



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105183024 B

(45)授权公告日 2019.01.29

(21)申请号 201510646191.3

审查员 潘姝安

(22)申请日 2015.10.09

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105183024 A

(43)申请公布日 2015.12.23

(73)专利权人 航宇救生装备有限公司

地址 441003 湖北省襄樊市高新区157信箱

(72)发明人 夏坤 徐俊 杨勇 杜艳丽

韩自强

(74)专利代理机构 湖北武汉永嘉专利代理有限

公司 42102

代理人 钟锋

(51)Int.Cl.

G05D 16/20(2006.01)

G05B 11/42(2006.01)

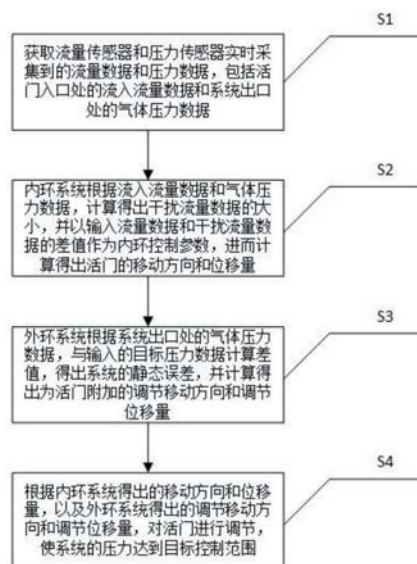
权利要求书3页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种流量-压力双闭环气体压力控制方法及装置

(57)摘要

本发明公开了一种流量-压力双闭环气体压力控制方法及装置,该方法包括以下步骤:S1、获取流量传感器和压力传感器实时采集到的流量数据和压力数据;S2、双闭环系统的内环系统根据流入流量数据和气体压力数据,以输入流量数据和干扰流量数据的差值作为内环控制参数,进而计算得出活门的移动方向和位移量;S3、双闭环系统的外环系统根据系统出口处的气体压力数据,与输入的目标压力数据计算差值,得出系统的静态误差,并计算得出为活门附加的调节移动方向和调节位移量;S4、根据计算结果对活门进行调节,使系统的压力达到目标控制范围。本发明能够用于小目标容积和大流量范围的气体压力控制系统,并且控制效率高,响应速度快。



1. 一种流量-压力双闭环气体压力控制方法,其特征在于,通过流量-压力双闭环气体压力控制装置实现,该装置包括气源腔(9)、待控制压力腔(10)和控制装置;

所述待控制压力腔(10)内安装有流量传感器(6)和压力传感器(7);

所述控制装置包括活门座(1)、活门杆(2)、橡胶垫(3)、音圈电机(4)、控制板(5)和弹簧(8);

所述控制板(5)与所述音圈电机(4)、所述流量传感器(6)和所述压力传感器(7)相连,并控制所述音圈电机(4)的工作状态;

所述音圈电机(4)与所述活门杆(2)相连,并在通电时带动所述活门杆(2)运动;

所述活门杆(2)上套接有所述弹簧(8),所述弹簧(8)将所述活门杆(2)压紧在所述活门座(1)上;所述活门杆(2)的活动端设置有用于对所述气源腔(9)密封的所述橡胶垫(3);

该方法包括以下步骤:

S1、获取流量传感器和压力传感器实时采集到的流量数据和压力数据,包括活门入口处的流入流量数据和系统出口处的气体压力数据;

S2、双闭环系统的内环系统根据流入流量数据和气体压力数据,计算得出干扰流量数据的大小,并以输入流量数据和干扰流量数据的差值作为内环控制参数,进而计算得出活门的移动方向和位移量;

S3、双闭环系统的外环系统根据系统出口处的气体压力数据,与输入的目标压力数据计算差值,得出系统的静态误差,并计算得出为活门附加的调节移动方向和调节位移量;

S4、根据内环系统得出的移动方向和位移量,以及外环系统得出的调节移动方向和调节位移量,对活门进行调节,使系统的压力达到目标控制范围;

控制过程中将气体调节过程看成等熵绝热过程,则物理系统的模型如下:由理想气体方程可得待控制压力腔内压力微分方程为:

$$\frac{dp}{dt} = \frac{\kappa \times R \times T}{V} \cdot \frac{dM}{dt} = \frac{\kappa \times R \times T}{V} (Q_{in} - Q_{out})$$

其中,p——待控制压力腔内的压力;

R——气体常数;

V——待控制压力腔容积;

$\kappa$ ——气体绝热指数;

T——温度;

$Q_{in}$ ——输入待控制压力腔的流量;

$Q_{out}$ ——输出待控制压力腔的流量,在飞行员供氧调节装置中为飞行员的呼吸流量干扰项;

控制系统通过电机控制活门杆的开度,利用气源腔的高压气体在待控制压力腔建立输入待控制压力腔的流量 $Q_{in}$ ,实现对待控制压力腔气体压力的控制,输入待控制压力腔的流量与活门开度的关系为:

$$Q_{in} = \begin{cases} C_d \cdot A \cdot \frac{p_o}{\sqrt{R \cdot T_o}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa}{\kappa - 1} \cdot \left(\frac{p}{p_o}\right)^{\frac{2}{\kappa}} \cdot \left(1 - \frac{p}{p_o}\right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}}}, \frac{p}{p_o} > 0.5283 \\ C_d \cdot A \cdot \frac{p_o}{\sqrt{R \cdot T_o}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa}{\kappa + 1} \cdot \left(\frac{2}{\kappa + 1}\right)^{\frac{2}{\kappa - 1}}}, \frac{p}{p_o} < 0.5283 \end{cases}$$

其中,  $C_d$ ——活门流量系数;

$A$ ——活门流通面积;

$p_o$ ——气源腔气体压力;

$T_o$ ——气源腔气体温度;

流通面积与活门开度的关系为:

$$A = \pi D \cdot X$$

其中,  $D$ ——活门直径;

$X$ ——活门开度;

则活门开度与待控制压力腔的压力的传递函数为:

$$\frac{p(s)}{X(s)} = \frac{\frac{\kappa RT}{V} k_1}{s + \frac{\kappa RT}{V} (k_2 + k_3)}$$

$$\text{其中, } k_1 = \frac{\partial Q_{in}}{\partial x}; \quad k_2 = \frac{\partial Q_{in}}{\partial p}; \quad k_3 = \frac{\partial Q_{out}}{\partial p};$$

控制量  $U(s)$  与活门开度  $X$  的关系与电机特性相关, 音圈电机的传递函数为:

$$\frac{X(s)}{U(s)} = \frac{k_m}{(ms^2 + cs + k)(\tau_L s + 1)r + k_m k_E s}$$

其中,  $k_m$ ——电磁力系数;

$m$ ——活门质量;

$c$ ——阻尼系数;

$k$ ——弹簧刚度;

$\tau_L$ ——线圈回路电气时间常数;

$r$ ——线圈回路电阻;

$k_m$ ——电磁力系数;

$k_E$ ——反电动势系数;

则物理结构的开环传递函数为:

$$G(s) = \frac{\frac{k_1}{(k_2 + k_3)}}{\frac{\kappa RT (k_2 + k_3)}{V} s + 1} \cdot \frac{\frac{k_m}{rm}}{s^2 + \frac{(rc + k_m k_E)}{rm} s + \frac{k}{m}} \circ$$

2. 根据权利要求1所述的流量-压力双闭环气体压力控制方法, 其特征在于, 步骤S2中使用比例积分微分运算来计算活门的移动方向和位移量。

3. 根据权利要求1所述的流量-压力双闭环气体压力控制方法,其特征在于,所述活门座(1)、所述活门杆(2)和所述橡胶垫(3)构成可变密封结构。

4. 根据权利要求1所述的流量-压力双闭环气体压力控制方法,其特征在于,所述流量传感器(6)设置在靠近流量干扰源处。

## 一种流量-压力双闭环气体压力控制方法及装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及气体压力数字控制领域,尤其涉及一种流量-压力双闭环气体压力控制方法及装置。

### 背景技术

[0002] 传统气体压力控制方法多通过机械式调节器实现,通过膜片等弹性感压元器件,将输出端气体压力反馈至控制机构,推动活门建立流量,进而改变输出端压力。但由于控制机构比较复杂,机构之间存在摩擦等因素,其控制的响应速度及精度都受此影响。随着数字控制技术的发展,人们开始尝试应用数字控制方法控制气体压力,由于该控制通过驱动元件直接驱动执行机构,简化控制机构,进而能够提高响应速度和精度。在实际应用过程中发现常规的数字控制方法,如PID控制、PI模糊控制等,虽然在某些应用范围获得了预期的效果,但对一些特殊应用范围,如小目标容积和有大量流量干扰项的控制,其效果不如机械式调节器的控制效果。

[0003] 在这样的小目标容积和有大量流量的领域,如飞行员供氧调节装置,其控制的目标腔体容积不足1L,而使用过程中会有流量变化范围在0~300L/min的干扰项。由于实际情况下存在较大变化量的干扰输出流量,如果单纯使用出口压力进行控制,流量干扰项对控制系统是不可观的,因此在调节过程中无法针对变化的干扰项进行有效地调整和跟随,这导致系统调节的输出流量相较干扰流量始终存在动态误差。同时由于系统阻尼及数字系统调节周期等原因,会使系统调节存在静态误差。

[0004] 综上,传统的机械式气体压力控制方法在响应速度和响应精度上达不到要求,常规的数字化气体压力控制方法又存在不可控的动态误差和静态误差。

### 发明内容

[0005] 本发明要解决的技术问题在于针对现有技术中机械式气体压力控制方法在响应速度和响应精度上达不到要求,常规的数字化气体压力控制方法又存在不可控的动态误差和静态误差的缺陷,提供一种能够解决动态误差和静态误差,并且响应速度快、控制精度高的流量-压力双闭环气体压力控制方法及装置。

[0006] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是:

[0007] 本发明提供一种流量-压力双闭环气体压力控制方法,包括以下步骤:

[0008] S1、获取流量传感器和压力传感器实时采集到的流量数据和压力数据,包括活门入口处的流入流量数据和系统出口处的气体压力数据;

[0009] S2、双闭环系统的内环系统根据流入流量数据和气体压力数据,计算得出干扰流量数据的大小,并以输入流量数据和干扰流量数据的差值作为内环控制参数,进而计算出活门的移动方向和位移量;

[0010] S3、双闭环系统的外环系统根据系统出口处的气体压力数据,与输入的目标压力数据计算差值,得出系统的静态误差,并计算得出为活门附加的调节移动方向和调节位移

量；

[0011] S4、根据内环系统得出的移动方向和位移量，以及外环系统得出的调节移动方向和调节位移量，对活门进行调节，使系统的压力达到目标控制范围。

[0012] 步骤S2中使用比例积分微分运算来计算活门的移动方向和位移量。

[0013] 本发明提供一种流量-压力双闭环气体压力控制装置，包括气源腔、待控制压力腔和控制装置；

[0014] 所述待控制压力腔内安装有流量传感器和压力传感器；

[0015] 所述控制装置包括活门座、活门杆、橡胶垫、音圈电机、控制板和弹簧；

[0016] 所述控制板与所述音圈电机、所述流量传感器和所述压力传感器相连，并控制所述音圈电机的工作状态；

[0017] 所述音圈电机与所述活门杆相连，并在通电时带动所述活门杆运动；

[0018] 所述活门杆上套接有所述弹簧，所述弹簧将所述活门杆压紧在所述活门座上；所述活门杆的活动端设置有用以对所述气源腔密封的所述橡胶垫。

[0019] 所述活门座、所述活门杆和所述橡胶垫构成可变密封结构。

[0020] 所述流量传感器设置在靠近流量干扰源处。

[0021] 本发明产生的有益效果是：本发明的流量-压力双闭环气体压力控制方法针对一类小目标容积和大流量范围的气体压力控制系统，如飞行员供氧调节装置，根据采集到的气体压力数据和流量数据，计算出干扰流量的大小以及压力输出的误差，并通过控制装置控制活门杆调节输入的气体压力，使待控制腔内的压力达到目标控制范围，能够有效的消除动态误差和静态误差，提高了控制精度；另外，通过音圈电机带动活门杆进行调节，能够快速的对气体压力的变化做出响应，控制效率高。

## 附图说明

[0022] 下面将结合附图及实施例对本发明作进一步说明，附图中：

[0023] 图1是本发明实施例的流量-压力双闭环气体压力控制方法的流程图；

[0024] 图2是本发明实施例的流量-压力双闭环气体压力控制装置的结构示意图；

[0025] 图3是本发明实施例的流量-压力双闭环气体压力控制方法的系统框图；

[0026] 图4是本发明实施例的流量-压力双闭环气体压力控制方法的控制算法流程图；

[0027] 图中1-活门座，2-活门杆，3-橡胶垫，4-音圈电机，5-控制板，6-流量传感器，7-压力传感器，8-弹簧，9-气源腔，10-待控制压力腔。

## 具体实施方式

[0028] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

[0029] 如图1所示，本发明实施例的流量-压力双闭环气体压力控制方法，包括以下步骤：

[0030] S1、获取流量传感器和压力传感器实时采集到的流量数据和压力数据，包括活门入口处的流入流量数据和系统出口处的气体压力数据；

[0031] S2、双闭环系统的内环系统根据流入流量数据和气体压力数据，计算得出干扰流

量数据的大小,并以输入流量数据和干扰流量数据的差值作为内环控制参数,使用比例积分微分(PID)运算的方法,进而计算得出活门的移动方向和位移量;

[0032] S3、双闭环系统的外环系统根据系统出口处的气体压力数据,与输入的目标压力数据计算差值,得出系统的静态误差,并计算得出为活门附加的调节移动方向和调节位移量;

[0033] S4、根据内环系统得出的移动方向和位移量,以及外环系统得出的调节移动方向和调节位移量,对活门进行调节,使系统的压力达到目标控制范围。

[0034] 如图2所示,本发明实施例的流量-压力双闭环气体压力控制装置用于实现本发明实施例的流量-压力双闭环气体压力控制方法,包括气源腔9、待控制压力腔10和控制装置;

[0035] 待控制压力腔10内安装有流量传感器6和压力传感器7;

[0036] 控制装置包括活门座1、活门杆2、橡胶垫3、音圈电机4、控制板5和弹簧8;活门座1、活门杆2和橡胶垫3构成可变密封结构。

[0037] 控制板5与音圈电机4、流量传感器6和压力传感器7相连,并控制音圈电机4的工作状态;流量传感器6设置在靠近流量干扰源处。

[0038] 音圈电机4与活门杆2相连,并在通电时带动活门杆2运动;

[0039] 活门杆2上套接有弹簧8,弹簧8将活门杆2压紧在活门座1上;活门杆2的活动端设置有用于对气源腔9密封的橡胶垫3。

[0040] 如图3所示,在本发明的另一个实施例中,双闭环系统的内环通过监测活门的输入流量和系统出口处的压力变化,计算出干扰流量的大小,再以输入流量和干扰流量的差值作为内环控制参数,进行PID运算,确定活门移动方向和相对位移量,进而使活门输出流量始终与干扰流量在整个控制过程中保持一致。同时由于系统阻尼及数字系统调节周期等原因,会使系统调节存在静差,通过外环的压力控制环,对静差进行测量,并根据系统的调节周期为活门附加以较小的位移量,使系统的压力能够在若干个周期内到达目标控制范围。

[0041] 控制板5按预设的内部程序,一定的频率采集及处理流量传感器6和压力传感器7的输出量,获取待控制压力腔的流量E和压力P,之后根据物理结构的流量与活门开度传递函数关系及上一控制周期输出的活门开度确定系统的等效流量E',同时根据待控制压力腔的压力P与目标压力的差值换算出补偿流量E\*,接下来根据流量传感器6测得的流量E与等效流量E'及补偿流量E\*的流量误差 $E_0 = E - E' + E^*$ ,之后根据流量误差E<sub>0</sub>的PID运算出控制量增量X<sub>i</sub>,通过与本控制周期之前的X<sub>0</sub>、X<sub>1</sub>、……X<sub>i-1</sub>累加获得控制输出,当控制板5向音圈电机4输出控制信号,音圈电机4动作克服弹簧8作用打开活门杆2与活门座1的密封,建立相应的流量,进而消除流量干扰项对待控制压力腔气体压力的影响,同时保证在调节过程中待控制压力腔的压力不会出现较大下降。

[0042] 如图4所示,本发明实施例的控制方框图中有系统的干扰项,如果单纯使用出口压力进行闭环控制,流量干扰项对控制系统是不可观的,因此在调节过程中无法针对变化的干扰项进行有效地调整和跟随,这导致系统调节的输出流量相较干扰流量始终存在动态误差,而系统采用的闭环控制参数为压力,由于干扰项不可观引起的动态误差经过时间的积分就会反映在压力上,进而引起系统调节波动,因此通过增加内环的流量控制,消除因干扰项不可观引起的动态误差,可有效控制系统的波动。

[0043] 控制过程中可将气体调节过程看成等熵绝热过程,则物理系统的模型如下:由理

想气体方程可得待控制压力腔内压力微分方程为:

$$[0044] \quad \frac{dp}{dt} = \frac{\kappa \times R \times T}{V} \cdot \frac{dm}{dt} = \frac{\kappa \times R \times T}{V} (Q_{in} - Q_{out})$$

[0045] 其中,  $p$ ——待控制压力腔内的压力;

[0046]  $R$ ——气体常数;

[0047]  $V$ ——待控制压力腔容积;

[0048]  $\kappa$ ——气体绝热指数;

[0049]  $T$ ——温度;

[0050]  $Q_{in}$ ——输入待控制压力腔的流量;

[0051]  $Q_{out}$ ——输出待控制压力腔的流量,在飞行员供氧调节装置中为飞行员的呼吸流量干扰项。

[0052] 控制系统通过电机控制活门杆的开度,利用气源腔的高压气体在待控制压力腔建立输入待控制压力腔的流量 $Q_{in}$ ,实现对待控制压力腔气体压力的控制,输入待控制压力腔的流量与活门开度的关系为:

$$[0053] \quad Q_{in} = \begin{cases} C_d \cdot A \cdot \frac{p_o}{\sqrt{R \cdot T_o}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa}{\kappa - 1} \cdot \left(\frac{p}{p_o}\right)^{\frac{2}{\kappa}} \cdot \left(1 - \frac{p}{p_o}\right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}}}, \frac{p}{p_o} > 0.5283 \\ C_d \cdot A \cdot \frac{p_o}{\sqrt{R \cdot T_o}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa}{\kappa + 1} \cdot \left(\frac{2}{\kappa + 1}\right)^{\frac{2}{\kappa - 1}}}, \frac{p}{p_o} < 0.5283 \end{cases}$$

[0054] 其中,  $C_d$ ——活门流量系数;

[0055]  $A$ ——活门流通面积;

[0056]  $p_o$ ——气源腔气体压力;

[0057]  $T_o$ ——气源腔气体温度。

[0058] 流通面积与活门开度的关系为:

$$[0059] \quad A = \pi D \cdot x$$

[0060] 其中,  $D$ ——活门直径;

[0061]  $x$ ——活门开度;

[0062] 则活门开度与待控制压力腔的压力的传递函数为:

$$[0063] \quad \frac{p(s)}{X(s)} = \frac{\frac{\kappa RT}{V} k_1}{s + \frac{\kappa RT}{V} (k_2 + k_3)}$$

[0064] 其中,  $k_1 = \frac{\partial Q_{in}}{\partial x}$ ;  $k_2 = \frac{\partial Q_{in}}{\partial p}$ ;  $k_3 k_3 = \frac{\partial Q_{out}}{\partial p}$ 。

[0065] 控制量 $U_i$ 与活门开度 $x$ 的关系与电机特性相关,音圈电机的传递函数为:

$$[0066] \quad \frac{X(s)}{U(s)} = \frac{k_m}{(ms^2 + cs + k)(\tau_L s + 1)r + k_m k_E s}$$

[0067] 其中,  $k_m$ ——电磁力系数;



- [0068] m——活门质量；  
 [0069] c——阻尼系数；  
 [0070] k——弹簧刚度；  
 [0071]  $\tau_L$ ——线圈回路电气时间常数；  
 [0072] r——线圈回路电阻；  
 [0073]  $k_m$ ——电磁力系数；  
 [0074]  $k_E$ ——反电动势系数。  
 [0075] 则物理结构的开环传递函数为：

$$[0076] \quad G(s) = \frac{\frac{k_1}{(k_2 + k_3)}}{\frac{V}{\kappa RT(k_2 + k_3)} s + 1} \cdot \frac{\frac{k_m}{rm}}{s^2 + \frac{(rc + k_m k_E)}{rm} s + \frac{k}{m}}$$

- [0077] 应当理解的是，对本领域普通技术人员来说，可以根据上述说明加以改进或变换，而所有这些改进和变换都应属于本发明所附权利要求的保护范围。

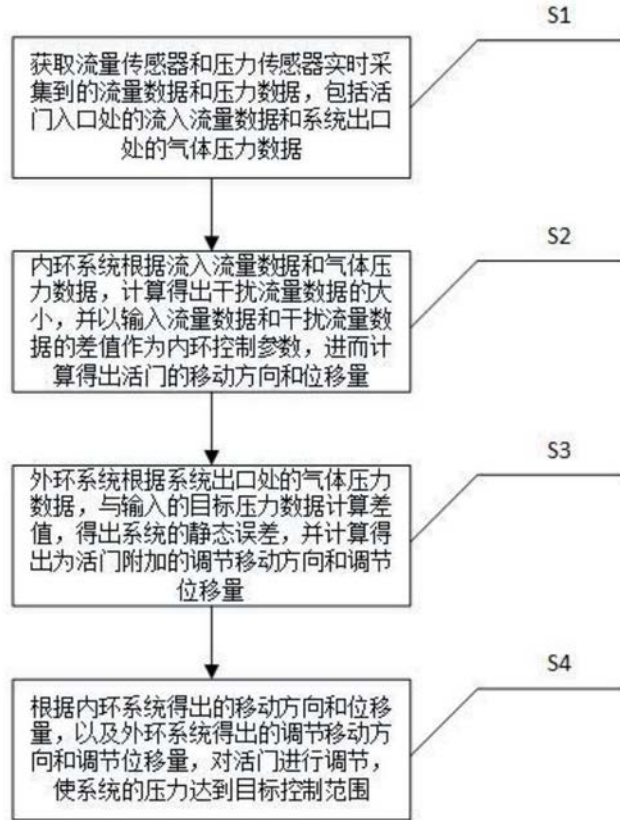


图1

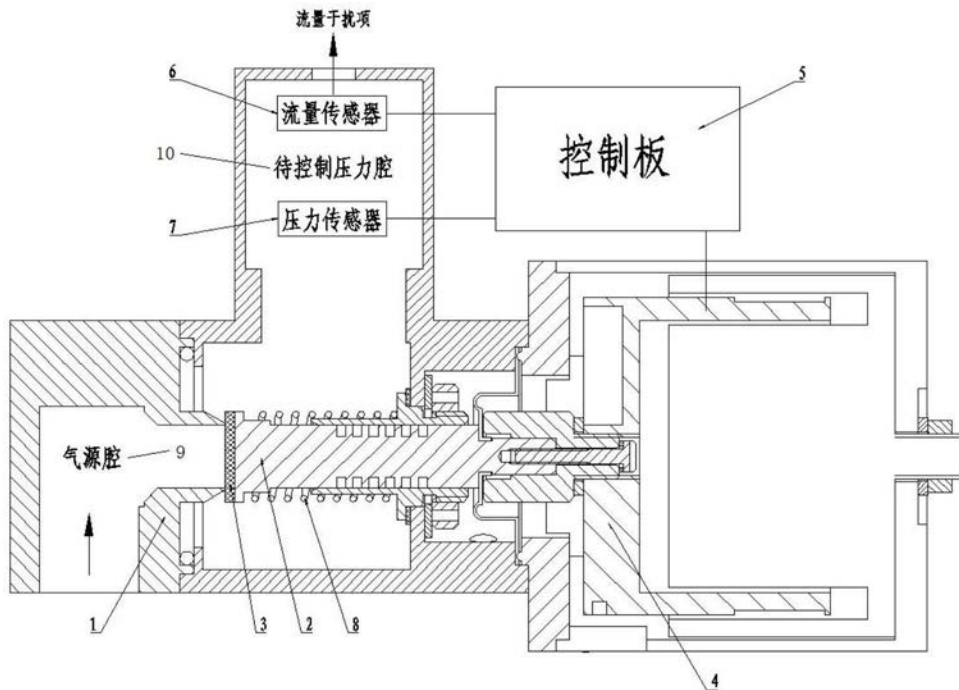


图2

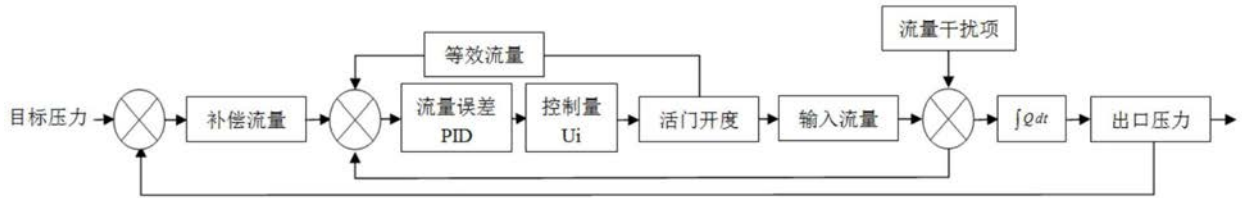


图3

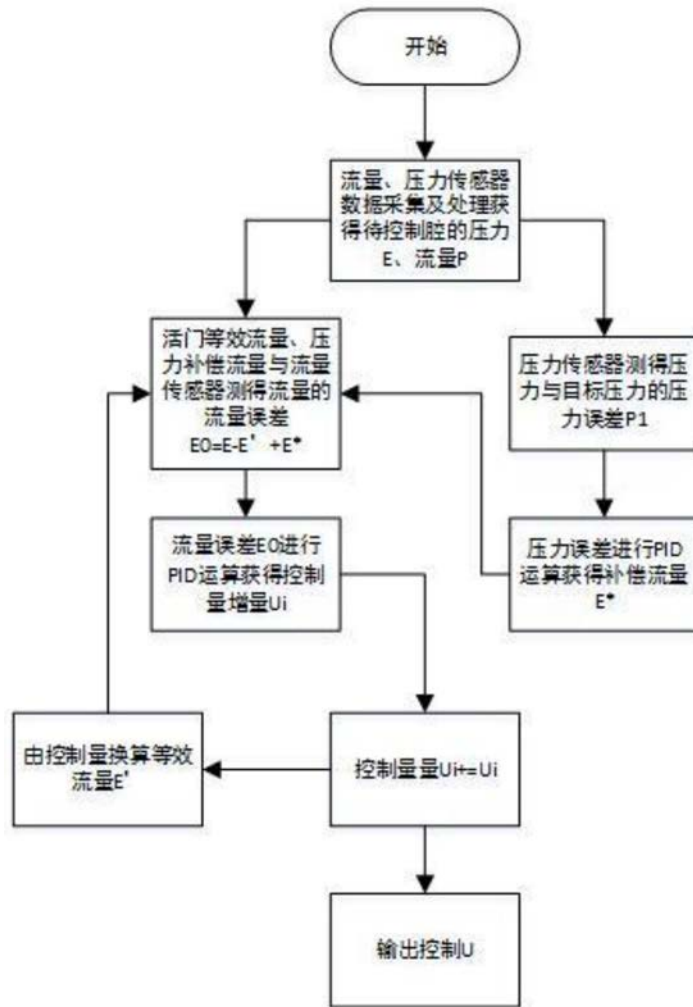


图4