



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109372826 B

(45)授权公告日 2020.03.24

(21)申请号 201811525918.2

(22)申请日 2018.12.13

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 109372826 A

(43)申请公布日 2019.02.22

(73)专利权人 中国工程物理研究院化工材料研究所

地址 621000 四川省绵阳市绵山路64号

(72)发明人 梁晓辉 周红萍 温茂萍 付涛

(74)专利代理机构 四川省成都市天策商标专利事务所 51213

代理人 刘渝

(51)Int.Cl.

F15B 19/00(2006.01)

(56)对比文件

CN 105716887 A,2016.06.29,说明书第[0005]-[0023]段.

CN 107387503 A,2017.11.24,说明书第[0042]-[0059]段和说明书附图1-5.

CN 104568590 A,2015.04.29,全文.

CN 103940604 A,2014.07.23,全文.

CN 104535427 A,2015.04.22,全文.

US 5575150 A,1996.11.19,全文.

JP H0622816 B2,1994.03.30,全文.

审查员 刘洋

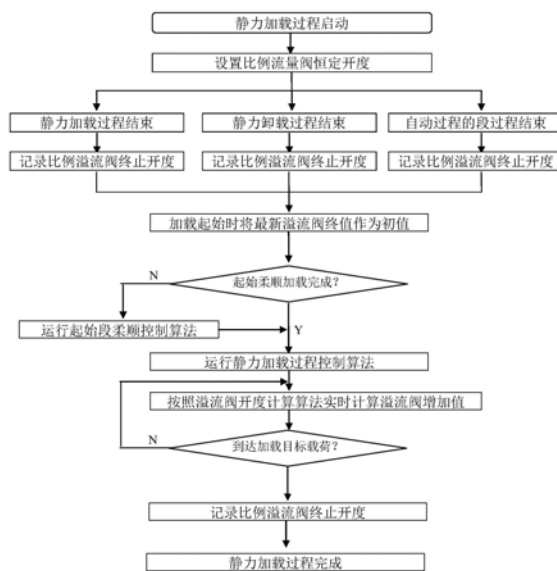
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种线性持续静力加载控制方法

(57)摘要

本发明公开了一种线性持续静力加载控制方法,用于非线性无积分环节液压加载系统,包括精确线性持续静力加载控制方法、提高静力加载过程线性度的方法与实现静力加载过程中持续加载的方法。本发明的线性持续静力加载控制方法,适用于小型高压液压腔无主动蓄压功能液压装置的精确线性持续静力加载要求,也同样适用于其他非线性或无积分环节液压装置的精确线性持续静力加载要求,主要目的是解决现有以负荷为控制量、以比例溢流阀为执行元件的负荷开环控制过程中存在静力无法精确线性加载的问题,以及解决现有以负荷为控制量、以比例溢流阀为执行元件、以实时负荷为反馈量的负荷闭环控制过程中存在负荷值震荡而无法持续静力加载的问题。



1. 一种线性持续静力加载控制方法,用于非线性无积分环节液压加载系统,其特征在于,包括精确线性持续静力加载控制方法、提高静力加载过程线性度的方法与实现静力加载过程中持续加载的方法;所述精确线性持续静力加载控制方法是基于以液压泵为液压动力、以液压油缸为液压能输出元件、以比例溢流阀为加载力控制执行元件、以比例流量阀为加载过程位移控制元件的液压力静力加载系统;所述精确线性持续静力加载控制方法具体包括:

1) 静力加载全过程中比例流量阀开度为固定值,该开度值需确保加载过程中比例流量阀进口与出口无压力差;

2) 液压驱动系统运行过程中,比例溢流阀需连续、柔顺变化,空程下行、静力加载、卸载、补载或空程回程的过程结束时均需存储比例溢流阀开度,且该开度作为下一个过程的初始开度;

3) 静力加载过程启动,高压泵与加载回路接通瞬间,系统读取存储的比例溢流阀初始开度作为实时开度;启动后,实时开度按照控制算法实时计算更新;

4) 按照系统设置的加载目标载荷与加载过程控制时间,计算得到的载荷增加值;根据提高静力加载过程线性度的方法与实现静力加载过程中持续加载的方法计算比例溢流阀的更新值;在控制系统的T秒中断里更新比例溢流阀开度;

5) 当加载到设置目标载荷时,加载过程停止。

2. 根据权利要求1所述的线性持续静力加载控制方法,其特征是,所述T秒的取值为0.1秒。

3. 根据权利要求1所述的线性持续静力加载控制方法,其特征是,在将空程下行、静力加载、卸载、补载或空程回程的过程结束时存储的比例溢流阀开度作为下一个过程的初始开度时,具体在空程回程或者实时负荷值低于加载起始负荷值时将初始开度设置为0%;静力加载过程或者卸载过程结束,将当时的比例溢流阀开度存储为初始开度;自动加载过程中,静力加载与卸载结束时将当时开度存储为初始开度;根据补压算法,始终记录补压时刻的开度。

4. 根据权利要求2所述的线性持续静力加载控制方法,其特征是,所述提高加载过程线性度的方法具体为:

1) 测定满量程加载力值 $F_s$ 对应的比例溢流阀开度均值 $X_s$ ,计算得到溢流阀开度与载荷的理想比例系数 $k_1$ ,

$$k_1 = \frac{X_s}{F_s};$$

2) 根据加载力 $F_J$ 与加载控制时间 $T_J$ ,以0.1秒为控制段距,计算每个控制段距里加载力的增加量 $\Delta F_J$ ,其中,加载控制时间 $T_J$ 的单位为分钟;

$$\Delta F_J = \frac{F_J}{T_J \cdot 60 \cdot 10}$$

3) 更新实时设定载荷 $F_{set}$ ,按照每个0.1秒中断累加 $\Delta F_J$ ;

4) 实时测量实时载荷 $F_{real}$ ,计算实时设定载荷 $F_{set}$ 与实时载荷 $F_{real}$ 的差值 $\Delta F_{real}$ :

$$\Delta F_{real} = F_{set} - F_{real};$$

5) 获得实时设定载荷 $F_{set}$ 与实时载荷 $F_{real}$ ,以实时设定载荷 $F_{set}$ 为控制量输入,以实时载荷 $F_{real}$ 为反馈量,以按照连续量控制器设计控制器,控制器输出作为溢流阀开度增量 $\Delta K_{real}^1$ ;

6) 根据持续静力加载方法,修正溢流阀开度增量 $\Delta K_{real}^1$ ,得到持续加载抑制后的溢流阀开度增量 $\Delta K_{real}^2$ ;

7) 在0.1秒中断里,实时计算新的溢流阀开度值 $K_{real}$ ,具体计算公式为:

$$K_{real}(T) = K_{real}(T-1) + \Delta K_{real}^2$$

8) 将溢流阀实时开度值 $K_{real}$ 输出给比例溢流阀,实现静力加载过程的精密线性控制。

5. 根据权利要求4所述的线性持续静力加载控制方法,其特征在于,所述实现加载过程中持续静力加载的方法具体为:

1) 通过连续量控制器计算得到溢流阀开度增量 $\Delta K_{real}^1$ ,载荷震荡是由于开度增量为负值、引起无积分环节液压系统的比例溢流阀减小导致压力下降,设计一个非线性震荡抑制环节消除溢流阀开度降低因素,可抑制加载过程压力震荡、实现静力持续加载;

2) 非线性补偿环节为一个函数,函数输入为连续量控制器计算得到的溢流阀开度增量 $\Delta K_{real}^1$ ,函数输出为非线性补偿后的溢流阀开度增量 $\Delta K_{real}^{c1}$ ,函数计算体为:

$$\Delta K_{real}^{c1} = \begin{cases} \Delta K_{real}^1 & \Delta K_{real}^1 \geq 0 \\ 0 & \Delta K_{real}^1 < 0 \end{cases}。$$

## 一种线性持续静力加载控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及控制算法技术领域,特别涉及一种线性持续静力加载控制方法。

### 背景技术

[0002] 一些材料的研究过程中需评价其静力强度水平,因此,需研究一台应用于材料强度测试的科研试验仪器。

[0003] 液压机是提供大吨位、精密型、高惯性、连续型、强稳定性力最常用的装置,是安全型、大吨位、超精密型静力加载装置常用的加载驱动方式。相比于材料成形应用的液压机,用于科研测试仪器使用的静力模拟设备液压加载系统一般要求性能精密、功能简单、体积紧凑等特点。

[0004] 目前研制的一台应用于材料静力强度测试的静力加载模拟设备,以比例溢流阀为被控元件,以比例溢流阀开度为被控执行元件的控制量,其液压力输出系统无积分环节、且非线性。控制方法上,若采用以比例溢流阀开度为执行元件的纯开环控制算法,虽解决了加载过程无震荡、可持续加载的问题,但无法解决加载过程中精确线性加载的问题;若采用以静力载荷为控制量、比例溢流阀开度为执行元件的闭环控制算法,虽解决了线性加载的问题,但无法解决加载过程震荡、可持续静力加载的问题,无法满足静力模拟加载设备对材料力学性能检测的要求。

[0005] 因此,需发明一种针对非线性无积分环节液压加载系统的精确线性持续静力加载控制方法,满足小型高压液压腔无主动蓄压功能的无积分液压系统的精确线性持续静力加载功能。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的是克服上述背景技术中不足,提供一种线性持续静力加载控制方法,适用于小型高压液压腔无主动蓄压功能液压装置的精确线性持续静力加载要求,也同样适用于其他非线性或无积分环节液压装置的精确线性持续静力加载要求,主要目的是解决现有以负荷为控制量、以比例溢流阀为执行元件的负荷开环控制过程中存在无法精确线性静力加载的问题,以及解决现有以负荷为控制量、以比例溢流阀为执行元件、以实时负荷为反馈量的负荷闭环控制过程中存在负荷值震荡而无法持续静力加载的问题,满足非线性、无积分环节的液压加载系统对于载荷的精确线性持续静力加载控制要求,包括了:精确线性持续静力加载控制总体方法、提高加载过程线性度的方法与实现加载过程中持续静力加载的方法。

[0007] 其中,本技术方案中所述的无主动蓄压是指:液压系统液控部件与油缸等组成的高压腔体的压力无法通过单向阀、液控单向阀或者插装阀等反向截止压力保载元件进行保载,只能通过液压回路上的比例压力阀进行保载。在控制理论上,该系统也称为无积分环节系统。

[0008] 对于本领域技术人员而言,可以明确知晓的是,为了顺利实施本发明,需要至少具

备如下技术条件：

[0009] 首先，本发明的线性持续静力加载控制方法是基于以液压泵为液压动力、以液压油缸为液压能输出元件、以比例溢流阀为加载力控制执行元件、以比例流量阀为加载过程位移控制元件的液压力加载系统，其中，精确线性持续加载控制总体方法的具体控制为：

[0010] 1) 静力加载全过程中比例流量阀开度为固定值，该开度值需确保静力加载过程中比例流量阀进口与出口无压力差；

[0011] 2) 液压驱动系统运行过程中，比例溢流阀须连续、柔顺变化，空程下行、静力加载、卸载、补载或空程回程等过程结束时均需存储比例溢流阀开度，该开度作为下一个过程的初始开度，具体为：空程回程或者实时负荷值低于静力加载起始负荷值时将初始开度设置为0%；静力加载过程或者卸载过程结束，将当时的比例溢流阀开度存储为初始开度；自动静力加载过程中，静力加载与卸载结束时将当时开度存储为初始开度；根据补压算法，始终记录补压时刻的开度；

[0012] 3) 静力加载过程启动，高压泵与加载回路接通瞬间，系统读取存储的比例溢流阀初始开度作为实时开度；启动后，实时开度按照控制算法实时计算更新；

[0013] 4) 按照系统设置的静力加载目标载荷与静力加载过程控制时间，计算得到的静力载荷增加值；根据提高静力加载过程线性度的方法、实现静力加载过程中持续加载的方法计算比例溢流阀的更新值；在控制系统的T秒中断里更新比例溢流阀开度；

[0014] 具体的，本技术方案中的中断推荐值为0.1秒即T的优选取值为0.1，实际中也可根据具体情况取其他值，比如：0.2秒、0.5秒、0.05秒等；但针对不同程序体量大小的系统，中断时间长会造成响应灵敏度降低问题；太短会导致程序漏运行的问题，因此，具体应用时需根据具体情况及需求设定；

[0015] 5) 当静力加载到设置目标载荷时，静力加载过程停止。

[0016] 在上述方法中，本发明的技术方案还提供一种提高静力加载过程线性度的闭环控制方法，用于实现精确线性持续静力加载控制总体方法中精确线性静力加载的功能，该方法具体为：

[0017] 1) 试验测定满量程加载力值 $F_s$ 对应的比例溢流阀开度均值 $X_s$ ，计算得到溢流阀开度与载荷的理想比例系数 $k_1$ ，

$$[0018] \quad k_1 = \frac{X_s}{F_s};$$

[0019] 2) 根据加载力 $F_J$ 与加载控制时间 $T_J$ (单位:min)，以0.1秒为控制段距，计算每个控制段距里加载力的增加量 $\Delta F_J$ ，

$$[0020] \quad \Delta F_J = \frac{F_J}{T_J \cdot 60 \cdot 10}$$

[0021] 3) 更新实时设定载荷 $F_{set}$ ，按照每个0.1秒中断累加 $\Delta F_J$ ；

[0022] 4) 计算实时设定载荷 $F_{set}$ 与实时载荷 $F_{real}$ 的差值 $\Delta F_{real}$ ：

$$[0023] \quad \Delta F_{real} = F_{set} - F_{real};$$

[0024] 5) 获得了实时设定载荷 $F_{set}$ 与实时测量载荷 $F_{real}$ ，以实时设定载荷 $F_{set}$ 为控制量输入，以实时测量载荷 $F_{real}$ 为反馈量，以按照连续量控制器设计控制器，控制器输出作为溢流

阀开度增量 $\Delta K_{real}^1$ ;

[0025] 6) 根据持续加载方法,修正溢流阀开度增量 $\Delta K_{real}^1$ ,得到持续加载抑制后的溢流阀开度增量 $\Delta K_{real}^2$ ;

[0026] 7) 在0.1秒中断里,实时计算新的溢流阀开度值 $K_{real}$ :

$$[0027] \quad K_{real}(T) = K_{real}(T-1) + \Delta K_{real}^2$$

[0028] 8) 将溢流阀实时开度值输出给比例溢流阀,实现静力加载过程的精密线性控制。

[0029] 同时,基于上述技术方案,本发明的技术方案还提供一种实现无积分环节闭环控制系统持续静力加载的方法,用于实现精确线性持续静力加载控制总体方法中载荷无震荡、可持续静力加载的功能,该方法具体为:

[0030] 1) 通过连续量控制器计算得到溢流阀开度增量 $\Delta K_{real}^1$ ,载荷震荡是由于开度增量为负值、引起无积分环节液压系统的比例溢流阀减小导致压力下降,设计一个非线性震荡抑制环节消除溢流阀开度降低因素,可抑制静力加载过程静力值震荡、实现持续静力加载;

[0031] 2) 非线性补偿环节为一个函数,函数输入为连续量控制器计算得到的溢流阀开度增量 $\Delta K_{real}^1$ ,函数输出为非线性补偿后的溢流阀开度增量 $\Delta K_{real}^{c1}$ ,函数计算体为:

$$[0032] \quad \Delta K_{real}^{c1} = \begin{cases} \Delta K_{real}^1 & \Delta K_{real}^1 \geq 0 \\ 0 & \Delta K_{real}^1 < 0 \end{cases}。$$

[0033] 本发明与现有技术相比,具有以下的有益效果:

[0034] 本发明的线性持续静力加载控制方法提供了一种适用于非线性、无积分环节液压静力加载系统的精确线性持续静力加载控制方法,满足实验室或者工业科研生产对静力精确加载设备加载过程的精确线性持续静力加载的需求,该方法可推广应用到其他无积分环节的压力、流量与温度控制系统的精确线性持续控制领域。

## 附图说明

[0035] 图1是本发明的精确线性持续静力加载控制方法的流程图。

[0036] 图2是本发明的精确线性持续静力加载控制方法的设计框图。

[0037] 图3是本发明的非线性无积分环节液压静力加载系统的示意图。

## 具体实施方式

[0038] 下面结合本发明的实施例对本发明作进一步的阐述和说明。

[0039] 实施例:

[0040] 如图1至3所示,一种非线性无积分环节液压静力加载系统的线性持续静力加载控制方法,包括精确线性持续静力加载控制方法、提高静力加载过程线性度的方法与实现静力加载过程中持续加载的方法。

[0041] 其中,精确线性持续静力加载控制方法是基于以液压泵为液压动力、以液压油缸为液压能输出元件、以比例溢流阀为加载力控制执行元件、以比例流量阀为加载过程位移控制元件的液压力加载系统。

[0042] 图3中具体示出了该液压力加载系统的关键零部件及其具体链接关系,具体为:液压油箱与空载运行泵和加载泵连接,为液压系统提供油源,空载运行泵连接到下行回程液压阀,用于控制进入液压油缸的液压油实现下行与回程;比例溢流阀连接加载泵与比例流量阀,比例流量阀与下行回程液压阀共同连接到液压油缸,比例溢流阀控制加载泵输出给液压油缸的压力,比例流量阀控制进入液压油缸的流量,实现加载与卸载控制功能。

[0043] 所述精确线性持续加载控制方法具体包括:

[0044] 1) 静力加载全过程中比例流量阀开度为固定值,该开度值需确保静力加载过程中比例流量阀进口与出口无压力差;

[0045] 2) 液压驱动系统运行过程中,比例溢流阀须连续、柔顺变化,空程下行、静力加载、卸载、补载或空程回程的过程结束时均需存储比例溢流阀开度,且该开度作为下一个过程的初始开度;

[0046] 具体为:在空程回程或者实时负荷值低于静力加载起始负荷值时将初始开度设置为0%;静力加载过程或者卸载过程结束,将当时的比例溢流阀开度存储为初始开度;自动静力加载过程中,静力加载与卸载结束时将当时开度存储为初始开度;根据补压算法,始终记录补压时刻的开度。

[0047] 3) 静力加载过程启动,高压泵与加载回路接通瞬间,系统读取存储的比例溢流阀初始开度作为实时开度;启动后,实时开度按照控制算法实时计算更新;

[0048] 4) 按照系统设置的静力加载目标载荷与静力加载过程控制时间,计算得到的载荷增加值;根据提高静力加载过程线性度的方法与实现加载过程中持续静力加载的方法计算比例溢流阀的更新值;在控制系统的0.1秒中断里更新比例溢流阀开度;

[0049] 5) 当加载到设置目标载荷时,静力加载过程停止。

[0050] 在将空程下行、静力加载、卸载、补载或空程回程的过程结束时存储的比例溢流阀开度作为下一个过程的初始开度时,

[0051] 其中,提高静力加载过程线性度的方法具体为:

[0052] 1) 测定满量程加载力的值 $F_s$ 对应的比例溢流阀开度均值 $X_s$ ,计算得到溢流阀开度与载荷的理想比例系数 $k_1$ ,

$$[0053] \quad k_1 = \frac{X_s}{F_s};$$

[0054] 2) 根据加载力 $F_J$ 与加载控制时间 $T_J$ ,以0.1秒为控制段距,计算每个控制段距里加载力的增加量 $\Delta F_J$ ,其中,加载控制时间 $T_J$ 的单位为分钟;

$$[0055] \quad \Delta F_J = \frac{F_J}{T_J \cdot 60 \cdot 10}$$

[0056] 3) 更新实时设定载荷 $F_{set}$ ,按照每个0.1秒中断累加 $\Delta F_J$ ;

[0057] 4) 实时测量实时载荷 $F_{real}$ ,计算实时设定载荷 $F_{set}$ 与实时载荷 $F_{real}$ 的差值 $\Delta F_{real}$ ;

$$[0058] \quad \Delta F_{real} = F_{set} - F_{real};$$

[0059] 5) 获得实时设定载荷 $F_{set}$ 与实时载荷 $F_{real}$ ,以实时设定载荷 $F_{set}$ 为控制量输入,以实时载荷 $F_{real}$ 为反馈量,以按照连续量控制器设计控制器,控制器输出作为溢流阀开度增量 $\Delta K_{real}^1$ ;

[0060] 6) 根据持续静力加载方法,修正溢流阀开度增量 $\Delta K_{real}^1$ ,得到持续静力加载抑制后的溢流阀开度增量 $\Delta K_{real}^2$ ;

[0061] 7) 在0.1秒中断里,实时计算新的溢流阀开度值 $K_{real}$ ,具体计算公式为:

$$[0062] \quad K_{real}(T) = K_{real}(T-1) + \Delta K_{real}^2$$

[0063] 8) 将溢流阀实时开度值 $K_{real}$ 输出给比例溢流阀,实现静力加载过程的精密线性控制。

[0064] 具体的,实现静力加载过程中持续静力加载的方法具体为:

[0065] 1) 通过连续量控制器计算得到溢流阀开度增量 $\Delta K_{real}^1$ ,载荷震荡是由于开度增量为负值、引起无积分环节液压系统的比例溢流阀减小导致压力下降,设计一个非线性震荡抑制环节消除溢流阀开度降低因素,可抑制静力加载过程静力值震荡、实现持续静力加载;

[0066] 2) 非线性补偿环节为一个函数,函数输入为连续量控制器计算得到的溢流阀开度增量 $\Delta K_{real}^1$ ,函数输出为非线性补偿后的溢流阀开度增量 $\Delta K_{real}^{c1}$ ,函数计算体为:

$$[0067] \quad \Delta K_{real}^{c1} = \begin{cases} \Delta K_{real}^1 & \Delta K_{real}^1 \geq 0 \\ 0 & \Delta K_{real}^1 < 0 \end{cases}。$$

[0068] 可以理解的是,以上实施方式仅仅是为了说明本发明的原理而采用的示例性实施方式,然而本发明并不局限于此。对于本领域内的普通技术人员而言,在不脱离本发明的精神和实质的情况下,可以做出各种变型和改进,这些变型和改进也视为本发明的保护范围。



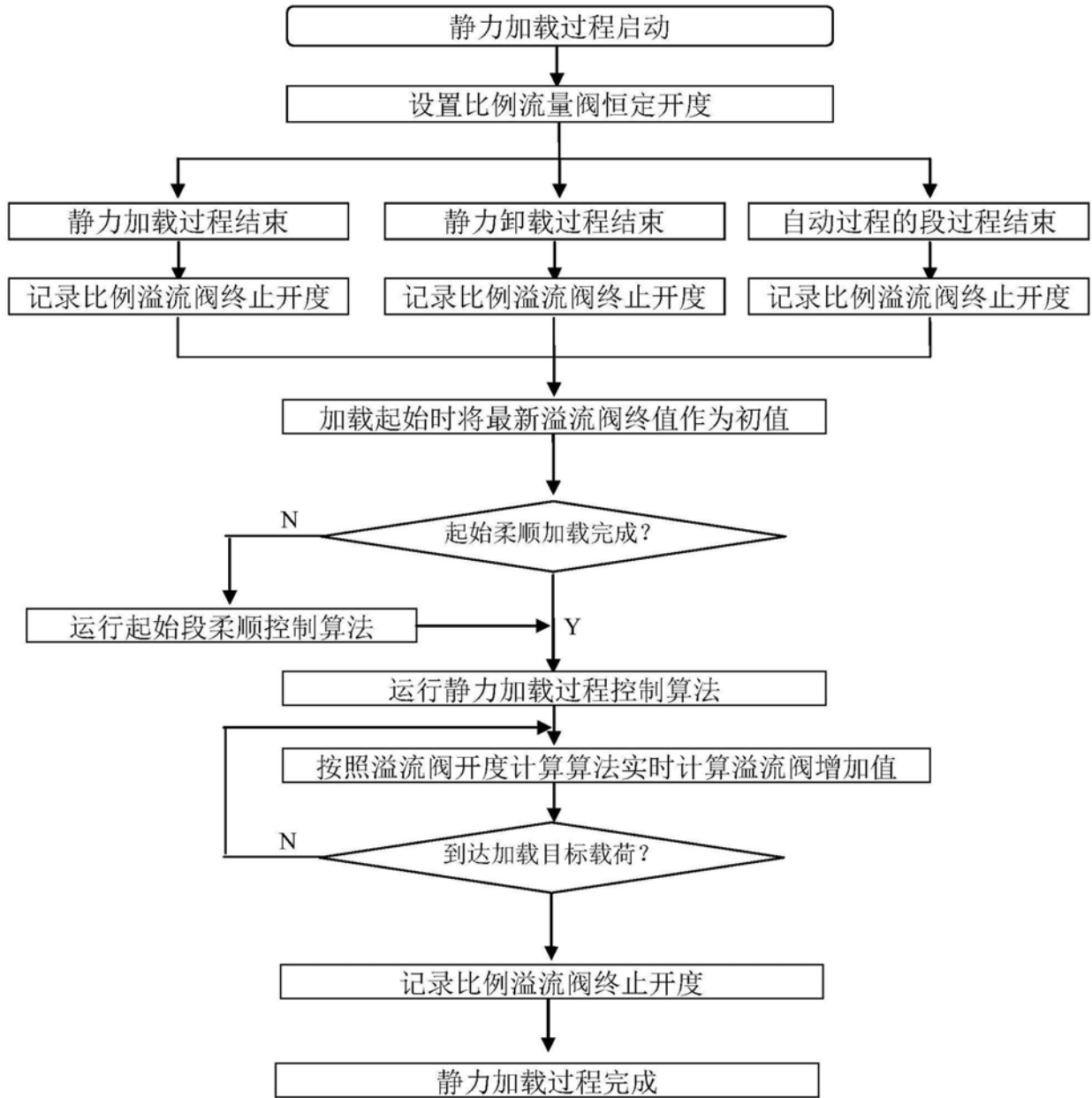


图1

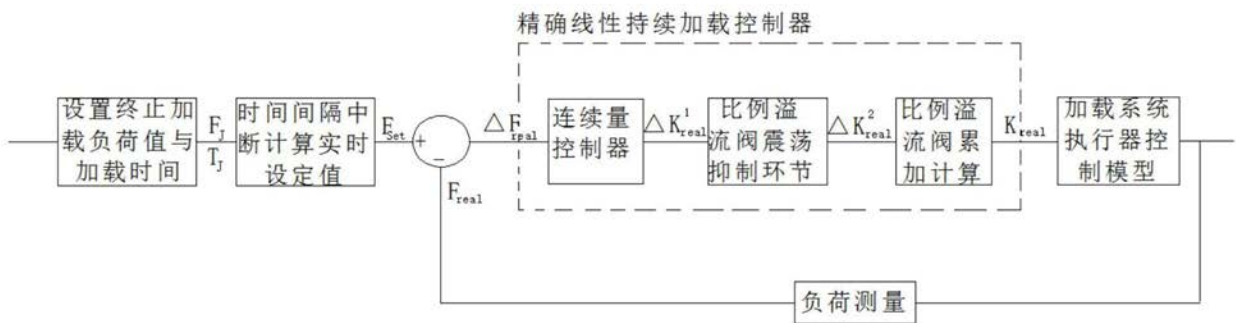


图2

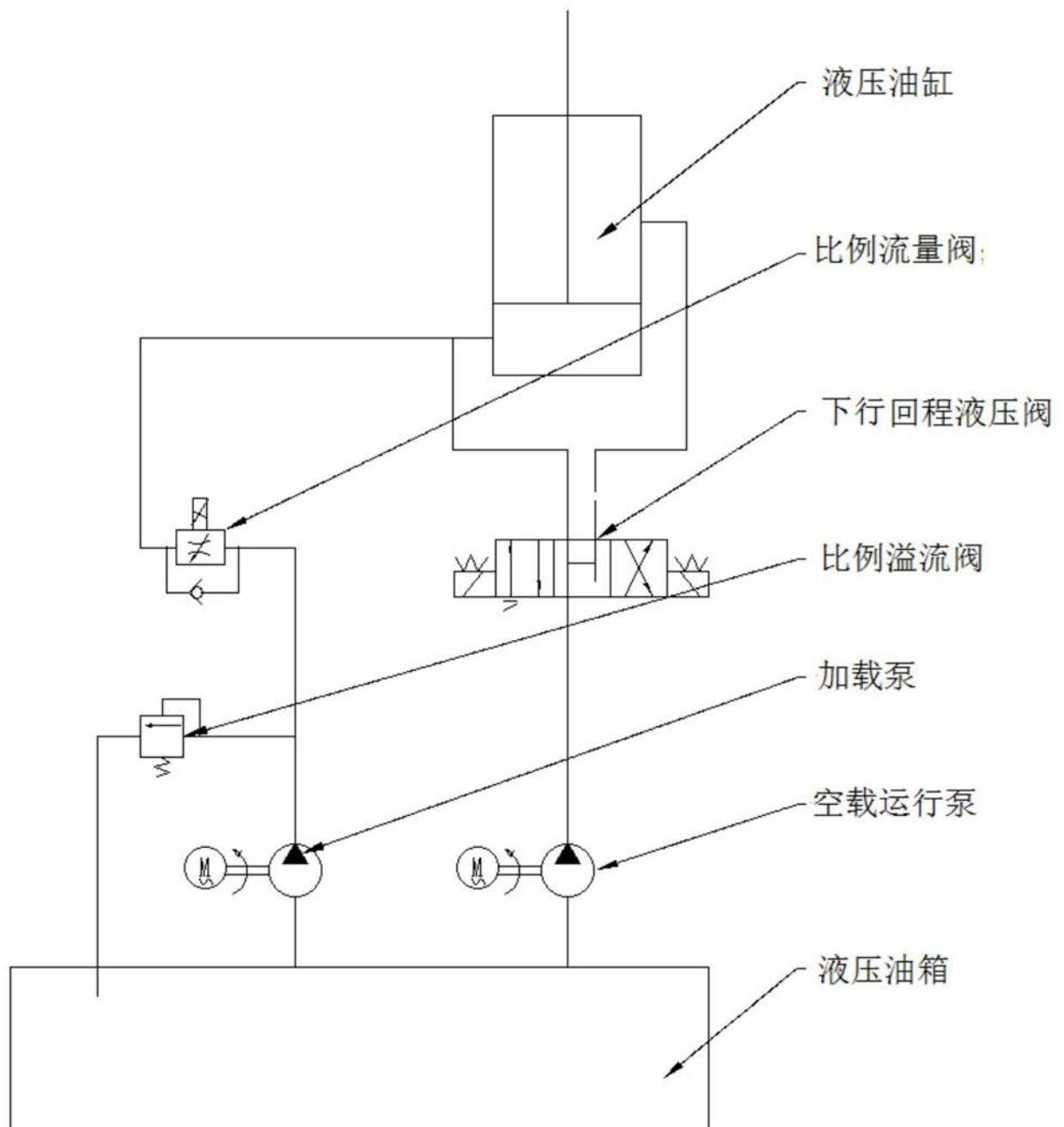


图3