

doi: 10.7690/bgzd.2025.05.007

基于正向设计的产品改进策略分析

吴玉广¹, 董晋华², 樊朋煜¹, 邓 静¹, 许 晶¹, 翟建华³

(1. 中国兵器工业新技术推广研究所先进工艺与材料应用技术研究部, 北京 100089; 2. 中国兵器科学研究院综合计划部, 北京 100089; 3. 中国科学院软件研究所并行软件与计算科学实验室, 北京 101408)

摘要: 为改进产品性能, 提升产品质量, 采用正向设计方法进行产品改进。分析找出影响产品质量问题的因素及造成产品缺陷的原因, 通过设计优化和建模仿真等正向设计的工具方法提出产品改进的方向及措施, 通过仿真与实际验证并获得良好效果。结果表明: 该方法能根除产品缺陷, 更好地满足顾客要求, 提高产品的市场占有率。

关键词: 正向设计; 系统工程; 建模仿真; 产品改进; 制造工艺; 降低成本

中图分类号: TB472 **文献标志码:** A

Analysis of Product Improvement Strategy Based on Forward Design

Wu Yuguang¹, Dong Jinhua², Fan Pengyu¹, Deng Jing¹, Xu Jing¹, Zhai Jianhua³

(1. Advanced Technology and Material Application Technology Research Department, Advanced Technology Promotion Institute, China North Industries Group Corporation Limited, Beijing 100089, China; 2. Comprehensive Planning Department, China Ordnance Science Academy, Beijing 100089, China; 3. Parallel Software and Computational Science Laboratory, Institute of Software Chinese Academy of Sciences, Beijing 101408, China)

Abstract: In order to improve product performance and product quality, the forward design method is used for product improvement. Analyze and find out the factors affecting product quality problems and the causes of product defects, and put forward the direction and measures of product improvement through the tools and methods of forward design such as design optimization and modeling simulation, which are verified by simulation and practice and achieve good results. The results show that this method can eradicate product defects, better meet customer requirements, and improve the market share of products.

Keywords: forward design; systems engineering; modeling and simulation; product improvement; manufacturing process; cost reduction

0 引言

任何事物从产生到消亡, 必会经过不断改进完善的发展之路。产品从研发到诞生再到走向市场, 赢得顾客认可并形成盈利, 需经过不断完善、逐渐走向成熟的过程。在新产品研发过程中, 需从分析计算、实验结果、试用使用等各方面反馈出的问题着手, 利用正向设计方法, 查找问题、分析其根源, 找出解决问题的路径和方法, 达到改进产品性能, 提升产品质量的目的。特别是应重视顾客对产品质量等信息收集, 针对顾客与相关方对产品使用中的问题反馈, 提出产品改进的需求和路径, 实现产品改进的性能优化和质量提升, 更好地满足顾客要求。

1 正向设计是产品改进的科学方法

1.1 正向设计方法及其理论基础

正向设计的理论基础是系统工程。系统工程是

研制复杂系统产品的科学方法^[1], 是自上而下设计又自下而上验证的反复过程^[2]。信息化数字化支持下的系统工程 V 字模型如图 1 所示: V 字模型的左半侧表示自上而下的需求分解过程, 并利用正向设计方法得到设计的结果; V 字模型的右半侧表示了自下而上的系统集成和验证过程。随着计算机及其应用等信息化技术的发展, 科学化、信息化的仿真验证手段不断丰富和发展, 使得验证过程不断缩短, 仿真结果更接近真实, 验证效率更高^[3]。

正向设计方法是以问题为导向, 明确产品改进需求和目标, 以系统工程过程、模型、方法为指导, 开展产品结构、材料与工艺的正向设计, 进而发展到基于系统工程框架、实现设计制造一体化及整个产品系统全生命周期的设计^[4]。通过正向设计, 可达到吃透机理, 掌握规律, 消除问题和隐患, 提升产品价值, 满足顾客使用要求, 获得顾客更大的满意度^[5]。

收稿日期: 2024-08-13; 修回日期: 2024-09-14

第一作者: 吴玉广(1965—), 男, 河北人, 硕士。

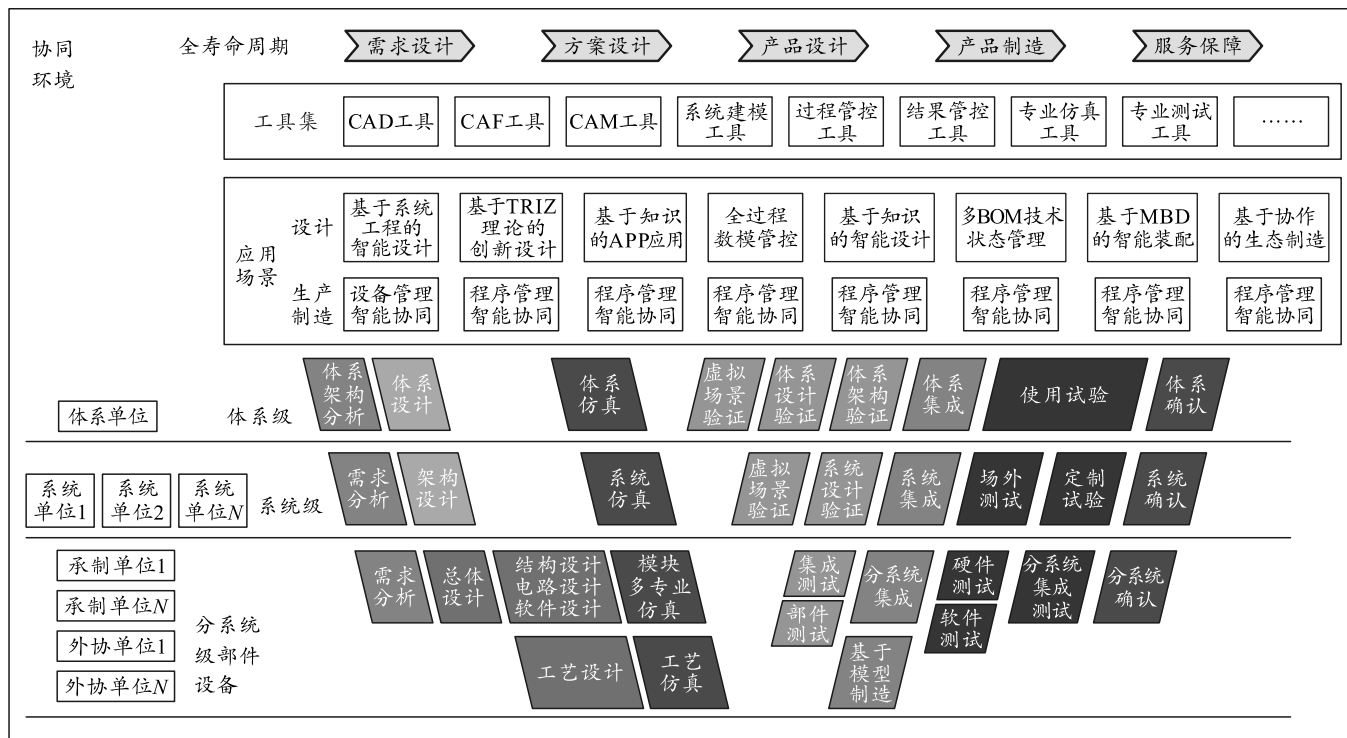


图 1 系统工程 V 字模型

1.2 基于正向设计的产品改进

产品改进的正向设计输入有别于产品创新，其工作起点一般从顾客反馈的问题入手，以正向设计方法，分析找出产品改进的路径和措施，实现产品性能和质量的改进。其工作流程^[6]可归纳如下：1) 摸清问题并开展原因分析，找出问题的原因所在，形成设计需求；2) 实施问题改进的需求分析，形成产品研制要求的文件，作为设计输入；3) 开展需求评审与确认，保证需求的正确、完整和统一；4) 开展功能分析，构建产品的功能架构及清单，关注产品及顾客的特殊需求，特别是涉及产品安全、质量及其生产过程的安全性等需求；5) 通过设计与工艺协同，开展逻辑架构和物理架构设计，评审顾客与产品制造及使用过程中特殊需求的充分性和适宜性；6) 开展产品工艺设计及样机试制，证实产品改进的工艺制造过程的可行性、安全性、经济性等，验证产品改进达到设计要求；7) 产品集成与小批生产，通过试用考核与实际应用，证实产品满足顾客要求，并对产品生产过程安全与产品质量特性的符合性做出评价；8) 批产验证，根据试验、测试、实际应用的结果，完成产品的集成与批产的质量验证，并进一步开展生产过程优化，降低成本提升质量；9) 精细化持续改进制造工艺流程，进一步提升生产制造管理水平，降本挖潜增效。值得一提的是，正向设

计是反复迭代的过程，包含一项设计的不断迭代和相关项目在设计时的反复迭代。

2 基于正向设计的产品改进的要点

基于正向设计的产品改进目的是通过正向设计把顾客及相关方的反馈转化为对产品性能、质量等改进提升的具体措施,实现产品性能与质量改进,是一个比较复杂的研究过程,为充分发挥正向设计的作用,抓准要点,有策略实施^[7]。

2.1 开展智能化建模与仿真验证研究

2.1.1 开展需求分析阶段产品模型构建与优化

以问题分析为牵引,加强建模需求分析及评审,关注建模过程中的设计和工艺一体化协同,联合构建设计与制造全过程“一模多用”的模型结构与基础环境。

2.1.2 开展产品结构化工艺规划与仿真验证

以产品结构化的模型为基础,加强产品设计与工艺路线规划的模拟仿真,为实现产品与工艺设计仿真验证和制造过程的可视化奠定基础。

2.1.3 开展模型传递性、通用性、准确性的综合管理

1) 加强建模软件和模型在设计部门和制造部门间传递性、通用性的分析与评价, 解决产品设计和工艺设计模型相互“孤立”问题; 2) 通过设计工

艺的一体化协同,加强建模数据的积累和综合管理,提升模型的准确性。

2.1.4 开展多种模型的融合研究

1) 加强物理、电气、热力学等模型间的有效协同和融合,提升兼容性研究;2) 加强自顶向下/自下而上的多种设计与仿真验证的应用研究,实现多专业、多领域间的集成化协同交互,充分发挥模型的有效价值。

2.2 开展设计工艺一体化协同研究

2.2.1 加强产品设计的工艺性审查

1) 加强产品设计与制造工艺间的协同,设计师和工艺师协同开展设计方案、模型数据交流与合作,并对关键材料选择与结构设计工艺性进行审查,通过协同审查与反馈,优化产品设计。2) 充分利用信息化手段实现工艺审查的网络化、信息化和数字化,构建完整的制造特征识别库,建立多人协作与多专业协同的快速审查机制。

2.2.2 强化设计制造的质量与安全性评审

1) 加强试制阶段的工艺技术的正确性、先进性、经济性、以及统一与完整的评审,确保工艺路线合理、可操作性强;2) 加强产品通用质量特性与工艺安全评审;3) 加强批产工艺制造的协调性、安全运行等综合实现能力评价。

2.2.3 建立标准化协同运行流程

利用数字化手段建立并固化正向设计流程,形成“需求定义-产品开发-试验验证-工艺开发-仿真验证-工程准备-制造协同”的标准化运行流程,提高协同工作实效,确保产品改进效果。

2.3 加强新工艺技术应用

2.3.1 加强与优势技术团队的合作

针对项目实施的技术要求,分析技术实施途径与应用场景,以问题为导向,以开放心态大力吸收优势技术成果与经验,主动与具有优势技术团队或专家开展合作,充分吸收所需的新技术、新材料、新工艺和新方法,提升项目研究水平,缩短研制周期,促进新技术成果应用与转化。

2.3.2 加强关键技术攻关

针对产品改进中的技术需求,组织专业科研力量,建立技术攻关团队,利用正向设计思维,开展关键技术攻关,解决需改进产品所存在的问题,达

到产品质量和使用性能优化的目的。

2.3.3 开展产品成熟度及其制造技术成熟度提升

产品改进的过程,本身就是产品技术成熟度提升的过程,同时,应关注产品制造技术成熟度与产品成熟度的匹配,杜绝产品制造技术成熟度成为产品成熟度增长的制约因素。对存有产品质量问题隐患、工艺过程不易控制、输出产品合格率低以及可能会影响产品使用性能的制造技术,开展制造技术成熟度提升研究,满足后续批量制造需求。

2.4 加强制造工艺优化

2.4.1 开展降本提质的产品设计优化

提升产品质量、降低产品成本是企业始终追求的经营目标。为更好应对产品市场的变化:1) 开展模块设计,以减少采购、过程等产品的品种种类;2) 开展低成本新材料应用设计,控制原材料成本;3) 开展材料-工艺-功能一体化设计,降低周期成本。

2.4.2 加强自动化智能化技术在生产过程中的应用

1) 开展“三化”设计研究,以通用化、系列化、组合化的通用工艺替代专用工艺,降低制造成本;2) 开展专业化批量制造模式探索,构建专业化制造控制成本提高质量之路;3) 开展手工检测工序的自动化、智能化改造;4) 识别在产/在研产品中只适应人工作业的设计,通过产品优化,完成适应“机器换人”生产的优化改进。

2.4.3 开展基于数字化设计制造一体化的改进

1) 通过虚实交互反馈、数据融合分析,决策迭代优化等手段,开展数字化仿真与验证;2) 开展半实物实验仿真验证,降低试验成本;3) 开展数字孪生制造,控制制造成本;4) 利用信息化技术改进采购供应链流程,加强外购标准化产品的统型。

2.5 强化设计制造过程精细化管理

2.5.1 实施全过程质量控制

1) 加强工艺质量控制标准和作业规程等执行情况的现场监督检查,消除因操作和现场管理不到位而产生的质量与安全隐患;2) 严格控制法律法规禁止、高能耗高污染等的落后工艺在产品工艺设计中的选用,探索建立落后工艺在产品制造设计中的快速筛查手段,提升落后工艺筛查的效率和准确性;3) 利用可视化、看板等信息化管理手段,提升现场作业的效率和质量。

2.5.2 强化关键工序、特殊过程 and 外包过程控制

加强对产品设计的关键特性识别, 加强外包过程的评价与绩效再评价; 加强特殊过程确认, 加强关键工序、特殊过程和外包过程管理; 发挥信息化技术作用, 加强在关键工序、特殊过程和外包过程控制数据的自动化生成的管理, 提升其可追溯性。

2.5.3 加强产品设计制造的技术状态管理

1) 加强从研制到批产的各阶段技术状态管理计划、标识、纪实、更改等的规范管理; 2) 技术状态变更应及时全覆盖, 将技术状态变更的原因、内容、标识等详细信息及时通知到所涉及所有相关部门和环节, 并及时检查落实执行情况; 3) 开展现场作业执行情况的检查, 确保执行到位。

3 产品改进的正向设计应用案例

将正向设计应用于某机电产品的线缆布局, 通过设计、计算与仿真, 可以确定线缆的预留长度, 线缆的布局顺序、固定位置等。图2为某机电产品控制箱线缆布局正向设计仿真, 通过线缆布局仿真, 减少了线缆浪费, 使线缆的布置更加紧凑与整洁; 提高了控制箱的空间利用率, 可以更好地利用产品内部空间; 优化线缆夹固, 可以更好地考虑线缆的固定和保护, 减少线缆的损坏和故障率, 提高产品的可靠性。

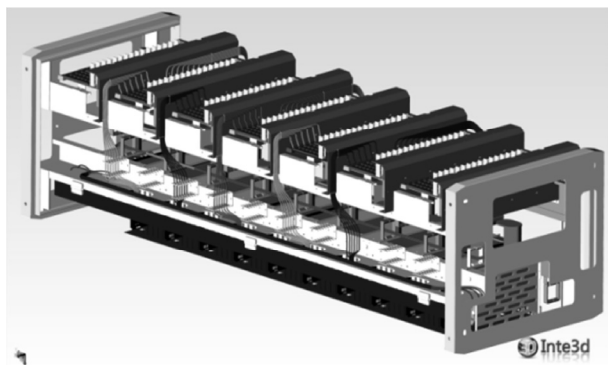


图2 某机电产品控制箱线缆布局正向设计仿真

图3为正向设计应用与飞机起落架的设计优化。通过对飞机起落架收放过程分析, 综合验证起落架的伺服气动系统对起落架机构的操控能力, 保证收放系统工作的可靠性、收放的平稳性以及是否有效保证的评估, 为设计方案优化提供了分析依据。实际上, 正向设计已在多项产品设计与优化中得到

应用, 并取得了良好效果。

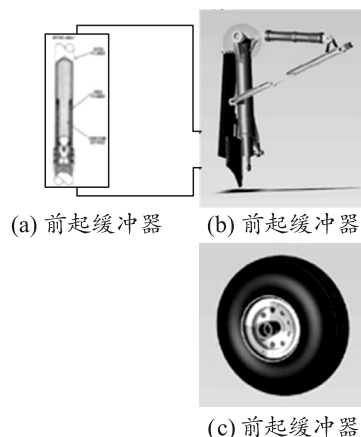


图3 某飞机起落架的正向设计分析

4 结束语

针对产品的改进, 笔者从问题分析入手, 以系统工程的科学理论, 应用正向设计方法, 找出产品改进的路径和方法, 并验证其改进效果, 实现产品的升级, 更好地满足顾客期望, 可提高产品研制效率、减少研制成本、控制研发费用。该方法在产品创新和改进中已得到实际应用并获得良好效果, 证实了基于正向设计方法实现产品改进的实用价值。在产品改进的正向设计中应讲策略、抓重点, 注重对建模仿真、新技术利用、制造技术优化等活动推动和控制, 提升研究工作效率和质量。

参考文献:

- [1] 钱学森. 论系统工程[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2007.
- [2] 戈鹏, 殷国富, 高伟. 论制造工艺资源的统一建模策略与实施技术[J]. 计算机工程与应用, 2003(13): 91-97.
- [3] 朱建军. 基于MBD的产品设计制造技术研究[J]. 中国电子科学研究院学报, 2013, 8(6): 569-572.
- [4] 赵晓虎. 基于多专业协同、多领域共享的军品研发管理体系设计与实践[J]. 项目管理技术, 2018, 16(7): 95-100.
- [5] 李德贤, 任晓东, 朱力俊, 等. BIM正向设计提效探究[J]. 建筑科学, 2023, 39(2): 225-234.
- [6] 刘海年, 王艺, 郑宁, 等. 以需求为牵引的航空发动机正向设计方法研究及应用[J]. 军民两用技术与产品, 2022(469): 41-47.
- [7] 李旭. 基于系统工程的直升机构型管理方案[J]. 中国科技信息, 2022(10): 34-36.