

新世纪高职高专教改项目成果教材

液压与气动技术学习及训练指南

何法明 主编

高等教育出版社

内容提要

本书是新世纪高职高专教改项目成果教材，是与教育部高职高专规划教材《液压与气动技术》（姜佩东主编）配套的教学用书。主要内容包括：各章的学习目标与要求，学习指导，例题分析，疑难解答。配套光盘中大量的三维动画，帮助学生理解所学内容，并提供丰富的素材供教师教学时选用。

本书可作为高职、高专及成人院校机械类专业教学用书，也可供有关的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

液压与气动技术学习及训练指南/何法明主编. —北京: 高等教育出版社, 2003.7

ISBN 7 - 04 - 012563 - 3

. 液... . 何... . 液压传动 - 高等学校: 技术学校 - 教学参考资料 气压传动 - 高等学校: 技术学校 - 教学参考资料 . TH137 TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 043824 号

策划编辑 赵 亮 责任编辑 胡 纯 封面设计 于 涛
责任绘图 朱 静 版式设计 马静如 责任校对 王效珍
责任印制

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010 - 82028899

购书热线 010 - 64054588
免费咨询 800 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
印 刷

开 本 787 × 1092 1/16
印 张 12.25
字 数 300 000

版 次 年 月第 1 版
印 次 年 月第 次印刷
定 价 22.60 元 (含光盘)

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

本书是新世纪高职高专教改项目成果教材，与姜佩东主编的《液压与气动技术》（高等教育出版社出版）配套使用。

本书主要包括液压与气动技术学习指导、实验指导书与配套光盘三大部分。

液压与气动技术学习指导部分与主教材、配套光盘紧密配合。各章结构如下：

（一）学习目标与要求

根据教学大纲的要求，对各章的知识点提出具体的要求，帮助学员掌握好各知识点的深度和广度，并提出一些帮助学员掌握知识、培养能力的学习方法以供参考。

（二）学习指导

将主教材各章的主要内容进行归纳，并根据重点、难点和学习要求进行深入细致的分析总结。

（三）例题分析

根据各章的内容，选择一些具有代表性的题目进行分析解答。

（四）疑难解答

对主教材中的一些疑难问题进行解答，特别是对在生产实践中常常遇到的实际技术问题有针对性地进行分析、解答，培养学员运用理论知识解决实际问题的能力。

配套光盘与主教材紧密配合，采用大量的三维动画、二维动画、图片、录像、声音等素材对主教材中的各章内容进行生动、形象地阐述、分析，使学员能够轻松地掌握各章的重点、难点内容。液压与气动技术是一门实践性很强的课程，为了增长学员的感性知识，提高学员的实践能力，本光盘设有实验模块，学员不仅可以对典型的液压回路进行组装、调试，而且能够自行设计并组装新的基本回路实验，程序将自动保存组装数据，对组装的结果是否正确进行评价。本光盘还具有练习与测评功能，学员可以通过该功能随机进行组卷，进行练习与测评，以检查自己对所学知识的掌握程度。

实验指导书是针对配套光盘中的实验模块而编写的，详尽阐述了配套光盘中各典型实验回路的实验目的、实验内容、实验步骤、回路调试和组装新实验的具体步骤等。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院机类及机电类专业的学习指导教材，也可供有关的工程技术人员参考。

由于编者水平有限，书中难免有疏误及缺点，恳切希望学员和老师及时批评指正。

编者

2003年3月

出版说明

为认真贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》和《面向 21 世纪教育振兴行动计划》，研究高职高专教育跨世纪发展战略和改革措施，整体推进高职高专教学改革，教育部决定组织实施《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》（教高 [2000] 3 号，以下简称《计划》）。《计划》的目标是：“经过五年的努力，初步形成适应社会主义现代化建设需要的具有中国特色的高职高专教育人才培养模式和教学内容体系。”《计划》的研究项目涉及高职高专教育的地位、作用、性质、培养目标、培养模式、教学内容与课程体系、教学方法与手段、教学管理等诸多方面，重点是人才培养模式的改革和教学内容体系的改革，先导是教育思想的改革和教育观念的转变。与此同时，为了贯彻落实《教育部关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》（教高 [2000] 2 号）的精神，教育部高等教育司决定从 2000 年起，在全国各省市的高等职业学校、高等专科学校、成人高等学校以及本科院校的职业技术学院（以下简称高职高专院校）中广泛开展专业教学改革试点工作，目标是：在全国高职高专院校中，遴选若干专业点，进行以提高人才培养质量为目的、人才培养模式改革与创新为主题的专业教学改革试点，经过几年的努力，力争在全国建成一批特色鲜明、在国内同类教育中具有带头作用的示范专业，推动高职高专教育的改革与发展。

教育部《计划》和专业试点等新世纪高职高专教改项目工作开展以来，各有关高职高专院校投入了大量的人力、物力和财力，在高职高专教育培养目标、人才培养模式以及专业设置、课程改革等方面做了大量的研究、探索和实践，取得了不少成果。为使这些教改项目成果能够得以固化并更好地推广，从而总体上提高高职高专教育人才培养的质量，我们组织了有关高职高专院校进行了多次研讨，并从中遴选出了一些较为成熟的成果，组织编写了一批“新世纪高职高专教改项目成果”教材。这些教材结合教改项目成果，反映了最新的教学改革方向，很值得广大高职高专院校借鉴。

新世纪高职高专教改项目成果教材适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校使用。

高等教育出版社

2002 年 11 月 30 日

目 录

第一章	液压传动概述及流体力学基础.....	(1)
第二章	液压泵和液压马达	(21)
第三章	液压缸	(45)
第四章	液压控制阀	(67)
第五章	液压辅助装置	(91)
第六章	基本回路.....	(101)
第七章	典型液压系统.....	(126)
第八章	液压系统设计计算举例.....	(142)
第九章	气压传动.....	(149)
实验指导书	(168)
附录	液压实验使用指南.....	(173)
参考文献	(188)

第一章 液压传动概述及流体力学基础

一、本章学习目标与要求

1. 掌握液压传动的工作原理。
2. 掌握液压传动的特点。
3. 熟悉液压传动系统的组成及各组成部分的作用。
4. 了解液压元件的职能符号及规定。
5. 了解液压传动的发展概况、应用情况及优缺点。
6. 了解液压油的分类，学会选择液压油。
7. 理解液体的黏性和压缩性概念，掌握黏性的三种表示方法及相互间的换算关系。
8. 熟悉液压油的命名方法。
9. 掌握液体静压力的概念及其特性。
10. 掌握压力的表示方法及其单位换算。
11. 会熟练使用液体静力学方程解决问题，理解压力传递原理及等压面的概念。
12. 理解压力的形成，熟悉液体对固体壁面上作用力的计算。
13. 掌握流量和平均流速的概念，学会判别液体的流动状态。
14. 理解连续性方程和伯努利方程的物理意义，并学会应用。
15. 学会应用沿程压力损失、局部压力损失公式及计算压力损失。
16. 熟悉液体经小孔的流量公式，掌握各种孔的流量特性。
17. 了解影响泄漏的因素。
18. 了解液压冲击和空穴现象。

二、本章学习指导

1. 液压传动的工作原理

液压传动的工作原理是非常重要的。参见教材图 1.1.1 磨床工作台液压系统工作原理图，通过动画详细分析了液体压力能如何传递动力，同时可以看出，液压传动过程实际上是将机械能进行转换和传递的过程。

表 1-1 机械传动与液压传动的对应关系

运动种类 \ 参量	力	运 动	功 率
机械传动	F	v	$N = Fv$
液压传动	p	q	$N = pq$

液压传动和机械传动的主要区别在于：液压传动中的液体只能承受压力，而在机械传动中机械构件则可承受拉、压、弯、剪各种应力。

液压传动中的三个基本参数——压力 p 、流量 q 、功率 N 是紧密相连的

$$p = \frac{F}{A} \quad pA = F$$

$$q = Av \quad q \frac{1}{A} = v$$

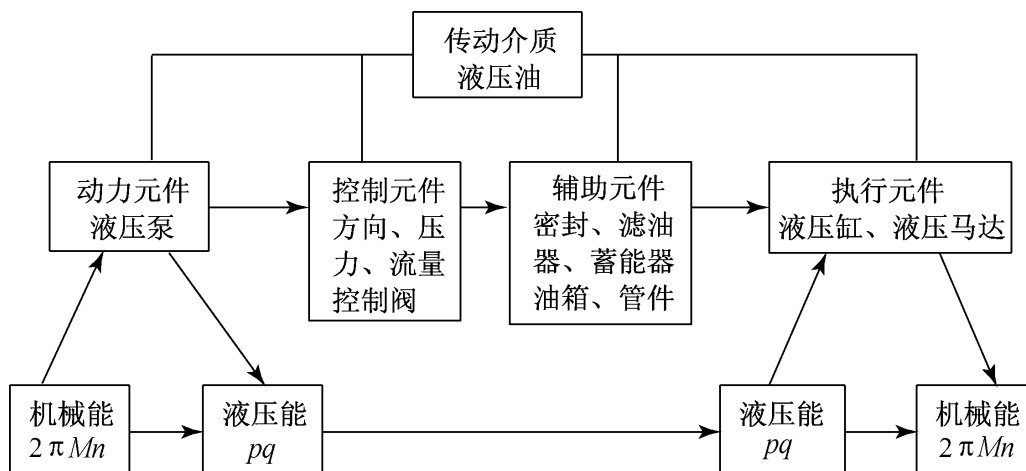
$$Fv = N = pq$$

从压力公式 $p = \frac{F}{A}$ 可看出，当 $F = 0$ ，即没有负载时，压力也就不存在，这就是教材中强调的压力决定于负载的重要概念。

从流量公式 $q = Av$ 或 $v = \frac{q}{A}$ 可看出，当 $q = 0$ 时 $v = 0$ ，即没有流量就没有速度，这就是教材中强调的又一重要概念——速度决定于流量。

这两个重要概念关系到液压传动课程学习的全过程，请大家一定要掌握。

2 液压系统的组成及各部分的功用



3 液压油的黏度

黏性是液压油的一个重要性质，教材通过图 2.1.1 及图 2.1.2 阐述了这种性质，并提出了度量其大小的物理量——黏度。黏性是液体在流动时呈现出来的一种特性，是液体对于剪切力所表现的一种抵抗作用。液体内摩擦力的计算公式为

$$F = \nu A \frac{du}{dz}$$

而单位面积上的内摩擦为

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

其中液体内摩擦力系数 μ 是度量液体黏性的最重要参数，称为液体的动力黏度，其意义是液体在单位速度梯度下流动时单位面积上的内摩擦力，单位是 $\text{Pa}\cdot\text{s}$ 。因为黏度单位中含有动力学参数，故称为动力黏度。

动力黏度与液体的密度之比称为运动黏度，即

$$= \frac{\mu}{\rho}$$

单位是 m^2/s ，它只含有运动学参数，称为运动黏度。运动黏度没有明确的物理意义，若比较

不同介质流体的黏性大小，最好用动力黏度进行。例如：

$$\mu_{\text{水}} = 1 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

$$\mu_{\text{空气}} = 18 \times 10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

显然，流动的水要比流动的空气单位面积上的内摩擦力大得多。

ISO（国际标准组织）规定采用运动黏度来表示油液的黏度。我国生产的机械油和液压油采用40℃时的运动黏度为其标号。例如普通液压油YA-N32，其中N32表示40℃时的平均运动黏度是32 mm²/s。

工业上还常采用条件黏度来度量液体的黏性，其中有恩氏黏度、赛氏秒，它们与动力黏度有确定的换算关系。

4 液体静压力及静压力方程

液体静压力研究液体在静止状态下的压力分布及平衡的规律。这是对压力概念的进一步扩展和深入。

“压力”这个名词术语在学习液压传动课程时常会遇到。学习者一定要明确，这里所指的“压力”就是中学物理课中所学的压强。对于静止液体，如果法向作用力F均匀地作用在面积A上，则

$$p = F / A$$

我国法定计量单位的压力单位为Pa（帕），（1 Pa = 1 N/m²）。在液压传动中，帕的单位太小，常采用它的倍数单位MPa（兆帕）。

压力可采用两种不同的基准表示，见教材2.2.3节。一种是以绝对零压力作为基准，测出的是压力的绝对值，称绝对压力；一种是以当地大气压力为基准，测出的是高出大气压的部分，称为相对压力。绝对压力、相对压力和大气压力三者之间的关系为

$$\text{绝对压力} = \text{大气压力} + \text{相对压力（表压力）}$$

$$\text{相对压力（表压力）} = \text{绝对压力} - \text{大气压力}$$

当绝对压力小于大气压力时，我们把这种物理现象叫做真空。而把绝对压力不足于大气压力的那部分压力值，叫做真空度，它是具体衡量真空的物理量。真空度、大气压力、绝对压力和相对压力的关系为

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

$$\text{真空度} = - \text{相对压力}$$

从以上分析可以看出，绝对压力和真空度是大于或等于零的数，而绝对压力小于大气压力时，相对压力是小于零或等于零的数。

5 液体流动的连续性方程

连续性方程在前面的学习中就遇到了，有一定的初步认识。连续性方程是根据质量守恒定律推导出来的：

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 = \text{常量}$$

它是体积流量的连续。

对于可压缩液体，其方程为

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

它是质量流量的连续。

在液压传动中采用的液体一般认为是不可压缩的，上述方程反映了液体连续性的概念，是液压传动中的基本概念之一。

连续性方程提供了流经管道中的流速和通流截面积的关系。在同一管路中通流截面大的地方液体流速小，反之通流截面小的地方流速大。当通流截面一定时，通过液体的流量越大，其流速也越大。

根据液流连续性的概念，在液压系统中，当流量从总管流入各分管时有

$$q = q_1 + q_2 + \dots + q_n$$

当从各分管流入总管时有

$$q_1 + q_2 + \dots + q_n = q$$

这和电路中的电流在节点处分流、合流的原理相类似。

6 伯努利方程

伯努利方程（以下简称伯氏方程）是瑞士著名的科学家伯努利根据能量守恒定律推导出来的，因此也称能量方程。教材中的图 2 3 3 是伯努利方程的示意图。

理想液体的伯氏方程为

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

方程的每一项都有明确的物理意义：

$\frac{p}{g}$ ——表示单位重量的压力能，称比压能；

z ——表示单位重量的位能，称比位能；

$\frac{v^2}{2g}$ ——表示单位重量的动能，称比动能；

三者都具有长度的量纲，故分别称为压力水头、位置水头和速度水头。在任意截面上这三种能量都可以相互转化，但其总和保持不变。方程的核心是能量的转换和能量的守恒。

实际液体的伯氏方程为

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

以上两方程相比，实际液体伯氏方程多了一项能量损失 h_w 。这因为，实际液体是有黏性的，流动时有摩擦力，有阻力就要消耗能量，液体流动时的能量损失主要表现在压力损失。压力损失项一定要加在流动所在的后一截面上。

两方程中的流速 v 是不同的。由于理想液体没有黏性，它在管中流动时截面上的速度是均匀的，它的流动就是实际流动；而实际液体有黏性，它在管中流动时截面上的速度是不均匀的，所以采用平均流速。

7 管路压力损失计算

压力系统中能量损失分为两大类：局部压力损失和沿程压力损失。压力损失的规律与液体的流动状态和液体的边界情况有着密切的关系。

液体流动状态有层流和湍流，区分它们可以用雷诺数

$$Re = \frac{vD_H}{\nu}$$

它是一个无量纲数，其中 D_H 是水力直径： $D_H = \frac{4A}{x}$ 。

在液压传动系统中，大量采用光滑金属管（钢管、紫铜管等），临界雷诺数取 2 320。 $Re < 2 320$ 时为层流， $Re > 2 320$ 时为湍流。

在雷诺数计算式中，分母即运动黏度表征黏性力，分子中的流速表征惯性力。液体在流动过程中，当黏性力起主导作用时为层流；当惯性力起主导作用时，流体质点挣脱了黏性力的束缚，引起了横向运动，为湍流。湍流时的压力损失大于层流时的压力损失。

液体流动的边界情况不同压力损失也不同。油液流经直管时产生的压力损失称沿程压力损失，它又分为层流和湍流两种情况。油液流经局部障碍时产生的压力损失称局部压力损失，这时的流动状态一般为湍流。层流时这种情况极少发生，因此下面只讨论湍流的情况。

压力损失的计算主要是求沿程阻力系数 和局部阻力系数 的值。沿程压力损失计算公式为

$$p = \frac{l}{d} \frac{\rho v^2}{2}$$

对层流 $= \frac{75}{Re}$ (金属圆管) 或 $= \frac{80}{Re}$ (橡胶软管)

对湍流 $= 0.3164 Re^{-0.25}$

局部压力损失计算公式为

$$p = \zeta \frac{\rho v^2}{2}$$

局部阻力系数可通过查有关手册得到。

8 液体流经薄壁小孔的流量

薄壁小孔流量公式为

$$q = C_q \sqrt{\frac{2}{\rho} p}$$

这个公式是非常重要的，因为在后续内容中经常要用它来分析问题和计算流量。这个公式建立了流量、压力差和孔口面积的函数关系。在分析计算时，一定要注意：流量是压力差和孔口面积这两个变量的函数。同理，压力差或孔口面积也是另外两个变量的函数。

三、例题分析

例 1 - 1 某种机械油，在 40 时其运动黏度常在 $29.8 \times 10^{-6} \sim 30.2 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 之间波动。如油的密度 $\rho = 900 \text{ kg}/\text{m}^3$ ，试问：

- (1) 这种机械油的牌号为多少？
- (2) 平均动力黏度是多少？
- (3) 它和 YA - N46 牌号机械油相比，谁的黏度大？
- (4) 在静止时，它与 YA - N46 牌号机械油相比，谁呈现的黏性大？

解：我国生产的机械油和压力油采用 40 时的运动黏度的平均值进行标定。以运动黏度

和动力黏度的关系式 $\mu = \rho \nu$ 以及黏性定义为解题的出发点，就会很快得到答案。

(1) 在 40 °C 时，这种机械油的运动黏度为

$$\begin{aligned} \nu_{40} &= \frac{29.8 + 30.2 + 30.3}{3} \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \\ &= 30.1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \\ &= 30.1 \text{ mm}^2/\text{s} \end{aligned}$$

这种机械油是 YA - N32 牌号机械油。

(2) 求动力黏度

因为 $\mu = \rho \nu$

所以 $\mu = 900 \times 30.1 \times 10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{s} = 27.09 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$

(3) 对于同一类液压油，牌号越高黏度就越大，所以与 YA - N46 牌号机械油相比，YA - N32 牌号机械油的黏度小。

(4) 因为黏性只有在液体流动时才能呈现出来，静止时是不可能呈现出来的，因此液体静止时，YA - N46 牌号机械油和 YA - N32 牌号机械油均不呈现黏性，比较它们的黏性大小也没有实际意义。

例 1 - 2 如图 1 - 1 所示，在两个相互连通的液压缸中，已知大缸内径 $D = 100 \text{ mm}$ ，小缸内径 $d = 20 \text{ mm}$ ，大缸活塞上放置的物体质量为 5000 kg 。问在小缸活塞上所加的力 $F = \underline{\hspace{2cm}}$ kg 时才能使大活塞顶起重物？

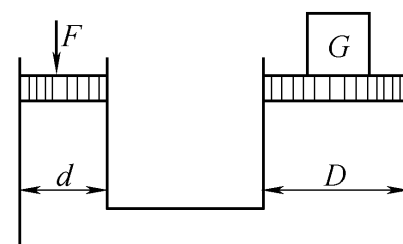


图 1 - 1 液压缸

解：

$$F = \frac{G}{A_2} A_1 = \frac{G}{\frac{\pi D^2}{4}} \frac{\pi d^2}{4} = G \frac{d^2}{D^2} = 5000 \times \frac{20^2}{100^2} \text{ kg} = 200 \text{ kg}$$

例 1 - 3 如图 1 - 2 所示，液压泵从油箱吸油，吸油管直径 $d = 6 \text{ cm}$ ，流量 $q = 150 \text{ L}/\text{min}$ ，液压泵入口处的真空度为 0.02 MPa ，油液的运动黏度 $\nu = 30 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ，密度 $\rho = 900 \text{ kg}/\text{m}^3$ ，弯头处的局部阻力系数 $\xi = 0.2$ ，管道入口处的局部阻力系数 $\xi = 0.5$ 。求：

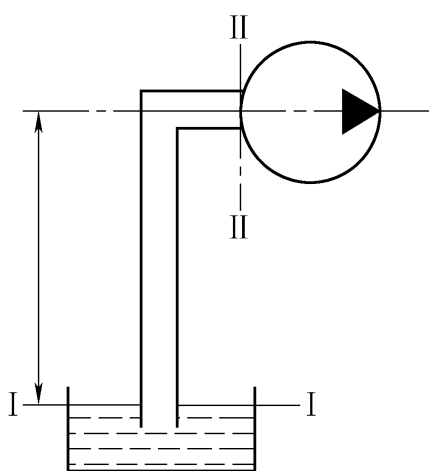


图 1 - 2

(1) 沿程损失忽略不计时的吸油高度？

(2) 若考虑沿程损失，吸油高度又是多少？

由于本例题要求考虑压力损失，所以本例题的思考方法和解题过程有两点不同：要用实际液体伯氏方程求解，按油液流动方向列方程，并在油液流动所到的后一截面上加能量损失项；在求压力损失项之前，必须先判断油液流态，以便确定沿程阻力系数。

解：列伯氏方程（选取 I-I 截面为基准面。）

$$\frac{p_1}{\rho g} + h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} + h_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_w$$

因为 — 截面与大气接触，故 p_1 为大气压力 p_a ，即 $p_1 = p_a$ 。 v_2 为吸油口的流速，一般取吸油管内油液的流速，由于 — 截面比 — 截面大得多，所以 $v_2 \gg v_1$ ，可近似取 $v_1 = 0$ 。又因为 $h_1 = 0$ ， $h_2 = h$ ，故上式可以化简为

$$\frac{p_a}{\rho g} = \frac{p_2}{\rho g} + h + \frac{v_2^2}{2g} + h_w$$

经整理得

$$h = \frac{p_a - p_2}{\rho g} - \frac{v_2^2}{2g} - h_w$$

式中： $p_a - p_2 = 0.02 \text{ MPa} = 2 \times 10^4 \text{ Pa}$

$$v_2 = \frac{q}{A} = \frac{4q}{d^2} = \frac{4 \times 150 \times 10^{-3}}{\pi \times 6^2 \times 10^{-4} \times 60} \text{ m/s} = 0.88 \text{ m/s}$$

(1) 求不计沿程损失时的吸油高度 h

压力损失 h_w

$$h_w = h = (1 + \lambda) \frac{v_2^2}{2g}$$

$$h = \frac{p_a - p_2}{\rho g} - \frac{v_2^2}{2g} (1 + \lambda) = \frac{2 \times 10^4}{900 \times 9.8} - \frac{0.88^2}{2 \times 9.8} \times (1 + 0.2 + 0.5) \text{ m} = 2.2 \text{ m}$$

(2) 求计沿程损失时的吸油高度 h

压力损失 h_w

$$h_w = h + h = \frac{l}{d} \frac{v_2^2}{2g} + (1 + \lambda) \frac{v_2^2}{2g}$$

$$Re = \frac{vd}{\nu} = \frac{0.88 \times 6 \times 10^{-2}}{30 \times 10^{-6}} = 1760 < 2320$$

油液流动为层流状态。取 $\lambda = \frac{75}{Re}$ (金属圆管)，又 $l = h$ ，则

$$h = \frac{l}{d} \frac{v_2^2}{2g} = \frac{75}{1760} \times \frac{h}{6 \times 10^{-2}} \times \frac{0.88^2}{2 \times 9.8} = 0.03h$$

$$h = \frac{p_a - p_2}{\rho g} - \frac{v_2^2}{2g} (1 + \lambda) - h = 2.2 \text{ m} - 0.03h = 2.13 \text{ m}$$

四、疑难解答

1. 液压传动有哪些优缺点？

答：

(1) 优点

传动平稳 在液压传动装置中，由于油液的压缩量非常小，在通常压力下可以认为不可压缩，依靠油液的连续流动进行传动。油液有吸振能力，在油路中还可以设置液压缓冲装置，故不像机械机构因加工和装配误差会引起振动和撞击，使传动十分平稳，便于实现频繁的换向。因此它广泛地应用在有要求传动平稳的机械上，例如磨床几乎全部采用液压传动。

重量轻体积小 液压传动与机械、电力等传动方式相比，在输出同样功率的条件下，

体积和重量可以减少很多，因此惯性小、动作灵敏。这对液压仿形、液压自动控制和要求减轻重量的机器来说是特别重要的。例如我国生产的 1 m^3 挖掘机，在采用液压传动后比采用机械传动时的重量减轻了 1 t 。

承载能力大 液压传动易于获得很大的力和转矩，因此广泛用于压制机、隧道掘进机、万吨轮船操舵机和万吨水压机等。

容易实现无级调速 在液压传动中，调节液体的流量就可实现无级调速，并且调速范围很大，可达 $2\ 000\ 1$ ，很容易获得极低的速度。

易于实现过载保护 液压系统中采取了很多安全保护措施，能够自动防止过载，避免发生事故。

液压元件能够自动润滑 由于采用液压油作为工作介质，使液压传动装置能自动润滑，因此元件的使用寿命较长。

容易实现复杂的动作 采用液压传动能获得各种复杂的机械动作，如仿形车床的液压仿形刀架、数控铣床的液压工作台，可加工出不规则形状的零件。

简化机构 采用液压传动可大大简化机械结构，从而减少了机械零部件数目。

便于实现自动化 液压系统中，液体的压力、流量和方向是非常容易控制的，再加上电气装置的配合，很容易实现复杂的自动工作循环。目前，液压传动在组合机床和自动线上应用得很普遍。

便于实现“三化” 液压元件易于实现系列化、标准化和通用化，也易于设计和组织专业性大批量生产，从而可提高生产率、提高产品质量、降低成本。

(2) 缺点

液压元件制造精度要求高 由于元件的技术要求高，加工和装配比较困难，使用维护比较严格。

实现定比传动困难 液压传动以液压油为工作介质，在相对运动表面间不可避免地有泄漏，同时油液又不是绝对不可压缩的，因此不宜应用在传动比要求严格的场合，例如螺纹和齿轮加工机床的传动系统。

油液受温度影响 由于油的黏度随温度的改变而改变，故不宜在高温或低温的环境下工作。

不适宜远距离输送动力 由于采用油管传输压力油，压力损失较大，故不宜远距离输送动力。

油液中混入空气易影响工作性能 油液中混入空气后，容易引起爬行、振动和噪声，使系统的工作性能受到影响。

油液容易污染 油液污染后会影响到系统工作的可靠性。

发生故障不容易检查与排除。

2 液压技术有哪些应用？

答：由于液压技术有许多突出的优点，从民用到国防，由一般传动到精确度很高的控制系统，都得到了广泛的应用。

在国防工业中，陆、海、空三军的很多武器装备都采用了液压传动与控制，如飞机、坦克、舰艇、雷达、火炮、导弹和火箭等。

在机床工业中，目前机床传动系统有 85% 采用液压传动与控制，如磨床、铣床、刨床、拉床、压力机、剪床和组合机床等。

在冶金工业中，电炉控制系统、轧钢机的控制系统、平炉装料、转炉控制、高炉控制、带材跑偏和恒张力装置等均采用了液压技术。

在工程机械中普遍采用了液压传动，如挖掘机、轮胎装载机、汽车起重机、履带推土机、轮胎起重机、自行式铲运机、平地机和振动式压路机等。

在农业机械中采用液压技术也很广泛，如联合收割机、拖拉机和犁等。

在汽车工业中，液压越野车、液压自卸式汽车、液压高空作业车和消防车等均采用了液压技术。

在轻纺工业中，采用液压技术的有塑料注塑机、橡胶硫化机、造纸机、印刷机和纺织机等。

在船舶工业中应用液压技术很普遍，如全液压挖泥船、打捞船、打桩船、采油平台、水翼船、气垫船和船舶辅机等。

近几年，又在太阳跟踪系统、海浪模拟装置、船舶驾驶模拟器、地震再现、火箭助飞发射装置、宇航环境模拟、高层建筑防震系统及紧急刹车装置等设备中，也采用了液压技术。

总之，一切工程领域，凡是有机械设备的场合，均可采用液压技术，其前景非常光明。

3 如何计算静止液体某点的压力？

答：液体处于静止状态下的压力称为液体静压力。在液压传动中所用的压力一般都是指液体的静压力。液体的静压力是由液体的自重和液体表面受到的外力产生的。

(1) 由液体自重产生的压力：

$$p_1 = \frac{G}{A} = \frac{Ahg}{A} = gh$$

式中 p_1 ——由油液自重产生的压力，Pa

G ——液体自重，N；

A ——承压面积， m^2 ；

g ——重力加速度， $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ；

h ——液体高度，m；

——液体的密度， kg/m^3 。

(2) 由液体表面受到的外力作用而产生的压力：

$$p_2 = \frac{F}{A}$$

式中 p_2 ——外力作用产生的压力，Pa；

F ——外力对液面的作用力，N；

A ——承压面积， m^2 。

(3) 静止液体某点的压力：

$$p = p_1 + p_2 = gh + \frac{F}{A}$$

称为静力学基本方程式。如果液面上所受到的是大气压力的作用，那么

$$p = p_a + gh$$

式中 p_a ——大气压力, $p_a = 98 \text{ kPa}$ 。

由上述可知, 液体内任一点的静压力等于液面上所受到的外力与液体的重力所产生的压力之和。

4 静止液体的压力特性如何?

答:

(1) 静止液体中, 任何一点在各个方向所受到的压力都相等。如果液体中某点受到的各个方向的压力不等, 那么液体就要运动, 破坏了静止的条件。

(2) 液体只能承受压力, 且液体的压力总是垂直于承受压力的表面, 其压力的方向指向承压表面的内部。如果压力不垂直于承压表面, 则液体就要沿着这个表面的某个方向产生相对运动; 如果压力的方向不是指向承压表面的内部, 则由于液体不能承受拉力, 液体也要离开这个表面产生运动, 于是破坏了液体的静止条件。

(3) 在密闭容器中的静止液体, 如果任意一点的压力有变化, 这个压力的变化值将传给液体中的所有各点, 且其值不变。

5 什么是压力与压强? 压力的单位是什么?

答: 液体的压力是指液体在单位面积上所受到的垂直作用力, 常用 p 表示。

压强与压力概念相同, 是同义词, 在物理学中称为压强; 在液压传动中称为压力。

压力的法定计量单位为 Pa (帕) 或 MPa (兆帕), $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$ 。

6 什么是理想液体和实际液体?

答:

(1) 理想液体 假设液体既无黏性又不可压缩, 则这样的液体称为理想液体。实际上不存在理想液体, 仅在一般分析中为了简化起见才引用这一概念。

(2) 实际液体 任何液体都具有黏性, 而且可以压缩 (尽管可压缩性很小), 这样的液体称为实际液体。

7 什么是流动液体连续性原理? 举例说明它的应用。

答: 在一般工作状态下, 液体基本上是不可压缩的, 即密度是常数。液体又是连续的, 不可能有空隙存在, 因此液体在压力作用下稳定流动时, 液体中间也不可能产生空隙。根据物质不灭定律, 液体在管内既不可能增多, 也不可能减少, 所以它在单位时间内流过管道每一截面的液体质量一定是相等的。这就是液体的连续性原理。

这一原理应用很广泛, 例如教材中的图 2 3 2。

8 必须具备哪些条件才能应用伯努利方程解决实际问题?

答:

(1) 液体稳定流动。

(2) 液体所受质量力只有重力。

(3) 液体是连续的, 不可压缩的, 即密度 = 常数。

(4) 所选择的两个通流截面必须符合渐变流条件, 而不考虑两截面间的流动状态。

9 什么是层流和湍流?

答:

(1) 层流 层流是指液体流动时, 液体质点没有横向运动, 互不混杂, 呈线状或层状的流

动。

(2) 湍流 湍流是指液体流动时，液体质点有横向运动（或产生小旋涡），做混杂紊乱状态的运动。

10 用什么来判断液体的流动状态？雷诺数有什么物理意义？

答：

(1) 对液体流动状态的判断 液体的流动状态为层流或湍流，通过雷诺数 Re 来判断。液体在圆管中流动时的雷诺数 Re 用数学式表示为

$$Re = \frac{vd}{\nu}$$

式中 d ——管道直径；

v ——液体流动速度；

ν ——液体的运动黏度。

液体流动的状态，由层流转为湍流的条件是由临界雷诺数决定的。当雷诺数 Re 小于临界雷诺数 Re_c 时为层流；大于 Re_c 时为湍流。通过实验得出的常见液流管道的临界雷诺数见表 1 - 2。

(2) 雷诺数的物理意义 由雷诺数 Re 的数字表达式可知，惯性力与黏性力的比值是雷诺数。影响液体流动的力主要是惯性力和黏性力，所以雷诺数大就说明惯性力起主导作用，这样的液流呈湍流状态；若雷诺数小就说明黏性力起主导作用，这样的液流呈层流状态。

表 1 - 2 常见液流管道的临界雷诺数

管道形状	临界雷诺数 Re_c
光滑的金属圆管	2 000 ~ 2 300
橡胶软管	1 600 ~ 2 000
光滑的同心环状缝隙	1 100
光滑的偏心环状缝隙	1 000
有环槽的同心环状缝隙	700
有环槽的偏心环状缝隙	400
滑阀阀口	260

11. 产生空穴现象有何危害？应怎样防止它产生？

答：如果在液流中产生了空穴现象，会使系统中的局部压力猛烈升高，引起噪声和振动，再加上气泡中有氧气，在高温、高压和氧化的作用下就会产生气蚀，使零件表面受到腐蚀，甚至造成元件失灵。尤其在液压泵部分发生空穴现象时，除了会产生噪声和振动外，还会由于液体的连续性被破坏，降低吸油能力，以致造成流量和压力的波动，使液压泵零件承受冲击载荷，降低液压泵的使用寿命。要想完全消除空穴现象是十分困难的，但可尽力加以防止。其主要措施有下面几点：

(1) 保持液压系统中的油压高于空气分离的压力。对于管道来说，要求油管有足够的管径，并尽量避免有狭窄处或急剧转弯处。对于液压泵，离油面的高度不得过高，以保证液压泵吸油管路中各处的油压都不低于空气的分离压力。

(2) 降低液体中气体的含量，例如管路的密封要好，不要漏气，以防空气侵入。

(3) 对液压元件应选用抗腐蚀能力较强的金属材料，并进行合理的结构设计，适当增加零

件的机械强度，减小表面粗糙度，以提高液压元件的抗气蚀能力。

12 为什么要限制液体在管路中流动的速度？

答：液压传动中的压力损失，绝大部分转变为热能，造成油温升高，泄漏增多，使液压传动效率降低，因而影响液压系统的工作性能。油液流动时，其流速对压力损失影响很大。层流时的沿程压力损失与油液流动速度的二次方成正比，湍流时的沿程损失与油液流动速度成正比；流动油液的局部压力损失与其流速成正比。可见，降低流速对减少压力损失是十分重要的，因此应限制液体在管道中的最高流速。但是液体的流速太低又会使管路和阀类元件的结构尺寸变大，所以应当使油液在管路中有个适宜的速度，推荐按表 1 - 3 中数值选取。

表 1 - 3 油液流经不同元件时的推荐流速

油液流经的液压元件		直径/ mm	流速/ (m/ s)
泵的吸油管路	$\frac{1}{2}$ 英寸 ~ 1 英寸管	15 ~ 25	0.6 ~ 1.2
	$> 1 \frac{1}{4}$ 英寸管	> 32	1.5
压油管路	$\frac{1}{2}$ 英寸 ~ 2 英寸管	15 ~ 50	3.0
	> 2 英寸管	> 50	4.0
回油管路			3
控制管路			2 ~ 3
流经控制阀等短距离的缩小截面的通道			6
溢流阀			15
安全阀			30

13 压力损失对液压系统有什么危害，有什么益处？

答：系统的调整压力，即液压泵输出油液的压力为

$$p_p = p + p_{\text{总}}$$

在管路中的压力效率 η_p 为

$$\eta_p = \frac{p}{p_p} = 1 - \frac{p_{\text{总}}}{p_p}$$

式中 p_p ——系统的调整压力；

p ——液压缸的工作压力；

$p_{\text{总}}$ ——系统总压力损失。

从上式可以看出，压力损失 $p_{\text{总}}$ 越大，压力效率 η_p 越低，因此推动液压缸工作的压力 p 越低；压力损失的绝大部分转变为热能，造成油温升高，使液压元件受热膨胀，泄漏增加，影响系统的工作性能。这是压力损失对液压系统有害的方面。

但是，压力损失对液压系统也有有益的一面。有些控制阀，如减压阀和节流阀等就是利用改变液阻的办法来控制压力或流量的，即通过压力损失的变化来改变控制阀的压力或流量；又如有些液压缸也是依靠液阻的阻尼作用而实现缓冲的。

14 怎样减少液压系统中的压力损失？

答：减少压力损失的常见措施有：