

基于自顶向下模式的液体火箭 发动机骨架模型设计

秦红强, 张相盟, 张晓光, 王 猛
(西安航天动力研究所, 陕西 西安 710100)

摘 要: 基于自顶向下设计模式, 在 Pro/E 和 Intralink 平台上实现了液体火箭发动机骨架模型设计。采用多层骨架设计方案, 简化了发动机骨架模型, 实现了组合件发布骨架模型并行设计, 提高了工作效率。通过将组合件空间位置、轮廓尺寸、接口方位和接口结构要求包含在骨架模型中, 用骨架模型替代了传统设计模式中的二维结构设计要求, 实现了无纸化接口协调, 提高了接口协调的准确性和实时性。研究表明, 基于自顶向下模式的骨架模型设计可显著提高发动机研制效率, 降低研制成本。

关键词: 自顶向下模式; 液体火箭发动机; 并行设计; 骨架模型; 接口协调

中图分类号: V434-34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9374 (2016) 04-0058-04

Design of liquid rocket engine skeleton model based on top-down mode

QIN Hongqiang, ZHANG Xiangmeng, ZHANG Xiaoguang, WANG Meng
(Xi'an Aerospace Propulsion Institute, Xi'an 710100, China)

Abstract: Based on the top-down mode, the design of liquid rocket engine skeleton model was finished on the platform of Pro/E and Intralink. With the application of multi-layer skeleton design scheme, the engine skeleton model was simplified, the concurrent design of the assembly issuing skeleton model was realized and the work efficiency was greatly improved. The paperless interface coordination was achieved by replacing the 2D structure design requirement in traditional design mode with the skeleton model, in which the space position, overall dimension, interface orientation and interface structure requirement of the assembly were included. Meanwhile, the veracity and real-time performance of the interface coordination were improved. The research results indicate that the skeleton model design based on the top-down mode can remarkably increase the development efficiency and decrease the development cost of the engine.

Keywords: top-down mode; liquid rocket engine; concurrent design; skeleton model; interface coordination

收稿日期: 2015-07-20; 修回日期: 2015-10-13

基金项目: 国家 863 项目(2013AA7023021)

作者简介: 秦红强 (1983—), 男, 硕士, 研究领域为液体火箭发动机总体设计

0 引言

随着数字化设计制造技术、并行设计工程理念的发展, 三维数字化协同设计与制造正在从根本上动摇着传统液体火箭发动机研制模式^[1-2]。

在目前的液体火箭发动机研制中, 发动机总体通过二维结构设计要求明确各组合件的轮廓尺寸、接口方位和接口形式等要求, 在得到组合件三维模型后才能开展发动机详细布局方案设计。该设计模式虽然可以实现发动机总体与组合件的接口协调, 但信息传递和交换比较麻烦且实时性差, 很容易出现组合件设计方案和发动机总体要求不一致的现象, 研制周期较长。

本文结合某液体火箭发动机三维数字化协同研制现状, 论述了基于自顶向下模式的液体火箭发动机骨架模型设计方案、流程和无纸化接口协调成果等, 促进了新型液体火箭发动机研制模式的推广。

1 自顶向下设计

目前大多数机械产品的三维设计仍沿用传统的自底向上设计 (Bottom-Up) 方法。在整个产品设计过程中, 没有发挥产品总体的统筹和协调作用, 一些重要的设计信息、装配关系没有得到建立和控制, 很容易造成产品结构方案反复, 研制效率较低。

自顶向下设计 (Top-Down) 是一种高效的、与设计流程高度契合的产品设计方法。该方法能有效把握设计意图, 使产品结构清晰, 便于在产品总体与各组合件之间迅速可靠地传递设计信息^[3-8]。它与传统的自底向上设计 (Bottom-Up) 相比更适合复杂产品设计思路。

2 发动机骨架模型设计

2.1 骨架模型

骨架模型是一种特殊的 Pro/E 文件, 一般仅包含参考平面、轴线、点、坐标系和曲面等。它勾画了产品的空间位置、轮廓尺寸和接口形式等, 是组件设计和发动机装配的重要参考^[7]。

骨架模型具有模块化设计, 表达运动关系, 实现复杂产品的协同设计等特点, 是实现自顶向下设计的强有力工具^[2]。

2.2 平台选择及工作流程

为了开展骨架模型设计和便于与火箭总体进行结构协调, 某液体火箭发动机研制中选择了 PTC 公司的 Pro/E 4.0 作为 CAD 设计软件, 并采用 Intralink 作为数据管理和协同共享平台。

产品设计人员首先利用 Pro/E 软件在工作区内完成模型设计, 然后通过检入操作将数据上传至 Intralink 服务器实现数据载入和共享。模型发生修改时, 首先将其检出到工作区, 完成修改后再执行检入操作实现数据更新, 具体工作流程见图 1。

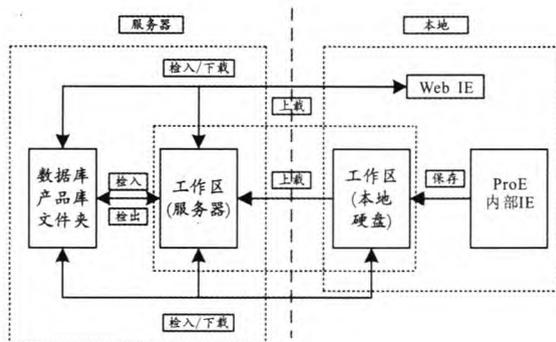


图 1 工作流程

Fig. 1 Working process

2.3 发动机骨架模型方案选择

对于结构简单产品的设计, 产品总体骨架模型一般为一个模型文件, 它里面包含了对所有零部件的结构设计要求。由于液体火箭发动机结构复杂, 组件数量多, 若将所有结构设计要求集中在一个模型中, 既不便于发动机骨架模型设计、完善、更改和管理, 也无法开展各组合件骨架模型的并行设计, 设计效率严重降低。

为了简化发动机骨架模型, 同时便于并行开展各组合件骨架模型设计, 某液体火箭发动机采用了多层骨架模型设计方案, 对发动机骨架模型进行了细化分解。如图 2 所示, 发动机骨架模型为一个组件模型文件, 它下面包含了发动机位置骨架模型和所有组合件发布骨架模

型。采用该方案后，发动机骨架模型的结构变得更加清楚。各组合件发布骨架模型也可单独、并行设计，同时也方便了组合件设计人员接收总体要求。单独的组合件发布骨架模型还可以直接用于衍生型号发动机骨架模型设计中，提高研制效率^[8]。

	ptc_common_name
0-0_SKEL.ASM	发动机骨架
0-0_LOC_SKEL.PRT	发动机位置骨架
X01-0_PUB_SKEL.PRT	机架发布骨架
X02-0_PUB_SKEL.PRT	燃气摇摆装置发布骨架
X03-0_PUB_SKEL.PRT	煤油摇摆装置发布骨架
X04-0_PUB_SKEL.PRT	推力室发布骨架
X05-0_PUB_SKEL.PRT	燃料预压涡轮泵发布骨架
X06-0_PUB_SKEL.PRT	氧化剂预压涡轮泵发布骨架
X07-0_PUB_SKEL.PRT	主涡轮泵发布骨架
X08-0_PUB_SKEL.PRT	燃气发生器发布骨架
X09-0_PUB_SKEL.PRT	液氧主阀发布骨架
X11-0_PUB_SKEL.PRT	燃料主阀发布骨架
X12-0_PUB_SKEL.PRT	发生器燃料阀发布骨架
X13-0_PUB_SKEL.PRT	节流阀发布骨架
X14-0_PUB_SKEL.PRT	流量调节器发布骨架
X15-0_PUB_SKEL.PRT	冷却带阀发布骨架
X16-0_PUB_SKEL.PRT	电液阀发布骨架
X17-0_PUB_SKEL.PRT	双单向阀发布骨架
X18-0_PUB_SKEL.PRT	点火剂清除阀发布骨架
X19-0_PUB_SKEL.PRT	推力室单向阀发布骨架
X03_PUB_SKEL.PRT	燃料管路发布骨架
X04_PUB_SKEL.PRT	氧化剂管路发布骨架
X05_PUB_SKEL.PRT	燃气管路发布骨架

图2 发动机骨架模型结构

Fig. 2 Structure of engine skeleton model

2.4 发动机位置骨架设计

位置骨架是发动机骨架模型的核心，更是发动机三维模型装配的基础和关键。位置骨架是根据发动机总体结构布局方案设计的，主要用于明确各组合件的空间安装位置和定位要求。位置骨架主要包含发动机与火箭总体的对接安装坐标系、发动机设计零点坐标系和各组合件安装及定位坐标系等。

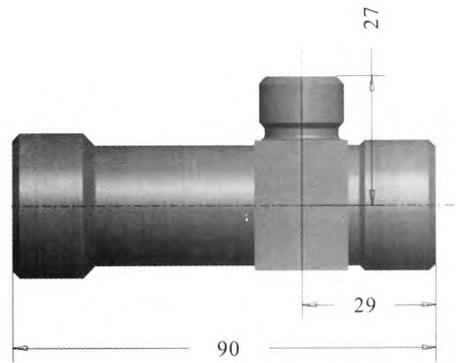
在发动机位置骨架中，发动机设计零点坐标系最为重要，它是整个位置骨架的设计基准，并决定了组合件安装坐标系的定义方式。一般应结合发动机总体结构布局方案和装配方案选择发动机设计零点坐标系的位置及方向定义，其余组合件安装坐标系均直接或间接参考发动机设计零点坐标系进行设计。发动机位置骨架与发动机总体布局方案紧密相关，一般由负责发动机总体结构布局方案论证的设计人员进行设计和完善。

2.5 组合件发布骨架模型设计

组合件发布骨架模型用于明确发动机总体对各组合件的轮廓尺寸、接口方位和接口结构尺寸等设计要求，也是发动机骨架模型设计的主要内容。组合件发布骨架模型不是一次就完成设计，需要发动机总体与组合件之间进行多轮次的设计协调。通过建立组合件发布骨架模型，实现了用骨架模型传递组合件结构设计要求，完成了发动机总体与组合件之间的无纸化接口协调，提高了接口协调的准确性和实时性。

- XXX-0_PUB_SKEL.PRT
- RIGHT
- TOP
- FRONT
- CO
- CS_阀门入口坐标系
- CS_阀门出口坐标系
- CS_阀门控制口坐标系
- 组辅助平面
- 组辅助草绘
- 组阀门壳体
- 组阀门接口
- 组辅助标注
- PUB_XXX-0

(a) 结构树



(b) 结构要求

图3 阀门发布骨架模型

Fig. 3 Valve issuing skeleton model

组合件发布骨架模型的主要设计内容一般包括：

- 1) 定义组合件安装坐标系；

- 2) 组合件轮廓尺寸要求;
- 3) 对外接口坐标系定义;
- 4) 对外接口具体连接形式设计;
- 5) 定义发布几何;
- 6) 三维标注;
- 7) 其它设计要求。

组合件发布骨架模型设计中应注意以下几点:

- 1) 组合件安装坐标系应与发动机位置骨架中的安装坐标系保持一致;
- 2) 所有对外接口应设置独立的定位坐标系, 便于后续模型装配和总装管路设计;
- 3) 定义发布几何时只选择明确发动机总体对组合件具体结构设计要求的特征元素, 不包含建模过程中的辅助定义特征;
- 4) 三维标注仅针对组合件轮廓尺寸、接口方位、接口尺寸和其余结构要求。

图 3 为按照上述要求完成的某阀门发布骨架模型。

基于自顶向下设计模式, 最终完成的某液体火箭发动机骨架模型见图 4。实践表明该研制模式可以大幅提高研制效率, 降低研制成本。

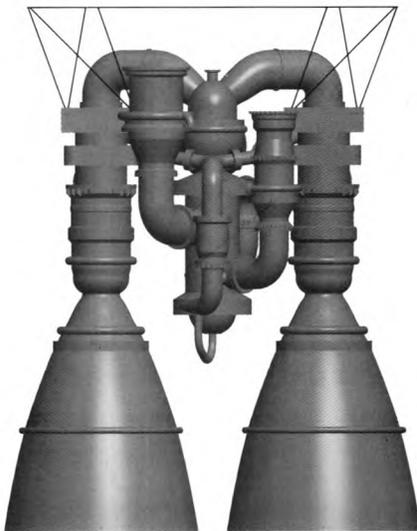


图 4 发动机骨架模型

Fig. 4 Engine skeleton model

3 组合件骨架模型设计

组合件在得到发动机系统设计要求和组合件

发布骨架模型后, 便可开展详细方案设计。在组合件进行结构方案详细设计时, 首先应结合组合件发布骨架模型和组合件结构方案建立组合件骨架模型, 具体流程如下:

- 1) 建立空的组合件骨架模型;
- 2) 从组合件发布骨架模型中复制发布几何;
- 3) 细化和完善组合件骨架模型;
- 4) 定义下级零部件发布几何。

组合件骨架模型设计中应注意以下几点:

- 1) 复制几何时一般应只复制发布几何, 不再复制其余特征元素;
- 2) 当组合件发布骨架模型出现更改时, 组合件骨架模型应及时更新以得到最新结构设计要求, 并对组合件骨架模型进行完善和更改;
- 3) 若组合件结构也很复杂, 参照发动机骨架模型设计方案将组合件骨架模型设计成多层骨架。

4 结论

在 Pro/E 和 Intralink 设计平台上, 基于自顶向下设计模式, 采用多层骨架设计方案, 完成了某液体火箭发动机的骨架模型设计, 结果表明:

- 1) 自顶向下设计模式符合复杂产品设计思路, 可有效发挥产品总体的统筹与协调作用, 提高产品研制效率;
- 2) 多层骨架设计方案可以简化发动机骨架模型, 并便于实现组合件骨架并行设计;
- 3) 骨架模型可以完全替代传统研制模式中的二维发动机结构设计要求, 快速、准确实现发动机总体与组合件之间的无纸化接口协调, 降低研制成本;
- 4) 基于自顶向下的骨架模型设计可推广应用於其它型号液体火箭发动机设计。

参考文献:

- [1] 陈月根. 航天器数字化设计技术的新趋势分析[J]. 航天器工程, 2007, 16(4): 64-69.
- [2] 李飞, 章乐平, 王志勇, 等. 航天器数字化协同设计技术研究[J]. 导弹与航天运载技术, 2013, 324(1): 71-74.

(下转第 89 页)

3 结论

1) 橡胶材料中丙烯腈的含量越低, 复合材料的耐低温性越好。

2) 采用 DOS 制备得到的复合材料的耐低温性要优于填充 DOP 以及 TP-90B 复合材料。

3) 复合硫化体系制备得到的复合材料的耐低温性要优于采用硫磺硫化制备得到的复合材料。

4) 随着增塑剂用量的增加, 复合材料的耐低温性变得越来越好, 但拉伸强度以及压缩永久变形变得越来越差。

参考文献:

[1] 刘莉, 李荣勋等. 低温耐油橡胶的研究进展 [J]. 弹性体,

2008, 18 (2): 69-74.

[2] 陈翔, 肖凤亮, 杨晨. 反式聚辛烯橡胶/丁腈橡胶并用胶的性能研究[J]. 橡胶工业, 2015, 62 (3): 330-334.

[3] 董添, 冷传东, 李桂娟, 等. 丁腈橡胶 / 顺丁橡胶 - 接枝马来酸酐共混物的制备与性能 [J]. 高分子材料科学与工程, 2014, 30(12): 165-170.

[4] 张传贤. 合成橡胶技术丛书[M]. 北京: 中国石化出版社, 2010.

[5] 梁星宇, 周木英. 橡胶工业手册(第三分册)[M]. 北京: 化学工业出版社, 1992.

[6] 朱敏庄. 橡胶工艺学[M]. 广州: 华南工学院出版, 1982.

[7] 陈立军, 陈丽琼, 张欣宇, 等. 耐寒增塑剂的应用和发展 [J]. 塑料科技, 2007, 4(35): 76-79.

[8] 吕世光. 塑料橡胶助剂手册 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1995.

(编辑: 马 杰)

(上接第 61 页)

[3] 李健. 产品设计的 BOTTOM-UP 和 TOP-DOWN 设计方法研究[J]. 机械工程师, 2013(12):47-48.

[4] 崔琼瑶, 齐从谦. 基于参数化技术的自顶向下设计及其应用[J]. 同济大学学报, 2002, 30(9):1087-1090.

[5] 张书亭. 自顶向下协同产品设计框架和方法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2009.

[6] 柯常忠, 谢少波. 基于参数化技术的自顶向下设计[J]. 中国制造业信息化, 2007, 36(3): 50-53.

[7] 毛君, 陈洪月, 谢苗. 基于 Pro/E 的自顶向下的产品参数化设计[J]. 机械研究与应用, 2007, 20(4):102-103.

[8] 甘屹, 齐从谦. 基于顶层基本骨架装配模型的产品并行设计[J]. 机械设计, 2006, 23(5): 5-7.

[9] 程奇峰, 马胜利, 向路, 等. 液体火箭发动机协同设计开发环境研究[J]. 火箭推进, 2003, 29(2): 17-23.

CHENG Qifeng, MA Shengli, XIANG Lu, et al. Study on the development environment for collaborative design of liquid rocket engine[J]. Journal of rocket propulsion, 2003, 29(2): 17-23.

[10] 李亚杰, 何阳. 三维工艺与 MES 在航天发动机数字化制造中的应用研究[J]. 火箭推进, 2015, 41(2): 90-97.

LI Yajie, HE Yang. Application of 3D process and MES in digitalization manufacture of space engine [J]. Journal of rocket propulsion, 2015, 41(2): 90-97.

(编辑: 王建喜)