

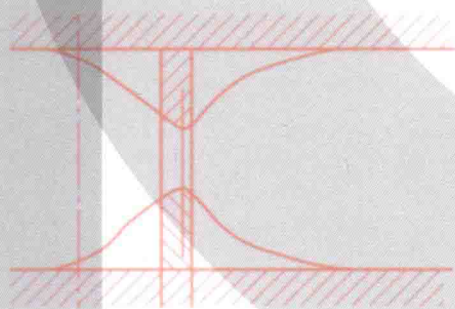
高职高专“十三五”规划教材

液压与气压控制

(项目化教程)

武艳慧 党华 王京 ◎ 主编

刘敏丽 ◎ 主审



化学工业出版社

高职高专“十三五”规划教材

液压与气压控制（项目化教程）

武艳慧 党 华 王 京 主 编

刘敏丽 主审



 化学工业出版社

· 北 京 ·

本书分为两篇。第一篇为液压控制部分,设计了8个教学项目:项目一液压系统的建立与工作介质分析,项目二液压泵的识别与应用,项目三液压缸的识别与应用,项目四液压辅助元件的识别与应用,项目五方向控制阀的识别与应用,项目六压力控制阀的识别与应用,项目七流量控制阀的识别与应用,项目八液压系统分析;第二篇为气压控制部分,设计了3个教学项目:项目九气动系统的建立与工作介质分析,项目十气动元件的识别与应用,项目十一机械手气动系统分析。每个项目都选取具有代表性的典型机械设备为载体。

液压与气压控制 (项目化教程) / 武艳慧, 党华, 王京主编. — 北京: 化学工业出版社, 2017.1
高职高专“十三五”规划教材
ISBN 978-7-122-28719-9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 303725 号

装帧设计：关 飞

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

版权所有 违者必究

本书编审人员名单

主 编：武艳慧 党 华 王 京

副主编：刘 芳 陈小江 孟超平 高桂云 王 霞

参 编：陈自力 关海英 王景学 石银业 贺鹏雄 金永生

主 审：刘敏丽

前 言

教材是课程内容和课程体系的知识载体,对课程改革与建设起着决定性的推动作用。为了深入贯彻教育部教学改革精神,配合骨干校建设中的课程改革和教材建设,内蒙古机电职业技术学院组织专业教师和企业技术人员,共同编写了本书。

本书编写人员通过深入企业充分调研,对机电类岗位和典型工作任务进行了细致分析,本书内容以典型液、气压控制机械为载体,融入液压与气压控制相关知识和技能点,形成由浅至深、由易到难的学习训练体系,体现了知识点与工作任务相结合、理论学习与技能训练相结合的职业教育特点。具体特点如下:

1. 突出液压与气压控制课程的实践性和实用性,按照项目引领、任务驱动的教学模式建立教材体系。

2. 以培养学生的实践技能为目的,注重实际应用,用理论指导实践,提高学生解决实际工作问题的能力。

3. 按照教学规律和学生的认知规律精选教材内容,知识点的选取针对工程实际中遇到的问题,具有较高的工程实用性。

4. 本书采用任务配备相关项目的形式,加深学生对理论知识的理解,在工作过程中培养学生的独立学习能力和团队协作能力。

5. 为了满足毕业“双证书”要求,本教材所设任务、项目,均与国家职业标准机械类就业岗位典型工种要求对接,以利于高职教育“双证书制”的贯彻落实。

本书分为两篇。第一篇为液压控制部分,设计了8个教学项目;第二篇为气压控制部分,设计了3个教学项目。为便于理实一体化教学的实施与专业知识的巩固,每个项目设有项目描述、项目目标、相关知识、知识拓展、任务实施、巩固练习。

本书由内蒙古机电职业技术学院武艳慧、党华和王京主编;由内蒙古机电职业技术学院机电工程系主任刘敏丽教授主审。第一篇项目一由武艳慧编写,项目二由党华和内蒙古大学的陈自力共同编写,项目三由内蒙古机电职业技术学院刘芳编写,项目四由内蒙古机电职业技术学院陈小江编写,项目五由内蒙古机电职业技术学院孟超平编写,项目六由内蒙古机电职业技术学院高桂云编写,项目七由内蒙古机电职业技术学院王霞编写,项目八由武艳慧和陈小江共同编写;第二篇项目九由陈小江编写,项目十由武艳慧、刘芳、孟超平、高桂云、王霞共同编写,项目十一由内蒙古机电职业技术学院王京编写。参与本书编写工作的还有内蒙古机电职业技术学院关海英和王景学、内蒙古水利水电勘测设计院石银业、内蒙古昆明卷烟有限责任公司贺鹏雄、内蒙古蒙牛乳业(集团)股份有限公司金永生。全书由武艳慧统稿,武艳慧、党华校核。

本书在编写过程中得到了学校和企业相关人员的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢!由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,恳请广大使用者批评指正。

编者

目 录

第一篇 液压控制部分	1
项目一 液压系统的建立与工作介质分析	1
【项目描述】	1
【项目目标】	1
【相关知识】	1
一、液压系统的建立	1
二、工作介质分析	4
知识拓展	16
一、液压油的污染控制	16
二、液压油质量检查	16
三、液压系统的清洗	17
任务实施	17
巩固练习	17
项目二 液压泵的识别与应用	20
【项目描述】	20
【项目目标】	20
【相关知识】	20
一、液压泵的类型与工作原理	20
二、液压泵的性能参数	21
三、齿轮泵	23
四、叶片泵	26
五、柱塞泵	29
六、液压泵的选用	31
知识拓展	32
一、液压泵噪声的产生及控制	32
二、液压泵常见故障及排除	32
任务实施	35
巩固练习	36

项目三 液压缸的识别与应用	39
【项目描述】	39
【项目目标】	39
【相关知识】	39
一、液压缸的分类和特点	39
二、液压缸的结构与组成	44
知识拓展	46
一、液压缸的安装与维护	46
二、液压缸常见故障及其排除方法	48
三、液压马达	51
任务实施	54
巩固练习	54
项目四 液压辅助元件的识别与应用	57
【项目描述】	57
【项目目标】	57
【相关知识】	57
一、蓄能器	57
二、滤油器	60
三、油箱	62
四、油管与管接头	63
五、其他辅助元件	64
知识拓展	65
一、密封装置的作用	65
二、密封装置的类型和特点	66
任务实施	66
巩固练习	67
项目五 方向控制阀的识别与应用	69
【项目描述】	69
【项目目标】	69
【相关知识】	69
一、单向阀的识别与应用	69
二、换向阀的识别与应用	71
三、方向控制回路分析	78
知识拓展 方向控制阀常见故障与排除	79
任务实施	80
巩固练习	81
项目六 压力控制阀的识别与应用	83
【项目描述】	83

【项目目标】	83
【相关知识】	83
一、溢流阀的识别与应用	83
二、减压阀的识别与应用	87
三、顺序阀与压力继电器的识别与应用	89
知识拓展	92
一、其他压力控制回路	92
二、压力控制阀常见故障及排除方法	95
任务实施	97
巩固练习	98
项目七 流量控制阀的识别与应用	101
【项目描述】	101
【项目目标】	101
【相关知识】	101
一、流量控制阀的分类	101
二、节流孔形式与流量特性	101
三、流量控制阀	103
四、液压传动系统对流量控制阀的主要要求	105
五、流量控制阀的应用	105
知识拓展	108
一、温度补偿调速阀	108
二、容积调速回路	108
三、流量控制阀常见故障及排除方法	111
任务实施	112
巩固练习	113
项目八 液压系统分析	114
【项目描述】	114
【项目目标】	114
【相关知识】	114
一、组合机床动力滑台液压系统分析	114
二、挖掘机液压系统分析	116
知识拓展 液压系统常见故障分析	120
任务实施	120
巩固练习	121
第二篇 气动控制部分	123
项目九 气动系统的建立与工作介质分析	123
【项目描述】	123

【项目目标】	123
【相关知识】	123
一、自动化生产线供料单元气动系统分析	123
二、空气的主要物理性质	124
三、气压传动的特点	127
知识拓展	127
一、气体状态方程	127
二、气体的流动规律	129
任务实施	130
巩固练习	131
项目十 气动元件的识别与应用	132
【项目描述】	132
【项目目标】	132
【相关知识】	132
一、气源装置与辅助元件	132
二、气动执行元件	139
三、气动控制元件的识别与应用	142
知识拓展 阀岛技术	152
任务实施	153
巩固练习	153
项目十一 机械手气动系统分析	155
【项目描述】	155
【项目目标】	155
【相关知识】	155
一、物料抓取机械手结构	156
二、物料抓取机械手工作过程	156
三、机械手气动系统	157
知识拓展	158
一、气动系统的安装与调试	158
二、气动系统的使用与维护	159
任务实施	161
巩固练习	162
附录 常用液压与气动元（辅）件图形符号（摘自 GB/T 786.1—2009）	164
参考文献	168

第一篇 液压控制部分

项目一 液压系统的建立与工作介质分析

【项目描述】

液压传动以液体为工作介质进行能量的传递和转换,以实现各种机械传动和自动控制。本项目通过对典型机械设备液压系统的建立和工作介质分析,研究液压传动与控制系统的组成与基本工作原理、工作介质的物理性质,以及选用原则等内容,为液压系统的使用与维护奠定基础。

【项目目标】

知识目标:

- ① 掌握液压传动工作原理和液压系统的组成;
- ② 了解液压油的主要物理性质;
- ③ 掌握液压油的类型和选用原则;
- ④ 了解液压冲击和空穴现象;
- ⑤ 掌握液体静力学和动力学规律;
- ⑥ 了解孔口流量特性。

能力目标:

- ① 能够说明液压系统的组成与工作过程;
- ② 能够合理选择液压油的类型;
- ③ 能够根据工作要求合理选择液压油的牌号。

【相关知识】

一、液压系统的建立

(一) 液压传动的工作原理

液压传动的工作原理,可以用一个液压千斤顶的工作原理来说明。

如图 1-1 所示,压下杠杆 1 时,小活塞 2 向下移动,小液压缸 3 输出压力油,此过程是将机械能转换成油液的压力能;压力油经过管道及单向阀 5 进入大液压缸 6,推动大活塞 7 举起重物 8,此过程是将油液的压力能又转换成机械能。

由上例可见,液压传动是以液体为传动介质,利用液体的压力能来实现运动和动力传递的一种传动形式。液压缸内压力 p 的大小是由外负载 G 决定;大液压缸活塞上升的速度是

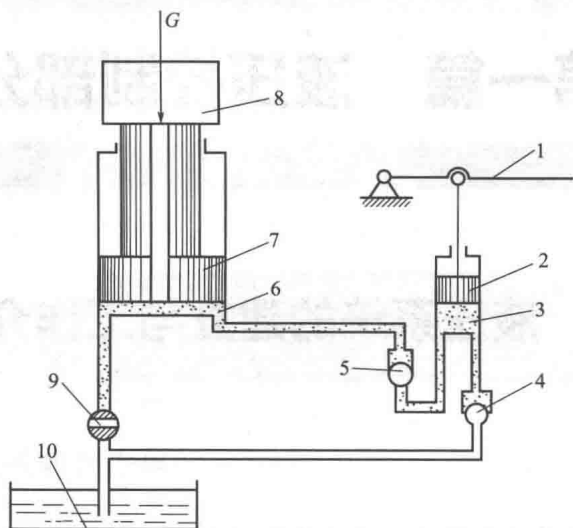


图 1-1 液压千斤顶的工作原理图

1—杠杆；2—小活塞；3—小液缸；4,5—单向阀；6—大液缸；
7—大活塞；8—重物；9—放油阀；10—油箱

由单位时间内进入大液压缸液体体积多少，即流量所决定的。

(二) 磨床工作台液压系统分析

图 1-2(a) 所示为简化了的机床工作台液压传动系统图。它由液压泵、溢流阀、换向阀、节流阀、液压缸、油箱、过滤器及连接这些元件的油管、接头等组成。

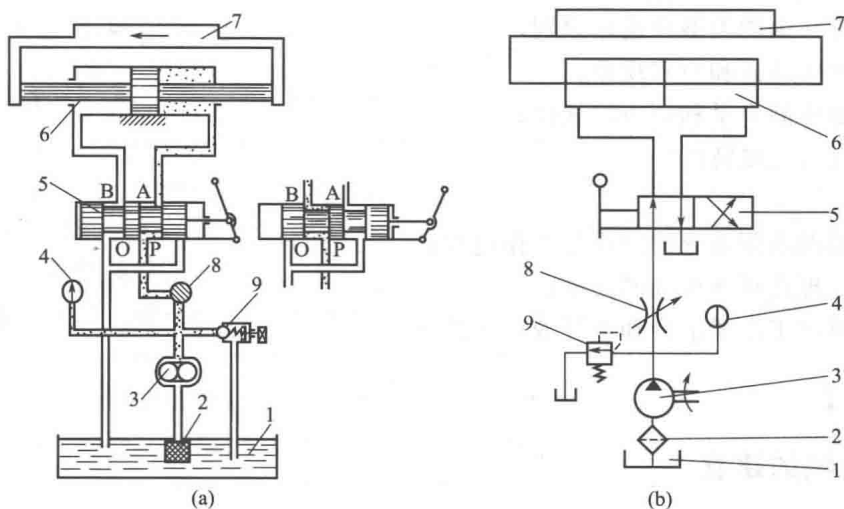


图 1-2 磨床工作台液压传动系统图

1—油箱；2—过滤器；3—液压泵；4—压力表；5—换向阀；
6—液压缸；7—工作台；8—节流阀；9—溢流阀

该系统的工作原理是：电动机驱动液压泵 3 旋转，液压泵输出的压力油经节流阀 8、换向阀 5 进入液压缸 6 的右腔，推动活塞使工作台 7 向左运动；这时液压缸左腔的油液经换向阀 5 回到油箱；如换向阀 5 换向，压力油则经换向阀 5 进入液压缸 6 的左腔，推动活塞使工作台向右运动，并使液压缸 6 右腔的油液经换向阀 5 流回油箱。

工作台的运动速度由节流阀 8 调节, 改变节流阀 8 开口大小, 可以改变进入液压缸液压油流量, 从而控制工作台移动速度, 多余油液经溢流阀 9 流回油箱。调节溢流阀弹簧的预压力就能调整液压泵出口的油液压力。由于系统的最高工作压力不会超过溢流阀的调定值, 所以溢流阀对系统起到过载保护作用。

一个完整的能够正常工作的液压系统, 应该由以下五个主要部分组成。

(1) 动力元件: 供给液压系统压力油, 把机械能转换成液压能的装置。最常见的形式是液压泵。

(2) 执行元件: 把液压能转换成机械能的装置。其形式有作直线运动的液压缸, 有作回转运动的液压马达。

(3) 控制调节元件: 对系统中的压力、流量或流动方向进行控制或调节的装置。如溢流阀、节流阀、换向阀等。

(4) 辅助元件: 除上述三部分之外, 保证系统正常工作时必不可少的装置, 例如油箱、滤油器、油管、管接头、压力表等。

(5) 工作介质: 传递能量的流体, 即液压油等。

(三) 液压传动系统图的图形符号

图 1-2(a) 所示的液压传动系统图, 是一种半结构式的工作原理图, 称为结构原理图。这种结构原理图直观性强、容易理解, 但绘制起来比较麻烦, 为了简化原理图的绘制, 我国制定了一套液压图形符号标准 (GB/T 786.1—2009), 称这种图形符号为职能符号, 系统中各元件可用符号表示。该标准规定, 这些符号只表示元件的职能、控制方式以及外部连接口, 不表示元件的具体结构和参数, 并且各符号所表示的都是相应元件的静止位置或零位置。图 1-2(b) 为用职能符号表示的机床工作台液压系统图, 绘制、分析、设计都更加方便。如有些液压元件无法用职能符号表示, 仍可采用结构示意图。GB/T 786.1—2009 液压图形符号见本书附录。

(四) 液压传动的优缺点

1. 液压传动的优点

(1) 单位功率的重量轻, 即在输出同等功率的条件下, 体积小, 重量轻、惯性力小、结构紧凑等。

(2) 执行元件运动平稳, 反应快, 冲击小, 能快速启动、制动和频繁换向。

(3) 易于实现无级调速, 而且调速范围大。

(4) 易于实现自动化, 当机、电、液配合使用时, 易于实现较复杂的自动工作循环。

(5) 易于实现过载保护, 同时可以自行润滑, 故元件的使用寿命长。

(6) 由于液压元件已实现了标准化、系列化和通用化, 所以液压系统的设计、制造和使用都比较方便, 另外液压元件可以根据需要方便、灵活的来布置。

2. 液压传动的主要缺点

(1) 由于液压油的泄漏和可压缩性, 导致液压传动不能保证严格的传动比。

(2) 液压系统能量损失较大, 如摩擦损失、泄漏损失等, 故不易于远距离传动。

(3) 液压传动性能对温度变化比较敏感, 因此不宜在很高或很低温度下工作; 另外液压传动装置对油液的污染也比较敏感, 故要求有良好的过滤装置。

(4) 为了减少泄漏, 液压元件在制造精度上要求较高, 因此液压元件的制造成本较高。

(5) 液压系统出现故障的原因复杂, 查找困难。

总而言之, 液压传动的优点比较突出, 它的缺点将会随着科技的进步逐步得到克服, 液压技术在各个领域的应用会更加广泛。

二、工作介质分析

(一) 工作介质特性

1. 密度

单位体积液体的质量称为液体的密度。密度的大小随着液体的温度或压力的变化而产生一定的变化, 但其变化量较小, 一般可忽略不计。

$$\rho = m/V \quad (1-1)$$

式中 V ——液体的体积, m^3 ;

m ——液体的质量, kg ;

ρ ——液体的密度, 常用单位为 kg/m^3 。

2. 可压缩性

液体受压力作用发生体积变化的性质称为液体的可压缩性。压力为 p_0 、体积为 V_0 的液体, 如压力增大 Δp 时, 体积减小 ΔV , 则此液体的可压缩性可用体积压缩系数 k , 即单位压力变化下的体积相对变化量来表示。

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

由于压力增大时液体的体积减小, 因此上式右边须加一负号, 以使 k 成为正值。常用液压油的 $k = (5 \sim 7) \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{N}$ 。

体积压缩系数的倒数称为液体的体积弹性模量, 用 K 来表示, 其值为 $K = 1/k$ 。在工程实际中, 常用体积弹性模量来表示液体抵抗压缩能力的大小, 一般液压油的体积弹性模量为 $(1.4 \sim 1.9) \times 10^3 \text{MPa}$ 。在一般情况下, 液体体积受压力变化的影响很小, 液压油的不可压缩性对液压系统性能的影响不大, 所以可认为液体是不可压缩的。当液体中混入空气时, 其压缩性将显著增加, 并严重影响液压系统的性能, 所以应将液压系统油液中空气含量减小到最低限度。

3. 黏性

液体在外力作用下流动 (或有流动趋势) 时, 分子间的内聚力要阻止分子相对运动而产生的一种内摩擦力, 这种现象叫做液体的黏性。液体只有在流动 (或有流动趋势) 时才会呈现出黏性, 静止液体是不呈现黏性的。黏性的大小用黏度来衡量, 常用的黏度有动力黏度、运动黏度和相对黏度三种。

(1) 动力黏度 黏性使流动液体内部各处的速度不相等, 以图 1-3 为例, 若两平行平板间充满液体, 下平板不动, 而上平板以速度 u_0 向右平动。由于液体的黏性作用, 紧靠下平板和上平板的液体层速度分别为零和 u_0 。通过实验测定得出, 液体流动时相邻液层间的内摩擦力 F_t , 与液层接触面积 A 、液层间的速度梯度 du/dy 成正比, 即

$$F_t = \mu A \frac{du}{dy} \quad (1-3)$$

式中, μ 为比例常数, 称为动力黏度或绝对黏度, 单位为: $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 或 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

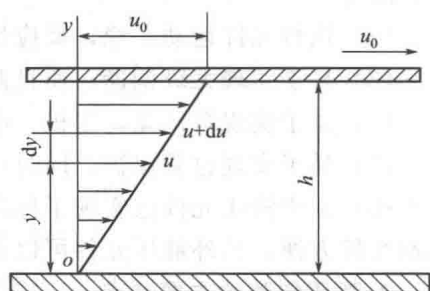


图 1-3 液体的黏性示意图

(2) 运动黏度 液体的动力黏度与其密度的比值,称为液体的运动黏度,即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-4)$$

运动黏度单位为 m^2/s , 工程单位制使用的单位还有 cm^2/s , 通常称为 St (斯), 工程中常用 cSt (厘斯) 来表示, $1\text{m}^2/\text{s}=10^4\text{St}=10^6\text{cSt}$ (厘斯)。习惯上常用运动黏度来标志液体的黏度, 各种矿物油的牌号就是该种油液在 40°C 时的运动黏度的平均值, 如通用机床液压油 L-HL-46, 数字 46 表示该液压油在 40°C 时的运动黏度为 46cSt (平均值)。

(3) 相对黏度 相对黏度又称为条件黏度, 是采用特定的黏度计在规定条件下测出的液体黏度。中国、德国和俄罗斯采用恩氏黏度 ($^\circ\text{E}$), 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, 具体测定方法是: 将 200mL 某一温度的被测液体装入恩氏黏度计中, 测出在自重作用下流过其底部直径为 2.8mm 小孔所需的时间 t_A , 然后测出同体积的蒸馏水在 20°C 时流过同一孔所需时间 t_B , t_A 与 t_B 的比值即为流体的恩氏黏度值。恩氏黏度用符号 $^\circ\text{E}$ 表示。被测液体在温度 $t^\circ\text{C}$ 时的恩氏黏度用符号 $^\circ\text{E}_t$ 表示。

$$^\circ\text{E}_t = t_A/t_B$$

工业上常用 20°C 、 50°C 、 100°C 作为测定恩氏黏度的标准温度, 其恩氏黏度分别以相应的符号 $^\circ\text{E}_{20}$ 、 $^\circ\text{E}_{50}$ 、 $^\circ\text{E}_{100}$ 表示。

黏度与压力、温度的关系:

在一般情况下, 压力对黏度的影响比较小, 在工程中当压力低于 5MPa 时, 黏度值的变化很小, 可以不考虑。当液体所受的压力加大时, 分子之间的距离缩小, 内聚力增大, 其黏度也随之增大。因此, 在压力很高以及压力变化很大的情况下, 黏度值的变化就不能忽视了。

黏度对温度的变化是十分敏感的, 当温度升高时, 其分子之间的内聚力减小, 黏度就随之降低。液压油黏度随温度变化的性质称为液压油的黏温特性。液压油黏度的变化直接影响液压系统的性能和泄漏量, 因此, 液压油黏度随温度变化越小越好, 即黏温特性要好。

4. 酸值

液压油酸值的高低对设备氧化程度的大小起着非同小可的作用, 液压油酸值大, 会加剧零件壳体的氧化。

5. 闪点和凝点

其指标对液压传动的可靠性有着直接的影响, 如闪点过低, 则在设备正常运转时随着温度的升高会发生闪火现象。如凝点过高, 当设备停止运转时, 会使油液黏度剧增, 甚至凝固, 造成启动困难或不启动。

6. 灰分、机械杂质

(1) 对轴向柱塞泵和轴向柱塞马达的影响 据对 15 个泵和马达损坏原因进行统计可以看出, 机械杂质对泵、马达的损坏, 各占其损坏总数的 60%, 且从使用到损坏时间不超过 1 个月。

(2) 对液压控制阀的影响 液压中含有灰分、机械杂质时, 会造成阀调整无效, 压力波动不稳定, 出现振动、噪声等, 严重时会使磨损阀芯, 使阀损坏。

(3) 对液压回路的影响 据统计, 由于灰分、机械杂质的原因使液压回路发生故障占到总故障次数的 75%。

7. 液压冲击与空穴现象

(1) 液压冲击 在液压系统中, 由于某种原因引起液体压力在某一瞬间突然急剧上升, 形成很高的压力峰值, 这种现象称为液压冲击。

产生原因：①阀门突然关闭引起液压冲击；②运动部件突然制动或换向。

危害：①巨大的瞬时压力峰值使液压元件，尤其是密封件遭受破坏；②系统产生强烈震动及噪声，并使油温升高；③使压力控制元件（如压力继电器、顺序阀等）产生误动作，造成设备故障及事故。

减小液压冲击的措施：①延长阀门关闭和运动部件换向制动时间，当阀门关闭和运动部件换向制动时间大于 0.3s 时，液压冲击就大大减小；②限制管道内液体的流速和运动部件速度；③适当加大管道内径或采用橡胶软管；④在液压冲击源附近设置蓄能器。

(2) 空穴现象 在液压系统中，当压力低于油液工作温度下的空气分离压时，油液中的空气就会分离出来形成大量气泡，当压力进一步降低到油液工作温度下的饱和蒸汽压力时，油液会迅速气化而产生大量气泡。这些气泡混杂在油液中，使原来充满管道或液压元件中的油液成为不连续状态，这种现象称为空穴现象。

危害：①使系统产生振动和噪声；②产生汽蚀现象。

预防措施：①正确确定液压泵吸油管径，对管内液体流速加以限制，降低液压泵的吸油高度，对于高压泵可采用辅助泵供油；②整个系统管路应尽可能直，避免急弯和局部窄缝等；③管路密封要好，防止空气渗入；④节流口压力降要小，一般控制节流口前后压力比 $p_1/p_2 < 3.5$ 。

(二) 工作介质的类型及选用原则

1. 工作介质的分类

在国标中将“润滑剂和有关产品”规定为 L 类产品，并将 L 类产品按应用场合分为 19 个组，H 组用于液压系统。液压油分为矿物油型液压油和难燃型液压油。由于制造容易、来源多、价格低，故在液压设备中几乎 90% 以上使用矿物油型液压油，矿物油型液压油一般为了满足液压装置的特别要求而在基油中配合添加剂（抗氧化剂、防锈剂等）来改善特性。我国液压油的主要品种、组成和特性见表 1-1。

表 1-1 我国液压油的主要品种、组成和特性

组别符号	类型	产品符号 L-	组成和特性
H	矿物油型液压油	HH	无抗氧化剂的精制矿物油
		HL	精制矿物油,并改善其防锈和抗氧化性
		HM	HL 油,并改善其抗磨性
		HR	HL 油,并改善其黏温性
		HV	HM 油,并改善其黏温性
		HS	无特定难燃性的合成液
		HG	HM 油,并具有黏温性好的特点
	难燃型液压油	HFAE	水包油乳化液
		HFAS	水的化学溶液
		HFB	油包水乳化液
		HFC	含聚合物水溶液
		HFDR	磷酸酯无水合成液
		HFDS	氯化烃无水合成液
		HFDT	HFDR 和 HFDS 液混合的无水合成液

2. 对工作介质的要求

在液压传动中，液压油既是传动介质，又兼作润滑油，因此对润滑油有一定要求：

- (1) 具有适宜的黏度和良好的黏温特性，一般要求液压油的运动黏度为 $(14\sim68)\times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}(40^\circ\text{C})$ 。
- (2) 具有良好的润滑性。
- (3) 具有良好的热安定性和氧化安定性。
- (4) 具有良好的抗泡沫性和抗乳化性。液压油乳化会使其润滑性降低，酸值增加；液压油中产生泡沫会引起空穴现象。
- (5) 具有良好的防腐性、耐磨性和防锈性。
- (6) 具有较好的相容性，即对密封件、软管及涂料等无溶解的有害影响。
- (7) 在高温环境下具有较高的闪点，在低温环境下具有较低的凝点。

3. 工作介质的选用

(1) 液压油品种的选择 应从液压系统特点、工作环境和液压油的特性等方面出发来选择液压油品种。表 1-2 可供选择液压油时参考。

表 1-2 液压油品种选择参考表

液压设备液压系统举例	对液压油的要求	可选择的液压油品种
低压或简单机具的液压系统	抗氧化安定性和抗泡沫性一般,无抗燃要求	HH,无本产品时可选 HL
中、低压精密机械等液压系统	要求有较好的抗氧化安定性,无抗燃要求	HL,无本产品时可选用 HM
中、低压和高压液压系统	要求抗氧化安定性、抗泡沫性、防锈性好、抗磨性好	HM,无本产品时可选用 HV、HS
环境变化较大和工作条件恶劣(指野外工程和远洋船舶等)的低、中、高压系统	除上述要求外,还要求凝点低、黏度指数高、黏温特性好	HV、HS
环境温度变化较大和工作条件恶劣(指野外工程和远洋船舶等)的低压系统	要求凝点低,黏度指数高	HR,对于有银部件的液压系统,北方选用 L-HR 油,南方选用 HM 油或 HL 油
煤矿液压支架、静压系统和其他不要求回收废液和不要求有良好润滑的情况,但要求有良好的难燃性。使用温度 5~50℃	要求抗燃性好,并具有一定的防锈、润滑性和良好的冷却性,价格便宜	L-HFAE
冶金、煤矿等行业的中、高压和高温、易燃的液压系统。使用温度 5~50℃	抗燃性、润滑性和防锈性好	L-HFB
冶金、煤矿等行业的低压和中压液压系统。使用温度-25~50℃	低温性、黏温性和对橡胶的适用性好,抗燃性好	HFC
需要难燃液的低压系统和金属加工等机械。使用温度 5~50℃	不要求低温性、黏温性和润滑性,但抗燃性要好,价格要便宜	L-HFAS
冶金、火力发电、燃气轮机等高温高压下操作的液压系统。使用温度为-20~100℃	要求抗燃性、抗氧化安定性和润滑性好	HFDR

(2) 液压油牌号的选择 在液压油品种已定的情况下，选择液压油的牌号时，首先应该考虑液压油的黏度，如果黏度太低，会使泄漏增加，从而降低效率，降低润滑性，增加磨损；如果黏度太高，液体流动的阻力就会增大，磨损增大，液压泵的吸油阻力增大，易产生

吸空现象（也称空穴现象）和噪声。因此选择液压油时要注意以下几点：

① 工作环境。当液压系统工作环境温度较高时，应采用较高黏度的液压油，反之则用较低黏度的液压油。

② 工作压力。当液压系统工作压力较高时，应采用较高黏度的液压油，以防泄漏，反之则用较低黏度的液压油。

③ 运动速度。当液压系统工作部件运动速度提高时，为了减少功率损失，应采用较低黏度的液压油，反之则用较高黏度的液压油。

④ 液压泵的类型。在液压系统中，不同的液压泵对润滑的要求不同，选择液压油时应考虑液压泵的类型及其工作环境，可参考表 1-3。

表 1-3 各类液压泵推荐用的液压油

液压泵类型	运动黏度(40℃)/mm ² ·s ⁻¹		适用液压油的种类和黏度牌号
	系统工作温度 5~40℃	系统工作温度 40~80℃	
叶片泵	30~50	40~75	L-HM32、L-HM46、L-HM68
	50~70	55~90	L-HM46、L-HM68、L-HM100
齿轮泵	30~70	95~165	中、低压时用：L-HL32、L-HL46、L-HL68、L-HL100、L-HL150 中、高压时用：L-HM32、L-HM46、L-HM68、L-HM100、 L-HM150
径向柱塞泵	30~50	65~240	
轴向柱塞泵	30~70	70~150	

(三) 液体静力学分析

1. 液体静压力特性

作用在液体上的力有质量力和表面力。当液体处于静止状态时，质量力只有重力；液体质点间没有相对运动，不存在摩擦力，所以静止液体的表面力只有法向力。静止液体单位面积上所受的法向力称为静压力，用符号 p 表示，在液压传动中简称压力，在物理学中则称为压强。

如果法向力 F 均匀地作用于面积 A 上，则压力可表示为

$$p = \frac{F}{A} \tag{1-5}$$

液体的静压力具有以下两个重要特性。

(1) 由于液体质点间的凝聚力很小，只能承受压力，不能承受拉力，所以液体静压力的方向总是沿作用面的内法线方向。

(2) 静止液体任一点的静压力在各个方向上都相等。

2. 压力表示方法及单位

压力的表示方法有两种：一种是以绝对真空作为基准所表示的压力，称为绝对压力；另一种是以大气压力作为基准所表示的压力，称为相对压力。由于大多数测压仪表所测得的压力都是相对压力，故相对压力也称为表压力。

绝对压力与相对压力的关系为：绝对压力 = 相对压力 + 大气压力

当绝对压力小于大气压时，负相对压力数值部分叫做真空度，即：

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

由此可知，当以大气压为基准计算压力时，基准以上的正值是表压力，基准以下的负值