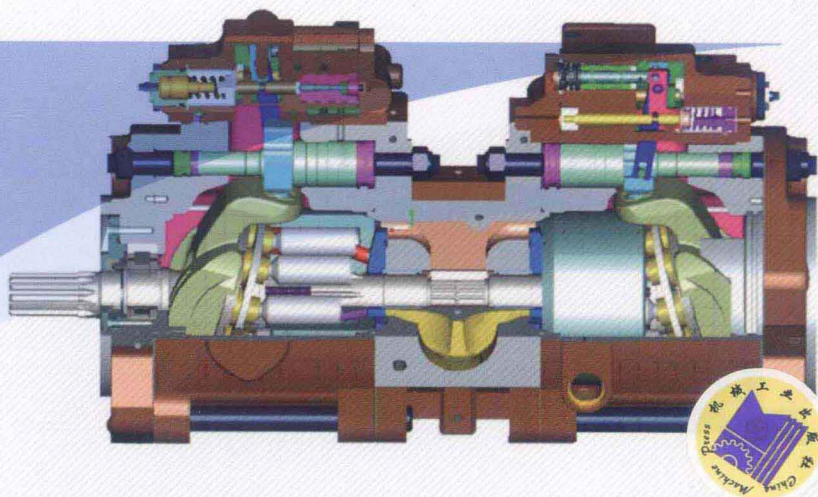


21 世纪液压气动维修经典图书系列

液压泵马达维修 及系统故障排除

石景林 主编



21 世纪液压气动维修经典图书系列

液压泵马达维修及 系统故障排除

主编 石景林

参编 崔 晨 田秀平 张海静

李 冲 张 坤 张秀梅

审稿 吴晓明



机械工业出版社

本书注重理论结合实践,首先讲述液压传动系统的基础理论;然后介绍液压泵马达各部件的构造及液压泵马达损坏的原因、鉴别、维修、装配、检测方法,举例说明某型号系列液压泵马达的全套维修程序;最后讲述在整机设备中如何诊断与排除液压故障。并以压路机的液压系统为例做系统维修介绍。

本书的最大特点是,维修数据、方法都取自维修一线。

本书可供液压维修、保养人员查阅,也可供广大液压工程技术人员、液压设备操作人员参考,也能作为液压维修技术培训、技校、大专院校专业选修课教材。

图书在版编目(CIP)数据

液压泵马达维修及系统故障排除/石景林主编. —北京:机械工业出版社, 2013. 8

(21世纪液压气动维修经典图书系列)

ISBN 978-7-111-43009-4

I. ①液… II. ①石… III. ①液压泵—维修②液压马达—维修
IV. ①TH137.51

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第136282号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:张秀恩 责任编辑:张秀恩

版式设计:常天培 责任校对:张媛

责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2013年7月第1版第1次印刷

169mm×239mm·22印张·424千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-43009-4

定价:58.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

由于液压泵马达具有许多优点，因此在各行业都得到了越来越广泛的应用。近年来，随着液压机械市场份额的不断增加，液压泵马达产品更新换代的速度也在不断加快。显然，如再沿用旧的维修方式和维修技术，已不能应对现状。只有通过开展多种形式的技术交流和推广活动，才能促进维修人员的技术水平提高。

针对目前液压行业的现状，为了使其发挥更大的作用，做到在使用过程中能少出故障，出了故障能及时迅速查明原因，尽快予以排除，笔者根据多年来从事液压泵马达维修、液压系统设计和调试全过程的实践所积累的经验和体会，并参阅了国内外有关资料编写了本书。

本书的编写主要采取了理论和实践相结合的方式，基础知识部分是我们根据需要从国内的各种专业书籍里局部收编而成的，目的是想让读者能够掌握一点理论知识，更重要的是，能够让读者通过阅读本书，达到以液压泵马达维修作为事业的起步，因为通过本书的内容，读者完全可以了解到一个液压维修企业的技术、管理和维修操作的基本内容。

本书不同于理论专著，也不同于一般的教科书。本书的意图主要是指导实践，注重实用。本书可供液压维修、保养人员查阅，也可供广大液压工程技术人员、液压设备操作人员参考，也能作为液压维修技术培训、技校、大专院校专业选修课教材。

本书由徐州市峰利液压机械有限公司技术部组织编写，公司总工程师石景林担任主编，技术部员工崔晨、田秀平、张海静、李冲、张坤、张秀梅参加编写并为本书提供插图、校正等服务。燕山大学吴晓明教授对部分内容进行了修改审核。书中还参阅了国内外有关书籍，谨此对有关工作人员表示诚挚的感谢！

由于水平和精力有限，书中错误和缺点在所难免，欠妥之处，恳请广大读者、专家及同行们批评指正。

作 者

目 录

前言

第一章 液压传动基础	1
第一节 概论	1
第二节 液压传动理论知识	6
一、流体力学基础	6
二、流体静力学	9
三、流体动力学	10
四、液压传动基本术语	15
五、液压符号	19
六、单位制换算	25
第三节 液压传动系统	29
一、液压传动系统的组成和元件	29
二、液压传动的工作原理	58
三、液压传动的特点	64
四、液压传动系统的关键问题	67
第二章 液压柱塞泵马达的维修	98
第一节 液压柱塞泵马达基本知识	98
一、柱塞泵马达简介	98
二、柱塞泵马达的分类	117
三、柱塞泵马达的工作原理和构造	121
第二节 液压轴向柱塞泵马达主要部件介绍	128
一、回转体元件	129
二、配流盘	146
三、控制元件和压力阀	151
四、结构元件	159
五、密封元件	159
六、传动花键轴	162
七、补油泵	164
第三节 液压柱塞泵马达的维修	169
一、维修的概念	169
二、液压泵马达损坏的原因	170
三、液压泵马达系统的使用、维护、修理	173
四、液压泵和系统的关系	177

五、液压泵马达维修的基本设施	179
六、液压柱塞泵的元件损坏鉴别	194
七、元件修复和报废	203
八、装配工艺	218
九、柱塞泵元件检验工艺	224
第三章 进口典型液压轴向柱塞泵马达的维修	229
第一节 萨澳 90 系列液压柱塞泵马达的维修	229
一、90 系列变量柱塞泵技术参数	229
二、90 系列变量柱塞泵介绍	230
三、90 系列液压泵的控制方式	231
四、补油系统和元件	241
五、泵的压力设定以及测压点	243
六、多功能阀	247
七、其他阀	250
八、排量限制器	252
九、主轴密封的更换	254
十、90 系列液压泵马达维修工艺	255
第二节 博世-力士乐 A4VG 系列变量柱塞泵的维修	259
一、柱塞泵主要技术参数	259
二、柱塞泵的功能元件图解	260
三、柱塞泵总成的维修	261
四、柱塞泵维修标准	275
第三节 K3V 系列开式柱塞泵的维修方法	276
一、K3V 系列柱塞泵介绍	276
二、K3V 系列柱塞泵的装配过程	292
第四章 液压系统故障分析与排除	308
第一节 液压系统的故障排除	308
一、故障的基本知识	308
二、故障的分类	308
三、液压元件和系统的失效形式	310
第二节 故障的诊断	311
一、液压故障诊断的基本内容	311
二、液压故障诊断的方法	312
第三节 压路机的液压故障排除	329
一、压路机液压系统故障诊断	329
二、压路机液压系统常见故障分析	331
参考文献	343

第一章 液压传动基础

第一节 概 论

目前广泛应用的传动方式主要有机械传动、电气传动、气压传动、液力传动和液压传动，这些传动方式都有各自的优缺点，这就使得它们的应用场合不可互相替代，因此，一般在设备上集各种传动方式的长处，将各种传动方式综合应用。下面首先对这些传动方式作简单的阐述。

机械传动是通过齿轮、齿条、蜗杆、蜗轮、带、链、杠杆等机械零件进行传动的，它是人类发明和使用最早，而且应用最普遍的一种传动形式。它具有传动可靠、操作简单、机构直观、负荷变化对传动比的影响小及受环境的影响小等优点；但对自动控制的情况，机械传动的缺点是，单纯靠机械传动来完成传动与控制就显得结构复杂而笨重，而且远距离操纵困难、操作力大、安装位置变化的自由度小等，因此在许多场合逐渐被其他传动方式取代。

电气传动是以导线为载体通过电能，来进行传动和控制的，利用交、直流电动机驱动，简单而且价廉，因此应用最广泛，也是其他各种传动的重要组成部分。一般的交流电动机难于进行无级变速，而直流电动机虽然可以实现无级变速，但直流电源价格较昂贵。目前晶体管技术使交流电动机无级变速大为简化，但在大功率及低速大转矩等场合的应用尚有待于进一步完善。电气控制，特别是电子计算机控制，具有信号变化及传递方便，传输速度快，远距离操纵容易等独特优点，因此在自动化程度要求高的场合电气传动是不可避免的。

气压传动以压缩空气为传动介质，以气管路为载体，可通过调节气量很容易地实现无级变速。同时有传递及变换信号方便、反应快、构造简单等优点。而且空气取之于大气，所以气源价格低廉。泄漏也可直接放入大气，不会引起污染。空气粘度小，故管道压力损失小，流速大，而且可获得高速运动（如 10^5 r/min 以上的气动磨头）。但气压传动的致命弱点是空气压缩性大，无法获得均匀而稳定的运动。此外为减少泄漏，提高效率，气动系统的压力不能太高，一般只有 $0.7 \sim 0.8 \text{ MPa}$ 左右，所以气动系统不能用于大功率的场合。

液力传动以液体为工作介质，靠叶轮与液体之间的液体动力作用来传递能量的流体传动。叶轮将动力机（内燃机、电动机、涡轮机等）输入的转速、力矩加以转换，经输出轴带动机器的工作部分。液体与装在输入轴、输出轴、

壳体上的各叶轮相互作用，产生动量矩的变化，从而达到传递能量的目的。液力传动与靠液体压力能来传递能量的液压传动在原理、结构和性能上都有很大差别。液力传动的输入轴与输出轴之间只靠液体为工作介质联系，构件间不直接接触，是一种非刚性传动。液力传动的优点是：能吸收冲击和振动，过载保护性好，甚至在输出轴卡住时动力机仍能运转而不受损伤，带载荷启动容易，能实现自动变速和无级调速等。因此它能提高整个传动装置的动力性能。

液力传动开始应用于船舶内燃机与螺旋桨间的传动。20 世纪 30 年代后很快在车辆（各种汽车、履带车辆和机车）、工程机械、起重运输机械、钻探设备、大型鼓风机、泵和其他冲击大、惯性大的传动装置上广泛应用。

液力传动装置有液力耦合器和液力变矩器两种。液力耦合器是一种非刚性联轴器。液力变矩器实质上是一种力矩变换器。它们所传递的功率大小与输入轴转速的 3 次方、叶轮尺寸的 5 次方成正比。传动效率在额定工况附近较高：耦合器约为 96% ~ 98.5%，变矩器约为 85% ~ 92%。偏离额定工况时效率有较大的下降。根据使用场合的要求，液力传动可以是单独使用的液力变矩器或液力耦合器；也可以与齿轮变速器联合使用，或与具有功率分流的行星齿轮差速器（见行星齿轮传动）联合使用。与行星齿轮差速器联合组成的传动常称为液力-机械传动。

液力传动装置的整体性能跟它与动力机的匹配情况有关。若匹配不当便不能获得良好的传动性能。因此，应对总体动力性能和经济性能进行分析计算，在此基础上设计整个液力传动装置。为了构成一个完整的液力传动装置，还需要配备相应的供油、冷却和操作控制系统。

液压传动和机械传动以及其他的传动方式相比，具有许多优点，所以在机械工程中，液压传动是被广泛采用的传动方式之一。

液压传动是以液体作为工作介质来进行能量传递的一种传动形式。它通过能量转换装置（液压泵），将原动机（发动机、电动机等）的机械能转换为液体的压力能，又通过封闭管道、控制元件等，经另一能量转换装置（液压缸、液压马达），将液体的压力能又转换为机械能，以驱动负载和实现执行机械所需要的运动——直线运动、旋转运动或摆动。

下面介绍液压传动的工作原理、组成、优缺点及液压传动的应用和发展等。

例 1，用图 1-1 ~ 图 1-6 所示的一种儿童游乐设备的传动来说明液压传动的优点。

图 1-1 为一种电动游乐设备的实物照片、图 1-2 为其示意图，这种儿童游乐设备是以旋转为娱乐的游乐设备。这个旋转运动必然有动力驱动，而且一般使用电动机驱动，见图 1-3。



图 1-1 儿童游乐设备

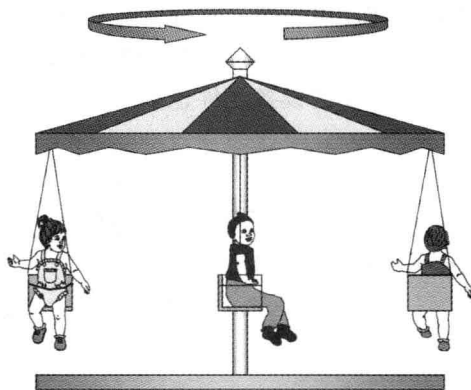


图 1-2 儿童游乐设备示意图

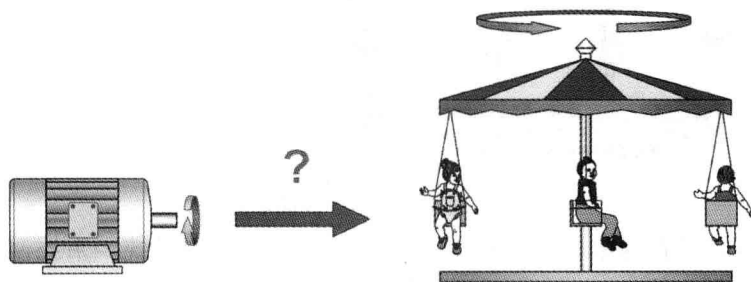


图 1-3 使用电动机驱动的儿童游乐机

如果使用电动机直接驱动游乐设备的旋转转盘，机构的确很简单，但因启动不柔和会出现人身事故等大问题，见图 1.4。

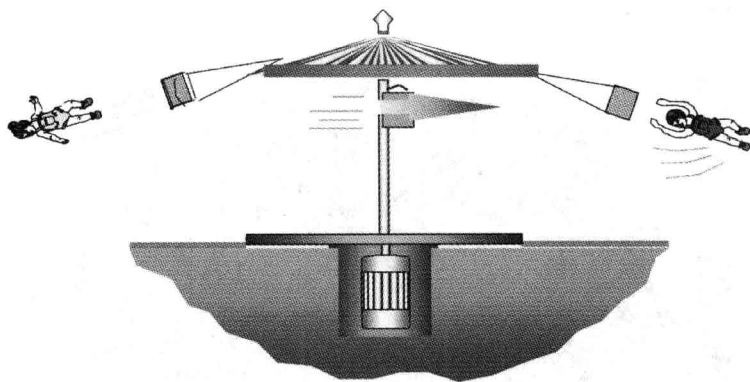


图 1-4 使用电动机直接驱动出现的问题

若使用电动机直接驱动，起动加速度大，不柔和，冲击特别大，而且转速高，离心力很大，势必会对孩子造成伤害。所以，为了保证孩子能够在安全状态下正常娱乐，必须将旋转速度降下来，这样就需要减速装置。

图 1-5 使用传统的机械减速机构，从图中可以看出，机械减速机构占用的空间很大，而且非常复杂，所需要的设备元件也多。

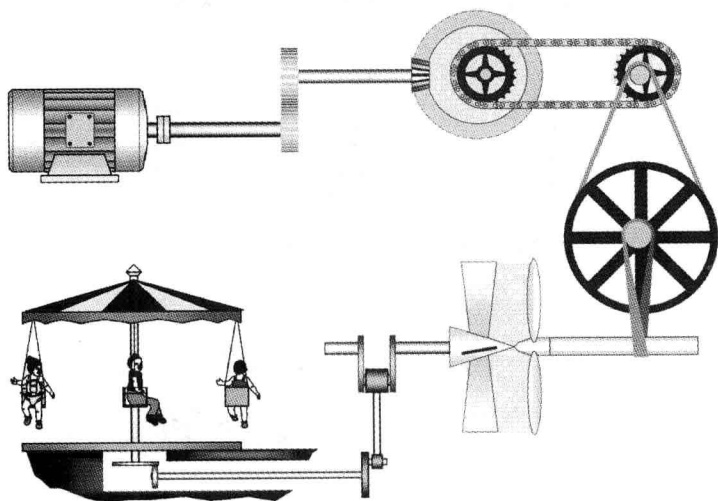


图 1-5 使用机械组合传动示意图

使用电动机作为原动机带动液压泵，通过一组控制系统，来控制一台液压马达，实现平稳起动和稳定运转的功能，见图 1-6。

例 2，用图 1-7 ~ 图 1-11 说明在挖掘机臂控制上使用液压传动的优势。

由图 1-7 可见，使用机械传动来操纵挖掘机臂，存在传动机构很复杂、体积也很大、传动不精确、效率低等问题。

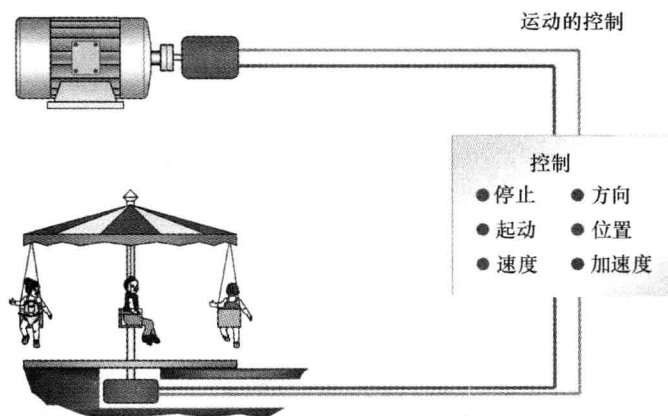


图 1-6 使用液压传动的示意图

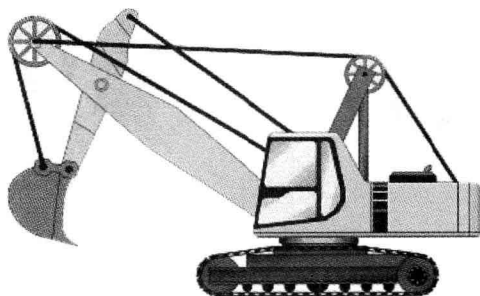


图 1-7 使用机械传动的挖掘机

使用了液压传动的挖掘机很简洁，传输的动力也很大，见图 1-8 ~ 图 1-11。

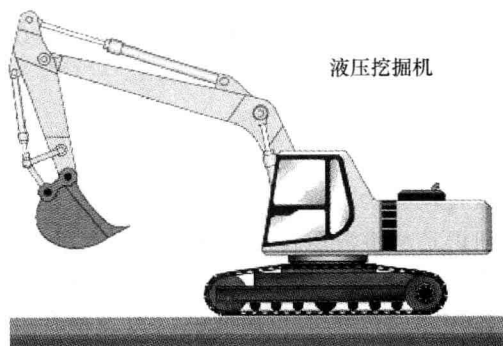


图 1-8 使用液压传动的挖掘机

以上通过使用简单的图示告诉读者，液压传动的一些优点和应用优势，要做好液压元件和系统的维修工作，还必须掌握一定的理论知识。

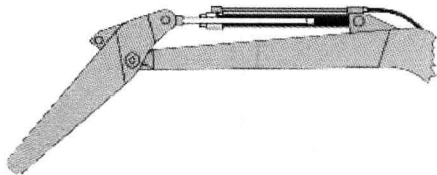


图 1-9 斗杆液压缸伸出状态（收臂）

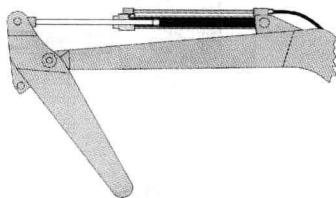


图 1-10 斗杆液压缸收缩状态（伸臂）

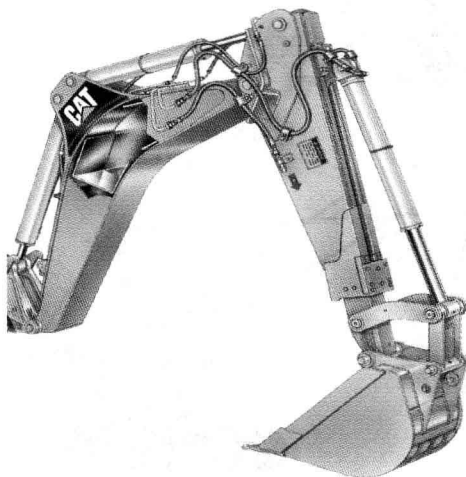


图 1-11 使用液压传动驱动的挖掘机臂真实外形

第二节 液压传动理论知识

一、流体力学基础

液压传动与控制是在流体力学基础上发展起来的一门新兴的学科，了解并掌握必要的流体力学知识是从事液压传动设计、使用与维修的基础。

流体力学，是研究流体（液体和气体）的力学运动规律及其应用的学科。主要研究在各种力的作用下，流体本身的状态，以及流体和固体壁面、流体和流体间、流体与其他运动形态之间的相互作用的力学分支。流体力学是力学的一个重要分支，它主要研究流体本身的静止状态和运动状态，以及流体和固体界壁间有相对运动时的相互作用和流动的规律。流体力学在生活、环保、科学技术及工程中具有重要的应用价值。

1. 流体的定义和特征

液压传动所使用的流体分液体和气体两种。液体分子间距较小，一般视为不可压缩流体。气体分子间距较大，受压力或温度变化将出现明显的体积变化，因此称为可压缩流体。所有流体都视为由质点组成的连续介质，质点之间无间隙。相对质点尺寸来说，分子间距可视作无穷小。

理想流体与实际流体：在进行理论计算时，首先假设流体没有粘性，没有粘性的流体称之为理想流体。理想流体一般是在计算流体物理模型时使用；而在实际应用中，使用的液压油等流体都是有粘性的，具有粘性的流体是实际流体，也就是正常使用的流体。

2. 常用术语

(1) 稳定流与非稳定流（层流和紊流） 在流体的运动空间内，流体任一点处的速度、压力、密度等要素不随时间而变化的称为稳定流，也叫层流，反之是非稳定流，也叫紊流。见图 1-12。

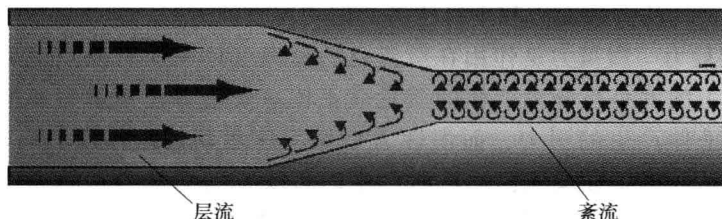


图 1-12 层流和紊流

(2) 迹线与流线 迹线是流体质点在一段时间内的运动轨迹。流线是空间中某一瞬时的一条曲线，该曲线上各点的流体质点所具有的流动方向与该点流线的切线方向重合。

(3) 流管、流束、总流 通过任意封闭轴线的每一点做流线所形成的管状曲面称为流管。流体不能穿过流管表面流动。充满流管内部的流体称为流束。在流动边界内的全部微小流束的总和称为总流。

(4) 有效断面、湿周、水力半径：与流束或总流的速度相垂直的断面称为有效断面。在有效断面上与固体边界接触的周长称为湿周。有效断面与湿周之比称为水力半径。

3. 作用在流体上的力

作用在流体上的力有表面力和质量力两类。液体的平衡或运动的规律除取决于其物理性质之外，还与作用在液体上的力有密切关系。

从力学角度来看，通常把液体看成是由极其微小、在空间仅占有位置的位置的质点组成的。并且，质点与质点之间无空隙，质点为连续均质的易于流动的介质。事实上，从微观上看，液体是由连续不断且不规则地运动着的分子所组

成的,分子之间存在间隙,它们是不连续的。但就工程技术上而言,从宏观上完全可以把液体看成是一种连续的介质。为研究液体的平衡和运动的力学规律,首先就要研究作用在液体上的力,并对这些力的性质加以分析。研究作用在液体上的力,可从研究的液体中取出一块分离液体。作用在该分离液体上的力可分为质量力和表面力。

(1) 表面力 表面力是作用在所研究的分离液体表面上的力,其大小与被作用的表面面积成正比,而与质量无关。表面力分为切向力和法向力。见图 1-13 中, F_q 为切向力,切向力是指周围液体或固体壁面对分离液体表面产生的摩擦力,其方向与作用表面相切。法向力是指周围液体或固体壁面对分离液体表面产生的总压力,其方向是沿作用表面的法线方向。单位面积上的表面力称为应力,它表征了表面力的强度。单位面积上的切向力称为切应力,简称为切力。单位面积上的法向力称为压应力,或简称为压力,图 1-13 中的 p 就是压力。

表面力作用在流体表面上,并与流体表面积成正比。表面力又可分解为垂直作用于表面的法向表面力和平行于表面的切向表面力。

(2) 质量力 质量力是作用在所研究的分离液体中所有质点上的力,它是向量。质量力的大小与分离液体的质量成正比。质量力包括重力和惯性力。重力是地球对液体产生的引力,而惯性力是作变速运动的液体所具有的质量力。惯性力又包括液体作直线变速运动时产生的直线方向惯性力和液体作圆周运动时(见图 1-13 和图 1-14)产生的离心惯性力两种类型。若液体作的是一般曲线运动,则上述两种惯性力均存在。

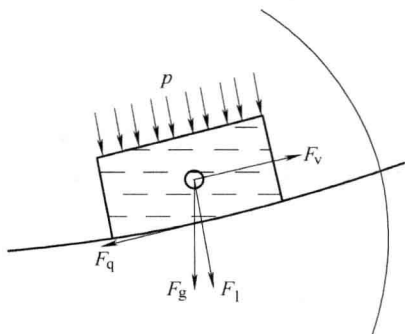


图 1-13 放大的分离流体

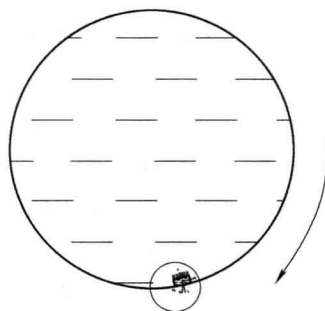


图 1-14 回转的流体

质量力是由于液体存在加速度而产生的。作用在单位质量质点上的质量力称为单位质量力,其数值就等于加速度。

作用在流体内部各质点上,且与受作用的流体质量成正比的力,如重力、惯性力、离心惯性力等。

作用在单位质量流体上的质量力,称为单位质量 F_m ,其量纲就是加速度的

量纲。在直角坐标系中, F_m 在各坐标轴向的分量记为 X 、 Y 、 Z 。(基本物理单位是基本物理量的度量单位, 例如长短、体积、质量、时间等。这些单位反映物理现象。物理现象或物理量的度量, 叫做“量纲”。)

在重力场情况下设 Z 轴垂直向上时, 则

$$X=0、Y=0、Z=-g$$

式中 p ——流体压力;

F_q ——切向力;

F_g ——流体重力;

F_l ——流体离心力;

F_v ——流体的惯性力;

g ——重力加速度。

二、流体静力学

所谓静止的液体, 是指液体内部质点与质点之间没有相对运动的液体。如果装在某个容器中的液体, 作为一个整体, 随容器如同刚体似地作各种运动, 则容器中的液体仍属于静止液体。

在这里主要讨论静止液体的平衡规律和这些规律的实际应用。具体地说要简单介绍静止液体内部压力分布规律和液体与其他物体间的相互作用力。

流体静力学研究流体平衡的规律。平衡流体的质点间无相对运动, 因此没有粘性力出现。

1. 帕斯卡定律

帕斯卡定律又称帕斯卡原理 (Pascal's principle), 是物理学的一个定律, 意指加在密闭容器中流体任一部分的压强, 必然按照原来的大小由流体向各个方向传递。

帕斯卡定律的图解形式见图 1-15, 当力 F 作用于密闭的流体面积 A 时, 产生压力 p , 并将同等大小的压力传到流体各个部位 (密闭系统中, 内部的流体压力作用在所有面上, 压力值均相等)。

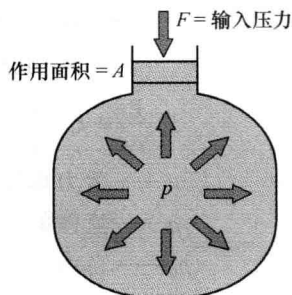


图 1-15 帕斯卡定律示意图

2. 流体静压力

流体静压力是指流体内部各点单位面积上的法向力, 简称“压力”, 物理学称作“压强”。平衡流体中静压力有以下几个特点。

1) 任一点压力与作用面方向无关, 仅是该点空间坐标的函数, 即任一点上各方向的流体静压力都相同。

2) 压力方向一定是作用面的内法线方向。

3) 静态流体作用于底面的全压力, 取决于液体表面与底面的垂直距离及底面面积, 与容器的形状无关。

3. 压力度量标准及单位

按国家标准, 压力单位为“Pa”, 汉字叫“帕”, Pa 是压强的单位, 是以科学家“帕斯卡”的名字命名的。

1 帕 = 1 牛顿/平方米; 即是, $1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$ 。

按压力的零点不同, 压力可分为以下三种。

(1) 绝对压力 以绝对真空为零点的压力值。绝对压力就是容器内介质(液体或气体)的真实压力。在容器中介质的绝对压力, 可以高于外界的大气压力也可以等于或低于外界的大气压力。

(2) 表压力 当用压力表测量压力时, 由于仪表处在大气中受到大气压力的作用测出的压力值比绝对压力小 1 个大气压力, 称这个用仪表测出的压力为表压力。以大气压力为零点的压力值, 等于绝对压力减去大气压力。在具体工作中经常使用这个压力, 例如, 系统的回油管接油箱, 油箱里的油与大气相接, 所以, 测得的回油压力是一个相对压力。

(3) 真空度 当绝对压力小于大气压力时, 其小于大气压力的数量值称为真空度, 也称负压。

一般, 系统的进油有可能产生负压, 原因是液压泵在吸油时, 由于过滤器老化或堵塞, 或者是油箱低于液压泵, 都会导致进油负压。

4. 基本方程

压力的三种表现形式, 见图 1-16。

$$p = p_0 + \rho gh$$

$$p_2 - p_1 = \rho g \Delta h$$

$$\frac{p_1}{\rho g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho g} + z_2$$

式中

g ——重力加速度;

ρ ——流体的密度;

p_0 ——自由面上的压力;

p 、 h ——液体中任一点处的压力及该点离自由面的垂直高度;

p_1 、 p_2 ——液体中任意两点 1、2 处的压力;

$\Delta h = h_2 - h_1$ ——1、2 两点间的垂直高差;

z_1 、 z_2 ——离基准面的垂直坐标。

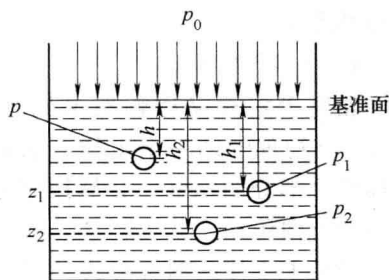


图 1-16 流体静压力示意图

三、流体动力学

流体运动学研究流体的运动规律, 如速度、加速度等运动参数的变化规律,

而流体动力学则研究流体在外力作用下的运动规律,即流体的运动参数与所受力之间的关系。

1. 基本方程

(1) 连续性方程

$$\rho Av = C$$

式中 ρ ——流体的密度;

A ——有效断面;

v ——有效断面上的平均速度;

C ——恒定参数。

(2) 理想流体伯努利方程

$$\frac{p}{\rho g} + z + \frac{v^2}{2g} = C$$

式中 p ——压力;

z ——该断面中心离水平基准面的垂直距离,称位置水头或比位能;

v ——断面上的平均速度;

$\frac{p}{\rho g}$ ——压力水头或比压能;

$\frac{v^2}{2g}$ ——速度水头或比动能;

C ——是指恒定参数。

(3) 实际流体伯努利方程

$$\frac{p_1}{\rho g} + z_1 + \frac{a_1 v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} + z_2 + \frac{a_2 v_2^2}{2g} + h_w$$

式中 h_w ——单位重力流体,从1断面流至2断面时损失的能量,称损失水头;

a_1 、 a_2 ——1、2断面由于速度分布不均而引入的修正系数。对层流来说为2,对紊流来说为1.05~1.10。

(4) 系统中有流体机械的伯努利方程

$$\frac{p_1}{\rho g} + z_1 + \frac{a_1 v_1^2}{2g} + H = \frac{p_2}{\rho g} + z_2 + \frac{a_2 v_2^2}{2g} + h_w$$

式中 H ——流体机械向单位重力流体所提供的机械能,如果机械由流体吸收能量则 H 为负值。

(5) 稳定流动量方程

$$\sum F_x = \rho q (v_{2x} - v_{1x})$$

$$\sum F_y = \rho q (v_{2y} - v_{1y})$$

$$\sum F_z = \rho q (v_{2z} - v_{1z})$$

式中 $\sum F_x$ $\sum F_y$ $\sum F_z$ ——作用在所研究的流体段上的外力之和在 x 、 y 、 z 三方向