

吴良宝、黄德峰、魏虎仁 编

船舶液压传动系统

国防工业出版社

259045

船舶液压传动系统

吴良宝 黄德峰 魏虎仁 编

国防工业出版社

内 容 简 介

本书由浅入深、较全面地介绍了舰船液压传动系统。全书共分十一章，其内容包括：液压系统的基本回路与液压系统设计方法；各种舰船中所用的通用液压系统、工程船舶液压系统、海洋开发工程船舶中的液压系统以及滚装船和船舶特种液压传动系统；船舶液压伺服系统的组成、分析方法与设计中需注意的问题；船舶液压系统使用、维护和保养；书中还介绍近年来出现的插装阀和液压逻辑回路的设计；电子计算机在液压系统中的应用。书后附有世界各主要船级社对液压系统的有关规范、常用的单位换算、计算图表，可供设计人员参考。

本书可供从事船舶液压系统设计、维修、使用部门设计人员与工程技术人员参考，亦可作为有关院校液压传动专业的参考书。

船舶液压传动系统

吴良宝 黄德峰 魏虎仁 编

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印张 28¹/₄ 661千字

1987年1月第一版 1987年1月第一次印刷 印数：0,001—1,140册

统一书号：15034·3069 定价：5.75元



前 言

液压技术在近二十年来有很大的发展,新产品与新品种不断涌现,新技术广泛推广、应用,新领域不断开拓。在各种舰船中的应用亦同样日益增多,为了便于广大造船科技工作者与生产人员能对液压系统在舰船中的应用有一较清晰的了解,我们着手编写了本书。

然而,船舶的种类是那样繁多,即使是同类船舶中应用液压的部分又是那样的五花八门,加之近年来随着海洋开发工程的发展,水上与水下工作机械的种类与日俱增,因而要在有限的篇幅内写好本书甚感棘手。可喜的是在那繁花筒似的液压系统中有着它一定的共同之处,那就是复杂的液压系统均可从基本的液压回路开始着手分析。本着这一思想,我们回避了大篇幅的通用液压元件的介绍与分析,从基本回路和通用液压系统开始介绍,然后按各类用途的船舶分别介绍各自的特殊液压系统。在介绍液压传动系统的过程中,为了说明问题,以一定的篇幅,适当的介绍了有关的机械装置。

液压伺服系统,新型的插装阀系统与计算机控制技术在船舶液压系统中亦正在越来越多的被应用,因而本书亦作了介绍。本书还摘编了世界各国主要船级社对船用液压系统、元件和装置的要求,以供设计和验船部门参考。附录中列入了常用液压设计图表和液压图形符号对照表等。

本书的特点是资料较丰富、图样多。所举例子的实用性强,其中不少内容都取材于编者的设计实践。为了避免累赘的叙述,我们采用重点分析透一种典型回路,其它回路分析较略的方法,但对回路中需注意的特点仍然加以阐述。

本书第一、六、七与九章由中国船舶及海洋工程设计研究院魏虎仁同志编写;第二、四章由中国船舶及海洋工程设计研究院黄德峰同志编写;第三、八、十章由上海交通大学吴良宝同志编写;第十一章由黄德峰与吴良宝同志合编;第五章由中国船舶及海洋工程设计研究院陈顺贵、严庆福同志编写,附录部分由魏虎仁、黄德峰与茅九岗同志摘录。全书由中国船舶及海洋工程设计研究院蔡颐副总工程师、曹永禄高级工程师、七〇四研究所液压室主任沈德毅高级工程师和上海交通大学黄明慎教授等审稿。书中插图由缪良辉、梁素芳等同志描制。全书由吴良宝作了最后的整理、统一与润色。

本书在编写过程中得到了许多单位的大力支持和热情帮助,特别是黄人豪、柳曾兴等同志,特此一并表示衷心感谢。

编 者

目 录

第一章 绪 论

- § 1-1 船舶液压传动的发展概况 1
- § 1-2 液压传动在船舶上应用特点
分析 3
- § 1-3 液压系统的组成和
类型 4
- § 1-4 船舶液压传动系统中用的液
压泵、液压马达和控制阀 6
- § 1-5 典型船用液压元件 10
- § 1-6 船舶液压技术发展展望 15
- § 1-7 液压传动在我国船舶上的
应用 17

第二章 液压基本回路

- § 2-1 速度控制回路 19
- § 2-2 压力控制回路 29
- § 2-3 方向控制回路 38
- § 2-4 其它液压回路 42

第三章 液压传动系统的设计与计算方法

- § 3-1 液压系统的设计内容和
步骤 45
- § 3-2 液压系统的外负荷与功率、
流量、压力等要素之间的
关系 45
- § 3-3 主回路液压系统图的拟定 55
- § 3-4 动力源与液压元件的选择 57
- § 3-5 管系设计、布置及管路损失
的计算 60
- § 3-6 液压系统的发热与冷却
计算 67
- § 3-7 油箱选择 70

第四章 船舶通用液压系统

- § 4-1 舵机液压系统 73
- § 4-2 锚机及系泊绞车液压系统 97
- § 4-3 甲板起货机液压系统 109
- § 4-4 液压舱口盖 127
- § 4-5 可调螺距螺旋桨液压系统 133
- § 4-6 柴油机电-液控制系统 140
- § 4-7 侧向推进装置液压系统 142

第五章 工程船舶液压系统

- § 5-1 绞吸式挖泥船的液压系统 147
- § 5-2 耙吸式挖泥船的液压系统 154
- § 5-3 抓斗式挖泥船的液压系统 171
- § 5-4 链斗式挖泥船的液压系统 176
- § 5-5 对开泥驳的液压系统 182

第六章 海洋开发工程 船舶液压传动及系统

- § 6-1 概述 185
- § 6-2 自升式工作平台的液压
传动系统 185
- § 6-3 半潜式钻井平台升沉
补偿装置 189
- § 6-4 液压升沉补偿装置的
其他用途 196
- § 6-5 深潜器液压传动和系统 198
- § 6-6 海洋全液压船用起重机 205
- § 6-7 水下施工机械液压传动 211
- § 6-8 渔船液压传动及系统 220

第七章 滚装船与船舶 特种液压传动系统

- § 7-1 滚装船概述 229
- § 7-2 滚装设备的液压传动 230

§ 7-3	登陆舰船的液压装备	245
§ 7-4	船舶特种液压传动系统	247
§ 7-5	特种起货装置液压系统	259
§ 7-6	液体舱驳运控制液压系统	265

第八章 船用液压伺服系统

§ 8-1	基本原理	271
§ 8-2	电液伺服阀	274
§ 8-3	典型液压伺服回路	285
§ 8-4	舰炮的自动跟踪电-液伺服系统	293
§ 8-5	舵机伺服系统——自动舵	298
§ 8-6	减摇鳍装置的液压系统	307
§ 8-7	雷达天线稳定平台液压控制系统	310

第九章 船舶液压系统的使用、维护和保养

§ 9-1	液压油	317
§ 9-2	液压系统的污染问题	323
§ 9-3	液压系统的泄漏	328
§ 9-4	液压系统的噪声及防治	330
§ 9-5	液压系统的安装、清洗和调试	334
§ 9-6	液压系统的维护保养和故障分析	341

第十章 插装阀与液压逻辑系统

§ 10-1	概述	345
§ 10-2	插装阀的结构与组成	345
§ 10-3	插装阀油路的工作原理	351
§ 10-4	插装阀的基本回路及组合	356
§ 10-5	插装阀液压回路在舰船系统	

上的应用

§ 10-6	插装阀系统的回路设计	369
§ 10-7	液压逻辑回路的设计	372

第十一章 电子计算机在液压传动中的应用

§ 11-1	液压传动系统中的数学模型简介	384
§ 11-2	计算机用于液压元件的设计	389
§ 11-3	计算机用于液压系统的设计与分析	393
§ 11-4	由“计算机-液压执行元件-敏感元件(传感器)”组成的自动控制系统	399

附 录

A.	船用液压系统设计规范	407
A-1	中国船舶检验局对船用液压系统的要求	407
A-2	美国船级社 (ABS) 对船用液压系统的要求	409
A-3	挪威船级社 (DNV) 对船用液压系统的要求	412
A-4	英国劳氏船级社 (LR) 对船用液压系统的要求	413
A-5	日本海事协会 (NK) 对船用液压系统的要求	414
A-6	法国船级社 (BV) 对船用液压系统的要求	415
B.	单位换算	417
C.	计算图表	421
	参考文献	446

第一章 绪 论

§ 1-1 船舶液压传动的发展概况

船舶采用液压传动这一新的传动方式日渐增多，特别在船舶辅机和特种机械方面采用更多，其理由是船舶要求辅机具有更轻的重量指标，同时对控制品质提出很高的要求；其次，近二十年来各国对液压元件和系统进行不断的研究和改进、提高了液压系统使用的可靠性，从而使液压传动的优点得以充分的发挥。

从历史上回顾，1840年一条英国船上第一次安装了液压锚机，工作压力 $52 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ ，工作介质是水。1906年英国“西弗吉尼亚”(West Virginia)号战舰上300mm口径火炮炮座里安装了液压传动的俯仰机构。1916年“新墨西哥”(New Mexico)号战舰上使用了液压舵机。第二次世界大战期间，液压技术在舵机、起锚机以及潜艇控制系统和航空母舰的飞机升降装置等方面占有重要地位。五十年代发展了用液压传动来控制船用原子动力装置和导弹发射架的工作。民用客货船舶液压技术除已广泛用于甲板机械，如锚机、舵机、起货机、仓口盖启闭机构外，还用于管路阀门的远距离控制，柴油机的遥控，离合器的操纵等机构上。此外还进一步发展电液传动系统，广泛用于船舶自动操舵，船舶减摇和可变螺距推进器的调整机构。近年来海洋开发用大型工程船舶的兴建，采用液压传动更显示了其独特的优越性。工作液压缸径已达1000mm；行程16m，工作压力 $320 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ ，推力为2400t左右。例如海上钻井用顶升式自升平台，采用数十个直径为500mm的液压缸将桩腿插入海底，进行同步控制，可使近万吨重的钻井平台平稳地抬离海面安全工作。最近新型的滚装式运输船几乎所有仓内外运输作业所需的设备全部采用液压传动。至于其他各类船舶应用液压传动装置的情况见表1-1。

综上所述，液压传动虽早在19世纪就出现在船舶上，而在近二、三十年内才真正获得发展和广泛使用，并成为船舶各类机械传动和控制的主要方式。图1-1为国外最新型节约能源的风帆自动控制的内燃动力货轮。全面应用液压技术的示意图。

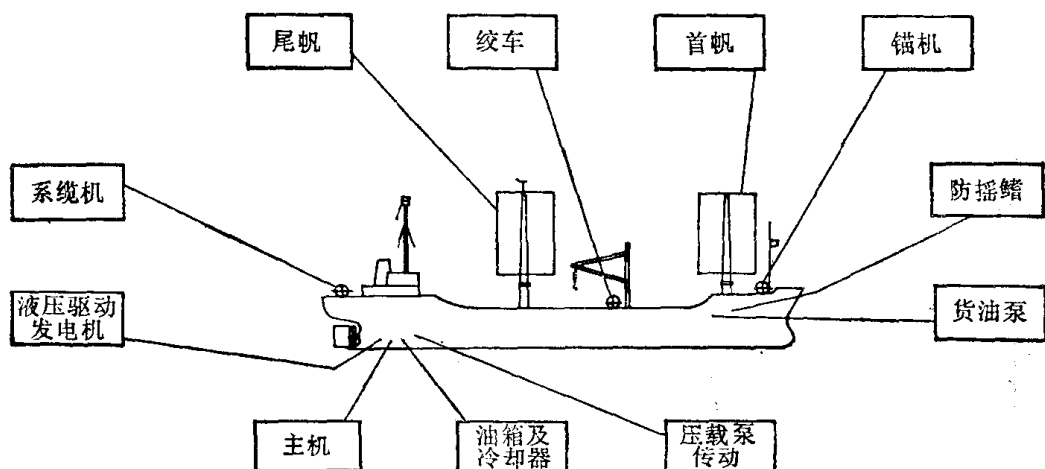


图1-1 船舶应用液压传动典型示意图

表1-1 各类船舶的液压传动装置的应用概况

船 类	设备类别 设备名称	液 压 传 动 装 置				系 泊 装 置				启 闭 装 置				辅 系 装 置				专 用 设 备				起 吊 装 置				通讯设备	附 注
		舵 机	可 变 螺 距 器	侧 向 推 进 器	防 摇 装 置	锚 机	系 缆 机	绞 盘	地 缆 机	仓 口 盖	翻 门 机 构	跳 板 机 构	升 降 甲 板	货 油 泵	阀 门 控 制	挖 泥 工 具	专 用 绞 车	泥 门	提 升 设 备	海 浪 补 偿 器	定 位 桩	动 力 滑 车	起 货 车	吊 杆 式 重 吊	甲 板 起 重 机		
运 输 船	杂 货 船	○				—	—			—													—	—			包括于货船及矿砂船
	集 装 箱 船	○	○	○		—	—			○	○	○	○						○					○	○		
	滚 装 船	○	○	○		—	—			○	○	○	○						○						○		
	油 船	○				—	—							—	○												
	冷 藏 船	○	○			—	—			○					○								○				
船 舶	化 学 品 船	○	○	○		—	—							○	○												
	客 船	○	○	○	○	—	—			○	○	○											○			包括渡轮	
	多 用 途 船	○				—	—			○																	
	拖 船	○	○	○		—	—	—	○								○									包括二用拖轮	
工 程 船 舶	挖 泥 船	○				—	—				○	○			○	○	○	○		○				○	○	各类挖泥船	
	打 桩 船	○				—	—	—									○		○				—		○		
	起 重 船	○				—	—										○						—	—	○		
	渔 船	○	○			—	—	—		○							○		○				○			各类渔船	
军 船	军 船	○	○	○	○	—	—	—									○					○		○	○	○	各类军舰
	自 升 工 作 平 台					—													○						○		
海 洋 开 发 船 舶	钻 井 船					—													○						○		
	铺 管 船					—														○					○		
	调 查 船	○	○	○	○	—	—	—		○							○		○	○				○	○	○	各类水文、海洋、气候及地质调查船
	深 潜 母 船	○	○	○		—	—	—			○						○		○	○					○	○	

○ 基本使用, — 部分使用

§ 1-2 液压传动在船舶上应用特点分析

在船舶上应用液压传动之前,常采用蒸汽传动和电气传动。蒸汽传动由于效率低,装置庞大早已淘汰。电气传动能量传递虽然方便迅速,并易实现自动化,但易受温度、湿度、振动和腐蚀环境条件等影响,且运动部件惯性大,换向慢,应用范围有一定的局限性。气压传动不宜在低温下工作,工作压力小于 $10 \times 10^5 \text{N/m}^2$,应用更受到限制。

液压传动能在船舶上广泛应用,有下述原因:

1. 液压元件可以在很大压力下工作,目前工程上已达 $320 \times 10^5 \text{N/m}^2$ 。故液压传动极易得到较大的力或力矩,满足船舶各种需要;

2. 液压传动装置的体积和重量在相同输出功率条件下,较其他传动装置结构紧凑,体积小,重量轻。其外形尺寸仅为电气传动的 $\frac{1}{8}$,重量为 $\frac{1}{8} \sim \frac{1}{10}$ 。符合船舶设备要求重量轻,体积小的要求;

3. 液压元件惯性小,油液可视为无压缩性,故系统动作灵敏、响应快,换向迅速,启动时间不超过 0.1s ,适应船舶海况变化迅速的要求;

4. 液压传动能在较大范围内方便地实现无级调速。调速范围在 0.02L/min 到 100L/min 的节流阀,其调速比高达 5000 。而直流电机调速比一般不超过 10 ;

5. 液压传动以液压油为工作介质。油液本身有吸振能力,故运动平稳,能在低速下稳定工作;

6. 液压传动具有各种型式(直线、旋转、摆动)执行元件,可直接与工作机械相联接,完成各种复杂动作,机构简化。此外各种液压执行元件稍加改进,可直接在海水中工作,为船舶和海洋开发提供有力的工具;

7. 液压传动易实行过载保护。当动力源发生故障时,蓄能器可应急动作,起安全保护作用。这对于远离陆地的海上工作的船舶尤为重要;

8. 液压元件相对运动表面附有液压油膜,能自行润滑,延长元件工作寿命,避免海上潮气的影响;

9. 操纵方便。液压与电气相配合,易实现远距离控制和自动控制,使电气和液压两者充分发挥各自的长处;

10. 液压元件易实行通用化,标准化和系列化。便于设计、制造、使用和海上维修。

液压传动目前尚存在的问题是:

1. 液压传动以液压油为工作介质,相对运动密封表面处难免有少量或微量工作介质渗漏,须注意其对船舶货物的污染。

2. 工作介质压缩性差,且管路在压力作用下有弹性变形,故不宜用在传动比极其严格的情况;

3. 油液粘度易受温度影响。当船舶航行区域跨越纬度差较大时,应有加温或冷却措施;

4. 为防止泄漏,提高液压元件密封性能,元件制造精度要求高;

5. 液压系统故障分析和排除较机械传动复杂,对系统的安装,使用和维护的技术

水平要求较高。

§ 1-3 液压系统的组成和类型

任何液压传动系统不论其元件多少，系统复杂程度如何，都是由四个基本部分组成，如图 1-2 所示。

1. 动力部分——指液压泵。其作用是将原动机（电动机或内燃机动力机械）产生的机械能转换成液体的压力势能。

2. 控制部分——包括各种类型压力控制阀，流量控制阀和方向控制阀等，以保证执行元件、（液压缸、液压马达）得到所需的运动方向、速度和力值。

3. 执行部分——包括液压缸和液压马达等。其作用是将液体的压力势能变为机械能，并获得直线、摆动或旋转运动，输入到工作机构上去。

4. 辅件部分——包括油箱、管路、管接头。蓄能器、冷却器、预热器、滤器以及各种敏感元件、控制仪表等。

液压系统按照油液的循环回路可分开式回路和闭式回路两种。

开式回路中液动机的回油直接流回到油箱。依靠液压泵将油箱中的油液输送到液压系统，见图 1-3。

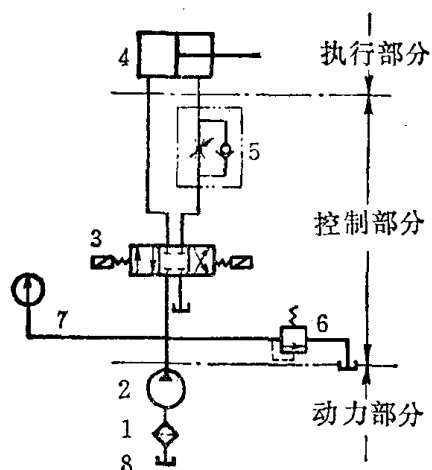


图1-2 液压系统的基本组成部分

1—过滤器；2—液压泵；3—三位四通电磁换向阀；4—液压缸；
5—单向节流阀；6—溢流阀；7—压力表；8—油箱。

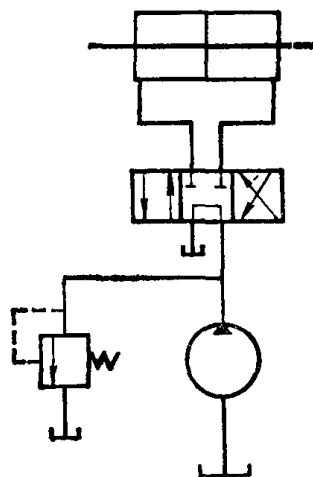


图1-3 开式回路

开式回路结构简单，油液散热条件好。但油箱容积大，空气与油液接触的机会较多，因而容易混入空气，使系统工作不够稳定。开式回路的液压泵必须具有较高的自吸能力，对于自吸能力差的柱塞泵，应设置辅助液压泵或提高油箱的液位。开式回路在简单的船舶机械液压传动中应用较多。

闭式回路的系统效率比开式回路高。开式回路的换向和调速由阀控制或泵阀联合控制。压力高于调定值时，多余的油液可自溢流阀流回油箱，但降低了传动效率。闭式回路通常采用双向变量泵，如图 1-4 所示。改变变量泵的输出油液的流量和方向，可控制液动机的运动方向和速度。回路中的油压取决于负载的大小，因而没有过剩的压力和多余的流量，传动效率较高。例如，开式回路中的回油背压常消耗在背压阀或节流阀的节

流损失上，并转变为热能。闭式回路中的回油背压，可以直接作用在液压泵的吸油口上，变为推动液压泵旋转的动力，从而减少原动机的功率消耗。根据同样的原理当液动机换向时，由于运动惯性而产生的液压冲击，也可以被回收，变成推动液压泵旋转的动力。由此可见，闭式回路适用于换向频繁的液压系统，如船用甲板起重机等的大功率液压系统。

闭式回路中，一个主液压泵只能供给一个执行元件，不适用于多个负载的系统。另外，为了补充回路中的流量损失，往往要增设辅助泵或补油阀，因而系统比较复杂。

闭式回路的油箱体积小，结构紧凑，污物和空气都不易侵入液压系统，因而运转平稳。由于依靠液压泵改变油液流动方向，所以换向冲击较小。但它的散热条件较差，油温易升高。

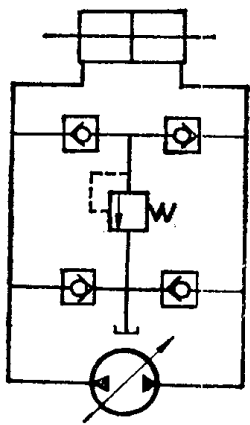


图1-4 闭式回路

液压系统的控制可分为两大类，即开环控制和闭环控制。开环控制如图 1-5 所示，作为控制元件的液压阀在接到主令信号后，控制执行机构的液动机的动作，而液动机的动作并不影响液压阀的动作，开环控制的基本回路常用于普通的液压系统。

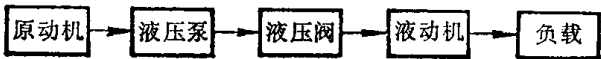


图1-5 开环控制系统

闭环控制如图 1-6 所示，当控制元件液压阀接到主令信号后，控制液动机的动作，而同时又接受液动机发出的反馈指令信号的控制，使液动机准确地按照指令信号工作。伺服系统通常为闭环控制。

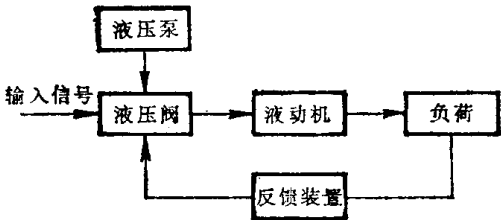


图1-6 闭环控制系统

液压系统按照对力和运动的控制方式不同，可分为液压伺服系统和液压传动系统。前者采用了伺服控制方式（伺服泵和伺服阀），属于自动控制系统；后者采用了开关式控制（方向阀）和近几年来出现的比例式控制阀。传动系统主要着重研究多液压缸（或液压马达）系统的最佳功率分配、振动、噪声和优化设计等问题；而伺服系统主要研究系统控制的高精度、高响应和最优系统。这二类液压系统在船上都已广泛应用，以后各章将有详尽论述。

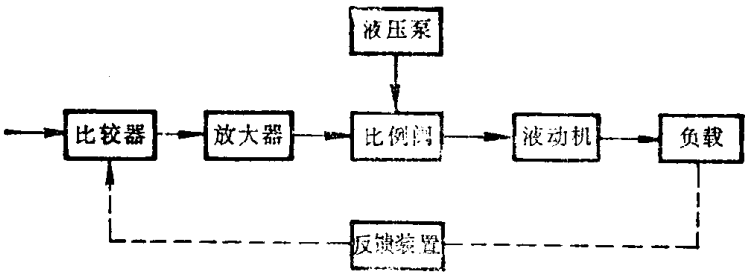


图1-7 电液比例控制系统

§ 1-4 船舶液压传动系统中用的液压泵、液压马达和控制阀

一、液压泵的分类

液压泵是液压系统中将原动机输出的机械能转换为液压能的能量转换装置，是向液压系统提供压能的重要元件，液压泵依靠密封的工作油腔容积的变化进行工作，故又可称为容积式液压泵。

按结构型式可分类如表 1-2 所示，技术性能如表 1-3 所示。

表1-2 液压泵的分类

容积式液压泵	齿 轮 泵	外啮合（定排量）	
		内啮合（定排量）	
		特殊齿形啮合	
		摆线转子	
	叶 片 泵	滑动叶片式	
		摆动叶片式	
	螺 杆 泵	三螺杆式	
		二螺杆式	
	柱 塞 泵	径向柱塞式	并列式
			星形
		轴向柱塞式	直轴式
			弯轴式
	钢 球 泵	径向钢球式	
		轴向钢球式	

表1-3 液压泵技术性能

类 型	齿 轮 泵			叶片泵		螺 杆 泵	柱 塞 泵				
	内 啮 合		外 啮 合	单 作 用	双 作 用		轴 向			径 向	直 列
	楔 块	摆 线 转 子					直 轴 端 面 配 流	弯 轴 端 面 配 流	阀 配 流		
压力范围 $\times 10^5 \text{N}/\text{m}^2$	<300	16~160	<200	<63	63~320	25~100	<320	<320	<700	100~200	<400
排量范围 ml/r	0.8~300	2.5~150	0.3~650	1~320	0.5~480	1~9200	0.2~560	0.2~3600	<420	20~720	1~250
转速范围 r/min	300~4000	1000~4500	300~1000	500~2000	500~4000	1000~18000	600~6000	600~6000	<1800	700~1800	200~2200
最大功率 ps	350	120	120	30	320	390	730	2660	750	250	260
容积效率 %	<96	80~90	70~95	58~92	80~94	70~95	88~93	88~93	90~95	80~90	90~95
$\frac{\text{功率}}{\text{重量}}$ 之比	大	中	中	小	中	小	大	中	大	小	中
最高自吸真空度 mmHg			425	250	250	475	125	125	25	125	
流量脉动 %	1~3	<3	11~27			<1	1~5	1~5	<14	<2	<14
对污染敏感性	小	小	小	中	中	小	大	大	小	中	小
价格	较低	低	最低	中	中低	较高	高	高	高	高	高

按工作压力可分为低压、中压、中高压、高压和超高压，如表 1-4 所示。

表1-4 压力分级

压力分级	低 压	中 压	中 高 压	高 压	超 高 压
$\times 10^5 \text{N/m}^2$	0~25	$>25\sim 80$	$>80\sim 160$	$>160\sim 320$	>320

液压系统和液压泵的压力分级基本相同。

二、液压执行元件的分类

液压执行元件的作用是将液压能转变为机械能。由于执行元件的不同，可获得直线移动，摆动或连接的旋转运动。产生旋转运动的液压马达可按结构型式进行分类，有齿轮液压马达，叶片液压马达，轴向柱塞马达，径向柱塞马达等。按照工作特性可分为高速液压马达和低速大扭矩液压马达，如表 1-5 所示。技术性能如表 1-6 所示。

表1-5 液压马达的分类

液 压 马 达													
高 速 液 压 马 达						低 速 液 压 马 达							
齿 轮 式	叶 片 式	轴 向 柱 塞 式			柱 塞 式				钢 球 式		摆 线 转 子 式	叶 片 式	
		直 轴 式		弯 轴 式	径 向			轴 向	内 曲 线 多 作 用 式	双 凸 轮 盘 式			
		点 接 触 式	滑 履 式	球 铰 式	内 曲 线 多 作 用 式	曲 轴 连 杆 式	曲 轴 无 连 杆 式	双 斜 盘 式					

表1-6 船舶常用低速大扭矩液压马达技术性能

分 类		常用压力 $\times 10^5 \text{N/m}^2$	排量范围 l/r	速度范围 r/min	容积效率 %	作用次数 $\times$ 柱塞数 Z	能否变量	启动扭矩效率	自锁性	结构情况	外形尺寸	轴承数量	重量/ 扭矩之比	应 用
径 向 柱 塞 式	内 曲 线 多 作 用	160~320	0.25~50	1~200	90~96	$x = 4 \sim 12$ $z = 6 \sim 16$	有级变量	好 最高达95	较差	复杂	小径向尺寸大轴向尺寸小	多	小	船舶甲板起重 机, 特别 是壳转马达
	曲轴连杆式	120~200	0.125~10	5~400	85~93	$x = 1$ $z = 5 \sim 7$	有级变量	较差~85 左右	较差	一般	较小	较少	较小	工程船舶机械
	曲轴无连杆式	120~200	0.1~6.3	5~600	88~95	$x = 1$ $z = 5 \sim 7$	有级变量	一般~90	较差	简单	较大	两套轴承	约为5	工程船舶机械, 如挖泥船等
轴 向 柱 塞 式	内曲轴多 作用球塞式	100~200	0.15~1.0	~400	低	$x = 4 \sim 8$ $z = 6 \sim 12$	有级变量	—	—	简单	小	少	小	同上
	双斜盘式	160~320	0.25~25	3~1200	90~98	$x = 1$ $z = 18 \sim 26$	有级与无级变量	一般	较好	一般	较小径向尺寸小轴向尺寸大	两套轴承	较大	动力滑车
	双凸轮盘式 球塞式	100~200	0.765	~300	低	$x = 4 \sim 8$ $z = 12 \sim 24$	—	—	—	简单	小径向尺寸小轴向尺寸大	两套轴承	小	
	叶片式	70		~85			无级变量	一般	较好	简单	较大	少	较大	渔轮起吊设备

三、液压控制阀分类

液压控制阀的分类见表 1-7。

表1-7 液压控制阀分类

压 力 阀	溢 流 阀	直动式 差动式 先导式
	减 压 阀	定压减压阀 定差减压阀 定比减压阀 单向减压阀
	顺 序 阀	直控顺序阀 遥控顺序阀 单向顺序阀 卸荷阀
流 量 阀	节 流 阀	节流阀 单向节流阀 单向行程节流阀
	调 速 阀	调速阀 溢流调速阀 单向行程调速阀
	分 流 阀	单路稳定分流阀 分流集流阀
方 向 阀	单 向 阀	直通式单向阀 直角式单向阀 液控单向阀（无卸荷阀） 液控单向阀（有卸荷阀）
	换 向 阀	手动转阀 手动换向阀 电磁换向阀 液动换向阀 电液换向阀
	多路换向阀	并联式 串联式 顺序单动式 复合式
	压力表开关	单点开关 限压式开关 多点压力表开关
比 例 阀	比例压力阀	针阀先导阀 喷嘴挡板式先导阀
	比例流量阀	
	比例方向阀	

§ 1-5 典型船用液压元件

由于船舶液压系统的工作和环境条件要求，所以船舶液压系统有其自己特殊的和典型的专用液压元件，兹介绍如下：

一、比例液压阀

图 1-8 为 T 型手动比例减压阀，常用于船舶甲板起重机的操纵。T 型手动比例减压阀的结构实际上由四只比例减压阀组成，图 1-9 为比例减压阀原理图及特性图。

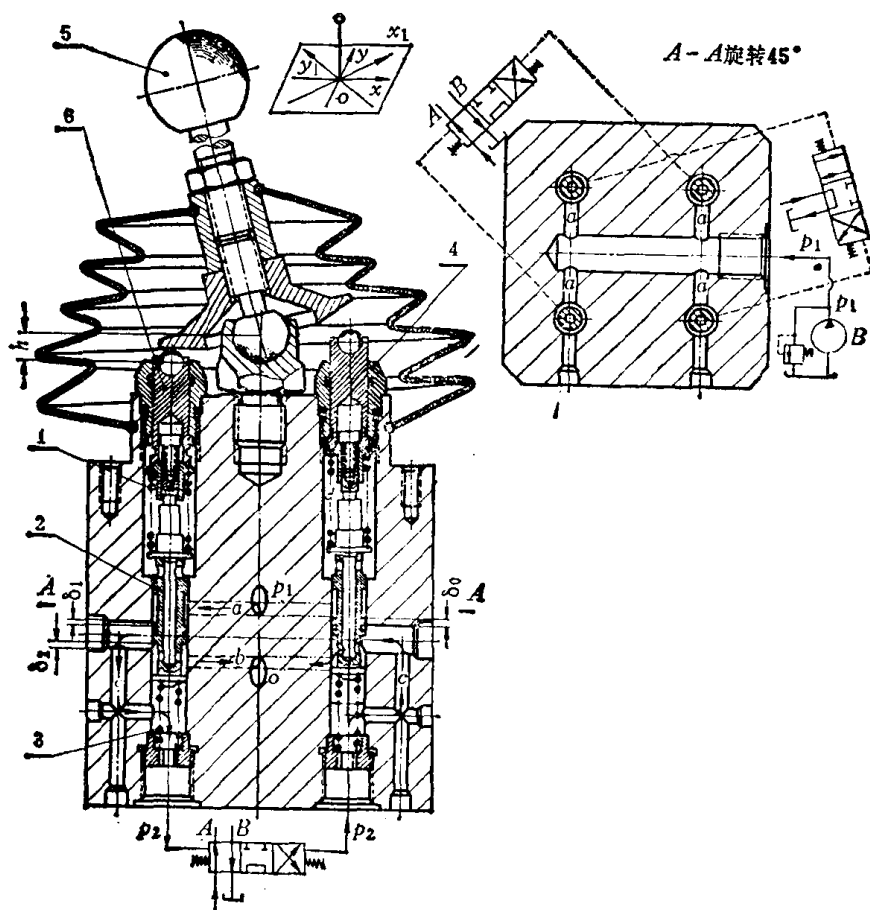


图 1-8 T 型手动比例减压阀

从图 1-9 中可见，当比例阀处于中位状态时，换向阀右控制腔回油经出口 P_2 、C 孔、阀芯 2 的径向孔、b 孔及 O 口返回油箱。左边的比例减压阀为阀芯 2 下移一行程后，处于平衡时的状态。这时控制油泵 B 来的 P_1 压力油由 P_1 口进入，经节流口 δ_1 后，油压从 P_1 降为 P_2 ，后分两路，一路经节流口 δ_2 、b 孔及 O 口回油箱；另一路经 C 孔、出口 P_2 后，进入换向阀的左控制腔，使换向阀换向呈不同开度。

由图 1-9 特性曲线可知，二次压力 P_2 与控制杆 b 行程 h 的关系曲线。当操纵手柄 S 使阀芯 2 的行程在 $\delta_0 \sim h_m$ 范围内变化时，便可实现远程的比例控制。调节螺母 4，即可改变行程 h'_m 与二次压力值 p'_{2m} 的关系。

从图 1-9 的阀的职能符号看出，可控制两台变量泵或两只换向阀。比例阀的供给油

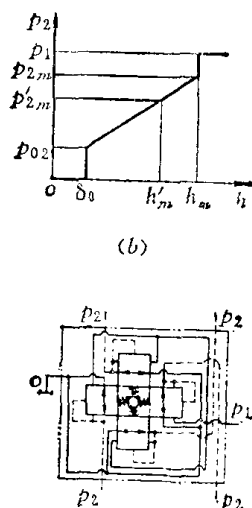


图1-9 比例减压阀原理图及特性图

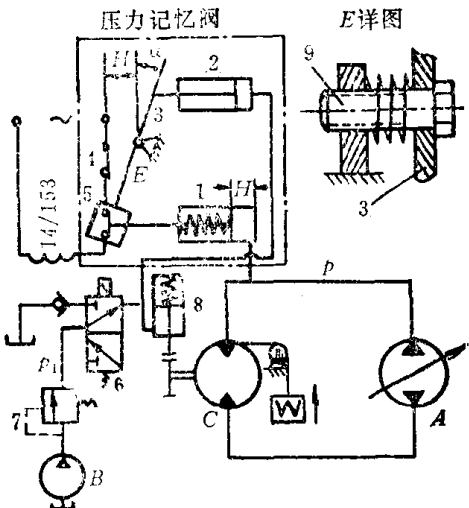


图1-10 压力记忆阀系统典型环节

泵工作压力为 $p_1=25\sim35\times10^5\text{N/m}^2$ ，可由溢流阀调整，但液压泵的供油量应稍大于溢流阀的最小稳定流量。

2. 压力记忆阀

压力记忆阀用于各种提升工作中的起升回路，以防止启动瞬间吊重负载产生滑降。

图 1-10 是泵组和记忆阀组成的典型环节，当主泵 A 变量不为零时，触点 4 关闭。油压力使缸 1 的活塞外伸时，接触器 5 闭合，电磁阀 6 的线圈通电，使阀 6 在上位。辅泵 B 排油经阀 6 后分两路，一路使制动缸 8 松闸；另一路使缸 2 活塞杆外伸，顶住摇臂，保证接触器 5 良好接触。

当主泵 A 变量为零时，触点 4 打开，电磁阀 6 回到下位，制动缸 8 刹车。泵 A 由于变量机构归零而起液压锁作用，保持油压力 p 值，使起升负载 W 停止运动。油液的泄漏会使 P 值下降，缸 1 的弹簧使活塞杆缩回，接触器 5 打开。但从详图 E 中的螺钉 9 使摇臂 3 保持在原 α 角位置，这样负载 W 运动时的油压力被记忆下来。

当再次启动时，主泵 A 变量不为零时，触点 4 先闭合。由于制动缸刹住液压马达 C，故缸 1 中的油压力上升，到原 W 能建立时的 p 值，缸 1 活塞外伸，使摇臂 3 达到原 α 角位置，接触器 5 再次接触，阀 6 上移，制动缸 8 松闸，这样能防止启冲瞬间起升负载产生滑降，并可避免产生液压冲击。

当负载 W 卸下时，缸 2 使摇臂 3 回零位，即 $\alpha = 0$ 。

3. 平衡阀

为防止吊重机构超速下降，包括甲板起重机的各种回路都有平衡或制动回路进行能耗制动，防止系统产生液压冲击，下降颤动。而平衡阀性能是否良好，往往决定整个机构液压系统工作优劣。目前基本上常用有以下三种：

(1) 平衡-制动阀组，如图 1-11 所示。该阀为滑阀式的双向平衡阀。为提高平衡阀的工作稳定性，阀上有节流孔 a 。单向节流阀 b 、 f 等，在平衡阀的圆柱面上还开有长槽 i ，以使阀芯移动时流量变化平缓。平衡阀的导控压力 $p_c=5\sim7.5\times10^5\text{N/m}^2$ 。阀组中阀 6、7 为双向制动阀，兼作双向安全阀及截止阀，结构形式为差动型的。该阀启闭特性好，响应快。当液压泵停转时，调整螺钉 5 可使 G 下降。