

基于工序级成本模型的舱段装配成本精准归集实践

王 磊¹, 何其玮², 吴 冬², 曹 健², 马 遥²

¹北京航天爱锐科技有限责任公司, 北京

²首都航天机械有限公司, 北京

收稿日期: 2025年2月10日; 录用日期: 2025年3月3日; 发布日期: 2025年3月14日

摘要

基于对运载器舱段产品装配过程的全流程成本分析, 结合5M1E和历史成本分析等分析方法, 构建了一种由各环节人工成本、设备成本和材料成本及其他相关费用组成的工序级成本模型。在此基础上, 以某运载器部段为典型案例进行成本归集实践, 验证了模型的适用性, 发掘了高耗能因素, 并为生产成本的全流程把控和生产要素的优化提供依据。

关键词

成本模型, 成本管控, 铆接装配, 全流程成本分析, 5M1E分析法

Practice of Precise Cost Collection for Launch Vehicle Shell Products Assembly Based on Process Level Cost Model

Lei Wang¹, Qiwei He², Dong Wu², Jian Cao², Yao Ma²

¹Beijing Hangtian Airui Technology Corporation Limited, Beijing

²Capital Aerospace Machinery Corporation Limited, Beijing

Received: Feb. 10th, 2025; accepted: Mar. 3rd, 2025; published: Mar. 14th, 2025

Abstract

Based on the cost analysis and the entire process of product rivet assembly of a launch vehicle section and combined with 5M1E analysis and historical cost analysis, a process level cost model

文章引用: 王磊, 何其玮, 吴冬, 曹健, 马遥. 基于工序级成本模型的舱段装配成本精准归集实践[J]. 管理科学与工程, 2025, 14(2): 402-408. DOI: 10.12677/mse.2025.142042

composed of labor cost, equipment cost, material cost and other related costs was constructed. On this basis, a typical case of a launch vehicle section was taken to carry out the precise cost collection practice, which verified the applicability of the cost model, explored the high consumption factors, and provided a basis for the entire process control of production cost and the optimization of production factors.

Keywords

Cost Model, Cost Control, Rivet Assembly, Entire Process Cost Analysis, 5M1E Analysis

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

现阶段,国内外航天发射市场竞争日趋激烈,国内宇航领域运载型号的发射任务处于持续高强密度态势[1],高效率完成任务形势紧迫。在现有的制造环境下,国内航天企业的材料耗费、工时耗费、能源耗费和管理费用耗费大大高于国外同类企业,企业内部经营成本管控承受着巨大压力,因此,对生产成本的控制对于生产部门的经营管理变得尤为重要[2]。此外,尽管现阶段已成熟的传统成本分析模型可以覆盖大部分生产制造业的成本分析,但基于行业的特性,航天制造企业属于复杂产品[3]制造业,企业内部缺乏快速有效的成本分析体系,且现有的传统成本分析模型无法完全适配于航天运载器部段的铆接装配生产这一特殊生产过程,难以适应当前竞争形势下高效率、高效益、低损耗的研制节奏。

5M1E 分析法是通过分析影响产品质量波动的六因素,即人(Man)、机器(Machine)、材料(Material)、方法(Method)、环境(Environment)、测量(Measure),进行产品质量控制的一种方法[4];历史成本分析法(Historical Cost Analysis),即是根据企业以前期间的一系列的历史成本资料与产量间的关系来推算一定时间的生产成本的方法[5]。综上,本文创新性地将 5M1E 分析法、历史成本分析法与某航天制造部门实际生产工艺流程相结合,建立一个适配于航天制造业的基于运载器部段生产全要素、全流程的工序级成本分析模型,对产品的生产成本进行分析,从而优化生产流程、降低生产总成本,提高企业竞争力。

2. 基于 5M1E 分析法的运载器舱段成本模型构建

本模型面向某典型宇航飞行器部段铆接装配生产的全生命周期,通过对生产全流程进行拆分细化,剖析每段生产过程中所产生的成本(即生产全流程成本分析, Entire Production Process Cost Analysis)。同时,结合 5M1E 分析法,通过人、机器、材料、方法、环境和测量六个角度对产品铆接装配生产全过程中所产生的对应成本进行数据抓取和归集并进行分析,建立模型图(如图 1 所示),以多角度、更全面的分析生产全过程中所涉及的成本。

通过将铆接装配生产全流程带入本成本模型,可以使生产部门成本管理人员对产品铆接装配生产全流程中各个环节和工序中的所有成本发生有一个清晰且直观的掌握[6],进而结合 5M1E 等分析方法梳理成本发生与关联岗位、生产环节间的关系,可以得知该生产环节存在的问题和可以优化、提升、改进的内容,从而帮助生产部门加强对产品生产成本的把控,做到合理且有效的成本压控。

模型依据 5M1E 分析法将部段生产总成本计算方法建立为:

$$C_{\text{总}} = \sum_{(i=1)}^m (C_{1i} + C_{2i} + C_{3i} + C_{4i} + C_{5i}) \quad (1)$$

式(1)中: m 表示生产全流程中的工序数。

C_{1i} 代表第 i 道工序人工成本: 包含工艺准备流程、生产准备流程、生产加工工作、验收交付全流程中第 i 道工序涉及的所有参与人员(如工艺技术岗、计划调度岗、仓库保管工、飞机铆接钳工、生产准备工等)所产生的各项人工成本。

C_{2i} 代表第 i 道工序设备成本: 包含生产全流程中第 i 道工序涉及的工装折旧成本、包含办公设备折旧成本、办公耗材成本、刀量具成本。

C_{3i} 代表第 i 道工序材料成本: 包含生产全流程中第 i 道工序涉及的主材成本(如桁条、梁、蒙皮、中框、端框等)和辅助材料成本(如铆钉、螺栓、螺母、平垫圈等标准件及非金属材料)。

C_{4i} 代表第 i 道工序环境成本: 包含生产全流程中第 i 道工序涉及的燃料动力成本以及厂房折旧成本(含办公面积折旧成本)。

C_{5i} 代表第 i 道工序测量成本: 包含生产全流程中第 i 道工序涉及的零组件、产品送检的费用。

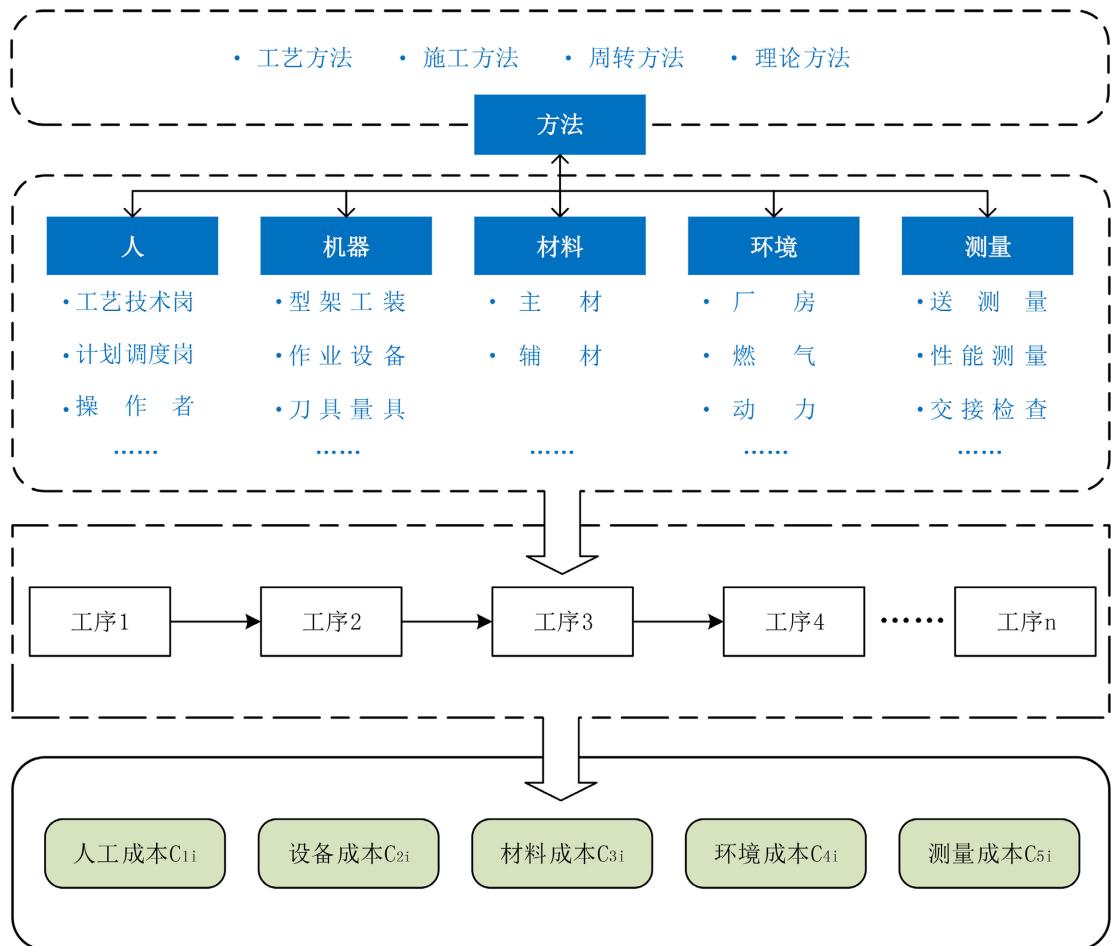


Figure 1. Entire production process cost analysis model

图 1. 生产全流程成本分析模型

3. 基于历史成本分析的数据收集与处理

在数据采集方面, 模型依据历史成本分析法和式(1)抓取过往时间段内生产部门所产生的成本数据, 同时通过计算分析与数据处理, 结合运载器部段壳体铆接装配生产工艺流程, 制作采集表收集该产品在

过往时间段内所发生的各项成本:

$$1. \text{ 人工成本 } C_{1i} = \text{人工单价} \times \text{既定工作时长(标准作业时长)} \quad (2)$$

其中人工单价(小时) = 同岗位、同等级人员年度工资均值/258(年工作天数)/8(每天工作 8 小时)。

表 1 列出在生产全工艺流程中所涉及的各项人工内容、工作人数、对应人工单价与标准作业时长, 由式(2)可以计算生产全流程所需人工成本 C_{1i} 。

Table 1. Labor cost for the entire production process of the launch vehicle section shell

表 1. 运载器部段壳体生产全流程人工成本

成本类型	成本环节	工艺流程	人员类型	人数	人工小时单价	标准作业时长	人工成本
人工成本	工艺准备流程	编制规程	工艺员				
						
	生产准备流程	工装准备	工具保管				
						
	生产加工工作	零件加工	操作工人				
						
	验收交付流程	实物验收	工艺员				
						

$$2. \text{ 设备成本 } C_{2i} = \text{折旧成本} + \text{办公设备折旧成本} + \text{办公耗材成本} + \text{刀量工具成本} \quad (3)$$

其中:

$$1) \text{ 折旧成本} = \text{原值}/\text{折旧年限}/\text{产品年产量个数}$$

如表 2 所示, 采集生产全流程中所需要的专用工装和其涉及产品生产所分摊的单价, 即可计算得到工装折旧成本。

Table 2. Equipment cost for the entire production process of the launch vehicle section shell

表 2. 运载器部段壳体生产全流程设备成本

成本类型	类型	图号	名称	单价	分摊成本	成本类型	名称	单位	单价	数量	成本
	专用设备										
折旧成本	专用工装						办公耗材				
	辅助工装										
成本类型	名称	单价	标准时长	成本	成本类型	类型	名称	规格	单价	数量	分摊成本
						刀具					
办公设备						刀量工具	量具				
						工具					

$$2) \text{ 办公耗材成本} = \text{耗材单价} \times \text{使用数量}$$

如表 2 所示, 采集生产全流程中所需要的办公用品名称、单价和数量, 计算即可得到办公耗材成本。

$$3) \text{ 办公设备成本} = \text{折旧单价(小时)} \times \text{使用时长}$$

如表 2 所示, 其中办公设备折旧以设备原值为基础, 按 5 年折旧计算小时单价, 根据产品生产全流程中办公设备使用时长计算成本。

4) 刀量工具成本 = 原值/折旧年限/产品年产量个数 × 刀量具数量

如表 2 所示, 根据生产全流程中所需要的相应刀量工具和其涉及产品生产所分摊的单价, 即可计算得到刀量工具成本。

综上所述, 通过式(3)计算可得到设备成本 C_{2i} = 工装折旧成本 + 办公设备折旧成本 + 办公耗材成本 + 刀量具成本。

$$3. \quad \text{材料成本 } C_{3i} = \text{主材成本} + \text{辅助材料成本} \quad (4)$$

通过对过往时间段内产品历史成本归集可以得出主材成本和辅助材料成本。由式(4)计算即可得生产全流程中所产生的材料成本 C_{3i} 。

$$4. \quad \text{环境成本 } C_{4i} = \text{燃料动力成本} + \text{厂房折旧成本} \quad (5)$$

其中:

1) 燃料动力费 = 全年实际发生/12 个月 × 月部段定额占比;

2) 厂房折旧成本 = 厂房原值/折旧年限/折旧月份/折旧天数/厂房面积 × 占用面积 × 部段标准作业时长(天)。

如表 3 所示, 收集涉及运载器部段过往历史本期发生和固定资产折旧数据可以计算得出燃料动力成本和厂房折旧成本。

Table 3. Environment cost for the entire production process of the launch vehicle section shell

表 3. 运载器部段壳体生产全流程环境成本

成本类型	项目	数量	单价	单位	金额	月平均 值	产品分摊 成本	成本类型	名称	占用面积 (m ²)	单价	产品 分摊成本
燃动力								厂房折旧费 (生产区与办公区)				

由式(5)计算即可得出生产全流程中所产生的环境成本 C_{4i} 。

$$5. \quad \text{测量成本 } C_{5i} = \text{检测费用} \quad (6)$$

收集产品所涉及过往历史检测费用可由式(6)得出生产全流程中产品检测、测量成本 C_{5i} 。

综合以上成本由式(1)可得出运载器部段壳体生产全流程中所产生的总成本 $C_{\text{总}}$ 。

4. 模型验证、分析与改进

4.1. 模型验证与分析

以某型运载器部段的装配过程为案例进行模型的验证, 结合装配工艺流程, 形成工序级成本模型如图 2 所示, 该产品在某厂房装配, 包含准备工作、组合零组件、组合骨架、装铆支架等 8 项关键工序, 涉及人员共 12 余人次, 设备工装 12 项, 主辅材 380 余项。将全流程关键要素带入模型, 不仅可以计算得出某型运载器部段装配过程所产生的总成本, 还可以明确各生产流程中各阶段产生的具体成本, 方便管理人员对各项细化成本进行分析和把控。

将提取的某总装制造部门某型运载器部段生产过程中的历史成本数据带入本模型进行归集实践, 可根据第 3 章中所列公式计算所得结果如表 4 所示:

$$\text{即 } C_{\text{总}} = \sum_{i=1}^m (C_{1i} + C_{2i} + C_{3i} + C_{4i} + C_{5i}) = 404019.00 \text{ 元}$$

其中 $m = 8$, 表示图 2 中产品生产全流程所包含的八项生产流程。

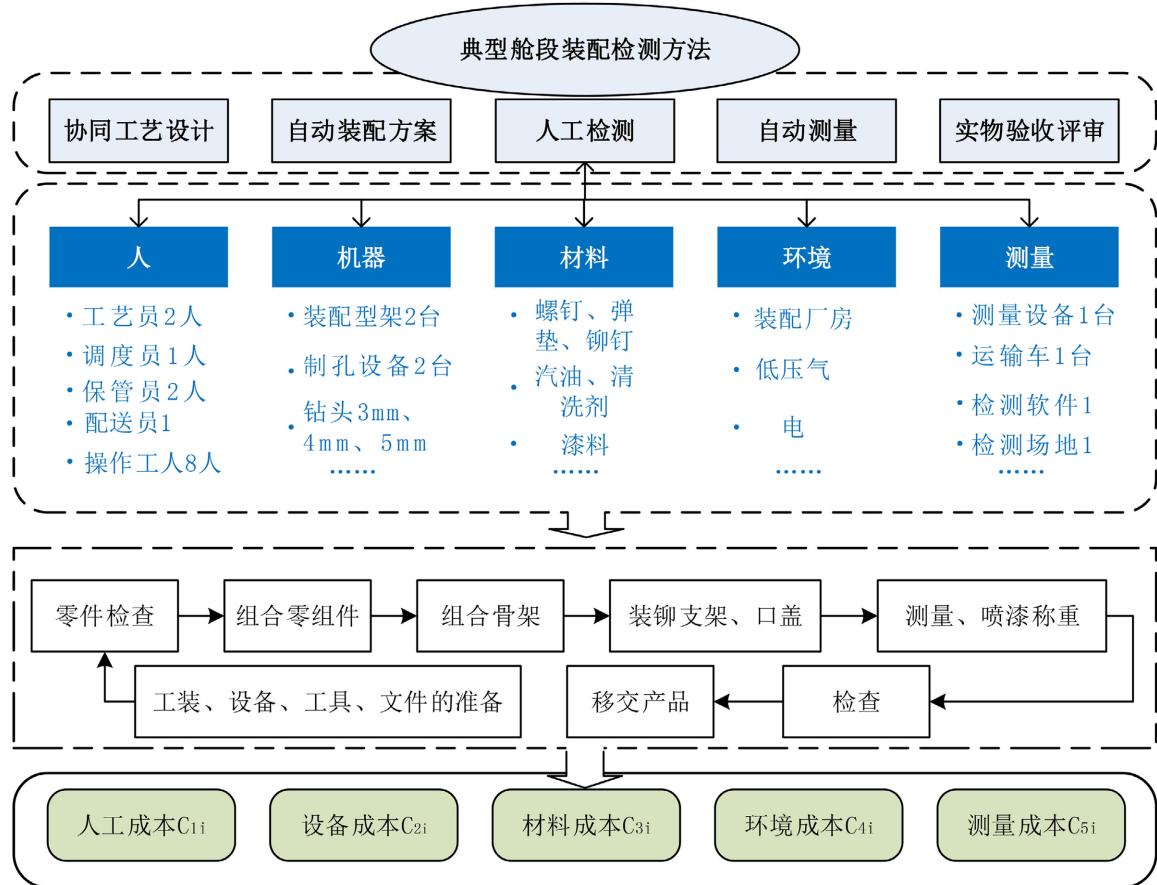


Figure 2. Entire production process cost analysis for a launch vehicle section shell
图 2. 运载器某部段壳体生产全流程成本分析

Table 4. Costs for the entire production process of the launch vehicle section shell
表 4. 运载器部段壳体生产全流程各项成本汇总

项目	人工成本 C_{1i}	设备成本 C_{2i}	材料成本 C_{3i}	环境成本 C_{4i}	测量成本 C_{5i}
成本数据	107399.30	5051.56	274363.40	15754.73	1450.00
成本占比	26.6%	1.3%	67.9%	3.9%	0.4%

对全流程成本进行分析, 可得出材料成本和人工成本占产品总成本的 94.5%, 是进行成本管控的关键项目; 将计算所得总成本 $C_{\text{总}} = 404019.00$ 元与该产品在某总装制造部门测算出的相关参考目标成本 456402.90 元进行验证可知两者数值基本符合, 这在很大程度上验证了此模型针对运载器部段壳体铆接装配成本计算的有效性, 但略低于参考目标成本的原因可能为在归集生产全流程各环节涉及的成本时有一小部分被忽略、遗漏项, 因此可通过持续收集后续生产过程中实际发生成本数据, 开展误差分布分析, 并结合相关数据来对此成本模型进行进一步校准和完善。

4.2. 后续改进优化方向

针对此成本模型的后续开发, 可通过引入其他数理统计分析方法对模型计算方面进行优化, 同时再对各生产环节进行更精细化的梳理, 进一步明确影响成本的敏感因素, 保证最大程度上覆盖生产全流程中的全部成本。

此外,还可将其他类似工艺流程的框桁结构铆接装配部段产品的成本数据代入此成本模型进行验证、分析和校准,为将此模型推广应用至其他运载器部段产品的成本计算建立基础和模型支撑。

5. 总结

本文构建了一种基于某型号运载器部段产品铆接装配生产全要素、全流程的工序级成本分析模型,通过此模型不仅可以细化分解并分析运载器部段产品铆接装配生产过程中各个环节所产生的成本,协助生产部门经营管理人员对成本进行把控,还可以通过分析各个环节的特点和影响成本的因素帮助生产部门生产管理人员、工艺技术人员和技能人员对生产的方式和过程进行优化提升,从而降低产品生产总成本,进一步达成“降本增效”的目标。

同时,通过后续对成本模型进行进一步校准、优化和改进,此模型还可以被推广应用至其他运载器部段产品的成本分析,实现对运载器舱段铆接装配部门乃至全生产部门全产品线的成本监测与把控。

参考文献

- [1] 刘党辉,尹云霞. 快速航天发射现状与建设[J]. 国防科技, 2018(12): 8-13.
- [2] Rehman, S. and Guenov, M. (1998) A Methodology for Modeling Manufacturing Costs at Conceptual Design. *Computers & Industrial Engineering*, **35**, 623-626. [https://doi.org/10.1016/S0360-8352\(98\)00174-0](https://doi.org/10.1016/S0360-8352(98)00174-0)
- [3] 李伯虎,柴旭东,朱文海. 复杂产品集成制造系统技术[J]. 航空制造技术, 2002(12): 17-20, 40.
- [4] 刘秋香.“5M1E”法在生产管理中的运用[J]. 东方企业文化, 2010(8): 186.
- [5] 张亚红. 完全成本法与变动成本法的比较及其结合应用[J]. 科技资讯导报, 2007(11): 160.
- [6] 魏慧丰,张海涛. 基于作业成本法的军用产品工序成本计算模型研究[J]. 航空科学技术, 2019(1): 57-65.