

廖谟圣 编著

海洋开发机器 与 液压技术

海洋出版社

海洋开发机器与液压技术

廖谟圣 编著

海洋出版社

1988年·北京

内 容 简 介

本书是积作者三十余年的研究、设计、制造、维修的实践经验，实地考察并参考国内外有关海洋开发机器等方面的大量最新技术资料编著的。书中系统介绍了通用及专用液压技术的基本知识，液压元件分类、结构及实用计算，对陆地和海洋通用的液压防喷器、节流压井阀和控制系统、各类型升沉运动补偿器和张紧器、海洋石油钻井平台及船的甲板通用的液压传动机械、以及海底的地质取样钻机、潜水船、机器人、采油装置等设备的发展、分类、原理、结构、液压系统及有关的实用计算都较详尽地进行了论述。

本书对从事海洋开发工程的科研、设计、制造、维修、操作的工程技术人员及有关专业院校师生都有较大的参考价值，也可作为石油勘探开发及海洋工程专业的教材。

责任编辑 刘莉蕾

责任校对 刘兴昌

海洋开发机器与液压技术

寥 漠 圣 编著

*

海洋出版社出版（北京市复兴门外大街1号）

新华书店北京发行所发行 北京印刷一厂印刷

开本：787×1092 1/16 印张：17.25 字数：365千字 插页：3

1988年5月第二版 1988年5月第一次印刷

印数：1—800册

*

ISBN 7-5027-0063-3/T·I

统一书号：13193·0994 Y:5.50元

序 言

为了实现农业、工业、国防和科学技术的现代化,开发占地球百分之七十一的海洋表面积以下的石油能源、矿物资源、海水资源、生物资源及海洋环境的利用,是当务之急。要开发能源和财富,必须综合利用现代科学技术,大力研制、发展和充分利用海洋开发机器,而海洋开发机器的传动与控制大都离不开液压技术。编者根据二十多年来对液压传动设备研制工作的实践和十多年来研制使用海洋开发机器、特别是海洋钻探设备的研制工作实践编著此书,希望能对开发我国的海洋能源和资源有所帮助。

本书比较通俗系统介绍了海洋开发机器液压传动技术的基础知识、液压通用和专用元件的各类结构特点和实用计算方法;同时,对海洋液压传动机器的传动介质、密封和防腐蚀,对海洋石油钻探装置、钻井水下防喷设备、钻柱运动补偿和张紧装置,对海洋母船甲板通用液压吊机、绞车、锚机,对海底工作的液压传动地质取样钻机、海底采油装置、潜水作业装置等的结构特点均作了较系统的论述,并对上述液压开发机器在海洋环境中使用的一些特殊、通用的实用计算作了介绍。本书可作为一切从事海洋开发机器设备研制、教学的科研设计部门、大中专院校、生产使用部门(特别是从事海洋石油开发的有关部门)的广大科技人员参考,也可供具有中学以上文化程度的技术工人阅读,同时,对从事陆地石油、地质钻探部门的广大科技人员和工人,也有一定的实用和参考价值。

由于作者经验和水平有限,错误之处,敬请读者批评指正。

编 者

1985年5月于上海

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 海洋开发机器运用液压技术的优点.....	(1)
第二节 液压技术在海洋开发机器上的应用范围.....	(3)
一、液压技术在海洋石油勘探设备上的应用范围.....	(3)
二、液压技术在气-液补偿系统中的应用.....	(5)
三、海洋开发机器的母船甲板机械液压技术应用范围.....	(6)
四、液压技术在水下工作机械的应用范围.....	(6)
第二章 海洋开发机器的液压技术基础知识和实用计算	(7)
第一节 压力与帕斯卡原理.....	(7)
第二节 流量、流速和液流的连续性原理.....	(9)
第三节 伯努利定律和方程式.....	(10)
第四节 效率.....	(11)
第五节 功率和扭矩.....	(15)
一、功率.....	(15)
二、扭矩.....	(16)
第六节 发热和热平衡.....	(17)
一、油压系统的发热.....	(17)
二、油压系统热量的平衡.....	(17)
第七节 液压冲击及其产生的原因和预防.....	(18)
第八节 气穴现象、气蚀和预防方法.....	(19)
第三章 海洋开发机器通用和专用液压元件	(20)
第一节 液压元件的分类.....	(20)
第二节 液压泵和液压马达.....	(21)
一、液压泵和液压马达简单通用工作原理和图形表示方法.....	(21)
二、齿轮泵和齿轮马达.....	(24)
三、叶片泵和叶片马达.....	(28)
四、轴向柱塞泵和轴向柱塞马达.....	(31)
五、径向柱塞泵、径向柱塞马达.....	(41)
六、其他类型的液压泵和液马达.....	(48)
七、石油钻井封井设备专用柱塞泵.....	(49)
第三节 液缸.....	(51)
一、液缸的分类、结构和图形符号.....	(51)
二、液缸、活塞、活塞杆的常用连接、密封结构和技术要求.....	(55)

三、液缸的实用计算.....	(60)
第四节 液压控制阀.....	(64)
一、液压控制阀的分类和图形表示方法.....	(64)
二、压力控制阀.....	(64)
三、流量控制阀.....	(81)
四、方向控制阀.....	(86)
五、液压逻辑阀 (或称嵌入式锥阀).....	(90)
第四章 海洋开发液压传动机器的液压液、密封和防腐	(99)
第一节 海洋开发用液压机器的传动介质——液压液.....	(99)
一、液压液的性质.....	(99)
二、液压液的正确选择和使用.....	(101)
第二节 海洋开发液压传动机器的密封.....	(105)
一、水中电气设备、元件的密封.....	(106)
二、水中液压执行器的密封.....	(106)
第三节 海洋开发液压传动机器的防腐蚀.....	(107)
一、海洋环境和开发对象对机器设备腐蚀的类型.....	(107)
二、海洋开发液压传动机器的防腐蚀措施.....	(107)
第五章 海洋石油钻探装置及其所用液压传动设备概述	(111)
第一节 海洋石油钻探装置的发展与分类.....	(111)
第二节 我国已使用的移动式海洋石油钻井装置及其所用液压传动设备概述.....	(113)
一、渤海一号.....	(113)
二、渤海二号.....	(115)
三、渤海三号.....	(116)
四、渤海四号.....	(116)
五、勘探一号.....	(120)
六、南海二号.....	(121)
七、勘探三号.....	(124)
第三节 自升式石油钻井平台的液压升降装置.....	(128)
一、国外一般自升式平台的液压升降装置.....	(128)
二、我国近海石油钻井使用的液压自升式平台升台动作概述.....	(129)
第四节 全液压海洋石油钻机.....	(132)
一、钻机的主要技术参数.....	(133)
二、全液压桅杆钻机的主要结构特点.....	(135)
三、全液压桅杆钻机的液压传动与气控系统原理.....	(135)
第六章 浮式石油钻井水下设备的液压驱动与控制	(141)
第一节 钻井水下设备的主要用途、分类和组成.....	(141)
一、钻井水下设备的主要用途.....	(141)
二、钻井水下设备的分类和组成.....	(141)

第二节 海洋石油钻井用液压防喷器系统	(145)
一、液压防喷与液控节流压井设备的发展与分类	(145)
二、闸板式液压防喷器	(146)
三、万能(环形)防喷器	(159)
四、液控节流/压井阀门	(169)
第三节 浮式海洋石油钻井防喷设备的控制系统	(179)
一、控制对象和控制方式的分类	(179)
二、常用浮式石油钻井防喷设备的电-气-液-液控制系统	(180)
三、浮式石油钻井水下设备的电-液控制概要	(186)
四、海底防喷器的声学控制系统	(187)
第四节 液压防喷器系统的实用计算	(189)
一、防喷器系统工作压力的确定	(189)
二、海底防喷器组连接部位环状截面在海流力和内压条件下的强度	(190)
三、液压闸板防喷器所需控制液量和控制压力	(194)
四、海洋石油钻井防喷器、导流器配套蓄能器(包括海底蓄能器和声控蓄能器)所需容量计算	(195)
第七章 浮船用气-液运动补偿和张紧装置	(200)
第一节 气-液运动补偿器和张紧器的主要用途和分类	(200)
第二节 运动补偿器和张紧器工作原理与特性比较	(201)
第三节 钻柱运动(升沉)补偿器	(203)
一、钻柱运动补偿器的具体用途	(203)
二、钻柱运动补偿器的分类和组成	(204)
三、气-液式钻柱运动补偿器的气-液系统	(208)
四、以气体为介质的钻柱运动补偿系统	(211)
第四节 被动型活塞式张紧器	(212)
一、被动型活塞式张紧器的一般结构	(212)
二、张紧器用途举例	(213)
三、被动型活塞式隔水管张紧器与导向绳张紧器的气-液系统	(215)
第五节 钻柱运动补偿器和张紧器的实用计算	(218)
一、钻柱运动补偿器钻压及液缸工作压力的确定	(218)
二、气-液高压容器及管路壁厚计算	(219)
三、隔水管张紧器的张紧力和使用工作压力的确定	(220)
第八章 液压传动的母船甲板通用机械	(222)
第一节 液压传动吊机	(222)
一、桁架结构悬臂转塔(回转)式液压吊机	(222)
二、伸缩(或折叠)悬臂转塔式液压吊机	(224)
三、门式液压吊机	(226)
第二节 液压绞车	(227)

第三节 液压锚机.....	(228)
第四节 液压传动锚机、绞车拉力参数的实用计算.....	(230)
一、液压传动锚机锚绳拉力参数的确定.....	(230)
二、液压绞车或吊机起吊海底工作机器时所需要的力.....	(232)
第九章 液压传动的水下工作机器.....	(235)
第一节 沉没式海底地质液压传动取样钻机.....	(235)
一、用途和特点.....	(235)
二、几种典型的国外液压传动海底取样钻机.....	(235)
三、我国研制的HZ 10型全液压海底取样钻机及其液压系统.....	(242)
第二节 水下采油装置.....	(246)
一、湿式水下采油装置.....	(246)
二、干箱式水下采油装置.....	(248)
三、泥线下海底采油装置.....	(250)
四、采油树的控制系统.....	(250)
第三节 潜水作业机器.....	(252)
一、载人有缆潜水器.....	(252)
二、载人无缆自航潜水器.....	(252)
三、无人有缆潜水器.....	(254)
四、海中工作机械手.....	(255)
第四节 受外压密封壳体的实用计算.....	(257)
一、受外压的薄壁圆筒计算.....	(257)
二、外部受压的中空球.....	(258)
参考文献.....	(259)
主要参考资料.....	(259)
附录 有关英制单位的换算.....	(260)

第一章 概 述

我们的地球被百分之七十一的海水覆盖，海洋总面积为三亿六千一百多万平方公里。浩瀚的海洋，是人类生命的摇篮，海水中的生物资源是人类越来越重要的蛋白质来源；海洋的潮汐、温差、波力的巨大能量以及海水中的氘、铀等将成为人类新能源的重要来源；海水中近百种溶状矿物元素，正逐渐被日益广泛地利用；海底的矿物资源，更极其丰富，除与陆地相同的矿物资源外，还有沉睡数亿年以上未被开发的铁锰结核矿产和滨海富集的金钢石、金红石、锆英石、钛铁矿等贵金属。它们都是国防工业需要的稀缺原料；埋藏于海床下数千米中蕴藏量约达一千亿吨以上的工业血液——石油，更是举世瞩目，当今开发的重点。要开发这些财富，必须综合利用现代科学技术成就，大力研制和发展各种海洋开发机器，而海洋开发机器的传动和控制都离不开液压技术。在某种意义上说，液压技术应用于海洋开发，并与电子技术的联合运用，是六十年代以来海洋开发技术、特别是海洋石油开发飞速发展的根本原因之一。熟悉和掌握液压技术是研制、使用海洋开发机器的中心环节之一。它将随着开发海洋资源事业的发展而更向深度与广度发展。

第一节 海洋开发机器运用液压技术的优点

众所周知，能量传递在机器上通常采用四种方式：即机械传动、电传动、气体传动和液压传动。

液压技术是指液压传动的专门技术，一般指的是用动力机（如电动机、柴油机等）驱动液能发生器——油泵，使作为中间传动介质的液体具有一定的能量，并用以驱动液能转换器——液马达、液缸等进行旋转、往复、摆动等不同形式的运动。

液体的能量有位能、压力能和速度能（动能）三种。在液体传动装置中，能量的转换主要以机械能—液体动能—机械能和机械能—液体压力能—机械能两种方式进行。前一种主要依靠液体动能进行工作的传动叫做动力式液体传动，通称液力传动（如液力联轴器及涡轮变矩器传动）；后一种主要依靠液体压力能进行工作的传动方式叫做容积式液体传动，通称液压传动（如液压泵、阀与液马达、液缸组成的传动）。本书将结合海洋开发机器重点讨论这种传动方式，现将其主要优点简述如下：

1) 重量功率比和重量扭矩比较小，能容量大。这是海洋开发机器减少体积和重量所需要的。在相同功率下，电动机比油马达重量重12—25倍，气动马达也比油马达重3—7倍；在相同扭矩下，电动机比油马达重12—150倍，气动马达也比油马达重3—50倍。

2) 容易获得较大的力或力矩。一般机械传动欲获得很大的力或力矩，要通过一系列复杂的减速，不但结构庞杂、效率低、成本也高。气体传动由于使用单位压力较低，获

得很大的力或力矩需要庞大的气缸,同样不经济。而液压传动由于比较容易使工作液体获得高的单位压力,因而成为工业上需要很大力、力矩的机械所必需的传动方式。用于海洋开发的大吨位起重机、千吨以上自升式石油钻井平台的升降装置,则往往采用这样的液压传动。

3) 能在较大范围内实现无级调速。当液压传动用于主传动时,一般用变量油泵进行速度调节。速度可从零调节至额定转速(如从0—1500转/分)。用于辅助传动(如液压缸给进),以调速阀进行无级调节,流量可从0.02升/分调节至100升/分以上,调速比可达5000甚至更高。这正是深海操作机器(如液压机械手等)所需要的特性。

4) 用压力补偿的变量油泵,容易在较大范围内实现恒功率调节,在同等功率下,可以有效地提高工作效率,减少辅助时间。压力补偿的自动变量油泵的特点是:当负载大时,油泵可以自动减少排油量和同时提高工作压力,以适应负载的增大;当负载减少时,又可以自动增大排油量,以增快动作完成过程。即在 $p \cdot v$ 值(即压力与速度的乘积)基本恒定的情况下,自动适应工作负荷经常变化的需要。在不增加辅助装置的条件下,恒功率调节范围可达3倍以上,因此在海洋开发机器负荷经常变化的场合下使用,可以有效地提高工作效率,减少动力消耗。

5) 易于实现慢速转动、直线运动、往复运动和摆动以及由这些运动组合的各种复杂动作,是实现强力机械自动化最好的手段。当需要慢速大扭矩的转动时,用机械传动,就需要庞杂的减速机构,而用液压传动只需要一个低速大力矩液马达就可以了。当需要直线、往复或摆动时,用机械传动除需要庞杂的减速机构外,还需要诸如螺旋、凸轮、四连杆机构等以实现直线、往复、摆动等动作,而液压传动则仅需要简单的直线或摆动液缸就可以了,海洋开发机器的运动正需要有这样的特点。

6) 传递运动平稳、均匀,无冲击,运动惯性小。由于液马达体积小、重量轻,并且有油液吸收冲击,所以,它的运动惯性质量不超过同功率电动机的10%。起动中等功率电机需要1—2秒,而起动同功率液马达不超过0.1秒。在高速换向时(50—60米/分)用液压换向,冲击大为减少。这些特点,对于海中作业机械动作的准确性、灵敏度和效率带来了好处。

7) 易于防止过载,避免机械、人身事故。由于液压传动可用溢流阀调节和控制最高压力,在负荷(压力)达到最高时,油液便安全溢流回油箱,可避免超载和由此引起的事故,这一点对于海中工作的遥控机械显得更重要。

8) 液压传动液缸与高压压缩空气并联,形成一强弹性体,可在大吨位和大行程(500吨以上负荷和10米以上行程)的范围作运动补偿。这正是在恶劣海况下进行石油钻井、海上提吊重物及输送人员或物资所配备压力补偿或恒张力装置机器所必需的。

9) 液压传动比机械传动容易按不同位置和空间布局。例如机械传动需要万向轴、锥齿轮、链条等,而液压传动则只要按实际需要将液压执行器(液缸、液马达等)放在理想位置,然后用软管连接就可以了。

10) 操纵性好。操纵性的好坏是看它是否便于操纵、便于控制力和速度、控制运动和停止,且控制力小(即操纵灵活轻巧)等。由于液压传动可以方便采用电磁阀为先导的液动换向等放大装置,因此它是当今任何强力机械进行控制和操纵不可缺少的环节,

这是它突出的优点之一，也是当今海洋开发机器普遍采用的操纵控制所必需的。

11) 液压传动大都用油或水基添加润滑防蚀剂为工作介质，自润滑性能好，工作元件的寿命较长。

12) 液压元件通用性强，容易实现标准化、系列化和通用化，便于组织批量生产，从而可以大大节约成本，减少开支。

13) 与无线电、电力、气动相配合，可以创造出各方面性能良好、自动化程度较高的传动和控制系统，是采用微处理机、实现遥控、自动控制、程序控制、数控等不可缺少的重要组成部分。

液压传动也有一定的缺点和局限性，主要是：

1) 液压传动难以避免出现泄漏。近二十年来，由于密封结构的改进，液压传动的外泄漏已有明显的减少，甚至可以完全避免，但内泄漏是难以避免的。由于泄漏引起容积损失，因此影响了效率。

2) 由于油的粘度随温度变化会引起工作状态不稳定，在高温或超低温工作时，需用特殊的流体介质。此外，油易于氧化，必须定期（一般为半年）换油。但近年来采用以水基的润滑、防蚀添加剂的液压传动介质，不但降低了成本，还在某种程度上提高了性能。

3) 液压元件制造精密，使用维修技术条件要求较高。

4) 空气易渗入液压系统，可能引起系统的振动、爬行、噪音等不良现象。

5) 由于液压传动有明显的压力损失，所以不能用于远距离的传动。

必须指出，液压传动的缺点，有相当一部分可以随着科学技术的不断发展而得到克服的。

第二节 液压技术在海洋开发机器上的应用范围

从二十世纪五十年代末、六十年代初以来，海洋开发机器发展特别迅速，尤其是围绕海洋石油勘探开发为中心的海洋开发机器，诸如海洋石油勘探设备、各种气液运动补偿装置、液压传动的母船甲板机械以及水下工作机器（如图1.1所示），大都是六十年代以来才问世。这与五十年代末、六十年代初液压技术的蓬勃发展是密切相关和互为因果的。可以预料，随着液压技术、微机技术等进一步发展，人们会进一步开发和利用海洋的环境资源、生物资源、能源、矿物资源，而随着海洋开发机器的发展、更新换代，又将进一步促进液压技术的发展。

一、液压技术在海洋石油勘探设备上的应用范围

液压技术在海洋石油勘探设备上的应用项目如下所示：

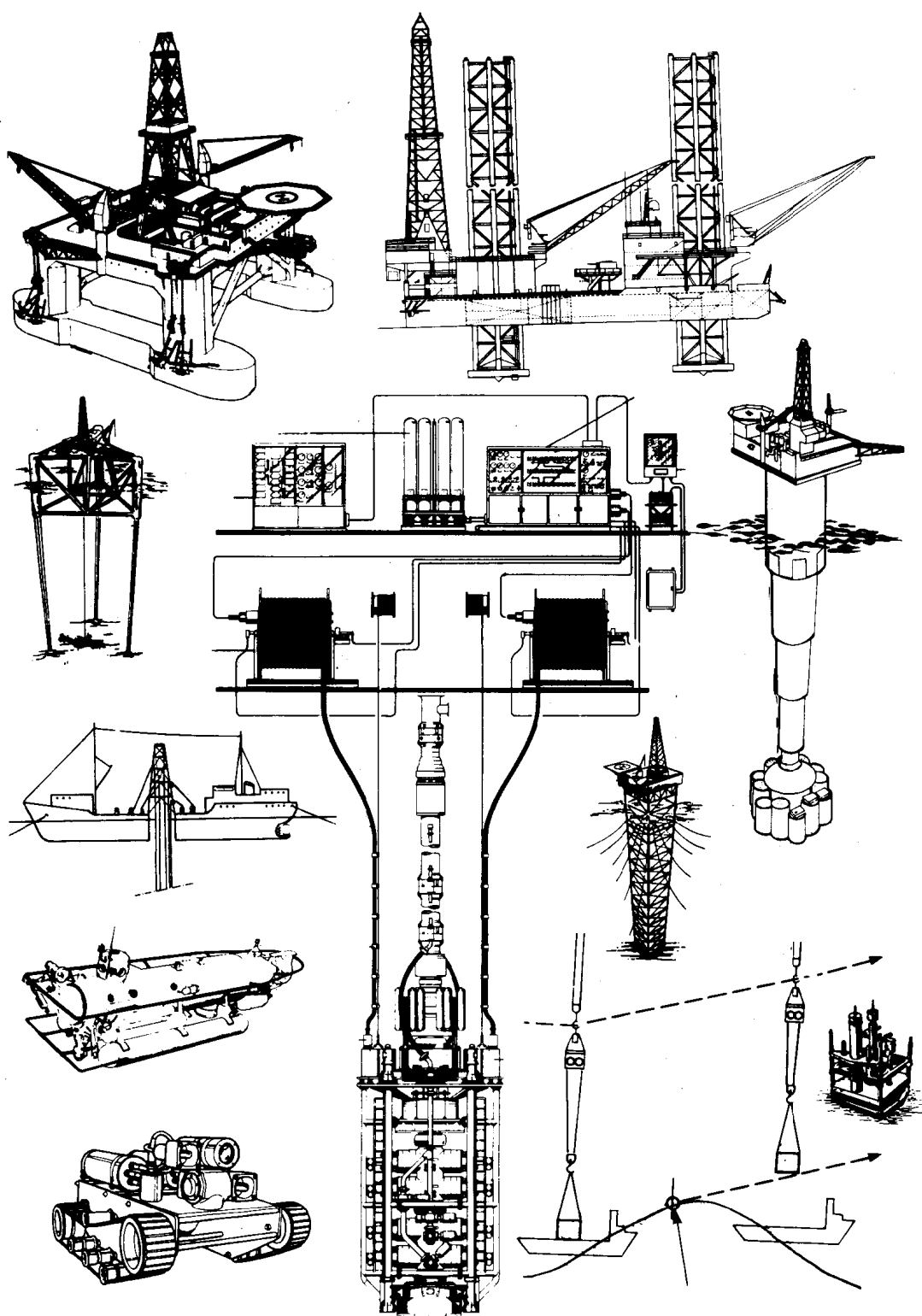


图 1.1 液压技术在海洋开发机器上的应用举例

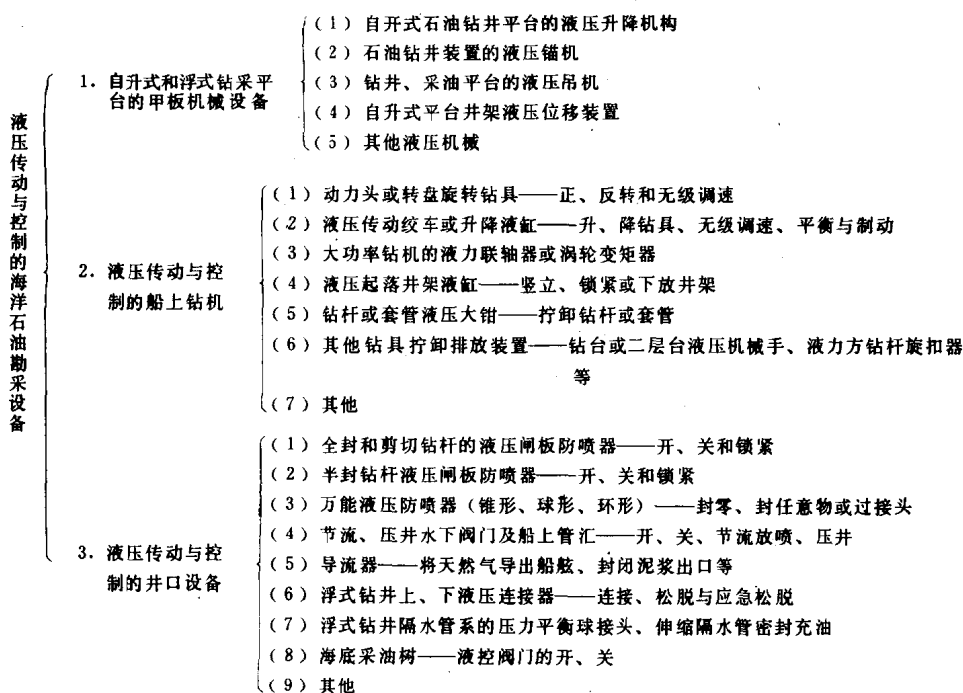


图 1.2 液压技术应用（一）

二、液压技术在气-液补偿系统中的应用

液压技术在气-液补偿系统中的应用范围如图1.3所示。

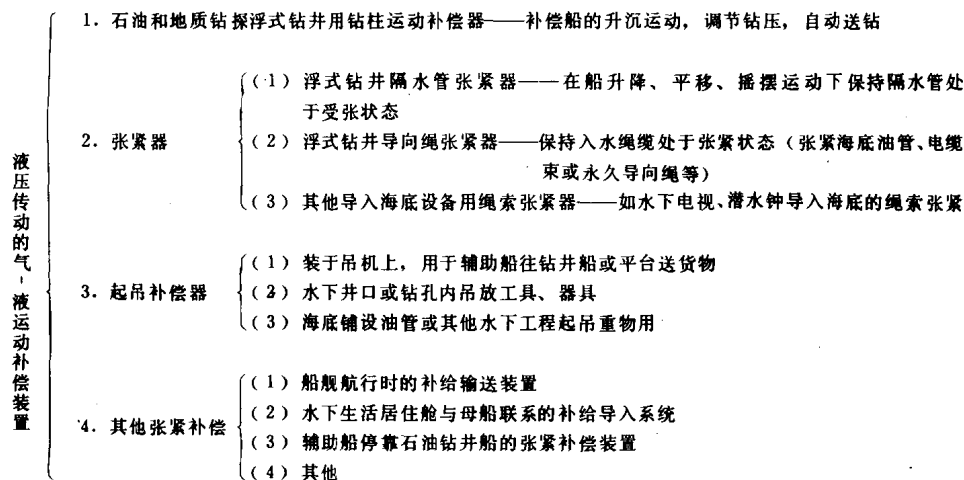


图 1.3 液压技术应用（二）

三、海洋开发机器的母船甲板机械液压技术应用范围

海洋开发机器的母船甲板机械液压技术应用范围如图1.4所示。

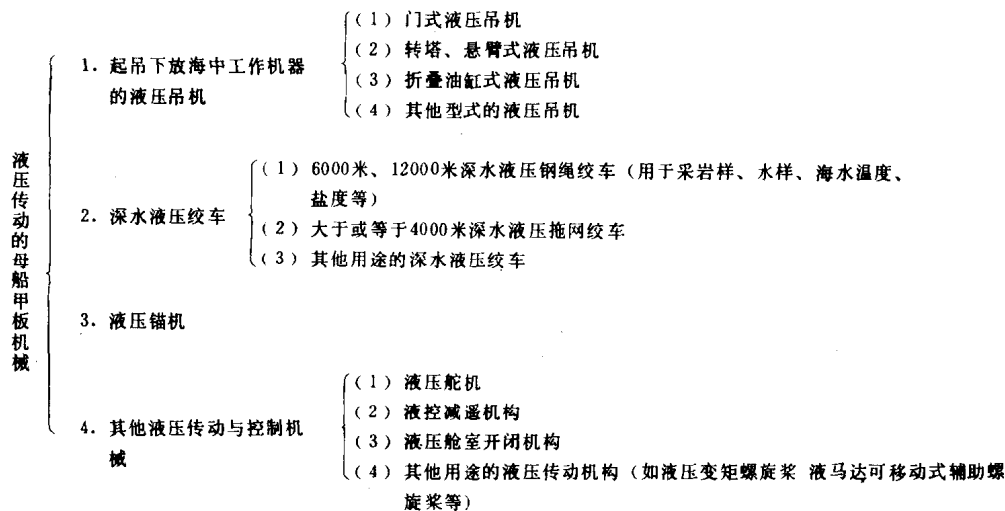


图 1.4 液压技术应用（三）。

四、液压技术在水下工作机械的应用范围

液压技术在水下工作机械的应用范围如图1.5所示。

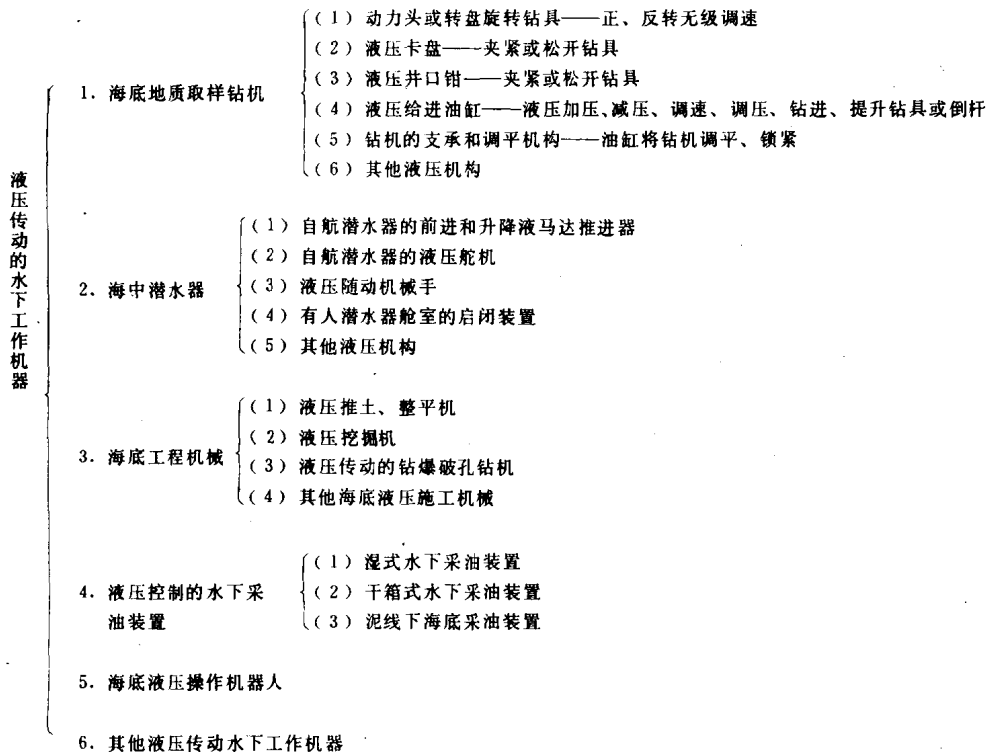


图 1.5 液压技术应用（四）。

第二章 海洋开发机器的液压技术

基础知识和实用计算

第一节 压力与帕斯卡原理

作用在单位面积上的力，称为压力（或压强）。

液压传动中液体压力的产生，通常是通过电动机或内燃机带动油泵，把动力机的机械能转变为工作油的流体能量（主要是压力能），使这个流体能量具有压力、流量和方向三个基本参数。流体受到外力作用而产生的力，其大小是以作用在单位面积上力的大小来表示的，它的基本单位是：公斤力/厘米²，也有采用公斤力/米²或磅力/英寸²表示，最近还有以绝对单位巴或SI单位兆帕表示的，它们相互间的单位换算关系是：

1巴 = 10⁵ 牛/米² = 1.02 公斤力/厘米² = 750.1 毫米水银柱高 = 0.98693 大气压 = 0.102 兆帕

1公斤力/厘米² = 1工程大气压 = 735.6 毫米水银柱高 = 0.9810 巴 = 0.0981 兆帕 = 10 米水柱高 = 14.22 磅力/英寸²

1标准大气压 = 760 毫米水银柱高 = 1.01325 巴 = 1.0332 公斤力/厘米² = 10.332 米水柱高 = 0.101325 兆帕

1000 磅力/英寸² = 70 公斤力/厘米² = 6.867 兆帕

目前，我国在液压传动方面所规定的标准压力级如表2.1所示。

表 2.1 液压传动的标准压力级

液压系统公称（标准）压力		公斤力/厘米 ²	
2.5	10	100	1000
		125	1250
	16	160	1600
		200	2000
	25	250	
4		320	
	40	400	
		500	
6	63	630	
	80	800	

在英美诸国采用的标准压力级为（磅力/英寸²）

500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000, 7000, 10 000, 15 000, 20 000, 25 000

或(公斤力/厘米²)

35 70 105 140 175 210 280 350 500 700 1050 1400 1750

目前我国液压传动压力分级的标准见表2.2。

表 2.2 我国液压传动压力分级标准表

压 力 分 级	低 压	中 压	中 高 压	高 压	超 高 压
压力范围 (公斤力/厘米 ²)	0—25	>25—80	>80—160	>160—320	>320

液体的压力有以下性质:

1) 压力永远垂直作用在容器壁的表面上。

2) 任意一点的压力为一定数值, 与方向没有关系。

3) 在密闭容器内的液体给予一定的压力, 液体便以相同大小的压力向容器所有各点传递, 所有各点的压力值都是相同的。以上这种现象称为帕斯卡原理。

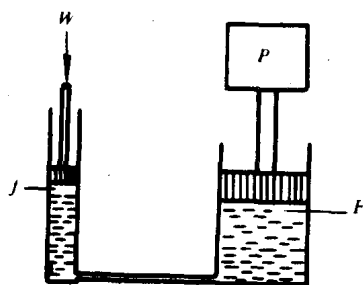


图 2.1 帕斯卡原理图例

帕斯卡原理已广泛地应用于机械工程方面。例如, 液压千斤顶、液压起重机、液压防喷器等液压传动就是根据这个原理制成的。根据这个原理, 从图2.1可知, 在图示互相连通的密封油缸内, 装有油液, 小活塞的面积为 f , 作用力为 W , 产生的单位压力为

$$p = \frac{W}{f}$$

这个单位压力按照帕斯卡原理, 等值不变地传递到大活塞上, 设大活塞面积为 F , 便可以产生一个力 P 来托起重物, 即

$$p = \frac{P}{F} \quad (2.1)$$

由帕斯卡原理, 得

$$p = \frac{W}{f} = \frac{P}{F} \quad (2.2)$$

或

$$P = pF = \frac{W}{f} \cdot F \quad (2.3)$$

可见, 大活塞截面积越大, 越能推举起巨大的重物, 这就是一般液压机产生巨大推力的简单道理。

第二节 流量、流速和液流的连续性原理

流量是单位时间通过某一截面总的液体容量（或容积）。流量通常用的单位为：厘米³/秒、升/分、或加仑/分。

流量的单位换算为

$$\begin{aligned} 1 \text{升/分} &= \frac{1000}{60} \text{厘米}^3/\text{秒} = 16.66 \text{厘米}^3/\text{秒} \\ &= 0.2200 \text{英加仑/分} = 0.2642 \text{美加仑/分} \end{aligned}$$

油液在管路、油缸或其他通道中流动的快慢称为流速，其单位是：米/秒或厘米/秒。

若流量以 Q 表示，流速以 v 表示，油流经管路或油缸的直径为 d ，则该管路或油缸的截面积 $F = \frac{\pi}{4}d^2$ 得知流速

$$v = \frac{Q}{F} = \frac{Q}{\frac{\pi}{4}d^2} = \frac{4Q}{\pi d^2} = 1.273 \frac{Q}{d^2} \quad (2.4)$$

式中，若流量 Q 的单位为升/分，油流经的管子（或油缸）直径 d 的单位为厘米，将流速的单位化为米/秒或厘米/秒得流速

$$\begin{aligned} v &= 1.273 \frac{Q \times 100 \times 100}{60 \times 1000 d^2} = 0.212 \frac{Q}{d^2} (\text{米/秒}) \\ &= 21.2 \frac{Q}{d^2} (\text{厘米/秒}) \end{aligned} \quad (2.5)$$

油液在液压传动中有一个重要的特征，即油流是连续流动的，如从油泵排出的油量经过管路流入油缸，且不计泄漏，则根据物质不灭定律（质量守恒定律），油泵的排油量和流经油管的油量和流入油缸的油量是完全相同的，即通过各不同截面的容积或流量都是相同的，则流量

$$\begin{aligned} Q &= v \cdot F = v_{\text{管}} F_{\text{管}} = v_{\text{缸}} F_{\text{缸}} = v_{\text{管}} \frac{\pi}{4} d_{\text{管}}^2 \\ &= v_{\text{缸}} \frac{\pi}{4} d_{\text{缸}}^2 \end{aligned} \quad (2.6)$$

式中 v ——流速；

$v_{\text{管}}$ ——油在油管中的流速；

$v_{\text{缸}}$ ——油在油缸中的流速（即活塞移动速度）；

F ——油流过的截面积；

$F_{\text{管}}$ ——油管截面积；

$F_{\text{缸}}$ ——油缸（或活塞）截面积；

$d_{\text{管}}$ ——油管内径；