

基于 MES 系统的研究型组织航天载荷 生产过程质量管理研究*

李杨¹ 姚树东²

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 哈尔滨宇龙自动化有限公司, 黑龙江 哈尔滨 150000)

摘要: 近年来,我国航天载荷研制发展迅速。随着载荷规模的增大,生产过程中产生的质量数据也越来越多。如何高效率地完成质量信息的收集、处理、共享和交换,并充分利用质量信息高质量地完成生产过程质量管理工作是一项重要的研究课题。通过对研究型组织生产过程质量管理情况的研究,以及对现阶段存在问题的分析,经过探索和实践,提出基于 MES 系统的航天载荷生产过程质量管理思想,搭建以质量管理为核心、以质量信息为线索的 MES 系统模型,并在航天载荷任务中进行实践。

关键词: 航天载荷; MES 系统; 质量管理; 生产质量管理; 质量信息

0 引言

随着我国航天事业的快速发展,航天任务日益增多,航天有效载荷的需求也越来越大,但研制进度越来越紧。在这种情况下,如何确保产品质量成为关键问题。影响产品质量的环节很多,包括设计、生产、检验、管理等,其中生产过程质量对产品整体的影响尤其关键,因此生产过程质量管理成为整个质量管理链条中环节和影响因素最多、最复杂的关键过程^[1]。提高产品生产过程质量能够在一定程度上保证产品的质量。随着航天载荷的规模越来越大,系统也越来越复杂,精细化生产过程质量管理工作面临诸多难题,而实现精细化管理的前提是对质量信息的收集、分析、处理及交换。随着质量信息的不断增加,如何借助信息化手段开展精益化质量管理工作成为保证航天产品质量过程中必须面对和亟待解决的问题^[2]。

生产执行系统(Manufacturing Execution System, MES)是一套面向制造企业车间执行层,以制造数据管理、计划管理、生产调度管理、采购管理、库存管理、质量管理、设备管理、人员管

理、经费管理、工作中心、项目看板管理、生产过程控制、底层数据集成分析、上层数据集成分解等为中心的管理信息系统^[2-3]。该系统是一套面向制造企业的管理信息系统,对于生产型企业具有较高的适用度。研究型组织虽然具有较强的研发实力,但生产能力相对薄弱,且生产的产品批产化程度不高,很多产品均为新研产品。如何在常规的 MES 系统基础上进行改造,使之适用于研究型组织,对生产过程质量管理发挥作用,是一项有益的探索和研究^[4]。

1 生产过程质量管理在质量管理工作中的重要性

以某光学航天载荷初样研制过程为例,将航天载荷研制流程简单概括为设计、生产、试验、检验、交付等阶段,其研制流程如图 1 所示。其中,设计阶段主要是进行各种设计及与设计相关的复核复算、仿真分析等工作,主要质量控制点为设计评审生产阶段相对复杂,涉及光学、电子学、机械零部件及软件的加工、集成、装配、调试、总装等多个环节。此阶段影响质量的因素

* 基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(A类)(XDA17010205)。

较多，不仅受上一阶段设计质量影响，还受人员质量、生产及检测设备质量、原材料质量、工艺质量、生产环境质量等的影响。正是由于生产阶段的复杂性，生产阶段也是最容易出现问题的阶段，因此生产过程质量管理是整个质量管理工作的重中之重。生产完成后即进入试验阶段，完成所有的鉴定试验后开展产品的终检及质量评审后，即可将合格的产品交付用户。

与设计过程的质量控制点不同，生产过程需重点控制的内容按生产过程涉及的阶段包括以下7个方面：

(1) 零部件加工管理。对于新载荷的研制，由于存在不确定性因素，质量控制处于相对不稳定的状态，需加强对零部件加工质量的控制，避免因加工质量引发产品问题，而零部件加工质量控制又涉及人员、生产及检测设备、原材料、工艺、检验等。

(2) 集成装配及总装过程管理。与零部件加工不同，此过程是对上述加工的零部件进行逐层集成、装配和调试的过程，往往不涉及原材料。但对于新载荷的研制，同样是由于不确定性因素，其质量不仅涉及装配过程本身，还涉及前序工作的质量，因此该过程的质量控制更加复杂^[1]。此过程的控制涉及人员、生产及检测设备、工艺、检验等。

(3) 设备管理。设备包括生产设备和检测设备，是保障生产的重要资源。设备的管理包括设备台账的建立、设备的维保、设备的使用等。零部件加工、集成装配及总装和检验均涉及设备，

因此设备管理的质量在一定程度上影响生产过程质量。

(4) 采购及外包管理。零部件加工的基础是原材料、元器件及标准件等基础物料，要想保证零部件加工的质量，需首先保证基础物料的质量，即加强对采购的管理。而随着载荷规模的增加，涉及的外包活动越来越多，外包产品质量问题占比也越来越大，因此外包过程的质量管理也亟待加强。

(5) 工艺管理。零部件加工、集成装配及总装均涉及工艺管理，因此工艺管理是整个生产过程质量管理的重要组成部分。工艺管理的核心是对关键工艺的控制，即对关键工艺参数的控制、关键工艺环节的控制和关键工序的控制。

(6) 质量检验管理。零部件加工、集成装配及总装过程均需按照工艺文件中规定的检验要求产品进行检验，特别是对关键质量特性需设置关键/强制检验点，并在生产过程中进行检验。质量检验是保证产品质量的重要环节。

(7) 生产过程规范性管理。因为生产过程复杂，所以对重要工序间的流转、技术状态及工艺的变更、检验的放行等均需严格控制其审批。

随着航天载荷规模的增加，生产过程中产生的审批数据、流程数据、产品的生产数据、检测数据等质量信息越来越多，需要收集、分类保存和上报这些数据，确保其可追溯。而为了持续改进研制过程，还需对这些质量信息进行分析。因此，要想实现对质量信息的存储、查询、分析、共享和交换，必然需要通过信息化手段提高数据处

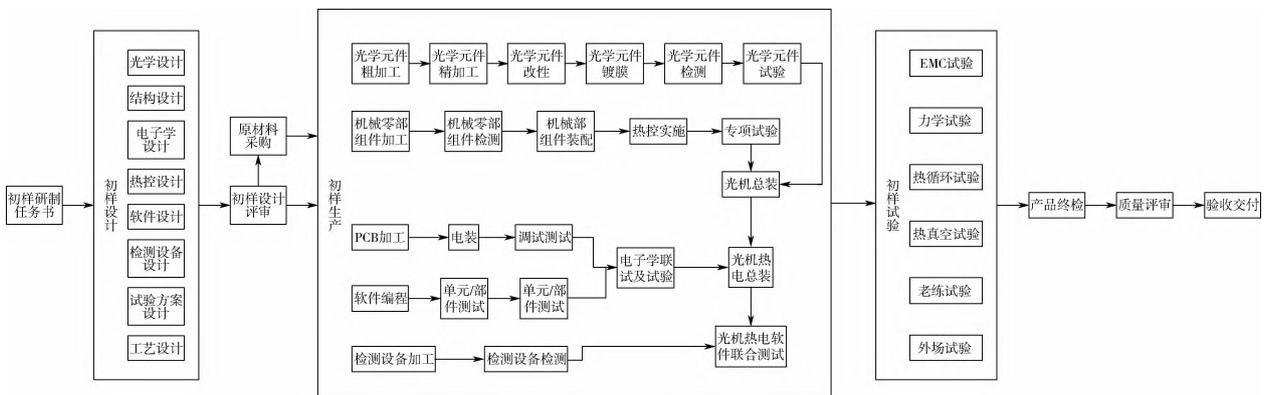


图1 航天载荷初样研制流程示意图

理的准确性和效率。

2 研究型组织航天载荷生产过程质量管理及现状分析

近年来,随着我国科学技术的发展和创新发展形态的演变,研究型组织逐渐形成了产学研并举的生存形态,研究型组织承担的航天科研任务也逐渐从单一的基础科学研究向工程化转变。目前,研究型组织的生产过程质量管理现状主要体现在以下6个方面。

2.1 新研产品较多,产品批产率不高,质量管理流程及监控点难以全部固化

与生产型组织不同,研究型组织虽然具有较强的科学研究能力,但生产能力相对薄弱。特别是在承研航天载荷时,很多航天载荷是新研产品或者是存在一定继承关系的非批产产品,生产过程存在不稳定因素。虽然单件生产的制造重复率不高,但所有生产前准备、生产检验等质量管控环节不能省略,因此如何提高生产过程管理效率和提升生产过程质量是一项非常重要的研究课题。

2.2 生产环节外包较多,生产过程难以实时监督管控

航天载荷研制涉及的生产环节很多,如光学元件加工、机械零部件加工、复合材料加工、PCB加工、装调及总装等。一个研究型组织通常不具备载荷研制涉及的全部生产能力,因此很多工作需要外包。而航天产品的最终质量与上述各生产环节的产品质量存在显著的正相关关系,但不能实时监管外包的生产过程,因此需从质量要求传递、关键特性控制、获取生产过程质量信息为后续研制提供数据支撑等角度加强生产过程控制^[5-7]。

2.3 组织的核心生产过程以装调和总装为主

多数研究型组织核心的生产内容为装调及总装。装调及总装过程工艺复杂,虽然从单项工序的角度看工艺都相对成熟,但工艺技术流程因产品的不同而不同,虽有一定继承性但难以全部继承,因此需设置不同的质量控制点和关键强制检验点。这给提高质量管理效率带来一定难度。

2.4 质量信息透明度和共享性差,数据的统计分析工作难度较大

生产过程中产生大量的质量信息,但信息的采集、传递和反馈以手工为主,难以形成“信息链”。信息的共享性差,查询和传递效率低,可追溯性差。要确保基于数据驱动的预防式质量管理工作的开展,质量信息的准确性及实时性是关键。

2.5 生产过程计划的频繁调整造成质量计划的可执行性低

生产计划既包括装调和总装的工期,也包括零部件外包加工的工期。近年来,航天任务越来越多,研制周期越来越短。当载荷比较复杂、总装工期较长时,为了确保研制周期,零部件加工和总装工作常常并行开展。前序工作如出现拖期,则可能影响后续技术流程及研制计划,导致技术流程和计划流程频繁调整,影响资源的分配和质量计划的执行。

2.6 频繁的计划调整及管理协调导致管理效率低下

当计划不断被调整时,可能会出现资源竞争问题,如果没有有效的协调调度,则无法达到多项目的整体协同优化,即使只有一个项目也有可能造成拖期。在赶工状态下,管理人员没有时间和精力做管理改进,恶性循环,最终影响管理效率和管理质量。

3 基于MES系统的航天载荷生产过程质量管理架构设计

3.1 以质量管理为核心的MES系统总体目标

以质量管理为核心的MES系统是指将质量信息贯穿整个系统,通过质量信息的收集、存储、传递、统计和分析将MES系统的各功能模块关联起来,完成质量计划、质量过程监督管理、质量检验与控制、质量分析、质量问题跟踪处理、质量反馈及质量的持续改进等工作。充分利用MES系统的信息化特点,开展精细化质量管控,解决研究型组织生产过程质量管理中存在的问题,实现质量管理信息化。

3.2 MES 整体架构

MES 系统主要包括项目管理功能、计划管理功能、生产管理功能、工艺管理功能、物资管理功能、质量管理功能、设备管理功能、数据管理功能、现场管理功能及统计分析与报表功能等。MES 系统整体架构如图 2 所示。

3.2.1 项目管理

项目管理模块的核心功能是项目计划制订、流程管理跟踪和反馈,包括项目立项、项目计划制订、计划下发、计划反馈、计划变更、总计划甘特图、会议管理等。该功能考虑了新研载荷生产过程计划频繁变更的特点,通过对各类数据的收集,及时跟踪计划执行情况,及早做出判断,确保计划的准确性和有效性。计划信息的反馈也可为质量计划的修订提供改进数据。

3.2.2 数据管理

数据管理模块的主要功能是对数据进行存储、查询和下载。数据是一切工作的基础,该功能为数据的追溯及后续问题的分析、管理的持续改进提供基本保证。

3.2.3 工艺管理

本模块针对研究型组织生产过程主要为装调和总装的特点,将灵活定制检查点和派工质量任务的功能融合到产品配套基础信息管理、派工管理、工艺文件管理、标准工序管理中,潜移默化地完成质量管理工作。

3.2.4 生产管理

生产管理模块以质量控制点、关键流程审批管理、生产过程质量信息管理及质量问题处理为线索,通过对生产过程的工作分配、技术流程安排、生产过程执行、工序间流转、生产计划执行的跟踪及反馈进行管理,将生产过程全过程串联起来,达到信息化管理的目的。

3.2.5 物资管理

物资管理模块主要是对生产所用的全部物资,包括元器件、原材料及外包加工的零部件,进行从采购、订单信息跟踪、到货检验、库存到生产领料的全生命周期的管理。针对零部件加工多为外包且生产过程可能与装调及总装过程并行的特点,在此模块重点进行外包过程质量监督数据上传功能,达到及时收集质量数据、确保质量追溯的目的。

3.2.6 质量管理

因为该 MES 系统是以质量管理为核心、以质量信息为线索的信息化系统,所以与质量管理相关的大部分内容已嵌入各功能模块。质量管理模块的核心功能是检验的执行管理、质量问题处理流程管理、质量信息管理等,目的是实现生产过程的精细化质量管理。

3.2.7 设备管理

设备管理模块的主要功能是设备台账管理、设备资源管理,针对频繁计划变更导致的设备竞争进行设备占用情况管控。通过与工艺、生产任务匹配

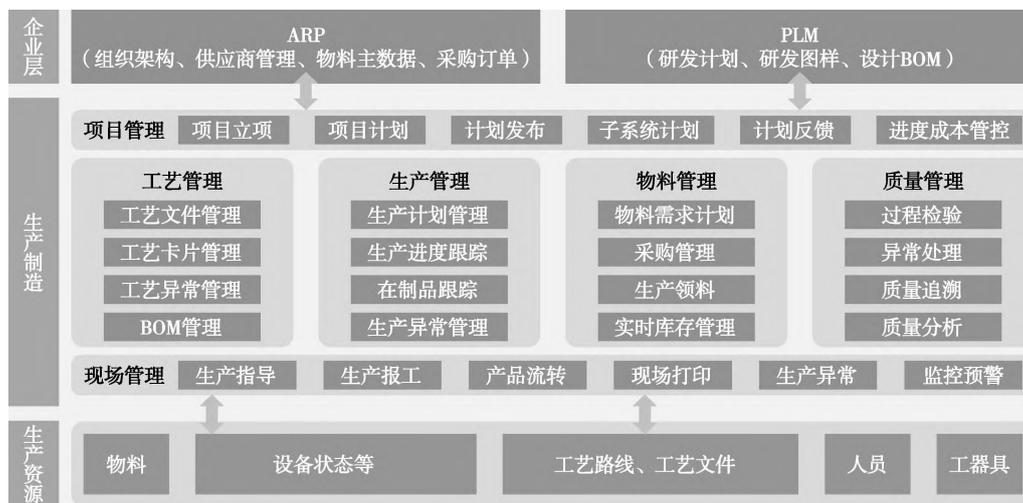


图 2 MES 系统整体架构图

实现设备占用情况及时反馈,为计划安排提供数据,确保计划的合理性。

3.2.8 统计分析与报表

统计报表模块的核心功能是对所有系统留存的数据从计划、质量问题、绩效分析、设备状态等方面进行统计和分析,实现对数据的全面分析,以支撑项目对生产的全面管控。

4 应用效果

将以质量管理为核心的MES系统应用于某航天载荷的生产过程质量管理,解决了以下5方面的问题。

4.1 提高计划的准确性及可执行性

通过信息化手段对计划执行情况进行追踪和信息反馈,确保计划的准确性和可执行性。与手工制订和下发计划相比,该方式能够降低信息收集的工作量,提高工作效率,同时提高准确性,为实现资源协调奠定基础。

4.2 确保信息透明化,提高信息共享程度和信息传递反馈速度

以MES系统数据管理模块为中枢,联合生产管理、设备管理等多个模块,形成了质量信息采集、传递、查询、统计、分析的“信息链”,提高了信息的透明度、共享性和信息传递的及时性,为产品研制提供了信息的可追溯性保证。

4.3 改善质量管理效果

通过将质量管理控制点融入各个生产管理环节,以“润物细无声”的形式开展质量管理工作,不但方便了质量管理工作的开展,还解决了质量计划与研制计划“两层皮”的现象。

4.4 提高管理效率

计划管理、数据管理、资源管理、设备管理等信息化,将管理人员从低效率的常规性工作中解脱出来,将更多的时间和精力投入改进管理工作,提高了项目的管理效率,形成了良性循环。

4.5 管理数字化

审批、记录等工作实现无纸化。通过在线管理,

降低了过程偏差,既确保了合规性,又降低了成本。

5 结语

航天载荷生产是整个产品研制过程中非常重要的环节,保证航天载荷生产过程质量成为航天载荷研制过程的核心部分。通过对研究型组织特点及现状的分析,梳理生产过程质量管理中现存问题,提出基于MES系统的航天载荷生产过程质量管理思想,搭建了一套适用于研究型组织,将质量计划、质量检验与控制、质量分析和质量反馈工作融入整个生产过程,以质量信息为线索,通过对质量信息的收集、存储、传递、统计和分析实现精细化质量管控的MES系统模型,并在在研的航天载荷研制任务中进行了实践。通过实践发现,该方法能够有效解决研究组织生产过程中存在的质量管理难题,提高生产过程质量管理效率。

参考文献

- [1] 谭芳. MES环境下的企业质量管理方法探究[J]. 装备制造技术, 2020(5): 265-269.
- [2] 杨磊, 袁明锋, 冯茜. 军工企业信息系统集成实例分析[J]. 现代工业经济和信息化[J]. 2020(5): 69-72.
- [3] 裴倩倩, 何雨洁, 秦忠. MES系统在企业生产信息化管理中的应用分析[J]. 2021, 48(3): 117-119.
- [4] 漆祥俊, 周兰. 航天制造企业基于MES的生产信息管理系统建设及应用[J]. 新型工业化, 2020, 10(11): 116-117.
- [5] 吴挺. 基于航天产品制造过程的质量管理方法研究[J]. 企业改革与管理, 2018(11): 2.
- [6] 卫翠玉, 李宁, 马腾, 等. 航天产品外协质量管理风险与控制措施[J]. 项目管理技术, 2019, 17(5): 114-116.
- [7] 安思颖. 关于载人航天型号外协产品有效质量管控的思考和实践[J]. 项目管理技术, 2019, 17(4): 93-97. **PMT**

收稿日期: 2022-08-20

作者简介:

李杨(1981—),女,博士,副研究员,研究方向:质量与可靠性管理。

姚树东(1991—),男,产品总监,研究方向:软件系统分析与设计。