

文章编号: 1000-6893(2006)04-0588-06

# 大型复杂航空产品质量评估模型研究

赵嵩正<sup>1</sup>, 殷茗<sup>1</sup>, 梁工谦<sup>1</sup>, 赵远志<sup>2</sup>

(1. 西北工业大学 管理学院, 陕西 西安 710072)

(2. 西安飞机工业有限责任公司 质保部, 陕西 西安 710068)

## Study on Evaluation Model for Quality of Large Complex Aeronautic Product

ZHAO Song-zheng<sup>1</sup>, YIN Ming<sup>1</sup>, LIANG Gong-qian<sup>1</sup>, ZHAO Yuan-zhi<sup>2</sup>

(1. Management School, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

(2. Quality Assurance Department, Xi'an Aircraft Company, Xi'an 710068, China)

**摘要:** 在市场日益激烈的条件下, 质量是产品是否具有竞争力的关键因素。针对大型复杂航空产品, 综合现有的理论研究成果, 建立了航空产品质量评估体系。在此基础上, 提出了一种大型复杂航空产品的质量评估模型。研究指出: 制造过程质量和试实验过程质量对最终交付质量起着决定作用, 其中制造过程质量受工程设计更改、代料状况、生产保留状况和故障状况的影响。最后, 通过应用实例说明了模型的有效性。

**关键词:** 质量管理; 模型; 大型复杂产品; 航空产品; 质量评估

中图分类号: TH 122 文献标识码: A

**Abstract:** With the increasing competition of market, quality has become the key factor to product competitiveness. Being directed toward large complex aeronautic product, the paper proposes evaluation architecture for product quality with synthesized theory. On basis of that, a model which describes the evaluation for quality of large complex aeronautic product is put forward. The paper shows that the process quality of manufacture and process quality of trial experiment both have vital effects on the final delivery quality. Several factors including modification of engineering design, material's change, production reservation and failures have great effects on the process quality of manufacture. At last, a case is used to verify the availability of the model.

**Key words:** quality management; model; large complex product; aerial product; evaluation for quality

产品复杂性的增加, 对质量提出了更高的要求, 质量评估是提高产品质量与可靠性、降低研制成本的重要途径。大型复杂航空产品的质量贯穿了产品设计、加工和试实验的全过程, 已从现场抽样检验分析控制逐步走向整个产品制造过程的控制。要从系统的角度考虑产品质量问题, 有必要在航空产品设计、加工及试实验的同时, 对检验数据结果进行数理统计、分析评价, 来检验产品质量的超差情况, 分析制造过程和试实验过程中发生的超差原因和变化趋势, 并及时查明原因, 以采取相应的质量控制措施。

本文关注的是大型复杂航空产品的质量评估问题。大型复杂航空产品具有单位价值高、结构复杂、技术含量高特点, 这就必然需要一个不同于一般产品的质量评估方法。目前, 国内外学者对产品质量评估的研究十分活跃, 核心内容是质量评估方法的研究, 但是现有的研究针对大型复

杂产品, 特别是航空产品的研究很少, 并忽视了单件产品的质量评估问题。另外, 绝大多数学者<sup>[1-3]</sup>只是孤立地探讨了产品的交付质量评估, 而对过程质量评估及过程质量如何对交付质量评估的量化影响缺乏完整的研究。本文的目标是综合现有研究成果, 将产品过程质量与交付质量相结合, 建立一个大型复杂航空产品的质量评估模型, 以为国内建立大型复杂航空产品的质量评估体系提供理论指导。

### 1 大型复杂航空产品质量评估体系的原则

为了建立有效评价大型复杂航空产品的质量评估体系, 除了应遵循 Neely 等学者<sup>[4]</sup>所提出的八条评价指标体系的原则, 结合大型复杂航空产品的特征, 还应遵循 3 条重要原则:

(1) 按单件投产设计。大型复杂航空产品的单位价值高、结构复杂、技术含量高, 更适合于按单件投产。按照传统的批次投产, 只能识别出批次质量的好坏, 无法明确地识别出单件产品质量

的好坏,这对企业效率的提高有一定负面影响。因此,大型复杂航空产品的质量评估体系的设计要求对单件产品的质量进行设计。

(2) 严格按照产品结构进行滚动加权。大型复杂航空产品的结构十分复杂,图1为产品结构简图。不同的产品型号有不同的结构,本文模型所计算的对象包括从每一项关键件到零件、组件、部件、段件、系统及最终产品的装配过程。其中,各计算对象都给予一个相应的权重,表示在产品结构中的重要程度。

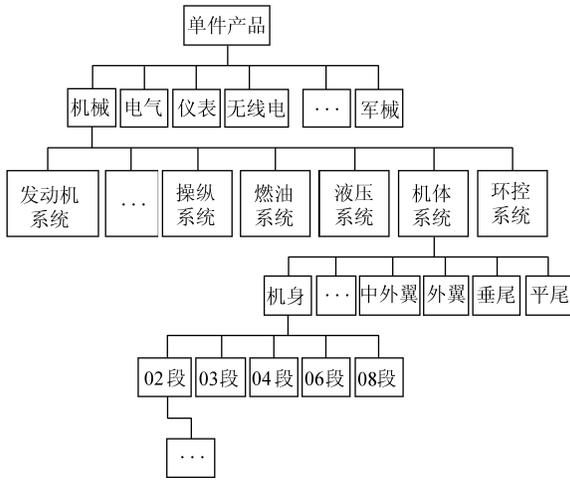


图1 大型复杂航空产品结构简化图

Fig 1 Simple structure of large complex aeronautic product

(3) 设计过程贯穿双向主观质量思想。毛景立等<sup>[5,6]</sup>研究提出了“过程双向主观质量”的概念,认为双向主观质量包括最终交付质量和缺陷源定位的过程质量,强调顾客对生产者提供质量特征的审视和重视,是一种建立在广义客观质量基础上,反映个体满意程度的质量观念。大型复杂航空产品的交付质量取决于过程质量,而过程质量是通过交付质量的评价来体现的。

本文所建立的大型复杂航空产品的质量评估模型是对单件航空产品过程质量和最终质量的综合评估。过程质量在产品制造过程中通过控制零部件或系统的关键工序保证,最终质量则是通过试实验结束后最终产品的各项技术指标来确定的。质量评估体系根据单件投产设计,设计过程贯穿了双向过程质量的思想,严格按照大型复杂航空产品的结构进行滚动加权。在预先建立的信息平台下,实现传统批次管理到单件管理的跳跃,从而实现单件产品从每一项关键件到零件、组件、部件、段件及最终产品的装配过程跟踪和质量状态、质量指标的动态跟踪管理。

## 2 大型复杂航空产品质量评估体系

根据毛景立等<sup>[5,6]</sup>提出了“过程双向主观质量”的概念,认为双向主观质量包括最终交付质量和缺陷源定位的过程质量。大型复杂航空产品的最终交付质量是通过试实验过程质量来体现的,缺陷源定位的过程质量主要通过制造过程质量来体现。大型复杂航空产品的质量主要由制造过程质量和试实验过程质量两部分组成。制造过程是产品设计、加工、装配的过程。试实验过程在某种意义上是制造过程的延伸。因此,在评价大型复杂航空产品的质量时,制造过程质量十分重要。试实验过程作为确定产品最终验收的依据,也应考虑在内。根据评估体系建立的目的性、科学性、全面性和通用性等原则,将各部分(或称为因素)整理成一种递阶层次的顺序,分别对制造过程质量和试实验过程质量进行评估,在此基础上,对产品的最终交付质量进行评估。本文建立了大型复杂航空产品的质量评估体系,如图2,各大类下有若干小类。单个因素虽仅反映产品质量的一个侧面或某一方面,但评估体系在质量评估模型框架下能够反映产品质量的真实情况。其中,图2中箭头连线表示因素A对因素B有影响,“+”表示因素A对因素B有正相关的影响,“-”表示因素A对因素B有负相关的影响。

制造过程质量是通过所有零部件或系统的质量来确定的。其中,这里的零部件指单件产品中从每一项关键件到零件、组件、部件、段件等,系统指产品的燃油系统、液压系统、环控系统等。在产品的树状结构中,系统往往在零部件的上层。根据前人的研究成果<sup>[7,8]</sup>,零部件或系统的质量一般都是通过故障状况来衡量。大型复杂航空产品具有单位价值高、结构复杂、技术含量高特点,因此制造过程中的工程设计更改、代料和生产保留都将直接影响产品的最终质量。本文在前人研究的基础上,对产品零部件或系统质量可以通过以下4个方面衡量。

(1) 工程设计更改。工程设计更改本质上是对零部件或系统的质量改进,它对零部件或系统的质量有着正相关的影响。

(2) 代料状况。代料是用另一种材料代替原来的材料,代料从工艺上直接影响零部件的质量,对零部件的质量有着负相关的影响。

(3) 生产保留状况。生产保留指在本单位未加工完的零部件或系统,放到外单位加工,生产保

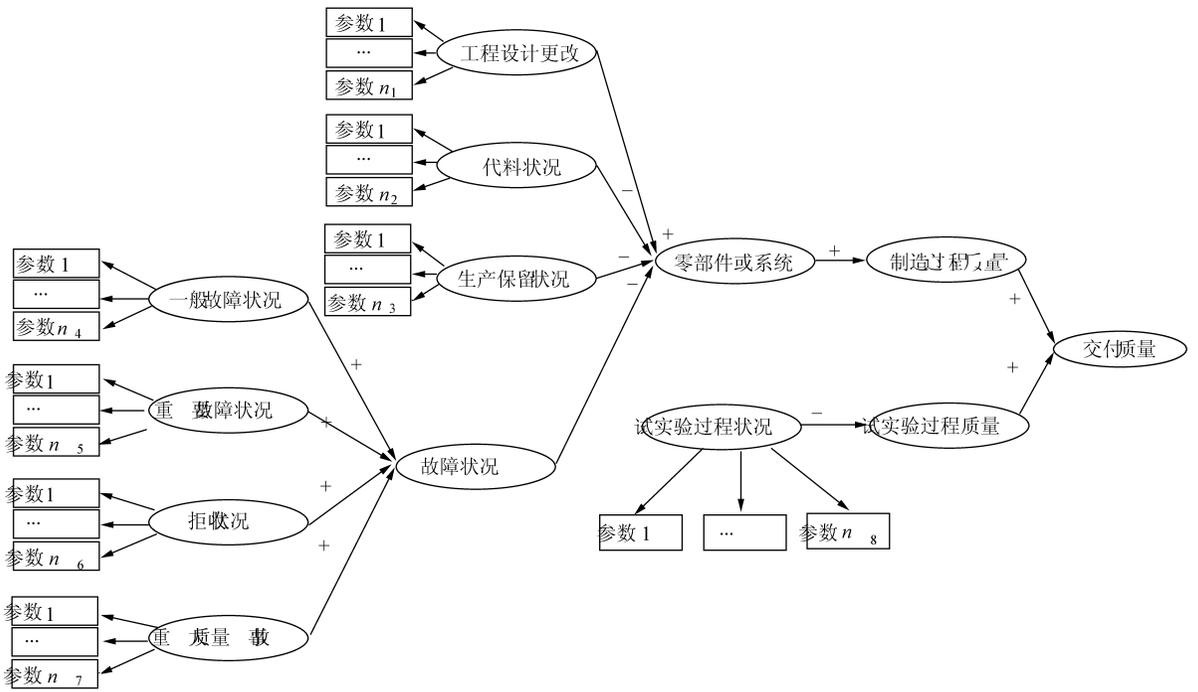


图 2 大型复杂航空产品的质量评估体系

Fig. 2 Evaluation architecture for quality of large complex aeronautic product

留对零部件或系统质量有着负相关的影响。

(4) 故障状况。故障对零部件或系统质量有负相关的影响。按照故障程度的不同,分为一般故障、重要故障、拒收和重大质量事故。其中,重大质量事故对零部件或系统的影响最大。

上述 4 个方面的因素可以继续细化到不同的控制参数,从而实现每个因素的具体量化。

试实验过程质量也是产品质量评估的重要组成部分,具体是通过试实验故障状况来确定的,试实验故障状况对试实验过程质量有着负相关的影响。与其他因素类似,试实验故障状况也可以细分为若干个控制参数,以实现试实验故障状况的具体量化。

### 3 大型复杂航空产品质量评估模型

基于以上分析,建立了大型复杂航空产品的质量评估模型,如图 3 所示,评估模型可以分为 5 个层次,各层次之间都由代表不同意义的权重相互联系。其中,第 1 层次是单件大型复杂航空产品的质量得分;第 2 层次是制造过程质量减分和试实验过程质量减分;第 3 层是制造过程中零部件和专业的质量减分和试实验过程中的试实验项的质量减分;第 4 层是某零部件和专业下各不同因素的质量减分;第 5 层是制造过程或试实验过程中某因素下各控制参数的质量减分。假设单件

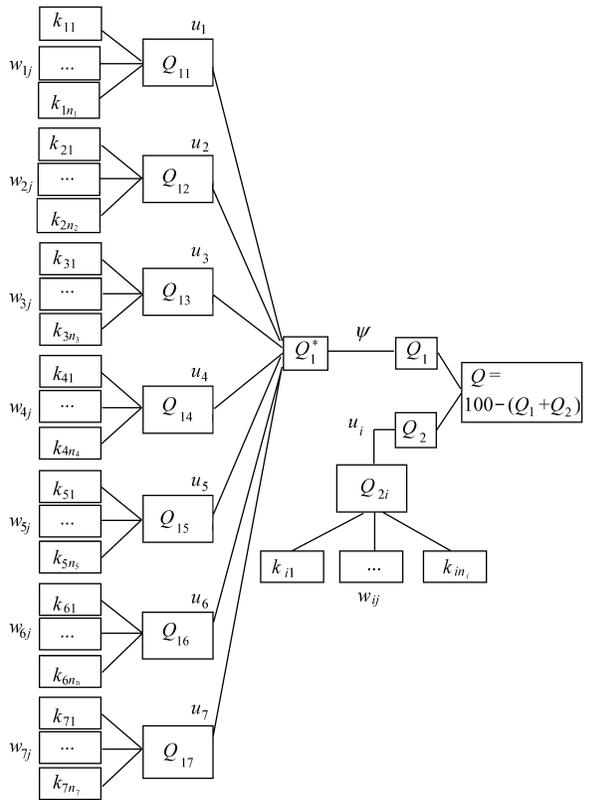


图 3 大型复杂航空产品的质量评估模型

Fig. 3 Evaluation model for quality of large complex aeronautic product

大型复杂航空产品质量的满分为 100 分,根据过程双向主观质量<sup>[5,6]</sup>的思想,则单件产品的最终

交付质量可以表示为

$$Q = 100 - (Q_1 + Q_2) \quad (1)$$

式中:  $Q$  表示单件复杂航空产品的最终交付质量;  $Q_1$  表示制造过程质量减分, 即“双向过程质量”概念中缺陷源定位的过程质量减分;  $Q_2$  表示试实验过程质量减分, 即“双向过程质量”概念中的最终交付质量减分。

根据质量评估体系的分析, 单件大型复杂航空产品的质量可定义为多个因素的函数: 工程设计更改  $Q_{11}$ 、代料状况  $Q_{12}$ 、生产保留状况  $Q_{13}$ 、一般故障状况  $Q_{14}$ 、重要故障状况  $Q_{15}$ 、拒收状况  $Q_{16}$ 、重大质量事故  $Q_{16}$  及试实验状况  $Q_{2i}$ 。

$Q_1$ 、 $Q_2$  的函数表示具体如下

$$\left. \begin{aligned} Q_1 &= \sum_{i=1}^7 \left[ \sum_{j=1}^n \left( \sum_{k=1}^p k_{ij} w_{ij} \right) u_i \right] \phi \\ Q_2 &= \sum_{i=1}^q \left( \sum_{j=1}^p k_{ij} w_{ij} \right) u_i \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中:  $Q_1$  函数式中的  $k_{ij}$  表示第  $i$  个因素出现第  $j$  种控制参数的频数;  $w_{ij}$  表示第  $i$  个因素出现第  $j$  种控制参数的权重;  $u_i$  表示第  $i$  个因素的权重;  $\phi$  表示零部件或系统在整个产品的树状结构中所占的权重;  $Q_2$  函数式中的  $k_{ij}$  表示第  $i$  个试实验科目出现第  $j$  种控制参数的频数;  $w_{ij}$  表示第  $i$  个试实验科目出现第  $j$  种控制参数的权重;  $u_i$  表示第  $i$  个试实验科目的权重。值得注意的是, 工程设计更改因素的权重为负值, 表示对质量有正向影响, 其他因素的权重均为正值。

权重确定是任何评估模型的重要内容。根据已有权重确定方法<sup>[9]</sup>的特点, 本模型中质量评估权重的确定采用的是 1-5 比较法和德尔菲法相结合的方法。下面以  $u_i$  为例介绍权重的确定过程。首先, 确定评估模型中关键因素, 在此有 7 个因素, 包括工程设计更改、代料状况、生产保留状况、一般故障状况、重要故障状况、拒收状况和重大质量事故。因此, 因素比较的组数是  $7 \times (7-1)/2$ , 即 21 组。所有因素得分总和为  $3 \times 7 \times (7-1)$ , 即 126。其次, 利用 1-5 比较法将因素之间重要性的差别程度进行了细分: 因素  $A$ 、 $B$  之间若  $A$  记为 5,  $B$  记为 1, 表示  $A$  比  $B$  重要程度很大; 4-2 表示  $A$  比  $B$  重要程度较大; 3-3 表示  $A$  与  $B$  重要程度一样。在此, 各因素重要性的差别程度确定可以采用德尔菲法来确定, 参与人员互不了解, 运用匿名方式反复多次征询意见和进行“背靠背”的交流, 最后得到一个能比较反映群体意志的预测结

果。将各因素的得分分别加总, 设各因素得分总和为  $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7$ , 则这些因素的权重分别为  $u_i = b_i / \sum_{i=1}^7 b_i$ , 其中  $i = 1, 2, \dots, 7$ 。值得注意的是, 权重不是一成不变的, 各因素重要性的差别程度会随着时间不断变化, 因此, 其权重也应作相应调整。另外, 表示第  $i$  个因素出现第  $j$  种控制参数的权重  $w_{ij}$  和表示零部件或系统在整个产品的树状结构中所占权重  $\phi$  的确定方法与此相同, 在此不再赘述。所不同的是运用德尔菲法中参与人员的对象侧重, 确定  $u_i$  时, 参与人员中质量检验部门的人员占的比重较大; 确定  $w_{ij}$  时, 工艺制造部门的人员占的比重较大; 确定  $\phi$  时, 设计部门人员占的比重较大。

另外, 各零部件或专业的控制参数出现频数的采集也是影响评估模型是否有效的关键。评估模型中的控制参数出现的频数的采集主要通过产品工艺制造过程中的业务信息表记录来获得的。各分厂检验科把制造过程中的业务信息表影响的控制参数记录下来, 同时进行汇总和统计, 然后上报到上级质量检验处, 上级质量检验处再根据全厂的数据汇总进行产品质量评估。

大型复杂航空产品的质量评估模型的具体流程, 如图 4 所示: 首先, 进行新产品定义, 如果判断出新产品为新型号, 就建立零部件和系统的树状结构目录, 同时定义各相关权重, 如果判断不是新型号, 则转入下一步。其次, 输入各项因素及其参数, 通过汇总可以得到各因素中控制参数出现的频数, 结合已定义的权重, 运用模型中的函数表达式进行运算, 计算过程具有滚动加权的效果, 最终获得单件产品的评估得分。

## 4 应用实例

为了验证评估模型的有效性, 应用上述评估模型对某大型复杂航空产品的质量进行实例评估。评估模型的最终目标是要获得该产品的质量评估得分  $Q$ , 根据式(1), 需要计算出  $Q_1$  和  $Q_2$  的分值。由式(2)可以获知,  $Q_1$  和  $Q_2$  的计算过程可以分为若干个层次。

在对  $Q_1$  的计算过程中, 首先, 计算控制参数层, 采用 1-5 比较法和德尔菲法确定控制参数的权重向量,  $W_j = (w_{1j} \ w_{2j} \ w_{3j} \ w_{4j} \ w_{5j} \ w_{6j} \ w_{7j})^T$  中的各向量分别表示某零部件工程设计更改因素、代料、生产保留、一般故障、重要故障、拒收和重大质量事故状况下各控制参数的权重向量。

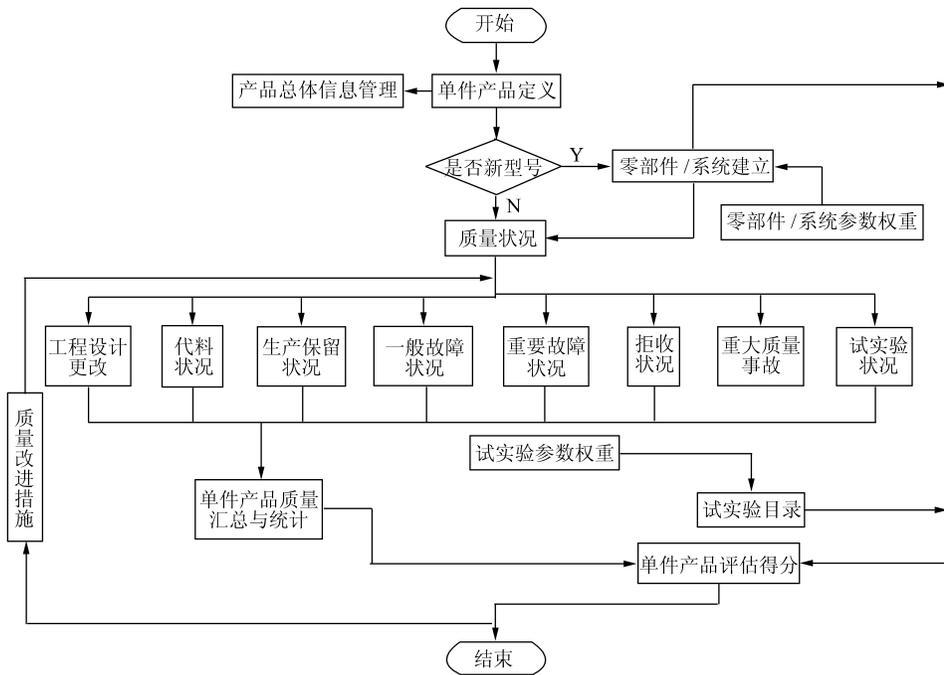


图 4 大型复杂航空产品质量评估模型的流程

Fig 4 Process of evaluation model for quality of large complex aeronautic product

各不同因素下控制参数的权重向量为

$$w_{1j} = (-0.22 \quad -0.25 \quad -0.19 \quad -0.09 \\ -0.25)$$

$$w_{2j} = (0.16 \quad 0.20 \quad 0.14 \quad 0.07 \quad 0.09 \quad 0.03 \\ 0.19 \quad 0.12);$$

$$w_{3j} = (0.10 \quad 0.11 \quad 0.15 \quad 0.06 \quad 0.02 \quad 0.13 \\ 0.26 \quad 0.05 \quad 0.01 \quad 0.11)$$

$$w_{4j} = (0.12 \quad 0.13 \quad 0.15 \quad 0.22 \quad 0.19 \quad 0.04 \\ 0.15)$$

$$w_{5j} = (0.22 \quad 0.12 \quad 0.23 \quad 0.11 \quad 0.12 \quad 0.02 \\ 0.18)$$

$$w_{6j} = (0.02 \quad 0.09 \quad 0.12 \quad 0.17 \quad 0.21 \quad 0.11 \\ 0.04 \quad 0.13 \quad 0.11)$$

$$w_{7j} = (0.13 \quad 0.11 \quad 0.03 \quad 0.11 \quad 0.17 \quad 0.07 \\ 0.11)$$

其次, 收集获取零部件控制参数出现的频数,

$K_j = (k_{1j} \quad k_{2j} \quad k_{3j} \quad k_{4j} \quad k_{5j} \quad k_{6j} \quad k_{7j})$  是某零部件控制参数出现的频数, 其中各向量分别表示工程设计更改因素、代料、生产保留、一般故障、重要故障、拒收和重大质量事故状况下各控制参数出现的频数。根据产品制造过程中统计汇总的数据, 可以得到

$$k_{1j} = (1 \quad 0 \quad 0 \quad 3 \quad 1)^T;$$

$$k_{2j} = (2 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 1)^T;$$

$$k_{3j} = (1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 2 \quad 0 \quad 0 \quad 0)^T;$$

$$k_{4j} = (3 \quad 0 \quad 1 \quad 2 \quad 0 \quad 2 \quad 3)^T;$$

$$k_{5j} = (2 \quad 3 \quad 2 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 0)^T;$$

$$k_{6j} = (1 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 3 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0)^T;$$

$$k_{7j} = (0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0)^T.$$

则该零部件各不同因素下控制参数层的质量减分为

$$A_j = (w_{1j}k_{1j} \quad w_{2j}k_{2j} \quad w_{3j}k_{3j} \quad w_{4j}k_{4j} \quad w_{5j}k_{5j} \\ w_{6j}k_{6j} \quad w_{7j}k_{7j}) = \\ (-0.74 \quad 0.77 \quad 0.75 \quad 1.48 \quad 1.28 \\ 0.82 \quad 0)$$

同样采用 1-5 比较法和德尔菲法确定因素的权重向量,  $U = (0.08 \quad 0.07 \quad 0.05 \quad 0.12 \quad 0.15 \\ 0.19 \quad 0.34)^T$ , 则该零部件的质量减分为

$$A_j U = -0.0592 + 0.0539 + 0.0375 + \\ 0.1776 + 0.1920 + 0.1558 + 0 = 0.5576$$

同理, 可以获得其他所有零部件和专业的质量减分, 在此不再赘述。结合质量物料清单, 再次采用 1-5 比较法和德尔菲法确定各零部件和专业的权重, 然后将各零部件和专业与其对应的权重相乘, 层层滚动加权, 可以获得  $Q_1$  的数值为 15.2419。  $Q_2$  与  $Q_1$  的计算方法一样, 可以得到  $Q_2$  的数值为 3.4682, 则  $Q = 100 - Q_1 - Q_2 = 81.2899 \approx 81.29$  分。

从评估结果看出, 该大型复杂航空产品的质量总分为 81.29 分, 制造过程质量减分为 15.2419, 试实验过程质量减分为 3.4682。质量总分在 80 分以上表明该产品整体质量较为优秀。

产品的竞争能力较强,制造过程质量减分较大表明企业还应相对进一步采取改进措施提高制造过程质量。

## 5 结 论

以大型复杂航空产品为对象,在建立质量评估体系的基础上,提出了大型复杂航空产品的质量评估模型。该模型不仅考虑了产品的制造过程质量,还考虑了产品的试实验过程质量,是一种动态的评估模型,能够客观地对大型复杂航空产品的质量做出适宜的评价。同时,在质量评估过程中,可以对产品的各不同因素对单件产品的影响程度进行具体的量化,从而为我国航空企业提高产品质量、采取质量改进措施等提供了决策依据。

## 参 考 文 献

- [1] Kulkarni M S, Babu A S. Managing quality in continuous casting process using product quality model and simulated annealing[J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2004, 166(2): 294- 306.
- [2] Lukas B A, Menon A. New product quality: intended and unintended consequences of new product development speed [J]. *Journal of Business Research*, 2004, 57(11): 1258- 1264.
- [3] Insch G S, McBride J B. The impact of country of origin cues on consumer perceptions of product quality: a binational test of the decomposed country-of origin construct [J]. *Journal of Business Research*, 2004, 57(3): 256- 265.
- [4] Neely A, Gregory M, Platts K. Performance measurement system design: a literature review and research agenda[J]. *International Journal of Operations & Production Management*, 1999, 16(4): 56- 74.
- [5] 毛景立, 梁工谦, 李鸣. 过程双向主观质量概念创立的原因分析[J]. *科研管理*, 2004, 25(4): 127- 133.  
Mao J L, Liang G Q, Li M. Ascertain the concept of subjective quality in the two way process [J]. *Scientific Research Management*, 2004, 25(4): 127- 133. (in Chinese)
- [6] 毛景立, 李鸣, 林健, 等. 军品采办过程双向主观质量的概念、认知机理及客观内涵的研究[J]. *科研管理*, 2002, 23(4): 70- 76.  
Mao J L, Li M, Lin J, et al. Research the concept of the procedure bi directional subjective quality, cognitive mechanism and object connotation in procurement of military products procedure [J]. *Scientific Research Management*, 2002, 23(4): 70- 76. (in Chinese)
- [7] Zhai L Y, Khoo L P, Fok S C. Feature extraction using rough set theory and genetic algorithms an application for the simplification of product quality evaluation [J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2002, 43(4): 661- 676.
- [8] Prybutok V R, Ramasesh R. An action research based instrument for monitoring continuous quality improvement [J]. *European Journal of Operational Research*, 2005, 166(2): 293- 309.
- [9] 黄定轩. 基于客观信息熵的多因素权重分配方法[J]. *系统工程理论方法应用*, 2003, 12(4): 321- 324.  
Huang D X. Means of weights allocation with multi factors based on impersonal message entropy [J]. *System Engineering—Theory Methodology Applications*, 2003, 12(4): 321- 324. (in Chinese)

### 作者简介:



赵嵩正(1961-) 男,山东莱州人,西北工业大学管理学院教授(博导)。1988年毕业于西北工业大学机械制造专业,1995年作为高级访问学者被派往荷兰 Delft 理工大学进修。1999年被评为博导,曾任《国际设备工程与管理杂志》主编,现为系统工程学科与管理科学与工程学科博士生导师,校管理学学术委员会

副主席,校专业技术职务评定委员会委员,信息管理与信息系统学科带头人,《国际工业工程》杂志编委。主要从事信息管理与信息系统、设备工程与管理、项目管理的研究工作。

殷茗(1978-) 女,江苏无锡人,西北工业大学管理学院,管理科学与工程博士研究生。研究方向为信息管理与信息系统、项目管理。

(责任编辑:李铁柏)