

港口职工教育统编教材

装卸机械液压传动

王东大 主编



大连海事大学出版社

港口职工教育统编教材

装卸机械液压传动

王东大 主编

江苏工业学院图书馆
藏书章

大连海事大学出版社

© 王东大 2004

图书在版编目(CIP)数据

装卸机械液压传动 / 王东大主编 .—大连 : 大连海事大学出版社 , 2004.5
(港口职工教育统编教材)
ISBN 7-5632-1760-6

I . 装… II . 王… III . 装卸机械—液压传动 IV . TH24

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 032530 号

大连海事大学出版社出版

地址:大连市凌海路 1 号 邮编:116026 电话:0411-84728394 传真:0411-84727996

<http://www.dmupress.com> E-mail: cbs@dmupress.com

大连理工印刷有限公司印刷 大连海事大学出版社发行

2004 年 6 月第 1 版 2006 年 5 月第 2 次印刷

幅面尺寸:185 mm×260 mm 印张:11.75

字数:293 千字 印数:5001~7000 册

责任编辑:王在凤 史洪源 版式设计:海 韵

封面设计:王 艳 责任校对:风 韵

定价:20.00 元

前 言

根据港口生产发展变化和技术工人职业技能培训的实际需要,经中国交通教育研究会批准,2002年港口教材编审委员会依据《交通行业技术工人等级标准》的要求,重新修订了《港口六个主体工种技术培训教学计划及配套教材的教学大纲》。

港口教材编审委员会按照《港口六个主体工种技术培训教学计划及配套教材的教学大纲》的要求,组织编写了《机械基础》、《电动装卸机械电气设备》、《电动装卸机械构造与修理》、《装卸机械使用与养护》、《装卸机械液压传动》、《港口机械技术管理》、《内燃装卸机械电气设备》、《内燃装卸机械构造与修理》、《电工基础》、《装卸机械电气设备与维修》、《电工与电子技术》、《货物学》、《港口外贸货物管理》、《港口装卸工艺》、《港口库场业务》、《港口水运商务管理》、《港口理货英语》、《集装箱运输业务》18种教材。

这套教材从港口技术工人职业技能培训的实际需要出发,采用了驾驶与修理合编教材,初级工、中级工、高级工三个技术等级合编教材的编写方法。教材在编写过程中,参考了各港口有关培训资料、教材,注重理论教学与港口生产实际相结合,引入了新知识、新技术、新工艺。因此本套教材具有较高的通用性、实用性和先进性。

本教材是按照上述教学计划和教学大纲中“装卸机械液压传动教学大纲”的要求编写的。书中深入浅出地阐述了液压(力)的基础理论,详细介绍了装卸机械各种液压元器件的构造和工作原理,例举了各种装卸机械液压原理图和故障案例,还讲述了液压系统的故障检查和排除方法。

本教材是港口职工教育统编教材,适用于港口电动装卸机械、内燃装卸机械的司机和修理工中级、高级的技术培训。各类技术工种的培训班在使用本教材时,可以参照各类电动、内燃装卸机械技术工人液压传动培训要求进行。同时,本教材也是港口机电设备部门技术人员必备的业务参考书。

本教材由大连港教育培训中心王东大同志编写,天津港张仁杰同志主审,天津港人教处孟宪华同志负责终审。

由于编者水平有限,书中难免存在错误和缺陷,恳请各位工程技术人员和读者给予批评指正。

中国交通教育研究会港口职工教育分会
教材编审委员会

目 录

第一章 基础理论.....	(1)
第一节 液压传动的工作原理.....	(1)
第二节 液压传动中的工作液和基础知识.....	(4)
第三节 液压传动的基本知识.....	(7)
第二章 液压元件及其拆装	(19)
第一节 液压泵和液压马达	(19)
一、液压泵和液压马达的基础理论.....	(19)
二、叶片泵和叶片马达.....	(21)
三、齿轮泵和齿轮马达.....	(28)
四、斜盘式柱塞泵.....	(34)
第二节 液压缸	(43)
一、液压缸的类型和工作原理.....	(43)
二、液压缸的密封、缓冲和排气	(47)
三、液压缸维修的基础知识.....	(50)
第三节 控制阀	(53)
一、方向控制阀.....	(53)
二、压力阀.....	(60)
三、顺序阀.....	(66)
四、流量控制阀.....	(68)
五、阀的维修与常见故障.....	(71)
第四节 液压辅助元件	(74)
一、滤油器.....	(75)
二、油箱及热交换器.....	(78)
三、蓄能器.....	(79)
四、其他辅助元件.....	(80)
第三章 液压系统基本回路和典型组件	(83)
第一节 液压系统基本回路	(83)
一、换向回路.....	(83)
二、锁紧回路.....	(83)
三、调压和减压回路.....	(84)
四、卸荷回路.....	(85)
五、调速回路.....	(86)
六、装卸车辆行走机构液压闭式回路.....	(90)
七、同步回路.....	(91)

第二节 典型液压组件	(92)
一、双向液压锁	(92)
二、平衡阀	(93)
三、流量分配阀	(94)
四、全液压转向器	(95)
五、自动节流可调节流阀	(101)
第四章 内燃装卸机械液压系统	(102)
第一节 典型叉车液压系统	(102)
一、TCMZ8 系列叉车液压系统	(102)
二、海斯特叉车液压系统	(109)
第二节 装载机液压系统	(123)
一、ZL60D 装载机简介	(123)
二、卡特 966F 轮式装载机	(125)
第五章 电动装卸机械液压系统	(132)
第一节 门座式起重机液压回路	(132)
一、M10—25 门机变幅液压(改进型)原理分析	(132)
二、M2602 门机变幅液压系统	(137)
第二节 岸边集装箱起重机液压系统简介	(139)
第六章 液力传动和液力机械	(146)
第一节 液力耦合器	(146)
第二节 液力变矩器	(148)
第三节 液力变矩器的简单维修	(155)
第四节 液压离合器	(157)
第七章 液压系统故障与排除	(164)
第一节 液压系统故障的检测	(164)
第二节 液压系统的清洗	(168)
第三节 典型液压系统故障检查与排除方法案例	(172)
第八章 液压新技术的应用	(177)
第一节 流量放大回路	(177)
第二节 负载敏感调速回路	(180)

第一章 基础理论

第一节 液压传动的工作原理

以往的装卸机械都是由动力装置(电动机、内燃机)、传动装置、工作装置、制动装置和操作装置组成的。传动装置的功能是把动力机械产生的机械能传递给工作装置,在能量传递过程中可根据工作装置需要而改变运动的速度、运动的形式(即变速、运动方向、旋转运动变换为直线运动)。

传统的装卸机械传动是以齿轮传动为主要形式的啮合传动。它虽然具有传递效率高、制造方便等优点,但是它传动复杂、笨重、不易调节、操作费力等缺点限制它在装卸机械中的应用。随着现代社会的发展,越来越要求装卸机械向高效、灵便、能遥控、能自动控制、宽调节范围和操纵灵活轻快方向发展。以液压传动为主的传动装置具备了这几方面的优点,适应集约化大生产的需要。目前,液压传动已成为装卸机械的传动装置的一种重要形式。

常说的液压传动是一种利用液体作为工作介质来传递能量的传动形式。

一、液压传动的工作原理

图 1-1 和图 1-2 是人们常见的液压千斤顶的工作原理图和结构图。它主要由小液压缸 2 和大液压缸 9 组成,两者之间都充满工作油并且通过内部管道 6 相沟通形成一个密封的工作空间。小液压缸 2 中装有小活塞 3,用来完成吸油和压油;大液压缸 9 中装配大活塞 8,用于完成升降重物。元件 4 叫吸油单向阀,它只允许工作油从油箱内进入手压泵,而不允许手压泵中的油流回油箱;元件 7 叫压油单向阀,它的作用是只允许小液压缸压出的油进入大液压缸,防止大液压缸内的油反流回小液压缸。元件 11 为放油阀,也叫卸荷阀,它的作用是接通或者切断大液压缸与油箱之间的通路。下面分析千斤顶的工作原理(见图 1-2)。

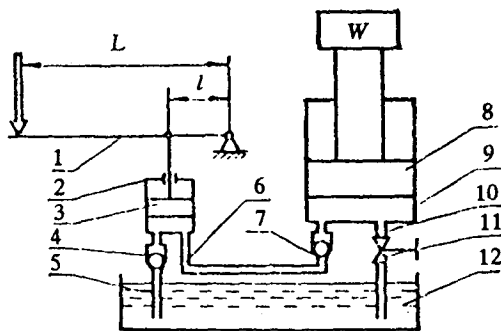


图 1-1 液压千斤顶原理图

工作时先关闭放油阀 11(一般用手或用杠杆 1-杠杆;2-小液压缸;3-小活塞;4-、7-单向阀;5、6、10-管道;8-大活塞;9-大液压缸;11-放油阀;12-油箱有开口槽的一端拧紧),然后用力压下杠杆 1,手压泵中的小活塞 3 就在外力 F_1 的作用下向下移动,手压泵内的容积变小。由于油液受到挤压产生压力,打开单向阀 7 进入大液压缸 9 内,推动大活塞 8 向上运动,顶起重物 W ,这就完成一次能量的转移。当提起杠杆 1 时,小液压缸的柱塞被提起向上运动,泵内的容积增大,形成低压,油箱中的油在大气压力作用下通过吸油单向阀 4 流入小液压缸。此刻单向阀 7 自动处于关闭状态,防止了大液压缸内的油倒流和重物的自动下跌。当再次压下杠杆 1 时,又重复前一次动作,反复不停地压杠杆,就可不断压油进入大液压缸,不断顶起重物。完成顶升重物

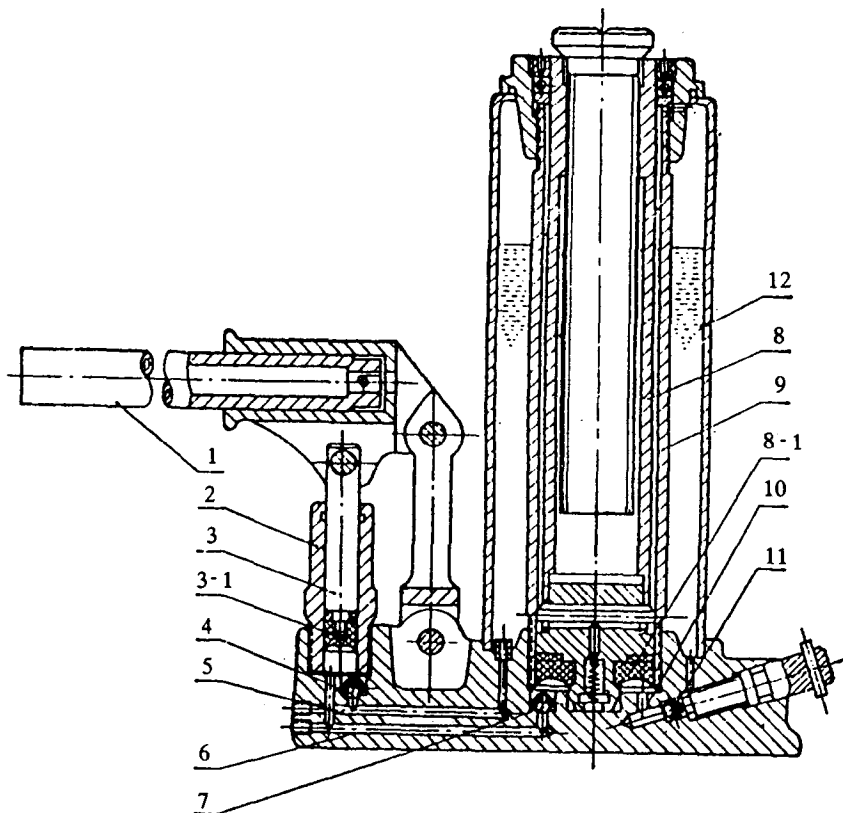


图 1-2 液压千斤顶结构图

1-杠杆;2-小液压缸;3-小活塞;4、7-单向阀;5、6、10-管道;8-大活塞;9-大液压缸;11-放油阀;12-油箱;3-1、8-1-密封圈

的工作后,大液压缸和重物的下降是在打开放油阀 11,接通大液压缸底部与油箱之间通道后实现,大液压缸底部的油,在重物的重力作用下,被挤出大柱塞腔,经放油阀 11 回到储油罐内。

由此可见,液压千斤顶是利用装在密封容积中的受压液体的流动来传递能量的。它先将输入机械能转换成液压能,再把液压能转换成机械能输出。依靠受压的油液在密闭系统中传递机械能是液压传动的基本原理。这种以工作油为介质借助密封空间的容积变化和油液的静压力来传递力和运动的方式,称为容积式液压传动(静压传动),简称为液压传动。

二、液压系统的组成

根据液压千斤顶工作原理的讲述,可以确定装卸机械的液压传动的基本原理是:动力装置(内燃机、电动机)是液压系统的外界能源,将机械能传递给液压泵,液压泵把机械能转换成油液的压力能,然后压力油经过管道系统和一些控制调节元件进入液压缸(或是液压马达),使液压缸的活塞杆伸缩(或马达转动)带动工作机构运动,从而将液压能转换成机械能。液压系统是由如下几部分组成的。

1. 动力元件

液压泵是液压系统的动力源。它的作用是提供整个液压系统所用的压力油,是个将外界的机械能(扭矩和转速)转换成液压能的能量转换装置。

2. 执行元件

执行元件的作用是将液压能重新转变为机械能,克服负载阻力做功。在液压系统中,液压缸、液压马达、摆动式液压缸等都是液压执行元件。液压缸是实现直线运动的液动机,它输出力和转速;液压马达是实现旋转运动的液动机,它输出扭矩和转速。

3. 控制元件

液压系统中的压力阀、流量阀、方向阀都属于控制元件。它们的作用是控制和调节液压系统的工作压力、流量和液流的方向,以满足机械运动和性能的要求。

4. 辅助元件

液压系统中的油箱、油管及管接头、滤油器、蓄能器、冷却器等属于辅助元件。它们的作用是保证液压系统正常工作。

5. 工作介质

液压系统中工作液称为工作介质。它的作用是在液压系统中传递能量。

三、液压系统图和图形符号

液压传动系统的各个元件按一定的要求通过油管连接起来,形成一个液压系统。在书面上能反映液压系统的组成、工作原理和液压元件工作情况的图叫液压系统工作原理图,简称为液压系统图。

液压系统图有两种表示方法:一种是以各液压元件的结构原理图来表示,如图 1-3 所示;另一种是用标准的液压元件的职能符号来表示,如图 1-4 所示。用前一种方式表示的液压系

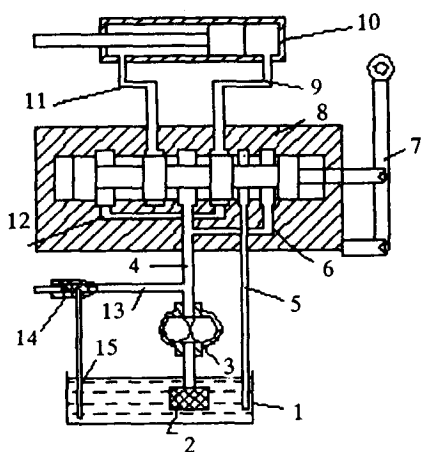


图 1-3 用液压元件结构

表示液压传动系统简图

1-油箱;2-过滤器;3-液压泵;4、9、11、13-压力油管;5、15-回油管;6、12-换向阀内部油路;7-操作手柄;8-换向阀;10-液压缸;14-安全阀

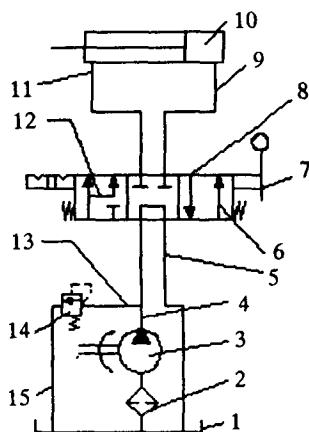


图 1-4 用职能符号表示的液压系统简图

1-油箱;2-过滤器;3-液压泵;4、9、11、13-压力油管;5、15-回油管;6、12-换向阀内部油路;7-操作手柄;8-换向阀;10-液压缸;14-安全阀

统图显得直观。元件的结构、控制和执行元件的动作原理容易理解,便于初学者学习用。但是其图形复杂,在绘制过程中效率低。用标准职能符号组成的液压系统原理图能使整个液压传动系统原理图的绘制简便,在各种资料、教材中都采用后种绘图方法。这些符号表示了液压元件的职能和连接的通路,但并不表示元件本身的具体结构、性能参数、尺寸及元件在设备中的

具体安装位置。我国对各种液压元件的表示已经有统一的标准图形符号,即与国际接轨的国标(GB/T786.1—93)。

四、液压传动的优缺点

与机械传动、电气传动相比液压传动具有以下几方面的优点:

1. 可以在运行过程中实现大范围的无级调速;
2. 在同等输出功率下,液压传动装置的体积小、重量轻、运动惯性小。
3. 采用液压传动可实现自动工作循环和自动过载保护,是机械自动化的重要手段;
4. 采用液压传动可以实现无间隙传动,运动平稳;
5. 由于采用油液作为工作介质,因此液压元件有自我润滑作用,使用寿命长;
6. 液压元件都是标准化、系列化的产品,便于设计、制造和推广使用;
7. 由于采用大推力的液压缸和大马力的液压马达直接驱动负载,从而省去中间减速装置,使得传动机构简化。

液压传动的缺点:

1. 在传动过程中有两次能量转换,总效率较低;
2. 因液体具有一定的可压缩性,在配合面有泄漏存在,因此液压传动不能实现定比传动;
3. 液压传动性能对温度敏感较大,在高温及低温条件下工作存在一定的困难,当采用矿物油作为工作介质时还要注意防火;
4. 液压元件加工精度要求高,相对机械传动产品成本高;
5. 液压传动对维护要求高,故障比较难找,对操作、维修人员的技术水平要求高。

练习题

1. 举例说明 液压传动可以分成哪些部分? 它们各有哪些作用?
2. 液压传动主要的优缺点有哪些?
3. 对照液压千斤顶的原理,试分析如何能使重物起升的速度加快? 如果千斤顶上无重物,杠杆手柄上的力是多大?
4. 试述使用液压千斤顶的全过程。

第二节 液压传动中的工作液和基础知识

装卸机械中液压传动所用的工作液通常都是石油型液压油。石油型液压油是由石油经过炼制并增加适当的添加剂而成,其润滑性和化学稳定性(不易变质)好,是迄今为止液压传动中应用最广泛的介质,简称为液压油。

一、工作油的一些物理性质

(一)常用计算单位

液压传动计算中采用国际单位制,简称国际制,代号为 SI。它共有 7 个基本单位。长度单位是米(m),质量单位是千克(kg),时间单位是秒(s),这 3 个单位是基本单位。另有 4 个基本单位是:电流单位安培(A)、热力学温度单位开尔文(K)、光强度单位坎德拉(cd)和化学单位摩尔(mol)。

(二)密度和重度

单位容积内的液体质量称为该液体的密度,用符号 ρ 表示,即

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

式中: m ——液体的质量;

V ——液体的体积。

在 SI 制中,质量的单位是 kg,体积的单位是 m^3 ,密度的单位是 kg/m^3 。

单位容积内的液体的重量称为该液体的重度,用符号 γ 表示,即

$$\gamma = G/V = mg/V = \rho \cdot g \quad (1-2)$$

式中: G ——液体的重量;

g ——重力加速度, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ 。

装卸机械里常用的液压油密度为 $\rho = 882 \sim 910 \text{ kg/m}^3$,液压油的密度与重度随工作的温度和压力变化而变化,随温度的上升密度和重度有所下降;随压力的增加而有所增加。但是,在正常使用范围内它们的变化很小,故一般按不变的常量计算。在计算中一般取 $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$ 。

(三)黏度

液体在外力的作用下流动时,由于液体与固体壁面之间的附着力、分子运动以及分子间的内聚力的存在,其流动受到牵制,且在流动截面上的各点的流速也不同,如图 1-5 所示。各液体层之间有相互牵制的作用存在,运动慢的液层对运动快的液层起到阻碍作用。这种相互牵制的作用力我们称为液体的内摩擦力或黏性力,而液体流动时呈现出来的这种性质叫黏性。液体的黏性大小用黏度表示。常用黏度的表示方法有三种:动力黏度、运动黏度和相对黏度。装卸机械液压油的黏度是采用运动黏度表示。液压油的牌号采用 40°C 时的平均运动黏度为其标号。常用 N32、N40 抗磨液压油,标号的含义是在 40°C 时的平均运动黏度为 $32 \text{ mm}^2/\text{s}$ 和 $40 \text{ mm}^2/\text{s}$ (ISO 黏度标准)。

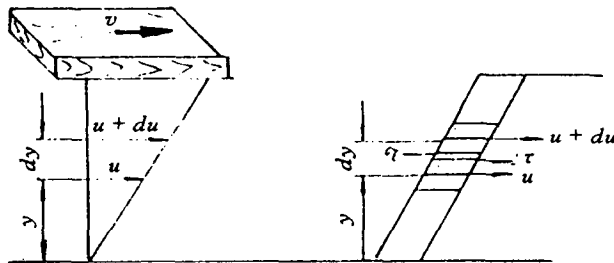


图 1-5 流动流体黏性示意图

液压油的黏度对温度很敏感,温度略升高(降低),黏度就明显下降(升高)。液压油的黏度对压力不太敏感,只有压力大于 30 MPa 时才随压力增加而增大。通常忽略压力对黏度的影响。

二、液压油的使用

(一)液压油的作用

在液压传动设备中液压油有传递和转换能量、控制系统执行元件、润滑、防锈防腐和冷却五大作用。

(二)装卸机械对液压油的要求

装卸机械对液压油的要求并非很高,大多数装卸机械要求液压油具备如下几点特性。

1. 适宜的黏度和良好的黏温性能;
2. 剪切安定性要好;
3. 抗磨性要好;
4. 液压油与密封材料的适应性要好;
5. 抗泡性、空气释放性要好;
6. 清洁度要好,要求无水分及机械杂质;
7. 具有防锈性和防腐性;
8. 氧化安定性要好;
9. 低温性能要好。

(三)液压油的选用

1. 液压油标准介绍

我国等效采用 ISO 标准制定了 H 组(液压系统)用油的分类标准 GB76312—87。按 GB76312—87 液压油分为两大类:一是烃类液压油(矿物油型和合成烃型);另一类是抗燃(或难燃)液压油。

我国有 4 个品种矿油型液压油:HL、HM、HV、HG 和一个合成烃型液压油 HS。

第一种是“L—HL”液压油是通用型工业机床润滑油(GB11118—89)。第二种“L—HG”液压油,即液压导轨油,曾称精密机床液压导轨油。第三种是“L—HV 和 L—HS”液压油。这是两个不同档次的低温液压油,曾称工程液压油、低凝液压油。第四种“L—HM”液压油,是抗磨液压油。按 40℃ 运动黏度(GB11118—89)分为 15、22、32、46 和 68 号 5 个牌号(优等品,一等品另增加 100 和 150 共 7 个牌号)。该油不仅具有良好的防锈、抗氧化性,而且在抗磨性方面表现更为突出。使用 HM 液压油的高压油泵,其耐磨性比用 HL 液压油要长。HM 液压油因抗磨剂不同,又分为以二烷基二硫代磷酸锌为主剂的含锌油(有灰型)和不含金属盐的无灰油。含锌 HM 液压油对钢——钢摩擦副抗磨性好,而对银、铜部件有腐蚀。无灰 HM 液压油对铜、银部件不会产生腐蚀。

2. 选购和使用中的注意事项

(1)对矿油型液压油使用中必须控制好液压油温度,防止油温过高,防止油品污染,换油前必须清洗液压系统,保持系统清洁;还要避免空气、水分进入液压系统;

(2)不能用其他油代替液压油,因为这样做会极大地影响液压设备的使用寿命;

(3)不要以黏度的大小衡量液压油质量的好坏,必须综合考虑各方面因素选择适宜的黏度等级;

(4)在给装卸机械添加液压油时要用同牌号液压油,不得混有不同牌号的液压油;

(5)在加注液压油前应检查原液压油是否受污染或变质,如有则在对液压系统进行全面清洗后方可加新油,如没受污染则可添加规定用的油;

(6)按厂家的要求定期对液压油进行检查和更换。

3. L—HM 液压油的更换指标(SH/T0599—94)

注:①允许采用 GB/T511 方法,使用 60~90℃ 石油醚作为溶剂,测定试样机械杂质。

表 1-1 L—HM 液压油的换油指标 (SH/T0599—94)

项 目	换油指标
40 ℃ 运动黏度变化率, %	超过 + 15 或低于 - 10
水分质量分数, %	> 0.1
色度增加 (比新油)	> 2
酸值降低, %	超过 35
或酸值增加 (mg KOH/g)	> 0.4
正戊烷不溶	> 0.1
铜片腐蚀 (100 ℃, 3 h), 级	> 3a

练 习 题

1. 什么叫液压油的密度?
2. 液压油的黏度有何特性?
3. 试分析润滑油分冬季用油和夏季用油的原因所在。
4. 量取质量为 450 g 某液压油 500 mL, 试求该油的密度。

第三节 液压传动的基本知识

如前面所述, 液压传动是利用油液为工作介质来传递能量的。那么为什么油液可以用来传递动力和运动呢? 它又是如何来传递的呢? 下面介绍一些基本概念。

一、压力

(一) 液体静压力及其特性

液压传动中是依靠液体静压力来推动执行元件对外做功的。虽然我们经常碰到的液体是处于运动状态, 但是静止是一种特殊的形式, 研究了液体在静止状态下的特殊规律, 就比较容易理解它在运动状态下的一般规律了。

1. 液体静压力

液体静压力是指液体处于静止状态下单位面积上所受的力, 即压力强度。液压传动中习惯上简称为压力, 以符号 p 表示, 即

$$p = F/A \quad (1-3)$$

式中: F ——作用外力, N;

A ——液体的承受压力面积, m^2 。

在 SI 制中, 压力的单位是帕斯卡, 代号为帕或 $\text{Pa}(\text{N}/\text{m}^2)$ 。由于帕斯卡的单位太小, 因此推荐采用它的倍单位千帕(kPa)。

$$1 \text{ MPa} = 1\,000 \text{ kPa} = 10^6 \text{ Pa}$$

在欧美一些国家里多采用 bar 作为压力单位。 $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N}/\text{m}^2$, 它与 SI 制的换算关系为 $1 \text{ bar} = 10^2 \text{ N}/\text{cm}^2 = 10^5 \text{ Pa} = 0.1 \text{ MPa}$ 。

2. 液体静压力的两个特性

(1) 静止液体内任意一点的压力在各个方向上都是相等的。如果液体中某一点所受到的压力不相等, 液体就会在它们的合力作用下发生运动, 因而就破坏了处于静止的条件。在静止

的液体中任意一点所受到的各个方向上的静压力必须相等。换言之,静止液体中的每一点的压力大小只有一个确定值而与方向无关。

(2)静压力垂直于承受压力的作用面,其方向与受压面的内法线方向一致。如果静压力不垂直于承受压力面,液体就会沿着该面产生相对运动。如果静压力方向不是与该面的内法线方向相同,液体由于不能承受拉力而将离开该表面而产生运动,从而破坏处于静止的条件。

(二)液体静压力的建立和传递

静止液体内部任意一点的静压力在各个方向上的大小是相等的。在计算它值的大小时,是根据帕斯卡原理来计算的。由静压力计算公式可知,压力(压强)等于液体表面受的压力除以受力面积。现求在密闭容器内深度为 h 液层 a 点的压力。在液体内部任取一个底面包括 A 点在内的小液柱,底面积为 ΔA ,高为 h 。这小液柱在重力及周围液体的压力作用下,处于平衡状态。现分析小液柱在垂直方向总受力情况。其液面受到的向下的压力为 p_0 ,本身重量为 $\rho gh\Delta A$ (液体密度 ρ ,重力加速度 g),底面受到向上的力是 p_A ,那么该液面受的总外力是

$$\begin{aligned} & p_0 \cdot \Delta A + \rho gh \cdot \Delta A \\ \text{静压力 } p &= (p_0 \cdot \Delta A + \rho gh \cdot \Delta A) / \Delta A \quad (1-4) \\ & p = p_0 + \rho gh \end{aligned}$$

式中: p ——静止液体中某一点的静压力,Pa;

ρ ——密度,kg/m³;

p_0 ——外界作用在液面上的压力,Pa;

h ——该点离液面的垂直距离,m。

由上式可看出静止液体内部某一深处的压力等于液面上所受的压力加上液体在某一深度的压力。简而言之静止液体受到两个压力,一个是自身重量所产生的压力,另一个是外界作用于液体表面的压力。

例 1-1 求往 10 m 高处油缸送压力油的油泵输出压力值。已知油缸工作压力为 12 MPa,液压油的密度是 900 kg/m³。

解 根据上式,液面下 10 m 深处的压力 p 为

$$\begin{aligned} p &= p_0 + \rho gh = 12 \times 10\,000\,000 + 900 \times 9.8 \times 10 \\ &= 12\,088\,200 = 12.0\,882 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

由本题可以看出,当液面压力 $p = 12 \text{ MPa}$ 时, ρgh 这一项所占的比例很小,如果压力再增大, ρgh 项所占的比例将更小。在液压传动中,液面的压力通常是很大的(多数是在 10 MPa 以上),管道配置的高度一般在 10 m 以下,为了计算方便,常略去 ρgh 项的影响,近似地认为液压传动系统中的任一点的液压大小不受位置高度影响,都等于液面上受的压力。

液压传动过程中,工作油是流动的,这时虽然有动压力存在,但它的值很小,可以忽略不计。在液压传动中主要考虑静压力,液压传动又称为静压传动。

(三)液压力的测量

空气是有质量的,空气中的任何物体都受到空气重力所产生的压力作用,这种压力我们称

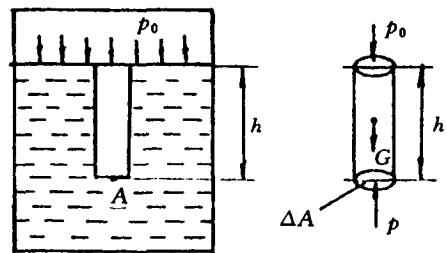


图 1-6 液体静压力的建立

为大气压力,用符号 p_a 表示。各地的大气压力值略有不同,我们将标准状况下海平面上的大气所产生的大气压力称为标准大气压,它的值为 $101\ 325\ \text{Pa}$,常用 $101.3\ \text{kPa}$ 来计算。

测量压力有两种基准,一种是以大气压力为基准,即在大气压力为零开始测量;另一种是以绝对零压为零开始测量,也就是把大气压考虑进去,参见图 1-7。以大气压力为基准测得的压力叫相对压力。相对压力共有两种,高于大气压的叫正相对压力,如图中 h_1 线段,习惯称相对压力;低于大气压的叫负相对压力,如图中 h_2 线段。由于相对压力都可以用压力表来测量,因而相对压力又叫表压力。负相对压称负表压。以绝对零压力为测量基准所表示的压力,称为绝对压力。测得压力低于大气压力的情况叫真空,如图中 h_4 线段所示;在工程应用上是用真空度来表示,也叫负相对压力。真空度大小常用此负数的绝对值来表示。绝对压力大于大气压力的情况是最多的,液压传动中的压力大多数是这种情况,在吸油口区或某些地方才出现压力低于大气压力。绝对压力、相对压力和大气压力三者之间关系可用下式表示

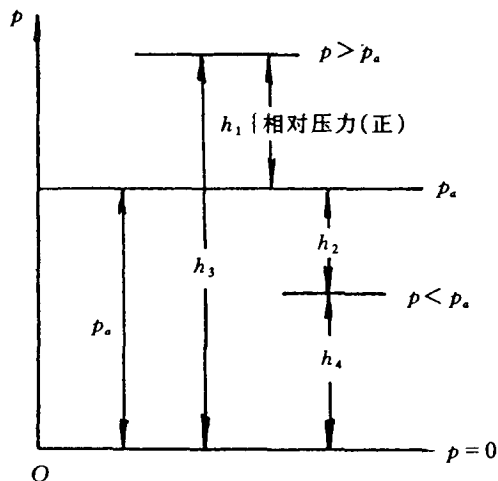


图 1-7 测压力的两种基准

$$\text{绝对压力} = \text{大气压力} \pm \text{相对压力} \quad (1-5)$$

由此式可推出：

$$\text{真空度} = \text{大气压力} - \text{绝对压力} \quad (1-6)$$

例 1-2 某叉车的制动真空泵的真空度是 $62.1\ \text{kPa}$ 。问其绝对压力是多少？一个大气压为 $101.3\ \text{kPa}$ 。

解 真空度是指绝对压力小于大气压力的数值,如图 1-9 中的 h_2 线段,是负相对压力,因此就有：

因为绝对压力 = 大气压力 - 相对压力

所以绝对压力 = $101.3 - 62.1 = 39.2\ \text{kPa}$

(四) 液压系统压力的形成

液压系统压力是怎样形成的呢？现以叉车的升降机构的液压系统为例说明,参见图 1-8。图中 3 为升降缸,它与泵 1、控制阀形成一密封的容积,液压缸内的油上面受到活塞(柱塞)的压力作用,下面受到来自油泵的油的挤压。设外界重物的重量是 W ,油泵的压力是 p ,活塞横截面积为 A ,在不考虑其他阻力、摩擦力的条件下,它们三者之间的关系应该是 $p = W/A$ 。显然,外力 W 是阻止油液运动的阻力, W 越大,阻碍油液运动的阻力也越大,油泵的压力 p 也随之升高;反之, W 越小,油泵推动活塞(柱塞)运动的压力也就越小。如果泵出口到液压缸之间的各种阻力和损失很大,那么泵所提供的油的压力也比原来的要高。由上分析可得出如下的重要结论:液压系

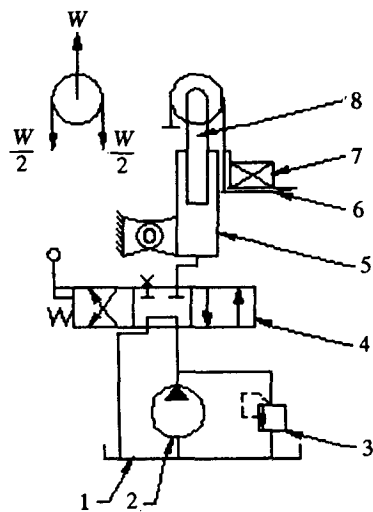


图 1-8 叉车的升降液压系统原理图

1-油箱;2-油泵;3-安全阀;4-手动换向阀;5-起升缸;6-货叉架;7-货物(外载荷);8-活塞(柱塞)

统的压力由外负荷和系统的压力损失决定,即液压系统的压力由外负荷所决定,与运动速度无关。这是液压传动中的一个重要概念。

例 1-3 试分析图 1-9 中各种情况下的油泵压力是多少? 图中的各液压缸参数相同, YF 调压为 13 MPa。

各液压缸的活塞面积都是 100 cm^2 , 外负载 $W_1 = 2 W_2 = W_3 = 120 \text{ kN}$ 。

解 对于图 1-9(a), 因为 $p = W/A$, 所以 $p = W_1/A = 120 \times 10^3 / 100 \times 10^{-4} = 12 \times 10^6 = 12 \text{ MPa}$ 。

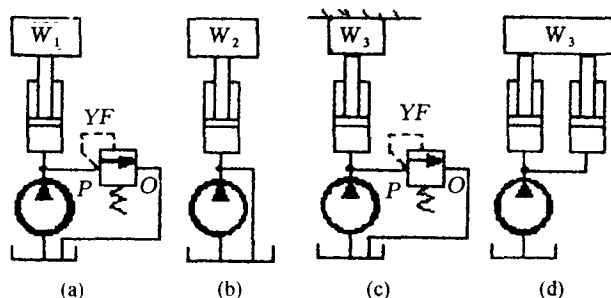


图 1-9 各种情况下的油泵压力

由于液压系统的压力是由小到大逐渐增大,当压力升高到 12 MPa 时,泵供给的油已克服 W_1 阻力推动它运动,油的压力也就不再升高。

对于图 1-9(b),因为油泵与液压缸之间连接一管道与油箱相通,所以油泵打出的油直接流回油箱,相当于泵在空转,液压缸于泵之间不再是密封容积的关系,故油泵没有压力。

对于图 1-9(c),该图表示活塞杆运动遇到挡铁,液压缸的容积不能再增大,由于油液是不可压缩的,因此油缸内的油压力会无限增大。如果该系统无过载保护装置(YF),系统中薄弱环节将首先被损坏;有保护则系统最高压力不会超或保护值(YF)。

图 1-9(d)的情况留给读者自己分析。

二、流量和平均流速

液压传动是依靠密闭系统中液压油的流动来传递运动,因此,流量是液压传动中的另一个重要参数。

1. 流量与平均流速

流量—单位时间内流过某一通流截面的液体体积,通常用 Q 来表示。

它的计算公式为

$$Q = V/t \quad (1-7)$$

式中: V ——液体体积, m^3

t ——液流通过的时间, s 。

流量的单位为 m^3/s , 目前使用单位是 L/min 或 m^3/s , 二者之间的换算关系为

$$1 \text{ m}^3/\text{s} = 103 \text{ L}/60^{-1} \text{ min} = 6 \times 10^4 \text{ L}/\text{min} \quad (1-8)$$

额定流量——按实验标准规定,液压元件连续运转(工作)所必须保证的流量称额定流量。这是液压元件基本参数之一,通常在液压元件的铭牌上有标明。额定流量应该符合公称流量系列,下面是公称系列的一部分: $\dots 1, 1.6, 2.5, 4, 6, 10, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 160, 200,$

250、320…(单位为 L/min)。

平均流速——如图 1-10 所示,活塞在液压油的推动下向右运动,经过时间 t 后移动了 L 距离。在这段时间里进入液压缸的油液的体积 $V = LA$ 。因此,单位时间内进入液压缸的液压油体积即流量 Q 为

$$Q = V/t = LA/t = uA \quad (1-9)$$

式中: $L/t = u$ 。

反过来,如已知进入液缸的流量 Q 和活塞面积 A ,就可算出活塞运动的速度 u ,即

$$u = Q/A \quad (1-10)$$

式中: u ——速度, m/s。

在利用上式计算时应该十分注意单位的统一。

由式(1-9)和式(1-10)可见,进入液压缸的流量 Q 等于活塞运动速度 u 和活塞有效作用面积 A 的乘积。进入液压缸的流量 Q 越大,活塞运动的速度 u 也就越快;反之,流量 Q 越小,活塞运动的速度 u 就越慢。

由此可得出一个结论:液压缸运动的速度决定于输入的流量大小,而与外负载大小无关。这个重要结论是液压传动里的另一个重要概念。

上述由液压缸导出的流量 Q 、流速 u 和面积 A 之间的关系也适用于油液在管道中的流动情况。

例 1-4 如图 1-10 所示,活塞直径 $D = 10$ cm,入口出的油管内径 $d = 20$ mm,求泵提供流量 $Q = 100$ L/min 时,活塞的运动速度和进油管内的油流速度。

已知: $D = 10$ cm = 0.1 m; $d = 20$ mm = 0.02 m;

$Q = 100$ L/min = 0.1 m³/60 s

活塞有效面积 $A_1 = (0.1)^2 \pi / 4 = 0.01 \times 3.14 / 4$

管道横截面积 $A_2 = (0.02)^2 \times 3.14 / 4$

求: (1) 活塞移动的速度 $u_1 = ?$

(2) 进油管内油流速度 $u_2 = ?$

解 (1) 因为 $u = Q/A$

所以 $u_1 = Q/A = (0.1/60) / (0.01 \times 3.14 / 4) = 0.212$ (m/s)

(2) 同理, $u_2 = Q/A_2 = (0.1/60) / [(0.02)^2 \times 3.14 / 4] = 5.3$ (m/s)

由于液油有黏性,因此液压油在管道中流动时,在同一截面上各个点真实流速是不相等的,管壁处流速为零,管道中心速度最大。

为计算方便,我们用平均流速这个概念来做近似计算,在以后各章节内容中所提及的速度均为平均流速。

2. 液流连续性原理

油液被认为是不可压缩的,在管道中做稳定流动时,根据质量守恒定律,液体在管道内既不会增加,也不会减少。因此,在单位时间内流过管道的每一截面上的液体体积(即流量)相

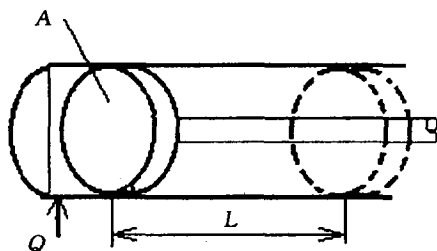


图 1-10 平均流速公式推导示意图