

南京航空航天大学
论文集

(二〇一〇年) 第23册

机电学院

(第1分册)

南京航空航天大学科技部编

二〇一一年五月

Z427/1033(2010)-(23)



Z427
1033(2010)-(23)

机电学院

051~052



2011039780

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	靳广虎 朱如鹏 鲍和云	讲师 教授 副教授	051	正交面齿轮传动系统的非线性 振动特性	中南大学学报	2010年41卷5期
2	陈旭玲 楼佩煌 唐敦兵	中级 教授 教授	051 053 053	机械产品概念设计BFBS混合映 射方法	计算机集成制造	2010年16卷7期
3	崔东辉 徐龙祥	博士 教授	051	基于坐标变换的径向主动磁轴 承容错控制	控制与决策	2010年25卷9期
4	常肖 徐龙祥	硕士 教授	051	磁悬浮轴承功率放大器	中国机械工程学报	2010年46卷20 期
5	纪历 徐龙祥 唐文斌	博士 教授 硕士	051	磁悬浮轴承数字控制器故障诊 断与处理	中国机械工程	2010年21卷3期
6	王桂香 徐龙祥	硕士 教授	051	高速磁悬浮轴承的发热与冷却 研究	中国机械工程	2010年21卷8期
7	罗建召 徐龙祥	博士 教授	051	恒流源偏置三相磁悬浮轴承研 究	机械科学与技术	2010年29卷2期
8	王军 徐龙祥	博士 教授	051	磁悬浮轴承开关功率放大器系 统建模及控制研究	中国机械工程	2010年21卷4期
9	王军 徐龙祥	博士 教授	051	磁悬浮轴承开关功率放大器等 效数学模型	电工技术学报	2010年25卷4期
10	朱益利 徐龙祥	博士 教授	051	Influence of Elastic Buffer on Rotor Drop Dynamic Response	The Twelfth International Symposium on Magnetic Bearings	2010年
11	于海武 王晓雷 周飞	博士 教授 教授	051	Geometric Shape Effects of Surface Texture on the Generation of Hydrodynamic Pressure Between Conformal Contacting Surfaces	Tribol Lett	2010. 37:123 - 130
12	于海武 王晓雷 孙 造 袁思欢	博士 教授 研究生 研究生	051	圆柱形微凹坑表面织构对流体 动压润滑性能的影响	南京航空航天大学学报	2010. 42 (2)
13	严冬升 曲宁松 李寒松 王晓雷	研究生 教授 教授 教授	051	Significance of Dimple Parameters on the Friction of Sliding Surfaces Investigated by Orthogonal Experiments	Tribology Transactions	2010. 53: 703- 712
14	马国亮 姜 亮 黄 巍 王晓雷	研究生 研究生 副教授 教授	051	不同粗糙度条件下硅橡胶表面 织构润滑特性的研究	西安交通大学学报	2010. 44 (9)
15	姜 亮 马国亮 王晓雷	研究生 研究生 教授	051	PDMS表面织构润滑特性的研究	摩擦学报	2010.30 (3)
16	邱 艳 于海武 王晓雷	研究生 博士 教授	051	基于图像处理的磨损颗粒浓度 计算	2010年全国油液监测技术 会议	2010
17	于海武 袁思欢 孙 造 王晓雷	博士 研究生 研究生 教授	051	为凹坑形状对织构化表面润滑 性能的影响	2010年全国青年摩擦学及 工业应用会议	2010
18	廖思捷 黄 巍 王晓雷	研究生 副教授 教授	051	磁性表面织构润滑特性的研究	2010年全国青年摩擦学及 工业应用会议	2010
19	袁思欢 王晓雷	研究生 教授	051	沟槽型表面织构对摩擦副摩擦 性能的影响	2010年全国青年摩擦学及 工业应用会议	2010

20	孙 造 于海武 钱双庆 王晓雷	研究生 博士 博士 教授	051	表面微小结构对活塞环减摩的 理论及实验研究	2010年全国青年摩擦学及 工业应用会议	2010
21	柳小勤 岳林 谭华 朱如鹏	博士 教授 硕士 教授	051	大壁虎嗅球神经元在香蕉水气 味作用下的放电模式	吉林大学学报	2010年40卷6期
22	周瑾 刘勇 林吉凯 徐龙祥	副教授 硕士 硕士 教授	051	磁悬浮轴承系统应用磁流变阻 尼器抑制轴向振动的研究	武汉理工大学学报	2010 年 32 卷 2 期
23	周瑾 蔡永飞	副教授 硕士	051	磁悬浮轴承—转子系统的理论 与试验模态分析	武汉理工大学学报	2010 年 32 卷 6 期
24	蔡永飞 周瑾 徐龙祥 郭勤涛	硕士 副教授 教授 副教授	051	基于磁流变液阻尼器的磁悬浮 转子系统刚度阻尼特性对临界 转速影响程度的有限元分析	武汉理工大学学报	2010 年 32 卷 2 期
25	吴友海 周瑾 徐龙祥 蔡永飞	硕士 副教授 教授 硕士	051	支承磁悬浮轴承的径向磁流变 阻尼器设计及仿真	武汉理工大学学报	2010 年 32 卷 2 期
26	周瑾 徐龙祥	副教授 教授	051	Electromagnetic Suspension System Based on PID Controller for Vibration Suppression of Steel Strip	2010年 International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering 会议上交流	2010年
27	周瑾 刘勇	副教授 硕士	051	小位移挤压式磁流变阻尼器的 实验研究	机械与电子	2010年216卷9 期
28	周瑾 林吉凯	副教授 硕士	051	轴向磁悬浮轴承支承特性理论 分析和实验	机械设计与研究	2010年26卷5期
29	周瑾 吴友海	副教授 硕士	051	支承磁悬浮轴承的磁流变阻尼 器磁场分析	磁性材料及器件	2010年 41卷 6 期
30	周瑾 刘勇	副教授 硕士	051	模糊控制磁流变阻尼器与磁悬 浮并联减振研究	中国机械工程	2010年 21卷 21期
31	周瑾 蔡永飞 徐龙祥	副教授 硕士 教授	051	被动式电磁阻尼器对磁悬浮转 子系统不平衡响应的影响	南京航空航天大学学报	2010年42卷6期
32	黄春新 周瑾 郭勤涛	硕士 副教授 副教授	051	The effect of vibration of flexible base to the characteristic of rotor active magnetic bearings system	2010年The 12th International Symposium on Magnetic Bearings 会议上交流	2010年
33	张建 周瑾	硕士 副教授	051	Surface roughness measure based on average texture cycle	2010年第二届智能人机系 统与控制论国际学术会议 会议上交流	2010年
34	谢振宇 牟伟兴 窦忠才 黄佩珍	副教授 硕士生 硕士生 教 授	051	金属橡胶环和磁悬浮阻尼器对 磁轴承转子系统不平衡振动的 影响	中国机械工程	2010,21(6)
35	谢振宇 吴凯峰 章淑镁 石庆才	副教授 硕士生 硕士生 硕士生	051	Influence of bearing locations on dynamic characteristics of the system with flexible rotor supported by magnetic bearings	机械与自动化控制工程国 际学术会议(MACE2010)	2010
36	姜宏伟 谢振宇	硕士生 副教授	051	基于TMS320F28335DSP的磁悬浮 系统数字控制器研究	机械与电子	2010(11)

37	章淑镁 谢振宇 石庆才	硕士生 副教授 硕士生	051	Research on Control for Flexible Rotor System Supported by Active Magnetic Bearings and Metal Rubber Rings	第十二届磁悬浮轴承国际会议 (ISMB12)	2010
38	庄华强 谢振宇	硕士生 副教授	051	Adaptive control for active magnetic bearing system with metal rubber annuluses based on single neuron	机械与自动化控制工程国际学术会议(MACE2010)	2010
39	胡伟峰 周海海 陈黎	讲师 讲师 讲师	051	A Study of Method on Automobile Form Feature Lines Evolutionary Design Driven by Users' Expectation Image	The 6th International Conference on Natural Computation(ICNC' 10)	2010
40	倪勇	讲师	051	论石在苏州园林设计中的重要性	东南大学学报	2010(12)
41	陈黎 朱如鹏 周海海	讲师	051	新技术商品化中产品造型感性需求挖掘方法研究	中国机械工程	2010. 21 (23)
42	陈黎 周海海	讲师	051	产品造型设计中的感性需求演化模型及应用	中国制造业信息化	2010. 39 (19)
43	陈黎 王文明 周海海	讲师	051	工业设计管理中的角色意识研究	价值工程	2010. 29 (24)
44	陈黎 周海海	讲师	051	探讨艺术设计高等教育中的学生社会化个性培养	创意与设计	2010. 1 (6)
45	陈黎 周海海	讲师	051	基于熵定律的产品造型设计原理探析	价值工程	2010. 29 (33)
46	周海海 胡伟峰 陈黎	讲师	051	工业设计与工程结构设计的衔接研究	价值工程	2010. 29 (211)
47	周海海 王文明 吴讯	讲师	051	围绕品牌核心价值的产品设计研究	价值工程	2010. 29 (221)
48	吴丹妮 伍铁军	硕士 副教授	051	Research of Trajectory in Virtual Sculpture Based on Machine Vision	2nd International Conference on Computer Engineering and Technology	2010
49	吴丹妮 伍铁军	硕士 副教授	051	基于机器视觉的虚拟雕刻轨迹跟踪系统研究	中国机械工程	2010.21(23)
50	刘雷	副教授	051	一种改进的齿轮多体系统动力学模型	中国机械工程	2010.21(9)
51	陈炳发 王育	教授 硕士	051	网页交互界面的人机性设计研究	Scientific Research Publishing, USA (美国科研出版社)	2010. 1
52	罗晔 陈炳发	硕士 教授	051	玩具、环境与儿童探索性行为的交互关系研究	人类工效学	2010. 16(3)
53	金伟毅 陈炳发	硕士 教授	051	基于X3D-Java虚拟航空展览馆参数化设计	中国制造业信息化	2010. 2
54	陆健 陈炳发	硕士 教授	051	面向中小制造型企业的设计发展策略的思考	中国制造业信息化	2010. 2
55	陈慧珍 陈炳发	硕士 教授	051	某钻机车架有限元分析	机械工程师	2010. 1
56	卢敏 周来水 安鲁陵 王志国	讲师 教授 教授 讲师	051	开曲面构件的多层铺丝路径生成算法	南京航空航天大学学报	2010. 42(6)
57	靳广虎 朱如鹏 鲍和云	讲师 教授 副教授	051	正交面齿轮传动系统的非线性振动特性	中南大学学报	2010 年41 卷5 期

58	李晓贞 李政民卿 朱如鹏	博士 讲师 教授	051	Study on a principle of grinding process of face gear	Advance in Mechatronics Technology	2010 年 43 卷
59	李政民卿 朱如鹏	讲师 教授	051	面齿轮传动的承载接触分析	南京航空航天大学学报	2010年42卷2期
60	李政民卿 朱如鹏 靳广虎	讲师 教授 讲师	051	加工偏置误差对面齿轮传动接触特性的影响	哈尔滨工业大学学报	2010年42卷12期
61	吴文光 朱如鹏	硕士 教授	051	基于Workbench的斜齿轮固有特性分析	机械传动	2010年34卷4期
62	夏雅琴 朱如鹏	博士 教授	051	具有多粒度语言评价信息的价值工程决策方法	东华大学学报	2010年36卷6期
63	马希直	副教授	051	载荷扰动下可倾瓦推力轴承绝热瞬态过程分析	航空动力学报	2010年25卷3期
64	唐伟坤 马希直	硕士 副教授	051	利用反射系数法测量油膜厚度的研究	润滑与密封	2010年35卷12期
65	刘思幸 马希直	硕士 副教授	051	基于弹性壳体模型的波箔型动压气体径向轴承静特性分析	润滑与密封	2010年35卷11期
66	徐润 马希直	硕士 副教授	051	基于弹性壳体模型的波箔型气体动压径向轴承静特性分析	润滑与密封	2010年35卷1期
67	魏彬 马希直	硕士 副教授	051	考虑激振模态的挤压膜悬浮导轨特性分析	润滑与密封	2010年35卷2期
68	魏彬 马希直	硕士 副教授	051	挤压膜悬浮导轨的悬浮特性研究	润滑与密封	2010年35卷8期
69	张保强 郭勤涛	博士 副教授	051	基于复模态模型修正方法的磁悬浮轴承支承参数识别	南京航空航天大学学报	2010年42卷6期
70	郭勤涛	副教授	051	基于频率响应模型修正方法的磁轴承支承参数识别	湖南大学学报	2010年37卷12期
71	朱明 王卫英	硕士 副教授	051	销齿啮合式机械无级变速器设计	机械传动	2010年34卷12期
72	刘泗岩	讲师	051	网络屏幕广播软件在三维CAD示范教学中的应用	中国现代教育装备	2010 年 9 期
73	刘泗岩	讲师	051	基于开源软件设计的网页化PACS与三维影像处理系统	生物医学工程研究	2010 年 29 卷3 期
74	贾皓丽 刘苏 李海燕	讲师 教授 讲师	051	留学生“工程图学”课程教学的探索与实践	工程图学学报	2010年31卷增1
75	邓昀 李亮 何宁	研究生 教授 教授	052	基于SPH法的微细切削最小切削厚度的研究	2010年“航空航天先进制造技术”学术交流	2010-9
76	张建 李亮 何宁 赵威	研究生 教授 教授 副教授	052	基于WEB的高速铣削工艺专家系统的设计与实现	2010年“航空航天先进制造技术”学术交流	2010-9
77	王震 李亮 何宁	研究生 教授 教授	052	MLQ条件下微坑减摩特性的研究	2010年“航空航天先进制造技术”学术交流	2010-9
78	秦晓杰 李亮 何宁	研究生 教授 教授	052	螺旋铣孔铣削力研究	2010年“航空航天先进制造技术”学术交流	2010-9
79	李海斌 何宁 李亮	研究生 教授 教授	052	不等距铣刀切削力模型的建立及实验分析	工具技术	2010年448期44卷
80	肖茂华 何宁 李亮	博士 教授 教授	052	Modeling Notch Wear of Ceramic Tool in High Speed Machining of Nickel-based Superalloy	Journal of Wuhan University of echnology	2010年25卷1期
81	肖茂华 何宁 李亮	博士 教授 教授	052	Wear Mechanisms of Ceramic Inserts in Machining Nickel-Based Superalloy	Journal of Southwest Jiaotong University	2010年18卷1期

82	肖茂华 何宁 李亮	博士 教授 教授	052	Study on the machinability characteristics of superalloy K424 during high speed turning	第四届高速加工国际会议 (ICHSM2010)	2010-10-10
83	薛小强 何宁 李亮 赵威	博士 教授 教授 副教授	052	An Experimental Study On Selection Method of Vari-speed Milling Parameters	第四届高速加工国际会议 (ICHSM2010)	2010-10-10
84	戚宝运 何宁 李亮 赵威	博士 教授 教授 副教授	052	Investigation on White Layer Formation in PCBN Hard Turning GCr15	Key Engineering Materials	2010
85	戚宝运 李亮 何宁	博士 教授 教授	052	Effects of cooling/lubrication conditions on High-Speed Turning Ti6Al4V	第四届高性能切削国际会议 (CIRP2010)	2010
86	戚宝运 李亮 何宁	博士 教授 教授	052	Tribological Behavior of WC-Co/Ti6Al4V under Static Cooling Condition	第九届电力系统及其设计与制造前沿国际会议	2010
87	戚宝运 何宁 李亮 赵威 卞荣	博士 教授 教授 副教授 博士	052	低温微量润滑技术及其作用机理研究	机械科学与技术	2010年29期6卷
88	戚宝运 李亮 何宁 赵威	博士 教授 教授 副教授	052	表面织构在刀具减磨技术中的应用	工具技术	2010年448期44卷
89	李亮 戚宝运 何宁	教授 博士 教授	052	Antifriction Action of Cooling and Lubrication Media on Ti6Al4V/WC-Co	第八届高速加工国际会议	2010
90	卞荣 何宁 李亮 戚宝运	博士 教授 教授 博士	052	Effects of Cryogenic Minimum Quantity Lubrication (CMQL) on High Performance Milling of PH13-8Mo Stainless Steel	第四届高性能切削国际会议 (CIRP2010)	2010
91	何磊 李亮 戚宝运	研究生 教授 博士	052	球头铣刀高速切削Inconel 718的刀具磨损研究	工具技术	2010年9期44卷
92	杨雷 李亮 何宁 戚宝运 卞荣	研究生 教授 教授 博士 博士	052	外加电控制YG8/TC4摩擦副的试验研究	机械制造与自动化	2010年3期39卷
93	李军 朱永伟 左敦稳	副教授 教授 教授	052	Effect of Anisotropy on Chemical Mechanical Polishing of LBO Crystal	Key engineering materials	2010(431-432)
94	李军 朱永伟 左敦稳	副教授 教授 教授	052	Fixed Abrasive Lapping and Polishing of Hard Brittle Materials	Key engineering materials	2010(426-427)
95	缪宏 左敦稳	博士 教授	052	Q460高强度钢内螺纹挤压力的模型	南京航空航天大学学报	2010 年42卷 5期
96	缪宏 左敦稳	博士 教授	052	冲击载荷对飞机起落架螺纹连接的影响	振动与冲击	2010年42卷 5期
97	缪宏 左敦稳	博士 教授	052	飞机起落架内螺纹冷挤压成形金属流动规律研究	中国机械工程	2010 年21卷14期
98	缪宏 左敦稳	博士 教授	052	Optimization of Tap Parameters for Internal Thread Cold Extrusion of High Strength Steel Based on Genetic Algorithm	Key Engineering Materials	2010年卷426-427期

99	缪宏 左敦稳	博士 教授	052	Effect of Optimization of shot peening parameters on surface integrity of NAK80. Key Engineering Materials	Key Engineering Materials	2010年卷426- 427期
100	汪洪峰 左敦稳	博士 教授	052	Study on flow stress of 7022 aluminum alloy sheet under different temperature and strain rate	南京航空航天大学学报	2010 年 27 卷 3 期
101	汪洪峰 左敦稳	博士 教授	052	退火温度对7022铝合金干摩擦 性能的影响	深圳大学学报理工版	2010 年 27 卷 2 期
102	汪洪峰 左敦稳	博士 教授	052	Numerical simulation of the prestressed laser welding of 7075-T7451 aluminum alloy sheet	Key Engineering Materials	2010 年431- 432 卷期
103	汪洪峰 左敦稳	博士 教授	052	5554铝合金TIG焊缝组织与性能	南京航空航天大学学报	2010 年 42 卷 6期
104	汪洪峰 左敦稳	博士 教授	052	7022铝合金搅拌摩擦焊接区 的组织与性能	华南理工大学学报	2010 年 38 卷 11期
105	汪洪峰 左敦稳	博士 教授	052	厚板7022铝合金搅拌摩擦焊接 实验研究	功能材料	2010 年 41 卷 11期
106	汪洪峰 左敦稳	博士 教授	052	Study on mathematical model of temperature field in the laser welding process	Key Engineering Materials	2010 年426- 427卷期
107	王宏宇 左敦稳 闫静	博士 教授 副教授	052	Effects of nanometer Al2O3 particles on oxidation behaviors of laser cladding low Al NiCoCrAlY coatings	Oxidation of Metals	2010 年 74卷 期
108	王宏宇 左敦稳	博士 教授	052	Microstructure and oxidation properties of nano-particles strengthening NiCoCrAlY cladding coatings on superalloys	Chinese Journal of Mechanical Engineering	2010 年 23卷 3期
109	王宏宇 左敦稳	博士 教授	052	Effects of CeO2 nanoparticles on microstructure and properties of laser cladde NiCoCrAlY coatings	Journal of Rare Earths	2010 年 28卷 2期
110	王宏宇 左敦稳	博士 教授	052	Thermal shock behaviors of NiCoCrAlY cladding coatings strengthened by nano-SiCp on Ni-based superalloys	Key Engineering Materials	2010 年 431- 432卷 期
111	王宏宇 左敦稳	博士 教授	052	纳米SiCp增强NiCoCrAlY熔覆涂 层的组织 和高温抗 氧化行为	材料科学与工艺	2010 年 18卷 6期
112	张丹 焦光明 左敦稳	博士 研究员 教授	052	Study on Desktop Virtual Assembly System for Interactive Assembly Process Planning	Key Engineering Materials	2010 年 426- 427卷期
113	张丹 左敦稳	博士 教授	052	Study on Mixed Assembly Modeling of Rigid and Flexible Parts for Aerospace Product Virtual Assembly	Key Engineering Materials	2010 年431- 432 卷期
114	张丹 左敦稳	博士 教授	052	面向虚拟装配操作的交互辅助 技术	华南理工大学学报	2010 年38 卷 5期

115	张丹 左敦稳	博士 教授	052	面向虚拟装配的约束建模与装 配意图捕捉技术	计算机集成制造系统	2010 年18 卷6 期
116	张丹 左敦稳	博士 教授	052	基于粒子群遗传算法的航天产 品装配顺序优化方法	兵工学报	2010 年31 卷9 期
117	赵礼刚 左敦稳 孙玉利 王珉	博士 教授 副教授 教授	052	Experimental Research on Cutting of Silicon with Fixed Diamond Wire Saw	Key Engineering Materials	2010 年 431- 432卷期
118	王鸿翔 左敦稳	博士 教授	052	EACVD摆动衬底空间流场有限元 模拟研究	人工晶体学报	2010, 2月
119	王鸿翔 左敦稳	博士 教授	052	工艺条件对金刚石膜红外透射 率影响的研究	材料科学与工艺	2010, 6月
120	焦光明 左敦稳	博士 教授	052	航天产品敏捷总装混流排产模 型	东南大学学报	2010, 7月
121	陈兴峰 左敦稳	硕士 教授	052	Ti/BDD涂层电极的制备及其电 化学性能研究	硅酸盐通报	2010, 8月
122	戴军之 左敦稳	硕士 教授	052	固结金刚石线锯锯切硅片的正 交试验研究	机械制造与研究	2010, 10月
123	康静 左敦稳	硕士 教授	052	固结磨料抛光的平面度预测模 型	硅酸盐通报	2010, 8月
124	吴小军 左敦稳	硕士 教授	052	小型化热丝CVD金刚石膜沉积设 备的研究与开发	机械制造与自动化	2010, 4月
125	吴小军 左敦稳	硕士 教授	052	CVD金刚石膜激光打孔温度场有 限元仿真	硅酸盐通报	2010, 2月
126	许春 左敦稳	硕士 教授	052	光学玻璃上HFCVD法沉积金刚石 膜的实验研究	硅酸盐通报	2010, 11月
127	赵宇飞 左敦稳	硕士 教授	052	基于有限元法的硅片冰冻固结 磨料抛光温度场分析	金刚石与磨料磨具工程	2010, 9月
128	孙玉利 左敦稳	副教授 教授	052	Computer simulation on the motion tracks of Ice Fixed Abrasives Polishing	Key Engineering Materials	2010 年 426- 427卷期
129	孙玉利 左敦稳	副教授 教授	052	FEM simulation on the temperature distribution of ice fixed abrasives polishing	Key Engineering Materials	2010 年431- 432 卷期
130	孙玉利 左敦稳	副教授 教授	052	Temperature Distribution of IFA Polishing Single Silicon Wafer	Advanced Materials Research	2010 年135 卷 期
131	祝晓亮 孙玉利 左敦稳	硕士 副教授 教授	052	微米级冰冻固结磨料抛光微晶 玻璃的工艺研究	硅酸盐通报	2010 年29 卷5 期
132	相炳坤 左敦稳	副教授 教授	052	Boron-doped Nanocrystalline Diamond Films Deposited By Using DC Arc Plasma Jet CVD	Key Engineering Materials	2011 年426卷
133	相炳坤 左敦稳	副教授 硕士	052	Research on High-speed Preparation of Micro- nanocrystalline Diamond Film	Key Engineering Materials	2012 年431卷
134	闫 静 谢健	副教授 教授	052	On a Kind of Applied Model Oriented Mechanical Assembly Process Simulation	Key Engineering Materials	2013 年431卷
135	桑小冲 闫静	硕士 副教授	052	面向虚拟装配的装配信息自动 提取技术的研究与实现	中国制造业信息化	2010 年 39 卷 19 期
136	程序 闫静	硕士 副教授	052	高结合性能涂层与基体界面结 合强度测定模型的有限元模拟	中国制造业信息化	2010 年 39 卷 17 期
137	江一 汪炜	硕士 教授	052	微波辅助纯钛微细群孔光刻电 解试验研究	电加工与模具	2010 年1 期

138	汪炜	教授	052	Shock Wave Aided EDM of Micro-hole Array in Monocrystalline Silicon Carbide Using Multiple Electrodes	ICOMM	2010年
139	赵云 徐锋 左敦稳	硕士 副教授 教授	052	Finite element simulation of Ti-6Al-4V three dimensional milling	Key Engineering Materials	2010年426-427卷
140	庞存辰 徐锋 左敦稳	硕士 副教授 教授	052	The establishment of an optimized parameters database management	Key Engineering Materials	2010年426-427卷
141	庞存辰 吴小军 徐锋 左敦稳	硕士 硕士 副教授 教授	052	基于WEB的刀具全生命周期管理信息系统研究	中国制造业信息化	2010年39卷
142	谢岩甫 刘壮 陈伟	硕士 副教授 硕士	052	微细电解加工技术的概况与展望	电加工与模具	2010 年6 期

正交面齿轮传动系统的非线性振动特性

靳广虎, 朱如鹏, 鲍和云

(南京航空航天大学 江苏省精密与微细制造技术重点实验室, 江苏 南京, 210016)

摘要: 基于集中参数理论, 考虑支撑的弹性变形、啮合齿轮副的时变啮合刚度激励和误差激励, 建立正交面齿轮传动系统的多自由度弯曲-扭转-轴向移动耦合振动三维空间动力学模型; 采用有限元方法计算点接触面齿轮传动系统的轮齿啮合刚度; 借助动态相对传动误差, 合并两轮转动自由度, 将系统等效处理为 5 自由度非线性振动方程; 采用自适应变步长 Runge-Kutta 数值积分方法, 获得该系统的动态响应, 并分析间隙对动载荷系数的影响。研究表明: 随着啮合频率的变化, 系统将出现单周期、2 倍周期、拟周期和混沌响应; 在周期响应状态下动载荷系数对间隙较敏感; 间隙的改变对齿轮副的冲击状态没有影响, 需通过调整支撑刚度等参数来实现单边冲击。

关键词: 面齿轮; 非线性振动; 动态响应

中图分类号: TH132.4

文献标志码: A

文章编号: 1672-7207(2010)05-1807-07

Nonlinear dynamical characteristics of face gear transmission system

JIN Guang-hu, ZHU Ru-peng, BAO He-yun

(Jiangsu Key Laboratory of Precision and Micro-Manufacturing Technology,
Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: Based on the theory of the concentrated parameter, considering the elastic deformation of the bearings, the time-varying meshing stiffness and error, a three-dimensional dynamic model with multiple degrees of freedom for the face-gear transmission system was developed, including the flexional, torsional and axial motions. The mesh stiffness of face gear transmission system was calculated by FEM. By introduction dynamic relative transmission error, the nonlinear equations were simplified with 5 degrees of freedom. Using the Runge-Kutta numerical integral method of self-adaptive varied steps, the dynamic responses of the face gear transmission system was obtained. Moreover, the influence of clearance on dynamic load coefficient was analyzed. The results show that the single-period syntonetic, double-period subharmonic, quasi-period and chaos response increase in the system when the excitation frequency changes. The clearance affects the dynamic load coefficient greatly but has no influence on the impact state of gear pair, that is to say, the single sided impact of gear pair is obtained by modification the stiffness of bearing and so on.

Key words: face gear; nonlinear vibration; dynamic response

面齿轮传动是一种圆锥齿轮与圆柱齿轮相啮合的传动, 其中, 圆锥齿轮(面齿轮)是采用直齿渐开线齿轮刀具经范成加工而成。面齿轮传动具有很多独特的优点和几何现象^[1-3]。据国外文献报道, 在直升机传动

系统中采用具有面齿轮的动力分流传动装置, 比传统装置的质量下降 40%; 在分流传动中, 面齿轮传动可以精确分配转矩; 对轴向误差敏感, 无需防错位设计; 小齿轮上无轴向力, 可以简化支撑; 齿轮重合度

收稿日期: 2009-10-27; 修回日期: 2009-12-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50775108); 江苏省自然科学基金资助项目(BK2007194); 精密与微细制造技术江苏省重点实验室基金资助项目(2008)

通信作者: 朱如鹏(1959-), 男, 江苏建湖人, 教授, 博士研究生导师, 从事机械传动、结构强度、机械 CAD 及自动化研究; 电话: 025-84892500; E-mail: rpzhu@nuaa.edu.cn

大,空载条件下可达到 1.6~1.8;同时,啮合齿对的公法线相同,齿间法向载荷方向不变,这对传动极其有利。鉴于面齿轮传动的诸多优点及其在特殊传动系统中的独特作用,美国、欧洲以及国内相继开展了面齿轮的研究工作,在啮合原理、齿面接触强度、齿轮弯曲强度、切齿及磨齿加工等方面做了相关的研究工作^[4-6]。齿轮传动系统的动态特性将直接影响到传动系统的稳定性和可靠性,国内外学者对此进行了大量的研究^[7-16],但有关面齿轮传动系统的振动特性的研究还很少报道。因此,开展面齿轮传动系统振动特性的分析研究十分必要。本文作者基于集中参数理论,建立面齿轮传动系统的多自由度耦合振动模型,对系统的非线性振动特性进行数值计算和分析,以便为面齿轮传动系统的动态设计提供理论依据。

1 面齿轮传动系统的振动模型

正交面齿轮的加工示意图如图 1 所示。其中,面齿轮 2 是用直齿渐开线齿轮刀具,经范成加工而成。为避免产生偏载现象,实际参加啮合传动的圆柱齿轮的齿数要比加工面齿轮的刀具齿数少 1~3 个,实现点接触传动。根据面齿轮传动的原理建立弹性支撑下的面齿轮传动系统动力学模型,如图 2 所示。以两齿轮轴线垂直相交的交点为坐标原点建立坐标系。根据面齿轮的啮合原理知,圆柱齿轮 1 没有轴向力,面齿轮 2 没有径向力,且齿轮副之间的法向作用力始终与圆柱齿轮 1 的基圆相切;同时,系统对轴向误差不敏感,无需防错位设计,因此,和锥齿轮传动系统相比,面齿轮传动系统的承载和支撑结构简单,振动自由度数

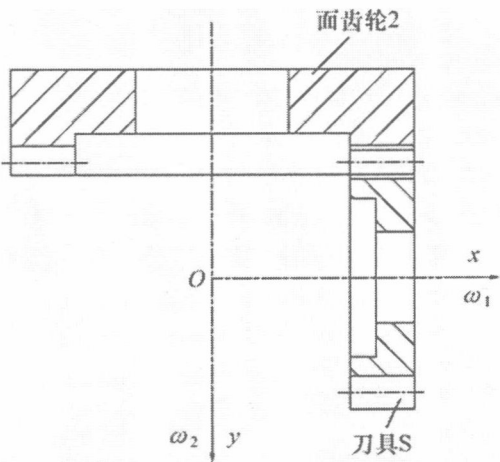


图 1 正交面齿轮的加工示意图
Fig.1 Schematic of generation of face gear

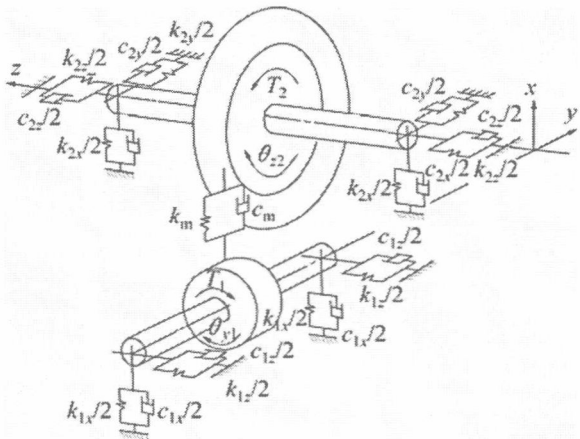


图 2 正交面齿轮传动系统的动力学模型
Fig.2 Dynamic model of face gear transmission system

明显减少。模型中(见图 2): k 为刚度系数; c 为阻尼系数; T_1 和 T_2 为转矩。该模型是一个集中参数模型,两齿轮采用集中质量和集中转动惯量模拟,且齿轮位于各自支撑中间;为定性地了解系统的非线性动力学行为,轴采用无质量的刚体模拟;轴承为弹性支撑,采用弹簧和阻尼器模拟。

由于扭摆振动对系统的影响较小,为分析问题方便,本文忽略扭摆振动,因此,传动系统等效处理为 6 个自由度,则正交面齿轮传动系统的广义位移列向量 Q 可表示为:

$$Q = \{X_1, Z_1, \theta_{y1}, X_2, Z_2, \theta_{z2}\}^T \tag{1}$$

式中: X_1 和 Z_1 为齿轮 1 分别沿 x 轴方向和 z 轴方向的横向振动位移; X_2 和 Z_2 为面齿轮 2 分别沿 x 轴方向的横向振动位移和沿 z 轴方向的轴向移动位移; θ_{y1} 和 θ_{z2} 为齿轮 1 和面齿轮 2 分别绕各自中心轴的扭转振动位移。因此,面齿轮传动系统的力学模型为三维空间动力学模型,是多种振动形式的耦合振动。

2 面齿轮传动系统的非线性振动方程

两齿轮齿面啮合点间由于振动和误差而产生的沿啮合点法线方向的相对位移 X_n 为:

$$X_n = (X_1 + r_{b1} \cdot \theta_{y1}) \cos \alpha_n + Z_1 \sin \alpha_n - (X_2 + r_m \cdot \theta_{z2}) \cos \alpha_n - Z_2 \sin \alpha_n - e_n(t) \tag{2}$$

$$e_n(t) = \sum_{l=1}^{N_e} A_{el} \cos(l\Omega_h t + \Phi_{el}) \tag{3}$$

式中: α_n 为法面压力角; r_{b1} 为齿轮 1 的基圆半径; r_m 为啮合齿面间的法向动载荷 F_n 与面齿轮 2 转动中心之间的距离; $e_n(t)$ 为齿轮副的法向静态传动误差; A_{el} 为误差的 l 阶谐波幅值; Ω_h 为齿轮的啮合角频率; Φ_{el} 为静态传动误差初相位。

啮合齿面间的法向载荷 F_n 及其沿坐标方向的分力分别为:

$$\begin{cases} F_n = \bar{k}(t)\bar{f}(X_n) + c_m \dot{X}_n \\ F_x = F_n \cos \alpha_n \\ F_z = F_n \sin \alpha_n \end{cases} \quad (4)$$

$$\bar{k}(t) = k_m + \sum_{l=1}^{N_k} A_{kl} \cos(l\Omega_h t + \Phi_{kl}) \quad (5)$$

$$\bar{f}(X_n) = \begin{cases} X_n(t) - b, & X_n(t) > b \\ 0, & -b \leq X_n(t) \leq b \\ X_n(t) + b, & X_n(t) < -b \end{cases} \quad (6)$$

式中: $\bar{k}(t)$, $\bar{f}(X_n)$ 和 c_m 分别为啮合齿轮副的时变啮合刚度、间隙函数和啮合阻尼; k_m 为时变啮合刚度的平均值; A_{kl} 为时变啮合刚度的 l 阶谐波幅值; Φ_{kl} 为时变啮合刚度初相位; b 为法向平均啮合间隙的一半。

图 2 所示面齿轮传动系统的振动方程为:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{X}_1 + c_{x1} \dot{X}_1 + k_{x1} X_1 = -F_x \\ m_1 \ddot{Z}_1 + c_{z1} \dot{Z}_1 + k_{z1} Z_1 = -F_z \\ I_{1y} \ddot{\theta}_{y1} = T_1 - F_n r_{b1} \\ m_2 \ddot{X}_2 + c_{x2} \dot{X}_2 + k_{x2} X_2 = F_x \\ m_2 \ddot{Z}_2 + c_{z2} \dot{Z}_2 + k_{z2} Z_2 = F_z \\ I_{2z} \ddot{\theta}_{z2} = -T_2 + F_n r_m \end{cases} \quad (7)$$

式中: m_1 和 m_2 分别为齿轮 1 和面齿轮 2 的集中质量; I_{1y} 和 I_{2z} 分别为齿轮 1 和面齿轮 2 的转动惯量; k_{ji} 和 $c_{ji}(i=1, 2; j=x, z)$ 分别为 x 轴方向和 z 轴方向的支撑刚度和阻尼; T_1 为主动轮驱动力矩; T_2 为从动轮阻力矩。

式(7)为六自由度的半正定、变参数、非线性二阶微分方程组。将齿面啮合点间的法向相对位移 X_n 作为新的自由度, 并对式(7)中两齿轮扭转振动方程进行合并处理后得:

$$-m_e a_2 \ddot{X}_1 - m_e a_1 \ddot{Z}_1 + m_e a_2 \ddot{X}_2 + m_e a_1 \ddot{Z}_2 + m_e \ddot{X}_n + a_2 \bar{k}(t) \bar{f}(X_n) + a_2 c_m \dot{X}_n = a_2 F + m_e \ddot{e}_n(t)$$

$$m_e = \frac{I_{1y} I_{2z}}{I_{1y} r_m^2 + I_{2z} r_{b1}^2}$$

$$F = \frac{T_1}{r_{b1}} = \frac{T_2}{r_m} \quad (8)$$

式中: $a_1 = \sin \alpha_n$; $a_2 = \cos \alpha_n$; m_e 为齿轮副的等效质量; F 为齿轮所受载荷。

将上述振动方程组进行量纲一化处理可得:

$$\begin{cases} \ddot{x}_1 + 2\zeta_{x1} \dot{x}_1 + 2a_2 \zeta_{m1} \dot{x}_n + \kappa_{x1} x_1 + a_2 \kappa_{m1} f(x_n) = 0 \\ \ddot{z}_1 + 2\zeta_{z1} \dot{z}_1 + 2a_1 \zeta_{m1} \dot{x}_n + \kappa_{z1} z_1 + a_1 \kappa_{m1} f(x_n) = 0 \\ \ddot{x}_2 + 2\zeta_{x2} \dot{x}_2 - 2a_2 \zeta_{m2} \dot{x}_n + \kappa_{x2} x_2 - a_2 \kappa_{m2} f(x_n) = 0 \\ \ddot{z}_2 + 2\zeta_{z2} \dot{z}_2 - 2a_1 \zeta_{m2} \dot{x}_n + \kappa_{z2} z_2 - a_1 \kappa_{m2} f(x_n) = 0 \\ \ddot{x}_n - a_2 \ddot{x}_1 - a_1 \ddot{z}_1 + a_2 \ddot{x}_2 + a_1 \ddot{z}_2 + a_2 \kappa(\tau) f(x_n) + 2a_2 \zeta_m \dot{x}_n = f + f_e \end{cases} \quad (9)$$

$$\text{式中: } x_i = X_i / b; z_i = Z_i / b; \omega_n = \sqrt{\frac{k_m}{m_e}}; \omega_{ji} = \sqrt{\frac{k_{ji}}{m_i}};$$

$$\tau = \omega_n t; \omega_h = \Omega_h / \omega_n; \zeta_{ji} = \frac{c_{ji}}{2m_i \omega_n}; \zeta_{mi} = \frac{c_m}{2m_i \omega_n};$$

$$\zeta_m = \frac{c_m}{2m_e \omega_n}; \kappa_{ji} = \omega_{ji}^2 / \omega_n^2; \kappa_{mi} = \frac{m_e}{m_i} \kappa(\tau);$$

$$\kappa(\tau) = \frac{\bar{k}(t)}{k_m} = 1 + \sum_{l=1}^{N_k} \frac{A_{kl}}{k_m} \cos(l\omega_h \tau + \Phi_{kl}); f(x_n) =$$

$$\frac{\bar{f}(X_n)}{b} = \begin{cases} x_n - 1, & x_n > 1 \\ 0, & -1 \leq x_n \leq 1 \\ x_n + 1, & x_n < -1 \end{cases}; f = \frac{a_2 F}{b m_e \omega_n^2}; f_e = (l\omega_h)^2.$$

$$\sum_{l=1}^{N_e} \frac{A_{el}}{b} \cos(l\omega_h \tau + \Phi_{el}); i=1, 2; j=x, z.$$

定义齿轮副动载荷系数 C_d 为

$$C_d = \frac{r_{b1} F_S}{T_1} \quad (10)$$

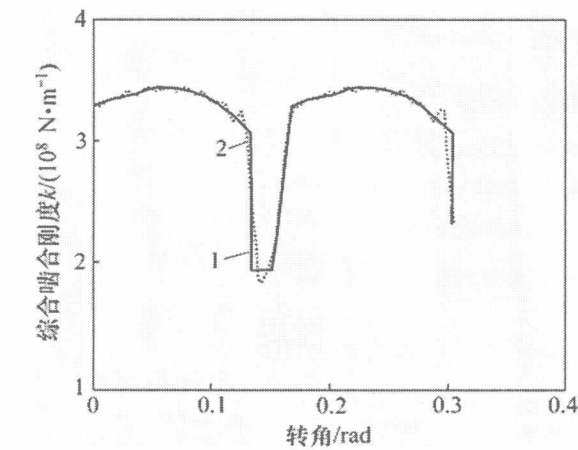
式中: F_S 为齿轮副弹性啮合力, $F_S = \bar{k}(t) \bar{f}(X_n)$ 。

3 啮合刚度的计算分析

啮合刚度的时变性是造成齿轮系统动态激励的主要形式之一。轮齿的啮合刚度主要与单齿弹性变形、单齿对综合弹性变形以及轮齿的重合度有关。单齿弹性变形是指单个轮齿的啮合齿面在载荷作用下的弹性变形, 包括弯曲变形、剪切变形和接触变形等。总体

来说, 齿轮综合啮合刚度是指在整个啮合区中, 参与啮合的各对轮齿的综合效应, 是多对啮合齿的单齿对综合刚度的叠加。

面齿轮的齿面相当复杂, 沿齿长断面上的齿厚是变化的, 对于点接触的面齿轮传动, 其轮齿的综合啮合刚度目前没有解析解。本文通过 I—DEAS 软件建立齿轮的有限元模型, 然后, 利用有限元软件 ANSYS 求得轮齿的综合啮合刚度。为尽量模拟真值, 对综合啮合刚度进行傅里叶变换。计算结果表明: 取 9 次谐波参数就能很好地拟合出综合啮合刚度曲线。图 3 所示分别为综合啮合刚度的有限元计算结果曲线和经傅里叶变换后的近似曲线。各次谐波参数 A_{kl} 见表 1, 平均啮合刚度 $k_m=3.13 \times 10^8 \text{ N/m}$ 。



1—啮合刚度计算值; 2—啮合刚度近似值

图 3 齿轮啮合刚度

Fig.3 Mesh stiffness of face-gear driver

表 1 刚度的各次谐波参数

Table 1 Harmonic components of stiffness

阶次	$A_{kl}/(10^7 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1})$	Φ_{kl}
1	4.829 9	-0.831 8
2	3.226 1	1.518 4
3	2.373 8	0.759 7
4	1.584 5	-0.043 1
5	0.877 4	-0.950 5
6	0.368 9	0.894 1
7	0.298 3	-1.164 1
8	0.412 0	0.654 1
9	0.419 8	-0.421 9

4 非线性振动方程的求解

式(9)是一个变参数、强非线性二阶微分方程组, 用解析法很难求解。本文通过引入状态变量 $u(\tau)$, 将式(9)中的 5 个二阶微分方程写成 10 个一阶微分方程, 然后, 用变步长自适应 Runge-Kutta 数值积分方法直接求解。

状态变量 $u(\tau)$ 可表示为:

$$u(\tau)=\{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, u_7, u_8, u_9, u_{10}\}^T =$$
$$\{x_1, \dot{x}_1, z_1, \dot{z}_1, x_2, \dot{x}_2, z_2, \dot{z}_2, x_n, \dot{x}_n\}^T \quad (11)$$

则式(9)可改写为如下状态方程

$$\dot{u}(\tau)=A u(\tau)+f(u_9) B+(f_{1m}+f_{1v}+f_e) C \quad (12)$$

式中: A 为线性项系数矩阵; B 为非线性项系数矩阵; C 为激励项系数向量。

5 算例与分析

面齿轮传动系统的主要参数为: $z_1=36, z_2=123$, 模数 $m=4 \text{ mm}$, 压力角 20° , $T_1=300 \text{ N} \cdot \text{m}$, $b=72 \mu\text{m}$ 。系统方程中各量纲归一化参数分别为: $\zeta_{ji}=0.01$, $\zeta_{mi}=0.02, \zeta_m=0.05, \kappa_{j1}=0.5, \kappa_{j2}=0.1(i=1, 2; j=x, z), f=0.2, f_e=0.5\omega_h^2 \cos(\omega_h \tau)$ 。

图 4~7 所示为齿轮副在不同啮合频率下的动态响应。随着啮合频率的变化, 啮合齿轮副沿啮合线方向的振动位移 x_n 将出现多种振动响应。从图 4 可知: 当啮合频率 $\omega_h=0.62$ 时, 系统为单周期非谐响应, 其振动位移响应的时间历程是简谐波, 相平面图为非圆、非椭圆的曲线, 在 Ponicare 映射图上为 1 个离散点(为节省篇幅, 被舍去), 啮合齿轮副为单边冲击, 当间隙 b 由 $72 \mu\text{m}$ 变为 $32 \mu\text{m}$ 时, 啮合齿轮副间的冲击降低, 动载荷系数显著下降。

从图 5 可见: 当啮合频率 $\omega_h=0.75$ 时, 系统为 2 周期振动响应, 相平面图为非圆闭和曲线。减小间隙时, 齿轮副之间仍为单边冲击, 动载荷系数降低, 但在啮合齿频间动载荷系数有波动。

从图 6 可见: 当啮合频率 $\omega_h=0.94$ 时, 系统为拟周期振动响应, 它是近似的周期运动, 是多个周期运动的组合, 相平面图为充满一定区域的曲线环, 此时, 齿轮副出现双边冲击, 减小间隙时, 齿轮副之间仍为双边冲击, 动载荷系数降低。

从图 7 可见: 当啮合频率 $\omega_h=1.02$ 时, 系统出现

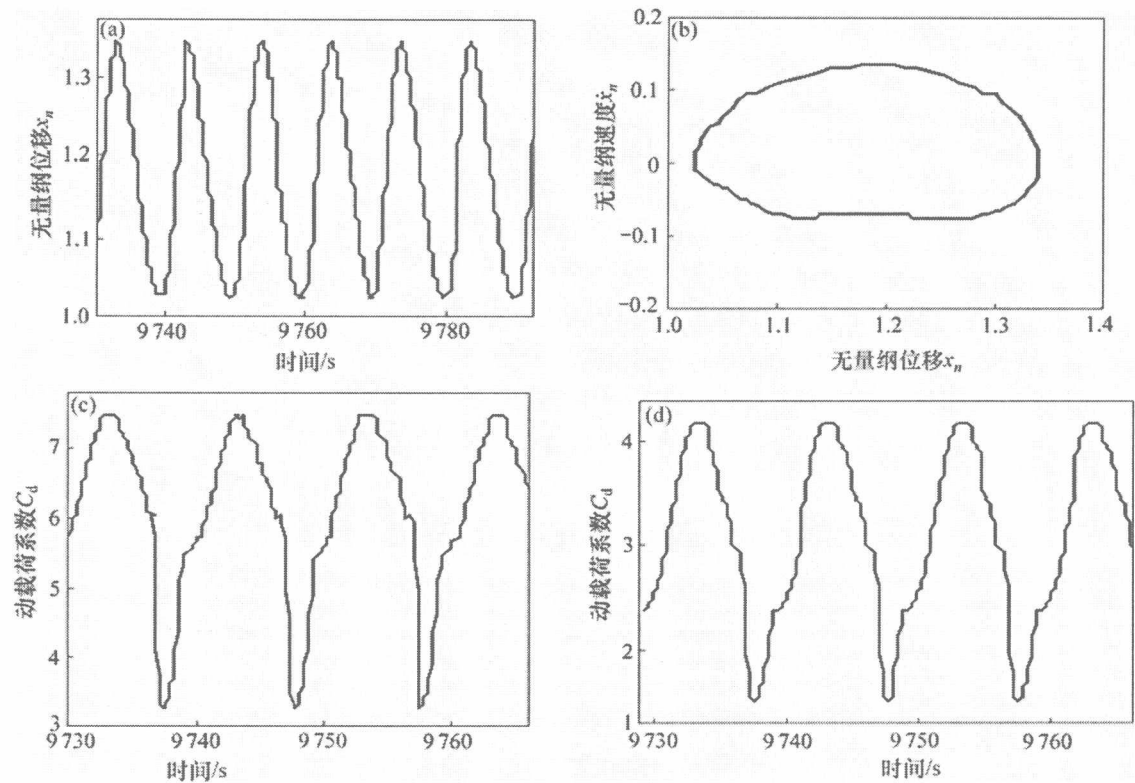


图 4 ω_h 为 0.62 的动态响应

Fig.4 Dynamic response when ω_h is 0.62

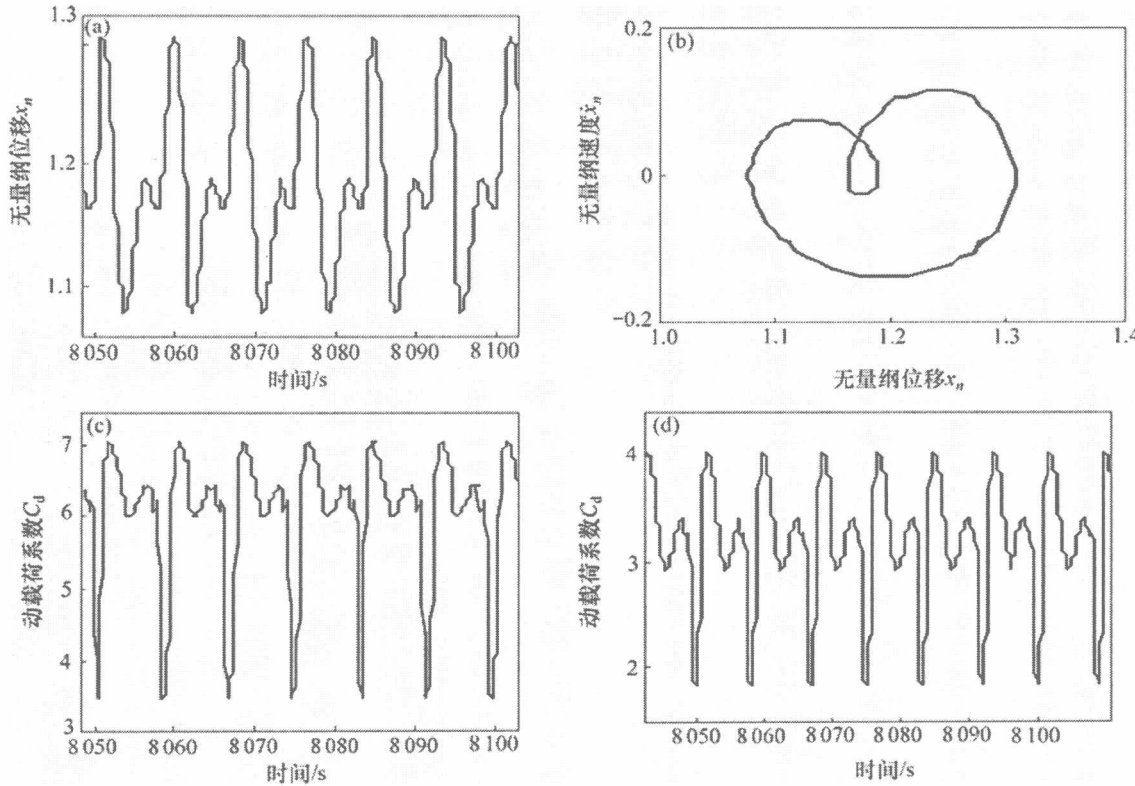


图 5 ω_h 为 0.75 动态响应

Fig.5 Dynamic response when ω_h is 0.75

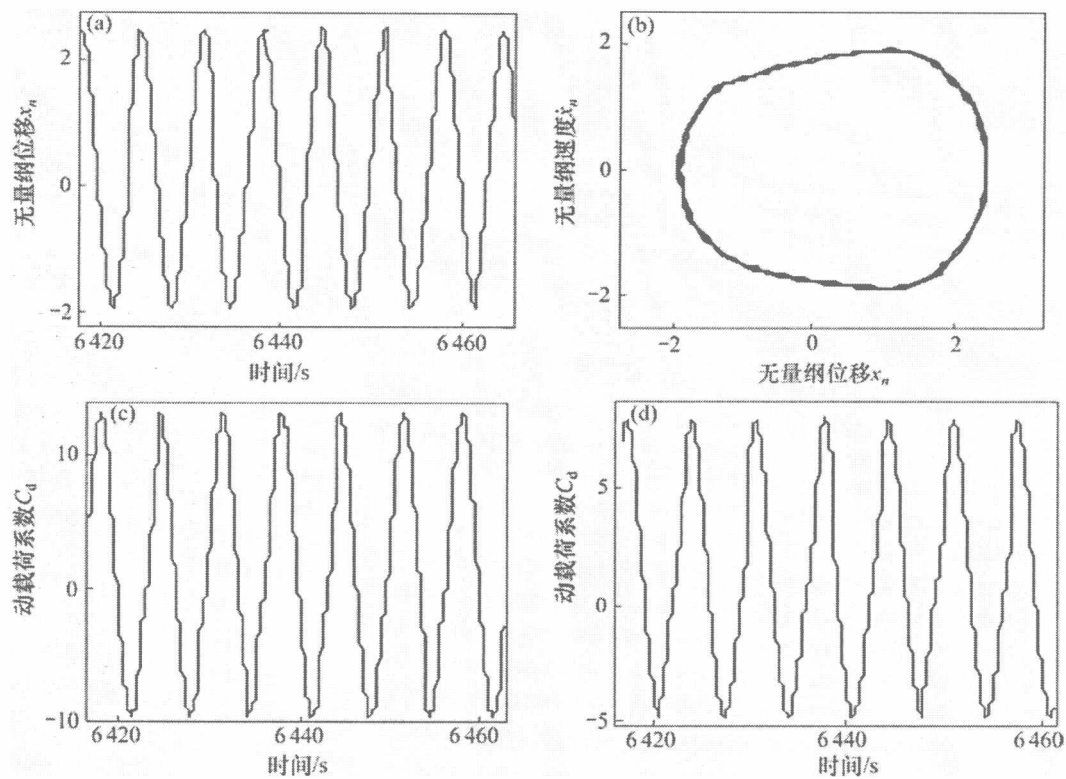


图 6 ω_h 为 0.94 时的动态响应

Fig.6 Dynamic response when ω_h is 0.94

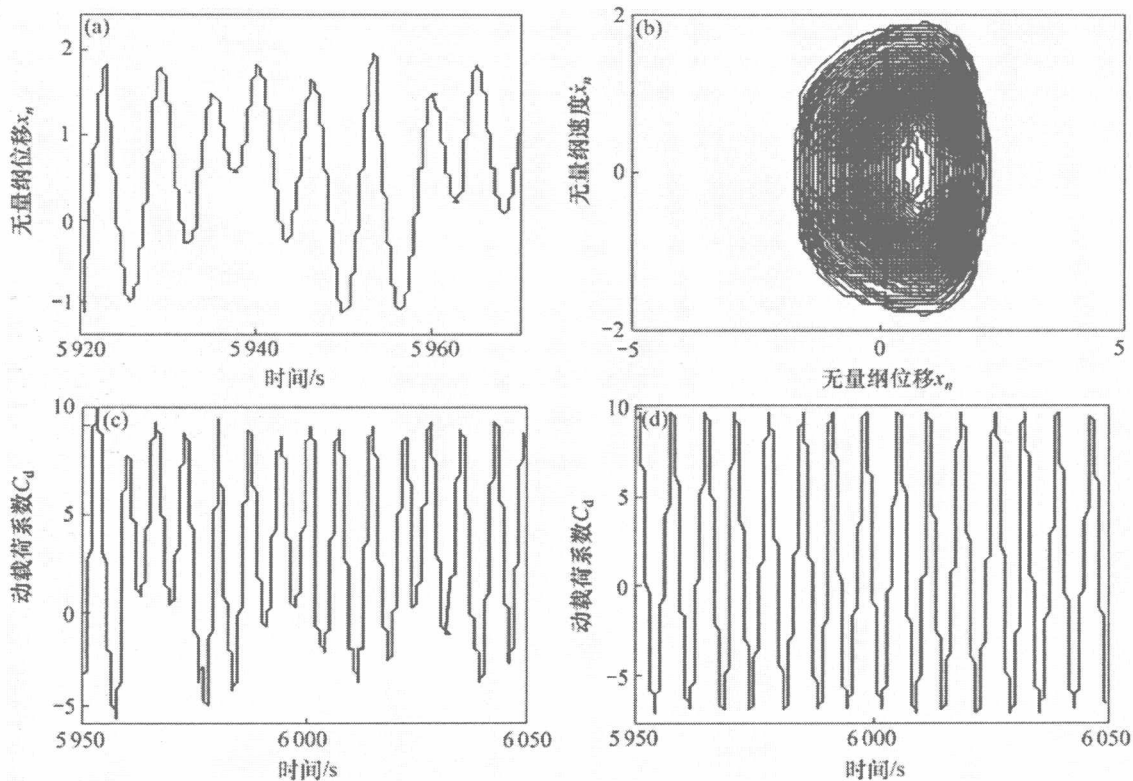


图 7 ω_h 为 1.02 时的动态响应

Fig.7 Dynamic response when ω_h is 1.02

混沌响应,响应为非周期运动,相平面图由相互缠绕和交叉但不重复不封闭的曲线组成,间隙的改变对动载荷的峰值影响不大。计算结果表明:当出现双边冲击时,由于系统的动态响应的波动幅度较大,仅仅改变间隙大小不能改变冲击状态的性质,需通过调整支撑刚度、阻尼和间隙等获得单边冲击。另外,在改变激励频率进行仿真计算的过程中,多次出现单周期非谐、2周期次谐响应。

6 结论

(1) 在考虑啮合齿轮副齿侧间隙、时变啮合刚度和传动误差激励的情况下,求解了系统的振动方程,获得了面齿轮传动系统的动载荷系数等动态响应,在周期振动状态,齿侧间隙对动载荷系数影响较大。

(2) 随着激励频率的变化,系统出现了单周期、2周期、拟周期和混沌响应。在改变激励频率进行仿真计算的过程中,多次出现单周期非谐、2周期次谐响应。

(3) 随着激励频率的增大,啮合齿轮副出现双边冲击。当激励频率不变时,仅仅改变齿侧间隙不能改变冲击状态的性质,需通过调整支撑刚度、阻尼等来获得单边冲击。

参考文献:

- [1] Litvin F L, Wang J C, Bossler R B, et al. Application of face-gear drives in helicopter transmissions[R]. Scottsdale: NASA Technical Memorandum 105655, 1991: 1-10.
- [2] Litvin F L, Zhang Y, Wang J C, et al. Design and geometry of face-gear drives[J]. Transactions of the ASME, Journal of Mechanical Design, 1992, 114(4): 642-647.
- [3] Handschuh R, Lewicki D, Bossler R. Experimental testing of prototype face-gears for helicopter transmissions[R]. Solihull: NASA Technical Memorandum 105434, 1992: 1-10.
- [4] David G L, Robert F H, Gregory F H, et al. Evaluation of carburized and ground face gears[R]. Montreal: NASA TM 209188, 1999: 1-10.
- [5] Litvin F L, Alfonso F, Hawkins J M, et al. Design, generation and tooth contact analysis(TCA) of asymmetric face-gear drive with modified geometry[R]. Cleveland: NASA TM 210614, 2001: 1-15.
- [6] Litvin F L, Alfonso F, Claudio Z, et al. Design, generation, and stress analysis of two versions of geometry of face-gear drives[J]. Mechanism and Machine Theory, 2002, 37(10): 1179-1211.
- [7] Kahraman A, Singh R. Interactions between time-varying mesh stiffness and clearance non-linearity in a geared system[J]. Journal of Sound and Vibration, 1991, 146(1): 136-156.
- [8] 唐增宝, 钟毅芳, 周建荣. 直齿圆柱齿轮传动系统的振动分析[J]. 机械工程学报, 1992, 28(4): 86-93.
TANG Zeng-bao, ZHONG Yi-fang, ZHOU Jian-rong. The vibration analysis of a spur gear transmission system[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 1992, 28(4): 86-93.
- [9] 方宗德, 高平, 宋乐民. 弧齿圆锥齿轮传动的振动分析[J]. 航空学报, 1994, 15(5): 576-581.
FANG Zong-de, GAO Ping, SONG Le-min. Vibration analysis in transmission of spiral bevel gears[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 1994, 15(5): 576-581.
- [10] Lin H H, Oswald F B, Townsend D P. Dynamic loading of spur gears with linear or parabolic tooth profile modifications[J]. Mech. theory, 1994, 29(8): 1115-1129.
- [11] Theodossiades S, Natsiavas S. Nonlinear dynamics of gear-pair system with periodic stiffness and backlash[J]. Journal of Sound and Vibration, 2000, 229(2): 287-310.
- [12] Shen Y J, Yang S P, Liu X D. Nonlinear dynamics of a spur gear pair with time-varying stiffness and backlash based on incremental harmonic balance method[J]. International Journal of Mechanical Sciences, 2006, 48(11): 1256-1263.
- [13] 王三民, 沈允文, 董海军. 含间隙和时变啮合刚度的弧齿锥齿轮传动系统非线性振动特性研究[J]. 机械工程学报, 2003, 39(2): 28-32.
WANG San-min, SHEN Yun-wen, DONG Hai-jun. Nonlinear dynamical characteristics of a spiral bevel gear system with backlash and time-varying stiffness[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2003, 39(2): 28-32.
- [14] 陈安华, 罗善民, 王文明, 等. 齿轮系统动态传递误差和振动稳定性的数值研究[J]. 机械工程学报, 2004, 40(4): 21-25.
CHEN An-hua, LUO Shan-ming, WANG Wen-ming, et al. Numerical investigations on dynamic transmission error and stability of a geared rotor-bearing system[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2004, 40(4): 21-25.
- [15] 刘晓宁, 王三民, 沈允文. 三自由度齿轮传动系统的非线性振动分析[J]. 机械科学与技术, 2004, 23(10): 1191-1193.
LIU Xiao-ning, WANG San-min, SHEN Yun-wen. Nonlinear vibrations of 3-DOF geared rotor-bearing system[J]. Mechanical Science and Technology, 2004, 23(10): 1191-1193.
- [16] 辛洪兵, 赵果, 秦宇辉. 谐波齿轮传动系统非线性扭转振动分析[J]. 机械科学与技术, 2005, 24(9): 1040-1044.
XIN Hong-bing, ZHAO Fu, QIN Yu-hui. Nonlinear analysis of harmonic drive torsional vibration[J]. Mechanical Science and Technology, 2005, 24(9): 1040-1044.

(编辑 赵俊)