



电液伺服机构基础与应用

[日] 长谷川 泰弘

33.4

黑龙江省煤炭科学研究所
黑龙江省煤矿设计院

内 容 简 介

电液伺服机构是一门新技术，属于自动控制的范畴，是机械工业自动化不可缺少的组成部分。十几年来国外在各种机械上已经开始广泛地应用并取得了迅猛地发展，国内亦开始大力研究和积极推广使用。

电液伺服机构是通过电气指令信号来控制液压元件进行执行和放大的一系列机构，其中也包括速度、压力、负荷的控制。

本书的内容包括电液伺服的原理概念、电液伺服机构的构成、伺服系统所需各种元件的特性、电液伺服的特性及其设计、定位伺服的精度及其高精度化、开回路开环及闭回路闭环的特性及其计算等基础知识和电液伺服在各种机械上的具体应用。

本书的内容在基础知识方面简明易懂，在实际应用方面亦进行详细具体地论述。本书可供工科院校师生和现场工程技术人员学习和参考。全书共分十四章。

本书译自《油空压化设计》1977年3月~1978年4月刊。

目 录

第一章 什么是电液伺服——原理、机能与性能界限

1、引 言	1
2、电液伺服原理	1
3、电液伺服的动作	2
4、电液伺服的回路增益及性能	4
5、电液伺服的性能界限	6

第二章 电液伺服的构成及各装置的特征

1、引 言	8
2、电液伺服的构成	8
3、指令装置	9
4、伺服放大器	10
5、伺服放大器的特性	11
6、换能装置	11
7、液压缸	12
8、液压马达	13

第三章 电液伺服的构成及元件的特性——检测器的特性及使用方法

1、引 言	15
2、检测器	15
2.1 电位器	16
2.2 同步传送器(同步机)	19
2.3 同步分析器	20
2.4 差动变压器	20
2.5 编码器	21
2.6 速度检测—转速表传感器	21
2.7 压力检测器	24
2.8 负荷(力)、加速度检测器	24
3、选择什么样的检测器	24
4、典型检测器及其使用方法	24

4.1 电位器	24
4.2 差动变压器	25
4.3 转速表传感器	26

第四章 电液伺服阀

1、引言	26
2、为什么必须使用伺服阀	27
3、伺服阀的特性	29
3.1 输入电流~输出流量特性曲线	29
3.2 响应性	30
3.3 伺服阀的中立点压力增益	30
3.4 伺服阀的输入电流~输出流量特性与中立点压力增益的关系	32
4、伺服阀的构造	34

第五章 电液伺服阀(续)

1、引言	35
2、伺服阀的构造	35
2.1 伺服阀的基本构成	35
2.2 力矩马达	35
2.3 喷嘴挡板机构	36
2.4 先导阀	38
2.5 先导阀的相对尺寸及输入电流~输出流量特性	39
2.6 先导阀的位移量及输出流量	41
3、先导阀的定位方式——压力反馈方式	42
4、伺服阀的中立点偏移	43

第六章 电液伺服的应用

1、引言	45
2、电液伺服的分类	45
2.1 程序控制	45
2.2 定距控制	45
2.3 随动控制	45
2.4 仿形控制	45
3、电液伺服的应用	46
3.1 金属加工机床	46

3.2 机械手	52
---------	----

第七章 电液伺服的设计

1、引言	54
2、电液伺服设计的程序	54
3、定位伺服的设计基础	55
3.1 液压缸的最大推力、最大速度	55
3.2 伺服阀的容量	56
3.3 液压源的规格	57
3.4 电液伺服的性能	58
3.5 求定位精度的方法	59

第八章 回路增益的计算

1、所谓回路增益	61
2、回路增益及伺服机构的稳定性	62
3、为什么发振	63
4、液压缸的积分特性及其内容	65

第九章 定位控制系统的精确设计

1、引言	68
2、计算功率	68
2.1 用正弦波驱动时的负荷线图	69
2.2 负荷线图与伺服阀的 $p_i - q$ 特性	70
2.3 将弹性负荷进行正弦波驱动时的负荷线图	73
2.4 将惯性负荷进行正弦波驱动时的情况	73
2.5 加摩擦力的情况	74
2.6 具有粘性负荷的情况	74
2.7 伺服阀不呈正弦波运动的情况	74

第十章 液压缸~负荷系统的特性及电液伺服的开、闭回路特性

1、引言	76
2、由液压缸和负荷质量所产生的 2 次滞后系统	76
3、伺服放大器的频率特性	81

4、伺服阀的频率特性	81
5、检测器的频率特性	82
6、回路传递特性	82

第十一章 开回路（开环）的传递特性与闭回路（闭环）的传递特性及控制性能的计算

1、引言	83
2、采用尼科耳线图，由开回路特性求闭回路特性	83
3、静精度	86
3.1 伺服阀中立点偏移所造成的控制误差	88
3.2 伺服阀输出流量特性的非直线性等所造成的误差	90
3.3 伺服放大器的漂移所造成的误差	91

第十二章 定位伺服的动精度及速度伺服

1、定位伺服的动精度	92
2、阶跃输入时定位伺服的响应	92
3、波形精度	94
3.1 伺服阀流量特性的非直线性所造成的波形误差	95
3.2 伺服阀中立点压力增益的非直线性所造成的波形精度降低	97
3.3 由伺服阀产生的噪音	98
4、速度伺服	99

第十三章 压力伺服

1、引言	103
2、压力伺服的形态	103
2.1 采用压力伺服阀的方式	103
2.2 流量控制阀的先导阀为负重叠的方式——负重叠阀	104
2.3 流量控制伺服阀的压力控制	106
3、采用流量控制伺服阀的压力伺服	106
3.1 原理	106
3.2 蓄压器的压力控制	108
3.3 将伺服阀当作3通阀使用的压力控制	108
4、压力伺服的设计	109
4.1 采用弹簧的压力伺服	109
4.2 采用蓄压器方式的压力伺服	111

4.3 采用 3 通阀方式的压力伺服..... 111

第十四章 定位伺服的高精度化

1、定位伺服的高精度化..... 112

2、元件性能的提高..... 112

 2.1 伺服放大器..... 112

 2.2 液压缸..... 113

 2.3 检测器..... 113

 2.4 伺服阀..... 116

3、伺服机构的改进..... 117

4、采用速度反馈改进性能..... 118

5、采用双（2级）增益伺服阀的方式..... 120

附 表..... 123

第一章 什么是电液伺服

—— 原理、机能与性能界限 ——

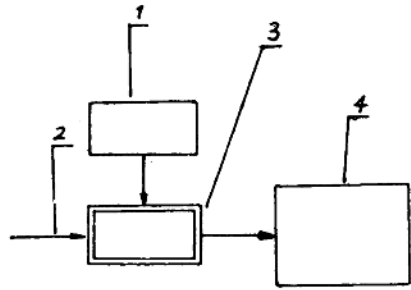
1、引言

电液伺服机构（以下简称电液伺服）就是通过电气的指令信号来控制运动物体位移的一系列机构，其中也包括所控制的速度、压力、负荷在内，统称为电液伺服（图1）。

电液伺服的本身及其技术是个新生事物，大约是15年前在日本国内开始应用到机械工业中。后来，由于在应用上异常迅速地发展，更加推进了这一技术的高性能、高稳定化。

任何东西都要量材使用，电液伺服技术如能应用得当，就能发挥它的良好性能。当然也是有其界限和缺点的。

就机械工业自动化专业不可缺少的电液伺服，将分十几章广泛地论述其原理、应用、设计方法、调节方法等。论述的内容在基础知识方面简明易懂，在深度方面亦进行详细地具体论述。



(1) 能源（液压发生装置） (2)（电气指令信号） (3) 电液伺服 (4) 负荷（要控制的装置）

图1 电液伺服的构成

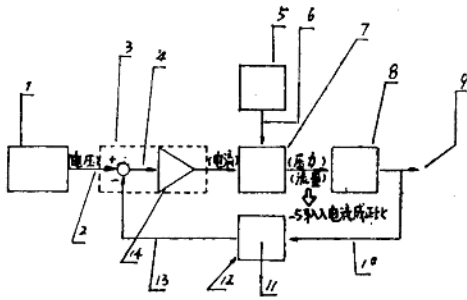
2、电液伺服原理

如图1所示，输入一个电气信号，就能得到对应于电气信号的位移和速度等，这就是电液伺服原理。

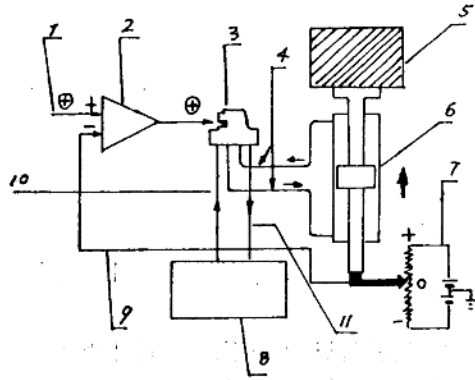
其主要由下述几方面构成：

- (a) 输出装置—即换能装置：液压缸；液压马达；摆动马达。
- (b) 输给换能装置高压流体的电液变换元件—电液伺服阀（以下简称伺服阀）。
- (c) 输给伺服阀能量的装置—液压发生装置。
- (d) 输给伺服阀控制电流的装置—伺服放大器。
- (e) 从负荷（要控制的对象）的位置提供电气信号的装置—位置检测器。

将上述进行图解，即如图2所示那样。在指令信号发生装置中，如何控制负荷呢？办法就是产生想要控制的信号。将此信号供给伺服放大器的输入部分，计算出指令信号与反馈信号（将控制负荷的动作通过检测器输给的电气信号）的差，将这个差进行电力放大并输给伺服阀。伺服阀输出与电流成比例的高压流体，使换能装置运动。



(1) 指令信号发生装置 (2) 指令信号
(3) 伺服放大器(虚线内) (4) 误差
进行减法计算及放大
↓
信号(指令信号—反馈信号) (5) 液压
发生装置 (6) 高压流体(工作油)
(7) 伺服阀 (8) 换能装置 (9) 输出:
位移、速度、负荷(10) 输出值(11)
检测器 (12) 将输出值变成电气信号
(13) 反馈信号(电压) (14) 放大回路
图2 用方块图表示电液伺服的构成



(1) 电气指令信号 (2) 伺服放大器 (3) 伺服阀 (4) 负荷管路 (5) 负荷 (6) 液压缸 (7) 电位器 (8) 液压发生装置 (9) 由电位器来的反馈信号 (10) 供油管(供给连续的高压油) (11) 回油管
图3 电液伺服的构成

换能装置以与伺服阀输出的高压流体的流量成比例的速度运动,产生与高压流体成比例的力。

连接换能装置一端的负荷,即要控制的负荷。将从负荷或换能装置来的反馈信号馈送到伺服放大器中。

图3是定位电液伺服的例子。换能装置采用液压缸,位置检测器采用电位器。

3、电液伺服的动作

负荷是怎样模拟电气指令信号而动作的呢?现在用图3进行详细地说明。

首先,电气指令加给伺服放大器。伺服放大器就将与电气指令信号成比例的输出电流加给伺服阀。更确切的说明如下:

这个放大器是完成直流放大的直流放大器的一种,在放大器上带有高频振荡信号的振荡器以及补偿回路的电液伺服独特回路。在接收部分设有普通的加法回路,检出指令信号与反馈信号的差而进行放大。

在图2、图3中,检出指令信号与反馈信号的差与减法计算一样,如使反馈信号作为逆向极性进行加法计算时,其结果与减法计算的结果一样。

在伺服放大器中,检出指令信号与反馈信号的差(该差叫做误差信号),将该误差信号进行电力放大并输给伺服阀。

伺服阀,以往叫做电液变换元件,在具体结构上,安装面有4个油孔,其中的一个油孔接液压源来的高压,连续地供给压力油。与其对称的一侧是回油孔,从液压源来的高压流体由伺服阀进行控制并经过其余两个负荷油孔到负荷去,循环并返回到回油孔,回到液压源的油箱里。

当把伺服放大器来的电流输给伺服阀时，伺服阀将与输入电流的大小成正负比例的高压流体即液压工作油送到液压缸。

液压缸以与伺服阀来的控制流量成比例的速度运动。用液压缸的一端驱动负荷，用另一端驱动电位器。电位器直接连接负荷或连接在负荷和液压缸之间。

今假定由指令信号来的正信号输给伺服放大器，再输给伺服阀正电流，从伺服阀排出的流量沿着图3的箭头方向流动，液压缸也随其向同图的箭头方向移动。

在电位器的两端连接着电池，如图所示，上边为正，中间为0，下边为负。

当输给正指令信号时，液压缸沿着与输给伺服阀的电流大小成比例的方向移动，电位器的电压（反馈电压）渐渐向正方向增大。

该反馈信号进入到伺服放大器，对照指令信号检测出其误差，再进行放大，构成如前所述的伺服阀输入电流的原理。

当反馈信号逐渐变大时，指令信号与反馈信号的差即误差信号反而逐渐变小，伺服阀的流量就随着液压缸的箭头方向的移动速度亦逐渐变小。

虽然如此，当液压缸每稍微移动、指令信号与反馈信号相等时，则误差信号为0，伺服阀的流量也同样为0，液压缸也就停止了。

如设指令电压为 e_i 、反馈电压为 e_f 时，液压缸的停止条件为：

$$e_i - e_f = \varepsilon = 0 \quad \dots\dots (1)$$

(ε : 误差信号)

这里主要表示 e_i 和 e_f 相等时的情况，

另外，如设电位器的位移为 y ，则位移和电位器的输出电压 e_f 的关系如下：

$$e_f = K_p y \quad \dots\dots (2)$$

(K_p : 比例常数，单位：伏/厘米， e_i 、 e_f 的单位为伏， y 的单位为厘米)

由 (1)、(2) 式得：

$$e_i = K_p y \quad \dots\dots (3)$$

因 K_p 值在一定范围内不变，所以电位器的位移 y 在最终指令电压 e_i 中模拟。例如设：

$$K_p = 1 \text{ 伏/厘米}$$

若输给 1 伏的指令信号，则电位器的电刷就移动到 1 厘米处停止。若输给 2.5 伏的指令信号，则电刷移动到 2.5 厘米处停止。

以图3为例，由于电位器直接连接液压缸，液压缸和电位器同样进行运动，所以液压缸就以这种关系而运动。

若液压缸和电位器的关系不是 1 对 1，而是如图4所示的 1 对 n ，则液压缸的位移 y 和指令信号 e_i 的关系为：

$$y = ne_i / K_p \quad \dots\dots (4)$$

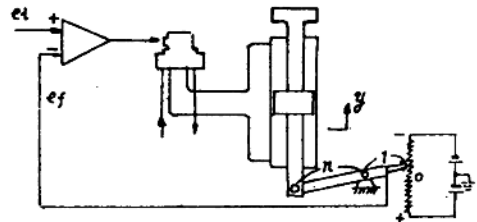


图4 换能装置与电位器的电刷之间的杠杆比为 1 : n 时， $y = ne_i / K_p$

总之，要记住，当指令信号 e_i 和电位器的电压 e_f 相同时，换能装置就停止了。

图 5 表示最初突然输给一定的指令信号（叫做阶跃输入）时，电液伺服回路的各部信号变化的图解。

电位器直接连接液压缸，并且电位器的电刷初始位置为 0。当指令电压 e_i 输给伺服放大器的输入端时，以放大率 K_A 进行放大，并将 i 的输出电流输给伺服阀。伺服放大器通常是饱和状态，超过某一数值就没有输出。然而这里的伺服放大器为不饱和状态。

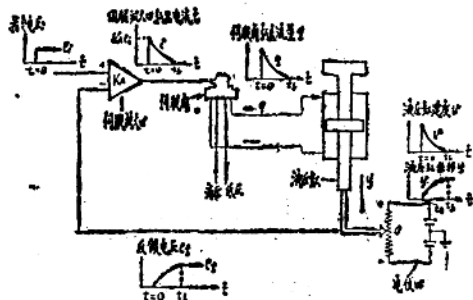


图 5 阶跃输入时回路各部信号的变化

另外，伺服放大器的输出信号，也可以用电压代替电流来表示。电压和电流关系是：

$$\text{输给伺服阀的电压 } e_s = \text{伺服阀线圈的电阻 } R \times \text{通过伺服阀的电流 } i \dots\dots\dots (5)$$

但是，一般伺服阀是由供给伺服阀的感应电流来动作，对于供给电流值的性能都有规定，因此，通常用电流值来表示。

仅在最初的瞬间，伺服放大器的输出电流是 $K_A e_i$ ，之后进入伺服阀→液压缸→电位器，反馈电压 e_f 也随之产生，由于反馈电压衰减指令电压，伺服放大器的输出电流也逐渐下降。

同时，液压缸的速度 v 也如图所示逐渐下降，但要注意位移 y 仅局限在 $v = 0$ 的范围内不断增大。

上面说明了电液伺服的构成与动作原理，下面就电液伺服的回路增益和性能尤其是精度等概念再进一步说明。

4、电液伺服的回路增益及性能

不仅是电液伺服，就是在一般的伺服机构中，回路增益的概念与实际计算的方法，最主要是予测伺服的性能、静精度误差方面。

设计电液伺服，为满足被给定的规格，要做到以下几点：

- (1) 讨论控制方法
- (2) 确定机构部分的梗概
- (3) 确定采用电液伺服装置的种类、型式
- (4) 确定它们的规格
- (5) 按着其伺服的稳定性、计算出回路增益
- (6) 予测性能——动精度（波形精度、噪音等）和静精度（位置误差、漂移）

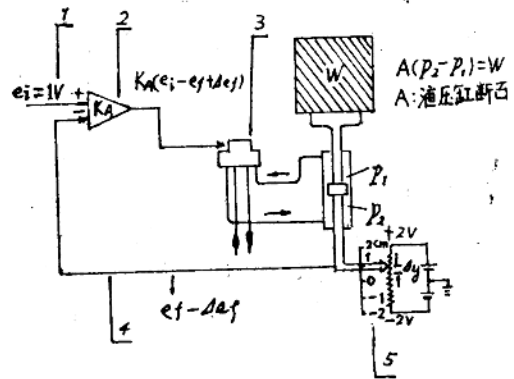
从这些结果中如能满足规格，就勿须重新讨论规格，再将（1）～（6）反复分析，在可能的限度内，要考虑成本，设计出最佳的电液伺服。

将重物加在液压缸上，如图6所示，因输给的指令电压 $e_i = 1$ 伏，电位器增益常数为1伏/厘米，所以结果是液压缸移动1厘米即停止。这时，指令电压是 e_i ，反馈电压是 e_f ，并且两者的值相等。

在这种状态下，如设加在液压缸上的负荷重量为 W ，活塞则因其重量降到下方。如设下降量为 Δy ，则由此而产生的反馈电压 e_f 为 $e_f \rightarrow (e_f - \Delta e_f)$ 而只降低 Δe_f 。

因指令电压 e_i 为一定，所以伺服放大器内部的误差信号 ε 为：

$$\varepsilon = e_i - (e_f - \Delta e_f) = \Delta e_f \quad \dots\dots (6)$$



(1) 指令信号 (2) 伺服放大器 (3) 伺服阀 (4) 反馈信号 e_f (5) 电位器

图6 液压缸加载时电液伺服的动作

再用 K_A 进行放大，去伺服阀的控制电流为 $K_A \Delta e_f$ 。该 $K_A \Delta e_f$ 则能把活塞推到上方并产生向下的反作用。

换言之，当液压缸所加的负荷为 W 时，为了产生抵抗 W 的压力（此压力称为负荷压力） $P_2 - P_1$ ，将伺服阀必需的输入电流设为 Δi ，该 Δi 是直接由活塞下降量 Δy 产生出来的结果，只因有下降量 Δy ，所以液压缸能够抵抗负荷 W 。

根据上述关系，如设电位器的增益常数（所需要的比例常数）为 K_P ，则表示如下：

$$W = A(P_2 - P_1) \quad \dots\dots (7)$$

(A : 活塞有效承压面积)

$$P_2 - P_1 = K_V \Delta i \quad \dots\dots (8)$$

(K_V : 伺服阀的增益常数公斤/厘米²/毫安)

$$\Delta i = K_A \varepsilon = K_A [e_i - (e_f - \Delta e_f)] \quad \dots\dots (9)$$

在定位结束时（叫定形状态）， $e_i = e_f$

故
$$\begin{aligned} \Delta i &= K_A \Delta e_f \\ \Delta i &= K_A K_P \Delta y \end{aligned} \quad \dots\dots (10)$$

将(7)~(10)式进行整理后得：

$$W = A K_V K_A K_P \Delta y \quad \dots\dots (11)$$

负荷 W 及由此而产生的活塞下降量 Δy 为：

$$\Delta y = \frac{W}{A K_V K_A K_P} \quad \dots\dots (12)$$

与负荷 W 成正比，与 $A K_V K_A K_P$ 成反比。

假如没有原来的负荷，液压缸只位移1厘米，指令信号准确，但由于负荷 W 产生下降量 Δy ，因此造成静误差——位置误差。

在(12)式中,分母 $AK_vK_AK_F$ 分别是液压缸的断面积、伺服阀的增益常数、伺服放大器的放大率、电位器增益常数的积,将此称为回路增益。

所谓回路增益,就是伺服机构系统(回路)传递函数(各装置的特性)里增益的积。但要根据所要求的控制或着眼的对象进行变化,比如,与其有关的各装置的增益常数要根据伺服阀及输出流量/输入流量或负荷压力/输入电流而变化。

象(12)式所表示的那样,误差 ΔY 是与回路增益 $AK_vK_AK_F$ 成反比,不能说哪个大哪个小,而只能从整体上认为其积是大或小。

如将回路增益 $K_L = AK_vK_AK_F$ 逐渐变大时,误差始终与回路增益 K_L 成反比例而变小。故若使负荷 W 产生的误差变小,可以将回路增益 K_L 连续不断地增大。但太大时不稳定,易产生振动。

回路增益在哪一段取,要根据液压缸的形状、所加的负荷、伺服阀的动特性、伺服放大器的动特性(亦称频率特性)等来确定。如何确定,要在以后叙述。

要使回路增益 K_L 逐渐上升,必须提高各部的输出/输入之比,因动作敏锐,产生如图7所示的超调(超越)现象。如继续使回路增益上升,接着便开始振动不止。

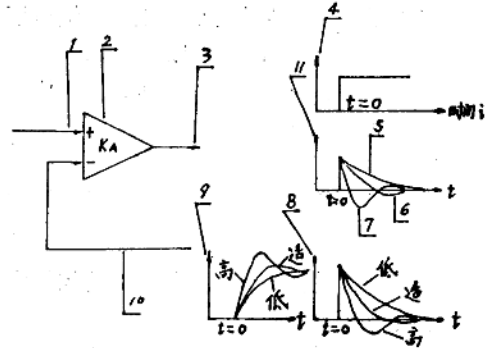


图7 电液伺服回路增益高时产生超调现象
(1)指令信号(2)伺服放大器(3)伺服阀电流*i*(4)指令电压(5)回路增益低(6)回路增益适当(7)回路增益高(8)伺服电流*i*(9)位移*y*或反馈信号 e_r (10)反馈信号

5、电液伺服的性能界限

电液伺服对于位置、速度、压力、负荷等是一种很好的控制方式,但无论如何其特性是有界限的。所涉及的界限或界限的主要原因等是为了有效地使用电液伺服。

首先在表1中列举了电液伺服的优点及缺点。优点(1)~(4),是电液伺服的本质。主要缺点是(1)~(2),(1)是成本高,(2)是可靠性降低。

那么,性能界限是在何处由什么原因产生的呢?降低性能的主要原因举例如下:

- (1) 指令装置的设定精度, S/N 比
- (2) 伺服放大器的直线性、漂移、频率特性、 S/N 比
- (3) 伺服阀的直线性(滞后现象、包括非灵敏区)、压力增益(后述)、中立点偏移、频率特性、 S/S 比
- (4) 液压缸、换能装置的摩擦力、池漏
- (5) 检测器的直线性、漂移、分辨率、频率特性
- (6) 换能装置——管路间工作液的压缩性和由负荷质量产生的频率特性(后述)

以上是主要原因。指令装置的设定精度、伺服放大器的漂移、伺服阀的压力增益、中立点的偏移、换能装置的摩擦力、池漏、检测器的直线性及漂移等,都反映在定位控制的误差中。

各元件的 S/N 比、变化较快的漂移等，是造成定位时的误差及波形精度降低的原因。各元件的频率特性，直接关系到电液伺服的频率特性（响应性）。电液伺服回路的频率特性，都与定位控制的位置精度、波形精度有密切关系。

因为指令装置的设定精度、漂移，噪音是信号的一部分，所以无论如何良好的电液伺服，也不能将这些信号排出，越是良好的伺服，越是如实的表现在负荷侧。

关于检测器，这种装置输出的反馈信号是为了检测负荷的状态是否准确地模拟指令信号。所以检测器如产生误差，则与指令信号同样，完全变成表现在负荷侧的误差。

关于电液伺服的代表例及其性能界限虽然简单的叙述一下，然而如前所述，电液伺服的静、动特性是通过各元件所具有的各种各样的原因来分析比较的，因此是根据构成伺服装置的规格、性能来分析产生一定差距的原因。

电液伺服应用的主要实例：

NC 机床：最大速度 6 米/分，精度 0.01 毫米

工业用自动装置：最大速度 2 米/秒，精度 0.5 毫米

振动试验机：频率响应 50 赫芝

材料定值切断：精度 0.1 毫米

表 1 电液伺服的优点和缺点

优 点	缺 点
<ol style="list-style-type: none"> 1、由于使用高压流体，故可以实现体积小功率大 2、驱动伺服阀的伺服放大器，输出功率大、结构简单。 3、由于采用压缩性极小的工作油，故响应性好、精度高。 4、利用流体使换能装置移动或运动，故可采用分离安装 5、工作油的压缩性小。故没有破裂的危险 	<ol style="list-style-type: none"> 1、产生高压流体就需要有产生能源的液压发生装置，液压发生装置产生噪音， 2、由于采用工作油，故油中含有的尘埃能引起伺服阀产生故障。 3、为避免工作油池漏，故需加强密封。 4、由于伺服阀中立点偏移而造成精度低、漂移，同时，液压缸的摩擦力亦降低波形精度。 5、存在伺服阀摩擦、工作油劣化的现象。

结 语

本章论述了什么是电液伺服、做什么用的、其方法是什么等等，并对其概念、优点和缺点以及性能界限加以论述，更详细的内容要在以后各章论述。

第二章 电液伺服的构成及各装置的特性

1、 引 言

前一章着重论述了电液伺服的概念。本章将通过指令装置、伺服放大器及换能装置论述电液伺服究竟由什么样装置构成、需要什么样的特性、以及它们的特性与所控制的性能关系是什么。

在电液伺服中，由于伺服阀的设计及其性能不佳，因而严重地影响了电液伺服的性能，这个问题在以后各章论述。指令装置是产生控制电液伺服信号的装置，与电液伺服的性能无关，所以只略提一下。

2、 电液伺服的构成

电液伺服由图1所示的指令装置、伺服放大器、伺服阀、液压发生装置（液压元件）、换能装置、检测器构成。

电液伺服与单纯的机械、电气、电子的控制不同，需要综合电气、机械、液压这三个方面才能构成装置，因此需要具有对于方案、设计、加工这三个方面有关的知识。

电气信号→液压能、液压能→机械运动、机械运动→电气信号与信号传递形式不一样，所以电液伺服较为复杂。

关于电液伺服的动作及有关概念在前一章已进行论述，如再通过2~3章稍加详细地论述一下电液伺服，我们就会有相当深刻的体会。

关于构成电液伺服的装置的用途，在此再简单说明一下。

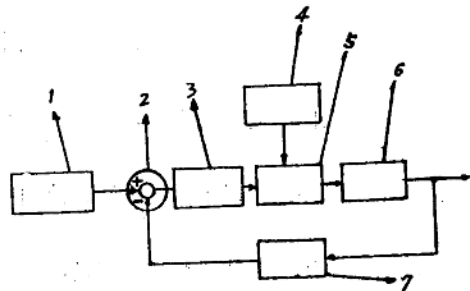
(a) 指令装置——指令负荷运动（控制量）的装置（输出是电压）

(b) 伺服放大器——完成指令电压和反馈电压的差（误差信号）的电气运算，将误差信号放大并输给伺服阀（输出是电压或电流）。

(c) 伺服阀——输出由伺服放大器给定的电压或与电流成比例的高压流体（液压工作油）。

(d) 液压源——作为电液伺服的能量，将一定压力的高压流体连续地供给伺服阀。

(e) 换能装置——利用伺服阀输出的流体驱动负荷。



(1) 指令装置 (2) 重合点 (3) 伺服放大器 (4) 液压源 (5) 伺服阀 (6) 换能装置 (7) 检测器

图1 电液伺服的构成

(f) 检测器——将换能装置或负荷的位移（角度、速度、转数）以及换能装置的驱动力或伺服阀对于负荷所加的压力等变成电气信号。

照片1是采用液压缸作为换能装置，采用电位器这一位置检测器进行定位而构成电液伺服的例子。

在这个例子中，液压源和指令装置是主要的，下面论述有关的各种元件。

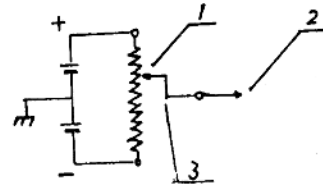


照片1 换能装置采用液压缸、位置检测器采用电位器的电液伺服的构成例。

3、指令装置

指令装置就是产生指令信号的装置。在通过手控产生设定电压的场合中。电位器和刻度盘组合使用。如将位置及速度标定在某一点时，一般采用图2所示的回路。

低频振荡器，是发出普通的0.01—10千赫的正弦波、矩形波、三角波以及锯齿波的振荡装置。应用这种装置的目的，是为了将类似疲劳试验机及振动试验机的动作，用一定的频率进行周期性操纵。常用的电液伺服的指令装置如照片2所示。



(1)电刷 (2)指令信号 (3)连接游标
图2 用电位器作为指令装置



照片2 低频振荡器

输出电压大约是0—10伏，可以调节直流偏压（0点）。

有时采用使低频振荡器频率自动变化的扫描振荡器以及使之产生噪音的噪音发生器，同时根据需要也可采用同一振荡频率检出相位不同的两个输出信号的移相型振荡器。相位是用游标刻度盘从0到360°内变化。

上述的2个例子是常用的型式，通常电液伺服都是检出其他部分的运动位移和速度，并通过检出信号进行控制。

控制材料的拉力或者是在下料装置上随着送料滚轮的转数来进行控制拉伸滚轮的转数，以及控制刀盘的送进速度等都是上述电液伺服的应用。

在仿形控制中，将模板的轮廓通过位置检测器变成电气信号，并以此作为指令信号输给电液伺服，进而把与模板相同的运动传给负荷。

在将车辆等运动及振动记录在数据记录器上并使之在地面再现的模拟装置的实例中，经常见到所采用的磁带记录、指令装置、以及采用其他的穿孔带和磁滚的指令装置，都属于稍高级的电液伺服。除此之外，还有插销板式和旋转式的程序控制，都可以作为时间函数来检出。

穿孔带和磁带或磁滚，都是变成数字信号之后而记录的，这种输出信号不能直接输给采用模拟信号的电液伺服，所以在 D—A 变频器中必须将数字信号变成模拟信号。

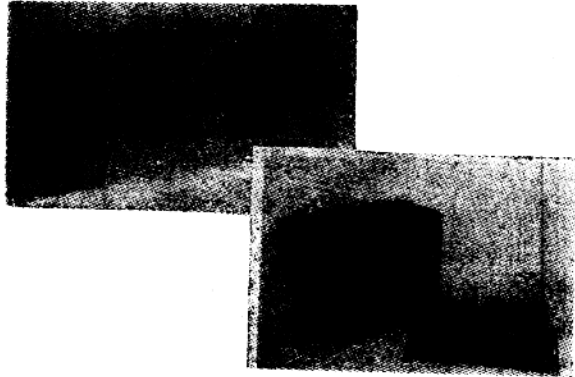
4、伺 服 放 大 器

伺服放大器（参照照片 3）是在输入回路中带有加减法计算的直流放大器的一种。我们所熟悉的立体声放大器，其作用是将声音即可听频率进行放大，而不进行直流放大。伺服放大器是不随时间变化的（直流）。即使是变化，也需要足够的放大信号的能力

最初使用电液伺服时，在电子回路中还是采用真空管，进行直流放大比较困难，当采用廉价的半导体集成电路的运算放大器时，直流放大器就很容易制作了。

图 3 表示 伺 服 放 大 器 的 构 成 回 路。伺 服 放 大 器 必 须 具 备 的 条 件 如 下：

- (a) 能 进 行 直 流 放 大 (必 须 是 直 流 放 大 器)
- (b) 要 具 备 所 需 要 的 频 带 区
- (c) 输 入 部 分 要 带 有 加 减 法 回 路
- (d) 在 控 制 方 面 ， 要 具 有 足 够 的 放 大 率 ， 且 漂 移 小 。
- (e) 要 带 有 高 频 振 荡 回 路 (参 照 下 一 章 伺 服 阀 的 内 容)
- (f) 输 给 增 益 时 ， 要 能 够 调 节 中 立 点
- (g) 要 容 易 附 加 适 当 的 补 偿 回 路
- (h) 为 检 测 伺 服 阀 合 理 的 输 出 电 流 ， 要 设 置 限 制 伺 服 阀 超 过 额 定 电 流 的 电 流 限 制 回 路 。
- (i) 性 能 稳 定 度 高 ， 机 械 强 度 足 够 ， 整 体 可 靠 性 高



照片 3 伺 服 放 大 器

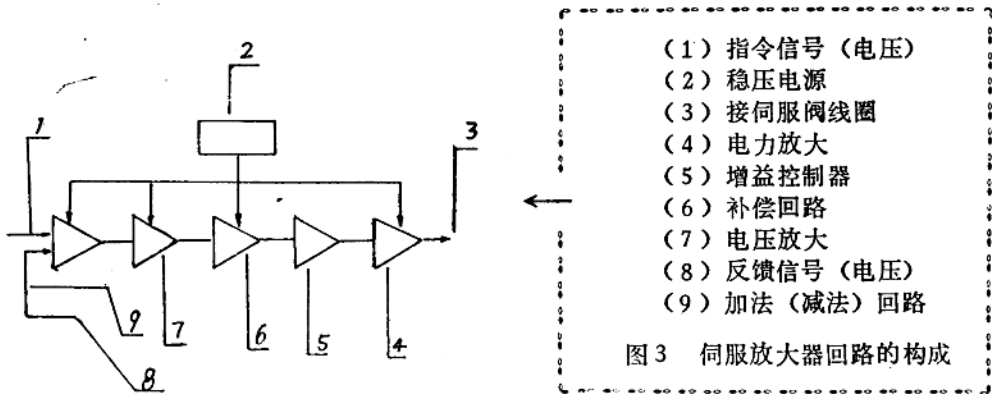


图 3 伺 服 放 大 器 回 路 的 构 成