

南京航空航天大学
论文集

(二〇〇五年) 第23册

民航学院

南京航空航天大学科技部编

二〇〇六年三月

民航学院

071 系

072 系

073 系

民航学院2005年度科技论文发表统计

序号	姓名	职称	单位	论文题目	刊物、会议名称	年、卷、期	类别
1	耿端阳 左洪福 刘 明 蔡 景 张月雷	副高 正高 博士 博士 硕士	071 071 071 071 071	维修大纲制订过程检查等级与维修间隔 确定模型研究	2005年江苏省博士后学 术大会论文集会议	2005	
2	耿端阳 左洪福 郑百战	副高 正高 中级	071 071 外校	钛板防松动剪切刀具的设计及试验研究	机械科学与技术	2005. 24	
3	耿端阳 张铁中	副高 正高	071 外校	直动双挡销式分钵落苗系统设计	吉林大学学报	2005. 35. 5	
4	许 娟 左洪福	初级 正高	071 071	民机备件储备量决策分析	第六届全国交通运输领 域青年学术会议	2005	
5	梁 剑 左洪福 常继百 赵红华 周左成	博士 正高 硕士 高工 高工	071 071 071 071 071	基于统计粗集模型的航空发动机维修等 级预测方法研究	应用科学学报	2005. 23. 02	
6	张海军 左洪福 许国康 王书辉	博士 正高 副高 副高	071 071 外校 外校	电磁铆接工艺在机翼整体油箱上的应用	兵工学报	2005. 26. 06	
7	张海军 左洪福 梁 剑	博士 正高 中级	071 071 071	基于信息熵属性约简的航空发动机送修 等级决策	系统工程	2005. 23. 07	
8	吴静敏 左洪福	博士 正高	071 071	基于案例推理的直接维修成本预计方法	航空学报	2005. 26. 02	
9	吴静敏 左洪福 陈 勇	博士 正高 硕士	071 071 071	An estimation method for direct maintenance cost of aircraft components based on particle swarm optimization with immunity algorithm	Journal of Central South University of Technology	2005. 12	
10	左洪福 于 辉 刘 昕	正高 博士 硕士	071 071 071	磨粒三维测量的立体视觉方法	仪器仪表学报	2005.26.02	

序号	姓名	职称	单位	论文题目	刊物、会议名称	年、卷、期	类别
11	左洪福 涂群章 李艳军	正高 博士 副高	071 071 071	润滑油液污染颗粒图像监测系统与实验研究	兵工学报	2005.26.05	
12	谢庆华 左洪福	博士 正高	071 071	电动车辆用Ni-MH电池智能化放电控制研究	南京航空航天大学学报	2005.00.04	
13	谢庆华 左洪福	博士 正高	071 071	航空发动机单部件视情维修优化决策研究	解放军理工大学学报	2005.00.12	
14	谢庆华 段 红	博士 中级	071 071	The Kinematica Analysis of the Hydraulic Mine-clearing Mechanical Manipulator	兵工学报(英文版)	2005.01.01	
15	谢庆华 张 琦	博士 副高	071 外校	液压排雷机械手驱动系统参数识别技术研究	江苏省博士后学术大会论文集	2005.00.12	
16	王华伟 周经伦 张金槐 何祖玉	博士 正高 正高 博士	071 071 071 071	液体火箭发动机可靠性增长分析模型研究	兵工学报	2005.26.02	
17	李 强 干敏梁	硕士 正高	071 071	基于直接数字频率合成技术的脑循环功能治疗仪	生物医学工程学杂志	2005.22.01	
18	陈 果	副高	071	基于遗传算法的ARMA模型定阶新技术	南京航空航天大学学报	2005.41.01	
19	陈 果	副高	071	基于神经网络和D-S证据理论的发动机磨损故障融合诊断	航空动力学报	2005.20.02	
20	陈 果	副高	071	神经网络模型的预测精度影响因素分析及其优化	模式识别与人工智能	2005.18.05	
21	陈 果	副高	071	航空发动机磨损故障的智能融合诊断	中国机械工程	2005.16.04	
22	文振华 陈 果	硕士 副高	071 071	基于D-S证据理论的航空发动机磨损故障智能融合诊断方法	机械科学与技术	2005.24.09	
23	杨虞微 陈 果	博士 正高	071 071	光谱油样分析监测技术中神经网络预测方法	光谱学与光谱分析	2005.25.08	
24	孙有朝	副高	071	指数型单元混联系统可靠性综合的信息论方法	航空动力学报	2005.20.05	
25	曹同强 严 平 周洁敏	本科 本科 正高	071 071 071	基于LabVIEW的任意函数发生器	仪器仪表与分析监测	2005.00.01	
26	严 平 曹同强 周洁敏	本科 本科 正高	071 071 071	基于LabVIEW的燃油泵液位传感器耐久性实验	仪器仪表用户	2005.12.01	

序号	姓名	职称	单位	论文题目	刊物、会议名称	年、卷、期	类别
27	张 键 周洁敏	硕士 正高	071 071	Robot工具在系统测试中的应用	电子质量	2005.00.221	
28	孙 静 宋德修 周洁敏	硕士 硕士 正高	071 071 071	嵌入式实时操作系统UC/OS-II的移植	电工技术	2005.00.290	
29	魏 运 曹海鹏 孙 静 周洁敏	本科 本科 硕士 正高	071 071 071 071	基于USB的飞机EICAS系统研究	测控技术	2005.24.09	
30	曹 力 史忠科 郑家伟	中级 正高 正高	071 外校 外校	Automatic Multilevel Thresholding Method Based on Maximum Entropy	Transactions of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics	2005.22.04	
31	曹 力 黄圣国	中级 正高	071 071	GPS误差的时间序列分析建模研究	计算机工程与应用	2005.41.35	
32	曹 力	中级	071	在“交通信息工程”教学中培养学生专业兴趣和学习能力	南京航空航天大学学报(社科版)	2005.07.01	
33	李 睿 曹 力	硕士 中级	071 071	低成本实用型GPS/GSM车载导航定位系统	第六届全国交通运输领域青年学术会议	2005	
34	郭琪超 曹 力	硕士 中级	071 071	车辆图像的自适应多 值分割方法研究	第六届全国交通运输领域青年学术会议	2005	
35	杨新勇 黄圣国	博士 正高	071 071	基于道路精简滤波原理的车辆导航系统地图匹配算法	遥感学报	2005.09.02	
36	王旭辉 吴灼辉 黄圣国	博士 硕士 正高	074 074 071	模糊神经网络在飞行数据挖掘领域的研究	第六届全国交通运输领域青年学术会议	2005	
37	吴灼辉 王旭辉 黄圣国	硕士 博士 正高	074 071 071	飞机飞行安全监控系统实时数据库的应用	第六届全国交通运输领域青年学术会议	2005	
38	张 玥 黄圣国	硕士 正高	074 071	低功耗气压高度表设计	第六届全国交通运输领域青年学术会议	2005	
39	郑 敏 申 凡 陈怀海	中级 副高 正高	071 013 013	Operational modal analysis schemes using correlation technique	Chinese Journal of Solid Mechanics	2005.18.01	
40	纪 荣 韩松臣	硕士 正高	072 072	Route optimizing algorithm of airport surface based on gis	Transactions of NUA	2005.22.01	
41	程丽媛 韩松臣 刘 星	硕士 正高 副高	072 072 074	采用内点约束的最优冲突解脱方法	交通运输工程学报	2005.05.02	

序号	姓名	职称	单位	论文题目	刊物、会议名称	年、卷、期	类别
42	席卫东 乔 兵 朱剑英	博士 副高 正高	073 073	引入乘客博弈的民航收益管理决策优化	中国管理科学	2005.13	
43	席卫东 乔 兵 朱剑英	博士 副高 正高	073 073 052	民航收益管理要素综合研究	商业时代	2005.00.36	
44	席卫东 乔 兵 朱剑英	博士 副高 正高	073 073 052	航班博弈售票方略	经济纵横	2005.00.11(上)	
45	席卫东 乔 兵 朱剑英 夏洪山	博士 副高 正高 正高	073 073 052 073	民航收益策略及其影响——兼论机票定价 对民航业的影响	价格理论与实践	2005.00.06	
46	席卫东 朱剑英 夏洪山	博士 正高 正高	073 052 073	结合座位分配的机票浮动定价策略	集团经济研究	2005.00.06	
47	彭 怡	中级	073 073	基于全面物料清单的供应链经济决策模 型	企业经济	2005.11	
48	彭 怡 朱金福	中级 正高	073 073	供应链定位策略的集成与优化	企业经济	2005.00.12	
49	陈金国 朱金福	博士 正高	073 073	安全文化:700万矿工生命的另类保障	中国社会保障	2005.00.8	
50	陈金国 朱金福	博士 正高	073 073	学习力:提升矿工安全素质的第一要素	安全	2005.26.05	
51	陈金国 朱金福	博士 正高	073 073	神经网络模型及其在煤矿瓦斯预测中的 应用	煤炭科技	2005.00.2	
52	陈金国 朱金福	博士 正高	073 073	矿山灾变环境下逃逸路径优化算法	煤矿安全	2005.36.11	
53	陈金国 朱金福	博士 正高	073 073	安全文化的平衡计分长绩效评价方法	中国安全科技学报	2005.15.09	
54	梅 虎 朱金福	博士 正高	073 073	基于灰色关联分析的旅游景区顾客满意 度测评研究	旅游科学	2005.19.05	
55	梅 虎 朱金福	博士 正高	073 073	农业旅游资源定量评价研究	科技进步与对策	2005.22.12	
56	梅 虎 朱金福	博士 正高	073 073	饭店绿色营销博弈观	生态经济	2005.21.02	
57	朱金福 刘 凤 桂云苗	正高 硕士 博士	073 073 073	航空货运CRM数据仓库设计和OLAP分析	空运商务	2005.00.03	
58	周 艳 朱金福	硕士 正高	073 073	可召回制度:一种新的航空客运收益管理 办法	中国民用航空	2005.55.07	

序号	姓名	职称	单位	论文题目	刊物、会议名称	年、卷、期	类别
59	朱金福 刘 风 高 强	正高 硕士 博士	073 073	航空货运客户细分与客户价值分析方法	交通运输工程学报	2005.05.02	
60	柏明国 朱金福	博士 正高	073 073	航空公司航线决策的一种方法	统计与决策	2005.00.10	
61	桂云苗 朱金福	博士 正高	073 073	服务业实施六西格玛管理的模式研究	商业研究	2005.00.23	
62	桂云苗 朱金福	博士 正高	073 073	一种用信息熵确定聚类权重的方法	统计与决策	2005.00.08	
63	桂云苗 朱金福 白 杨	博士 正高 中级	073 073 073	一种非正态分布数据过程能力的计算方法	商业研究	2005.00.17	
64	高 强 朱金福	博士 正高	073 073	航空收益管组中非限化估计方法研究	预测	2005.24.05	
65	高 强 朱金福 陈可嘉	博士 正高 博士	073 073 外校	航空收益管组中多航段舱位控制模型	交通运输工程学报	2005.05.04	
66	周卓丹 徐月芳 高 强	硕士 副高 博士	073 073 073	航空货运运力不确定下的超售模型	第六届全国交通运输领域青年学术会议	2005	
67	徐月芳 綦 琦	副高 初级	073 外校	灰色系统理论在机场旅客吞吐量预测中的应用	理论探讨	2005.00.06	
68	张 明 韩松臣	中级 正高	074 072	管制员工作负荷量化研究	江苏航空	2005.00.01	
69	张 明 韩松臣	中级 正高	074 072	依据管制员工作负荷的扇区优化方法	交通运输工程学报	2005.05.04	

维修大纲制订过程检查等级与维修间隔确定模型研究

耿端阳 左洪福 刘明 蔡景 张月雷

(南京航空航天大学民航学院, 江苏南京, 210016)

摘要: 本文以国外的经验数据为基础, 结合新机型的实际情况, 建立了基于概率综合评判和回归方程的维修间隔的确定方法, 随后以结构维修大纲制订过程的金属重要结构项目的环境恶化损伤分析为例, 对该方法的实施进行了应用。该方法的应用不仅避免了直接拷贝国外等级-间隔确定方法的做法, 而且有利于以后字母检的彻底取消, 建立更加准确的维修间隔, 而且也便于工卡制订过程维修工作的打包。

关键词: 维修, 检查等级, 间隔, 维修大纲

Study on the Corresponding Relation between Ratings and Intervals during the Process of maintenance program development

Geng Duanyang Zuo Hongfu Liu Ming Cai Jing Zhang Yuelei

(Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Jiangsu Nanjing, 210016)

Abstract: By combination the experimental data abroad and practical conditions of new model of aircraft, the way of defining the inspection intervals is given based on the integrated probability evaluation and recursive, and then give an example of its application. This method can not only avoid copying the way of inspection level-inspection intervals, and be helpful to cancel the character inspection, and determine an exact inspection interval, and be convenience for tasks package during task development.

Keywords: maintenance, inspection level, interval, maintenance program

一、引言

维修大纲是经过管理当局批准的针对某一特定运输类飞机及装机发动机制订的最低初始预定维修/检查要求, 是承运人制订其维修方案的基础和框架, 其核心内容是解决航空器什么时间做什么工作/检查的问题。而在确定什么时间做工作时基本都是采用下述方法:

- 1) 确定影响检查的有效评价指标;
- 2) 对各指标进行等级确定;
- 3) 采用矩阵变换确定维修综合指标等级;
- 4) 利用综合指标等级——维修间隔关系表确定维修工作的间隔。

显然, 综合指标等级的确定方法以及综合指标等级——维修间隔关系表就成为制订合适维修间隔的基础。而对于国内来说, 由于种种原因, 还没有充足的经验数据来确定指标等级转换矩阵和综合指标等级-维修间隔的转换表, 从而出现不考虑国内机型设计实际情况的完全拷贝国外方法的现象。显然在我国研制拥有自主知识产权民用飞机的今天, 确定维修大纲制订过程综合指标等级的确定方法和综合指标等级——维修间隔转换关系具有非常重要的现实意义。由于在维修大纲制订中, 结构、区域和 L/HIRF 部分基本都使用上述方法建立维修间隔, 这里仅以结构维修大纲制订过程的金属结构项目的环境恶化分析为例说明本方法的应用情况。

二、研究方法的确定

(一) 影响金属重要结构项目 (significant structure item, SSI) 环境恶化的因素确定

航空器维修大纲中的环境恶化分析主要包括腐蚀和应力腐蚀,它必须保证在腐蚀和应力腐蚀把飞机结构的剩余强度降低在飞机正常/安全水平要求之前就能被及时的探测到。为了达到这个要求,除了考虑材料对腐蚀和应力腐蚀的敏感性外和结构件本身采取的保护措施外,还要考虑结构件可能暴露在不利环境中引起的损伤。对于金属结构件的环境恶化分析,参考国外作法,主要考虑以下指标:SSI 可见性;对环境恶化的敏感性;环境防护;和暴露于不利环境的影响四个指标。

(二) 指标等级的确定

由于评价指标是制订合适维修间隔的基础,所以在确定了上述评价指标后,就必须制定确定上述指标的影响因素。分别表示如下:

$$R_{VR} = f(R_{VR1}, R_{VR2}, R_{VR3})$$
$$R_{SC} = f(R_{SC1}, R_{SC2})$$
$$R_{EV} = f(R_{EV1}, R_{EV2}, R_{EV3}, R_{EV4})$$

其中: R_{VR} 为可见性等级,它是口盖尺寸 (R_{VR1})、眼睛与 SSI 的距离 (R_{VR2}) 以及设备稠密度 (R_{VR3}) 三个因素的函数。

R_{SC} 为对环境恶化的敏感性指标,它是应力腐蚀敏感性 (R_{SC1})、暴露腐蚀的敏感性 (R_{SC2}) 的函数;

R_{EV} 为环境影响指标,它是电化学反应和灰尘积聚的概率 (R_{EV1})、湿气出现大小 (R_{EV2}) 以及腐蚀物溢出的概率 (R_{EV3}) 以及出现异常情况概率 (R_{EV4}) 的函数;

另外还有环境保护等级,这里记为 R_{PR} 。各因素大小的划分和确定标准见下表 1 所示:

表 1 评价指标等级及其标准

指标	0	1	2
R_{VR1}	仅手和胳膊可以进入的小口盖	手/胳膊、头/肩膀可以进去的中口盖	没有人身限制的大口盖
R_{VR2}	距离大于 1 米	距离位于 0.5~1 米之间	检查距离可以小于 0.5 米
R_{VR3}	稠密	一般	不稠密
R_{SC1}	对应力/内应都腐蚀敏感	对应力腐蚀敏感,但对内应力腐蚀不敏感	对所有应力腐蚀都不敏感
R_{SC2}	可能暴露于腐蚀液体溢出的环境	可能暴露于机场跑道水、 客/货舱水汽、酸性碱性尘埃积聚的环境	不会暴露于任何腐蚀环境
R_{EV1}	很可能发生电化学反应	可能发生电化学反应	发生电化学反应的可能性很小
R_{EV2}	出现湿气的概率很大	出现湿气的概率大	出现湿气的概率小
R_{EV3}	出现腐蚀液体溢出的概率很大	出现腐蚀液体溢出的概率大	出现腐蚀液体溢出的概率小
R_{EV4}	出现异常情况的概率很大	出现异常情况的概率较大	出现异常情况的概率大
R_{PR}	防腐能力中等	防腐能力强	防腐能力很强

(三) 综合指标等级的确定

就目前来说,对于环境恶化的综合指标等级计算主要包括等级均值法^[1]、等级求和法^[2~4]以及矩阵转换法^[5]。对于第一种方法,由于认为所有指标对总指标的影响相同,所以这样显然不能反映每个 SSI 的情况,只能是一种非常近似的计算方法;对于第二种,肯定能够满足当局要求的保障最低适航性的要求,但是由于其出发点是所有情况都处在最差条件下,所以这样计算会使结果偏离现实,如有一个处于最小等级的指标且正好是该指标对飞机运行安全性有很大影响,但是其他影响不明显的指标却等级值比较高,这样求和显然就掩盖了最不利的影响因素,而确定了一个不利于保证安全性的检查间隔;第三种方法主要是建立在长期累积数据的基础上,所以属于一种纯粹经验化的总结,控制过严,则会造成过度维修,很难直接推广到其他新研制机型。如何在满足当局适航性要求的前提下,又避免运营人的过度维修?笔者认为对于不同的 SSI,应该结合其设计特点与运营环境等,即既要全面考虑影响维修间隔的因素,又要根据不同影响因素对综合指标的权重,所以采用如下方法:

$$R_{VR} = p_{VR1}R_{VR1} + p_{VR2}R_{VR2} + p_{VR3}R_{VR3}$$

$$R_{SC} = p_{SC1}R_{SC1} + p_{SC2}R_{SC2}$$

$$R_{EV} = p_{EV1}R_{EV1} + p_{EV2}R_{EV2} + p_{EV3}R_{EV3} + p_{EV4}R_{EV4}$$

最后将上述指标等级再按照权重进行组合,即:

$$R = p_{VR}R_{VR} + p_{SC}R_{SC} + p_{PR}R_{PR} + p_{EV}R_{EV}$$

这里: $p_{VR}, p_{VR1}, \dots, p_{EV}, p_{EV4}$ 等都为该指标的权重值;

$$\text{且 } p_{VR1} + p_{VR2} + p_{VR3} = 1$$

$$p_{SC1} + p_{SC2} = 1$$

$$p_{EV1} + p_{EV2} + p_{EV3} + p_{EV4} = 1$$

$$p_{VR} + p_{SC} + p_{PR} + p_{EV} = 1$$

说明:考虑所选指标和因素都相互独立,不存在相互交叉的问题,所以不考虑各因素交叉在一起时对综合指标的影响。

(四) 环境恶化检查工作间隔的确定

由于以前国内缺少编制维修大纲的经验,所以在确定环境恶化等级的间隔时主要参考国外主流机型维修大纲的数据和新研制机型维修概念中的规定来确定。又由于对于一个重 SSI 来说,其外部和内部受到腐蚀和对腐蚀敏感性各不相同,所以首先把 SSI 的环境恶化分析分为 SSI 的外部 and 内部;其次根据内部和外部确定维修间隔等级(这里由于评价方法比较一致,所以仅以外部为例进行说明)。

1) 等级级别的确定

根据前面的介绍,所有无论 BOEING 公司还是巴西的庞巴迪公司,都是采用等级求和的方法确定总等级。这样由于每个指标都是按 0、1、3 分为 3 个级别,求和后产生 9 个不同的级别,但是其等级转换表中却只有 6 个。为此我们将所有组合进行了列举归类,结果如图 1 所示。

由图 1 可以看出,对于等级和为 0 的情况,也就是该项目处于既不便于

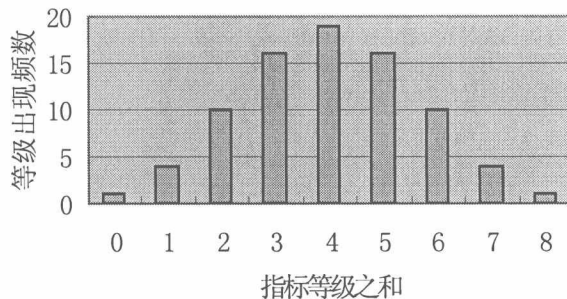


图 1 等级和一频数的相互关系图

检查维修,又对各种腐蚀都很敏感,显然这在设计中必须控制,所以一般对属于这种情况的项目要求重新设计。而对于等级和大于 7 的项目,由于其本身对各种腐蚀不敏感,且其检查比较方便,所以规定其等级和为 7 和 8 的 SSI,其检查间隔可以等于或大于 12000FH。对于等级和为其它值的情况,由于各种飞机的设计特点不同,目前国际上并没有严格、统一的做法,这里将其标记为 1~6。

2) 检查等级-维修间隔对应关系的确定

根据上面的分析,我们把检查等级划分为 6 个级别,然后根据飞机维修性设计的概念,建立如下表 2 所示的等级-间隔对应表(这里暂借用 BOEING 公司的做法)。

表 2 维修等级的划分与间隔的对应关系(维修间隔单位: FH)

等级	1	2	3	4	5	6
对应字母检代号	A	5A	C	C	2C	3C
维修间隔	500	2500	4000	4000	8000	12000

注意:维修间隔必须根据新型飞机的设计概念来确定,这里参考 BOEING737-600/700/800 的规定,其中 A 检为 500 飞行小时,C 检为 4000 飞行小时。

(五) 综合指标等级与间隔关系的建立

由于目前的等级-间隔转换表中的总等级表示的是所有等级之和,采用这样的方法没有考虑各指标对总等级影响的权重,所以在考虑权重后我们根据等级级别与考虑权重后的总等级的关系建立了回归方程。这里根据维修大纲间隔确定的发展方向,未来的维修检查工作不再执行离散化的字母检,而是执行连续型的数值检查,这样有利于充分发挥每个项目的使用寿命,也便于航空公司根据自己的实际情况打包并制订工卡。所以根据 BOEING 公司的相关数据建立了适合我国某型飞机维修大纲中 SSI 的环境恶化分析的间隔回归方程:

$$I = \begin{cases} \text{重新设计} & 4R < 1 \\ 1750R - 1166 & 1 \leq 4R < 3 \\ 4000 & 3 \leq 4R < 4 \\ 4000R - 12000 & 4 \leq 4R < 7 \\ 16000 \text{或更长} & 4R \geq 7 \end{cases}$$

三、 案例验证

为了对上述方法进行验证,考虑该方法的通用性和可行性,所以在国内缺少相关资料的前提下,我们选择 BOEING737-600/700/800 维修大纲中的重要结构项目 545101-机翼附件-上支撑杆和 545105 机翼附件上支撑杆保险销、545106 机翼附件上支撑杆连接销为例进行计算:

(一) 影响因素、综合指标等级以及相关权重的确定

根据上述方法对影响 BOEING737-600/700/800 飞机上几个重要结构项目损伤分析影响因素、综合指标以及相关权重进行了确定,如下表 3、4 所示。

表 3 BOEING 737-600/700/800 机翼附件个例影响因素评级与权重

	R_{VR1}	R_{VR2}	R_{VR3}	R_{SC1}	R_{SC2}	R_{EV1}	R_{EV2}	R_{EV3}	R_{EV4}
545101	2	1	2	1	2	2	1	2	2
对应权重	0.4	0.4	0.2	0.6	0.4	0.3	0.3	0.3	0.1
545105	1	1	2	1	1	2	1	1	2
对应权重	0.3	0.4	0.3	0.6	0.4	0.3	0.2	0.3	0.2
545106	1	2	1	1	1	1	2	1	2
对应权重	0.3	0.4	0.3	0.6	0.4	0.3	0.2	0.3	0.2

表 4 评价指标等级结果与权重

	R_{VR}	R_{SC}	R_{EV}	R_{PR}	R	检查间隔
545101	1.6	1.4	1.7	1	R=1.52	12320
对应权重	0.2	0.3	0.4	0.1		
545105	1.5	1	1.5	1	R=1.25	8000
对应权重	0.2	0.4	0.3	0.1		
545106	1.4	1	1.4	1	R=1.2	7200
对应权重	0.2	0.4	0.3	0.1		

(二) 国际不同方法的确定结果

为了对上述方法使用准确性和精度进行检验，我们对这两个 SSI 按照 BOEING737-600/700/800 飞机 PPH 的规定和空客公司的相关规定，对其这几个 SSI 的综合指标等级和检查间隔进行了确定，结果见下表 5 所示。

表 5 BOEING737-600/700/800 评级结果

	R_{VR}	R_{SC}	R_{EV}	R_{PR}	$\sum R$	字母检间隔	飞行小时
机翼组件-上拉杆	2	1	2	1	6	4C	12000FH
机翼组件-保险销	1	1	2	1	5	2C	8000FH
机翼附件上支撑杆连接销	1	1	2	1	5	2C	8000FH

表 6 空客公司的评级结果

	R_{VR}	R_{SC}	R_{EV}	R_{PR}	飞行小时
机翼组件-上拉杆	2	1	2	1	5YRS
机翼组件-保险销	1	1	2	1	2.5YRS
机翼附件上支撑杆连接销	1	1	2	1	2.5YRS

(三) 结果比较

根据上述计算结果可以看出，对于采用不同的方法其结果虽然不完全相同（包括 BOEING 和空客的也不完全相同），但是大体一致。但是对于当前 SSI 号为 545101 项目来说，采用本文计算方法，其结果略大一点，这个主要是因为 BOEING 公司采用的是几个等级进行求和来计算总等级的方法，而本文的方法考虑了不同指标对检查工作的影响权重，所以尽管其防护性等级比较低，但是其对结果的影响也小，所以实际检查时可以适当延长检查间隔；但是对于下面的 SSI 来说，特别是编号为 545106 的项目，由于等级小的出现了权重影响比较大，所以要保证航空器对安全性的要求，则不能按照等级相加的方法，这样可能存在一定的安全隐患，所以笔者认为采用权重的计算方法应该更能反映项目的实际情况，更便于确定出合适的维修间隔。

四、结论

根据前面的分析可以得出如下结论:

- (1) 采用模糊权重评判方法代替了过去的矩阵转化或者求和法的做法,使得这样的做法更符合间隔确定的物理含义,也避免了盲目拷贝国外做法的弊病,所以在这一点上对正在开发拥有自主知识产权的中国来说,具有重要的现实意义。
- (2) 采用回归方程计算检查间隔,不仅考虑了以往维修大纲制订的经验值,而且考虑了不同机型中每个 SSI 的设计特点和运行环境,所以不仅肯定能确定出检查间隔,而且应该能确定出既满足当局要求又令航空公司满意的维修间隔。
- (3) 采用本文的方法确定的间隔是一个具体的数据,而不是过去的字母检,这样虽然出现的结果可能比较分散,但是这样便于航空公司按照自己的实际情况安排总的检查,确定出效率更高的维修工卡。

最后,虽然这里仅以结构维修大纲中 SSI 的环境恶化损伤分析为例进行了检查等级-维修间隔的研究,但是由于结构大纲中的疲劳损伤分析(检查等级与可检裂纹尺寸)、偶然损伤分析等以及区域检查大纲、HIRF 检查大纲等都是采用同一思想进行维修间隔的确定,所以这种方法经过适当的修订,也可以用于其他大纲中维修间隔的确定中,便于整体提高维修间隔确定的精度,为我国新型飞机的开发研究起到保驾护航的作用。

参 考 文 献

1. SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, ERJ 190 maintenance program development policy and procedures handbook[R]. EMBRAER - EMPRESA BRASILEIRA DE AERONÁUTICA S.A. TECHNICAL SUPPORT DIVISION, 2003. 11
2. Boeing corporation. BOEING 737-600/700/800 maintenance program development policy and procedures handbook[R]. Maintenance programs engineering maintenance and group operations systems customer services division. 1996. 8
3. MA60 飞机维修大纲改进课题组. 飞机维修大纲制订政策和程序手册, 603 研究所, 2000. 12
4. EMB-145 type-models policy and procedures handbook, EMB-145 EU, EP AND ER, 1995. 4
5. A318/A319/A320/A321 maintenance program development policy and procedures handbook, Airbus industries maintenance programs engineering maintenance and group operations systems customer services division, 2001. 3

作者简介:

耿端阳, 男, (1969.8~), 博士, 副教授, 南京航空航天大学民航学院博士后, 主要从事机电设备开发研究与民用飞机维修性研究。

钛板防松动剪切刀具的设计及试验研究

耿端阳¹ 左洪福¹ 郑百战²

(1. 南京航空航天大学 2. 西安飞机工业(集团)公司 21 厂)

摘要: 通过对振动剪切机加工曲边零件存在问题的分析, 确定了以圆形倾斜刃口为上刀、以半圆形刃口为下刀的结构及其主要结构参数, 进而通过试验验证采用改进型刀具加工曲线钛板零件可以减小外凸零件的尖角以及内凹零件的裂纹, 有效防止零件边缘发生的松动现象, 提高钛板零件的粗加工质量。

关键词: 振动剪, 曲线, 钛板, 松动, 刃口

中图分类号: TG115.52

1. 引言

随着人们对飞机可靠性和安全性要求的提高, 飞机上诸如钛合金板等高比强度材料的应用越来越多。就目前而言, 对曲边钛板零件外形的切割还是依靠振动剪切机, 而采用该加工工艺就会不可避免的带来零件边缘的松动现象以及加工变形造成的应力集中等问题^{[1][2]}, 所以按照常规工艺, 加工完后一般都需要进行蠕变校平, 不仅增加了零件的加工成本, 而且延长了零件的加工周期。类似材料的零件加工在国外多采用了步冲机和激光切割技术, 而国内设计大多数用模拟量传递, 无法大量提供数控加工所需要的数据。另外, 该类设备一般价格昂贵, 在国内也很难一下子得到普及应用, 而且所加工零件的边缘同样需要进一步的处理。所以在现有设备的基础上, 开发研究能够减小外凸零件尖角和内凹零件裂纹、又能防止零件边缘松动现象发生的技术显得特别尤为重要。而钛板防松动剪切技术是在现有设备的基础上进行的技术革新, 采用该技术不仅可以提高产品的加工质量、降低生产成本, 而且可以加快零件的生产周期。

2. 工件出现松边原因分析

振动剪切机作为板材裁剪应用比较普遍的设备, 其构成和工作原理见《飞机钣金零件制造技术》^[3]。在剪切过程, 刀具和板材受力如图 1 所示。显然, 由于剪切过程剪刀对板料施加压力 P 的存在, 必然引起以下两个问题: 其一, 由于进行的是曲线剪切, 而所用剪切刀具为直刃口, 所以剪切的曲线实际是由很多直线段组成。这样, 具体到一个零件来说, 如果其为外凸形零件, 则边缘就留下很多尖角; 如果为内凹形零件, 则边缘会出现很多裂纹, 且其边缘曲率越大, 则裂纹越深。而每个裂纹都会给零件带来内应力, 严重影响了材料的疲劳强度。为了减小这种内应力, 剪切零件一般都留有较多的余量, 加大了零件搓修的工作量, 延长了零件的加工周期。其二, 即使是直边零件, 由于受到刀具结构限制, 当上、下刀片切入板料时, 作用于板料上的合力 P 的作用点并不在刀尖上, 这样就会产生一个力矩 Pa , 严重影响工件的加工质量。另外, 剪切时工件边缘部分不仅受到一组剪切力 P 的作用, 还受到一组拉应力 T 的作用, 从而会引起材料厚度方向的压应变和沿着刃口方向的拉应变; 又由于振动剪的频率比较高, 使得这种应变很快就积累成材料边缘的整个拉长变形, 但由于零件中部材料的拉扯作用, 使得零

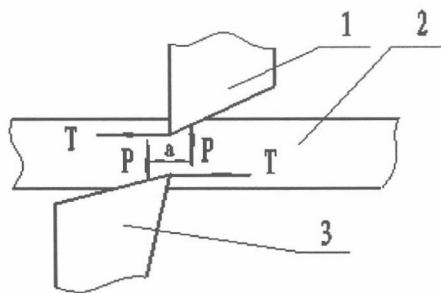


图 1 剪切过程刀具受力示意图

1 上刀 2 料板 3 下刀

耿端阳, (1969.8~), 南京航空航天大学, 博士后, 副教授
左洪福, (1959.9~), 南京航空航天大学, 博士, 教授, 博导

件的边沿出现波浪形，也就是所说的松边。

3. 加工方式的改进

3.1 切割方式的改进

由于工件出现松边主要是在加工过程材料的变形造成的^[4]，所以为了防止这种现象的出现，则在零件加工过程应该尽量减小钛板的变形。根据上面的分析可以看出，力矩 P 和拉力 T 对产品的加工质量影响很大，所以应该先减小该力矩和拉力对工件加工质量造成的影响。故笔者改单支撑切割为双支撑切割，如图 2 所示。这样切割时工件同时受到两个平衡力矩 Pa 的作用，保证了切割过程的平稳性，又由于拉应力 T 是作用在被切割的废料上，所以消除了 T 对工件加工质量的影响。另外，为了提高下刀刃口的耐磨性，延长下刀的使用寿命，将下刀改为平直刃口，相应的将上刀改为双面刃口。这样，切割时钛板被压在双平直口刃的下刀上，在双面直刃上刀的剪切下被裁出两条平行的割缝，即将一块板料切割成三部分，两边为平整的零件，中间部分为变形严重的条状废料。

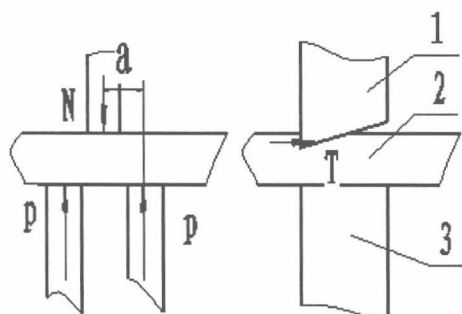


图 2 双支撑直刃平口刀具结构示意图

1 上刀 2 料板 3 下刀

3.2 防止松边的要求^[5]

经过上述改进，虽然对于直边零件或曲率较小的工件，可以有效防止松边的产生，提高工件的加工质量，但对于大曲率的零件，由于成条废料会夹在两个下刀之间，限制工件的移动，使得加工件出现较大尖角。显然，要避免大尖角的出现，则必须保证钛板在加工过程能够沿着加工曲线自由转动，所以笔者改矩形上刀为圆柱形，使得原来成条的废料变为一块一块的月牙形断条废料，其切割缝隙如图 3 所示。这样由于废料为一块一块的月牙状碎片，便于废料的及时排出，从而消除废料因卡在下刀之间而影响工件沿曲线转动问题，提高了刀具对大曲率加工件的适应性。另外，为了减小加工过程的切割力，将上刀改为斜切口形式。进一步，考虑为了便于废料更容易的排出，所以将下刀的结构也进行了再次改造，如下图 4

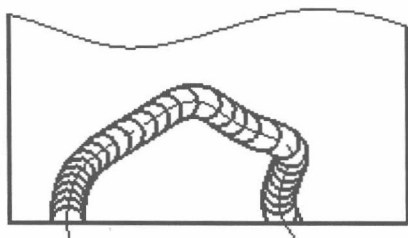


图 3 圆柱形上刀剪切割缝形状示意图

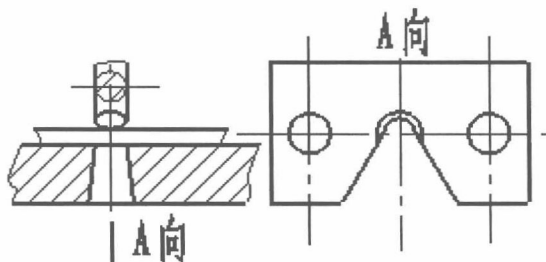


图 4 防松边剪切机刀具结构示意图

所示。

经过这样的改进，由于每次进行的是小进给局部切割，所以零件边缘平整而没有松动，且由于每次被切下的废料片都立即落下，几乎不存在废料因排出不畅而影响钛板转动的问题，特别适合于板料工件的曲线剪切。另外，由于剪切过程最大剪切力发生在剪切圆弧中部，所以即使出现微裂纹，它也会因集中出现在月牙形废料的中部而被裁剪，从而可以更好的保证加工件的边缘质量。

4. 刀具结构和间隙的确定

4.1 上刀结构参数确定

刀具刃前角对裁剪过程的剪切力有很大影响。如果该角度大,则可以延长刀具的寿命,但所需剪切力相应大;相反,如果前角小,则可以有效降低剪切力,但是其耐磨性会受到一定影响。另外,如果该角度大,则在剪切过程废料的变形大,带来的残余应力也大,从而也会影响工件的加工质量。所以根据经验和试验,这里将前角 γ 确定为 4° 左右,楔角 ϕ 为 25° 左右;进一步为了减小剪刀侧面与板料间的摩擦力,上刀设计为带有后角 α 的图示5形状,当然考虑该角度会对刀具的强度造成影响,所以 α 一般取 2° 左右^[6]。

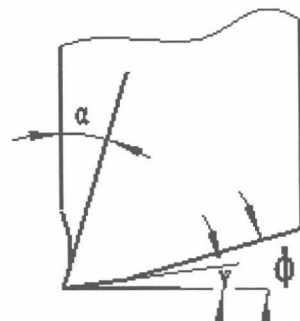


图5 上刀结构及参数示意图

4.2 刃体半径的确定

上刀刃体的直径决定了被剪切下废料的宽度。如果直径过大,则一方面会造成加工过程废料的增加,降低了材料的利用率;另一方面会造成所需切割力的加大;相反,如果上刀刃体直径较小,则所需要的切割力也小,从而切割过程材料的变形也小,加工出来的零件也越平整。但是刀体直径如果太小,则必然影响到刀具本身的强度和寿命,所以以刀体直径按照强度来确定。

考虑本研究是在原来剪切机的基础上进行的改进设计,所以希望改进后剪床的切割力小于/等于改造前的剪切力即:

改造前剪床的剪切力^[3]为: $P_{斜切} = \tau t^2 / 2 \tan \varphi$

而改为上述结构后其剪切力为: $P_{后} = \frac{1}{2} \pi R t \tau$

即由 $P_{后} \leq P_{斜切}$ 从而有: $R \leq \frac{t}{\pi \tan \gamma}$

式中: R —上刀的半径, m ;
 t —料板的厚度, m ;
 τ —料板的抗剪切应力, Pa ;
 γ —上刀刃倾角, 一般为 $1 \sim 4^\circ$ 。

4.3 剪忍间隙的确定^[6]

上刀和下刀的间隙对板料加工件的断面质量、尺寸精度及裁剪力也会造成影响。如果刃口间隙过大,则材料的拉应力 T 增大,容易使工件产生裂纹和松边,严重时会出现剪不断的问题。如果间隙太小,虽然板料中的拉应力 T 会减小,静压效果增强,裂纹产生会得到明显的抑制,但同时由于上下刀受到的摩擦力会增加,加速刃口的磨损。所以一般根据板材厚度和以往经验进行选择,原则上间隙取加工板料厚度的 $1/10 \sim 1/20$ 。

5. 试验与结论

为了对改进设计刀具的效果进行验证,笔者先后选用 $0.8mm$ 、 $1.0mm$ 和 $1.2mm$ 的钛板分别进行了曲边零件的加工试验。经过试验发现,当上刀刃口倾斜角为 0 时,由于其裁剪力较大,从而会引起板料裂纹的扩展,所以加工出来的曲边工件边沿还是会出现松边问题;但当将上刃前角 γ 改为 4° 后,则剪切效果非常理想,零件边缘也非常平整。由于这样改进后,大大提高了工件的加工质量,减少了板料工件的加工时间,所以在我单位开始得到推广应用,

并取得了一定的经济效益。

总之, 经过对剪切机刀具的改进后, 加工的直边板料零件比较平整, 而且在进行曲边工件的加工时优势更加明显, 不仅可以改善外凸零件边缘的尖角和内凹零件边缘的裂纹, 而且可以有效减少加工零件的松边问题, 大大减少了工件的后期平整时间, 降低了生产成本。

参 考 文 献

1. 曹秋霞, 杨占尧. 斜刃倾角对斜刃剪切效果的影响. 金属成形工艺. 2000. 18 (5) p19~21
2. 高德红, 孙复森. 中板斜刃剪剪切质量问题及解决办法. 华东冶金学院学报. 2000, 1 (17) p83~86
3. 章飞, 陈毓勋. 《板金展开与加工工艺》. 机械工业出版社. 1993, 8
4. 温彤, 廖林仙, 张湘伟. 金属剪切过程的理论研究状况. 锻压技术. 2000, 3p44~48
5. 李春芳, 徐政, 任锐. 板带钢无毛刺精密剪切的研究. 安钢技术. 1997. 11p46~50
6. 王华. 钢板高质量剪切工艺的研究及生产应用. 安钢技术. 1995. 4p26~28

Design and Study on Experiment of the Blade in Cutter Against Border Wave for Sheet Alloy of Titanium

(Geng Duanyang¹, Zuo Hongfu¹, Zheng Baizhan²)

(1. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics

2. 21st Factory of Xi'an Aircraft Industry (Group) Company LTD)

Abstract: To analyse the influence of part quality making of sheet alloy of titanium by the blade of vibrational cutter, the upper blade edge is ascertained as the shape of cylinder and slant, and the lower blade edge is shaped as hemicycle besides its main structural parameters. And it is tested farther that parts in sheet alloy of titanium can be reduced both the sharp angle for bulge edge part and the crevasse for concave part by such modified reamer, and is good for preventing wave to emerge at the side of part. As a result, the part quality in sheet alloy of titanium at initial machining can be improved greatly.

Key words: cutting, curve, sheet alloy of titanium, border wave, blade