

飞机装配相对位置准确度快速评价技术研究

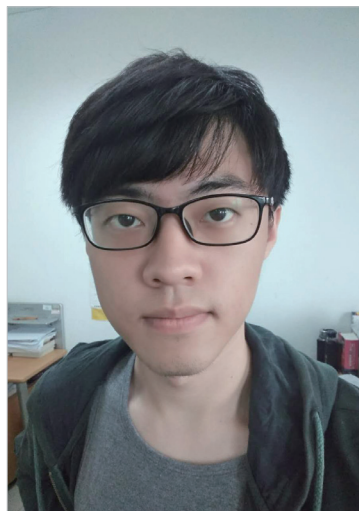
沈治邦, 刘 睿, 段桂江

(北京航空航天大学机械工程及自动化学院, 北京 100191)

[摘要] 对数字化测量环境下的飞机装配相对位置准确度快速评价技术进行了研究。通过构建一种飞机装配相对位置准确度分析模型, 将飞机装配相对位置准确度评价转化为计算飞机装配特征点之间的相对位置关系评价, 并开发了可柔性配置的评价工具以及评价结果可视化显示工具。以某型飞机起落架相对位置准确度评价为实例, 验证了模型的可行性与有效性。

关键词: 飞机装配; 相对位置准确度; 评价模型

DOI: 10.16080/j.issn1671-833x.2017.11.059



沈治邦

硕士研究生, 研究方向为飞机装配准确度评价。

大部件对接是飞机装配的最终环节, 也是飞机装配质量保证的关键环节^[1]。其中, 飞机装配准确度是飞机装配质量的重要组成部分之一。随着飞机制造精度的提高以及数字化制造技术的快速发展, 基于数字量

实现的飞机制造协调方法与数字化测量技术逐渐发展并广泛应用于飞机制造过程中^[2]。例如, 在飞机装配过程中使用激光跟踪仪辅助装配, 对特征点坐标值进行测量。通过对测量值的计算处理并驱动自动化设备进行装配工作, 提高了装配工作的效率与精度。

在飞机装配准确度评价过程中, 数字化测量技术获得广泛应用。许多学者与工程师对测量点的坐标处理与装配准确度评价问题进行了广泛而深入的研究。其中较为常用的方法是基于特征点的坐标测量值对理论值的偏差进行评价^[3]。计算特征点坐标测量值与理论值之间的偏差, 并进行统计, 若在容差要求内的点数在容许范围内^[4], 则飞机装配准确度满足要求。在考虑到各个点差异的情况下, 可以对各点设置权值以进行评价^[5]。还可以使用最小二乘法建立位姿评估模型, 应用奇异值分解的方法快速获得可靠解^[6]。Tang

等使用了就近点搜索(ICP)算法直接进行理论点与测量点的匹配^[7]。刘继红等采用关键特征定位的方法对大部件进行定位, 避免了因误差积累导致的装配失效^[8]。Wang等则从测量系统入手, 分析了影响大尺寸测量系统测量不确定度的因素, 并使用点测量和平面测量两种方法减小误差^[9]。Chen等分析了部件位姿不确定度的几何与代数含义, 提出使用位姿不确定度评价飞机部件装配质量的技术思路^[10]。

在装配作业现场, 常常将飞机部件的位置姿态转换为飞机装配特征点相对位置关系进行测量评价。这种方法的优点在于使用有限的测量数据即可在一定程度上反映飞机装配的固有特性, 检测飞机部件安装是否满足设计要求。尤其在数字化测量环境下, 使用数字化测量设备对特征点坐标进行测量的模式明显提高了测量精度, 使评价结果更能反映装配真实状态。因此, 本文面向上述飞

机装配评价模式,为提高评价效率,并快速响应设计调整对评价要求的更改要求,对飞机装配相对位置准确度快速评价技术进行研究,构建了飞机装配相对位置准确度评价信息模型,并基于 CATIA 开发了飞机装配准确度评价工具,实现了飞机装配相对位置准确度评价方案柔性配置以及快速评价、评价结果可视化功能,以此减少飞机装配评价过程中的重复工作,提高效率。

飞机装配相对位置准确度评价

飞机装配特征点是指飞机表面一系列可使用数字化测量设备测量坐标值的点。这些点或依据这些点构造的点、线、面可以表达飞机部件的位置姿态。

飞机装配相对位置准确度评价项目是飞机装配过程完成后,用于评价部件之间的相对位置情况的一系列评价方法与评价要求,内容一般是对飞机部件几何特征之间的距离、角度、对称性等相对位置关系的准确性要求。大多数情况下,为方便测量与评价,这些准确性要求都被转换为两点距离或两点在某一方向上偏差等参数或特性。飞机不同部件的评价项目不同,同一种飞机部件的不同部位也存在不同的评价项目。对飞机装配相对位置准确度主要评价内容进行整理如表 1 所示。

对部件或整机的多个装配相对位置准确度评价项目的有序组合称为飞机装配准确度评价方案。即飞机装配准确度评价方案是一组评价项目的集合。

由于飞机尺寸较大,装配特征点较多,在装配现场使用 CATIA 的虚拟测量工具手工拾取特征点并计算评价项的过程工作量大且效率低;评价结果无法结构化存储,造成制造信息的丢失与浪费;且对每架飞机都需要进行如此繁杂的重复工作,占用大量工时。为解决上述问题,应尽

表1 飞机装配相对位置准确度主要评价内容

| 计算方法 | 准确性要求 | 部件 |
|---------------------------------------|----------|---------------------|
| 两点的 Z 坐标差值 | 纵向测量要求 | 机身 |
| | 扭转公差 | |
| | 调平要求 | 全机 |
| | 相互位置关系 | 机身 - 机翼; 机身 - 平尾 |
| | 安装角,下反角 | 机翼;水平尾翼 |
| 两点的 Y 坐标差值 | 横向测量要求 | 机身 |
| | 安装角,倾斜角 | 垂尾 |
| 对两侧分别计算同侧两点 Z 坐标差值,再计算左右两侧对应 Z 坐标差值的差 | 对称性 | 机身 - 机翼;机翼; 水平尾翼 |
| 两点间距离 | 相对位置 | 吊挂 - 机翼 |
| | 横向扭曲 | 吊挂 |
| | 偏转 | 前缘缝翼;后缘襟翼 |
| 直线到平面距离 | 到飞机对称面检查 | 发动机短舱轴线 |
| 垂直度 | 垂直度 | 轮轴相对飞机对称面 |

量降低飞机装配相对位置准确度评价项目与测量数据的耦合程度,实现评价项目与测量数据的分离。本文构建了一种飞机装配相对位置准确度评价信息模型,用以组织飞机装配相对位置准确度评价项目信息、测量数据及两者间关联关系。通过定义该模型中的关联规则,可实现飞机装配相对位置准确度评价方案的柔性化配置,从而实现飞机装配相对位置准确度的快速评价。

飞机装配相对位置准确度信息模型

为提高飞机装配相对位置准确度评价方案规划的柔性以及评价过程的效率与规范性,评价方法与准确度评价应当实现分离,不涉及飞机装配相对位置准确度的计算值。评价时通过解读评价方法,对飞机装配特征点的实际坐标测量值进行计算,即可获得飞机装配相对位置准确度的实际结果。利用这种评价方法与评

价数据分离的方式,可以降低评价中定义过程与计算过程的耦合度,提高评价方法的柔性。当飞机评价方法发生变化,或需要测量多架飞机装配特征点坐标数据时,只需要对应修改评价方法或测量数据,即可快速完成评价任务,提高评价工作效率。

在飞机装配相对位置准确度评价方法与要求定义过程中,为提高评价的灵活性也采用类似的思想对所涉及的内容进行划分。通过对飞机装配相对位置准确度评价项目计算方法的归纳可知,评价项目全部为几何元素(点、线、面)之间的相对位置关系,这些几何元素由飞机装配特征点构造。因此可以将飞机装配相对位置准确度评价信息划分为 3 类:飞机装配特征点信息,中间几何元素信息和飞机装配相对位置准确度评价项目信息。根据上述要求,建立飞机装配相对位置准确度评价方法模型如图 1 所示。

飞机装配特征点对应一个测量

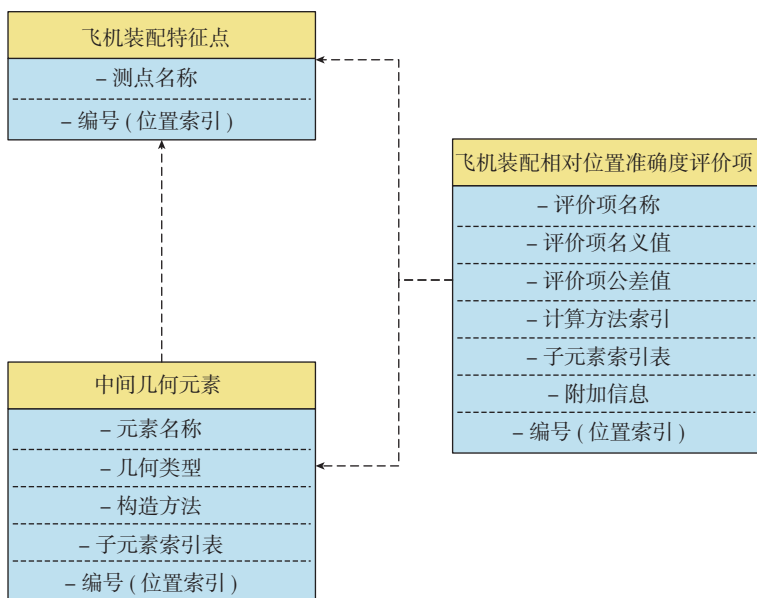


图1 飞机装配相对位置准确度评价信息模型

Fig.1 Information model of relative position accuracy evaluation in aircraft assembly

点的信息,包括测量点名称、测量顺序以及理论坐标值信息。在某些情况下特征点的理论值无法获得,因此可以设为空值。中间几何元素对应由飞机装配特征点或先定义的中间几何元素构造获得的点、直线与平面,包括几何元素名称、定义顺序、构造算法以及构造元素信息。飞机装配相对位置准确度评价项目是飞机部件姿态或相对位置的直接表现,包括评价项目名称、评价顺序、名义值、公差值、计算算法以及构造元素信息。

由评价项目计算方法可知,中间几何元素既可以使用飞机装配特征点构造,也可以使用之前定义的其他中间几何元素构造;飞机装配相对位置准确度评价项目可以是评价特征点与中间几何元素之间的相对位置关系,也可以其他评价项目之间的代数关系。因此,对于一项中间几何元素或一项飞机装配相对位置准确度评价项目,信息以树状结构进行组织,如图2所示。对于整机或大部件的评价方案,即许多评价项目组合的情况下,由于部分构造元素被共用,

整体方案的结构与内容应当分离存储,以图3为例说明。飞机装配特征点、中间几何元素以及飞机装配相对位置准确度评价项目内容分别使用三个序列存储,中间几何元素与评价项目构造元素索引分别使用另外两

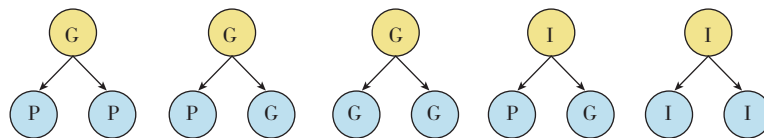
个序列存储。这种组织方式在评价方案变更时可以减少对各种数据内容的操作而便于修改,提高了模型的柔性。

中间几何元素的构造算法以及评价项目的计算算法具有唯一的编码。在定义过程中使用算法编码声明计算时使用的算法。

飞机装配相对位置准确度评价过程

飞机装配相对位置准确度评价是读入评价对象与评价方案,并将评价方案与评价对象进行匹配,在此基础上计算评价项目的实际值并与公差要求进行对比,给出飞机装配相对位置准确度情况的过程。具体过程如图4所示。

首先分别读入飞机装配相对位置准确度评价方案的3部分信息:飞机装配特征点、中间几何元素和飞机装配相对位置准确度评价项目;其次,读入飞机装配特征点坐标的测量值,与评价方案读入的特征点序列进行位置索引匹配;依序构造中间几



注:P为飞机装配特征点;G为中间几何元素;I为飞机装配相对位置准确度评价项。

图2 中间几何元素/评价项目信息组织结构

Fig.2 Information organization structure of intermediate geometry and evaluation item

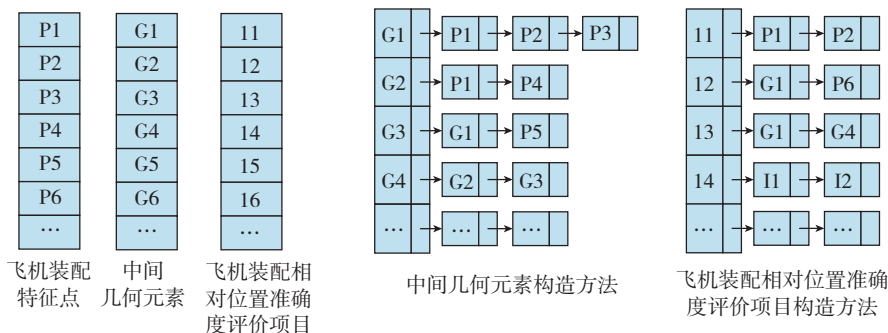


图3 飞机装配相对位置准确度评价方案信息组织结构

Fig.3 Information organization structure of positional accuracy evaluation in aircraft assembly

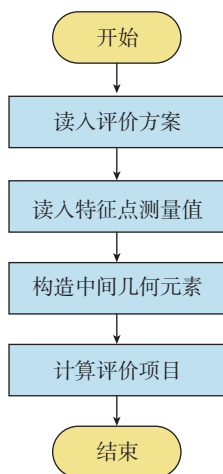


图4 飞机装配相对位置准确度评价流程图
Fig.4 Flow chart of relative position accuracy evaluation in aircraft assembly

何元素,使用评价方法记录的索引读取飞机装配特征点与已构造的中间几何元素实际值,依照评价方案记录的构造算法调用算法进行构造;最后依序计算各评价项目,使用评价方案记录的索引读取飞机装配特征点、中间几何元素以及已计算的评价项目实际值,依照评价方案记录的计算算法调用算法进行计算。计算结果与评价方案记录的公差要求进行比较,对各评价项目质量状态进行评价。

飞机装配相对位置准确度评价结果可视化展示

评价飞机装配相对位置准确度时,为直观反映飞机部件当前位置姿态与其理想状态的偏差,可以实现飞机装配相对位置准确度的可视化功能。由于飞机装配相对位置准确度评价项目内容均为几何元素之间的相对位置关系,因此可以通过展示所有相关的几何元素实现评价项目的可视化。具体而言即对与评价项目计算相关的点、直线与平面进行可视化展示。当选定一条评价项目时,读取其构造元素索引。若构造元素为评价项目,则继续搜索构造元素;若构造元素为中间几何元素或飞机装

配特征点,则统一视为几何元素在工作区间进行绘制。根据评价项目的计算结果与评价要求,可以对绘制的几何元素赋予颜色属性,以代表评价项目当前质量状态。如使用红色表示评价项目超出准确度要求,使用绿色标识表示评价项目合格。该过程使用了飞机装配特征点和中间几何元素的实际值,应当在各评价项目计算完成后实现可视化过程。

应用实例

以某大型飞机装配评价为实例,基于CATIA开发飞机装配相对位置准确度评价工具。该工具实现了飞机装配特征点坐标文件读取功能、飞机装配相对位置准确度评价方案定义功能、飞机装配相对位置准确度评价及其可视化功能。图5是飞机装配相对位置准确度评价对话框,对话框内的表格显示了选定特征点集的

评价结果以及评价要求。通过点选表格内每行,可以开启在CATIA工作空间内对评价项目的可视化显示,如图6所示。图7是飞机装配相对位置准确度评价方案定义对话框,使用该对话框既可以输入新的评价项目,也可以选择已有评价方案进行局部更改。飞机装配相对位置准确度评价方案使用.xml文件记录,评价功能读取.xml文件获取评价方法与

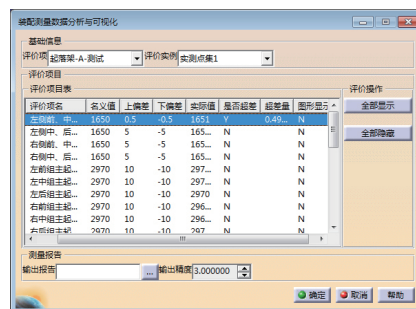


图5 飞机装配相对位置准确度评价对话框
Fig.5 Dialog of relative position accuracy evaluation in aircraft assembly

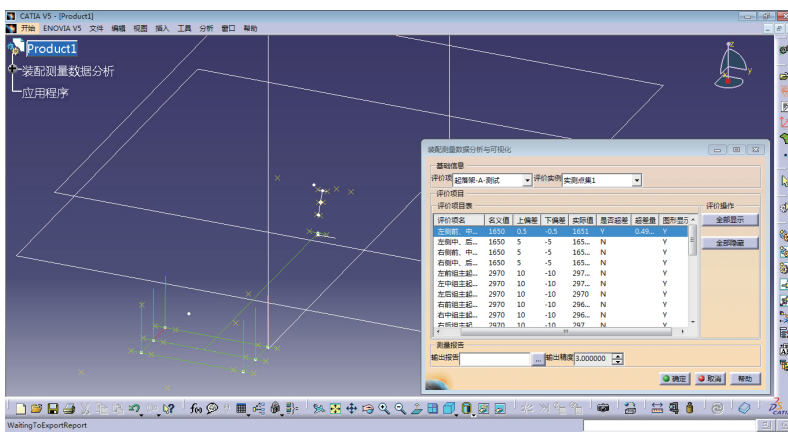


图6 CATIA工作空间
Fig.6 CATIA workspace

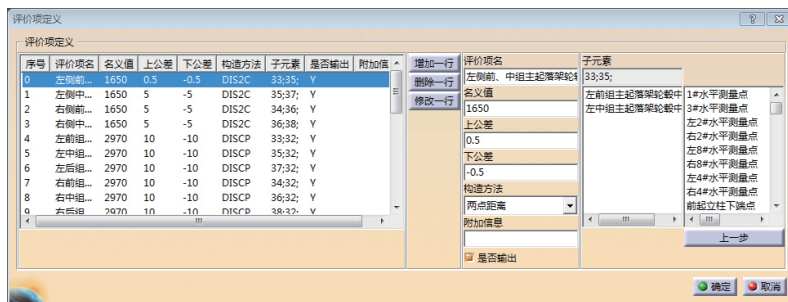


图7 飞机装配相对位置准确度评价方案定义对话框
Fig.7 Definition dialog of relative position accuracy evaluation plan in aircraft assembly

评价要求,以实现评价方法与评价数据分离。

结束语

针对基于飞机装配特征点的飞机装配相对位置准确度评价,本文提出了飞机装配相对位置准确度评价信息模型以实现飞机装配相对位置准确度的快速评价。在对飞机装配相对位置准确度评价过程中涉及的信息进行整理与归纳的基础上,构建了飞机装配相对位置准确度评价信息模型,开发了具有柔性的飞机装配相对位置准确度评价工具,实现了对飞机装配相对位置准确度评价的快速评价及其可视化,达到了提高评价工作效率的目的,为减少评价模型构建的重复工作,提高数字化测量与评价方案对设计调整的快速响应能力提供了工具与方法。

参考文献

- [1] 陈哲涵,杜福洲,唐晓青. 基于关键测量特性的飞机装配检测数据建模研究[J]. 航空学报, 2012(11):2143-2152.
- CHEN Zhehan, DU Fuzhou, TANG Xiaoqing. Key measurement characteristics based inspection data modeling for aircraft assembly[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2012(11): 2143-2152.
- [2] 范玉青,梅中义,陶剑. 大型飞机数字化制造工程[M]. 北京:航空工业出版社, 2011.
- FAN Yuqing, MEI Zhongyi, TAO Jian. Large aircraft digital manufacturing engineering[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2011.
- [3] 余锋杰,俞慈君,王青,等. 飞机自动化对接中装配准确度的小样本分析[J]. 计算机集成制造系统, 2009(4): 741-750.
- YU Fengjie, YU Cijun, WANG Qing, et al. Accuracy analysis with limited samples during aircraft automatic join-assembly[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2009(4): 741-750.
- [4] 林雪竹. 大飞机数字化水平测量系统及关键技术研究[D]. 长春:长春理工大学, 2011.
- LIN Xuezhu. Research on the digital level-testing system and the key technology of the large airplane[D]. Changchun: Changchun University of Science and Technology, 2011.
- [5] 王颖辉,韩先国. 基于加权最小二乘法的大部件对接位姿评估算法研究[J]. 航空精密制造技术, 2011, 47(5): 48-51.
- WANG Yinghui, HAN Xianguo. Research on posture evaluation algorithm based on weighted least square for large part merging[J]. Aviation Precision Manufacturing Technology, 2011, 47(5): 48-51.
- [6] ARUN K S, HUANG T S, BLOSTEIN S D. Least-squares fitting of two 3D point sets[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1987, 9(5): 698-700.
- [7] TANG W B, LI Y, YU J, et al. A posture evaluation method for aircraft wing based on a simple measurement system[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 2013, 227(4): 627-630.
- [8] 刘继红,庞英仲,邹成. 基于关键特征的飞机大部件对接位姿调整技术[J]. 计算机集成制造系统, 2013(5): 1009-1014.
- LIU Jihong, PANG Yingzhong, ZOU Cheng. Adjusting position-orientation of large components based on key features[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2013(5): 1009-1014.
- [9] WANG Q, ZISSLER N, HOLDEN R. Evaluate error sources and uncertainty in large scale measurement systems[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2013, 29(1): 1-11.
- [10] CHEN Z H, DU F, TANG X. Research on uncertainty in measurement assisted alignment in aircraft assembly[J]. Chinese Journal of Aeronautics, 2013, 26(6):1568-1576.

通讯作者: 段桂江,教授、博士生导师,主要研究方向为产品设计、质量工程、制造系统工程等, E-mail: gjduan@buaa.edu.cn.

Research on an Agile Evaluation Method of Relative Position Accuracy in Aircraft Assembly

SHEN Zhibang, LIU Rui, DUAN Guijiang

(School of Mechanical Engineering and Automation, Beihang University, Beijing 100191, China)

[ABSTRACT] An analysis method of relative position accuracy in aircraft assembly was proposed under the condition of digital measuring. First, an agile analysis framework of relative position accuracy was constructed, within which the evaluation of relative position accuracy was transformed into the estimation of relative position between measuring points on airplane. Then, a configurable software tool on the basis of the constructed model was developed to analyze and visualize the relative position accuracy of airplane rapidly and vividly. Subsequently, a case study of the relative position accuracy analysis of an airplane landing gear was provided to verify the feasibility and validity of the method.

Keywords: Aircraft assembly; Relative position accuracy; Evaluation model

(责编 大漠)