

国家档案局科研项目编号：2013-X-17

航空工业三维数据归档研究

研 究 报 告

航空工业档案馆

金航数码科技有限公司

二〇一七年十二月二十五日

目 录

第 1 章	前言	4
第 2 章	电子文件管理的理论与实践概述	5
2.1	电子文件管理相关理论成果概述	5
2.2	我国电子文件档案管理相关实践成果概述	11
2.3	目前存在的突出问题	14
第 3 章	基于 MBD 三维设计制造技术及其电子文件形成	17
3.1	基于模型定义技术 (MBD)	17
3.2	基于 MBD 设计制造各阶段形成的主要电子文件和数据	19
3.3	基于 MBD 设计制造系统形成电子文件的特点	24
3.4	基于 MBD 设计制造系统形成电子文件归档的关键问题	26
第 4 章	STEP 中性格式及转换技术	27
4.1	STEP 中性格式概述	27
4.2	STEP 中性格式转换技术	34
4.3	关于三维设计制造电子文件中间格式的研究结论	39
第 5 章	电子档案真实性保障	39
5.1	用数字时间戳技术保障电子文件真实性	41
5.2	用档案管理信息系统管理归档电子文件的真实性保证	44
5.3	用手工方法管理离线电子档案的真实性保证	46
5.4	关于航空工业三维 CAD 电子档案真实性保证的结论	47
第 6 章	三维设计制造电子文件轻量化技术	47
6.1	轻量化定义技术	48
6.2	轻量化模型的格式	49
6.3	轻量化实现方法	50
6.4	三维可视化的发展现状	54
6.5	关于存档用三维可视化轻量浏览器的建议	55
第 7 章	三维设计制造电子文件存储介质和归档保存技术	57
7.1	航空工业三维设计制造电子文件存储介质现状	57
7.2	关于三维设计制造电子档案存储方案研究	59
7.3	航空型号产品 CAD/PDM 系统虚拟化档案平台建设方案	60

第 8 章	关于三维数模归档问题研究的探讨展望和总结.....	73
8.1	关于三维数模归档管理问题的两个基本的判断.....	73
8.2	破除三维数模归档管理问题的四个认识误区.....	74
8.3	把握三维数模归档管理的三个关键环节.....	75
8.4	持续推进三维数模归档管理问题的三项科研工作.....	76
8.5	关于三维数模归档问题研究的总结.....	77
附件：	航空工业三维设计制造电子文件归档范围.....	78

第 1 章 前言

近些年来，航空工业数字化设计制造技术迅猛发展，基于模型定义（Model-Based Definition, MBD）的产品数字化定义技术日臻成熟，在波音公司、空中客车公司等世界先进航空器设计制造商中得到了广泛应用。我国航空工业在 2010 年前后开始应用 MBD 技术，也取得了巨大成功，新机研制速度大大加快，从研制到首飞时间实现了 20 年周期到 10 年周期的飞跃。采用基于 MBD 设计制造技术后，三维数模与尺寸公差、物料表（Bill of Materials, BOM）等一体化定义，不再使用二维图样进行数据量的传递，大量的标注、注释等属性信息和管理信息全部都基于模型进行定义、管理和使用，实现了真正的并行设计制造和装配，飞机设计时间、制造工装数量、零部件数量、制造周期、制造成本等都减少了 50% 以上。与此同时，我们企业档案界对三维设计（CAD）、三维制造（CAM）、产品数据管理（PDM）等系统中产生的大量电子文件如何进行归档管理还没有任何成熟的办法。尤其是三维数模电子文件，不同三维 CAD 系统（如 CATIA、UG、PRO-E 等）三维数模存储格式都高度依赖于原 CAD 系统，除三维 CAD 数模本身外，三维 CAD 数模上还关联了装配结构、尺寸公差、注释等大量属性信息和管理信息，很难按传统方式以一系列独立的文件来反映文件档案价值，大量的制造工艺设备都能直接接收三维数模文件，因此没有将三维数模转化成二维电子文件或纸质文件（图纸）的现实需要，

无法直接采用二维电子文件或纸质文件进行归档保存，同时，由于三维数模电子文件容量大，也只能以电子文件存储介质如光盘、磁带、硬磁盘等进行存储，甚至直接以业务信息系统代替档案管理信息系统进行归档保存，这显然并不符合档案管理的基本要求，但是传统思路根本无法解决其归档管理问题。所以，现状要求我们必须认真研究三维数模文件的归档范围、归档格式、保存介质和长久保存技术和档案利用等问题。目前，国内外关于这方面的研究成果少见到。航空工业各厂所大量的三维设计制造电子文件都保存在 PDM 等系统之中，成为档案管理的一大隐患，研究解决三维数模电子文件归档管理问题迫在眉睫。由于三维设计制造技术已经发展到以基于 MBD 的三维设计制造为主流技术，所以本课题以基于 MBD 的三维设计制造电子文件归档管理问题作为切入点，从理论和实际两方面进行深入研究思考，分析当前管理方法存在的问题，参考国际先进航空企业的践，结合实际提出三维数模归档管理的方法，为三维数模的归档管理问题提供一些参考。

第 2 章 电子文件管理的理论与实践概述

2.1 电子文件管理相关理论成果概述

档案学界关于档案基础理论的一些研究成果对电子档案管理具有同样的指导作用，尤其是关于电子文件管理方面的一些理论更是电子档案管理必须遵循的规律。下面主要从一些相关理论介绍入手，澄清关于电子档案的一些模糊认识，明确电子档案研究的正确方向。

2.1.1 文件双重价值论

美国学者 T. R. Schellenberg 提出的文件双重价值论认为，文件具有使用价值与社会价值，即对原形成者具有使用价值，对其他机构和人员具有社会价值。使用价值通常由文件形成机构负责维护或由业务信息系统进行支撑，社会价值则是由档案部门及其工作人员负责保护并由档案管理信息系统给予支撑。由于文件形成机构或业务信息系统集中关注的是当前文件的形成和使用过程，是文件的使用价值，是确保电子文件顺畅流转和任务按时完成，因而并不关注该文件对其他机构和人员的参考价值，也忽视了电子文件元数据收集和原始凭证作用保护，使电子文件的社会价值难以发挥，甚至出现大量电子文件保存在业务信息系统之中、以业务信息系统备份代替电子文件档案管理的现象。

因此，从理论上来说，业务信息系统不具备保护电子文件社会价值的功能，也不承担保护电子文件社会价值即档案价值的义务。为此，国际上有关机构专门开发了开放档案信息系统模型即 OAIS 模型 (Open Archival Information System)，用以纠正电子档案管理方面的一些错误认识，统一电子档案管理的基本思路。

2.1.2 OAIS 模型

1995 年, The Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS) 着手开发了一个独立于业务信息系统之外的电子文件管理方案, 规定数字信息的存取和长期保存的概念和参考框架。2002 年 1 月, 该模型通过审核, 正式成为一项国际标准, 即 ISO 14721: OAIS (A

Reference Model for an Open Archival Information System)。

此模型适用于所有长期保存数字资源并提供利用的系统和组织，因而被包括政府部门和数字图书馆在内的很多组织所采用。之所以能够在数字信息长期保存领域获得广泛认可，不仅在于它为数字信息保存提供了一个可供遵循的模式和框架，还在于它所蕴含的管理思想精髓能够被各种数字信息保存机构所广泛借鉴和吸收。

ISO 14721 最重要的成果是规定了信息包(Information Package)的概念并开发了一个具有广泛影响的开放档案信息系统模型(OAIS)。该标准将信息包定义为一个容器，其中保存了内容信息(Content Information)和描述信息(Preservation Description Information)。该标准将信息包具体地分为三种：报送信息包(Submission Information Package, SIP)、档案信息包(Archival Information Package, AIP)和发布信息包(Dissemination Information Package, DIP)。OAIS 功能模型(图1)详细地描述了电子文件从提交归档(SIP)、档案管理(AIP)到提供利用(DIP)的过程，为开发独立于业务信息系统之外的档案管理信息系统提供了理论支撑。

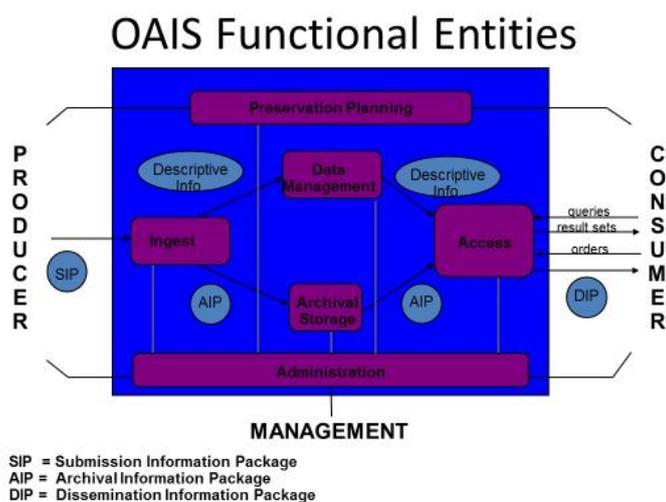
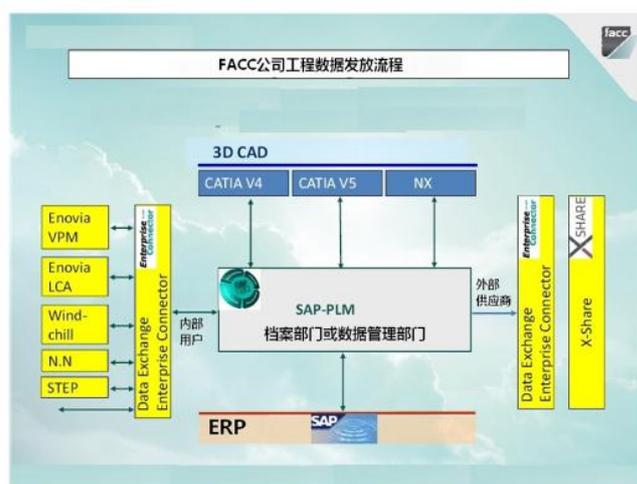


图 1 开放档案信息系统功能模型（OAIS）

2.1.3 文件全生命周期理论

该理论将文件的全生命周期分为现行、半现行、非现行等三个阶段，现行文件由文件形成部门负责管理以满足频繁使用的需要；半现行文件则由于使用频次下降开始向档案管理部门移交，比如如今在档案部门大量存在的电子文件中心；非现行文件由档案部门全权接管、保存以备查考。

对工业企业档案工作而言，除了要保证归档文件的齐全、完整和系统上外，还要保证归档文件的“有效性”。在遵循文件全生命周期理论的同时，往往更为重视和强调“前端介入”，即介入文件的有效性分发和管理。无论中外，档案部门负责文件分发与控制的情况非常普遍，图 2 所示就是欧洲知名的复合材料公司 FACC 文件的控制流程，设计文件通过档案部门或数据管理部门向内部用户和外部分供方进行发放。经验证明，通过介入文件发放工作能有效保证归档文件的原始性和真实性。



引自 FACC 公司技术资料

图 2 FACC 公司文件控制流程

另外，从信息技术的视角来看，人们更愿意把存储在系统中的数据作为研究对象，依据数据被访问的频率将数据划分为热数据、温数据和冷数据，从而采取不同的措施来平衡运算速度和数据安全两方面的要求，如图 3 所示。

从数据被访问的频率分类



引自华录公司技术资料

图 3 按访问频率对数据进行分类

信息技术专业对数据的划分与文件的全生命周期划分非常相似，

借鉴全生命周期理论的成果，对信息系统数据的档案管理策略应该是：

- 热数据：利用原业务系统提供快速服务和数据管理；
- 温数据：逐步接管业务信息系统及其数据；
- 冷数据：纳入档案管理信息系统进行档案管理。

可见，在信息化环境下，由于文件的产生和复制相对比较容易，数据量剧增，而其中被划分为冷数据的占到全部数据的 80%，档案部门如何管好用好这部分档案数据是信息化条件下档案工作的主要任务，也是值得认真研究的课题。

2.1.4 来源原则的发展

来源原则一直就是档案整理工作的指导思想，统治档案整理工作 100 多年，基于来源原则延伸出来的全宗理论和事由原则等也得到了档案整理工作者的遵从。100 多年来，档案分类、组卷、装订、排架、制作检索工具、档案保护等等是档案人员繁重的日常工作，其目的是保证档案文件的有序、完整和方便查找。

电子文件时代，虽然经历过争论和风雨，来源原则依然得到了档案学界的认可。但是，传统上的来源观通常指文件的形成者，通常是一个实实在在的机构，而如今机构并不是非常固定，除了机构调整非常频繁之外，通常还有临时机构（如综合项目组 IPT）大量存在，按机构来源划分全宗会面临困难。另外，由于计算机网络提供了并行工作模式，电子文件形成不再是一个实体机构对应一个文件族的传统模式。因此，加拿大的特里·库克等学者开始倡导“新来源观”，不再局

限于把“来源”理解为实实在在的文件形成机构，而是把文件形成的过程也看作是“来源”，国际档案界普遍将电子文件形成过程信息称之为“元数据（Metadata）”。由于计算机运算速度快，档案分类和查询利用有了更多的选择，不一定按照机构和职能划分。只要电子文件存在于信息系统之中，就可以利用大数据技术和高性能计算技术快速地查询到用户需要的电子文件。

2.1.5 档案鉴定理论的发展

虽然由于计算机技术的发展，档案分类、组卷、装订、排架、制作检索工具等日常工作大大减少，但是，档案鉴定理论出现了一些新的发展，给档案工作人员带来了新的挑战。一方面，由于电子文件数量大幅增加，档案价值鉴定的工作量和难度加大，另一方面，电子文件的保存、迁移等技术鉴定工作对档案人员的技术水平提出了更高的要求，包括电子文件运行所需要的计算机操作系统环境、软件平台、硬件平台鉴定以及电子文件存储介质的有效性鉴定、电子文件的迁移和修复技术，等等。

2.2 我国电子文件档案管理相关实践成果概述

国际上，文本型电子文件的归档基本上是采用 XML 格式封装、pdf 格式发布的方式，技术也很成熟，实践上也很成功。相关标准对图形、声像文件等的归档格式也进行了规范。三维设计制造电子文件归档管理方面，实际上仍处在混沌状态，三维设计软件厂商众多且没有形成绝对的领先企业，工业制造领域当前主要以 CATIA、UG、PRO-E 三种为主流，各家都有自主的 3D 电子文件格式，互相之间不能兼容。好

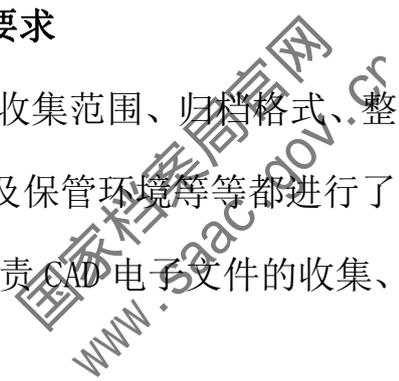
消息是，由空中客车、波音等一些主要欧美大型企业联合进行的“设计制造企业电子文件长久保存归档管理研究”项目取得了一些重要的共识，制定了一些辅助标准，进行了一些管理试点。其主要的思路是：开发一种文件转换工具，将各种三维 CAD 文件转化成一种通用的中性格式文件（如 STEP 格式），同时开发一种通用的浏览器供公众对中性格式 CAD 文件进行浏览。从目前的研究成果来看，将由 CATIA、UG、PRO-E 等设计系统产生的设计文件转换成 STEP 中性格式，信息损失都在 30%以上。

针对电子文件档案管理存在的突出问题，我国有关部门组织开展了大量的工作，建立了电子文件管理部际联席会议制度，推进解决电子文件管理方面的重大问题，制定了一系列的制度、标准和规范，开展了一系列的课题研究。在电子公文、电子票证档案方面取得了重大的进展，电子发票、电子机票等实现了单套制和单轨制运行，电子公文长久保存格式 OFD 相关国家标准也已经发布。

就 CAD 电子文件档案管理而言，我国早在 1999 年就发布了一系列相关标准，对解决当时以二维图纸为主的电子文件档案管理提供了成套解决方案。

2.2.1 GB/T 17678.1-1999 CAD 电子文件光盘存储、归档与档案管理要求 第一部分：电子文件归档与档案管理要求

这项标准中对于电子文件的管理责任、收集范围、归档格式、整理方法、归档程序、鉴定检查、利用统计以及保管环境等等都进行了明确规定。比如规定由 CAD 技术总负责人负责 CAD 电子文件的收集、



积累、整理和归档，由档案部门归口管理电子档案。还规定了 CAD 电子文件的收集范围是在科研、设计、生产、试验和业务管理活动中采用 CAD 技术形成的电子文件及其支持软件。

2.2.2 GB/T 17678.2—1999 CAD 电子文件光盘存储、归档与档案管理要求 第二部分：光盘信息组织结构

这项标准中明确规定了光盘是电子文件归档存储的唯一合法介质，2008 年，国家档案局还专门细化了光盘作为档案存储介质的要求，即 DA/T38-2008 《电子文件归档光盘技术要求和应用规范》，规定存档必须采用档案级光盘，还要定期对存档光盘进行性能检测，光盘性能不符合要求时要及时进行数据迁移。这项标准中还明确规定了光盘中电子文件信息的组织结构、文件格式等要求。

2.2.3 其他相关 CAD 国家标准

其他相关的 CAD 文件管理标准还包括 GB/T 17825 系列 10 项标准，虽然这 10 项标准多是为了规范 CAD 设计人员形成 CAD 文件而制定的，但是对档案人员前期介入 CAD 电子管理，使之符合档案管理的要求具有很好的参考作用，这些标准包括：

GB/T 17825.1--1999 CAD 文件管理 总则

GB/T 17825.2--1999 CAD 文件管理 基本格式

GB/T 17825.3--1999 CAD 文件管理 编号原则

GB/T 17825.4--1999 CAD 文件管理 编制规则

GB/T 17825.5--1999 CAD 文件管理 基本程序

GB/T 17825.6--1999 CAD 文件管理 更改规则

GB/T 17825.7--1999 CAD 文件管理 签署规则

GB/T 17825.8--1999 CAD 文件管理 标准化审查

GB/T 17825.9--1999 CAD 文件管理 完整性

GB/T 17825.10--1999 CAD 文件管理 存储与维护

2.3 目前存在的突出问题

电子档案管理仍然应该遵循档案学的基本理论和基本原则，如来源原则、文件双重价值论、文件全生命周期理论、档案鉴定理论、前端介入原则等等，当然，信息化条件下，一些理论有了新的发展，还产生了一些新的理论，如 OAIS 模型、元数据等相关理论。

但是电子文件档案管理还存在一些突出的问题。就三维设计制造电子文件管理而言，GB/T 17678 和 GB/T 17825 系列 CAD 文件管理标准的基本原则和理念仍然是适用的或可供借鉴的，只是由于年代所限，归档 CAD 文件的格式、归档范围、归档方式等很难适应三维设计制造技术的快速发展。归纳起来，目前有如下几个方面的突出问题。

2.3.1 电子档案长久保存的安全介质没有形成广泛共识

时至今日，档案介质的主流已经不是纸张了，而是光盘、磁带、磁盘的三分天下，而且不可逆，也就是说不可能将电子文件全部转化成纸质的，尤其是三维数模文件、声像文件等，不存在转化成纸质的可能性或者转化难度与成本很高。但是，档案载体的第二次飞跃还远未完成，目前还仍然没有像纸张一样大家公认的电子文件档案存储介质。因此，即使国家规定了光盘作为目前阶段唯一有标准（DA/T38）可循的电子文件档案存储介质，但是光盘易损坏、所保存电子文件信

息易被篡改等事实不得不让人对档案部门管理的电子文件是否安全可靠产生疑惑。况且，固态硬盘运行的速度和安全运行频次远远高于光盘，忽视使用的便捷性也是难以为人们所接受的。

另外，由于光盘容量所限，一些大的电子文件也无法在一张光盘上存储，比如飞机的全机数模恐怕就很难简单地用一张光盘保存。为此，华录公司探索将磁盘阵列 (Redundant Arrays of Independent Disks, RAID) 技术用于光盘上，发明了基于 RAID 的光盘匣技术，以解决光盘容量有限的问题。目前蓝光光盘匣的有效存储容量可达 2T。

同时，国家档案局也在支持将磁带和磁盘用作电子档案存储介质的课题研究。但是不可否认的是到目前为止，电子档案长久保存技术研究还非常滞后，难以达到安全可靠和有效利用的程度。

2.3.2 电子文件移交归档安全可靠机制没有形成

由于纸质档案具备良好的可视性，公众基于常识对纸质档案原始凭证性鉴定具有良好的理解和认同，加之我们制定并执行了完善的档案移交和管理制度，因此，传统上公众对各级档案馆非常信任和认可。

对电子文件档案介质则不然。一是对于光盘档案介质及所保存电子文件完全依赖于计算机软件和硬件环境才能识读，有的甚至要借助于专业软件才能识读，比如三维数模文件必须借助原设计系统才能识读，对公众来说不具备可视性和直观性，基于常识无法判断电子文件的原始凭证性。二是电子文件归档移交工作制度和流程本身不够完善或执行不够严密，无法达到足够让公众信任的程度。三是赖以证明电子文件原始凭证作用的元数据信息通常由电子文件的形成者生成移

交，形成者对电子文件生成软硬件熟悉程度远远高于档案工作人员和普通公众，也就是说目前是由电子文件的形成者自证该电子文件的原始性，这从逻辑上来说是有很大的漏洞。

2.3.3 三维设计制造电子文件归档方式、归档格式、归档范围和管理要求不是十分明确

对工业企业而言，三维设计制造电子文件是最重要的文件类型，当然也是企业档案工作最为重要的管理对象。但是，除了 1999 年颁布的 GB/T 17678 和 GB/T 17825 系列 CAD 文件管理标准可供参考外，国家层面对三维设计制造电子文件归档方式、归档格式、归档范围和管理要求没有新的文件或标准予以明确。

企业档案部门则由于不具备三维 CAD 文件的软硬件等工作环境，无法浏览、检查三维 CAD 文件，更谈不上对三维 CAD 文件进行归档管理和发布利用。

2.3.4 GB/T 17678 和 GB/T 17825 系列 CAD 文件管理标准不能适应 CAD/CAM 技术发展的新需要

虽然 GB/T 17678 和 GB/T 17825 系列 CAD 标准对当前三维 CAD 设计制造系统电子文件归档管理有一定的参考价值，但是由于标准制定的年代久远，无法考虑到基于 MBD 的设计制造技术新发展所产生的新要求，而且通篇贯穿了“双套制”的思想和光盘存储的要求，不能适应 CAD/CAM 技术发展的新需要。据了解，国家有关标准研究机构正着手研究修改有关 CAD 文件归档相关标准。

第3章 基于MBD三维设计制造技术及其电子文件形成

3.1 基于模型定义技术（MBD）

之前，在航空产品的数字化设计制造方面已经取得了很大的成绩，Boeing777就实现了全数字化设计和电子样机预装配，但是仅利用三维模型，往往难以进行产品生产和检验，因为三维模型还不能将生产技术、模具设计与生产、部件加工、部件与产品检验等工序所必须的设计想法添加进去，以便让技术人员立刻明白如何去工作。三维模型虽然包含了二维图纸所不具备的详细形状信息，三维数据中却不包括几何尺寸、公差、表面粗糙度、表面处理方法、热处理方法、材质、结合方式、间隙设置、连接范围、润滑油涂刷范围、颜色、标准规范等仅靠形状而无法表达的非形状信息，这些信息需要通过工程图的方式进行描述，工人需要借助工程图进行制造、安装、检测等工作。

而MBD技术很好地解决了这些问题。MBD技术将产品的所有相关设计定义、工艺描述、属性和管理等信息都附着在产品三维模型中的先进的数字化定义方法。不仅是三维尺寸标注，更重要的是规范地定义了各种制造信息和产品结构关系（BOM，零件表），加入了技术人员易于理解的三维产品制造信息(Product Manufacturing Information, PMI)，进一步解决了从CAD到CAM（包括加工、装配、测量、检验等）的集成问题，可以不再使用平面图纸；MBD技术在三维数模上，不仅定义了几何信息，还定义了非几何信息（包括产品结构、BOM以及设计、工艺、检验和管理等信息），如图4所示，在一个图形上，左边反

映了产品结构树，图中间是三维数模，其上还反映了尺寸、公差、基准面、注释等信息。

这项技术标准由美国机械工程师协会（ASME）1997年在波音公司开始制定，2003年成为“ASME Y14. 41（Digital Product Definition Data Practices）”标准，与此同时，各CAD软件公司（CATIA、UG、PTC等）把Y14. 41标准设计到软件中，波音公司制定应用标准规范和开发相应的应用软件（把CAD软件CATIA嵌入产品数据管理软件LCA中，如MVA功能），并与Delmia集成，立即应用于787新机的研制中，使Boeing787 成为首个基于MBD技术设计制造的新飞机。我国航空工业界目前近年首飞的新机产品如C919、Y20、J20、J31等，全面采用了基于MBD的技术并取得了成功。

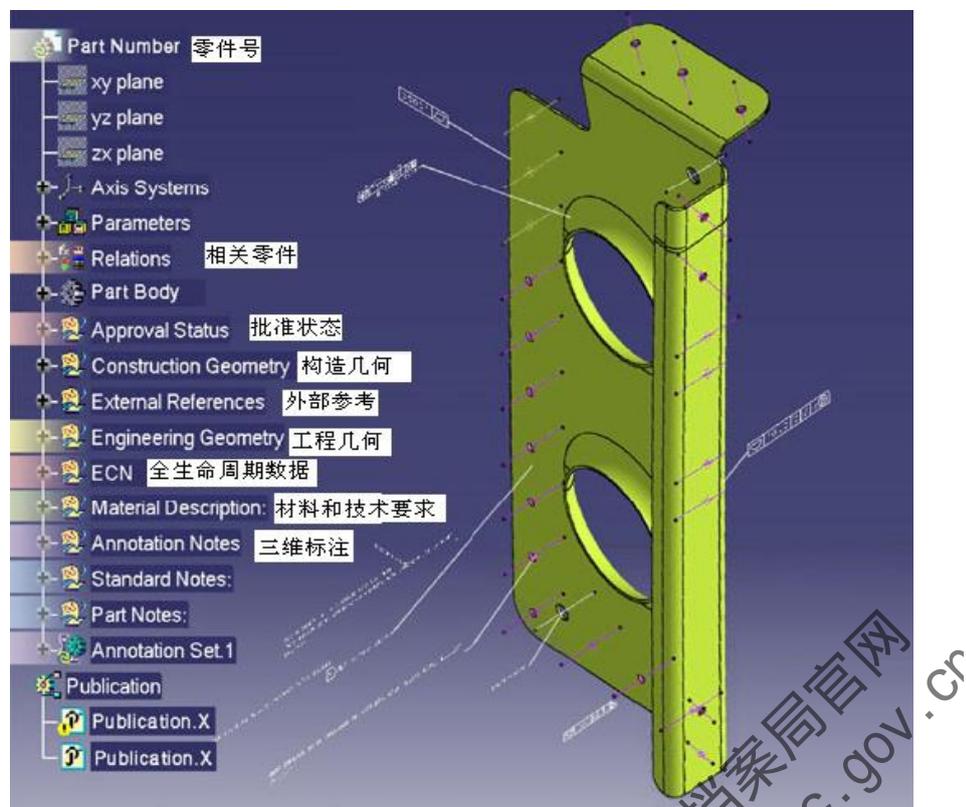


图 4 MBD 模型上承载了几何信息和非几何信息（包括产品结构

BOM、设计、工艺、检验和管理等信息)

从产品数字化定义发展历程看，一共经过了四个阶段：一是图纸数字化（CAD）+ BOM；二是3D数字建模+2D数字化图纸+ BOM；三是数字样机+2D数字化图纸+ BOM；四是MBD技术（3D模型与BOM一体化定义，不再使用2D图样）。

引入三维设计制造技术以来，不管是3D建模阶段还是数字样机阶段，三维数模和二维工程图都是制造、装配和检验的依据，多数据来源势必容易造成错误从而出现大量更改和返工。而采用基于MBD技术后，三维数模是制造、装配和检验的单一数据来源（Logical Single Source of Product Data, LSSPD），不管是公司内部部门还是外部合作方，共用的都是LSSPD的数据，在不同时空进行并行工作，保持设计、制造、装配和验证等环节及时沟通，因而避免了大量错误产生和各个环节间协调工作对新机研制进度的影响。

3.2 基于 MBD 设计制造各阶段形成的主要电子文件和数据

基于MBD的数字化设计制造尽管采取的是依据单一数据源并行工程工作方式，主要以数字量进行数据传递（如图5所示），可以从空间不同和时间顺序上分为设计、制造和装配、检验3个阶段，以飞机为例，在设计阶段，首先要分析客户需求，进行概念设计，为实现设计理念进行关键技术的开发并进行仿真、试验和验证，确定飞机几何外形和飞机构型，然后进行飞机零部件设计、工艺件设计、工装设计和装配型架设计；在加工制造阶段，要进行工装的加工制造、飞机零件NC编程、数控加工和成形加工，型架零件加工制造；装配阶段，要进

行型架、飞机装配，形成产品（图6所示）。

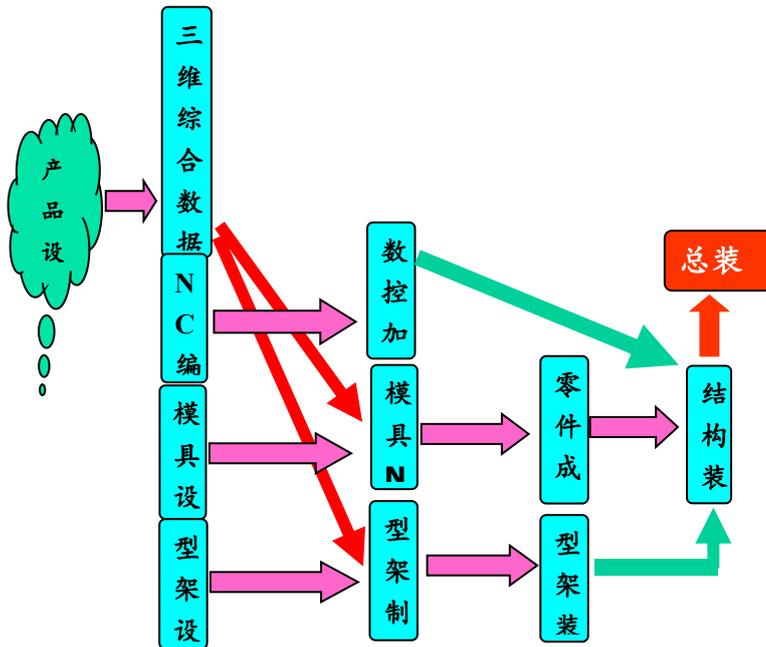


图5 基于MBD技术从设计制造到装配、验证采用数字量传递

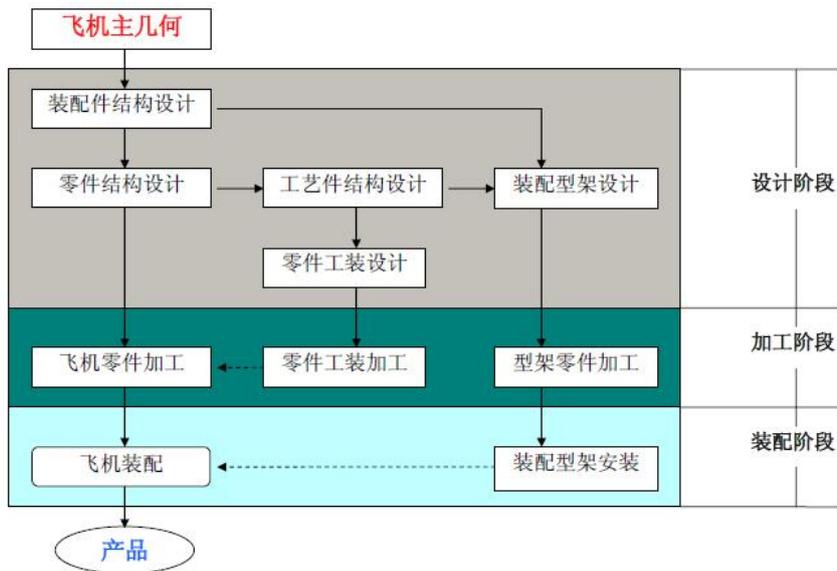


图6 飞机数字化设计制造的几个阶段

1. 设计阶段形成的电子文件

(1) 飞机设计

主要包括用户需求报告、设计文件、协调文件、成品文件、更改文件、三维数模和各种计算、分析、试验、仿真报告和数据等。其中，

三维数模文件由三维几何及其元数据组成，元数据包括产品结构树和零件名、零件号、版本、有效性、重量、材料等有关属性信息（如图7所示）。

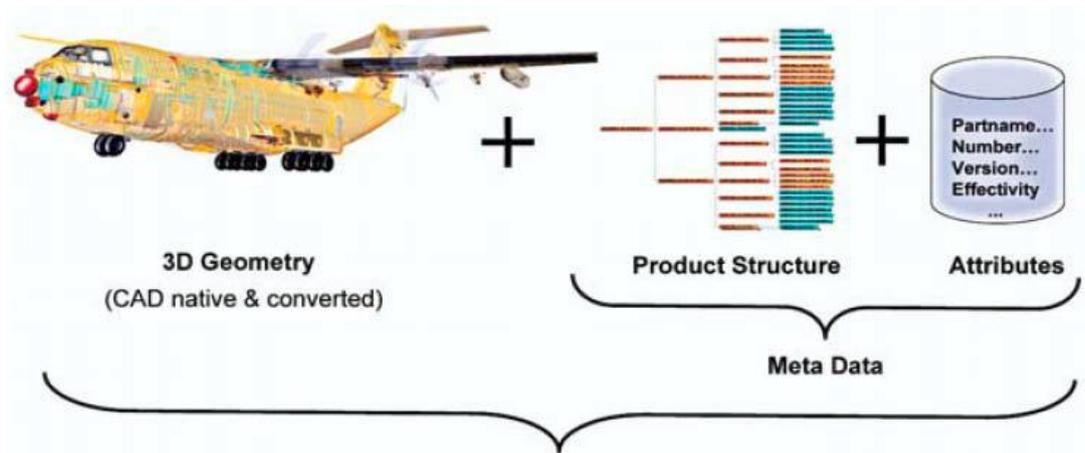


图7 基于MBD技术形成的飞机数模文件

设计阶段最为核心的成果是三维数模文件和工程物料清单（Engineering BOM, EBOM），EBOM 中的零件 (Detail)、装配件 (Assembly)、安装件 (Installation) 和总成件 (Integration/Collector) 以上下级的形式构成了产品结构树。产品结构树表达了飞机按设计分离面划分而生成的结构和各零部件的组成关系。

EBOM是必须向下游发布传递的文件和数据，EBOM是产品工程设计管理中使用的数据结构，它通常精确地描述了产品的设计指标和零件与零件之间的设计关系，其中包括物料的结构层次、物料编号、物料名称、规格、计量单位、数量成品率、来源类型（自制/外购/外加工）、提前期（累计提前期），此外还标注有效期（生效期/失效期）。

（2）工艺设计

依据经设计部门签署发布的3D数模和EBOM，工艺部门要进行产品工艺性审查、NC编程，建立PBOM，制定装配协调方案，形成顶层MBOM，

进行全机装配工艺仿真。

EBOM产品结构树虽然表明了飞机各零组件在结构上的关系，但它并不表示生产中的真正装配过程，在装配工艺设计中要对产品结构树的关系进行修改，以生成装配信息，用于指导生产。这些修改要在产品结构树的基础上生成，并且与它在构成成员上保持一致。产品结构树按装配工艺进行修改后就生成了装配树，同时EBOM也逐渐派生出PBOM。PBOM中保留了EBOM中的信息并且在以后的装配流程设计过程中还要加入其他信息。最后的PBOM实际上包含了装配流程中所需的所有数据。与EBOM的数据要随更改单的下发而发生变化类似，PBOM中的数据不仅要根据EBOM的更改而变化，而且在装配流程设计的过程中也要因生产情况的变化而发生变化。

制造工程部门根据工程图纸和工厂加工能力分工编制一个关于产品制造的装配层次、零件配套、制造分工路线和材料需求的报告，准确表明产品整体构成总的需求，列出每一零件号（包括工位、站位、装配指令等工艺编号）与其工艺下级装配件等相关的工艺信息，形成MBOM。

（3）工装、型架设计

依据经设计部门签署发布的3D数模和EBOM，工艺部门要进行工装和型架3D设计，形成工装和型架3D数模，编制工装指令（TOOL ORDER, T0），进行工装装配仿真和NC编程，并完成工装制造装配。

工装指令 T0 是一种由工艺部门编写的格式化的工艺文件，其中包括了对工装的工艺要求，工装设计或工装制造部门之间周转、检验、

说明等信息，是一份汇聚了技术、质量、生产、成本、进度等内容的综合性管理表格，是工装项目立项、设计、制造、检验和接收的依据文件。

2. 制造和装配阶段形成的电子文件

依据经设计部门签署发布的3D飞机数模和EBOM以及工艺部门签署发布的3D工艺数模和PBOM，制造工程部门要进行工装订货、零件属性仿真，从而确定工艺参数，结合MBOM，编制装配大纲和制造大纲，进行部件仿真，然后进行数控加工或数控成形，零件装配、部件装配、飞机装配。

制造大纲（Fabrication Outline, FO）由工艺计划部门编写和发放，为制造零件和小分组件提供必要的制造和工装信息。

装配大纲（Assembly Outline, AO）则是由装配工艺部门编制的生产性装配工艺文件，用来批准某一具体产品的装配任务，汇编有任务说明、工程图纸及其版次、零件名称和零件号、工装要求、工序检验点以及完成一个独立的装配任务所必须的其它有关信息。例如中国商飞公司的AO就包括：任务说明、修订原因、所需工装、所需工艺标准、一般资料、所需图纸、所需零件、工作内容。

3. 检验验证阶段形成的电子文件

依据经设计部门签署发布的3D飞机数模和EBOM以及工艺部门签署发布的3D工艺数模，检验部门要制定检验计划、检验大纲，进行检验并形成检验数据。基于MBD的制造流程及形成的文件和数据如图8所示。

4. 航空工业三维设计制造电子文件归档范围

根据《航空工业产品档案管理办法》的要求和基本经验，结合三维设计制造技术的实际情况，我们归纳形成了《航空工业三维设计制造电子文件归档范围》（见附件），保管期限仍然遵循相关标准的规定而不做调整。

3.3 基于 MBD 设计制造系统形成电子文件的特点

1. 几何信息以三维数模的形式在三维设计系统中保存。

虽然参与同一个产品型号科研生产的单位基本上统一使用的是同一软件公司同一版本的设计系统，但三维数模文件都以三维设计系统本身特有的文件格式存储，三维数模电子文件应用高度依赖于原三维设计软件系统。

2. 非几何信息与三维数模高度集成于产品结构树之中。

产品非几何信息定义是产品数字化定义的重要部分，在面向制造的发放过程中，非几何信息是指导制造的一项重要依据。非几何信息包括如下几类：

- 产品数据管理特征的属性信息（版本、批次号、架次、结构等）；
- 描述产品物理特征的属性信息（重量、数量、材料等）；
- 描述产品制造特征的属性信息（热处理、表面处理等）；
- 记录产品状态的属性信息（发放状态，预发放状态）。

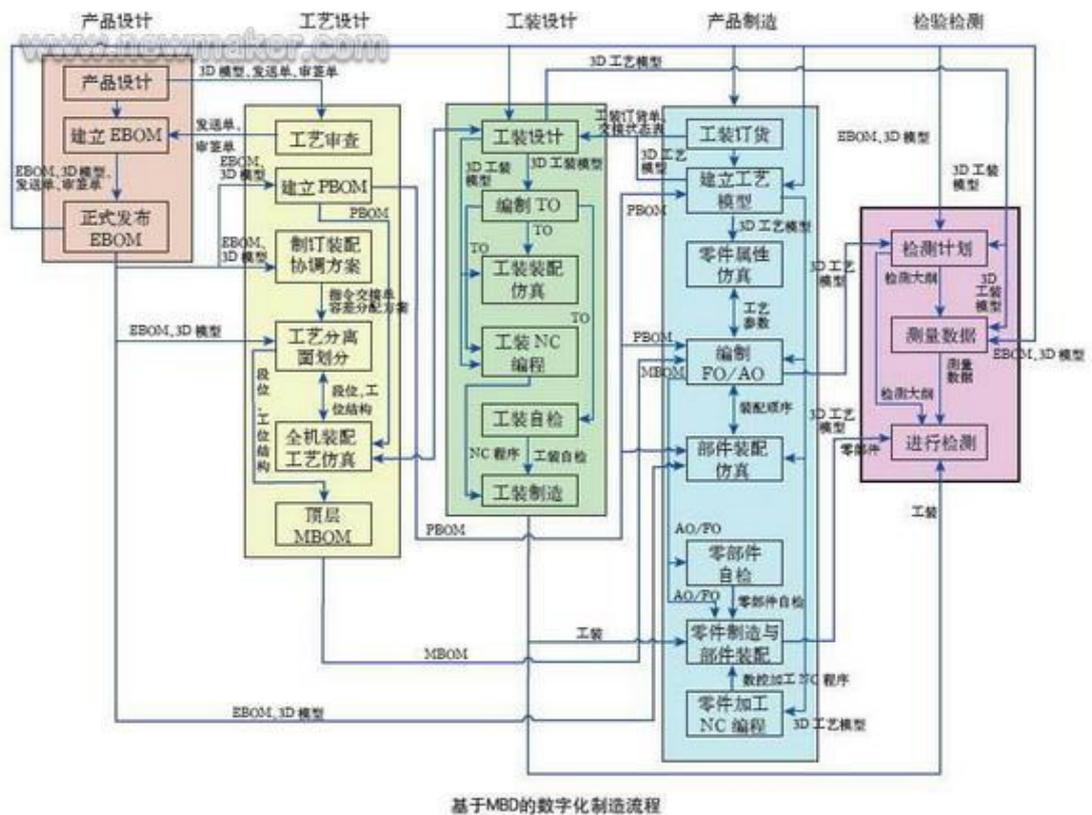


图8 基于MBD技术的制造流程及形成的文件

二维设计制造情况下，非几何信息都是标注在图纸上或是以受控文件的形式与图纸一起发放。基于MBD的产品数字化定义下，非几何信息不再在图纸中定义，而是纪录在属性模型中，以属性模型的形式在产品结构树中反映和传递（图4）。实际工作中文件发放时通常是由上游主机厂所将属性信息打包成XML文件压缩包随三维数模文件包一起发放，配套厂所根据接收到的三维数模文件和XML文件压缩包在相同的产品数据管理（PDM）系统中进行重构。

3. 基于MBD设计制造系统形成的电子文件离开原设计系统后难以再现和浏览。

由于三维设计制造系统专业性很强、价格昂贵，公众普及程度低，加之各CAD厂商间相互进行知识产权保护，CAD系统间不能兼容，其形

成的电子文件离开原设计系统后不能再现和浏览，在其他的文件管理系统中或档案信息管理系统中无法进行检查、管理和发布利用。

4. 三维设计制造电子文件容量大，对运行环境要求高，光盘难以满足其存储、快速运行和利用的需要。

目前，CD光盘容量只有700M，DVD也只有4.7G，即使是在研发中的蓝光光盘也只能达到200-300G，所以光盘的容量对于大型产品的设计制造电子文件的存储来说是一个很大的制约。另外，在计算机系统中光盘的运行速度也很难与磁盘相提并论。磁带介质的情况与光盘类似，日常多用于信息系统的灾备。

3.4 基于 MBD 设计制造系统形成电子文件归档的关键问题

电子文件归档管理的关键问题有两个方面：一是如何保证归档电子文件的原始凭证作用，二是如何保证归档电子文件的长久保存。

归档电子文件的原始凭证作用保证涉及两个方面：一是电子文件本身在归档后没有被非法篡改；二是电子文件归档移交过程和管理过程是合法可信的，当然档案管理中允许在必要时对电子文件进行迁移，但必须保证是合法进行的。

归档电子文件的长久保存技术主要包括3个方面，一是开发普世认可的电子文件通用格式或中性格式及其转换工具，如OFD格式就是我国归档保存文本文件的一种通用格式，就三维设计电子文件而言，国际上公认的是STEP格式；二是找到一种或几种可靠的保存介质，传统上档案保存介质是纸的一统天下，而目前电子文件档案保存介质是光盘、磁带和磁盘三分天下，当前国家发布了光盘档案管理的相关标

准，光盘作为档案存储介质稍稍领先，但是关于磁带和磁盘作为档案存储介质的研究也在积极进行之中；三是解决电子文件档案的可读、可用问题，就是要利用虚拟化技术建立五花八门电子文件的读取软硬件环境，或者直接在档案馆建立重要应用系统的软硬件环境，保证电子文件的可读性和快速复用。

三维电子文件归档最为理想的解决方案是将所有3D设计电子文件转化成为国际上公认的STEP中性格式保存，但必须解决4个核心问题：一是要研究可靠的原设计文件转化成STEP格式的转换工具；二是要实现业务系统中电子文件向档案系统的可信移交；三是要研究通用的浏览和阅读工具，保证利用者在不具备三维设计制造软件环境时可以阅读电子文件；四是要有可靠的电子文件存储介质或归档保存方法。

第4章 STEP中性格式及转换技术

4.1 STEP中性格式概述

CAD中间数据格式，也被称为交换格式或中性格式，目的是方便不同品牌、厂商和版本的CAD系统之间交互数据而衍生出的模型格式，是CAD模型的一种特定格式，这种格式的模型文件可被绝大多数CAD系统识别和读取。当前比较通用的交换格式包括二维的DXF，三维的IGES，SAT，STL和STEP等等。由于中间格式大多采取某种协议方式搭建三维模型，并读写相应的系统驱动，而其表达能力和构建方式因考虑兼容性，而取系统间的性能交集。因此，中间格式存在技术上的

妥协。使用者除非必须的情况，如数据的系统间传递等，往往不愿意将文件存储为中间格式。其主要表现在：

- 中间格式数据无法搭载和表达螺纹信息；
- 中间格式数据无法准确表达装配与约束关系；中间格式的装配约束与色彩信息均发生丢失；
- 中间格式数据无法显示模型外部属性，原始格式可搭载更多外部属性；
- 中间格式数据无法直接进行参数编辑。

与中间格式相对应，原始格式是指基于某一种 CAD 系统创建的，并由该系统默认识别的格式，通常以文件扩展名进行识别，比如 Inventor 的*.iam 格式，SolidWorks 的*.sldasm 格式等等。这种格式，往往可被指定的系统读取和编辑，但是每种系统必然存在自身指定的原始格式文件。

目前存在的数据交互方式，主要是由标准化组织定义的独立于 CAD 厂商的格式，如图 9 所示，例如：IGES, STEP - ISO 10303, VDA-FS, DXF, Parasolid XT, JT 等。还有一种是如图 10 所示，在标准化组织定义的基础上，定义出各 CAD 厂商均能接受的标准数据格式，实现各系统之间的数据交换。

目前数据交换的图形文件标准主要有：AutoCAD 的 DXF (DataExchangeFile) 文件，美国标准 IGES (Initial Graphics Exchange Specification 即初始图形交换规范) 及国际标准 STEP (Standard for the Exchange of Product model data)。其他一些

较为重要的标准还有：在 ESPRIT（欧洲信息技术研究与开发战略规划）资助下的 CAD-I 标准（仅限于有限元和外形数据信息）；德国的 VDA-FS 标准（主要用于汽车工业）；法国的 SET 标准（主要应用于航空航天工业）等。

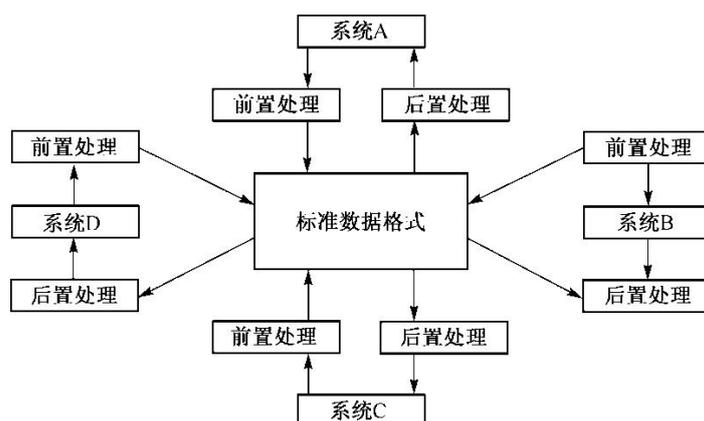


图 9 基于中间格式（标准）的数据交互形式

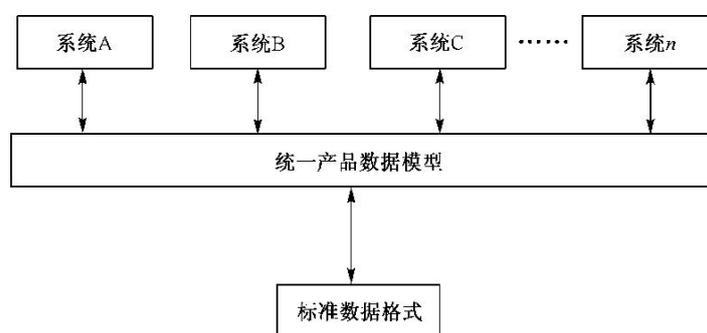


图 10 基于同一产品数据模型的数据交互形式

在国际贸易、技术交流以及市场竞争的促进下，国际标准化组织（ISO）的 TC /184SC/14 工作组以 PDES 为基础，开发了产品模型数据交换标准（STEP）。目的是研究完整的产品模型数据的转换技术，最终实现在产品生命周期内对产品数据进行完整一致的描述与数据交换，以便无需人工解释就能使各应用系统直接接受并共享这些信息。STEP 规定了与 IGES 类似的中性文件格式，以实现数据共享。作

为一个国际标准，STEP 受到了广泛的重视。

STEP 标准的内容分为 7 类，每一类又包括若干部分（Part），定义的 7 种类别及相应的组成部分为：

- 1、描述方法（description methods），Part11-19；
- 2、集成通用资源（integrated resources），Part41-49；
- 3、集成应用资源（integrated resources），Part101-199；
- 4、应用协议（application protocols），Part201-1199；
- 5、实现方法（implementation methods），Part21-29；
- 6、一致性测试（conformance testing），Part31-39；
- 7、抽象测试集（abstract test suites），Part1201-2199。

STEP 将七个系列文件构成如图 11 所示的三个层次结构：应用层、逻辑层、物理层。物理层主要是标准的原理和方法，逻辑层是标准的资源，最上层是应用协议（AP）。其中资源是建立应用协议的基础，建立应用协议是制定标准的目的，是开发 CAD 数据交换接口的依据。



图 11 STEP 的层次及组成内容

STEP 标准中规定的实现方法有三种：

1、文件交换。

文件交换是最常应用的一种交换方法。它是通过 WSN 语言 (Wirth Syntax Notation) 将 EXPRESS 语言描述的产品数据模型转换成易读的正文编码中性文件, 是一个由标题段和数据段组成的顺序文件。

2、应用编程接口 (API)

应用编程接口法也称标准数据访问接口法 (SDAI), 应用程序利用 STEP 提供的 SDAI 来获取和操作数据, 而不必关心原有应用软件及其数据结构的定义形式。

3、数据库

数据库交换是通过共享数据库来实现的, 数据库内部格式与应用解释模型格式一致, 应用系统可以直接向数据库进行查询、存储数据。

STEP 采用面向对象的信息建模方法，它所描述的产品信息分成基本模型和应用模型两部分。基本模型是各种应用模型的基础，它与产品应用领域无关，包括下述部分信息模型：几何模型（Geometry）、拓扑模型（Topology）、形状模型（Macrogeometry）、形状特征模型（Form Feature）、公差模型（Tolerancing）、表面状况模型（Surface Condition）、材料模型（Material）、显示模型（Presentation）。

应用模型是在基本模型上的附加信息，这些附加信息对产品的一定应用领域是必不可少的。因此，STEP 标准为许多应用领域提供了统一产品信息描述方法。

STEP 主要应用在数据交换和长期档案管理方面，至今 STEP 已在不少大型项目中应用。如美国的波音公司和英国的罗尔斯-罗伊斯公司用 STEP 标准支持数字化预装配。欧洲和美国以通用公司、福特公司、宝马公司为代表的九家汽车制造公司也共同开展了采用 STEP 标准交换数据的项目。欧盟支持在造船、建筑、等行业广泛开展 STEP 应用的开发与研究。

我国的应用领域主要集中在：

1、数字化预装配

数字化预装配主要用于生产大型复杂产品的工业，例如飞机、汽车、船舶等，这些工业的分工比较专业化。例如这些大型运输工具的发动机都由专业厂家生产，而不是由主机厂生产，也经常采用与主机厂不同的 CAD 系统。主机厂在进行设计时需要把发动机的 CAD 模型和主机模型进行数字化预装配，以检查是否存在干涉，验证空间位置是

否正确。当前 CAD 系统都把 STEP 作为标准输出，大部分公司已经不再采用 CAD 系统直接转换接口而采用 STEP 格式。虽然 STEP 格式还不能包括所有的设计信息，但对于数字化预装配环节来说基本够用。

2、零件外包制造

为了降低生产成本，提高公司的市场竞争能力，现在许多国际化大公司把零部件生产外包到制造业发达的中国来。接受外包的工厂一般规模较小，他们的用户是不固定的，不可能有各种各样的 CAD 系统来适应用户。所以发包方往往把三维零件模型以 STEP 格式发给供应商。OEM 不但需要提供三维模型的 STEP 文件，还需要提供 AutoCAD 或纸质的工程图及技术文档。

3、模具业和电子零件加工业

近年来在我国东南沿海出现了许多小型的模具企业和需要用到模具的电子钣金零件加工企业。他们从上游企业拿到中性格式的三维设计模型，再用他们熟悉的 CAD 系统进行模具设计。在数据交换方面过去多采用 IGES 格式，但是由于 STEP 在转换三维模型方面的优势，而使 STEP 成为应用最为广泛的格式。

随着 STEP 标准在工业应用中的日益普及和推广，它已引起了国内外制造业的高度重视。发达国家都在花大力量把 STEP 标准推向工业应用。如图 12 所示，具体的应用场合包括两大类：

1、来自产品开发部门的需求，包括设计部门内团队合作、多学科交叉、产品全生命周期设计、集成化产品的开发、分布及并行作业、产品数据长期存档；

2、来自计算机辅助应用系统供应商和 DBMS 供应商的需求，包括接口的标准化和产品概念模型的标准。使系统人员和供应商能把精力集中于存储技术、特定应用程序的算法及数据的不同物理表示上，以解决跨企业、多平台、多种存储机制、多种网络结构的管理等方面的问题。

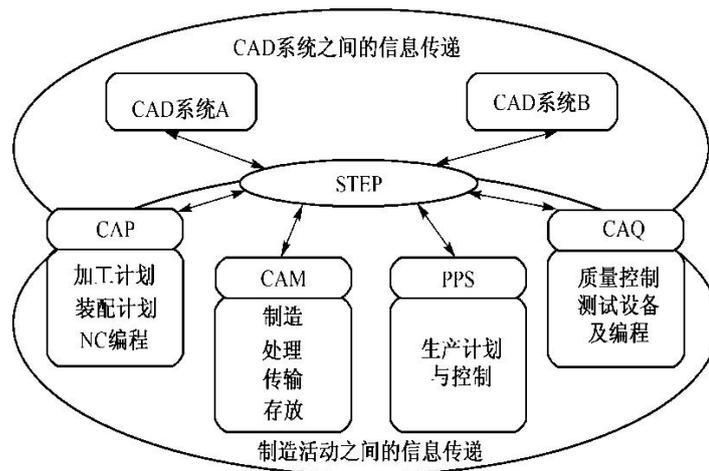


图 12 STEP 的应用场合

为了实现 CAD/CAM 各模块之间数据资源共享，必须满足两个条件：一是要有统一的产品数据模型定义体系，二是要有统一的产品数据交换标准。这是实现 CAX 集成的关键。

4.2 STEP 中性格式转换技术

CAD 数据交换包括许多将数据从一种 CAD 系统转换到另外一种 CAD 文件格式的软件技术及方法。其中主要的问题就是几何元素如网格、曲面以及实体造型之间的转换，以及如属性、元数据、装配结构以及特征数据的转换。IGES 和 STEP 作为当前主要的两种模型数据的标准格式，各国都对其进行了详细研究。