

精益管理在航空发动机装配生产中的应用实践

尚佳宁 赵丹丹 丰少宝 卢鑫 张伟

(中国航发沈阳发动机研究所 辽宁 沈阳 110015)

摘要: 装配科室某型号发动机 2022 年科研生产任务突增, 并将在未来几年持续高位运行, 按现有的生产组织方式及传统的功能型布局已经不能满足型号研制的需求。装配科室开展精益管理变革, 通过建立精益装配单元、优化厂房布局, 开展工艺优化并采用相关配套设计等举措达到了缩短产品装配周期及降低用工成本的目的, 精益管理成效显著, 满足了型号年度任务需求, 并为其他型号发动机开展相关的研究工作提供了参考方向。

关键词: 精益装配单元; 装配周期; 用工人日; 装配当量

1 项目背景和目的

根据 2022 年科研生产任务需求, 全年目标装配当量比 2021 年增长 8%, 其中某航空发动机全年装配任务占总任务量的 34.3%, 比 2021 年增加了近 50%, 并将在未来 3 年持续保持高位运行。

装配科室当前生产组织方式采用传统职能式的功能型组织方式, 按部件装配、传装装配、外部装配、平衡测试等专业化形式进行组织装配, 在装配模式上整机装配多采用分散固定式装配。功能型布局在应对多型号、单件小批装配任务时具有一定优势, 但随着科研型号任务的增多, 装配周期、效率和设备利用率等问题凸显, 基于功能型布局存在生产周期不稳定、物流距离长、转工距离长等问题。

为满足加快产品研制的需要, 装配科室以某发动机为试点组建精益装配单元, 试图通过功能型布局向单元型布局的转化, 以及利用合理布局、工艺优化、精简流程、过程管控等手段, 达到均衡生产、消除浪费的目的^[1], 力争做到“降用工总量、控人工成本”, 以实现该产品装配效率的提升。

2 总体思路及实施计划

2.1 总体目标

以某发动机为试点组建精益装配单元, 为满足 2022 年该产品的装配总当量需求, 单月须具备 5 台 (5 分 5 装) 的装分能力, 单台装配用工资源由 100 人日降至 80 人日, 装配周期由 19d 缩短至 15d, 物流运输距离降低 20%。

2.2 “三步走”建设思路

按照整体统筹, 分步实施的原则, 某发动机精益装配单元建设分为准备、实施和持续改进三个阶段。

2.2.1 准备阶段: 问题收集和单元建设方案制定

组建多功能团队, 通过组织团队成员开展“头脑风暴”, 收集现阶段存在的问题, 绘制现状价值流程图; 绘制装配现场物流面条图, 根据拟定方案完成装配现场精益布局设计; 按照装配工序成立各精益子团队, 负责本工位工作的精益优化; 对当前产能进行测算, 同时开展通用及特殊工具、尺表采购工作。

2.2.2 实施阶段: 单元建设实施和试运行

各精益子团队通过现场观察, 在本工位内采用 ECRS 法进行工艺路径优化, 并按照设计方案完成装配现场精益单元布局; 实现线边物流和工位上工具 and 尺表的应用; 分析各工序对技能人员的需求, 有序推进多能工培训; 总结各典型工序装配经验, 编制标准作业指导书。

2.2.3 持续改进阶段: 固化运行机制

单元工作机制能够顺畅运行, 成果逐渐固化, 工艺方法优化取得阶段性进展, 通过持续改善为后续单元建设打下坚实基础, 向新目标稳步迈进。

3 前期准备

3.1 组建多功能团队

装配科室精益装配单元的构建是装配生产线的精益转型, 重在全员参与。团队成员包含各层级管理者、推进员、某型号发动机主任主管工程师、各工序工艺技术人员、生产计划调度和现场操作工人等。

装配科室是精益装配单元建设项目的总负责单位，由项目总牵头人组织推动整个项目的设计运行过程，并联合各协同科室开展周例会，进行装配周计划内容的拆解，便于协同部门提前开始准备工作。

3.2 现场观察与现状分析

在单元建设之前需要制定时间观察表，收集并分析各摊位上消耗用工人日较多的工序的数据，统计包括准备时间、纯增值时间、过程等待时间、问题处理时间、休息时间及需要的人数等 [2]。在正式观察与记录时，不给被观察者施加任何压力，观察几次后，剔除异常值，取平均值，即得到目前该部件或工步装配的平均用时。再根据发动机装配现状绘制改善前价值流图(图 1)，并绘制鱼骨图分析“根因”。

3.3 产能分析与指标划分

某发动机有一条装配主线路，装配主线路如果存在制约因素，会直接影响装配周期。改善前主线路平均消耗 52 人日，装配周期 19 天；在主线装配的同

时，其他部件可同步进行，并行线共平均消耗 48 人日。根据改善前的产能分别对风扇、涡轮、传装、总装四支子团队等比例划分改善指标：风扇子团队由 25 人日降到 20 人日，涡轮子团队由 29 人日降到 23 人日，传装子团队由 25 人日降到 20 人日，总装子团队由 21 人日降到 17 人日，传装总装子团队将周期由 19 天 / 台降至 15 天 / 台。主线装配周期及用工人日如图 2 所示。

3.4 走动路线分析及精益布局设计

由于关注点不同，单元布局方案可以有多种形式，通常依据物料运输距离最短原则及过程移动距离最小原则确定最佳方案 [3]。从前期准备工作中的物流运输面条图可知，装配厂房现在机件存放混乱，且现场班组职责分工存在不合理因素，导致大量的运输浪费。考虑到平衡和测量设备及传装用的“C”形车如果移动，需要重新打地基并调试，成本过高，遂平衡测试区的平衡和测量设备及“C”形车暂不考虑移动。

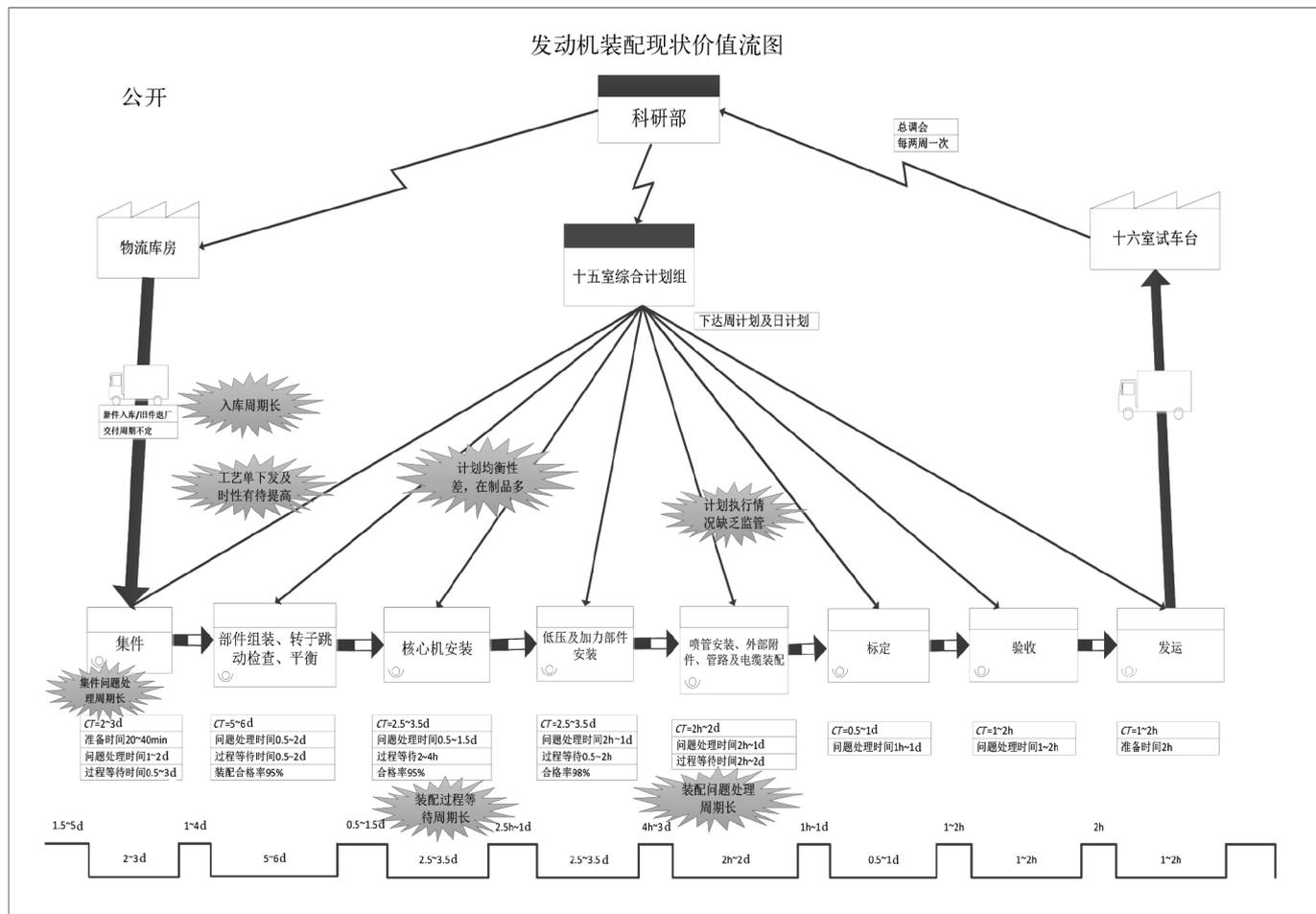


图 1 改善前价值流图



图2 主线装配周期及用工人日

改善前厂房机件库位分散，集件过程走动过长；部件装配过程中，转子件在部件装配区与平衡测试区反复周转，亦产生大量运输浪费。装配厂房总体分为部件装配区、平衡测试区和传装总装区三大块区域，精益单元规划占用部件装配区面积的1/3。B厂房的传装总装区在原本核心机装配区域处放置总装装配车；A厂房间位置其余未拆除的库位放置某发动机机件；A厂房和B厂房两侧的机件放置该发动机专用工装，通过分工调整发展连续流。为实现操作者不离开工位，预在单元内各摊位增投工具、尺表和挂架若干，以便操作者在工位上随用随取，减少等待时间。

4 实施进展

4.1 工艺精益化

经过前期对“时间观察表”中数据的分析可知，瓶颈工序决定了生产线的产出能力，而通过提高技术技能水平，优化装配工艺路径，可以提高装配效率^[4]。

通过优化工艺方法、使用电子测量装置、改进平衡及测试技术的方法，缩短了用工人日和装配周期。目前，使用电子塞尺测量间隙、改用氮气打压、优化工装结构等已成功应用于现场。工艺精益化如图3所示。

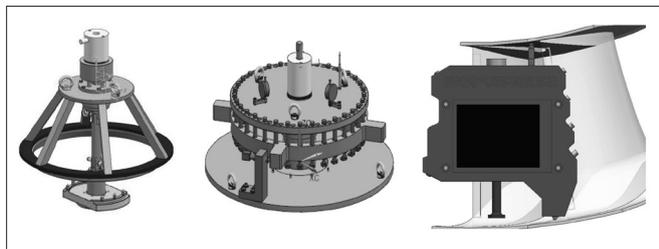


图3 工艺精益化

4.2 物流配送设计

精益单元布局确定后，进行了合理的物流配送设计，缩短产品运输距离及过程走动距离，消除不必要的移动浪费。主要任务分为仓储物流、配送物流、线边物流三方面。

4.2.1 仓储物流

仓储物流，即存放某发动机分解机件的库存资源。单元建成后，除返厂件返回后须存放至物流中央库外，其余分解件都存放在装配厂房二级库，便于装配保障人员取件后就近配送至各子单元。

4.2.2 配送物流

理想状态的物流配送应采用“水蜘蛛”作业模式，即保障组人员按照周计划、日计划要求，按照一定路线给装配单元配送物料，“水蜘蛛”在生产区域循环行走，一边取走空的物料箱，一边把装满零组件的物流箱送到作业工位，减少空闲等待时间，提高增值比。准时配送的目的是降低装配工位空闲时间，减少操作人员生产过程不必要的走动，提高物流速度，提高装配增值比。

4.2.3 线边物流

为提高装配效率，避免装配消耗件资源不足带来的不必要等待，预在装配生产线边布置够5台份该产品装配所用的消耗件，形成线边“超市”。如果“超市”库存不足，需单元各子团队负责人在“看板”上写明须补充件，供配送人员根据看板掌握信息。同时产线边布置工具挂架，方便操作者随用随取，减少走动距离。单元实施后厂房布局图如图4所示。改善后物流面条图如图5所示。

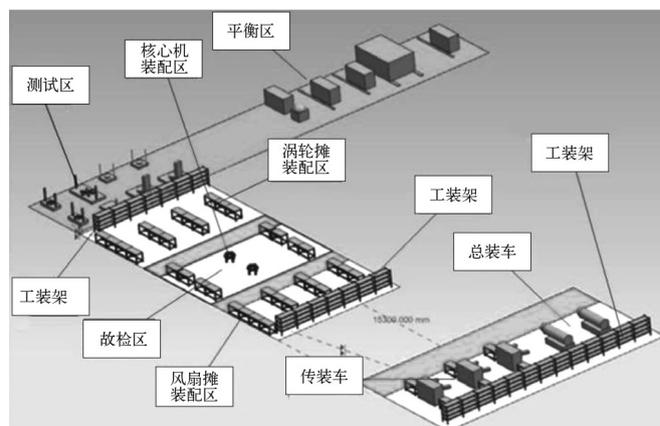


图4 单元实施后厂房布局图

4.3 标准作业与多能工设计

操作者标准作业提供了最优的作业方法，指导操作者更有效、更安全地工作，同时稳定作业流程，使操作均达成一致结果。操作者标准作业是现场进行高效率生产的基础，质量保障的基础，也是实施流动的前提。操作者标准作业指导书应由操作者主导设计完成，以团队的形式共同探讨出最符合人体工程学、更安全、

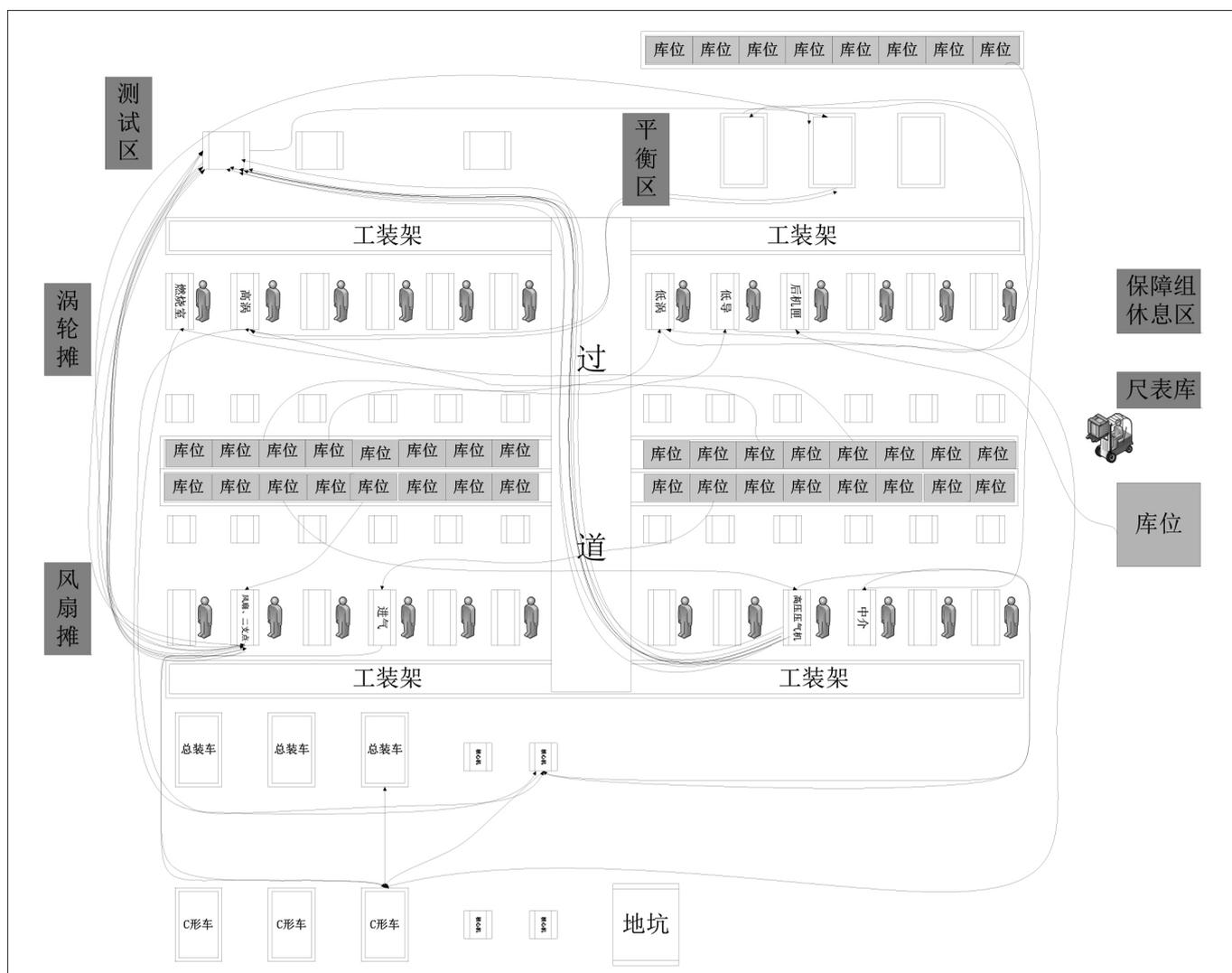


图5 改善后物流面条图

省力、统一的作业方法，针对难以用文字描述或难以理解的作业内容，配简图表达，并形成制度化，树立良好的装配形象，取得客户信赖与满意。

多能工设计的要点是绘制工人技能矩阵图，根据技能矩阵制定多能工培养方案，依托大师工作室对未满足需求的工人开展培训。

4.4 单元建设配套设计

4.4.1 数字化建设

按照体系建设要求，为系统管理装配计划，提高装配计划的严肃性、展示性、执行性及可考核性，进而实现加快科研生产的目标，按装配科室“近细远粗”的原则构建以年度滚动计划、月计划、两周计划、周计划、日计划为主体内容的装配计划体系框架，梳理各层级装配计划间的逻辑关系，固化各层级装配计划要素、表单、流程、维护模式；优化计

划排产模式，单元内计划下达至瓶颈工序，并向前拉动生产；优化台份负责制，责任人解决装配全流程中的各项异常问题，并通过信息化平台快速推送至相关负责人。

4.4.2 项目团队管理

以某型号发动机为试点，推行行政班组及项目团队强矩阵式管理，并动态调整，缓解技术人员不足的问题，行政班组及项目团队对技术人员实行双向领导、双向考核。

5 结语

某型号航空发动机的精益管理应用实践取得了明显成效，装配周期、用工人日稳步下降，装配当量呈上升趋势。2022年该型号发动机每月平均完成当量

(下转第64页)

7 结语

本文基于LMS提出了一种新的机动车发动机异响故障诊断方法，并通过实验的方式与之前传统的检测方法进行对比，表明了新的诊断方法比之前的传统诊断方法的使用效果更好。本文设计的诊断方法可以减少主观性，其数据都具有客观性，能精准检测到故障部位，具有针对性，并且检测不会耗费不必要的人力和时间，其检测时间快且准确率高。但是实验的环境条件有限，所以在工作中还存在着一些不足的地方，还需进一步完善工作。

参考文献:

- [1] 陈财森, 胡海荣, 程志炜, 等. 基于BA-RVM算法的发动机故障诊断技术研究[J]. 计算机工程与科学, 2023,45(02):332-337.
- [2] 任帅. 深度学习下汽车发动机故障诊断系统研究[J]. 专用汽车, 2023(02):66-69.
- [3] 张政. 汽车发动机故障诊断方法研究[J]. 时代汽车, 2022(22):162-164.
- [4] 解淑英. 基于LMS算法及BP神经网络的汽车发动机故障诊断模型研究[J]. 微型电脑应用, 2021,37(12):44-47.
- [5] 杨诚, 李爽, 冯焘, 等. 基于LMS和SDP的发动机异响诊断方法研究[J]. 汽车工程, 2014,36(11):1410-1414.

(上接第59页)

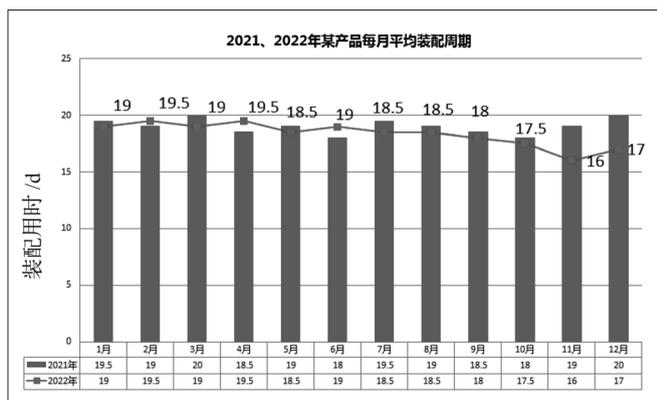


图6 装配周期对比

量6.6, 较2021年增长15.8%, 装配周期由2021年的19d/台缩短至16d/台(图6), 用工资源平均降至89人日/台(图7), 随着精益管理的不断深入, 2023年将继续逼近既定指标。2022年整机计划装配分解68台次, 实际完成整机装配分解60台次, 基本满足该发动机年度装配任务需求, 圆满完成了该型号年度装配生产任务, 提高了装配效率, 降低了用工成本, 减少了过程浪费, 其精益管理理念值得在其他型号产品中推广应用。

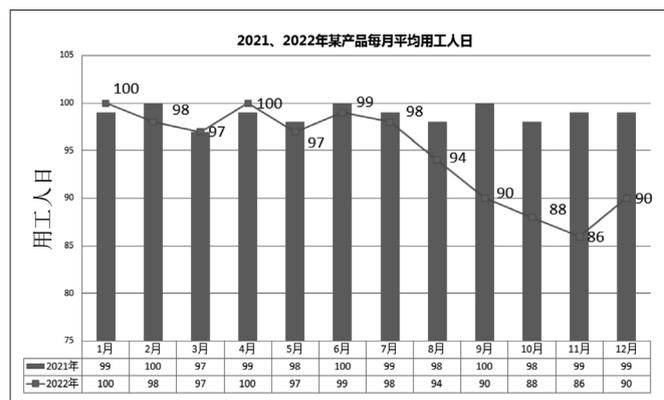


图7 用工日对比

参考文献:

- [1] 王波. 精益单元化生产在多品种小批量装配生产中的实践[J]. 现代制造工程, 2019(10):21-27+39.
- [2] 王晶. 基于精益生产的生产线效率提升方法研究[J]. 装备机械, 2017(03):25-29.
- [3] 徐煜丹. 厂房精益化布局方法及其在某企业应用研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2010.
- [4] 曹文东. 发动机装配线生产瓶颈工序的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2011.