飞机构型管理研究与应用

于 勇 范玉青

(北京航空航天大学 机械工程及自动化学院, 北京 100083)

摘 要: 为了满足现代飞机复杂化、多元化和系列化的要求,保证在飞机数字化设计制造过程中产品数据的一致性、完整性和可追踪性,借鉴波音公司简化构型管理的思想,研究了飞机构型管理和控制的过程,强调构型管理技术在飞机研制的整个生命周期过程中的重要性,明确了构型管理的基本定义,区别了物料清单 BOM (Bill Of Material)视图——工程 BOM、工艺 BOM、制造 BOM 等与构型之间的关系,指出并分析了飞机构型管理和控制的4项关键技术,即将基于图纸的构型管理变为基于零部件的构型管理;模块化组织飞机产品结构单元;简化有效性管理,通过模块有效性控制飞机产品构型;强化版本的控制. 并针对这4项关键技术给出实际的应用解决方案.

关 键 词: 飞机; 构型; 模块; 版本; 数据管理

中图分类号: V 260.5

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2005)03-0278-06

Study and application of aircraft configuration management

Yu Yong Fan Yuqing

(School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: To meet the complication, diversification and serialization of modern aircraft, and to guarantee the consistency, integrity and trackability of product data during the process of aircraft digital design and manufacturing, the process of aircraft configuration management and control were studied. The importance of configuration management technology in the whole lifecycle of aircraft design and manufacturing was emphasized and the definition of configuration was confirmed. While differences of configuration and BOM (bill of material) views were given, and the BOM views were EBOM (engineering bill of material), PBOM (process bill of material), MBOM (manufacturing bill of material) etc. Four key technologies of configuration management and control were proposed and analyzed referring to the simplified configuration management of boeing ideas. The four technologies were as follows: from drawing based to part based management, modularization of aircraft product structure items, simplified effectivity management by effectivity of module controlling the aircraft configuration, enhanced version control. The useful application solutions of these four technologies were given.

Key words: aircraft; configuration; module; version; data management

随着紧张激烈的市场竞争,用户对飞机的要求呈多样性变化,甚至对同一种型号的飞机,每架次都有可能不同. 飞机产品通常是在设计了一个基本型以后,有大量的改进和改型,从而生成系列化的产品. 在系列产品的发展过程中,由于客户的具体要求不同以及技术进步所带来的设计和工艺方面的改进都会引起飞机研制过程中构型的不断变化,而新构型必然会承袭原有产品的大部分成果. 加之飞机产品零部件数量巨大、更改频繁,所以造成飞机产品的数据管理极其复杂. 构型概念

收稿日期: 2003-09-01

基金项目: 总装备部预研项目(41318.1.1.3-3,41318.1.1.4); 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20020006012)

作者简介: 于 勇(1977-),女,黑龙江大庆人,博士生, yuyong59@sohu.com.

我国过去虽未提出,其实际问题是存在的,如飞机的改进改型、技术状态管理等,但从总体上概念不清晰,无有效的管理控制办法. 因此若要以最短的时间、最少的成本、最高的质量满足飞机多元化的需求,就要对飞机的构型进行有效的管理和维护,尽可能地减少重复设计,简化飞机构型管理,增强飞机构型控制手段,从而保证飞机产品数据的完整性和前后一致性要求,并能记录和报告更改的进展情况,检查更改落实情况的全过程.

1　构型管理

构型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. 构型管理的主要目的是:

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效版本,确保在各个阶段能够获得产品的完整的技术描述;

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.

1.1　定　义

构型管理的概念始于 60 年代,有关飞机构型的概念我国过去一直没有明确提出,直到在民机转包生产中才将这个概念引入到飞机项目中,目的是控制复杂飞机产品的开发与维护. 目前对构型的定义和理解有 2 种不同的类型:一是某个具体产品的确定的产品数据模型,是在技术文件上规定的并在产品实际使用过程中体现客户要求的功能特性和物理特征的表示[1];二是存在于同一个产品数据模型中的不同的产品结构组织形式,是产品在整个生命周期中不断演变的动态结构[2]. 第一种类型的定义与我国军机研制中采用的技术状态的概念相似,所谓的技术状态就是指在技术文件中规定的并且在产品中达到的功能特性和物理特性[3]. 第二种定义体现了同一产品数据模型在产品生命周期中的不同的产品结构视图,比如在设计阶段,体现的是产品的 EBOM(Engineering Bill Of Material),通常被称为设计构型;工艺阶段为 PBOM(Process Bill Of Material),称为工艺构型;制造阶段为制造构型 MBOM(Manufacturing Bill Of Material). 在此笔者认为其只是产品某特定构型在产品生命周期中不断演变的动态过程,并以不同的视图展现出来,不管是 EBOM,PBOM 还是 MBOM,它们均是同一产品构型的不同的视图表示形式.

构型是根据相关的配置规则将全生命周期各个阶段所产生的各种形式和各种版本的数据、文档、工作流程等进行配置的结果,配置过程就是构型管理过程. 构型管理就是通过对更改、状态、审核等过程的控制,从而集成和协调各阶段产品数据,保证产品从设计到制造、维护、报废各生命周期阶段零件、文档和更改数据的一致性,是对产品生命周期中任何产品的功能、性能和物理特性提供可视化控制的过程[4]. 总而言之,构型管理具有如下关键特征:

1) 面向产品全生命周期;

2) 以产品结构为组织方式;

3) 集成和协调各阶段数据,保证产品数据的一致性和有效性;

4) 可视化的控制过程.

1.2　构型管理过程

构型管理是一种面向产品全生命周期的,以产品结构为组织方式,将各阶段产品数据关联起来并对其进行管理和控制,从而保证产品数据一致性和有效性的产品数据管理技术. 随着产品数据管理技术的不断发展,构型管理的功能和内涵已经逐渐扩展到很多领域当中,如软件业、制造业和信息产业等,已经从原来的构型管理 CM(Configuration Management)上升到 CMII(Configuration Management II)的层次. CMII 是由国际构型管理委员会 ICM(Institution of Configuration Management)所提出的,它延拓了原来 CM 的范围和内涵,将项目管理和质量管理也纳入其中,更加强调了构型管理是面向产品全生命周期的产品数据管理技术. 目前 CMII 已经成为产品生命周期协同整合的一项产业标准,它提供了一套包含所有产品相关信息及有关设计、管理及更改流程上的完整策略及系统架构. 传统的 CM 就是利用相关的配置规则选择构型项,建立构型基线,确定每个构型项的最终状态,指定构型项标识,发放相关文件的一个面向产品全生命周期的管理过程,如图 1 所示为波音公司的构型管理过程.

CMII 继承了 CM 的所有思想,并将 CM 的所有活动(标识、控制、记录和审核)集成为一个统

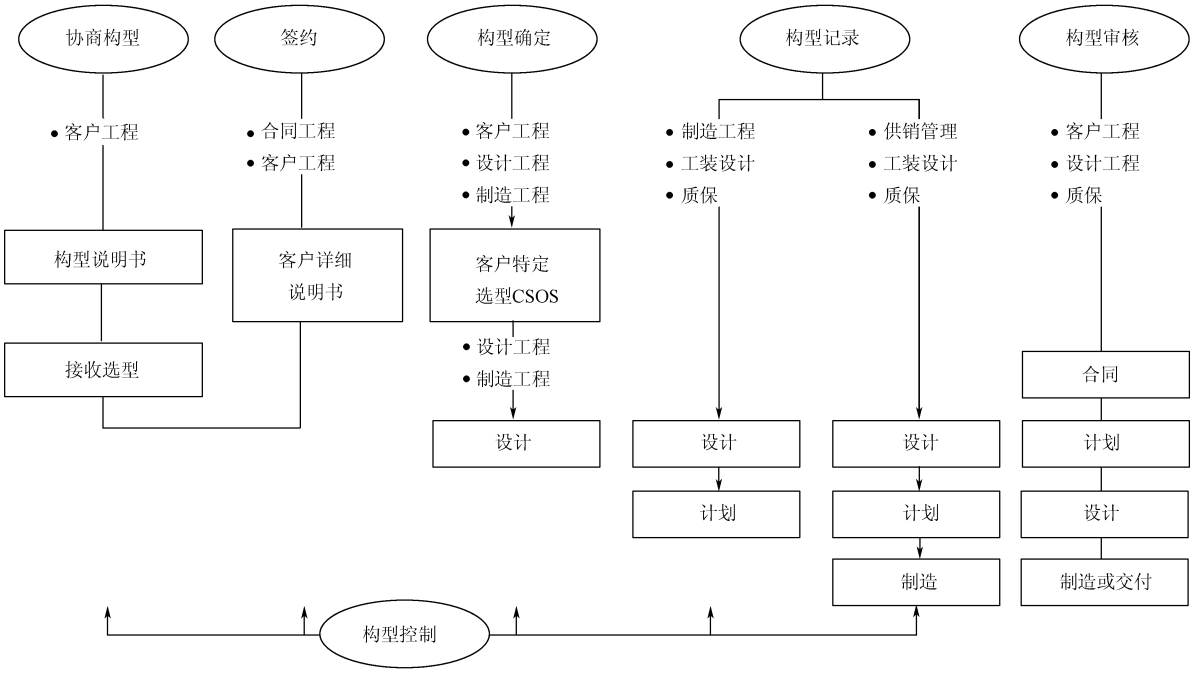

图1 波音构型管理过程

一的单元,使得项目管理和质量管理更有效率和效果. CMII 更强调了过程支持的概念,其管理模型如图2所示[5].

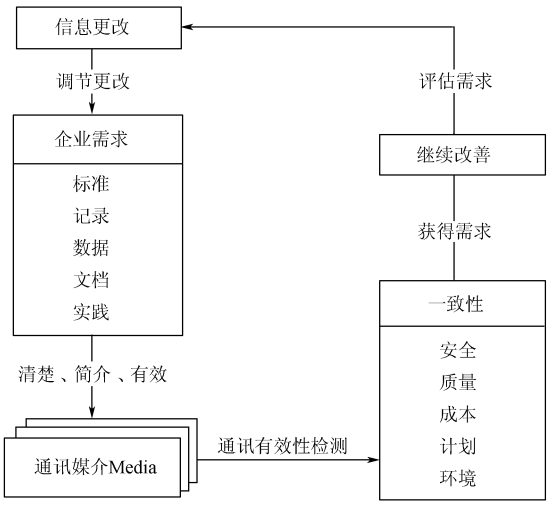

图2 CMII 管理模型

从图2中可以看到 CMII 管理模型的主要核心思想就是通过管理需求来对产品、工具和相关过程等进行管理的过程,并保证所有的结果满足这些需求. CMII 的关键就是需求更改和调节更改,每个经过发放的事物都可以称为需求,它必须经过严格的控制,同时要保证需求的清楚、简洁和有效.

2 构型控制

构型控制就是把产品的全部数据都与产品结构建立合理联系,使用户能够方便的知道某构型项改变时所造成的影响. 一般来说构型控制主要从2个角度来考虑:一是从构型定义和管理角度,二是从构型的管理过程角度. 关于构型的管理过程已经在前面进行了论述,在此将主要从构型的定义和管理角度进行构型控制的讨论. 借鉴波音公司简化构型管理的思想,构型控制技术主要体现在以下几方面:

1)将基于图纸的管理改成基于零部件的管理;

2)模块化组织产品结构;

3)简化有效性,以模块有效性替代图纸有效性;

4)强化版本管理,建立版本控制规则,保证版本的可跟踪性.

2.1 基于零部件的管理

传统的构型管理方式是基于图纸的管理,某产品构型可以通过图纸编号的上下级关系来组成一棵产品结构树. 空客和波音在其最初的构型管理中均采用了基于图纸的管理. 空客的构型体现在图纸编号上,为基本图号加分号形成了构型的表达式,如 A320 项目中,下分号 200 系列标识最低层次的零件,小于 200 的下分号表示组件,即为构型号[6]. 波音的构型则不体现在图纸的编号

中,它通过波音公司自行开发的自动零件表 APL(Automatic Part List)系统所发放的 APL 表来进行构型的控制,主要体现在 APL 表中列出了某图纸所属的所有客户号,若要构建满足某客户特定需求的构型,则只需通过客户号来选择符合条件的图纸编号即可.

这种基于图纸的构型方法所构建的产品结构是一棵具有层次关系的图纸树. 然而,采用基于图纸的管理方式不能有效的表示左右件和无图件的情况,从而造成了产品结构表达不完整,管理混乱的情况. 因此,需要采用基于零部件的管理方式,对于每个零部件都有一个唯一与之确定的零件号进行标识,不管是对称件还是无图件,均有其唯一的零件号标识,这样所生成的产品结构表达式完整可用、管理科学. 其次用基于零部件的版本管理替代基于图纸的版本管理,图纸号只是零件的一个属性,除此之外,零部件还有技术文档、原材料、工艺规范等属性,这些属性也分别具有版本概念,这些属性版本的组合构成了某一个版本的零部件的完整定义. 因此采用基于零部件的版本管理可以简化构型的管理与控制.

2.2　产品结构模块化

产品结构是进行构型管理的基础,产品结构构建的好坏将直接影响到飞机构型控制的形式和过程. 当一个飞机型号最初被设计出来时,该型号往往只有一个产品结构,即所谓的原型飞机. 随着设计的改进或者客户的需求会派生出许多新的型别,产品结构也就扩展成为一棵产品结构类树,它包含了所有飞机型别系列所有组成(零部件、可选件)在内的完整的物料清单,其与文献[7]中所描述的非精确 BOM(Bill Of Material)的概念类似,需要通过有效性的配置才能生成某构型的确定的产品结构. 为了简化构型管理,在产品结构的组织形式上引入了模块的概念. 所谓的模块就是将零部件的设计、工艺计划、工艺装备和支持文档等及其相关的满足飞机选型的所有要素的逻辑集合[8]. 模块化的产品结构形式如图 3 所示.

模块是客户进行选型的依据,是实现可重用设计的基础. 选型就是在定义一架飞机构型中,提供给用户的可供挑选的飞机产品选项,它是进行构型配置时有效性中的一种. 波音在执行其 DCAC/MRM 计划时将选型分为 4 种类型:主选型、次选型、备用选型和客户定制选型[8]. 采用模块化组织产品结构时,需要注意以下几点:

1) 模块是一组零部件的逻辑组合,并且包含相关的设计、工艺、制造和检测等数据;

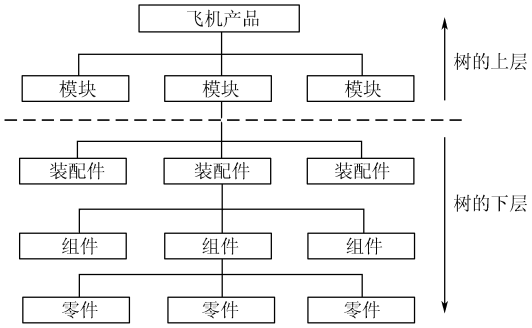

图 3　模块化的产品结构

2) 模块之中不能再包含模块,即模块不能嵌套使用;

3) 一个模块只能唯一对应飞机的一个主选型;

4) 每个模块在数量上只能有一个.

2.3　简化有效性管理

简化有效性管理是在基于零部件管理和模块化组织产品结构的基础上进行的关于构型控制的进一步管理,就是利用模块有效性进行构型的控制,将原来分布于各层图纸的有效性信息上移至模块一级,通过模块有效性来控制飞机的构型,如图 4 所示.

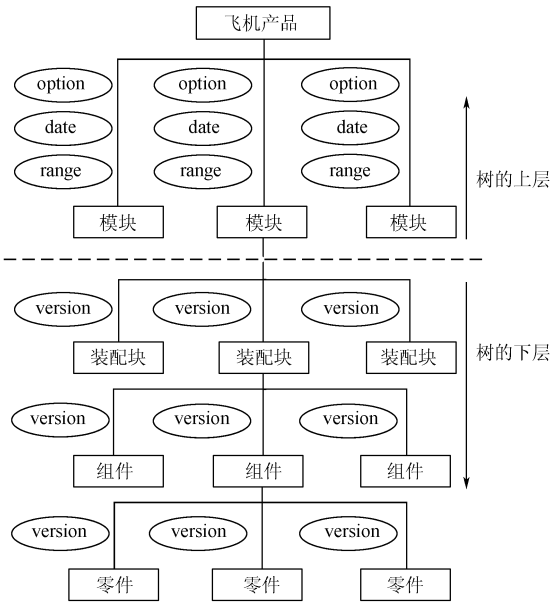

图 4　简化有效性

经过简化有效性管理,构型过程可以看作是通过有效性配置来选择相应模块,从而形成某特定构型的飞机产品,有效性包括选型(option)、时

间(date)、范围(range)和版本(version)有效性:

1) 选型(option):每个模块都对应有一个选型,当客户选择某些选型时,可以将其视为变量,按照变量取不同的值来确定飞机具体产品结构的配置. 选型之间的关系是一组逻辑表达式,通过规则(rule)来实现;

2) 时间(date):通过判断模块在某时间段的有效性来进行配置;

3) 范围(range):通过判断模块在某批架次有效范围进行配置;

4) 版本(version):通过判断版本的值和状态进行配置.

在飞机构型配置过程中,采用了简化有效性的管理思想,模块不通过 version 有效性进行配置,所有版本模块均有效,但模块中的零部件则通过 version 有效性进行配置,因此出现了图 4 中分布于产品结构各层的 version 有效性,配置时采用版本的最新有效原则.

2.4 版本控制

版本是设计对象在其生命周期内的特定时间的一个特定的设计结果. 版本控制是对产品单元不同版本进行标识和跟踪的过程,是全面实行构型管理的基础,通过版本控制可以保证产品最终构型状态的一致性. 在进行版本控制时,需要从版本升级和版本向上追溯性 2 方面进行考虑.

版本的产生是更改的结果之一,当单元(part)发生更改时,其更改的结果可以有 2 种,一种是变号,一种是升版. 单元的变号和版本的变化都影响着产品的构型状态,因此单元的变号和升版要充分体现简化构型的思想,针对飞机项目的复杂性建立相适应的变号升版规则,以确保飞机产品数据的完整性、一致性、有效性和可跟踪性,使得飞机研制人员能够在并行的工作方式下及时获得最新的有效数据进行飞机的研制工作. 一种有效的零部件的更改和版本控制原则是:如果经重新设计或者更改以后,零部件的外形、装配、功能和互换性等发生了改变,则要对零件编号重新指定;如果以上这些内容不发生变化,零件的更改只是因为纠正设计的错误,则对零件进行升版. 图 5 为单元变号和设计版次升级的逻辑流程图,图 6 为制造版次升级的逻辑流程图.

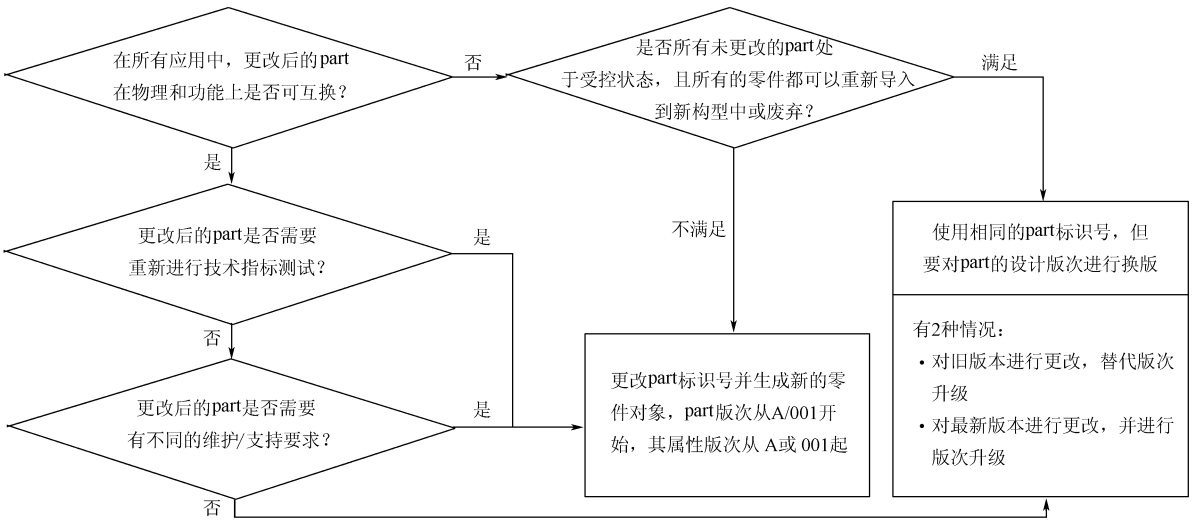

图 5 单元变号与设计版次升级逻辑流程图

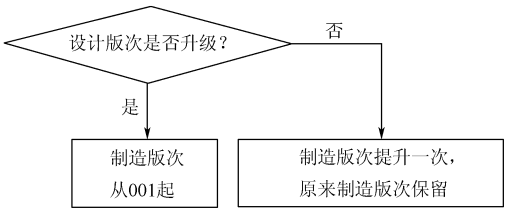

图 6 制造版次升级逻辑流程图

产品结构是产品单元根据其上下级隶属关系而构建的. 每个设计对象都可以用单元来表示,其可以是部件、组件、零件以及各类技术、管理类文件,也可以代表整个产品型号. 产品单元的更改会引起大范围内零部件的更改,也就是说当某单元版本升级或者变号时,与其相关联的上一级单元也要发生相应的改动,即版本的向上追溯性. 为了更好的进行版本的追踪和构型控制,需要建立合理的版本追溯模型,如图 7 所示.

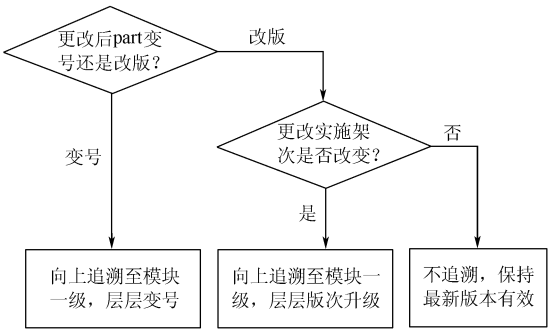

图 7　向上追溯逻辑流程图

3　结 束 语

市场环境,客户需求,设计模式以及生产条件的不断变化,造成了飞机构型管理处于不断变化的动态过程,对飞机构型控制的准确性、实时性提出了更高的要求. 飞机构型管理是一项浩繁的系统工程,构型管理及控制不但涉及到如产品结构的模块化设计、简化有效性和版本控制等相关的技术性问题,而且还与组织结构以及企业标准化工作密切相关,需要在组织上建立相应的构型控制委员会,在标准化方面建立构型标准化文件体系和规范流程. 虽然 PDM(Product Data Management)技术的发展,为飞机的构型管理提供了一条很好的途径,但是在实际应用中仍然有很多问题. 因此,需要对飞机构型管理及其控制技术进行深入的研究,并在实际工作中不断探索和完善,最终解决我国采用数字化技术以后的飞机构型管理问题.

参考文献(**References**)

[1] 李　宁. 基于动态产品结构信息的 CIMS 集成技术研究[D]. 北京:北京航空航天大学机械工程及自动化学院, 2001
Li Ning. The research of CIMS integration technology based on dynamic product structure information[D]. Beijing: School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2001(in Chinese)

[2] 杨　玺. 飞机构型技术初探[J]. 北京航空航天大学学报, 2000,26(3):357~360
Yang Xi. Pilot study of aircraft configurations control[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2000, 26(3):357~360(in Chinese)

[3] GJB 3206-98, 中华人民共和国国家军用标准[S]
GJB 3206-98, Military standard of the peoples republic of China [S](in Chinese)

[4] Industry white paper-what is configuration management[EB/OL]. http://www.cmstat.com, 1999

[5] About ICM[EB/OL]. http://www.icmhp.com, 2000

[6] 郝　莲. 民机转包生产中的构型控制[J]. 航空制造技术, 2001(5):39~42
Hao Lian. Configuration control in the subcontract production for commercial aircraft[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2001(5):39~42(in Chinese)

[7] 苟凌怡, 魏生民, 李　磊. IMAN5.0 中的产品管理技术[J]. 计算机辅助设计与制造, 1999(8):53~56
Gou Lingyi, Wei Shengmin, Li Lei. Product management technology in IMAN 5.0[J]. Computer Aided Design and Manufacturing, 1999(8):53~56(in Chinese)

[8] 范玉青. 现代飞机制造技术[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001
Fan Yuqing. Manufacturing technology of modern aircraft[M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2001(in Chinese)