

# 制造车间生产能力的影响因素研究

甄文冬, 陈进

(江南大学机械工程学院, 江苏无锡 214122)

**摘要:**为了有效地研究制造车间生产能力的状况,课题组分别提出了基于单因素方差分析和 Logistic 回归模型的车间产能影响因素分析方法。将统计学方法与实际生产制造相结合,不仅对实际生产可能存在的影响因素进行显著性检验,而且能够根据逐步分层回归分析的结果对影响因素的贡献能力进行排序。结果对比表明分析出的因素符合车间生产实际情况。该研究对提高车间生产能力具有实际意义。

**关键词:**生产能力;影响因素;单因素方差分析;Logistic 回归模型

中图分类号:TH186 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2020)02-0099-05

## Analysis on Influencing Factors of Manufacturing Workshop

ZHEN Wendong, CHEN Jin

(School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

**Abstract:** In order to study the production capacity of manufacturing workshop effectively, one-way analysis of variance and Logistic regression model were proposed for analyzing the influences of production capacity. Combining statistical methods with actual production not only test the significance of influences in actual production, but also rank the contribution ability of influences according to the results of stepwise stratified regression analysis. The results show that the analysis of influences is reasonable, and the research has more practical meaning to improve the workshop production capacity.

**Keywords:** production capacity; influences; one-way analysis of variance; logistic regression model

根据生产过程和工艺流程总结出来的变量并不能确定制造车间产能的影响因素,还需要进一步通过统计学方法分析因素的显著性和影响能力,表现出数据的科学性,避免造成产能预估出现较大的误差。

孙玮聪<sup>[1]</sup>利用 SPSS 统计分析软件对财政收入的 影响因素进行了分析,采用了回归分析的方法找出主要影响因素。李爽境等<sup>[2]</sup>研究代谢综合征的影响因素分析中,以凉山地区人群资料为案例,分别采用了决策树模型和 Logistic 回归模型对代谢综合征的影响因素对比分析,结论表明两种研究方法对于影响因素分析都具有较大意义。徐亚涛<sup>[3]</sup>在研究中国儿童青少年身体发育状况及其影响因素时,通过对变量进行设置和划分,对儿童青少年体格发育影响因素采取了多元线性回归分析的方法。还有些学者采用了灰色关联

分析法、结构方程模型、信息熵等方法对不同领域影响因素进行研究<sup>[4-7]</sup>。课题组主要研究制造车间产能影响因素,目前采用统计学方法对车间生产能力进行分析的学者相对较少,多是通过实际生产情况研究,所以本文研究内容具有一定的参考价值。

### 1 数据来源与分析方法

#### 1.1 数据来源

本研究数据来源于一家精密零件加工制造企业。该企业主要从事精密零件的制造,所以零件的加工工艺要求较高。本课题采用案例企业 2014 年至今的部分产品数据进行数据分析,主要数据包括历史产能以及影响产能的因素。

课题组根据相关因素进行了具体数据收集以及数据清洗,详情如下:

收稿日期:2019-09-22;修回日期:2019-11-22

第一作者简介:甄文冬(1993),男,江苏徐州人,硕士研究生,主要研究方向为管理信息系统及企业信息化。E-mail: zwd845933188@163.com

### 1) 数据获取

工人数量、设备可用时间、设备可用数量、设备效率、标准工时及产能等变量,可从车间生产计划表、设备工作表和工艺表等相关数据表中直接查询或者间接计算获取。

### 2) 变量赋值

变量有部分无法量化,因此需要对这部分变量进行赋值处理,具体赋值如表1所示。

表1 变量赋值表  
Table 1 Variable assignment table

| 名称      | 变量赋值 |      |      |     |
|---------|------|------|------|-----|
|         | 1    | 2    | 3    | 4   |
| 员工操作熟练度 | 熟练   | 基本熟练 | 不熟练  |     |
| 产品加工难易度 | 困难   | 中等   | 容易   |     |
| 产品优先级   | 非常紧急 | 比较紧急 | 一般紧急 | 不紧急 |
| 备料是否充足  | 充足   | 不足   |      |     |
| 是否淡季    | 淡季   | 旺季   |      |     |

## 1.2 单因素方差统计

单因素方差分析<sup>[8-9]</sup>是仅仅考虑一个因子对数据结果有无显著性影响的方差分析,当因变量是数值型因变量时,利用该因子对因变量数值误差的分析来检验这种影响是否显著。数据误差又会分解为总体误差、由自变量数值差异造成的误差以及随机因素造成的误差,后2种误差又称为组间误差和组内误差。单因素方差分析的重点就是组间离差平方和与组内离差平方和的比值。

单因素方差的数学模型为<sup>[10]</sup>

$$Y(ij) = \mu(i) + \varepsilon(ij) \quad (1)$$

式中: $Y(ij)$ 表示第*i*个因子中的第*j*个观测值, $i=1,2,\dots,n,j=1,2,\dots,l$ ; $\mu(i)$ 表示第*i*个因子的平均值; $\varepsilon(ij)$ 表示第*i*个因子中的第*j*个观测值的随机误差。

通过SPSS统计分析软件对产能变量进行检验分析,以产能数据为因变量,以影响车间产能的因素为自变量,判断*P*值(显著性)是否小于 $\alpha$ (统计学显著标准为0.05),若满足该条件则表明变量具有显著性差异。

## 1.3 Logistic 回归模型

Logistic 回归模型主要是处理分类型的因变量,当因变量结果*Y*是分为几种不同的情况时,该模型能够预测结果与影响因子*X*的关系,尤其是当多种因素对因变量产生影响时,回归模型可以分析出各个因素的影响程度。Logistic 回归模型适合研究多因素同时对

因变量产生影响的情况,当样本数量过小时也适合采用该模型。

Logistic 回归模型的数学模型为<sup>[11]</sup>

$$\text{Logit}(Y) = \beta_0 + \beta_1 \times X_1 + \beta_2 \times X_2 + \dots + \beta_m \times X_m \quad (2)$$

式中: $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_m$ 分别代表每个因素发生时产能饱和的概率; $X_1, X_2, \dots, X_m$ 分别代表影响因变量*Y*的因素。

Logistic 回归分析模型不仅可以对因素的显著性进行检验,还可以通过逐层分析的方法对因素的影响能力进行比较。显著性检验方法同单因素方差分析一样判断*P*值是否小于0.05,影响能力的比较主要是根据方差对比所得。

## 2 生产制造产能因素分析

由上文数据来源可知,本文研究生产能力的影响因素是基于精密加工企业的车间生产,基于上述收集的实际数据,本节将分别用单因素方差分析法和Logistic 回归分析检验因素的显著性和贡献度。

### 2.1 不同因素对产能的影响

#### 2.1.1 工人不同情况下对产能影响分析

1) 工人数量。工人数量对产能的影响是最直接的,产能会随着工人数量的变化呈正比变化,工人越多,生产能力越大。

2) 加工人员操作熟练度。车间加工工人的操作熟练程度不同,生产效率也就不同,从而影响产品的产量。

#### 2.1.2 设备不同情况下对产能影响分析

设备可使用情况。设备和工人数量对于产能的影响效果相似,当车间运行设备越多,说明生产任务越多,产能也就越多。当然不能仅仅考虑到设备数量的影响,设备可用时间、工作效率和设备利用率都是影响生产的重要因素。

1) 设备可供使用数量。对于案例企业生产车间而言,首先要排除掉因维修保养之类的原因无法正常生产的设备,另外,当预测某一阶段的产量时,或许会有其他订单正在使用设备,意味着设备处于忙碌状态,因此只有当设备处于空闲状态可以提供产品使用时才算作设备正常工作数量。

2) 设备使用时间。设备使用时间的长短和生产能力呈正比关系,在工艺复杂度差异较小的情况下,设备使用越久,表明加工零件数量越多;如果工艺相差较大,说明理论工时差别较大,较为复杂的工艺品种生产速度变慢,加工一定数量零件使用设备时间更久,而相

对简单的工艺加工速度较快,相同加工时间内加工数量更多。设备使用时间越短,说明加工中心设备无法开机或者正在加工其他订单。

3) 设备利用率。设备利用率能够准确反映出车间设备的使用情况,包括是否浪费车间资源或者过度使用设备等。案例企业车间加工中心每天正常工作时间为8小时;设备的实际使用时间即工人加工零件时的开关机时间之差。设备的利用率是设备开机时间与最大使用时间之比。计算公式为

$$M_s = \frac{\sum_{k=1}^n \frac{T_f}{T_{\max}}}{n} = \frac{\sum_{k=1}^n \frac{T_g - T_0}{8}}{n} \quad (3)$$

式中: $M_s$ 表示设备利用率, $n$ 表示设备使用数量, $k=1,2,\dots,n$ 表示设备编号, $T_f$ 表示设备实际工作时间, $T_{\max}$ 表示设备最大工作时间, $T_g$ 表示设备关机时间, $T_0$ 表示设备开机时间。

4) 设备效率。设备效率是在指定时间内的实际产量与理论产量的比值,也可以用设备理论时间与实际加工时间比值衡量,主要反映出设备生产中实际能力与理论能力的对比。案例企业加工中心的设备效率由设备理论工时与设备实际加工时间之比计算得出,具体公式为

$$M_g = \frac{\sum_{k=1}^n \frac{T_l}{T_f}}{n} \quad (4)$$

式中: $M_g$ 表示设备效率, $n$ 表示设备使用数量, $k=1,2,\dots,l,\dots,n$ 表示设备编号, $T_f$ 表示设备实际工作时间, $T_l$ 表示设备理论工时。

### 2.1.3 备料不同情况下对产能影响分析

备料,即生产车间所需原材料剩余情况。原材料剩余量对于产能的影响是至关重要的,如果原材料不足,则会导致生产停滞,给公司直接造成巨大的利益损失。因此在订单下发生生产之前要先进行一次原材料评审,确保加工过程中原材料充足。

### 2.1.4 加工过程不同情况下对产能影响分析

1) 工时,即完成生产工艺的标准时间。工时是工艺相当重要的一环,在不考虑工艺路线的情况下,工时在一定程度上会对生产起到决定性作用。工时的制定对于安排工人生产来说是必要的,否则我们无法对企业的最大产能标准进行测定,假如增加了人员和设备,没有工时也无法对生产能力进行预测<sup>[12]</sup>。

2) 加工批次。分批越多,说明生产过程中各个工段生产速度越快,流转也就越快,产品加工量就会增

加;生产批次越少,时间都会堆积在前面的工序中,后面的生产资源白白浪费,在客户交货期前的产能也会减少。但是,如果批次过多也会导致浪费人力资源和设备资源。

3) 优先级,即订单生产的紧急程度。生产订单都有轻重缓急,本文按照订单最终交期和下单日期之差以及交货数量作为依据把优先级分为4个等级,分别为1,2,3和4,这4个等级依次代表订单从最缓到最紧急的程度。

4) 产品加工难易度。产品的尺寸、截面高度以及特殊要求不同都会对生产加工产生不同的影响,产品要求越多,加工难度越大。产品加工复杂情况和理论工时共同决定了生产速度的快慢,因此产品加工难易度也是影响车间生产效率的重要因素。

### 2.1.5 季节性因素不同情况下对产能影响分析

季节性因素,主要分为订单淡季和旺季,也可称作市场因素。由于案例企业加工件为汽车尾气零部件,所以一般秋冬季需求量较大。在订单淡季时,订单量大大减少,从而产能也会受到影响。

## 2.2 单因素方差分析

根据车间实际生产数据进行单因素方差分析,结果如表2所示。只有工人操作熟练度和备料的 $P > 0.05$ ,也就表示这2个因素对车间产能不具有显著性影响,其余的因素都具有显著性差异,可以作为产能的影响因素进行研究。表2中 $D_f$ 表示样本自由度; $F$ 表示方差分析求出的统计比例,是因子均方差与误差均方差的比值,也可以作为判断显著性标准。

表2 产能因素单因素方差分析

Table 2 One-way analysis of variance of productivity factor

| 变量     | 平方和                   | $D_f$ | 均方                    | $F$   | $P$   |
|--------|-----------------------|-------|-----------------------|-------|-------|
| 工人数量   | 13 982                | 549   | 25.46                 | 1.847 | 0.001 |
| 熟练操作度  | 267                   | 549   | 0.48                  | 0.956 | 0.645 |
| 设备可用数量 | 2 114                 | 549   | 3.85                  | 1.255 | 0.048 |
| 设备效率   | $2.36 \times 10^5$    | 549   | 429.90                | 1.632 | 0.000 |
| 设备利用率  | 71 337                | 549   | 129.93                | 1.560 | 0.001 |
| 设备使用时间 | $8.60 \times 10^{10}$ | 549   | $1.56 \times 10^{10}$ | 1.314 | 0.020 |
| 库存情况   | 58                    | 549   | 0.11                  | 0.969 | 0.608 |
| 理论总工时  | $6.34 \times 10^{10}$ | 549   | $1.15 \times 10^8$    | 1.582 | 0.002 |
| 加工难易度  | 324                   | 549   | 0.59                  | 1.678 | 0.010 |
| 加工批次   | $1.95 \times 10^6$    | 549   | 3 552.99              | 2.129 | 0.001 |
| 产品优先级  | 30                    | 549   | 0.06                  | 3.011 | 0.000 |
| 市场因素   | 161                   | 549   | 0.29                  | 3.130 | 0.002 |

### 2.3 Logistic 回归分析

当多因素对制造车间产能产生影响时,单因素方差统计无法判断因素之间的影响程度,所以采用 Logistic 回归模型对多因素进行分析。

#### 2.3.1 因变量产能分类

首先将因变量产能进行分类,分为生产能力满足需求和不能满足需求 2 种情况,将需求量设定为 1 800 件为界限,当产量大于等于需求量时表明生产饱和,对其赋值为“1”;当产量小于订单需求时,对其赋值为“0”。

表 3 产能影响因素分层 Logistic 回归分析

Table 3 Stratified Logistic regression analysis of production capability influences

| 类别         |       | 第 1 层   |       | 第 2 层   |       | 第 3 层   |       | 第 4 层   |       |
|------------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
|            |       | $\beta$ | $P$   | $\beta$ | $P$   | $\beta$ | $P$   | $\beta$ | $P$   |
| 工人因素       | 人数    | 0.176   | 0.000 | 0.206   | 0.000 | 0.189   | 0.000 | 0.126   | 0.002 |
|            | 操作熟练度 | -0.391  | 0.120 | -0.599  | 0.000 | -0.462  | 0.019 | 0.326   | 0.150 |
| 设备因素       | 数量    |         |       | 0.185   | 0.000 | 0.342   | 0.000 | 0.511   | 0.000 |
|            | 效率    |         |       | 0.212   | 0.000 | 0.115   | 0.010 | -0.027  | 0.026 |
|            | 利用率   |         |       | -0.369  | 0.000 | -0.199  | 0.014 | 0.073   | 0.009 |
|            | 可用时间  |         |       | 0.000   | 0.001 | 0.000   | 0.009 | 0.000   | 0.024 |
| 加工过程       | 难易程度  |         |       |         |       | 0.239   | 0.599 | 0.611   | 0.017 |
|            | 理论工时  |         |       |         |       | 0.000   | 0.036 | 0.000   | 0.047 |
|            | 批次    |         |       |         |       | -0.030  | 0.000 | -0.023  | 0.000 |
|            | 优先级   |         |       |         |       | 7.464   | 0.000 | 9.075   | 0.000 |
| 市场         | 是否淡季  |         |       |         |       |         |       | 4.050   | 0.000 |
| $R^2_{CS}$ |       | 0.158   |       | 0.221   |       | 0.543   |       | 0.618   |       |
| $R^2_{Na}$ |       | 0.211   |       | 0.294   |       | 0.725   |       | 0.824   |       |

从表 3 可以看出,在 Logistic 回归分析中第 1 层仅对工人因素进行分析时,工人操作熟练度的  $P > 0.05$ ,表示该因素不显著,从而验证了单因素方差分析检验的显著性结果。另外,第 1 层对工人因素分析的  $R^2_{Na}$  是 21.1%,第 2 层加入了设备因素  $R^2_{Na}$  达到了 29.4%,说明设备因素所占方差为 8.3%;第 3 层加入了加工过程中的一系列因素,  $R^2_{Na}$  增加到 72.5%,表示加工过程中的因素帮助模型增加了 43.1% 的方差;最后一层所增加的方差比例为市场因素引起的,表示市场因素占比 9.9%。显然,4 个大类因素对产能影响的重要程度由小到大依次是设备因素、市场因素、工人因素和加工过程因素,这也反映了加工过程是车间生产最重要的一环。

#### 2.4 结果对比分析

采用单因素方差分析法和 Logistic 回归分析 2 种方法分别对零部件制造车间生产能力的影响因素进行了深入研究,前者检验了所有因素对产能的显著性,结果表明工人操作熟练度和备料情况不具有显著性影响;后者在单因素方差分析结果的基础上不仅检验了

#### 2.3.2 多因素回归分析结果

对影响因素逐层分析是本文研究的创新点, Logistic 回归模型一般是对因素进行显著性检验和正确率预测,但是笔者借助协变量的导入,把影响因素分为了设备、工人、加工过程和市场因素 4 层,然后对每层因素进行方差比较决定贡献度排序。表 3 中  $\beta$  值是回归方程系数,主要反映不同因素下结果发生的概率;  $R^2_{CS}$  和  $R^2_{Na}$  表示伪决定系数,解释了因变量变化占因变量总变化的比例。

因素的显著性,而且采用了逐层分析的方法对因素进行归类处理,比较了不同因素对于产能的贡献值大小。

### 3 结论

综上所述,课题组通过单因素方差分析对自变量进行了筛选,然后再用 Logistic 回归分析对影响因素进行贡献度对比,最终分析结果表明工人数量、设备可供使用数量、设备可用时间、设备效率、设备利用率、产品优先级、理论工时、加工批次、产品加工难易度和是否淡季都对车间产能具有显著性影响,可以作为车间产能影响因素进行研究;而工人操作熟练度和备料情况这 2 种因素不具有显著性,因此这 2 种因素不能作为车间的产能影响因素。

然而还有因素未纳入到本文的分析范围里,比如数控技术、自动化程序准备难易程度等重要因素,所以文中所考虑因素并不全面。确定了产能影响因素以后,可以进一步分析生产能力的大小,从而为排产提供数据依据,这也解决了制造企业排产难、效率低的一大难题。

(下转第 107 页)