

# 基于层次分析法的制造资源分类评价技术研究

## Study on Evaluation of Manufacturing Resource Classification Based on AHP

西北工业大学机电学院 安丽 张振明 黄利江  
中航工业西安航空发动机(集团)有限公司 马光辉

**[摘要]** 在离散制造企业网络制造环境下,合理有效的制造资源分类管理有利于提高制造资源的利用率和优化制造资源配置。针对网络化制造环境下制造资源分类的特点,提出了一种基于层次分析法的制造资源分类评价方法。首先建立制造资源分类评价模型,确定模型中各评价指标,形成评价矩阵,然后进行规范化处理,采用专家打分和层次分析判断矩阵相结合对制造资源分类进行综合评价。最后以该方法对某企业制造资源的两种分类方式进行评估验证,选择了一种适用于该企业的分类方法,由此说明了该评估方法可行、有效。

**关键词:** 制造资源分类 层次分析法 综合评价

**[ABSTRACT]** The reasonable and effective classification management of manufacturing resources, helps to improve the utilization rate and optimization allocation of the manufacturing resources in the discrete manufacturing enterprise under the network manufacturing environment. According to the characteristics of networked manufacturing environment resource classification, an evaluation method of manufacturing resources classification based on analytic (AHP) is presented. First manufacturing resource classification and evaluation model is established, which forms the evaluation matrix, and then it is normalized. Secondly, the comprehensive evaluation comprehensive evaluation is used by combining the expert scoring and AHP judgment matrix. Finally evaluation of test is employed in the two manufacturing resource classification methods of an enterprise and a suitable method is chosen for this enterprise, which illustrates that the method is feasible and effective.

**Keywords:** Classification in manufacturing resource Analytic hierarchy process Comprehensive evaluation

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.15.109

为了加快制造业数字化、全球化和网络化的发展,加强企业对制造资源的合理高效配置,充分利用现有企业的制造资源,达到制造资源的企业共享,必须对制造

资源进行合理的分类,以满足工艺设计和生产对制造资源信息的需求。国内学者对此进行了大量的研究工作,取得了一些成果。文献[1]研究了网络化制造环境下的制造资源分类管理,通过分析网络化制造环境下的资源特点,指出资源分类对资源管理的作用并给出资源分类管理软件的基本研发框架。文献[2]是在网络化制造模式下,分析制造资源分类的必要性,提出4种分类方式,并阐述了对资源分类后的资源属性管理。文献[3]是针对分布在不同地域的制造资源评价和选择问题,在建立制造资源评价体系基础上,提出了一种基于层次分析法和熵值法的网络化制造资源组合评价方法。而这些研究只是阐述分类方法或选择制造资源的地理位置,而不同的企业在面临制造资源多种分类方法时,无法确定一种适合自己企业现状的分类方法。

通过分析制造资源分类的常用方法,提出一种基于企业现状的层次分析法对其进行评价分析研究,并通过算例分析验证该方法的可行性。

## 1 制造资源的分类描述

制造资源是企业中具有成本的财产或产品生命周期中所涉及的硬件及软件的抽象,包括广义的制造资源和狭义的制造资源<sup>[4]</sup>。广义的制造资源指企业在完成产品整个生命周期内所有生产活动的物理元素的总称,包括生产场地、生产设备、原材料、工艺技术、加工数据、信息、资金、人力资源和网络软硬件等,如图1。狭义的制造资源是指加工一个零件所需要的物理元素,是面向计算机制造系统、计算机辅助工艺设计、数控机床等系统所需要的底层制造资源,包括工装、标准件、材料和设备等。

制造资源分类就是把具有某种共同属性或特征的制造资源归并到一起,制造资源分类是制造资源管理的重要部分,而制造资源的分类多种多样,合理的分类才能将制造资源发挥更大的作用。目前,科学合理的分类方法有很多,而比较常用的分类方法主要有两种,如图2所示。一是按照制造资源的类型进行分类,这是一种标准统一的分类方法。它是在描述、表达和理解上具有一致性的制造资源归并到一起,使制造资

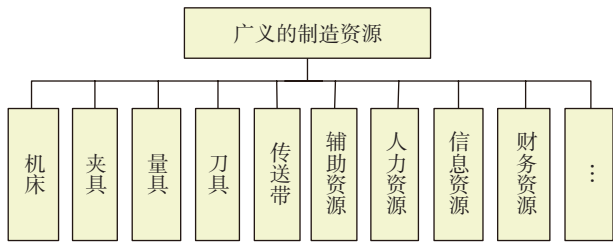
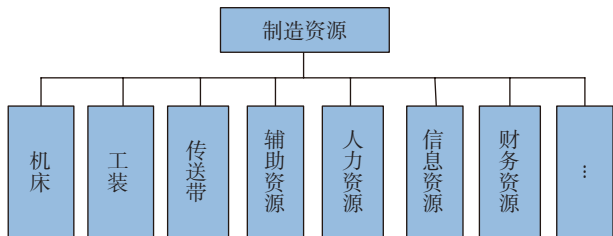
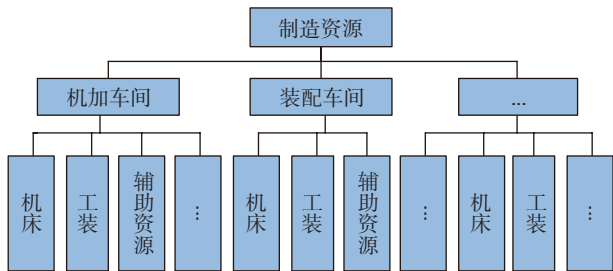


图1 广义制造资源构成

Fig.1 Constitution of generalized manufacturing resources



(a) 按类型划分



(b) 按车间划分

图2 制造资源的分类方法

Fig.2 Classification of manufacturing resources

源能够更便捷的查询和重用；另外一种分类方法是按照制造资源的地理位置进行分类，即按照车间进行分类，这种分类方法方便于车间管理和查询。而上述两种分类方法的优先权取决于企业的运营模式和制造资源的分布情况。对于不同的企业，适用的分类方法可能不同，只有根据企业自身的现状来进行综合考虑，评价出一种适用于本企业的分类方法，才能使得企业以较低的成本获得较高的利润。而制造资源的分类评价方法有很多，人工神经网络<sup>[5]</sup>、遗传算法<sup>[6]</sup>、层次分析法、熵值法等评价方法，不同的评价方法对于评价准则有所不同，所以在选择算法时，应对此进行考虑。

## 2 基于 AHP 的制造资源分类评价方法

由于客户对评价指标要求的多样性，采取层次分析法对制造资源分类方法进行评价，既通过数据分析，又能够满足决策者的主观愿望。其评价步骤如下：

(1) 制造资源分类评价模型的建立。设对制造资源分类方法有  $n$  个可行方案，对这  $n$  个方案进行评估，从而在多个方案中选择一种最优的制造资源分类方

法。而对于制造资源分类方法的评价主要是运用层次分析法对分类方案进行系统分析，将问题分解为不同的组成因素，并按照因素间的相互影响以及隶属关系将因素按照不同层次聚集组合，形成一个多层次的结构模型，如图 3 所示。并最终将系统分析归结为最低层（供决策的方案、措施等） $\{D_1, D_2, \dots, D_n\}$ ，中间层（预定总目标所涉及的准则及评价准则） $\{B_1, B_2, \dots, B_l\}$  和  $\{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ ，最高层（总目标） $A$ 。

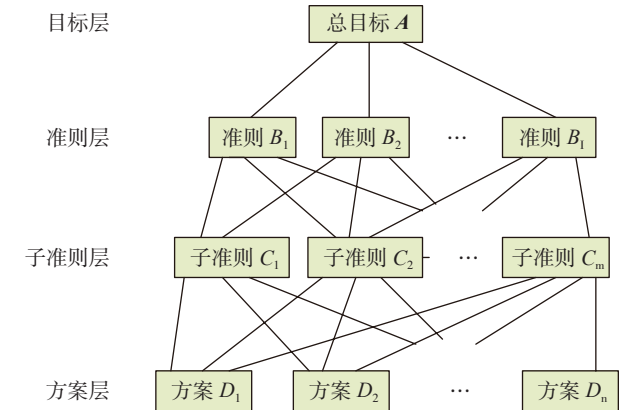


图3 制造资源分类评价模型

Fig.3 Evaluation model of manufacturing resources classification

(2) 评价模型中评价指标的专家评估。在制造资源分类评价模型中，评价指标即子准则所对应的准则层不唯一，在评价过程中的作用也不相同。评价指标值既有正向指标也有负向指标，对这些指标是采用专家打分的形式进行评价，把评价对象分为 5 个等级，各等级对应的评价范围的取值在 0~100 之间，如表 1。

表1 制造资源评价指标取值

很差	差	一般	好	很好
0~20	20~40	40~60	60~80	80~100

由于子准则层的评价指标具有不同的属性，使得它们对制造资源分类评价的作用趋向也不相同。为了消除评价指标的物理量纲对制造资源分类评价的影响，需要对评价矩阵  $A$  进行正规化处理<sup>[6]</sup>：

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{nm} \end{pmatrix}$$

· 正向指标规范化处理。

在制造资源分类评价指标中，正向指标值越大越好，用集合  $I_1$  表示，这种评价指标的规范化处理方法如下：

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\max(a_{ij})}, i \in n, j \in I_1 \quad (1)$$

· 负向指标规范化处理。负向指标值越小越好，用集合  $I_2$  表示，这种评价指标的规范化处理方法如下：

$$r_{ij} = \frac{\max(a_{ij})}{a_{ij}}, i \in n, j \in I_2 \quad (2)$$

· 定性指标的规范化处理。在评价指标中可能既有正向指标,又有负向指标。将专家打分的样本数据进行分别归类,然后按照公式(1)和公式(2)将分类指标各类样本数据进行规范化处理,样本数据矩阵  $A$  经过规范化处理后,得到规范化矩阵  $R = (r_{ij})_{n \times m}$ 。

(3) 基于层次分析法的评价权向量确定。根据上述所建立的层次模型,将各层的元素两两进行比较,构造出一级判断矩阵和二级判断矩阵,如表2和表3所示。其中,  $k=1, 2, \dots, l, p=1, 2, \dots, m$ 。根据层次分析法的标度及含义如表4,  $b_{ij}$  表示对于上一层次  $A_k$  而言,  $B_i$  对  $B_j$  相对重要性的数值体现,通常  $b_{ij}$  可取 1, 2, 3,  $\dots, 9$ , 以及他们的倒数。  $c_{ij}$  则表示对于上一层次  $B_k$  而言,  $C_i$  对  $C_j$  相对重要性的数值体现,通常  $c_{ij}$  可取 1, 2, 3,  $\dots, 9$ , 以及它们的倒数。

表2 一级判断矩阵

$A$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$\dots$	$B_n$
$B_1$	$b_{11}$	$b_{12}$	$b_{13}$	$\dots$	$b_{1n}$
$B_2$	$b_{21}$	$b_{22}$	$b_{23}$	$\dots$	$b_{2n}$
$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$
$B_l$	$b_{l1}$	$b_{l2}$	$b_{l3}$	$\dots$	$b_{ln}$
$A$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$\dots$	$B_n$

表3 二级判断矩阵

$B_k$	$C_1$	$C_2$	$\dots$	$C_p$
$C_1$	$c_{11}$	$c_{12}$	$\dots$	$c_{1p}$
$C_2$	$c_{21}$	$c_{22}$	$\dots$	$c_{2p}$
$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$
$C_p$	$c_{p1}$	$c_{p2}$	$\dots$	$c_{pp}$

表4 层次分析法的标度及含义

标度	含义
1	两个元素同样重要
3	一个元素比另一个元素稍微重要
5	一个元素比另一个元素明显重要
7	一个元素比另一个元素强烈重要
9	一个元素比另一个元素绝对重要
2, 4, 6, 8	两个相邻奇数标度的中值

根据判断矩阵采用方根法计算出一级特征向量<sup>[7]</sup>:

$$\omega_i = \bar{\omega}_i / \sum_{j=1}^i \bar{\omega}_i \quad (3)$$

其中,  $\bar{\omega}_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^i b_{ij}}$ ,  $i, j=1, 2, \dots, l$ , 则特征向量  $w_i = [w_1 w_2 \dots w_l]^T$  即为所求权重系数  $W^1$ 。其二级特征向量的求解方法同上得到  $W^2 = [W^{21} W^{22} \dots W^{2l}]$ 。

为检验判断矩阵的一致性,需要计算它的一致性指标  $CI$ :

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / n \quad (4)$$

式中,  $CI$  为一致性指标,  $n$  为矩阵阶数。  $CI$  越小,说明判断矩阵的一致性越大。由于一致性偏离有随机原因,因此需要检验判断矩阵是否具有满意的一致性,还需将  $CI$  值与平均随机一致指标  $RI$  相比较,随机一致性比例为:

$$CR = CI / RI \quad (5)$$

当  $CR < 0.10$  时,则认为判断矩阵具有满意的一致性,否则需要调节判断矩阵。根据计算得到的一级指标权重和二级指标权重,得到指标权重对目标层的综合权重:

$$W = W^2 W^1 \quad (6)$$

(4) 基于专家评估和判断矩阵的综合评价。

由公式

$$H = RW \quad (7)$$

得到层次分析法的评价权向量,而矩阵  $H$  中的因素  $h_i$  越大,则其对应的制造资源分类方法更加合理。

### 3 实例分析

#### 3.1 基于企业现状的分类评价模型建立

某航空企业为便于工艺设计对设备进行统一分类和管理,现在有按照类型  $D_1$  和按照车间  $D_2$  两种分类方法满足其工艺设计时设备查找和重用的需求,该企业要在两种分类方案中选择一种方案作为制造资源管理平台中的分类方法。根据该企业的生产管理现状和工艺设计对设备的查找、重用需求,制造资源分类评价的一级指标有查找敏捷性  $B_1$ 、重用便捷性  $B_2$ 、管理合理性  $B_3$  所组成,二级评价指标由查询方式  $C_1$ 、查找时间  $C_2$  等 11 项评价指标组成,如图 4 所示。

#### 3.2 制造资源分类的专家评估样本

按照所建立的制造资源评价分析模型和表 1 所示的评价等级,通过多位专家打分,将每个评价指标的专家打分数据进行平均,得到的平均样本数据如表 5 所示,由此得到评价矩阵  $A = (a_{ij})_{2 \times 11}$ ,  $i=1, 2, j=1, 2, \dots, 11$ 。

#### 3.3 层次分析法评价权向量的确定

根据层次分析法的标度及含义,如表 4,通过专家对各因素的权重进行两两比较,得出一二级评价指标的判断矩阵,分别如表 6~9 所示。

(1) 一级权重计算。根据公式(3),求得一级

指标对目标层的权重向量  $W^1=[0.556954,0.33307,0.09739]$ , 制造资源一级判断矩阵为三阶矩阵, 根据公式(4)和公式(5), 计算一级指标的一致性比例为

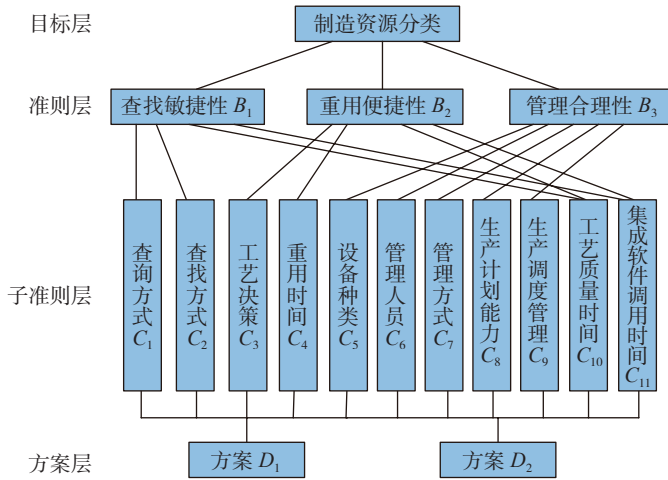


图4 某航空企业的制造资源分类评价模型

Fig.4 Evaluation model of manufacturing resources classification in some aviation enterprise

表5 制造资源分类专家评估样本数据

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$	$C_{10}$	$C_{11}$
方案 $D_1$	90	90	90	70	90	70	60	80	80	90	70
方案 $D_2$	80	85	80	60	60	80	90	80	80	80	60

表6 一级指标A判断矩阵

A	$B_1$	$B_2$	$B_3$
$B_1$	1	2	5
$B_2$	1/2	1	4
$B_3$	1/5	1/4	1

表7 二级指标 $B_1$ 判断矩阵

$B_1$	$C_1$	$C_2$	$C_{10}$	$C_{11}$
$C_1$	1	1/5	1/4	1/6
$C_2$	5	1	2	1/3
$C_{10}$	4	1/2	1	1/2
$C_{11}$	6	3	2	1

表8 二级指标 $B_2$ 判断矩阵

$B_2$	$C_3$	$C_4$	$C_{10}$	$C_{11}$
$C_3$	1	2	3	2
$C_4$	1/2	1	2	3
$C_{10}$	1/3	1/2	1	1/2
$C_{11}$	1/2	1/3	2	1

表9 二级指标 $B_3$ 判断矩阵

$B_3$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$
$C_5$	1	3	1/5	1/4	1/3
$C_6$	1/3	1	1/3	1/4	1/3
$C_7$	5	3	1	1/4	1/3
$C_8$	4	4	4	1	1/2
$C_9$	3	3	3	2	1

$CR^1=0.00573$ , 满足一致性判断条件, 表明一级判断矩阵具有满意的一致性。

(2) 二级权重计算。同理, 经过计算可得到各二级指标分别对一级指标的权重向量, 而且都满足一致性判断条件。

(3) 综合权重计算。根据上述计算得到的一级指标权重和二级指标权重, 由公式(6)可以得到二级指标权重对目标层的综合权重  $W=[0.03372, 0.15081, 0.13855, 0.09797, 0.00862, 0.00615, 0.01640, 0.03138, 0.03484, 0.15161, 0.32996]$ 。由公式(7)得到层次分析法的评价权向量为  $H=[0.89, 0.802]$ 。

### 3.4 评价结果分析

根据上述层次分析评价方法, 得到两种方案的评价结果为  $D_1 > D_2$ , 因此对于该企业目前的现状, 使用按照类型的制造资源划分方法更加合理。

目前, 该企业所采取的制造资源分类方法正是按照类型的制造资源划分方法, 与上述制造资源分类的评价结果完全符合, 证实了该评价方法的有效性。基于层次分析法的制造资源分类方法是一种主观的评价方法, 主要通过专家咨询综合确定评价指标权重, 体现了评价指标的价值量。

### 参考文献

- [1] 叶天勇, 严隽薇, 凌卫青. 网络化制造环境下的资源分类管理研究. 制造业自动化, 2004(7):1-3,12.
- [2] 赖成瑜, 王坚, 凌卫青. 网络化制造环境下的制造资源分类方法研究. 武汉科技大学学报: 自然科学版, 2006(2):44-46.
- [3] 李慧林, 殷国富, 谢庆生, 等. 面向网络化制造的制造资源组合评价方法研究. 计算机集成制造系统, 2008(5):955-961.
- [4] 赵昌龙, 关雪松. 基于特征的制造资源分类方法的研究. 组合机床与自动化加工技术, 2013(4):40-50,53.
- [5] Fu J Z, Zhang Y L. Resource selection and optimization in manu-facturing grid based on genetic algorithm. Journal of Chinese Computer Systems, 2007, 28(4): 674-677.
- [6] Xu Z S. Uncertain multiple attribute decision making methods and applications. Beijing: Tsinghua University Press, 2004: 18-22.
- [7] 郭金玉, 张忠斌, 孙庆云. 层次分析法的研究和应用. 中国安全科学学报, 2008(5):148-153.

(责编 叶枫)