

基于 TeamCenter 和 NX 的航天产品自顶向下协同设计方法研究

北京航天长征飞行器研究所 王浩 王锦程 赵振杰 王菁华

通过开展基于 TeamCenter 和 NX 的航天产品自顶向下协同设计方法研究,构建协同环境,统一协同设计流程,创建总体控制模型,基于总体控制模型开展详细设计。以典型航天产品为例,验证该方法在产品研发中的应用,规范研发过程,提高协同效率,缩短产品研发周期。

一、引言

航天产品是现代制造业的集大成者,航天产品研发是一项复杂而又繁重的系统工程,涉及多个专业和部门,需要协同研发,满足诸多约束条件。在传统航天产品研发过程中,由于缺乏统一的建模规范和协同环境,设计过程很大程度上取决于设计师的个人设计习惯,设计结果的传承性和通用性较差,设计过程中信息的传递效率较低,部门之间的协同性较差。传统航天产品研发是一个典型的串行设计过程,上一个环节的设计结果是下一个环节的设计依据,一旦发现问题就需要反馈到上级设计以修改设计结果,这样反复地修改导致存在大量的模糊性信息。此外,由于采用自底向上设计模式,缺乏对总体方案和设计过程的有效控制,各零部件之间是相互独立的个体,数据之间不存在关联关系,无法在零部件间建立有效的引用,设计意图无法在项目团队中有效传递。若涉及到复杂产品,部件、零件间的关系错综复杂,模型重建

就会产生问题,总体方案的修改会引起大量沟通和返修工作。

针对以上问题,本文研究航天产品自顶向下协同设计方法,基于西门子 TeamCenter(以下简称 TC)和 NX 构建自顶向下协同设计环境,统一设计规范,构建航天产品总体控制模型,使下层零部件继承上层的设计控制信息,以这些信息为基础设计零部件,使得产品设计拥有主线,方便对设计信息的管理和应用,也方便协调各部门和设计人员,规范设计过程,从源头上减少损失,从而提高设计效率,缩短开发周期,达到降低产品研制成本的目的。

二、协同设计方法

基于 TC 和 NX 的自顶向下协同设计共分两部分:基于 TC 的协同设计和基于 NX 的自顶向下设计。两者相辅相成,通过 TC 把航天产品设计中的研制数据、设计过程、知识以及所有设计者和管理者都集成到一个单一的协同环境中,形成一套标准化、规范化的航天产品设计流程。通过 NX/WAVE 实现自顶向下设计,构建控制模型,实现设计意图从总体向分系统的传递,以及分系统之间的信息共享。不同角色的设计人员完成设计任务后将设计结果检入到 TC 中,从而实现工作组级的协同和知识共享。基于 NX 和 TC 的协同设计流程如图 1 所示。

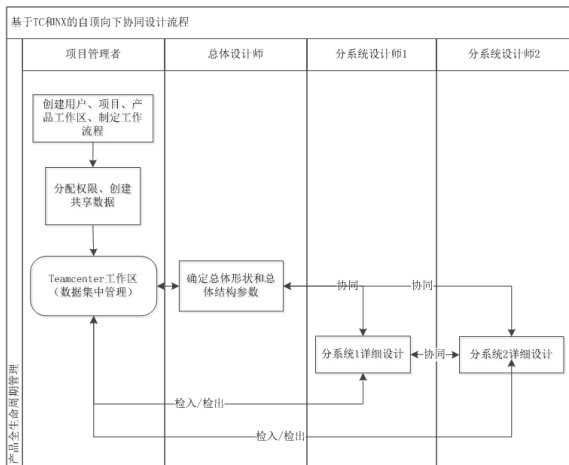


图1 基于 NX 和 TC 的协同设计流程

1. 基于 TC 的协同设计

(1) 创建用户、项目、产品工作区。

通过对项目团队的梳理,项目管理者在 TC 中创建用户、项目以及产品工作区,实现设计数据的动态共享。用户根据不同的专业区分不同的角色,不同角色对产品工作区中的不同区域具有不同的访问权限,即设计师只对本专业的工作区文件夹具有访问和更改权限,对其他专业的设计数据有访问权限。不同专业的设计师可以通过信封、赋权限等方式进行沟通交流。设计师从 TC 系统中获取项目的共享知识,并将完成的设计结果检入至 TC 系统,实现设计过程的集成和动态共享。根据航天产品的特色,可设定总体设计师,分系统设计员,结构设计师和单机设计师等角色。不同角色的划分及任务分工如表 1 所示。

表 1 不同角色划分及任务分工

角色	工作任务分工
总体设计师	确定总体结构关键参数,建立总体控制模型,基于分系统模型进行模型总装。
分系统设计员 A	建立分系统 A 结构子装配,创建分系统 A 控制模型。
分系统设计员 B	建立分系统 B 结构子装配,创建分系统 B 控制模型。
结构设计师 A	接收分系统 A 控制模型,依据控制模型,建立相应产品模型。
结构设计师 B	接收分系统 B 控制模型,依据控制模型,建立相应产品模型。
单机设计师 C	进行单机产品建模并交付相应的分系统设计员。

(2) 统一设计模板。

基于 NX 进行三维设计时,需统一三维设计模板,从而使设计师基于统一模板进行设计,从源头上规范化设计。三维设计模板放置在 TC 设计资源库中,设计师基于 TC 集成环境开启设计工作时,NX 自动从设计资源库中加载统一维

护的三维设计模板。设计模板中定义的内容包括:单位制信息、精度设置信息、基准(基准点、基准轴、基准面)信息、层设置信息、属性信息和视图信息等。

(3) 构建产品结构。

航天产品研发主要围绕产品结构开展工作,不同专业的人员共同来维护唯一的产品结构。在 TC 中需要基于当前项目及产品的实际情况构建产品结构,通过产品结构实现对不同专业的划分,同时实现工作组级的协同。产品结构通过产品结构树的形式来管理,产品结构树由规划部分和实体部分组成。规划部分反映航天产品的研制分工,包括型号层、系统层、产品分类层和产品层。实体部分在产品层之下,由各专业生成产品三维模型时在系统中自动创建,反映产品的装配关系,实体部分大部分工作需要由 NX 中完成,通过 NX 与 TC 的集成自动创建实体部分产品结构。基于产品结构各专业人员即可开展自顶向下设计。

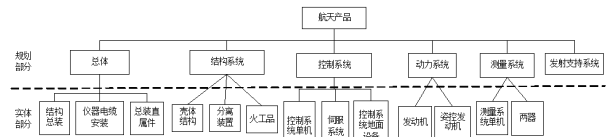


图2 航天产品结构示意图

2. 基于 WAVE 的自顶向下设计

根据系统工程的思想,航天产品通常划分为“总体—舱段—部件”三个层次。针对这种层次式结构系统,基于 NX/WAVE 自顶向下设计模式,运用控制模型和几何特征参照,可以实现结构快速设计和自适应迭代。产品设计之初,通过对技术指标及需求进行分析,明确影响驱动变化的总体变量,产品的设计与这些变量相关。基于 NX/WAVE 进行总体控制模型设计,定义总体级别的功能要求、性能目标及边界等设计参数,预先规划产品组成并考虑总体与舱段、舱段与部件、部件与零件之间的约束和定位关系,完成方案设计后再进行零部件模型的详细设计。自顶向下设计模式如图 3 所示。

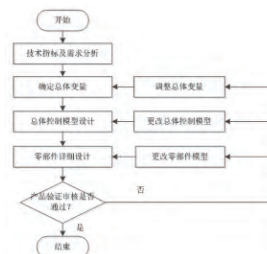


图3 自顶向下设计流程

总体变量既可以是数值变量，也可以是一条样条曲线或空间曲面等广义几何变量，无论数值变化还是形状变化都将自动根据 WAVE 的控制传递到相关的子部件和零件设计中去，并贯穿于总体设计到详细设计的每个阶段。

(1) 总体控制模型设计。

根据航天产品的划分，可以明确航天产品的总体结构组成，确定各组成舱段及部件的参数和基准。总体控制模型为产品设计的三维空间规划，是一个描述产品布局和各组件设计准则的全局文件，用来描述产品的空间需求、安装位置或运动，同时也为后续舱段、部件设计活动发布约束，在模块间共享设计信息。在总体控制模型内建立产品的控制结构，其主要元素为基准点、基准轴、基准面、空间点、空间线、空间面或者产品的点、轮廓线及轮廓面等，也可利用 NX 中的 PMI 功能对总体控制模型进行必要的尺寸标注。然后下一级舱段利用 NX/WAVE 技术将控制结构的设计元素从总体控制模型中复制过来。在每一个舱段内具体的部件再次利用 NX/WAVE 技术将舱段内的设计元素复制过来，从而在此基础上进行具体部件的建模。当总体控制模型不能满足舱段、部件的建模需求时，下层控制模型可在总体控制模型的基础上增加设计元素。在建立总体控制模型时不必考虑零部件设计时的具体尺寸和细节特征，只需要从最初的产品定义和总体布局中捕获和抽取零部件之间的相互关联性和依赖性。总体控制结构示意图如图 4 所示。

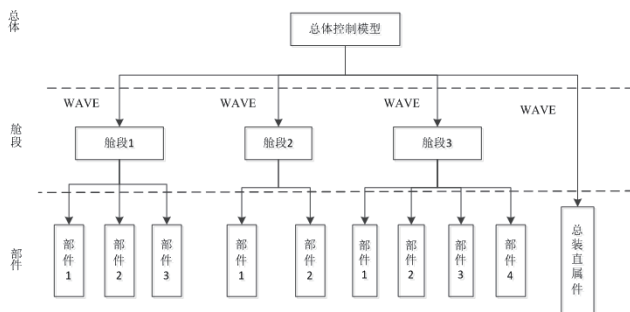


图 4 总体控制结构图

(2) 传递约束信息。

NX/WAVE 几何链接器可以将控制模型中的点、线、面、特征及标注等的几何信息提取出来并复制，作为其他设计模型的定位基准或控制结构。总体设计信息通过关键尺寸参数、几何信息进行定义并向下级舱段或部件进行传递。设计信息传递意味着产品不同设计人员可以在各自子装配中独立开展

设计工作，同时参考相应的设计信息。当顶层设计信息发生更改时，会同时影响到所有相关的子装配，并把更改后的结果传递到子装配的模型结构，进而再传递到各个零部件，实现设计工作的协同进行。

(3) 零部件详细设计。

明确了设计意图并定义包括控制模型在内的产品基本框架之后，围绕设计意图和基本框架开展零部件详细设计。设计师可以从控制模型中获取设计边界，同时项目组成员可以基于 TC 协同环境开展工作组级的协同。具体零件建模完成后进行装配。在装配时，部件级装配一般由单个设计师独立完成，一般采用传统自底向上方式进行装配，使用约束完成装配；舱段及总体装配一般涉及到数名设计师共同完成，由于各舱段设计师共同基于总体控制模型开展设计，此时理论上可以使用绝对原点装配，设计师可依据需要添加必要的约束。

三、工程应用

航天某产品包括控制舱、伺服舱、动力系统和稳定装置等部分。借助基于 TC 和 NX 的自顶向下协同设计方法开展该产品的协同研制，建立总体控制模型，通过 WAVE 实现自顶向下及关联设计，实现各个部件的详细结构设计。

1. 创建项目团队

依据项目的实际情况，在 TC 中构建整个项目团队，不同的专业对应不同的角色，每个角色映射到相应的用户。通过 TC 项目管理，一方面，构建协同环境，另一方面，通过项目角色实现对权限的控制。项目团队示例如图 5 所示。

名称
▶ IPT.产品管理员
▶ IPT.总体设计师
▶ IPT.控制系统设计师
▶ IPT.结构系统-伺服舱组合设计师
▶ IPT.结构系统-控制舱设计师
▶ test.项目管理员

图 5 项目团队

2. 创建产品工作区

项目团队基于产品工作区文件夹开展工作，不同角色设计师从 TC 服务器上获取项目的共享知识，并将完成的设计结果检入至 TC 系统，实现设计过程的集成和动态共享，TC 中产品工作区如图 6 所示。设计师严格按照工作流程完成自

