

火箭全系统故障仿真分析

挑战

随着运载技术的不断发展，火箭的结构越来越复杂，各分系统纵横交错、相互耦合，某个零件损坏、元器件失效或误动作，将引起运载火箭的连锁反应，开展运载火箭全系统故障分析存在以下挑战：

- 运载火箭专业耦合多，试验成本巨大，飞行环境复杂，对火箭提出了高可靠性、高容错性和高安全性的要求；
- 实物样机安全模拟与验证，不仅成本高、周期长，且部分故障安全试验难以实现；
- 运载火箭模型重用性差，模型与故障未解耦，难以按单机进行注入并体现故障传递；
- 传统安全性与故障分析方法难以满足复杂运载系统设计与试验验证要求。

方案

- 基于MWORKS.Sysplorer软件，按照运载火箭系统拓扑构建覆盖芯一级、芯二级、助推器、整流罩、有效载荷等多系统耦合的运载火箭系统模型；
- 基于故障仿真工具箱，结合正常模型与故障模式，构建全箭故障模型，对正常行为或故障行为进行模拟，提供故障检测、故障诊断、故障分析等辅助功能。

价值

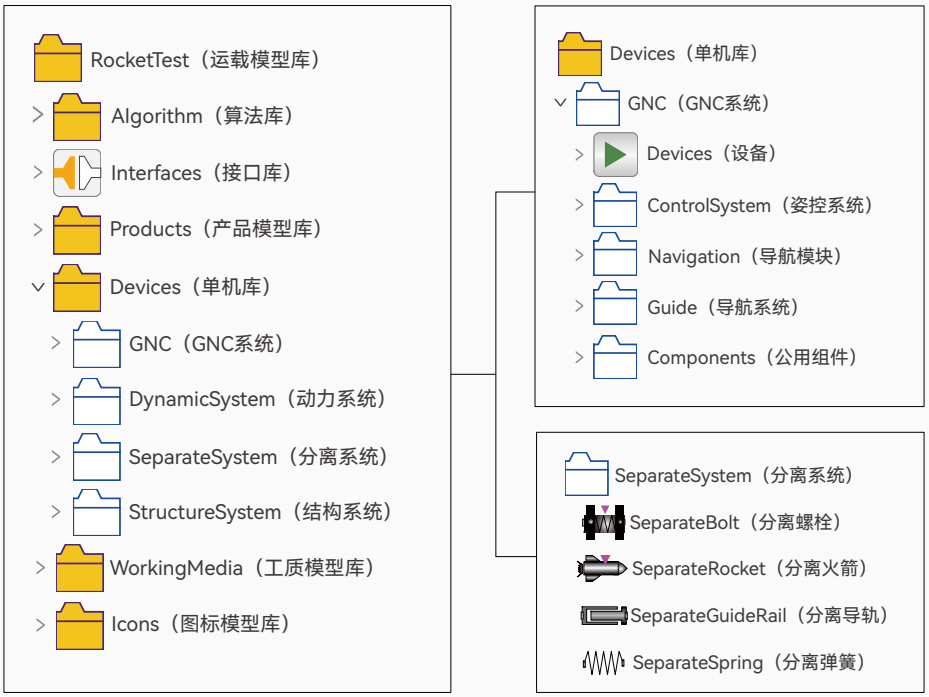
- **故障模型与正常模型的关联与独立：**故障模型由正常模型继承而生成，但无需修改正常本身的代码，可适应白盒与黑盒两种模型的故障仿真，可实现功能设计与可靠性设计的关联与独立；
- **故障传播路径与严重程度验证：**针对复杂多专业耦合系统，提供故障模拟，可直观地反应从故障源开始的故障动态传播路径，充分论证单点故障对于同级设备、上级系统的动态影响，可用于系统健康状态监控；
- **基于模型的故障树探索：**基于多领域系统模型的拓扑连接关系，通过批量故障注入仿真，由底层单点故障逐层推导出各层级之间的故障逻辑关系，形成故障树，可辅助可靠性设计；
- **故障检测与定位：**基于合理的故障判据，通过将故障模拟现象与实际故障现象的曲线对比评估分析，定位到故障源，可辅助故障归零。

成果展示

本案例构建了全箭故障模式库，对火箭的正常行为或故障行为进行模拟仿真，并提供故障检测、故障诊断、故障分析等辅助功能应用。

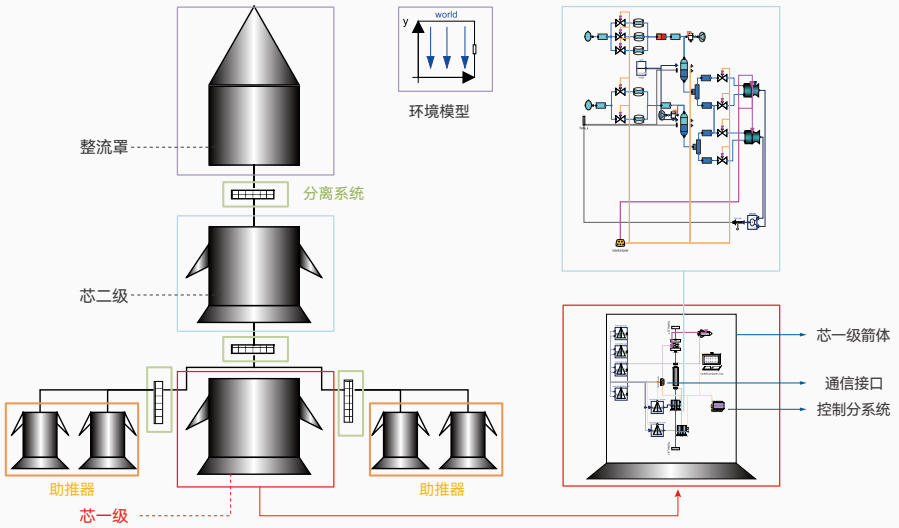
运载火箭模型建设

运载火箭模型库内容涵盖系统、分系统、单机设备三个层级，覆盖箭体结构、分离装置、动力系统（包括增压输送等液压装置）、控制系统（包括飞控算法）、测量系统（即箭上综合电子）等主要分系统。



运载火箭模型库

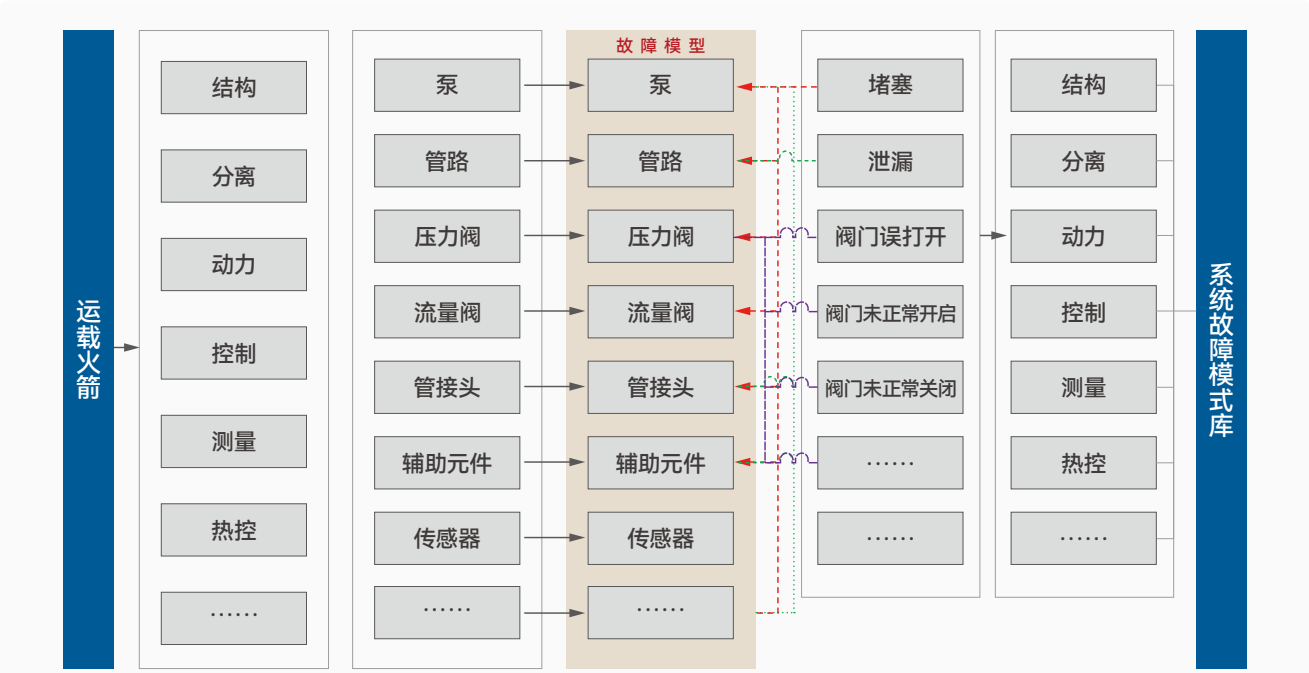
基于分系统模型完成芯一级、芯二级、助推器、整流罩、有效载荷等多系统耦合，最终形成运载火箭系统。



系统模型构建

正常模型与故障模型融合

故障模型与正常功能模型存在交联耦合关系，如单机设备存在多种故障模式，某种故障模式会在多个单机设备上发生，即故障模型与正常功能模型之间存在一对多和多对一的相互依存性和关联性。



建立非底层故障模式时，无需指定该故障模式关联的故障参数信息。非底层故障模式的注入在通过模型对象名字约定协议实现与仿真模型各模型对象的关联后，依次通过相同故障参数名字映射实现与模型对象的参数关联。

故障仿真应用

基于MWORKS平台构建Modelica系统模型，将故障模式注入正常行为模型自动生成故障行为仿真模型，继而开展故障模拟、故障检测与诊断、故障树分析、可靠性试验验证等工作。

注入飞行程序与故障模式，可开展全系统耦合仿真，模拟火箭发射正常工况与故障工况，分析关键参数变化对系统的影响。特别是在故障工况下，能够模拟单机到单机、单机到系统、系统到系统的故障传播，传播方式与真实的故障传播过程相同。

苏州同元软控信息技术有限公司

0512-62720715/18115503283
marketing@tongyuan.cc
苏州工业园区淞北路333号D1幢
www.tongyuan.cc

关注同元软控 精彩内容不错过

关注MWORKS 精彩内容不错过