

模糊数学在产品质量综合评价中的应用分析

张博

河南科技大学数学系, 河南洛阳, 471000;

摘要: 产品质量综合评价是企业质量管控、市场竞争力提升的核心环节,但其评价指标多具有模糊性、不确定性,传统评价方法难以实现精准量化与科学研判。模糊数学作为处理模糊性问题的有效工具,通过将模糊信息转化为可量化的数学语言,解决了产品质量评价中边界模糊标准难统一的痛点。本文阐述模糊数学的核心原理,分析产品质量综合评价的现状与存在的问题,结合具体应用案例,探讨模糊数学在产品质量评价中的实施流程与应用要点,验证其科学性与实用性,为企业开展产品质量综合评价提供理论支撑与实践参考。

关键词: 模糊数学; 产品质量; 综合评价

DOI: 10.64216/3104-9702.25.07.040

引言

在市场经济高质量发展的背景下,产品质量成为企业立足市场、实现可持续发展的核心竞争力,精准、科学的产品质量综合评价的重要性日益凸显。产品质量评价涉及外观、性能、可靠性、安全性、经济性等多个维度,多数评价指标属于模糊概念,如外观美观性能良好、可靠性高等,难以用明确的数值或合格/不合格的二元标准进行界定,存在明显的模糊性与主观性。

传统产品质量评价方法多采用定性描述结合简单定量分析的方式,如打分法、加权求和法等,存在评价标准模糊、权重分配主观、忽略指标间模糊关联等缺陷,容易导致评价结果偏差,难以全面、客观反映产品的真实质量水平。模糊数学由美国控制论专家扎德于1965年提出,其核心是通过模糊集合、隶属函数等概念,将模糊不确定的信息转化为可量化、可计算的数学模型,为处理多指标、模糊性的综合评价问题提供了全新思路。

将模糊数学应用于产品质量综合评价,能够有效兼顾评价的客观性与科学性,克服传统方法的局限性,精准捕捉各模糊指标的真实水平,为企业质量改进、产品优化、市场决策提供可靠依据。本文结合模糊数学的核心理论,深入探讨其在产品质量综合评价中的应用路径与实践价值,以期推动产品质量评价体系的完善与升级。

1 模糊数学核心原理概述

模糊数学的核心思想是打破经典数学非此即彼的二元逻辑,承认事物模糊性的客观存在,通过构建模糊集合、确定隶属函数,将模糊概念量化,实现对模糊问

题的精准分析与求解。其核心概念与原理如下:

1.1 模糊集合与隶属函数

经典集合中,元素与集合的关系只有属于或不属于两种,界限明确;而模糊集合中,元素与集合的关系是不确定的,通过隶属度来描述。隶属度取值范围为 $[0,1]$,隶属度越接近1,表明元素越属于该集合;越接近0,表明元素越不属于该集合。

隶属函数是模糊集合的核心,用于刻画元素对模糊集合的隶属程度,其构建的合理性直接影响评价结果的准确性。常用的隶属函数有三角形隶属函数、梯形隶属函数、正态分布隶属函数等,实际应用中需结合评价指标的特点、数据分布情况,选择合适的隶属函数类型,或通过专家打分、数据拟合等方式构建自定义隶属函数。

1.2 模糊综合评判法

模糊综合评判法是模糊数学在综合评价中最常用的方法,其核心是结合多个评价指标的隶属度与权重,通过模糊运算,得到综合评价结果。该方法分为单层次模糊综合评判与多层次模糊综合评判,当评价指标体系较为简单、层次单一,可采用单层次评判;当评价指标较多、层次复杂(如一级指标、二级指标),需采用多层次评判,逐步分解指标、逐层计算,确保评价结果的全面性与精准性。

模糊综合评判法的核心步骤包括:确定评价对象与评价指标体系、构建评价等级集合、确定各指标的隶属函数与隶属度矩阵、确定各指标的权重向量、选择模糊运算算子、进行模糊运算并得到综合评价结果、对评价

结果进行分析与解读。

2 产品质量综合评价的现状与存在的问题

2.1 评价现状

当前,产品质量综合评价已成为企业质量管控的重要环节,多数企业结合自身产品特点,建立了针对性的评价指标体系,主要涵盖产品性能、外观质量、可靠性、安全性、经济性、售后服务等维度。评价方法主要分为两类:一类是定性评价方法,如专家评审、用户满意度调查等,依赖评价者的经验与主观判断;另一类是定量评价方法,如加权求和法、层次分析法、统计分析法等,通过量化指标数据,实现评价的客观性。

随着市场对产品质量要求的不断提高,单一的定性或定量评价方法已难以满足需求,多数企业开始采用定性与定量相结合的方式开展评价,但在实际应用中,仍存在诸多不足,未能充分解决评价指标的模糊性问题,评价结果的科学性与精准性有待提升。

2.2 存在的主要问题

评价指标模糊性难以处理:产品质量评价中的多数指标属于模糊概念,如外观平整度性能稳定性用户满意度等,难以用明确的数值标准界定,传统评价方法多采用简单打分的方式,将模糊信息转化为定量数据,容易导致数据失真,影响评价结果的客观性。

权重分配主观性较强:各评价指标在产品质量中的重要程度不同,需合理分配权重,但传统方法中,权重多通过专家打分、经验判断等方式确定,缺乏科学的量化依据,容易受到评价者主观因素的影响,导致权重分配不合理,偏离实际质量需求。

指标间的模糊关联被忽略:产品质量各评价指标之间并非相互独立,存在一定的模糊关联,如产品性能与可靠性、外观质量与用户满意度之间,均存在相互影响的关系,传统评价方法多将各指标视为独立变量,忽略其关联关系,导致评价结果不够全面。

评价结果缺乏精准解读:传统评价方法得到的评价结果多为单一数值或等级,难以反映各指标的具体短板,也无法精准定位质量改进的方向,难以为企业质量管控提供针对性的指导。

模糊数学的应用,能够有效解决上述问题,通过隶属函数量化模糊指标,通过科学方法确定权重,兼顾指标间的模糊关联,实现产品质量的精准评价与全面分析。

3 模糊数学在产品质量综合评价中的应用实践

结合模糊综合评判法的核心步骤,以某机械产品(小型电动机)为例,探讨模糊数学在产品质量综合评价中的具体应用,验证其科学性与实用性。该机械产品质量评价涉及多个模糊指标,传统评价方法难以实现精准量化,采用多层次模糊综合评判法开展评价。

3.1 确定评价对象与评价指标体系

评价对象为某型号小型电动机,结合产品特点与行业标准,构建多层次评价指标体系,分为一级指标与二级指标:

一级指标(4项): A1(产品性能)、A2(外观质量)、A3(可靠性)、A4(经济性);

二级指标(12项): A11(额定功率)、A12(转速稳定性)、A13(能耗); A21(表面平整度)、A22(涂装均匀性)、A23(尺寸精度); A31(使用寿命)、A32(故障率)、A33(运行稳定性); A41(生产成本)、A42(销售价格)、A43(维护成本)。

3.2 构建评价等级集合

结合行业标准与企业需求,将产品质量评价等级分为5级,构建评价等级集合 $V=\{v_1(\text{优秀})、v_2(\text{良好})、v_3(\text{合格})、v_4(\text{较差})、v_5(\text{不合格})\}$,对应隶属度取值范围分别为 $[0.8,1]$ 、 $[0.6,0.8]$ 、 $[0.4,0.6]$ 、 $[0.2,0.4]$ 、 $[0,0.2]$ 。

3.3 确定隶属函数与隶属度矩阵

结合各二级指标的特点,选择合适的隶属函数:对于可量化的指标(如额定功率、能耗、使用寿命等),采用正态分布隶属函数;对于模糊性较强的定性指标(如表面平整度、涂装均匀性等),采用梯形隶属函数。

邀请5名行业专家、3名企业质量管理人员,结合产品实测数据与经验判断,对各二级指标进行打分,确定各指标对应不同评价等级的隶属度,构建二级指标隶属度矩阵。以一级指标A1(产品性能)为例,其二级指标隶属度矩阵R1如下:

$R_1 = \begin{bmatrix} [0.2,0.5,0.2,0.1,0] & [0.1,0.4,0.3,0.2,0] \\ [0.3,0.4,0.2,0.1,0] \end{bmatrix}$ (分别对应A11、A12、A13的隶属度),其余一级指标对应的二级指标隶属度矩阵R2、R3、R4,采用同样方法构建。

3.4 确定各指标的权重向量

采用层次分析法(AHP)确定各指标的权重,结合专家打分与行业数据,通过一致性检验,确保权重分配的合理性。

一级指标权重向量 $W=\{w_1(0.4)、w_2(0.15)、w_3(0.3)、w_4(0.15)\}$ (产品性能权重最高,符合机械产品核心需求);

二级指标权重向量: $W_1=\{0.3,0.4,0.3\}$ (A11、A12、A13)、 $W_2=\{0.2,0.4,0.4\}$ (A21、A22、A23)、 $W_3=\{0.4,0.3,0.3\}$ (A31、A32、A33)、 $W_4=\{0.3,0.4,0.3\}$ (A41、A42、A43)。

3.5 模糊运算与综合评价结果

选择合适的模糊运算算子(采用加权平均算子 $M(\cdot, \oplus)$, 兼顾权重与隶属度的影响), 先进行二级指标模糊综合评判, 得到一级指标隶属度矩阵, 再进行一级指标模糊综合评判, 得到最终综合评价结果。

二级模糊综合评判: 以 A1 为例, $B_1=W_1 \cdot R_1$ (模糊矩阵乘法), 计算得到 $B_1=[0.21,0.43,0.23,0.13,0]$, 即产品性能对应优秀、良好、合格、较差、不合格的隶属度分别为 0.21、0.43、0.23、0.13、0; 同理, 计算得到 $B_2、B_3、B_4$, 构成一级指标隶属度矩阵 $R=[B_1, B_2, B_3, B_4]^T$ 。

一级模糊综合评判: $B=W \cdot R$, 计算得到 $B=[0.225,0.44,0.22,0.115,0]$ 。根据最大隶属度原则, 隶属度最大值为 0.44, 对应评价等级 v_2 (良好), 表明该型号小型电动机质量综合评价为良好。

3.6 评价结果分析与应用

从综合评价结果来看, 该电动机质量整体良好, 但仍存在不足: 产品性能中较差的隶属度为 0.13, 主要源于转速稳定性不足; 可靠性中较差的隶属度为 0.115, 主要源于故障率偏高。基于此, 企业可针对性开展质量改进, 重点优化转速控制技术、降低产品故障率, 提升产品质量水平。

该案例表明, 模糊数学能够有效量化产品质量中的模糊指标, 权重分配科学合理, 评价结果全面、精准, 能够精准定位质量短板, 为企业质量改进提供明确指导, 相较于传统评价方法, 具有明显的优势。

4 模糊数学在产品质量综合评价中的应用要点与优化建议

4.1 应用要点

科学构建评价指标体系: 评价指标体系是评价的基础, 需结合产品特点、行业标准、用户需求, 全面涵盖产品质量的核心维度, 避免指标冗余或缺失; 同时, 明确指标层次, 对于复杂产品, 采用多层次指标体系, 确保评价的全面性与针对性。

合理选择隶属函数: 隶属函数的合理性直接影响评价结果的准确性, 需结合各指标的类型(定性/定量)、数据分布情况, 选择合适的隶属函数; 对于定性指标, 可结合专家经验、用户反馈, 构建自定义隶属函数, 减少主观偏差。

精确定指标权重: 权重分配需兼顾客观性与科学性, 避免单纯依赖经验判断, 可结合层次分析法、熵权法等方法, 结合专家打分与实测数据, 确定各指标的权重, 通过一致性检验, 确保权重分配合理。

选择合适的模糊运算算子: 不同的模糊运算算子适用于不同的评价场景, 加权平均算子适用于多数产品质量评价, 能够兼顾权重与隶属度的影响; 最大值算子、最小值算子适用于对评价精度要求不高、指标关联度低的场景, 需结合实际需求选择。

4.2 优化建议

结合大数据技术提升隶属度准确性: 传统隶属度确定多依赖专家经验, 可结合大数据技术, 收集产品实测数据、用户反馈数据、行业标杆数据, 通过数据拟合、机器学习等方式, 构建更精准的隶属函数, 减少主观偏差。

完善指标权重动态调整机制: 产品质量评价指标的重要程度会随着市场需求、技术升级、行业标准的变化而变化, 需建立权重动态调整机制, 定期更新各指标权重, 确保评价结果符合实际需求。

结合多方法融合提升评价精度: 单一的模糊综合评判法仍存在一定局限性, 可结合层次分析法、熵权法、灰色关联分析等方法, 实现优势互补, 提升评价结果的精准性与科学性; 同时, 结合定性分析, 兼顾专家经验与数据支撑, 确保评价的全面性。

推动应用场景拓展: 模糊数学不仅适用于机械产品, 还可应用于电子、食品、纺织等多个行业的产品质量评价, 企业可结合自身产品特点, 探索模糊数学的个性化应用路径, 推动产品质量评价体系的升级。

5 结论与展望

5.1 结论

模糊数学作为处理模糊性问题的有效工具,能够有效解决产品质量综合评价中指标模糊、权重主观、关联忽略等痛点,通过模糊集合、隶属函数、模糊综合评判等核心理论与方法,将模糊不确定的评价信息转化为可量化、可计算的数学模型,实现产品质量的精准、全面评价。

结合某机械产品的应用案例表明,模糊数学在产品质量综合评价中的应用具有科学性与实用性,能够精准捕捉各评价指标的真实水平,定位质量短板,为企业质量改进、产品优化提供可靠依据;相较于传统评价方法,模糊数学能够兼顾评价的客观性与全面性,提升评价结果的可信度,具有广泛的应用价值。

5.2 展望

随着人工智能、大数据、机器学习等技术的快速发展,模糊数学在产品质量综合评价中的应用将迎来新的

发展机遇。未来,可推动模糊数学与大数据、人工智能技术的深度融合,构建智能化、精准化的产品质量评价模型,实现评价过程的自动化、数据化、智能化;同时,进一步拓展模糊数学的应用场景,覆盖更多行业、更多类型的产品,完善评价指标体系与隶属函数构建方法,推动产品质量综合评价水平的不断提升,为企业高质量发展提供有力支撑。

参考文献

- [1] 万存绪,张效勇.模糊数学在土壤质量评价中的应用[J].应用科学学报,1991,9(4).
- [2] 王占宏,杜道生.模糊综合评价法在数字遥感影像产品质量评价中的应用[J].测绘科学,2004. DOI:CNKI: SUN:CHKD. 0. 2004-S1-018.
- [3] 曹鹏,戴小波,崔靖.模糊数学在实验教学质量评价中的应用[J].泰州职业技术学院学报,2004,4(1):3. DOI:10.3969/j.issn.1671-0142.2004.01.011.