

8. 阀门

8.1. 概述	2
8.2. 减压器	7
8.3. 电磁阀	9
8.4. 电爆阀	14
8.5. 充气阀	17
8.6. 加注泄出阀（加排阀）	18
8.7. 单向阀	20
8.8. 阀门设计要点	22
8.9. 提高电磁阀响应时间的措施	24
8.10. 阀门工作可靠性	25

8.1.概述

阀门一般连接于管路、贮箱、气瓶上，常用的阀门包括：

- 充气阀
- 加注/泄出阀
- 安全阀
- 电爆阀
- 膜片阀
- 减压器
- 单向阀
- 电磁阀
- 自锁阀
- 电动气阀

空间特点:

- 高真空环境
- 太阳辐射
- 流星和宇宙尘埃
- 电磁辐射
- 失重。

真空环境对阀门的影响主要表现:

- 材料的升华与汽化
- 冷焊
- 电击穿
- 推进剂冻结
- 真空传热性能差

阀门设计基本要求：

- 系统规定的参数
- 系统要求的参数
- 选择的参数
- 密封性好
- 介质相容性
- 动作响应时间
- 工作稳定性和重复性
- 工作寿命和贮存期限
- 环境和工作条件的适应性
- 结构安全性和工作可靠性
- 能耗
- 维护使用性能
- 尺寸质量成本

影响阀门工作性能和可靠性的主要因素:

- 流动介质
- 压降与流通能力
- 流量特性
- 工作温度
- 工作压强
- 泄漏率
- 响应时间
- 工作寿命
- 安装尺寸

阀门的基本组成：

- 阀体 阀座 阀芯 弹簧 密封
- 线圈 火药及点火器 气动器

阀门的受力：

- 机械力（弹簧）
- 压力（工质）
- 气动力（气动阀）
- 外力（人为）

阀门的控制方式：

- 自主控制
- 人为控制
- 电动控制

8.2. 减压器

减压器作用:

- 减压；稳压

减压器工作原理:

- 当高压气体流过减压器启闭件与阀座之间形成的狭窄通道时，气体受到节流。
- 在节流过程中，气体分子与通道壁之间发生碰撞、摩擦和涡流，引起压强损失，且气体处于不平衡状态，是不可逆过程。
- 节流后压强降低的程度取决于阀芯与阀座之间的开度。
- 当流量一定时，开度越小，则压强降低得越多。
- 对于常用气体，经过减压器节流后，其压强下降的同时，气体温度也将发生变化。
- 大多数气体经节流后温度下降，而少数气体（如氢、氦等）节流后温度升高。
- 减压器稳压的原理在于力的平衡作用。

减压器结构设计，结构设计的原始数据包括:

- 减压器入口压强范围 $p_1(1) \sim p_1(3)$ ，减压器出口压强及偏差 $p_2 \pm \Delta p_2$
- 减压器的出口流量 q_m ；
- 锁闭压差，一般不超过出口压强的 20%；
- 减压器的起动方式；
- 响应时间和允许的超调量或称瞬时冲击值；
- 工作环境条件。

减压器组成：

- 调节元件（节流元件）
- 卸荷元件
- 敏感元件
- 加载元件
- 过滤元件
- 安全机构。

8.3. 电磁阀

电磁阀功能：

- 由电磁线圈作动器操纵的阀门，可多次启闭，实现流体通路的开启和断流。
- 实现发动机的重复启动和脉冲工作。

电磁阀组成：

- 电磁线圈作动器（电磁铁）
 - ◆ 电磁铁包括线圈和铁心，通电时它产生吸力，将电磁能转换为机械能来操纵阀门动作。
 - ◆ 电磁铁通常分为螺管式和拍合式两大类。

- 阀门本体

电磁阀种类：

- 整体直通式电磁阀
- 自锁阀：单组元自锁阀；双组元自锁阀
- 电动气阀：单组元电动气阀；双组元电动气阀

整体直通式电磁阀

功能：

- 打开或切断两种推进剂的通路，以控制发动机的启动和关机。

组成：

- 阀体组件、阀座、阀芯、弹簧、过滤网组件、插座等。

工作原理：

- 当发动机工作时，由控制系统发出控制指令，电磁阀通电，线圈通过电磁感应产生磁场，阀芯在电磁吸力作用下克服弹簧力、液压不平衡力和摩擦力，打开阀芯和阀座之间的通路，推进剂进入发动机；
- 当系统任务完成后，有控制系统发出关闭指令，电磁阀断电，磁场与磁吸力消失，在弹簧力和液压不平衡力作用下阀芯关闭，切断推进剂通路，发动机停止工作。

主要特点：

- 结构简单、可靠性高
- 摩擦力小、能耗低
- 流体冷却壳体内腔，线圈温升低

- 可与推力室头部直接连接，不仅连接可靠，而且推进剂容腔减小，提高了响应速度，减小了后效冲量
- 动作响应时间短

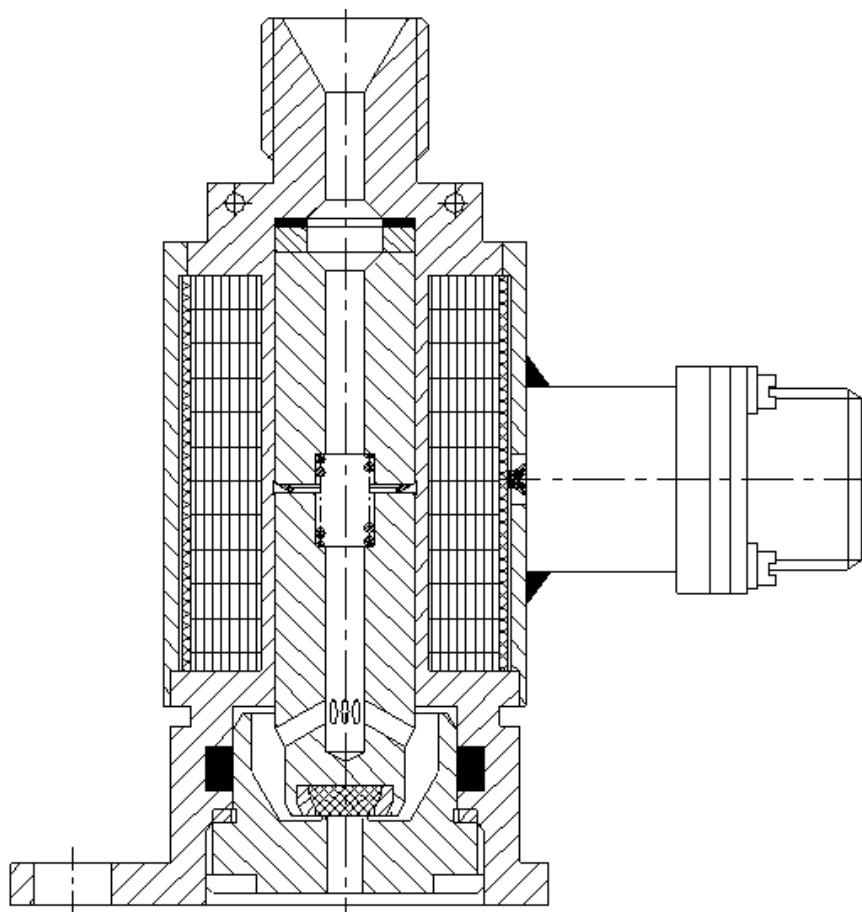
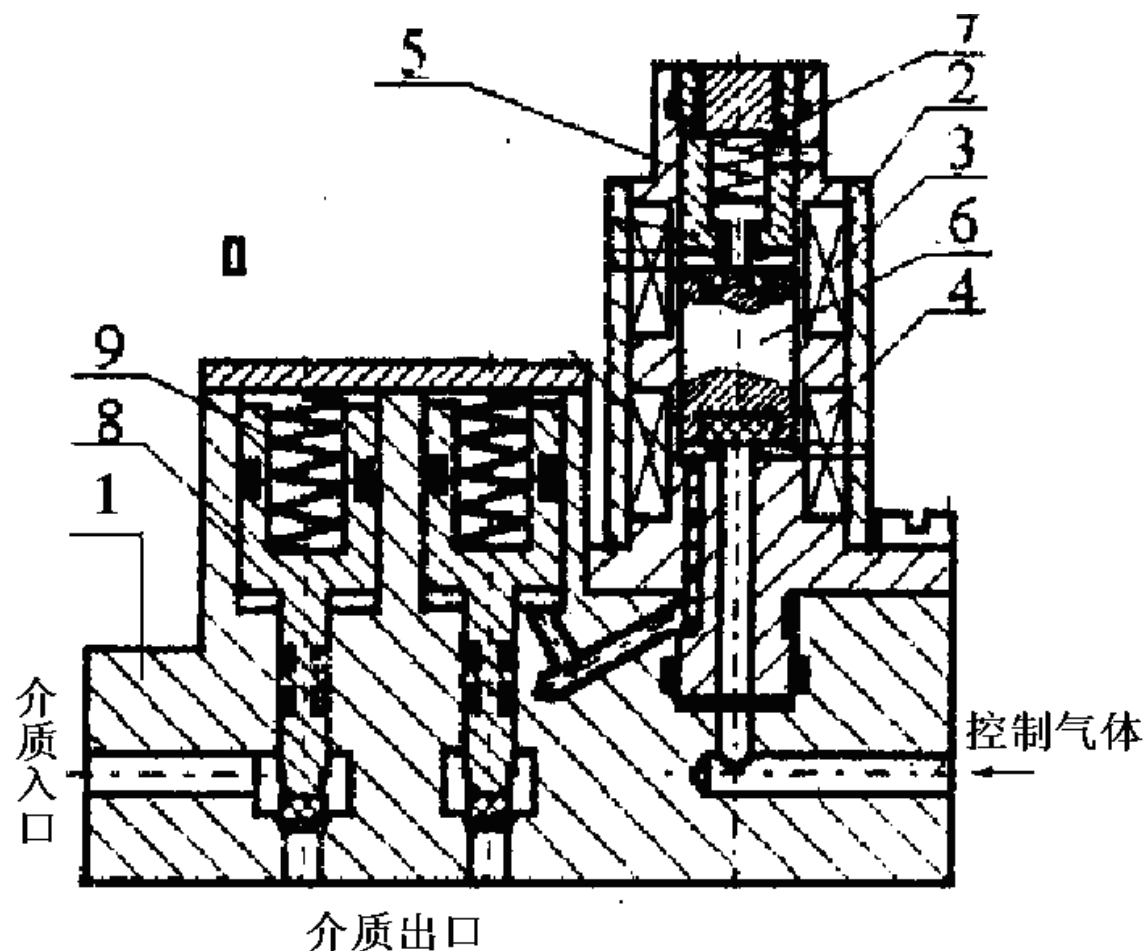


图 1 整体直通式电磁阀

自锁阀

采用主副阀型式组合式结构，靠小型电磁铁副阀控制大流量的主阀工作；



1 阀体; 2 电磁铁外壳; 3A 线圈; 4B 线圈; 5 壳体; 6 主阀芯; 7 副弹簧; 8 副阀芯; 9 主弹簧

图 2 双组元自锁阀结构示意图

工作原理:

- 当给副阀开启线圈通电时，副阀芯被吸向排气端的阀座，控制气体通过副阀进气端进入两主阀的控制气体腔内，在气压不平衡强力作用下，主阀芯克服主阀弹簧力和摩擦力使两主阀打开，副阀开启线圈断电后，副阀芯在控制气体不平衡压力作用下锁紧在排气端的阀座上，并使主阀维持在打开状态。
- 当给副阀的关闭线圈通电时，关闭线圈产生的电磁吸力和副阀弹簧力大于副阀所受的气压不平衡力及摩擦力，副阀芯返回到进气端，控制气源被切断，主阀控制腔内的气体经副阀排气端排出，主阀芯在主阀弹簧力作用下切断推进剂通路。
- 在结构设计时，控制气体进入主阀控制腔的先后，使氧化剂主阀阀芯先于燃料主阀阀芯开启；而关闭时，氧化剂主阀阀芯也先于燃料主阀阀芯关闭。
- 其结构特点是线圈均只需瞬时通电，对多次长时间工作的空间姿态控制发动机来说是最省电的，但对于脉冲工作的发动机而言，其局限性是响应时间不够快。

8.4. 电爆阀

电爆阀属于截止阀类，常用于隔离气流的通道闸门，是隔离气体和介质的主要元件之一

分为常开式和常闭式两种。一般采用一次工作的阀门。

电爆阀包括：

- 气路电爆阀
- 贮箱入口电爆阀
- 贮箱出口电爆阀。

功能：

- 气路电爆阀在增压前将气封闭在气瓶中，当需要发动机工作时，通电引爆电爆管通过非电传爆将其打开，使气瓶中的高压气进入下游。
- 贮箱入口电爆阀在系统增压前将推进剂隔离在贮箱中，保证发动机在加注贮存期间的安全，方便了贮箱的整体更换。
- 贮箱出口电爆阀在系统增压前将推进剂隔离在贮箱中，保证发动机在加注贮存期间的安全，方便了贮箱的整体更换。

工作原理:

- 当需要工作时，控制系统通电引爆电爆管，传爆非电传爆装置和隔板起爆器，同时打开电爆阀。
- 隔板起爆器起爆后瞬间产生高温高压燃气推动活塞并顶动切刀，使切刀的刀口紧紧楔入阀体的两个锥面处，从而打开电爆阀，使发动机系统增压，充填推进剂，进入工作状态。
- 液路的两种电爆阀位于贮箱前后的管路上，结构与气路的基本相同，用来隔离贮箱中的两种推进剂，保证发动机在加注贮存期间的安全和电爆阀前后各组件免受推进剂及其蒸汽的污染和腐蚀。

设计原则:

- 用一个电爆管作为动作能源，便能完成电爆阀工作的全过程，可靠、迅速打开主通道，并使其另外一个通道紧楔严封；
- 用两个电爆管时，除要求的全过程外，还不允许对阀体本身有明显的损伤，因此计算时只能以一个电爆管的能量为准，同时考虑到双倍能量的破坏性。

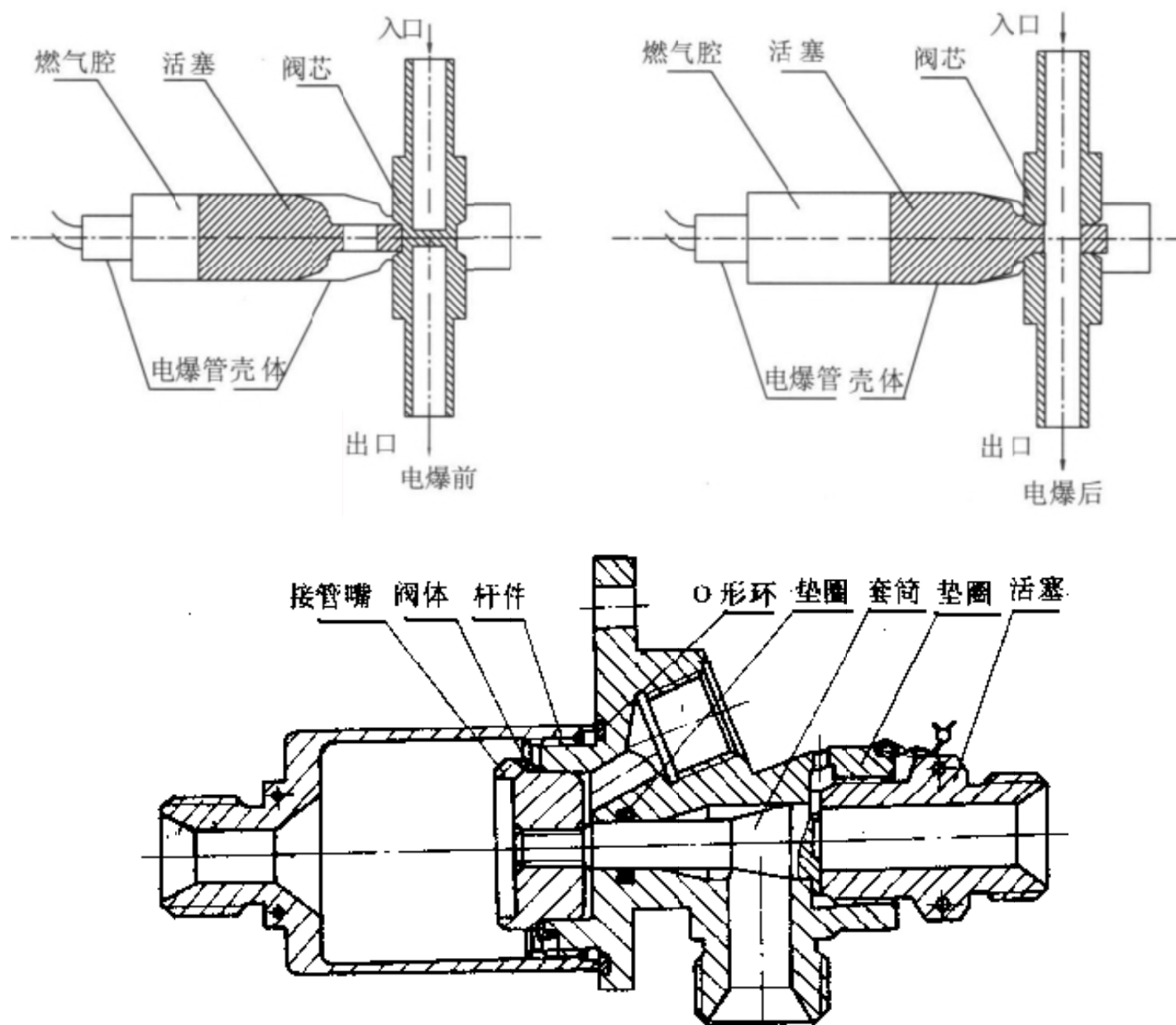


图 3 常闭式电爆阀原理

8.5. 充气阀

充气阀是常闭式菌状单向阀

功能是为气瓶充高压氮气，或将气瓶中的高压氮气泄出，并保持气瓶中的气体与外界隔离。

工作原理：

- 充气时旋下充气阀堵头，连接充放气工具，用充放气工具的顶杆顶开充气阀阀芯，接通气源，高压气体即进入气瓶中。
- 气瓶充到额定压强时，切断进气源，退回充放气工具的顶杆，阀芯在气体压力作用和弹簧力作用下关闭并密封，然后堵上堵头起到冗余密封的作用。
- 放气时，用充放气工具的顶杆顶开阀芯，气瓶中的高压气体通过配气系统缓慢放出。

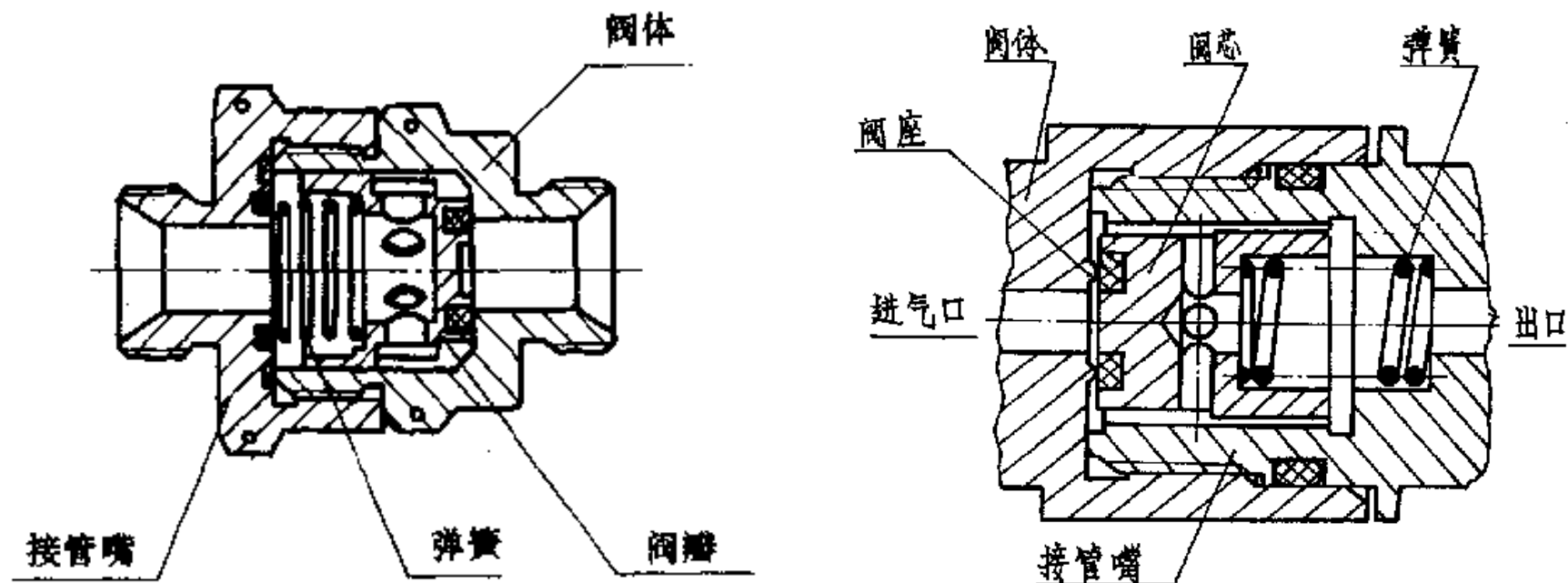


图 4 充气阀结构图

8.6. 加注泄出阀（加排阀）

加注泄出阀的功能：

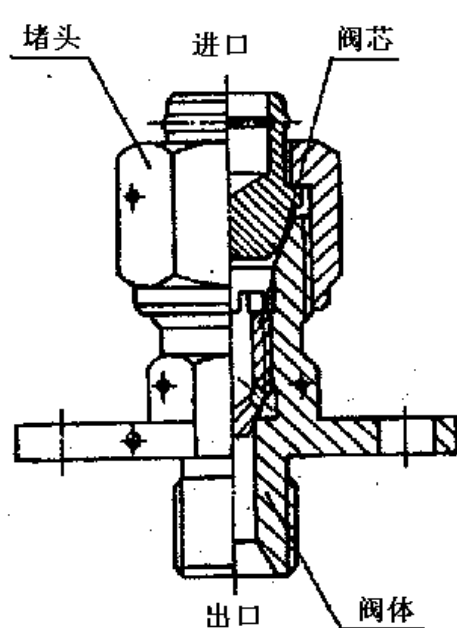
- 在工作时可打开阀门，给贮箱加注或泄出推进剂及排放气体；
- 不工作时可关闭阀门，切断介质流动，保证密封，使贮箱中的推进剂隔离；
- 根据结构类型分为弹簧式和螺旋式；
- 根据介质流向分为内流向和外流向；
- 根据密封材料分为金属密封和非金属密封；

- 根据介质种类分为氧化剂和燃料。

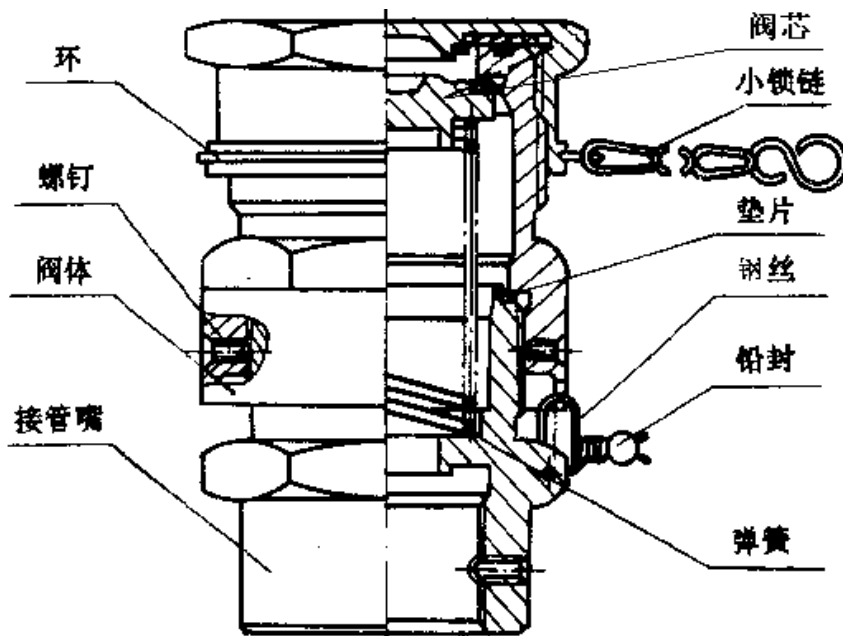
加注泄出阀组成：

- 阀体、阀芯、接管嘴、弹簧、堵头、密封垫片。

当贮箱加注或泄出时，先卸下堵头，依靠专用工具顶开阀芯，向贮箱加注或泄出推进剂并排放气体，工作后，卸下专用工具，阀芯在弹簧作用下自动关闭并密封，之后装上堵头起到冗余密封作用。



金属密封结构



非金属密封结构

图 5 加注泄出阀结构图

8.7. 单向阀

单向阀又名止回阀，其功能是保证流体介质只能朝其高压方向流动，如果流动方向相反，则阀芯能很快关闭，以防止回流。

防止发动机工作中推进剂零流量输出时，两种推进剂或其蒸汽腐蚀减压阀或发生回流产生爆炸。

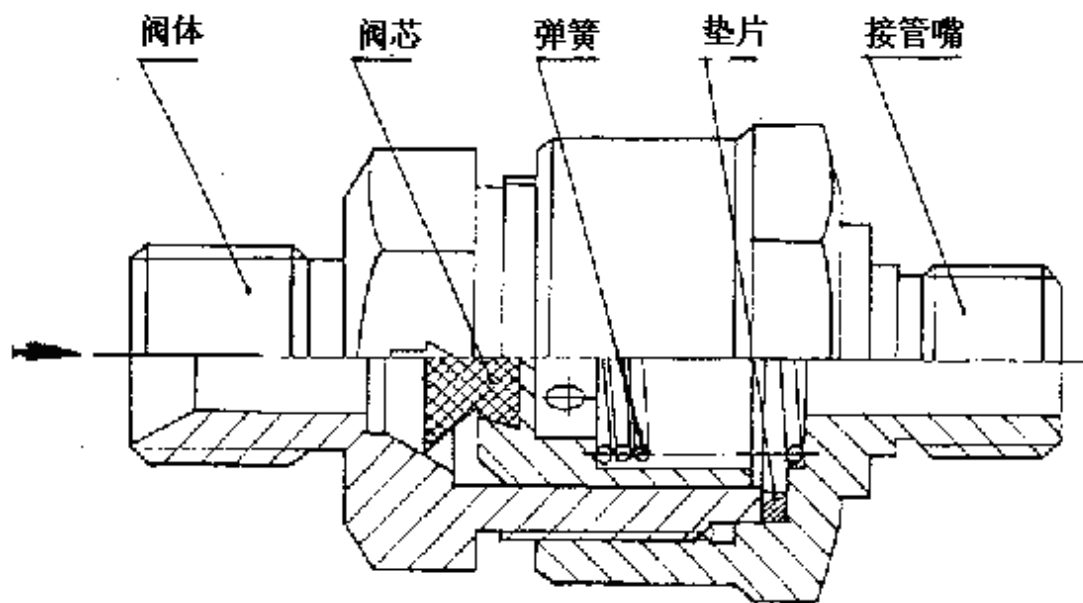
单向阀的工作过程不需要外来动作信号或动力源，靠流体本身的压力克服阀芯关闭的弹簧力或自重力，顶开阀芯而形成流通通路。

- 根据出口相对位置有角式和管式；
- 按阀芯脉动特点分为移动式和摆动式；
- 按阀芯形状分球形和菌形。

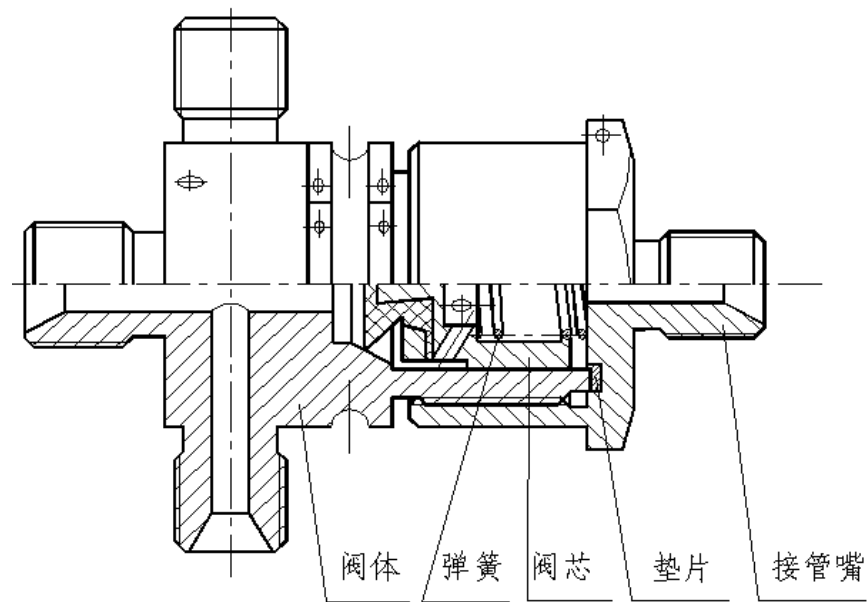
要求压降损失小、密封性能好、无振动、可靠性高、寿命长和低成本。

发动机工作前，止回阀处于关闭位置，依靠弹簧力将阀芯压紧在阀座上并达到密封。

当发动机工作时，如有推进剂输出，则增压气的工作压力克服弹簧力将阀芯顶开，此时止回阀全开，如无推进剂输出，止回阀前后压力达到平衡，则阀芯在弹簧力作用下关闭，阻止贮箱内推进剂及其蒸汽回流。



直通式



三通式

图 6 单向阀结构图

8.8. 阀门设计要点

以电磁阀为例

根据电磁阀的不同类型、用途、技术要求、工作环境和具体结构，在电磁阀设计过程中的**技术关键**主要包括：

- 根据流体压力 P 和主密封处所需的密封压力 P_s 确定电磁铁的反作用力 F_r ，同时要考虑活动元件的摩擦力、流体作用力、密封力以及适当的安全裕量，通常取电磁吸力 $F=(1.5\sim1.8)F_r$ 。
- 选择电磁铁形式，包括磁极形式和加速释放非工作气隙设置，其中非工作气隙设置方式通常采用无磁平垫片、无磁碟形弹簧、小凸台等三种
- 工作气隙磁通密度 B_g 。应使导磁体内的磁通密度高于材料的磁化曲线的拐点，但又不至于饱和，以保证电磁铁的工作点接近于最优值。其中拐点的磁导率最大，随后逐渐减小，直至饱和。
- 确定线圈的吸合磁势 $(IN)_p$ 及最大磁势 $(IN)_{max}$ 。
- 确定线圈尺寸 L 和 b ，对于合理设计的电磁铁，线圈尺寸的长厚比 $\lambda(\lambda=L/b)$ 有一定的范围，对于螺管式电磁铁一般 $\lambda=3\sim8$ 。

- 导线直径的选择应保证在吸电压下得到所需的吸合磁势，考虑电阻及匝数的偏差，磁势应适当增加。
- 按照等界面原则确定磁导体其它部分的尺寸，即其截面面积大致和磁铁的横截面积相等；对于有磁环的结构，其厚度 δ 应保证有足够的强度，其长度可由经验取 $l \geq (5 \sim 10) \delta$ ，工作气隙在隔磁环中间。
- 在设计中通过磁路计算确定实际吸力。
- 同时要考虑使用温度、使用电压下的线圈电阻、电流、磁势及功率，线圈的温升，电磁铁的质量与经济指标，以及吸合电压、吸合时间、释放电流和释放时间等。

8.9. 提高电磁阀响应时间的措施

对于空间推进系统中的阀门来说，阀门的响应时间直接影响发动机的性能，特别对于姿态控制发动机而言，响应时间是发动机性能指标的主要参数之一。

为提高阀门的响应时间，设计中需要注意以下几点：

- 选择的软磁材料应具有高的导磁率、低的剩余磁通密度及低的矫顽力；
- 衔铁的质量和行程尽量小；
- 衔铁的反作用力初值应尽量小，而终值则可以大一些；
- 增大吸力，使吸力高于反作用力更多些，但线圈磁势增大后，在功率一定的情况下会导致产生电磁吸力的时间增加；
- 设置非工作气隙，但应尽量减小非工作气隙的数值；
- 小的时间常数；
- 增加加速电路，即在线圈回路中串联附加电阻，或在其两端并联电容，但必须提高电源电压；
- 减小涡流的影响，涡流可能导致衔铁的触动时间增加 $10\% \sim 30\%$ ，通常在衔铁上开槽可减小涡流。

8.10. 阀门工作可靠性

阀门在空间推进系统中具有极其重要的作用，任何阀门的失效都会造成系统故障，从而导致空间飞行器的可靠性下降，甚至功能失效，因此阀门的工作可靠性是设计、生产、试验中必须重视的问题。

常见故障有：

- 密封部位泄漏率不满足设计要求
- 阀芯运动不灵或卡死
- 响应时间长
- 调节精度差
- 结构强度不够导致变形。

产生问题的原因主要有：

- 设计原因，如结构设计不合理、阀芯运动件配合间隙选择不当、零件材料选择不当、零件变形和运动件磨损等；
- 生产工艺原因，如密封件质量不佳、非金属零件在装配时被锐棱边切伤、制造工艺不稳定、零件制造精度不满足要求和多余物影响；
- 人为故障（如工人不按工艺要求，不认真导致导线焊点氟塑料套管脱落、阀座型面划伤等）等。

提高阀门可靠性的途径包括：

- 合理的结构设计，包括合适的性能指标要求、采用继承性的结构、结构简化、具有抗污染能力、选择过滤装置、软密封结构、足够的安全裕度、冗余度设计和考虑极限环境的使用等；
- 研制过程中严格遵循设计与试验程序，并按研制阶段进行设计评审；
- 严格地面模拟试验和产品验收试验。



21MPa压力传感器

代号: GPSS-1



10 μ m网式过滤器

代号: GFLT-1



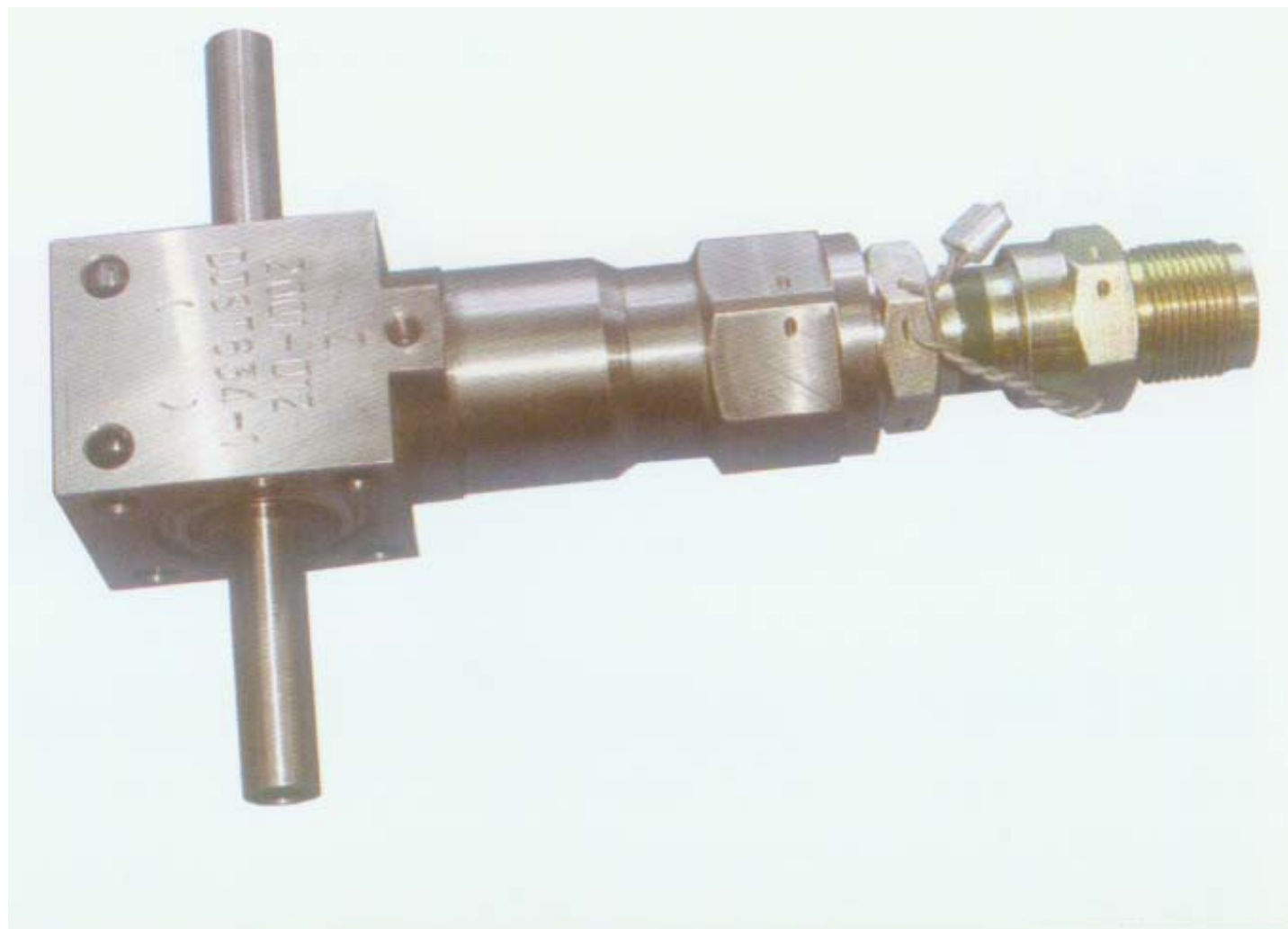
不帶位置显示低压自锁阀1型

代号：GLV-1



单组元气、液加排阀

代号: GFDV-1/2



电爆阀

代号：GPV-1/2/3



减压阀1型

代号: GRLV-1



单向阀1

代号: GCV-1



单组元推进分系统管路连接件

代号: GTS000-1



电爆阀 Pyrovalve



电爆阀 Pyrovalve



加排阀 fill/drain valve



充气阀 Inflation valve



电磁阀 Solenoid valve



电磁阀 Solenoid valve



减压阀 Regulator



减压阀 Regulator



自锁阀 Latch valve



电磁气动阀 Electro-pneumatic valve



电磁气动阀 Electro-pneumatic valve



冷气发动机 Cold gas engine