

中国家用电冰箱与房间空调器全生命周期中非 CO₂ 温室气体减排潜力研究报告

承担单位： 中国家用电器研究院

合作单位：
中国家用电器检测所
北京师范大学
中国氟硅有机材料工业协会
中国家用电器服务维修协会
格力集团
海尔集团
美的集团
深圳市格林美高新技术股份有限公司
华新绿源环保产业发展有限公司
四川长虹电器股份有限公司

2015 年 1 月

项目负责人：刘挺，田晖

主要研究人员：王星，吴尚杰、单明威，蔡毅、蔡宁、齐云、
牟欣强、尹凤福、刘智勇、晏禾勉、苑杰、
潘晓勇、彭玲、赵吝加

摘 要

中国是家用电冰箱和房间空调器的生产和消费大国。目前国内销售的新电冰箱，制冷剂为 HC-600a，发泡剂为环戊烷；国内销售的新房间空调器，制冷剂为 HCFC-22 和 HFC-410A。废弃的电冰箱，极少部分 CFC-12 为制冷剂，CFC-11 为发泡剂。房间空调器制冷剂替代研究正在进行，但替代方案在业内还未形成共识。由于电冰箱和空调器的维修和回收（收集）环节存在较大的排放隐患，制冷剂的回收效率较低，并且目前制冷剂的处置技术不够完善，因此本项目从家用电冰箱和房间空调器全生命周期（生产、使用、维修、回收（收集）、拆解处理环节）角度研究电冰箱制冷剂/发泡剂和空调器制冷剂的使用现状及替代趋势。

本项目在分析国内外家用电冰箱和房间空调器制冷剂/发泡剂回收、再利用及处置现状，通过问卷调研、现场调研、专家咨询等方式，开展家用电冰箱和房间空调器生产企业、维修企业、回收企业调研的基础上，设计了家用电冰箱和房间空调器全生命周期各环节排放量的计算模型，并在行业调研基础上计算出家用电冰箱和房间空调器基线和理想情景排放量，得到了家用电冰箱和房间空调器全生命周期非 CO₂ 温室气体减排潜力。同时，分析不同影响因素对排放量的影响，筛选出最可行减排情景。在模型及预测结果的基础上，通过引入不同的技术手段、政策法规和鼓励措施，提出有利于家用电冰箱和房间空调器行业发展的非 CO₂ 温室气体减排政策建议，从而促进我国家用电冰箱和房间空调器在全生命周期内非 CO₂ 温室气体的减排，为中国房间空调器的生产企业提供可行的制冷剂替代方案，推进房间空调器制冷剂替代的进程。本项目主要形成了以下成果：

（一）通过深入的行业调研和测算，设计了家用电冰箱和房间空调器全生命周期各环节排放量计算模型。将家用电冰箱和房间空调器全生命周期分为生产、使用、维修、回收（收集）和拆解处理五个环节，在计算出各环节数量的基础上，计算出各环节对应的非 CO₂ 温室气体排放量。

（二）在全生命周期模型基础上，计算出中国家用电冰箱和房间空调器全生命周期过程中非 CO₂ 温室气体减排潜力。从 2012 年至 2030 年，中国家用电冰箱和房间空调器全生命周期非 CO₂ 温室气体将累计排放 2637.573 百万吨 CO₂ 当量。

如果建立严格的规范、出台有力的激励机制，以及获得先进技术的支撑，中国家用电冰箱和房间空调器全生命周期非 CO₂ 温室气体可实现累积减排 1299.817 百万吨 CO₂ 当量（理想情景减排潜力）。其中，家用电冰箱 44.618 百万吨 CO₂ 当量，房间空调器 1255.199 百万吨 CO₂ 当量（2030 年时，房间空调器全部为理想制冷剂）。与家用电冰箱相比，房间空调器制冷剂的替代刚刚开始，具有巨大的减排潜力。

（三）在全生命周期模型基础上，引入不同技术手段、政策法规和鼓励措施，提出家用电冰箱和房间空调器最可行减排情景。从 2012 年至 2030 年，中国房间空调器最可行减排情景全生命周期非 CO₂ 温室气体将累计排放 1864.835 百万吨 CO₂ 当量，累计减排 529.951 百万吨 CO₂ 当量，其中使用环节累计减排潜力最大，为 212.757 百万吨 CO₂ 当量。

（四）在最可行减排情景基础上，提出了家用电冰箱最可行减排措施。（1）技术手段层面：加强制冷剂 and 发泡剂高效回收、再生和安全销毁技术和设备研发力度，从技术层面降低非 CO₂ 温室气体排放率。（2）政策法规层面：对 SB/T 10349-2002《家用电器维修服务部等级评定规范》进行修订，加入制冷剂回收要求；对从事家用电冰箱维修、回收（收集）和拆解处理工作的人员进行进行技术培训和资格认证；对家用电冰箱整机维修和拆解时所用制冷剂回收设备，发泡剂回收设备进行认证；制定家用电冰箱制冷剂和发泡剂回收率指标等。（3）鼓励措施层面：通过国际合作，政府基金等形式加大对制冷剂和发泡剂高效回收、再生和安全销毁技术和设备研发的支持力度。

（五）在最可行减排情景基础上，提出了房间空调器最可行减排措施。（1）技术手段层面：加强降低制冷剂平均单台灌注量技术，提升制冷系统密封性技术，可燃制冷剂整机安全生产技术，生产、维修、回收（收集）和拆解处理环节制冷剂高效回收、再生和安全销毁技术和设备等的研发力度；在产品安装时使用原规格产品进行制冷管路的延长操作；在回收废弃房间空调器时，采取将废弃房间空调器中制冷剂回收至室外机中技术等。（2）政策法规层面：对从事房间空调器维修、回收（收集）和拆解处理工作的人员进行技术培训和资格认证；对房间空调器维修、回收（收集）和拆解处理时所用制冷剂回收设备进行认证；对从事可燃制冷剂空调器生产、安装、维修、回收（收集）和拆解处理工作的人员进行培训

认证；对维修、回收（收集）和拆解处理环节回收可燃制冷剂房间空调器中制冷剂所用回收设备进行认证；制定使用可燃制冷剂空调器安装和回收规范，制订房间空调器制冷剂回收率指标等。（3）鼓励措施层面：对购买制冷剂回收设备的家电维修企业进行一定数额的资金补贴；通过国际合作，政府基金等形式加大对制冷剂高效回收、再生及安全销毁技术和设备研发的支持力度；对使用可燃制冷剂空调器的消费者进行安全使用的宣传教育，加大市场推广力度等。

（五）在最可行减排情景基础上，提出了有利于家用电冰箱和房间空调器行业发展的非 CO₂ 温室气体减排政策建议。（1）建立制冷剂回收管理要求及技术规范；（2）建立回收制冷剂再利用的激励机制；（3）加大减排技术的研发支持力度；（4）建立制冷剂 GWP 标识制度；（5）加强国际交流与合作。

本报告由能源基金会资助。

报告内容不代表能源基金会观点。

目录

1.	项目背景与研究方法	1
1.1.	项目背景	1
1.2.	研究方法	3
1.2.1.	研究方法	3
1.2.2.	研究范围及定义	3
1.3.	开展的工作	11
1.3.1.	查阅文献及专家咨询	11
1.3.2.	企业问卷调研	12
1.3.3.	企业现场调研	12
1.3.4.	开发预测模型	14
1.3.5.	举办研讨会议	15
2.	国际公约与主要国家管理经验及现状	17
2.1.	国际公约	17
2.1.1.	《保护臭氧层维也纳公约》	17
2.1.2.	《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》	17
2.1.3.	《联合国气候变化框架公约》	18
2.1.4.	《京都议定书》	19
2.2.	欧盟	19
2.2.1.	管理体系	20
2.2.2.	HFCs 与 HCFCs 替代和回收现状	20
2.3.	日本	22
2.3.1.	管理体系	22
2.3.2.	HFCs 与 HCFCs 替代和回收现状	23
2.4.	美国	26
2.4.1.	管理体系	26
2.4.2.	HFCs 和 HCFCs 替代和回收现状	27
2.5.	针对 HFC 管理情况	29
2.5.1.	欧盟 F-Gas 法规	29
2.5.2.	北美三国削减 HFCs 提案	31
2.5.3.	美国 HFC 替代制冷剂清单	33
3.	中国制冷剂替代和回收管理体系和行业现状	35
3.1.	管理体系	35
3.1.1.	国家方案	35
3.1.2.	大气污染防治法	36
3.1.3.	消耗臭氧层物质管理条例	36
3.1.4.	消耗臭氧层物质进出口管理办法	37
3.1.5.	生产配额许可证管理	38
3.1.6.	废弃电器电子产品回收处理管理条例	38
3.2.	家用电冰箱 CFC 替代与多边基金援助	39
3.3.	房间空调器 HCFC 替代	44
3.3.1.	HCFC 削减	44
3.3.2.	多边基金与 R290 替代	47

3.3.3.	其他替代方案与 HFC 削减	49
3.4.	废弃电器电子产品回收处理与制冷剂回收	53
3.4.1.	废弃电器电子产品回收处理行业现状	53
3.4.2.	处理企业调研与制冷剂回收	54
4.	减排潜力测算与减排能力评估方法	57
4.1.	减排潜力测算方法	57
4.1.1.	全生命周期模型	57
4.1.2.	减排潜力测算公式	58
4.1.3.	国内销量和理论报废量预测模型	59
4.1.4.	排放量测算模型	75
4.2.	减排能力评估方法	102
4.2.1.	减排能力影响因素	102
4.2.2.	减排能力评估指标体系	104
4.2.3.	减排能力评估指标体系权重	105
4.2.4.	减排能力评估指标分档	105
4.2.5.	减排能力评估得分计算方法	106
5.	房间空调器减排潜力测算及影响因素分析	107
5.1.	房间空调器销量与社会保有量	107
5.2.	影响制冷剂排放量的参数设定	108
5.3.	基线情景分析与排放量	111
5.3.1.	基线情景分析	111
5.3.2.	基线年排放量	112
5.3.3.	基线情景排放量	113
5.4.	5.4 理想情景分析与减排潜力	115
5.4.1.	理想情景分析	115
5.4.2.	理想情景排放量	117
5.4.3.	理想情景减排潜力	118
5.5.	最可行减排情景分析与减排潜力	119
5.5.1.	最可行减排情景分析	119
5.5.2.	最可行减排情景排放量	122
5.5.3.	最可行减排情景减排潜力	124
5.5.4.	最可行减排情景减排能力	125
5.5.5.	制冷剂比例与减排潜力之间关系	131
5.6.	减排潜力小结与影响因素分析	135
5.6.1.	排放量与减排潜力	135
5.6.2.	不同环节最可行情景减排潜力	135
5.6.3.	不同制冷剂替代方案减排潜力	136
5.6.4.	最可行减排情景的技术手段	137
5.6.5.	最可行减排情景的配套政策法规	137
5.6.6.	最可行减排情景的配套鼓励措施	138
6.	家用电冰箱减排潜力及影响因素分析	139
6.1.	社会保有量与理论报废量	139
6.2.	影响制冷剂和发泡剂排放量的参数设定	141
6.2.1.	制冷剂	141

6.2.2.	发泡剂	142
6.3.	基线情景分析与排放量	143
6.3.1.	基线情景分析	143
6.3.2.	基线年排放量	144
6.3.3.	基线情景排放量	146
6.4.	理想情景分析与减排潜力	147
6.4.1.	理想情景分析	147
6.4.2.	理想情景排放量	148
6.4.3.	理想情景减排潜力	150
6.5.	最可行减排情景分析与减排潜力	151
6.5.1.	最可行减排情景分析	151
6.5.2.	最可行减排情景排放量	153
6.5.3.	最可行减排情景减排潜力	154
6.5.4.	最可行减排情景减排能力	156
6.6.	减排潜力小结与影响因素分析	159
6.6.1.	排放量与减排潜力	159
6.6.2.	不同环节最可行情景减排潜力	159
6.6.3.	最可行减排情景的技术手段	160
6.6.4.	最可行减排情景的配套政策法规	160
6.6.5.	最可行减排情景的配套鼓励措施	161
7.	结论及政策建议	161
7.1.	结论	161
7.1.1.	排放量与减排潜力	161
7.1.2.	最可行减排情景不同环节减排潜力	163
7.1.3.	不同制冷剂替代方案减排潜力	165
7.1.4.	最可行减排情景减排措施	166
7.2.	政策建议	168
7.2.1.	建立制冷剂回收管理要求及技术规范	168
7.2.2.	建立回收制冷剂再利用的激励机制	168
7.2.3.	加大减排技术的研发支持力度	169
7.2.4.	建立制冷剂 GWP 标识制度	169
7.2.5.	加强国际交流与合作	169
8.	附表 1: 家用电冰箱生产企业调研问卷	172
9.	附表 2: 房间空调器生产企业调研问卷	177
10.	附表 3: 家用电冰箱和房间空调器维修企业调研问卷	181
11.	附表 4: 废弃电器电子产品处理企业调研问卷 (部分)	206
12.	参考文献	209

图目录

图 1-1 格力电器（郑州）有限公司生产线（1）	13
图 1-2 格力电器（郑州）有限公司生产线（2）	13
图 1-3 郑州格力制冷剂回收机	13
图 1-4 郑州格力发泡剂回收设备	13
图 1-5 中国家电博览会 2014 美的展台	13
图 1-6 中国家电博览会 2014 格力展台	13
图 1-7 中国家电博览会 2014 奥克斯展台	14
图 1-8 中国制冷展 2014	14
图 1-9 中国制冷展 2014-臭氧气候技术路演	14
图 1-10 2014 臭氧气候工业圆桌会议	14
图 1-11 国际大会现场和非 CO ₂ 温室气体减排论坛	16
图 1-12 项目专家研讨会	16
图 2-1 欧盟 ODS/含氟气体销毁设施	21
图 2-2 2003-2011 年日本制冷剂回收量	24
图 2-3 2003-2011 年日本制冷剂销毁量	25
图 2-4 2001-2011 年日本废弃家用电器中制冷剂回收量	25
图 2-5 2001-2011 年日本废弃家用电器中发泡剂回收量	25
图 2-6 美国电器再生利用率	28
图 2-7 EPA 认证的制冷剂蒸馏精制企业所报告的处理量	28
图 2-8 欧盟在市场上逐步淘汰氢氟烃时间表（F-Gas 法案）	30
图 2-9 第 5 条国家和非第 5 条国家的氢氟碳化合物拟议削减步骤（占基准百分比）	32
图 3-1 中国制冷剂替代和回收的管理体系	35
图 3-2 格力 R290 分体式房间空调器室内机	50
图 3-3 格力 R290 移动式空调器	50
图 3-4 海尔 R290 分体式房间空调器室内机	51
图 3-5 海尔 R290 分体式房间空调器室外机	51
图 3-6 美的 R290 分体式房间空调器室内机	51
图 3-7 美的 R290 分体式房间空调器室外机	51
图 3-8 大金 HFC-32 制冷剂空调器室外机	52
图 3-9 海尔 HFC-161 制冷剂空调器室内机	52
图 3-10 中国废弃电器电子产品处理企业分布图	53
图 3-11 不同废弃电器电子产品处理比例	54
图 3-12 电冰箱的处理工艺	55
图 3-13 电冰箱的处理设备	55
图 3-14 房间空调器的处理工艺	55
图 3-15 房间空调器的处理设备	55
图 4-1 家用电冰箱和房间空调器全生命周期模型	58
图 4-2 家用电冰箱和房间空调器全生命周期非 CO ₂ 温室气体减排潜力影响因素	103
图 4-3 家用电冰箱和房间空调器全生命周期非 CO ₂ 温室气体减排潜力评估指标体系	104
图 5-1 房间空调器社会保有量年鉴值和预测值	108
图 5-2 房间空调器国内销量计算值和预测值	108
图 5-3 房间空调器制冷剂变化趋势（基线情景）	112

图 5-4 房间空调器基准年分环节排放量（单位：百万吨 CO ₂ 当量）	112
图 5-5 房间空调器基准年分制冷剂排放量（单位：百万吨 CO ₂ 当量）	113
图 5-6 房间空调器非 CO ₂ 温室气体基线情景排放量（分环节）	114
图 5-7 房间空调器非 CO ₂ 温室气体基线情景排放量（分制冷剂）	114
图 5-8 房间空调器制冷剂变化趋势（理想情景）	116
图 5-9 房间空调器非 CO ₂ 温室气体理想情景排放量（分环节）	117
图 5-10 房间空调器非 CO ₂ 温室气体理想情景排放量（分制冷剂）	118
图 5-11 房间空调器非 CO ₂ 温室气体理想情景减排潜力（分环节）	118
图 5-12 房间空调器非 CO ₂ 温室气体理想情景减排潜力（分制冷剂）	119
图 5-13 房间空调器制冷剂变化趋势（用于单因素分析）	121
图 5-14 房间空调器制冷剂变化趋势（最可行减排情景）	122
图 5-15 房间空调器非 CO ₂ 温室气体最可行减排情景排放量（分环节）	122
图 5-16 房间空调器非 CO ₂ 温室气体最可行减排情景排放量（分制冷剂）	123
图 5-17 房间空调器非 CO ₂ 温室气体最可行减排情景减排潜力（分环节）	124
图 5-18 房间空调器非 CO ₂ 温室气体最可行减排情景减排潜力（分制冷剂）	125
图 5-19 房间空调器制冷剂变化趋势（低 GWP 制冷剂作为替代制冷剂）	132
图 5-20 低 GWP 制冷剂替代方案排放量和减排潜力	132
图 5-21 房间空调器制冷剂变化趋势（理想制冷剂作为替代制冷剂）	133
图 5-22 理想制冷剂替代方案排放量和减排潜力	133
图 5-23 房间空调器制冷剂变化趋势（低 GWP 和理想制冷剂共同作为替代制冷剂）	134
图 5-24 低 GWP 制冷剂和理想制冷剂共同替代方案排放量和减排潜力	134
图 5-25 房间空调器制冷剂变化趋势（低 GWP 和理想制冷剂共同作为替代制冷剂）	137
图 6-1 家用电冰箱社会保有量年鉴值和预测值	140
图 6-2 家用电冰箱国内销量计算值和预测值	140
图 6-3 家用电冰箱制冷剂和发泡剂变化趋势（基线情景）	144
图 6-4 家用电冰箱基准年分环节排放量（单位：百万吨 CO ₂ 当量）	145
图 6-5 家用电冰箱基准年分制冷剂排放量（单位：百万吨 CO ₂ 当量）	145
图 6-6 家用电冰箱非 CO ₂ 温室气体基线情景排放量（分环节）	146
图 6-7 家用电冰箱非 CO ₂ 温室气体基线情景排放量（分 CFCs）	147
图 6-8 家用电冰箱非 CO ₂ 温室气体理想情景排放量（分环节）	149
图 6-9 家用电冰箱非 CO ₂ 温室气体理想情景排放量（分 CFCs）	149
图 6-10 家用电冰箱非 CO ₂ 温室气体理想情景减排潜力（分环节）	150
图 6-11 家用电冰箱非 CO ₂ 温室气体理想情景减排潜力（分 CFCs）	151
图 6-12 家用电冰箱非 CO ₂ 温室气体最可行减排情景排放量（分环节）	153
图 6-13 家用电冰箱非 CO ₂ 温室气体最可行减排情景排放量（分 CFCs）	154
图 6-14 家用电冰箱非 CO ₂ 温室气体最可行减排情景减排潜力（分环节）	155
图 6-15 家用电冰箱非 CO ₂ 温室气体最可行减排情景减排潜力（分 CFCs）	155
图 7-1 家用电冰箱和房间空调器非 CO ₂ 温室气体排放量与理想情景减排潜力	162
图 7-2 房间空调器非 CO ₂ 温室气体排放量与理想情景减排潜力	162
图 7-3 房间空调器制冷剂变化趋势（理想情景）	163
图 7-4 家用电冰箱和房间空调器非 CO ₂ 温室气体排放量与最可行减排情景减排潜力	164
图 7-5 房间空调器非 CO ₂ 温室气体排放量与最可行减排情景减排潜力	164
图 7-6 房间空调器制冷剂变化趋势（最可行减排情景）	165
图 7-7 房间空调器制冷剂变化趋势（低 GWP 和理想制冷剂共同作为替代制冷剂）	166

表目录

表 1-1 统计用产品分类目录—家用电冰箱	3
表 1-2 家用电冰箱海关编码	5
表 1-3 统计用产品分类目录—房间空调器	6
表 1-4 房间空调器海关编码	6
表 1-5 家用电冰箱和房间空调器非 CO ₂ 温室气体减排对象	7
表 2-1 EPA 认证的制冷剂蒸馏精制企业	28
表 2-2 欧盟新设备制冷剂禁令（部分）	30
表 2-3 美国环保署 2014 年 7 月发布的新一轮在美国市场可销售的 HFC 替代品清单 ...	33
表 2-4 SNAP 提议的即将不能在美国销售的 HFC 产品	34
表 3-1 家用电冰箱行业多边基金项目	39
表 3-2 中国 CFCs 生产行业多边基金项目	42
表 3-3 2014 年各企业 HCFCs 生产配额分配表（单位：吨）	45
表 3-4 房间空调器行业 2014 年度 HCFC-22 使用配额分配表（单位：吨）	46
表 3-5 中国房间空调器行业 R290 改造企业名称	47
表 3-6 环保部公布 R290 空调器补贴办法（单位：元/台）	48
表 3-7 房间空调器制冷剂对比	49
表 4-1 第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品全生命周期变化量	64
表 4-2 第 1 年“新销售产品”全生命周期变化量	65
表 4-3 第 n 年“新销售产品”全生命周期变化量	66
表 4-4 首次故障产品使用环节排放量	67
表 4-5 首次故障产品维修、回收（回收）和拆解处理环节排放量	68
表 4-6 第 1 年“新销售产品”使用环节排放量	69
表 4-7 第 1 年“新销售产品”维修、回收（收集）和拆解处理环节排放量	70
表 4-8 第 2 年“新销售产品”使用环节排放量	71
表 4-9 第 2 年“新销售产品”维修、回收（收集）和拆解处理环节排放量	72
表 4-10 第 n 年“新销售产品”使用环节排放量	73
表 4-11 第 n 年“新销售产品”维修、回收（收集）和拆解处理环节排放量	74
表 4-12 $ONEN + iN - P$ 计算方法	82
表 4-13 $MNEN + iN - P$ 计算方法	83
表 4-14 $MPEN + iN - P$ 计算方法	84
表 4-15 $MTEN + iN - P$ 计算方法	85
表 4-16 $RPEN + iN - P$ 计算方法	89
表 4-17 $RYEN + iN - P$ 计算方法	93
表 4-18 $DAEN + iN - P$ 计算方法	98
表 4-19 首次故障产品及第 i 年“新销售产品”故障率	101
表 4-20 产品维修率	102
表 4-21 家用电冰箱和房间空调器减排潜力影响因素含义	103
表 4-22 评估指标与直接对应的关键参数	105
表 4-23 家用电冰箱和房间空调器非 CO ₂ 温室气体排放环节减排潜力评价指标体系 分档	105
表 5-1 房间空调器产量、进出口量和国内销量（万台）	107
表 5-2 计算 HCFC-22 和 HFC-410A 制冷剂五环节排放量所需参数	109

表 5-3 计算低 GWP 制冷剂和理想制冷剂五环节排放量所需参数	110
表 5-4 计算房间空调器非 CO ₂ 温室气体基线情景排放量所需参数 (2013-2030 年) ...	111
表 5-5 房间空调器非 CO ₂ 温室气体理想情景排放量测算参数的设定 (2012-2030 年) .	115
表 5-6 房间空调器非 CO ₂ 温室气体最可行减排情景排放量测算参数的设定 (2012-2030 年)	120
表 5-7 房间空调器非 CO ₂ 温室气体排放环节及指标 C、D 和 E 权重	125
表 5-8 房间空调器非 CO ₂ 温室气体排放环节减排能力评估 结果	126
表 5-9 房间空调器非 CO ₂ 温室气体排放环节减排能力评估 得分	127
表 5-10 房间空调器非 CO ₂ 温室气体排放量和减排潜力 (单位: 百万吨 CO ₂ 当量)	135
表 5-11 房间空调器非 CO ₂ 温室气体最可行情景减排潜力	136
表 5-12 房间空调器不同制冷剂替代方案排放量和减排潜力 (单位: 百万吨 CO ₂ 当量)	136
表 6-1 家用电冰箱和家用冷柜产量、进出口量和国内销量 (万台)	139
表 6-2 计算 CFC-12 和 HC-600a 制冷剂五环节排放量所需参数	141
表 6-3 计算 CFC-11 和环戊烷发泡剂五环节排放量所需参数	142
表 6-4 计算家用电冰箱非 CO ₂ 温室气体基线情景排放量所需参数 (2012-2030 年) ...	143
表 6-5 计算家用电冰箱非 CO ₂ 温室气体理想情景排放量所需参数 (2012-2030 年) ...	147
表 6-6 计算家用电冰箱非 CO ₂ 温室气体最可行减排情景排放量所需参数 (2012-2030 年)	152
表 6-7 家用电冰箱非 CO ₂ 温室气体排放环节及指标 C、D 和 E 权重	156
表 6-8 家用电冰箱非 CO ₂ 温室气体排放环节减排能力评估 结果	156
表 6-9 家用电冰箱非 CO ₂ 温室气体排放环节减排能力评估 得分	157
表 6-10 家用电冰箱非 CO ₂ 温室气体排放量和减排潜力 (单位: 百万吨 CO ₂ 当量)	159
表 6-11 家用电冰箱非 CO ₂ 温室气体最可行情景减排潜力	160
表 7-1 房间空调器不同制冷剂替代方案排放量和减排潜力 (单位: 百万吨 CO ₂ 当量)	166

1. 项目背景与研究方法

1.1. 项目背景

根据《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC), 温室气体包括二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、氧化亚氮(N₂O)、氢氟碳化合物(HFCs)、全氟化碳(PFCs)、六氟化硫(SF₆)和三氟化氮(NF₃) 7 种。除 CO₂ 温室气体外, 其它 6 种非 CO₂ 温室气体, 可分为三大类: CH₄、N₂O、含氟气体。其中, CH₄ 和 N₂O 是自然界中本来就存在的成分, 由于人类活动而增加。而含氟气体则完全是人类活动的产物。为了便于衡量这些非 CO₂ 温室气体的全球变暖效应, 政府间气候变化专门委员会(IPCC) 在第三次评估报告中引入了 CO₂ 当量这一概念。一种气体的 CO₂ 当量是通过把该气体的吨数乘以其全球增暖潜势(GWP) 后得出, 通过这种方法可把不同温室气体的增温效应标准化。^[1]

2010 年全球非 CO₂ 温室气体排放为 117.02 亿 t CO₂ 当量^[2], 占当年温室气体总排放的 27.8%。IPCC 预计 HFCs 的排放在 2015 年后将增长 3 倍, 这是由于 HFCs 在制冷行业中使用的增加, 同时也来自于增加的 HCFC-22 生产中副产品 HFC-23 的排放^[3]。

2010 年中国排放的非 CO₂ 温室气体为 15.87 亿 t CO₂ 当量^[4], 占当年温室气体总排放的 18%。其中 CH₄ 占 58.3%, N₂O 占 26.2%, 含氟气体占 15.5%。

HFCs 主要应用领域有各类空调和制冷设备, 如汽车空调、房间空调器等的制冷剂, 泡沫塑料生产过程中使用的发泡剂, 各类清洗剂、溶剂和医用气雾剂等。HFCs 排放发生在生产制造过程中, 但大部分属于延迟排放, 即使用和报废时产生排放。

美国环保局公布的美国温室气体排放清单显示, 2010 年美国 HFCs 排放量为 1.29 亿吨 CO₂ 当量, 而当年 HFCs 消费量折合 CO₂ 当量超过 3 亿吨。与美国相似, 欧盟 2010 年 HFCs 排放量为 1.1 亿吨 CO₂ 当量, 而当年 HFCs 消费量折合 CO₂ 当量超过 3 亿吨。而美国和欧盟的排放计算都没有包括进口的含 HFCs 封闭设备的延迟排放。欧盟的排放还未包括副产物 HFC-23 的排放。我国 HFCs 消费才刚刚起步, 根据北京大学的计算, 2010 年我国 HFCs 排放量在 4000 万吨 CO₂

当量水平（相当于美国同期的三分之一），但这不包括副产物 HFC-23 的排放，也不包括出口含 HFCs 空调制冷设备到异国的排放。

按照《蒙特利尔议定书》，我国将从 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。尽管我国在淘汰 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，这也加大了我国控制 HFCs 的难度。

中国是电冰箱和空调器的制造大国，消费大国。2013 年，中国家用电冰箱和房间空调器产量分别达到 9261.02 万台和 13057.20 万台。同时，中国也是电冰箱和空调器的废弃大国。根据中国家用电器研究院测算，2013 年中国家用电冰箱和房间空调器的理论报废量分别达到 1278.57 万台和 1529.95 万台。随着电冰箱和空调器更新换代加快，其报废量，尤其是房间空调器的报废量将快速增长。

电冰箱中的制冷剂 and 发泡剂，以及房间空调器的制冷剂都是非 CO₂ 温室气体。目前，中国新生产电冰箱已经完成了 CFCs 的替代，国内销售的新电冰箱采用 HC-600a 作为替代制冷剂，环戊烷作为替代发泡剂，出口到美国等国家和地区的电冰箱采用 HFC-134a 作为制冷剂，HFC-245fa 作为发泡剂，而国内废弃电冰箱以 CFC-12 制冷剂和 CFC-11 发泡剂为主。新房间空调器制冷剂为 HCFC-22 和 HFC-410A，并且 HCFC-22 制冷剂正在逐渐被替代。

HFCs 应用技术多与制冷、保温的能量相关技术有关。控制 HFCs 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。

中国的能源效率和工业化水平及技术落后于发达国家，在替代品、替代技术的开发上也不占优势。对于 HFCs 的应用，发达国家在技术上比我们更成熟和先进。控制 HFCs 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。中国房间空调器可以实现跨越式的淘汰步骤，在 2013 年开始淘汰 HCFCs 的行动中，尽量选择非 HFCs 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。因此，家用电冰箱和房间空调器中非 CO₂ 温室气体减排，不仅使直接减少温室气体排放，保护生态环境，同时也是推动技术创新和产业转型升级的一个机遇。

本项目通过开展中国家用电冰箱与房间空调器全生命周期中非 CO₂ 温室气体减排潜力研究，分析不同生命周期环节的减排潜力，为我国完善非 CO₂ 温室气体减排制度提供行业支撑。同时，推动家用电冰箱和房间空调器非 CO₂ 温室气体减排技术的应用。此外，通过开展项目研究、行业调研和研讨会，使国内更多的家用电冰箱和房间空调器生产、维修、回收处理企业了解了非 CO₂ 温室气体减排的意义，有利于今后减排措施的实施。

1.2. 研究方法及边界确定

1.2.1. 研究方法

本项目通过收集整理国内外文献、法规，专家咨询、组织开展行业问卷调查、现场调研等方式开展项目研究。同时，通过搭建理论测算模型，进行家用电冰箱和房间空调器非 CO₂ 温室气体减排潜力的测算。

1.2.2. 研究范围及定义

1.2.2.1. 家用电冰箱定义及范围

家用电冰箱是家用和类似用途制冷器具的简称。在《GB/T 8059 家用和类似用途制冷器具》标准的修订稿中，制冷器具定义为：在工厂组装的、由一个或多个间室组成的、具有适合家用的容积和结构、使用自然对流或无霜系统（强制对流）、消耗一种或多种能量以获取冷量的隔热箱体。本报告引用《GB/T 8059-200×》标准中“制冷器具”的定义作为家用电冰箱的定义。

家用电冰箱的范围为国家统计局发布的《统计用产品分类目录》中，39 大类电气机械器材下属 3914 中类家用制冷电器具，具体内容见表 1-1。进出口家用电冰箱的范围见表 1-2 海关编码。

表 1-1 统计用产品分类目录—家用电冰箱

代码	产品名称
3914	家用制冷电器具
391401	家用冷藏冷冻箱
39140101	单门冷藏冷冻箱

3914010101	单门冷藏冷冻箱，容积≤150L
3914010199	其他单门冷藏冷冻箱
39140102	双门冷藏冷冻箱
3914010201	双门冷藏冷冻箱，容积≤200L
3914010202	双门冷藏冷冻箱，200L<容积≤500L
3914010299	其他双门冷藏冷冻箱
39140103	多门冷藏冷冻箱
3914010301	多门冷藏冷冻箱，容积≤200L
3914010302	多门冷藏冷冻箱，200L<容积≤500L
3914010399	其他多门冷藏冷冻箱
3914010400	对开门冷藏冷冻箱
39140105	卧式冷藏冷冻箱
3914010501	卧式冷藏冷冻箱，容积≤500L
3914010599	其他卧式冷藏冷冻箱
3914019900	其他家用冷藏冷冻箱
391402	家用冷藏箱
39140201	家用压缩式冷藏箱
3914020101	家用冷藏式酒柜
3914020199	其他家用压缩式冷藏箱
3914020200	家用电气吸收式冷藏箱
3914020300	家用半导体式冷藏箱
3914029900	其他家用冷藏箱
391403	家用冷冻箱
3914030100	家用卧式冷冻箱
3914030200	家用立式冷冻箱
3914030300	家用冷藏或冷冻展示柜
3914039900	其他家用冷冻箱

表 1-2 家用电冰箱海关编码

海关编码	产品描述
84181020	200<容积≤500 升的冷藏—冷冻组合机
84181030	容积≤200 升的冷藏-冷冻组合机
84182110	容积超过 150 升的压缩式家用型冷藏箱
84182120	50 升<容积≤150 升的压缩式家用型冷藏箱
84182130	容积≤50L 的压缩式家用型冷藏箱
84182910	半导体制冷式家用型冷藏箱
84182920	电气吸收式家用型冷藏箱
84182990	其他家用型冷藏箱
84183010	T≤-40℃的柜式冷冻箱，容积≤800L
84183021	T>-40℃的柜式冷冻箱，500L<容积≤800L
84183029	T>-40℃的柜式冷冻箱，容积≤500L
84184010	T≤-40℃的立式冷冻箱，容积≤900L
84184021	T>-40℃的立式冷冻箱，500L<容积≤900L
84184029	T>-40℃的立式冷冻箱，容积≤500L

1.2.2.2. 房间空调器定义及范围

《GB/T 7725—2004 房间空气调节器》标准中房间空调器定义为：一种向密闭空间、房间或区域直接提供经过处理的空气的设备。它主要包括制冷和除湿用的制冷系统以及空气循环和净化装置，还可包括加热和通风装置（它们可被组装在一个箱壳内或被设计成一起使用的组件系统）。本报告引用《GB/T 7725—2004 房间空气调节器》标准中“房间空调器”的定义作为房间空调器的定义。

房间空调器的范围为国家统计局发布的《统计用产品分类目录》中，39 大类电气机械器材下属 3915 中类家用空气调节器，具体内容见表 1-3。进出口房间空调器的范围见表 1-4 海关编码。

表 1-3 统计用产品分类目录—房间空调器

代码	产品名称
3915	家用空气调节器
391501	房间空气调节器
39150101	整体式房间空气调节器
3915010101	窗式空气调节器
3915010102	移动式空气调节器
3915010199	其他整体式房间空气调节器
39150102	分体式房间空气调节器
3915010201	分体壁挂式空气调节器
3915010202	分体落地式空气调节器
3915010203	分体嵌入式空气调节器
3915010299	其他分体式房间空气调节器
3915010300	一拖多式房间空气调节器
3915019900	其他房间空气调节器

表 1-4 房间空调器海关编码

海关编码	产品描述
84151010	独立窗式或壁式空气调节器
84151021	制冷≤4000 大卡/时分体窗式或壁式空调
84151022	制冷>4000 大卡/时分体窗式或壁式空调
84152000	机动车辆上供人使用的空气调节器
84158110	装冷热换向阀空调器，制冷量≤4000 大卡/时
84158120	装冷热换向阀空调器，制冷量>4000 大卡/时
84158210	其他空气调节器，制冷量≤4000 大卡/时
84158220	其他空气调节器，制冷量>4000 大卡/时

1.2.2.3. 减排对象

目前,中国电冰箱已经完成了 CFCs 的替代,国内销售的电冰箱采用 HC-600a 作为制冷剂,环戊烷作为发泡剂,出口到美国等国家和地区的电冰箱采用 HFC-134a 作为制冷剂,HFC-245fa 作为发泡剂。废弃电冰箱的制冷剂和发泡剂以 CFC-12 和 CFC-11 为主,HC-600a 和环戊烷的废弃电冰箱数量开始增多。电冰箱的非 CO₂ 温室气体的减排对象为废弃电冰箱中 CFC-12 和 CFC-11。

房间空调器制冷剂主要为 HCFC-22 和 HFC-410A,少量的 HFC-32 房间空调器以出口为主。随着 HCFC-22 制冷剂消费量的削减,作为替代制冷剂的 HFC-410A、低 GWP 制冷剂(例如 HFC-32,研发中的 HFC+HFO 混合制冷剂)及理想制冷剂(例如 HC-290,研发中的 HFC-161,CO₂ 等)使用量将不断上升。低 GWP 制冷剂包括 HFC-32 等,本报告在计算“低 GWP 制冷剂”排放量和减排潜力时,用 HFC-32 作为代表,其理化性质用于计算。“理想制冷剂”为不可燃且 GWP 极低的制冷剂,由于目前尚未开发出符合要求的“理想制冷剂”,因此此处的“理想制冷剂”包括 HC-290,HFC-161,CO₂ 等。本报告在计算“理想制冷剂”排放量时,用 HC-290 作为代表,其理化性质用于计算。目前,废弃房间空调器的制冷剂以 HCFC-22 为主。房间空调器的非 CO₂ 温室气体减排对象为 HCFC-22 和 HFC-410A。

家用电冰箱和房间空调器非 CO₂ 温室气体减排对象的 GWP 值见表 1-5。

表 1-5 家用电冰箱和房间空调器非 CO₂ 温室气体减排对象

产品种类	非 CO ₂ 温室气体种类		ODP	GWP
家用电冰箱	制冷剂	CFC-12	1	10900
	发泡剂	CFC-11	1	4750
房间空调器	HCFC-22		0.055	1810
	HFC-410A		0	2088

1.2.2.4. 基准年和排放量

本项目开展时间为 2013 年 11 月至 2014 年 10 月。项目调研和研究过程中采用的大量基础数据,例如产量、进出口量等来自《中国统计年鉴》、《中国海关统计年鉴》中最新的 2012 年数据。因此,项目以 2012 年定为研究的基准年。针对

家用电冰箱，非 CO₂ 温室气体排放量为家用电冰箱制冷剂和发泡剂排放量之和；针对房间空调器，非 CO₂ 温室气体排放量为制冷剂排放量。

1.2.2.5. 基线情景

基线情景是计算家用电冰箱和房间空调器全生命周期非 CO₂ 温室气体排放的重要依据。根据调研和分析，本项目将基线情景设定为现行的管理政策（包括逐步淘汰 ODSs 的《蒙特利尔议定书》及相关的国家法规）不发生改变，持续实施下去，与非 CO₂ 温室气体排放相关的技术和排放量保持不变的情景。

1.2.2.6. 理想情景

本项目的理想情景是在家用电冰箱和房间空调器全产业链建立了严格的规范、激励机制和采用最好的减排技术基础上的情景。

1.2.2.7. 最可行减排情景

课题组在参考欧盟、日本和美国等国家和地区制冷剂回收情况及“节能惠民工程”所取得经验和成果的基础上，提出制冷剂/发泡剂平均单台灌注量降低 20%，房间空调器 2030 年底 GWP 制冷剂和理想制冷剂共存，并且家用电冰箱和房间空调器全生命周期五环节非 CO₂ 温室气体排放率降低 20%这几个关键参数组合作为最可行减排情景。

1.2.2.8. 各环节排放率

家用电冰箱和房间空调器全生命周期包括生产、使用、维修、回收（收集）和拆解处理五个环节。对于家用电冰箱和房间空调器制冷剂而言，由于其存在于制冷系统中，因而全生命周期五个环节对应于五种非 CO₂ 温室气体排放，即生产、使用（包括使用环节和故障时排放）、维修、回收（收集）和拆解处理排放。对于家用电冰箱发泡剂而言，由于其存在于冰箱隔热材料中，因此只会生产和拆解处理环节排放。

为了计算五种非 CO₂ 温室气体排放量和筛选最可行减排情景，下面对相应

的五种排放率进行定义。

(1) 生产环节排放率

整机生产环节制冷剂排放率计算方法为：

$$\text{生产环节排放率} = \frac{\text{生产环节制冷剂/发泡剂排放量}}{\text{生产环节制冷剂/发泡剂灌注总量}}$$

$$PER_N^N = \frac{PE_N^N}{S_N^N * M_N^N}$$

其中：

PER_N^N 第 N 年产品生产环节制冷剂/发泡剂排放率 (Production Emission Ratio)

PE_N^N 第 N 年产品生产环节制冷剂/发泡剂排放量 (Production Emission)

S_N^N 第 N 年产品国内销量 (Sales)

M_N^N 第 N 年国内销售产品制冷剂/发泡剂平均单台灌注量 (Mass)

(2) 使用环节排放率

对于第 N 年国内销售第 (N+i) 年全生命周期内产品使用环节制冷剂排放率而言，由于 $i=1, 2, \dots, 16$ 时 OER_{N+i}^N 为变量而且其数值主要由生产质量决定，因此课题组假定第 N 年国内销售的产品，其整个生命周期内各年度 OER_{N+i}^N 不变，因此用第 N 年国内销售产品使用环节制冷剂平均排放率 $AOER_{N+i}^N$ (Average LCA Product Operation Emission Ratio) 表征第 N 年国内销售产品使用环节排放率，计算方法为：

$$\text{使用环节加权排放率} = \frac{\text{使用环节制冷剂排放量}}{\text{使用环节制冷剂总含量}}$$

$$AOER_{N+i}^N = \frac{\sum_{i=1}^{16} OE_{N+i}^N}{\sum_{i=1}^{16} OTR_{N+i}^N}$$

其中：

OTR_{N+i}^N 第 N 年国内销售第 N+i 年全生命周期内产品使用环节制冷剂总含量

OE_{N+i}^N 第 N 年国内销售第 N+i 年全生命周期内产品使用环节制冷剂排放量

(3) 维修环节排放率

故障产品维修环节制冷剂排放率计算方法为：

$$\text{维修环节排放率} = \frac{\text{维修环节制冷剂排放量}}{\text{维修环节制冷剂总量}}$$

$$RPA_{N+i}^T = \frac{RPE_{N+i}^T}{\sum_{p=0}^{16-i} \left[\sum_{j=0}^{i-1+p} S_{N-p+j}^{N-p} * T(j)_{N+i}^{N-p} * MPER(j)_{N+i}^{N-p} * RP(j)_{N+i}^{N-p} * M_{N-p}^{N-p} \right]}$$

其中：

- RPA_{N+i}^T 第 N 年国内销售第 (N+i) 年寿命期内产品维修环节制冷剂排放率
- RPE_{N+i}^T 第 N 年国内销售第 N+i 年寿命期内产品维修环节制冷剂排放量
- $j=0$ 且 $p=0$ 时，第 N 年产品国内销量；
- S_{N-p+j}^{N-p} $j \geq 1$ 且 $p \geq 1$ 时，第 (N-p) 年国内销售第 (N-p+j) 年“新销售产品 (第 N-p+j 年)”销量
- $T(j)_{N+i}^{N-p}$ 第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”故障率
- $MPER(j)_{N+i}^{N-p}$ 第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”故障时制冷剂较大排放台数比例
- $RP(j)_{N+i}^{N-p}$ 第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”维修率
- M_{N-p}^{N-p} 第 (N-p) 年国内销售产品制冷剂平均单台灌注量

(4) 回收 (收集) 环节排放率

故障产品收集环节制冷剂排放率计算方法为：

$$\text{收集环节排放率} = \frac{\text{收集环节制冷剂排放量}}{\text{收集环节制冷剂总量}}$$

$$RYA_{N+i}^T = \frac{RYE_{N+i}^T}{\sum_{p=0}^{16-i} \left\{ \sum_{j=0}^{i-1+p} S_{N-p+j}^{N-p} * T(j)_{N+i}^{N-p} * RY(j)_{N+i}^{N-p} * M_{N-p}^{N-p} * [MNER(j)_{N+i}^{N-p} * ARRR(j)_{N+i}^{N-p} + MPER(j)_{N+i}^{N-p} * RRR(j)_{N+i}^{N-p}] \right\}}$$

其中：

- RYA_{N+i}^T 第 N 年国内销售第 N+i 年寿命期内产品回收 (收集) 环节制冷剂排放率
- RYE_{N+i}^T 第 N 年国内销售第 N+i 年寿命期内产品回收 (收集) 环节制冷剂排放量
- $j=0$ 且 $p=0$ 时，第 N 年产品国内销量；
- S_{N-p+j}^{N-p} $j \geq 1$ 且 $p \geq 1$ 时，第 (N-p) 年国内销售第 (N-p+j) 年“新销售产品 (第 N-p+j 年)”销量
- $T(j)_{N+i}^{N-p}$ 第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”故障率
- $RY(j)_{N+i}^{N-p}$ 第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”回收 (收集) 率
- M_{N-p}^{N-p} 第 (N-p) 年国内销售产品制冷剂平均单台灌注量
- $MNER(j)_{N+i}^{N-p}$ 第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”故障时制冷剂正常排放台数比例
- $ARRR(j)_{N+i}^{N-p}$ 第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”使用环节制冷剂剩余率
- $MPER(j)_{N+i}^{N-p}$ 第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”故障时制冷剂较大排放台数比例

$RRR(j)_{N+i}^{N-p}$ 第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”制冷剂较大排放后单台制冷剂剩余率

(5) 拆解处理环节排放率

故障产品拆解环节制冷剂排放率计算方法为：

$$\text{拆解环节排放率} = \frac{\text{拆解环节制冷剂排放量}}{\text{拆解环节制冷剂总量}}$$

$$DAA_{N+i}^T = \frac{DAE_{N+i}^T}{\sum_{p=0}^{16-i} \left\{ \sum_{j=0}^{i-1+p} S_{N-p+j}^{N-p} * T(j)_{N+i}^{N-p} * RY(j)_{N+i}^{N-p} * M_{N-p}^{N-p} * RYC(j)_{N+i}^{N-p} * [MNER(j)_{N+i}^{N-p} * ARRR(j)_{N+i}^{N-p} + MPER(j)_{N+i}^{N-p} * RRR(j)_{N+i}^{N-p}] \right\}}$$

其中：

- DAA_{N+i}^T 第 N 年国内销售第 N+i 年寿命期内产品拆解处理环节制冷剂排放率
- DAE_{N+i}^T 第 N 年国内销售第 N+i 年寿命期内产品拆解环节制冷剂排放量
- $j=0$ 且 $p=0$ 时，第 N 年产品国内销量；
- S_{N-p+j}^{N-p} $j \geq 1$ 且 $p \geq 1$ 时，第 (N-p) 年国内销售第 (N-p+j) 年“新销售产品 (第 N-p+j 年)”销量
- $T(j)_{N+i}^{N-p}$ 第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”故障率
- $RY(j)_{N+i}^{N-p}$ 第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”回收 (收集) 率
- M_{N-p}^{N-p} 第 (N-p) 年国内销售产品制冷剂平均单台灌注量
- $RYC(j)_{N+i}^{N-p}$ 第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”回收 (收集) 环节制冷剂剩余比例
- $MNER(j)_{N+i}^{N-p}$ 第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”故障时制冷剂正常排放台数比例
- $ARRR(j)_{N+i}^{N-p}$ 第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”使用环节制冷剂剩余率
- $MPER(j)_{N+i}^{N-p}$ 第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”故障时制冷剂较大排放台数比例
- $RRR(j)_{N+i}^{N-p}$ 第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”制冷剂较大排放后单台制冷剂剩余率

1.3. 开展的工作

1.3.1. 查阅文献及专家咨询

课题组利用中国知网 (CNKI) 查阅了大量文献，去国家图书馆及中国统计

资料馆查阅了《中国统计年鉴》和《中国海关统计年鉴》等书籍，获取了大量资料和数据，为设计调研问卷，开发预测模型等提供了坚实的基础。

课题组拜访了中国氟硅有机材料工业协会、中国家用电器服务维修协会、中国家用电器检测所等协会和单位，通过交流对制冷剂生产行业以及家电维修行业，特别是家用电冰箱和房间空调器制冷剂使用现状、维修现状有了深入的了解。

1.3.2. 企业问卷调研

家用电冰箱和房间空调器的全生命周期包括生产、使用、维修、回收(收集)和拆解处理五个环节。项目组设计了家用电冰箱和房间空调器生产企业、维修企业和拆解处理企业的调研问卷(调研问卷详情见附表 1~附表 4)，分别对上述三类企业进行了问卷调研。

2013 年 11 月-2014 年 5 月，项目组开展了家用电冰箱和房间空调器生产企业的问卷调研，其中向 10 家电冰箱生产企业，包括博西华电器有限公司、海信容声、浙江华日、合肥美菱、河南新飞、美的集团、海尔集团、宝鸡长岭冰箱、星星集团和志高，以及向 13 家房间空调器生产企业，包括格力、美的集团、海尔集团、志高空调、海信科龙、奥克斯、TCL、扬子集团、春兰制冷、四川长虹、三菱电机、新科空调和格兰仕家用电器发放了调研问卷。

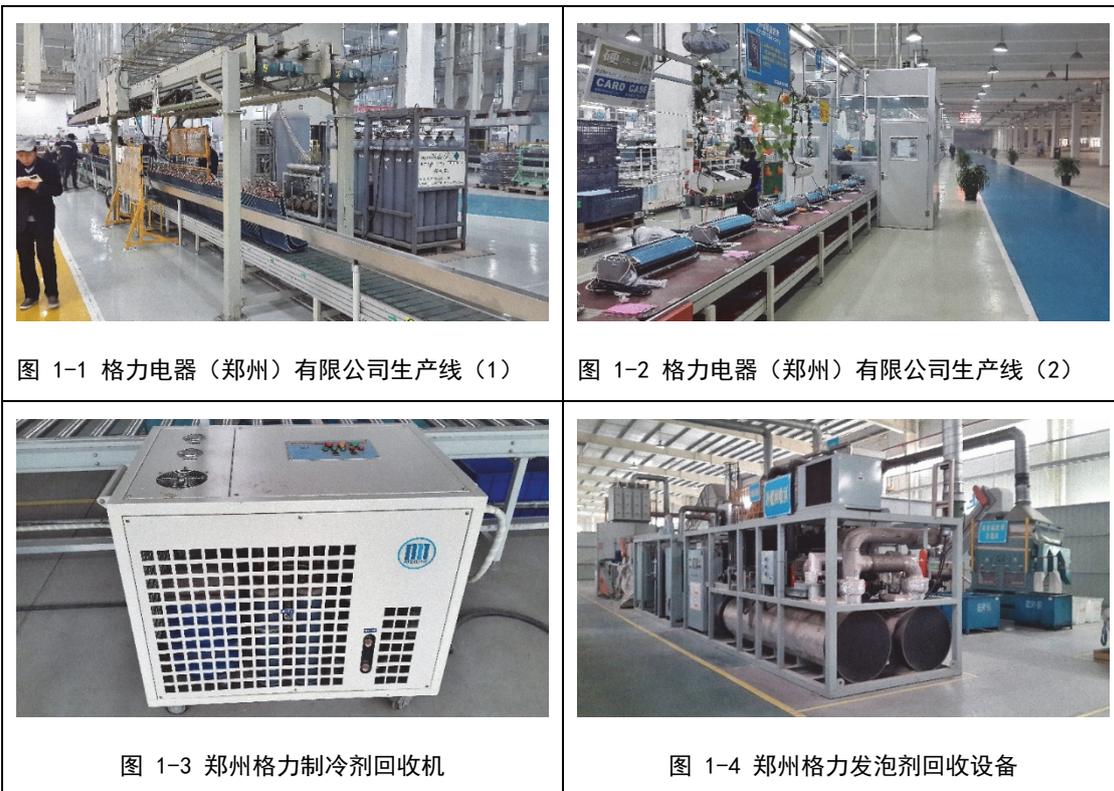
2014 年 1 月-5 月，项目组开展废弃电器电子产品处理企业问卷调研。项目组针对获得处理资质的 91 家企业发放调研问卷，返回有效问卷 50 份。基本上覆盖了全国的处理企业。

电器电子产品维修企业是通过中国家用电器服务维修协会向具有规模的家电维修服务企业发放了调研问卷。海尔、格力、美的等知名家电企业的维修公司反馈了调研问卷。

1.3.3. 企业现场调研

2014 年 1 月 6 日-7 日，项目组赴郑州与格力电器(郑州)有限公司和郑州格力绿色再生资源有限公司进行座谈。通过对格力电器的实地调研，项目组实地了解了房间空调器的整个生产流程以及制冷剂的使用情况，对郑州格力绿色再生

资源的实地调研，课题组实地了解了家用电冰箱和房间空调器整机的拆解处理情况，以及制冷剂、发泡剂的回收情况。如图 1-1 至图 1-4 所示。



2014 年 3 月 18 日-21 日，项目组赴上海参加了中国家电博览会 2014，与家用电冰箱及房间空调器生产企业进行现场交流，了解最新的行业动态。2014 年 4 月 9 日-11 日在北京参加了中国制冷展 2014，在展会上与电冰箱和空调器生产企业，制冷剂生产企业，压缩机生产企业等进行了现场交流，了解了最新的行业动态，此外还参加了 2014 臭氧气候工业圆桌会议，了解了制冷剂的替代现状。如图 1-5 至图 1-10 所示。



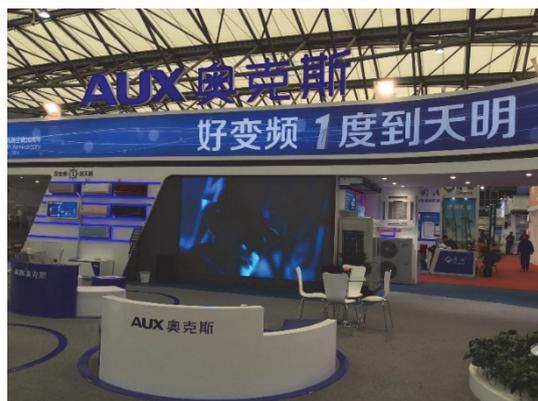


图 1-7 中国家电博览会 2014 奥克斯展台



图 1-8 中国制冷展 2014



图 1-9 中国制冷展 2014-臭氧气候技术路演



图 1-10 2014 臭氧气候工业圆桌会议

2014 年 5 月 28 日-29 日，项目组赴昆山参加了中国家用电器服务维修协会主办的第二届中国电子电器服务商大会，与家电维修服务企业及从业人员进行了交流，了解了家电维修行业的现状。

1.3.4. 开发预测模型

为了预测家用电冰箱和房间空调器产量、国内销量、社会保有量、理论报废量，并在此基础上计算家用电冰箱和房间空调器全生命周期非 CO₂ 温室气体减排潜力，项目组在查阅大量相关文献和以往研究工作的基础上，设计了家用电冰箱和房间空调器全生命周期各环节排放量的计算模型，并在此基础上计算出家用电冰箱和房间空调器基线和理想情景排放量，得到了家用电冰箱和房间空调器全生命周期非 CO₂ 温室气体减排潜力。同时，分析不同影响因素对排放量的影响，筛选出最可行减排情景。

1.3.5. 举办研讨会议

1.3.5.1. 项目实施方案研讨会

中国家用电器研究院正式承接项目任务后，组建了项目组和专家委员会，并制定项目实施方案。2013年12月6日，项目组邀请家电行业专家针对项目的实施方案进行了内部讨论，并根据专家的意见和建议，进行了修改完善。

1.3.5.2. 项目启动会

2014年2月20日，项目组组织的“家用电冰箱和房间空调器全生命周期非CO₂温室气体减排机制研究”项目启动会在中国职工之家会议室举行。与会的领导和专家有：人大环资委法规室翟勇主任，发改委气候司蒋兆理处长，商务部流通业发展司尹虹处长，环保部外经办三处钟志峰，环保部固废中心胡楠，中国家用电器协会刘福中专家，中国家用电器服务维修协会刘秀敏理事长、周平，能源基金会（美国）北京办事处莫争春、黄子莹，中国家用电器研究院刘挺院长，仲顺和专家，以及来自美的、深圳格林美、华新绿源的企业代表等。

与会领导和专家首先肯定了课题组所做的工作，认为对非CO₂温室气体减排和环境保护具有非常现实的意义，建议研究中关注国际经验，对维修和回收（收集）环节进行更加深入的研究，在量化分析的基础上结合国际经验提出适合中国国情的政策建议。

1.3.5.3. 召开 WEEE 及 EPR 国际会议

2014年5月21至23日，项目承担单位联合清华大学、北京大学、中国人民大学等知名院校和行业机构在北京中关村新园组织召开了“2014 电器电子产品回收处理技术及生产者责任延伸制度国际会议”。会议专门设立了“家用电冰箱和房间空调器全生命周期非CO₂温室气体减排管理与行业实践”论坛，邀请政府主管领导、行业专家、企业代表等介绍管理和经验，同时，项目组介绍了课题取得的成果以及下一步的研究工作（图 1-11）。

图 1-11 国际大会现场和非 CO₂ 温室气体减排论坛

1.3.5.4. 项目专家研讨会

2014 年 9 月 24 日，项目组组织的“家用电器和房间空调器全生命周期非 CO₂ 温室气体减排机制研究”专家研讨会在中国家用电器研究院会议室举行。与会的专家有：中国家用电器协会刘福中专家、窦艳伟，中国氟硅有机材料工业协会梅胜放秘书长，中国制冷空调工业协会陈敬良，发改委宏观经济研究院曲凤杰，北京大学环境科学与工程学院胡建信，长策智库胡军峰，中国家用电器研究院刘挺院长，仲顺和专家，中国家用电器检测所齐云，北京师范大学赵齐加，天津澳宏环保材料有限公司王海涛，能源基金会（美国）北京办事处莫争春、黄子莹等。

与会领导和专家首先肯定了课题组所做的工作，认为对非 CO₂ 温室气体减排和环境保护具有非常现实的意义，建议细化报告中一些重点概念，在大量数据分析的基础上着重加强报告的政策建议部分，在情景分析研究的基础上提出政策建议（图 1-12）。



图 1-12 项目专家研讨会

此外，在项目实施期间，能源基金会多次与项目组进行交流和指导，提出许多有建设性的意见和建议，保障了项目的圆满实施。

2. 国际公约与主要国家管理经验及现状

目前，国际上关于温室气体的国际公约主要包括：《保护臭氧层维也纳公约》、《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》、《联合国气候变化框架公约》、《京都议定书》，以及不同阶段的调整案和修正案。各缔约国根据公约的要求，制定本国的消耗臭氧层物质管理法规。消耗臭氧层物质均有较高的 GWP。因其消耗臭氧层的特性，纳入《蒙特利尔议定书》进行管理。消耗臭氧层物质的管理要早于其它温室气体，在《蒙特利尔议定书》和多边基金的推动，取得了很好的效果。随着 CFC、HCFC 的成功削减，HFC 开始日益受到关注。欧盟发布了 F-Gas 法规（含氟气体指令）。北美三国削减 HFCs 提案在国际上也具有较大的影响。

2.1. 国际公约

2.1.1. 《保护臭氧层维也纳公约》

保护臭氧层维也纳公约（Vienna Convention for the Protection of the Ozone Layer），通常简称为“维也纳公约”，1985年3月22日在奥地利维也纳召开的保护臭氧层外交大会上得到签订，1985年9月22日生效。

该公约主要内容是：按照《联合国人类环境发展会议宣言》里的规定，针对造成全球暖化的各种原因加以约束，以期进一步发展有关臭氧层及其变化可能引起的不利影响方面的科学知识，决心要保护人类健康和环境使免受臭氧层变化所引起的不利影响。

本公约的正本以阿拉伯文、中文、英文、法文、俄文和西班牙文书写，六种文本同样有效，公约正本由联合国秘书长保存。

2.1.2. 《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》

《关于消耗臭氧层的蒙特利尔议定书》是为实施《保护臭氧层维也纳公约》，对消耗臭氧层的物质进行具体控制的全球性协定。该《议定书》于1987年9月16日在加拿大的蒙特利尔通过，向各国开放签字，1989年1月1日生效。议定书内容至少每4年评估一次，至今已经过了4次修正和5次调整。

在由联合国环境规划署于 1992 年在哥本哈根召开的“蒙特利尔议定书缔约国第四次会议”上，修改了蒙特利尔议定书的内容，将氢氟氯碳化合物（CFCs）类氟利昂物质的禁用日期从 2000 年提前到 1996 年 1 月 1 日，而发展中国家完成淘汰 CFCs 物质的时限由 2010 年提前到 2005 年，目前 CFCs 已经被全面禁用。

在第 19 次《蒙特利尔议定书》6 号决议中规定了加速淘汰氢氟氯碳化合物（HCFCs）氟利昂物质的时间表—发达国家的淘汰时间表是：2010 年 HCFCs 的用量减少 75%，2015 年减少 90%，2020~2030 年，只留有 0.5%用于维修；发展中国家的淘汰时间表是：2013 年 HCFCs 的用量不能超过 2009 年和 2010 年的平均水平，2015 年减少 15%，2020 年减少 35%，2025 年减少 67.5%，2030~2040 年，只留有 2.5%用于维修。

2.1.3. 《联合国气候变化框架公约》

《联合国气候变化框架公约》（英语：United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC 或 FCCC）是一个国际公约，于 1992 年 5 月在纽约联合国总部通过，1992 年 6 月在巴西里约热内卢召开的有世界各国政府首脑参加的联合国环境与发展会议期间开放签署。1994 年 3 月 21 日，该公约生效。

本公约第二条规定，“本公约以及缔约方会议可能通过的任何相关法律文书的最终目标是：根据本公约的各项有关规定，将大气中温室气体的浓度稳定在防止气候系统受到危险的人为干扰的水平上。这一水平应当在足以使生态系统能够自然地适应气候变化、确保粮食生产免受威胁并使经济发展能够可持续地进行的时间范围内实现。”

该公约没有对个别缔约方规定具体需承担的义务，也未规定实施机制。从这个意义上说，该公约缺少法律上的约束力。但是，该公约规定可在后续从属的议定书中设定强制排放限制。到目前为止，主要的议定书为《京都议定书》，后者甚至已经比本公约更加有名。

UNFCCC 也是负责支持该公约实施的联合国秘书处的名称，其办公室位于德国波恩 Haus Carstanjen。自 2006 年起，其领导为伊沃·德波尔（Yvo de Boer）。本秘书处，在政府间气候变化专门委员会（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）的襄助下，旨在通过会议和有关各项战略的讨论取得共识。

该公约缔约方自 1995 年起每年召开缔约方会议（Conferences of the Parties, COP）以评估应对气候变化的进展。1997 年，《京都议定书》达成，使温室气体减排成为发达国家的法律义务。按照 2007 年通过的《巴厘路线图》的规定，2009 年在哥本哈根召开的缔约方会议第十五届会议将诞生一份新的《哥本哈根议定书》，以取代 2012 年到期的《京都议定书》。

2.1.4. 《京都议定书》

《京都议定书》（英语：Kyoto Protocol，又译《京都协议书》、《京都条约》；全称《联合国气候变化框架公约的京都议定书》）是《联合国气候变化框架公约》（United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC）的补充条款，于 1997 年 12 月在日本京都府京都市的国立京都国际会馆所召开联合国气候变化框架公约参加国三次会议制定的。其目标是“将大气中的温室气体含量稳定在一个适当的水平，进而防止剧烈的气候改变对人类造成伤害”。

1997 年 12 月，条约在日本京都通过，并于 1998 年 3 月 16 日至 1999 年 3 月 15 日间开放签字，共有 84 国签署，条约于 2005 年 2 月 16 日开始强制生效。到 2009 年 2 月，一共有 183 个国家（包括中国）通过了该条约（超过全球排放量的 61%），引人注目的是美国曾签字，但并未送交参议院进行批准程序。2012 年 12 月 31 日，俄罗斯宣布将于 2013 年起退出《京都议定书》的第二承诺期。

2.2. 欧盟

任何国家加入《蒙特利尔议定书》，意味着该国承担履行《蒙特利尔议定书》义务的国家责任。《蒙特利尔议定书》为世界各国控制消耗臭氧层物质的立法设定了明确的目标。缔约国国内立法规定的消耗臭氧层物质的削减计划应与《蒙特利尔议定书》规定的消滅时间表一致，或加快本国的削减速度。

随着废弃电器电子产品数量的增加，发达国家纷纷出台废弃电器电子产品回收处理管理法规，促进废弃电冰箱和废弃房间空调器的资源化利用，同时也推动了电冰箱和房间空调器中制冷剂和发泡剂的回收，减少非 CO₂ 温室气体排放。

2.2.1. 管理体系

欧盟成功地履行《蒙特利尔议定书》中所承诺的责任，并且在很多方面都走到了国际目标的前面。欧盟保护臭氧层法律包括欧盟法规和各成员国的国内法。1988 年，欧盟通过《关于 CFCs 和哈龙进出口、生产及使用规定》。1994 年，欧盟颁布《关于消耗臭氧层物质的法规》。随后该法规多次进行修订。目前实施的是欧洲议会和理事会于 2009 年 9 月 16 日批准、2010 年 1 月 1 日生效的 (EC) No 1005/2009 《关于消耗臭氧层物质的法规》（替代 No 2037/2000）。该法规涵盖了欧盟淘汰战略的所有方面，成为各成员国实行消耗臭氧层物质控制的基本指南。

2003 年 2 月 13 日，欧盟公布《废弃电子电气设备指令》，简称 2003 《WEEE 指令》。《WEEE 指令》要求报废电子电气设备的生产者（包括进口商）承担其产品废弃后回收处理的责任，提出电子电气设备的收集率指标，以及不同类别电子电气设备再生利用率和回收利用率指标。同时，要求含有 ODS 和 GWP 大于 15 的报废产品在处理前，必须将气体回收（包括电冰箱中的发泡剂），并按照 (EC) No 2037/2000 《关于消耗臭氧层物质的法规》进行处理。

2008 年，欧盟委员会对《WEEE 指令》进行评估和修订。2012 年 7 月 4 日，《WEEE 指令》修订案正式公布。2012 年 7 月 24 日生效。修订后的《WEEE 指令》保留了对 ODS 和 GWP 大于 15 气体的回收要求，并将气体回收要求指向 (EC) No 1005/2009。

为了规范和评估电冰箱发泡剂的回收效果，2007 年，欧洲家用电器制造商委员会和欧洲电子回收协会制定了制冷器具中 CFC、HCFC、HFC 的回收要求和相应的检测规范。其中，针对 CFC、HCFC 和 HFC 的制冷剂回收率应大于等于预期量的 90%；从聚氨酯泡沫中分离出的 CFC、HCFC 和 HFC 发泡剂回收率应当大于等于预期量的 90%，且处理后的聚氨酯中 CFC、HCFC 和 HFC 的含量应小于 0.2%。

2.2.2. HFCs 与 HCFCs 替代和回收现状

针对家用电冰箱和房间空调器，欧盟已于 1996 年 1 月 1 日前将家用电冰箱和房间空调器中的 CFCs 进行淘汰，正在进行 HCFCs 的削减工作。其中，欧盟的家用电冰箱，在 CFCs 制冷剂 and 发泡剂削减淘汰过程中，制冷剂大部分转向了

GWP 极低，非 ODS 的 HC-600a，小部分转向了 HFC-134a，发泡剂转向了碳氢化合物环戊烷。欧盟的房间空调器大部分使用 HFC-410A 作为制冷剂，少部分用 HFC-407C 和 HFC-134a 作为制冷剂。

目前，欧盟回收的 ODS/HFCs 在欧盟认证的销毁企业进行销毁。在 11 个会员国中有 23 处商业化销毁设施，如图 2-1 所示。此外，据 ICF International 估算在 17 个会员国中有 55 处制冷剂蒸馏精制设施。^[8]

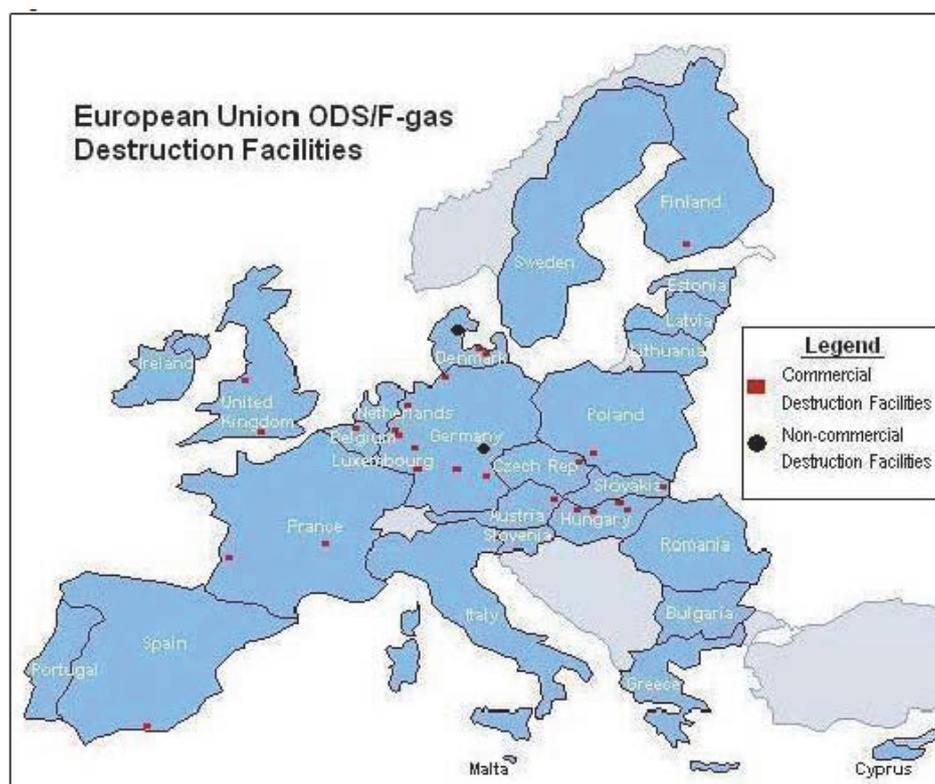


图 2-1 欧盟 ODS/含氟气体销毁设施

在已知的商业化销毁设施中，其中有 14 家提供了其 ODS/F-gas 销毁能力。这 14 家销毁能力之和约为 130000 吨/年。此外，私人 (Individual) 销毁设施的销毁能力从 20 吨/年 (匈牙利) 到 65000 吨/年 (英国)。基于这些数据的均值和中位数，欧盟 27 国总 ODS/F-gas 销毁能力介于 145000 吨和 225000 吨之间。此销毁能力足够处理制冷/空调设备及发泡剂中的 ODS/F-gas，而这部分 ODS/F-gas 到 2050 年时不会超过 50000 吨。欧盟 ODS/F-gas 的销毁能力足够，但销毁设施分布不均匀性反而是主要问题。此问题在 ODS 长距离运输 (例如大于 1000 公里) 时变得尤为明显，因为这种运输在政策和成本上并不可行。

2.3. 日本

2.3.1. 管理体系

1988 年，日本制定《限制特定物质保护臭氧层法》。该法规定对特定物质 CFCs 和哈龙采取生产许可、进口配额和许可证等措施，公布每年生产和消费的实际情况，特定物质 CFCs 的管理程序和罚则等。1989 年，日本公布了《特定氟利昂的排放控制使用合理化指南》和《特定氟利昂生产及进口规定》。随着《蒙特利尔议定书》不断修正，日本的《限制特定物质保护臭氧层法》也经过了多次修订，并加快了消减进程。日本批准“合理使用氟碳化合物并进行适度管理”的框架建议，逐步减少氟碳化合物，实行全生命周期的管理。

日本在制冷剂回收领域，一方面建立了较为完善的制冷剂回收、再利用和销毁方面的法规，另一方面，也建立了良好的制冷剂回收、再利用和销毁方面的市场经济机制，使得制冷剂的回收、再利用和销毁工作能够依靠市场经济机制持续稳步的推进。日本与制冷剂回收、再利用和销毁相关的法律主要有 3 个：

(1) 《家电回收利用法》

1998 年 6 月，日本公布《家电回收利用法》，2001 年 4 月实施。该法明确了从家庭废弃的 CRT 电视机、电冰箱、洗衣机和房间空调器，生产商、零售商、消费者等应分担的责任，并应促使其减量化和再生利用。同时，该法规定 4 种产品的回收利用率要求，即电冰箱、洗衣机为 50%，房间空调器为 60%，电视机为 55%。电冰箱和房间空调器中消耗臭氧层物质应符合《限制特定物质保护臭氧层法》的要求。

2009 年，日本修订《家电回收利用法》，对 4 种家电的回收利用率作了调整。房间空调器从 60%调整到 70%，电视机 55%不变，电冰箱从 50%调整到 65%，洗衣机从 50%调整到 65%。此外，新增加衣服干燥机、液晶和等离子电视机，其再商品化率分别为 65%，50%和 50%。

(2) 《氟利昂回收销毁法》

为治理氟利昂（CFCs，HCFCs 和 HFCs）气体，2002 年 10 月，日本实施《氟利昂回收销毁法》。该法在明确事业者、制造业者、地方公共团体、国民与国家各主体职责的基础上，对第一种类特定产品（工商制冷设备）产生的氟利昂

的回收进行了详细规定。并明确规定从事第一类氟利昂回收业、第二种特定产品（汽车空调）交付业以及第二种氟利昂回收业的从业者，必须获得都道府县知事的登记；从事特定产品氟利昂类破坏事业的从业者必须获得经济产业大臣及环境大臣的许可；在回收、搬运、破坏过程中，必须遵守主管省令规定的标准。对于违反交付、领回义务者，给予指导、建议、劝告、命令；对于违反规定标准者，由传告改为命令。^[9]由于该法以排放高浓度温室效应气体的氟利昂类的 3 种物质的回收、破坏为目的，对减少温室气体排放具有重要意义。^[10]

（3）《报废汽车再生利用》

为明确相关各方责任义务，减少废弃物排放、促进资源有效利用，日本出台《报废汽车再生利用法》，于 2002 年 4 月开始部分实施，2005 年 1 月全面实施。该法除了明确规定相关各方必须承担的责任外，还对报废汽车氟利昂和安全气囊的回收与处理做出了相应规定。^[11]

2.3.2. HFCs 与 HCFCs 替代和回收现状

日本于 1996 年 1 月 1 日前将家用电冰箱和房间空调器中的 CFCs 进行淘汰，正在进行 HCFCs 的削减工作。其中，家用电冰箱制冷剂大部分为 HC-600a，小部分为 HFC-134a。从 HFC-134a 向 HC-600a 的转变开始于新生产的自动除霜冰箱。家用电冰箱发泡剂为环戊烷，与中国电冰箱使用的发泡剂相同。

作为发达国家，日本按照《蒙特利尔议定书》执行第 2 条款缔约方的相关规定。在第 19 次《蒙特利尔议定书》6 号决议中规定了加速淘汰氢氟氯碳化合物（HCFCs）氟利昂物质的时间表—发达国家的淘汰时间表是：2010 年 HCFCs 的用量减少 75%，2015 年减少 90%，2020~2030 年，只留有 0.5%用于维修。

实际上日本 HCFCs 制冷剂淘汰进程快于《蒙特利尔议定书》中的规定。在日本制定的 HCFCs 淘汰计划中，2010 年起禁止在新设备中使用 HCFCs，2020 年起禁止在维修中使用 HCFCs，实现 HCFCs 制冷剂的完全淘汰。日本 HCFCs 的实际消费量远低于议定书规定的水平，2008 年 HCFCs 消费量不到 1000 ODP 吨，大约只有议定书规定基准线的 14%。日本制冷空调行业 HCFCs 的淘汰转换进展也比较快。在 2004 年新制造的制冷空调设备中大约 95%已使用 HFCs 制冷剂，在 2007 年新制造的制冷空调设备中已完全不采用 HCFCs 作为制冷剂。^[5]

目前日本房间空调器制冷剂主要为 HFC-410A，HFC-32 为日本大金的专利产品，其 GWP 值为 650，仅为 HFC-410A 的约 1/3，充装量仅为 HCFC-22 的 2/3 左右，具有低度可燃性，但其可燃性低于 HFO-1234yf。日本大金公司积极推动 HFC-32 在家用空调器的应用，并向全世界开放其 HFC-32 空调器的基本专利^[6]。

目前，日本市场制冷剂的回收率全球最高，日本每年制冷剂的回收量超过 6000 吨，占日本每年制冷剂消费量的 20%左右。

虽然日本没有针对制冷剂和发泡剂回收率制定明确的指标，但是在较为完善的制冷剂回收、再利用和销毁方面的法规以及良好的制冷剂回收、再利用和销毁方面的市场经济机制共同作用下，日本制冷剂回收量逐渐上升。图 2-2 为 2003-2011 年日本制冷剂回收量，图 2-3 为 2003-2012 年日本制冷剂销毁量，图 2-4 为 2001-2011 年日本废弃家电中制冷剂回收量，图 2-5 为 2001-2011 年日本废弃家电中发泡剂回收量。

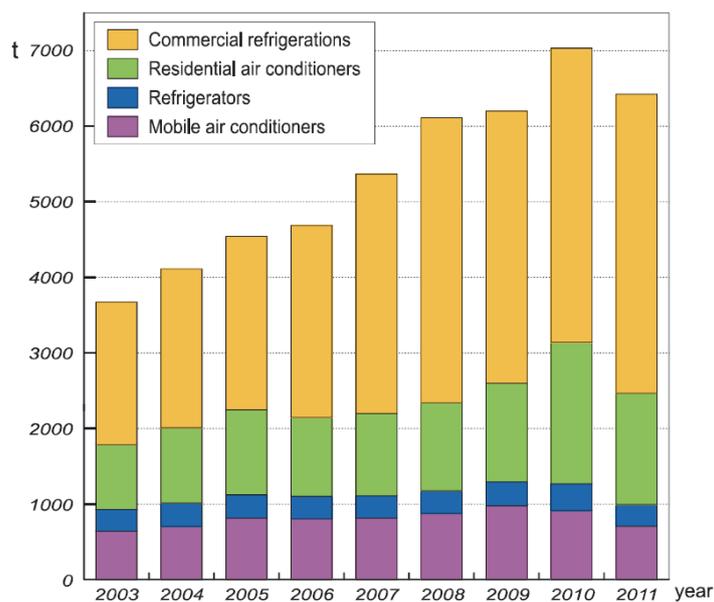


图 2-2 2003-2011 年日本制冷剂回收量

数据来源：日本环境省

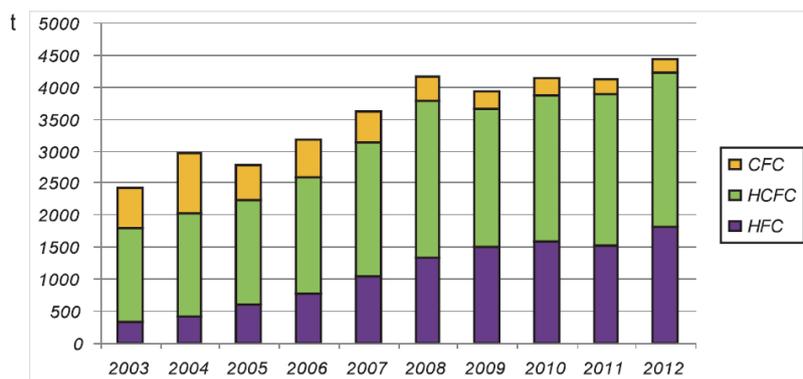


图 2-3 2003-2011 年日本制冷剂销毁量

数据来源：日本环境省



图 2-4 2001-2011 年日本废弃家用电器中制冷剂回收量

数据来源：日本 AEHA 平成 25 年家电回收报告

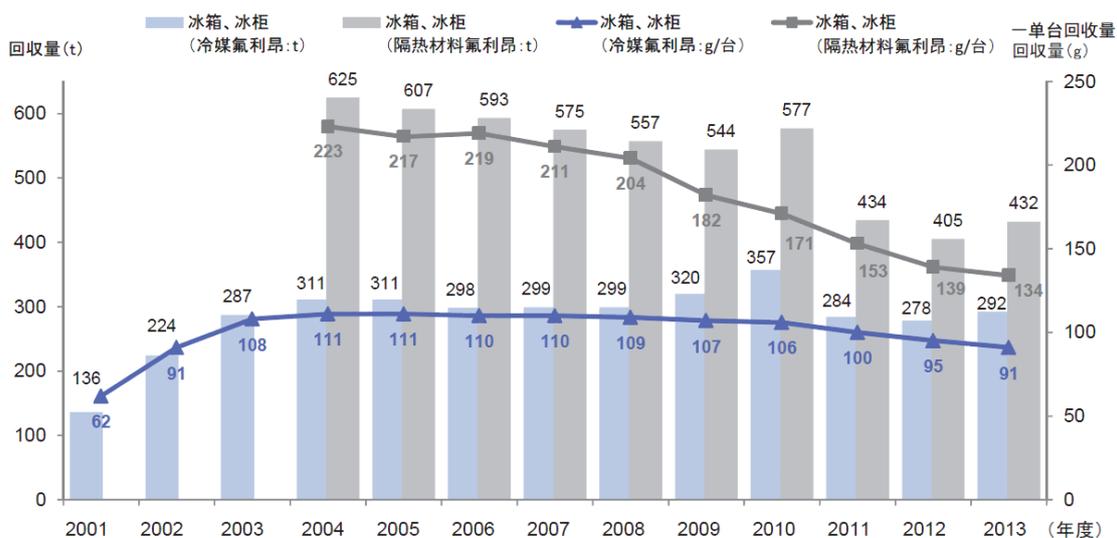


图 2-5 2001-2011 年日本废弃家用电器中发泡剂回收量

数据来源：日本 AEHA 平成 25 年家电回收报告

2.4. 美国

2.4.1. 管理体系

美国曾是消耗臭氧层物质的主要生产和消费国。为了保护臭氧层，美国政府制定了一系列联邦和州立法、禁令、经济刺激和新产品评价等控制措施。1988年，美国公布了《平流层臭氧保护条例》。1990年，美国通过了《清洁大气法》的修订，加强了消耗臭氧层物质的生产者、回收者和消费者的要求。美国保护臭氧层法律框架重横向来看，是各种法规政策的组合，包括指令性工程控制、许可证和禁令、税收及押金退款制度等；从纵向来看，是联邦和州两级立法，并以联邦控制法规为主。

美国对废弃电器电子产品回收利用的管理模式不同于欧盟。美国对固体废物的回收利用制定了非常完善的管理制度，即《资源保护和循环利用法》(RCRA)，其中包括对有害废弃物的管理。美国对废弃电器电子产品中的电器和电子产品是分别进行管理的。美国常说的 E-WASTE，是指电子产品废弃物，如电视、电脑等。截止到 2013 年底，已有加州、缅因州、纽约州等 25 个州针对 WEEE 中的电子产品的回收利用进行了州立法，采用类似欧盟的生产者延伸责任制的管理模式。

而废电器产品，如废弃电冰箱，同其他传统的再生资源一样，按市场机制进行回收利用。关于制冷器具中的温室气体，在美国《清洁大气法》中有详细的规定。美国环保局把使用小于 5 磅的制冷剂的家用电器定义为“小电器”，并要求所有在 1993 年 11 月 15 日以后销售的新电器必须在制冷系统上加装处理装置；任何从事小电器修理或处理的人员，必须回收 80~90% 的制冷剂（根据电器的生产年代和制冷系统的使用状况）；任何从事电器最终处理的人员，应保证所有的制冷剂已被回收；同时必须保存制冷剂从废弃电器中正确回收的记录证明；1993 年 11 月 15 日以后生产的制冷剂回收设备，必须通过认可的检测部门的资格认证；旧的制冷剂回收设备如果能满足标准要求也认为是合格的；任何从事小电器修理或制冷剂回收的技术人员必须告知环保局，他们使用的是通过认证的制冷剂回收设备；从 1994 年 11 月 14 日开始，任何从事小电器修理或制冷剂回收的技术人员必须通过资格认证。

此外，美国环保署通过支持各种民间活动，例如 NEPSI 活动、EPEAT 活动等，教育消费者电子产品再使用和再生利用的重要性以及怎样才能安全的再使用和再生利用这些产品，推动 WEEE 的回收利用。在州立法层面，美国的一些州规定，禁止大家电填埋。

2.4.2. HFCs 和 HCFCs 替代和回收现状

美国于 1996 年 1 月 1 日前将家用电冰箱和房间空调器中的 CFCs 进行淘汰，正在进行 HCFCs 的削减工作。其中，家用电冰箱使用的制冷剂为 HFC-134a。2010 年 5 月，美国国家环境保护局（EPA）批准 HC-600a，HC-290 和 HC-441A 这三种碳氢化合物可以作为家用电冰箱制冷剂（最大使用量为 57g/台）。2011 年 6 月，美国通用电气公司开发出以异丁烷作为制冷剂的家用电冰箱。除了碳氢化合物外，HFO-1234yf 以其低可燃性和非常低的全球升温潜力（GWP=4）也可用作家用电冰箱制冷剂。^[7]

美国家用电冰箱使用的聚氨酯发泡剂为 HFC-245fa, HFC-365mfc/227ea 液态混合物，由于这三种发泡剂全球升温潜力较高，远大于欧盟含氟气体指令（F-Gas Regulation）中 GWP=150 的指标，霍尼韦尔公司（Honeywell）开发出液态 HBA-2（GWP=7）和气态 HFO-1234ze (E)（反式-1,3,3,3-四氟丙烯）（GWP<1）发泡剂，杜邦公司开发出 FEA-1100（HFO-1336mzz）（GWP=9.4）发泡剂，阿科玛公司开发出 AFA-L1（GWP<15）发泡剂。^[7]

美国作为《蒙特利尔议定书》的缔约国，为了达到 2010 年削减基线（1989 年美国 CFCs 消费量的 2.8%+1989 年美国 HCFCs 消费量的 100%）75%，2015 年削减基线 90% HCFCs 消费量的目标，自 2010 年 1 月 1 日起，美国禁止 HCFC-22 和 HCFC-142b 作为制冷剂的空调生产和进口，美国房间空调器使用的制冷剂为 HFC-410A。

据美国钢铁再生利用协会统计，2011 年，美国电器再生利用达到 90%（见图 2-6），远远大于电子产品的再生利用率。

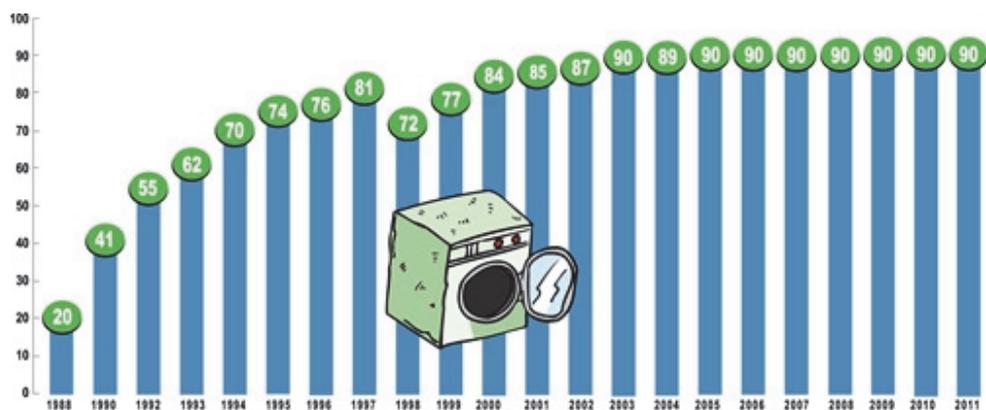


图 2-6 美国电器再生利用率

除了替代新产品中的制冷剂，通过蒸馏精制等方法对已使用制冷剂及发泡剂进行纯化，同样可以降低非 CO₂ 温室气体排放量。EPA 认证的制冷剂蒸馏精制企业处理量及企业名单如图 2-7 和表 2-1 所示。

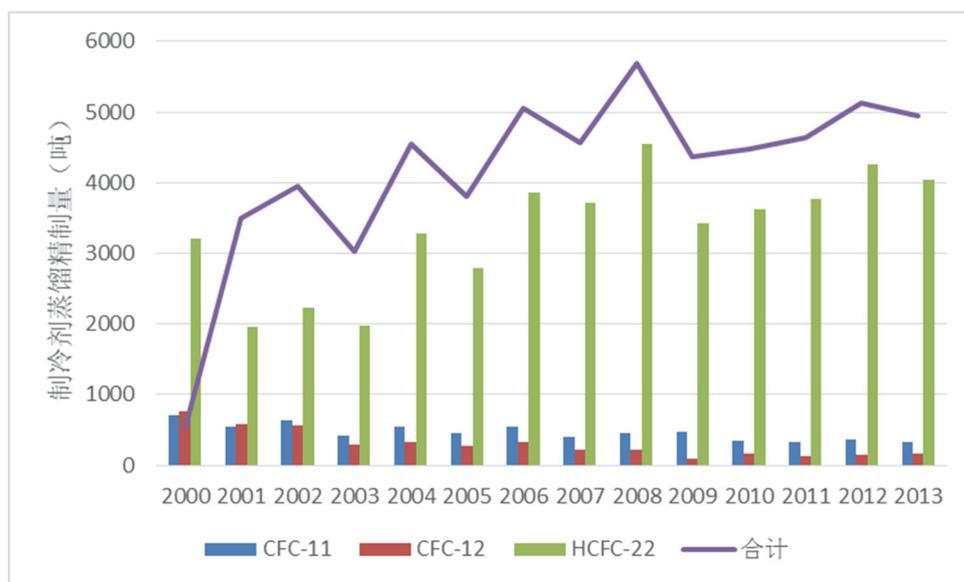


图 2-7 EPA 认证的制冷剂蒸馏精制企业所报告的处理量

注：合计中还 R114, R113, R500 等制冷剂及发泡剂。

表 2-1 EPA 认证的制冷剂蒸馏精制企业

制冷剂蒸馏精制企业 (Refrigerant Reclaimer)	制冷剂蒸馏精制企业 (Refrigerant Reclaimer)
1 st Choice Recycling & Recovery	Perfect Cycle CFC Group
Absolute Chiller Services, Inc	Pierce Refrigerant Management
Advanced Refrigerant Reclaimers, Inc.	Polar Refrigerant Technology
Advanced Refrigerant Technologies, LLC	Polar Technology (An AKT Company)
AeroSys, Inc.	RTR Suppliers
Airgas Refrigerants, Inc.	Reclamation Technologies, Inc.
AllCool Refrigerant Reclaim, LLC	Refri-Claim Service Division

American Refrigerants, Inc.	Refrigerant Exchange Corp.
Arkema, Inc.	Refrigerant Handling, Inc
Brady Trane Service, Inc.	Refrigerant Management Services of Georgia
Certified Refrigerant Services	Refrigerant Products, LLC
Chiller Services Refrigerant Recovery	Refrigerant Recycling, Inc.
Chill-Tek, Inc.	Refrigerant Resource
Clean Air Refrigerant Recovery and Reclaiming, Inc.	Refrigerants, Inc
Consolidated Refrigerant Reclaim	Refrigeration Salvage, Inc.
Consolidated Refrigerant Solutions, Inc.	RemTec International
Coolgas	Safe Disposal Systems, Inc.
Copper State Recovery	Southern Refrigerant Wholesale
Diversified Pure Chem, L.L.C.	Specgas, Inc.
Dow Chemical Company	St. Vincent De Paul Society of Lane County, Inc.
Environment First, Inc.	Storer Equipment Company, Inc.
Gerster Sales and Service, Inc.	Summit Refrigerants, LLC
Golden Refrigerant	Total Reclaim, Inc.
Honeywell SpecialtyChemicals	Trane San Antonio District
Hudson Technologies Company	Trigon Refrigerant Group, LLC
InSolution - KoolDuct Fabricator	Turner & Schoel, LLC
J.R.'s Appliance Disposal, Inc.	U.S. Refrigerant Reclamation
National Refrigerants, Inc.	Vitello, Inc.
Newcomb Mechanical, Inc.	Valley Reclaim
NoVent Refrigerant Services, Inc.	Welch's Refrigeration H.V.A.C

数据来源：EPA（EPA-Certified Refrigerant Reclaimers）

<http://www.epa.gov/ozone/title6/608/reclamation/reclist.html>

2.5. 针对 HFC 管理情况

2.5.1. 欧盟 F-Gas 法规

按照《蒙特利尔议定书》的要求，欧盟已于 1996 年 1 月 1 日前将家用电冰箱和房间空调器中的 CFCs 进行淘汰。由于目前房间空调器中的制冷剂为 HFCs，虽然其 ODP 为零，但其 GWP 仍然较大，为了削减非 CO₂ 温室气体，2012 年，欧盟委员会通过长期评估，对 2006 年发布的 F-Gas 法案（含氟气体指令）提出修改提案。在这一提案中，控制 HFCs 的时间表更加具体。同时，提案增加了配额管理和部分行业 HFCs 禁令的具体实施措施，相比前期版本主要关注在用设备泄漏和报废的回收问题，更加具体和严格。按照目前的修订提案来看，欧盟将于 2015 年开始，将 HFCs 使用量冻结在基准水平上，2016 年开始削减，到 2030 年

削减 79%。同时，在法令生效三年后（2018 年），在最终用户初次安装使用前，制冷、空调及热泵系统不能预先灌注含氟气体，必须由经过认证的专业人员操作。

另外，提案还针对一些行业提出严格的禁令措施。具体包括：在家用冰箱、冷柜行业，到 2015 年，禁止使用 GWP 值大于 150 的 HFCs 的产品进入欧盟市场；在零售业及食品业使用的冰箱、冷柜、展示柜方面，到 2017 年，禁止使用 GWP 大于 2500 的 HFCs 的产品进入欧盟市场，到 2020 年，禁止使用 GWP 大于 150 的 HFCs 的产品进入欧盟市场；在可移动空调方面，到 2020 年，禁止使用 GWP 大于 150 的 HFCs 的产品进入欧盟市场。^[12]欧盟在市场上逐步淘汰氢氟烃时间表及新设备制冷剂禁令如图 2-8 和表 2-2 所示。

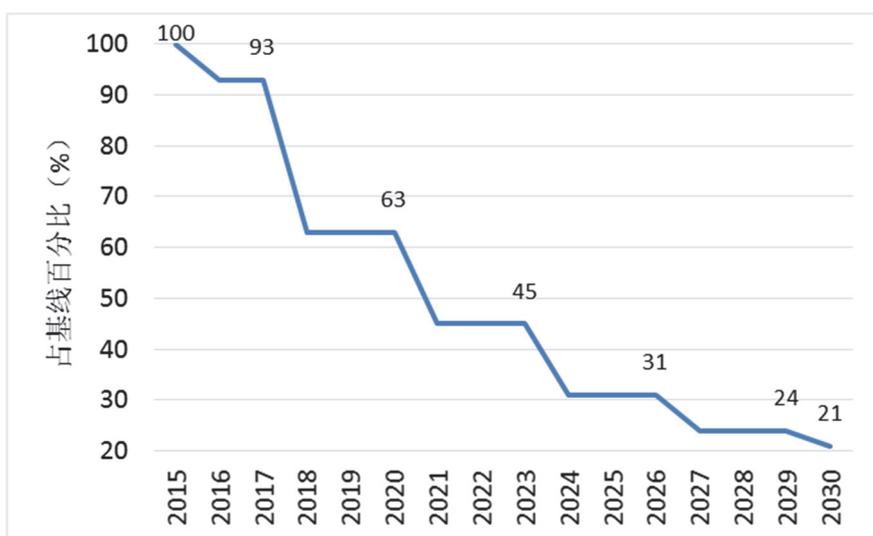


图 2-8 欧盟在市场上逐步淘汰氢氟烃时间表 (F-Gas 法案)

表 2-2 欧盟新设备制冷剂禁令 (部分)

产品和设备	禁令日期	GWP 值上限
家用冰箱和冰柜	2015	150
商用冰箱/冰柜 (密封)	2020	2500
商用冰箱/冰柜 (密封)	2022	150
固定式制冷设备	2020	2500
移动式房间空调设备 (密封)	2020	150
单分体式空调系统 (使用少于 3 千克的氯氟烃)	2025	750

尽管如此，欧盟议会仍认为欧盟委员会的该提案还不够严格，建议增加碳税措施，以满足欧洲在减排温室气体方面的需要，促进低碳技术发展。欧盟议会提出，要对配额使用 HFCs 征收费用，生产商和进口商需支付 10 欧元/二氧化碳当

量吨的配额使用费。如果按照此标准计算，一台 1.5HP 的空调使用 HFC-410A 制冷剂，需要额外支付 20 欧元左右的配额使用费，采用其他具有温室效应潜值制冷剂的产品都将额外增加相应成本。

虽然目前欧盟委员会与欧盟议会和欧盟理事会之间，对 F-Gas 法案的修订细节，还存在一些争议，但大体方向已经确定，对于 HFCs 类制冷剂采取严格的控制措施，几乎成为定局。该修订法案有望在 2013 年底获得通过，HFCs 类制冷剂在欧盟的“命运”堪忧。^[12]

2.5.2. 北美三国削减 HFCs 提案

2009 年，美国联合加拿大和墨西哥，向蒙特利尔议定书缔约国大会提交了 HFCs 削减提案。美国希望将 HFCs 纳入臭氧层保护的蒙特利尔议定书框架下讨论，通过蒙特利尔议定书相关机制，来实现对 HFCs 的有效控制。截至 2012 年，美国已经游说 100 多个国家接受这个提案。^[12]

加拿大、墨西哥和美利坚合众国提案的主要内容如下：

- (1) 新增附件 F，列出 19 种氢氟碳化合物。
- (2) 认识到目前并非所有的氢氟碳化合物应用都有替代品，因此采用一种稳定的逐步减少机制，而不是逐步淘汰机制。
- (3) 提议按照全球升温潜能值加权值，对非第 5 条缔约方和第 5 条缔约方应逐步减少的生产和消费量做出规定（见图 2-9）。
- (4) 对于第 5 条缔约方而言，以 2008-2010 年氟氯烃消费量和生产量平均值的 90% 作为基准，同时认识到某些国家有关氢氟碳化合物的数据有限。
- (5) 对于非第 5 条缔约方而言，将 2008-2010 年所有氢氟碳化合物消费量和生产量，与氟氯烃消费量和生产量的 85% 相加后取平均值，作为基准。
- (6) 以全球升温潜能值，而不是《蒙特利尔议定书》通常采用的臭氧消耗潜能值来计算。

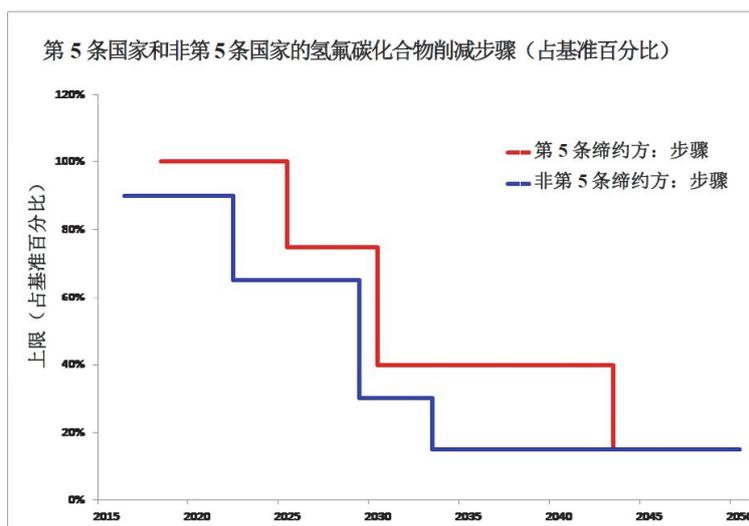


图 2-9 第 5 条国家和非第 5 条国家的氢氟碳化合物拟议削减步骤（占基准百分比）

2013 年 10 月 21-25 日，关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书缔约方第二十五次会议在泰国曼谷举行，会上讨论了由密克罗尼西亚联邦及加拿大、墨西哥和美利坚合众国提出的为逐步减少氢氟碳化合物的生产和消费而对《议定书》进行修正的两份提案。

《蒙特利尔议定书》是逐步减少氢氟碳化合物的生产和消费的合适文书，因为各缔约方正是在该《议定书》下完成了逐步淘汰氯氟化碳和氟氯烃的工作，从而导致了氢氟碳化合物使用的增加。

全球对于氢氟碳化合物对气候系统构成威胁的认识日益增强。2013 年 9 月，美利坚合众国总统巴拉克·奥巴马和中国主席习近平在双边会议上，呼吁成立一个不限成员名额联络小组审议所有相关问题，包括对发展中国家提供财政及技术支持、采用成本效益高且安全的替代品、环境惠益，及对《议定书》的修正。美利坚合众国总统与印度总理曼莫汉·辛格于 2013 年 9 月达成协定，即成立一个印美氢氟碳化合物问题工作组，以便讨论采取多边举措（包括利用《议定书》的专门知识和相关机制）来逐步减少氢氟碳化合物的消费与生产等问题。世界上最大几个国家的元首已授权各缔约方处理氢氟碳化合物的控制问题。

日本的代表指出，他的国家正在介绍一项控制使用氟碳化合物的新法规。欧洲联盟的代表也表示，该缔约方正在修订其控制框架，以便逐步减少氢氟碳化合物的生产和消费。

许多代表对这两项提案表示支持。很明显，需要对许多相关细节展开细致研

究及详细讨论，尤其是提案的法律、技术、经济及财政相关内容，以及氢氟碳化物的技术上可行、成本效益高及安全的现有替代品问题。成立一个正式的联络小组（最好是不限成员名额）将有助于对所有上述问题及其他相关问题进行充分分析及进一步讨论。

但是，其他代表对拟议修正表示反对。具体来说，若干代表对缺乏可得的氢氟碳化合物替代品表示关切，他们指出，在能够更广泛地获得技术上可行、成本效益高且安全的替代品之前，对修正《议定书》的提案加以讨论尚不成熟。技术和经济评估小组的报告显示，替代品的可得性有限且成本高昂，报告还对某些替代品的毒性和易燃性表示关切。

虽然会上缔约国各方对于成立一个联络小组以正式讨论 HFCs 削减问题并没有达成一致，但决定继续就相关技术和经济方面的问题进行研究。可以预见，HFCs 类制冷剂在北美三国也会逐渐通过政策被控制和削减。

2.5.3. 美国 HFC 替代制冷剂清单

为了支持美国总统奥巴马的《气候行动计划》，美国环保署于 2014 年 7 月提议增加制冷剂替代品的种类以保护臭氧层，更好地保护气候。这是美国环保署在《气候行动计划》框架下开展的第一个针对制冷剂的行动，它倡导通过《重要新替代品政策》（Significant New Alternatives Policy – SNAP）来确认和核准更多的气候友好型化学品。2014 年 7 月发布的新一轮在美国市场可销售的 HFC 替代品清单及 SNAP 提议的即将不能在美国销售的 HFC 产品如表 2-3 和表 2-4 所示。

表 2-3 美国环保署 2014 年 7 月发布的新一轮在美国市场可销售的 HFC 替代品清单

制冷剂	GWP	应用范围					
		家用电冰箱	零售独立式电冰箱	贩卖机	低温电冰箱	热泵	家用独立式空调器
乙烷					×	×	
异丁烷			×	×			
丙烷		×		×			×
R-441A (碳氢混合物)			×	×			×
HFC-32							×

表 2-4 SNAP 提议的即将不能在美国销售的 HFC 产品

禁止销售的制冷剂及时间	对应产品
气溶胶（2016 年 1 月）	<ul style="list-style-type: none"> • 不能使用 HFC-134a, 除了一些技术和医用领域的气溶胶, 包括 MDIs • HFC-125, HFC-227ea 不能使用, 除了 MDIs
机动车空调器（2021 年后生产的）	<ul style="list-style-type: none"> • 不能使用 HFC-134a
发泡剂（2017 年 1 月）	<ul style="list-style-type: none"> • 不能使用 HFC-134a 和其混合物 • 在所有发泡剂中都不能使用 HFC-245fa 和 HFC-365mfc, 除了喷雾发泡剂产品
新生产的（或是由旧的 ODS 翻新的）超市使用的冷藏系统：远程压缩系统（2016 年 1 月）	<ul style="list-style-type: none"> • 不能使用 HFC, 包括 HFC-227ea, R-404A, R-407B, R-421B, R-422A, R-422C, R-422D, R-428A, R-434A, R-507A
新生产的独立式商用食品冷藏设备和贩卖机（2016 年 1 月）	<ul style="list-style-type: none"> • 不能使用 HFC, 包括 HFC-134a, R-404A, R-407A, R-407C, R-507A, 其他混合物
由旧的 ODS 翻新的独立式商用冷藏设备和贩卖机（2016 年 1 月）	<ul style="list-style-type: none"> • 不能使用 HFC, 包括 R-404A 和 R-507A

3. 中国制冷剂替代和回收管理体系和行业现状

3.1. 管理体系

从 1989 年，中国正式申请加入《保护臭氧层维也纳公约》以来，中国政府高度重视消耗臭氧层物质的削减和替代，并形成了一个较为完善的管理体系。随着中国废弃电器电子产品的快速增加，2009 年，中国发布《废弃电器电子产品回收处理管理条例》，规范废弃电器电子产品回收处理的活动。其中，首批目录产品包括电冰箱、电视机、洗衣机、房间空调器和微型计算机。《条例》的实施推动了中国废弃电器电子产品中非 CO₂ 温室气体的回收工作。

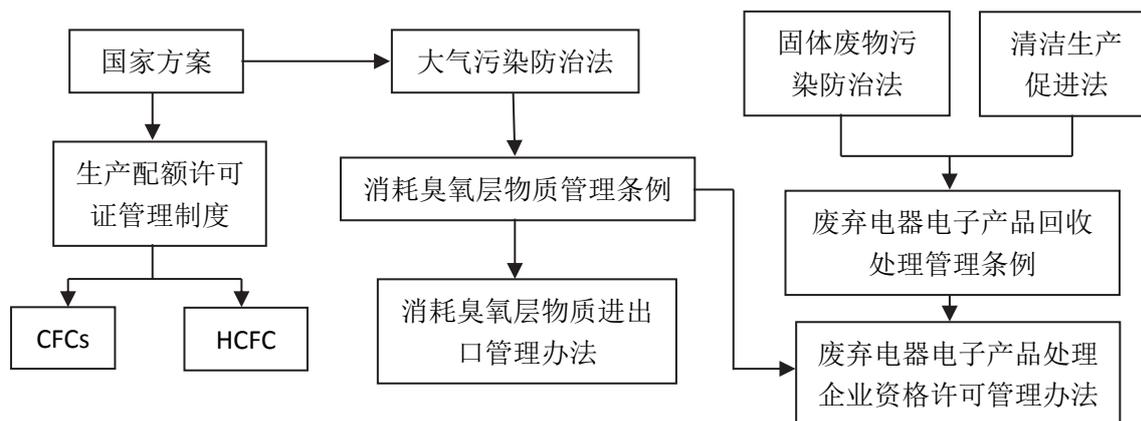


图 3-1 中国制冷剂替代和回收的管理体系

3.1.1. 国家方案

1991 年 5 月，中国正式申请加入《蒙特利尔议定书》。作为缔约国，中国于 1993 年 1 月批准实施《中国消耗臭氧层物质逐步淘汰国家方案》（以下简称《国家方案》），通过实施《国家方案》，有效地控制了我国消耗臭氧层物质（以下简称 ODS）生产和消费的增长势头，建立了实施《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》（以下简称《议定书》）多边基金项目管理体制，并实现了在气雾剂行业（尚无替代技术的产品除外）禁止使用氯氟化碳类物质（亦称全氯氟烃类物质，以下简称 CFCs）。为中国的履约工作奠定了基础。

1999 年，中国对《国家方案》进行修订。《国家方案》的修订基于原《国家方案》的总体框架及多边基金执委会对于《国家方案》修订工作的总体要求，重

点考虑多边基金执委会关于增加费用计算的最新指南、关于行业整体淘汰机制的运行、替代技术路线选择及适应中国社会主义市场经济体制建立和完善的政策法规体系，重新调查、核实了 ODS 的生产、使用情况及其发展趋势，确定了适合中国国情的替代品和替代技术，进一步明确了总体淘汰战略和行业淘汰计划，提出了可操作的政策措施和监督管理制度。

3.1.2. 大气污染防治法

2000 年，在全国人大审议批准的《中华人民共和国大气污染防治法》修正案中，增加 2 条有关消耗臭氧层物质淘汰的条款，使得消耗臭氧层物质淘汰进入国家高层法律的框架。《中华人民共和国大气污染防治法》中有关制冷剂替代和回收的内容如下所述：

第三十七条工业生产中产生的可燃性气体应当回收利用，不具备回收利用条件而向大气排放的，应当进行防治污染处理。

可燃性气体回收利用装置不能正常作业的，应当及时修复或者更新。在回收利用装置不能正常作业期间确需排放可燃性气体的，应当将排放的可燃性气体充分燃烧或者采取其他减轻大气污染的措施。

第四十五条国家鼓励、支持消耗臭氧层物质替代品的生产和使用，逐步减少消耗臭氧层物质的产量，直至停止消耗臭氧层物质的生产和使用。

3.1.3. 消耗臭氧层物质管理条例

2010 年 3 月 24 日国务院第 104 次常务会议通过《消耗臭氧层物质管理条例》（以下简称《条例》），自 2010 年 6 月 1 日起施行。《条例》为了加强对消耗臭氧层物质的管理，履行《保护臭氧层维也纳公约》和《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》规定的义务，保护臭氧层和生态环境，保障人体健康而编制。《条例》共分为六章，第一章总则，第二章生产、销售和使用，第三章进出口，第四章监督检查，第五章法律责任和第六章附则。《条例》的公布和实施标志着中国消耗臭氧层物质管理进入了法制化阶段。《条例》中有关制冷剂替代和回收的内容如下所述：

第五条国家逐步削减并最终淘汰作为制冷剂、发泡剂、灭火剂、溶剂、清洗

剂、加工助剂、杀虫剂、气雾剂、膨胀剂等用途的消耗臭氧层物质。

第八条国家鼓励、支持消耗臭氧层物质替代品和替代技术的科学研究、技术开发和推广应用。

国务院环境保护主管部门会同国务院有关部门制定、调整和公布《中国消耗臭氧层物质替代品推荐名录》。

开发、生产、使用消耗臭氧层物质替代品，应当符合国家产业政策，并按照国家有关规定享受优惠政策。国家对在消耗臭氧层物质淘汰工作中做出突出成绩的单位和个人给予奖励。

第十九条从事含消耗臭氧层物质的制冷设备、制冷系统或者灭火系统的维修、报废处理等经营活动的单位，应当向所在地县级人民政府环境保护主管部门备案。

专门从事消耗臭氧层物质回收、再生利用或者销毁等经营活动的单位，应当向所在地省、自治区、直辖市人民政府环境保护主管部门备案。

第二十条 消耗臭氧层物质的生产、使用单位，应当按照国务院环境保护主管部门的规定采取必要的措施，防止或者减少消耗臭氧层物质的泄漏和排放。

从事含消耗臭氧层物质的制冷设备、制冷系统或者灭火系统的维修、报废处理等经营活动的单位，应当按照国务院环境保护主管部门的规定对消耗臭氧层物质进行回收、循环利用或者交由从事消耗臭氧层物质回收、再生利用、销毁等经营活动的单位进行无害化处置。

从事消耗臭氧层物质回收、再生利用、销毁等经营活动的单位，应当按照国务院环境保护主管部门的规定对消耗臭氧层物质进行无害化处置，不得直接排放。

第二十一条 从事消耗臭氧层物质的生产、销售、使用、回收、再生利用、销毁等经营活动的单位，以及从事含消耗臭氧层物质的制冷设备、制冷系统或者灭火系统的维修、报废处理等经营活动的单位，应当完整保存有关生产经营活动的原始资料至少 3 年，并按照国务院环境保护主管部门的规定报送相关数据。

3.1.4. 消耗臭氧层物质进出口管理办法

2014 年 1 月 21 日，根据《消耗臭氧层物质管理条例》和有关法律、行政法规，环保部、商务部和海关总署制定《消耗臭氧层物质进出口管理办法》，自 2014 年 3 月 1 日起施行。原国家环境保护总局发布的《消耗臭氧层物质进出口管理办

法》（环发〔1999〕278号）和原国家环境保护总局、原对外经济贸易合作部、海关总署发布的《关于加强对消耗臭氧层物质进出口管理的规定》（环发〔2000〕85号）同时废止。

3.1.5. 生产配额许可证管理

为履行《蒙特利尔议定书》，伦敦修正案（以下简称“议定书”）所规定的国际义务，实施《中国化工行业全氯氟烃产品(CFCs)生产整体淘汰计划》，逐步削减CFCs的生产，决定自1999年1月1日起对CFCs生产实行配额许可证管理。

为了推动HCFCs的削减和替代，2013年8月，环保部下发《关于加强含氢氯氟烃生产、销售和使用管理的通知》，规定了配额管理的具体实施办法。

3.1.6. 废弃电器电子产品回收处理管理条例

2009年2月25日，为了规范废弃电器电子产品的回收处理活动，促进资源综合利用和循环经济发展，保护环境，保障人体健康，温家宝总理签署《条例》（国务院令 第551号），自2011年1月1日起施行。

《条例》确定了我国废弃电器电子产品回收处理管理采用生产者延伸责任制的基本原则和多渠道回收，集中处理的管理模式。《条例》规定了废弃电器电子产品回收处理活动其他相关方的责任和义务，并要求建立《废弃电器电子产品处理目录》制度、处理基金制度、处理企业资质许可制度及废弃电器电子产品回收处理产业规划等配套政策。其中，首批目录产品为电视机、电冰箱、洗衣机、房间空调器和微型计算机。

为了落实《条例》的基金制度，2012年5月21日，财政部会同环境保护部、国家发展改革委、工业和信息化部、海关总署、国家税务总局联合发布《废弃电器电子产品处理基金征收使用管理办法》（财综〔2012〕34号），2012年10月15日，财政部和国家税务总局联合发布《关于进一步明确废弃电器电子产品处理基金征收产品范围的通知》（财综〔2012〕80号）。管理办法规定了处理基金征收标准和补贴标准，以及相应的程序，《通知》对电器电子产品生产者征收废弃电器电子产品处理基金的产品范围进一步进行了明确。2012年7月1日开始实施。

基金征收标准：电视机13元/台、电冰箱12元/台、洗衣机7元/台、房间空调

器7元/台、微型计算机（包括便携式微型计算机、一体台式微型计算机、台式微型计算机生产配套用的显示器等）10元/台。

基金补贴标准：电视机 85 元/台、电冰箱 80 元/台、洗衣机 35 元/台、房间空调器 35 元/台、微型计算机 85 元/台。

3.2. 家用电冰箱 CFC 替代与多边基金援助

中国是家用电冰箱的生产大国。2013 年，家用电冰箱累计生产 9340.6 万台，累计同比增长 10.6%。家用电冰箱制造主营业务收入 3174.0 亿元，累计同比增长 16.2%；利润总额 178.4 亿元，累计同比增长 28.6%；税金总额 95.4 亿元，累计同比增长 24.5%。目前，中国国内销售的新电冰箱采用 HC-600a 作为替代制冷剂，环戊烷作为替代发泡剂，出口到美国等国家和地区的电冰箱采用 HFC-134a 作为制冷剂，HFC-245fa 作为发泡剂。

中国家用电冰箱从 1994 年开始进行 CFCs 淘汰工作，并得到了多边基金的大力支持。1994 年既有生产线改造获得多边基金批准。截止到 2001 年底，多边基金执委会共批准单个项目 41 个，赠款总额 7935 万美元，可淘汰 CFCs 消费量 10874 吨。2002 年 11 月蒙特利尔多边基金第 38 次执委会批准了中国家用电冰箱行业 ODS 淘汰行业机制项目，项目获赠款 736.053 万美元，淘汰 CFCs 1099 吨。项目采用国家实施方式，从 2003 年开始，计划至 2010 年止。家用电冰箱生产行业多边基金项目列于表 3-1 中，并全部圆满完成。

表 3-1 家用电冰箱行业多边基金项目

项目企业名称	所在省	所在市	淘汰物质	淘汰量 (吨)
家用制冷行业计划项目清单				
贵州海尔电器有限公司	贵州	遵义	CFC11-12 CFC-12	422.6
海信（北京）电器有限公司	北京	北京	CFC11 CFC-12	161.7
嘉兴德尔电器制造有限公司	浙江	嘉兴	CFC11 CFC-12	210.03
荆州万银一万宝银河（沙市）冷柜有限公司	湖北	荆州市	CFC11 CFC-12	120.3
柳州鸿浦电器有限责任公司（原广西都乐）	广西	柳州	CFC11 CFC-12	60.47
牡丹江康佳实业有限公司	黑龙江	牡丹江	CFC11	67.25

			CFC-12	
温州华威（关线补偿合同）	浙江	温州	CFC11 CFC-12	70.73
主要单个项目清单				
长岭电器集团公司冰箱厂	陕西	宝鸡	CFC-12	70
甘肃长风宝安有限公司	甘肃	兰州	CFC11 CFC-12	65
江西华意电气集团公司	江西	景德镇	CFC-12	60
上海冰箱压缩机厂	上海	上海	CFC-12	100
上海三菱电器冰箱厂	上海	上海	CFC-12	108
广州万宝电器集团公司	广东	广州	CFC-12	80
江西华意电器集团公司泡沫	江西	景德镇	CFC-11	180
上海三菱冰箱厂，扬州科龙电器有限公司	上海	上海	CFC-11 CFC-12	174.2
河南新飞电器有限公司	河南	新乡	CFC-11	375
长岭电器集团公司泡沫厂	陕西	宝鸡	CFC-11 CFC-12	516
杭州西冷/科龙电器股份有限公司	浙江	杭州	CFC-11 CFC-12	360
浙江华日集团	浙江	杭州	CFC-11 CFC-12	338
青岛澳柯玛集团	山东	青岛	CFC-11 CFC-12	708
合肥美菱电器公司	安徽	合肥	CFC-11 CFC-12	849
广州华菱冰箱厂	广东	广州	CFC-11 CFC-12	293
南昌齐洛瓦电器集团总公司	江西	南昌	CFC-11 CFC-12	423
浙江荣盛电器有限公司	浙江	乐清	CFC-11 CFC-12	177.8
常熟制冷设备厂--江苏白雪电器有限公司	江苏	常熟	CFC-11 CFC-12	425.7
南京伯乐集团公司	江苏	南京	CFC-11 CFC-12	132
浙江星星电器工业公司	浙江	台州	CFC-11 CFC-12	348.1
合肥华凌电器公司	安徽	合肥	CFC-11 CFC-12	82.8
北京低温设备厂	北京	北京	CFC-11 CFC-12	35.3
昆明兰花--浙江星星集团公司	浙江	台州	CFC-11 CFC-12	95.5

莫干山-中科生命科技股份有限公司	浙江	德清县	CFC-11 CFC-12	667.6
青岛澳柯玛集团浙江电器有限公司	浙江	嘉兴	CFC-11 CFC-12	199
江苏阪神电器股份有限公司——江苏雪龙电器公司	江苏	常熟	CFC-11 CFC-12	563

数据来源：www.ozone.org.cn（中国保护臭氧层行动-家用制冷行业）

家用电冰箱生产行业计划项目由代表政府行事的国家环保总局执行。联合国工业发展组织（UNIDO）作为国际执行机构将监督行业计划实施的进展及效果。国家环保总局项目管理办公室（PMO）和中国家电协会（CHEAA）联合组成特别工作组（SWG）负责工作计划的制定和具体实施。行业计划下的活动包括生产线改造和关闭和技术援助活动。

行业计划资金拨付和实施分为二期进行：38 次执委会批准了一期资金，为 5188991 美元，其中 340 万为多边基金，178.8991 万为意大利双边赠款；45 次执委会批准了二期资金，为 2171539 美元，其中杭丽归还设备款 1.5 万美元，UNIDO 预留 3 万美元，二期合同是 212.6539 万美元。

家电一期主要包括 6 个企业改造项目和 1 个生产线关闭项目及 8 个技术援助活动，包括禁令起草和标准制订等活动。

（1）改造项目

对于之前批准的 41 个单个项目，其中 5 个项目已经撤销，36 个已经完成。已经完成改造项目的企业，不允许继续使用 CFCs 制冷剂和发泡剂。

行业计划下的企业水平活动分三批实施。第一批包括贵州海尔、北京海信、嘉兴德尔三个企业；第二批项目包括荆州万银、柳州鸿浦、牡丹江康佳三个企业；第三批项目包括温州华威一个企业。上述三批项目共 7 个企业除温州华威是关闭生产线补偿合同、牡丹江康佳为回补合同外，其余 5 家企业为生产线改造合同。目前企业水平活动已结束，而且贵州海尔、牡丹江康佳和温州华威已通过项目国家验收，其余 4 家改造企业也已于 2007 年 11 月进行了现场项目验收。

（2）技援项目

家用制冷行业计划一期主要包括改造项目文件编制、国内外改造设备调研、企业改造技术培训、CFC 数据信息系统建设、压缩机现场技援、安全标准制订

和禁令编制等。

家电二期主要包括在家电生产、销售和进出口禁令的颁布后，开展的一系列公众宣传、工厂安全检查、CFCs 数据收集系统、项目绩效监控、市场调查、行业总结大会等技术援助活动；5 个压缩机企业转换成非 CFCs 的回补援助项目，以及维修站的援助项目等。

2007 年底，一期项目基本完成，7 个企业水平项目均已完成项目验收，技术援助活动基本完成；二期项目压缩机回补项目和部分公众宣传项目逐步开展。

1999 年 7 月，国家环境保护总局与联合国开发计划署（UNDP）联合签订了《全球环境基金中国节能氟利昂替代广泛商业化障碍消除项目》，并将项目目标定为“通过提高现有冰箱的节能水平并消除节能冰箱在中国商业化的障碍，实现大幅度节能，从而减少中国温室气体的排放。”项目已于 2006 年顺利结束，GEF 中国节能冰箱项目不但实现了预期的目标，而且超额完成了任务，对中国家用电冰箱氟利昂替代起到重大的推动作用。

2006 年的 9 月 15 日发布的《关于禁止生产、销售、进出口以氯氟烃（CFCs）物质为制冷剂、发泡剂的家用电器产品的公告》。《公告》明确规定，自 2007 年 1 月 1 日起，任何企业不得生产以 CFCs 为制冷剂、发泡剂的家用电器产品不得在家用电器产品的生产过程中使 CFCs 作为清洁剂。这是我国履行《蒙特利尔议定书》中的承诺的重要一步，标志着我国冰箱行业 CFCs 替代胜利完成。

为履行《蒙特利尔议定书》，伦敦修正案（以下简称“议定书”）所规定的国际义务，实施《中国化工行业全氯氟烃产品（CFCs）生产整体淘汰计划》，逐步削减 CFCs 的生产，决定自 1999 年 1 月 1 日起对 CFCs 生产实行配额许可证管理。

世界银行是 CFCs 生产行业整体淘汰计划实施的国际执行机构，协助并监督中国履行协议。国家环保总局和原国家石化局联合设立了行业工作组，负责具体项目的实施。行业计划实施主要包括生产淘汰项目、技术援助项目和替代品建设项目三部分内容。中国 CFCs 生产行业多边基金项目列于表 3-2 中。

表 3-2 中国 CFCs 生产行业多边基金项目

项目企业名称	所在省	所在市	所属行业	淘汰物质	淘汰量 (吨 ODP)
贵州五岭化工厂	贵州	遵义	CFCs 生产	CFC-12 CFC-13	0
浙江临海水洋化工厂	浙江	临海	CFCs 生产	CFC-12	0
浙江临海建新化工厂	浙江	临海	CFCs 生产	CFC-12	0

广东肇庆化工厂	广东	肇庆	CFCs 生产	CFC-12	0
湖南益阳氯碱化工实业总公司	湖南	益阳	CFCs 生产	CFC-12	0
内蒙古包头化工公司一公司	内蒙古	包头	CFCs 生产	CFC-12	0
辽河化工集团氯碱厂	辽宁	盘锦	CFCs 生产	CFC-12	0
江苏建湖磷肥厂制冷剂分厂	江苏	建湖	CFCs 生产	CFC-12	0
平泉龙威氟化工一厂	河北	承德	CFCs 生产	CFC-12	0
商州化工有限公司	陕西	商州	CFCs 生产	CFC-12	0
上海曙光化工厂	上海	上海	CFCs 生产	CFC-113	0
河南鹤壁市化工一厂	河南	鹤壁	CFCs 生产	CFC-12	0
四川自贡釜江化工厂	四川	自贡	CFCs 生产	CFC-11 CFC-12	0
济南三爱富氟化工有限责任公司	山东	济南	CFCs 生产	CFC-11 CFC-12	1244
广东惠阳化工厂	广东	惠州	CFCs 生产	CFC-11 CFC-12	0
山东东岳化工有限公司	山东	淄博	CFCs 生产	CFC-12	0
福建邵武市氟化工厂	福建	邵武	CFCs 生产	CFC-11 CFC-12	1159.4
上海氯碱化工厂	上海	上海	CFCs 生产	CFC-12	2215.7
湖北武汉长江化工厂	湖北	武汉	CFCs 生产	CFC-11 CFC-12	1029
重庆天原化工总厂	重庆	重庆	CFCs 生产	CFC-11 CFC-12	165.1
江苏吴县聚兴化工有限公司	江苏	江苏吴县	CFCs 生产	CFC-11	370.4
江西德安氟化总厂	江西	德安	CFCs 生产	CFC-12	42
江苏吴县联合化工厂	江苏	苏州吴县	CFCs 生产	CFC-11	431.4
江苏无锡湖山制冷剂厂	江苏	无锡	CFCs 生产	CFC-11	1120.1
山东枣庄薛城新星化工厂	山东	枣庄	CFCs 生产	CFC-12	139.9
四川自贡制冷剂厂	四川	自贡	CFCs 生产	CFC-11 CFC-12	568
浙江瑞安海天化工有限公司	浙江	瑞安	CFCs 生产	CFC-11	1082
浙江兰溪制冷剂厂	浙江	兰溪	CFCs 生产	CFC-11	1894.1
苏州新业化工有限公司	江苏	苏州	CFCs 生产	CFC-11	2532
江苏常熟虞东化工厂	江苏	常熟	CFCs 生产	CFC-113	544.48
广东增城欧明化工有限公司	广东	增城	CFCs 生产	CFC-12	1100
浙江衢化氟化学有限公司	浙江	衢州	CFCs 生产	CFC-11 CFC-12	12099
常熟三爱富氟化工有限责任公司	江苏	常熟	CFCs 生产	CFC-11 CFC-12 CFC-113 CFC-115	16078.06
江苏梅兰化工股份有限公司	江苏	泰州	CFCs 生产	CFC-11 CFC-12	2843.1

浙江东阳化工有限公司	浙江	东阳	CFCs 生产	CFC-12	2218.5
浙江临海利民化工有限公司	浙江	临海	CFCs 生产	CFC-12 CFC-13	1392
浙江蓝天环保高科技有限公司	浙江	杭州	CFCs 生产	CFC-114 CFC-115	82.78
合计					50351

数据来源：www.ozone.org.cn（中国保护臭氧层行动-CFCs 生产行业）

截止到 2008 年底，中国电冰箱行业生产的冰箱冷柜淘汰 CFCs 实现减排 8.933 亿吨 CO₂ 当量和 14.7 万吨 ODP；通过制冷剂节能效果，截止到 2008 年底累积节电 280 亿度，折合减排 2420 万吨 CO₂ 当量，对中国节约能源和节能减排具有十分重要的现实意义。

3.3. 房间空调器 HCFC 替代

3.3.1. HCFC 削减

中国是房间空调器的生产、出口大国。主要产品类型包括分体壁挂机、窗机、移动空调和柜式空调等。2013 年，房间空气调节器生产 14332.9 万台，累计同比增长 11.6%；房间空调器制造主营业务收入 4658.3 亿元，累计同比增长 13.9%；利润总额 359.2 亿元，累计同比增长 30.5%；税金总额 174.3 亿元，累计同比增长 64.8%。

中国房间空调器制冷剂替代是从 2011 年开始。2011 年 7 月 25 日至 29 日，执行蒙特利尔议定书多边基金执行委员会第六十四次会议在加拿大蒙特利尔举行，会上中国政府提出“室内空调制造行业的 HCFC-22 淘汰管理计划”，《计划》中提出 2013 年将要淘汰 3200 公吨 HCFC-22（第 1 步），2015 将要淘汰 7470 公吨 HCFC-22（第 2 步），两步共淘汰 10670 公吨 HCFC-22。房间空调器行业计划设想在 2011 年至 2015 年期间推行替代技术。2013 年前的第 1 步计划不同于 2015 年前的第 2 步计划，各步的目的是在最后一年实现各自履约目标。

- a) 在第 1 步，与 85%的削减目标对应的符合资助条件的生产能力也就是 2459 公吨，它们将被转用 HFC-410A，其余 15%（434 公吨）将被转用 HC-290 或 HFC-161；以及

- b) 在第2步,与10%的削减目标对应的符合资助条件的生产能力也就是675公吨,它们将被转用HFC-410A,其余6723公吨将被转用HC-290或HFC-161。

除HFC-410A、HFC-161和HC-290技术以外,企业可以根据发展计划和市场需求采用其他环保型替代技术。

根据《中华人民共和国大气污染防治法》、《消耗臭氧层物质管理条例》以及《关于加强含氢氯氟烃生产、销售和使用管理的通知》(环函〔2013〕179号)的有关规定,环保部发布“关于核发2014年度含氢氯氟烃生产配额的通知”,核发浙江三美化工股份有限公司等29家单位2014年度含氢氯氟烃(HCFCs)生产配额及许可证。29家单位名称如表3-3所示。

表 3-3 2014 年各企业 HCFCs 生产配额分配表 (单位: 吨)

序号	企业名称	HCFC 品种	生产配额	交易后内用生产配额
1	浙江三美化工股份有限公司	HCFC-141b	34759	18142
		HCFC-142b	4162	3206
		HCFC-22	14400	7967
2	常熟三爱富氟化工 有限责任公司	HCFC-141b	15678	9854
		HCFC-142b	46	40
3	杭州富时特化工有限公司	HCFC-141b	10667	4336
		HCFC-142b	202	10
4	江苏蓝色星球环保科技 股份有限公司	HCFC-141b	10055	5791
		HCFC-142b	94	81
5	浙江巨化股份有限公司电化厂	HCFC-141b	6722	3849
6	淄博鲁轩工贸有限公司	HCFC-141b	5985	5730
7	烟台中瑞化工有限公司	HCFC-141b	4905	4040
8	浙江三环化工有限公司	HCFC-141b	3169	1755
		HCFC-142b	13	11
9	浙江埃克盛化工有限公司	HCFC-142b	1200	1200
10	山东华安新材料有限公司	HCFC-142b	6000	5248
11	山东东岳化工有限公司	HCFC-142b	4592	3277
		HCFC-22	80802	52459
12	浙江蓝天环保氟材料有限公司	HCFC-142b	2520	1953
13	常熟三爱富中昊化工新材料 有限公司	HCFC-142b	2298	1910
		HCFC-22	13006	6846
14	泰兴市梅兰化工有限公司	HCFC-142b	1485	861
15	内蒙古三爱富氟化工有限公司	HCFC-142b	327	281
16	中昊晨光化工研究院有限公司	HCFC-142b	0	0
		HCFC-22	0	0

17	江苏梅兰化工有限公司	HCFC-22	56713	46412
18	浙江衢化氟化学有限公司	HCFC-22	44878	34000
19	浙江省东阳化工有限公司	HCFC-22	18173	14671
20	阿科玛(常熟)氟化工有限公司	HCFC-22	17084	1577
21	鹰鹏化工有限公司	HCFC-22	15064	5089
22	浙江兰溪巨化氟化学有限公司	HCFC-22	12506	12506
23	临海市利民化工有限公司	HCFC-22	12393	6935
24	自贡鸿鹤化工股份有限公司	HCFC-22	8574	7613
25	金华永和氟化工有限公司	HCFC-22	5925	5099
26	山东中氟化工科技有限公司	HCFC-22	5638	5006
27	浙江鹏友化工有限公司	HCFC-22	2027	1594
28	江西三美化工有限公司	HCFC-22	1131	990
29	浙江蓝天环保高科技股份有限公司	HCFC-123	2818	781
		HCFC-124	401	139
		HCFC-133a	0	0

数据来源：中华人民共和国环境保护部

根据《中华人民共和国大气污染防治法》、《消耗臭氧层物质管理条例》以及《关于加强含氢氯氟烃生产、销售和使用管理的通知》（环函〔2013〕179号）的有关规定，环保部发布“关于核发2014年度含氢氯氟烃使用配额的通知”，核发珠海格力电器股份有限公司等81家单位2014年度含氢氯氟烃（HCFCs）使用配额及许可证。房间空调器生产企业名单如表3-4（来源：环保部）所示。

表 3-4 房间空调器行业 2014 年度 HCFC-22 使用配额分配表（单位：吨）

序号	企业名称	拟核发配额量
1	珠海格力电器股份有限公司	10,214
2	格力电器（合肥）有限公司	7,621
3	广东志高空调有限公司	5,086
4	格力电器（重庆）有限公司	4,820
5	广东美的制冷设备有限公司	4,300
6	美的集团武汉制冷设备有限公司	3,900
7	广东美的集团芜湖制冷设备有限公司	5,600
8	TCL 空调器（中山）有限公司	3,373
9	格兰仕（中山）家用电器有限公司	3,204
10	宁波奥克斯空调有限公司	2,712
11	邯郸美的制冷设备有限公司	2,700
12	广州华凌制冷设备有限公司	2,400
13	江苏春兰制冷设备股份有限公司	1,681
14	广东科龙空调器有限公司	1,600
15	四川长虹空调有限公司	1,126
16	合肥海尔空调器有限公司	1,034
17	武汉海尔电器股份有限公司	978

18	广州松下空调器有限公司	975
19	青岛海尔空调器有限总公司	875
20	青岛海尔（胶州）空调器有限公司	801
21	TCL 空调器（武汉）有限公司	719
22	苏州三星电子有限公司	659
23	上海三菱电机三菱空调机电器有限公司	650
24	重庆海尔空调器有限公司	599
25	中国扬子集团滁州扬子空调器有限公司	595
26	苏州三星电子家电有限公司	593
27	海信（山东）空调有限公司	470
28	佛山市美的开利制冷设备有限公司	450
29	海信（浙江）空调有限公司	430
30	三菱重工金羚空调器有限公司	200
31	中山长虹电器有限公司	154
	合计：	70,519

根据项目组对中国主要房间空调器生产企业的调研显示，2014 年，中国房间空调器制冷剂为 HCFC-22 和 HFC-410A。其中 HFC-410A 市场份额超过 50%，HCFC-22 制冷剂正在加速被替代，中国履约任务将顺利实现。

3.3.2. 多边基金与 R290 替代

2011 年 7 月，我国房间空调器行业 HCFC-22 淘汰行业计划获得蒙特利尔议定书多边基金执委会的批准，这意味着我国房间空调器行业的大规模的替代改造工作正式开始。HC-290（丙烷）的改造工作得到了行业内主流企业的积极响应和参与。在 GEF 项目的推动下，中国房间空调器企业正在改造 32 条生产线。其中，18 条生产线改造为 HC-290 工质，14 条生产线改造为其他替代技术。同时将配套改造 5 条房间空调器压缩机生产线，其中 3 条生产线改造为 HC-290 工质，2 条生产线改造为其他替代技术。中国房间空调器行业 HC-290 改造企业名称如表 3-5 所示。

表 3-5 中国房间空调器行业 R290 改造企业名称

公司名称	企业类型	替代工质
珠海格力电器股份有限公司	空调器	HC-290（丙烷）
广东美的制冷设备有限公司	空调器	HC-290（丙烷）
青岛海尔空调器有限总公司	空调器	HC-290（丙烷）
重庆海尔空调有限公司	空调器	HC-290（丙烷）
广东科龙空调器有限公司	空调器	HC-290（丙烷）
江苏春兰制冷设备股份有限公司	空调器	HC-290（丙烷）

四川长虹空调有限公司	空调器	HC-290 (丙烷)
TCL 空调器 (中山) 有限公司	空调器	HC-290 (丙烷)
中国扬子集团滁州扬子空调器有限公司	空调器	HC-290 (丙烷)
珠海凌达压缩机有限公司	空调压缩机	HC-290 (丙烷)
上海日立电器有限公司	空调压缩机	HC-290 (丙烷)
西安庆安制冷设备股份有限公司	空调压缩机	HC-290 (丙烷)

注：此列表排名不分先后

2014 年 4 月，环保部制定并出台《房间空调器行业丙烷空调器生产线改造增加运行费用补贴办法》（以下简称《办法》），以推进丙烷（HC-290）房间空调器的市场推广。

《办法》是根据房间空调行业 HCFC 淘汰管理计划实施方案制定，并利用行业计划中增加运行费用（IOC）对企业前期 HC-290 空调生产进行补贴。环境保护部计划利用多边基金赠款中的产品成本补贴资金，并制定资金使用办法，加大对前期 HC-290 空调推广的支持力度，弥补 HC-290 空调的增量成本，减少企业推广的难度，提高生产企业、经销商等的积极性。环保部公布的具体补贴办法如表 3-6 所示。

《办法》适用范围为由多边基金资助改造的生产线所生产的销往发展中国家的 HC-290 空调。上述所述生产线包括房间空调行业 HCFC 淘汰管理计划（第一阶段）下已签署的合同和将要签署的合同所对应的 18 条生产线，以及已签署的美的示范生产线合同所对应的 1 条生产线。

对 HC-290 房间空调器生产和销售的补贴资金来自于房间空调器行业含氢氯氟烃淘汰管理计划中的增加运行费用（IOC）。

表 3-6 环保部公布 R290 空调器补贴办法（单位：元/台）

时间点		分体机	窗机	除湿机和移动式
2015 年 12 月 31 日前	前一万台	360	155	150
	一万台后	300	125	120
2016 年 1 月 1 日- 2017 年 12 月 31 日		150	63	60
2018 年 1 月 1 日后		0	0	0

在标准层面，为了推动 HC-290 房间空调器的发展，国家标准也进行了相应的修订。GB 4706.32《家用和类似用途电器的安全热泵、空调器和除湿机的特殊要求》于 2013 年 5 月 1 日起生效，允许房间空调及类似产品中使用可燃制冷剂。为保证 HC-290 技术推广，扫清标准障碍，开展了制定生产线安全、运输、安装

维修等行业标准，其中《使用可燃性制冷剂房间空调器安装、维修和运输的特殊要求》标准已完成标准制定，进入批准阶段。

公安部天津消防研究所针对使用 HC-290 作为制冷剂的房间空调开展了风险评估工作。为确定房间空调器室内机发生泄漏所形成的爆燃范围，开展实体实验，研究了在不同房间面积、不同泄漏位置、不同泄漏速度条件下，HC-290 泄漏到室内浓度分布情况。结果表明，室内机发生泄漏时，仅在其附近可能形成燃爆区域。燃爆范围仅存在于泄漏过程中，一旦泄漏停止后，燃爆范围会迅速消失。^[14]

3.3.3. 其他替代方案与 HFC 削减

2013 年 6 月，习近平主席与美国总统奥巴马在安纳伯格庄园会晤，双方同意加强在气候变化领域的协调与合作，通过两国气候变化工作组，推动气候变化领域的务实合作。双方同意共同并与其他国家合作，通过包括利用《蒙特利尔议定书》的专长和机制在内的多边方式，来逐步削减氢氟碳化物的生产和消费，同时继续把氢氟碳化物包括在《联合国气候变化公约》及《京都议定书》有关排放报告和计量条款的范围内^[13]。

在国家和行业协会的推动下，HC-290 房间空调器作为 HFC 削减的重要途径，有望在 2015 年进入市场，从而不仅实现 HCFCs 替代，并推动全球 HFCs 的替代。房间空调器不同制冷剂关键参数、可燃性、可获得性及技术成熟度对比如表 3-7 所示。

表 3-7 房间空调器制冷剂对比

制冷剂	R22	R410A	R32	R161	R1234yf	R290
ODP	0.055	0	0	0	0	0
GWP	1810	2088	650	12	4	3.3
爆炸下限 (体积分数) (LFL) %	—	—	14.4	3.8	6.2	2.5
可燃性	不可燃	不可燃	弱可燃	弱可燃	弱可燃	可燃
可获得性	高	高	高	高	低	高
技术成熟度	高	高	低	低	低	低

数据来源：中国制冷展 2014-臭氧气候技术路演

从表 3-7 可以看出，虽然 R290 的 ODP 和 GWP 值低，但是其可燃的特性使其产业化应用和市场的接受受到一定的阻碍。寻找综合性能更好的替代制冷剂已

经成为房间空调器行业发展的首要任务。下面将对不同的替代制冷剂和潜在的替代制冷剂分别进行论述。

(1) HC-290

HC-290(丙烷)是一种天然制冷剂,具有良好的环境性能,其 ODP 值为零,对臭氧层没有损害作用,GWP 值小于 20,远小于一般的 HFCs 制冷剂,符合当前对制冷剂环境性能的要求。除此之外,HC-290 具有很多 HFCs 不具有的其他优势,HC-290 是一种天然有机物,能与矿物油很好地互溶,所以 HC-290 系统没有 HFCs 系统的润滑油问题;HC-290 气相密度较小,可以采用较小的压缩机;相同工况下,R290 的排气温度要比合成制冷剂的系统要低,一般相对 HCFC-22 系统要低 20℃,这能极大地延长压缩机的寿命;HC-290 的传热性能较好,黏度较低,这都有利于系统换热。但是,从表 3-7 可以看出,HC-290 的可燃性较大,所以 HC-290 在应用时要引起特别的重视。一般,适合将 HC-290 应用到小充注量的场合或者采用一个二次换热回路。中国家电博览会 2014 中 HC-290 房间空调器如图 3-2 至图 3-7 所示。



图 3-2 格力 R290 分体式房间空调器室内机
(中国家电博览会 2014)



图 3-3 格力 R290 移动式空调器
(中国家电博览会 2014)

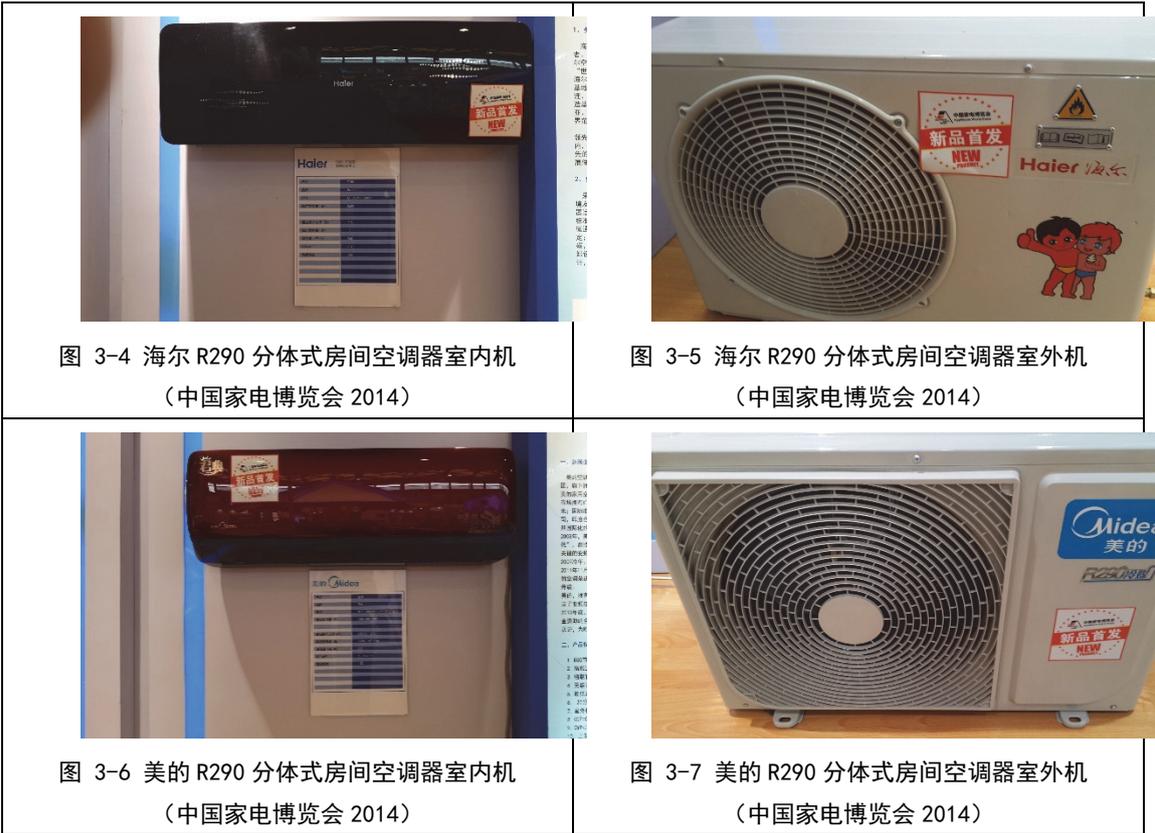


图 3-4 海尔 R290 分体式房间空调器室内机
(中国家电博览会 2014)

图 3-5 海尔 R290 分体式房间空调器室外机
(中国家电博览会 2014)

图 3-6 美的 R290 分体式房间空调器室内机
(中国家电博览会 2014)

图 3-7 美的 R290 分体式房间空调器室外机
(中国家电博览会 2014)

(2) HFC-32

HFC-32 是一种单一组份制冷剂，其 ODP 值为零，GWP 值为 675，约为 HFC-410A 三分之一。HFC-32 为 HFC-410A 制冷剂中的一种组份，工作压力稍高于 HFC-410A，具有良好的传热性能，容积制冷量大，理论制冷能效高。相同制冷量下，HFC-32 系统充注量仅为 HCFC-22 系统的 60%左右。

但是，HFC-32 具有微弱可燃性，其燃烧下限 (LFL) 为 14.4% (体积百分数)。因此，安全性是 HFC-32 商业推广使用中必须关注和解决的问题。在生产、安装、维修过程中必须采取一定的安全防范措施，确保应用的安全性。

目前，日本大金公司向中国大陆企业免费开放有关 HFC-32 的 15 项基本专利，这 15 项基本专利仅仅是为使用 HFC-407C 和 HFC-410A 工质的分体式空调装置与多联机空调装置的大金产品进一步发展及改进的一种技术储备，这些基本专利都是基于其对 HFC-407C 与 HFC-410A 空调产品中稀土族变频直流电机的压缩机、电子膨胀阀、控制器及冷冻机油的改进，发展中国家一旦决定采用 HFC-32 技术替代 HCFC-22，并试图在 2015 年实现削减 10% 的 HCFC-22 的生产与消费目标，则必须以高价向日本购买与这种技术相配套的 HFC-32 的关键部件 [15]。中国制冷展 2014-臭氧气候技术路演中大金展示的 HFC-32 制冷剂空调器室外机

如图 3-8 所示。



图 3-8 大金 HFC-32 制冷剂空调器室外机 图 3-9 海尔 HFC-161 制冷剂空调器室内机
(中国制冷展 2014-臭氧气候技术路演)

(3) HFC-161

HFC-161 环境性能良好, 其 ODP 值为零, GWP 值仅为 12, 大气寿命仅为 0.21 年。HFC-161 制冷剂的毒性与现有常用制冷剂相当, 但是具有一定的可燃性, 其 LFL 值为 3.8%。HFC-161 的燃烧下限 LFL 为 3.8%, 高于 HC-290 近一倍, 其安全性高于 HC-290 制冷剂, 系统允许充注量也将高于 HC-290。

HFC-161 具有很高的质量制冷量和相对较高的容积制冷量及能效比, 在相同工况下, 要获得相同制冷量可以减少 HFC-161 的用量, 并且可以节约电能, 这在全球资源、能源都日益紧缺的今天是非常重要的, 同时也能给使用量带来实实在在的经济效益和社会效益。

由于 HFC-161 自身的可燃性, 对其应用造成了较大影响, 解决方案有 2 个: ①在充注量比较小的系统中使用; ②与其他不可燃制冷剂组成混合制冷剂使用。

目前已对 HFC-161 及其混合物的物性进行了大量的研究, 结果表明, 这些新型混合制冷剂替代制冷剂 HFC-410A 的潜力, 引起了制冷空调厂商及氟工业的广泛关注。中国制冷展 2014-臭氧气候技术路演中海尔展示的 HFC-161 制冷剂空调器室内机如图 3-9 所示。

(4) HFO-1234yf

HFO-1234yf 是由杜邦和霍尼韦尔公司共同开发的新一代制冷剂。HFO-1234yf 具有极好的环境性能, ODP 值为 0, GWP 值极小, 具有极短的大气寿命, 但却有轻微的可燃性, 汽化潜热低, 蒸发压力也稍低, 若直接应用于固定的制冷、空调与热泵系统, 其系统性能系数 COP 与容积制冷能力 VCC 均会低于

目前在用的 HCFC-22, HFC-134a 及 HFC-410A 制冷剂。因此仍沿用过去的折中路线, 试图在 GWP 值极低的 HFO 与热力学特性良好的 HFC 之间取长补短, 配置由 HFO-1234yf 和 HFCs 组成的混合工质。目前学者已在 HFO-1234yf 热物性方程, HFO-1234yf 与 HFCs 混合工质方面取得较大进展^[16]。

3.4. 废弃电器电子产品回收处理与制冷剂回收

3.4.1. 废弃电器电子产品回收处理行业现状

中国家用电器电冰箱是上个世纪 80 年代开始进入家庭, 房间空调器比家用电器电冰箱要晚 10 年左右。随着中国家用电器和房间空调器行业的快速发展, 制冷剂和发泡剂的用量不断上升。而随着这些产品的使用维修、废弃、回收和处理, 如不妥善处理制冷剂和发泡剂, 将产生巨大的排放风险。

目前, 中国家用电器电冰箱已经进入了报废的高峰期, 而房间空调器正在进入报废高峰期。根据中国家用电器研究院测算, 2013 年, 中国家用电器电冰箱的理论报废量为 1279 万台, 房间空调器为 1530 万台。在《废弃电器电子产品回收处理管理条例》的推动下, 中国废弃电器电子产品回收处理行业正在由个体作坊式为主, 向规范化、规模化和产业化转型升级。2013 年, 中国获得环保部废弃电器电子产品处理资质的企业达到 91 家, 处理能力超过 1 亿台。其中, 电冰箱占 9%, 房间空调器占 5%。图 3-10 为中国废弃电器电子产品处理企业分布图。

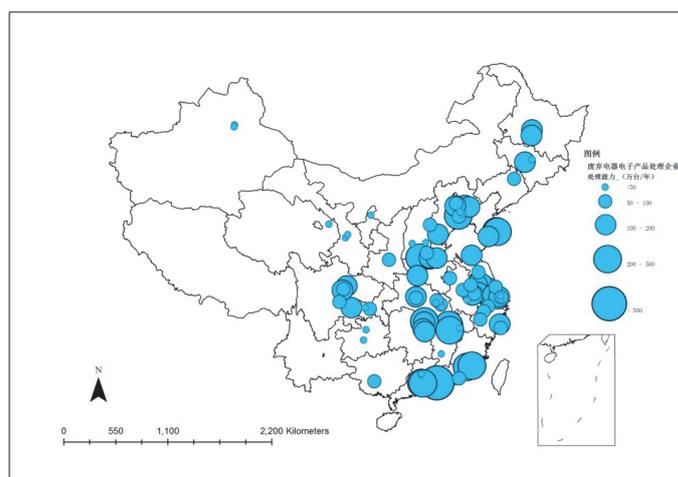


图 3-10 中国废弃电器电子产品处理企业分布图

3.4.2. 处理企业调研与制冷剂回收

2013 年底至 2014 年初，项目组通过处理企业现场考察、问卷调查和电话调研等方式，对获得废弃电器电子产品处理资质的处理企业的回收处理情况进行调研。返回有效问卷 50 份。其中，第一批基金补贴企业 25 家，第二批基金补贴企业 10 家，第三批基金补贴企业 14 家，已申请第四批基金补贴企业 1 家。这 50 家处理企业中位于东部沿海地区的有 15 家，中部 16 家，西部 9 家，京津冀地区 8 家，东北老工业基地 2 家，基本代表了中国不同地区的处理企业情况。

(1) 拆解处理量

针对处理企业处理产品种类的调研结果见图 3-11，2013 年，处理企业拆解处理的废弃产品以电视机为主，占 91.96%。其中，黑白 CRT 电视机和彩色 CRT 电视机分别占 20.88%和 71.08%。接下来依次是洗衣机、微型计算机、电冰箱，分别占总处理量的 3.99%、2.59%和 1.44%。房间空调器几乎没有，仅占 0.01%。

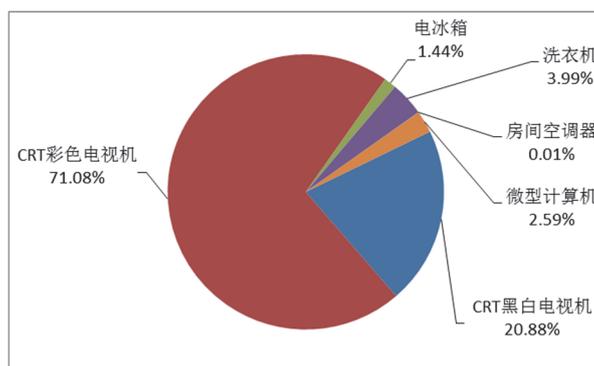


图 3-11 不同废弃电器电子产品处理比例

(2) 处理产品规格

针对处理产品的规格调研显示，废弃电冰箱以 120-220 升的中小型家用电冰箱为主，占总冰箱（包括家用冰柜）数量的近 72%。房间空调器主要是壁挂分体机。调研处理产品的规格主要是为预测理论废弃重量提供依据。

(3) 拆解处理工艺

电冰箱的处理工艺如图 3-12 所示。77%的处理企业采用手工预处理+机械破碎分选技术，而且其中仅半数部分企业对发泡剂进行了回收；采用流水线手工拆解企业分别占总数的 23%。冰箱破碎分选设备以购买国产设备为主，占 60%；购买进口设备的占 30%；进行自主研发和合作研发的企业各占 5%，见图 3-13。

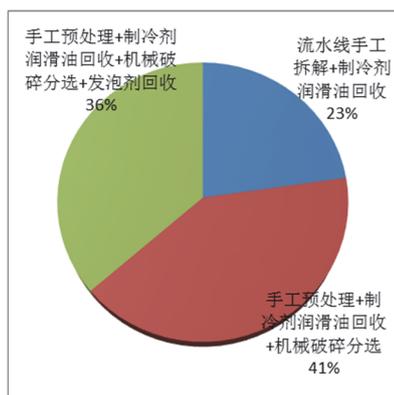


图 3-12 电冰箱的处理工艺

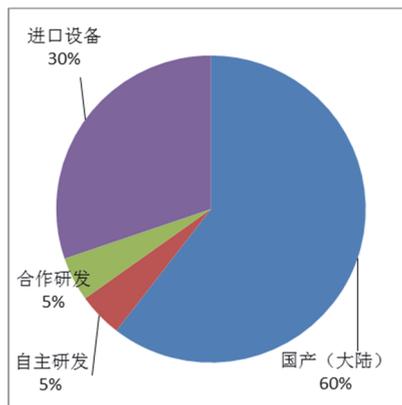


图 3-13 电冰箱的处理设备

房间空调器的拆解工艺，所有调研企业都对制冷剂进行回收，有 32%的企业选择了手工预处理+机械破碎分选工艺；而采用流水线手工拆解和单工位手工拆解的企业分别占 31%和 37%，见图 3-14 所示。处理设备以购买国产设备为主，占 74%；而进口设备的企业占 9%；进行自主研发和合作研发的企业分别占总数的 8%和 9%，见图 3-15 所示。

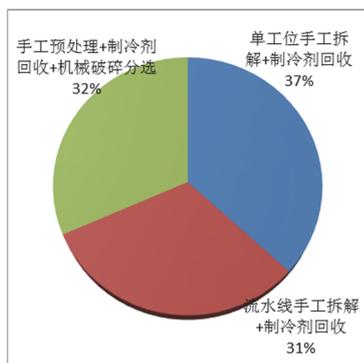


图 3-14 房间空调器的处理工艺

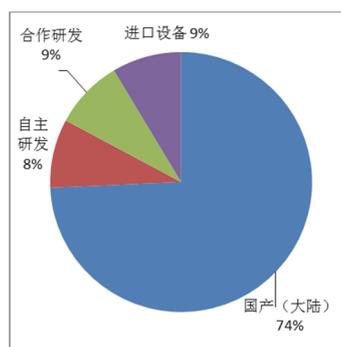


图 3-15 房间空调器的处理设备

(5) 制冷剂和发泡剂回收

根据环保部要求，处理企业必须回收废弃电冰箱和房间空调器中的制冷剂。调研企业中，51%的企业对不同制冷剂采取分类回收，其余 49%采用混合回收。虽然有极少的企业采用纯化净化设备，并转卖制冷维修行业者，其他绝大部分企业都采取暂时贮存或交予危险废物处置企业。而根据现场调研，处理企业拆解处理的废弃电冰箱和废弃房间空调器制冷系统几乎全部是破损的。在处理环节能够回收的制冷剂量很少。

对于电冰箱中的发泡剂，由于技术难度大，成本高。环保部不强制要求处理企业进行回收。目前，中国仅有少数企业具有回收废弃电冰箱中发泡剂的设备能力。对于回收电冰箱发泡剂的处理企业，绝大部分企业采用混合回收方式，占

55%；只有部分企业针对不同发泡剂分类回收，占 25%；还有 20%的企业选择不回收发泡剂。

4. 减排潜力测算与减排能力评估方法

4.1. 减排潜力测算方法

4.1.1. 全生命周期模型

对于家用电冰箱和房间空调器，其整个生命周期包括生产、使用、维修、回收（收集）和拆解处理这五个过程。

产品生产阶段对应生产排放，生产结束出售给消费者后，产品进入到使用阶段，对应使用排放，此时为产品寿命第 1 年。处于寿命第 1 年使用阶段的产品，大部分产品并未发生故障继续使用，少部分产品发生故障停止使用，此时一部分故障产品可以通过维修从而继续使用，另一部分产品则不再维修，通过回收（收集）渠道进入到废弃电器电子产品回收处理企业进行拆解处理，这几个阶段分别对应制冷剂的维修排放、回收（收集）排放和拆解处理排放。

产品寿命第 1 年结束后，仍然在使用的产品在寿命第 2 年时同样会经历寿命第 1 年的几种情况，同理，在产品余下的寿命期内，每一年都会经历如同第 1 年的几种情况，唯一不同的是，随着产品使用时间的延长，各个不同环节对应的产品比例和排放率会有所不同。

对于家用电冰箱和房间空调器的制冷剂而言，由于其存在于制冷系统中，因而会出现图 4-1 中五种排放，即生产、使用、维修、回收（收集）和拆解处理排放。对于家用电冰箱发泡剂而言，由于其存在于冰箱隔热材料中，因而只会在生产和拆解处理环节发生排放，因此发泡剂只会出现生产和拆解处理排放。

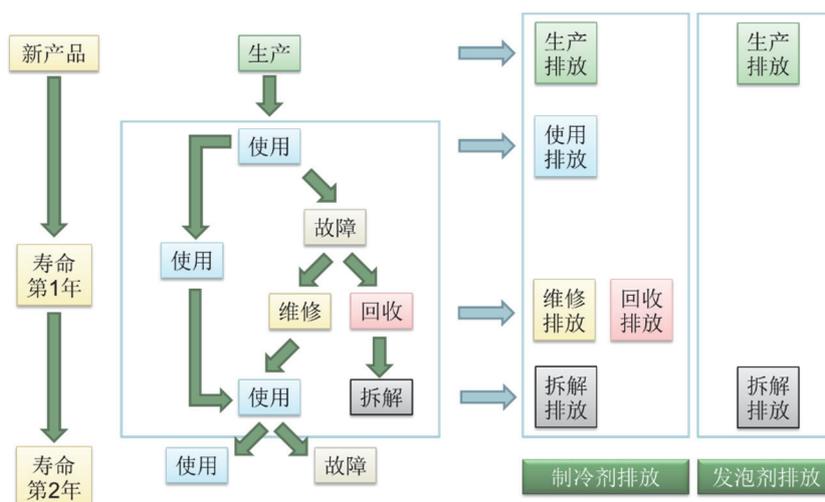


图 4-1 家用电冰箱和房间空调器全生命周期模型

4.1.2. 减排潜力测算公式

通过 4.3.1 全生命周期模型的分析可知，家用电冰箱和房间空调器制冷剂存在五种排放环节。不同影响因素将产生基线情景、理想情景和减排情景的排放量。

4.1.2.1. 家用电冰箱制冷剂排放量计算公式

家用电冰箱制冷剂排放量为（适用于 CFC-12 和 HC-600a 制冷剂）：

$$HRRE=PE+ONE+MNE+MPE+MTE+RPE+RYE+DAE \quad (4-1)$$

其中：

- HRRE 电冰箱制冷剂排放量 (Household Refrigerator Refrigerant Emission)
- PE 电冰箱生产环节制冷剂排放量 (Production Emission)
- ONE 电冰箱使用环节制冷剂正常排放量 (Operation Normal Emission)
- MNE 电冰箱故障时制冷剂正常排放量 (Malfunction Normal Emission)
- MPE 电冰箱故障时制冷剂较大排放量 (Malfunction Large Emission)
- MTE 电冰箱故障时制冷剂完全排放量 (Malfunction Total Emission)
- RPE 电冰箱维修环节制冷剂排放量 (Repair Emission)
- RYE 电冰箱收集环节制冷剂排放量 (Collection Emission)
- DAE 电冰箱拆解环节制冷剂排放量 (Disassemble Emission)

式 4-1 中，电冰箱使用环节制冷剂排放量为：ONE+MNE+MPE+MTE，因为故障电冰箱的制冷剂在其非故障使用过程中发生排放，因此电冰箱故障时制冷剂的排放算在电冰箱使用过程的排放。

4.1.2.2. 家用电冰箱发泡剂排放量计算公式

家用电冰箱发泡剂排放量为（适用于 CFC-11 和环戊烷发泡剂）：

$$HRFAE=PE+DAE \quad (4-2)$$

其中：

- HRFAE 电冰箱发泡剂排放量 (Household Refrigerator Foaming Agent Emission)
- PE 电冰箱生产环节发泡剂排放量 (Production Emission)
- DAE 电冰箱拆解环节发泡剂排放量 (Disassemble Emission)

发泡剂只在家用电冰箱生产和拆解过程中排放，因此式 4-2 中只包含电冰箱生产和拆解过程中发泡剂的排放量。

4.1.2.3. 房间空调器制冷剂排放量计算公式

房间空调器制冷剂排放量为（适用于 HCFC-22, HFC-410A, 低 GWP 制冷剂 and 理想制冷剂）：

$$ACRE=PE+ONE+MNE+MPE+MTE+RPE+RYE+DAE \quad (4-3)$$

其中：

- ACRE 空调器制冷剂排放量 (Air Conditioner Refrigerant Emission)
- PE 空调器生产环节制冷剂排放量 (Production Emission)
- ONE 空调器使用环节制冷剂正常排放量 (Operation Normal Emission)
- MNE 空调器故障时制冷剂正常排放量 (Malfunction Normal Emission)
- MPE 空调器故障时制冷剂较大排放量 (Malfunction Large Emission)
- MTE 空调器故障时制冷剂完全排放量 (Malfunction Total Emission)
- RPE 空调器维修环节制冷剂排放量 (Repair Emission)
- RYE 空调器收集环节制冷剂排放量 (Collection Emission)
- DAE 空调器拆解环节制冷剂排放量 (Disassemble Emission)

式 4-3 中，空调器使用过程制冷剂排放量为：ONE+MNE+MPE+MTE，因为故障空调器的制冷剂在其非故障使用过程中发生排放，因此空调器故障时制冷剂的排放算在空调器使用过程的排放。

4.1.3. 国内销量和理论报废量预测模型

中国家用电器研究院通过多年研究及实地调研，设定家用电冰箱和房间空调器的最长寿命为 16 年，报废高峰期为寿命的第 11-16 年。

对于家用电冰箱和房间空调器，其整个生命周期包括生产、使用、维修、回收（收集）和拆解处理这五个环节。下面以家用电冰箱为例对国内销量和报废量

的预测模型进行论述，房间空调器国内销量和报废量的预测模型与家用电冰箱所用模型相同。

假设第 N 年家用电冰箱的销量为 S_N ，则第 $N+1$ 年为寿命的第 1 年，第 $N+2$ 年为寿命的第 2 年，第 $N+i$ 为寿命的第 i 年，依此类推，第 $N+16$ 年为寿命的第 16 年，即产品的最长寿命。下面将 N 固定，对第 N 年销售的 S_N 台家用电冰箱在其寿命期 16 年内的变化进行分析。

角标“ $N+i$ ”的含义为：第 N 年国内销售的产品在寿命期第 i 年时的变化，不是早于第 N 年国内销售的产品在第 $N+i$ 年时的变化，此含义下同。

首次故障产品的含义为：产品一直正常使用，首次发生故障，此含义下同。

“新销售产品”的含义为：寿命期内经维修继续使用的产品。

4.1.3.1. 首次故障产品国内销量和理论报废量

对于首次故障产品，其寿命期内的变化规律如表 4-1 所示。其中第 N 年国内销售第 $(N+i)$ 年首次故障产品保有率 $B(0)_{N+i}^N$ （0 代表首次故障产品，此含义下同）和第 N 年国内销售第 k 年首次故障产品故障率 $T(0)_k^N$ 之间的关系如式 4-1 所示：

$$B(0)_{N+i}^N = 1 - \sum_{k=N+1}^{N+i} T(0)_k^N \quad (4-1)$$

对于发生故障的产品，一部分可以进行维修继续使用，另一部分则不再维修，经回收（收集）环节最终进行拆解处理，显然 $RP(0)_{N+i}^N + RY(0)_{N+i}^N = 1$ 。其中 $RP(0)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第 $(N+i)$ 年首次故障产品维修率， $RY(0)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第 $(N+i)$ 年首次故障产品回收（收集）率。本模型假定不进行维修而通过回收（收集）过程进行拆解的产品，其回收率等于拆解率，即 $RY(0)_{N+i}^N = C(0)_{N+i}^N$ 。其中 $C(0)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第 $(N+i)$ 年首次故障产品拆解处理率。

4.1.3.2. “新销售产品”国内销量和理论报废量

对于首次故障产品，其寿命期第 1 年发生故障并维修后的产品，这些产品可以理解为寿命期第 1 年“新销售的产品（第 1 年）”，这些产品也会经历上述全生命周期的五个过程，且其最长寿命为 15 年。寿命期第 1 年“新销售产品（第 1 年）”的数量为 $S_{N+1}^N = S_{N+0} * T(0)_{N+1}^N * RP(0)_{N+1}^N$ ，其中 S_{N+0} 为第 N 年产品国

内销量, $T(0)_{N+1}^N$ 为第 N 年国内销售第 (N+1) 年首次故障产品故障率, $RP(0)_{N+1}^N$ 为第 N 年国内销售第 (N+1) 年首次故障产品维修率。 S_{N+1}^N 对应产品寿命期内的变化规律如表 4-2 所示。其中第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 1 年)”保有率 $B(1)_{N+i}^N$ (1 代表寿命期第 1 年“新销售产品 (第 1 年)”, 此含义下同) 和第 N 年国内销售第 k 年“新销售产品 (第 1 年)”故障率 $T(1)_k^N$ 之间的关系如式 4-2 所示:

$$B(1)_{N+i}^N = 1 - \sum_{k=N+2}^{N+i} T(1)_k^N \quad (4-2)$$

对于发生故障的产品, 一部分可以进行维修继续使用, 另一部分则不再维修, 经过回收 (收集) 环节最终进行拆解处理, 显然 $RP(1)_{N+i}^N + RY(1)_{N+i}^N = 1$ 。其中 $RP(1)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 1 年)”维修率, $RY(1)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 1 年)”回收 (收集) 率。本模型假定不进行维修而通过回收过程进行拆解的产品, 其回收率等于拆解率, 即 $RY(1)_{N+i}^N = C(1)_{N+i}^N$ 。其中 $C(1)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 1 年)”拆解处理率。

对于首次故障产品及第 1 年“新销售产品 (第 1 年)”, 第 2 年时, 这两者均会发生故障并产生维修后的产品, 这些产品可以理解为第 2 年“新销售产品 (第 2 年)”, 这些产品也会经历上述全生命周期的五个过程, 且最长寿命为 14 年。第 2 年“新销售产品 (第 2 年)”数量为 $S_{N+2}^N = S_{N+0} * T(0)_{N+2}^N * RP(0)_{N+2}^N + S_{N+1}^N * T(1)_{N+2}^N * RP(1)_{N+2}^N$, 其中 S_{N+0} 为第 N 年产品国内销量, $T(0)_{N+2}^N$ 为第 N 年国内销售第 (N+2) 年首次故障产品故障率, $RP(0)_{N+2}^N$ 为第 N 年国内销售第 (N+2) 年首次故障产品维修率。 S_{N+1}^N 为第 N 年国内销售第 (N+2) 年“新销售产品 (第 1 年)”销量, $T(1)_{N+2}^N$ 为第 N 年国内销售第 (N+2) 年“新销售产品 (第 1 年)”故障率, $RP(1)_{N+2}^N$ 为第 N 年国内销售第 (N+2) 年“新销售产品 (第 1 年)”维修率。 S_{N+2}^N 对应产品寿命期内的变化规律如表 4-3 所示。其中第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 2 年)”保有率 $B(2)_{N+i}^N$ (2 代表寿命期第 2 年“新销售的产品 (第 2 年)”, 此含义下同) 和第 N 年国内销售第 k 年“新销售产品 (第 2 年)”故障率 $T(2)_k^N$ 之间的关系如式 4-3 所示:

$$B(2)_{N+i}^N = 1 - \sum_{k=N+3}^{N+i} T(2)_k^N \quad (4-3)$$

对于发生故障的产品, 一部分可以进行维修继续使用, 另一部分则不再维修, 经

过回收（收集）环节最终进行拆解处理，显然 $RP(2)_{N+i}^N + RY(2)_{N+i}^N = 1$ 。其中 $RP(2)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第(N+i)年“新销售产品(第 2 年)”维修率， $RY(2)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第(N+i)年“新销售产品(第 2 年)”回收（收集）率。本模型假定不进行维修而通过回收过程进行拆解的产品，其回收率等于拆解率，即 $RY(2)_{N+i}^N = C(2)_{N+i}^N$ 。其中 $C(2)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第(N+i)年“新销售产品(第 2 年)”拆解处理率。

对于首次故障产品及第 1, 2... (n-1) 年这 (n-1) ($2 \leq n-1 \leq 16$) 种“新销售产品”，第 n 年时，这 n 种产品均会发生故障并产生维修后的产品，这些产品可以理解为第 n 年“新销售的产品(第 n 年)”，这些“新销售的产品”也会经历上述全生命周期的五个过程，且最长寿命为(16-n)年。第 n 年“新销售产品(第 n 年)”的数量为 $S_{N+n}^N = \sum_{k=N+0}^{N+n-1} S_k^N * T(k-N)_{N+n}^N * RP(k-N)_{N+n}^N$ ，其中 S_k^N 为第 N 年国内销售第 k 年“新销售产品(第 k 年)”销量， $T(k-N)_{N+n}^N$ 为第 N 年国内销售第(N+n)年“新销售产品(k-N)”故障率， $RP(k-N)_{N+n}^N$ 为第 N 年国内销售第(N+n)年“新销售产品(k-N)”维修率。 S_{N+n}^N 对应产品寿命期内的变化规律如表 4-4 所示。其中第 N 年国内销售第(N+i)年“新销售产品(第 n 年)”保有率 $B(n)_{N+i}^N$ (n 代表寿命期第 n 年“新销售产品(第 n 年)”，此含义下同) 和第 N 年国内销售第 k 年“新销售产品(第 n 年)”故障率 $T(n)_k^N$ 之间的关系如式 4-4 所示：

$$B(n)_{N+i}^N = 1 - \sum_{k=N+n+1}^{N+i} T(n)_k^N \quad (4-4)$$

对于发生故障的产品，一部分可以进行维修继续使用，另一部分则不再维修，经过回收（收集）环节最终进行拆解处理，显然 $RP(n)_{N+i}^N + RY(n)_{N+i}^N = 1$ 。其中 $RP(n)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第(N+i)年“新销售产品(第 n 年)”维修率， $RY(n)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第(N+i)年“新销售产品(第 n 年)”回收（收集）率。本模型假定不进行维修而通过回收过程进行拆解的产品，其回收率等于拆解率，即 $RY(n)_{N+i}^N = C(n)_{N+i}^N$ 。其中 $C(n)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第(N+i)年“新销售产品(第 n 年)”拆解处理率。

上面分析了首次故障产品及第 N+i ($1 \leq i \leq 16$) 年“新销售产品”自身的全生命周期变化规律，实际上对于第 N 年销售的 S_N 台家用电冰箱，第 N+i ($1 \leq i \leq 16$) 年时这 S_N 台产品故障率，总故障量，保有率，总保有量，维修率，总维修量，

回收率, 总回收量, 拆解率, 总拆解量为首次故障产品及第 1,2... (i-1) 年这 (i-1) (2≤i-1≤16) 种“新销售产品”相应数量的叠加。

表 4-1 第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品全生命周期变化量

时间 (年)	寿命 (年)	故障率 (%)	故障量 (万台)	保有率 (%)	保有量	维修率	维修量	回收率	回收量	拆解率	拆解量
N+1	1	$T(0)_{N+1}^N$	$S_N^N * T(0)_{N+1}^N$	$B(0)_{N+1}^N$	$S_N^N * B(0)_{N+1}^N$	$RP(0)_{N+1}^N$	$S_N^N * T(0)_{N+1}^N * RP(0)_{N+1}^N$	$RY(0)_{N+1}^N$	$S_N^N * T(0)_{N+1}^N * RY(0)_{N+1}^N$	$DA(0)_{N+1}^N$	$S_N^N * T(0)_{N+1}^N * DA(0)_{N+1}^N$
N+2	2	$T(0)_{N+2}^N$	$S_N^N * T(0)_{N+2}^N$	$B(0)_{N+2}^N$	$S_N^N * B(0)_{N+2}^N$	$RP(0)_{N+2}^N$	$S_N^N * T(0)_{N+2}^N * RP(0)_{N+2}^N$	$RY(0)_{N+2}^N$	$S_N^N * T(0)_{N+2}^N * RY(0)_{N+2}^N$	$DA(0)_{N+2}^N$	$S_N^N * T(0)_{N+2}^N * DA(0)_{N+2}^N$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
N+i	i	$T(0)_{N+i}^N$	$S_N^N * T(0)_{N+i}^N$	$B(0)_{N+i}^N$	$S_N^N * B(0)_{N+i}^N$	$RP(0)_{N+i}^N$	$S_N^N * T(0)_{N+i}^N * RP(0)_{N+i}^N$	$RY(0)_{N+i}^N$	$S_N^N * T(0)_{N+i}^N * RY(0)_{N+i}^N$	$DA(0)_{N+i}^N$	$S_N^N * T(0)_{N+i}^N * DA(0)_{N+i}^N$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
N+15	15	$T(0)_{N+15}^N$	$S_N^N * T(0)_{N+15}^N$	$B(0)_{N+15}^N$	$S_N^N * B(0)_{N+15}^N$	$RP(0)_{N+15}^N$	$S_N^N * T(0)_{N+15}^N * RP(0)_{N+15}^N$	$RY(0)_{N+15}^N$	$S_N^N * T(0)_{N+15}^N * RY(0)_{N+15}^N$	$DA(0)_{N+15}^N$	$S_N^N * T(0)_{N+15}^N * DA(0)_{N+15}^N$
N+16	16	$T(0)_{N+16}^N$	$S_N^N * T(0)_{N+16}^N$	$B(0)_{N+16}^N$	$S_N^N * B(0)_{N+16}^N$	$RP(0)_{N+16}^N$	$S_N^N * T(0)_{N+16}^N * RP(0)_{N+16}^N$	$RY(0)_{N+16}^N$	$S_N^N * T(0)_{N+16}^N * RY(0)_{N+16}^N$	$DA(0)_{N+16}^N$	$S_N^N * T(0)_{N+16}^N * DA(0)_{N+16}^N$

表 4-2 第 1 年“新销售产品”全生命周期变化量

时间 (年)	寿命 (年)	故障率	故障量	保有率	保有量	维修率	维修量	回收率	回收量	拆解率	拆解量
N+1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
N+2	2	$T(1)_{N+2}^N$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+2}^N$	$B(1)_{N+2}^N$	$S_{N+1}^N * B(1)_{N+2}^N$	$RP(1)_{N+2}^N$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+2}^N * RP(1)_{N+2}^N$	$RY(1)_{N+2}^N$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+2}^N * RY(1)_{N+2}^N$	$DA(1)_{N+2}^N$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+2}^N * DA(1)_{N+2}^N$
N+3	3	$T(1)_{N+3}^N$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+3}^N$	$B(1)_{N+3}^N$	$S_{N+1}^N * B(1)_{N+3}^N$	$RP(1)_{N+3}^N$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+3}^N * RP(1)_{N+3}^N$	$RY(1)_{N+3}^N$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+3}^N * RY(1)_{N+3}^N$	$DA(1)_{N+3}^N$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+3}^N * DA(1)_{N+3}^N$
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
N+i	i	$T(1)_{N+i}^N$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+i}^N$	$B(1)_{N+i}^N$	$S_{N+1}^N * B(1)_{N+i}^N$	$RP(1)_{N+i}^N$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+i}^N * RP(1)_{N+i}^N$	$RY(1)_{N+i}^N$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+i}^N * RY(1)_{N+i}^N$	$DA(1)_{N+i}^N$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+i}^N * DA(1)_{N+i}^N$
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
N+15	15	$T(1)_{N+15}^N$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+15}^N$	$B(1)_{N+15}^N$	$S_{N+1}^N * B(1)_{N+15}^N$	$RP(1)_{N+15}^N$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+15}^N * RP(1)_{N+15}^N$	$RY(1)_{N+15}^N$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+15}^N * RY(1)_{N+15}^N$	$DA(1)_{N+15}^N$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+15}^N * DA(1)_{N+15}^N$
N+16	16	$T(1)_{N+16}^N$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+16}^N$	$B(1)_{N+16}^N$	$S_{N+1}^N * B(1)_{N+16}^N$	$RP(1)_{N+16}^N$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+16}^N * RP(1)_{N+16}^N$	$RY(1)_{N+16}^N$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+16}^N * RY(1)_{N+16}^N$	$DA(1)_{N+16}^N$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+16}^N * DA(1)_{N+16}^N$

表 4-3 第 n 年“新销售产品”全生命周期变化量

时间 (年)	寿命 (年)	故障率	故障量	保有率	保有量	维修率	维修量	回收率	回收量	拆解率	拆解量
N+1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
N+n+1	n+1	$T(n)_{N+n+1}^N$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+n+1}^N$	$B(n)_{N+n+1}^N$	$S_{N+n}^N * B(n)_{N+n+1}^N$	$RP(n)_{N+n+1}^N$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+n+1}^N$ $* RP(n)_{N+n+1}^N$	$RY(n)_{N+n+1}^N$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+n+1}^N$ $* RY(n)_{N+n+1}^N$	$DA(n)_{N+n+1}^N$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+n+1}^N$ $* DA(n)_{N+n+1}^N$
N+n+2	n+2	$T(n)_{N+n+2}^N$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+n+2}^N$	$B(n)_{N+n+2}^N$	$S_{N+n}^N * B(n)_{N+n+2}^N$	$RP(n)_{N+n+2}^N$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+n+2}^N$ $* RP(n)_{N+n+2}^N$	$RY(n)_{N+n+2}^N$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+n+2}^N$ $* RY(n)_{N+n+2}^N$	$DA(n)_{N+n+2}^N$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+n+2}^N$ $* DA(n)_{N+n+2}^N$
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
N+i	i	$T(n)_{N+i}^N$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+i}^N$	$B(n)_{N+i}^N$	$S_{N+n}^N * B(n)_{N+i}^N$	$RP(n)_{N+i}^N$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+i}^N$ $* RP(n)_{N+i}^N$	$RY(n)_{N+i}^N$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+i}^N$ $* RY(n)_{N+i}^N$	$DA(n)_{N+i}^N$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+i}^N$ $* DA(n)_{N+i}^N$
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
N+16	16	$T(n)_{N+16}^N$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+16}^N$	$B(n)_{N+16}^N$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+16}^N$	$RP(n)_{N+16}^N$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+16}^N$ $* RP(n)_{N+16}^N$	$RY(n)_{N+16}^N$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+16}^N$ $* RY(n)_{N+16}^N$	$DA(n)_{N+16}^N$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+16}^N$ $* DA(n)_{N+16}^N$

表 4-4 首次故障产品使用环节排放量

时间 (年)	寿命 (年)	使用正常排放量 $ONE(O)_{N+i}^N$	故障正常排放量 $MNE(O)_{N+i}^N$	故障较大排放量 $MNE(O)_{N+i}^N$	故障完全排放量 $MTE(O)_{N+i}^N$
N+1	1	$S_N^N * B(O)_{N+1}^N * M_N^N * AER(O)_{N+1}^N$	$S_N^N * T(O)_{N+1}^N * MNER(O)_{N+1}^N * M_N^N * AER(O)_{N+1}^N$	$S_N^N * T(O)_{N+1}^N * MNER(O)_{N+1}^N * M_N^N * [ARRR(O)_{N+1}^N - RRR(O)_{N+1}^N]$	$S_N^N * T(O)_{N+1}^N * MTER(O)_{N+1}^N * M_N^N * ARRR(O)_{N+1}^N$
N+2	2	$S_N^N * B(O)_{N+2}^N * M_N^N * AER(O)_{N+2}^N$	$S_N^N * T(O)_{N+2}^N * MNER(O)_{N+2}^N * M_N^N * AER(O)_{N+2}^N$	$S_N^N * T(O)_{N+2}^N * MNER(O)_{N+2}^N * M_N^N * [ARRR(O)_{N+2}^N - RRR(O)_{N+2}^N]$	$S_N^N * T(O)_{N+2}^N * MTER(O)_{N+2}^N * M_N^N * ARRR(O)_{N+2}^N$
:	:	:	:	:	:
N+i	i	$S_N^N * B(O)_{N+i}^N * M_N^N * AER(O)_{N+i}^N$	$S_N^N * T(O)_{N+i}^N * MNER(O)_{N+i}^N * M_N^N * AER(O)_{N+i}^N$	$S_N^N * T(O)_{N+i}^N * MNER(O)_{N+i}^N * M_N^N * [ARRR(O)_{N+i}^N - RRR(O)_{N+i}^N]$	$S_N^N * T(O)_{N+i}^N * MTER(O)_{N+i}^N * M_N^N * ARRR(O)_{N+i}^N$
:	:	:	:	:	:
N+15	15	$S_N^N * B(O)_{N+15}^N * M_N^N * AER(O)_{N+15}^N$	$S_N^N * T(O)_{N+15}^N * MNER(O)_{N+15}^N * M_N^N * AER(O)_{N+15}^N$	$S_N^N * T(O)_{N+15}^N * MNER(O)_{N+15}^N * M_N^N * [ARRR(O)_{N+15}^N - RRR(O)_{N+15}^N]$	$S_N^N * T(O)_{N+15}^N * MTER(O)_{N+15}^N * M_N^N * ARRR(O)_{N+15}^N$
N+16	16	$S_N^N * B(O)_{N+16}^N * M_N^N * AER(O)_{N+16}^N$	$S_N^N * T(O)_{N+16}^N * MNER(O)_{N+16}^N * M_N^N * AER(O)_{N+16}^N$	$S_N^N * T(O)_{N+16}^N * MNER(O)_{N+16}^N * M_N^N * [ARRR(O)_{N+16}^N - RRR(O)_{N+16}^N]$	$S_N^N * T(O)_{N+16}^N * MTER(O)_{N+16}^N * M_N^N * ARRR(O)_{N+16}^N$

表 4-5 首次故障产品维修、回收（回收）和拆解处理环节排放量

时间 (年)	寿命 (年)	维修排放量 $RPE(0)_{N+i}^N$	回收（收集）排放量 $RYE(0)_{N+i}^N$	拆解处理排放量 $DAE(0)_{N+i}^N$
N+1	1	$S_N^N * T(0)_{N+1}^N * MPER(0)_{N+1}^N$ $* RP(0)_{N+1}^N * M_N^N * RPA(0)_{N+1}^N$	$S_N^N * T(0)_{N+1}^N * RY(0)_{N+1}^N * M_N^N * RYA(0)_{N+1}^N$ $* [MNER(0)_{N+1}^N * ARRR(0)_{N+1}^N + MPER(0)_{N+1}^N * RRR(0)_{N+1}^N]$	$S_N^N * T(0)_{N+1}^N * RY(0)_{N+1}^N * M_N^N * RYC(0)_{N+1}^N * DAA(0)_{N+1}^N$ $* [MNER(0)_{N+1}^N * ARRR(0)_{N+1}^N + MPER(0)_{N+1}^N * RRR(0)_{N+1}^N]$
N+2	2	$S_N^N * T(0)_{N+2}^N * MPER(0)_{N+2}^N$ $* RP(0)_{N+2}^N * M_N^N * RPA(0)_{N+2}^N$	$S_N^N * T(0)_{N+2}^N * RY(0)_{N+2}^N * M_N^N * RYA(0)_{N+2}^N$ $* [MNER(0)_{N+2}^N * ARRR(0)_{N+2}^N + MPER(0)_{N+2}^N * RRR(0)_{N+2}^N]$	$S_N^N * T(0)_{N+2}^N * RY(0)_{N+2}^N * M_N^N * RYC(0)_{N+2}^N * DAA(0)_{N+2}^N$ $* [MNER(0)_{N+2}^N * ARRR(0)_{N+2}^N + MPER(0)_{N+2}^N * RRR(0)_{N+2}^N]$
:	:	:	:	:
N+i	i	$S_N^N * T(0)_{N+i}^N * MPER(0)_{N+i}^N$ $* RP(0)_{N+i}^N * M_N^N * RPA(0)_{N+i}^N$	$S_N^N * T(0)_{N+i}^N * RY(0)_{N+i}^N * M_N^N * RYA(0)_{N+i}^N$ $* [MNER(0)_{N+i}^N * ARRR(0)_{N+i}^N + MPER(0)_{N+i}^N * RRR(0)_{N+i}^N]$	$S_N^N * T(0)_{N+i}^N * RY(0)_{N+i}^N * M_N^N * RYC(0)_{N+i}^N * DAA(0)_{N+i}^N$ $* [MNER(0)_{N+i}^N * ARRR(0)_{N+i}^N + MPER(0)_{N+i}^N * RRR(0)_{N+i}^N]$
:	:	:	:	:
N+15	15	$S_N^N * T(0)_{N+15}^N * MPER(0)_{N+15}^N$ $* RP(0)_{N+15}^N * M_N^N * RPA(0)_{N+15}^N$	$S_N^N * T(0)_{N+15}^N * RY(0)_{N+15}^N * M_N^N * RYA(0)_{N+15}^N$ $* [MNER(0)_{N+15}^N * ARRR(0)_{N+15}^N + MPER(0)_{N+15}^N * RRR(0)_{N+15}^N]$	$S_N^N * T(0)_{N+15}^N * RY(0)_{N+15}^N * M_N^N * RYC(0)_{N+15}^N * DAA(0)_{N+15}^N$ $* [MNER(0)_{N+15}^N * ARRR(0)_{N+15}^N + MPER(0)_{N+15}^N * RRR(0)_{N+15}^N]$
N+16	16	$S_N^N * T(0)_{N+16}^N * MPER(0)_{N+16}^N$ $* RP(0)_{N+16}^N * M_N^N * RPA(0)_{N+16}^N$	$S_N^N * T(0)_{N+16}^N * RY(0)_{N+16}^N * M_N^N * RYA(0)_{N+16}^N$ $* [MNER(0)_{N+16}^N * ARRR(0)_{N+16}^N + MPER(0)_{N+16}^N * RRR(0)_{N+16}^N]$	$S_N^N * T(0)_{N+16}^N * RY(0)_{N+16}^N * M_N^N * RYC(0)_{N+16}^N * DAA(0)_{N+16}^N$ $* [MNER(0)_{N+16}^N * ARRR(0)_{N+16}^N + MPER(0)_{N+16}^N * RRR(0)_{N+16}^N]$

表 4-6 第 1 年“新销售产品”使用环节排放量

时间 (年)	寿命 (年)	使用正常排放量 $ONE(1)_{N+i}^N$	故障正常排放量 $MNE(1)_{N+i}^N$	故障较大排放量 $MPE(1)_{N+i}^N$	故障完全排放量 $MTE(1)_{N+i}^N$
N+1	1	—	—	—	—
N+2	2	$S_{N+1}^N * B(1)_{N+2}^N * M_N^N * AER(1)_{N+2}^N$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+2}^N * MNER(1)_{N+2}^N * M_N^N * AER(1)_{N+2}^N$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+2}^N * MNER(1)_{N+2}^N * M_N^N * [ARRR(1)_{N+1}^N - RRR(1)_{N+2}^N]$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+2}^N * MTER(1)_{N+2}^N * M_N^N * ARRR(1)_{N+1}^N$
:	:	:	:	:	:
N+i	i	$S_{N+1}^N * B(1)_{N+i}^N * M_N^N * AER(1)_{N+i}^N$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+i}^N * MNER(1)_{N+i}^N * M_N^N * AER(1)_{N+i}^N$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+i}^N * MNER(1)_{N+i}^N * M_N^N * [ARRR(1)_{N+(i-1)}^N - RRR(1)_{N+i}^N]$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+i}^N * MTER(1)_{N+i}^N * M_N^N * ARRR(1)_{N+(i-1)}^N$
:	:	:	:	:	:
N+15	15	$S_{N+1}^N * B(1)_{N+15}^N * M_N^N * AER(1)_{N+16}^N$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+15}^N * MNER(1)_{N+15}^N * M_N^N * AER(1)_{N+15}^N$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+15}^N * MNER(1)_{N+15}^N * M_N^N * [ARRR(1)_{N+14}^N - RRR(1)_{N+15}^N]$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+15}^N * MTER(1)_{N+15}^N * M_N^N * ARRR(1)_{N+14}^N$
N+16	16	$S_{N+1}^N * B(1)_{N+16}^N * M_N^N * AER(1)_{N+16}^N$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+16}^N * MNER(1)_{N+16}^N * M_N^N * AER(1)_{N+16}^N$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+16}^N * MNER(1)_{N+16}^N * M_N^N * [ARRR(1)_{N+15}^N - RRR(1)_{N+16}^N]$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+16}^N * MTER(1)_{N+16}^N * M_N^N * ARRR(1)_{N+15}^N$

表 4-7 第 1 年“新销售产品”维修、回收（收集）和拆解处理环节排放量

时间 (年)	寿命 (年)	维修排放量 $RPE(1)_{N+i}^N$	回收（收集）排放量 $RYE(1)_{N+i}^N$	拆解处理排放量 $DAE(1)_{N+i}^N$
N+1	1	—	—	—
N+2	2	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+2}^N * MPER(1)_{N+2}^N$ $* RP(1)_{N+2}^N * M_N^N * RPA(1)_{N+2}^N$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+2}^N * RY(1)_{N+2}^N * M_N^N * RYA(1)_{N+2}^N$ $* [MNER(1)_{N+2}^N * ARRR(1)_{N+2}^N + MPER(1)_{N+2}^N * RRR(1)_{N+2}^N]$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+2}^N * RY(1)_{N+2}^N * M_N^N * RYC(1)_{N+2}^N * DAA(1)_{N+2}^N$ $* [MNER(1)_{N+2}^N * ARRR(1)_{N+2}^N + MPER(1)_{N+2}^N * RRR(1)_{N+2}^N]$
:	:	:	:	:
N+i	i	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+i}^N * MPER(1)_{N+i}^N$ $* RP(1)_{N+i}^N * M_N^N * RPA(1)_{N+i}^N$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+i}^N * RY(1)_{N+i}^N * M_N^N * RYA(1)_{N+i}^N$ $* [MNER(1)_{N+i}^N * ARRR(1)_{N+i}^N + MPER(1)_{N+i}^N * RRR(1)_{N+i}^N]$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+i}^N * RY(1)_{N+i}^N * M_N^N * RYC(1)_{N+i}^N * DAA(1)_{N+i}^N$ $* [MNER(1)_{N+i}^N * ARRR(1)_{N+i}^N + MPER(1)_{N+i}^N * RRR(1)_{N+i}^N]$
:	:	:	:	:
N+15	15	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+15}^N * MPER(1)_{N+15}^N$ $* RP(1)_{N+15}^N * M_N^N * RPA(1)_{N+15}^N$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+15}^N * RY(1)_{N+15}^N * M_N^N * RYA(1)_{N+15}^N$ $* [MNER(1)_{N+15}^N * ARRR(1)_{N+15}^N + MPER(1)_{N+15}^N * RRR(1)_{N+15}^N]$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+15}^N * RY(1)_{N+15}^N * M_N^N * RYC(1)_{N+15}^N * DAA(1)_{N+15}^N$ $* [MNER(1)_{N+15}^N * ARRR(1)_{N+15}^N + MPER(1)_{N+15}^N * RRR(1)_{N+15}^N]$
N+16	16	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+16}^N * MPER(1)_{N+16}^N$ $* RP(1)_{N+16}^N * M_N^N * RPA(1)_{N+16}^N$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+16}^N * RY(1)_{N+16}^N * M_N^N * RYA(1)_{N+16}^N$ $* [MNER(1)_{N+16}^N * ARRR(1)_{N+16}^N + MPER(1)_{N+16}^N * RRR(1)_{N+16}^N]$	$S_{N+1}^N * T(1)_{N+16}^N * RY(1)_{N+16}^N * M_N^N * RYC(1)_{N+16}^N * DAA(1)_{N+16}^N$ $* [MNER(1)_{N+16}^N * ARRR(1)_{N+16}^N + MPER(1)_{N+16}^N * RRR(1)_{N+16}^N]$

表 4-8 第 2 年“新销售产品”使用环节排放量

时间 (年)	寿命 (年)	使用正常排放量 $ONE(2)_{N+i}^N$	故障正常排放量 $MNE(2)_{N+i}^N$	故障较大排放量 $MPE(2)_{N+i}^N$	故障完全排放量 $MTE(2)_{N+i}^N$
N+1	1	—	—	—	—
N+2	2	—	—	—	—
N+3	3	$S_{N+2}^N * B(2)_{N+3}^N * M_N^N * AER(2)_{N+3}^N$	$S_{N+2}^N * T(2)_{N+3}^N * MNER(2)_{N+3}^N * M_N^N * AER(2)_{N+3}^N$	$S_{N+2}^N * T(2)_{N+3}^N * MNER(2)_{N+3}^N * M_N^N * [ARRR(2)_{N+2}^N - RRR(2)_{N+3}^N]$	$S_{N+2}^N * T(2)_{N+3}^N * MTER(2)_{N+3}^N * M_N^N * ARRR(2)_{N+2}^N$
N+4	4	$S_{N+2}^N * B(2)_{N+4}^N * M_N^N * AER(2)_{N+4}^N$	$S_{N+2}^N * T(2)_{N+4}^N * MNER(2)_{N+4}^N * M_N^N * AER(2)_{N+4}^N$	$S_{N+2}^N * T(2)_{N+4}^N * MNER(2)_{N+4}^N * M_N^N * [ARRR(2)_{N+3}^N - RRR(2)_{N+4}^N]$	$S_{N+2}^N * T(2)_{N+4}^N * MTER(2)_{N+4}^N * M_N^N * ARRR(2)_{N+3}^N$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
N+i	i	$S_{N+2}^N * B(2)_{N+i}^N * M_N^N * AER(2)_{N+i}^N$	$S_{N+2}^N * T(2)_{N+i}^N * MNER(2)_{N+i}^N * M_N^N * AER(2)_{N+i}^N$	$S_{N+2}^N * T(2)_{N+i}^N * MNER(2)_{N+i}^N * M_N^N * [ARRR(2)_{N+(i-1)}^N - RRR(2)_{N+i}^N]$	$S_{N+2}^N * T(2)_{N+i}^N * MTER(2)_{N+i}^N * M_N^N * ARRR(2)_{N+(i-1)}^N$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
N+16	16	$S_{N+2}^N * B(2)_{N+16}^N * M_N^N * AER(2)_{N+16}^N$	$S_{N+2}^N * T(2)_{N+16}^N * MNER(2)_{N+16}^N * M_N^N * AER(2)_{N+16}^N$	$S_{N+2}^N * T(2)_{N+16}^N * MNER(2)_{N+16}^N * M_N^N * [ARRR(2)_{N+15}^N - RRR(2)_{N+16}^N]$	$S_{N+2}^N * T(2)_{N+16}^N * MTER(2)_{N+16}^N * M_N^N * ARRR(2)_{N+15}^N$

表 4-9 第 2 年“新销售产品”维修、回收（收集）和拆解处理环节排放量

时间 (年)	寿命 (年)	维修排放量 $RPE(2)_{N+i}^N$	回收（收集）排放量 $RYE(2)_{N+i}^N$	拆解处理排放量 $DAE(2)_{N+i}^N$
N+1	1	—	—	—
N+2	2	—	—	—
N+3	3	$S_{N+2}^N * T(2)_{N+3}^N * MPER(2)_{N+3}^N$ $* RP(2)_{N+3}^N * M_N^N * RPA(2)_{N+3}^N$	$S_{N+2}^N * T(2)_{N+3}^N * RY(2)_{N+3}^N * M_N^N * RYA(2)_{N+3}^N$ $* [MNER(2)_{N+3}^N * ARRR(2)_{N+3}^N + MPER(2)_{N+3}^N * RRR(2)_{N+3}^N]$	$S_{N+2}^N * T(2)_{N+3}^N * RY(2)_{N+3}^N * M_N^N * RYC(2)_{N+3}^N * DAA(2)_{N+3}^N$ $* [MNER(2)_{N+3}^N * ARRR(2)_{N+3}^N + MPER(2)_{N+3}^N * RRR(2)_{N+3}^N]$
N+4	4	$S_{N+2}^N * T(2)_{N+4}^N * MPER(2)_{N+4}^N$ $* RP(2)_{N+4}^N * M_N^N * RPA(2)_{N+4}^N$	$S_{N+2}^N * T(2)_{N+4}^N * RY(2)_{N+4}^N * M_N^N * RYA(2)_{N+4}^N$ $* [MNER(2)_{N+4}^N * ARRR(2)_{N+4}^N + MPER(2)_{N+4}^N * RRR(2)_{N+4}^N]$	$S_{N+2}^N * T(2)_{N+4}^N * RY(2)_{N+4}^N * M_N^N * RYC(2)_{N+4}^N * DAA(2)_{N+4}^N$ $* [MNER(2)_{N+4}^N * ARRR(2)_{N+4}^N + MPER(2)_{N+4}^N * RRR(2)_{N+4}^N]$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
N+i	i	$S_{N+2}^N * T(2)_{N+i}^N * MPER(2)_{N+i}^N$ $* RP(2)_{N+i}^N * M_N^N * RPA(2)_{N+i}^N$	$S_{N+2}^N * T(2)_{N+i}^N * RY(2)_{N+i}^N * M_N^N * RYA(2)_{N+i}^N$ $* [MNER(2)_{N+i}^N * ARRR(2)_{N+i}^N + MPER(2)_{N+i}^N * RRR(2)_{N+i}^N]$	$S_{N+2}^N * T(2)_{N+i}^N * RY(2)_{N+i}^N * M_N^N * RYC(2)_{N+i}^N * DAA(2)_{N+i}^N$ $* [MNER(2)_{N+i}^N * ARRR(2)_{N+i}^N + MPER(2)_{N+i}^N * RRR(2)_{N+i}^N]$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
N+16	16	$S_{N+2}^N * T(2)_{N+16}^N * MPER(2)_{N+16}^N$ $* RP(2)_{N+16}^N * M_N^N * RPA(2)_{N+16}^N$	$S_{N+2}^N * T(2)_{N+16}^N * RY(2)_{N+16}^N * M_N^N * RYA(2)_{N+16}^N$ $* [MNER(2)_{N+16}^N * ARRR(2)_{N+16}^N + MPER(2)_{N+16}^N * RRR(2)_{N+16}^N]$	$S_{N+2}^N * T(2)_{N+16}^N * RY(2)_{N+16}^N * M_N^N * RYC(2)_{N+16}^N * DAA(2)_{N+16}^N$ $* [MNER(2)_{N+16}^N * ARRR(2)_{N+16}^N + MPER(2)_{N+16}^N * RRR(2)_{N+16}^N]$

表 4-10 第 n 年“新销售产品”使用环节排放量

时间 (年)	寿命 (年)	使用正常排放量 $ONE(n)_{N+i}^N$	故障正常排放量 $MNE(n)_{N+i}^N$	故障较大排放量 $MPE(n)_{N+i}^N$	故障完全排放量 $MTE(n)_{N+i}^N$
N+1	1	—	—	—	—
:	:	:	:	:	:
N+n+1	n+1	$S_{N+n}^N * B(n)_{N+n+1}^N * M_N^N * AER(n)_{N+n+1}^N$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+n+1}^N * MNER(n)_{N+n+1}^N * M_N^N * AER(n)_{N+n+1}^N$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+n+1}^N * MNER(n)_{N+n+1}^N * M_N^N * [ARRR(n)_{N+n}^N - RRR(n)_{N+n+1}^N]$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+n+1}^N * MTER(n)_{N+n+1}^N * M_N^N * ARRR(n)_{N+n}^N$
N+n+2	n+2	$S_{N+n}^N * B(n)_{N+n+2}^N * M_N^N * AER(n)_{N+n+2}^N$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+n+2}^N * MNER(n)_{N+n+2}^N * M_N^N * AER(n)_{N+n+2}^N$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+n+2}^N * MNER(n)_{N+n+2}^N * M_N^N * [ARRR(n)_{N+n+1}^N - RRR(n)_{N+n+2}^N]$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+n+2}^N * MTER(n)_{N+n+2}^N * M_N^N * ARRR(n)_{N+n+1}^N$
:	:	:	:	:	:
N+i	i	$S_{N+n}^N * B(n)_{N+i}^N * M_N^N * AER(n)_{N+i}^N$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+i}^N * MNER(n)_{N+i}^N * M_N^N * AER(n)_{N+i}^N$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+i}^N * MNER(n)_{N+i}^N * M_N^N * [ARRR(n)_{N+(i-1)}^N - RRR(n)_{N+i}^N]$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+i}^N * MTER(n)_{N+i}^N * M_N^N * ARRR(n)_{N+(i-1)}^N$
:	:	:	:	:	:
N+15	15	$S_{N+n}^N * B(n)_{N+15}^N * M_N^N * AER(n)_{N+15}^N$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+15}^N * MNER(n)_{N+15}^N * M_N^N * AER(n)_{N+15}^N$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+15}^N * MNER(n)_{N+15}^N * M_N^N * [ARRR(n)_{N+14}^N - RRR(n)_{N+15}^N]$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+15}^N * MTER(n)_{N+15}^N * M_N^N * ARRR(n)_{N+14}^N$
N+16	16	$S_{N+n}^N * B(n)_{N+16}^N * M_N^N * AER(n)_{N+16}^N$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+16}^N * MNER(n)_{N+16}^N * M_N^N * AER(n)_{N+16}^N$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+16}^N * MNER(n)_{N+16}^N * M_N^N * [ARRR(n)_{N+15}^N - RRR(n)_{N+16}^N]$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+16}^N * MTER(n)_{N+16}^N * M_N^N * ARRR(n)_{N+15}^N$

表 4-11 第 n 年“新销售产品”维修、回收（收集）和拆解处理环节排放量

时间 (年)	寿命 (年)	维修排放量 $RPE(n)_{N+i}^N$	回收（收集）排放量 $RVE(n)_{N+i}^N$	拆解处理排放量 $DAE(n)_{N+i}^N$
N+1	1	—	—	—
:	:	:	:	:
N+n+1	n+1	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+n+1}^N * MPER(n)_{N+n+1}^N$ $* RP(n)_{N+n+1}^N * M_N^N * RPA(n)_{N+n+1}^N$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+n+1}^N * RY(n)_{N+n+1}^N * M_N^N * RYA(n)_{N+n+1}^N$ $* [MNER(n)_{N+n+1}^N * ARRR(n)_{N+n+1}^N + MPER(n)_{N+n+1}^N * RRR(n)_{N+n+1}^N]$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+n+1}^N * RY(n)_{N+n+1}^N * M_N^N * RYC(n)_{N+n+1}^N * DAA(n)_{N+n+1}^N$ $* [MNER(n)_{N+n+1}^N * ARRR(n)_{N+n+1}^N + MPER(n)_{N+n+1}^N * RRR(n)_{N+n+1}^N]$
N+n+2	n+2	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+n+2}^N * MPER(n)_{N+n+2}^N$ $* RP(n)_{N+n+2}^N * M_N^N * RPA(n)_{N+n+2}^N$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+n+2}^N * RY(n)_{N+n+2}^N * M_N^N * RYA(n)_{N+n+2}^N$ $* [MNER(n)_{N+n+2}^N * ARRR(n)_{N+n+2}^N + MPER(n)_{N+n+2}^N * RRR(n)_{N+n+2}^N]$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+n+2}^N * RY(n)_{N+n+2}^N * M_N^N * RYC(n)_{N+n+2}^N * DAA(n)_{N+n+2}^N$ $* [MNER(n)_{N+n+2}^N * ARRR(n)_{N+n+2}^N + MPER(n)_{N+n+2}^N * RRR(n)_{N+n+2}^N]$
:	:	:	:	:
N+i	i	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+i}^N * MPER(n)_{N+i}^N$ $* RP(n)_{N+i}^N * M_N^N * RPA(n)_{N+i}^N$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+i}^N * RY(n)_{N+i}^N * M_N^N * RYA(n)_{N+i}^N$ $* [MNER(n)_{N+i}^N * ARRR(n)_{N+i}^N + MPER(n)_{N+i}^N * RRR(n)_{N+i}^N]$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+i}^N * RY(n)_{N+i}^N * M_N^N * RYC(n)_{N+i}^N * DAA(n)_{N+i}^N$ $* [MNER(n)_{N+i}^N * ARRR(n)_{N+i}^N + MPER(n)_{N+i}^N * RRR(n)_{N+i}^N]$
:	:	:	:	:
N+15	15	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+15}^N * MPER(n)_{N+15}^N$ $* RP(n)_{N+15}^N * M_N^N * RPA(n)_{N+15}^N$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+15}^N * RY(n)_{N+15}^N * M_N^N * RYA(n)_{N+15}^N$ $* [MNER(n)_{N+15}^N * ARRR(n)_{N+15}^N + MPER(n)_{N+15}^N * RRR(n)_{N+15}^N]$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+15}^N * RY(n)_{N+15}^N * M_N^N * RYC(n)_{N+15}^N * DAA(n)_{N+15}^N$ $* [MNER(n)_{N+15}^N * ARRR(n)_{N+15}^N + MPER(n)_{N+15}^N * RRR(n)_{N+15}^N]$
N+16	16	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+16}^N * MPER(n)_{N+16}^N$ $* RP(n)_{N+16}^N * M_N^N * RPA(n)_{N+16}^N$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+16}^N * RY(n)_{N+16}^N * M_N^N * RYA(n)_{N+16}^N$ $* [MNER(n)_{N+16}^N * ARRR(n)_{N+16}^N + MPER(n)_{N+16}^N * RRR(n)_{N+16}^N]$	$S_{N+n}^N * T(n)_{N+16}^N * RY(n)_{N+16}^N * M_N^N * RYC(n)_{N+16}^N * DAA(n)_{N+16}^N$ $* [MNER(n)_{N+16}^N * ARRR(n)_{N+16}^N + MPER(n)_{N+16}^N * RRR(n)_{N+16}^N]$

4.1.4. 排放量测算模型

家用电冰箱和房间空调器的全生命周期划分为五种环节，即生产、使用、维修、回收（收集）和拆解处理环节，其中对应着制冷剂的五种排放，即生产环节对应生产排放，使用和故障环节对应使用排放（故障产品的制冷剂也是在使用过程中排放的），维修环节对应维修排放，回收（收集）环节对应回收排放，拆解处理环节对应拆解处理排放。下面以家用电冰箱为例对制冷剂排放量模型进行论述，房间空调器制冷剂排放量模型与家用电冰箱的模型相同。

假设第 N 年家用电冰箱的销量为 S_N ，则第 N+1 年为寿命的第 1 年，第 N+2 年为寿命的第 2 年，第 N+i 为寿命的第 i 年，以此类推，第 N+16 年为寿命的第 16 年，即产品的最长寿命。下面将 N 固定，对第 N 年销售的 S_N 台家用电冰箱在其寿命期 16 年内制冷剂排放量的变化规律进行分析。

角标“N+i”的含义为：第 N 年国内销售的产品在寿命期第 i 年时的变化，不是早于第 N 年国内销售的产品在第 N+i 年时的变化，此含义下同。

首次故障产品的含义为：产品一直正常使用，首次发生故障，此含义下同。

“新销售产品”的含义为：寿命期内经维修继续使用的产品。

4.1.4.1. 生产环节排放量

第 N 年家用电冰箱或房间空调器国内销量为 S_N^N ，其生产环节制冷剂/发泡剂排放量 PE_N^N （Production Emission）为 $S_N^N * M_N^N * PER_N^N$ ，其中 M_N^N 为第 N 年国内销售产品制冷剂/发泡剂平均单台灌注量， PER_N^N （Production Emission Ratio）为第 N 年产品生产环节制冷剂/发泡剂排放率。

第 N 年产品生产环节制冷剂/发泡剂排放率计算方法为：

$$\text{生产环节排放率} = \frac{\text{生产环节制冷剂/发泡剂排放量}}{\text{生产环节制冷剂/发泡剂灌注总量}}$$

$$PER_N^N = \frac{PE_N^N}{S_N^N * M_N^N}$$

其中：

PER_N^N 第 N 年产品生产环节制冷剂/发泡剂排放率（Production Emission Ratio）
 PE_N^N 第 N 年产品生产环节制冷剂/发泡剂排放量（Production Emission）

- S_N^N 第 N 年产品国内销量 (Sales)
 M_N^N 第 N 年国内销售产品制冷剂/发泡剂平均单台灌注量 (Mass)

4.1.4.2. 使用环节排放量

对于第 (N+i) 年仍处于寿命期内的产品, 第 (N+i) 产品使用环节排放量不仅包括第 N 年国内销售产品的排放量, 还包括第 N+i 年还在使用的其他时间生产产品的排放量, 将这些产品使用环节排放量进行求和后即为第 N+i 年寿命期内产品使用环节总排放量。**4.1.4.2.1** 首次故障产品使用环节排放量和 **4.1.4.2.2**“新销售产品”使用环节排放量中论述的算法为 **4.1.4.2.3** 全生命周期内产品使用环节排放量服务, **4.1.4.2.3** 中论述的算法为 **4.1.4.2.4** 寿命期内产品使用环节总排放量服务。全生命周期内产品使用环节制冷剂排放率算法在 **4.1.4.2.3** 部分详细论述。

4.1.4.2.1. 首次故障产品使用环节排放量

对于首次故障产品, 第 N+i (1≤i≤16) 年产品使用环节制冷剂总排放量 $OE(0)_{N+i}^N$ (Operation Emission) 包括以下四部分, 其中三部分来自于首次故障产品故障时排放量。

- (1) 第 N+i 年首次故障产品使用环节制冷剂正常排放量 $ONE(0)_{N+i}^N$
 (Operation Normal Emission)

$ONE(0)_{N+i}^N = S_N^N * B(0)_{N+i}^N * M_N^N * AER(0)_{N+i}^N$, 其中 S_N^N 为第 N 年产品国内销量, $B(0)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品保有率, M_N^N 为第 N 年国内销售产品制冷剂/发泡剂平均单台灌注量, $AER(0)_{N+i}^N$ (Annual Emission Ratio) 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品使用环节制冷剂正常排放率。 M_N^N 在第 N 年销售的电冰箱整个生命周期内其数值不变, 即在 N+1, N+2…N+16 这 16 年内数值保持不变, 且其数值在第 N 年时既已决定。

- (2) 第 N+i 年首次故障产品故障时制冷剂正常排放量 $MNE(0)_{N+i}^N$
 (Malfunction Normal Emission)

$MNE(0)_{N+i}^N = S_N^N * T(0)_{N+i}^N * MNER(0)_{N+i}^N * M_N^N * AER(0)_{N+i}^N$, 其中 S_N^N 为第 N 年产品国内销量, $T(0)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品故障率, $MNER(0)_{N+i}^N$ (Malfunction Normal Emission Ratio) 为第 N 年国内销售第 (N+i)

年首次故障产品故障时制冷剂正常排放台数比例， M_N^N 为第 N 年国内销售产品制冷剂/发泡剂平均单台灌注量， $AER(0)_{N+i}^N$ (Annual Emission Ratio) 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品使用环节制冷剂正常排放率。随着产品中制冷剂的正常排放，模型中假设 $AER(0)_{N+i}^N$ 与产品中制冷剂剩余率成正比，即 $AER(0)_{N+i}^N = AER(0)_{N+1}^N * ARRR(0)_{(N+i-1)}^N$ ，其中 $ARRR(0)_{(N+i-1)}^N$ (Annual Remainder Refrigerant Ratio) 为第 N 年国内销售第 (N+i-1) 年首次故障产品使用环节制冷剂剩余率， $ARRR(0)_{(N+i-1)}^N = 1 - \sum_{k=N+1}^{N+i-1} AER(0)_k^N$ 。

按照故障产品中剩余制冷剂含量不同，可将故障产品分为三种：第一种为制冷剂正常排放，即产品故障是由非制冷系统故障所导致的，其制冷剂仅以年极微量的速率排放，此台数比例为 $MNER(0)_{N+i}^N$ (Malfunction Normal Emission Ratio)，即第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品故障时制冷剂正常排放台数比例；第二种为制冷剂因为制冷系统故障导致较大量的排放，故障产品中剩余的制冷剂不足以使制冷系统正常运转，此台数比例为 $MPER(0)_{N+i}^N$ (Malfunction Part Emission Ratio)，即第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品故障时制冷剂较大排放台数比例；第三种为制冷剂因为制冷系统故障完全排放，故障产品中无剩余制冷剂，此台数比例为 $MTER(0)_{N+i}^N$ (Malfunction Total Emission Ratio)，即第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品故障时制冷剂完全排放台数比例。通过上述分析可知， $MNER(0)_{N+i}^N + MPER(0)_{N+i}^N + MTER(0)_{N+i}^N = 1$ 。

(3) 第 N+i 年首次故障产品故障时制冷剂较大排放量 $MPE(0)_{N+i}^N$ (Malfunction Part Emission)

$MPE(0)_{N+i}^N = S_N^N * T(0)_{N+i}^N * MPER(0)_{N+i}^N * M_N^N * (ARRR(0)_{(N+i-1)}^N - RRR(0)_{N+i}^N)$ ，其中 S_N^N 为第 N 年产品国内销量， $T(0)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品故障率， $MPER(0)_{N+i}^N$ (Malfunction Part Emission Ratio) 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品故障时制冷剂较大排放台数比例， M_N^N 为第 N 年国内销售产品制冷剂/发泡剂平均单台灌注量， $ARRR(0)_{(N+i-1)}^N$ (Annual Remainder Refrigerant Ratio) 为第 N 年国内销售第 (N+i-1) 年首次故障产品使用环节制冷剂剩余率， $RRR(0)_{N+i}^N$ (Remainder Refrigerant Ratio) 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品制冷剂较大排放后单台制冷剂剩余率。

- (4) 第 N+i 年首次故障产品故障时制冷剂完全排放量 $MTE(0)_{N+i}^N$
(Malfunction Total Emission)

$MTE(0)_{N+i}^N = S_N^N * T(0)_{N+i}^N * MTER(0)_{N+i}^N * M_N^N * ARRR(0)_{(N+i-1)}^N$ ，其中 S_N^N 为第 N 年产品国内销量， $T(0)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品故障率， $MTER(0)_{N+i}^N$ (Malfunction Total Emission Ratio) 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品故障时制冷剂完全排放台数比例， M_N^N 为第 N 年国内销售产品制冷剂/发泡剂平均单台灌注量， $ARRR(0)_{(N+i-1)}^N$ (Annual Remainder Refrigerant Ratio) 为第 N 年国内销售第 (N+i-1) 年首次故障产品使用环节制冷剂剩余率。

- (5) 第 N+i 年首次故障产品使用环节制冷剂总排放量 $OE(0)_{N+i}^N$
(Operation Emission)

$OE(0)_{N+i}^N = ONE(0)_{N+i}^N + MNE(0)_{N+i}^N + MPE(0)_{N+i}^N + MTE(0)_{N+i}^N$ ，其中 $OE(0)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品使用环节制冷剂总排放量， $ONE(0)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品使用环节制冷剂正常排放量， $MNE(0)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品故障时制冷剂正常排放量， $MPE(0)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品故障时制冷剂较大排放量， $MTE(0)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品故障时制冷剂完全排放量。相应结果见表 4-4。

4.1.4.2.2. “新销售产品”使用环节排放量

4.1.4.2.1 部分详细论述了首次故障产品使用环节排放量的计算方法，将其与 **4.1.3 国内销量和理论报废量预测模型** 结合后，可得到第 1,2... (n-1) 年这 (n-1) ($2 \leq n-1 \leq 16$) 种“新销售的产品”使用环节排放量，以及第 N 年国内销量为 S_N 产品使用环节总排放量。相应结果见表 4-6，表 4-8，表 4-10 和表 4-12。

4.1.4.2.3. 全生命周期内产品使用环节排放量

4.1.4.2.1 首次故障产品使用环节排放量和 **4.1.4.2.2** “新销售产品”使用环节排放量部分详细论述了各自使用环节排放量计算方法，对于第 N 年国内销量为

S_N^N 的产品，第 (N+i) 年全生命周期内使用环节制冷剂排放量实际上是由首次故障产品第 (N+i) 年使用环节排放量和“新销售产品”第 (N+i) 年使用环节排放量叠加而成，此外通过 4.1.4.2.1“首次故障产品”使用环节排放量的讨论可知，第 N 年国内销售第 (N+i) 年全生命周期内产品使用环节制冷剂排放量还由四部分组成，因此下面将分为四部分进行论述。

(1) 第 N+i 年全生命周期内产品使用环节制冷剂正常排放量 ONE_{N+i}^N

(LCA Product Operation Normal Emission)

$$ONE_{N+i}^N = \sum_{j=0}^{i-1} S_{N+j}^N * B(j)_{N+i}^N * M_N^N * AER(j)_{N+i}^N$$

其中：

ONE_{N+i}^N 第 N 年国内销售第 N+i 年全生命周期内产品使用环节制冷剂正常排放量
 S_{N+j}^N j=0 时，第 N 年产品国内销量；
 j≥1 时，第 N 年国内销售第 (N+j) 年“新销售产品 (第 N+j 年)”销量
 $B(j)_{N+i}^N$ 第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”保有率
 M_N^N 第 N 年国内销售产品制冷剂/发泡剂平均单台灌注量
 $AER(j)_{N+i}^N$ 第 N 年国内销售第 (N+j) 年“新销售产品 (第 j 年)”使用环节制冷剂正常排放率

(2) 第 N+i 年全生命周期内产品故障时制冷剂正常排放量 MNE_{N+i}^N (LCA Product Malfunction Normal Emission)

$$MNE_{N+i}^N = \sum_{j=0}^{i-1} S_{N+j}^N * T(j)_{N+i}^N * MNER(j)_{N+i}^N * M_N^N * AER(j)_{N+i}^N$$

其中：

MNE_{N+i}^N 第 N 年国内销售第 N+i 年全生命周期内产品故障时制冷剂正常排放量
 S_{N+j}^N j=0 时，第 N 年产品国内销量；
 j≥1 时，第 N 年国内销售第 (N+j) 年“新销售产品 (第 N+j 年)”销量
 $T(j)_{N+i}^N$ 第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”故障率
 $MNER(j)_{N+i}^N$ 第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”故障时制冷剂正常排放台数比例
 M_N^N 第 N 年国内销售产品制冷剂/发泡剂平均单台灌注量
 $AER(j)_{N+i}^N$ 第 N 年国内销售第 (N+j) 年“新销售产品 (第 j 年)”使用环节制冷剂正常排放率

(3) 第 N+i 年全生命周期内产品故障时制冷剂较大排放量 MPE_{N+i}^N (LCA Product Malfunction Part Emission)

$$MPE_{N+i}^N = \sum_{j=0}^{i-1} S_{N+j}^N * T(j)_{N+i}^N * MPER(j)_{N+i}^N * M_N^N * [ARRR(j)_{N+i-1}^N - RRR(j)_{N+i}^N]$$

其中：

MPE_{N+i}^N	第 N 年国内销售第 N+i 年全生命周期内产品故障时制冷剂较大排放量
S_{N+j}^N	j=0 时，第 N 年产品国内销量； j≥1 时，第 N 年国内销售第 (N+j) 年“新销售产品 (第 N+j 年)”销量
$T(j)_{N+i}^N$	第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”故障率
$MPER(j)_{N+i}^N$	第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”故障时制冷剂较大排放台数比例
M_N^N	第 N 年国内销售产品制冷剂/发泡剂平均单台灌注量
$ARRR(j)_{N+i-1}^N$	第 N 年国内销售第 (N+i-1) 年“新销售产品 (第 j 年)”使用环节制冷剂剩余率
$RRR(j)_{N+i}^N$	第 N 年国内销售第 (N+j) 年“新销售产品 (第 j 年)”制冷剂较大排放后单台制冷剂剩余率

- (4) 第 N+i 年全生命周期内产品故障时制冷剂完全排放量 MTE_{N+i}^N (LCA Product Malfunction Total Emission)

$$MTE_{N+i}^N = \sum_{j=0}^{i-1} S_{N+j}^N * T(j)_{N+i}^N * MTER(j)_{N+i}^N * M_N^N * ARRR(j)_{N+i-1}^N$$

其中：

MTE_{N+i}^N	第 N 年国内销售第 N+i 年全生命周期内产品故障时制冷剂完全排放量
S_{N+j}^N	j=0 时，第 N 年产品国内销量； j≥1 时，第 N 年国内销售第 (N+j) 年“新销售产品 (第 N+j 年)”销量
$T(j)_{N+i}^N$	第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”故障率
$MTER(j)_{N+i}^N$	第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”故障时制冷剂完全排放台数比例
M_N^N	第 N 年国内销售产品制冷剂/发泡剂平均单台灌注量
$ARRR(j)_{N+i-1}^N$	第 N 年国内销售第 (N+i-1) 年“新销售产品 (第 j 年)”使用环节制冷剂剩余率

- (5) 第 N+i 年全生命周期内产品使用环节制冷剂排放量 OE_{N+i}^N (LCA Product Operation Emission)

$$OE_{N+i}^N = ONE_{N+i}^N + MNE_{N+i}^N + MPE_{N+i}^N + MTE_{N+i}^N$$

其中：

OE_{N+i}^N	第 N 年国内销售第 N+i 年全生命周期内产品使用环节制冷剂排放量
ONE_{N+i}^N	第 N 年国内销售第 N+i 年全生命周期内产品使用环节制冷剂正常排放量
MNE_{N+i}^N	第 N 年国内销售第 N+i 年全生命周期内产品故障时制冷剂正常排放量
MPE_{N+i}^N	第 N 年国内销售第 N+i 年全生命周期内产品故障时制冷剂较大排放量

MTE_{N+i}^N 第 N 年国内销售第 N+i 年全生命周期内产品故障时制冷剂完全排放量

由于第 N 年国内销售第 (N+i) 年全生命周期内产品使用环节制冷剂排放量由四部分组成，因此其使用环节排放率由这四部分共同决定。第 N 年国内销售第 (N+i) 年全生命周期内产品使用环节制冷剂排放率 OER_{N+i}^N (LCA Product Operation Emission Ratio) 计算方法为：

$$OER_{N+i}^N = \frac{OE_{N+i}^N}{OTR_{N+i}^N}$$

其中：

OER_{N+i}^N 第 N 年国内销售第 N+i 年全生命周期内产品使用环节制冷剂排放率

OE_{N+i}^N 第 N 年国内销售第 N+i 年全生命周期内产品使用环节制冷剂排放量

OTR_{N+i}^N 第 N 年国内销售第 N+i 年全生命周期内产品使用环节制冷剂总含量

OTR_{N+i}^N 计算方法为：

$$OTR_{N+i}^N = \sum_{j=0}^{i-1} B(j)_{N+i-1}^N * ARRR(j)_{N+i-1}^N$$

其中：

OTR_{N+i}^N 第 N 年国内销售第 N+i 年全生命周期内产品使用环节制冷剂总含量

$B(j)_{N+i-1}^N$ 第 N 年国内销售第 (N+i-1) 年“新销售产品 (第 j 年)”保有率

$ARRR(j)_{N+i-1}^N$ 第 N 年国内销售第 (N+i-1) 年“新销售产品 (第 j 年)”使用环节制冷剂
剩余率

对于第 N 年国内销售第 (N+i) 年全生命周期内产品使用环节制冷剂排放率而言，由于 $i=1, 2, \dots, 16$ 时 OER_{N+i}^N 为变量而且其数值主要由生产质量决定，因此课题组假定第 N 年国内销售的产品，其整个生命周期内各年度 OER_{N+i}^N 不变，因此用第 N 年国内销售产品使用环节制冷剂平均排放率 $AOER_N^N$ (Average LCA Product Operation Emission Ratio) 表征第 N 年国内销售产品使用环节排放率，计算方法为：

$$AOER_N^N = \frac{\sum_{i=1}^{16} OE_{N+i}^N}{\sum_{i=1}^{16} OTR_{N+i}^N}$$

4.1.4.2.4. 寿命期内产品使用环节总排放量

4.1.4.2.1 首次故障产品使用环节排放量, **4.1.4.2.2** “新销售产品”使用环节排放量和 **4.1.4.2.3** 全生命周期内产品使用环节排放量部分详细论述了第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品使用环节制冷剂总排放量 $OE(0)_{N+i}^N$ 和第 N 年国内销售第 N+i 年全生命周期内产品使用环节制冷剂排放量 OE_{N+i}^N 的计算方法。实际上第 N+i 年全生命周期内产品使用环节排放量不仅包括第 N 年国内销售产品的排放量, 还包括第 N+i 年还在使用的其他时间生产产品的排放量, 将这些产品使用环节排放量进行求和后即为第 N+i 年寿命期内产品使用环节总排放量。计算方法如下所述:

- (1) 第 N+i 年寿命期内产品使用环节制冷剂正常总排放量 ONE_{N+i}^T (Total Operation Normal Emission)

$ONE_{N+i}^T = \sum_{p=0}^{16-i} ONE_{N+i}^{N-p}$, 其中 ONE_{N+i}^{N-p} 为第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年寿命期内产品使用环节制冷剂正常排放量, ONE_{N+i}^T 为第 (N+i) 年所有在寿命期内产品使用环节制冷剂正常排放量。 ONE_{N+i}^{N-p} 的计算方法如表 4-12 所示。

表 4-12 ONE_{N+i}^{N-p} 计算方法

P 值	ONE_{N+i}^{N-p}	ONE_{N+i}^{N-p} 计算方法
0	ONE_{N+i}^{N-0}	$\sum_{j=0}^{i-1} S_{N+j}^N * B(j)_{N+i}^N * M_N^N * AER(j)_{N+i}^N$
1	ONE_{N+i}^{N-1}	$\sum_{j=0}^{i+0} S_{N-1+j}^{N-1} * B(j)_{N+i}^{N-1} * M_{N-1}^{N-1} * AER(j)_{N+i}^{N-1}$
2	ONE_{N+i}^{N-2}	$\sum_{j=0}^{i+1} S_{N-2+j}^{N-2} * B(j)_{N+i}^{N-2} * M_{N-2}^{N-2} * AER(j)_{N+i}^{N-2}$
⋮	⋮	⋮
m	ONE_{N+i}^{N-m}	$\sum_{j=0}^{i-1+m} S_{N-m+j}^{N-m} * B(j)_{N+i}^{N-m} * M_{N-m}^{N-m} * AER(j)_{N+i}^{N-m}$
⋮	⋮	⋮
16-i	$ONE_{N+i}^{N-(16-i)}$	$\sum_{j=0}^{15} S_{N-(16-i)+j}^{N-(16-i)} * B(j)_{N+i}^{N-(16-i)} * M_{N-(16-i)}^{N-(16-i)} * AER(j)_{N+i}^{N-(16-i)}$

表 4-12 中 $AER(j)_{N+i}^N$ 的计算方法如下所述:

随着产品中制冷剂的正常排放, 模型中假设 $AER(0)_{N+i}^N$ 与产品中制冷剂剩余

率成正比，即 $AER(0)_{N+i}^N = AER(0)_{N+1}^N * ARRR(0)_{(N+i-1)}^N$ ($2 \leq i \leq 15$)，其中 $ARRR(0)_{(N+i-1)}^N$ ($2 \leq i \leq 15$) (Annual Remainder Refrigerant Ratio) 为第 N 年国内销售第 (N+i-1) 年首次故障产品使用环节制冷剂剩余率， $ARRR(0)_{(N+i-1)}^N = 1 - \sum_{k=N+1}^{N+i-1} AER(0)_k^N$ ($2 \leq i \leq 15$)， $ARRR(0)_N^N = 1$ 。

对于第 N 年国内销售的产品， $AER(0)_{N+i}^N = AER(1)_{N+i}^N = \dots = AER(p)_{N+i}^N = \dots = AER(15)_{N+i}^N$ ， $RRR(0)_{N+i}^N = RRR(1)_{N+i}^N = \dots = RRR(p)_{N+i}^N = \dots = RRR(15)_{N+i}^N$ ($0 \leq p \leq 15$)。

对于第 N, (N-1), (N-2), ..., (N-m), ..., N-(16-i) 年国内销售产品， $AER(p)_{N+i}^N \neq AER(p)_{N+i}^{N-1} \neq AER(p)_{N+i}^{N-2} \neq \dots \neq AER(p)_{N+i}^{N-m} \neq \dots \neq AER(p)_{N+i}^{N-(16-i)}$ ， $RRR(p)_{N+i}^N = RRR(p)_{N+i}^{N-1} = RRR(p)_{N+i}^{N-2} = \dots = RRR(p)_{N+i}^{N-m} = \dots = RRR(p)_{N+i}^{N-(16-i)}$ ($0 \leq p \leq 15$)。

(2) 第 N+i 年寿命期内产品故障时制冷剂正常总排放量 MNE_{N+i}^T (Malfunction Normal Emission)

$MNE_{N+i}^T = \sum_{p=0}^{16-i} MNE_{N+i}^{N-p}$ ，其中 MNE_{N+i}^{N-p} 为第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年寿命期内产品故障时制冷剂正常排放量， MNE_{N+i}^T 为第 (N+i) 年所有在寿命期内产品故障时制冷剂正常排放量。 MNE_{N+i}^{N-p} 的计算方法如表 4-13 所示。表 4-13 中 $AER(j)_{N+i}^N$ 的计算方法与表 4-12 中的计算方法相同，如上所述。

表 4-13 MNE_{N+i}^{N-p} 计算方法

P 值	MNE_{N+i}^{N-p}	MNE_{N+i}^{N-p} 计算方法
0	MNE_{N+i}^{N-0}	$\sum_{j=0}^{i-1} S_{N+j}^N * T(j)_{N+i}^N * MNER(j)_{N+i}^N * M_N^N * AER(j)_{N+i}^N$
1	MNE_{N+i}^{N-1}	$\sum_{j=0}^{i+0} S_{N-1+j}^{N-1} * T(j)_{N+i}^{N-1} * MNER(j)_{N+i}^{N-1} * M_{N-1}^{N-1} * AER(j)_{N+i}^{N-1}$
2	MNE_{N+i}^{N-2}	$\sum_{j=0}^{i+1} S_{N-2+j}^{N-2} * T(j)_{N+i}^{N-2} * MNER(j)_{N+i}^{N-2} * M_{N-2}^{N-2} * AER(j)_{N+i}^{N-2}$
⋮	⋮	⋮
m	MNE_{N+i}^{N-m}	$\sum_{j=0}^{i-1+m} S_{N-m+j}^{N-m} * T(j)_{N+i}^{N-m} * MNER(j)_{N+i}^{N-m} * M_{N-m}^{N-m} * AER(j)_{N+i}^{N-m}$
⋮	⋮	⋮

16-i	$MNE_{N+i}^{N-(16-i)}$	$\sum_{j=0}^{15} S_{N-(16-i)+j}^{N-(16-i)} * T(j)_{N+i}^{N-(16-i)} * MNER(j)_{N+i}^{N-(16-i)} * M_{N-(16-i)}^{N-(16-i)}$ $* AER(j)_{N+i}^{N-(16-i)}$
------	------------------------	--

(3) 第 N+i 年寿命期内产品故障时制冷剂较大总排放量 MPE_{N+i}^T (Malfunction Part Emission)

$MPE_{N+i}^T = \sum_{p=0}^{16-i} MPE_{N+i}^{N-p}$, 其中 MPE_{N+i}^{N-p} 为第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年寿命期内产品故障时制冷剂较大排放量, MPE_{N+i}^T 为第 (N+i) 年所有在寿命期内产品故障时制冷剂较大排放量。 MPE_{N+i}^{N-p} 的计算方法如表 4-14 所示。表 4-14 中 $AER(j)_{N+i}^N$ 的计算方法与表 4-12 中的计算方法相同, 如上所述。

表 4-14 MPE_{N+i}^{N-p} 计算方法

P 值	MPE_{N+i}^{N-p}	MPE_{N+i}^{N-p} 计算方法
0	MPE_{N+i}^{N-0}	$\sum_{j=0}^{i-1} S_{N+j}^N * T(j)_{N+i}^N * MPER(j)_{N+i}^N * M_N^N * [ARRR(j)_{N+i-1}^N - RRR(j)_{N+i}^N]$
1	MPE_{N+i}^{N-1}	$\sum_{j=0}^{i+0} S_{N-1+j}^{N-1} * T(j)_{N+i}^{N-1} * MPER(j)_{N+i}^{N-1} * M_{N-1}^{N-1} * [ARRR(j)_{N+i-1}^{N-1} - RRR(j)_{N+i}^{N-1}]$
2	MPE_{N+i}^{N-2}	$\sum_{j=0}^{i+1} S_{N-2+j}^{N-2} * T(j)_{N+i}^{N-2} * MPER(j)_{N+i}^{N-2} * M_{N-2}^{N-2} * [ARRR(j)_{N+i-1}^{N-2} - RRR(j)_{N+i}^{N-2}]$
⋮	⋮	⋮
m	MPE_{N+i}^{N-m}	$\sum_{j=0}^{i-1+m} S_{N-m+j}^{N-m} * T(j)_{N+i}^{N-m} * MPER(j)_{N+i}^{N-m} * M_{N-m}^{N-m} * [ARRR(j)_{N+i-1}^{N-m} - RRR(j)_{N+i}^{N-m}]$
⋮	⋮	⋮
16-i	$MPE_{N+i}^{N-(16-i)}$	$\sum_{j=0}^{15} S_{N-(16-i)+j}^{N-(16-i)} * T(j)_{N+i}^{N-(16-i)} * MPER(j)_{N+i}^{N-(16-i)} * M_{N-(16-i)}^{N-(16-i)}$ $* [ARRR(j)_{N+i-1}^{N-(16-i)} - RRR(j)_{N+i}^{N-(16-i)}]$

(4) 第 N+i 年寿命期内产品故障时制冷剂完全总排放量 MTE_{N+i}^T (Malfunction Total Emission)

$MTE_{N+i}^T = \sum_{p=0}^{16-i} MTE_{N+i}^{N-p}$, 其中 MTE_{N+i}^{N-p} 为第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年寿命期内产品故障时制冷剂完全排放量, MTE_{N+i}^T 为第 (N+i) 年所有在寿命期内产品故障时制冷剂完全排放量。 MTE_{N+i}^{N-p} 的计算方法如表 4-15 所示。表 4-15 中 $AER(j)_{N+i}^N$ 的计算方法与表 4-12 中的计算方法相同, 如上所述。

表 4-15 MTE_{N+i}^{N-P} 计算方法

P 值	MTE_{N+i}^{N-P}	MTE_{N+i}^{N-P} 计算方法
0	MTE_{N+i}^{N-0}	$\sum_{j=0}^{i-1} S_{N+j}^N * T(j)_{N+i}^N * MTER(j)_{N+i}^N * M_N^N * ARRR(j)_{N+i-1}^N$
1	MTE_{N+i}^{N-1}	$\sum_{j=0}^{i+0} S_{N-1+j}^{N-1} * T(j)_{N+i}^{N-1} * MTER(j)_{N+i}^{N-1} * M_{N-1}^{N-1} * ARRR(j)_{N+i-1}^{N-1}$
2	MTE_{N+i}^{N-2}	$\sum_{j=0}^{i+1} S_{N-2+j}^{N-2} * T(j)_{N+i}^{N-2} * MTER(j)_{N+i}^{N-2} * M_{N-2}^{N-2} * ARRR(j)_{N+i-1}^{N-2}$
⋮	⋮	⋮
m	MTE_{N+i}^{N-m}	$\sum_{j=0}^{i-1+m} S_{N-m+j}^{N-m} * T(j)_{N+i}^{N-m} * MTER(j)_{N+i}^{N-m} * M_{N-m}^{N-m} * ARRR(j)_{N+i-1}^{N-m}$
⋮	⋮	⋮
16-i	$MTE_{N+i}^{N-(16-i)}$	$\sum_{j=0}^{15} S_{N-(16-i)+j}^{N-(16-i)} * T(j)_{N+i}^{N-(16-i)} * MTER(j)_{N+i}^{N-(16-i)} * M_{N-(16-i)}^{N-(16-i)} * ARRR(j)_{N+i-1}^{N-(16-i)}$

(5) 第 N+i 年寿命期内产品使用环节制冷剂总排放量 OE_{N+i}^T (Operation Emission)

$OE_{N+i}^T = ONE_{N+i}^T + MNE_{N+i}^T + MPE_{N+i}^T + MTE_{N+i}^T$, 其中 OE_{N+i}^T 为第 (N+i) 年寿命期内产品使用环节制冷剂总排放量, ONE_{N+i}^T 为第 (N+i) 年寿命期内产品使用环节制冷剂正常总排放量, MNE_{N+i}^T 为第 (N+i) 年寿命期内产品故障时制冷剂正常总排放量, MPE_{N+i}^T 为第 N+i 年寿命期内产品故障时制冷剂较大总排放量, MTE_{N+i}^T 为第 N+i 年寿命期内产品故障时制冷剂完全总排放量。

4.1.4.3. 维修环节排放量

对于第 (N+i) 年仍处于寿命期内的产品, 第 (N+i) 产品维修环节排放量不仅包括第 N 年国内销售产品的排放量, 还包括第 N+i 年还在使用的其他时间生产产品的排放量, 将这些产品维修环节排放量进行求和后即为第 N+i 年寿命期内产品维修环节总排放量。**4.1.4.3.1** 首次故障产品维修环节排放量和 **4.1.4.3.2** “新销售产品”维修环节排放量中论述的算法为 **4.1.4.3.3** 全生命周期内产品维修环节排放量服务, **4.1.4.3.3** 中论述的算法为 **4.1.4.3.4** 寿命期内产品维修环节总排放量服务。全生命周期内产品维修环节制冷剂排放率算法在 **4.1.4.3.3** 部分详细论述,

寿命期内产品维修环节制冷剂排放率算法在 4.1.4.3.4 部分详细论述。

4.1.4.3.1. 首次故障产品维修环节排放量

第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品维修环节制冷剂排放量 $RPE(0)_{N+i}^N$ (Repair Emission) 为 $S_N^N * T(0)_{N+i}^N * MPER(0)_{N+i}^N * RP(0)_{N+i}^N * M_N^N * RPA(0)_{N+i}^N$, 其中 S_N^N 为第 N 年产品国内销量, $T(0)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品故障率, $MPER(0)_{N+i}^N$ (Malfunction Part Emission Ratio) 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品故障时制冷剂较大排放台数比例, $RP(0)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品维修率, M_N^N 为第 N 年国内销售产品制冷剂/发泡剂平均单台灌注量, $RPA(0)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品维修环节“制冷剂完全排空+完全充灌”比例。

前面已经论述了故障产品制冷剂排放的三种类型, 其中第一种“产品故障时制冷剂正常排放”不涉及制冷系统维修, 第二种“产品故障时制冷剂较大量排放”和第三种“产品故障时制冷剂完全排放”需要进行制冷系统维修。第三种情况的产品在维修时需要完全充灌制冷剂, 第二种产品在维修时对于制冷剂有三种处理方法: 第一种为维修制冷系统前先将管路中剩余的较为大量制冷剂进行直接排空, 维修后再进行制冷剂充灌, 此台数比例为 $RPA(0)_{N+i}^N$ (Repair Emission Ratio Situation A), 即第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品维修环节“制冷剂完全排空+完全充灌”比例; 第二种为维修制冷系统前先将管路中剩余的较为大量制冷剂用冷媒回收机进行抽取, 维修后再进行制冷剂充灌, 此台数比例为 $RPB(0)_{N+i}^N$ (Repair Emission Ratio Situation B), 即第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品维修环节“制冷剂完全回收+完全充灌”比例; 第三种为维修制冷系统时只需要进行制冷剂加注即可, 此台数比例为 $RPC(0)_{N+i}^N$ (Repair Emission Ratio Situation C), 即第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品维修环节“制冷剂不回收+直接充灌”比例。通过上述分析可知, $RPA(0)_{N+i}^N + RPB(0)_{N+i}^N + RPC(0)_{N+i}^N = 1$, 且这三者的比例随着维修行业的发展而发生变化。相应结果见表 4-5。

4.1.4.3.2. “新销售产品”维修环节排放量

4.1.4.3.1 部分详细论述了首次故障产品维修环节排放量的计算方法，将其与 **4.1.3 国内销量和理论报废量预测模型** 结合后，可得到第 1,2…(n-1) 年这 (n-1) ($2 \leq n-1 \leq 16$) 种“新销售的产品”维修环节排放量，以及第 N 年国内销量为 S_N 产品维修环节总排放量。相应结果见表 4-7，表 4-9 和表 4-11。

4.1.4.3.3. 全生命周期内产品维修环节排放量

4.1.4.3.1 首次故障产品维修环节排放量和 **4.1.4.3.2** “新销售产品”维修环节排放量部分详细论述了各自维修环节排放量计算方法，对于第 N 年国内销量为 S_N^N 的产品，第 (N+i) 年全生命周期内维修环节制冷剂排放量实际上是由首次故障产品第 (N+i) 年维修环节排放量和“新销售产品”第 (N+i) 年维修环节排放量叠加而成。计算方法如下所述：

$$RPE_{N+i}^N = \sum_{j=0}^{i-1} S_{N+j}^N * T(j)_{N+i}^N * MPER(j)_{N+i}^N * RP(j)_{N+i}^N * M_N^N * RPA(j)_{N+i}^N$$

其中：

RPE_{N+i}^N	第 N 年国内销售第 N+i 年全生命周期内产品维修环节制冷剂排放量
S_{N+j}^N	j=0 时，第 N 年产品国内销量； j≥1 时，第 N 年国内销售第 (N+j) 年“新销售产品 (第 N+j 年)”销量
$T(j)_{N+i}^N$	第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”故障率
$MPER(j)_{N+i}^N$	第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”故障时制冷剂较大排放台数比例
$RP(j)_{N+i}^N$	第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”维修率
M_N^N	第 N 年国内销售产品制冷剂/发泡剂平均单台灌注量
$RPA(j)_{N+i}^N$	第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”维修环节“制冷剂完全排空+完全充灌”比例

对于第 N 年国内销售第 (N+i) 年全生命周期内产品，由于维修环节制冷剂排放率由家电维修行业决定，因此第 (N+i) 年处于生命周期不同阶段的产品其维修环节制冷剂排放率相同，即 $RPA(0)_{N+i}^N = RPA(1)_{N+i}^N = \dots = RPA(p)_{N+i}^N = \dots = RPA(15)_{N+i}^N = RPA_{N+i}^N$ ($0 \leq p \leq 15$)。因此，第 N 年国内销售第 (N+i) 年全生命周期内产品维修环节制冷剂排放率 RPA_{N+i}^N (LCA Product Repair Emission Ratio) 计算方法为：

$$RPA_{N+i}^N = \frac{RPE_{N+i}^N}{\sum_{j=0}^{i-1} S_{N+j}^N * T(j)_{N+i}^N * MPER(j)_{N+i}^N * RP(j)_{N+i}^N * M_N^N}$$

其中：

RPA_{N+i}^N	第 N 年国内销售第 (N+i) 年全生命周期内产品维修环节制冷剂排放率
RPE_{N+i}^N	第 N 年国内销售第 N+i 年全生命周期内产品维修环节制冷剂排放量
S_{N+j}^N	j=0 时，第 N 年产品国内销量； j≥1 时，第 N 年国内销售第 (N+j) 年“新销售产品 (第 N+j 年)”销量
$T(j)_{N+i}^N$	第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”故障率
$MPER(j)_{N+i}^N$	第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”故障时制冷剂较大排放台数比例
$RP(j)_{N+i}^N$	第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”维修率
M_N^N	第 N 年国内销售产品制冷剂/发泡剂平均单台灌注量

4.1.4.3.4. 寿命期内产品维修环节总排放量

4.1.4.3.1 首次故障产品维修环节排放量，**4.1.4.3.2** “新销售产品”维修环节排放量和 **4.1.4.3.3** 全生命周期内产品维修环节排放量部分详细论述了第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品维修环节制冷剂总排放量 $RPE(0)_{N+i}^N$ 和第 N 年国内销售第 N+i 年全生命周期内产品维修环节制冷剂排放量 RPE_{N+i}^N 的计算方法。实际上第 N+i 年全生命周期内产品维修环节排放量不仅包括第 N 年国内销售产品的排放量，还包括第 N+i 年还在使用的其他时间生产产品的排放量，将这些产品维修环节排放量进行求和后即为第 N+i 年寿命期内产品维修环节总排放量。计算方法如下所述：

第 (N+i) 年所有在寿命期内产品维修环节制冷剂总排放量 RPE_{N+i}^T (Total Repair Emission) 计算方法为： $RPE_{N+i}^T = \sum_{p=0}^{16-i} RPE_{N+i}^{N-p}$ ，其中 RPE_{N+i}^{N-p} 为第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年寿命期内产品维修环节制冷剂排放量， RPE_{N+i}^T 为第 (N+i) 年所有在寿命期内产品维修环节制冷剂排放量。 RPE_{N+i}^{N-p} 的计算方法如表 4-16 所示。

表 4-16 RPE_{N+i}^{N-P} 计算方法

P 值	RPE_{N+i}^{N-P}	RPE_{N+i}^{N-P} 计算方法
0	RPE_{N+i}^{N-0}	$\sum_{j=0}^{i-1} S_{N+j}^N * T(j)_{N+i}^N * MPER(j)_{N+i}^N * RP(j)_{N+i}^N * M_N^N * RPA(j)_{N+i}^N$
1	RPE_{N+i}^{N-1}	$\sum_{j=0}^{i+0} S_{N-1+j}^{N-1} * T(j)_{N+i}^{N-1} * MPER(j)_{N+i}^{N-1} * RP(j)_{N+i}^{N-1} * M_{N-1}^{N-1} * RPA(j)_{N+i}^{N-1}$
2	RPE_{N+i}^{N-2}	$\sum_{j=0}^{i+1} S_{N-2+j}^{N-2} * T(j)_{N+i}^{N-2} * MPER(j)_{N+i}^{N-2} * RP(j)_{N+i}^{N-2} * M_{N-2}^{N-2} * RPA(j)_{N+i}^{N-2}$
⋮	⋮	⋮
m	RPE_{N+i}^{N-m}	$\sum_{j=0}^{i-1+m} S_{N-m+j}^{N-m} * T(j)_{N+i}^{N-m} * MPER(j)_{N+i}^{N-m} * RP(j)_{N+i}^{N-m} * M_{N-m}^{N-m} * RPA(j)_{N+i}^{N-m}$
⋮	⋮	⋮
16-i	$RPE_{N+i}^{N-(16-i)}$	$\sum_{j=0}^{15} S_{N-(16-i)+j}^{N-(16-i)} * T(j)_{N+i}^{N-(16-i)} * MPER(j)_{N+i}^{N-(16-i)} * RP(j)_{N+i}^{N-(16-i)} * M_{N-(16-i)}^{N-(16-i)} * RPA(j)_{N+i}^{N-(16-i)}$

对于第 N 年国内销售第 (N+i) 年寿命期内产品，由于维修环节制冷剂排放率由家电维修行业决定，因此第 (N+i) 年处于寿命期不同阶段的产品其维修环节制冷剂排放率相同，即 $RPA(j)_{N+i}^N = RPA(j)_{N+i}^{N-1} = \dots = RPA(j)_{N+i}^{N-m} = \dots = RPA(j)_{N+i}^{N-(16-i)} = RPA_{N+i}^T$ 。因此，第 N 年国内销售第 (N+i) 年寿命期内产品维修环节制冷剂排放率 RPA_{N+i}^T (Total Repair Emission Ratio) 计算方法为：

$$RPA_{N+i}^T = \frac{RPE_{N+i}^T}{\sum_{p=0}^{16-i} \left[\sum_{j=0}^{i-1+p} S_{N-p+j}^{N-p} * T(j)_{N+i}^{N-p} * MPER(j)_{N+i}^{N-p} * RP(j)_{N+i}^{N-p} * M_{N-p}^{N-p} \right]}$$

其中：

- RPA_{N+i}^T 第 N 年国内销售第 (N+i) 年寿命期内产品维修环节制冷剂排放率
- RPE_{N+i}^T 第 N 年国内销售第 N+i 年寿命期内产品维修环节制冷剂排放量
- S_{N-p+j}^{N-p} j=0 且 p=0 时，第 N 年产品国内销量；
j ≥ 1 且 p ≥ 1 时，第 (N-p) 年国内销售第 (N-p+j) 年“新销售产品 (第 N-p+j 年)”销量
- $T(j)_{N+i}^{N-p}$ 第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”故障率
- $MPER(j)_{N+i}^{N-p}$ 第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”故障时制冷剂较大排放台数比例
- $RP(j)_{N+i}^{N-p}$ 第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”维修率
- M_{N-p}^{N-p} 第 (N-p) 年国内销售产品制冷剂平均单台灌注量

4.1.4.4. 回收（收集）环节排放量

对于第 (N+i) 年仍处于寿命期内的产品，第 (N+i) 产品回收（收集）环节排放量不仅包括第 N 年国内销售产品的排放量，还包括第 N+i 年还在使用的其他时间生产产品的排放量，将这些产品回收（收集）环节排放量进行求和后即为第 N+i 年寿命期内产品回收（收集）环节总排放量。**4.1.4.4.1** 首次故障产品回收（收集）环节排放量和 **4.1.4.4.2** “新销售产品”回收（收集）环节排放量中论述的算法为 **4.1.4.4.3** 全生命周期内产品回收（收集）环节排放量服务，**4.1.4.4.3** 中论述的算法为 **4.1.4.4.4** 寿命期内产品回收（收集）环节总排放量服务。全生命周期内产品回收（收集）环节制冷剂排放率算法在 **4.1.4.4.3** 部分详细论述，寿命期内产品回收（收集）环节制冷剂排放率算法在 **4.1.4.4.4** 部分详细论述。

4.1.4.4.1. 首次故障产品回收（收集）环节排放量

第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品回收（收集）环节制冷剂排放量 $RYE(0)_{N+i}^N$ (Collection Emission) 为 $S_N^N * T(0)_{N+i}^N * RY(0)_{N+i}^N * [MNER(0)_{N+i}^N * ARRR(0)_{N+i}^N + MPER(0)_{N+i}^N * RRR(0)_{N+i}^N] * M_N^N * RYA(0)_{N+i}^N$ ，其中 S_N^N 为第 N 年产品国内销量， $T(0)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品故障率， $RY(0)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品回收（收集）率， $MNER(0)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品故障时制冷剂正常排放台数比例， $ARRR(0)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品使用环节制冷剂剩余率， $MPER(0)_{N+i}^N$ (Malfunction Part Emission Ratio) 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品故障时制冷剂较大排放台数比例， $RRR(0)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品制冷剂较大排放后单台制冷剂剩余率， M_N^N 为第 N 年国内销售产品制冷剂/发泡剂平均单台灌注量， $RYA(0)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品回收（收集）环节制冷剂完全排放台数比例。

故障产品在回收（收集）环节制冷剂有三种变化，第一种为故障产品在回收（收集）过程中因为搬运等原因导致的制冷系统管路发生破裂使得制冷剂完全排空，此台数比例为 $RYA(0)_{N+i}^N$ (Collection Emission Ratio Situation A)，即第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品回收（收集）环节制冷剂完全排放台数比例；

第二种为故障产品在回收（收集）环节对制冷系统中的制冷剂进行回收，此台数比例为 $RYB(0)_{N+i}^N$ （Collection Emission Ratio Situation B），即第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品回收（收集）环节制冷剂完全回收台数比例；第三种为故障产品在回收（收集）环节制冷剂既没有发生排放又没有进行回收，此台数比例为 $RYC(0)_{N+i}^N$ （Collection Emission Ratio Situation C），即第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品回收（收集）环节制冷剂剩余比例。通过上述分析可知， $RYA(0)_{N+i}^N + RYB(0)_{N+i}^N + RYC(0)_{N+i}^N = 1$ ，且这三者的比例随着回收行业的发展而发生变化。

4.1.4.4.2. “新销售产品”回收（收集）环节排放量

4.1.4.4.1 部分详细论述了首次故障产品回收（收集）环节排放量的计算方法，将其与 4.1.3 国内销量和理论报废量预测模型结合后，可得到第 1,2... (n-1) 年这 (n-1) ($2 \leq n-1 \leq 16$) 种“新销售的产品”回收（收集）环节排放量，以及第 N 年国内销量为 S_N 产品回收（收集）环节总排放量。相应结果见表 4-7，表 4-9，表 4-11。

4.1.4.4.3. 全生命周期内产品回收（收集）环节排放量

4.1.4.4.1 首次故障产品回收（收集）环节排放量和 4.1.4.4.2 “新销售产品”回收（收集）环节排放量部分详细论述了各自回收（收集）环节排放量计算方法，对于第 N 年国内销量为 S_N^N 的产品，第 (N+i) 年全生命周期内回收（收集）环节制冷剂排放量实际上是由首次故障产品第 (N+i) 年回收（收集）环节排放量和“新销售产品”第 (N+i) 年回收（收集）环节排放量叠加而成。计算方法如下所述：

$$RYE_{N+i}^N = \sum_{j=0}^{i-1} \left\{ S_{N+j}^N * T(j)_{N+i}^N * RY(j)_{N+i}^N * M_N^N * RYA(j)_{N+i}^N \right\} * [MNER(j)_{N+i}^N * ARRR(j)_{N+i}^N + MPER(j)_{N+i}^N * RRR(j)_{N+i}^N]$$

其中：

- RYE_{N+i}^N 第 N 年国内销售第 N+i 年全生命周期内产品回收（收集）环节制冷剂排放量
- S_{N+j}^N j=0 时，第 N 年产品国内销量；
j≥1 时，第 N 年国内销售第 (N+j) 年“新销售产品（第 N+j 年）”销量

$T(j)_{N+i}^N$	第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”故障率
$RY(j)_{N+i}^N$	第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”回收 (收集) 率
M_N^N	第 N 年国内销售产品制冷剂/发泡剂平均单台灌注量
$RYA(j)_{N+i}^N$	第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”回收 (收集) 环节制冷剂完全排空比例
$MNER(j)_{N+i}^N$	第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”故障时制冷剂正常排放台数比例
$ARRR(j)_{N+i-1}^N$	第 N 年国内销售第 (N+i-1) 年“新销售产品 (第 j 年)”使用环节制冷剂剩余率
$MPER(j)_{N+i}^N$	第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”故障时制冷剂较大排放台数比例
$RRR(j)_{N+i}^N$	第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”制冷剂较大排放后单台制冷剂剩余率

对于第 N 年国内销售第 (N+i) 年全生命周期内产品, 由于回收 (收集) 环节制冷剂排放率由废弃电器电子产品回收行业决定, 因此第 (N+i) 年处于生命周期不同阶段的产品其回收 (收集) 环节制冷剂排放率相同, 即 $RYA(0)_{N+i}^N = RYA(1)_{N+i}^N = \dots = RYA(p)_{N+i}^N = \dots = RYA(15)_{N+i}^N = RYA_{N+i}^N$, ($0 \leq p \leq 15$)。因此, 第 N 年国内销售第 (N+i) 年全生命周期内产品回收 (收集) 环节制冷剂排放率 RYA_{N+i}^N (LCA Product Collection Emission Ratio) 计算方法为:

$$RYA_{N+i}^N = \frac{RYE_{N+i}^N}{\sum_{j=0}^{i-1} \left\{ \frac{S_{N+j}^N * T(j)_{N+i}^N * RY(j)_{N+i}^N * M_N^N}{* [MNER(j)_{N+i}^N * ARRR(j)_{N+i}^N + MPER(j)_{N+i}^N * RRR(j)_{N+i}^N]} \right\}}$$

其中:

RYA_{N+i}^N	第 N 年国内销售第 N+i 年全生命周期内产品回收 (收集) 环节制冷剂排放率
RYE_{N+i}^N	第 N 年国内销售第 N+i 年全生命周期内产品回收 (收集) 环节制冷剂排放量
S_{N+j}^N	j=0 时, 第 N 年产品国内销量; j≥1 时, 第 N 年国内销售第 (N+j) 年“新销售产品 (第 N+j 年)”销量
$T(j)_{N+i}^N$	第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”故障率
$RY(j)_{N+i}^N$	第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”回收 (收集) 率
M_N^N	第 N 年国内销售产品制冷剂/发泡剂平均单台灌注量
$MNER(j)_{N+i}^N$	第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”故障时制冷剂正常排放台数比例
$ARRR(j)_{N+i}^N$	第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”使用环节制冷剂剩余率
$MPER(j)_{N+i}^N$	第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”故障时制冷剂较大排放台数比例
$RRR(j)_{N+i}^N$	第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”制冷剂较大排放后单台制冷剂剩余率

4.1.4.4.4. 寿命期内产品回收（收集）环节总排放量

4.1.4.4.1 首次故障产品回收（收集）环节排放量，**4.1.4.4.2** “新销售产品”回收（收集）环节排放量和 **4.1.4.4.3** 全生命周期内产品回收（收集）环节排放量部分详细论述了第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品回收（收集）环节制冷剂总排放量 $RYE(0)_{N+i}^N$ 和第 N 年国内销售第 N+i 年全生命周期内产品回收（收集）环节制冷剂排放量 RYE_{N+i}^N 的计算方法。实际上第 N+i 年全生命周期内产品回收（收集）环节排放量不仅包括第 N 年国内销售产品的排放量，还包括第 N+i 年还在使用的其他时间生产产品的排放量，将这些产品回收（收集）环节排放量进行求和后即为第 N+i 年寿命期内产品回收（收集）环节总排放量。计算方法如下所述：

第 (N+i) 年所有在寿命期内产品回收（收集）环节制冷剂总排放量 RYE_{N+i}^T (Total Collection Emission) 计算方法为： $RYE_{N+i}^T = \sum_{p=0}^{16-i} RYE_{N+i}^{N-p}$ ，其中 RYE_{N+i}^{N-p} 为第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年寿命期内产品回收（收集）环节制冷剂排放量， RYE_{N+i}^T 为第 (N+i) 年所有在寿命期内产品回收（收集）环节制冷剂排放量。 RYE_{N+i}^{N-p} 的计算方法如表 4-17 所示。

表 4-17 RYE_{N+i}^{N-p} 计算方法

P 值	RYE_{N+i}^{N-p}	RYE_{N+i}^{N-p} 计算方法
0	RYE_{N+i}^{N-0}	$\sum_{j=0}^{i-1} \left\{ \begin{array}{l} S_{N+j}^N * T(j)_{N+i}^N * RY(j)_{N+i}^N * M_N^N * RYA(j)_{N+i}^N \\ * [MNER(j)_{N+i}^N * ARRR(j)_{N+i}^N + MPER(j)_{N+i}^N * RRR(j)_{N+i}^N] \end{array} \right\}$
1	RYE_{N+i}^{N-1}	$\sum_{j=0}^{i+0} \left\{ \begin{array}{l} S_{N-1+j}^{N-1} * T(j)_{N+i}^{N-1} * RY(j)_{N+i}^{N-1} * M_{N-1}^{N-1} * RYA(j)_{N+i}^{N-1} \\ * [MNER(j)_{N+i}^{N-1} * ARRR(j)_{N+i}^{N-1} + MPER(j)_{N+i}^{N-1} * RRR(j)_{N+i}^{N-1}] \end{array} \right\}$
2	RYE_{N+i}^{N-2}	$\sum_{j=0}^{i+1} \left\{ \begin{array}{l} S_{N-2+j}^{N-2} * T(j)_{N+i}^{N-2} * RY(j)_{N+i}^{N-2} * M_{N-2}^{N-2} * RYA(j)_{N+i}^{N-2} \\ * [MNER(j)_{N+i}^{N-2} * ARRR(j)_{N+i}^{N-2} + MPER(j)_{N+i}^{N-2} * RRR(j)_{N+i}^{N-2}] \end{array} \right\}$
⋮	⋮	⋮
m	RYE_{N+i}^{N-m}	$\sum_{j=0}^{i-1+m} \left\{ \begin{array}{l} S_{N-m+j}^{N-m} * T(j)_{N+i}^{N-m} * RY(j)_{N+i}^{N-m} * M_{N-m}^{N-m} * RYA(j)_{N+i}^{N-m} \\ * [MNER(j)_{N+i}^{N-m} * ARRR(j)_{N+i}^{N-m} + MPER(j)_{N+i}^{N-m} * RRR(j)_{N+i}^{N-m}] \end{array} \right\}$
⋮	⋮	⋮
16-i	$RYE_{N+i}^{N-(16-i)}$	$\sum_{j=0}^{15} \left\{ \begin{array}{l} S_{N-(16-i)+j}^{N-(16-i)} * T(j)_{N+i}^{N-(16-i)} * RY(j)_{N+i}^{N-(16-i)} * M_{N-(16-i)}^{N-(16-i)} * RYA(j)_{N+i}^{N-(16-i)} \\ * [MNER(j)_{N+i}^{N-(16-i)} * ARRR(j)_{N+i}^{N-(16-i)} + MPER(j)_{N+i}^{N-(16-i)} * RRR(j)_{N+i}^{N-(16-i)}] \end{array} \right\}$

对于第 N 年国内销售第 (N+i) 年寿命期内产品，由于回收（收集）环节制冷剂排放率由废弃电器电子产品回收行业决定，因此第 (N+i) 年处于寿命期不同阶段的产品其回收（收集）环节制冷剂排放率相同，即 $RYA(j)_{N+i}^N = RYA(j)_{N+i}^{N-1} = \dots = RYA(j)_{N+i}^{N-m} = \dots = RYA(j)_{N+i}^{N-(16-i)} = RYA_{N+i}^T$ 。因此，第 N 年国内销售第 (N+i) 年寿命期内产品回收（收集）环节制冷剂排放率 RYA_{N+i}^T （Total Collection Emission Ratio）计算方法为：

$$RYA_{N+i}^T = \frac{RYE_{N+i}^T}{\sum_{p=0}^{16-i} \left\{ \sum_{j=0}^{i-1+p} \left[S_{N-p+j}^{N-p} * T(j)_{N+i}^{N-p} * RY(j)_{N+i}^{N-p} * M_{N-p}^{N-p} * [MNER(j)_{N+i}^{N-p} * ARRR(j)_{N+i}^{N-p} + MPER(j)_{N+i}^{N-p} * RRR(j)_{N+i}^{N-p}] \right] \right\}}$$

其中：

RYA_{N+i}^T	第 N 年国内销售第 N+i 年寿命期内产品回收（收集）环节制冷剂排放率
RYE_{N+i}^T	第 N 年国内销售第 N+i 年寿命期内产品回收（收集）环节制冷剂排放量
S_{N-p+j}^{N-p}	j=0 且 p=0 时，第 N 年产品国内销量； j ≥ 1 且 p ≥ 1 时，第 (N-p) 年国内销售第 (N-p+j) 年“新销售产品（第 N-p+j 年）”销量
$T(j)_{N+i}^{N-p}$	第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品（第 j 年）”故障率
$RY(j)_{N+i}^{N-p}$	第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品（第 j 年）”回收（收集）率
M_{N-p}^{N-p}	第 (N-p) 年国内销售产品制冷剂平均单台灌注量
$MNER(j)_{N+i}^{N-p}$	第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品（第 j 年）”故障时制冷剂正常排放台数比例
$ARRR(j)_{N+i}^{N-p}$	第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品（第 j 年）”使用环节制冷剂剩余率
$MPER(j)_{N+i}^{N-p}$	第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品（第 j 年）”故障时制冷剂较大排放台数比例
$RRR(j)_{N+i}^{N-p}$	第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品（第 j 年）”制冷剂较大排放后单台制冷剂剩余率

4.1.4.5. 拆解处理环节排放量

对于第 (N+i) 年仍处于寿命期内的产品，第 (N+i) 产品拆解处理环节排放量不仅包括第 N 年国内销售产品的排放量，还包括第 N+i 年还在使用的其他时间生产产品的排放量，将这些产品拆解处理环节排放量进行求和后即为第 N+i 年寿命期内产品拆解处理环节总排放量。**4.1.4.5.1** 首次故障产品拆解处理环节排

放量和 4.1.4.5.2 “新销售产品” 拆解处理环节排放量中论述的算法为 4.1.4.5.3 全生命周期内产品拆解处理环节排放量服务，4.1.4.5.3 中论述的算法为 4.1.4.5.4 寿命期内产品拆解处理环节总排放量服务。全生命周期内产品拆解处理环节制冷剂排放率算法在 4.1.4.5.3 部分详细论述，寿命期内产品拆解处理环节制冷剂排放率算法在 4.1.4.5.4 部分详细论述。

4.1.4.5.1. 首次故障产品拆解处理环节排放量

第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品拆解处理环节制冷剂排放量 $DAE(0)_{N+i}^N$ (Disassemble Emission) 为 $S_N^N * T(0)_{N+i}^N * RY(0)_{N+i}^N * [MNER(0)_{N+i}^N * ARRR(0)_{N+i}^N + MPER(0)_{N+i}^N * RRR(0)_{N+i}^N] * M_N^N * RYC(0)_{N+i}^N * DAA(0)_{N+i}^N$ ，其中 S_N^N 为第 N 年产品国内销量， $T(0)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品故障率， $RY(0)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品回收（收集）率， $MNER(0)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品故障时制冷剂正常排放台数比例， $ARRR(0)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品使用环节制冷剂剩余率， $MPER(0)_{N+i}^N$ (Malfunction Part Emission Ratio) 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品故障时制冷剂较大排放台数比例， $RRR(0)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品制冷剂较大排放后单台制冷剂剩余率， M_N^N 为第 N 年国内销售产品制冷剂/发泡剂平均单台灌注量， $RYC(0)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品回收（收集）环节制冷剂剩余比例， $DAA(0)_{N+i}^N$ 为第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品拆解处理环节制冷剂完全排放比例。

故障产品最终在拆解处理过程制冷剂有两种变化，第一种为故障产品在拆解处理过程中制冷剂完全排放，此台数比例为 $DAA(0)_{N+i}^N$ (Disassemble Emission Ratio Situation A)，即第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品拆解处理环节制冷剂完全排放比例；第二种为故障产品在拆解处理过程中制冷剂完全回收，此台数比例为 $DAB(0)_{N+i}^N$ (Disassemble Emission Ratio Situation B)，即第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品拆解处理环节制冷剂完全回收比例。通过上述分析可知， $DAA(0)_{N+i}^N + DAB(0)_{N+i}^N = 1$ ，且这三者的比例随着拆解处理行业的发展而发生变化。

4.1.4.5.2. “新销售产品”拆解处理环节排放量

4.1.4.5.1 部分详细论述了首次故障产品拆解处理环节排放量的计算方法，将其与 4.1.3 国内销量和理论报废量预测模型结合后，可得到第 1,2…(n-1) 年这 (n-1) (2≤n-1≤16) 种“新销售的产品”拆解处理环节排放量，以及第 N 年国内销量为 S_N 产品拆解处理环节总排放量。相应结果见表 4-7, 表 4-9 和表 4-11。

4.1.4.5.3. 全生命周期内产品拆解处理环节排放量

4.1.4.5.1 首次故障产品拆解处理环节排放量和 4.1.4.5.2 “新销售产品”拆解处理环节排放量部分详细论述了各自拆解处理环节排放量计算方法，对于第 N 年国内销量为 S_N^N 的产品，第 (N+i) 年全生命周期内拆解处理环节制冷剂排放量实际上是由首次故障产品第 (N+i) 年拆解处理环节排放量和“新销售产品”第 (N+i) 年拆解处理环节排放量叠加而成。计算方法如下所述：

$$DAE_{N+i}^N = \sum_{j=0}^{i-1} \left\{ S_{N+j}^N * T(j)_{N+i}^N * RY(j)_{N+i}^N * M_N^N * RYC(j)_{N+i}^N * DAA(j)_{N+i}^N \right\} * [MNER(j)_{N+i}^N * ARRR(j)_{N+i}^N + MPER(j)_{N+i}^N * RRR(j)_{N+i}^N]$$

其中：

DAE_{N+i}^N	第 N 年国内销售第 N+i 年全生命周期内产品拆解处理环节制冷剂排放量
S_{N+j}^N	j=0 时，第 N 年产品国内销量； j≥1 时，第 N 年国内销售第 (N+j) 年“新销售产品 (第 N+j 年)”销量
$T(j)_{N+i}^N$	第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”故障率
$RY(j)_{N+i}^N$	第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”回收 (收集) 率
M_N^N	第 N 年国内销售产品制冷剂/发泡剂平均单台灌注量
$RYC(j)_{N+i}^N$	第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”回收 (收集) 环节制冷剂剩余比例
$DAA(j)_{N+i}^N$	第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”拆解处理环节制冷剂完全排空比例
$MNER(j)_{N+i}^N$	第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”故障时制冷剂正常排放台数比例
$ARRR(j)_{N+i-1}^N$	第 N 年国内销售第 (N+i-1) 年“新销售产品 (第 j 年)”使用环节制冷剂剩余率
$MPER(j)_{N+i}^N$	第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”故障时制冷剂较大排放台数比例
$RRR(j)_{N+i}^N$	第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”制冷剂较大排放后单台制冷剂剩余率

对于第 N 年国内销售第 (N+i) 年全生命周期内产品，由于拆解处理环节制

冷剂排放率由废弃电器电子产品回收处理行业决定，因此第 (N+i) 年处于生命周期不同阶段的产品其拆解处理环节制冷剂排放率相同，即 $DAA(0)_{N+i}^N = DAA(1)_{N+i}^N = \dots = DAA(p)_{N+i}^N = \dots = DAA(15)_{N+i}^N = DAA_{N+i}^N$ ，(0 ≤ p ≤ 15)。因此，第 N 年国内销售第 (N+i) 年全生命周期内产品拆解处理环节制冷剂排放率 DAA_{N+i}^N (LCA Product Disassemble Emission Ratio) 计算方法为：

$$DAA_{N+i}^N = \frac{DAE_{N+i}^N}{\sum_{j=0}^{i-1} \left\{ \begin{aligned} &S_{N+j}^N * T(j)_{N+i}^N * RY(j)_{N+i}^N * M_N^N * RYC(j)_{N+i}^N \\ &+ [MNER(j)_{N+i}^N * ARRR(j)_{N+i}^N + MPER(j)_{N+i}^N * RRR(j)_{N+i}^N] \end{aligned} \right\}}$$

其中：

- DAA_{N+i}^N 第 N 年国内销售第 N+i 年全生命周期内产品拆解处理环节制冷剂排放率
- DAE_{N+i}^N 第 N 年国内销售第 N+i 年全生命周期内产品拆解环节制冷剂排放量
- S_{N+j}^N j=0 时，第 N 年产品国内销量；
j ≥ 1 时，第 N 年国内销售第 (N+j) 年“新销售产品 (第 N+j 年)”销量
- $T(j)_{N+i}^N$ 第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”故障率
- $RY(j)_{N+i}^N$ 第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”回收 (收集) 率
- M_N^N 第 N 年国内销售产品制冷剂/发泡剂平均单台灌注量
- $RYC(j)_{N+i}^N$ 第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”回收 (收集) 环节制冷剂剩余比例
- $MNER(j)_{N+i}^N$ 第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”故障时制冷剂正常排放台数比例
- $ARRR(j)_{N+i}^N$ 第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”使用环节制冷剂剩余率
- $MPER(j)_{N+i}^N$ 第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”故障时制冷剂较大排放台数比例
- $RRR(j)_{N+i}^N$ 第 N 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品 (第 j 年)”制冷剂较大排放后单台制冷剂剩余率

4.1.4.5.4. 寿命期内产品拆解处理环节总排放量

4.1.4.5.1 首次故障产品拆解处理环节排放量，**4.1.4.5.2** “新销售产品”拆解处理环节排放量和 **4.1.4.5.3** 全生命周期内产品拆解处理环节排放量部分详细论述了第 N 年国内销售第 (N+i) 年首次故障产品拆解处理环节制冷剂总排放量 $DAE(0)_{N+i}^N$ 和第 N 年国内销售第 N+i 年全生命周期内产品拆解处理环节制冷剂排放量 DAE_{N+i}^N 的计算方法。实际上第 N+i 年全生命周期内产品拆解处理环节排放量不仅包括第 N 年国内销售产品的排放量，还包括第 N+i 年还在使用的其他时

间生产产品的排放量，将这些产品拆解处理环节排放量进行求和后即为第 N+i 年寿命期内产品拆解处理环节总排放量。计算方法如下所述：

第(N+i)年所有在寿命期内产品拆解处理环节制冷剂总排放量 DAE_{N+i}^T (Total Disassembly Emission) 计算方法为： $DAE_{N+i}^T = \sum_{p=0}^{16-i} DAE_{N+i}^{N-p}$ ，其中 DAE_{N+i}^{N-p} 为第(N-p)年国内销售第(N+i)年寿命期内产品拆解处理环节制冷剂排放量， DAE_{N+i}^T 为第(N+i)年所有在寿命期内产品拆解处理环节制冷剂排放量。 DAE_{N+i}^{N-p} 的计算方法如表 4-18 所示。

表 4-18 DAE_{N+i}^{N-p} 计算方法

P 值	DAE_{N+i}^{N-p}	DAE_{N+i}^{N-p} 计算方法
0	DAE_{N+i}^{N-0}	$\sum_{j=0}^{i-1} \left\{ \begin{array}{l} S_{N+j}^N * T(j)_{N+i}^N * RY(j)_{N+i}^N * M_{N+j}^N * RYC(j)_{N+i}^N * DAA(j)_{N+i}^N \\ * [MNER(j)_{N+i}^N * ARRR(j)_{N+i}^N + MPER(0)_{N+i}^N * RRR(0)_{N+i}^N] \end{array} \right\}$
1	DAE_{N+i}^{N-1}	$\sum_{j=0}^{i+0} \left\{ \begin{array}{l} S_{N-1+j}^{N-1} * T(j)_{N+i}^{N-1} * RY(j)_{N+i}^{N-1} * M_{N-1+j}^{N-1} * RYC(j)_{N+i}^{N-1} * DAA(j)_{N+i}^{N-1} \\ * [MNER(j)_{N+i}^{N-1} * ARRR(j)_{N+i}^{N-1} + MPER(0)_{N+i}^{N-1} * RRR(0)_{N+i}^{N-1}] \end{array} \right\}$
2	DAE_{N+i}^{N-2}	$\sum_{j=0}^{i+1} \left\{ \begin{array}{l} S_{N-2+j}^{N-2} * T(j)_{N+i}^{N-2} * RY(j)_{N+i}^{N-2} * M_{N-2+j}^{N-2} * RYC(j)_{N+i}^{N-2} * DAA(j)_{N+i}^{N-2} \\ * [MNER(j)_{N+i}^{N-2} * ARRR(j)_{N+i}^{N-2} + MPER(0)_{N+i}^{N-2} * RRR(0)_{N+i}^{N-2}] \end{array} \right\}$
⋮	⋮	⋮
m	DAE_{N+i}^{N-m}	$\sum_{j=0}^{i-1+m} \left\{ \begin{array}{l} S_{N-m+j}^{N-m} * T(j)_{N+i}^{N-m} * RY(j)_{N+i}^{N-m} * M_{N-m+j}^{N-m} * RYC(j)_{N+i}^{N-m} * DAA(j)_{N+i}^{N-m} \\ * [MNER(j)_{N+i}^{N-m} * ARRR(j)_{N+i}^{N-m} + MPER(0)_{N+i}^{N-m} * RRR(0)_{N+i}^{N-m}] \end{array} \right\}$
⋮	⋮	⋮
16-i	$DAE_{N+i}^{N-(16-i)}$	$\sum_{j=0}^{15} \left\{ \begin{array}{l} S_{N-(16-i)+j}^{N-(16-i)} * T(j)_{N+i}^{N-(16-i)} * RY(j)_{N+i}^{N-(16-i)} * M_{N-(16-i)+j}^{N-(16-i)} * RYC(j)_{N+i}^{N-(16-i)} * DAA(j)_{N+i}^{N-(16-i)} \\ * [MNER(j)_{N+i}^{N-(16-i)} * ARRR(j)_{N+i}^{N-(16-i)} + MPER(0)_{N+i}^{N-(16-i)} * RRR(0)_{N+i}^{N-(16-i)}] \end{array} \right\}$

对于第 N 年国内销售第 (N+i) 年寿命期内产品，由于拆解处理环节制冷剂排放率由废弃电器电子产品回收处理行业决定，因此第 (N+i) 年处于寿命期不同阶段的产品其拆解处理环节制冷剂排放率相同，即 $DAA(j)_{N+i}^N = DAA(j)_{N+i}^{N-1} = \dots = DAA(j)_{N+i}^{N-m} = \dots = DAA(j)_{N+i}^{N-(16-i)} = DAA_{N+i}^T$ 。因此，第 N 年国内销售第 (N+i) 年寿命期内产品拆解处理环节制冷剂排放率 DAA_{N+i}^T (Total Disassembly Emission Ratio) 计算方法为：

$$DAA_{N+i}^T = \frac{DAE_{N+i}^T}{\sum_{p=0}^{16-i} \left\{ \sum_{j=0}^{i-1+p} \begin{array}{l} S_{N-p+j}^{N-p} * T(j)_{N+i}^{N-p} * RY(j)_{N+i}^{N-p} * M_{N-p+j}^{N-p} * RYC(j)_{N+i}^{N-p} \\ * [MNER(j)_{N+i}^{N-p} * ARRR(j)_{N+i}^{N-p} + MPER(j)_{N+i}^{N-p} * RRR(j)_{N+i}^{N-p}] \end{array} \right\}}$$

其中：

DAA_{N+i}^T	第 N 年国内销售第 N+i 年寿命期内产品拆解处理环节制冷剂排放率
DAE_{N+i}^T	第 N 年国内销售第 N+i 年寿命期内产品拆解环节制冷剂排放量
S_{N-p+j}^{N-p}	$j=0$ 且 $p=0$ 时, 第 N 年产品国内销量; $j \geq 1$ 且 $p \geq 1$ 时, 第 (N-p) 年国内销售第 (N-p+j) 年“新销售产品(第 N-p+j 年)”销量
$T(j)_{N+i}^{N-p}$	第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品(第 j 年)”故障率
$RY(j)_{N+i}^{N-p}$	第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品(第 j 年)”回收(收集)率
M_{N-p}^{N-p}	第 (N-p) 年国内销售产品制冷剂平均单台灌注量
$RYC(j)_{N+i}^{N-p}$	第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品(第 j 年)”回收(收集)环节制冷剂剩余比例
$MNER(j)_{N+i}^{N-p}$	第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品(第 j 年)”故障时制冷剂正常排放台数比例
$ARRR(j)_{N+i}^{N-p}$	第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品(第 j 年)”使用环节制冷剂剩余率
$MPER(j)_{N+i}^{N-p}$	第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品(第 j 年)”故障时制冷剂较大排放台数比例
$RRR(j)_{N+i}^{N-p}$	第 (N-p) 年国内销售第 (N+i) 年“新销售产品(第 j 年)”制冷剂较大排放后单台制冷剂剩余率

中国家用电器研究院通过多年研究及实地调研, 设定家用电冰箱和房间空调器的最长寿命为 16 年, 报废高峰期为寿命的第 11-16 年, 产品的故障率符合“浴盆曲线”, 即故障率分为三个阶段:

(1) 早期故障期

早期故障出现在产品开始工作的初期, 这一阶段称为早期故障期。在此阶段, 故障率较高, 可靠性低, 但随着工作时间的增加而迅速下降。假定家用电冰箱和房间空调器早期故障期为寿命的第 1-3 年, 且故障率为指数函数。

(2) 偶然故障期

偶然故障期出现在早期故障之后, 此阶段是电子设备的正常工作期, 其特点是故障率比早期故障率小的多, 而且稳定, 故障率几乎与时间无关, 近似为常数, 这个阶段时间长。假定家用电冰箱和房间空调器偶然故障器为寿命的第 4-10 年, 且故障率为常数。

(3) 损耗故障期

耗损故障期出现在产品及设备的使用寿命后期, 进入衰老阶段。这个阶段的故障特点与早期故障期相反。元器件的故障率随工作时间增加而迅速上升, 表现

为故障集中出现的趋势。这个时期的显著特点是故障率随时间递增的。

首次故障产品及第 i 年“新销售产品”故障率如表 4-19 所示。

表 4-19 首次故障产品及第 i 年“新销售产品”故障率

寿命	单位	首次故障	1 年 新产品	2 年 新产品	3 年 新产品	4 年 新产品	5 年 新产品	6 年 新产品	7 年 新产品	8 年 新产品	9 年 新产品	10 年 新产品	11 年 新产品	12 年 新产品	13 年 新产品	14 年 新产品	15 年 新产品	16 年 新产品
1	%	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	%	3.162	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	%	1	3.162	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	%	1	1	3.162	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	%	1	1	1	3.162	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	%	1	1	1	1	3.162	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	%	1	1	1	1	1	3.162	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	%	1	1	1	1	1	1	3.162	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	%	1	1	1	1	1	1	1	3.162	10	—	—	—	—	—	—	—	—
10	%	1	1	1	1	1	1	1	2	4.162	11	—	—	—	—	—	—	—
11	%	1.822	1.826	1.831	1.836	1.840	1.845	1.849	1.849	2.849	5.011	11	—	—	—	—	—	—
12	%	3.319	3.336	3.353	3.370	3.386	3.402	3.419	3.419	3.419	4.419	5.317	11	—	—	—	—	—
13	%	6.047	6.093	6.139	6.185	6.231	6.276	6.321	6.321	6.321	6.321	6.321	5.881	11	—	—	—	—
14	%	11.017	11.129	11.241	11.354	11.465	11.576	11.687	11.687	11.687	11.687	10.007	8.391	7.177	11	—	—	—
15	%	20.070	20.327	20.584	20.842	21.096	21.353	21.609	21.609	21.609	21.609	21.563	20.095	17.117	11.887	11	—	—
16	%	36.563	37.126	37.690	38.252	38.820	39.385	39.953	39.953	39.953	39.953	46.469	54.633	64.706	77.113	89	100	0

模型中家用电冰箱和房间空调器维修率列于表 4-20 中。

表 4-20 产品维修率

寿命（年）	单位	产品维修率	寿命（年）	单位	产品维修率
1	%	99	9	%	99
2	%	99	10	%	99
3	%	99	11	%	97.846
4	%	99	12	%	95.358
5	%	99	13	%	90
6	%	99	14	%	78.456
7	%	99	15	%	53.584
8	%	99	16	%	0

数据来源：根据调研情况进行设定

家用电冰箱和房间空调器在寿命第 1 至第 10 年间保持着很高的维修率，随着报废高峰期的到来，维修率快速下降，最终为 0。

4.2. 减排能力评估方法

4.1 减排潜力测算方法详细论述了家用电冰箱和房间空调器全生命周期五个环节非 CO₂ 温室气体排放量及减排潜力的计算方法。当各环节非 CO₂ 温室气体排放率降幅相同时，各环节减排潜力实现的难易程度如何？本部分将对各环节非 CO₂ 温室气体减排潜力影响因素进行分析，提出减排潜力评估指标体系，对各减排潜力影响因素进行评估，最终得出全生命周期各环节减排能力。

4.2.1. 减排能力影响因素

家用电冰箱和房间空调器全生命周期各环节非 CO₂ 温室气体减排潜力影响因素如图 4-2 所示。图 4-2 中各环节减排潜力影响因素含义如表 4-21 所示。

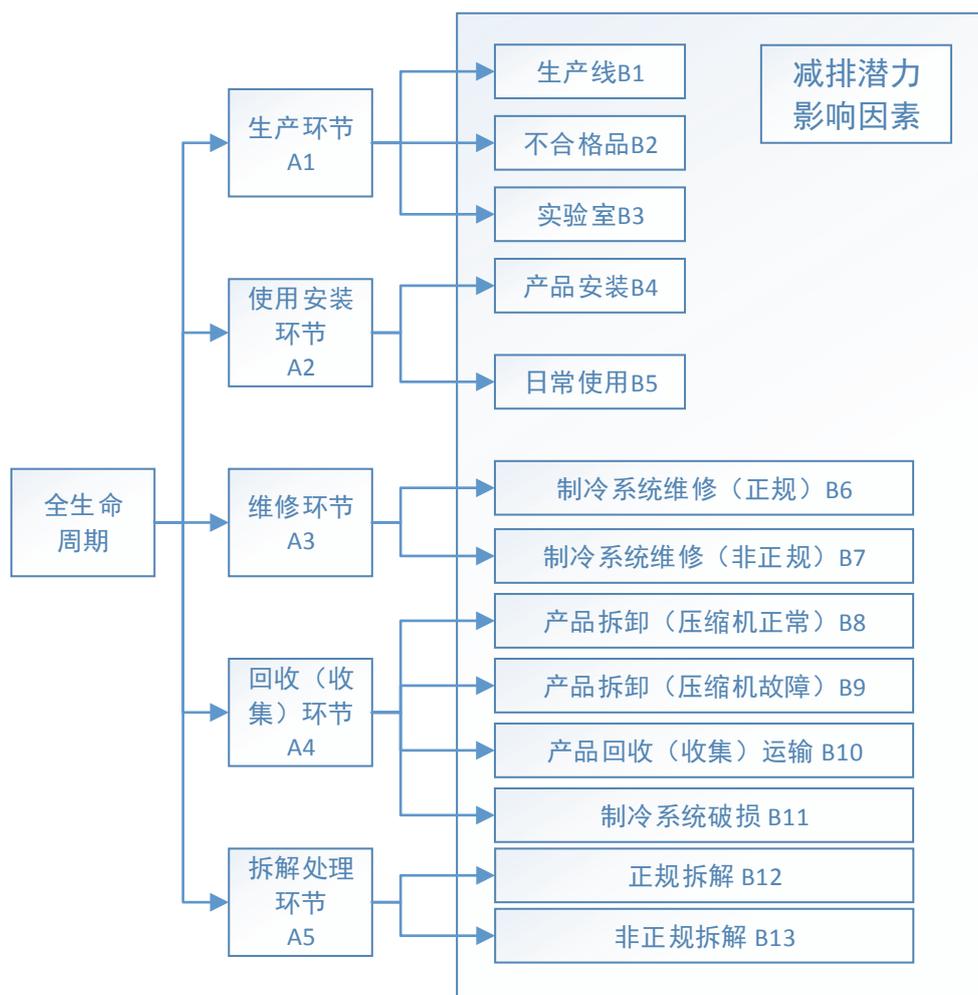


图 4-2 家用电冰箱和房间空调器全生命周期非 CO₂ 温室气体减排潜力影响因素

表 4-21 家用电冰箱和房间空调器减排潜力影响因素含义

减排潜力影响因素	减排潜力影响因素含义
生产线	家用电冰箱和房间空调器生产线制冷剂加注枪枪头插拔排放, 以及管路检修时管路残存制冷剂的排放
不合格品	家用电冰箱和房间空调器生产时产生的极少量不合格品中制冷剂排放
实验室	家用电冰箱和房间空调器研发品制冷剂排放
产品安装	房间空调器安装时对制冷系统管路进行延长操作, 补充加注制冷剂时排放
日常使用	家用电冰箱和房间空调器日常使用过程制冷剂排放
制冷系统维修(正规)	家用电冰箱和房间空调器在大型家电集团下属服务维修企业或正规服务维修企业中进行制冷系统维修时制冷剂排放
制冷系统维修(非正规)	家用电冰箱和房间空调器在中小维修点进行制冷系统维修时制冷剂排放

产品拆卸 (压缩机正常)	废弃房间空调器采取将室内机制冷剂回收至室外机操作后,拆卸产品时制冷系统管路残存制冷剂排放
产品拆卸 (压缩机故障)	废弃房间空调器无法采取室内机制冷剂回收至室外机操作,拆卸产品时制冷系统管路残存制冷剂排放
产品回收(收集)运输	废弃家用电冰箱和房间空调器在回收(收集)运输过程中,因磕碰导致制冷系统破损产生的排放
制冷系统破损	废弃家用电冰箱和房间空调器在从使用者手中回收后,制冷系统被拆卸所产生的制冷剂排放
正规拆解	废弃家用电冰箱和房间空调器在获得补贴资质的废弃电器电子回收处理企业拆解线上的排放
非正规拆解	废弃家用电冰箱和房间空调器在从使用者手中回收后,在进入获得补贴资质的废弃电器电子回收处理企业前已被完全拆解所产生的排放

4.2.2. 减排能力评估指标体系

在查阅大量资料、行业调研和专家咨询等的基础上,课题组提出了如图 4-3 所示的减排潜力评估指标体系,对减排难易程度进行评估。

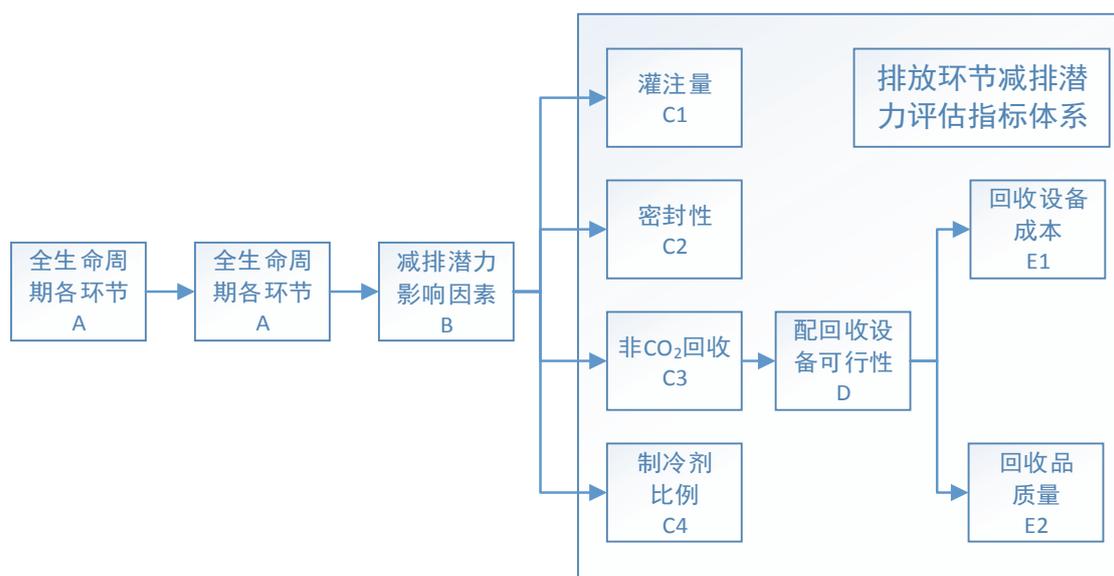


图 4-3 家用电冰箱和房间空调器全生命周期非 CO₂ 温室气体减排潜力评估指标体系

图 4-2 中提出的 B1—B13 这 13 种减排潜力影响因素均要用图 4-3 中评估指标体系从灌注量,密封性,非 CO₂ 回收和制冷剂比例这四方面进行评估,最终得出全生命周期五环节减排能力。为了得到各环节减排能力,需要对图 4-3 中各评估指标赋予一定的权重并对其进行分档,权重和分档方法如 4.2.3 和 4.2.4 所述。

4.2.3. 减排能力评估指标体系权重

4.1 减排潜力测算方法详细论述了家用电冰箱和房间空调器全生命周期五个环节非 CO₂ 温室气体排放量及减排潜力的计算方法，在家用电冰箱和房间空调器基线情景下，采取单因素分析法，即每次只改变一个与评估指标直接对应的关键参数，并且其变化幅度相同（表 4-22 中各关键参数降幅为 20%），将但因素变化所得的减排潜力归一化后即各评估指标的权重。图 4-3 中制冷剂比例权重采取将房间空调器基线情景 2030 年理想制冷剂比例提高 20% 的方法进行计算。

表 4-22 评估指标与直接对应的关键参数

评估指标	关键参数	关键参数含义
灌注量	M_N^N	第 N 年国内销售产品制冷剂/发泡剂平均单台灌注量
生产环节 非 CO ₂ 回收	PER_N^N	第 N 年产品生产环节制冷剂/发泡剂排放率
密封性	$AOER_N^N$	第 N 年国内销售产品使用环节制冷剂平均排放率
维修环节 非 CO ₂ 回收	RPA_{N+i}^T	第 N 年国内销售第 (N+i) 年寿命期内产品维修环节制冷剂排放率
回收(收集)环节 非 CO ₂ 回收	RYA_{N+i}^T	第 N 年国内销售第 N+i 年寿命期内产品回收(收集)环节制冷剂排放率
拆解处理环节 非 CO ₂ 回收	DAA_{N+i}^T	第 N 年国内销售第 N+i 年寿命期内产品拆解处理环节制冷剂排放率

4.2.4. 减排能力评估指标分档

除了对图 4-3 中各指标分配权重外，还需要对各指标进行分档。结果如表 4-23 所示。

表 4-23 家用电冰箱和房间空调器非 CO₂ 温室气体排放环节减排潜力评价指标体系分档
(适用于各排放环节)

评价指标	评价指标分档	分档得分
灌注量 C1	是：制冷剂/发泡剂平均单台灌注量对本排放环节有影响	1
	否：制冷剂/发泡剂平均单台灌注量对本排放环节没有影响	0
密封性 C2	是：制冷系统密封性对本排放环节有影响	1
	否：制冷系统密封性对本排放环节没有影响	0
非 CO ₂ 回收 C3	是：本排放环节可以进行非 CO ₂ 温室气体回收	1
	否：本排放环节无法进行非 CO ₂ 温室气体回收	0

制冷剂比例 C4	是：制冷剂比例对本排放环节有影响	1
	否：制冷剂比例对本排放环节没有影响	0
配回收设备 可行性 D	高：非 CO ₂ 温室气体排放可控性高，行业规范度高	0.6
	低：非 CO ₂ 温室气体排放可控性低，行业规范度低	0.4
	无：非 CO ₂ 温室气体排放可控性非常低	0
回收设备成本 E1	高：大型定制成套回收设备	0.1
	中：中型半固定式回收设备	0.3
	低：小型便携式回收设备	0.6
回收品质量 E2	高：回收品杂质较少，制冷剂成分变化不大	0.6
	低：回收品杂质较多，制冷剂成分变化较大	0.4

4.2.5. 减排能力评估得分计算方法

对于每个排放环节，将各个评估指标自身权重和分档得分相乘并逐级累加后即可得到此排放环节减排能力得分。减排能力得分计算方法如下：

$$cq_1 \times cs_1 + cq_2 \times cs_2 + cq_3 \times cs_3 \times dq_1 \times ds_1 \times (eq_1 \times es_1 + eq_2 \times es_2) + cq_4 \times cs_4$$

其中：

cq_1	灌注量指标权重	cs_1	灌注量指标得分
cq_2	密封性指标权重	cs_2	密封性指标得分
cq_3	非 CO ₂ 回收指标权重	cs_3	非 CO ₂ 回收指标得分
dq_1	配回收设备可行性指标权重	ds_1	配回收设备可行性指标得分
eq_1	回收设备成本指标权重	es_1	回收设备成本指标得分
eq_2	回收品质量指标权重	es_2	回收品质量指标得分
cq_4	制冷剂比例指标权重	cs_4	制冷剂比例指标得分

5. 房间空调器减排潜力测算及影响因素分析

5.1. 房间空调器销量与社会保有量

2012 年我国房间空调器产量为 13281.10 万台，同比下降 4.54%。出口量为 4322.54 万台，出口量与产量之比为 32.55%。房间空调器进口量为 4.26 万台，进口量与产量之比为 0.03%。房间空调器产量、进出口量和国内销量列于表 5-1 中。

表 5-1 房间空调器产量、进出口量和国内销量（万台）

年份	产量	进口量	出口量	国内销量
1992	158.03	12.92	9.4315	161.5185
1993	346.41	18.57	9.9133	355.0667
1994	393.42	32.22	22.9227	402.7173
1995	682.56	21.69	40.1703	664.0797
1996	786.21	12.62	48.0546	750.7754
1997	974.01	3.23	84.1193	893.1207
1998	1156.87	2.83	119.2469	1040.4531
1999	1337.64	14.38	201.6989	1150.3211
2000	1826.67	11.66	386.967	1451.363
2001	2333.64	5.55	647.4206	1691.7694
2002	3135.11	4.06	978.3684	2160.8016
2003	4820.86	2.47	2004.3666	2818.9634
2004	6390.33	2.03	2887.9468	3504.4132
2005	6764.57	3.45	3031.808	3736.212
2006	6849.42	5.24	3363.0341	3491.6259
2007	8014.28	1.5	3961.3797	4054.4003
2008	8147.37	2.41	3859.897	4289.883
2009	8078.25	3.42	2787.4676	5294.2024
2010	10887.47	5.09	4217.7905	6674.7695
2011	13912.5	7.34	4443.2782	9476.5618
2012	13281.1	4.26	4322.5449	8962.8151

数据来源：产量数据来自《中国统计年鉴》；进出口量数据来自《中国海关统计年鉴》

注：国内销量=产量+进口量-出口量（忽略库存变化量）

根据《中国统计年鉴》数据，目前中国平均户规模为 3 人/户左右，用 logistic 函数对中国 1960-2012 年人口数进行拟合，外推至 2030 年的人口为 14.38 亿，此时全中国将会有 4.80 亿户。假设每户拥有 2.5 台空调，则 2030 年中国房间空调器社会保有量为 11.99 亿台，即社会保有量存在一上限值。

根据 4.3.4 家用电冰箱和房间空调器国内销量和报废量预测模型可知，社会

保有量为国内销量的函数，根据目前已有的国内销量数据可以计算出中国房间空调器 1994-2012 年的社会保有量，然后对其变化趋势进行预测，最后通过数学处理计算出 2013-2030 年每年的国内销量，然后可以得到制冷剂排放量。房间空调器社会保有量如图 5-1 所示。

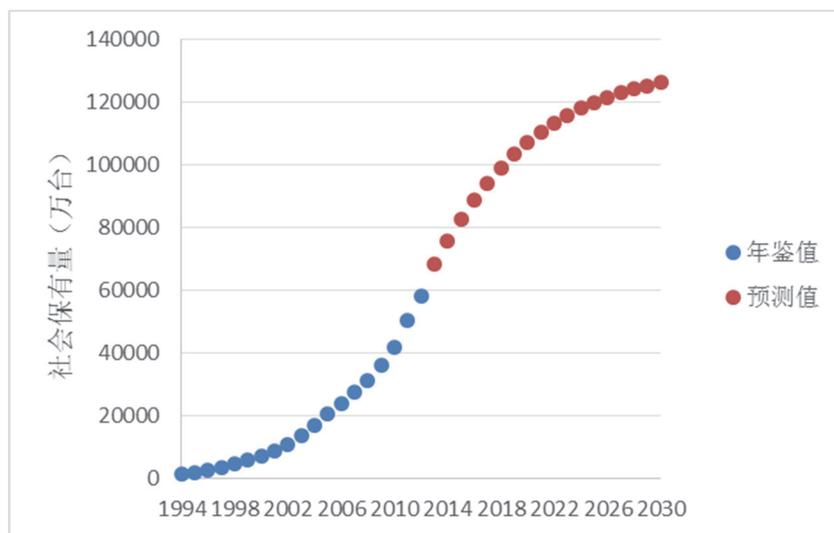


图 5-1 房间空调器社会保有量年鉴值和预测值

数学处理后得到的房间空调器国内销量如图 5-2 所示。

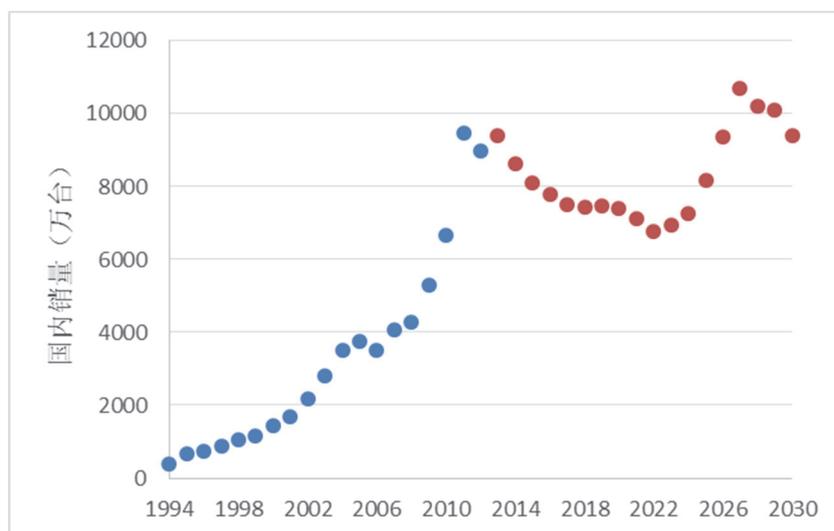


图 5-2 房间空调器国内销量计算值和预测值

5.2. 影响制冷剂排放量的参数设定

为计算房间空调器 1994-2012 年全生命周期五环节排放量，需要对计算参数

进行赋值。计算生产、使用、维修、回收（收集）和拆解处理五环节计算参数和关键参数取值如表 5-2 和表 5-3 所示。其中，前 7 个参数为关键参数。表 5-2 和表 5-3 中数据来源于现场及问卷调查。

表 5-2 计算 HCFC-22 和 HFC-410A 制冷剂五环节排放量所需参数

制冷剂	环节	参数名称	单位	销售时间					
				1994	1995	1996	...	2011	2012
HCFC-22	生产	M_N^N	kg	1.15	1.15	1.15	...	1.15	1.15
	生产	PER_N^N	%	3	3	3	...	3	3
	生产	制冷剂比例	%	100	100	100	...	88.08	73.11
	使用	$AOER_N^N$	%	3.08	3.08	3.08	...	3.08	3.08
	维修	RPA_{N+i}^T	%	30	30	30	...	30	30
	回收	RYA_{N+i}^T	%	70	70	70	...	70	70
	拆解	DAA_{N+i}^T	%	80	80	80	...	80	80
	使用	$AER(j)_{N+i}^N$	%	0.8	0.8	0.8	...	0.8	0.8
	使用	$MNER(j)_{N+i}^N$	%	20	20	20	...	20	20
	使用	$MPER(j)_{N+i}^N$	%	56	56	56	...	56	56
	使用	$MTER(j)_{N+i}^N$	%	24	24	24	...	24	24
	使用	$RRR(j)_{N+i}^N$	%	80	80	80	...	80	80
	维修	$RPA(j)_{N+i}^N$	%	30	30	30	...	30	30
	维修	$RPB(j)_{N+i}^N$	%	5	5	5	...	5	5
	维修	$RPC(j)_{N+i}^N$	%	65	65	65	...	65	65
	回收	$RYA(j)_{N+i}^N$	%	70	70	70	...	70	70
	回收	$RYB(j)_{N+i}^N$	%	10	10	10	...	10	10
	回收	$RYC(j)_{N+i}^N$	%	20	20	20	...	20	20
拆解	$DAA(j)_{N+i}^N$	%	80	80	80	...	80	80	
拆解	$DAB(j)_{N+i}^N$	%	20	20	20	...	20	20	
HFC-410A	生产	M_N^N	kg	0.9	0.9	0.9	...	0.9	0.9
	生产	PER_N^N	%	3	3	3	...	3	3
	生产	制冷剂比例	%	0	0	0	...	11.92	26.89
	使用	$AOER_N^N$	%	3.08	3.08	3.08	...	3.08	3.08
	维修	RPA_{N+i}^T	%	30	30	30	...	30	30
	回收	RYA_{N+i}^T	%	70	70	70	...	70	70
	拆解	DAA_{N+i}^T	%	80	80	80	...	80	80
	使用	$AER(j)_{N+i}^N$	%	0.8	0.8	0.8	...	0.8	0.8
	使用	$MNER(j)_{N+i}^N$	%	20	20	20	...	20	20
	使用	$MPER(j)_{N+i}^N$	%	56	56	56	...	56	56
	使用	$MTER(j)_{N+i}^N$	%	24	24	24	...	24	24
	使用	$RRR(j)_{N+i}^N$	%	80	80	80	...	80	80
	维修	$RPA(j)_{N+i}^N$	%	30	30	30	...	30	30
	维修	$RPB(j)_{N+i}^N$	%	5	5	5	...	5	5
维修	$RPC(j)_{N+i}^N$	%	65	65	65	...	65	65	

回收	$RYA(j)_{N+i}^N$	%	70	70	70	...	70	70
回收	$RYB(j)_{N+i}^N$	%	10	10	10	...	10	10
回收	$RYC(j)_{N+i}^N$	%	20	20	20	...	20	20
拆解	$DAA(j)_{N+i}^N$	%	80	80	80	...	80	80
拆解	$DAB(j)_{N+i}^N$	%	20	20	20	...	20	20

数据来源：现场及问卷调研

表 5-3 计算低 GWP 制冷剂和理想制冷剂五环节排放量所需参数

制冷剂	环节	参数名称	单位	销售时间					
				1994	1995	1996	...	2011	2012
低 GWP 制冷剂	生产	M_N^N	kg	0.8	0.8	0.8	...	0.8	0.8
	生产	PER_N^N	%	3	3	3	...	3	3
	生产	制冷剂比例	%	0	0	0	...	0	0
	使用	$AOER_N^N$	%	3.08	3.08	3.08	...	3.08	3.08
	维修	RPA_{N+i}^T	%	30	30	30	...	30	30
	回收	RYA_{N+i}^T	%	70	70	70	...	70	70
	拆解	DAA_{N+i}^T	%	80	80	80	...	80	80
	使用	$AER(j)_{N+i}^N$	%	0.8	0.8	0.8	...	0.8	0.8
	使用	$MNER(j)_{N+i}^N$	%	20	20	20	...	20	20
	使用	$MPER(j)_{N+i}^N$	%	56	56	56	...	56	56
	使用	$MTER(j)_{N+i}^N$	%	24	24	24	...	24	24
	使用	$RRR(j)_{N+i}^N$	%	80	80	80	...	80	80
	维修	$RPA(j)_{N+i}^N$	%	30	30	30	...	30	30
	维修	$RPB(j)_{N+i}^N$	%	5	5	5	...	5	5
	维修	$RPC(j)_{N+i}^N$	%	65	65	65	...	65	65
	回收	$RYA(j)_{N+i}^N$	%	70	70	70	...	70	70
	回收	$RYB(j)_{N+i}^N$	%	10	10	10	...	10	10
	回收	$RYC(j)_{N+i}^N$	%	20	20	20	...	20	20
拆解	$DAA(j)_{N+i}^N$	%	80	80	80	...	80	80	
拆解	$DAB(j)_{N+i}^N$	%	20	20	20	...	20	20	
理想制冷剂	生产	M_N^N	kg	0.3	0.3	0.3	...	0.3	0.3
	生产	PER_N^N	%	3	3	3	...	3	3
	生产	制冷剂比例	%	0	0	0	...	0	0
	使用	$AOER_N^N$	%	3.08	3.08	3.08	...	3.08	3.08
	维修	RPA_{N+i}^T	%	30	30	30	...	30	30
	回收	RYA_{N+i}^T	%	70	70	70	...	70	70
	拆解	DAA_{N+i}^T	%	80	80	80	...	80	80
	使用	$AER(j)_{N+i}^N$	%	0.8	0.8	0.8	...	0.8	0.8
	使用	$MNER(j)_{N+i}^N$	%	20	20	20	...	20	20
	使用	$MPER(j)_{N+i}^N$	%	56	56	56	...	56	56
	使用	$MTER(j)_{N+i}^N$	%	24	24	24	...	24	24

使用	$RRR(j)_{N+i}^N$	%	80	80	80	...	80	80
维修	$RPA(j)_{N+i}^N$	%	30	30	30	...	30	30
维修	$RPB(j)_{N+i}^N$	%	0	0	0	...	0	0
维修	$RPC(j)_{N+i}^N$	%	70	70	70	...	70	70
回收	$RYA(j)_{N+i}^N$	%	70	70	70	...	70	70
回收	$RYB(j)_{N+i}^N$	%	0	0	0	...	0	0
回收	$RYC(j)_{N+i}^N$	%	30	30	30	...	30	30
拆解	$DAA(j)_{N+i}^N$	%	80	80	80	...	80	80
拆解	$DAB(j)_{N+i}^N$	%	20	20	20	...	20	20

数据来源：现场及问卷调研

5.3. 基线情景分析与排放量

5.3.1. 基线情景分析

为计算房间空调器非 CO₂ 温室气体基线情景排放量，需要对基线情景进行预测，以得到 2013-2030 年的计算参数。计算房间空调器非 CO₂ 温室气体基线情景排放量所需参数列于表 5-4 中，其中，前 7 个参数为关键参数。计算房间空调器非 CO₂ 温室气体基线情景排放量所用制冷剂变化趋势如图 5-3 所示。

表 5-4 计算房间空调器非 CO₂ 温室气体基线情景排放量所需参数（2013-2030 年）

环节	参数名称	单位	参数 2012 年取值				参数 2013-2030 年取值
			HCFC 22	HFC 410A	低 GWP 制冷剂	理想 制冷剂	
生产	M_N^N	kg	1.15	0.9	0.8	0.3	2013-2030 年保持不变
生产	PER_N^N	%	3	3	3	3	
生产	制冷剂比例	%	73.11	26.89	0	0	
使用	$AOER_N^N$	%	3.08	3.08	3.08	3.08	2013-2030 年保持不变
维修	RPA_{N+i}^T	%	30	30	30	30	
回收	RYA_{N+i}^T	%	70	70	70	70	
拆解	DAA_{N+i}^T	%	80	80	80	80	
使用	$AER(j)_{N+i}^N$	%	0.8	0.8	0.8	0.8	
使用	$MNER(j)_{N+i}^N$	%	20	20	20	20	
使用	$MPER(j)_{N+i}^N$	%	56	56	56	56	
使用	$MTER(j)_{N+i}^N$	%	24	24	24	24	
使用	$RRR(j)_{N+i}^N$	%	80	80	80	80	
维修	$RPA(j)_{N+i}^N$	%	30	30	30	30	
维修	$RPB(j)_{N+i}^N$	%	5	5	5	0	
维修	$RPC(j)_{N+i}^N$	%	65	65	65	70	
回收	$RYA(j)_{N+i}^N$	%	70	70	70	70	
回收	$RYB(j)_{N+i}^N$	%	10	10	10	0	

回收	$RYC(j)_{N+i}^N$	%	20	20	20	30
拆解	$DAA(j)_{N+i}^N$	%	80	80	80	80
拆解	$DAB(j)_{N+i}^N$	%	20	20	20	20

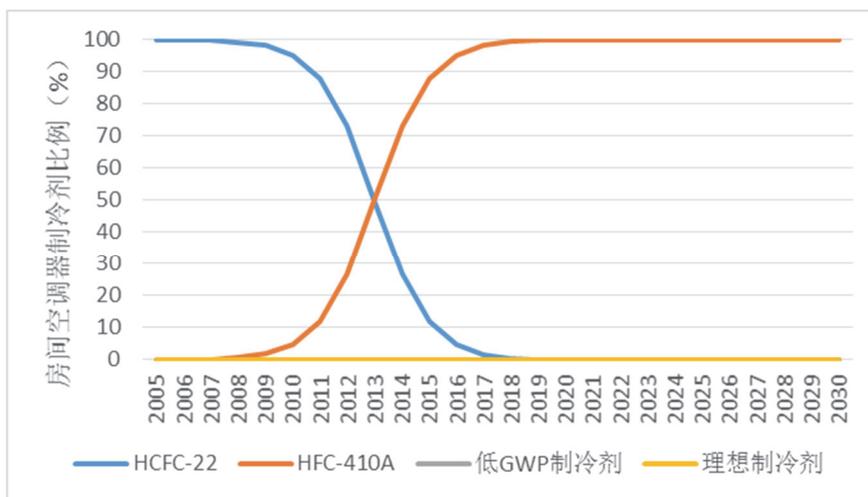


图 5-3 房间空调器制冷剂变化趋势 (基线情景)

房间空调器基线情景制冷剂变化趋势中，不出现低 GWP 制冷剂和理想制冷剂，只有 HCFC-22 和 HFC-410A 制冷剂。

5.3.2. 基线年排放量

房间空调器非 CO₂ 温室气体 (HCFC-22、HFC-410A 和低 GWP 制冷剂) 基准年 (2012 年) 排放量为 49.299 百万吨 CO₂ 当量。分环节和分制冷剂排放量如图 5-4 和图 5-5 所示。

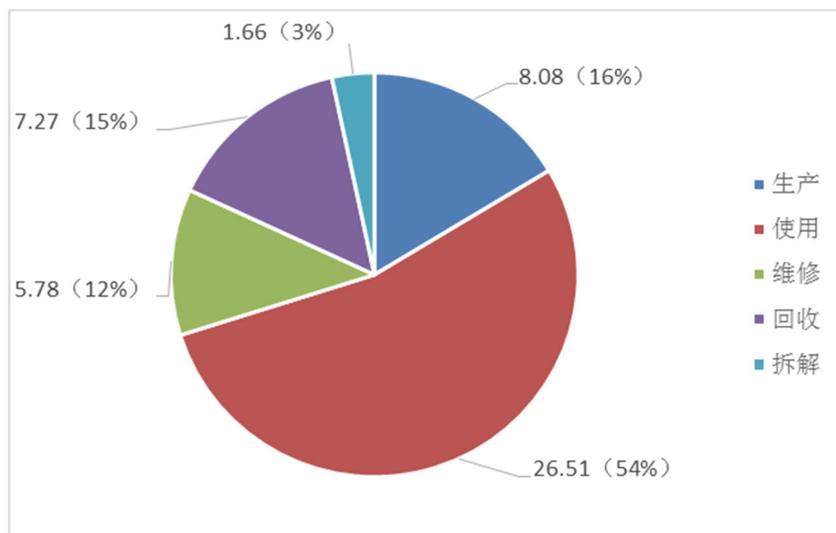


图 5-4 房间空调器基准年分环节排放量 (单位: 百万吨 CO₂ 当量)

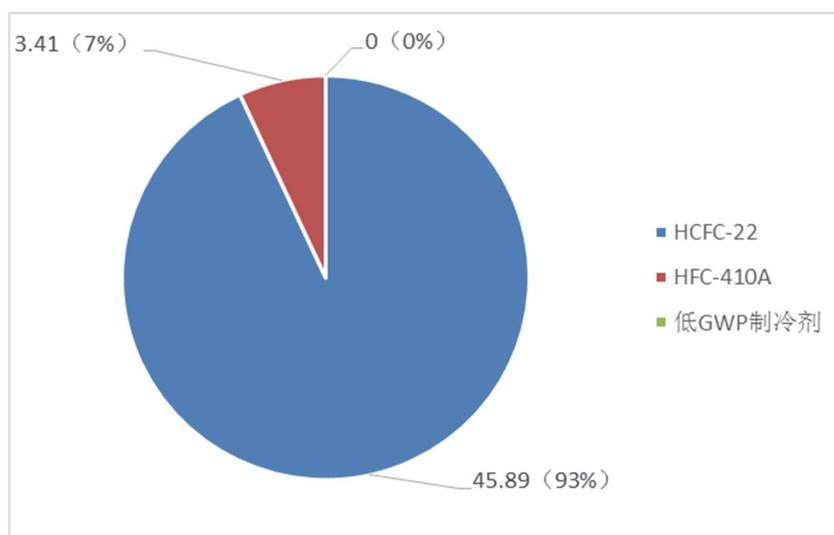


图 5-5 房间空调器基准年分制冷剂排放量 (单位: 百万吨 CO₂ 当量)

通过图 5-4 可以看出, 由于故障房间空调器中制冷剂在使用时发生排放, 加之故障产品绝大部分需要维修制冷系统, 因而使用环节制冷剂排放量位居首位。房间空调器整机生产环节虽然制冷剂排放率较低, 但由于产量十分巨大, 因而生产环节排放量位居次席。由于废弃房间空调器回收(收集)环节制冷剂排放率为 70%, 加之废弃整机回收(收集)量逐渐上升, 因而回收(收集)环节非 CO₂ 温室气体排放量位居第三位。

通过图 5-5 可以看出, 基准年(2012 年)房间空调器 HCFC-22 制冷剂比例为 73.11%, HFC-410A 制冷剂比例为 26.89%, 这与目前社会保有房间空调器制冷剂主要为 HCFC-22 有关。

5.3.3. 基线情景排放量

房间空调器非 CO₂ 温室气体(包括 HCFC-22 和 HFC-410A)基线情景排放量如图 5-6 所示。房间空调器非 CO₂ 温室气体基线情景使用环节 2012-2030 年累积排放量为 1154.028 百万吨 CO₂ 当量, 由于房间空调器在日常使用过程中有部分产品发生制冷剂的较大的排放, 因此使用环节排放量位居首位。回收(收集)环节 2012-2030 年累积排放量为 723.415 百万吨 CO₂ 当量, 按照目前废弃房间空调器的维修、回收(收集)和拆解处理现状, 大部分制冷剂在回收(收集)环节排放, 因此回收环节排放量位居次席。拆解处理环节 2012-2030 年累积排放量为

165.352 百万吨 CO₂ 当量，由于废弃房间空调器拆解处理环节制冷剂回收情况不甚理想，因此拆解处理环节排放量位居第三。维修环节 2012-2030 年累积排放量为 199.984 百万吨 CO₂ 当量，故障房间空调器在维修制冷系统时大部分采取排放制冷剂的方法，因此维修环节排放量位居第四。生产环节 2012-2030 年累积排放量为 152.007 百万吨 CO₂ 当量，房间空调器生产过程制冷剂排放率为 3%左右，因此生产环节排放量位居第五。

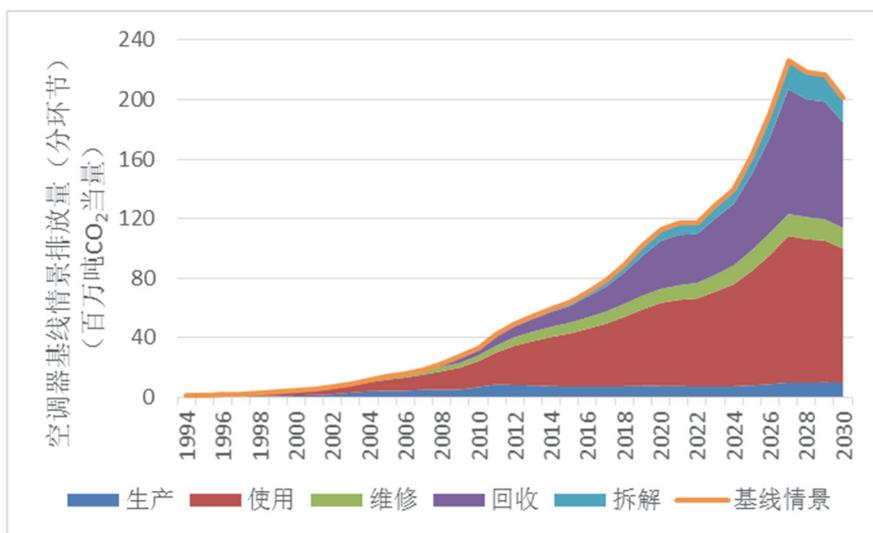


图 5-6 房间空调器非 CO₂ 温室气体基线情景排放量（分环节）

房间空调器非 CO₂ 温室气体基线情景排放量（分制冷剂）如图 5-7 所示。

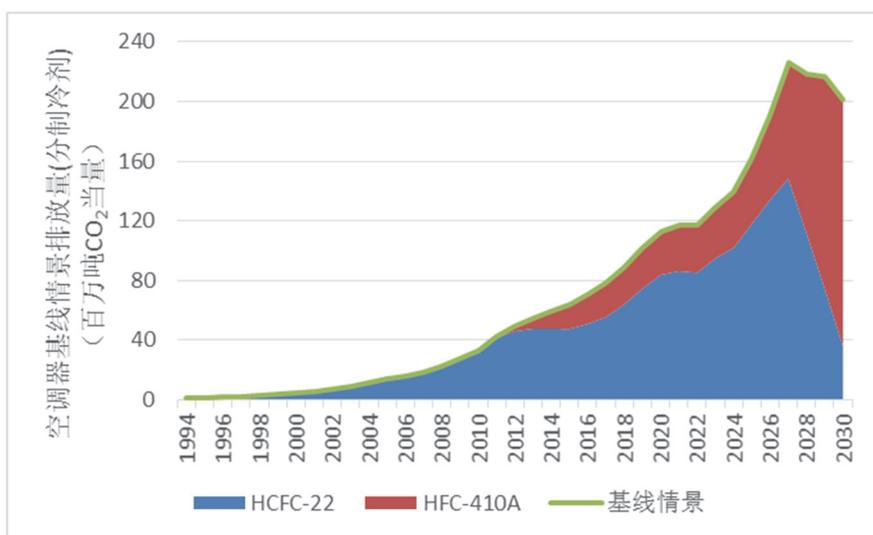


图 5-7 房间空调器非 CO₂ 温室气体基线情景排放量（分制冷剂）

房间空调器 HCFC-22 制冷剂基线情景 2012-2030 年累积排放量为 1506.256 百万吨 CO₂ 当量，HFC-410A 制冷剂累积排放量为 888.531 百万吨 CO₂ 当量，总

排放量为 2394.786 百万吨 CO₂ 当量。

通过图 5-3 可以看出，基线情景中 HCFC-22 和 HFC-410A 比例固定在 2012 年，并且 2013—2030 年维持不变。由于房间空调器全生命周期中使用、回收（收集）等环节排放量占据很大比重，即制冷剂排放具有一定的滞后性，因此 HCFC-22 排放量会随着房间空调器国内销量的增加而逐渐增加。

5.4. 5.4 理想情景分析与减排潜力

5.4.1. 理想情景分析

为计算房间空调器非 CO₂ 温室气体理想情景排放量，需要对 3.3.3 中的参数根据所设定的情景进行预测，以得到 2013-2030 年的计算参数。计算房间空调器非 CO₂ 温室气体理想情景排放量所需参数列于表 5-5 中，计算房间空调器非 CO₂ 温室气体理想情景排放量所用制冷剂变化趋势如图 5-8 所示。

表 5-5 房间空调器非 CO₂ 温室气体理想情景排放量测算参数的设定（2012-2030 年）

环节	参数名称	单位	参数 2012 年取值				参数 2013-2030 年取值
			HCFC 22	HFC 410A	低 GWP 制冷剂	理想 制冷剂	
生产	M_N^N	kg	1.15	0.9	0.8	0.3	2013-2026 年线性降低到 80%， 2027-2030 年维持 2026 年水平。
生产	PER_N^N	%	3	3	3	3	2013 年起降低至 77.5%； 2015 年起降低至 55.0%； 2020 年起降低至 32.0%； 2025 年起降低至 10.0%。
生产	制冷剂比例	%	73.11	26.89	0	0	2030 年全部为理想制冷剂
使用	$AOER_N^N$	%	3.08	3.08	3.08	3.08	2012 年起降低至 82.0%； 2014 年起降低至 64.0%； 2019 年起降低至 46.0%； 2024 年起降低至 28.0%。
维修	RPA_{N+i}^T	%	30	30	30	30	2013 年起降低至 77.5%； 2015 年起降低至 55.0%； 2020 年起降低至 32.0%； 2025 年起降低至 10.0%。
回收	RYA_{N+i}^T	%	70	70	70	70	
拆解	DAA_{N+i}^T	%	80	80	80	80	
使用	$AER(j)_{N+i}^N$	%	0.8	0.8	0.8	0.8	2013-2026 年线性降低到 80%， 2027-2030 年维持 2026 年水平。
使用	$MNER(j)_{N+i}^N$	%	20	20	20	20	$1 - MPER(j)_{N+i}^N - MPER(j)_{N+i}^N$
使用	$MPER(j)_{N+i}^N$	%	56	56	56	56	2012 年起降低至 76.6%； 2014 年起降低至 53.7%；

							2019 年起降低至 32.1%； 2024 年起降低至 11.1%。
使用	$MTER(j)_{N+i}^N$	%	24	24	24	24	2012 年起降低至 76.6%； 2014 年起降低至 53.7%； 2019 年起降低至 32.1%； 2024 年起降低至 11.1%。
使用	$RRR(j)_{N+i}^N$	%	80	80	80	80	2012-2030 年保持不变。
维修	$RPA(j)_{N+i}^N$	%	30	30	30	30	2013 年起降低至 77.5%； 2015 年起降低至 55.0%； 2020 年起降低至 32.0%； 2025 年起降低至 10.0%。
维修	$RPB(j)_{N+i}^N$	%	5	5	5	0	$1 - RPA(j)_{N+i}^N - RPC(j)_{N+i}^N$
维修	$RPC(j)_{N+i}^N$	%	65	65	65	70	2012-2030 年保持不变。
回收	$RYA(j)_{N+i}^N$	%	70	70	70	70	2013 年起降低至 77.5%； 2015 年起降低至 55.0%； 2020 年起降低至 32.0%； 2025 年起降低至 10.0%。
回收	$RYB(j)_{N+i}^N$	%	10	10	10	0	$1 - RYA(j)_{N+i}^N - RYC(j)_{N+i}^N$
回收	$RYC(j)_{N+i}^N$	%	20	20	20	30	2012-2030 年保持不变。
拆解	$DAA(j)_{N+i}^N$	%	80	80	80	80	2013 年起降低至 77.5%； 2015 年起降低至 55.0%； 2020 年起降低至 32.0%； 2025 年起降低至 10.0%。
拆解	$DAB(j)_{N+i}^N$	%	20	20	20	20	$1 - DAA(j)_{N+i}^N$

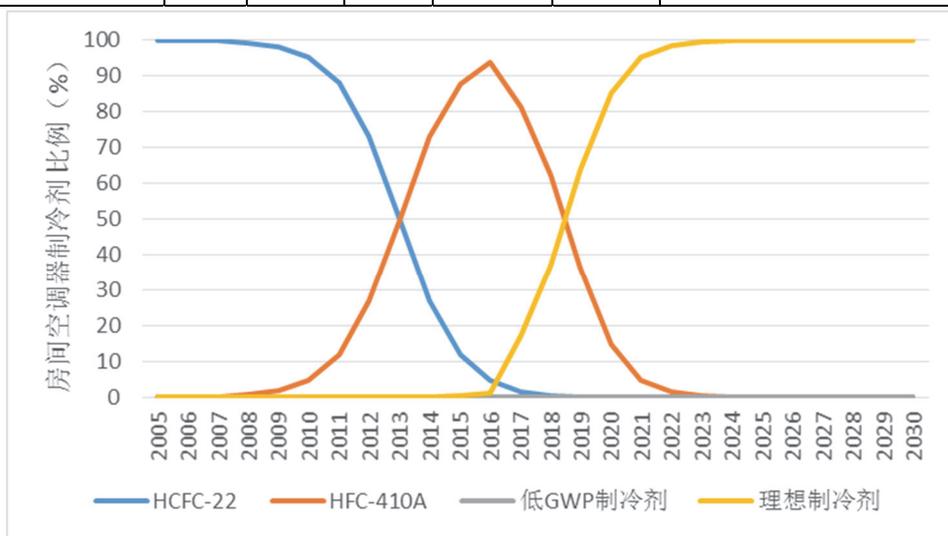


图 5-8 房间空调器制冷剂变化趋势 (理想情景)

房间空调器理想情景制冷剂变化趋势中，HCFC-22 制冷剂比例逐渐下降，HFC-410A 制冷剂比例先上升后下降，理想制冷剂比例逐渐升高最终达到 100%，完全取代 HCFC-22 和 HFC-410A 制冷剂。理想情景中不出现低 GWP 制冷剂。

5.4.2. 理想情景排放量

房间空调器非 CO₂ 温室气体（包括 HCFC-22，HFC-410A 和理想制冷剂）理想情景排放量如图 5-9。房间空调器非 CO₂ 温室气体理想情景使用环节 2012-2030 年累积排放量为 843.833 百万吨 CO₂ 当量，由于房间空调器使用环节平均排放率由产品生产时间决定，即某一年生产的房间空调器，其整个生命周期内使用环节平均排放率不再改变，因此从 2013 年起只能通过降低新产品使用环节平均排放率的方法来降低使用环节非 CO₂ 温室气体的排放量，所以理想情景中使用环节排放量并未显著下降。生产、维修、回收（收集）和拆解处理环节 2012-2030 年累积排放量分别为 34.275、48.034、173.734 和 39.711 百万吨 CO₂ 当量，与基线情景相比出现显著下降，主要因为理想情景中生产、维修、回收（收集）和拆解处理环节排放率降低至基线情景的 10%，并且理想制冷剂逐步完全取代 HCFC-22 和 HFC-410A 制冷剂。

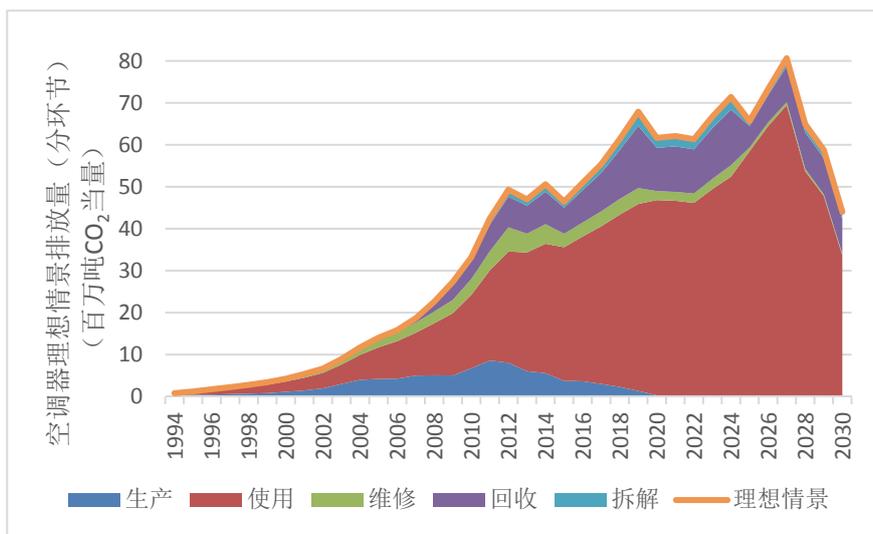


图 5-9 房间空调器非 CO₂ 温室气体理想情景排放量（分环节）

房间空调器非 CO₂ 温室气体理想情景排放量（分制冷剂）如图 5-10 所示。

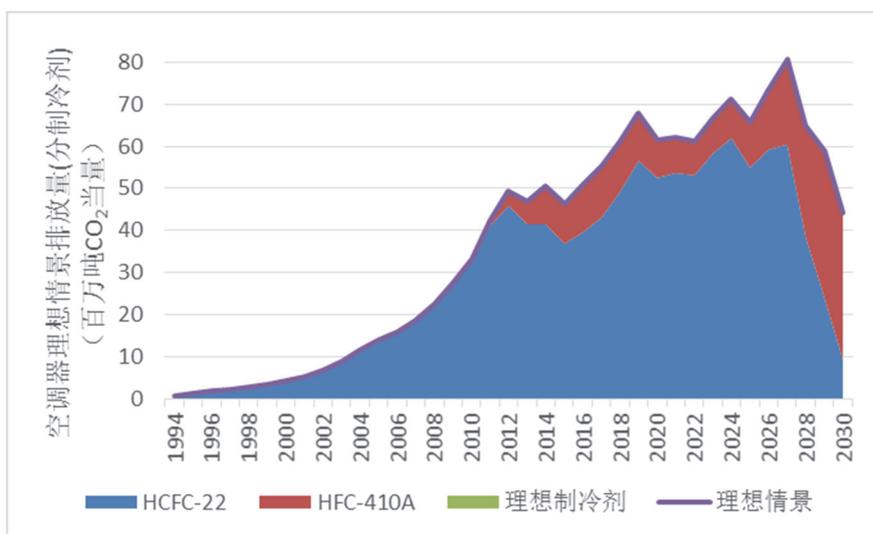


图 5-10 房间空调器非 CO₂ 温室气体理想情景排放量 (分制冷剂)

房间空调器非 CO₂ 温室气体 HCFC-22 制冷剂 2012-2030 年累积排放量为 880.219 百万吨 CO₂ 当量，HFC-410A 制冷剂累积排放量为 259.317 百万吨 CO₂ 当量，理想制冷剂累积排放量为 0.051 百万吨 CO₂ 当量，总排放量为 1139.587 百万吨 CO₂ 当量。由于理想情景中房间空调器全生命周期各环节排放率出现大幅下降，并且理想制冷剂逐步完全取代 HCFC-22 和 HFC-410A 制冷剂，因此理想情景中 HCFC-22 和 HFC-410A 制冷剂排放量亦出现显著下降。

5.4.3. 理想情景减排潜力

房间空调器非 CO₂ 温室气体基线情景排放量与理想情景排放量之差即为房间空调器理想情景减排潜力，结果如图 5-11 和图 5-12 所示。

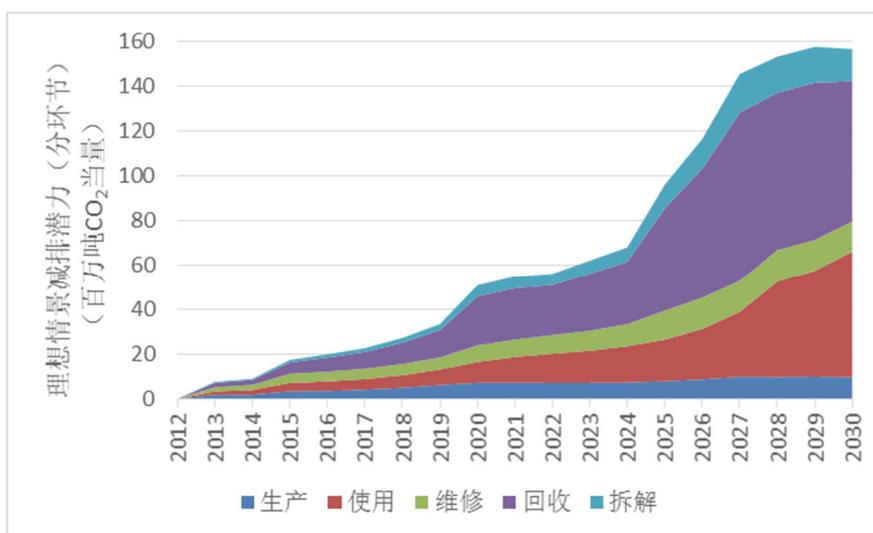


图 5-11 房间空调器非 CO₂ 温室气体理想情景减排潜力 (分环节)

房间空调器非 CO₂ 温室气体生产、使用、维修、回收 (收集) 和拆解处理

环节 2013-2030 年累积理想情景减排潜力分别为 117.732、310.195、151.950、549.681 和 125.641 百万吨 CO₂ 当量，其中回收（收集）环节理想情景减排潜力最大。图 5-11 的结果表明，房间空调器全生命周期各环节排放率降低 90%对回收（收集）环节影响最大，其次为使用、维修等环节。通过技术手段、政策法规和鼓励措施等方式降低回收（收集）环节排放率会显著降低房间空调器非 CO₂ 温室气体排放量。

房间空调器非 CO₂ 温室气体理想情景减排潜力(分制冷剂)如图 5-12 所示。

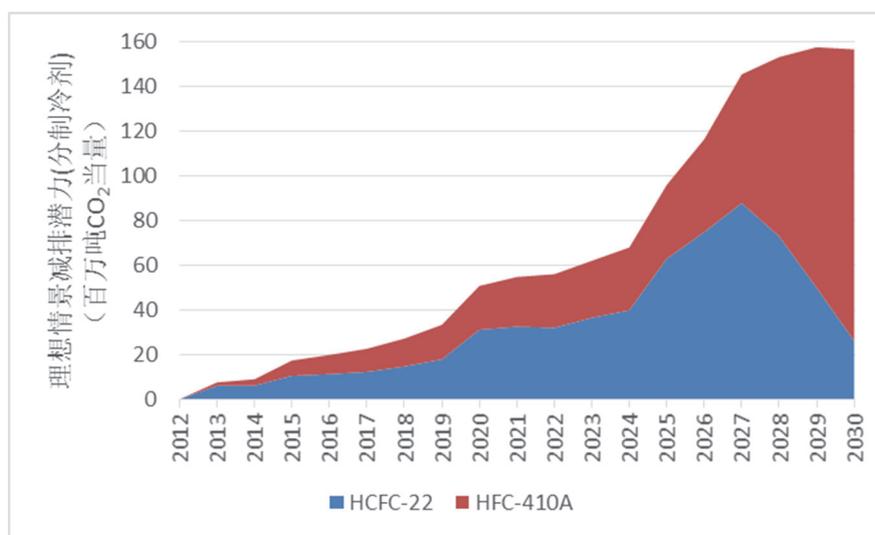


图 5-12 房间空调器非 CO₂ 温室气体理想情景减排潜力（分制冷剂）

房间空调器 HCFC-22 制冷剂 2013-2030 年累积理想情景减排潜力为 626.037 百万吨 CO₂ 当量，HFC-410A 制冷剂累积理想情景减排潜力为 629.162 百万吨 CO₂ 当量，总理想情景减排潜力为 1255.199 百万吨 CO₂ 当量。图 5-12 的结果表明，房间空调器 2013-2030 年累积减排潜力主要由 HFC-410A 制冷剂构成，这与理想制冷剂逐步完全取代 HCFC-22 和 HFC-410A 制冷剂有关。

5.5. 最可行减排情景分析与减排潜力

5.5.1. 最可行减排情景分析

课题组在 4.2 提出了家用电冰箱和房间空调器非 CO₂ 温室气体全生命周期各环节减排能力评估方法，课题组在参考欧盟、日本和美国等国家和地区制冷剂回收情况及“节能惠民工程”所取得经验和成果的基础上，提出制冷剂/发泡剂平

均单台灌注量降低 20%，房间空调器 2030 年低 GWP 制冷剂和理想制冷剂共存，并且家用电冰箱和房间空调器全生命周期五环节非 CO₂ 温室气体排放率降低 20% 这几个关键参数组合作为**最可行情景**，并在此基础上确定减排能力评估指标参数，评估各环节减排能力。计算房间空调器非 CO₂ 温室气体最可行情景排放量所需参数列于**表 5-6** 中，计算房间空调器制冷剂比例评估指标权重所用制冷剂变化趋势如**图 5-13** 所示，房间空调器最可行减排情景制冷剂变化趋势如**图 5-14** 所示。

表 5-6 房间空调器非 CO₂ 温室气体最可行减排情景排放量测算参数的设定 (2012-2030 年)

环节	参数名称	单位	参数 2012 年取值				参数 2013-2030 年取值
			HCFC 22	HFC 410A	低 GWP 制冷剂	理想 制冷剂	
生产	M_N^N	kg	1.15	0.9	0.8	0.3	2013-2026 年线性降低到 80%， 2027-2030 年维持 2026 年水平。
生产	PER_N^N	%	3	3	3	3	2013 年起降低至 95.0%； 2015 年起降低至 90.0%； 2020 年起降低至 85.0%； 2025 年起降低至 80.0%。
生产	制冷剂比例	%	73.11	26.89	0	0	2030 年低 GWP 制冷剂和理想制冷剂共存
使用	$AOER_N^N$	%	3.08	3.08	3.08	3.08	2013 年起降低至 95.0%； 2015 年起降低至 90.0%； 2020 年起降低至 85.0%； 2025 年起降低至 80.0%。
维修	RPA_{N+i}^T	%	30	30	30	30	2013 年起降低至 95.0%； 2015 年起降低至 90.0%； 2020 年起降低至 85.0%； 2025 年起降低至 80.0%。
回收	RYA_{N+i}^T	%	70	70	70	70	
拆解	DAA_{N+i}^T	%	80	80	80	80	
使用	$AER(j)_{N+i}^N$	%	0.8	0.8	0.8	0.8	2013-2026 年线性降低到 80%， 2027-2030 年维持 2026 年水平。
使用	$MNER(j)_{N+i}^N$	%	20	20	20	20	$1 - MPER(j)_{N+i}^N - MPER(j)_{N+i}^N$
使用	$MPER(j)_{N+i}^N$	%	56	56	56	56	2012 年起降低至 93.7%； 2014 年起降低至 87.4%； 2019 年起降低至 81.1%； 2024 年起降低至 74.7%。
使用	$MTER(j)_{N+i}^N$	%	24	24	24	24	2012 年起降低至 93.7%； 2014 年起降低至 87.4%； 2019 年起降低至 81.1%； 2024 年起降低至 74.7%。
使用	$RRR(j)_{N+i}^N$	%	80	80	80	80	2012-2030 年保持不变。
维修	$RPA(j)_{N+i}^N$	%	30	30	30	30	2013 年起降低至 95.0%；

							2015 年起降低至 90.0%； 2020 年起降低至 85.0%； 2025 年起降低至 80.0%。
维修	$RPB(j)_{N+i}^N$	%	5	5	5	0	$1 - RPA(j)_{N+i}^N - RPC(j)_{N+i}^N$
维修	$RPC(j)_{N+i}^N$	%	65	65	65	70	2012-2030 年保持不变。
回收	$RYA(j)_{N+i}^N$	%	70	70	70	70	2013 年起降低至 95.0%； 2015 年起降低至 90.0%； 2020 年起降低至 85.0%； 2025 年起降低至 80.0%。
回收	$RYB(j)_{N+i}^N$	%	10	10	10	0	$1 - RYA(j)_{N+i}^N - RYC(j)_{N+i}^N$
回收	$RYC(j)_{N+i}^N$	%	20	20	20	30	2012-2030 年保持不变。
拆解	$DAA(j)_{N+i}^N$	%	80	80	80	80	2013 年起降低至 77.5%； 2015 年起降低至 55.0%； 2020 年起降低至 32.0%； 2025 年起降低至 10.0%。
拆解	$DAB(j)_{N+i}^N$	%	20	20	20	20	$1 - DAA(j)_{N+i}^N$

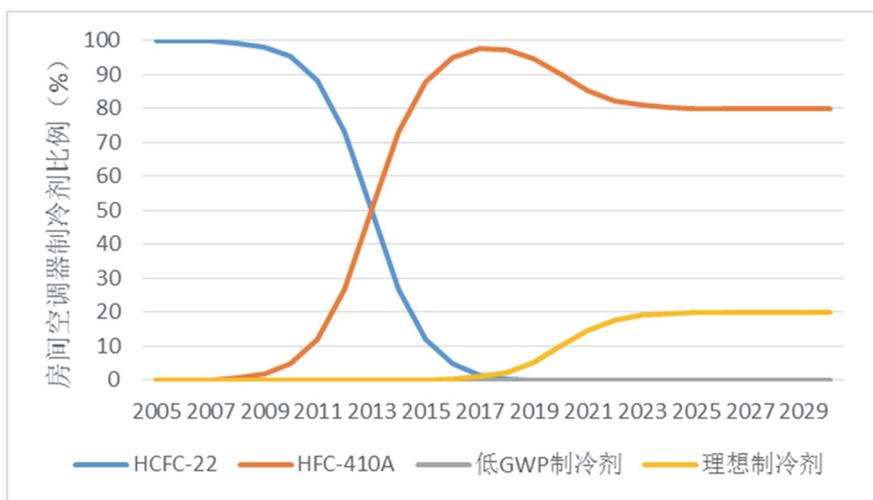


图 5-13 房间空调器制冷剂变化趋势（用于单因素分析）

用于单因素分析确定制冷剂比例评估指标权重的房间空调器制冷剂变化趋势中（图 5-13），HCFC-22 制冷剂比例逐渐下降，HFC-410A 制冷剂比例逐渐上升，最终其与理想制冷剂共存。单因素分析制冷剂变化趋势中不出现低 GWP 制冷剂。

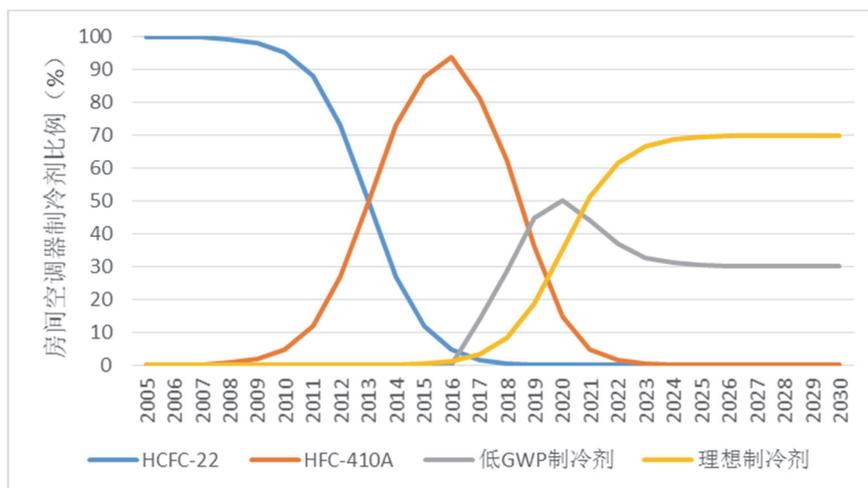


图 5-14 房间空调器制冷剂变化趋势（最可行减排情景）

房间空调器最可行减排情景制冷剂变化趋势中（图 5-14），HCFC-22 制冷剂比例逐渐下降，HFC-410A 制冷剂比例先上升后下降，低 GWP 制冷剂逐渐上升达到高位后下降至一稳定水平，理想制冷剂比例逐渐上升，最终与低 GWP 制冷剂共存。

5.5.2. 最可行减排情景排放量

房间空调器非 CO₂ 温室气体(包括 HCFC-22, HFC-410A 和低 GWP 制冷剂)最可行减排情景排放量如图 5-15 和图 5-16 所示。

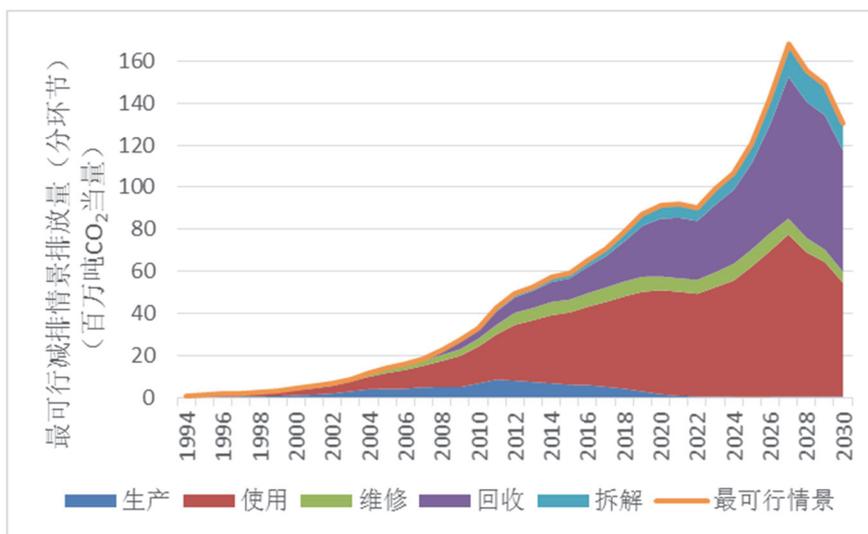


图 5-15 房间空调器非 CO₂ 温室气体最可行减排情景排放量（分环节）

房间空调器非 CO₂ 温室气体最可行减排情景 2012-2030 年累积排放量为 1864.836 百万吨 CO₂ 当量，其中使用环节 2012-2030 年累积排放量为 941.271 百

万吨 CO₂ 当量，由于房间空调器使用环节平均排放率由产品生产时间决定，即某一年生产的房间空调器，其整个生命周期内使用环节平均排放率不再改变，因此从 2013 年起只能通过降低新产品使用环节平均排放率的方法来降低使用环节非 CO₂ 温室气体的排放量，所以最可行减排情景中使用环节排放量并未显著下降。生产、维修、回收（收集）和拆解处理环节 2012-2030 年累积排放量分别为 53.962、128.133、603.522 和 137.948 百万吨 CO₂ 当量，与基线情景相比出现不同程度下降，因为最可行减排情景中生产、维修、回收（收集）和拆解处理环节排放率降低至基线情景的 20%，并且理想制冷剂和低 GWP 制冷剂逐步完全取代 HCFC-22 和 HFC-410A 制冷剂。

房间空调器非 CO₂ 温室气体最可行减排情景排放量（分制冷剂）如图 5-16 所示。

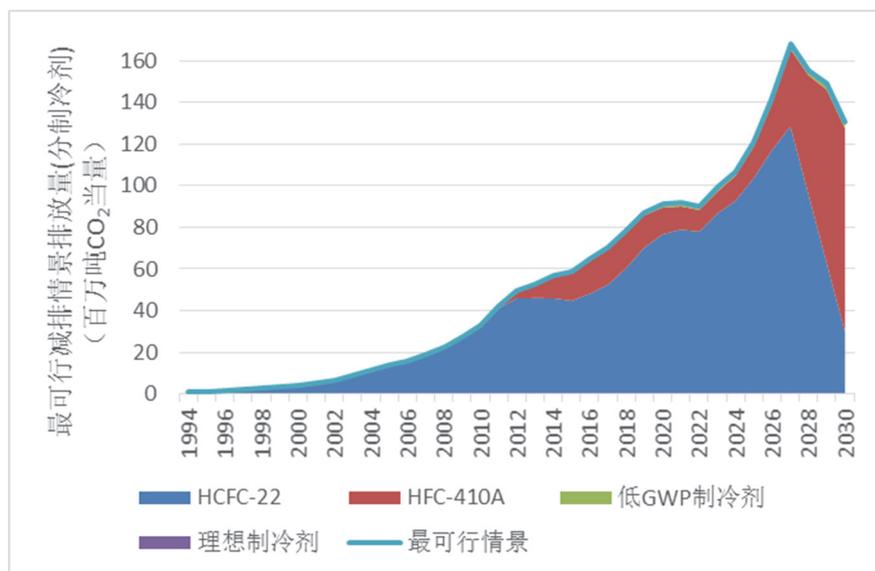


图 5-16 房间空调器非 CO₂ 温室气体最可行减排情景排放量（分制冷剂）

房间空调器非 CO₂ 温室气体 HCFC-22 制冷剂 2012-2030 年累积排放量为 1364.531 百万吨 CO₂ 当量，HFC-410A 制冷剂累积排放量为 474.311 百万吨 CO₂ 当量，低 GWP 制冷剂累积排放量为 25.958 百万吨 CO₂ 当量，理想制冷剂累积排放量为 0.034 百万吨 CO₂ 当量，总排放量为 1864.835 百万吨 CO₂ 当量。由于最可行减排情景中房间空调器全生命周期各环节排放率出现不同程度下降，因此最可行减排情景中 HCFC-22，HFC-410A 和低 GWP 制冷剂排放量亦下降。

5.5.3. 最可行减排情景减排潜力

房间空调器非 CO₂ 温室气体基线情景排放量与最可行减排情景排放量之差即为房间空调器最可行减排情景减排潜力，结果如图 5-17 和图 5-18 所示。

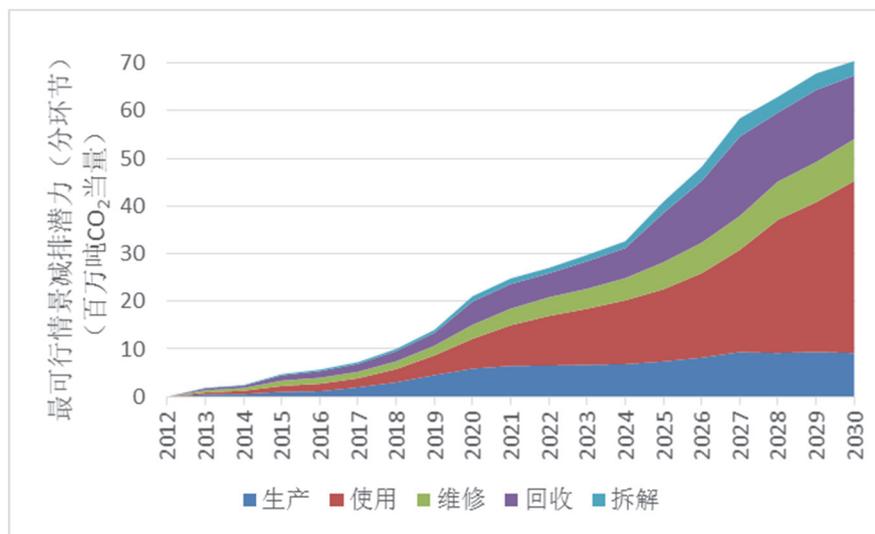


图 5-17 房间空调器非 CO₂ 温室气体最可行减排情景减排潜力（分环节）

房间空调器非 CO₂ 温室气体生产、使用、维修、回收（收集）和拆解处理环节 2013-2030 年累积最可行减排情景减排潜力分别为 98.045、212.757、71.851、119.894 和 27.404 百万吨 CO₂ 当量，其中使用环节最可行情景减排潜力最大。图 5-17 的结果表明，房间空调器全生命周期各环节排放率降低对使用环节影响最大，其次为回收（收集）、维修等环节。通过技术手段、政策法规和鼓励措施等方式降低使用环节排放率会显著降低房间空调器非 CO₂ 温室气体排放量。

房间空调器非 CO₂ 温室气体最可行减排情景减排潜力（分制冷剂）如图 5-18 所示。

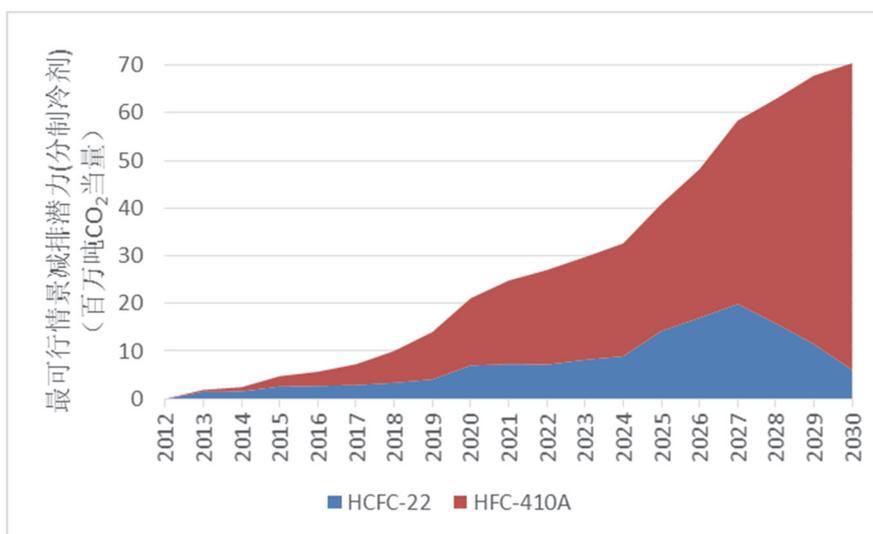


图 5-18 房间空调器非 CO₂ 温室气体最可行减排情景减排潜力 (分制冷剂)

房间空调器非 CO₂ 温室气体 HCFC-22 制冷剂 2013-2030 年累积最可行减排情景减排潜力为 141.724 百万吨 CO₂ 当量，HFC-410A 制冷剂累积最可行减排情景减排潜力为 388.261 百万吨 CO₂ 当量，总最可行减排情景减排潜力为 529.985 百万吨 CO₂ 当量。图 5-18 的结果表明，房间空调器 2013-2030 年累积减排潜力主要由 HFC-410A 制冷剂构成，这与基线情景和最可行减排情景中 HFC-410A 制冷剂比例变化很大有关。

5.5.4. 最可行减排情景减排能力

对房间空调器制冷剂排放量采取单因素分析法得到的排放环节及指标 C、D 和 E 权重如表 5-7 所示。

表 5-7 房间空调器非 CO₂ 温室气体排放环节及指标 C、D 和 E 权重

LCA 环节	排放环节	权重	灌注量 D1	密封性 D2	制冷剂比例 D4	非 CO ₂ 回收 D3	配回收设备可行性 E	回收设备成本 F1	回收品质 F2
生产	生产线	0.8	0.331	0	0.306	0.363	1	0.7	0.3
生产	不合格品	0.05	0.331	0	0.306	0.363	1	0.7	0.3
生产	实验室	0.15	0.331	0	0.306	0.363	1	0.7	0.3
使用	安装过程	0.1	0.326	0.439	0.235	0	1	0.7	0.3
使用	日常使用	0.9	0.326	0.439	0.235	0	1	0.7	0.3
维修	制冷系统维修 (正规)	0.2	0.148	0.277	0.111	0.464	1	0.7	0.3
维修	制冷系统维修 (非正规)	0.8	0.148	0.277	0.111	0.464	1	0.7	0.3

回收	产品拆卸 (压缩机正常)	0.14	0.031	0.066	0.002	0.901	1	0.7	0.3
回收	拆卸排放 (压缩机故障)	0.06	0.031	0.066	0.002	0.901	1	0.7	0.3
回收	产品运输排放	0.20	0.031	0.066	0.002	0.901	1	0.7	0.3
回收	制冷系统破损	0.60	0.031	0.066	0.002	0.901	1	0.7	0.3
拆解	正规拆解	0.2	0.031	0.066	0.002	0.901	1	0.7	0.3
拆解	非正规拆解	0.8	0.031	0.066	0.002	0.901	1	0.7	0.3

数据来源：行业调研及专家咨询

综合行业调研及专家咨询的结果，并与家用电冰箱和房间空调器非 CO₂ 温室气体排放环节减排潜力评价指标体系分档（适用于各排放环节）结合后，所得房间空调器非 CO₂ 温室气体排放环节减排能力指标体系评估结果如表 5-8 所示，评估得分如表 5-9 所示。

表 5-8 房间空调器非 CO₂ 温室气体排放环节减排能力评估结果

LCA 环节	排放环节	灌注量 C1	密封性 C2	制冷剂比例 C4	非 CO ₂ 回收 C3	配回收设备可行性 D	回收设备成本 E1	回收品质量 E2
生产	生产线	是	否	是	是	高	高	高
生产	不合格品	是	否	是	是	高	中	高
生产	实验室	是	否	是	是	高	中	高
使用	安装过程	是	否	是	否	—	—	—
使用	日常使用	是	是	是	否	—	—	—
维修	维修制冷系统 (正规)	是	是	是	是	高	中	低
维修	维修制冷系统 (非正规)	是	是	是	否	—	—	—
回收	拆卸排放 (压缩机正常)	是	是	是	是	低	低	低
回收	拆卸排放 (压缩机故障)	是	是	是	是	低	低	低
回收	产品运输排放	是	是	是	否	—	—	—
回收	制冷系统破损	是	是	是	否	—	—	—
拆解	正规拆解	是	是	是	是	高	中	低
拆解	非正规拆解	是	是	是	否	—	—	—

数据来源：行业调研及专家咨询

表 5-9 房间空调器非 CO₂ 温室气体排放环节减排能力评估得分

LCA 环节	排放环节	灌 注 量 D1	密 封 性 D2	制 冷 剂 比 例 D4	非 CO ₂ 回 收 D3	配回收 设备可 行性 E	回收 设备成 本 F1	回收 品质 量 F2	总分	
生产	生产线	1	0	1	1	0.6	0.1	0.6	0.553	0.698
生产	不合格品	1	0	1	1	0.6	0.3	0.6	0.036	
生产	实验室	1	0	1	1	0.6	0.3	0.6	0.108	
使用	安装过程	1	0	1	0	0	0	0	0.056	0.956
使用	日常使用	1	1	1	0	0	0	0	0.900	
维修	维修制冷系统 (正规)	1	1	1	1	0.6	0.3	0.4	0.126	0.554
维修	维修制冷系统 (非正规)	1	1	1	0	0	0	0	0.429	
回收	拆卸排放 (压缩机正常)	1	1	1	1	0.4	0.6	0.4	0.041	0.138
回收	拆卸排放 (压缩机故障)	1	1	1	1	0.4	0.6	0.4	0.018	
回收	产品运输排放	1	1	1	0	0	0	0	0.020	
回收	制冷系统破损	1	1	1	0	0	0	0	0.059	
拆解	正规拆解	1	1	1	1	0.6	0.3	0.4	0.055	0.135
拆解	非正规拆解	1	1	1	0	0	0	0	0.079	

通过表 5-9 结果可以看出, 房间空调器非 CO₂ 温室气体使用环节减排能力最高, 与此环节主要受密封性即产品质量和安装质量控制有关。提高制冷系统密封性会提高使用时制冷剂正常排放台数比例, 降低较大量排放制冷剂台数比例, 进而会降低使用环节制冷剂排放量。

生产环节减排能力位居第二位, 灌注量, 密封性和非 CO₂ 回收均会影响此环节排放量, 并且这三个指标权重接近。虽然此环节制冷剂排放量可控性很高, 但制冷剂回收设备成本较高拖累了此环节的减排能力。

维修环节减排能力位居第三位, 此环节非 CO₂ 回收权重大于密封性, 由于正规维修渠道权重较小, 因此非 CO₂ 回收部分得分较低, 拖累了环节得分。

回收和拆解环节得分接近, 位居第四和第五位。这两个环节与使用、维修和生产环节有很大不同, 因为非 CO₂ 回收因素主导这两个环节。由于中国废弃电器电子产品以社会化回收为主, 回收(收集)和拆解处理环节规范程度较低, 因而这两个环节减排能力较低。

下面将对表 5-8 房间空调器非 CO₂ 温室气体排放环节减排能力评估结果中，个评价指标结果进行详细分析。

5.5.4.1. 生产环节—生产线排放

房间空调器生产线环节的排放来源于制冷剂加注枪枪头插拔时排放，以及管路检修时管路残存制冷剂的排放，这两种排放发生在生产企业生产线上，产品制冷剂平均单台灌注量和制冷剂比例会对排放量产生影响，而制冷系统密封性对此环节排放量影响较小，上述两种排放可以对其进行回收，由于发生在生产线上，因此配回收设备的可行性评估为高。由于回收这两个环节制冷剂的排放需要根据生产线进行定制，因此回收设备成本评估为高。这两个环节排放的为用于加注到产品中的制冷剂，因此回收品质量评估为高。

5.5.4.2. 生产环节—不合格品排放

房间空调器生产时会产生极少量的不合格品，若将其中的制冷剂直接放空则会产生排放。由于不合格品存在于生产线环节，可以回收其中的制冷剂，因此配回收设备可行性评估为高。产品制冷剂平均单台灌注量和制冷剂比例会对排放量产生影响，而制冷系统密封性对此环节排放量影响较小。对于房间空调器，由于不合格品数量极小，配备中型半固定式制冷剂回收机便可满足要求，因此回收设备成本评估为中。此类不合格品中制冷剂纯度很高，因此回收品质量评估为高。

5.5.4.3. 生产环节—实验室排放

房间空调器实验室中产品在研发时已加注制冷剂，随着研发的进行，有可能会对已灌注制冷剂产品的制冷系统进行修改，因此需要首先抽空或者排空制冷系统中的制冷剂，因此会产生排放。由于试验产品存在于实验室中，因此可以回收其中的制冷剂，配回收设备可行性评估为高。产品制冷剂平均单台灌注量和制冷剂比例会对排放量产生影响，而制冷系统密封性对此环节排放量影响较小。由于实验室阶段的房间空调器单台产品制冷剂灌注量较小，因此配备中型半固定式制冷剂回收机便可满足要求，因此回收设备成本评估为中。此类产品中制冷剂纯度很高，因此回收品质量评估为高。

5.5.4.4. 使用环节—安装过程排放

房间空调器出厂时，室外机中已灌注所需制冷剂，若安装时对制冷系统管路进行延长操作，则有可能需要进行制冷剂补充加注，虽然较难回收此环节的制冷剂，但是产品灌注量和制冷剂比例会对此环节排放量产生影响。

5.5.4.5. 使用环节—日常使用排放

由于无法回收房间空调器使用环节排放的制冷剂，因此只能从制冷剂平均单台灌注量，制冷系统密封性和制冷剂比例对此环节排放量产生影响。

5.5.4.6. 维修环节—维修制冷系统排放（正规渠道）

房间空调器在对制冷系统进行维修时会产生制冷剂排放，产品平均单台灌注量和制冷剂比例会影响制冷剂排放量，制冷系统密封性会影响故障产品剩余制冷剂台数比例。对于尚处于保修期内的产品，使用者更愿意在格力，美的，海尔等大型集团下属的服务维修企业中进行维修，因此此维修渠道配回收设备可行性评估为高。由于房间空调器单台制冷剂灌注量与商用产品相比较小，配备中型半固定式回收设备即可，回收设备成本评估为中。由于故障产品可能经历过多次维修，并且经历了长时间的使用，制冷剂中含有较多杂质，并且制冷剂成分也有较大变化，因此回收品质量评估为低。

5.5.4.7. 维修环节—维修制冷系统排放（非正规渠道）

房间空调器在对制冷系统进行维修时会产生制冷剂排放，产品平均单台灌注量和制冷剂比例会影响制冷剂排放量，制冷系统密封性会影响故障产品剩余制冷剂台数比例。对于保修期外的产品，使用者更愿意在价格较低的中小维修点进行维修，因此此维修渠道配回收设备可行性评估为低。由于房间空调器单台制冷剂灌注量与商用产品相比较小，加之产品维修量较小，配备小型便携式回收设备即可，回收设备成本评估为低。由于故障产品可能经历过多次维修，并且经历了长时间的使用，制冷剂中含有较多杂质，并且制冷剂成分也有较大变化，因此回收品质量评估为低。

5.5.4.8. 回收（收集）环节—产品拆卸排放（压缩机正常）

废弃房间空调器从用户手中回收（收集）时需要进行拆卸，若压缩机仍然可以工作，则采取将室内机制冷剂回收至室外机的技术，尽量降低制冷系统中制冷剂残余量，此时制冷剂平均单台灌注量和制冷剂比例会影响制冷剂排放量，制冷系统密封性会影响故障产品剩余制冷剂台数比例。由于目前废弃电器电子产品采取社会化的形式进行回收，从废弃产品所有者手中回收的主体为“流动大军”，因此配回收设备可行性评估为低。由于房间空调器单台制冷剂灌注量与商用产品相比较小，加之废弃产品压缩机仍然可以工作，制冷系统中大部分制冷剂已回收至室外机，因此只需要配备小型便携式回收设备即可，回收设备成本评估为低。由于废弃产品可能经历过多次维修，并且经历了长时间的使用，其中的制冷剂纯度已不如新出厂产品中制冷剂纯度，因此回收品质量评估为低。

5.5.4.9. 回收（收集）环节—产品拆卸排放（压缩机故障）

废弃房间空调器从用户手中回收（收集）时需要进行拆卸，若压缩机无法工作，则拆除时若不进行制冷剂回收则会产生排放。此时制冷剂平均单台灌注量和制冷剂比例会影响制冷剂排放量，制冷系统密封性会影响故障产品剩余制冷剂台数比例。由于目前废弃电器电子产品采取社会化的形式进行回收，从废弃产品所有者手中回收的主体为“流动大军”，因此配回收设备可行性非常低。由于废弃产品可能经历过多次维修，并且经历了长时间的使用，其中的制冷剂纯度已不如新出厂产品中制冷剂纯度，因此回收品质量评估为低。

5.5.4.10. 回收（收集）环节—产品运输排放

废弃房间空调器在回收运输过程中，无法对其中制冷剂进行回收，此时只有产品平均单台灌注量，制冷系统密封性和制冷剂比例对其排放产生影响。

5.5.4.11. 回收（收集）环节—制冷系统破损排放

废弃房间空调器从用户手中回收（收集）后，产品中价值较高的制冷系统管路被私自拆解产生的制冷剂排放。此时制冷剂平均单台灌注量和制冷剂比例会影

响制冷剂排放量，制冷系统密封性会影响故障产品剩余制冷剂台数比例。由于目前废弃电器电子产品采取社会化的形式进行回收，从废弃产品拥有者手中回收的主体为“流动大军”，因此配回收设备可行性非常低。

5.5.4.12. 拆解处理环节—正规拆解排放

废弃房间空调器在到达废弃电器电子产品回收处理企业后，在拆解前需要回收其中的制冷剂，此时会产生制冷剂排放。产品平均单台灌注量，制冷系统密封性，制冷剂比例和是否回收制冷系统中制冷剂均会对排放量产生影响。由于此环节排放发生在废弃产品拆解线上，因此配回收设备可行性评估为高。由于房间空调器单台制冷剂灌注量与商用产品相比较小，因此配备中型半固定式回收设备即可，回收设备成本评估为中。由于故障产品可能经历过多次维修，并且经历了长时间的使用，其中的制冷剂纯度已不如新出厂产品中制冷剂纯度，因此回收品质评估为低。

5.5.4.13. 拆解处理环节—非正规拆解排放

废弃房间空调器从用户手中回收（收集）后，在进入到获得补贴资质的废弃电器电子产品回收处理企业前已被完全拆解所产生的排放。此时制冷剂平均单台灌注量和制冷剂比例会影响制冷剂排放量，制冷系统密封性会影响故障产品剩余制冷剂台数比例。由于目前废弃电器电子产品采取社会化的形式进行回收，从废弃产品拥有者手中回收的主体为“流动大军”，因此配回收设备可行性非常低。

5.5.5. 制冷剂比例与减排潜力之间关系

5.5.5.1. 低 GWP 制冷剂作为替代制冷剂

HCFC-22 制冷剂比例逐步下降，HFC-410A 制冷剂在低 GWP 制冷剂出现前逐渐替代 HCFC-22 制冷剂，比例逐渐升高。随着低 GWP 制冷剂的出现，HFC-410A 制冷剂比例逐渐下降，低 GWP 制冷剂比例逐渐升高，最终全部为低 GWP 制冷剂。此情景制冷剂变化趋势如图 5-19 所示，相应房间空调器非 CO₂ 温室气体排放量及理想情景减排潜力如图 5-20 所示。

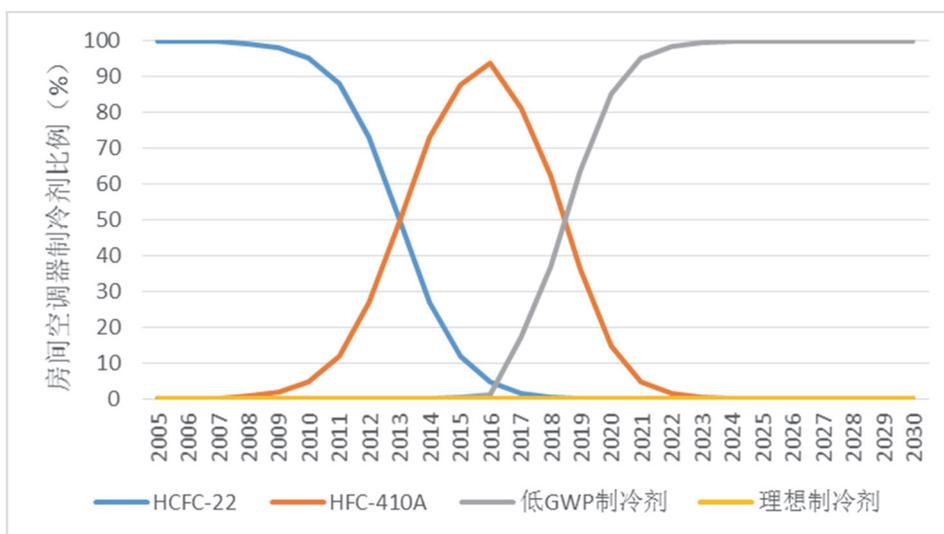


图 5-19 房间空调器制冷剂变化趋势 (低 GWP 制冷剂作为替代制冷剂)

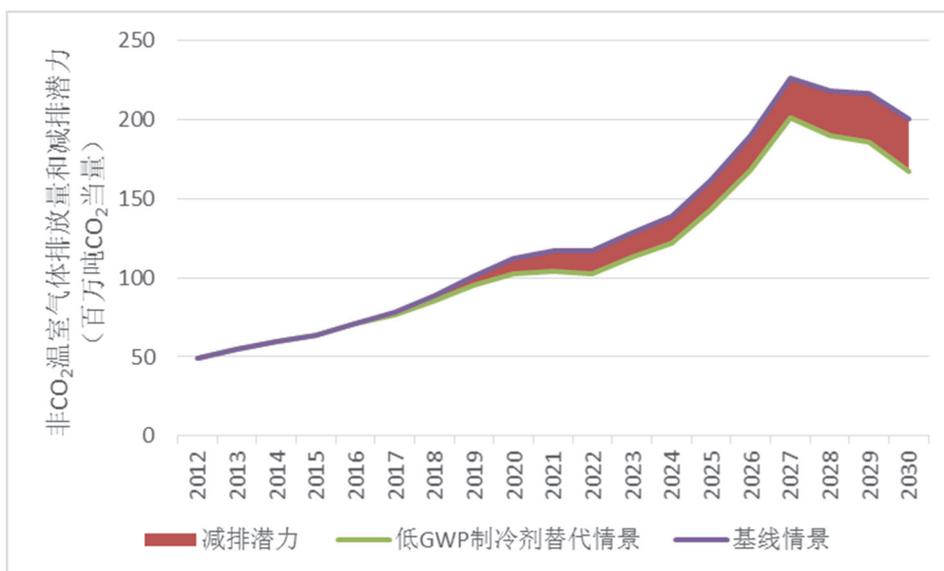


图 5-20 低 GWP 制冷剂替代方案排放量和减排潜力

房间空调器非 CO₂ 温室气体基线情景 2012-2030 年累积排放量为 2394.786 百万吨 CO₂ 当量，低 GWP 制冷剂替代方案累积排放量为 2158.436 百万吨 CO₂ 当量，累积减排潜力为 236.350 百万吨 CO₂ 当量。累积减排潜力与累积基线情景排放量之比为 9.869%，即基线情景中只考虑制冷剂比例变化时可以降低 9.869% 的累积排放量。此外随着 HCFC-22 和 HFC-410A 制冷剂的替代，低 GWP 制冷剂排放量逐渐上升。

5.5.5.2. 理想制冷剂作为替代制冷剂

HCFC-22 制冷剂比例逐步下降，HFC-410A 制冷剂在理想制冷剂出现前逐渐替代 HCFC-22 制冷剂，比例逐渐升高。随着理想制冷剂的出现，HFC-410A 制

制冷剂比例逐渐下降，理想制冷剂比例逐渐升高，最终全部为理想制冷剂。此情景制冷剂变化趋势如图 5-21 所示，相应房间空调器非 CO₂ 温室气体排放量及理想情景减排潜力如图 5-22 所示。

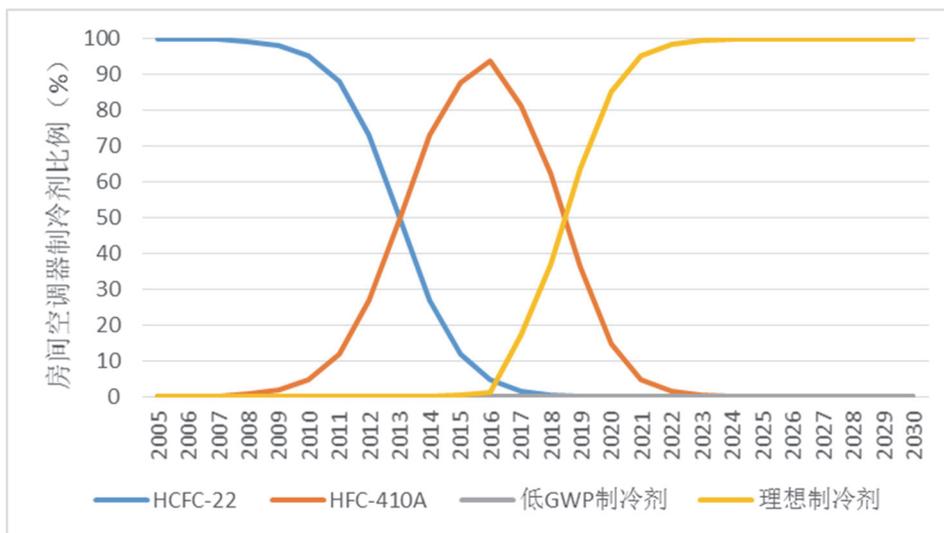


图 5-21 房间空调器制冷剂变化趋势（理想制冷剂作为替代制冷剂）

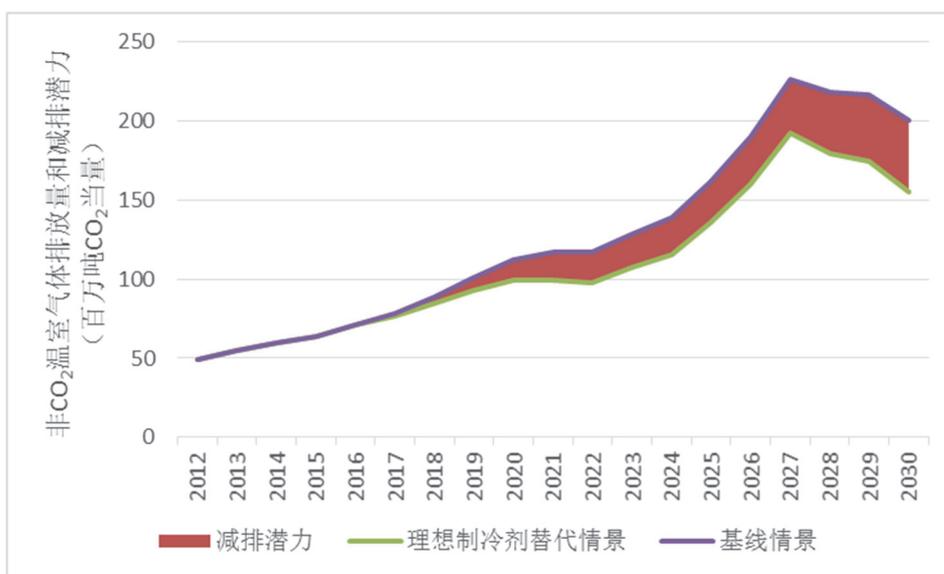


图 5-22 理想制冷剂替代方案排放量和减排潜力

房间空调器非 CO₂ 温室气体基线情景 2012-2030 年累积排放量为 2394.786 百万吨 CO₂ 当量，理想制冷剂替代方案累积排放量为 2068.186 百万吨 CO₂ 当量，累积减排潜力为 326.600 百万吨 CO₂ 当量。累积减排潜力与累积基线情景排放量之比为 13.638%，即基线情景中只考虑制冷剂比例变化时可以降低 13.638% 的累积排放量。

5.5.5.3. 低 GWP 和理想制冷剂共同作为替代制冷剂

HCFC-22 制冷剂比例逐步下降，HFC-410A 制冷剂在理想制冷剂出现前逐渐替代 HCFC-22 制冷剂，比例逐渐升高。随着低 GWP 制冷剂和理想制冷剂的出现，HFC-410A 制冷剂比例逐渐下降，低 GWP 制冷剂比例首先快速上升，达到最高点后逐渐下降至一稳定值，而理想制冷剂比例则逐渐升高，最终二者共存。

此情景制冷剂变化趋势如图 5-23 所示，相应房间空调器非 CO₂ 温室气体排放量及理想情景减排潜力如图 5-24 所示。

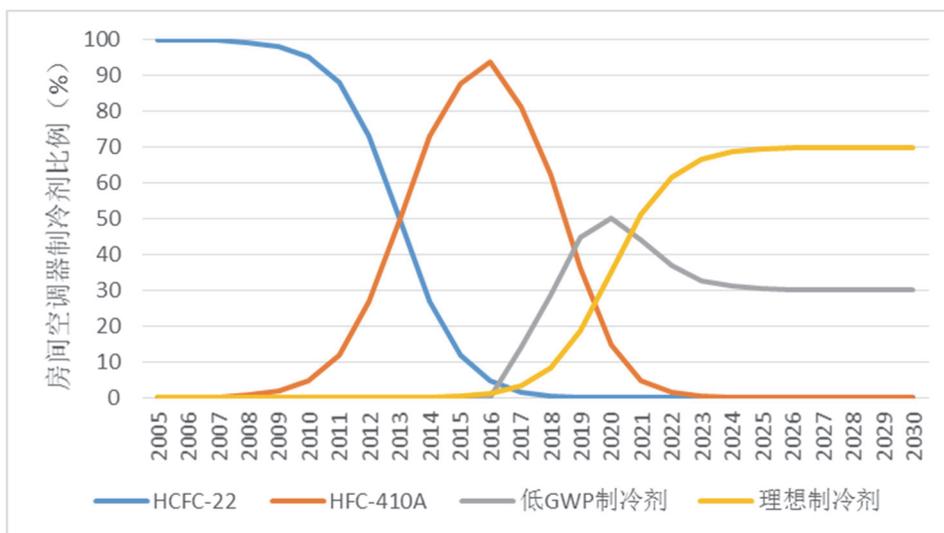


图 5-23 房间空调器制冷剂变化趋势 (低 GWP 和理想制冷剂共同作为替代制冷剂)

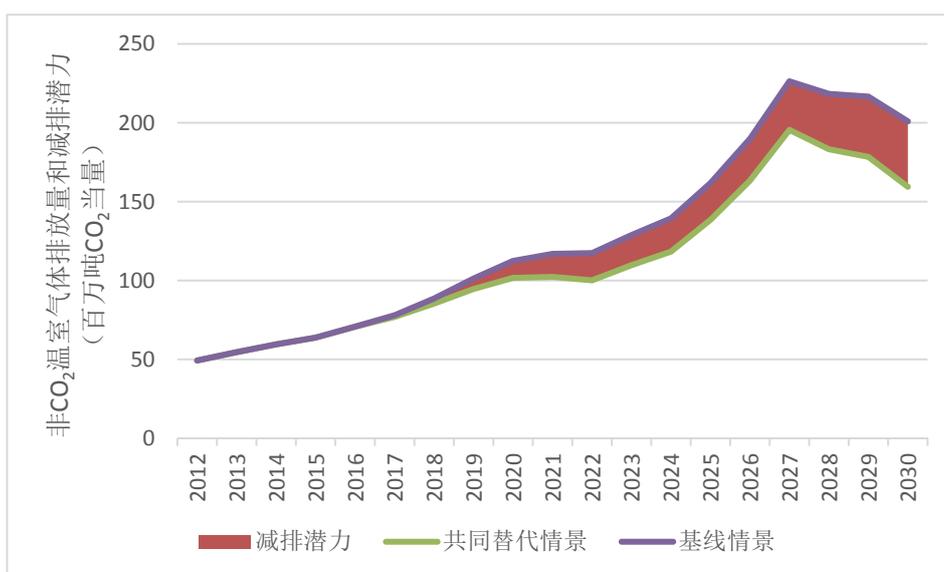


图 5-24 低 GWP 制冷剂和理想制冷剂共同替代方案排放量和减排潜力

房间空调器非 CO₂ 温室气体基线情景 2012-2030 年累积排放量为 2394.786

百万吨 CO₂ 当量，低 GWP 制冷剂和理想制冷剂共同作为替代方案累积排放量为 2105.463 百万吨 CO₂ 当量，累积减排潜力为 289.323 百万吨 CO₂ 当量。累积减排潜力与累积基线情景排放量之比为 12.081%，即基线情景中只考虑制冷剂比例变化时可以降低 12.081% 的累积排放量。

5.6. 减排潜力小结与影响因素分析

5.6.1. 排放量与减排潜力

中国房间空调器非 CO₂ 温室气体基线情景 2012-2030 年累积排放量为 2394.786 百万吨 CO₂ 当量，理想情景累积排放量为 1139.587 百万吨 CO₂ 当量，最可行情景累积排放量为 1864.836 百万吨 CO₂ 当量（表 5-10）。房间空调器基线情景、理想情景和最可行情景排放量随着国内销量的增加而逐渐升高，到 2027 年时达到高峰，由于房间空调器社会保有量在 2025 年后逐渐趋于饱和，因此 2027 年后随着国内销量的下降排放量逐渐降低。

房间空调器理想情景累积减排潜力为 1255.199 百万吨 CO₂ 当量，最可行情景累积减排潜力为 529.951 百万吨 CO₂ 当量（表 5-10）。

表 5-10 房间空调器非 CO₂ 温室气体排放量和减排潜力（单位：百万吨 CO₂ 当量）

排放量/减排潜力	基线情景	理想情景	最可行减排情景
2012-2030 年累积排放量	2394.786	1139.587	1864.836
2013-2030 年累积减排潜力	—	1255.199	529.951

5.6.2. 不同环节最可行情景减排潜力

中国房间空调器最可行情景累积减排潜力为 605.578 百万吨 CO₂ 当量，其中生产、使用、维修、回收（收集）和拆解处理环节累积减排潜力分别为：98.045、297.105、91.312、102.006 和 23.316 百万吨 CO₂ 当量（表 5-11），其中使用环节理想情景减排潜力最大。

房间空调器非 CO₂ 温室气体全生命周期五环节中，使用环节减排能力位居首位，这与其主要受密封性即产品质量和安装质量控制有关；生产环节位居第二

位，这与其受密封性控制并且环节可控性较高有关；维修环节位居第三位，这与其主要受非 CO₂ 回收控制，并且正规维修渠道权重较低有关；回收和拆解环节减排能力接近，分列第四和第五位，这与其主要受非 CO₂ 回收因素主要有关。由于中国废弃电器电子产品以社会化回收为主，回收（收集）和拆解处理环节规范程度较低，因而这两个环节减排能力较低。

表 5-11 房间空调器非 CO₂ 温室气体最可行情景减排潜力

环节	最可行情景减排潜力 (百万吨 CO ₂ 当量)	减排能力 (实数)
生产	98.045	0.698
使用	212.757	0.956
维修	71.851	0.554
回收（收集）	119.894	0.138
拆解处理	27.404	0.135
合计	529.951	—

5.6.3. 不同制冷剂替代方案减排潜力

中国房间空调器非 CO₂ 温室气体基线情景 2012-2030 年累积排放量为 2394.786 百万吨 CO₂ 当量，保持灌注量及五个环节排放率不变，只改变制冷剂比例。若选取低 GWP 制冷剂作为替代制冷剂，即 2030 年时全部为低 GWP 制冷剂，此时累积排放量为 2158.436 百万吨 CO₂ 当量，累积减排潜力为 236.350 百万吨 CO₂ 当量。若选取理想制冷剂作为替代制冷剂，即 2030 年时全部为理想制冷剂，此时累积排放量为 2068.186 百万吨 CO₂ 当量，累积减排潜力为 326.600 百万吨 CO₂ 当量。若选取低 GWP 制冷剂和理想制冷剂共同作为替代制冷剂，即 2030 年时低 GWP 制冷剂和理想制冷剂共存，此时累积排放量为 2105.463 百万吨 CO₂ 当量，累积减排潜力为 289.323 百万吨 CO₂ 当量（表 5-12）。鉴于目前制冷剂发展趋势，选取 2030 年时低 GWP 制冷剂和理想制冷剂共存作为制冷剂替代方案（图 5-25）。

表 5-12 房间空调器不同制冷剂替代方案排放量和减排潜力（单位：百万吨 CO₂ 当量）

排放量/ 减排潜力	基线情景	低 GWP 制冷剂 替代方案	理想制冷剂 替代方案	低 GWP 和理想制冷 剂共同替代方案
2012-2030 年 累积排放量	2394.786	2158.436	2068.186	2105.463
2013-2030 年 累积减排潜力	—	236.350	326.600	289.323

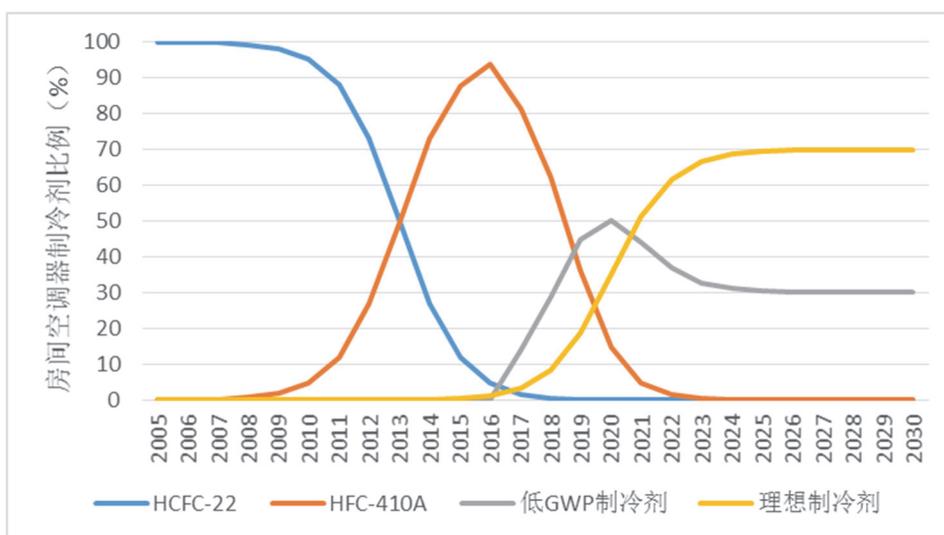


图 5-25 房间空调器制冷剂变化趋势（低 GWP 和理想制冷剂共同作为替代制冷剂）

5.6.4. 最可行减排情景的技术手段

生产环节制冷剂平均单台灌注量需要从 2013-2026 年线性降低到 80%，2030 年时低 GWP 制冷剂和理想制冷剂共存，因此在技术手段层面需要采取如下措施：

- (1) 降低房间空调器制冷剂单台灌注量（降低 20%）
- (2) 房间空调器生产、维修、回收（收集）、拆解处理环节制冷剂高效回收技术和设备
- (3) 提升房间空调器制冷系统密封性技术
- (4) 可燃制冷剂房间空调器安全生产技术
- (5) 使用原规格产品进行房间空调器制冷管路延长操作
- (6) 将废弃房间空调器中制冷剂回收至室外机中的技术
- (7) 已回收制冷剂再生、安全销毁技术和设备

5.6.5. 最可行减排情景的配套政策法规

由于生产、使用、维修、回收（收集）和拆解处理环节非 CO₂ 温室气体排放率到 2025 年时需要降低至 80%，因此在政策法规层面需要采取如下措施：

- (1) 对生产、安装、维修、回收（收集）、拆解处理可燃制冷剂房间空调器人员进行安全和技术培训
- (2) 制定房间空调器 HFCs 淘汰时间表
- (3) 房间空调器绿色设计
 - (3.1) 降低制冷剂单台灌注量（降低 20%）
 - (3.2) 使用环保制冷剂
- (4) 制定房间空调器生产、维修、回收（收集）、拆解处理环节制冷剂回收管理制度
 - (4.1) 对房间空调器生产、维修、回收（收集）、拆解处理环节回收制冷剂人员进行安全和技术培训
 - (4.2) 对房间空调器生产、维修、回收（收集）、拆解处理环节制冷剂回收设备进行认证
 - (4.3) 修订 SB/T 10349-2002《家用电器维修服务部等级评定规范》并加入房间空调器制冷剂回收要求
 - (4.4) 房间空调器制冷剂回收率指标

5.6.6. 最可行减排情景的配套鼓励措施

由于生产、使用、维修、回收（收集）和拆解处理环节非 CO₂ 温室气体排放率到 2025 年时需要降低至 80%，因此在政策法规层面需要采取如下措施：

- (1) 对空调器维修企业购买制冷剂回收设备进行资金补贴（单台价格 10%）
- (2) 加大对房间空调器生产、维修、回收（收集）、拆解处理环节制冷剂高效回收、再生及安全销毁技术和设备研发支持力度
- (3) 加大绿色设计房间空调器市场推广力度
- (4) 对使用可燃制冷剂房间空调器消费者进行宣传教育

6. 家用电冰箱减排潜力及影响因素分析

6.1. 社会保有量与理论报废量

2012 年我国家用电冰箱产量为 8427 万台，家用冷柜产量为 1907.5 万台，合计 10334.5 万台。家用电冰箱和家用冷柜合计出口量为 3323.97 万台，出口量与产量之比为 32.16%。家用电冰箱和家用冷柜合计进口量为 27.85 万台，进口量与产量之比为 0.27%。家用电冰箱和家用冷柜产量、进出口量和国内销量数据列于表 6-1 中。

表 6-1 家用电冰箱和家用冷柜产量、进出口量和国内销量（万台）

年份	家用电冰箱 产量	家用冷柜 产量	合计 产量	合计 进口量	合计 出口量	合计 国内销量
1992	485.76	170.02	655.78	2.81	40.87	617.72
1993	596.66	208.83	805.49	7.99	46.36	767.12
1994	768.12	268.84	1036.96	7.37	57.30	987.03
1995	918.54	322.67	1241.21	13.18	98.86	1155.53
1996	979.65	355.28	1334.93	7.51	104.26	1238.18
1997	1044.43	356.22	1400.65	4.47	130.99	1274.13
1998	1060.00	361.46	1421.46	3.37	165.43	1259.40
1999	1199.34	392.01	1591.35	2.92	244.32	1349.95
2000	1278.48	384.22	1662.70	1.94	405.38	1259.26
2001	1349.08	397.36	1746.44	1.76	550.05	1198.15
2002	1598.87	464.63	2063.50	2.66	748.33	1317.83
2003	2207.50	563.52	2771.02	5.32	1038.81	1737.53
2004	3033.38	628.28	3661.66	7.11	1545.48	2123.29
2005	3105.58	749.29	3854.87	9.45	1763.88	2100.44
2006	4199.55	818.39	5017.94	9.91	2165.78	2862.08
2007	4415.76	1186.98	5602.74	12.46	2536.18	3079.02
2008	4756.90	1177.56	5934.46	13.91	2485.35	3463.02
2009	6063.58	1258.03	7321.61	11.39	2364.08	4968.93
2010	7546.20	1709.90	9256.10	15.08	3066.19	6204.99
2011	8699.20	1872.80	10572.00	18.79	3271.24	7319.55
2012	8427.00	1907.50	10334.50	27.85	3323.97	7038.38

数据来源：产量数据来自《中国统计年鉴》；进出口量数据来自《中国海关统计年鉴》

注：国内销量=产量+进口量-出口量（忽略库存变化量）

根据《中国统计年鉴》数据，目前中国平均户规模为 3 人/户左右，用 logistic

函数对中国 1960-2012 年人口数进行拟合，外推至 2030 年的人口为 14.38 亿，此时全中国将会有 4.80 亿户。假设每户拥有 1.5 台冰箱，则 2030 年中国家用电冰箱社会保有量为 7.19 亿台，即社会保有量存在一上限值。

根据 4.3.4 家用电冰箱和房间空调器国内销量和报废量预测模型可知，社会保有量为国内销量的函数，根据目前已有的国内销量数据可以计算出中国家用电冰箱 1994-2012 年的社会保有量，然后对其变化趋势进行预测，最后通过数学处理计算出 2013-2030 年每年的国内销量，然后可以得到制冷剂排放量。家用电冰箱社会保有量如图 6-1 所示。

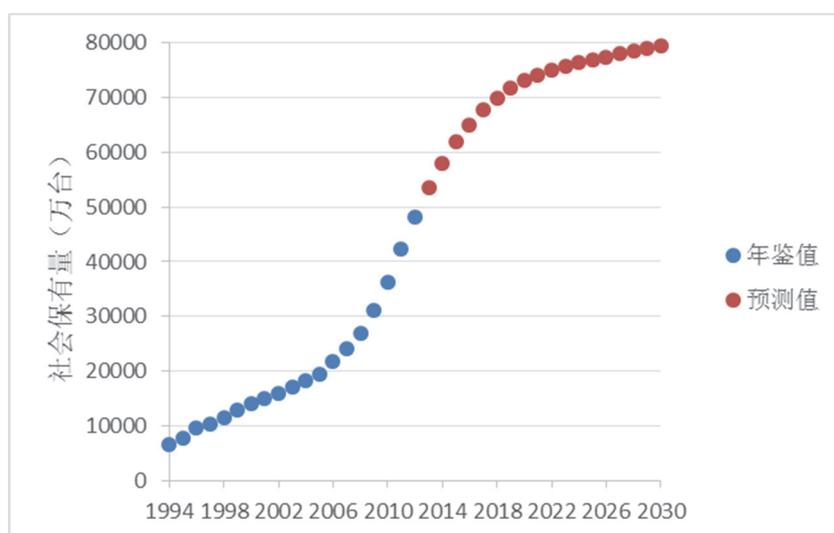


图 6-1 家用电冰箱社会保有量年鉴值和预测值

数学处理后得到的家用电冰箱国内销量如图 6-2 所示。

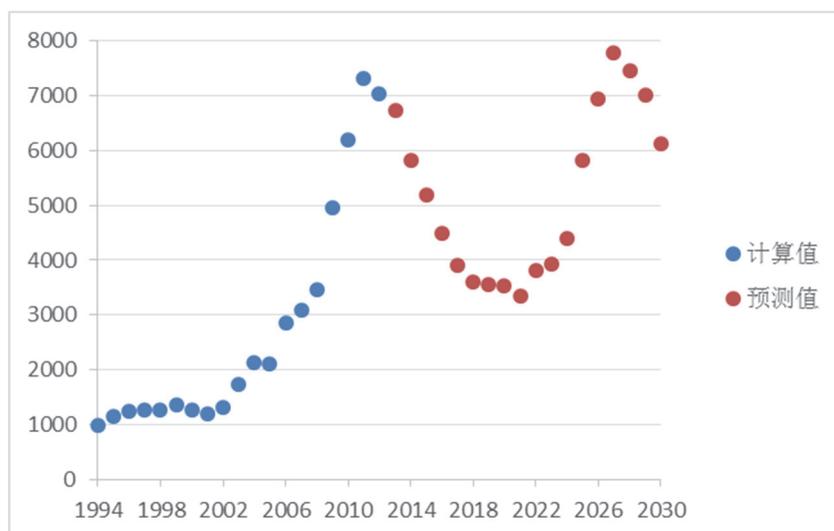


图 6-2 家用电冰箱国内销量计算值和预测值

6.2. 影响制冷剂和发泡剂排放量的参数设定

6.2.1. 制冷剂

为计算家用电冰箱 1994-2012 年全生命周期五环节排放量，需要对计算参数进行赋值。计算生产、使用、维修、回收（收集）和拆解处理五环节计算参数和关键参数取值如表 6-2 所示。其中，前 7 个参数为关键参数。表 6-2 中数据来源于现场及问卷调查。

表 6-2 计算 CFC-12 和 HC-600a 制冷剂五环节排放量所需参数

制冷剂	环节	参数名称	单位	销售时间					
				1994	1995	1996	...	2011	2012
CFC-12	生产	M_N^N	kg	0.2	0.2	0.2	...	0.2	0.2
	生产	PER_N^N	%	3	3	3	...	3	3
	生产	制冷剂比例	%	100	98.2	95.3	...	0	0
	使用	$AOER_N^N$	%	0	0	0	...	0	0
	维修	RPA_{N+i}^T	%	15	15	15	...	15	15
	回收	RYA_{N+i}^T	%	70	70	70	...	70	70
	拆解	DAA_{N+i}^T	%	80	80	80	...	80	80
	使用	$AER(j)_{N+i}^N$	%	0.04	0.04	0.04	...	0.04	0.04
	使用	$MNER(j)_{N+i}^N$	%	20	20	20	...	20	20
	使用	$MPER(j)_{N+i}^N$	%	64	64	64	...	64	64
	使用	$MTER(j)_{N+i}^N$	%	16	16	16	...	16	16
	使用	$RRR(j)_{N+i}^N$	%	80	80	80	...	80	80
	维修	$RPA(j)_{N+i}^N$	%	15	15	15	...	15	15
	维修	$RPB(j)_{N+i}^N$	%	10	10	10	...	10	10
	维修	$RPC(j)_{N+i}^N$	%	75	75	75	...	75	75
	回收	$RYA(j)_{N+i}^N$	%	70	70	70	...	70	70
	回收	$RYB(j)_{N+i}^N$	%	10	10	10	...	10	10
	回收	$RYC(j)_{N+i}^N$	%	20	20	20	...	20	20
	拆解	$DAA(j)_{N+i}^N$	%	80	80	80	...	80	80
拆解	$DAB(j)_{N+i}^N$	%	20	20	20	...	20	20	
HC-600a	生产	M_N^N	kg	0.06	0.06	0.06	...	0.06	0.06
	生产	PER_N^N	%	3	3	3	...	3	3
	生产	制冷剂比例	%	0	1.8	4.7	...	100	100
	使用	$AOER_N^N$	%	0	0	0	...	0	0
	维修	RPA_{N+i}^T	%	20	20	20	...	20	20
	回收	RYA_{N+i}^T	%	70	70	70	...	70	70
	拆解	DAA_{N+i}^T	%	80	80	80	...	80	80
	使用	$AER(j)_{N+i}^N$	%	0.04	0.04	0.04	...	0.04	0.04
	使用	$MNER(j)_{N+i}^N$	%	20	20	20	...	20	20

使用	$MPER(j)_{N+i}^N$	%	64	64	64	...	64	64
使用	$MTER(j)_{N+i}^N$	%	16	16	16	...	16	16
使用	$RRR(j)_{N+i}^N$	%	80	80	80	...	80	80
维修	$RPA(j)_{N+i}^N$	%	20	20	20	...	20	20
维修	$RPB(j)_{N+i}^N$	%	0	0	0	...	0	0
维修	$RPC(j)_{N+i}^N$	%	80	80	80	...	80	80
回收	$RYA(j)_{N+i}^N$	%	70	70	70	...	70	70
回收	$RYB(j)_{N+i}^N$	%	0	0	0	...	0	0
回收	$RYC(j)_{N+i}^N$	%	30	30	30	...	30	30
拆解	$DAA(j)_{N+i}^N$	%	80	80	80	...	80	80
拆解	$DAB(j)_{N+i}^N$	%	20	20	20	...	20	20

数据来源：现场及问卷调研

6.2.2. 发泡剂

家用电冰箱发泡剂排放环节和家用电冰箱制冷剂排放环节不同，发泡剂只在生产和拆解处理环节发生排放，因此在使用 4.2.3 和 4.2.4 中提出的模型计算发泡剂排放量时需要对模型中的参数做出相应调整。计算生产、使用、维修、回收（收集）和拆解处理五环节计算参数和关键参数取值如表 6-3 所示。其中，前 7 个参数为关键参数。表 6-3 中数据来源于现场及问卷调研。

表 6-3 计算 CFC-11 和环戊烷发泡剂五环节排放量所需参数

发泡剂	环节	参数名称	单位	销售时间					
				1994	1995	1996	...	2011	2012
CFC-11	生产	M_N^N	kg	0.9	0.9	0.9	...	0.9	0.9
	生产	PER_N^N	%	3	3	3	...	3	3
	生产	发泡剂比例	%	100	98.2	95.3	...	0	0
	使用	$AOER_N^N$	%	0	0	0	...	0	0
	维修	RPA_{N+i}^T	%	0	0	0	...	0	0
	回收	RYA_{N+i}^T	%	0	0	0	...	0	0
	拆解	DAA_{N+i}^T	%	80	80	80	...	80	80
	使用	$AER(j)_{N+i}^N$	%	0	0	0	...	0	0
	使用	$MNER(j)_{N+i}^N$	%	100	100	100	...	100	100
	使用	$MPER(j)_{N+i}^N$	%	0	0	0	...	0	0
	使用	$MTER(j)_{N+i}^N$	%	0	0	0	...	0	0
	使用	$RRR(j)_{N+i}^N$	%	0	0	0	...	0	0
	维修	$RPA(j)_{N+i}^N$	%	0	0	0	...	0	0
	维修	$RPB(j)_{N+i}^N$	%	0	0	0	...	0	0
	维修	$RPC(j)_{N+i}^N$	%	0	0	0	...	0	0
回收	$RYA(j)_{N+i}^N$	%	0	0	0	...	0	0	

	回收	$RYB(j)_{N+i}^N$	%	0	0	0	...	0	0
	回收	$RYC(j)_{N+i}^N$	%	100	100	100	...	100	100
	拆解	$DAA(j)_{N+i}^N$	%	80	80	80	...	80	80
	拆解	$DAB(j)_{N+i}^N$	%	20	20	20	...	20	20
环戊烷	生产	M_N^N	kg	0.8	0.8	0.8	...	0.8	0.8
	生产	PER_N^N	%	3	3	3	...	3	3
	生产	发泡剂比例	%	0	1.8	4.7	...	100	100
	使用	$AOER_N^N$	%	0	0	0	...	0	0
	维修	RPA_{N+i}^T	%	0	0	0	...	0	0
	回收	RYA_{N+i}^T	%	0	0	0	...	0	0
	拆解	DAA_{N+i}^T	%	80	80	80	...	80	80
	使用	$AER(j)_{N+i}^N$	%	0	0	0	...	0	0
	使用	$MNER(j)_{N+i}^N$	%	100	100	100	...	100	100
	使用	$MPER(j)_{N+i}^N$	%	0	0	0	...	0	0
	使用	$MTER(j)_{N+i}^N$	%	0	0	0	...	0	0
	使用	$RRR(j)_{N+i}^N$	%	0	0	0	...	0	0
	维修	$RPA(j)_{N+i}^N$	%	0	0	0	...	0	0
	维修	$RPB(j)_{N+i}^N$	%	0	0	0	...	0	0
	维修	$RPC(j)_{N+i}^N$	%	0	0	0	...	0	0
	回收	$RYA(j)_{N+i}^N$	%	0	0	0	...	0	0
	回收	$RYB(j)_{N+i}^N$	%	0	0	0	...	0	0
	回收	$RYC(j)_{N+i}^N$	%	100	100	100	...	100	100
	拆解	$DAA(j)_{N+i}^N$	%	80	80	80	...	80	80
	拆解	$DAB(j)_{N+i}^N$	%	20	20	20	...	20	20

数据来源：现场及问卷调查

6.3. 基线情景分析与排放量

6.3.1. 基线情景分析

为计算家用电冰箱非 CO₂ 温室气体基线情景的排放量，需要根据所设定的情景对参数进行预测，以得到 2013-2030 年的计算参数。计算家用电冰箱非 CO₂ 温室气体基线情景排放量所需参数列于表 6-4 中，计算家用电冰箱非 CO₂ 温室气体基线情景排放量所用制冷剂和发泡剂变化趋势如图 6-3 所示，家用电冰箱非 CO₂ 温室气体（包括 CFC-12 制冷剂和 CFC-11 发泡剂）基线情景排放量如图 6-4 和图 6-5 所示。

表 6-4 计算家用电冰箱非 CO₂ 温室气体基线情景排放量所需参数（2012-2030 年）

环节	参数名称	单位	参数 2012 年取值				参数 2013-2030 年取值
			CFC 12	HC 600a	CFC 11	环戊烷	
生产	M_N^N	kg	0.2	0.06	0.9	0.8	2012-2030 年保持不变
生产	PER_N^N	%	3	3	3	3	
生产	制冷剂比例	%	0	100	0	100	2030 年全部为 HC-600a 和环戊烷
使用	$AOER_N^N$	%	0	0	0	0	2012-2030 年保持不变
维修	RPA_{N+i}^T	%	15	20	0	0	
回收	RYA_{N+i}^T	%	70	70	0	0	
拆解	DAA_{N+i}^T	%	80	80	80	80	
使用	$AER(j)_{N+i}^N$	%	0.04	0.04	0	0	
使用	$MNER(j)_{N+i}^N$	%	20	20	100	100	
使用	$MPER(j)_{N+i}^N$	%	64	64	0	0	
使用	$MTER(j)_{N+i}^N$	%	16	16	0	0	
使用	$RRR(j)_{N+i}^N$	%	80	80	0	0	
维修	$RPA(j)_{N+i}^N$	%	15	20	0	0	
维修	$RPB(j)_{N+i}^N$	%	10	0	0	0	
维修	$RPC(j)_{N+i}^N$	%	75	80	0	0	
回收	$RYA(j)_{N+i}^N$	%	70	70	0	0	
回收	$RYB(j)_{N+i}^N$	%	10	0	0	0	
回收	$RYC(j)_{N+i}^N$	%	20	30	100	100	
拆解	$DAA(j)_{N+i}^N$	%	80	80	80	80	
拆解	$DAB(j)_{N+i}^N$	%	20	20	20	20	

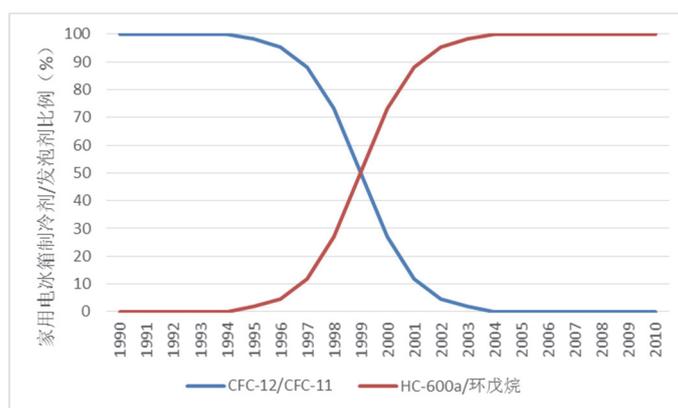


图 6-3 家用电冰箱制冷剂和发泡剂变化趋势 (基线情景)

6.3.2. 基线年排放量

家用电冰箱非 CO₂ 温室气体(CFC-12 制冷剂和 CFC-11 发泡剂)基准年(2012

年) 排放量为 64.835 百万吨 CO₂ 当量。分环节和分制冷剂排放量如图 6-4 和图 6-5 所示。

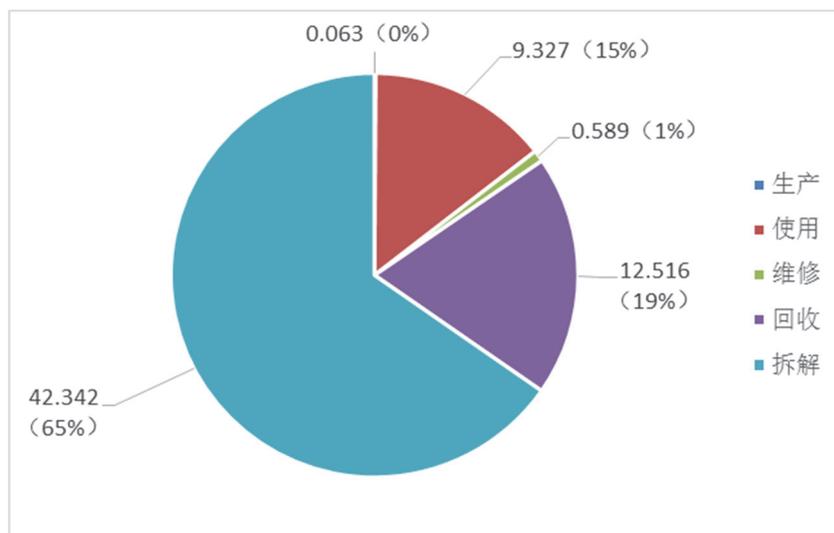


图 6-4 家用电冰箱基准年分环节排放量 (单位: 百万吨 CO₂ 当量)

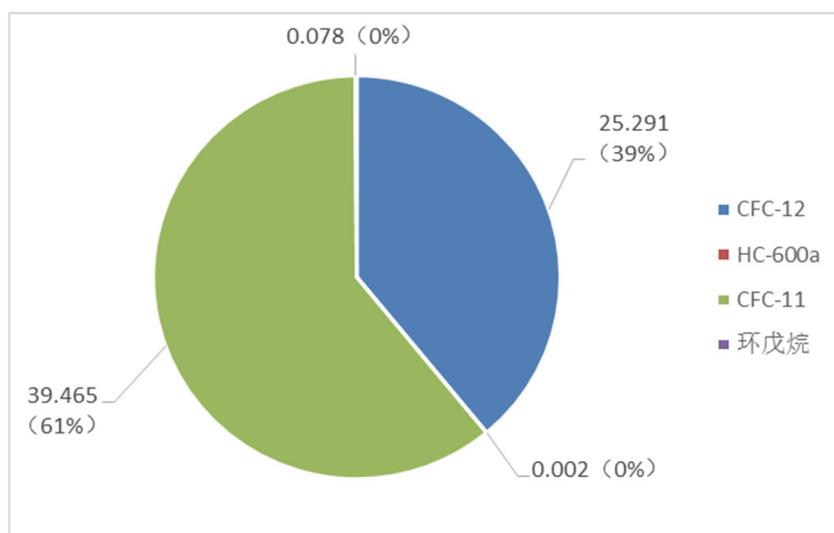


图 6-5 家用电冰箱基准年分制冷剂排放量 (单位: 百万吨 CO₂ 当量)

通过图 6-4 可以看出, 由于废弃家用电冰箱发泡剂在拆解处理环节发生排放, 同时还有制冷剂排放, 因而拆机处理环节非 CO₂ 温室气体排放量位居首位。由于废弃家用电冰箱回收(收集)环节制冷剂排放率为 70%, 加之废弃整机回收(收集)量逐渐上升, 因而回收(收集)环节非 CO₂ 温室气体排放量位居第二位。由于故障家用电冰箱中制冷剂在使用时发生排放, 加之故障产品绝大部分需要维修制冷系统, 因而使用环节制冷剂排放量位居第三位。

通过图 6-5 可以看出, 基准年(2012 年)家用电冰箱 CFC-11 发泡剂比例为

61%，CFC-12 制冷剂比例为 39%，这与家用电冰箱单台发泡剂灌注量大于制冷剂灌注量有关。

6.3.3. 基线情景排放量

家用电冰箱非 CO₂ 温室气体基线情景拆解处理环节 2012-2030 年累积排放量为 163.233 百万吨 CO₂ 当量，由于家用电冰箱拆解处理环节制冷剂和发泡剂回收（收集）情况不甚理想，因此拆解处理环节排放量位居首位。家用电冰箱非 CO₂ 温室气体基线情景回收（收集）环节 2012-2030 年累积排放量为 45.518 百万吨 CO₂ 当量，废弃家用电冰箱在回收运输过程中由于制冷系统磕碰导致制冷剂排放，因此回收（收集）环节排放量居次席。家用电冰箱非 CO₂ 温室气体基线情景使用环节 2012-2030 年累积排放量为 31.508 百万吨 CO₂ 当量，家用电冰箱在日常使用过程中有部分产品发生制冷剂的较大量的排放，因此使用环节排放量位居第三。家用电冰箱非 CO₂ 温室气体基线情景维修环节 2012-2030 年累积排放量为 1.499 百万吨 CO₂ 当量，故障家用电冰箱在维修制冷系统时大部分采取排放制冷剂的方法，因此维修环节排放量位居第四。家用电冰箱非 CO₂ 温室气体基线情景生产环节 2012-2030 年累积排放量为 1.028 百万吨 CO₂ 当量，因为 2007 年起中国国内新生产的家用电冰箱不再使用 CFC-12 作为制冷剂，CFC-11 作为发泡剂了。

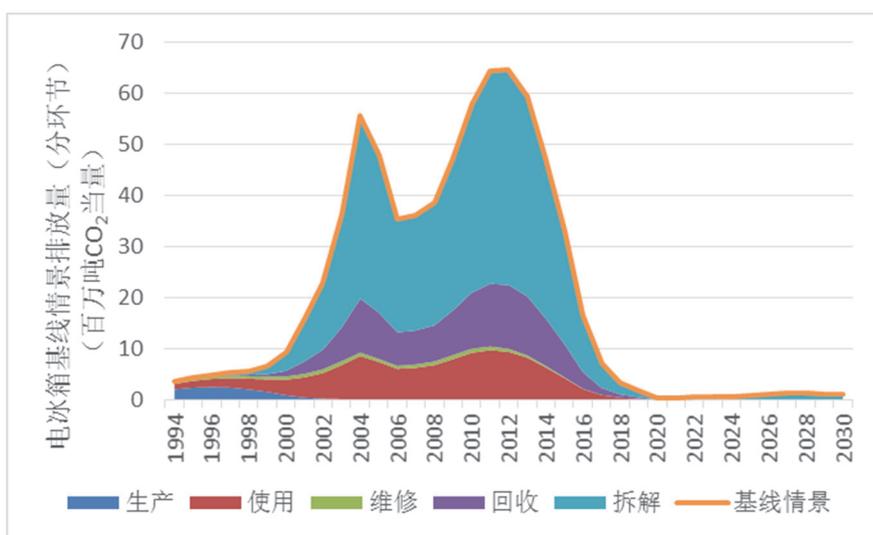
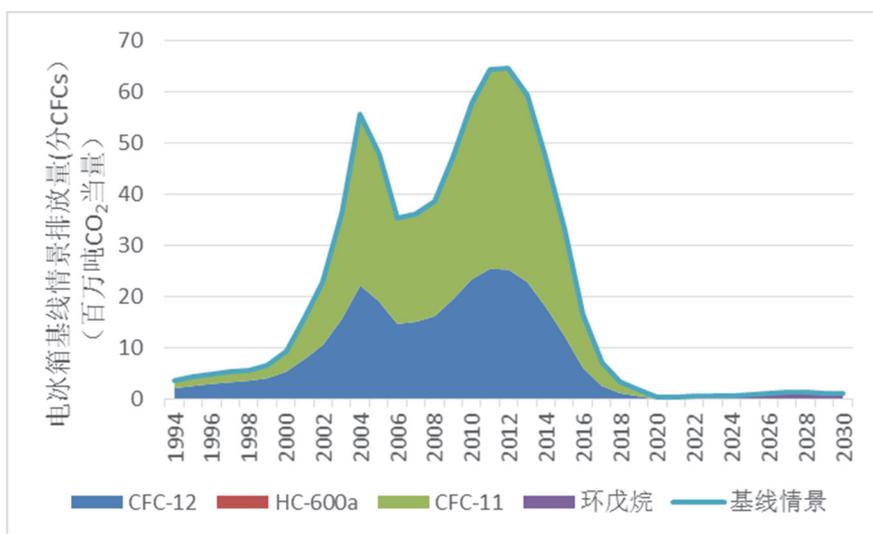


图 6-6 家用电冰箱非 CO₂ 温室气体基线情景排放量（分环节）

家用电冰箱非 CO₂ 温室气体基线情景排放量（分 CFCs）如图 6-7 所示。

图 6-7 家用电冰箱非 CO₂ 温室气体基线情景排放量 (分 CFCs)

家用电冰箱非 CO₂ 温室气体基线情景 CFC-12 制冷剂 2012-2030 年累积排放量为 88.797 百万吨 CO₂ 当量，HC-600a 制冷剂累积排放量为 0.148 百万吨 CO₂ 当量，CFC-11 发泡剂累积排放量为 143.365 百万吨 CO₂ 当量，环戊烷发泡剂累积排放量为 10.478 百万吨 CO₂ 当量，总排放量为 242.787 百万吨 CO₂ 当量。因为 CFC-11 发泡剂单台用量为 CFC-12 制冷剂单台用量 4.5 倍，所以 CFC-11 发泡剂排放量大于 CFC-12 制冷剂排放量。

6.4. 理想情景分析与减排潜力

6.4.1. 理想情景分析

为计算家用电冰箱非 CO₂ 温室气体理想情景排放量，需要对 3.3.3 中的参数根据所设定的情景进行预测，以得到 2013-2030 年的计算参数。计算家用电冰箱非 CO₂ 温室气体理想情景排放量所需参数列于表 6-5 中，其中，前 7 个参数为关键参数。计算家用电冰箱非 CO₂ 温室气体理想情景排放量所用制冷剂和发泡剂变化趋势如图 6-3 所示。

表 6-5 计算家用电冰箱非 CO₂ 温室气体理想情景排放量所需参数 (2012-2030 年)

环节	参数名称	单位	参数 2012 年取值				参数 2013-2030 年取值
			CFC 12	HC 600a	CFC 11	环戊烷	
生产	M_N^N	kg	0.2	0.06	0.9	0.8	2013-2026 年线性降低到 80%，2027-2030 年维持 2026 年水平。

生产	PER_N^N	%	3	3	3	3	2013 年起降低至 77.5%； 2015 年起降低至 55.0%； 2020 年起降低至 32.0%； 2025 年起降低至 10.0%。
生产	制冷剂比例	%	0	100	0	100	2030 年全部为 HC-600a 和环戊烷
使用	$AOER_N^N$	%	0	0	0	0	2012-2030 年保持不变。
维修	RPA_{N+i}^T	%	15	20	0	0	2013 年起降低至 77.5%； 2015 年起降低至 55.0%； 2020 年起降低至 32.0%； 2025 年起降低至 10.0%。
回收	RYA_{N+i}^T	%	70	70	0	0	
拆解	DAA_{N+i}^T	%	80	80	80	80	
使用	$AER(j)_{N+i}^N$	%	0.04	0.04	0	0	2013-2026 年线性降低到 80%， 2027-2030 年维持 2026 年水平。
使用	$MNER(j)_{N+i}^N$	%	20	20	100	100	$1 - MPER(j)_{N+i}^N - MPER(j)_{N+i}^N$
使用	$MPER(j)_{N+i}^N$	%	64	64	0	0	2012-2030 年保持不变。
使用	$MTER(j)_{N+i}^N$	%	16	16	0	0	2012-2030 年保持不变。
使用	$RRR(j)_{N+i}^N$	%	80	80	0	0	2012-2030 年保持不变。
维修	$RPA(j)_{N+i}^N$	%	15	20	0	0	2013 年起降低至 77.5%； 2015 年起降低至 55.0%； 2020 年起降低至 32.0%； 2025 年起降低至 10.0%。
维修	$RPB(j)_{N+i}^N$	%	10	0	0	0	$1 - RPA(j)_{N+i}^N - RPC(j)_{N+i}^N$
维修	$RPC(j)_{N+i}^N$	%	75	80	0	0	2012-2030 年保持不变。
回收	$RYA(j)_{N+i}^N$	%	70	70	0	0	2013 年起降低至 77.5%； 2015 年起降低至 55.0%； 2020 年起降低至 32.0%； 2025 年起降低至 10.0%。
回收	$RYB(j)_{N+i}^N$	%	10	0	0	0	$1 - RYA(j)_{N+i}^N - RYC(j)_{N+i}^N$
回收	$RYC(j)_{N+i}^N$	%	20	30	100	100	2012-2030 年保持不变。
拆解	$DAA(j)_{N+i}^N$	%	80	80	80	80	2013 年起降低至 77.5%； 2015 年起降低至 55.0%； 2020 年起降低至 32.0%； 2025 年起降低至 10.0%。
拆解	$DAB(j)_{N+i}^N$	%	20	20	20	20	$1 - DAA(j)_{N+i}^N$

6.4.2. 理想情景排放量

家用电冰箱非 CO₂ 温室气体（包括 CFC-12 制冷剂和 CFC-11 发泡剂）理想情景排放量如图 6-8 所示。

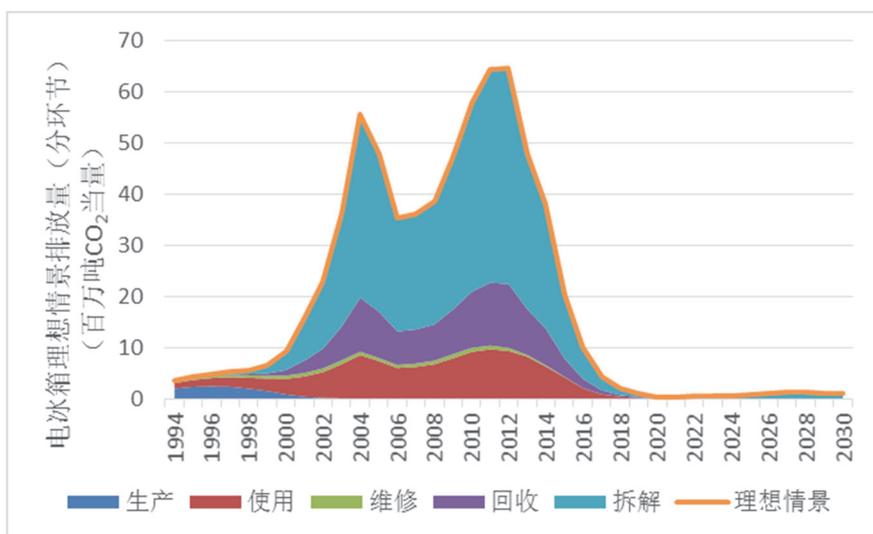


图 6-8 家用电冰箱非 CO₂ 温室气体理想情景排放量（分环节）

家用电冰箱非 CO₂ 温室气体理想情景使用环节 2012-2030 年累积排放量为 31.508 百万吨 CO₂ 当量，与基线情景使用环节累积排放量相同。由于家用电冰箱使用环节平均排放率由产品生产时间决定，即某一年生产的家用电冰箱，其整个生命周期内使用环节平均排放率不再改变，由于 2007 年起中国国内不再生产 CFC-12 制冷剂 and CFC-11 发泡剂家用电冰箱，因此理想情景和基线情景使用环节累积排放量相同。生产、维修、回收（收集）和拆解处理环节 2012-2030 年累积排放量分别为 1.028、1.249、35.393 和 128.991 百万吨 CO₂ 当量，目前为 CFC-12 制冷剂 and CFC-11 发泡剂家用电冰箱生命周期末期，因此理想情景累积排放量与基线情景相比降幅并不显著。

家用电冰箱非 CO₂ 温室气体理想情景排放量（分 CFCs）如图 6-9 所示。

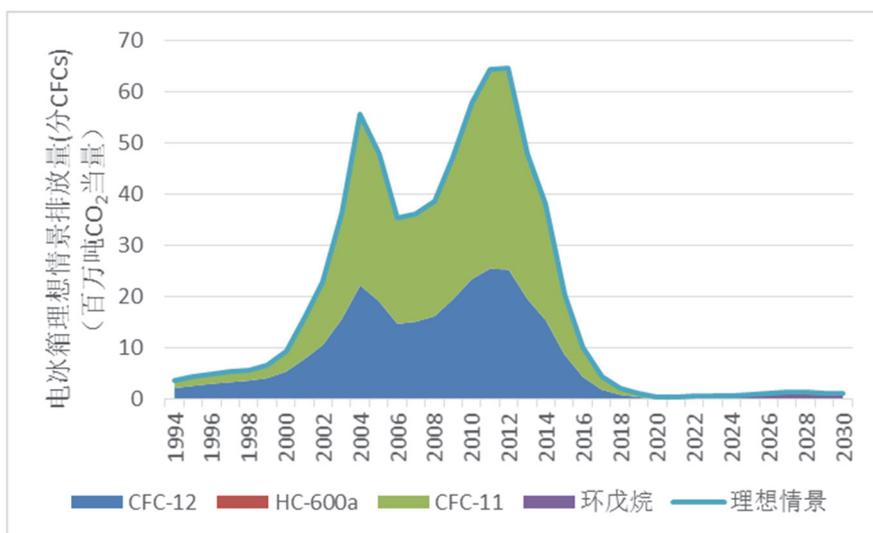


图 6-9 家用电冰箱非 CO₂ 温室气体理想情景排放量（分 CFCs）

家用电冰箱非 CO₂ 温室气体理想情景 CFC-12 制冷剂 2012-2030 年累积排放量为 76.107 百万吨 CO₂ 当量，HC-600a 制冷剂累积排放量为 0.148 百万吨 CO₂ 当量，CFC-11 发泡剂累积排放量为 111.437 百万吨 CO₂ 当量，环戊烷发泡剂累积排放量为 10.478 百万吨 CO₂ 当量，总排放量为 198.169 百万吨 CO₂ 当量。目前为 CFC-12 制冷剂和 CFC-11 发泡剂家用电冰箱生命周期末期，因此 CFC-12 制冷剂和 CFC-11 发泡剂排放量并未出现显著下降。

6.4.3. 理想情景减排潜力

家用电冰箱非 CO₂ 温室气体基线情景排放量与理想情景排放量之差即为家用电冰箱理想情景减排潜力，结果如图 6-10 和图 6-11 所示。

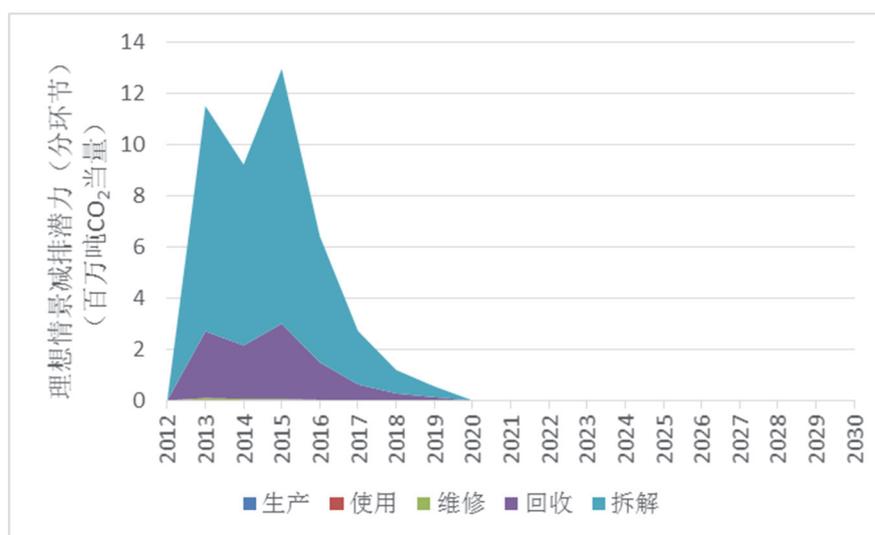


图 6-10 家用电冰箱非 CO₂ 温室气体理想情景减排潜力（分环节）

家用电冰箱非 CO₂ 温室气体生产、使用、维修、回收（收集）和拆解处理环节 2013-2030 年累积理想情景减排潜力分别为 0、0、0.250、10.125 和 34.242 百万吨 CO₂ 当量，其中拆解处理环节理想情景减排潜力最大。图 6-8 的结果表明，家用电冰箱全生命周期各环节排放率降低 90% 对拆解处理环节影响最大，其次为回收（收集）和维修环节。通过技术手段、政策法规和鼓励措施等方式降低回收（收集）环节排放率会显著降低家用电冰箱非 CO₂ 温室气体排放量。

家用电冰箱非 CO₂ 温室气体理想情景减排潜力（分 CFCs）如图 6-11 所示。

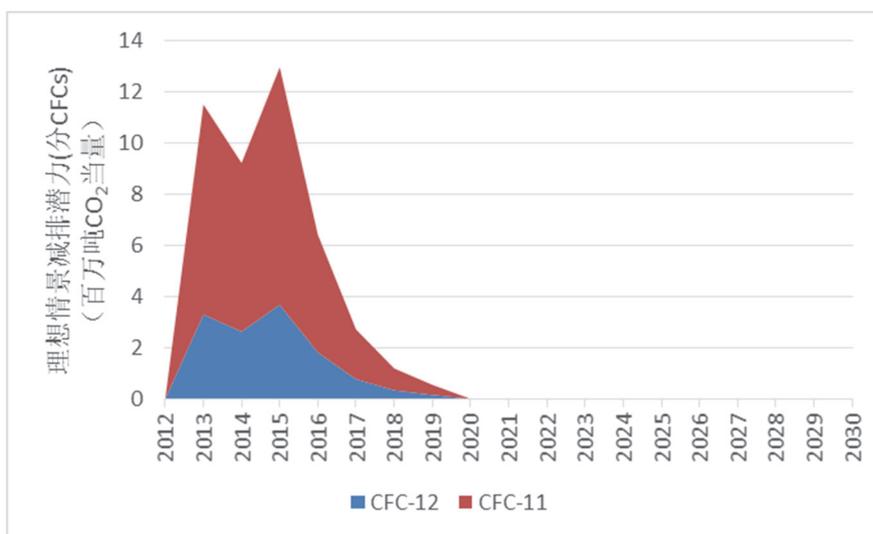


图 6-11 家用电冰箱非 CO₂ 温室气体理想情景减排潜力 (分 CFCs)

家用电冰箱非 CO₂ 温室气体 CFC-12 制冷剂 2013-2030 年累积理想情景减排潜力为 12.690 百万吨 CO₂ 当量，CFC-11 发泡剂累积理想情景减排潜力为 31.928 百万吨 CO₂ 当量，HC-600a 制冷剂和环戊烷发泡剂减排潜力为 0，因为基线情景和理想情景排放率相同，总理想情景减排潜力为 44.618 百万吨 CO₂ 当量。图 6-9 的结果表明，家用电冰箱 2013-2030 年累积减排潜力主要由 CFC-11 发泡剂构成，因为 CFC-11 发泡剂单台用量为 CFC-12 制冷剂单台用量 4.5 倍左右，所以 CFC-11 发泡剂排放量大于 CFC-12 制冷剂排放量。

6.5. 最可行减排情景分析与减排潜力

6.5.1. 最可行减排情景分析

课题组在 4.2 提出了家用电冰箱和房间空调器非 CO₂ 温室气体全生命周期各环节减排能力评估方法，课题组在参考欧盟、日本和美国等国家和地区制冷剂回收情况及“节能惠民工程”所取得经验和成果的基础上，提出制冷剂/发泡剂平均单台灌注量降低 20%，房间空调器基线情景 2030 年理想制冷剂比例提高 20%，并且家用电冰箱和房间空调器全生命周期五环节非 CO₂ 温室气体排放率降低 20% 这几个关键参数组合作为**最可行情景**，并在此基础上确定减排能力评估指标参数，评估各环节减排能力。计算家用电冰箱非 CO₂ 温室气体最可行情景排放量所需参数列于表 6-6 中，其中，前 7 个参数为关键参数。计算家用电冰箱非 CO₂ 温室气体最可行情景排放量所用制冷剂变化趋势如图 6-3 所示(家用电冰箱基线情景，

理想情景和最可行减排情景制冷剂/发泡剂变化趋势相同, 因为已完成 CFCs 的削减替代)。

表 6-6 计算家用电冰箱非 CO₂ 温室气体最可行减排情景排放量所需参数 (2012-2030 年)

环节	参数名称	单位	参数 2012 年取值				参数 2013-2030 年取值
			CFC 12	HC 600a	CFC 11	环戊烷	
生产	M_N^N	kg	0.2	0.06	0.9	0.8	2013-2026 年线性降低到 80%, 2027-2030 年维持 2026 年水平。
生产	PER_N^N	%	3	3	3	3	2013 年起降低至 95.0%; 2015 年起降低至 90.0%; 2020 年起降低至 85.0%; 2025 年起降低至 80.0%。
生产	制冷剂比例	%	0	100	0	100	2030 年全部为 HC-600a 和环戊烷
使用	$AOER_N^N$	%	0	0	0	0	2012-2030 年保持不变。
维修	RPA_{N+i}^T	%	15	20	0	0	2013 年起降低至 95.0%; 2015 年起降低至 90.0%; 2020 年起降低至 85.0%; 2025 年起降低至 80.0%。
回收	RYA_{N+i}^T	%	70	70	0	0	
拆解	DAA_{N+i}^T	%	80	80	80	80	
使用	$AER(j)_{N+i}^N$	%	0.04	0.04	0	0	2013-2026 年线性降低到 80%, 2027-2030 年维持 2026 年水平。
使用	$MNER(j)_{N+i}^N$	%	20	20	100	100	$1 - MPER(j)_{N+i}^N - MPER(j)_{N+i}^N$
使用	$MPER(j)_{N+i}^N$	%	64	64	0	0	2012-2030 年保持不变。
使用	$MTER(j)_{N+i}^N$	%	16	16	0	0	2012-2030 年保持不变。
使用	$RRR(j)_{N+i}^N$	%	80	80	0	0	2012-2030 年保持不变。
维修	$RPA(j)_{N+i}^N$	%	15	20	0	0	2013 年起降低至 95.0%; 2015 年起降低至 90.0%; 2020 年起降低至 85.0%; 2025 年起降低至 80.0%。
维修	$RPB(j)_{N+i}^N$	%	10	0	0	0	$1 - RPA(j)_{N+i}^N - RPC(j)_{N+i}^N$
维修	$RPC(j)_{N+i}^N$	%	75	80	0	0	2012-2030 年保持不变。
回收	$RYA(j)_{N+i}^N$	%	70	70	0	0	2013 年起降低至 95.0%; 2015 年起降低至 90.0%; 2020 年起降低至 85.0%; 2025 年起降低至 80.0%。
回收	$RYB(j)_{N+i}^N$	%	10	0	0	0	$1 - RYA(j)_{N+i}^N - RYC(j)_{N+i}^N$
回收	$RYC(j)_{N+i}^N$	%	20	30	100	100	2012-2030 年保持不变。
拆解	$DAA(j)_{N+i}^N$	%	80	80	80	80	2013 年起降低至 77.5%; 2015 年起降低至 55.0%; 2020 年起降低至 32.0%; 2025 年起降低至 10.0%。
拆解	$DAB(j)_{N+i}^N$	%	20	20	20	20	$1 - DAA(j)_{N+i}^N$

6.5.2. 最可行减排情景排放量

家用电冰箱非 CO₂ 温室气体最可行减排情景 2012-2030 年累积排放量为 222.247 百万吨 CO₂ 当量，其中使用环节 2012-2030 年累积排放量为 31.508 百万吨 CO₂ 当量，与基线情景使用环节累积排放量相同。由于家用电冰箱使用环节平均排放率由产品生产时间决定，即某一年生产的家用电冰箱，其整个生命周期内使用环节平均排放率不再改变，由于 2007 年起中国国内不再生产 CFC-12 制冷剂 and CFC-11 发泡剂家用电冰箱，因此最可行减排情景和基线情景使用环节累积排放量相同。生产、维修、回收（收集）和拆解处理环节 2012-2030 年累积排放量分别为 1.028、1.444、43.268 和 155.624 百万吨 CO₂ 当量，与基线情景相比出现不同程度下降，主要因为最可行减排情景中生产、维修、回收（收集）和拆解处理环节排放率降低至基线情景的 20%。

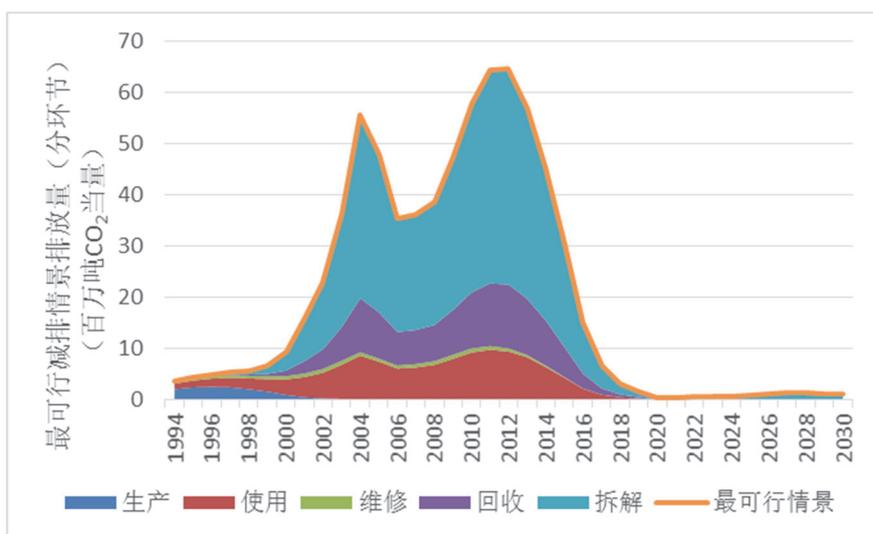


图 6-12 家用电冰箱非 CO₂ 温室气体最可行减排情景排放量（分环节）

家用电冰箱非 CO₂ 温室气体最可行减排情景排放量（分 CFCs）如图 6-13 所示。

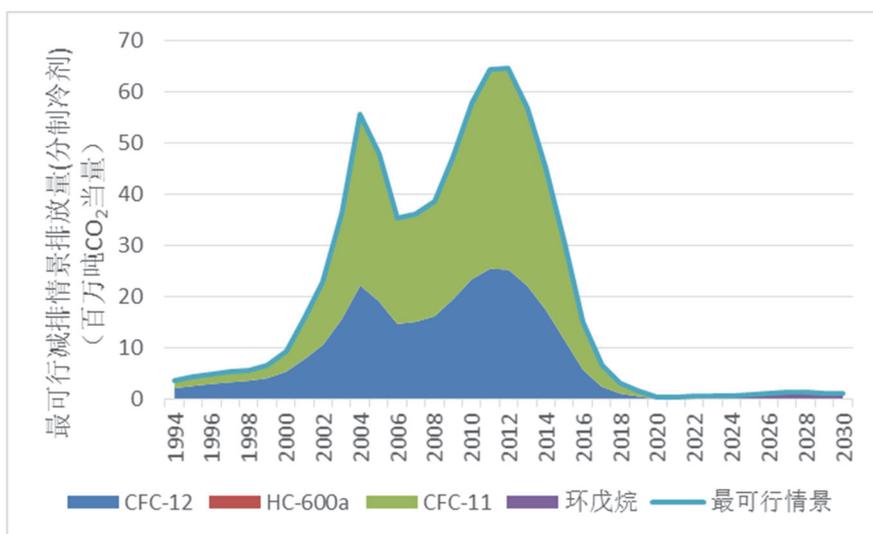


图 6-13 家用电冰箱非 CO₂ 温室气体最可行减排情景排放量 (分 CFCs)

家用电冰箱非 CO₂ 温室气体最可行减排情景 CFC-12 制冷剂 2012-2030 年累积排放量为 85.977 百万吨 CO₂ 当量, HC-600a 制冷剂累积排放量为 0.148 百万吨 CO₂ 当量, CFC-11 发泡剂累积排放量为 136.270 百万吨 CO₂ 当量, 环戊烷发泡剂累积排放量为 10.478 百万吨 CO₂ 当量, 总排放量为 232.872 百万吨 CO₂ 当量。目前为 CFC-12 制冷剂和 CFC-11 发泡剂家用电冰箱生命周期末期, 因此 CFC-12 制冷剂和 CFC-11 发泡剂排放量并未出现显著下降。

6.5.3. 最可行减排情景减排潜力

家用电冰箱非 CO₂ 温室气体基线情景排放量与最可行减排情景排放量之差即为家用电冰箱最可行减排情景减排潜力, 结果如图 6-14 和图 6-15 所示。

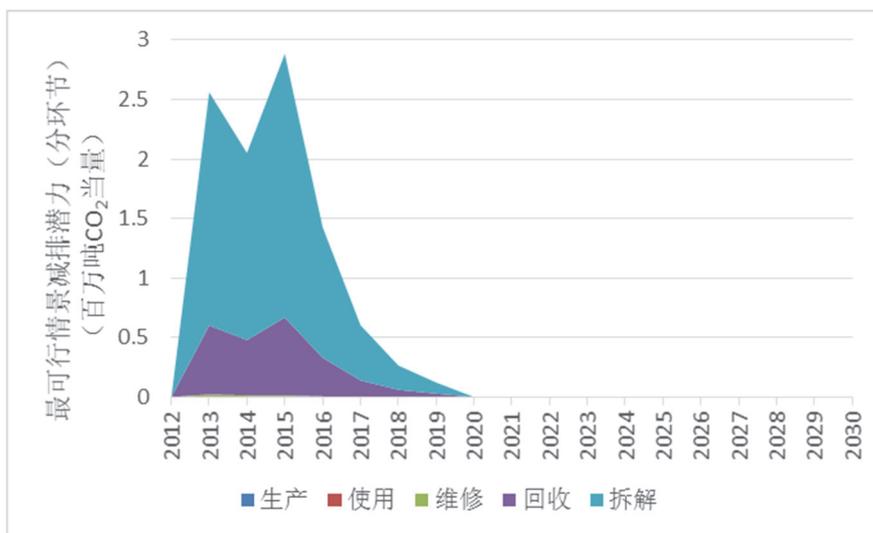
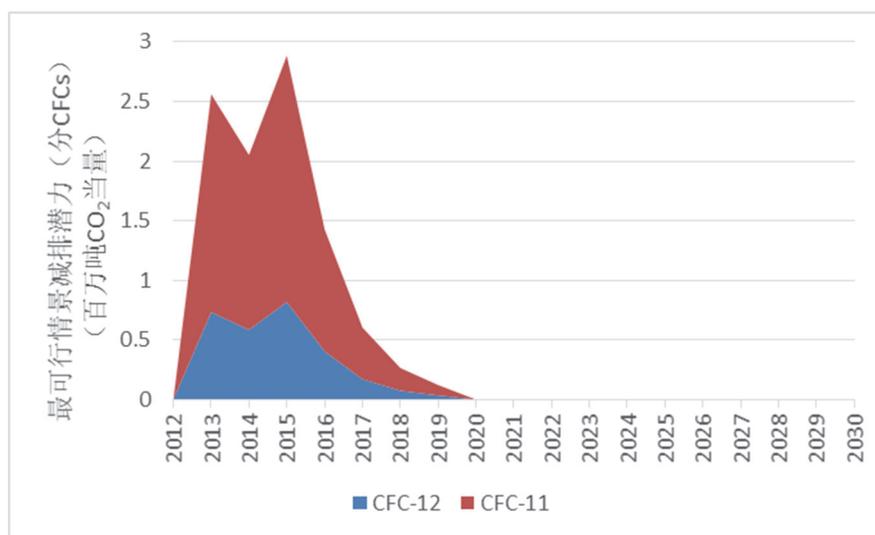


图 6-14 家用电冰箱非 CO₂ 温室气体最可行减排情景减排潜力（分环节）

家用电冰箱非 CO₂ 温室气体生产、使用、维修、回收（收集）和拆解处理环节 2013-2030 年累积最可行减排情景减排潜力分别为 0, 0, 0.056, 2.250 和 7.609 百万吨 CO₂ 当量，其中拆解处理环节最可行减排情景减排潜力最大。图 6-14 的结果表明，家用电冰箱全生命周期各环节排放率降低对拆解处理环节影响最大，其次为回收（收集）和维修环节。通过技术手段、政策法规和鼓励措施等方式降低回收（收集）环节排放率会显著降低家用电冰箱非 CO₂ 温室气体排放量。

家用电冰箱非 CO₂ 温室气体最可行减排情景减排潜力（分 CFCs）如图 6-15 所示。

图 6-15 家用电冰箱非 CO₂ 温室气体最可行减排情景减排潜力（分 CFCs）

家用电冰箱非 CO₂ 温室气体 CFC-12 制冷剂 2013-2030 年累积最可行减排情景减排潜力为 2.820 百万吨 CO₂ 当量，CFC-11 发泡剂累积最可行减排情景减排潜力为 7.095 百万吨 CO₂ 当量，HC-600a 制冷剂和环戊烷发泡剂减排潜力为 0，因为基线情景和理想情景排放率相同，总最可行减排情景减排潜力为 9.915 百万吨 CO₂ 当量。图 6-16 的结果表明，家用电冰箱 2013-2030 年累积最可行减排情景减排潜力主要由 CFC-11 发泡剂构成，因为 CFC-11 发泡剂单台用量为 CFC-12 制冷剂单台用量 4.5 倍左右，所以 CFC-11 发泡剂排放量大于 CFC-12 制冷剂排放量。

6.5.4. 最可行减排情景减排能力

对家用电冰箱制冷剂排放量采取单因素分析法得到的排放环节及指标 C、D 和 E 权重如表 6-7 所示。

表 6-7 家用电冰箱非 CO₂ 温室气体排放环节及指标 C, D 和 E 权重

LCA 环节	排放环节	灌注量 D1	密封性 D2	制冷剂比例 D4	非 CO ₂ 回收 D3	配回收设备可行性 E	回收设备成本 F1	回收品质 F2
维修	维修制冷系统 (正规)	0.2	0	0	1	1	0.7	0.3
维修	维修制冷系统 (非正规)	0.8	0	0	1	1	0.7	0.3
回收	产品运输排放	0.20	0	0	1	1	0.7	0.3
回收	制冷系统破损	0.60	0	0	1	1	0.7	0.3
拆解	正规拆解	0.2	0	0	1	1	0.7	0.3
拆解	非正规拆解	0.8	0	0	1	1	0.7	0.3

数据来源：行业调研及专家咨询

综合行业调研及专家咨询的结果，并与表 4-62 家用电冰箱和房间空调器非 CO₂ 温室气体排放环节减排潜力评价指标体系分档(适用于各排放环节)结合后，所得家用电冰箱非 CO₂ 温室气体排放环节减排能力指标体系评估结果如表 6-8 所示，评估得分如表 6-9 所示。

表 6-8 家用电冰箱非 CO₂ 温室气体排放环节减排能力评估结果

LCA 环节	排放环节	灌注量 D1	密封性 D2	制冷剂比例 D4	非 CO ₂ 回收 D3	配回收设备可行性 E	回收设备成本 F1	回收品质 F2
维修	维修制冷系统 (正规)	否	否	否	是	高	中	低
维修	维修制冷系统 (非正规)	否	否	否	否	—	—	—
回收	产品运输排放	否	否	否	否	—	—	—
回收	制冷系统破损	否	否	否	否	—	—	—
拆解	正规拆解	否	否	否	是	高	中	低
拆解	非正规拆解	否	否	否	否	—	—	—

数据来源：行业调研及专家咨询

表 6-9 家用电冰箱非 CO₂ 温室气体排放环节减排能力评估得分

LCA 环节	排放环节	灌 注 量 D1	密 封 性 D2	制 冷 剂 比 例 D4	非 CO ₂ 回 收 D3	配回收 设备可 行性 E	回收 设备 成本 F1	回收 品质 量 F2	总分	
维修	维修制冷系统 (正规)	0	0	0	1	0.6	0.3	0.4	0040	0.040
维修	维修制冷系统 (非正规)	0	0	0	0	0	0	0	0	
回收	产品运输排放	0	0	0	0	0	0	0	0	0
回收	制冷系统破损	0	0	0	0	0	0	0	0	
拆解	正规拆解	0	0	0	1	0.6	0.3	0.4	0040	0.040
拆解	非正规拆解	0	0	0	0	0	0	0	0	

由于 2007 年后已不再生产使用 CFC-12 制冷剂 and CFC-11 发泡剂的家用电冰箱，因此只对维修、回收（收集）和拆解处理环节进行评估。通过表 6-8 结果可以看出，维修和拆解处理环节减排能力相同，这与其只受非 CO₂ 回收控制有关，因为新生产的家用电冰箱已不再使用 CFCs，因此无法通过灌注量，密封性和制冷剂比例对目前使用 CFCs 的家用电冰箱产生影响。

下面将对表 6-8 房间空调器非 CO₂ 温室气体排放环节减排能力评估结果中，个评价指标结果进行详细分析。

6.5.4.1. 维修环节—维修制冷系统排放（正规渠道）

家用电冰箱在对制冷系统进行维修时会产生制冷剂排放，由于目前使用 CFC-12 制冷剂的电冰箱生产于 2007 之前，因此维修时产品平均单台灌注量，制冷剂比例和制冷系统密封性在产品出厂时就以决定，因此这三个因素的变化不会影响目前使用 CFC-12 制冷剂电冰箱在维修环节的排放。对于在格力，美的，海尔等大型集团下属的服务维修企业中进行维修的产品，此维修渠道配回收设备可行性评估为高。由于家用电冰箱单台制冷剂灌注量与商用产品相比较小，配备中型半固定式回收设备即可，回收设备成本评估为中。由于故障产品可能经历过多次维修，并且经历了长时间的使用，制冷剂中含有较多杂质，并且制冷剂成分也有较大变化，因此回收品质评估为低。

6.5.4.2. 维修环节—维修制冷系统排放（非正规渠道）

家用电冰箱在对制冷系统进行维修时会产生制冷剂排放，由于目前使用 CFC-12 制冷剂的电冰箱生产于 2007 之前，因此维修时产品平均单台灌注量，制冷剂比例和制冷系统密封性在产品出厂时就以决定，因此这三个因素的变化不会影响目前使用 CFC-12 制冷剂电冰箱在维修环节的排放。对于保修期外的产品，使用者更愿意在价格较低的中小维修点进行维修，因此此维修渠道配回收设备可行性评估为低。由于家用电冰箱单台制冷剂灌注量与商用产品相比较小，加之产品维修量较小，配备小型便携式回收设备即可，回收设备成本评估为低。由于故障产品可能经历过多次维修，并且经历了长时间的使用，制冷剂中含有较多杂质，并且制冷剂成分也有较大变化，因此回收品质量评估为低。

6.5.4.3. 回收（收集）环节—产品运输排放

废弃家用电冰箱在回收运输过程中，无法对其中制冷剂进行回收，此时只有产品平均单台灌注量，制冷系统密封性和制冷剂比例对其排放产生影响。

6.5.4.4. 回收（收集）环节—制冷系统破损排放

废弃家用电冰箱从用户手中回收（收集）后，产品中价值较高的制冷系统管路被私自拆解产生的制冷剂排放。此时制冷剂平均单台灌注量和制冷剂比例会影响制冷剂排放量，制冷系统密封性会影响故障产品剩余制冷剂台数比例。由于目前废弃电器电子产品采取社会化的形式进行回收，从废弃产品拥有者手中回收的主体为“流动大军”，因此配回收设备可行性非常低。

6.5.4.5. 拆解处理环节—正规拆解排放

废弃家用电冰箱在到达废弃电器电子产品回收处理企业后，在拆解前需要回收其中的制冷剂，此时会产生制冷剂排放。在破碎分选时需要对隔热材料聚碳酸酯中的发泡剂进行回收。产品平均单台灌注量，制冷系统密封性，制冷剂比例和是否回收制冷系统中制冷剂均会对排放量产生影响。由于此环节排放发生在废弃产品拆解线上，因此配回收设备可行性评估为高。由于家用电冰箱单台制冷剂灌

注量与商用产品相比较小，因此配备中型半固定式回收设备即可，回收设备成本评估为中。由于故障产品可能经历过多次维修，并且经历了长时间的使用，其中的制冷剂纯度已不如新出厂产品中制冷剂纯度，因此回收品质量评估为低。

6.5.4.6. 拆解处理环节—非正规拆解排放

废弃家用电冰箱从用户手中回收（收集）后，在进入到获得补贴资质的废弃电器电子产品回收处理企业前已被完全拆解所产生的排放。此时制冷剂平均单台灌注量和制冷剂比例会影响制冷剂排放量，制冷系统密封性会影响故障产品剩余制冷剂台数比例。由于目前废弃电器电子产品采取社会化的形式进行回收，从废弃产品拥有者手中回收的主体为“流动大军”，因此配回收设备可行性非常低。

6.6. 减排潜力小结与影响因素分析

6.6.1. 排放量与减排潜力

中国家用电冰箱非 CO₂ 温室气体基线情景 2012-2030 年累积排放量为 242.787 百万吨 CO₂ 当量，理想情景累积排放量为 198.169 百万吨 CO₂ 当量，最可行情景累积排放量为 232.872 百万吨 CO₂ 当量（表 6-10）。目前正处于使用 CFC-12 制冷剂 and CFC-11 发泡剂家用电冰箱生命周期末期，因此基线情景、理想情景和最可行减排情景排放量逐渐下降。

表 6-10 家用电冰箱非 CO₂ 温室气体排放量和减排潜力（单位：百万吨 CO₂ 当量）

排放量/减排潜力	基线情景	理想情景	最可行减排情景
2012-2030 年累积排放量	242.787	198.169	232.872
2013-2030 年累积减排潜力	—	44.618	9.915

6.6.2. 不同环节最可行情景减排潜力

中国家用电冰箱最可行情景累积减排潜力为 9.915 百万吨 CO₂ 当量，其中生产、使用、维修、回收（收集）和拆解处理环节累积减排潜力分别为：0，0，0.056，2.250 和 7.609 百万吨 CO₂ 当量（表 6-11），其中拆解处理环节最可行减排情景减排潜力最大。

家用电冰箱非 CO₂ 温室气体全生命周期五环节中，维修和拆解处理环节减排能力相同，这与其只受非 CO₂ 回收控制有关，因为新生产的家用电冰箱已不再使用 CFCs，因此无法通过灌注量，密封性和制冷剂比例对目前使用 CFCs 的家用电冰箱产生影响。

表 6-11 家用电冰箱非 CO₂ 温室气体最可行情景减排潜力

环节	最可行情景减排潜力 (百万吨 CO ₂ 当量)	减排能力 (实数)
生产	0	0
使用	0	0
维修	0.056	0.040
回收(收集)	2.250	0
拆解处理	7.609	0.040

6.6.3. 最可行减排情景的技术手段

由于家用电冰箱维修，回收（收集）和拆解处理环节非 CO₂ 温室气体排放率到 2025 年时均需要降低至 80%，因此在技术手段层面需要采取如下措施：

- (1) 家用电冰箱维修和拆解处理环节制冷剂高效回收技术和设备
- (2) 家用电冰箱拆解处理环节发泡剂高效回收技术和设备
- (3) 已回收制冷剂和发泡剂再生、安全销毁技术和设备

6.6.4. 最可行减排情景的配套政策法规

由于家用电冰箱维修，回收（收集）和拆解处理环节非 CO₂ 温室气体排放率到 2025 年时均需要降低至 80%，因此在政策法规层面需要采取如下措施：

- (1) 制定家用电冰箱维修和拆解处理环节制冷剂回收管理制度
 - (1.1) 对电冰箱维修和拆解处理环节回收制冷剂人员进行安全和技术培训
 - (1.2) 对家用电冰箱维修和拆解处理环节制冷剂回收设备进行认证
 - (1.3) 修订 SB/T 10349-2002《家用电器维修服务部等级评定规范》并加入家用电冰箱制冷剂回收要求
 - (1.4) 制定家用电冰箱制冷剂回收率指标
- (2) 制定家用电冰箱拆解处理环节发泡剂回收管理制度
 - (2.1) 对家用电冰箱拆解处理环节回收发泡剂人员进行安全和技术培训

(2.2) 对家用电冰箱拆解处理环节发泡剂回收设备进行认证

(2.3) 制定家用电冰箱发泡剂回收率指标

6.6.5. 最可行减排情景的配套鼓励措施

由于家用电冰箱维修，回收（收集）和拆解处理环节非 CO₂ 温室气体排放率到 2025 年时均需要降低至 80%，因此在政策法规层面需要采取如下措施：

- (1) 加大对家用电冰箱维修和拆解处理环节制冷剂高效回收、再生及安全销毁技术和设备研发的支持力度
- (2) 加大对家用电冰箱拆解处理环节发泡剂高效回收、再生及安全销毁技术和设备研发的支持力度

7. 结论及政策建议

7.1. 结论

7.1.1. 排放量与减排潜力

本项目通过行业调研、搭建预测模型、分析理想情景与基线情景，对中国家用电冰箱和房间空调器全生命周期非 CO₂ 温室气体减排潜力进行测算。根据测算结果，从 2012 年至 2030 年，中国家用电冰箱和房间空调器全生命周期非 CO₂ 温室气体将累计排放 2637.573 百万吨 CO₂ 当量。如果建立严格的规范、出台有力的激励机制，以及获得先进技术的支撑，中国家用电冰箱和房间空调器全生命周期非 CO₂ 温室气体可实现累积减排 1299.817 百万吨 CO₂ 当量（2013-2030 年）。其中，家用电冰箱 44.618 百万吨 CO₂ 当量，房间空调器 1255.199 百万吨 CO₂ 当量，如图 7-1 和图 7-2 所示，房间空调器理想情景制冷剂发展趋势如图 7-3 所示。与家用电冰箱相比，房间空调器制冷剂的替代刚刚开始，具有巨大的减排潜力。

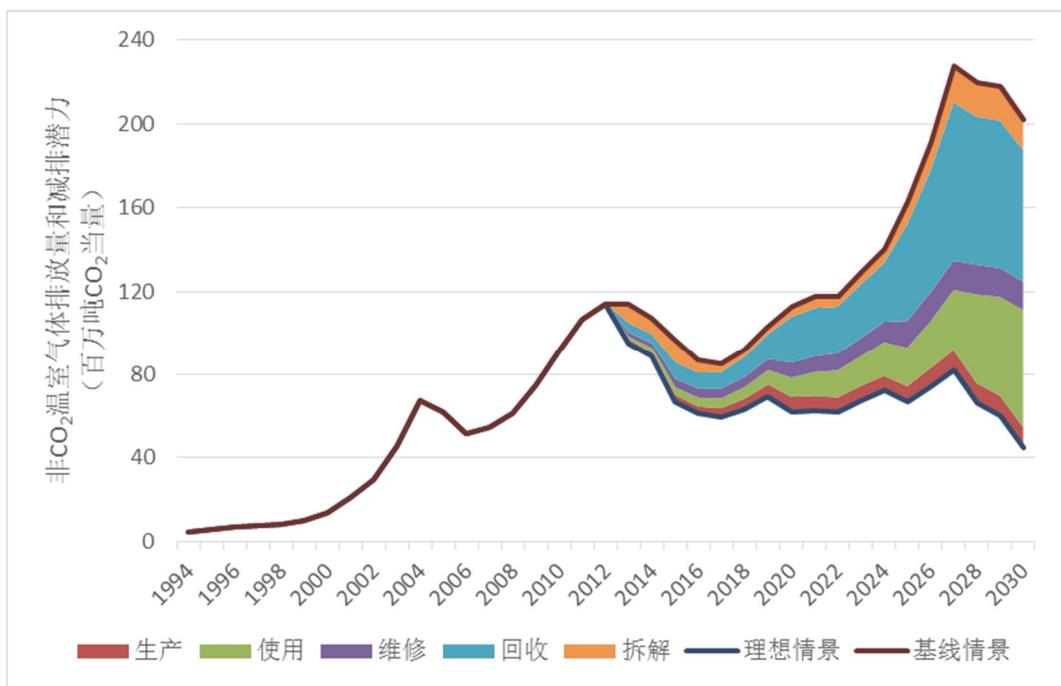


图 7-1 家用电冰箱和房间空调器非 CO₂ 温室气体排放量与理想情景减排潜力

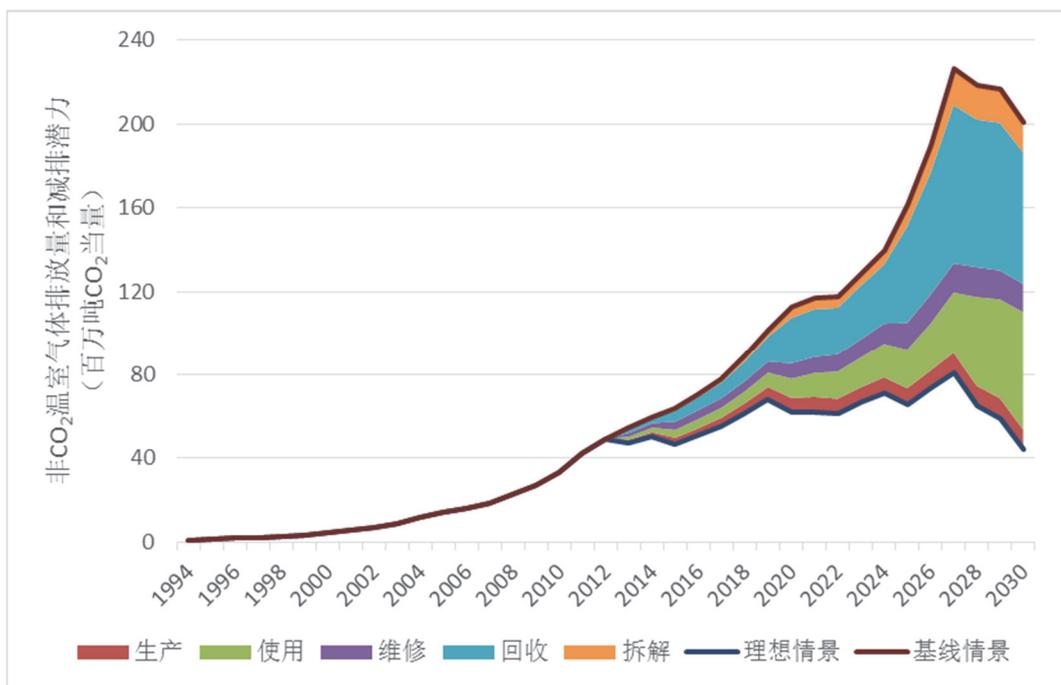


图 7-2 房间空调器非 CO₂ 温室气体排放量与理想情景减排潜力

房间空调器基线情景和理想情景排放量随着国内销量的增加而逐渐升高，到 2027 年时达到高峰，由于房间空调器社会保有量在 2025 年后逐渐趋于饱和，因此 2027 年后随着国内销量的下降排放量逐渐降低（图 7-2）。

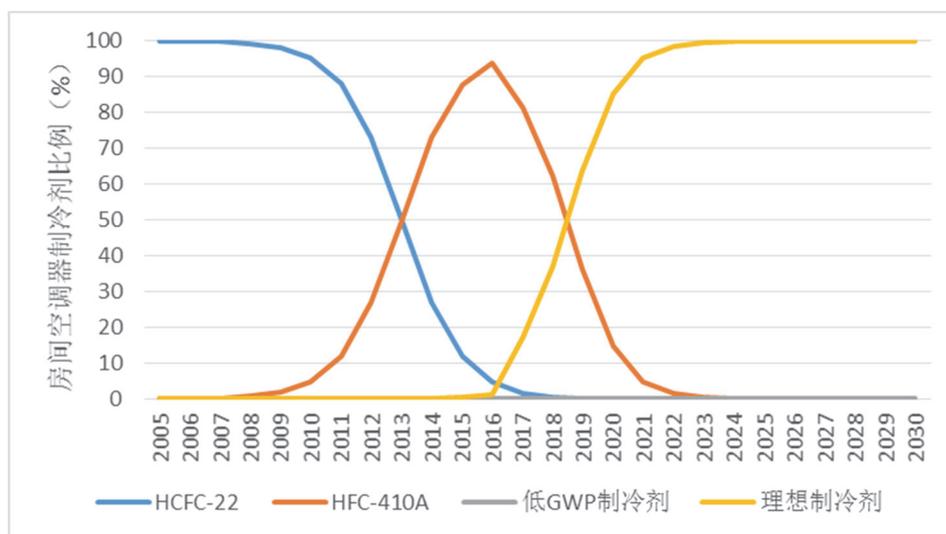


图 7-3 房间空调器制冷剂变化趋势（理想情景）

房间空调器理想情景制冷剂变化趋势中（图 7-3），HCFC-22 制冷剂比例逐步下降，HFC-410A 制冷剂在理想制冷剂出现前逐渐替代 HCFC-22 制冷剂，比例逐渐升高。随着理想制冷剂的出现，HFC-410A 制冷剂比例逐渐下降，理想制冷剂比例逐渐升高，最终全部为理想制冷剂。

7.1.2. 最可行减排情景不同环节减排潜力

中国家用电冰箱和房间空调器非 CO₂ 温室气体最可行减排情景 2012-2030 年累积排放量为 2097.707 百万吨 CO₂ 当量，生产、使用、维修、回收（收集）和拆解处理环节 2013-2030 年累积最可行减排情景减排潜力分别为 98.045、212.757、71.906、122.144 和 35.014 百万吨 CO₂ 当量，其中使用环节最可行情景减排潜力最大（图 7-4）。

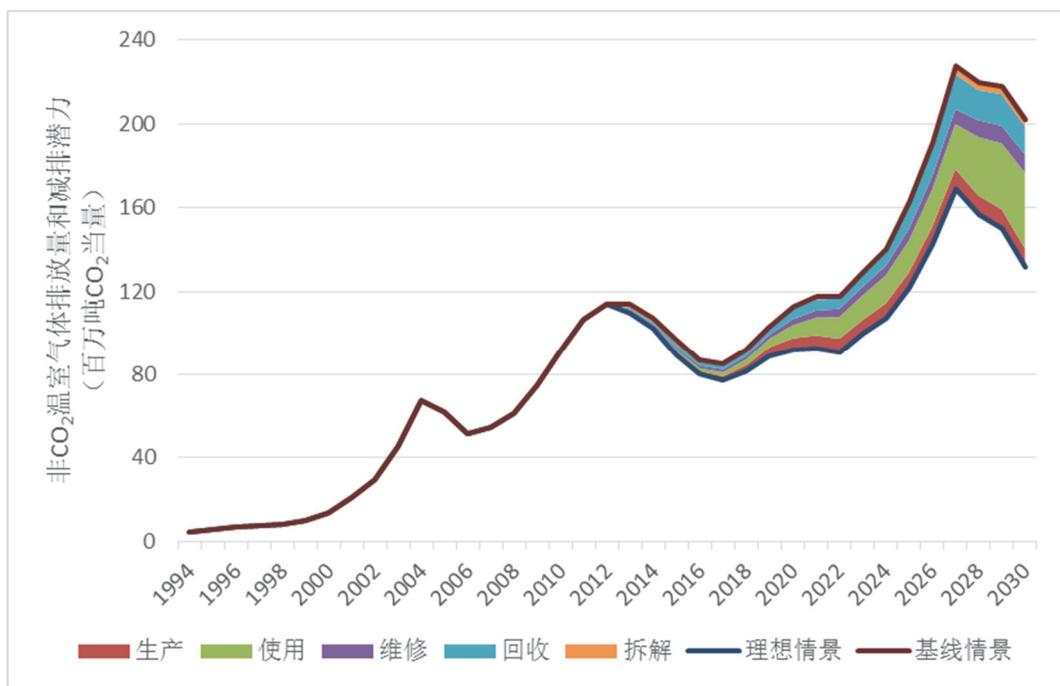


图 7-4 家用电冰箱和房间空调器非 CO₂ 温室气体排放量与最可行减排情景减排潜力

中国房间空调器非 CO₂ 温室气体最可行减排情景 2012-2030 年累积排放量为 1864.835 百万吨 CO₂ 当量，生产、使用、维修、回收（收集）和拆解处理环节 2013-2030 年累积最可行减排情景减排潜力分别为 98.045、212.757、71.851、119.894 和 27.404 百万吨 CO₂ 当量，其中使用环节最可行情景减排潜力最大（图 7-5）。房间空调器最可行减排情景制冷剂发展趋势如图 7-6 所示。

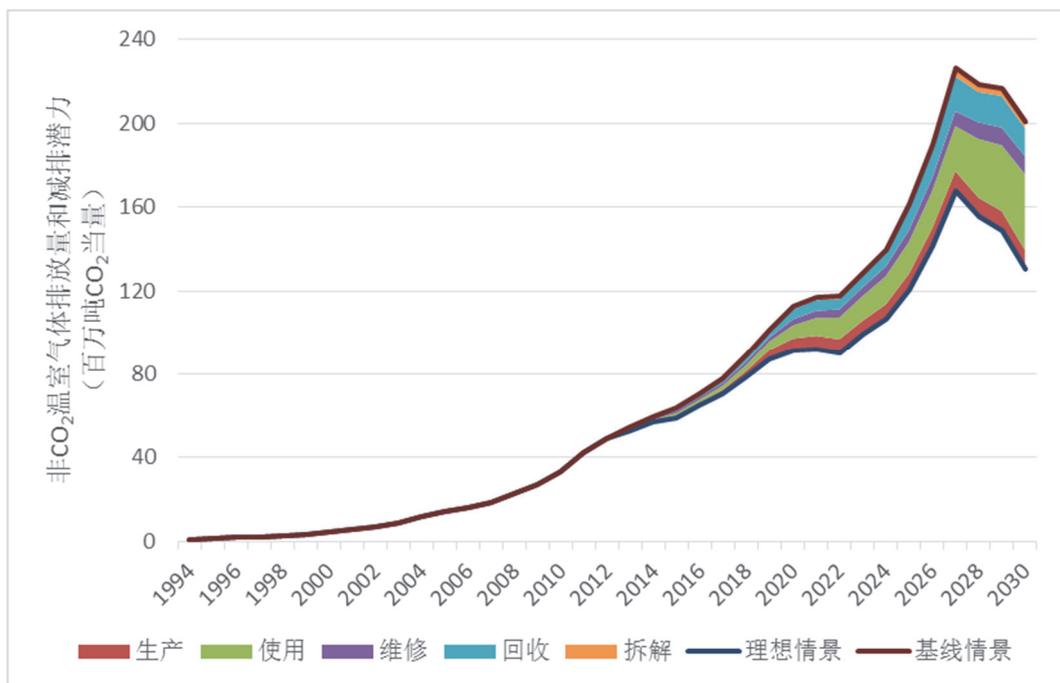


图 7-5 房间空调器非 CO₂ 温室气体排放量与最可行减排情景减排潜力

房间空调器非 CO₂ 温室气体全生命周期五环节中，使用环节减排能力位居首位，这与其主要受密封性即产品质量和安装质量控制有关；生产环节位居第二位，这与其受密封性控制并且环节可控性较高有关；维修环节位居第三位，这与其主要受非 CO₂ 回收控制，并且正规维修渠道权重较低有关；回收和拆解环节减排能力接近，分列第四和第五位，这与其主要受非 CO₂ 回收因素主要有关。由于中国废弃电器电子产品以社会化回收为主，回收（收集）和拆解处理环节规范程度较低，因而这两个环节减排能力较低。

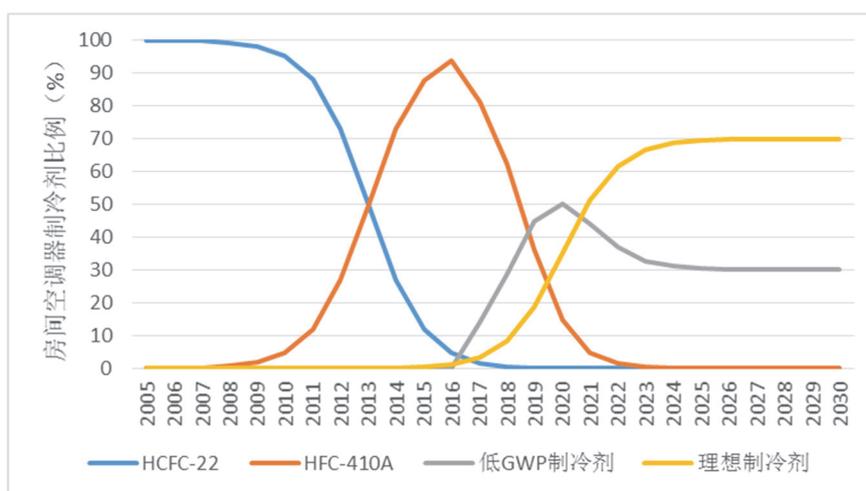


图 7-6 房间空调器制冷剂变化趋势（最可行减排情景）

房间空调器最可行减排情景制冷剂变化趋势中（图 7-6），HCFC-22 制冷剂比例逐渐下降，HFC-410A 制冷剂比例先上升后下降，低 GWP 制冷剂逐渐上升达到高位后下降至一稳定水平，理想制冷剂比例逐渐上升，最终与低 GWP 制冷剂共存。

7.1.3. 不同制冷剂替代方案减排潜力

中国房间空调器非 CO₂ 温室气体基线情景 2012-2030 年累积排放量为 2394.786 百万吨 CO₂ 当量，保持灌注量及五个环节排放率不变，只改变制冷剂比例。若选取低 GWP 制冷剂作为替代制冷剂，即 2030 年时全部为低 GWP 制冷剂，此时累积排放量为 2158.436 百万吨 CO₂ 当量，累积减排潜力为 236.350 百万吨 CO₂ 当量。若选取理想制冷剂作为替代制冷剂，即 2030 年时全部为理想制冷剂，此时累积排放量为 2068.186 百万吨 CO₂ 当量，累积减排潜力为 326.600 百万吨 CO₂ 当量。若选取低 GWP 制冷剂和理想制冷剂共同作为替代制冷剂，即 2030 年时低 GWP 制冷剂和理想制冷剂共存，此时累积排放量为 2105.463 百万

吨 CO₂ 当量，累积减排潜力为 289.323 百万吨 CO₂ 当量（表 7-1）。鉴于目前制冷剂发展趋势，选取 2030 年时低 GWP 制冷剂和理想制冷剂共存作为制冷剂替代方案（图 7-7）。

表 7-1 房间空调器不同制冷剂替代方案排放量和减排潜力（单位：百万吨 CO₂ 当量）

排放量/ 减排潜力	基线情景	低 GWP 制冷剂 替代方案	理想制冷剂 替代方案	低 GWP 和理想制冷剂 共同替代方案
2012-2030 年 累积排放量	2394.786	2158.436	2068.186	2105.463
2013-2030 年 累积减排潜力	—	236.350	326.600	289.323

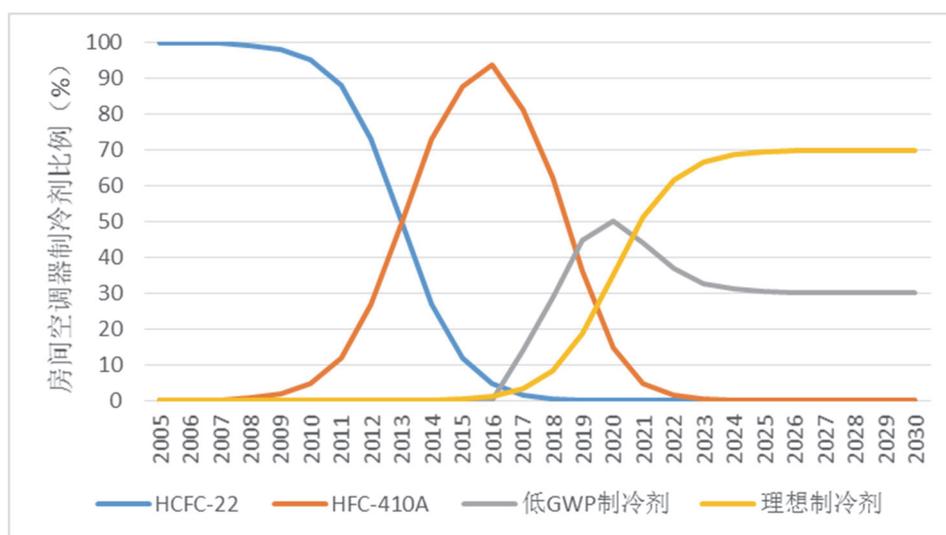


图 7-7 房间空调器制冷剂变化趋势（低 GWP 和理想制冷剂共同作为替代制冷剂）

7.1.4. 最可行减排情景减排措施

全生命周期非 CO₂ 温室气体排放的影响因素很多。本项目主要从技术、管理规范、以及激励措施三个方面影响因素进行分析。通过不同影响因素对排放量影响的程度不同进行分析，最终得出分别适用于家用电冰箱和房间空调器的最可行减排情景减排措施。

7.1.4.1. 家用电冰箱最可行减排情景减排措施

家用电冰箱技术手段层面最可行减排情景减排措施为：加强制冷剂 and 发泡剂高效回收、再生和安全销毁技术和设备研发力度，从技术层面降低非 CO₂ 温室

气体排放率。

政策法规层面最可行减排情景减排措施为：对 SB/T 10349-2002《家用电器维修服务部等级评定规范》进行修订，加入制冷剂回收要求；对从事家用电冰箱维修、回收（收集）和拆解处理工作的人员进行进行技术培训和资格认证；对家用电冰箱整机维修和拆解处理时所用制冷剂回收设备，发泡剂回收设备进行认证；制定家用电冰箱制冷剂和发泡剂回收率指标等。

鼓励措施层面最可行减排情景减排措施为：通过国际合作，政府基金等形式加大对制冷剂和发泡剂高效回收、再生和安全销毁技术和设备研发的支持力度。

7.1.4.2. 房间空调器最可行减排情景减排措施

房间空调器技术手段层面最可行减排情景减排措施为：加强降低制冷剂平均单台灌注量技术，提升制冷系统密封性技术，可燃制冷剂整机安全生产技术，生产、维修、回收（收集）和拆解处理环节制冷剂高效回收、再生和安全销毁技术和设备等的研发力度；在产品安装时使用原规格产品进行制冷管路的延长操作；在回收废弃房间空调器时，采取将废弃房间空调器中制冷剂回收至室外机中技术等。

政策法规层面最可行减排情景减排措施为：对从事房间空调器维修、回收（收集）和拆解处理工作的人员进行技术培训和资格认证；对房间空调器维修、回收（收集）和拆解处理时所用制冷剂回收设备进行认证；对从事可燃制冷剂空调器生产、安装、维修、回收（收集）和拆解处理工作的人员进行培训认证；对维修、回收（收集）和拆解处理环节回收可燃制冷剂房间空调器中制冷剂所用回收设备进行认证；制定使用可燃制冷剂空调器安装和回收规范，制订房间空调器制冷剂回收率指标等。

鼓励措施层面最可行减排情景减排措施为：对购买制冷剂回收设备的家电维修企业进行一定数额的资金补贴；通过国际合作，政府基金等形式加大对制冷剂高效回收、再生及安全销毁技术和设备研发的支持力度；对使用可燃制冷剂空调器的消费者进行安全使用的宣传教育，加大市场推广力度等。

7.2. 政策建议

7.2.1. 建立制冷剂回收管理要求及技术规范

在《消耗臭氧层物质管理条例》和《废弃电器电子产品回收处理管理条例》的推动下，家用电冰箱和房间空调器在制冷剂替代和处理领域均建立了严格的管理制度。但是，在废弃家用电冰箱和房间空调器维修和回收（收集）领域，与制冷剂回收相关的管理制度还极不完善。根据减排潜力测算结果显示，房间空调器在使用维修和回收（收集）环节的减排潜力巨大。因此，建立含有制冷剂产品的维修和回收的管理要求和技术规范对非 CO₂ 温室气体减排，尤其对房间空调器的非 CO₂ 温室气体减排具有重要的作用。

房间空调器的维修行业和回收（收集）行业是两个相对独立，又相互影响的行业。从管理角度，应分别制定不同的制冷剂回收管理要求和技术规范。根据发达国家，例如美国，对小电器的制冷剂回收管理的要求，对制冷剂回收的管理建议建立回收人员技术操作规范要求、回收设备要求、回收率要求，回收制冷剂销毁或再利用要求、以及相关的信息管理系统等，并将回收的制冷剂的再利用或销毁纳入现行的环保部关于制冷剂生产、使用的管理体系中。

7.2.2. 建立回收制冷剂再利用的激励机制

根据减量化、再利用和循环利用的 3R 原则，在经济技术可行的情况下，应鼓励回收的制冷剂进行再利用。在家用电冰箱和房间空调器生产、维修、回收（收集）和拆解处理的全生命周期中均有制冷剂回收的要求。在欧美等发达国家，大多数制冷剂是以销毁为目的进行回收。而我国家用电冰箱和房间空调器的社会保有量大，有巨大的维修和再利用的需求。

但是，回收后的制冷剂再利用需要分类回收制冷剂，然后经过净化、除油、除水等工艺。当净化成本大于制冷剂再利用的收益时，回收者通常不再对制冷剂进行再利用。因此，建立制冷剂再利用的激励机制，有利于促进制冷剂的再利用。同时，也将规范现有的不规范的制冷剂再利用市场。

7.2.3. 加大减排技术的研发支持力度

通过减排潜力的影响因素分析可以看出，技术的进步对非 CO₂ 温室气体减排的实现具有重要的作用。在产品的生产、维修、回收（收集）和拆解处理各个环节都需要有减排技术的支撑。例如在生产环节，不断减少单台制冷剂灌注量、提高制冷系统的密封性、提高产品的可靠性、更安全和环保的制冷剂研发等技术是未来非 CO₂ 温室气体减排的重要技术手段。

建议在科技部，针对温室气体减排设立重大技术专项，集中科研力量对行业关键技术进行攻关。同时，鼓励和支持第三方机构建立跨行业、跨领域的技术合作和交流平台，积极推广先进技术和经验，探索可持续发展的减排商业模式。

7.2.4. 建立制冷剂 GWP 标识制度

在中国，非 CO₂ 温室气体减排是一个新兴的领域。非 CO₂ 温室气体减排不仅需要企业的参与，同时更需要消费者的参与。尤其针对房间空调器这类面对消费者的产品。提高消费者的环保意识，扩大环境友好产品的市场份额，实现可持续消费，才能带动企业生产环节友好产品的积极性。

建议借鉴用能产品的能效标识和碳足迹的经验，建立产品的 GWP 标识制度。通过在产品上标识制冷剂的 GWP 值、用量、以及对应的 CO₂ 当量，让消费者在选购产品时关注温室气体减排。同时，通过 GWP 标识制度，为低 GWP 产品的激励机制的实施提供依据。

7.2.5. 加强国际交流与合作

中国在多边基金的项目和技术的支持下，顺利和成功地完成了 CFCs 的消减和替代任务。仅 2006 年，多边基金共批准我国行业计划资金 4750 万美元，全年共签署项目合同 169 个，完成资金支付 5364 万美元，完成 ODS 生产和消费削减约 25000（ODP）吨。

CFCs 的成功经验可以为 HFC 的减排提供借鉴。建议中国政府加强国际领域 HFC 减排的交流与合作，通过国际项目和技术援助，帮助中国企业提高 HFC 减排技术，实现减排目标。

8. 附表 1：家用电冰箱生产企业调研问卷

附表 1-1 企业基本情况

企业名称			
企业地址			
联系人		部门	
职务		联系电话	
手机		Email	

附表 1-2 2012 年家用电冰箱制冷剂及发泡剂使用情况

产品名称	产量 (万台/年)	制冷剂 种类	制冷剂平 均灌注量 (g/台)	制冷剂平 均价格 (元/吨)	制冷剂 用量 (吨/年)	发泡剂 种类 [1]	发泡剂平 均用量 (kg/台)	发泡剂平 均价格 (元/吨)	发泡剂 用量 (吨/年)
家用 冷藏 冷冻 箱		R134a							
		R600a							
		其他____							
家用 冷藏 箱		R134a							
		R600a							
		其他____							
家用 冷冻 箱		R134a							
		R600a							
		其他____							

注：

[1] 请填写与制冷剂相对应的发泡剂种类。

附表 1-3 家用电冰箱[1]生产时制冷剂、发泡剂使用情况

时间	制冷剂			发泡剂			
	R134a(%) ^[2]	R600a(%) ^[2]	R12(%) ^[2]	R245fa(%) ^[2]	环戊烷(%) ^[2]	环异戊烷(%) ^[2]	R11(%) ^[2]
2013							
2012							
2007							
2006							
2005							
2004							
2003							
2002							
2001							
2000							
1999							
1998							
1997							
1996							
1995							
1994							

附表 1-4 国内销售的家用电冰箱[1]制冷剂、发泡剂使用情况

时间	制冷剂			发泡剂			
	R134a(%) ^[2]	R600a(%) ^[2]	R12(%) ^[2]	R245fa(%) ^[2]	环戊烷(%) ^[2]	环异戊烷(%) ^[2]	R11(%) ^[2]
2013							
2012							
2007							
2006							
2005							
2004							
2003							
2002							
2001							
2000							
1999							
1998							
1997							
1996							
1995							
1994							

注：

[1] 表 3-1 和表 3-2 中家用电冰箱包括家用冷藏冷冻箱、家用冷藏箱和家用冷冻箱。

[2] 表 3-1 和表 3-2 中 R134a、R600a、R12、R245fa、环戊烷、环异戊烷和 R11 均为重量百分比。

附表 1-52012 年家用电冰箱生产情况

产品名称	制冷剂种类	制冷剂 组装损 耗[1]	再生制 冷剂比 例[2]	制冷剂 年排放 率[3]	生产线能耗 (千瓦时/年) [4]	生产时产生 的污染物 [5]	生产废 水回用 率[6]	生产废水 处理方式 [7]	生产线价格 (万元) [8]
家用 冷藏 冷冻 箱	R134a								
	R600a								
	其他____								
家用 冷藏 箱	R134a								
	R600a								
	其他____								
家用 冷冻 箱	R134a								
	R600a								
	其他____								

注：

- [1] 新产品制冷剂灌装时排放率（重量百分比）。
- [2] 家用电冰箱生产时使用非新生产制冷剂的比例（重量百分比）。
- [3] 产品运行时制冷剂年平均泄露排放率（重量百分比）。
- [4] 若按制冷剂进行统计，则填入相应制冷剂的空格中；
若未按制冷剂进行统计，则填入 R134a 制冷剂的空格中。
- [5] 如果污染数据不易获取，考虑机器外壳喷涂工艺：彩涂板工艺、塑料加工工艺或其他。
- [6] 重量百分比。
- [7] 直排、化学混凝沉淀、其他。
- [8] 若按制冷剂进行统计，则填入相应制冷剂的空格中；
若未按制冷剂进行统计，则填入 R134a 制冷剂的空格中。

附表 1-6 2012 年家用冷藏冷冻箱产量分布情况

种类	总有效容积 (L)	产量比例[1]	能效等级[2]	耗电量 (kWh/24h)
单门				
双门				
对开门				
卧式				

注:

[1] 不同种类的家用冷藏冷冻箱产量之间的百分比。

[2] 同一种类下, 产量最大品种的能效等级。

附表 1-7 2012 年家用冷藏箱产量分布情况

种类	总有效容积 (L)	产量比例[1]	能效等级[2]	耗电量 (kWh/24h)
压缩式 (酒柜)				
电气吸收式				
半导体式				

注:

[1] 不同种类的家用冷藏箱产量之间的百分比。

[2] 同一种类下, 产量最大品种的能效等级。

附表 1-8 2012 年家用冷冻箱产量分布情况

种类	总有效容积 (L)	产量比例[1]	能效等级[2]	耗电量 (kWh/24h)
卧式				
立式				
展示柜				

注:

[1] 不同种类的家用冷冻箱产量之间的百分比。

[2] 同一种类下, 产量最大品种的能效等级。

附表 1-9 2012 年家用冷藏冷冻箱国内销量分布情况

种类	总有效容积 (L)	产量比例[1]	能效等级[2]	耗电量 (kWh/24h)
单门				
双门				
对开门				
卧式				

注:

[1] 不同种类的家用冷藏冷冻箱国内销量之间的百分比。

[2] 同一种类下, 国内销量最大品种的能效等级。

附表 1-10 2012 年家用冷藏箱国内销量分布情况

种类	总有效容积 (L)	产量比例[1]	能效等级[2]	耗电量 (kWh/24h)
压缩式 (酒柜)				
电气吸收式				
半导体式				

注:

[1] 不同种类的家用冷藏箱国内销量之间的百分比。

[2] 同一种类下, 国内销量最大品种的能效等级。

附表 1-11 2012 年家用冷冻箱国内销量分布情况

种类	总有效容积 (L)	产量比例[1]	能效等级[2]	耗电量 (kWh/24h)
卧式				
立式				
展示柜				

注:

[1] 不同种类的家用冷冻箱国内销量之间的百分比。

[2] 同一种类下, 国内销量最大品种的能效等级。

9. 附表 2：房间空调器生产企业调研问卷

附表 2-1 企业基本情况

企业名称			
企业地址			
联系人		部门	
职务		联系电话	
手机		Email	

附表 2-2 2012 年房间空调器制冷剂使用情况

产品名称	产量 (万台/年)	制冷剂 种类	制冷剂平均灌注 量 (kg/台)	再生制冷剂比例 [3]	生产线改造成本 (万元) [4]
窗式 空调 器		R22			
		R410A			
		R32			
		R290			
		其他____			
柜式 空调 器		R22			
		R410A			
		R32			
		R290			
		其他____			
壁挂 式空 调		R22			
		R410A			
		R32			
		R290			

产品名称	产量 (万台/年)	制冷剂 种类	制冷剂平均灌注 量 (kg/台)	再生制冷剂比例 [3]	生产线改造成本 (万元) [4]
		其他____			
吊顶 式空 调[1]		R22			
		R410A			
		R32			
		R290			
		其他____			
嵌入 式空 调[2]		R22			
		R410A			
		R32			
		R290			
		其他____			

注：

- [1] 吊顶式空调器：又称“天花板型空调器”。室内机悬吊在天花板上或吸顶安装的分体式空调器。（《英汉-汉英制冷空调辞典》）
- [2] 嵌入式空调器：室内机镶嵌在吊顶天花板孔洞内的分体式空调器。因此又称“天花板镶嵌式空调器”。（《英汉-汉英制冷空调辞典》）
- [3] 家用电冰箱生产时使用非新生产制冷剂的比例（重量百分比）。
- [4] 由于存在几种不同的改造方式，请以“1000（R22/R410A）”为例（1000为改造成本，R22为改造前制冷剂，R410A为改造后制冷剂）顺次填入不同制冷剂所对应的空格中。

附表 2-3 房间空调器[1]生产时制冷剂使用情况

时间	R22 (%) [2]	R410A (%) [2]	R32 (%) [2]	R290 (%) [2]	其他____ (%) [2]
2013					
2012					
2011					
2010					
2009					
2008					
2007					
2006					
2005					
2004					

注：

[1] 表 3-1 中房间空调器包括窗式、柜式、壁挂式、吊顶式和嵌入式空调器。

[2] 表 3-1 中 R22、R410A、R32 和其他均为重量百分比。

附表 2-4 国内销售的房间空调器[1]制冷剂使用情况

时间	R22 (%) [2]	R410A (%) [2]	R32 (%) [2]	R290 (%) [2]	其他____ (%) [2]
2013					
2012					
2011					
2010					
2009					
2008					
2007					
2006					
2005					
2004					

注：

[1] 表 3-2 中房间空调器包括窗式、柜式、壁挂式、吊顶式和嵌入式空调器。

[2] 表 3-2 中 R22、R410A、R32 和其他均为重量百分比。

附表 2-5 2012 年房间空调器产量分布情况

匹数	窗式空调器		柜式空调器		壁挂式空调器		吊顶式空调器		嵌入式空调器	
	产量比例 [1]	输入功率 [2]								
小 1 匹										
1 匹										
大 1 匹										
小 1.5 匹										
1.5 匹										
大 1.5 匹										
小 2 匹										
2 匹										
2.5 匹										
3 匹										
5 匹										
其他____										

注：

- [1] 不同匹数的房间空调器产量之间的百分比。
- [2] 同一匹数下，产量最大品种的制冷输入功率（瓦）。

附表 2-6 2012 年房间空调器国内销量分布情况

匹数	窗式空调器		柜式空调器		壁挂式空调器		吊顶式空调器		嵌入式空调器	
	销量比例 [1]	输入功率 [2]								
小 1 匹										
1 匹										
大 1 匹										
小 1.5 匹										
1.5 匹										
大 1.5 匹										
小 2 匹										
2 匹										
2.5 匹										
3 匹										
5 匹										
其他____										

注：

- [1] 不同匹数下的房间空调器国内销量之间的百分比。
- [2] 同一匹数下，国内销量最大品种的制冷输入功率（瓦）。

10. 附表 3：家用电冰箱和房间空调器维修企业调研问卷

附表 3-1 企业基本情况

企业名称			
企业地址			
联系人		部门	
职务		联系电话	
手机		Email	
维修范围	<input type="checkbox"/> 电子产品 <input type="checkbox"/> 制冷产品	企业性质	<input type="checkbox"/> 电器生产企业售后服务部门
			<input type="checkbox"/> 销售企业售后服务部门
			<input type="checkbox"/> 地方服务维修企业
			<input type="checkbox"/> 第三方服务维修企业
企业维修服务等级			<input type="checkbox"/> 其他_____

附表 3-2 2013 年家用电冰箱维修情况 (1)

产品名称			电冰箱				冰柜			
平均寿命 (年)										
最长寿命 (年)										
制冷剂种类			R600a	R12	R134a	其他 _____	R600a	R12	R134a	其他 _____
维修时 已使用 时间 (年)	1-3	报修量 1 (台)								
		报修量 2 (台)								

	4-6	报修量 (台)									
		维修量 (台)									
	7-8	报修量 (台)									
		维修量 (台)									
	9-10	报修量 (台)									
		维修量 (台)									
	11-12	报修量 (台)									
		维修量 (台)									
	13-14	报修量 (台)									
		维修量 (台)									
	15-16	报修量 (台)									
		维修量 (台)									
	≥17	报修量 (台)									
		维修量 (台)									

注：

1. 报修量：向贵公司申请维修的台数（下同）；
2. 维修量：最终在贵公司维修的台数（下同）；

附表 3-3 2013 年家用电冰箱维修情况 (2)

产品名称	制冷剂种类	维修量			
		维修台数 (台)	无制冷剂+完全充灌台数 (台)	有制冷剂台数 (台)	无制冷剂+完全充灌台数 (台)
电冰箱	R600a	维修台数 (台)		有制冷剂台数 (台)	制冷剂完全排空+完全充灌台数 (台)
					制冷剂完全回收+完全充灌台数 (台)
					制冷剂不回收+直接充灌台数 (台)
	R12	维修台数 (台)		有制冷剂台数 (台)	制冷剂完全排空+完全充灌台数 (台)
					制冷剂完全回收+完全充灌台数 (台)
					制冷剂不回收+直接充灌台数 (台)
	R134a	维修台数 (台)		有制冷剂台数 (台)	制冷剂完全排空+完全充灌台数 (台)
					制冷剂完全回收+完全充灌台数 (台)
					制冷剂不回收+直接充灌台数 (台)
	其他	维修台数 (台)		有制冷剂台数 (台)	制冷剂完全排空+完全充灌台数 (台)
					制冷剂完全回收+完全充灌台数 (台)
					制冷剂不回收+直接充灌台数 (台)

冰柜	R600a	维修台数 (台)		无制冷剂+完全充灌台数 (台)	有制冷剂台数 (台)		无制冷剂+完全充灌台数 (台)	制冷剂完全排空+完全充灌台数 (台)	
							有制冷剂台数 (台)	制冷剂完全回收+完全充灌台数 (台)	
							无制冷剂+完全充灌台数 (台)	制冷剂不回收+直接充灌台数 (台)	
	R12	维修台数 (台)		有制冷剂台数 (台)	无制冷剂+完全充灌台数 (台)		无制冷剂+完全充灌台数 (台)	制冷剂完全排空+完全充灌台数 (台)	
							有制冷剂台数 (台)	制冷剂完全回收+完全充灌台数 (台)	
							无制冷剂+完全充灌台数 (台)	制冷剂不回收+直接充灌台数 (台)	
	R134a	维修台数 (台)		有制冷剂台数 (台)	无制冷剂+完全充灌台数 (台)		无制冷剂+完全充灌台数 (台)	制冷剂完全排空+完全充灌台数 (台)	
							有制冷剂台数 (台)	制冷剂完全回收+完全充灌台数 (台)	
							无制冷剂+完全充灌台数 (台)	制冷剂不回收+直接充灌台数 (台)	
	其他	维修台数 (台)		有制冷剂台数 (台)	无制冷剂+完全充灌台数 (台)		无制冷剂+完全充灌台数 (台)	制冷剂完全排空+完全充灌台数 (台)	
							有制冷剂台数 (台)	制冷剂完全回收+完全充灌台数 (台)	
							无制冷剂+完全充灌台数 (台)	制冷剂不回收+直接充灌台数 (台)	

附表 3-4 2013 年家用电冰箱制冷剂回收和使用情况

制冷剂种类	产品名称	是否配备制冷剂回收设备	制冷剂回收设备能耗 (千瓦时/年)	已回收制冷剂重量 (千克)	已充灌制冷剂重量 (千克)	维修时制冷剂回收情况	已回收制冷剂用途	已回收制冷剂后续处置费用 (元/吨) / 销售价格 (元/吨) 1	维修时污染物种类	维修时污染物排放量 (kg)
R600a	电冰箱					<input type="checkbox"/> 全部回收 <input type="checkbox"/> 部分回收 <input type="checkbox"/> 不回收	<input type="checkbox"/> 维修时再使用 <input type="checkbox"/> 卖给再利用企业 <input type="checkbox"/> 付给销毁处置 <input type="checkbox"/> 其他			
	冰柜									
R12	电冰箱	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否				<input type="checkbox"/> 全部回收 <input type="checkbox"/> 部分回收 <input type="checkbox"/> 不回收	<input type="checkbox"/> 维修时再使用 <input type="checkbox"/> 卖给再利用企业 <input type="checkbox"/> 付给销毁处置 <input type="checkbox"/> 其他			
	冰柜									
R134a	电冰箱					<input type="checkbox"/> 全部回收 <input type="checkbox"/> 部分回收 <input type="checkbox"/> 不回收	<input type="checkbox"/> 维修时再使用 <input type="checkbox"/> 卖给再利用企业 <input type="checkbox"/> 付给销毁处置 <input type="checkbox"/> 其他			
	冰柜									
其他	电冰箱					<input type="checkbox"/> 全部回收 <input type="checkbox"/> 部分回收 <input type="checkbox"/> 不回收	<input type="checkbox"/> 维修时再使用 <input type="checkbox"/> 卖给再利用企业 <input type="checkbox"/> 付给销毁处置 <input type="checkbox"/> 其他			
	冰柜									

注：

1. 若回收后的制冷剂交由危废处置中心进行处置，则此处为处置费用；若回收后的制冷剂经过纯化出售给其他再利用企业，则此处为销售价格。

附表 3-5 2013 年房间空调器维修情况 (1)

产品名称	窗式空调器				柜式空调器				壁挂式空调				吊顶式空调 1				嵌入式空调 2			
	R-22	R-410A	R-32	其他	R-22	R-410A	R-32	其他	R-22	R-410A	R-32	其他	R-22	R-410A	R-32	其他	R-22	R-410A	R-32	其他
平均寿命 (年)																				
最长寿命 (年)																				
制冷剂种类	R-22	R-410A	R-32	其他	R-22	R-410A	R-32	其他	R-22	R-410A	R-32	其他	R-22	R-410A	R-32	其他	R-22	R-410A	R-32	其他
	维修量(台)	报修量(台)	维修量(台)	报修量(台)	维修量(台)	报修量(台)	维修量(台)	报修量(台)	维修量(台)	报修量(台)										
维修时已使用时间																				
1-3 年																				
4-6 年																				
7-8 年																				
9-10 年																				

附表 3-6 2013 年房间空调器维修情况 (2)

产品名称	制冷剂种类	维修量		
		维修台数 (台)	无制冷剂+完全充灌台数 (台)	有制冷剂台数 (台)
窗式空调器	R22	维修台数 (台)	无制冷剂+完全充灌台数 (台)	制冷剂完全排空+完全充灌台数 (台)
				制冷剂完全回收+完全充灌台数 (台)
				制冷剂不回收+直接充灌台数 (台)
	R410A	维修台数 (台)	无制冷剂+完全充灌台数 (台)	制冷剂完全排空+完全充灌台数 (台)
				制冷剂完全回收+完全充灌台数 (台)
				制冷剂不回收+直接充灌台数 (台)
	R32	维修台数 (台)	无制冷剂+完全充灌台数 (台)	制冷剂完全排空+完全充灌台数 (台)
				制冷剂完全回收+完全充灌台数 (台)
				制冷剂不回收+直接充灌台数 (台)
	其他	维修台数	无制冷剂+完全充灌台数 (台)	

						制冷剂完全回收+完全充灌台数 (台)	
						制冷剂不回收+直接充灌台数 (台)	
壁挂式 空调	R22	维修台数 (台)	无制冷剂+完全充灌台数 (台)	有制冷剂台数 (台)		制冷剂完全排空+完全充灌台数 (台)	
						制冷剂完全回收+完全充灌台数 (台)	
						制冷剂不回收+直接充灌台数 (台)	
	R410A	维修台数 (台)	无制冷剂+完全充灌台数 (台)	有制冷剂台数 (台)		制冷剂完全排空+完全充灌台数 (台)	
						制冷剂完全回收+完全充灌台数 (台)	
						制冷剂不回收+直接充灌台数 (台)	
	R32	维修台数 (台)	无制冷剂+完全充灌台数 (台)	有制冷剂台数 (台)		制冷剂完全排空+完全充灌台数 (台)	
						制冷剂完全回收+完全充灌台数 (台)	
						制冷剂不回收+直接充灌台数 (台)	
	其他 ——	维修台数 (台)	无制冷剂+完全充灌台数 (台)	有制冷剂台数 (台)		制冷剂完全排空+完全充灌台数 (台)	
制冷剂完全回收+完全充灌台数 (台)							

空调	(台)		有制冷剂台数 (台)	制冷剂完全排空+完全充灌台数 (台)		
				制冷剂完全回收+完全充灌台数 (台)		
				制冷剂不回收+直接充灌台数 (台)		
	R410A	维修台数 (台)		无制冷剂+完全充灌台数 (台)	制冷剂完全排空+完全充灌台数 (台)	
					制冷剂完全回收+完全充灌台数 (台)	
					制冷剂不回收+直接充灌台数 (台)	
	R32	维修台数 (台)		无制冷剂+完全充灌台数 (台)	制冷剂完全排空+完全充灌台数 (台)	
					制冷剂完全回收+完全充灌台数 (台)	
					制冷剂不回收+直接充灌台数 (台)	
	其他	维修台数 (台)		无制冷剂+完全充灌台数 (台)	制冷剂完全排空+完全充灌台数 (台)	
					制冷剂完全回收+完全充灌台数 (台)	
					制冷剂不回收+直接充灌台数 (台)	

附表 3-7 2013 年房间空调器制冷剂回收和使用情况

制冷剂种类	产品名称	是否配备制冷剂回收设备	制冷剂回收设备能耗 (千瓦/年)	已回收制冷剂重量 (千克)	已充灌制冷剂重量 (千克)	维修时制冷剂回收情况	已回收制冷剂用途	已回收制冷剂后续处置费用 (元/吨) /销售价格 (元/吨) ¹	维修时污染物种类	维修时污染物排放量 (kg)
R22	窗式空调器	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否				<input type="checkbox"/> 全部回收 <input type="checkbox"/> 部分回收 <input type="checkbox"/> 不回收	<input type="checkbox"/> 维修时再使用 <input type="checkbox"/> 卖给再利用企业 <input type="checkbox"/> 付给销毁处置 <input type="checkbox"/> 其他			
	柜式空调器									
	壁挂式空调									
	吊顶式空调									
	嵌入式空调									
R410A	窗式空调器	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否				<input type="checkbox"/> 全部回收 <input type="checkbox"/> 部分回收 <input type="checkbox"/> 不回收	<input type="checkbox"/> 维修时再使用 <input type="checkbox"/> 卖给再利用企业 <input type="checkbox"/> 付给销毁处置 <input type="checkbox"/> 其他			
	柜式空调器									
	壁挂式空调									
	吊顶式空调									

R32	嵌入式空调																			
	窗式空调器																			
	柜式空调器																			
	壁挂式空调																			
	吊顶式空调																			
	嵌入式空调																			
	窗式空调器																			
	柜式空调器																			
	壁挂式空调																			
	吊顶式空调																			
	其他	嵌入式空调																		
窗式空调器																				
柜式空调器																				
壁挂式空调																				
吊顶式空调																				
嵌入式空调																				
窗式空调器																				
柜式空调器																				
壁挂式空调																				
吊顶式空调																				

注：

1. 若回收后的制冷剂交由危废处置中心进行处置，则此处为处置费用；若回收后的制冷剂经过纯化出售给其他再利用企业，则此处为销售价格。

11. 附表 4：废弃电器电子产品处理企业调研问卷（部分）

附表 4-1 2013 年房间空调器拆解及制冷剂回收情况

产品名称	拆解数量 (台)	拆解前含有制冷剂的 数量(台)	是否回收		是否分类回收		制冷剂回收		回收机能耗 (千瓦时/年)	回收时产生的 污染物	回收机价格 (万元)
			是 <input type="checkbox"/>	否 <input type="checkbox"/>	是 <input type="checkbox"/>	否 <input type="checkbox"/>	种类	数量(吨)			
窗式 空调 机			<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否								
柜式 空调 机			<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否								
壁挂 式空 调			<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否								
吊顶 式空 调			<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否								
嵌入			<input type="checkbox"/> 是	<input type="checkbox"/> 是	<input type="checkbox"/> 是	<input type="checkbox"/> 是					

式空 调		<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否						
---------	--	---	---	--	--	--	--	--	--

附表 4-2 2013 年家用电冰箱拆解及制冷剂回收情况

产品名称	拆解数量 (台)	拆解前含有制冷剂的 数量 (台)	是否回收		是否分类回收制冷剂		制冷剂回收		回收机能耗 (千瓦时/年)	回收时产生的 污染物	回收机价格 (万元)
			制冷剂	制冷剂	收制冷剂	收制冷剂	种类	数量 (吨)			
电冰箱			<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否								
冷柜			<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否								
迷你电冰箱			<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否								
其他			<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否								

附表 4-3 2013 年发泡剂回收情况

电冰箱保温材料回收量(吨)	是否回收发泡剂	发泡剂回收量(千克)	回收机能耗(千瓦时/年)	回收时产生的污染物	回收机价格(万元)
	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否				

附表 4-4 制冷剂、发泡剂回收设备及处理方式

材料名称	处理方式	设备
制冷剂	<input type="checkbox"/> 暂时贮存 <input type="checkbox"/> 付费给处置中心 <input type="checkbox"/> 转卖其他资源综合利用企业	<input type="checkbox"/> 自主研发 <input type="checkbox"/> 合作研发 <input type="checkbox"/> 国产(大陆) <input type="checkbox"/> 中国台湾 <input type="checkbox"/> 进口设备
发泡剂	<input type="checkbox"/> 暂时贮存 <input type="checkbox"/> 付费给固废处理中心 <input type="checkbox"/> 转卖其他资源综合利用企业	<input type="checkbox"/> 自主研发 <input type="checkbox"/> 合作研发 <input type="checkbox"/> 国产(大陆) <input type="checkbox"/> 中国台湾 <input type="checkbox"/> 进口设备

12. 参考文献

- [1] 周亚敏. 非二氧化碳温室气体控制的战略与技术选择 [J]. 气候变化研究进展, 2013, 9 (4): 295-298.
- [2] EPA. Summary report: global anthropogenic non-CO₂ greenhouse gas emissions: 1990-2030 [EB/OL]. 2012 [2013-02-10].
http://www.epa.gov/climatechange/Downloads/EPAactivities/Summary_Global_NonCO2_Projections_Dec2012.pdf
- [3] 政府间气候变化专门委员会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 [EB/OL]. 2013 [2013-02-10].
http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/sroc/sroc_spmnts_cn.pdf
- [4] EPA. Global anthropogenic non-CO₂ greenhouse gas emissions: 1990-2030 [EB/OL]. 2012-12-01 [2013-02-11].
<http://www.climate.gov/decision-support/reports-and-resources/global-anthropogenic-non-co2-greenhouse-gas-emissions-1990>
- [5] 日本市场制冷剂的应用发展
(<http://www.cr-expo.com/cn/newsbrowse.asp?id=6212>)
- [6] 郑华珍. 低 GWP 值 ODS 物质替代趋势综述[J]. 有机氟工业, 2013, 1: 40-42.
- [7] William Goetzler, Timothy Sutherland, Javier Burgos. Research and Development Roadmap For Next-Generation Low-GWP Refrigerants. U. S. Department of Energy, July 2011.
- [8] Identifying and Assessing Policy Options for Promoting the Recovery and Destruction of Ozone Depleting Substances (ODS) and Certain Fluorinated Greenhouse Gases (F-Gases) Banked In Products and Equipment. ICF International, 2010.
- [9] [日]大冢直. 环境法[M]. 日本东京: 有斐阁, 2002:123-170.
- [10] 罗丽. 日本应对气候变化立法研究 [J]. 法学论坛, 2010, 25(5), 107-113.
- [11] 胡华龙, 罗庆明, 温雪峰. 日本报废汽车的再生利用法 [J]. 环境保护与循环经济, 2012.
- [12] 窦艳伟. HFCs 类制冷剂: 前景堪忧——记第四次房间空调器行业 HCFCs 淘汰管理计划实施专家委员会[J]. 电器, 2013, 9.
- [13] 杨洁篪谈习近平主席与奥巴马总统安纳伯格庄园会晤成果
http://www.fmprc.gov.cn/mfa_chn/zyxw_602251/t1048973.shtml
- [14] 张网, 杨昭, 王婕等. 分体式空调器使用 R290 作为制冷剂的泄漏研究[J]. 制冷学报, 2013, 34(6): 42-47.
- [15] 汪训昌. R32 的 15 项基本专利的解读与评析 (续) [J]. 制冷与空调, 2012, 12(5): 59-68.
- [16] 汪训昌. 不饱和氟化烯烃及其混合制冷剂应用研究的最近进展与成果 [J]. 暖通空调 HV&AC, 2012, 42(4): 1-14.