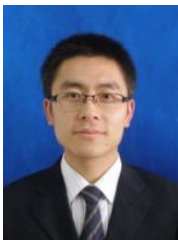


基于数字化研制模式的卫星总装状态闭环管控研究

袁金如 陈 强 姚 骏 张栖诚 徐天水 王晓波

(上海卫星工程研究所, 上海 201109)



摘要: 基于卫星数字化研制总装技术状态管控需求, 介绍了卫星总装设计技术状态管理实践和总装制造过程技术状态管控及闭环融合实现方法及初步系统构想, 为卫星设计制造一体化技术状态管控与数据融合应用提供借鉴与参考。

关键词: 数字化研制模式; 卫星总装; 设计制造一体化; 技术状态; 闭环管控

中图分类号: V57 **文献标识码:** A

Research of Closed-loop Management of Satellite Integrated Assembly Status Base on Digital R&D Mode

Yuan Jinru Chen Qiang Yao Jun Zhang Qicheng Xu Tianshui Wang Xiaobo

(Shanghai Institute of Satellite Engineering, Shanghai 201109)

Abstract: To control the status of satellite digital design and integrated assembly, a management practice of satellite integrated assembly design is proposed, also with the management, the method of closed-loop fusion and the preliminary system thoughts of integrated assembly. This provides reference for the status management and the record fusion application of satellites design and manufacturing integration.

Key words: digital R&D mode; satellites integrated assembly; design and manufacturing integration; technical conditions; closed-loop management

1 引言

通过基于三维模型的产品定义方法, 可以实现全三维模型的数据源统一, 完成制造依据由二维图纸向三维数字化模型转变, 这项最早源于波音公司的MBD (Model Based Definition) 技术在飞机制造业引起了重大变革^[1, 2]。在国内, MBD 技术已在航空、船舶和汽车制造等多个企业应用和推广。各企业利用数字化技术作为基础, 建立设计、工艺和制造协同工作的研制模式, 使产品的零部件从设计到工艺以及生产装配环节都在计算机中控制^[3~6]。但在实际的设计和制造协同之间却暴露出一些问题, 例如设计和工艺系

统平台不统一, 传统设计方法的阻碍, 以及业务流程中产生需要管理的大量数据, 缺乏高效的数据提取方法和管理工具, 严重影响产品的研制周期^[7, 8]。

构建总体与分系统、设计与制造、产品与检验的并行设计协同工作环境, 形成基于三维模型的数字化并行协同研制模式, 打破部门界限, 增强专业间的协作关系, 将传统分散串行协调的管理模式, 演变为以任务为牵引的并行式、柔性化的敏捷管理模式, 实现设计制造检验一体化研制集成, 是适应航天高质量高效率发展要求的必然选择。型号设计数据和生产制造检验数据的统一融合闭环管理, 是实现卫星设计制造一体化的关键因素之一。介绍了卫星数字化协同设计、设计制造过程管控等成熟应用实践现状, 阐述卫星总装设计与制造融合管控方法, 及相关平台工具研究探

作者简介: 袁金如 (1983), 高级工程师, 机械工程专业; 研究方向: 卫星总体总装设计、卫星数字化技术。

收稿日期: 2021-07-21

索与试用情况, 以期为卫星设计制造一体化技术状态闭环管控实施提供有益借鉴与参考。

2 卫星总装技术状态管控需求

卫星总装技术状态为反映型号产品在研制过程中的配套状态、设计及更改状态、实施状态、质量控制、指标一致性等各类状态数据的集合, 具体包括整星、分系统、单机和星上直属件等各级产品的配套状态、产品数据的范围包络、产品总装的物理状态、产品质量的控制状态、研制流程各阶段产品应满足的设计状态等。主要从协同设计、制造过程及设计制造一体化闭环三个层面简单描述卫星总装技术状态的管控需求。

2.1 数字化设计协同

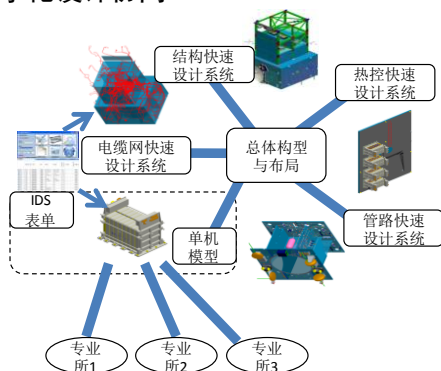


图1 基于三维模型的数字化协同设计数据网络

卫星研制属于航天工业领域典型的系统性工程, 研制单位分布区域广、产品种类多、流程环节长, 设计更改频繁、零件数量巨大、系统布置密集。基于三维模型的数字化协同设计需要实现总体一分系统一单机等全要素的设计及变更数据管理, 具体包括各承制单位的单机模型及 IDS 数据, 总体主控 (构型) 骨架模型、布局总装设计模型、结构、热控、电缆及推进管路设计模型、总装直属件模型等, 协同设计的最终输出为卫星总装等设计技术状态。卫星协同设计过程中各数据关系如图1所示。

2.2 设计制造过程一体化

卫星总装阶段状态变化多, 确认项目多, 设计生产过程数据分散, 管控难度大。卫星总装过程数据主要反应产品配套、装星产品状态、各层级各要素产品实施操作记录、检测数据、状态确认表格、现场问题处理及拍照摄像、数据判读、数据包管理、流程管理等。总装过程数据组成及应用逻辑如图2所示。

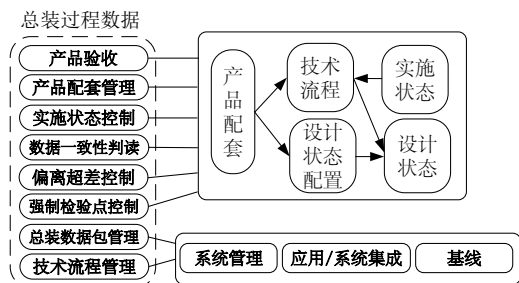


图2 卫星总装过程数据组成

设计制造一体化数据融合闭环可以描述为卫星总装设计结果数据向总装等下游制造单位定向发布以及总装制造单位将生产过程及检验收据反向推送给卫星总体, 实现卫星设计数据及制造实施数据的双向流动, 继而实现设计制造数据闭环融合。卫星总装过程数据闭环如图3所示。

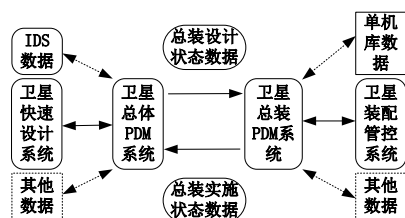


图3 卫星总装过程数据闭环示意图

3 基于数字化研制模式的卫星总装技术状态管控实践

3.1 数字化协同设计

3.1.1 设计输入源管理

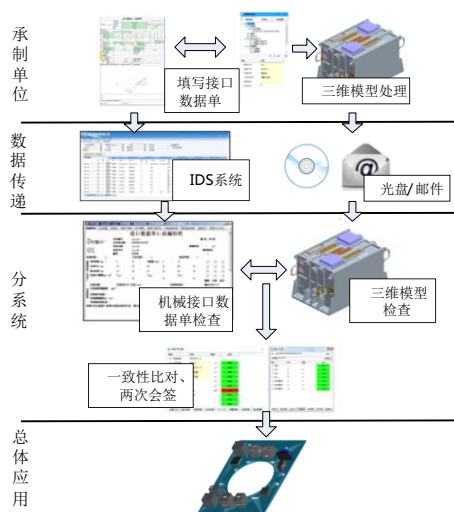


图4 现行设计输入源管理流程

现行研制模式下, 以单机三维模型接口数据作为卫星结构制造的依据, 而同时以 IDS 接口数据单作为

单机机械接口验收的依据。单机 IDS 通过卫星 IDS 系统审签, 单机三维模型通过卫星快速设计系统设置, 统一通过 AVIDM4.0 管控。一般通过人工交叉比对数据, 确保三维模型与 IDS 机械接口数据的一致性, 基本流程如图 4 所示。

3.1.2 协同设计过程管控

总体完成整星主控骨架设计, 并检入 AVIDM4.0 受控。总体布局、结构、热控、推进、总体电路等分系统直接在内网线上利用 AVIDM4.0 受控的卫星主控骨架模型, 通过协同设计工具完成各分系统卫星骨架派生, 初步及详细设计各分系统。卫星数字化协同设计主体流程如图 5 所示。

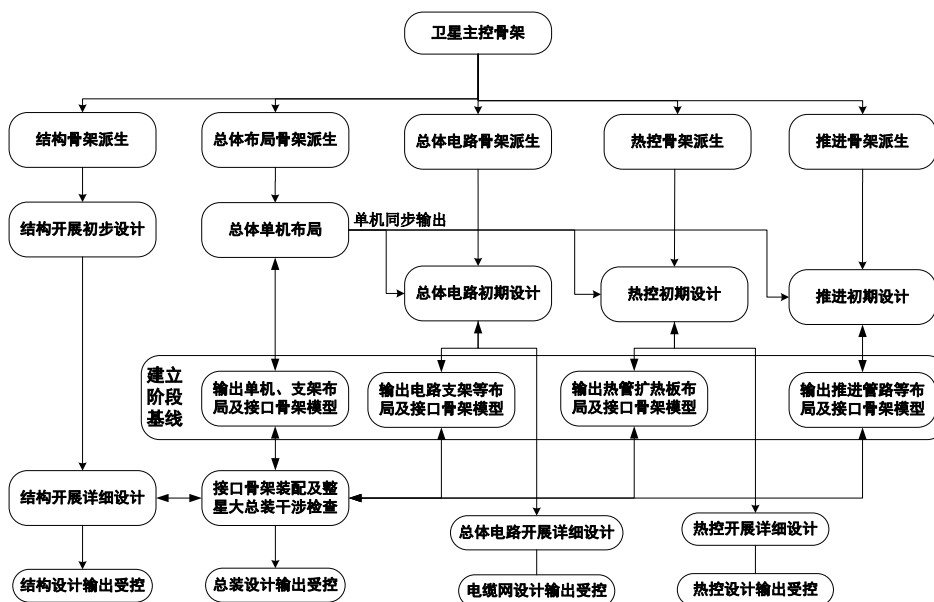


图5 卫星数字化协同设计主体流程

3.1.3 数据受控与标准化管理

表1 三维数字化研制模式下典型受控模型

序号	模型	所属专业	分工
1	主控骨架	布局	总体
2	布局总装	布局	总体
3	结构	结构	结构分系统
4	电缆网	总体电路	总体电路分系统
5	热控	热控	热控分系统
6	推进	推进	推进分系统
7	其他单机	其他分系统	各分系统及承制单位

所有协同设计涉及的数据均利用 AVIDM4.0 管理受控。作为设计数据源的数字化 IDS 在卫星 IDS 系统中完成会签, 与之对应轻量化模型在完成与 IDS 一致性对比确认后通过 AVIDM4.0 受控。直接在 AVIDM4.0 平台, 利用已入库的卫星主控骨架模型, 派生出单机布局用卫星骨架模型, 调用已经入库的单机设备模型, 完成单机及高频电缆布局设计, 完成整星单机布局模型及单机接口骨架模型并审批受控。三维数字化研制模式下的典型受控管理模型及专业分工如表 1 所示。

通过制定相关标准, 规范卫星数字化设计流程和技术状态管控。

3.2 总装制造过程管控与设计制造一体化闭环

目前已经实现卫星总体设计模型（主要指结构设计模型和总装设计模型）的三维下厂, 部分实现了基于总体三维设计模型的蜂窝板结构及总装工艺设计, 局部实现了蜂窝板的数字化测量检验, 为基于模型的数字化卫星结构产品管控奠定了一定基础。

卫星总装过程管控主要依靠制造过程管控系统完成, 其以非结构化的文档以及图片或影像实现, 没有与整星数字化模型或数据关联, 且以制造单位内部管控为主, 由于网络及数据接口等原因尚未发布传递至卫星总体, 卫星总体也不能在线查询相关数据, 卫星总装过程管理数据无法实现与总体设计数据闭环融合。

4 思考与探索

相对成熟的卫星数字化协同设计, 主要是进一步

优化设计平台功能和各类使用流程,由能用向好用发展;对于卫星总装制造过程管控与设计制造一体化闭环融合,关键在于状态要素梳理、流程接口规范、使用构架搭建等,实现局部重点突破,为后续卫星全周期技术状态管控及大数据利用打好基础。

4.1 推广三维 IDS 应用,统一原始设计输入

分系统单位提交接口数据单和三维模型作为总体设计单位的设计输入,模型与表单验收时,需要反复校对两套数据源的数据是否一致,且时常发现模型与接口数据单交叉重叠部分信息存在不一致、模型轻量化建模不规范等问题。多次迭代造成了不必要的质量风险,同时两次接口定义、两次审批流程,降低了设计效率,增大了技术状态管控难度。正在研制试用的三维 IDS 可以很好解决以上问题,其相关应用流程如图 6 所示。

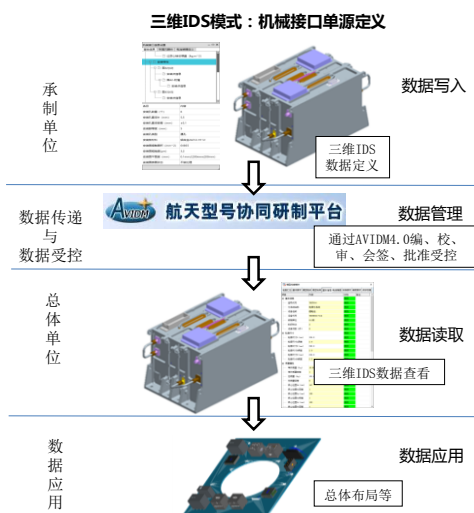


图6 三维IDS应用流程

4.2 系统化设计工具,形成 MBD 集成设计平台

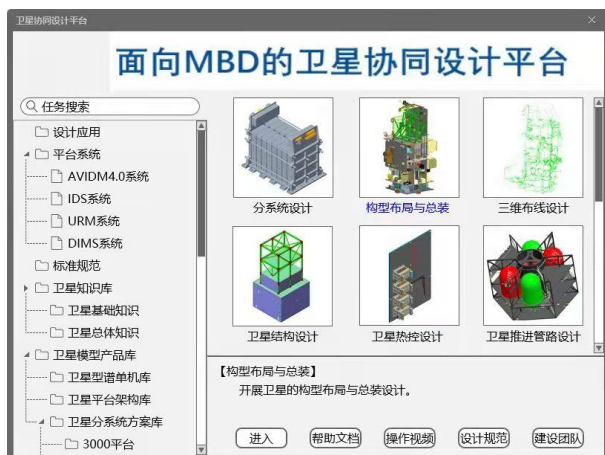


图7 MBD集成设计平台示意

目前IDS表单会签系统、三维IDS建模系统、三维快速设计系统、PDM数据管理系统及标准规范或经验数据库分布零散,应用较为繁琐,三维IDS建模系统、三维快速设计系统等自研工具功能模块有待补充和完善,需加强操作友好性,考虑相关设计模块升级和工具的聚集,形成可满足全方位(上下游研制单位)、全要素(完整机械数字样机)和全流程(从设计到检验)应用需求的卫星MBD协同设计平台。卫星MBD数字化协同设计平台试用版如图7所示。

4.3 实现设计制造数据流通闭环

构造一套以BOM为主线的设计制造一体化数据格式规范,总体基于MBD模型输出EBOM,通过三维BOM重构技术,总装工艺以EBOM为基础开展工艺设计,生成PBOM, PBOM再转化为MBOM,最终形成树状装配工艺结构树,指导装配生产。EBOM、PBOM及MBOM的唯一依据是MBD装配模型^[9]。基于MBD模型的三维BOM重构技术体系如图8示意。

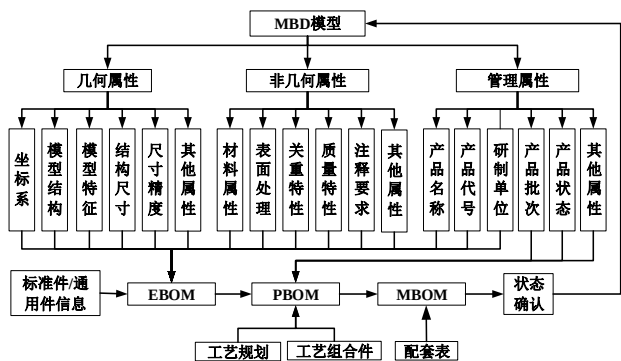


图8 基于MBD模型的三维BOM重构技术体系示意图

4.4 实现卫星实物状态实时监控

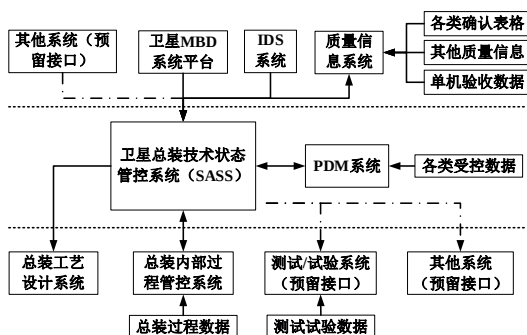


图9 卫星总装技术状态管控示意图

构建一套以BOM为主线、以流程驱动的卫星总装技术状态管控系统,总装配套文件的结构化设计与治理,自动输出各配套文件;总装过程记录的标准化管

