

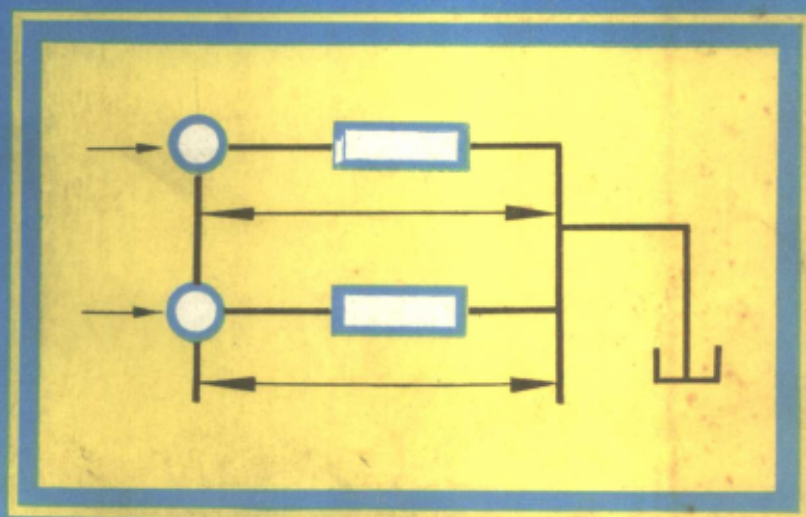
5768

0045

659293

液体气体

静压技术



YETIQITIJIINGYAJISHU

黑龙江人民出版社

封面设计：刘连生

统一书号：15093·64

定 价：2.70 元

液体气体静压技术

庞志成 编著

黑龙江人民出版社

1981年·哈尔滨

液体气体静压技术

庞志成 编著

黑龙江人民出版社出版

(哈尔滨市道里区森林街32号)

哈尔滨印刷二厂印刷 黑龙江省新华书店发行

开本 787×1092 毫米 1/16 · 印张 26 · 字数 350,000

1981年4月第1版 1981年4月第1次印刷

印数 1—5,400

统一书号: 15093·64 定价: 2.70 元

前 言

静压技术是近年来发展较快的一项新技术。由于它具有传动效率高、支承刚度大、精度保持性好、抗振动及使用寿命长等特点，因而在机械制造和仪器制造等领域得到较快的发展和应用，特别是在机床制造业中，其应用效果更为突出。在国外，已开始用于动力机械、军事装备、航天设施及核子工程中。

本书在实践的基础上，总结了近十年来国内外静压技术在基本原理、物理概念、分析计算、典型结构以及有关装配、调整、维护和故障分析等方面的经验和文献资料，并通过各种应用实例，分析了各类结构形式的设计步骤和参数选择原则，以企为有关专业的科技工作者提供一本系统、详尽而实用的技术参考书。

本书在编写过程中，曾得到有关工厂、研究所和高等院校的协助，以及齐毓霖、陈克栋等同志的指导，并承齐毓霖、张鹏顺和侯作勋等同志审阅，在此一并表示深切的谢意。

对于书中可能存在的缺点、错误，恳请广大读者批评指正。

编 者

一九八〇年六月

目 录

第一章 液体静压技术基础知识	1
第一节 概述	1
第二节 液体静压轴承的承载原理	2
一、一般介绍	2
二、液体静压轴承的承载原理	3
三、静压系统的压力补偿方式	4
第三节 静压系统用油的基本性质	7
一、密度	7
二、重度	8
三、粘度	9
第四节 流动液体的性质	12
一、理想液体及稳定流动	12
二、液体流动的连续性	12
三、伯努利定律	13
四、液体流动的两种状态	15
第五节 润滑油流经小孔、毛细管及各种间隙的流量	17
一、小孔流量公式	17
二、毛细管流量公式	18
三、平行平板间的流量公式	20
四、同心环状缝隙的流量公式	23
五、环形平面缝隙的流量公式	23
六、内外环形平面缝隙的流量公式	24
第二章 液体静压支承的设计基础	26
第一节 概述	26
第二节 单油腔平面支承	26
一、单油腔矩形平面支承	27
二、单油腔圆形平面支承	28
第三节 定压供油系统单油腔平面支承的承载能力和刚度	30
一、定压节流系统的基本关系式	30
二、定压节流静压支承的承载能力	32
三、定压节流静压支承的刚度	33
第四节 定量供油系统单油腔平面支承的承载能力和刚度	34

第五节 多油腔静压支承的承载能力和刚度	35
一、多油腔平面支承的承载能力和刚度	35
二、多油腔楔面支承的承载能力和刚度	36
三、多油腔圆柱面支承的承载能力和刚度	37
四、对置油腔双向支承的承载能力和刚度	38
第三章 液体静压径向轴承	42
第一节 定压供油系统各种节流器的结构及工作原理	42
一、小孔节流器	42
二、毛细管节流器	44
三、滑阀反馈节流器	48
四、薄膜反馈节流器	50
五、轴的位移状态及轴承支承刚度分析	53
第二节 静压轴承的结构设计	54
一、结构特点	54
二、尺寸参数的选择	56
三、材料	60
第三节 静压径向轴承设计计算的简化假设	60
一、圆柱面的平面假设	60
二、载荷作用方向无影响的假设	60
三、其他假设	61
第四节 小孔节流静压轴承的设计计算	62
一、主要性能指标的计算公式	62
二、设计特点	67
三、设计计算举例	68
第五节 毛细管节流静压轴承的设计计算	70
一、主要性能指标的计算公式	70
二、设计计算举例	72
第六节 滑阀反馈节流静压轴承的设计计算	73
一、主要性能指标的计算公式	73
二、设计特点	76
三、设计计算举例	77
第七节 薄膜反馈节流静压轴承的设计计算	79
一、主要性能指标的计算公式	79
二、参数分析及选择	81
三、设计特点	83
四、设计计算举例	84
第八节 间隙节流静压轴承	87

一、结构形式及工作特点	87
二、主要性能指标的计算公式	89
三、设计计算举例	90
四、正方形节流凸台液阻系数、流量分析及实验	91
五、间隙节流器制造误差对节流液阻的影响	94
第九节 扭板反馈节流静压轴承	96
一、概述	96
二、工作原理	97
三、扭板节流器的受力变形分析	97
四、主要性能指标计算公式	97
五、参数选择	100
第十节 摆板反馈节流静压轴承	100
一、概述	100
二、工作原理	100
三、主要性能指标计算公式	101
四、参数选择	103
第十一节 翘板反馈节流静压轴承	104
一、概述	104
二、工作原理	104
三、主要性能指标计算公式	105
四、参数选择	105
五、设计计算举例	106
第十二节 内节流静压轴承	107
一、工作原理	107
二、内节流静压轴承的结构形式	109
三、双进油腔内节流静压轴承主要性能指标计算公式	109
四、单进油腔内节流静压轴承主要性能指标计算公式	114
五、分析对比	118
六、设计计算举例	118
七、包围式矩形集油腔内节流静压轴承	119
八、包围式环形供油槽内节流静压轴承	122
九、内节流静压轴承设计特点	124
第十三节 无轴向回油槽静压径向轴承	126
一、毛细管节流(无轴槽)静压轴承	126
二、小孔节流(无轴槽)静压轴承	129
三、滑阀反馈节流(无轴槽)静压轴承	131
四、薄膜反馈节流(无轴槽)静压轴承	134

五、间隙节流（无轴槽）静压轴承	137
第十四节 沟槽节流静压轴承	139
一、结构形式	139
二、工作原理及特点	140
三、单列沟槽节流静压轴承主要性能指标的分析计算	141
四、双列沟槽节流静压轴承主要性能指标的分析计算	148
五、沟槽节流静压轴承的结构设计	149
六、设计计算举例	150
第十五节 腔内孔回油静压轴承	152
一、概述	152
二、结构特点及工作原理	152
三、小孔节流腔内孔回油静压轴承的分析计算	155
四、设计计算举例	157
五、对比与分析	161
第十六节 自动让刀静压轴承	165
一、工作原理	165
二、设计参数	166
三、让刀试验	167
四、具有“油泵效应”的控制槽	168
第十七节 主轴倾斜对静压轴承载荷特性的影响	169
一、轴颈倾斜对轴承流量及间隙液阻的影响	170
二、轴颈倾斜对轴承油膜刚度的影响	171
三、液体静压（有轴槽）轴承的刚度和载荷特性曲线	173
第十八节 静压轴承设计的几个问题	173
一、油腔数目对轴承刚度的影响	173
二、最佳化（优化）设计原则	175
三、主轴系统刚度	177
第四章 液体静压止推轴承	181
第一节 静压止推轴承的结构	181
一、结构形式	181
二、布局	182
三、结构尺寸	183
第二节 静压止推轴承的承载原理及基本参数公式	184
一、承载原理	185
二、基本参数公式	185
第三节 小孔节流静压止推轴承的设计计算	187
一、主要性能指标的计算公式	187

二、设计计算实例	188
第四节 毛细管节流静压止推轴承的设计计算	189
一、主要性能指标的计算公式	189
二、设计计算举例	190
第五节 滑阀反馈节流静压止推轴承的设计计算	191
一、主要性能指标的计算公式	191
二、设计计算举例	192
第六节 薄膜反馈节流静压止推轴承的设计计算	193
一、主要性能指标的计算公式	193
二、设计计算举例	194
第七节 扭板、摆板及翘板反馈节流静压止推轴承的设计计算	197
一、主要性能指标的计算公式	197
二、节流器主要结构尺寸	198
三、参数选择	198
第八节 沟槽节流静压止推轴承的设计计算	199
一、主要性能指标的计算公式	199
二、设计计算举例	200
第九节 间隙节流静压止推轴承的设计计算	201
一、主要性能指标的计算公式	201
二、设计计算举例	203
第十节 静压径向止推联合轴承	203
一、工作原理	204
二、计算公式的简化假设	204
三、主要性能指标的计算公式	205
四、设计计算举例	206
第十一节 油腔节流静压止推轴承	206
一、概述	206
二、工作原理	207
三、轴承止推面上的压力分布函数	207
四、主要性能指标的计算公式	209
五、参数选择	210
六、设计计算对比实例	211
第五章 静压轴承的供油系统及调整、维护和故障分析	212
第一节 供油系统及其元件的选择	212
一、供油系统	212
二、供油系统的元件选择	217
第二节 静压轴承的调整	224

一、小孔节流静压轴承	224
二、毛细管节流静压轴承	224
三、滑阀反馈节流静压轴承	224
四、薄膜反馈节流静压轴承	225
五、间隙节流静压轴承	226
六、扭板、摆板及翘板节流静压轴承	226
第三节 静压轴承的装配及维护	227
一、装配的注意事项	227
二、试验运转	228
三、使用维护注意事项	228
第四节 静压轴承的故障分析	229
一、轴承及轴颈表面轻微划痕及磨损	229
二、轴承支承刚度不足	229
三、轴承油腔压力波动	230
四、径向轴承油腔压力下降(“掉压”)	230
五、主轴线速度影响油腔压力	231
六、止推轴承油腔“掉压”	233
七、薄膜反馈节流器振动	236
第六章 液体静压轴承结构实例	239
一、MB2520 高效半自动切入式外圆磨床主轴静压轴承	239
二、371 型平面磨床主轴静压轴承	240
三、金刚镗床主轴静压轴承	241
四、轴承滚道磨床电主轴静压轴承	241
五、MM582 螺纹磨床主轴静压轴承	242
六、油泵定子曲线磨床主轴静压轴承	243
七、OG6125 高精度车床主轴静压轴承	244
八、MG1412 高精度外圆磨床主轴静压轴承	244
九、特殊结构静压轴承	245
十、液体静压砂轮修磨装置	247
第七章 液体静压导轨	249
第一节 概述	249
一、机床、仪器等设备对导轨的要求	249
二、导轨的种类及特点	249
第二节 液体静压导轨的结构形式及工作原理	250
一、定压供油开式静压导轨	250
二、定压供油闭式静压导轨	251
三、定量供油静压导轨	252

第三节 定压供油静压导轨的节流形式	254
一、螺旋毛细管节流器	254
二、薄膜反馈节流器	254
第四节 定量供油静压导轨的定量控制元件	256
一、定量阀	256
二、多联齿轮定量泵	257
三、多头齿轮分油器	258
四、双联定量泵供油系统	258
第五节 液体静压导轨的结构设计及调整	260
一、导轨油腔结构设计	260
二、液体静压导轨的调整	263
第六节 定压供油开式静压导轨的设计计算	265
一、螺旋毛细管开式静压导轨的设计计算	265
二、单头薄膜反馈节流开式静压导轨的设计计算	271
第七节 定压供油闭式静压导轨的设计计算	278
一、毛细管节流闭式静压导轨的设计计算	278
二、双头薄膜反馈节流闭式静压导轨的设计计算	280
三、扭板反馈节流闭式静压导轨的设计计算	283
第八节 定量供油开式静压导轨的设计计算	288
一、计算公式	288
二、设计特点	288
三、设计计算举例	289
第九节 摆盘节流圆形开式静压导轨	292
一、静压系统结构及工作原理	293
二、设计计算公式	294
三、参数选择及分析	296
四、试验效果及应用范围	297
第十节 浮动支承闭式静压导轨	298
一、工作原理及特点	298
二、设计计算	300
三、结构形式	302
第十一节 具有调压补偿装置的开式静压导轨	306
一、定比调压(毛细管节流)开式静压导轨	306
二、具有误差补偿装置的开式静压导轨	310
第十二节 液体静压导轨的供油系统	313
一、软管连接供油系统	313
二、导油缸连接供油系统	313

三、二次供油系统	314
四、导轨油膜厚度测量装置	315
第八章 液体静压丝杠螺母及蜗杆齿条传动	316
第一节 液体静压丝杠螺母传动特点	316
一、普通滑动丝杠	316
二、滚动丝杠	316
三、静压丝杠螺母	316
第二节 静压丝杠螺母的结构形式及工作原理	317
一、螺旋形(环形)油腔静压丝杠螺母	317
二、多油腔静压丝杠螺母	318
第三节 静压丝杠螺母的结构设计	320
一、静压丝杠螺母结构	320
二、静压丝杠螺母的材料	324
三、静压丝杠螺母供油系统的设计要点	324
第四节 静压丝杠螺母的设计计算	324
一、毛细管节流螺旋形油腔静压丝杠螺母的设计计算	325
二、双头薄膜反馈节流螺旋形油腔静压丝杠螺母的设计计算	328
第五节 静压丝杠螺母结构实例	330
一、XS4563A 型三座标液压仿型铣床上的静压丝杠螺母	330
二、YK53 数控非圆齿轮插齿机上的静压丝杠螺母	331
第六节 静压蜗杆齿条传动	332
一、概述	332
二、承载原理	332
三、设计计算	333
四、结构	334
五、承载试验	335
第七节 静压蜗杆齿条传动结构实例	336
一、定量供油静压蜗杆齿条传动	336
二、大型车床刀架静压蜗杆齿条传动	337
三、龙门铣镗床工作台静压蜗杆齿条传动	338
四、具有预充油装置的静压蜗杆齿条传动	339
第九章 液体静压支承的动态分析	341
第一节 基本概念	341
一、动态性能	341
二、载荷分类	342
三、在阶跃载荷作用下的过渡过程	343
四、在正弦载荷作用下的过渡过程	344

第二节 定压供油静压支承的动态分析	346
一、毛细管节流静压支承	346
二、滑阀反馈节流静压支承	348
三、薄膜反馈节流静压支承	353
第三节 空气对静压支承动态性能的影响	355
一、“敏感油路”容油体积的变化量	355
二、“敏感油路”容积变化对动态性能的影响	356
第四节 可变节流静压支承系统的稳定性	357
一、稳定系统的判别条件	357
二、薄膜反馈节流静压支承系统的稳定性	357
三、滑阀反馈节流静压支承系统的稳定性	357
第五节 静压支承动态性能改善措施	358
一、排除系统中的空气	358
二、减少“敏感油路”的容积变化	359
三、调整支承的稳定性	359
四、载荷频率远离特征频率	359
第十章 空气静压轴承	360
第一节 概述	360
一、工作特点	360
二、工作原理	360
三、节流形式及特点	361
四、改变轴承中压力分布的两个因素	362
第二节 空气静压轴承主要性能指标公式	363
一、径向轴承	363
二、止推轴承	364
第三节 空气静压径向轴承的设计	365
一、设计内容	366
二、设计计算举例	374
第四节 空气静压止推轴承的设计	377
一、空气静压止推轴承的结构形式	377
二、单沟槽气腔止推轴承的设计内容	377
三、双向空气静压止推轴承的设计内容	380
四、设计计算举例	381
第五节 空气静压轴承的稳定性	382
一、影响空气静压轴承稳定性的因素	382
二、提高空气静压轴承稳定性的措施	383
第六节 空气静压轴承主轴部件结构	386

一、机床主轴空气静压轴承的基本结构形式	386
二、静压主轴的驱动方式	388
第七节 空气静压轴承的供气系统	391
一、供气系统中的过滤装置	391
二、供气压力的稳定与调节	392
三、安全防护装置	392
四、典型供气系统	392
第八节 空气静压轴承部件的材料	393
一、对材料性能的要求	393
二、材料选用	394
第九节 空气静压轴承应用实例	395
一、Studer450 外圆磨床空气静压磨头	395
二、高速内圆磨床空气静压磨头	396
三、MMB1420 外圆磨床空气静压磨头	396
四、M7120A 平面磨床空气静压磨头	397
五、T-OGD-150 外圆磨床空气静压磨头	397
附表 I	399
附表 II	399
附表 III	400
主要参考资料	400

第一章 液体静压技术基础知识

第一节 概 述

液体静压技术是一项发展历史不太长的新技术，近二十年来，被广泛运用于各种机械、仪器和军事装备上，成为一种重要的支承和传动形式。特别是在高精度、高效率 and 自动化机床上，应用更为广泛。

支承（如轴承、导轨、支座等）和传动（如丝杠螺母、蜗杆齿条等）是机床及其他机械的重要零件，它们直接影响整机的质量指标。比如，对于轴承的要求（特别是高精度、高效率机床及其他精密设备），通常是支承刚度高，摩擦小，发热少，传动效率和精度高，精度保持性好，轴承刚度对于转速变化不敏感以及抗震性能好，等等。

以轴承为例，目前在生产中所应用的主要有：滚动轴承，动压轴承和液体静压轴承。

滚动轴承应用广泛，它的特点是已标准化和系列化，型式多样，选用方便，互换性能好；它属于滚动摩擦，因而效率较高，起动阻力小。此外，它的维护也较简单。其缺点是抗振性差，在使用一段时间后，会由于磨损而造成精度下降；尤其是在高速重载的条件下，其精度保持性较差，不能适应高效率、高精度机床及其他重型机械的要求。

动压轴承在机床（特别是磨床）中应用较多。它主要是靠轴颈与轴承之间一定的相对运动，使轴颈与轴承之间的润滑油产生承载油膜，而实现液体摩擦的。由于其工作时轴颈与轴承被压力油膜隔开，所以摩擦阻力小，抗振性能好，支承刚度也较高。但是，由于动压轴承的油膜形成和承载能力（油膜压力）与轴颈和轴承之间的相对运动速度的关系较大，因此当相对运动速度不足时（如起动、停车过程，或在载荷大而转速低的情况下），便不能形成油膜，实现不了液体摩擦，而是处于半液体摩擦状态，这就造成了较大的摩擦阻力和磨损。这个问题对于重型设备尤为严重。

液体静压轴承是借助一套液压系统供给的压力油，经过压力补偿元件（节流器或流量阀等），进入轴承油腔中，把轴浮在轴承中间，使之处于液体摩擦状态的一种支承。它的特点是：

1. 由于轴颈的浮起是依靠外来的压力油支承的，因此在各种相对运动速度下（包括静止），都有很高的承载能力。
2. 轴颈与轴承间存在压力油膜，摩擦阻力很小。
3. 油膜的支承刚度高，抗振性好。
4. 旋转精度稳定，精度保持性好。
5. 使用寿命长，对于经常起动、停止以及正、反向转动的轴尤为显著。
6. 对轴承材料要求不高。

7. 适用范围广，轻载、重载、低速、高速均可。

但是，液体静压轴承需要一套压力稳定，过滤严格的供油系统，其结构较复杂，故初次成本较高。不过，由于静压轴承的寿命长，只要使用合理，可以几年不进行维修，从而可提高设备利用率和降低维修费用，所以从整体来看还是能够实现增产节约的。

第二节 液体静压轴承的承载原理

一、一般介绍

液体静压轴承及其供油补偿系统的结构形式较多。这里，以 MM7132 平面磨床的主轴静压轴承为例，来说明其承载原理和有关概念。

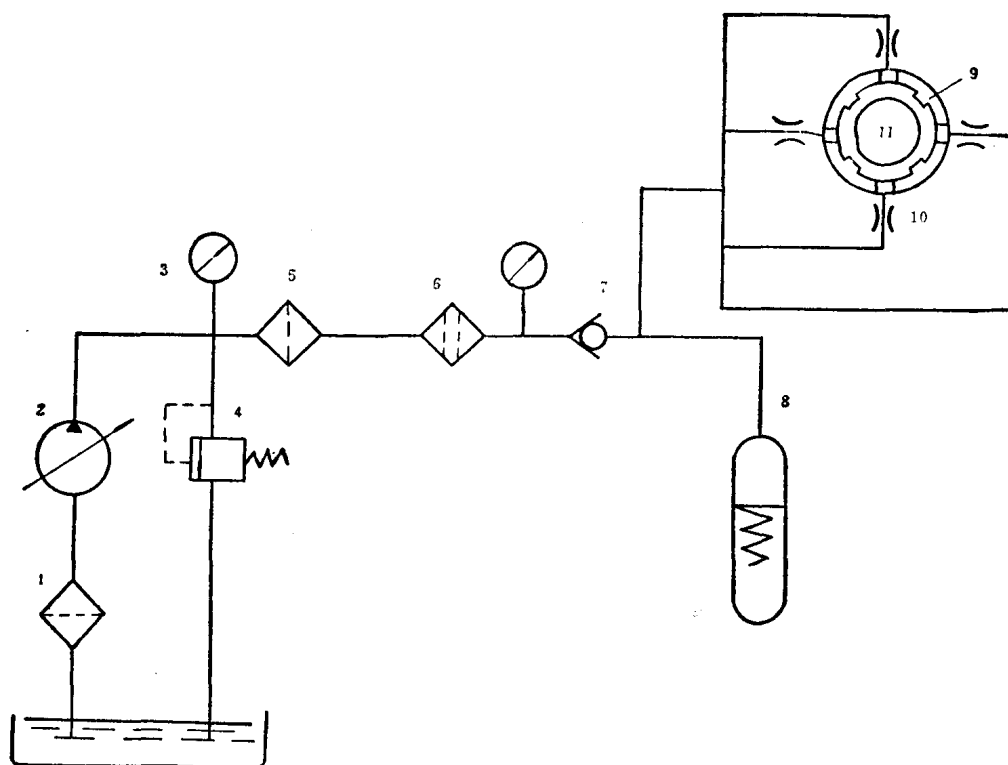


图 1-1 MM7132 平面磨床主轴静压轴承供油系统

1.5-粗滤油器 2-油泵 3-压力表 4-溢流阀 6-精滤油器 7-单向阀
8-蓄能器 9-轴承 10-节流器 11-主轴

如图 1-1 所示，来自油泵的压力油，分别经过节流器流入轴承上的各个油腔中；粗滤油器和精滤油器的作用是严格过滤润滑油；溢流阀的作用是调定油泵输出压力；单向阀的作用是防止压力油倒流，以配合蓄能器；蓄能器的作用是当油泵突然停止供油时（如停电等），保证仍可有压力油供应到静压轴承内，以实现安全停车。其中节流器是压力补偿元件，这是液体静压轴承的关键环节。

图 1-2 所示为静压轴承的结构图。它通常开有四个对称油腔，油腔之间被宽度为 b_2 、深