

航空发动机修理技术状态数字化管理创新

Digital Management Innovative of Aero Engine Repair Technology Status

■ 余治国 / 空军驻西安地区第二军事代表室 杨军 吴嘉涛 刘建国 李成山 / 中国航发西航

中国航发西航大修中心的发动机修理业务利用数字化、信息化管理工具，实现了发动机全生命周期技术状态精准管理，推进质量管理信息化在生产一线落地。

伴 随着航空发动机修理的复杂化和多元化，为了有效地确保发动机全生命周期内所有更改内容的可追溯性、可控性和有效性，实现发动机的设计与需求一致，交付产品与设计内容一致，利用数字化技术做好各项技术状态管理成为重中之重。

修理技术状态管理要点

航空发动机修理流程主要包括分解、化学清洗、计量、探伤、故障检查、修理、装配、试车（见图1），每个环节都有相应的技术状态管理要求，并且不同翻修期、不同待修发动机要落实的技术要求各不相同，只有当修理过程中的技术状态按规定得到控制，才能保证修理后的发动机质量合格。

航空发动机修理技术状态管理有如下要点：首先，根据历次修理状态和使用寿命，确定本次修理分解深度及特殊检查要求，制订单台技术状态的管理方案，形成单台技术单；然后，依据技术单中的技术状态要求制

定最佳维修路线分解发动机，进行不同程度的检查维护；接着，按技术状态管理要求，在故障检查流程中对不同的单元体、部件、组件及零件进行检查修理；最后，检查合格的发动机零部件按照工艺规程重新装配检查试验后，进行试车验证，满足最终交付使用技术状态条件后交付客户。从上述的流程可以看出，在航空发动机修理过程中，为了保证使用可靠性，技术状态管理贯穿整个流程，繁复且要求极高。

修理技术状态管理系统的建立

中国航发西航大修中心基于航空发动机修理流程，通过确定管理要素，借助数字化、信息化技术，构建技术状态管理模型，运用信息集成自动化技术，建立航空发动机修理技术状态管理系统，实现了技术状态管理数字化，从而提高效率减少重复劳动，杜绝人为错误。

修理技术状态管理系统架构

按照产品最终技术状态实现过

程，将修理技术状态管理系统架构分为设计、工艺、管理和执行4个层次，如图2所示。

设计层文件包括翻修手册、修理工艺规程、质量验收标准和单台技术单等；工艺层文件包括分解、化学清洗、故障检查、修理、装配等工艺规程；管理层文件指单台发动机修理技术单；执行层文件包括临时工艺规程、质量控制卡、故障检查单、修理通知单等。这些层级文件要求的落实均是有效实现技术状态管理流程中的重要环节，各环节互相承接，技术状态要求自上而下、逐步分解，最终形成目的清晰、分工明确的执行层文件指导现场作业。

建立数字化修理技术状态管理系统

中国航发西航大修中心构建的修理技术状态管理系统以装配制造执行系统（MES）为内核，通过集成产品数据管理（PDM）、数字化检测、企业资源规划（ERP）等多个系统的技术状态管理接口，实现对发



图1 航空发动机修理流程

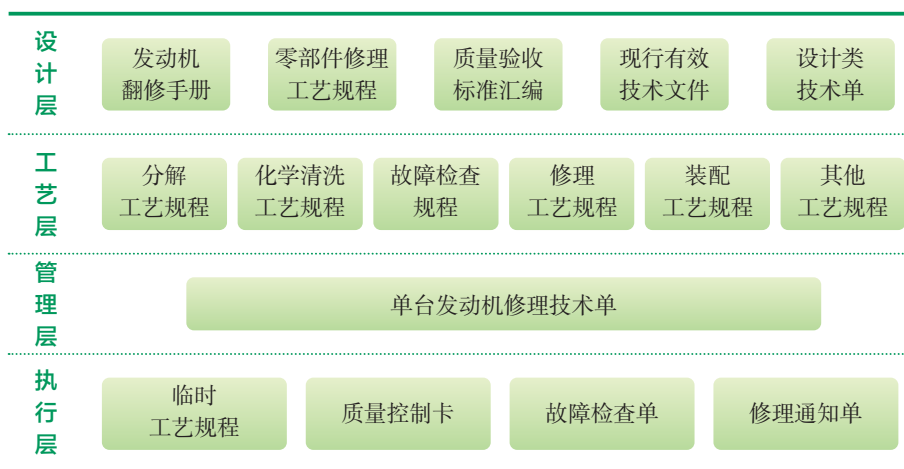


图2 发动机修理技术状态管理系统架构

动机全生命周期技术状态的数字化管控，系统应用场景如图3所示。系统注重在设计技术文件下发后，如何对技术要求进行分解以及对分解后的技术状态管理要求在现场的执行结果进行监控。经过返厂通知单、单台技术单、临时工艺规程、单台工艺分解装配指令等操作指导方式，将单台发动机的修理技术要求全面转换成操作者的作业内容，同时采

集作业数据后，系统能够对数据进行判断，对技术要求的执行情况进行监控，从而实现技术状态管理的全流程闭环。

在发动机完成试车后，系统自动完成发动机的技术状态管理结果整理存档，形成发动机卷宗。后期再次修理时能够自动抽取发动机各类技术状态信息，形成再次翻修发动机技术状态管理要求，依此类推，

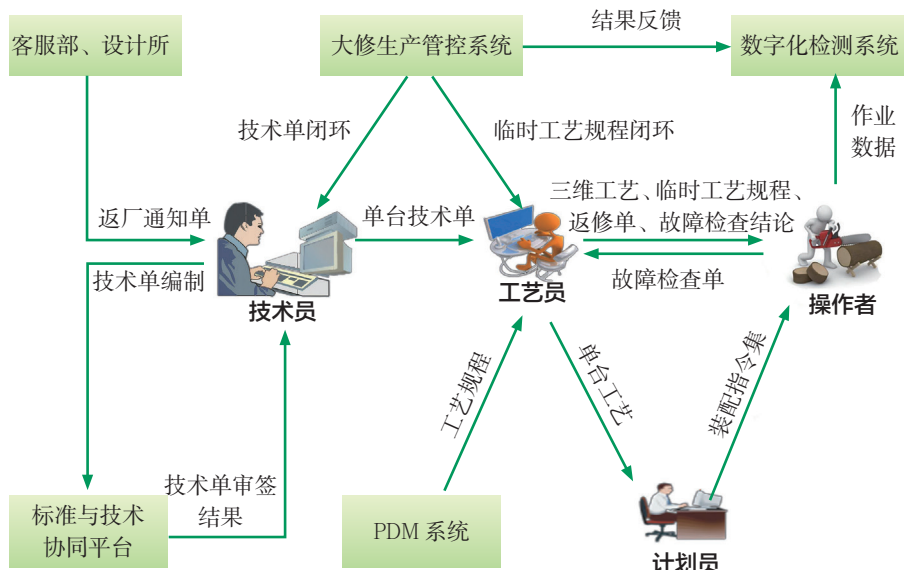


图3 发动机修理技术状态管理系统应用场景

最终完成发动机全生命周期技术状态管理，可极大地降低人工复查强度、缩短工作周期，提高技术状态管理准确性。

修理技术状态数字化管理实践

数字化环境下的发动机修理技术状态管控是通过型号技术文件、设计技术单、更改单对发动机技术要求进行梳理，运用规范化、标准化的语言，明确各项执行内容，结合执行条件纳入工艺规程、故障检查规范或单台修理技术单中。

中国航发西航大修中心通过技术状态管理系统建立技术数据库，对零组件物料清单（BOM）等技术状态管控执行环节进行数字化转变；然后将各模块基础数据进行结构化关联，实现数据之间的相互协同；最后通过技术单、临时工艺规程结构化关联，将单台发动机的技术状态管理转变成指导现场作业的单台操作执行指令，完成技术状态的实施指导；同时现场作业数据也会反馈至管理层文件，保证技术要求闭环及信息上传存储，为下一次修理奠定基础。系统主要从以下几方面开展应用实践。

技术状态标识

技术状态标识的主要工作内容是确定产品结构、选择技术状态项目和建立技术状态基线。首先，建立数据语言的统一性，不同系统、不同部门版次多样，需要统一至同一基准平台上；其次，将多系统、多模块数据进行共享；最后，数据的创建、更改需要有完善的控制措施。技术状态管理系统通过零组件BOM、发动机基础信息、技术单条目、

工艺规程和临时工艺规程5个管理模块来实现对技术状态标识的数字化改造。

零组件BOM管理 产品的数字化是通过搭建零组件BOM来实现的，以数据格式描述产品结构。为有效保证数字化设计与制造过程中产品数据的一致性和完整性，系统的零组件BOM与PDM、ERP系统协同梳理，采用统一的BOM结构树进行管理，按结构特点划分为发动机、大部件、部件、组件、零件5个层级，从而能够准确定义每个单元部件的从属结构和不同单元之间寿命、修理要求等差异。

发动机基础信息管理 由于发动机零件使用寿命、材料、性能、贯彻更改等不同，不同台份的发动机技术状态要求往往各不相同。同一台发动机因返厂状态、翻修周期的不同，修理技术要求也不尽相同。因此，做好发动机基础信息的管理是保证发动机技术状态准确落实的先决条件。发动机基础信息管理主要包含发动机编号、型号、类型、返厂状态、寿命、翻修期、更换件情况等，通过上述关键信息的相互组合，能够唯一确定本次修理发动机的技术状态要求。

技术单条目管理 承接发动机修理过程中的技术单和更改单内容，将其中的技术要求进行分解，形成结构化的技术单条目，并按技术单条目编号规则赋予每项条目唯一编号。对技术单条目中的每条内容，根据文件要求定义执行范围，如使用单位返厂状态、批次、日期等。在后续的单台技术单编制时，系统会根据发动机基础信息，自动调用相关技术单条目，生成单台技术单。

同时，结构化的技术单条目能够被后续临时工艺规程引用和执行。

工艺规程管理 工艺规程采用主流的PDM系统进行管理，与技术状态管理系统进行数据交互。技术状态管理系统通过集成PDM系统，直接获取成形的工艺规程，包括编号、名称、版次、类型、执行阶段等，并按照工艺分离面对工艺规程进行切割，将之分解成易于现场执行的装配指令。

临时工艺规程管理 由于航空发动机修理技术要求的多样性和随机性，单纯依靠工艺规程无法涵盖所有技术要求，因此采用临时工艺规程对短期、批次性或特定台份的技术要求进行管控。为保证临时工艺规程语言描述的规范性和准确性，采用建立模板数据库的形式进行制约。通过模板数据库将临时工艺规程各项要求以结构化形式进行定义，可以关联单台技术单条款，也可以

关联工艺规程中的某项操作。后续临时工艺编制时，只需调用数据模板内容，经过二次编辑即可完成。临时工艺审批完成后随班产任务同步推送至操作者界面。

技术状态控制

技术状态管理的产品结构、技术状态项目标识等确定后，须对已批准的技术状态进行控制，主要是保证技术状态更改、偏离许可和让步的准确实施。此阶段的工作难点是数据的结构化和数据的闭环。数据的结构化要求各项条款不仅能够通过操作者执行，同时还能被其他系统和模块调用，具备统计分析能力；数据的闭环要求技术条款不仅能够自上而下的分解，还能够根据操作者的作业，自下而上地形成闭环，如图4所示。

发动机修理技术状态管理系统在集成PDM系统获取了工艺规程后，通过结构化数据分解，将工艺细化

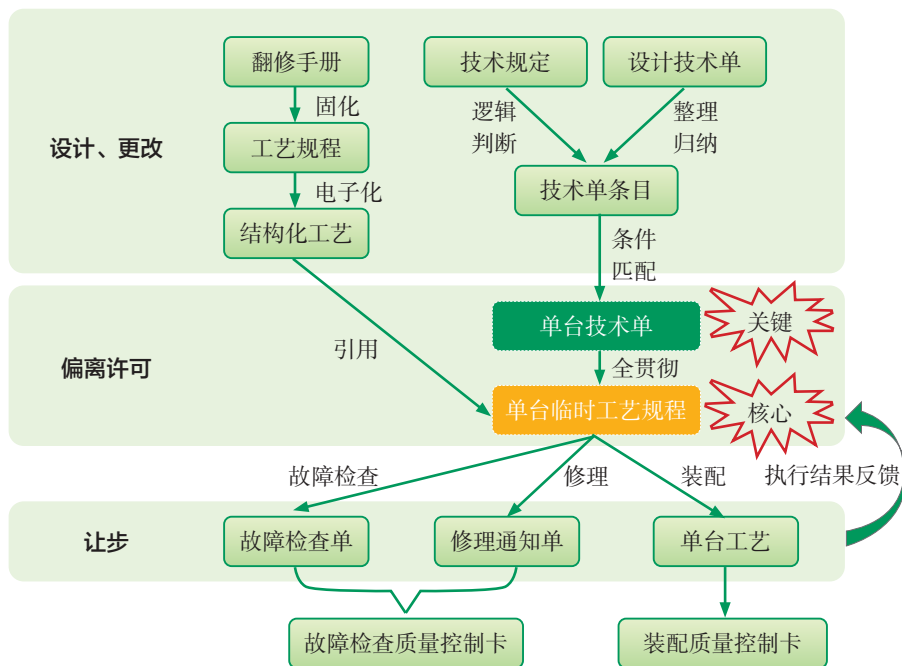


图4 发动机技术状态控制流程

至工步级管理，从而保证工艺规程的每一项要求能够被准确地获取和执行。然后，系统通过搭建技术单条目解读技术规定和设计技术单中的技术要求，通过设定的逻辑判断和整理归纳，明确每一项技术要求的发动机状态、寿命、批次、贯彻要求等内容，并转化为结构化的条目，对各项条目设置唯一编号，便于后续被调用、执行和闭环。

发动机技术状态的偏离许可层面主要包含两项内容，单台技术单管理和单台临时工艺规程管理。单台技术单是在技术单条目管理的基础上，系统通过解读该台发动机的型号、翻修周期、寿命等信息，自动调用技术单条目中相对应的要求，并根据技术单条目编号规则，自动生成单台技术单初稿，由技术人员核对、完善后，确认生效。临时工艺规程是技术状态管理执行的核心，通过贯彻单台技术单的修理要求，明确修理深度和作业内容。系统对临时工艺规程同样做了结构化的数据处理，建立数据库提前关联技术单条目和结构化工艺中对应的要求。通过发动机返厂状态调用对应属性的修理模板，再引用结构化工艺相关的工序和工步内容，按部件生成人工执行指令。

发动机技术状态的让步层面主要包含故障检查单、修理通知单等执行层文件。故障检查单根据零件检查结果，调用零件故障库中的故障描述自动生成。修理通知单则是对临时工艺规程中标准的修理要求和故障检查单中返修零件的修理要求进行贯彻，同样通过系统逻辑判断自动匹配生成修理要求。故障检查单、修理通知单和临时工艺规程

在被一线操作者执行时，系统会依据操作者的执行结果，自动闭环单台技术状态管理执行的相关要求。

技术状态纪实

数字化环境下的技术状态纪实比传统的纸质记录更规范、简洁，同时数据共享性和查询高效性使得纪实管理更加便捷。技术状态纪实的数字化转变重点须关注两个方面，一是过程数据的记录、查阅和长期保存，二是数据的真实性、可靠性保证。在数据的记录和保存方面，技术状态管理系统通过建表和多服务器存储的方式，保证数据不丢失；在数据的真实性和可靠性方面，系统设置了严格的权限分配，通过流程设置保证数据不被篡改。此外，发动机修理结束后，系统打包修理数据，锁定数据内容。

发动机设计、更改层面的技术状态纪实是通过PDM系统进行管理，偏离许可和让步层面的技术状态纪实，则是将技术状态管理系统嵌入MES全流程监控。系统开发有技术单管理、临时工艺规程查看、故障检查单查看、返修单查看等功能，能够按文件快速查询信息；还可根据发动机的修理和装配作业数据，自动生成故障检查质量控制卡和装配质量控制卡。此外，针对修理发动机技术状态复杂多变的特点，建立了发动机修理全过程技术状态管控模式，形成修理发动机技术状态单、发动机装前故障检查技术状态确认表、装配关键点控制状态单、发动机试车前技术状态落实汇总表等过程监控表，系统自动抓取修理过程中的零件信息和装配关键参数，对发动机整个修理过程进行全面监控，加强技术状态过程控制，通过

严格管理装配过程对试车状态偏移进行提前管控，有效保证发动机修理装配质量，提高了发动机试车成功率。系统电子归档功能按照发动机履历，对发动机修理过程的技术状态纪实文件进行整理汇总，可以更加直观、高效地查询和审阅。

技术状态审核

技术状态审核是一个相对复杂的过程，技术状态管理系统能为审核者提供正式技术文件的依据（如质量复查报告，评审所需的设计文件等），并将审核结果转换为系统能够识别的管理措施，完成产品技术状态数据的变更。在这个过程中，为了保证技术状态准确性，关键环节中真正的审核过程需要由人在系统外完成，如评审会议、项目验收等，在得出技术结论后转换为数字代码，将技术状态审核结论通过数字化管理系统实现，从而实现技术状态审核目标。

结束语

由于航空发动机修理工作复杂，技术状态管理的难度极大，传统以纸为介质通过人工记录为主的技术状态管理手段，难以百分百保证数据的完整性、准确性和技术状态的符合性。数字化、信息化技术的应用为技术状态管理有效开辟了新的理想路径，极大地扩展了技术状态管理应用场景，保证了技术要求执行的准确性，实现了技术状态全流程的监控，打破了信息孤岛壁垒，提高了信息利用效率，大大加快了信息检索速度，显著提高了工作效率。

航空动力

（余治国，空军驻西安地区第二军事代表室，工程师，主要从事质量体系管理及质量监督工作）