

文章编号: 1674-8190(2022)01-151-09

一种适用于军用飞机总装的产品质量先期策划流程研究

杨二豪¹, 刘玉松¹, 黄吉传², 宿明¹, 蒋德成¹

(1. 中国航空工业集团有限公司 成都飞机工业(集团)有限责任公司, 成都 610092)

(2. 空军装备部驻成都地区第一军事代表室, 成都 610092)

摘要: 在军用飞机总装阶段存在质量管控与业务流程脱节、质量先期策划不足导致的管控成本较高等问题, 为解决这些问题, 基于国际航空航天质量组织 APQP 应用指南, 改进并提出适用于军用飞机总装阶段的 APQP 应用指南(MAFA-APQP), 包括理论模型、核心内容以及关键要素等; 以航空发动机安装为对象, 验证军用飞机总装 APQP 在工艺流程优化与管理、风险识别及控制中的应用效果。结果表明: 军用飞机总装 APQP 在预测和降低风险、减少工艺变化、提高军用飞机质量及交付效率等方面有积极作用。

关键词: 军用飞机; 总装; APQP; 工艺流程; 航空发动机

中图分类号: V271.4; V268.7

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2022.01.18

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research on a Advanced Product Quality Planning Process Suitable for the Military Aircraft Final Assembly

YANG Erhao¹, LIU Yusong¹, HUANG Jichuan², SU Ming¹, JIANG Decheng¹

(1. Chengdu Aircraft Industrial (Group) Co., Ltd., Aviation Industry Corporation of China, Ltd., Chengdu 610092, China)

(2. The First Military Representative Office of Air Force Equipment Department in Chengdu, Chengdu 610092, China)

Abstract: In the final assembly stage of military aircraft, there are problems of high control cost caused by the disconnection between quality control and business process and the lack of advanced quality planning. To solve these problems, insufficient quality planning and high control costs in the military aircraft final assembly stage, APQP (Advanced Product Quality Planning) application guide suitable for the military aircraft final assembly stage is proposed by improving the APQP guidance material of the IAQG (International Aerospace Quality Group), including theoretical models, core content and key elements, etc. The application effect of the military aircraft assembly APQP in process optimization and management, risk identification and control are verified on the aero-engine installation. The results show that the military aircraft assembly APQP is beneficial to predict and reduce risks, reduce process changes, improve military aircraft quality and delivery efficiency.

Key words: military aircraft; final assembly; APQP; process flow; aero-engine

收稿日期: 2021-04-07; 修回日期: 2021-10-10

基金项目: 国防科工局基础科研项目(JCKY2019205A004)

通信作者: 刘玉松, 1139701350@qq.com

引用格式: 杨二豪, 刘玉松, 黄吉传, 等. 一种适用于军用飞机总装的产品质量先期策划流程研究[J]. 航空工程进展, 2022, 13(1): 151-159.

YANG Erhao, LIU Yusong, HUANG Jichuan, et al. Research on a advanced product quality planning process suitable for the military aircraft final assembly[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2022, 13(1): 151-159. (in Chinese)

0 引言

产品质量先期策划(Advanced Product Quality Planning,简称 APQP)是基于戴明 20 世纪 50 年代提出的质量策划原理建立起来的,由美国克莱斯勒、福特和通用汽车发起,主要为制定产品质量策划提供指南,用以支持顾客对产品的期望和要求^[1]。APQP 手册自 1994 年发布至今,作为质量管理体系管理工具被汽车行业普遍使用^[2],是 ISO/TS 16949 实施过程中的五大核心工具之一^[3]。然而,APQP 在航空制造领域起步较晚,长期以来没有一套广泛使用的质量管理工具集来落实质量体系要求^[4],直至 2014 年,国际航空航天质量组织(IAQG)结合航空产品小批量、高成本、长周期、严监管的特点,编制出适合航空制造领域的 APQP 国际标准。

APQP 在民用航空领域已推广应用多年,国外,空客公司于 2013 年开始在 A330、A320、A350 等多个型号全面推行 APQP,其中,A320 neo 的实施效果显示其不合格品降低了 30%。霍尼韦尔公司于 2014 年开始实施 APQP,实现 2018 年平均 PPM(Parts Per Million)水平相比 2013 年下降了 78%。其他如 UTC、罗罗等先进制造企业推进 IAQG 制定并发布了 9145 标准《APQP & PPAP 要求》^[5],推动 APQP 在航空制造业和国防组织中应用。国内,罗凌^[4]对 IAQG-APQP 流程进行了修改和重新设计,并在 B787-8、B737MAX 等民用飞机的机体结构件新产品开发中全面应用,提高了生产速率;翟学聪^[6]介绍了 APQP 的应用流程和控制要点,并将 APQP 与工程项目工作分解结构(Work Breakdown Structure,简称 WBS)进行比较,认为 APQP 更适用于民用航空器研发。

然而,国内军用航空领域尚未全面推行 APQP,应用基础薄弱、经验缺乏。军用飞机的制造过程更为复杂,对一次做对、过程保证和风险管控的要求更高,尤其是军用飞机总装作为产品制造链的关键环节^[7]直接决定企业的生产效率和质量水平。

基于此,本文依托国内某军用飞机主机厂 APQP 试点项目,结合军用飞机总装阶段实际特点对 IAQG 发布的 IAQG-SCMH Section 7.2:

APQP Guidance Material^[8]进行适用性改进,提出适用于军用飞机总装阶段的 APQP 流程应用标准和指南,用以规范军用飞机总装阶段的质量体系管理工作,以期促进质量要素真正融入工艺生产流程,实现优质、高效、低成本的交付目标。

1 核心内容

目前,某主机厂军用飞机总装阶段质量管控存在三方面问题,其一,质量管控要求与业务流程脱节,质量目标难以落地;其二,重视实物质量处置、轻视质量先期策划,过程成本较高;其三,缺乏规范、严谨的质量过程控制与评估方法。因此,军用飞机总装阶段 APQP(Military Aircraft Final Assembly APQP,简称 MAFA-APQP)将 APQP 明确定义为高效的项目质量管理工具,应用场景为新工艺流程创建或现有工艺流程需要优化时,通过 APQP 结构化、系统性方法^[9]以及风险预防思维模式,降低产品质量策划的复杂性,在工艺流程设计前期能充分暴露缺陷以便消除,或者利用预防原则避免质量问题发生,减少量产时工艺变化或可能带来的质量损失成本,包括非增值时间损耗、交付滞后和经济损失。

1.1 MAFA-APQP 模型

国际航空航天质量组织 APQP(International Aerospace Quality Group APQP,简称 IAQG-APQP)根据业务活动(指产品研制相关业务部门开展的质量活动)特点将质量要求纳入到策划、产品设计与开发、工艺设计与开发、产品与过程确认、生产使用与交付后服务共五个阶段^[10]。结合军用飞机研制特征构建产品研发与制造流程模型,集成产品研制流程、APQP 阶段、里程碑要素等,包含沿供应链从产品概念到生产服务,如图 1 所示。该模型属于典型的 V 模型,具有至顶而下设计、至下而上综合的特征,另外,APQP 各阶段在时间上存在输入输出关系的重叠,体现了同步工程方法^[6]。军用飞机总装属于制造阶段,因此,MAFA-APQP 主要且直接与第三阶段、第四阶段紧密相关,其中,第三阶段要求建立健全总装生产流程并明确过程控制方法,第四阶段要求验证总

装过程能够以要求的生产节拍^[11]交付合格产品。

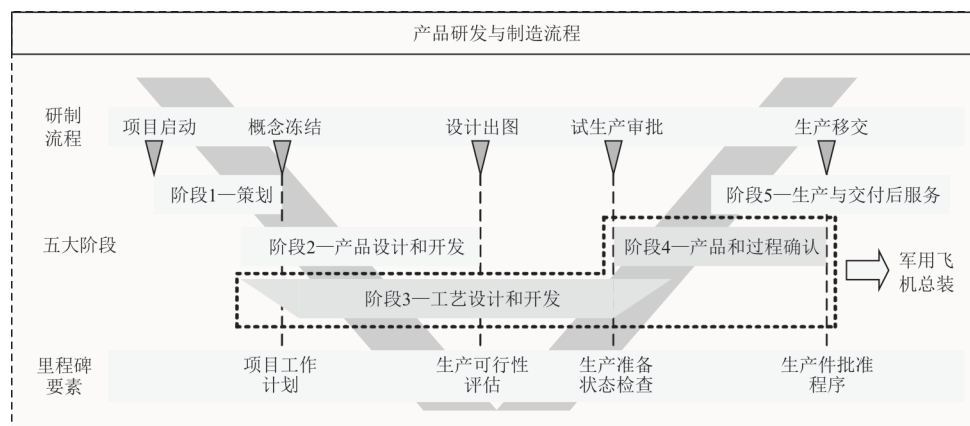


图1 产品研发与制造流程

Fig. 1 Product development and manufacturing process

MAFA-APQP实施需要整个组织的管理驱动,其有效运转离不开三个主要支柱^[12],即领导层决策与支持、跨职能团队、业务活动及评估计划,如图2所示。

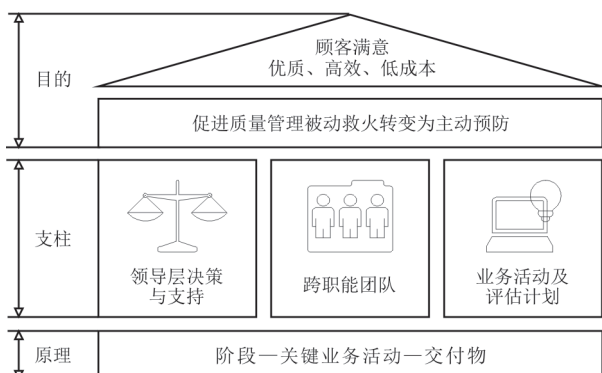


图2 MAFA-APQP模型

Fig. 2 MAFA-APQP model

领导层决策与支持强调理解并保证项目目标,提供资源支持,激励团队提升等;跨职能团队强调项目推进需要多专业、多部门协同配合,促进质量要求在各个环节有效传递;业务活动及评估计划强调项目实施的各阶段有明确的时间进度表,并持续监控、移除风险。在三个支柱中领导层作用尤为重要,文献[13]指出,质量产生于高层,质量只有在高层管理指导下,才能做得最好。

APQP是一个团队导向的合作过程,要求在有限时间内完成明确的业务活动,因此,搭建跨职能团队的组织架构尤为重要。MAFA-APQP按职责定义了项目负责人、协调员、业务活动负责人以及业务活动评估员等角色,如图3所示。成员涉及

管理、工艺、质量、生产、检验等,必要时还应邀请顾客代表参与。另外,MAFA-APQP明确了各角色的主要职责和权限,如表1所示。

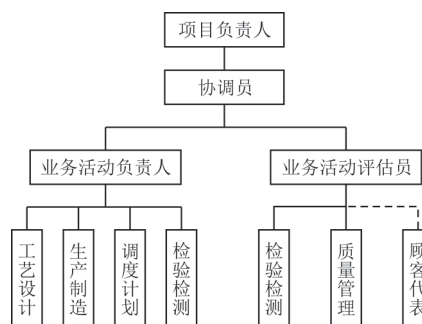


图3 MAFA-APQP团队组织架构

Fig. 3 MAFA-APQP team organization structure

表1 关键角色职责和权限

Table 1 Responsibilities and authority of key roles

角色	主要职责及权限
APQP 负责人	制定总体目标,把控 APQP 项目的进度、质量和成本; 组建跨职能团队,给予团队成员培训和绩效考评支持; 引导多部门沟通与协作,创造有利于项目实施的环境; 掌握当前风险状况和过程水平,设置里程碑节点。
协调员	制定 APQP 项目具体工作计划,监督、汇报执行情况; 制定交付物风险评估计划,组织关键业务活动评审; 收集 APQP 项目交付物及评估结果,形成 APQP 报告。
业务活动 负责人	参与制定 APQP 项目工作计划,并依据计划承担业务 活动; 确定需提供的交付物,知悉风险评估要求,收集证据 文件; 接受并根据评估或检查结果,制定持续改进措施并实施。
业务活动 评估员	对提交的证据文件进行评估,并进行记录和标识; 反馈评估结果给关键业务活动负责人,报送 APQP 负 责人。

MAFA-APQP 与 IAQG-APQP 在关键角色上有差异明显。MAFA-APQP 不再保留 APQP 负责人,将其职责分解到其他关键角色。另外,新增协调员和业务活动评估员,协调员的概念源于 PFMEA 第五版^[14],在整个流程活动中发挥居中调度的作用;业务活动评估员则保证团队成员按照角色职责对业务负责,在整个项目过程中实现责任明确可追溯。

1.2 MAFA-APQP 要素识别

MAFA-APQP 建立以项目质量管理^[15]推动按时、高质量地交付产品的指导思想。因此,在项目正式启动之前,以顾客的需求为基础,根据军用飞机总装在第三和第四阶段的特点及风险分析结果,评估和确定描述每个阶段需要完成的关键业务活动(或称要素),定义特定的输出,并尽可能提供标准化交付物(如 PFMEA、CP 等)。

在 IAQG-APQP 标准中定义了一整套标准的 APQP 要素,但通过研究当前国内军用飞机总装生产模式,本文认为并非所有标准要素都适用,因此,MAFA-APQP 对标准要素进行适用性修改,如表 2 所示。例如,IAQG-APQP 中平面图布置是用于规划制造、检验和测试产品的工艺位置和布局,常用工具为价值流图(VSM)^[16]。布局状态达标应该视为项目管理实施的前置条件,因此不纳入 MAFA-APQP 要素中。

MAFA-APQP 要素之间根据输入输出关系,在军用飞机总装流程中构成了一个完整的质量工作链条,能够有效保证质量工作的一致性和连贯性,而交付物是 MAFA-APQP 要素已完成的切实证据。因此,MAFA-APQP 的核心观点是任何一

个产品模块(指产品分解结构 PBS^[17]中确定的模块)的实施,都应创建一个要素计划表,并考虑纳入质量保证大纲^[18]。其目的是保证整个关键业务活动在实施周期内依计划开展,要素计划表中应有质量记录,状态标色并说明原因,重点检查转节点和关键里程碑。以某型发动机安装为例,要素计划表如图 4 所示。

表 2 要素对比
Table 2 Comparison of elements

阶段	IAQG-APQP	MAFA-APQP
第三阶段 工艺设计和开发	3.01 过程流程图	3.01 过程流程图(PFD)
	3.02 平面图布置	不涉及
	3.03 生产准备计划	3.02 生产准备计划(PPP)
	3.04 PFMEA	3.03 PFMEA
	3.05 过程关键特性	3.04 关键过程(KCS)
	3.06 控制计划	3.05 试生产控制计划(CP-1)
	3.07 初步能力评估	3.06 初始产能评估(PCA)
	3.08 工作站文件	3.07 工作站文件(WSD)
	3.09 测量系统分析计划	非必选
	3.10 供应链风险管理计划	纳入 3.06
	3.11 材料处理、包装、标签和零件标记批准	不涉及
	3.12 生产准备评审结果	3.08 生产准备状态检查(PRR)
第四阶段 产品和过程确认	4.01 生产过程运行	纳入 4.04
	4.02 测量系统分析	4.01 测量系统分析(MSA)
	4.03 初始过程能力研究	4.02 初始过程能力研究(SPC)
	4.04 控制计划	4.03 生产控制计划(CP-2)
	4.05 能力验证	4.04 产能验证(CV)
	4.06 产品验证结果	纳入 4.04
	4.07 首件检验	不涉及
	4.08 生产零件批准程序文件和批准表格	4.05 生产零件批准程序(PPAP)
	4.09 顾客特定要求	非必选

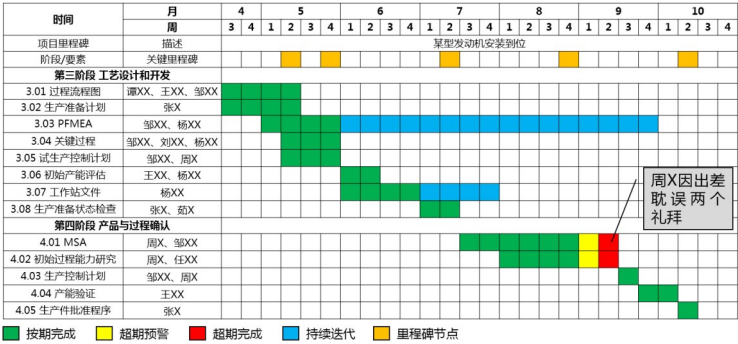


图 4 发动机安装要素计划表
Fig. 4 Engine installation elements plan

要素计划表应由跨职能团队共同制定并达成一致,一经确认便不可随意更改。另外,要素计划表中的时间颗粒度可根据生产需要确定为周、天或小时等。MAFA-APQP实施过程强调不断加强过程风险识别和缓解,因此,每个交付物都应有一个关联的要素检查表,由简短的、清晰的、封闭式的问题组成,通过使用要素检查表来评估交付物质量,并记录纠正偏差的措施。要素检查表样表如图5所示。

序号	问题	是	否	N/A	RYG	证据	拟采取的措施	责任人	提出时间	完成时间	状态 %	归零时间
1	过程流程图是否包括了分包活动?	X			G							
2	过程流程图是否包括了所使用的手段(机器、设备)和工具?	X			G							
3	过程流程图上是否标记了关键件和关键特性?			X								
4												

图5 要素检查表样表

Fig. 5 Element checklist

综上,MAFA-APQP中要素计划表与要素检查表是计划和评估的关系,而计划是决定评估频率的基础,两者共同构成MAFA-APQP的核心,既能保证项目整个关键业务活动在实施周期中按计划开展,又可供管理者掌握当前的过程水平和风险状况,督促关键业务过程进行持续改进,消除可能危及产品按时保质交付的障碍。

构成MAFA-APQP的其他重要观点,在应用实例中进行详细阐述。

2 应用实例

某型航空发动机作为军用飞机动力系统的核心,具有体积重量大、结构精密复杂、安装间隙小且安装轨迹复杂等特点,其装机质量对军用飞机性能有很大的影响,因此,发动机安装是军用飞机总装的难点之一。以下介绍如何通过实施MAFA-APQP,实现发动机安装工艺流程优化与管理、识别并控制过程风险、缩短安装周期,内容主要涉及第三阶段与第四阶段。

2.1 以过程流程图为输入

流程优化是在现有基础上对流程进行梳理、完善,重点强调改良,可以对流程整体优化,也可

对其中部分进行改进^[19]。MAFA-APQP的重要观点是过程流程图(3.01 PFD)是第三阶段所有关键业务活动的基础输入,应包含所有替代过程、关键特性、关键项目等。PFD采用图形化清晰、完整地描述发动机安装过程按顺序排列的操作,覆盖接收、安装、检查、测试、保护、存储和搬运等步骤的详细描述,利用PFD整合安装流程时,应与实际工艺路线保持一致,且强调总的过程而不是单个步骤。过程流程图样表如图6所示。

过程流程图 Process Flow Diagram						阶段				类型			
单位名称	XXX	零件名称	发动机	编制者/日期		等XXX 2020/5/4				文档编号	1		
项目名称	XX发动机安装	零件图号	XXXX	批准者/日期						版本			
工序号	工序名称	加工	搬运	存放	检验	序号	关键产品特性	编号	关键控制特性	潜在问题/变化源	生产设备	检测	检测设备
OP00	操作说明	◇	○	△	□								
OP00-1						1							
OP00-2						2							
OP00-3						3							
OP00-4						4							
OP10													
OP10-1						1							
OP10-2						2							

图6 过程流程图样表

Fig. 6 Sample table of PFD

过程失效模式及影响分析(3.03 PFMEA)是一种通过识别并评价生产过程中潜在工艺失效模式进而制定相应预防与控制措施的系统化、程序化的技术分析活动^[20],应依据PFD开展,通过对发动机安装过程中潜在失效模式进行排序和记录,确保所有风险被尽早识别并采取相应措施。

控制计划(CP)是连接装配过程步骤和关键检验及控制活动的重要描述,CP分为试生产控制计划(3.05 CP-1)和生产控制计划(4.03 CP-2)。在工艺流程变更定型前,应充分考虑所要进行的各项测试和控制^[21],形成的文件即试生产控制计划(3.05 CP-1)。MAFA-APQP的观点是在尚未确定并消除所有异常波动源的情况下,CP-1控制项的数量和频次通常比CP-2高,CP-1侧重于控制方法验证而CP-2侧重于控制方法执行。

MAFA-APQP要求CP应列出在发动机安装过程中需要监视的关重特性(3.04 KCS)以及相应的控制方法,并规定在过程不稳定或不合格发生时的应对计划。军用飞机关重特性一般由设计直接给出,包括产品关重特性和控制关键特性,标注为GT/ZT。此外,经PFMEA识别或顾客要求的关重特性也应纳入控制计划、作业指导书等进行波动控制。PFMEA和CP的核心作用是最大限度地减少过程和产品变差,且均为动态文件,应在整

个发动机安装生命周期内被维护并使用。要素实施结果如表 3 所示。

表 3 要素实施结果

Table 3 Implementation results of some elements

要素	实施效果
3.01 PFD	识别并整合安装工序,将原有 17 个安装环节优化为 10 个,将安装要求转化、分解为 127 个安装动作。
3.02 PPP	识别出设备、工装、工量具等不满足生产能力,并新增订货。
3.03 PFMEA	识别出潜在风险 80 项,其中高风险 12 项(RPN>120),并制定纠正措施。
3.04 KCS	编制关键过程明细表,将设计规定和工艺识别的关键特性在发动机装配大纲中注明,并制定控制计划,在过程中 100% 控制。
3.05 CP-1	

2.2 以初始产能评估为焦点

MAFA-APQP 管理工艺流程的重要预期结果之一是产能提升,因此,初始产能评估(3.06 PCA)是关键业务活动必选项。在工艺变更早期,依据顾客要求对人、机、料、法、环、测(5M1E)^[22]等必要资源进行产能评估,若识别出额外需求,则结合生产准备计划(3.02 PPP)制定详细计划以确保能匹配生产节拍。产能评估方法可参考全局设备综合效率(OEE)^[23],作为独立测量工具以表现实际生产能力相对于理论产能的比率,通过 OEE 模型的各子项分析,找到影响生产效率的瓶颈,并进行改进和跟踪。

目前,国内产能管理研究最典型的问题是资源集中在制造车间产能管理上,没有将供应链能力评估纳入到产能系统范围,该问题在军用航空产品上尤为突出,往往导致生产计划需要的生产能力与实际生产能力出现偏差,最终影响交付周期和质量。因此,包括发动机在内的军用航空产品应进行至少六个维度的产能评估,即生产线建设能力评估、工艺能力评估、生产能力评估、检验技术能力评估、人员能力评估以及供应链能力评估。

在第四阶段试运行前,应进行必要的生产准备状态检查(3.08 PRR),以确认生产过程已经成文并且准备投入生产。检查包括对所有工作站文件(3.07 WSD)的评审以及现场评审,具体要求参考 GJB 1710。最后,基于 PPP 和 PCA 结果进行产能验证(4.04 CV),评估装配周期、功能试验、测试能力等是否满足顾客需求,满足则组织生产,不满足

则制定行动计划。

2.3 以测量系统分析为基础

军用飞机总装阶段存在的典型问题是测量环节薄弱,不会测、测不准,导致部分失效发生时找不到原因或测量数据无法有效分析装配过程状态、过程能力以及监控过程变化,因此,测量系统分析(4.01 MSA)是保证测量数据及结论有效性的基础。发动机安装需要测量的特性参数主要有拧紧力矩、关键间隙、阶差等,测量过程所用到的测量方法、软硬件以及测量人员的集合称为测量系统。MAFA-APQP 要求 CP 中的 KCS 都应做测量系统分析。MSA 通常使用数理统计和图表的方法对测量系统的分辨率和误差进行分析^[24],以评估被测参数的可接受性。以发动机间隙测量常用量具钢板尺和千分垫为例,GR&R 方差分析如图 7~图 8 所示,可以看出:%SV 均小于 10% 且可区分度均大于 4,表示测量系统可接受,测量数据可用。

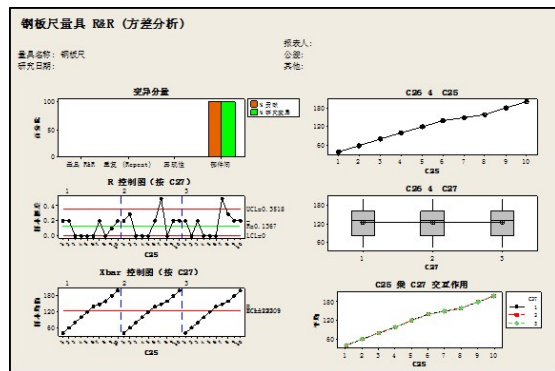


图 7 钢板尺方差分析

Fig. 7 Analysis of variance of steel ruler

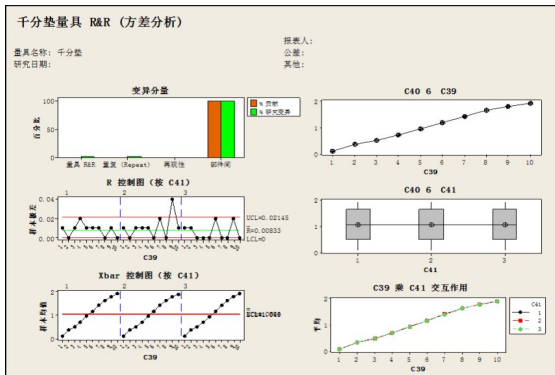


图 8 千分垫方差分析

Fig. 8 Analysis of variance of feeler gauge

初始过程能力研究常用方法是统计过程控制(4.02 SPC),通过控制图对发动机安装CP中确定的KCS进行测定,并计算过程能力指数(Cpk 或 Ppk)。建立过程能力的典型数量是25个,对于军用航空产品而言可适当降低,且过程能力稳定才能计算 Cpk ,TS16949要求 $Cpk \geq 1.33$,过程不稳定则需要计算 Ppk ,要求 $Ppk \geq 1.67^{[21]}$ 。MAFA-APQP要求只有测量系统合格,即测量系统带来的变差对整体变差影响很小时,才能进行SPC研究,且在提交顾客代表制定的所有特殊特性前,必须确定初始过程能力是可接受的。以支撑球头端面与内推力销锥形端面间隙 Cpk 计算为例,如图9所示,可以看出: $Cpk > 1.67$,过程能力高。其余特性参数 Cpk 计算结果如表4所示。

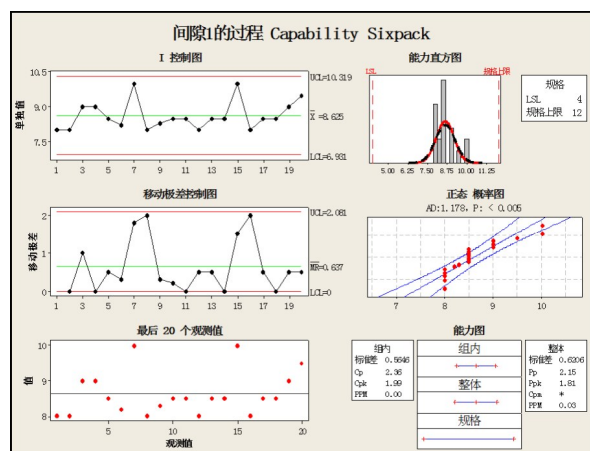


图9 间隙测量值过程能力分析

Fig. 9 Capability analysis of gap measurements

表4 部分特性参数 Cpk 值
Table 4 Cpk value of some characteristic parameters

参 数	Cpk 值	评价
支撑球头端面与外推力销锥形端面间隙	$1.33 > Cpk > 1$	过程能力不足, 加强过程控制与检查
环散端面与发动机端面间隙	$1.33 > Cpk > 1$	
卡环尾部平面与支座端面间隙	$Cpk > 1.67$	过程能力高
对接阶差周向任意均布四点平均值	$Cpk > 1.33$	
拉杆结构支座与发动机承力环间隙	$Cpk > 1.33$	过程能力充足, 保证过程控制
密封圈与发动机端面间隙值	$Cpk > 1.33$	

2.4 以生产件批准程序为输出

目前,军用航空产品暂无完整的生产件批准要求,一般通过合同或技术协议约定过程文件和样件提交条件,而生产件批准程序(4.05 PPAP)可改变这种模式。PPAP是顾客对供方过程的控制管理模式^[24],是MAFA-APQP的必然且核心输出,其作用是规定生产件批准的一般要求,确定生产节拍下有持续稳定执行顾客所有要求的生产能力。PPAP是所有MAFA-APQP关键要素过程资料的集合,生产方应根据顾客的要求提交PPAP文件包,包含规定要求被满足的证据,顾客则使用PPAP批准表格(参考AS9145)评审提交的PPAP。若PPAP没有获得顾客批准,则不能进行批量生产。以某型发动机安装为例,当工艺流程再次变更后,需要重新提交PPAP,具体取决于变更性质,参考AS9102。PPAP过程方法与要求如图10所示。

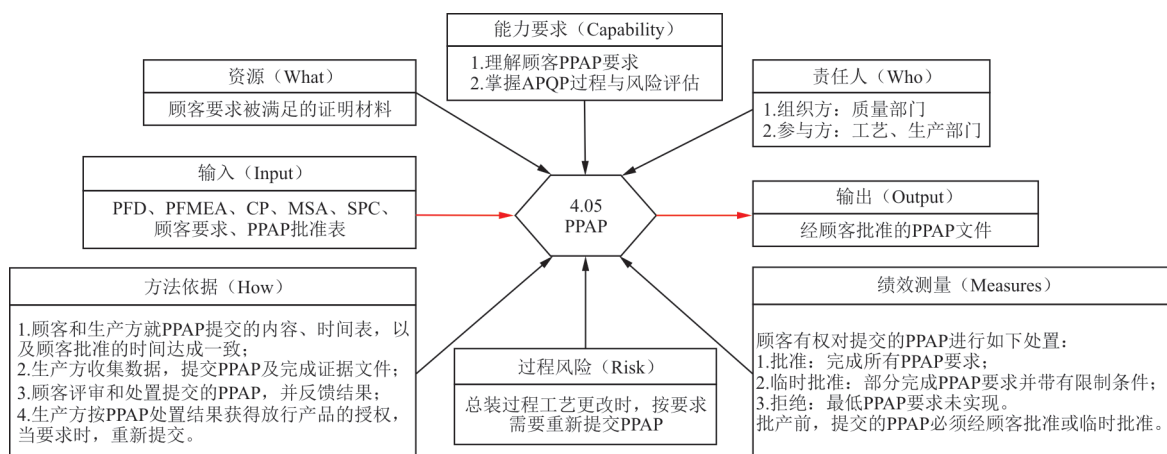


图10 军用飞机总装PPAP过程方法与要求

Fig. 10 PPAP process methods and requirements of MAFA-APQP

通过在某型航空发动机安装工艺流程优化、管理过程中应用 MAFA-APQP 方法,主要解决了单次单发安装周期长、过程需要反复拆装的问题。经多架次验证,发动机安装周期平均降低 61.3%,质量问题发生率平均降低 50%;过程中,促进供应商改进与发动机安装相配合的环形散热器质量,使发动机一次对合成功率平均提升 62.5%。

3 结 论

(1) 本文提出一种适用于军用飞机总装阶段的产品质量先期策划流程的应用指南(MAFA-APQP),并结合航空发动机安装项目进行实例分析,验证了 MAFA-APQP 的可行性和有效性。

(2) 以 MAFA-APQP 为核心的质量保证模式体现了风险预防与过程管控在工艺生产流程中的深度融合,面向全过程构建一套体系、流程和标准,对防止军用飞机总装阶段潜在质量问题的发生以及满足并超越顾客要求的生产效率有着积极作用。

参 考 文 献

- [1] 排孜来提. 基于 APQP 的 YC 公司汽车产品开发流程优化 [D]. 广州: 华南理工大学, 2011.
Paizilaiti. YC automotive product development process optimization based on the APQP [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2011. (in Chinese)
- [2] DANREID R. 汽车制造商手册升级换代: 合作完成 APQP 修订版 [J]. 许薇莉, 译. 中国认证认可, 2009(7): 34-37.
DANREID R. Upgraded version of auto manufacturer manual: cooperation completes the revised version of APQP [J]. Translated by XU Weili. China Conformity Assessment, 2009(7): 34-37. (in Chinese)
- [3] 赵斌. 基于 APQP 的汽车零部件开发项目管理实践与思考 [J]. 机械工业标准化与质量, 2017(10): 29-33.
ZHAO Bin. Practice and thinking of auto parts development project management based on APQP [J]. Standardization and Quality of Machinery Industry, 2017(10): 29-33. (in Chinese)
- [4] 罗凌. 航空 APQP 在机体结构件开发中的应用研究 [J]. 航空标准化与质量, 2016(1): 23-27.
LUO Ling. Research on the application of APQP in the development of airframe structural parts [J]. Aeronautic Standardization and Quality, 2016(1): 23-27. (in Chinese)
- [5] 中国航空工业集团有限公司. 航空工业集团产品质量先期策划 [DB/CD]. 北京: 中国航空工业集团有限公司, 2019.
Aviation Industry Corporation of China, Ltd. Advanced product quality planning of Aviation Industry Corporation of China [DB/CD]. Beijing: AVIC, 2019. (in Chinese)
- [6] 翟学聪. 浅谈 APQP 在航空器开发中的应用 [J]. 航空标准化与质量, 2011(1): 26-29.
ZHAI Xuecong. Talking about the application of APQP in aircraft development [J]. Aeronautic Standardization and Quality, 2011(1): 26-29. (in Chinese)
- [7] 杨国荣, 来云峰, 解安生, 等. 新舟飞机智能化精益生产线构建技术研究 [J]. 航空制造技术, 2020, 63(12): 24-30.
YANG Guorong, LAI Yunfeng, XIE Ansheng, et al. Research on construction technology of intelligent lean production line of MA aircraft [J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2020, 63(12): 24-30. (in Chinese)
- [8] International Aerospace Quality Group. Supply chain management handbook [EB/OL]. [2021-04-07]. <https://www.sae.org>.
- [9] 薛鑫. 某主机厂零件开发 APQP 过程管控实例分析 [J]. 汽车实用技术, 2018(16): 277-280.
XUE Xin. Case analysis of APQP process control for parts development of a OEM [J]. Automobile Applied Technology, 2018(16): 277-280. (in Chinese)
- [10] 何波. 基于 APQP 的 A 公司产品开发质量管理改善研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2018.
HE Bo. Research on improving product development quality management of A company based on APQP [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2018. (in Chinese)
- [11] 杜嘉玮, 王少华, 梁箫. 多源不确定条件下的 M 公司生产线优化研究 [J]. 机械设计与制造, 2020, 7(7): 296-299.
DU Jiawei, WANG Shaohua, LIANG Xiao. The research of multiple uncertain conditions in production line of M company [J]. Machinery Design & Manufacture, 2020, 7(7): 296-299. (in Chinese)
- [12] POP A B, TITU A M, OPREAN C, et al. Contributions concerning the possibility of implementing the APQP concept in the aerospace industry [J]. MATEC Web of Conferences, 2018, 178: 08013.
- [13] 威廉·爱德华兹·戴明. 戴明管理思想精要 [M]. 北京: 金城出版社, 2019.
DEMING W A. Leadership principles from the father of quality [M]. Beijing: Gold Wall Press, 2019. (in Chinese)
- [14] AIAG & VDA. Failure mode and effects analysis handbook [M]. USA: Automotive Industry Action Group, 2019.
- [15] 朱丹. APQP 方法在福特汽车面板开发中的应用研究

- [D]. 南昌: 南昌航空大学, 2017.
- ZHU Dan. Application research of APQP method in Ford motor panel development[D]. Nanchang: Nanchang Hangkong University, 2017. (in Chinese)
- [16] 张方哲, 贾纯洁. 基于价值流的飞机蒙皮族零件生产精益改善[J]. 工业工程, 2019, 22(6): 110-117.
- ZHANG Fangzhe, JIA Chunjie. A research on lean improvement using value stream in aircraft skin industry[J]. Industrial Engineering Journal, 2019, 22(6): 110-117. (in Chinese)
- [17] 王召, 刘思峰, 方志耕, 等. 无人侦察机系统研发阶段的效能评估 PBS-ADC 模型[J]. 系统工程与电子技术, 2019, 41(10): 2279-2286.
- WANG Zhao, LIU Sifeng, FANG Zhigeng, et al. PBS-ADC model for effectiveness evaluation in the development phase of unmanned reconnaissance aircraft[J]. Systems Engineering and Electronics, 2019, 41(10): 2279-2286. (in Chinese)
- [18] 王长清. 质量保证大纲编制要点探讨[J]. 电子质量, 2017(5): 84-86.
- WANG Changqing. Discussion on the key points of quality assurance outline[J]. Electronics Quality, 2017(5): 84-86. (in Chinese)
- [19] 闫晓霞. 基于 APQP 的 D 公司汽车产品开发流程的优化研究[D]. 上海: 东华大学, 2017.
- YAN Xiaoxia. Study of APQP-baese D company automotive product development process optimization[D]. Shanghai: Donghua University, 2017. (in Chinese)
- [20] 刘卫东, 胡坤, 康密军, 等. 小批量定制生产模式计算机辅助 PFMEA 技术的实现[J]. 机械设计与制造, 2016, 3(12): 260-266.
- LIU Weidong, HU Kun, KANG Mijun, et al. Realization of computer aided PFMEA technology in small-batch customization production model[J]. Machinery Design & Manufacture, 2016, 3(12): 260-266. (in Chinese)
- [21] 段芳芳. 基于 APQP 的新产品开发项目质量管理方法研究[D]. 天津: 天津大学, 2015.
- DUAN Fangfang. Study on methodology of new product development project quality management baesd on APQP[D]. Tianjin: Tianjin University, 2015. (in Chinese)
- [22] 罗祖靠. 采用 5M1E 分析法进行预应力桥梁施工质量管控[J]. 公路与汽运, 2018(4): 172-175.
- LUO Zukao. Using 5M1E analysis method to control the construction quality of prestressed bridges[J]. Highway and Automotive Application, 2018(4): 172-175. (in Chinese)
- [23] 沈静超. 设备综合效率 OEE 的计算方法及实际运用[J]. 装备制造技术, 2013(9): 157-158, 171.
- SHEN Jingchao. The calculation method of overall equipment efficiency and its application[J]. Equipment Manufacturing Technology, 2013(9): 157-158, 171. (in Chinese)
- [24] 温南方. 借鉴 PPAP 提升航空制造技术[J]. 中国设备工程, 2018(11): 148-149.
- WEN Nanfang. Use PPAP to improve aeronautical manufacturing technology[J]. China Plant Engineering, 2018(11): 148-149. (in Chinese)

作者简介:

杨二豪(1992—),男,硕士,助理工程师。主要研究方向:飞机制造过程质量管控技术。

刘玉松(1987—),女,硕士,高级工程师。主要研究方向:质量管理体系。

黄吉传(1980—),男,博士,高级工程师。主要研究方向:系统工程。

宿明(1988—),男,硕士,工程师。主要研究方向:飞行器制造质量工程技术。

蒋德成(1989—),男,硕士,工程师。主要研究方向:飞机质量检验技术。

(编辑:马文静)