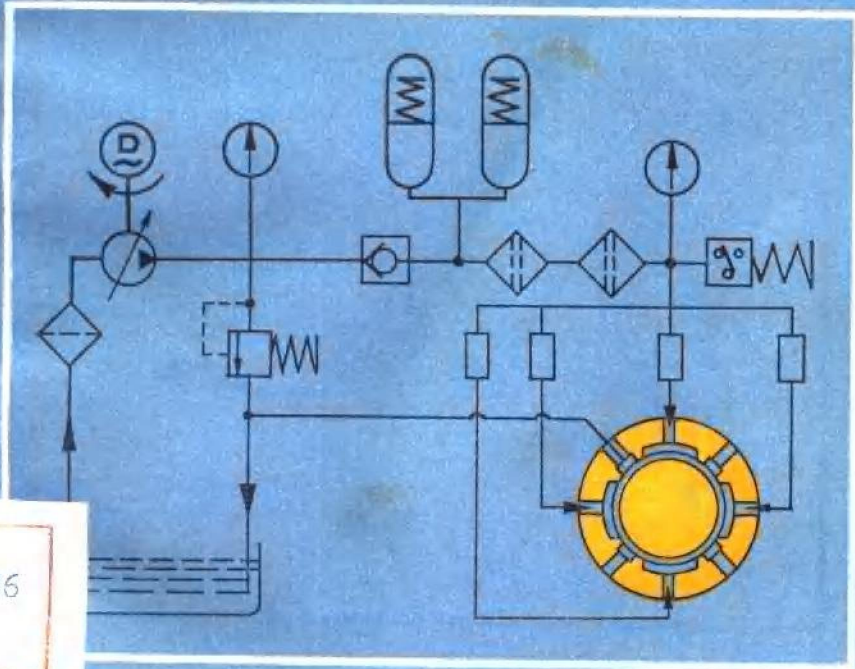


液体静压轴承



33.36

江苏科学技术出版社

液 体 静 压 轴 承

余最康 编著

出版：江苏科学技术出版社

发行：江苏省新华书店

印刷：扬州印刷厂

开本787×1092毫米 1/32 印张9 字数190,000

1981年11月第1版 1981年11月第1次印刷

印数1—3,000册

书号 15196·062 定价0.73元

责任编辑 孙广能

内 容 提 要

本书对几种常见的液体静压轴承的设计步骤、计算方法、制造工艺以及应用等作了深入浅出的介绍，并简要地叙述了它的原理、最佳工作参数的选择和有关基础知识。本书可供工厂企业单位的工程技术人员，机床及设备的设计、革新和维修人员，以及大专院校有关专业的师生阅读参考。

前 言

液体静压轴承是一项较新的技术，它与常用的滚动轴承和滑动轴承比较，具有刚度大、精度高、运转平稳、稳定可靠、抗震性强、噪音小、使用寿命长等优点。因此，目前在各种轻型的或重型的、精密的或高效率的机床、机械设备中，已逐步得到应用。此外，在以提高加工光洁度、加工精度和加工效率为目的的精化机床设备和提高设备承载能力的技术改造中，静压轴承起着更突出的积极作用，它将更广泛地代替滚动轴承和滑动轴承。

本书对几种常用的液体静压轴承的设计步骤、设计方法、制造工艺以及应用等方面，作了比较系统的介绍。还介绍了几个计算例题，并简要地叙述了基本原理、设计应用时最佳工作参数的分析，以帮助初学者较快地掌握这一内容。同时，为了简化计算过程，书中选用了广州机床研究所推荐的设计参数，列表附在有关部分，供设计时直接参考选用。

在编写过程中，曾得到了成都量具刃具厂贺伟超同志提供的许多设计和应用方面的宝贵经验，南京晨光机器厂尤成森同志校算了例题，南京航空学院费开教授审阅了全书，并提出了许多宝贵的修改意见。在此一并表示感谢。由于编者水平所限，错误之处难免，恳请批评指正。

编 者

一九八一年二月

目 录

| | |
|----------------------------|--------|
| 第一章 概 述 | (1) |
| 第一节 基本原理 | (1) |
| 第二节 节流器的作用 | (4) |
| 第三节 承载能力 | (11) |
| 第二章 流体力学基础知识 | (14) |
| 第一节 油液的一般性质和选用 | (14) |
| 第二节 液体的压力 | (18) |
| 第三节 油液流量的计算 | (23) |
| 一、流经圆管 | (24) |
| 二、流经薄壁小孔 | (27) |
| 三、流经两平面间的间隙 | (29) |
| 四、流经环状间隙 | (32) |
| 五、流经偏心环状间隙 | (33) |
| 六、呈放射状流经两圆平面间的间隙 | (35) |
| 七、呈放射状流经两矩形平面间的间隙 | (37) |
| 八、流经圆锥环状间隙 | (38) |
| 第四节 液体的摩擦系数 | (40) |
| 第五节 油膜刚度 J 、功率 N | (42) |
| 第三章 径向轴承应用 | (45) |
| 第一节 一般概念 | (45) |
| 一、节流器种类 | (46) |
| 二、径向轴承结构及油腔主要参数 | (49) |

| | |
|-------------------------|----------------|
| 三、节流器的流量和液阻的计算 | (56) |
| 第二节 小孔节流式 | (58) |
| 一、原理 | (58) |
| 二、小孔节流器的基本结构 | (60) |
| 三、计算 | (62) |
| 四、最佳参数分析 | (70) |
| 五、设计步骤 | (74) |
| 六、小孔节流式计算例题 | (79) |
| 七、结构尺寸及有关参数选用表 | (82) |
| 第三节 毛细管节流式 | (86) |
| 一、原理 | (86) |
| 二、毛细管节流器 | (87) |
| 三、计算 | (90) |
| 四、最佳参数分析 | (96) |
| 五、设计步骤 | (98) |
| 六、毛细管节流式计算例题 | (101) |
| 七、结构尺寸及有关参数选用表 | (103) |
| 第四节 滑阀节流式 | (106) |
| 一、一般概念 | (106) |
| 二、原理 | (107) |
| 三、滑阀节流器 | (111) |
| 四、计算 | (112) |
| 五、最佳参数分析 | (121) |
| 六、设计步骤 | (127) |
| 七、滑阀节流式计算例题 | (131) |
| 八、结构尺寸及有关参数选用表 | (135) |
| 第五节 薄膜节流式 | (139) |

| | |
|---------------------------|---------|
| 一、原理 | (139) |
| 二、薄膜节流器 | (142) |
| 三、计算 | (143) |
| 四、最佳参数分析 | (152) |
| 五、设计步骤 | (157) |
| 六、薄膜节流式计算例题 | (162) |
| 七、结构尺寸及有关参数选用 | (166) |
| 第六节 无周向回油的毛细管节流式 | (170) |
| 一、原理 | (170) |
| 二、计算 | (172) |
| 三、设计步骤 | (176) |
| 第七节 无周向回油的滑阀节流式 | (177) |
| 一、原理 | (177) |
| 二、计算 | (178) |
| 三、设计步骤 | (183) |
| 第八节 节流形式和油腔结构形式的选择 | (185) |
| 一、节流形式的选择 | (185) |
| 二、油腔结构形式的选择 | (187) |
| 第九节 摩擦功率和油液温升问题 | (189) |
| 一、摩擦功率 | (189) |
| 二、油泵功率及电机功率 | (190) |
| 三、轴承的温升问题 | (191) |
| 第四章 止推轴承应用 | (193) |
| 第一节 有单独节流器的止推轴承 | (193) |
| 一、轴承结构 | (193) |
| 二、油腔结构 | (196) |
| 三、计算的一般概念 | (197) |

| | |
|---------------------------|----------------|
| 四、小孔节流式的计算 | (199) |
| 五、毛细管节流式的计算 | (202) |
| 六、薄膜节流式的计算 | (204) |
| 七、流量和油泵功率的计算 | (207) |
| 八、止推轴承油液的摩擦功率 | (208) |
| 第二节 无单独节流器的止推轴承 | (209) |
| 一、结构 | (209) |
| 二、计算 | (211) |
| 第五章 供油系统 | (216) |
| 第一节 供油系统设计 | (216) |
| 第二节 元件选择 | (218) |
| 一、油泵 | (218) |
| 二、溢流阀 | (219) |
| 三、单向阀 | (222) |
| 四、过滤元件 | (222) |
| 五、蓄能器 | (227) |
| 六、压力继电器 | (230) |
| 七、压力表 | (230) |
| 八、油路管道和管接头 | (231) |
| 第三节 油箱及油液的冷却 | (233) |
| 第六章 制造、调整和使用 | (235) |
| 第一节 主要零件的加工 | (235) |
| 一、主轴 | (235) |
| 二、轴承 | (239) |
| 三、轴承座 | (243) |
| 四、小孔节流器 | (244) |
| 五、毛细管节流器 | (244) |

| | |
|-------------------------|----------------|
| 六、滑阀节流器 | (245) |
| 七、薄膜节流器 | (245) |
| 第二节 调整和使用 | (246) |
| 一、装配 | (246) |
| 二、调试 | (247) |
| 三、调试过程中可能出现的问题 | (250) |
| 四、使用注意事项 | (252) |
| 五、使用故障排除 | (253) |
| 第三节 应用实例简介 | (256) |
| 一、在平面磨床的应用 | (257) |
| 二、在高精度万能外圆磨床的应用 | (259) |
| 三、在内圆磨床的应用 | (261) |
| 四、在车床的应用 | (265) |
| 五、在重型机床的应用 | (265) |
| 附 录 | (272) |
| 一、本书主要符号说明 | (272) |
| 二、主要参考资料 | (276) |

附

录

第一章 概 述

第一节 基本原理

轴承是机床和各种机械设备中的一个重要零部件。常见的就是所谓滑动轴承和滚动轴承两种。但是随着现代科学技术的飞速发展，一般轴承已远不能满足现代工艺高精度和高效率的要求，近几年来，在我国逐步推广发展起来的液体静压轴承在适应上述要求方面正在崭露头角。

回顾轴承的应用和发展的历史，可以看到从古代的风车、磨盘、独轮车的木结构或铁木结构的简单轴承，到今天的完善的液体滑动轴承，已经历了千百年的发展过程。所以，液体滑动轴承就能够较普遍地为人们所认识和运用。大家也知道，液体滑动轴承只有在产生良好的动压效应时，才具有摩擦阻力小、抗震性好、有较高的刚度和承载能力、不发生轴和轴承间的直接表面接触及干摩擦等优点。但是要真正实现这种完全的动压效应，即实现具有刚性油膜的完全液体摩擦状态，在实践中是比较困难的。这与许多因素有关，象轴与轴承间的配合间隙、楔形比、相对运动速度以及配合面的表面光洁度等都有很大影响。如，相对速度低，油膜压力不易形成，就会产生半干摩擦。这样在起动或停车时相对速度较低的情况下，轴与轴承表面间由于半干摩擦造成的摩擦损失，不可避免地就要降低轴承的精度和寿命。这显然是滑动轴承的一个重要缺点和局限性。

液体静压轴承就是试图克服上述缺点而在滑动轴承的基础上发展起来的。它希望能在任何情况下，都能建立起刚性油膜和完全的液体摩擦状态。图 1—1 所示即是一种液体静压轴承的结构原理图。由液压系统供给的压力油 p ，经过一定形式的节流（调压），进入轴承 5 的各个油腔中，从而使轴 9 在一定油压（所谓静压）作用下“浮起”，保证轴 9 在任何情况即在任何转速和一定负载下都与轴承处于完全的液体摩擦状态。所以液体静压轴承具有下列优点：

1. 由于是完全液体摩擦，故起动功率极小；

2. 轴的回转精度高，精度保持性好，使用寿命长，如果油液系统维护适当，注意保持油液洁净，轴和轴承在理论上将是不磨损的；

3. 轴的“浮起”是依靠供油系统油液的压力，所以在任何相对运动下，都具有设计所需的承载能力，并能满足从轻载到重载、低速到高速的机床和机械设备对轴承的各种要求；

4. 轴承间隙中的压力油强度极高，所以液体静压轴承具有很高而且稳定的刚性，这样就有可能较大地提高使用这种轴承的机床的加工效率；同时因为压力油的油膜具有良好的吸震性能，所以，液体静压轴承还有很好的抗震性，它不象滚动轴承对震动那样特别敏感，从而使机床或机械设备运转平稳，加工精度大大提高；

5. 轴与轴承没有直接摩擦，对轴承材料可以要求较低等。

如上所述，液体静压轴承较一般滑动轴承和滚动轴承都有许多优点，它几乎能适用于各种高精度、高效率的机床、重型设备、一般机械设备以及国防设备上，能比较满意地解

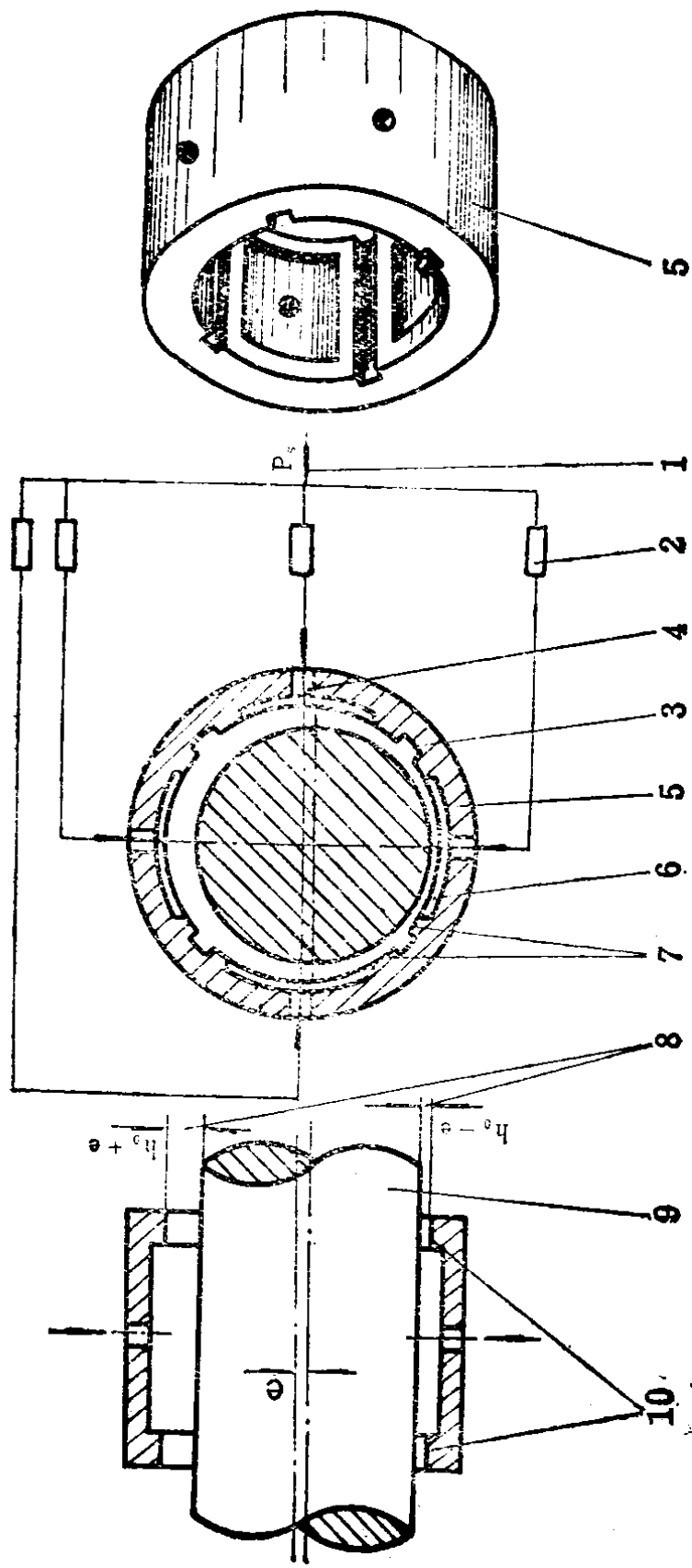


图1-1 静压轴承结构原理图

- 1. 压力油
- 2. 节流器
- 3. 回油槽
- 4. 进油孔
- 5. 轴承
- 6. 油腔
- 7. 径向封油边
- 8. 轴承半径方向间隙
- 9. 主轴
- 10. 轴向封油边

决许多特殊要求，因此，进一步深入研究和推广应用液体静压轴承，是具有十分重要意义的。

第二节 节流器的作用

液体静压轴承的结构如图 1—1 和图 1—2 所示。从图中可以看出，轴承内部孔壁上一般都开有几个对称的凹面油

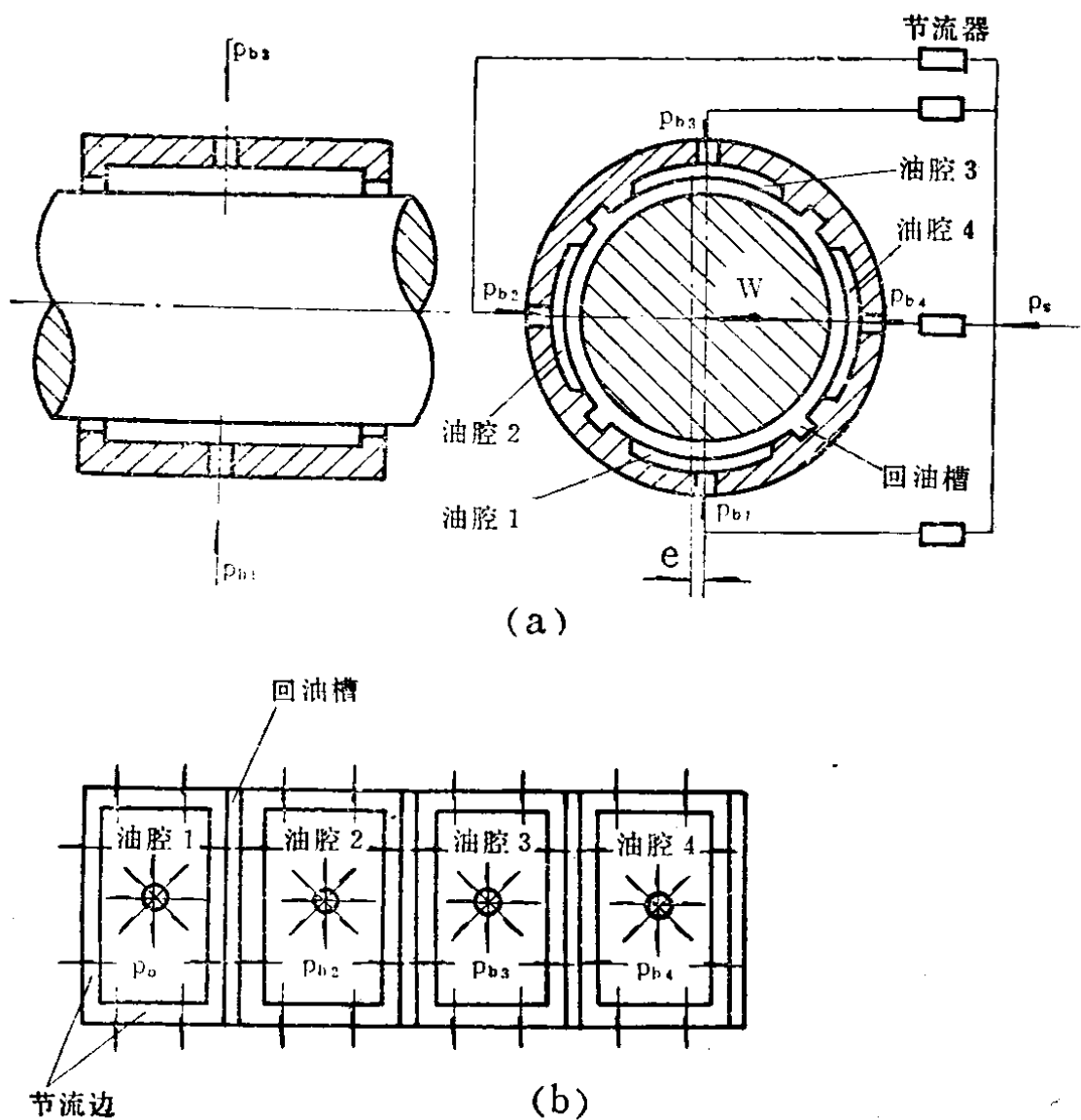


图1—2 静压轴承原理图

a. 轴承原理图 b. 油腔展开图

压区，最常见的是成双的，四个，但也有三个的。这些凹面中充满压力油，以承受两个方向上的载荷。我们把这种凹面油压区通称为油腔。组成承受某一载荷的一个或若干个油腔的单元，也叫做油垫。

如图 1—2 所示，每个油腔四周都设计有适当宽度的节流边，油腔之间用回油槽隔开（也有不用回油槽隔开的）。来自油泵的压力油 p_s 流经过滤器和节流器进入油腔，然后通过轴与轴承间的间隙（节流边）排出油腔，由回油槽流入回油管，压力降为零，流回油池。

图中的节流器是液体静压轴承系统中的重要元件。它正象电路系统中的电阻元件一样，因为它具有一定的液流阻尼，从而使来自油泵的压力油产生压力降，起到压力油的调压作用。

为了进一步说明这种调压作用，我们再分析图 1—2 中的两个对应油腔（油腔 1 和 3 或油腔 2 和 4），在忽略轴的自重情况下，当轴承承受外加载荷 W 作用时，轴就顺着载荷 W 的方向向左移动 e 的距离，若轴与轴承在空载时的间隙为 h_0 ，这时油腔 2 和 4 处的间隙分别变为 $(h_0 - e)$ 和 $(h_0 + e)$ 。间隙减小的地方，油液流量就减小，阻力增大，油压增高；而间隙增大的地方，油液流量就增加，阻力减小，而油压则降低。假定通向各油腔的节流器都相同，即液流阻尼相同，进油压力 p_s 也相同时，则由于承受外载而发生的间隙变化，使油腔 2 处的压力由 p_{b0} 增大至 p_{b2} ，使油腔 4 处的压力由 p_{b0} 减小至 p_{b4} 。这样，油腔 2 和 4 处的压力差 $\Delta p = (p_{b2} - p_{b4})$ 在承载面积上的作用力正好与外载荷 W 平衡，于是轴便在一个新的位置上固定下来。按照轴的工作要求，往往希望油腔中的油压所产生的压力差，必须既能平衡

所承受的外载荷，又保持轴不至于产生较大的位移。但是在实际情况中，恒定的外载荷并不多见，在机床或其它机械设备中，外载荷大都是在一定范围内变化着的。为了满足上述希望，这就要求通入各油腔的油压能够随外载荷的变化而变化，从而保证各油腔中的油压 p_{b0} 能够随外载荷的变化而变化成 p_{b1} 、 p_{b2} 、 p_{b3} 和 p_{b4} 。所谓节流器就是起这一作用。

反之，当没有节流器时，在静压轴承的供油系统中，往往各个油腔由同一油泵提供压力油，其油压由溢流阀调整，因此在轴承受外载荷时，供油压力始终不变，从而无法产生用于平衡外载荷的压力差，轴承就不能正常工作了。

我们再看图 1—3 的情况。它分别以设或不设节流器的不同情况来说明节流器的调压作用究竟是怎样产生的。

图 1—3a 为液体静压轴承系统中不设节流器的情况。此时上下两个油腔中的油压均等于油泵压力 p_s ，因为轴有自重 G ，所以轴实际上就不可能被油压所“浮起”，而只能由下油腔 4 的表面直接支承着，这样上油腔 2 处轴与轴承的间隙应该是 $2h_0$ ，所以油液阻力较小，油液都从这里溢走。

显然，要使轴“浮起”，必须使下油腔 4 的油压大于上油腔 2 的油压，才能够首先平衡轴的自重 G 。但由于不设节流器，上下两个油腔压力相等，无法平衡轴的自重，而油液却从阻力较小处向外流出。可见不设置节流器，各个油腔的油压就不能产生如前所述的压力差来平衡轴的自重，更不要说自动平衡比轴的自重大得多的外载荷了。

图 1—3b 是系统中设了节流器的情况。那末，由于节流器的作用，油腔中的油压将会发生怎样的变化呢？

当油泵供油经溢流阀调压后的压力油 p_s ，通过节流器的作用后其油压降低至 p_{b0} ，在承受外载时，按照上述原理，

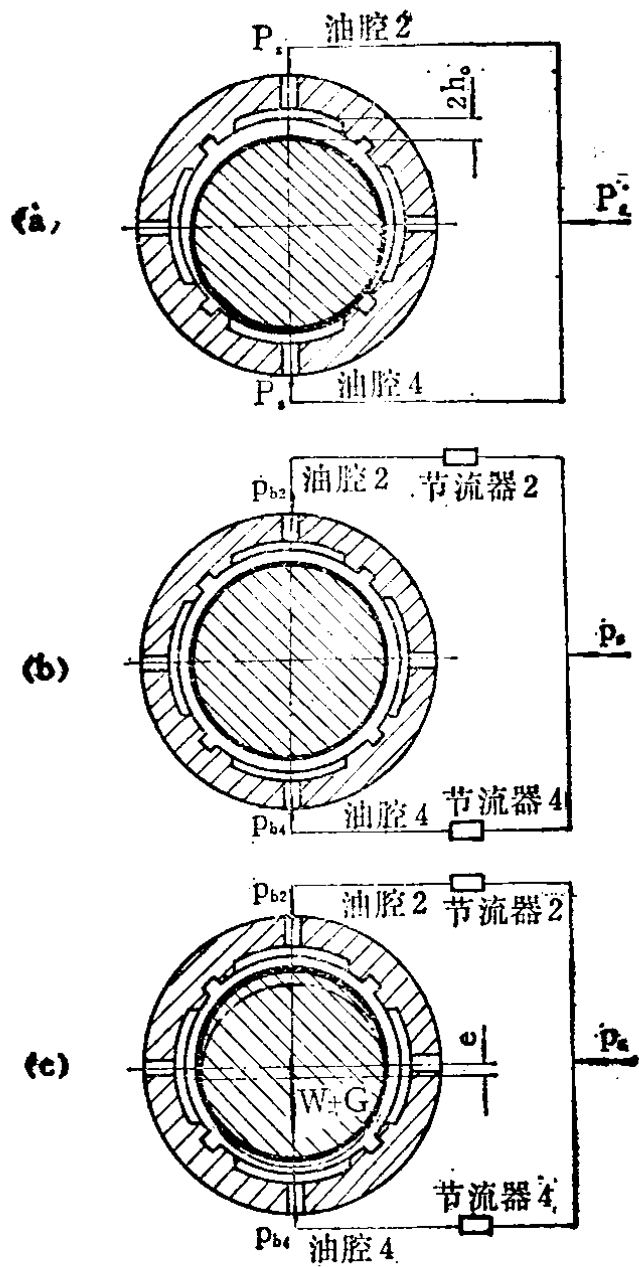


图1—3 节流器作用示意图

- a. 不设节流器情况
- b. 设节流器情况(空载时)
- c. 设节流器并承受载荷时情况

上下油腔 2 和 4 的压力分别变为 p_{b2} 和 p_{b4} ，然后，油液从油腔的各节流边排出至回油槽，压力即降为零，流回油池。这是静压轴承中油液工作的全过程。

有趣的是，实践证明油路中的油压、流量、阻力（液流阻尼）等参数的相互关系，与电路中的电压、电流和电阻的相互关系十分相似，所以我们可以用电路的欧姆定律进行分析。

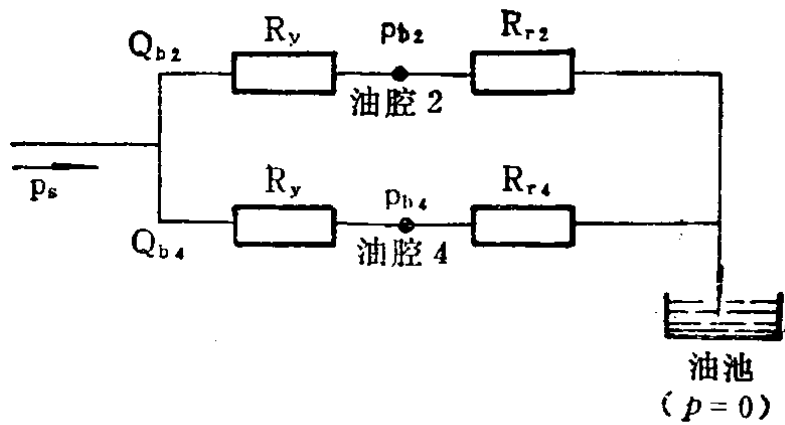


图1—4 油路与电路系统比较图

图 1—4 为油路和电路系统的原理比较图。假定节流器的液流阻尼为定值，即是所谓固定节流。根据电路的欧姆定律，油腔的油压则有如下计算式