

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2018 年 1 月 18 日 (18.01.2018)



(10) 国际公布号
WO 2018/010247 A1

- (51) 国际专利分类号:
B64F 5/00 (2017.01) **B23C 3/00** (2006.01)
B23D 79/00 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2016/095606
- (22) 国际申请日: 2016 年 8 月 17 日 (17.08.2016)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201610571566.9 2016年7月15日 (15.07.2016) CN
- (71) 申请人: 浙江大学(ZHEJIANG UNIVERSITY) [CN/
CN]; 中国浙江省杭州市西湖区浙大路
38号, Zhejiang 310027 (CN)。
- (72) 发明人: 柯映林(KE, Yingling); 中国浙江省杭州市
西湖区浙大路38号, Zhejiang 310027 (CN)。 费少
华(FEI, Shaohua); 中国浙江省杭州市西湖区浙大

路38号, Zhejiang 310027 (CN)。 蒋君侠(JIANG, Junxia); 中国浙江省杭州市西湖区浙大路38号, Zhejiang 310027 (CN)。 李江雄(LI, Jiangxiong); 中国浙江省杭州市西湖区浙大路38号, Zhejiang 310027 (CN)。 柯臻铮(KE, Zhenzheng); 中国浙江省杭州市西湖区浙大路38号, Zhejiang 310027 (CN)。 董辉跃(DONG, Huiyue); 中国浙江省杭州市西湖区浙大路38号, Zhejiang 310027 (CN)。

(74) 代理人: 杭州天勤知识产权代理有限公司(HANGZHOU TIANQIN INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY CO.,LTD.); 中国浙江省杭州市西湖区竞舟路1号筑品金座501室, Zhejiang 310013 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD,

(54) Title: MULTI-FUNCTIONAL END EFFECTOR

(54) 发明名称: 一种多功能末端执行器

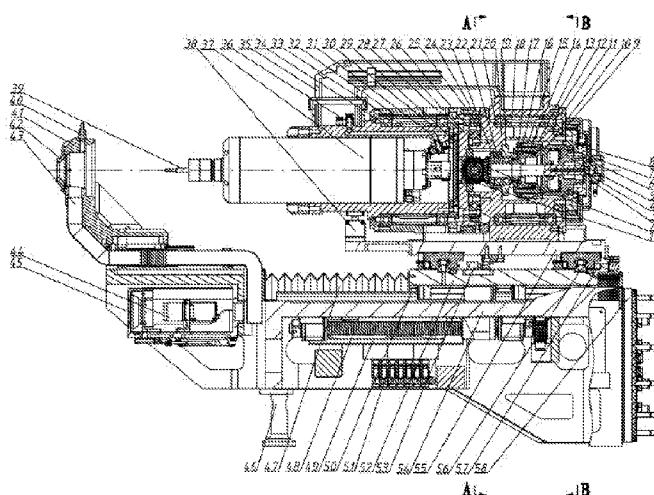


图 1

(57) Abstract: A multi-functional end effector, comprising: a base (54) and a cutter (39); a feeding slide board (52) disposed on the base (54), and a feed drive means for driving the feeding slide board (52) to feed the cutter (39); a swing slide board (55) disposed on the feeding slide board (52), and a swing drive means for pushing the swing slide board (55) to bring the cutter (39) into an arc swing; a mounting base (12) disposed on the swing slide board (55), wherein the mounting base (12) is provided therein with a revolving shaft (20) and a shaft driving means for driving the revolving shaft (20) to bring the cutter (39) into rotation; an eccentric slide board (27) fixed on an end of the revolving shaft (20), wherein the cutter (39) is connected to an end of the eccentric slide board (27) by means of an electric spindle (37); and an eccentricity adjusting means for adjusting the eccentric slide board (27) to control a radial offset of the cutter (39). The feeding of the cutter is driven by the feed drive means, and the swing drive means is combined to feed the cutter along a cycloid trajectory. The eccentricity adjusting means achieves a radial offset of the cutter, and the shaft driving means feeds the cutter along a helical trajectory. The present invention thus achieves functions of hole drilling, hole reaming, hole enlarging and hole

GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

spiral-milling, as well as elliptical recess counter-sinking.

(57) 摘要: 一种多功能末端执行器, 包括: 底座(54)和刀具(39); 置于底座(54)上的进给滑板(52), 和驱动进给滑板(52)以带动刀具(39)进给的进给驱动机构; 置于进给滑板(52)上的摆动滑板(55), 和推动摆动滑板(55)以带动刀具(39)做圆弧摆动的摆动驱动机构; 置于摆动滑板(55)上的安装底座(12), 安装底座(12)内设有公转转轴(20)和驱动公转转轴(20)以带动刀具(39)旋转的转轴驱动机构; 固定在公转转轴(20)端部的偏心滑板(27), 刀具(39)通过电主轴(37)连接在偏心滑板(27)的端部; 以及调节偏心滑板(27)以控制刀具(39)径向偏置的偏心调节机构。由进给驱动机构带动刀具进给; 结合摆动驱动机构, 使刀具沿摆线轨迹进给; 通过偏心调节机构实现刀具径向偏置, 由转轴驱动机构带动刀具沿螺旋线轨迹进给; 实现钻孔、铰孔、扩孔、螺旋铣孔及铰椭圆窝功能。

一种多功能末端执行器

技术领域

本发明涉及飞机数字化装配自动化制孔领域，尤其涉及一种多功能末端执行器。

背景技术

随着航空产业的迅猛发展，对飞机的飞行性能要求不断提升。为减轻飞机自重，增加飞机的隐身性能，飞机机翼大量使用了铝合金、钛合金、碳纤维复合材料（CFRP）等材料。现代飞机机翼上下壁板采用整体结构形式，装配要求极高。飞机机翼结构装配时，先将下壁板与内部骨架通过螺栓、螺母进行连接；继续进行上壁板与骨架的装配时，因骨架一侧连接有下壁板，不能通过传统的螺栓、螺母连接上壁板，此时先在骨架上安装无耳托板螺母，通过螺栓与无耳托板螺母连接固定上壁板，实现机翼结构的整体装配。

为实现下壁板与内部骨架的螺栓、螺母连接，需对壁板与骨架形成的叠层架构制通孔。CFRP和钛合金为典型的难加工材料，加工性能又相差甚远，对这两种材料形成的叠层结构，采用传统的钻削制通孔时，容易出现CFRP烧蚀、分层和钛合金翻边现象。为提高孔质量，不得不多次采用钻-扩-铰工艺加工，不仅效率低，而且受人为因素影响大，制孔质量不稳定。螺旋铣孔作为一种新的制孔工艺，与传统的钻孔加工有很大区别，其特点在于，直径比加工孔孔径略小的刀具，加工时高速自转并绕孔中心轴线公转，刀具中心的轨迹是一条螺旋线。螺旋铣加工，可通过改变偏心距，采用同一刀具加工出不同直径的孔；其偏心加工的方式利于切屑的排出；其断续切削的加工过程，有利于刀具的散热，提高刀具的寿命；其较小的制孔轴向力，减少钛合金材料毛刺生成，抑制CFRP材料的分层现象。

为实现上壁板与内部骨架的连接，需在骨架上制出无耳托板螺母安装

孔。因无耳托板螺母连接端口为椭圆形，在上壁板与骨架形成的叠层结构制通孔之后，在骨架通孔的入口端口处二次加工出椭圆窝，完成无耳托板螺母安装孔的加工。

目前椭圆窝加工是通过人工加工，因其加工工艺非常复杂，需定位加工工具方向，且沿定位方向精确的来回往复摆动刀具，使得其加工非常困难，加工效率低，加工成本高。

发明内容

鉴于螺旋铣良好的制孔特性以及自动化镗椭圆窝的迫切需要，本发明一种多功能末端执行器，能同时实现螺旋铣孔和镗椭圆窝功能；传感器定位加工方向，多种测量元件精确测量主轴进给、刀具偏置量、刀具摆动角度，保证了该装置制通孔和镗椭圆窝加工的精度；作为数字化、自动化、智能化钻孔系统的关键部件，该多功能末端执行器装置通过尾部连接组件与数控机床配合使用，形成高精度、高效率、低成本的柔性自动化钻孔、螺旋铣孔和镗椭圆窝系统。

本发明所提供的多功能末端执行器，是针对飞机大部件中CFRP、钛合金等难加工材料，克服传统制孔方法中容易导致CFRP加工烧蚀、分层和钛合金翻边缺陷，并集成螺旋铣孔、镗椭圆窝功能。

本发明的具体技术方案如下：

一种多功能末端执行器，包括：底座和刀具；

置于底座上的进给滑板，和驱动所述进给滑板以带动刀具进给的进给驱动机构；

置于所述进给滑板上的摆动滑板，和推动所述摆动滑板以带动刀具做圆弧摆动的摆动驱动机构；

置于所述摆动滑板上的安装底座，所述安装底座内设有公转转轴和驱动所述公转转轴以带动刀具旋转的转轴驱动机构；

固定在公转转轴端部的偏心滑板，所述刀具通过电主轴连接在偏心滑板的端部；

以及调节所述偏心滑板以控制刀具径向偏置的偏心调节机构。

本发明中，刀具固定在偏心滑板端部的电主轴上，进给驱动机构推动进给滑板，并带动摆动滑板、安装底座、公转转轴和偏心滑板做进给运动，使得刀具移向工件进行钻孔、铰孔或扩孔；

在刀具进给的同时，摆动驱动机构驱动摆动滑板，并带动安装底座、公转转轴和偏心滑板做圆弧摆动，使得刀具沿摆线轨迹进给，实现铰椭圆窝功能；

另外，通过偏心调节机构调节偏心滑板与公转转轴轴心间的距离，可以控制刀具径向偏置，使得刀具距离公转转轴轴心一定距离，此后，在刀具进给的同时，转轴驱动机构带动公转转轴旋转，使得刀具沿螺旋线轨迹进给，实现螺旋铣孔功能。

作为优选的，所述底座的一侧安装有与机床定位连接用的尾部连接组件，该尾部连接组件内部集成电缆、管道模块，实现与数控机床的快速机械定位连接；

另一侧设置压紧工件用的压脚，推动压脚沿压脚导轨运动的气缸，以及用于测量压脚进给量的进给轴长度计；压脚在气缸的推动下压紧工件，并通过进给轴长度计测量反馈压脚进给量，用于刀具进给和加工深度的精确控制。

作为优选的，所述的压脚包括压套，压套的外周设有多个激光测距传感器，通过多个激光测距传感器的配合，检测工件上制孔位置的法矢；压脚头的中部为供刀具穿过用工作腔，腔壁开设连通排屑管道的排屑孔，该排屑管道连接至引风机，通过排屑管道在排屑孔产生吸力，可及时排除工件加工时产生的碎屑。

作为优选的，所述的进给驱动机构包括进给直线导轨副，与所述进给滑板连接的滚珠丝杠进给驱动组件，带动滚珠丝杠进给驱动组件旋转以推动进给滑板沿进给直线导轨副做进给运动的进给电机，以及用于测量进给量的直线光栅。也就是说，由进给电机通过滚珠丝杠进给驱动组件带动进给滑板沿直线导轨运动，实现刀具的进给运动；直线光栅通过检测进给滑板的位移最终反馈为刀具的进给量，实现铰窝深度的精确控制。

作为优选的，所述的摆动驱动机构包括：

安装在进给滑板上的圆弧齿条、圆弧导轨副和摆动轴编码器；

设置在摆动滑板上且与圆弧齿条啮合的消除齿轮，以及通过驱动消除齿轮旋转以推动摆动滑板沿所述圆弧导轨副做圆弧摆动的摆动轴电机。

在实现铰椭圆窝功能时，需要开启摆动驱动机构，摆动轴电机通过消除齿轮和圆弧齿条的配合，带动摆动滑板沿圆弧导轨副作圆弧摆动，使得刀具沿摆线轨迹进给；另外，消除齿轮和摆动轴编码器配合使用，利于摆动滑板摆动角度的精确控制。

作为优选的，所述的转轴驱动机构包括与所述公转转轴固定连接的大带轮B，安装在安装底座上并通过同步带驱动所述大带轮B的公转电机。

转轴驱动机构用于实现公转转轴的公转，公转转轴活动安装在安装底座内，大带轮B固定套装在公转转轴上，公转电机通过同步带与大带轮B传动配合，并实现公转转轴的驱动。

作为优选的，所述的偏心调节机构包括设置在公转转轴内部的轴承支承座，位于所述轴承支承座内且固定连接有大带轮A的锥齿轮B，在偏心滑板和锥齿轮轴间传动配合的偏心滚珠丝杆传动副，以及用于偏心滑板偏心直线移动的交叉导轨副；

所述偏心滚珠丝杆传动副内的丝杠上安装有与所述锥齿轮B啮合的锥齿轮A；

所述的大带轮A由安装在安装底座上的偏心轴电机驱动。

在实现本发明的螺旋铣孔功能，首先需要通过偏心调节机构来调节刀具相对公转转轴轴心的径向偏置距离；偏心轴电机在同步带和大带轮A的传动配合下带动锥齿轮轴转动，并在锥齿轮A和锥齿轮B的啮合带动偏心滚珠丝杆传动副，从而推动偏心滑板沿交叉导轨副移动，改变刀具与公转转轴轴心间的距离，从而实现刀具径向偏置调节。

作为优选的，

所述公转转轴和锥齿轮轴间具有同步锁紧机构，所述同步锁紧机构包括：

缸体，内具有沿锥齿轮轴滑动配合的气缸活塞；

与锥齿轮轴固定的安装法兰；

活动安装在所述安装法兰的弹簧空心轴，该轴朝向气缸活塞的延伸端套设有弹簧；

固定在弹簧空心轴的延伸端且抵住所述气缸活塞的锥度活塞；

以及固定在安装法兰上的弹簧套，内壁具有与锥度活塞的锥面相抵的斜面，外周为与所述公转转轴内壁配合的压紧面。

本发明中，在处于锁紧状态时，锥度活塞的外周锥面抵住弹簧套内壁的斜面，使得弹簧套外周压紧公转转轴内壁，保持公转转轴和锥齿轮轴的同步；解除锁紧状态时，缸体内的气缸活塞伸出并带动锥度活塞和弹簧空心轴，使得弹簧且锥度活塞的锥面与弹簧套内壁的斜面分离，在斜面收到的压力解除后，弹簧套外周的压紧面与公转转轴分开，即可解除锁紧状态；同理，在缸体内的气缸缩回后，处于收缩状态下的弹簧推动弹簧空心轴和锥度活塞复位，使得锥度活塞的锥面与弹簧套内壁的斜面压紧，从而使弹簧套压紧公转转轴的內壁，实现公转转轴和锥齿轮轴的同步锁紧；

其中，锥齿轮轴由缸体内穿过并与气缸活塞滑动密封配合，锥齿轮轴内具有进气通道，并通过进气孔与缸体内连通，使得由旋转接头引入的压缩气体进入缸体内并驱动所述的气缸活塞。

因此，上述公转转轴转动的同时，必须保持内部的锥齿轮轴同步公转，避免刀具偏置距离的改变，以提高加工精度。

作为优选的，所述安装底座上设有测量反馈刀具径向偏置量的偏心轴长度计，实现刀具径向偏置量的精确控制。

作为优选的，所述安装底座和电主轴外的主轴套筒间设有走线桥架，主轴套筒和偏心滑板间设置有止转轴承。走线桥架内设有线缆，走线桥架和止转轴承在电主轴公转时控制主轴套筒做水平运动，防止电主轴线缆缠绕。

本发明的优点在于：

- 1) 集成了钻孔、铰孔、扩孔、螺旋铣孔、镗椭圆窝功能；
- 2) 尾部连接组件将所有线缆、管道模块化，可实现与数控机床的快速机械定位连接；
- 3) 通过偏心滚珠丝杆传动副能够高精度地调节刀具的偏置量，偏心

轴长度计测量反馈刀具的偏置量，保证了刀具偏置量调节的精确性；

4) 通过进给轴长度计、直线光栅、摆动轴编码器等测量元件的位置反馈，保证了制通孔和铰椭圆窝的精度；

5) 工业相机修正工件上预制孔位置，4个激光测距传感器检测制孔位置的法矢，保证了制孔精度及安全性；

6) 与数控机床配合使用，实现高精度、高效率自动化制孔。

附图说明

图 1 为多功能末端执行器的主视图；

图 2 为图 1 带 A-A 局部剖视的左视图；

图 3 为图 1 带 B-B 局部剖视的右视图；

图 4 为摆动滑板 55 上部的结构图；

图 5 为同步锁紧机构的放大图；

图 6 是多功能末端执行器的俯视图（局部采用剖视示意）；

图 7 为弹簧套的结构示意图；

图中：锥齿轮 A1、锥齿轮 B 2、旋转接头 3、锥齿轮轴 4、缸体 5、大带轮 A6、辅助轴承 7、大带轮 B 8、轴承压盖 A9、气缸活塞 10、轴承压盖 B 11、安装底座 12、锥度活塞 13、弹簧空心轴 14、弹簧 15、安装法兰 16、弹簧套 17、轴承隔圈 A 18、轴承支承座 19、公转转轴 20、公转轴承 21、锥齿轮轴支撑轴承 22、轴承端盖 23、偏心轴辅助导轨 24、导轨斜楔 25、交叉导轨副 26、偏心滑板 27、轴承压盖 28、旋转封板 29、主轴套筒 30、气液接头 A31、轴承座 32、轴承隔圈 B 33、止转轴承 34、走线桥架 35、气液接头 B36、电主轴 37、止转装置 38、刀具 39、油雾接头 40、压脚 41、压套 42、排屑管 43、工业相机组件 44、相机盖 45、支撑脚 46、风琴罩 47、滚珠丝杆进给驱动组件 48、直线光栅 49、进给直线导轨副 50、阀岛 51、进给滑板 52、光电开关 53、底座 54、摆动滑板 55、圆弧导轨副 56、摆动轴编码器 57、尾部连接组件 58、进给电机 59、回零定位锁紧气缸 60、摆动轴电机 61、偏心滚珠丝杠传动副 62、激光测距传感器 63、偏心轴电机 64、公转电机 65、进给轴长度计 66、压脚导轨 67、气缸 68、偏

心轴长度计 69、消除齿轮 70、圆弧齿条 71。

具体实施方式

如图 1~图 6 所示的多功能末端执行器，包括锥齿轮 A 1、锥齿轮 B 2、旋转接头 3、锥齿轮轴 4、缸体 5、大带轮 A 6、辅助轴承 7、大带轮 B 8、轴承压盖 A 9、气缸活塞 10、轴承压盖 B 11、安装底座 12、锥度活塞 13、弹簧空心轴 14、弹簧 15、安装法兰 16、弹簧套 17、轴承隔圈 A 18、轴承支承座 19、公转转轴 20、公转轴承 21、锥齿轮轴支撑轴承 22、轴承端盖 23、偏心轴辅助导轨 24、导轨斜楔 25、交叉导轨副 26、偏心滑板 27、轴承压盖 28、旋转封板 29、主轴套筒 30、气液接头 A31、轴承座 32、轴承隔圈 B 33、止转轴承 34、走线桥架 35、气液接头 B36、电主轴 37、止转装置 38、刀具 39、油雾接头 40、压脚 41、压套 42、排屑管 43、工业相机组件 44、相机盖 45、支撑脚 46、风琴罩 47、滚珠丝杠进给驱动组件 48、直线光栅 49、进给直线导轨副 50、阀岛 51、进给滑板 52、光电开关 53、底座 54、摆动滑板 55、圆弧导轨副 56、摆动轴编码器 57、尾部连接组件 58、进给电机 59、回零定位锁紧气缸 60、摆动轴电机 61、偏心滚珠丝杠传动副 62、激光测距传感器 63、偏心轴电机 64、公转电机 65、进给轴长度计 66、压脚导轨 67、气缸 68、偏心轴长度计 69、消除齿轮 70、圆弧齿条 71。

进给直线导轨副 50、直线光栅 49、滚珠丝杠进给驱动组件 48、尾部连接组件 58、进给电机 59、压脚导轨 67、气缸 68、进给轴长度计 66 安装在底座 54 上，进给滑板 52 与滚珠丝杠进给驱动组件 48 连接，滚珠丝杠进给驱动组件 48 与进给电机 59 相连。进给电机 59 带动滚珠丝杠进给驱动组件 48 旋转推动进给滑板 52 沿进给直线导轨副 50 做进给运动。

摆动轴编码器 57、圆弧齿条 71、圆弧导轨副 56 安装在进给滑板 52 上，安装底座 12、摆动轴电机 61 安装在摆动滑板 55 上，摆动滑板 55 与圆弧导轨副 56 连接，摆动轴电机 61 与消除齿轮 70 连接，消除齿轮 70 与圆弧齿条 71 啮合。摆动轴电机 61 通过消除齿轮 70 旋转推动摆动滑板 55 沿圆弧导轨副 56 做圆弧摆动。

安装底座 12 内设有公转转轴 20，安装底座 12 与公转转轴 20 通过公转轴承 21 连接，公转转轴 20 与大带轮 B 通过螺钉固联，安装底座 12 外侧安装公转电机 65，公转电机 65 通过大带轮 B 8、公转转轴 20、交叉导轨副 26、带动偏心滑板 27 旋转。

公转转轴 20 内部设有轴承支承座 19，轴承支承座 19 通过锥齿轮轴支承轴承 22 与锥齿轮轴 4 连接，锥齿轮轴 4 与大带轮 A 固接，偏心滑板 27 与锥齿轮轴 4 通过偏心滚珠丝杠传动副 62 连接，偏心滑板 27 与公转转轴 20 通过交叉导轨副 26 相连接，偏心轴电机 64 安装在安装底座 12 外侧，偏心轴电机 64 通过大带轮 A 带动锥齿轮轴 4 旋转，锥齿轮轴 4 通过偏心滚珠丝杆传动副 62 带动偏心滑板 27 沿着交叉导轨副 26 移动。

偏心滑板 27 上连接电主轴 37，电主轴 37 上安装刀具 39。压脚 41 在气缸 68 的推动下可沿压脚导轨 67 运动。压脚 41 上设有四个激光测距传感器 63、压套 42、排屑管 43。

本实施例中的装置集成了钻孔、铰孔、扩孔、螺旋铣孔和铰椭圆窝等功能。尾部连接组件内部集成了所有电缆、管道模块，实现与数控机床的快速机械定位连接。电主轴 37 通过偏心滑板 27、偏心滚珠丝杆传动副 62、锥齿轮轴 4 与偏心轴电机 64 联动，实现刀具的径向偏置。

弹簧套 17 在经弹簧 15 压紧的锥度活塞 13、气缸活塞 10 的支撑作用下实现公转转轴 20 和锥齿轮轴 4 的同步锁紧，对应设置的同步锁紧机构包括缸体 5、气缸活塞 10、锥度活塞 13、弹簧空心轴 14、弹簧 15、安装法兰 16 和弹簧套 17；弹簧套 17 的结构如图 7 所示，其上环绕有间隔分布且可变形的弹性片 72，该弹性片 72 的内壁具有与锥度活塞 13 的外周锥面配合的斜面，在收到锥度活塞 13 的挤压时，弹性片 72 略微向外变形并压紧公转转轴 20 的内部；具体地，气体打开时，气体从尾部的气管通过旋转接头 3 进入锥齿轮轴 4，通过锥齿轮轴上的小孔进入由缸体 5 和气缸活塞 10 的空间，通过气缸活塞 10 推动锥度活塞 13，进而使弹簧空心轴 14 和弹簧 15 组成的弹性体向后收缩，由于锥度活塞 13 和弹簧套 17 的斜面配合，弹簧套 17 将和公转转轴 20 分开，使锥齿轮轴 4 与公转转轴 20 脱离，同步锁紧作用解除；若气体关闭，则该锁紧机构在弹簧 15 的作用下

自动弹回，实现锥齿轮轴 4 与公转转轴 20 的同步锁紧。

经旋转接头 3 进入缸体 5 的气体通过气缸活塞 10 推动锥度活塞 13 解除弹簧套 17 的支撑作用，实现公转转轴 20 和锥齿轮轴 4 的同步锁紧的解除。进给轴长度计 66、直线光栅 49 分别测量反馈压脚 41 和进给滑板 52 的进给量，实现镗窝深度的精确控制。偏心轴长度计 69 测量反馈刀具的径向偏置量，实现刀具径向偏置的精确控制。消除齿轮 70、摆动轴编码器 57 配合使用，实现摆动滑板 55 摆动角度的精确控制。回零定位锁紧气缸 60 通过与进给滑板 52 的插销连接作用保证该装置制通孔时摆动滑板 55 始终处于零位。走线桥架 35 和止转轴承 34 在电主轴 37 公转时控制主轴套筒 30 做水平运动，防止电主轴 37 线缆缠绕。工业相机组件 44 装在底座 54 的前部，检测工件上预制孔位置。压脚 41 装有四个的激光测距传感器 63，检测工件上制孔位置的法矢。

本发明的工作过程如下：

- 1、将本发明装置通过尾部连接组件 58 安装在数控机床上；
- 2、由数控机床将本发明装置移动到工件上基准孔位置，利用工业相机组件 44 测量基准孔位置偏差，根据所测量的位置偏差和孔的理论坐标得出实际制孔位置坐标，再将本发明移动到实际制孔位置；
- 3、压脚 41 上 4 个激光测距传感器 63 测量得到工件预制孔部位表面法向，数控机床调整本发明装置的位姿，使主轴轴线与工件表面法向重合；
- 4、气缸 68 将压脚 41 推出，使压套 42 压紧工件；
- 5、开启引风机，排屑管 43 开始产生吸力；钻孔、铰孔、扩孔时接第 6 步，螺旋铣孔时转第 8 步，镗椭圆窝时转第 11 步；
- 6、开启电主轴 37；进给电机 59 带动滚珠丝杠进给驱动组件 48 旋转推动进给滑板 52 沿进给直线导轨副 50 做进给运动，使得刀具直线进给，直至完成制孔；
- 7、进给滑板 52 退回，压脚 41 退回，转第 12 步；
- 8、通过旋转接头 3 流入的气体解除公转转轴 20 与锥齿轮轴 4 的同步锁紧；根据加工孔孔径 D 和刀具直径 d ，驱动偏心轴电机 64 转动，通过偏心调节机构调整刀具偏置距离 $e = \frac{D-d}{2}$ ；调整完毕后关闭旋转接头 3 内流

通的气体，实现公转转轴 20 与锥齿轮轴 4 的同步锁紧；

9、开启公转电机 65，通过大带轮 B 带动公转转轴 20 转动，电主轴 37 将以 e 为半径绕公转转轴轴线作旋转运动；开启电主轴 37；进给电机 59 带动滚珠丝杠进给驱动组件 48 旋转推动进给滑板 52 沿进给直线导轨副 50 做进给运动，使得刀具沿螺旋线轨迹进给，直至完成制孔；

10、进给滑板 52 退回，压脚 41 退回；关闭公转电机 65；通过旋转接头 3 流入的气体解除公转转轴 20 与锥齿轮轴 4 的同步锁紧；通过偏心调节机构调整刀具偏置距离 e 为 0；转第 12 步；

11、开启电主轴 37；驱动进给电机 59 带动滚珠丝杠进给驱动组件 48 旋转推动进给滑板 52 沿进给直线导轨副 50 做进给运动；开启摆动轴电机 61，通过消除齿轮 70、圆弧齿条 71 带动摆动滑板 55 沿圆弧导轨副 56 来回摆动；通过进给滑板 52 和摆动滑板 55 运动配合，使得刀具 39 沿摆线轨迹进给，直至完成铤椭圆窝；

12、关闭电主轴 37；关闭引风机；将数控机床将末端执行器移动到下一位置制孔或者停止。

以上所述仅为本发明的较佳实施举例，并不用于限制本发明，凡在本发明精神和原则之内，所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

权 利 要 求 书

1、一种多功能末端执行器，其特征在于，包括：

底座（54）和刀具（39）；

置于底座（54）上的进给滑板（52），和驱动所述进给滑板（52）以带动刀具（39）进给的进给驱动机构；

置于所述进给滑板（52）上的摆动滑板（55），和推动所述摆动滑板（55）以带动刀具（39）做圆弧摆动的摆动驱动机构；

置于所述摆动滑板（55）上的安装底座（12），所述安装底座（12）内设有公转转轴（20）和驱动所述公转转轴（20）以带动刀具（39）旋转的转轴驱动机构；

固定在公转转轴（20）端部的偏心滑板（27），所述刀具（39）通过电主轴（37）连接在偏心滑板（27）的端部；

以及调节所述偏心滑板（27）以控制刀具（39）径向偏置的偏心调节机构。

2、如权利要求1所述的多功能末端执行器，其特征在于，所述底座（54）的一侧安装有与机床定位连接用的尾部连接组件（58）；

另一侧设置压紧工件用的压脚（41），推动压脚（41）沿压脚导轨（67）运动的气缸（68），以及用于测量压脚（41）进给量的进给轴长度计（66）。

3、如权利要求2所述的多功能末端执行器，其特征在于，所述的压脚（41）包括压套（42），压套（42）的外周设有多个激光测距传感器（63），压套（42）的中部为供刀具（39）穿过的工作腔，腔壁连通排屑管（43）。

4、如权利要求1所述的多功能末端执行器，其特征在于，所述的进给驱动机构包括进给直线导轨副（50），与所述进给滑板（52）连接的滚珠丝杠进给驱动组件（48），带动滚珠丝杠进给驱动组件（48）旋转以推动进给滑板（52）沿进给直线导轨副（50）做进给运动的进给电机（59），以及用于测量进给量的直线光栅（49）。

5、如权利要求1所述的多功能末端执行器，其特征在于，所述的摆动驱动机构包括：

安装在进给滑板（52）上的圆弧齿条（71）、圆弧导轨副（56）和摆动轴编码器（57）；

设置在摆动滑板（55）上且与圆弧齿条（71）啮合的消除齿轮（70），以及通过驱动消除齿轮（70）旋转以推动摆动滑板（55）沿所述圆弧导轨副（56）做圆弧摆动的摆动轴电机（61）。

6、如权利要求1所述的多功能末端执行器，其特征在于，所述的转轴驱动机构包括与所述公转转轴（20）固定连接的大带轮B（8），安装在安装底座（12）上并通过同步带驱动所述大带轮B（8）的公转电机（65）。

7、如权利要求1所述的多功能末端执行器，其特征在于，所述的偏心调节机构包括设置在公转转轴（20）内部的轴承支承座（19），位于所述轴承支承座（19）内且固定连接有大带轮A（6）的锥齿轮B（2），在偏心滑板（27）和锥齿轮轴（4）间传动配合的偏心滚珠丝杆传动副（62），以及用于偏心滑板（27）偏心直线移动的交叉导轨副（26）；

所述偏心滚珠丝杆传动副（62）内的丝杠上安装有与所述锥齿轮B（2）啮合的锥齿轮A（1）；

所述的大带轮A（6）由安装在安装底座（12）上的偏心轴电机（64）驱动。

8、如权利要求7所述的多功能末端执行器，其特征在于，所述公转转轴（20）和锥齿轮轴（4）间具有同步锁紧机构，所述同步锁紧机构包括：缸体（5），内具有沿锥齿轮轴（4）滑动配合的气缸活塞（10）；

与锥齿轮轴（4）固定的安装法兰（16），

活动安装在所述安装法兰（16）的弹簧空心轴（14），该轴朝向气缸活塞（10）的延伸端套设有弹簧（15）；

固定在弹簧空心轴（14）的延伸端且抵住所述气缸活塞（10）的锥度活塞（13）；

以及固定在安装法兰（16）上的弹簧套（17），内壁具有与锥度活塞（13）的锥面相抵的斜面，外周为与所述公转转轴（20）内壁配合的压紧面。

9、如权利要求8所述的多功能末端执行器，其特征在于，所述安装底

座（12）上设有测量反馈刀具（39）径向偏置量的偏心轴长度计（69）。

10、如权利要求1所述的多功能末端执行器，其特征在于，所述安装底座（12）和电主轴（37）外的主轴套筒（30）间设有走线桥架（35），主轴套筒（30）和偏心滑板（27）间设置有止转轴承（34）。

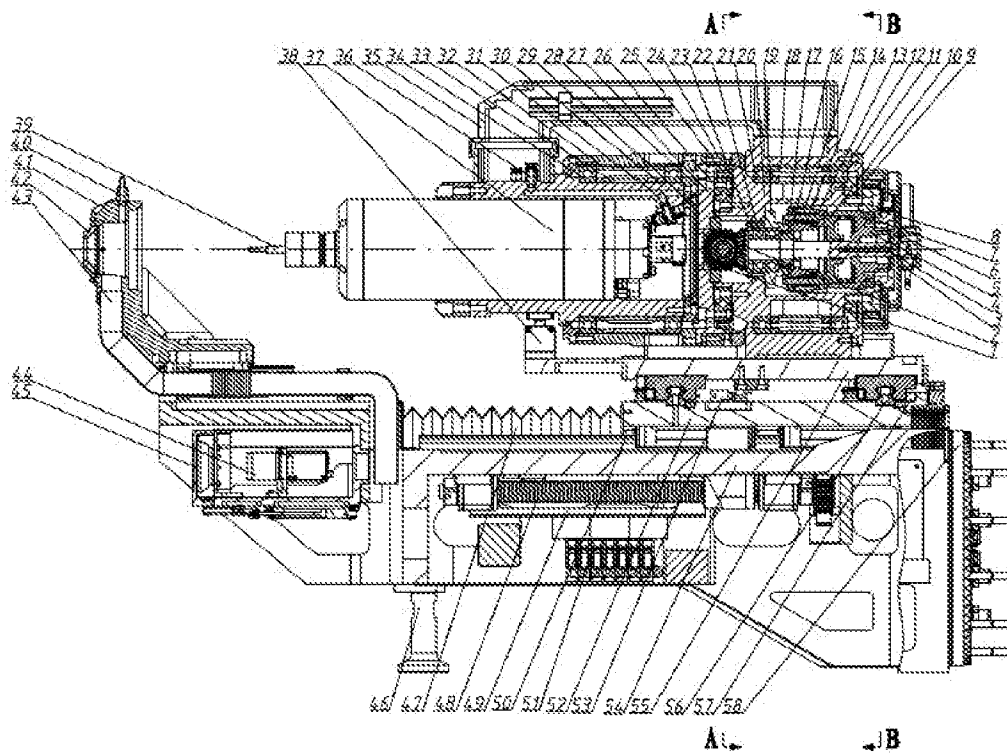


图 1

A-A

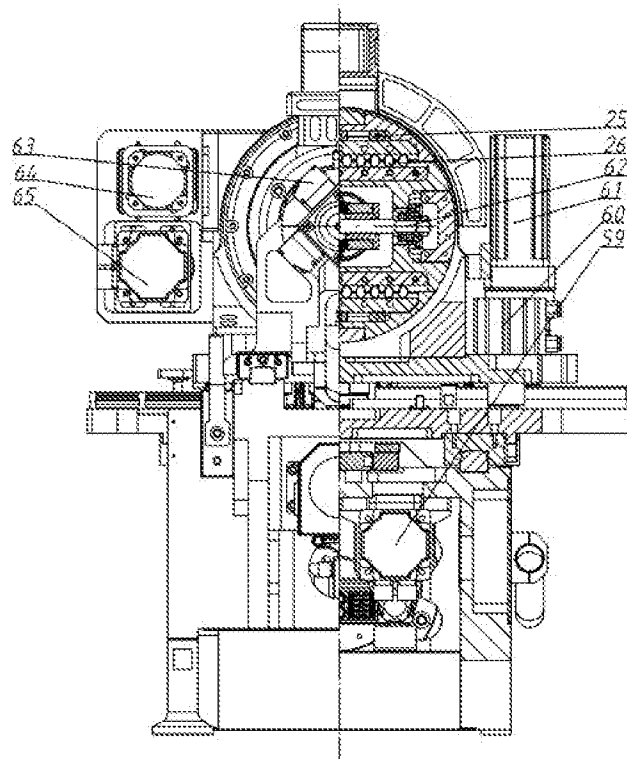


图 2

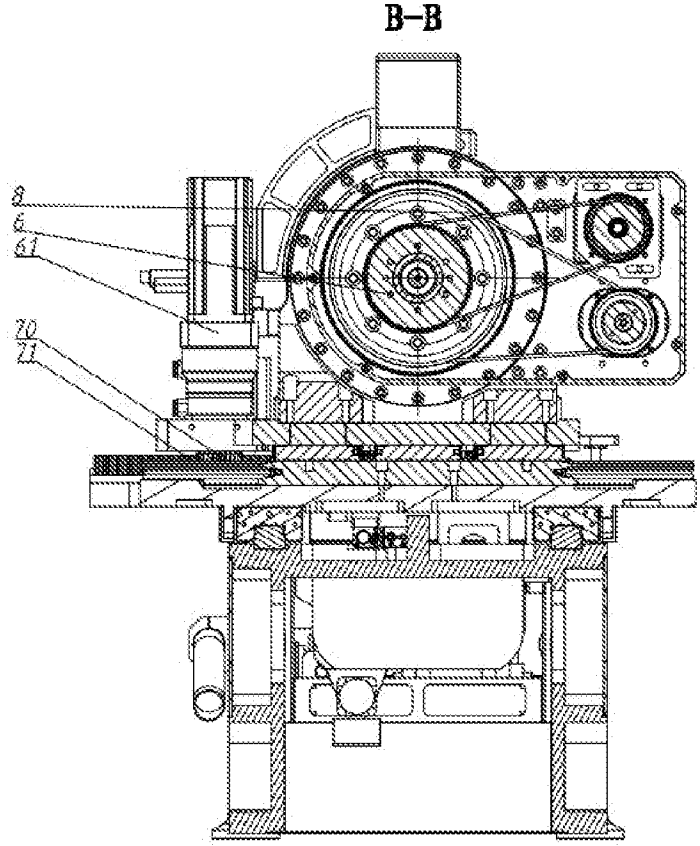


图 3

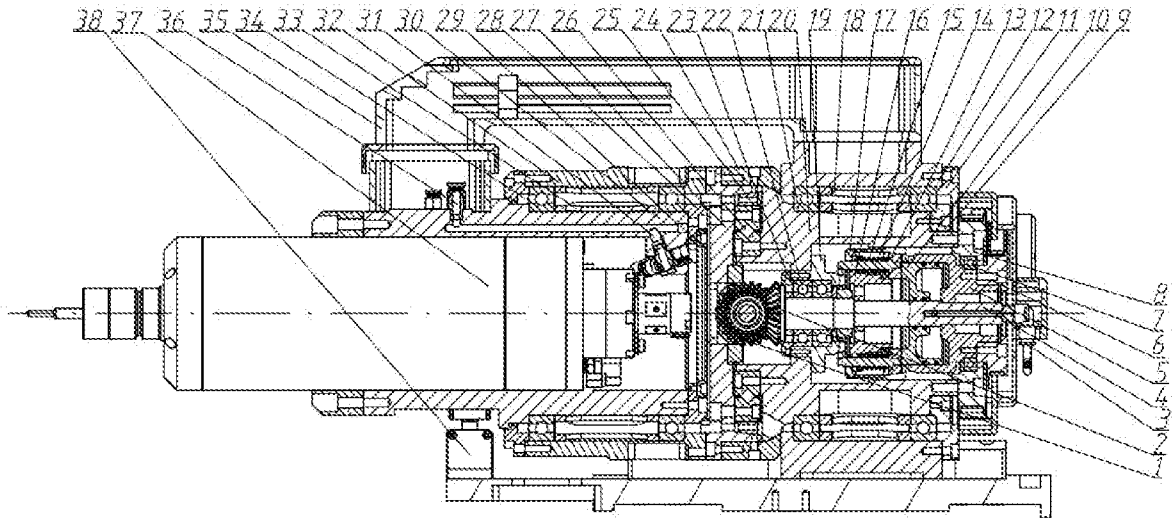


图 4

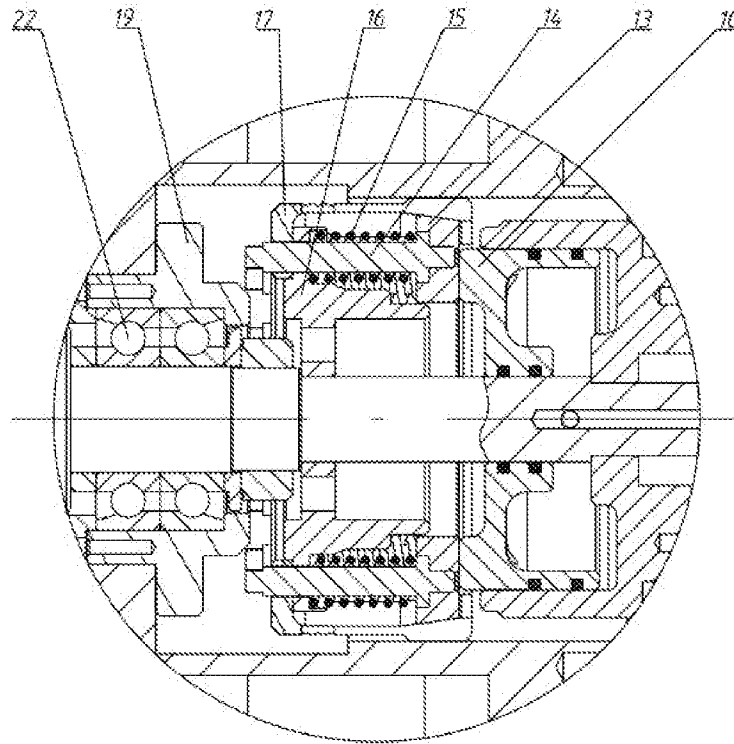


图 5

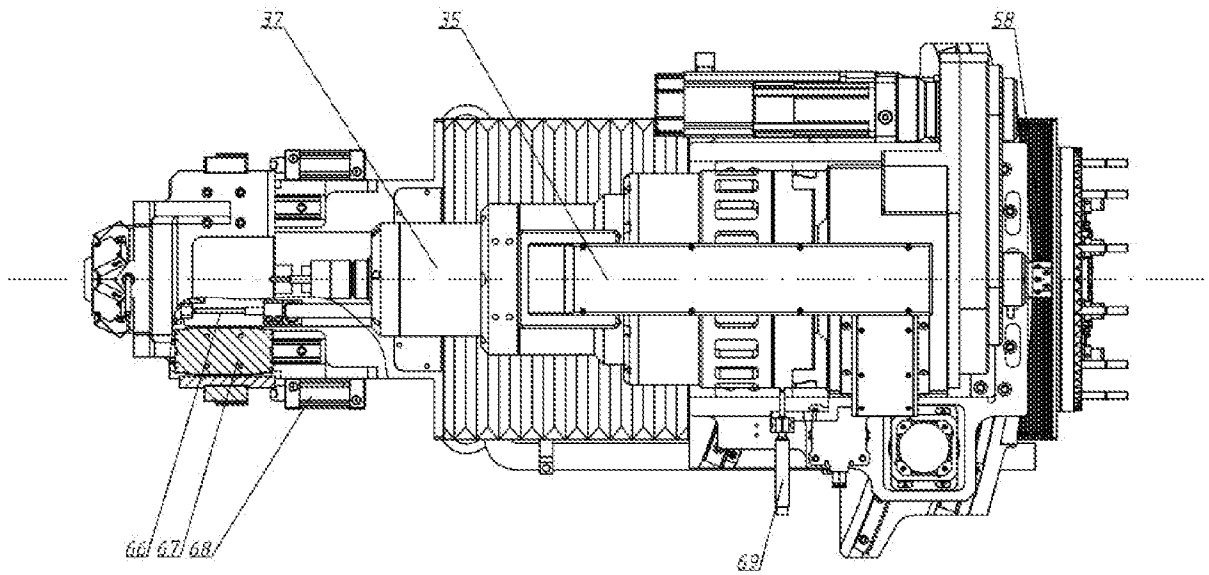


图 6

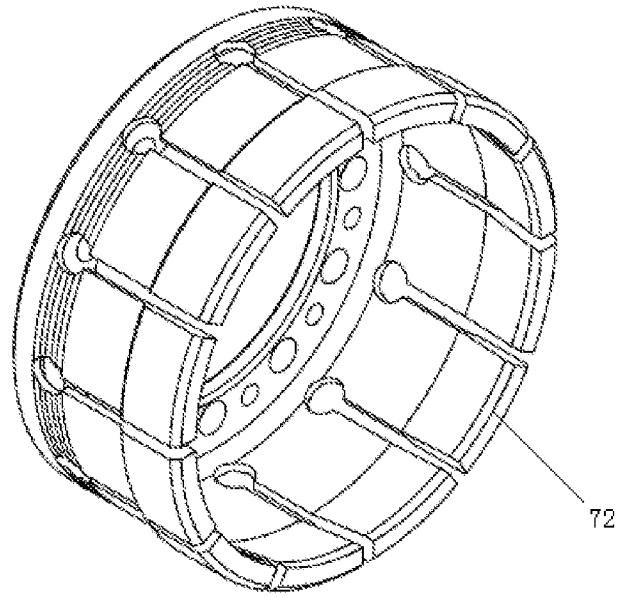


图 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2016/095606

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B64F 5/00 (2017.01) i; B23D 79/00 (2006.01) i; B23C 3/00 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B23C; B23D; B64F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS; VEN, CNKI: slide plate, helically milling a hole, countering an elliptical recess, slide, slip, offset, eccentric, partial, swing, excurs, sway, switch, aerofoil, airfoil, wainscot, wallboard, framework

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 103894678 A (ZHEJIANG UNIVERSITY), 02 July 2014 (02.07.2014), description, paragraphs 5-51, and figures 1-4	1-6, 10
Y	CN 102794491 A (ZHEJIANG UNIVERSITY), 28 November 2012 (28.11.2012), description, paragraphs 3-16, abstract, and figures 1-3	1-6, 10
Y	CN 204148591 U (ZHEJIANG RIFA AVIATION DIGITAL EQUIPMENT CO., LTD.), 11 February 2015 (11.02.2015), description, paragraphs 5-15, and figures 1a-c	3
A	CN 102658391 A (DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY), 12 September 2012 (12.09.2012), the whole document	1-10
A	CN 103192125 A (DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY), 10 July 2013 (10.07.2013), the whole document	1-10
A	WO 2013020664 A1 (LUFTHANSA TECHNIK AG et al.), 14 February 2013 (14.02.2013), the whole document	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 31 March 2017 (31.03.2017)	Date of mailing of the international search report 17 April 2017 (17.04.2017)
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer CHEN, Hua Telephone No.: (86-10) 62085416

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2016/095606

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 103894678 A	02 July 2014	CN 103894678 B	14 September 2016
CN 102794491 A	28 November 2012	CN 102794491 B	07 May 2014
CN 204148591 U	11 February 2015	None	
CN 102658391 A	12 September 2012	None	
CN 103192125 A	10 July 2013	CN 103192125 B	12 November 2014
WO 2013020664 A1	14 February 2013	DE 102011110530 A1	14 February 2013
		DE 102011110530 B4	13 May 2015

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2016/095606

A. 主题的分类

B64F 5/00(2017.01)i; B23D 79/00(2006.01)i; B23C 3/00(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

B23C; B23D; B64F

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNABS;VEN,CNKI:滑板, 偏心, 摆动, 螺旋铣孔, 铰椭圆窝, 机翼, 壁板, 骨架; slide, slip, offset, eccentric, partial, swing, excurs, sway, switch, aerofoil, arifoil, wainscot, wallboard, framework

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
Y	CN 103894678 A (浙江大学) 2014年 7月 2日 (2014 - 07 - 02) 说明书第5-51段及附图1-4	1-6, 10
Y	CN 102794491 A (浙江大学) 2012年 11月 28日 (2012 - 11 - 28) 说明书第3-16段、摘要及附图1-3	1-6, 10
Y	CN 204148591 U (浙江日发航空数字装备有限责任公司) 2015年 2月 11日 (2015 - 02 - 11) 说明书第5-15段及附图1a) -c	3
A	CN 102658391 A (大连理工大学) 2012年 9月 12日 (2012 - 09 - 12) 全文	1-10
A	CN 103192125 A (大连理工大学) 2013年 7月 10日 (2013 - 07 - 10) 全文	1-10
A	WO 2013020664 A1 (LUFTHANSA TECHNIK AG等) 2013年 2月 14日 (2013 - 02 - 14) 全文	1-10

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2017年 3月 31日

国际检索报告邮寄日期

2017年 4月 17日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN)
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

受权官员

陈华

电话号码 (86-10)62085416

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2016/095606

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	103894678	A	2014年 7月 2日	CN	103894678	B	2016年 9月 14日
CN	102794491	A	2012年 11月 28日	CN	102794491	B	2014年 5月 7日
CN	204148591	U	2015年 2月 11日	无			
CN	102658391	A	2012年 9月 12日	无			
CN	103192125	A	2013年 7月 10日	CN	103192125	B	2014年 11月 12日
WO	2013020664	A1	2013年 2月 14日	DE	102011110530	A1	2013年 2月 14日
				DE	102011110530	B4	2015年 5月 13日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)