

普通高等教育“十一五”规划教材

液压与气压传动 习题集

东南大学 王积伟 主编

71

TH137-44

5

普通高等教育“十一五”规划教材

液压与气压传动 习题集

主编 王积伟
参编 谢宜均 王晓峻
刘建强 丁 洁



机械工业出版社

本书为王积伟、章宏甲、黄谊主编的《液压与气压传动 第2版》的配套习题集，其体系、内容、章节与主教材完全一致。内容包括：绪论、流体力学基础、能源装置及辅件、执行元件、控制元件、密封件、基本回路、系统应用与分析、系统设计与计算等。全书共编排习题 388 款，内容丰富，紧密结合工程实际；形式多样，利于拓宽解题思路；配以诠释，有助于对课程的自主学习。

本书适用于高等工科院校机械类各专业，可供大学专科生、本科生和报考普通硕士研究生与工程硕士等的读者学习、复习之用。

图书在版编目 (CIP) 数据

液压与气压传动习题集/王积伟主编. —北京: 机械工业出版社, 2006.1

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 7-111-18213-8

I. 液… II. 王… III. ①液压传动-高等学校-习题②气压传动-高等学校-习题 IV. TH13-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 155728 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 冯春生 版式设计: 霍永明 责任校对: 程俊巧

封面设计: 张 静 责任印制: 洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2006 年 3 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·10.5 印张·253 千字

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

本社购书热线电话 (010) 68326294

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书为王积伟、章宏甲、黄谊主编的《液压与气压传动 第2版》(以下简称主教材)的配套习题集。其主教材是普通高等教育“十五”规划教材,并于2002年荣获全国普通高等学校优秀教材二等奖。

目前,液压与气动技术已经作为高等工科院校机械类专业必修的技术基础课程而普遍开设。为了帮助学生加深理解,拓展思路,自主学习,掌握方法,更好地学好这门课程,有必要编写一本与主教材配套的习题集。

本书紧密结合课程教学大纲,共编排习题388款,其体系与主教材完全一致,内容与主教材密切配合,章节与主教材大致相同。

本书不仅涵盖了主教材的全部习题,还补充了大量结合工程实际的习题。在习题的编撰上,既内容丰富,又不显臃肿;既形式多样,又不显繁杂。且在习题类型、深浅层次、比重搭配等方面也作了精心考虑。

本书对课程的学习方法也有适当指导:在章节之首,扼要说明重点和难点;在关键知识点,用习题附注的办法点出命题含义、解题技巧或注意事项。

本书由东南大学王积伟主编。参加编写工作的有王积伟、谢宜均、王晓峻、刘建强、丁洁。全书最后由王积伟修改定稿。

由于编者水平和时间所限,书中难免有疏漏和错误,欢迎广大读者批评指正。

编 者
于南京

目 录

前言		
绪论	1	
第一章 流体力学基础	3	
第一节 工作介质	3	
第二节 流体静力学	7	
第三节 流体运动学和流体动力学	12	
第四节 气体状态方程	21	
第五节 充、放气参数的计算	23	
第六节 管道流动与压力损失	24	
第七节 孔口流动	32	
第八节 缝隙流动	36	
第九节 瞬变流动	39	
第二章 能源装置及辅件	41	
第一节 液压泵	41	
第二节 油箱	46	
第三节 液压辅件	47	
第四节 气源装置及气动辅件	48	
第五节 管件	49	
第三章 执行元件	51	
第一节 直线往复运动执行元件	51	
第二节 旋转运动执行元件	57	
第四章 控制元件	62	
第一节 阀心的结构和性能	62	
第二节 常用液压控制阀	64	
第三节 常用气动控制阀	76	
第四节 液压插装阀	78	
第五节 电液伺服控制阀	79	
第六节 电液比例控制阀	82	
第五章 密封件	84	
第六章 基本回路	86	
第一节 液压基本回路	86	
第二节 气动基本回路	117	
第七章 系统应用与分析	120	
第一节 液压系统应用与分析	120	
第二节 气动系统应用与分析	136	
第八章 系统设计与计算	138	
第一节 液压系统设计与计算	138	
第二节 气动程序控制系统设计	146	
习题参考答案	150	
参考文献	159	

结 论

液压与气压传动是以流体（液压油或压缩空气）作为工作介质对能量进行传递和控制的一种传动形式。因其具有很多突出的优点，而在工业部门中获得了广泛的应用。

学习本章主要应了解液压与气压传动的工作原理、系统的组成及优缺点。特别要掌握液压传动的两个非常重要的基本概念：系统的压力由外负载决定；执行元件的速度取决于输入流量的大小。同时还应弄清液压传动与气压传动两者工作原理上的同异之处。

0-1 液压千斤顶如图 0-1 所示。千斤顶的小活塞直径为 15mm，行程 10mm，大活塞直径为 60mm，重物 W 为 48000N，杠杆比为 $L:l = 750:25$ ，试求：

1) 杠杆端施加多少力才能举起重物 W ？

2) 此时密封容积中的液体压力等于多少？

3) 杠杆上下动作一次，重物的上升量。

又如小活塞上有摩擦力 175N，大活塞上有摩擦力 2000N，并且杠杆每上一下一次，密封容积中液体外泄 0.2cm^3 到油箱，重复上述计算。

0-2 图 0-2 所示两液压缸的结构和尺寸均相同，无杆腔和有杆腔的面积各为 A_1 和 A_2 ， $A_1 = 2A_2$ ，两缸承受负载 F_1 和 F_2 ，且 $F_1 = 2F_2$ ，液压泵流量为 q ，试求两缸并联和串联时，活塞移动速度和缸内的压力。

解 两缸并联时，由于两缸上作用负载不同，故两缸顺序动作。 F_2 作用的缸活塞运动时，速度为 q/A_1 ，压力为 F_2/A_1 。 F_1 作用的缸活塞运动时，速度为 q/A_1 ，压力为 F_1/A_1 。可见两者速度相同，但压力之比为 1:2。

两缸串联时， $p_2 = F_2/A_1$ ， $p_1 A_1 = p_2 A_2 + F_1$ ，因此， $p_1 = (p_2 A_2 + F_1)/A_1 = 2.5F_2/A_1$ ，故两缸压力之比为 1:2.5。左缸活塞速度 $v_1 = q/A_1$ ，右缸活塞速度 $v_2 = v_1 A_2/A_1 = qA_2/A_1^2$ ，故两缸活塞速度之比为 $v_1:v_2 = 1:1/2$ 。

注：这个例子清楚地说明了液压系统的压力决定于负载以及活塞运动的速度决定于输入的流量这两条液压传动的基本原理。

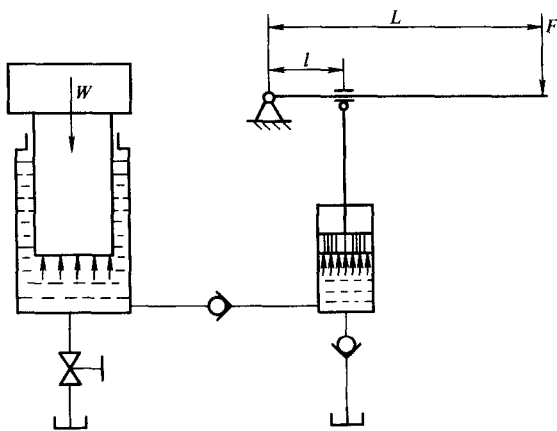


图 0-1 题 0-1 图

0-3 液压传动系统有液压泵、液压阀、液压缸、油箱、管路等元件和辅件，还得有驱动泵的电动机。而电气驱动系统似乎只需要一台电动机就行了。为什么说液压传动系统的体积小、质量轻呢？

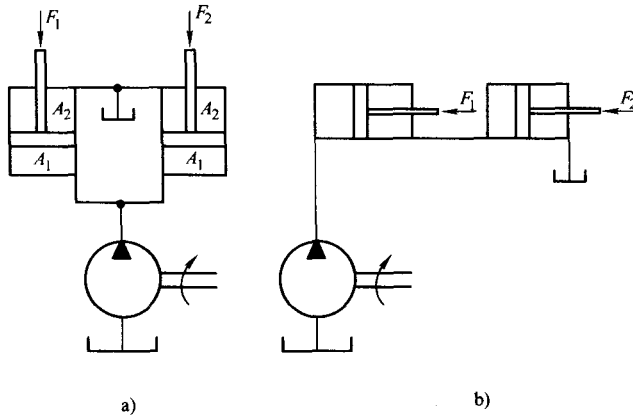


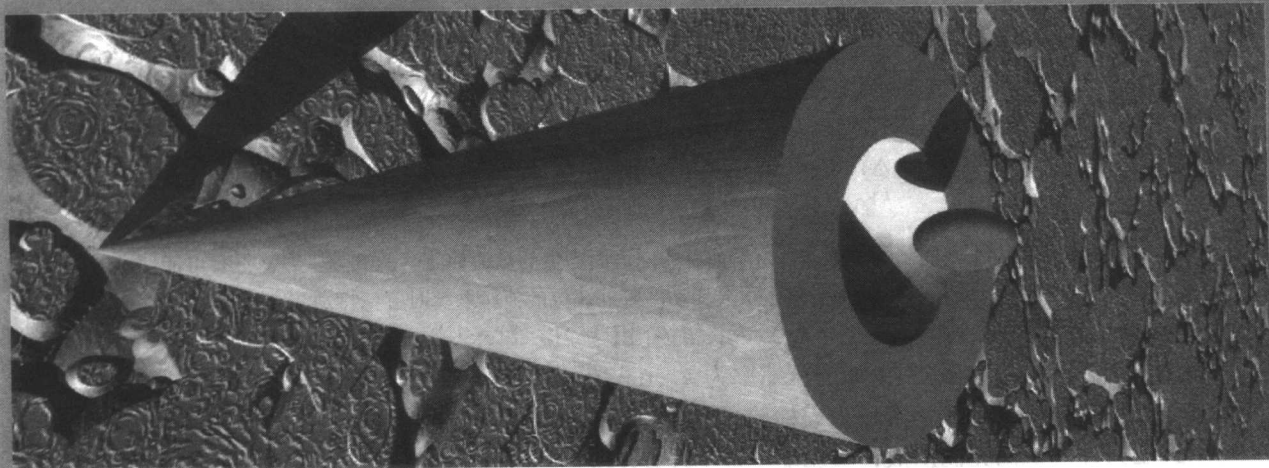
图 0-2 题 0-2 图

a) 两液压缸并联 b) 两液压缸串联

0-4 液压传动系统中，要经过两次能量的转换，一次是电动机的机械能转换为液压泵输出的液体的压力能，另一次是输入执行元件的液体的压力能转换为执行元件输出的机械能。经过能量转换是要损失能量的，那么为什么还要使用液压传动系统呢？

0-5 若将图 0-1 所示液压千斤顶中的油液放掉，并将两根通油箱的管路通大气，那样，这个千斤顶变成了什么系统？按一次手柄能否将重物立即举起？为什么？

0-6 试从工作原理、系统组成和优缺点等诸方面分析比较液压传动与气压传动的相同和相异之处。



第一章

流体力学基础

流体力学是研究流体平衡和运动规律的一门学科，是液压与气压传动的理论基础，必须牢牢掌握。

第一节 工作介质

工作介质在传动及控制中是能量和信号的载体。工作介质的性能特点决定着传动及控制系统的特性。为此，应对工作介质有一清晰的了解。

一、液压传动介质

1-1 液压传动系统中常用的工作介质有哪些类型？

1-2 有密闭于液压缸中的一段直径 $d = 150\text{mm}$ 、长 $L = 400\text{mm}$ 的液压油，它的体积膨胀系数 $\beta_t = 6.5 \times 10^{-4} 1/\text{K}$ ，此密闭容积一端的活塞可以移动。如活塞上的外负载力不变，油温从 -20°C 上升到 $+25^\circ\text{C}$ ，试求活塞移动的距离。

1-3 同题 1-2，如果活塞不能移动，液压缸又是刚性的，试问由于温度的变化，油液的膨胀使液压缸中的液压油的压力上升多少？

解 由题 1-2 答案，活塞移动了 11.7mm ，亦即由于温度升高而使液压油体积增大 $\Delta V \frac{\pi}{4}$

$$d^2 s = \frac{\pi}{4} \times 0.15^2 \times 0.0117\text{m}^3 = 206.76 \times 10^{-6}\text{m}^3。$$

依液压油可压缩性公式

$$k = - \frac{1}{\Delta p} \frac{\Delta V}{V_0}$$

取 $k = 5 \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{N}$ ，则可得压力增大值为

$$\Delta p = \frac{\Delta V}{kV_0} = \frac{206.76 \times 10^{-6}}{5 \times 10^{-10} \times \frac{\pi}{4} \times 0.15^2 \times 0.4} \text{ Pa} = 58.5 \text{ MPa}$$

注：由此可见，完全密闭的液压油，由于油温的增大而产生的数值如此高的液体压力，很有可能使液压缸爆裂。这在使用环境周围的气温会发生很大变动的野外装置的液压系统时应该特别注意。

1-4 密闭容器内的油，压力为 0.5MPa 时容积为 2L。试求压力升高到 5MPa 时的容积压缩比是多少（用 % 表示）？设油的压缩率为 $k = 6 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{N}$ 。

1-5 图 1-1 所示为标准压力表检验一般压力表的活塞式压力计。机内充满油液，其压缩率 $k = 4.75 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{N}$ 。机内的压力由手轮丝杆和活塞产生。活塞直径 $d = 10\text{mm}$ ，螺距 $t = 2\text{mm}$ 。当压力为 0.1MPa 时，机内油液体积 $V = 200\text{mL}$ 。试求为在压力计内形成 20MPa 的压力，手轮要摇多少转？

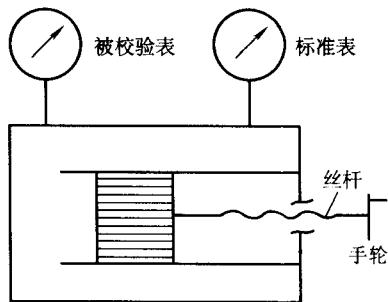


图 1-1 题 1-5 图

1-6 某液压油在大气压下的体积是 $50 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ ，当压力升高后，其体积减少到 $49.9 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ ，取液压油的体积模量为 $K = 700.0 \text{ MPa}$ ，试求压力升高值。

1-7 某液压系统的油液中混入占体积 1% 的空气，试求压力分别为 3.5MPa 和 7.0MPa 时该油的等效体积模量。若油中混入 5% 的空气，压力为 3.5MPa 时油的等效体积模量等于多少（设钢管的弹性忽略不计）？

解 依公式

$$\frac{1}{K'} = \frac{1}{K} + \frac{1}{K_c} + \frac{V_g}{V_\Sigma} \frac{1}{K_g}$$

式中， K 为纯油的体积模量，取 $2.0 \times 10^3 \text{ MPa}$ ； K_c 为钢管的体积模量，在钢管的弹性忽略不计时， $K_c = \infty$ ； V_g/V_Σ 是混入空气的体积比； K_g 是空气的体积模量， $K_g = 1.4p$ 。于是，混入空气体积比为 1%，压力为 3.5MPa 和 7.0MPa 时油液的等效体积模量分别是

$$\frac{1}{K'} = \left(\frac{1}{2.0 \times 10^9} + \frac{1}{100} \times \frac{1}{1.4 \times 3.5 \times 10^6} \right) \text{ m}^2/\text{N}$$

$$K' = 0.394 \times 10^3 \text{ MPa} \quad (p = 3.5 \text{ MPa 时})$$

$$\frac{1}{K'} = \left(\frac{1}{2.0 \times 10^9} + \frac{1}{100} \times \frac{1}{1.4 \times 7.0 \times 10^6} \right) \text{ m}^2/\text{N}$$

$$K' = 0.658 \times 10^3 \text{ MPa} \quad (p = 7.0 \text{ MPa 时})$$

而当混入空气 5%，压力为 3.5MPa 时，

$$\frac{1}{K'} = \left(\frac{1}{2.0 \times 10^9} + \frac{5}{100} \times \frac{1}{1.4 \times 3.5 \times 10^6} \right) \text{ m}^2/\text{N}$$

$$K' = 0.093 \times 10^3 \text{ MPa}$$

注：由此题可见，混入空气对油液的体积模量影响很大。当混入空气从 1% 增大到 5% 时，油的体积模量从 $0.394 \times 10^3 \text{ MPa}$ 下降到 $0.093 \times 10^3 \text{ MPa}$ ，几乎减小了 75%，而如与纯油的 $2.0 \times 10^3 \text{ MPa}$ 相比，则几乎减小了 95%，由此可见油中气泡的危害了。这就是为什么液压油要有消泡性能的原因。

由此题还可看到，同样的空气混入量，当压力增大时，油的等效体积模量也增大，所以在高压时混入空气的影响要比低压时小些。

1-8 某容器中有 2L 的油，它的压力从 0.5MPa 升高到 20.5MPa 时，①设容器是刚性的；

②假定压力每升高 0.1MPa 容器本身的体积增大 0.01%，试分别计算两种条件下必须由液压泵补充输入该容器的油的体积。

1-9 图 1-2 所示为一粘度计，若 $D = 100\text{mm}$ ， $d = 98\text{mm}$ ， $l = 200\text{mm}$ ，外筒转速 $n = 8\text{r/s}$ 时，测得的转矩 $T = 0.4\text{N}\cdot\text{m}$ ，试求其油液的动力粘度。

解 外筒旋转线速度为

$$\begin{aligned} v &= \omega R = 2\pi n \frac{D}{2} \\ &= 2 \times \pi \times 8 \times \frac{100}{2} \text{mm/s} = 2.512\text{m/s} \end{aligned}$$

转矩 $T = F_f R = F_f \frac{D}{2}$

所以 $F_f = \frac{2T}{D} = \frac{2 \times 0.4}{0.1} \text{N} = 8\text{N}$

又因为 $F_f = \mu A \frac{du}{dy}$

则动力粘度 $\mu = \frac{F_f/A}{du/dy}$

而 $A = \pi D l = \pi \times 0.1 \times 0.2 \text{m}^2 = 0.0628 \text{m}^2$

$$\frac{du}{dy} = \frac{v - 0}{0.1 - 0.098} \text{s}^{-1} = 2512 \text{s}^{-1}$$

故 $\mu = \frac{8/0.0628}{2512} \text{Pa}\cdot\text{s} = 0.051 \text{Pa}\cdot\text{s}$

1-10 某液压油在 20°C 及 1 大气压 (atm) 时的运动粘度为 $\nu = 20 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ ，试求在 40°C 及 21MPa 时以 $\text{Pa}\cdot\text{s}$ 为单位的动力粘度值。设油的密度为 $880 \text{kg}/\text{m}^3$ 。

1-11 如图 1-3 所示一液压缸，其缸筒内径 $D = 120\text{mm}$ ，活塞直径 $d = 119.6\text{mm}$ ，活塞长度 $L = 140\text{mm}$ ，若油的动力粘度 $\mu = 0.065 \text{Pa}\cdot\text{s}$ ，活塞回程要求的稳定速度为 $v = 0.5\text{m/s}$ ，试求不计油液压力时拉回活塞所需的力 F 。

解 因 $\tau = \frac{F}{A}$ ，而 $\tau = \mu \frac{du}{dy}$

所以 $F = A\mu \frac{du}{dy}$

$$A = \pi \times 0.1196 \times 0.14 \text{m}^2 = 0.0526 \text{m}^2$$

$$\frac{du}{dy} = \frac{0.5 - 0}{0.12 - 0.1196} \text{s}^{-1} = 2500 \text{s}^{-1}$$

故 $F = 0.0526 \times 0.065 \times 2500 \text{N} = 8.55 \text{N}$

1-12 图 1-4 所示一直径为 200mm 的圆盘，与固定圆盘端面间的间隙为 0.02mm ，其间充满润滑油，油的运动粘度 $\nu = 3 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$ ，密度为 $900 \text{kg}/\text{m}^3$ ，转盘以 $1500\text{r}/\text{min}$ 转速旋转时，试求驱动转盘所需的转矩。

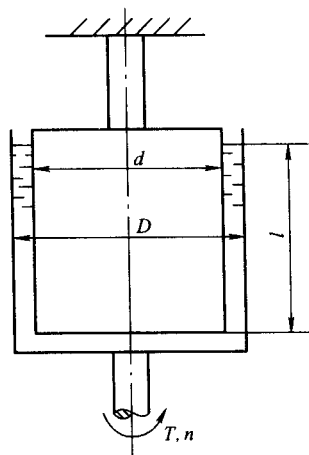


图 1-2 题 1-9 图

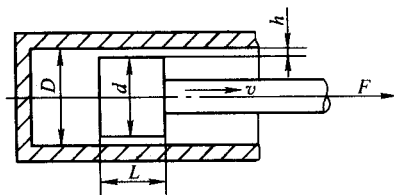


图 1-3 题 1-11 图

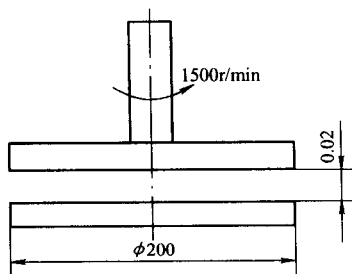


图 1-4 题 1-12 图

1-13 选择液压系统工作介质的品种和粘度时应考虑哪些因素?

1-14 使用和维护液压液时应注意哪些问题?

二、气压传动介质

1-15 试求温度 30°C、相对湿度 80% 的大气 (绝对压力 0.1013MPa) 的含湿量 d 。

解 由主教材表 1-15 查出, 当 $t = 30^\circ\text{C}$ 时, $p_b = 0.0042\text{MPa}$, 所以含湿量为

$$d = 622 \times \frac{\varphi p_b}{p - \varphi p_b} = 622 \times \frac{0.8 \times 0.0042}{0.1013 - 0.8 \times 0.0042} \text{g/kg} = 21.34 \text{g/kg}$$

1-16 试求温度 40°C、相对湿度 80%、绝对压力 0.7MPa 的空气中的含湿量 d 。

1-17 用空气输出量为 800L/min 的空压机吸入温度为 30°C、相对湿度为 80% 的大气, 将其压缩到绝对压力 0.7MPa, 然后用后冷却器冷却到 35°C。试问后冷却器每分钟将产生多少冷凝水?

解 由题 1-15 知, 空压机吸入前空气的含湿量为 $d_1 = 21.34\text{g/kg}$ 。

压缩、冷却后的含湿量 d_2 , 可由 $t = 35^\circ\text{C}$ 时, 查出 $p_b = 0.0056\text{MPa}$; 并用 $\varphi = 100\%$ 来计算, 则

$$d_2 = 622 \times \frac{\varphi p_b}{p - \varphi p_b} = 622 \times \frac{1 \times 0.0056}{0.7 - 1 \times 0.0056} \text{g/kg} = 5.02 \text{g/kg}$$

$$d_1 - d_2 = (21.34 - 5.02) \text{g/kg} = 16.32 \text{g/kg}$$

已知干空气的密度为 $\rho_0 = 1.293\text{kg/m}^3$ 。因此每分钟产生的冷凝水为 $(16.32 \times 0.8 \times 1.293) \text{g/min} = 16.88\text{g/min}$, 也即后冷却器每分钟将产生约 17mL 的冷凝水。

1-18 将 15°C 的空气压缩至 0.7MPa (绝对压力), 压缩后的空气温度为 40°C, 已知空压机的吸入空气流量为 $6\text{m}^3/\text{min}$, 空气相对湿度 φ 为 85%。试求空压机每小时的析水量。

解 由主教材表 1-15 查出

$$15^\circ\text{C} \text{ 时 } d'_{b1} = 12.8\text{g/m}^3, p_{b1} = 0.0017\text{MPa};$$

$$40^\circ\text{C} \text{ 时 } d'_{b2} = 51.2\text{g/m}^3, p_{b2} = 0.0074\text{MPa}。$$

$$\text{已知: } q_z = 6\text{m}^3/\text{min}, p_1 = 0.1\text{MPa}, p_2 = 0.7\text{MPa}。$$

根据主教材式 (1-18) 计算得

$$\begin{aligned} Q_m &= 60q_z \left[\varphi d'_{b1} - \frac{(p_1 - \varphi p_{b1}) T_2}{(p_2 - p_{b2}) T_1} d'_{b2} \right] \\ &= 60 \times 6 \times \left[0.85 \times 0.0128 - \frac{(0.1 - 0.85 \times 0.0017)(273 + 40)}{(0.7 - 0.0074)(273 + 15)} \times 0.0512 \right] \text{kg/h} \\ &= 1.066 \text{kg/h} \end{aligned}$$

1-19 设空压机站吸入的大气温度 $t_1 = 20^\circ\text{C}$, 相对湿度 $\varphi_1 = 80\%$, 压缩站经过后冷却器冷却后将 $p_2 = 0.8\text{MPa}$ (绝对压力), $t_2 = 60^\circ\text{C}$ 的压缩空气送至贮气罐, 然后再经输气管道送至车间使用。由于与外界的热交换, 使进入车间的压缩空气温度 $t_3 = 20^\circ\text{C}$ 。设车间平均耗气量为 $q_v = 3\text{m}^3/\text{min}$ (自由空气), 试求后冷却器出口压缩空气的相对湿度、贮气罐中压缩空气的露点温度和整个气源系统每小时冷却水析出量。

解 由主教材表 1-15 查出

$$t_1 = 20^\circ\text{C} \text{ 时 } p_{b1} = 0.0023\text{MPa}, d'_{b1} = 17.3\text{g/m}^3;$$

$$t_2 = 60^\circ\text{C} \text{ 时 } p_{b2} = 0.0199\text{MPa}。$$

已知: $p_1 = 0.1\text{MPa}$, $\varphi_1 = 0.8$; $p_2 = 0.8$ 。

根据主教材式 (1-16), 有

$$d = 622 \times \frac{\varphi_1 p_{b1}}{p_1 - \varphi_1 p_{b1}} = 622 \times \frac{\varphi_2 p_{b2}}{p_2 - \varphi_2 p_{b2}}$$

代入数据得

$$\frac{0.8 \times 0.0023}{0.1 - 0.8 \times 0.0023} = \frac{\varphi_2 \times 0.0199}{0.8 - \varphi_2 \times 0.0199}$$

解上式即得后冷却器出口压缩空气的相对湿度

$$\varphi_2 = 73.8\%$$

由于露点为相对湿度 $\varphi = 100\%$ 的温度, 由式

$$\frac{\varphi_1 p_{b1}}{p_1 - \varphi_1 p_{b1}} = \frac{p_{b3}}{0.8 - p_{b3}} = \frac{0.8 \times 0.0023}{0.1 - 0.8 \times 0.0023}$$

解此式得

$$p_{b3} = 0.0147\text{MPa}$$

查主教材表 1-15 可得对应的露点温度 $t = 53^\circ\text{C}$ 。

根据主教材式 (1-18), 并代入相应数据得冷却水析出量

$$\begin{aligned} Q_m &= 60q_z \left[\varphi d'_{b1} - \frac{(p_1 - \varphi p_{b1}) T_2}{(p_2 - p_{b2}) T_1} d'_{b2} \right] \\ &= 60 \times 3 \times \left(0.8 \times 0.0173 - \frac{0.1 - 0.8 \times 0.0023}{0.8 - 0.0023} \times 0.0173 \right) = 2.1\text{kg/h} \end{aligned}$$

1-20 气动系统对工作介质(压缩空气)有哪些质量要求?

解 气动系统对压缩空气的质量要求是: 除具有一定压力和足够的流量外, 应具有一定的净化程度, 所含杂质(油、水及灰尘等)不能超过空气质量等级规定的数值。

第二节 流体静力学

空气的密度极小, 因此静止空气重力的作用甚微, 一般予以忽略。液体静力学是研究静止液体的力学规律及其应用。

1-21 连通器中, 存在两种液体, 如图 1-5 所示。已知水的密度 $\rho_1 = 1000\text{kg/m}^3$, $h_1 = 0.60\text{m}$, $h_2 = 0.75\text{m}$, 试求另一种液体的密度 ρ_2 。

解 取 1—1 为基准面, 由于在同一液体里, 所以 1—1 是等压面, 于是

$$\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$$

将数据代入, 得

$$\rho_2 = \frac{1000 \times 0.6}{0.75} \text{kg/m}^3 = 800\text{kg/m}^3$$

注: 取等压面时, 必须使等压面的两个面处于相互连通的同一体内。如本题, 1'—1' 就不是等压面, 不能列出 $\rho_1 h'_1 = \rho_2 h'_2$ 。这一点在以后求解类似问题时很有用。

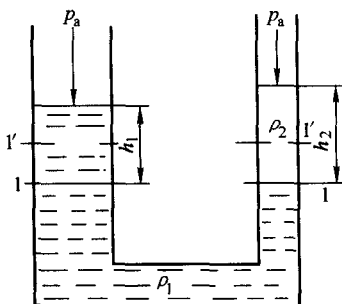


图 1-5 题 1-21 图

1-22 如图 1-6 所示, 用三种不同且不相混的液体 A、B、C 盛在同一容器之内, 如果它们的密度分别是 800kg/m^3 、 1000kg/m^3 、 1600kg/m^3 , 试求容器右侧各测压管的液面高度。

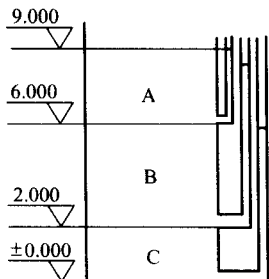


图 1-6 题 1-22 图

1-23 如图 1-7 所示, U 形管中有两种液体, 密度为 ρ_1 、 ρ_2 , 高度分别为 h_1 、 h_2 , 管一端通大气, 另一端为球形容器 (内为气体), 试求球形容器内气体的绝对压力和真空度。

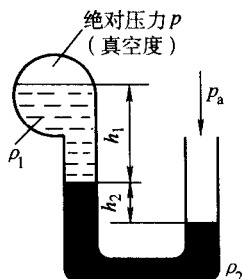


图 1-7 题 1-23 图

解 设球形容器内气体的绝对压力为 p , 取和大气相接触的液面为等压面, 得

$$p + \rho_1 gh_1 + \rho_2 gh_2 = p_a$$

所以

$$p = p_a - \rho_1 gh_1 - \rho_2 gh_2$$

真空度为 $\rho_1 gh_1 + \rho_2 gh_2$ 。

注: 必须注意, 当压力小于大气压时, 处于真空状态。所谓真空度是指小于大气压的那部分压力。如绝对压力是 0.04MPa , 则真空度是 0.06MPa 。真空度是负的表压力, 但永远是正值。

1-24 如图 1-8 所示, 一具有一定真空度的容器用一根管子倒置于一液面与大气相通的水槽中, 液体在管中上升的高度 $h = 1\text{m}$, 设液体的密度为 $\rho = 1000\text{kg/m}^3$, 试求容器内的真空度。

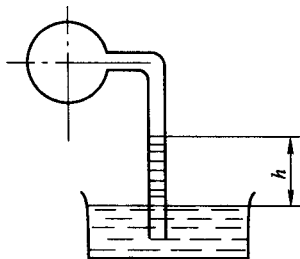


图 1-8 题 1-24 图

1-25 如图 1-9 所示, 有一直径为 d 、质量为 m 的活塞浸在液体中, 并在力 F 的作用下处于静止状态。若液体的密度为 ρ , 活塞浸入深度为 h , 试确定液体在测压管内的上升高度 x 。

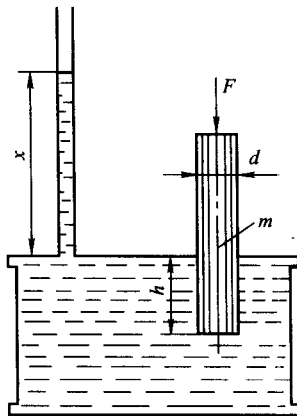


图 1-9 题 1-25 图

1-26 图 1-10 所示为一微压计，试根据读数计算 $p_1 - p_2$ 。

解 取 p_1 液面为等压面，则

$$p_1 = p_2 + \rho g l \sin \alpha$$

故

$$p_1 - p_2 = 1000 \times 9.8 \times 0.08 \times \sin 6^\circ \text{Pa} = 81.95 \text{Pa}$$

注：测压管倾斜安置，可以使刻度的长度增长为垂直安置时的 $1/\sin \alpha$ 倍，因而在相同条件下，读数可以精确些。

1-27 如图 1-11 所示，用多个 U 形管汞压强计测量水管中 A 点的压力，设 $y = 0.3\text{m}$ ， $h_1 = 0.1\text{m}$ ， $h_2 = 0.2\text{m}$ 。试问 A 点的压力等于多少？

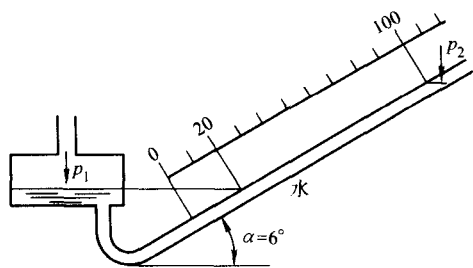


图 1-10 题 1-26 图

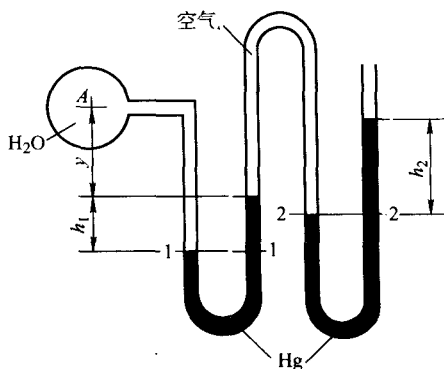


图 1-11 题 1-27 图

1-28 如图 1-12 所示容器 A 中的液体的密度 $\rho_A = 900\text{kg/m}^3$ ，B 中液体的密度为 $\rho_B = 1200\text{kg/m}^3$ ， $z_A = 200\text{mm}$ ， $z_B = 180\text{mm}$ ， $h = 60\text{mm}$ ，U 形管中的测压介质为汞，试求 A、B 之间的压力差。

解 已知： $\rho_{\text{汞}} = 13600\text{kg/m}^3$

选择 1—1 为等压面，则 U 形管内的静压力平衡方程为

$$p_A + \rho_A g z_A = p_B + \rho_B g z_B + \rho_{\text{汞}} g h$$

故有

$$\begin{aligned} \Delta p &= p_A - p_B = \rho_B g z_B + \rho_{\text{汞}} g h - \rho_A g z_A = g(\rho_B z_B + \rho_{\text{汞}} h - \rho_A z_A) \\ &= 9.8 \times (1200 \times 0.18 + 13600 \times 0.06 - 900 \times 0.2) \text{Pa} \\ &= 8350 \text{Pa} \end{aligned}$$

1-29 水平截面是圆形的容器如图 1-13 所示，上端开口，试求作用在容器底的作用力。如在开口端加一活塞，连活塞重力在内，作用力为 3000kN ，问容器底的总作用力是多少？

解 上端开口，则容器底部压力 $p = \rho g h$ ，于是作用在底面的作用力为 $pA = 1000 \times 9.8 \times 2 \times \frac{\pi}{4} \times 1^2 = 15394\text{N}$ 。

如果上端加一活塞，作用了 3000kN 的力，则活塞下方液体的压力为 $p_1 = \left[3000000 / \left(\frac{\pi}{4} \times 0.5^2 \right) \right] \text{Pa} = 15279000\text{Pa}$ ，这时容器底面处压力 $p = p_1 + \rho g h = (15279000 + 19600) \text{Pa} =$

15298600Pa。底面作用力为 $pA = \left(15298600 \times \frac{\pi}{4} \times 1^2\right) \text{N} = 12015492\text{N}$ 。

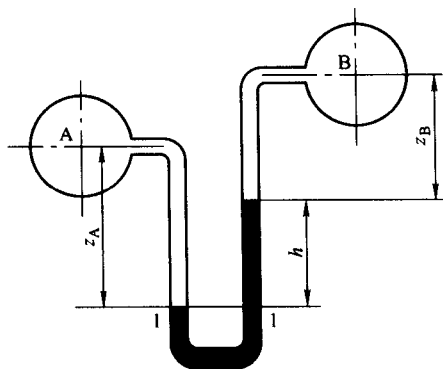


图 1-12 题 1-28 图

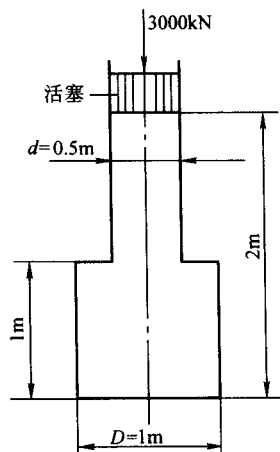


图 1-13 题 1-29 图

注：由此题可见，由作用在活塞上的力引起的压力为 15.3MPa，而水柱高引起的压力仅为 19600Pa，即约为 0.02MPa（1m 水柱高引起的压力仅为 0.01MPa）。因此在高压系统中，由于液柱高引起的压力完全可以忽略不计。液压系统高压部分的压力，如不考虑液流阻力损失，则可以认为是相等的，这在以后粗略分析液压系统时是经常使用的。但是，在系统的低压部分，就不能忽略由液柱高所引起的压力。如柱塞泵，为了提高它的吸油腔的压力，柱塞泵要置于油箱油面以下的位置为好。

1-30 如图 1-14 所示容器，有一直径 $D = 200\text{mm}$ 的钢球堵塞着垂直壁面上直径 $d = 150\text{mm}$ 的圆孔。试求钢球（密度为 $8000\text{kg}/\text{m}^3$ ）恰好处于平衡状态时容器内油液（密度为 $820\text{kg}/\text{m}^3$ ）的高度 H 。

解 若钢球重力、球浸没部分所受的浮力以及水深对钢球产生的水平方向作用力，三者对 A 点的力矩相平衡，则钢球恰好处于平衡状态，其计算图如图 1-15 所示。

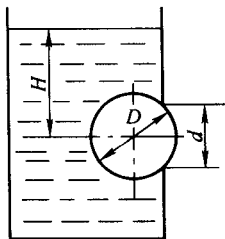


图 1-14 题 1-30 图

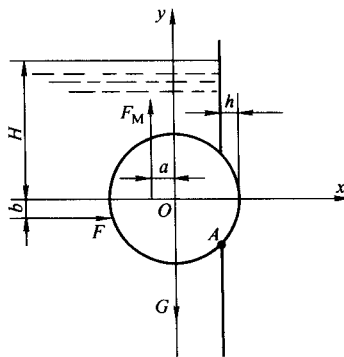


图 1-15 题 1-30 计算图

1) 求重力 G

$$G = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{D}{2}\right)^3 \rho g = \frac{4}{3} \pi \times \left(\frac{0.2}{2}\right)^3 \times 8000 \times 9.81 \text{N} = 329\text{N}$$

重力作用点在球心 O 。

2) 求浮力 F_M

$$h = \frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} = \frac{0.2}{2} - \sqrt{\left(\frac{0.2}{2}\right)^2 - \left(\frac{0.15}{2}\right)^2} \text{ m} = 0.034 \text{ m}$$

$$F_M = \left[\frac{4}{3}\pi\left(\frac{D}{2}\right)^3 - \pi h^2\left(\frac{D}{2} - \frac{h}{3}\right) \right] \rho g$$

$$= \left[\frac{4}{3}\pi \times \left(\frac{0.1}{2}\right)^3 - \pi \times 0.034^2 \left(\frac{0.1}{2} - \frac{0.034}{3}\right) \right] \times 1000 \times 9.81 \text{ N}$$

$$= 37 \text{ N}$$

由于

$$\int_{-D/2}^a 2\sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - x^2} dx = \int_a^h 2\sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - x^2} dx$$

故有

$$a = \frac{d^4}{64} \left[\frac{2}{3}\left(\frac{D}{2}\right)^3 + \left(\frac{D^2}{6} + \frac{d^2}{12}\right)\sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} \right]$$

$$= \frac{0.15^4}{64} \left[\frac{2}{3} \times 0.1^3 + \left(\frac{0.2^2}{6} + \frac{0.15^2}{12}\right) \times \sqrt{(0.1)^2 + 0.075^2} \right] \text{ m}$$

$$= 0.0064 \text{ m}$$

3) 求水平力 F

$$F = \frac{\pi}{4} d^2 \rho g H = \frac{\pi}{4} (0.15)^2 \times 1000 \times 9.81 \times H = 173.3 H$$

$$b = \frac{\int_{-d/2}^{d/2} 2y\sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - y^2}(H-y) dy}{\int_{-d/2}^{d/2} 2\sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - y^2}(H-y) dy}$$

将已知数据代入上式得

$$b = -\frac{d^2}{16H} = -\frac{14.06 \times 10^{-4}}{H} \text{ m}$$

4) 列写对 A 点力矩平衡方程

$$\sum F_A = F\left(\frac{d}{2} - b\right) + F_M\left[a + \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}\right] - G\sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} = 0$$

将 a 、 b 和已知数据代入上述方程并解之，得

$$H = 1.48 \text{ m}$$

1-31 液压缸直径 $D = 150 \text{ mm}$ ，柱塞直径 $d = 100 \text{ mm}$ ，液压缸中充满油液。如果柱塞上作用着 $F = 50000 \text{ N}$ 的力，不计油液的质量，试求如图 1-16 所示两种情况下液压缸中压力分别等于多少？

1-32 试确定安全阀（图 1-17）上弹簧的预压缩量 x_0 ，设压力 $p = 3 \text{ MPa}$ 时阀开启，弹簧刚度为 8 N/mm ， $D = 22 \text{ mm}$ ， $D_0 = 20 \text{ mm}$ 。

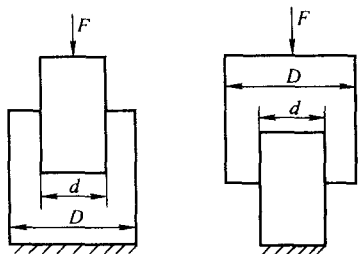


图 1-16 题 1-31 图

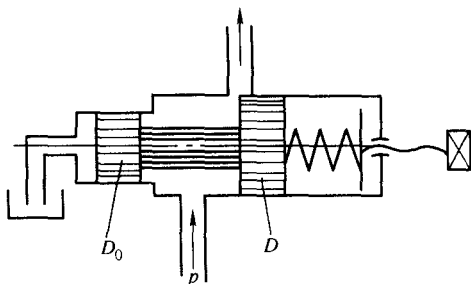


图 1-17 题 1-32 图

第三节 流体运动学和流体动力学

流体的连续方程、能量方程和动量方程是流体运动学和流体动力学的三个基本方程。当气体流速较低时，气体和液体的这三个基本方程完全相同。

1-33 一盛水容器如图 1-18 所示，水流沿变截面管向外作恒定流动。已知 $A_0 = 4\text{m}^2$ ， $A_1 = 0.04\text{m}^2$ ， $A_2 = 0.1\text{m}^2$ 和 $A_3 = 0.03\text{m}^2$ 。液面到各截面的距离为 $H_1 = 1\text{m}$ ， $H_2 = 2\text{m}$ ， $H_3 = 3\text{m}$ 。试求 A_1 和 A_2 处的相对压力（以水柱高度表示）。

解 以 0—0、1—1、2—2 及 3—3 截面列伯努利方程，并以 3—3 为基准面，且设液流为湍流，并取动能修正系数 $\alpha = 1$ ，则

$$\frac{p_0}{\rho g} + H_3 + \frac{v_0^2}{2g} = \frac{p_1}{\rho g} + (H_3 - H_1) + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} + (H_3 - H_2) + \frac{v_2^2}{2g} = \frac{p_3}{\rho g} + \frac{v_3^2}{2g}$$

压力以表压力表示，图中 $A_0 \gg A_1$ 、 A_2 和 A_3 ，故 $v_0 \approx 0$ ，于是得

$$3 = \frac{p_1}{\rho g} + 2 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} + 1 + \frac{v_2^2}{2g} = \frac{v_3^2}{2g}$$

列出流量连续方程，有

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 = v_3 A_3$$

于是，由 $3 = v_3^2/(2g)$ ，得 $v_3 = 7.67\text{m/s}$ 。由 $v_1 A_1 = v_3 A_3$ ，得 $v_1 = v_3 A_3/A_1 = (7.67 \times 0.03/0.04)\text{m/s} = 5.75\text{m/s}$ 。由 $v_2 A_2 = v_3 A_3$ ，得 $v_2 = v_3 A_3/A_2 = (7.67 \times 0.03/0.1)\text{m/s} = 2.3\text{m/s}$ 。

由 $3 = \frac{p_1}{\rho g} + 2 + \frac{v_1^2}{2g}$ 得 $p_1/\rho g = -0.69\text{m}$ 水柱。由 $3 = \frac{p_2}{\rho g} + 1 + \frac{v_2^2}{2g}$ ，得 $\frac{p_2}{\rho g} = 1.73\text{m}$ 水柱。

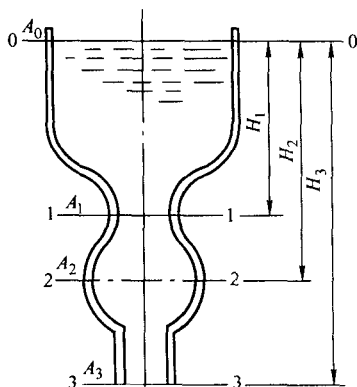


图 1-18 题 1-33 图

注：在应用伯努利方程时，应注意下述各点。这是因为在推导伯努利方程过程中逐次加入了限制条件。

- 1) 液流是恒定流。如不是恒定流，要加入惯性项。
- 2) 截面要取在平行流动或渐变流动段上，至于两截面间是什么流，是没有关系的，这最多影响能量损失的大小。
- 3) 液流仅受重力作用，亦即盛液的容器没有牵连加速度的情况。
- 4) 液体不可压缩，密度在运动中保持不变。