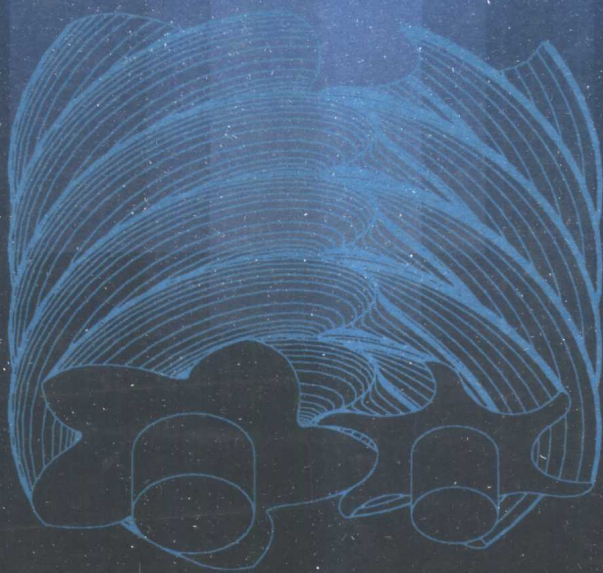


螺杆压缩机

—— 理论、设计及应用

邢子文 著



机械工业出版社
China Machine Press

● ISBN 7-111-08089-0/TH·1047

封面设计 / 电脑制作：
方芬

ISBN 7-111-08089-0



9 787111 080893 >

定价：21.00 元



螺杆压缩机

——理论、设计及应用

邢子文 著



机械工业出版社

螺杆压缩机具有结构简单、工作可靠和操作方便等一系列独特的优点,是一种应用前景十分广阔的新型压缩机。本书总结了作者多年从事螺杆压缩机理论研究、产品研制与软件开发所取得的创新成果和经验,全面阐述了螺杆压缩机的基础理论、设计方法及实际应用。主要内容包括转子型线、几何特性、热力性能、动力特性、刀具刃形的计算,以及典型零件、主机结构及机组系统的设计等。对螺杆空气压缩机、制冷压缩机和工艺压缩机都作了详细的论述。对于螺杆膨胀机、螺杆多相混输泵、单螺杆压缩机等也作了简要介绍。书中还特别介绍了作者开发的一套设计计算软件。

本书可供压缩机、制冷、空调及化工机械等领域的专业技术人员阅读,也可作为高等院校相关专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

螺杆压缩机——理论、设计及应用/邢子文著. —北京:机械工业出版社, 2000.8

ISBN 7-111-08089-0

I. 螺… II. 邢… III. 螺杆压缩机 IV. TH455

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 60598 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:蒋有彩 版式设计:冉晓华 责任校对:李汝庚

封面设计:方芬 责任印制:路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2000年8月第1版·第1次印刷

850mm×1168mm^{1/32}·10.25印张·272千字

0 001 - 4000册

定价:21.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页、由本社发行部调换
本社购书热线电话(010) 68993821、68326677-2527

序

螺杆压缩机是由瑞典皇家工学院教授 Lysholm 于 1934 年发明的，其初衷是用于柴油机和燃气轮机的增压。由于设计与制造水平所限，20 世纪 60 年代以前，螺杆压缩机的发展异常缓慢，只在军事装备中有高速、无油的螺杆压缩机得以应用。60 年代初，喷油技术被引入螺杆压缩机，降低了对螺杆转子型线加工精度的要求，同时对机组的噪声、结构、转速等都产生了有利影响。这种高效、可靠的新机型迅速走向民用市场。

目前，喷油螺杆压缩机已成为空气动力、制冷空调这两个面大量广领域的主要机型。在中等容积流量的空气动力装置及中等制冷量的制冷装置中，螺杆压缩机占据了市场的优势份额。无油螺杆压缩机在石油、化工、食品、医药等行业作为工艺压缩机，市场前景十分广阔。

我国的螺杆压缩机生产，起步于 60 年代中期，从仿制走向独立自主的开发，经历了 15 年左右的蹒跚步伐。80 年代以后，引进了国外先进的螺杆加工、检测设备及计算机软、硬件，大大提高了我国螺杆压缩机的设计和制造水平。改革开放的国策，加强了我国螺杆压缩机的专业人员与国外同行的交流，增长了知识，开阔了眼界。在国内外激烈的市场竞争中，我国的螺杆压缩机工业正稳健发展，广大研究、教育、设计、制造、应用人员急切期盼一本内容新颖、体系完整的螺杆压缩机书籍。作者顺应这一需求，撰写了这本专著。

书中，作者对螺杆压缩机的理论、设计方法进行论述，同时也重视螺杆压缩机的应用与工程实际，因此，这是一本理论与实用，学术与工程统筹兼顾的著作。与以往的一些螺杆压缩机书籍相比，作者搜集了近年来国内外流行的各种新型线，并对其设

计、加工方法作了较全面的介绍。这里特别要提到的一点是，作者摆脱了螺杆转子型线长期以来由国外专利束缚的误区，在传统啮合理论的基础上，博各著名螺杆压缩机制造企业型线之长，有创造性地形成自己独特的、能满足不同使用要求，而且在抗磨、强度及刚度、加工诸方面都优越的型线。国内有些企业想发展螺杆压缩机，但螺杆转子的设计与制造往往使之望而生畏，这本书的问世，有助于解决这一难题。

这本专著还有另外两个特点：一是作者利用计算机这一强有力的工具，编制了一套设计软件，利用设计软件，减轻了繁复劳动，节省了人力，并大大缩短了螺杆压缩机的设计周期，十分有利于老产品的改造和新产品的开发，能增强企业的市场竞争能力；另一个特点是本书将作者所在单位——西安交通大学近年来在螺杆压缩机方面研究与开发的经验与成果进行了比较系统的总结，对螺杆压缩机国内外的新技术、新结构、新工艺进行了比较全面的阐述。

愿这本螺杆压缩机专著的问世，能使我国从事螺杆压缩机的工程技术人员从中受益，为提高我国螺杆压缩机总体技术水平及在国内外市场的竞争能力，为开拓我国螺杆压缩机事业的新纪元贡献力量！

束鹏程
新千年初春于
西安交通大学

前 言

螺杆压缩机具有结构简单、工作可靠和操作方便等一系列独特的优点，因此在空气动力、制冷空调及各种工艺流程中获得了广泛的应用。这是一种市场份额持续扩大、应用前景十分广阔的新型压缩机。然而，国内外有关螺杆压缩机的书籍很少，并且内容多不全面。目前希望了解和学习螺杆压缩机理论、设计及应用知识的人员越来越多，为了满足这一社会需要，作者总结了多年来从事螺杆压缩机理论研究、产品研制与软件开发所取得的成果和经验，结合收集到的有关最新资料，撰写成《螺杆压缩机——理论、设计及应用》这本专著，以期普及有关知识，促进螺杆压缩机的理论研究和新产品的研制，进一步扩大其应用范围。

本书全面阐述螺杆压缩机基础理论、设计方法及实际应用。全书共分 12 章，主要内容包括：转子型线设计、几何特性计算、热力性能计算，以及工作过程数学模拟、转子受力计算、刀具刃形计算、典型零件设计及选型、主机结构设计、机组系统设计等。对螺杆空气压缩机、螺杆制冷压缩机和螺杆工艺压缩机都作了详细的论述。对螺杆膨胀机、螺杆多相混输泵、单螺杆压缩机等其它螺杆机械也作了简要介绍。书中还特别介绍了作者开发的一套螺杆压缩机的设计计算软件。

本书在系统介绍螺杆压缩机理论的基础上，在转子型线设计、几何特性计算、热力性能计算及工作过程数学模拟等方面给出了设计计算新方法；针对螺杆空气压缩机、螺杆制冷压缩机和螺杆工艺压缩机等不同种类的主机结构和机组系统，列举了大量实例和插图；对常见参数的螺杆压缩机及有代表性的转子型线，给出了数值计算结果和主要设计参数的选取范围，具有较强的实用性。

需要说明的是，本书引用了一些螺杆压缩机生产企业的转子型线和机器结构，其目的仅仅是用来辅助阐述有关内容，相关知识产权仍属于这些企业。

本书可供压缩机、制冷、空调及化工机械等领域的专业技术人员阅读，也可作为高等院校相关专业的教学参考书。

在撰写过程中，得到了西安交通大学流体机械与压缩机国家工程研究中心主任束鹏程教授的关心与支持。他认真审阅了全部书稿，提出了许多宝贵意见，并热情为本书作序，在此表示衷心的感谢。

本人期待着读者对书中的不妥和错误之处，进行批评与指正。

邢子文
2000年1月于
西安交通大学

主要符号表

<p>A——转子中心距 (m); 面积 (m^2)</p> <p>C_{n1}——面积利用系数</p> <p>C_φ——扭角系数</p> <p>c_p——比定压热容 [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]</p> <p>$c_v$——比定容热容 [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]</p> <p>$D$——转子外径 (m)</p> <p>$d$——直径 (m)</p> <p>$E$——能 [量] (J)</p> <p>$F$——力 (N)</p> <p>$H$——阴转子齿顶高 (m); 焓 (J)</p> <p>h——比焓 (kJ/kg)</p> <p>i——传动比</p> <p>L——转子长度 (m)</p> <p>l——接触线长度 (m)</p> <p>M——力矩 ($\text{N}\cdot\text{m}$)</p> <p>m——质量 (kg); 多方过程指数</p> <p>n——转速 (r/min)</p> <p>P——功率 (kW)</p> <p>Pr——普朗特数</p> <p>p——压力 (Pa)</p> <p>p_i——内压缩终了压力 (Pa)</p> <p>Q——热量 (kW); 制冷量 (kW)</p> <p>q_m——质量流量 (kg/s)</p> <p>q_v——容积流量 (m^3/min)</p> <p>R——半径 (m); 气体常数 [$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]</p> <p>$Re$——雷诺数</p>	<p>T——导程 (m); 热力学温度 (K)</p> <p>t——摄氏温度 ($^\circ\text{C}$)</p> <p>u——比热力学能 (kJ/kg)</p> <p>V——容积 (m^3)</p> <p>v——速度 (m/s); 比体积 (m^3/kg)</p> <p>z——转子齿数</p> <p>α——角度 ($^\circ$)</p> <p>β——螺旋角 ($^\circ$); 角度 ($^\circ$)</p> <p>δ——角度 ($^\circ$); 间隙 (mm)</p> <p>γ——角度 ($^\circ$)</p> <p>θ——角度 ($^\circ$)</p> <p>κ——等熵指数</p> <p>ε——压力比</p> <p>ε_i——内压力比</p> <p>ε_o——外压力比</p> <p>ε_v——内容积比</p> <p>λ——转子长径比</p> <p>η——效率</p> <p>η_{ad}——绝热效率</p> <p>η_v——容积效率</p> <p>ρ——密度 (kg/m^3)</p> <p>φ——转子转角 ($^\circ$)</p> <p>ω——角速度 (rad/s)</p> <p>Ψ——刀具安装角 ($^\circ$)</p> <p>下角标:</p> <p>1——阳转子</p> <p>2——阴转子</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

VII

s——吸气

d——排气

a——轴向

r——径向

g——气体

o——油

t——理论

ad——绝热

i——内压缩終了

目 录

序

前言

主要符号表

第1章 概述	1
1.1 基本结构和工作原理	1
1.1.1 基本结构	1
1.1.2 工作原理	2
1.2 螺杆压缩机特点	4
1.3 分类及适用范围	6
1.3.1 分类	6
1.3.2 适用范围	7
1.4 发展历程及发展方向	9
1.4.1 发展历程	9
1.4.2 发展方向	10
第2章 转子型线设计	12
2.1 转子型线设计原则及发展过程	12
2.1.1 转子型线及其要素	12
2.1.2 转子型线设计原则	14
2.1.3 转子型线的发展过程	15
2.2 型线方程和啮合线方程	17
2.2.1 坐标系建立及坐标变换	17
2.2.2 齿曲线及其共轭曲线	19
2.2.3 共轭曲线的啮合线方程	23
2.3 典型型线及其啮合线	24
2.3.1 对称圆弧型线	24
2.3.2 不对称型线	28
2.3.3 新的不对称型线	43

第3章 几何特性计算	50
3.1 转子螺旋齿面及其法线方程	50
3.1.1 螺旋齿面方程	50
3.1.2 转子几何参数间的基本关系	53
3.1.3 螺旋齿面的法线	54
3.2 接触线	56
3.2.1 相对运动速度	57
3.2.2 啮合条件	60
3.2.3 接触线方程	62
3.2.4 接触线计算	62
3.3 泄漏三角形	66
3.4 典型型线的接触线和泄漏三角形	67
3.5 齿间面积和面积利用系数	69
3.5.1 齿间面积	69
3.5.2 面积利用系数	70
3.6 齿间容积及其变化过程	71
3.6.1 齿间容积	71
3.6.2 齿间容积的变化	71
3.7 扭角系数及内容积比	74
3.7.1 扭角系数	74
3.7.2 内容积比	76
3.8 吸气孔口	78
3.8.1 轴向吸气孔口	78
3.8.2 径向吸气孔口	82
3.8.3 常见型线的吸气角度	84
3.9 排气孔口	84
3.9.1 轴向排气孔口	84
3.9.2 径向排气孔口	86
3.9.3 常见型线的排气角度	88
第4章 热力性能计算	89
4.1 理论工作过程	89
4.1.1 理想工作过程	89
4.1.2 内、外压力比不相等的工作过程	89

4.1.3 吸气提前或延迟结束的工作过程	90
4.1.4 具有穿通容积的工作过程	91
4.1.5 具有封闭容积的工作过程	91
4.1.6 无内压缩的工作过程	92
4.2 实际工作过程	92
4.3 内压力比及压力分布图	94
4.3.1 内压力比	94
4.3.2 压力分布图	96
4.4 容积流量及容积效率	98
4.4.1 理论容积流量	98
4.4.2 实际容积流量	98
4.4.3 容积效率	98
4.5 轴功率及绝热效率	102
4.5.1 等熵绝热压缩功率	102
4.5.2 绝热效率	102
4.6 排气温度	106
4.6.1 干式螺杆压缩机的排气温度	106
4.6.2 喷油螺杆压缩机的排气温度	107
4.7 喷油影响及喷油量计算	109
4.7.1 喷油影响	109
4.7.2 喷油量的计算	110
第5章 工作过程数学模拟	117
5.1 基本假设	118
5.2 基本方程	118
5.3 补充方程	120
5.3.1 气体状态方程	120
5.3.2 齿间容积变化	121
5.3.3 换热方程	121
5.3.4 质量方程	124
5.3.5 喷油功耗计算	125
5.4 方程求解	130
5.5 结果分析	131
第6章 转子受力计算	133

6.1 轴向力	133
6.1.1 端面轴向力	134
6.1.2 气体轴向力	135
6.1.3 齿轮轴向力	137
6.1.4 平衡活塞轴向力	138
6.2 径向力	138
6.2.1 齿轮径向力	138
6.2.2 气体径向力	139
6.3 力矩	141
6.3.1 气体内力矩	142
6.3.2 摩擦阻力矩	143
第7章 转子加工及刀具刃形计算	146
7.1 转子加工方法	146
7.1.1 铣削加工法	146
7.1.2 滚削加工法	146
7.1.3 磨削加工法	147
7.1.4 其它加工法	147
7.2 刀具设计原理	148
7.2.1 接触条件式	148
7.2.2 接触条件式的求解	152
7.2.3 中心距和安装角的确定	154
7.2.4 刀具刃形的中断与交叉	154
7.2.5 型线坐标的调整	155
7.3 齿间间隙及其获得方法	157
7.3.1 等距面与等距线	157
7.3.2 齿间间隙获得方法	160
7.4 实际刀具的设计	164
7.4.1 齿间间隙的确定	164
7.4.2 刀具前角的考虑	165
第8章 设计计算软件开发与应用	167
8.1 螺杆压缩机设计计算的发展	167
8.1.1 经验设计	167
8.1.2 机理设计	167

8.1.3 软件设计	168
8.2 SCCAD 软件的研究与开发	168
8.2.1 计算模型及程序	168
8.2.2 软件结构	173
8.2.3 软件用户界面	173
8.3 SCCAD 软件应用与推广	175
8.3.1 螺杆压缩机设计	175
8.3.2 转子新型线开发	181
8.3.3 系统模拟及优化	184
8.3.4 SCCAD 软件的转让	185
8.3.5 SCCAD 软件的发展	186
8.4 主要设计参数及其选取原则	187
8.4.1 型线参数	188
8.4.2 转子结构参数	191
8.4.3 压缩机结构参数	194
8.4.4 压缩机运行参数	198
第 9 章 主要零部件设计和选型	202
9.1 机体	202
9.2 转子	204
9.3 轴承	207
9.4 轴封	211
9.4.1 无油螺杆压缩机轴封	211
9.4.2 喷油螺杆压缩机轴封	214
9.5 同步齿轮	217
9.6 容量调节滑阀	218
9.7 内容积比调节滑阀	224
第 10 章 主机结构设计	229
10.1 螺杆空气压缩机	229
10.1.1 喷油螺杆空气压缩机	229
10.1.2 无油螺杆空气压缩机	232
10.2 螺杆制冷压缩机	234
10.2.1 开启式螺杆制冷压缩机	234
10.2.2 半封闭式螺杆制冷压缩机	238

10.2.3 全封闭式螺杆制冷压缩机	241
10.3 螺杆工艺压缩机	245
10.3.1 喷油螺杆工艺压缩机	245
10.3.2 无油螺杆工艺压缩机	247
第 11 章 机组系统设计	249
11.1 无油螺杆压缩机机组系统设计	249
11.2 喷油螺杆压缩机机组系统设计	250
11.3 经济器制冷循环系统	253
11.4 喷液制冷循环系统	255
11.5 驱动方式	257
11.5.1 喷油螺杆压缩机的驱动	258
11.5.2 无油螺杆压缩机的驱动	259
11.6 容积流量调节	259
11.6.1 转速调节	260
11.6.2 吸气节流调节	261
11.6.3 停转调节	263
11.6.4 进排气管连通调节	264
11.7 润滑油及油气分离	265
11.7.1 润滑油	265
11.7.2 油气分离器	268
11.8 喷油孔口及供油量	274
11.8.1 无容积流量调节滑阀的压缩机	274
11.8.2 有容积流量调节滑阀的压缩机	277
11.9 消声及减振	279
11.9.1 无油螺杆压缩机噪声及其控制	279
11.9.2 喷油螺杆压缩机噪声及其控制	280
11.9.3 螺杆压缩机的振动及其监测	282
11.10 监控系统	283
第 12 章 其它螺杆机械	287
12.1 螺杆膨胀机	287
12.1.1 工作过程和特点	287
12.1.2 低品位热源的动力转换	288
12.1.3 减压工程中的动力回收	291

12.1.4	水蒸气两相流膨胀机	292
12.1.5	制冷剂液体膨胀机	293
12.1.6	气体制冷机	293
12.2	螺杆多相混输泵	294
12.2.1	工作原理和特点	294
12.2.2	转子型线和几何特性	296
12.2.3	工作过程和特性	298
12.2.4	水下螺杆多相混输泵	301
12.3	单螺杆压缩机	303
12.3.1	基本结构和工作原理	303
12.3.2	特点和应用范围	305
12.3.3	主要零部件	307
12.3.4	机组系统	309
参考文献		310