

基于iGPS的飞机部件对接 测量点选取方法研究*

宋彰桓¹, 赵 罡¹, 孙占磊¹, 邢宏文²

(1. 北京航空航天大学机械工程及自动化学院, 北京 100191;

2. 上海飞机制造有限公司, 上海 200436)

[摘要] iGPS 在飞机对接中拥有多点实时测量、测量范围大的优势, 是未来飞机对接测量的发展趋势。在 iGPS 测量过程中, 测量点的选取是测量工作的重要环节, 对飞机部件的对接质量影响很大。目前测量点的选取主要依赖经验, 难以满足高效对接的需求, 针对这一问题提出了一套基于测量关键特性的 iGPS 测量点选取方法, 按照对接流程将测量关键特性分为基准特性、调姿特性、连接特性和工装特性 4 类。基于 4 类测量关键特性提出了测量点选取原则和方法。通过某型号民机前、中机身对接实例详细阐述了飞机对接测量点选取流程, 验证了该方法的可行性。

关键词: iGPS; 测量关键特性; 测量点; 飞机对接

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2016.05.057



宋彰桓

北京航空航天大学航空宇航制造工程硕士研究生, 研究方向为数字化测量、飞机装配。

飞机机体装配是飞机制造过程中的重要环节, 其工作复杂、难度大, 是飞机制造的关键^[1]。在飞机装配中, 对接是关键步骤之一。对接的效率直接决定整个装配环节的效率, 其精度、误差对整个飞机的质量有直接影响。测量是对接工作的一个重要环节。目前大尺寸测量技术在国内外航空制造业得到了广泛的应用^[2]。大尺寸测量技术在飞机对接中主要用于部件位姿定位及装配质量检测, 是保证对接质量的重要手段。目前, 国内对于飞机对接测量的研究多使用激光跟踪仪作为测量工具^[3-6], 但其存在转站、断光、仅能测量单点等缺点, 不能很好地满足飞机对接测量的要求。

iGPS 全称为 Indoor GPS, 是一种大尺寸空间测量技术, 主要用于解决大尺寸室内空间测量与定位问题。相比全站仪、准直仪、激光跟踪仪等测量工具, iGPS 拥有测量范围

大、同时多点测量、实时性强等众多优势, 且具有较高的测量精度, 足以满足飞机对接的需要, 在飞机对接领域有很大的应用潜力。目前, 国内对 iGPS 的研究多集中于其自身基础性能的分析, 例如精度分析、动态性能, 关于 iGPS 进一步在实际工程应用中的研究较少^[7-9]。为了发挥 iGPS 测量优势, 推广其在飞机对接领域的应用, 迫切需要结合对接工艺和 iGPS 测量特点进行基础研究。为了针对 iGPS 的测量特点选取有效的飞机部件对接测量点, 正确反映对接要求, 精简测量数据, 提高测量效率, 本文提出了基于测量关键特性的飞机部件对接 iGPS 测量点选取方法。

测量关键特性

测量关键特性的概念来源于关键特性(Key Characteristics, KC), 它部分依存于产品关键特性树, 同时与

* 基金项目: 国家商用飞机制造工程技术研究中心创新基金资助项目(SAMC13-JS-15-027)。

实际对接工艺密切相关,是结合产品设计和实际制造工艺的纽带。

1 测量关键特性定义

关键特性是材料、零部件或过程的特性中对产品的互换协调影响最大的特性^[10]。关键特性按照研制阶段可分为产品关键特性、制造关键特性和装配关键特性^[11]。其中,装配关键特性是指在各个装配阶段、零部件或工艺装配配合中对产品的装配质量影响最为显著的几何特性(如尺寸、形状、位置等)^[12],装配关键特性又可以根据装配级别分为顶级装配关键特性和低级装配关键特性。

对接过程的测量关键特性属于装配关键特性。图1表示对接过程中的测量关键特性在飞机关键特性树中的位置。从零件制造到整机装配完成,测量是贯穿始终的,针对制造和各级装配的工艺特点,以及不同的测量方式,都应有其相应的测量关键特性。对接过程中的测量关键特性是为了正确反映对接过程的装配关键特性,满足对接测量要求而提取的一系列能够通过现有测量手段进行描述的特性。测量关键特性可以综合考虑设计、制造及装配中的多种因素,对工件整体进行精简、抽象,提取出其中的某一特性作为代表,从而简化测量点选取的难度。本文面向使用 iGPS 作为测量工具的对接过程,对于建立飞机全生命周期的测量关键特性体系具有一定借鉴意义。

2 测量关键特性的分类

在基于 iGPS 测量的飞机部件自

动化对接中需要的测量点数量多、用途多样,为了有序地选取测量点,并对测量数据进行有效管理和应用,需要对测量关键特性进行分类。本文基于对接工艺流程将测量关键特性分为以下4类:

(1)基准特性。它是指用来建立统一的基准坐标系的测量关键特性。

建立统一的坐标系是测量的首要工作。飞机有自身的设计坐标系,对接过程中各部件的正确位姿在设计坐标系下进行描述,而测量工具拥有自己的测量坐标系,基准特性的作用就是实现这两者的统一。

就 iGPS 而言,一般使用自由组网法建立测量坐标系,通过求解坐标系之间的齐次转换矩阵实现坐标系统一,该转换矩阵是坐标系统一的关键,其数值变动会对对接精度产生很大影响,因此可选作为基准特性。

(2)调姿特性。它是指用来描述飞机部件位姿的测量关键特性。在对接过程的调姿阶段,通过测量调姿特性判断飞机部件姿态是否正确。

选取调姿特性需对飞机部件结构进行深入分析,了解各组成零部件设计理念、执行的功能、制造工艺、使用材料等众多信息,结合 iGPS 测量特点,譬如信号遮挡、表面涂料对信号的干扰等,进行综合考虑决定。

由于 iGPS 可以同时测量多个测量点,并且具有良好的动态性能,因此,比较适合测量飞机部件的姿态。在实际应用中,在飞机部件上布置足够多的接收器,并在配套软件

统一选取为部件固连的局部坐标系。

(3)连接特性。它是指用于保证对接处质量的测量关键特性。

飞机部件调姿完成后会沿坐标轴平移到达目标位置,然后通过铆接等工艺将两个独立的部件连接为一个整体。连接特性的用途体现在装配前的预处理及装配后的质量评价两个方面。前者通过对接处的测量数据进行分析比对,预测对接处可能出现的问题,并采取相应的规避措施;后者是在完成连接后通过测量数据评估连接质量。

在基于 iGPS 的飞机部件对接中,由于连接处多样、连接工艺不同,而且还存在保证整机气动外形和保证对接面的协调问题,因此并不能确定一个统一的连接特性,在选取时需要针对具体情况,综合考虑多种因素,进行折衷优化处理。

(4)工装特性。它是指描述对接过程中所用工装夹具位姿信息的测量关键特性。

传统的飞机对接装配中使用的工装型架一旦安置到位一般不需要时刻测量工装位姿。在基于 iGPS 的飞机部件对接中使用 POGO 柱等柔性工装,其位姿正确与否不仅关系对接质量,还涉及到对接过程的安全性问题,因此需要通过测量进行监控。工装特性包括两类:一类是工装在工位的定位信息,例如 POGO 柱底座位姿;另一类是可活动工装部件的位置信息,例如 POGO 柱接头位置。

测量点选取方法

iGPS 有 VectorBar、IProbe 等多种接收器,选取测量点,在其上布置合适的接收器是 iGPS 测量的重要环节。

在基于 iGPS 的飞机部件对接中,测量关键特性反映对接要求,指导测量点的选取。而选取测量点的目的在于通过确定单点位置、测量点数目、各点之间的几何关系等因素实现点对测量关键特性的正确描述。

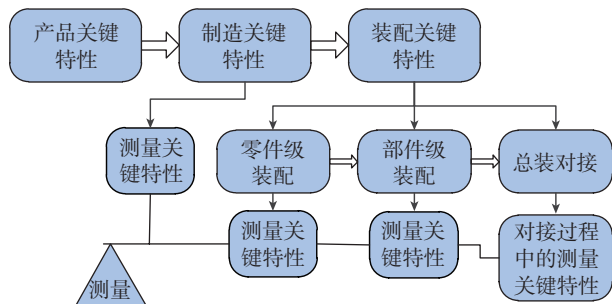


图1 关键特性树层级
Fig.1 Hierarchy of KC tree

件 Surveyor 中建立“Frame”,可以获得一个固连于飞机部件的局部测量坐标系,通过测量该坐标系在全局坐标系下的变化实现对飞机部件姿态的描述。因此,在基于 iGPS 的飞机部件对接中的调姿特性可以

1 测量点选取流程

基于 iGPS 的飞机部件对接测量点选取方法主要包括确定测量关键特性和确定测量点两步。

(1) 确定测量关键特性。如图 2 所示,首先在飞机设计阶段应当根据顾客要求、设计要求等因素选取产品关键特性,制定产品关键特性树;在制造装配阶段,以产品关键特性为准,结合历史经验、现场工艺能力,选取符合生产实际的装配关键特性,并通过尺寸链传递等手段将顶级装配关键特性分解为更加具体的低级装配关键特性^[13-14];最后,针对具体的低级装配关键特性,同时考虑对接工艺、现场环境及 iGPS 测量特点分类选取测量关键特性。

测量关键特性的选取涉及到从设计到对接的多个阶段,是一项系统性工程。在实际选取时,一般只需要知道低级装配关键特性,并熟知 iGPS 测量特点,然后结合现场环境即可以确定测量关键特性。

(2) 选取测量点。确定测量关键特性后就可以结合测量环境和测量工具选取最终的测量点,具体流程如图 3 所示。第一步确定初步方案,考虑如何在理论分析层面正确描述测量关键特性,包括点的数目、相互间的几何关系;第二步结合实际问题对选取方案做进一步优化;第三步是考虑 iGPS 测量特点及实际的飞机对接部件,确定每一个测量点的安放位置,并选用合适的 iGPS 接收器;第四步需要进行现场试验,并对出现的问题进行分析,对方案进行修改,直至满足对接要求。

2 测量点选取原则

在实际选取测量点的时候还需要考虑多方面的因素,要遵循以下几个原则:

(1) 可用性。测量点坐标信息能够直接或者间接反映测量关键特性。

(2) 稳固性。测量点相对于测量对象的位置应当固定不变或者变

动量在误差允许范围内。由于飞机部件是弱刚体,受自身重力等因素影响极易产生变形,有些情况下变形量产生的误差足以干扰测量精度,造成测量点实测位置与理论位置无法匹配的问题。

(3) 可测性。测量点的选取必须考虑 iGPS 测量特点,具体指 iGPS 组网布局方式、测量信号遮挡、iGPS 接收器形式。

iGPS 的测量点选取应与其组网布局互相协调,组网标定完成后发射器相对位置既已固定,不允许在测量过程中发生移动。

iGPS 使用的测量信号是两束激光扇面,虽然可以覆盖整个测量对象外表面,但是机身内部却测量不到。针对这一情况主要有两种解决方案:一是在足以描述测量关键特性的基础上尽量选用外表面测量点,二是采用辅助测量工装。

不同的 iGPS 接收器其应用方式不同,对应的测量点也不同。VectorBar 适合对单个固定点的实时跟踪测量,应用时需要固定在飞机部件上,而 IProbe 是手持式的接收器,适合对点的单次测量。

应用示例

本文以某型号民机的前、中机身对接为例,介绍基于 iGPS 的飞机部件对接测量点选取方案,见图 4。

(1) 基准测量点。如前所述,首先选取坐标系转换齐次矩阵为测量关键特性。根据坐标系转换算法最少需要 3 个不共线公共点以求取该转换矩阵^[15],因此初步确定基准测量点为 3 个不共线公共点;但是,在实际的坐标系转换中,为了提高转换精

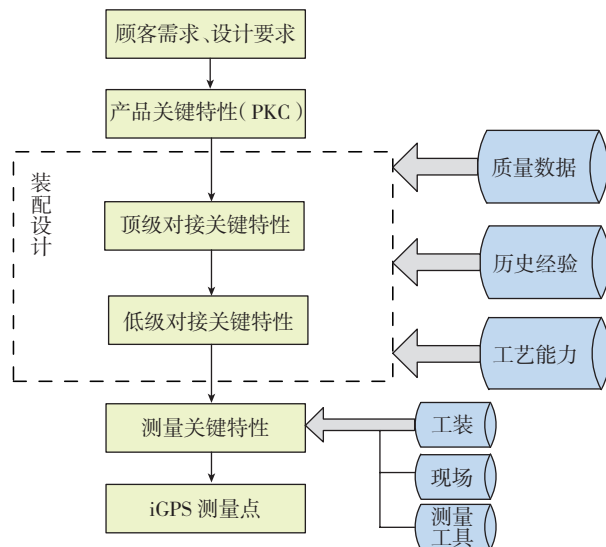


图2 测量关键特性的提取

Fig.2 MKC pick-up

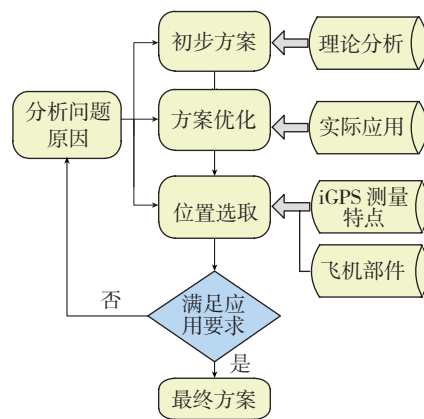


图3 测量点选取流程

Fig.3 Measurement point selection process

度,一般需要多于 3 个公共点进行冗余计算,所以优化方案为 4 个或以上测量点,并且任意 3 个点不得共线。由于是统一坐标系的基准点,因此其精度要求比较高,选用飞机部件上的点可能因变形或振动影响转换精度,在飞机对接厂房的工位地板上一般安装有固定的基准点,其在飞机设计坐标系下的坐标值是已知的,因此确定 4 个不共线的工位固定点为基准测量点,在相应位置布置 VectorBar 或者使用 IProbe 手动测量。

(2) 调姿测量点。前机身和中机身的姿态是低级装配关键特性,而部件固连的局部坐标系能够完整描述部件姿态,因此,局部坐标系是调

姿特性。

如图5所示,初步方案确定不共线的3个点为测量点,可唯一确定一个右手坐标系。飞机中机身是一种弱刚体,调姿过程中易产生变形,进而影响测量精度,因此测量点布置在刚度较强的地板滑轨上。由于iGPS测量信号会被机身壁板遮挡,因此3个点应分布在滑轨两端或者采用测量辅助工装。由于调姿过程需要实时测量、反复迭代,因此选用固定式的VectorBar接收器。

(3)连接测量点。如图6所示,筒段对接中的连接主要包括机身蒙皮连接和长桁的连接,机舱气密性、机身气动性能及连接强度是该处需要考虑的装配关键特性,前后机身连接处的筒段轮廓度关系到气密性和气动外形,因此选取为连接特性。另外,长桁是主要的承力结构,前后机身长桁在连接时的相对位置是影响连接强度的重要因素,因此长桁相对位置也是连接特性。

由于筒段轮廓不是标准的圆形,而且可能存在变形问题,因此选定轮廓扫描点为连接测量点,由于扫描点数目多,并且不需要实时监控,因此选用IProbe进行测量。长桁相对位置可以通过端部工艺孔的位置进行描述,因此选取端部工艺孔圆心作为连接测量点,同样使用IProbe进行测量。

(4)工装测量点。在基于iGPS的飞机部件对接中,选用POGO柱作

为部件定位器,POGO柱姿态与接头位移增量是低级装配关键特性,因此可以确定POGO柱自身坐标系及接头球心坐标为工装特性。在实际应用中为简化计算,一般要求POGO柱自身坐标系三坐标轴与飞机设计坐标系分别平行。

POGO柱底座为矩形结构,并且矩形边与其自身坐标系X、Y轴平行,因此可以选取任意3个底座脚点为工装测量点,使用IProbe进行测量。

POGO柱接头球心本身可以作为工装测量点,但是由于接头位置不便安放iGPS接收器,且可能产生遮挡问题,因此采用辅助测量工装,选取辅助测量工装上的工艺孔圆心为工装测量点(图7),在其上布置VectorBar进行动态实时测量。

结束语

iGPS测量范围大、实时性好、精度较高,是一种新兴的大尺寸测量技术,在飞机装配领域有很大的应用潜力。本文提出了飞机部件对接过程中的测量关键特性概念。依托飞机产品关键特性树,并结合iGPS测量特点确定测量关键特性,在此基础上选取合适的测量点,实现对飞机部件姿态的正确测量。通过某型号民机的前、中机身对接实例,说明本文方法的可行性,给出一种对接测量中选取iGPS测量点的方法,有较强的实用性,可在以iGPS为测

量工具的飞机对接生产线上推广应用,且对于全机测量关键特性树的建立以及通用测量点选取具有一定的借鉴意义。

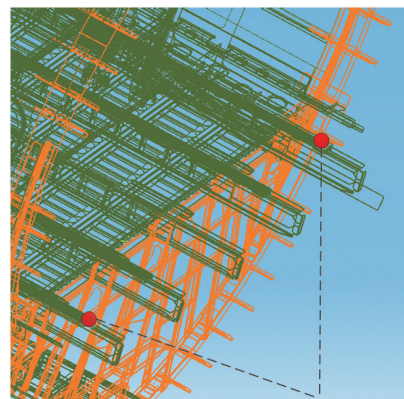


图5 座椅滑轨上的调姿测量点
Fig.5 Pose position measurement points on seat slide

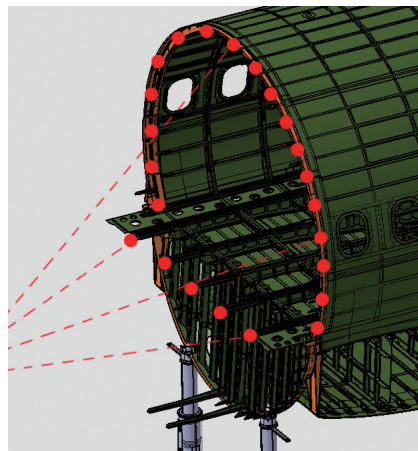


图6 长桁和机身轮廓上的连接测量点
Fig.6 Jointing measurement points on stringers and fuselage contour

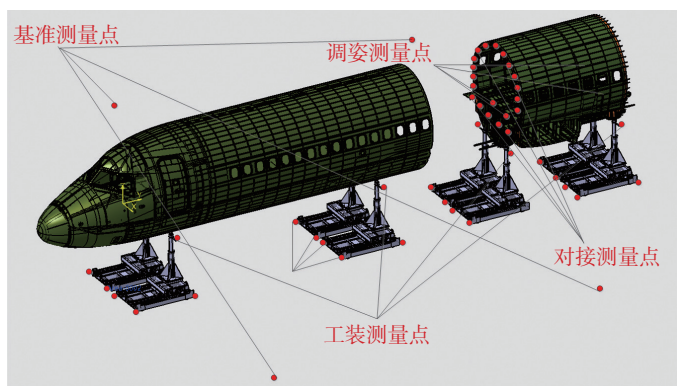


图4 前、中机身对接测量点
Fig.4 Measurement points of fuselage docking

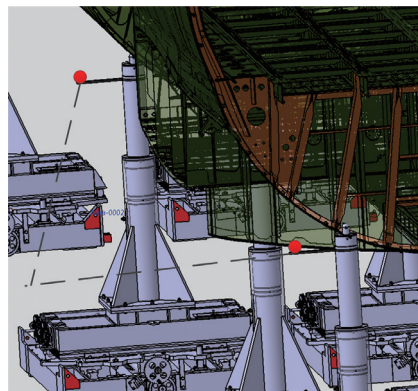


图7 辅助测量工装上的测量点
Fig.7 Measurement points on assisted measuring jig

参考文献

- [1] 许国康. 大型飞机自动化装配技术[J]. 航空学报, 2008, 29(3):734-740.
XU Guokang. Automatic assembly technology for large aircraft[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2008, 29(3): 734-740.
- [2] 郑联语, 朱绪胜, 姜丽萍. 大尺寸测量技术在航空制造业中的应用及关键技术[J]. 航空制造技术, 2013(7):38-41.
ZHENG LianYu, ZHU Xusheng, JIANG Liping. Application of large-scale measurement in aviation manufacturing and its key technology[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2013(7):38-41.
- [3] 季红侠. 飞机大部件对接中的自动测量技术研究与系统开发[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2012.
JI Hongxia. Research on the technology of automatic measurement in large aircraft component butt and system development[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2012.
- [4] 佟立杰. 飞机部件对接中激光跟踪仪的应用[J]. 大众科技, 2013(3):3-4.
TONG Lijie. The application of laser tracker in the aircraft components docking process[J]. Popular Science & Technology, 2013(3):3-4.
- [5] 黄宇. 激光跟踪仪在飞机数字化制造过程中的应用[J]. 航空制造技术, 2011(6): 32-37.
HUANG Yu. Laser tracker application during digital manufacturing in of aircraft[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2011(6):32-37.
- [6] 卢小勇. 基于激光跟踪仪的飞机部件对接调姿软件系统设计及开发[D]. 上海: 上海交通大学, 2012.
LU Xiaoyong. Design and implementation of an aircraft component butt software system based on laser tracker[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2012.
- [7] 黄周弟, 吴铁林, 周玉芳. 利用iGPS进行大尺寸空间坐标测量的不确定度评估[J]. 中国测试, 2013,39(1):47-51.
HUANG ZhouDi, WU Tielin, ZHOU Yufang. Uncertainty evaluation for large-scale coordinate measurement of iGPS[J]. China Measurement & Testing Technology, 2013,39(1):47-51.
- [8] 康海东, 范百兴, 李宗春, 等. iGPS测量原理及其精度分析[J]. 测绘通报, 2012(3):12-15.
KANG Haidong, FAN Baixing, LI Zongchun, et al. iGPS measurement principle and precision analysis[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2012(3):12-15.
- [9] 杜福洲, 陈哲涵, 唐晓青. iGPS测量场精度分析及其应用研究[J]. 航空学报, 2012,33(9):734-740.
DU Fuzhou, CHEN Zhehan, TANG Xiaoqing. Precision analysis of iGPS measurement field and its application[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2012, 33(9): 734-740.
- [10] 刘志存. 飞机制造中的关键特性应用研究[D]. 北京: 北京航空航天大学, 2007.
LIU Zhicun. Research on the application of key characteristics in aircraft manufacturing[D]. Beijing: Beihang University, 2007.
- [11] ZHENG L Y, MCMAHON C A. Key characteristics management in product lifecycle management: a survey of methodologies and practices[J]. Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 2008,222:991-992.
- [12] LEE D. J, THORNTON A. C. The identification and use of key characteristics in the product development process[C]//Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conferences and Computers in Engineering Conference, Irvine, 1966.
- [13] ANNA C, THORNTON A. Mathematical framework for the key characteristic process[J]. Research in Engineering Design, 1999,11:145-157.
- [14] 孙占磊. 基于关键特性的飞机装配若干关键技术研究[D]. 北京: 北京航空航天大学, 2013.
SUN Zhanlei. Study on critical technologies of aircraft assembly based on key characteristics[D]. Beijing: Beihang University, 2013.
- [15] 张卡, 张道俊, 盛叶华. 三维坐标转换的两种方法及其比较研究[J]. 数学的实践与认识, 2008,38(23):121-128.
ZHANG Ka, ZHANG Daojun, SHENG Yehua. Research on two methods of three dimensional coordinate transformation and their comparison[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2008,38(23):121-128.

Research on iGPS Measurement Point Selection Method in Fuselage DockingSONG Zhanghuan¹, ZHAO Gang¹, SUN Zhanlei¹, XING Hongwen²

(1. School of Mechanical Engineering and Automation, Beihang University, Beijing 100191, China;

2. Shanghai Aircraft Manufacturing Co. Ltd., Shanghai 200436, China)

[ABSTRACT] With the advantages of multipoint real-time measurement and large scale measurement range, iGPS is becoming the trend of measurement in fuselage docking. The selection of measurement points is an important step and has a significant impact on the quality of docking. The current selection mainly relies on experience and can't reflect docking requirements. Method based on measurement key characteristics (MKC) is raised to help select iGPS measurement points. MKC is divided into four kinds according to the process of docking, which are baseline characteristics, posture positioning characteristics, joining characteristics and fixture characteristics. Then the principles and steps of choosing measurement points are came up with. Measurement point selection of a civil aircraft fuselage docking is illustrated, which has verified the feasibility of the method.

Keywords: iGPS; Measurement key characteristic (MKC); Measurement point; Fuselage docking

(责编 叶枫)