

创新 交流 合作 发展

第三十届全国直升机年会
学术论文集
(下册)

中国航空学会
直升机专业委员会

二〇一四年八月

第三十届全国直升机年会

学 术 论 文 集

8月21日——8月23日

中 国 哈 尔 滨

中国航空学会

直升机专业委员会

二〇一四年八月

飞行力学与控制

第三十届全国直升机年会论文集目录

综 合 (16 篇)

美国海军直升机装备转型的几个特点	徐 明 (1)
三吨级直升机市场分析	牟晓伟 刘 勇 白明才 (8)
从军事需求看我陆军重型直升机的发展	赵 阳 臧和发 施海伟 (12)
低空空域开放-民用直升机发展之路	成 强 (17)
国外海军直升机安全性特点研究	杨 林 常 斌 王 海 (20)
国外倾转旋翼关键技术及发展状态分析	黄宇新 陈宣友 (25)
航空母舰舰载直升机性能特点分析	张勇刚 黄东盛 韩 东 (32)
基于 DoDAF 的直升机海上搜救系统作战需求研究	施建兴 魏靖彪 柳 杨 李 鹏 (38)
激光雷达及 IGPS 技术在我厂的应用前景	周 平 (43)
紧急医疗救护直升机的发展	王昆仑 王玉成 王传奇 (49)
两栖攻击舰舰载直升机发展趋势分析	常 斌 王 海 (56)
倾转旋翼飞行器发展研究与启示	王 海 徐 明 颜仙荣 (60)
无人直升机生存能力分析 & 探讨	霍 宾 彭丽海 廖辉荣 (66)
信息化对陆航武器装备建设的影响及其对策	覃文平 彭朝勇 张少贤 王天玉 (71)
直升机机载雷达对抗技术及其发展	蒋先念 杨而蒙 温新岐 (76)
直升机健康状态与使用监测系统 (HUMS) 发展综述	金小强 李新民 孙 伟 (81)

空气动力学 (32 篇)

PIV 测量缩比共轴双旋翼模型的流场特性	马艺敏 陈 铭 王 强 徐冠峰 (87)
变半径旋翼对直升机性能的提升研究	韩 东 张勇刚 黄东盛 (97)
变转速旋翼技术对无人直升机性能影响分析	董凌华 刘士明 茅 威 杨卫东 (103)
大气和地面对直升机旋翼气动噪声的影响	王 菲 史勇杰 徐国华 (108)
非定常旋涡-翼型相互作用问题数值模拟研究	赵文梅 赵 军 胡 偶 (114)
风扇翼滑流气动特性的理论分析	庞 冲 唐正飞 冯 衬 刘向楠 (122)
高速直升机旋翼反流区桨叶剖面翼型气动特性 CFD 分析	袁明川 杨永飞 林永峰 (129)
共轴刚性旋翼悬停气动干扰特性分析	温小军 史勇杰 徐国华 (135)

共轴双旋翼气动干扰特性建模研究	刘 钺	李建波	(147)
共轴双旋翼悬停流场的数值模拟	王保兵	陈 铭	(158)
涵道风扇轴流流场数值模拟分析	高延达	李 健	孙绍云(165)
机库门的开合对舰载直升机着舰域流场影响的计算分析 ...	黄 斌	孟晓伟	徐国华 史勇杰(173)
基于 CFD 的风扇翼参数优化方法	刘向楠	唐正飞	庞 冲 冯 衬(180)
基于 CFD 方法的翼型动态失速研究	黄道博	刘 勇	(187)
基于 IBC 方法的旋翼桨-涡干扰噪声主动控制数值模拟	倪同兵	招启军	吴 琪(193)
基于 N-S 方程的直升机旋翼翼型多目标多状态优化设计	王 清	招启军	(199)
基于混合网格的直升机旋翼/机身非定常干扰流场数值模拟方法研究	樊 枫	林永峰	黄水林 徐国华(206)
基于混合网格技术的倾转旋翼机降载分析	朱秋嫻	招启军	李 鹏(217)
基于力矩平衡法的压力喷气旋翼气动特性分析	李彬彬	陆 洋	(224)
基于时间精确自由尾迹方法的共轴双旋翼流场特性分析	覃燕华	朱清华	邵 松(229)
模型旋翼试验台数据采集系统设计	孙 伟	刘正江	黄建萍 陈 焕(238)
农用型无人直升机旋翼风场 CFD 模拟	张 昆	冯德利	宫 元 陈召涛 张志清(244)
前缘开槽对风扇翼升推力影响分析	冯 衬	唐正飞	刘向楠 庞 冲(252)
倾转旋翼机悬停状态全机流场的初步计算研究	叶 靓	张 颖	朱兴林 杨 硕(259)
倾转旋翼机直升机模式气动干扰研究	杨永飞	鲁 可	袁明川(264)
适用于过渡状态倾转旋翼气动力模拟的高效 CFD 方法	李 鹏	招启军	王 博(269)
围绕旋翼飞行器的三维结构化网格生成新方法	尹江离	招启军	李 鹏(277)
无人飞行器气动力测量系统设计与验证	方 毅	徐锦法	(283)
新概念卷流旋翼设计及性能试验研究	仓 宇	胡志远	冯 飞 朱清华(289)
旋翼非定常粘性绕流的高效 CFD 模拟方法	吴 琪	招启军	(295)
旋翼三维结冰数值模拟方法及气象参数影响分析	陈 希	招启军	赵国庆(301)
基于动平衡仪的旋翼模型动平衡调试	兰 波	唐 敏	何 龙(307)

设计与制造(82 篇)

EC175 型机质量审核管理与控制的方法研究	刘萍洋	(311)
FiberSIM 软件在直升机复合材料数字化制造中的研究与应用	荆天冬	周 滨 张 磊 谢 留(315)
MBD 模式下飞机设计质量控制技术研究	曲 直	田宪伟(320)
X 射线检测薄壁小管型焊接件的研究	高 岩	赵 明 关雪松 闫 冰(325)
X 射线实时成像检测技术应用研究	关雪松	高 岩 刘明亮(329)
薄壁钛合金结构件的数控加工技术研究	惠稳棉	(334)

大型全封闭式多框架复合材料构件整体制造技术	祝景萍	(339)
带旋转螺母接头的破坏拉力试验方法研究	李东敏	(348)
电动直升机应用桨速优化技术的研究	曹京军 何权荣	(353)
防除冰复合材料桨叶加热组件胶接质量无损检测方法的研究	黄景兴 林茵茵 汪开兵	(358)
复合材料表面塑喷法表面处理技术工艺试验研究	仲 洁 林 涛	(364)
复合材料主桨叶铰链力矩调整技术	杨 库 刘 政 郭 婧 张德平	(370)
复合材料结构机械连接设计分析与试验研究	张 震 温永海 徐忠岩 李黎明 李永远	(377)
复合材料层压板开孔拉伸力学性能探究	马子广 陈庆童 王卫卫	(382)
复合材料随炉试片设计	于馨皓 曹景斌 孙 壮 范超华	(391)
复合材料制作副翼调整片的超声波检测	乔玉良 赵玉莹	(397)
高效、低噪旋翼的综合优化设计方法	朱 正 招启军	(403)
关于激光告警传感器激光源设备的改进	孙 珍	(410)
关于直九桨毂星形件与夹板干涉原因分析	刘 政 刘伟东 张云丰 张德平	(413)
国产与进口 PMI 泡沫的对比研究	田华杰 陈正生 周阳富	(418)
航空钣金蒙皮拉形工艺技术现状与发展	谢忠华	(426)
航空器制造符合性检查实施方案研究	任飞宇 李晓辉	(435)
航空植保无人直升机的设计与应用	孙 然 陈 铭 王保兵 曹 飞	(439)
基于 DSP 的 DEI1016 型 ARINC429 总线收发器驱动软件设计	朱 希 谷 雨	(449)
基于 MVC 模式的航电子系统仿真系统软件设计	程新满 余爱国	(454)
基于窗体库的控制显示单元软件接口设计与应用	汪海涵 徐振黔	(461)
基于时域方法的直升机结构参数对 RCS 的影响分析	孟 晨 招启军 蒋相闻	(466)
基于直升机操纵系统试验的机械手设计及其应用	杨送非 翟 磊 黄全国	(474)
探讨金属油箱变形复位专用工具的设计改进	杨 妮 曹国飞 董 萍 陆 勇	(479)
卡型机复合材料桨叶延长日历期限寿命的研究	姜志金 王玉成 刘 政	(484)
抗坠毁复合材料机身结构设计、仿真与评估技术研究	温永海 齐德胜 宫少波 范超华 孙 壮	(492)
可变场强下的无线电罗盘系统装机检测技术研究	宋武涛 王海涛 崔志新	(497)
可垂直起降的长航时无人机总体方案	顾浩涵 王吉东	(503)
铝合金化学铣切工艺检测技术研究	米晓东	(510)
霉菌对某型直升机机体金属材料力学性能影响研	刘志芳 门坤发 马占奇 尚晓冬 王庆华	(516)
米-17 系列直升机外吊挂及部件吊挂装置的研制	赵传杰 钟仁志 赵锦瑾	(522)
民用飞机安全性分析技术在军用直升机中的应用研究	陈圣斌 曾曼成 王 斌 丁 杰	(528)
民用航空器机载软件适航管理研究	李 昕 豆永鹏 吕长生 佟 勇	(536)
民用直升机安全性探究	李 磊 姜大成 王 洋	(540)
民用直升机货舱内衬材料耐火试验适航验证方法研究	郑秀艳 辛 勃	(545)

民用直升机健康与使用监测系统的设计研究·····	谢晓明	杨文凯	高文欢	赵玉波	(550)
某型机前起落架下位锁保压时开锁问题研究及处理·····	刘 双	李 鹏		白宏伟	(555)
某型无人直升机变距系统改进与分析·····	孙爱东	丁国华	王德鑫	杨长盛	(560)
某型无人直升机典型任务设备隔振设计·····	廖 磊			王文涛	(564)
某型直升机液压助力系统设计及仿真·····	谷 峰			沈庆楼	(568)
某型直升机超速告警系统设计·····	张宾伟	张新军		姜大成	(572)
某型直升机加装伞降系统的探究·····	王海云	李永亮			(578)
某型直升机燃油供油管路瞬时高压问题研究·····	张可心	王庆华	谷 雨	金 峰	丁利伟(584)
某型直升机通风加温系统的优化设计·····	何 杰			刘道锦	(588)
某型直升机尾减速器整流罩设计·····	王乃文	曹景斌	李永远	范超华	(597)
某型直升机座舱罩骨架成型工艺改进·····	郝 钢	吕长生		陈 申	(603)
全高度夹层复合材料结构设计技术研究·····	郝刚勇	闫 冰		陈 申	(608)
全机数字化电缆检测技术应用研究·····				侯隆斌	(615)
热仿真软件在某型无人直升机舵控器上的应用·····	唐军军	刘 达	宋 军	徐艳楠	(623)
人类工效学在 HOTAS 手柄设计中的应用·····	陈 东	盘应曦	陈 超	杨振山	(626)
射线检测灵敏度对比研究·····	李英杰	邹铁才	季雪莲	孙嘉良	(632)
树脂基复合材料蜂窝夹层结构典型损伤修理验证技术研究 ·····	曹景斌	高文欢	范国星	王 松	张 爽(638)
水浸超声回波检测系统校准方法研究·····				徐庆玉	(644)
无人涵道共轴双旋翼飞行器实验平台设计·····	程太明			徐锦法	(648)
纤维增强复合材料断口分析技术·····	陈国权	马飞亚		李佳珊	(653)
虚拟维修仿真人体姿态舒适性评估库的设计与开发·····	曾卫平	吴志鹏		董 岩	(659)
液压柱塞泵热分析与建模·····	鲍嘉枫	黄 胜		谭 伦	(666)
一种机载光电吊舱多中断冲突解决方法的技术研究·····	崔志新	王海涛		宋武涛	(674)
以直-9 型机结构为基础浅析直升机设计发展储备·····	曹翠柳	张守权		王云龙	(680)
用振动测量法判断尾传动轴安装质量的研究·····	罗道国	关瑞杰		徐书博	(685)
在役零件渗透检测实例分析与创新·····	徐桂荣	张占春	闫 冰	郭垠昊	(689)
直 9 某型机尾伺服飞参传感器安装优化设计·····	李文龙	张国强		佟 勇	(692)
直-9 直升机警用化改装技术·····	陈 豹	刘 勇		许兰波	(696)
直升机飞行操纵系统复合材料拉杆设计研究·····	马小伟	郭垠昊		熊俊卿	(702)
直升机滑油系统技术要求和特点·····	陈 涛	张 巍	郝 钢		(709)
直升机货舱门的复合材料夹层结构设计·····	胡 伟	张 森		满林涛	(717)
直升机基本检查间隔期提升方法研究·····	李云龙	谢 留	施浩兴	王敬全	(723)
直升机救援电动绞车关键技术和发展研究·····	辛可新	赵庆泉		李东莹	(728)
直升机抗坠毁设计技术研究·····	卢致龙			黄志文	(734)
直升机可靠性信息评估方法的工程实践·····	梁 园	刘英环	李 勇	周创举	(742)

直升机燃油箱惰化系统仿真分析·····	赵 辉	金峙良	于 静(747)
直升机润滑系统在用油磨损金属检测技术·····	邓晓文	金光慧	徐春华(755)
直升机桅杆式雷达天线载荷分析与强度设计·····	王 建	吴艳霞	宁 远(760)
直升机旋转部件数据采集开发应用·····		黄小俊	朱光明(766)
武装直升机翼面类部件雷达目标特性分析及评估·····	蒋相闻	招启军	孟 晨(771)
直升机总体方案风险评估方法研究·····	董华杰	武庆中	朱清华(780)

飞行力学与控制(15 篇)

电控旋翼传感器系统余度设计及表决算法研究·····	王恒国	陆 洋	(787)
基于 STM32 和 RT-Thread 的小型无人倾转旋翼机飞控软件设计·····	许 斌	陈仁良	(794)
基于显模型跟踪回路成形的倾转旋翼机控制律设计·····	陆 宜	陈仁良	(802)
舰面流场下的直升机平衡特性分析·····	徐 广	胡国才	陶 杨 王允良(809)
试飞数据准稳态自动识别算法·····		邱良军	(818)
适用于直升机概念设计的飞行力学分析方法研究·····	桂敬冉	陈仁良	李 攀(824)
微小型四旋翼飞行器控制律设计与仿真·····	龚 瑞	徐锦法	金开保(831)
无人飞行器地面控制站系统设计与应用·····	牛金宇	徐锦法	(836)
无人涵道共轴双旋翼飞行器动力系统设计·····	王 珺	徐锦法	(841)
无人涵道旋翼飞行器嵌入式飞行控制系统设计·····	苏延旭	徐锦法	(847)
小型四旋翼无人直升机飞行控制系统研究·····	曹花荣	陈 昕	汪博文 刘永新(852)
直升机飞行数值仿真问题研究·····	魏靖彪	李 鹏	施建兴 柳 杨(856)
直升机飞行测试载荷数据的排伪处理浅析·····	李良操	敖英杰	徐海斌 马战奇(860)
直升机漂浮稳定性计算方法研究·····	陈 彬	马成江	陆永杰(867)
自动飞行控制系统姿态稳定性研究·····	李中喜	张守权	(874)

结构与动力学(47 篇)

SA349 直升机马赫数相似模型旋翼弹性剪裁减振研究·····	余 瑾	罗 宇	刘 勇(879)
无人直升机疲劳试验谱编制方法研究·····	宋 军	姜年朝	(886)
采用压电叠层作动器的桁架结构振动主动控制·····	冒 森	夏品奇	(893)
采用压电片作动器的柔性板结构振动主动控制·····	郎 凯	夏品奇	(900)
带结构抗坠毁油箱系统仿真研究·····	孙 东	吴宝昌	韩 刘 温永海(907)
共轴铰接式旋翼直升机地面共振机理分析·····	胡国才	刘湘一	刘书岩 王允良(913)
共轴双旋翼直升机旋翼/机体耦合动稳定性分析·····	吕增岁	杨仁国	王华明(921)

国产复合材料旋翼载荷问题研究·····	崔 荫	张亚军	孙学海	施浩兴	王敬全	赵玉波	(926)
含损伤直升机桨叶振型及检测研究·····	何永亮	潘永生	聂 江				(934)
后缘激励下旋翼振动载荷初步计算·····	刘士明	杨卫东	吴 杰	陆凯华			(938)
机体振动响应预测与减振分析·····	朱 艳	凌爱民	陈全龙				(944)
基于“全本征”方程的新型无铰式旋翼动力学模型研究·····	王 博	刘 勇					(951)
基于 Excel VBA 的直升机静力试验杠杆加载系统的自动计算·····	杨广根	陈庆童	杨 磊				(958)
基于 Lamb 波的损伤检测技术·····	王雪松	王云龙	潘永生				(964)
基于频率响应分析的减振技术研究与应用·····	高 磊	张 巍	李 研	张亚军			(971)
基于时域 Fx-LMS 算法的直升机双频振动主动控制研究·····	周录军	陆 洋	马逊军				(976)
基于桨叶吸振器的旋翼摆振载荷抑制试验方案设计·····	陈俊伟	吴世杰	韩 东				(982)
桨叶动平衡试验台桨毂铰链力矩差异分析·····	沈庆楼	张守权	薛伟松	刘 政			(988)
考虑温度影响的直升机旋翼粘弹阻尼器双频激励动力学影响分析 ·····	李锐锐	杨卫东	虞志浩	武 珅			(993)
民用直升机滑橇起落架坠撞仿真分析·····	李世峰	温永海	范国星	范超华			(998)
民用直升机鸟撞数值计算方法研究·····	林长亮	宋 瑶					(1004)
某无人直升机机身结构模态分析·····	李慕宸	王吉东					(1009)
某型机接头细节抗疲劳设计研究·····	李玉莲	陈 申	尚晓冬	刘兴超			(1017)
某型机主起撑杆接头的非线性接触分析及试验验证·····	刘兴超	随洪江	谷 雨				(1021)
某型直升机平尾小翼连接优化分析与试验验证·····	夏双满	张 巍	张体磊	门坤发			(1029)
某直升机复合材料机身主结构静力试验方法研究 ·····	李黎明	王佳峰	刘 勇	佟 强	李延泽	于国庆	(1036)
某直升机光电转塔平台振动分析与试验验证·····	夏双满	郝 钢	王虎林	张金龙			(1041)
某直升机主起落架着陆动力学响应仿真研究·····	宫 楠	张亚军	崔 荫	隋洪江			(1046)
前行桨叶概念旋翼气动弹性响应分析·····	陈全龙	凌爱民	朱 艳	王文骏			(1051)
无人直升机机体结构减重优化方法研究·····	李 富	陈立道	刘 勇				(1060)
无人直升机橇式起落架方案论证研究·····	何文龙	郝启东	李建波				(1067)
新型横列式直升机刚性旋翼/机体耦合稳定性分析·····	张若忱	夏品奇					(1074)
新型横列式直升机刚性旋翼/机翼耦合动力学特性·····	袁 红	夏品奇					(1080)
新型横列式直升机刚性旋翼气弹响应分析·····	姜文骏	夏品奇					(1088)
新型横列式直升机刚性旋翼振动载荷分析·····	赵 鑫	夏品奇					(1096)
悬停旋翼的 CFD/CSD 松耦合方法·····	李建东	黄道博	刘 勇				(1103)
悬停状态下无轴承尾桨参数设计对柔性梁载荷的影响·····	杨建国	聂 江	沈庆楼	张亚军			(1108)
旋翼桨叶稳态气弹响应计算的时间有限元法·····	翁 晨	向波罗					(1113)
一种聚焦式液弹隔振系统的动力学特性分析·····	雷少保	张 勇	王华明				(1119)
油箱系统流固耦合分析方法研究·····	朱洪艳	云庆文	吴宝昌	齐德胜			(1124)
直升机复合材料机身结构水面坠毁仿真·····	韩 刘	张 磊	周 滨	孙 东	云庆文		(1130)

直升机复合材料旋翼桨叶参数化建模方法·····	罗 宇 刘 勇 陈麟奇	(1136)
直升机舰面系留索预紧力优化·····	吴 靖 胡国才	(1143)
直升机利用机载设备作为动力吸振器的设计技术研究 ·····	王金亮 姜大成 孙秀文 张亚军 高 磊	(1150)
直升机水上迫降防撞结构研究进展·····	苑春辉 熊俊卿 刘 勇 韩 刘	(1155)
直升机旋翼桨叶共锥度视频测量系统研究·····	罗 毅 杨纯保 莫胜男	(1161)
直升机主减撑杆支座缺陷容限分析研究·····	吴国冰 吴艳霞 王 建 邹 静	(1166)

使用与维修 (122 篇)

3D 打印在直升机维护保养中的优化应用·····	娄颖达 张玺栋 张 恒	(1173)
777 型多普勒导航雷达测试仪校准技术研究·····	范立斌	(1177)
M171 直升机尾操纵钢索导向块 CAD 实体模型建立及其在加工保障中的应用 ·····	王 劲 贾洪中 袁明志 吴会庆	(1181)
CBT 技术在培训体系建设中的分析与应用·····	宫宪峰 邢福君	(1187)
H425 型机每飞行小时平均维护工时评估方法研究·····	李秀玲 王伟斌 李云龙	(1197)
HF-27 型火箭发射器导电闭锁组件故障分析·····	王 峰 周 彤 李 丽	(1202)
WZ-8D 发动机滑油系统金属屑探测器频繁报警问题初探·····	刘德奇 郭 辉 李 健	(1206)
不同强度零件接触设计中的一项隐性缺陷·····	原甜甜 张 尉 陆 勇 董 萍	(1209)
大气污染对直升机性能的影响及维修保障对策·····	高洪祥 郑 尧	(1214)
电子干扰系统在直升机作战训练中的使用效果分析·····	徐 豹 王金海 徐明锋	(1218)
多属性决策分析在直升机航电设备故障诊断中的应用研究·····	孙世霞 周雪云 陈 昕	(1222)
发动机电子控制器静电防护方法与研究·····	王春明	(1226)
飞参记录航向数据处理方法研究·····	吴瑞金 史宏宇 王世成	(1231)
飞参系统发展概况与应用探讨·····	王守直 滑朋杰 陈 江 魏建帅	(1235)
复合材料补片胶接修复复合材料结构中界面优化方法·····	邱求元 范海蓉 薛英洲	(1239)
故障树分析法在直升机维护中的应用研究·····	付 鹏 周 彤 王 宁 姚 稳	(1244)
光电取证系统在某海上民用直升机的应用·····	臧海燕 杨培滋 卞纪庆 赵长春	(1249)
国内低空空域开放对民用直升机航空维修事业的挑战·····	滕修道 薛理民 周景刚	(1255)
航空机载无线电设备受干扰问题分析·····	路亚峰 王旭东 勾 凯	(1259)
机内通话器常见故障分析及排除·····	王 亮	(1263)
机载反坦克导弹空中模拟射击训练器设计与实现·····	陈 伟 张志虎 刘晓芹 赵 阳	(1267)
结冰对直升机飞行安全和操纵的影响研究·····	胡文江 曹 鹤 赵巧莲	(1270)
基于 401 电秒表的短路保护插件延时性能检测·····	薛洪熙 果占治 闫凤龙	(1273)
基于 PHM 的直升机航空电子系统维修保障研究·····	王 琼 孙 颖 黄 凯	(1278)

基于 Proteus 与单片机的直流电机控制系统设计·····	薛洪熙	闫凤龙	王世成	(1282)
基于 Weibull 分布的直升机使用可靠性评估方法与软件实现·····	孙小双	陈俏剑	秦银雷	(1286)
基于裂纹闭合效应的疲劳裂纹扩展特性研究·····	柳文林	郁大照		(1291)
基于民用直升机的通航一体化综合保障系统研究·····	肖 巍			(1295)
基于模糊 RBF 神经网络的直升机旋翼不平衡故障分类研究·····	廖文峰	孙哲芑	高亚东	(1298)
基于支持向量机的发动机滑油分析算法·····	王新军	黄飞波	邓 强	(1305)
基于直升机机载有源相控阵雷达高速数据链构想研究·····	尹常京	孙 颖	王 萍	(1310)
激光成像近炸引信的目标识别算法研究·····	张 斌	勾 凯	全 飞	(1314)
军用直升机 CNI 系统的维护保障·····	臧和发	施海伟	尹常京	(1318)
空气起动机输出轴断裂故障分析·····	陈美军			(1322)
螺旋锥齿轮产生振动和噪声原因分析·····	张 海	唐湘林	孟 伟	(1326)
马尔可夫过程在直升机可靠性预测中的应用·····	陶 亮	孙光明	韩进凯	张国强 (1332)
米-17 系列直升机桨毂螺帽的一种新式拆装工装·····	罗 明	郑国平	吴会庆	徐 宁 (1335)
米-17 系列直升机金属燃油箱损伤分析及修理·····	吴会庆	徐 宁	罗 明	王 劲 (1338)
米-17 系列直升机 АИ-9В 起动发动机供气软管的技术改进 ·····	王 涛	周成东	赵建羽	夏 民 (1341)
米系列某型直升机液压操纵系统可靠性升级方案研究·····	梁宁宁	曹 颖	李兆宁	(1346)
米系列直升机 УИТ-1М 温度表检查台校准方案研究·····	邓浪明	赵焕兴	吴占林	夏 军 (1349)
米系列直升机发动机试车调试动态测试系统设计·····	邢永军	胡晓军	邓浪明	陆 勇 (1355)
某型滑橇阻尼器活塞杆处渗油情况分析·····	白江坡	刘 浩	宋 楠	于水游 (1360)
某型机座舱玻璃故障分析及对策·····	郭垠昊	闫 冰	豆永鹏	(1365)
某型捷联航姿系统消除故障模式研究·····	陈学江	张江涛	谢建华	(1371)
某型救援直升机在高温环境下效能变化分析·····	王 丰	申志兵	王 晖	(1376)
某型燃油供油选择阀控制继电器失效分析及解决措施·····	梁 剑	吴卫东	王 勇	徐 伟 (1381)
某型卫星通信设备可靠性分配研究与应用·····	杨宗阳	梁 剑	王 勇	徐 伟 (1386)
某型涡轴发动机喘振探测器功能模拟技术研究·····	唐湘林	叶 飞	陈永亮	(1391)
某型武装直升机 23-2 航炮发射控制系统的改进设想·····	李 孟	李波林	王 宁	宋大勇 (1396)
某型武装直升机火箭武器模拟射击训练装置开发·····	杨 乐	胡学敏	孙 放	张江涛 (1399)
某型武装直升机武器挂装系统虚拟技术研究·····	杨 乐	胡学敏	张 琢	张江涛 (1404)
某型武装直升机昼夜观瞄系统不受控制故障排除及分析·····	李 孟	王 宁	马 艳	宋大勇 (1410)
某型直升机操纵盘裂纹分析·····	何九领	权雪分	刘培元	(1413)
某型程序机构数字化设计与仿真·····	梁 虹	张江涛	刘 莹	高占强 (1418)
某型直升机航电系统快速维护电子手册开发·····	袁 诚	路竞波	刘波涛	(1421)
一起直八型直升机主机轮与主起落架连接螺栓卡死的故障分析·····	王 猛	吴由录	蒋银燕	(1425)
某型直升机冷气刹车系统故障判断及分析·····	华滨涛	刘正胜	王凤阁	苏子文 (1428)
某型直升机燃油供油选择阀通电不工作故障分析·····	吴卫东	王 勇	梁 剑	范 彬 (1432)

某型直升机燃油切断开关故障分析与设计改进建议·····	张雁军	明保全	贺庞厚	(1436)
某型直升机计算机辅助维护培训系统的设计与实现·····	陈 昕	曹花荣	孙世霞	周雪云(1439)
某型直升机尾部震动过大的故障分析·····	郑 华	张雁军	吴由录	(1444)
某型直升机尾桨叶钛包边酸洗机理分析·····	杨 辉	李雅雯	马小虎	(1447)
某型直升机一起人为差错引起的多系统故障的排除及启示·····	翟丽珍	梁贵德	苏川南	(1451)
某型直升机主桨毂轴向关节漏油故障分析·····	韩 鹏	蔡 刚		(1455)
一起米-17B5 直升机主液压系统不工作故障分析·····	吴由录	王 猛	孙宪杰	(1459)
浅谈机务人员随身装备改进与直升机维修水平的提升·····	陶 亮	孙光明	韩进凯	张国强(1462)
浅谈直升机金属油箱应急抢修·····	武海军	胡刚林	杨 妮	刘亚民(1466)
浅谈直升机在现代森林防火灭火战斗中的应用·····			邢福林	(1471)
浅析陆航装备维修保障信息化建设·····	沈 军	李 健	郝 义	(1476)
沙尘环境对军用装备影响机理探讨·····	单伟忠	常春雷	朱 迪	夏 露(1480)
深入推进陆航装备安全管理工作的几点思考·····	王 峰	刘 涛	张照阳	(1485)
声-超声检测方法在直升机复合材料上的应用·····	王建新	季建朝	缪万波	谭承恩(1488)
手工研磨方法在直升机机械部附件修复中的应用·····	翟丽珍	苏川南	胡 颖	(1492)
涡轴-8 系列发动机起动放油活门内部漏油故障分析·····	唐湘林	李 军	张 海	(1495)
涡轴-8 系列发动机中介机匣 P2 引气凸座断裂/裂纹故障问题分析·····	陈永亮	唐湘林	彭国平	(1500)
武装直升机机体弹头战伤模式及评估研究·····	陆 勇	陈乃成	吴 胜	董 萍(1504)
武装直升机机载武器原位校靶方法研究·····	陈 伟	吕照富	赵 阳	李春虹(1509)
新型直升机综合航电系统使用可靠性研究·····	张宏斌	曹学峰	余能鹏	(1513)
虚拟维修技术在直升机维修中的应用研究·····	高 伏	董泽委	李云岗	胡 倩(1517)
旋翼对直升机机载天线方向图的转子调制影响建模·····	张玺栋	来国军	张 恒	(1522)
一起 WL-9 中波罗盘定向距离近隐性故障排除与分析·····	徐日春	宋新波	尹常京	(1525)
一起 WZ-8A 型发动机空中停车故障研究及建议·····	戴锦楼	宋伟伟	赵 龙	高宝方(1528)
一起 K 3 C II 表速给定修正器故障分析和排除·····	赵 莹	陈 锐	童友江	鲍丽娜(1531)
一起辅助动力装置起动失败故障分析·····	闫凤龙	张江涛	果占治	(1534)
关于某型直升机起动系统打火现象的一点探析·····	谢建华	李建朋	韩跃峰	(1537)
一起关于某型直升机综合任务处理系统故障的分析与排除·····	谢建华	李建朋	李丽红	(1540)
一起米系列直升机桨距卡滞故障的分析与排除·····	李平金	罗 成		(1543)
一起机载气象雷达显示器故障分析与排除·····			徐新文	(1546)
一起空中“电瓶”灯时亮时灭故障分析·····	张江涛	常卫兵	梁 虹	杨 乐(1549)
一起涡轴-8D 发动机磁性密封圈漏油故障分析·····	唐湘林	张 海	丁 琪	(1552)
一起直九直升机双发 Ng 不协调故障原因分析·····	魏艳艳	王家满	吕照富	王 哲(1556)
一种机载短波电台模拟训练系统设想·····	张国新	勾 凯	宋新波	(1560)
引发直升机电子设备突发故障因素分析·····	裴承山	臧和发	陈 浩	(1563)
由提前器预调钢索断丝引起的思考·····	常春雷	单伟忠	朱 迪	赵子龙(1565)

直升机战斗损伤特性及其应急抢修研究.....	刘亚民	张东艳	雷立红	刘博丽	(1569)
直-9 直升机尾桨叶片小孔腐蚀的闭塞电池模型.....	范海蓉	王跃然	马余才	康 敬	(1573)
某型直升机直流电源系统故障排除.....	张宏斌	林再春	乔庆刚		(1577)
直升机伴随保障能力评估研究.....	尹 乐	缪万波	薛 浩	甘晓燕	(1580)
直升机导弹逼近告警系统现状及面临的挑战.....	勾 凯	张 斌	张五四		(1587)
直升机电源系统的机内自检测技术应用.....	果占治	张江涛	任有为		(1591)
直升机吊桶灭火应把握的几个安全问题.....	李平金	罗 成	吴由录		(1596)
直升机飞行员疲劳检测系统方案设计.....	刘永新	刘 波	李春虹	孙 涛	(1599)
直升机复合材料海洋环境性能研究.....	王跃然	唐德军	薛宪斌	黎凤起	(1603)
直升机故障与维修数据库设计技术初步研究.....	吴 亮		孙传伟		(1608)
直升机航材备件需求预测方法对比分析研究.....	缪万波	刘 颖	尹 乐	赵子龙	(1613)
直升机航电系统通用测试设计.....	孙国忠	范志强	赵永奇		(1617)
直九直升机左右摇摆故障分析.....	高世兵	李青松	刘传友	高书峰	(1621)
直升机机械系统测试软件设计.....	余能鹏	鞠艳秋	刘 波		(1624)
直升机面源红外诱饵弹不同投放时机干扰有效性分析.....	于晓亮	纪双星	樊海荣		(1628)
直升机山地飞行.....	孙生生	叶昆鹏	钱 勃		(1633)
直升机尾桨卡滞处置原理分析.....	钱 勃	翟 琛	张 强		(1637)
直升机新机虚拟维修研究.....	谈敦铭	郎娟芳	张文军		(1640)
直升机液压导管裂纹原因分析及预防措施.....	梁 伟				(1645)
直升机液压舵机常见故障及排除方法.....	马 虎	向波罗			(1649)
直升机应急保障技术信息综合管理系统研究.....	吴 胜	许君宁	胡晓军	陆 勇	(1652)
直升机载雷达应用研究.....	李丽红	刘 辉	路亚峰		(1656)
直升机专用光学设备检测方法研究.....	吴占林	赵焕兴	陈 宇	夏 军	(1659)
直升机综合显示控制系统虚拟实验室的设计研究.....	滑朋杰	张华颖	张宏斌	齐 驰	(1664)
直升机纵向碰撞风险概率分析.....	郭 昕	晏宏宇	张 刚		(1668)
自动驾驶仪故障分析.....	谭耀兰				(1674)
直升机地形感知与告警系统研究.....	陈广永	陆 洋	薛琳强		(1678)

电控旋翼传感器系统余度设计及表决算法研究

王恒国 陆 洋

（南京航空航天大学旋翼动力学国家级重点实验室，南京 210016）

摘 要：电控旋翼是通过主操纵系统控制襟翼的偏转来带动桨叶变距运动，实现电控旋翼主操纵。由于电系统的可靠性不如机械系统，为了提高电控旋翼传感器系统的可靠性，本文针对模型电控旋翼系统设计出一套非相似余度传感器系统方案，并对表决算法提出改进以提高传感器系统的可靠性。该方法在系统出现多数故障情况下依然能准确的判断信号是否有效。仿真试验研究表明，改进的表决算法具有可行性和有效性，此套设计方案能有效的提高传感器系统的可靠性。

关键词：电控旋翼；余度设计；表决算法；非相似余度

0 引言

电控旋翼是于本世纪初提出的一种新概念旋翼操纵系统。电控旋翼控制系统工作方式如图 1 所示，襟翼角度传感器信号经弱电滑环进入 AD，主操纵系统控制器 DSP 读取操纵指令、光电码盘反馈的方位角信号及 AD 采集的襟翼角度信号后，经控制算法计算得出襟翼的期望偏角，DA 转换后经弱电滑环将信号传至作动器控制器，控制作动器带动襟翼的偏转，从而产生相对于桨叶变距轴线的俯仰力矩，以此改变桨叶的桨距，实现对旋翼的操纵^[1]。

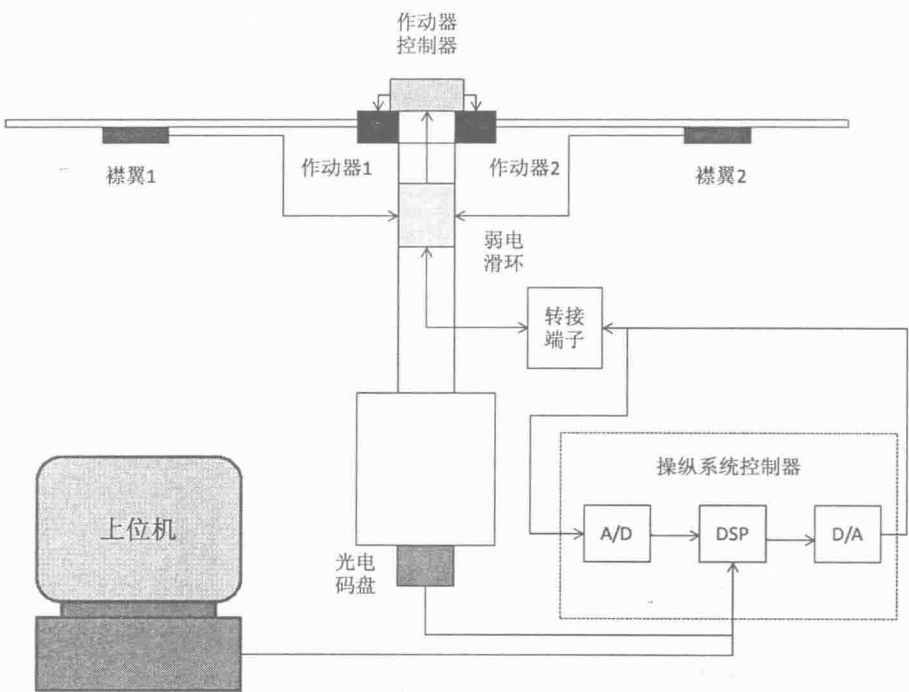


图 1 电控旋翼控制系统工作原理框图

由此可见电控旋翼操纵系统涉及电气设备多，系统复杂，其重要电气部件：包括各角度传感器、电作动器等工作在强离心场内；更重要的是，由于电控旋翼以主操纵系统取代了自动倾斜器操纵系统，一旦发生故障，将直接威胁飞行安全。一般而言，电气系统的可靠性不如机械操纵系统，因此

电控旋翼的可靠性就成为系统设计中必须考虑的问题。为了提高电控旋翼操纵系统的可靠性，可采用余度技术。在无人机等领域，余度技术已经广泛的应用于飞行控制系统中^[2-5]。在实现电控旋翼操作系统余度设计时，可参考其设计方法。

电控旋翼操纵系统的余度设计包括：传感器余度设计、控制器余度设计和作动器余度设计，本文仅对传感器余度设计部分进行介绍。传感器信号作为控制器的反馈输入，是实现闭环控制的重要基础，传感器信号直接关系主操纵系统的操纵效果。本文以课题组研制的模型电控旋翼系统（图 2 所示）为对象，提出适合的传感器余度设计方案，并通过仿真验证其可行性和有效性。

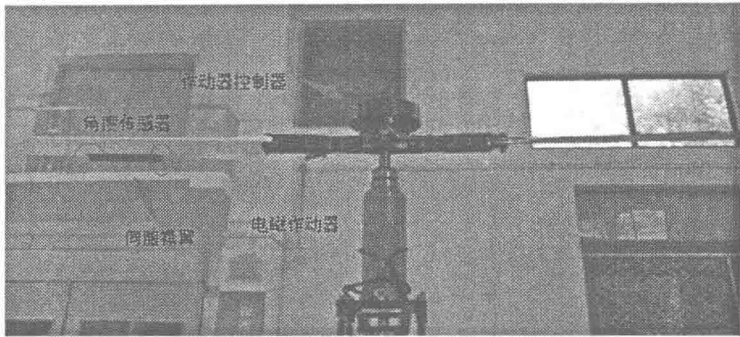


图 2 模型电控旋翼系统

1 传感器余度系统设计

一般而言，要构成余度系统至少需要三路传感器信号，电控旋翼每片襟翼的根部安装有两个霍尔角度传感器用于测量襟翼角。每片桨叶根部内嵌一个电作动器，通过操纵线系控制襟翼运动。电作动器由作动器控制器控制，同时作动器控制器在特定模式下可以将作动器端部的角度传感器输出的作动器角度值以相对式编码器的方式输出。由于作动器的角度和襟翼的角度具有固定的比例关系，所以可以将作动器的角度按比例处理后与两个霍尔角度传感器组合在一起形成非相似三余度角度传感器。

本文基于这两路霍尔传感器信号、一路编码器信号设计一套非相似三余度传感器方案，此方案的优点在于无需重新增加硬件设备，又可以避免余度传感器出现共性故障而导致系统无法工作^[6]，图 3 为系统设计方案框图。

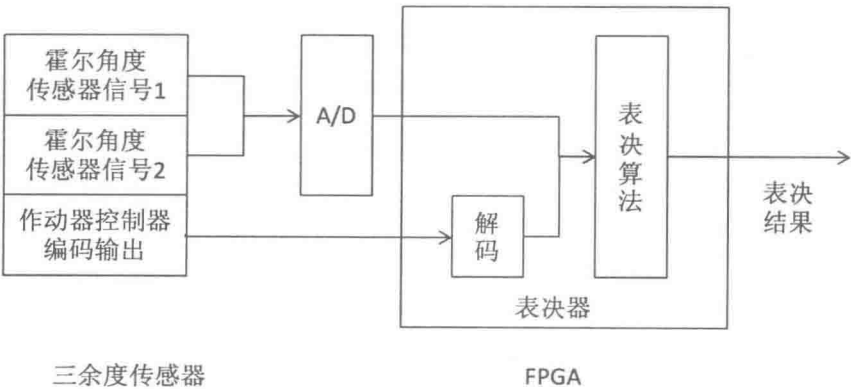


图 3 非相似三余度传感器系统方案

如上所述，传感器余度系统的输入信号为两路模拟信号，一路编码信号。经表决器表决得出正确的襟翼角度值，输出到后续的操纵系统控制器 DSP 中作为襟翼角的反馈。表决器硬件选择 FPGA，作为纯硬件的逻辑器件。FPGA 用在此处有明显的优势：可靠性高于单片机、DSP 等处理器；作为逻辑器件更适合用于解码、表决等任务；由于 FPGA 是并行器件，在控制 AD 采集信号等任务时速度更快。

1 表决算法设计

表决算法的目的在于能将余度信号中的故障与正常信号加以区分，并将故障的信号加以屏蔽、正确的信号传输至后续模块。本节通过对传统算法的分析发现其不足之处，并通过算法的改进以提高系统的容错能力。

1.1 传统三余度比较表决

传统的三余度比较表决策略首先进行排序，即先将三个余度的信号按值的大小排序，依次得到：最大值、中间值和最小值；然后对每两路信号求差，分别得到最大值与最小值的差值、最大值与中间值的差值及中间值与最小值的差值；最后将各差值与预设的门限阈值进行比较，首先考虑概率最大的事件是三余度信号均有效，即先比较最大值与最小值的差值和阈值的关系，若差值小于阈值则三信号均有效；否则，依次比较最大值与中间值的差值、中间值与最小值的差值和阈值的关系，并最终确定各余度信号的状态^[7]。算法流程如图 4。

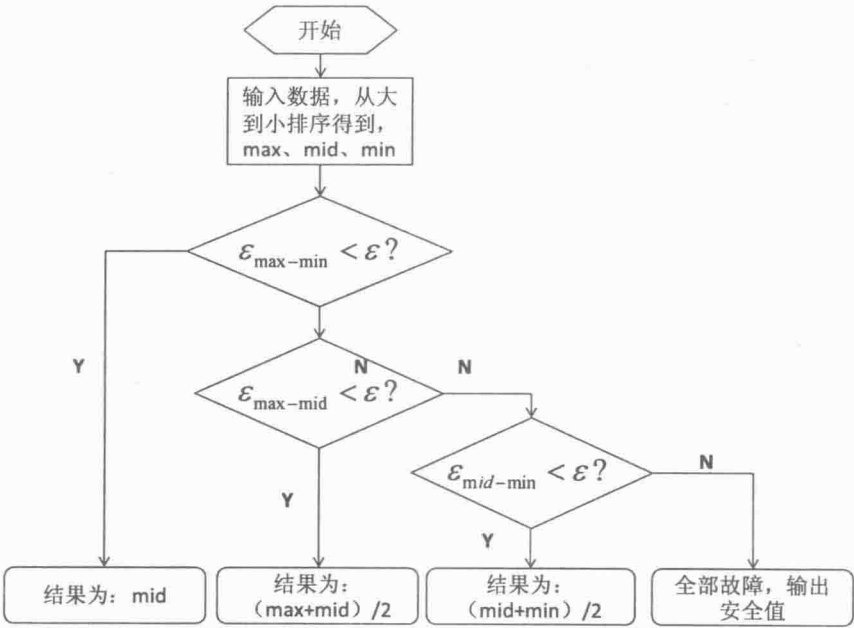


图 4 传统三余度表决策略的流程图

对相邻信号值所进行的比较所对应的信号状态如表 1 所示。表中，0 表示差值没有超出门限阈值，1 表示差值超出门限阈值，-- 表示差值与阈值对比为任意状态。

表 1 传统三余度表决策略故障定位

序号	最大值与 最小值差值	最大值与 中间值差值	中间值与 最小值差值	故障定位
1	0	--	--	3 信号均正常
2	1	0	0	3 信号均正常
3	1	0	1	最小信号故障
4	1	1	0	最大信号故障
5	1	1	1	3 信号均故障

这种比较表决策略有一个明显的缺点：当三余度信号中只有一路正常时，无法有效辨别出该正常信号，而将该情况笼统的归为全故障状态，输出安全值。针对传统算法的这个缺点，本文提出了一种改进算法，它能有效辨别出正常信号，提高传感器系统的可靠性。

1.2 改进的余度表决算法

改进的余度表决算法通过将传感器信号的预测值与各路余度信号进行比较，在三余度系统出现两路故障时，将与预测值最接近且未超过阈值的信号判断为正确信号，从而提高系统的可靠性。

1.2.1 引入预测值

故障的一个基本特征是它的随机性，即故障信号会出现突变现象。而电控旋翼的控制周期很短（以时域控制算法的 5Hz 为例，控制周期约为 1ms），襟翼的状态变化可近似视为连续变化。在近似处理的基础上，当余度传感器出现两路故障而传统表决策略失效时，可以根据前若干周期内有效的角度值对当前周期的角度值进行预测，将预测值作为一个参考信号与各路传感器信号进行比较，从而可以将最接近的、且差值小于预测误差值的传感器信号判定为正常。这里，预测方法采用最小均方误差(LMS)算法^[8]。

1.2.2 最小均方误差(LMS)算法

LMS 算法属于自适应算法的一种，其工作原理为：它可以根据外部环境的变化，基于最小均方误差准则，对权值进行迭代计算，以获取最优权值，使得滤波器的输出达到期望的响应信号。LMS 算法具有方法简单，计算量小和易于实现且对信号统计特性具有稳定性等优点。LMS 算法的原理如图 5 所示：

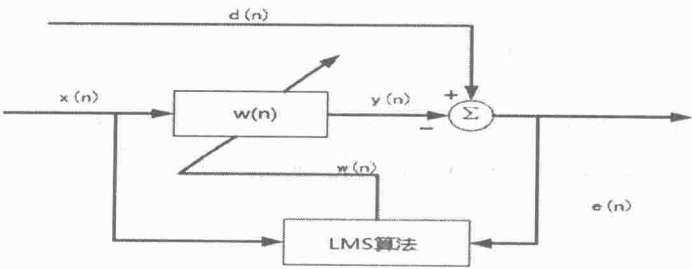


图 5 LMS 算法原理图