

# 基于典型工艺特征的线束制造标准工时模型研究

李彦铠

航空工业成都飞机工业(集团)有限责任公司 四川 成都 621000

**摘要:** 本文提出了一种基于线束产品典型工艺特性为基础, 建立以影响线束加工周期的关键工艺参数为自变量, 线束加工周期为因变量的统计回归模型。该模型通过广义回归原理, 可推断统计线束产品加工标准时长, 现已成功应用于线束产品制造标准工时管理。

**关键词:** 工时定额; 回归分析; 线束; 标准工时模型

## Research on Standard Working Hours Model for Wire Harness Manufacturing Based on Typical Process Features

Li Yankai

Aviation Industry Chengdu Aircraft Industry (Group) Co., Ltd. Chengdu, Sichuan 621000

**Abstract:** This paper puts forward a statistical regression model based on the typical process characteristics of wire harness products, in which the key process parameters affecting the wire harness processing cycle are independent variables and the wire harness processing cycle is dependent variables. The model can infer and count the standard working hours of wire harness products through generalized regression principle, and has been successfully applied to the standard working hours management of wire harness products manufacturing.

**Keywords:** man-hour quota; Regression analysis; Wire harness; Standard working hour model

### 引言

标准时间自诞生至今一百多年, 经多位IE专家学者的开发改进以及一些知名企业的实践迭代优化, 诞生了秒表测时法、预定动作时间标准法(MTM、MTM-2、MODAPTS、RWF等系统)、综合数据法(SD)、工作抽样法(WS)等国际通用标准方法。工时定额制定方法主要分为经验估工法、统计分析法、类推比较法、工时测定法、分析计算法。线束制造专业是制造系统的核心专业, 线束制造工艺要求高, 制造过程涉及成品种类、数量繁杂, 线束加工均为手工操作, 因此加工时长现场数据采集难度较大。本文提出围绕线束加工特性, 建立影响线束产品加工周期的关键工艺参数类型, 结合统计学原理, 将广义回归模型应用于线束产品标准工时模型研究中。

### 1 工时定额

1.1 工时定额一是指在一定的生产技术组织条件下, 采用科学合理方法, 对生产单位合格产品或完成一定工作任务的工时消耗预先规定的限额<sup>[1]</sup>。

1.2 标准工时一是指假定生产技术组织条件均在标准状态, 操作者、作业条件和环境、作业速度和作业程序和方法, 均达到了作业标准化管理, 这种状态下制定的工时定额

水平<sup>[1]</sup>。

### 2 工时定额的影响因素

工时定额的影响因素主要是生产、技术组织条件, 一是与被加工产品的尺寸; 工艺参数数量、类型; 工件的加工精度, 表面粗糙度和形状位置精度; 工件加工材料的性能等。二是与操作者自身的因素有关, 例如操作者的生理素质和技术熟练程度; 操作者的劳动态度。三是与工作地布置和工作地空间环境有关, 例如物料和工具摆放是否整齐, 拿取是否方便; 操作过程中操作者步行距离尽量短, 弯腰下蹲尽量少; 与工作地空间环境大小等。

### 3 标准工时的制定方法

分析计算法是指在合理的工艺和工作地组织的基础上, 利用合理的现场实作时长标准和影响加工周期的各种关键的、可量化的工艺参数, 通过分析计算工时定额的方法。其中, 回归分析法是指通过规定因变量和自变量之间的因果关系, 建立回归模型, 并根据实操数据来求解模型的各个参数, 然后评价回归模型是否能够很好的拟合实测数据。回归分析按照因变量的多少可分为单回归分析和广义回归分析。

### 4 线束专业标准工时制定

线束产品制造属于手工作业, 线束产品的加工周期受产



品本身的尺寸、成品数量、工艺参数类型、数量、操作者的能力水平等因素影响,结合线束相关特性,特选用分析计算法中的广义回归分析法制定线束制造标准工时,主要体现在以下几方面:

#### 4.1 选定产品类型

基于线束产品上的使用范围及加工特性,线束产品主要分为以下类型,具体如表1所示。

表1: 线束类型分解表

序号	类型
1	压接
2	压接+同轴压接
3	压接+高频头焊接
4	常温焊接
5	低温焊接+压接

#### 4.2 关键工艺参数

线束产品加工按照相关工艺规范、FO、端子表的要求,将多项不同牌号、不同类型的电子元器件经过布线、端接、焊接等复杂加工过程由操作人员手工装配形成。根据加工过程的特点,将线束加工过程划分为划线专业和端接专业,各专业工序操作主要内容详见表2。

影响线束产品加工周期的关键工艺参数选型过程经过线束专业设计骨干人员、工艺技术骨干人员、操作技能人员、中心IE工程师、工时定额专业人员头脑风暴,多轮优化迭代,最终统计分析得出。具体如表2所示:

表2: 线束产品关键工艺参数

专业名称	工序名称	关键工艺参数1	关键工艺参数2
划线专业	图纸、样板台、物料准备	销钉数量	死接头数量
	布线	导线总长度	剪线次数
	端子核查	导线根数	
	绑扎	分支/主干总长度	
	.....	.....	.....
端接专业	电连接器配套	连接器数量	
	标准件配套	标准件数量	
	焊接	连接器类型	导线根数
	热缩标套	标套数量	
	插头定力	连接器数量	
	红漆标识	红漆个数	
	打保险	后附件数量	
	.....	.....	.....

#### 4.3 操作者能力水平

按照工时定额专业管理要求,标准工时水平是大多数生产工人的平均水平。结合线束制造专业现场操作人员技能等级现状,中级工人数占比大于50%,特选定中级工群体为样本。

#### 4.4 其他

影响线束制造周期长短还有其他例如线束制造环境、操作者身体状态、物料配套率等。本模型研究均按照以上因素

标准水平状态下进行。

### 5 数据采集

#### 5.1 现场实作时长

数据采集应用作业测定法统计线束产品现场加工时长,根据数据获取的方式,一般可归纳为直接测定法和间接测定法。

直接测定法是指在作业现场进行观察和制定,直接取得工时资料,制定工序时间定额的方法。

间接测定法不是从作业现场直接获得数据定额,而是利用间接工时资料进行测定和制定定额。

线束加工时长数据采用直接测定法进行数据获取。根据线束加工工艺要求,结合FO加工流程,固化划线专业和端接专业加工流程,并制定标准化的数据统计模板。

##### 5.1.1 划线专业

划线专业主要由图纸、样板台准备等21个工序组成,结合操作工序流程,参照(表3)对选取的典型线束进行数据采集,每个线束采集次数大 $\geq 3$ 次,将所有采集的有效数据作为端接专业现场加工时长的统计样本。

表3: 划线专业现场操作时长统计表

线束名称	工序名称	加工时长 (min)	操作者技能等级
A线束	图纸、样板台准备	10	中级工
	布线	90	
	端子核查	20	
	绑扎	40	
	.....	.....	
B线束	图纸、样板台准备	8	中级工
	布线	95	
	烘箱加热	-	
	套黄标签	20	
	.....	.....	

##### 5.1.2 端接专业

端接专业主要由电连接器配套等20个工序组成,结合操作工序流程,参照(表4)对选取的典型线束进行现场数据采集,每个线束采集次数大 $\geq 3$ 次,将所有采集的有效数据作为端接专业现场加工时长的统计样本。

表4: 端接专业现场操作时长统计表

线束名称	工序名称	加工时长 (min)	操作者姓名	操作者技能等级
A线束	电连接器配套	115	赵某某	中级工
	热缩标签	30		
	压接	948		
	.....	.....		
B线束	电连接器配套	110	赵某某	中级工
	热缩标签	30		
	压接	952		
	.....	.....		

## 5.2 工艺参数采集

线束制造标准工时模型涉及关键工艺参数共计19种, 基于线束产品数量多、人工采集需消耗大量的人工成本。团队应用数字化平台建立工艺参数采集插件。

工艺参数来源分为EVT2023插件、CATIA产品数模、线束制造FO三种。以各项工艺参数采集计算方法为基础(见表5), 编制完成线束制造参数采集插件流程, 建立【工艺信息导入模块】【数据核算】【工艺参数导出模块】。高效完成线束划线专业、线束端接专业工艺参数统计。

表5: 线束制造工艺参数计算方法

序号	工艺参数名称	参数计算方法	数据来源
1	导线根数	在【EVT2023】插件中生成【接线表】, 对【接线表】中【线号】唯一项进行【计数】	EVT插件2023
2	导线总长度	在【EVT2023】插件中生成【明细表】, 对【明细表】中【电线】和【电缆】的【数量】进行【求和】	EVT插件2023
3	.....	.....	.....

## 6 模型建立

### 6.1 回归模型检验

回归预测模型是否可以用于实际预测, 取决于对回归预测模型的检验和对预测误差的计算<sup>[3]</sup>。回归方程只有通过各种检验, 且预测误差较小, 才能将回归方程作为预测模型进行预测。

决定系数 $R^2$ 也称为拟合优度或者判定系数, 可以测度回归模型对样本数据的拟合程度。决定系数是回归模型所能解释的因变量站因变量总变化的比例, 取值范围在0到1之间。决定系数越高, 模型的拟合效果就越好, 即模型解释因变量的能力越强, 反之, 模型解释因变量的能力越弱<sup>[3]</sup>。

### 6.2 回归系数的显著性检验

在大样本假定的条件下, 回归系数的最小二乘法估计量 $\beta_0$ 和 $\beta_1$ 渐近服从正态分布, 可以用t检验法验证自变量X对Y是否有显著影响。t检验法的原理是反证法, 在原假设 $\beta_1=0$ (自变量X对因变量Y没有影响)正确的假定下, 基于 $\beta_1$ 的抽样分布计算一次抽样的情况下得到该样本或更极端样本的概率(P值), 如果 $P < 0.05$ , 则可以在0.05的显著水平下拒绝原假设, 认为自变量X对Y由显著影响, 即 $\beta_1 \neq 0$ 。常见的统计分析软件拟合回归模型室都会给出t检验的P值, 可直接比较P值和显著性水平(经常取0.05), 来判断回归模型的自变量对因变量是否有显著影响<sup>[2]</sup>。

广义回归模型在实际应用中, 随着自变量个数的增加, 及时在有些自变量与因变量完全不相关的情况下, 决定系数 $R^2$ 也会增大。为避免因增加自变量个数而高估拟合效果的情况, 多元回归模型一般使用修正了自由度后的调整后 $R^2$ 。调整后 $R^2$ 考虑了自变量个数增加带来的影响, 在数值上小于

$R^2$ 。因此调整后的 $R^2$ 更能反映多元回归模型中自变量X对因变量的影响程度<sup>[3]</sup>。

线束产品标准工时模型应用广义回归原理, 应用MINITAB数据分析软件建立多元回归方程, 以下是划线专业标准工时模型和端接专业标准工时模型。

### 6.3 划线专业标准工时模型

基于选取的线束产品划线专业160项关键工艺参数统计样本为自变量, 现场加工时长为因变量, 建立模型。

#### 6.3.1 模型结构

$$T_{\text{划线}} = 212.8 + 1.06 B_z - 0.59 D_g + 0.13 D_c + 5.88 D_s + 2.73 H_s + 7.30 H_d + 0.08 H_c + 2.33 P_x + 4.37 P_y + 8.79 S_j - 4.61 S_y + 4.93 T_j - 5.75 Z_b$$

其中, 工艺参数代码解析如下:

$T_{\text{划线}}$ —划线专业标准时长

$B_z$ —绑扎数量

$D_g$ —导线根数

$D_c$ —导线总长度

$D_s$ —端子数量

$H_s$ —焊锡环数量

$H_d$ —护套段数

$H_c$ —护套总长度

$P_x$ —屏蔽线数量

$P_y$ —屏蔽引出数量

$S_j$ —死接头数量

$S_y$ —死接头引出线根数

$T_j$ —涂胶点数

$Z_b$ —占位标识数量

#### 6.3.2 模型检验与分析

模型汇总

$$S = 466.318 \quad R\text{-Sq} = 94.18\% \quad R\text{-Sq (调整)} = 93.40\%$$

$$\text{PRESS} = 8486056604 \quad R\text{-Sq (预测)} = -2264.48\%$$

方差分析

来源 自由度 Seq SS Adj SS Adj MS F P

回归 13 338021364 338021364 26001643 119.574 0.000000

根据MINITAB统计分析软件分析结果显示, 线束产品划线专业标准工时模型的P值=0.00小于0.05, 证明此假设成立。 $R\text{-Sq (调整)} = 93.40\%$ , 接近100%, 证明自变量关键工艺参数对因变量线束产品划线专业加工周期影响度较高, 证明此模型有效。

### 6.4 端接专业标准工时模型

基于选取的线束产品端接专业160项关键工艺参数统计样本为自变量, 现场加工时长为因变量, 进行模型建立。

#### 6.4.1 模型结构

$$T_{\text{端接}} = 145 + 11.5 B_l - 165.2 B_j - 0.67 D_l + 1.05 D_g + 9.03 D_l - 11.84 D_s - 21.01 H_q + 46.10 H_f + 152.62 J_x + 2.29 T_j$$

其中, 工艺参数代码解析如下:

$T_{\text{端接}}$ —端接专业标准时长

$B_i$ —标套数量

$B_j$ —标准件数量

$D_i$ —导通关系数量

$D_g$ —导线根数

$D_L$ —导线种类

$D_S$ —端子数量

$H_q$ —红漆个数

$H_r$ —后附件数量

$J_x$ —接线柄数量

$T_j$ —涂胶点数

#### 6.4.2 模型检验与分析

模型汇总

S = 205.853 R-Sq = 94.36% R-Sq (调整) = 92.54%

PRESS = \* R-Sq (预测) = \*%

方差分析

来源	自由度	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
回归	10	21972751	21972751	2197275	51.8524	0.000000

根据MINITAB统计分析软件分析结果显示, 线束产品端接专业标准工时模型的P值=0.00小于0.05, 证明此假设成立。R-Sq (调整) = 92.54%, 接近100%, 证明自变量关键工艺参数对因变量线束产品端接专业加工周期影响度较高, 证明此模型有效。

#### 7 模型应用验证

经过半年的优化迭代后, 为验证标准工时数据的有效

性, 计算某项目76项划线专业和端接专业线束加工标准时长:

$$T_{\text{划线}} = \sum_{i=1}^{76} 0 (212.8 + 1.06 B_z - 0.59 D_g + 0.13 D_c + 5.88 D_s + 2.73 H_s + 7.30 H_d + 0.08 H_c + 2.33 P_x + 4.37 P_y + 8.79 S_j - 4.61 S_y + 4.93 T_j - 5.75 Z_v) = 1984.63H$$

$$T_{\text{端接}} = \sum_{i=1}^{76} 0 (145 + 11.5 B_i - 165.2 B_j - 0.67 D_i + 1.05 D_g + 9.03 D_L - 11.84 D_S - 21.01 H_q + 46.10 H_r + 152.62 J_x + 2.29 T_j) = 1027.59H$$

该项目实际测量划线制造时长为1931.28H, 端接制造时长为1098.28H。此模型计算得出的标准时长与实际制造时长基本一致, 证明该方法有效准确。

#### 结束语

将标准工时贯穿线束产品计划管理全流程, 可大大提升线束产品生产计划管理能力, 实现精准化排产; 依托标准工时模型构建标准化成本模型, 可有效运用于线束产品的成本分析与管控、价格测算; 可应用标准工时模型, 制定技能人员能力KPI指标, 根据KPI达成情况, 制定后期人员能力培养计划。

#### 参考文献

- [1]肖莹姣, 陈友玲, 周玉杰.面向订单模块化时间定额的确定方法.计算机应用研究, 2011.
- [2]李志辉, 李欣等.MINITAB统计分析方法及应用.中国工信出版集团.2017.
- [3]王朝文, 马珺等.经济基础知识.中国人事出版社.2022.