

烷烃混合工质在逆向布莱顿循环制冷中的应用*

张永磊 沈永年

(浙江大学制冷与低温研究所)

张永磊等. 烷烃混合工质在逆向布莱顿循环制冷中的应用. 天然气工业, 2004; 24(6): 115~118

摘要 CFC₃和 HCFC₃ 制冷剂因破坏臭氧层而面临彻底被淘汰。碳氢化合物的臭氧消耗衰减指数为零, 同时, 它们还具有很好的热物理特性。目前烷烃做制冷剂的研究多集中在电冰箱这样的小型系统上, 而文中研究的则是它们在相对容量较大的空调中的性能。采用 RKS 方程对含丙烷、异丁烷的非共沸混合工质进行了理论计算, 讨论了工质成分对系统性能的影响。搭建了实验台, 对由 R290/R152a/R600a 组成的混合物和由 R744/R600a 组成的混合物, 应用于逆向布莱顿循环, 进行了对比实验。结果表明, 由 R290/R152a/R600a 组成的混合物具有较大的单位质量制冷量和 COP, 是较理想的制冷工质。

关键词 烷烃 混合 工质 制冷剂 冷却系统 逆向布莱顿循环 实验室试验

制冷工质和循环的选取

1. 工质

丙烷(R290)是一种在化工生产中已经长期被使用的、非常廉价的天然制冷剂。异丁烷(R600a)常温下是一种无色、无味、无毒气体。它们的 ODP、GWP 值均为零, 不会对臭氧层造成破坏, 属绿色环保型制冷剂。正常使用条件下, 化学稳定性、热稳定性和贮存稳定性均很好; 与碳钢、不锈钢、铜等大多数金属相容性好, 无腐蚀性; 与制冷系统润滑油完全兼容。热力性能非常好, 气化潜热大、动力粘滞系数小、导热系数大^[1]。

非共沸混合工质(NARB)的研究在国内外备受瞩目。由于在等压条件下的蒸发和冷凝温度非定

值, 所以采用非共沸混合工质组成的制冷循环可逼近由两个绝热等熵过程和两个多变过程组成的变温热源间的劳伦茨(Lorenz)循环, 使制冷机的制冷能力和能效比提高, 使单级制冷机的蒸发温度降低。尤其是在 CFC₃ 替代技术中, 非共沸混合工质显示了优越性^[2]。迄今为止的研究应用很大程度上还局限于小型装置如电冰箱^[3,4], 为了进一步推动替代工质的研究, 笔者以丙烷(R290)、异丁烷(R600a)等为对象, 将含有它们的混合物应用于逆向布莱顿制冷循环进行了理论计算和试验研究。

2. 循环

逆向布莱顿循环, 由等熵压缩、定压放热、等熵膨胀、定压吸热组成(图1)。其制冷过程不像蒸汽压缩式系统那样发生在一个恒温过程中, 而是伴随着

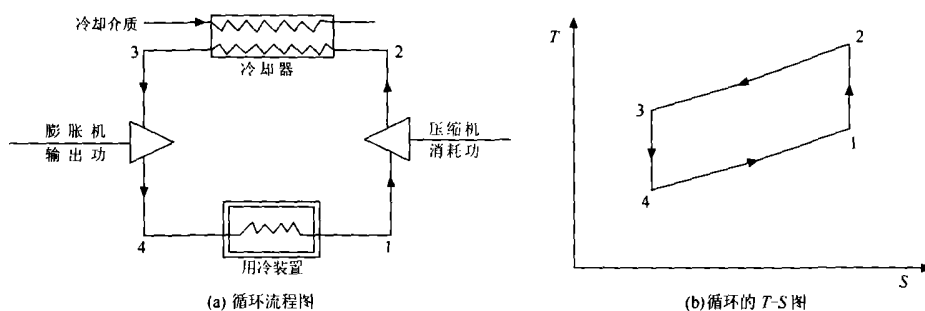


图1 逆向布莱顿循环

* 本成果受浙江省自然科学基金(500067)资助。

作者简介: 张永磊, 1975年生, 浙江大学制冷与低温研究所硕士研究生毕业; 主要从事制冷热泵系统混合工质研究, 现在无锡约克空调冷冻设备有限公司工作。地址: (214028) 江苏省无锡高新技术产业开发区 54-A 地块。电话: (0571) 87951679。E-mail: fengzhidao0927@sina.com

温度的升高而从 T_4 到 T_1 , 虽然它同所有制冷系统一样, 当 T_4 降低时 COP 也降低, 但与其他系统相比, 其下降值较小。此外它还具有膨胀机输出功、制冷量大等优点, 但此前一直采用空气作工质, 在空调工况下效率较低。

理论计算

采用描述烃类具有较好精度的 RKS 方程, 对混合工质的焓采用余函数法进行了计算^[5,6]。取统一的基准态工况为: 压缩机进口温度 20℃, 冷凝器出口温度 40℃。对单位质量制冷量、压缩机耗功、膨胀机输出功以及 COP 进行了分析计算, 以选取合适的实验工质。

1. 5 组混合物的比较

图 2 给出了 5 组混合物随丙烷或二氧化碳摩尔成分变化的 COP 值的比较。

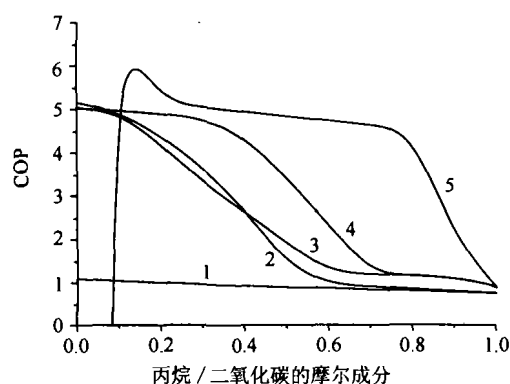


图 2 不同工质对 COP 的影响

图中曲线代表: 1. R744/R290; 2. R744/R600a; 3. R290/R134a/R600a; 4. R290/R152a/R600a; 5. R290/R600a/R600

三元组分的配比为, 丙烷的摩尔成分从 0 变化到 1, 另两种组分分别为剩余摩尔成分的一半。

2. R290、R152a、R600a 组分变化对系统性能的影响

图 3 是有较大 q_0 和单位质量输出功的 R290/

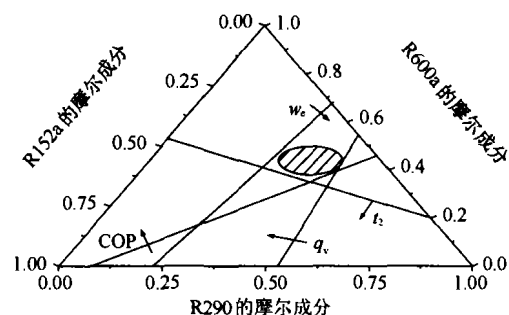


图 3 不同组分对循环的综合影响

R152a/R600a 组成的混合物对循环性能的综合影响。阴影区域是 R290/R152a/R600a 三元组分混合物, 在基准工况下 COP、单位容积制冷量、排气温度、单位质量输出功这 4 者的最优区域。其中 R290 的大致摩尔成分范围为 0.3~0.5, R152a 的大致摩尔成分范围为 0.08~0.27, R600a 的大致摩尔成分范围为 0.4~0.5。

实验验证

1. 试验准备

实验在自己搭建的试验台上进行, 实验系统见图 4。

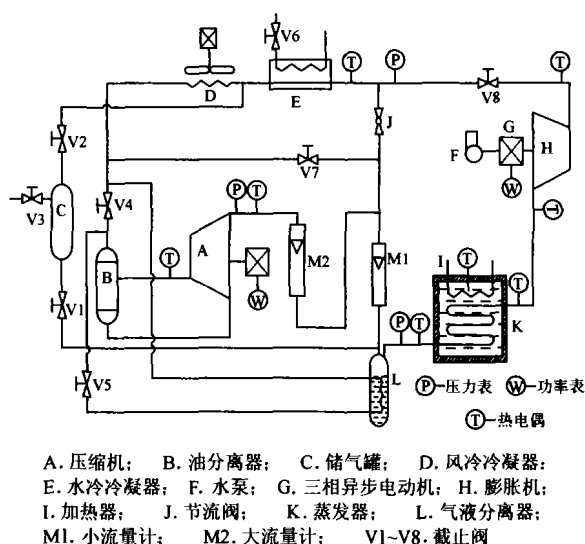


图 4 实验装置系统图

实验数据在稳定工况时记录。忽略传热温差, 即认为所测量到的温度是制冷剂的温度。考虑到实验的针对性, 采用的工质是理论分析中综合性能最好的 R290/R152a/R600a。为与前人的研究进行对比, 同时对 R744/R600a 组成的二元工质进行了实验比较。与此同时, 本实验还改变循环参数, 研究了由 R290/R152a/R600a 组成的非共沸混合工质在逆向布莱顿循环中的性能。

2. 实验结果

图 5 给出了 R290/R152a/R600a 三元组分混合工质和 R744/R600a 两元组分混合工质在不同配比时的 COP 曲线。由图 5 可知, R744/R600a 的 COP 值随 R290 或 R744 摩尔成分变化的趋势都与理论计算相吻合。循环 COP 值随混合物中低沸点组分的增加而减小; 含 R744 的二元混合工质, 其循环 COP 值减小得更快。R290/R600a/R152a 的循环 COP 值在 R290 较大的摩尔成分范围内明显高于

R744/R600a。由图6可知,两者的制冷量都随各自低沸点组分摩尔成分的增加而减小,而三元混合工质的制冷量在较大范围内大于对比二元混合工质。

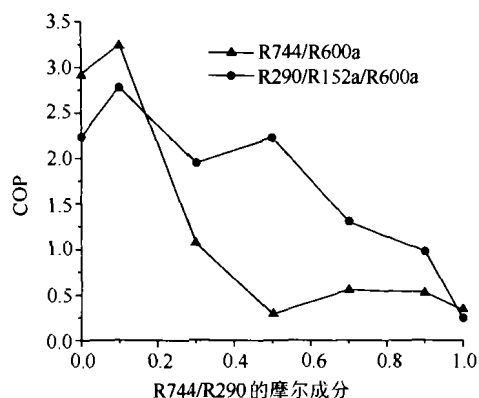


图5 不同混合工质的 COP 值比较

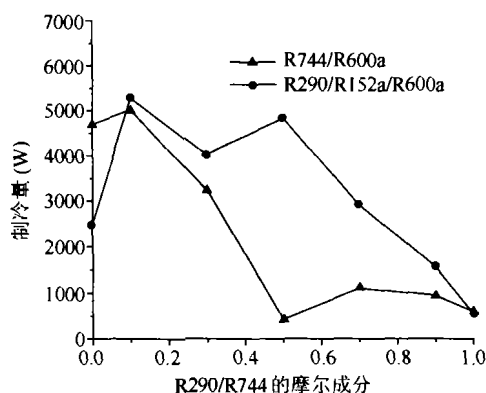


图6 不同混合工质的 COP 值比较对制冷量的影响

图7给出了循环压比与膨胀机输出功的关系。由图可知,在循环压比小于8时,膨胀机的输出功随着压比的增大而增大,在这个过程中,当压比小于4时,压比对输出功的影响较大,因此输出功增长较快,而在压比大于4以后,压比不再成为输出功的主要影响因素,输出功增长变得相对缓慢。循环压比

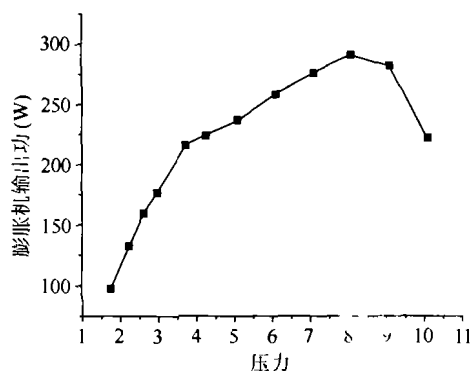


图7 循环压比与膨胀机输出功的关系

大于8后,由于循环进入两相区,膨胀机作两相膨胀功,从而导致输出功的减少。随着压比继续增大,膨胀机进口的混合工质汽化率将变得很小,尽管压比增大对做功有利,但膨胀机的输出功仍将减小。

图8给出了膨胀机进口温度与循环COP值、膨胀机输出功 W_e 的关系。在作这个实验时,循环的工况为压比在4左右,压缩机进口温度为20℃左右,膨胀机进口的温度主要通过水冷冷凝器的水流量调节。由图可知,COP值随温度升高而降低,输出膨胀功随温度的升高而增加,而在温度较高处,输出膨胀功增长缓慢。分析其原因可知:在压缩机进口温度和膨胀机进口压力基本不变的情况下,随着膨胀机进口温度的提高,混合工质在膨胀机进出口的汽化率也增加,从而导致制冷量减少,膨胀功增加,但增加的膨胀功没能弥补所减少的制冷量。因此,循环的COP值随之减小。当膨胀机进口温度提高到38℃左右时,循环变为一个无相变的循环,则膨胀机输出功变化就不大了。

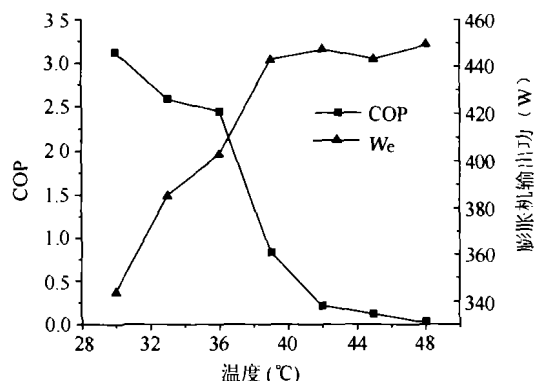


图8 膨胀机进口温度与 COP、 W_e 的关系

结 论

(1)以RKS方程为基础,对从热力学角度初选的几种工质,进行了理论计算,讨论了工质成分对系统性能的影响。结果表明,由R290/R152a/R600a组成的混合物具有较好的综合性能。

(2)搭建了实验台,对R290/R152a/R600a改变配比进行了实验研究,并与R744/R600a组成的混合工质进行了对比实验。结果显示,R290/R600a/R152a组成的混合工质其COP值、制冷量在R290较大的摩尔成分范围内明显高于由R744/R600a组成的二元混合工质。

(3)理论分析和实验研究都证明由R290/R152a/R600a组成的混合物是一种非常优秀的制冷

剂,是逆向布莱顿循环较理想的工质。

(4)丙烷、异丁烷可以从天然气中分离出,也可由裂解石油获得。具有相当优秀的环保特性,价格便宜,从经济性上看它们也是十分理想的替代工质。其应用前景、经济效益及社会效益都是十分可观的。

符号说明

ODP:臭氧破坏指数

GWP:温室效应指数

COP:制冷性能系数

R744:二氧化碳

R134a:四氟乙烷

R152a:二氟乙烷

参考文献

- 1 梁国仑. 特种气体贮运、应用、安全与特性——丙烷、丙

稀、丁烷、异丁烷、丁烯-1. 低温与特气, 1994; (3)

- 2 马一太等. 用非共沸混合工质 R22/R142b 实现劳伦兹循环代替 R12 的研究. 工程热物理学报, 1990; (11)
- 3 马贞俊, 陈世超, 晏刚译. 丙烷/丁烷混合物在家用冰箱中的应用. 家电科技, 2002; (9)
- 4 马贞俊等. HCs 类物质在制冷行业中的应用分析. 天然气工业, 2003; (5)
- 5 苏长荪主编. 高等工程热力学. 北京: 高等教育出版社, 1987
- 6 庄友明. RKS 状态方程用于制冷剂热力性质的计算. 化学工程, 1990; (18)

(收稿日期 2003-11-14 编辑 居维清)

(上接第 114 页)

原理入手,着重研究了牙哈凝析气田地面工程施工图设计中关注的段塞流问题。因为凝析气输送管线中,段塞流的产生与否,直接关系到下游的段塞流捕集器的设置和下游分离器规格的设计。为此建立了确定设计方案的物理模型、编制了软件,以判断并计算牙哈凝析气田凝析气集输是否产生段塞流、是否需设置段塞流捕集器等。

结论

牙哈凝析气集输与处理工艺,为整个牙哈凝析气田地面工程的顺利投产提供了坚实的基础,降低了工程造价,为今后其他凝析气田的地面工艺设计提供了可供借鉴的经验。牙哈凝析气田的成功开发取得了巨大的经济效益和社会效益,年创产值 9.4 亿元,利税 6.61 亿元,间接经济效益为 1.8 亿元。

根据该工程成功经验和其他类似工程积累的经验,针对凝析气田地面工程特点,已编制完成《凝析气田地面工程设计施工及验收规范》,作为行业标准,以指导国内凝析气田的设计与施工。

参考文献

- 1 朱利凯. 天然气处理与加工. 北京: 石油工业出版社, 1997
- 2 油田油气集输设计技术手册. 北京: 石油工业出版社, 1994
- 3 冯叔初, 郭揆常, 王学敏. 山东东营: 石油大学出版社, 1988
- 4 四川石油管理局. 天然气工程手册. 北京: 石油工业出版社, 1984
- 5 Gas Processors Suppliers Association. Engineering Data Book (Tenth Edition), 1987

(收稿日期 2004-02-10 编辑 居维清)