

# 飞机构型控制技术研究与应用

## Research and Application of Aircraft Configuration Control Technology

北京航空航天大学机械工程及其自动化学院 于勇 卢鹄 范玉青  
沈阳飞机有限公司通飞部 杨武兵

**[摘要]** 介绍了飞机构型管理过程,提出了基于模块的简化飞机构型控制思想,即通过模块针对整个飞机产品进行分级的飞机构型控制,相应地建立了分级版本的追踪模型,并提供了一种可行的飞机版本管理和控制解决方案。

**关键词:** 构型 模块 版本 数据管理

**[ABSTRACT]** The process of aircraft configuration management is introduced and idea of the simplified aircraft configuration control based on modularization is given, which implements the hierarchical aircraft configuration control by module. The hierarchical tracing model of version is established. Finally, the useful application solution of aircraft version management and control is proposed.

**Keywords:** Configuration Module Version Data management

市场环境、客户需求、设计模式,材料和工艺的改进以及生产条件的不断变化,使飞机在研制过程中的构型处于不断变化的动态过程之中,加之飞机产品零部件数量巨大、更改频繁,因此使飞机构型控制变得极其复杂。我国航空企业在近几年的数字化技术改造过程中,已经逐步接受了飞机构型管理的思想,相关技术和工程人员也对构型管理技术进行了探讨和研究,并取得了初步成效。但随着数字化技术的进一步发展,国际合作形式的进一步加强,飞机设计对构型控制的准确性、实时性提出了更高的要求。本课题在简化构型管理的基础上,针对飞机类复杂航空产品的构型控制技术进行研究和探讨,从而能够保证飞机产品数据的完整性和前后一致性的要求。

### 1 飞机构型管理过程

飞机构型管理最早来源于美国的军用航空航天制造业,由于产品的复杂性大幅度增加,不可能再由一个人或一组人来控制和管理产品的设计和生产过程,因此

发展了一种比较科学、完善和严格的管理体系。构型的概念我国过去虽未明确提出,但实际问题是存在的,如飞机的改进改型、技术状态管理等,但其覆盖的范围不够全面,仅涵盖了构型管理中的一部分内容。所谓的飞机构型管理就是一种面向产品全生命周期的,以产品结构为组织方式,集成和协调与产品构造过程相关的一切活动和产品数据,保证产品各生命周期阶段零件、文档和更改数据的一致性和可控性,提供产品构型的可视化定义和控制的产品数据管理技术<sup>[1-2]</sup>。其主要目的就是通过构型控制来确定产品的全部数据,包括产品结构信息、几何信息、工艺信息、分析结果、技术说明和检测结果等,主要表现在:

- ① 从宏观上把握大型复杂产品的整体结构,建立产品整体结构;
- ② 建立产品的构型管理规则,利用最少的零件数,产生最多的产品类型;
- ③ 充分利用已有的设计成果,缩短产品的研制周期;
- ④ 协调更改,建立产品完整的更改历史记录,进行有效的版本管理和控制,维护产品数据的全部有用版本,确保在各个阶段能够获得产品完整的技术描述;
- ⑤ 控制、检查、调整交付状态构型要求与真实生产后的构型偏差。

由于飞机产品构型众多,设计更改频繁,零部件数量大等特点导致了飞机产品数据管理难度的增加,通过实施构型管理,从而有效地控制飞机及其零组件的研制和更改过程,实现各构型项的标识(Identification)、控制(Control)、纪实(Accounting)和审核(Audit),将客户的多样化需求转换为功能要求进行全程的监控,确定飞机产品的全部数据,包括产品结构信息、几何信息、工艺信息、分析结果、技术说明和检测结果等,从而生成最终的满足客户要求的特定飞机产品构型。以波音的构型管理为例,典型的飞机构型管理过程<sup>[3]</sup>如图1所示。

从图中可以看到飞机构型管理涵盖产品研制的全生命周期,经历协商构型、签约、构型标识、构型纪实、构

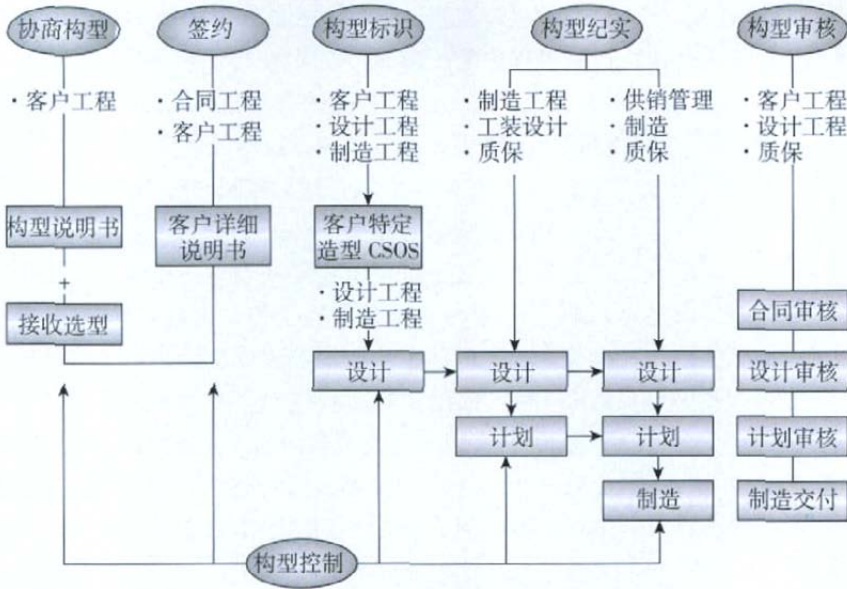


图1 波音公司构型管理过程

Fig.1 Configuration management process of Boeing

进行相关的构型管理活动。通过这种分级的飞机构型管理,大大简化了飞机构型管理的复杂性。以美国的波音747大型客机为例,每架零件的数量多达600万件(包括标准件),若采用传统的构型管理模式,则需要对这600多万个零部件进行管理和控制。而如果采用基于模块的分级构型管理思想,为方便进行数量级的比较,假设每300个零部件组成一个模块,则整架飞机将包含2万个模块。进行整架飞机的构型管理时,则只需要对这2万个模块来进行管理和控制;针对每个模块,则只需要对300个零部件进行管理控制。

型审核以及对整个过程进行构型控制等阶段。协商构型和签约阶段属于项目前期与客户进行需求调研与论证的阶段,在协商构型阶段生成相应的构型说明书和客户所认可的选型,并在签约阶段生成客户详细说明书,它是后续进行飞机构型生成和构型审核的基础;构型标识、构型纪实、构型审核以及对整个过程进行构型控制等阶段属于对飞机产品构型进行正式管理的阶段,它们是进行构型管理的关键要素<sup>[2,4-5]</sup>,是进行构型管理的主要活动。其中最重要的就是飞机构型控制,它贯穿整个飞机构型管理的始终,从而保证飞机产品数据的一致性和完整性。

## 2 简化飞机构型管理

飞机产品构型的多样化是造成飞机产品构型管理复杂度提高的主要因素,一方面体现在客户定制的多样化,另一方面体现在飞机产品生成过程中工装、夹具、原材料和工艺等的多样化。为了有效控制飞机产品构型,减少飞机构型管理的复杂度,就需要简化飞机构型管理。简化飞机构型管理就是以飞机产品结构的模块化为基础,通过模块化组织产品结构,并通过模块有效性来控制整个飞机构型。这种简化飞机构型控制的思想是一种分级的构型控制思想,即采用了“分而治之”的方法来进行构型的管理。针对整个飞机产品来说,飞机产品构型由模块来确定,对组成飞机产品的模块进行相关的构型定义、控制、审核和纪实等活动;针对每个模块的构型,则由其组成零部件来确定,并针对各个零部件

通过对飞机构型的分级管理,

整架飞机产品构型可以由组成该特定飞机的所有模块组成,把针对整架飞机构型的管理控制在模块一级,而针对组成模块的内部详细信息不予考虑。对于模块内部的组成情况则由第二级的构型管理程序来控制,通过管理和控制组成该模块的零部件来确定该模块构型。飞机产品构型的分级管理思想形成了飞机产品结构树的分级形式,将飞机产品结构分为逻辑上的上下两层。树的上层由模块所组成,树的下层为组成模块的所有零部件。由于飞机分级构型管理思想以模块为核心,由此

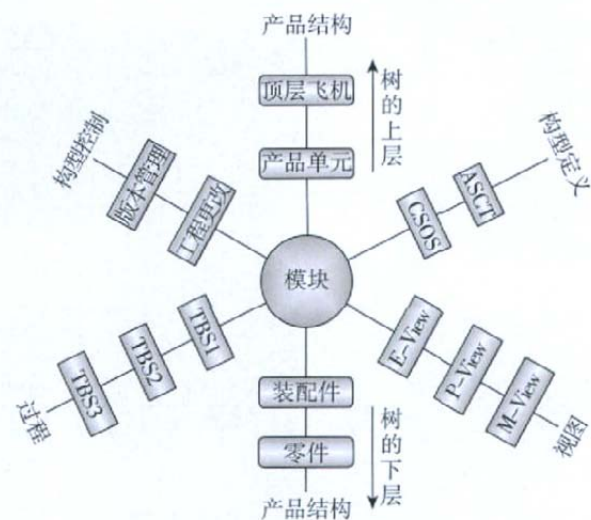


图2 飞机模块的“中心枢纽”作用示意图

Fig.2 Aircraft module-central hub of configuration management

模块在飞机构型管理中起到了一个“中心枢纽”的作用，如图 2 所示。

### 3 飞机构型控制技术

产品在开发制造过程中存在许多不确定的因素，任何一个产品都不可避免地由于实际的需要而发生各种更改。更改是导致飞机构型发生变化的重要因素，因此构型控制是进行构型管理的重点和难点。所谓的构型控制就是指在构型生成过程中，为控制构型项的更改所进行的活动，包括更改建议、评定、协调、审批和实施更改的一系列活动，并将各个环节的更改数据体现到最终的产品构型数据当中。

构型控制的关键在于对更改的跟踪和控制，并将客户、构型、更改等诸方面组成一个有机结合的统一整体。可以说构型控制的实质就是为了及时地跟踪和控制更改，使构型项的变化时刻处于受控状态。进行飞机构型控制主要从 2 个角度来考虑：一是从构型控制的流程角度来看，构型控制是通过构型更改委员会来监督和控制与构型相关的所有更改活动，一般包括更改申请、更改审批、更改执行和更改发放等几个主要活动，进行飞机

构型的有效控制要从简化更改流程方面考虑，消除构型控制过程中的一切不必要因素，形成闭环的更改工作流程；二是从飞机构型数据的管理角度出发，有效控制和跟踪更改所引发的各种数据版本及其复杂关系之间的变化，简化构型控制，其是构型控制的关键。

#### 3.1 版本分级追踪模型

版本分级追踪模型建立在飞机产品结构模块化的基础之上，是一种简化的构型控制策略，它能有效地解决版本的追踪问题。所谓的版本追踪是由于零部件是构成飞机产品结构的基本单元，当低一级的零部件发生更改时，将会影响与其关联的高一级装配件、模块等，由此就产生了版本的向上追溯问题。有的文献针对版本追踪模型进行了讨论，一般将版本的追踪过程分为 2 种，一种是产品优先的版本追踪模型，一种是基于版本优先的版本追踪模型，可通过图 3 来表示这 2 种版本追踪与控制过程<sup>[6-8]</sup>。

产品优先的版本追踪模型首先要通过版本配置规则确定每个零部件版本，之后再组成特定的产品版本，是一个由下至上的过程；而版本优先的版本追踪模型首先选择特定的产品版本，然后选择组成该特定产品版本

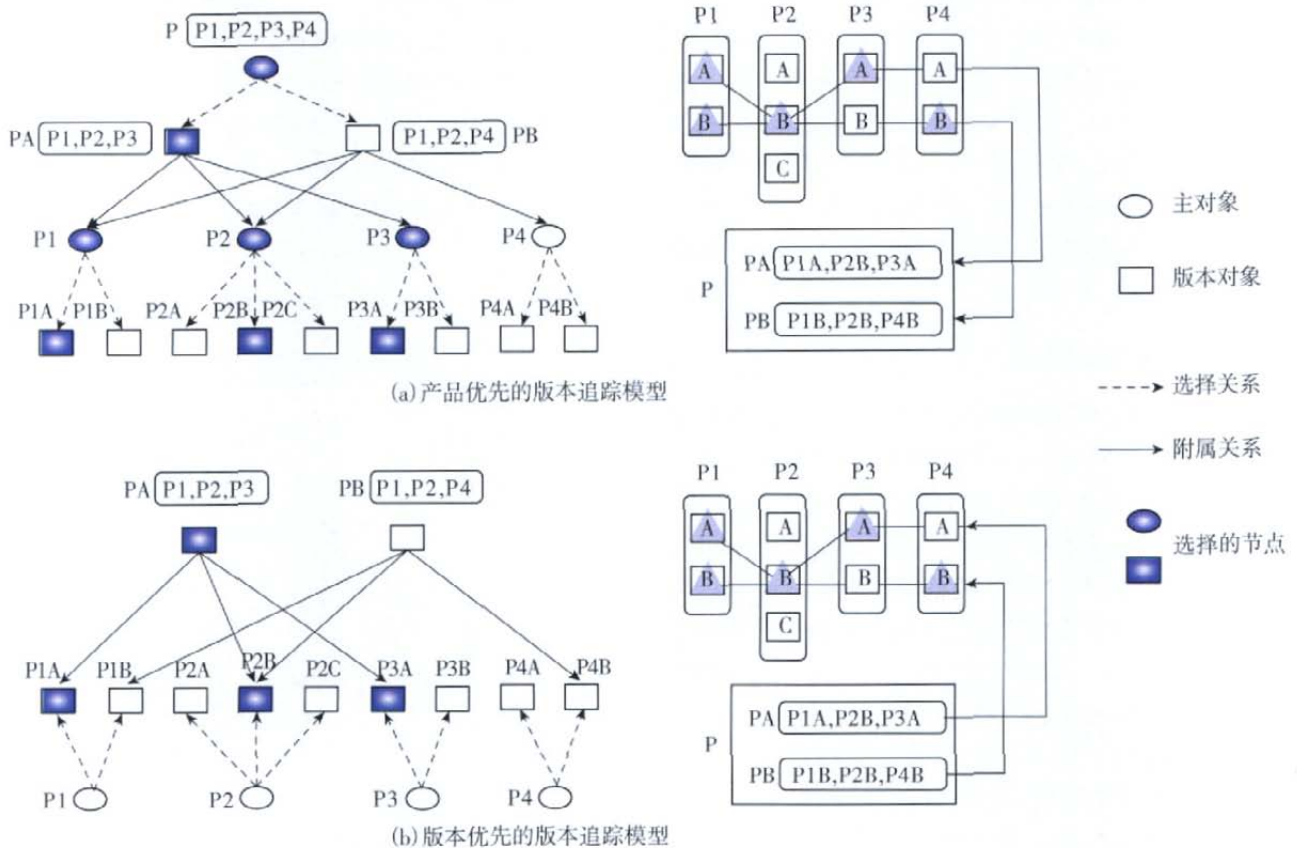


图 3 版本追踪模型

Fig.3 Version tracing model

的零部件版本,是一个由上至下的过程。对于飞机产品来说,由于客户需求的多样性,因而产生了飞机产品构型多样化的特点,尤其是民用飞机,加之其零部件数量巨大,不可能针对每个版本的飞机产品都创建一棵完整产品结构树,也就是无法采用版本优先的追踪模型,如图3(b)所示。而如果采用产品优先的追踪模型,如图3(a)所示,则无异于建立一种分层变量式<sup>[9]</sup>的产品结构,即将有效性分布于飞机产品结构的各层,不利于有效性的管理和飞机构型的控制。因此在飞机构型分级控制的思想下,提出了版本分级追踪模型来进行版本的追踪和控制,它将前面的两种版本追踪模型合二为一,因此是一种复合式的版本控制模型,如图4所示。

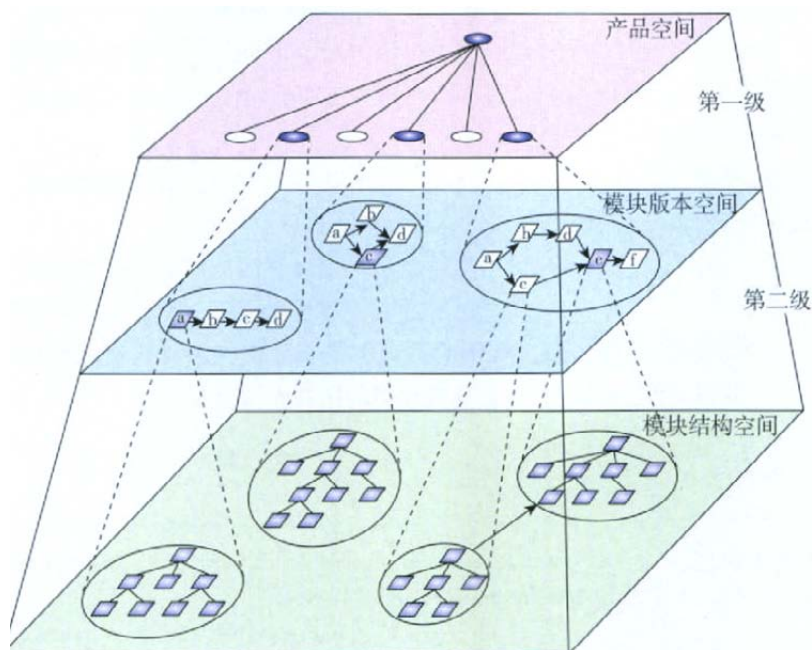


图4 版本分级追踪模型

Fig.4 Hierarchical version tracing model

在此,第一级的版本追踪管理采用产品优先的追踪方法,即通过配置规则选择确定的模块版本来确定产品版本,如图4上半部分所示。产品优先的追踪模型面向的是整个产品系列,可通过相关的配置规则从产品系列中提取出特定的产品构型。图中产品空间所表示的是一棵飞机产品结构类树。产品结构类树由同一产品的所有产品版本的产品结构树的并集所组成。产品结构类树与产品结构树的区别在于:前者表示的是一个产品系列的所有产品版本,而后者表示的是一个确定的产品版本。在此,飞机产品结构类树由所有的组成该飞机系列的所有模块组成,产品结构类树中的每个子节点都表示一个模块主对象,它与模块版本空间中的节点一一对

应。模块版本空间中的每个节点都代表一个模块的所有版本对象的集合,都应该该模块的版本演变过程。

第二级的版本跟踪管理采用的是版本优先的版本追踪方法,通过确定版本的模块来确定相应的产品结构,即针对每个模块版本都创建一棵完整的模块产品结构树,如图4下半部分所示。模块版本空间中的每个节点都是相应模块的所有版本的集合,表示的是模块版本的演变图,演变图中的每个节点都代表一个具体的模块版本,它与模块结构空间中的节点一一对应。模块结构空间中的结点表示与该模块版本相对应的结构树,结构树中的每个结点都对应着组成该模块版本的一个确定的零部件版本。

### 3.2 飞机构型控制应用策略

在实际的飞机研制过程中,对于版本追踪的处理中,有追溯至顶层的产品,也有的追溯至上一级装配件,因此版本控制呈扩散的发射状态,不易控制。基于模块的版本分级追踪模型有效的解决了版本的追踪问题。在此,将以模块为分界点,不考虑模块版本的追溯问题,所有的模块版本都是通过模块的有效性来控制的,即飞机构型由有效性来确定模块版本,而在模块以下级别针对组成模块的零部件时才考虑版本的追溯问题,即当发生更改时,组成模块的零部件版本逐层向上追溯至模块为止,因此版本控制呈简单的直线状态,易于控制。

在飞机的构型发生更改时,不仅涉及到版本的改变,也涉及到编号的改变,这2种结果均会引起向上追溯的问题,追溯的规则仍然可以遵循版本的分级模型,但其与更改的实施架次有关,如图5所示为向上追溯的逻辑流程图。

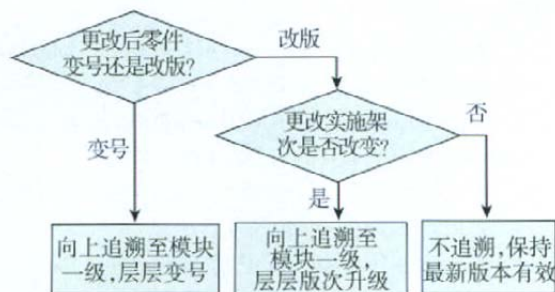


图5 版本追踪逻辑流程图

Fig.5 Version tracing logic flow chart

此外,由于飞机产品研制过程中有许多不确定因素,更改活动随时都在发生,因此一架飞机的状态处于时刻变化之中。在传统的飞机构型管理中,每一项更改都要实施到最早可应用的飞机上,这样关于飞机的构型将保持一种不稳定的状态,不利于稳定生产。因此在进行飞机构型控制的过程中,可以引入区域点<sup>[3,11]</sup>的策略实施更改,所谓的区域点就是将多个、单独的更改积累起来进行合并和实施的预定飞机架次节点。由于更改区域点概念的引入,可以在发生更改时不立即实施,而将更改积累在预定的区域点,即在预先指定的架次上实施构型更改,从而可以稳定飞机的生产,减少由于频繁更改而引发的生产成本的提高。

#### 4 结束语

飞机构型控制技术提供了产品全生命周期中的产品控制能力,将研制过程中的文档、数据和更改记录管理起来,确保最终的飞机产品符合客户和规定的要求。虽然目前我国航空设计制造厂所也已经进行了相关技术的研究和应用,但应用的范围和力度还需要进一步加强。分层的飞机构型控制技术将构型控制的着眼点定位在飞机的上半部分,从而简化了飞机的构型管理过程,更容易地保证了飞机产品数据的可跟踪性。此外,产品数据管理系统的发展,为飞机的构型管理和控制提供了很好的管理平台。但是,对于飞机构型控制技术方面的管理策略和方法仍然需要进一步的研究和深入,尤其是飞机产品在采用了基于模型的定义MBD技术以后,相关的管理方法、标准和规范仍待进一步改进和完善。

#### 参 考 文 献

[1] 于勇,范玉青. 飞机构型管理研究与应用. 北京航空航天大学学报,2005,26(3):357-360.

[2] 于勇. 基于模块的飞机构型管理技术研究与应用. 北京:北京航空航天大学机械工程及自动化学院,2005.

[3] BACG. Boeing configuration management specification. Boeing Company, 2003.

[4] Geneva. Quality management-guidelines for configuration management. ISO10007. Switzerland: ISO, 1995.

[5] Timmermans D P. The business challenge of configuration. Paper from AAAI Workshop, AAAI Press, 1999.

[6] 秦友淑,曹化工. 工程配置的版本分类及产品版本追踪模型. 计算机辅助设计与图形学学报,2000,12(2):127-131.

[7] Conradi R, Westfechtel B. Version models for software configuration management. ACM Computing Surveys, 1998, 30(2):232-282.

[8] Tichy W F. A data model for programming support

environments and its application. In Proceedings of the IFIP WG 8.1 Working Conference on Automated Tools for Information System Design and Development (New Orleans, Jan.), North-Holland, 1982, 31-48.

[9] 刘刀桂,孟繁晶,邓家缙. PDM中产品变量结构及变量化配置管理的研究. 计算机辅助工程,2001,10(4):7-12.

[10] BACG. Define products distributed to suppliers, Rev C. Boeing Company, 2001.

(责编 侧卫)

(上接第77页)

序影响因素复杂、影响指标量化计算困难等特点,提出了一种多准则渐进式装配顺序模糊评价方法。该方法的主要步骤为:

① 建立基于评价指标空间的装配顺序评价准则;

② 结合各评价指标重要性对比结果,确定指标权重分配方案;

③ 依据权重分配结果,确定渐进式评价模型的权重阈值 $\lambda$ ;

④ 采用模糊数学中最大隶属度原则对飞机装配顺序进行多准则渐进式模糊综合评价,得出最优装配顺序。通过实例验证该方法有效提高了飞机装配顺序评价效率,并且具有较强的拓展性与适用性。

#### 参 考 文 献

[1] Zha X F, Du H J, Qiu J H. Knowledge-based approach and system for assembly oriented design. Engineering Applications of Artificial Intelligence,2001,14:61-75.

[2] Laperriere L, Elmaraghy H A. GAPP: A generative assembly process planner. Journal of Manufacturing System, 1996, 15(4):282-293.

[3] 顾廷权,高国安,徐向阳. 装配工艺规划中装配序列生成与评价研究,计算机集成制造系统,1998,4(1):25-27.

[4] 潘洋宇,王拴虎,龚光荣. 计算机辅助装配工艺设计关键技术研究. 机械科学与技术,2003,30(2):52-55.

[5] 李磊,白芳妮,魏生民,等. 基于模糊理论的装配序列综合评价. 机械科学与技术,2001,20(1):134-135.

[6] 储林波. 面向虚拟装配的装配工艺规划技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2000.

[7] George Chryssoulouris, Dimitris Mavrikios, Dimitris Fragos, et al. A virtual reality-based, experimentation environment for the verification of human-related factors in assembly processes. Robotics and Computer Integrated Manufacturing (S0736-5845), 2000,16(4):267-276.

[8] 常向青,宁汝新. 装配拆卸序列的自动生成与评价方法研究. 北京理工大学学报,2001,21(5):567-573.

(责编 金卯)