



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109596437 B

(45) 授权公告日 2021.04.02

(21) 申请号 201910032421.5
 (22) 申请日 2019.01.14
 (65) 同一申请的已公布的文献号
 申请公布号 CN 109596437 A
 (43) 申请公布日 2019.04.09
 (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 曹志伟 范玉德 温茂萍
 周红萍 付涛 王政炜 袁伟
 董天宝
 (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 郭会
 (51) Int.Cl.
 G01N 3/12 (2006.01)
 G01N 3/02 (2006.01)

(56) 对比文件
 CN 107387503 A, 2017.11.24
 CN 108591181 A, 2018.09.28
 CN 201916283 U, 2011.08.03
 CN 203868019 U, 2014.10.08
 CN 107178541 A, 2017.09.19
 CN 105716887 A, 2016.06.29
 US 8844345 B1, 2014.09.30
 CN 104535427 A, 2015.04.22
 CN 107387504 A, 2017.11.24
 王鸿宇. 基于AMESIM的50吨液压伺服加载系统设计及仿真分析.《中国优秀硕士学位论文全文数据库 工程科技II辑》.2013, (第07期),
 窦雪川 等. 电液静力加载试验系统安全保护策略研究.《导弹与航天运载技术》.2016, (第2期),

审查员 魏珊珊

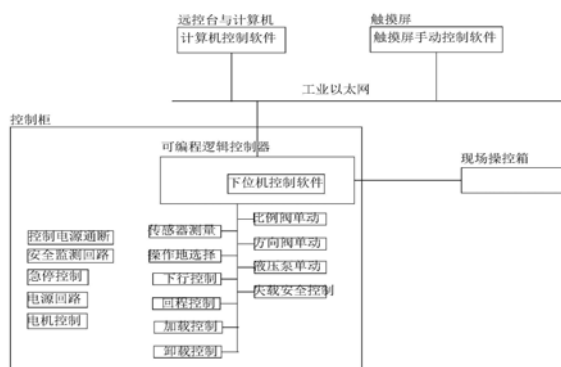
权利要求书4页 说明书11页 附图3页

(54) 发明名称

静力精确加载模拟装置的加载力控制系统设计方法

(57) 摘要

本发明公开了一种静力精确加载模拟装置的加载力控制系统设计方法,包括应用于大吨位安全型材料力学强度测试的静力精确加载装置的加载力控制系统的设计方法、加载力控制系统的总体设计实现方法、加载力控制系统的中央处理器系统设计方法、加载力控制系统的连锁互锁控制方法、加载力控制系统的失载下安全控制方法、加载力控制系统的检测系统设计方法、加载力控制系统的下行回程控制方法、加载力控制系统的加载卸载与补载控制算法。本发明的方法实现了静力精确加载模拟装置对加载过程柔顺性、高精度控制、安全控制等需求,满足静强度测试与评价对静力加载装置控制系统的要求。



1. 静力精确加载模拟装置的加载力控制系统设计方法,其特征在于,包括应用于大吨位安全型材料力学强度测试的静力精确加载装置的加载力控制系统的设计方法、加载力控制系统的总体设计实现方法、加载力控制系统的中央处理器系统设计方法、加载力控制系统的连锁互锁控制方法、加载力控制系统的失载下安全控制方法、加载力控制系统的检测系统设计方法、加载力控制系统的下行回程控制方法、加载力控制系统的加载卸载与补载控制算法;

所述加载力控制系统的设计方法包括:

所述加载力控制系统被设计为至少具备液压泵三相异步驱动电机的电力驱动功能,具备电源能级转换与交直流电源转换功能,具备设备启停许可控制功能,具备多地急停安全控制功能,具备操作地选择与互锁功能,具备液压换向阀的开关逻辑控制功能,具备液压比例流量阀和比例溢流阀的模拟量控制功能,具备压强、负荷、位移、形变的测量功能;

所述加载力控制系统的总体设计实现方法具体包括以下内容:

加载力控制系统的物理组成上包括了电气控制柜、液压站控制触摸屏、近地防爆控制操作箱、远程控制计算机;功能单元上主要由可编程逻辑控制器、工业控制计算机、计算机操作组态软件、触摸屏、工业以太网与基本电气系统组成;远程控制计算机、触摸屏、可编程逻辑控制器之间通过工业以太网通讯方法实现通讯;

所述电气控制柜用于实现各种控制元件的安装与线路连接,电气控制柜至少安装了加载模拟装置总控制开关、电源转换器件、电机控制回路、可编程逻辑控制器部件与回路与安全检测回路;

所述近地防爆控制操作箱采用防爆型机械操控箱,用于在加载装置现场操作加载机,可实现加载机基本的上行、下行、加载、卸载以及急停、操作地选择功能;

所述液压站控制触摸屏采用具备参数输入、操控输入、状态显示功能的触摸屏组件,液压站控制触摸屏通过工业以太网与可编程逻辑控制器建立连接;液压站控制触摸屏用于实现液压驱动系统各个电机液压泵、液压阀部件的单动功能,用于调试与设备功能优化;

所述可编程逻辑控制器采用具备工业以太网通讯功能、可提供足够通道数的数字输入与输出接口及模拟输入与输出接口的控制器组件;

所述远程控制计算机上运行有计算机操作组态软件,远程控制计算机用于向可编程逻辑控制器发送控制指令;工业控制计算机至少具备i3或相当于i3的处理器、具备以太网网卡功能,工业控制计算机与可编程逻辑控制器实现工业以太网通讯;所述计算机操作组态软件至少需具备所选用的可编程逻辑控制器的通讯驱动,方便各个变量与可编程逻辑控制器里的变量建立映射连接;

所述加载力控制系统的中央处理器系统设计方法具体包括:

所述中央处理器采用可编程逻辑控制器,被设计为至少需具备数字开关量输入与输出、模拟变量的输入与输出功能;中央处理器运行下位机控制软件,包括:操作地连锁算法、手动下行回程算法、手动加载卸载算法、非线性速度补偿算法、单动控制算法、全自动控制算法、失载保护算法、传感器检测与校正算法、安全控制算法、补压算法、溢流阀控制算法与流量阀控制算法;

中央处理器的逻辑控制信号输入包括了硬逻辑信号和软逻辑信号,所述硬逻辑信号包括:加载模拟装置的近控操作指令、远控操作指令;软逻辑信号包括:计算机组态软件中的

逻辑控制信号、触摸屏的逻辑控信号；

中央处理器的监测信号输入包括了电机控制回路元件、通断液压阀件的状态动作输入,主要用于实现加载模拟装置的故障智能诊断;中央处理器的检测功能被设计为包括了对传感器回路的信号进行处理,以获得传感器的实际值,功能上包括了:位移传感器、负荷传感器与压力传感器的检测功能;中央处理器的比例阀控制功能则被设计为通过下位机控制软件运行各种逻辑控制、安全控制与载荷控制算法实现,采用逻辑控制算法实现各种液压方向控制阀件的各种逻辑控制与安全控制,采用高精度曲线控制算法比例流量阀与比例溢流阀控制信号的计算实现载荷控制功能;

所述加载力控制系统的连锁互锁控制方法具体包括:

所述加载力控制系统被设计为包括近地、远程与泵站三地操作互锁功能、下行与回程的互锁功能、快速运行与慢速加载的互锁功能、超位移超载荷保护功能;

所述近地、远程与泵站三地操作互锁功能的实现方法为:被设计为任何时候只有一地可以操作,且操作的优先级别是:近地优先,泵站次之,远程最低;

所述下行与回程的互锁功能的实现方法为:加载力控制系统的硬件与下位机控制软件被设计为需同时保证上行与回程不能同时动作;其中,计算机操作组态软件需开放下行目标位移设定功能,下行目标位移数据根据被加载材料的尺寸确定,下位机控制软件需设计下行目标位移,到达指定位移下行动作停止;下位机控制软件需设计回程终止位移,到达终止位移回程动作停止;

所述快速运行与慢速加载的互锁功能的实现方法为:下行动作与实时载荷存在互锁功能,下行过程中冲头接触被加载材料后致使实时载荷上升,下行过程中产生载荷上升时应停止下行功能;同时,只有下行超过指定位移后,才能启动慢速加载动作;只有当载荷低于预设阈值后才能执行回程功能;

所述超位移超载荷保护功能的实现方法为:加载过程中当形变位移超过保护值,则自动停止加载过程;当实时载荷超过目标载荷或者最高工艺载荷时,加载过程均停止;

所述加载力控制系统的失载下安全控制方法具体包括失载判定方法、失载下的安全控制方法:

失载判断方法为:设置失载检测下限,当实时载荷超过检测下限后开启失载检测;设置失载比例或者失载载荷量阈值,失载按照 m 秒中断进行检测,当实时失载载荷超过了失载载荷阈值后,即判断已经失载,其中, m 大于0且小于1;

失载下安全控制方法为:判断失载后,立刻停止加载动作;以压力值作为被控量,按照设定卸压速度进行卸载;卸载到达指定值后,自动启动回程动作,直到回程到指定位置;

所述加载力控制系统的检测系统设计方法具体包括:

所述静力精确加载装置被设计为具备静力检测、位移和压强检测与材料形变监测功能,且静力精确加载装置还安装有油缸输入口压力传感器;

所述静力检测采用应变式负荷传感器实现,位移和压强检测采用标准信号传感器实现,材料形变监测通过载荷测量和位移测量共同实现,具体包括:定义超过压紧状态载荷阈值的位移值为形变零位值;通过实时位移 $d(t)$ 与形变零位值位移 $d(t_0)$ 的差值计算形变 d_{def} ,具体为: $d_{\text{def}} = d(t) - d(t_0)$;其中: $d(t)$ 表示实时位移,单位为: m ; $d(t_0)$ 表示形变零位值位移,单位为: m ; d_{def} 表示形变,单位为: m ;

所述加载力控制系统的下行回程控制方法具体包括:

下行回程的速度通过液压驱动系统设计,下行回程的目标位移自行设置,实时位置测量得到,运行速度通过数学离散差分方法计算得到,具体为: $v(T+1) = d(T+1) - d(T)$,其中: $v(T+1)$ 为T+1时刻的运行速度,单位为:m/s; $d(T+1)$ 为T+1时刻的位移,单位为:m; $d(T)$ 为T时刻的位移,单位为:m;

所述加载力控制系统的加载、卸载与补载控制算法具体包括:

所述加载算法包括起始段载荷柔顺加载算法与高线性度加载算法,卸载算法指高线性度卸载算法,补载算法指保载性能超出界限后进行柔顺补充载荷算法;

所述起始段载荷柔顺加载算法为:设定比例溢流阀与比例流量阀为固定的小开度,设定柔顺段加载目标载荷,加载过程启动后,实时载荷在小开度的比例溢流阀与比例流量阀控制下缓慢增加,增加速度为:0.1~1KN/s,当载荷超过柔顺段加载目标载荷后,起始段载荷柔顺加载过程结束,系统进入高线性度加载过程;

所述高线性度加载算法是选用带非线性补偿的开环控制算法;非线性补偿方法是通过加载过程中比例溢流阀开度与载荷的非线性关系,对动态加载过程中的比例溢流阀增加段距根据实时载荷值进行修正,实现加载过程的载荷值恒值加载;具体根据起始载荷、终止载荷、加载过程时间,按照m秒中断计算出比例溢流阀微段距,采用非线性补偿修正方法进行补偿修正,当加载到达目标载荷加载过程结束,实现高线性度加载,m大于0且小于1;

其中,所述比例溢流阀微段距的计算方法为:
$$\Delta X = \frac{F_{stop} - F_{start}}{t_{add} \cdot N_{spm}} \cdot \frac{X_{full}}{F_{full}};$$

ΔX 为溢流阀微段距,无量纲; F_{stop} 为加载终止载荷,单位为:KN; F_{start} 为加载起始载荷,单位为:KN; t_{add} 为加载过程时间,单位为:min; F_{full} 为加载的最大静力值,单位为:KN; X_{full} 为加载到最大静力值 F_{full} 所对应的溢流阀开度值,无量纲; N_{spm} 表示单位时间的微段数,单位为:1/min,且取值为600;

所述非线性补偿修正方法为:
$$\Delta X_i = \frac{dX_{full}}{dF_{full}} \cdot \Delta F = g'_i(F) \cdot \frac{F_{stop} - F_{start}}{t_{add} \cdot N_{spm}};$$

其中: ΔX_i 为修正后比例溢流阀开度增加值,无量纲; $g'_i(F)$ 为比例溢流阀修正系数,数值上为开度与静力拟合曲线的微分,单位为:1/KN; ΔF 为加载过程中每个微段时间内设定压力增加的微段压力值,单位:KN;

所述高线性度卸载算法为带非线性补偿的开环控制算法;非线性补偿方法是通过卸载过程中比例溢流阀开度与载荷的非线性关系,对动态卸载过程中的比例溢流阀递减段距根据实时载荷值进行修正,实现卸载过程的高线性度控制;卸载过程到达目标载荷,卸载过程结束;

所述柔顺补充载荷算法为:柔顺补充载荷算法采用与加载相同的油路,不同之处是补载过程中的比例溢流阀控制方法;补载启动后,启动加载泵与阀件,设定补载的比例溢流阀初值,按照0.01%/s的增长速度进行溢流阀开度增加,实现补载过程的柔顺控制;

补载比例溢流阀初值根据加载装置的载荷与比例溢流阀的非线性开度关系计算,计算方法为:对全程静力值向量 F_{full} 与全程开度值向量 X_{full} ,以静力F为自变量,以开度X为因变量拟合二次函数,获得函数为 $X = g(F)$;

根据补载时刻的静力 F_{t_0} ,代入公式计算得到补载时刻的开度初始值 X_{t_0} ,其公式为: $X_{t_0} = g(F_{t_0})$ 。

2.根据权利要求1所述的静力精确加载模拟装置的加载力控制系统设计方法,其特征在于,所述加载力控制系统中,采用软件程序设计替代硬件线路复杂连接,控制算法采用软件方式实现,操作方法以计算机软件操作模式为主,即采用可编程逻辑控制器+工业控制计算机操作组态软件的控制系统设计模式。

静力精确加载模拟装置的加载力控制系统设计方法

技术领域

[0001] 本发明涉及控制设备技术领域,特别涉及一种静力精确加载模拟装置的加载力控制系统设计方法。

背景技术

[0002] 材料的强度性能是材料作为机械部件最重要的指标之一,大型装备、军工复合材料、含能材料的强度性能关系到大型装备的安全、武器装备的可靠性与安全性。

[0003] 各项异性复合材料在长寿命使用中,由于静力载荷、高低温温度载荷、疲劳载荷、蠕变载荷等各种载荷的作用下,强度性能发生变化。强度性能蜕化已经成为材料在长寿命使用中最容易出现的问题之一。炸药材料作为一种各项异性复合材料,受到静力载荷下其强度降低,严重影响炸药材料的力学强度性能。

[0004] 为开展炸药材料的寿命评估,建立炸药材料的寿命模型,需研究炸药材料的静力载荷与强度寿命的关系,急需建立一套适用于炸药材料的大吨位、静力载荷精密可控型、安全型的静力精确加载装置。

[0005] 现有的静力加载机只满足低吨位(10T以下)的精密可控加载功能、且在低载荷区域存在压力精密控制死区、无法满足全载荷域的载荷精密控制功能,无法满足大吨位、静力载荷精密控制加载需求。另外,现有的静力加载机的安全控制性能较低,无法满足炸药材料的静力加载模拟所需的安全控制性能。为满足炸药材料的静力强度测试与评价需求,急需发明一台大吨位、静力载荷精密控制型、安全控制型的静力载荷加载模拟装置。

[0006] 控制系统是静力精确加载模拟装置的中枢系统,通过电控元件、电机、检测传感器等装置实现静力精确加载模拟装置的各种功能与性能,现有已经公布的控制系统无法满足静力精确加载模拟装置的控制需求,需发明一种满足使用需求的控制系统。

发明内容

[0007] 本发明的目的是克服上述背景技术中不足,提供一种静力精确加载模拟装置的加载力控制系统设计方法,可有效解决现有的控制方法无法实现全载荷域柔顺控制、不具备失载安全控制功能的问题,满足静力精确加载模拟装置对全载荷域高精度加载卸载曲线控制、柔顺控制、安全控制的要求,以实现静强度准确可靠高效评价。

[0008] 为了达到上述的技术效果,本发明采取以下技术方案:

[0009] 本发明的一种静力精确加载模拟装置的加载力控制系统设计方法,主要包括应用于大吨位安全型材料力学强度测试的静力精确加载装置的加载力控制系统的设计方法、应用于大吨位安全型材料力学强度测试的静力精确加载装置的加载力控制系统的总体设计实现方法、应用于大吨位安全型材料力学强度测试的静力精确加载装置的加载力控制系统的中央处理器系统设计方法、应用于大吨位安全型材料力学强度测试的静力精确加载装置的加载力控制系统的连锁互锁控制方法、应用于大吨位安全型材料力学强度测试的静力精确加载装置的加载力控制系统的失载下安全控制方法、应用于大吨位安全型材料力学强度

测试的静力精确加载装置的加载力控制系统的检测系统设计方法、应用于大吨位安全型材料力学强度测试的静力精确加载装置的加载力控制系统的下行回程控制方法、应用于大吨位安全型材料力学强度测试的静力精确加载装置的加载力控制系统的加载卸载与补载控制算法。

[0010] 具体的,本发明中应用于大吨位安全型材料力学强度测试的静力精确加载装置的加载力控制系统的设计方法主要包括以下内容:

[0011] 本发明的加载力控制系统被设计为至少具备液压泵三相异步驱动电机的电力驱动功能,具备电源能级转换与交直流电源转换功能,具备设备启停许可控制,具备多地急停安全控制,具备操作地选择与互锁功能,从而实现基本的电力驱动主回路功能、电气回路基本功能与安全互锁功能;

[0012] 同时,本发明的加载力控制系统还被设计为具备液压换向阀的开关逻辑控制功能,具备液压比例流量阀和比例溢流阀的模拟量控制功能,从而实现静力驱动液压装置的控制功能;

[0013] 为了满足加载模拟装置对负荷控制、形变控制的需求,本发明的加载力控制系统被设计为具备压强、负荷、位移、形变的测量功能;

[0014] 同时,本发明的加载力控制系统中,采用软件程序设计替代硬件线路复杂连接,控制算法采用软件方式实现,操作方法以计算机软件操作模式为主,即采用可编程逻辑控制器+工业控制计算机操作组态软件的控制系统设计模式,从而满足加载模拟装置组成复杂且多点布置、控制要素多、安全控制需求多、控制算法要求高的特点。

[0015] 具体的,本发明的应用于大吨位安全型材料力学强度测试的静力精确加载装置的加载力控制系统的总体设计实现方法,具体包括以下内容:

[0016] 首先,本发明的加载力控制系统的物理组成上包括了电气控制柜、液压站控制触摸屏、近地防爆控制操作箱、远程控制计算机;功能单元上主要由可编程逻辑控制器、工业控制计算机、计算机操作组态软件、触摸屏、工业以太网与基本电气系统组成,远程控制计算机、触摸屏、可编程逻辑控制器之间通过工业以太网通讯方法实现通讯;

[0017] 其中,电气控制柜主要实现各种控制元件的安装与线路连接,是形成控制功能的硬件基础;电气控制柜安装了加载模拟装置总控制开关、电源转换器件、电机控制回路、可编程逻辑控制器部件与回路与安全检测回路等;

[0018] 加载模拟装置总控制开关的控制按钮用于实现所有操作的允许许可功能,只有控制电源接通后所有的动作才能启动,断开控制电源后设备的所有动作均禁止;急停控制回路用于实现控制液压泵站、近地操作箱、远程计算机三处的急停工作;

[0019] 近地防爆控制操作箱采用防爆型机械操控箱,用于在加载装置现场操作加载机,可实现加载机基本的上行、下行、加载、卸载以及急停、操作地选择等功能;

[0020] 液压站控制触摸屏则采用行业内常用的触摸屏组件,具备参数输入、操控输入、状态显示等功能,触摸屏需通过工业以太网与可编程逻辑控制器建立连接;触摸屏主要实现液压驱动系统各个电机液压泵、液压阀等部件的单动功能,用于调试与设备功能优化;

[0021] 可编程逻辑控制器采用行业内成熟的具备工业以太网通讯功能、可提供足够通道数的数字输入与输出接口及模拟输入与输出接口的控制器组件;本方法中通过可编程逻辑控制系统与控制软件完成所有的逻辑控制、先进智能控制算法、安全控制,可编程逻辑控制

器是整个控制系统的中枢系统；

[0022] 远程控制计算机上运行有计算机操作组态软件,用于向可编程逻辑控制器发送控制指令;工业控制计算机至少具备i3或相当i3的处理器、具备以太网网卡功能,工业控制计算机与可编程逻辑控制器实现工业以太网通讯;计算机操作组态软件选用行业内成熟的组态软件,比如:国产的亚控Kingview或西门子的Wincc等,计算机操作组态软件至少需具备所选用的可编程逻辑控制器的通讯驱动,方便各个变量与可编程逻辑控制器里的变量建立映射连接。

[0023] 具体的,本发明中应用于大吨位安全型材料力学强度测试的静力精确加载装置的加载力控制系统的中央处理器系统设计方法,具体包括:

[0024] 中央处理器采用可编程逻辑控制器,被设计为至少需具备数字开关量输入与输出、模拟变量的输入与输出功能,以实现逻辑控制信号输入、各种监测信号输入、泵阀指示灯等逻辑信号输出、检测传感器等模拟信号输入、比例阀控制信号等模拟信号输出等功能;中央处理器运行下位机控制软件,包括:操作地连锁、手动下行回程、手动加载卸载、非线性速度补偿、单动控制、全自动控制、失载保护、传感器检测与校正、安全控制、补压、溢流阀控制与流量阀控制等算法,完成所有的逻辑控制、检测功能、安全控制功能与载荷控制算法等功能;

[0025] 其中,逻辑控制信号输入包括了硬逻辑信号和软逻辑信号,主要实现单动动作、手动动作、自动动作的启动与停止等功能;硬逻辑信号包括:加载模拟装置近控操作指令、远控操作指令;软逻辑信号包括:计算机组态软件中的逻辑控制信号、触摸屏的逻辑控信号等。

[0026] 监测信号输入包括了电机控制回路元件、通断液压阀件等的状态动作输入,主要用于实现加载模拟装置的故障智能诊断;检测功能被设计为包括了对传感器回路的信号进行处理,以获得传感器的实际值,功能上包括了:位移传感器、负荷传感器与压力传感器的检测功能;比例阀控制功能则被设计为通过下位机控制软件运行各种逻辑控制、安全控制与载荷控制算法,采用逻辑控制算法实现各种液压方向控制阀件的各种逻辑控制与安全控制,采用高精度曲线控制算法比例流量阀与比例溢流阀控制信号的计算实现载荷控制功能。

[0027] 具体的,本发明的应用于大吨位安全型材料力学强度测试的静力精确加载装置的加载力控制系统的连锁互锁控制方法,具体包括:

[0028] 本方法中通过连锁互锁控制的设计既确保加载模拟装置可靠运行、又保证加载装置的工艺安全,具体被设计为包括近地、远程与泵站三地操作互锁功能、下行与回程的互锁功能、快速运行与慢速加载的互锁功能、超位移超载荷保护功能等。

[0029] 其中,近地、远程与泵站三地操作互锁功能的实现方法为:被设计为任何时候只有一地可以操作,且操作的优先级别是:近地优先,泵站次之,远程最低。

[0030] 下行与回程的互锁功能的实现方法为:加载力控制系统的硬件与下位机控制软件被设计为需同时保证上行与回程不能同时动作;其中,计算机操作组态软件需开放下行目标位移设定功能,该数据根据被加载材料的尺寸确定,下位机控制软件需设计下行目标位移,到达指定位移下行动作停止;下位机控制软件需设计回程终止位移,到达终止位移回程动作停止。

[0031] 快速运行与慢速加载的互锁功能的实现方法为：下行动作与实时载荷存在互锁功能，下行过程中冲头接触被加载材料后致使实时载荷上升，下行过程中产生载荷上升时应停止下行功能；同时，为提高模拟装置运行效率，只有下行超过指定位移后，才能启动慢速加载动作；为保护承载装置与液压系统，只有当载荷低于预设阈值后才能执行回程功能。

[0032] 超位移超载荷保护功能的实现方法为：加载过程中当变形位移超过保护值，则自动停止加载过程；当实时载荷超过目标载荷或者最高工艺载荷时，加载过程均停止。

[0033] 具体的，本发明的应用于大吨位安全型材料力学强度测试的静力精确加载装置的加载力控制系统的失载下安全控制方法，主要用于静强度测试实验中到达静强度上限，材料损伤变形而导致载荷部分失载或者全失载、以防止加载系统补载造成不安全行为而设计，该方法具体包括失载判定方法、失载下的安全控制方法：

[0034] 失载判断方法为：设置失载检测下限，当实时载荷超过检测下限后开启失载检测；设置失载比例或者失载载荷量阈值，失载按照0.1s中断进行检测，当实时失载载荷超过了失载载荷阈值后，即判断已经失载；

[0035] 失载下安全控制方法为：判断失载后，立刻停止加载动作；以压力值作为被控量，按照设定卸压速度进行卸载；卸载到达指定值后，自动启动回程动作，直到回程到指定位置。

[0036] 具体的，本发明的应用于大吨位安全型材料力学强度测试的静力精确加载装置的加载力控制系统的检测系统设计方法，具体包括：

[0037] 首先，本发明的静力精确加载装置主要实现静力检测、位移和压强检测与材料形变监测；静力检测一方面为加载过程提供传感器反馈值、用于控制整个加载过程，另一方面用于测试材料的静强度；位移检测一方面用于控制液压缸的运动过程，另一方面用于测量加载下材料的形变；材料形变监测通过载荷与位移共同计算，用于测量材料在受到载荷后的变形数据；另外，静力精确加载装置还需具备油缸输入口压力传感器，用于实现加载系统的故障智能诊断。

[0038] 其中，静力检测采用应变式负荷传感器实现，采用传感器专用电桥调理板将负荷值转换为标准电流信号输出，在可编程控制器里通过线性映射程序测量得到实时静力值；

[0039] 位移和压强检测采用标准信号传感器实现，在可编程控制器里通过线性映射程序测量得到实时位移值与压强值；

[0040] 材料形变测量通过载荷测量和位移测量共同实现，定义超过压紧状态载荷阈值的位移值为形变零位值；通过实时位移 $d(t)$ 与形变零位值位移 $d(t_0)$ 的差值计算形变 d_{def} ，具体为：

$$[0041] \quad d_{def} = d(t) - d(t_0)$$

[0042] 其中： $d(t)$ 表示实时位移，单位为： m ；

[0043] $d(t_0)$ 表示形变零位值位移，单位为： m ；

[0044] d_{def} 表示形变，单位为： m ；

[0045] 具体的，本发明的应用于大吨位安全型材料力学强度测试的静力精确加载装置的加载力控制系统的下行回程控制方法，具体包括：

[0046] 下行回程的速度通过液压驱动系统设计，下行回程的目标位移自行设置，实时位置可测量得到，运行速度可通过数学离散差分方法计算得到，具体为：

[0047] $v(T+1) = d(T+1) - d(T)$,

[0048] 其中: $v(T+1)$ 为 $T+1$ 时刻的运行速度,单位为:m/s;

[0049] $d(T+1)$ 为 $T+1$ 时刻的位移,单位为:m;

[0050] $d(T)$ 为 T 时刻的位移,单位为:m。

[0051] 启动下行或者回程动作,加载力控制系统按照动作表启动相应的泵与阀件,油缸开始运动,当到达目标位移,下行过程结束。

[0052] 具体的,本发明的应用于大吨位安全型材料力学强度测试的静力精确加载装置的加载力控制系统的加载、卸载与补载控制算法具体包括:

[0053] 静力精确加载装置具有柔顺控制、线性加载、高精度保载的需求,除液压驱动系统设计外,先进的控制算法可为高性能的加载模拟装置提供大冗余的高性能;因此,本发明的加载控制算法被设计为包括了起始段载荷柔顺加载算法与高线性度加载算法;卸载算法主要指高线性度卸载算法;补载算法指保载性能超出界限后进行柔顺补充载荷算法。

[0054] 其中,起始段载荷柔顺加载算法为:设定比例溢流阀与比例流量阀为固定的小开度,比例溢流阀推荐值为:5%,比例流量阀推荐值为:1%,设定柔顺段加载目标载荷;加载过程启动后,实时载荷在小开度的比例溢流阀与比例流量阀控制下缓慢增加,增加速度约为:0.1~1KN/s,当载荷超过柔顺段加载目标载荷后,起始段载荷柔顺加载过程结束,系统进入高线性度加载过程。

[0055] 高线性度加载算法为:根据动态、线性加载过程需求,结合液压系统特点,选用带非线性补偿的开环控制算法;非线性补偿方法是通过加载过程中比例溢流阀开度与载荷的非线性关系,对动态加载过程中的比例溢流阀增加段距根据实时载荷值进行修正,实现加载过程的载荷值恒值加载;具体根据起始载荷、终止载荷、加载过程时间,按照0.1秒中断计算出比例溢流阀微段距,采用非线性补偿方法进行补偿修正,当加载到达目标载荷加载过程结束,实现高线性度加载。

[0056] 比例溢流阀微段距计算方法为:

$$[0057] \quad \Delta X = \frac{F_{stop} - F_{start}}{t_{add} \cdot N_{spm}} \cdot \frac{X_{full}}{F_{full}}$$

[0058] 其中,

[0059] ΔX 为溢流阀微段距,无量纲;

[0060] F_{stop} 为加载终止载荷,单位为:KN;

[0061] F_{start} 为加载起始载荷,单位为:KN;

[0062] t_{add} 为加载过程时间,单位为:min;

[0063] F_{full} 为加载的最大静力值,单位为:KN;

[0064] X_{full} 加载到最大静力值 F_{full} 所对应的溢流阀开度值无量纲;

[0065] N_{spm} 表示单位时间的微段数,单位为:1/min;优选默认值为600;

[0066] 非线性补偿修正方法为:

$$[0067] \quad \Delta X_i = \frac{dX_{full}}{dF_{full}} \cdot \Delta F = g'_i(F) \cdot \frac{F_{stop} - F_{start}}{t_{add} \cdot N_{spm}}$$

[0068] 其中:

[0069] ΔX_i 为修正后比例溢流阀开度增加值,无量纲;

[0070] $g'_i(F)$ 为比例溢流阀修正系数,数值上为开度与静力拟合曲线的微分,单位为:1/KN;

[0071] ΔF 为加载过程中每个微段时间内设定压力增加的微段压力值,单位:KN。

[0072] 高线性度卸载算法为:根据动态、线性卸载过程需求,结合液压系统特点,选用带非线性补偿的开环控制算法;非线性补偿方法是通过卸载过程中比例溢流阀开度与载荷的非线性关系,对动态卸载过程中的比例溢流阀递减段距根据实时载荷值进行修正,实现卸载过程的高线性度控制;卸载过程到达目标载荷,卸载过程结束。

[0073] 柔顺补充载荷算法为:柔顺补充载荷算法采用与加载相同的油路,不同之处是补载过程中的比例溢流阀控制方法;补载启动后,启动加载泵与阀件,设定补载的比例溢流阀初值,按照0.01%/s的增长速度进行溢流阀开度增加,实现补载过程的柔顺控制;补载比例溢流阀初值根据加载装置的载荷与比例溢流阀的非线性开度关系计算,一般至少为二次函数,计算方法为:对全程静力值向量 F_{full} 与全程开度值向量 X_{full} ,以静力 F 为自变量,以开度 X 为因变量拟合二次函数,获得函数为 $X=g(F)$;根据补载时刻的静力 F_{t0} ,代入公式计算得到补载时刻的开度初始值 X_{t0} ,其公式为: $X_{t0}=g(F_{t0})$ 。

[0074] 本发明与现有技术相比,具有以下有益效果:

[0075] 通过本发明,提供了一种适用于大吨位安全型材料静力精确加载模拟装置的控制系统设计方法,实现了静力精确加载模拟装置对加载过程柔顺性、高精度控制、安全控制等需求,满足静强度测试与评价对静力加载装置控制系统的要求,该方法可推广应用到大型高端装备的控制系统、特别是基于液压驱动原理的控制系统研制领域。

附图说明

[0076] 图1是本发明的加载力控制系统的组成结构示意图。

[0077] 图2是本发明的加载力控制系统的中央处理器系统设计示意图。

[0078] 图3是本发明的加载力控制系统的加载算法流程示意图。

[0079] 图4是本发明的加载力控制系统的卸载算法流程示意图。

具体实施方式

[0080] 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。

[0081] 实施例:

[0082] 一种静力精确加载模拟装置的加载力控制系统设计方法,主要包括应用于大吨位安全型材料力学强度测试的静力精确加载装置的加载力控制系统的设计方法、应用于大吨位安全型材料力学强度测试的静力精确加载装置的加载力控制系统的总体设计实现方法、应用于大吨位安全型材料力学强度测试的静力精确加载装置的加载力控制系统的中央处理器系统设计方法、应用于大吨位安全型材料力学强度测试的静力精确加载装置的加载力控制系统的连锁互锁控制方法、应用于大吨位安全型材料力学强度测试的静力精确加载装置的加载力控制系统的失载下安全控制方法、应用于大吨位安全型材料力学强度测试的静力精确加载装置的加载力控制系统的检测系统设计方法、应用于大吨位安全型材料力学强度测试的静力精确加载装置的加载力控制系统的下行回程控制方法、应用于大吨位安全型

材料力学强度测试的静力精确加载装置的加载力控制系统的加载卸载与补载控制算法。

[0083] 具体的,本实施例中应用于大吨位安全型材料力学强度测试的静力精确加载装置的加载力控制系统的设计方法主要包括以下内容:

[0084] 本实施例的加载力控制系统被设计为至少具备液压泵三相异步驱动电机的电力驱动功能,具备电源能级转换与交直流电源转换功能,具备设备启停许可控制,具备多地急停安全控制,具备操作地选择与互锁功能,从而实现基本的电力驱动主回路功能、电气回路基本功能与安全互锁功能。

[0085] 同时,本实施例的加载力控制系统还被设计为具备液压换向阀的开关逻辑控制功能,具备液压比例流量阀和比例溢流阀的模拟量控制功能,从而实现静力驱动液压装置的控制功能。

[0086] 为了满足加载模拟装置对负荷控制、形变控制的需求,本实施例的加载力控制系统被设计为具备压强、负荷、位移、形变的测量功能。

[0087] 同时,本实施例的加载力控制系统中,采用软件程序设计替代硬件线路复杂连接,控制算法采用软件方式实现,操作方法以计算机软件操作模式为主,即采用可编程逻辑控制器+工业控制计算机操作组态软件的控制系统设计模式,从而满足加载模拟装置组成复杂且多点布置、控制要素多、安全控制需求多、控制算法要求高的特点。

[0088] 具体的,本实施例的应用于大吨位安全型材料力学强度测试的静力精确加载装置的加载力控制系统的总体设计实现方法,具体包括以下内容:

[0089] 首先,如图1所示,本实施例的加载力控制系统的物理组成上包括了电气控制柜、液压站控制触摸屏、近地防爆控制操作箱、远程控制计算机;功能单元上主要由可编程逻辑控制器、工业控制计算机、计算机操作组态软件、触摸屏、工业以太网与基本电气系统组成,远程控制计算机、触摸屏、可编程逻辑控制器之间通过工业以太网通讯方法实现通讯。

[0090] 其中,电气控制柜主要实现各种控制元件的安装与线路连接,是形成控制功能的硬件基础;电气控制柜安装了加载模拟装置总控制开关、电源转换器件、电机控制回路、可编程逻辑控制器部件与回路与安全检测回路等。

[0091] 加载模拟装置总控制开关的控制按钮用于实现所有操作的允许许可功能,只有控制电源接通后所有的动作才能启动,断开控制电源后设备的所有动作均禁止;急停控制回路用于实现控制液压泵站、近地操作箱、远程计算机三处的急停工作。

[0092] 近地防爆控制操作箱采用防爆型机械操控箱,用于在加载装置现场操作加载机,可实现加载机基本的上行、下行、加载、卸载以及急停、操作地选择等功能。

[0093] 液压站控制触摸屏则采用行业内常用的触摸屏组件,具备参数输入、操控输入、状态显示等功能,触摸屏需通过工业以太网与可编程逻辑控制器建立连接;触摸屏主要实现液压驱动系统各个电机液压泵、液压阀等部件的单动功能,用于调试与设备功能优化。

[0094] 可编程逻辑控制器采用行业内成熟的具备工业以太网通讯功能、可提供足够通道数的数字输入与输出接口及模拟输入与输出接口的控制器组件;本方法中通过可编程逻辑控制系统与控制软件完成所有的逻辑控制、先进智能控制算法、安全控制,可编程逻辑控制器是整个控制系统的中枢系统。

[0095] 远程控制计算机上运行有计算机操作组态软件,用于向可编程逻辑控制器发送控制指令;工业控制计算机至少具备i3或相当i3的处理器、具备以太网网卡功能,工业控制计

计算机与可编程逻辑控制器实现工业以太网通讯;计算机操作组态软件选用行业内成熟的组态软件,比如:国产的亚控Kingview或西门子的Wincc等,计算机操作组态软件至少需具备所选用的可编程逻辑控制器的通讯驱动,方便各个变量与可编程逻辑控制器里的变量建立映射连接。

[0096] 具体的,本实施例中应用于大吨位安全型材料力学强度测试的静力精确加载装置的加载力控制系统的中央处理器系统设计方法,具体包括:

[0097] 如图2所示,本实施例中,中央处理器采用可编程逻辑控制器,被设计为至少需具备数字开关量输入与输出、模拟变量的输入与输出功能,以实现逻辑控制信号输入、各种监测信号输入、泵阀指示灯等逻辑信号输出、检测传感器等模拟信号输入、比例阀控制信号等模拟信号输出等功能;中央处理器运行下位机控制软件,包括:操作地连锁、手动下行回程、手动加载卸载、非线性速度补偿、单动控制、全自动控制、失载保护、传感器检测与校正、安全控制、补压、溢流阀控制与流量阀控制等算法,完成所有的逻辑控制、检测功能、安全控制功能与载荷控制算法等功能。

[0098] 其中,逻辑控制信号输入包括了硬逻辑信号和软逻辑信号,主要实现单动动作、手动动作、自动动作的启动与停止等功能;硬逻辑信号包括:加载模拟装置近控操作指令、远控操作指令;软逻辑信号包括:计算机组态软件中的逻辑控制信号、触摸屏的逻辑控信号等。

[0099] 监测信号输入包括了电机控制回路元件、通断液压阀件等的状态动作输入,主要用于实现加载模拟装置的故障智能诊断;检测功能被设计为包括了对传感器回路的信号进行处理,以获得传感器的实际值,即功能上包括了:位移传感器、负荷传感器与压力传感器的检测功能;比例阀控制功能则被设计为通过下位机控制软件运行各种逻辑控制、安全控制与载荷控制算法,采用逻辑控制算法实现各种液压方向控制阀件的各种逻辑控制与安全控制,采用高精度曲线控制算法比例流量阀与比例溢流阀控制信号的计算实现载荷控制功能。

[0100] 具体的,本实施例的应用于大吨位安全型材料力学强度测试的静力精确加载装置的加载力控制系统的连锁互锁控制方法,具体包括:

[0101] 本方法中通过连锁互锁控制的设计既确保加载模拟装置可靠运行、又保证加载装置的工艺安全,具体被设计为包括近地、远程与泵站三地操作互锁功能、下行与回程的互锁功能、快速运行与慢速加载的互锁功能、超位移超载荷保护功能等。

[0102] 其中,近地、远程与泵站三地操作互锁功能的实现方法为:被设计为任何时候只有一地可以操作,且操作的优先级别是:近地优先,泵站次之,远程最低。

[0103] 下行与回程的互锁功能的实现方法为:加载力控制系统的硬件与下位机控制软件被设计为需同时保证上行与回程不能同时动作;其中,计算机操作组态软件需开放下行目标位移设定功能,该数据根据被加载材料的尺寸确定,下位机控制软件需设计下行目标位移,到达指定位移下行动作停止;下位机控制软件需设计回程终止位移,到达终止位移回程动作停止。

[0104] 快速运行与慢速加载的互锁功能的实现方法为:下行动作与实时载荷存在互锁功能,下行过程中冲头接触被加载材料后致使实时载荷上升,下行过程中产生载荷上升时应停止下行功能;同时,为提高模拟装置运行效率,只有下行超过指定位移后,才能启动慢速

加载动作;为保护承载装置与液压系统,只有当载荷低于预设阈值后才能执行回程功能。

[0105] 超位移超载荷保护功能的实现方法为:加载过程中当形变位移超过保护值,则自动停止加载过程;当实时载荷超过目标载荷或者最高工艺载荷时,加载过程均停止。

[0106] 具体的,本实施例的应用于大吨位安全型材料力学强度测试的静力精确加载装置的加载力控制系统的失载下安全控制方法,主要用于静强度测试实验中到达静强度上限,材料损伤变形而导致载荷部分失载或者全失载、以防止加载系统补载造成不安全行为而设计,该方法具体包括失载判定方法、失载下的安全控制方法:

[0107] 失载判断方法为:设置失载检测下限,当实时载荷超过检测下限后开启失载检测;设置失载比例或者失载载荷量阈值,失载按照0.1s中断进行检测,当实时失载载荷超过了失载载荷阈值后,即判断已经失载;

[0108] 失载下安全控制方法为:判断失载后,立刻停止加载动作;以压力值作为被控量,按照设定卸压速度进行卸载;卸载到达指定值后,自动启动回程动作,直到回程到指定位置。

[0109] 具体的,本发明的应用于大吨位安全型材料力学强度测试的静力精确加载装置的加载力控制系统的检测系统设计方法,具体包括:

[0110] 首先,本发明的静力精确加载装置主要实现静力检测、位移和压强检测与材料形变监测;静力检测一方面为加载过程提供传感器反馈值、用于控制整个加载过程,另一方面用于测试材料的静强度;位移检测一方面用于控制液压缸的运动过程,另一方面用于测量加载下材料的形变;材料形变监测通过载荷与位移共同计算,用于测量材料在受到载荷后的变形数据;另外,静力精确加载装置还需具备油缸输入口压力传感器,用于实现加载系统的故障智能诊断。

[0111] 其中,静力检测采用应变式负荷传感器实现,采用传感器专用电桥调理板将负荷值转换为标准电流信号输出,在可编程控制器里通过线性映射程序测量得到实时静力值;

[0112] 位移和压强检测采用标准信号传感器实现,在可编程控制器里通过线性映射程序测量得到实时位移值与压强值;

[0113] 材料形变测量通过载荷测量和位移测量共同实现,定义超过压紧状态载荷阈值的位移值为形变零位值;通过实时位移 $d(t)$ 与形变零位值位移 $d(t_0)$ 的差值计算形变 d_{def} ,具体为:

$$[0114] \quad d_{def} = d(t) - d(t_0)$$

[0115] 其中: $d(t)$ 表示实时位移,单位为:m;

[0116] $d(t_0)$ 表示形变零位值位移,单位为:m;

[0117] d_{def} 表示形变,单位为:m;

[0118] 具体的,本发明的应用于大吨位安全型材料力学强度测试的静力精确加载装置的加载力控制系统的下行回程控制方法,具体包括:

[0119] 下行回程的速度通过液压驱动系统设计,下行回程的目标位移自行设置,实时位置可测量得到,运行速度可通过数学离散差分方法计算得到,具体为:

$$[0120] \quad v(T+1) = d(T+1) - d(T),$$

[0121] 其中: $v(T+1)$ 为T+1时刻的运行速度,单位为:m/s;

[0122] $d(T+1)$ 为T+1时刻的位移,单位为:m;

[0123] $d(T)$ 为T时刻的位移,单位为:m。

[0124] 启动下行或者回程动作,加载力控制系统按照动作表启动相应的泵与阀件,油缸开始运动,当到达目标位移,下行过程结束。

[0125] 具体的,本发明的应用于大吨位安全型材料力学强度测试的静力精确加载装置的加载力控制系统的加载、卸载与补载控制算法具体包括:

[0126] 静力精确加载装置具有柔顺控制、线性加载、高精度保载的需求,除液压驱动系统设计外,先进的控制算法可为高性能的加载模拟装置提供大冗余的高性能;因此,本发明的加载控制算法被设计为包括了起始段载荷柔顺加载算法与高线性度加载算法;卸载算法主要指高线性度卸载算法;补载算法指保载性能超出界限后进行柔顺补充载荷算法。

[0127] 其中,如图3所示,起始段载荷柔顺加载算法为:设定比例溢流阀与比例流量阀为固定的小开度,比例溢流阀推荐值为:5%,比例流量阀推荐值为:1%,设定柔顺段加载目标载荷;加载过程启动后,实时载荷在小开度的比例溢流阀与比例流量阀控制下缓慢增加,增加速度约为:0.1~1KN/s,当载荷超过柔顺段加载目标载荷后,起始段载荷柔顺加载过程结束,系统进入高线性度加载过程。

[0128] 高线性度加载算法为:根据动态、线性加载过程需求,结合液压系统特点,选用带非线性补偿的开环控制算法;非线性补偿方法是通过加载过程中比例溢流阀开度与载荷的非线性关系,对动态加载过程中的比例溢流阀增加段距根据实时载荷值进行修正,实现加载过程的载荷值恒值加载;具体根据起始载荷、终止载荷、加载过程时间,按照0.1秒中断计算出比例溢流阀微段距,采用非线性补偿方法进行补偿修正,当加载到达目标载荷加载过程结束,实现高线性度加载。

[0129] 比例溢流阀微段距计算方法为:

$$[0130] \quad \Delta X = \frac{F_{stop} - F_{start}}{t_{add} \cdot N_{spm}} \cdot \frac{X_{full}}{F_{full}}$$

[0131] 其中,

[0132] ΔX 为溢流阀微段距,无量纲;

[0133] F_{stop} 为加载终止载荷,单位为:KN;

[0134] F_{start} 为加载起始载荷,单位为:KN;

[0135] t_{add} 为加载过程时间,单位为:min;

[0136] F_{full} 为加载的最大静力值,单位为:KN;

[0137] X_{full} 加载到最大静力值 F_{full} 所对应的溢流阀开度值无量纲;

[0138] N_{spm} 表示单位时间的微段数,单位为:1/min,且取值为600;

[0139] 非线性补偿修正方法为:

$$[0140] \quad \Delta X_i = \frac{dX_{full}}{dF_{full}} \cdot \Delta F = g'_i(F) \cdot \frac{F_{stop} - F_{start}}{t_{add} \cdot N_{spm}}$$

[0141] 其中:

[0142] ΔX_i 为修正后比例溢流阀开度增加值,无量纲;

[0143] $g'_i(F)$ 为比例溢流阀修正系数,数值上为开度与静力拟合曲线的微分,单位为:1/KN;

[0144] ΔF 为加载过程中每个微段时间内设定压力增加的微段压力值,单位:KN。

[0145] 如图4所示,高线性度卸载算法为:根据动态、线性卸载过程需求,结合液压系统特点,选用带非线性补偿的开环控制算法;非线性补偿方法是通过卸载过程中比例溢流阀开度与载荷的非线性关系,对动态卸载过程中的比例溢流阀递减段距根据实时载荷值进行修正,实现卸载过程的高线性度控制;卸载过程到达目标载荷,卸载过程结束。

[0146] 柔顺补充载荷算法为:柔顺补充载荷算法采用与加载相同的油路,不同之处是补载过程中的比例溢流阀控制方法;补载启动后,启动加载泵与阀件,设定补载的比例溢流阀初值,按照0.01%/s的增长速度进行溢流阀开度增加,实现补载过程的柔顺控制;补载比例溢流阀初值根据加载装置的载荷与比例溢流阀的非线性开度关系计算,一般至少为二次函数,计算方法为:对全程静力值向量 F_{full} 与全程开度值向量 X_{full} ,以静力 F 为自变量,以开度 X 为因变量拟合二次函数,获得函数为 $X=g(F)$;根据补载时刻的静力 F_{t_0} ,代入公式计算得到补载时刻的开度初始值 X_{t_0} ,其公式为: $X_{t_0}=g(F_{t_0})$ 。

[0147] 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。

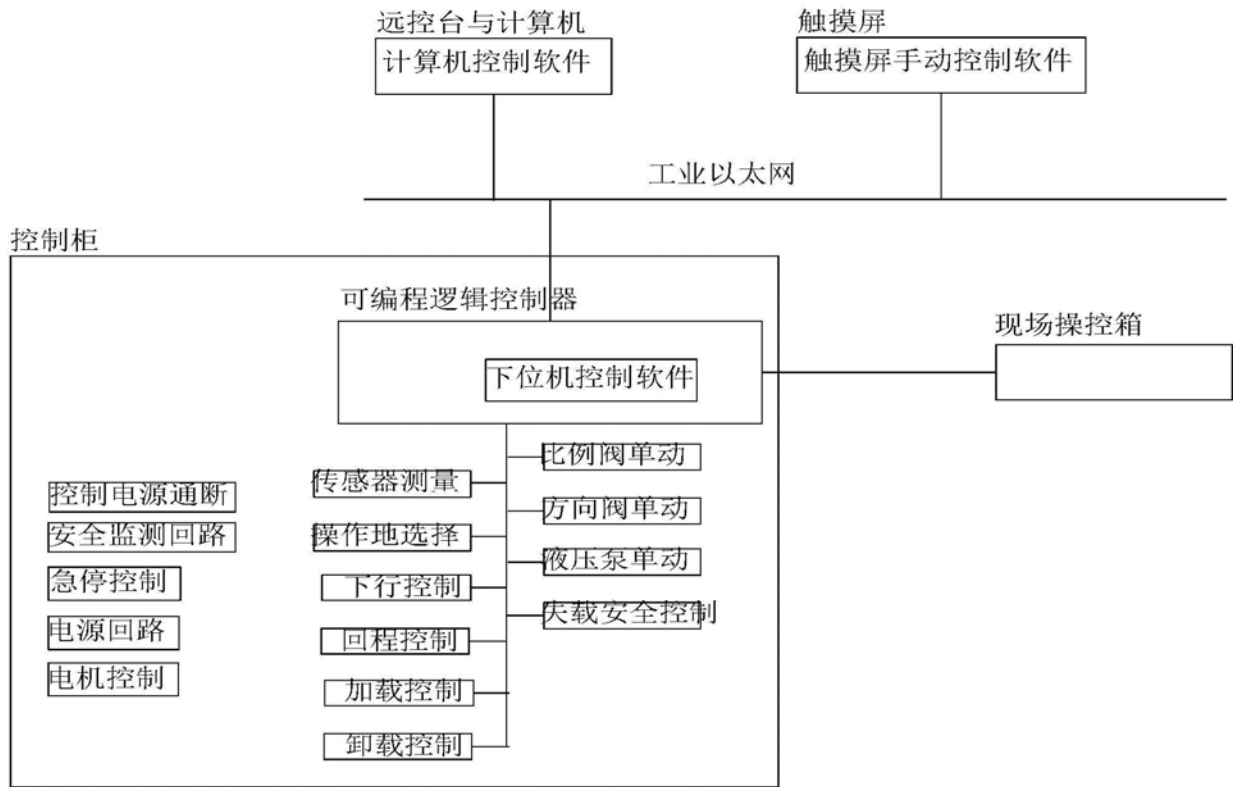


图1

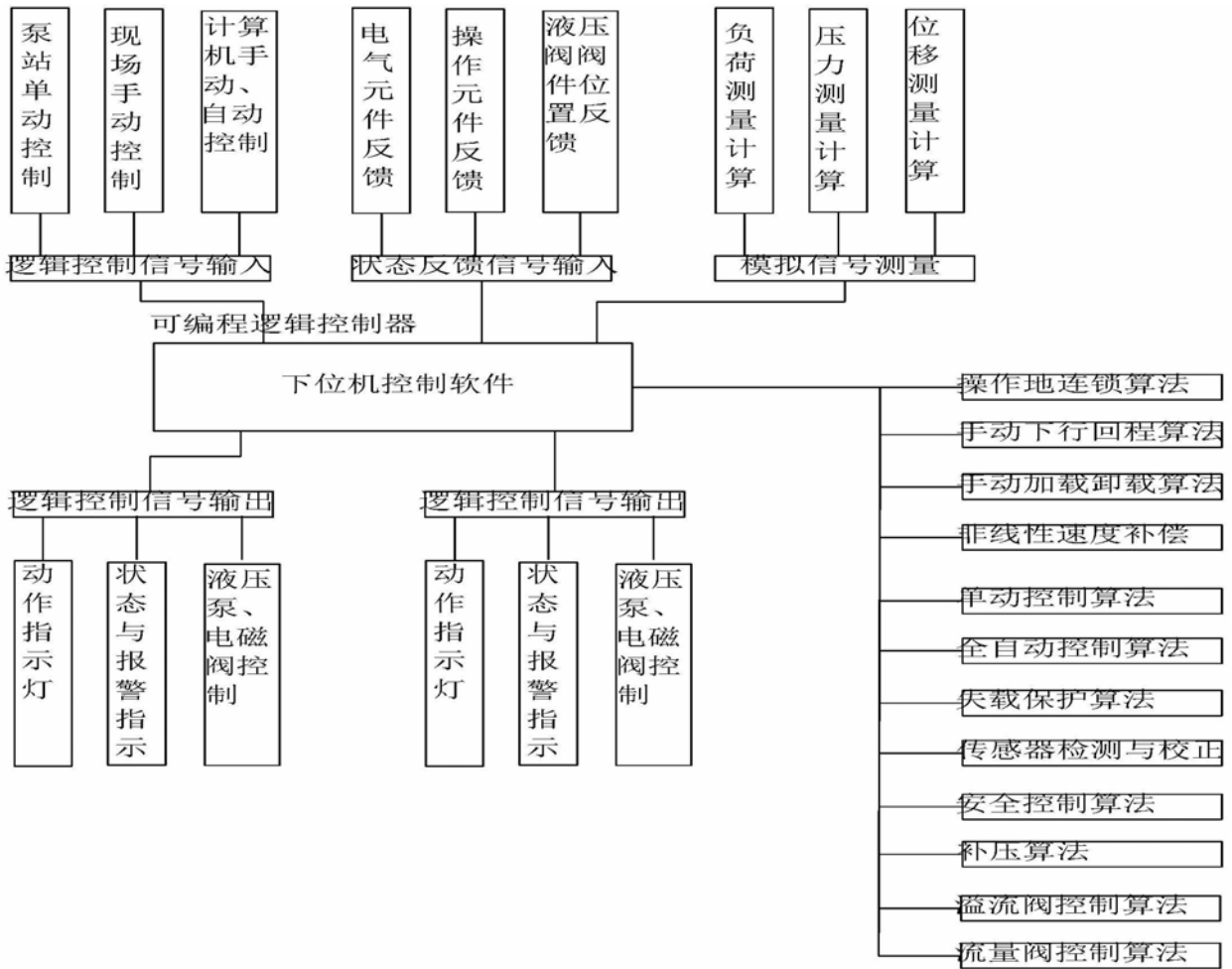


图2

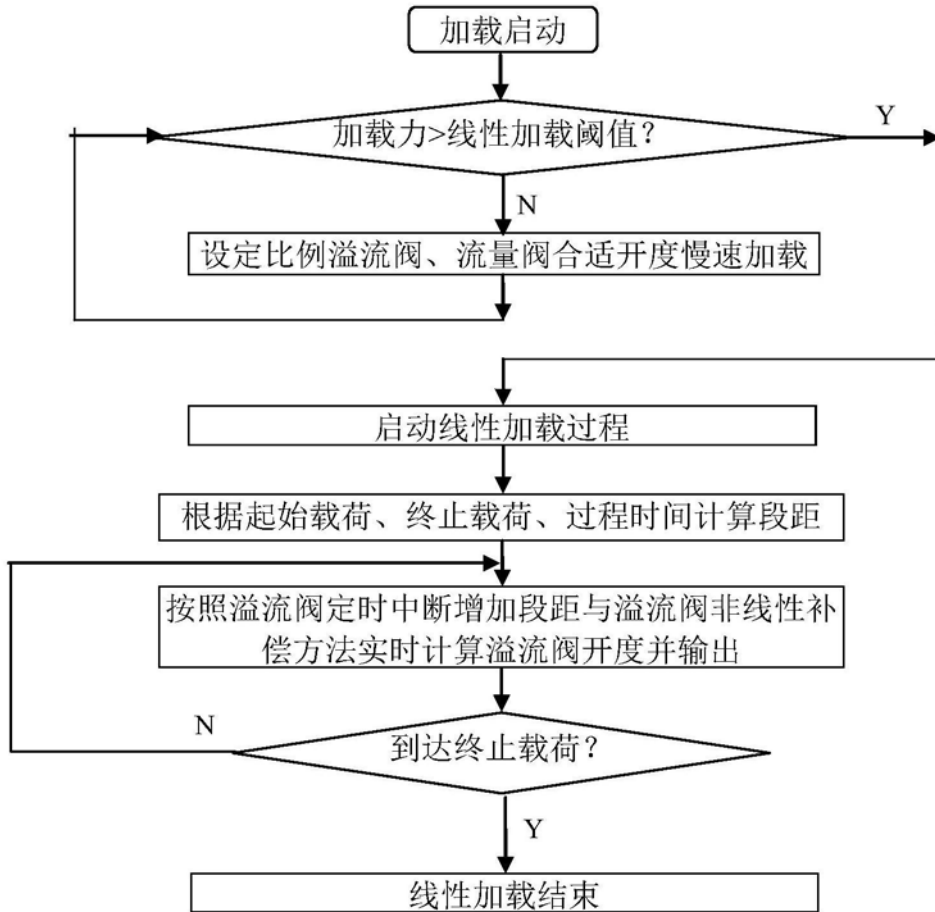


图3

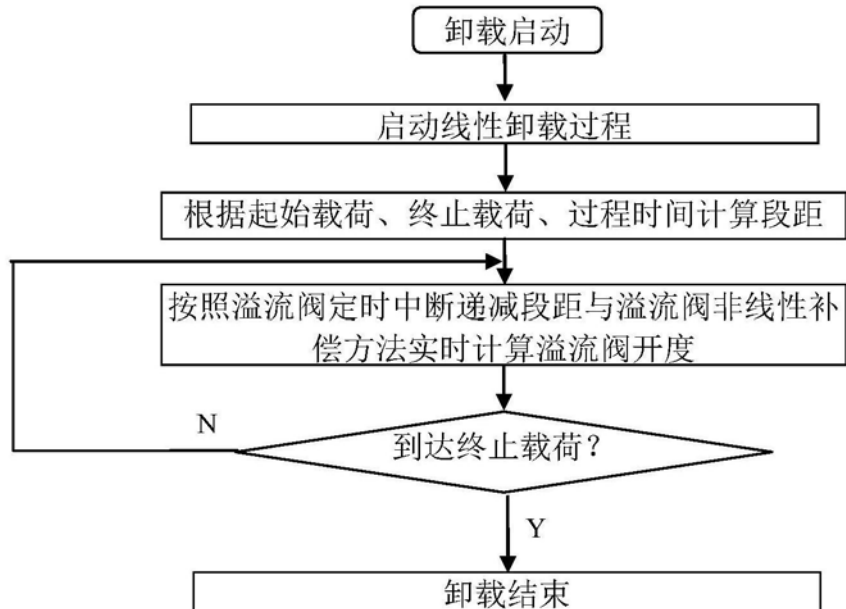


图4