

基于模型的发动机场景分析方法

Model-Based Scenario Analysis Method for Aero Engine

■ 李志敏 汪晓阳 季雁 黄干明 龚叶琴 / 中国航发商发

航空发动机研制过程中，采用基于模型的场景分析方法，对发动机运营场景进行建模，通过模型分析其功能、接口需求，为捕获完整的需求提供支撑。

有调查分析表明，世界范围内一些重大项目失败的原因中，与用户需求相关的占45%，其中，需求未得到用户确认的占13%，需求捕获不完整的占12%^[1]。因此，保证需求捕获的正确性和完整性对项目成功非常重要。

需求捕获^[2]是指获取用户对于研制中产品的期望和要求的过程，是研制工作的基础，从根本上决定了最终研制出来的产品是否满足用户的需求。场景分析是一种常用的需求捕获技术，是指把要开发的产品置于其运行的场景中，通过分析产品在场景中的预期行为，捕获用户的需求。

场景分析是一种创造性思维，通过这种方法，可以降低系统中重要的需求被忽视的可能性，同时开发场景活动能够促进组织机构内部之间的沟通^[3]。在研制过程中，中国航发商发采取场景分层、场景识别、场景建模3个步骤，识别航空发动机的运行场景，并使用SysML系统建模语言对典型场景进行建模，通过模型分析其功能、接口等需求，完善发动机需求。

场景分层

针对复杂的产品系统，采用分层分

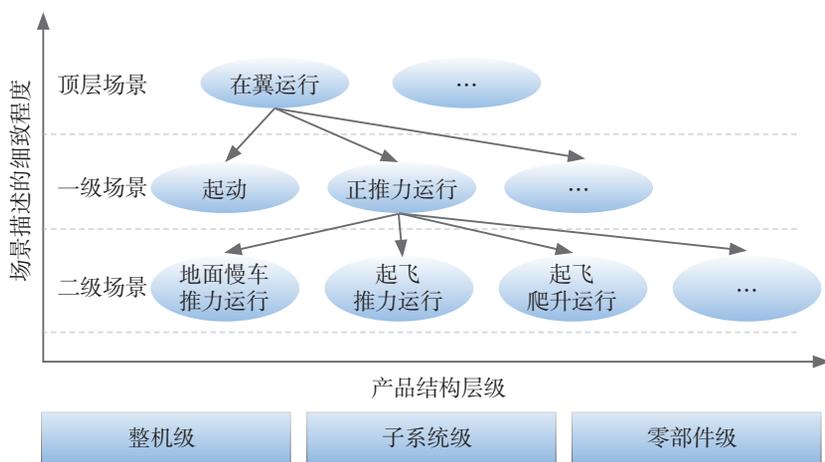


图1 场景分层维度

级的方法对系统进行运行场景分析。场景层级划分可以按产品结构层级和场景描述的细致程度两个维度开展，如图1所示。

在产品结构层级维度，场景层级的划分通常与定义需求层级的需求架构相对应，如可分为发动机整机级运行场景、子系统层运行场景、零部件层运行场景。

在场景描述的细致程度维度，以发动机整机级运行场景为例，顶层场景可分为在翼运行、维护、部署3个场景；再对顶层场景进行细化，如“在翼运行”场景可分为发动机起动、正推力运行、反推力运行、发动机停车等一级场景，再对一级场景进行细化可得到二级场景。

场景识别

可以从系统的运营阶段、状态模式、内外部环境3个维度识别系统的运行场景。从这3个维度分析发动机整机级运行场景，如图2所示，识别出发动机的正常运行场景（表1）和发动机异常运行场景（表2）。

场景建模

使用系统建模语言（SysML）开展场景识别、功能流分析、活动时序分析等活动，对航空发动机的典型运行场景，如正常起动场景、起动故障场景、正推力运行场景、停车场景，构建相应的模型，从模型中分析得到主要的系统需求。

SysML是一种图形化的建模语

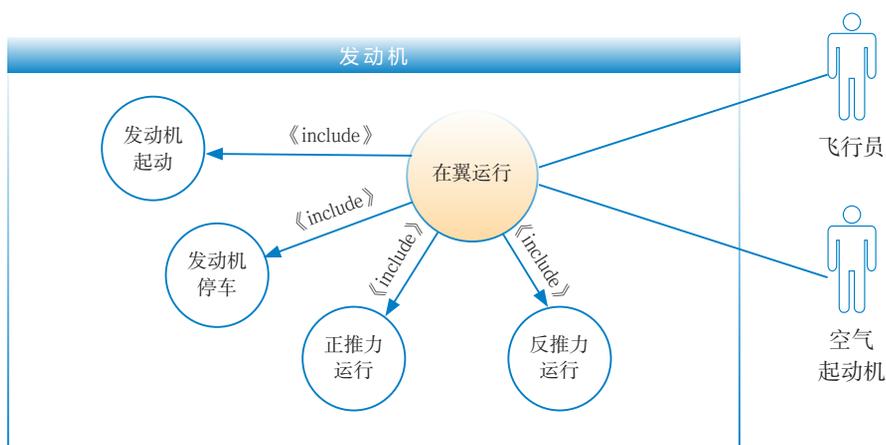


图4 基于用例图识别场景集

以被执行已验证行为逻辑的合理性。其中，用例图、活动图、顺序图可用于场景的识别与分析。用例图能够表达发动机的顶层功能集，活动图可对某一场景进行功能流分析，顺序图能够按时序描述活动的交互关系。

基于用例图的场景识别

在完成场景识别后，可通过用

例图表达出发动机的场景，场景与场景之间的层级关系（如用“include”表示场景之间的包含关系），以及场景与外部角色（场景参与方）之间的关系，如图4所示，描述了发动机的顶层场景“在翼运行”及其一级场景“发动机起动”“发动机停车”“正推力运行”“反推力运行”等。

基于活动图的场景分析

选取典型用例，使用活动图对用例进行分析，活动图可以分层来建立，如对于“发动机起动”用例，首先建立其主活动图，主活动图中将包含地面起动、空中起动、风车起动、冷运转、油封启封5种不同的起动模式，针对每种起动模式进一步通过活动图描述其实现过程，如“地面起动”子活动图中，包括飞机给发动机上电、发动机自检、发动机接收来自飞机的起动指令、发动机接收地面气源进行起动、发动机供电电源切换、飞机提供电源点火、飞机供油、切断点火电源、切断地面气源供气、发动机继续加速至慢车等活动。

在活动图中，基于各活动可以牵引出功能需求，并与活动建立追溯，如图5所示，由“发动机上电”这一活动定义出“发动机起动前应

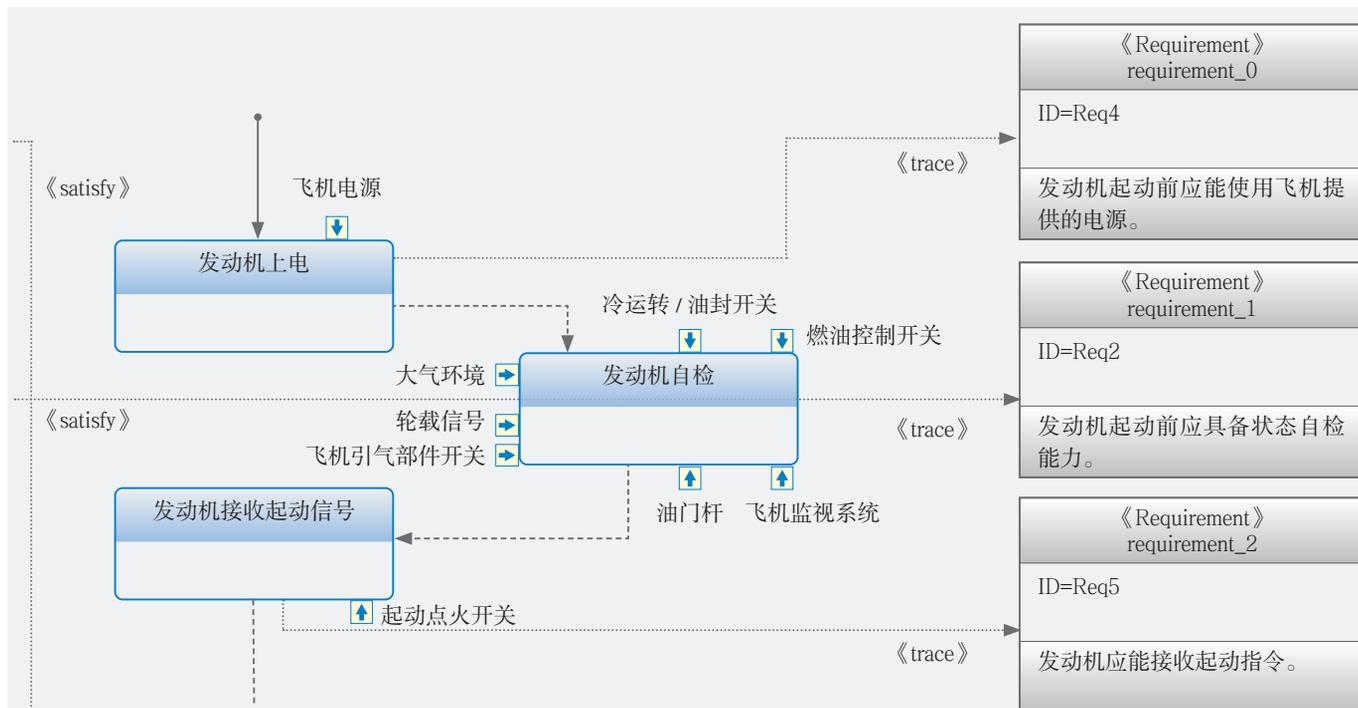


图5 基于活动图定义功能需求

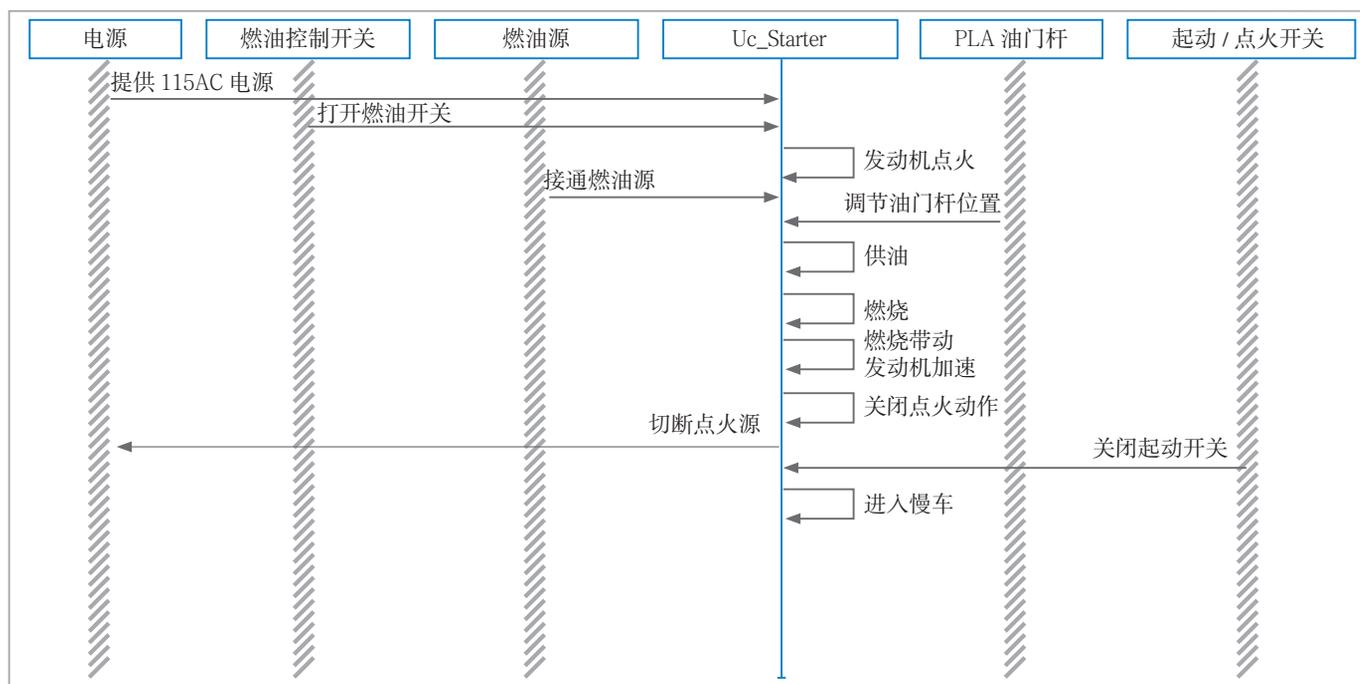


图6 基于顺序图的场景分析

能使用飞机提供的电源”这一功能需求。同时通过建立需求与活动的追溯关系，可以检查系统需求是否覆盖了各活动，从而可以检查系统功能需求的完整性。

基于顺序图的场景分析

基于活动图，生成活动的顺序图。顺序图使用二维图描述了对象之间的交互关系，纵向是时间轴，时间沿竖线向下延伸；横向轴代表了协作中的各独立对象；顺序图关键要素有：对象、消息、系统操作，通过顺序图，整理执行各活动的交互对象和交互内容，从而识别出实现该功能时，发动机与外部角色的接口，为定义发动机与其他系统间的接口需求提供了输入，同时可以通过接口需求是否覆盖了所有接口来检查接口需求的完整性。

图6所示为“风车起动”的顺序图。通过该顺序图，识别出的接

口为电源需提供“电源”给发动机；燃油控制开关需提供“燃油开关打开信号”给发动机等。基于所识别的接口，可检查定义的起动相关接口需求是否完整。

在场景建模过程中，通过建立用例图、活动图、顺序图对场景进行识别和分析，从中牵引出功能需求和接口，同时基于模型可以检查出需求的完整性，可以为定义完整的航空发动机需求提供支撑。

结束语

传统的航空发动机功能与需求分析大多采用头脑风暴的方法，无法确保其完整性，本文提供了一种基于模型的运行场景分析思路，使用分层分级的场景识别方法定义航空发动机运行场景，并基于识别的场景开展基于SysML建模语言中的用例图、活动图、顺序图的运行场景分

析，从中识别出发发动机的功能需求及接口。同时基于模型能够检查需求的完整，这对于捕获完整的航空发动机需求具有重要的意义，也为后续在航空发动机研制过程中探索基于场景的需求分析方法提供了参考。

航空动力

(李志敏, 中国航发商发, 工程师, 主要从事民用航空发动机的需求管理方法研究以及应用)

参考文献

- [1] 邓兴民, 张惠媛, 李建仁, 等. 基于运行场景的需求捕获方法在炮塔中的应用[J]. 西北工业大学学报, 2017, 35(S1): 88-92.
- [2] 林泽宇, 大型客机系统级需求捕获体系的确立[J]. 科技视界, 2015(27):104.
- [3] INCOSE. Systems engineering handbook, fourth edition[M]. Wiley, 2015.