

航空油泵设计

蒲志理 编著

538545

国防工业出版社

10

538546

V245
09

航空油泵设计

蒲志理 编著

Hk12/01



C0232552

国防工业出版社

V245
09

内 容 简 介

本书系统地介绍了航空油泵的基本知识。全书根据齿轮泵、旋板泵(叶片泵)、离心泵和汽芯泵、轴向柱塞式油泵的结构特点,分章介绍了它们的工作原理、有关设计计算方法和油泵的结构实例。为了帮助读者了解航空油泵在飞机和发动机中的作用,介绍了油泵的典型安装系统。书中还介绍了有关液体力学的基本知识,作为了解油泵的基础。在油泵典型结构一章中,重点讨论了动力密封,并提出了油泵转轴密封的质量评定标准的讨论意见。最后简要地叙述了油泵的检验方法。

本书可供从事油泵设计、生产和使用部门的工程技术人员、工人参考,对工业院校有关专业的师生亦有裨益。

航 空 油 泵 设 计

蒲志理 编著

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168 $1/32$ 印张 $16\frac{1}{8}$ 407千字

1983年12月第一版 1983年12月第一次印刷 印数: 0,001—1,220册

统一书号: 15034·2577 定价: 2.00元

前 言

《航空油泵设计》这本书，是在《航空低压油泵》一书的基础上修改充实后完成的。因此，本书不但具备了较完整的航空低压油泵的系统资料，也提供了高压油泵的基础理论和设计计算方面的内容。为了使读者更好地了解油泵的特性，编者将液体力学这部分写得力求适用于油泵的工程计算和分析，从而扩大了本书的使用范围。

本书是根据笔者近二十年从事液压传动技术工作的经验、实验成果并收集了国内外有关资料编写而成。书中通过对飞机、航空发动机液压系统中常用的齿轮泵、旋板泵、离心泵以及轴向柱塞式油泵的叙述阐明了各种油泵的一般特性。对于低压油泵，突出了齿轮泵和离心泵的优点，供实现航空低压油泵系列化工作者参考。对于高压油泵则重点讨论了高压叶片泵和轴向柱塞泵的几个特殊的结构和理论问题，它们对于了解这两种油泵的特性是具有普遍意义的。根据生产和使用中所遇到的油泵转轴密封问题，编者提供了关于航空低压油泵转轴密封质量评定标准的讨论意见。希望通过广泛地讨论之后，能够逐渐形成一个统一的关于油泵转轴密封泄漏的质量评定标准。

为了便于读者阅读，全书尽量采用直观的图示方法和尽量避免复杂的数学式。同时应当说明，本书所列举的各种油泵的实例，不一定是最好的结构，仅是常用类型中的一部分。它不仅反映了目前各种油泵种类繁多之缺点，也反映了对各种油泵进行改造尽早的实现系列化、标准化的实际需要。

本书在编写过程中，得到张加桢、李佩琼、郝兰璞、刘候周、裘丽华等同志的热情指导，得到薛菁同志的有力帮助，还得到贾

IV

文斌、崔德昆、王梯、陈继秀等同志的大力支持，就此表示衷心的感谢。特别是宋文澜同志编写了第六、八两章，李培滋同志审阅了全书，谨致谢意。

本书是在领导的大力支持和同志们的帮助下写成的。但由于编者水平有限，书中内容可能仍存在不少错误，热忱欢迎读者批评指正。

编者

目 录

绪论	1
第一章 航空油泵概论	7
第一节 油泵的定义和分类	7
一、航空油泵的定义	7
二、航空油泵的分类	8
第二节 航空油泵的安装系统	9
一、起动燃油系统	9
二、燃油系统	9
三、滑油系统	11
四、防冰系统	12
五、主燃油泵系统 (齿轮泵系统)	13
六、主燃油泵系统 (转向柱塞泵系统)	13
第二章 液体力学	15
第一节 液体的性质	15
一、液体力学及液体	15
二、液体的密度、重度和比容	15
三、液体的沸点和冰点	17
四、液体的有效容积弹性模数	18
五、粘度	22
第二节 液压油	25
一、液压油的选择	25
二、液压油的性质	26
三、调合油的粘度及调合率的计算	28
第三节 液体静力学	30
一、液体静压力	30
二、欧拉平衡方程式	33
三、液体静压力的应用	35
第四节 液体运动学	39
一、一维流	39
二、定型流与非定型流	39

三、流线与流管	40
四、流速与流量	40
五、连续方程式	42
六、运动学的应用	43
第五节 液体动力学	45
一、液体的功、功率和能量的概念	45
二、理想液体的能量方程——伯努利方程	50
三、液体的动量方程	54
第六节 圆管内的粘性流动	58
一、圆管内粘性流动的特点	58
二、平均流速	58
三、粘性液体的连续方程	60
四、粘性液体的能量方程	61
五、粘性液体的动量方程	63
六、粘性损失	64
七、液体流动型态和雷诺数	65
第七节 能量损失的工程计算	69
一、层流的沿程损失	69
二、紊流的沿程损失	76
三、局部损失	81
四、能量损失的叠加原则	91
五、能量损失计算实例	91
六、节流机构的压力损失	93
第八节 缝隙流动	96
一、缝隙流动原理	96
二、各种缝隙型式及其计算	98
三、环状缝隙的计算方法	100
四、静压轴承	105
第九节 管路计算	107
一、管路系统的构成	108
二、简单管路的计算公式	108
三、管路计算的图表法	114
四、管径计算及计算图表	121
五、串联管路的计算	123
六、并联管路的计算	125
七、容积损失 ΔQ 和容积效率	126
八、液压冲击计算	127
九、液压系统的发热计算	130

第三章 齿轮泵	133
第一节 齿轮泵的工作原理	133
第二节 齿轮泵的特性曲线	135
一、齿轮泵的流量-转速特性 $Q = f(n)$	135
二、齿轮泵的容积效率 $\eta = f(n)$	136
三、齿轮泵的流量-出口压力特性 $Q = f(p_c)$	137
第三节 齿轮泵的有关计算	137
一、流量计算	137
二、影响流量的因素	138
三、功率和力矩	143
四、齿轮泵的效率	144
五、加于轴承上的负载及轴颈的计算	147
第四节 低压齿轮泵结构尺寸的近似计算	149
一、求理论流量 Q_L	150
二、求工作齿轮的节圆直径 D_f	150
三、工作齿数 Z 的选择	150
四、计算齿轮的模数 m	151
五、计算齿宽 b	151
六、齿轮齿形的修正	151
七、确定结构选择间隙	153
第五节 低压齿轮泵存在的几个问题	154
一、液压关死现象	154
二、气穴现象	155
三、流量脉动	155
第六节 低压齿轮泵实例	157
一、微型低压齿轮泵	157
二、电动低压齿轮式起动机	163
三、电动低压齿轮式滑油泵	166
四、发动机传动的低压齿轮式滑油泵	167
第七节 齿轮泵的设计和制造	169
第八节 内啮合齿轮泵的工作原理	170
一、内啮合渐开线齿轮泵的工作原理	170
二、内啮合圆弧-泛摆线齿轮泵的工作原理	171
三、内啮合圆弧-泛摆线齿轮泵与渐开线齿轮泵的比较	172
四、内啮合圆弧-泛摆线齿轮泵的基本参数	174
五、设计泛摆线齿轮的齿廓曲线	176
六、进、出油槽和进、出油路的选择	186
七、内啮合齿轮泵受力分析与轴的设计	187

第四章 旋板泵	188
第一节 旋板泵的作用原理及其结构	188
第二节 旋板泵的计算	189
一、旋板泵理论流量的计算公式	189
二、其它几种理论平均流量计算公式	195
三、旋板泵实际流量的计算公式	196
四、旋板泵理论平均流量的一般近似计算公式	196
五、旋板数 $Z = 4$ 的旋板泵尺寸的确定	197
六、旋板泵强度的计算	201
第三节 旋板泵真空度计算	204
第四节 旋板泵的特性	206
第五节 四块旋板的转子组件	208
一、旋板泵的套筒	209
二、旋板泵的转子	216
三、旋板	217
四、中心轴	218
五、转子部件的分组装配	218
第六节 典型旋板泵的分析	218
一、泵头效率的计算	222
二、泵头过转速运转时效率的计算	222
三、泵头超速运转时效率的计算	223
四、泵头的功率、扭矩及效率的计算	223
第七节 旋板泵结构实例	224
一、燃油泵示例	224
二、电动平衡泵	227
三、酒精泵	229
四、真空泵示例	230
第八节 旋板泵的设计	233
一、旋板泵的设计步骤	234
二、根据现有的旋板泵设计新泵的实例	234
第九节 高压旋板泵	237
一、双作用式旋板泵	237
二、高压变量旋板泵	251
第十节 凸轮转子叶片泵	258
一、凸轮转子叶片泵的工作原理	258
二、凸轮转子叶片泵的瞬时流量	261
三、凸轮转子叶片泵的平均流量	263

四、凸轮转子曲线	264
第五章 离心式油泵	274
第一节 离心泵的作用原理	274
第二节 操纵离心泵的注意事项	277
一、离心泵开动时的注意事项	277
二、离心泵停转时的注意事项	278
第三节 离心泵的基本参数和叶轮几何尺寸的计算	278
一、离心泵基本参数的计算	278
二、叶轮进口尺寸的计算	281
三、叶轮出口尺寸的计算	284
第四节 离心泵的理论力矩、功率和效率	286
一、离心泵的理论力矩	286
二、离心泵的功率	289
三、离心泵的效率	290
第五节 离心泵内部负载情况	290
第六节 工作叶轮	291
一、工作叶轮的种类	291
二、工作叶轮的升压原理	292
三、工作叶轮的叶片高度和厚度	292
四、叶片数目 Z 对泵的影响	292
第七节 叶片的计算和设计	293
一、叶片的尺寸	293
二、叶片的形状	294
第八节 叶片进、出口的流动状态-速度三角形	297
一、进口速度三角形	297
二、出口速度三角形	298
第九节 引导装置(进油口)	298
第十节 螺旋室	299
第十一节 油液在叶片通道中的流动	301
第十二节 离心泵的特性曲线	303
一、离心泵的理论特性曲线	304
二、叶轮几何尺寸对泵特性的影响	305
三、泵的转速 n 对其理论特性的影响	306
四、叶片出口安放角 β_2 对泵的功率 N 及理论流量 Q_L 、扬程 H 的影响	307
五、离心泵的实际特性曲线	307
六、离心泵的万能曲线	308

第十三节 离心泵的汽蚀	309
一、汽蚀及其危害	309
二、汽蚀现象产生的原因	309
三、叶轮汽蚀发生区域的分类	310
四、汽蚀方程	311
五、改善油泵抗汽蚀性能的方法	314
第十四节 离心泵的实例	315
一、输油增压离心泵	315
二、增压泵	320
三、输油增压泵	321
四、燃油增压泵	324
五、离心式酒精泵	328
六、离心泵的使用和维护	330
第十五节 汽芯式燃油泵	331
一、汽芯泵的工作原理和结构	331
二、汽芯泵的特性	332
第六章 轴向柱塞式油泵	337
第一节 轴向柱塞泵的工作原理	337
一、轴向柱塞泵的工作原理	337
二、轴向柱塞泵的特性参数	341
三、油泵的工作效率 η	344
四、油泵的转速 n	347
五、轴向柱塞泵的调节参数	347
第二节 运动分析及结构参数的设计	349
一、轴向柱塞泵柱塞的运动分析	349
二、轴向柱塞泵结构参数的选择	354
第三节 受力分析及结构设计	357
一、柱塞的受力分析及设计	357
二、转子的受力分析及设计	360
三、主轴的设计计算	364
第四节 关于提高油泵效率的研究和设计	364
一、滑履的设计	365
二、固定式分油盘设计	380
三、力矩平衡	385
第五节 转子的支承	392
一、油泵转子所受的倾倒地矩	392
二、转子径向力支承型式	394

第六节 斜盘力矩的计算与典型流量调节机构的动态结构	397
一、斜盘力矩计算	398
二、典型油泵调节机构的传递函数	402
第七节 关于消除轴向柱塞式油泵中液压冲击问题的讨论	409
一、轴向柱塞泵中可能产生噪声的因素	410
二、液压冲击产生的原因及简单计算	412
三、轴向柱塞泵中产生冲击的可能性及其消除方法	413
四、设置 β 角的作用	419
第七章 航空低压油泵的典型结构	430
第一节 泵体泵盖及其连接	430
一、齿轮泵的泵体、泵盖及其连接	430
二、旋板泵的泵体、泵盖及其连接	433
三、离心泵的泵体、泵盖及其连接	434
四、连接螺钉的强度计算	435
第二节 油泵传动的连接形式	440
一、键连接的计算	441
二、花键连接	443
三、花键连接的计算	445
第三节 调压结构	448
一、调压活门	448
二、调压弹簧	450
三、橡胶薄膜	454
第四节 轴承	456
一、滑动轴承	456
二、滚动轴承	457
第五节 航空低压油泵的密封	459
一、低压油泵的密封条件	459
二、密封的基本型式	459
三、密封原理	460
四、泵的密封泄漏与寿命	461
五、关于低压油泵密封标准的讨论	463
六、端面密封的设计计算	466
七、低压油泵的密封结构	467
第六节 旋转轴的双向动力密封	475
一、动力密封原理	476
二、双向动力密封的结构	477
三、双向动力密封的设计数据	480

XII

四、双向动力密封的试验	485
第八章 航空油泵的检验	487
第一节 产品定型检验	487
一、目的	487
二、检验内容	487
三、定型检验的方法	488
附表	495
主要参考资料	500

绪 论

目前，液压传动技术在国民经济的各个领域得到了极其广泛的应用，它是最近四十年来快速发展起来的一门工程技术。

液压传动是利用油泵将原动机（电动机，内燃机或其他动力机）的机械能，转换给能在管路中流动的液压油（或燃油、滑油）变成液压能，这种具有液压能的工作液再用阀门和管路传送给油马达或油缸，把液压能转换成机械的旋转运动或直线运动进行各种方式的工作。在燃油系统或润滑系统中，同样必须由油泵确保必要的工作条件。

由于液压传动利用工作液在管子（橡胶软管或无缝钢管）里流动的方式传递力或功率，比用传动轴、齿轮、皮带、链轮等传动要方便得多而被广泛应用。它利用各种阀控制工作液的流动方向和流量大小，可以将工作液输送到所需要的地方，可以任意改变机器的运动方向和快慢，操纵十分准确、省力和方便。同时它传递的功率之大，可达数百或几千马力，体积重量又比较小。因此，在航空、工程机械、石油、冶金、矿山、机床、农业和国防等机械装备中用得愈来愈多。特别是人们对机械装备所发出的功率要求越来越大的趋势下，液压传动技术得到了人们的极大重视和信赖。

任何一个液压传动系统都必须有一个液压源，这就是油泵，人们将油泵比喻为液压系统的“心脏”，可见，油泵在液压传动技术中的重要地位。

油泵由于其担负的任务不同，所以种类十分繁多，就工作压力来说，可以分为低压、中压和高压油泵。就其结构来说，可以

分为齿轮式油泵、叶片式油泵、离心式油泵和柱塞式油泵等等，按提供流量的形式来分又可以分为定量泵和变量泵。

低压油泵，一般来说传递的功率都比较小，多半是用来改善高压泵的工作条件、供给润滑油、输送燃料等液压系统，低压油泵在航空技术、其他各种机械中都获得了广泛的应用。在现代飞机上，设有一系列附属于飞机本体及发动机的系统，例如燃油供给系统、滑油系统、防冰和液压系统等。组成这些附属系统的部件一般都叫“附件”（包括飞机附件及发动机附件），低压油泵就是其中的一种。

现代飞机在不断地向高空、高速发展。各种液压传动系统的性能要求不断地完善，为了提高飞机和其他装备的性能，使发动机发挥其最大的效率，并保证其安全正常地工作，就必须提供一系列附件。其中最基本的就是各种低压补油泵。在航空发动机的燃油附件中除了主燃油附件（燃油调节器、主燃油泵）外，为了提高燃油供应系统的高空性能和克服燃油流动的阻力，在闭式液压系统中为了补充泄损的工作液等，保证各种液压系统的性能充分的发挥、工作可靠，低压油泵则是不可缺少的一种附件。而在润滑系统、防冰系统中，低压油泵往往作为它们的心脏，其作用是使飞机或发动机得到充分的润滑和冷却，防止螺旋桨和机翼前缘结冰、保证仪表的工作精度等。目前一架普通的喷气式飞机或较完善的液压传动系统中所携带的大小低压油泵多达十个以上，可见低压油泵在飞机及液压传动系统中的作用也是不可忽视的。

这里所说的低压油泵的压力都属于超低压的范围，一般在 $0.3\sim 4.5$ 公斤力/厘米²之间，还有低于 0.3 公斤力/厘米²者，而最高也不超过 8 公斤力/厘米²。流量范围则更为实际需要而异，小者不足 0.3 升/分大者超过了 30 升/分。低压油泵的种类虽十分繁多，但它们的共同特点是结构简单、工作可靠。低压油泵根据其担负的任务不同，可分为短期工作和长期工作两种。这些油泵的工作环境

较复杂，特别是大流量的泵，所承受的负载一般都是比较沉重的。所以，低压油泵性能的好坏，寿命的长短，都直接影响到飞机和其他机械的性能与安全；由于低压油泵的处置不良，常会造成外场的使用和维护上的困难，甚致会引起飞行事故或被迫停止设备的正常运转。所以，更好地研究低压油泵的性能及其结构，愈来愈显得重要了。

目前使用的低压油泵种类很多，但往往是结构繁多而技术性能却相差无几。这样一来，给实际生产和使用维护都造成了很多麻烦。从工作原理上看，有齿轮式油泵（包括外啮合和内啮合）、旋板式油泵和离心式油泵，而每一种油泵又有若干型式上的不同，单就离心泵而言，流量在1500~2200升/时而压力在0.7~0.85公斤力/厘米²者在用的就有三十余种，其他两种也均存在着这种型式繁多的现象。因此，在设计改造低压油泵的同时，应当充分地注意到低压油泵的系列化，最好使其标准化，这将对生产、使用、维护带来方便。

低压齿轮泵结构简单，精度要求低，工艺性好，流量、压力范围大，工作安全可靠，与低压旋板泵相比较，容易实现系列化和标准化，但它的真空度不高。而离心泵也具有结构简单，流量大且可调性好、工作安全可靠、不致因故障造成油路的阻塞等优点，它可以形成另一个低压泵的系列。

低压油泵在各系统中，由于工作的部位不同而采取的传动方式也不同。在距发动机近而长期工作的情况下，由发动机通过变速器带动油泵。在距离发动机较远的情况下，一般都用电动机带动；电动机可以是直流电动机，也可以是交流电动机。近年来出现了液压马达的驱动型式，液压马达在发出相同功率的条件下，较电动机要轻小得多，但其管路结构较复杂。随着液压传动技术不断完善的同时，液压泵-马达调速系统是大有发展前途的。

所有低压油泵都要求重量轻、体积小、效率高。一个性能良

好的低压油泵也应当最大限度地具备这些品质；同时还要求容易安装拆卸，尽量少占地方，在高转速长时间工作的条件下不出现过热现象，在 $-55\sim+55^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内和在高度为15000~20000米的高空条件下能正常工作，并具备一定的抗振能力。

目前使用和生产的低压油泵，大部分是五十年代的产品，其结构基本典型化了。随着飞机、发动机和液压系统的性能不断提高，也要求低压油泵不断改进。最近十年来一种在齿轮泵的基础上发展起来的圆弧摆线内啮合齿轮泵开始大量使用，这种泵流量大，结构简单紧凑，重量轻，但制造较困难。随着使用功率的不断提高，流量要求愈来愈大，在离心泵的基础上发展起来一种在进口处节流的高转速汽芯泵。低压油泵的发展趋向看来应当是在不增加体积、重量和尽量少消耗能量的前提下，尽可能地提高流量；同时还要将现有的低压油泵在系列化的过程中尽量改善其动力原动机，减轻重量和提高效率，降低成本，使其结构更趋完善合理。

高压油泵用得较普遍的是齿轮泵、柱塞泵和高压叶片泵。几年来，我国已经开始研制的高压的齿轮泵产品，目前已有C、D、E、F等十多个系列产品 and 农业机械用的3、5系列以及航空用的623型。它们的工作压力一般为 $63\sim 150$ 公斤力/厘米²，有的已达到 210 公斤力/厘米²，流量多半是 36 升/分左右。有些齿轮泵开始试用高锡铝合金双金属滑动轴承代替滚针轴承，已取得了良好的效果。国外齿轮泵已有工作压力为 $210\sim 350$ 公斤力/厘米²、流量为 1500 升/分、转速为 3000 转/分、功率为 340 马力的大齿轮泵出现，提高齿轮泵工作压力的措施主要是：采用铝合金壳体解决齿轮顶隙泄漏，采用端面压力平衡补偿结构解决端面泄漏，值得注意的另一个倾向是内啮合齿轮泵与外啮合齿轮泵产量的比例已接近 $1:1$ 。内啮合高压齿轮泵的技术特性已有工作压力为 320 公斤力/厘米²、排量高达 480 毫升/转、转数为 4000 转/分、功率为 300 马力的产品