

炮弹制造质量综合评估方法研究

刘文军, 杨建新, 兰小平, 王 波, 杨一铭, 李翠霞

(中国兵器工业信息中心, 北京 100089)

摘 要: 针对炮弹制造质量水平评判过程中存在的抽样试射成本高、难以评价批次炮弹质量、未有效利用制造过程质量数据等问题, 开展炮弹制造质量综合评估方法研究。首先研究炮弹制造质量综合评估框架, 规范炮弹制造质量综合评估过程; 将失效模式分析方法确定的炮弹关键特性作为评估指标, 构建覆盖炮弹采购、加工、装配和检验等制造全过程的制造质量评估指标体系, 并应用层次分析法(AHP)确定各指标的权重; 采用生产过程能力指数构建制造质量评估计算模型, 基于加权和法与加权几何平均法构建制造质量评估聚合模型, 形成炮弹制造质量两层评估模型, 充分利用制造过程中的关键特性质量检测数据实现炮弹制造过程质量的定量评估。最后以某型炮射导弹为例, 验证了炮弹制造质量综合评估方法的可操作性、可行性和有效性。

关 键 词: 炮弹质量评估; 质量评估框架; 质量评估指标体系; 质量评估模型; 生产过程能力指数

中图分类号: TP 391

DOI: 10.11996/JGJ.2095-302X.2021050801

文献标识码: A

文章编号: 2095-302X(2021)05-0801-08

Research on comprehensive evaluation method of gun-launched missile manufacturing quality

LIU Wen-jun, YANG Jian-xin, LAN Xiao-ping, WANG Bo, YANG Yi-ming, LI Cui-xia

(Information Center of China North Industries Group Corporation, Beijing 100089, China)

Abstract: Aiming at the problems of high cost of sampling test, difficulty in evaluating the quality of batch gun-launched missiles, and ineffective use of manufacturing quality data in the manufacturing quality evaluation process of gun-launched missile, the manufacturing quality comprehensive evaluation method of gun-launched missile was studied. Firstly, the manufacturing quality comprehensive evaluation framework of gun-launched missile was put forward, and the manufacturing quality comprehensive evaluation process of gun-launched missile was standardized. The key characteristics determined based on failure mode analysis method were taken as evaluation indexes, and the manufacturing quality evaluation index system covering the purchasing, machining, assembling, and testing of the manufacturing process was constructed. The weight of each evaluation index was determined by using the analytic hierarchy process (AHP). Based on the production process capability index, the manufacturing quality evaluation calculation model was constructed, and the aggregation model of manufacturing quality evaluation was established based on weighted sum method and weighted geometric average method, so as to form a two-layer manufacturing quality evaluation model of gun-launched missile. The manufacturing quality evaluation of gun-launched missile was

收稿日期: 2020-12-29; 定稿日期: 2021-02-17

Received: 29 December, 2020; Finalized: 17 February, 2021

基金项目: 国防技术基础计划项目(JSZL2017208A001)

Foundation items: National Defense Technology Foundation Program of China (JSZL2017208A001)

第一作者: 刘文军(1979-), 男, 山西阳城人, 工程师, 硕士。主要研究方向为系统工程与数字化制造。E-mail: liuwenjun99@163.com

First author: LIU Wen-jun (1979-), male, engineer, master. His main research interests cover system engineering and digital manufacturing.

E-mail: liuwenjun99@163.com

通信作者: 杨建新(1985-), 男, 山西代县人, 高级工程师, 硕士。主要研究方向为智能制造与数字化技术。E-mail: yjx030321@126.com

Corresponding author: YANG Jian-xin (1985-), male, senior engineer, master. His main research interests cover intelligent manufacturing and digital technology. E-mail: yjx030321@126.com

realized by making full use of the inspection data of key characteristics in the manufacturing process. Finally, taking a certain type of gun-launched missile as an example, the operability, feasibility, and effectiveness of the manufacturing quality comprehensive evaluation method were verified.

Keywords: quality evaluation of gun-launched missile; quality evaluation framework; quality evaluation index system; quality evaluation model; production process capability index

炮弹作为精确打击、高效毁伤的国防武器战略装备,制造过程质量评估对炮弹最终质量起决定性作用。炮弹是典型的光机电一体化复杂产品,生产工序多而长、零部件种类多,过程数据繁杂。炮弹制造过程涉及旋压、精车、精铸、焊接、热处理、机加和电装等工艺 20 余种,工序近 2 万余道,制造过程直接影响炮弹动力参数、控制参数和飞行姿态等综合性能。炮弹制造质量评估是提高炮弹产品质量与可靠性、降低质量成本的重要途径。炮弹属于一次性消耗品,生产过程中主要采用批抽样检验等传统方法,不仅质量成本高,而且无法判定同批次产品的质量水平。炮弹制造质量水平评估手段和方法落后,主要通过关键零件或重要零件工序能力分析、部件验收合格率统计、部件成品例行试验合格率统计和飞行试验命中发火率统计后,根据经验进行评估,难以充分利用制造过程中的质量数据进行科学分析评估,只有在实战应用中才能真正检验炮弹质量,给研制企业和列装部队带来极大的风险。

目前,国内外学者对制造过程质量评估进行了大量研究。主要包括:多品种小批量制造过程能力分析研究^[1-2];产品生产过程能力综合评价模型研究^[3];多元过程能力指数的计算方法^[4];导弹评估技术与评估软件技术研究^[5-6];导弹电子系统质量评估指标体系优化^[7];导弹武器系统使用、性能质量评估研究^[8-9];基于质量特性的产品设计过程质量控制技术研究^[10];面向产品全生命周期的质量管理关键技术及系统研究^[11]等。但是,上述研究主要集中在对产品的某一过程或某一方面进行评价,没有对炮弹制造过程质量水平进行综合评估;有的研究虽然对全生命周期质量进行评估,但评判方法较为粗放,未充分利用制造过程数据对制造质量进行客观、定量的综合评估。本文在上述研究的基础上,提出炮弹制造质量综合评估框架,利用炮弹关键特性作为指标节点构建覆盖制造全过程的评估指标体系,并采用层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)确定权重,建立包含评估计算模型和评估聚合模型的两层制造质量综合评估模型,以期对炮弹制

造质量水平评判提供客观和量化的依据。

1 炮弹制造质量评估框架与过程

炮弹质量贯穿于炮弹设计、制造和交验的全过程,制造阶段是炮弹质量形成的重要过程。炮弹制造过程包括外协外购件入厂检验、零件加工、炮弹装配和成品检验 4 个阶段,制造过程的每个阶段都包含诸多零部件,各零部件都有多个工序和多个质量特性,因此制造过程质量评估主要体现在对制造过程中各关键特性质量水平的评估,包括对外购物料、外协件、自制加工件、装配过程和成品质量等进行评估,炮弹制造质量综合评估框架如图 1 所示。

评估炮弹制造质量综合框架包含 5 个步骤:①确定评估目的和对象。在全面搜集评估对象的产品结构、工艺数据、采购数据、制造过程数据、质量检测数据和试验数据等相关数据的基础上,根据评估目的对评估对象进行分析;②确定评估指标节点。采用基于失效模式分析方法确定影响炮弹制造质量的关键特性,并将关键特性和制造阶段作为评估指标节点;③构建评估指标体系。根据炮弹的制造过程阶段、关键零部件、关键工序和关键质量特性等评估指标节点,结合炮弹的产品结构建立多层次炮弹制造质量评估指标体系,并采用定性和定量相结合的方式确定指标的权重;④构建评估模型。在评估指标体系的基础上,根据指标的定义和内涵绑定不同种类的算法,逐层逐级构建制造质量评估模型;⑤评估计算与分析。以炮弹的工艺数据、质量检测数据和制造过程数据等制造数据为输入,对评估模型进行解算,模型解算的结果为质量评估总指数。最后,将质量评估总指数与质量评判标准进行对比,从而得出炮弹制造质量水平。

2 炮弹制造质量指标体系构建方法

2.1 评估指标节点的确定

确定指标节点是构建指标体系的关键步骤。制造过程中关键特性的质量水平是炮弹制造质量水

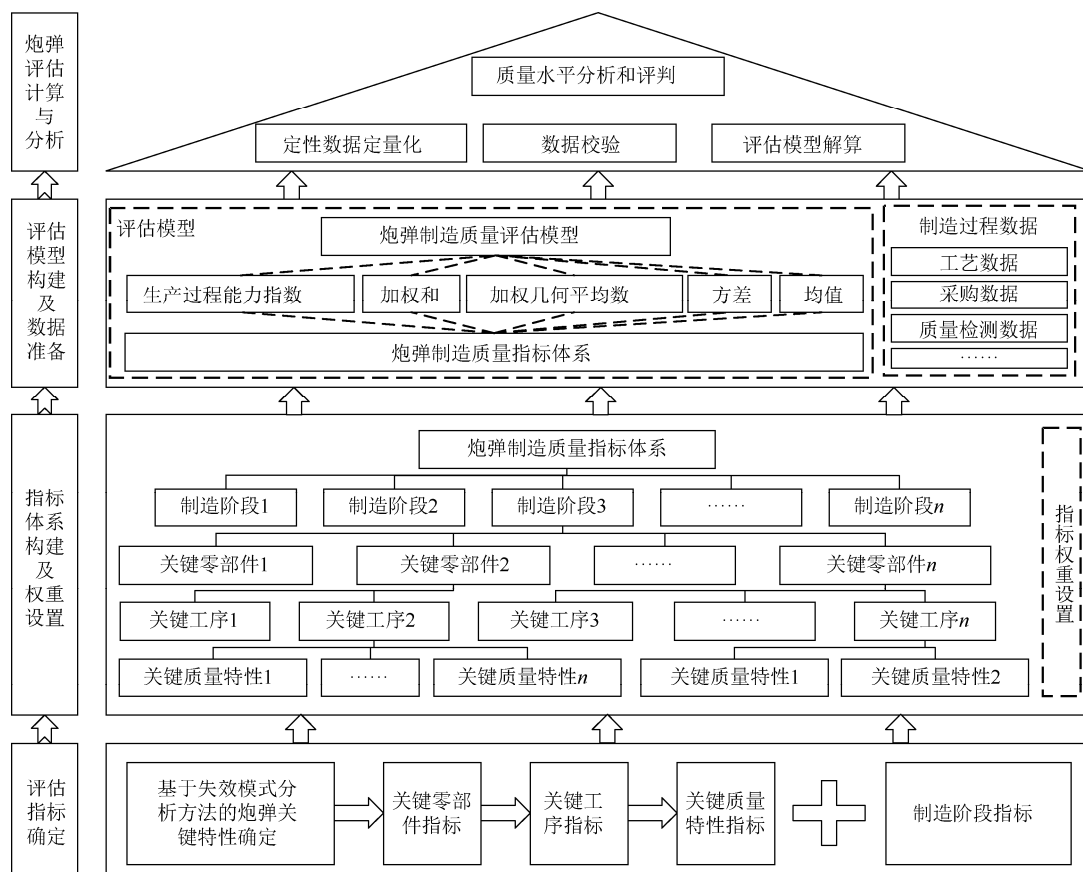


图1 炮弹制造质量综合评估框架

Fig. 1 Comprehensive evaluation framework of gun-launched missile manufacturing quality

平的重要体现,因此将关键特性作为指标节点。炮弹关键特性是指炮弹的装配、性能、使用寿命或可制造性产生重大影响的材料、过程和零件的特性^[12],包括关键零部件、工序和质量等3种特性。本文采用基于失效模式分析方法^[11]的炮弹关键特性分析方法,如图2所示,通过建立炮弹失效分析决策树,分析炮弹制造过程质量影响因素及其关键和重要件制造过程质量控制瓶颈,并将产品设计质量要求和历史产品质量数据通过层次分析量化失效因素,从综合、人、机、料、法、环、测试、4性等多个方面对失效因素进行重要程度排序,识别出炮弹制造过程中的关键特性。

2.2 炮弹制造质量评估指标体系构建

各型号炮弹在结构组成、性能参数、质量要求等方面各不相同,为将多层次、多因素、复杂的炮弹制造质量评估问题用科学的计量方法进行量化处理,必须根据炮弹产品自身的特点对各型号炮弹进行总结提炼,构建科学的评估指标体系。

炮弹制造过程质量是通过所有零部件或系统的质量来确定的,主要包括自制件生产和采购过程两部分。自制件生产过程包含炮弹自制件加工、炮

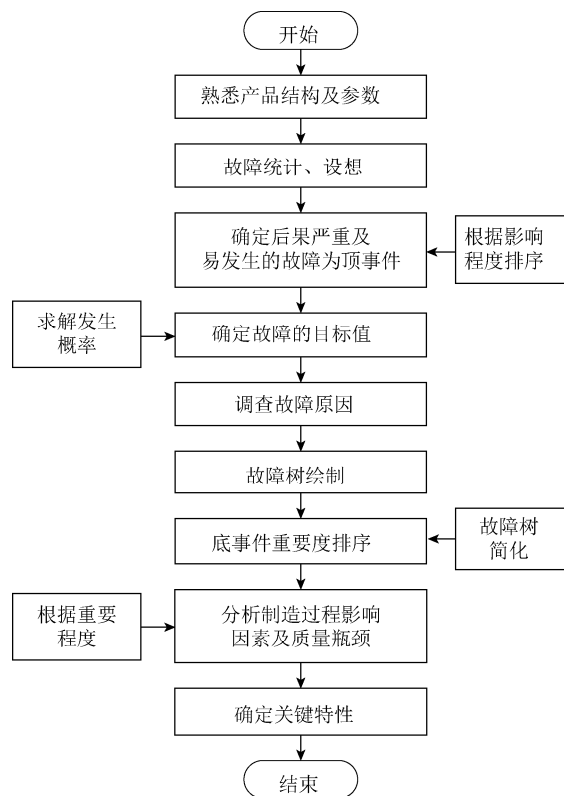


图2 基于失效模式分析方法的炮弹关键特性分析过程

Fig. 2 Analysis process of gun-launched missile key characteristics based on failure mode analysis method

弹装配和成品检验过程。采购过程主要是对外协外购件的来料检验过程。因此, 炮弹制造质量评估指标体系覆盖采购、加工、装配和检验 4 个阶段, 如图 3 所示。

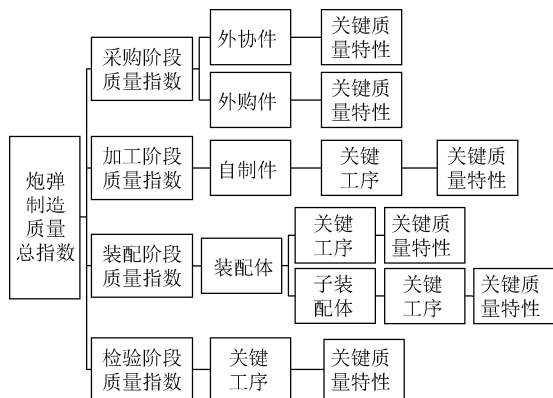


图 3 炮弹制造质量评估指标体系框架

Fig. 3 Evaluation index system framework of gun-launched missile manufacturing quality

2.3 指标权重的确定

指标权重体现了各指标在质量评价过程中的重要性, 直接关系到最终的质量评价结果。本文采用 AHP^[13]进行指标权重的确定。其计算步骤如下: ①建立炮弹制造质量评估指标体系; ②构建判断矩阵 U ; ③计算各指标权重 W_i' ; ④对计算结果进行一致性检验。

3 炮弹制造质量评估模型

建立适当有效的质量评估模型是炮弹制造质量评估过程的关键步骤。按照指标的层次将评估模型分为评估计算和评估聚合 2 种模型。从制造过程质量数据到底层指标的计算过程称为评估计算模型, 从底层指标到上层指标的聚合过程称为评估聚合模型。评估计算模型和评估聚合模型的关系如图 4 所示, 评估计算模型是评估聚合模型解算的基础, 评估计算模型解算得出评估指标体系底层指标的度量值, 底层指标度量值是评估聚合模型的输入, 在此基础上对评估聚合模型解算得出炮弹制造质量指数。

3.1 评估计算模型

评估计算模型是通过制造质量采集数据计算底层评估指标质量指数的计算模型, 其输入为制造过程质量数据采集, 输出为评估指标的度量值。评估计算模型解算的前提是获取制造过程质量数据, 即收集到必要的制造质量过程信息、专家信息和试验信息等多维评估数据后, 运用评估计算模型, 得

到评估指标体系的底层指标的度量值。本文采用生产过程能力指数构建评估计算模型。

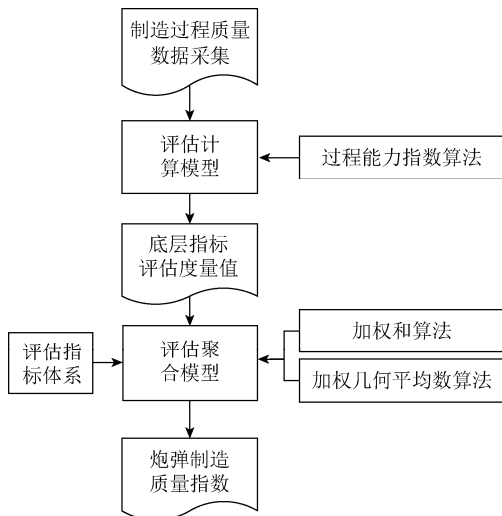


图 4 评估计算模型与评估聚合模型的关系

Fig. 4 The relationship between evaluation calculation model and evaluation aggregation model

3.1.1 生产过程能力指数

生产过程能力指数是指工序在一定时间里, 处于控制状态下的实际加工能力, 是衡量产品质量和性能的有效手段。生产过程能力指数主要有 3 种形式^[2,14]: 潜在过程能力 C_p , 实际过程能力指数 C_{pk} , 单侧规范值的过程能力指数 C_{PL} 和 C_{PU} 。

(1) 潜在过程能力为

$$C_p = \frac{(T_U - T_L)}{6\sigma} \quad (1)$$

其中, T_U 为质量特性的上限; T_L 为质量特性的下限; σ 为质量特性的方差。

(2) 实际过程能力指数为

$$C_{pk} = C_p (1 - k) \quad (2)$$

其中, C_p 为潜在过程能力; k 为偏差程度。

(3) 对于质量特性只做下限值 T_L 的要求, 无上限要求的, 生产过程能力指数为

$$C_{PL} = \frac{(\mu - T_L)}{3\sigma} \quad (3)$$

其中, μ 为均值, 若 $\mu < T_L$, 则 C_{PL} 为 0。

(4) 对于质量特性只做上限值 T_U 的要求, 无下限要求, 生产过程能力指数为

$$C_{PU} = \frac{(T_U - \mu)}{3\sigma} \quad (4)$$

其中, C_{PL} 和 C_{PU} 称为单侧规范值的过程能力指数。

3.1.2 基于生产过程能力指数的评估计算模型

(1) 采购阶段关键质量特性计算模型。炮弹生

产过程中,采购件的质量评价一般以合格率、退货率或让步接收率等作为质量评定指标。这些指标量化计算简单,能直观、清晰地反映采购质量指标的符合情况,但并不能定量评价采购价质量的稳定性。因此,对于采购件,参考文献[3]定义的过程能力指数和成品率关系为

$$C_{PK} = \frac{1}{3} \Phi^{-1} \left(\frac{1+p}{2} \right) \quad (5)$$

其中, p 为成品率; Φ 为标准正态分布函数。

根据式(5)可构建采购阶段关键质量特性的评估计算模型。

(2) 加工阶段关键质量特性计算模型。加工阶段质量检测数据分为计数值和计量值质量数据。对于计数值质量数据先计算其不合格率,再根据式(5)转换为生产能力过程指数;对于计量值质量数据可分为双侧公差要求数据、无上限要求和无下限要求公差数据,分别采用式(2)~(4)计算生产过程能力指数。

(3) 装配和检测阶段关键质量特性计算模型。装配和检测阶段都是由多道工序组成,其关键质量特性的计算模型与自制件加工阶段类似,按照质量检测数据类型和单双侧公差要求采用式(2)~(5)分别计算。

3.2 评估聚合模型

评估聚合模型是评估指标体系的下层指标与上层指标的关系模型,用来支持评估过程中的评估聚合。考虑到单关键零部件的多关键工序间的连续性,关键零部件以下指标层级间的聚合采用加权几何平均法;关键零部件及以上指标层级间的聚合采用加权和法。

3.2.1 关键零部件以下指标层级间的聚合模型

对于单个关键零部件以下指标层级间的多个关键工序的聚合模型,本文采用文献[4]的加权几何平均法来定义单个关键零部件的质量水平,即

$$C_{pm}^P = \left[\prod_{i=1}^q (C_{pmi})^{w_i} \right]^{\frac{1}{\sum_{i=1}^q w_i}} \quad (6)$$

其中, w_i 为第 i 个工序的权重,取值范围为[0,1],

并且 $\sum_{i=1}^q w_i = 1$ 。因此,式(6)可简化为

$$C_{pm}^P = \prod_{i=1}^q (C_{pmi})^{w_i} \quad (7)$$

3.2.2 关键零部件及以上指标层级间的聚合模型

在得到各阶段各关键零部件的质量指数的基

础上,通过加权和法逐级向上构建评估聚合模型。本文能力过程指数间具有可比性,故加权和法不进行无量纲化和归一化,即

$$y = \sum_{j=1}^n w_j x_j \quad (8)$$

其中, y 为评估指标的加权综合评估值; x_j 和 w_j 分别为第 j 个下层指标值及其权重值。

4 案例分析

以某兵器企业某型炮射导弹批生产过程为例,验证本文提出的炮弹制造质量综合评估方法。

4.1 构建炮弹制造质量评估指标体系

某型炮弹制造质量评估指标体系如图5所示。其中采购阶段的质量特性 A11, A21, A31, A41 和 A51 为合格率要求的工艺参数,加工阶段的质量特性 B211 和 B411、装配阶段 C2211 为无上限要求的工艺参数,装配阶段的质量特性 C3111 为无下限要求的工艺参数,其余质量特性为双侧公差要求的工艺参数。按照以上质量评估指标体系,对制造过程中的质量检测数据进行采集。

4.2 质量综合评估计算

4.2.1 计算各关键质量特性的质量指数

对采购阶段的质量特性 A11, A21, A31, A41 和 A51 采用式(5)计算,对加工阶段的质量特性 B211 和 B411、装配阶段的质量特性 C2211 和采用式(3)计算,装配阶段的质量特性 C3111 采用式(4)计算,其余质量特性采用式(2)计算,结果见表1。

4.2.2 计算各关键工序的质量指数

采用 AHP 经专家确定各工序关键质量特性的权重,即工序 B11, C12, C211, C211, C24, C311, C32, D1 和 D2 的判断矩阵分别为

$$B_{11} = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 \\ 2 & 1 \end{bmatrix}, C_{12} = \begin{bmatrix} 1 & 4 \\ 1/4 & 1 \end{bmatrix}, C_{211} = \begin{bmatrix} 1 & 1/4 & 1/6 \\ 4 & 1 & 1/3 \\ 6 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

$$C_{221} = \begin{bmatrix} 1 & 3 \\ 1/3 & 1 \end{bmatrix}, C_{24} = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 \\ 2 & 1 \end{bmatrix}, C_{311} = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 \\ 3 & 1 \end{bmatrix}$$

$$C_{32} = \begin{bmatrix} 1 & 1/5 \\ 5 & 1 \end{bmatrix}, D_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 2 \\ 2 & 1 & 4 \\ 1/2 & 1/4 & 1 \end{bmatrix}, D_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

以关键工序 C211 为例,判断矩阵一致性校验和权重计算过程如下: $\lambda_{\max_{C_{211}}} = 3.054$, $CI_{C_{211}} =$

$$\frac{3.054-3}{3-1} = 0.027, RI = 0.52, CR_{C_{211}} = \frac{CI_{C_{211}}}{RI} =$$

$\frac{0.027}{0.52} = 0.052 < 0.1$, 矩阵 C_{211} 通过一致性校验; 矩阵 C_{211} 权重向量的计算结果为: $W_{C_{211}} = (0.085, 0.271, 0.644)^T$ 。工序 C211 质量指数为: $C_{pk}^{C_{211}} = 1.675^{0.085} \times 1.543^{0.271} \times 1.357^{0.644} = 1.429$, 同理可计算出其余工序质量指数, 见表 2。

4.2.3 计算各零部件的质量指数

采用 AHP 经专家确定各关键零部件工序的权重, 即零部件 B1, B4, C1, C21, C2 和 C3 的判

断矩阵分别为

$$B_1 = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 2 \\ 1/4 & 1 & 1/2 \\ 1/2 & 2 & 1 \end{bmatrix}, \quad B_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1/4 \\ 4 & 1 \end{bmatrix}, \quad C_1 = \begin{bmatrix} 1 & 5 \\ 1/5 & 1 \end{bmatrix}$$

$$C_{21} = \begin{bmatrix} 1 & 3 \\ 1/3 & 1 \end{bmatrix}, \quad C_2 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 2 & 1/3 \\ 1/3 & 1 & 1/2 & 1/2 \\ 1/2 & 2 & 1 & 1/3 \\ 3 & 2 & 3 & 1 \end{bmatrix}, \quad C_3 = \begin{bmatrix} 1 & 3 \\ 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

经一致性校验并计算权重后, 采用式(7)加权几何平均法计算各零部件质量指数见表 3。

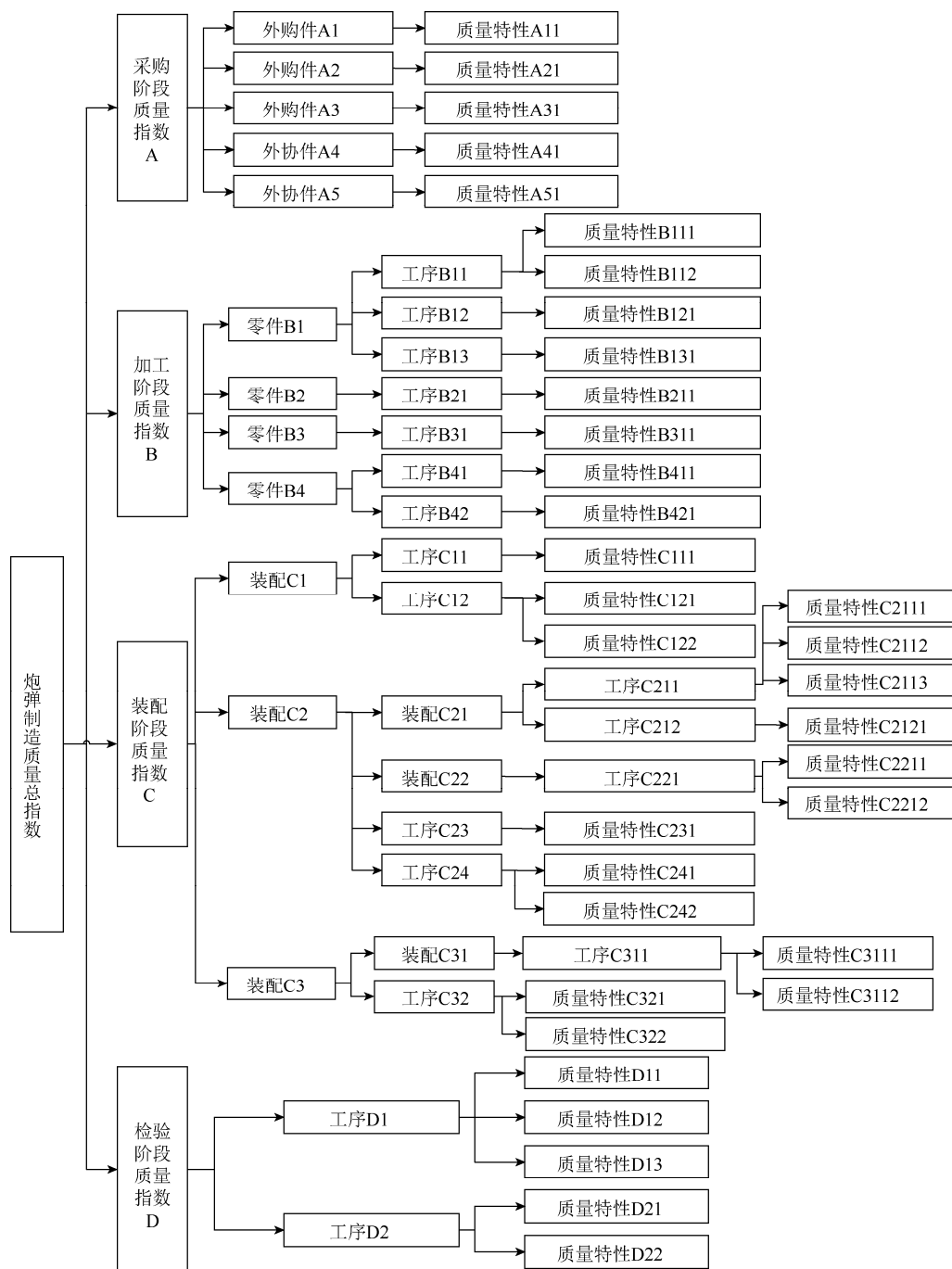


图 5 某型炮射导弹制造质量评估指标体系

Fig. 5 Manufacturing quality evaluation index system of a certain type of gun-launched missile

表 1 各关键质量特性的质量指数

Table 1 Quality index of the key quality characteristics

质量特性	质量指数	质量特性	质量指数	质量特性	质量指数
A11	1.381	B421	1.472	C242	1.518
A21	1.343	C111	1.743	C3111	1.337
A31	1.176	C121	1.275	C3112	1.398
A41	1.376	C122	1.579	C321	1.975
A51	1.385	C2111	1.657	C322	1.632
B111	1.743	C2112	1.543	D11	1.743
B112	1.469	C2113	1.357	D12	1.487
B121	1.518	C2121	1.567	D13	1.518
B131	1.257	C2211	1.348	D21	1.357
B211	1.567	C2212	1.423	D22	1.567
B311	1.586	C231	1.131	--	--
B411	1.535	C241	1.349	--	--

表 2 各关键工序的质量指数

Table 2 Quality index of the key manufacturing processes

关键工序	质量指数	关键工序	质量指数	关键工序	质量指数
B11	1.555	B42	1.472	C23	1.131
B12	1.518	C11	1.743	C24	1.459
B13	1.257	C12	1.331	C311	1.382
B21	1.567	C211	1.429	C32	1.685
B31	1.586	C212	1.567	D1	1.561
B41	1.535	C221	1.366	D2	1.458

表 3 各关键零部件质量指数

Table 3 Quality index of the key product unit

零部件	质量指数	零部件	质量指数	零部件	质量指数
A1	1.381	A5	1.385	B4	1.484
A2	1.343	B1	1.458	C1	1.666
A3	1.176	B2	1.567	C2	1.389
A4	1.376	B3	1.586	C3	1.453

4.2.4 计算各制造阶段质量指数

采用 AHP 经专家确定各制造阶段零部件的权重, 即制造阶段 A, B, C 和 D 的判断矩阵分别为

$$A_0 = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 3 & 1/2 & 2 \\ 3 & 1 & 6 & 2 & 4 \\ 1/3 & 1/6 & 1 & 1/5 & 1/2 \\ 2 & 1/2 & 5 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1/4 & 2 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}, B_0 = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 5 & 3 \\ 1/4 & 1 & 1/2 & 1/3 \\ 1/5 & 2 & 1 & 1/3 \\ 1/3 & 3 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

$$C_0 = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 2 \\ 3 & 1 & 5 \\ 1/2 & 1/5 & 1 \end{bmatrix}, D_0 = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

经一致性校验并计算权重后, 采用式(8)加权和法计算质量指数见表 4。

表 4 各生产阶段质量指数

Table 4 Quality index of the manufacturing phase

生产阶段	质量指数	生产阶段	质量指数
A	1.352	C	1.460
B	1.489	D	1.527

4.2.5 计算炮弹制造质量总指数

采用 AHP 经专家确定各关键质量特性的权重。判断矩阵为

$$\begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 2 & 2 \\ 2 & 1 & 2 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

经一致性校验并计算权重后, 采用式(8)加权和法计算制造质量总质量指数为 1.451。

4.3 质量评估结果评判

某兵器企业在生产实践基础上, 根据不合格率与西格玛水平的对应关系, 制定的炮弹制造质量评定企业标准见表 5, 表中 C_{pk} 表示质量指数。

表 5 炮射导弹制造质量水平分级

Table 5 Manufacturing quality level classification of gun-launched missile

等级	质量指数	描述
优	$C_{pk} \geq 1.67$	表明制造质量完全满足期望, 生产能力达到满意状态, 不需要改进
良	$1.33 \leq C_{pk} < 1.67$	表明制造质量基本满足期望, 生产能力各指标大部分表现良好, 部分指标仍需改进, 但不影响生产的正常推进
中	$1.00 \leq C_{pk} < 1.33$	表明制造质量可满足最低期望, 生产大部分指标表现欠佳, 生产能力水平较低, 生产顺利推进受到一定影响, 需要认真审查改进
差	$C_{pk} < 1.00$	表明制造质量无法满足期望, 生产能力水平很低, 不能达到预期目标, 相关工作人员必须全方位对生产过程能力各个指标进行改善

根据表 5, 案例中炮弹制造质量总指数为 1.451, 质量水平评级为良, 表明本批次制造质量总水平基本可以满足期望。

本案例中, 对炮弹制造过程中的各制造阶段、关键零部件和关键工序进行深入分析。综合表 2~4 的质量指数, 采购、加工、装配和检测等各生产阶段的质量指数分别为 1.352, 1.489, 1.460 和 1.527, 其质量水平等级均为良, 但采购阶段的质量指数 1.352 处于所在等级的下限值附近, 经进一步分析, 采购阶段外购件 A3 质量水平较低的原因在于入厂

抽样检测所用跳动仪超出允许误差。分析表 2 可知,关键工序 B13 和 C23 的质量指数分别为 1.257 和 1.131,质量评级均为中,经检查,工序 B13 质量水平低的原因是刀具发生磨损,而 C23 质量水平低的原因是由于操作人员不熟练新装配工艺造成的。

5 结 束 语

炮弹的制造过程是一个连续、有机的整体过程,只有对制造过程各阶段的质量进行评估,才能全面量化制造质量。本文定义了炮弹制造质量综合评估的框架和流程,基于关键零部件、关键工序和质量特性等关键特性构建了制造质量评估指标体系,并建立了包括评估计算模型和评估汇聚模型的两层制造质量评估模型;利用制造过程数据能够客观、科学地对炮弹制造质量进行综合评估,具有较强的可行性和可操作性。通过案例应用验证,表明该方法能对炮弹制造质量进行有效评估,可为炮弹研制企业的列装部队评判炮弹制造质量提供客观、科学的量化依据。

参考文献 (References)

- [1] 徐远平. 面向多品种小批量生产模式的多元过程能力分析研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2019.
XU Y P. Research on multivariate process capability for multi-variety and small batch production modes[D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2019 (in Chinese).
- [2] 曾瑞崔. 多品种小批量复杂产品制造过程能力判定模型研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2015.
ZENG R C. Research on process capability evaluation model for complex products of mass varieties and small batches[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2015 (in Chinese).
- [3] 牟伟萍, 常文兵, 何益海. 产品生产过程能力综合评价模型研究[J]. 制造业自动化, 2009, 31(10): 7-11.
MU W P, CHANG W B, HE Y H. A study on model for comprehensive evaluation of products producing process capability[J]. Manufacturing Automation, 2009, 31(10): 7-11 (in Chinese).
- [4] YU K T, SHEU S H, CHEN K S. The evaluation of process capability for a machining center[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2007, 33(5-6): 505-510.
- [5] 陈路. 空面导弹评估技术研究及评估软件系统设计[D]. 成都: 电子科技大学, 2019.
CHEN L. Research on assessment method and software system design of air-to-surface missile[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2019 (in Chinese).
- [6] 黄睿, 刘小方, 郑祥. 某型导弹性能质量评估系统设计与实现[J]. 火炮发射与控制学报, 2019, 40(2): 88-92.
HUANG R, LIU X F, ZHENG X. Design and implementation of a missile performance quality evaluation system[J]. Journal of Gun Launch & Control, 2019, 40(2): 88-92 (in Chinese).
- [7] 陈勇, 徐廷学, 闫群章. 基于熵权“区别度”的导弹电子系统质量评估指标体系的优化[J]. 海军航空工程学院学报, 2015, 30(5): 484-488.
CHEN Y, XU T X, YAN Q Z. Optimization of indicator system about quality evaluation for missile electric system based on entropy weigh ‘distinction’[J]. Journal of Naval Aeronautical and Astronautical University, 2015, 30(5): 484-488 (in Chinese).
- [8] 张海瑞, 李彦彬, 余丽山, 等. 导弹武器系统使用质量评估研究[J]. 弹箭与制导学报, 2018, 38(4): 81-84, 92.
ZHANG H R, LI Y B, YU L S, et al. Using quality assessment for missile weapon system[J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2018, 38(4): 81-84, 92 (in Chinese).
- [9] 李俊, 孟涛, 张立新, 等. 基于粗糙集规则提取的导弹武器质量性能评估方法研究[J]. 兵工学报, 2013, 34(12): 1529-1535.
LI J, MENG T, ZHANG L X, et al. Research on evaluation method for quality and performance of missile weapon based on rough set rule extraction[J]. Acta Armamentarii, 2013, 34(12): 1529-1535 (in Chinese).
- [10] 金超. 基于质量特性的产品设计过程质量控制技术研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2019.
JIN C. Research on quality control technology of product design process based on quality characteristics[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2019 (in Chinese).
- [11] 江宜春. 面向产品全生命周期的质量管理关键技术及系统研究[D]. 上海: 东华大学, 2016.
JIANG Y C. The research of key technology and system of quality management oriented total life cycle of products[D]. Shanghai: Donghua University, 2016 (in Chinese).
- [12] 汪邦军. 基于数据波动理论的复杂产品制造过程质量控制方法研究[D]. 北京: 北京科技大学, 2017.
WANG B J. Research on quality control methodology for complex product manufacturing processes based on data variation theory[D]. Beijing: University of Science and Technology Beijing, 2017 (in Chinese).
- [13] 刘立军, 程建. 中远程防空导弹武器系统作战数据质量效能评估[J]. 火炮发射与控制学报, 2015, 36(2): 88-92.
LIU L J, CHENG J. Research on combat data quality efficiency evaluation of middle and long range air defense missile weapon system[J]. Journal of Gun Launch & Control, 2015, 36(2): 88-92 (in Chinese).
- [14] DE-FELIPE D, BENEDITO E. A review of univariate and multivariate process capability indices[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2017, 92(5-8): 1687-1705.