

# 液 压 伺 服 机 构

國 防 工 業 出 版 社

# 液 压 伺 服 机 构

张仲升 朱德孚 编译

国防工业出版社

## 内 容 简 介

本书是根据日本的《油压化设计》杂志刊登的“液压伺服机构入门”的讲座编译的。书中论述了液压伺服机构的有关理论和技术。

书中内容大致可分为四部分。其中第一部分论述了伺服机构的功用、原理和构造，并扼要地介绍了有关基本数学知识和自动调节理论。第二部分阐述了液压伺服机构各部分的特性，并应用自动调节理论进行了分析，对伺服机构回路种类、特性作了扼要介绍。第三部分叙述了伺服机构的设计和应用，介绍了位置、速度、力三种伺服系统的设计方法和实例。最后介绍了液压伺服机构的使用、调整和维护。

本书可供从事液压传动和液压控制的技术人员、工人及高等院校有关专业的师生参考。

## 液 压 伺 服 机 构

张仲升 朱德孚 编译

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

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

787×1092<sup>1</sup>/<sub>32</sub> 印张 7<sup>1</sup>/<sub>4</sub> 152 千字

1975年9月第一版 1975年9月第一次印刷 印数：00,001—28,800册

统一书号：15034·1421 定价：0.77元

## 出版说明

遵循伟大领袖毛主席关于“洋为中用”的教导，为适应我国液压技术发展的需要，我们编译出版了《液压伺服机构》一书，供读者参考。

本书是根据日本的《油压化設計》杂志1968年至1969年“液压伺服机构入门”讲座编译的。该讲座共刊登了十四期，除其中前二期（“伺服机构引言”，“所谓伺服机构”）以外，其它各期有关内容均编入本书，并归纳为五章。原文作者分别是：日经影片公司的室田倬；株式会社东京计器制造所的斎藤真司；株式会社东京计器制造所的山中武雄。

书中由浅入深地介绍了液压伺服机构的工作原理、基本特性及有关系统的应用与设计方法。其中第一、二章主要阐述液压伺服机构的概念、组成、工作原理以及液压伺服机构常用术语和有关数学知识，对自动调节理论亦作了扼要的介绍。第三章分析了液压伺服机构各部分的特性，列出了静态和动态方程，描述了六个典型环节的传递函数。第四章讨论了位置、速度、力三种伺服系统应用自动调节理论的设计方法，并引出了实例加以说明。第五章介绍了液压伺服机构的使用、调整和维护。

由于科学技术的不断发展，在工业上广泛地实现着自动化，自动控制系统和随动系统越来越多地被采用。伺服机构在这些系统中担负着放大和执行的双重任务。利用伺服机构

能使控制信号的功率放大很多倍，并可获得很大的操纵力。伺服机构按传递和变换能量的工作介质（电、液体、气体）可分为电动的、液压的、气动的三大类。由于液压伺服机构反应快，功率大，运动均匀、平稳，体积小，重量轻，因此得到广泛应用。另外，由于电气系统有其固有的优点，比如传输信号快，容易实现自动化及远距离控制，易于进行各种反馈（如位置、速度、力反馈等）来改善系统工作品质，因此在很多情况下采用电气-液压综合式系统。总之，液压伺服机构的研制工作已不容忽视，它对国防工业及民用工业的发展均有着重要的影响。

在编译过程中，对于原日文杂志中所存在的一些明显的技术性错误，我们进行了更正而未一一加注。由于我们水平所限，书中可能还存在不少错误及欠妥之处，希读者批评指正。

参加本书审校工作的还有鞠佟生、李培滋同志。

# 目 录

出版说明 .....	3
第一章 液压伺服机构概述 .....	7
§ 1.1 液压伺服机构的组成 .....	7
§ 1.2 液压伺服机构的运动过程 .....	22
§ 1.3 伺服回路的方块图 .....	35
第二章 液压伺服机构基础 .....	53
§ 2.1 伺服机构所用的术语 .....	53
§ 2.2 振动学的基本知识 .....	62
§ 2.3 微分方程式的解 .....	74
§ 2.4 传递函数及方块图 .....	89
第三章 液压伺服机构的特性与分析 .....	99
§ 3.1 液压伺服机构的基本特性 .....	99
§ 3.2 液压伺服机构元件的方程式与图示方法 .....	109
§ 3.3 构成液压回路的基本环节 .....	134
§ 3.4 液压伺服回路 .....	148
第四章 液压伺服机构的应用和设计 .....	160
§ 4.1 位置控制 and 设计实例 .....	160
§ 4.2 速度控制 and 设计实例 .....	183
§ 4.3 力的控制 and 设计实例 .....	210
第五章 液压伺服机构的使用 .....	222
§ 5.1 伺服阀系统的使用 .....	222
§ 5.2 伺服系统的调整 .....	228
§ 5.3 伺服系统的维护 .....	230

# 液 压 伺 服 机 构

张仲升 朱德孚 编译

国防工业出版社

## 内 容 简 介

本书是根据日本的《油压化设计》杂志刊登的“液压伺服机构入门”的讲座编译的。书中论述了液压伺服机构的有关理论和技术。

书中内容大致可分为四部分。其中第一部分论述了伺服机构的功用、原理和构造，并扼要地介绍了有关基本数学知识和自动调节理论。第二部分阐述了液压伺服机构各部分的特性，并应用自动调节理论进行了分析，对伺服机构回路种类、特性作了扼要介绍。第三部分叙述了伺服机构的设计和应用，介绍了位置、速度、力三种伺服系统的设计方法和实例。最后介绍了液压伺服机构的使用、调整和维护。

本书可供从事液压传动和液压控制的技术人员、工人及高等院校有关专业的师生参考。

## 液 压 伺 服 机 构

张仲升 朱德孚 编译

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

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

787×1092<sup>1</sup>/<sub>32</sub> 印张 7<sup>1</sup>/<sub>4</sub> 152 千字

1975年9月第一版 1975年9月第一次印刷 印数：00,001—28,800册

统一书号：15034·1421 定价：0.77元



## 出版说明

遵循伟大领袖毛主席关于“洋为中用”的教导，为适应我国液压技术发展的需要，我们编译出版了《液压伺服机构》一书，供读者参考。

本书是根据日本的《油压化設計》杂志1968年至1969年“液压伺服机构入门”讲座编译的。该讲座共刊登了十四期，除其中前二期（“伺服机构引言”，“所谓伺服机构”）以外，其它各期有关内容均编入本书，并归纳为五章。原文作者分别是：日经影片公司的室田倬；株式会社东京计器制造所的斎藤真司；株式会社东京计器制造所的山中武雄。

书中由浅入深地介绍了液压伺服机构的工作原理、基本特性及有关系统的应用与设计方法。其中第一、二章主要阐述液压伺服机构的概念、组成、工作原理以及液压伺服机构常用术语和有关数学知识，对自动调节理论亦作了扼要的介绍。第三章分析了液压伺服机构各部分的特性，列出了静态和动态方程，描述了六个典型环节的传递函数。第四章讨论了位置、速度、力三种伺服系统应用自动调节理论的设计方法，并引出了实例加以说明。第五章介绍了液压伺服机构的使用、调整和维护。

由于科学技术的不断发展，在工业上广泛地实现着自动化，自动控制系统和随动系统越来越多地被采用。伺服机构在这些系统中担负着放大和执行的双重任务。利用伺服机构

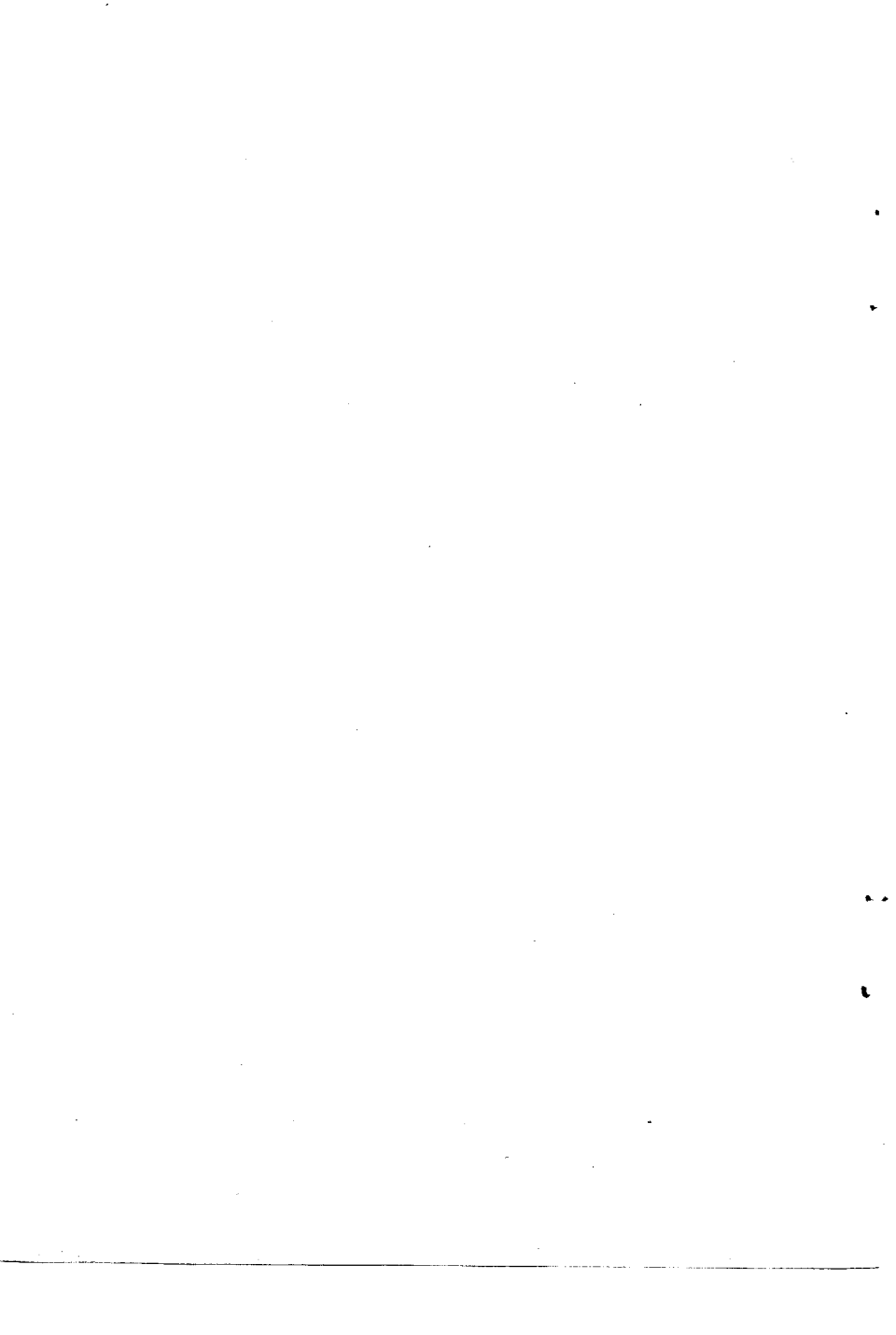
能使控制信号的功率放大很多倍，并可获得很大的操纵力。伺服机构按传递和变换能量的工作介质（电、液体、气体）可分为电动的、液压的、气动的三大类。由于液压伺服机构反应快，功率大，运动均匀、平稳，体积小，重量轻，因此得到广泛应用。另外，由于电气系统有其固有的优点，比如传输信号快，容易实现自动化及远距离控制，易于进行各种反馈（如位置、速度、力反馈等）来改善系统工作品质，因此在很多情况下采用电气-液压综合式系统。总之，液压伺服机构的研制工作已不容忽视，它对国防工业及民用工业的发展均有着重要的影响。

在编译过程中，对于原日文杂志中所存在的一些明显的技术性错误，我们进行了更正而未一一加注。由于我们水平所限，书中可能还存在不少错误及欠妥之处，希读者批评指正。

参加本书审校工作的还有鞠佟生、李培滋同志。

# 目 录

出版说明 .....	3
第一章 液压伺服机构概述 .....	7
§ 1.1 液压伺服机构的组成 .....	7
§ 1.2 液压伺服机构的运动过程 .....	22
§ 1.3 伺服回路的方块图 .....	35
第二章 液压伺服机构基础 .....	53
§ 2.1 伺服机构所用的术语 .....	53
§ 2.2 振动学的基本知识 .....	62
§ 2.3 微分方程式的解 .....	74
§ 2.4 传递函数及方块图 .....	89
第三章 液压伺服机构的特性与分析 .....	99
§ 3.1 液压伺服机构的基本特性 .....	99
§ 3.2 液压伺服机构元件的方程式与图示方法 .....	109
§ 3.3 构成液压回路的基本环节 .....	134
§ 3.4 液压伺服回路 .....	148
第四章 液压伺服机构的应用和设计 .....	160
§ 4.1 位置控制和设计实例 .....	160
§ 4.2 速度控制和设计实例 .....	183
§ 4.3 力的控制和设计实例 .....	210
第五章 液压伺服机构的使用 .....	222
§ 5.1 伺服阀系统的使用 .....	222
§ 5.2 伺服系统的调整 .....	228
§ 5.3 伺服系统的维护 .....	230



# 第一章 液压伺服机构概述

伺服机构大体上可分为电动式、气压式、液压式三类。本书以叙述液压式伺服机构为主。

## § 1.1 液压伺服机构的组成

### 一、什么叫做伺服机构

伺服机构是把人或机械的动作按其原来状态加以放大的机构。有时需要放大人的力气或放大超越人的动作速度及超过人们感觉的程度的机械动作。在某种场合下，还能够进行从地球到月球表面的远距离控制。

下面以常见的液压装置为例加以探讨。

比如，为了将重的货物升降并能停留于任意高度，以往往往用杠杆或滑车，而现在则可采用如图 1-1 所示的由作动筒和节流阀组成的液压装置机构。但采用这种方法使货物下降时，不如自由下落的速度快。这时，可采用图 1-2 所示的方法，在作动筒上接上两根管子，并采用四通或三通的换

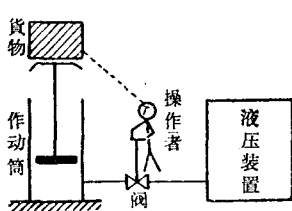


图 1-1 节流控制

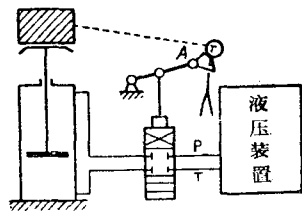


图 1-2 四通阀控制

向阀来代替节流阀。但是，上述二种方法都有不足之处，即是由于作动筒或阀渗油，货物不能维持在一定的高度。为使货物保持在一定位置，操作者必须经常进行观察和操作，不能离开现场。为此，可使用另外一种形式的机械（图 1-3），使杠杆固定点处于自由状态，把作动筒和阀连接起来（此时恰好导入杠杆原理），问题就解决了。这时，阀在换向过程中已不再象图 1-2 那样地动作，这就是伺服阀（阀的  $C_2$  通高压， $C_1$  通回油，货物就很快地上升）。这时，若将  $A$  点以某种方式固定起来，则操作者就可以暂时离开现场。现在，用手操作  $A$ ，货物就可自由停止在与  $A$  的位置相对应的任意位置上，且按照操作者的意图仅用少许力气即能使货物移动。按照这样的构造原理组合起来的机构，叫伺服机构。作动筒和杠杆相结合，称作反馈，通过电气来进行反馈者，称之为电液伺服机构。

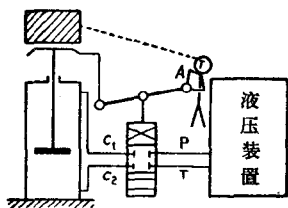


图1-3 反馈控制

$P$ —压力源； $T$ —回油。

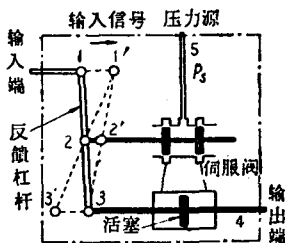


图1-4 伺服机构

最后，我们把图 1-3 改画成图 1-4 那样的装置，再来研究一下伺服机构的工作原理。图 1-4 的点划线所包括的整个部分，可以称作伺服机构。此装置的外部，有输入动作指令的输入端 1 和直接驱动负载的输出端 4，还有向伺服机构供

给能量的压力源 5。内部则有伺服阀、驱动作动筒(或马达)以及反馈装置(机械式有杠杆,电气式有传感器和放大器)。输入端 1 向 1' 移动,则 2 以 3 为支点向 2' 移动,2-2' 的长度暂时成为记忆的形式。在 2 向 2' 移动的同时,因伺服阀向右侧换向,所以压力油流入作动筒的右腔,而左腔内的油则向外流。因此,由于作动筒的压差而产生力,使初始的 3 点向 3' 点移动,活塞则向左侧移动。其结果,以 1' 点为支点,2' 点在返回 2 的位置之前一直连续动作(因为 1' 点用手固定的缘故)。换句话说,输出端的输出 3-3' 的长度尺寸大于输入端的输入 1-1' 长度尺寸。只有当 2 点位于连杆中点时 1-1' 的尺寸才和 3-3' 的尺寸相同。

液压伺服机构大体上由下列四个部分组成:反馈用的杠杆或传感器(将输出端反馈到输入端);比较机构(杠杆的中点或电气装置);液压伺服马达(伺服阀和作动筒);液压源。

## 二、传感器和反馈机构

再回过头来看看图 1-1 和图 1-2,在非伺服机构的情况下,操作者的眼睛检测着货物的移动情形,人可以读出手的动作和货物移动的刻度,用肉眼测定位置而进行操作。在伺服机构中,为使这种测定机械化,附加上了反馈杠杆。利用电气传感器进行此项工作时,所测量的值是容易计算的同一单位的量(例如电压),所以传感器常常可采用将输入动作转换为电气和将作动筒的动作转换为电气两种。然而,输入所用传感器和反馈所用传感器并没有区别。

将位移量转换为电压量常常使用电位器(图 1-5)或差动变压器(图 1-6)。这里通常使用精度高的绕线型电位器(图 1-5),其两端加电压  $E$ 。 $M$  代表中间的活动电刷, $M$  和

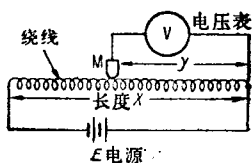


图1-5 电位器

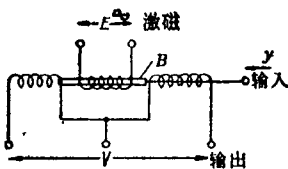


图1-6 差动变压器

另一端之间放一个电压表  $V$ 。以  $X$  代表电位器绕线部分的长度，以  $y$  代表从电位器一端到  $M$  的长度，移动  $M$  时的电压表的读数为

$$V = ky$$

式中  $k$  为比例常数。而

$$E = kX$$

所以

$$V = \frac{y}{X} E$$

电压  $V$  与  $M$  的位置变化成比例。将  $M$  连接在作动筒或输入端，以电压表示位移量，就可进行比较。

图 1-6 是差动变压器的例子，两端的线圈以相反的绕线方向而连接在一起。向中间的线圈接交流电源  $E$ 。当铁芯  $B$  在线圈中间位置时，线圈两端间不产生任何电压；但当铁芯偏移时，则两线圈产生电压差，从而出现电压  $V$ 。电压  $V$  的大小与  $y$  的偏移成比例，方向由输出波形的相位的正反相来决定，如图 1-7 所示。

测定回转角，使用回转型的电位器或同步器、回转型的差动变压器等。回转型电位器有一次回转用或数次回转用的，其原理与前面所

图1-7 线圈上所  
产生的电压



叙述的直线型相同,所以这里不再叙述。同步器原理图如 1-8 所示,在  $A$ 、 $B$  两端连接交流电源,在磁路上就产生如虚线

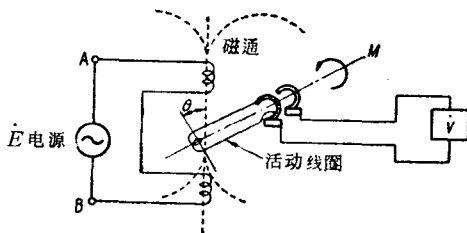


图 1-8 同步器 (表示单相)

所示的磁通,将活动线圈放在中间,它就接收磁通而产生交流电压。设活动线圈上的转子轴转动 $\theta^\circ$ ,则产生电压为

$$\dot{V} = k \dot{E} \sin \theta$$

式中  $k$  —— 比例常数;

$\dot{E}$  —— 电源电压。

当  $\theta$  很小时,可写成  $\dot{V} = k \dot{E} \theta$ 。交流电的方向可根据图 1-7 所示的正反相来决定。

以上伺服机构是用作位置控制的装置。当采用输出为控制速度或控制力的伺服机构时,采用将速度转换成电压或将力转换成电压的传感器。

图 1-9 是速度传感器。(a) 图是旋转运动用马达的形式,(b) 图是直线运动用的。磁铁在绕线内旋转或移动产生线圈电压。(a) 图旋转速度在很宽的范围内和电压成比例。

图 1-10 是力应变式的传感器,根据应变来读出电阻的