

R290 滚动转子压缩机的仿真与优化（可编辑）

R290 滚动转子压缩机的仿真与优化

华中科技大学

硕士学位论文

R290 滚动转子压缩机的仿真与优化

姓名: 刘强

申请学位级别: 硕士

专业: 制冷及低温工程

指导教师: 何国庚

20090524 华中科技大学硕士学位论文

摘要 丙烷()是空调制冷剂的一种非常优良的天然替代物,具有比 更小的充灌量、更高的能效比和更好的经济性。丙烷作为一种优良的制冷剂工质,非常适用

于空调用的小型全封闭滚动转子压缩机。对于使用新工质的压缩机系统,需要根据

的性质对系统进行优化设计,在压缩机侧主要表现为采用减少容积损失、减少

压力损失、减少温度损失和减少泄漏损失等方法来提高压缩机的容积效率。文中主要

通过对减少容积损失和泄漏损失的方法进行了研究,优化了使用 做制冷剂的滚动

转子压缩机的结构,并为其选择了合适的泄漏间隙尺寸和适宜粘度的润滑油。

间隙泄漏损失对压缩机的容积效率的影响较大,同一台压缩机,间隙尺寸不同和

使用不同的润滑油的泄漏损失不同。文中的研究重点是对气缸内间隙泄漏损失的研究

。采用了 模拟转子径向间隙和滑板两侧面间隙中 制冷剂蒸汽的泄漏,分别采用了旋转壁面模型和静壁面模型,在考虑间隙流动是油气两相时候还使用了

中的 射流破碎模型。对于两种不同模型下的模型,分析了两者不同的流体的速度、压力、温度和密度分布。

在压缩机的间隙泄漏中,包括间隙尺寸大小、润滑油粘度等对泄漏损失均会造成

影响。通过对模拟结果的对比分析,选取了 号矿物油作为 滚动转子压缩机系统

的合适的润滑油并且控制径向间隙在 mm 以下,滑板两侧面间隙控制在 mm 以下时,可以使得气体的泄漏控制在压缩机质量流量 以下。使用更高粘度的润滑油和使

得径向间隙和滑板两侧面间隙尺寸进一步变小还可使得泄漏量再变小。

关键词:丙烷 滚动转子压缩机 径向间隙滑板侧间隙 泄漏 两相流动 I 华中科技大学硕士学位论文 文

Abstract

Propane HC 290,as a kind of air conditioning refrigerant ,is a good choice in

substitutes of HCFC 22.Propane HC 290 has a smaller Filling volume, higher energy

efficiency and better economy than HCFC 22. Propane, as an excellent refrigerant, is very

suitable for small-scale and air-conditioning closed rolling rotor compressor. In the use of the new refrigerant of HC 290, it's needed to optimize the system design according to the nature of HC 290. In the performance of the compressor side is to improve the volumetric efficiency of the rolling rotor compressor by reducing the volume loss, reducing the pressure loss, reducing the temperature loss and reducing the leakage loss. In this paper, the volume loss and the leakage loss is focused on, specially the leakage loss. According to physical properties of HC 290, a compressor is redesigned, and a suitable size of clearance leakage and a enough viscosity of lubricating oil is decided. Leakage losses have a big effect on the volumetric efficiency of compressors. To the same compressor, different gap sizes and different lubricants will lead to differs leakage losses. Cylinder leak on the loss of space research is the focus of this article. In the use of FLUENT, gas escape of HC 290 in the radial clearance of the rotor and the surface

clearance of both sides of the skateboard is simulated. In the radial clearance and the surface clearance, refrigerant vapor leakages use a rotating wall model and static model, when considering the space of two-phase flow of oil and gas when it is used in FLUENT jet VOF fragmentation model The simulation results of the comparative analysis, selected No. 46 mineral oil as a rolling piston compressor HC290 systems and lubricants suitable radial clearance control 25 below surface space on both sides of the control slide 35 below, you can make gas leakage control in compressor mass flow below 5%. The use of higher viscosity lubricants and allows both sides of the radial clearance and surface space skateboards smaller size also allows further leakage and then become smaller

Keywords: propane
rolling rotor compressor radial clearance surface
clearanceleakagetwo
phaseII

独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除文中已经标明引用的内容外，本论文不包含任何其他

个人或集体已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出贡献的个人和集体，
均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：

日期：年月日学位论文授权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权华中科技大学可以将本学位论文的全部或部分内 容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

保 密？，在_____年解密后适用本授权书。

本论文属于

不保密？。

(请在以上方框内打“？”)

学位论文作者签名： 指导教师签名：

日期：年月日 日期：年月日

华中科技大学硕士学位论文

1 绪 论

1.1 研究背景及意义

全球能源问题和环境问题正在受到世界越来越广泛的关注，特别是环境问题中的

臭氧层问题更是与人类的命运息息相关。随着全国经济的飞速发展和人民生活水平的

迅速提高以及全球环境变暖的影响，全国空调总容量迅速增加。年全国能耗统计

数据表明,全年采暖和空调能耗已经占到了每年建筑能耗的 ,而每年建筑能耗占到了全国全年能耗的 以上。空调能耗的主要部分在压缩机耗电上。如何在得到同样的制冷量的前提下,提高压缩机的压缩效率(性能系数 值)对减少空调能耗具有重要意义。同时在目前绝大部分空调的制冷剂为)是一种 类物质,对臭氧层有比较大的破坏作用。而在制冷剂的生产和使用过程中不可避免地会向环境发生泄漏,由此带来了非常严重的臭氧层破坏的问题。使用 、各种碳氢化

2

合物(包括乙烷、丙烷 、丁烷 、异丁烷 和环戊烷等)以及氨等各种环境中天然存在的化合物作为工质来替代 或者采用 等新的合成工质(属于类化合物)以及它们的混合物工质,如 、 和 等来替代传统的等正是在这样一个背景下发展起来的。

选择替代 的各种工质时需要从性能、对环境的影响、安全性、以及经济性上综合考虑。选择某种工质作为一种替代的制冷剂,最好是在热流设计甚至对机械结构设计上不做改动或少做改动。这就要求替代工质各种性质最好能与被替代工质相近,

而且对于 类制冷剂还要求它和润滑油的混合物在动态工作温度条件(最高排气温度及最低气化温度)下有足够高的饱和蒸汽压力,以保证系统制冷性能和实现最少制

冷剂充注量。天然工质中一般不存在液相,在使用普通换热器情况下相比其他制

2

冷剂可在低温蒸发器侧液体蒸发制冷来说其换热效果不佳,可以采用微通道换热器,

但如果将其用于普通家用和商用空调经济性不佳。氨的性能参数不错,但是氨有毒且

有刺激性气味,并不适合用于普通家用空调,而且对空调系统中常用的铜管具有腐蚀

1 华中科技大学硕士学位论文

作用,使用氨需换用不锈钢管增加了成本。因而氨系统常常用于大型的冷水机组,这

些机组使用时常放置于专门的制冷库房。以上天然工质由于本身热物理性质的限制均

不适合用于家用空调和普通商用空调,而等又是一种人工合成物,并非天然存在,而且同时其属于类化合物,也只是一种的过渡替代物,因而目前在空调制冷剂中各种碳氢化合物是一种比较好的选择。在各种碳氢化合物中科龙首先将

用于冰箱压缩机中,近年来各个企业又在陆续开发了以丙烷()、以及环戊烷为制冷剂的新冷媒空调压缩机。这些新型制冷剂的使用在压缩机吸排气压力以及

压缩机和性能系数上均有良好表现。但是有机制冷剂一般是可燃的,最主要的是要解

决其充灌量的问题,可燃性也是有机制冷剂的主要缺陷。在 年的欧洲家用制冷设

[1]

备中规定了碳氢类物质不得高于 。目前,许多欧洲和东南亚国家如英国、奥地利、芬兰等已经接受了碳氢化合物制冷剂这是由于碳氢化合物可方便经济地用于各

种场合,而且使用碳氢化合物制冷剂的压缩机尚未发生过一起严重的事故。许多企业

更是已经将其运用到实际的产品中,例如在 年国际制冷空调通风贸易博览会上丹

麦的 **Calor** 公司就展示了其公司的所有的 系列碳氢化合物制冷剂包括家用的小型商用系统的 用于大型制冷机和超市制

[2]

冷设备 、 和 。

在各种碳氢化合物中 是一种比较新的替代 的制冷剂工质也是一种非常理想的制冷剂工质,这是由于 主要物理性质如标准沸点、临界温度、临界压力等参数与 极其相近。室温和常压下, 是一种无色、可燃、无毒气体,有天然气的臭味,具有良好的热稳定性和化学稳定性,在 时才开始分解。它的分子量比 小许多,加上较小的粘度,可大大降低空调制冷回路中的阻力损失,它的汽化潜热约为 的 倍,可采用比 小得多的充注量。 的燃点较高,为 ,

[3]

空气中的燃烧极限也比较大,为 \sim ,在使用中一般即使全部泄漏也不会发生燃

烧。的饱和蒸汽压力、饱和液体密度和饱和气体比容、饱和液态比热和饱和汽态

比热、饱和液态粘滞系数和饱和气态粘滞系数、饱和液态导热系数和饱和汽态导热系

[4~6]

数均比 要小。绝热指数小,导热系数大,可降低能耗,改善排温,提高输气系数,减少压缩过程中气体与气缸间的热交换及不可逆损耗,改善热交换器的工

2

华中科技大学硕士学位论文 文

作状况及压缩机的散热条件。最为重要的是用 可以直接使用原来的润滑油,而且还不会出现 那样在系统高温侧与润滑油出现分层现象其对一般润滑油又有良

好的回油效果,可直接使用与原系统相同的节流阀、管子和密封材料,各种工作参数

与 非常接近,几乎不需对压缩机结构上进行很大改动,再加上 来源广泛,可直接从石油、天然气中分离,使用 替代 经济性上表现非常好。价格相比 、 、 等来说非常便宜例如 的价格不到 的十分之

[4~7]

一,不到 价格的二十分之一。目前以二元 混合物 或三元混合物 替代,不仅要投入大量资金去购买昂贵的制冷剂,而且还要投入大量的人力、物力去研制与 系统不相容的部分,如润滑油,所付出的代价是很大的。

因此,是一种经济性很好的制冷剂,可采用 来替代。

,在石油的裂解和精馏中作为中间

产物和副产品广泛出现的 等碳氢化合物在很早就石油的裂解和精馏中被使用

了做为压缩机工质。近年来,各种大型的商业用的冰柜和集装箱以及大型冷冻车的冷

冻系统也大量使用了丙烷()作为制冷剂,均取得了良好的使用效果。现在希望将其广泛扩展到各种家用空调和商用空调系统中,同时也可以根据 特有的热力性

质和迁移性质,并综合考虑其可燃性和爆炸性,对其压缩机系统进行结构改进以优化

其性能,研究开发适应于 的旋转压缩机。

1.2 滚动转子压缩机设计优化

滚动转子压缩机结构改进的目的是为了得到更好的压缩机性能系数(值)。

在压缩机侧主要是通过各种方法来提高滚动转子压缩机的容积效率来实现。提高压缩

[8]

机的容积效率的方法主要有四种 :减少容积系数、减少压力系数、减少温度系数和

减少泄漏系数。文中研究主要集中在减少容积系数和泄漏系数的方法。

1.2.1 容积系数

图 是滚动转子压缩机结构图。从图中可看到:容积损失一共由两部分组成:

o

一部分是滚动活塞吸气完成后从滑板上止点,在吸气腔最大位置 转到排气孔口下边

b 位置,由于从排气孔口下边缘角度 b 位置才开始形成封闭容积真正开始气体

3

华中科技大学硕士学位论文

的压缩过程,前面的一段气体会从吸气腔回流到吸气管道内使可压缩的气体减少;另

一部分是压缩机转子转到排气阀下边缘角度 g 时由于排气阀斜切口的存在使得吸排气

腔贯通,气体从排气腔向吸气腔倒流所造成的余隙容积损失。余隙容积 V 是转角 g 时

c

的压缩腔容积和排气阀容积之和。

图 是滚动转子压缩机结构图

[9]

回流造成的结构容积损失 l 由结构角度 b 决定 :

b

l/VV_{1-1}

bb s

V??转角 q_0 时吸气腔容积(最大容积)V ?? 转角 qb 时压缩腔的容积

s b

[8~9]

这里考虑排气腔向吸气腔倒流充分发生,则余隙容积 l 损失

z

l/m

z c s ds

很明显,容积损失的减少有两种:一是减少排气孔口下边缘角度 β 来减少结构容积损失;

另一种就是通过减小余隙容积。

1.2.2 压力系数

吸气腔从转角 φ_0 开始旋转一周过程中,吸气腔容积不断增大,但其增大不是平稳的,因而从吸气孔口到蒸发器的进气管道内会产生压力脉动造成吸气压力损失。吸

气孔上边缘角度 α 以上进气管道内气体从压缩机内回流,同时吸气腔压力降低,存在

从另一边排气腔过来的微小泄漏;过了 α 时吸排气腔贯通,吸气腔真正开始吸气,吸

[10]

气管道开始进气。由这种压力脉动造成的容积损失可用压力系数 λ 来表示: p

4 华中科技大学硕士学位论文

$1 + c_1$

D_p

b

s

$1 - 1 - 3$

p

l_p

v_s

系数

空调用滚动转子压缩机一般为全封闭的小心滚动转子压缩机,如图。一般机壳内充满了排气腔内排出的高温制冷剂蒸气(高背压),吸气管和气缸体处于

这种环

境下具有比进入气缸吸气腔气体更高的温度,会对气体加热使气体膨胀减少

本应进入

[8~11]

吸气腔的气体体积,造成容积损失。温度系数可用以下经验公式 计算:

$$k = 1 - \frac{t_1 - t_2}{t_1} \quad (1-4)$$

式中,

k 经验系数 t_1 , t_2 压缩机的蒸发温度和冷凝温度

10

采用各种方案使压缩机进气平稳可有效降低其压力脉动减少吸气压力损失。

图立式全封闭旋转压缩机结构剖面图

气缸 滚动转子 消声器 上轴承座 曲轴 转子 定子 机壳 顶盖 排气管

接线柱 储液器 平衡块 滑片 吸气管 支撑垫 底盖 支撑架

1.2.4 泄露系数

主要考虑气缸内的泄漏。由于滚动转子压缩机吸排气腔间是通过一系列的间隙隔

开,虽然这些间隙密封一般采用油密封住,但由于吸排气腔腔间压差过大而且转子和

,油封不可靠,不可避免的会发生气体从高压压缩腔向低压排

气腔的泄露;另一方面,润滑油从高压漏到低压时在一般情况由于油的压力的降低会

使得制冷剂在润滑油中溶解度下降带来气体泄漏。而油泄漏是润滑油从气缸外高压状

态下流入相对低压的气缸。气缸外油压较大一是因为一般情况下气缸外为压缩机排出

的高温高压蒸气,另一方面是由于压缩机偏心轮轴等的结构设计的泵油作用。

1.3 碳氢化合物制冷剂技术的研究进展最近十几年来,众多的学者和组织对压缩机中使用碳氢化合物进行了大量的研

究工作。对碳氢化合物的研究工作主要集中在对各种碳氢化合物热物性数据进行实验

对比;对各种组分比例的碳氢混合物性能的研究;碳氢制冷剂可燃性理论和实验研究,

这是研究的重点。对压缩机的研究主要是在其工质的热力学性质的基础上如何提高压

缩机性能。滚动转子压缩机研究主要涉及到容积效率的提高和润滑油品的选择。

1.3.1 碳氢化合物研究

碳氢化合物替代 需要考虑制冷循环性能的改变,同时还要考虑饱和蒸汽压力,饱和液体密度和饱和气体比容方面、饱和液态比热和饱和汽态比热、饱和液态粘滞系

压缩机工

作的影响。最重要的是对碳氢化合物的可燃性进行研究。例如,周启瑾等如
何确定

和 的最佳成分及混合物饱和特性的计算方法进行了研究 对丙烷与异丁
烷混合工质的溶油性进行了试验 得到的结果表明丙烷和异丁烷混合工质与矿
物油

[12]

之间能相互溶解 。澳大利亚新南威尔士大学对碳氢化合物的制冷剂应用于汽
车空调

[13] [14]

做了大量的研究 。 等学者对 替代 进行了实验,实验结果表明

使用 替代 时制冷剂侧的压力降比 低 40%~50%。这样就可以改变热交换器

[15]

的设计提高经济流速 获得较高的传热系数。刘圣春 等对运行过程中最大泄漏
可燃

性的研究,他们假设了制冷剂完全泄漏到了工作过程的最小空间中,对此时的可
燃性

进行爆炸试验,试验装置如图。

6 华中科技大学硕士学位论文 文

图可燃性实验装置示意图

1.3.2 压缩机容积效率的提高

压缩机性能的提高与其容积效率密切相关,容积效率的提升必须减少容积损
失、

吸排气压力损失、吸气过热损失和泄漏造成的损失。容积损失一般由压缩机结构决定,

吸排气压力损失与吸排气结构有关,而吸气过热损失与温差有关,泄漏内的流动及其

造成的泄漏损失与泄漏间隙状况(间隙尺寸、间隙两端的压力差、油膜的厚度、油膜

[16]

的粘度、油中制冷剂溶解度)密切相关。泄漏间隙中的流动情况较为复杂,目前尚

未有明确的机理。

润滑油中溶解度和间隙内的制冷剂蒸汽泄漏的研究

泄漏为从高温高压侧流动到低温低压侧,润滑油从压流动到低压由于压力降低会

导致制冷剂蒸汽在油中溶解度的降低;另一方面,油温度的降低又会使得气体溶解度

增大。气体在油中溶解度的影响应同时考虑温度和压力的影响。若气体在低温低压测

溶解度比高温高压侧显著降低,必须考虑间隙中油流动带出的制冷剂泄漏。油的溶解

度的不同还直接影响到油本身的粘性,各种不同的润滑油实际使用中的粘性不仅与油

7 华中科技大学硕士学位论文 文

本身的粘性有关,还与制冷剂蒸汽在油中溶解度有关,特别是碳氢化合物等在油中有

较大的溶解度,对润滑油具有膨润作用,而降低润滑油溶解度,一般碳氢化合物会使

得使用的油粘度下降一个等级。对实际使用中油粘度的测定可参照标准 [17]高剪切条件下的润滑油动力粘度测定法雷范费尔特法。

有许多国内外学者将油气当成充分混合的混合物作为单一流体对其通过间隙的泄漏进行计算。也有将油气认为是完全不混合的分层流体进行分析,这需要根据具体

制冷剂在油中溶解度以及溶解度随着压力和温度变化来选择合适的模型。

润滑油的粘性和间隙内的制冷剂蒸汽泄漏的研究

润滑油粘性的不同导致了混合物或分层流体运动中剪应力的不同,在间隙两端同

样压差的情况下,根据伯努力方程可知进口处总压和静压之差相等,即进口速度相等

的情况下,粘度越大,速度损失(动压力)越大。

1.3.3 润滑油的选择

润滑油的主要作用是减少接触处摩擦损失同时冷却运动件表面,在压缩机中常常

还起密封作用。选择合适的润滑油对压缩机稳定高效的运行具有重要意义。特别是回

转式压缩机中油在压缩到高压时会被喷成雾状易受到压缩介质中的粉尘等影响而氧

化,润滑油的使用量大且回收使用。对滚动转子压缩机用油有以下要求:

() 需要有适宜的粘度和粘温(指润滑油随温度的变化率)性能。润滑油的粘

度与摩擦功耗有关。粘度越大,摩擦耗功越大。在保证润滑和密封的前提下应尽量选

择较低粘度的润滑油。选择的润滑油的粘度会随温度升高而降低,若降低过快会导致

压缩机转子在运动间隙两侧摩擦载荷相差过大导致压缩机运转不平衡。

()油的抗氧化性能和抗腐蚀性能要好。润滑油在压缩腔内工作在较高温度下,对其稳定性能有要求

()油具有良好的低温性能。润滑油需要从蒸发器中导出(回油),一般油在蒸发器内低温时候分层,油需要比碳氢化合物重可直接从蒸发器下端导出。

[18]

()水溶性要低。润滑油若含水较高可能会形成乳化液,影响润滑。

8 华中科技大学硕士学位论文 文

1.4 主要工作

文中根据对各种文献的理解,分析了滚动转子压缩机机优化设计的原理,依此对使用 制冷剂的滚动转子压缩机进行了改进设计,并对设计的结果模拟验证。

本文主要包括:

()参照 对 进行热力学分析,通过对丙烷的热物性对比和理论制冷循环的计算,分析使用 替代 的可行性。

()分析了滚动转子压缩机工作过程,得到压缩机滑板和转子的运动表述,对下

一步进行压缩机内流场的模拟具有重要意义。

()分析了滚动转子压缩机优化设计的原理并提出了一系列改进设计的有效办

法,重点分析了减少压缩机泄漏的方法。

()建立了几种压缩机间隙油气泄漏的模型,并依据模型使用 进行模拟,对比验证了得到了合适的模型。

()使用 模拟压缩机气体主要泄漏通道的泄漏情况,系统地分析了不同 间隙下,使用不同粘度的润滑油气体的泄漏情况,根据结果设计合适的压缩

机间隙尺

寸以及选用理想的润滑油。

9 华中科技大学硕士学位论文 文

2 丙烷热力学分析

2.1 R290 与 R22 的基本物性对比

的基本热物理性质

与 的临界温度、临界压力和标准沸点等物理参数均非常相近,见表。使用 替代 在热流设计可以对机械结构设计上不做改动或少做改动。表 与 常用性质比较

工质 单位

汽化潜热

绝热指数() ()

定压比热 饱和液

() 饱和汽

极性 有 无

粘度 饱和液

() 饱和汽

标准沸点凝固点临界压力

临界温度临界比容

安全级别毒性 ()

每单位体积最大量()可燃性或可爆性 非 是

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/697155055136010002>