

ICS XX. XX. XX
J XX

团 体 标 准

T/CAMETA XXXXX-20XX

飞机大部件数字化对接工艺装备通用技术要求

General technical requirements for tooling of large size aircraft components digital docking

(征求意见稿)

20XX-XX-XX发布

20XX-XX-XX实施

中国机电一体化技术应用协会发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语与定义	1
4 缩略语	1
5 一般要求	1
6 技术要求	3
7 工艺装备的维护及保养	5
附录 A（规范性附录） 数字化柔性装配测量点选取原则	7

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

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这些专利的责任。

本标准由中国机电一体化技术应用协会提出。

本标准由中国机电一体化技术应用协会归口。

本标准起草单位：上海上飞飞机装备制造有限公司、中科宝航（上海）智能技术研究有限公司、北京航空制造工程研究所（中国航空制造技术研究院）、沈阳飞机工业（集团）有限公司、灵工数据科技有限公司、苏州大学。

本标准主要起草人：郭洪杰、汪西、杜宝瑞、崔伟、赵林、赵建国、荆道艳、薛贵军、林国弼、孙茜。

飞机大部件数字化对接工艺装备通用技术要求

1 范围

本标准规定了大部件数字化对接装配工艺装备的通用技术要求，包含各分系统的设计原则、质量控制、装配使用等要求。

本标准适用于飞机大部件数字化对接工艺装备的研制和使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本文件的引用而成为本文件的条款。下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本文件，然而，鼓励根据本文件达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本文件。

HB 7756.1-2005 基于CATIA建模要求 第1部分：通用要求

HB 20394-2016 飞机柔性化装配工装通用要求

HB 20303-2016 基于模型的制造 装配工艺仿真

GJB1310A-2004 设计评审

3 术语与定义

下列术语与定义适用于本文件。

3.1

飞机大部件 Large-size aircraft components

飞机大部件是指由多个相邻组件或部件连接形成的飞机大型结构件。根据飞机的机构特点，飞机大部件可分为机身段（机头、前机身、中机身和后机身）、中央翼、外翼和尾翼（水平尾翼和垂直尾翼）等。

3.2

大部件数字化对接 Large-size aircraft components digital docking

基于产品三维模型，以数字化测量数据为驱动依据，采用数控执行系统进行飞机部件的定位调姿，完成飞机大部件对接装配的工艺方法。主要包括机身筒段间的对接和机身机翼对接。

3.3

工艺装备 Tooling

制造产品所需的刀具、夹具、模具、量具和工位器具的总称。工艺装备不仅是制造产品所必需的，而且作为劳动资料对于保证产品质量，提高生产效率和实现安全文明生产都有重要作用。

3.4

装配仿真 assembly simulation

在计算机软件中，基于产品装配要素的三维模型，对产品装配过程进行模拟，以验证产品的可装配性、工艺规划等。

4 缩略语

CAPP：计算机辅助工艺过程设计（Computer Aided Process Planning）

CAD：计算机辅助设计（Computer Aided Design）

5 一般要求

5.1 人员

大部件数字化对接系统是机电一体化工艺装备，存在大型工装结构运动和系统强电运行，工艺人员、操作人员应具备以下条件：

a) 操作人员应进行技术培训，持证上岗；

- b) 工艺人员掌握基于数字量协调的飞机装配模式，了解空间刚体运动学和数控系统的工作原理、设备工作范围和工装系统的性能参数；
- c) 工艺人员熟练掌握大部件对接所用测量设备的工作原理、性能参数、测量范围，具备误差分析能力；
- d) 操作人员应具备基本安全防护知识和技能。

5.2 环境

环境要求如下：

- a) 大部件对接现场保持空气洁净，不能有浮尘渣屑等杂质影响激光光路传播，在激光光路传播路径上不可有明显的空气扰动；
- b) 大部件对接过程中环境温度应满足产品、工装和设备的使用要求，温度梯度变化小于 $3^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ；
- c) 大部件对接测量过程中，环境振动、气流扰动和周围磁场应在测量仪器规定的允许范围内。

5.3 设备

大部件数字化对接系统包括数控定位机械系统、运动控制系统和数字化测量系统。具体要求如下：

5.3.1 数字化测量系统

测量设备可根据工艺需求选配，测量精度不低于 $0.1\text{mm}(2\sigma)$ ，典型测量设备选用要求如下：

- a) 激光跟踪仪。10m范围内测量精度不低于 $0.1\text{mm}(2\sigma)$ ，具有断光再续和自动测量功能，设有标准数据及通讯接口；
- b) 室内空间定位系统。20m范围内测量精度不低于 $0.2\text{mm}(2\sigma)$ ，可实现动态多点目标跟踪测量；
- c) 激光雷达。20m范围内测量精度不低于 $0.1\text{mm}(2\sigma)$ ，设有标准数据及通讯接口；
- d) 测量附件。不同测量设备同时应用时测量附件应统一，测量附件应为防锈蚀材质，配合面具有较高的硬度，配合精度高于被测点装配精度要求；
- e) 测量软件系统能兼容多种测量设备。

5.3.2 定位机械系统

定位机械系统要求如下：

- a) 满足装配对象的支撑需求，常用大部段选取四个支撑定位器；
- b) 结构设计在满足功能的基础上应美观大方，符合视觉要求；
- c) 系统定位误差满足产品定位需求，运动行程满足产品六自由度调姿要求；
- d) 每组部件定位系统沿部件装配方向有足够的运动范围，可满足对接工艺需求；
- e) 定位系统的结构强度应满足各轴承载要求；
- f) 采用模块化设计，便于安装、拆卸和维护；
- g) 具有三维装配应力监测反馈功能；
- h) 定位机械系统与飞机大部段连接的接头要求连接可靠，便于大部段出入架；
- i) 具有人工急停功能，建议每个数控定位器上设有急停按钮；
- j) 具有意外情况应急保护功能；
- k) 注油口、电器柜等设置应便于设备日常维护；
- l) 每个数控定位器应具有独立的x、y、z轴运动能力，实现寻球功能；
- m) 伺服电机应具有自动抱闸装置；
- n) 伺服电机在没有配备光栅尺做第二编码器时，伺服电机应配置绝对编码器。

5.3.3 运动控制系统

- a) 控制系统采用工业标准总线通讯，如OPC-UA、Profinet等；
- b) 控制系统应根据对接装配需求，将运动控制、逻辑控制和机械控制集成一体化控制；

- c) 各运动轴的控制可采用全控制驱动方式；也可根据需求合理选择主动或从动控制，对于四个定位器的定位系统，控制系统可选取3-2-1-1或者3-2-2-1的控制驱动方式；对于三个定位器的定位系统，控制系统可选取3-2-1的控制驱动方式；
- d) 组合运动过程中的电气几何校验精度： $\leq 0.5\text{mm}$ ；
- e) 为方便实现定位器的独立运动，可配备触摸屏或手轮；
- f) 和机械系统结构设计并行，结构紧凑，所有线路均从内部走线，同外部设备的接口应统一设计规划。

5.4 安全防护

- a) 大部件对接系统运动前应保持设备清洁，保证运动路径上无障碍；
- b) 飞机部件姿态调整、定位和对接过程中，禁止非工作人员进入工作场地，工作人员应与数控定位器等运动装置保持安全距离；
- c) 工作人员移动工作梯过程中，注意避让保护测量设备的电缆、通信数据线等；
- d) 大部件自动对接全程应有专人人工监测，避免飞机部件碰撞；
- e) 工作人员走动时，注意工装系统的移动部件，避免发生人身伤害；
- f) 对接工艺装备的机械系统和控制系统的维修、维护、保养必须由专业人员在系统断电状态下进行。

6 技术要求

6.1 数字化测量规划

6.1.1 测量基准选取

数字化测量数据在生产各个环节传递，其测量基准的选取对测量一致性和测量精度影响较大，零部件测量基准的选取及优先级(从a至c)原则如下：

- a) 测量基准与设计基准一致；
- b) 测量基准与工艺基准一致；
- c) 测量基准与加工基准一致。

6.1.2 公共基准参考点设置

公共基准参考点用于建立飞机坐标系，其设置应符合以下要求：

- a) 基准点应设置在测量专用地基上；
- b) 辅助基准点每次使用前应通过基准点校准；
- c) 基准点和辅助基准点构成的测量空间应将所有测量点位包含在内；
- d) 单次测量建立坐标系使用的基准点不少于4个，且所使用的基准点不得共线或共面；
- e) 多台设备同时测量或单台设备转站时，使用的公共基准点不少于4个，且所使用的基准点不得共线或共面；
- f) 公共基准点优先使用产品基准点。

6.1.3 测量工艺性分析

测量工艺性分析包括测量可达性分析，测量精度分析，测量环境分析，要求如下：

- a) 测量可达性分析主要是对测量范围，被测物体的开敞性等进行分析，应满足现场测量需求；
- b) 测量精度分析主要分析测量精度能否满足设计、工艺要求，一般情况下测量仪器的测量误差应小于设计、工艺要求容差的三分之一；
- c) 测量环境分析是对包括温度、湿度、振动、空气扰动等进行检查，应满足测量工艺要求。

6.1.4 测量工艺规划

测量工艺规划应该统一纳入整个飞机产品装配的CAPP，主要工作内容包括测量点选取、测量仪器站位设计、测量工艺划分和测量路径设计，要求如下：

- a) 测量点选取。测量点选取按附录A(规范性附录)；

- b) 测量仪器站位设计。设计时采取最少的站位数量，以减轻测量仪器由于转站造成的误差对测量精度的影响；
- c) 测量工艺划分。按空间位置、与测量仪器距离和测量可达性等将测量点分组，并指派给相应测量站位；
- d) 测量路径设计。各测量工位，应按测量方便性、经济性等设计测量顺序。

6.2 定位机械系统设计及要求及准则

根据飞机大部件对接装配的技术需求，定位系统的机械结构设计应遵循以下要求和准则：

- a) 机械结构设计软件应采用航空通用的CAD软件——CATIA, 按照HB7756.1要求进行三维设计建模；
- b) 机械定位系统的结构设计参考HB20394的柔性装配工装构建要求执行；
- c) 各运动轴的设计行程不少于大部段对接时实际需要行程的120%；
- d) 定位系统的各轴应设置限位；
- e) 直线导轨精度： $\leq 0.015\text{mm}$ （300mm长）；
- f) 滚珠丝杠精度： $\leq 0.01\text{mm}$ （300mm长）；
- g) x、y、z三轴互相垂直，垂直度： $\leq 0.08\text{mm}$ （300mm长）；
- h) 三维力传感器测量精度： $\leq 1\%$ 。
- i) 对接系统各轴安装光栅尺做第二编码器，联轴器采用涨紧套连接。

6.3 运动控制系统设计选型

控制系统设计应遵循以下要求和准则：

- a) 对接系统的制动、低速、调速性能要求很高，应使用伺服电机；
- b) 伺服电机编码器精度应大于等于17位（Bit）；
- c) 电机最高转速的确定：速度选择依据系统机械部分的最大轴速度，最大速度下的电机转速应严格控制在额定转速之内；
- d) 为保证系统反应灵敏和系统的稳定性要求，负载惯量应限制在2.5倍电机惯量之内；
- e) 根据伺服电机特性，依据负载转矩选择伺服电机，应具备过流保护功能，安装有抱闸；
- f) 除控制柜上和操作面板上设置急停开关外，每个工位应配备两个无线急停按钮，便于对接时及时处理紧急状况。

6.4 对接装配仿真

完成测量系统、机械系统和运动控制系统详细设计后，对接装配仿真是数字化并行设计的重要环节，是对工艺、机械和测量等详细方案的模拟分析和技术验证。对接装配仿真应遵循以下要求和准则：

- a) 确定对接装配的关键特征，并构建装配仿真所需工艺模型；
- b) 根据对接工艺方案，建立工艺大纲库文件，确定装配仿真序列大纲；
- c) 根据实际环境构建设备和其他辅助工装的三维模型资源；
- d) 根据设计在模型中对机械结构进行自由度约束；
- e) 机械结构和运动定位精度仿真模拟精确到0.01mm；
- f) 无定位精度要求的工装设备如激光跟踪仪等站位布局精确到10mm；
- g) 具体仿真步骤参考HB20303执行；
- h) 仿真完成后，优化装配工艺、测量站位布局和结构设计。

6.5 设计评审

所有设计完成后，在转入制造阶段之前，必须先进行设计评审。设计评审是民机设计和研发过程中，为确定设计和开发输入、输出或阶段性工作的适宜性、充分性和有效性所进行的评估活动，也是设计质量管控的一项重要手段。设计评审应遵循以下要求和准则：

- a) 设计评审应该按阶段进行，对装备研制进行及时监控，分为初步设计评审、详细设计评审和最终设计评审；
- b) 初步设计评审要对项目的合理性和可行性、对接技术总方案、工艺总方案和关键技术攻关等进行评审；
- c) 详细设计评审要对工装的总图、零部件图、电气选型和原理图、详细工艺方案和必要的验证试验参数等进行评审，保证设计可靠性；
- d) 最终设计评审要针对飞机大部件对接产品试制过程中技术更改设计、详细方案优化等进行终审定型；
- e) 由设计部门组织评审，评审成员须包括同行专家和使用部门代表；
- f) 评审材料和相关申请报告参考GJB1310A-2004。

6.6 对接工艺装备验收

装配研制完成，正式投入生产之前，要对装备进行验收，遵循以下要求和准则：

- a) 验收分为预验收、现场验收和首件投产验证和最终验收四次；
- b) 目视检查项目应包括外观，喷漆，标识，标签和限位等；
- c) 对机械定位系统和运动控制系统的进行运动和控制功能性验证，包括独立运动和同步运动；
- d) 检验各轴的正负行程是否符合设计要求；
- e) 检验各轴的负载能力是否符合设计要求；
- f) 对机械结构各主动轴的定位精度和重复定位精度验证应包含空载和负载两种状态；
- g) 检验机械结构的从动轴的阻力是否符合设计要求。

6.7 对接工艺装备使用

飞机部件对接工装使用要求如下：

- a) 对接工装和专用设备使用人员应通过培训后，严格按照操作手册和工艺指导文件执行；
- b) 应由专人负责监视飞机部件自动对接过程，避免出现事故；
- c) 部件间的装配连接操作应符合工艺文件要求；
- d) 装配质量符合飞机设计技术要求。

7 工艺装备的维护及保养

7.1 测量设备的维护和保养

- a) 测量设备必须按期检定校准受控，保证精度可靠性；
- b) 测量设备需要有专用的设备存放间；
- c) 测量设备的防尘过滤件需定期更换或清洗；
- d) 测量参考点做好防尘防锈处理，对接测量使用前及时清洁；
- e) 测量设备做好断电防护，保证设备的使用安全性和测量数据的及时备份。

7.2 定位机械系统的维护和保养

- a) 导轨和驱动系统等应配备有效的防护罩，阻挡灰尘和切屑的进入；
- b) 定期检查各滑动面、丝杠及齿轮齿条，保证无损伤、无异物、无异响、不漏油、不漏电、不漏气；
- c) 按时加换润滑油，油质应符合要求；
- d) 设备的专用附件和工具应使用专用框架保存，保持清洁，做好防锈和防撞。

7.3 运动控制系统的维护和保养

- a) 定期检查控制系统内部线路，进行除尘和除静电；
- b) 定期检查控制系统包含应急开关和无线开关在内的开关按钮是否正常；
- c) 大部件单次对接时间过长时，注意检查相关部位温度是否正常；
- d) 定期检查控制柜的仪表、指示灯和力传感器等状态是否正常；

- e) 定期检查连接端口是否松动，部分外接线是否老化等；
- f) 关键电子元器件应有备品备件。

附录 A
(规范性附录)
数字化柔性装配测量点选取原则

柔性装配数字化检测测量点的选取应遵循以下原则：

- a) 测量点应遵照工艺和设计要求选择。测量点应能保证设计和工艺要求，尽量选取在定位点、关键特征孔、工艺孔及其他重要和孔位精度较高的位置；
 - b) 测量点包络实体。测量点的分布合理，具有代表性，测量点云应能最大程度的包络被测物体，减少测量误差；
 - c) 测量点数量及分布密度。测量点数对测量成本影响较大，在满足测量需求的前提下尽量减少测量点数。此外，在重要位置、被测物体几何量变化梯度较大位置，应多布置测量点，其他位置少布置测量点；
 - d) 测量点敏感性。对于一些采用光学仪器间接测量的特征（如直径、曲率半径、法线和轴线等），其测量精度对测量的选取较敏感，应视具体条件合理布置测量点。如测量直径时，采样圆弧尽量大，应避免用小圆弧测量大直径等；
 - e) 测量点应在具有高强度、刚性好，变形较小的结构件上选取，如加强框、梁等；
 - f) 测量点尽量在设计分离面、工艺分离面上；
 - g) 测量点位置应保证测量的可达性。
-