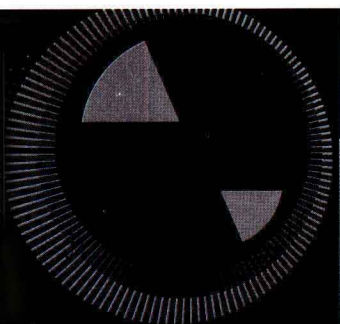


高职高专“十二五”规划教材

电气液压与 气动技术

□ 王瑞清 马宏革 主编

DIANQI YEYA YU
QIDONG JISHU



化学工业出版社

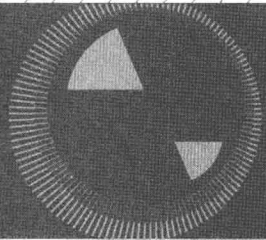


高职高专“十二五”规划教材

电气液压与 气动技术

□ 王瑞清 马宏革 主编

□ 胡月霞 刘百顺 陈淑英 副主编



DIANQI YEYA YU
QIDONG JISHU



化学工业出版社

· 北京 ·

本教材共分为八个模块,内容包括静压传动、速度控制回路、压力控制回路、方向控制回路、逻辑控制回路、气动控制回路、FluidSIM 软件应用、典型液压与气压系统分析。每一个模块配合一个工程案例,把基础知识和基本理论渗透在具体的回路应用中。本书突出了在工程实际中训练和提高学生的综合素质及工程能力的特点,注意教、学、做一体化。模块八中的典型工程案例,均可以利用 FluidSIM 软件仿真实现,并且能够在 FESTO 电气液压实训室和电气气压实训室实现回路的连接和运动。

本书可作为高职高专院校、成人高校、中等职业学校等相关专业的教材,也可供培训机构作为培训用书,并可供相关工程技术人员使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

电气液压与气动技术/王瑞清,马宏革主编. —北京:
化学工业出版社, 2011.12

高职高专“十二五”规划教材

ISBN 978-7-122-12971-0

I. 电… II. ①王…②马… III ①液压控制②气
动技术 IV. ①TH137②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 254626 号

责任编辑: 韩庆利

装帧设计: 韩 飞

责任校对: 宋 夏

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: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 10 $\frac{1}{4}$ 字数 259 千字 2012 年 2 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: 21.00 元

版权所有 违者必究

随着高职教学改革的深入开展,改革课程教学内容,提高学生的动手能力,培养实用型人才已成为了高职院校在教学中必须认真考虑的一项重要工作。为此,包头轻工职业技术学院利用北投公司欧元贷款,投资了1050万元引进德国FESTO公司的全套教学培训设备建成机电一体化实训中心。该中心涵盖了从基础的气动、电气气动、液压、电气液压设备。其中交互式软件FluidSIM荣获德国和国际教学成果奖,特此组织有关人员编写了本教材。

本教材强调以应用能力培养为主线,以岗位技能要求为出发点,在编写理念上力求基础理论以应用为目的,以“适用、够用”为度,贯彻理论联系实际的原则,以掌握概念、强化应用为教学重点,着重基本概念和原理的阐述,强化元件的基本工作原理,着重系统分析、应用能力以及综合能力的培养。在内容的选取上尽量贴近工程实践,全书配有大量的工业应用图例,具有很强的实用性,有利于提高学生分析问题和解决问题的能力。切实做到用理论指导实践,用理论知识分析问题和解决问题。编写时强调了液压系统的故障诊断、使用维护和排除故障方面的内容。增加生产现场的应用性知识,具有明显的职业教育特色,有利于高素质专门人才的培养。

本教材共分为八个模块,静压传动、速度控制回路、压力控制回路、方向控制回路、逻辑控制回路、气动控制回路、FluidSIM软件应用、典型液压与气压系统分析。每一个模块配合一个工程案例,把基础知识和基本理论渗透在具体的回路应用中。本书突出了在工程实际中训练和提高学生的综合素质及工程能力的特点,注意教、学、做一体化。模块八中的典型工程案例,均可以利用FluidSIM软件仿真实现,并且能够在FESTO电气液压实训室和电气气压实训室实现回路的连接和运动。

本教材由王瑞清、马宏革担任主编,胡月霞、刘百顺、陈淑英担任副主编。参加本书编写的还有赵玮、银俊鹰、高睿、张芳、宿宝龙等。

本书在编写的过程中参考了大量的文献,在此谨向有关作者表示衷心的感谢。另外在编写的过程中也得到包头轻工职业技术学院领导的大力支持与帮助,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

模块一	静压传动	1
1.1	液压传动工作介质	1
1.1.1	液压油的物理性质	1
1.1.2	对液压油的要求及选用	3
1.2	流体静力学	3
1.2.1	液体静压力及其特性	3
1.2.2	压力的表示方法及单位	4
1.2.3	液体静力学基本方程	4
1.2.4	液体静压力的传递	5
1.2.5	液体静压力对固体壁面的作用力	5
1.3	液压与气压传动的特点与应用	5
1.3.1	液压传动的特点	5
1.3.2	气压传动的主要特点	6
1.4	案例分析	6
	习题	7
模块二	速度控制回路	8
2.1	动力元件	8
2.1.1	液压泵概述	8
2.1.2	液压泵的性能参数	9
2.1.3	齿轮泵	10
2.1.4	叶片泵	12
2.1.5	柱塞泵	15
2.1.6	液压泵常见故障及其排除方法	17
2.1.7	液压泵的选用	20
2.2	液体流经孔口及缝隙的流量压力特性	21
2.2.1	小孔流量-压力特性	21
2.2.2	液体流经缝隙的流量-压力特性	22
2.3	流量控制阀	23
2.3.1	流量控制原理及节流口的形式	23
2.3.2	节流阀	24
2.3.3	调速阀	25
2.4	速度控制回路	26
2.4.1	调速回路	26
2.4.2	快速回路	31
2.4.3	速度换接回路	33

2.5 案例分析	34
习题	36

模块三 压力控制回路 37

3.1 流体动力学	37
3.1.1 基本概念	37
3.1.2 连续性方程	38
3.1.3 伯努利方程	39
3.1.4 动量方程	39
3.2 液体流动时的压力损失	40
3.2.1 沿程压力损失	40
3.2.2 局部压力损失	41
3.2.3 管路中的总压力损失	41
3.3 液压冲击和气穴现象	41
3.3.1 液压冲击	41
3.3.2 气穴现象	42
3.4 执行元件	42
3.4.1 液压马达	42
3.4.2 液压缸	44
3.5 压力控制阀	50
3.5.1 溢流阀	50
3.5.2 减压阀	53
3.5.3 顺序阀	55
3.5.4 压力继电器	57
3.6 压力控制回路	58
3.6.1 调压回路	58
3.6.2 减压回路	59
3.6.3 增压回路	60
3.6.4 卸荷回路	60
3.6.5 卸压回路	61
3.6.6 保压回路	62
3.6.7 平衡回路	63
3.7 案例分析	63
习题	65

模块四 方向控制回路 67

4.1 液压辅助元件	67
4.1.1 油箱	67
4.1.2 油管和管接头	68
4.1.3 滤油器	68
4.1.4 蓄能器	71

4.2	方向控制阀	72
4.2.1	单向阀	72
4.2.2	换向阀	73
4.3	方向控制回路案例分析	80
4.3.1	启停回路	80
4.3.2	换向回路	80
4.3.3	闭锁回路	81
4.3.4	电控往复直线运动换向回路	82
	习题	83

模块五 逻辑控制回路 85

5.1	气源装置	85
5.1.1	空气压缩机	86
5.1.2	气动辅助元件	88
5.2	执行元件	97
5.2.1	气缸	97
5.2.2	气动马达	101
5.3	气动逻辑元件	103
5.3.1	气动逻辑元件的结构和工作原理	103
5.3.2	气动逻辑元件的选用	106
5.4	逻辑控制回路案例分析	106
5.4.1	或门逻辑元件控制线路	106
5.4.2	与门逻辑元件控制线路	106
	习题	107

模块六 气动控制回路 108

6.1	控制元件	108
6.1.1	气动控制阀的分类	108
6.1.2	气动控制阀与液压阀的比较	108
6.1.3	气动方向控制阀	108
6.1.4	气动压力控制阀	119
6.1.5	气动流量控制阀	122
6.2	基本控制回路	124
6.2.1	换向回路	124
6.2.2	压力控制回路	125
6.2.3	速度控制回路	126
6.2.4	顺序动作回路	128
6.2.5	其他换向回路	129
	习题	130

模块七 FluidSIM 软件应用 132

7.1 FluidSIM-P	132
7.1.1 FluidSIM 软件中的文件	132
7.1.2 新建回路图	133
7.1.3 气动回路的仿真	138
7.2 FluidSIM-H	139

模块八 典型液压与气动系统分析 142

案例一 油罐车软管卷轴驱动系统	142
案例二 双缸提升设备	143
案例三 塑料成型注射机	144
案例四 起重机	145
案例五 机械加工中心	147
案例六 公共汽车车门气动控制系统	149
案例七 装料装置控制系统	150
案例八 气动钻床	152

附录 156

附录 A 常用液压与气动图形符号 (摘自 GB/T 786.1—2009)	156
附录 B 常用物理量单位及换算	161

参考文献 162

静压传动是以液体的静压能传递动力和运动的一种方式，其工作介质是油液，为此必须了解油液的种类、物理性质，研究油液的静力学规律。

1.1

液压传动工作介质

液体是液压传动的工作介质，最常用的工作介质是液压油。液压油是液压系统中借以传递能量的工作介质，还兼有润滑、密封、冷却、防锈等功能。液压油质量的优劣直接影响液压系统的工作性能。

1.1.1 液压油的物理性质

① 液体的密度

密度是单位体积液体的质量， $\rho = m/V (\text{kg}/\text{m}^3)$ 。

液体的密度随着温度的上升而有所减小，随压力的提高稍有增加，但变化不大，通常忽略。液压油的密度一般取 $\rho = 900 \text{kg}/\text{m}^3$ 。

② 液体的可压缩性

液体受增大的压力作用而发生体积缩小的性质称为液体的可压缩性。可压缩性用体积压缩系数 k 表示，并定义为单位压力变化下液体体积的相对变化量。设液体体积为 V_0 ，其压力变化量为 Δp ，液体体积减小 ΔV ，则

$$k = -\frac{1}{\Delta p} \times \frac{\Delta V}{V_0} \quad (1-1)$$

体积压缩系数公式 k 的单位为 m^2/N 。由于压力增大时液体体积减小，因此上式右边需加负号，以使 k 为正值。液体的可压缩性很小，在很多情况下可以忽略不计。但受压液体体积较大或进行液压系统动态分析时，必须考虑液体的可压缩性。常用液压油的 $k = (5 \sim 7) \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{N}$ 。

液体压缩系数 k 的倒数称为液体的体积弹性模数，用 K 表示为

$$K = \frac{1}{k} = -\frac{\Delta p V_0}{\Delta V} \quad (1-2)$$

液压油的体积弹性模数为 $(1.4 \sim 1.9) \times 10^9 \text{N}/\text{m}^2$ 。

③ 液体的黏性

液体在外力作用下流动时，由于液体分子间的内聚力和液体分子与壁面间的附着力要阻止液体分子间相对运动而产生的内摩擦力，这种特性称为黏性。黏性是液体重要的物理特性，也是选择液压油的主要依据。

黏性使流动液体内部各液层间的速度不等。如图 1-1 所示，两平行平板间充满液体，下平板不动，而

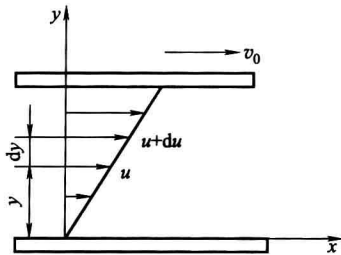


图 1-1 液体黏性示意图

上平板以速度 v_0 向右平动。由于黏性，紧贴于下平板的液体层速度为零，紧贴于上平板的液体层速度为 v_0 ，而中间各液体层的速度按线性分布。因此，不同速度流层相互制约而产生内摩擦力。

由于液体在外力作用下才有黏性，因此静止液体不呈现黏性。液体黏性的大小用黏度来衡量。

(1) 动力黏度 μ

动力黏度是指液体在单位速度梯度下流动时，接触液层间单位面积上内摩擦力。

在我国法定计量单位制及 SI 制中：动力黏度单位为帕·秒 ($\text{Pa} \cdot \text{s}$) 或牛顿·秒/米² ($\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$)；在 CGS 制中：泊 (P) 或厘泊 (cP)，达因·秒/厘米² ($\text{dyn} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$)。换算关系：

$$1\text{Pa} \cdot \text{s} = 10\text{P} = 10^3\text{cP}$$

(2) 运动黏度 ν

动力黏度 μ 与液体密度 ρ 之比叫运动黏度，即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-3)$$

运动黏度 ν 没有明确的物理意义。其单位中有长度和时间的量纲，称为运动黏度。工程中常用运动黏度 ν 作为液体黏度的标志。机械油的牌号就是用机械油在 40℃ 时的运动黏度 ν 的平均值来表示的。

在 SI 制中运动黏度的单位为 m^2/s ；在 CGS 制中运动黏度的单位为：St (斯)、cSt (厘斯)。换算关系：

$$1\text{m}^2/\text{s} = 10^4\text{St} = 10^6\text{cSt}$$

(3) 相对黏度 $^\circ E_t$

相对黏度又称条件黏度。根据测量条件不同，各国采用的相对黏度的单位也不同。我国采用恩氏黏度 $^\circ E_t$ ，美国采用赛氏黏度 SSU，英国采用雷氏黏度 R。

恩氏黏度用恩氏黏度计测定。其方法是：将 200mL 温度为 t (以℃为单位) 的被测液体装入黏度计的容器，经其底部直径为 2.8mm 的小孔流出，测出液体流尽所需时间 t_1 ，再测出 200mL 温度为 20℃ 的蒸馏水在同一黏度计中流尽所需时间 t_2 ；这两个时间的比值即为被测液体在温度 t 下的恩氏黏度，即

$$^\circ E_t = \frac{t_1}{t_2} \quad (1-4)$$

工业上常用 20℃、50℃、100℃ 作为测定恩氏黏度的标准温度，其相应恩氏黏度分别用 $^\circ E_{20}$ 、 $^\circ E_{50}$ 、 $^\circ E_{100}$ 表示。

工程中常采用先测出液体的相对黏度，再根据关系式换算出动力黏度或运动黏度的方法，恩氏黏度和运动黏度 (单位： m^2/s) 的换算关系式为

$$\nu = \left(7.31^\circ E_t - \frac{6.31}{^\circ E_t} \right) \times 10^{-6} \quad (1-5)$$

(4) 黏度和压力的关系

液体分子间的距离随压力增加而减小，内聚力增大，其黏度也随之增大。当压力不高且变化不大时，压力对黏度的影响较小，一般可忽略不计。当压力较高 (大于 10^7Pa) 或压力变化较大时，需要考虑这种影响。

(5) 黏度和温度的关系

温度变化对液体的黏度影响较大，液体的温度升高其黏度下降。液体黏度随温度变化的性质称为黏温特性。

1.1.2 对液压油的要求及选用

① 对液压油的要求

液压油是液压系统中借以传递能量的工作介质。液压油的主要功用是传递能量，此外还兼有润滑、密封、冷却、防锈等功能，负担这样功能的液压油必须稳定，不能因使用条件而改变性质。因此油液的性能会直接影响液压传动的性能，如工作的可靠性、灵敏性，工况的稳定性，系统的效率及零件的寿命等。选择液压油时，黏度是第一位的，一般在选择油液时应满足下列几项要求：

- ① 合适的黏度和良好的黏温特性；一般液压系统用油黏度为 $\nu = (11.5 \sim 41.3) \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ ；
- ② 良好的润滑性；
- ③ 纯净度好，杂质少；
- ④ 对系统所用金属及密封件材料有良好的相容性；
- ⑤ 对热、氧化、水解都有良好稳定性，使用寿命长；
- ⑥ 抗泡沫性、抗乳化性和防锈性好，腐蚀性小；
- ⑦ 比热容和传热系数大，体积膨胀系数小，闪点和燃点高，流动点和凝固点低（凝固点——油液完全失去其流动性的最高温度）；
- ⑧ 对人体无害，对环境污染小，成本低，价格便宜。

② 液压油的选用

液压系统通常采用矿物油，常用的有机械油、精密机床液压油、汽轮机油和变压器油等。

一般根据液压系统的使用性能和工作环境等因素确定液压油的品种。当品种确定后，主要考虑油液的黏度。在确定油液黏度时主要应考虑系统工作压力、环境温度及工作部件的运动速度。当系统的工作压力、环境温度较高，工作部件运动速度较低时，为了减少泄漏，宜采用黏度较高的液压油。当系统工作压力、环境温度较低，而工作部件运动速度较高时，为了减少功率损失，宜采用黏度较低的液压油。

当选购不到合适黏度的液压油时，可采用调和的方法得到满足黏度要求的调和油。当液压油的某些性能指标不能满足某些系统较高要求时，可在油中加入各种改善其性能的添加剂——抗氧化、抗泡沫、抗磨损、防锈以及改进黏温特性的添加剂，使之适用于特定的场合。

液压油的牌号及其性能指标，可查阅有关液压手册。

1.2

流体静力学

流体静力学所研究的是液体在静止状态下的平衡规律和这些规律的应用。所谓“静止状态”是指液体内部质点之间没有相对运动，至于盛装液体的容器，不论它是静止的还是运动的都没有关系。

1.2.1 液体静压力及其特性

作用在液体上的力有质量力和表面力。质量力作用在液体的所有质点上，如重力和惯性

力等；表面力作用在液体的表面上，它可以是由其他物体（如容器壁面）作用在液体上的力，也可以是一部分液体作用在另一部分液体上的力。表面力有法向力和切向力之分，由于液体是静止的，质点之间无相对运动，不存在内摩擦力，所以静止液体的表面力只有法向力。

液体内某点处单位面积上所受到的法向力称为液体的静压力，在工程实际中习惯上称为压力，即

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (1-6)$$

若法向力 F 均匀地作用于面积 A ，则压力可表示为

$$p = \frac{F}{A} \quad (1-7)$$

液体的静压力具有两个重要的特性：

- ① 液体静压力垂直于作用面，其方向与该面的内法线方向一致；
- ② 静止液体内任一点的压力在各个方向上都相等。

1.2.2 压力的表示方法及单位

液体压力的表示方法有两种：一种是以绝对真空为基准所表示的绝对压力，另一种是以大气压力为基准所表示的相对压力。绝大多数仪表所测得的压力是相对压力，故相对压力也称为表压力。在液压技术中，如未特别说明，压力均指相对压力。绝对压力和相对压力的关系为

$$\text{绝对压力} = \text{大气压力} + \text{相对压力}$$

当液体某处绝对压力低于大气压力（即相对压力为负值）时，习惯上称该处为真空，绝对压力小于大气压力的那部分压力值称为真空度。它们的关系为

$$\text{真空度} = \text{大气压力} - \text{绝对压力}$$

压力的单位为 Pa 或 N/m^2 。由于单位太小，在工程上使用不方便，常用 kPa、MPa、GPa 表示。工程单位制使用的单位有 kgf/cm^2 、bar（巴）、at（工程大气压）、atm（标准大气压）、液柱高度等，它们之间的关系为

$$1\text{MPa} = 10^3\text{kPa} = 10^6\text{Pa} = 10\text{bar}$$

$$1\text{atm} = 0.101325\text{MPa}$$

$$1\text{atm} = 1\text{kgf}/\text{cm}^2 = 9.8 \times 10^4\text{Pa} \approx 1 \times 10^5\text{Pa}$$

1.2.3 液体静力学基本方程

如图 1-2 所示，密度为 ρ 的液体在容器内处于静止状态。为求任意深度 h 处的压力，可从液体内部取出如图 1-2(b) 所示的垂直小液柱作为研究体，顶面与液面重合，截面积为 dA ，高为 h 。液柱顶面受外加压力 p_0 作用，液柱所受重力 $G = \rho g h dA$ ，其作用于液柱的质心。设底面所受压力为 p ，液柱侧面受力相互抵消。由于液柱处于静止状态，相应液柱也处于平衡状态，于是有式 (1-8) 即为液体静力学基本方程

$$p dA = p_0 dA + \rho g h dA$$

$$p = p_0 + \rho g h \quad (1-8)$$

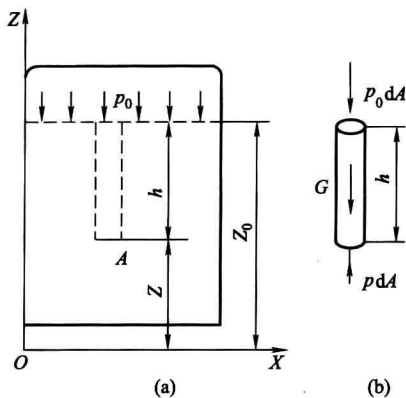


图 1-2 重力作用下的静止液体

由上式可知，重力作用下的静止液体其压力分布有如下特征：

- ① 静止液体内任一点处的压力由两部分组成，一部分是液面上的压力 p_0 ，另一部分是该点以上液体自重形成的压力 ρgh ；
- ② 静止液体内的压力随液体深度 h 的增加而增大；
- ③ 离液面深度相同处各点的压力相等，压力相等的点所组成的面称为等压面（等压面为一水平面）。

1.2.4 液体静压力的传递

由液体静力学基本方程可知，静止液体内任意一点处的压力都包含液面上的压力 p_0 ，这说明在密闭容器内，施加于静止液体上的压力能等值地传递到液体中的各点。这就是静压传递原理（又称帕斯卡原理），液压传动就是在这个原理的基础上建立起来的。

在液压传动系统中，通常由外力产生的压力要比液体自重形成的压力大得多，为此可将式（1-8）中的 ρgh 项略去不计，而认为静止液体中的压力处处相等。在分析液压传动系统的压力时，常用这一结论。

1.2.5 液体静压力对固体壁面的作用力

在液压传动中，略去液体自重产生的压力，液体中各点的静压力是均匀分布的，且垂直作用于受压表面。因此，当承受压力的表面为平面时，液体对该平面的总作用力 F 为液体的压力 p 与受压面积 A 的乘积，其方向与该平面相垂直。如压力油作用在直径为 D 的柱塞上，则有

$$F = pA = p\pi D^2/4$$

当承受压力的表面为曲面时，由于压力总是垂直于承受压力的表面，所以作用在曲面上各点的力不平行但相等。作用在曲面上液压作用力在某一方向上的分力等于静压力和曲面在该方向的垂直面内投影面积的乘积。如图 1-3 为球面和锥面所受液压作用力分析图。球面和锥面在垂直方向受力 F 等于曲面在垂直方向的投影面积 A 与压力 p 相乘，即

$$F = pA = p\pi d^2/4$$

式中 d ——承压部分曲面投影圆的直径。

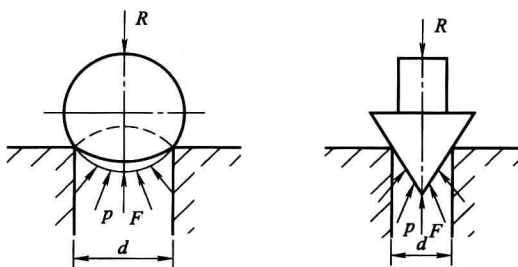


图 1-3 液压力作用在曲面上

1.3

液压与气压传动的特点与应用

液压与气压传动的工作原理基本相似，都是以流体为工作介质进行能量的传递和转换，其系统组成也基本相同，但由于两者的工作介质不同，故两种系统有其各自的特点。

1.3.1 液压传动的特点

① 液压传动的优点

- ① 液压传动装置运动平稳、反应快、惯性小，能高速启动、制动和换向。
- ② 在同等功率情况下，液压传动装置体积小、重量轻、结构紧凑。例如同功率液压马

达的重量只有电动机的 10%~20%。

③ 液压传动装置能在运行中方便地实现无级调速，且调速范围最大可达 1:2000（一般为 1:100）。

④ 操作简单、方便，易于实现自动化。当它与电气联合控制时，能实现复杂的自动工作循环和远距离控制。

⑤ 易于实现过载保护。液压元件能自行润滑，使用寿命较长。

⑥ 液压元件实现了标准化、系列化、通用化，便于设计、制造和使用。

2. 液压传动的缺点

① 液压传动不能保证严格的传动比，这是由于液压油的可压缩性和泄漏造成的。

② 液压传动对油温变化较敏感，这会影响它的工作稳定性。因此液压传动不宜在很高或很低的温度下工作，一般工作温度在 -15~60℃ 范围内较合适。

③ 为了减少泄漏，液压元件在制造精度上要求较高，因此它的造价高，且对油液的污染比较敏感。

④ 液压传动装置出现故障时不易查找原因。

⑤ 液压传动在能量转换（机械能→压力能→机械能）的过程中，特别是在节流调速系统中，其压力、流量损失大，故系统效率较低。

1.3.2 气压传动的主要特点

1. 气压传动的主要优点

① 以空气为工作介质，取之不尽，用之不竭，用过的空气可直接排入大气，不会污染环境。

② 空气的黏度小，流动时阻力损失小，便于集中供气和远距离传输与控制。

③ 与液压、电子、电气控制相比，工作环境适应性好，可在易燃、易爆、粉尘多、污染大、强磁场、辐射及振动等场合工作。

④ 维护简单方便，使用安全可靠，能自动实现过载保护。

2. 气压传动的主要缺点

① 由于空气的可压缩性大，因而气压传动工作速度的稳定性比液压传动差，一般可采用气液联动获得较满意的效果。

② 因工作压力低（一般低于 1MPa），一般用于输出动力较小的场合。

③ 排气噪声大，在高速排气时要加消音器。

1.4

案例分析

液压千斤顶的原理分析。

液压千斤顶是应用帕斯卡原理。在两个相互连通的液压缸密封腔中充满油液，大活塞和小活塞的面积分别为 A_1 和 A_2 ，在大活塞上放一重量为 F_1 的重物，在小活塞上施加一平衡力 F_2 时，根据式 (1-7) 可得

$$F_2 = \frac{A_2}{A_1} F_1 \quad (1-9)$$

从式 (1-9) 可知，当两活塞的面积比 A_1/A_2 较大时，在小活塞上施加较少的力，就可

以通过大活塞抬起较大重量。液压千斤顶就是利用这一原理进行起重。

如图 1-4 所示的液压千斤顶，大缸体 9 和大活塞组成举升液压缸。杠杆手柄 1、小缸体 2、小活塞 3、单向阀 4 和 7 组成手动液压泵，如提起手柄使小活塞向上移动，小活塞下端油腔容积增大，形成局部真空，这时单向阀 4 打开，通过吸油管 5 从油箱 12 中吸油；用力压下手柄，小活塞下移，小缸体下腔压力升高，单向阀 4 关闭，单向阀 7 打开，小缸体下腔的油液经管道 6 输入大缸体 9 的下腔，迫使大活塞 8 向上移动，顶起重物。再次提起手柄吸油时，举升缸下腔的压力油将力图倒流入手动泵内，但此时单向阀 7 关闭，使油液不能倒流，从而保证了重物不会自行下落。不断地往复扳动手柄，就能不断地把油液压入举升缸下腔，使重物逐渐地升起。如果打开截止阀 11，举升缸下腔的油液通过管道 10、截止阀 11 流回油箱，大活塞在重物和自重作用下向下移动，回到原始位置。

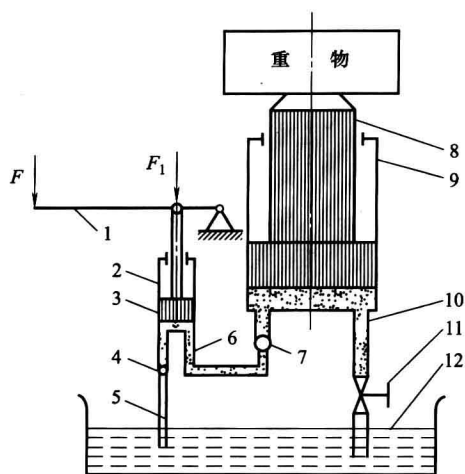


图 1-4 液压千斤顶工作原理图

- 1—杠杆手柄；2—小缸体；3—小活塞；
4,7—单向阀；5—吸油管；6,10—管道；
8—大活塞；9—大缸体；11—截止阀；12—油箱

由上述分析可知，液压与气压传动时以流体为工作介质，利用流体的压力能来传递运动和动力的一种传动方式。它们具有以下基本特征：

- ① 以流体为传动介质来传递运动和动力。
- ② 液压与气压传动必须在密闭容器内进行。
- ③ 依靠密闭容器的容积变化传递运动。
- ④ 依靠流体的静压力传递动力。

习 题

1.1 什么是液体的黏性？常用的黏度方法表示有几种？如何定义？

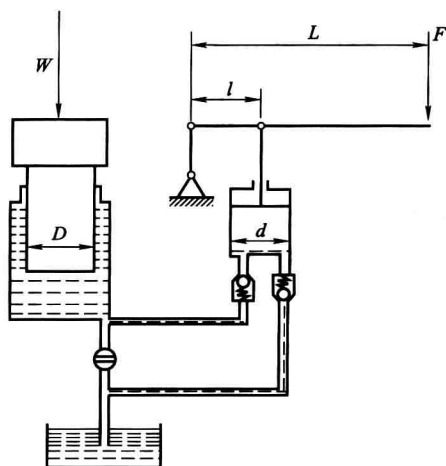


图 1-5 习题 1.2 图

1.2 如图 1-5 所示，千斤顶的小活塞直径为 10mm，行程 20mm，大活塞直径为 40mm，重物 W 为 50000N，杠杆比为 $L:l=500:25$ ，求：

- (1) 杠杆端施加多少力才能举起重物 W ？
- (2) 此时密封容积中的液体压力等于多少？

1.3 列举哪些设备用了液压技术。

1.4 什么是液压和气压传动，各自有何传动特点？

1.5 液压传动的基本特征是什么？

液压传动过程速度控制回路是调节和变换执行元件运动速度的回路，它包括调速回路、快速回路和速度换接回路，其中调速回路是液压系统用来传递动力的。要传递动力就需要动力源，动力元件起着向系统提供动力源的作用，是系统不可缺少的核心元件。液压系统是以液压泵作为向系统提供一定流量和压力的动力元件。

本模块主要介绍速度控制回路的基本元件及其设计原理，基本速度控制回路类型、工作原理和应用，以及给整个传动系统提供动力源的动力元件。

2.1

动力元件

2.1.1 液压泵概述

① 液压泵的工作原理

液压泵作为液压系统的动力元件，将电动机或其他原动机输入的机械能转换为液体的压力能，向系统供油。

液压传动系统中使用的液压泵都是容积式的。容积泵的工作原理如图 2-1 所示。当偏心轮 1 由电机带动旋转时，柱塞 2 做往复运动。柱塞右移时，密封工作腔 4 的容积逐渐增大，形成局部真空，油箱中的油液在大气压力作用下，通过单向阀 5 进入工作腔 4，这是吸油过程。当柱塞左移时，工作腔 4 的容积逐渐减小，使腔内油液打开单向阀 6 进入系统，这是压油过程。偏心轮不断旋转，泵就不断地吸油和压油。

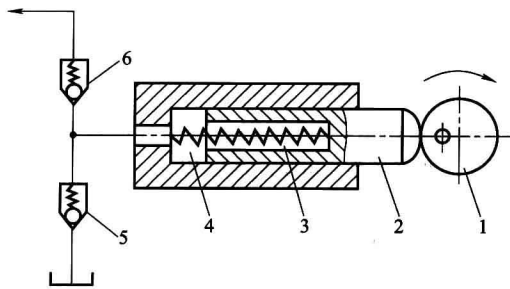


图 2-1 容积泵的工作原理

1—偏心轮；2—柱塞；3—弹簧；4—密封工作腔；5,6—单向阀

由此可见，液压泵输出的流量取决于密封工作腔容积变化的大小；泵的输出压力取决于油液从工作腔排出时所遇到的阻力。

总之，密封容积增大，产生真空，吸油；密封容积减小，油液被迫压出，压油。故一般称为容积式液压泵。

② 液压泵的分类

(1) 按输出流量是否可调节分为 定量泵、变量泵。

(2) 按结构形式分为 齿轮式、叶片式、柱塞式。

(3) 按输油方向能否改变分为 单向、双向。

(4) 按使用压力分为 低压、中压、高压。

③ 液压泵基本工作条件（必要条件）

(1) 形成密封容积。

(2) 密封容积变化。液压泵输出流量与此空间的容积变化量和单位时间内的变化次数成正比, 与其他因素无关。这是容积式液压泵的一个重要特性。

(3) 具有相应的配流机构, 将吸压油腔隔开(配流装置), 保证液压泵有规律地、连续地吸、排液体。液压泵的结构原理不同, 其配油机构也不相同。

(4) 油箱内液体的绝对压力必须恒等于或大于大气压力。这是容积式液压泵能够吸入油液的外部条件。因此, 为保证液压泵正常吸油, 油箱必须与大气相通, 或采用密闭的充压油箱。

2.1.2 液压泵的性能参数

1. 压力

(1) 工作压力: 是指泵实际工作时的压力。对泵来说, 工作压力是指它的输出油液压力; 对马达来说, 则是指它的输入压力。

(2) 额定压力: 是指泵在正常工作条件下按试验标准规定的连续运转的最高压力, 超过此值就是过载。

2. 排量和流量

(1) 排量(用 V 表示, m^3): 是指泵每转一转, 由其密封油腔几何尺寸变化所算得的输出液体的体积, 亦即在没有泄漏的情况下, 其每转一转所能输出的液体体积。

(2) 理论流量(用 q_i 表示, m^3/s): 是指泵在单位时间内由其密封油腔几何尺寸变化计算而得出的输出的液体体积, 亦即在没有泄漏的情况下单位时间内所能输出的液体体积。泵的转速为 n (r/min) 时, 泵的理论流量为 $q_i = Vn$ 。

(3) 额定流量: 是指在正常工作条件下, 按试验标准规定必须保证的流量。亦即在额定转速和额定压力下由泵输出的流量。因泵存在内泄漏, 所以额定流量的值和理论流量是不同的。

3. 功率和效率

(1) 理论功率

$$P_i = pq_i \quad (2-1)$$

式中 P_i ——理论功率, W。

(2) 输入功率 即泵轴的驱动功率或马达的输出功率

$$P_r = \omega T = 2\pi n T \quad (2-2)$$

(3) 输出功率

$$P_o = pq \quad (2-3)$$

结论: 液压传动系统液体所具有的功率, 即液压功率等于压力和流量的乘积, 若忽略能量损失, 则 $P_o = P_r$, 即

$$P_i = pq_i = pVn = T_i\omega = 2\pi T_i n \quad (2-4)$$

式中 T_i ——液压泵的理论转矩, $\text{N} \cdot \text{m}$;

p ——压力, Pa;

ω ——液压泵的角速度, rad/s 。

因为实际上有能量损失, 所以 $P_o < P_r$ 。两者之间的差值即为功率损失, 有容积损失和机械损失两部分, 分别用容积效率 (η_v) 和机械效率 (η_m) 来表示。

(4) 容积效率 液压泵容积效率: 实际流量与理论流量之比值。