

# 分级质量管控在航空发动机制造中的应用

## Application of Grade Quality Control in Aero Engine Manufacturing

■ 周江雷 蒋科 邱光熙 / 中国航发成都发动机有限公司

新一代航空发动机技术要求高、研制周期紧、质量风险大，采用适当的质量管控手段来降低研制风险十分必要。分级质量管控通过重点对高价值、长周期零组件以及关键件和重要件（关重件）采取特殊质量管控，能够有效地保障航空发动机研制任务顺利推进。

随着行业对航空发动机性能、可靠性的要求越来越高，新一代航空发动机零组件数量多，大量采用新技术、新材料、新设备，研制质量风险高。推行预研研制一体化模式，任务周期短，研制时间紧。高价值、长周期零组件及关重零件多，科研阶段投料批量小，零组件加工过程中出现质量问题重新投料，不仅增加研制经济成本，还会大大增加时间成本，对项目科研任务节点造成较大影响。实施分级质量管控既能避免过度质量管控造成不必要的资源浪费，又能够有效降低零组件科研试制过程中的质量风险和低层次问题，提升产品实物质量，有效保障项目研制任务顺利推进。

### 分级质量管控定义

分级质量管控主要指按零组件价值高低、试制周期长短、加工难度大小、对发动机装配进度和性能影响程度等维度，将零组件分为3个质量管控等级，并针对性地采取措施进行质量管控的方法。

I级质量管控产品是指零组件在加工试制过程中发生质量问题，会对项目科研任务造成重要影响，零组件本身价值较高、加工周期较

长、加工难度较大、对发动机装配进度和性能影响程度特别大的产品，主要包含：关键件、重要件；单个加工周期2个月以上的零组件；单个价值 $\geq 50$ 万元的零组件（根据项目情况适当调整）；结合技术经验和同类型产品质量数据，评估认为对发动机装配进度和性能影响程度特别大的零组件。

II级质量管控产品是指零组件在加工试制过程中发生质量问题，会对项目科研任务造成较大影响，零组件本身价值高、加工周期长、加工难度大的产品，主要包含：单个加工周期1~2个月的零组件；单个价值30万~50万元的零组件（根据项目情况适当调整）；结合技术经验和同类型产品质量数据，评估认为对发动机装配进度和性能影响程度较大的零组件。

III级质量管控产品是指除I级、II级质量管控产品以外的其他产品，发生质量问题通常对科研生产造成轻微影响的产品。

### 分级质量管控内容

根据分级质量管控思路 and 原则，对I级、II级质量管控产品应采取分级质量管控措施，加强加工制造过程的质量管理和控制，对影响加工

过程和产品质量的人员、设备、工装、器材、方法等进行分级确认，确保其处于受控状态，从而保障产品生产满足产品加工要求和符合质量管理规定。

在充分收集前期产品制造过程中质量数据的基础上，结合产品结构特点、技术难点和质量管理体系的基本要求，组织专家团队研讨分析。先期仅针对机械加工过程试制定分级质量管控具体内容，运用潜在失效模式与效应分析（FMEA）等质量工具方法识别出人、机、料、法、环、测等方面控制要点，从来料、人员、设备、工艺、加工前、加工中等方面制定详细的控制内容，发布了相应的试行实施细则，明确了分层级的签字确认要求、职责分工和运用流程。

一是来料管控。操作人员接收来料时，除正常开展来料检查外，还需由单元长对来料外观和随带资料是否满足要求进行签字确认，无问题后方可实施下一步骤。

二是人员管控。除基本的人员资质确认外，主要由单元长确认操作人员是否满足设置的I/II级产品质量控制的基本资质要求。如I级零件半精/精加工人员技能等级要求为高级工及以上；粗加工人员技能等级要求

为中级工及以上；从事本工种3年及以上；质量表现为当季度非质量聚焦人员。Ⅱ级零件粗/半精/精加工人员应为中级工及以上，且从事本工种3年及以上，质量表现为当季度非质量聚焦人员。

三是设备管控。主要由技术人员确认设备是否满足加工和检测要求；由设备维修保障人员确认设备是否存在故障未恢复及维修保障情况是否符合要求。

四是工艺管控。主要由技术人员确认数控程序下发现场前是否完成仿真模拟，无零件装夹时是否完成空运行程序调试；由技术主管确认数控程序是否包含特殊指令，特殊指令是否掌握应用，刀具补偿防错程序是否有效。

五是加工前管控。主要由操作者对机床回零、校正几何中心等工作进行确认；对坐标系设置情况进行填写确认；对刀具参数、零件装夹、找正及调试是否符合工艺规范要求进行确认，部分内容需按表单要求由相关校对人员签字确认。由工艺人员对零件装夹、找正是否符合工艺规范和图样要求，装夹后是否按要求完成程序调试验证等进行签字确认。

六是加工中管控。主要检查特殊刀具（切刀、钻头、倒角刀等）的对刀方式是否与操作卡规定一致；交接班时复查坐标系；检查中途停机测量后主轴是否开启；对异常断刀使用空运行后，是否关闭空运行等进行确认。

七是升级管控。出现以下情况时，需要升级管控。人员升级管控：主制单元长或者承制单元长应根据产品质量管控级别，对加工人员的

技能等级和质量表现进行质量管控和确认，未满足Ⅰ级、Ⅱ级质量管控相应要求时，如需开展工作，则主制单元或承制单元需提出放宽要求申请，并综合评估风险，说明放宽理由，根据评估确认其可行性，报主管领导签字确认，按确认意见开展工作。设备升级管控：设备及辅助器具适用性不符合Ⅰ级、Ⅱ级质量管控相应要求时，须告知制造单元进行重新排产和调整，无法重新排产和调整时，制造单元根据风险评估结果报主管领导签字确认，按批准意见开展后续工作。工艺升级管控：数控程序仿真、无零件装夹调试因数控程序无更改且已验证当前设备使用，无须再次进行数控程序仿真和无零件装夹调试工作时，报相应技术领导签字确认，按批准意见执行。

## 分级质量管控在科研项目上的试点应用

根据分级质量管控思路和原则，结合前期产品基础质量数据，在部分科研项目上重点针对大型薄壁机匣、整体叶盘等价值高、周期长、技术难度大的零件机械加工制造单位开展先行试点应用，制定了如下具体实施流程（锻铸件、热表处理等特殊加工过程参照执行）。

### 确定分级质量管控产品清单

项目质量团队根据科研项目年

度任务和分级质量管控原则，组织各专业技术质量人员和相关职能部门研讨确定项目Ⅰ级、Ⅱ级质量管控产品清单，由项目负责人组织评审后正式发布。质量管控产品清单信息包含零组件名称、零组件图号、质量管控等级、工序号名称。质量管控产品清单还实行版次控制管理。

### 迭代更新分级质量管控产品清单

结合项目研制需求和前期质量基础数据统计分析结果，项目质量团队定期组织对阶段性研制质量风险进行评估，定期更新、维护质量管控产品清单，必要时开展专题评审，实时监控管控实施情况。

### 使用零件分级标识卡

制作并发放零件分级标识卡，如图1所示。Ⅰ级质量管控产品为红色，Ⅱ级质量管控产品为黄色，以示醒目，标识卡同生产流水卡一起随产品流转，直至产品入库。

### 使用I/II级产品质量控制卡

根据分级质量管控内容，编制I/II级产品质量控制卡，随产品周转，除零组件号、工序号、批次号、级别等基本信息外，将来料、人员、设备、工艺、加工前、加工中控制等方面控制内容及签字确认要求设置成表单。质量控制卡各环节管控内容均需经相应人员全部确认后，才允许进入下一环节，任何一项有不符合均需重新确认。主制单元长组织在Ⅰ级、Ⅱ级质量管控产品正

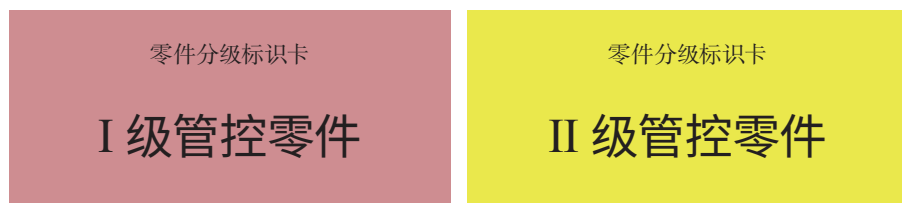


图1 零件分级标识卡

式加工前1天完成当前受控工序质量控制卡的人员确认控制项、设备确认控制项、工艺确认控制项的确认工作，方能允许安排生产计划。出现任何一项不符合需重新确认。

在人员确认环节，主制单元长或者承制单元长根据产品质量管控级别，对加工人员的技能等级和质量表现进行质量管控和确认，确认依据以人员当年职能等级名单，以及本单位上季度的质量聚焦人员名单为准。当人员职能等级和质量表现未满足Ⅰ级、Ⅱ级质量管控相应要求时，则主制单元长或承制单元长需提出放宽要求申请，并综合评估风险，说明放宽理由，根据评估确认其可行性，报主管领导签字确认。

在设备确认环节，技术主管、生产主管根据产品质量管控级别与产品加工要求，对设备运行状态以及辅助器具适用性进行评估与确认工作。其中，技术主管根据设备精度报告、近期设备运行状态或现场检测数据对设备符合产品加工要求进行综合评估。生产主管应根据设备的故障情况或维修情况，对设备使用的风险性进行评估确认。设备及辅助器具适用性不符合Ⅰ级、Ⅱ级质量管控相应要求时，需告知制造单元长进行重新排产和调整。无法重新排产和调整时，制造单元长根据风险评估结果报主管领导签字确认。

在工艺确认环节，技术主管应根据产品质量管控级别对数控程序仿真、无零件装夹调试进行确认签字工作；主制单元长或者承制单元长应根据产品质量管控级别对程序特殊指令、防错程序有效性进行确

认签字工作。其中，数控程序仿真、无零件装夹调试因数控程序无更改且已验证当前设备使用，无须再次进行数控程序仿真和无零件装夹调试工作时，报技术上级领导签字确认。

产品当前工序正式加工前，主制单元操作人员根据产品质量管控级别完成对质量控制卡加工前控制项的确认签字工作。其中，涉及业务室确认以及校对复核的工作，应当通知相关主管人员组织协调校对人员，完成当前受控工序的加工前控制项确认签字工作。工艺人员对零件装夹、找正是否符合工艺规范和图样要求，装夹后是否按要求完成程序调试验证等进行签字确认。加工前控制项根据产品质量管控级别，相应控制内容全部完成确认后，才允许产品正式加工，出现任何一项不符合需重新确认。

Ⅰ级、Ⅱ级质量管控产品加工过程中，当前加工人员应根据产品质量管控级别完成对质量控制卡加工中控制项的确认签字工作。在现场实际加工过程中，涉及交接班坐标系复查、数控刀具补偿值记录，以及设备、零件状态再次复查结果，应配合现场工位专用刀补记录表使用，建立完整的过程记录，并按要求完成记录签字与复核确认工作。

涉及合并工序或者超越单等技术文件要求合并加工的工序，可以合并评估与确认。

Ⅲ级质量管控产品加工过程中发生人员更换、设备更换、加工方法更换等情况需提级按Ⅱ级质量管控产品中除人员确认环节外的其他确认项进行过程控制。

#### 保存分级质量管控记录

已完工或待完工质量控制卡，

按零件正式过程记录文件保管，不得随意损坏、丢失和更改。产品完成加工并交付后，质量控制卡随产品流水卡一并建账存档。

#### 监督检查和考核奖惩

成立专门的监督检查团队，不定期对实施情况进行监督检查，对Ⅰ级、Ⅱ级质量管控类产品在加工中或者加工后，发现未及时完成产品加工过程质量控制卡，未按要求执行以及确认签字记录造假、违背质量诚信的情况，对相关责任单位和责任人进行绩效考核。

若产品出现质量问题，将对质量控制卡质量管控环节与执行情况进行分析和排查，发现不符合项，将根据产品损失情况以及交付影响对不符合项责任人进行相应考核。

质量团队定期统计分析产品质量数据，动态调整分级质量管控产品清单，定期迭代更新控制卡管控内容，确保研制质量稳定的同时减少过度管控。

## 结束语

在航空发动机零组件加工过程中实施分级质量管控，使得过程控制要点清晰、过程可追溯性强、责任主体明确、监督检查效用好，质量问题数明显下降。尤其是低层次问题得到有效控制，员工质量意识明显加强，研制过程质量管控能力进一步提升，后续可在锻铸件、焊接、热表处理、装配试车等特种工艺工序以及批量生产、修理等阶段推广应用。

航空动力

（周江雷，中国航发成都发动机有限公司，工程师，主要从事航空发动机质量管理）