

# 维修工程分析相关方法在综合保障中的应用

## Application of Maintenance Engineering Analysis for Integrated Support

■ 陈杰 唐平一 / 中国航发动研所 刘一鸣 / 中国航发研究院

维修工程分析在航空发动机全生命周期的各个阶段都发挥着重要作用。明确航空发动机维修工程分析的技术要求、总体架构和内外部接口关系，构建具有可操作性的流程与方法，能够为航空发动机开展维修工程分析提供指导。

**维**修工程分析（MEA）是航空发动机全生命周期综合保障中须持续开展的集技术与管理于一身的重要活动。维修工程分析是《S3000L后勤保障分析国际程序规范》中与维修相关的各分析活动的总称。S3000L是由欧洲航空航天与防务工业协会(ASD)制定的后勤保障分析（LSA）规范<sup>[1]</sup>，规定了LSA的工作流程和工作包、业务数据元素和数据模型及信息交换等内容，明确了与其他综合保障S系列标准的接口关系<sup>[2]</sup>。基于S3000L的维修工程分析技术是目前国际上广泛使用的分析技术。航空发动机维修工程分析活动的选择，需要结合发动机产品使用及用户要求，选择合适的维修工程分析活动，同时要覆盖所有的维修任务需求、维修资源规划和维修经济性等3方面内容。结合发动机产品维修工程分析要求，维修工程分析需要给出维修什么、怎么维修、何时维修、所需资源、维修性和经济性等几个方面的内容，如图1所示。

### 维修工程分析总体框架

维修工程分析是航空发动机综合保障的基础和核心，对发动机维修要

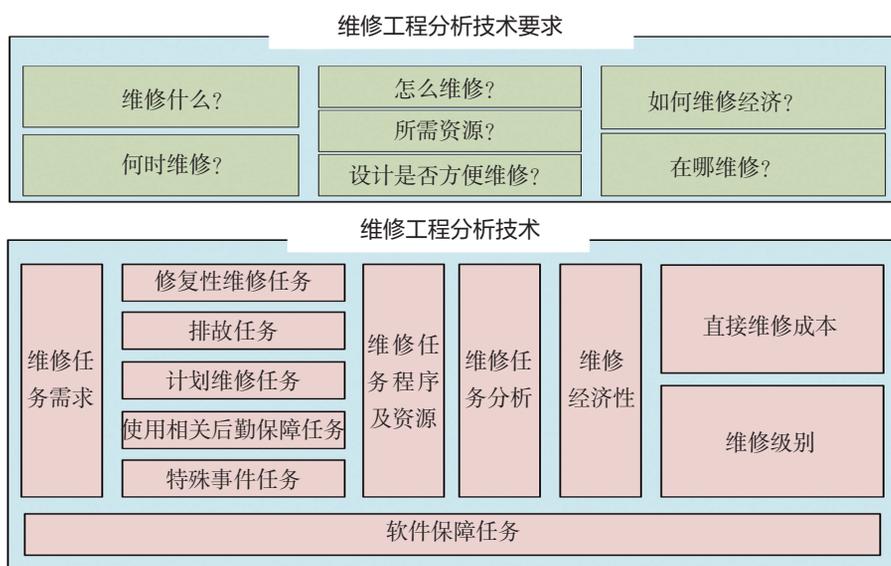


图1 维修工程分析技术的选择

求进行约束，是确定维修对象、维修程序、维修资源、维修费用的基础。维修工程分析起到承上启下的作用，上游连着产品设计，下游连着服务产品，对维修培训、备件初始规划、技术资料、工具设备提供基础输入。建立航空发动机维修工程分析总体框架，应依据航空发动机维修保障的实际需求，以维修服务总体策划为目的，以维修任务为中心，具体如图2所示。

其中，维修工程分析主要的工作内容包括计划维修分析（SMA）、后勤保障分析-故障模式影响分析

（LSA-FMEA）、排故分析（TSA）、损伤与特殊事件分析（DSEA）、后勤相关使用分析（LROA）、维修任务分析（MTA）和修理级别分析（LORA）等。

### 维修工程分析内外部接口关系定义

维修工程分析是连接产品设计和维修类客户服务产品的纽带，以分析源数据作为输入，是必要的分析基础和服务产品开发前提条件。源数据主要包括设计要求文件、客户需求文档、可靠性/安全性/维修性/测

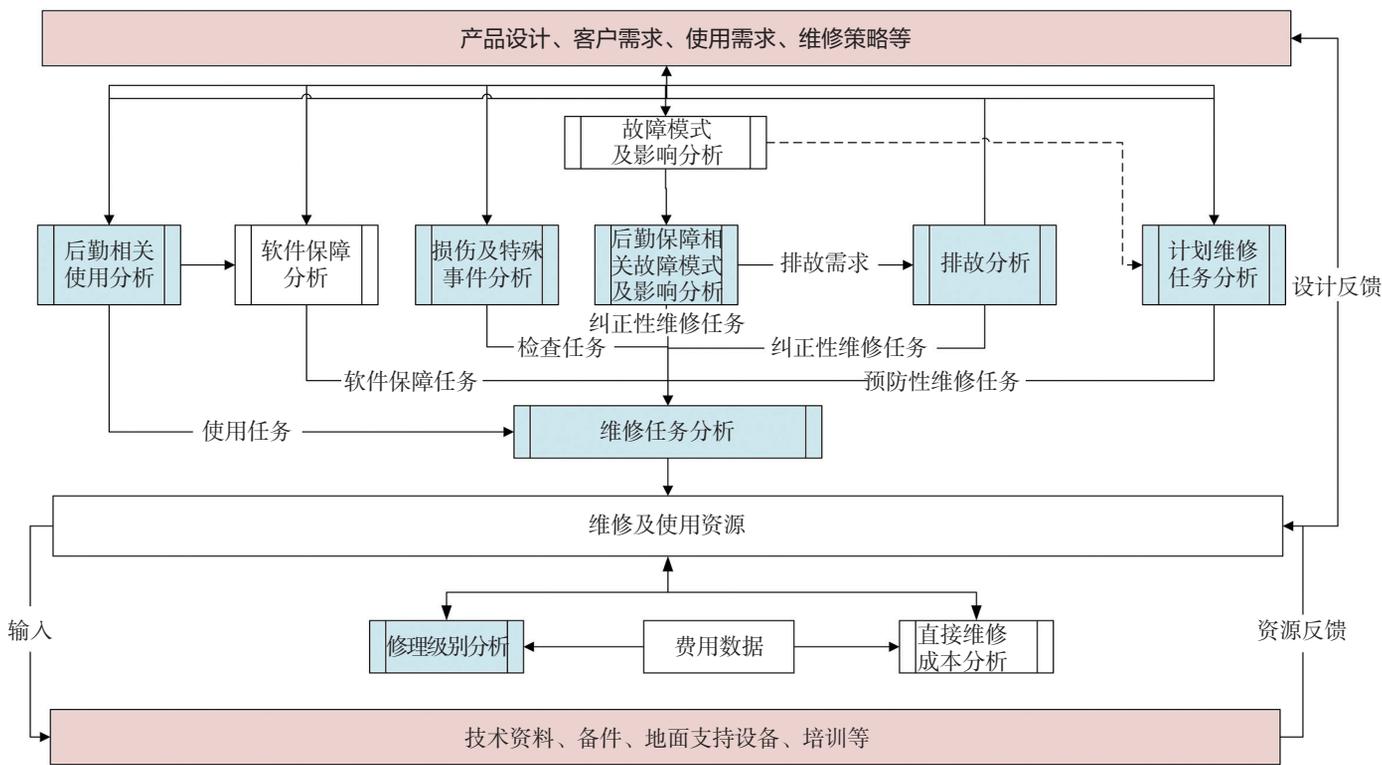


图2 维修工程分析总体框架

试性分析报告、三维工程数据集、材料及工艺、试验试飞数据以及飞机与发动机的接口数据等。基于源数据开展各项分析工作，分析结果服务于产品的使用与维修，各类维修任务经过MTA分析后，确定各类保障资源，并输出给技术资料、备件、工具/设备和培训等部门，最终形成各个服务产品。维修工程分析的输入输出关系如图3所示。

MEA内部及外部接口关系具体如下：维修工程内部之间存在输入输出关系，如LSA-FMEA确定排除分析对象并输出给TSA，各类维修任务输出至MTA，进行任务程序及资源判断；技术资料方面，通过MEA任务需求分析形成的各类维修任务要求，经过MTA分析后将结果输出给技术资料，形成发动机维修类手册交付客户使用，主要包括维

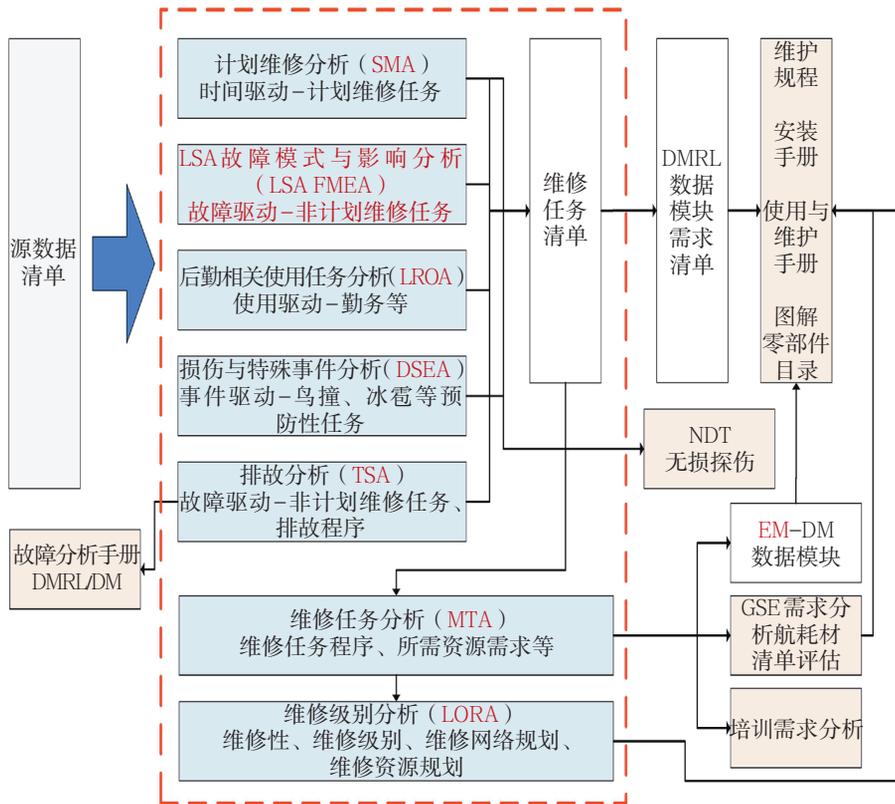


图3 维修工程分析接口关系

修大纲、使用与维护手册、安装手册、故障分析手册及图解零部件目录；航材方面，推荐的初始航材备件清单（RSPL）、备件管理方面需要MTA提供维修任务频次信息；培训方面，维修人员的技能及培训需求信息来自MTA分析结果。

## 维修工程分析的实施

### 维修工程分析工作流程

根据维修工程分析业务支撑产品设计和维修类服务产品开发的功能，维修工程分析工作贯穿于发动机的全生命周期。根据发动机的研制阶段，依照SMA、LSA-FMEA、DSEA等维修工程业务各分析模块间输入/输出顺序关系，合理安排维修工程各分析模块工作，按方案阶段、工程研制阶段、状态鉴定阶段和列装定型及在役阶段完成发动机维修工程分析工作，MEA工作流程如图4所示。

同时分别建立SMA、LSA-FMEA、TSA、DSEA、LROA、MTA、LORA相应的分析流程与规范，明确各项分析工作的管理要求、职责分工和工作流程，例如LSA-FMEA分析与SMA计划维修分析的流程，如图5所示。

### 维修工程分析组织机构

为有效管理航空发动机维修工程分析工作，应成立MEA执行部门。MEA执行部门需要基于发动机项目工作分解结构（WBS）管理要素及要求，成立整机组及各专业组。整机组完成综合保障相关的使用任务分析、发动机级的支持性维修任务和使用任务的MTA分析、直接维修成本分析等工作；各专业组完成各专业相关的维修工程分析工作。

MEA执行部门需指定MEA管理人员。MEA管理人员负责完成维修

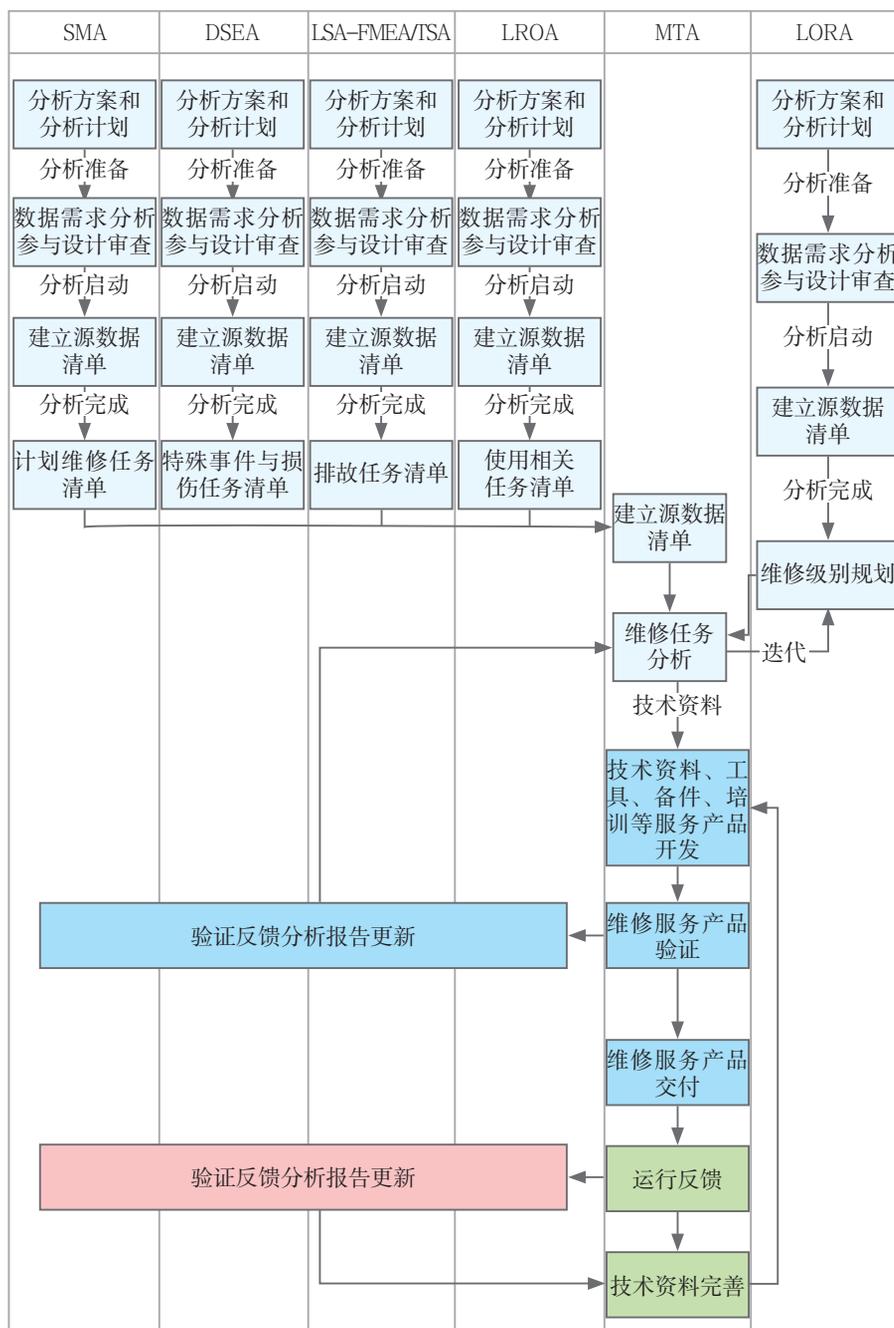


图4 维修工程分析主流程

分析规划工作；负责制订总体工作计划，对计划进行分工安排并监督实施；负责统筹人力资源在多型号、多任务合理调配和有序开展。整机组及各专业组须指定MEA主管和MEA分析人员。MEA主管的主要职责是：依据总体工作计划，制订各

维修工程分析计划；监督MEA任务的完成进度；负责编制和修订维修工程分析规范和管理程序；负责进行MEA分析培训；开展维修工程分析源数据收集与分析；负责审核维修工程分析报告；管理与工程设计部门、发动机主制造商和供应商等

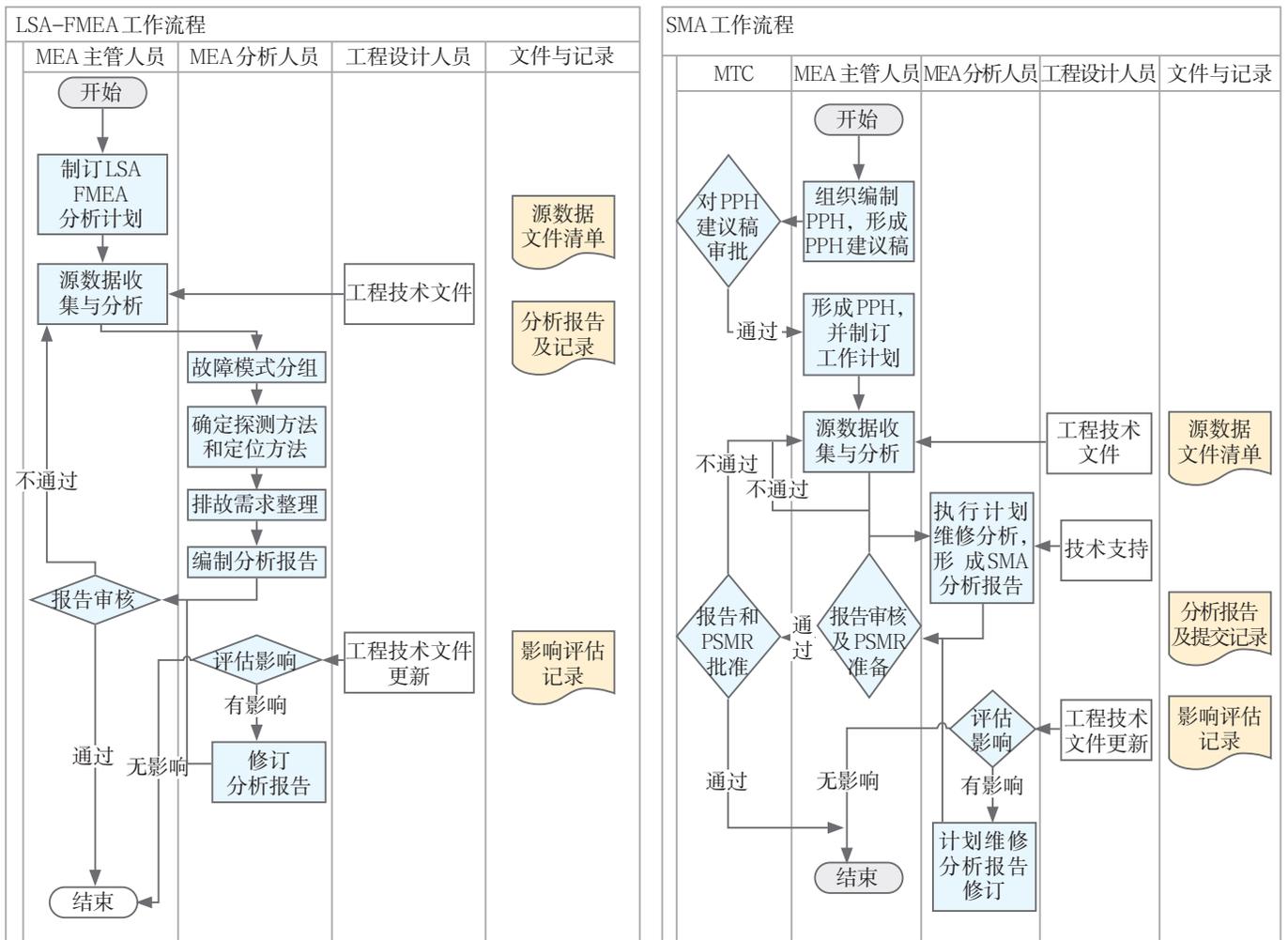


图5 LSA-FMEA与SMA工作流程

的数据收集。MEA分析人员负责：根据维修任务需要开展各项维修工程分析工作；基于设计更改及用户使用数据反馈对以上分析活动进行分析更改。

**维修工程分析候选项**

维修工程分析对象选择就是将发动机按产品结构分解与各项维修工程分析技术进行挂接的过程，也就是候选项筛选过程。发动机产品结构分解是确定维修工程分析候选项的基础输入。航空发动机MEA候选项包括产品本身与事件两类。针对发动机产品本身，通常可根据

S1000D按发动机SNS标准编码对发动机按系统、子系统、功能和区域进行分解，并结合实际使用需求开展候选项选择。针对事件类候选项的选择，须基于行业数据统计与经验积累，梳理出对发动机持续稳定工作能力造成严重影响等特殊事件，如鸟撞、冰雹等。

针对不同级别及不同类别的分析对象，通常须进行一个或多个维修工程分析活动，以确定该对象可能产生的维修任务，以便进一步开展维修资源识别分析。维修工程分析开展初期，可针对所选择的候选

项，建立候选项/维修工程分析活动矩阵。

**航空发动机维修工程分析典型应用**

根据发动机结构特点，按照相关流程规范进行LSA-FMEA分析，如图6所示。首先在发动机外场可更换件（LRU）层面确定了128个关键项目（CIL），经梳理分析，将其中43项选定为LSA-FMEA候选项，并构建LSA系统树；其次对发动机的故障模式进行归纳和分析，得到与LSA-FMEA候选项相关的146项故障模式，包括故障影响、故障率、虚

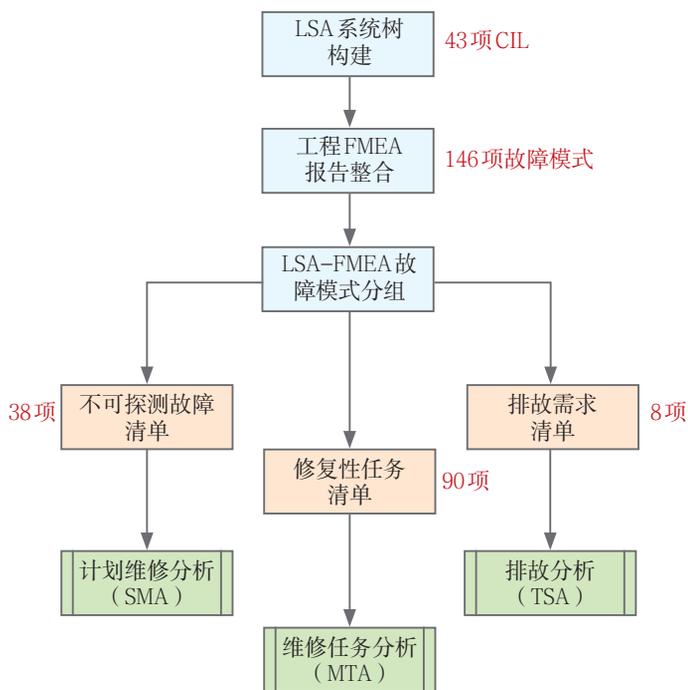


图6 航空发动机LSA-FMEA分析过程

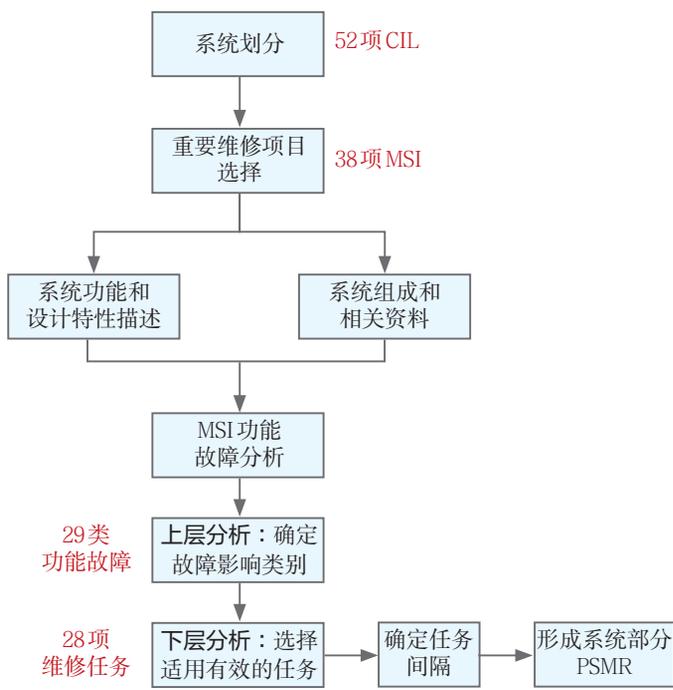


图7 航空发动机SMA分析过程

警率、严酷度等级等信息,明确了与LSA-FMEA相关的故障模式;最后对故障的可探测性、虚警率、模糊度等级、修复性维修措施进行分析,将LSA-FMEA相关故障模式分为不可探测故障(38项)、需进行排故分析的故障(18项)、LSA-FMEA修复性维修任务(90项)等三类,分别作为SMA、TSA、MTA的输入。通过对发动机的LSA-FMEA分析,系统、全面地识别了发动机外场维修保障中的故障模式和维修任务需求,确定了现场修复性维修项目,并为SMA、TSA分析准备了前提条件,因此LSA-FMEA是整个发动机维修工程分析的基础。

按照SMA分析的相关流程要求,首先根据发动机系统划分情况,如图7所示。将52个部件/系统确定为SMA候选项,按照故障影响程度将其中38个部件/系统确定为重

要维修项目(MSI)、8个部件/系统确定为最高可管理层;其次以最高可管理层为对象,对其功能、功能故障、故障影响、故障原因进行分析,确定了该发动机SMA相关的29类功能故障;然后以S3000L中设置的故障影响问题模板,对功能故障进行上层分析和下层分析,确定各故障的影响类别和相应28项维修任务;最后根据类似型号使用经验提出了各维修任务的维修间隔建议。通过SMA分析,得到了该型发动机基本的、周期性的维修任务,为从正向设计上提高发动机的外场使用安全、降低使用维修成本做了有益的工作。

### 结束语

随着我国航空发动机服役数量大幅增加,实战化的使用环境对发动机服务保障工作提出了更高的要求,

急需构建和完善我国航空发动机综合保障体系。维修工程分析是支撑航空发动机全生命周期综合保障的重要技术手段,加强航空发动机领域维修工程分析理论研究和型号实践,能够显著提高航空发动机综合保障技术能力。

**航空动力**

(陈杰,中国航发研研所,高级工程师,主要从事航空产品服务保障体系与支撑技术研究)

### 参考文献

- [1] ASD. S3000L international procedure specification for logistics support analysis (LSA) [S].[2010-04-01].<https://www.asd-europe.org/news-publications/standards>.
- [2] 庚桂平. S3000L《后勤保障分析国际程序规范》介绍[J].航空标准化与质量,2013(3): 5.