

基于模型的系统工程 (MBSE) 方法研究及应用

王日腾

中核工程咨询有限公司 北京 100000

摘要: 随着科技的快速发展和复杂系统设计的挑战日益增加,传统的系统工程方法已难以满足现代工业与科技领域的需求。基于模型的系统工程(MBSE)作为一种新兴的系统工程方法,通过将传统的基于文本的系统设计方式转变为用数字化建模的方式进行系统方案设计,为复杂系统的设计、开发、验证和管理提供了新的解决方案。本文介绍了MBSE模型研究方法,然后结合航空航天、汽车、智能制造等领域的案例,详细分析了MBSE模型在这些领域的应用实践和成效。

关键词: 基于模型的系统工程(MBSE); 系统工程; 数字化建模

Abstract: With the rapid development of science and technology and the increasing challenges of complex system design, the traditional system engineering methods have been difficult to meet the needs of modern industry and technology field. Model-based system engineering (MBSE) provides a new solution for the design, development, verification and management of complex systems by transforming the traditional text-based system design method to the system solution design with digital modeling method. This paper introduces the research method of MBSE model, MBSE model in detail, and then combined with the cases of aerospace, automobile, intelligent manufacturing and other fields, it analyzes the application practice and effectiveness of MBSE model in these fields

Key words: model-based system engineering (MBSE); system engineering; digital modeling

随着科技的迅猛发展和工程系统复杂性的不断提高,传统的系统工程方法已逐渐显露出其局限性。为此,基于模型的系统工程(MBSE)方法应运而生,以其独特的模型驱动设计理念,为复杂系统的设计、开发和管理提供了强有力的支撑。本文旨在深入研究MBSE模型在系统工程领域的应用,探讨其在实际项目中的实施方法和效果,以期为解决现代工业与科技领域的复杂系统问题提供新的思路和方法。

一、MBSE 模型的研究方法

1.MBSE 模型构建流程

模型构建流程主要包括需求分析阶段、概念设计阶段、详细设计阶段、模型建立阶段、模型验证与评估阶段。

在需求分析阶段,设计团队会仔细研究并明确系统的功能需求、性能需求以及所有相关的约束条件,通过本阶段的工作确保团队能够对整个系统的期望有明确清晰的认识,为后续的设计工作奠定坚实的基础。概念设计阶段是在需求分析的基础上进行的,设计团队基于所收集到的需求,形成系统的初步概念和架构;概念设计是后续详细设计的蓝图,它为团队提供了清晰的设计方向。接下来是详细设计阶段,本阶段设计团队会对系统的各个组成部分进行详细的定义和描述,进一步细化功能划分,明确各个模块的具体功能和相互之间的接口边界。在模型建立阶段,设计团队运用系统工程

建模语言和建模工具,将详细设计的内容转化为具体的系统模型,通过建立模型,能够更直观地理解系统的结构和行为,为后续分析和优化提供有力的支持^[1]。最后是模型验证与评估阶段,本阶段设计团队对建立的模型进行严格的验证和评估,确保模型能够满足系统的需求和各项约束条件。

2.模型驱动的设计方法

一是以模型为中心的设计理念,在模型驱动的设计方法中,模型不仅是设计的出发点,也是设计的终点;从需求分析到详细设计,每一个阶段都依赖于对系统模型的构建、分析和优化,这样的设计理念确保了设计活动自始至终围绕系统的核心需求展开,从而提高了设计的针对性和准确性。二是迭代式的开发策略,模型驱动的设计方法强调通过不断的迭代优化来推动设计进展;这意味着设计过程是一个循环往复的过程,每一次迭代都会根据评估结果对模型进行优化和改进;这种策略使得设计过程更加灵活高效,能够及时发现并解决问题,确保设计的正确性和完整性。三是可视化表达的方式,模型驱动的设计方法使用图形化的方式来表达系统模型,使得设计过程更加直观和易于理解;通过图表、图形等可视化工具,开发人员能够更清晰地展示系统的结构和行为,促进设计团队成员之间的沟通和协作,提高设计效率和质量。

3.迭代式开发方法



在 MBSE 的迭代式开发过程中,开发人员首先会基于需求分析的结果,构建出一个初始的系统模型;这个模型虽然显得粗糙,但能够为后续的迭代工作提供一个明确的起点。随着项目的深入,开发人员会不断地对模型进行迭代和细化,每一次迭代都会使模型更加完善,更加接近最终设计目标。每一次迭代不仅是简单的模型修改,而是一个完整的循环过程。开发人员首先会根据模型当前的状态,以及在实际操作中得到的反馈结果,来评估模型的性能和可靠性;然后会根据评估结果制定下一步的工作计划,包括需要修改或优化的部分,以及相应的实施策略。这样的迭代过程不仅确保了模型能够持续优化,还能够帮助开发人员始终保持对项目的全面掌控。在迭代式开发方法中,团队成员之间的协作和沟通也至关重要^[1]。通过定期的评审和讨论,团队成员可以共同审视模型的进展,发现和解决潜在的问题和缺陷;这种团队协作的方式不仅能够提升项目管理的质量,还能够增强团队的凝聚力。

二、MBSE 模型的应用案例分析

1. 航空航天领域的应用

火星探测器项目就是其中一个典型的案例。火星的环境极端且未知,对探测车的性能和可靠性提出了极高的要求;工程师们通过使用 MBSE 模型,能够系统地定义探测车的所有功能需求,如移动能力、数据采集、通信等,并深入分析这些功能之间的相互作用以及它们对整个系统性能的影响。通过不断迭代和模型优化,工程师们能够确保探测车的设计满足在火星表面极端条件下的工作要求。Orion 飞船是 NASA 为深空探索而开发的多用途载人飞船,其设计需要考虑众多约束性因素,包括乘员舒适性、生命支持系统、逃逸系统等;MBSE 模型为工程师们提供了一个全面的框架设计方案,可以系统地分析和优化飞船的各个组成部分。通过模型,工程师们能够对比评估不同设计方案的优劣,选择最佳的解决方案,从设计初始阶段确保飞船的安全性和可靠性。欧罗巴卫星是欧洲空间局(ESA)为了探测木星及其卫星而发射的探测器,该项目同样需要高度的系统集成和协同设计;MBSE 模型帮助工程师们跨领域协同设计,共同定义和优化卫星的总体设计方案;通过模型,工程师们能够确保卫星的各个子系统(如电源、通信、科学仪器等)协同工作,满足任务需求。

2. 汽车行业的应用

在汽车行业,MBSE 模型的应用展现了其卓越的价值和影响力,随着行业的快速发展和市场竞争的加剧,汽车制造商追求更高的生产效率、更低的成本以及卓越的产品质量,MBSE 模型为满足这些需求的提供了强大的工具支持。在新生产线的设计中,工程师们利用 MBSE 模型模拟和分析不同设计方案对生产线性能的影响,通过

模型迭代和优化,确定最优的生产线布局和设备配置方案,显著提升生产效率、降低生产成本;这种灵活的设计能力使得汽车制造商能够快速响应市场变化。同时,MBSE 模型还极大地支持了汽车设计过程中的多学科协同;在现代汽车设计中,机械、电子、控制等多个领域的知识和技术需要相互融合和协同工作^[2]。MBSE 模型提供了一个统一的框架,使得不同领域的专家能够在这个平台上共同进行设计和分析;这促进了不同领域专业知识的融合,使得汽车设计更加全面和深入,提高了设计的整体性和可靠性。此外,MBSE 模型还帮助汽车制造商敏捷应对日益复杂和多样化的市场需求。

3. 智能制造领域的应用

在智能制造领域,MBSE 模型的应用正在逐步深化,成为企业实现智能化和自动化制造过程的重要支撑。随着信息技术的飞速发展,智能制造已经成为现代制造业的核心竞争力之一,它强调通过信息技术和先进制造技术的深度融合,实现制造过程的智能化、自动化和柔性化;MBSE 模型以其独特的方法和优势,在智能制造系统的设计中发挥着至关重要的作用。工程师们利用 MBSE 模型,可以系统地定义智能制造系统的功能和性能需求,这些需求不仅涵盖了制造过程的各个环节,还包括了与产品质量、生产效率、成本控制等密切相关的各种因素。通过 MBSE 模型,工程师们可以清晰地描述这些需求,并对其进行量化分析,确保系统设计的准确性和完整性。在智能制造系统的设计中,系统的复杂性和可行性是工程师们需要重点考虑的问题,MBSE 模型提供了强大的分析功能,可以帮助工程师们全面评估系统的复杂程度,识别潜在的风险和挑战。

三、结论

基于模型的系统工程(MBSE)方法研究及应用表明,MBSE 在复杂系统设计中展现出显著优势,通过模型驱动的设计方法,MBSE 有效提高了系统设计的效率和质量,降低了开发风险。随着技术的不断进步,MBSE 将在更多领域得到广泛应用,为现代工业与科技领域的发展注入新的活力。

参考文献:

- [1]陈宣文,黄晖,戴小氏.MBSE 在航空飞行控制系统的应用研究[J].航空工程进展,2024,15(02):152-165.
- [2]李昕,褚显应,郭健,王全平,张洪礼.基于模型的系统工程在高速飞行器引气系统设计中的应用研究[J].空天技术,2024,(01):63-77,84.
- [3]彭伟杰,于永斌,杨骥铭,向洪宇,张玉宏,王向向.基于 MBSE 的并行数字化转型模式研究[J].信息技术与标准化,2024,(Z1):54-57,74.