

面向批量生产的小型飞行器舱体装配的成本模型研究

张小钰, 侯东旭, 臧建新, 李 昂, 马 遥, 王晓菁

首都航天机械有限公司, 北京

收稿日期: 2025年8月29日; 录用日期: 2025年12月22日; 发布日期: 2025年12月30日

摘 要

以批量生产为特点的装配产品, 其生产流程过程中各项成本计算方式大不相同, 构成了较为复杂的成本归集问题。对此, 文章就以某批产的小型飞行器舱体进行成本组成分析, 并结合飞行器舱体产品的工艺过程, 采用固定成本和变动成本两种要素对各项成本进行归集, 利用作业成本和工业工程方法建立一套适合批产型号项目的成本估算模型, 该成本模型可以对批产产品的全流程成本进行具体的分析把控, 有效提高批产产品的成本管控能力。

关键词

批量生产, 飞行器舱体, 成本模型, 成本管控

Research on the Cost Model for the Assembly of Small Air Vehicles in Mass Production

Xiaoyu Zhang, Dongxu Hou, Jianxin Zang, Ang Li, Yao Ma, Xiaojing Wang

Capital Aerospace Machinery Corporation Limited, Beijing

Received: August 29, 2025; accepted: December 22, 2025; published: December 30, 2025

Abstract

For assembly products characterized by mass production, the cost calculation methods for various aspects in the production process are quite different, which constitutes a rather complex cost accumulation problem. In this regard, this paper conducts a cost composition analysis of a certain batch of small air vehicle products. It uses two elements, fixed cost and variable cost, to aggregate various costs, and establishes a cost estimation model suitable for batch production model projects by using activity-based cost and industrial engineering methods. This cost model can conduct specific analysis

文章引用: 张小钰, 侯东旭, 臧建新, 李昂, 马遥, 王晓菁. 面向批量生产的小型飞行器舱体装配的成本模型研究[J]. 国际航空航天科学, 2025, 13(4): 177-184. DOI: 10.12677/jast.2025.134019

and control over the full process cost of mass-produced products, effectively enhancing the cost control capability of mass-produced products.

Keywords

Mass Production, Air Vehicle, Cost Model, Cost Control

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

随着航天技术的不断扩展和普及,国内外越来越多的国家和地区具备了开展航天活动的基础条件,整个航天市场的参与者日益增多,资源争夺更为激烈,各方围绕着有限的市场份额开展全方位、多层次的激烈角逐[1]。众多民营企业凭借灵活的运营机制[2]、创新的商业模式和对成本控制的高度重视,不断推出极具性价比的产品与服务。像 SpaceX 商业航天巨头,凭借着可重复使用的火箭技术,大幅降低发射成本,给中国航天企业带来前所未有的竞争压力。因此,就国内航天企业来说,若要继续保持现有的市场竞争力,必须从粗放型生产方式改为集约型生产方式[3],生产成本的控制对于航天生产单位变得尤为重要。

如今大部分的成本归集方法仍以美国学者 Copper 和 Kaplan 提出的“作业消耗资源、产品消耗作业”的作业成本法(Activity-Based Costing, ABC)为主要计算思想,其思想认为产品成本是所需要的各个作业成本之和,而作业成本是作业消耗资源的数量与单位资源费用之积[4]。然而此种成本方法无法适配较为复杂的航天产品,特别是针对批量生产的航天产品,无法按照其作业成本进行简单的归集计算。因此,本文将结合采用工业工程方法(Industry Engineering, IE),逐项研究影响批量生产的航天产品成本高低的每个驱动因素,并与实际生产工艺流程相结合,从而建立一套基于批产产品特征的成本模型,达到有目的、有预见地对批产项目产品成本进行精细化控制。

2. 批量生产的小型飞行器舱体的成本归集模式现状

与传统单产项目相比,批量生产的小型飞行器舱体其舱体结构、组件接口等都采用统一标准,便于组装集成;因其规模化制造等特点,一般生产单位都会集中采购原材料,从而达到供应链的整合;同时区别于单产项目,在制造环节一般会借助工业流水线生产流程,建立批产化装配模式。其生产模式以批量化、统一化、规模化、标准化为特点[5]。

目前现行的成本归集方式大多将产品按照工序链展开,通过提取工艺要素,按照每道工序进行核算,得到工序级总耗用成本,最终形成产品全流程制造成本。现行方式可以较为全面系统地统计产品生产流程过程中的各项成本。但若将其应用到批产型号项目中,某些工序的成本要素并未因数量的增多而产生变化,若简单地将其进行数量的相加,可能会出现成本重复计算的问题。

3. 成本模型的构建

3.1. 小型飞行器舱体装配成本构成分析

通过对小型飞行器舱体的装配生产进行全流程分析,并依据成本动因,按照人、机、料、环、测五个

角度对各项成本进行归集,飞行器舱体产品构成的主要成本要素为人工成本、设备成本、材料成本、环境成本和测量成本。同时,分析各成本要素的成本结构,装配舱体的人工成本主要包括计时人员、非计时人员人工成本;设备成本主要包括型架工装成本和刀量具成本,材料成本包括原材料、辅料;环境成本包括厂房折旧费、燃气动力费,测量成本包括送测量的运输成本和测量费用。

同时根据批产特性和工艺属性,将各成本进行归纳:将在一定时期内相对稳定或基本固定的成本定义为固定成本,以 $Y = A$ 来表示;其不受产量的影响而发生变化。将成本与产量有着因果关系,因产量的变化而变化的成本,定义为变动成本[6],用 $Y = BX$ 来表示。除此之外将半变动成本、延期变动成本等归集为变动成本,这样可以将飞行器舱体的总成本因素只用两种形态的成本展现,即舱体的总成本表示为:

$$Y(\text{总成本}) = A(\text{固定成本}) + B(\text{变动成本}) \times X(\text{产量})$$

结合上述所分析的舱体产品包含的 10 种成本要素,按照各要素与产量之间的关系,将非计时人员人工成本(A1)、厂房折旧费(A2)归集为固定成本,将计时人员人工成本(B1)、型架工装成本(B2)、刀量具(B3)、原材料(B4)、辅料(B5)、燃气动力费(B6)、运输费(B7)、测量费(B8)归集为变动成本,如图 1 所示。则舱体的总成本可表示为下列算式模型:

$$Y(\text{总成本}) = (A1 + A2) + (B1 + B2 + B3 + B4 + B5 + B6 + B7 + B8) \times X$$

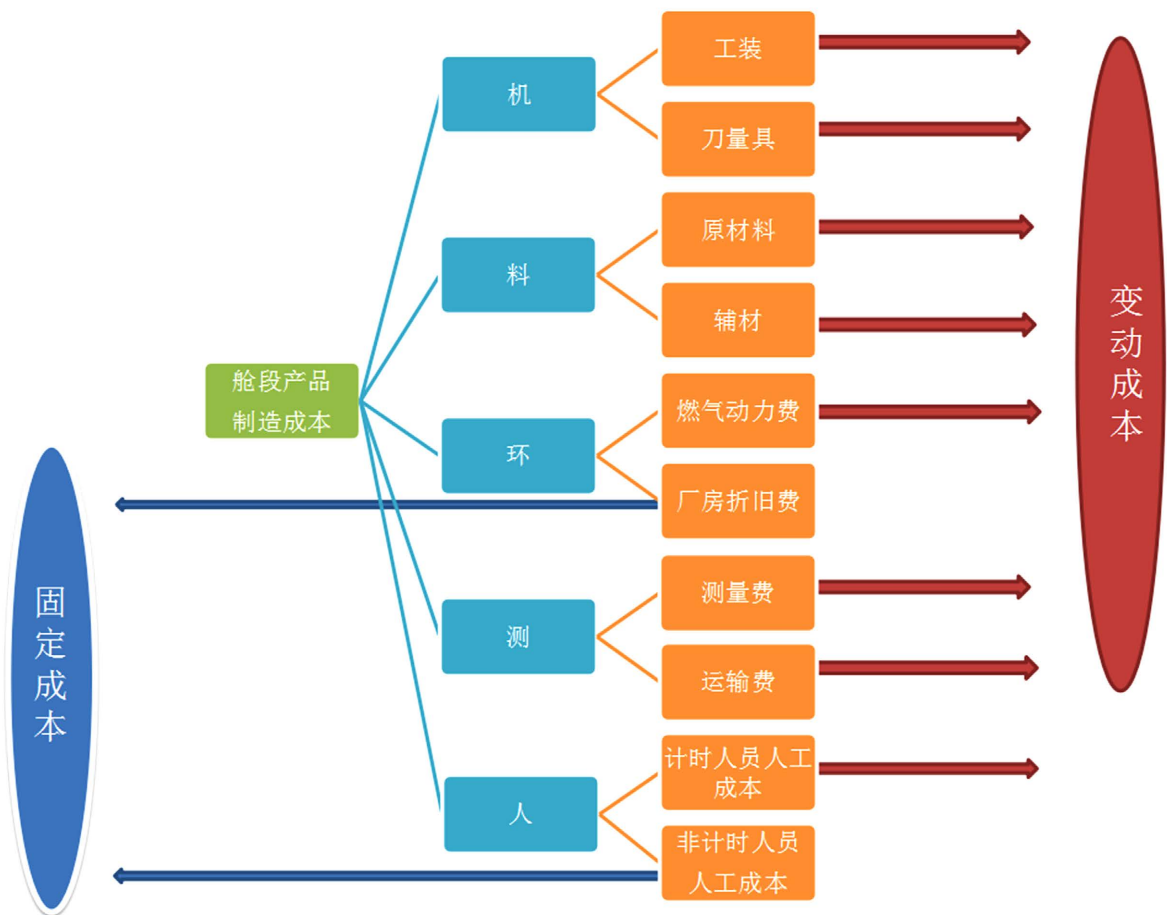


Figure 1. Cost structure diagram

图 1. 成本结构图

3.2. 小型飞行器舱体装配成本模型构建

3.2.1. 固定成本参数化表达

1) 非计时人员人工成本(A1)

非计时人员为对工艺、产品服务、管理等工作负有一定职责的人员，具体到舱体中包括工艺技术人员、定额人员、资料管理人员、计划调度人员。该类人员的作业时长受产品产量的影响较小。

该类成本的计算方式为：

$$A1 = P_A \times T_A \quad (1)$$

式中： T_A 为标准工作时长， P_A 为人工平均成本小时单价。

2) 厂房折旧费(A2)

厂房折旧费与舱体产品批产产量无因果关系，为固定成本，此类费用成本的计算方式为：

$$A2 = (C_{\text{原值}} - C_{\text{残值}})/Y/S_{\text{厂房}} \times S_A \quad (2)$$

式中： $C_{\text{原值}}$ 代表厂房原值， $C_{\text{残值}}$ 代表厂房残值， Y 为预计使用年限， $S_{\text{厂房}}$ 为厂房面积， S_A 为A产品占用面积。

3.2.2. 变动成本参数化表达

1) 计时人员人工成本(B1)

计时人员是指与生产制造直接相关的人员，具体到舱体产品主要为生产舱体产品的装配生产加工人员，其人工成本为各工序的人工工时单价与工时定额确定得出。

生产舱体产品的一般工序为：

检查零件 - 组合零组件 - 装配骨架 - 安装支架、口盖 - 测量、喷漆、称重 - 移交产品。

因此，该类成本的计算方式为：

$$B1 = \sum M(P_{AI} \times T_{AI}) \quad (3)$$

式中： M 为生产舱体产品的生产工序数， P_{AI} 为生产第I道工序所用的工人工时单价， T_{AI} 为第I道工序中所用人工工时。

2) 工装(B2)

工装成本根据产品的设计方案确定出不同工序下所产生的工装模具费用，再根据折损率和一定的分摊件数来最终确定。因此单件工装模具的成本为：

$$B2 = \sum C_{\text{工装}}/Y_{\text{折损}}/O \quad (4)$$

式中： $C_{\text{工装}}$ 为工装原值， $Y_{\text{折损}}$ 为折损年限， O 为分摊件数。

3) 刀量具(B3)

刀量具成本是根据产品所用的刀量具原价，结合量具的折旧年限及一定的分摊件数，再乘以量具数量得出。其中刀量具原价是根据市场行情决定，数量是根据工艺设计图纸决定。

$$B3 = \sum (C_{\text{刀量具}}/Y_{\text{折损}}/O) \times N \quad (5)$$

式中： $C_{\text{刀量具}}$ 为刀量具原值， $Y_{\text{折损}}$ 为折损年限， O 为分摊件数， N 为生产该舱体所用刀具个数。

4) 原材料成本(B4)

原材料的成本主要由原材料的单价、原材料定额组成，其中原材料单价由市场行情决定，原材料数量根据设计图纸相关参数计算得出。

$$B4 = N_{\text{数}} \times P_{\text{原}} \quad (6)$$

式中：N_数为原材料数量，P_原为原材料市场价格，原材料定额是指生产加工过程中原材料正常消耗的数量标准。

5) 辅材(B5)

辅材的成本主要由辅材的单价、辅材定额组成，其中辅材单价由市场行情决定，辅材数量根据工艺设计图纸得出。

$$B5 = N_{\text{数}} \times P_{\text{辅}} \quad (7)$$

式中：N_数为辅材数量，P_辅为辅材市场价格。

6) 燃动费(B6)

燃动费成本指水、电、低压气、暖气等费用，按照生产一发舱体产品所需工时，平摊给该全年工时得出生产单发舱体耗费燃动费费用。

$$B6 = (A + B + C + D) / 12 \times T_A / T_{\text{总}} \quad (8)$$

式中：T_A为生产单发舱体所用工时，T_总为该厂房该月所承担总任务工时，A为全年水费，B为全年电费，C为全年低压气费，D为全年暖气费。

7) 运输费(B7)

运输成本是指将生产后的成本运输至测量站或下游车间的成本，其构成要素主要与运输时间和每小时的租车单价相关，具体计算方式如下：

$$B7 = T_{\text{运}} \times P_{\text{车}} \quad (9)$$

式中：T_运表示该产品运输至下游车间所花费时间，P_车为每小时租车成本。

8) 测量费(B8)

测量成本为检测费用，根据与检测方的历史平均合同价格得出。

$$B8 = P_{\text{检}} \quad (10)$$

综上，小型飞行器舱体装配总成本模型如图2所示。

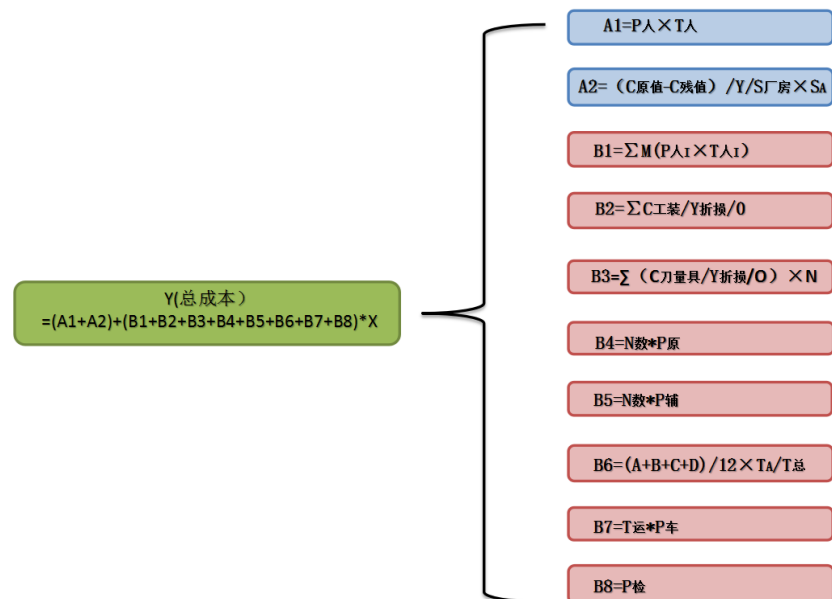


Figure 2. Total cost model
 图2. 总成本模型

4. 案例验证与偏差分析

基于总成本模型,以某小型飞行器舱体装配件为案例进行验证。该舱体所占厂房屋原值约为 898 万元,厂房平均使用年限 50 年,预计净残值为 5%,结合式(2),可计算得出每年生产该舱体厂房折旧费为 $A2 = 2845$ 元。

非计时人员在工艺准备和生产准备以及后期验收交付环节中起到关键作用。其人工成本小时单价与员工本人的职称相关,据统计,装配该舱体花费的非计时人员作用时长为 20 h,结合式(1)可计算出非计时人员人工成本 $A1 = 2484$ 元,具体成本如表 1 所示。

Table 1. Non-timed staff labor costs
表 1. 非计时人员人工成本

序号	职称	岗位	人数	人工成本小时单价	标准作业时长	成本费用
1	高级工程师	工艺技术岗	1	70	4	280
2	工程师	工艺技术岗	2	65	2.5	325
3	助理工程师	工艺技术岗	3	61	3	549
4	助理工程师	计划调度岗	7	57	1	399
5	助理工程师	定额岗	2	53	2.5	265
6	仓库保管工	中级工	6	37	1	222
7	资料工	高级工	2	43	2	172
8	生产准备工	初级工	2	34	4	272
合计			25	--	20	2484

结合装配工艺流程,生产该舱体共包含安装电缆夹等 6 道主要工序。其中每道工序中均涉及与产量相关的变动成本。已知,该单位所用工人人工时单价为 26 元/h,根据表 2 的各工序工时情况,结合式(3),可计算得出生产一发飞行器舱体所需要的计时人员人工成本为 $B1 = 2782$ 元。

Table 2. Timed staff labor costs
表 2. 计时人员人工成本

工序	工序名称	人工工时/h	人工工时单价(元/h)
1	准备工作	2	26
2	安装电缆夹、搭接片	30	26
3	装配惯组梁	40	26
4	装配支架、口盖	20	26
5	测量、喷漆、称重	10	26
6	移交产品	5	26

经过在该单位的调研统计,该飞行器舱体所需 4 项工装设备、16 项刀量工具。按照市采购平台所提供的原值,结合式(4)可得工装 $B2 = 107.17$ 元,式(5)得刀量具 $B3 = 649.64$ 元。根据图纸中所标定的原材料、辅料,根据市采物资网站和中华商务网,结合式(6)得出原材料 $B4 = 1242.73$ 元,式(7)得出辅料 $B5 = 395$ 元。

经统计,该舱体所在厂房每月需承担燃动力费 21.06 万元,结合式(8)得出燃动力费为 $B8 = 191.26$ 元。舱体在装配完成后所产生的运输及测量费用,根据该单位包车费用及运输时长,结合式(9)可得运输

费 B7 = 62.8 元。该产品已在生产工程中进行测量，已计入工序工时中，因此不考虑 B8 检测费用。

根据以上成本数据，可得生产一发小型飞行器舱体所需要的总成本为 $Y = 10759.6$ 元，具体生产一发舱体的成本如表 3 所示。根据该单位相关参考数据，其目标成本为 9594.58 元，两者数值基本符合，可验证该成本归集方式具有一定的有效性。若提高产量，以假定的 50 发为测算基数，平均成本为 5537.18 元，低于所提供的目标成本。其原因可能为其目标成本的归集仍采用一发或几发作为依据，或者采用本文提供的归集方法仍存在一部分成本被忽略和遗漏。

Table 3. X air vehicle cost sheet
表 3. X 飞行器舱体成本表

项目	固定成本			变动成本					
	A1	A2	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
成本数据	2484	2845	2782	107.17	649.64	1242.73	395	191.26	62.8
成本占比	23%	26%	26%	1%	6%	12%	4%	2%	1%

5. 基于模型的成本控制策略

通过运用该成本模型对某小型飞行器舱体进行成本估算，具有以下应用成效：

(一) 改进工艺设计，从源头降本增效

该模型通过对全流程成本的具体分析把控，可以推算得出哪些成本是影响总成本的关键数据，根据关键因素从工艺设计中进行优化分析，不仅使图纸设计合理、有操作性，同时也从设计中思考哪些方面控制哪些流程可以减少相应的成本支出[7]，从工艺设计源头迈出精准管控成本的一步，促进工艺技术的发展。

(二) 提供定价、议价数据支持

现阶段实物竞标的定价、议价模式已成为订购产品过程中最常见的一种方式[8]。针对批产项目，若只通过历史数据进行推测，没有一套标准测算模型，将无法在议价过程中站稳脚跟，此模型有助于在竞标前期摸清产品的实际生产成本，制定有效的竞标策略，为产品竞标获胜奠定基础。

(三) 探索成本模型向批产产品推广

将此成本模型推广应用至其他同类型批生产成本工作中，逐步细化影响该产品生产成本的核心要素，将生产过程中所产生的各项成本进行优化和完善，逐步完善固定成本和变动成本的定义项目，使项目要素得到固化，最终推广至多种类批生产型号产品，使各产品成本得到有效运用。

(四) 强化成本管控手段，提升全员成本意识

强化成本管控手段，不断提升全员成本意识。该模型各项成本与全员岗位工作息息相关，将各项成本可视化，可以进一步明确全员成本的工作意识，使成本管控工作从单一部门负责转变为全员负责，强化全员对产品成本构成的理解。同时，通过将成本按照不同类型、不同种类逐步细化至每位责任人，提高成本管理效率[8]。

6. 总结

本文阐述一种面向批量生产小型飞行器舱体装配的成本模型，主要考虑了 10 种成本要素，并根据其成本与产量的关系将 10 项成本分类汇总为变动成本和固定成本两类。该模型通过对飞行器舱体装配的全流程进行具体的成本分析，有助于辨认哪项成本为关键因素，便于从源头设计控制成本；同时将每项成本可视化，进一步将产品成本与每位员工强关联，提高全员的责任意识。但该模型未考虑到劳动者的学

习曲线问题,即随着产量的增加,劳动者由于经验和专业技术的积累导致产品累计成本降低的情况[4];以及未能归集到与产品流程无关的间接成本费用,从而导致存在成本误差现象,需要后续进一步的完善和优化,从而有效实现批产产品成本的精细化计算。

参考文献

- [1] 陈丹,刘晓娟,王哲. 基于商业卫星载荷软件开发管理的思考[C]//中国指挥与控制学会. 第十二届中国指挥控制大会论文集(上册). 西安:中国空间技术研究院西安分院, 2024: 142-149.
- [2] 赵春华,张焕炯. 民营企业并购国企行为的风险探析[J]. 重庆邮电学院学报(社会科学版), 2004(1): 48-49.
- [3] 李阳阳. 环境规制对中国经济高质量发展的影响研究[D]: [博士学位论文]. 吉林大学, 2023.
- [4] 梁国锋. 作业成本法在物流企业中的应用研究[J]. 吉林省经济管理干部学院学报, 2010, 24(2): 58-60.
- [5] 刘宇翔,吴亚光,冯孝辉,张东晨,王怡然. 浅析小卫星量产研制项目成本估算——基于学习曲线[J]. 中国产经, 2024(2): 83-85.
- [6] 孙翠云,王凯,张炜,张茵,乔良. 基于产品设计生产全流程成本管控实践[J]. 航天工业管理, 2023(10): 57-61.
- [7] 李蒙,田雪毅,康栋,刘伊斯. 一种锻件的成本模型构建[J]. 汽车实用技术, 2019(10): 116-118.
- [8] 魏法杰,鲁萍,杨林超. 基于材料费的军品定价成本模型研究[J]. 航空财会, 2020, 2(5): 10-14.