

无油润滑压缩机

朱圣东 邓 建 吴家声 编著



机械工业出版社
China Machine Press

无油润滑压缩机

朱圣东 邓建 吴家声 编著



机械工业出版社

为推动无油润滑压缩机的研究、设计和制造技术的发展,指导和提高无油润滑压缩机安全使用与管理水平,本书突出了无油润滑压缩机研究成果和实用技术及实例的介绍。本书内容包括:概述、自润滑材料、塑料的摩擦磨损机理、活塞式压缩机的无油润滑结构与设计、无油润滑压缩机的常见故障及失效分析、活塞式无油润滑压缩机的生产运行操作与维护保养、有油润滑压缩机的技术改造与工程实例、压缩机的故障诊断技术与故障实例分析、螺杆式无油润滑压缩机、隔膜式无油润滑压缩机、滑片式和斜轴式无油润滑压缩机、迷宫活塞式和组合式无油润滑压缩机、无油润滑压缩机的选用及其产品简介、压缩机的技术、装备管理与CAD系统应用等共14章,书末附有附录。

本书可供从事无油润滑压缩机设计、研究、制造、使用的工程技术人员、工人使用,也可供大专院校相关专业师生使用。

图书在版编目(CIP)数据

无油润滑压缩机/朱圣东等编著. —北京:机械工业出版社,2000.12

ISBN 7-111-08663-5

I. 无… II. 朱… III. 无油润滑压缩机 IV. TH45

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第02738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:俞逢英 何月秋 版式设计:冉晓华

封面设计:姚毅 责任印制:郭景龙 责任校对:唐海燕

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001年3月第1版·第1次印刷

890mm×1240mm A5·15.625印张·460千字

0 001—4 000册

定价:28.00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

前 言

压缩机是一种将气体压缩从而提高气体压力或输送气体的机器。压缩机在冶金、矿山、食品、医药、建材以及航天等国民经济建设和国防建设等部门中应用广泛，特别在石油、化工以及动力等工业中，已成为必不可少的关键设备。长期以来，由于老式有油润滑压缩机的诸多弊端，使原料气带入有害油分，直接影响产品质量，还给设备安全带来威胁。随着工业的发展，常要求气体在压缩时不为润滑油所污染，或根本不允许与润滑油接触，也不允许外界空气逸入气缸。例如，合成氨厂中的氮氢气压缩机，若被压缩的或输送的氮氢混合气夹带油分而进入合成塔，便会使触媒中毒，降低其使用寿命。空气分离部门的氧气压缩机为防爆而不能使用润滑油（氧气遇油容易引起燃烧，发生爆炸）。石油气压缩机中的碳氢化合物会使润滑油稀释，粘度下降，达不到润滑效果。深冷工程用的气体温度很低，如乙烯为 -104°C ，甲烷为 -150°C ，此时润滑油早已冻结，无法有油润滑。食品工业和制药工业的产品不允许被油污染。各类贵重的稀有气体如氦、氩等最怕混有空气，影响纯度。为满足上述工艺和产品的特殊要求，无油润滑压缩机则应运而生，它的形成和发展从一开始就具有强大的生命力。

我国压缩机制造厂家已生产出压缩和输送各种气体、多种规格和型号的无油润滑压缩机，无油润滑压缩机的用户更是遍及全国各地。不少设计、研究人员进行了大量卓有成效的工作，积累了一定的经验。但迄今为止，国内尚无系统详细阐述无油润滑压缩机方面的专著出版。为推动我国无油润滑压缩机的研究、设计和制造技术的发展，总结无油润滑压缩机在生产实践中的应用，指导和提高无油润滑压缩机的安全使用与管理水平，作者撰写了本书，希望对从事无油润滑压缩机的工程技术人员和管理人员能有所帮助和裨益。

压缩机的无油润滑一般指的是气体所接触的零部件无油（不包括

传动部件)。解决无油润滑技术的关键在于采用理想的自润滑材料和合理的结构。因此,本书除了简要介绍无油润滑压缩机的发展及应用外,重点阐述了无油润滑压缩机的特殊问题——自润滑材料、聚合物及复合材料特性,摩擦磨损机理,分析了周围氛围对自润滑材料磨损的影响;对目前厂矿企业保有量大且正在运行的老式有油润滑压缩机的挖潜,进行无油润滑技术改造及工程实例的介绍,也是本书的特色。本书还侧重于对生产中常用和实用技术,生产上广泛使用的活塞式压缩机的无油润滑结构及设计,正常使用与维护保养,常见故障及处理方法的介绍;对近年来发展迅速的压缩机监控,故障诊断及分析技术亦作了介绍;同时还对近年来研制成功或投入生产的隔膜式、斜轴式、迷宫式、螺杆式及组合式无油润滑压缩机也作了介绍;最后对无油润滑压缩机产品及其选用,压缩机的系列化、标准化和通用化管理,压缩机 CAD 系统应用以及厂房设备和管路安装等技术措施作了简介。书中所介绍的内容均反映了作者和有关专家多年来的研究成果,是值得出版的实用技术书籍。

本书由朱圣东、邓建、吴家声编著,其中第一、二、三章,第八章的第四、五节,第十二、十三、十四章以及附录由朱圣东编写;第六、十、十一章由邓建编写;第四、五、七章以及第八章的第一、二、三节由吴家声编写。全书由朱圣东统稿,由天津大学博士生导师王世昌教授主审。

在编著本书的过程中,承蒙武汉化工学院副院长吴元欣教授、华南理工大学钱颂文教授、湖北双环碱业股份有限公司副总经理潘汉泽高级工程师以及河南石油勘探局刘刚高级工程师等为本书提供了宝贵意见,在此一并表示深切的感谢。同时还向被引用文献资料的各位作者表示感谢!

作者虽尽了很大努力,但限于篇幅、水平和经验,书中的疏误之处在所难免,殷切希望有关专家和读者予以批评指正。

作 者

目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 无油润滑压缩机的应用与特点	1
一、无油润滑压缩机的应用及其意义	1
二、无油润滑压缩机的特点	2
第二节 无油润滑的实现及其影响因素	2
一、自润滑材料	3
二、 pv 值	3
三、工作温度	3
四、介质纯度	3
五、压缩机形式	4
六、合理设计	4
七、安装和使用	4
第二章 自润滑材料	5
第一节 聚合物的基本结构、物理状态与性能	5
一、聚合物的基本结构	5
二、聚合物的物理状态	8
三、聚合物(工程塑料)的基本性能	11
第二节 聚合物自润滑材料	16
一、聚四氟乙烯(PTFE)	16
二、聚酰胺(尼龙、PA)	18
三、聚酰亚胺(PI)	20
四、聚苯酯(PHB)	21
第三节 固体润滑材料	22
一、石墨	22
二、二硫化钼(MoS_2)	23

三、氮化硼 (BN)	23
四、金属氧化物	23
五、软金属	23
第四节 聚合物基自润滑复合材料	24
一、概述	24
二、塑料复合材料	25
三、复合材料特点	26
第三章 塑料的摩擦磨损机理	28
第一节 塑料表面特性	28
一、塑料表面形貌	28
二、塑料表面区域结构	30
三、塑料表面特性	31
第二节 塑料的摩擦学特性	36
一、塑料摩擦件的优点	36
二、塑料摩擦件的缺点	37
第三节 塑料的干摩擦机理	38
一、粘着理论	39
二、转移理论	41
三、转移-依附理论	43
四、定向理论	44
五、聚四氟乙烯的干摩擦	44
第四节 塑料的摩擦因数	47
一、塑料的摩擦因数	47
二、聚四氟乙烯的摩擦因数	48
第五节 塑料的磨损机理	53
一、粘着磨损	53
二、磨粒磨损	55
三、疲劳磨损	56
四、切削磨损	58
五、蠕变磨损	59
第六节 影响塑料磨损的因素、磨损计算与 pv 值	61

一、影响因素	61
二、磨损计算	63
三、 pv 值	64
第七节 聚四氟乙烯的磨损及其计算	65
一、磨损规律	65
二、磨损计算	67
第四章 活塞式压缩机的无油润滑结构与设计	68
第一节 概述	68
一、活塞式压缩机的应用	68
二、活塞式压缩机的组成与分类	69
三、活塞式压缩机基本部件简介	72
四、活塞式压缩机气缸无油润滑	76
第二节 压缩系统的无油润滑结构与设计	77
一、气缸(套)的结构与设计	77
二、活塞与活塞杆的结构与设计	81
三、活塞环、导向环的结构与设计	87
四、填料函与刮油器的结构与设计	97
五、气阀的结构与设计	107
六、填充聚四氟乙烯、金属塑料及填充聚酰亚胺 密封环活塞环的制造	119
第五章 无油润滑压缩机的常见故障及失效分析	125
第一节 常见机械故障及分析	125
第二节 零件的疲劳分析	132
第三节 配合副的磨损分析	138
一、配合副的磨损分析	138
二、磨损失效分析及工程实例	142
第四节 密封不良原因分析及处理方法	153
一、密封不良原因分析	153
二、解决密封不良的措施和方法	154
第五节 排气量、压力、温度不正常的排除方法	156
一、排气量、压力、温度不正常的理论分析	156

二、故障原因、排除方法及工程实例	161
第六节 压缩机的振动及减振、防振	173
一、压缩机机组和基础产生振动的原因分析及实例	173
二、气柱系统、管路结构系统的振动分析	175
三、气流脉动对压缩机装置工作的影响	177
四、气流脉动的预测与控制	183
第七节 提高压缩机可靠性的措施	188
一、设计方面的改进与措施	189
二、制造工艺方面的措施	189
三、使用方面的措施	191
第六章 活塞式无油润滑压缩机的生产运行操作与 维护保养	192
第一节 压缩机启动、正常操作与日常维护	192
一、正常操作、启动	192
二、日常维护、保养	193
三、正常、非正常和长时间停车	195
第二节 活塞式无油润滑压缩机的检修	199
一、检修前的准备工作	199
二、拆装一般技术	202
三、主要零部件修理质量标准	207
四、主要零部件的修理	213
五、基础沉陷的检查与修复	250
六、地脚螺栓缺陷的处理	251
第三节 压缩机的安装找正与试车	252
一、安装找正	252
二、试车前的准备工作	254
三、无载荷试车	254
四、管道及附属设备吹除	255
五、载荷试车	256
六、在用压缩机大修、中修以后的试车	259
第七章 有油润滑压缩机的技术改造与工程实例	261

第一节 L 形压缩机改为无油润滑的技术措施	261
一、结构与材质	262
二、安装与操作	263
三、改造后的使用效果	264
第二节 有油润滑改为无油润滑的工程实例	264
一、发酵食品厂 4L-20/8 型空压机有油润滑改无油润滑	264
二、炼油厂 L 形有油润滑空压机改无油润滑	268
三、5L-16/50 型空压机有油润滑改无油润滑	274
四、L3.3-17/320 型氮氢气压缩机有油润滑改无油润滑	280
五、L3.3-1.08/26 型乙炔气压缩机有油润滑改无油润滑	287
六、4L-20/8 型空压机改为迷宫式无油润滑机	291
七、6L2K 氮氢压缩机 VI 级活塞组件改造	299
第八章 压缩机的故障诊断技术与故障实例分析	307
第一节 故障诊断技术概述	307
一、故障诊断技术的内容和类型	307
二、压缩机故障诊断的对象	309
三、诊断信息的获取方法	309
四、故障诊断中的信号处理	311
第二节 压缩机故障诊断方法	312
一、往复式压缩机监测诊断要点	314
二、磨损监测方法	318
三、振动监测方法	319
四、温度监测方法	320
五、模糊诊断法	321
六、专家系统	321
七、几种便携式压缩机性能测试仪简介	322
第三节 诊断实例及分析	323
一、实例 1——监测工况参数，诊断压缩机高压缸过热故障	323
二、实例 2——应用相对标准诊断空压机滑块间隙	323
三、实例 3——采用类比标准诊断空压机的几个实例	324
四、实例 4——活塞杆下沉监测	325

五、实例 5——进、出口气阀温度监测	326
六、实例 6——机体振动监测	327
七、实例 7——红外测温检测离心式压缩机故障	328
八、实例 8——滑动轴承故障诊断	330
九、实例 9——螺杆式压缩机滚动轴承故障诊断	332
十、实例 10——再生过程压缩机状态监测	336
第四节 专家系统在压缩机故障诊断中的应用	338
一、专家系统简介	338
二、专家系统在压缩机在线故障诊断中的应用	339
第五节 压缩机及其装置的故障树分析法	346
一、FTA 的特点	346
二、FTA 应用范围及常用符号	347
三、故障树分析的内容和故障树建树方法	349
四、故障树建树注意事项	351
五、故障树分析实例	351
第九章 螺杆式无油润滑压缩机	356
第一节 螺杆式无油润滑压缩机的发展、特点与应用	356
一、发展概况	356
二、特点及应用	357
第二节 螺杆式无油润滑压缩机及其常用产品简介	359
一、工作原理与结构	359
二、性能	371
三、常用产品简介	379
第十章 隔膜式无油润滑压缩机	386
第一节 隔膜式无油润滑压缩机	386
一、工作原理	386
二、非金属隔膜式与金属隔膜式压缩机异同点	387
三、隔膜式无油润滑压缩机结构	389
四、膜片材料	394
第二节 隔膜式无油润滑压缩机简介	395
一、立式隔膜式无油润滑压缩机	395

二、V形隔膜式无油润滑压缩机	397
三、氧气用隔膜式无油润滑压缩机	400
四、增压隔膜式无油润滑压缩机	400
五、超高压隔膜式无油润滑压缩机	400
第十一章 滑片式和斜轴式无油润滑压缩机	405
第一节 滑片式无油润滑压缩机简介	405
一、滑片式无油润滑压缩机的特点	405
二、滑片式无油润滑压缩机的工作原理与结构	405
三、滑片式无油润滑压缩机的滑片材料	410
四、滑片式无油润滑压缩机产品简介	411
第二节 斜轴式无油润滑压缩机简介	411
一、概述	411
二、斜轴式无油润滑压缩机的工作原理与结构	411
第十二章 迷宫活塞式和组合式无油润滑压缩机	414
第一节 迷宫活塞式无油润滑压缩机简介	414
一、迷宫密封的基本原理和结构形式	414
二、迷宫活塞式无油润滑压缩机的优点和结构特点	419
三、迷宫活塞式无油润滑压缩机的应用实例	424
第二节 组合式无油润滑压缩机简介	430
一、组合式无油润滑压缩机的产生及结构	430
二、组合式无油润滑压缩机的优点	431
三、组合式无油润滑压缩机的性能	433
第十三章 无油润滑压缩机的选用与产品简介	435
第一节 无油润滑压缩机的选用	435
一、压缩机选用的重要性及原则	435
二、气体性质对压缩机选用的要求	436
三、液化问题及排气温度的限制	437
四、压缩机技术参数选择(选型计算)	438
五、从工况及变工况考虑选型	446
六、从压缩机运行的能耗考虑选型	447
七、从多机的串、并联考虑选型	448

八、从维修及设备费用考虑选型	448
第二节 常见无油润滑气体压缩机简介	449
一、无油润滑氧气压缩机	449
二、无油润滑二氧化碳气压缩机	454
三、无油润滑石油气压缩机	454
四、无油润滑氮氢气压缩机	455
五、无油润滑氮氢气循环压缩机	457
六、无油润滑燃料气压缩机	457
七、无油润滑丙烯气压缩机	458
八、无油润滑纯氮气压缩机	458
九、无油润滑氢气压缩机	458
十、无油润滑空气压缩机	458
第十四章 压缩机的技术、装备管理与 CAD 系统应用	462
第一节 压缩机的三化管理及 CAD 系统	462
一、压缩机的标准化、系列化和通用化	462
二、压缩机 CAD 系统简介	463
第二节 压缩机厂房设备与管线安装原则	465
一、压缩机的位置	465
二、压缩机厂房	466
三、厂房设置桥式起重机	467
四、压缩机管道安装一般原则	468
附录一 常用气体压缩因子 Z 值曲线图	472
附录二 常用气体的等熵指数	480
参考文献	484

第一章 概 述

第一节 无油润滑压缩机的应用与特点

一、无油润滑压缩机的应用及其意义

压缩机是一种将气体压缩从而提高气体压力或输送气体的机器，在国民经济和国防建设的许多部门中应用极广，特别是在石油、化工、动力等工业中已成为必不可少的关键设备，是许多工业部门工艺流程中的心脏设备。其主要应用场合有：

（一）化工工艺过程

在化工生产中，为了保证某些合成工艺能在高压下进行，需要通过压缩机把气体预先加压到所要求的压力。例如，高压聚乙烯的聚合反应要求把乙烯气加压到 200MPa 以上；合成氨的反应要求把合成气加压到 32MPa；石油裂解加氢要求把氢气加压到 15MPa 以上。因此，压缩机工作的好坏将直接影响到生产过程的每一道工序。

（二）动力工程

在动力、机械以及国防工业中常采用压缩空气作为驱动装置的动力气源。例如，常见的风动机械要求空气的压力为 0.8MPa；用于控制仪表及自动化装置上的气源压力为 0.6MPa；国防工业中某些武器的发射、潜水艇的浮沉、鱼雷的发射等都采用压缩机。

（三）气体输送

在石油、化工生产中，为了输送原料气，常用压缩机增压。例如，从油田输出天然气，从煤气厂输出煤气，都要求事先增压。此外，在化工流程中为了使系统内未反应气体得以再循环，常用循环压缩机增压。

压缩机可压缩和输送的气体介质广泛，如空气、氮气、氢气、氧气、二氧化碳气、石油气、天然气、水煤气、氮氢混合气、焦化气、甲烷、乙炔、乙烯、甲醇合成气、氯乙烯、硫化氢等气体及易燃、易

爆和有毒气体、高纯贵重的稀有气体等。

随着工业的发展，常要求气体在压缩时不为润滑油所污染（或根本不允许与润滑油接触），或不允许外界空气逸入气缸。例如，合成氨厂中合成塔的触媒会因氮氢气含油而使合成效率降低，故最好能用32MPa的无油润滑氮氢气压缩机；空气分离装置中的氧气，因含油会引起燃烧、爆炸，需要使用无油润滑压缩机；石油气中有些烃类因易溶于润滑油中，使润滑油稀释粘度下降，从而破坏润滑，需要无油润滑石油气压缩机；贵重的稀有气体（如氦、氩等）生产厂也需要无油润滑压缩机，以保证气体的纯度；深冷工程中的气体温度很低，如乙烯为 -104°C ，甲烷为 -150°C ，此时，润滑油早已冻结，更需要无油润滑压缩机；食品工业和制药工业的产品不允许被润滑油污染，也需要无油润滑压缩机。因此，无油润滑压缩机的研究、制造与使用，从一开始就具有强大的生命力。无油润滑压缩机的质量和产量是压缩机行业生产水平的一个重要标志，也是文明生产、提高各种工艺流程产品质量和产量的一个根本保证。

二、无油润滑压缩机的特点

无油润滑压缩机是被压缩的气体不带油的压缩机，即压缩机的无油润滑一般是指被压缩的气体所接触的零部件（不包括传动部件）无油。无油润滑压缩机的主要特点为：

（1）被压缩气体不带油污，不需脱油处理，不污染环境。

（2）能耗低。仅以节省的润滑油为例，一台无油润滑高压循环机每年可节省润滑油3600kg。

（3）无油润滑压缩机系统取消了注油器、油分离器等设备，不但大大降低系统的阻力，有利于增加产量，而且还减少了注油器、油分离器的检修工作量和检修费用。

（4）理想的无油润滑压缩机由于密封摩擦件摩擦因数小，因而使用寿命长，减少了非生产检修时间及其费用。因此，比有油润滑压缩机的效益高。

第二节 无油润滑的实现及其影响因素

只有采用理想的自润滑材料并进行合理的结构设计，才能实现压

缩机的无油润滑。质量好的自润滑材料，可保证密封摩擦件（如活塞环、导向环、密封环等）可靠的使用寿命。合理的结构设计对活塞式压缩机实现无油润滑起着重要的作用，对其它形式的压缩机实现无油润滑起着决定性的作用。

无油润滑压缩机的使用效果与诸多因素有关。以活塞式压缩机为例，无油润滑的影响因素主要有：

一、自润滑材料

目前，自润滑材料主要是一些聚合物、固体润滑材料以及聚合物基复合材料，如石墨、尼龙、填充聚四氟乙烯、聚酰亚胺以及金属塑料等。这些材料的采用为压缩机（指往复式）实现无油或少油润滑提供了条件。

二、 pv 值

活塞环或填料函密封摩擦件两侧的压力差 p 与活塞或活塞杆的平均线速度 v 之乘积 pv 值不能超过自润滑材料的许用 $[pv]$ 值，材料的许用 $[pv]$ 值，由材料的极限 pv 值除以安全因数得到。如填充聚四氟乙烯的极限 pv 值为 $1 \sim 1.2 \text{MPa} \cdot \text{m/s}$ ，除以安全系数 $5 \sim 6$ ，即为许用 $[pv]$ 值。材料不同，极限 pv 值与许用 $[pv]$ 值不同。此外，还需注意 p 或 v 值的大小。工程塑料的摩擦因数比金属的小，却并不耐磨。当载荷增加时，工程塑料的摩擦因数减小。而速度增加时，摩擦因数增大，即线速度增加使工程塑料磨损增大。正压力增加，也会使磨损加剧。

三、工作温度

作为自润滑材料的工程塑料由于散热性差，以及被压缩气体的温升和摩擦热的产生，其使用范围受到限制。在压缩机中，一般以被压缩气体的温度作为自润滑材料最高使用温度的控制指标，常用的填充聚四氟乙烯，其最高使用温度为 160°C 。

四、介质纯度

被压缩气体的清洁程度，即介质纯度对无油润滑密封摩擦件的使用寿命影响较大。杂质多的气体会使填充聚四氟乙烯塑料很快磨损，使活塞杆拉毛、填料盒堵塞，甚至使气缸镜面破坏。如重组分多的裂解气会经常结焦，影响使用寿命；氮氢气如含杂质较多，也会加速活

塞环、填料函的磨损。

五、压缩机形式

采用无油润滑，立式压缩机比卧式为好。因为卧式压缩机的活塞和活塞杆的质量需由密封环来承受，使得密封环上下两面磨损不均匀，虽然在结构上加设导向环（支承环），但仍影响使用寿命。

六、合理设计

无油润滑压缩机，除在整体设计上要考虑自润滑材料的 $[pv]$ 值及工作温度以外，还要对自润滑材料制造的摩擦件结构进行合理设计。如自润滑材料的活塞环其形状可与铸铁活塞环形状相似，一般多为直开口的开口环。由于采用的塑料弹性差，为了保证有一定的预紧压力，在活塞环的内径处装上一金属弹性胀环。由于材料强度低，故轴向高度比金属环大，甚至大 1 倍左右。此外，由于塑料导热性差、线胀系数大，所以轴向和切向间隙都要留得远比金属环为大，有时可大 3~4 倍左右。为了防止活塞环与气缸镜面接触，卧式或立式压缩机均要设置导向环。对于自润滑材料密封圈的结构设计可与金属材料的结构相同或不同，但由于塑料的导热性差，对其结构设计时必须充分考虑到散热和冷却问题。

七、安装和使用

无油润滑压缩机，对活塞、气缸、活塞杆的同轴度有一定的要求。偏差太大，会使活塞环与填料函产生偏磨，严重影响使用效果。