

基于VSA的吊挂对接工艺方案研究*

林祖伟

(上海飞机制造有限公司制造工程中心,上海 200436)

[摘要] 对容差分析技术及其理论基础进行了介绍,采用西门子容差分析软件 VSA 对民用飞机吊挂和机翼对接工艺方案进行研究,对最后装配上连杆或斜撑杆两种方案进行对比分析。研究表明:两种装配方案均需设置工艺补偿,根据影响因素权重报告,需对控制目标影响最大的上下端交点孔设置补偿。因此,根据研究结果,改进了上连杆结构设计方案,上下端交点孔位置在一定范围内可调,从而较好地满足了吊挂与机翼对接的装配协调要求。

关键词: VSA; 民用飞机; 吊挂对接; 容差分析; 工艺

Pylon Assembly Process Research Based on VSA

LIN Zuwei

(Manufacturing Engineering Center, Shanghai Aircraft Manufacturing Co., Ltd., Shanghai 200436, China)

[ABSTRACT] The paper introduces tolerance analysis technology and its basic theory. The research uses tolerance analysis software VSA to study the process of civil aircraft pylon assembly. The process one: connecting rod is installed at last. The process two: diagonal bracing rod is installed at last. Comparing process one with process two, the following results can be obtained. Both of two assembly programs are required to set the process compensation. According to the weights of influencing factors, some measures should be applied on the greatest effects for control target. Therefore, improve the design of connecting rod structure to make upper and lower nodal hole position in a certain range to meet the coordination requirements of pylon assembly.

Keywords: VSA; Civil aircraft; Pylon assembly; Tolerance analysis; Process

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2019.20.083

吊挂是民用飞机机体结构非常重要的承力部件,起到传递发动机推力、承受发动机载荷、吸收发动机振动及隔离发动机火区的作用^[1]。吊挂盒段通过上连杆、侧连杆、中接头、斜撑杆等结构完成与机翼下翼面接头装配,其装配准确度直接影响发动机位置准确度及其性能发挥。下翼面接头位置准确度受外翼下壁板蒙皮变形、外翼盒段装配准确度、翼身对接装配准确度等因素影响,而吊挂盒段和机翼多交点的装配形式因存在过约束容易导致装配偏差难以协调。

目前,欧美国家对吊挂与机翼对接有一套较为成熟的设计和工艺方法,但是,国内对于民用飞机吊挂对接暂无成熟的理论研究和技術基础。虽然国内航空制造企业在民用飞机研制中积累了一定经验,但翼吊发动机跟尾吊发动机及螺旋桨发动机在设计 and 工艺方面还是

存在较大差别。因此,有必要对吊挂对接工艺方案进行深入研究,保证吊挂与机翼的准确装配,达到缩短设计生产周期、提高生产效率、生产优质产品的目的。

1 VSA 软件及容差分析技术

VSA 软件是西门子公司 PLM 软件 Teamcenter Visualization 下的一个公差分析模块,用于对产品零组件进行装配仿真,以尺寸链传递为基础,从零件制造、零组件装配及产品检测方面对影响产品质量的关键特性进行分析研究^[2]。使用 VSA 软件进行容差分析可以有效减少公差对产品质量、成本造成的负面影响,使工程设计人员及工艺人员在产品研制阶段就能完成必要的方案验证及优化。

容差分析技术是以装配方案所确定的尺寸链传递模型为基础,利用公式计算或计算机模拟装配等方法,从统计学角度评估装配方案的协调准确度。容差分析

* 基金项目:民用飞机专项科研技术研究资助项目(MJZ-2017-J-96)。

技术主要包括：分析装配协调路线，对装配方案提出定量分析意见；依据敏感度分析，给出该装配方案下零件或工装的关键尺寸、位置控制要求；确定装配方案和尺寸控制方案所能达到的装配协调准确度水平，进而评估该装配协调准确度所能达到的能力，并依据产品的工艺能力指数评判与优化工艺，提出尺寸链传递过程中制造关键特性的控制要求。

目前，容差分析计算方法主要有极值法、概率法和蒙特卡洛法。其中，蒙特卡洛法在解决三维尺寸分析等复杂问题时，可以得到令人满意的答案，因此，该法被广泛应用于尺寸工程分析领域^[3]。蒙特卡洛法是根据零件尺寸的实际分布由计算机生成一组伪随机数，然后将伪随机数代入装配偏差模型计算一系列的装配尺寸值，最后计算装配尺寸的各阶中心矩，拟合出尺寸近似的分布^[4]。本文采用VSA软件进行吊挂对接容差分析就是采用蒙特卡洛法进行计算。

2 吊挂对接工艺方案研究

2.1 对接工艺方案

吊挂盒段与机翼有6个连接点，分别位于上连杆与机翼接头连接处、中接头与机翼接头连接处、侧向连杆与机翼接头连接处、下连杆与机翼接头连接处，各位置均布置保险销。每个连接交点安装压钢衬套，用保险销式组合紧固件连接，在任一连接点失效时，该装配结构仍能承受极限载荷，详细结构如图1所示。针对设计提供的结构形式，采用如下两种装配工艺方案：

方案一：先完成中梁接头、斜撑杆和侧连杆的装配，再装配上连杆。

方案二：先完成中梁接头、上连杆侧连杆的装配，再装配上斜撑。

2.2 模型建立及参数设置

容差分析模型以设计部门提供的工程数模为准，通过CATIA软件和VSA软件进行模型格式转换，依据工程部门给定公差方案，参照实际生产工艺技术，在VSA中添加各装配件制造基准、尺寸公差、形状公差、位置公差^[5]，根据工艺部门编制的装配工艺方案完成各零件装配关系的添加，采用Virtual Diameter测量法对控制目标进行测量操作，测量各装配交点孔所形成的最大和最小真实直径，以此来判定装配准确度的可达性。设置装配仿真次数为5000次，采用蒙特卡洛法进行容差计算，质量要求控制在 $\pm 3\sigma$ 范围，产品合格率控制在99.73%，置信度为95%，计算结果以正态分布表述^[6]。

2.3 计算结果及分析

由表1可知，方案一上连杆下端装配孔最小真实直径为 $\Phi 45.8814\text{mm}$ ，最大真实直径为 $\Phi 46.0123\text{mm}$ ，真实直径公差范围为 0.1309mm ，形成尺寸为 $\Phi 46(0.0123/-0.1186)\text{mm}$ 的等效孔，而此处配合销的尺寸公差为 $\Phi 46(0/-0.016)\text{mm}$ ，当等效孔径最小，配合销直径最大时，两者无法装配，因此不满足孔销配合要求。定位销的直径一定要小于最小真实直径才可以保证一定会与孔装配，此时下端销的公差要求要满足 $\Phi 46(-0.1186/*)\text{mm}$ 。上连杆上端装配孔最小真实直径为 $\Phi 45.9321\text{mm}$ ，最大真实直径为 $\Phi 46.0249\text{mm}$ ，真实直径公差范围为 0.0928mm ，形成尺寸为 $\Phi 46(0.0249/-0.0679)\text{mm}$ 等效孔，在配合销尺寸公差为 $\Phi 46(0/-0.016)\text{mm}$ 情况下，同样不能满足孔销配合要求。

由表1可知，方案二中斜撑杆上端装配孔形成的真实直径为 $\Phi 50(-0.0034/-0.1600)\text{mm}$ ，真实直径公差范围为 0.1566mm ，下端装配孔形成的真实直径为 $\Phi 50(-0.0037/-0.1513)\text{mm}$ ，真实直径公差范围为 0.1476mm ，

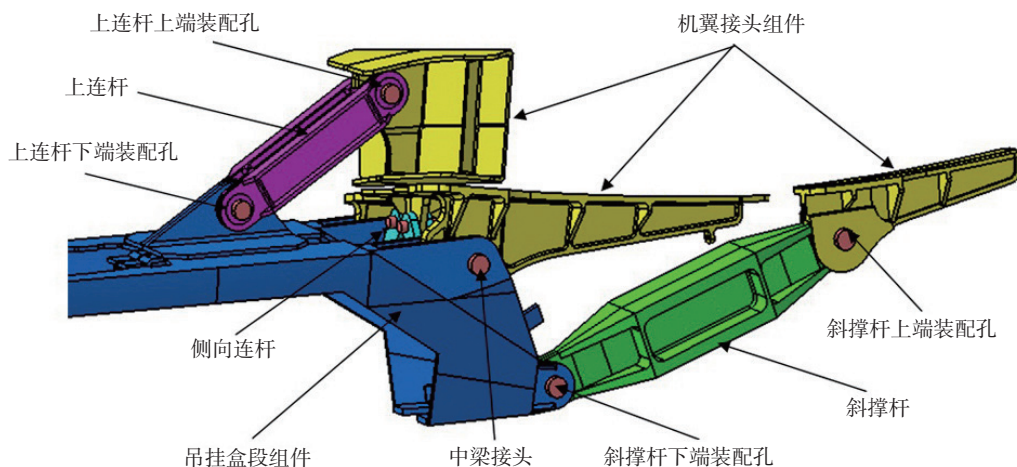


图1 吊挂与机翼结构对接结构示意图
Fig.1 Diagram of pylon assembly to wingbox

而此处配合销的尺寸公差为 $\Phi 50(0/-0.016)\text{mm}$, 因此同样不满足孔销配合要求。

由上述可知, 如需保证吊挂盒段与机翼接头顺利装配, 以及其装配协调准确度, 需在上连杆或斜撑杆设置工艺补偿措施, 当前设计部门采取的设计方案未考虑工艺补偿, 容易造成干涉、间隙、错位等导致无法装配的情况发生^[7]。

以表 1 的方案一为例, 根据上连杆上端和下端控制目标, 得到如表 2 所示的影响因素占比结果。

如表 2 所示, 对于上连杆下端孔真实直径, 吊挂盒段上接头交点孔对结果的影响最大, 其次是机翼吊挂接头与斜撑杆装配孔。对于上连杆上端孔真实直径, 机翼吊挂接头与上接头装配的交点孔对结果的影响最大, 此

外上连杆本身的交点孔公差对结果也有影响。因此, 保证上连杆及与其装配的零组件交点孔的位置准确度是保证吊挂盒段与机翼装配精准的关键。方案二斜撑杆上下端交点孔计算所得影响因素报告与方案一类似, 斜撑杆及其装配的零组件交点孔的位置准确度对控制目标影响最大。

在吊挂盒段和机翼接头装配交点位置准确度相同的情况下, 比较方案一和方案二对结果的影响情况, 上连杆中基准孔 C 相对于基准孔 B 位置度为 $\Phi 0.02\text{mm}$, 上连杆长度约 400mm, 斜撑杆结构尺寸较上连杆长了许多, 约 1000mm, 其基准孔 C 相对于基准孔 B 位置度为 $\Phi 0.1\text{mm}$, 因此, 上连杆的上下端装配孔尺寸精度较斜撑杆好, 如图 2 所示。

表1 方案一和方案二的计算结果
Table 1 Calculation results of program 1 and program 2

方案	装配孔	最小真实直径 /mm	最大真实直径 /mm
一	上连杆上端交点孔	45.9321	46.0249
	上连杆下端交点孔	45.8814	46.0123
二	斜撑杆上端交点孔	49.84	49.9966
	斜撑杆下端交点孔	49.8487	49.9963

表2 上连杆上下端交点孔装配偏差主要影响因素
Table 2 Main of influencing factors of assembly deviation of intersection hole of the upper and lower ends of the upper link

装配孔	主要影响因素	主要影响因素占比 /%
上连杆下端交点孔	吊挂盒段上接头交点孔	28.76
	机翼吊挂接头 - 斜撑杆上交点孔	7.95
	斜撑杆 - 上交点孔	7.84
上连杆上端交点孔	机翼吊挂接头 - 上连杆交点孔	74.58
	上连杆 - 上交点孔	17.35

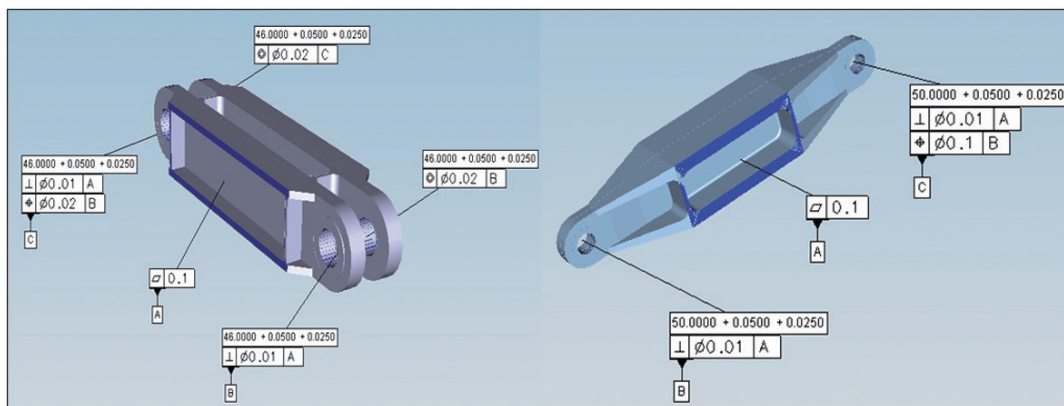


图2 上连杆和斜撑杆形位公差设置比较
Fig.2 Geometric tolerance of connecting rod and diagonal bracing rod

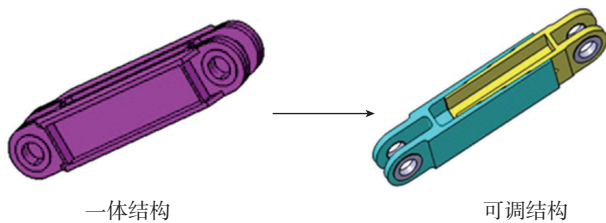


图3 上连杆结构改进示意图

Fig.3 Improving diagram of upper connecting rod

另外,由方案一和方案二计算所得真实直径公差范围来看,方案一的公差范围为 0.1309mm 和 0.0928mm,方案二的公差范围为 0.1566mm 和 0.1476mm,方案二的公差范围大于方案一,故采用方案一装配较方案二能获得相对较高的装配准确度,更好地满足吊挂与机翼装配协调^[8]。

2.4 改进建议

根据上述计算结果及分析,吊挂与机翼对接必须设置相应的工艺补偿,且补偿位置应为上连杆上下端装配交点孔。根据计算所得真实直径值,将上连杆结构形式由贴合式改为搭接式,搭接式可在一定程度调节上下端装配孔距离,从而消除产品制造环节和装配环节产生的偏差^[9],使吊挂和机翼接头顺利装配。上连杆结构形式变化如图 3 所示。

3 结论

(1) 本文建立了吊挂与机翼对接容差分析的模型,利用西门子软件 VSA 开展吊挂对接工艺方案研究,为装配工艺评判和设计结构优化提供了有效参考,说明该方法是可行的。

(2) 吊挂与机翼对接因装配协调交点较多、制造误差和装配误差累积,使得装配交点形成的真实直径不满足销轴装配要求,因此必需设置工艺补偿以满足装配协调要求。

(3) 根据影响因素报告,需重点改进对控制目标影响较大的影响因素,应在上连杆或斜撑杆上下端装配孔设置补偿措施,满足装配协调要求。

(4) 为满足吊挂与机翼顺利对接,如果增大装配交点孔直径或减小配合销直径,容易导致装配结构不满足强度和疲劳要求,因此,设计部门改进了上连杆结构形式,设计出新结构以满足装配补偿。

参考文献

[1] 范耀宇,郭海沙,马世伟. 民用飞机吊挂应急脱离设计研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2010(4): 28-41.

FAN Yaoyu, GUO Haisha, MA Shiwei. Pylon break-away design of civil aircraft[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2010(4): 28-41.

[2] 阮和根,陈沈融,朱红萍,等. 基于 VSA 的冷锻机关键零部件公差设计[J]. 机械设计与研究, 2009, 25(6): 69-71.

RUAN Hegen, CHEN Shenrong, ZHU Hongping, et al. Tolerance design for the key parts of cold forging machine based on VSA[J]. Machine Design and Research, 2009, 25(6): 69-71.

[3] 姚澎涛. 计算机辅助飞机制造容差优化设计技术研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2011.

YAO Pengtao. Computer aided tolerance optimum design technology research of aircraft manufacturing[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2011.

[4] 张建平,张凤莲,陶华. 基于混合蒙特卡罗算法的容差分配研究[J]. 计算机仿真, 2009, 26(10): 315-318.

ZHANG Jianping, ZHANG Fenglian, TAO Hua. Assembly tolerance allocation based on hybrid Monte Carlo method[J]. Computer Simulation, 2009, 26(10): 315-318.

[5] 勾治践,刘赛,王剑宇. 容差分配技术在轿车车身设计中的应用研究[J]. 汽车工程, 2009, 31(4): 336-339.

GOU Zhijian, LIU Sai, WANG Jianyu. The application of dimension accuracy distribution technology to car body design[J]. Automotive Engineering, 2009, 31(4): 336-339.

[6] 李仲辉. 飞机装配容差优化设计方法研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2010.

LI Zhonghui. Optimum design method research of aircraft assembly tolerance[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2010.

[7] 李原,程云勇,邵毅,等. 面向飞机装配的容差及尺寸链建模[C].// 面向制造业的自动化与信息化技术创新设计的基础技术-2001年中国机械工程学会年会暨第九届全国特种加工学术年会论文集. 北京: 中国机械工程学会, 2001: 671-673.

LI Yuan, CHENG Yunyong, SHAO Yi, et al. Tolerance and dimension chain modeling for aircraft assembly[C].// Papers collection of the 2001 annual meeting of Chinese Mechanical Engineering Society(The ninth national academic conference on special processing). Beijing: Chinese Mechanical Engineering Society, 2001: 671-673.

[8] 程宝蓁. 飞机制造中交点协调准确度与容差分配[J]. 航空学报, 1978, 19(4): 58-69.

CHENG Baoqu. Accuracy and tolerance allocation of node coordination of aircraft manufacturing[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 1978, 19(4): 58-69.

[9] 卢鹤,韩爽,范玉青. 基于模型的数字化定义技术[J]. 航空制造技术, 2008, 51(3): 78-81.

LU Hu, HAN Shuang, FAN Yuqing. Model based digital definition technology[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2008, 51(3): 78-81.

通讯作者: 林祖伟, 硕士、工程师, 研究方向为民用飞机装配工艺技术、尺寸偏差分析与改进等, E-mail: linzuwei@comac.cc.

(责编 一元)