



# 低碳先行

## 新一代环保制冷剂在轨道交通中的应用解决方案

科慕化学(上海)有限公司 李慧

2024.04

## 主要终端市场

MOBILE AIR  
CONDITIONING



RESIDENTIAL AIR  
CONDITIONING



FOAM BLOWING  
AGENTS



PROPELLENTS



INDUSTRIAL  
COOLING

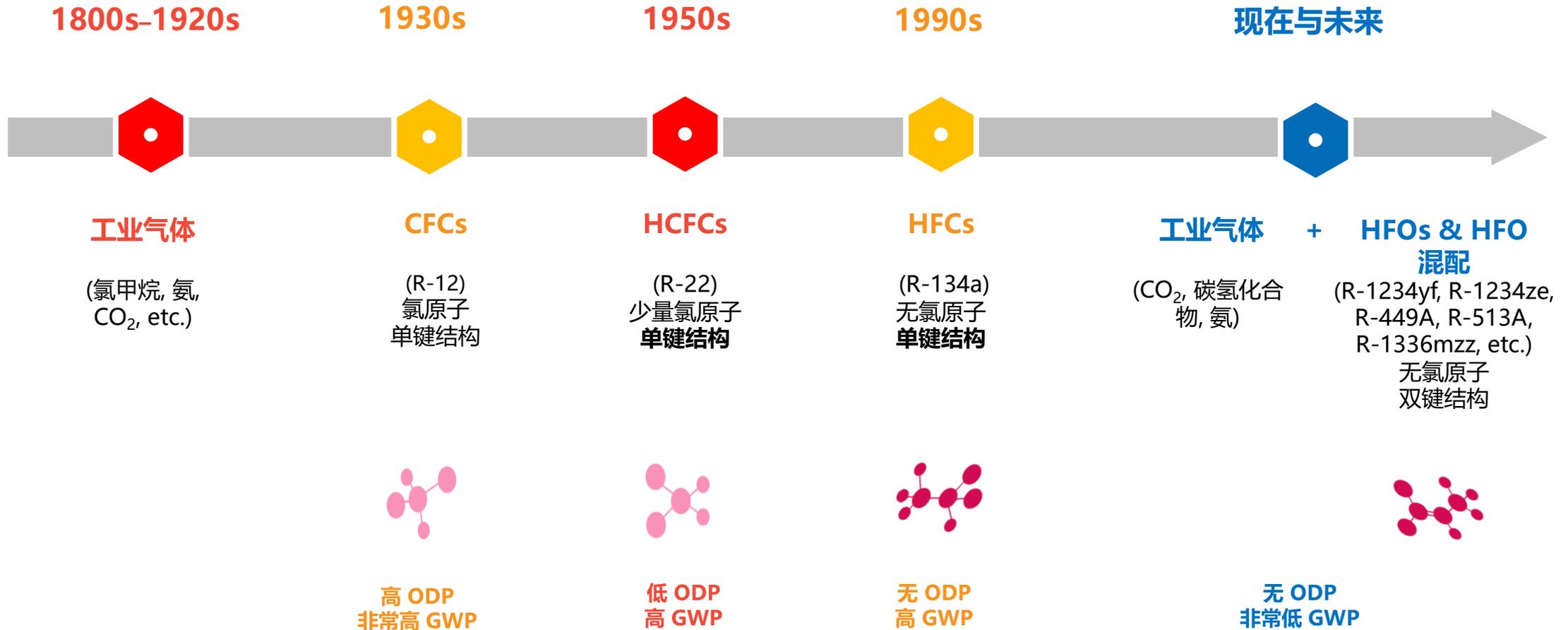


COMMERCIAL  
REFRIGERATION



FIRE  
SUPPRESSION

# 制冷剂技术变革



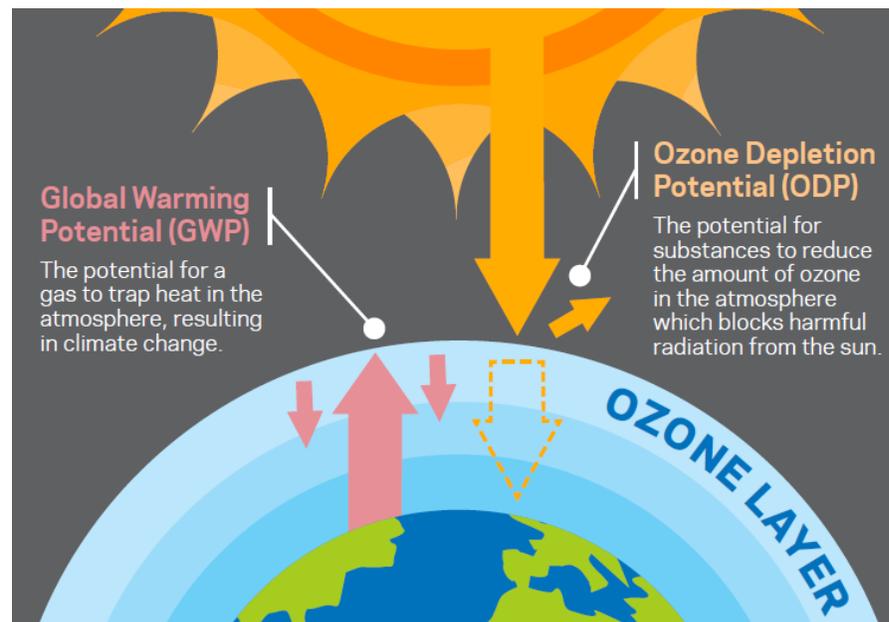
未来制冷剂的选择需要平衡性能 (冷量和效率)、安全性和可持续性, 以及系统制造的总成本

# 推动制冷剂变革的国际公约



## 基加利修正案： HFC 削减

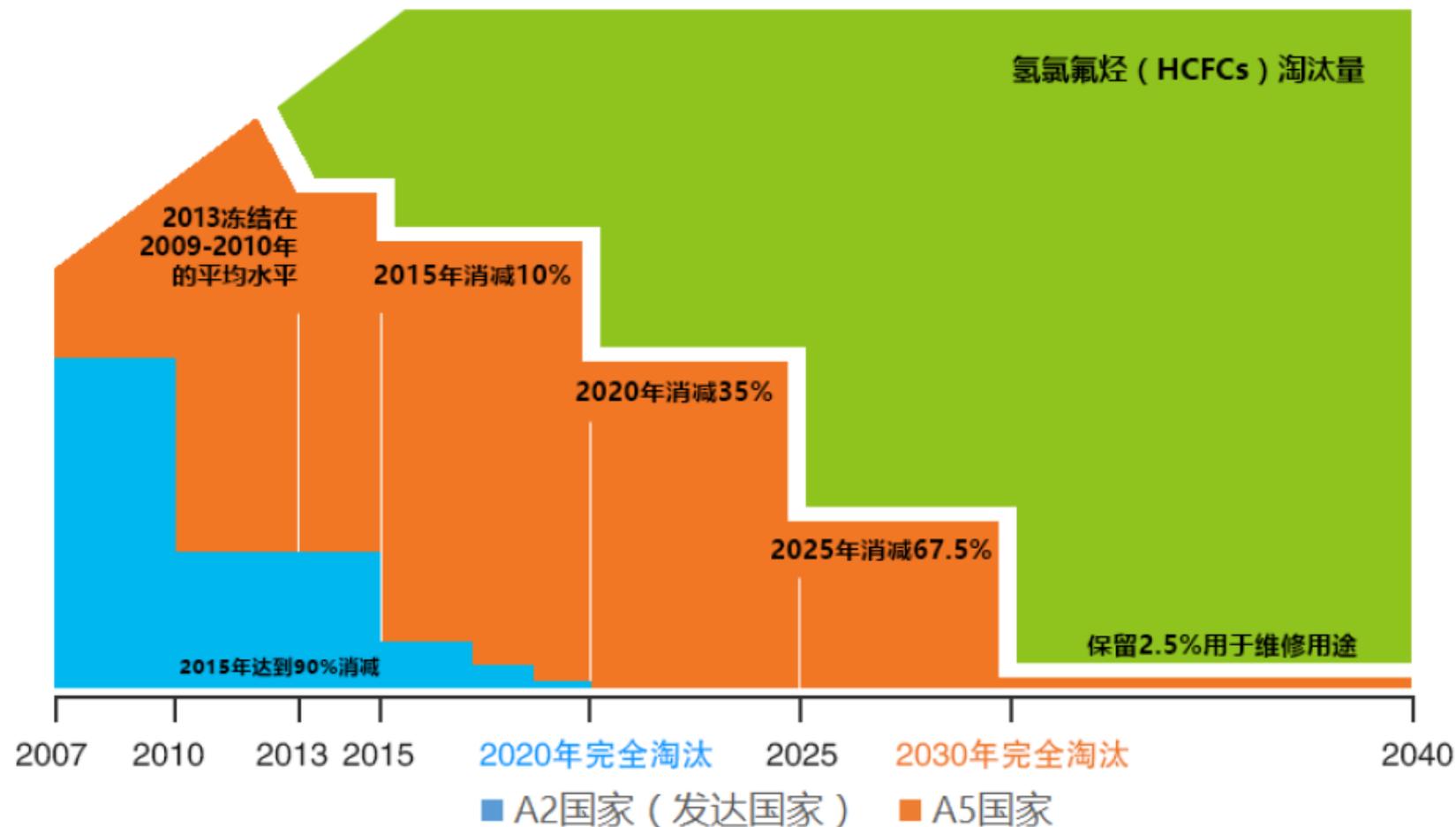
- GWP:一种物质产生温室效应的一个指数。
- GWP是在100年的时间框架内，各种温室气体的温室效应对应于相同效应的CO<sub>2</sub>的质量。
- CO<sub>2</sub> 被作为参照气体，是因为其对全球变暖的影响最大。
- 制冷剂的GWP值应该参照IPCC（联合国政府间气候变化专门委员会）的评估报告。



## 蒙特利尔议定书： CFC & HCFC 淘汰

- ODP: 臭氧消耗潜值(臭氧衰减指数)，用于考察物质的气体散逸到大气中对臭氧破坏的潜在影响程度。
- 制冷剂R11的臭氧破坏影响作为基准，取R11的ODP值为1，其他物质的ODP是相对于R11的比较值。
- R22的ODP值为0.05，对臭氧层同样有破坏作用。

## 氢氯氟烃(HCFCs)淘汰计划



□ A2国家2015年达到90%削减，将在2020年完全淘汰。

□ A5国家淘汰时间表：

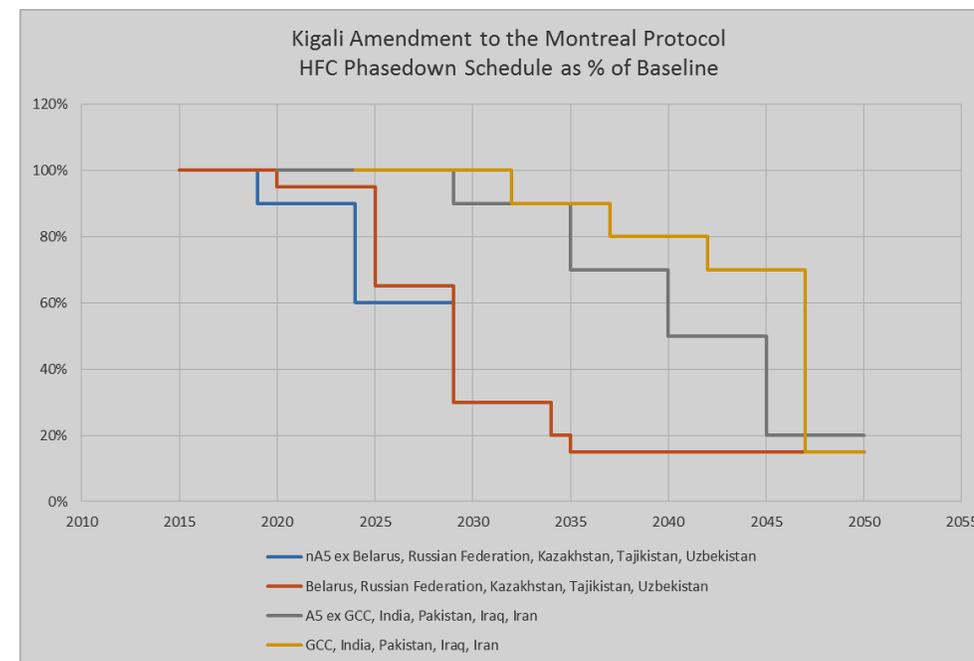
- ✓ 2013年冻结；
- ✓ 2015年削减10%；
- ✓ 2020年削减35%；
- ✓ 2025年削减67.5%；
- ✓ 2030年淘汰。

\*数据来源：联合国环境规则署

## 氢氟烃(HFCs)淘汰计划

- 欧盟将会持续遵循F-Gas法规；
- 美国、加拿大、澳大利亚和日本分别有针对HFC类制冷剂的消减做相应的法规政策要求；
- 发展中国家被分为两个小组，中国大陆HFC在2024年冻结，2029年实施第一阶段削减；
- 中国大陆已经正式接受基加利修正案，并在2021年9月15日生效

	A5 Group 1	A5 Group 2	A2 Group	A2 Exceptions
HFC baseline	2020-2022	2024-2026	2011-2013	2011-2013
Formula	Average HFC consumption during baseline plus HCFC Contribution			
HCFC	65% baseline	65% baseline	15% baseline	25% baseline
Freeze	2024	2028	-	-
1 <sup>st</sup> step	2029 - 10%	2032 - 10%	2019 - 10%	2020 - 5%
2 <sup>nd</sup> step	2035 - 30%	2037 - 20%	2024 - 40%	2025 - 35%
3 <sup>rd</sup> step	2040 - 50%	2042 - 30%	2029 - 70%	2029 - 70%
4 <sup>th</sup> step			2034 - 80%	2034 - 80%
Plateau	2045 - 80%	2047 - 85%	2036 - 85%	2036 - 85%
	A5 countries excluding Group 2 countries	GCC, India, Pakistan, Iraq, Iran	A2 countries excluding A2 Exceptions	Belarus, Uzbekistan, Russian Federation, Kazakhstan, Tajikistan



从长远来看，依据法规和配额管理，将带来行业相关HFC类制冷剂的价格逐步提升和配额的稀缺。

# 基加利修正案：受控HFC类目录



目录	GWP
HFC-134	1100
HFC-134a	1430
HFC-143	353
HFC-245fa	1030
HFC-365mfc	794
HFC-227ea	3220
HFC-236cb	1340
HFC-236ea	1370
HFC-236fa	9810

目录	GWP
HFC-43-10mee	1640
HFC-32	675
HFC-125	3500
HFC-143a	4470
HFC-41	92
HFC-152	53
HFC-152a	124
HFC-245ca	693
HFC-23	14800

- 商业制冷及空调行业中普遍使用的 R134a, R410A, R407C, R404A, R507A, R32 都会被直接或间接的受控(AR4)

# 什么是“被需要”的制冷剂



## 能效更优

- 更高的临界温度
- 更低的压力范围
- 更低的黏度



## 环境友好

- 无臭氧破坏
- 更低的全球变暖潜值



## 特性稳定

- 更高的热稳定性
- 更优的材料兼容性
- 无腐蚀

# “被需要” 制冷剂



## 使用安全

- 不可燃
- 低毒性



## 经济适用

- 更易得
- 更低的成本

# 科慕的下一代制冷剂



现在	GWP	应用	不可燃 (XP 系列) 级别 1		微弱可燃 (XL 系列) 级别 2L	
			产品	GWP	产品	GWP
HFC-134a	1300 (1430)		<b>XP10</b> (R-513A)	573 (631)	<b>XL10</b> (R-1234yf)	< 1 (4)
HFC-404A	3943 (3922)		<b>XP40</b> (R-449A)	1282 (1397)	<b>XL40</b> (R-454A)	238 (239)
			<b>XP44</b> (R-452A)	1945 (2140)	<b>XL20</b> (R-454C)	146 (148)
HFC-410A	1924 (2088)		<b>XP41</b> (R-463A)	1377 (1494)	<b>XL41</b> (R-454B)	467 (466)
HCFC-22	1760 (1810)		<b>XP20</b> (R-449C)	1146 (1251)	<b>XL20</b> (R-454C)	146 (148)
HCFC-123	79 (77)		<b>XP30</b> (R-514A)	2 (7)		
			<b>MZ</b> (R-1336mzz(Z))	2 (9)		

备注: GWP值 AR5 (AR4)

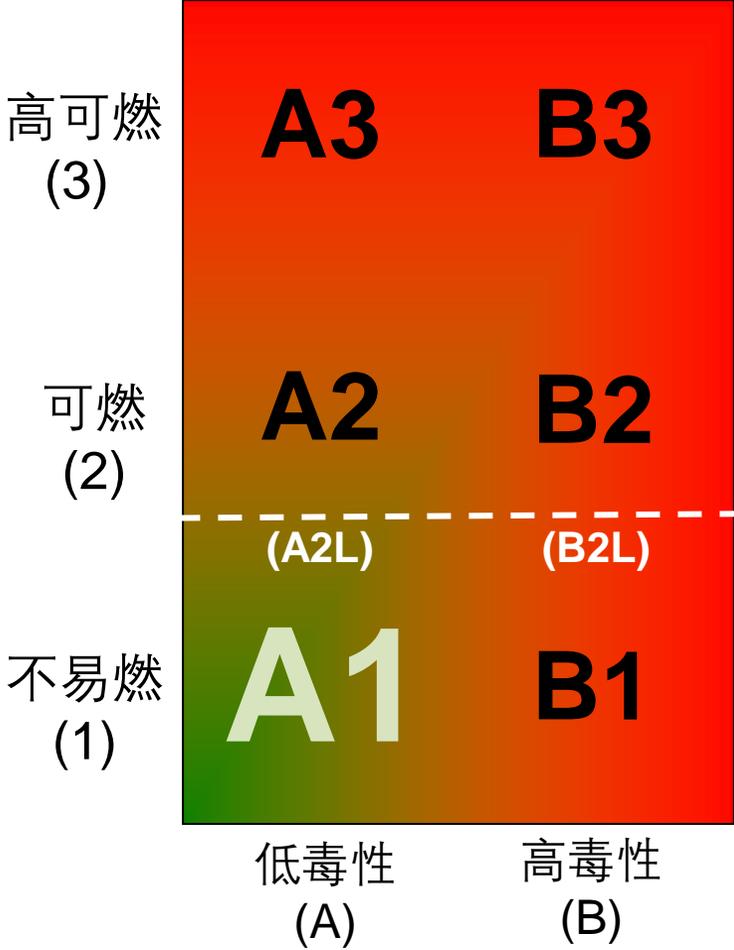
# 制冷剂安全等级定义

## 2L燃烧定义意味着什么？

### 燃烧级别定义基于：

- 燃烧速度
  - 火焰相对于其前方未燃气体沿法线方向传播的最大速度
- 低燃烧速度
  - $<10\text{cm/s} = 2\text{L}$
- 高燃烧速度
  - $>10\text{cm/s} = 2$  或者  $3$

### ASHRAE标准定义



### 举例：

R-134a	A1
R-404A	A1
R-22	A1
R-744(CO <sub>2</sub> )	A1
R-452B	A2L
R-454B	A2L
氨	B2L
R-32	A2L
R290	A3

# 科慕的下一代制冷剂



现在	GWP	应用	不可燃 (XP 系列) 级别 1		微弱可燃 (XL 系列) 级别 2L	
			产品	GWP	产品	GWP
HFC-134a	1300 (1430)		<b>XP10</b> (R-513A)	573 (631)	<b>XL10</b> (R-1234yf)	< 1 (4)
HFC-404A	3943 (3922)		<b>XP40</b> (R-449A)	1282 (1397)	<b>XL40</b> (R-454A)	238 (239)
			<b>XP44</b> (R-452A)	1945 (2140)	<b>XL20</b> (R-454C)	146 (148)
HFC-410A	1924 (2088)		<b>XP41</b> (R-463A)	1377 (1494)	<b>XL41</b> (R-454B)	467 (466)
HCFC-22	1760 (1810)		<b>XP20</b> (R-449C)	1146 (1251)	<b>XL20</b> (R-454C)	146 (148)
HCFC-123	79 (77)		<b>XP30</b> (R-514A)	2 (7)		
			<b>MZ</b> (R-1336mzz(Z))	2 (9)		

备注: GWP值 AR5 (AR4)

替换 R-134a



**ASHRAE #:** R-513A

**混配组份:** R-1234yf/134a

**组分比例:** 56/44

## 最佳的属性平衡



达到法规要求

没有臭氧层破坏

SNAP listed; 56% lower GWP vs. R-134a



共沸混合

没有温度滑移



拓展现有设备使用寿命

与已安装的设施兼容

提高能力或具有可比的能效



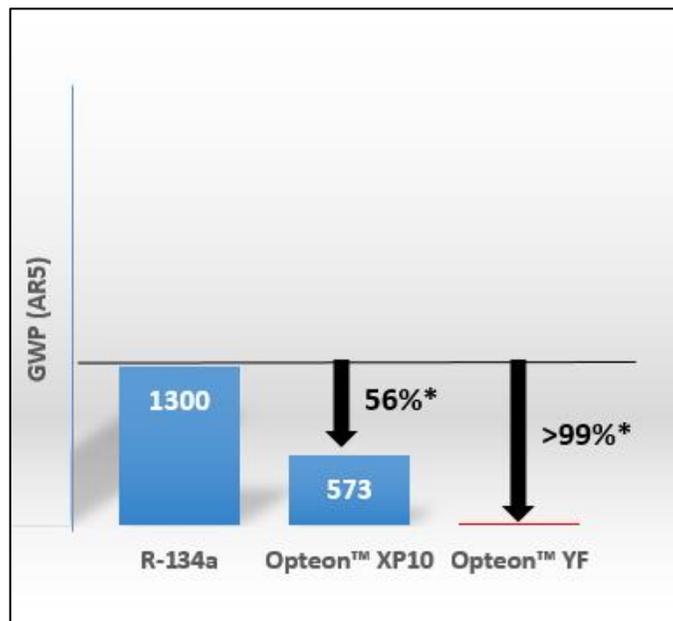
不可燃，低毒(A1)



商业化&OEM认证

- 艾默生、比泽尔 & 泰康等已通过认证
- 已被冷水机组厂家 特灵、江森自控、开利、顿汉布什选择
- 已被列入《制冷系统及热泵安全与环境要求》(GB/T9237) 标准并取得《制冷剂编号方法和安全性分类》(GB/T7778) 中规定的制冷剂编号的产品，可以在中国制冷空调行业合法使用。

## R-134a-like Refrigerants



## ● 理论性能

制冷剂	R-134a	XP10(R-513A)
制冷能力 vs R-134a	100%	0%
能效 vs R-134a	100%	-3.5%
质量流量 (kg/s)	100%	+18.4%
排气温度 (°C)	66.7	61.2(-5.5)
排气压力 (bar.g)	12.1	12.7(+0.6)
吸气压力 (bar.g)	2.6	3(+0.4)
计算工况	风冷：冷凝温度 49.7°C/蒸发温度 6°C/过冷 2 K/过热 5K/压缩机效率 0.75	

## ● 物性比较

制冷剂	R-134a	XP10(R-513A)
制冷剂类别	HFC	HFO Blends
组成(质量百分比)	单一工质	R-134a/R-1234yf (44/56)
GWP <sup>100</sup> (AR5)	1300	573
标准沸点(°C)	-26	-29.2
临界温度(°C)	101.06	96.5
临界压力(bar)	40.6	37.6
25°C时蒸气压力(bar)	6.654	7.1
25°C液相密度 (kg/m <sup>3</sup> )	1206.3	1170.9
ASHRAE安全等级	A1	A1
温度滑移(K)	0	共沸 0

# 科慕的下一代制冷剂



现在	GWP	应用	不可燃 (XP 系列) 级别 1		微弱可燃 (XL 系列) 级别 2L	
			产品	GWP	产品	GWP
HFC-134a	1300 (1430)		<b>XP10</b> (R-513A)	573 (631)	<b>XL10</b> (R-1234yf)	< 1 (4)
HFC-404A	3943 (3922)		<b>XP40</b> (R-449A)	1282 (1397)	<b>XL40</b> (R-454A)	238 (239)
			<b>XP44</b> (R-452A)	1945 (2140)	<b>XL20</b> (R-454C)	146 (148)
HFC-410A	1924 (2088)		<b>XP41</b> (R-463A)	1377 (1494)	<b>XL41</b> (R-454B)	467 (466)
HCFC-22	1760 (1810)		<b>XP20</b> (R-449C)	1146 (1251)	<b>XL20</b> (R-454C)	146 (148)
HCFC-123	79 (77)		<b>XP30</b> (R-514A)	2 (7)		
			<b>MZ</b> (R-1336mzz(Z))	2 (9)		

备注: GWP值 AR5 (AR4)

# R-407C 与 Opteon™ XP20 (R-449C)物性比较



参数	R-407C	XP20(R-449C)
制冷剂类型	HFC	HFO
组份	R32/125/134a (23%/25%/52%)	R32/125/1234yf/134a (20%/20%/31%/29%)
GWP <sup>(1)</sup>	<u>1624</u>	<u>1146</u>
安全等级	A1	A1
临界温度(°C)	86.1	84.2
燃烧限值(体积)	None	None
沸点温度(°C)	-43.6	-44.2
25°C时蒸汽压力(bar)	10.2	10.33
25°C时液体密度(kg/m <sup>3</sup> )	1137.5	1102.5

# R-407C 与 Opteon™ XP20 (R-449C)理论性能比较



## Opteon™ XP20运行性能 VS R-407C

- 相近的性能表现
- 更低的温度滑移
- 相近的运行压力
- 质量流量略有增加
- 较低的排气温度

计算基准： 冷凝温度 50°C/蒸发温度6°C/  
过冷7K/过热7K/压缩机效率0.70

制冷剂	R-407C	XP20(R-449C)
制冷能力 vs R-407C	100%	-2.43%
功耗 vs R-407C	100%	-1.42%
能效 vs R-407C	100%	-1.03%
质量流量(kg/s)	100%	+7.38%
排气温度T(°C)	82.1	77.5(-4.6)
排气压力(bar.g)	20	19.9(-0.1)
吸气压力(bar.g)	5	5.18(+0.18)
蒸发侧温度滑移(K)	4.48	3.97
冷凝侧温度滑移(K)	4.56	4.33

# 科慕的下一代制冷剂



现在	GWP	应用	不可燃 (XP 系列) 级别 1		微弱可燃 (XL 系列) 级别 2L	
			产品	GWP	产品	GWP
HFC-134a	1300 (1430)		<b>XP10</b> (R-513A)	573 (631)	<b>XL10</b> (R-1234yf)	< 1 (4)
HFC-404A	3943 (3922)		<b>XP40</b> (R-449A)	1282 (1397)	<b>XL40</b> (R-454A)	238 (239)
			<b>XP44</b> (R-452A)	1945 (2140)	<b>XL20</b> (R-454C)	146 (148)
HFC-410A	1924 (2088)		<b>XP41</b> (R-463A)	1377 (1494)	<b>XL41</b> (R-454B)	467 (466)
HCFC-22	1760 (1810)		<b>XP20</b> (R-449C)	1146 (1251)	<b>XL20</b> (R-454C)	146 (148)
HCFC-123	79 (77)		<b>XP30</b> (R-514A)	2 (7)		
			<b>MZ</b> (R-1336mzz(Z))	2 (9)		

备注: GWP值 AR5 (AR4)

# R-407C 与 Opteon™ XL20 (R-454C)物性比较



参数	R-407C	XL20(R-454C)
制冷剂类型	HFC	HFO
组份	R32/125/134a (23%/25%/52%)	R32/1234yf (21.5%/78.5%)
GWP <sup>(1)</sup>	<u>1624</u>	<u>146</u>
安全等级	A1	A2L
临界温度(°C)	86.1	85.67
燃烧限值(体积)	None	7%~15%
沸点温度(°C)	-43.6	-45.9
25°C时蒸汽压力(bar)	10.2	9.77
25°C时液体密度(kg/m <sup>3</sup> )	1137.5	1042.4

# R-407C 与 Opteon™ XL20(R-454C)理论性能比较



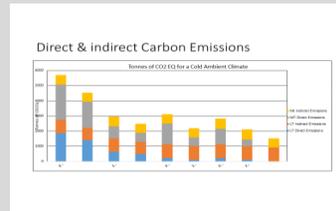
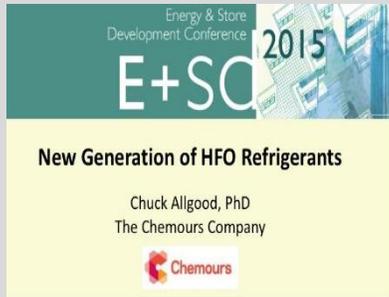
## Opteon™ XL20运行性能 VS R-407C

- 相近的性能表现
- 略高的温度滑移
- 相近的运行压力
- 质量流量略有增加
- 较低的排气温度

计算基准： 冷凝温度 50°C/蒸发温度6°C/过冷7 K/过热7K/压缩机效率0.70

制冷剂	R-407C	XL20(R-454C)
制冷能力 vs R-407C	100%	-6.8%
功耗 vs R-407C	100%	-5.6%
能效 vs R-407C	100%	-1.29%
质量流量(kg/s)	100%	+4.98%
排气温度T(°C)	82.1	75.6(-6.5)
排气压力(bar.g)	20	19.16(-0.84)
吸气压力(bar.g)	5	5(0)
蒸发侧温度滑移(K)	4.48	5.59
冷凝侧温度滑移(K)	4.56	6.31

## 项目和OEM支持 - 培训, 产品信息





谢谢