

航空产品精益生产模式下的质量控制

李伟 周文明 何阵

陕西飞机工业有限责任公司 陕西 汉中 723000

摘要:民用航空产品制造具有高安全性特性,精益生产“消除浪费、持续改进”理念为其质量控制提供新路径。本文先剖析民用航空精益生产核心要素与航空质量控制的内在关联,明确二者协同机制;接着指出当前存在精益-质量协同不足等问题;最后从构建协同体系等三方面提出优化策略,并通过一关键重要零件制造场景验证,为民用航空产品实现“质量与效率双优”提供支撑。

关键词:民用航空产品;精益生产;质量控制

引言:在民用航空产品制造领域,高安全性与高质量要求贯穿始终。精益生产理念为提升生产效能提供了新思路,然而在实际应用中,质量控制面临诸多挑战,探寻有效的质量控制策略,成为推动民用航空产品精益生产稳步发展的关键所在。

1 民用航空产品精益生产与质量控制的核心关联理论

1.1 民用航空精益生产的核心要素

民用航空精益生产以“价值创造”为核心,通过优化流程、减少浪费,实现生产效率与质量的平衡,其核心要素在航空场景中呈现独特性。

1.1.1 价值流与流程优化是民用航空精益生产的基础

民用航空产品价值流涵盖“设计-零部件制造-组、部件装配-总装配-飞行检测”全链条,周期长达半年之久,甚至一年,需通过价值流图(VSM)识别质量浪费点。例如,民用航空产品零部件加工环节中,工序间等待时间长达数小时,导致零件部分锈蚀,通过VSM优化后,重新规划零部件的运输路线与存储布局,等待时间缩短至可控范围,锈蚀率大幅降至。同时,流程优化需保留“增值质量活动”,如关键零件超声检测(UT)需100%覆盖,而重复的外观检测可简化为抽样检测,企业优化后质量检测工时减少,检测效率显著提升。

1.1.2 拉动式生产与准时化(JIT):民用航空精益生产的关键

民用航空精益生产多采用订单驱动方式生产模式,需基于需求拉动零部件制造,以此有效减少在制品库存积压。然而,准时化(JIT)生产模式对产品质量提出了极为严苛的标准,要求零部件必须实现“零缺陷交付”,如果出现批次零件不合格,将导致装配生产现场停滞。因此,民用航空生产企业需建立JIT质量快速响应机制,如建立备件库,提前储备关键零件,以便在出现质量问题时,在最短的时间内完成替换,保证生产有序、高质量

持续推进。

1.1.3 持续改进与全员参与:民用航空精益生产的保障

民用航空产品质量提升依赖“微小改进”的累积,民用航空制造企业推行员工质量提案制度,鼓励员工结合自身工作提出提升质量与生产效率的建议,每年都会收获大量颇具价值的提案。如“螺栓拧紧力矩校准频次优化”提案实施后,产品装配间隙精度显著提高,超差率显著降低。同时,民用航空企业生产构建“质量责任到岗”体系,要求零部件加工人员在产品追溯卡签字,将质量责任精准落实到个人,也促使全员参与到质量改进工作中去,为质量改进提供了基础。

1.2 民用航空质量控制的关键要求

民用航空质量控制需满足行业特殊标准,确保产品安全与合规,其关键要求体现在合规性、追溯性与零缺陷三方面。

1.2.1 合规性是民用航空质量控制的底线。国内需依照民用航空领域相关权威质量管控规范,例如,关键部位零件无损检测(NDT)要实现全覆盖,且检测误差需要控制在极小范围内,企业因关键零件无损检测(NDT)抽检比例未达要求,被责令立即整改,进而延期交付零件。同时,过程合规需保留完整质量记录,包括加工参数、检测报告等,保存周期不低于产品全生命周期,曾有航空产品零件因丢失部分热处理记录,额外投入大量人力、物力、财力等进行补充检测。

1.2.2 全生命周期质量追溯是民用航空质量控制的核心。民用航空产品需实现“从原材料到运维”的全维度追溯,以一个螺栓生产为例,需追溯至冶炼炉号、加工机床编号、操作人员及拧紧力矩值等信息。传统人工追溯依赖纸质记录,查询多个系统需花费大量时间,难以满足精益生产需求。精益模式下,需通过“一物一码”实现快速追溯,如企业为零件赋予RFID标签,扫码可实

时调取从材料采购到装配的多项数据,追溯时间大幅缩短,既提高了工作效率,也保证了质量数据可以追溯。

1.2.3 零缺陷与容错性是民用航空质量控制的目标。

民用航空产品关键零部件的不良率需控制在极低水平,民用航空制造企业通过精益管控,优化加工参数与检测流程,使该关键零部件不良率显著降低。同时,需设计容错机制应对质量异常,例如零件不合格时,备用零件可在短时间内调配到位,有企业通过该机制,避免因零件短缺导致的生产线停滞,减少了损失^[1]。

1.3 精益生产与质量控制的协同机制

精益生产与质量控制并非对立,而是通过科学协同实现“效率提升不牺牲质量”,其协同机制体现在目标平衡与工具融合两方面。精益效率与质量的平衡需建立“质量优先”的目标体系。民用航空企业在设定精益目标时,需将质量指标权重提高至50%以上。同时,构建“质量效率”双维度考核,质量得分不达标则整体考核不合格,避免“为赶工简化检测”。例如,生产车间为了缩短周期,将产品主要结构框架焊接检测从全检改为抽检,导致不合格品流入下一生产阶段,既影响了生产效率,也影响了产品质量,故实施双维度考核,此类问题发生率降至0。精益工具与质量工具的融合可提升管控效果,将精益“5S”与质量“目视化管理”结合,零件生产间划分“合格区、待检区、不合格区”,用不同颜色标识,质量异常区域实时预警,异常发现效率提升显著提高将精益“快速换型(SMED)”与质量“过程能力分析(CPK)”结合,换型后需经过严格评估确保工序能力达标方可生产,民用航空生产企业通过该融合,换型时间大大缩短,换型后工序CPK达标率提升至更高水平,既提升效率又保障质量。

2 民用航空产品精益生产模式下质量控制的现存问题

2.1 精益生产与质量控制协同不足

当前部分民用航空企业在推行精益生产时,未充分考虑质量控制需求,导致二者协同不足,主要体现在目标冲突与工具适配性差两方面。目标冲突导致质量让步现象频发,为达成精益“缩短周期”“降低成本”目标,部分民用航空企业简化质量管控环节。产品零件在制造中,企业将全检改为部分抽检,虽检测时间有所缩短,但导致存在微小裂纹的零件流入下一生产阶段,后续返工产生了高额成本,也浪费了大量时间。调研发现,不少民用航空制造企业存在“因效率牺牲质量”的情况,此类企业质量问题返工成本显著增加,反而违背精益“消除浪费”的初衷;通用精益工具未考虑民用航空高精特性。例如,传统精益看板仅展示生产进度,并未纳入质量参数监控。另外,精益生产中的“单件流”未配套质量快速

检测设备,导致零部件加工车间因零件检测滞后,连续产生多件尺寸超差的零件,既影响生产进度,也增加了企业成本。

2.2 全流程质量管控存在瓶颈

民用航空产品生产流程长、环节多,精益模式下全流程质量管控仍存在瓶颈,集中在零部件制造、组部件装配、总装配与供应链环节。在零部件制造阶段,精益“单件流”生产工序衔接紧密,其中一环节质量异常易快速传导。例如,零件生产车间,因刀具磨损未及时发现,连续加工多件零件后才检测出尺寸超差,导致批量返工。同时,部分工序过程能力不足,产品框架焊接工序CPK值未达到民用航空关键工序要求,焊接变形超差率较高,需额外投入人力进行矫正,增加精益生产的浪费;在组、部件装配阶段,涉及多个模块、上千种零部件,精益“模块化装配”需模块间质量协同。以产品装配为例,部件与部件对接接口超差,因未提前核验模块尺寸,导致该工序返工数天,延误交付。此外,各模块质量数据分散在不同系统,例如,其中一个模块数据记录在制造执行管理相关的信息集合中,另一个模块数据留存在产品全生命周期管理对应的信息集合里。接口超差问题追溯需跨系统查询,耗费时间长,不符合精益“快速响应”要求;精益“拉动式生产”也依赖供应商准时交付合格零部件、成品件,但部分供应商质量响应能力不足^[2]。

2.3 精益质量追溯与预警能力不足

精益生产需快速追溯质量问题、提前预警异常,但当前民用航空企业在追溯效率与预警准确性方面存在明显短板。传统精益追溯依赖纸质记录与人工录入,操作繁琐、效率低下,要完成一次追溯往往需要耗费大量时间在多个系统切换、查阅众多报告。而且部分质量数据缺失存在缺失情况,导致无法有效验证材料性能是否达标,只能进行全批次重新检测,徒增生产成本。此外,多数民用航空企业仍依赖人工巡检发现质量异常,预警响应迟缓。

3 民用航空产品精益生产模式下质量控制的优化策略

3.1 构建精益-质量协同管控体系

针对精益与质量协同不足问题,需从目标设定与工具开发两方面入手,建立“质量优先”的协同体系。确立“质量优先”的精益目标体系,将质量指标纳入精益核心考核,如设定“关键零部件不良率处于极低水平”作为生产任务审批的前提。民用航空制造企业实施该目标后,杜绝了“为赶工简化检测”的行为,质量问题返工率大大降低。同时,建立“质量一票否决制”,如果一道工序过程能力未达到规定要求,即使产量达标也判定

为不合格,倒逼车间优先保障质量;设计精益质量看板,整合生产进度与质量参数,若某道工序过程能力未达规定要求,参数超限时自动变红报警。民用航空生产企业核心部件车间应用后,质量异常发现时间从数小时缩短至极短时间。绘制精益质量价值流图(VSM-Q),在传统VSM基础上标注检测点、异常处理点,识别重复检测等浪费,民用航空零部件加工企业通过VSM-Q优化,大幅减少质量浪费工时,检测效率显著提升^[3]。

3.2 全流程精益质量管控优化

针对全流程管控瓶颈,需分环节优化零部件制造、组部件装配、总装配与供应链的精益质量管控,实现全链条质量稳定。引入精益防错(Poka-Yoke)技术,在加工机床安装尺寸自动检测装置,超差时立即停机,民用航空关键零件加工车间应用后,开展工序能力提升,通过调整加工参数优化工序能力水平,如针对关键零件加工切削环节,优化速度参数,使其满足民用航空要求。同时,为每个零件分配唯一“精益质量码”,实时记录加工参数与检测数据,出具“精益质量验收报告”,合格后方可进入下一生产阶段。民用客机主力机型实施后,部件接口超差率降至极低,返工时间大幅减少。搭建“精益质量协同平台”,整合生产、质量等系统数据,部件对接时可实时调取部件接口尺寸与部件加工记录,接口问题追溯时间从数小时缩短至极短时间,提升协同效率;按质量风险将供应商分为A(关键件)、B(重要件)、C(标准件)三级,A类供应商需接入制定精益质量协同系统,实时上传关键质量信息,民用航空制造企业可以远程掌握情况。通过该进行分级管控,供应商质量合格率大幅度提高。与A类供应商签订“精益质量应急协议”,明确双方在面对突发质量问题的责任与应对流程,确保能够迅速、有效地解决问题,保障生产的连续性和稳定性。

3.3 精益质量追溯与智能预警系统构建

利用数字化技术搭建追溯与预警系统,提升精益质量管控的智能化水平。采用“区块链+物联网”技术,区

块链确保质量数据不可篡改,物联网实现实时采集。系统包含“原材料追溯”“加工追溯”“装配追溯”“飞行追溯”模块,零件出厂时附带RFID标签,如同“数字身份证”,扫码可查看全流程数据,充分民用航空产品全生命周期追溯需求;采集近几年历史质量数据(加工参数、检测结果等),利用这些数据对LSTM神经网络模型展开训练,并设定多维度预警阈值,当关键加工环节的参数出现异常波动,或材料性能指标出现偏离正常区间的异常情况时,系统可以自动预警。民用航空精密零部件加工车间应用后,质量异常预警准确率达到较高水平,误报率降至极低水平,异常响应时间从数小时缩短至极短时间。系统还可预测潜在质量风险,如可以提前预测批次民用航空专用加工刀具将磨损超标,及时更换可以避免零件超差。

结束语

民用航空产品精益生产模式下的质量控制是保障产品安全、提升生产效率的关键。当前虽在精益与质量协同、全流程管控及追溯预警等方面存在不足,但通过构建精益-质量协同管控体系、优化全流程质量管控以及搭建精益质量追溯与智能预警系统等策略,可有效解决现存问题。未来,随着技术不断进步与经验持续积累,民用航空企业应持续探索创新,完善质量控制体系,推动航空产品精益生产迈向更高水平,提升行业整体竞争力。

参考文献

- [1]王香.精益生产在中小制造型企业中的运用方法和要点研究[J].中国设备工程,2022(21):6-8.
- [2]王松.精益生产理念在制造业成本管理中的应用分析[J].上海企业,2024,(09):105-107.
- [3]郑海婴,崔之超,李龙,等.基于精益生产与敏捷制造交互作用下的航空电子产品产能提升研究[J].中国科技信息,2024,(01):132-134.
- [4]梁修奎,刘刚,龚旻,等.航天批生产精益产品保证的核心内容与关键环节[J].航天工业管理,2023,(09):3-6.