高效率高质量钻孔的直线导轨钻孔机设计

扫码了解更多

江门银特银数控机床有限公司　（广东　529000）　唐兵仿

摘要：本文介绍了一种直线导轨钻孔机，钻孔质量合格率高，效率成倍提高。

2017年以来，直线导轨副供不应求的状况，吸引了大量资金进入这一资金和技术密集的小行业，可以预见2019年前后，低端直线导轨副将大量过剩，但由于核心技术的缺乏，中高端直线导轨副需求将在较长时间内保持供不应求的状态。要实现国产直线导轨副达到中高端水平，绝大部分企业还有大量的技术问题需要解决，即使直线导轨安装孔钻削这一大家认为简单的工序，合格率也不高。究其原因，一些生产者对产品技术要求没有掌握，过度追求效率或节省成本，设备选型时就已经决定了产品质量合格率低。

直线导轨安装孔不合格内容除了沉孔深度不一致、沉孔直径尺寸超差和沉孔孔口倒角不均匀外，还有更为严重的直线导轨安装孔距的累积误差超差，直接影响直线导轨安装精度，沉孔尺寸超差还影响螺母密封效果。

直线导轨安装孔距的累积误差是指1根直线导轨有多个孔（比如4m的25mm规格直线导轨有67个孔），机床一般通过钻削头与直线导轨进行多次相对移动完成钻孔，这样前面和后面的孔距会积累误差，行业俗称“累积误差”。累积误差产生的原因有导轨材质不均匀导致钻孔时伸长或缩短没有规律、机床自身定位精度不足、钻孔速度超过主轴精度或刚性允许范围及机床设计方案不合理的系统性误差等。

1.直线导轨安装孔的加工要求

如图1所示，直线导轨安装孔沉孔、孔口倒角、底孔的尺寸和中心距有一定精度要求，底孔倒角精度要求低。其中，中心距精度最为关键，相邻孔距精度无须像有的企业要求的±0.05mm以内那么高，但累积误差必须要控制好。以25mm规格导轨为例，德国某品牌直线导轨安装孔中心距公差图样要求只是±0.3mm，但包含了累积误差。本文建议直线导轨任意两孔的中心距公差标准按±0.2mm控制。

2.一般的直线导轨钻孔机方案分析

（1）采用导轨移动、钻削头固定的直线导轨钻孔机。这种钻孔机占地面积很大，一般采用4个动力头分别从导轨两侧钻孔，导轨卧式，逐个孔依次移动完成所有孔的钻削。

这种钻孔机对导轨移动又有两种驱动方案。一是伺服机构整体拖动直线导轨全长范围连续移动（下称“导轨全行程伺服驱动移动四主轴加工”方案），此方

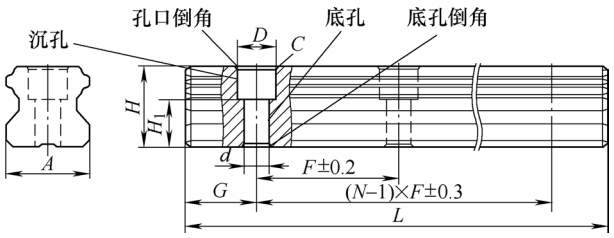


图1　直线导轨安装孔加工要求

案钻孔精度可达到要求，但换型号不方便；二是在行程很短的伺服滑台上安装可以移动的液压台虎钳、配合固定台虎钳交换夹紧和松开直线导轨，每次移动一个孔位，完成直线导轨全部孔的加工（下称“导轨液压夹紧交换驱动四主轴加工”方案），这种方案孔距累积误差难以做到合格，比如，相邻孔距偏差即使只有0.01mm，60多个孔，累计偏差就超过了0.6mm，由于导轨钻孔时伸长或缩短重复性差，即使通过数控系统补偿滑台误差，累积误差也难以稳定解决。

（2）单主轴移动、分工步加工方案。即采用1个传统的单头动柱钻孔机，先钻完所有底孔，再回去从第一个孔开始逐一钻沉孔、沉孔孔口倒角，各工步分次钻削，采用这一方案的国产机床成本比较低，但效率也很低。

（3）单主轴移动、成型复合刀加工方案。采用复合钻头1次钻削底孔、沉孔和孔口倒角，刀具成本很高，对机床刚性要求非常高。

（4）双主轴单驱加工方案。此方案是在传统动柱钻孔机的Z轴滑板上固定安装两个主轴，配合完成底孔、沉孔和孔口倒角。方案与“单主轴移动、成型复合刀加工方案”相比，效率相当，但刀具费用有所降低，沉孔还是必须完全用成型刀锪孔，刀具消耗成本仍然比较高。

（5）三主轴单驱加工方案。此方案是在传统动柱钻孔机的Z轴滑板上固定安装3个主轴，配合完成底孔、沉孔和孔口倒角。方案与“双主轴移动、主轴单驱加工方案”相比效率有所提升，刀具费用降低，但3个头固定，钻头更换时调整麻烦，加工效率与沉孔深度和倒角均匀性质量难以兼顾，工人往往会牺牲加工质量。

（6）三主轴三驱加工方案。此方案是在动柱钻孔机的立柱上安装3个滑台，每个滑台上安装一个钻削头，每个钻削头独立通过伺服驱动钻孔。3个主轴可以独立控制深度，配合完成底孔、沉孔和孔口倒角。方案与“三主轴移动、主轴单驱加工方案”相比效率明显提升，刀具费用降低。本机优点是效率较高，质量合格率高。缺点是机床成本较高。

（7）三主轴三驱加工方案加底面倒角。此方案是在“三主轴移动、主轴三驱加工方案”的基础上，底面加1个倒角动力头，1次装夹完成导轨所有孔的加工。本机优点是效率高、质量合格率高。缺点是机床成本高。

3.本文研发的直线导轨钻孔机

方案如图2所示，方案说明：

（1）本文方案是在主轴三驱加工方案的基础上，将单排的三主轴更改为三组双联铣削主轴（见图3），研发设计出一种新型的“双排三主轴三驱加工方案”的直线导轨钻孔机，同时钻削两根导轨，成倍地提高了加工效率。

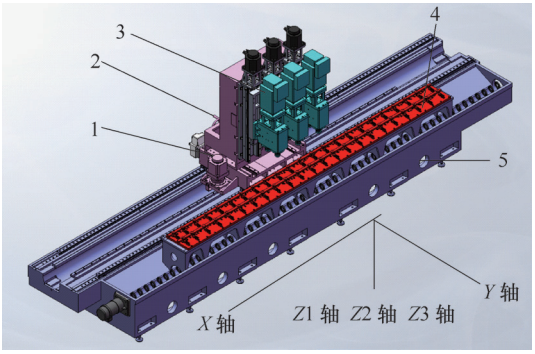


图2　本文直线导轨钻孔机方案

1.鞍座　2.立柱　3.三组双联铣削主轴　4.工作台与夹具　5.床身

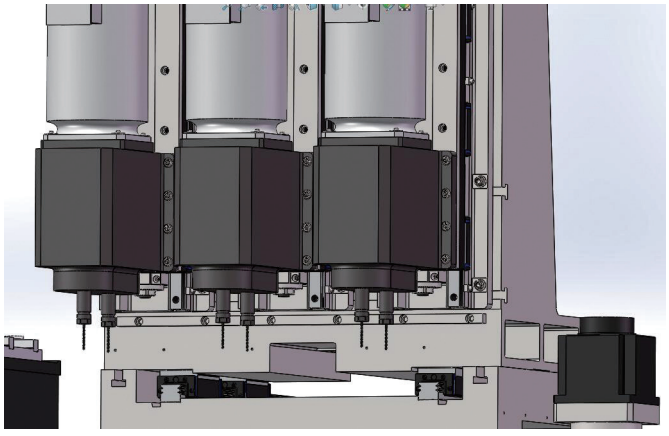


图3　三组双联铣削主轴安装

（2）本文直线导轨钻孔机的三组双联铣削主轴，为本文自主研发设计的双联精密铣削主轴，采用高刚性精密主轴轴承组合，控制主轴轴向圆跳动和径向圆跳动精度都在0.01mm以内，这样的主轴可以用于自铣直线导轨安装定位面、保证两条导轨定位基准面与两排主轴的同步平行度，钻孔时定位精度较高，无须中心钻定位即可满足钻孔定位精度的要求。

（3）双排三主轴三驱加工方案高质量高效率工作的原理。如图4所示，每排的3个主轴配合对应1根直线导轨，1次成型加工两根导轨的底孔、沉孔和孔口倒角。每排第一个主轴安装略小于沉孔的标准钻头定位、钻沉孔，留少量余量；第二个主轴以第一个主轴所钻孔自动定心钻削余下部分厚度，同心度控制好；第三个主轴安装带导柱的成型锪孔刀，锪沉孔少量的余量和倒角，切削量小，表面质量好。由于沉孔的大部分切削工作量由成本更低、钻孔效率更高的标准钻头代替、大幅度降低了昂贵的成型锪孔刀的消耗。

本方案可快捷地优化3组钻头配合分担钻削量，让3组钻头工作时间更加平均，节省钻削时间。

另外，底孔倒角可在机床自动钻孔时间范围内，由工人用普通设备手动完成，或者用另行配套的、很低成本的全自动气动倒角机完成，不影响整体钻孔效率和质量水平。

（4）本文方案的机床主轴布局分析。本文方案钻孔范围包括了滚珠导轨和滚柱导轨从15mm到65mm的全部规格，相邻孔距有30mm、40mm、52.5mm、60mm、80mm、105mm和120mm等尺寸，采用覆盖上述孔距的最小公倍数方案，并考虑调整效率、机床成本及加工效率等因素，将上述3组主轴两两之间中心距分240mm（参考图4）和315mm两种距离布局，只需调整1次就可以满足上述所有孔距的加工要求，本文设计了快速定位调整装置，调整非常方便快捷。

（5）*X*轴动柱驱动方案分析。本文采用自身已经成熟应用到型材加工中心的齿轮齿条驱动方案，并选用高精度磁栅尺作闭环控制，以保证精度的稳定性。本文在床身设计上也预留了动螺母滚珠丝杠驱动方案，供更加信任滚珠丝杠传动方案的用户选择。

（6）夹具设计与夹紧方案分析。集中控制的压紧机构，保证定位夹紧可靠。可调整压紧头，能适应不同型号导轨快速换型调整。由于导轨形状差异很大，有的侧面上下等宽，有的不等宽，因此，除15mm型号采用两边抱住夹紧外，其余型号都只压紧导轨下侧面，而在顶面的另一侧设置防止导轨翻转的限位盖（见图5）。

排屑排水方便：机床设计成多个型号共用1套夹具，在夹具上设计有导轨钻孔避空孔位，这些孔位具有排水功能，同时，在夹具支撑强度允许范围内，在每两个压紧头之间设计了排屑槽，钻屑可直接掉入下面的自动卷屑槽，清扫非常方便。

4.本文设计的直线导轨钻孔机钻孔能力解析

本文设计采用1个主轴电动机，通过3∶1减速比的减速机构带动1组两个主轴转动，设计了主轴强制冷却系统，允许主轴不间

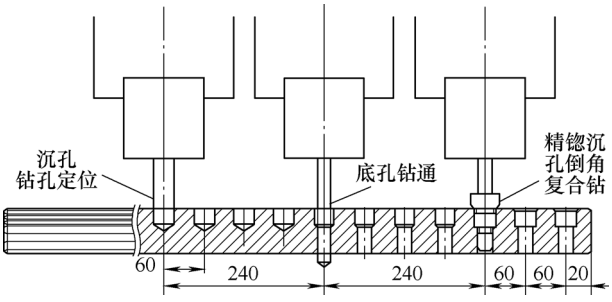


图4　双排三主轴三驱加工方案高质量高效率工作的原理示意

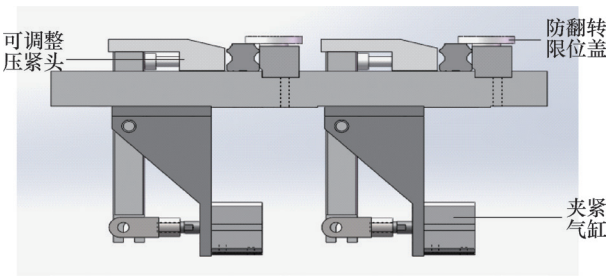


图5　夹具示意

断地长时间工作。

（1）最小钻孔能力评估。制约最小钻孔能力的是主轴转速，如果采用硬质合金钻头，需要的最高转速约3 000r/min，本文采用10 000～12 000r/min的伺服主轴电动机，可以满足用户要求。

（2）最大钻孔能力评估。制约最大钻孔能力的是主轴输出转矩，45mm规格直线导轨沉孔直径为20mm，65mm规格直线导轨沉孔直径为26mm，选用7.5kW/47.7N·m主轴电动机，主轴输出最大转矩超过170N·m，可以满足所有孔的加工。如果用户仅仅加工35mm以下导轨，可以选5.5kW/34.7N·m的主轴电动机。

（3）影响机床钻孔能力的其他因素。机床各轴驱动力、机床各轴导轨的刚性、各轴滚珠丝杠及丝杠支撑轴承的承载能力等因素都会影响到机床的钻孔能力，本文设计统一以钻直径26mm孔的要求进行设计匹配，以满足各型号直线导轨的钻孔要求。

（4）各种数控直线导轨钻孔机方案对比分析（其中，*A*钻孔时间为1根4m25mm规格导轨用时）如附表所示。

5.结语

本文研发的新型直线导轨钻孔机，设计了由三个独立伺服轴驱动的三组双联减速精密主轴，已经生产的样机加工100根4m25mm规格的直线导轨样品经过检测，任意两孔孔距误差全部在±0.2mm以内，绝大部分孔距误差实测在±0.1mm以内、孔径在设计公差范围内、倒角均匀，加工质量合格。每两根导轨加工时间可控制在10min之内（平均每根5min），加工效率是其他直线导轨钻孔机的2～12倍，达到了高质量高效率的研发设计目标。

参考文献：

[1] 唐兵仿，孙健利.精密滚动直线导轨副互换性的实现方法[J].制造技术与机床，2004（06）.

[2] 徐起贺.机械创新设计[M].北京：机械工业出版社，2009.

[3] 王先逵，孙凤池.机械加工工艺手册，[M].北京：机械工业出版社，2006.

各种数控直线导轨钻孔机方案对比分析表

直线导轨钻孔机方案	*A*钻孔时间/min	*B*设备单价加权/万元	*C*质量＋成本系数加权（范围1—10、评分理由）	*D*加权成本系数＝*A*×*B*×*C*	综合竞争力排名
导轨全行程伺服驱动移动四主轴加工	25	20	2（沉孔倒角质量风险加权）	1 000	7
导轨液压夹紧交换驱动四主轴加工	30	15	10（累积误差不合格，偶尔2mm误差大风险）	4 500	9
单主轴移动、分工步加工	60	10	2（低成本设备沉孔倒角质量风险加权）	1 200	8
单主轴移动、成型刀复合加工	20	25	2（刀具成本、底面倒角加权）	1 000	6
双主轴单驱加工	20	20	1.8（底面倒角成本、刀具成本和沉孔质量加权）	720	5
三主轴单驱加工	18	22	1.5（底面倒角成本、沉孔质量加权）	594	3
三主轴三驱加工	10	50	1.2（底面倒角成本加权）	600	4
三主轴三驱加工加底面倒角	10	55	1（国产机估价，台湾某品牌超20万美元）	550	2
双排双主轴三驱加工	5	63.8	1.2（底面倒角成本加权）	383	1

MW（收稿日期：20180620）