



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114683081 A

(43) 申请公布日 2022. 07. 01

(21) 申请号 202210441135.6

(22) 申请日 2022.04.25

(71) 申请人 山东大学

地址 250013 山东省青岛市即墨区滨海路
72号

(72) 发明人 杨旭 刘延俊 刘鑫 纪立超

(74) 专利代理机构 青岛华慧泽专利代理事务所
(普通合伙) 37247

专利代理师 孟令彩

(51) Int. Cl.

B23Q 3/08 (2006.01)

B23Q 17/09 (2006.01)

权利要求书6页 说明书14页 附图6页

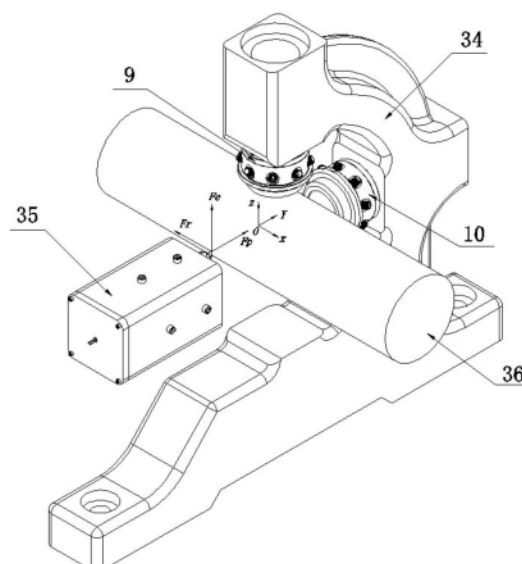
(54) 发明名称

一种基于切削过程多源感知的工件低损伤
变形控制系统

(57) 摘要

本发明涉及切削加工技术领域,具体地说,涉及一种基于切削过程多源感知的工件低损伤变形控制系统,包括系统液压回路、系统气压回路、系统机械结构、变形控制装置的总体控制、变形控制装置水射流压力的独立调节模块和切削过程损伤多源感知模块。本发明设计采用一种基于水射流的工件变形柔性支撑装置替代传统接触式支撑装置,通过将高压水流喷在工件的表面,实现对工件的非接触式柔性支撑,避免支撑损伤;通过在竖直方向与水平方向分别设有柔性变形控制装置,根据柔性变形控制装置内置的位移传感器的位移信号,调节其输出的水射流压力,实现对工件多方向自适应支撑,保证工件的加工精度和稳定性;同时,柔性变形控制装置包括八个独立腔室,每个腔室通过比例节流阀独立调节其腔室的水流压力,实现变形控制装置输出支撑力的大范围高精度调节;通过对车刀进给力

的在线感知,监测工件和刀具是否处于正常的加工状态,便于调整加工策略,避免工件或刀具出现进一步的加工损伤,保证工件的加工质量。



1. 一种基于切削过程多源感知的工件低损伤变形控制系统, 其特征在于: 包括系统液压回路、系统气压回路、系统机械结构、变形控制装置的总体控制、变形控制装置水射流压力的独立调节模块和切削过程损伤多源感知模块; 其中, 整体系统的变形控制装置构成包括蓄能器 (1)、压力传感器 (2)、压力控制器 (3)、电动机 (4)、定量泵 (5)、安全溢流阀 (6)、过滤器 (7)、流量控制器 (8)、Z 方向变形控制装置 (9)、Y 方向变形控制装置 (10)、第一比例节流阀 (11)、第二比例节流阀 (12)、第三比例节流阀 (13)、第四比例节流阀 (14)、第五比例节流阀 (15)、第六比例节流阀 (16)、第七比例节流阀 (17)、第八比例节流阀 (18)、第九比例节流阀 (19)、第十比例节流阀 (20)、十一比例节流阀 (21)、十二比例节流阀 (22)、十三比例节流阀 (23)、十四比例节流阀 (24)、十五比例节流阀 (25)、十六比例节流阀 (26)、水箱 (27)、电动机 (28)、空气压缩机 (29)、水分过滤器 (30)、单向阀 (31)、储气罐 (32)、减压阀 (33)、支撑底座 (34)、柔性车刀 (35) 和加工工件 (36)。

2. 根据权利要求 1 所述的基于切削过程多源感知的工件低损伤变形控制系统, 其特征在于: 所述系统液压回路的主要构成包括: 水箱 (27) 分别与过滤器 (7) 的 7A 口, 安全溢流阀 (6) 的 6B 口相连; 过滤器 (7) 的 7B 口与定量泵 (5) 的 5A 口相连; 定量泵 (5) 的 5B 口分别与压力传感器 (2) 的 2A 口、蓄能器 (1) 的 1A 口、安全溢流阀 (6) 的 6A 口、第一比例节流阀 (11) 的 11A 口、第二比例节流阀 (12) 的 12A 口、第三比例节流阀 (13) 的 13A 口、第四比例节流阀 (14) 的 14A 口、第五比例节流阀 (15) 的 15A 口、第六比例节流阀 (16) 的 16A 口、第七比例节流阀 (17) 的 17A 口、第八比例节流阀 (18) 的 18A 口、第九比例节流阀 (19) 的 19A 口、第十比例节流阀 (20) 的 20A 口、十一比例节流阀 (21) 的 21A 口、十二比例节流阀 (22) 的 22A 口、十三比例节流阀 (23) 的 23A 口、十四比例节流阀 (24) 的 24A 口、十五比例节流阀 (25) 的 25A 口及十六比例节流阀 (26) 的 26A 口相连; 第一比例节流阀 (11) 的 11B 口与 Z 方向变形控制装置 (9) 的 9A 口相连; 第二比例节流阀 (12) 的 12B 口与 Z 方向变形控制装置 (9) 的 9B 口相连; 第三比例节流阀 (13) 的 13B 口与 Z 方向变形控制装置 (9) 的 9C 口相连; 第四比例节流阀 (14) 的 14B 口与 Z 方向变形控制装置 (9) 的 9D 口相连; 第五比例节流阀 (15) 的 15B 口与 Z 方向变形控制装置 (9) 的 9E 口相连; 第六比例节流阀 (16) 的 16B 口与 Z 方向变形控制装置 (9) 的 9F 口相连; 第七比例节流阀 (17) 的 17B 口与 Z 方向变形控制装置 (9) 的 9G 口相连; 第八比例节流阀 (18) 的 18B 口与 Z 方向变形控制装置 (9) 的 9H 口相连; 第九比例节流阀 (19) 的 19B 口与 Y 方向变形控制装置 (10) 的 10A 口相连; 第十比例节流阀 (20) 的 20B 口与 Y 方向变形控制装置 (10) 的 10B 口相连; 十一比例节流阀 (21) 的 21B 口与 Y 方向变形控制装置 (10) 的 10C 口相连; 十二比例节流阀 (22) 的 22B 口与 Y 方向变形控制装置 (10) 的 10D 口相连; 十三比例节流阀 (23) 的 23B 口与 Y 方向变形控制装置 (10) 的 10E 口相连; 十四比例节流阀 (24) 的 24B 口与 Y 方向变形控制装置 (10) 的 10F 口相连; 十五比例节流阀 (25) 的 25B 口与 Y 方向变形控制装置 (10) 的 10G 口相连; 十六比例节流阀 (26) 的 26B 口与 Y 方向变形控制装置 (10) 的 10H 口相连。

3. 根据权利要求 1 所述的基于切削过程多源感知的工件低损伤变形控制系统, 其特征在于: 所述系统气压回路的主要构成包括: 空气压缩机 (29) 的 29A 口与外界大气相连; 空气压缩机 (29) 的 29B 口与水分过滤器 (30) 的 30A 口相连; 水分过滤器 (30) 的 30B 口与单向阀 (31) 的 31A 口相连; 单向阀 (31) 的 31B 口与储气罐 (32) 的 32A 口相连; 储气罐 (32) 的 32B 口与减压阀 (33) 的 33A 口相连; 减压阀 (33) 的 33B 口分别与基于水射流的 Z 方向变形控制装置 (9) 的 9I 口、基于水射流的 Y 方向变形控制装置 (10) 的 10I 口相连; 减压阀 (33) 的 33C 口与大气连

通。

4. 根据权利要求1所述的基于切削过程多源感知的工件低损伤变形控制系统,其特征
在于:所述系统机械结构的主要构成包括:支撑基座(34)主体为半环形结构,其Y与Z方向分
别设有矩形凸台,矩形凸台内部开设有圆形通孔,圆形通孔内部设有用于安装变形控制装
置的螺纹结构;支撑基座(34)底部设有用于与机床床身连接的梯形凸台,凸台两侧设有安
装孔;支撑基座(34)外侧设有加强肋;Z方向变形控制装置(9)与Y方向变形控制装置(10)主
体为圆柱形结构,其靠近加工工件(36)处设有锥形喷头,Z方向变形控制装置(9)与Y方向变
形控制装置(10)外侧设有螺纹,用于与支撑基座(34)的安装并对其位置进行初步调节;柔
性车刀(35)、Z方向变形控制装置(9)与Y方向变形控制装置(10)处于同一安装平面,并且柔
性车刀(35)处于水平安装。

5. 根据权利要求4所述的基于切削过程多源感知的工件低损伤变形控制系统,其特征
在于:所述Z方向变形控制装置(9)包括Z向球头柱塞(91)、Z向喷头内侧壳体(92)、Z向喷头
外侧壳体(93)、Z向锁紧套筒(94)、Z向连接接头(95)、Z向喷头基座(96)、Z向直线滑动轴承
(97)、Z向测量杆(98)、Z向喷头尾座(99)、Z向电容位移传感器(910)、Z向连接螺栓(911)、Z
向密封紧固环(912);其中:

Z向喷头基座(96)主体为环形结构,其两端分别设有尺寸不同的圆形台肩,其内部设有
用于限位的环形凸台,并且其内部均布有多个半圆形凹槽,Z向喷头基座(96)内部均布有八
个导流孔,导流孔的外侧设有用于连接的螺纹;Z向喷头内侧壳体(92)主体为圆台结构,Z向
喷头内侧壳体(92)的内部开设有用于安装Z向测量杆(98)的圆形通孔,Z向喷头内侧壳体
(92)的一端均布有八个半圆形凹槽,其另一端设有导流用的弧面,Z向喷头内侧壳体(92)较
大的一端设有用于限位的二级圆形台肩;Z向喷头内侧壳体(92)较大的一端通过形状配合
安装在Z向喷头基座(96)的圆形台肩内;Z向喷头外侧壳体(93)主体为圆台结构,其较大一
端设有环形凸台,Z向喷头外侧壳体(93)的内部开设有锥形空腔,锥形空腔内部均布有八个
分隔板,将锥形空腔分割为八个区域,分隔板下部设有与Z向喷头内侧壳体(92)相同的弧面
过渡,Z向喷头外侧壳体(93)较大的一端与Z向喷头基座(96)圆形台肩接触,Z向喷头外侧壳
体(93)内部的分隔板与Z向喷头内侧壳体(92)的外表面紧密接触,Z向喷头内侧壳体(92)与
Z向喷头外侧壳体(93)之间形成八个均等的空腔;Z向锁紧套筒(94)主体为二级阶梯式环
形体,其内部开设有二级阶梯式环形凹槽,较大一端的环形凹槽内部设有用于与Z向喷头基
座(96)连接的螺纹,Z向锁紧套筒(94)较小的一端与Z向喷头外侧壳体(93)的环形凸台接
触,Z向锁紧套筒(94)较大的一端通过螺纹与Z向喷头基座(96)连接,通过预紧螺纹连接,实现
对Z向喷头外侧壳体(93)的紧固和限位作用;Z向连接接头(95)主体为圆柱形,内部设有
用于通流的圆形孔,其中部设有圆形台肩,其两端分别设有用于连接的螺纹,Z向连接接头
(95)通过螺纹与喷头基座连接;Z向喷头尾座(99)主体为圆筒形,Z向喷头尾座(99)一端
设有用于连接的法兰,另一端设有用于安装Z向电容位移传感器(910)的空心柱形结构,空
心圆柱上端设有螺纹,Z向喷头尾座(99)靠近安装法兰的一侧设有环形凸台,Z向喷头尾
座(99)的圆柱面设有一个通气孔,用于高压气体的输入,环形凸台中部设有导气孔,Z向
喷头尾座(99)通过Z向连接螺栓(911)与Z向喷头基座(96)连接;Z向密封紧固环(912)主
体为环形结构,Z向密封紧固环(912)一端设有用于限位和密封作用的环形凸台,Z向密封
紧固环(912)另一端的内侧设有螺纹;Z向电容位移传感器(910)安装于Z向喷头尾座(99)
的空心柱形结

构内,Z向密封紧固环(912)通过螺纹与Z向喷头尾座(99)连接,并通过预紧螺纹实现对Z向电容位移传感器(910)的密封和紧固作用;Z向测量杆(98)主体为阶梯轴,Z向测量杆(98)的一端设有螺纹槽,用于安装Z向球头柱塞(91),Z向测量杆(98)两端的尺寸小于Z向喷头内侧壳体(92)的内部圆形凹槽,Z向电容位移传感器(910)通过测量Z向测量杆(98)的位置,实现对工件位置的在线检测;Z向直线滑动轴承(97)的外圈与Z向喷头基座(96)接触,Z向直线滑动轴承(97)的内圈与Z向测量杆(98)接触,Z向直线滑动轴承(97)的两端分别通过Z向喷头基座(96)与Z向喷头尾座(99)设置的环形凸台进行限位。

6.根据权利要求4所述的基于切削过程多源感知的工件低损伤变形控制系统,其特征在于:所述Y方向变形控制装置(10)与所述Z方向变形控制装置(9)的结构、尺寸均相同,所述Y方向变形控制装置(10)包括Y向球头柱塞(101)、Y向喷头内侧壳体(102)、Y向喷头外侧壳体(103)、Y向锁紧套筒(104)、Y向连接接头(105)、Y向喷头基座(106)、Y向直线滑动轴承(107)、Y向测量杆(108)、Y向喷头尾座(109)、Y向电容位移传感器(1010)、Y向连接螺栓(1011)和Y向密封紧固环(1012);其中:

Y向喷头基座(106)主体为环形结构,其两端分别设有尺寸不同的圆形台肩,其内部设有用于限位的环形凸台,并且其内部均布有多个半圆形凹槽,Y向喷头基座(106)内部均布有八个导流孔,导流孔的外侧设有用于连接的螺纹;Y向喷头内侧壳体(102)主体为圆台结构,Y向喷头内侧壳体(102)的内部开设有用于安装Y向测量杆(108)的圆形通孔,Y向喷头内侧壳体(102)的一端均布有八个半圆形凹槽,其另一端设有导流用的弧面,Y向喷头内侧壳体(102)较大的一端设有用于限位的二级圆形台肩;Y向喷头内侧壳体(102)较大的一端通过形状配合安装在Y向喷头基座(106)的圆形台肩内;Y向喷头外侧壳体(103)主体为圆台结构,其较大一端设有环形凸台,Y向喷头外侧壳体(103)的内部开设有锥形空腔,锥形空腔内部均布有八个分隔板,将锥形空腔分割为八个区域,分隔板下部设有与Y向喷头内侧壳体(102)相同的弧面过渡,Y向喷头外侧壳体(103)较大的一端与Y向喷头基座(106)圆形台肩接触,Y向喷头外侧壳体(103)内部的分隔板与Y向喷头内侧壳体(102)的外表面紧密接触,Y向喷头内侧壳体(102)与Y向喷头外侧壳体(103)之间形成八个均等的空腔;Y向锁紧套筒(104)主体为二级阶梯式环形体,其内部开设有二级阶梯式环形凹槽,较大一端的环形凹槽内部设有用于与Y向喷头基座(106)连接的螺纹,Y向锁紧套筒(104)较小的一端与Y向喷头外侧壳体(103)的环形凸台接触,Y向锁紧套筒(104)较大的一端通过螺纹与Y向喷头基座(106)连接,通过预紧螺纹连接,实现对Y向喷头外侧壳体(103)的紧固和限位作用;Y向连接接头(105)主体为圆柱形,内部设有用于通流的圆形孔,其中部设有圆形台肩,其两端分别设有用于连接的螺纹,Y向连接接头(105)通过螺纹与喷头基座连接;Y向喷头尾座(109)主体为圆筒形,Y向喷头尾座(109)一端设有用于连接的法兰,另一端设有用于安装Y向电容位移传感器(1010)的空心柱形结构,空心圆柱上端设有螺纹,Y向喷头尾座(109)靠近安装法兰的一侧设有环形凸台,Y向喷头尾座(109)的圆柱面设有一个通气孔,用于高压气体的输入,环形凸台中部设有导气孔,Y向喷头尾座(109)通过Y向连接螺栓(1011)与Y向喷头基座(106)连接;Y向密封紧固环(1012)主体为环形结构,Y向密封紧固环(1012)一端设有用于限位和密封作用的环形凸台,Y向密封紧固环(1012)另一端的内侧设有螺纹;Y向电容位移传感器(1010)安装于Y向喷头尾座(109)的空心柱形结构内,Y向密封紧固环(1012)通过螺纹与Y向喷头尾座(109)连接,并通过预紧螺纹实现对Y向电容位移传感器(1010)的密封和紧

固作用;Y向测量杆(108)主体为阶梯轴,Y向测量杆(108)的一端设有螺纹槽,用于安装Y向球头柱塞(101),Y向测量杆(108)两端的尺寸小于Y向喷头内侧壳体(102)的内部圆形凹槽,Y向电容位移传感器(1010)通过测量Y向测量杆(108)的位置,实现对工件位置的在线检测;Y向直线滑动轴承(107)的外圈与Y向喷头基座(106)接触,Y向直线滑动轴承(107)的内圈与Y向测量杆(108)接触,Y向直线滑动轴承(107)的两端分别通过Y向喷头基座(106)与Y向喷头尾座(109)设置的环形凸台进行限位。

7.根据权利要求4所述的基于切削过程多源感知的工件低损伤变形控制系统,其特征在于:所述柔性车刀(35)包括车刀壳体(351)、侧向连接螺栓(352)、尾部连接螺栓(353)、尾部端盖(354)、电容位移传感器(355)、紧固螺母(356)、车刀刀体(357)和车刀刀尖(358);其中:

车刀壳体(351)主体为矩形壳体,壳体内壁周向设有四个矩形凹槽,用于安装车刀刀体(357),车刀壳体(351)外侧设有用于连接车刀刀体(357)的螺栓孔,车刀壳体(351)的一端设有安装尾部端盖(354)的螺栓孔;车刀刀体(357)周向设有弹性栅格结构,车刀刀体(357)通过侧向连接螺栓(352)与车刀壳体(351)固定连接;车刀刀尖(358)通过螺栓安装在车刀刀体(357)上;尾部端盖(354)中部设有圆形通孔,尾部端盖(354)的一端设有环形凸台,环形凸台上设有螺纹,电容位移传感器(355)安装在尾部端盖(354)的环形凸台内部,尾部端盖(354)通过尾部连接螺栓(353)与车刀壳体(351)固定连接;紧固螺母(356)通过螺纹与尾部端盖(354)连接,通过预紧紧固螺母(356),实现对电容位移传感器(355)的紧固作用。

8.根据权利要求1所述的基于切削过程多源感知的工件低损伤变形控制系统,其特征在于:所述变形控制装置的总体控制的控制逻辑包括:上位机根据支撑力需求将控制信号传递至流量控制器,流量控制器分别调节Y方向变形控制装置(10)和Z方向变形控制装置(9)输出水射流的压力,Y方向变形控制装置(10)和Z方向变形控制装置(9)输出的高压水射流用于支撑加工工件(36);柔性车刀(35)内置的电容位移传感器(355)在线感知柔性车刀(35)的加工位置,柔性车刀(35)的位置信号作为反馈信号传递至上位机,上位机根据柔性车刀(35)的位置信号,可计算出柔性车刀(35)在加工过程中的进给力,上位机根据柔性车刀(35)的进给力,判断柔性变形控制装置和车刀是否处于正常的加工状态,当柔性车刀(35)出现过度磨损或工件发生断裂等非正常加工状态,及时采取相应的应对措施,避免柔性车刀(35)和加工工件(36)出现进一步的损坏;同时,Y方向变形控制装置(10)内置有Y向电容位移传感器(1010),Y向电容位移传感器(1010)的位置信号经信号放大器放大后传递至上位机,上位机根据Y向电容位移传感器(1010)的位置信号,调整输出至流量控制器的控制信号,通过独立调节Y方向变形控制装置(10)的八个腔室的水流压力,实现Y方向变形控制装置(10)输出支撑力和位移的闭环控制;Z方向变形控制装置(9)内置有Z向电容位移传感器(910),Z向电容位移传感器(910)的位置信号经信号放大器放大后传递至上位机,上位机根据Z向电容位移传感器(910)的位置信号,调整输出至流量控制器的控制信号,通过独立调节Z方向变形控制装置(9)的八个腔室的水流压力,实现Z方向变形控制装置(9)输出支撑力和位移的闭环控制。

9.根据权利要求1所述的基于切削过程多源感知的工件低损伤变形控制系统,其特征在于:所述变形控制装置水射流压力的独立调节模块的模块功能实现原理为:变形控制装置根据各电容位移传感器的反馈信号,通过调节各比例节流阀阀口的开度,实现水射流压

力的独立调节,具体过程如下:

蓄能器(1)内的高压水经其1A口流出,1A口流出的高压水分别经压力传感器(2)的2A口流入压力传感器(2),经第一比例节流阀(11)的11A口流入第一比例节流阀(11),经第二比例节流阀(12)的12A口流入第二比例节流阀(12),经第三比例节流阀(13)的13A口流入第三比例节流阀(13),经第四比例节流阀(14)的14A口流入第四比例节流阀(14),经第五比例节流阀(15)的15A口流入第五比例节流阀(15),经第六比例节流阀(16)的16A口流入第六比例节流阀(16),经第七比例节流阀(17)的17A口流入第七比例节流阀(17),经第八比例节流阀(18)的18A口流入第八比例节流阀(18),经第九比例节流阀(19)的19A口流入第九比例节流阀(19),经第十比例节流阀(20)的20A口流入第十比例节流阀(20),经十一比例节流阀(21)的21A口流入十一比例节流阀(21),经十二比例节流阀(22)的22A口流入十二比例节流阀(22),经十三比例节流阀(23)的23A口流入十三比例节流阀(23),经十四比例节流阀(24)的24A口流入十四比例节流阀(24),经十五比例节流阀(25)的25A口流入十五比例节流阀(25),经十六比例节流阀(26)的26A口流入十六比例节流阀(26);高压水经第一比例节流阀(11)后由其11B口流出,11B口流出的高压水经Z方向变形控制装置(9)的9A口流入Z方向变形控制装置(9);高压水经第二比例节流阀(12)后由其12B口流出,12B口流出的高压水经Z方向变形控制装置(9)的9B口流入Z方向变形控制装置(9);高压水经第三比例节流阀(13)后由其13B口流出,13B口流出的高压水经Z方向变形控制装置(9)的9C口流入Z方向变形控制装置(9);高压水经第四比例节流阀(14)后由其14B口流出,14B口流出的高压水经Z方向变形控制装置(9)的9D口流入Z方向变形控制装置(9);高压水经第五比例节流阀(15)后由其15B口流出,15B口流出的高压水经Z方向变形控制装置(9)的9E口流入Z方向变形控制装置(9);高压水经第六比例节流阀(16)后由其16B口流出,16B口流出的高压水经Z方向变形控制装置(9)的9F口流入Z方向变形控制装置(9);高压水经第七比例节流阀(17)后由其17B口流出,17B口流出的高压水经Z方向变形控制装置(9)的9G口流入Z方向变形控制装置(9);高压水经第八比例节流阀(18)后由其18B口流出,18B口流出的高压水经Z方向变形控制装置(9)的9H口流入Z方向变形控制装置(9);高压水经第九比例节流阀(19)后由其19B口流出,19B口流出的高压水经Y方向变形控制装置(10)的10A口流入Y方向变形控制装置(10),高压水经第十比例节流阀(20)后由其20B口流出,20B口流出的高压水经Y方向变形控制装置(10)的10B口流入Y方向变形控制装置(10),高压水经十一比例节流阀(21)后由其21B口流出,21B口流出的高压水经Y方向变形控制装置(10)的10C口流入Y方向变形控制装置(10),高压水经十二比例节流阀(22)后由其22B口流出,22B口流出的高压水经Y方向变形控制装置(10)的10D口流入Y方向变形控制装置(10),高压水经十三比例节流阀(23)后由其23B口流出,23B口流出的高压水经Y方向变形控制装置(10)的10E口流入Y方向变形控制装置(10),高压水经十四比例节流阀(24)后由其24B口流出,24B口流出的高压水经Y方向变形控制装置(10)的10F口流入Y方向变形控制装置(10),高压水经十五比例节流阀(25)后由其25B口流出,25B口流出的高压水经Y方向变形控制装置(10)的10G口流入Y方向变形控制装置(10),高压水经十六比例节流阀(26)后由其26B口流出,26B口流出的高压水经Y方向变形控制装置(10)的10H口流入Y方向变形控制装置(10);流入Z方向变形控制装置(9)的高压水,分别经Z向喷头基座(96)内部的八个导流孔流入Z向喷头内侧壳体(92)与Z向喷头外侧壳体(93)之间的八个腔室,流入八个腔室的高压水经Z向喷头内侧壳体(92)的弧形导流出

口流出,弧形导流出口可有效避免高压水流直射至工件表面,弧形导流口流出的高压水用于补偿加工工件(36)Z方向所需的支撑力;流入Y方向变形控制装置(10)的高压水,分别经Y向喷头基座(106)内部的八个导流孔流入Y向喷头内侧壳体(102)与Y向喷头外侧壳体(103)之间的八个腔室,流入八个腔室的高压水经Y向喷头内侧壳体(102)的弧形导流出口流出,弧形导流出口可有效避免高压水流直射至加工工件(36)表面,弧形导流口流出的高压水用于补偿加工工件(36)Y方向所需的支撑力;当柔性变形控制装置内置的位移传感器检测加工工件(36)处于预设的加工位置时,保持节流阀阀口开度不变,实现柔性变形控制装置水射流压力的独立自适应调节功能。

10. 根据权利要求1所述的基于切削过程多源感知的工件低损伤变形控制系统,其特征在于:所述切削过程地损伤多源感知模块功能实现原理包括:基于柔性变形控制装置内置的各电容位移传感器,检测加工工件(36)的变形量,在线调整柔性变形控制装置输出水射流压力;通过设置的柔性车刀(35),实现柔性车刀(35)进给力实时感知功能,研判工件各车刀的加工状态;同时,为保证测量杆上的球头柱塞与加工工件(36)时刻保持接触,并防止水倒流入柔性变形控制装置内部,以及避免球头柱塞划伤加工工件(36)表面,实现加工工件(36)的低损伤接触式检测,需在尾部端盖内充入略大于标准大气压的空气;此时,调节减压阀(33)使其出口压力略大于标准大气压,储气罐(32)内的恒压气体经其32B口流出,32B口流出的空气经减压阀(33)的33A口流入减压阀(33),空气经减压阀(33)后一部分由其33B口流出,一部分由其33C口流入外界大气,33B口流出的空气分别经Y方向变形控制装置(10)的10I口流入Y方向变形控制装置(10),经Z方向变形控制装置(9)的9I口流入Z方向变形控制装置(9),当储气罐(32)内的气体压力低于预设压力,启动电动机(28),电动机(28)带动空气压缩机(29)转动,空气经空气压缩机(29)的29A口流入空气压缩机(29),空气经空气压缩机(29)后由其29B口流出,29B口流出的空气经水分过滤器(30)的30A口流入水分过滤器(30),空气经水分过滤器(30)后由其30B口流出,30B口流出的空气经单向阀(31)的31A口流入单向阀(31),空气经单向阀(31)后由其31B口流出,31B口流出的空气经储气罐(32)的32A口流入储气罐(32),为储气罐(32)补充一定压力的气体,当储气罐(32)内的空气压力达到预设值,关闭电动机(28);流入Y方向变形控制装置(10)的高压空气经Y向喷头尾座(109)内部设置的导气孔流入Y向喷头基座(106),流入Y向喷头基座(106)的高压气体经Y向喷头基座(106)与Y向直线滑动轴承(107)之间的半圆形凹槽流入Y向喷头基座(106)与Y向喷头内侧壳体(102)之间的空腔,流入空腔内的高压空气经Y向测量杆(108)与Y向喷头内侧壳体(102)之间的间隙流入外界大气;流入Z方向变形控制装置(9)的高压空气经Z向喷头尾座(99)内部设置的导气孔流入Z向喷头基座(96),流入Z向喷头基座(96)的高压气体经Z向喷头基座(96)与Z向直线滑动轴承(97)之间的半圆形凹槽流入Z向喷头基座(96)与Z向喷头内侧壳体(92)之间的空腔,流入空腔内的高压空气经Z向测量杆(98)与Z向喷头内侧壳体(92)之间的间隙流入外界大气;通过高压气体不断沿测量杆与喷头内侧壳体之间的间隙吹出,防止高压水射流逆流至变形控制装置内部,同时,由于测量杆两端直径不相同,靠近加工工件(36)处的直径较小,使得测量杆在较小力的作用下始终与加工工件(36)保持接触,实现切削过程低损伤多源感知功能。

一种基于切削过程多源感知的工件低损伤变形控制系统

技术领域

[0001] 本发明涉及切削加工技术领域,具体地说,涉及一种基于切削过程多源感知的工件低损伤变形控制系统。

背景技术

[0002] 车削加工作为机械制造行业中最基本、最广泛的一种加工方式,具有加工范围广、加工效率高等特点;随着车削加工技术的不断发展,车削加工的加工精度不断提高。在大长径比轴类零件车削加工过程中,由于工件受到来自车刀的进给力,在加工过程中容易引起工件的加工变形,严重制约工件的加工精度。工件受到的偏置载荷成为影响车削加工性能的主要因素,为解决此类问题,传统方式一般采用基于尼龙/轴承的接触式支撑。传统接触式支撑依靠工人手动装夹,其装夹精度和稳定性受限;同时,传统接触式支撑在支撑过程中,容易划伤工件的加工表面;此外,传统支撑装置不具备加工参数的在线感知功能,无法根据实际的加工状态,实时调整支撑位置与支撑力。鉴于此,我们提出了一种基于切削过程多源感知的工件低损伤变形控制系统。

发明内容

[0003] 本发明的目的在于提供一种基于切削过程多源感知的工件低损伤变形控制系统,以解决上述背景技术中提出的问题。

[0004] 为实现上述技术问题的解决,本发明的目的之一在于,提供了一种基于切削过程多源感知的工件低损伤变形控制系统,包括系统液压回路、系统气压回路、系统机械结构、变形控制装置的总体控制、变形控制装置水射流压力的独立调节模块和切削过程损伤多源感知模块;

[0005] 其中,整体系统的变形控制装置构成包括蓄能器、压力传感器、压力控制器、电动机、定量泵、安全溢流阀、过滤器、流量控制器、Z方向变形控制装置、Y方向变形控制装置、第一比例节流阀、第二比例节流阀、第三比例节流阀、第四比例节流阀、第五比例节流阀、第六比例节流阀、第七比例节流阀、第八比例节流阀、第九比例节流阀、第十比例节流阀、十一比例节流阀、十二比例节流阀、十三比例节流阀、十四比例节流阀、十五比例节流阀、十六比例节流阀、水箱、电动机、空气压缩机、水分过滤器、单向阀、储气罐、减压阀、支撑基座、柔性车刀和加工工件。

[0006] 作为本技术方案的进一步改进,所述系统液压回路的主要构成包括:水箱分别与过滤器的7A口,安全溢流阀的6B口相连;过滤器的7B口与定量泵的5A口相连;定量泵的5B口分别与压力传感器的2A口、蓄能器的1A口、安全溢流阀的6A口、第一比例节流阀的11A口、第二比例节流阀的12A口、第三比例节流阀的13A口、第四比例节流阀的14A口、第五比例节流阀的15A口、第六比例节流阀的16A口、第七比例节流阀的17A口、第八比例节流阀的18A口、第九比例节流阀的19A口、第十比例节流阀的20A口、十一比例节流阀的21A口、十二比例节流阀的22A口、十三比例节流阀的23A口、十四比例节流阀的24A口、十五比例节流阀的25A口

及十六比例节流阀的26A口相连;第一比例节流阀的11B口与Z方向变形控制装置的9A口相连;第二比例节流阀的12B口与Z方向变形控制装置的9B口相连;第三比例节流阀的13B口与Z方向变形控制装置的9C口相连;第四比例节流阀的14B口与Z方向变形控制装置的9D口相连;第五比例节流阀的15B口与Z方向变形控制装置的9E口相连;第六比例节流阀的16B口与Z方向变形控制装置的9F口相连;第七比例节流阀的17B口与Z方向变形控制装置的9G口相连;第八比例节流阀的18B口与Z方向变形控制装置的9H口相连;第九比例节流阀的19B口与Y方向变形控制装置的10A口相连;第十比例节流阀的20B口与Y方向变形控制装置的10B口相连;十一比例节流阀的21B口与Y方向变形控制装置的10C口相连;十二比例节流阀的22B口与Y方向变形控制装置的10D口相连;十三比例节流阀的23B口与Y方向变形控制装置的10E口相连;十四比例节流阀的24B口与Y方向变形控制装置的10F口相连;十五比例节流阀的25B口与Y方向变形控制装置的10G口相连;十六比例节流阀的26B口与Y方向变形控制装置的10H口相连。

[0007] 作为本技术方案的进一步改进,所述系统气压回路的主要构成包括:空气压缩机的29A口与外界大气相连;空气压缩机的29B口与水分过滤器的30A口相连;水分过滤器的30B口与单向阀的31A口相连;单向阀的31B口与储气罐的32A口相连;储气罐的32B口与减压阀的33A口相连;减压阀的33B口分别与基于水射流的Z方向变形控制装置的9I口、基于水射流的Y方向变形控制装置的10I口相连;减压阀的33C口与大气连通。

[0008] 作为本技术方案的进一步改进,所述系统机械结构的主要构成包括:支撑基座主体为半环形结构,其Y与Z方向分别设有矩形凸台,矩形凸台内部开设有圆形通孔,圆形通孔内部设有用于安装变形控制装置的螺纹结构;支撑基座底部设有用于与机床床身连接的梯形凸台,凸台两侧设有安装孔;支撑基座外侧设有加强肋,保证支撑基座主体的结构强度;Z方向变形控制装置与Y方向变形控制装置主体为圆柱形结构,其靠近加工工件处设有锥形喷头,Z方向变形控制装置与Y方向变形控制装置外侧设有螺纹,用于与支撑基座的安装并对其位置进行初步调节;柔性车刀、Z方向变形控制装置与Y方向变形控制装置处于同一安装平面,并处于水平安装(即Y方向)。

[0009] 作为本技术方案的进一步改进,所述Z方向变形控制装置包括Z向球头柱塞、Z向喷头内侧壳体、Z向喷头外侧壳体、Z向锁紧套筒、Z向连接接头、Z向喷头基座、Z向直线滑动轴承、Z向测量杆、Z向喷头尾座、Z向电容位移传感器、Z向连接螺栓、Z向密封紧固环;其中:

[0010] Z向喷头基座主体为环形结构,其两端分别设有尺寸不同的圆形台肩,其内部设有用于限位的环形凸台,并且其内部均布有多个半圆形凹槽,Z向喷头基座内部均布有八个导流孔,导流孔的外侧设有用于连接的螺纹;Z向喷头内侧壳体主体为圆台结构,Z向喷头内侧壳体的内部开设有用于安装Z向测量杆的圆形通孔,Z向喷头内侧壳体的一端均布有八个半圆形凹槽,其另一端设有导流用的弧面,Z向喷头内侧壳体较大的一端设有用于限位的二级圆形台肩;Z向喷头内侧壳体较大的一端通过形状配合安装在Z向喷头基座的圆形台肩内侧;Z向喷头外侧壳体主体为圆台结构,其较大一端设有环形凸台,Z向喷头外侧壳体的内部开设有锥形空腔,锥形空腔内部均布有八个分隔板,将锥形空腔分割为八个区域,分隔板下部设有与Z向喷头内侧壳体相同的弧面过渡,Z向喷头外侧壳体较大的一端与Z向喷头基座圆形台肩接触,Z向喷头外侧壳体内部的分隔板与Z向喷头内侧壳体的外表面接触,Z向喷头内侧壳体与Z向喷头外侧壳体之间形成八个均等的空腔;Z向锁紧套筒主体为二级阶梯式环

形体,其内部开设有二级阶梯式环形凹槽,较大一端的环形凹槽内部设有用于与Z向喷头基座连接的螺纹,Z向锁紧套筒较小的一端与Z向喷头外侧壳体的环形凸台接触,Z向锁紧套筒较大的一端通过螺纹与Z向喷头基座连接,通过预紧螺纹连接,实现对Z向喷头外侧壳体的紧固和限位作用;Z向连接接头主体为圆柱形,内部设有用于通流的圆形孔,其中部设有圆形台肩,其两端分别设有用于连接的螺纹,Z向连接接头通过螺纹与喷头基座连接;Z向喷头尾座主体为圆筒形,Z向喷头尾座一端设有用于连接的法兰,另一端设有用于安装Z向电容位移传感器的空心圆柱结构,空心圆柱上端设有螺纹,Z向喷头尾座靠近安装法兰的一侧设有环形凸台,Z向喷头尾座的圆柱面设有一个通气孔,用于高压气体的输入,环形凸台中部设有导气孔,Z向喷头尾座通过Z向连接螺栓与Z向喷头基座连接;Z向密封紧固环主体为环形结构,Z向密封紧固环一端设有用于限位和密封作用的环形凸台,Z向密封紧固环另一端的内侧设有螺纹;Z向电容位移传感器安装于Z向喷头尾座的空心柱形结构内,Z向密封紧固环通过螺纹与Z向喷头尾座连接,并通过预紧螺纹实现对Z向电容位移传感器的密封和紧固作用;Z向测量杆主体为阶梯轴,Z向测量杆的一端设有螺纹槽,用于安装Z向球头柱塞,Z向测量杆两端的尺寸小于Z向喷头内侧壳体的内部圆形凹槽,Z向电容位移传感器通过测量Z向测量杆的位置,实现对工件位置的在线检测;Z向直线滑动轴承的外圈与Z向喷头基座接触,Z向直线滑动轴承的内圈与Z向测量杆接触,Z向直线滑动轴承的两端分别通过Z向喷头基座与Z向喷头尾座设置的环形凸台进行限位。

[0011] 作为本技术方案的进一步改进,所述Y方向变形控制装置与所述Z方向变形控制装置的结构、尺寸均相同,所述Y方向变形控制装置包括Y向球头柱塞、Y向喷头内侧壳体、Y向喷头外侧壳体、Y向锁紧套筒、Y向连接接头、Y向喷头基座、Y向直线滑动轴承、Y向测量杆、Y向喷头尾座、Y向电容位移传感器、Y向连接螺栓和Y向密封紧固环;其中:

[0012] Y向喷头基座主体为环形结构,其两端分别设有尺寸不同的圆形台肩,其内部设有用于限位的环形凸台,并且其内部均布有多个半圆形凹槽,Y向喷头基座内部均布有八个导流孔,导流孔的外侧设有用于连接的螺纹;Y向喷头内侧壳体主体为圆台结构,Y向喷头内侧壳体的内部开设有用于安装Y向测量杆的圆形通孔,Y向喷头内侧壳体的一端均布有八个半圆形凹槽,其另一端设有导流用的弧面,Y向喷头内侧壳体较大的一端设有用于限位的二级圆形台肩;Y向喷头内侧壳体较大的一端通过形状配合安装在Y向喷头基座的圆形台肩内;Y向喷头外侧壳体主体为圆台结构,其较大一端设有环形凸台,Y向喷头外侧壳体的内部开设有锥形空腔,锥形空腔内部均布有八个分隔板,将锥形空腔分割为八个区域,分隔板下部设有与Y向喷头内侧壳体相同的弧面过渡,Y向喷头外侧壳体较大的一端与Y向喷头基座圆形台肩接触,Y向喷头外侧壳体内部的分隔板与Y向喷头内侧壳体的外表面紧密接触,Y向喷头内侧壳体与Y向喷头外侧壳体之间形成八个均等的空腔;Y向锁紧套筒主体为二级阶梯式环形形体,其内部开设有二级阶梯式环形凹槽,较大一端的环形凹槽内部设有用于与Y向喷头基座连接的螺纹,Y向锁紧套筒较小的一端与Y向喷头外侧壳体的环形凸台接触,Y向锁紧套筒较大的一端通过螺纹与Y向喷头基座连接,通过预紧螺纹连接,实现对Y向喷头外侧壳体的紧固和限位作用;Y向连接接头主体为圆柱形,内部设有用于通流的圆形孔,其中部设有圆形台肩,其两端分别设有用于连接的螺纹,Y向连接接头通过螺纹与喷头基座连接;Y向喷头尾座主体为圆筒形,Y向喷头尾座一端设有用于连接的法兰,另一端设有用于安装Y向电容位移传感器的空心柱形结构,空心圆柱上端设有螺纹,Y向喷头尾座靠近安装法兰的一侧设

有环形凸台,Y向喷头尾座的圆柱面设有一个通气孔,用于高压气体的输入,环形凸台中部设有导气孔,Y向喷头尾座通过Y向连接螺栓与Y向喷头基座连接;Y向密封紧固环主体为环形结构,Y向密封紧固环一端设有用于限位和密封作用的环形凸台,Y向密封紧固环另一端的内侧设有螺纹;Y向电容位移传感器安装于Y向喷头尾座的空心柱形结构内,Y向密封紧固环通过螺纹与Y向喷头尾座连接,并通过预紧螺纹实现对Y向电容位移传感器的密封和紧固作用;Y向测量杆主体为阶梯轴,Y向测量杆的一端设有螺纹槽,用于安装Y向球头柱塞,Y向测量杆两端的尺寸小于Y向喷头内侧壳体的内部圆形凹槽,Y向电容位移传感器通过测量Y向测量杆的位置,实现对工件位置的在线检测;Y向直线滑动轴承的外圈与Y向喷头基座接触,Y向直线滑动轴承的内圈与Y向测量杆接触,Y向直线滑动轴承的两端分别通过Y向喷头基座与Y向喷头尾座设置的环形凸台进行限位。

[0013] 作为本技术方案的进一步改进,所述柔性车刀包括车刀壳体、侧向连接螺栓、尾部连接螺栓、尾部端盖、电容位移传感器、紧固螺母、车刀刀体和车刀刀尖;其中:

[0014] 车刀壳体主体为矩形壳体,壳体内壁周向设有四个矩形凹槽,用于安装车刀刀体,车刀壳体外侧设有用于连接车刀刀体的螺栓孔,车刀壳体的一端设有安装尾部端盖的螺栓孔;车刀刀体周向设有弹性栅格结构,车刀刀体通过侧向连接螺栓与车刀壳体固定连接;车刀刀尖通过螺栓安装在车刀刀体上;尾部端盖中部设有圆形通孔,尾部端盖的一端设有环形凸台,环形凸台上设有螺纹,电容位移传感器安装在尾部端盖的环形凸台内部,尾部端盖通过尾部连接螺栓与车刀壳体固定连接;紧固螺母通过螺纹与尾部端盖连接,通过预紧紧固螺母,实现对电容位移传感器的紧固作用。

[0015] 作为本技术方案的进一步改进,所述变形控制装置的总体控制的控制逻辑包括:上位机根据支撑力需求将控制信号传递至流量控制器,流量控制器分别调节Y方向变形控制装置和Z方向变形控制装置输出水射流的压力,Y方向变形控制装置和Z方向变形控制装置输出的高压水射流用于支撑加工工件;柔性车刀内置的电容位移传感器在线感知柔性车刀的加工位置,柔性车刀的位置信号作为反馈信号传递至上位机,上位机根据柔性车刀的位置信号,可计算出柔性车刀在加工过程中的进给力,上位机根据柔性车刀的进给力,判断柔性变形控制装置和车刀是否处于正常的加工状态,当柔性车刀出现过度磨损或工件发生断裂等非正常加工状态,及时采取相应的应对措施,避免柔性车刀和加工工件出现进一步的损坏;同时,Y方向变形控制装置内置有Y向电容位移传感器,Y向电容位移传感器的位置信号经信号放大器放大后传递至上位机,上位机根据Y向电容位移传感器的位置信号,调整输出至流量控制器的控制信号,通过独立调节Y方向变形控制装置的八个腔室的水流压力,实现Y方向变形控制装置输出支撑力和位移的闭环控制;Z方向变形控制装置内置有Z向电容位移传感器,Z向电容位移传感器的位置信号经信号放大器放大后传递至上位机,上位机根据Z向电容位移传感器的位置信号,调整输出至流量控制器的控制信号,通过独立调节Z方向变形控制装置的八个腔室的水流压力,实现Z方向变形控制装置输出支撑力和位移的闭环控制。

[0016] 作为本技术方案的进一步改进,所述变形控制装置水射流压力的独立调节模块的模块功能实现原理为:变形控制装置(Y向、Z向)根据各电容位移传感器(Y向、Z向)的反馈信号,通过调节各比例节流阀阀口的开度,实现水射流压力的独立调节,具体过程如下:

[0017] 蓄能器内的高压水经其1A口流出,1A口流出的高压水分别经压力传感器的2A口流

入压力传感器,经第一比例节流阀的11A口流入第一比例节流阀,经第二比例节流阀的12A口流入第二比例节流阀,经第三比例节流阀的13A口流入第三比例节流阀,经第四比例节流阀的14A口流入第四比例节流阀,经第五比例节流阀的15A口流入第五比例节流阀,经第六比例节流阀的16A口流入第六比例节流阀,经第七比例节流阀的17A口流入第七比例节流阀,经第八比例节流阀的18A口流入第八比例节流阀,经第九比例节流阀的19A口流入第九比例节流阀,经第十比例节流阀的20A口流入第十比例节流阀,经十一比例节流阀的21A口流入十一比例节流阀,经十二比例节流阀的22A口流入十二比例节流阀,经十三比例节流阀的23A口流入十三比例节流阀,经十四比例节流阀的24A口流入十四比例节流阀,经十五比例节流阀的25A口流入十五比例节流阀,经十六比例节流阀的26A口流入十六比例节流阀;高压水经第一比例节流阀后由其11B口流出,11B口流出的高压水经Z方向变形控制装置的9A口流入Z方向变形控制装置;高压水经第二比例节流阀后由其12B口流出,12B口流出的高压水经Z方向变形控制装置的9B口流入Z方向变形控制装置;高压水经第三比例节流阀后由其13B口流出,13B口流出的高压水经Z方向变形控制装置的9C口流入Z方向变形控制装置;高压水经第四比例节流阀后由其14B口流出,14B口流出的高压水经Z方向变形控制装置的9D口流入Z方向变形控制装置;高压水经第五比例节流阀后由其15B口流出,15B口流出的高压水经Z方向变形控制装置的9E口流入Z方向变形控制装置;高压水经第六比例节流阀后由其16B口流出,16B口流出的高压水经Z方向变形控制装置的9F口流入Z方向变形控制装置;高压水经第七比例节流阀后由其17B口流出,17B口流出的高压水经Z方向变形控制装置的9G口流入Z方向变形控制装置;高压水经第八比例节流阀后由其18B口流出,18B口流出的高压水经Z方向变形控制装置的9H口流入Z方向变形控制装置;高压水经第九比例节流阀后由其19B口流出,19B口流出的高压水经Y方向变形控制装置的10A口流入Y方向变形控制装置,高压水经第十比例节流阀后由其20B口流出,20B口流出的高压水经Y方向变形控制装置的10B口流入Y方向变形控制装置,高压水经十一比例节流阀后由其21B口流出,21B口流出的高压水经Y方向变形控制装置的10C口流入Y方向变形控制装置,高压水经十二比例节流阀后由其22B口流出,22B口流出的高压水经Y方向变形控制装置的10D口流入Y方向变形控制装置,高压水经十三比例节流阀后由其23B口流出,23B口流出的高压水经Y方向变形控制装置的10E口流入Y方向变形控制装置,高压水经十四比例节流阀后由其24B口流出,24B口流出的高压水经Y方向变形控制装置的10F口流入Y方向变形控制装置,高压水经十五比例节流阀后由其25B口流出,25B口流出的高压水经Y方向变形控制装置的10G口流入Y方向变形控制装置,高压水经十六比例节流阀后由其26B口流出,26B口流出的高压水经Y方向变形控制装置的10H口流入Y方向变形控制装置;流入Z方向变形控制装置的高压水,分别经Z向喷头基座内部的八个导流孔流入Z向喷头内侧壳体与Z向喷头外侧壳体之间的八个腔室,流入八个腔室的高压水经Z向喷头内侧壳体的弧形导流出口流出,弧形导流出口可有效避免高压水流直射至工件表面,弧形导流口流出的高压水用于补偿加工工件Z方向所需的支撑力;流入Y方向变形控制装置的高压水,分别经Y向喷头基座内部的八个导流孔流入Y向喷头内侧壳体与Y向喷头外侧壳体之间的八个腔室,流入八个腔室的高压水经Y向喷头内侧壳体的弧形导流出口流出,弧形导流出口可有效避免高压水流直射至加工工件表面,弧形导流口流出的高压水用于补偿加工工件Y方向所需的支撑力;当柔性变形控制装置(Y向、Z向)内置的位移传感器(Y向、Z向)检测加工工件处于预设的加工位置时,保持节流阀阀口开度不变,

实现柔性变形控制装置水射流压力的独立自适应调节功能。

[0018] 作为本技术方案的进一步改进,所述切削过程地损伤多源感知模块的模块功能实现原理包括:基于柔性变形控制装置(Y向、Z向)内置的各电容位移传感器(Y向、Z向),检测加工工件的变形量,在线调整柔性变形控制装置(Y向、Z向)输出水射流压力;通过设置的柔性车刀,实现柔性车刀进给力的实时感知功能,研判工件个车刀的加工状态;同时,为保证测量杆(Y向、Z向)上的球头柱塞(Y向、Z向)与加工工件时刻保持接触,并防止水倒流入柔性变形控制装置(Y向、Z向)内部,以及避免球头柱塞(Y向、Z向)划伤加工工件表面,实现加工工件的低损伤接触式检测,需在尾部端盖(Y向、Z向)内充入略大于标准大气压的空气;此时,调节减压阀,使其出口压力略大于标准大气压,储气罐内的恒压气体经其32B口流出,32B口流出的空气经减压阀的33A口流入减压阀,空气经减压阀后一部分由其33B口流出,一部分由其33C口流入外界大气,33B口流出的空气分别经Y方向变形控制装置的10I口流入Y方向变形控制装置,经Z方向变形控制装置的9I口流入Z方向变形控制装置,当储气罐内的气体压力低于预设压力,启动电动机,电动机带动空气压缩机转动,空气经空气压缩机的29A口流入空气压缩机,空气经空气压缩机后由其29B口流出,29B口流出的空气经水分过滤器的30A口流入水分过滤器,空气经水分过滤器后由其30B口流出,30B口流出的空气经单向阀的31A口流入单向阀,空气经单向阀后由其31B口流出,31B口流出的空气经储气罐的32A口流入储气罐,为储气罐补充一定压力的气体,当储气罐内的空气压力达到预设值,关闭电动机;流入Y方向变形控制装置的高压空气经Y向喷头尾座内部设置的导气孔流入Y向喷头基座,流入Y向喷头基座的高压气体经Y向喷头基座与Y向直线滑动轴承之间的半圆形凹槽流入Y向喷头基座与Y向喷头内侧壳体之间的空腔,流入空腔内的高压空气经Y向测量杆与Y向喷头内侧壳体之间的间隙流入外界大气;流入Z方向变形控制装置的高压空气经Z向喷头尾座内部设置的导气孔流入Z向喷头基座,流入Z向喷头基座的高压气体经Z向喷头基座与Z向直线滑动轴承之间的半圆形凹槽流入Z向喷头基座与Z向喷头内侧壳体之间的空腔,流入空腔内的高压空气经Z向测量杆与Z向喷头内侧壳体之间的间隙流入外界大气;通过高压气体不断沿测量杆(Y向、Z向)与喷头内侧壳体(Y向、Z向)之间的间隙吹出,防止高压水射流逆流至变形控制装置(Y向、Z向)内部,同时,由于测量杆(Y向、Z向)两端直径不相同,靠近加工工件处的直径较小,使得测量杆(Y向、Z向)在较小力的作用下始终与加工工件保持接触,实现切削过程低损伤多源感知功能。

[0019] 本发明的目的之二在于,提供了一种基于切削过程多源感知的工件低损伤变形控制系统的运行平台装置,包括处理器、存储器以及存储在存储器中并在处理器上运行的计算机程序,处理器用于执行计算机程序时实现上述的基于切削过程多源感知的工件低损伤变形控制系统的运行过程。

[0020] 本发明的目的之三在于,提供了一种计算机可读存储介质,所述计算机可读存储介质存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时实现上述的基于切削过程多源感知的工件低损伤变形控制系统的运行过程。

[0021] 与现有技术相比,本发明的有益效果:

[0022] 1. 该基于切削过程多源感知的工件低损伤变形控制系统采用基于水射流的工件变形柔性支撑装置替代传统的接触式支撑装置,通过将高压水流喷在工件的表面,实现对工件的非接触式柔性支撑,避免支撑损伤;

[0023] 2. 该基于切削过程多源感知的工件低损伤变形控制系统通过在竖直方向与水平方向分别设有柔性变形控制装置, 根据柔性变形控制装置内置的位移传感器的位移信号, 调节柔性变形控制装置的输出水射流压力, 实现对工件多方向自适应支撑, 保证工件的加工精度和稳定性;

[0024] 3. 该基于切削过程多源感知的工件低损伤变形控制系统中, 柔性变形控制装置包括八个独立腔室, 每个腔室通过比例节流阀独立调节其腔室的水流压力, 实现柔性变形控制装置输出支撑力的大范围高精度调节;

[0025] 4. 该基于切削过程多源感知的工件低损伤变形控制系统设有具备进给力感知功能的柔性车刀, 通过对车刀进给力的在线感知, 监测工件和刀具是否处于正常的加工状态, 便于调整加工策略, 避免工件或刀具出现进一步的加工损伤, 保证工件的加工质量。

附图说明

[0026] 图1为本发明中整体控制系统的原理架构图;

[0027] 图2为本发明中整体系统控制装置原理结构图;

[0028] 图3为本发明中局部系统控制装置原理结构图;

[0029] 图4为本发明中Z方向变形控制装置和Y方向变形控制装置的正视结构示意图;

[0030] 图5为本发明中柔性变形控制装置的整体结构示意图;

[0031] 图6为本发明中Z方向变形控制装置的A-A面截面结构示意图;

[0032] 图7为本发明中Y方向变形控制装置的B-B面截面结构示意图;

[0033] 图8为本发明中柔性车刀的局部内部结构示意图;

[0034] 图9为本发明中柔性车刀的局部内部结构C-C面截面结构示意图。

[0035] 图中:

[0036] 1、蓄能器; 2、压力传感器; 3、压力控制器; 4、电动机; 5、定量泵; 6、安全溢流阀; 7、过滤器; 8、流量控制器; 9、Z方向变形控制装置; 10、Y方向变形控制装置; 11、第一比例节流阀; 12、第二比例节流阀; 13、第三比例节流阀; 14、第四比例节流阀; 15、第五比例节流阀; 16、第六比例节流阀; 17、第七比例节流阀; 18、第八比例节流阀; 19、第九比例节流阀; 20、第十比例节流阀; 21、十一比例节流阀; 22、十二比例节流阀; 23、十三比例节流阀; 24、十四比例节流阀; 25、十五比例节流阀; 26、十六比例节流阀; 27、水箱; 28、电动机; 29、空气压缩机; 30、水分过滤器; 31、单向阀; 32、储气罐; 33、减压阀; 34、支撑基座; 35、柔性车刀; 36、加工工件;

[0037] 91、Z向球头柱塞; 92、Z向喷头内侧壳体; 93、Z向喷头外侧壳体; 94、Z向锁紧套筒; 95、Z向连接接头; 96、Z向喷头基座; 97、Z向直线滑动轴承; 98、Z向测量杆; 99、Z向喷头尾座; 100、Z向电容位移传感器; 101、Z向连接螺栓; 102、Z向密封紧固环;

[0038] 101、Y向球头柱塞; 102、Y向喷头内侧壳体; 103、Y向喷头外侧壳体; 104、Y向锁紧套筒; 105、Y向连接接头; 106、Y向喷头基座; 107、Y向直线滑动轴承; 108、Y向测量杆; 109、Y向喷头尾座; 110、Y向电容位移传感器; 111、Y向连接螺栓; 112、Y向密封紧固环;

[0039] 351、车刀壳体; 352、侧向连接螺栓; 353、尾部连接螺栓; 354、尾部端盖; 355、电容位移传感器; 356、紧固螺母; 357、车刀刀体; 358、车刀刀尖。

具体实施方式

[0040] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅为本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0041] 实施例1

[0042] 如图1-图9所示,本实施例提供了一种基于切削过程多源感知的工件低损伤变形控制系统,包括系统液压回路、系统气压回路、系统机械结构、变形控制装置的总体控制、变形控制装置水射流压力的独立调节模块和切削过程损伤多源感知模块;

[0043] 其中,整体系统的变形控制装置构成包括蓄能器1、压力传感器2、压力控制器3、电动机4、定量泵5、安全溢流阀6、过滤器7、流量控制器8、Z方向变形控制装置9、Y方向变形控制装置10、第一比例节流阀11、第二比例节流阀12、第三比例节流阀13、第四比例节流阀14、第五比例节流阀15、第六比例节流阀16、第七比例节流阀17、第八比例节流阀18、第九比例节流阀19、第十比例节流阀20、十一比例节流阀21、十二比例节流阀22、十三比例节流阀23、十四比例节流阀24、十五比例节流阀25、十六比例节流阀26、水箱27、电动机28、空气压缩机29、水分过滤器30、单向阀31、储气罐32、减压阀33、支撑基座34、柔性车刀35和加工工件36。

[0044] 本实施例中,所述系统液压回路的主要构成包括:水箱27分别与过滤器7的7A口,安全溢流阀6的6B口相连;过滤器7的7B口与定量泵5的5A口相连;

[0045] 定量泵5的5B口分别与压力传感器2的2A口、蓄能器1的1A口、安全溢流阀6的6A口、第一比例节流阀11的11A口、第二比例节流阀12的12A口、第三比例节流阀13的13A口、第四比例节流阀14的14A口、第五比例节流阀15的15A口、第六比例节流阀16的16A口、第七比例节流阀17的17A口、第八比例节流阀18的18A口、第九比例节流阀19的19A口、第十比例节流阀20的20A口、十一比例节流阀21的21A口、十二比例节流阀22的22A口、十三比例节流阀23的23A口、十四比例节流阀24的24A口、十五比例节流阀25的25A口及十六比例节流阀26的26A口相连;

[0046] 第一比例节流阀11的11B口与Z方向变形控制装置9的9A口相连;第二比例节流阀12的12B口与Z方向变形控制装置9的9B口相连;第三比例节流阀13的13B口与Z方向变形控制装置9的9C口相连;第四比例节流阀14的14B口与Z方向变形控制装置9的9D口相连;第五比例节流阀15的15B口与Z方向变形控制装置9的9E口相连;第六比例节流阀16的16B口与Z方向变形控制装置9的9F口相连;第七比例节流阀17的17B口与Z方向变形控制装置9的9G口相连;第八比例节流阀18的18B口与Z方向变形控制装置9的9H口相连;第九比例节流阀19的19B口与Y方向变形控制装置10的10A口相连;第十比例节流阀20的20B口与Y方向变形控制装置10的10B口相连;十一比例节流阀21的21B口与Y方向变形控制装置10的10C口相连;十二比例节流阀22的22B口与Y方向变形控制装置10的10D口相连;十三比例节流阀23的23B口与Y方向变形控制装置10的10E口相连;十四比例节流阀24的24B口与Y方向变形控制装置10的10F口相连;十五比例节流阀25的25B口与Y方向变形控制装置10的10G口相连;十六比例节流阀26的26B口与Y方向变形控制装置10的10H口相连。

[0047] 本实施例中,所述系统气压回路的主要构成包括:空气压缩机29的29A口与外界大气相连;空气压缩机29的29B口与水分过滤器30的30A口相连;水分过滤器30的30B口与单向

阀31的31A口相连;单向阀31的31B口与储气罐32的32A口相连;储气罐32的32B口与减压阀33的33A口相连;减压阀33的33B口分别与基于水射流的Z方向变形控制装置9的9I口、基于水射流的Y方向变形控制装置10的10I口相连;减压阀33的33C口与大气连通。

[0048] 本实施例中,所述系统机械结构的主要构成包括:支撑基座34主体为半环形结构,其Y与Z方向分别设有矩形凸台,矩形凸台内部开设有圆形通孔,圆形通孔内部设有用于安装变形控制装置的螺纹结构;支撑基座34底部设有用于与机床床身连接的梯形凸台,凸台两侧设有安装孔;支撑基座34外侧设有加强肋,保证支撑基座34主体的结构强度;Z方向变形控制装置9与Y方向变形控制装置10主体为圆柱形结构,其靠近加工工件36处设有锥形喷头,Z方向变形控制装置9与Y方向变形控制装置10外侧设有螺纹,用于与支撑基座34的安装并对其位置进行初步调节;柔性车刀35、Z方向变形控制装置9与Y方向变形控制装置10处于同一安装平面,并处于水平安装(即Y方向)。

[0049] 进一步地,所述Z方向变形控制装置9包括Z向球头柱塞91、Z向喷头内侧壳体92、Z向喷头外侧壳体93、Z向锁紧套筒94、Z向连接接头95、Z向喷头基座96、Z向直线滑动轴承97、Z向测量杆98、Z向喷头尾座99、Z向电容位移传感器910、Z向连接螺栓911、Z向密封紧固环912;其中:

[0050] Z向喷头基座96主体为环形结构,其两端分别设有尺寸不同的圆形台肩,其内部设有用于限位的环形凸台,并且其内部均布有多个半圆形凹槽,Z向喷头基座96内部均布有八个导流孔,导流孔的外侧设有用于连接的螺纹;

[0051] Z向喷头内侧壳体92主体为圆台结构,Z向喷头内侧壳体92的内部开设有用于安装Z向测量杆98的圆形通孔,Z向喷头内侧壳体92的一端均布有八个半圆形凹槽,其另一端设有导流用的弧面,Z向喷头内侧壳体92较大的一端设有用于限位的二级圆形台肩;Z向喷头内侧壳体92较大的一端通过形状配合安装在Z向喷头基座96的圆形台肩内;

[0052] Z向喷头外侧壳体93主体为圆台结构,其较大一端设有环形凸台,Z向喷头外侧壳体93的内部开设有锥形空腔,锥形空腔内部均布有八个分隔板,将锥形空腔分割为八个区域,分隔板下部设有与Z向喷头内侧壳体92相同的弧面过渡,Z向喷头外侧壳体93较大的一端与Z向喷头基座96圆形台肩接触,Z向喷头外侧壳体93内部的分隔板与Z向喷头内侧壳体92的外表面紧密接触,Z向喷头内侧壳体92与Z向喷头外侧壳体93之间形成八个均等的空腔;

[0053] Z向锁紧套筒94主体为二级阶梯式环形体,其内部开设有二级阶梯式环形凹槽,较大一端的环形凹槽内部设有用于与Z向喷头基座96连接的螺纹,Z向锁紧套筒94较小的一端与Z向喷头外侧壳体93的环形凸台接触,Z向锁紧套筒94较大的一端通过螺纹与Z向喷头基座96连接,通过预紧螺纹连接,实现对Z向喷头外侧壳体93的紧固和限位作用;

[0054] Z向连接接头95主体为圆柱形,内部设有用于通流的圆形孔,其中部设有圆形台肩,其两端分别设有用于连接的螺纹,Z向连接接头95通过螺纹与喷头基座96连接;

[0055] Z向喷头尾座99主体为圆筒形,Z向喷头尾座99一端设有用于连接的法兰,另一端设有用于安装Z向电容位移传感器910的空心柱形结构,空心圆柱上端设有螺纹,Z向喷头尾座99靠近安装法兰的一侧设有环形凸台,Z向喷头尾座99的圆柱面设有一个通气孔,用于高压气体的输入,环形凸台中部设有导气孔,Z向喷头尾座99通过Z向连接螺栓911与Z向喷头基座96连接;Z向密封紧固环912主体为环形结构,Z向密封紧固环912一端设有用于限位和

密封作用的环形凸台,Z向密封紧固环912另一端的内侧设有螺纹;Z向电容位移传感器910安装于Z向喷头尾座99的空心柱形结构内,Z向密封紧固环912通过螺纹与Z向喷头尾座99连接,并通过预紧螺纹实现对Z向电容位移传感器910的密封和紧固作用;

[0056] Z向测量杆98主体为阶梯轴,Z向测量杆98的一端设有螺纹槽,用于安装Z向球头柱塞91,Z向测量杆98两端的尺寸小于Z向喷头内侧壳体92的内部圆形凹槽,Z向电容位移传感器910通过测量Z向测量杆98的位置,实现对工件位置的在线检测;

[0057] Z向直线滑动轴承97的外圈与Z向喷头基座96接触,Z向直线滑动轴承97的内圈与Z向测量杆98接触,Z向直线滑动轴承97的两端分别通过Z向喷头基座96与Z向喷头尾座99设置的环形凸台进行限位。

[0058] 进一步地,所述Y方向变形控制装置10与所述Z方向变形控制装置9的结构、尺寸均相同,所述Y方向变形控制装置10包括Y向球头柱塞101、Y向喷头内侧壳体102、Y向喷头外侧壳体103、Y向锁紧套筒104、Y向连接接头105、Y向喷头基座106、Y向直线滑动轴承107、Y向测量杆108、Y向喷头尾座109、Y向电容位移传感器1010、Y向连接螺栓1011和Y向密封紧固环1012;其中:

[0059] Y向喷头基座106主体为环形结构,其两端分别设有尺寸不同的圆形台肩,其内部设有用于限位的环形凸台,并且其内部均布有多个半圆形凹槽,Y向喷头基座106内部均布有八个导流孔,导流孔的外侧设有用于连接的螺纹;

[0060] Y向喷头内侧壳体102主体为圆台结构,Y向喷头内侧壳体102的内部开设有用于安装Y向测量杆108的圆形通孔,Y向喷头内侧壳体102的一端均布有八个半圆形凹槽,其另一端设有导流用的弧面,Y向喷头内侧壳体102较大的一端设有用于限位的二级圆形台肩;Y向喷头内侧壳体102较大的一端通过形状配合安装在Y向喷头基座106的圆形台肩内;

[0061] Y向喷头外侧壳体103主体为圆台结构,其较大一端设有环形凸台,Y向喷头外侧壳体103的内部开设有锥形空腔,锥形空腔内部均布有八个分隔板,将锥形空腔分割为八个区域,分隔板下部设有与Y向喷头内侧壳体102相同的弧面过渡,Y向喷头外侧壳体103较大的一端与Y向喷头基座106圆形台肩接触,Y向喷头外侧壳体103内部的分隔板与Y向喷头内侧壳体102的外表面紧密接触,Y向喷头内侧壳体102与Y向喷头外侧壳体103之间形成八个均等的空腔;

[0062] Y向锁紧套筒104主体为二级阶梯式环形体,其内部开设有二级阶梯式环形凹槽,较大一端的环形凹槽内部设有用于与Y向喷头基座106连接的螺纹,Y向锁紧套筒104较小的一端与Y向喷头外侧壳体103的环形凸台接触,Y向锁紧套筒104较大的一端通过螺纹与Y向喷头基座106连接,通过预紧螺纹连接,实现对Y向喷头外侧壳体103的紧固和限位作用;

[0063] Y向连接接头105主体为圆柱形,内部设有用于通流的圆形孔,其中部设有圆形台肩,其两端分别设有用于连接的螺纹,Y向连接接头105通过螺纹与喷头基座连接;

[0064] Y向喷头尾座109主体为圆筒形,Y向喷头尾座109一端设有用于连接的法兰,另一端设有用于安装Y向电容位移传感器1010的空心柱形结构,空心圆柱上端设有螺纹,Y向喷头尾座109靠近安装法兰的一侧设有环形凸台,Y向喷头尾座109的圆柱面设有一个通气孔,用于高压气体的输入,环形凸台中部设有导气孔,Y向喷头尾座109通过Y向连接螺栓1011与Y向喷头基座106连接;Y向密封紧固环1012主体为环形结构,Y向密封紧固环1012一端设有用于限位和密封作用的环形凸台,Y向密封紧固环1012另一端的内侧设有螺纹;Y向电容位

移传感器1010安装于Y向喷头尾座109的空心柱形结构内,Y向密封紧固环1012通过螺纹与Y向喷头尾座109连接,并通过预紧螺纹实现对Y向电容位移传感器1010的密封和紧固作用;

[0065] Y向测量杆108主体为阶梯轴,Y向测量杆108的一端设有螺纹槽,用于安装Y向球头柱塞101,Y向测量杆108两端的尺寸小于Y向喷头内侧壳体102的内部圆形凹槽,Y向电容位移传感器1010通过测量Y向测量杆108的位置,实现对工件位置的在线检测;

[0066] Y向直线滑动轴承107的外圈与Y向喷头基座106接触,Y向直线滑动轴承107的内圈与Y向测量杆108接触,Y向直线滑动轴承107的两端分别通过Y向喷头基座106与Y向喷头尾座109设置的环形凸台进行限位。

[0067] 进一步地,所述柔性车刀35包括车刀壳体351、侧向连接螺栓352、尾部连接螺栓353、尾部端盖354、电容位移传感器355、紧固螺母356、车刀刀体357和车刀刀尖358;其中:

[0068] 车刀壳体351主体为矩形壳体,壳体内壁周向设有四个矩形凹槽,用于安装车刀刀体357,车刀壳体351外侧设有用于连接车刀刀体357的螺栓孔,车刀壳体351的一端设有安装尾部端盖354的螺栓孔;车刀刀体357周向设有弹性栅格结构,车刀刀体357通过侧向连接螺栓352与车刀壳体351固定连接;车刀刀尖358通过螺栓安装在车刀刀体357上;尾部端盖354中部设有圆形通孔,尾部端盖354的一端设有环形凸台,环形凸台上设有螺纹,电容位移传感器355安装在尾部端盖354的环形凸台内部,尾部端盖354通过尾部连接螺栓353与车刀壳体351固定连接;紧固螺母356通过螺纹与尾部端盖354连接,通过预紧紧固螺母356,实现对电容位移传感器355的紧固作用。

[0069] 本实施例中,所述变形控制装置的总体控制的控制逻辑包括:上位机根据支撑力需求将控制信号传递至流量控制器,流量控制器分别调节Y方向变形控制装置10和Z方向变形控制装置9输出水射流的压力,Y方向变形控制装置10和Z方向变形控制装置9输出的高压水射流用于支撑加工工件36;

[0070] 柔性车刀35内置的电容位移传感器355在线感知柔性车刀35的加工位置,柔性车刀35的位置信号作为反馈信号传递至上位机,上位机根据柔性车刀35的位置信号,可计算出柔性车刀35在加工过程中的进给力,上位机根据柔性车刀35的进给力,判断柔性变形控制装置和车刀是否处于正常的加工状态,当柔性车刀35出现过度磨损或工件发生断裂等非正常加工状态,及时采取相应的应对措施,避免柔性车刀35和加工工件36出现进一步的损坏;

[0071] 同时,Y方向变形控制装置10内置有Y向电容位移传感器1010,Y向电容位移传感器1010的位置信号经信号放大器放大后传递至上位机,上位机根据Y向电容位移传感器1010的位置信号,调整输出至流量控制器的控制信号,通过独立调节Y方向变形控制装置10的八个腔室的水流压力,实现Y方向变形控制装置10输出支撑力和位移的闭环控制;Z方向变形控制装置9内置有Z向电容位移传感器910,Z向电容位移传感器910的位置信号经信号放大器放大后传递至上位机,上位机根据Z向电容位移传感器910的位置信号,调整输出至流量控制器的控制信号,通过独立调节Z方向变形控制装置9的八个腔室的水流压力,实现Z方向变形控制装置9输出支撑力和位移的闭环控制。

[0072] 本发明通过设置的柔性车刀35在线监测工件和车刀的加工状态,以便及时调整加工策略;同时本发明通过独立的水射流压力闭环控制回路,实现柔性变形控制装置对工件的自适应柔性支撑。

[0073] 本实施例中,所述变形控制装置水射流压力的独立调节模块的模块功能实现原理为:变形控制装置(Y向、Z向)根据各电容位移传感器(Y向、Z向)的反馈信号,通过调节各比例节流阀阀口的开度,实现水射流压力的独立调节,具体过程如下:

[0074] 蓄能器1内的高压水经其1A口流出,1A口流出的高压水分别经压力传感器2的2A口流入压力传感器2,经第一比例节流阀11的11A口流入第一比例节流阀11,经第二比例节流阀12的12A口流入第二比例节流阀12,经第三比例节流阀13的13A口流入第三比例节流阀13,经第四比例节流阀14的14A口流入第四比例节流阀14,经第五比例节流阀15的15A口流入第五比例节流阀15,经第六比例节流阀16的16A口流入第六比例节流阀16,经第七比例节流阀17的17A口流入第七比例节流阀17,经第八比例节流阀18的18A口流入第八比例节流阀18,经第九比例节流阀19的19A口流入第九比例节流阀19,经第十比例节流阀20的20A口流入第十比例节流阀20,经十一比例节流阀21的21A口流入十一比例节流阀21,经十二比例节流阀22的22A口流入十二比例节流阀22,经十三比例节流阀23的23A口流入十三比例节流阀23,经十四比例节流阀24的24A口流入十四比例节流阀24,经十五比例节流阀25的25A口流入十五比例节流阀25,经十六比例节流阀26的26A口流入十六比例节流阀26;

[0075] 高压水经第一比例节流阀11后由其11B口流出,11B口流出的高压水经Z方向变形控制装置9的9A口流入Z方向变形控制装置9;高压水经第二比例节流阀12后由其12B口流出,12B口流出的高压水经Z方向变形控制装置9的9B口流入Z方向变形控制装置9;高压水经第三比例节流阀13后由其13B口流出,13B口流出的高压水经Z方向变形控制装置9的9C口流入Z方向变形控制装置9;高压水经第四比例节流阀14后由其14B口流出,14B口流出的高压水经Z方向变形控制装置9的9D口流入Z方向变形控制装置9;高压水经第五比例节流阀15后由其15B口流出,15B口流出的高压水经Z方向变形控制装置9的9E口流入Z方向变形控制装置9;高压水经第六比例节流阀16后由其16B口流出,16B口流出的高压水经Z方向变形控制装置9的9F口流入Z方向变形控制装置9;高压水经第七比例节流阀17后由其17B口流出,17B口流出的高压水经Z方向变形控制装置9的9G口流入Z方向变形控制装置9;高压水经第八比例节流阀18后由其18B口流出,18B口流出的高压水经Z方向变形控制装置9的9H口流入Z方向变形控制装置9;

[0076] 高压水经第九比例节流阀19后由其19B口流出,19B口流出的高压水经Y方向变形控制装置10的10A口流入Y方向变形控制装置10,高压水经第十比例节流阀20后由其20B口流出,20B口流出的高压水经Y方向变形控制装置10的10B口流入Y方向变形控制装置10,高压水经十一比例节流阀21后由其21B口流出,21B口流出的高压水经Y方向变形控制装置10的10C口流入Y方向变形控制装置10,高压水经十二比例节流阀22后由其22B口流出,22B口流出的高压水经Y方向变形控制装置10的10D口流入Y方向变形控制装置10,高压水经十三比例节流阀23后由其23B口流出,23B口流出的高压水经Y方向变形控制装置10的10E口流入Y方向变形控制装置10,高压水经十四比例节流阀24后由其24B口流出,24B口流出的高压水经Y方向变形控制装置10的10F口流入Y方向变形控制装置10,高压水经十五比例节流阀25后由其25B口流出,25B口流出的高压水经Y方向变形控制装置10的10G口流入Y方向变形控制装置10,高压水经十六比例节流阀26后由其26B口流出,26B口流出的高压水经Y方向变形控制装置10的10H口流入Y方向变形控制装置10;

[0077] 流入Z方向变形控制装置9的高压水,分别经Z向喷头基座96内部的八个导流孔流

入Z向喷头内侧壳体92与Z向喷头外侧壳体93之间的八个腔室,流入八个腔室的高压水经Z向喷头内侧壳体92的弧形导流出口流出,弧形导流出口可有效避免高压水流直射至工件表面,弧形导流口流出的高压水用于补偿加工工件36Z方向所需的支撑力;流入Y方向变形控制装置10的高压水,分别经Y向喷头基座106内部的八个导流孔流入Y向喷头内侧壳体102与Y向喷头外侧壳体103之间的八个腔室,流入八个腔室的高压水经Y向喷头内侧壳体102的弧形导流出口流出,弧形导流出口可有效避免高压水流直射至加工工件36表面,弧形导流口流出的高压水用于补偿加工工件36Y方向所需的支撑力;

[0078] 当柔性变形控制装置(Y向、Z向)内置的位移传感器(Y向、Z向)检测加工工件36处于预设的加工位置时,保持节流阀阀口开度不变,实现柔性变形控制装置水射流压力的独立自适应调节功能。

[0079] 本实施例中,所述切削过程地损伤多源感知模块功能实现原理包括:基于柔性变形控制装置(Y向、Z向)内置的各电容位移传感器(Y向、Z向),检测加工工件36的变形量,在线调整柔性变形控制装置(Y向、Z向)输出水射流压力;

[0080] 通过设置的柔性车刀35,实现柔性车刀35进给力的实时感知功能,研判工件各车刀的加工状态;同时,为保证测量杆(Y向、Z向)上的球头柱塞(Y向、Z向)与加工工件36时刻保持接触,并防止水倒流入柔性变形控制装置(Y向、Z向)内部,以及避免球头柱塞(Y向、Z向)划伤加工工件36表面,实现加工工件36的低损伤接触式检测,需在尾部端盖(Y向、Z向)内充入略大于标准大气压的空气;

[0081] 此时,调节减压阀33,使其出口压力略大于标准大气压,储气罐32内的恒压气体经其32B口流出,32B口流出的空气经减压阀33的33A口流入减压阀33,空气经减压阀33后一部分由其33B口流出,一部分由其33C口流入外界大气,33B口流出的空气分别经Y方向变形控制装置10的10I口流入Y方向变形控制装置10,经Z方向变形控制装置9的9I口流入Z方向变形控制装置9,当储气罐32内的气体压力低于预设压力,启动电动机28,电动机28带动空气压缩机29转动,空气经空气压缩机29的29A口流入空气压缩机29,空气经空气压缩机29后由其29B口流出,29B口流出的空气经水分过滤器30的30A口流入水分过滤器30,空气经水分过滤器30后由其30B口流出,30B口流出的空气经单向阀31的31A口流入单向阀31,空气经单向阀31后由其31B口流出,31B口流出的空气经储气罐32的32A口流入储气罐32,为储气罐32补充一定压力的气体,当储气罐32内的空气压力达到预设值,关闭电动机28;

[0082] 流入Y方向变形控制装置10的高压空气经Y向喷头尾座109内部设置的导气孔流入Y向喷头基座106,流入Y向喷头基座106的高压气体经Y向喷头基座106与Y向直线滑动轴承107之间的半圆形凹槽流入Y向喷头基座106与Y向喷头内侧壳体102之间的空腔,流入空腔内的高压空气经Y向测量杆108与Y向喷头内侧壳体102之间的间隙流入外界大气;

[0083] 流入Z方向变形控制装置9的高压空气经Z向喷头尾座99内部设置的导气孔流入Z向喷头基座96,流入Z向喷头基座96的高压气体经Z向喷头基座96与Z向直线滑动轴承97之间的半圆形凹槽流入Z向喷头基座96与Z向喷头内侧壳体92之间的空腔,流入空腔内的高压空气经Z向测量杆98与Z向喷头内侧壳体92之间的间隙流入外界大气;

[0084] 通过高压气体不断沿测量杆(Y向、Z向)与喷头内侧壳体(Y向、Z向)之间的间隙吹出,防止高压水射流逆流至变形控制装置(Y向、Z向)内部,同时,由于测量杆(Y向、Z向)两端直径不相同,靠近加工工件36处的直径较小,使得测量杆(Y向、Z向)在较小力的作用下始终

与加工工件36保持接触,实现切削过程低损伤多源感知功能。

[0085] 以上显示和描述了本发明的基本原理、主要特征和本发明的优点。本行业的技术人员应该了解,本发明不受上述实施例的限制,上述实施例和说明书中描述的仅为本发明的优选例,并不用来限制本发明,在不脱离本发明精神和范围的前提下,本发明还会有各种变化和改进,这些变化和改进都落入要求保护的本发明范围内。本发明要求保护范围由所附的权利要求书及其等效物界定。

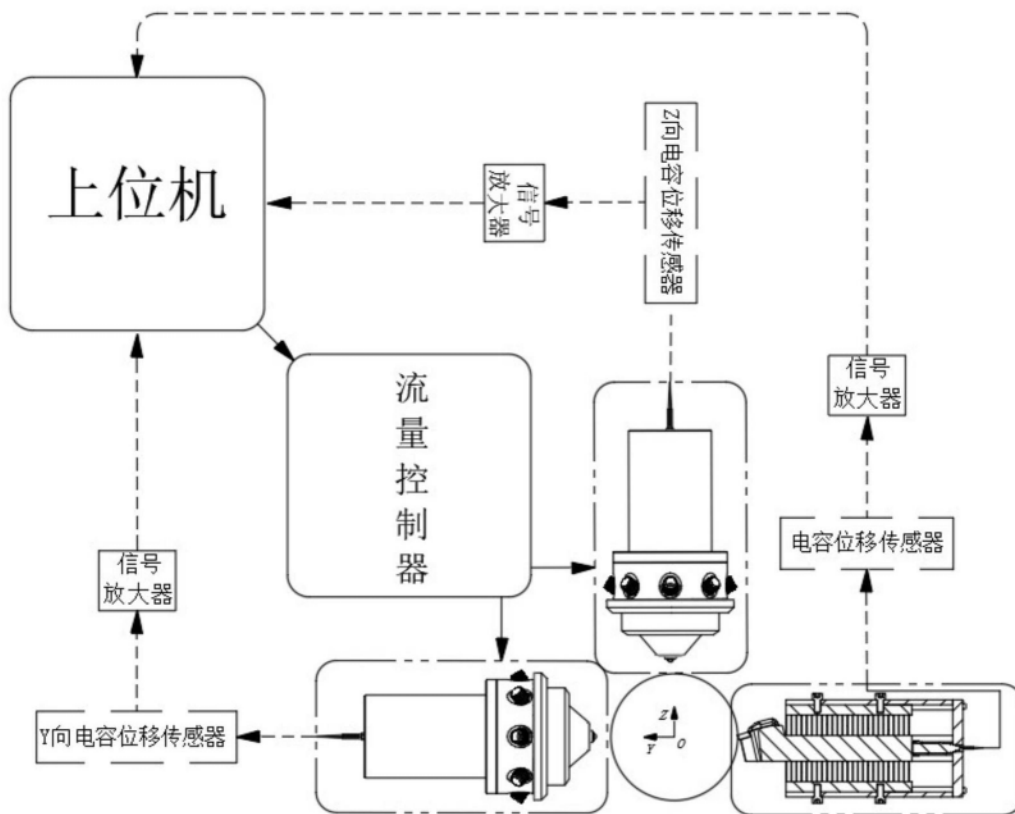


图1

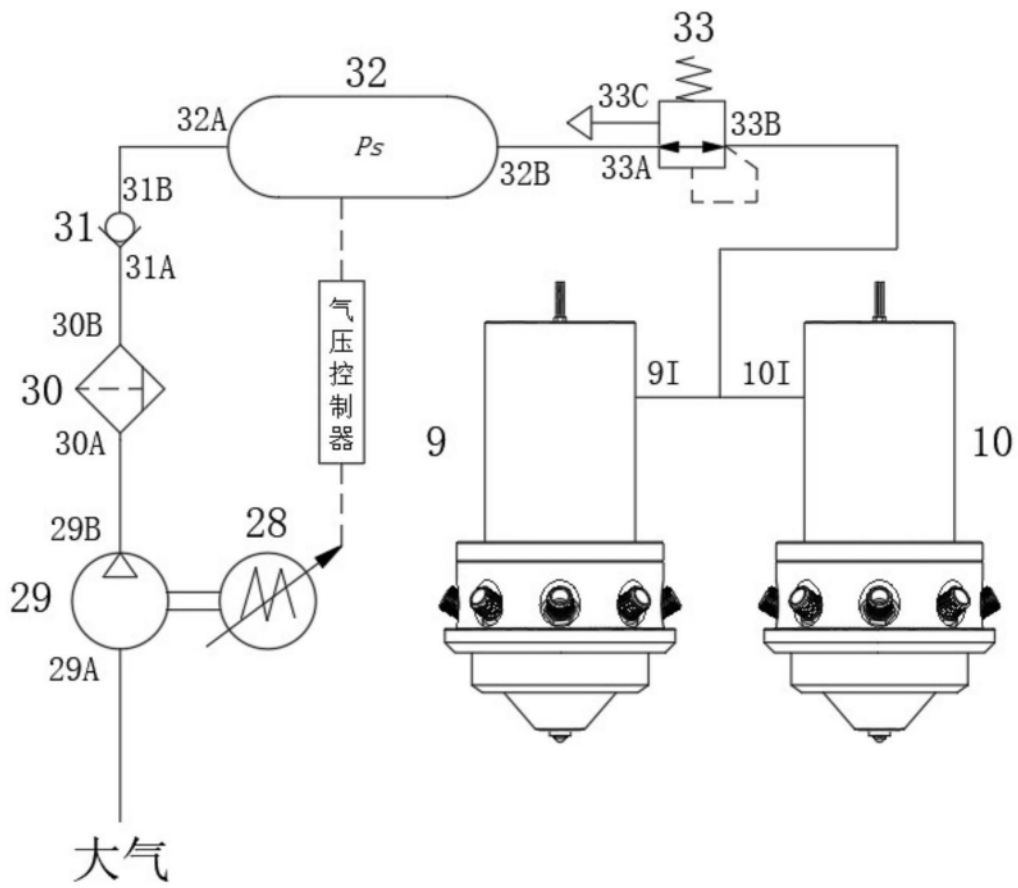


图3

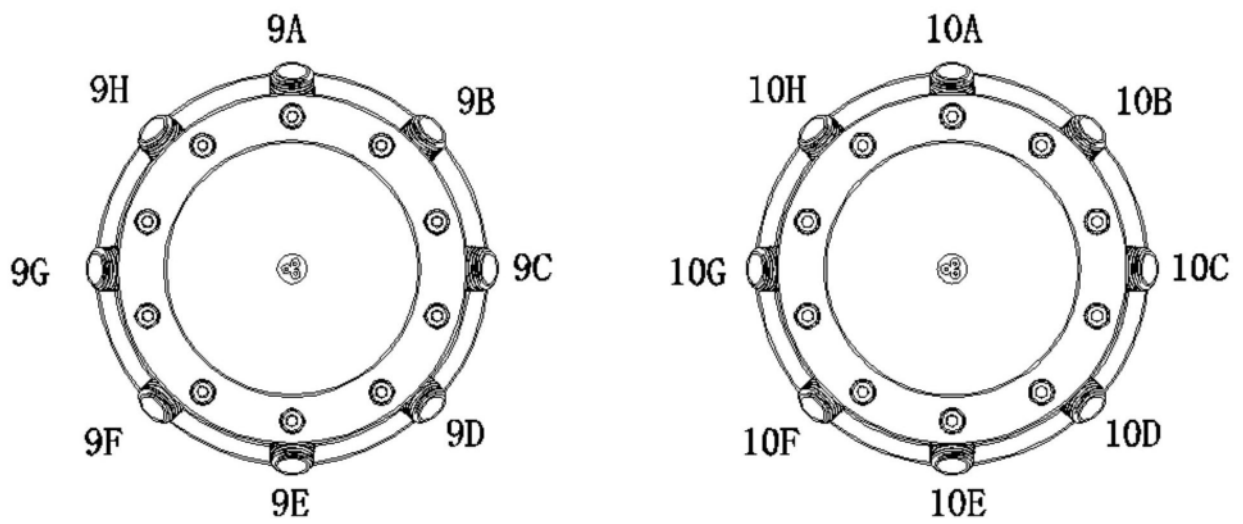


图4

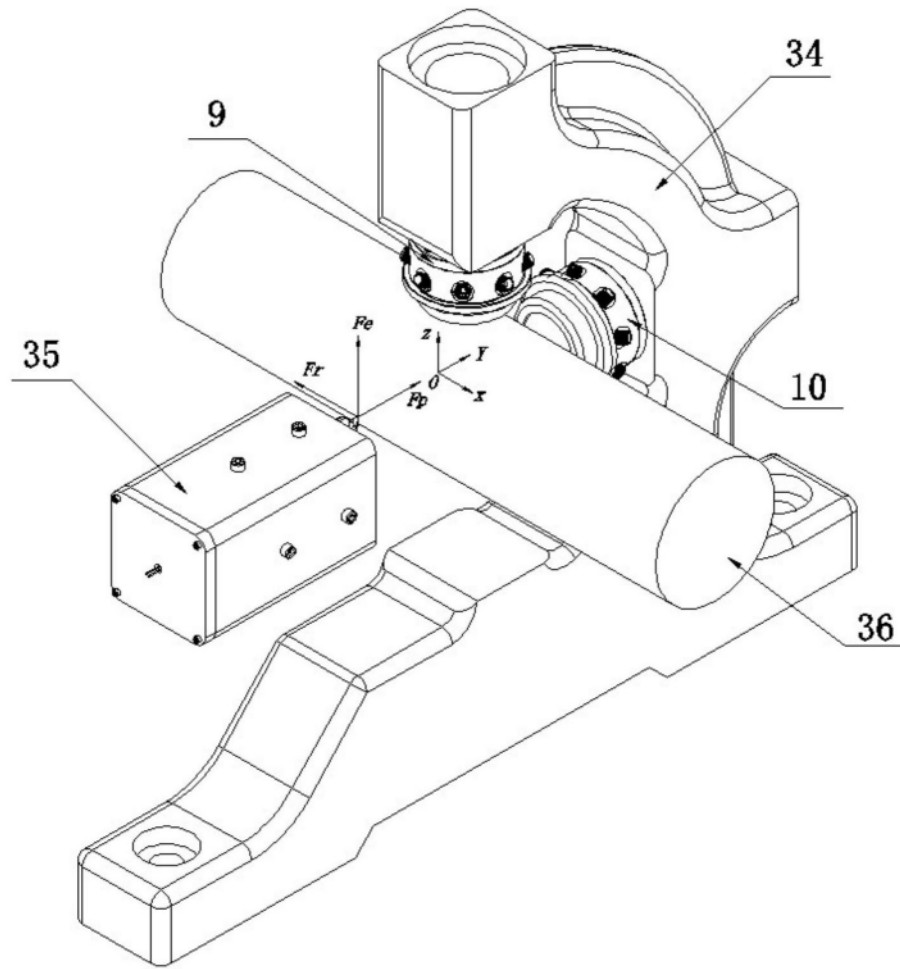


图5

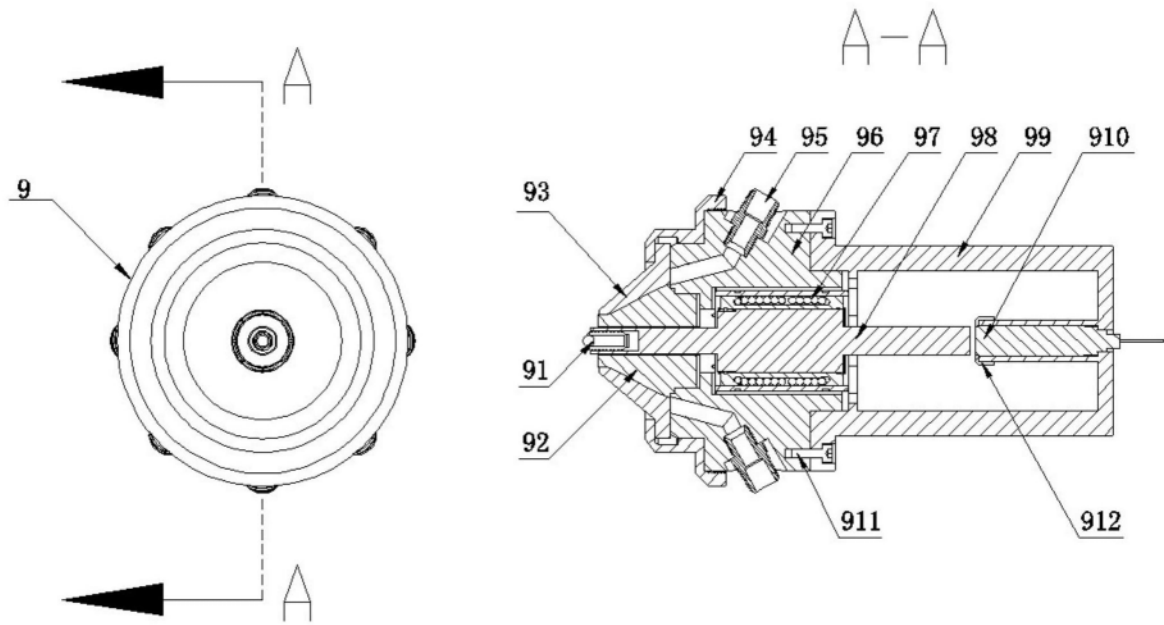


图6

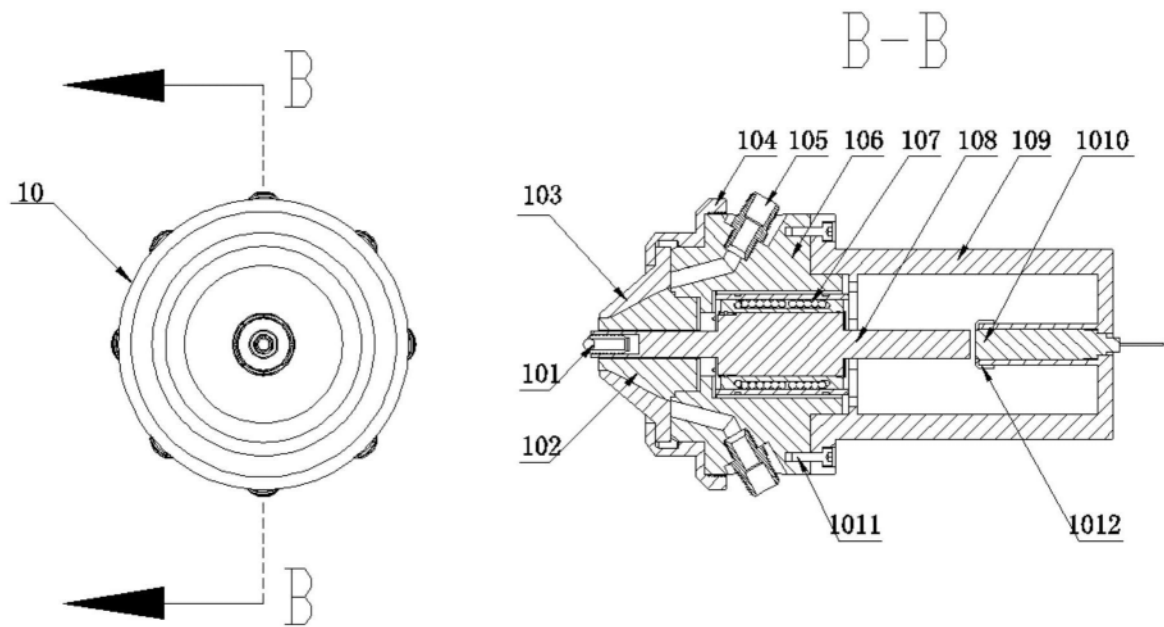


图7

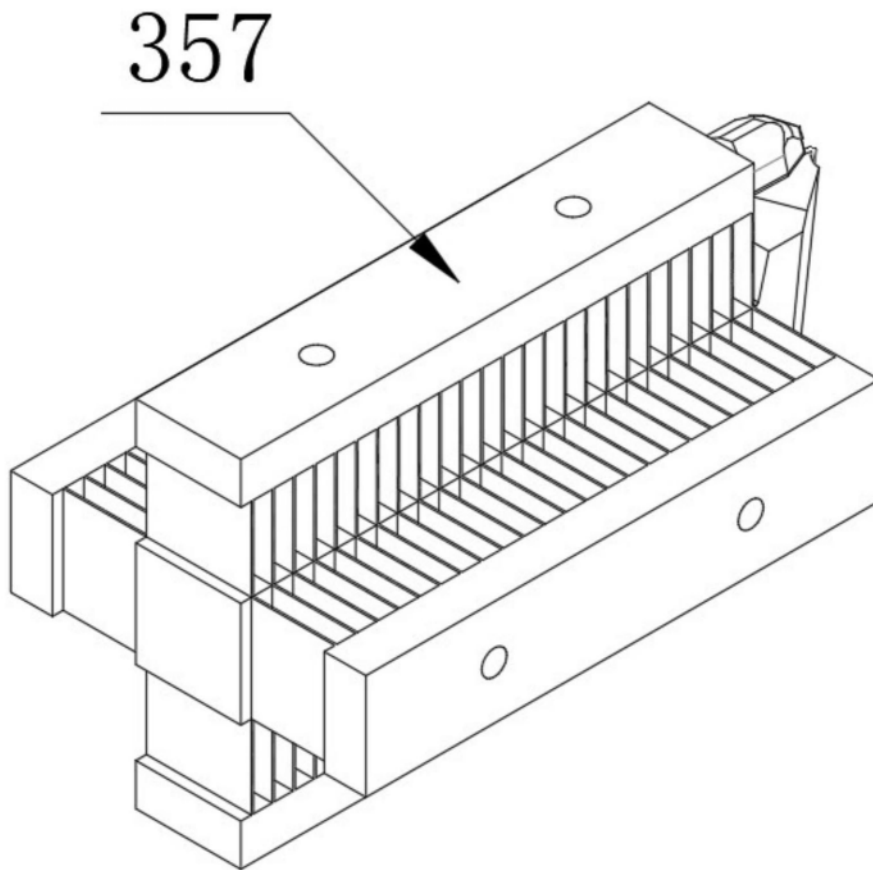


图8

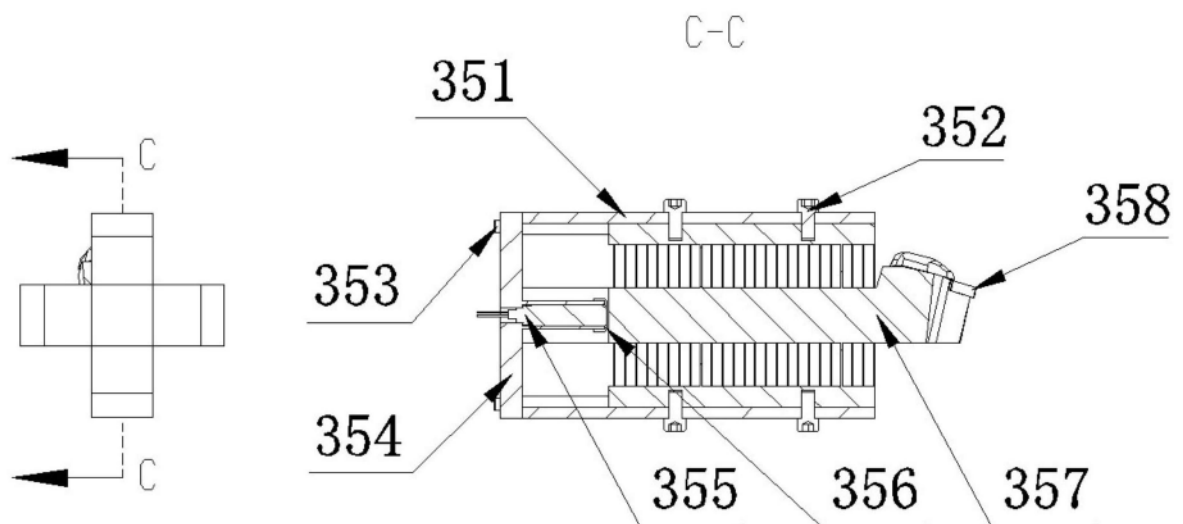


图9