

## 47. 液压技术在特殊工业中的应用

### 47.1 液压技术在兵器工业中的应用

#### 47.1.1 概述

与其他工业领域一样,在兵器工业中,尤其在各种火炮上,如高炮、地面火炮、舰炮、自行火炮以及火箭炮和导弹发射装置上,都广泛地采用了液压传动和液压控制。液压技术已经成为实现火炮现代化的重要手段之一。

液压技术应用于兵器上,已有近百年的历史。早在1906年,美国在舰炮俯仰装置上,操舵、卷扬和提升装置上均采用了液压传动。

1940年前后,美国40mm高炮开始使用电液伺服系统操纵火炮的俯仰和旋转,随后前苏联研制成功100mm高炮电液伺服系统。50年代,美国又研制了B52重型轰炸机炮塔驱动系统,60年代前苏联研制了4管23mm自行高炮炮塔驱动系统。对于这些系统,我国兵器科技人员将其俗称为高炮电液随动系统。

液压传动与液压控制用于地面火炮的驱动装置上也很普遍,如美国M109A<sub>1</sub>-155mm自行火炮、M107-175mm自行火炮的操作装置几乎全部是液压传动。英、德、意三国联合研制的FH-70,瑞典研制的FH-77,奥地利研制的GHN-45以及新加坡、韩国、以色列和中国都在155mm火炮上装置了液压辅助推进系统,此外火炮的操作也全部液压化了。

#### 47.1.2 自行高炮

##### (1) 概况

自行高炮液压随动系统以前苏联ZSU-23-4自行高炮为例。

此炮炮塔的旋转和火炮俯仰瞄准均采用电液随动系统,方位瞄准系统的控制方式类似于rcn-100高炮,高低瞄准系统采用电液伺服作电液转换器。

方位瞄准速度 $70^\circ/\text{s}$ ,加速度 $55^\circ/\text{s}^2$ 。高低瞄准速度 $60^\circ/\text{s}$ ,加速度 $35^\circ/\text{s}^2$ 。系统组成均为泵控马达闭路系统,泵与马达分装,用管路联接,两系统的泵组合在一起,共用一个直流电机拖动。

火炮射速 $4 \times (850 \sim 1000)$ 发,可行进间射击,最大行驶速度44km/h,配有炮瞄雷达,光学瞄准装置,机电型计算机,瞄准线和射击线稳定装置。

炮塔约7t重,全炮重19t,乘员4人,车体型号PT76轻型坦克。外型尺寸为 $6.54 \times 2.95 \times 2.25(\text{m})$ 。炮塔带有三防和通风设备,装甲厚8~10mm(焊接结构)。

##### (2) 电液瞄准装置的组成

构成任何一种瞄准随动系统,都包含有信号的发送、接收、放大、补偿,稳定和执行等六大部分,此处只介绍液压传动部分。

方位系统包括AДП-123型两相异步电机,滑隙弹性杠杆机构,带机械反馈的滑阀,伺服液压缸,双向变量轴向柱塞泵和液压马达以及辅助回路(参阅图47.1-1)。

高低系统包括动铁式力矩马达,带弹簧力反馈的喷嘴挡板式两级伺服阀,变量泵,液压马达,以及叶片泵和阀门组件等组成的辅助回路(参阅图47.1-2)。

##### (3) 液压传动装置的特点

- 闭路传动分离安装变量泵和马达,便于充分利用炮塔空间,并适应总体布局的需要。方向与俯仰系统的变量泵用同一台直流电机通过分动箱分别驱动,这样可以充分利用电机的容量。其缺点是连接管路较长,增加了可压缩容积,使液压固有频率下降,易出现振荡。对此应权衡利弊,采取措施尽量减小这种影响。对于惯量大的方向系统采用短管路,对于惯量小的俯仰系统管路可稍长。系统设有四处排气孔,这有利于改善系统的动态品质。

- 变量泵和马达均采用双向轴向柱塞结构,其特点是效率高、耐冲击、工艺性好和可靠性高。在方向和俯仰系统中采用了三个规格的产品。

- 俯仰系统中采用低压双级喷嘴挡板伺服阀,增加了系统的快速性。

- 系统中施加了23Hz左右的机械振荡和80Hz左右的电振荡,以克服电液转换装置的空回、静摩擦,从而提高了系统的灵敏度,减小了死区。

- 两系统采用同一个补油箱,有风扇、引流罩,且泵体铸有散热片,这些措施有利于在狭窄炮塔中散热。

- 俯仰系统采用小排量泵与大排量马达组合,以提高系统的抗扰性,减少了机械减速比。

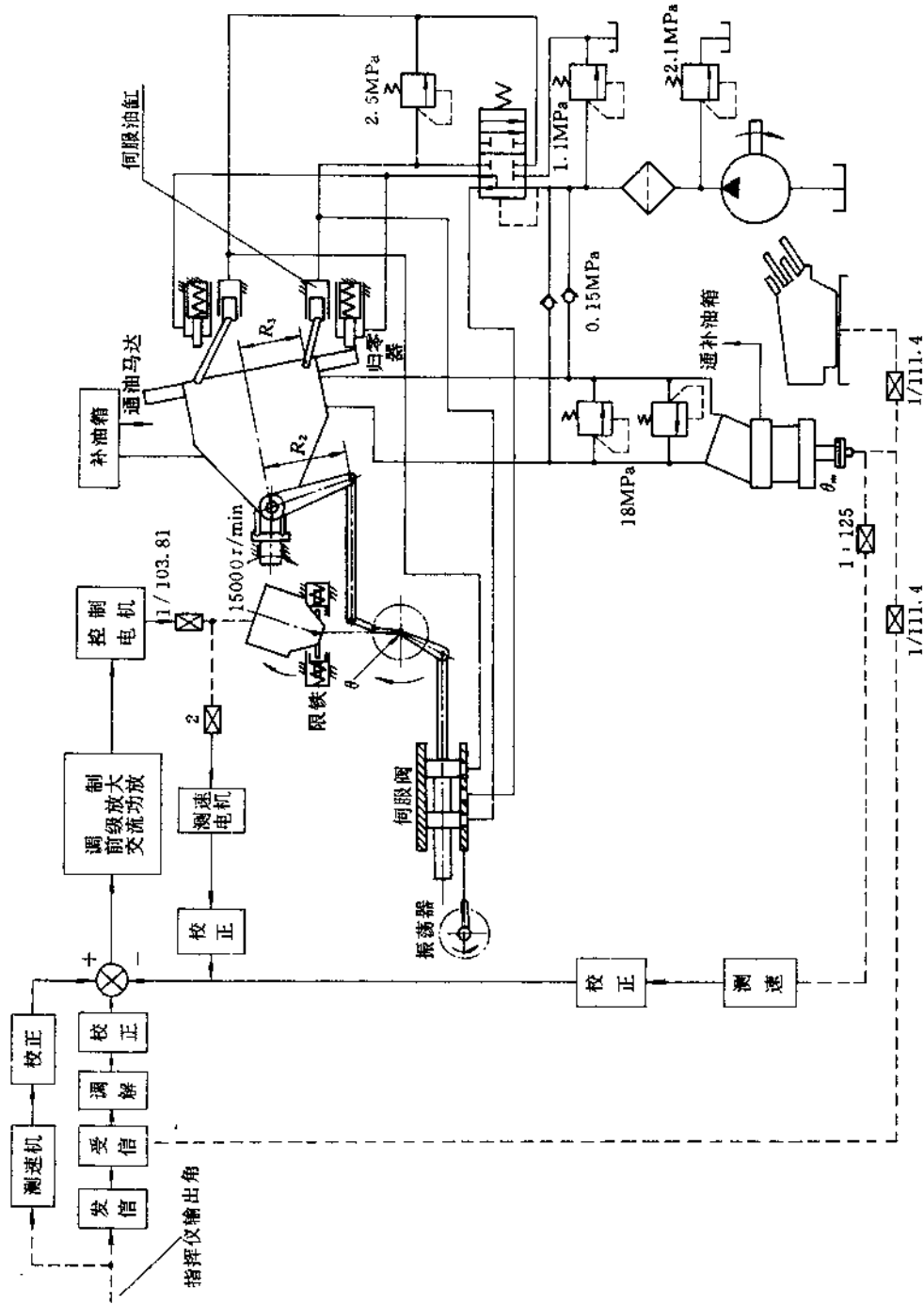


图 47.1-1 方位系统原理图

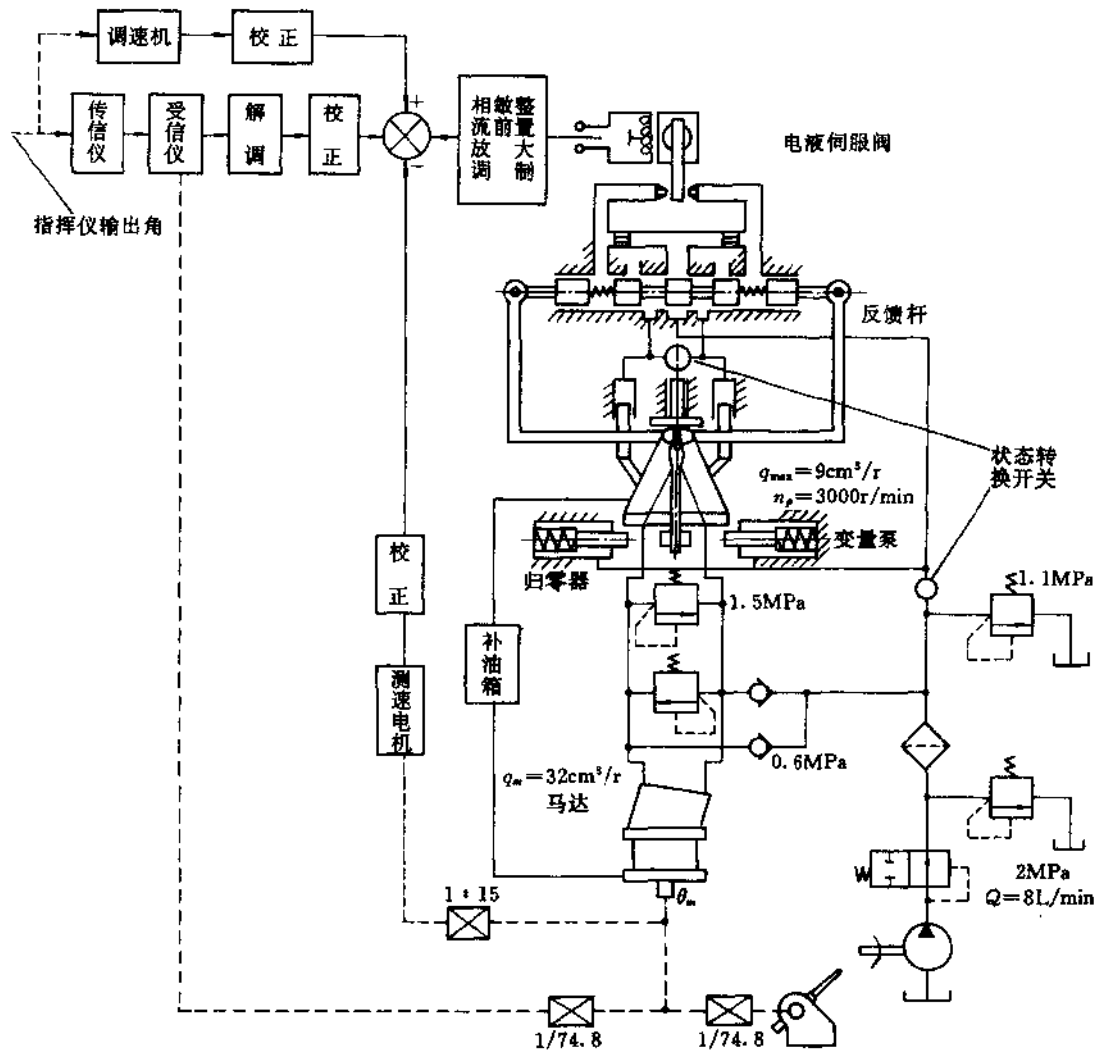


图 47.1-2 高低系统原理图

• 变量泵具有弹簧归零装置, 保证泵在零位下空载起动, 并设有离合器和状态转换阀, 便于手动时将炮塔和马达脱开。

### 47.1.3 自行地面火炮

自行地面火炮是火炮安装在轮式或履带车辆上, 有的设置有密闭型装甲, 一般为师属火炮, 作为机械化步兵师和装甲师的主炮。有的不设装甲是军属或军团

级火炮, 它是作为后方压制支援兵器使用。

自行火炮的行驶由车体发动机驱动, 而火炮的操作几乎全部采用液压传动, 这类液压系统的基本形式是机液开式控制, 美国 M109A<sub>1</sub>-155mm 自行加农榴弹炮和 M107-175mm 自行加农榴弹炮最有代表性 (参阅图 47.1-3)。

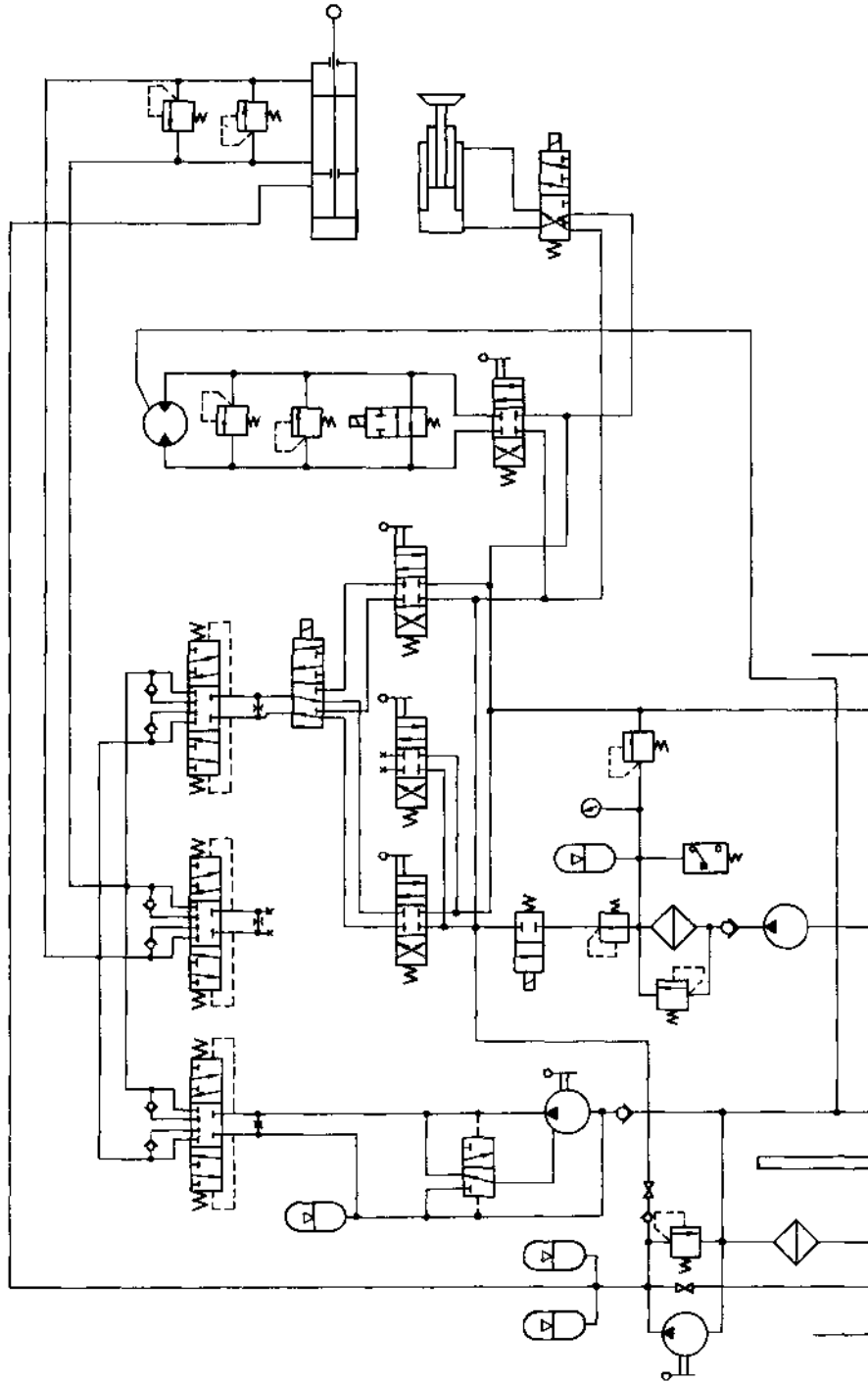


图 47.1-3 MI09A<sub>1</sub>-155 自行火炮液控系统

该炮几乎全部是液压操作;全炮包括高低机液压系统,方向机液压系统,平衡机液压系统和输弹机液压系统,四个液压系统共用一个定压油源。

#### (1) 高低机液压系统

高低机液压系统分为两通道控制。一个通道是由于摇式旋转轴向柱塞泵,蓄能器,三位三通液控换向阀,单向吸油阀构成一个独立于电动泵的油源。变换手动泵的旋转速度和旋转方向,可控制供给高低机液压缸的流量大小和方向,从而控制身管的升降速度。由于手动泵的排量很小,因此该通道仅用于身管俯仰的慢速运动即精确调定射角位置。另一个通道则利用电动泵作油源,由手动三位四通换向阀控制(火炮左右两侧各设置一个,两个并联,其目的是左右炮手均可控制),流向火炮高低机液压缸的液流方向和大小,从而驱动火炮身管俯仰。该通道用于控制身管快速运动,最大俯仰速度 $5^{\circ}/s$ ,高低射界为 $-3^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 。液压系统调定安全压力为 $30MPa$ 。

#### (2) 方向机液压系统

该系统是一个阀控马达的开式机液系统,其工作压力 $16MPa$ ,流量 $50L/min$ ,最大瞄准速度 $13^{\circ}/s$ ,最低稳定瞄准速度 $0.03^{\circ}/s$ 。

系统采用斜轴式柱塞马达,排量 $13.16ml/r$ ,最高工作压力 $21MPa$ ,额定工作转速 $4800r/min$ 。由此可见,元件工作参数比系统要求的工作参数高许多,这是为了增加军用系统的可靠性,经验表明;军用器件的工作参数通常比实际使用值高出 $25\% \sim 40\%$ 。

系统中的另一个主要元件是二位二通电磁阀,跨接在通往液压马达的两根主管路之间,通常为开启状态。当通电时隔断马达的进出油路,便可以用液压系统操纵火炮回转。断电时,液压系统的高低压油路短路,液流不流向液压马达,此时可机械传动操纵火炮回转,而液压马达呈“泵工况”,马达输出的油通过此阀短路,不形成闭死腔,对机械手轮不产生阻力。

#### (3) 平衡机液压系统

火炮平衡机的作用是平衡火炮身管起落部分对耳轴的大部重力矩,使操作手轮省力且转动均匀。该炮所用气液式平衡机与高低机液压缸合成一体,结构尺寸小、安装方便,非常有利于在自行火炮炮塔内安装。

平衡机注油系统由主蓄能器和副蓄能器组成,他们的作用是在身管升起或下落时,促使平衡机油缸中的压力随着仰角或俯角的不同需要而变化,两蓄能器吸收多余的油液或放出补充油液。主蓄能器充气压力为 $6.3MPa$ ,气容积 $6.34L$ ,油容积 $5.74L$ ,副蓄能器充

气压力为 $10.5MPa$ ,气容积为 $1.33L$ ,油容积为 $0.98L$ 。

#### (4) 输弹机液压系统

它由安装在身管尾部的输弹液压缸、电磁阀和定时器组成,电磁阀与机械卡锁连锁。由于采用液压输弹机,提高了输弹速度,减轻了炮手的体力消耗,通常每分钟可输弹 $4 \sim 6$ 发。

### 47.1.4 自动调平系统

#### (1) 系统功能

液压调平系统用于火炮上,是使火炮由行军状态转入战斗状态,并使火炮处于水平状态,其目的是提高火炮随动系统的跟踪精度和提高射击命中率。

液压调平系统若用于火控车辆上,当火控车辆进入阵地转入战斗状态时,使其车辆处于水平的稳定在工作位置上。

这两种用场的调平系统均为三点调平,系统工作原理和组成,基本相同,所以后文以火炮调平为例。

#### (2) 系统组成

- 液体气泡水准仪,它作为系统的检测器件安装于炮车上,此水准仪又称电子水准仪。

- 电源供电给电子放大器和电子水准仪。

- 电子放大器组合,用于放大电子水准仪测量的水平状态信号,它分为横轴和纵轴两个通道,控制触发器和继电器,接通电磁阀的电路,控制电磁阀的动作。

- 快慢控制阀和液压锁,用以控制液体流向起重缸的流量,从而控制该缸活塞升降速度。

- 起重缸用来支承全炮重量和调平时的起落(升降炮车)。内部有一个拉簧,以防止行军状态时,炮车冲击使其活塞下落。

- 液压站为系统(包括电动和手动)供油。

#### (3) 动作原理(见图 47.1-4)

由图 47.1-4 可知,该系统类似于误差控制的位置系统,但实际上又属于开关型(非线性)控制系统。当火炮调平后系统停止工作,火炮在射击过程中,系统处于闭锁状态。炮车由三个起重缸支承,前臂缸为调平基准,后臂左右两个缸分别负责纵向和横向调平。

水准仪中装有导电的液体和气泡,依据对水平状态时的角偏离值,液体与气泡相应地流动,以改变节点 $3-2$ 和 $3-5$ 之间的电阻值。当炮车处于水平状态时,两节点间的电阻值相等。水准仪的这两个电阻与电源变压器 $T11$ 的 $8-9-10$ 的两个绕组构成了电桥。当火炮不水平时,电桥破坏平衡,而有电流通过电阻 $R$ 。 $R$ 输出端的电压是基准值与实际值的差(它提

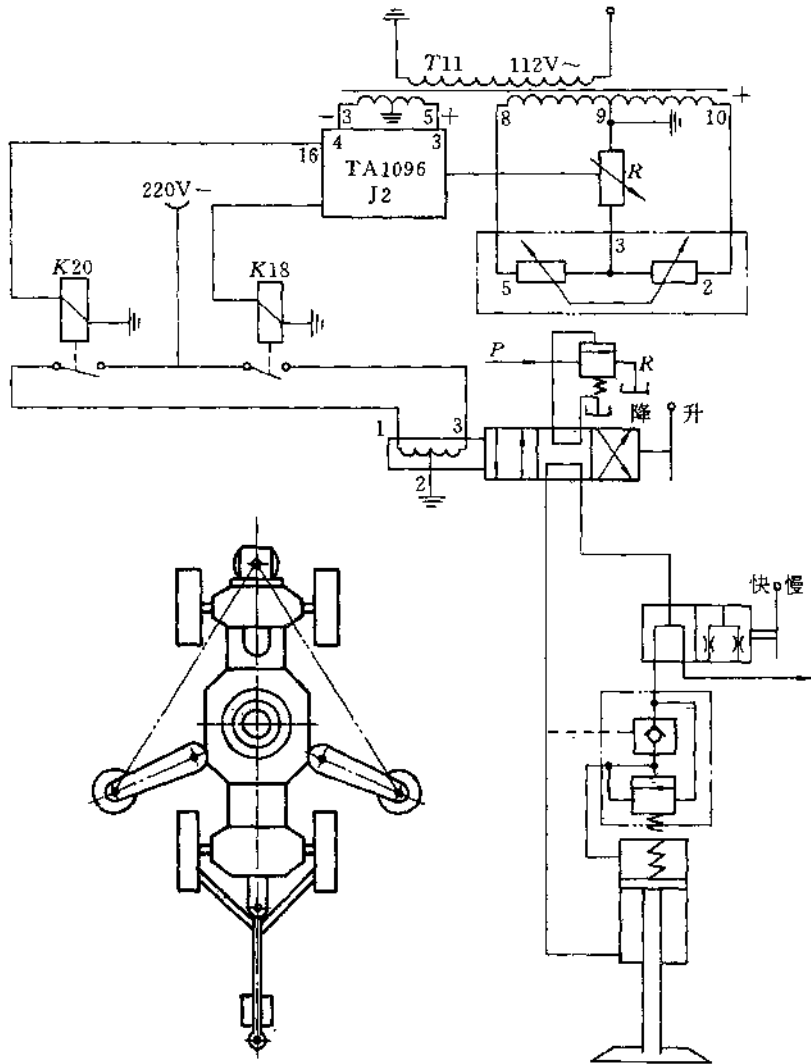


图 47.1-4 调平系统原理图

供两个控制量,其一是振幅,它反映误差大小。其二是相对于基准电压的相位差,它决定了控制的方向)。该电压进入电子放大器 TA1096(J2),经过放大和相敏整流,然后使两个触发器之一翻转,继电器 K18 或 K20 吸合(一个对应炮车下落,一个对应炮车上升)。继电器接通相对应的电磁铁 KM<sub>2</sub> 的某侧电路,电磁阀打开左或右边的油路,途径快慢控制阀到达液压缸某一腔,使火炮上或下移动直到趋于水平,水准仪的检查误差逐渐减小直到门限值(规定死区),电桥逐渐趋于平衡,调平结束。

(4) 调平的物理过程

由系统的组成可知,系统中存在许多惯性滞后器

件如继电器、电磁铁,滑阀的液动阻力,油的惯量等都是延时环节。当调平自动进行时,必须适当控制通向起重缸的流量,否则将造成系统的振荡,因此在通往起重缸的回路中设置了孔径为 0.6mm 的节流器即慢动阀,当系统快速调平趋近水平时,将快慢控制阀置于慢动位移,系统方能稳定在水平上(见图 47.1-5)。

这类系统不是通常的连续控制而是开关型控制,要建立数学模型,用描述函数来分析。此处给出一个稳定调平的关系式。

$$T_0 \geq \tau$$

$T_0$ ——对应水准仪死区液压缸活塞走过的时间

$\tau$ ——系统中所有滞后环节的总时间常数

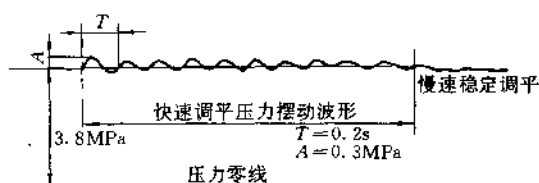


图 47.1-6 调平过程示波图

## 47.2 反坦克导弹发射车液压系统

### 47.2.1 主要用途

反坦克导弹发射车(见图 47.2-1)的升降装置用液压技术来完成武器系统行军状态与战斗状态的转换。当需要发射导弹时,液压升降装置将武器升至车外进行发射。在行军或平时状态时将武器降在车内,以便隐蔽。

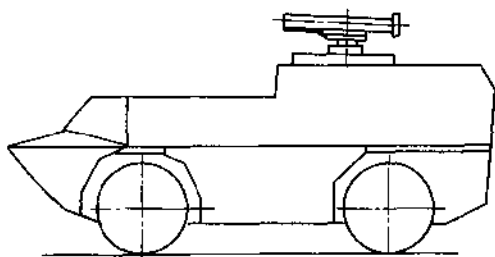


图 47.2-1 反坦克导弹发射车

### 47.2.2 液压系统的组成

该液压系统(见图 47.2-2)主要由电动泵组 1、手摇泵 2、单向阀 3、溢流阀 4、换向阀 5、直控平衡阀 6、释压阀 7、液压缸 8、压力表 9、精滤油器 10、粗滤油器 11 等组成。为满足战场需要,各元件均能适应  $-40^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$  的工作环境。

### 47.2.3 工作原理

该液压系统的工作可分为三种情况

#### (1) 液压上升

先给溢流阀 4 通电,使其处在卸荷状态,然后起电动泵组 1,给换向阀 5 的 1DT 通电,再将溢流阀 4 断电,这时,液压油通过电动泵 1、经单向阀 3、精滤油器 10、换向阀 5、直控平衡阀 6 进入液压缸 8 的下腔,推动缸 8 的活塞杆上升,使武器系统由行军状态转换为战斗状态。

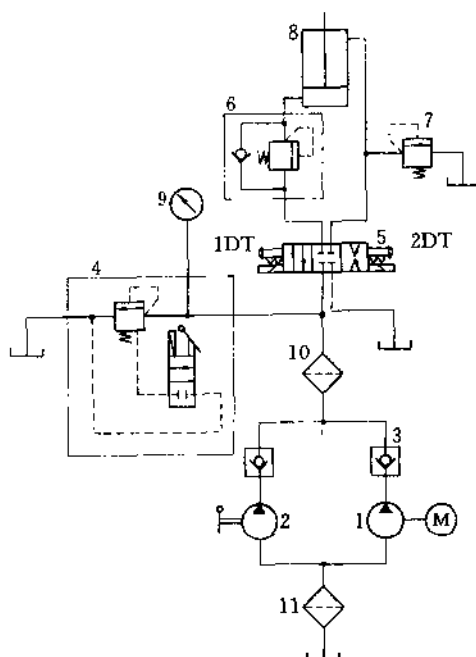


图 47.2-2 反坦克导弹发射车液压系统

#### (2) 液压缸下降

给溢流阀 4 通电,起电动泵 1、接通换向阀 5 的 2DT 后切断溢流阀 4 的电路,这时液压油经电动泵 1、单向阀 3、精滤油器 10、换向阀 5 进入缸 8 的上腔,推动活塞杆下降,使武器系统由战斗状态转换为行军状态或平常状态。

#### (3) 用手摇泵升降

当电动泵 1 或车内电路出现故障时,为了保证武器系统正常工作,采用手摇泵 2 供油的方式进行升降。其操作方法是,旋下换向阀 5 两端的按钮盖,分别按下 1DT 和 2DT 端的按钮,摇动手摇泵 2 的手柄,实施缸 8 升降。

### 47.3 坦克抢救车液压系统

#### 47.3.1 主要用途

坦克抢救车(见图 47.3-1)主要用来完成抢救发生故障的坦克装甲车辆和起重作业。

#### 47.3.2 构造组成

坦克抢救车的液压系统(见图 47.3-2)主要由

柱塞式液压泵 1、溢流阀 2、背压阀 3、单向阀 4、手动换向阀组 5、直控平衡阀 6、手动换向阀组 7、液控单向阀 8、驻铲液压缸 9、绞盘马达 10、摆线马达 11、卷扬马达 12、回转马达 13、伸缩缸 14、平衡缸 15、精滤油器 16、散热器 17、压力表 18、回转接头 19、回转套 20 等组成。

#### 47.3.3 工作原理

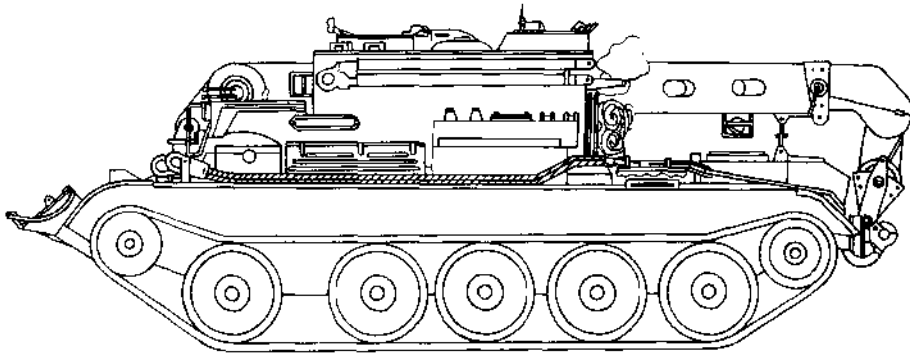


图 47.3-1 坦克抢救车

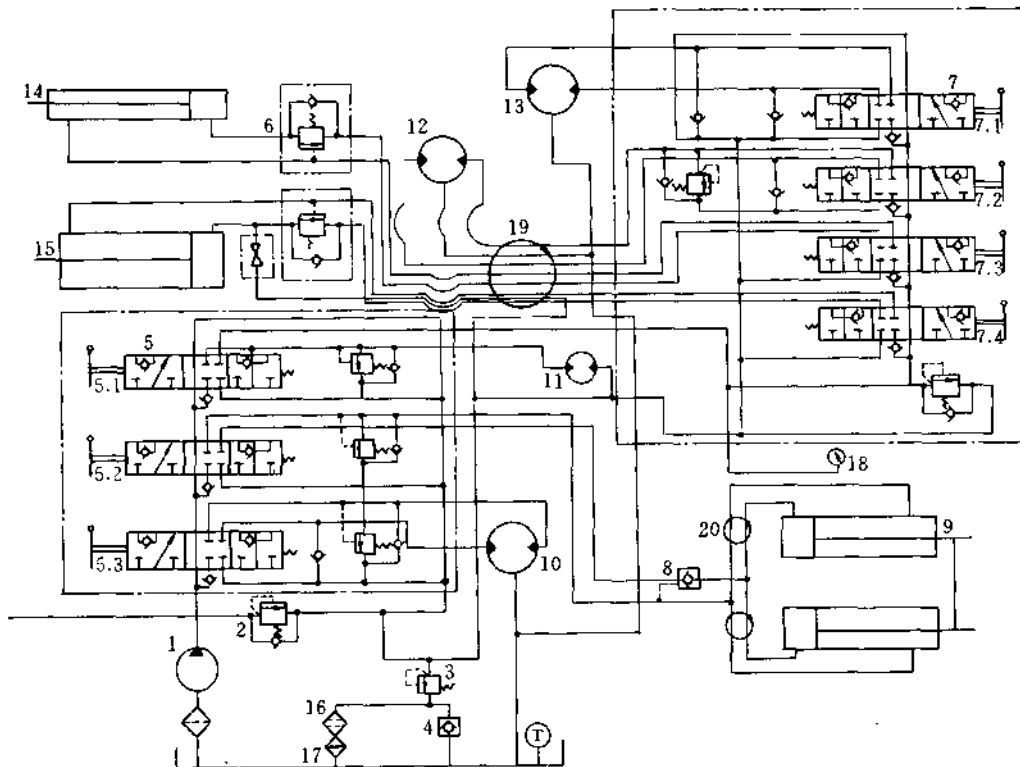


图 47.3-2 坦克抢救车液压系统



该液压系统的工作原理可分为 8 种情况

(1) 空负荷时液压系统的工作

当手动换向阀 5 的 5.1、5.2、5.3 阀均处在中间位置时, 液压泵 1 排出的油经手动换向阀组 5、背压阀 3、滤油器 16、散热器 17 回油箱。回油阻力增大时, 液压油顶开单向阀 4 直接回油箱。

(2) 起吊装置举、落时液压系统的工作

操纵手动换向阀组 5 的 5.1 阀, 使液压油进入手动换向阀组 7。推动手动换向阀组 7 的 7.4 阀的手柄, 控制液压油通过回转接头 19、直控平衡阀 6 进入到举臂缸 15, 使起吊装置仰起或落下。

(3) 吊臂伸、缩时液压系统的工作

操纵手动换向阀组 7 的 7.3 阀, 使液压油通过回转接头 19、直控平衡阀 6 进入到伸缩缸 14, 推动活塞杆带动吊臂伸长或缩回。

(4) 起吊装置卷扬时液压系统的工作

操纵手动换向阀组 7 的 7.2 阀, 控制液压油经回转接头 19 进入卷扬马达 12, 驱动卷扬马达旋转, 带动卷筒转动, 使吊钩在垂直方向上升降。

(5) 起吊装置回转时液压系统的工作

操纵手动换向阀组 7 的 7.1 阀, 使液压油直接进入回转马达 13, 驱使回转马达旋转, 带动吊车回转机构低速转动。

(6) 驻铲支撑时液压系统的工作

用手动换向阀组 5 的 5.2 阀控制液压油经液控单向阀 8, 回转套 20 进入到驻铲缸 9, 推动活塞杆带动驻铲升降。

(7) 绞盘拖救时液压系统的工作

当需要用绞盘完成拖救任务时, 操纵手动换向阀组 5 的 5.3 阀, 使液压油直接进入绞盘马达 10, 驱使液压马达带动主绞盘转动, 实现放绳、收绳动作, 完成拖救任务。

(8) 拖绳装置拖绳时液压系统的工作

拖绳装置通过摆线马达 11 驱动卷筒只作单方向收绳转动。当需要收绳时, 操纵手动换向阀组 5 的 5.1 阀, 使液压油直接进入摆线马达 11, 驱动摆线马达带动拖线装置转动, 完成收绳的工作。

## 47.4 擦炮机液压系统

擦炮机外形见图 47.4-1。

### 47.4.1 主要用途

擦炮机是火炮身管和其它武器发射管的一种维护保养设备。其主要用途是用来清除和擦拭火炮身管内

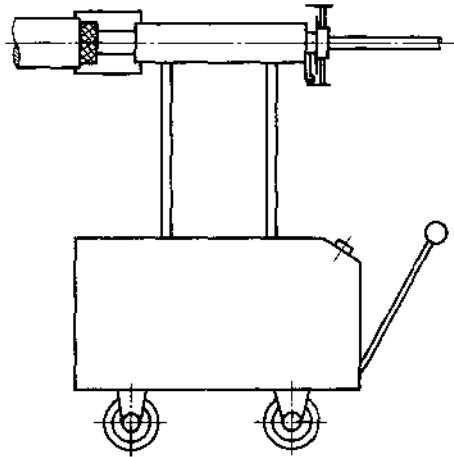


图 47.4-1 液压擦炮机

膛的脏物, 维护保养火炮, 使其经常处在良好的战备状态。液压擦炮机擦拭速度快, 输出力量大, 自动化程度高, 擦拭保养质量好, 可大幅度地减轻勤务人员的劳动强度。

### 47.4.2 液压系统的组成

该擦炮机的液压系统(见图 47.4-2)主要由液压泵 1、电动机 2、溢流阀 3、电磁换向阀 4、空心杆油缸 5、行程开关 6、压力表 7、滤油器 8 等组成。

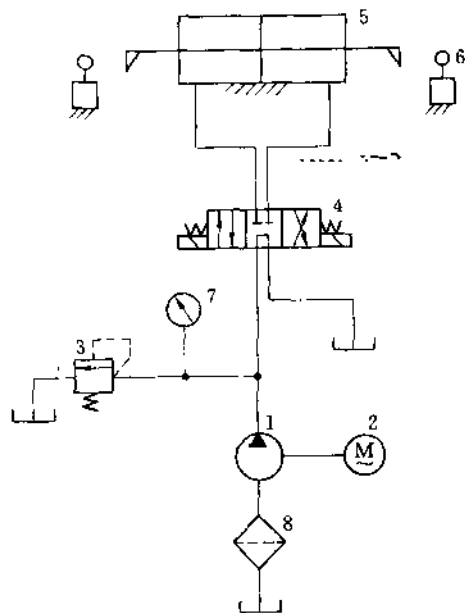


图 47.4-2 擦炮机液压系统

#### 47.4.3 工作原理

该液压系统的工作可分为两种情况

##### (1) 空载时液压系统的工作

空载时电磁换向阀 4 不通电, 阀芯处在中间位置。这时起动电动机 2, 液压油从泵 1 排出经电磁换向阀 4 直接回油箱。

##### (2) 擦炮时液压系统的工作

擦炮时, 接通电磁换向阀 4 的电路, 这时液压油进入空心杆液压缸 5 的右腔, 推动活塞杆带动擦炮工具向火炮膛内运动。当运行到一定位置时, 活塞杆拉动

行程开关 6, 控制电磁换向阀切换油路, 使液压油进入到空心杆液压缸的左腔, 推动活塞杆从火炮膛内退出, 这时的活塞杆不带动擦炮工具移动, 只有活塞杆单独回收。当退到一定位置时, 活塞杆触动行程开关, 控制电磁换向阀进行油路转换。使液压油又一次进入到空心杆油缸的右腔, 推动活塞杆带动擦炮工具再次向火炮膛内的炮尾方向前进。当运动到一定位置时活塞杆再次从火炮膛内退出, 这样反复循环, 一直擦到满足要求为止。