



关于发展中国家 HCFC 替代战略的若干思考

中国建筑科学研究院 汪训昌[☆]

摘要 针对目前发达国家对发展中国家加快淘汰 HCFC 所施加的压力,论述了臭氧耗损与气候变化两个全球环境问题的相互影响、两项国际议定书的缺陷;分析了现有 HCFC 替代物的不确定性和未来 HCFC 替代物的筛选原则;提出了对我国替代与逐步淘汰 HCFC 战略的几点认识与建议。

关键词 氢氯氟烃 氢氟烃 蒙特利尔议定书 京都议定书 臭氧层 全球气候变暖 臭氧耗损物质(ODS) 温室气体(GHG)

Some considerations on alternatives to HCFCs strategies in developing countries

By Wang Xunchang[★]

Abstract Against the recent pressure exerted by some developed countries for shifting the schedule of HCFCs phasing-out to an earlier date in developing countries, discusses the interaction of two global environment issues of ozone depletion and climate warming, and the defects in two international protocols. Analyses the uncertainties of existing substitutes for HCFCs and the screening principles of future HCFC substitutes. Provides some suggestions and recommendations for substituting and phasing out HCFCs in China.

Keywords HCFC, HFC, Montreal Protocol, Tokyo Protocol, ozone layer, global climate warming, ozone depleting substance, greenhouse gas

★ China Academy of Building Research, Beijing, China

①

0 引言

2007 年既是《蒙特利尔议定书》签订 20 周年,又是《京都议定书》签订 10 周年,这是两项目前参加签订国家最多、对人类生存环境影响最为深刻的全球环境国际条约。我国政府自 1991 年 6 月核准参加《蒙特利尔议定书》伦敦修正案和 2002 年 9 月核准参加《京都议定书》以来,一直以一个负责任的发展中大国积极参与和认真履约,在淘汰 ODS 上我国政府已经提前两年半完成了 CFC 与哈龙的生产和消费的淘汰;在削减温室气体排放方面,在全国范围内开展了节能减排、计划生育、植树造林、退耕还林活动,有效地减少了温室气体的排放,并在“十一五”规划中规定了单位 GDP 产值减少能耗 20% 的目标,污染排放减少 10% 的目标,其实际减

排效果已远超过欧盟在《京都议定书》中所承诺的到 2012 年减排温室气体 8% 的指标。这一切充分体现了中国人民为保护全球环境做出的值得自己骄傲的贡献。

但是某些发达国家一方面竭力回避与淡化自己在破坏全球环境上应负的历史责任,担心减排行动对其本国经济造成过重负担而拒绝批准《京都议定书》,另一方面又要胁迫发展中国家承担强制性减排义务,不顾人口众多的发展中国家发展的实际需要,夸大其因技术经济落后的高排放率,尤其对

①☆ 汪训昌,男,1936 年 3 月生,研究生,研究员
100013 北京市北三环东路 30 号
(010) 84274556
Email: xunchangwang@263.net.cn
收稿日期:2007-09-18

中国的经济高速发展宣传为“中国环境威胁论”,以保护臭氧层和减缓全球气候变暖名义,提出了种种方案来限制发展中国家发展。这是发展中国家为维护自己民族、国家的利益所不能接受的。因为臭氧层耗损与气候变化既是环境问题,也是发展问题,但归根到底是发展问题。

1 形势与压力

由 NOAA(美国国家海洋与大气管理局), NASA(美国国家航空航天局), UNEP(联合国环境规划署), WMO(世界气象组织), EC(欧盟)五个机构联合编写的 2006 年臭氧耗损的科学评估^[1] (2007 年 2 月发表)的执行摘要中指出:“《蒙特利尔议定书》正在发挥作用:有证据清晰证明,大气中的 ODS 负荷在减少,同时平流层臭氧恢复也有了一些早期信号”,但“由于 ODS 对臭氧层的耗损,其长期恢复预计需要花费 21 世纪中很多时间,并估计出现恢复的时间要比在前一次评估(2000 年)中所估计的时间要更晚一点”。“要预测未来臭氧富余度,关键是要了解臭氧耗损与气候变化之间的相互关系”,“未来温室气体浓度的增加将对平流层起到平均冷却作用”,“大气中化学反应速度取决于温度,因此臭氧的浓度对于温度变化是很敏感的”。该报告明确地告诉我们,温室气体的排放与大气中温室气体浓度的增加,不但引起对流层温度上升,导致全球气候变暖,同时还会引起平流层温度降低,延缓臭氧层恢复的时间。

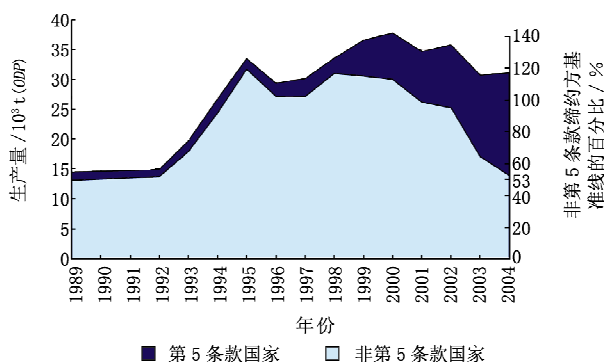
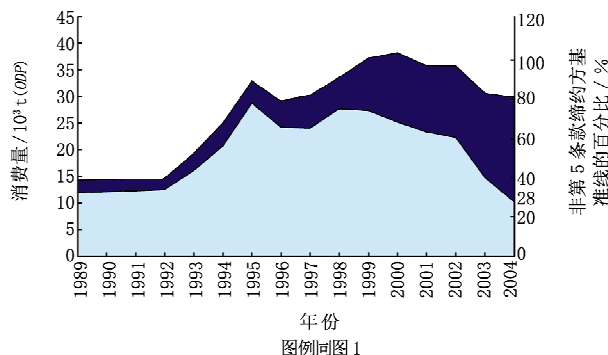
《蒙特利尔议定书》哥本哈根修正案明确规定,发展中国家淘汰 HCFC 的时间表定为把 2016 年的 HCFC 的生产量与消费量冻结在其 2015 年的生产量与消费量水平上,到 2040 年完全停止生产和消费。

我国经济近 10 年的快速发展,带来了人民生活水平的迅速提高与城市化进程的加快,促进了空调制冷产品的普及与行业发展,在此基础上又推动了我国氟化行业的发展。鉴于发展中国家过去 10 年拥有自主的 HCFC 生产与应用的知识产权,故一般发展中国家都是采取了以 HCFC 替代 CFC 的技术路线。近几年我国氟化行业 HCFC 的生产能力和生产量与过去相比,有了突飞猛进的发展,其中尤其是 HCFC-22 的生产,生产能力已达 40 万 t/a,实际产量已达 30 万 t/a^[2]。与此相对比,按照《蒙特利尔议定书》哥本哈根修正案对发达国家

的要求,他们都已进入了淘汰 HCFC 第一个 10 年的末期,他们的 HCFC 的生产量与消费量理应自然地开始迅速下降。按这两类国家近两年的 HCFC 的绝对数值统计来看,似乎发展中国家发展得超常了,我国国内某些学者、教授也认为过快了,一些发达国家与 UNEP 的官员更是表示惊讶与担忧,并提出了警告。在此背景下,2007 年 3 月 16 日 UNEP 臭氧秘书处公布了对《蒙特利尔议定书》建议的 6 个调整案的提案^[3],这 6 个提案分别由密克罗尼西亚联邦、毛利塔尼亚、毛里求斯、美国、阿根廷、巴西、冰岛、挪威与瑞士 9 国提出,其核心内容是要调整发展中国家淘汰 HCFC 的时间表的期限。提案包括三方面的内容:1) 把冻结 HCFC 生产量与消费量的基准年从 2015 年提前到 2010 年或 2006 年;2) 把 100%淘汰 HCFC 生产量与消费量的结束年限从 2040 年提前到 2030 年;3) 在冻结的基准年至 2030 年之间,再设置核查淘汰的分阶段目标。而在发达国家向发展中国家提供无偿技术转让和资金援助方面讲得很含糊,条件却很苛刻。

这 6 个提案都回避了三方面的情况:1) 发展中国家与发达国家在技术经济水平上与人民生活水平上的差距;2) 发展中国家目前的人均 HCFC 生产量与消费量和发达国家历史上最高年份的人均 HCFC 生产量与消费量的差距;3) 发展中国家与发达国家在历史上的累计总 ODS 的生产量与消费量的差距。

下面引用 UNEP 数据库中的统计数据^[4]来说明上面的情况。图 1 与图 2 显示了发达国家与发展中国家 1989—2004 年 16 年期间 HCFC 的生产量与消费量的变化趋势(请注意,这里尚未包括 1989 年以前的数据,因为在 1989 年前发展中国家的更少,差距更大)。图 1,2 充分说明,发达国家向大气中排放 HCFC 总量的历史责任高于发展中国家好几倍(请注意,这里算的还只是总量,若按人均量来计算可能要相差几十倍)。从 2004 年的生产量与消费量的总量来看,虽然发达国家的生产总量只是稍小于发展中国家,消费总量是发展中国家的 53%,但从其 2004 年的人均生产量与消费量来看,就大于发展中国家好几倍。此外,再对比一下目前发达国家与发展中国家的制冷空调的普及程度,即使拿发展较快的中国与美国、日本来对比,无

图1 发展中国家与发达国家 HCFC 生产量的变化趋势^[4]图2 发展中国家与发达国家 HCFC 消费量的变化趋势^[4]

论是制冷空调产品的人均拥有量，还是人均制冷剂消耗量均相差好几倍。表1给出了我国2005年HCFC的人均生产量与人均消费量与美国、日本的最高年份相对比的数据，说明美国、日本是我国的3.5~5.6倍。

表1 我国 HCFC 的人均生产量、消费量与
美国、日本的比较^[4]

	人口/亿		HCFC/ t(ODP)	最高年份	基准线/ t(ODP)	人均量/ (g/人)	相对值/ %
中国	12.39	生产量	18 101.2	2005年		14.6	100
		消费量	11 928.0	2005年		9.6	100
美国	2.63	生产量	15 297.6	1998年	15 389.6	58.1	389
		消费量	14 139.9	1998年	15 248.4	53.7	559
日本	1.26	生产量	6 296.2	1995年	5 645.4	50.0	342
		消费量	5 748.7	1995年	5 554.9	45.6	475

因此，上面9国的6个提案要求发展中国家提前冻结 HCFC 生产量与消费量的基准年限是不公平的，实际上是在“为保护臭氧层，加速淘汰 HCFC”

的旗号下，限制了发展中国家人民生活水平的普遍提高的要求。我们应顶住发达国家所施加的压力，坚持“共同而又有区别责任”的原则，竭力维护发展中国家的利益，在不明确发达国家将向发展中国家提供怎样的无偿技术转让和资金援助，以及其取消苛刻援助条件下，抵制有关提前冻结和提前结束淘汰 HCFC 的任何谈判。

2 两个全球环境问题的相互影响

UNEP 2006 年评估报告《臭氧的环境影响和它与气候变化的交互作用》^[5]指出，经过最近几年的卫星、气球、飞机与地面的观测以及大量的模型研究，弄清了臭氧耗损、UV 辐射与气候变化的交互作用，既有气候变化对臭氧耗损的影响，又存在着臭氧耗损对气候变化的影响，并且还存在着一些可能影响臭氧耗损与气候变化的其他因素。图3给出臭氧与气候的相互反馈关系^[5]。

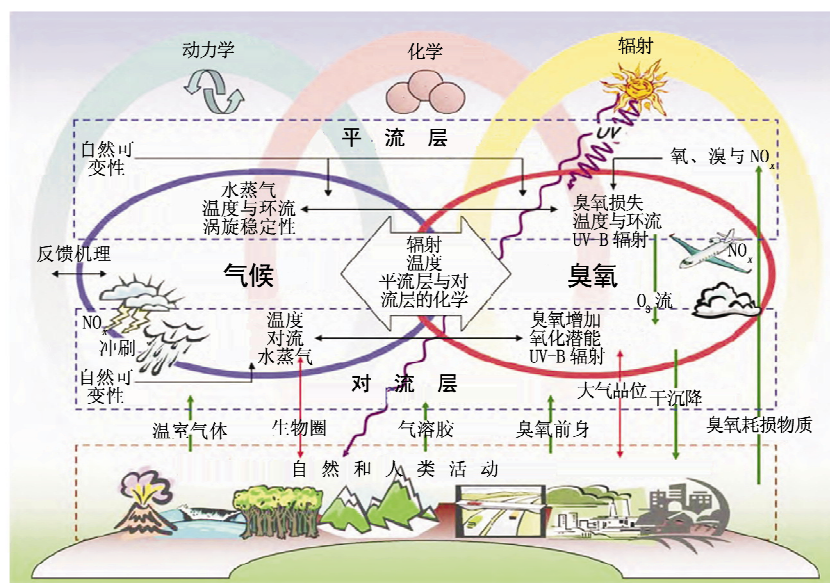


图3 臭氧与气候的相互反馈关系

图 3 形象地描述了臭氧与气候不但受到地面、海洋面的一些自然与人为活动的影响,同时通过动力学、化学、辐射三种过程在平流层与对流层中的作用,产生臭氧与气候之间的交互作用,深刻地说明了我们在寻找与筛选 CFC 与 HCFC 替代物过程中不能执行只考虑一定要其 ODP 为零,而却不考虑其大气寿命的长短和 GWP 大小的片面规定。如果选用了 ODP 虽等于零、但其大气寿命很长、GWP 很高的替代物,那就不但会加剧全球气候变暖,而且还会延缓平流层中臭氧层的恢复。

3 两项国际议定书的缺陷

自 1992 年 11 月在哥本哈根召开的第 4 次缔约方大会上形成了《哥本哈根修正案》后,把 HCFC 物质由过渡性物质修改为受控物质,就形成了一条凡 ODP 不等于零的所有氢氯氟烃(HCFC)都被列入要被替代淘汰的无形规则,单纯地只考虑保护臭氧层,根本不考虑其大气寿命的长短和 GWP 值的大小,以及对全球气候变暖的影响的大小。

自 1997 年 12 月 11 日在京都召开的《联合国气候变化框架公约(UNFCCC)》第 4 次缔约方大会上通过了《京都议定书》后,把 CO_2 , CH_4 , N_2O , HFC, PFC 与 SF_6 六类气体列为受控要减少排放的温室气体后,就形成了一条凡属于 HFC 的所有气体都被列为要被减排不能使用的无形规则,根本不考虑其大气寿命的长短和 GWP 值的大小。其结果是把国际制冷空调界与氟化行业在通过了《哥本哈根修正案》之后被看好的 CFC 与 HCFC 的理想替代物 HFC 类制冷剂一下子全给“枪毙”了。因而在欧洲出现了回归自然,禁止使用一切 HFC 制冷剂的浪潮,掀起了推行氨、氢烃与 CO_2 的天然工质运动。而不考虑其能效高低、安全性与价格等方面所存在的工程实际问题。

在国际制冷空调界与氟化工业中,近 20 年在寻找与筛选 ODS 替代物的认识上和行动上的反复与矛盾,以及所走的弯路,都是由于在这两项议定书中所隐含的片面性、简单化与绝对化及孤立地处理两个全球环境问题所造成的:

1) 在《蒙特利尔议定书》中只强调 ODP 与保护臭氧层,不考虑气候变暖;在《京都议定书》中只强调 GWP,不考虑温室气体的排放与气候变暖也会影响到平流层臭氧层的恢复。

2) 在《蒙特利尔议定书》中不管实际 ODP 的

大小之差别,导致把所有 HCFC 都列为要淘汰之物;在《京都议定书》中不比较实际 GWP 的大小,导致把所有 HFC 都列为要减排、禁止使用之物。

3) 在《蒙特利尔议定书》与《京都议定书》中,都没有看到和没有强调大气寿命(τ)的重要性与含意。实际上大气寿命短的 HCFC 气体,一般其 ODP 值极小, GWP 值也很小,而大气寿命短的 HFC 气体,不但 ODP=0,而且其 GWP 值也会很小。从 ODP 和 GWP 值的计算公式也可明显看出大气寿命(τ)对 ODP 与 GWP 的计算结果具有支配作用^[6]。从大气寿命(τ)的物理概念上讲,大气寿命(τ)短于 2 a 的气体,其积累作用就很小,因此其耗损臭氧层的时间和温室效应的影响时间就短,危害程度也就很低。

现在开始有较多的人从这片面性、简单化与绝对化的“死胡同”走出来了。在欧洲已把 GWP 低于 150 的 HFC 从要减排、禁用的温室气体名单上勾销了,一些科学家与大气学学者也提出了要把大气寿命只有 1.3 a, ODP=0.02, GWP=72 的 HCFC-123 从要淘汰的 HCFC 名单上排除掉的建议与提案。但是,这种科学、合理的建议要落实到这两项国际议定书的条款文字上,真正修改掉这两项国际议定书的上述缺陷,恐怕还要等待好几年。

4 现有 HCFC 替代物的不确定性

在上世纪 90 年代上半期,在伦敦修正案的指引下流行用 HCFC 和 HFC 替代 CFC 的技术路线与各种替代方案;到了 90 年代后半期,在《哥本哈根修正案》的指引下流行以 HFC 替代 CFC 与 HCFC 的技术路线与各种替代方案。因此,到了上世纪末,所有的 HFC 制冷剂几乎成了“替代明星”,号称为“长期替代制冷剂”,其原因就是因为《蒙特利尔议定书》实际上形成了一条不论 GWP 多高,不管大气寿命(τ)多长,凡 ODP=0 就是环保的、因而是绿色的指导思想。

自 1997 年末通过了《京都议定书》后,动摇了 HFC 的“明星地位”,到了本世纪初的前 5 年,欧洲一些国家发起了淘汰 HFC 的运动,并在少数国家通过了限用与禁用的国家法令与法规,而美国与日本等国为此通过 ICARMA(国际空调制冷制造商协会)组织向欧洲发起了为 HFC 辩护的游说运动。到了 2006 年初,欧洲议会通过了 F 气体管制条例与新的汽车空调指令,做出了 2011 年后在新

生产汽车空调中禁止使用 GWP 值大于 150 的制冷剂,并在 2017 年后扩大到所有汽车空调的规定。紧接着杜邦与霍尼韦尔公司分别向全球宣布已找到了替代汽车空调中 HFC-134a 的、GWP 很低的新制冷剂 DP-1(尚未公布组分,但进行了全球 LCCP 分析)与 Fluid H(由四氟丙烯($\text{CF}_3\text{CF}=\text{CH}_2$)和三氟碘甲烷(CF_3I)所组成二元混合物),美国通用汽车、德尔福汽车公司也宣布采用 HFC-152a 替代 HFC-134a 的成功,并受到了美国汽车工程师协会的好评,从而彻底动摇了“HFC-134a 为长期替代制冷剂”的神话。

与此同时,在美国、日本与欧洲,鉴于能效与滑移温度的原因,原先采用 R407C 替代 R22 的许多制冷空调产品,近 2 年都改为采用 R410A 了,使 R407C 只拥有了短短的六七年应用历史。但是 R410A 的 GWP 值为 2 100,比 R22 的 GWP 值高了 290,而 R410A 中的一种 R125 成分的大气寿命为 29 a,是 R22 的 2.4 倍。因此,人们有理由怀疑 R410A 究竟能应用多长时间。随着杜邦、霍尼韦尔公司对 R407C 与 R410A 专利权在 2011 年的终结,可以预计,为了自身的生存与发展,他们在国际市场竞争中必然会推出新一代低 GWP 值的替代制冷剂。

从保护全球环境角度看,无论是 TEAP 的 2006 年环境评估,还是 IPCC 的 2007 年的第四次评估报告,最近几年的全球观测均已证明,由于近几年 HFC 替代制冷剂在发达国家的推广使用,大气中的 R134a 浓度在 1998—2002 年间以 12%/a 的速度急剧增长(估计 2005 年后会更快),影响全球气候变暖的辐射强迫指标的 LLGHG 组分气体,卤烃已由第 4 位上升到第 3 位^[7],因此,在寻找与筛选 HCFC 替代物时必须考虑对全球气候变化的影响已是一个在国际上达成共识的科学结论。

综上所述,现有的 HCFC 替代物,就目前的科学技术发展水平和实际存在的问题而言,均存在很大的不确定性。

5 未来 HCFC 替代物的筛选原则

近 140 年的制冷剂的选用与应用历史,尤其近 20 年的实践清楚地告诉我们,热力学性能是选用制冷剂的依据,安全性是应用制冷剂的可靠保证,环境友善性是筛选制冷剂的必要条件。

表 2 中给出了常见卤烃制冷剂的环境评价指标、理论 COP 与安全分级,不难看出其中 HFC 替代

制冷剂都具有很长的大气寿命与很高的 GWP 值,如果广泛、大量地使用它们并最终排放到大气中去,经过十几年的积累,必然会加剧全球气候的变暖。

表 2 常见卤烃制冷剂的环境评价指标、理论 COP 与安全分级

制冷剂名称	大气寿命 τ/a	ODP	GWP	理论 COP	ASHRAE 34 安全分级
低压 CFC-11	45	1.000	4 750	7.57	A1
HCFC-123	1.3	0.020	77	7.44	B1
中压 CFC-12	100	1.000	10 890	7.06	A1
HFC-134a	14.0	0	1430	6.94	A1
高压 HCFC-22	12.0	0.050	1 810	6.98	A1
HFC-125	29	0	3 500	6.08	A1
HFC-32	4.9	0	675	6.74	A2
混合制冷剂 R407C (R32/125/134a)	(4.9/29/14)	0	1 800	6.78	A1
R410A (R32/125)	(4.9/29)	0	2 100	6.56	A1

注:1) ODP, GWP, 大气寿命数据源自 2003 年联合国《蒙特利尔议定书》臭氧科学评估报告书。

2) 理论 COP 源自 REFPROP program from NIST (1994) (工况:蒸发温度 4.4 °C,冷凝温度 37.8 °C,饱和条件)。

总结近 20 年筛选 CFC, HCFC 的替代制冷剂的经验教训,我们应摒弃片面、简单化与绝对化的思想方法与指导原则,因为单纯地强调 ODP 必须等于零,就“枪毙”了所有的 HCFC;如果我们把所有的 HFC 都简单地和绝对地列为必须要减排禁用的温室气体,就必然会“枪毙”掉所有的 HFC;但是,如果我们科学地抓住了耗损臭氧层与气候变化的核心问题,即卤烃物质的大气寿命(τ),问题就可迎刃而解了。因为卤烃物质对于大气环境的危害根源在于其中大部分都具有十几年乃至上百年的寿命。它们的累积效应造成了臭氧层的耗损与不能短期恢复,同时还造成了温室气体的长期积累与全球气候的变暖。因此,新一代 HCFC 的替代物应该是大气寿命(τ)小于 2 a, ODP 值小于 0.02 和 GWP 值小于 150 的单一成分或混合成分的人工合成的或天然的制冷剂。

对于天然工质,我们也应摒弃过去的一些绝对化与简单化看法,如氢烃与氨虽是易燃、易爆气体,但是当限制其充灌量、或应用于复叠式系统与间接系统、或采用了可靠的安全报警装置,它们就可以安全地使用。再如 CO_2 ,虽然其热力学性能不如 CFC 那样好,并且临界温度较低,但利用其跨临界制冷循环已经成功地应用于汽车空调和热泵型热水器以及低温冷藏复叠式系统的低温级。

由此可见,未来的制冷剂必将综合考虑“性能、

安全、环保”三大要素,将是一种多元化的选择,决不会再是由二三种制冷剂“包打天下”的局面。

6 关于在我国替代与逐步淘汰 HCFC 战略的几点认识与建议

关于 HCFC 的替代,尤其是 HCFC-22 的替代,最后还是要落实到我国到底应采取什么战略的问题上,综合上面分析,笔者提出以下几点认识与建议:

1) 对于 HCFC 替代制冷剂的寻找与筛选,除了保护臭氧层之外,必须考虑到其对全球气候变暖的影响,按照科学原理选用大气寿命(τ)短,ODP 值与 GWP 值均小,热力学性能优良,并在一定条件下能确保安全使用的制冷剂。

2) 要考虑国情,维护国家利益,坚持发展中国家负有与发达国家“共同而又有区别的责任”的原则,某些发达国家要求把发展中国家 HCFC 生产量与消费量的冻结年限与完全淘汰期限的提前的议案,实际上是一种扼杀发展中国家自主创新能力和阻止与限制发展中国家制冷空调行业与氟化行业快速发展的战略,试图让发展中国家永远成为发达国家跨国垄断公司可以一轮又一轮地推销他们新产品的市场。

3) 要总结过去十几年淘汰 CFC 的经验教训,在今后的国际谈判中,要把无偿的技术转让放在第一位,因为发达国家有限的资金援助,如果我们不掌握和不拥有自主的核心技术,实际上是从他们的左边口袋中掏出来给我们的钱,最后还是要让我们归还到他们右边口袋中去。而我们用他们的钱所买来的往往是落后的、甚至即将淘汰的技术。

4) 要清醒地认识到,发达国家跨国垄断公司决不会轻易地无偿转让技术,因此《蒙特利尔议定书》赋予发展中国家淘汰 ODS 的 10 年宽限期,乃是发展中国家研发新型替代产品与技术的大好时机,也是摆脱和消耗掉跨国垄断公司专利权期限的良好办法,我们不能轻易放弃。

5) 在考虑淘汰 HCFC-22 的时间表时,既要注意上游氟化行业的技术储备与资金条件,还应考虑下游制冷空调行业的技术准备与应用条件,而且下游的制冷空调行业的新型替代产品的研发又受到更多的其他行业如电动机、润滑油、电绝缘、精密机加工等行业的制约。因此在制订我国的 HCFC 淘汰时间表时一定要作好全面、深入、系统的调查研究,并进行使用寿命期的经济成本分析。

6) 鉴于制冷空调行业是在密闭系统中使用制冷剂的这一特点,应把加强制冷剂管理和负责任使用制冷剂作为一项保护臭氧层与减缓全球气候变暖的重要环节来抓,提高制冷空调产品、设备和系统的密闭性,降低泄漏率,不断改进与提高能效,减少制冷剂的充灌量,建立一套完整的制冷剂的维修回收与报废回收的体制与体系,实际上是当前制冷空调行业比寻找新型替代方案更为紧迫、更需要先行、更能有效保护臭氧层与减缓全球气候变暖的有效措施。

7) 对于 HCFC,尤其是 HCFC-22 的替代技术与替代方案在尚未明朗,尚未成熟,尚未经过严格、完全、公开与公正的系统试验和较长时期的运行检验之前,既要大力保护国内外研制单位对于一些新型替代物的知识产权,又要严禁商业化宣传与炒作,并且要严防借政府政策来推广与垄断。建议国家环保总局应及时地建立一套严格、完全、科学、公开与公平的替代技术与替代方案的检验、审评的制度、机构与管理体系。

参考文献:

- [1] NOAA, NASA, UNEP, et al. Scientific assessment of ozone depletion: 2006 executive summary [R/OL]. [2007-02]. <http://www.unep.org/ozone/>
- [2] 韩敏. 制冷剂:2006 年供求全面失衡[J]. 电器供应商情, 2007(3):6
- [3] UNEP Ozone Secretariat. Proposed adjustment to the Montreal Protocol[R], 2007
- [4] UNEP Ozone Secretariat. Production and consumption of ozone depleting substances under the Montreal Protocol 1986—2004[R/OL]. [2007-03]. <http://www.unep.org/ozone/>
- [5] UNEP. Environmental effects of ozone depletion and its interaction with climate change: 2006 assessment [R/OL]. [2007-12]. <http://www.unep.org/ozone/>
- [6] NOAA, NASA, UNEP, et al. Scientific assessment of ozone depletion [M] // Chapter 8 Halocarbon scenarios, ozone depletion potentials, and global warming potentials [R/OL]. [2007-02]. <http://www.unep.org/ozone/>
- [7] IPCC Working Group I. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing [R/OL] // Fourth assessment report chapter 2. [2007-05]. <http://www.ipcc.ch/>