

静压支承 在机床上的应用

[英] F. M. 斯坦斯菲尔德 著

3336

机械工业出版社

本书较系统地介绍了液体静压支承的基本原理和设计理论。简明地阐述了开式静压导轨、闭式静压导轨、径向静压轴承、推力静压轴承及圆锥静压轴承的工作原理、设计理论和计算方法，对最佳设计进行了探讨，并有各种典型结构及设计、计算实例。

书中对气体静压轴承的设计原则还作了一般性的介绍。

本书可供机械行业中的技术人员和工人参考，也可供理工科大专院校师生阅读。

[英] F. M. STANSFIELD
HYDROSTATIC BEARINGS
FOR MACHINE TOOLS
AND SIMILAR APPLICATIONS
THE MACHINERY PUBLISHING CO. LTD. 1970

* * *

静压支承在机床上的应用

[英] F. M. 斯坦斯菲尔德 著
险峰机床厂 译

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $5 \frac{13}{16}$ · 字数 124 千字

1978 年 8 月北京第一版 · 1978 年 8 月北京第一次印刷

印数 00,001 — 35,000 · 定价 0.48 元

*

统一书号: 15033 · 4444

译 序

伟大的无产阶级文化大革命以来，我国机械工业形势一派大好，机床行业的广大革命职工在毛主席革命路线的指引下，坚持“独立自主、自力更生”的方针，不断攀登科学技术高峰，新技术、新工艺得到迅速地推广和应用，制造了很多具有先进水平的机床。

随着机械加工工艺的发展，机床正不断向高精度、高效率和高速度的方向发展，因而也日益要求提高机床轴承和导轨的刚度及运动精度，降低其温升，减小摩擦系数。实践证明，静压支承这项新技术能够较好地满足这些要求，这使静压技术的应用日益增多。从五十年代末期开始，我国机床行业推广和应用这项新技术，已经生产了很多采用静压支承的机床，取得了显著的效果。目前正在不断改进和提高，并扩大其使用范围。遵照毛主席关于“洋为中用”的伟大教导，我们翻译了英国机械出版公司(The Machinery Publishing Co. Ltd.)出版的F. M. 斯坦斯菲尔德(F. M. Stansfield)所著《静压支承在机床上的应用》(Hydrostatic Bearings for Machine Tools and Similar Applications)一书，供广大科技人员和工人参考。

全书共分八章，第一、二章介绍静压支承的名词术语和基本原理，第三、四章讨论开式和闭式静压导轨的设计，第五、六、七章讨论径向、推力和圆锥静压轴承的设计，第八章讨论气体静压支承的一般特性。

在翻译中，我们对原书中某些反映作者资产阶级唯

IV

心观点，以及繁琐冗长的地方作了删节，对某些不尽合理的技术要求加了译注。由于我们水平有限，译文中一定有很多缺点和错误，希望读者批评指正。

本书由我厂动力科刘绍同等同志翻译。在翻译过程中，曾得到广州机床研究所有关同志的大力支持，对译文作了详细地审校，提供了很多宝贵意见，特此致以深切的谢意。

险峰机床厂

1976年9月

目 录

第一章 名词术语	1
1.1 名词术语	1
1.2 符号的意义	2
1.3 符号的脚标	4
第二章 静压支承概述	8
2.1 静压润滑原理	8
(1) 定压式供油系统	8
(2) 定量式供油系统	11
2.2 静压支承的优缺点	12
2.3 液体和气体润滑剂的比较	14
2.4 静压支承的设计	17
2.5 静压支承的应用	20
第三章 开式静压导轨	22
3.1 引言	22
3.2 静压导轨理论	22
(1) 各种形式静压垫的一般理论	23
(2) 圆形油垫	34
(3) 矩形油垫	37
(4) 其他形式的油垫	41
3.3 影响静压导轨性能的其他一些因素	42
3.4 设计参数和工作特性的关系	51
3.5 油腔压力的控制	53
3.6 制造和调整	59
3.7 一个典型的静压导轨的特性和性能	67

第四章 闭式静压导轨	73
4.1 引言	73
4.2 闭式油垫	74
(1) 引言	74
(2) 理论	75
(3) 影响静压导轨性能的其他一些考虑	77
(4) 压力的控制	85
(5) 一对典型闭式静压垫的推力和刚度特性	85
(6) 一些典型的应用	88
4.3 闭式倾斜油垫	89
第五章 径向静压轴承	94
5.1 引言	94
5.2 设计问题	98
5.3 理论	105
5.4 设计中方程的使用	113
5.5 径向静压轴承的应用	117
5.6 径向静压轴承的制造	119
5.7 典型举例	126
第六章 推力静压轴承	129
6.1 单油腔和多油腔推力静压轴承	129
6.2 单油腔推力静压轴承	131
6.3 径向静压轴承和单油腔推力静压轴承的复合形式	136
6.4 多油腔推力静压轴承	142
6.5 理论	144
6.6 典型举例	147
第七章 圆锥静压轴承	152
7.1 引言	152
7.2 单圆锥静压轴承	153

7.3 多油腔双圆锥静压轴承	153
7.4 理论	157
7.5 圆锥静压轴承的制造	165
第八章 气体润滑静压支承	168
8.1 引言	168
8.2 气体和液体静压支承的异同点	168
8.3 小结	174
附录 毛细管和小孔固定节流器	175
参考文献	176

第一章 名 词 术 语

1.1 名 词 术 语

静压支承 一对元件作相对滑动运动的支承机构，其中一元件对另一元件的载荷系由支承油垫与其相对表面间的流体压力所承受，而流体压力是由外界油泵所维持的。

油垫 静压支承表面上承受载荷的部分，其载荷主要是靠油垫油腔中的流体压力来承受。

油腔 静压支承油垫上开槽的部分，油腔中充满压力流体。

封油面 静压支承油垫上环绕油腔的部分，由具有一定宽度的狭长面所组成。封油面内缘边上的流体压力等于油腔压力，而外缘边上则常等于大气压。

封油面宽度 静压支承中环绕油腔的封油面的宽度。

间隙 静压支承的油垫封油面与被支承表面间的距离。

摩擦功率 静压支承封油面和被支承面间切线方向的相对运动引起流体膜的剪切，为维持这样的相对运动而消耗的功率称为摩擦功率。

节流器 在压力油源和静压支承油腔之间的固定阻尼或可变阻尼的液力阻尼器称为节流器。除非支承采用定量式供油系统，否则要使支承具有一定的刚度，就必须要有节流器。节流器不一定非单独做成一件不可，它可以在支承的进油路上做成任意形式。

毛细管节流器 一种有很长管道的节流器，其流动阻力

主要取决于流体粘度所引起的剪切应力。

小孔节流器 一种在极薄的板上开有小孔的节流器，其流动阻力主要取决于流体的惯量或密度所产生的直接应力（液静压力）。

1.2 符号的意义

A	面积单元
A	油垫面积
a	静压导轨油垫的外缘宽度；系数；推力静压轴承油腔的径向宽度
B	面积单元
b	静压导轨油垫的外缘长度
C	面积单元
C	系数
c	封油面宽度；环形节流器的平均径向间隙；流体的比热
D	面积单元
D	外径或大端直径
d	（前缀）微分符号
d	内径或小端直径；相对密度
$\frac{dT}{dh}$, $\frac{dT}{dx}$, $\frac{dT}{dy}$	静压导轨刚度或闭式倾斜导轨刚度
E	面积单元
e	环形节流器径向偏心量与平均径向间隙之比
F	面积单元
F	力
f	油腔内紊流流动的摩擦系数
G	面积单元

H	面积单元
h	支承间隙
k	常数
L	长度
l	毛细管节流器的长度
$\ln$	以 e 为底的对数
N	转速
n	油腔或油垫的个数
P	功率
p	压力
Q	流量
R	液体阻力
(Re)	雷诺数
r	半径
S	旋转轴承的轴向或径向刚度
s	非圆截面毛细管节流器的尺寸
T	力矩或推力
t	流体温度; 总的
v	相对滑动速度
$\bar{v}$	平均流速
W	径向载荷
w	非圆截面毛细管节流器的尺寸
X	垂直于 Y 和 Z 的坐标轴
x	X 轴方向的距离或尺寸
Y	垂直于 X 和 Z 的坐标轴
y	Y 轴方向的距离或尺寸
Z	垂直于 X 和 Y 的坐标轴

Δ	(前缀) 某数值的变化量
E	轴承形状系数, 见下列两项:
E_a	径向静压轴承的形状系数 $\frac{L p_a}{L_B}$
E_c	径向静压轴承的形状系数 $\frac{L p_c}{\frac{\pi d_B}{n}}$
η	在特定温度下的流体动力粘度
θ	角度
Ξ	闭式静压导轨一对油垫或一对止推轴承的阻力比 $\frac{\xi_1}{\xi_2}$
ξ	比值 $\frac{R_i}{R_o}$
π	圆周率
ρ	在特定温度下的流体密度
Σ	若干数值之和
Υ	闭式静压导轨一对油垫或一对止推轴承的面积比 $\frac{A_{v2}}{A_{v1}}$
ϕ	径向静压轴承的形状系数比 $\frac{L_B}{\frac{\pi d_B}{n}}$

1.3 符号的脚标

a	轴向的
(av)	平均的
B	轴承
c	圆周的; 毛细管的
d	设计值; 输出的
(ext)	外部的
f	流体摩擦
(fl)	侧面

<i>h</i>	高速的
<i>i</i>	输入的
(<i>int</i>)	内部的
<i>J</i>	轴颈
<i>L</i>	封油面
<i>l</i>	低速的
(<i>net</i>)	净的
<i>o</i>	输出的; 小孔
<i>P</i>	油腔
<i>p</i>	油泵泵吸
<i>R</i>	节流器
<i>r</i>	静止的
<i>T</i>	总的; 推力
<i>t</i>	过渡
<i>u</i>	最大的
<i>v</i>	有效的
<i>x</i>	沿 <i>X</i> 轴上的距离或相对 <i>X</i> 的角度
<i>y</i>	沿 <i>Y</i> 轴的距离或相对 <i>Y</i> 轴的角度
<i>z</i>	沿 <i>Z</i> 轴的距离或相对 <i>Z</i> 轴的角度
1	进油压力, 通常是相对回油压力而言的
2	油腔压力, 通常是相对回油压力而言的
3	回油压力, 通常就是大气压
(1)、(2)	等代表1#油垫、2#油垫等

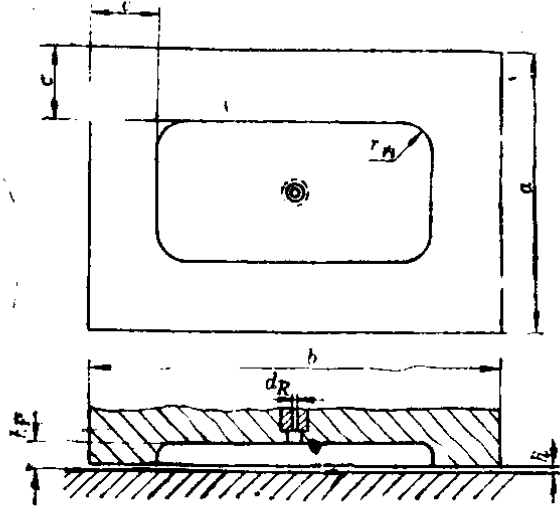


图1.1 矩形油垫各部尺寸的名称

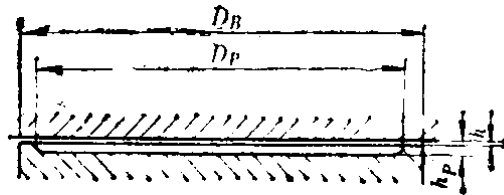


图1.2 圆形油垫各部尺寸的名称

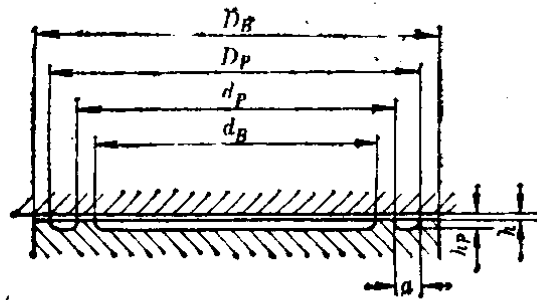


图1.3 环形油垫各部尺寸的名称

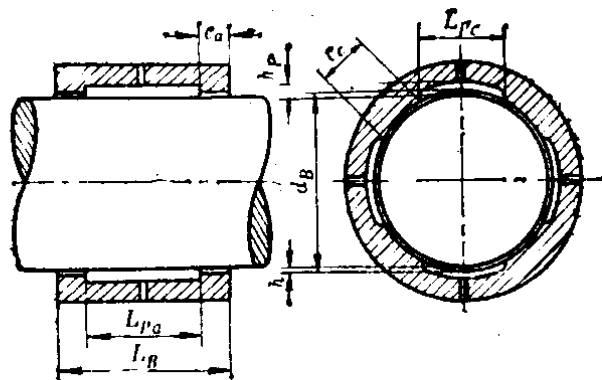


图1.4 径向静压轴承各部尺寸的名称

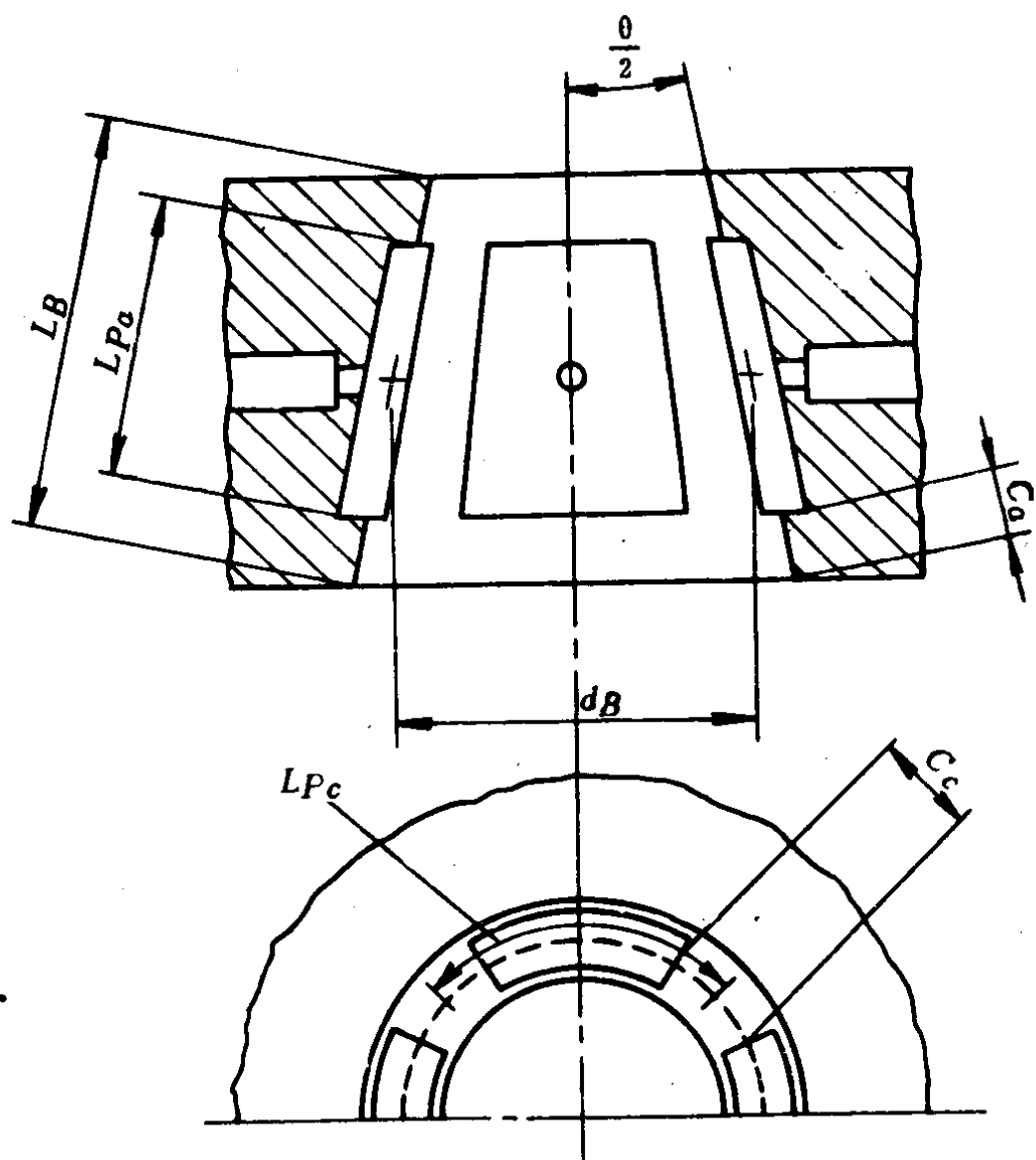


图1.5 圆锥静压轴承各部尺寸的名称

第二章 静压支承概述

2.1 静压润滑原理

液体润滑或气体润滑静压支承的工作原理虽然相同，但它们的性能和设计却有很多不同。本章先概要介绍这两种支承，以后再分别作详细的讨论（第三章至第七章讨论液体润滑静压支承，第八章讨论气体润滑静压支承）。

静压支承这个名词（Hydrostatic bearing）从字面上讲，是指用静压力水润滑的支承，现在这个词被用得更广义了，一般理解为指任何这样的支承：被支承件传递到支承件上的载荷是通过靠泵维持的流体膜（无论液体膜还是气体膜）的压力来承受的。而动压支承所需要的流体压力是靠被支承件与支承件间的相对运动产生的。尽管很多动压支承采用有压力的润滑剂，以及静压支承在高速工作时会产生某些动压作用（我们在后面将要谈到这种情况），但这两种支承的工作原理有着根本的区别，因此它们的工作特性也有极大的差别。

静压润滑主要有两种工作系统，即定压式供油系统和定量式供油系统，它们基本上是相同的。定压系统既可用液体润滑剂，也可用气体润滑剂，而定量系统只能使用液体润滑剂。因此，用定压系统解释静压润滑的基本原理最好。

（1）定压式供油系统

图 2.1 所示为定压式液体静压导轨的简单形式。它是有一个油腔的油垫，油腔周围具有封油面。油泵供给的定压液

体通过节流器至油垫，油垫设在上导轨面上，沿导轨面滑动。象这类油垫可用以支承磨床、铣床或镗床的工作台。后面将要谈到，支承这样的构件一般需要三个或三个以上的油垫，或一个油垫开三个或三个以上的油腔。

当机床要工作时，供给压力流体的油泵先启动，并在每个油垫的油腔内建立起压力，直至油垫在导轨上浮起。这是由于流体流过节流器和导轨后，产生了从进油压力 p_1 至最后的逸出压力 p_3

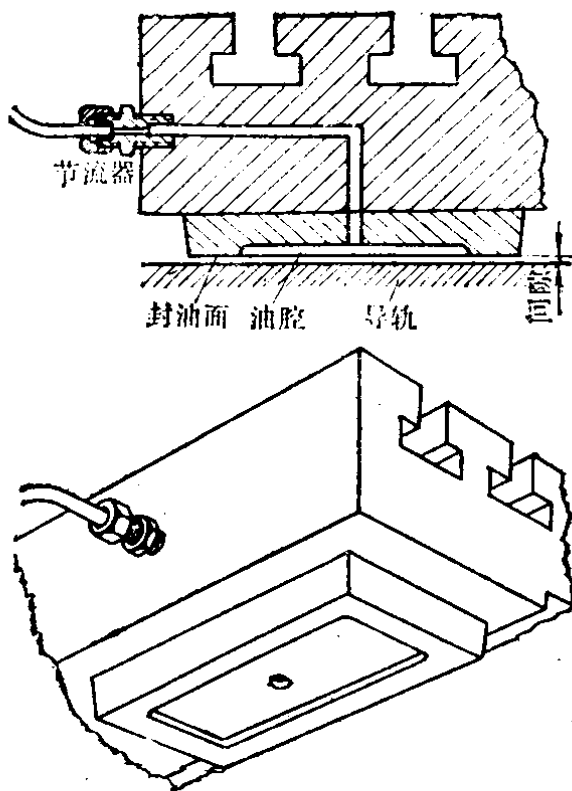


图 2.1 定压供油式静压油垫

间的压力降。封油面上的流体压力从内缘上的 p_2 逐步降到外缘上的 p_3 （在大多数情况下， p_3 就是大气压）。图 2.1 中的封油面下的间隙 h 为了清楚起见而放大了。

从 p_1 至 p_2 的压力降受两个阻力的联合作用控制，即油腔进油路上的固定节流器阻力* 和出油路上封油面间隙 h 形成的变化阻力。一定粘度的任何润滑剂在给定输入流量时，通过固定节流器后相应地有一压力降，因而有一个一定的 p_2 值。由于油垫的输入流量和输出流量相等，且输出流量取决于出油路上的各部尺寸和 p_2 值（ p_3 是不变的）。因此，流量、油腔压力和间隙相互依赖，使油垫在导轨面上浮起，并处于某

* 这里指的是固定节流的情形——译者

一平衡位置，在此位置上，流体的流动产生平衡载荷所需要的压力条件。如果封油面很窄，那么几乎所有的载荷均由油腔中的压力流体所承受，并且平均分布于其上。

通过节流器的流量愈小，压力降也愈小，因而 p_2 值增大。这样，如果由于载荷增加而减小间隙 h ，使流量减少的话，则由于 p_2 的增大仍能平衡载荷。反之，若载荷减小，则由于 h 增大而使 p_2 减小。通过适当的设计，能使 h 的变化量保持在极小的范围内。

载荷的变化对由此而引起的 h 值的变化之比值称为支承刚度，它是任何支承都具有的一个重要性质。机床和其他精密机械通常都要求有很高的支承刚度。

虽然图 2.1 的静压导轨谈的是规定采用液体润滑剂的情形，然而有关其工作原理的解释基本上也适用于气体润滑静压支承，只要把“油腔”、“封油面”等名词改成“气腔”、“封气面”即可。但和液体静压支承有一点不同的是，气体静压支承的气腔一般很小，或者根本就没有（这在第八章里将要谈到），进气孔周围的全部支承面积完全由封气面组成。在这种情况下，“气腔”实际上就只是进气孔，它在整个支承面积上所占的比例是微乎其微的，气压则是从进气孔的边缘朝支承的外缘逐步降落。这种情况的一个影响是承受载荷的支承面积利用率不高，因而气体支承要做得比液体支承更大一些。由于这个以及其他的原因，气体静压支承的承载力一般比相当尺寸的液体静压支承低。

图 2.1 中的毛细管节流器也可改用小孔节流器，小孔节流器和毛细管节流器的区别简单说来有如下几点：

1. 同相当细长的毛细管节流器相比，小孔节流器在流动方向上的长度短。