

制冷剂使用介绍

制冷剂是制冷系统实现能量转化的媒介，通过自身液-汽两相的可逆变化，将低温环境中的热量转移到高温环境中。

1. 常见制冷剂、制冷剂分类

制冷剂的分类因标准不同而出现结果，如根据制冷剂的分子结构可将制冷剂分为无机化合物和有机化合物；根据制冷剂的组成可分为单一制冷剂和混合制冷剂；也可根据制冷剂的物理性质可将制冷剂分为高温(低压)、中温(中压)、低温(高压)制冷剂。

Embraco 小型家用以及轻型商用制冷剂主要集中在：氟利昂制冷剂（饱和碳氢化合物的氟、氯、溴衍生物，卤代烃）和饱和碳氢化合物类制冷剂。为简单定性判别制冷剂对臭氧层的破坏能力，可将制冷剂分为：不含氢的卤代烃称为氯氟化碳 CFC, 含氢的卤代烃称为氢氯氟化碳 HCFC, 不含氯的卤代烃称为氢氟化碳 HFC 以及碳氢化合 HC 类制冷剂。

Embraco 压缩机主要以 R600a, R134a, R404A 以及 R290, 常用制冷剂物性参数如下：

表 1 常见制冷剂物性参数

名称	R134a	R404A	R290	R600a	R1234yf	R717	R744
化学名称	1,1,1,2-tetrafluoroethane	R-125/143a/134a (44/52/4)	Propane	2-methyl propane (Isobutane)	2,3,3,3-tetrafluoropropene HFO-1234yf	Ammonia	Carbon dioxide
分子式	CF ₃ CH ₂ F	---	CH ₃ CH ₂ CH ₃	CH(CH ₃) ₃	CF ₃ CF=CH ₃	NH ₃	CO ₂
摩尔质量	102	97.6	44	58.1	114	17	44
标准沸点 °C	-26.1	-46.2	-42.1	-11.8	-29.4	-33.3	-78
临界温度 °C	101.2	72.1	96.7	136.1	94.8	132	31.1
临界压力 (Bar)	40.6	37.3	42.5	36.5	33.8	113.3	73.7
潜热(沸点 1atm KJ/Kg)	215.2	207	427.8	368.1	216	1164	199.0
饱和液体密度 25°C (Kg/m ³)	1206.7	1044.0	492.3	550.6	1091.9	602.7	710.5
安全分类	A1	A1	A3	A3	A2L	B2L	A1

2. 制冷剂两个重要指数-GWP、ODP

ODP (Ozone Depletion Potential)消耗臭氧潜能值，表示制冷剂消耗大气臭氧分子潜能的程度；GWP (Global Warming Potential) 全球变暖潜能值，是衡量制冷工质对气候变暖影响的指标值。ODP 和 GWP 是目前制冷剂替换的重要影响因素：为了避免工业产品中的氟氯碳化物对地球臭氧层继续造成恶化及损害，根据《蒙特利尔议定书》CFC 类制冷剂已全线淘汰，受控物质：CFCs(11,12,113,114,115)，HCFCs 类制冷剂发达国家 2020 年全线淘汰，发展中国家可延长到 2030 年，受控物质：HCFCs (22,123,124,141,142b)；为了应对全球气候变暖给人类经济和社会带来不利影响，《蒙特利尔议定书》第 28 次缔约方会议最终达成了“关于 HFCs 削减的基加利修正案”，发达国家应在 2019 年开始 HFCs 的淘汰，发展中国家应

在 2024 年开始 HFCs 的淘汰，到 2047 年消减 85%。受控物质： HFCs (134a、410A、404A、407C 和 507A 等)。

3. 制冷剂替换

受环境保护政策影响，全球制冷市场也面临着制冷剂的逐步淘汰与替换，Embraco 针对欧洲市场即将被淘汰的高 GWP 值制冷剂 R404A 和 R134a 压缩机，探寻可用于过渡以及最终可使用的制冷剂：

R404A

欧洲市场 2020 年开始限制 GWP 不小于 2500 的制冷剂 (R404A/R507A) 在冰箱、冷柜等轻型商用制冷箱体上的使用，2022 年开始，将限制 GWP 不小于 150 的制冷剂 (如 R134a, R407F, R407C, R410A) 等在轻型商用制冷箱体上的使用。基于以上要求，Embraco 建议在条件允许的前提下可直接替换 GWP 小于 150 的制冷剂，也提供可用于 R404A 压缩机的可选过渡制冷剂：

表 2 R404A 过渡制冷剂

	R 404A	R407F	R407A	R448A	R449A	R452A
GWP	3920	1820	2100	1386	1397	2140
CAPACITY	Ref	Same	Same	Better	Better	Same
EFFICIENCY	Ref	Lower	Lower	Better	Better	Same
RELIABILITY	Ref	Much Lower	Much Lower	Lower	Lower	Same
LUBRICANT	POE	POE	POE	POE	POE	POE
MOTOR TEMP	Ref	Much Higher	Much Higher	Higher	Higher	Same
DISCHARGE TEMP	Ref	Much Higher	Much Higher	Higher	Higher	Same

目前 Embraco 允许使用 R452A 作为全线 R404A 压缩机 (LBP 和 MBP) 的一种可选过渡制冷剂 (ECN R452A 2016); R448A 和 R449A 为 NT/NE/NJ 系列 R404A 压缩机在 MBP 应用时的可选制冷剂 (ECN R449A 2018 and ECN R448A 2019)。

HC 制冷剂 (R290) 以及 GWP 小于 150 的 HFC 制冷剂可作为 R404A 的下一代制冷剂：

IEC60335-2-89 R290 制冷剂充注量限定值由 150g 扩展到 500g，扩大了 R290 制冷剂可使用范围。但在各地正式法案通过之前，Embraco 不建议直接扩展 R290 制冷剂充注量。

R455A 和 R454C 两种制冷剂 GWP 满足小于 150 的标准，将作为 Embraco 探索 R404A 的下一代 HFC 制冷剂的主要研究对象：

表 3 R404A 制冷剂下一代 HFC 制冷剂

	R 404A	R455A	R454C
GWP	3920	146	146
APPLICATION FIELD	L/MBP	L/MBP	L/MBP
CAPACITY	Ref	Same	Lower
EFFICIENCY	Ref	Better	Better
RELIABILITY	Ref	NA	NA
LUBRICANT	POE	POE	POE
MOTOR TEMP	Ref	Higher	Higher
DISCHARGE TEMP	Ref	Higher	Higher

R134a

R1234yf 可以作为 R134a 压缩机的下一代可选制冷剂，但目前在 Embraco 只允许部分 R134a 的压缩机型号使用。R1234ze 也可作为 R134a 的下一代制冷剂，但因为需要全新的生产线，目前还不能作为可选方案。

表 4 R134a 下一代制冷剂

	R 134a	R1234yf	R1234ze (E)
GWP	1430	Below 1	Below 1
CAPACITY	Ref	Slightly lower	Much Lower
EFFICIENCY	Ref	Lower	Lower
RELIABILITY	Ref	Same	NA
LUBRICANT	POE	POE	NA
MOTOR TEMP	Ref	Same	NA
DISCHARGE TEMP	Ref	Same	NA

NA - not available

R134a 的临时解决方案：Embraco 压缩机允许 R513A 和 R450A 作为 NB/NE/NT/NJ 系列 R134a 压缩机的 (ECN R513A R450A 2017 and ECN CR/2966/en/18/10)可选制冷剂：

表 5 R134a 过渡制冷剂

	R134a	R450A	R513A
GWP	1430	547	573
CAPACITY	Ref	Lower	Same
EFFICIENCY	Ref	Same	Same
RELIABILITY	Ref	Same	Same
LUBRICANT	POE	POE	POE
MOTOR TEMP	Ref	Same	Same
DISCHARGE TEMP	Ref	Same	Same

制冷剂淘汰和替换会引起制冷系统的调整，根据以往经验，小型制冷系统在发生制冷剂替换时可初步遵循以下建议（具体调整根据系统情况而定）：

R404A一般可用于替代用于MBP的R22以及用于LBP条件下的R502，系统调整如下：



图 1 替换为 R404A 的制冷系统调整

R290 制冷剂(丙烷)是用于取代 R22, R134a 和 R404A, 用在低中高背压的场合和空调系统中。R290 替换 R404A 制冷剂时, 可保持蒸发器和冷凝器不变, 制冷剂充注量减少约 60%。毛细管型号不变, 长度较少大约 5-15%:

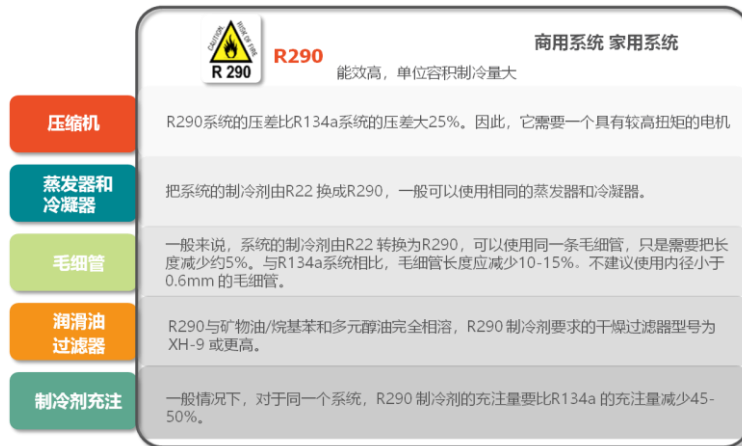


图 2 替换为 R290 的制冷系统调整

R600a(异丁烷)制冷剂是 R12 的替代品, 也是 R134a 的另一种选择, 主要用于家用冰箱和冷柜:



图 3 替换为 R600a 的制冷系统调整

4. 制冷剂充注量对系统影响

制冷剂充注量会影响设备的制冷性能, 耗电量和使用寿命等, 对制冷系统有着不可小觑的影响。我们常用追加充注法来确定制冷剂的充注量。合适的制冷剂充注量应满足: 蒸发器的进口和出口(如果有储液器进口时)温度尽量保持较小的差异。如果冰箱系统装有储液器, 储液器进口到储存器出口的温度最高过热至 2-3 度。

制冷剂充注量较少时, 蒸发器未完全充满制冷剂, 蒸发器换热面积不能充分利用, 蒸发器压力降低, 压缩机吸气过热度增加, 因此蒸发器的传热系数和压缩机制冷量减小。可能造成压缩机回气温度高、电机过热、箱体内部温度较高等结果。

制冷剂充注量过多时, 多余的制冷剂集中在冷凝器中, 导致冷凝器参与换热的有效表面积减少, 引起冷凝温度和压力的增加; 蒸发温度略有升高, 压缩机回

气温度低。制冷效果下降，压缩机功率增加；因为回气温度较低，液态制冷剂回到压缩机的可能性增大，压缩机阀片有断裂的风险；另，制冷剂充注量较多时，可会出现润滑油稀释、润滑不良、起泡等现象。

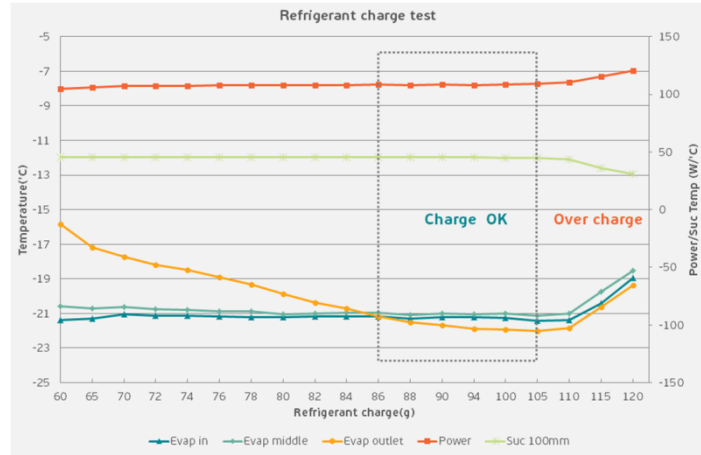


图 4 制冷剂充注量与温度变化

5. 制冷系统制冷剂分布

制冷剂在系统的各个部件间循环流动以实现能量的转换和传递. 制冷剂在系统中的合理分布是制冷系统优化设计和优化控制的核心问题. 研究制冷剂在制冷系统中的分布和迁移特性对于改善系统性能、提供优化控制策略都起到非常重要的作用。

以 350L 的单门冰箱制冷系统，制冷剂充注为 R600a/35.3g 为例，图 5 为该冰箱稳态运行时制冷剂分布情况：

启动时，制冷剂向冷凝器迁移，在启动周期的后期返回到稳定状态分布。最初蒸发器中制冷剂不足，蒸发器出口有 10°C 过热，当蒸发器逐渐被制冷剂重新填充时，过热在 3 分钟内消失。

停机时，制冷剂被从冷凝器推入蒸发器，压力在 3 分钟内达到平衡。

因为停机时大量制冷剂集中在蒸发器，启动瞬间可能存在液态制冷剂被吸入蒸发器回气管路，严重时进入压缩机，冲击压缩机阀组的情况。在没有回热的制冷系统中添加气液分离器或保证足够的压缩机回气管路，可降低吸气带液的风险。

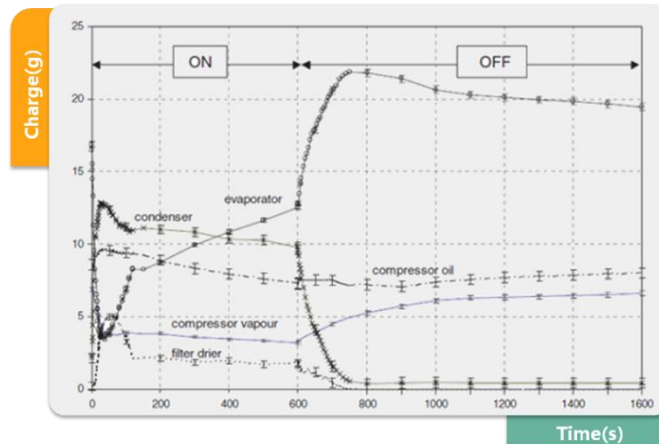


图 5 制冷剂分布图

小型制冷系统在不同的环境温度下运行，所需要的制冷剂量也不同。在高温环温条件下，由于冷凝器的压力高，气体密度大，在冷凝器中的制冷剂增多，蒸发器中制冷剂减少，冷冻间室为了达到更低一些的温度或者降低拉低温时间，需要更多的制冷剂。