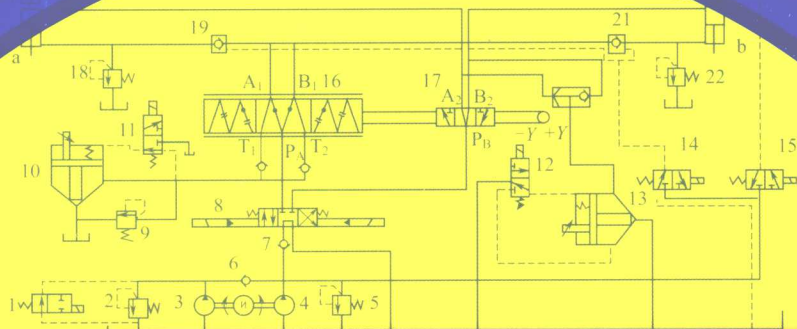


>>>> 张绍九 等编著

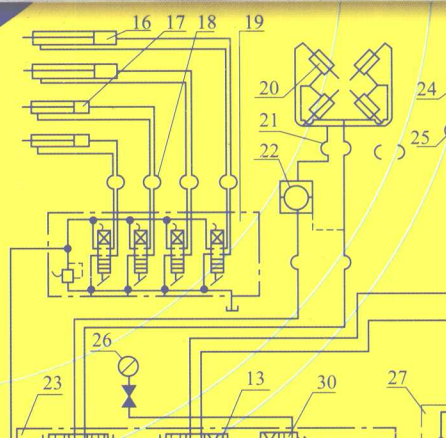


液压同步系统

YEYA TONGBU
XITONG



化学工业出版社



>>>> 张绍九 等编著

TH137
Z162

液压同步系统



化学工业出版社

· 北京 ·

TH137
Z162

图书在版编目 (CIP) 数据

液压同步系统/张绍九等编著. —北京: 化学工业出版社, 2010.3
ISBN 978-7-122-07530-7

I. 液… II. 张… III. 液压系统: 同步系统
IV. TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 000968 号

责任编辑: 黄 滢
责任校对: 郑 捷

文字编辑: 张绪瑞
装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 化学工业出版社印刷厂
787mm×1092mm 1/16 印张 18½ 字数 488 千字 2010 年 5 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

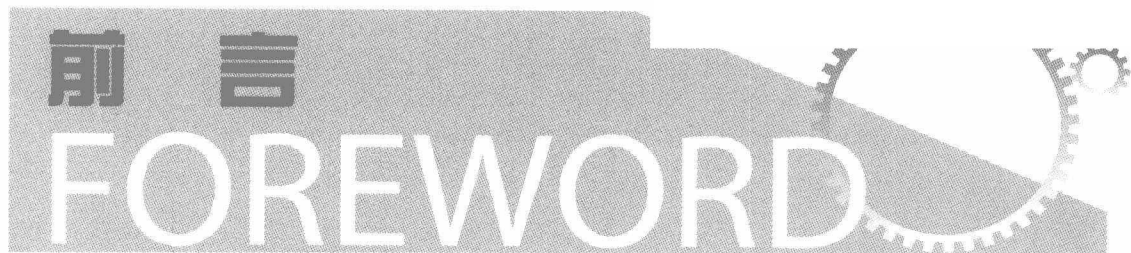
网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 39.00 元

版权所有 违者必究

前言 FOREWORD



液压同步系统是液压技术永恒的课题之一，也是实践中需要解决的问题之一。期望同步精度高一点，投资成本低一点，这对矛盾一直存在于液压同步系统中。我们多年来尚未见到有关这方面的专业书籍，本书愿抛砖引玉，期盼不久的将来能见到专业性更强、知识面更广、理论与实际密切结合的液压同步系统方面的专著。

本书是笔者从事液压技术工作几十年的亲身经历：较多的教训及点滴经验的总结。依据我们的切身体会（有时会很痛苦的教训），并参照有关资料编写成本书，希望给有关人员以微微有益的启示，我们的心愿足矣。

本书共分6章：第1章介绍液压同步系统基本概念；第2章介绍液压同步系统同步精度误差形成的因素及其抑制对策；第3章介绍液压基本回路及常见各类液压回路的分析与应用；第4章介绍液压同步回路的控制元件选择；第5章介绍液压流体力学基础知识及计算公式、液压同步系统与泵站设计；第6章选择介绍了几十例的液压同步系统例图，供有关读者参考。

本书省略了烦琐的数学推导演算，以叙述、分析、明理、实用作为贯穿全书的主旨。

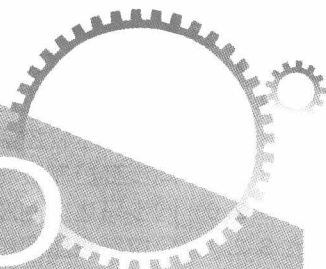
本书由张绍九等编著。其中，张绍九编写第1、2、4、5、6章，高佩川编写第3章，张文武负责文字打印、插图绘制、资料整理以及部分章节内容整理。全书由张绍九统稿。

因编著者本身学识水平有限，书中疏漏之处在所难免，真心希望广大读者指正、赐教。

编著者

目 录

FOREWORD



第 1 章 液压同步系统概述	1
1.1 同步运动	1
1.2 液压传动是同步运动的首选传动形式	1
1.3 液压传动的特性及优缺点	2
1.4 液压同步回路及其同步精度	4
1.5 液压同步系统的作用、组成及分类	5
1.5.1 液压同步系统的组成	5
1.5.2 液压同步系统的分类	5
1.6 液压同步系统的发展趋势	8
第 2 章 液压同步回路同步精度误差的形成因素及其抑制	11
2.1 刚性不足	11
2.2 油液中混有气体	12
2.3 油液介质温度过高或上升	12
2.4 油液中混有杂质	13
2.5 不适合的液体介质	13
2.6 摩擦	14
2.7 阻力	14
2.8 背压	15
2.9 偏载	15
2.10 压力波动	15
2.11 执行件未设置在同一起始位置	15
2.12 泄漏	16
2.13 累积误差	16
第 3 章 液压基本回路及常见各类液压回路分析	17
3.1 液压基本回路	17
3.1.1 液压源回路	17
3.1.2 压力控制回路	22
3.1.3 方向控制回路	40
3.1.4 流量(调速)控制回路	47
3.1.5 液压同步回路的基本回路及典型回路	52
3.2 液压同步回路应用与分析	89

3.2.1	机械控制液压同步回路	90
3.2.2	节流阀、调速阀控制液压同步回路	90
3.2.3	同步阀控制液压同步回路	93
3.2.4	串联液压缸控制液压同步回路	95
3.2.5	同步缸控制液压同步回路	96
3.2.6	同步马达控制液压同步回路	97
3.2.7	泵控制液压同步回路	99
3.2.8	比例阀、伺服阀控制液压同步回路	100
3.2.9	数字阀控制液压同步回路	104
3.2.10	流-压($f-p$)互补同步回路	106
3.2.11	混合(组合或复合)控制液压同步回路	106
3.3	几种液压回路的应用与分析	107
3.3.1	平衡回路	108
3.3.2	锁紧回路	112
3.3.3	预泄压回路(卸压回路)	115

第4章 液压同步回路的控制元件选择 117

4.1	节流阀与调速阀	117
4.2	同步阀	118
4.3	同步马达	120
4.4	液压泵	121
4.5	比例阀、伺服阀	124
4.6	数字阀	158

第5章 液压同步系统泵站设计 163

5.1	液压流体力学基础及计算公式	163
5.1.1	法定单位制	163
5.1.2	液压流体基本理论	165
5.1.3	基本方程	173
5.1.4	计算公式	178
5.1.5	选用液压油液注意事项	188
5.2	液压同步系统及泵站设计	191
5.2.1	了解主机概貌及液压系统的要求	191
5.2.2	功能及性能分析与综合	192
5.2.3	负载及状态分析	193
5.2.4	参考同类机械设备	195
5.2.5	初步拟定液压同步系统图	196
5.2.6	计算与验算	199
5.2.7	选用元辅件,设计自制件	199
5.2.8	确定液压系统原理图	207
5.2.9	液压泵站及装置设计	208
5.2.10	编制技术文件	216
5.2.11	装配与调试	217

第6章 液压同步系统示例图集选 222

6.1 机械液压同步系统或回路	222
6.1.1 液压静力压桩机机械同步液压系统	222
6.1.2 汽车检修升降台机械液压同步系统	224
6.1.3 大型柴油机检修液压升降平台	224
6.2 节流阀液压同步系统或回路	226
6.2.1 步进式加热炉插装阀液压同步回路	226
6.2.2 液压机压力纠偏液压同步回路	228
6.3 调速阀液压同步系统或回路	229
6.3.1 调速阀控制四马达液压同步回路	229
6.3.2 启闭机中调速阀控制液压同步回路	231
6.4 同步阀液压同步回路或系统	232
6.4.1 同步阀在上下料机构中的应用	232
6.4.2 剧院乐池升降台液压同步系统	233
6.4.3 剪叉式升降机同步阀液压同步系统	235
6.4.4 钢管缩头机同步阀液压同步系统	237
6.4.5 大型隧道施工机械多缸同步阀液压同步系统	238
6.4.6 连续墙液压抓斗卷扬机和胶管随动液压系统	239
6.5 串联液压缸液压同步系统或回路	240
6.5.1 1000 系列联合收割机拔禾轮同步升降液压系统	240
6.5.2 粗饲料压草饼机液压同步系统	241
6.5.3 不同缸径三缸串联同步升降机液压系统	241
6.5.4 20 × 2500 四辊卷板机液压系统同步回路	242
6.6 同步缸液压同步系统或回路	243
6.7 同步马达液压同步系统或回路	244
6.7.1 液压举升机液压马达同步系统	244
6.7.2 棒材生产中冷床平托小车的同步回路	245
6.7.3 地铁车门上液压同步系统	246
6.7.4 7500kN 三缸同步压机液压系统	246
6.7.5 7500kN 液压折板机同步马达液压同步系统	248
6.7.6 高压水压试管机夹紧起升装置液压同步回路	250
6.8 液压泵控制液压同步系统或回路	251
6.8.1 250t 船艀工作行走平台液压同步系统 (方案之一)	251
6.8.2 启闭机变量泵控制液压同步回路	253
6.9 比例阀伺服阀控制液压同步系统	254
6.9.1 250t 船艀工作行走平台液压同步系统 (方案之二)	254
6.9.2 升降舞台比例阀液压同步系统	255
6.9.3 启闭机比例阀控制液压同步回路	256
6.9.4 6300kN 液压折板机双缸同步系统	257
6.9.5 超大型高架门座式起重机液压顶升装置液压系统	260
6.9.6 三块双层升降舞台的液压同步系统	262
6.9.7 金刚石压机的液压同步系统	265
6.9.8 20MN 液压支架试验台液压同步系统	268
6.10 数字液压元件数字控制液压同步系统	270

6. 10. 1 数字方向阀控制三缸液压同步系统 271

6. 10. 2 增量式数字调速阀液压同步回路 272

6. 11 混合（复合）控制液压同步系统及其他系统 274

6. 11. 1 液压伺服阀及等流量双泵液压同步系统 274

6. 11. 2 电液伺服阀、同步阀的液压同步系统 276

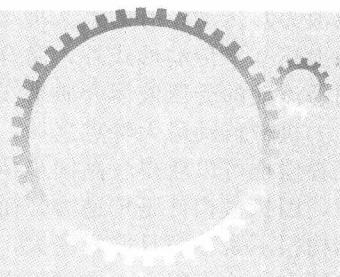
6. 11. 3 比例阀液压同步马达多缸同步回路 277

6. 11. 4 桥梁顶升多液压缸液压同步系统 280

参考文献 284

第1章

液压同步系统概述



随着社会的发展,机械化日益普及、自动化水平日益提高,液压系统由于自身固有的优点:响应快、功率大、易控制、易布置等,被作为动力装置、传动系统、控制系统广泛应用于各种机械装备。而液压同步系统是液压系统中的重要部分之一,占有液压系统类别很大比例。

同步运动可以说到处可见,如军队中列队训练齐步走,每个士兵前行速度或谓之位移距离宏观上是相等的,即同步的,否则将不成队形;人们骑自行车在直线道路上直线行驶,则前后轮旋转速度也是相等的,即同步,它属于跟随同步或谓之强迫同步,即前轮跟随后轮或前轮受后轮强迫同速旋转前行,又谓之转角同步。而在许多机械装备中若干机件或机构也存在着直线位移速度相等或旋转速度相等的同步运动,它们绝大部分属于液压同步系统。我们要驾驭液压同步系统,让它更广泛地服务于国民经济建设及制造业各个工程领域,因此必须对液压同步系统有一定了解与认识。

1.1 同步运动

在机械学中,同步运动是指机械设备中的两个或两个以上的运动机件或机构,如转轴、液压缸中活塞与活塞杆、液压马达的输出轴等具有相同的转速、速度、位移、加速度、作用力(有时也不相同)等,其中最重要的同步标志即位移(含角位移)相同、速度(含旋转角速度)相同状态下运行或具备之一条件即速度同步或位移同步或位置同步状态下完成它们工作过程。

随着人们需求日益增多、活动范围日益扩大与深入,科学与技术进步和发展,同步运动技术也得到了日益普及与提高,并已深入到各行各业。例如:航空航天高新技术中3万~5万吨数控等温钛合金锻造液压机(位置同步控制精度要求小于0.1mm/m),数千甚至万吨金刚石六面顶液压机(同步精度为0.15mm左右),水利工程启闭机升降程约10多米,吊点间距达10m左右同步偏差为10~15mm或略多些,交通工程桥梁多点顶升装置(同端不同点同步误差保持在 $\pm 1.5\text{mm}$ 或略多些),钢铁工业生产中轧钢及步进式加热炉,液压折弯机及剪切机,金属压力加工中压机及其工作台加长型专用液压机,建筑行业中施工大型机件等提升设备、文化活动的剧院、乐池舞台升降装置、纺织行业的浆纱机织轴与边轴同步、农业机械中联合收割机拨禾轮同步运动装置、畜牧业机械中的草饼机、大型起重机械NS1601B型铁路起重机双卷筒的同步运行装置、煤炭行业的无链双牵引采煤机等,就不再一一列举。

1.2 液压传动是同步运动的首选传动形式

所谓传动就是将原动机的能量与运动通过传动链(传动机构)以一定的方式和规律传递给工作机构。常见的传动有四种基本形式,即机械传动、电力传动、气体传动,液体(压力

或液力)传动;有的人又将气体传动与液体传动称为流体传动,故称有三种基本传动形式。除上述基本传动形式外,尚有它们之间组合传动,谓之复合式传动。在封闭组合的容器中利用易流动的受压液体介质来实现运动和能量传递谓之液压传动。

机械传动最大特点之一,是有可靠的确定传动比,因而容易获得同步运动,加之机械修正补偿也可以获得较高同步精度;机械传力或传力矩亦很方便。但不容易传动巨大力或高力矩,因机械构件是传递力,而液体是传递压力,因而若用机械传巨力或传递高力矩,则机械结构很不紧凑而且非常庞大,机械布置不方便。除了摩擦方法外不能无级变速,另外还有一些特点如响声很大、操作不方便等。电力传动虽具有易无级变速、易控制、易布置等优点,但很难传递巨力或高力矩,尤其当要求直线运动时,尽管已有直线往复运动的电动机,但传递巨力几乎不可能,一旦传递巨力或高力矩则结构也是庞大的,即使方便获得同步运动,因上述缺点则也不可能选用电力传动应用在同步运动中。气体传动,虽然布置方便,操作容易,空气介质容易获得,且成本很低廉;但它极易被压缩,传动比并不很准确又难恒定,它传力及力矩都较小等因素,故亦不适宜用于同步运动中。液力传动无论从原理及组成的传动机构均不适合于同步运动要求,在此就不赘述。

从1.1节中列举同步运动的各种机器及装备看来:同步驱动执行器之间距离之远(几米或十几米甚至更远),着力点分散之多(桥梁顶升设备)、受力之大(万吨到数万吨)、同步精度要求之高(0.1mm/m ,有的要求更高如零点零几毫米),运动平稳、速度可无级变速、并应安全可靠、经济合理、操纵方便、控制容易等,只有液压传动自身具备满足上述同步运动的机械装备所要求的性能;而就液压同步运动机械设备本身来说,因当今液压技术发展方向之一是高速重载,故提高液压系统的速度和有效负载是一个需要研究与解决的问题,如有台高速重载的液压机设备,若以单个液压缸为执行器,则在一般高压情况下适应重载要求,则必须制造大直径的液压缸,若该压机总吨位为 6.08MN ,油液压力(压强)为 $p=31\text{MPa}$,则液压缸缸径为 $\phi 500\text{mm}$ 即 0.5m 。这样大的缸径制造是很困难的,一般中小型机床设备恐怕制造不了如此大缸径的液压缸,其制造成本是很昂贵的。若换成双缸同步,仍采用 $p=31\text{MPa}$,总压力 $F=6.08\text{MN}$,则使两个小的缸无杆腔面积与原单独缸无杆腔缸径横截面积相等就可以了。令大缸直径为 D ,同步缸直径为 D_1 ,即 $0.785D^2=0.785\times 2D_1^2$,则 $D_1=0.707D=353.5\text{mm}$,圆整取 $D_1=350\text{mm}$,缸径 $\phi 350\text{mm}$ 比缸径 $\phi 500\text{mm}$ 制造容易多了,制造成本也降低,由此例明显说明采用液压同步运动的方法是提高液压有效负载的一种可行方法,也是把不易制造变为容易制造的一种方法,它可将液压系统的流量及负载进行重新合理的分配,从而可能减少整个液压系统的成本。另外由于产品生产的设备结构则必须采用液压同步运动,如金刚石六面顶压机,它是将已加热的小正六方体石墨坯胎,六面受高压并保压一段时间而产生许多小颗粒金刚石,如不采用液压同步运动则很难想象用什么机构驱动六面顶压机施加如此高压。

综上所述,可知液压传动的确是同步运动首选的最佳传动形式。

1.3 液压传动的特性及优缺点

(1) 液压传动的特性

液压传动通过液体介质进行,传动过程中最主要也是最基本的参数即压力 p 与流量 Q ,故液压传动的特性均是由参数 p 及 Q 和流体反映出来的,即由它们来描述的。

液体介质本质上是很难压缩的,也可以说它的压缩率很小,另一方面它又是极柔软的极易流动有一定体积却无一定形状的物质。由于液体介质的本质决定压力 p 在液体中不但迅速传递且等值向各方向传递;由于液体本质,则流量除人为控制外,其自身是不变化即不会

增加或减少的。

① $F=pA$, F 为总的力, A 为与 p 方向相垂直的截面积。 F 正比于 p 也正比于 A , F 随着 p 或 A 增加而增加, F 随 p 与 A 的乘积增加而增加, 当然亦随着它们各自的乘积减少而减少。与其他形式传动相比, 液压传动可以传递很大的力和巨大的力矩。换言之液压传动的功率与其构成物重量比远远优于其他传动形式;

② 液压传递速度 $v=\frac{Q}{A}$, 而液体通过节流阀的阀口流量 $Q=C_d A_0 \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$, 其中 A_0 为阀口截面积, C_d 为流量系数, 上式中 A 为液压缸中有效腔活塞面积。可知 A_0 阀口减少, 则流量 Q 就减少, 即液压缸运动体活塞及活塞杆等运动速度就下降, 也就是说液压传递速度可方便调整, 即无级变速。

③ 若两只大小不一样的液压缸, 输入等量的流量, 则它们的速度与缸的内径平方成反比, 即 $\frac{v_1}{v_2}=\frac{D^2}{d^2}$, 其中 v_1 、 d 为小缸的速度值与缸径; v_2 、 D 为大缸的速度值与缸径。

④ 当压力 p 不变时, 即两液压缸承受压力 p 相等, 两缸输出力之比等于两缸直径平方之比, 即 $\frac{F}{f}=\frac{D^2}{d^2}$, 式中 F 、 D 为大缸输出力与缸径的数值, f 、 d 为小缸输出力及缸径值。

(2) 液压传动的优点

① 能传递很大的力和力矩。它是基于固体传力和液体传压力原理以及液体是几乎不可压缩的本质基础上的。

② 液压系统输出刚度大。因液压传动中使用液压介质的容积弹性模数很大, 且装配调整好的液压系统几乎无泄漏, 故输出刚度很大, 输出位移很少受外负载的影响, 定位较准确, 位置误差小, 控制精度高。相同的压力和负载的气动系统输出刚度仅为液压系统刚度的 $1/400$; 电动机的开环速度刚度仅为液压马达刚度的 $1/5$, 电动机的位置刚度接近于零。故电动机只用控制闭环位置系统, 而液压马达或液压缸可作为开环位置控制。

③ 液压系统响应快。作为信号控制响应电气无疑是最快的, 但作为传动, 则是液压响应快, 气动响应速度只有液压系统的 $1/50$, 液压马达的扭矩-惯量比一般为相当容量电动机的 10 倍 (无槽电动机例外)。启动中等功率电动机需 $1\sim 2s$, 而启动液压马达不超过 $0.1s$ 。两者相比加速同等功率的时间仅为电动机的 $1/10$ 左右。故液压马达旋转允许每分钟换向 500 次, 直线运动的液压缸每分钟可达 $400\sim 1000$ 次, 故在控制系统中, 液压传动可获得较高的响应速度。

④ 液压传动有优越的功率质量比。如液压马达的外形尺寸约为同功率电机的 12% 左右, 其质量约为电机的 $10\%\sim 20\%$ 。在磁饱和情况下, 电机的磁场强度对应的电磁力与磁场横截面积之比 (即单位面积磁场力强度) 只有 $0.4\sim 0.6MPa$, 而油压强度可达 $34MPa$ 之上。总之典型示范液压马达与电动机相比较, 液压马达的扭矩惯量为一般相当容量的电动机 $10\sim 20$ 倍, 功率质量比为电动机的 15 倍, 故液压传动装置具有尺寸小、结构紧凑、质量小等一系列优点。

⑤ 液压传动可无级调速, 其调速范围可达 $200:1$ 至 $2000:1$, 且运动平稳。

⑥ 液压传动易实现过载保护, 在液压系统相关部位装有溢流阀或安全阀; 液压传动本身靠油液作传递介质, 它具有润滑性能, 故其使用寿命较长。

⑦ 液压系统易操纵与控制, 省力方便, 易实现自动化, 尤其将电气特别是电子技术融入液压元辅件结构中以及液压技术与电气电子技术相结合, 加之电子计算机的运用, 可以说目前已达到很高程度自动化、程序化、自适应控制水平。

⑧ 液压系统中元辅件已系列化、标准化、通用化, 极易于设计、制造、维修、推广使用。

⑨ 液压传动装置极易实现直线运动、回转运动及组合运动，因而它很适应于多种运动的机械装备上。

⑩ 液压元辅件排列与装置位置非常机动灵活，管道连接与装置也极方便，这就给人们制造、装配、调试、维修液压系统极大的便利。

⑪ 可自带能源应急装置，防止意外事故发生。液压系统若带蓄能装置，当液压传动系统正在运行之际动力源突然中断，可借助蓄能器产生应急动作，这点机械传动和电气传动是很难做到的。

(3) 液压传动的缺点

① 液压传动中除少数情况使用非油质液体，大部分是使用油液作为传动介质，而油液属易燃物质，故它存在潜在火灾危险。

② 液压传动使用的液体介质，易产生泄漏，尤其高压时更明显；加之液体介质虽然很难压缩，但还有少许的压缩；另外管路又易产生弹性变形，因而液压传动很难严格保持准确的传动比。

③ 液压传动中油液介质易受温度影响，当温度升高则油液的黏度就变低即油液易泄漏；当温度降低，油液的黏度变高即油液变稠流动性变差，流动阻力增加，总之因温度变化引起油液黏度变化，其结果导致运动不稳定。

④ 油液渗入空气产生噪声、振动和爬行。

⑤ 为防止泄漏及性能要求，液压元件精度要求较高，因而制造困难及制造成本较昂贵。

⑥ 液压能源不易获得，不像电气系统获得电能方便；亦不像气动系统能源易贮存。

⑦ 液压用于远距离传动不如电气系统方便。若液压能源通过长管道输送，不但传输损失加大，而且管道重量亦增加，另外响应速度亦降低，甚至引起系统不稳定。

⑧ 液压传动系统在运行中一旦发生故障不易寻找原因，当然排除就困难；另外一旦发生故障一般很难在线检测（当然相当大的单位或企业才会有这种检测仪器进行在线检测）。科学确定故障点与故障原因很难。

1.4 液压同步回路及其同步精度

在各类机器、设备、装置中，实现同步运行功能是由液压元件、管路按一定规律组合，并以液流介质传递，控制驱动两个或两个以上的执行器（液压缸或液压马达）产生相同的线位移或角位移的运动，即谓之液压同步回路。液压同步回路是液压系统中回路之一，一般是由控制同步运动的液压件，经管道至执行器，执行器的回油口经管路至油箱部分，即同步回路组成部分。

同步精度，表示同时数个同步执行器（液压缸或液压马达）输出力或转矩的机件（液压缸的活塞杆、液压马达输出轴），它们之间运动速度或位移的误差程度。常用同步误差率来表示同步精度，其表达式为

$$\delta_{\text{理}} = \frac{Q_{\text{理}} - Q_{\text{实}}}{Q_{\text{理}}} \times 100\%$$

式中 $\delta_{\text{理}}$ ——理论同步误差率；

$Q_{\text{理}}$ ——计算的理论流量；

$Q_{\text{实}}$ ——输入执行器的实际流量。

$$\delta = \frac{Q_{\text{max}} - Q_{\text{min}}}{Q_{\text{min}}} \times 100\%$$

式中 δ ——同步误差率；

$Q_{\max}$ ——输入执行器的最大流量；

$Q_{\min}$ ——输入执行器的最小流量。

上式中 δ 可能有三个值，如上式即为一个值；若将上式中分母 $Q_{\min}$ 改为 $Q_{\max}$ ，则 δ 值相应就缩小；另外将上式中 $Q_{\min}$ 改为 $Q_{理}$ ，则 δ 又是一个值。但是实际工作中，一般是以实际同步误差值作为要求（或列入技术条件或列入合同），一种以绝对值如同步精度0.5mm，另一种是同步精度相对值如同步精度0.5mm/m，即每行程1m同步误差允许0.5mm，当然具体的同步误差值是由具体条件决定的。

在具有液压同步回路的机械装备中，若同步回路的同步精度达不到要求，则该机械设备就不能充分发挥效用，甚至成废品一堆，不但浪费人力物力，而且使生产规划落空。

由此看来，液压同步回路在要求具有同步运动功能的机器、设备、装置中占很重要的地位。故在设计液压同步回路时，首先要保证回路能达到同步精度要求，其次要适合其他技术要求，同时也符合使用环境等。故要设计出优良的液压同步回路，除熟知这些要求外，必须对组成这些回路的液压元件的结构、原理、功能、适应条件有清楚的了解，对涉及的仪器、电气电子器件等也应该有一定的了解。

液压同步回路虽然属于液压传动系统（以传递动力为主、传递信息次之），但是随着科学技术飞跃发展，尤其电子技术进步以及对同步精度要求越来越高，如今液压控制系统（以传递信息为主，传递动力次之）已与液压传动系统日益融合，有时在液压系统中很难分清哪些属于传动系统，哪些属于控制系统。故液压工作者尤其设计者对控制理论及电子电气技术知识也应有一定程度的了解，否则很难得心应手从事液压技术工作。

1.5 液压同步系统的作用、组成及分类

液压同步系统是液压系统之一，是具有液压同步运动机器设备及装置的“心脏”，该台机器设备、装置是否具备应有的功能及优良的技术性能，可以说基本上取决它的液压同步系统的优劣，这就是液压同步系统的作用。甚至有的液压同步系统太劣，造成上百万元的机械设备不能使用。因此对液压同步系统应予以充分的注意及足够的认识，设计、运用、维护好它，并知道它的组成与分类，这样就可以更好地掌握它。

1.5.1 液压同步系统的组成

液压同步系统与其他液压系统组成类似，由液压源回路、压力调节回路、方向回路、流量调节回路、安全回路、同步回路（实际是流量调节回路特例）、清洁回路以及其他的一些控制回路等组成。要构成优良的液压同步系统，则组成它的各个回路必须合理，而且回路与回路之间的参数匹配合理，且它们之间有机的连接，并选择结构合理、性能优良的液压元辅件，并留有合理的测试点、尚有恰当的调整环节，满足功能与性能要求，这些都是液压设计者应该做到，液压操作者与维修人员都应该注意的。

1.5.2 液压同步系统的分类

对液压同步系统分类只是便于人们更好地认识、研究与应用，但到目前为止尚未见到有关权威部门作出分类和有关规定，而只是人们依据不同的观点与不同的根据进行不同的分类。

(1) 按液体介质被控方式的不同分类

液压同步系统按液体被控制方式可分为：容积控制液压同步系统、流量控制液压同步系统。

① 容积控制液压同步系统 它是利用封闭容积变化通过管道等组件向尺寸精度、结构

相同的数个执行器（液压缸或液压马达）输入等体积的液体（若执行器不同就按比例输入液体体积）使其产生同步运动。如同步缸控制同步系统、液压缸串联控制同步系统、同步马达控制的液压缸同步系统等均属容积控制液压同步系统。从利用封闭容积变化输出所需液体体积的控制同步原理可知，它有一系列优点：首先是同步精度较流量控制同步精度高，其次是效率高，更大的优点是它能允许同步执行器的较大偏载，这点流量控制液压同步系统是无法适应的。当然当偏载差别很大时，引起压力也很大，则油液微量压缩与泄漏也会影响到同步精度，故容积式控制同步精度主要取决于元件制造精度与容积效率。液压容积式控制同步精度可高于1%~3%，相对于流量控制同步精度其缺点是结构较复杂，价值较昂贵。

② 流量控制液压同步系统 它是通过流量阀调节控制进入或放出液压执行器（液压缸或液压马达）中的流量，使液压执行器中运动件运动速度相等，实现速度同步等。

流量控制液压同步系统常用的控制元件有节流阀、调速阀、同步阀、比例阀、伺服阀、数字阀等。它们都是通过改变节流口开度的大小，来调节流量的多少，改变同步执行器（液压缸或液压马达）中运动件的运动速度快慢以期达到执行器中运动件同步运动的目的。其中节流阀控制的同步运动，因节流阀最易受温度与负载的影响，故同步精度最低。若用调速阀尤其是温度补偿调速阀，则同步精度有所提高，若用分流集流阀则对液压同步系统的流量及压力变化范围要求较严，同时液体通过分流集流阀后压降较大，一般为0.8~1.2MPa，甚至1.5MPa，同步精度为1%~3%。

流量控制同步系统最大的优点是：组成结构简单、经济成本低、操作维修方便（同步阀维修较难），它适用于功率较小、负载较均匀、运动改变次数频率一般的场合等情况下。

它的缺点：精度不高（比例阀、伺服阀、数字阀例外），效率不高，易受流量压力变化的影响，系统易发热等。

(2) 根据被控制同步执行器类型分类

根据被控制同步执行器类型分为液压缸受控制同步系统和液压马达受控制同步系统。

一般来说，需要直线同步运动的执行器，均为液压缸。液压缸无论是双出杆单出杆或无论是单作用或双作用液压缸，其结构远比液压马达简单，且易密封性、易承受高压、易维修性均优于液压马达。所以液压运动中用液压缸较多，而需同步回转运动，则非液压马达莫属。

液压缸依其中心轴在机械设备中安装相对于水平面说：平行水平面的液压缸属于水平安装谓之卧式缸，与水平面垂直的安装又谓之立式缸。立式缸因受重力负载影响较大，同时引起液压缸运动件上下两个方向运动的动态性能不一致，给正反两个运动方向上高同步精度控制增加困难，同时两者液压同步系统也不一样，因此立式缸的同步系统较水平缸同步系统复杂。立式缸同步系统除要注意它同步回路外，还必须对平衡回路、锁紧回路等给予足够的重视。卧式缸在液压控制同步系统中不受重力负载的影响，也不会使它的运动件两个方向运动受其动力学性能不一致的影响，从而使它的两个方向同步精度控制较立式液压缸容易些。

另外双杆液压缸与单杆液压缸在液压同步控制中也大不一样；双杆活塞两边腔面积相等，即进回油腔承压面积相等，而单杆液压缸活塞两边腔承受进回油面积是不等的，故在液压同步控制方面双杆液压缸优于单杆液压缸，特别是串联同步控制液压同步系统和闭环液压同步控制系统的优越性更明显。

(3) 根据液压控制同步系统输出参数是否可自行修正分类

根据液压控制同步系统输出参数是否可自行修正分为：闭环控制液压同步系统与开环控制液压同步系统。

① 闭环控制液压同步系统 它是将受控对象的输出参数量经检测与预先期盼量比较运算后，将其相差值反馈至控制装置，能很大程度地消除或抑制内外界对输出期盼参数量的干

扰，以使输出参数量为预先期盼的值或者接近但不允许超过的值；简言之，在控制系统中通过输出量反馈到控制装置使其输出量符合期盼量的要求，此控制系统就是闭环控制系统，在液压同步控制系统就谓之闭环液压同步控制系统。闭环控制液压同步系统方框简图见图 1.1。

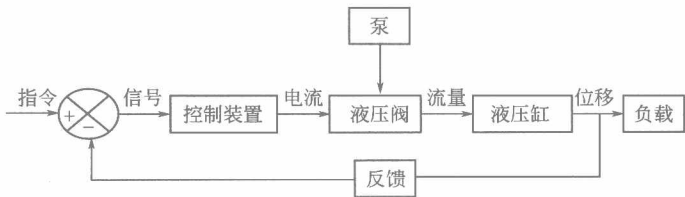


图 1.1 闭环控制液压同步系统方框简图

由图 1.1 可知，闭环控制液压同步系统可以获得较高的同步精度。特别是随着控制理论及计算机的发展、电子技术与液压技术相结合，新型含有电子结构的液压元件产品推出，数字化新技术融入到液压产品中，此种闭环控制液压同步系统几乎在所有需要高同步精度驱动的各类机械装备都得到广泛的应用。

闭环控制液压同步系统有许多优点：同步精度高、它不受外界干扰，或者说外界干扰对它很难起作用，它有自动纠正输出参数量的能力、易自动化、易智能化，易与电子计算机连接，尤其在不适宜人的工作场所，它可自动完成预定的工作要求，在操作维护、安全报警等多方面均易实现与现代电子技术连接，大大扩大液压技术应用领域。

但也应该看到闭环控制液压同步系统存在着若干缺点：结构组成复杂、价格昂贵、技术要求高，对其工作者要求必须有一定液压、电子、控制理论知识与实践经验，对液体介质清洁度要求亦很高，若控制系统位于很强的磁场中工作，易受电磁场的影响降低它的同步精度、影响机械设备的工作。

② 开环控制液压同步系统 它是液压同步系统中控制装置与受控对象之间控制信息只是顺向传递作用，而无逆向联系，即无反馈信息装置。每当控制有一输入量则系统就有一输出量，当系统受到干扰时系统的输出量就不易是期待量。有可能受不同的干扰，就有不同的输出量。系统的同步精度取决于控制元件质量、特性及之间的参数匹配和系统的组成。

显而易见，相对闭环来说，开环控制液压同步系统的同步精度低，受外界影响时同步精度数值不确定，有时甚至超出允许误差。对载荷变化与泄漏均较敏感，又无法随时随地纠正它正在运行系统所出现的偏差。当然它也有一些优点：系统组成简单、价格较低廉，技术要求的水平不高及知识面并不很广，操作方便，调试维修较前者容易些。

开环控制液压同步系统方框简图如图 1.2 所示。

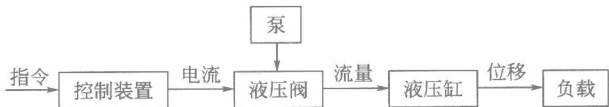


图 1.2 开环控制液压同步系统方框简图

(4) 根据使用控制液压同步回路液压元件分类

这种分类方法，是液压同步系统常见的分类方法。它最大的优点是见到这类控制液压同步系统及控制元件的名称，不但就可以知道它控制同步所使用的液压控制元件与同步系统区别，还可以预知到它所控制液压同步系统所能达到的同步精度、同时可以预估到这类控制液压同步系统所需投资多少，对液压设计者来说，很容易确定控制液压同步系统设计方案，液压维修者很容易预知该系统维修难易程度。目前有下列各类。

由节流阀或调速阀控制的谓之节流阀、调速阀控制液压同步回路，以此类推，还有：同步阀控制液压同步回路、串联液压缸控制同步回路、同步缸控制液压同步回路、同步马达控制液压同步回路、泵控制液压同步回路、比例阀及伺服阀控制液压同步回路、数字阀控制液压同步回路，专用液压阀控制液压同步回路、混合件（两种或两种以上控制液压元件）控制液压同步系统又谓之复合（组合）控制液压同步回路、机械（构件或机构）控制液压同步回路、蓄能器（实际为蓄能器与调速阀共同作用）控制液压同步回路、流-压互补控制液压同步回路。这些各类控制液压同步回路的技术特性、优缺点及适用范围等均在第三章“液压基本回路及常见各类液压回路分析”中详细叙述。

1.6 液压同步系统的发展趋势

可以运用传统的知识、技术、方法以及传统的液压元件及电气器件，方便地设计出传统的控制液压同步系统，并可适应主机的功能要求。但是可以说它不是完美优良的液压同步系统，因为它不适合当今时代技术进步的步伐，不适应现代社会发展的需求。现今对机械设备、装置的要求应该是低能耗、低噪声、低污染、适应环境，清洁卫生，并向日益自动化、智能化和高精度方向发展。当然仍要保证它的经济合理、安全可靠、工作高效。作为液压工作者应该无愧于这个日益进步伟大的创新时代。因此，必须时刻关注具有新型结构、新颖功能的液压元件和与液压有关先进的技术知识，进而掌握与运用这些具有新颖功能的液压件与先进的技术知识，以便设计出符合上述要求与发展方向的新的控制液压同步系统。

(1) 新型结构电液比例阀控制液压同步系统

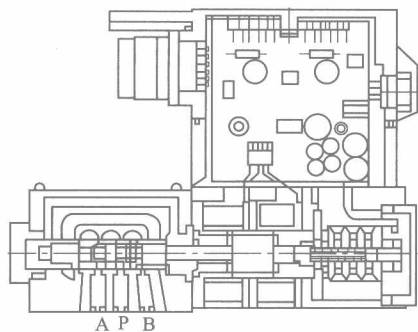


图 1.3 高频响比例阀

由 Bosch-Rexroth 公司开发的直动型高频比例阀，采用高频比例电磁铁驱动，阀芯位移通过电反馈，内置电子线路实现阀芯的闭环控制；ATOS 生产的高精度比例电磁铁驱动阀芯位移，位置传感器进行检测，内置电子线路实行闭环控制，频响接近一般电液伺服阀，25~60Hz，100% 阀行程；我国台湾、宁波厂家也分别研制出性能优良的低频响的电液比例阀以及滞环及重复精度为 1%，频响 10ms、流量为 65~130L/min、可带电反馈的具有自主知识产权的 BFFW 型电液比例换向阀。它们同样具有原电液比例阀低价格、耐污能力强、工作可靠性高、易维修且维修费低等优点。高频响比例阀如图 1.3 所示。

(2) 新颖结构电液伺服阀控制液压同步系统

由日本油研公司研制的内置放大器、24V 电源，0~±10V 指令信号的高精度电液伺服阀——LSVHG 系列直动型电液伺服阀。LSVHG-03EH 型的主要性能：工作压力 $p = 35\text{MPa}$ ，额定流量 $Q = 180\text{L/min}$ 、滞环死区小于 0.2%，频响 $H = 80 \sim 100\text{Hz}$ （±25%V 输入、相位滞后 -90°），故障指示信号、耐污力强（NAS10 级）。德国 Bosch-Rexroth 公司研制的频响 120Hz（±5% 输入，相位 -90°，工作压力 31.5MPa）、额定流量 20~40L/min 的高频响电液伺服 4WRPEH-6 型；频响 60Hz（±5% 输入，相位 -90°，工作压力 31.5MPa）、额定流量 50~100L/min 的高频响电液伺服 4WRPEH-10 型。它们均为内置电子线路，直动式电磁铁驱动阀芯，差动变压器检测位移。内置电子放大器闭环控制。如图 1.4 所示。

(3) 数字阀控制液压同步系统

数字阀控制液压同步系统，远比电液比例阀、电液伺服阀控制液压同步系统较简单多

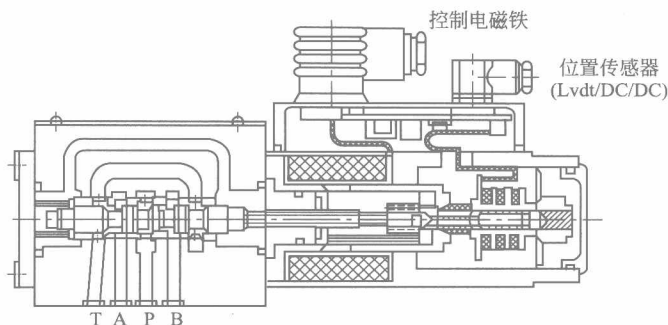


图 1.4 4WRPEH6 伺服阀

了，因数字阀控制不需经 D/A 转换装置，而且有利于与电子计算机直接连接。同时也符合当今数码时代的要求，另一方面数字阀控制液压同步系统的同步精较高，且耐污能力很强。但目前生产优质的数字阀尚不多见。日本已有数字液压元件商品，我国未见到商品化数字液压元件。

(4) 新型结构液压泵控制液压同步系统

这种控制系统用在高速重载机械设备上意义很大，因它不但高效而且大大节能。如用新型电子控制装置的变量泵，它由高频响电液比例阀、压力和位移传感器、电子控制器组成闭环控制，再通过微处理器改变处理程序，实现泵的各种控制功能。合理地改变泵输出的参数，接近或甚至等于实际需要值，使其更节能、控制精度更高。如日本产的 A 系列 04E 型变量柱塞泵，它是以比例技术为基础，电子技术与传感器技术组合实现闭环控制该型变量柱塞泵，比例阀对压力与流量匹配控制，藉由压力传感器和斜盘角度传感器监控泵持续输出压力和流量，使其合乎需要。

(5) 电气液融合系统

它是建立在新的综合系统基础上的，即将液压技术、电子技术（即计算机技术）和电气技术相融合，简称为 hybrid 系统，是日本液压界建立的新概念。日本多家公司生产不同的此类 hybrid 系统，如日本大金（DAIKIN）公司生产的 SUT 高级高压液压单元，它主要是将高速变频器与 IPM 高效节能电动机组合在一起。IPM 电动机驱动系统采用了新材料硅钢片和稀土类磁铁，驱动原理是磁性扭矩和磁阻扭矩，在整个工作转速范围内不但效率高且速度精度高，它不但节耗高效，且噪声亦低；日本油研公司生产的 IH 伺服单元，是由伺服马达、柱塞泵、油箱及液压控制回路组成的小型节能低噪声的液压装置。若它再配置位移传感器的液压缸及专用控制器，可构成简易的位置、速度、压力闭环控制系统。主要优点是节省能耗、噪声低、发热少、油箱容积小、节省空间、同时可装在主机上。如图 1.5 所示。

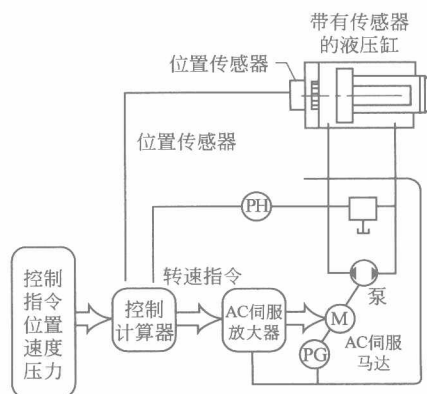


图 1.5 hybrid 系统示意

(6) 单、双液压轴的 HNC 控制器和 MX4 控制器系统

为适应主机自动化、智能化和高精度方向发展，Bosch-Rexroth 公司研发的产品。图 1.6 为数字输入通信型号数字控制器 HNC100 的机能图。HNC 控制器由控制器、编程的 WINPAD 软件和通信线缆组成，并将液压控制的所有功能都固化在控制器里，通过调用标准语言进行编程，借助 PC 和 WINPAD 软件可实现编程控制，它可以实现闭环位置控制、