



浙江大学
ZHEJIANG UNIVERSITY



浙江大学制冷与低温研究所
Institute of Refrigeration and Cryogenics, Zhejiang University

制冷剂回收与再利用技术

韩晓红

浙江大学制冷与低温研究所

hanxh66@zju.edu.cn



浙江大学制冷与低温研究所
Institute of Refrigeration and Cryogenics, Zhejiang University



浙江大学
ZHEJIANG UNIVERSITY

CONTENTS
目
录

- 01 研 究 背 景
- 02 制 冷 剂 回 收 的 必 要 性
- 03 国 内 外 制 冷 剂 回 收 现 状
- 04 回 收 技 术
- 05 小 结



浙江大学制冷与低温研究所
Institute of Refrigeration and Cryogenics, Zhejiang University



浙江大学
ZHEJIANG UNIVERSITY

01

制冷剂回收研究背景



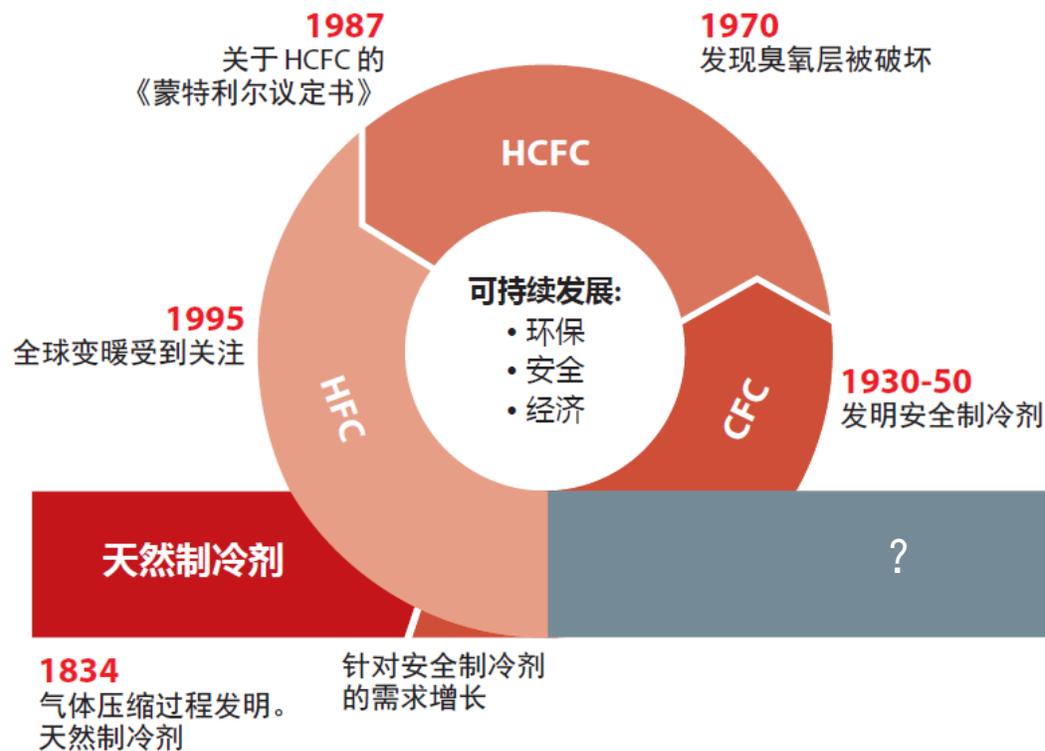
制冷、空调和热泵系统 (RACHP)

全球近30亿台运行机组，
年均消费约3千亿美元

消耗全球约17%的电能

占比最大的臭氧消耗物

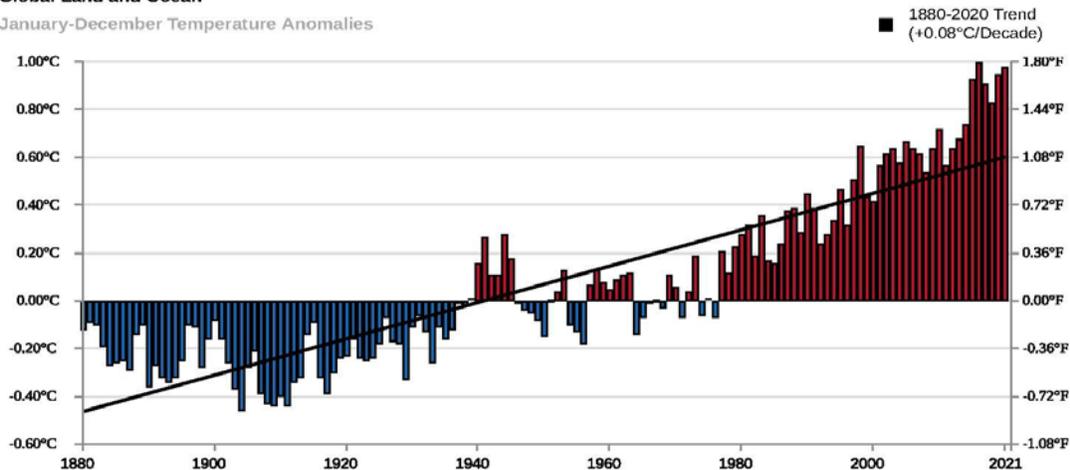
节能
减排
经济



全球变暖与温室气体排放

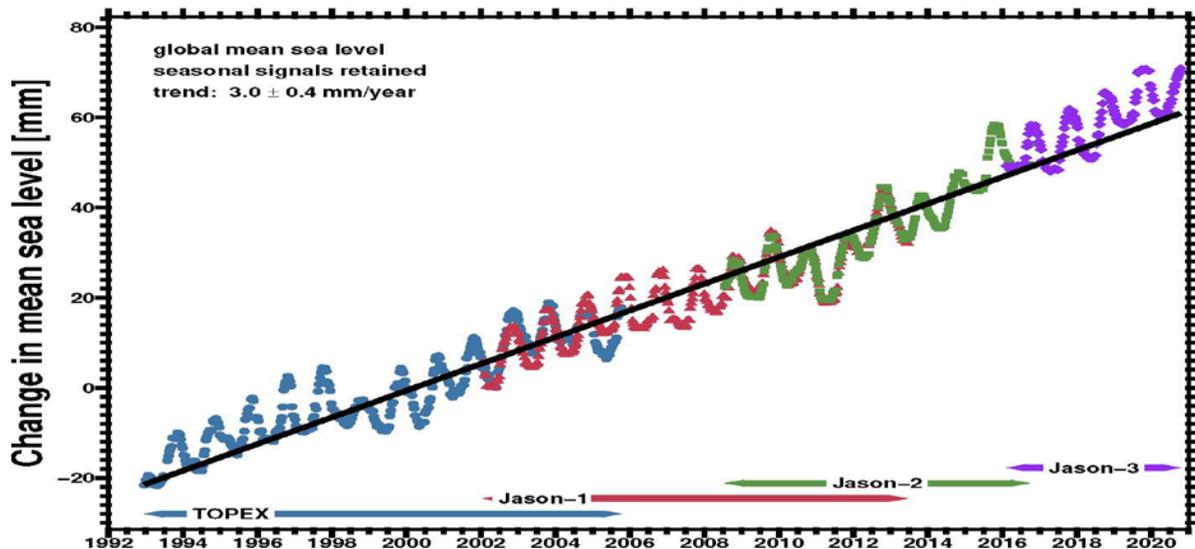
Global Land and Ocean

January-December Temperature Anomalies



注：图中0°C基准线定义为1981—2010年的全球气温平均值。

1880年以来全球平均气温平均值变化情况



1992年以来全球平均海平面变化情况



欧盟：一旦全球平均升温达到**2°C**，将会对自然系统、人类社会和经济系统产生不利影响。

全球平均气温升高速度逐步加快

- 全球平均气温较工业化前升高1.1°C
- 上升速度是过去200年平均增速的7倍



2016《巴黎协定》确定全球气温上涨幅度控制目标

到21世纪末，全球平均气温较工业化前水平上升的幅度控制<2°C；并争取<1.5°C的长期目标。



要实现1.5摄氏度的目标，2030年全球人为二氧化碳净排放量必须比2010年的水平减少约**45%**，到2050年左右实现“**净零**”排放。

研究背景

国家	达峰时间	承诺实现碳中和时间
英国	20 世纪 70 年代初达到峰值后，较长时间处于平台期，目前排放相对于峰值水平下降约 40%	2050
德国	20 世纪 70 年代末达到峰值后，较长时间处于平台期，目前排放相对于峰值水平下降约 35%	2050
美国	美国 2007 年达到峰值后，呈缓慢下降趋势，目前相对于峰值水平下降约 20%	2050
日本	日本 2013 年的排放水平是历史最高，未来趋势还有待观察	2050
韩国	韩国排放还未达到峰值	2050
中国	2030 之前（预计）	2060

数据来源: ECIU, IEA, EU, Crippa, M., Oreggioni, G., Guizzardi, D., Muntean, M., Schaaf, E., Lo Vullo, E., Solazzo, E., Monforti-Ferrario, F., Olivier, J.G.J., Vignati, E., Fossil CO₂ and GHG emissions of all world countries - 2019 Report, EUR 29849 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-76-11100-9. doi:10.2760/687800. JRC117610.



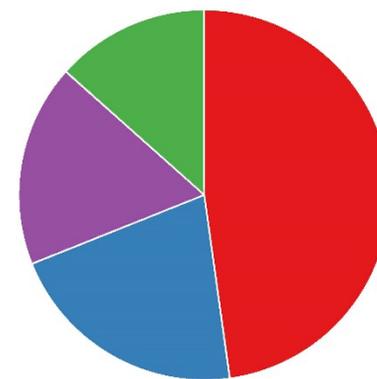
截至2020年底，全球已有100多个国家提出了碳中和的承诺
严格控制碳排放

中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于2030年前达到**峰值**，努力争取2060年前实现**碳中和**。

47.8%: 含氟气体
氢氟碳化物 (HFCs)、全氟化碳 (PFCs)、六氟化硫 (SF₆)、三氟化氮 (NF₃)



制冷剂替代



- 含氟气体的生产与使用 (47.8%)
 - 化工生产与使用 (21.1%)
 - 矿产品 (17.7%)
 - 金属生产 (13.4%)
- 百万吨二氧化碳当量

2018年工业过程中不同类别温室气体占比

根据《京都议定书》及多哈修正案的定义，含氟温室气体包括氢氟碳化物 (HFCs)、全氟化碳 (PFCs) 和六氟化硫 (SF₆) 以及三氟化氮 (NF₃)。其中，HFCs是目前使用较为广泛GWP值较高的一类制冷剂，减少HFC的使用是当前制冷剂替代工作的重点。

高GWP制冷剂削减政策

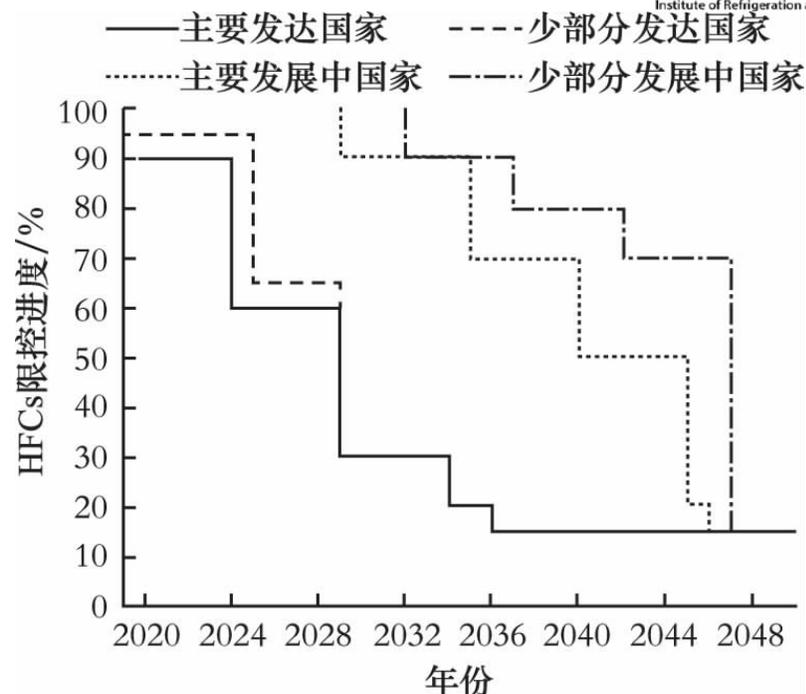


浙江大学制冷与低温研究所
Institute of Refrigeration and Cryogenics, Zhejiang University

基加利修正案增列的受控HFCs制冷剂

物质	GWP	物质	GWP
HFC-134	1100	HFC-245ca	693
HFC-134a	1430	HFC-43-10mee	1640
HFC-143	353	HFC-32	675
HFC-245fa	1030	HFC-125	3500
HFC-365mfc	794	HFC-143a	4470
HFC-227ea	3220	HFC-41	92
HFC-236cb	1340	HFC-152	53
HFC-236ea	1370	HFC-152a	124
HFC-236fa	9810	HFC-23	14800

2016年10月，《蒙特利尔议定书》第28次缔约方大会上达成了**限控温室气体** HFCs的基加利修正案，将R134、R134a等18种氢氟碳化物（HFCs）列入受控物质清单并明确了HFCs的削减时间表，该修正案于2019年1月1日正式生效，预计将减少88%的 HFCs排放，防止本世纪末全球升温0.5℃。

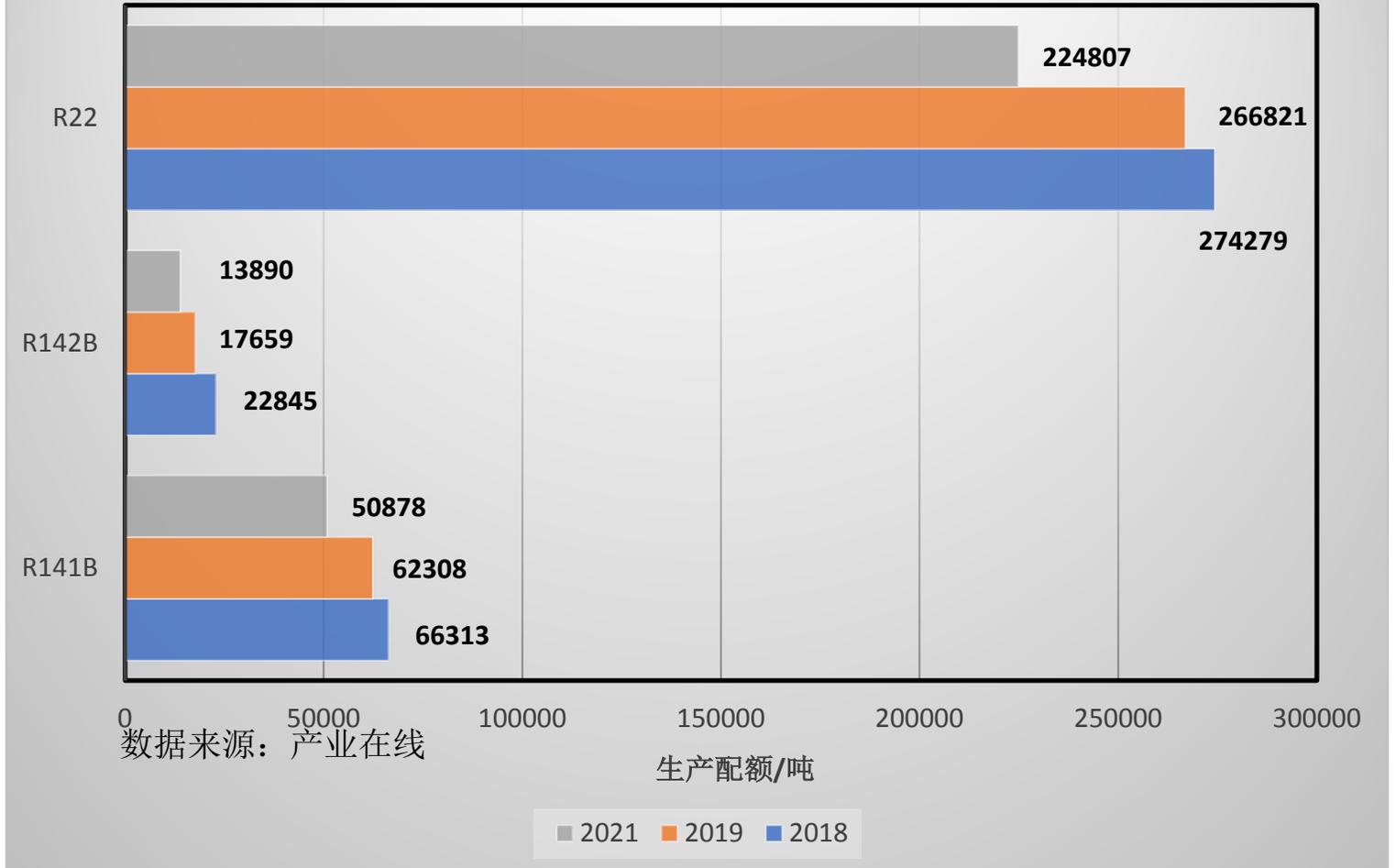


- 《基加利修正案》，目前已有100多个批约国；据外媒报道，美国新任总统拜登于2021年1月27日正式发出政府行政命令，将《基加利修正案》提交美国参议院，以加速推动美国在该项协议的批约工作。

制冷剂配额制度

- 《蒙特利尔议定书》规定了控制限额的基准，受控的内容包括受控物质的生产量和消费量；根据议定书明确规定，再循环和再使用的制冷剂数量不属于“生产量”。
- 我国根据《蒙特利尔议定书》从2013年开始对第二代HCFCs制冷剂的消费和生产实施配额制政策。
- 欧盟F-Gas Regulation (EU) No 517/2014: 2015年1月1日开始，企业必须按照配额投放市场。
- 《美国创新与制造业领导法案》指示美国环境保护署实施配额分配和贸易计划，并寻求建立管理氢氟碳化物的标准，包括回收和改造。

年度部分含氢氯氟烃生产配额（生态环境部）





制冷剂回收的必要性

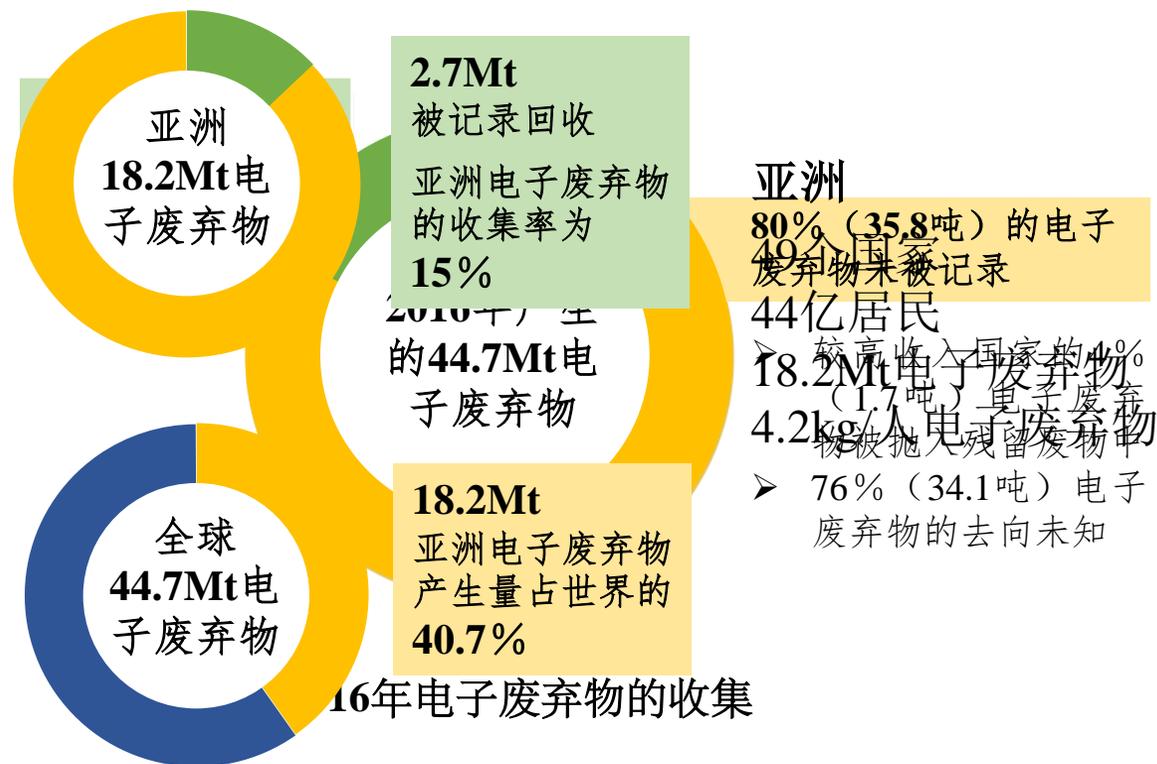
——基于WEEE的分析

全球电子废弃物现状

报废电子电气设备 (Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)) 中温室气体排放的管理至关重要。由于冰箱、空调、净水器等电器内的制冷剂种类繁多且数量较大，在报废过程中制冷剂的排放将对全球温室效应造成极为不利的影 响。



全球电子废弃物产生量



WEEE回收数据分析

——以韩国大都会电子回收 (MERC) 中心为例

MERC (2016年) 回收的WEEE

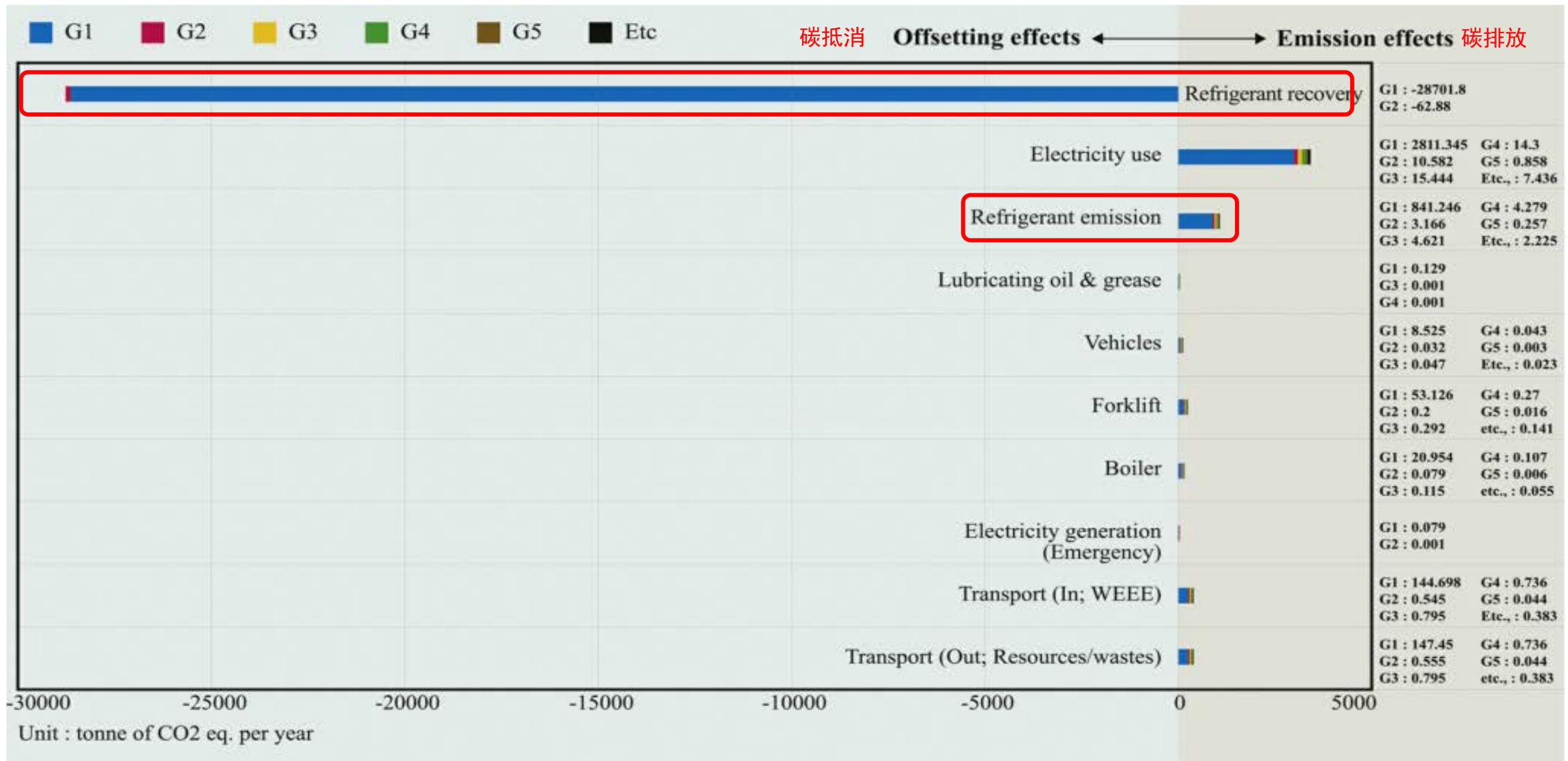
	G1	G2	G3	G4	G5	Etc
数量	329420	3562	25469	8527	73155	4193
重量 (吨)	22418	85	124	114	7	58
重量比 (%)	98.30	0.37	0.54	0.50	0.03	0.26
制冷剂废弃率 (%)	0.16	0.02	-	-	-	-

G1: 冰箱, 洗衣机, 空调, 电视, 自动售货机
 G2: 食物垃圾处理, 电烤箱, 微波炉, 洗碗机, 净水器
 G3: 视频播放器, 空气滤清器, 加湿器, 搅拌器, 风扇, 音频, 软水器, 电饭煲, 熨斗, 坐浴盆, 加热器, 吸尘器
 G4: 计算机, 复印机, 传真机, 打印机
 G5: 包括电池和充电器的手机
 Etc: 其他电子器件 (电动垫, 电动剃须刀, 电动按摩器等)

WEEE 中废弃的制冷剂量 WEEE 中制冷剂造成的碳排放与碳抵消量 WEEE 中回收的制冷剂量

		G1	G2	设备	制冷剂质量 (kg)		
					R12 (GWP:10900)	R22 (GWP:1810)	R134a (GWP:1430)
废弃制冷剂的碳排放		841.246	3.166	冰箱	2242	5	2773
回收制冷剂的碳抵消	R12	24437.800	-	空调	-	160	-
	R22	298.650	54.300	净水器	-	30	6
	R134a	3965.390	8.580	总量	2242	195	2779
				-	-	-	-

WEEE回收数据分析——以韩国大都会电子回收 (MERC) 中心为例



WEEE 中的碳排放与碳抵消量 (二氧化碳当量)



浙江大学制冷与低温研究所
Institute of Refrigeration and Cryogenics, Zhejiang University



浙江大学
ZHEJIANG UNIVERSITY

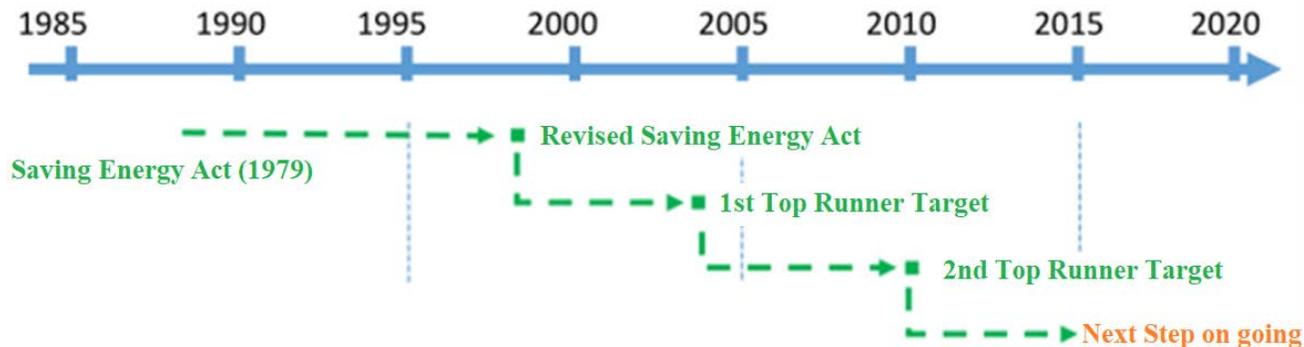
03

国内外制冷剂回收现状

制冷剂回收情况-日本

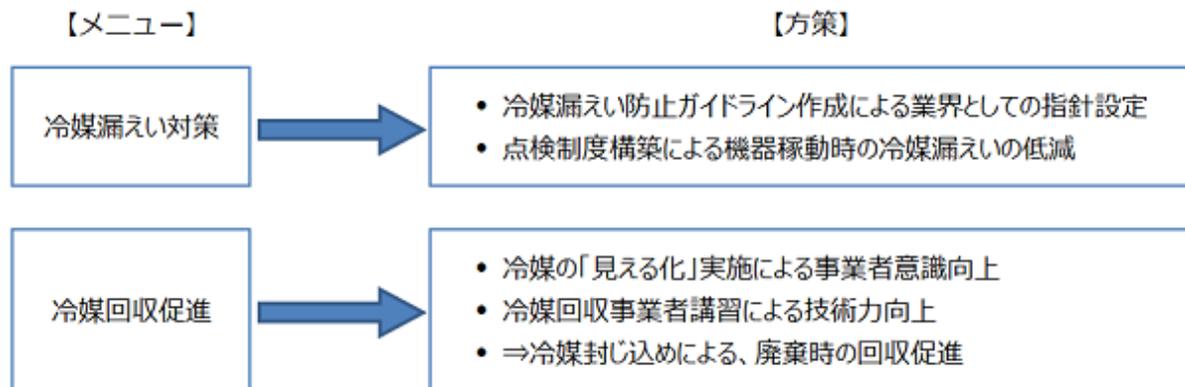
日本对氟氯化碳和氟氯烃等管控严格，对制冷剂的制造、产品的使用、回收、再生、销毁等整个生命周期的排放进行控制。根据《碳氟化合物回收和销毁法》，当含有含氟气体的设备（家用电器、汽车空调和商用空调等）废弃时，必须回收这些氟氯化碳和氟氯烃。

据RRC统计，截止2018年1月，日本共有6个注册的制冷剂回收机构。日本整体制冷剂回收率约为30%，是目前世界上回收水平最高的国家。



日本制冷和空调工业协会（JRAIA）致力于研究防止制冷剂泄漏和促进制冷剂回收的具体措施。

- 日本制冷剂与环境保护组织（JRECO）
- 制冷剂回收促进和技术中心（Refrigeration Recycling Promotion and Technology Center (RRC)）



一般財団法人 日本冷媒・環境保全機構
JRECO® Japan Refrigerants and Environment Conservation Organization



制冷剂回收情况-日本

RRC部分制冷剂再生处理标准

工质	CFC-12	R-502	HCFC-22	HFC-134a
外观	无色、清澈、透明			
纯度	≥99.78%	≥99.78%	≥99.78%	≥99.78%
杂质1	<0.02 (CFC-11)	<0.02 (CFC-11,114)	<0.02 (CFC-11)	<0.02 (CFC-11)
杂质2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
水分(质量分数)	<0.001	<0.001	<0.002	<0.002
酸含量(质量分数)	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
不凝性气体 (体积分数)	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5
蒸发残渣(体积分数)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

注：杂质1——易分解的制冷剂；杂质2——除杂质1以外的制冷剂。

日本2019年氟碳化合物回收数据

	CFC	HCFC	HFC	Total
2019年初储存的氟碳化合物数量	4,853	54,696	50,397	109,945
收集的氟碳化合物数量（商用冰箱及空调）	20,116	923,197	644,307	1,587,620
回收的氟碳化合物的数量	16,349	866,659	627,187	1,510,195
交付给销毁商的氟碳化合物数量	0	34,932	20,034	54,966
2019年年底储存的氟碳化合物数量	5,887	68,011	43,221	117,118

根据修订的《碳氟化合物回收和销毁法》

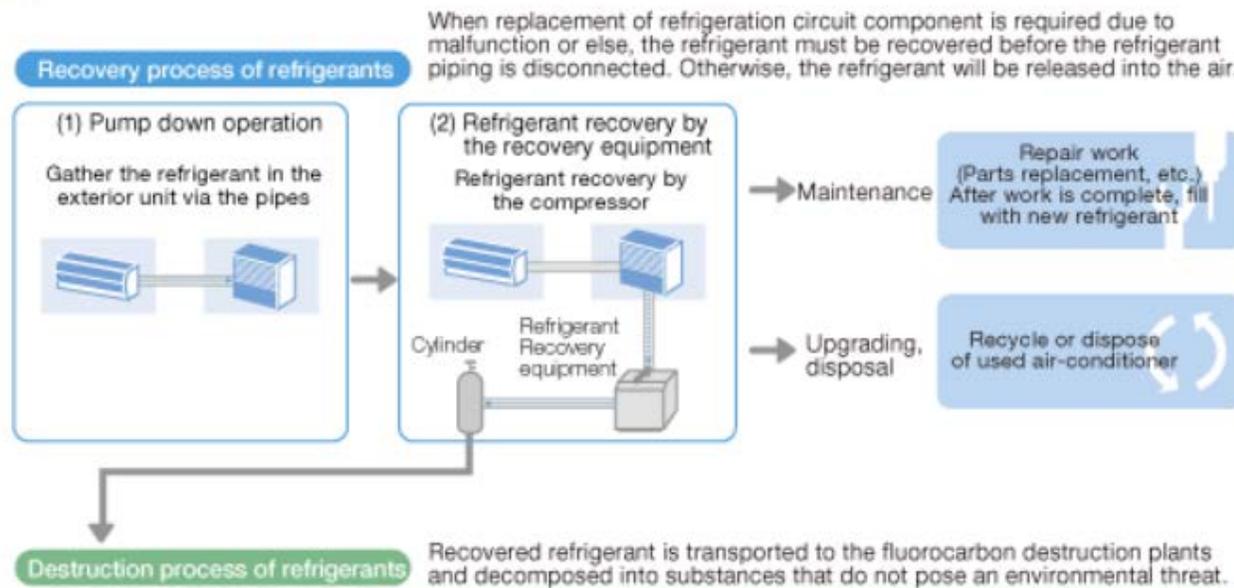
2019年日本回收的碳氟化合物总量约为1,510吨，比2018年（约1,351吨）增长了11.8%。其中约16吨氯氟烃（CFC），比上年减少了30.4%；约867吨氢氯氟烃（HCFC），比上年增加了2.4%；约627吨氢氟碳化合物（HFC），比上年增长了30.5%。

从空调中回收，回收和销毁碳氟化合物

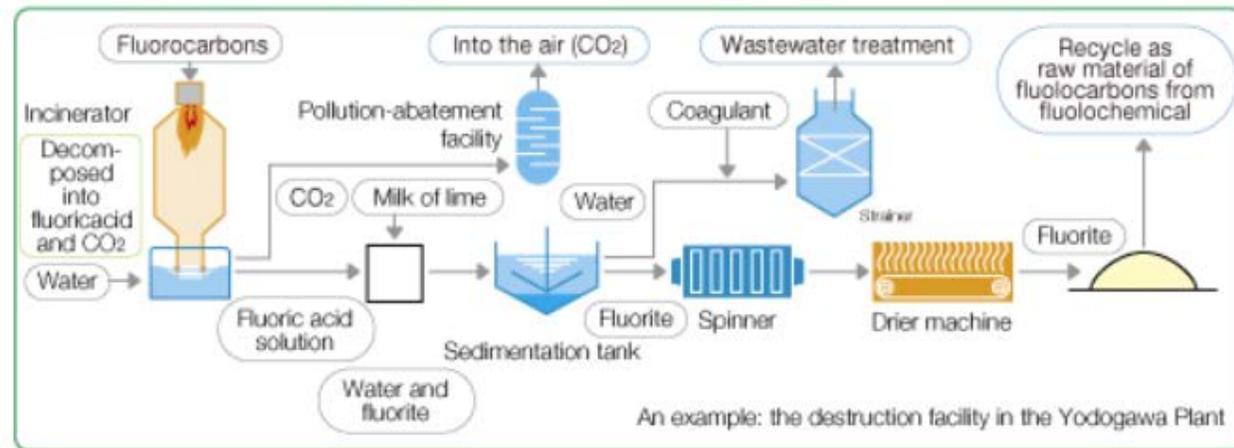
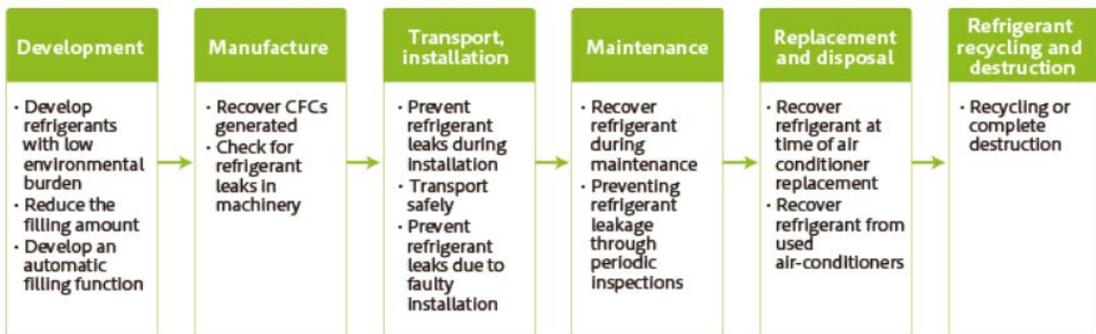
减少整个生命周期的影响---以Daikin例

- 开发制冷剂→空调产品→制冷剂的回收，再循环和销毁的综合空调制造商。
- 借鉴的经验：在生产，售后和其他阶段严格管理制冷剂，在空调使用寿命结束时回收，回收和销毁制冷剂，以便我们能够在整个生命周期中减少对环境的影响。
- 在测试和其他过程中回收和销毁放置在空调中的制冷剂。努力改进空调安装技术，以确保制冷剂得到彻底回收，从而防止制冷剂在产品使用期间泄漏，并确保在进行空调维修和更换之前进行任何维修工作之前，先回收制冷剂。

Recovery and Destruction of Refrigerants



Efforts to Prevent Environmental Burden from Fluorocarbon Emissions



制冷剂回收情况-美国

- 最新版本SNAP计划，对HFCs的禁用实施过程按照行业列出了具体的禁止时间表。涉及行业包括气雾剂、新制造的轻型机动车中的空调系统、零售食品制冷及自动售货机、泡沫发泡剂，涉及的HFCs包括HFC-134a、HFC-125、HFC-227ea、HFC-245fa及多种HFCs混合物等。
- 在使用动态机制进行替代品筛选的基础上，SNAP计划也规定了针对使用含氟温室气体的设备建立检漏机制及记录保存。
- 制冷剂的回收需要得到美国环境保护署（EPA）的资质认证才能合法进行。根据《清洁空气法》第608条的EPA法规，要求对制冷剂回收和再循环设备进行测试，以确保其满足EPA要求。

用于小型家电制冷剂回收的设备的回收要求:

- 当压缩机正常工作时，能回收家电90%以上的制冷剂；
- 当压缩机不工作时，能回收家电中80%以上的制冷剂。

制冷剂回收和再循环设备认证机构:

- Air-Conditioning, Heating, and Refrigeration Institute (AHRI)
- Underwriters Laboratories (UL)

A-Gas公司的制冷剂回收

根据生命周期管理制度（LAC），使用移动回收装置和专用回收气瓶对达到使用寿命的设备进行制冷剂回收。

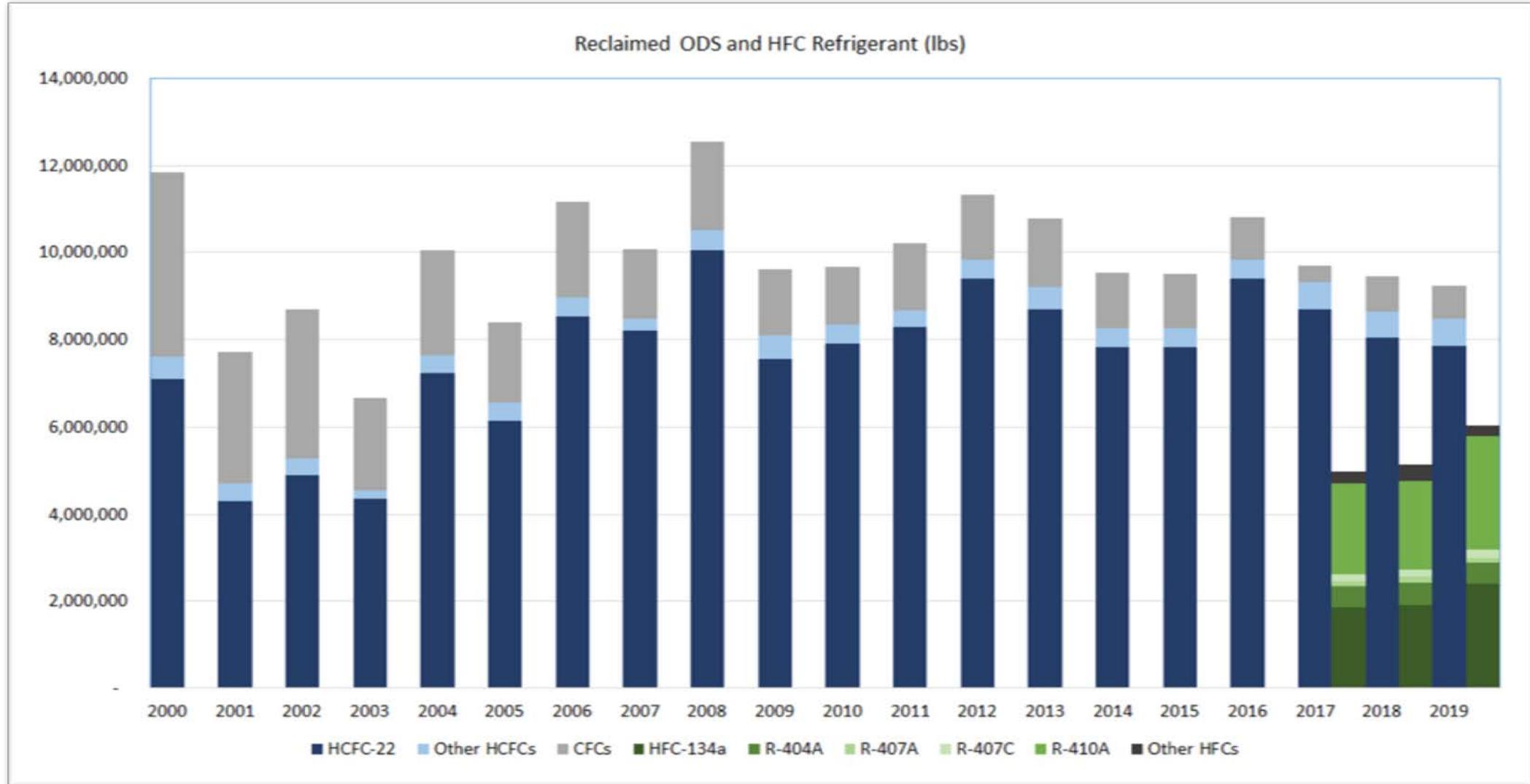
使用最新技术进行制冷剂分离，提高回收率，并通过分离混合制冷剂使回收最大化。

针对无法回收的制冷剂，在指定的场所进行销毁。



制冷剂回收情况-美国

2000 ~ 2019 年美国制冷剂回收情况（从2017年起新增HFCs制冷剂的回收数据）

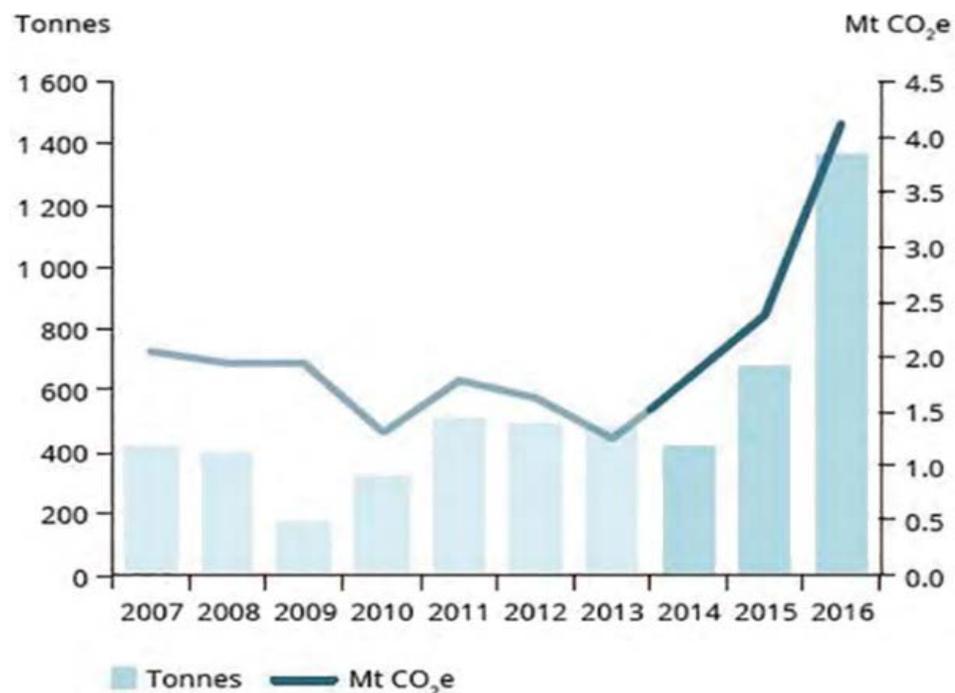


制冷剂回收情况-欧盟

欧盟出台了《欧盟含氟气体法规》EU 517/2014 于2015 年施行、该法规要求企业报告含氟化温室气体和其他温室气体的生产、进口、出口、原料使用和销毁。企业必须使用统一的报告格式向欧盟环境署汇报以上相关内容。

为了实现欧盟F-gas 的减少计划，从2017 年开始，欧盟在制冷、空调和热泵（RACHP）设备中包含的HFCs采用配额机制。在不影响现行欧盟立法的情况下，欧盟各成员国鼓励制定含氟气体回收、再生及销毁的生产者责任制度。为了确保和促进含氟气体的回收、再利用及销毁计划的进行，欧盟建立认证体系和评估过程。各成员国认可任何其他成员国颁发的证书和培训证明，并且不限制提供服务的自由。

如果由于本国人口规模小以及因此缺乏对这种培训和认证的需求，则可通过承认其他成员国颁发的证书来招募相关资质人员进行含氟气体的相关操作。欧盟各成员国对于含氟气体的回收、再利用、销毁的技术和设备不一。



欧盟回收的含氟气体（2007-2016）

Note: Annex II F-gases (unsaturated HFCs and HCFCs, HFEs and alcohols, and NF₃ and other perfluorinated compounds) were not subject to reporting for the years 2007-2013.

Sources: EC, 2011; EEA, 2016 and 2017b.

废弃电器电子产品相关管理办法



- 2007年《电子废物污染环境防治管理办法》颁布，首次明确提出“拆解电子废物，应当首先将制冷剂等去除并分类收集、贮存、利用、处置”。2010年《废弃电器电子产品处理污染控制技术规范》(HJ527-2010)发布，提出对废弃空调器、冰箱和其他制冷设备中的制冷剂进行回收，对PUR发泡材料进行处理处置。
- 2010年《废弃电器电子产品处理企业资格审查和许可指南》发布。
- 2014年《废弃电器电子产品规范拆解处理作业及生产管理指南(2015年版)》发布，指南对于制冷剂的回收提出了明确的要求，并对制冷剂和保温层材料的处理处置方法提出具体的指导规范，但是对于制冷剂的回收率没有要求，不能保证制冷剂被有效回收。

在制定的有关制冷剂的众多政策中，关于制冷剂回收利用、处理处置的规定相对较少。

- 2000年国家发布《回收消耗臭氧层物质标志的通知》，2010年国务院批准实施《消耗臭氧层物质管理条例》，涵盖对消耗臭氧层物质（ODS）生产、销售、使用、进出口、回收、再生利用和销毁等全生命周期各个环节的管理。**《条例》中没有对HFCs制冷剂的管理和制冷剂泄漏和排放的责任追究。**
- 2019年6月13日，国家发改委等7个部门联合发布了《绿色高效制冷行动方案》，其中明确指出了要严格控制制冷剂的泄漏和排放，加大对制冷产品回收处理的监管，规范废旧制冷产品和制冷剂的回收、拆解和再利用。目前还没有出台相关实施细则，但是可以看到这项工作已经得到了有关部门的重视。
- 2020年5月发布《消耗臭氧层物质和氢氟碳化物管理条例（修订草案征求意见稿）》，将氢氟碳化物（HFCs）纳入管控范围，并对ODS和HFCs生产单位，回收、再生利用和销毁单位的违法排放提出了严格管理要求，明确规定了违反ODS、HFCs减排和无害化处置义务的法律责任等。
- **全国工商联：关于规范开展制冷剂（ODS及HFCs）回收再生利用工作的提案（2020年5月）。**

https://www.acfic.org.cn/zt_home/2020qglh/2020qglh_qlta/202005/t20200520_236324.html

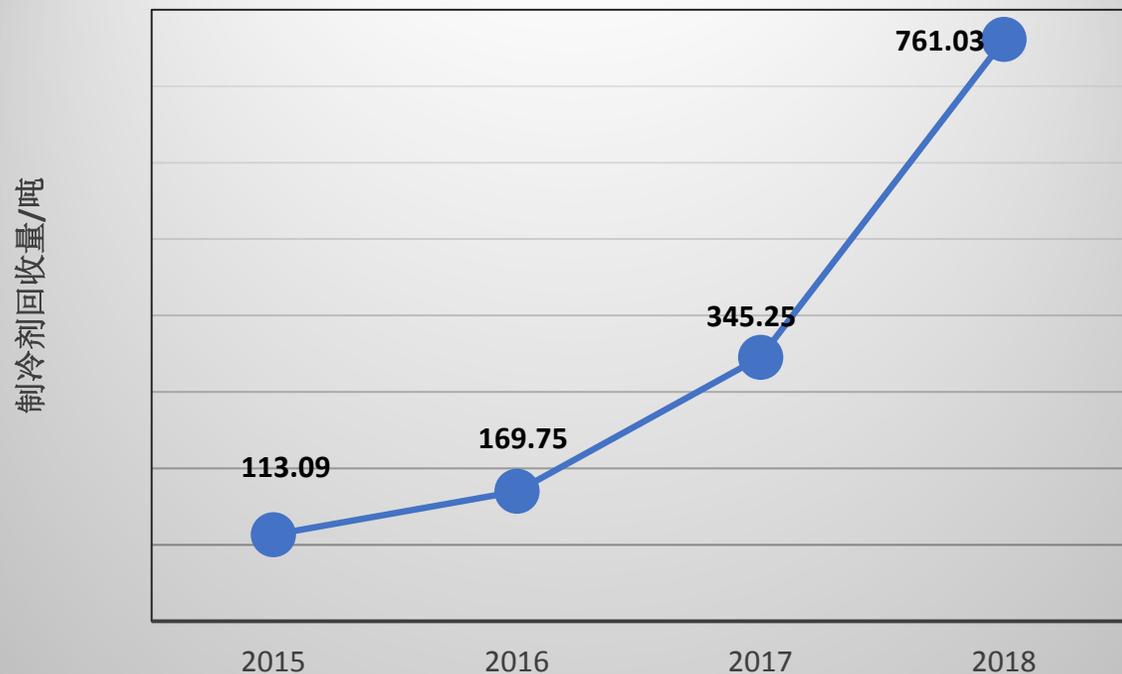
http://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk13/202012/t20201203_811197.html

https://www.acfic.org.cn/zt_home/2020qglh/2020qglh_qlta/202005/t20200520_236324.html

制冷剂回收情况-中国

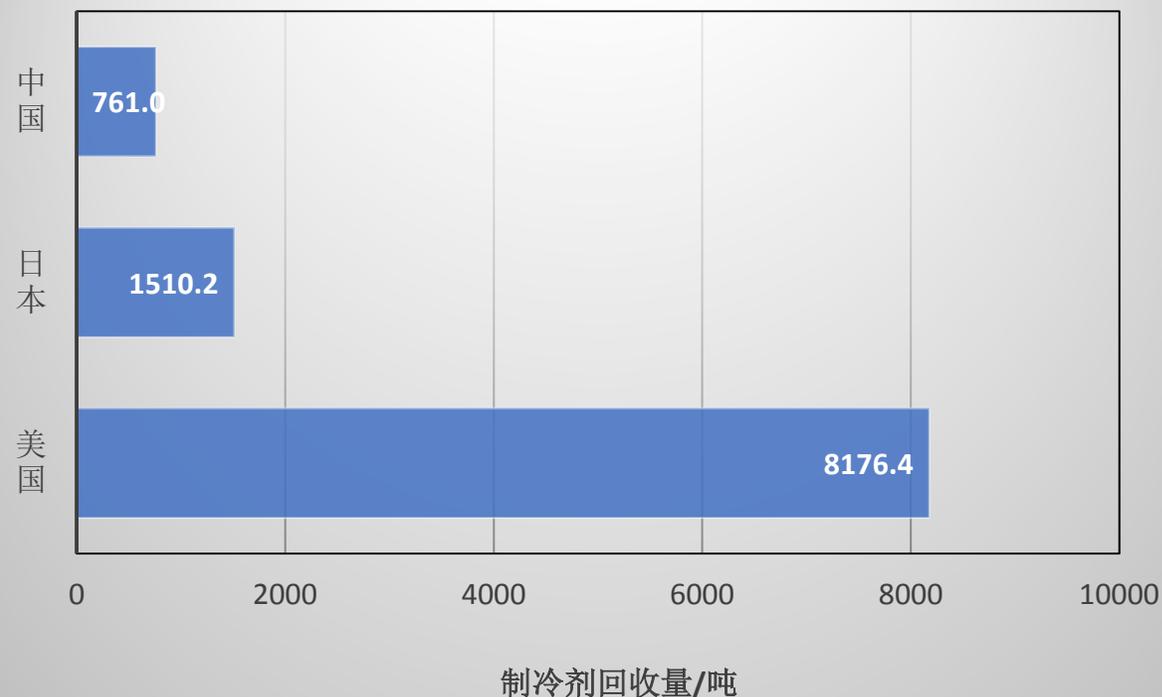
随着相关管理力度加强，正规废弃电器拆解处理企业回收的冰箱和空调逐步增多，家电拆解企业制冷剂回收量在逐年上升。

中国 2015 ~ 2018 年制冷剂回收量



数据来源：生态环境部

2018年制冷剂回收量对比



制冷剂回收情况-中国vs发达国家

	若干发达国家	中国
废制冷剂管理政策	从管控制冷剂整个 <u>生命周期</u> 的角度制定与其相关的政策，形成了制冷剂销售、运输、回收、再生、回售的 <u>闭环产业链</u> 。	制冷剂回收利用政策主要涉及制冷剂的指导性管理，与其相关的 <u>监管环节较为薄弱</u> ，尚未形成有效的链式管理。
从业人员、机构、企业的认证	凡是从事制冷剂相关工作的人员、机构、企业均需要通过国家的认证或者许可，同时通过相应的资格许可测试。	相关企业/机构在环保部门进行备案即可进行相关产业活动， <u>资格认定较为简易</u> ；且申请备案的企业或者机构相对较少。
国家对相关企业的支持力度	政府对相关企业实施支持激励政策，增强企业的对制冷剂回收的意识和回收力度。	国家对于此类企业的支持力度不高，企业回收制冷剂的积极性也不高；缺少促进制冷剂回收、再利用和销毁的产业激励政策。

未来需进一步增强制冷剂管理意识；制冷剂管理专业知识培训；机构设立；完善立法；健全监管体系。



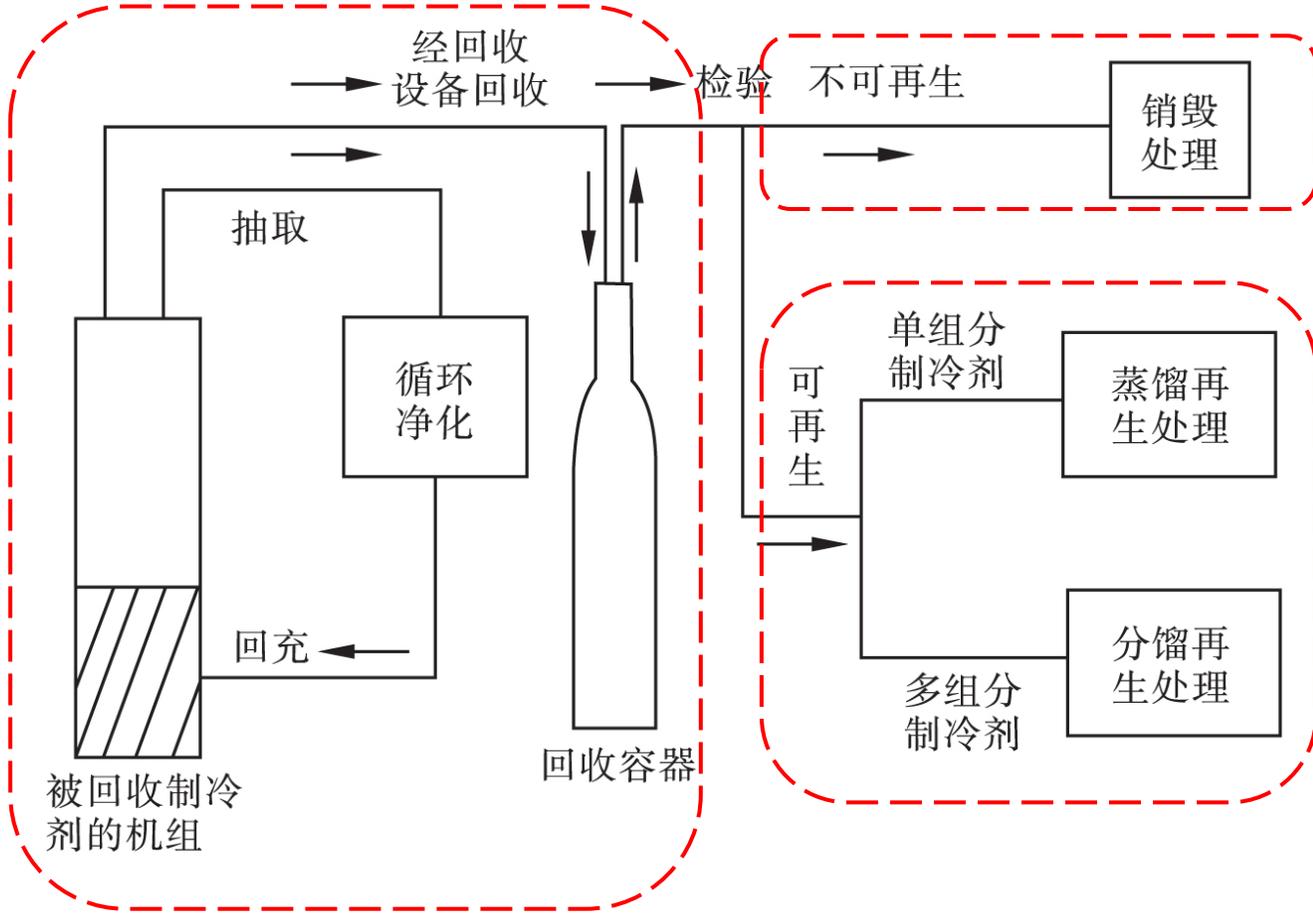
浙江大学制冷与低温研究所
Institute of Refrigeration and Cryogenics, Zhejiang University



浙江大学
ZHEJIANG UNIVERSITY

04

制冷剂回收技术



制冷剂回收及后续处理流程

回收的制冷剂分类:

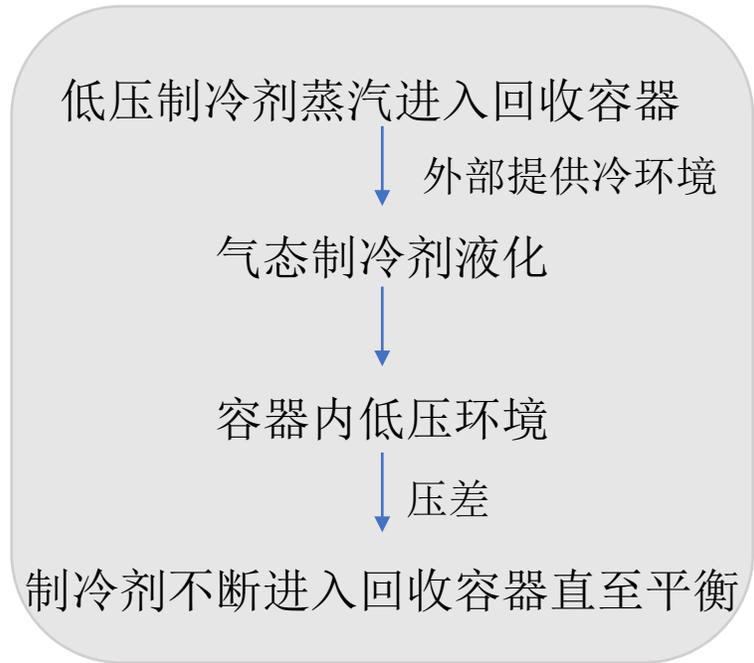
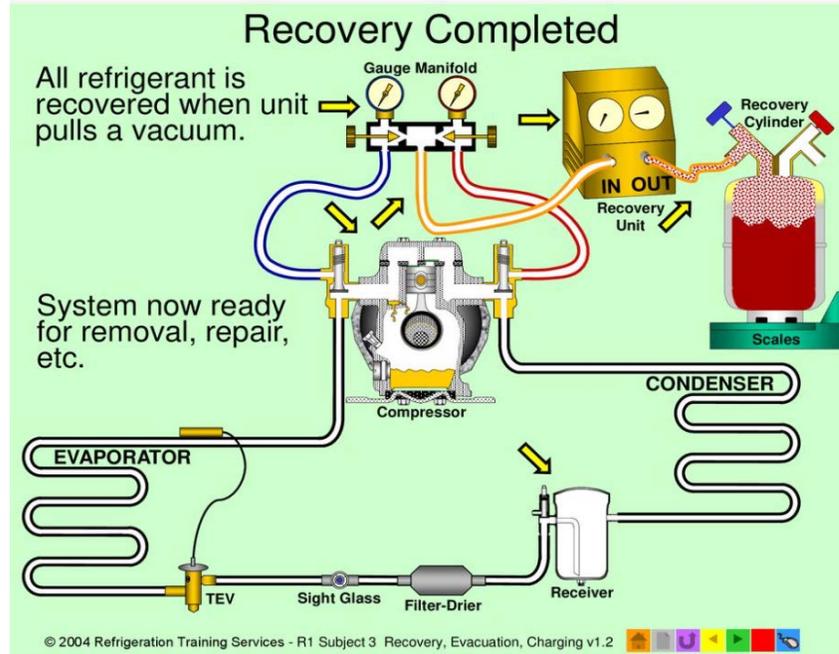
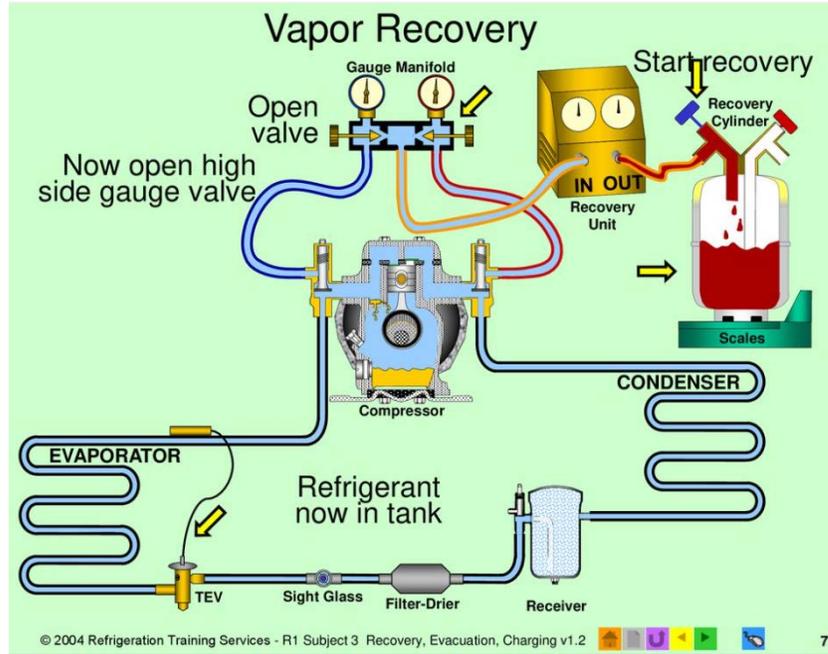
- **A类**: 回收并可再利用的制冷剂，如单一工质制冷剂，在回收后经润滑油分离、除水、除不凝性气体等步骤后即可再利用。
- **B类**: 回收后无法直接再利用的制冷剂，如混合制冷剂（R407C、R410A）等。

制冷剂回收方法:

- 气相回收法
- 液相回收法
- 液态推拉法

制冷剂回收方法

气相回收法 (Vapor Recovery Method)

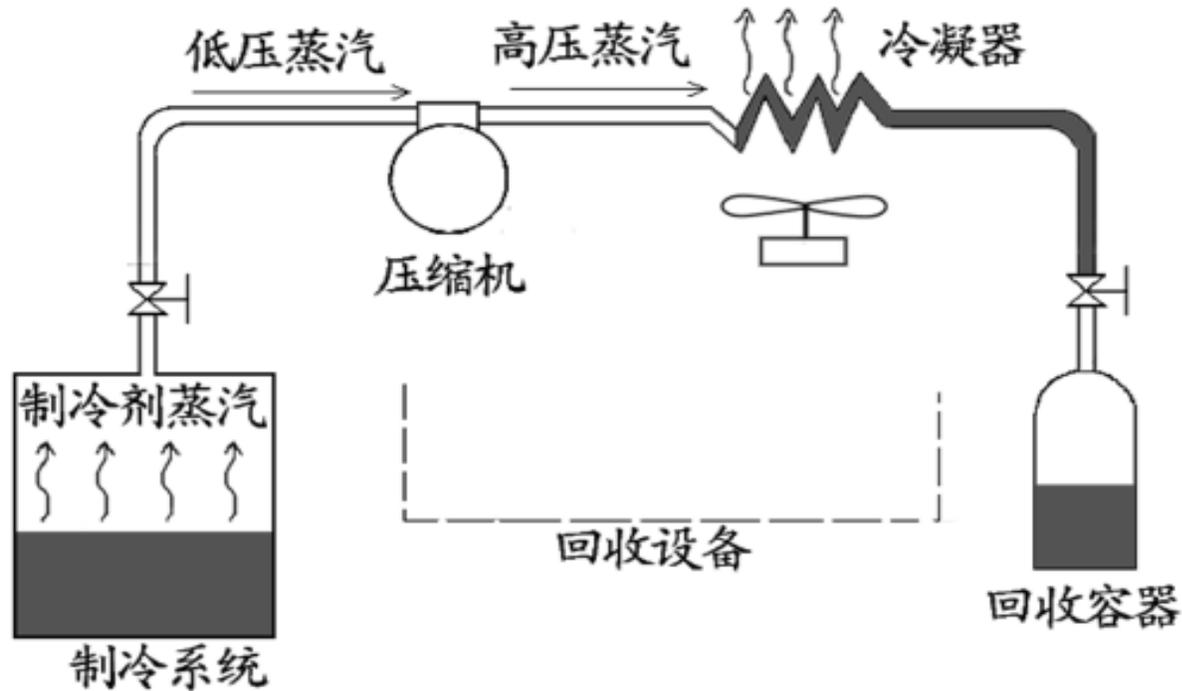


优点：减少制冷系统内的压缩机润滑油、固体机械残渣等进入回收容器，提高回收制冷剂的纯净度。

不足：回收管路两端压差不高，因此回收过程所用时间较长，仅适用于小容量回收，且回收率不高。

制冷剂回收方法

液相回收法 (LIiquid Recovery Method)



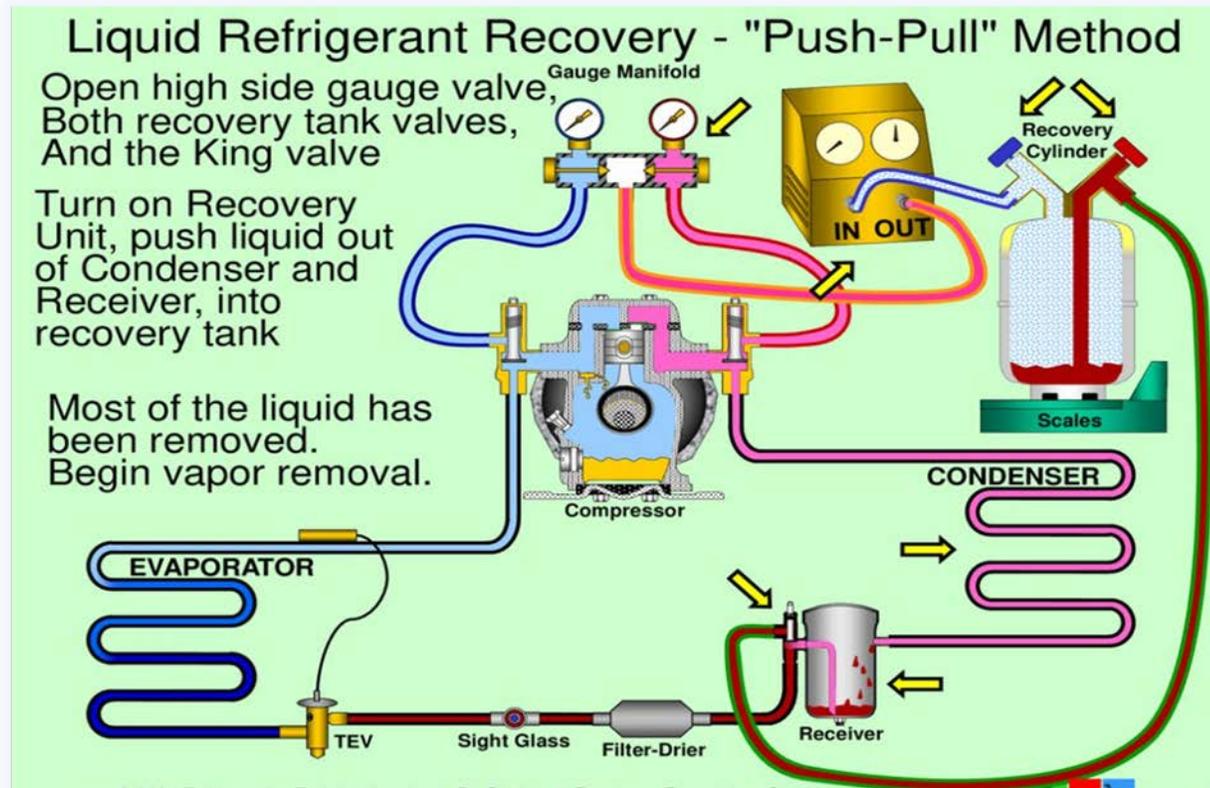
优点：回收管路两端压差较大，制冷剂回收效率高，适用于中、大容量制冷剂的回收。

不足：由于回收设备嵌入制冷循环中，可能出现压缩机润滑油等杂质混入，一般需要后续净化。

制冷剂的回收设备嵌入制冷循环中，利用压缩机抽取制冷系统内的制冷剂蒸汽，气态制冷剂经过压缩机后压力升高，在冷凝器处冷却液化，依靠冷凝器侧高压将液体压入回收容器。

制冷剂回收方法

液态推拉法 ('Push-Pull' method)



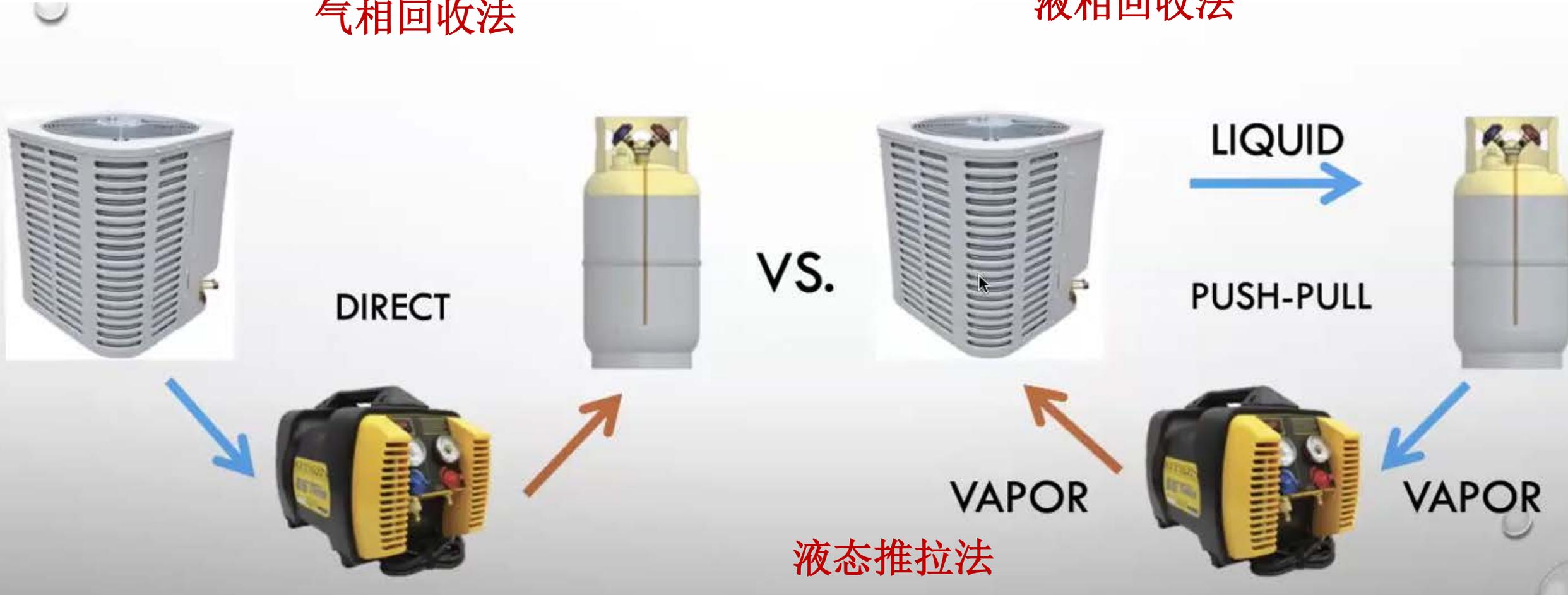
连接制冷系统与回收容器形成闭合回路。由压缩机抽取收装置中的气态制冷剂，增压后将高压气态制冷剂“推”入制冷系统；使制冷系统内的制冷剂被高压气体通过另一侧出口压入回收装置中。

优点：依靠压缩机形成压差，回收时间短，回收量大，特别适用于制冷剂充装量大的制冷系统。

缺点：制冷系统和回收管路中的高压气态制冷剂残留较多；液态制冷剂直接进入回收容器，杂质含量较大。

气相回收法

液相回收法



针对制冷剂回收装置及回收的制冷剂产品

(1) 要准确控制回收时间.

时间太短制冷剂回收不干净；时间太长，容易烧坏压缩机。

(2) 回收装置中易混入空气.

(3) 回收效率不理想，回收杂质相对较高.

(4) 回收装置智能化不足.

(5) 回收装置与净化装置及分离装置的一体化建设.

针对回收的制冷剂产品：

- 废旧制冷剂中含有不凝性气体，水，高沸点残渣，对于回收的纯质制冷剂，可能会存在纯度降低的问题，对于混合制冷剂，回收后产物可能存在组成成分变化的问题。
- 回收后的混合制冷剂往往由高GWP制冷剂和部分可回收利用的低GWP制冷剂组成，这就需要从回收的混合制冷剂混合物中尽可能分离出更多仍具有使用价值的低GWP制冷剂，而部分回收制冷剂属于共沸混合物，无法通过常规的精馏来对它们进行有效的分离，需要采用萃取精馏这一方法，这就对萃取剂提出了非常高的要求，需要筛选出低成本且分离效率高的萃取剂来有效的分离制冷剂回收产物。

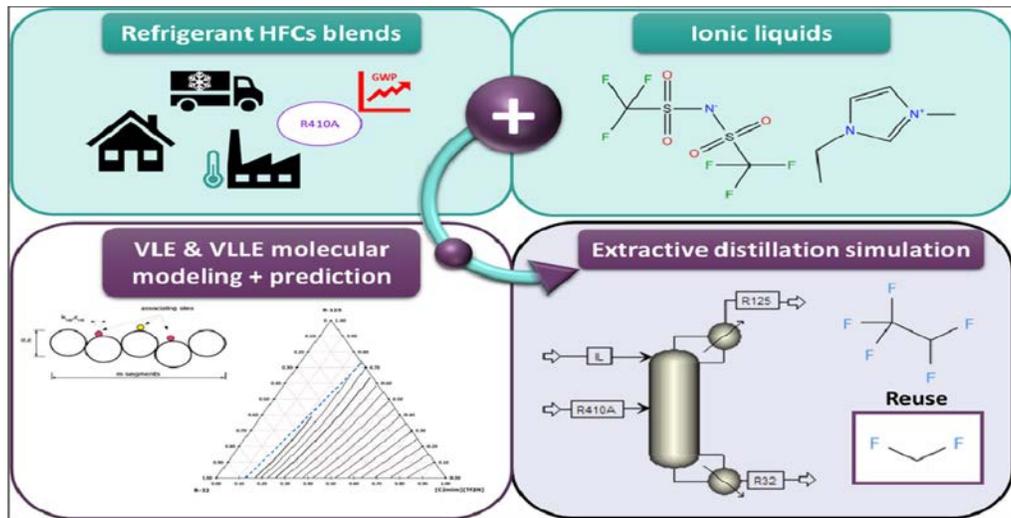
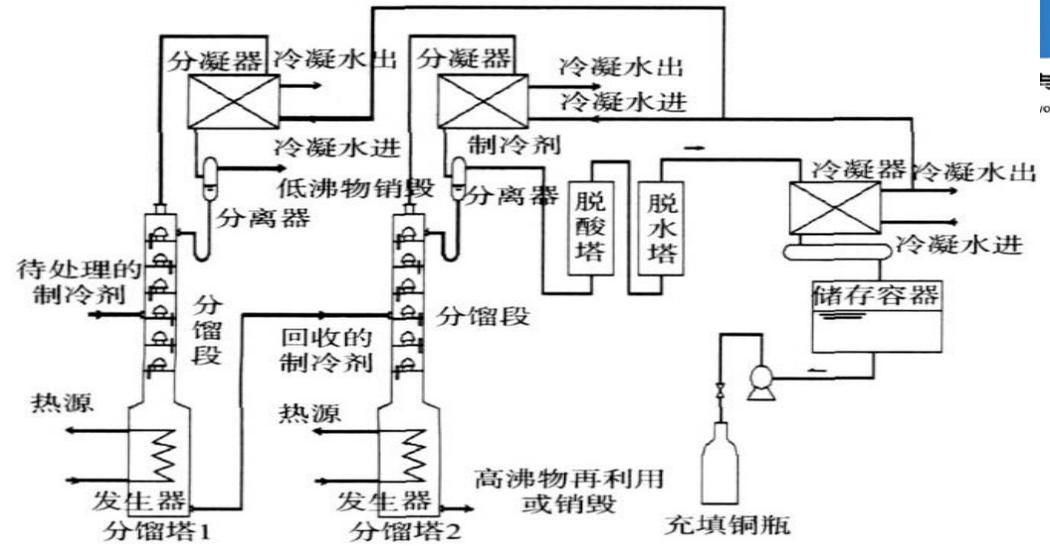
回收制冷剂的再生过程

针对简单净化后可直接循环利用的单一工质制冷剂

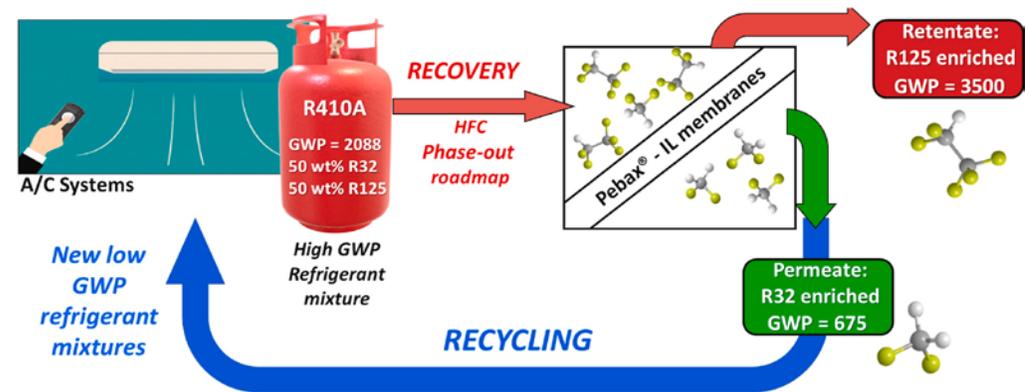
- 主要杂质：油、水分、酸、不凝性气体
- 净化流程：油分离、干燥过滤、不凝性气体分离

针对无法直接循环利用的混合工质制冷剂

- 非共沸混合制冷剂 → 分馏（精馏）技术
- 共沸/近共沸混合制冷剂 → 离子液体萃取分离技术、吸附分离技术、膜分离技术等



离子液体分离技术^[1]



膜分离技术^[2]

我们团队多年来一直致力于混合工质的分离技术。

[1] Asensio-Delgado S, Jovell D, Zarca G, et al. Thermodynamic and process modeling of the recovery of R410A compounds with ionic liquids[J]. International Journal of Refrigeration, 2020.

[2] Pardo F, Zarca G, Urtiaga A. Effect of feed pressure and long-term separation performance of Pebax-ionic liquid membranes for the recovery of difluoromethane (R32) from refrigerant mixture R410A[J]. Journal of Membrane Science, 2021, 618:118744.



浙江大学制冷与低温研究所
Institute of Refrigeration and Cryogenics, Zhejiang University



浙江大学
ZHEJIANG UNIVERSITY

05

小结

在制冷剂回收、净化及再利用方面，我国机遇与挑战并存。

挑战

- 我国相比于欧美起步较晚，回收技术还不成熟，相关企业较少；尤其净化技术方面的发展更为缓慢，相对于回收，尚处于科研阶段；
- 我国制冷剂使用量巨大，涉及工业、商业、民用等多个方面，从企业记录排放量、报废及回收服务、设备泄漏情况及设备维护及维修人员获取政府认证等都需要有政策和标准的制定到落实见效，需要相当长的过渡期；
- 需要通过法律法规对含HFCs产品生命周期过程中的排放控制，明确生产及进口商、零售商、消费者多方的责任和义务，在各个环节上减少了HFCs的排放，一定程度上从源头上控制了HFCs的排放。

机遇

- 在碳达峰、碳中和的契机下，我国政府将会加快出台制冷剂回收、净化相关政策及标准，行业重视程度日渐提升；
- 美国、日本等发达国家的政策、回收技术和设备，给我国制冷剂回收、净化行业的发展提供参考。



非常感謝！

非常感謝ZJU小红帽团队（我课题组）的小伙伴们！

非常感謝同济大学臧建彬教授，王海鷹博士！

联系方式：hanxh66@zju.edu.cn



全国工商联：关于规范开展制冷剂（ODS及HFCs）回收再生利用工作的提案（2020年5月）

我国目前在制冷剂回收再利用方面，还存在着诸多薄弱环节，主要表现在：

- 国家相关法律法规有待进一步完善。
- 整体回收率远低于发达国家。美国、日本等国家每年回收的制冷剂约占新投入使用的制冷剂的30%左右。
我国目前每年新投入市场制冷剂约在60万吨，但实际回收制冷剂仅在600吨左右，回收率远低于发达国家。
- 关于加强制冷剂规范管理和回收科普宣传
 - ✓ 通过培训提高维修从业人员的回收意识和能力
 - ✓ 修订与制冷维修相关的行业标准、操作规范等，指导企业、维修人员在维修过程中实施无排放操作，加强回收；
 - ✓ 在相关行业开展宣传活动，为家电拆解企业、汽车维修企业配备了80套制冷剂回收设备，支持相关行业、企业开展回收工作。
- 制定完善ODS和HFCs的回收、再生利用等环节的配套管理政策和实施细则；加大科研和信息化管理投入，促进ODS和HFCs多渠道回收工作，推动环境友好替代技术的开发和应用；
- 做好环保宣传教育，指导和支持地方生态环境部门规范制冷剂管理，提高政府、企业和公众对ODS、HFCs的淘汰和削减意识，不断开创臭氧层保护的新局面。

制冷剂回收种类和回收机

目前制冷剂主要回收种类

- 汽车空调：R12、R134a、R1234yf
- 家用空调：R22、R134a、R410A、R407C

以美国Robinair公司的冷媒回收机为例



Robinair公司家用/商用冷媒回收机回收速率

	RG3(用于家用空调回收)			RG6(用于工业/商用空调回收)		
	Push Pull	Liquid kg/min	Vaper	Push Pull	Liquid kg/min	Vaper
R22	5.33	2.87	0.09	6.58	4.25	0.27
R410A	5.72	1.60	0.07	7.02	3.41	0.17
R134a	4.01	2.46	0.08	5.33	2.90	0.19
R407C	5.25	2.47	0.08	6.57	3.24	0.24

汽车空调冷媒回收
率达98.5%