

# 一体式焊接结构横梁在高速桥式五轴加工中的应用

苗青 张扬 李贺

(沈阳机床(集团)有限公司设计研究院 辽宁 沈阳 110041)

**摘要:** 本文经过对高速桥式五轴一体式焊接结构横梁的深入研究, 总结一体式焊接结构横梁结构特点, 使横梁有效减重, 并提高焊接结构横梁刚度。

**关键词:** 一体式焊接横梁; 有限元分析; 桥式五轴加工

## 0 引言

航空航天工业的迅速发展带来舱体、壁板、蒙皮类大型构件的巨大需求, 为高速轻切削设备创造了广阔的市场空间, 其中最为突出的是桥式五轴加工中心。传统的焊接横梁, 大多采用拼接箱式结构, 封闭腔体众多且尺寸小, 焊缝可达性差, 焊接热输入量大, 导致焊接应力很大。文中针对某型号桥式五轴加工中心横梁, 针对不同型腔构建焊接结构对应的三维实体模型, 并通过对比分析, 研究各种截面焊接结构的静力学特性, 获得在相同极限工况载荷下横梁的应力变形, 为优化横梁设计与焊接工艺奠定基础。

## 1 一体式横梁的主要特点

目前桥式五轴加工中心的发展以高速轻切削为目标, 横梁的直线速度与加速度相对要求较高, 速度要求在 50m/min 以上, 加速度在 0.4g。因此, 降低横梁结构件质量, 提升动态特性起到关键作用。一体式横梁具有如下特点。

(1) 横梁长度方向主要支撑背板采用整体板材折弯成 C 型, C 型背板为半封闭结构, 前侧正面板为整体加厚板材 (图 1), 即保证了横梁跨距方向的稳定性, 又减少横梁上拼接箱式结构, 减少焊接量, 使得横梁受焊接应力影响变形小, 从而提高横梁的变形稳定性。

(2) 水平焊缝布置呈轴对称 (图 1), 避免造成较大的弯曲变形和扭曲变形。整体 C 型支撑背板与前面板在横梁导轨位置焊接组立, 对横梁导轨起有效支撑。

(3) 横梁结构采用热对称设计, 即使横梁在组焊加工时, 横梁两端变形量均为  $\alpha$ , 为横梁仿形提供基础; 也使横梁在使用过程中, 横梁各部分受热均匀, 热变形方向和大小一趋于一致, 减小热变形对加工精度的影响。

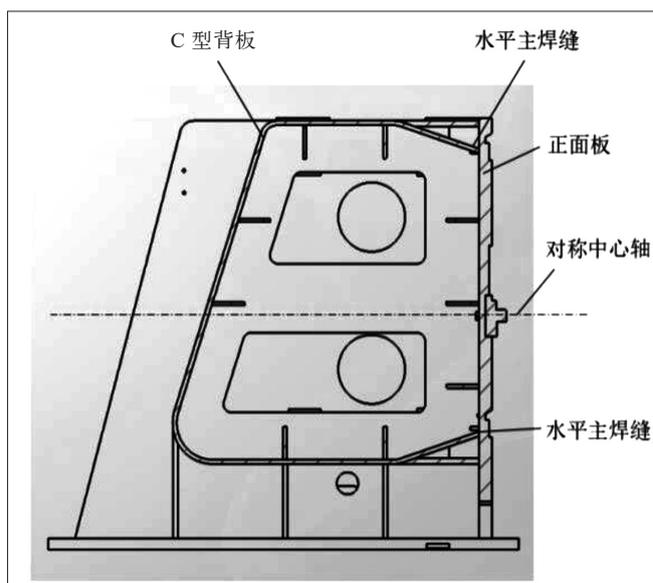


图1 一体式横梁示意图

## 2 力学性能分析

由最大弯曲正应力的计算公式:

$$\sigma = M / (\gamma_x \times W_{nx})$$

式中,  $M$  为横梁承受的最大弯矩,  $\gamma_x$  为截面的塑性发展系数,  $W_{nx}$  为抗弯截面模量。

由此可知, 梁横截面上最大正应力与最大弯矩成正比, 与抗弯截面模量成反比。因此, 研究横梁的抗弯截面成为关键要素。

首先对矩形截面与 C 型截面横梁在相同条件下进行有限元分析 (图 2)。

经对比分析, 相同跨距横梁, 采用矩形截面的横梁比采用 C 型截面横梁质量要重 1.3t, 在 26000N 惯性力后, 矩形截面横梁变形最大值为 0.111mm, C 型截面横梁变形最大值为 0.128mm, 由此对比, 可得出 C 型截面横梁可以有效降低横梁重量。

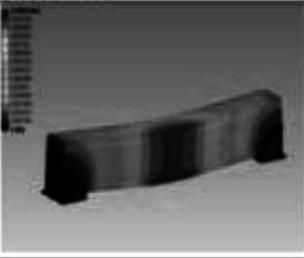
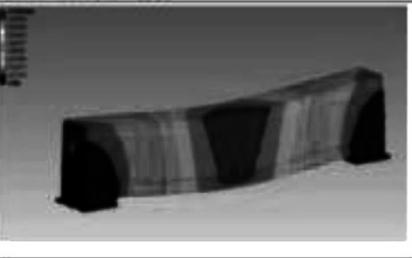
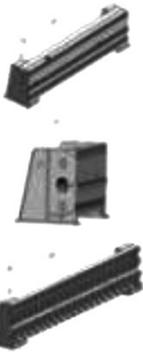
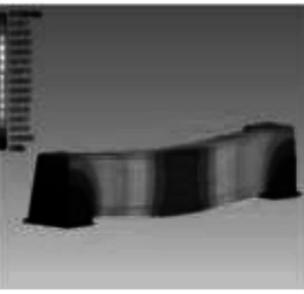
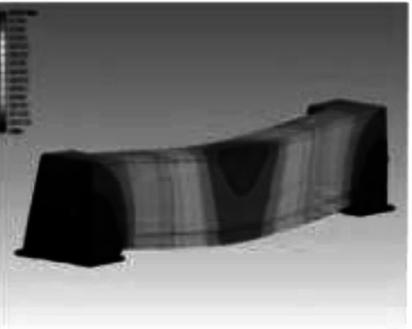
结构形式	简图	质量	受力变形有限元分析	变形最大值	加 26000N X 方向惯性力后变形	变形最大值
横梁 1		12.5t		0.1		0.111
横梁 2		11.6t		0.113		0.128

图2 C型截面横梁在相同条件下的有限元分析

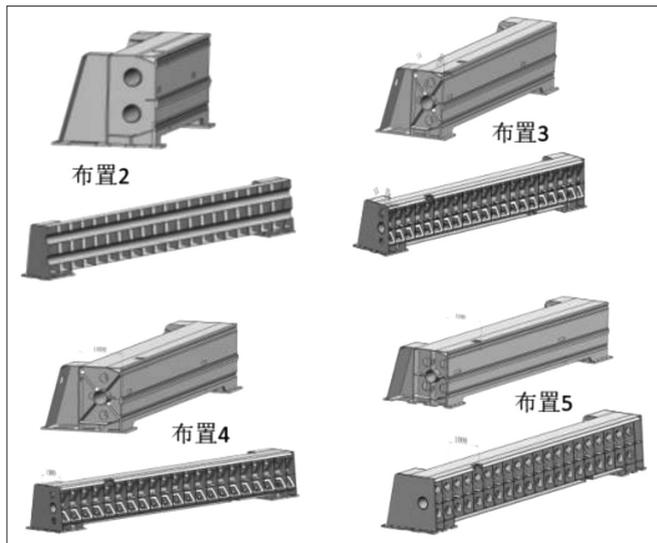


图3 横梁截面内筋型布局

以C型截面横梁为基础，对横梁截面内筋型布局进行优化（图3），以增强抗弯截面模量。在相同的边界条件下评估不同方案的表现，选最优解（图4）。

在布置好横梁内型筋型后，根据C型截面横梁受到的重力、切削力及温度变化等条件因素对横梁再次进行分析（图5），根据分析结果对横梁筋腔与肋板进行微调，以达到横梁在使用中达到最佳效果。

### 3 变形控制措施

(1) 结构上：在众多筋腔布置中，选折横梁型腔内

设有间隔的主立筋，间隔的主立筋使横梁主体型成多个独立的型腔，每个型腔中设有辐筋板此种结构，既保证了横梁跨距即长度方向的稳定性，用整体板材焊接点少，焊接应力小，所以受焊接应力影响的变形小，最终提高横梁的变形稳定性。

(2) 工艺方向：横梁组立与焊接时采取了先中间后两端，先焊立焊缝，后焊水平焊缝的工艺顺序。按照此组立焊接顺序，在理想状态下，两端变形量应均为  $\alpha$ ，为接下横梁仿形计算提供理论依据，使仿形计算更为准确。在焊接完成横梁整个毛坯后，进行第一次退火去应力处理，缓慢加热到  $500 \sim 650^\circ\text{C}$ ，保温 4h 后，炉内缓慢冷却至  $300^\circ\text{C}$  后出炉空气冷却；在粗加工后进行第二次的退火去应力处理，缓慢加热温度  $400 \sim 550^\circ\text{C}$ ，保温 4h 后，炉内缓慢冷却；待冷却后再对粗加工横梁毛坯进行精加工。此工艺充分释放在C型背板折弯时产生的内应力及焊接过程中产生的焊接应力，以保证加工时精度。

### 4 技术指标

一体式焊接结构横梁，无论在质量上，还是在静力学分析上，还是在温度变化上，都优于传统焊接结构横梁。且在实际应用中，横梁的移动速度可达  $60.5\text{m}/\text{min}$ ，加速度可达  $4.1\text{m}/\text{s}^2$ ，此项技术指标已达到进口设备技术参数。

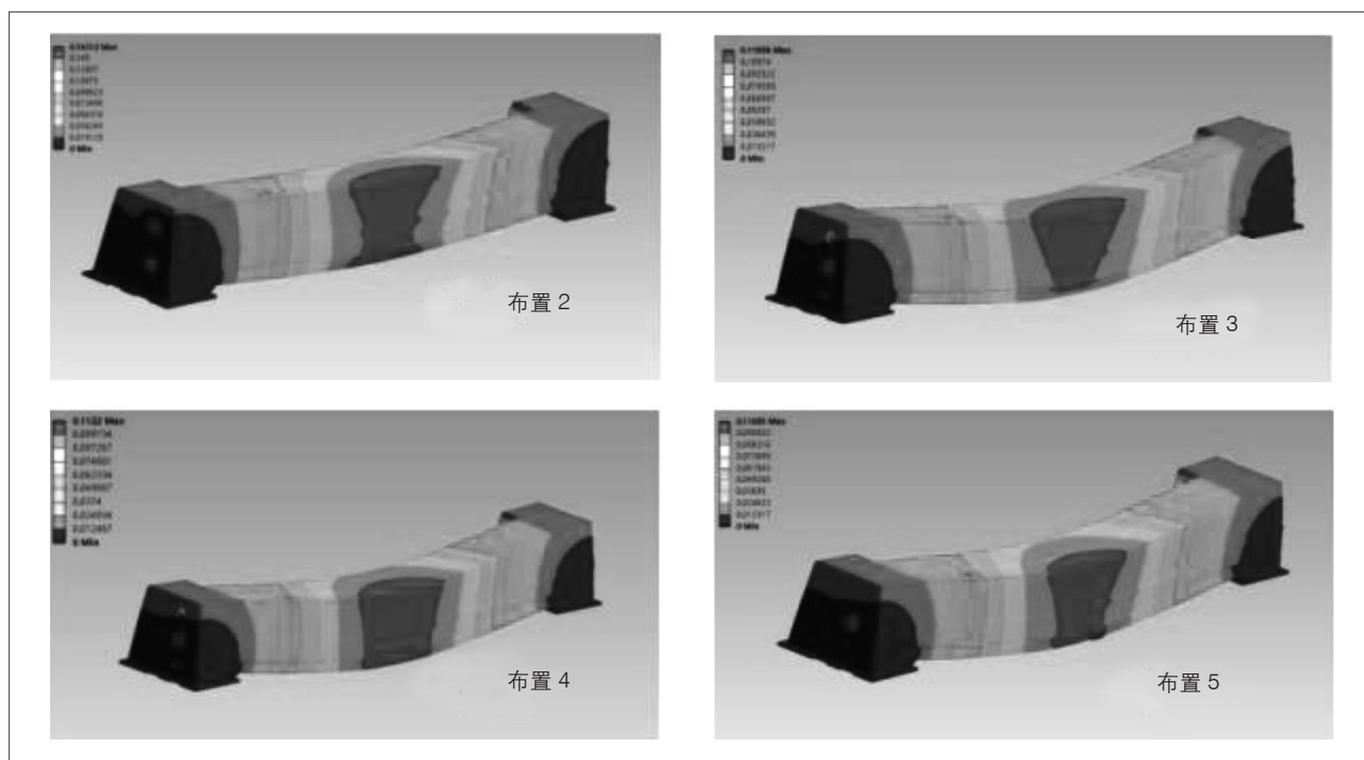


图4 相同的边界条件下的不同方案

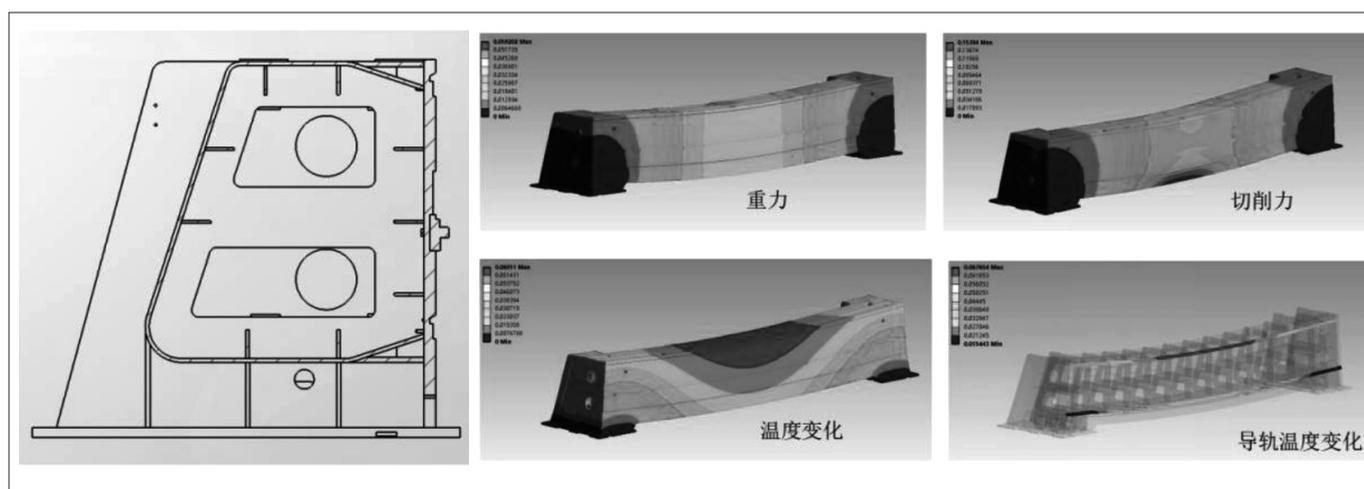


图5 横梁再次分析结果

## 5 结语

单台横梁可减重6~7t, 节省成本约7万余元。优化焊结构, 加工容易, 同时对提升机床动态特性起到重要作用, 显著增强改产品在高端装备领域竞争力。

### 参考文献:

[1] 李磊, 臧兰兰, 毕长生. 城轨车辆一体式贯通道配套端墙结构设计及焊接工艺[J]. 机械制造文摘(焊接

分册), 2018(03):25-30.

[2] 王洪光. 实用焊接工艺手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.

[3] 卫东海, 李克锐, 杜兵, 等. 焊接结构机床件的残余应力测试研究[J]. 焊接, 2019(08):37-41+67.

**作者简介:** 苗青(1981.10-), 女, 汉族, 山东诸城人, 本科, 高级工程师, 研究方向: 桥式五轴加工中心高速轻切削。