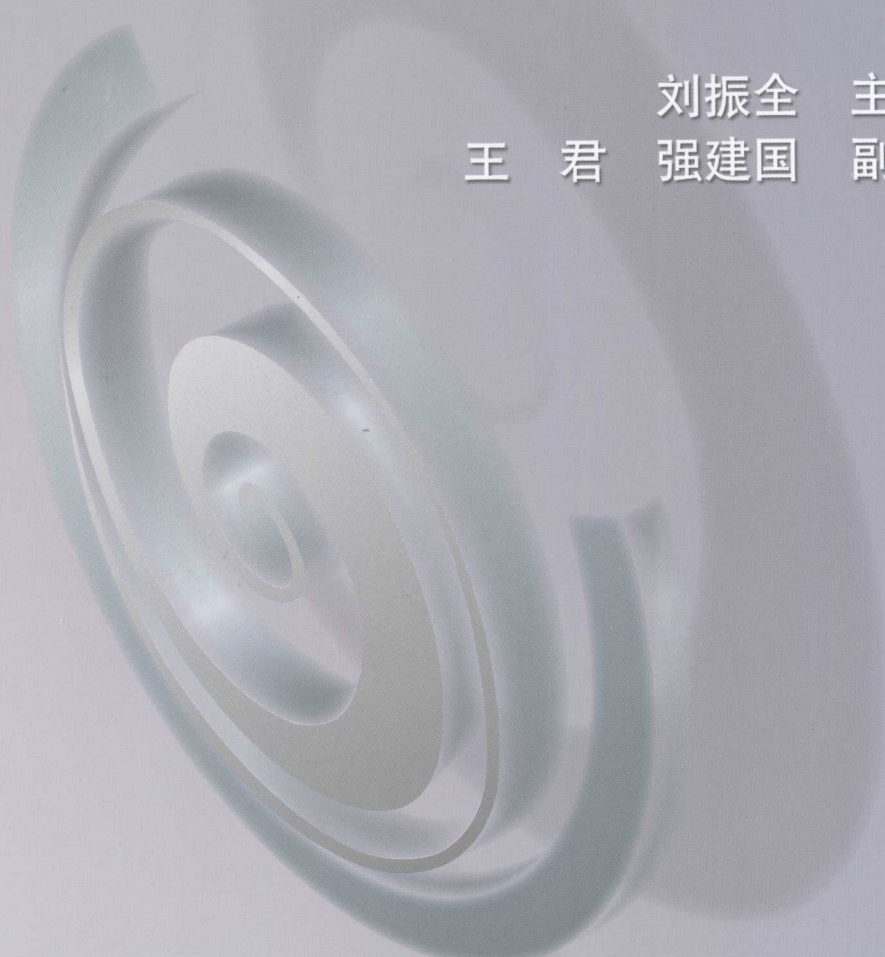


涡旋式流体机械与 涡旋压缩机

刘振全 主 编
王 君 强建国 副主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



涡旋式流体机械 与涡旋压缩机

主 编 刘振全
副主编 王 君 强建国
主 审 杜桂荣



机械工业出版社

涡旋式流体机械，是一种新型、高效的容积式流体机械。涡旋机械以其结构紧凑、高效节能、微振低噪和可靠性高等优点，已被广泛地应用于空调、制冷、各种气体压缩、增压器、真空泵和液压泵等领域。

本书是一部系统描述涡旋机械的专著，主要对涡旋机械的运动特性与型线的啮合、涡旋齿型线及其几何理论、涡旋齿型线修正、涡旋机械的设计与加工、涡旋压缩机的结构及应用等作了详尽的阐述。

本书供制冷、空调、流体机械及化工机械等专业的工程技术人员参考，也可供大专院校相关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

涡旋式流体机械与涡旋压缩机/刘振全主编. —北京: 机械工业出版社, 2009. 1

ISBN 978-7-111-26185-8

I. 涡… II. 刘… III. ①流体机械②容积式压缩机 IV. TH3
TH45

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 014264 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 沈红 版式设计: 张世琴 责任校对: 王欣

封面设计: 姚毅 责任印制: 乔宇

北京四季青印刷厂印刷 (三河市兴旺装订厂装订)

2009 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 13 印张 · 251 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-26185-8

定 价: 39.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010)68326294

购书热线电话: (010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010)88379778

封面无防伪标均为盗版

前 言

涡旋式流体机械，是一种新型、高效、节能、省材的容积式流体机械。其工作原理是：依靠两涡旋盘上的涡旋齿的多点啮合形成多月牙形封闭工作容积，在曲轴和专门的防转机构的带动和制约下，两涡旋盘之间实现相对公转平动，啮合点沿着齿壁连续移动，所形成的月牙形工作腔实现周期性的容积变化，从而实现气体的吸入、压缩和排出，完成气体的压缩和输送。早在1905年法国工程师 Cruex 就发明了涡旋发动机并申请美国专利，但在之后的70年里并没有得到工业应用，其重要原因是当时一些关键技术还没有解决，也不具备高精度涡旋型线的加工能力。自20世纪80年代以来，由于高精度数控加工技术的迅猛发展和能源危机对高效产品的需求，给涡旋机械的发展带来了机遇。涡旋机械以其结构紧凑、高效节能、微振低噪和可靠性高等优点，已被广泛地应用于空调、制冷、各种气体压缩、增压器、真空泵和液压泵等领域。目前，在大气量范围使用、提高加工质量和产品性能以及降低成本等方面，人们正在继续探索和努力。

本书由刘振全主编，王君和强建国任副主编，由杜桂荣主审。参加编写的还有彭斌、刘涛、刘兴旺、赵嫚、李超和马小礼等。本书包含了作者和其同伴们20多年来对涡旋机械的理解、理论研究成果和设计开发的实践经验。主要作者1985~1986年在英国学习期间，收集了有关涡旋压缩机的资料，回国后于1987年开始涡旋机械的研究，又于1994年到日本静岗大学与日本涡旋压缩机权威专家进行为时半年的涡旋压缩机的合作科研。多年来，作者和他领导的课题组在涡旋压缩机的型线啮合理论、线型修正、机构模型、径向随变技术、优化设计方法和多涡旋齿结构等方面取得了大量科研成果；承担国家和省部级科研开发课题多项，获得多项国家发明专利，撰写学术论文200余篇，并研制了多种用途的样机产品。其中，QWR90-3.75Ⅲ型涡旋式空调压缩机被国家科委等五部委推荐为1997年国家重点新产品，并于1999年获甘肃省科技进步一等奖和国家科技进步三等奖。

本书是一部全面系统描述涡旋机械的专著，适合制冷、空调、流体机械及化工机械等专业中等以上的工程技术人员阅读，也可供大专院校师生参考。

除上述人员外，先后参加兰州理工大学涡旋压缩机课题组的人员还有欧阳林子、於时才、海建中、白仕保、陈明义、陈仰贤、邵兵和王英等。本书中所涉及的多条涡旋齿及其型线修正研究受到高等学校博士学科点专项科研基金项

目“多条涡旋齿型线的啮合理论研究”的支持，其出版得到了兰州理工大学学术专著出版基金和化工过程机械重点学科建设经费的资助，在此一并表示感谢。

书中难免存在不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

主要符号表

ν	流体的运动粘度	R_c	多涡旋齿的特征圆半径
θ'	型线保持啮合的主轴转角	R_d	大圆弧半径
B	多边形的边数	Re	雷诺数
b	宽度	R_{or}	主轴偏心距
C	常数	R_s	小圆弧半径
c_p	比定压热容	R_w	涡旋齿外接圆半径
c_v	比定容热容	S	面积
d, D	直径	T	温度
E	制冷剂的溶解度	t	涡旋齿齿厚, 时间
f	摩擦力	U	动能, 周长
F	力	u	速度
h	涡旋齿齿高, 比焓	V	容积
i	倍数, 序数	V_d	排气容积
k	系数	V_s	吸气容积
l, L	长度	w	单位质量气体的功
m	质量	W	功, 能
M	力矩	x	X 坐标
N	多变压缩指数	y	Y 坐标
N	涡旋齿圈数	z	Z 坐标, 多涡旋齿的齿数;
n	主轴转速	α	圆渐开线发生角, 流速系数
Nu	努塞尔数	β	流体的体积膨胀系数
P	功率	μ	摩擦系数, 动力粘度
p	压力	δ	间隙
Pr	普朗特数	ε	压缩比
P_t	涡旋齿节距	κ	等熵指数
q	单位质量气体的热量	ϕ	型线展角
Q	吸气量, 流量, 热量	ϕ_s	涡旋齿中心渐开线最终展角
R	气体常数	ϕ_{min}	修正展角的最小值
R_b	渐开线基圆半径	γ	修正角

η	效率	下标
λ, β, φ	角度	t 切向
λ	角度, 热导率	r 径向
θ	主轴转角	a 轴向
θ_0	多涡旋齿的特征角	1, 2, 3, ..., i, ..., n 序号
θ^*	排气角	

目 录

前言

主要符号表

第 1 章 涡旋机械概述	1
1.1 涡旋机械的结构原理	1
1.2 涡旋压缩机的主要特点	2
1.3 涡旋机械的发展历史	3
1.4 涡旋机械的应用领域	5
1.5 涡旋机械理论的研究现状	6
1.6 涡旋机械的发展趋势	9
参考文献	10
第 2 章 涡旋机械的运动特性与型线的啮合	12
2.1 公转型和回转型涡旋机械	12
2.2 涡旋机械的机构模型	16
2.3 涡旋型线的啮合理论	23
参考文献	27
第 3 章 涡旋齿型线及其几何理论	28
3.1 涡旋压缩机的工作原理	28
3.2 圆渐开线涡旋齿的几何理论	32
3.3 涡旋齿壁型线的生成	45
3.4 涡旋齿型线	49
参考文献	62
第 4 章 涡旋齿的型线修正	64
4.1 型线修正的意义	64
4.2 涡旋齿双圆弧修正齿形生成的图解法	65
4.3 双圆弧修正的解析法设计	68
4.4 涡旋齿双圆弧修正的原理	76
4.5 多对圆弧修正方法	82
4.6 其他修正方法	86

参考文献	88
第5章 多涡旋齿型线和型线修正	89
5.1 双涡旋齿涡旋压缩机的工作过程	89
5.2 多涡旋齿涡旋盘的几何理论	90
5.3 多涡旋齿型线	95
5.4 多涡旋齿的型线修正	100
参考文献	109
第6章 涡旋机械的力分析	110
6.1 单涡旋齿气体力分析	110
6.2 双涡旋齿气体力分析	114
6.3 非整数圈涡旋齿的气体力分析	117
6.4 涡旋机械主要零件的受力分析	118
参考文献	123
第7章 涡旋压缩机结构与涡旋机械的应用	124
7.1 涡旋压缩机的类型	124
7.2 全封闭涡旋压缩机	124
7.3 开启式涡旋压缩机	129
7.4 涡旋机械的传动机构	133
7.5 涡旋机械的轴向随变	139
7.6 涡旋机械的径向随变	141
7.7 涡旋机械的密封	143
7.8 涡旋机械的润滑	147
7.9 涡旋压缩机的动平衡	153
7.10 涡旋机械的应用	155
参考文献	160
第8章 涡旋压缩机热力过程与传热	162
8.1 涡旋压缩机热力过程方程	162
8.2 涡旋压缩机的泄漏模型	163
8.3 涡旋压缩机的能量方程	166
8.4 涡旋压缩机的工作循环	168
8.5 压缩机中的传热	172
参考文献	178

第 9 章 涡旋机械的设计与加工	179
9.1 涡旋机械的设计	179
9.2 现代设计方法在涡旋机械设计中的应用	182
9.3 涡旋齿的数控加工	192
9.4 涡旋压缩机的检测	193
参考文献	196

第 1 章 涡旋机械概述

1.1 涡旋机械的结构原理

涡旋机械是一种新型容积式流体机械，主要由动涡旋、静涡旋、防自转机构、曲轴和支架体等零部件组成，如图 1-1 所示。其中，两涡旋盘偏心一定距离相对旋转 180° 对插在一起。这样两涡旋盘上的涡旋齿之间实现多点啮合，形成了多组月牙形封闭的工作腔容积；随着主轴的旋转，所形成的多个啮合点沿着涡旋齿齿壁由外向内连续移动，所形成的多组月牙形工作腔容积逐渐由大变小，从而实现封闭工作腔容积的周期性变化，进而实现了气体的吸入、压缩和排出。

动涡旋和静涡旋的结构十分相似，都是由端板和端板上伸出的涡旋齿所组成，在工作中一涡旋盘静止不动，称之为静涡旋盘，而另一涡旋盘作公转平动，称之为动涡旋盘。动涡旋盘如图 1-2 所示。

动涡旋在专用的防自转机构的约束下，由主轴带动作公转平动（即无自转，只有公转），这种特定的装配和运动，使得动、静涡旋齿之间所形成的多对月牙形封闭工作腔容积由大变小，实现周期性的容积变化。当主轴处于某一旋转角度时，最外圈的一对封闭的工作腔容积开启，吸气过程开始；当主轴旋转一周后，这一对工作腔关闭，形成封闭的工作腔容积，吸气过程结束；同在这新吸气腔形成的这一转中，前一转所形成的封闭吸气腔已同时开始压缩过程。随主轴的旋转啮合点由外圈向内圈移动，月牙形工作腔容积由涡旋盘的外圈逐渐向涡旋盘中心处移动，封闭工作腔容积逐渐由大变小，被封闭的气体受到压缩，气体压力逐渐升高；当工作腔容积与排气口相通时，压缩过程结束，排气过程开始。工作腔内的气体从位于静涡旋中央的排气口排出，从而完成气体吸气、压缩和排气全过程。

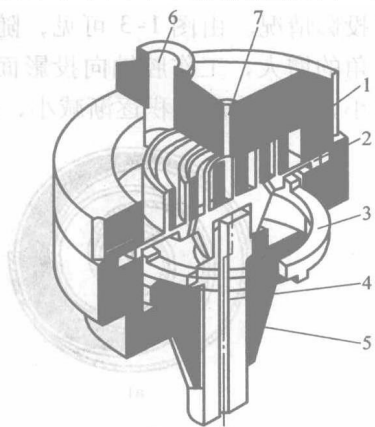


图 1-1 涡旋机械的结构

1—静涡旋盘 2—动涡旋盘 3—十字滑环
4—主轴 5—机架 6—吸气口 7—排气口

涡旋压缩机的工作过程如图 1-3 所示。图中表示了主轴处于四个不同转角时的相应工作腔容积的状态。通常认为动涡旋中心绕静涡旋中心的转动角为主轴转角，用 θ 表示。在 $\theta = 0^\circ$ 时刻，最外侧工作腔封闭，压缩机的吸气过程结束，此时最外侧工作腔中充入气体的容积为涡旋压缩机的吸气容积；随着主轴转角的增大，月牙形工作腔容积逐渐减小，图 1-3b、c 和 d 分别表示了当 $\theta = 90^\circ$ 、 $\theta = 180^\circ$ 和 $\theta = 270^\circ$ 时工作腔容积的轴向投影情况。由图 1-3 可见，随着主轴转角的增大，工作腔轴向投影面积逐渐减小，即工作腔容积逐渐减小，达到压缩气体的目的。

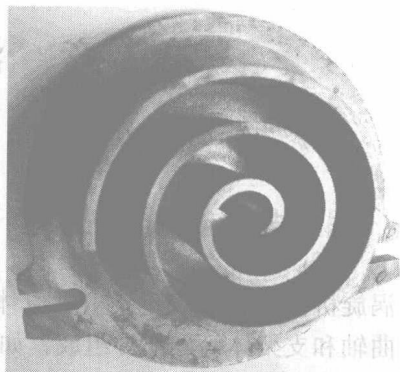


图 1-2 动涡旋盘

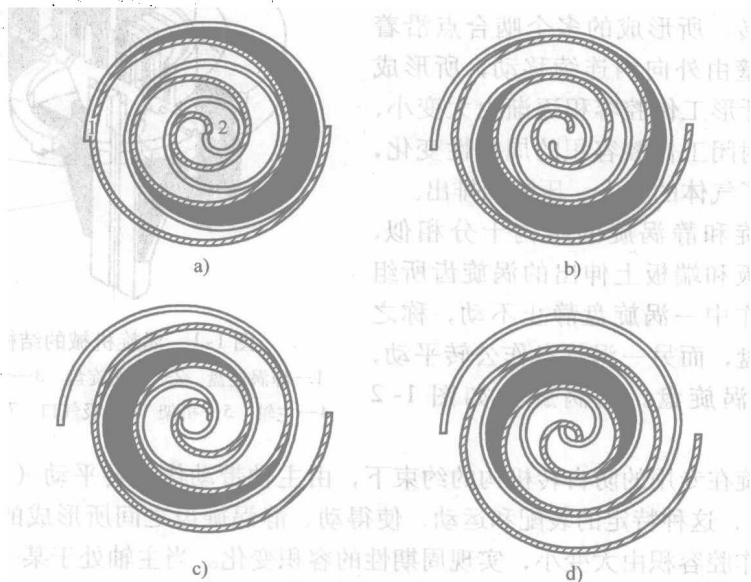


图 1-3 涡旋压缩机的工作过程

a) $\theta = 0^\circ$ b) $\theta = 90^\circ$ c) $\theta = 180^\circ$ d) $\theta = 270^\circ$

1—进气孔 2—排气孔

1.2 涡旋压缩机的主要特点

涡旋压缩机是继往复压缩机、转子压缩机、螺杆压缩机之后的又一种新型高效容积式压缩机，被公认为是技术最先进的第三代压缩机。与同等容量的往复压

缩机相比,主要零部件仅为往复式的1/10,体积减小40%左右,噪声下降5~8dB,效率提高10%,重量减轻15%,驱动力矩的波动幅度仅为往复式的1/10。由于涡旋压缩机独特的结构形式和运动规律,使其具有优良的热力性能和力学性能。其主要优点如下:

1) 零件数少、无气阀等易损件,因而结构简单紧凑、体积小、重量轻、可靠性高。

2) 无吸排气阀,因而气体流动损失小、吸排气损失小、无气阀的敲击噪声和由此引起的振动。

3) 吸气过程是主动的包容运动且持续时间长,无吸气余隙,容积效率高。

4) 工作腔容积变化过程持续时间长,因而压缩平稳、排气接近连续,气流脉动小。

5) 主轴回转半径小,且可对旋转零件进行平衡,因而旋转惯性力小、运动平衡性能好、整机振动小、运转平稳。

6) 动、静两涡旋盘之间相对滑动速度小,因而摩擦磨损小、主轴可选用较高转速。

7) 可实现径向和轴向随变,能够实现径向和轴向的磨损补偿、对系统杂质和液体具有较高的容许量。

8) 定压缩比压缩,因而启动性能好,转速可在较大范围内调节且效率变化不大,变转速特性好。

9) 多个压缩腔同时工作,因而转矩和驱动力矩的变化幅度小。

10) 相邻压缩腔的压差小,因而工作腔间的密封性好,气体泄漏小。

由于涡旋压缩机是依靠高精度涡旋齿型线的啮合和两涡旋盘之间的相对公转平动完成气体的压缩,因此涡旋压缩机存在如下缺点:

1) 涡旋盘的加工精度要求高,涡旋齿型线的加工难度大。

2) 整机摩擦副数量较多。

3) 难以实施压缩气体的外部冷却,工作过程中的热量不易导出,因而压缩比不能过大,适用于压缩指数较小的气体,或需对压缩腔进行喷液以进行内部冷却。

4) 当排气压力变化时,其变工况性能欠佳。

5) 难以适应较大排气量和较高压力比的应用场合。

1.3 涡旋机械的发展历史

涡旋机械理论的提出,可以追溯到19世纪末与20世纪初。在1905年,法国人 Leon Creux 以可逆转的涡旋膨胀机为题申请了美国专利;在1925年,

L. Nordi 申请了涡旋液体泵的专利。在随后近 70 年里，涡旋机械都没有得到更深入的研究和发展，其原因主要是由于涡旋机械的关键部件——涡旋盘涡旋齿型线的加工精度无法得到保证，各种加工手段、工艺设备和检测设备都不能保证高精度涡旋型线的加工与检测。

直到 20 世纪 70 年代，由于能源危机以及温室效应的出现，使得对节省能源和环境保护的要求日益高涨，涡旋机械以其效率高、振动噪声小、结构简单和运转平稳等显著优点满足了人们对节能和环保的要求；同时高精度数控加工技术的发展，也为涡旋机械的发展带来了机遇。1972 年，美国 Arthur D. Little（简称 A. D. L）公司首次采用双伸轴两级压缩的结构，成功开发出了排气压力为 1.7MPa 的氦气涡旋压缩机，展现出涡旋机械独特的优点。把它用在远洋海轮上，并在此基础上与瑞士合作开发了多种工质的涡旋压缩机样机，标志着涡旋压缩机实用化年代的到来，从而揭开了涡旋压缩机大规模产业化的序幕。1973 ~ 1976 年间，美国和瑞士先后开发了空气、氮气及氟利昂等介质的涡旋压缩机，从此涡旋压缩机的系列化产品相继出现。1981 年，日本三菱重工推出了用于汽车空调的涡旋压缩机；1982 年，三电公司开始批量生产汽车空调涡旋压缩机；1983 年，日立公司开发出 2 ~ 5hp (0.15 ~ 3.73kW) 的全封闭涡旋压缩机用于单元式空调和柜式空调；松下电器于 1990 年开始大规模生产小型立式空调涡旋压缩机，又于 1992 年成功地研究开发了分体式空调卧式涡旋压缩机；丰田公司大批量生产涡旋式汽车空调压缩机用以装备其公司生产的轿车；东芝公司把涡旋压缩机作为新干线高速火车的空调压缩机，成为新干线高技术组合的一部分。

目前涡旋压缩机的研究制造主要集中在美国、日本、中国、法国和韩国等国。日本从事涡旋压缩机商业开发的主要生产厂家有：日立、大金、三菱电气、三菱重工、松下、三洋、东芝、三电等十几家公司，其生产规模分别在年产 20 ~ 100 万台。美国从事涡旋压缩机生产的主要厂家有：考普兰、开瑞、特龙、泰康等公司。此外韩国的 Century 公司、LG 电子公司和三星公司也批量生产涡旋式空调压缩机；瑞典的 Atlas 公司在涡旋空气压缩机方面也具有一定的生产能力。

20 世纪 80 年代后期，在我国涡旋压缩机逐渐成为研究热点，先后有西安交通大学、兰州理工大学和合肥通用机械研究所，以及一些其他的院所和工厂，对涡旋压缩机进行了研究，并在理论研究和工程实践上取得了相当的成果，成功地研制了多种涡旋压缩机的产品样机。近年来又有清华大学、重庆大学、东北大学、华中科技大学、合肥工业大学等高校也进行了相关的研究，在理论研究和工程实践上也取得了大量的成果，成功地研制了多种涡旋压缩机的产品样机——系列汽车空调涡旋压缩机、涡旋空气压缩机、天然气涡旋压缩机、无油润滑涡旋压缩机、特种涡旋压缩机等。

目前我国的商业空调涡旋压缩机生产仍以中外合资为主,广州万宝压缩机股份公司引进了日立公司单元空调用全封闭涡旋压缩机的生产线;西安大金庆安压缩机有限公司同日本大金工业株式会社合作,日本三洋公司与大连冰山集团合作,生产柜式空调涡旋压缩机;谷轮公司在苏州投资建设了年产近 100 万台 5hp (3.73kW) 涡旋压缩机的生产线。同时,我国有很多厂家正在自行小规模开发生产涡旋压缩机。

1.4 涡旋机械的应用领域

涡旋机械的应用领域非常广泛,且不断在扩大,主要用作涡旋制冷压缩机、涡旋空气压缩机、涡旋增压器、涡旋液体泵、涡旋发动机、涡旋膨胀机和涡旋真空泵等。

在制冷和空调领域涡旋压缩机的应用最为广泛和成熟,其应用范围涉及柜式空调全封闭制冷压缩机、窗式空调器的小功率压缩机,以及汽车和列车空调系统中的压缩机。为了提高气量已发展到采用多机并联机组的设计形式。

作为空气压缩机,因为涡旋压缩机的压缩过程难以实施外部冷却,且空气的绝热指数较大,一般需进行喷油内部冷却,这样一方面可以降低温度、润滑摩擦表面,另一方面也可以减小泄漏、提高效率。涡旋空气压缩机的品种和规格较多,排气量主要集中在 $0.6 \sim 3\text{m}^3/\text{min}$ 之间,主要是动力用涡旋空气压缩机。近年来国内在无油润滑涡旋空气压缩机方面进行了深入的研究。兰州理工大学所研发的用于燃料电池发动机的无油润滑涡旋空气压缩机采用双涡旋齿结构,实现在相同排气量的条件下,减小了动、静两涡旋盘的外形尺寸,同时也减小了动、静两涡旋盘之间的相对滑动速度,进而减小摩擦磨损,降低了实现无油润滑的难度。

在增压器应用方面,比较典型的是汽车发动机用涡旋增压器。德国大众公司在这方面进行了大量的探索,成功开发了著名的 G 增压器,使得发动机的功率提高了 35%。涡旋增压装置在 20 世纪 90 年代以后,又被谷轮公司制造成医用空气动力源,效果也比较理想。这类增压器的共同特点是气体流量大,但压力比低。此外,也有研究和探讨涡旋膨胀机和涡旋压缩机两者的组合,利用汽车排出废气的能量实现对新鲜气体的增压。

作为真空泵,1987 年日本三菱电机公司首次成功开发出涡旋真空泵。在这种装置中,采用主动、被动涡旋结构,动、静涡旋盘同时绕自身轴线回转,这使得径向间隙的位置不随涡旋的运动而改变,更容易实现密封;随后日立、岩田涂装等公司也相继推出了涡旋真空泵。目前涡旋真空泵的真空度可达 10^{-2}Pa ,这比滑片式真空泵所能达到的真空度提高了近 10 倍。

1.5 涡旋机械理论的研究现状

1. 涡旋齿型线

涡旋齿型线类型主要有：圆的渐开线、线段渐开线、正多边形渐开线、平行四边形渐开线、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。日本学者森下悦生（E. Morishita）等首先建立了圆渐开线涡旋型线的几何理论，并推导了相关计算公式；随后一系列由半圆构成的涡旋型线的几何理论由 M. Hayano 等导出，并制成样机进行了实验研究；为了减小涡旋压缩机涡旋盘的几何尺寸，有关偏置涡旋型线的涡旋压缩机取得了美国专利；James W. Bush 等通过采用混合基圆的方法来改变涡旋型线的布置，获得比较小的机器体积，并研究了型线的多种组合方法；K. Tojo 利用可变直径圆的渐开线作为涡旋齿型线；H. Kohsokable 等利用代数螺旋线作为涡旋齿型线，在吸气容积相同时可降低涡旋齿的高度。多边形渐开线是由多段圆弧连接成的型线，而圆的渐开线可以认为是由无限多圆弧连接而成且曲率连续变化的曲线。由于圆的渐开线理论成熟且易于加工，所以一般通常用圆的渐开线作为涡旋齿齿壁型线。

2. 涡旋齿齿头型线修正

由于单一基体型线构成的涡旋齿难以实现完全啮合，不能兼顾压缩、排气和加工等多方面的要求，而且涡旋齿型线的自身结构特点，使得加工时在涡旋齿齿头处会出现与刀具干涉的情况。这样就需要对涡旋齿进行型线修正，故常在对压缩机性能造成较大影响的涡旋齿齿头处实施型线修正，同时型线修正还能起到增加涡旋齿的啮合角度范围、增大压缩比、增强涡旋齿头强度和改善涡旋压缩机排气特性的作用。三菱公司的平野隆久（Takahisa Hirano）提出一种称之为 PMP 或 δ -PMP 的型线修正方法，降低齿端的接触应力，进一步提高了机器的性能和效率；我国台湾学者 Yin-Ren Lee 等对 PMP 技术作了进一步的推广；刘振全在 1990 年利用图解法，简明的描述了双圆弧型线修正齿形的生成过程，得到了修正齿形随齿形参数的变化关系，并用运动轨迹的外包络线法，证明了所生成的修正齿形能够实现正确啮合。随后他所领导的课题组，在双圆弧型线修正基础上提出了多种型线修正方法，包括：圆弧加直线修正、圆渐开线修正、多对圆弧修正和三角函数类修正等方法。

3. 组合型线

组合型线是在同一涡旋齿上，采用多段不同类型的型线连接成的光滑型线。组合型线通常为变壁厚型线，是以各种常用型线和通用型线为基础，以发挥不同型线的优势，它兼顾了吸气、压缩、排气全过程。常见的组合型线主要有：圆渐开线-圆弧-圆渐开线组合型线；圆渐开线-Ⅲ类型线-圆渐开线组合型线；线段渐

开线-高次曲线-圆渐开线。以线段渐开线-高次曲线-圆渐开线三段组合型线为例,内部高压区的圆渐开线使大部分气体切向力与基圆中心连线平行,以降低防自转机构的载荷变动幅度,减轻机器的振动;外部的线段渐开线主要用来增大吸气容积;中间部分由高次曲线将内外部的圆渐开线光滑连接,以减小型线的泄漏线长度,充分发挥出不同型线的优势。

组合型线具有如下特点:

- 1) 提高涡旋盘面积利用率、提高压缩机的排气量和压缩比。
- 2) 减小涡旋齿型线的长度和圈数、减少涡旋齿的加工量、减少泄漏线长度、缩短压缩过程和减少气体的停留时间。
- 3) 组合型线中较宽的壁厚不但增大了气体径向泄漏的阻力,有利于减小泄漏,而且在较宽的齿厚处还可开设冷却腔,实施对工作腔内的气体进行内部冷却。
- 4) 组合型线增加了工作腔之间的压差,气体的切向泄漏增加。
- 5) 采用组合型线增加了所受气体力和转矩的变化波动量。
- 6) 组合型线的加工和测量较为困难。

4. 双涡旋齿型线

双涡旋齿涡旋压缩机具有排气量大、涡旋盘直径小及气体力变化幅度小等优点,成为涡旋压缩机向大排气量和大功率方向发展的技术关键。E. Morishita 最早用圆渐开线作为双涡旋齿的内外侧型线。顾兆林建立了圆渐开线的双涡旋齿涡旋盘的几何理论,并进一步推导了任意齿数的多涡旋齿的主轴偏心量、工作腔容积以及铣刀直径的计算公式,表明涡旋齿数、涡旋齿厚度对工作容积和压缩比等热力性能参数产生较大的影响。

5. 涡旋齿的结构参数优化

在涡旋压缩机的设计过程中,结构参数的优化设计是提高压缩机性能的有效途径,在相同的使用目的下,涡旋齿型线几何参数不是唯一的。围绕如何提高压缩机容积效率、机械效率、稳定性及受力特性,在研究涡旋齿各个参数对压缩机性能影响的基础上,采用优化设计方法可获得最佳的涡旋齿几何参数组合。可以把涡旋齿齿高、齿厚及排气角作为独立变量,从制造、设计和运行等限制条件来研究它们的影响。最佳涡旋齿齿厚由热变形、刀具切削力和气体作用力的有限元分析辅以实验确定。最佳排气角由最大排气流速确定。涡旋齿齿高是唯一影响全局的参数,对几何特征、加工条件、设计限制条件、轴承比压、能量损失和磨损等多方面均有影响。

6. 机构模型与柔性机构

涡旋机械的两涡旋盘之间的公转平动运动关系及其运动特性,可用机构学中的具体机构加以描述。刘振全首先采用曲柄和双滑块机构作为涡旋机械的理论机