

# 五轴重切削横梁滑板座通用性及加工工艺性

王祚达

南京宁庆数控机床制造有限公司 江苏南京 211178

**摘要：**横梁滑板座是机床的重要组成部分，其结构较为复杂，种类繁多。横梁滑板座的接口与其横梁连接点一一对应。但当五轴通用性滑台延伸到五轴重切削滑台后会连同横梁滑板座、横梁及导轨基座一起发生变化。以往为适应其市场需求只能重新设计各类大件，周期长、成本高且互换性差。针对该问题设计了一种外形接口尺寸与通用款接口相同的横梁滑板座结构，在不改变横梁及其他大件结构的前提下即可安装五轴重切削滑台且满足刚性需求。与此同时，优化加工工艺方法使横梁滑板座加工精度得到进一步提高，此类结构优化及其工艺方法在本行业内值得推广应用。

**关键词：**横梁滑板座；通用性；加工工艺性；五轴重切削滑台；simulation；有限元分析

## 1 序言

众所周知功率及转矩的大小确定了五轴头安装截面的形态。通用性五轴滑台所配备的横梁滑板座完全可以与通用模块化的横梁通过线轨进行连接，然而大功率大转矩五轴重切削滑台的安装截面与常规通用性的滑台相比加大了30%以上。因此横梁滑板座需要改进设计，其改进创新点是能与通用性五轴滑台的横梁滑板座共用同一种横梁，从而实现模块化平台构建<sup>[1]</sup>，还能在一定程度上提高整体刚性，缩短生产周期，大大降低制造成本，全方位适应市场变化。

## 2 常规批量款横梁滑板座结构介绍

常规款五轴主要由工作台、导轨座、横梁、横梁滑板座和五轴滑台等大件组成。此次重点介绍横梁滑板座的基本结构，通用性结构如图1所示，两组横梁滑板座相互对称，上中下支撑板各两组，共计8个组件，两组对称的横梁滑板座面对面夹持上中下支撑板，从而形成一个“口”字形环抱结构的横梁滑板座（见图1俯视图），而主视图标注的尺寸是横梁的行程方向尺寸，左视图标注的尺寸是与横梁连接的关键尺寸，需要控制公差。从单个横梁滑板座来看，为便于加工，处于上宽中窄“工”字形与横梁连接位置的上下6组滑块连接面集中在一个整

体加工面上，可以通过精加工的方式保证其各类尺寸精度和几何精度，而上中下6组支撑板只是起到支撑作用，简单实用。常规款环抱结构所环抱的五轴滑台的截面尺寸目前是420mm×420mm，同时五轴滑台在加工装配中也存在误差，需要上中下支撑板在最终闭口处预留间隙调整，调整后利用注塑填充缝隙使之硬化，形成一个闭环体结构。由于误差调整此时环抱型横梁滑板座如图1所示，1050mm及750mm这两组尺寸也会产生一定的误差，主要是因为配置了磨垫板与横梁连接，此处不详细介绍。因此1050mm和750mm这两组尺寸是与横梁连接的关键尺寸，根据模块化设计要求，这类尺寸不能改动才能满足通用性，也间接地限制了横梁滑板座的扩展及兼容性范围。虽然暂时能满足一定市场的客户需求，但不能满足当下日新月异的市场变化。

## 3 创新结构优势及加工工艺性

### 3.1 创新结构介绍

市场应用的推广让人们对航空航天加工领域有了进一步的深入了解，特殊加工件大转矩大功率的加工需求迅速掀起一股新的浪潮。为此在原有基础上设计一种适应更大截面的五轴头安装的新款横梁滑板座，主要目的就是解决大转矩大功率的重切削加工，创新结构如图2所示，此结构的分类同通用性

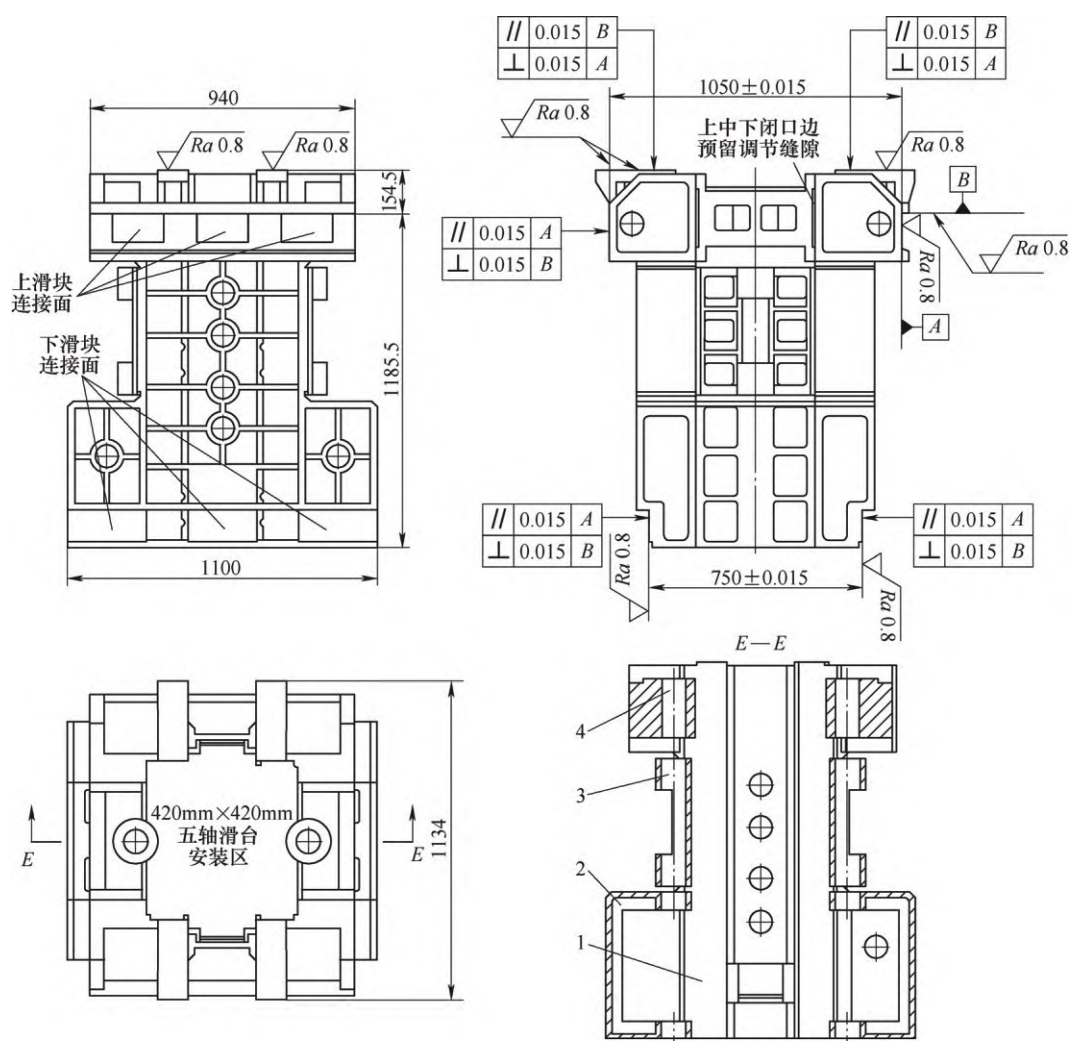


图1 通用性结构示意图

1—横梁滑板座 2—下支撑板 3—中支撑板 4—上支撑板

滑台一样，分别由两组对称式横梁滑板座及两组上中下支撑板组合形成，呈整体环抱式。不同点在于横梁滑板座与上中下支撑板的组成方向和常规款相比做了90°变动，常规款横梁滑板座上的支撑板只起支撑作用，而新结构将横梁滑板座上的滑块安装面增加在上支撑板与下支撑板上，形成了不同于常规款横梁滑板座的分体结构，此上下两组滑块连接面可微调并复表，实现与横梁滑板座上的滑块连接面共面。利用改变主体结构形式的方式，两组对称款横梁滑板座与上中下支撑板形成的主体结构呈上宽下窄的“T”字形排布，图2左视图中的1160mm与1200mm在横梁行程方向做了扩充应用，而共用横梁的关键尺寸1050mm与750mm则与常规款横梁滑板座一致。经此设计，新结构的横梁滑板座与常

规款横梁滑板座完全可以共用一种开挡的横梁。新结构横梁滑板座同常规款结构一样，采用专利工艺将支撑板与横梁滑板座的缝隙通过注塑填充硬化，形成一个整体式环抱结构，可满足600mm×600mm的五轴重切削滑台。由图2左视图可见，夹持五轴重切削滑台的横梁滑板座上的上下滑块连接面形成了分体结构，滑块定位面及其他尺寸精度、几何精度也可能因加工的误差导致不在同一水平面上，间接提升了加工难度，因此为这一分体结构的加工也做了相对应的工艺改进，以实现合格装配精度。

### 3.2 共面磨削工艺说明

单个横梁滑板座的半精加工由精密铣床完成，只留精加工余量，此处不作说明，只将精加工磨削做详细说明。具体磨削工序如下所述。

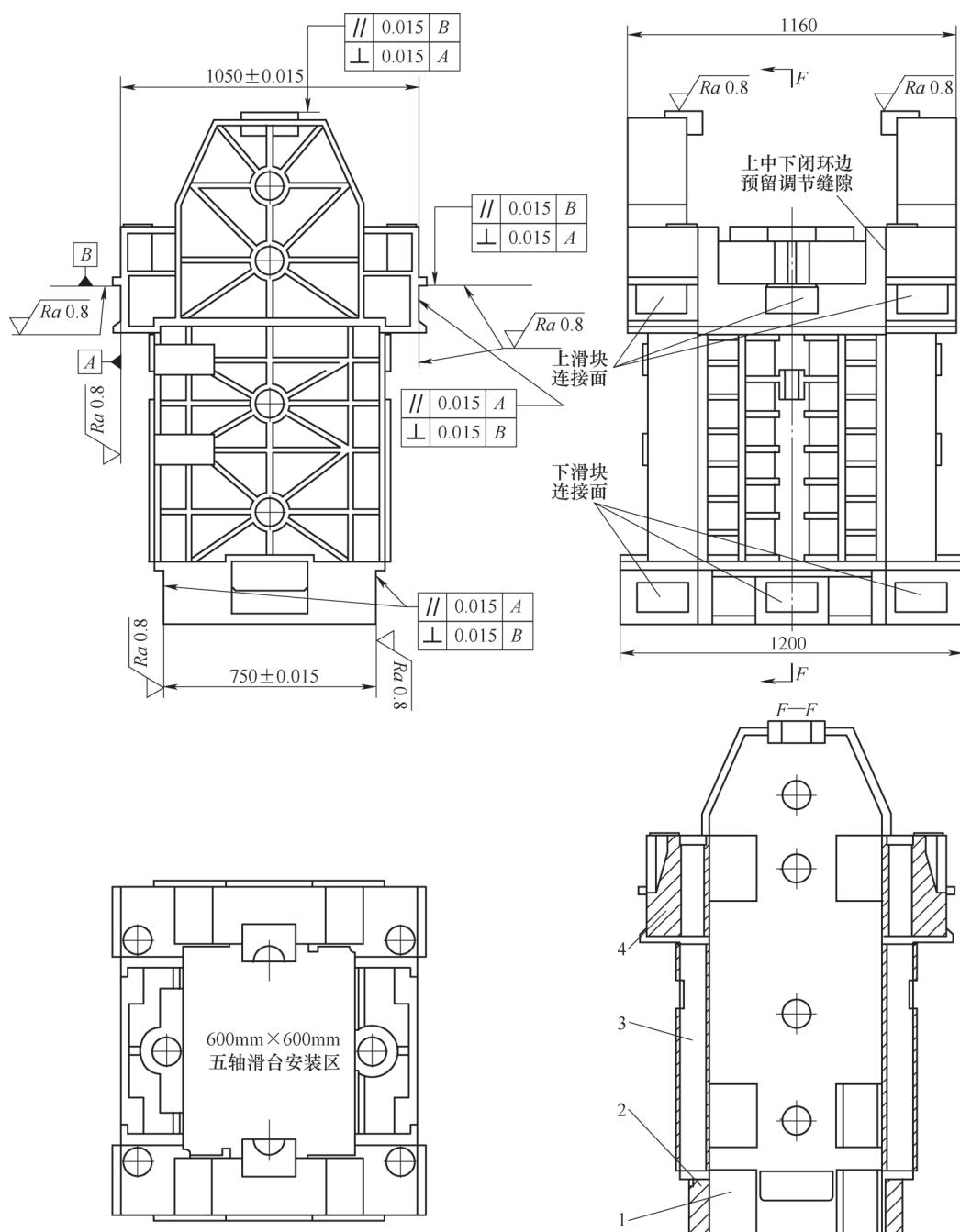


图2 创新结构示意图

1—横梁滑板座 2—下支撑板 3—中支撑板 4—上支撑板

1) 两个互为对称的横梁滑板座分别做单件基准磨削加工, 工装如图3所示, 以精加工面基准A做定位面装夹在导轨磨床上, 磨削出基准承靠面B及工艺基准面C, 使其各项尺寸精度及几何精度符合图样要求。

2) 为解决上述结构的不共面误差加工难点<sup>[2]</sup>, 特设计4件固定支撑等高块工装及两件底托支撑等高块工装, 其中300mm作为等高数据的重要值需按图

样加工完成, 保证同等高度, 如图4所示。

3) 将两组互为对称的横梁滑板座分别通过专用工装进行面对面装夹(见图5), 利用4组固定支撑等高块工装通过安装孔与横梁滑板座联接, 以及两组底托支撑等高块工装结合基准承靠面B及工艺基准面C进行校准固定, 保证两组对称的横梁滑板座通过承靠面B形成基本等高, 并通过工艺基准面C进行校表, 保证两组横梁滑板座C基准面上基本共

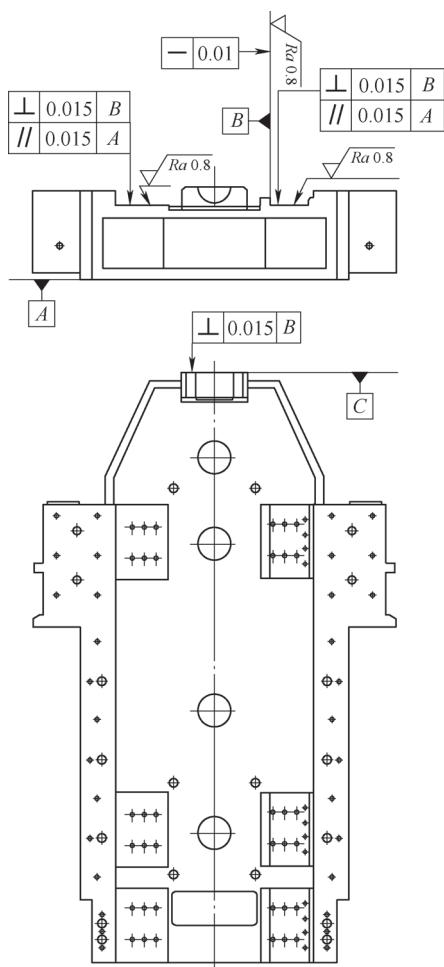
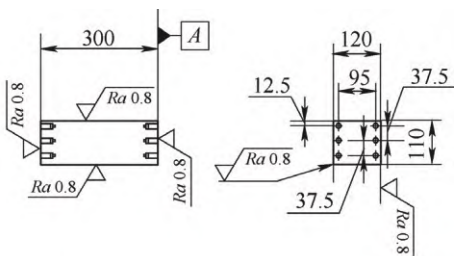
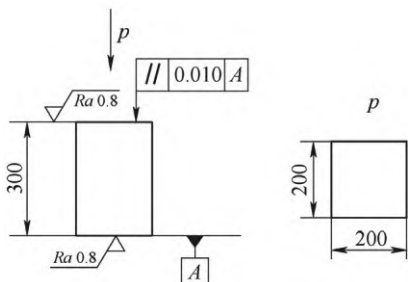


图3 单件磨削加工工装示意



a) 固定支撑等高块工装



b) 底托支撑等高块工装

图4 磨削加工工装示意

面。装夹完成后进行共面加工，将两组横梁滑板座的滑块连接面实现共面，一刀加工完成，保证其尺寸精度及几何精度。同理，再次翻转，以上道工序共面磨削的加工面进行装夹定位，磨削对称面的另一滑块连接面。在磨削过程中通过工装而形成整体式的横梁滑板座实现一刀磨削，保证各个滑块连接面均能实现共面的各项特性。

#### 4 横梁滑板座静刚度分析数据对比验证

##### 4.1 平面铣削分力划分

金属切削上对于平面铣削时的铣削力可分为3个切向分力，分别作用在刀具上（见图6），此分力也是检验切削机床切削刚性的重要指标之一<sup>[3]</sup>。本次理论数据验算按静刚度检验通则的要求，利用有限元分析法对作用在加工刀具上的分力进行受力分析，从实践检测转化为理论上的判断，带着这种方法去验证横梁滑板座的设计是否合理。

##### 4.2 平面重切削参数列举

铣刀直径 $d = 50\text{mm}$ ，齿数 $z = 4$ ，主轴转速 $n = 1000\text{r/min}$ ，进给速度 $v_c = 1500\text{mm/min}$ ，铣削宽度 $a_e = 50\text{mm}$ ，铣削背吃刀量 $a_p = 5\text{mm}$ ，每转进给量 $a_f = 1.5\text{mm}$ ，每齿进给量 $a_{fz} = 0.38\text{mm}$ ，切向铣削力 $f_z = 9.81 \times 825 a_p^{1.0} a_f^{0.75} a_e^{1.1} d^{-1.3} n^{-0.2} z \times 60^{-0.2} \text{N} = 3963.15\text{N}$ 。考虑到加工过程中受力对称和不对称的铣削因素，故取： $f_{pc} = 0.9f_z = 3566.84\text{N}$ ， $f_{cf} = 0.8f_z = 3170.52\text{N}$ ， $f_p = 0.9f_z = 3566.84\text{N}$ ，其中： $f_{pc}$ 是与X轴方向一致的力， $f_{cf}$ 是与Z轴方向一致的力， $f_p$ 是与Y轴方向一致的力。

##### 4.3 有限元静态分析

因两种切削五轴滑台需模块化构建共用同一种开挡接口的横梁<sup>[1]</sup>，所以横梁滑板座刚性极其重要。只要横梁滑板座不会有过大的位移量，就间接推导出横梁可以通用。采集相关切削数据进行有限元对比分析横梁滑板座的位移量，从而保证静刚度要求。下列分析同时将两种横梁滑板座装配体都以同等方式进行有限元静态分析，文中只对新结构的横梁滑板座做细化分析，省略原横梁滑板座分析的细节。这里要说明一下，虽然通用性五轴不能重切削，但往往在验收时会进行定角度重切削检查及“S”件高速切削验收，此类切削转矩及切削分力不亚于重切削。凭借多年应用经验结合实际交机情

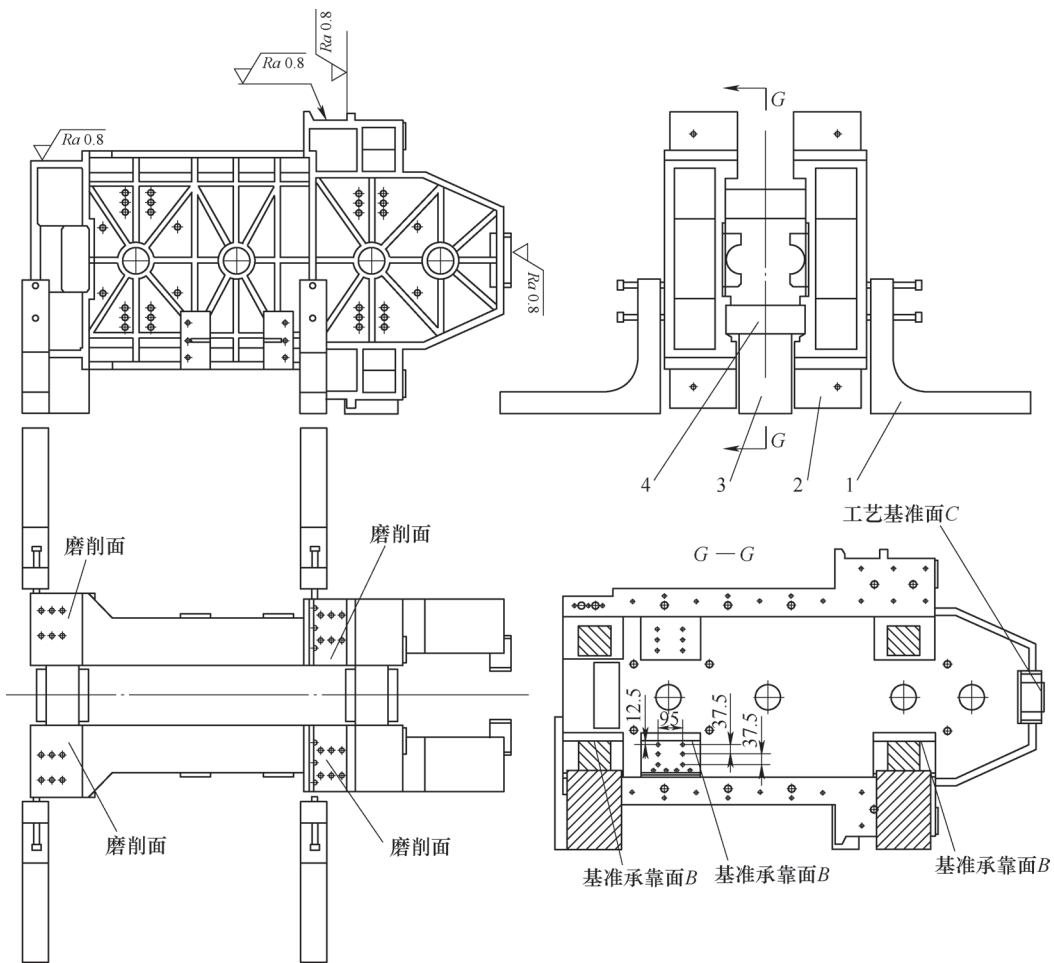


图5 磨削加工装夹示意

1—磨削支撑架 2—横梁滑板座 3—底托支撑等高块 4—固定支撑等高块

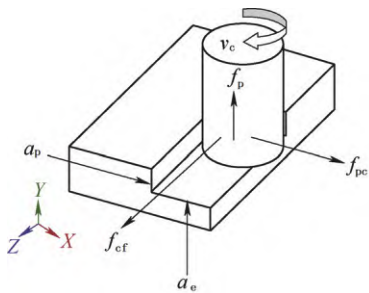


图6 平面铣削切向力分布

况，笔者认为通用款五轴的其他大件完全符合重切削抗力的要求，为此对比分析意义符合逻辑及常规检验。首先将各部件进行简化，删除或压缩影响网格划分的螺纹孔、R角、倒角及小台阶并附加各零件相关材料属性，再将模型导入simulation静态分析。分析参数设置中只保留相关质量、力臂等数据，将形成的整体式横梁滑板座参与分析变形，其余部分做刚性处理，如刀具、五轴加工头和重切削五轴滑台等，分析中重点看横梁滑板座在外力作用

下的相对位移量。外部载荷施加引力，同时将三向分力作用在刀尖处。刀尖处需事先做分割划分作为力的加载面并模拟加工的刀具长度，同时滑台处于加工轴的最下方，此时力臂最长且最趋向于真实加工状态。各部件连接以“全局接触（-接合-）”方式，边界条件通过分割线划分固定。横梁连接区域如图7所示，划分网格如图8所示，最大单元50mm，最小单元10mm，共计单元总数185485，节点总数367989，合位移云图如图9所示，其他X、Y、Z三个轴向位移分别如图10～图12所示<sup>[4]</sup>。

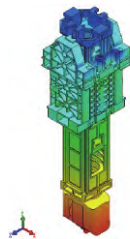


图7 横梁连接区域

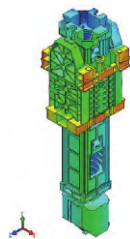


图8 划分网格

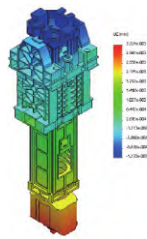


图9 合位移云图

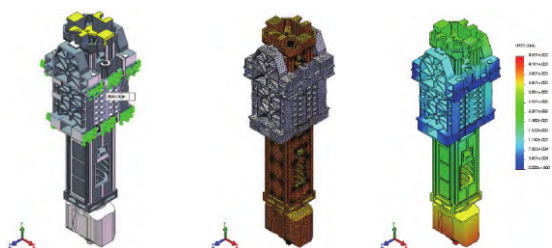


图10 X轴向位移 图11 Y轴向位移 图12 Z轴向位移

结合以上分析云图汇总对比见表1, 各项数值均在0.01mm以内, 故笔者以此数据及经验评估认为不会造成横梁的扭曲变形, 完全可以共用一种横梁进行生产。通过技术评审, 此结构目前已经投入生产且通过钢件试切, “S”件试件各项精度检测均符合

表1 两种横梁滑板座在受同样分力下的数据对比

| 结构分类   | 模型质量/kg | URES: 合位移/mm | UX: X位移/mm | UY: Y位移/mm | UZ: Z位移/mm |
|--------|---------|--------------|------------|------------|------------|
| 原横梁滑板座 | 4500    | 0.0063       | 0.0034     | 0.0002     | 0.0052     |
| 现横梁滑板座 | 6738    | 0.0045       | 0.0026     | 0.0003     | 0.0033     |

要求。

## 5 结束语

兼容性及通用性设计是机械制造业产品模块化设计要求的重要标准之一, 也完全契合当下各类制造业的生产模式。在此基础上融合现有产品进行系列化、规模化生产, 可有效地提高生产效力, 也能更进一步地减少管理成本和试错成本。

## 参考文献:

- [1] 中国标准化研究院. 机械产品模块化设计规范: GB/T 31982—2015[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [2] 上海市金属切削技术协会. 金属切削手册[M]. 2版. 上海: 上海科学技术出版社, 1984.
- [3] 全国金属切削机床标准化技术委员会. 金属切削机床 静刚度检验通则: GB/T 13574—1992[S]. 北京: 中国标准出版社, 1992.
- [4] 郭召. 基于动态特性分析的框形箱体切削工艺参数优化[J]. 金属加工 (冷加工), 2022 (1): 82-84.

MW 20240705

# 金属加工视频号开通了, 欢迎关注!

金属加工视频号是装备制造业领域的专业视频号, 由创刊于1950年的《金属加工》(包括冷加工和热加工两刊)和金属加工在线(mw1950.com)共同运营, 开通以来陆续形成系列栏目, 包括金属加工要闻、金属加工对话、金属加工快讯、金属加工在线论坛、加工真奇妙和金粉小讲堂等。



扫描二维码,  
关注金属加工视频号



#金属加工每周要闻 #金属加工 第44期 04:45  
#金属加工每周要闻 [2024.12.5-1...]  
#北京



#金属加工 (视频号) 栏目 #金属加工 2024年12月17日, 第二届金属加工行业高峰论坛的参会代表们来到了山南刀具(上海)有限公司, 参...  
#今天, 我们走进了山南刀具的工厂  
#北京



#金属加工《对话》栏目 #金属加工 10:38  
#OKE 欧科亿第二届数控刀具行业高峰论坛暨新品发布会于12月12日盛大举行, 欧科亿总经理...  
#北京



#金属加工 #欧科亿 #OKE 2024年12月12日, 欧科亿第二届数控刀具行业高峰论坛暨新品发布会在三亚召开, 金属加工将进行全程直播, 敬请关注...  
#数百位刀具人士纷纷去到三亚, 有什么大事发...  
#中国刀具行业



#金属加工在线论坛 #机床产品系列... 03:00  
#用户调查 #滚动功能部件 第三届全国滚动功能部件用户调查: 滚动功能部件国内外品牌应用对比分析...  
#北京  
#滚动功能部件用户调查品牌花...  
#北京



#金属加工 #加工真奇妙 第95期: 大型 01:13  
#大型龙门数控加工中心, 画面真漂亮!  
#北京  
#大型龙门数控加工中心的作业过程...