

Theoretical Study on Quality Value-added Optimization of Aerospace Sheet Metal Based on QPV Model

Xuan Li Gang Zhao Tingxian Feng Guogang Li

Aviation Industry Corporation of China Xi'an Aircraft Industry Group Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710089, China

Abstract

Addressing the theoretical needs for quality and cost synergistic optimization in aviation manufacturing, this paper proposes a theoretical framework for the Quality Plus Value (QPV) model. By establishing a quantitative mapping mechanism between "quality characteristics and operational value," the model transforms quality from a traditional cost control element into a value-creation factor. The study develops an innovative algorithm for the QPV model, proposing a dynamic-weighted quality grade coefficient formula: $Q_i = a \times (s_{\max} - s) / (s_{\max} - s_{\min}) + 1$. It establishes a hidden cost quantification system: $C_o = (\text{capacity loss} \times \text{unit marginal contribution}) \times \text{urgency coefficient}$, and designs a comprehensive evaluation model: $QPV = [P_i \times Q \times V_a - (C_L + C_o)] / (R \times T)$. Theoretical analysis indicates that this model can achieve an 18%-20% overall QPV improvement when the premium product rate increases by 15%, while reducing hidden costs by over 30%. This research provides a new theoretical perspective for aviation sheet metal quality management, though its effectiveness requires further empirical validation.

Keywords

quality added value; QPV model; hidden cost; aviation sheet metal; quality management

基于 QPV 模型的航空钣金质量附加值优化理论研究

李轩 赵刚 冯庭现 李国刚

中航西安飞机工业集团股份有限公司, 中国·陕西 西安 710089

摘要

本文针对航空制造业质量与成本协同优化的理论需求, 提出了质量附加值(Quality Plus Value, QPV) 模型的理论框架。该模型通过建立“质量特性—经营价值”的量化映射机制, 将质量从传统成本控制要素转变为经营价值创造因子。研究构建了 QPV 模型的创新算法, 提出了基于动态权重的质量等级系数计算公式 $Q_i = a \times (s_{\max} - s) / (s_{\max} - s_{\min}) + 1$, 建立了隐性成本量化体系 $C_o = (\text{产能损失} \times \text{单位边际贡献}) \times \text{紧急度系数}$, 并设计了综合评价模型 $QPV = [P_i \times Q \times V_a - (C_L + C_o)] / (R \times T)$ 。理论分析表明, 该模型有望实现优等品率提升 15% 时 QPV 整体提升 18%-20%, 隐性损失降低 30% 以上。本研究为航空钣金质量经营管理提供了新的理论视角, 但仍需通过实证研究进一步验证模型效果。

关键词

质量附加值; QPV 模型; 隐性成本; 航空钣金; 质量管理

1 引言

航空制造业作为技术密集型产业, 其质量管理水平直接影响产品安全性和企业竞争力^[1]。航空钣金制造具有多品种、小批量、高精度、长周期等特征, 对质量管理提出了更高要求。然而, 当前航空钣金质量管理普遍存在以下问题:

价值量化困难: 质量改进投入与经营收益之间缺乏明确的量化关系, 导致质量投资决策缺乏科学依据;

隐性成本难控: 质量问题导致的机会成本、产能损失等隐性成本难以准确计量和有效控制;

激励机制失衡: 传统质量考核以合格率为主要指标,

忽视了优质品带来的经营溢价效应。

传统质量管理模式下, 质量管理面临与效率矛盾突出、员工经营意识薄弱、激励机制单一等挑战。因此, 探索基于阿米巴经营的质量管理创新模式具有重要的理论价值和实践意义^[2-3]。为解决上述问题, 提出质量附加值(QPV)模型, 旨在构建“质量创造价值”的理论框架, 为航空钣金质量经营管理提供新的理论支撑。

2 QPV 模型理论基础与结构设计

2.1 理论基础

QPV 模型基于价值工程理论和全面质量管理思想, 将质量视为价值创造的核心要素。在此基础上, 构建了以价值性评估为核心的 QPV 模型框架, 具体结构如图 1 所示。

模型遵循以下基本假设:

【作者简介】李轩(1989-), 男, 本科, 工程师, 从事飞机板材塑性成形研究。

假设 1: 质量水平与经营价值存在正向相关关系;
 假设 2: 隐性质量成本可通过量化方法显性化;
 假设 3: 质量等级可通过连续函数进行数值化表达。

V_a : 质量溢价系数, 衡量高质量产出的市场增值效应;
 C_L : 显性质量损失成本, 包括废品成本、返工成本和索赔成本
 C_o : 隐性机会成本, 反映质量问题导致的潜在产能损失;
 T : 周期调整系数, 描述不同生产情境下的时间敏感性。
 该结构体现了质量、经济与时间三维度的互动关系, 为质量价值动因研究提供了系统表达。

2.2 模型结构设计

QPV 模型由五个核心参数构成, 其逻辑关系如图 1 所示:

Q: 质量等级系数, 量化产品质量水平的经济权重;

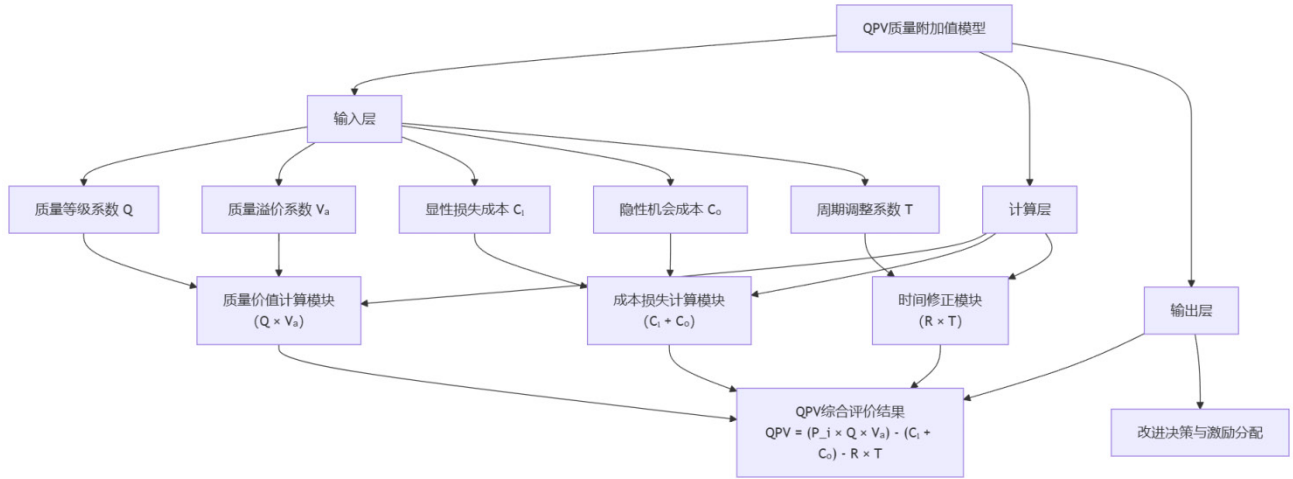


图 1 QPV 模型结构框图

3 质量等级系数计算模型

3.1 基础计算公式

根据航空钣金加工特性, 质量等级系数的计算公式为:

$$Q_i = a \times \frac{S_{max} - S}{S_{max} - S_{min}} + 1 \quad (1)$$

式中: s 为实际质量指标值; s_{max} 、 s_{min} 为行业标准范围的上下限; a 为调节系数, 航空钣金工艺中通常取 0.3-0.5。

3.2 多指标综合评价

考虑到航空钣金涉及多个质量特性, 采用熵权法进行加权处理:

$$Q_{total} = \sum_{j=1}^n w_j \times Q_j \quad (2)$$

其中, w_j 为第 j 个质量特性的权重系数, 满足 $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ 。

根据航空钣金工艺特点, 主要质量特性权重分配如表 1 所示。

表 1 航空钣金主要质量特性权重分配

质量特性	权重 (%)	备注
焊接强度	40	关键安全指标
表面光洁度	30	影响疲劳寿命
几何精度	30	装配匹配要求

4 隐性成本量化模型

4.1 隐性成本构成

隐性成本主要包括: 机会成本、信誉损失、客户满意

度下降等难以直接计量的损失 [9]。本研究重点 关注可量化的机会成本部分。

4.2 计算模型

隐性成本的基本计算公式为:

$$C_o = (\text{产能损失} \times \text{单位边际贡献}) \times \text{紧急度系数} \quad (3)$$

具体展开为:

$$C_o = \Delta P \times (P_i - V_c) \times K_u \quad (4)$$

式中: ΔP 为因质量问题导致的产能损失量; P_i 为产品单价; V_c 为单位变动成本; K_u 为紧急度系数。

5 QPV 综合评价模型

5.1 模型公式

QPV 模型的核心表达式为:

$$QPV = \frac{(P_i \times Q \times V_a) - (C_L + C_o)}{R \times T} \quad (5)$$

式中: P_i 为产品标准单价; Q 为质量等级系数; V_a 为质量溢价系数; C_L 为显性质量损失成本; C_o 为隐性机会成本; R 为单位资源投入 (人工工时 + 设备折旧 + 能源消耗); T 为时间修正系数, 基准值为 1。

5.2 模型特征及与传统模型的差异

质量附加值 (QPV) 核算模型与传统质量成本核算模型的差异主要体现在核算维度、价值导向和决策支持三个方面, 以下通过对比分析, 详细阐述两者的核心区别:

5.2.1 核算维度

见表 2。

表 2

对比项	传统质量成本模型	QPV 模型
核算范围	仅统计显性质量损失 (废品、返修等)	涵盖显性损失 + 隐性机会成本 + 质量溢价
质量分级	二元划分 (合格 / 不合格)	多级系数 (优等品 1.2、合格品 0.9、让步接收 0.7)
时间动态性	静态周期报表 (月/季)	实时动态核算 (嵌入生产系)

5.2.2 价值导向差异

(1) 传统模型：成本控制导向

目标：最小化质量损失成本 (如六西格玛中的 COQ 模型)

局限：易导致过度压缩必要质量投入 (如减少预防性检测频次)

(2) QPV 模型：价值创造导向

目标：最大化质量附加值 (QPV)，平衡投入与产出

创新：通过质量等级系数激励高质量产出 (优等品定价更高)

将质量改进与经营收益直接关联 (如合格率提升 1%, QPV 增长 0.5%)

5.2.3 QPV 的突破性价值

QPV 模型通过三大转变重构了质量核算体系：

(1) 从成本到价值：将质量视为价值创造者而非成本中心

(2) 从静态到动态：实时反映质量对经营的影响

(3) 从局部到全局：覆盖全价值链的显性与隐性效益

6 模型预期效果分析

6.1 质量改进收益预测

基于理论分析，当优等品率提升 15% 时，模型预期效果如表 3 所示。

表 3 QPV 模型预期效果

指标	改进前	改进后	变化幅度
QPV 综合值	100%	118%-120%	+18%-20%
隐性损失	100%	<70%	-30% 以上
投资回报周期	基准	基准 × 0.6	缩短 40%

6.2 管理效能提升

模型在管理机制方面的预期效果：

(1) 强化质量收益关联：通过阶梯激励机制，合格率提升 1% 对应激励增幅 5%；

(2) 支撑实时决策：15 分钟级动态核算实现即时反馈；

(3) 促进全员参与：基于 QPV 贡献建立分层激励体系。

7 结论

本文提出的 QPV 质量附加值模型在理论上实现了从“质量作为成本中心”向“质量创造经营价值”的管理理念转变。模型的主要创新点体现在：

(1) 建立了基于连续函数的质量等级量化方法；

(2) 构建了隐性机会成本的显性化计量体系；

(3) 形成了工艺、经济、时间三维耦合的综合评价框架。

理论分析表明，QPV 模型有望显著提升航空钣金质量经营管理效能。然而，模型仍处于理论研究阶段，需要通过实证研究进一步验证其实际效果和适用性。未来研究将重点解决数据融合、算法优化、组织变革等关键问题，为模型的产业化应用奠定基础。

参考文献

- [1] 张明, 李华. 制造业质量管理模式创新研究[J]. 质量管理, 2023, 44(3): 12-18.
- [2] 王建国. 阿米巴经营在中国企业的应用研究[J]. 管理世界, 2022, 38(5): 156-168.
- [3] 稻盛和夫. 阿米巴经营[M]. 北京: 中信出版社, 2019: 45-67.