



21世纪高等学校
机械设计制造及其自动化专业参考书

液压传动与气压传动 学习辅导与题解

唐群国 何存兴 主编



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>



21 世纪高等学校
机械设计制造及其自动化专业参考书

液压传动与气压传动

学习辅导与题解

主 编 唐群国 何存兴

副主编 唐晓群

华中科技大学出版社

中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

液压传动与气压传动学习辅导与题解/唐群国 何存兴 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2009年4月

ISBN 978-7-5609-5237-6

I. 液… II. ①唐… ②何… III. ①液压传动-高等学校-教学参考资料 ②气压传动-高等学校-教学参考资料 IV. TH137 TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 042939 号

液压传动与气压传动学习辅导与题解

唐群国 何存兴 主编

策划编辑:刘 锦

责任编辑:姚同梅

责任校对:祝 菲

封面设计:潘 群

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

印 刷:湖北通山金地印务有限公司

开本:787mm×960mm 1/16

印张:10.75

字数:260 000

版次:2009年4月第1版

印次:2009年4月第1次印刷

定价:18.80元

ISBN 978-7-5609-5237-6/TH·192

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书是“液压与气压传动”课程的辅助教材,主要与教材《液压传动与气压传动》(第三版,由杨曙东、何存兴、唐群国等编写,华中科技大学出版社2008年出版)配套使用,以方便教师教学和读者自学。

本书的篇章结构体系基本与教材一一对应,分为液压传动和气压传动两篇,共计16章。每章内容包括内容提要、重点难点分析、典型例题三部分,书后安排了两套综合测试题,并附有参考答案。在内容编写上强调对基本概念、基本理论的理解与掌握,并对重点和难点内容进行了归纳和深入剖析。

本书可作为普通高等工科院校、高等职业技术学院讲授或学习“液压与气压传动”课程的师生及相关工程技术人员的参考用书。

前 言

液压与气压传动技术在现代国民经济各领域都有广泛的应用,是高等工科院校机械类专业学生和机械工程技术人员需要掌握的一门技术。何存兴等主编的教材《液压传动与气压传动》一书,多年来一直深受广大读者的欢迎。为了方便教师教学和读者自学,我们编写了这本辅助教材,与教材《液压传动与气压传动》(第三版)配套使用。

全书按照内容分为“液压传动”和“气压传动”两篇,共计 16 章,各章内容基本与教材相对应。书后安排了两套综合测试题,且附有参考答案,便于学习者检查自己对基本知识的掌握情况。本书在编写上强调对基本概念、基本理论的理解与掌握,每章内容包括内容提要、重点难点分析、典型例题三部分。内容提要部分是对每章主要内容的简明扼要的总结归纳;重点难点分析部分对每章中涉及的重要概念、重要知识点进行了深入剖析;典型例题部分对精选的例题给予了详细解答,以帮助读者提高应用相关知识分析和解决实际问题的能力。每章的例题部分取自教材各章后的习题,部分为增选的,以期对原教材有所补充和拓展。

本书由华中科技大学唐群国、何存兴主编。由陈晶田编写第 1 篇第 1 章和第 2 章,唐群国编写第 3 章至第 9 章、自测题及答案,唐晓群编写第 2 篇各章。全书由何存兴教授审阅。

在编写本书过程中我们得到了华中科技大学机械科学与工程学院液压与气动研究中心全体教师的支持与帮助,研究生刘丽萍绘制了本书部分插图,在此表示衷心感谢。对本书参考文献的作者,也在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏甚至错误之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2008 年 10 月

于湖北武汉

目 录

第1篇 液压传动

第1章 液压传动概述	(3)
1.1 内容提要	(3)
1.2 重点难点分析	(3)
1.3 典型例题	(5)
第2章 液压流体力学基础	(7)
2.1 内容提要	(7)
2.2 重点难点分析	(7)
2.3 典型例题	(16)
第3章 液压泵	(32)
3.1 内容提要	(32)
3.2 重点难点分析	(32)
3.3 典型例题	(37)
第4章 液压执行元件	(43)
4.1 内容提要	(43)
4.2 重点难点分析	(43)
4.3 典型例题	(46)
第5章 液压控制阀	(52)
5.1 内容提要	(52)
5.2 重点难点分析	(52)
5.3 典型例题	(60)
第6章 液压辅助元件	(73)
6.1 内容提要	(73)
6.2 重点难点分析	(73)
6.3 典型例题	(75)
第7章 液压基本回路	(78)
7.1 内容提要	(78)
7.2 重点难点分析	(78)
7.3 典型例题	(80)
第8章 典型液压系统	(96)

8.1	内容提要	(96)
8.2	重点难点分析	(96)
8.3	典型例题	(97)
第9章	液压系统的设计计算	(105)
9.1	内容提要	(105)
9.2	重点难点分析	(105)
9.3	典型例题	(107)

第2篇 气压传动

第10章	气压传动概述	(115)
10.1	内容提要	(115)
10.2	重点难点分析	(115)
第11章	气压传动基础知识	(117)
11.1	内容提要	(117)
11.2	重点难点分析	(117)
11.3	典型例题	(118)
第12章	气源装置和辅助元件	(128)
12.1	内容提要	(128)
12.2	重点难点分析	(128)
12.3	典型例题	(129)
第13章	气动执行元件	(133)
13.1	内容提要	(133)
13.2	重点难点分析	(133)
13.3	典型例题	(133)
第14章	气动控制元件	(138)
14.1	内容提要	(138)
14.2	重点难点分析	(138)
14.3	典型例题	(139)
第15章	气动基本回路	(141)
15.1	内容提要	(141)
15.2	重点难点分析	(141)
15.3	典型例题	(142)
第16章	气动系统设计	(146)
16.1	内容提要	(146)
16.2	重点难点分析	(146)
16.3	典型例题	(147)
综合测试题		(155)
综合测试题参考答案		(162)
参考文献		(166)

第1篇

液 压 传 动

第 1 章

液压传动概述

1.1 内容提要

在实践中使用的液压系统各式各样,往往差别很大,但其组成和工作原理却是相似的。本章通过一个简单的千斤顶例子,介绍了液压传动的组成、工作原理及传动的性能特点,并与常见的机械传动和电力传动进行了比较。同时,还讨论了液压传动系统对液压传动工作介质即液压液的性能要求,介绍了常用液压液的类型、特点及适用场合。

对本章应着重理解并掌握液压传动系统的工作原理、基本组成及主要特点。对液压介质的分类及其使用场合作一般性了解即可。

1.2 重点难点分析

1. 液压传动与液力传动的区别

液压传动与液力传动都使用液体作为能量传递的介质,同属于流体传动与控制这一学科范畴,但液压元件及液压系统是依靠液体的压力能来传递功率并驱动执行元件工作的,而液力传动则依靠液体的动能传递功率并完成对外做功,如离心式水泵就是通过叶片的转动将机械能转化为流经叶片表面的液体动能的。液压系统的工作压力较高,一般的离心泵不能用于液压系统。

2. 液压泵出口压力或液压系统的压力的决定因素

液压泵出口压力或液压系统的压力取决于负载。液压传动基于帕斯卡(Pascal)静压传递原理,只有系统存在负载,才能建立起相应的压力,液压泵才处于带载工作状态。如果不考虑

液体的流动能量损失等因素,一旦负载消失,液压泵就处于卸荷状态,理论上无功率输出。但流体在液压管道或液压元件中流动总存在流动的阻力,会造成压力损失,因此“液压系统的压力取决于负载”这一提法中的“负载”是指包括流动阻力在内的广义负载。

3. 液压传动的特点

(1) 液压传动的主要特点与采用的传动介质有关。

①由于液体的易流动性,液压系统可通过管路连接各元件,因此系统的安装布置受空间场地的约束小,布置灵活方便。

②通过管道可以实现从原动机及液压泵到执行元件(工作位置)之间较远距离的功率传输。

③液压传动可以通过提高系统工作压力或调整液压缸、液压马达的结构尺寸得到很大的力或力矩输出,因此系统的功率密度大、体积小。

④由于执行元件的输出速度与输入流量成正比,因此可以获得大范围内的无级平滑调速。

⑤在液压系统中设置安全阀,就可以方便地实现系统的过载保护。

(2) 液压元件和液压系统在使用和维护上存在的问题。

同样,由于液体的某些固有物理特性,液压元件和液压系统在使用和维护上存在以下一些问题。

①泄漏。液体通过系统内零件间密封间隙的泄漏会影响元件和系统的容积效率,如果油液向工作环境泄漏,则会导致污染,而当工作场合存在高温或明火时,液压油的外泄还会带来安全隐患。

②液体的粘度一般受温度影响较大,而粘度对液压元件及系统的工作性能、控制特性影响很大,因此液压传动对温度有一定要求。

③液体具有可压缩性,在系统压力较高时,压缩性将给系统的效率、动态特性等带来不利影响。因为泄漏和介质的可压缩性,液压传动难以实现像齿轮传动那样精确的传动比。

④由于液体介质的泄漏、可压缩性,以及流动压力损失、粘性摩擦等因素,致使液压元件及系统的总效率较低,这是大功率系统必须考虑的问题。

⑤液压元件及系统的可维修性不好,故障诊断困难。

⑥由于液压元件结构较复杂,使用过程中又存在介质的污染、氧化变质等问题,因此液压传动的可靠性较低。

液压传动的诸多优点使其历经百余年的发展,至今仍广为应用;也正是由于存在上述一些问题,液压传动技术在许多场合都被冷落了。

液压传动、气压传动、电气传动与机械传动的性能特点比较参见表 1-1。

表 1-1 液压传动、气压传动、电气传动与机械传动的性能比较

比较项目	驱动方式			
	机械	电气	气动	液压
能传送或产生的力	中	中	较大	大
驱动速度(直线)	小	中	大	较大
响应速度	中	快	较快	较快
传递位置精度	高	高	较差	较高
遥控的可能性	困难	易	易	易
对安装位置的限制	大	小	小	小
速度控制	困难	容易	较易	容易
体积	大	中	小	小
价格	低	较高	低	高

4. 液压液的种类

液压液并非纯净的液体。为了满足液压元件和系统的工作要求,液压液中添加有各种增强或改善介质某些物理性能的添加剂,如抗锈剂、消泡剂、抗氧化剂、增粘剂等,因此它是一种溶液或混合物。

实际的液压系统因为工作环境、压力等的差别,对采用液压传动的工作装置的工作性能要求也不一样,因此对某一确定的液压系统来说,为了提高系统的工作性能,选取适宜的液压液种类非常重要。

在当前和今后很长时间内,液压液仍将以矿物油为主,各种难燃液在冶金、矿山、注塑等行业仍将会首先被考虑,但随着社会 and 科技的发展,绿色环保的液压介质,特别是天然海水或淡水将是未来液压介质必然的选择。

1.3 典型例题

例 1-1 液压油的牌号(15,22,32……)有什么意义?(教材习题 1-3)

提示 粘性是液压油最重要的物理性能,因此粘度是选择液压液时首先要考虑的因素之一。

答 目前我国对液压油牌号是采用液压油在 40°C 时运动粘度的平均值来规定的,如 32 号液压油,在 40°C 时运动粘度大约为 $32\text{ mm}^2/\text{s}$ 。

例 1-2 一台工程机械,夏天在高温下工作,冬天在零下几十度的严寒条件下工作,应当

怎样选择液压油? (教材习题 1-6)

答 由于该工程机械工作环境温度变化很大,而液压油的粘度随温度升高而降低,为了使液压油的粘度保持在合适的范围内(不过高,也不过低),在温度较高的夏季,应选用粘度较高的液压油,在冬季则应选用粘度较低的液压油。

例 1-3 目前使用的抗燃工作液有哪几种? (教材习题 1-7)

答 抗燃液压油,亦称难燃液压油,根据成分和制备方法分为四类:乳化液、无水合成液、水-乙二醇液及高水基液,其中,高水基液根据成分不同又分为高水基乳化液、高水基合成液。常用的合成液是磷酸酯液。目前正在发展的纯水液压传动,采用天然的海水或淡水。

例 1-4 液压系统和液压元件对液压介质的性能要求主要有哪些?

提示 液压系统或液压元件对液压油的要求与主机工作条件、使用环境等因素有关,应具体问题具体分析。

答 主要有:适宜的粘度,这是因为考虑到泄漏和粘性摩擦影响;粘温特性好,这是因为考虑到环境或系统温度变化对介质粘度的影响;良好的润滑性,这是因为考虑减小液压元件内部的运动副之间的摩擦磨损;防锈性好;良好的化学稳定性,主要是抗氧化特性,以延长液压油的使用寿命;抗泡沫性和抗乳化性好,抗泡沫性亦称消泡性,抗乳化性是液压油中混入水分后不产生乳化的特性;材料相容性好,对液压元件的材料无腐蚀作用;无毒,价格便宜。

第 2 章

液压流体力学基础

2.1 内 容 提 要

流体力学是关于流体在运动过程中的受力及在力作用下的平衡、运动规律及其应用的科学,是力学的一个分支。流体力学的基本知识和有关规律是流体传动技术的理论基础。本章主要介绍了流体力学的一般规律,以及与液压元件和液压系统的设计和使用联系较为密切的流动现象及其分析计算方法。正确理解和掌握这些定理、定律的物理意义及使用方法,能够解决一般的流体力学问题,是学习本章的基本要求。

概括地说,本章涉及的流体力学知识有:流体的粘性及牛顿粘性摩擦定律、流体静力学平衡方程、流体动力学方程、流体连续性方程、动量定理、能量方程、流动的能量损失计算方法、孔口出流的规律、缝隙流动的规律、液压冲击和气穴气蚀问题。

2.2 重点难点分析

1. 流体的粘度及影响因素

任何流体都有粘性。液体的粘度主要取决于其自身的成分,同时受温度及压力的影响。在通常的工作条件下,温度对粘度的影响更显著。压力对粘度的影响只有在压力很高时才较为明显,如对于高副接触的齿轮传动、滚动轴承的润滑等问题,只有考虑压力对粘度的影响才能获得与实际相符的解答。

关于液体粘度与温度、压力的关系,除了教材上给出的式(2-4)外,还有其他一些经验公式可供参考。下面给出几个有代表性的方程。

1) 粘度与温度关系方程

(1) 雷诺(Reynolds)方程

$$\mu = \mu_0 \exp[-\beta(t - t_0)]$$

式中: β 为粘温指数, 可取 $0.03/^\circ\text{C}$ 。

(2) 伏格尔(Vogel)方程

$$\mu = \mu_0 \exp \frac{b}{t + \theta}$$

式中: b 为常数; θ 表示“无限温度”, 对于标准矿物油, 可取 95。

以上两式中, μ_0 为大气压下温度 t_0 时的液体粘度。

2) 粘度与压力的关系方程

(1) 巴勒斯(Barus)方程

$$\mu = \mu_0 \exp \alpha p$$

式中: α 为粘压指数。

(2) 卡梅隆(Cameron)方程

$$\mu = \mu_0 (1 + c p)^{1/5}$$

式中: c 为系数, 可取 $\alpha/15$ 。

(3) 罗兰兹(Roelands)方程

$$\mu = \mu_0 \exp(\ln \mu_0 + 9.67) \left[-1 + \left(1 + \frac{p}{p_0} \right)^\gamma \right]$$

式中: γ 为指数, 对一般矿物油取 0.68; p_0 为压力系数, 可取 5.1×10^{-9} 。

以上各式中, μ_0 为 1 个标准大气压下油液的粘度。

实验表明, 在压力小于 1 GPa 时, 巴勒斯方程形式简单且基本与实际相符, 但压力超过 1 GPa 后, 方程误差较大, 而此时罗兰兹方程较符合实际。

在压力和温度变化均较大的情况下, 有罗兰兹方程

$$\mu = \mu_0 \exp(\ln \mu_0 + 9.67) \left[(1 + 5.1 \times 10^{-9})^{0.68} \left(\frac{t - 138}{t_0 - 138} \right)^{-1.1} - 1 \right]$$

式中: μ_0 为 1 个标准大气压下、温度为 t_0 时液体的粘度。教材上给出的式(2-4)方程形式简单, 而罗兰兹方程较为准确。

2. 流体力学的主要定理、定律

虽然流体力学的研究对象是易变形、易流动、具有一定可压缩性的流体, 但作为物质存在的一种形式, 流体的运动也满足一般物质运动的普遍规律, 即质量守恒定律、能量守恒定律及牛顿第二定理(动量定理), 只是这些定律和定理在流体的运动中的具体描述形式, 即方程不同。

流体力学从内容上可分为流体静力学、流体运动学和流体动力学。

1) 牛顿内摩擦定律

粘性作为流体的一种基本物理属性,表征了存在于有相对运动的流体层之间或流体与固体壁面间的摩擦力特性,因此只有在流体流动时才存在此摩擦力。静止流体内是不存在内摩擦阻力的,也即是不存在粘性切应力的,可以视为理想流体。

牛顿内摩擦定律给出了粘性切应力的计算方法:

$$\tau = \mu \frac{du}{dz}$$

式中: μ 为动力粘度,国际单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$,工程上通常用泊(P)或厘泊(cP)表示。

粘性有时也用运动粘度表示,运动粘度的国际单位为 mm^2/s ,工程上也用斯(St)或厘斯(cSt)表示。

值得注意的是,并非所有流体均遵循上述关系,由此将流体分为牛顿流体和非牛顿流体两类。凡是切应力与速度梯度符合牛顿内摩擦定律的称为牛顿流体,否则称为非牛顿流体。非牛顿流体的切应力与梯度的关系存在多种形式,与液体种类有关。

2) 流体静力学基本方程

静力学研究流体在静止(包括绝对静止和相对静止)时在力(包括质量力和表面力)作用下的平衡规律。用矢量形式表达的静力学平衡微分方程为

$$f - \frac{1}{\rho} \text{grad} p = 0$$

式中: f 是作用在流体上的单位质量力; ρ 为密度; p 为压力。

由此可以导出流体处于绝对静止且质量力仅有重力时的静压强公式,即

$$p = p_0 + \rho gh$$

式中: p_0 为静止液体自由液面上的压力。

3) 流体的连续性方程

该方程揭示了流体流动过程中的质量守恒规律。对于液体,在压力不高的条件下,通常忽略其可压缩性,将其视为不可压缩流体。如果流动是定常的,对于非等截面的管内流动,如图 2-1 所示,取任意两过流断面,均满足下式:

$$\rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2 = \text{常量}$$

方程中各符号的意义参见图 2-1,其中速度和密度均为过流断面上的平均值。

4) 伯努利(Bernoulli)方程

伯努利方程表征了流体在流动过程中的能量转化和守恒规律,即位势能、动能及压力能,以及流体在流动过程中损失的能量之间的关系。

如图 2-2 所示,对于理想流体在管内流动的总流,有如下伯努利方程:

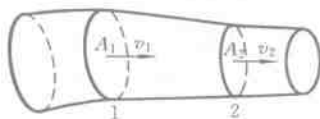


图 2-1 流体在变截面管内的流动连续性

$$\frac{p_1}{\rho g} + z_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2} = \frac{p_2}{\rho g} + z_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2}$$

考虑粘性损失的实际流体总流的伯努利方程:

$$\frac{p_1}{\rho g} + z_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2} = \frac{p_2}{\rho g} + z_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2} + h_w$$

式中: α_1 、 α_2 为动能修正系数; h_w 为单位质量液体在两断面之间流动的水头损失。

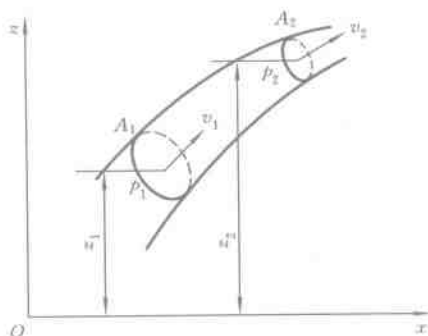


图 2-2 管内流体总流的伯努利方程分析

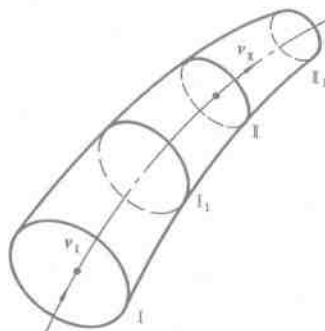


图 2-3 管流动量定理

5) 动量定理

液体流动的动量定理反映了被研究的流体质点系统动量的变化率与作用在流体上的外力之间的关系,因此通常用于求解流体与固体壁面间的相互作用力问题。工程上的大多数问题,通常都可以简化为不可压缩定常流动模型,且有如下形式的动量定理方程:

$$\sum F_i = \rho q (v_{II} - v_I)$$

即作用在控制体内液体上的所有外力矢量和等于单位时间内流出控制体与流入控制体的液体的动量之差。

式中符号的意义参见图 2-3。

3. 液压传动中的流体力学问题

1) 液体流动过程中的能量损失

由于粘性摩擦力的存在,液体在流动过程中会产生能量损失,而且当流体流经一些局部障碍如管接头、弯管、液压阀口时,流体速度的方向及大小会发生剧烈变化,导致流体内部的强烈摩擦而损耗部分能量,以上流体的两种能量损失表现为流体压力或水头的降低,所以流体流动过程中的能量损失通常用压降来表示。

流体流动过程中的能量损失分为沿程能量损失和局部能量损失两类,前者均匀发生在整个流程上,是由液体的粘性摩擦引起的;后者发生在流程中的局部障碍处,通常伴随着旋涡和