

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2024.03.007

民用飞机雷达罩结构装配容差仿真分析研究

朱姜蕾* 王素晓 刘 鹏 王小峰 谭家亮

(上海飞机设计研究院,上海 201210)

摘 要: 结构装配三维容差仿真可以在零件尚未制造、装配的阶段,通过软件模拟零组件装配过程的容差积累,并对模型进行迭代优化来对飞机的容差方案进行指导,避免飞机装配过程出现大规模超差,从而达到节省大量返工时间与材料成本的目的。针对容差传递关系较复杂、传统一维尺寸链分析方式难以胜任的雷达罩-机头结构装配过程,进行了三维容差仿真分析,旨在预测雷达罩-机头装配后能否满足工程要求。基于容差仿真结果-影响因素报告,对雷达罩制造装配方案进行优化,将雷达罩与机头间隙超差概率由 3.19%~6.31%降低到 0.10%~0.75%;将雷达罩与机头阶差超差概率由 0.31%~1.81%降低到 0~0.11%。三维容差仿真分析研究结果可以为雷达罩和机头的设计、工艺人员提供参考。

关键词: 雷达罩;机头;容差;装配;仿真分析

中图分类号: V260.5

文献标识码: A

OSID: 

0 引言

随着 CAD 技术的发展,飞机的数字样机已经在我国普遍应用^[1],但是现有的数字样机缺乏对零组件容差方案的描述,而在飞机研制阶段,容差方案的合理选择与分配是十分关键的,在装配中容差方案直接影响产品性能、制造成本、工艺性等,如果采用过松的容差方案,会导致装配误差累计增大、装配超差率高、修配工作量大等问题;然而如果采用过严的容差方案,则会导致零件精度过高、生产周期长,造成浪费^[2]。

容差又称公差,是指允许几何形状和尺寸的变动量。计算机辅助公差设计(computer aided tolerancing,简称 CAT)是在产品的设计、制造、装配过程中利用计算机对产品公差进行控制和优化,用最低成本保障制造和装配精度的过程^[3]。国内专家对容差分配技术已经开展了深入研究,并将此技术广泛应用于汽车行业。然而,由于民用飞机设计图纸尚未大规模采用 GD&T 标注体系,以及装配工艺的复

杂性,民机容差分配技术尚不成熟。国内专家虽然已经使用 CAT 技术开展了部分零组件的容差分配研究^[4],但仍处于起步阶段^[5]。国外专家对于容差分配技术开展时间较早,技术相对成熟,已有成熟的计算机辅助公差设计软件如 Teamcenter Vis-VSA^[6],CETOL^[7]和 DCS^[8]等,波音和空客已经在波音 787、A350、A380 等型号中采用 CAT 技术来辅助贯穿设计、制造、装配全过程的尺寸公差管理。

民用飞机雷达罩安装在机头 1#框前端,雷达罩用于保护内部气象雷达天线免受气流及各种有害环境的影响^[9]。雷达罩结构需满足总体气动要求,满足雷达天线的使用维护要求,满足雷达罩体、机构拆卸更换要求。因此,雷达罩在制造装配时需开展容差控制,以满足上述要求。

某型号雷达罩与机头的装配涉及到快卸锁的锁钩和锁栓的配合、机构的安装等过程,基准与容差传递关系较多。本文以该型号雷达罩为例,进行装配三维容差仿真计算和分析,并根据分析结果来进行雷达罩装配过程中的容差分配。

* 通信作者。E-mail: zhujianglei@comac.cc

引用格式: 朱姜蕾,王素晓,刘鹏,等.民用飞机雷达罩结构装配容差仿真分析研究[J].民用飞机设计与研究,2024(3):42-48. ZHU J L, WANG S X, LIU P, et al. The research of simulation and analysis of the assembly tolerance of civil aircraft radome structure[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2024(3):42-48(in Chinese).

1 雷达罩结构与装配过程

某型号雷达罩组件主要包括罩体、保护压条、铰链支座、撑杆支座、滚柱、搭接片、旋转锁及分流条,如图 1 所示。

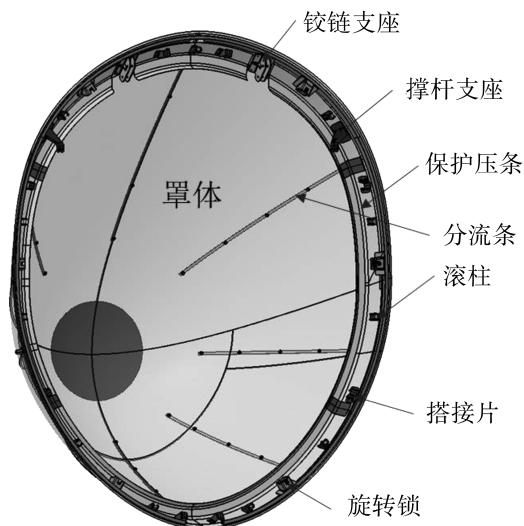


图 1 雷达罩结构示意图

雷达罩组件装配时用工装进行罩体定位,然后在工装上安装防护压板与其他零件,完成组件测量后,将雷达罩下架。通过四连杆机构将雷达罩组件装配到机头部段上,然后安装雷达罩撑杆,锁紧 6 个旋转锁,如图 2 所示。

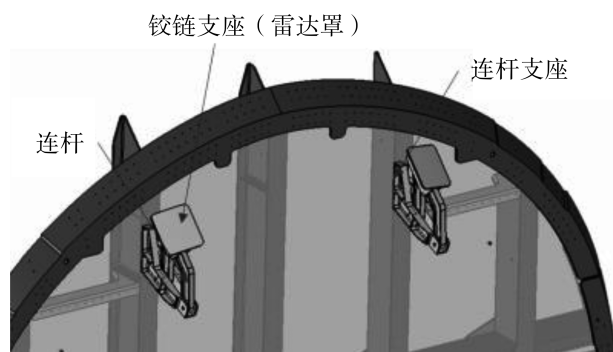


图 2 雷达罩-机头连接示意图

2 雷达罩结构装配容差仿真

2.1 三维容差建模仿真原理与应用

三维容差仿真,也称三维尺寸链仿真,优势是无需实物即可获取大量的样本数据。本文采用容差仿真分析软件 Teamcenter VisVSA,基于刚性体假

设进行建模,通过蒙特卡罗 (Monte Carlo) 方法^[10]进行三维容差仿真分析。蒙特卡罗法也称为随机模拟法,是一种采用随机抽样统计来估算结果的计算方法,随着随机抽取样本数量的增加,其结果也会越来越精确。在 N 次仿真中,软件通过概率统计在给定公差范围内取值,然后获得随机的装配结果。

三维容差仿真可应用于两种场景。1) 预测性容差仿真:在产品制造之前就进行三维容差建模,对产品尺寸链容差积累进行仿真,对控制目标进行预测,并根据仿真结果对产品的结构设计、装配方案、容差分配方案、测量方案等进行迭代优化,减少试错成本。2) 基于实测数据的容差仿真:产品零件制造完成,产品组件尚未最终装配时,收集零件制造公差实测数据,并进行三维容差仿真建模,将零件虚拟装配为组件,根据仿真结果指导装配方案。

关键特征 (key characteristics, 简称 KC) 由波音公司提出,是对产品的装配、性能、使用寿命或可制造性产生重大影响的零件几何特征^[11]。控制目标即产品装配后需要保证的工程要求,如间隙、阶差等。

2.2 三维容差仿真流程

容差建模仿真分析流程如下:1) 确认控制目标;2) 建立零组件的关键特征;3) 建立基准体系;4) 设定关键特征的公差,如轮廓度、位置度等;5) 模拟真实工况进行装配仿真;6) 仿真测量;7) 输出仿真结果,并根据仿真结果进行分析,进行迭代优化等。

2.3 控制目标、关键特征及容差输入

机头与雷达罩间隙要求为 $2.0^{+2.0}_{-1.5}$,机头与雷达罩阶差的工程要求为 $0.0^{+2.0}_{-3.0}$ 。

本文对雷达罩和机头 1#框组件的装配进行预测性仿真,根据装配流程,建立机头 1#框组件关键特征与容差输入如表 1 所示。雷达罩组件关键特征与容差输入如表 2 所示。

表 1 机头 1#框组件关键特征

关键特征	容差输入/mm
A 基准:框缘平面	平面度:0.50
B 基准:锁座 6 个位置点	位置度:0.20,相对于 A 基准
蒙皮端面轮廓度	轮廓度:3.00,相对于 A 基准、B 基准
蒙皮外形面轮廓度	轮廓度:3.00,相对于 A 基准、B 基准

表1(续)

关键特征	容差输入/mm
连杆侧面	轮廓度:0.50,相对于A基准、B基准
铰链连接孔轴线位置度	位置度:0.60,相对于A基准、B基准

表 2 雷达罩组件关键特征

关键特征	容差输入/mm
A 基准:罩体表面 4 个基准目标点	N/A
B 基准:罩体上靠近导流条末端的孔(4 个)	相对位置度:0.20,相对于 A 基准
雷达罩端面轮廓度	轮廓度:3.00,相对于 A 基准、B 基准
雷达罩外表面轮廓度(距端面 50 mm 范围内)	轮廓度:3.00,相对于 A 基准、B 基准
铰链连接孔轴线位置度	位置度:0.60,相对于 A 基准、B 基准
铰链支座内侧面	轮廓度:0.50,相对于 A 基准、B 基准
旋转锁锁舌位置度	位置度:0.20,相对于 A 基准、B 基准

2.4 装配仿真

根据第 1 章中雷达罩装配定位方案,按装配定位次序对装配件定位特征(object)和目标件定位特征(target)进行装配仿真操作,如表 3 所示。仿真分析时将连杆连接等效简化为孔销间隙配合,孔销直径名义值为 6.35 mm,孔径公差值为 0~0.05 mm,销径公差值为-0.05~0 mm。

表 3 雷达罩与机头的装配定位特征

定位次序	隶属件	定位特征
1	object 雷达罩	雷达罩上铰链旋转轴
	target 机头	1#框上铰链孔
2	object 雷达罩	雷达罩铰链支座内侧面
	target 机头	连杆配合面
3	object 雷达罩	快卸锁锁舌
	target 机头	快卸锁锁座

2.5 仿真测量

雷达罩和机头间隙测量点位置如图 3 所示,阶

差测量点位置如图 4 所示。

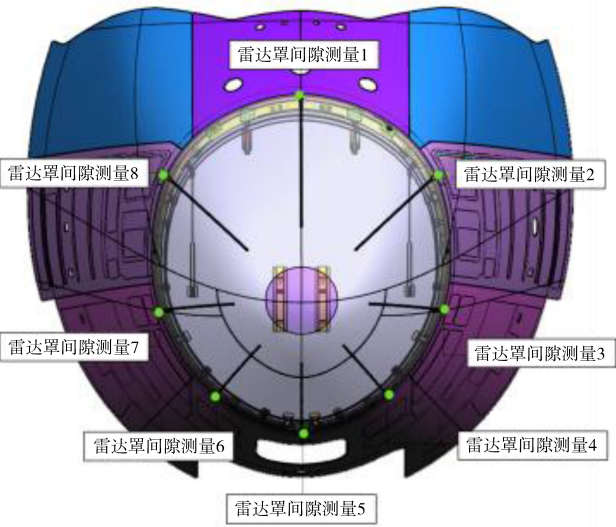


图 3 雷达罩和机头装配间隙公差测量位置示意图

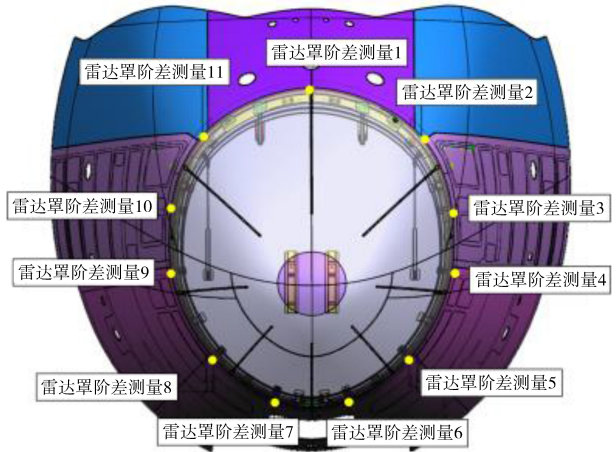


图 4 雷达罩和机头装配阶差公差测量位置示意图

2.6 仿真结果分析

仿真 10 000 次,并设置控制目标的上限值与下限值。间隙公差的测量结果如表 4 所示,阶差公差的测量结果如表 5 所示。

表 4 雷达罩和机头装配间隙公差仿真测量结果

测量位置	名义值/mm	估计最小值/mm	估计最大值/mm	估计范围/mm	超差概率/%
1	2.00	-0.22	4.25	4.47	3.19
2	2.00	-0.50	4.54	5.04	6.22
3	2.00	-0.50	4.68	5.18	6.10
4	2.00	-0.23	4.50	4.73	3.50

表4(续)

测量位置	名义值/mm	估计最小值/mm	估计最大值/mm	估计范围/mm	超差概率/%
5	2.00	-0.13	4.42	4.55	4.00
6	2.00	-0.15	4.55	4.70	3.70
7	2.00	-0.45	4.66	5.11	5.45
8	2.00	-0.56	4.64	5.20	6.31

表 5 雷达罩和机头装配阶差公差仿真测量结果

测量位置	名义值/mm	估计最小值/mm	估计最大值/mm	估计范围/mm	超差概率/%
1	0	-2.32	2.35	4.67	0.64
2	0	-2.25	2.55	4.80	1.23
3	0	-2.29	2.72	5.01	1.66
4	0	-2.36	2.77	5.13	1.81
5	0	-2.39	2.70	5.09	1.49
6	0	-2.27	2.37	4.64	0.73
7	0	-2.50	2.22	4.72	0.37
8	0	-2.72	2.27	4.99	0.45
9	0	-2.75	2.20	4.95	0.36
10	0	-2.71	2.18	4.89	0.31
11	0	-2.50	2.19	4.69	0.40

仿真分析结果中的估计范围是根据分析样本的统计,通过软件估算出仿真测量值的范围,仿真次数越多,估计范围的准确度越高。估计范围可表征公差的波动大小。由表 4 可知,雷达罩和机头的间隙公差不能满足工程要求 $2.0_{-1.5}^{+2.0}$, 间隙公差的估计范围为 4.47~5.20 mm,有 3.19%~6.31%的超差概率;由表 5 可知,机头与雷达罩阶差公差不能满足工程要求 $0.0_{-3.0}^{+2.0}$, 阶差公差的估计范围为 4.64~5.13 mm,有 0.31%~1.81%的超差概率。

图 5 为雷达罩和机头装配间隙容差影响因素报告,图 6 为雷达罩和机头装配阶差容差影响因素报告。图 5 和图 6 中的贡献度(contributors)能确定影响互换性控制目标的主要偏差源影响因素以及影响比例,对影响组成尺寸链环节的因素进行贡献度分析和从大到小的排序,可以找出对控制目标贡献

度大的环节进行重点分析与改进。

Contributors	Effectice Tole...	Sensitivity	Effect
1.雷达罩_5316W00000G201_1-LDZ出前2 → SPF 3.000 A B →LDZ-FR1-ikd25; LDZ:S 2	3.0000	1.0000	57.09%
2.1框_5312W71000S200-蒙皮端面-座舱盖_左_前下-蒙皮端面 → SPF 3.000 A B →LDZ-FR1-ikd25; FR1:S3	3.0000	1.0000	57.09%
3.1框_5312W71000S200-铰链孔左 →Size: Min: 0.000 Max: 0.050; IPOS Dia 0.600 A B	2.0936		18.06%
4.雷达罩_5316W00000G201_1-雷达罩铰链孔左 →Size: Min: 0.000 Max: 0.050; IPOS Dia 0.600 A B	0.9844		3.99%
5.1框_5312W71000S200-铰链孔右 →Size: Min: 0.000 Max: 0.050; IPOS Dia 0.600 A B	0.7202		2.14%
6.雷达罩_5316W00000G201_1-雷达罩铰链孔右 →Size: Min: 0.000 Max: 0.050; IPOS Dia 0.600 A B	0.5073		1.06%

图 5 雷达罩和机头装配间隙容差影响因素报告

Contributors	Effectice Tole...	Sensitivity	Effect
1.雷达罩_5316W00000G201_1-雷达罩外表面 → SPF 3.000 A B →LDZ-FR1-ikd2.5; LDZ:GS 3	3.0000	1.0000	58.40%
2.1框_5312W71000S200-机头蒙皮 → SPF 3.000 A B →LDZ-FR1-ikd25; FR1:G S3	3.0000	1.0000	58.40%
3.1框_5312W71000S200-铰链孔右 →Size: Min: 0.000 Max: 0.050; IPOS Dia 0.600 A B	1.5737		10.57%
4.1框_5312W71000S200-铰链孔左 →Size: Min: 0.000 Max: 0.050; IPOS Dia 0.600 A B	1.3006		7.22%
5.雷达罩_5316W00000G201_1-雷达罩铰链孔右 →Size: Min: 0.000 Max: 0.050; IPOS Dia 0.600 A B	0.8580		3.14%
6.雷达罩_5316W00000G201_1-雷达罩铰链孔左 →Size: Min: 0.000 Max: 0.050; IPOS Dia 0.600 A B	0.5418		1.25%

图 6 雷达罩和机头装配阶差容差影响因素报告

影响(effect)比例定义了每个公差对指定测量对象的重要性,表征影响因素在仿真测量中的占比,影响比例越大,对公差值的贡献度越高。

敏感度(sensitivity)表征影响因素变化时导致仿真测量值变化的剧烈程度。敏感度分析的数值可以理解为某个公差单位变化量所引起的测量值的变化,敏感度越大,则对仿真测量值变化影响越剧烈。

观察仿真测量的影响因素报告可知,影响比例大的影响因素主要为:雷达罩外表面轮廓度、机头蒙皮外表面轮廓度、1#框组件上铰链孔位置度、雷达罩上铰链孔位置度。

3 雷达罩结构装配仿真建模优化

3.1 仿真优化流程

当仿真结果不满足容差控制目标的要求时,分析各不满足项的容差的影响因素,确定需要进行优化的对象,根据其类型与特征选择合适的优化方法。优化后,再次运行仿真查看最新结果是否满足控制目标。

根据 2.6 节的影响因素报告可知,贡献度所占

影响比例大的因素主要是以下特征公差:雷达罩外表面轮廓度、机头蒙皮外表面轮廓度、1#框组件上铰链孔位置度、雷达罩上铰链孔位置度。通过分析装配流程可知,雷达罩组件的装配流程不使用工装,已经没有修改空间;考虑缩小公差带的优化措施,可以控制住雷达罩端部与机头端部的关键特征公差,从而达到优化目的。

3.2 仿真优化方案

根据第一次仿真结果,调整容差输入,如表 6 所示。

表 6 雷达罩和机头装配影响因素公差输入调整

序号	影响因素相关特征	原公差输入/mm	调整后容差输入/mm
1	机头蒙皮端面轮廓度	3.00	2.00
2	机头蒙皮外形面轮廓度	3.00	2.00
3	1#框铰链连接孔轴线位置度	0.60	0.50
4	雷达罩端面轮廓度	3.00	2.00
5	雷达罩外表面轮廓度	3.00	2.00
6	雷达罩铰链连接孔轴线位置度	0.60	0.50

3.3 仿真优化结果

仿真 10 000 次,优化后的雷达罩和机头装配间隙公差仿真结果如表 7 所示,雷达罩和机头装配阶差公差仿真结果如表 8 所示。

表 7 优化后雷达罩和机头装配间隙公差仿真测量结果

测量位置	名义值/mm	估计最小值/mm	估计最大值/mm	估计范围/mm	超差概率/%
1	2.00	0.50	3.52	3.02	0.13
2	2.00	0.25	3.78	3.53	0.67
3	2.00	0.32	3.95	3.63	0.54
4	2.00	0.48	3.74	3.26	0.17
5	2.00	0.59	3.65	3.06	0.05
6	2.00	0.56	3.79	3.23	0.10
7	2.00	0.36	3.95	3.59	0.44
8	2.00	0.21	3.85	3.64	0.75

表 8 优化后雷达罩和机头装配阶差公差仿真测量结果

测量位置	名义值/mm	估计最小值/mm	估计最大值/mm	估计范围/mm	超差概率/%
1	0	-1.56	1.56	3.12	0
2	0	-1.51	1.81	3.32	0.03
3	0	-1.52	1.96	3.48	0.11
4	0	-1.58	2.01	3.56	0.11
5	0	-1.60	1.92	3.52	0.09
6	0	-1.53	1.64	3.17	0
7	0	-1.80	1.53	3.34	0
8	0	-2.02	1.58	3.60	0.01
9	0	-2.08	1.54	3.62	0
10	0	-1.96	1.44	3.40	0
11	0	-1.82	1.50	3.32	0

由表 7 可知,优化后雷达罩和机头的间隙公差的超差概率降低为 0.10%~0.75%;由表 8 可知机头与雷达罩阶差公差的超差概率降低为 0~0.11%。

按照表 6 调整相应影响因素的容差输入,其他条件不变,优化后的仿真结果如图 7 和图 8 所示。从图示可知控制目标的超差概率大大降低了。雷达罩和机头装配间隙公差最大超差概率从 6.31%

Contributors	Effectice Tole...	Sensitivity	Effect
1.雷达罩_5316W00000G201_1-LDZ端面2 → SPF 2.000 A B →LDZ-FR1-1kd2; LDZ:G S 2	2.0000	1.0000	32.10%
2.1框_5312W71000S200-蒙皮端面-座舱盖_左_前下_蒙皮端面 → SPF 2.000 A B →LDZ-FR1-1kd2; FR1:G S 2	2.0000	1.0000	32.10%
3.1框_5312W71000S200-铰链孔左 →Size: Min: 0.000 Max: 0.050; IPOS Dia 0.500 A B	1.7643		24.98%
4.雷达罩_5316W00000G201_1-雷达罩铰链孔左 →Size: Min: 0.000 Max: 0.050; IPOS Dia 0.500 A B	0.8203		5.40%
5.1框_5312W71000S200-铰链孔右 →Size: Min: 0.000 Max: 0.050; IPOS Dia 0.500 A B	0.5982		2.87%
6.雷达罩_5316W00000G201_1-雷达罩铰链孔右 →Size: Min: 0.000 Max: 0.050; IPOS Dia 0.500 A B	0.4228		1.43%

图 7 优化后雷达罩和机头装配间隙公差影响因素报告

Contributors	Effectice Tole...	Sensitivity	Effect
1.雷达罩_5316W00000G201_1-雷达罩外表面 → SPF 2.000 A B →LDZ-FR1-1kd2; LDZ:G S 2	2.0000	1.0000	33.22%
2.1框_5312W71000S200-机头蒙皮 → SPF 2.000 A B →LDZ-FR1-1kd2; FR1:G S 2	2.0000	1.0000	33.22%
3.1框_5312W71000S200-铰链孔左 →Size: Min: 0.000 Max: 0.050; IPOS Dia 0.500 A B	1.4982		18.64%
4.1框_5312W71000S200-铰链孔右 →Size: Min: 0.000 Max: 0.050; IPOS Dia 0.500 A B	0.8622		6.17%
5.雷达罩_5316W00000G201_1-雷达罩铰链孔左 →Size: Min: 0.000 Max: 0.050; IPOS Dia 0.500 A B	0.6692		3.72%
6.雷达罩_5316W00000G201_1-雷达罩铰链孔右 →Size: Min: 0.000 Max: 0.050; IPOS Dia 0.500 A B	0.5347		2.37%

图 8 优化后雷达罩和机头装配阶差公差影响因素报告

降低至0.75%。雷达罩和机头装配阶差公差最大超差概率从1.81%降低至0.11%。

经工程评估,如此小范围内的间隙、阶差超差可进行微调,达到工程要求。

4 结论

通过对雷达罩和机头1#框组件的装配进行预测性仿真,找到了对雷达罩和机头装配贡献度较大的影响因素,并针对影响因素相关特征提出了优化方案,通过仿真分析可得出以下结论:

1) 贡献度较大的影响因素为:雷达罩外表面轮廓度、机头蒙皮外表面轮廓度、1#框组件上铰链孔位置度、雷达罩上铰链孔位置度。

2) 将雷达罩外表面轮廓度、机头蒙皮外表面轮廓度、1#框组件上铰链孔位置度、雷达罩上铰链孔位置度的公差带缩小后,大大降低了控制目标的超差概率。根据仿真数据进行预测,在实物制造之前严格控制贡献度大的关键特征的公差值,为雷达罩和1#框组件的设计、制造相关人员提供图纸优化、制造能力优化参考信息,避免了实物装配环节可能产生的大量超差问题,从而控制制造成本。

3) 由于雷达罩和机头1#框组件装配后可进行微调,在一定范围内处理超差,例如通过调节1#框上锁座头部的航向位置来微调间隙,通过叉耳的位置来微调滚柱叉耳附近的蒙皮阶差,因此不必要求超差概率必须为0,太严格的精度要求会使得制造成本较高。当完成零件制造后,可用实测数据与仿真数据进行对比,进一步迭代优化关键特征的公差值。

参考文献:

- [1] 徐剑. 数字样机在飞机数字化协同研制中的发展[J]. 民用飞机设计与研究,2018(3):87-91.
- [2] 杨颖,汪劲松,郁鼎文,等. 公差设计与制造成本[J].

制造技术与机床,2000(2).

- [3] AHLUWALIA R S, KAROLIN A V. CATC: a computer aided tolerance control system[J]. Journal of Manufacturing Systems, 1984, 3(2): 153-160. DOI: 10.1016/0278-6125(84)90006-2.
- [4] 韦余凤,郑丞. 基于VSA的主起落架舱门与主起轮舱整流罩容差分析[J]. 中国科技信息,2019(19): 27-29.
- [5] 钱丽丽. 飞机典型部件容差分配技术研究[D]. 杭州:浙江大学,2016.
- [6] SHEN Z S. Tolerance analysis with EDS/VSA[J]. Journal of computing and information science in engineering, 2003,3(1): 95-97.
- [7] CAI W, LONG Y F, HSIEH C. Variation simulation for digital panel assembly [J]. ASME international mechanical engineering congress and exposition. 2003(5): 27-46.
- [8] 张国兵. 3DCS公差分析技术在汽车设计中的应用[D]. 合肥:合肥工业大学,2019.
- [9] 詹晶晶,朱亮. 飞机雷达罩整体复合材料模具制造工艺研究[J]. 航空维修与工程,2023(7):65-67.
- [10] 徐钟济. 蒙特卡洛方法[M]. 上海:上海科学技术出版社,1985.
- [11] DOHMANN F, HARTL C. Tube hydroforming-research and practical application[J]. Journal of Materials Processing Technology,1997,71(1):174-186.

作者简介

朱姜蕾 女,硕士,工程师。主要研究方向:民用飞机结构设计。E-mail: zhujianglei@comac.cc

王素晓 女,硕士,研究员。主要研究方向:民用飞机结构设计。E-mail: wangsuxiao@comac.cc

刘鹏 男,硕士,工程师。主要研究方向:民用飞机结构设计。E-mail: liupeng5@comac.cc

王小峰 男,硕士,助理工程师。主要研究方向:民用飞机结构设计。E-mail: wangxiaofeng@comac.cc

谭家亮 男,硕士,工程师。主要研究方向:民用飞机结构设计。E-mail: tanjialiang@comac.cc

The research of simulation and analysis of the assembly tolerance of civil aircraft radome structure

ZHU Jianglei^{*} WANG Suxiao LIU Peng WANG Xiaofeng TAN Jialiang

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

Abstract: Three-dimensional simulation of tolerance for structural assembly can be used to simulate tolerance accumulation during the assembly process before components are manufactured. This helps in guiding tolerance design of aircraft via iteratively optimizing the model, thus avoiding significant deviations in aircraft assembly, and extra time and material costs can be saved. Three-dimensional tolerance simulation analysis helps in predicting whether the controlling objectives can meet engineering requirements during the radome nose assembly process, which can be challenging using traditional one-dimensional size chain methods. The probability of deviation happens in the gap between the nose and radome was reduced from 3.19% ~ 6.31% to 0.10% ~ 0.75% via optimization based on simulation result, and the probability of deviation happens in the step difference between the radome and nose was reduced from 0.31% ~ 1.81% to 0 ~ 0.11%. The results of three-dimensional simulation research of tolerance provides guidance for designer and technician in radome and nose development and production.

Keywords: radome; nose; tolerance; assembly; simulation analysis

* Corresponding author. E-mail: zhujianglei@comac.cc