

ICS 49.035
CCS V 96

T/CASME

中国中小商业企业协会团体标准

T/CASME XXXX—XXXX

飞机静气弹风洞试验模型制造规范

Manufacturing Specification for Aircraft Static Aeroelastic Wind Tunnel Test Models

征求意见稿

2024 - XX - XX 发布

2024 - XX - XX 实施

中国中小商业企业协会 发布

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由成都凯迪精工科技有限责任公司提出。

本文件由中国中小商业企业协会归口。

本文件起草单位：成都凯迪精工科技有限责任公司、×××、×××。

本文件主要起草人：×××、×××、×××。

飞机静气弹风洞试验模型制造规范

1 范围

本文件规定了飞机静气弹风洞试验模型制造规范的术语和定义、基本要求、结构与尺寸、原材料与标准件的选择、模型加工、检测规则、装配与运输。

本文件适用于飞机静气弹风洞试验模型的生产制造。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 70.1 内六角圆柱头螺钉
- GB/T 1449 纤维增强塑料弯曲性能试验方法
- GB/T 3077 合金结构钢
- GB/T 3354 定向纤维增强聚合物基复合材料拉伸性能试验方法
- GB/T 3355 聚合物基复合材料纵横剪切试验方法
- GB/T 3880.2 一般工业用铝及铝合金板、带材 第2部分：力学性能
- GB/T 15519 化学转化膜 钢铁黑色氧化膜 规范和试验方法
- GB/T 39247 增材制造 金属制件热处理工艺规范
- GB/T 30969 聚合物基复合材料短梁剪切强度试验方法
- GJB 569A 高速风洞模型设计准则
- NB/T 47013.3 承压设备无损检测 第3部分：超声检测
- NB/T 47013.4 承压设备无损检测 第4部分：磁粉检测
- HB 1-205 90° 沉头螺钉

3 术语和定义

GJB 569A界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

发蓝处理 bluing treatment

是将钢在空气中加热或直接浸於浓氧化性溶液中，使其表面产生极薄的氧化物膜的材料保护技术，也称发黑。

3.2

本色阳极氧化 clear anodizing

保持金属本色，不作着色处理的阳极氧化工艺。

4 基本要求

4.1 模型各部件加工好后，装配前的零件均应为检验合格的零件，进入装配工序的零件状态均应为无毛刺，清洁外观，配合部位均应涂有润滑脂，对不协调的部位已进行修配。

4.2 模型的设计制造应满足需方的数模、技术要求，同时满足 GJB 569A 的规定。

4.3 模型所有零件应严格按照模型装配状态逐件进行装配调试，所有螺钉和销钉均不应凸出模型外表面。

4.4 模型应总检合格，并提供模型检测报告（含材质证明书、热处理报告及探伤检测报告）、模型加工制造总结报告，开具模型合格证。

5 结构与尺寸

5.1 模型主要划分为：机翼、机身、垫板、发房挂架部件。模型各部件的结构及分离面的设计应考虑模型在风洞中装拆方便，零部件的加工工艺性、模型的强度和刚度等要求。

5.2 机身应分为前、中、后三部分，中机身与天平连接件连接，前机身和后机身连接在中机身上，中机身可放置水平测量的倾斜仪，中机身与刚模机翼和弹模机翼共用。

5.3 垫板应采用迷宫槽设计，垫板在风洞转盘外部分与洞壁保持 5 mm 间隙，垫板高度可调，垫板与机身的间隙为 5 mm。

5.4 单副翼状态角度应为： -5° ， 0° ， 5° 。副翼后缘下偏应为负。

5.5 内副翼角度应为： 0° ， -2° ， -5° ， -10° ， -20° ；双副翼外副翼应为： 0° ， -5° ， -10° ， -20° 。副翼后缘下偏应为负。

5.6 机翼骨架主要由根部接头、铝合金内埋件、前梁、后梁、加强梁、肋等组成。吊挂肋应采用铝合金，与前后梁由金属耳片、螺钉进行连接，各肋与主梁定位好后，应采用手糊工艺加两层 0.2 mm 玻璃布进行耳片加强胶接。梁架结构图如图 1 所示。

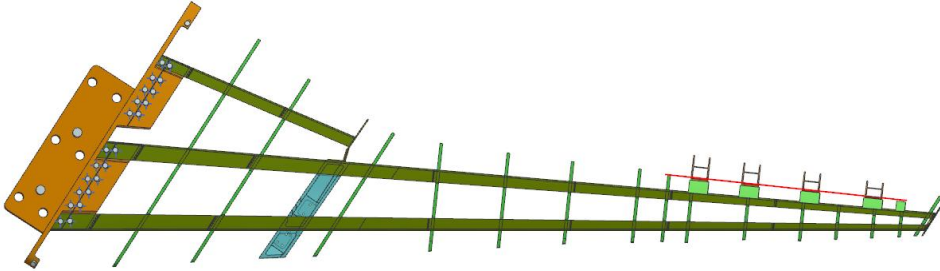


图1 梁架结构示意图

5.7 机翼蒙皮应采用玻璃纤维/碳纤维预浸料铺制而成，按照设计不同的分区进行铺制，按具体的铺层列表进行。蒙皮结构图如图 2 所示。

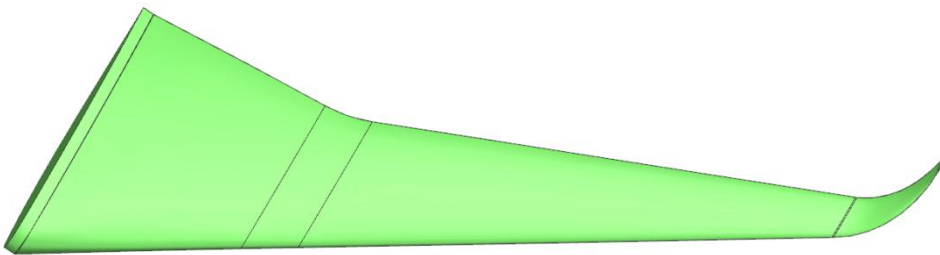


图2 蒙皮结构示意图

5.8 模型直接采用半模侧壁支撑，模型通过天平连接件与风洞壁外天平连接，接口形式见图 3 所示。

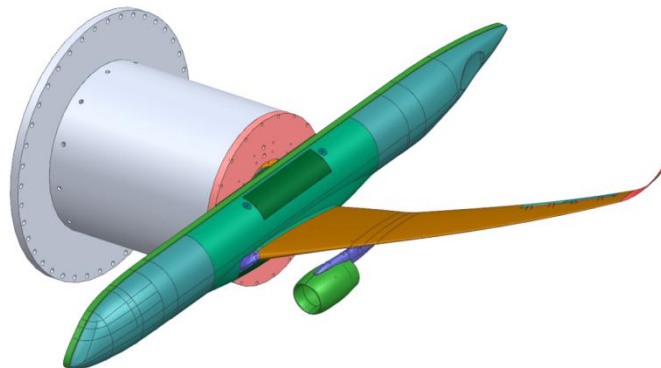


图3 模型支撑示意图

6 原材料与标准件的选择

- 6.1 模型机身主体、机翼主体、盖板、天平连接件、弹模机翼根部接头等零件应全部使用 GB/T 3077 中规定的 30CrMnSiA 材料，热处理 HRC36±2 ($\sigma_b=1080\sim 1180\text{MPa}$)。
- 6.2 风洞壁板、弹模内埋件等应采用符合 GB/T 3880.2 规定的 7075-T6 铝板材料，强度应不低于 480 MPa。
- 6.3 弹模机翼蒙皮、梁、肋等主要复材件应采用玻璃纤维/碳纤维预浸料，部分骨架可采用 7075-T6 或 30CrMnSiA 材料。
- 6.4 原材料的采购及管理应根据工艺人员编制的原材料清册，严格按照公司质量体系文件及相关文件要求，在合格模型加工单位目录内实施原材料和标准件的采购；材料入厂前，质量部门应按照原材料和标准件入厂检验规程及时进行入厂复验。原材料和标准件复验合格后，转开合格证，办理原材料和标准件入库手续；保管员应及时根据质保书和合格证等资料进行清点和查收，无误后登记入账并做好标识。
- 6.5 原材料和标准件的发放应由库房按照工艺人员编制的模型原材料及标准件清册进行发放和领用，并向质量部门提交相应原材料和标准件的质量证明文件。

7 模型加工

7.1 基础要求

- 7.1.1 模型零件应全部采用新加工件，包括附面层垫板、机身、机翼、发房、挂架及天平连接件等部件。
- 7.1.2 在进行弹性模型制造前，应使用同一批次的复合材料预浸料，制备用于力学性能测试的标准件，测量成型后复合材料的力学性能和成型后厚度并反馈至需方，作为需方进行弹模设计使用的材料参数。
- 7.1.3 复合材料力学性能测试结果应当满足需方对弹性模型所用复合材料力学性能的要求。复合材料力学性能测试应当进行至少 2 次，测试结果均反馈至需方。
- 7.1.4 模型加工单位应提供模型材料的技术指标合格证和金属材料热处理报告，该部件使用的材料交付时力学性能应当满足：30CrMnSiA 钢 $\sigma_b \geq 1080\text{ Mpa}$ 。
- 7.1.5 弹性机翼的装配应在装配模具中进行，各部件位置精度小于 0.5 mm。弹性机翼的装配应采用连接件或胶接方式连接，胶接工作应当在恒温低湿清洁间内进行，胶接面表面粗糙度不大于 1.6 μm 。
- 7.1.6 在复材与金属件机械连接处，应当校核局部强度；对复材进行机加工时应当控制进给速度防止分层；若紧固件预埋或粘接于复材结构中的，应当校核局部强度，使用专用螺栓连接。
- 7.1.7 模型加工单位应严格按照各分区复合材料铺层表进行复合材料裁剪和铺贴，复合材料铺层角度误差应小于 3°；若无法使用原材料裁剪出待铺区域的整块材料，应向需方反馈，由需方在铺层表中提供拼接位置，允许至多 1 处复合材料拼接，若多个铺层均出现需要拼接的情况，各铺层的拼接位置应当错开；复合材料铺贴工作应在恒温低湿清洁间内进行，每铺敷 5~10 层复合材料进行一次抽真空，真空度不应小于 0.85，保持时间不应小于 15 分钟；完成所有铺层的铺贴工作后应进行抽真空并保持至进热压罐，真空度不应小于 0.9。

7.2 工艺要求

7.2.1 复合材料固化

- 7.2.1.1 采用热压罐工艺进行复合材料固化时，热压罐尺寸应不小于 2 m×0.6 m，典型成型压力应为 0.3 MPa，固化温度应为 110~130°，可根据实际使用的预浸料调整成型压力和温度；热压罐温度场和压力场的均匀性应达到±5%，温度和压力控制精度应达到±5%；热压罐操作人员应具备压力容器操作资格证。
- 7.2.1.2 用于复合材料固化成型的模具应当具有足够的刚度和尺寸稳定性；模具分型位置（如蒙皮、翼梁）应当过渡均匀，应确保当地曲面外形与输入数模一致；模型外型面粗糙度不应大于 0.4 μm ；在模具变厚度区和转折区应适当设置圆角。

7.2.2 热处理

- 7.2.2.1 30CrMnSiA 钢零件应符合 GB/T 39247 的规定，热处理强度不应低于 1080 Mpa，并保存过程记录，同时向质量部门提交相应热处理报告。

7.2.2.2 7075 铝合金零件无需进行热处理。

7.2.3 表面处理

7.2.3.1 30CrMnSiA 钢零件应按照 GB/T 15519 的要求进行表面发蓝处理。

7.2.3.2 7075 铝合金零件生产的短舱挂架应进行本色阳极氧化处理，其它铝合金零件无需进行表面处理。

7.3 质量控制要求

7.3.1 各部件加工好后，装配前的零件应该是经过检验检查合格的零件，零件装配前应去毛刺，清洁外表，活动配合部位涂润滑脂，对不协调的部位应进行修配。

7.3.2 部件的制造应满足数模，图纸，技术要求。

7.3.3 严格按照需方提供的数模和技术要求加工，在单独零件去工艺头之前，利用三坐标对外型面和配合面进行检测，外型面检测数据要求进行记录；装配后对特征点采用高度尺等量具与装配样板相结合的方式测量。

7.3.4 制造过程中出现的超差、让步等不可消除的质量问题，处理措施应经需方同意并按照需方质量管理要求办理并签署超差处理单。

7.3.5 制造过程中各个部件应严格按照要求进行标识，便于产品辨识和安装。

7.3.6 总检合格后，编写产品加工及检测报告（含材质证明书、探伤检测报告）、产品加工总结报告，并开具产品合格证。

7.4 典型零件加工方案

7.4.1 中机身制造

7.4.1.1 材料应选择 30CrMnSiA 材料，热处理 HRC36±2 ($\sigma_b=1080\sim1180\text{MPa}$)。

7.4.1.2 该零件几何尺寸较大，安装关系复杂，内部应掏空减轻设计。

7.4.1.3 该零件的加工应保证零件各安装接口的精度，通过在加工过程设置多次半精加工后去应力的方式进行控制，同时搭配合理的工艺头，保证零件在加工过程中具有足够的刚度。如图 4 所示。

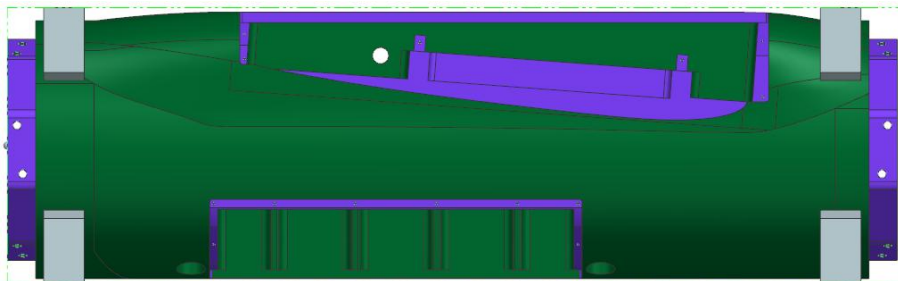


图4 中机身加工示意图

7.4.1.4 中机身主要工艺流程如图 5 所示。其中钳工粗抛和三坐标检测视型面检测结果重复进行。

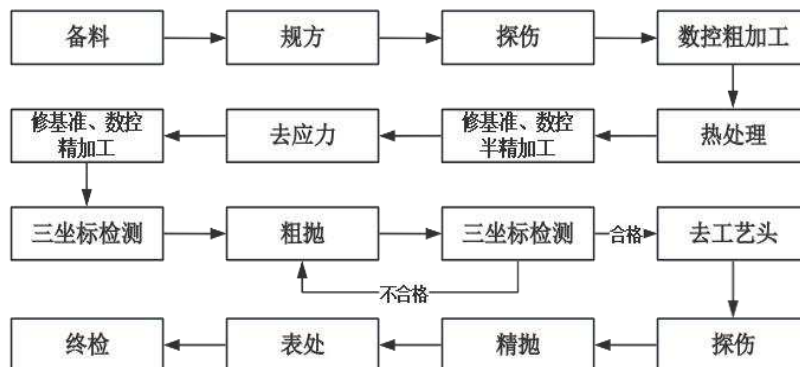


图5 中机身加工流程图

7.4.2 机翼制造

7.4.2.1 材料应选择 30CrMnSiA 材料，热处理 HRC36±2 ($\sigma_b=1080\sim 1180\text{MPa}$)。

7.4.2.2 该零件的加工应控制零件的变形，通过在加工过程设置多次半精加工后去应力的方式进行控制，同时搭配合理的工艺头，保证零件在加工过程中具有足够的刚度。如图 6 所示。

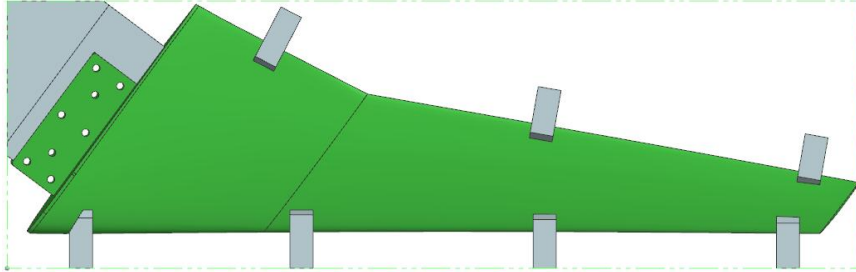


图6 机翼加工示意图

7.4.2.3 机翼主要工艺流程如图 7 所示。其中钳工粗抛和三坐标检测视型面检测结果重复进行。

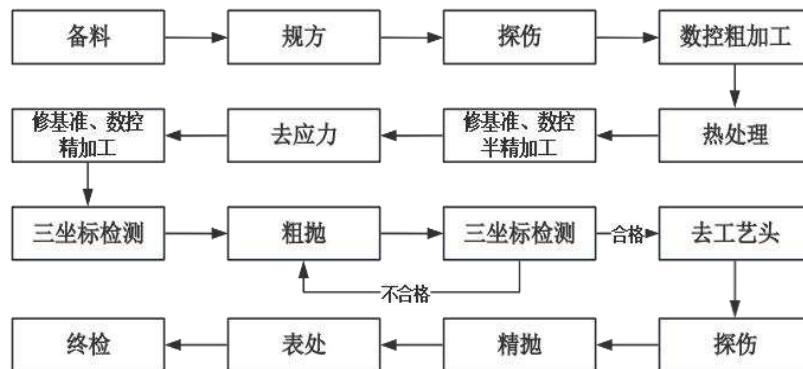


图7 机翼加工流程图

7.4.3 短舱制造

7.4.3.1 材料应选择铝合金，3D 打印后再数控加工， $\sigma_b \geq 300\text{MPa}$ 。

7.4.3.2 零件几何尺寸较大，内部应掏空减轻设计，设计进气道唇口及进气道管道安装缺口、设计其余主体安装接口。

7.4.3.3 该零件的加工应控制零件在加工过程中的变形问题，通过在加工过程设置多次半精加工后去应力的方式进行控制，同时搭配合理的工艺头，保证零件在加工过程中具有足够的刚度。如图 8 所示。

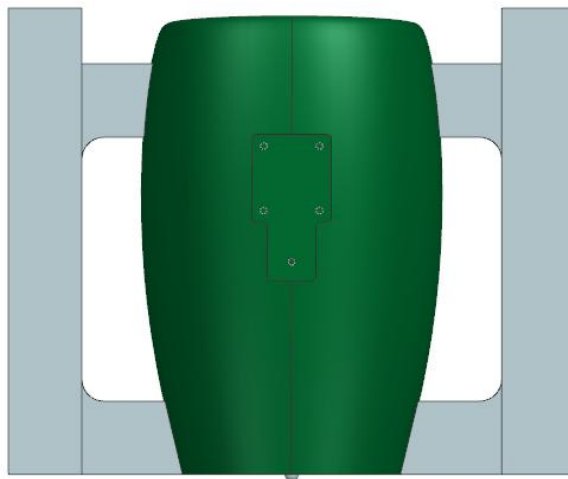


图8 短舱加工示意图

7.4.3.4 短舱主要工艺流程如图9所示。其中钳工粗抛和三坐标检测视型面检测结果重复进行。

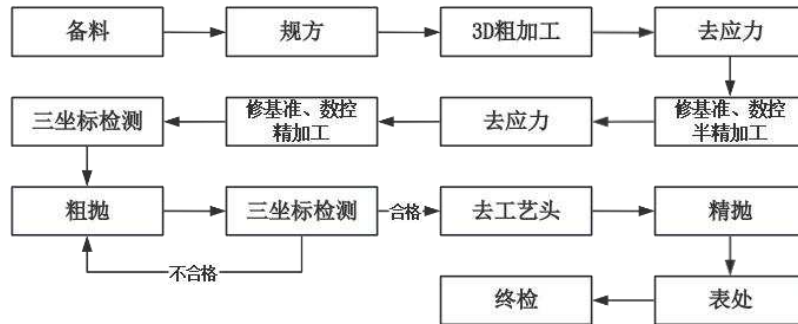


图9 短舱加工流程图

7.4.4 蒙皮模具制造

7.4.4.1 制作机翼模具所使用的钢材模具毛料应进行详细的检测后再入厂，确保质量合格。

7.4.4.2 模具在加工过程中应分阶段对其进行人工时效去应力处理以降低应力变形。

7.4.4.3 加工好的模具应进行详细的抛光处理，确保模型制作表面质量符合要求。

7.4.4.4 应在模具精加工前对粗加工后的模具进行时效处理，减小模具变形，消除模具在加工过程产生的应力集中现象。

7.4.4.5 模具宜采用先进的机床加工，加工精度应不低于 0.01 mm。

7.4.4.6 铣削加工后的模具表面粗糙度为 1.6~3.2 μm 。应对机加工后的模具型面进行抛光处理使模具型面粗糙度不高于 0.4 μm 。模具示意图如图 10，图 11 所示。

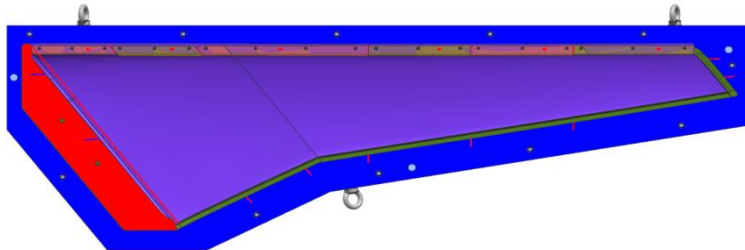


图10 蒙皮上模具示意图

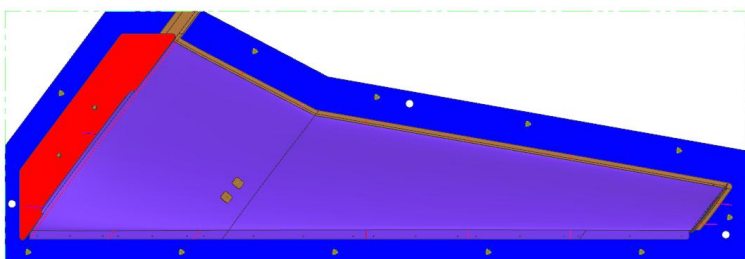


图11 蒙皮下模具示意图

7.4.5 小翼模具制造

7.4.5.1 小翼模具采用碳素结构钢 Q235A 材料设计，加工中心铣削加工后的模具表面粗糙度为 1.6~3.2 μm 。

7.4.5.2 应对机加工后的模具型面进行抛光处理，使模具型面粗糙度不高于 0.4 μm 。模具如图 12 所示。

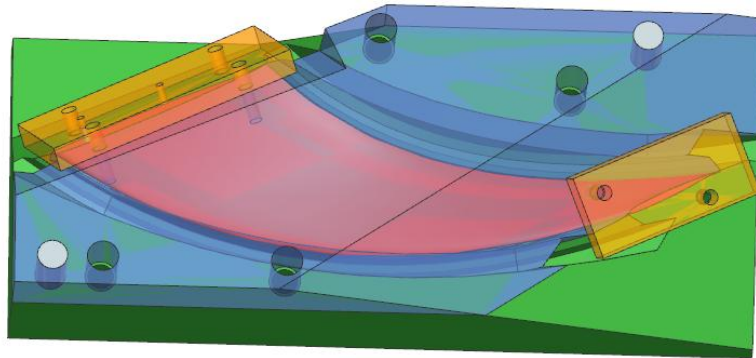


图12 小翼模具示意图

7.4.6 骨架主梁模具及主梁制造

7.4.6.1 横梁、纵梁类复材件的材料应采用碳纤维预浸料先成型为平板，采用 100 吨压力机加压，烘箱固化。

翼梁、翼肋等其他复合材料部件的公差要求为 $-0.35\text{ mm}\sim 0.35\text{ mm}$ ；全机总长公差为 $-0.8\text{ mm}\sim 0.8\text{ mm}$ ，全机总宽的公差为 $-0.8\text{ mm}\sim 0.8\text{ mm}$ 。

7.4.6.2 零件成型后，在后续的裁边，打孔等工序中，应控制加工质量并提供零件的一次交检合格率。其主要工艺为：模具准备，模具清洁，上脱模剂，铺层，整形，抽真空，进罐，出炉，拆模，脱模，裁边修型，终检。

7.4.7 蒙皮制造

7.4.7.1 蒙皮主体复材件的材料应采用玻璃纤维/碳纤维预浸料，模具采用 Q235A 材料加工而成，烘箱固化。

7.4.7.2 机翼蒙皮的公差要求为 $0.00\text{ mm}\sim 0.35\text{ mm}$ ，表面粗糙度不应大于 $0.8\text{ }\mu\text{m}$ 。

7.4.7.3 在机翼成型完成后，应利用蒙皮成型模具作检测基准，把机翼放入模具中进行相应的检验，以保证弹性机翼的型面精度。

7.4.7.4 检测上型面时，机翼放入下模具中。如图 13 所示。

7.4.7.5 检测下型面时，机翼放入上模具中。如图 14 所示。

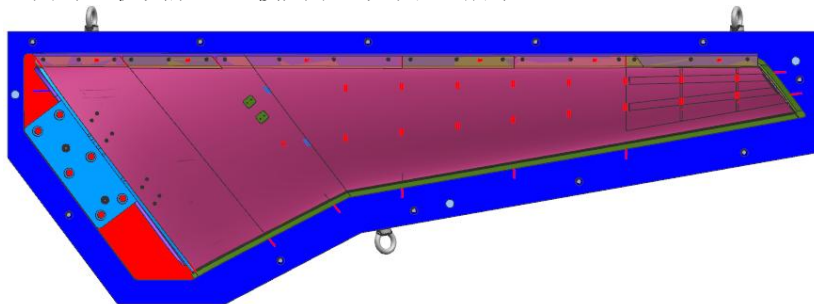


图13 上型面检测状态示意图

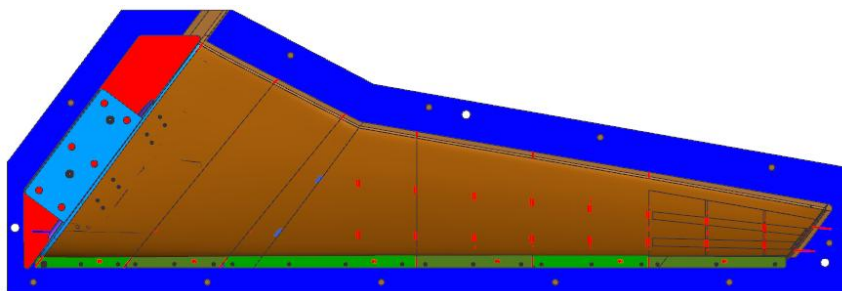


图14 下型面检测状态示意图

8 检测规则

8.1 机翼检测要求

8.1.1 机翼三坐标检测要求至少布置 6 个弦向剖面、2 个展向剖面。检测剖面分布由模型加工单位确定，沿展向应尽量均匀分布，可根据实际情况进行调整，每个检测剖面的上下翼面均应进行检测，机翼前缘 50 mm 范围内，型面检测点间距应不大于 5 mm，其余位置型面检测点间距应不大于 10 mm。

8.1.2 小翼型面三坐标检测要求检测剖面不小于 3 个，站位由模型加工单位确定，应尽量均布，检测点间距不大于 10 mm，保证小翼单面检测点不小于 10 个。

8.1.3 机翼特征点检测基准面见图 15，基准面 1、2、3 平面度应小于 0.07 mm。机翼特征点位置见图 16，机翼特征点检测要求见表 1。

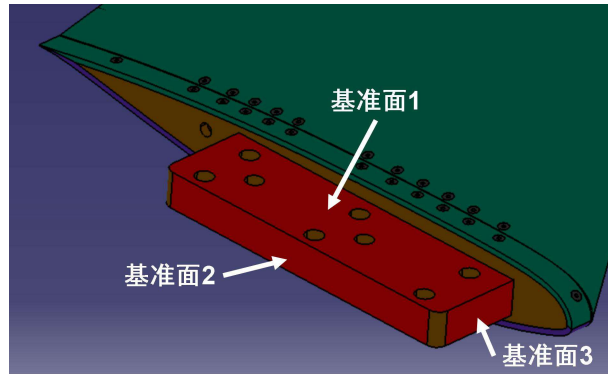


图15 机翼特征点检测基准面

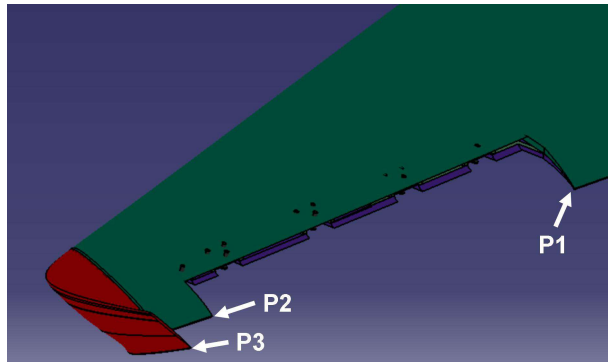


图16 机翼特征点

表1 机翼特征点检测要求

单位：mm

特征点	理论值 1	实测	实测误差	公差要求	理论值 2	实测	实测误差	公差要求	理论值 3	实测	实测误差	公差要求
P1	122.04	-	-	±0.85	960.73	-	-	±0.85	726.58	-	-	±0.85
P2	171.20	-	-	±1.18	1337.54	-	-	±1.18	896.62	-	-	±1.18
P3	263.17	-	-	±1.31	1487.08	-	-	±1.31	1059.09	-	-	±1.31

注：理论值 1 均为特征点到基准面 1 的距离，理论值 2 均为特征点到基准面 2 的距离，理论值 3 均为特征点到基准面 3 的距离。

8.2 机翼部件检测要求

8.2.1 机翼部件的外形检测主要采用剖面检测和特征点检测相结合的方式。剖面通过三坐标测量机进行检测，特征点采用高度尺、游标卡尺等量具进行测量。

8.2.2 翼型外形检测要求如下：

- a) 机翼表面在1/3弦线前：0.00mm~+0.35mm；
- b) 机翼表面在其他部分：-0.35mm~+0.35mm；

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/336144032043010125>