

航空发动机制造标准体系建设的研究与实践

Research and Practice on the Construction of Aero Engine Manufacturing Standard System

■ 郑冬梅 沈丽娟 / 中国航发动力所

航空发动机制造标准体系与一般产品相比,受产品复杂、研制周期长、承研承制单位多等影响,具有标准数量多、涉及范围广、新旧标准过渡期管理需求突出、标准技术分歧处理难度大等特点,其建设应针对上述特殊性加以充分考虑。

航空发动机是复杂系统。先进、规范的制造标准是航空发动机合格零件的保证,验收标准更是发动机技术状态的重要组成部分。航空发动机制造标准的完善性、合理性和标准状态的可控性以及标准贯彻实施的有效性对发动机的质量保证极为重要。航空发动机生产制造环节涉及的标准包括制造管理标准、材料标准、工艺标准和检测标准等,除少数一般工艺和材料采用行业级以上通用标准外,对关键材料和特种工艺一般执行企业内部标准,以满足研制需要。依托重点型号的研制,航空发动机基本建立起了适合我国国情的制造标准体系,但在标准体系完整性、结构合理性、标准完善性、标准实施管理有效性等方面仍需进一步提升和发展。中国航发动力所航空发动机制造标准体系创新团队(简称“创新团队”)以一型发动机研制为平台,积极发挥总师系统牵头引领作用,协同其他成员单位,对航空发动机制造标准体系进行了系统改进和优化。

建设制造标准体系完整性

以保证设计符合性为出发点,以提质增效为目标,基于对先进经验的学习和对薄弱环节的分析,贯穿航

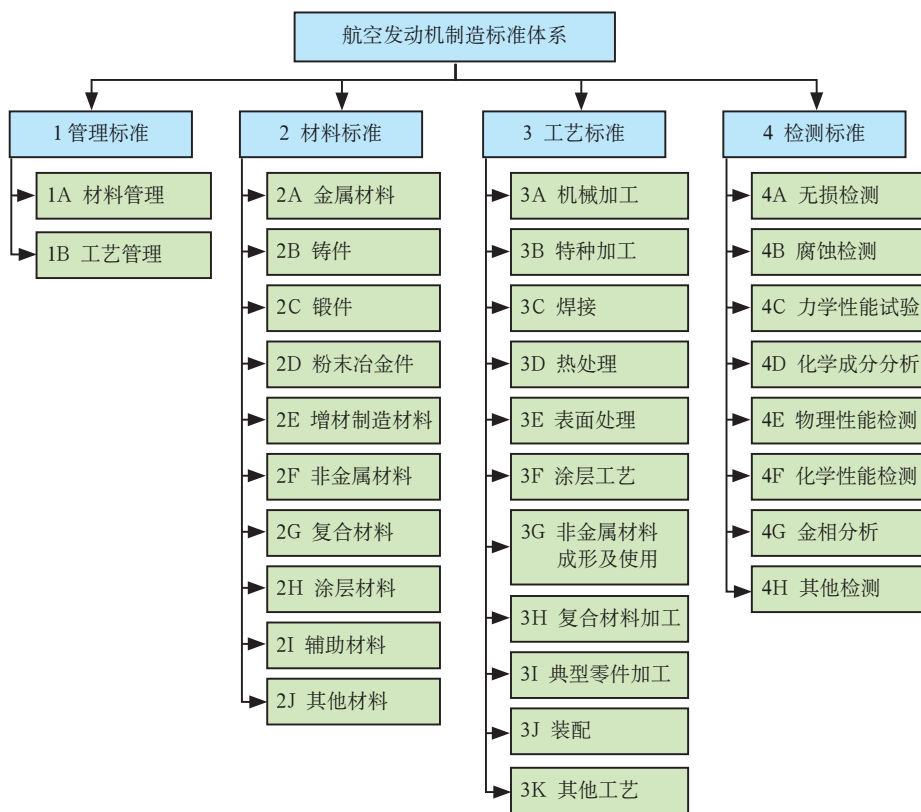


图1 航空发动机制造标准体系总体框架

空发动机主体生产制造全链条,围绕管理标准、材料标准、工艺标准、检测标准4个方面,创新团队全面系统地构建了航空发动机制造标准体系的总体框架,如图1所示。

管理标准

在航空发动机多单位承研承

制、多级配套的生产模式中,创新团队通过管理标准建设形成生产链各结点约束机制,加强过程管控,建立生产链上下游结点之间的信任基础,提高生产链运行效率,保证产品质量,支撑“小核心,大协作”战略的推进。在现有生产秩序的基

基础上，创新团队彻查生产全链条管理薄弱环节，有针对性地补充相应标准项目。

加强对生产上游的控制，固化对产品质量有较大影响的上游生产工艺，规范原材料、毛坯的审核与批准，控制主导工艺的变更，有效地保证原材料、毛坯的冶金质量。

基于质量体系的要求，规范对特殊过程的确认工作。特殊过程是指与产品质量特性相关且不易或无法经济性地验证其是否合格的过程。对特殊过程进行确认的目的是证实这些过程具备实现所策划的结果的能力，有效识别特殊过程，规范特殊过程确认的检验项目和检验要求对保证产品质量有重要意义。

材料标准

材料标准是规范生产对象的标准，包括原材料标准、毛坯标准和半成品标准等。航空发动机研制过程中，随着新材料、新工艺攻关工作的开展，创新团队积极推进新材料攻关成果向标准规范固化，为了进一步提升标准体系的完整性，创新团队牵头各承研承制单位全面开展了缺项标准的深度梳理。

保证发动机主体采用原材料全部有标可依、标准状态有效，补充在研制阶段成果固化时遗漏的材料标准，以及在故障攻关、状态改变时实施的新材料标准。另外，细化标准体系层次，针对关键件和重要件补充制定专用原材料和毛坯标准，以及铸造型壳等辅助材料标准，支撑关键件和重要件的质量持续提升。

为了积极推进先进技术在航空发动机上的工程化应用，充分发挥标准对技术进步的引领作用，针对增材制造等工艺补充新材料标准和

制件标准，解决原材料利用率低、变形量大、加工周期长等问题。

工艺标准

工艺标准一般包括工艺执行标准、工艺控制标准和工艺验收标准等。通常，航空发动机的承制单位较多，各单位间又相对独立，研制过程中工艺标准以执行企业内部标准为主，各单位企业标准是在长期生产经验和应用验证的基础上固化形成，难免存在差异，从而影响了产品质量的一致性，尤其在多流水配套产品上质量隐患尤为突出。另外，标准项目的重复还造成了标准体系的臃肿和不统一。对此，创新团队大力协作，充分发挥总师系统牵头作用，探索交付接口统一和供应商末端灵活性之间的合理平衡，在保证有序生产的基础上形成广泛统一的意见。

统一建设工艺控制标准和工艺验收标准，在工艺执行类标准方面以特种工艺标准建设为主，其他工艺的执行业标准仍以实施企业内部标准为主，并施行有条件的、渐进的兼容建设方案，强化对制造过程和结果的管控，如图2所示。

结合航空发动机制造和使用过程中暴露的问题，分析制造过程薄弱环节，补充清洁度量化控制、典型零件先进工艺等缺项标准，推进

先进工艺技术的工程化应用，进一步提升航空发动机质量。

检测标准

检测标准是规定原材料/半成品/成品等缺陷、理化性能检查和试验方法的标准，通常作为材料标准和制造标准的嵌套标准使用。航空发动机成本高、工艺复杂、可靠性和耐久性要求高，行业通用检测标准基本能够满足一般件的缺陷检测和性能试验要求，创新团队对检测标准建设的重点主要集中在关键件和重要件的专用无损检测标准方面，提升微缺陷的检测能力和产品质量控制水平，为发动机安全可靠使用提供技术支持。

升级制造标准体系结构

受航空发动机早期行业布局和产学研合作模式等因素影响，在航空发动机前期研制过程中，承制单位在制造标准体系中掌握主要话语权，总师系统对制造标准体系的控制不全面、不充分，容易出现技术状态不受控的问题。另外，航空发动机是典型的技术密集型、资本密集型产业，承研承制单位之间既是合作关系也是竞争关系，单位内部存在技术保护且技术交流沟通和载体传递也受诸多限制，这就造成了各承制单位倾向于更多地采用企业标准。

为了从根本上解决上述问题，总师系统必须在制造标准体系中掌握话语权，在满足设计要求的条件下，为了有利于降低成本、拓展供应链，一般件使用的标准以行业级以上标准为主，关键件、重要件使用的标准则由总师系统牵头制定型号专用标准，将承制单位掌握话语权的分散型制造标准体系转变为总

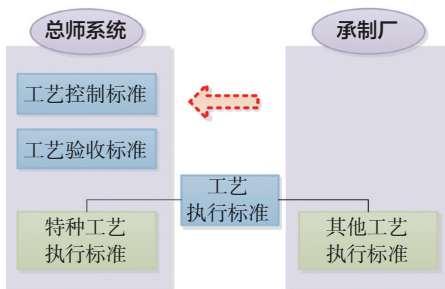


图2 工艺标准建设思路

师系统掌握话语权的集中型制造标准体系。

构建多单位协同建设机制

我国航空发动机经过了60多年的发展，已基本建立起了满足型号研制需要的制造标准体系。但要彻底改变标准体系原有生态模式必然涉及到各单位的利益变化，阻力大、难度高。为了扎实有效地推进工作，创新团队建立了制造标准的协同建设机制，保证每个标准编制组的完整性和权威性，识别后续标准贯彻风险，做好贯标预案。

承制单位内部标准的淘汰和所面对的困难主要来源于承制单位个体的差异性。各单位在标准颗粒度、结构完整性，甚至工艺分类上都存在不同的解读方式，标准在实际应用中的不同程度的裁剪也增加了情况的复杂性。创新团队从标准体系结构完整性出发，自上而下规划标准项目，然后识别新标准和旧标准的衔接关系，形成标准关联方案，作为标准编制和贯彻的基础输入，并在标准编制过程中不断调整迭代。

不同单位工艺设备、工艺细节要求往往存在差异，平衡标准的先进性、完整性和可行性，在保证验收要求以及关键过程和参数控制要求符合设计指标的前提下，创新团队积极协调和处理相关单位诉求，在各单位达成广泛共识、经过必要的验证后固化标准，多单位协同建设机制的大力推进有效提升了标准编制质量和后续标准贯彻执行效率。

强化总师系统集中管控模式

在新的制造标准体系中，总师系统

要切实掌握话语权，牵头型号标准的建设工作。总师单位协调各承研承制单位统一制订标准编制计划和要求，对标准进展进行监督管理，对标准质量、标准内容进行技术把关，型号标准经型号总师和用户审批后发布实施。新的制造标准体系已经在型号生产中平稳运行实施，为了保证制造标准体系的可持续发展，需要进一步强化总师系统对制造标准的集中管控，采取有效措施进一步完善制造标准体系、提升标准质量，构建健康、高效的制造标准体系生态系统，保证标准体系可持续发展的生命力。

首先，建立开放式标准体系，宣传推广标准资源，加强与各承研承制单位的沟通交流，培育优势标准。一方面要持续牵引先进制造技术在航空发动机研制中的发展和应用，另一方面要积极固化技术改进攻关成果，为航空发动机后续型号发展提供技术资源。

其次，建立学习型制造标准体系，总师系统牵头强化创新团队和相关单位的“自省”能力，持续评估标准的先进性和合理性，通过标准引领技术进步，一方面对标先进制造标准，深入开展标准的对比分析工作，识别不足和后续工作方向，有针对性地开展改进提升工作，解决瓶颈问题。另一方面总师系统牵头检查标准的贯彻实施情况，建立通畅、高效的标准实施问题反馈和处理通道，持续提升标准质量，切实履行归口职能，促进各承制单位与新标准体系的磨合适应，做好标准体系运行维护保障工作。

另外，制造标准体系中还有大量的行业级以上标准，存在新旧标准

替代的状态管理问题，管理不当会造成标准实施不受控。标准实施有效性控制的关键是对标准选用范围的控制，总师系统牵头，通过对标准有效性的持续跟踪、超范围选用标准变更的审批以及新标准分析和贯彻的闭环控制，实现对标准状态的有序管理。各环节输入输出的闭环控制是标准选用控制的关键，标准状态变更必须经过效益分析和风险评估，当新旧版本替代涉及性能、互换性、工艺方法和设备等重要变更时，要进行细致全面的必要性和适用性分析，提出贯彻实施方案。

结束语

中国航发动力所航空发动机制造技术标准体系的建设成果已在多个型号上得到应用，取得了良好效果，完整有序的制造标准体系为航空发动机研制提供了有力的资源支持，制造标准体系建设创新团队在广泛的协同工作中得到了锻炼，最为重要的是建立起了总师系统集中管控的标准建设和运维机制，形成了有生命力的标准体系生态系统。但是，阶段性成果的取得只是个开始，航空发动机制造标准体系建设需要持续发展，要利用信息化技术手段对标准应用和实施信息进行分析和处理，保证设计使用标准的有效性和下游标准实施的符合性。接下来，航空发动机制造技术标准体系建设工作需要形成更广泛的统一阵线，牵引承研承制单位更深度的协同合作，才能进一步扩大成果、提升成果应用价值。

航空动力

(郑冬梅，中国航发动力所，高级工程师，主要从事航空发动机研制标准化研究)