



21世纪普通高等院校汽车专业系列教材

汽车液压传动

QICHE YEYA CHUANDONG

- 主 编 容一鸣
- 副主编 李艳菲 张玉平
- 参 编 肖凌俊 朱凤霞 李文汇



华南理工大学出版社



21世纪普通高等院校汽车专业系列教材

汽车液压传动

QICHE YEYA CHUANDONG

- 主 编 容一鸣
- 副主编 李艳菲 张玉平
- 参 编 肖凌俊 朱凤霞 李文汇



华南理工大学出版社
· 广州 ·

内 容 提 要

本书共 11 章,第 1 章是液压传动绪论;第 2 章介绍液压流体力学基础知识;第 3、4、5、6 章按动力元件、执行元件、操纵控制元件和辅助元件的顺序,介绍基本液压元件的结构、工作原理、性能和应用;第 7 章介绍常用基本液压回路的组成、原理、性能和应用,核心是调速回路;第 8 章通过典型的汽车工程中的液压系统,介绍液压系统分析的方法、步骤和分析的内容;第 9 章介绍液压系统的设计计算方法;第 10 章扼要地介绍液压伺服控制系统的工作原理与应用实例;第 11 章介绍电液比例控制系统的工作原理与应用实例。

本书理论与实践相结合,注重制造工程和汽车工程的应用,注重技术应用能力的培养。例题翔实,每章均有思考题和习题。

本书可作为高等学校车辆工程、汽车服务工程专业的教材,也可作为高职高专、成人教育、自学考试等机械类专业的教材,还可以作为汽车工程专科专业的教材。同时,可供从事液压传动与控制技术、汽车设计与制造技术工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽车液压传动/容一鸣主编. —广州:华南理工大学出版社,2011.7

21 世纪普通高等院校汽车专业系列教材

ISBN 978-7-5623-3450-7

I. ①汽… II. ①容… III. ①汽车-液压传动-高等学校-教材 IV. ①U463.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 112266 号

总 发 行:华南理工大学出版社(广州五山华南理工大学 17 号楼,邮编 510640)

营销部电话:020-87113487 87110964 87111048(传真)

E-mail:scutc13@scut.edu.cn

http://www.scutpress.com.cn

责任编辑:兰新文

技术编辑:杨小丽

印 刷 者:湛江日报社印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16 印张:18.75 字数:468 千

版 次:2011 年 7 月第 1 版 2011 年 7 月第 1 次印刷

定 价:36.00 元

版权所有 盗版必究

21 世纪普通高等院校汽车专业系列教材

编 委 会

主 任：丘宏扬（华南理工大学广州汽车学院副院长）

吴永桥（武汉理工大学华夏学院院长、董事）

副 主 任：陈 永（湖北汽车工业学院科技学院院长）

王宏甫（北京理工大学珠海学院机械与车辆工程学院院长）

陈秉均（华南理工大学广州汽车学院汽车工程系主任）

杨万福（武汉理工大学华夏学院汽车工程系主任）

邓宝清（吉林大学珠海学院机电工程系主任）

编 委：（以姓氏笔画为序）

王宏甫 邓宝清 甘 泉 卢 山 田 晟 任长春

李艳菲 宋长森 宋玉林 余晨光 陈秉均 陈 永

杨万福 邵海忠 钟诗清 姚胜华 容一鸣 唐文初

韩同群

总 策 划：范家巧 乔 丽

策划编辑：袁 泽 吴翠微

前 言

液压传动与控制技术在汽车中应用广泛, 液压技术是汽车技术的重要组成部分。

“汽车液压传动”课程是汽车工程专业的技术基础课程之一。本课程的主要任务是使学生掌握液压传动的基础知识, 掌握各种液压元件的结构、原理、性能及在汽车中的应用, 熟悉主要液压基本回路的组成、原理、特点及应用, 掌握分析液压系统的基本方法, 了解液压系统的设计计算方法, 为学习汽车专业后续课程打下基础。

本教材根据华南理工大学出版社组织的 21 世纪应用型本科实用规划教材大纲审定会的精神编写。全书共分 11 章, 第 1 章介绍液压传动的基本知识, 第 2 章主要介绍液压油和液压流体力学基础, 第 3 章至第 6 章主要介绍液压元件的结构、原理、性能及应用, 第 7 章介绍液压基本回路, 第 8 章介绍典型液压系统的分析方法和分析内容, 第 9 章介绍液压系统的设计计算方法, 第 10 章简单介绍液压伺服系统的工作原理以及在汽车中的应用实例, 第 11 章介绍电液比例控制系统的工作原理与应用实例。

本书编者多年从事相关的教学和研究工作。在本书编写过程中, 编者吸收了同类教材的编写经验及教学、科研成果, 融入了编者的教学心得和体会, 尽可能联系液压技术在车辆工程中的应用, 增加了目前工程实践中应用越来越广泛的电液比例控制系统。可以说, 随着机电液一体化技术的发展, 电液比例控制技术与系统将主导液压传动与控制领域。

在本书的编写过程中, 编者力求贯彻少而精、理论与实践相结合的原则, 适当淡化了纯理论分析, 侧重对液压技术应用能力的培养, 加强了学生分析问题、解决问题的能力与创新意识的培养。本书涉及的元件、回路以及系统原理图全部按照国家最新图形符号绘制, 并摘录于附录中。

本书适用于应用型工科院校车辆工程、汽车服务工程等专业的学生, 也适用于高职高专、各类成人高校、自学考试等机械类各专业的学生, 还可供从事车辆工程的技术人员参考。

本书由武汉理工大学华夏学院容一鸣担任主编并负责统稿, 广州汽车学院李艳菲、武汉理工大学华夏学院张玉平担任副主编; 参编人员有肖凌俊、



朱凤霞、李文汇。

在本书的编写过程中，华南理工大学出版社给予了极大支持和帮助，同时得到了武汉理工大学华夏学院、广州汽车学院的关心与帮助，在此一并致谢。

鉴于编者水平和经验所限，书中错误和疏漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

2010 年 9 月于武汉东湖新技术开发区

目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 液压传动的工作原理及系统组成	(1)
1.1.1 压力和流量的概念	(2)
1.1.2 压力能和液压功率	(2)
1.1.3 液压传动的工作原理	(3)
1.1.4 液压传动系统的工作原理及组成	(5)
1.1.5 液压传动系统的职能符号	(6)
1.2 液压传动技术的特点	(7)
1.3 液压传动技术的应用与发展	(7)
1.3.1 液压传动技术的应用	(8)
1.3.2 液压传动技术的发展	(8)
思考题与习题	(9)
第2章 液压流体力学基础	(11)
2.1 液体的主要物理性质	(11)
2.1.1 液体的密度	(11)
2.1.2 液体的可压缩性	(12)
2.1.3 液体的粘性	(13)
2.1.4 对液压油的要求、选用和使用	(15)
2.2 液体静力学基础	(18)
2.2.1 液体中的压力	(18)
2.2.2 静压力基本方程	(19)
2.2.3 静压力传递原理	(20)
2.2.4 液体作用于容器壁面上的力	(21)
2.3 流动液体力学基础	(22)
2.3.1 基本概念	(22)
2.3.2 流量连续性方程	(24)
2.3.3 伯努利方程	(25)
2.3.4 动量方程	(29)
2.4 管道内压力损失的计算	(32)
2.4.1 液体的流动状态	(32)
2.4.2 沿程压力损失	(34)
2.4.3 局部压力损失	(37)
2.4.4 管路中的总压力损失	(39)
2.5 孔口和间隙的流量-压力特性	(39)



2.5.1 孔口的流量-压力特性	(39)
2.5.2 液体流经间隙的流量	(42)
2.6 液压冲击和气穴现象	(46)
2.6.1 液压冲击	(46)
2.6.2 气穴现象	(49)
思考题与习题	(51)
第3章 液压泵和液压马达	(54)
3.1 液压泵和液压马达概述	(54)
3.1.1 液压泵的工作原理	(54)
3.1.2 液压泵的主要性能参数	(55)
3.1.3 液压马达的主要性能参数	(58)
3.1.4 液压泵和液压马达的分类	(60)
3.2 齿轮泵和齿轮马达	(61)
3.2.1 齿轮泵的工作原理	(61)
3.2.2 齿轮泵的排量计算	(62)
3.2.3 齿轮泵的结构特点分析	(63)
3.2.4 提高齿轮泵压力的措施	(64)
3.2.5 内啮合齿轮泵	(64)
3.2.6 齿轮泵在汽车中的应用	(65)
3.2.7 齿轮马达	(66)
3.3 叶片泵和叶片马达	(66)
3.3.1 双作用定量叶片泵	(66)
3.3.2 单作用叶片泵	(71)
3.3.3 限压式变量叶片泵	(72)
3.3.4 叶片泵在汽车中的应用	(75)
3.3.5 叶片式液压马达	(75)
3.4 轴向柱塞泵和轴向柱塞马达	(76)
3.4.1 轴向柱塞泵的工作原理和排量	(76)
3.4.2 斜盘式轴向柱塞泵的结构及特点	(77)
3.4.3 轴向柱塞马达	(79)
思考题与习题	(81)
第4章 液压缸	(83)
4.1 液压缸的类型、特点和基本参数计算	(83)
4.1.1 活塞式液压缸	(84)
4.1.2 柱塞式液压缸	(86)
4.1.3 摆动式液压缸	(87)
4.1.4 组合液压缸	(88)
4.2 液压缸的典型结构	(90)
4.2.1 缸体组件	(91)

4.2.2 活塞组件	(92)
4.2.3 液压缸的密封	(93)
4.2.4 缓冲装置	(93)
4.2.5 排气装置	(94)
4.3 液压缸的设计计算	(95)
4.3.1 液压缸的主要尺寸计算	(95)
4.3.2 液压缸的校核	(96)
思考题与习题	(97)
第5章 液压控制阀	(99)
5.1 液压阀概述	(99)
5.1.1 液压阀的基本结构及工作原理	(99)
5.1.2 液压阀的分类	(99)
5.1.3 液压阀的性能参数	(100)
5.1.4 对液压阀的基本要求	(100)
5.2 方向控制阀	(100)
5.2.1 单向阀	(100)
5.2.2 换向阀	(103)
5.2.3 球式换向阀	(112)
5.3 压力控制阀	(115)
5.3.1 溢流阀	(115)
5.3.2 减压阀	(121)
5.3.3 顺序阀	(125)
5.3.4 压力继电器	(128)
5.4 流量控制阀	(130)
5.4.1 节流阀	(130)
5.4.2 调速阀	(133)
5.4.3 溢流节流阀	(135)
综合例题	(136)
5.5 多路换向阀	(138)
5.5.1 多路换向阀的结构形式和工作原理	(138)
5.5.2 多路换向阀的结构	(140)
5.6 逻辑阀	(141)
5.6.1 逻辑阀的基本结构	(141)
5.6.2 逻辑阀单元的结构与工作原理	(142)
5.6.3 逻辑阀的应用	(143)
5.7 汽车典型液压控制阀	(144)
5.7.1 制动力分配调节装置	(144)
5.7.2 汽车防抱制动系统中的电磁阀	(147)
思考题与习题	(150)



第6章 液压辅助元件	(153)
6.1 蓄能器	(153)
6.1.1 蓄能器的功用	(153)
6.1.2 常用蓄能器	(154)
6.1.3 蓄能器的安装和使用	(155)
6.2 过滤器	(155)
6.2.1 液压油的污染及控制	(155)
6.2.2 过滤器的性能指标	(156)
6.2.3 过滤器的类型	(157)
6.2.4 过滤器的安装	(158)
6.3 液压油箱及热交换器	(159)
6.3.1 油箱	(159)
6.3.2 热交换器	(161)
6.4 管道和管接头	(162)
6.4.1 油管的种类和选用	(163)
6.4.2 管接头的种类和选用	(163)
6.5 密封装置	(165)
6.5.1 密封装置的种类及特点	(166)
思考题与习题	(169)
第7章 液压基本回路	(170)
7.1 压力控制回路	(170)
7.1.1 调压回路	(170)
7.1.2 卸荷回路	(171)
7.1.3 减压回路	(172)
7.1.4 保压回路	(173)
7.1.5 平衡回路	(174)
7.2 调速回路	(175)
7.2.1 液压系统基本调速方式	(175)
7.2.2 调速回路的基本特性	(176)
7.2.3 节流调速回路	(176)
7.2.4 容积调速回路	(181)
7.2.5 容积节流调速回路	(184)
7.2.6 三种调速回路的比较	(187)
7.3 速度换接回路和快速运动回路	(187)
7.3.1 速度换接回路	(187)
7.3.2 快速运动回路	(189)
7.4 方向控制回路	(190)
7.4.1 换向回路	(190)
7.4.2 锁紧回路	(192)

7.4.3 制动回路	(192)
7.5 多执行元件控制回路	(193)
7.5.1 顺序动作回路	(193)
7.5.2 同步回路	(195)
综合例题	(198)
思考题与习题	(200)
第8章 典型液压传动系统	(204)
8.1 汽车起重机液压系统	(204)
8.1.1 QY20B 型汽车起重机液压系统	(204)
8.1.2 汽车起重机液压系统的特点	(208)
8.2 压缩式垃圾运输车液压系统	(208)
8.2.1 压缩式垃圾车液压系统的工作原理	(209)
8.2.2 压缩式垃圾车液压系统的特点	(209)
8.3 路面清扫车液压系统	(210)
8.4 公路养护车液压系统	(213)
8.4.1 公路养护车的液压系统	(213)
8.4.2 公路养护车液压系统的特点	(214)
思考题与习题	(215)
第9章 液压传动系统的设计	(217)
9.1 液压系统的设计依据和工况分析	(217)
9.1.1 液压系统的设计依据	(217)
9.1.2 液压系统的工况分析	(218)
9.2 液压系统主要参数的确定	(220)
9.2.1 系统工作压力的确定	(220)
9.2.2 执行元件参数的确定	(221)
9.2.3 执行元件流量的确定	(221)
9.2.4 执行元件的工况图	(221)
9.3 液压系统原理图的拟定和方案论证	(222)
9.4 计算和选择液压元件	(223)
9.4.1 液压泵的确定与驱动功率的计算	(223)
9.4.2 液压控制阀的选择	(224)
9.4.3 液压辅件的计算与选择	(225)
9.5 液压系统性能验算	(225)
9.5.1 液压系统压力损失验算	(226)
9.5.2 液压系统发热和温升验算	(226)
9.6 绘制正式工作图、编制技术文件	(227)
9.6.1 绘制液压系统原理图的要求	(227)
9.6.2 液压装置的结构设计	(228)
9.6.3 编制技术文件	(229)



9.7 液压系统设计计算举例	(229)
9.7.1 负载分析	(229)
9.7.2 液压缸主要参数的确定	(230)
9.7.3 液压系统图的拟定	(231)
9.7.4 液压元件的选择	(234)
9.7.5 液压系统的性能验算	(236)
思考题与习题	(236)
第10章 液压伺服控制系统	(238)
10.1 液压伺服控制系统的基本概念	(238)
10.1.1 液压伺服控制系统的工作原理	(238)
10.1.2 液压伺服控制系统的类型及组成	(239)
10.2 液压伺服控制系统的控制元件	(240)
10.2.1 控制滑阀	(241)
10.2.2 喷嘴挡板阀	(243)
10.2.3 射流管阀	(243)
10.3 电液伺服阀	(244)
10.3.1 电液伺服阀的组成和工作原理	(244)
10.3.2 电液伺服阀的静态特性	(245)
10.3.3 电液伺服阀的动态特性	(246)
10.4 液压伺服控制系统应用实例	(247)
10.4.1 汽车液压动力转向系统	(247)
10.4.2 电液速度控制系统	(249)
10.4.3 汽车主动悬挂控制系统	(250)
思考题与习题	(251)
第11章 电液比例控制系统	(252)
11.1 电液比例控制系统的基本概念	(252)
11.1.1 电液比例控制的基本原理	(252)
11.1.2 电液比例控制系统的组成及类型	(253)
11.1.3 电液比例控制的技术特点	(253)
11.2 比例控制阀	(254)
11.2.1 概述	(254)
11.2.2 比例电磁铁	(255)
11.2.3 比例压力控制阀	(256)
11.2.4 比例流量控制阀	(259)
11.2.5 比例方向控制阀	(261)
11.2.6 压力补偿器	(263)
11.2.7 压力流量复合控制阀 ($p-q$ 阀)	(266)
11.3 电液比例变量泵和马达	(266)
11.3.1 比例排量调节型变量泵	(266)

11.3.2 比例压力调节型变量泵	(269)
11.3.3 比例流量调节型变量泵	(270)
11.3.4 比例压力和流量调节型变量泵	(271)
11.4 电液比例控制系统应用实例	(272)
11.4.1 电液比例压力控制系统	(272)
11.4.2 电液比例速度控制系统	(273)
11.4.3 电液比例方向流量控制系统	(275)
11.4.4 电液比例位置控制系统	(275)
思考题与习题	(277)
附录 常用液压元件图形符号	(278)
参考文献	(284)

第1章 绪 论

学习要点

掌握压力和流量的基本概念、压力能（液压能）的概念；理解液压传动的工作原理；掌握液压传动系统的基本组成。

一般地，一部机器由动力装置、传动装置、执行装置、操纵或控制元件等部分构成，其基本结构如图 1-1 所示。

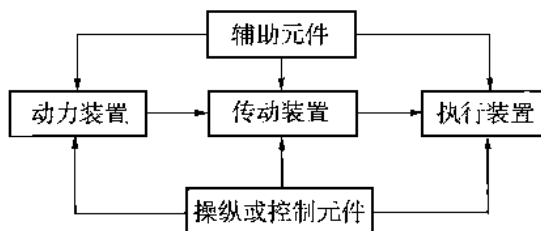


图 1-1 动力传动系统的一般结构

动力装置的性能参数一般都不可能满足执行装置各种工作状况的要求，这种矛盾就由传动装置来解决。所谓传动就是指能量（动力）由动力装置向执行装置的传递，通过各种不同的传动方式，将动力装置的转动变为执行装置的各种不同形式的运动，并提供能克服负载做功所需要的力或转矩。工程中使用的动力传递方式有：机械传动、电气传动、气压传动、液体传动和磁力传动以及由它们组合而成的复合传动。机械传动、电气传动、气压传动和液压传动是自动化的支柱。

用液体作为工作介质进行能量（动力）转换、传递的传动方式称为液体传动，分为液力传动和液压传动两种形式。液力传动是利用液体的动能来传递能量，而液压传动则是利用液体的压力能来传递能量。本书主要介绍汽车中使用的液压传动技术。

液压传动利用液压泵将原动机（发动机、电动机）的机械能转变为液体的压力能，然后利用液压缸或液压马达，将液体的压力能转变为机械能，以驱动负载，并获得执行机构所需的运动速度。液压传动的理论基础是液压流体力学。

在汽车工程中，液压传动被广泛采用。本章介绍液压传动的工作原理、组成、优缺点及液压传动的应用领域与发展。

1.1 液压传动的工作原理及系统组成

在充满液体的密封容器内，施加在静止液体边界上的压力，在液体内向所有方向等值地传递到液体各点，这就是帕斯卡原理。帕斯卡原理是液压传动的基础。

1.1.1 压力和流量的概念

液体单位面积上所受的内法向力称为压力，通常用符号 p 表示。这里定义的压力在物理学中称为压强，但在液压工程中习惯称为压力。

在液体中，任一点处的面积 ΔA 上作用有内法向力 ΔF 时，液体内部该点处的压力为

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

数学上一个微小的面积趋近于零，在物理上指趋近于空间中的一个点。因此，压力是空间点坐标的函数，即 $p = f(x, y, z)$ 。

液体的压力有如下特性：①液体的压力沿内法线方向作用于承压面；②静止液体内部任一点的压力在各个方向上都相等。

由此可知，静止液体总是处于受压状态，且液体内部的任何质点都受平衡压力作用。压力常用的单位为 10^5 Pa 、 MPa 。

液体体积 V 对时间 t 的变化率称为（几何）流量，通常用符号 q 表示，即

$$q = \frac{dV}{dt} \quad (1-2)$$

式（1-2）只给出了流量概念的定义，并不能直接计算流量，因此，工程上常将流量定义为：单位时间内通过某通流截面 A 的液体体积。即

$$q = Av \quad (1-3)$$

式中， A 为通流截面积， m^2 ； v 为通过截面 A 上各点的液体的平均流速， m/s 。

流量的单位为 m^3/s ，常用 L/min 。

实际上，液压传动技术就是围绕压力和流量这两个参数的控制和调节而展开的。

1.1.2 压力能和液压功率

如图 1-2 所示，液压缸中的活塞上的物体的重力为 F ，活塞的截面积为 A ，物体相对基准的位置高度为 h ，则物体具有机械位能 $F \times h$ 。物体处于平衡状态，则密封在液压缸中的液体产生的压力为

$$p = \frac{F}{A} \quad \text{或} \quad F = pA \quad (1-4)$$

因此有

$$Fh = pAh = pV \quad (1-5)$$

式中， V 为液压缸中液体的体积， $V = A \times h$ 。

式（1-5）中， pV 称为压力能（液压能）。也就是说，具有压力的液体就具有能做功的能量。式（1-5）也表明机械能与压力能之间的相互转换关系。

如果开启截止阀阀门，当具有压力 p 的液体能克服负载阻力而流动时，则活塞上的物体下移，有

$$F \frac{h}{t} = Fv = pAv = pq$$

式中， Fv 为机械功率，因此 pq 称为液压功率。一般地，液压功率常用式（1-6）计

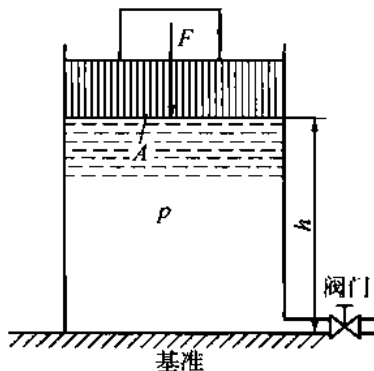


图 1-2 能量转换

算, 即

$$P = \frac{pq}{60} \quad (\text{kW}) \quad (1-6)$$

式中, p 为液体压力, MPa; q 为液体流量, L/min。

1.1.3 液压传动的工作原理

液压千斤顶是常见的液压传动装置, 图 1-3 为其工作原理示意图。图中, 大小两个液压缸 II 和 I 内分别装有活塞, 活塞可以在缸内滑动, 且密封可靠。要举升重物时, 截止阀应关闭。当向上提起杠杆时, 液压缸 I 的活塞向上移动, 缸 I 下腔的密封容积增大, 腔内压力下降, 这时排油单向阀关闭, 形成一定的真空度, 油箱中的油液在大气压力的作用下推开吸油单向阀进入缸 I 的下腔, 从而完成了一次吸油过程。接着, 压下杠杆, 缸 I 活塞下移, 下腔密封油腔的容积减小, 油液受到挤压, 压力上升, 关闭吸油单向阀, 压力油推开排油单向阀进入液压缸 II 的下腔, 从而推动大活塞克服重物的重力 G 上升而做功。如此反复地提、压杠杆, 就可以将重物逐渐升起, 从而达到起重的目的。

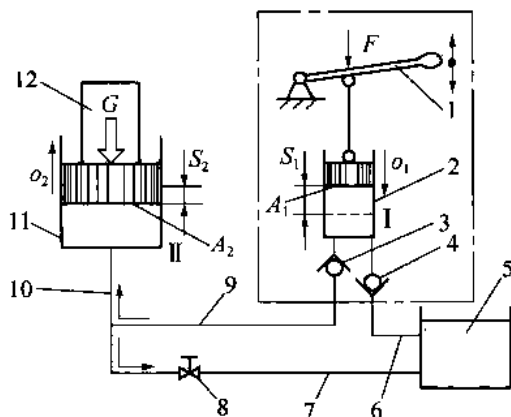


图 1-3 液压千斤顶的工作原理

- 1—杠杆；2—液压缸 I；3—排油单向阀；
4—吸油单向阀；5—油箱；6, 7, 9, 10—油管；
8—截止阀；11—液压缸 II；12—重物

当需要液压缸 II 的活塞停止运动时, 可使杠杆停止运动, 液压缸 II 中的液压力使排油单向阀关闭, 液压缸 II 的活塞就被锁住不动。当需要液压缸 II 的活塞放下时, 可打开截止阀, 液压油在重力作用下经截止阀排回油箱, 缸 II 的活塞下降到原位。只要控制截止阀的开度（通流面积）就可以控制重物的下降速度。

由液压千斤顶的工作原理可以看出, 驱动杠杆向下移动的机械能, 通过缸 I 以及吸油、排油单向阀转换成油液的压力能, 此压力能再通过液压缸 II 转换成克服负载（举升重物）的机械能, 对外做功, 实现了能量的转换和传递。

在液压传动中, 将机械能转化为压力能的装置称为液压泵; 而将压力能转换为机械能对外做功的装置称为执行装置, 这种装置有液压缸和液压马达。

综上所述, 可以得出如下结论: 液压传动是依靠液体在密封油腔容积变化中的压力能来实现运动和动力传递的。液压传动装置从本质上讲是一种能量转换装置, 它先将机械能转换为便于输送的液压能, 然后再将液压能转换为机械能对外做功。

从液压千斤顶的工作原理、动力传递的过程, 可以了解液压传动的基本特性。

1. 力的传递

小活塞下移时, 打开排油单向阀, 使两个液压缸油腔变成一个密封连通器。在大活塞上有负载 G , 当小活塞上作用一个主动力 F 时, 使密封连通器保持力的平衡。此时, 油液受压后在内部建立了压力, 有



大活塞上的压力为

$$p_2 = \frac{G}{A_2}$$

而小活塞上的压力为

$$p_1 = \frac{F}{A_1}$$

式中, A_1 、 A_2 分别为小、大活塞的有效作用面积。

因密封连通器中压力处处相等, 需要有 $p_2 = p_1 = p$, 所以有

$$\frac{G}{A_2} = \frac{F}{A_1} = p \quad (1-7)$$

这样, 用较小的力就可以平衡大活塞上很大的负载力, 即

$$G = \frac{A_2}{A_1} F \quad (1-8)$$

当系统的结构参数 A_1 、 A_2 不变时, 从式 (1-7) 可知, 负载 G 越大, 举升它需要的压力 p 就越大, 亦即需要提供的压力 p 就越大, 由此可以得出一个重要的结论, 即液压系统中的工作压力取决于负载, 取决于液体流动时需要克服的阻力。

由式 (1-8) 可以看出, 大、小活塞的面积比 A_2/A_1 越大, 作用力放大的效果就越明显, 只要在小活塞上施加一个很小的力 F , 就可以使大活塞上产生一个很大的举升力举起重物 G 。请注意, 这里只是作用力被放大了, 并不是能量放大, 能量是守恒的。

2. 运动的传递

根据质量守恒定律, 从缸 I 中压出的油液的体积必然等于缸 II 中大活塞上升所让出的体积, 即有

$$V = A_1 s_1 = A_2 s_2 \quad (1-9)$$

式中, s_1 、 s_2 为小活塞和大活塞的位移量。

设小活塞、大活塞移动 s_1 、 s_2 位移的时间为 t , 则有

$$\frac{V}{t} = A_1 \frac{s_1}{t} = A_2 \frac{s_2}{t}$$

即

$$q = A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (1-10)$$

因此有

$$v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1 = \frac{q}{A_2} \quad (1-11)$$

由式 (1-11) 可知, 如果调节进入缸 II 的流量 q , 就可以调节大活塞的运动速度 v_2 。由此可以得出又一个重要结论, 即液压系统中执行元件的运动速度取决于流量。

3. 功率的转换与传递

由图 1-3 知, 缸 I 输入的机械功率为 Fv_1 , 转换为液压功率 pq , 缸 II 将液压功率 pq 转换为机械功率 Gv_2 , 对外做功。因为 Fs_1 为机械能, 有

$$Fs_1 = p_1 A_1 s_1 = p_1 V_1 \quad (1-12)$$

由此可知, 体积为 V 、具有压力 p 的液体就具有压力能 (液压能) pV 。