



基于“校企合作”人才培养模式
数控技术应用示范专业教改新教材

设备控制基础 学习指南

SHEBEI KONGZHI JICHU XUEXI ZHINAN

赵仕元 马荣平 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



本书是冯锦春、胡雪原编写的《设备控制基础》的配套学习指南。全书共分为液压传动特性与液压元件、液压基本回路及典型设备液压系统、气压传动及数控设备典型气动系统、数控设备常用电器元件、电气控制基本环节及典型设备控制电路、可编程序控制器 6 个课题。

每个课题的内容均按照《数控加工岗位职业标准》，分析本模块承担的培养任务，选择合适的载体，并基于典型设备液、电控制的工作流程，将实际生产案例有机地融入教材中，做到了生产实际与课堂教学的有机结合。

本书可以作为高等职业院校数控专业教学用书，也可供企业及相关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

设备控制基础学习指南/赵仕元, 马荣平主编. —北京: 机械工业出版社, 2009.12

基于“校企合作”人才培养模式数控技术应用示范专业教改新教材
ISBN 978-7-111-28385-0

I. 设… II. ①赵…②马… III. 机械设备—控制系统—高等学校: 技术学校—教学参考资料 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 172750 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 汪光灿 责任编辑: 张云鹏 版式设计: 张世琴

封面设计: 王伟光 责任校对: 李秋荣 责任印制: 乔 宇

北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2010 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 10 印张 · 266 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-28385-0

定价: 18.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

销售二部: (010) 88379649

教材网: <http://www.cmpedu.com>

读者服务部: (010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前言

“设备控制基础”课程是数控技术应用专业的一门主干课程，本书是该课程的配套用书。为做好本课程的建设，我们组建了由机械专业学科带头人、课程带头人、骨干教师及知名企业人员组成的校企合作课程开发团队。本书的编写实行双主编制，由四川工程职业技术学院赵仕元副教授和中国二重万信工程设备有限公司马荣平高级工程师联合担任教材主编；由四川工程职业技术学院冯锦春副教授和东方日立电控设备有限公司夏宇教授级高级工程师联合担任主审。

为了使“设备控制基础”课程符合中、高级技能人才培养目标和专业相关技术领域职业岗位的任职要求，本书编写组按照“行业引领、企业主导、学校参与”的思路，与行业、企业的有关专家一同制定了《数控加工岗位职业标准》。该标准已通过由全国机械工业联合会组织的，由有关行业、企业专家组成的鉴定组的评审鉴定。依据《数控加工岗位职业标准》，本书的编写明确了课程内容，并基于“校企合作”的人才培养模式对课程内容进行了组织和调整。

本书的编写始终以《数控加工岗位职业标准》所确定的该门课程所承担的典型工作任务为依托，基于工厂“典型设备”的控制过程为导向，结合企业生产实际“设备控制”的工作流程，分析完成每个流程所必需的知识和能力结构，归纳了“设备控制基础”课程的主要工作任务，选择合适的载体，构建主体学习单元；按照任务驱动、项目导向，以职业能力培养为重点，将真实生产过程和产品融入教学全过程。

通过与企业长期合作共建的桥梁，我们在两年前开发出了工学结合的《设备控制基础》活页教材，并在此基础上，经过专业教学指导委员会的多次论证和修改，最终编写了本书。

本书由四川工程职业技术学院谭红川编写课题一，中国东方电气集团高级工程师胡雪原提供相关资料，并协助编写；赵仕元副教授编写课题二、课题三，马荣平高级工程师提供相关资料，并协助编写；四川工程职业技术学院吴先文副教授编写课题四、课题五，二重集团电气技师赵斌提供相关资料，并协助编写；四川工程职业技术学院杨林建讲师编写课题六，中国二重集团公司张顺宁高级工程师提供相关资料，并协助编写。

由于编者水平有限，书中难免存在错误和疏漏之处，敬请广大读者批评指正。

编者

目 录

前言

课题一	液压传动特性与液压元件	1
课题二	液压基本回路及典型设备液压系统	25
课题三	气压传动及数控设备典型气动系统	55
课题四	数控设备常用电器元件	75
课题五	电气控制基本环节及典型设备控制电路	89
课题六	可编程序控制器	113
参考文献		153

课题一

液压传动特性与液压元件

授 课 计 划	
设备控制基础	总学时：64
液压传动特性与液压元件	学时：12
学习目标 1. 掌握液压传动的工作原理、运行特点和使用范围。 2. 掌握液压系统的组成元件及液压油的主要物理性质。 3. 了解液压动力学基本方程及其应用。 4. 掌握油压作用在平面或曲面上的作用力的计算方法。 5. 了解液压油流动时压力损失的计算方法以及液体流量计算公式。 6. 了解液压油流经其他缝隙的流量计算公式，了解液压冲击和空穴现象。 7. 深入掌握液压元件的主要结构、工作原理、功能、主要性能参数、使用特点 and 操作方法。 8. 能够识读国家标准关于液压元件的图形符号。	
学习任务书 一、学习任务 1. 通过液压传动系统感性认识完成下列知识点的学习 1) 液压系统传动的工作原理、组成元件、运行特点和使用范围。 2) 液压油（液）的主要物理性质及选用。 3) 液压油动力学基本方程。 4) 液体流动时的压力损失。 5) 液体流经小孔及间隙的流量。 6) 液压冲击和空穴现象。 2. 通过液压元件拆装完成下列知识点的学习 1) 各类液压元件的功用、工作原理、主要结构、图形符号和操作方法。 2) 国家标准关于液压元件图形符号表达方法。 3) 各类液压元件的常见故障及排除方法。 二、能力目标 1) 正确分析液压传动系统的工作原理、组成元件、运行特点和使用范围。 2) 掌握液压油的主要物理性质并正确选用液压油。 3) 正确分析液压系统中的压力损失及液压油的流量公式。 4) 掌握液压元件功用、工作原理、结构特点、操作方法，绘制正确的液压元件图形符号。 5) 能够正确拆装液压元件并据此分析液压元件的主要结构、工作原理、功能、操作方法。	

学 习 指 导

一、学习目标

- 1) 掌握液压传动的工作原理、构成元件、运行特点、应用范围。
- 2) 掌握液压油的主要物理性质并能选用。
- 3) 了解静力学基本方程、动力学基本方程及其应用。
- 4) 掌握油压作用在平面或曲面上的作用力的计算方法、液体流量计算公式。
- 5) 了解液压冲击和空穴现象。
- 6) 深入掌握液压元件的工作原理、主要结构、操作方法、图形符号、主要性能参数。
- 7) 掌握国家标准关于液压元件图形符号的表达方法。

二、学生需准备的资料

- 1) 收集液压传动的国家及行业相关规范与标准资料。
- 2) 收集液压元件结构、图形符号、工作原理资料。
- 3) 收集液压传动应用方面的资料。

三、预习要求

- 1) 液压传动的工作原理、组成、特征。
- 2) 液体的密度、可压缩性、粘性与粘度。
- 3) 液体压力的表示方法及单位，静压力对固体壁面的作用力。
- 4) 了解流体的流动状态，流量与流速，连续性方程、伯努利方程、动量方程。
- 5) 流体流动的压力损失计算方法。
- 6) 流体流经孔口及缝隙的流量计算方法。
- 7) 液压冲击和气穴现象概念。
- 8) 液压元件的类型、结构、图形符号、工作原理、国家标准关于液压元件图形符号表达方法。
- 9) 液压泵基本工作原理及分类、主要性能参数及使用特性曲线。
- 10) 齿轮泵工作原理、结构特点。
- 11) 叶片泵工作原理、结构特点，变量叶片泵的流量压力特性。
- 12) 液压缸类型、工作原理及运行特点，主要工作参数计算。
- 13) 辅助元件的类型、用途、图形符号。

四、重点难点

1. 重点

- 1) 液压传动的工作原理。
- 2) 液压系统的组成及运行特点。
- 3) 液压传动重要参数和压力、流量、功率等概念。
- 4) 液体的主要物理性质。
- 5) 液压元件的类型、功用、结构、工作原理和主要性能参数。

2. 难点

- 1) 液压传动工作原理。
- 2) 液压元件的类型、功用、工作原理、主要结构、图形符号和主要性能参数。

补充阅读材料

一、液压传动

1. 液压传动工作原理及组成

以液体为工作介质进行能量传递和控制的传动方式称为液压传动。液压传动主要以液体压力能来传递能量。

液压传动系统一般由动力元件、执行元件、控制元件、辅助元件和传动介质组成，它们之间相互配合，能够完成特定的工作。元件和元件之间需要通过油管 and 管接头连接起来构成能量传递系统。各种元件的功能是不同的。动力元件（液压泵）将机械能转化成液压油的压力能，再由液压油将压力能传递给执行元件（液压缸或马达），液压缸或马达运转再驱动机器部件（如机床的工作台）运动。控制元件来控制 and 调节液压系统中油液的压力、流量和流动方向，以满足执行元件的动作要求。辅助元件可以完成元件的连接、杂质过滤、散热，以及压力和流量的测定等辅助工作。

所以，液压传动系统涉及能量的传递和转换两个方面的问题。

2. 液压油（液）的主要物理性质

粘度是液体最重要的特性之一，是选择的液压油（液）的主要依据。常用的粘度有动力粘度、运动粘度和条件粘度三种。（通常依据运动粘度）

液体的粘度会随压力和温度的变化而变化。当液体所受压力增大时，其分子间距离减小，内聚力增大，粘度也随之增大。但在机床液压系统所使用的压力范围内，液压油（液）的粘度受压力变化的影响甚微，可以忽略不计；若压力高于 10MPa 或压力变化较大时，则应考虑压力对粘度的影响。

二、液压元件

1. 液压动力元件

液压泵是液压传动系统的动力元件，其类型有许多不同的分法：按照结构分有齿轮泵、叶片泵、柱塞泵、活塞泵等；按照工作压力分有低压泵、中压泵、高压泵、超高压泵等；按照排量分有小排量泵、中排量泵、大排量泵等。

图 1-1 是单向定量泵的图形符号，旋转箭头表示泵轴旋转方向为单向旋转，进出油口固定，定量表示泵的理论排量为定值。图 1-2 是单向变量泵的图形符号，旋转箭头表示泵轴旋转方向为单向旋转，进出油口固定，变量表示泵的理论排量为变化值。

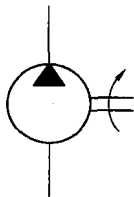


图 1-1 单向定量泵

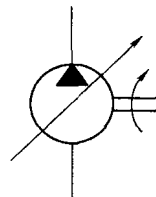


图 1-2 单向变量泵

2. 液压缸与液压马达

液压缸的功能是使压力油通往油缸的腔内并驱动活塞或缸体直线移动，一般用于实现

直线往复运动或摆动；液压马达的功能是压力油通往马达的腔内并驱动马达的零件如齿轮、叶片转动，一般用于实现旋转运动。

双活塞杆液压缸有两个活塞杆伸出，活塞两边均为有杆腔，有效面积相等，如果通同样的压力油，两个方向所产生的速度和推力都相等。

单活塞杆液压缸只有一个活塞杆伸出，活塞（在缸体中）两边一个是有杆腔，一个是无杆腔。其油液流动方式可以是有杆腔进油，无杆腔出油或排油、回油；或无杆腔进油，有杆腔出油或排油、回油。有杆腔的油流回到无杆腔，形成差动连接。

图 1-3 是双活塞杆液压缸的图形符号，下面两根垂直线可以理解为油口上连接着油管，活塞左、右两侧均安装有活塞杆，可以是缸体固定（缸体固定不动，活塞和活塞杆移动）或活塞杆固定（活塞杆固定不动，缸体移动，因此油管为塑料软管）。图 1-4 是单活

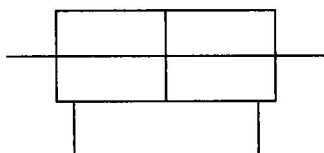


图 1-3 双活塞杆液压缸

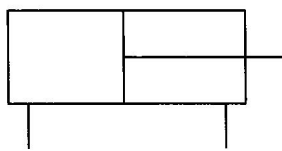


图 1-4 单活塞杆液压缸

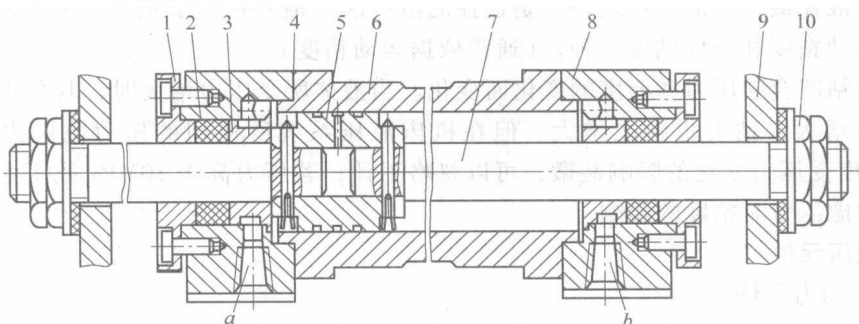


图 1-5 双活塞杆液压缸

- 1—压盖 2—V 形密封圈 3—导向套 4—密封垫 5—活塞 6—缸体
7—活塞杆 8—端盖 9—工作台支架 10—螺母

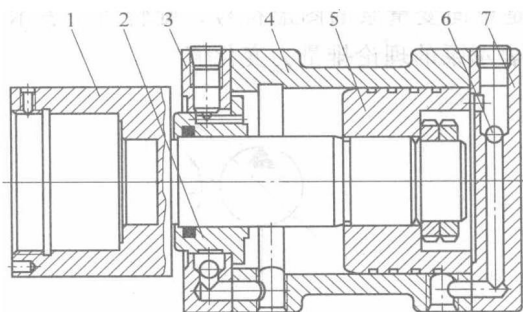


图 1-6 单活塞杆液压缸

- 1—活塞杆 2—导套 3—前盖 4—缸体
5—活塞 6—单向阀 7—后盖

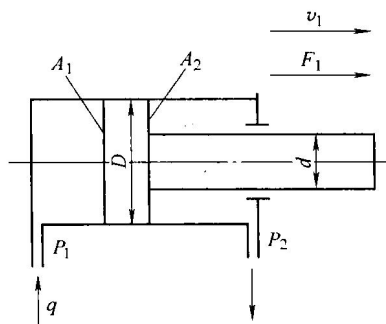


图 1-7 工进

塞杆液压缸的图形符号，下面两根垂直线可以理解为油口上连接着油管，与双活塞杆液压缸图形符号的区别是图 1-4 所示只是活塞右侧安装有活塞杆。从图 1-5 和图 1-6 就可以看出双活塞杆液压缸和单活塞杆液压缸的区别。

单活塞杆液压缸有三种进油驱动方式，即工进（图 1-7）、快退（图 1-8）和快进（图 1-9）。

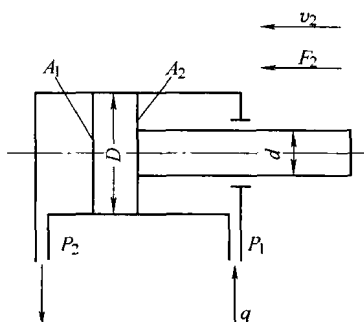


图 1-8 快退

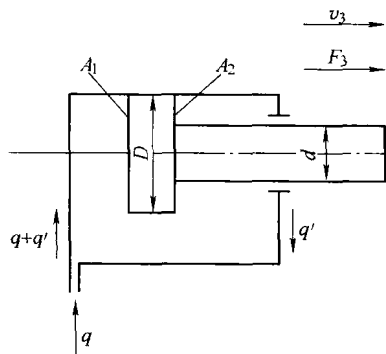


图 1-9 快进

工进就是无杆腔进油，有杆腔回油；快退就是有杆腔进油，无杆腔回油；快进就是有杆腔和无杆腔连接在一起，油压亦相同，从有杆腔流出的油液返回到无杆腔中。

液压马达如图 1-10 所示，单向指马达轴的旋转方向为单向旋转；双向指马达轴的旋转方向为双向旋转（进、出油口不分）；定量指马达的排量为定值；变量指马达的排量为变化值。图中旋转箭头表示马达轴的旋转方向；斜箭头表示马达的排量可调。

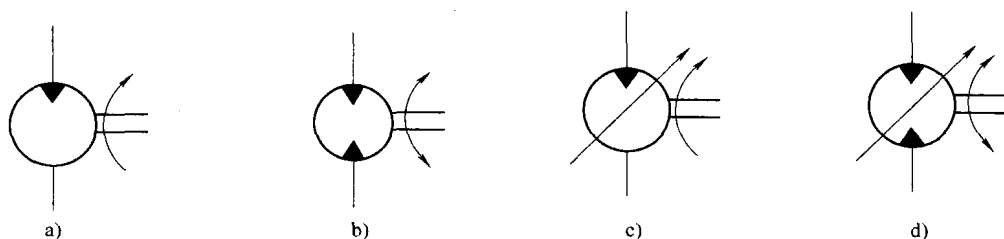


图 1-10 液压马达

a) 单向定量马达 b) 双向定量马达 c) 单向变量马达 d) 双向变量马达

3. 液压控制阀

液压控制阀是液压系统中控制油液压力、流量及流动方向的控制元件，其作用是控制和调节压力油方向、压力和流量，以满足执行元件的起动、停止、运动方向、运动速度、动作顺序等要求，使整个液压系统能按要求协调地进行工作。

方向控制阀主要用来控制液压系统中各油路的通、断或油液流动方向以满足执行元件运动方向的要求。

普通单向阀（图 1-11）的功能是单向导通，反向截止。液控单向阀（图 1-12）有三个油口，进油口 P_1 、出油口 P_2 和控制油口 K 。当控制油口 K 通控制油时，两个油口可以双向导通，即 $P_1 \rightarrow P_2$ （或 $P_2 \rightarrow P_1$ ），取决于油液的实际流动方向。当控制油口 K 不通控制

油时，两个油口可单向导通，即 $P_1 \rightarrow P_2$ 。

图 1-11 为普通单向阀图形符号， P_1 、 P_2 为油口，油液只能从 P_1 油口流向 P_2 油口，图 1-12 为液控单向阀图形符号， P_1 、 P_2 为油口， K 为控制油口， L 为外泄油口。

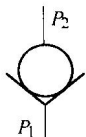


图 1-11 普通单向阀

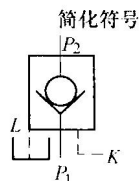


图 1-12 液控单向阀

液控单向阀为什么还有外泄油口呢？从图 1-13 所示的液控单向阀的结构可看出，在该阀运行的时候，活塞 1 的上端会有油液存在，此油液会阻碍活塞 1 的运动进而影响该阀功能的实现，因此需要将活塞 1 上端的油液排出。此为外泄油口 L 的功能。

换向阀的控制机构不发生作用的时候，如电磁铁不通电、液动阀控制油口不通油、机动阀的行程挡块不压下顶杆或滚轮时，阀芯所处的位置称为常态位。在图形符号中，三位阀的中位和两位阀靠近弹簧一侧的位置是常态位。

图 1-14 是二位三通机动换向阀图形符号，二位是指阀芯在阀体内有两个位置，三通指阀体上有三个油口（ P 、 A 、 B ），机动是指阀芯的运动动力来源于机器运动部件的撞击（撞击该阀的滚轮）。当机器运动部件撞击该阀滚轮时，图 1-14 是上位接通油路，即 $P \rightarrow B$ ， A 油口截止。当机器运动部件没有撞击该阀滚轮时，图 1-14 是下位接通油路，即 $P \rightarrow A$ ， B 油口截止。截止的意思是既不进油，又不出油。

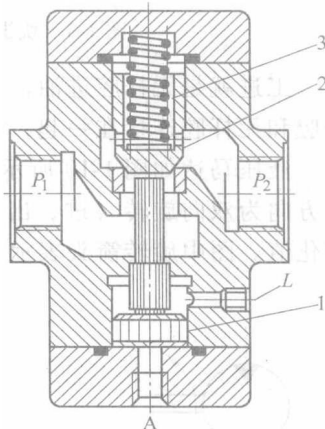


图 1-13 液控单向阀主要结构
1—活塞 2—锥阀 3—弹簧

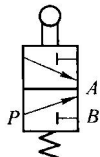


图 1-14 二位三通机动换向阀

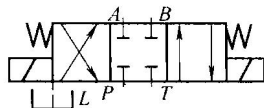


图 1-15 三位四通电磁换向阀

图 1-15 是三位四通电磁换向阀图形符号，三位是指阀芯在阀体内有三个位置（用三个方框表示），四通指阀体上有四个油口（ P 、 A 、 B 、 T ），电磁是指阀芯的运动动力来源于电磁铁的磁力。当左边电磁铁通电时，该阀左位（左边方框）接通，即 $P \rightarrow B$ ， $A \rightarrow T$ ；当右边电磁铁通电时，该阀右位（右边方框）接通，即 $P \rightarrow A$ ， $B \rightarrow T$ 。当两边电磁铁都不

通电时， P 、 A 、 B 、 T 四个油口截止。

图 1-16 是三位四通液动换向阀图形符号，三位是指阀芯在阀体内有三个位置（用三个方框表示），四通指阀体上有四个油口（ P 、 A 、 B 、 T ），液动是指阀芯的运动动力来源于控制油液的液压作用力。当左边通控制油时，该阀左位（左边方框）接通，即 $P \rightarrow A$ ， $B \rightarrow T$ 。当该阀右边通控制油液时，该阀右位（右边方框）接通，即 $P \rightarrow B$ ， $A \rightarrow T$ 。当两边都不通控制油时， A 、 $B \rightarrow T$ ， P 油口截止。

图 1-17 是三位四通手动换向阀图形符号，三位是指阀芯在阀体内有三个位置（用三个方框表示），四通指阀体上有四个油口（ P 、 A 、 B 、 T ），手动是指阀芯的运动动力来源于手对手柄的操作力。当手柄向左扳时，该阀左位（左边方框）接通，即 $P \rightarrow A$ ， $B \rightarrow T$ ；当该阀手柄向右扳时，该阀右位（右边方框）接通，即 $P \rightarrow B$ ， $A \rightarrow T$ 。当两该阀手柄处于中间位置时， A 、 B 、 T 、 P 四油口截止。

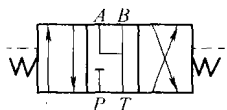


图 1-16 三位四通液动换向阀

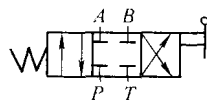


图 1-17 三位四通手动换向阀

控制油液压力高低（如溢流阀和减压阀）或利用压力变化实现某种动作（如顺序阀和压力继电器）的控制阀称为压力控制阀。

压力控制阀利用阀芯上的液压力和弹簧力保持平衡进行工作。

溢流阀的主要用途是溢去系统多余油液的同时使系统压力得到调整并保持基本恒定。例如，油泵泵油流量为 80L/min ，液压系统实际用油 30L/min ，那么溢流阀将多余的 50L/min 返回油箱并保持液压系统工作压力稳定。通过溢流阀上的操作手柄，即可调节液压系统油液压力，油压的大小取决于负载大小，负载大则需要油压大，负载小，则需要油压小。

减压阀的主要用途是用来减低液压系统中某一回路的油液压力，使同一系统具有两个或两个以上较系统压力低的稳定压力的压力回路；如溢流阀调定液压系统油压为 15MPa ，但是控制回路需要油压为 8MPa ，在此情况下，就可以通过减压阀调节油液压力使油液压力为 8MPa ，供控制油路使用。

图 1-18 是直动型溢流阀的图形符号，图中的方框可理解为阀芯，折线可理解为弹簧，弹簧力作用在阀芯上，虚线可理解为从进油口引出的油液并作用在阀芯上，因此阀芯受到两个力的作用——弹簧力和油压作用力，二力需要保持平衡。而弹簧力可由该阀的手柄调节，弹簧力越大，则该阀控制的油液压力亦越大。

图 1-19 是先导型溢流阀的图形符号。方框右边可理解为先导阀，当控制油口 K 封闭后，可由先导阀调节该阀的油液压力。当控制油口 K 导通且油压小于先导阀调定压力时，控制油口的油压就是该先导型溢流阀的油液调定压力。当控制油口 K 导通且油压大于先导阀调定压力时，先导阀的调定压力就是先导型溢流阀的调定压力。

流量控制阀是用来控制液压系统中油液的流量，以满足执行元件——液压缸或液压马

达调速的要求，简称流量阀。流量控制阀可通过改变油液流经阀口的通流面积或来调节其流量，以控制执行元件的运动速度，通常流量控制阀与溢流阀并联使用。

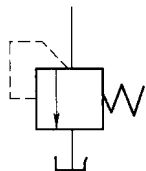


图 1-18 直动型溢流阀

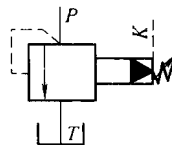


图 1-19 先导型溢流阀

学 习 报 告

一、方案设计

- 1. 简述液压传动系统及压力、流量、功率等重要参数和概念。
- 2. 简述液体的主要物理性质。
- 3. 常用的液压元件有哪些？

完成情况评价表

项目	预习完成情况	成绩（15%）	教师签字
方案设计			

二、液压传动工作原理

- 1. 简述液压传动系统工作原理。
- 2. 简述液压传动系统组成。

完成情况评价表

项目	完成情况	成绩（10%）	教师签字
液压传动工作原理			

三、液压传动基础知识

- 1. 简述选用液压油的原则。

- 2. 简述静压力基本方程、连续性方程。
- 3. 简述液压系统的压力与负载关系。
- 4. 简述液体流动时压力损失及流量计算。
- 5. 简述液压冲击与空穴现象。
- 6. 理想液体伯努利方程和实际液体伯努利方程的区别有哪些？

完成情况评价表

项目	完成情况	成绩（10%）	教师签字
液压传动基础知识			
四、液压元件认识			

1. 简述液压泵基本工作原理、分类及主要性能参数。
2. 简述齿轮泵、叶片泵工作原理和结构特点。
3. 简述液压缸类型、工作原理、典型结构。
4. 简述液压马达类型及工作原理、主要特性参数。
5. 简述液控单向阀和单向阀功能区别。
6. 换向阀的种类有哪些？举例说明“位”和“通”的含义是什么？分别说明 O 型、M 型、P 型和 H 型三位四通换向阀在中间位置时的性能特点？
7. 选用换向阀时要考虑哪些问题？

8. 电液换向阀适用于什么场合？其先导阀中位机能可否为 H 型？为什么？
9. 画出溢流阀、减压阀及顺序阀的职能符号图形，并比较它们在结构上的异同之处。
10. 直动型溢流阀为何不适用于做高压大流量的溢流阀？
11. 采用先导型溢流阀为何能减小系统的压力波动？阀中的小孔各起什么作用？
12. 分析比较溢流阀、减压阀和顺序阀的作用及区别。
13. 先导型顺序阀的工作过程是什么？其符号是什么？
14. 分析内控式顺序阀出口处负载压力 p_2 、调定压力 p_s 和阀的进口压力 p_1 之间的关系。

15. 为什么减压阀的调压弹簧腔要接油箱？如果把这个油口堵死将会怎样？

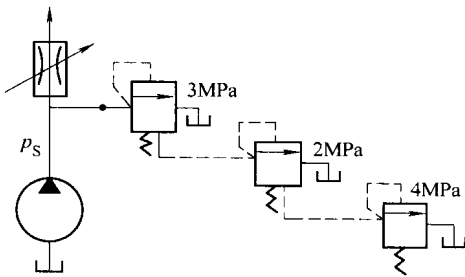
16. 有哪些阀在系统中可以当背压阀使用？性能有何差异？

完成情况评价表

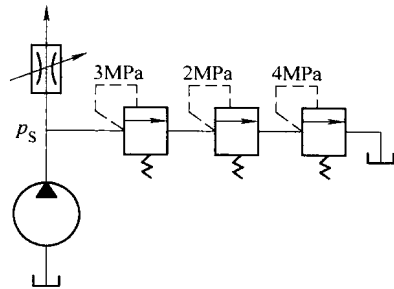
项目	完成情况	成绩（50%）	教师签字
液压元件拆装			

五、练习题

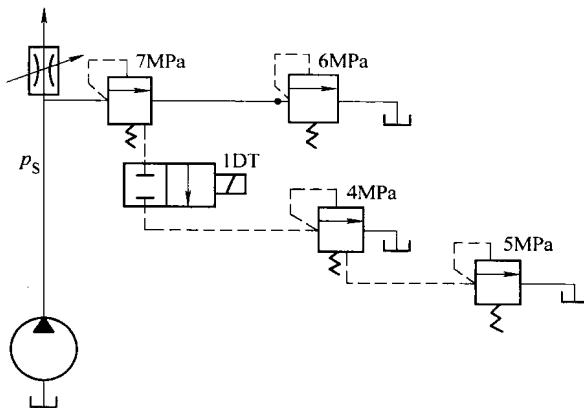
1. 在下列各图中，当完全关闭节流阀时，系统的压力各为多少？各溢流阀的调定压力如下图所示。



a)



b)



c)