

APQP 模式下军用航空产品全过程质量管控研究

杨 涛

航宇救生装备有限公司 湖北 襄阳 441003

摘 要：军用航空产品结构复杂、服役条件严苛，传统事后检验的管控模式风险防控能力薄弱，难以满足军工零缺陷、高可靠的质量要求。本文依托 APQP 先期产品质量策划理论，结合国军标体系与军工研制特点，分析其适配难点并构建全流程质量管控体系。通过工程案例验证体系应用成效，针对工具应用、数字化管控等短板提出优化对策，为军用航空产品质量精细化管控提供可行参考。

关键词：APQP 模式；军用航空产品；全过程质量管控

引言

军用航空产品技术复杂度高、服役环境严苛，其质量直接关乎装备战备效能与战场安全，是军工航空领域管控的核心重点。当前行业传统管控模式依赖事后检验，存在风险预判不足、全流程管控脱节、质量追溯不完善等问题，难以适配军工产品严苛的质量与合规要求。APQP 前置预防、全程管控的核心逻辑契合军工质量风险防控需求。基于此，本文开展适配军工厂场景的 APQP 全过程质量管控研究，助力构建规范化、系统化的军工质量管控体系。

1 相关理论与行业基础概述

1.1 APQP 先期产品质量策划核心理论

(1) APQP 核心在于构建预防为主、全程策划、持续改进的质量管控逻辑，通过前期系统规划识别潜在风险，将质量要素前置嵌入产品策划各环节，而非依赖后期检验纠偏，实现质量成本最优配置。(2) APQP 将产品开发划分为五个阶段：策划、产品设计与开发、过程设计与开发、产品与过程确认、生产使用与服务。各阶段通过节点评审形成闭环反馈，确保从客户需求识别到量产交付的质量目标逐级分解、层层落实。(3) 配套核心工具包括：DFMEA/PFMEA 用于风险识别与优先级排序；控制计划用于关键特性管控；PPAP 用于生产件批准；MSA 确保检测数据准确可靠。各工具协同支撑 APQP 结构化流程落地^[1]。

1.2 军用航空产品质量管控特性与标准体系

(1) 军用航空产品具有多学科深度耦合、研制周期长、技术复杂度高、服役环境极端严苛等全生命周期特点，其质量形成受设计、材料、制造、试验等多维度因素交织影响。(2) 质量管控执行“零缺陷”理念，要

求全溯源、高可靠、可追溯，同时强化保密管理和战备适配性，确保装备在复杂战场环境下性能稳定、随时可用。(3) 标准体系以国军标 (GJB) 为核心，融合航空航天行业质量体系要求及定型验收专项标准，构建覆盖设计、试制、试验、定型的全链条规范化管控框架。

1.3 APQP 应用于军用航空产品管控的适配性分析

(1) 适配性优势：APQP 前置策划与军工质量风险防控需求契合，其分阶段管控逻辑支撑全生命周期质量追踪，利于早期识别技术瓶颈与工艺隐患。(2) 适配性难点：通用 APQP 虽已纳入航空工业体系强制执行，但在装备定型验收、军方独立验收及多单位联合评审等制度对接中，研制单位、军方代表、试验基地等多方协同的权责划分与信息流转机制仍需细化。(3) 适配优化方向：应基于军工特性定制 APQP 流程，包括增设军方专项评审节点，调整 DFMEA/PFMEA 风险准则以适应严苛环境，修改 PPAP 提交等级与验收判据，并构建军方代表参与的联合评审机制，形成特异性实施方案。

2 基于 APQP 的军用航空产品全过程质量管控体系构建

2.1 管控体系构建原则与整体框架

(1) 构建原则包含五项核心导向：军工合规性严格遵循国军标及军方专项管理规定；风险前置性将质量风险防控关口前移至立项策划阶段；全程追溯性建立从原材料入厂到装备交付的完整质量档案；持续改进性依托服役数据驱动流程迭代优化；军民适配性在维持军工管控刚性前提下，合理融合 APQP 通用方法中适用于航空装备的先进经验。(2) 整体框架以 APQP 五阶段为主体，将军工特殊要素逐层嵌入各阶段运行机制。前端以军方作战需求与战术技术指标为输入，中端以

DFMEA/PFMEA、控制计划为支撑工具,后端以试飞验证与服役反馈为闭环驱动,搭建“策划—设计—工艺—验证—量产—反馈”全链条架构。各阶段设置刚性节点评审,前一阶段输出经评审合格后方可转入下一阶段,确保质量要求逐级传导^[2]。(3)管控主体与职责划分:研发部门主导需求分解、DFMEA编制与设计评审;工艺部门负责工艺方案设计、PFMEA实施及参数验证;生产部门执行过程控制计划,落实自检与过程监控;质检部门独立行使检验监督职能,负责来料检验、工序专检及不合格品判定;军方监造代表参与关键节点评审与验收确认。各主体权责清晰,相互制衡协同。

2.2 产品策划与立项阶段质量管控

(1)军用航空产品需求拆解与质量目标定位,立足军方作战使用需求文件,将宏观战术技术指标(如飞行速度、作战半径、机动过载等)逐级分解为可量化、可验证的设计质量特性参数,并进一步映射至分系统及零件层级的工程控制指标,确保顶层需求精准传导至研发执行末端。(2)立项阶段质量风险识别与预判,从技术成熟度、新工艺应用风险、供应链保障风险、合规性风险四个维度开展系统梳理。采用定性评估法对各类风险进行分级排序,识别高风险项并制定前期规避或减缓预案,从项目起始阶段掌握质量管理主动权。(3)编制军工专属APQP质量策划方案,在通用框架基础上增设军方阶段性评审点、专项验收前置事项及定型节点控制要求。方案按研制阶段逐一明确管控节点的工作内容、责任主体、交付标准与验收判据,将国军标强制性要求转化为各阶段可操作的检查清单。

2.3 产品与工艺开发阶段质量管控

(1)设计开发质量管控方面,依据军用航空产品高可靠、长寿命、严苛环境适应性的特点,参照GJB/Z1391-2006《故障模式、影响及危害性分析指南》开展DFMEA分析。将高温、高湿、高过载、强振动、电磁干扰等极端服役条件纳入失效模式触发情境,调整风险优先数评估准则,提升严酷度评分权重。同步组织多层次设计评审,系统识别关键件与重要件,实施全流程专项跟踪管控。(2)工艺开发质量管控以设计输出的关键特性为基准,逐工序开展工艺流程设计、仿真验证与参数优化。依据GJB/Z1391-2006及GJB1269A-2021《工艺评审》要求,实施过程失效模式及影响分析(PFMEA),重点关注铸造、锻造、热处理、焊接等特种工艺的失效模式,据此制定过程控制参数与监控频次。核心参数固化至作业指导书,实施定人、定机、定工艺、定参数的“四定”

管理^[3]。(3)供应链质量管控将APQP要求向前延伸至外协供应商端,要求关键供方按军方认可模板提交APQP实施报告,接受军方代表对关键过程的现场见证与质量审核。建立供方质量审核长效机制,定期开展体系审核、过程审核与产品审核,对关键外协件实施驻厂监造或现场见证,建立供方业绩档案实施动态分级管理。

2.4 验证量产与服役反馈阶段质量管控

(1)产品与过程验证管控涵盖试生产验证、地面性能测试、首飞安全审查及试飞验证全流程。试生产阶段按控制计划开展小批量试制,验证工艺稳定性与检测方法有效性;地面测试阶段对标技术协议逐项检验设计指标;试飞验证阶段建立专项质量跟踪机制,对暴露问题实施快速归零。完成后提交含全尺寸检验报告、过程能力分析在内的军工PPAP认可包络资料,经军方审批后方可转入量产。(2)量产阶段全过程质量监控依托过程控制计划,对关键工序实施“四定”管理,应用统计过程控制工具进行在线监控。以批次为单元建立完整质量追溯档案,记录原材料批次、工艺参数、检测数据等关键信息链。不合格品严格执行审理与归零制度,重大质量问题实施技术归零与管理归零“双归零”^[4]。(3)服役与售后质量反馈管控依托部队使用反馈、定检记录、故障报告等渠道系统收集装备服役质量数据,建立信息数据库。对批次性、系统性质量问题启动归零程序,同时将服役数据纳入APQP持续改进闭环,用于修正控制计划参数、更新DFMEA/PFMEA经验库、优化设计准则与工艺规范,形成“研制—使用—反馈—改进”迭代演进路径。

3 管控案例验证与优化策略

3.1 案例选取与项目概况

(1)案例选取依据方面,选择某型军用航空关键构件研制项目作为验证对象。该零件具有结构复杂、承载要求高、服役环境恶劣的典型特征,覆盖从设计开发到批量生产的完整研制链条,能够充分检验APQP管控体系在军工场景下的适用性与有效性。(2)项目基本情况方面,该零件为某型飞机主承力结构部件,主要技术指标包括抗拉强度、疲劳寿命、尺寸精度及耐腐蚀性能等,均需满足国军标及型号规范严苛要求。原有管控模式以检验把关为主,缺乏系统化前期策划与过程预防机制,设计与工艺衔接不够紧密,质量信息传递存在断层,试制阶段反复整改现象突出,研制周期与成本控制

面临较大压力。

3.2 APQP 全过程管控体系案例应用实施

(1) 各阶段 APQP 管控方案落地实施流程方面,按照上文所述框架逐阶段推进。策划阶段完成需求分解与质量目标定位,编制军工专属质量策划方案;设计开发阶段实施 DFMEA 分析与设计评审;工艺开发阶段完成工艺流程优化与 PFMEA 分析;验证阶段按控制计划开展试生产与性能验证;量产阶段落实过程监控与追溯管理。各阶段均设置节点评审,前一阶段输出评审通过后方可转入下一阶段。(2) 核心管控工具在军工项目中的具体应用方面,DFMEA 重点针对极端载荷条件下的失效模式进行分析,PFMEA 聚焦铸造缺陷与热处理质量风险,依此编制过程控制计划,对关键特性设置监控频次与反应计划。追溯体系以零件批次号为索引,完整记录原材料炉号、热处理曲线、尺寸检测数据及 NDT 检测结果,实现任一环节质量问题全程可追溯^[5]。(3) 多部门协同管控实施过程方面,建立由研发、工艺、生产、质检、军方代表共同参与的联合工作组,定期召开质量协调会,协同解决设计输入完整性、工艺可制造性、检测方法一致性等跨部门问题。军方代表参与关键节点评审与过程见证,确保质量管控要求与军方验收标准有效对接,消除了以往部门间信息壁垒与标准不统一的协同痛点。

3.3 应用效果分析与现存问题

(1) 管控效果对比分析方面,与传统管控模式相比,应用 APQP 工具后一次交验合格率提升约 11 个百分点,试制阶段风险隐患数量同比下降约 35%,研制周期压缩约 14%,因返工返修造成的质量成本显著降低。主要改善来源于前期风险识别充分性的提高与过程控制稳定性的增强。(2) 管控工具应用优势总结方面,验证了 APQP 工具在军工航空产品中的适配性与有效性。前置策划使多数潜在风险在设计阶段即被识别并规避,全程追溯确保了质量问题的精准定位与快速归零,多部门协同机制有效提升了全链条质量管控效率,工具化管控路径清晰、可操作性强。(3) 现存问题梳理方面,工具应用精细化程度仍有不足,部分 FMEA 分析深度不够,风险评价标准主观性较强;数字化管控程度偏低,质量数据仍以纸质记录为主,信息处理效率与共享能力受限;人员专业能力参差不齐,部分基层人员对 APQP 方法理解

不够深入,执行层面存在偏差与遗漏。

3.4 APQP 质量管控体系优化对策

(1) 精细化优化方面,完善军工专属 APQP 管控标准,针对关键工序与特殊特性制定分级分类管控细则,细化 FMEA 风险评价准则,建立军工典型失效模式数据库,提升分析的系统性与可重复性。(2) 数字化优化方面,搭建 APQP 质量数字化管控平台,集成设计数据、工艺参数、检验结果等全流程质量信息,实现电子化追溯、在线监控与智能风险预警,提高数据流转效率与决策响应速度。(3) 体系化优化方面,建立常态化 APQP 方法培训机制,覆盖研发、工艺、生产、质检等各层级人员;完善质量考核体系,将各阶段 APQP 执行质量纳入部门与个人绩效评价;构建持续改进闭环机制,定期开展体系内审与管理评审,推动管控体系动态迭代与不断优化。

结束语

本文完成了 APQP 模式下军用航空产品全过程质量管控体系的搭建与实例验证,有效弥补了传统管控模式的短板,显著提升了产品研制质量与管控效率。研究证实定制化 APQP 体系适配军工航空产品研制规律,契合国军标管控要求。同时梳理出工具应用、数字化管控、人员能力等现存短板,提出针对性优化策略,可为同类军工航空产品质量管控升级提供借鉴,后续可深化数字化智能管控体系的落地应用研究。

参考文献

- [1] 沈静超,王磊.适用于军用飞机总装的 APQP 质量先期策划流程优化研究[J].航空标准化与质量,2022,13(01):45-50.
- [2] 柳响亮.航空产品设计开发阶段 APQP 质量管控方法研究[J].中国质量,2023,26(08):78-83.
- [3] 张远,李洪岩.基于 APQP-PPAP 融合的航空军工产品定型质量管控体系[J].航空工程进展,2024,15(02):136-142.
- [4] 吴凯,赵鑫.军工航空产品研制过程质量风险预警与 APQP 优化应用[J].舰船电子工程,2023,43(11):189-193.
- [5] 鲁乐,吴梓萌.APQP 模式下军用航空结构件全过程质量策划与管控[J].设备管理与维修,2024,19(16):102-105.