

高等学校试用教材

往 复 泵

华中理工大学 朱俊华
甘肃工业大学 战长松 合编

机械工业出版社

高等学校试用教材

往 复 泵

华中理工大学 朱俊华
甘肃工业大学 战长松 合编



机械工业出版社

(京)新登字054号

本书较为系统地阐述了往复泵的基本理论、往复泵主要零部件的结构和强度计算、往复泵的性能和试验、蒸汽直接作用往复泵的工作原理、主要参数和主要尺寸的确定。

本书在内容上反映了国内外最新研究成果和生产实践的经验。

本书除了作为高等学校水力机械专业的教材外，还可供石油化工设备等有关专业和从事这方面工作的设计人员参考。

往 复 泵

华中理工大学 朱俊华 合编
甘肃工业大学 战长松

*

责任编辑：钱飒飒 责任校对：贾立萍
封面设计：郭景云 版式设计：冉晓华
责任印制：王国光

*

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)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₁₆·印张11³/₄·字数287千字
1992年10月北京第1版·1992年10月北京第1次印刷
印数 0 001—1 600·定价：3.50元

*

ISBN 7-111-03294-2/TV·1(课)

前 言

本书根据1984年5月在上海召开的高等工业学校流体动力机械专业教材编审委员会水力机械教材编审小组会议修订的教学计划以及1985年9月在兰州召开的水力机械教材编审小组会议审定的“往复泵”教学大纲及编写提纲编写的。

往复泵是水力机械专业的主要专业课之一，根据新的大纲将原来的“往复泵及其它类型泵”分成“往复泵”和“旋涡泵、液环泵、射流泵”两部分。本书包括的主要内容有：往复泵的结构、往复泵的基本理论、往复泵主要零件的结构及强度计算、往复泵的性能和试验方法、往复泵主要结构参数的确定、蒸汽直接作用往复泵的活塞运动规律、双缸双作用蒸汽直接作用泵的配汽机构及蒸汽直接作用泵主要参数和尺寸的确定等。

本书较为系统地阐述了往复泵的基本理论以及主要零件的结构和强度计算，在内容上力求反映国内外最新科研成果和生产实践经验，在文字上力求简明扼要，条理清楚。

本书是高等学校水力机械专业的教材，也可供有关专业和从事这一方面工作的设计人员参考。

本书由华中理工大学朱俊华、甘肃工业大学战长松合编。其中第一章和第二章由朱俊华编写，第三章和第四章由战长松编写。全书由华中理工大学贾宗谟教授主审。

本书在编写过程中得到合肥通用机械研究所、兰州石油机械研究所、宝鸡水泵厂、本溪水泵厂、大隆机器厂等有关单位大力协助，在此表示感谢。

由于编者业务水平有限，难免有错误和不妥之处，诚恳地希望读者批评指正。

编者 1991年9月

目 录

第一章 往复泵的应用	1
§1-1 往复泵的作用原理及应用	1
§1-2 往复泵的结构	4
第二章 往复泵的基本理论	16
§2-1 往复泵的主要性能参数	16
§2-2 空气室	40
§2-3 阀的基本理论及计算	48
§2-4 往复泵的性能	56
§2-5 往复泵的试验	58
第三章 往复泵的结构与强度	64
§3-1 液力端结构型式的选择	64
§3-2 液缸体的结构与强度	73
§3-3 泵阀的结构与强度	78
§3-4 活塞和柱塞的结构与强度	83
§3-5 传动端结构型式选择	96
§3-6 曲柄连杆机构受力分析	100
§3-7 曲轴的结构与强度	104
§3-8 连杆的结构与强度	115
§3-9 十字头结构与强度	123
§3-10 安全阀和空气室	129
§3-11 计量泵的几个问题	143
§3-12 往复泵主要结构参数的选择	158
第四章 蒸汽直接作用泵	163
§4-1 蒸汽直接作用泵的活塞运动规律	163
§4-2 双缸双作用蒸汽直接作用泵的配汽机构	170
§4-3 蒸汽直接作用泵主要参数和主要尺寸的确定	176
§4-4 蒸汽直接作用泵的示功图以及汽耗量	179
参考文献	184

第一章 往复泵的应用

§1-1 往复泵的作用原理及应用

利用工作腔中的容积周期性变化来输送流体的机械称容积式泵。容积式泵按其工作原理可分为往复泵和回转式泵两种。往复泵包括活塞泵和柱塞泵，它适用于输送流量较小、扬程较高的各种介质，如高粘度、具有腐蚀性、易燃、易爆等各种液体。特别是当流量小于 $100\text{m}^3/\text{h}$ ，排出压力大于 9.81MPa 时，更显示出它有较高的效率和良好的运行性能。

一、往复泵的工作原理

图1-1是单作用往复泵的工作简图。往复泵通常由两部分组成。一部分直接输送液体，把机械能转换为液体压力能的液力端，另一部分将原动机的能量传给液力端的传动端。液力端主要有液缸体、活塞（柱塞）、吸入阀和排出阀等部件。传动端主要有曲柄、连杆、十字头等部件。如图1-1所示，在液缸中有活塞杆和活塞，液缸体上装有吸入阀和排出阀。液缸体中活塞与阀之间的空间称为工作室，它通过吸入阀和排出阀分别与吸入管路和排出管路相连。

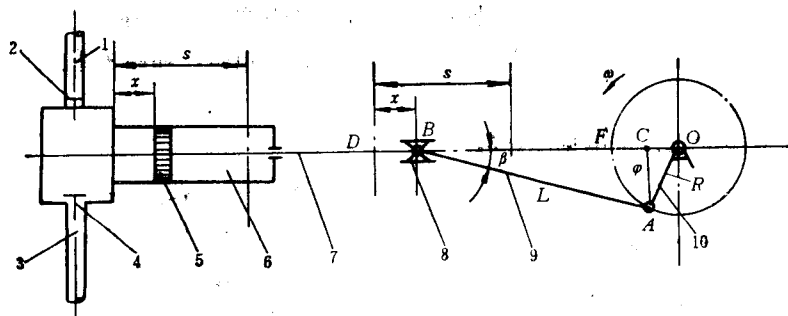


图1-1 单作用往复泵示意图

1—排出管 2—排出阀 3—吸入管 4—吸入阀 5—活塞 6—工作室 7—活塞杆
8—十字头 9—连杆 10—曲柄

活塞运动的两极限位置之间的距离称为活塞行程，用 s 表示， $s=2R$ ， R 为曲柄半径。

如图1-1所示，当曲柄以角速度 ω 逆时针旋转时，活塞从左极限位置开始向右移动，工作室的容积增大，压力降低，液体在压力差的作用下克服吸入管路和吸入阀等的阻力损失进入液缸体中。当活塞运动到右极限位置时，吸入液体过程停止，吸入阀关闭。当曲柄转过 180° 后，活塞开始向左运动，液缸体中的液体被挤压，液体压力急剧增加。在这一压力作用下，排出阀被打开，液缸体内液体在活塞的作用下被排送到排出管路中去。

当往复泵的曲柄以角速度 ω 不停地旋转时，往复泵就不断地实现吸入和排出液体的过程。

二、往复泵的工作特点

从往复泵的工作原理中可以看到往复泵有以下特点：

1) 往复泵的流量与往复泵活塞(柱塞)的直径 D 、活塞(柱塞)行程 s 、活塞(柱塞)的每分钟往复次数 n 及液缸数 z 有关,而与往复泵的扬程无关,与所输送介质的温度、粘度无关(实际上由于介质性质和扬程不同,在密封处和泵阀处的泄漏量也有所不同)。因此,当往复泵活塞每分钟往复次数一定时,往复泵的流量也一定。

2) 往复泵的扬程取决于往复泵在其中工作的装置特性。在装置中,只要原动机有足够的功率,往复泵有足够的强度以及相应的密封能力,活塞就可以把液体排出。因此,同一台往复泵在不同的装置中产生的扬程也不同。同样,从往复泵的工作特点可知:往复泵不能用排出阀来调节流量。

3) 往复泵不能象离心泵那样在关死点运转,且在往复泵装置中必须装有安全阀或其他安全装置。

4) 往复泵有良好的自吸能力。即泵在一定的安装高度下,不需要灌泵就可以在规定的时间内启动并达到正常工作状态。

5) 往复泵的效率较高。

但是,往复泵也存在某些缺点:

1) 往复泵的流量较小,且流量不均匀。

2) 由于往复泵的转速比较低,所以,其外形尺寸和重量较大。

3) 往复泵的结构比较复杂。

从往复泵的工作特点可以看出:往复泵可用于高扬程(或超高扬程)、小流量的场合;或要求泵的流量恒定的场合;或计量输送各种不同介质的场合。往复泵的性能曲线是一条垂直线,如图1-2所示(图中 H 表示扬程, q 表示流量)。但是,在高扬程时,由于泄漏损失增加,流量稍有减少。

通常往复泵的工作范围见图1-3。

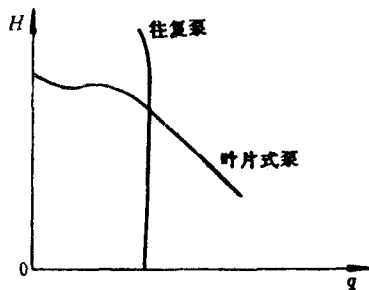


图1-2 往复泵的性能曲线

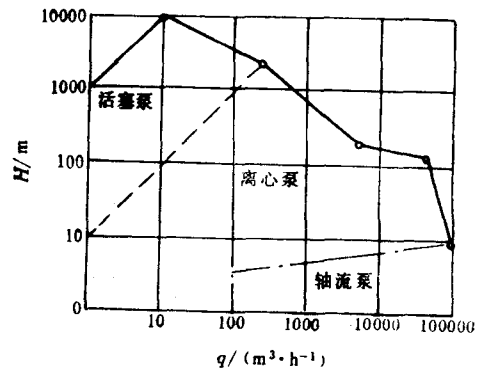


图1-3 往复泵的工作范围

三、往复泵分类

往复泵的种类很多,可以按下述几种方法进行分类。

1. 根据液力端的特点分类

(1) 按与输送介质接触的工作机构分类

a) 活塞泵

b) 柱塞泵

c) 隔膜泵

(2) 按往复泵的作用特点分类 (见图1-4)

- a) 单作用泵
- b) 双作用泵
- c) 差动泵

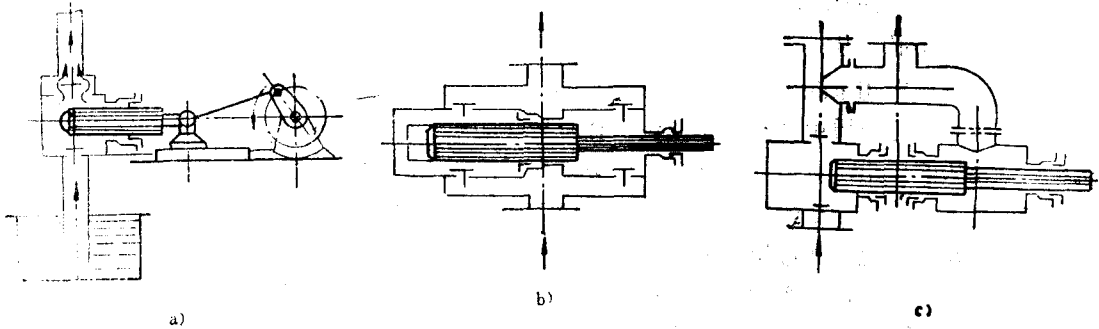


图1-4 单作用泵、双作用泵和差动泵示意图

a) 单作用泵 b) 双作用泵 c) 差动泵

(3) 按液缸数分类

- a) 单缸往复泵
- b) 双缸往复泵
- c) 三缸往复泵
- d) 多缸往复泵

2. 根据传动端的结构特点分类

- a) 曲柄连杆机构往复泵
- b) 凸轮轴机构往复泵
- c) 无曲柄机构往复泵

3. 根据动力分类

- a) 机动泵 (包括电动机驱动的泵和内燃机驱动的泵)
- b) 直接作用泵 (包括蒸汽、气、液压直接驱动的泵)
- c) 手动泵

4. 根据排出压力 p_2 的大小分类

- a) 低压泵 p_2 小于1MPa
- b) 中压泵 p_2 1MPa到10MPa
- c) 高压泵 p_2 大于10MPa

5. 根据活塞 (柱塞) 每分钟往复次数 n 分类

- a) 低速泵 $n \leq 80 \text{min}^{-1}$
- b) 中速泵 $80 \text{min}^{-1} < n \leq 250 \text{min}^{-1}$
- c) 高速泵 $250 \text{min}^{-1} < n \leq 550 \text{min}^{-1}$
- d) 超高速泵 $n \geq 550 \text{min}^{-1}$

此外, 往复泵还可以根据输送液体的种类, 流量调节的方式等进行分类。

四、往复泵的应用

由于往复泵的排出压力比较高，且能输送各种介质，如高粘度、具有腐蚀性、易燃、易爆以及有毒的各种液体，所以在国民经济的各个部门中得到了广泛的应用。

在石油化学工业中，合成橡胶、合成塑料、合成纤维、合成氨等生产设备中的往复泵有很重要的地位。如年产30万吨合成氨设备中的高压甲铵泵是尿素生产中的关键设备之一，甲铵泵的压力达19.6MPa，所输送的甲铵液对金属材料有很强的腐蚀作用。由于甲铵液在低温时容易析出结晶，从而引起管路堵塞，因而必须在高温下工作。合成塑料的高压聚乙烯装置作为催化剂注射用泵的排出压力达216~343MPa。石油矿场用往复泵是石油工业的关键设备，一般输送的介质中含有固体颗粒，且有较强的腐蚀性。随钻井深度增加，钻速的提高以及喷射钻头的应用，对钻井泥浆泵和压裂泵都提出更高的要求。随石油工业的发展，近海油田大量开发，管道输送增加，往复泵逐步向高压、大功率方向发展。

根据往复泵的流量和排出压力无关的特点设计的复式计量泵，在化工流程中得到广泛应用。计量泵是一种用柱塞或隔膜，或两者组合起来的液力端，并以一定流量精度定量输送介质的往复泵。计量泵的流量可以从接近零值到最大值的整个流量范围内进行调节。计量泵既可以作为工作机构，又可以起到流量计量和调节及控制元件的作用。即一台计量泵能同时起到泵、流量计和控制器的作用。因此，很多使用部门把计量泵作为一种精密的工业仪表使用。计量泵特别适用于将一种或多种介质加入反应器、混合容器或储存器中，各种成分可以分别用几台计量泵以一定的可调节的比例量进行混合。如造纸工业中按所调整的比例混合明矾、胶料、瓷土、铝酸钠、颜料和其他添加剂；食品工业中，在糖果和饮料的液体和半液体产品的连续生产中，对拼料进行混合；纺织工业中对漂白纺织物的过氧化氢、过氧化钠、硅酸钠进行处理，对染料配比，对颜料和粘胶进行连续配比；石油工业中把减胶抑制剂和其他添加剂加到石油、燃料油和润滑油中去；对原油自动采样用作测定含水量的分析；对城市或工业用水添加腐蚀抑制剂、灭菌剂、凝结剂等；对锅炉给水进行化学处理，包括pH值的调节等等。计量泵根据液力端的结构可以分为柱塞式计量泵、机械隔膜计量泵和液压隔膜计量泵等几种。

在造船和大型设备的生产中，需要大型锻压机械，而锻压机械的主要动力设备是高压往复泵。要求这种高压往复泵的排出压力高，流量大且流量脉动小。

另外，往复泵在电站、机械制造、医疗、医药、化学分析等各个部门中也得到了广泛的应用。

§1-2 往复泵的结构

往复泵属于品种多、批量少、通用化程度较低而配套性较强的产品，为了适应某一工艺流程的需要，往复泵的结构型式也是多种多样的。往复泵的常用结构型式及其特点主要有下述几个方面。

一、活塞泵、柱塞泵

活塞泵和柱塞泵的主要差别在于活塞泵的密封元件装在活塞体上，而柱塞泵的密封元件装在静止部件上。由于活塞本身是带密封件的运动部件，所以，活塞的尺寸不能太小。活塞泵通常用于大流量、低扬程的场合。活塞泵宜采用双缸双作用的型式，特别是对于蒸汽直接

作用泵更是如此。因这种泵的配汽机构可以和活塞运动联动：用一个活塞的运动带动另一个活塞配汽机构的运动，使两个活塞运动相位错开，不仅使结构紧凑而且使流量均匀，又可改善阀的工作条件。

柱塞形状简单且柱塞密封的填料箱可根据所输送介质要求选用不同的材料。柱塞泵的柱塞直径不宜过大，否则，因柱塞自重造成对密封的偏磨会影响密封的寿命；柱塞直径亦不宜过小，否则，加工有困难。通常柱塞直径为3~150mm。所以柱塞泵适合于输送流量较小，扬程较高的场合。

活塞泵和柱塞泵结构上的主要差别是在液力端上，由于结构上的差别，使泵的适用范围也不同，柱塞泵适合于做成单作用的短行程高速泵，而活塞泵大多是做成长行程低速的双作用泵。

活塞泵的结构型式见图1-5。柱塞泵的结构型式见图1-6。

二、隔膜泵和油隔离泵

1. 隔膜泵

液力端上装有隔膜，把输送介质的过流部件和带动隔膜弹性变形的部件或柱塞工作缸隔开的往复泵称隔膜泵。隔膜泵的隔膜类型有膜片、波纹管 and 筒形隔膜等，其中以膜片应用最多。用柱塞工作缸中液体（通常为油）压力的周期变化来带动隔膜周期弹性变形的称液压隔膜泵，如图1-7所示。用机件的往复运动直接带动隔膜弹性变形的称机械隔膜泵，如图1-8所示。

从隔膜泵的结构特点可以看到：

1) 隔膜泵所输送的介质和液缸之间是用隔膜隔开，输送介质不会外漏。因此，隔膜泵适于输送易燃、易爆、强腐蚀、易挥发、结晶、剧毒、恶臭、具有放射性或对操作人员有害的介质。

2) 为了克服隔膜的弹性变形，液压隔膜泵在柱塞的吸入过程中需要消耗一定的能量，因此，在同样条件下的吸入性能低于一般的柱塞泵。

3) 相对于柱塞泵来说，隔膜泵的余隙容积较大。因此，流量系数较低，且随排出压力的增加其影响增大。

4) 隔膜泵的隔膜是在周期性的弹性变形下工作，为了保证隔膜有足够的疲劳寿命，要限制隔膜泵的往复次数，隔膜的弹性变形要小，隔膜的行程容积不可能很大，否则其径向尺寸会很大，因此，隔膜泵的流量较小，通常每缸流量范围是1~10m³/h。

5) 隔膜泵的结构比活塞泵复杂，且使用、维修的技术要求也高。

2. 油隔离泵

油隔离泵是借助于工作腔内（油隔离罐）被输送介质与油的密度差形成的自然分界面的周期波动而实现输送流体的泵，如图1-9。

油隔离泵的特点是：

1) 由于隔离罐技术和经济上的原因，油隔离泵的排出压力不宜太高，但流量可以较大。

2) 因为输送介质与工作介质是靠自然分界面隔开的，且瞬时流量是脉动的，因此，在往复次数较高时会导致两种介质混淆，失去油隔离作用。因此，油隔离泵的往复次数较低，通常 $n < 60\text{min}^{-1}$ ，泵的结构复杂而笨重。

3) 适用于输送矿浆、尾矿和电厂除灰等磨蚀性很强的固液混合物料。

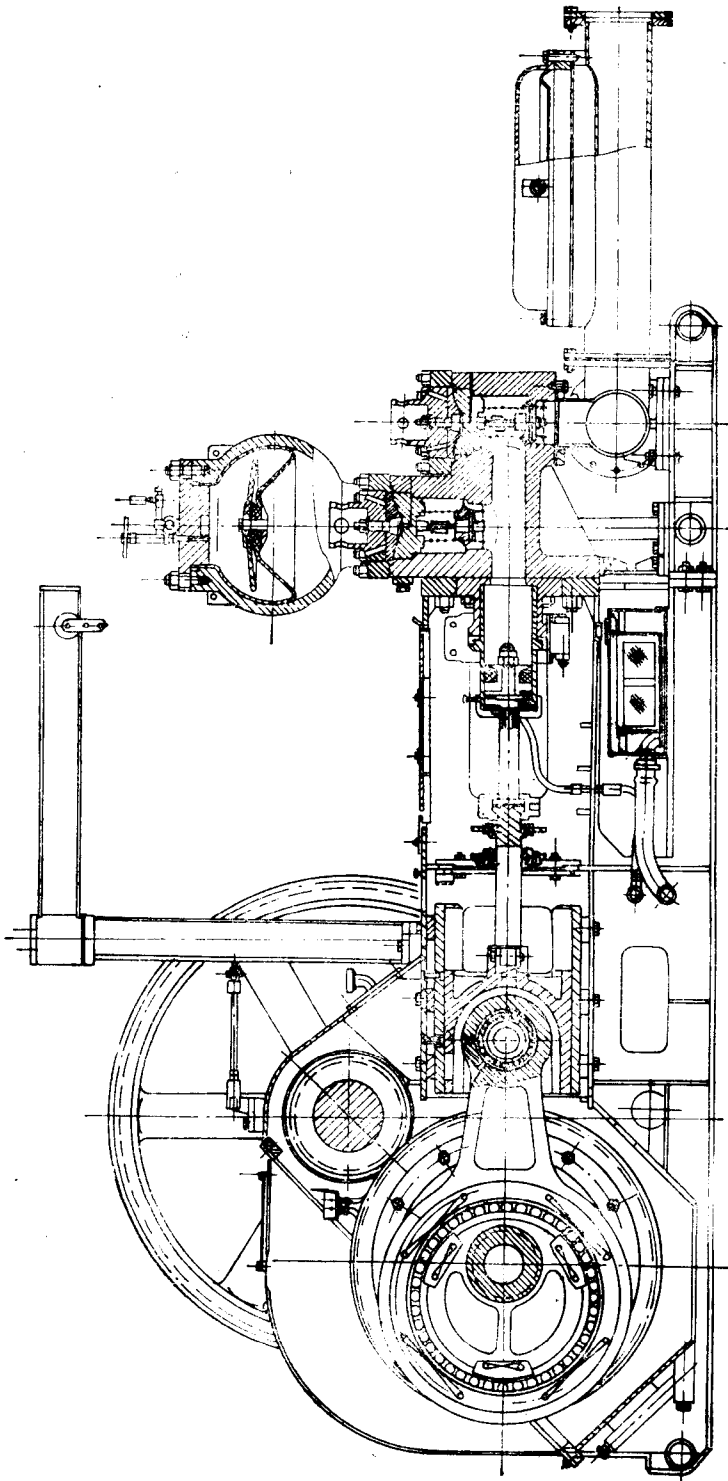


图1-5 活塞泵

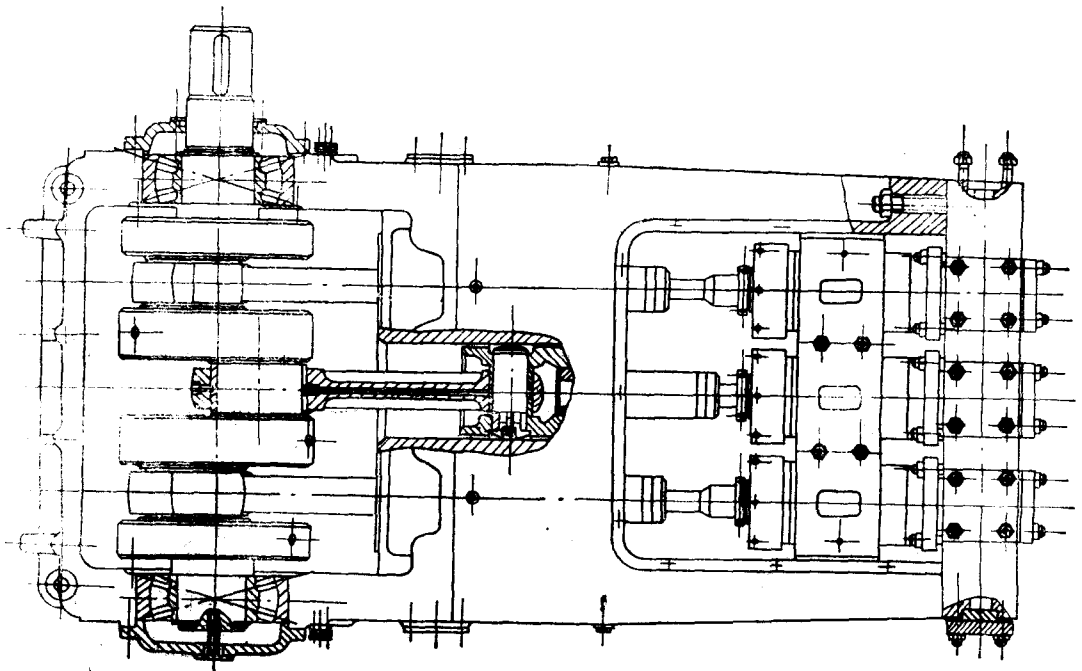
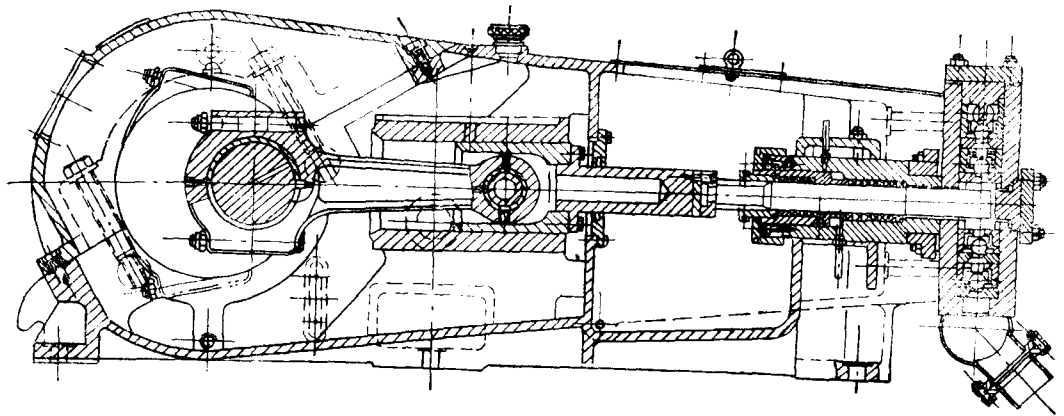


图1-6 柱塞泵

三、直接作用泵

直接作用泵的液力端活塞（见图1-10右部）与动力端活塞（见图1-10左部）用同一个活塞杆连接，轴线在同一直线上，并经此活塞杆把动力端工作介质的能量直接传递给液力端被输送的液体，如图1-10所示。动力端的工作介质可以是蒸汽、压缩气体或有压液体，其中常用的是蒸汽，故又称为蒸汽直接作用泵，也称直动泵。

直接作用泵通常由液力端、动力缸、配汽机构及其他附属设备所组成，不需要独立的原动机和减速机构。

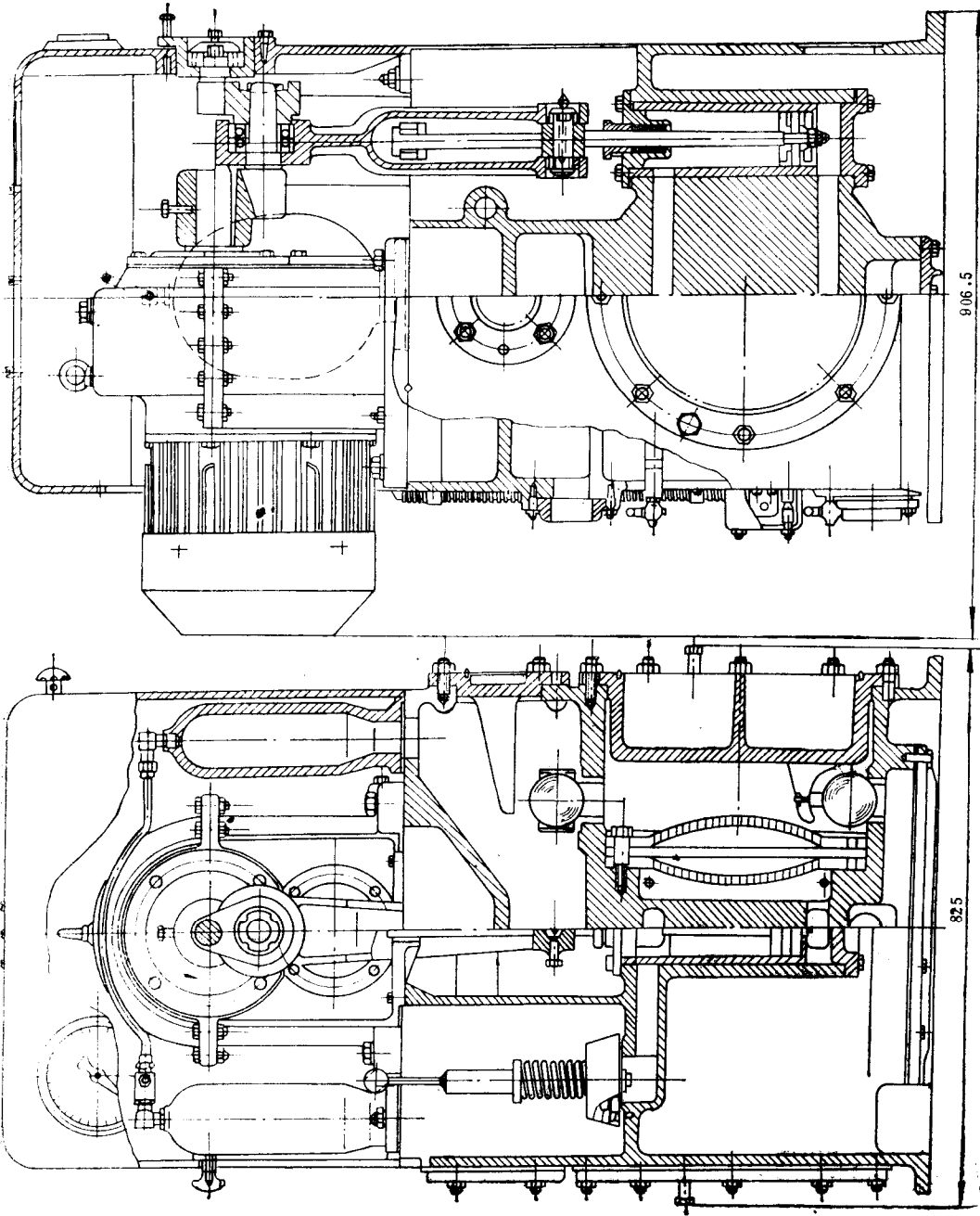


图1-7 液压隔膜泵

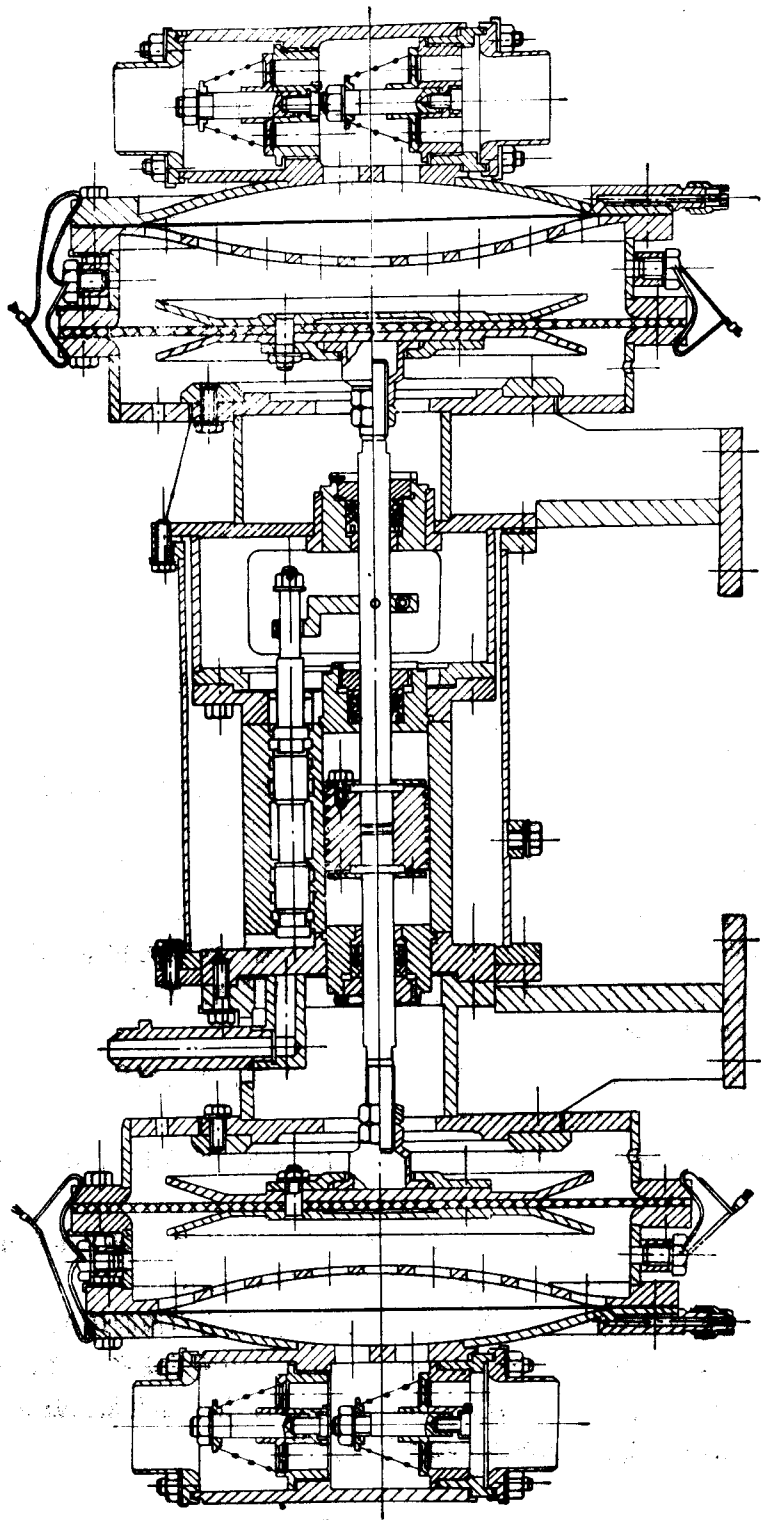


图1-8 机械隔膜泵

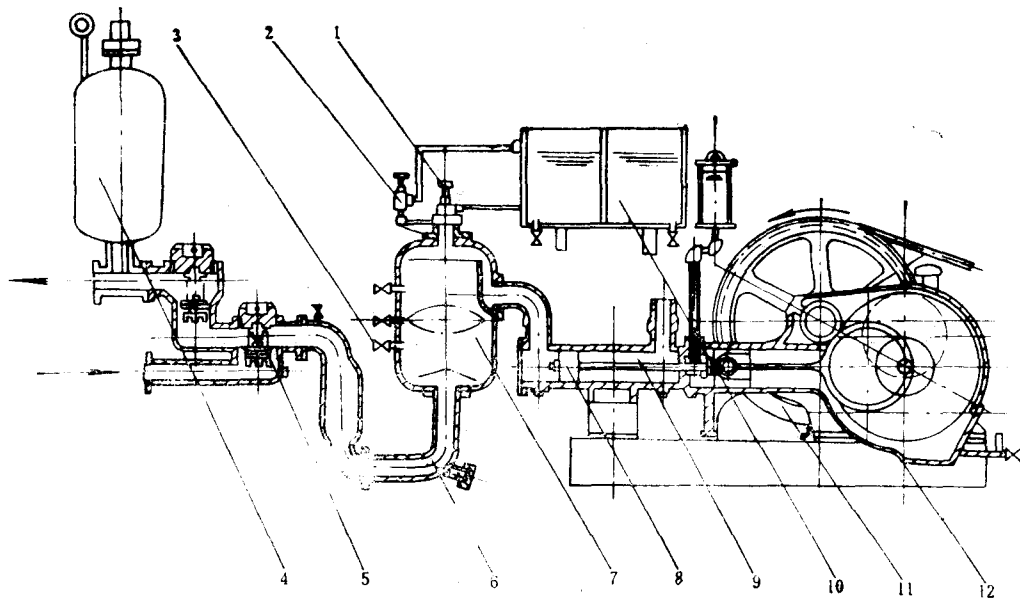


图1-9 H型油隔离泵工作原理示意图

1—供油罐 2—排油阀 3—取样阀 4—空气室 5—阀室 6—乙形管 7—隔离罐 8—活塞 9—液缸
10—油箱 11—皮带轮 12—传动端

直接作用泵的特点是：

1) 瞬时流量脉动小，平均流量与直接作用泵的排出压力、往复次数 n 、行程长度 s 、活塞直径 D 和活塞杆直径 d 有关。在直接作用泵中，往复次数 n 或活塞平均速度 u_m 不是一个恒定的值。当泵的排出压力增加时，由于汽缸内压力不变，所以活塞平均速度 u_m 或往复次数 n 随之下降，平均流量也相应减少。因此，直接作用泵不易过载，比较安全。

2) 直接作用泵的活塞运动规律取决于作用在活塞上的蒸汽推动力和各项阻力。进汽量越多、进汽压力越高、阻力越小，则直接作用泵的往复次数越高。因此，直接作用泵可以通过简单的节流方法控制进汽量，实现流量的调节。

3) 直接作用泵的活塞在两端止点位置都有停顿的间歇期。吸入阀和排出阀均在间歇期落向阀座，不易出现泵阀落下时的撞击现象。

4) 直接作用泵活塞的行程取决于配汽机构及阻力的大小。可通过调节配汽机构方便地控制活塞的行程。

5) 直接作用泵的活塞在相当长的一段行程中是等速运动，而且活塞又是靠有弹性的蒸汽推动的，所以，输送介质在管路中的流动是均匀的，压力波动小。

6) 直接作用泵适于输送易燃、易爆的介质，广泛地用在没有电源的场合。

7) 直接作用泵需要有压动力介质作为动力源，因此，系统所需设备较多。而且，直接作用泵的动力介质只能在活塞的排出行程时做功，在回程时，则不能利用已被压缩的介质做功，能量损失较大。动力介质的压力越高，损失越大。

四、手动泵

用人力操作杠杆机构驱动活塞作往复运动的泵称手动泵，如图1-11。

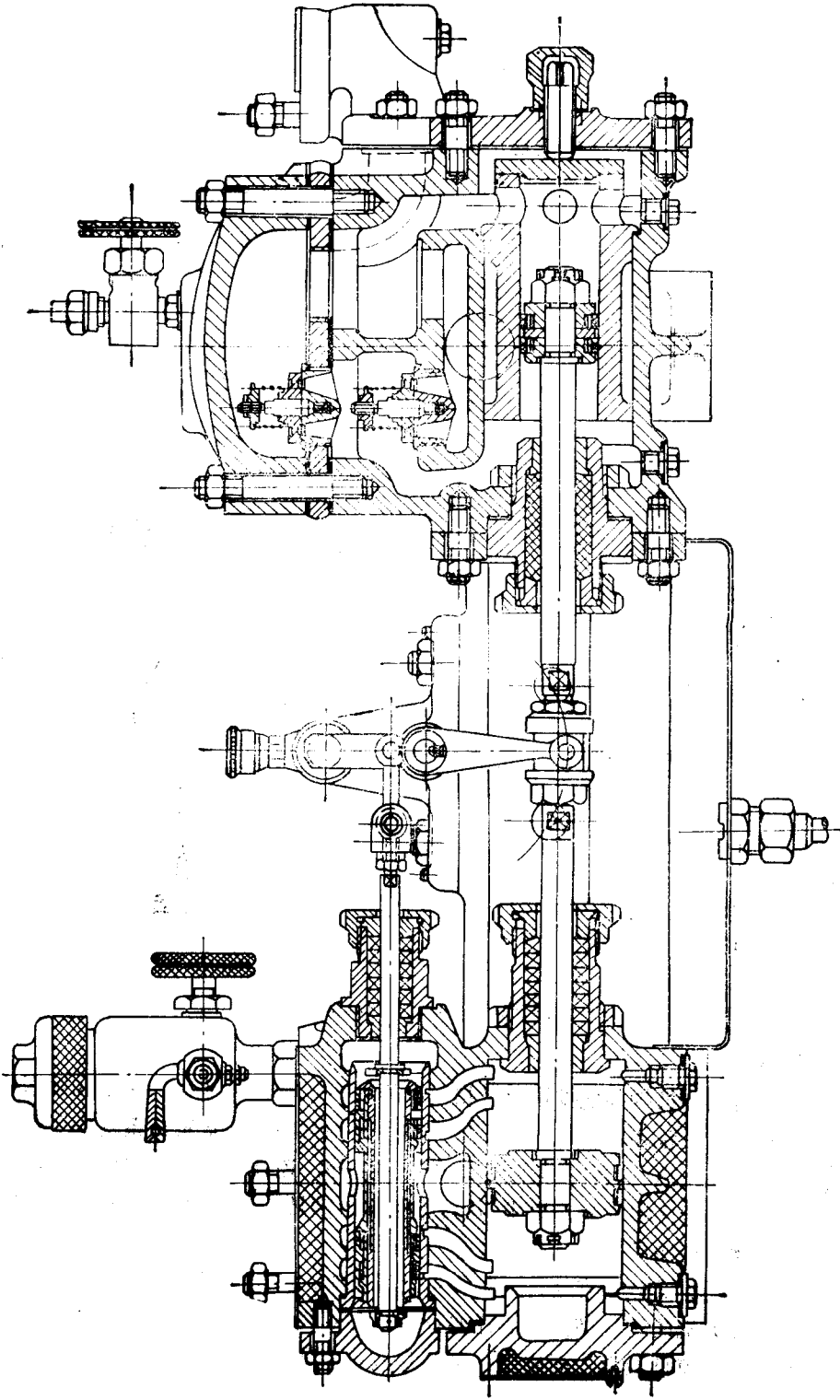


图1-10 蒸汽直接作用泵

手动泵的特点是：

- 1) 泵的流量和均匀程度取决于人力在单位时间内的操作次数和操作均匀程度。
- 2) 泵的扬程取决于泵的装置特性，泵能够达到的扬程取决于泵的结构强度、密封质量及人力大小。
- 3) 手动泵用于缺少动力或无需其他动力的场合，如小型水压试验、喷洒农药设备。

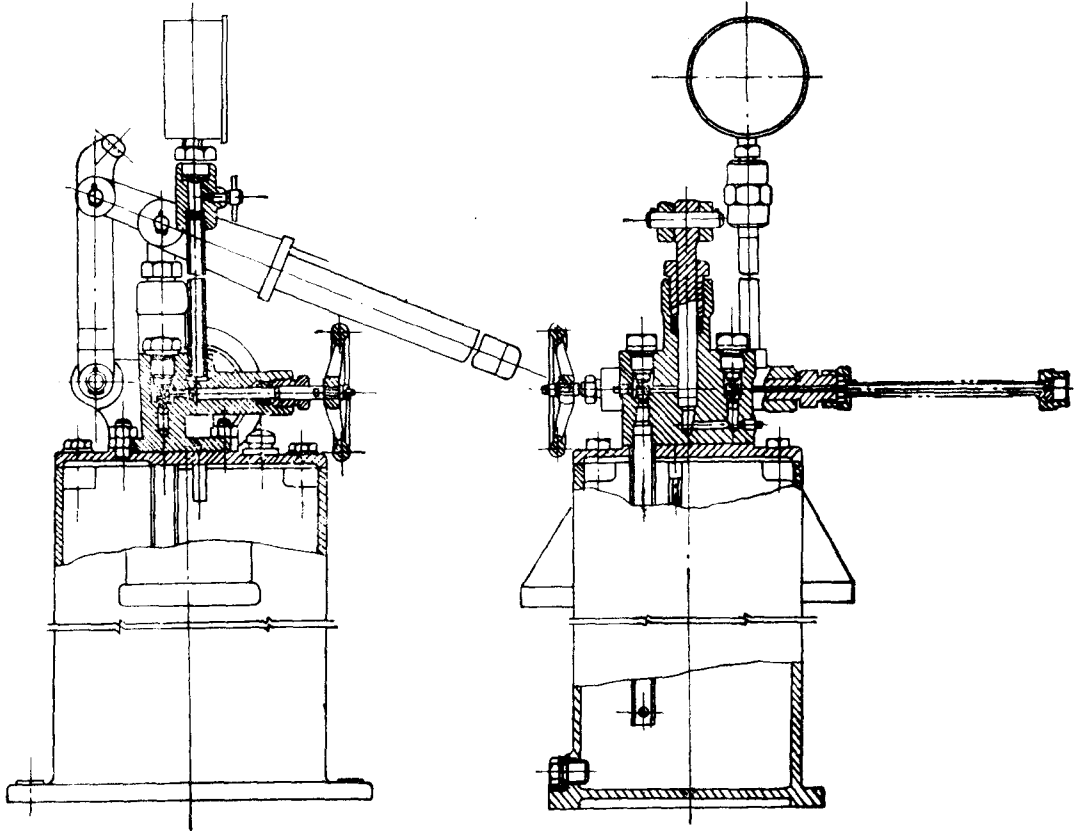


图1-11 400型手动试压泵

五、计量泵

能够通过流量调节机构并能按照流量指示机构的指示值精确地进行调节和输送液体的泵称计量泵。计量泵又可称为调量泵、可变排量泵、比例泵等。计量泵在系统中工作时，同时起着泵和计量仪器的作用，因计量泵除了输送液体以外，还具有连续测定流量的功能。计量泵的流量可在额定流量下根据用户要求，从接近于零值到最大值的整个流量范围内进行调节并能保持一定的流量输送精度。计量精度达 $\pm 1\%$ 。

计量泵根据驱动方式分为直动计量泵和机动计量泵，机动计量泵主要是电动计量泵。

计量泵根据液力端的结构型式分为柱塞计量泵和隔膜计量泵。隔膜计量泵又可分为机械隔膜计量泵和液压隔膜计量泵，而应用较多的是液压隔膜计量泵。

1. 柱塞计量泵

柱塞计量泵的基本型式和柱塞泵相似，如图1-12所示。柱塞计量泵在每一往复行程中所