十字交叉滚动直线导轨副的研制

苏汉业
广东凯特精密机械有限公司　广东江门　529100

摘要：针对传统滚动直线导轨副无法在互相垂直的两个轴向上任意移动的问题，设计了一种全新的一体化十字交叉滚动直线导轨副，并介绍其结构设计及工艺方案。经验证，该导轨副可在互相垂直的两个轴向上任意移动，满足要求。

关键词：十字交叉；直线导轨副；加工工艺；静刚度

1　序言

作为数控走心机的核心功能部件之一的滚动直线导轨副，要求其具有高精度、高刚度，可实现*X*、*Y*运动的结构，并且要求结构简化微型。传统的滚动直线导轨副（见图1）是由1根导轨及1件滑块组成的系统，导轨是支承导轨，安装在支承件上，滑块装在移动件上，沿导轨作直线运动[1]，仅可实现设备工作台在1个轴向来回移动，与其垂直的另一个轴向无法移动。目前的设备普遍是通过增加联接板，在联接板的两侧分别装有互相垂直的两套导轨副，从而实现工作台在互相垂直的两个轴向来回移动。具有安装及调试方便、设备构件结构简单且制造成本低等优点，但同时需要有足够的空间来布置，装配精度直接影响整机的精度。

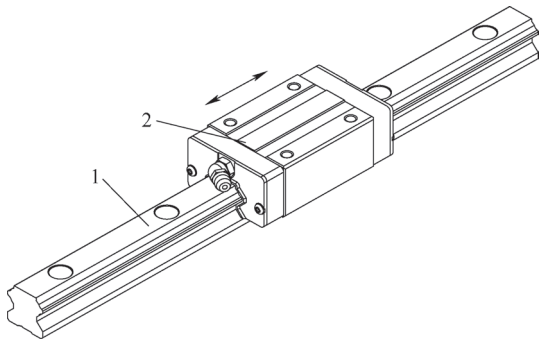


图1　传统滚动直线导轨副示意

走心机最早起源于瑞士和德国，那时的走心机用于对军工器械的精密加工，后来随着工业的不断发展，市场对于走心机的需求越来越大，走心机逐渐应用于民用产品的加工中。随着现今技术的发展，走心机在国内也开始发展起来，并且一步步赶超一些国外的品牌。因此，广东凯特开始研制一种十字交叉滚动直线导轨副，可广泛应用于走心机行业，满足走心机的使用要求。

2　十字交叉滚动直线导轨副结构

十字交叉滚动直线导轨副主要由*X*轴导轨、滑块、*Y*轴导轨组成（见图2）。行业标准[2]中定义，直线导轨为横截面具有特定形状，有一条或多条纵向滚道供滑块运动的导轨；滑块是由滑块体、返向器和密封件等组成的直线运动组件；滚动体为在滑块与直线导轨之间作循环往复运动的滚珠或滚柱。

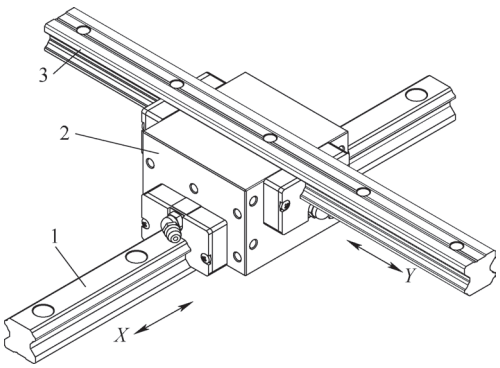


图2　十字交叉滚动直线导轨副示意

1—*X*轴导轨　2—滑块　3—*Y*轴导轨

本文所描述的十字交叉导轨副同样具有导轨、滑块及滚动体。其中*X*轴与*Y*轴同时配置了两根导轨，并且具有相同的横截面。从图3可见，滑块体为

长度及宽度相同的六面体，其中在4个侧面分别设计有用于联接安装板的螺纹孔以及用于安装返向器的螺纹孔，其余上下两个面设计有互相垂直的两组沟槽用于与导轨及滚动体配合滚动，可实现*X*、*Y*两个方向同时移动。导轨、返向器及滚动体等零件与常规的同规格导轨副零件相同，可减少重新开发成本。为了实现不同品牌之间的导轨副互换，滑块体的外形及安装孔必须要按照现有的要求进行设计。

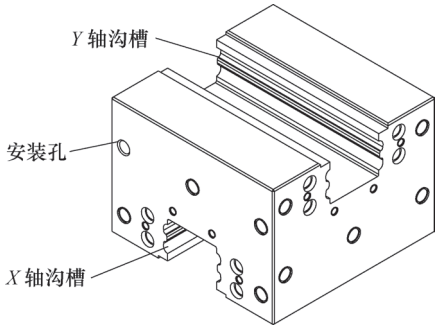


图3　十字交叉滑块体示意

3　加工工艺

根据行业内及客户的要求，滑块六面体的垂直度误差在每100mm为2μm之内，互相垂直的两根导轨垂直度误差最高等级要求在3μm以内。为满足精度要求，如何加工滑块六面体成为本导轨副研制成功的关键。

滑块六面体工艺路线：粗铣六面体→精铣六面体→精铣沟槽→钻安装孔→淬火→精磨六面体→精磨沟槽。加工出来的产品主要存在垂直度及高度尺寸超差、加工效率低及合格率低等问题。垂直度超差主要由于分别单独精磨六面体6个面时，需多次装夹，产生误差，同时加工效率也比较低。为此增加工装夹具并同时磨削相邻的两个面，确保相邻的3个面之间的垂直度分别在2μm以内。由于互相垂直的*X*轴及*Y*轴沟槽背对背地分布在六面体的两侧，精磨沟槽时需采用不同的基准面安装进行磨削，为此在精磨*X*轴沟槽后对*Y*轴基准面进行磨削，保证滑块体高度一致的前提下（一次装夹）对*Y*轴沟槽进行磨削。通过工艺研究及改进工艺方案，产品加工精度及合格率得到提升。

4　工作原理

针对本文介绍的十字交叉导轨副如何安装及其工作原理，对*XY*平台结构（见图4）进行详细说明。本平台主要由十字交叉导轨副、安装基座、联接板、工作台及螺钉组成，其中十字交叉导轨副包括2根*X*轴导轨、2根*Y*轴导轨及4件滑块组成。*X*轴导轨采用螺钉固定在安装基座上，滑块采用螺钉与联接板联接在一起，*Y*轴导轨采用螺钉与工作台联接在一起。联接板上在*X*轴向及*Y*轴向上分别布置有丝杠安装座，当*X*轴丝杠驱动时可通过联接板带动滑块在*X*轴向来回移动，同时滑块带动*Y*轴导轨及与*Y*轴导轨联接在一起的工作台，实现工作台在*X*轴向来回移动；当*Y*轴丝杠驱动时可带动*Y*轴导轨及与*Y*轴导轨联接在一起的工作台在*Y*轴向来回移动。当*X*轴及*Y*轴丝杠同时驱动时，可实现工作台在*X*轴及*Y*轴

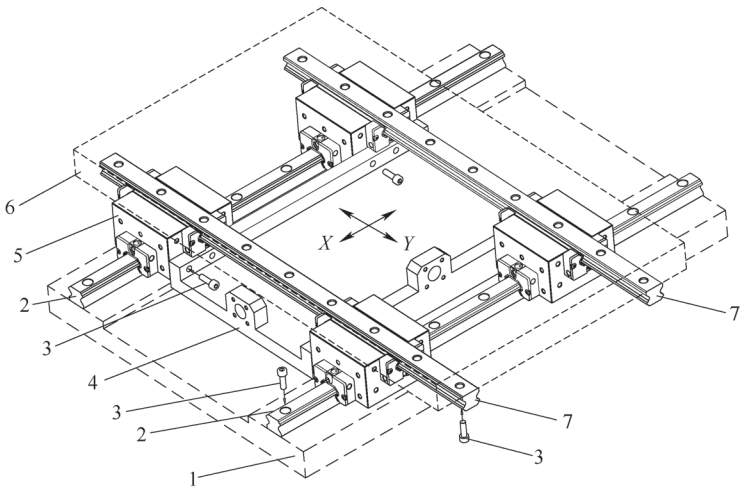


图4　*XY*平台结构示意

1—安装底座　2—*X*轴导轨　3—螺钉　4—联接板　5—滑块　6—工作台　7—*Y*轴导轨

同时来回移动。

5 性能测试

根据行业标准中的定义，静刚度是指滚动直线导轨副抵抗变形的能力（单位变形所需要的载荷）。华中科技大学的方健等也研制了一种滚动直线导轨副静刚度试验台，通过计算机来完成相关测试和控制[3]。对于十字交叉导轨副其试验方案大体相似，具体检测数据如图5所示。试验采用本文所述的十字交叉导轨副及常规的直线导轨副进行静刚度测试对比，通过测试数据可见，在相等规格、相同预紧力及相同的负载条件下，十字交叉导轨副的静刚度较常规的直线导轨副提升13%左右。

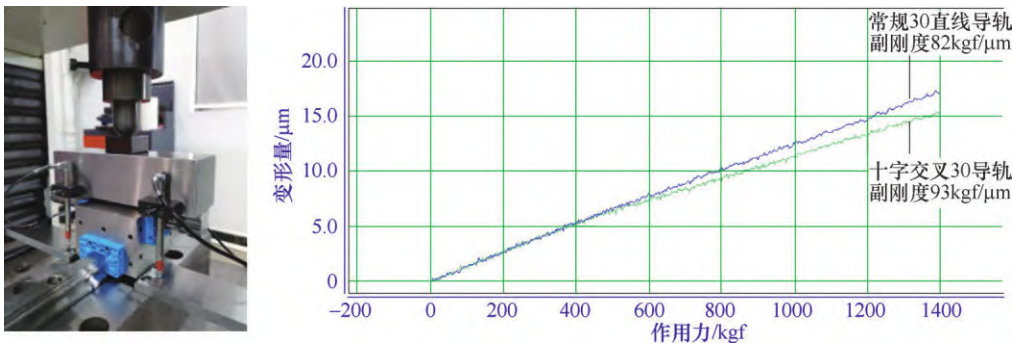


图5 静刚度测试对比

6 结束语

简单介绍了一种十字交叉滚动直线导轨副的结构、加工工艺试验及改良方法，并通过测试静刚度验证。该导轨副具有精度高、刚度高的特点，具有双向一体化结构，可实现工作台在互相垂直的两个轴向上任意移动。目前该导轨副已推出市场，并且在个别设备上得到应用验证。

参考文献：

[1] 杨美英. 直线滚动导轨副及其应用[J]. 科技情报开发与经济，2004（7）：276-277.

[2] 全国金属切削机床标委会. 滚动直线导轨副 第1部分：术语和符号：JB/T 7175.1—2011[S]. 北京：机械工业出版社，2011.

[3] 方健. 滚动直线导轨副性能分析及静刚度试验机研制[D]. 武汉：华中科技大学，2006.

MW 20250212

（上接第60页）

5 结束语

本文针对大型对开式薄壁件加工变形难以控制的难题，提出一种低应力柔性装夹方法，开发两套专用夹具。使用专用夹具实现低应力装夹、提升工艺系统刚度、在工序之间松开装夹使工件释放内应力，从而有效抑制了装夹应力、切削力和内应力引起的加工变形。加工试验表明，采用低应力柔性装夹方法，有效控制了零件加工变形，长度1m以上的零件加工后大端直径尺寸精度可达0.2mm，满足尺寸精度要求。本方法可供加工航空航天领域其他大型异形薄壁结构件时参考。

参考文献：

[1] 于金，王胤棋. 大型曲面薄壁件多点柔性工装装夹布局优化[J]. 工具技术，2017，51（10）：83-87.

[2] 高彦梁. 薄壁件柔性装夹加工变形研究[D]. 沈阳：沈阳航空航天大学，2016.

[3] 张新娟，段雪锋. 飞机蒙皮零件的柔性装夹及数控铣切技术[J]. 航空制造技术，2015（S1）：42-44.

[4] 刘述明，扈博琴，张春龙，等. 基于浮动装夹自适应加工工艺的薄壁件加工变形控制技术研究[J]. 航空制造技术，2023，66（3）：70-77.

[5] 郝小忠，李迎光. 大型结构件浮动装夹自适应加工方法[J]. 机械工程学报，2020，56（9）：35.

[7] 韩晓光. 空间曲面薄壁件多点夹持定位工装设计与结构优化技术研究[D]. 沈阳：沈阳航空航天大学，2011.

[8] 陆俊百，周凯，张伯鹏. 飞行器薄壁件柔性工装定位/支承阵列优化自生成研究[J]. 中国机械工程，2010，21（19）：2369-2374，2378.

MW 20250217