

TOC 在机械类航天产品生产计划及控制中的应用探究

李祺欣 王晨宇 王一

(天津航天长征火箭制造有限公司 天津 300462)

摘要: 本文在介绍机械加工类航天型号产品特点和约束理论基础, 阐述了基于约束理论的航天型号产品的排产模式。经过在某型号火箭机械加工类产品的测试发现, 约束理论可以提高关键设备的利用效率, 缩短产品加工周期, 进而降低产品制造成本。

关键词: TOC; 航天产品; 生产计划

0 引言

进入 21 世纪以来, 我国在航天领域已完成了北斗组网、嫦娥探月、祝融探火、空间站建立等举世瞩目的成就, 中国航天已跻身世界第一梯队。但中国与世界传统航天强国在火箭制造成本等方面仍有巨大差距, 这严重制约了中国航天事业在世界市场上的竞争力。由于中国航天工作前期“重效率、轻成本”的工作方针, 导致在控制成本方面, 中国与世界传统航天强国存在一定差距。尤其在机械加工领域, 其他行业大多已广泛应用先进生产管理模式, 故将约束理论 (TOC) 应用于机械加工类航天型号产品的生产过程迫在眉睫。为此, 本文对机械加工类产品实际生产过程中的生产计划及控制进行了改进探究。

1 机械加工类航天型号产品的特点

航天产品制造属于离散制造模式, 其主要特点为: 零件种类较多, 每种产品数量较少, 并且每类零件的加工过程都是相对独立的, 且每项零件均需要多部门共同协调完成^[1,2]。一个产品的加工过程可能涉及机械加工车间、钣金车间、表面处理车间和焊接车间等。其中, 机械加工车间又分为车、铣、钳等多个工种。若其中一个或几个设备出现故障, 必然会对航天型号产品的进度造成影响, 严重的故障甚至会干扰型号产品研制计划。而航天产品具有种类多、批量小的特点, 这就决定了无法采取大规模投产从而提高冗余度。所以机械加工类航天型号产品的设备和人员使用均是柔性的、灵活的, 产品的加工模式也属于离散加工, 无法找到一个系统性的万能计划, 进而应对全部突发状况。目前的解决办法是在各部门中设置“计划调度员”, 通过“计划调度员”对灵活的生产计划进行实时把控。

2 约束理论简介

现代先进的生产管理理论有很多, 如准时生产模式 (JIT)、精益生产理论 (LP), 以及集成了人力、物流、生产计划等多个维度的 MAR 系统。而针对航天产品, 约束理论 (TOC) 最能体现它的优势^[3]。20 世纪 80 年代中期, 以色列科学家艾利·高德拉特最早提出了约束理论 (TOC), 其主要内容为不断寻找加工过程中的瓶颈现象, 解决这些瓶颈问题, 最终产生更好的结果。每个加工过程都会存在瓶颈现象, 这个瓶颈现象会制约整个加工进度。只要解决瓶颈现象, 整个加工过程就会得到优化, 因此寻找并解决瓶颈现象就是约束理论的落脚点。而关键资源及过程瓶颈的分析则是约束理论的前提^[4]。

3 基于约束理论的航天型号产品的排产模式

针对航天型号产品的机械加工, 车间“计划调度员”需要不断寻找加工任务的瓶颈, 进而不断优化排产方式。具体生产计划流程如图 1 所示。

车间“计划调度员”接收型号产品加工计划后, 首先核对物料、工艺文件、辅具等材料。其次应根据产品的紧急情况, 采用“瓶颈排产方式”应对急件排产, 采用“关键排产方式”应对非急件排产。

3.1 关键排产方式

关键排产方式的目标是最大程度调配设备、人员等生产资源。在不影响型号任务进展的前提下减少成本, 如员工加班、机床等待及产品外包等。“计划调度员”应按产品的加工内容分配加工任务, 并根据产品的加工周期与设备能力工时进行对比, 最终根据对比结果确定关键资源, 具体方法如下: 假设设备能力工时为 A , 将要投产的任务需求工时为 B , 该设备已安排的任务需

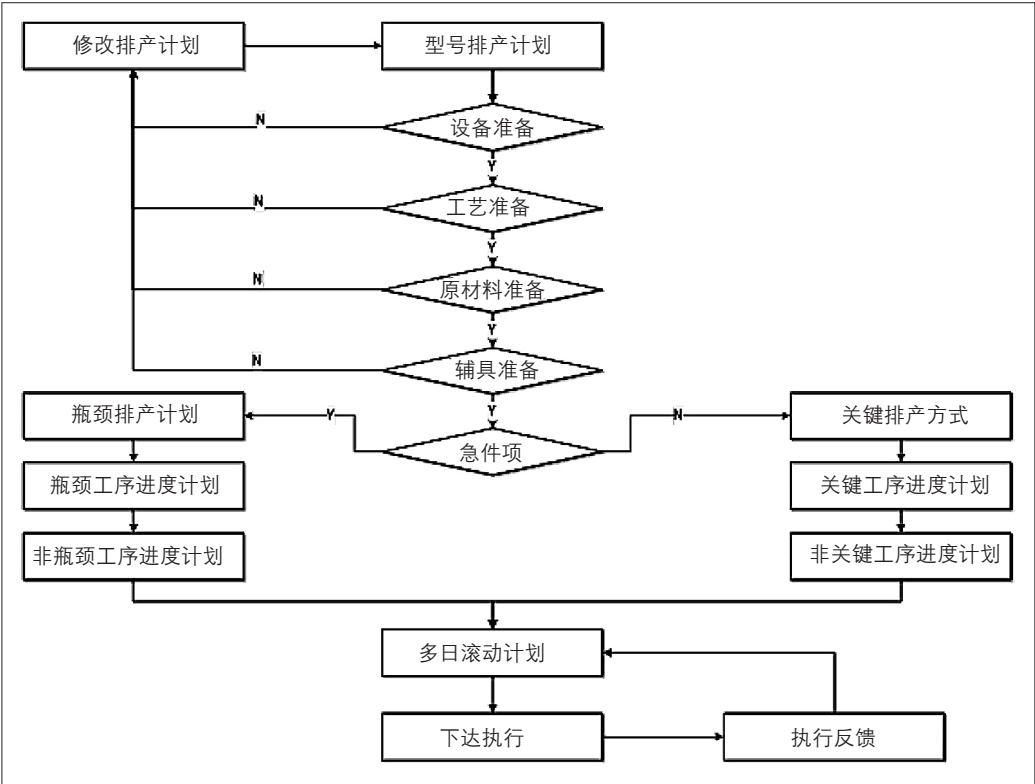


图 1 生产计划流程图

求工时为 C ，若 $B/(A-C) \geq 1$ ，说明该设备可以完成此项任务，若 $B/(A-C) < 1$ ，说明该设备无法完成此项任务，需要采取其他措施保证任务完成，如员工加班或产品外包。若保证按期完成任务，所有设备的 $B/(A-C)$ 数值均应 ≥ 1 ，因此可以将数值最小的设备确定为此项任务的关键设备。排产时应该将关键设备的运转时间定为基线，关键设备之前的任务应该以关键设备时间为基础进行拉动式排产，关键设备之后的任务应该以关键设备时间为基础进行推动式排产。

3.2 瓶颈排产方式

瓶颈排产模式适用于急件产品的生产模式。由于急件产品的交期一般较短，应当找到制约急件任务交付的设备或工作。并将该设备或工作定义为此次急件任务的“瓶颈”，工作的重点应当为消除“瓶颈”工作过程中的一切浪费，如瓶颈设备的人员短缺、瓶颈工作的工具缺乏等情况。其他加工内容应以“瓶颈”工作为基础，向前或向后压缩自身加工周期，保证型号进度。

4 约束理论在某型号火箭机械加工类产品的实际应用效果

目前由于中国航天发射计划日益增多，型号产品需求远大于现有产能情况，故航天类机械加工产品的排产计划均应采用瓶颈排产方式。

调研某公司在生产某型号火箭的某个贮箱的筒段加工过程及各工序加工时长，具体如表所示。

通过表中内容可以看出，筒段壁板机械加工需求周期最长，但由于该工序可由外包加工，故壁板机械加工设备为“非瓶颈资源”，而筒段工艺边切除设备为“瓶颈资源”。

工艺边切除需采用车床及专用工装，加工工序为先切除筒段一侧工艺边，完成后离线对筒段进行翻转，最后切除另一侧的工艺边。而切除工艺边工作需钳工事先对产品进行划线。其中单侧车加工时间约为 15h，钳工去毛刺、划

线、翻转时间约为 2 ~ 3h。

表 某贮箱的筒段加工过程及各工序加工时长

序号	加工内容	加工周期 /h	备注	是否瓶颈
1	筒段壁板机械加工	4800	可外包	否
2	筒段壁板滚弯加工	200	不可外包	否
3	筒段纵向焊接	160	不可外包	否
4	筒段工艺边切除	580	不可外包	是
5	筒段横向焊接	240	不可外包	否

改进前筒段车加工流程如图 2 所示。钳工划线工作需在车床外的专用工作平台进行，需要 2 ~ 3h。此段时间“瓶颈资源”处于停工等待状态。若遇到产品变形不满足设计需求时，车间需进行沟通协调，协调过程中“瓶颈资源”将一直处于停工状态。

改进后筒段工艺边切除工作流程如图 3 所示，将两件筒段产品组成一个单元，钳工与车加工同时进行，无需增加作业人员劳动强度。同时可消除钳工去毛刺、划线、翻面工序时车床的停工等待情况。通过改进加工流程可提高“瓶颈资源”的利用率。如发生产品不满足加工条件需要协调等突发情况，“瓶颈资源”可进行第二件产品的加工，无需停机等待。改进后综合加工效率提高约 10%，单个贮箱可节约成本约 1.2 万元。

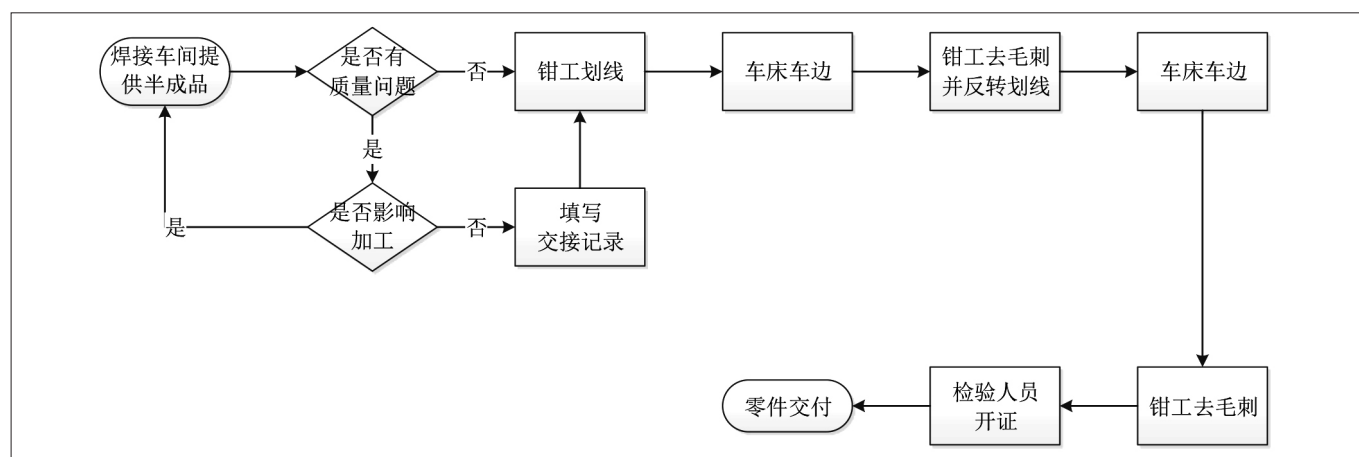


图2 改进前筒段车加工流程图

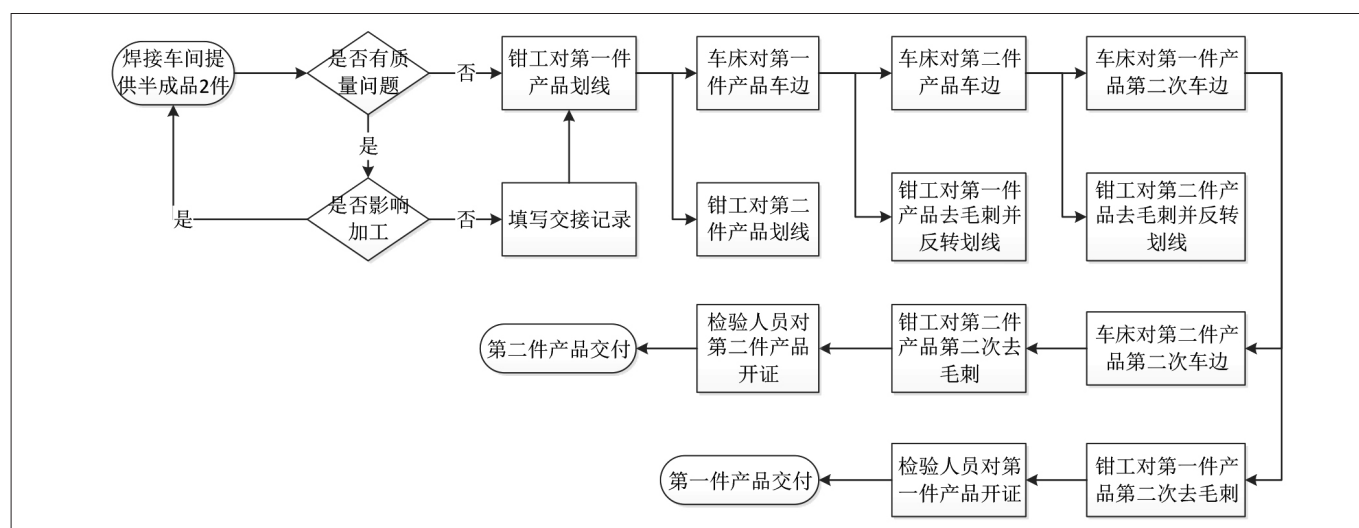


图3 改进后筒段车加工流程图

5 结语

在中国航天事业飞速发展的今天，提高航天型号产品的研制效率无疑是中国航天工作者面临的重要课题。因此，约束理论（TOC）应用于机械加工类航天型号产品生产过程非常重要。只有不断地寻找型号产品生产过程中的“瓶颈资源”，并对“瓶颈资源”进行更高效化的利用，才能提高型号产品的研制效率。经在某型号火箭机械加工类产品中实际应用约束理论发现，约束理论在提高研制效率的同时可降低火箭研制的成本，降低火箭制造费用，从而提高中国火箭的国际竞争力。

参考文献:

- [1] 杨利君. 航天生产计划管理及车间作业计划调度问题的研究[J]. 中国管理信息化, 2015, 18(20): 70.
- [2] 胡经民, 杨远成, 张妍, 等. 型号批生产精细化质量管理探索与实践[J]. 现代制造技术与装备, 2021, 57(10): 40-42.
- [3] 凌剑萍. 基于TOC的复杂模具生产计划与控制方法研究[J]. 现代信息科技, 2021, 5(14): 173-176.
- [4] 仇志华. 基于离散制造模式生产管理系统的研究与应用[D]. 大连: 大连理工大学, 2009.