

DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.20150009

直角坐标型钢坯标示机构的设计与分析

傅 旻, 金丽媛, 唐 鑫, 张 文
(天津科技大学机械工程学院, 天津 300222)

摘要: 基于冲印式和电弧喷涂式的钢坯标示方法, 设计了针对红热钢坯在线标示的高能束标示机构, 以实现小规格钢坯端面的多字符标示. 机构以直角坐标型标示形式为基础, 采用悬臂式结构, 通过 X、Y、Z 三个方向滚珠丝杠的协同作用, 实现包括数字、字母、特殊字符等在内的字符标示. 利用 ANSYS Workbench 软件对 UG 软件建立的标示机构模型进行模态分析, 针对模态分析结果提出结构改进方案, 依据实际标示效果确定改进方案的可行性, 为进一步优化结构提供理论依据.

关键词: 钢坯标示; 直角坐标型机构; 模态分析; 结构改进

中图分类号: TP241.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6510(2015)06-0057-04

Design and Analysis of Billet Marking Mechanism for Cartesian Coordinate

FU Min, JIN Liyuan, TANG Xin, ZHANG Wen

(College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

Abstract: By combining printing and arc spraying, a set of machinery for red billet online marking with a high energy beam gun was designed, which can mark more characters on billet in the small specification end. Based on rectangular coordinating mechanism, cantilever structure was adopted to realize the marking. Through the coordination of three ball screws of X, Y and Z rolling in three directions, words, numbers, letters, special characters, etc can be marked on the billet. The model was established and simulated with UG, and the modal analysis was conducted with ANSYS Workbench, based on which, plans to improve the structure was put forward. Compared with the prototype, the feasibility of the improved scheme was much higher. The research can provide a theoretical basis for further optimization of the structure.

Key words: billet marking; mechanism for rectangular coordination; modal analysis; improvement of structure

在钢坯生产过程中, 为实现质量追踪, 检测钢坯缺陷产生原因, 消除混坯事件的发生, 需对钢坯进行在线标示^[1-2]. 常用钢坯标示方法主要以冲印式和电弧喷涂式为主. 冲印式标示的特点在于: 钢坯表面不需任何处理, 字符一次成型, 可永久保存; 因为在标示过程中字模高频次接触红热钢坯, 对字模的材质及成型性能要求较高, 余热易通过字模向标示系统内部传递, 给控制系统造成安全隐患^[3]. 电弧喷涂式标示的特点在于: 标示机构不与钢坯接触, 避免了钢坯余热对控制系统的不利影响, 字符大小可调, 喷涂前需除去钢坯氧化皮; 受其工作原理限制, 字符笔画宽度大, 不适用于小字符标示^[4], 因丝材熔点较低, 标示完

成后, 钢坯不宜进行后续热处理. 可见, 常用标示方法不能同时满足小规格钢坯端面的多字符标示及后处理需求.

本文提出一种新的钢坯端面标示方法, 即通过高能束枪对钢坯表面进行刻蚀. 高频电弧将电极间的空气离子化, 当喷嘴移动至工件表面时, 高压气体将极细的弧柱沿喷嘴吹出, 切口处的材料迅速融化, 借助高压气流将熔融金属吹出, 形成轨迹^[5]. 此方法的优点在于, 枪体不与钢坯接触, 采用去除材料的方式, 后续热处理工艺对标示内容无影响; 不需处理氧化皮, 标示深度可达 5 mm, 字符大小可调, 笔画宽度细, 可实现小范围内的多字符标示.

收稿日期: 2015-01-12; 修回日期: 2015-03-30

作者简介: 傅 旻 (1963—), 男, 北京人, 教授, fumin@tust.edu.cn.

1 标示机构设计

1.1 标示机构的实现形式

标示机构是实现高能束标示的载体,其动作的实现过程直接影响标示效果.因直角坐标型工业机器人具有位置精度高、控制无耦合、避障性好等特点,综合考虑设备运动要求及成本,选用直角坐标型工业机器人的结构形式进行设计^[6],如图1所示.图1定性描述了机构沿点 P_a 移至点 P_b 时,各轴轨道的运行情况.因滚珠丝杠摩擦力小,响应迅速,动作安全可靠,传动效率高达90%以上,故选用滚珠丝杠作为直线驱动机构^[7].伺服电机驱动 X 、 Y 、 Z 三个方向滚珠丝杠协调运动,带动枪体按预定轨迹完成包括数字、字母、特殊字符在内的符号成型,将相关信息标示至钢坯表面.

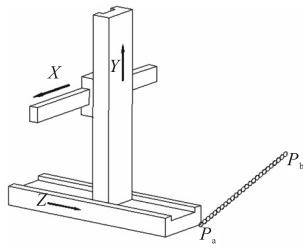


图1 直角坐标型机器人示意图

Fig. 1 Sketch of Cartesian coordinatng robot

标示机构中的每个杆件可视为刚体,给定刚体上任一点的位置和姿态,则刚体在空间上可用唯一的位姿矩阵进行描述:设坐标系 $\{i\}$ 和坐标系 $\{j\}$ 具有相同的姿态,但坐标原点不重合,在选定的坐标系 $\{j\}$ 中,对标示机构工作空间内一点 $P(x, y, z)$,沿矢量 $[p_{ij}] = p_x[i] + p_y[j] + p_z[k]$ 平移,其中 p_x 、 p_y 、 p_z 分别为点 P 在坐标系 $\{j\}$ 中的坐标分量, $[i]$ 、 $[j]$ 、 $[k]$ 分别为直角坐标系中 X 、 Y 、 Z 坐标轴的单位矢量,可得到用于描述杆件平移变换的齐次坐标变换矩阵

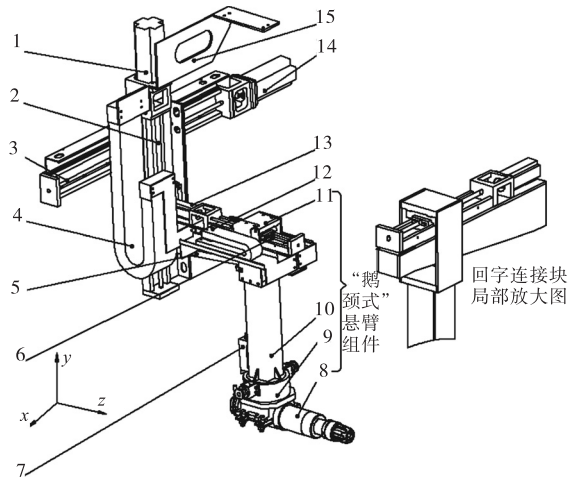
$$[M] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & p_x \\ 0 & 1 & 0 & p_y \\ 0 & 0 & 1 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

根据上述坐标变换原理,将各项平移组合起来,即可实现复杂的坐标变换^[7].因为标示机构工作时与红热钢坯(温度为600℃左右)间的距离小,设备中的电气元件易受辐射热影响,为保证控制系统的稳定

性,在直角坐标型结构的基础上,将标示机构设计成“鹅颈式”悬臂结构.标示字符采用笔画式(类似书写形式),相比冲印式的单个字符成型时间更长,要求机构短时间内快速响应,在频繁的加减速运动中,满足稳定性要求.

1.2 标示机构模型的建立

标示机构由包括三个方向的滚珠丝杠及对应的伺服电机、高能束枪体和“鹅颈式”悬臂组件等组成.根据现场工况以及字符大小、个数、行数等要求选择适当的丝杠行程,综合工作空间、标示区域、组件运动行程等因素,初步设计标示机构的结构形式如图2所示. X 、 Y 向的丝杠用于实现枪体沿钢坯端面的运动.基于高能束枪体的工作特性,枪体距钢坯的距离应控制在20mm以内;钢坯经切割后,端面质量的一致性较差,常出现一定的倾角(一般不大于3°),故 Z 向丝杠运动用于补偿因断面倾斜等因素造成的距离差,以保证标示的正常进行.



1. Y向电机; 2. Y向滚珠丝杠; 3. X向滚珠丝杠; 4. Y向拖链; 5. Z向悬臂; 6. Z向滚珠丝杠; 7. 报警装置; 8. 高能束枪体; 9. 旋转保护装置; 10. 连接立梁; 11. 回字结构; 12. Z向拖链; 13. Z向电机; 14. X向电机; 15. X向拖链拖板

图2 标示机构结构图

Fig. 2 Configuration schema of the marking mechanism

2 标示机构模态分析及改进

2.1 模态分析

由于高能电弧的弧柱较细,标示字符笔画宽度窄,加之标示机构组成相对复杂,在每个字符的标示中丝杠都需经过“加速—匀速—减速”阶段.为确定标示机构的固有频率,避免共振现象的发生,需要对机构模态进行分析.模态分析是对结构固有频率

和振型的描述,其实质是求解具有有限个自由度的无阻尼、无外载状态下,运动方程的模态矢量(忽略结构阻尼对模态频率及振型的影响)^[8]。

为便于分析,在保证结构特性的基础上对模型作简化:除去结构中的螺纹、小圆孔、狭小面、小凸台、圆角等对机构性能无明显影响的特征,以利于网格划分;假定结构中涉及的螺栓连接均为刚性连接。

选用 ANSYS Workbench 默认的分块 Lanczos 法特征值求解器。由振动理论可知:低阶模态在系统机械振动过程中起主要作用,较高阶模态振型对系统影响不大,故仅分析模型前六阶模态^[9]。

将简化后的 UG 模型导入至 Workbench 工作界面,通过定义材料属性和单元类型、划分网格、施加约束、模态分析等操作,得出模型的前六阶振型。图 3 给出了对标示效果影响明显的一阶和五阶振型图。表 1 给出了前六阶的模态分析结果及振型说明。

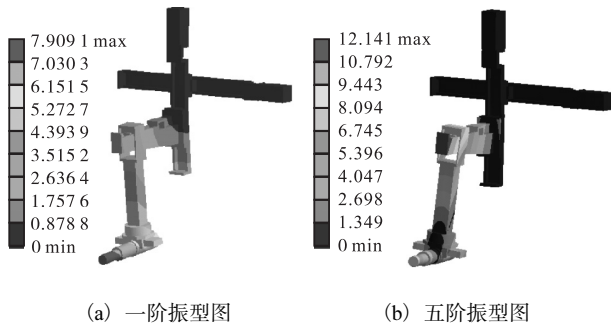


图 3 标示机构的部分模态振型图

Fig. 3 Partial modal shapes of the marking mechanism

表 1 模态频率与振型描述

Tab. 1 Mode frequencies and shapes

阶数	频率/Hz	振型描述
1	16.855	悬挂标示组件沿 X 轴的前后摆动
2	22.244	悬挂标示组件沿 Y 轴的左右摆动
3	62.299	悬挂标示组件沿 Z 轴的弯曲, Y 向丝杠沿 X 轴的前后摆动
4	71.858	Y 向电机沿 X 轴的前后摆动
5	76.191	悬挂标示组件沿 Y 轴的扭转
6	110.31	X 向电机沿 X 轴的前后摆动

由模态分析可知:标示机构前六阶多为局部模态,涉及了 X、Y、Z 方向的摆动,扭转和弯曲;标示机构的最低模态频率为 16.855 Hz,而伺服电机在 3 个方向上的驱动频率分别为 732、1 173、199 Hz,远大于机构最低固有频率,不存在共振危险;但枪体摆动幅度明显,机构的刚性还需进一步提升。

2.2 结构改进

对标示机构采取了如表 2 所示的改进措施。改进后的结构形式见图 4。

表 2 结构改进措施

Tab. 2 The improved structure

机构薄弱项	改进措施
Y 向丝杠刚性	增加辅助滑轨,以增大固定端接触
回字结构刚性	增加回字结构板厚,增设侧向辅助滑轨以增大固定端接触
Z 向悬臂支撑	在悬臂变截面处加设支撑肋板,同时在悬臂末端焊接支撑肋板

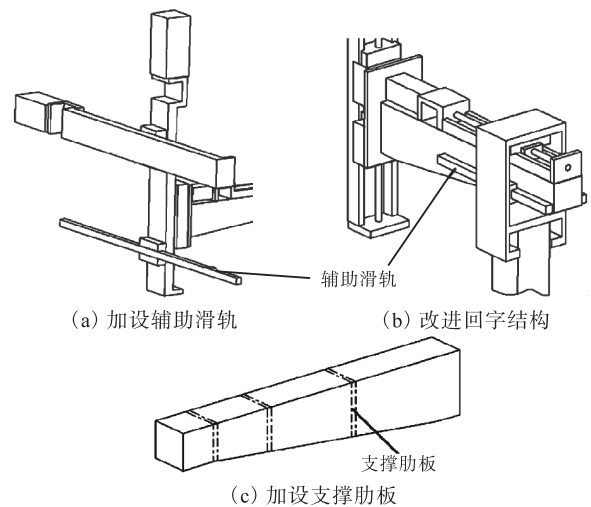


图 4 改进结构示意图

Fig. 4 Sketch of the improved structure

对改进后的结构进行模态分析,部分振型见图 5。改进后模型的前六阶模态频率见表 3。在前六阶模态振型中整体模态占多数,模型最低频率由 16.855 Hz 提高至 37.592 Hz,提高 123.03%,在不引起共振的前提下,结构刚性显著提高。通过振型对比可知:辅助滑轨增加了 Y 向丝杠的固定面,摆动现象得到明显改善,悬挂部分的摆动和弯曲情况有所缓解,改进方案对设备刚度贡献明显。

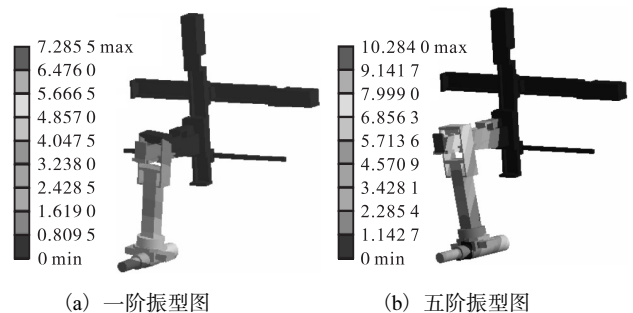


图 5 优化后标示机构的部分模态振型图

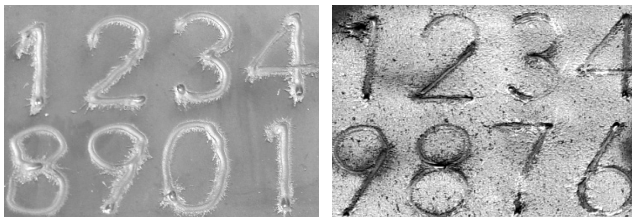
Fig. 5 Partial modal shapes of the improved marking mechanism

表 3 改进前后的模态频率对比

Tab. 3 Comparison of mode frequencies before and after improvement

阶数	频率/Hz	增量/%	阶数	频率/Hz	增量/%
1	37.592	123.07	4	114.48	59.31
2	45.773	105.80	5	117.16	53.77
3	73.427	17.86	6	127.19	15.30

两种方案下样机的标示效果见图 6。可以看出：原方案的字符有明显抖动的现象，弧线段不圆滑，机构虽能完成标示内容，但字符笔画失稳严重，不美观；改进方案的笔画流畅、工整，改善效果明显。



(a) 原方案 (b) 改进方案

图 6 改进前后的标示效果对比

Fig. 6 Marking effect of the original and improved structure

3 结 语

在对比不同标示方法基础上，本文采用高能束枪体设计了直角坐标型钢坯在线标示机构，能够满足小规格钢坯标示多字符以及热处理后字符清晰可辨

的设计要求。利用 ANSYS Workbench 软件对标示机构进行模态分析可知，机构不会发生共振，但机构摆动幅度明显，对标示不利。结构改进后标示机构的固有频率提高，标示效果明显改善。

参考文献：

[1] 傅旻, 张恒, 潘存海. 新型钢坯电弧喷号机的研制[J]. 天津科技大学学报, 2012, 27(1): 57-61.

[2] 傅旻, 宗庆勋. 小方坯端面标示设备写字机构的动态特性分析[J]. 天津科技大学学报, 2014, 29(2): 54-59.

[3] 陈铭. 热钢坯端面打号机关键技术的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.

[4] 张志胜. 热钢坯电弧喷涂标记系统优化研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2010.

[5] 吴子健. 热喷涂技术与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.

[6] 肖南峰. 工业机器人[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.

[7] 张铁, 谢存禧. 机器人学[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2003.

[8] 曹妍妍, 赵登峰. 有限元模态分析理论及其应用[J]. 机械工程与自动化, 2007(1): 73-74.

[9] 宫文峰, 黄美发, 张美玲, 等. 基于 ANSYS Workbench 的倒装键合机钣金件模态分析与实验[J]. 机械设计, 2014, 31(8): 101-105.

责任编辑: 常涛