

基于MBD的全三维设计支持系统的开发与应用

Development and Application of Full 3D Design Support System Based on MBD

中航惠阳螺旋桨有限责任公司 郑雷



郑雷
高级工程师,现任中航工业航空螺旋桨有限公司信息化总师,主要从事公司信息化规划、实施和建设。

课题来源及概述

CAD 技术从诞生至今已经 30 多年的历史, CAD 技术在基础理论和实际应用方面日趋成熟,同时推出了许多商品化的软件,如 CATIA、UG、Pro/Engineer 等,已经广泛用于航空、航天、汽车、通用机械等领域,尤其是航空产品在产品设计上发挥重要作用,但是,这些通用设计 CAD 软件缺乏企业自己的标准零件库、技术注释库和材料库,特别是基于 MBD 技术应用后,必须对 CAD 建模软件进行二次开

随着 MBD 技术在航空领域的深入应用,基于 MBD 全三维设计支持系统在航空企业的设计开发和应用只是起到抛砖引玉的作用,如何使得复杂航空产品制造企业在不断提高设计效率、缩短制造周期和提高资源利用率,使得设计、工艺与制造过程以及整个供应链的紧密协同,还需要不断研究和探索。

发,建立企业自己的基于 MBD 的全三维设计支持系统。

(1) 专业性强: 企业往往无法在现有通用 CAD 软件中找到适合自己企业的基于三维 CAD 模型设计支持系统,即: 前台辅助设计定义和后台零件库、注释库、材料库支持的一体系统,在此情况下便产生了基于通用 CAD 二次开发的需求,因此,二次开发产生的系统一般都是针对某个企业,并且专向性和专业性很强,日后很难从软件供应商得到升级和维护。

(2) 保密性高: 航空企业往往都是军工企业,属于国家重点保护单位,拥有的核心技术绝对禁止外泄,保密是关系到企业生存甚至国家兴衰的大事。因此,企业的设计软件充分体现了企业的技术特点和技术优势,企业在二次开发软件时,往往非

常慎重地选择软件开发伙伴,甚至必须依靠企业自身力量进行开发。

(3) 设计效率高: 企业产品研制过程中最为重要的部分就是设计工作,设计工作效率的核心是三维 CAD 的实施和应用水平。如果三维 CAD 软件中有基于 MBD 三维 CAD 模型设计支持系统,就会省去了在设计产品时关注繁琐、重复和固定模式的建模工作,甚至也省去了以前无法实现的技术注释附着在产品模型中苦恼,从而全身心投入到本企业的新产品的研制和设计工作中,提高效率 and 减少设计周期。

国内航空企业 MBD 技术应用现状与存在问题

1 国内航空企业 MBD 技术应用现状
近 10 余年,随着飞机制造技术

的发展,以波音、洛·马和空客公司为代表的飞机制造业在数字化技术应用领域取得了巨大的成功。波音公司在以波音 787 为代表的新型客机研制过程中,全面采用了 MBD (Model Based Definition) 技术,将三维产品制造信息与三维设计信息共同定义到产品的三维数字模型中,摒弃二维图样,直接使用三维标注模型作为制造依据,实现了产品设计、工装设计、零件加工、零部件检测检验的高度集成、协同和融合,建立了三维数字化设计制造一体化集成应用体系,开创了飞机数字化设计制造的崭新模式,确保了波音 787 客机的研制周期和质量。

当前,我国航空制造业的数字化技术应用发展迅速,MBD 技术的引入和工程实践虽处于起步阶段但也已开展多年,建立了 MBD 应用规范及相关标准,并且目前航空工业主要厂所已经开始深入三维数字化设计和 MBD 技术在产品中的应用,建立适应我国航空制造企业的 MBD 技术应用推广路线和技术体系,使得 MBD 数字化模型贯穿于整个产品生命周期的数字化制造过程中,建立基于 MBD 模型的数字化设计制造一体化集成应用体系,达到无图纸、无纸质工作指令的三维数字化集成制造,是缩短产品研制周期、提高产品质量、保证产品研制节点的迫切需求。

2 国内航空企业 MBD 技术应用存在的问题

国内航空制造业在应用 MBD 技术时主要存在以下问题:

(1) MBD 数据集的“数字化”程度不高。多数单位的 MBD 标准仅把原来二维图纸上的信息“照搬”到三维 MBD 模型中,而没有对这些信息进行必要的“数字化”处理,后续的制造、工艺人员仍然要靠人工理解的方式获取信息,不能很好地支持制造、装配等环节的数字化工作的开展。

(2) 支持 MBD 数字化建模的手段落后。目前,虽然三维设计工具 (CATIA 等) 已经在飞机设计中使用了多年,但仍以使用 CATIA 自身基本功能进行产品设计为主要手段,这既影响了设计效率、也影响了 MBD 数据集的规范性、稳定性和可靠性。因此,MBD 数据集的建立、数据管理、数据使用等环节,仅靠手工操作难以完成,需要配套相应的设计支持辅助工具(由企业自主开发),以提高数据的标准/规范性,以及后续环节使用的效率。

(3) 产品数据管理的范围有待扩展。目前,采用 PDM 系统基本实现了产品设计信息。类似技术条件等制造信息等一直游离在信息系统(如 PDM)的管理范围之外,需要加强对这类后续制造、装配和检测等环节所需数据信息的集成与管理。

基于 MBD 的全三维设计支持系统及二次开发的必要性

1 基于 MBD 的全三维设计支持系统概念及功能

目前,三维 CATIA 设计系统单纯从三维标注和尺寸公差技术本身而言基本可以满足 MBD 标注的需求,但是,如果实现将产品的所有相关设计、工艺、制造属性以及管理等信息附着在产品三维模型中显得相形见绌,开发基于 MBD 全三维 CAD 模型辅助定义系统可以实现以上信息在 MBD 模型上的附着。基于 MBD 全三维 CAD 模型辅助定义系统是针对 CATIA 三维标注的企业应用特点,基于 CATIA 二次开发 CAA 平台,在 CATIA 原有标注功能基础上进行拓展开发,开发出适应飞机设计特点的辅助标注工具,以实现加速设计的目的。

如图 1 所示,基于 MBD 的全三维设计支持系统包括

两部分功能,即:基于 MBD 全三维 CAD 模型辅助定义工具:提供基于 CATIA V5 平台的集成应用子系统,设计人员使用集成在 CATIA V5 中交互界面,可方便地将零件库、注释库和材料库中得数据加载到 MBD 模型中;基于 MBD 全三维 CAD 模型辅助定义管理系统:提供数据库管理子系统实现对产品设计过程中所需的零件库、注释库和材料库进行规范、统一、高效的管理。

基于 MBD 的全三维设计支持系统可以实现以下功能:(1) 与 CATIA V5 集成要求:系统应基于 CATIACAA 平台进行二次开发,与 CATIA V5 紧密集成,生成工具条。(2) 技术注释应用功能:在 CATIA V5 平台下,应可方便调用技术注释数据库中的技术注释数据,加到 MBD 模型结构树上对应的节点下。(3) 技术附注属性分类管理和导出:根据技术附注各功能属性特点,实现属性分类管理功能。如表面处理注释数据可按镀层属性或底漆属性输出相应的数据。(4) 技术附注数据添加申请功能:面向设计员提供技术附注添加申请功能。(5) 技术附注数据审核功能:技术附注管理员对申请的技术附注数据进行审核,规范后入库。通用管理功能:通用管理功能如数据增删改、查询、统计报表

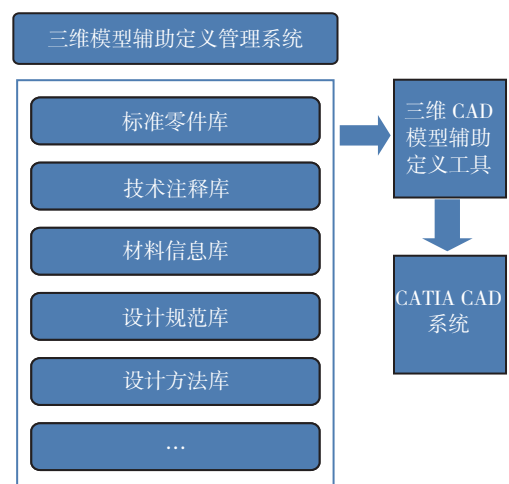


图1 基于MBD的全三维设计支持系统

等功能,满足管理和应用要求。(6) 技术注释添加申请功能:在 CATIA V5 平台下,设计员调用技术注释(标准注释)时,发现技术注释库中没有相应的注释时,可生成注释并编辑,直接插在当前 MBD 模型下,同时向技术注释数据库入库(无申请和审核程序)。

2 基于 MBD 全三维 CAD 模型辅助定义系统开发的必要性

本文以三维技术注释库设计支持系统为例进行说明。

传统设计过程中,这些技术注释通常由设计人员写在图纸的右侧。一般情况下,特别是针对新的设计人员,往往“照猫画虎”,参考典型的零件图纸决定本设计零件的技术注释,经常造成技术注释描述不规范,技术注释要求过高,或要求不合理等情况。采用了数字化定义技术基础的 MBD 全三维设计支持系统(如图 2),不仅能够将技术注释等信息进行有效的管理,更重要的是将其变成数字化信息,以便为后续的制造等环节的信息系统集成提供可解析、可检索的“数字模型”,改变了设计人员手工在二维图纸上“写”技术注释的工作方式,只需在三维 MBD 模型上按照标准规范要求标注,轻松实现如下功能:

(1) 实现技术注释的数字化统一编码,提供统一数据源的真正的 MBD 模型。

(2) 提高设计人员在 MBD 模型上加注技术注释信息的效率和标注信息的规范性。

(3) 形成企业的固有智力资产。

基于 MBD 的全三维设计支持系统设计开发

1 基于 MBD 的全三维设计支持系统框架及组成

基于 MBD 模型辅助定义系统以后台技术注释库为例进行说明,基于 MBD 模型全三维设计支持系统

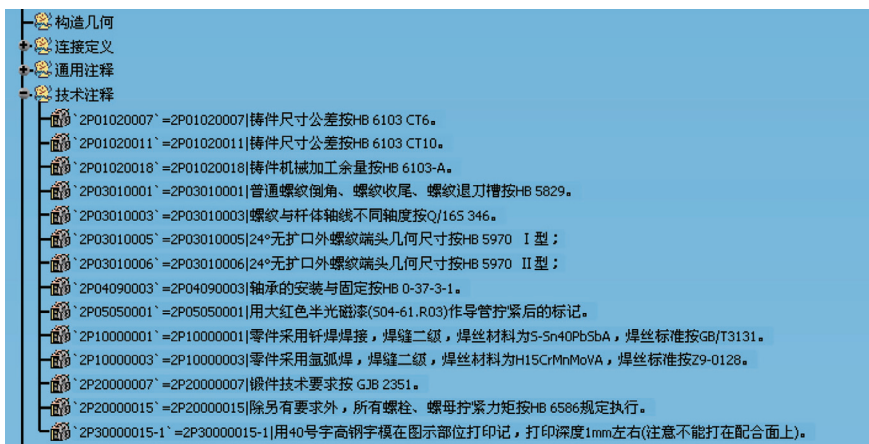


图2 基于MBD技术注释系统

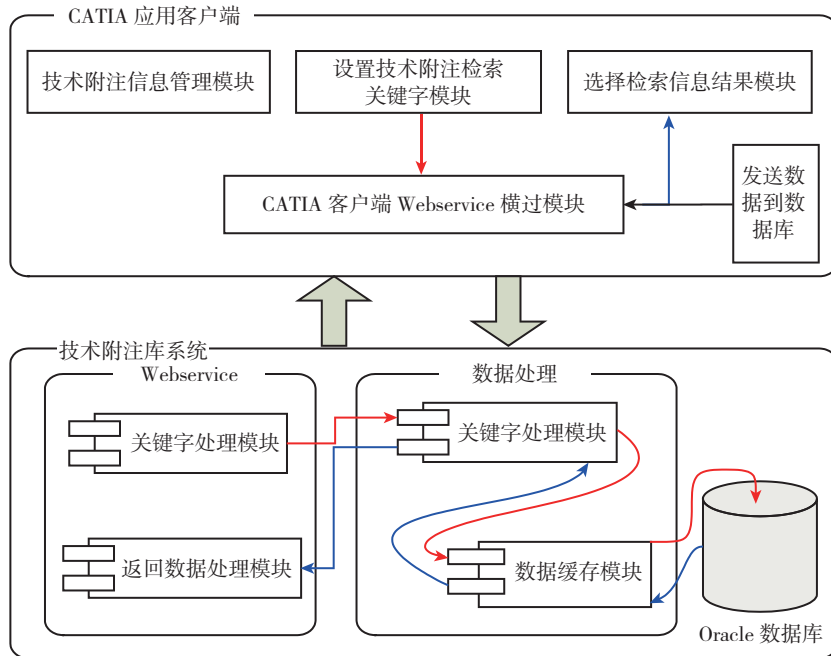


图3 基于MBD模块设计支持系统总体结构

是一套有效管理和应用技术注释的解决方案,技术注释的编码规则依据行业标准《QAVIC 01802-2011 基于模型的定义 注释与编号》制定,整个系统体系按照“统一管理、集成应用”的思想建设,技术注释信息统一存在服务器数据库中,并通过 Web 系统管理,系统与 CATIA 无缝集成,设计人员可以在 CATIA 环境中快速查询和应用技术注释,系统提供快速应用 MBD 模板的 CATIA 工具,并且系统按照国家安全保密要求《BMB-17》和《BMB-20》的技术要求,采用“三员分离”进行权限管理。技术附

注库基于统一组织管理技术附注信息的思想,该系统采用 C/S 架构,由两部分组成: MBD 模型设计支持应用系统(即: CAITIA 应用客户端)和 MBD 模型设计支持管理系统(技术附注库系统),其总体结构示意图如图 3 所示。

系统目标包括如下两部分:

(1) MBD 模型设计支持应用系统(如图 4)。CATIA 应用客户端基于 CATIA CAA 二次开发技术在 CATIA V5 上设计了专用工具条,并与 CATIA V5 平台完美集成在一起,提供基于 CATIA V5 平台的集成

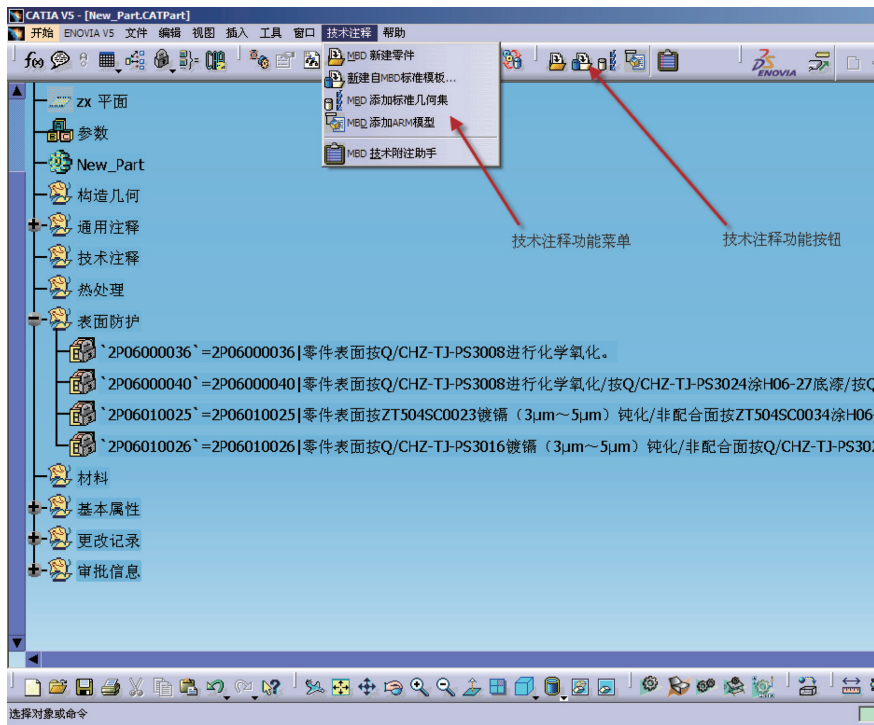


图4 基于MBD模型设计支持应用系统界面

应用子系统,设计人员使用集成在CATIA V5 中交互界面,确保了系统的稳定性和用户的操作界面的友好性,可方便地查询所需技术附注数据库中的技术附注,并将其加载到MBD 模型指定的附注中。MBD 模型设计支持应用系统实现 MBD 模板的自动创建、技术注释标准数据库的查询、CATIA 几何图形集技术注释信息的管理功能、技术注释信息申请功能。系统功能如表 1 所示。

(2)MBD 模型设计支持管理系统。提供数据库管理子系统实现对产品设计过程中所需的技术附注信息进行规范、统一、高效的管理,MBD 模型辅助定义管理系统基于 JAVA 语言开发,整个架构采用模块化设计,分为数据服务、数据管理以及系统权限管理等功能模块,可以方便地根据用户业务需求进行数据结构的扩展。MBD 技术注释库应用系统与 MBD 技术注释库管理系统之间采用 Web Service 组件技术,实现 C/S 架构之间的信息通信功能。在软件平台技术基础上提供完整的安全机

制,包括用户权限管理、系统权限(三员)管理、数据传输与存储备份安全、应用操作日志等。实现对表面防护数据、焊接处理数据、热处理数据、特种检测数据、零件标印数据、技术文件引用数据、密封、胶结、润滑等数据信息的维护功能。数据库管理提供对所有人员的信息维护模块,系统支持域用户登陆验证及 CA 证书认证,满足企业单点登陆的相关要求。

MBD 模型设计支持管理系统技术架构层采用 MVC 模式构造,展现层使用页面展示功能强大的 Dorado,业务逻辑层为 Spring,数据持久层使用 Hiberate+ibatis。合理的分层,简化了管理的复杂性,降低软件开发技术含量。软件开发人员可以为了实现解决不同的问题方便地使用、扩展、定制不同层次的构件。同时,系统开发工具采用 Eclipse+IDE 插件,开放接口采用 WEB SERVICE。数据库可根据企业的应用,切换为 ORACEL 和 SQLServer 等。与企业内部其他系统可以在数据层达到有机的整合。通过先进的架构及开发技术,为产品的稳定性、开放性、易用性提供了强有力的技术基础。

2 基于 MBD 的全三维设计支持系统开发内容

MBD 模型设计支持应用系统实

表1 MBD模型设计支持系统实现功能明细

编号	模块名称	功能简述
1	新建零件模板模块	创建 MBD 零件模板
2	新建自 MBD 标准模板功能	拷贝标准 MBD 技术附注信息到新零件中
3	新建装配信息模板模块	在装配设计环境中,创建当前节点的装配信息模板
4	零件技术附注信息管理模块	删除,修改 CATIA 文档中的技术附注信息
5	用户交互设置技术附注检索项模块	根据用户所选择技术附注库,提供快速设置检索关键字功能
6	用户交互选择检索信息结果模块	根据检索关键字搜索出技术附注信息,用户根据实际需要选择正确的信息条目
7	添加新技术附注到数据库模块	添加新技术附注信息到数据库系统
8	CATIA 客户端 Web Service 检索模块	提供 CATIA 应用客户端与技术附注数据库之间的信息通信功能

制,包括用户权限管理、系统权限(三员)管理、数据传输与存储备份安全、应用操作日志等。实现对表面防护数据、焊接处理数据、热处理数据、特种检测数据、零件标印数据、技术文件引用数据、密封、胶结、润滑等数据信息的维护功能。数据库管理提供对所有人员的信息维护模块,系统支持域用户登陆验证及 CA 证书认证,满足企业单点登陆的相关要求。

现 MBD 模板的自动创建、技术注释标准数据库的查询、CATIA 几何图形集技术注释信息的管理功能、技术注释信息申请功能等,在这里只是典型地枚举 3 个主要过程。

(1)CATIA 客户端配置文件说明。B/S 端,与 C/S 端混合架构之间的数据通信以 XML 文件配置的形式控制,配置文件位于程序安装目录 \intel_a\KTCustomConfig 路径下,主

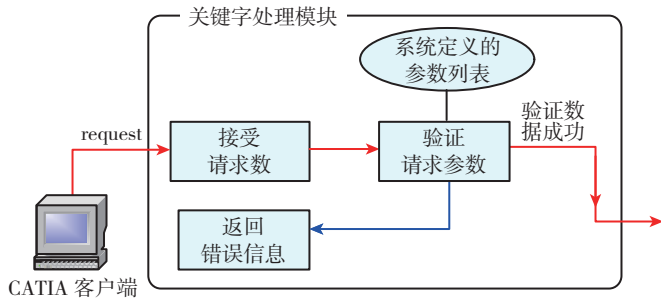


图5 CATIA客户端Web Service检索功能实现框图

要包括 3 个配置项：

DatabaseSetting 文件夹：B/S 端 WebService 通信地址配置；

MBDSTDDoc 文件夹：标准零件 MBD 模板、ARM 模板；

MBDTechnicalNote 文件夹：技术附注界面配置 XML 文件，分为零件设计环境配置项和装配环境配置项，以及技术附注信息对应 CATIA V5 结构树信息 XML 文件配置。技术附注信息 XML 文件包括：MBDTECHAddinItems.xml、MBDTECHSearchItems.xml、MBDTECHTreeNode.xml 三个文件，对应技术附注申请配置、技术附注查询配置、技术附注 CATIA 结构树配置。

(2) CATIA 客户端 Web Service 检索功能。如图 5 所示，系统中已经定义好所有的查询参数，CATIA 客户端向服务器发送的一个查询请求后，服务器端会根据定义好的参数表验证所有参数是否是合法的参数。验证成功后会进入下一个数据处理模块，查询返回技术附注信息，否则将直接返回错误信息。该部分功能是数据通信层；模块主要函数列表如表 2 和图 6 所示。

(3) 技术附标注功能。技术附标注功能通过 CATIA CAA 二次开发方法实现，出于业务需求和架构考虑，主要分成 5 个功能模块，如图 7 所示。

CATIA 客户端 Web Service 检索模块：提供 CATIA 客户端与技术附注数据库系统端 Web Service 服务之

间的信息检索功能。

零件技术附注信息管理模块：为用户提供技术附注信息条目的查看、增加、删除、编辑功能。

用户交互设置技术附注检索项

模块：根据 CATIA 装配和零件工作环境的不同，自动判断信息检索库类型，依据不同的信息检索库显示不同的搜索条件，并提供级联搜索和关键字搜索功能。

用户交互选择检索信息结果模块：提交搜索条件，用户可以方便查看检索出的信息内容，以此选择合适的技术附注信息条目。

添加新技术附注到数据库模块：在技术附注库应用初期，由于相关技术附注库信息不健全，需要收集飞机设计人员的经验数据；该功能担当了技术附注库运行初期数据收集工

表2 Web Service检索实现函数功能明细

类名称	函数	函数功能说明
CAVICITMBDWebServiceApp	MBDQuery()	从数据库查询技术附注信息
	MBDInsert()	向数据库发送技术附注信息

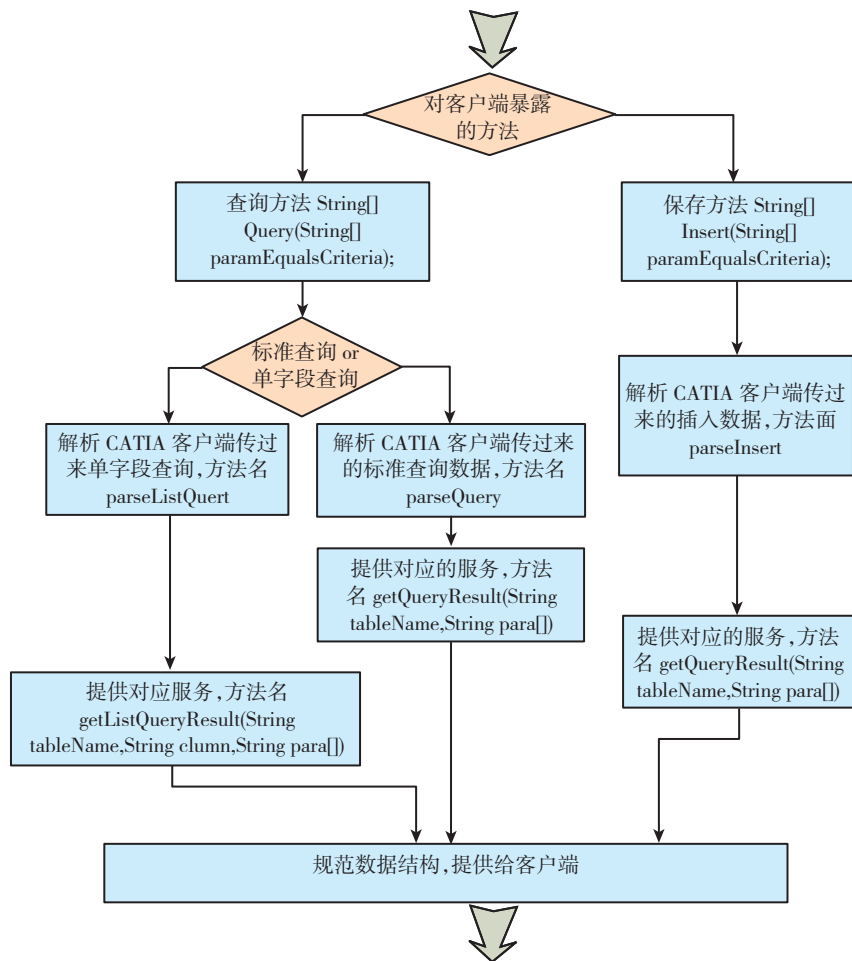


图6 CATIA客户端检索数据库函数实现

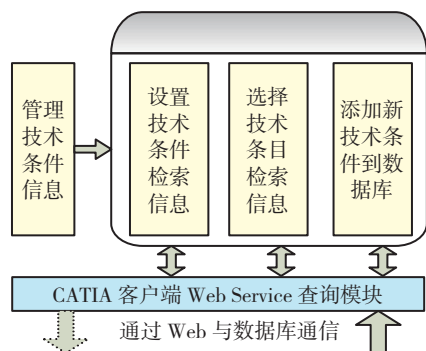


图7 技术附注标注五大功能

作的角色。

实现代码对应函数类为MBDTechnicInfoCmd、MBDTechnicInfoDlg、MBDNoteModifyDlg、MBDTechnicInfoNewAddinDlg、MBDTechnicInfoSearchDlg。其中MBDTechnicInfoCmd为功能command类；MBDTechnicInfoDlg为主对话框类；MBDNoteModifyDlg为技术附注信息修改对话框类；MBDTechnicInfoNewAddinDlg为插入新技术附注信息对话框类，MBDTechnicInfoSearchDlg为技术附注属性查询对话框类，具体函数功能略。

展望

本文的基于MBD全三维设计支持系统主要是以基于MBD模型技术注释定义系统为主进行介绍，后台数据库为技术注释(附注)库，实际上基于MBD全三维模型辅助定义系统后台可以包括：标准(非标)零件库和材料库。

未来此系统还可以扩展到，如下内容或功能：

(1)面向MBD的三维标注操作手册制定。针对MBD的表达要求、基于CATIA三维标注模块及三维标注辅助软件开发模块的综合功能，编撰出一套详尽的三维标注操作指导规范。规划中包括三维标注的创建过程、各类对象的标注原则、各类对象标注时所应使用的命令、各类注意事项等。该操作规范可作为企业标

准的三维标注培训教材应用。相对于标准的CATIA官方三维标注教材，其中融入了诸多的企业核心知识与辅助软件功能应用知识。

(2)三维标样式标准文件创建。根据本系统的特点，结合优化的某飞机设计过程与方法，定制出三维标注标准文件。该文件将作为某设计所内部三维标注模块应用的强制标准，同时也将作为下游企业的参考标注标准。

(3)标注构造几何元素辅助创建功能。在CATIA标注模块中，用来被参考引用而并不直接表示某类特征的元素，我们称之为构造几何元素。三维标注模块中的标注特征创建，很大程度上要依赖于构造几何元素。许多情况下，都要参照构造几何元素来创建某一个标注特征，而并不能直接在真实的几何体上快速实现预期的标注，而设计员手动操作创建构造元素操作又十分繁琐，这种情况下，辅助创建三维标注时的构造几何元素的软件工具，将对加速三维标注起到非常积极的作用。通过开发，提供用于实现构造几何元素快速创建的工具，可以快速创建各类点、线、面等参照特征，用于三维标注引用。

(4)视图快速创建功能。该工具可以基于各种情况创建视图，提供CATIA标注模块自身所不具备的基于曲面创建视图的功能。可以让设计员全心全意地集中于视图表达的设计，而减少辅助元素的创建工作。

(5)捕获管理工具开发。提供自动创建若干预定义捕获的功能，自动命名预创建的捕获，预创建的捕获名称及类型可以通过配置文件进行自定义。对于同一个零件中的所有捕获，可以进行分类筛选，设置隐藏属性，从而快速实现预期的零件表达状态。对于创建了多个视图及多个捕获的零件，这个工具的效果非常明显。

(6)捕获辅助创建功能。创建捕获时，需要根据表达的需要，隐藏一些不想显示的元素，显示一些不想隐藏的元素，对于零件中存在许多标注项目、许多几何元素的情况，这些操作将非常频繁，操作起来十分麻烦。通过捕获创建辅助工具的应用，可以实现各种类型元素的快速过滤、选择、显/隐设置等，从而使捕获的创建过程极大加速，从而加速整个设计过程。

(7)标注信息的格式化输出功能。将所有三维标注中的文本类信息(几何集中所有参数节点，及注解中的所有文本及其超级链接信息等)输出到特定格式的文件中，从而实现三维标注信息的快速格式化输出。

(8)零件色标辅助添加功能。根据某设计所对零件颜色的管理要求，对各种类型的零件赋以相应的颜色标识，从而实现零件颜色的快速赋值。

结束语

航空复杂产品在产品设计上具有产品结构复杂、设计更改频繁、零部件数量庞大、材料种类繁多等特点；在产品制造上具有工艺专业种类多、加工/装配工艺复杂、制造流程长、零部件配套关系复杂等特点；在管理上具有工程更改频繁、供应链复杂、协作协同复杂、产品质量要求高、按架次管理等特点，并且航空复杂产品在其产品生命周期涉及到多产品、多企业、多部门、多业务之间的复杂协作。随着MBD技术在航空领域的深入应用，基于MBD全三维设计支持系统在航空企业的设计开发和应用只是起到抛砖引玉的作用，如何使得复杂航空产品制造企业在不断提高设计效率、缩短制造周期和提高资源利用率，使得设计、工艺与制造过程以及整个供应链的紧密协同，还需要不断研究和探索。

(责编 亿霖)