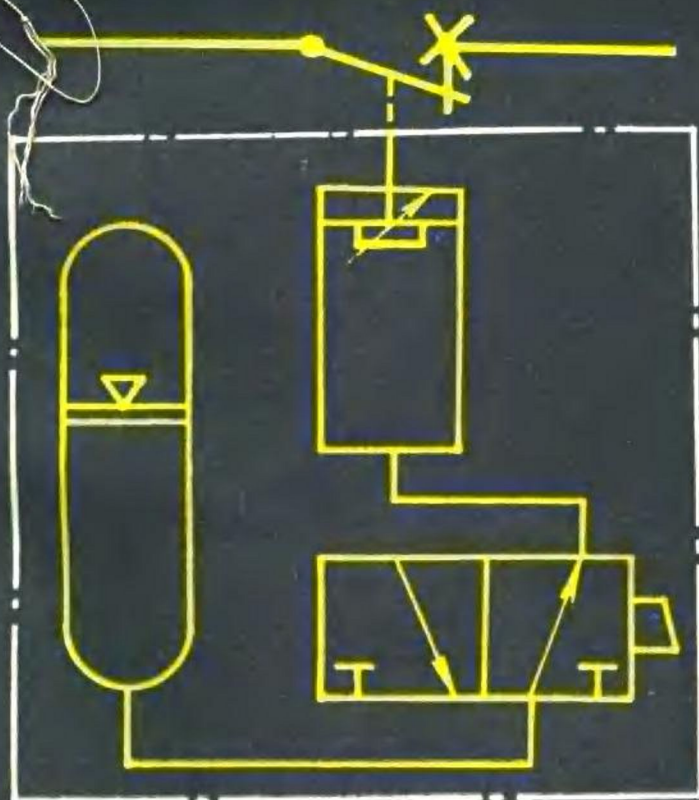


开关液压机构

施文耀 著



机械工业出版社

本书较全面、系统、深入地论述了高压少油开关和 SF₆ 开关用的液压操动机构的各种问题。全书共分九章。首先,叙述了开关液压机构的结构、作用原理和有关流体力学方面的基本概念;接着,深入地论述了开关液压传动系统、阀系统、辅助元件、密封装置的设计与计算方法;然后,叙述了液压机构的装配和有关试验方法;最后,详述了液压机构的运行和维修方面的问题。

在所论述的设计与计算方法中,有许多是著者自己的经验和见解。

本书可供从事高压开关的设计与制造、电力系统运行维修方面的工程技术人员参考,也可供高等院校有关专业的师生参考。

开关液压机构

施文耀 著

*

责任编辑:贾玉兰 版式设计:张世琴

封面设计:田淑文 责任校对:马志正

责任印制:尹德伦

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

中国铁道出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32·印张 10 3/4·插页 1·字数 296 千字

1990年11月北京第一版·1990年11月北京第一次印刷

印数 0,001—2,750·定价:9.60 元

*

ISBN 7-111-01871-0/TM·256



前 言

开关液压机构是一种新型的开关操动机构。

在国外，50年代初期就已用于高压少油开关上，60年代初用于SF₆开关上。在国内，开关液压机构自60年代初期开始研制，首先，使用于高压少油开关，70年代初又用于SF₆开关。随着电力工业的发展，开关液压机构的应用范围进一步扩大，需求量也日益增多。

实践表明，一台高压开关性能的优劣与质量的好坏，在一定程度上取决于开关液压机构的设计、装配、试验、使用与维修等各个环节。为了提高开关液压机构的性能与可靠性，应对上述诸环节进行必要的分析和研究。然而，目前，尚无开关液压机构方面的专门的著述。因而，根据本人5年来从事高压开关液压机构的设计、装配、试验、运行与维修方面的经验，著成此书。以求这方面知识能逐步系统化，有助于开关液压机构的合理设计、正确使用，从而，使电力系统的安全运行得到保障。

本书第一章叙述了国内外开关液压机构的结构特点、动作原理。第二~六章着重论述了开关液压传动系统、控制阀系统、辅助元件、密封装置的计算方法与设计程序。由于开关不同，它们的反力特性也不同，特别是SF₆开关的动态反力特性更为复杂。如果在进行液压传动系统计算时，要包罗电、热、机等各方面的因素于一个（组）方程式内，将使问题既繁琐又不宜求解。本书为便于工程计算，在一定程度上做了近似计算，以达到简化设计工作的目的。

众所周知，开关液压机构的精心装配、严格试验、正确使用、定期维修都是确保电力系统安全运行的重要环节。为此，第七~九章较详细地叙述了开关液压机构主要部件的装配工艺要

IV

求、液压机构零部件与整机试验程序、运行维修中常见故障的消除方法和典型液压机构的维修经验。

本书原稿承蒙一机部西安电力机械制造公司总工程师楼家法的详细审阅，提出了不少宝贵意见，作者表示衷心的感谢。在成稿过程中，曾得到华中理工大学刘绍峻教授给予的指导，在此一并致谢。

最后，本书承蒙铁道科学研究院环铁试验基地黄承宙总工程师的复审，特别是对本书的出版给予了热情支持，为此作者表示由衷的感谢。

鉴于本人的水平和经验有限，错误和缺点在所难免，敬请读者批评指正。

目 录

第一章 开关液压机构概论	1
1-1 国内外开关液压机构发展概况	1
1-2 对开关液压机构的基本要求	3
1-3 开关液压机构的特点	4
1-4 开关液压机构的分类与结构简述	6
1-5 液压机构的主要组成及其功用	10
1-6 液压机构的动作原理	12
1-7 液压元件符号与液压系统图	28
1-8 液压机构的基本状态参数	31
1-9 开关液压机构的自卫能力	33
第二章 开关液压传动系统中的一些基本特性	39
2-1 液体的一些物理性质	39
2-2 液压传动的一些物理量	45
2-3 静止液体的性质	47
2-4 流动液体的性质	48
2-5 液电类比	65
2-6 开关液压系统的工作介质	66
2-7 气体状态变化过程	67
第三章 开关液压传动系统的计算与设计	72
3-1 开关液压传动系统的一般机械运动方程式	72
3-2 少油开关配液压机构的运动特性计算	77
3-3 压气式SF ₆ 开关配液压机构的运动特性计算	82
3-4 压气式SF ₆ 开关的临界压气速度计算	100
3-5 开关液压传动系统计算实例	101
3-6 影响运动系统速度的主要因素分析	108
3-7 液压传动系统的最佳值计算	115
3-8 分合闸速度的调整计算	124

3-9	开关刚分阶段动作时间的计算	125
3-10	分闸功与合闸功的计算	126
3-11	开关液压传动系统设计	129
第四章	开关液压机构控制阀系统的计算与设计	133
4-1	控制阀的基本结构	133
4-2	进行阀门工程计算时的几个假设	136
4-3	瞬时充压式液压机构的直动阀的动作时间计算	137
4-4	常充压式液压机构阀门的动作时间计算	140
4-5	电磁阀的动作时间计算	147
4-6	阀系统动作时间计算实例	151
4-7	非储能式液压机构传动(时间)计算	160
4-8	影响阀系统动作时间的因素分析	161
4-9	直动式控制阀的最佳值计算	167
4-10	开关液压机构阀系统的设计	170
第五章	开关液压机构辅助元件的计算	177
5-1	蓄压筒(气压式压力继电器)的计算	177
5-2	油泵的原理与计算	189
5-3	减压阀的结构与计算	193
5-4	安全阀的结构与计算	194
5-5	管道与管件的计算与设计	196
5-6	油箱及分离器的设计	204
5-7	过滤器的选择与计算	206
5-8	信号缸的设计	208
第六章	开关液压机构的密封装置	210
6-1	概述	210
6-2	密封装置的分类与用途	211
6-3	O形圈	213
6-4	唇形圈	231
6-5	油封(J形骨架密封)	252
6-6	组合式密封	254
6-7	开关液压机构的密封胶料	255
第七章	开关液压机构的装配	261

7-1	概述	261
7-2	油泵的装配	262
7-3	蓄压筒的装配	266
7-4	控制阀的装配	271
7-5	差动工作缸的装配	278
7-6	信号缸装配	280
7-7	手动泵装配	281
7-8	防震容器装配	281
第八章 开关液压机构的性能试验		285
8-1	概述	285
8-2	液压机构的部件试验	291
8-3	开关液压机构的整机试验	298
8-4	液压机构配正式开关试验	299
第九章 开关液压机构的运行与维修		301
9-1	安装后检查	301
9-2	运行前调试	305
9-3	运行与维修	306
9-4	液压油的使用与管理	316
9-5	开关液压机构的常见故障与消除方法	317
9-6	开关液压机构维修实例	321
参考文献		334

第一章 开关液压机构概论

1-1 国内外开关液压机构发展概况

早在50年代初期,在法国,液压机构首先配用于少油开关上。60年代开始,ETNA公司专为Dalle公司生产了开关用的各种液压机构,如OP系列,它主要包括OP2C、OP2B、OP2A……OP14型等。其中OP2B、OP2A为瞬时充压式,其余均为常充压式。

日本在制造空气开关[⊖]时,配用了气动机构。自60年代中期,随着单压式SF₆开关的开发,大大提高了对机构操作功的要求,后来为了增大开断容量和缩短全开断时间,也发展了液压机构。例如,三菱公司生产的SFL、SFM系列开关,采用气动机构时,其开断电流为30~40kA。而SFH系列开关在采用液压机构后,其开断电流达50kA以上。三菱生产的OH型液压机构基本上仿制ETNA公司的结构,而富士公司主要仿制西门子公司SF₆开关,其所属的川崎工厂也以液压机构取代了气动机构,使单压式SF₆开关向更高电压方向发展。70年代初期,又研制了一种阀门组合式新型液压机构。

联邦德国西门子公司在发展3AS2型SF₆开关中,初期采用气动机构,1968年后采用了常充压式电动液压机构。目前已有27000台液压机构和12000台蓄压筒在世界各地运行。该公司现在每年生产约3000台液压机构。

瑞士奥立康公司在70年代初发展了F系列超高压少油开关,其明显的特点就是采用了常充压式直接传动的液压机构,省却了所有传动连杆。BBC公司在发展第二代SF₆组合电器中,在ELK

⊖ 按新标准,在电力系统中,能自动控制的电器设备叫断路器。但考虑到习惯和方便,简称上述设备为“开关”。下同。

型SF₆开关上亦采用了常充压式液压机构。BBC公司在ELF型敞开式SF₆开关和70年代生产的中等容量等级的SF₆开关中，大多采用气动机构，但在80年代初，随着开断电流的增大，另外，由于空气压缩机受潮气的影响，减少了它的使用寿命，而且也限制了它的使用范围。为此该公司(1988年改名为A.B.B公司)发展了别具一格最新一代的AHMA型液压-弹簧机构(属双向液压传动)，即为了避免液压机构蓄压筒常常发生的漏氮和环境温度影响，该公司干脆取消了蓄压筒，改用带有碟形弹簧的压油缸，控制阀系统与工作缸采用组合式结构，从而减少了泄漏环节，简化了结构，大大提高了液压机构的可靠性。

从国外SF₆开关发展过程而言，初期，气动机构采用量约占65%，弹簧机构约占20%，液压机构仅占15%。但到1983年，液压机构在户外高压开关中已达63%，在全封闭组合电器中已达78%。

1970年，世界上15个主要开关制造公司中只有2家生产液压机构，即2:15，到1983年，达9:15。

在国内，从60年代初期开始，首先由上海华通开关厂进行了开关液压机构的研制。鉴于当时认识水平，为了满足高压少油开关的开断试验的需要，要有较高的刚分速度，因而，首先研制了CY1(仿OP2A)型双向瞬时充压式液压机构。后来，一方面因它的结构十分复杂(属三级放大)，泄漏环节多；另一方面，人们对开关的分闸速度特性有了新的认识以及高压绝缘管制造困难等因素，CY1型液压机构逐渐被淘汰。虽然这样，却得到了大量的经验和教训。其后，陆续研制了CY2型非储能式液压机构(沈阳高压开关厂)，CY3型常充压液压机构(仿OP2C型，沈阳高压开关厂)，CY4型常充压式液压机构(仿OP2C型，上海华通开关厂，平顶山高压开关厂)，CY6型常充压式液压机构(西安高压开关厂)等。

从国内外开关液压机构的发展过程而言，首先是沿用机床液压控制原理(见法国CH2型液压机构)，采用单双向常充压液压机

构。由于它对绝缘管和阀的制造精度要求高，故在较高电压等级的少油开关中又发展了瞬时充压式液压机构，因它对管路渗漏及阀门加工要求低，故在初期使用较多。后来，由于其结构复杂，需要有闭锁装置，动作时间较长，在60年代末期发展了常充压式。自70年代初起，由于单压式SF₆开关的日趋发展，它的速度不太高，也不需绝缘管和联锁装置，因而简单的常充压式液压机构越来越为各国所采用。由于它的液压系统存在着“失压慢分”的固有缺点，目前各国也正以各种方式加以解决。同时，对瞬时充压式结构又进行了改进，将其三相合闸阀合并，把三相机构置于一个机构箱内，并改为常高压保持，从而省却了闭锁装置。在80年代初，用弹簧代替蓄压筒，又进一步简化了结构。

另外，传动方式也由初期的间接（液压-机械混合）传动（如OR、HPF型少油开关等）逐步发展到直接（全液压）传动（如瑞士的FS、FT、FR系列少油开关等）。阀门由早期的管道连接发展成组合（集成块）式结构。由上述可知，液压机构的结构按“简单—复杂—简单”过程逐步发展。

总之，从国内外少油开关，特别是单压式SF₆开关而言，“操作液压化”似乎已成为一种发展趋向。

1-2 对开关液压机构的基本要求

开关用的液压机构的重要性显然不同于一般机床用液压机构。在机床液压机构中，如果发生失误，仅影响一台机床，一个或几个人。而开关液压机构的失误将影响一片，甚至一个城市的供电。电压等级越高，影响面越大。因而，对它有许多特殊要求，其中主要应满足：

（1）在“三不”（不调整、不检修、不更换零件）情况下，进行国标规定的寿命试验次数时，应可靠动作，不允许有拒动等误动作现象和其它不良现象；

（2）液压系统本身不应该存在“失压慢分”（详见第1-9节所述）的问题；

- (3) 在调试及使用过程中, 应能进行手动慢分、慢合动作, 以便调整开关的行程、起程等;
- (4) 液压机构油系统应满足清洁度要求;
- (5) 液压机构应有防止过压的安全(溢流)阀或压力触点;
- (6) 蓄压筒应有显示漏氮和氮气侧进油的信号触点;
- (7) 当压力下降时, 应有自动升压的触点和信号;
- (8) 机构在油泵起动压力下, 应满足“分— θ —合—分— 3min —合分”操作循环要求(θ ——开关的无电流休止时间);
- (9) 油泵自蓄压筒预压力升至额定压力时间应小于 3min ;
- (10) 不论分或合闸位置, 一昼夜油压下降不大于 $1\sim 2\text{MPa}$ (或油泵起动次数不大于 $1\sim 2$ 次), 外观不得有任何漏油痕迹;
- (11) 与开关配合后, 应满足开关的固分时间和分、合闸速度等要求;
- (12) 当压力下降时, 应有分、合闸闭锁触点和信号;
- (13) 蓄压筒必须进行强度试验。应符合国家劳动部关于“高压容器的安全监察规程”的规定, 即爆破试验压力应大于或等于三倍最高工作压力。

1-3 开关液压机构的特点

液压机构利用液体不可压缩原理, 以液压油为传递介质, 将高压油送入工作缸两侧来实现开关分、合闸。它相对其它类型机构而言, 有以下几个特点:

- (1) 输出功大。这类机构操作功可达 9800J 以上。然而, 若弹簧机构欲得到相同的输出功, 则其体积可能为液压机构的三倍以上。另外, 液压机构的结构紧凑, 毋需庞大的储气和附加的空压机装置。因此, 可使开关装置的总重量减轻。
- (2) 时迟小、反应快。由于液体不可压缩, 因而反应快, 动作正确。控制阀门动作后, 只需几个 ms 即可使开关动作。它

比较适用于多断口开关，因它可带有一个或几个工作缸，使积木式开关向超高压方向发展，而且能保证良好的同步性。如 OR 系列100~420kV少油开关，当具有 6 个断口时，同步仅为 1ms 左右。

(3) 负载特性配合好，噪声小。如图 1-1 所示，驱动力特性与负载特性之间沿着行程*l*方向上所夹的面积，表示对运动系统产生加速度的有效力矩。当驱动力位于负载力之上时，它为⊕，这时运动系统加速；而为⊖时，负载反力大于驱动力，则开关运动系统便减速。由图 1-1a)可知，弹簧机构的负载特性配合较差。在开关刚合之前均为⊕，而且其面积又大于图 1-1b)中⊕的面积（假如两者在同样负载特性时），故它的动能大，冲击力大。而在液压机构中，由于液体的阻力与开关运动系统的速度平方成正比，当开关速度上升时，它的实际驱动力在减少（理论驱动力为虚线），它似乎起着“自动调节”的作用，使它在触头刚合之前，驱动力已小于负载力了。因此，在同样大小的合闸速度情况下，它的冲击力较小，噪声较低。

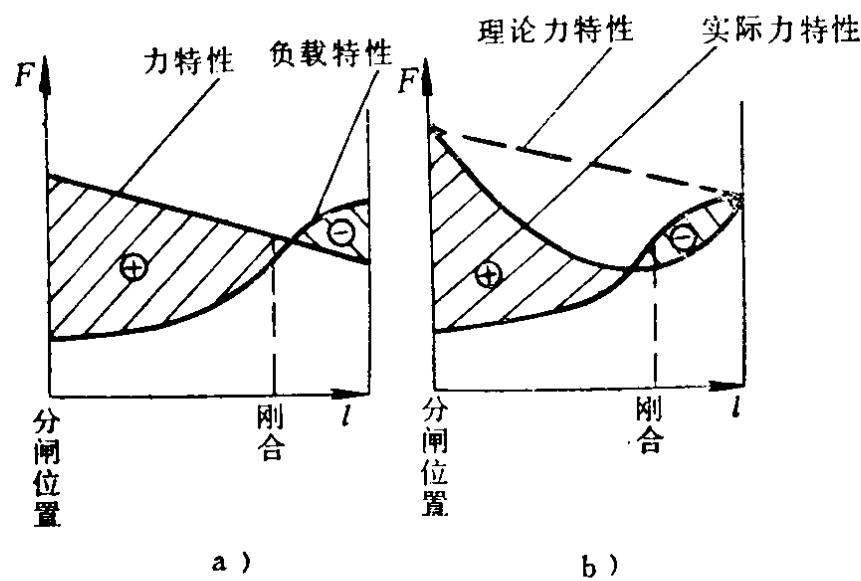


图 1-1 两种机构（同样负载特性时）力特性配合的比较
a) 弹簧机构 b) 液压机构

(4) 速度易调变。其速度控制较方便，只要在分、合闸排

油管道上放置一个直径大小不同的节流片，即可得到相应的速度，且易做到无级调变。

（5）可靠性高。由于广泛采用了飞机及机床液压系统的成果，控制系统考虑较周全，且油中阀门不易损坏和误动作，故工作安全可靠，并为运行所证实。

（6）维修简便。机构中油管密封良好，自成封闭式循环系统。因此，受外界环境污染的影响较少，寿命长。

该机构的主要缺点有：

- （1）加工工艺要求高，如制造、装配不良，易渗漏。
- （2）速度特性易受环境温度影响。

1-4 开关液压机构的分类与结构简述

1. 按储能方式分

（1）非储能式液压机构：它一般用于隔离开关中。它的结构简单，动作速度较慢，一般用齿轮泵直接驱动，见图 1-2 所示。

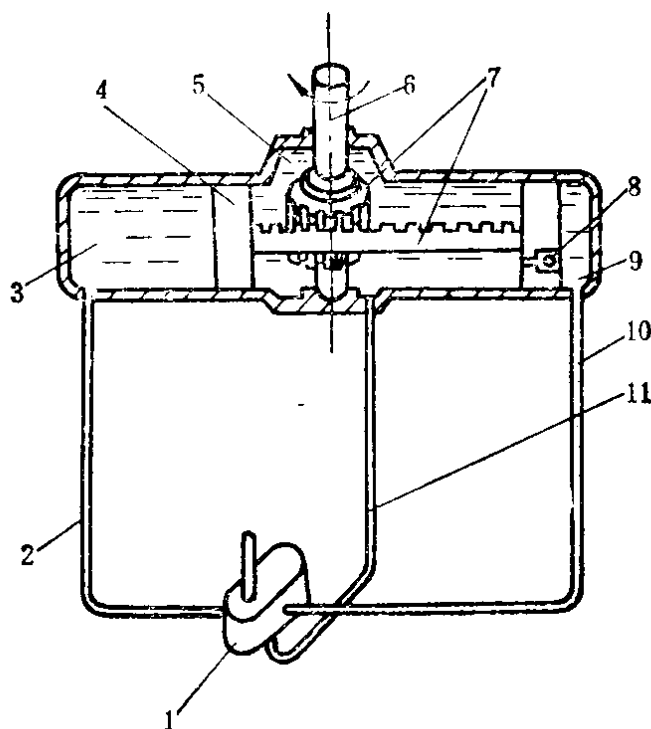


图 1-2 非储能式液压机构系统示意

- 1—齿轮泵 2—油管 3—分闸工作缸 4—活塞 5—储油腔 6—主轴
7—齿轮、齿条 8—单向阀 9—合闸工作缸 10—油管 11—泄油管

(2) 储能式液压机构：通常用于35kV以上的高压少油开关及110kV以上的单压式SF₆开关中。当电压等级越高，需要操作功越大的场合，它的优越性就越大。

2. 按充压方式分

(1) 瞬时充压式：典型结构有OP2A、OP2B及CY1等，其原理见图1-3a)。当机构操作开关时，在工作缸处仅瞬时充压，一旦动作完成，则操作管路中立即失压。它有两套完全相同的阀门组，每一套均包括二（或三）级放大系统的主阀、保持阀（在动作过程中保持油压）、低压阀（在动作结束后自动失去原保持的油压）、减压阀（保持操作管路内充满油液）、联锁阀（保证重合闸动作顺利进行）等，详见图1-6。可见，它是一个较严密而又完整的液压系统，无“失压慢分”缺陷，且有较大的操作功，对管路、结构零件及密封元件的要求较低。但它的固分时间长，结构较复杂，渗漏环节多。

(2) 常高压保持式：是目前世界各国采用较为普遍的一种结构形式，见图1-3b)。典型结构有法国的OP2C及法国M·G公司生产的FA系列SF₆开关的液压机构，见图1-4a)所示。日本川崎工厂生产的带防跳跃阀的液压机构，见图1-4b)所示。瑞士ELK型SF₆开关的电动液压机构，见图1-4c)所示。其中项1为工作缸，项2～6为阀系统，项7为储油箱，项8为蓄压筒。图1-4d)是ABB公司的AHMA8型液压—弹簧机构。西门子公司3AS2型组合电器用液压机构，见图1-9a)所示。瑞士FR系列少油开关的液压机构，见图1-12所示。我国的CY4、CY6型液压机构如图1-7、1-11所示。

这种类型液压机构的最大优点是结构简单，制造、维修方便，合闸终了不需任何联锁装置，由高压油直接保持。由于分闸时只需失压即可完成动作，因此，固分时间短而稳定。但是，它的工作缸利用率较低，且早期结构存在“失压慢分”的缺陷，并对密封元件和绝缘管要求较高。

(3) 瞬时失压—常高压保持式：如图1-3c)所示，典型结

构有法国的OPI4型，详见图1-13所示。它的工作缸利用率较高，合闸用高压油保持，不需联锁装置，但也存在“失压慢分”的缺陷。从结构而言，虽较瞬时充压式简单，但较常高压保持式复杂。

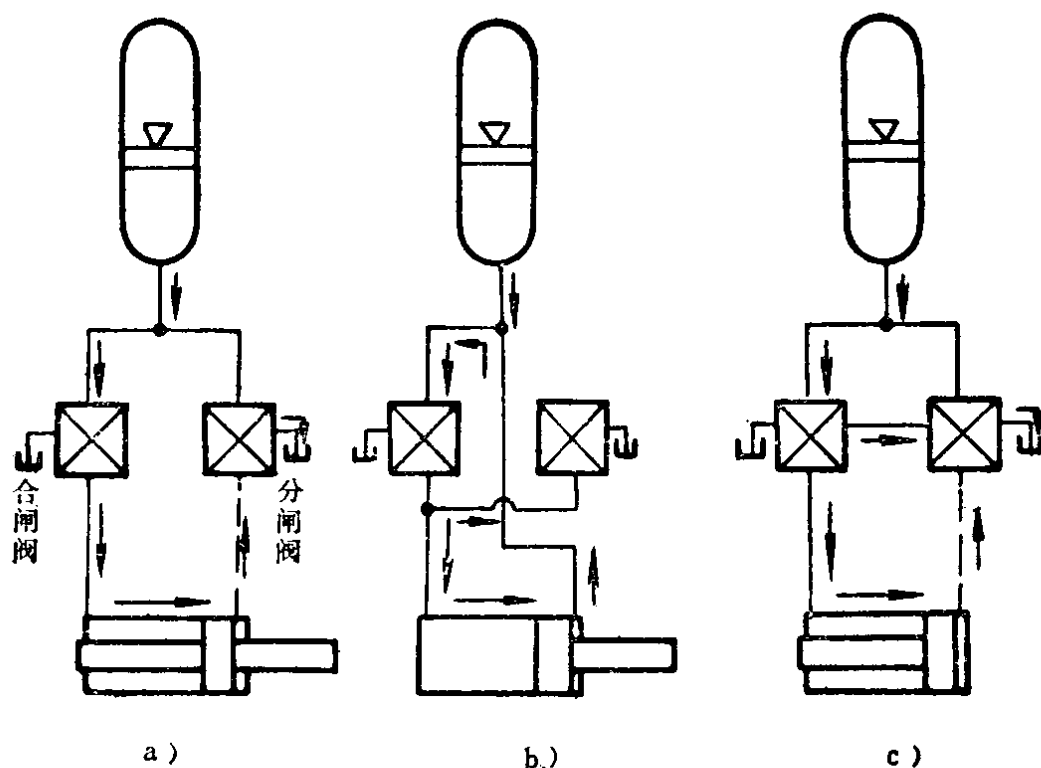


图1-3 液压系统原理（合闸位置）

a) 瞬时充压式 b) 常充压保持式 c) 瞬时失压-高压保持式

3. 按液压作用方式分

(1) 单向液压传动：通常是液压-弹簧传动，其合闸用液压，分闸用弹簧，如比利时的DH×70型，奥地利的LOHYF50型，联邦德国的LS型，美国的多油开关用的液压机构等。

(2) 双向液压传动：其分合闸均系液压操作，图1-3中的三种原理均属此类。单、双向液压传动系统见图1-5所示。

4. 按传动方式分

(1) 间接（机械-液压混合）传动。

(2) 直接（全液压）传动，见图1-11所示。

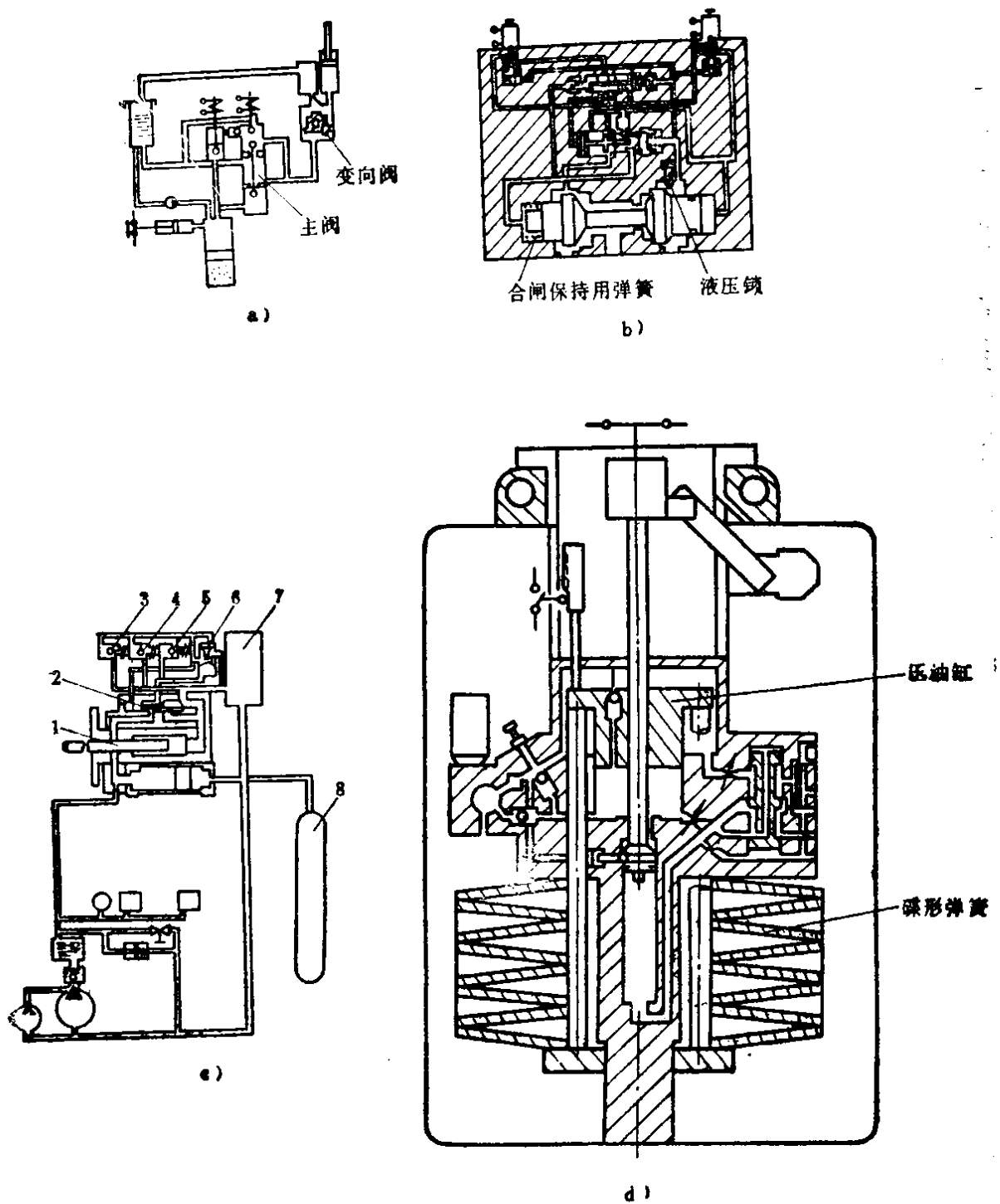


图 1-4 常高压保持式液压机构

a) OP2C型(法国) b) 组合式(日本) c) ELK型SF₆开关的液压机构(瑞士) d) AHMA 8型液压-弹簧机构(瑞士)

1—工作缸 2—主阀 3、4—分闸电磁阀 5—合闸电磁阀 6—辅助阀 7—储油箱 8—蓄压筒

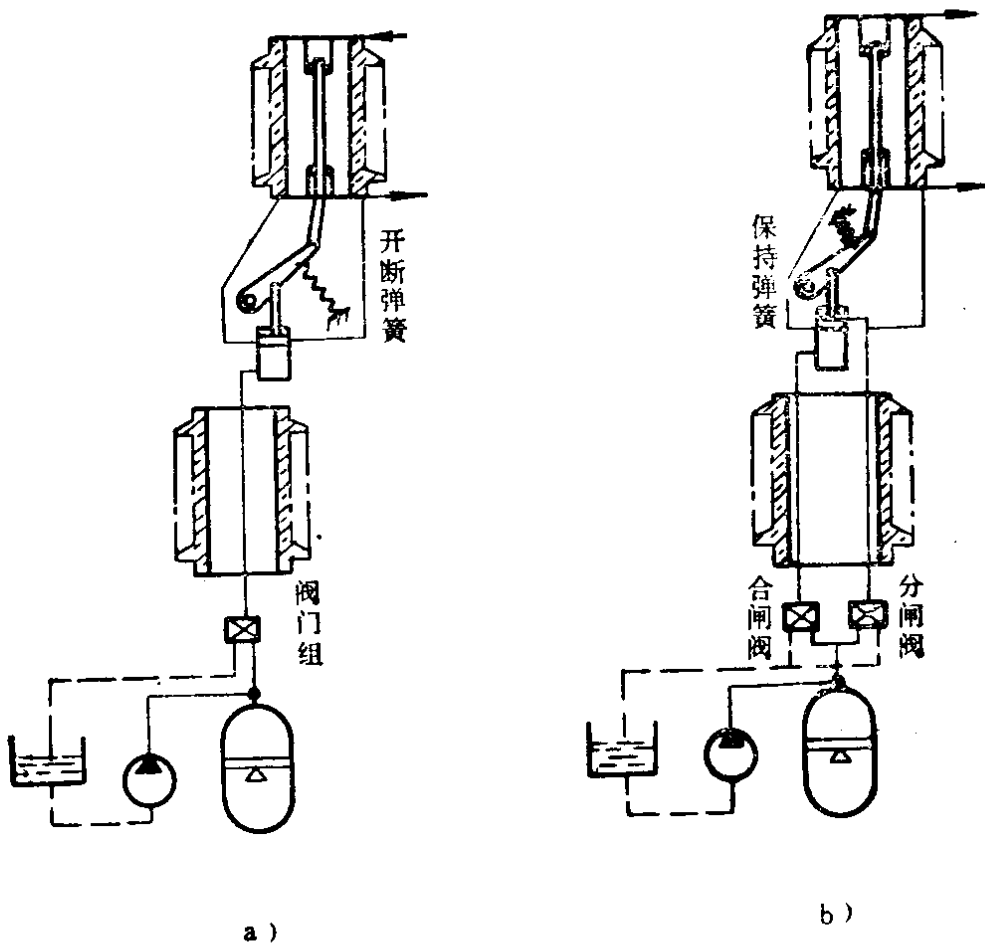


图 1-5 单、双向液压传动系统示意图
a) 单向 b) 双向

1-5 液压机构的主要组成及其功用

1. 储能元件

它包括蓄压筒（气压式继电器）、电动泵、消振元件、手动泵（如果有的话）、滤油器等。其中：

（1）蓄压筒（气压式继电器）：由活塞分开，上部充以氮气。由电动机驱动油泵，将油从油箱抽出，强迫送至蓄压筒中压缩氮气而储藏起来。当操作时，气体膨胀，释放能量，通过液压油传递给工作缸，从而转变成机械能。

（2）消振容器：用以消除油泵打压时的压力波动。

（3）滤油器：保证进入高压油路的油液无杂质。

（4）手动泵：在调整、检测及电动泵发生故障或无电源时，用以升压或补压。