

机 电 学 院

053

序号	姓名	职 称 或学历	单位	论文题目	刊物、会议名称	年、卷、期
1	刘耀东 吴洪涛	硕士生 教 授	053	新型仿生介入机器人推进方式	应用科技	2009年36卷12期
2	陈柏 杨朋飞 吴洪涛	副教授 硕士生 教授	053	模拟主动脉环境中仿生介入机器人力学性能研究	中国机械工程	2009年20卷14期
3	王文权	硕士生	053	一种新型仿生介入微机器人的研究	机械工程与自动化	2009年总153期
4	陈柏 吴洪涛	副教授 教 授	053	螺旋式单链介入机器人的研究	中国机械工程	2009年20卷17期
5	陈柏 吴洪涛	副教授 教 授	053	一种基于腹足动物运动机理的介入机器人	南京航空航天大学学报	2009年41卷5期
6	赵大旭 吴洪涛	博士生 教 授	053	Dynamic Analysis on the underwater swimming Robot	2009IEEE International Conference on robotics and biomimetics	2009
7	赵大旭 吴洪涛	博士生 教 授	053	Kinematics and Dynamics Analysis of a Bionic Interventional Micro-robot	Proceedings of Second International Conference on Modelling and Simulation	2009
8	高宏彦 周燕飞	硕士生 教 授	053	闷头间隙对超固瓦钢薄壁筒件的影响	南京工业职业技术学院学报	2009年9卷2期
9	金立波 周燕飞	硕士生 教授	053	基于C/S体系的分布式PDM系统安全性研究	机械制造与自动化	2009年38卷1期
10	王笃侠 冷晟 周燕飞	硕士生 教授 教授	053	单件小批量生产模式下的MRP算法改进	现代逆向工程	2009年2卷
11	李建民 周燕飞	硕士生 教授	053	基于知识和多色图论的PDM版本控制研究	机械与电子	2009年2卷
12	罗福源	讲师	053	An Optimal Scheduling Algorithm for the Motion Control of Step and Scan Lithography	10th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision	2008年
13	崔慧敏 王宏涛	硕士生 教授	053	基于CAN总线的活塞销外圆直径监测系统	传感器与微系统	2009年28卷7期
14	黎安兵 王宏涛	硕士生 副教授	053	基于机器视觉的几何量精密测量系统	传感器与微系统	2009年28卷4期
15	余厚云	讲师	053	直线模型下的车道线跟踪与车道偏离检测	自动化仪表	2009年30卷11期
16	余厚云	讲师	053	基于动态感兴趣区域的车道线识别与跟踪	工业仪表与自动化装置	2009年5期
17	余厚云	讲师	053	基于摄像机模型的运动车辆车道偏离检测	东南大学学报	2009年39卷5期
18	李万军 赵东标	硕士生 教授	053	ALGORITHM OF PENCIL-CUT TOOL PATH GENERATION FOR FIVE-AXIS NC MACHINING OF COMPLEX POLYHEDRON	International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation	2009
19	王海涛 赵东标	博士生 教授	053	Research and implementation of NURBS real-time and look-ahead interpolation algorithm	International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation	2009
20	赵世田 赵东标	博士生 教授	053	Algorithm of Variable Forward Step Size Planning in Freeform Surface Machining	Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Information and Automation	2009

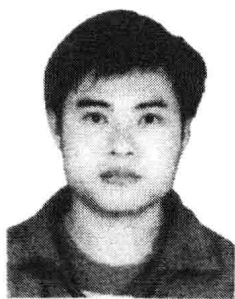
21	陈盛 赵东标	硕士生 教授	053	基于80486模块的嵌入式数控系统设计	机械与电子	2009年6月
22	李燕兵 赵东标	硕士生 教授	053	基于实际位置反馈信号的矢量法插补研究	机械科学与技术	2009, 28 (8)
23	李志梅 赵东标	硕士生 教授	053	风电机组电动变桨距传动机构设计与仿真	机械传动	2009
24	张威 赵东标	博士 教授	053	位模式插补与位插补速度控制算法研究	计算机集成制造系统	2009, 15 (1)
25	张威 赵东标	博士 教授	053	一种位插补数据生成算法以及位插补误差分析	小型微型计算机系统	2009, 30 (8)
26	王海涛 赵东标	博士 教授	053	CNC自适应速度前瞻控制算法的研究	机械科学与技术	2009, 28 (3)
27	赵钦君 赵东标	博士生 教授	053	Research and Improvement on Scale Invariant Feature Transform	Proceedings of Second International Conference on Modelling and Simulation	2009年3卷
28	陆永华	副教授	053	六维力/加工电流模糊控制电解加工间隙的方法	南京航空航天大学学报	2009, 40(1)
29	陆永华	副教授	053	基于信息融合的叶片加工间隙在线检测方法	东南大学学报	2009, 39(1)
30	薛燕 赵传萍	硕士生 副教授	053	基于视觉技术的边缘跟踪轮廓测量系统	机械设计与制造	2009年7期
31	方勇 赵传萍	硕士生 副教授	053	加工中心运动误差在线视觉检测方法研究	机械设计与制造	2009年5期
32	刘凯 陆永华 赵东标	讲师 副教授 教授	053	参数曲线自适应加减速控制方法在弧齿锥齿轮数控加工中的应用	机械工程学报	2009年45卷12期
33	刘凯 赵东标 陆永华	讲师 教授 副教授	053	机器人学课程教学改革探析	南京航空航天大学学报 (社会科学版) 高等教育研究	2009年11卷2期
34	王笃侠 冷晟	硕士生 副教授	053	单件小批量生产模式下的MRP算法改进	现代制造工程	2009年02期
35	徐金忠 梁睿君 叶文华	硕士生 讲师 教授	053	机床温度与热误差实时检测系统的开发	机械制造	2009年47卷3期
36	梁睿君 叶文华	讲师 教授	053	薄壁零件铣削加工系统动态性能测试与分析	南京理工大学学报	2009年33卷6期
37	梁睿君 叶文华	讲师 教授	053	薄壁零件高速铣削稳定性预测与验证	机械工程学报	2009年45卷11期
38	王化明 朱剑英 叶克贝 何均 游有鹏	讲师 教授 硕士生 博士生 教授	053	介电弹性体线性驱动器研究	机械工程学报	2009年45卷7期
39	王化明 李成刚	讲师 讲师	053	A Linear Dielectric EAP Actuator with Large Displacement Output	International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation	2009
40	王化明 朱剑英 叶克贝	讲师 教授 硕士生	053	Simulation, experimental evaluation and performance improvement of a cone dielectric elastomer actuator	Journal of Zhejiang University SCIENCE A	2009年10卷9期
41	李成刚 缪群华 吴宏涛	讲师 讲师 教授	053	四元数表示的球面机构运动学分析	组合机床与自动化技术 加工技术	2009年11期

42	李成刚 王化明 朱剑英	讲师 副教授 教授	053	Dynamic Analysis of 2-DOF Spherical Parallel Mechanism	Transactions of Nanjing University of Aeronautics&Astronautics	2009年26卷2期
43	褚晓霞 叶文华	硕 士 教 授	053	无线DNC系统性能测试与可靠性分析	工业控制计算机	2009, 22(1)
44	王冉 叶文华	硕士生 教授	053	零件加工尺寸在线检测系统的设计与实现	CAD/CAM与制造业信息化	2009年4期
45	梁瑞敏 叶文华	硕士生 教授	053	抢钻在数控车床上的深孔加工应用	机械与电子	2009(4)
46	肖波 叶文华	硕士生 教授	053	工装MES生产调度和进度跟踪模块的研究与开发	机械制造与自动化	2009, 38(2)
47	刘荣萍 叶文华	硕士生 教授	053	端面环形槽数控加工编程优化方案分析	金属加工(冷加工)	2009, (12)
48	陈琪琪 叶文华	硕士生 教授	053	基于交货期和设备能力约束的作业车间调度方法研究	制造业自动化	2009, 31(3)
49	马渝涛 叶文华	硕士生 教授	053	基于嵌入式的数控机床状态信息监测系统的设计	机械制造与自动化	2009, 38(1)
50	祝恒云 叶文华	博 士 教 授	053	模拟退火粒子群算法在动态单元布局中的应用	中国机械工程	2009, 20(2)
51	刘世豪 叶文华 陈蔚芳 章婷	博士生 教授 教授 博士生	053	Simulation and experiment Study for Spindle of Mumerical Control Machine Tool	Applied Mechanics and Materials	2009, 16-19
52	庄熙星		053	机电一体化实验教学探索与实践	实验室科学	2009年3期
53	王键 孙志峻	硕 士 副教授	053	双足防人机器人的设计与步态分析	机械与电子	2009年11期
54	孙志峻 黄卫清	副教授 教授	053	Control of robot driven by multiple nltrasomic motors based on robust parameter design	Transactions of Nanjing University of Aeronautics&Astronautics	2009年26卷4期
55	孙志峻 黄卫清	副教授 教授	053	超声电机驱动多关节机器人的类PID小波神经网络控制	机械工程学报	2009年45卷3期
56	孙志峻 黄卫清	副教授 教授	053	多超声电机控制的鲁棒性参数设计	中国机械工程	2009年20卷19期
57	郭坚毅 王化明 朱剑英	博士后 副教授 教授	053	Gas fuel-Powered Hopper	Transactions of Nanjing University of Aeronautics&Astronautics	2009年26卷1期
58	郭坚毅 朱剑英 王化明 王正东	博士后 教授 副教授 博士生	053	单动发动机式弹跳机构的控制与实现	机械科学与技术	2009年28卷1期
59	邵泽明 朱剑英	博士生 教授	053	自适应分层粒子群稠密视图估计	中国图像图形学学会	2009年14卷4期
60	韩江以 游有鹏 王化明 朱剑英	博士生 教授 副教授 教授	053	一种带力传感的微夹持器设计及实验	机器人	2009年01期
61	何均 游有鹏 陈浩 王化明	博士生 教授 硕士生 副教授	053	步进运动控制系统最优插补周期研究	中国机械工程	2009年23期

62	韩江以 游有鹏 王化明 朱剑英	博士生 教授 副教授 教授	053	并联机构力传递的分析	机器人	2009年06期
63	张少坤 游有鹏 王荣	硕士生 教授 硕士生	053	嵌入式系统硬件平台的软件PLC实现方法	单片机与嵌入式系统应用	2009年04期
64	张少坤 游有鹏	硕士生 教授	053	基于Lex&Yace的PLC指令编译器的研究与实现	可编程控制器与工厂自动化	2009年05期
65	杨文安 游有鹏	博士生 教授	053	杠杆式力标准自动控制系统设计与开发	自动化仪表	2009年01期
66	杨军 游有朋	硕士生 教授	053	基于ARM和 μ C/OS-II的嵌入式数控车床系统的设计	机械制造与自动化	2009年01期
67	邢印姣 游有鹏 杨雪峰	硕士生 教授 硕士生	053	基于有限状态机的PS/2协议的实现	可编程控制器与工厂自动化	2009年12期
68	吴欢欢 游有鹏	硕士生 教授	053	基于LabVIEW软件和ActiveX技术的指针式仪表检测系统	电工电气	2009年02期
69	王荣 游有鹏 张少坤	硕士生 教授 硕士生	054	基于Xenomai的实时Linux分析与研究	单片机与嵌入式系统应用	2009年02期
70	吕孟军 游有鹏 何均	硕士生 教授 博士生	053	莫尔条纹噪声控制及细分精度分析	西安电子科技大学学报	2009年01期
71	李英 游有鹏	硕士生 教授	053	FPGA的时钟频率同步设计	单片机与嵌入式系统	2009年12期
72	朱玉川	副教授	053	电反馈式超磁致伸缩伺服阀的理论研究	机械科学与技术	2009年28卷2期
73	郑学刚 赵宇 吴洪涛	硕士生 副教授 教授	053	机床热误差建模及检测系统模块设计	电子测量与仪器学报	2009年23卷9期
74	赵宇	副教授	053	GM(1,1)模型在虚拟仪器测量过程控制中的应用	哈尔滨工业大学学报	2009年41卷7期
75	陈蔚芳薛建彬唐敦兵	教授 副教授 教授	053	Deformation prediction and error compensation in multilayer milling processes for thin-walled parts	International Journal of Machine Tools & Manufacture	2009, v 49, n 11
76	陈蔚芳薛建彬楼佩煌	教授 副教授 教授	053	A Collaborative Design and Analysis Environment for Flexible Fixture	Key Engineering Materials	2009, 407-408
77	陈蔚芳徐九华沈正华	教授 教授 硕士生	053	Cutting Parameters Optimization of Thin-walled Workpiece Based on Deflection Control	Key Engineering Materials	2009, 407-408
78	陈蔚芳楼佩煌陈华	教授 教授 硕士生	053	薄壁件加工变形主动补偿方法	航空学报	2009, 30(3)
79	陈蔚芳陈华楼佩煌	教授 硕士生 教授	053	薄壁件加工变形控制快速仿真平台开发	计算机集成制造系统	2009,15(2)
80	陈蔚芳陈华倪丽君	教授 硕士生 硕士生	053	基于GA和FEM的夹具布局和变夹紧力优化设计	数值计算与计算机应用	2009,30(1)
81	罗辉陈蔚芳叶文华	硕士生 教授 教授	053	机床立柱灵敏度分析及多目标优化设计	机械科学与技术	2009,28(4)
82	沈正华陈蔚芳	硕士生 教授	053	基于仿真数据的误差处理	机械制造与自动化	2009,(4)

83	楼佩煌 武星 王佳溶	教授 博士生 硕士生	053	Path Planning and Control for Multiple AGVs Based on Improved Two-Stage Traffic Scheduling	International Journal of Automation Technology	2009, v 3, n 2
84	武星 楼佩煌	博士生 教授	053	基于运动预测的路径跟踪最优控制研究	控制与决策	2009,24(4)
85	武星 楼佩煌 杨雷	博士生 教授 高工	053	基于视野状态分析的机器人路径跟踪智能预测控制	机器人	2009, 31(4)
86	武星 楼佩煌 杨雷	博士生 教授 高工	053	基于多智体的AGV嵌入式控制器研究与设计	机械科学与技术	2009, 28(6)
87	武星 楼佩煌 唐敦兵	博士生 教授 教授	053	A multi-agent controller on embedded system for complex mechatronics	Chinese Control and Decision Conference	2009,3013-3018
88	王骁勇 唐敦兵 楼佩煌	博士生 教授 教授	053	An Ergonomic Assembly Workstation Design Using Axiomatic Design Theory	16th ISPE International Conference on Concurrent Engineering	2009,403-412
89	王骁勇 唐敦兵 楼佩煌	博士生 教授 教授	053	Information-axiom-based evaluation approach to facility layout problem	Transactions of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics	2009, v 26, n 3
90	喻俊 楼佩煌 武星	博士生 教授 博士生	053	A dual-core real-time embedded system for vision-based automated guided vehicle	2009 IITA International Conference on Control, Automation and Systems Engineering	2009,207-211
91	孙勇 楼佩煌 钱晓明	硕士生 教授 副教授	053	感应耦合功率传输技术高频逆变环节研究与应用	电工电气	2009,(3)
92	孙勇 楼佩煌 吴亮亮	硕士生 教授 硕士生	053	非接触供电系统的应用平台研究	工业控制计算机	2009,22(3)
93	郭超 楼佩煌 蔡祺祥	硕士生 教授 硕士生	053	基于IRMCK201和DSP的永磁同步电机数字化控制平台设计	工业控制计算机	2009,22(2)
94	雷启华 郭超	硕士生 硕士生	053	基于IRMCK201芯片和DSP的交流伺服系统设计	电工电气	2009,(12)
95	吴亮亮 楼佩煌 孙勇	硕士生 教授 硕士生	053	基于TMS320F2812的移相全桥开关的设计	电工电气	2009,(7)
96	吴亮亮 楼佩煌 钱晓明 张炯	硕士生 教授 副教授 博士生	053	基于 $\mu c/os-II$ 的数字量输入检测方法	工业控制计算机	2009,22(12)
97	孙欢庆 楼佩煌	硕士生 教授	053	基于SIMULINK的交流异步电机矢量控制系统仿真	电气开关	2009,(3)
98	张亮 楼佩煌 胡武茹 王卫楠	硕士生 教授 硕士生 硕士生	053	一种改进型遗传算法在FMS刀具调度中的应用	工业控制计算机	2009,22(9)
99	顾佳炜 楼佩煌	硕士生 教授	053	基于无线射频识别技术的AGV导航方法的研究	电工电气	2009,(144)

100	侯隆斌 钱晓明 楼佩煌 吴亮亮	硕士生 副教授 教授 硕士生	053	感应耦合电能传输系统拾电器的设计	工业控制计算机	2009,22(10)
101	唐敦兵 朱仁森 戴胜 张广军	教授 博士生 硕士生 硕士生	053	Enhancing Axiomatic Design with Design Structure Matrix	Concurrent Engineering: Research & Applications	2009年17卷02期
102	唐敦兵 张广军 戴胜	教授 硕士生 硕士生	053	Design as Integration of Axiomatic Design and Design Structure Matrix	Robotics & Computer Integrated Manufacturing	2009年25卷3期
103	王雷 唐敦兵	博士生 教授	053	A New Adaptive Genetic Algorithm for Job-shop Scheduling	Materials Science Forum	2009年626-627卷
104	唐敦兵 王雷	教授 博士生	053	Modelling of Bio-inspired Manufacturing System	6th International Conference on Digital Enterprise Technology	2009
105	唐敦兵 朱仁森	教授 博士生	053	Functional Reverse Engineering for Re-creation Design	6th International Conference on Digital Enterprise Technology	2009
106	王骁勇 唐敦兵	博士生 教授	053	An Ergonomic Assembly Workstation Design Using Axiomatic Design	16th ISTP International Conference on Concurrent Engineering	2009
107	徐荣华 唐敦兵	硕士生 教授	053	基于功能本体的再创新设计策略研究	工程设计学报	2009年12卷6期
108	张广军 唐敦兵	硕士生 教授	053	基于改进型功能方法树的公理化设计	工程设计学报	2009年12卷01期
109	朱春燕 唐敦兵	硕士生 教授	053	基于公理化设计的产品模块划分方法	机械科学与技术	2009年25卷9期
110	王雷 唐敦兵	博士生 教授	053	基于正交试验的PID控制可重构制造系统生产能力优化	中国机械工程	2009年20卷12期
111	王雷 唐敦兵	博士生 教授	053	基于粒子群优化算法的制造单元聚类研究	计算机集成制造系统-CIMS	2009年15卷2期
112	王雷 唐敦兵	博士生 教授	053	Bio-inspired self-adaptive manufacturing system control architecture	南航学报英文版	2009年26卷2期
113	王雷 唐敦兵	博士生 教授	053	基于激素调节机制IAGA在作业车间调度中的应用研究	农业机械学报	2009年40卷10期
114	许美健 唐敦兵	硕士生 教授	053	基于改进型自适应遗传算法动态任务分配	机械科学与技术	2009年28卷12期
115	张广军 唐敦兵	硕士生 教授	053	基于改进型功能方法树的产品概念设计	机械设计与制造	2009年1期
116	戴胜 唐敦兵	硕士生 教授	053	基于公理化设计与TRIZ集成的产品设计模型	中国制造业信息化	2009年38卷3期



罗 辉

机床立柱灵敏度分析及多目标优化设计

罗 辉, 陈蔚芳, 叶文华

(南京航空航天大学 机电学院, 南京 210016)

摘 要: 在同步双驱精密卧式加工中心立柱的优化设计中, 建立了机床立柱的有限元模型, 并对其进行了静力学和模态分析。对机床立柱的几何参数进行动静态特性的灵敏度分析, 确定了对立柱动静态特性有较大影响的几何参数。并以它们为优化设计变量, 在有限元协同仿真环境下, 对机床立柱进行了多目标优化, 最终用层次分析法从生成的方案中选出最优解。从而在控制机床立柱重量的前提下, 提高了机床立柱的动静态特性。

关 键 词: 机床立柱; 有限元; 灵敏度分析; 多目标优化

中图分类号: TG5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-8728(2009)04-0487-05

Sensitivity Analysis and Multi-objective Optimization Design of a Machine Column

Luo Hui, Chen Weifang, Ye Wenhua

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

Abstract In the optimization design of a machine column of synchronous dual-drive precision horizontal machining center, a finite element model for the machine column is built and the vibration modal analysis and static analysis are performed. Then the sensitivity analysis based on dynamic and static performance of the geometrical parameters of the machine column is performed, and the geometrical parameters which have quite a big impact on machine column are determined. Furthermore, the multiobjective optimization design of the machine column is performed with these geometrical parameters as the design variables under the collaborative simulation environment of finite element. Finally, the optimal solution is selected from the generated schemes by AHP (Analytic Hierarchy Process). As a result, the dynamic and static performances of the machine column are improved under the control of the machine column mass.

Key words machine column; finite element analysis; sensitivity analysis; multiobjective optimization

机床立柱是同步双驱精密卧式加工中心的重要部件之一, 其结构连接箱中箱结构和床身。它是机床的核心结构, 是加工中心刚度的主要影响部件, 直接影响到整机的工作性能。所以提高立柱的静态刚度和动态特性, 对于保证零件的加工精度具有十分重要的意义。

以前, 国内对机床立柱等大件一般采用经验设计, 多数停留在静态设计阶段。近年来, 人们逐渐意

识到进行 CAE 分析的重要性, 尤其是机床的动态特性对精密机床加工精度的影响, 推出了很多动态设计机床的方法^[1~3]。然而多数优化方法将重点放在怎样单个提高机床的前几阶固有频率上, 很少考虑各阶模态所具有的权重因子大小, 且在优化时很少有人同时考虑机床的动静态特性。

本文通过各阶模态所具有的权重因子将立柱的前三阶模态固有频率作为整体, 并将其作为一个目标函数, 然后把静力学分析得到的机床立柱最大变形量和机床立柱质量也作为目标函数。这样就可以保证在机床立柱质量不明显增加的基础上, 同时提高机床立柱的动静态特性。

收稿日期: 2008-06-23

基金项目: 江苏省科技成果转化专项项目 (BA2007072) 资助

作者简介: 罗 辉 (1982-), 硕士研究生, 研究方向为 CAD/CAM /

CAE/CAPP; 陈蔚芳 (联系人), 副教授, 博士, meewfchen@

nuaa.edu.cn

1 机床立柱的动静力学分析

1.1 机床立柱有限元模型的建立

有限元模型的建立是动静力学分析的基础。可以基于 CAD 软件或有限元软件完成。由于机床立柱结构比较复杂, 故在 Solidworks 里对其建模。建模时要对模型进行适当的简化, 以避免小特征和小结构件在进行有限元网格划分时, 产生大量的有限元单元, 加大计算机的计算时间以及降低网格质量和结构分析精度。简化的内容主要有:

- (1) 忽略 CAD 模型中的所有小特征, 包括倒角、倒圆、小孔以及凸台等。
- (2) 忽略对整机动、静态特性影响小的零部件结构^[4]。

根据以上原则建立的同步双驱精密卧式加工中心立柱模型如图 1 所示。机床立柱的主要尺寸如表 1 所示。

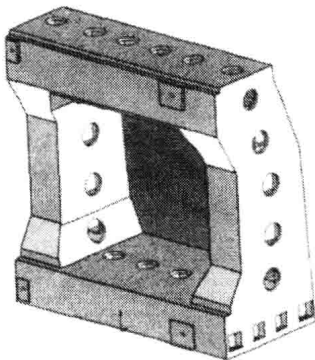


图 1 Solidworks 中的立柱模型

表 1 机床立柱的主要尺寸

参数名称	尺寸大小 (mm)
底部筋板厚度	20
顶部筋板厚度	20
外壳厚度	25
中间切除部位 Z 方向长度	100
中间切除部位 Y 方向长度	200
两侧厚度	300
侧面拉伸 X 方向长度	200
侧面拉伸 Y 方向长度	310

1.2 机床立柱的静力学分析

机床立柱的材料为 HT30Q 弹性模量为 1.3×10^{11} Pa 泊松比为 0.27, 密度为 7.35×10^3 kg/m³。采用默认网格划分即可。划分网格的有限元模型如图 2 所示。立柱模型被划分出 64440 个节点, 32316 个单元。

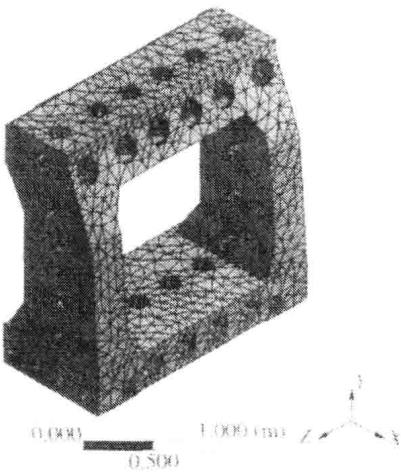


图 2 立柱的有限元模型

机床立柱的受力情况比较复杂, 为了便于分析, 我们将立柱的受力简化为: 在机床立柱和滚珠丝杠连接的部位, 施加 4 个 X、Y、Z 方向均为 10000 N 的集中载荷。

机床立柱底部 14 个地脚螺栓与床身固定连接, 故在螺栓孔面施加固定约束, 立柱底面施加无摩擦约束 (限制法向运动)。

静力分析求解结果见表 2。材料的安全系数全部在 15 以上, 从应力分析的角度, 材料抵抗破坏的能力还有很大的潜力, 可以通过结构优化来合理而又经济的使用材料。由表 2 可知, 机床立柱的静刚度 X 方向最差, Z 方向次之, Y 方向较好。X 和 Z 方向的刚度有待提高。可以对立柱的壁厚以及立柱的几个外形尺寸进行优化设计, 使 3 个方向上的结构强度和刚度分布趋于合理, 且最大限度地减轻结构的重量。

表 2 立柱静力学分析结果

最大应力 ($\times 10^7$ Pa)		最大位移 ($\times 10^{-4}$ m)			
最大等效应力	最大剪应力	X 向位移	Y 向位移	Z 向位移	结构总变形
2.1767	1.1353	1.150	0.5429	1.049	1.586

1.3 机床立柱的模态分析

模态分析主要用于确定设计中的结构或机器部件的振动特性——固有频率和振型。在结构的动态分析中,各阶模态所具有的权重因子大小随着该模态频率的增大而减小,这也就是说低阶模态特性基本决定了机床产品的动态性能^[5]。

在此只研究立柱的前 4 阶固有频率和振型 (如图 3~图 6 所示),分析结果如表 3 所示。

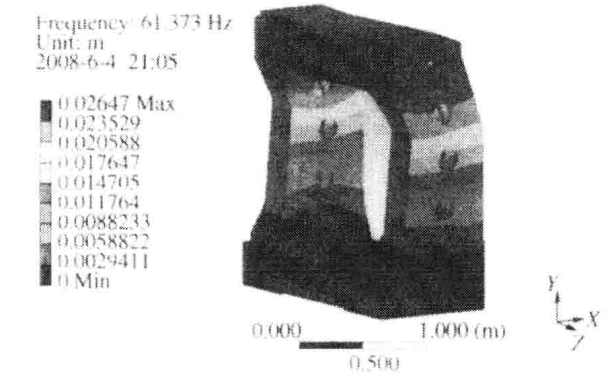


图 3 立柱 1 阶模态云图

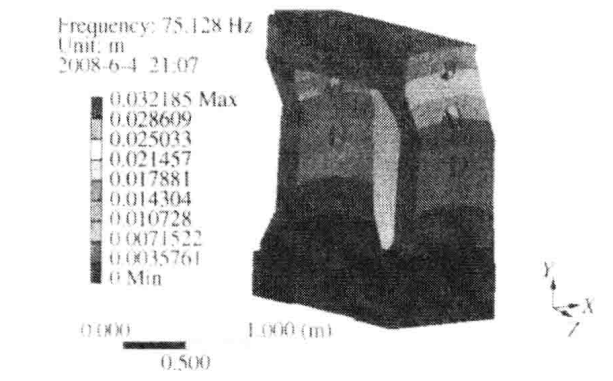


图 4 立柱 2 阶模态云图

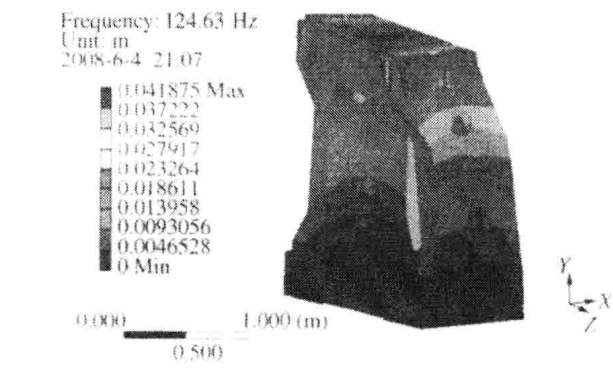


图 5 立柱 3 阶模态云图

表 3 立柱模态分析前 4 阶的固有频率及振型		
阶数	固有频率 (Hz)	振型
1	61.373	沿 Z 轴摆动
2	75.128	沿 X 轴摆动
3	124.63	左右扭动
4	195.26	上下凸振

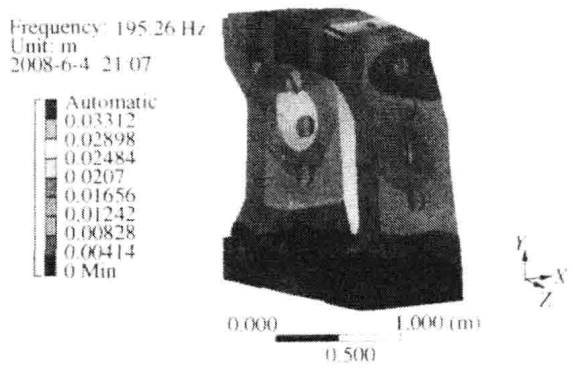


图 6 立柱 4 阶模态云图

通过对前 4 阶振型分析,发现前 2 阶主要是摆动,后两阶出现扭动和凸振。这说明目前立柱的壁厚,以及两侧的厚度使得立柱动刚度不足,必须对其进行优化设计。

2 机床立柱结构优化设计

2.1 立柱参数灵敏度分析

在结构改进过程中,为了避免结构修改的盲目性,必须采用有效的控制策略。目前广泛采用设计参数的灵敏度分析。其基本原理是:先通过一定的数学方法和手段,计算出结构的动静态性能参数随结构设计变量的变化灵敏度,然后选择那些对动静态特性影响较大的设计参数,并依据灵敏度值的大小和正负,对设计参数进行修正。通过结构的灵敏度分析,可以很方便地确定结构哪些部位改进对提高结构动静态特性最为有效,方便地找出最敏感的结构设计参数,再利用修改结构重新分析的方法,最终找到优化的结构动态设计方案^[6-7]。

对底部筋板厚度 (DS_DI@ 筋 1) 做静力分析的最大变形灵敏度分析 (如图 7 所示),以及前 3 阶模态频率灵敏度分析 (如图 8 所示)。

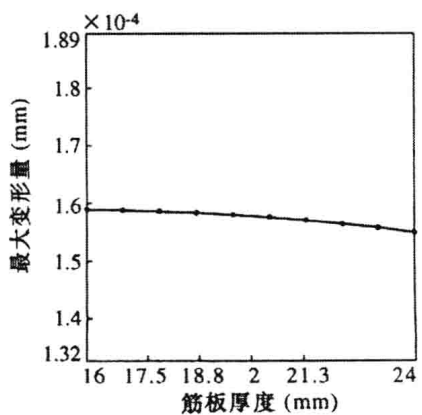


图 7 底部筋板厚度最大变形灵敏度分析

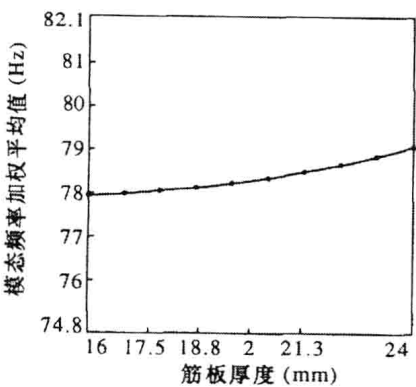


图 8 底部筋板厚度模态频率灵敏度分析

其中模态分析我们取前 3 阶模态频率的加权平均值 f 为目标函数。

$$f = 0.5 \times f_1 + 0.3 \times f_2 + 0.2 \times f_3$$

式中: f_1 为 1 阶模态频率; f_2 为 2 阶模态频率; f_3 为 3 阶模态频率; 0.5 0.3 0.2 分别为前 3 阶模态频率对应的权重因子。

通过图 7、图 8 发现增加底部筋板的厚度对立柱的动静态特性提高不大。对表 1 所示的 8 个立柱尺寸, 均进行类似的灵敏度分析, 发现侧面拉伸 X 方向长度 (DS-D4@ 草图 1)、两侧厚度 (DS_ D3@ 草图 2)、外壳厚度 (D1@ 抽壳 1), 这 3 个尺寸对立柱的动静态特性有着较大影响, 故把它们作为设计变量。将设计变量的变化范围设置为 20%, 如表 4 所示。

表 4 设计变量的取值范围

设计变量名称	初始值 (mm)	最小值 (mm)	最大值 (mm)
DS_ D4@ 草图 1	200	160	240
DS_ D3@ 草图 2	300	240	360
D1@ 抽壳 1	25	20	30

2.2 优化设计

立柱优化设计的目的是在可控制的立柱质量范围内, 尽可能的提高立柱的动静态特性, 所以选择表 5 所示参数为目标函数。

表 5 目标函数

目标函数名称	目标要求
立柱重量	越小越好
立柱最大变形量	越小越好
前 3 阶加权固有频率	越大越好

通过对目标函数, 所占的权重进行设置, 可以得到不同的优化方案。首先, 只把目标函数中“前 3 阶加权固有频率”设为“重要”, 其他设为“一般”。有限元分析软件会给出 3 组最大加权固有频率优化方案。然后将目标函数中“立柱最大变形量”设为“重要”, 其他设为“一般”。再次使用有限元分析软件求解, 可获得 3 组最小变形优化设计方案。这样我们就获得了 6 种设计方案。其中两种方案是相同的, 故共获得 5 种不同的设计方案, 如表 6 所示。

表 6 5 种设计方案

方案	设计变量 (mm)			总质量 (kg)	最大变形量 ($\times 10^{-4}$ m)	前 3 阶加权固有频率 (Hz)
	DS_ D4@ 草图 1	DS_ D3@ 草图 2	D1@ 抽壳 1			
A	162.5	356.31	24.573	3819.2	1.33	84.215
B	177.88	357.72	25.89	3898.6	1.31	84.543
C	193.24	357.01	23.805	3745.3	1.43	82.178
D	180.44	359.59	21.5	3604.2	1.50	82.147
E	195.8	358.89	22.817	3680.3	1.48	82.258

2.3 最优解

运用层次分析法从表 6 的 5 种设计方案中选择最优解。建立层次模型, 主要有 3 层: 总目标层, 准则层和方案层^[8]。其中总目标层为: 在控制立柱质量的同时, 提高立柱的动静态特性, 即减小总变形, 提高加权固有频率。准则层: 立柱质量、最大变形量、加权固有频率。方案层为表 6 所示 5 种参考设计方案。

在满足立柱的强度和精度的前提下, 立柱质量越小越好。也就是立柱质量的倒数越大越有优势。给出 A、B、C、D、E、F 这 5 种方案的质量倒数矩阵 $[1/3819.2 \ 1/3898.6 \ 1/3745.3 \ 1/3604.2 \ 1/3680.3]$ (1)

两两比较 5 种方案的质量倒数, 即 A 的质量倒数除以 A 的质量倒数得到第 1 行第 1 列数据, B 的质量倒数除以 A 的质量倒数得到第 2 行第 1 列数据, 依此类推得到矩阵

1

1. 0208

0. 9825

0. 9437

0. 9636

0. 9796

1

0. 9607

0. 9245

0. 9440

1. 0197

1. 0409

1

0. 9623

0. 9826

1. 0597

1. 0817

1. 0391

1

1. 0211

1. 0377

1. 0593

1. 0177

0. 9793

1

(2)

分别求各列的和, 得到矩阵

$$[5. 0967, 5. 2027, 5. 0000, 4. 8098, 4. 9113] \quad (3)$$

将矩阵 (2) 第 1 行各列的数据分别除以矩阵 (3) 对应列的数据, 所得结果求代数平均和, 依次对矩阵 (1) 的各行均做以上运算, 可得到矩阵

$$[0. 196, 0. 192, 0. 200, 0. 208, 0. 204] \quad (4)$$

矩阵 (4) 就是 5 种方案中立柱质量的优先级矩阵。

$$[0. 211, 0. 215, 0. 197, 0. 187, 0. 190] \quad (5)$$
$$[0. 202, 0. 203, 0. 199, 0. 198, 0. 198] \quad (6)$$

矩阵 (5) 和矩阵 (6) 是 5 种方案中最大总变形, 加权固有频率的优先级矩阵。

将 3 个评判准则的权重规定为 0. 4 0. 2 0. 4。再将各个方案对应的评判标准的优先级分别与对应的评判标准的权重相乘, 就可以得到各个方案的量化的指标。

$$[A, B, C, D, E] = [0. 196, 0. 192, 0. 200, 0. 208, 0. 204] \times 0. 4 + [0. 211, 0. 215, 0. 197, 0. 187, 0. 190] \times 0. 2 + [0. 202, 0. 203, 0. 199, 0. 198, 0. 198] \times 0. 4 = [0. 2014, 0. 2010, 0. 1990, 0. 1998, 0. 1988]$$

基于以上计算结果, 我们选择方案 A 作为最优设计方案。将模型按方案 A 的尺寸重建, 重新仿真分析, 并将分析结果和原设计进行比较, 如表 7 所示。通过比较我们可以发现, 我们在保持立柱质量变化不大的前提下, 立柱的静态特性和动态特性都得到了较为明显的提高。

表 7 优化前后结果对比

目标函数	原设计	优化后设计	结果比较
立柱质量 (kg)	3753. 7	3848. 4	+ 2. 5%
最大变形量 ($\times 10^{-4}$ m)	1. 5864	1. 3118	- 17. 3%
前 3 阶加权固有频率 (Hz)	78. 1509	84. 4642	+ 8. 1%

3 结束语

通过多目标优化, 充分考虑了立柱质量、静态特性、动态特性 3 者之间的关系, 使设计更加合理。运用层次分析法从生成的多种设计方案中选出最优解。通过分析比较, 证明该优化设计方法对于控制立柱质量, 提高立柱的动静态特性是有效的。利用本次分析结果指导立柱优化设计缩短了设计周期, 提高了产品性能。

[参考文献]

[1] 汤文成, 易红, 幸研. 加工中心床身结构分析 [J]. 机械强度, 1998, 20(1): 11~ 18

[2] 丛明, 房波, 周资亮. 车——车拉数控机床拖板有限元分析及

优化设计 [J]. 中国机械工程, 2008, 19(2): 208~ 213

[3] Bianchi G, Paolucci F. Towards virtual engineering in machine tools design [J]. **CIRP AnnalsManufacturing Technology**, 1996, 45(1): 619~ 621

[4] 倪向阳. 龙门加工中心结构动力学建模与优化设计研究 [D]. 南京: 东南大学, 2005

[5] 陈生华. 数控高速铣齿机床结构有限元分析及优化设计 [D]. 南京: 南京工业大学, 2005

[6] 伍建国, 陈新, 毛海军等. 内圆磨床床身设计参数的灵敏度分析及动态设计 [J]. 南京航空航天大学学报, 2002, 34(6): 544 ~ 547

[7] Umbrello D. Finite element simulation of conventional and high speed machining of Ti6Al4V alloy [J]. **Journal of Materials Processing Technology**, 2008, 196(1~ 3): 79~ 87

[8] 陈航军, 吴永明, 姜莉莉等. 层次分析法在夹具概念设计优化中的应用 [J]. 机电工程, 2007, 36(2): 47~ 56

基于仿真数据的误差处理

沈正华¹,陈蔚芳¹,曲绍朋²

(1. 南京航空航天大学 机电学院,江苏 南京 210016; 2. 北京航空精密机械研究所,北京 100076)

摘 要:形位误差是评定零件制造品质的一项重要指标,不但可以用于判断加工后的零件合格与否,还可以用于分析误差产生的原因,并为实现主动补偿提供信息。针对有限元预测后的仿真数据进行误差处理,阐述了最小二乘法在几种形位误差分析中的应用,并分析了误差产生的原因。

关键词:形位误差;最小二乘法;平面度;平行度;垂直度

中图分类号: TG83 **文献标识码:** B **文章编号:** 1671-5276(2009)04-0042-02

Error Processing Based on Simulation Data

SHEN Zheng-hua¹, CHEN Wei-fang¹, QU Shao-peng²

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;

2. China Precision Engineering Institute for Aircraft Industry, Beijing 100076, China)

Abstract: Form and position error is an important index of manufacturing quality machine parts. It may be used to analysis cause of error and provide information for active compensation. This text probes into the error processing based on simulation data using least square method and analyzes the cause of error.

Key words: form and position error; least square method; flatness; parallelism; verticality

0 引言

随着对产品性能要求的提高,机械产品的形位公差要求也随之提高。形位误差对零件的工作精度、连接件的连接强度、密封性等,都有很大的影响。对于任何一个加工后的零件,必须在精确测量的基础上进行数据处理,评定出形位误差,以此作为零件验收的依据。同时形位误差也可以用于分析误差产生的原因,为实现主动补偿提供信息,从而提高零件的加工精度。

在实际生产中,一般采用实时测量系统进行数据的采集,并借助于内部程序对被测点坐标信息进行处理,完成误差的分析。利用仿真软件进行分析时,有限元分析数据不能直接提供加工零件的形位误差信息,因此必须编写相关程序对有限元分析数据进行转化,获得形位误差。

影响误差处理结果的不确定性因素有数据采集设备的不确定度、测量采样点的布置和评定方法等^[1],其中评定方法又与采样点的布置有关。针对仿真后的数据进行处理,由于被测表面由多个不连续的小平面组成,取样点不能均匀分布,所以评定方法是主要影响因素。常用的误差评定方法有最小区域法、最小二乘法、对角线法等。综合比较各种评定方法^[2-5],最小二乘法不受采样点分布方式的限制,当采样点越多时计算精度越高,这一点可以通过在有限元中提取尽可能多的节点数据得到保证,且数据处理过程简便。

1 形位误差几何模型的建立

1.1 平面度

平面度是限制实际表面对其理想平面变动量的一项指标,用于对实际表面的形状精度提出要求。

设平面方程为:

$$Z = aX + bY + c \quad (1)$$

在被测平面上有 m 个采样点,设加工后第 n 个采样点的坐标为 (x_n, y_n, z_n) ,则三维空间表面的实际表面的数学模型为:

$$Z_n = Ax_n + By_n + C + f_n \quad (2)$$

其中, A, B, C 为三个待估计的参数, f_n 为被测实际表面上各取样点相对于评定基准的偏差。

利用最小二乘法估计参数 A, B, C , 设 a, b, c 分别为 A, B, C 的最小二乘估计值,则评定基准面的数学模型为:

$$Z_n^* = aX_n + bY_n + c \quad (3)$$

根据最小二乘法的原理,被测实际表面上所有取样点的值必须与评定基准的回归值偏差的平方和最小,即:

$$\phi(a, b, c) = \sum_{n=1}^m (Z_n - Z_n^*)^2 = \sum_{n=1}^m (Z_n - aX_n - bY_n - c)^2 \rightarrow \min \quad (4)$$

求解出 a, b, c 后可计算出各取样点的偏差,其中偏差的最大值与最小值之差即为该面的平面度,即:

$$f_{\text{平面度}} = \max_{n=1}^m \{Z_n - Z_n^*\} - \min_{n=1}^m \{Z_n - Z_n^*\} \quad (5)$$

作者简介:沈正华(1983—),女,江苏省南通市人,硕士,研究方向为现代集成制造系统。

1.2 平行度

平行度是限制被测实际要素对基准在平行方向上变动量的一项指标。根据被测要素和基准的不同分为四种情况,针对面对面的平行度进行阐述。

基准平面的单位法向量为:

$$\vec{N} = \{a_0, b_0, c_0\} \quad (6)$$

其中, $a_0 = \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2 + 1}}$; $b_0 = \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2 + 1}}$; $c_0 = \frac{-1}{\sqrt{a^2 + b^2 + 1}}$; a, b, c 的计算方法参见平面度计算部分。

则平行度误差为:

$$f_{\text{平行度}} = \max_{n=1}^m \{ \vec{N} \times \vec{P}_n \} - \min_{n=1}^m \{ \vec{N} \times \vec{P}_n \} \quad (7)$$

其中, $\vec{P}_n = \{x_n, y_n, z_n\}$, $n = 1, 2, \dots, m$ 。

1.3 垂直度

垂直度是限制实测要素对基准在垂直方向上变动量的一项指标。和平面度一样分为四种情况,针对面对面的垂直度进行阐述,以图 1 所示为例,平面 BCGF 对平面 ABCD 有垂直度要求,从计算简便的角度考虑,将平面 BCGF 上各取样点的 y, z 坐标交换则被测平面被旋转 90° ,新的平面相对于基准平面 ABCD 的平行度即为所要求解的垂直度,具体计算方法参见平行度部分。

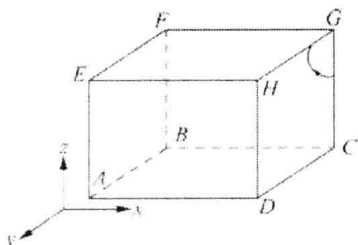


图 1 平面旋转示意图

2 实例分析

2.1 零件及装夹方案

图 2 所示为一个薄壁零件,加工顺序为 $B \rightarrow C \rightarrow A$,加工部位为图示的小凸台,均预留 0.15 mm 的余量,分两层进行铣削。B, C, A 面的平面度要求均为 0.005 mm, C 面对 B 面的平行度和 A 面对基准面 E 的要求均为 0.015 mm, A 面对 B 面的垂直度要求为 0.015 mm。

如图 1,以 E 面为定位面,在 a, b 处通过压板夹紧, c 处及其对称面利用辅助支承夹紧,以防过大的振动。根据力平衡和力矩平衡计算夹紧力,大小分别为 437.48 N 和 286.08 N。

2.2 有限元模型的建立

实体模型经简化后导入 ABAQUS,根据装夹方案建立相关的约束和施加夹紧力,材料为 TC4,弹性模量 E 和泊

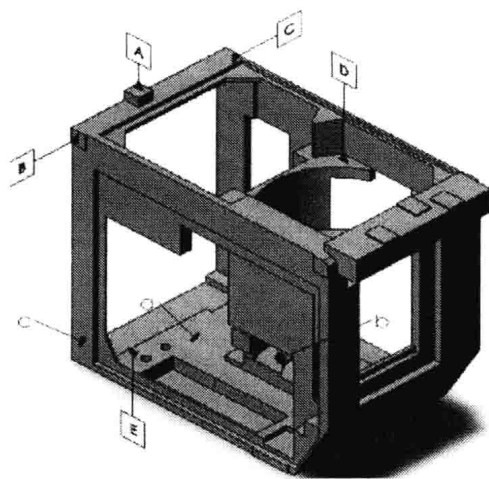


图 2 薄壁零件

松比 μ 分别为 113 GPa 和 0.3。为提高计算精度和计算效率,有加工要求的部分采用 C3D8R 单元,其余部分采用 C3D4 单元,分别划分了 12 622 和 125 791 个单元。

2.3 误差结果与分析

经 ABAQUS 仿真后得出各加工面上取样点的坐标值,利用上述的评定方法进行形位误差的计算,将误差结果与给定的形位公差进行对比,可判断零件是否合格。

以 A 面为例,根据最小二乘法求解出 $a_A = -0.0002$, $b_A = -0.0007$, $c_A = 79.2973$,平面度为 0.0062 mm。考虑到底面 E 是精加工前通过研磨达到精度要求的,假设为理想平面,则其 a_E, b_E, c_E 分别为 0, 0, 1,求解出平面 A 相对于底面 E 的平行度为 0.0715 mm。由 B 面仿真后得出的数据求解出 $a_B = -0.00289$, $b_B = 0.000158$, $c_B = 0.9079$,则 A 面相对于 B 面的垂直度为 0.0776 mm。计算结果表明误差超出公差要求,图 3 为经拟合后的 A 平面, A 平面左侧的小凸台因为下方材料较少,加工中切削载荷施加时让刀现象严重,当载荷消失后材料回弹,导致该凸台的高度尺寸比另外三个凸台要大。根据分析的结果继续修改模型,在左侧凸台的下方增加辅助支承,增强刚度,对新的结果进行误差处理,平面度为 0.0026 mm,平行度为 0.014 mm,垂直度为 0.013 mm。

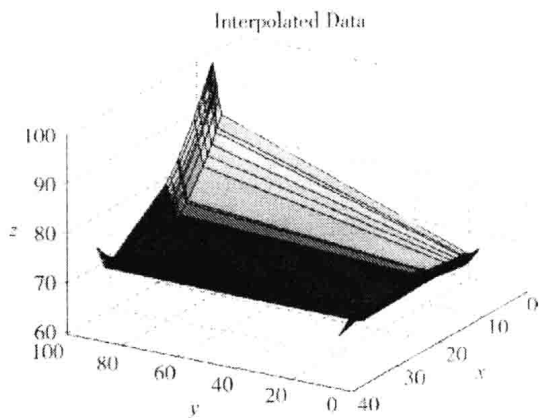


图 3 A 面拟合图 (下转第 53 页)

$$S_{\max} = \sum \delta_i, S_{\min} = 0.072 + 0.072 + 0.1 = 0.244$$

若考虑到封闭环的变化范围,则:

$$S_{\max} = 0.244 \sim (0.244 - 0.04) = 0.244 \sim 0.204。$$

修配环实际加工尺寸为: $A_{2-3} = 198.146^{+0.072}_{-0.072} \sim 198.39^{+0.072}_{-0.072}。$

5 结语

就机械产品装配过程中的提高装配精度问题进行了探讨,重点分析了修配法提高装配精度的原理和过程。并举例说明这一过程。具体是:修配法解装配尺寸链首先要

选合适的组成环作为修配环;根据修配环在尺寸链中的位置确定其极限尺寸;确定修配环的大小及位置。

参考文献:

- [1] 顾崇銓,等.机械制造工艺学[M].西安:陕西科学技术出版社,1981.
- [2] 唐宗军.机械制造基础[M].北京:机械工业出版社,1996.

收稿日期:2008-11-14

(上接第43页)

3 结语

阐述了最小二乘法在误差处理中应用,该方法对于本文中这种不连续的表面尤其适用,可以不受采样点分布方式的限制,数据的处理可以在 Excel 或 Matlab 中完成,求解过程简便。以某一面为例,在误差处理的基础上分析了误差产生的原因,改变装夹方案后可满足加工要求。

参考文献:

- [1] 黄富贵.平面度误差各种评定方法的比较[J].工具技术,

2007,41(8):107-109.

- [2] 李书平.基于 Excel 的平面度误差最小二乘法评定[J].广西工学院学报,2006,17(2):26-28.
- [3] 杜茂华.用回归分析法评定平面度误差[J].机械,2001,28(2):21-22.
- [4] 郑鹏.形位误差计算机评定系统的研究[D].郑州:郑州大学,2003.
- [5] 陈永鹏.基于 MATLAB 优化工具箱的机械产品形状误差评定系统研究[D].成都:四川大学,2003.

收稿日期:2008-12-06

(上接第45页)

3 基于 VB 的液压测试系统实现与应用

采用 Win XP 操作系统,以 VB6.0 作为编程环境,开发了中文 Windows 版本的测试软件,界面友好,操作简单^[2]。

启动计算机,待系统稳定后,双击桌面上“液压测试系统”的图标。此时点击“进入”按钮,自动进入液压测试软件系统的主窗体,如图3示。

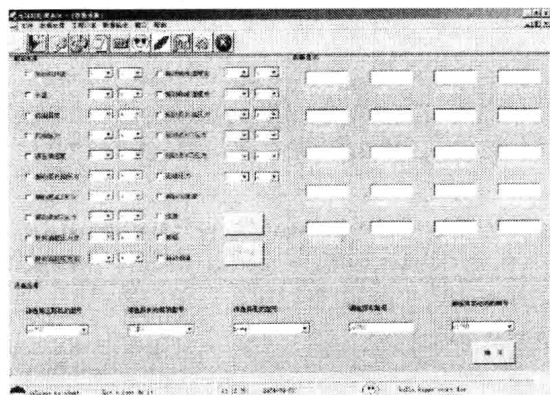


图3 主窗体

4 结论

在研究液压测试技术的基础上,运用 VB 开发的液压测试系统性能稳定可靠、测试效率高,操作软面板简洁明了,使用方便,并具有强大的人机交流功能。同时,由于硬、软件的模块化、标准化设计,使得程序的开发周期大大缩短,可移植性增强、维护和扩充更为方便,也为其他试验台的设计提供了参考。目前,该系统已经很好的应用于常林集团的振动压路机振动液压系统的测试中。

参考文献:

- [1] 张鑫,宋继安,李新平,等.液压支架液压件 CAT 试验台的研究[J].煤炭科学技术,2005(8):48-50.
- [2] 龚沛曾,陈慰民,杨志强. Visual Basic 程序设计教程(6.0版)[M].北京:高等教育出版社,2000.

收稿日期:2009-01-06

A Collaborative Design and Analysis Environment for Flexible Fixture

CHEN Weifang^{1,a}, XUE Jianbin^{1,b}, LOU Peihuang^{1,c}

¹ College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing, 210016, China

^achenweifang@263.net, ^bmeejbxue@nuaa.edu.cn, ^cmecphlou@nuaa.edu.cn

Keywords: Flexible fixture, Collaborative design, Thin-walled workpiece, Digital fixture design

Abstract. Designing a flexible fixture is much more complicated. In this paper a collaborative environment was introduced for flexible fixture design. The tasks involved in fixture design are analyzed and decomposed into five subtasks, which are assigned to workgroups by a project manager. The workgroups can be distributed in different departments or in different locations geographically. The framework of collaborate design environment is constructed. Each workgroup is responsible to a certain job. However, the information needed for flexible fixture design is shared among these workgroups. The information exchanging and management in the environment are expressed with a block diagram. Finally, an example of flexible fixture for manufacturing a thin-walled workpiece is employed to illustrate the efficiency of the collaborative environment.

Introduction

Fixtures are very important in manufacturing systems. They are used to locate and hold the workpiece securely in position and maintain a consistent relationship with respect to the tools during manufacturing processes. They play an important role in making a part with certain geometric accuracy. The cost of fixtures can amount to 10-20% of the total manufacturing costs [1]. To reduce manufacturing costs, a fixture is often designed to be able to locate and clamp as many parts as possible. Furthermore, the volume of workpiece to be machined is small to medium. In such a situation, flexible fixture systems become a favorable means to reduce the cost of product. Flexible fixture design has been studied for a long time since world-war II. With the development of computer and internet technology, the strategy of collaborative design and manufacture for products has been taken into account. Flexible fixture system is one of the typical products that can be designed and manufactured in a collaborative environment. This paper presents a collaborative environment for flexible fixture design and analysis.

Literature review

Flexible fixture design and manufacture is not a new topic in manufacturing engineering. A large number of technical papers were published in relevant journals and proceedings of conferences. In practice, some computer aided fixture design systems had been developed in the last few decades. Most of them are standalone fixture design systems. These systems made the tasks of fixture design easier by integrating the systems with fixture element databases [1]. With the development of Internet, researchers became to investigate the fixture design process based on the Internet. Mervyn *et al.* developed an Internet enabled interactive fixture design system [2]. Xu and Liu developed a web enabled PDM system in a collaborative design environment [3]. Rong *et al.* summarized the advanced technology of computer aided fixture design, and composed a technical book [4]. The techniques of fixture design have been developing with the progress of computer science. Knowledge model was established by Hunter *et al.* as an integral way to reuse the knowledge for fixture design process [5]. Tang presented an agent based collaborative design system [6]. Li *et al.* even presented an agile fixture design tool [7]. The genetic algorithms were also used to optimizing the locating and clamping position for fixture design [8]. Many methodologies were developed for