

场景分析在航空发动机需求捕获中的应用

Application of Scenario Analysis in Requirements Capture of Aero Engine

■ 崔金辉 / 中国航发沈阳发动机研究所

航空发动机场景分析是将航空发动机置于预期的使用场景中进行分析并捕获需求的有效手段，可以确保航空发动机设计需求被完整准确地识别，场景分析的合理应用对于能否设计出让用户满意的航空发动机来说具有重要意义。

航空发动机的设计研制是以用户对发动机的使用需求为牵引和约束的，设计人员要把用户使用需求转换为发动机的设计需求，如设计指标或技术要求，用户使用需求是用户与设计人员之间沟通的桥梁。由于飞机任务的多样性导致用户使用需求较多，同时航空发动机的复杂程度较高，涉及多个不同部件和系统的集成，发动机设计人员在梳理、捕获设计需求时，会遇到较大的困难，甚至会遗漏重要的需求项。设计需求是否被完整、正确地识别并转化为设计输入，对于能否设计出让用户满意的航空发动机来说至关重要。因此，需开展航空发动机需求捕获方面的研究。

传统的需求捕获方式、途径有很多，常用的有头脑风暴、用户沟通协商、顶层文件（如国军标等）引用、经验累积法、型号联动法等，但这些方法局限于用户或发动机设计人员的个人视角，人为因素影响大，容易导致重要的需求被遗漏。为克服以上缺点，保证需求捕获的完整性，本文引入了场景分析手段，场景分析最初应用于软件工程领域，后来逐渐成为不同领域需求分析的重要工具。场景分析是一种具有广阔应

用前景的需求捕获技术，设想把要研制的产品置于其可能出现的所有使用场景中，通过分析产品在不同场景中的预期事件或活动，尽可能全面捕获用户的需求。

研究思路

本研究对需求捕获流程、场景分析步骤进行阐述，为支撑场景分析工作的开展，引入质量管理中的“人、机、料、法、环”5个分析维度，并借助飞机使用场景清单中的高原起动作作为典型场景案例，研究如何分解子场景，以及如何确定子场景与5个分析维度的交互关系，进而从子场景中识别、捕获发动机的设计需求。

使用场景清单确定

航空发动机场景分析将航空发动机

置于预期的飞机使用场景中，通过分析航空发动机在具体场景中的角色或使命，充分捕获飞机用户等利益相关方对发动机的设计需求。为保证所捕获需求的完整性，飞机使用场景清单应尽量完整全面，覆盖所有可能出现的场景。

飞机使用场景是指飞机在机组（飞行员和乘务组）、外部环境（大气、无线电、地形、电磁等），以及内部状态的组合中的预期行为。飞机使用场景的确定，应充分考虑到飞机用户的不同任务要求。以飞机为对象，按照时间维度、环境维度、状态维度、任务维度、干系人维度等5个维度梳理飞机使用场景清单，具体如表1所示。以时间维度为例，飞机从收到任务指令开始，一直到任务结束所发生的所有事件，都列

表1 不同维度下飞机使用场景

| 维度 | 场景名称 |
|-------|---|
| 时间维度 | 地面起动、暖机、滑跑、起飞、爬升、巡航、作战、进近、着陆等 |
| 环境维度 | 海拔高度、大气条件、电磁环境、风、沙、雨、雪、大气含湿量、含盐量等 |
| 状态维度 | 单发失效、双发失效、舵面卡阻、液压系统失效等 |
| 任务维度 | 常规运营、飞行试验、维修、清洗等 |
| 干系人维度 | 从干系人的角度考虑场景，如乘务员与乘客的应急撤离场景，乘务员的厨房操作场景，乘客的盥洗室操作场景等 |

为飞机使用场景，飞行前的准备工作包括发动机地面起动、暖机、滑跑，起飞离地后飞机要求按照规定角度爬升，达到预定高度后开展飞行任务如作战、追踪、逃跑等，完成任务返航着陆，以上都是飞机的使用场景，其中发动机全程参与不同工作场景的任务。

需求捕获流程

航空发动机设计需求来源于利益相关者对产品的使用要求。因此，需求捕获的第一步是识别与产品有关的利益相关者。

图1给出需求捕获的大概流程，

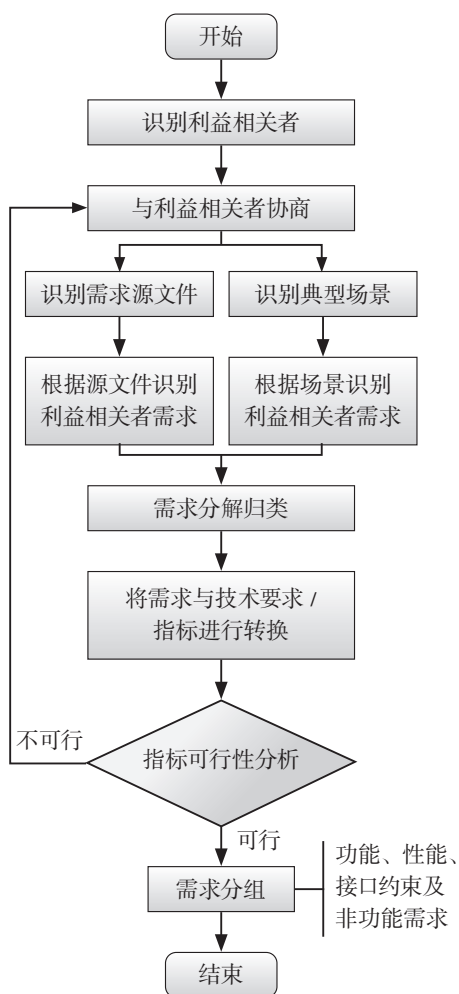


图1 需求捕获流程

与利益相关者协商后，主要按照两条思路开展工作，包括识别需求源文件和识别典型场景。通过分析源文件和场景，捕获利益相关者需求。本文暂不对源文件分析开展研究。场景分析更加注重发动机实际应用场景，能够直接且有针对性地捕获发动机设计需求。

场景分析方法

在需求捕获流程中，当完成典型场景的识别后，按照场景分析步骤开展场景分析工作，逐步识别航空发动机利益相关者的需求。

典型场景识别

航空发动机交付用户后，在使用过程中会面临着不同的使用场景，上文已对使用场景清单做了分析，典型场景如飞机起飞、飞机盘旋、空中格斗等，并且飞机还面临着不同大气条件下的使用场景，如高温天气发动机起动、高原缺氧环境起动、雨雪环境起飞降落等。发动机设计之初，需考虑到不同的使用场景，才能确保设计出的发动机满足用户在不同场景下的使用需求。因此，需要全面识别发动机在后续使用过程的典型场景，不断完善场景清单。

场景分解得到子场景

场景分解是将典型场景按照一定的时间顺序或逻辑顺序拆分成多个子场景的过程，可以把子场景当作典型场景的帧，即每个典型场景可以拆分为一系列的帧画面。

子场景分析

在某一场景或任务下，发动机需按照规定的控制规律运转，按照给定的逻辑调整发动机状态，发动机所处的环境也会对场景的实施产

生影响。因此，引入质量管理中的“人、机、料、法、环”5个概念，形成场景分析的基本分析维度。

航空发动机在某一场景下可能需要“人”的参与，考虑到不同群体的技术水平和操作能力的差异，航空发动机的使用中不应出现操作过于复杂的情况，设计上以操作简便为准则。同时，在设计中要考虑人的安全因素，不应出现易对使用者产生伤害的设计方案。另外，从设计上需考虑到人对产品的辨识度，如不同部件应区分不同颜色或有醒目的标识。

在部分场景下，航空发动机的使用需要考虑用户与发动机之间的交互问题，“机”可以理解为设备、机械或产品，是“人”工作的对象。例如，航空发动机的维修场景，“机”指的就是被维修的发动机，需要考虑维修人员是否能够便捷地实施维修操作，发动机设计是否已考虑为维修人员提供合理的操作空间以方便维修人员实施检查。

“料”可以理解为字面意思，即材料。引申意义上指场景中可能需要的耗材、可消耗件、备件，以及部分场景下需要的工具等。尤其对于航空发动机，需要多种不同的材料、工具。

在场景分析中，某些场景的开展需要以一定的技术资料或国军标等上层文件为依据，遵守相关的程序、规章、条款、手册、法律法规等。引申含义可以包括控制规律、工作原理、逻辑等。

“环”指的是场景运行所处的环境或外部条件。广义上，包括资源环境、社会环境、自然天气环境（如温度、湿度、风雪等）。航空发动机

可能工作在高原、海洋、高空环境中，也可能工作在高温、寒冷和沙尘环境中，不同的环境将会对发动机的设计提出不同的要求。

需求识别

在经过子场景的分析后，可捕获到利益相关者在典型场景下不同类型的的需求。因存在不同需求相互制约和冲突的情况（如发动机对技术的先进性要求和研制成本之间的制约），应对不同需求进行有效权衡，如取舍、合并和折中。

场景分析案例

以航空发动机常见的高原起动为典型场景，选取高原起动的原因主要是考虑到发动机在高原条件下，需要进行环境修正。按照上文思路，首先将高原起动拆分为不同的子场景，其次分析每个子场景与“人、机、料、法、环”5个分析维度的交互关系，捕获每个子场景对应的设计需求。

场景分解与子场景需求捕获

经分析，高原起动场景按照时间顺序可分解为5个子场景。通过提取不同子场景关键词的方法，确定与该子场景有交互关系的维度，进而捕获相应的设计需求。

子场景1：飞行员给出起动机指令，上推油门杆。通过分析，该子场景涉及的关键词为飞行员和油门杆，即与该子场景有交互关系的维度为“人”和“机”。需围绕飞行员对油门杆的操作识别相应需求，关注点是飞行员能否轻松便捷地完成对油门杆的操作，因此，捕获的需求为“油门杆便于操作，操作阻力矩不应大于规定值”。

子场景2：起动机开始工作，带转发动机加速。通过分析，该子场

景涉及的关键词为起动机和发动机，即与该子场景有交互关系的维度为“机”，考虑到高原起动的因素，隐含的维度还应包括“环”。高原环境下起动机带转能力与海平面不同，需以高原环境下发动机对起动机能力需求为出发点，因此，捕获的需求为“高原环境下，为保证发动机可靠起动机，起动机最大输出功率不应低于规定值”。

子场景3：发动机点火供油，排气温度快速上升。通过分析，该子场景涉及的关键词为点火和供油，即与该子场景有交互关系的维度为“料”“法”和“环”。高原环境下发动机供油规律与海平面不同，点火困难，需要考虑环境因素对供油规律的修正。因此，从“料”的维度捕获的需求为“航空发动机燃油要求，如清洁度和闪点等”；从“法”的维度捕获的需求为“发动机点火时机（如点火转速）按规定值执行”和“高原环境下，发动机点火供油规律按规定要求执行”；从“环”的维度捕获的需求为“高原环境下，需根据环境大气压力和温度对发动机点火供油规律进行修正，修正方法按规定要求执行”。

子场景4：起动机与发动机脱离，起动机停止工作。通过分析，该子场景涉及的关键词为起动机、发动机和脱离，即与该子场景有交互关系的维度为“机”和“法”。起动机与发动机脱离，涉及在什么时候脱离、能否成功脱离的问题。因此，从“机”的维度捕获的需求为“起动机具备与发动机断开连接的功能，并且要设计起动机和发动机的保护逻辑（如保护扭矩上限）”；从“法”的维度捕获的需求为“起动机脱离

时机（如脱离转速）按规定要求执行”。

子场景5：发动机加速至慢车转速稳定运转，起动机成功。通过分析，该子场景涉及的关键词为加速、慢车和稳定运转，即与该子场景有交互关系的维度为“法”，因此，从“法”的维度捕获的需求为“高原环境下，发动机加速供油规律应按规定要求执行”。考虑高原环境下供油规律需要修正的原因，隐含的维度还应包括“环”，从“环”的维度捕获的需求为“高原环境下，需根据环境大气压力和温度对发动机加速供油规律进行修正，修正方法按规定要求执行”。另外，考虑发动机在慢车状态稳定运转，需设计合适的慢车状态供油规律，从“法”的维度捕获的需求为“发动机慢车状态最小供油量按规定要求执行”。

需求项合并整理

完成子场景需求捕获后，会得到多个需求项。由于同一个子场景会得到不同的需求，不同的子场景也会得到相同的需求，因此需对需求项进行归类合并，完成利益相关者需求的识别。

结束语

场景分析方法能最大程度地保证捕获需求的完整性、正确性，在航空发动机需求分析方面具有较好的应用前景，本文提出的场景分析方法和思路，可推广至不同型号航空发动机甚至其他设备产品的研制需求分析中。

航空动力

（崔金辉，中国航发沈阳发动机研究所，工程师，主要从事航空发动机总体性能设计）