气体，保护生态环境作出贡献。随着中国环境履约活动的开展，中国 HCFCs 的排放对臭氧层耗损和气候变化的影响仍将持续一段时间；而 HFCs 的排放对气候变化的贡献将日益彰显，其影响的定性和定量必将被气候变化领域的科学界、政府官员、公众广泛关注。政府

部门和行业协会应根据本研究识别出的关键物质、关键行业及重点区域制定相应的管理政策和措施，以控制中国 HCFCs 和 HFCs 物质的环境影响。

1.6.5.1 基于现状制定可行的目标，开展重点物质的管理

实上在中国，HFC 的消费刚刚处于起步，加上由于 HCFC 的淘汰部分替代技术不可避免将采用 HFCs，未来几年 HFC 的消费和排放将持续增加。因此，针对 2020 年的减排潜力是非常有限的。但是，HFC-23 作为 HCFC-22 副产物已经大量排放，减排量潜力大。

本研究分析主要两个领域具有一定减排潜力，分别为汽车空调行业 HFC-134a 消费控制和房间空调器行业 HFC-410A 的消费控制。结合本报告的情景分析和发达国家的经验，针对汽车空调行业 HFC-134a 的控制替代可以开始于 2020 年前后（欧盟从 2011 年开始逐步限制汽车空调 HFC-134a），这将比欧盟的控制时间表约晚十年。

作为房间空调器行业 HFC-410A 的控制实际上是避免该行业一些 HFC-410A 的消费，尤其是小的房间空调器产品；结合现有技术和标准制定进程，预计 2015 年后可以避免部分 HFC-410A 的消费和排放，也就是小型房间空调器可以在短期率先采用 R-290 避免部分 HFC-410A 的消费和排放；但房间空调器行业总的 HFC-410A 消费量预计将逐步增加。

无论是汽车空调行业还是房间空调器行业，HFC 的消费和排放总量在未来 5 年都将显著增加，即便是 5 年后可获得替代技术，但由于替代技术推广的时限需求，2020 年前 HFC 的消费和排放预计将总体增加。估算其 2020 年排放潜力大小（增量减少）在很大程度上依赖替代技术的发展，而目前替代技术发展不确定性较大。更进一步准确估算 2020 年的减排潜力依赖未来几年替代技术的发展情况。在现阶段，中国含氟温室气体控制的关键物质为 HCFC-22 和 HFC-134a，其中 HCFC-22 作为《蒙特利尔议定书》控制的物质，其在温室效益方面贡献超过 50%；而 HFC-134a 消费和排放将快速增长。结合履行国际公约，具体的减排措施可以从两个方面开展：一方面通过选择替代品或者技术改进等手段，减少新产品中化学品的消费量并降低其泄露水平；另一方面通过对报废产品中的化学品开展回收处理以减少库存产品中的排放。但具体落实选择替代品或者技术改进等手段还需要对

政策、技术进行广泛评估和研究，需要从环境、社会、技术和经济等角度开展研究，做出恰当的管理对策。

1.6.5.2 科学地判断含氟温室气体对气候变化的影响

针对含氟温室气体的排放和影响的研究对确定针对气候变化的对策十分重要。一是需要明确含氟温室气体的排放现状，了解从行业到具体排放源的情况；即利于对排放情况的估算；也利于建立排放源清单，利于今后开展对排放源的管理。二是需要掌握其发展规律和趋势，以从科学上判断其对气候变暖的（影响）贡献，识别出含氟温室气体相对于 CO₂、CH₄ 和 N₂O 等温室气体的变化和影响，研究其减排潜力，以便于对含氟温室气体实施管理的分析。

1.6.5.3 建立控制排放资金保障体系和推动替代和减排技术应用

在 HCFCs 的淘汰替代过程中，一方面要慎重选择 HFCs 替代品，另一方面可以从改进技术、加强回收处理等角度采取措施，以降低 HFCs 物质的排放。而最终的目的，将逐步减少含氟温室气体（HCFCs 和 HFCs）的消费。

含氟温室气体最主要的相关消费行业一是相对消耗大量能源的制冷和空调行业，二是用于保温节能的泡沫板材等相关行业。也就是说含氟温室气体产品也是与气候变化息息相关。因此，推动这些领域技术进步，积极投入资金和技术开发节能环保的产品是十分重要，也是双赢的局面。研究开发适合中国国情的替代技术十分重要，这也是这一领域的创新需求。而结合国际社会的资助，如多边基金、全球环境基金，建立激励机制有助于这一领域含氟温室气体的控制和淘汰。

1.6.5.4 完善中国控制排放的相关法律法规制度

参照国外经验，命令控制型政策是消除含氟温室气体的根本方法，为保障实现命令控制型政策目标。因此，必须结合中国现有法律法规，制定有关政策措施限制和减少含氟温室气体排放，需建立政府主导，企业为主体和行业、公众参与的控制含氟温室气体排放机制，同时需要提供技术可行、经济有效的技术和资金支持、政策扶植。除此之外，通过政策法规减少不必要的含氟温室气体需求、提高相关产品密封性、回收循环利用、提高能效等也是有效的控制措施。