

doi: 10.7690/bgzdh.2020.10.013

## 同步阀数字化设计技术

张晓东, 杨建民, 丁宏民, 刘敏, 郭俊行, 王钊

(西北机电工程研究所压制武器总体部, 陕西 咸阳 712099)

**摘要:** 为解决同步阀传统设计过程中研发周期长、设计效率低、投入成本高、精度低等难题, 设计同步阀数字化设计系统。该系统集成了多种 CAD/CAE/CFD 软件, 通过应用同步阀参数化设计流程、3 维参数化自动建模、3 维模型自动装配等关键技术, 以及对同步阀整体结构参数进行优化设计实现了同步阀的设计、优化、仿真等数字化流程, 并通过关键技术设计验证了系统在不同类型同步阀设计方面的可行性。验证结果表明: 该系统不但大幅度提升了同步阀设计效率, 而且也为其他产品数字化设计提供了理论经验。

**关键词:** 同步阀; 数字化设计; 自动建模; 可行性

**中图分类号:** TP302 **文献标志码:** A

## Digital Design of Technology Synchronous Valve

Zhang Xiaodong, Yang Jianmin, Ding Hongmin, Liu Min, Guo Junhang, Wang Zhao

(General Department of Suppression Weapons, Northwest Institute of Mechatronic Engineering, Xi'an 712099, China)

**Abstract:** In order to solve the problems of the traditional design process of synchronous valves, such as the long development cycle, the low design efficiency, the high input cost, and the low precision, the synchronous valve digital design system is designed. The system integrates a variety of CAD/CAE/CFD software. Through the application of key technologies such as synchronous valve parametric design process, three-dimensional parametric automatic modeling, three-dimensional model automatic assembly, as well as the optimization design of the overall structural parameters of the synchronous valve, the digital processes such as design, optimization and simulation of the synchronous valve are realized. Through the key technology design, the system is verified in different types of synchronous valves design feasibility. The verification results show that the system not only greatly improves the efficiency of synchronous valve design, but also provides theoretical experience for digital design of other products.

**Keywords:** synchronous valves; digital design; auto-modeling; feasibility

### 0 引言

随着计算机技术的广泛应用, 受人工智能化设计技术、国内制造业 2025 大背景的影响, 基于智能化设计的数字化设计技术成为一种主流趋势并广泛应用于汽车、船舶、兵器、航天等工业研发与制造领域<sup>[1]</sup>。

为了解决同步阀传统设计过程中, 纯人工设计造成的研发周期长、设计效率低、投入成本高、精度低等难题, 国外 LMS 公司在复杂系统建模与仿真方面开发了集液压元件设计、动元件设计、液压系统仿真实验模拟为一体的 AMESim 软件。AMESim 软件的主要优点是同步阀研发设计过程中可能产生的问题能在制造产品样机前被发现, 从而节省了时间和研发成本, 缺点是仍停留在基础的动静性能仿真实验分析阶段。目前, 国内相关高校主要是对同步阀数字化设计做了一些前期的探索, 还没有开发出一整套完整的同步阀数字化设计系

统。在弄清楚各项主要关键技术的基础上, 通过开发同步阀数字化设计系统, 不但可以有效解决同步阀在传统设计过程中遇到的难题, 而且还能为其他产品数字化设计提供理论借鉴<sup>[1]</sup>。基于此, 笔者开展同步阀数字化设计技术研究。

### 1 总体方案设计

#### 1.1 传统流程

企业中机械产品的传统设计制造和数字化设计制造流程一般如图 1 所示。

#### 1.2 系统需求分析

该系统在开发过程中集成了 UG、Adams、Fluent、ANSYS、AMESim 等软件, 在将工程设计分析计算与专业软件建模仿真分析计算相结合后, 为用户提供同步阀结构参数化设计、运动干涉、内部流场数值模拟、结构强度、动静性能分析计算等传统设计过程必须的功能。同时, 系统通过构建

收稿日期: 2020-05-22; 修回日期: 2020-06-12

作者简介: 张晓东(1991—), 男, 陕西人, 硕士, 从事机动武器总体设计技术、兵器智能化设计技术、武器数字化开发技术研究。

E-mail: zxd191511@163.com。

不同类型的同步阀结构设计参数、模型参数、仿真分析参数数据库，实现了各类数据的分类管理。系

统还为用户提供了使用帮助，方便用户在设计过程中熟练操作<sup>[1]</sup>。

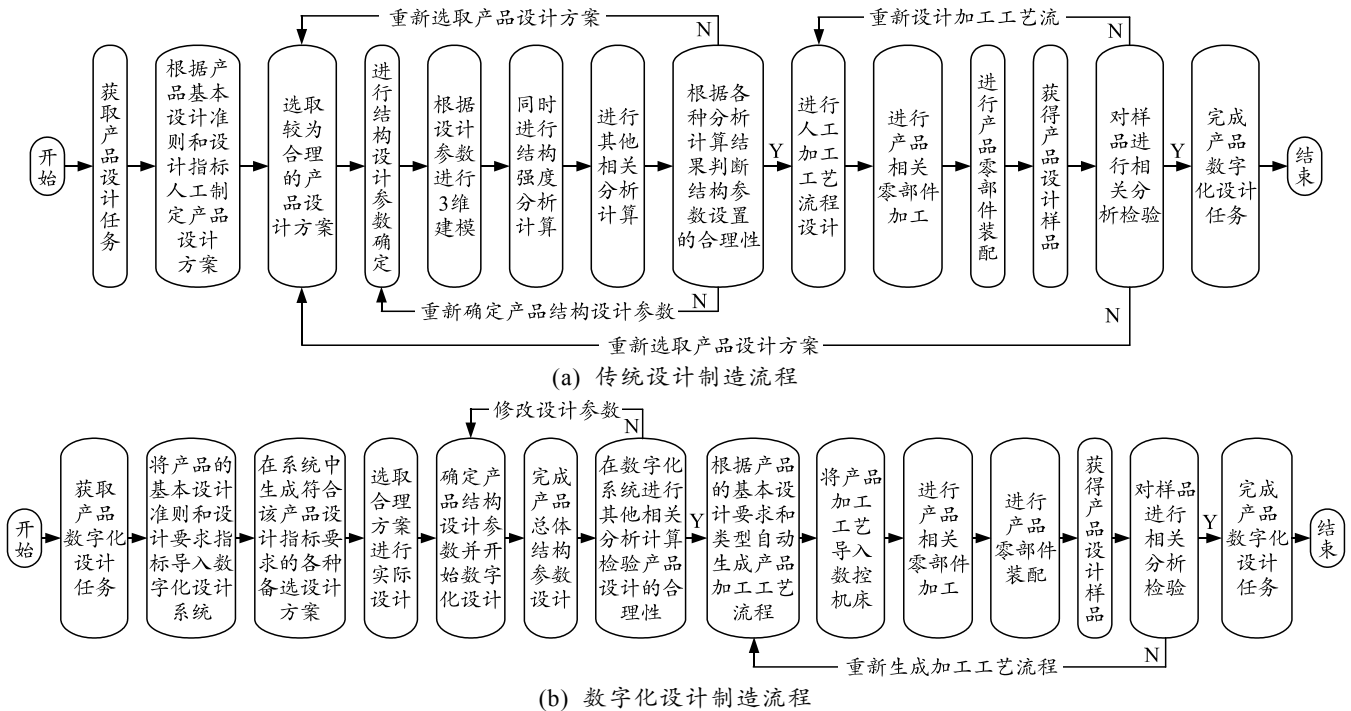


图 1 机械产品的传统设计制造和数字化设计制造流程

### 1.3 系统体系结构

该系统在设计开发过程中采用管理层、交互层、接口层和驱动层等 4 层体系结构。使其在层次结构设计上构思合理，思路清晰，从而为用户构建了较为直观、人性化的同步阀数字化设计系统，具体系统体系结构如图 2。

1) 管理层主要是对交互层的各功能模块进行开发和集成，以实现系统的集成化和开放性管理，并有利于后联合仿真等功能模块的开发和集成。

2) 交互层主要是通过各专业软件的二次开发，为用户提供操作便捷、管理舒适的人机交互环境。

3) 接口层主要是为了方便平台底层各种数据接口通过利用 FTP 文件传输协议来交换和传输相关数据文件和同步阀 3 维模型。

4) 驱动层主要是构建和支撑整个平台各功能模块开发的软硬件条件。在该层 UG 软件主要用来进行同步阀整体及其各主要组成部分 3 维建模，Adams 软件主要用来进行同步阀装配后的运动干涉性检查，Fluent 软件主要用来进行建模和油液在阀体内的流场数值仿真模拟，ANSYS 软件主要被用来进行同步阀结构强度校核分析计算，AMESim 主要用来进行同步阀动静性能分析计算，Microsoft Access 数据库作为系统底层数据库，用以实现不同种类的同步阀 3 维模型、结构设计参数、仿真分析计算结果的存储，FTP 文件传输协议主要用来实现底层 3 维模型和数据文件的双向传输，Microsoft Visual Studio 2012 开发平台和 Visual C++ 应用开发环境主要用来完成整个系统各功能模块的开发<sup>[2]</sup>。

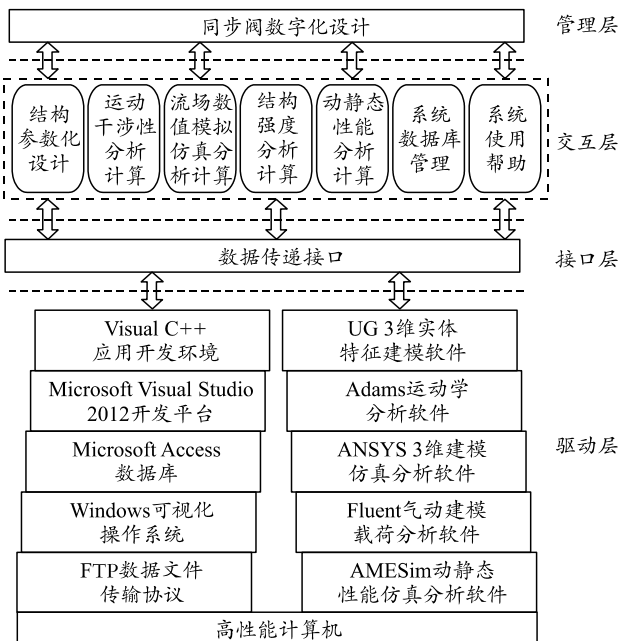


图 2 同步阀数字化设计系统体系结构

### 1.4 系统功能架构

通过分析系统体系结构分析可知，同步阀结构参数化设计、运动干涉性分析计算、流场模拟仿真

分析计算、结构强度分析计算、动静态性能分析计算、数据库管理、系统使用帮助等功能模块共同构成图 3 所示的同步阀数字化设计系统功能架构。

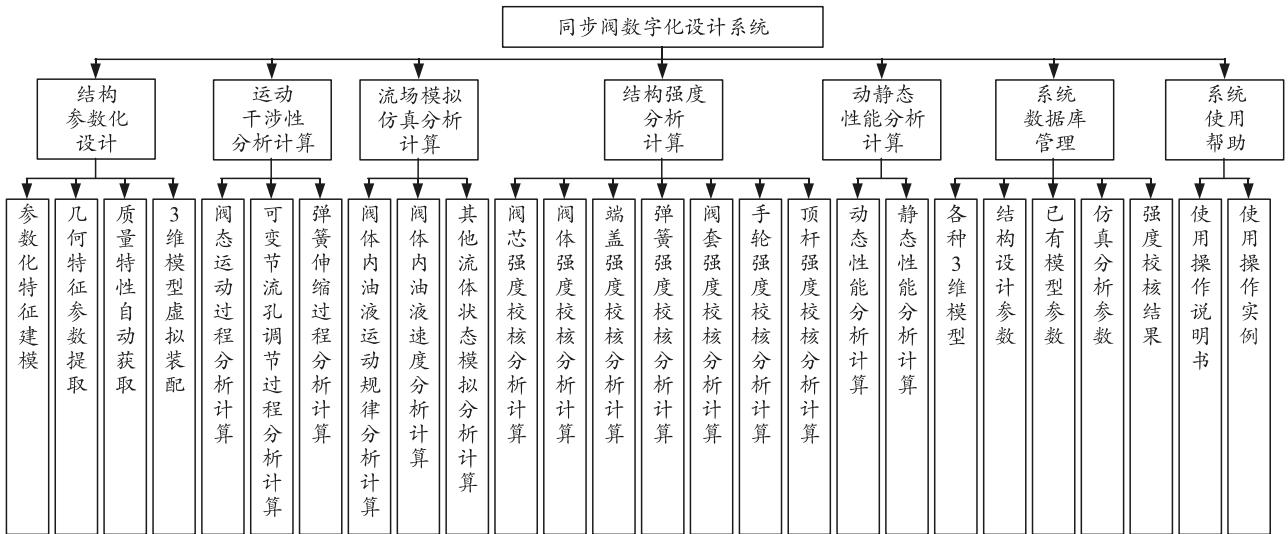


图 3 同步阀数字化设计系统功能架构

#### 1) 结构参数化设计。

结构参数化设计主要由参数化特征建模、几何特征参数提取、质量特性自动获取、结构参数优化设计、3 维模型虚拟装配等子功能组成。这些子功能主要是为同步阀设计人员提供智能化设计方法，帮助用户快速生成设计方案，及时完成产品设计任务，同时还为用户提供必要的 3 维模型虚拟装配功能，方便用户实时查看同步阀整体 3 维模型图。

#### 2) 运动干涉性分析计算。

运动干涉性分析计算部分主要由阀芯运动过程、可变节流孔调节过程、弹簧伸缩过程等运动干涉性分析计算子功能组成。这些子功能通过 Adams 软件来检查各零部件装配后运动过程是否会产生干涉现象，从而在结构强度校核和仿真分析计算之前就可以发现同步阀前期结构设计缺陷，有利于同步阀改进设计<sup>[3-5]</sup>。

#### 3) 流场模拟仿真分析计算。

流场模拟仿真分析计算部分主要由阀体内油液运动规律、阀体内油液运动速度、其他流体运动状态模拟分析计算等子功能组成。这些子功能主要是为了通过 Fluent 软件对同步阀内部流体的各种运动状态和规律进行数值仿真和模拟，以便后续根据仿真得到的相关参数来修改同步阀设计参数。

#### 4) 结构强度分析计算。

结构强度分析计算部分主要由同步阀阀芯、阀体、端盖、弹簧、阀套、手轮、顶杆等结构强度分

析计算子功能组成。这些子功能模块主要是为了通过 ANSYS 软件仿真分析来检验同步阀主要关键组成部分的结构设计参数是否满足同步阀结构强度设计要求，同时也有利于进一步优化同步阀结构设计参数和改进结构设计<sup>[5-6]</sup>。

#### 5) 动静态性能分析计算。

动静态性能分析计算部分主要由动态和静态性能分析计算 2 个子功能组成。这些子功能主要是为了方便用户通过 AMESim 软件进行同步阀动态性能和分集流精度的直观仿真分析，同时通过建立数学模型来分析同步阀静态性能和速度同步误差<sup>[6]</sup>。

#### 6) 系统数据库管理。

数据库管理部分主要是为了完成不同类型的同步阀 3 维模型、零部件模型、结构设计参数、已有模型参数、仿真分析参数、结构强度校核计算结果等数据的保存，并对系统底层各功能模块之间的数据和数据文件进行统一管理。

#### 7) 系统使用帮助。

系统使用帮助部分主要由使用操作说明书、使用操作实例等子功能组成。这些子功能主要是为了帮助用户使用系统熟练开展工作，并解决用户在实际设计操作过程中所遇到的各种难题。

## 2 关键技术实现

在同步阀数字化设计系统开发过程中所涉及到的关键技术：同步阀参数化设计流程、3 维参数化自动建模、3 维模型自动装配、结构强度校核、流

场数值模拟仿真参数确定、静态性能分析数学模型构建等。由于篇幅等原因，笔者就其中同步阀参数化设计流程、3 维参数化自动建模、3 维模型自动装配的实现方法和过程作如下分析。

### 2.1 同步阀参数化设计流程

在同步阀参数化设计过程中，首先，设计好模板文件之间的参数关系，用 UG 交互界面的表达式工具创建模板文件的表达式，包括独立的参数变量和非独立的参数变量，表达式表示模板文件用于全部约束模型的尺寸参数。其次，需要绘制模型截面草图，并在草图中添加几何和尺寸约束，同时需要用表达式变量为草图添加参数约束，以便生成新的同步阀 3 维模型。重复参数化设计过程中，每次只要改变表达式的值，模板就会自动更新，派生出新的同步阀 3 维模型。最后，还要对 UG 进行交互式二次开发，来构建一个基于 UG 模板的结构参数输入对话框，同时添加数值输入控件，并通过 UG/Open API 应用程序模块来实现表达式值的更改和 3 维模型的自动更新。这样会给用户提供一个操作便捷、直观的参数化设计界面。基于模板的同步阀参数化设计流程如图 4<sup>[8-9]</sup>所示。

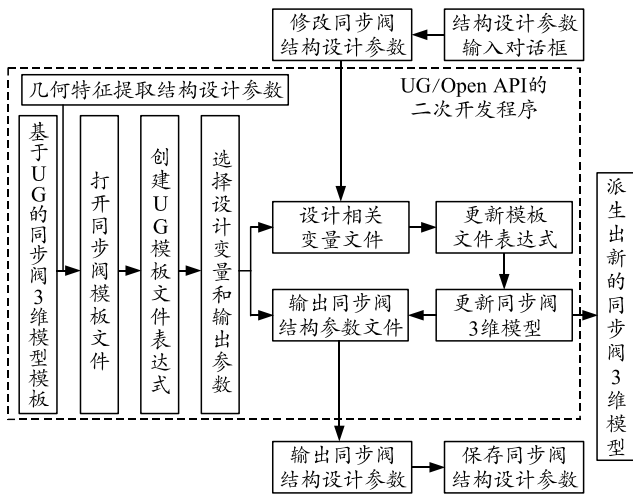


图 4 基于模板的同步阀参数化设计流程

### 2.2 3 维参数化自动建模

在同步阀参数化设计过程中，3 维参数化自动建模是通过 UG 软件二次开发实现的，由阀芯、阀体、端盖、弹簧、阀套、手轮、顶杆参数化设计 7 部分组成。在自动建模时，用户根据设计指标要求，选择 3 维参数化自动建模模块。程序将分析所需的设计指标，在修改现有型号的基础上，给出能达到此指标的设计方案供用户选择。用户根据系统提供的设计方案进行不同类型的同步阀主要零件参数化

建模设计<sup>[5,10]</sup>，例如：系统通过结构设计参数输入来修改阀套截面 1 长度、截面 2 长度、截面 1 直径、截面 1 孔径、截面 2 内径、截面 2 外径、截面 2 倒斜角、截面 2 壁厚等参数来改变阀套的尺寸，从而实现对阀套的参数化设计结果如图 5 所示。系统对顶杆的参数化设计结果如图 6 所示。

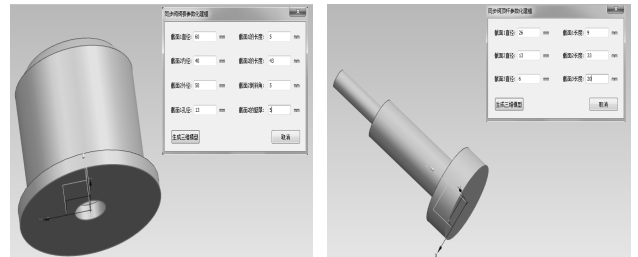


图 5 阀套参数化设计

图 6 顶杆参数化设计

### 2.3 3 维模型自动装配

在以上 3 维模型自动建模的基础上，用户可以获得不同类型的同步阀主要零部件 3 维模型。为了方便后续各功能模块的使用，需要同时进行各主要部件 3 维模型全约束装配，以及自动干涉性检查。在 3 维模型自动装配过程中，采用了基于 UG license 许可的自动装配方法<sup>[11-12]</sup>。具体的 3 维模型自动装配方法和实现流程如图 7 所示。

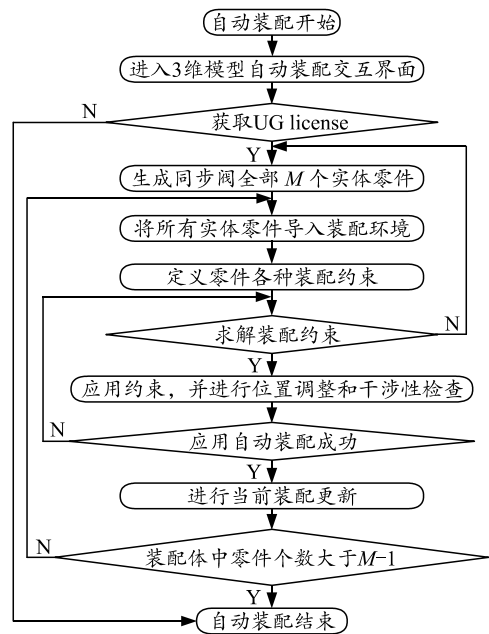


图 7 3 维模型自动装配流程

通过对以上系统开发过程中的主要关键技术进行分析和阐述，证明了同步阀数字化设计系统在技术开发方面的可行性和使用上的可靠性。

## 3 整体结构参数优化设计

同步阀整体结构参数优化设计过程采用层次渐

进法，并着重运用机械产品优化设计理论、经验公式、工程算法，以及 CAD/CAE 软件二次开发功能。采用层次渐进法的好处在于确定了同步阀整体结构设计参数后，才能进行 3 维建模，并逐层进行理论和仿真分析计算，实时与设计要求对比，在不符设计参数时，可以及时发现各种设计问题，重新优

化同步阀结构设计参数，并重复前面的流程，直到符合设计要求为止。在优化设计过程中系统还可以对比较合理的设计参数、模型参数、3 维模型、结构强度校核结果、仿真分析计算结果、优化设计结果进行实时保存，以使用户过后查看和使用。具体的同步阀整体结构参数优化设计流程如图 8 所示。

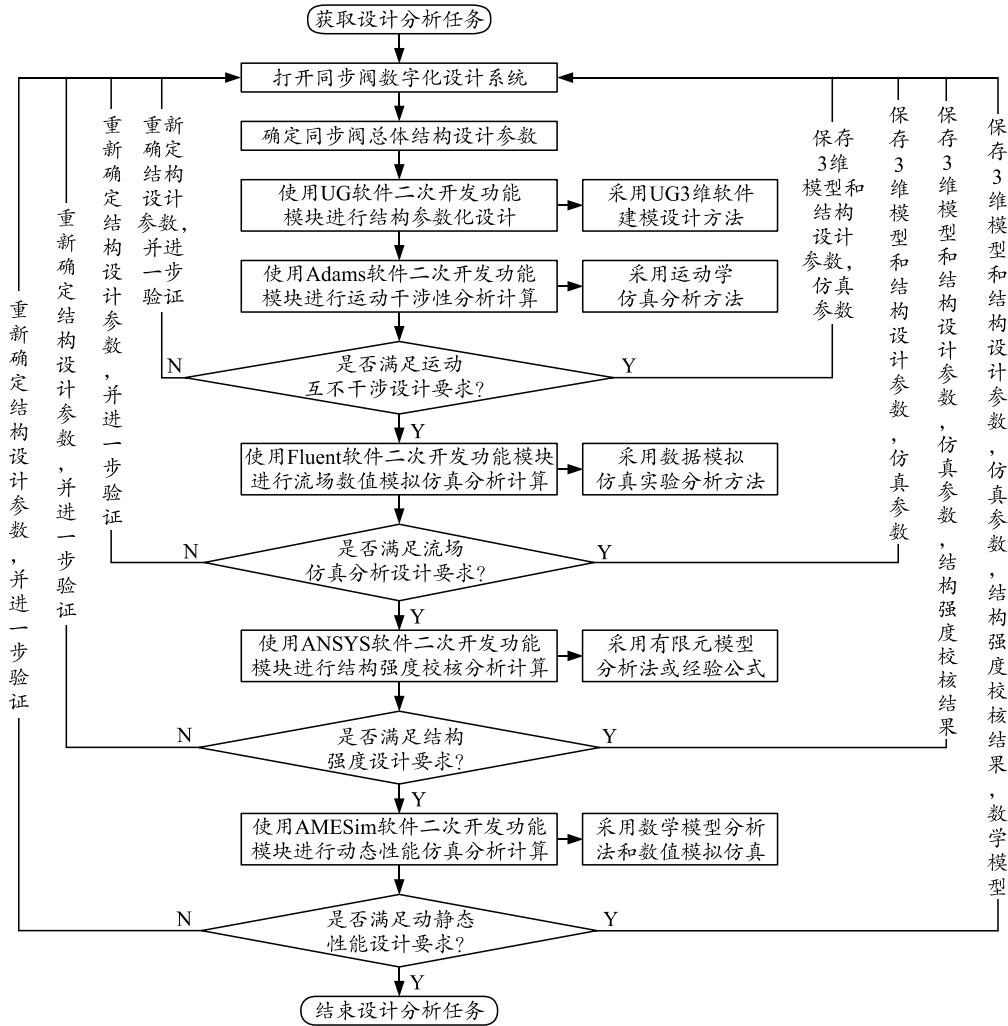


图 8 同步阀整体结构参数优化设计流程

### 4 结论

针对同步阀传统设计过程中暴露出来的复杂问题，笔者在对机械产品设计理论和液压技术研究的基础上，将计算机设计技术、数据库技术、CAD/CAE 软件二次开发技术等与工程设计实际应用相结合，开发一种同步阀数字化设计系统。通过对系统体系结构和功能架构的分析，阐述了系统开发过程中涉及到的同步阀参数化设计流程、3 维参数化自动建模、3 维模型自动装配等主要关键技术实现方法，并对同步阀数字化设计过程整体结构参数做了优化设计，通过分析和阐述可以看出，该系

统在实现不同类型同步阀总体设计方面的可行性。实际结果证明：该同步阀数字化设计系统的构建和开发，不仅解决了不同类型同步阀传统设计过程中的一大复杂难题，而且为其他产品数字化设计提供了参考。

### 参考文献：

[1] 张晓东, 曹红松, 袁毓雯, 等. 火箭弹数字化设计技术研究[J]. 弹箭与制导学报, 2017, 37(6): 76-80.  
 [2] 明日科技. Visual C++从入门到精通[M]. 北京: 清华大学出版社, 2012: 485-498.  
 [3] 陈东, 吴庆鸣, 任飞. ADAMS 在洒浆机液压系统仿真

中的应用研究[J]. 机床与液压, 2004(11): 35-36.

- [4] 董颖. 双环变速器的干涉和动力学仿真分析[D]. 沈阳: 东北大学, 2012: 35-63.
- [5] 龚友平. 机械产品数字化设计技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2013: 112-247.
- [6] 许永辉. 基于线性压力补偿的新型同步阀的分析与研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2015: 9-72.
- [7] 陈芷, 丁求启, 刘明波. 基于 Simulink 的气动同步阀静态性能研究[J]. 液压与气动, 2015(8): 67-72.
- [8] 孙厚朝. 基于 UG 的数字化设计技术研究[D]. 太原:

中北大学, 2003: 9-32.

- [9] 梅小宁, 杨树兴. 基于 UG 二次开发的参数化建模方法在优化设计中的应用[J]. 科技导报, 2010, 28(3): 29-30.
- [10] 濮良贵, 陈国定, 吴立言. 机械设计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2013: 3-36.
- [11] 赵岩, 成刚虎, 张景霞. 基于 UG 的自动装配模块开发[J]. 机械研究与应用, 2003, 16(4): 65-66.
- [12] 陶小刚, 郝博. 基于 UG NX 二次开发的自动装配技术研究[J]. 先进制造技术, 2016, 33(4): 24-28.

\*\*\*\*\*  
(上接第 36 页)

$$y_j = a(j-1)L. \quad (2)$$

式中:  $y_j$  为模块复用产生的经济效益;  $a$  为模块复用占模块的百分比;  $j$  为模块复用次数;  $L$  为模块开发成本。

#### 4.1.2 消费者复用

技术手册模块的消费者复用是指模块未经修改被其他技术手册采用, 即块的通用。技术手册中存在大量的通用模块, 如警告用语、小工具的制作、弹药标志、耗材清单、错误报告与改进建议表等。模块通用产生的经济效益为

$$Z_q = qM. \quad (3)$$

式中:  $Z_q$  为模块通用产生的经济效益;  $q$  为模块通用次数;  $M$  为模块开发成本(不含模板开发成本)。

#### 4.2 技术手册模块化军事效益

技术手册是装备与使用、维修人员之间的桥梁, 是我军装备快速形成战斗力的基础保障。模块化为技术手册数字化提供参考依据, 使技术手册能够实现基于网络环境下的制作、定制、发放、使用、验证、管理等全过程, 从而提高技术手册的生命周期效率。模块化使技术手册的编写由侧重对整套技术手册变为以模块为中心, 由注重技术手册层面深入到模块层面, 注重对模块中每一细节的探究, 通过对模块的质量控制来保证技术手册的质量。模块化实现技术手册面向用户、装备、任务, 实现菜单式定制, 使装备操作维修任务与技术手册有机配合。通过更换、增减相应模块保持技术手册与装备的对应关系, 解决装备技术状态多样性带来的问题。通过对模块的不断修改完善实现技术手册编制和使用经验积累, 模块化是经验积累的主要手段。模块化

能够改变技术手册长期存在的制作周期长、适用性差、成本高、质量差的现状。

#### 5 结论

基于工作包的技术手册模块化, 可实现装备技术手册的定制, 满足部队的个性化需求, 方便基层人员使用。通过模块的复用, 大幅提高了技术手册的制作效率, 降低了制作成本。使技术手册制作重心从以整套技术手册为主转变为以模块为主, 更加注重技术细节, 实现了精细化管理, 易于保证手册质量, 并使技术手册实现了网络环境条件下的生命周期应用, 实现了技术手册从传统手工模式向全数字化模式的跨越式发展。

#### 参考文献:

- [1] MIL-HDBK-1222F Guide to the General Style and Format of U.S. Army Work Package Technical Manuals[S]. U.S. Department of Defense, 2015: 15.
- [2] 郭建胜, 冯继宁, 刘雪峰. 装备技术手册的数字化研究[J]. 装备指挥技术学院学报, 2004, 15(6): 21-24.
- [3] MIL-STD-40051-2C PREPARATION OF DIGITAL TECHNICAL INFORMATION FOR PAGE-BASED TECHNICAL MANUALS[S]. U.S. Department of Defense, 2015: 28.
- [4] IEEE 1517-2010 IEEE Standard for Information Technology System and Software Life Cycle Processes-Reuse Processes[S]. Institute of Electrical and Electronic Engineers, 2010: 4, 5.
- [5] 金列元. 武器装备的通用化、系列化、综合化[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008: 144, 134, 132.
- [6] 于欣丽. 标准化与经济增长——理论、实证与案例[M]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 71.
- [7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 3533.1-2017 标准化效益评价第 1 部分: 经济效益评价通则[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.