

空调制冷压缩机技术发展研究及其展望

张贤明¹, 牟 瑛¹, 王立存^{1,2}, 陈国强¹

(1. 重庆工商大学废油资源化技术与装备教育部工程研究中心, 重庆 400067)

(2. 西安交通大学流体机械及压缩机国家工程研究中心, 陕西 西安 710049)

摘要: 介绍了压缩机的发展历程及现状, 尤其是国内近年来在涡旋压缩机线、工质、润滑以及变频技术应用等方面的研究。通过对涡旋式压缩机回顾, 提出了涡旋式压缩机发展方向。近年来, 伴随着压缩机相关工业技术的进步, 制冷与空调压缩机技术也得到了快速发展, 制冷系统的整机能效比有了很大提高。但由于未来的能源供应趋紧和环境保护的双重压力, 迫使我们不断探索制冷与空调行业的新技术, 以适应我国国情的能源发展战略要求和构建和谐社会目标。

关键词: 空调制冷; 压缩机; 涡旋压缩机; 发展展望

中图分类号: TH 45 **文献标识码:** A

The Study and Outlook of Air-Conditioning Refrigeration Compressor Technology Development

ZHANG Xian-ming¹, MU Ying¹, WANG Li-cun^{1,2}, CHEN Guo-qiang¹

(1. Engineering Research Center for Waste Oil Recovery Technology and Equipment of

Ministry of Education, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China

(2. National Engineering Research Center of Fluid Machinery and Compressor, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, 710049 China)

Abstract This paper introduced the development process and status quo of compressor. Particularly recommended the recent domestic studies about the type of scroll compressor lines, refrigerant, lubrication, frequency-converse technology and so on. Pointed out the direction of scroll compressor development in the future by reviewing the history of scroll compressor. In recent years with the development of compressor-related industry technology, refrigeration and air-conditioning compressor technology has been rapidly developed and energy efficiency of the whole refrigeration system has been greatly improved. However, due to the double pressure of short supply of energy and environmental protection in future, we have to constantly explore the new technologies of refrigeration and air conditioning industry to meet the requirements of energy development strategy that fits the situation of our country and to achieve the objective of building a harmonious society.

Key words Air-conditioning and Refrigeration Compressor Scroll Compressor Development Outlook

0 前言

压缩机是用来提高气体压力和输送气体的机械, 自从第一代压缩机代表产品往复压缩机问世以来, 压缩机以其独特的功能受到科研人员和市场的青睐, 近年来特别是伴随涡旋压缩机各方性能的快速发

展, 涡旋压缩机已经成为第三代压缩机典型代表产品。本文通过回顾世界上压缩机发展历程以及我国压缩机现状, 总体上提出了压缩机今后一段时间的发展方向, 即开发新型环保制冷剂的压缩机和直流变频、高效节能的压缩机作为国内厂家研发重点。

1 压缩机发展历程分析

1.1 第一代压缩机的代表产品往复压缩机
往复压缩机作为第一代产品典型代表, 是使一

收稿日期: 2009-05-20

基金项目: 国家自然科学基金(50805149); 重庆市自然科学基金计划资助项目(CSTC2008BB3196)

定容积的气体顺序地吸入和排出封闭空间提高静压力的压缩机。往复压缩机主要由 3 大部分组成: 运动机构 (包括曲轴、轴承、连杆、十字头、皮带轮或联轴器), 工作机构 (包括气缸、活塞、气阀等), 压缩机还配有 3 个辅助系统: 润滑系统、冷却系统以及调节系统。

活塞压缩机的运动部件多, 结构复杂, 检修工作量大, 维修费用高, 对厂房的要求高, 活塞环的磨损、气缸的磨损、皮带的传动方式使效率下降很快, 噪声大, 控制系统落后, 不适应连锁控制和无人值守的需要。虽然它是最早设计、制造并得到应用的压缩机, 也是应用范围最广, 制造工艺最成熟的压缩机, 但是, 正是基于上述缺点, 往复压缩机正逐步被其它产品所替代。

1.2 第二代压缩机的代表产品回转压缩机

回转压缩机是以滚动转子压缩机为典型代表。它是利用一个偏心圆筒形转子在气缸内转动来缩小工作容积, 以实现气体的压缩。主要由气缸、转子、滑片、弹簧、排气阀及偏心轴等组成。滚动转子压缩机近年来已得到广泛应用。它的发展历史仅有 50 ~ 60 年, 美国 Vilter 公司在上世纪 30 年代首次推出了该型式的压缩机, 以后瑞士 Escher Wyss 公司亦开始生产, 作为制冷装置的主机于 50 年代在全球风行一时。70 年代后, 由于节能和舒适性要求越来越高, 滚动转子式压缩机在小型空调、热泵、家用冰箱中的使用越来越广泛, 在小容量范围 (0.3 ~ 5 kW) 内有替代往复压缩机的趋势。主要是因为这种压缩机具有体积小、结构简单、运转平稳、噪声低的特点, 尤其是能适应较大的工况变化 (压力变化)。一般情况下, 和具有相同制冷量的往复压缩机相比, 滚动转子压缩机零件少 1/3 体积、重量均仅为往复式的 1/2 左右, 耗电量少 10%, 而效率却提高了 10% 以上。但所采用的复杂结构与系统难以与当时崛起的螺杆压缩机相竞争, 与传统的活塞压缩机也无法竞争。

1.3 第三代产品容积式压缩机

涡旋压缩机作为第三代压缩机的代表产品, 是因为它有诸多优点: 无往复运动机构, 结构简单, 可靠性高, 振动小, 平衡性好, 噪声低, 效率高等, 因此, 倍受国内外科研机构的重视, 被称为全新一代压缩机。与第一代往复压缩机相比, 有结构简单、体积小和重量轻的特点。主要零部件仅为往复式的 1/10 体积减少 30% 左右, 其噪声至少下降 5 ~ 8 dB(A), 无气阀等易损件, 转速可在较大范围内调节, 且效率

变化不大。涡旋压缩机与第二代产品回转压缩机相比, 有较高的容积系数, 且气流脉动较其它回转压缩机低 10% 左右。

涡旋压缩机工作原理是利用涡旋转子与涡旋定子的啮合, 形成多个压缩室, 随着涡旋转子的平动回转, 使各压缩室的容积不断变化来实现介质的压缩。涡旋压缩机的机理, 早在 1905 年由法国 Creux 提出并取得专利。但由于难以得到高精度的涡旋形状, 缺乏实用和可靠的驱动结构以及摩擦磨损问题不能妥善解决, 因此, 涡旋压缩机在将近 70 年的时间内未得到普及使用。直到 70 年代初, 由于能源危机的加剧及数控加工技术的发展, 给涡旋式压缩机的发展带来了机遇^[1-2]。

综上所述, 纵观涡旋式压缩机的发展历史, 自石油危机以来, 由于在供暖、空调与制冷应用中, 主要能量消耗于压缩机, 高效压缩机对国内市场已成为重要因素。在欧洲和日本, 低噪声、低振动的需要也很突出。因而, 兼有高效、低噪两大优势的涡旋压缩机成为换代产品已是必然趋势。目前多用于中小型空调及制冷设备中。

2 涡旋压缩机研究历程及最新进展

涡旋压缩机具有效率高, 可靠性强, 噪声低, 重量轻和尺寸小等特点, 因此, 它受到了国内外科技界的广泛重视。涡旋压缩机以其自身的优点被广泛应用于制冷空调领域和其它特殊领域 (如涡旋增压机等)。现就最近几年国内外有关涡旋压缩机方面的研究作一总结, 并预测涡旋压缩机今后的发展方向。

2.1 涡旋压缩机的研究历程与最新进展

当前全人类面对的 10 大问题之一是全球变暖问题, 涡旋压缩机在设计制造中如何提高压缩效率, 减少能源消耗, 降低噪声污染, 对抑制全球变暖而导致全球大气环流异常, 避免爆发罕见异常雪灾的发生, 提高人类的生存质量具有重大意义。面对这些问题, 涡旋压缩机的型线研究与设计是提高涡旋压缩机效率的关键因素。

涡旋压缩机能够正常工作的条件就是动涡盘与静涡盘在压缩腔内能够正确啮合。而基于涡旋体直壁等高的形状特性, 在几何计算时完全可以仅讨论其投影的涡线, 即把空间啮合问题转化为平面啮合问题。目前, 主要集中在单一涡旋型线设计理论的研究, 常见的涡旋型线有基圆渐开线、正多边形渐开线、线段渐开线、半圆渐开线、阿基米德螺旋线、代数

螺旋线、变径基圆渐开线、包络型线、以及通用型线等。由于圆的渐开线容易加工,并且该型线的压缩机有良好的工作性能,所以,目前应用的涡旋型线主要以圆渐开线为主,而对于涡旋型线的优化研究也集中于单一的特定型线参数优化,确定基圆半径、起始角、涡线圈数、涡线壁厚、涡线节距、涡盘半径等设计参数及其优化方法。目前常采用始端经过修正的完全啮合型线(PMP),修正的方法有:圆弧修正、直线圆弧修正、多段圆弧修正、二次曲线修正和三角函数修正等。组合型线是在同一涡圈上采用多段不同类型的型线连接为光滑型线,以发挥不同型线的优势,这种型线不但可兼顾吸气、压缩、排气全过程,而且还具有一些突出特点,它是修正型线的拓展。

上述研究在国内及国外大多是单一涡旋型线数学模型和涡旋型线单一性能或单一学科的研究,但是最近几年来型线研究趋向于通用涡旋型线方向发展。且有向综合性能和多学科协同优化设计的趋势发展。

目前研究^[3 4]提出的现有涡旋型的级数表达形式的共有特性构成的共振曲线可取函数类的级数表达式

$$F(x, y) = c_1 f_1(x, y) + c_2 f_2(x, y) + \dots + c_n f_n(x, y) \quad (1)$$

式中 $f_1(x, y), c_2 f_2(x, y), \dots, c_n f_n(x, y)$ ——现有涡旋型线及其可取函数类的级数表达式的同方次项的同类项函数

可简化如下:

基于泛函的通用涡旋型线方程表征形式

$$S(\varphi) = C_0 + C_1 \varphi + C_2 \varphi^2 + \dots + C_n \varphi^n \quad (2)$$

式中 C_k ——型线方程参数系数, $k = 0, 1, \dots, n$

该型线表达式包含了现有涡旋型可取函数类的任意型线,并可拓展出新型涡旋型线。

2.2 变频技术的应用

涡旋压缩机如何更有效的节能降耗,变频技术在此领域的应用成为近来的研究热点,变频技术在涡旋压缩机上的应用研究已经进行了大量工作,取得了一些重要成果,如兰州理工大学彭斌等发表的《变频涡旋压缩机的研究与应用》,华中科技大学《基于数码涡旋压缩机的空调系统的研究》,兰州理工大学的刘兴旺、王华、刘振全等分析了普通变频涡旋压缩机动静涡旋齿间的径向密封机理,找出了普通变频涡旋压缩机动静涡旋齿间的径向密封存在问题的根源,设计出了一种新型径向密封机构。该机构既能保证压缩机在较宽变频范围内仍具有较好

的密封性能,又能实现动涡盘的径向退让,同时,可降低变频涡旋压缩机的曲轴和涡旋盘的加工和装配精度及动涡盘轴承的装配精度,等等。目前国内市场上,正弦波直流变频技术在国内一些空调厂商得到应用,并有正弦波技术大有发展的趋势。有“变频之父”之称的日本大金公司现在主要是应用直流变频涡旋压缩机。

2.3 摩擦与润滑

摩擦与润滑是当前压缩机技术研究的重要方向之一,这也是压缩机能耗降低、可靠性提高双重目标的追求。涉及该技术研究很多,绝大多数是有油润滑方面的研究。由于有油润滑自身缺陷,往往会造成压缩的空气污染,迄今为止,国内无油活塞压缩机、无油螺杆压缩机等技术比较成熟,而对于无油润滑涡旋压缩机的知识体系便较欠缺。目前,国外如日本岩田和瑞典阿特拉斯生产的全无油涡旋压缩机已投放市场, L W ang Y. Zhao等发表了《关于没有油的密封制冷滚动压缩机的研究》^[6]。国内关于无油润滑涡旋压缩机的理论研究和生产实践还处在起步阶段。我国在此方面的研究成果,有兰州理工大学李海生发表的《无油润滑涡旋压缩机的研究》,西安交通大学房师毅等发表的《无油润滑涡旋式空气压缩机的工作过程研究》等等。

2.4 制冷剂 环保环境问题

制冷剂问题一直困扰压缩机发展,从最初的氟利昂(CFC)开始,特别是在面对全球温室效应问题上,这个行业的和相关研究人员及工程师不断在寻找一种绿色、环保的制冷剂。上世纪制冷剂从CFC发展到HFC和HCFC(R22),但是这两种工质都不是人们所最想要的,现在找到了一些自然制冷剂,如氨(有毒,可燃),HC(碳水化合物),二氧化碳(CO₂)等。自上世纪起,氨虽然被大量地用在工业上,但氨有毒及其可燃性使它不适合人类长远发展,而象丙烷和异丁烯等碳水化合物,也不被长期看好。CO₂高压,但无毒,不可燃,近年受到重视。高压二氧化碳已作为制冷剂的变革性制冷循环。但就目前市场上冷媒应用来看,各制造商基本上都已经推出了R410A和R407C冷媒空调涡旋压缩机^[5 7 8]。

3 压缩机发展展望分析

纵观目前涡旋压缩机研究现状和应用情况,对今后几年涡旋压缩机的研究发展方向归纳如下:

(下转第 63 页)

表 5 机组温度报警、停机参数表

序号	参数名称	参数代号	报警值	停机值
1	离心压缩机驱动端径向轴承温度 A	TE701- A	110℃	121℃
2	离心压缩机驱动端径向轴承温度 B	TE701- B	110℃	121℃
3	离心压缩机非驱动端径向轴承温度 A	TE702- A	110℃	121℃
4	离心压缩机非驱动端径向轴承温度 B	TE702- B	110℃	121℃
5	离心压缩机非驱动端推力轴承外侧温度 A	TE703- A	110℃	121℃
6	离心压缩机非驱动端推力轴承外侧温度 B	TE703- B	110℃	121℃
7	离心压缩机非驱动端推力轴承内侧温度 A	TE704- A	110℃	121℃
8	离心压缩机非驱动端推力轴承内侧温度 B	TE704- B	110℃	121℃
9	压缩机非驱动端推力轴承轴向偏移 A	ZE703- A	250 μ m	390 μ m
10	压缩机非驱动端推力轴承轴向偏移 B	ZE703- B	250 μ m	390 μ m
11	压缩机非驱动端径向轴承 X 方向振动	VE702- X	56 μ m	71 μ m
12	压缩机非驱动端径向轴承 Y 方向振动	VE702- Y	56 μ m	71 μ m
13	压缩机驱动端径向轴承 X 方向振动	VE701- X	56 μ m	71 μ m
14	压缩机驱动端径向轴承 X 方向振动	VE701- Y	56 μ m	71 μ m

(上接第 60 页)

(1)降低涡旋压缩机的加工成本, 主要是涡旋盘的加工。即寻找具有良好性能的型线, 涡旋压缩机的设计研究建立在提高涡旋压缩机整机特性基础上对表征涡旋型线本质特征的涡旋型线的形函数本身 – 通用涡旋型线进行多学科协同优化设计研究。

(2)研究新的环保型制冷剂对涡旋压缩机结构的新要求。

(3)增大涡旋压缩机的功率范围, 拓宽其应用领域, 特别是研究其变频特性以及在涡旋压缩机的应用。

(4)不使用润滑油, 可有效防止涡旋压缩机对空气的污染, 进而提高空气压缩的质量, 对无油润滑涡旋压缩机进行深入研究。

4 结论

纵观压缩机发展历程, 我们可以看出从第 1 代往复压缩机到第 2 代的回转式压缩机再到第 3 代的容积式压缩机, 相对来说无论是从结构、效率、空气压缩质量、噪声等性能方面一代比一代综合性能更加优越, 就现阶段流行的涡旋压缩机来说, 在最基本的型线优化中向通用涡旋型线方向发展, 在制冷剂方面寻找环保。高效的新型制冷剂, 将更加先进的变频技术应用到涡旋压缩机, 研究应用不使用润滑油以提高涡旋压缩机对空气的压缩质量等等方面的研究。上述这些研究都是基于整机性能上的分化研究, 最终目的也是提高整机性能。

我国空调制冷压缩机技术核心主要掌握在美国、日本、韩国等国家手中, 我们应从节能降耗和环

5 总结

随着在役管线压缩机组使用时间的不断增加, 如何提高压缩机维检水平以及制定合理的维修管理体系将是今后工作的重点。

参考文献:

[1] 郝点, 魏统胜. 压缩机手册 [M]. 北京: 中国石化出版社, 2003

作者简介: 江勇 (1979 –), 男, 安徽安庆人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事管道施工设备设计工作。

保两方面入手, 努力提升产品的综合性能, 力图为提高国民经济的发展质量和构建和谐社作出贡献。

参考文献:

[1] 李连生. 流体机械及压缩机技术的现状与发展 [J]. 通用机械, 2003 (9): 2– 4

[2] 魏钟南. 世界压缩机发展趋势 [J]. 制冷技术, 2001 (1): 48– 53.

[3] 李超, 赵荣珍, 刘振全, 等. 涡旋式空气压缩机润滑系统的研究 [J]. 润滑与密封, 2004 164 (7): 104– 105

[4] 陈进, 王立存, 李世六. 通用涡旋型线理论与深入分析 [J]. 机械工程学报, 2006, 42 (5): 11– 15

[5] 王立存, 陈进, 李世六, 何景熙. 基于泛函的涡旋型线共轭啮合研究 [J]. 机械工程学报, 2007, (3): 50– 53.

[6] 朱明善, 王鑫. 制冷剂的过去、现状和未来 [J]. 制冷学报, 2002 (1): 14– 20.

[7] L. Wang Y. Zhao L. Li G. Bu P. Shu Research on oil-free hemetic refrigeration scroll compressor Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part A. Journal of power and energy (0957– 6509), Volume 221, Issue 7, 2007, Pages 1049– 56

[8] The Alliance for Responsible Atmospheric Policy HCFCs: The Proven Solution, 2000 11

[9] Hiroshi Hasegawa Mitsuhiko Komatsu Experimental and Theoretical Study of Hemetic CO₂ Scroll Compressor [A]. Preliminary Proceedings of the 4th IIR-Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids at Purdue 2000: 347– 353

作者简介: 张贤明 (1955 –), 男, 研究员, 硕士生导师, 重庆工商大学机械工程学院院长, 重庆工商大学废油资源化技术与装备教育部工程研究中心副主任, 全国分离机械专业委员会副主任委员, 《中国机械工程》董事, 《流体机械》编委, 《环境科学与技术》理事, 国家人事部西部开发顾问, 国务院特贴专家。长期从事废油综合利用、节能、节油、环保研究, 主持国家及省部级项目 30 多项, 开发了 200 多种规格型号的废油处理产品, 获 12 项国家专利, 发表论文 90 多篇。