

复杂机电产品装配工时定额计算方法研究

晁海涛,徐锋,许晨辉,李露,左敦稳

(南京航空航天大学 机电学院,江苏 南京 210016)

摘 要:在产品生产阶段,装配工时可以用来安排、指导生产,合理的装配工时可以提高工人的工作效率及装配辅助设备的利用率,使得生产有序进行。采用 core 二次开发技术,应用 XML 解析技术,实现装配信息的自动获取;从模特法、企业标准资料法、数学模型法以及实测法中选择合适的对每个基本操作进行建模。将遗传算法优化参数的 SVM 算法应用到装配工时定额建模过程中,并取得了良好预测效果。最后通过实例验证,该方法可以自动、高效完成机电产品机装工序工时的计算,且误差低于经验估算法,符合企业实际情况。

关键词:机电产品;装配工时;工序工时;信息提取

中图分类号:TH123 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2019)05-0022-03

Research on Calculation Method of Assembly Man-Time of Complex Electromechanical Products

CHAO Haitao, XU Feng, XU Chenhui, LI Lu, ZUO Dunwen

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: In production phase, assembly man-hours can be used to guide production. Reasonable assembly man-hours can improve the work efficiency of workers and the utilization of assembly auxiliary equipment, so that the production can be carried out orderly. In this paper, the secondary development technology of Core is used with the XML analysis technology to realize the automatic acquisition of assembly information. Each of the basic operations is modeled by the appropriate method selected from the enterprise standard data method, mathematical model method, and actual measurement method. The SVM algorithm optimized by genetic algorithm is applied to the modelling of the assembly man-time, with which good prediction results are obtained. Then, through the example verification, the method can be used to automatically and efficiently calculate the machining process man-hour of mechanical and electrical equipment, and the error is lower than one of the empirical estimation method, which is in line with the actual situation.

Keywords: electromechanical products; assembly time; operation man-hour; information extraction

0 引言

近年来,零件加工的机械化、自动化程度不断提高,装配工作量在产品制造过程中所占的比重越来越高^[1]。据统计,在机电产品的生产周期中,装配成本占加工成本的30%~50%^[2],对于复杂机电产品,该比例更高。

19世纪80年代,Frederick W. Taylor^[3]总结了铲煤作业过程中的标准化动作,提出了“动作研究”的概念。同年, Frank B. Gilbreth^[4]提出了“动作经济原则”。在国内,1956年,严致和^[5]利用时间研究的方法,对焊接工时的影响因素进行分析,并制定工时定额规范,为企业生产计划提供了依据。

现阶段研究的工时定额制定方法主要为以下几类:

1) 基于实例的推理法(case based reasoning, CBR)。蒋麒麟^[6]等通过 CBR 技术寻找钣金切割工时的相似实例,实现钣金切割工时的快速制定;沈玲^[7]等通过 CBR 技术寻找铁铸件特征相似的实例,利用神经网络模型建立其特征信息与安装工时之间的联系,从而完成船舶铁铸件装

配作业工时定额。2) 典型工序法。董丰收^[8]等利用成组技术的相似性原理形成典型工序,分析工序工时影响因素,实现了工时定额的快速编制;陈友玲^[9]等通过专家打分的方式,从零件特征、工艺、精度要求3个方面,对工序工时与工序相似度进行回归分析,得出新工序工时计算模型。3) 数学建模法。Alice E. Smith^[10]等分别利用神经网络以及线性回归的方法对工时定额数学建模,验证了神经网络建模方法在处理不符合低阶多项式的工时建模问题上的优势。李亚杰^[11]等提出了一种基于制造执行系统(manufacturing execution system, MES)历史数据的实时工时统计方法,对工时影响因素进行分析并建立了工时预测神经网络。4) 作业测定法。Dong Q^[12]等利用作业测定法简化机械装配工时流程,将模特法应用到装配线工时定额中,提高了工时定额的效率。刘立功^[13]通过工时测定的方法研究中小吨位汽车起重机车架主体拼装过程,采用秒表法和模特法制定了工时。

本文主要研究复杂机电产品生产阶段的工时定额制定方法。通过研究三维工艺信息提取技术,提高定额过程

基金项目:江苏省科技计划前瞻性联合研究项目(BY2016003-12);南京航空航天大学研究生创新基地(实验室)开放基金(kfj20170503)

作者简介:晁海涛(1993—),女,江苏宿迁人,硕士研究生,研究方向为信息化制造。

的自动化程度;研究典型装配工序的分解方法,从模特法、实测法、企业标准资料法以及数学模型法中合适的方法,建立复杂机械产品基本装配操作工时定额模型;最后通过实例验证该方法的可行性。

1 三维装配工艺及其信息提取

1.1 三维装配工艺

传统的 CAPP 采用工艺卡片的形式编制工艺,当设计更改时,产品工艺不能及时有效地做出响应。应用基于模型的定义(model based definition, MBD)技术,可以直接在三维模型上标注几何、尺寸、公差、工艺附注等信息。方便设计人员编制、修改工艺,同时方便使用者直观了解设计者意图(图 1)。

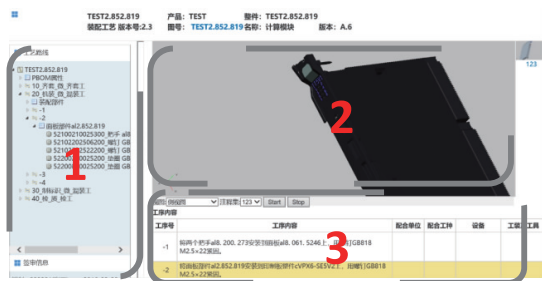


图 1 三维工艺示例

图 1 中,1 区域为 BOM 表,包含装配步骤以及装配部件信息;2 区域为三维模型;3 区域为工序内容,其中每个零件都通过零件 ID 与三维模型产生关联。

1.2 装配工艺信息提取

本文按照工艺标准进行信息提取。通过 xml 文件存储零部件的装配顺序、装配要求、工序、工步及部件信息。三维模型中存储了结构信息。通过 xml 解析以及 CREO 二次开发,完成工序信息提取。

以装配面板部件为例,说明装配工序信息提取的过程。第 1 步:提取装配工序信息。遍历 xml 文件中 procedure-Content 标签。第 2 步:确定装配体与基准。从 xml 的工步语句中,得出面板部件为装配件,印制板整件为装配基准。第 3 步:提取零部件信息及连接关系信息。根据零件图号从三维模型中提取零件基本信息,并判断面板部件中的零件与印制板整件的装配关系。

2 机械装配工序工时定额建模

机械产品的装配时,由 n 个零部件构成的产品就有 $n-1$ 个装配操作。装配基本作业包含螺纹连接、过盈连接、铆接、粘接、焊接等,装配后还需要验收、试验^[14]。本文主要研究连接工序工时。

2.1 连接工序的分解及其工时影响因素分析

零部件连接操作主要包含搬运、定位、连接。

a) 搬运

按照零件的质量,本文将搬运操作分为以下 3 类:简单抓取、普通搬运和吊装。简单抓取操作时间大致相同;

普通搬运其耗费的时间和零部件的质量(m)及搬运的距离(d)有关;吊装操作需要使用特定的装配辅助装备,花费的时间与吊装的设备(e)、零件质量(m)、搬运距离(d)有关。用式(1)表示:

$$T_{\text{搬运}} = \begin{cases} t_1 & m \leq a \\ f_1(d, m) & a < m \leq b \\ f_2(e, d, m) & m > b \end{cases} \quad (1)$$

其中 a, b 表示不同搬运操作零件质量的临界值。

b) 定位

本文将定位操作分为以下 2 类:普通定位和夹紧定位。普通定位时间与零部件质量(m)、定位精度(p)、平面配合面数量(np)及柱面对中数量(nc)有关;夹紧定位需要辅助装备,花费时间与零部件质量(m)、定位精度(p)、平面贴合数量(np)、柱面贴合数量(nc)及夹紧数量(nj)有关。

$$T_{\text{定位}} = \begin{cases} g_1(m, p, np, nc) & \text{普通定位} \\ g_2(m, p, np, nc, nj) & \text{夹紧定位} \end{cases} \quad (2)$$

c) 紧固

紧固的方式有很多种,本文只选取几个特例进行描述。

1) 螺纹连接:螺纹连接的时间和螺钉数量(n)、拧紧长度(l)、拧紧装备(e)有关,见式(3)。

$$T_{\text{螺纹}} = h(n, l, e) \quad (3)$$

2) 焊接:焊接时间与调试时间(接地线,调试电流电压时间)、焊条直径(d)及焊缝长度(l)有关,见式(4)。

$$T_{\text{焊接}} = T_{\text{调试}} + k(d, l) \quad (4)$$

3) 压入:压入时长通常和压入距离长短(l)、直径(d)及配合精度(p)有关。压入时长用式(5)表示:

$$T_{\text{压入}} = p(l, d) \quad (5)$$

2.2 装配工时建模方法及选取原则

本文以中等水平的工人装配过程为对象。根据企业实际情况,对不同的装配操作采取不同的计算模型。建模方法主要选自模特法、实测法、企业标准资料法以及数学模型法。

模特法是将作业中最简单的手指动作所消耗的时间定义为基本单位动作时间,即 1MOD(1MOD=0.129 s),其他操作时间为 $n \times \text{MOD}$,通过基本操作的累加即可获取工序工时、产品工时。模特法不需要进行现场测定,分析简单,易于操作。

工时测定法是指在充分挖掘企业生产潜力之后,通过现场测定分析的方式确定某个操作的装配工时。时长固定的操作通常采用工时测定法确定工时。

定额标准资料法是根据专家经验制定的标准。以成套的工时定额标准为基础,分解装配操作,并匹配对应的规则及时间值,最后求解工步工序及产品工时。定额标准资料法适用于影响因素较为单一的装配操作。

数学模型法一般先选取装配操作工时的影响因素,通过数学建模的方式寻找装配工时影响因素和装配工时之间的关系,以此模型来计算新工序的工时定额。适用于影响因素复杂、工时制定困难的操作。

如果同一装配操作可以选用多种方法,从操作难易程度及准确率方面考虑,确定以下的优先级:模特法、工时测定法、定额标准资料法、数学模型法。

2.3 基本操作工时计算模型的确定

1) 搬运工时定额模型

搬运较为简单,影响因素少,因此选择模特法及企业标准资料法进行定额。根据实际情况,小于 1 kg 的零件属于简单搬运,通过模特法制定小零件的搬运标准时间。动作表达式为: W5(×6) B17E2D3M3M2M1G3P2; 共计 63MOD=8.2 s=0.137 min。小于 25 kg 采取普通搬运,利用企业标准资料法, $f_1(m)=0.004m+1.2$ 。大于 25 kg 的大件零件采用吊装,选用表 1 所示的企业工时定额标准。

表 1 企业搬运工时标准

零件质量/kg	搬运时间/min
25<m≤50	1.6
50<m≤150	1.8
150<m≤250	2.1
250<m≤500	2.5
500<m≤750	2.9

对标准资料进行拟合,在二次函数拟合时获得了很好的拟合效果,如图 2 所示。

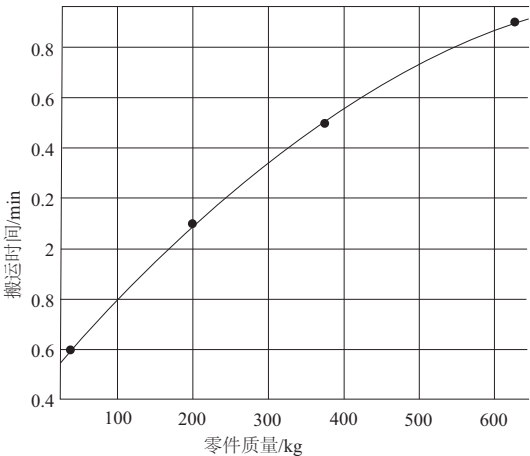


图 2 搬运工时拟合

拟合结果如下:

$$f_2(m)=-1.892\times10^{-6}\times m^2+0.003\ 461\times m+1.4$$

在该段区间能很好地拟合数据,一般不存在>750 kg 的零件,故不考虑函数递减的区域。

2) 定位工时定额模型

装配操作过程中,定位时间占比很大,影响因素复杂,因此采用数学模型法。以中等熟练工人操作为研究对象,研究其装配过程。对某一产品的 50 组动作进行分析,得出的数据见表 2。

根据表 2 中的数据,将零部件质量、平面贴合数量和柱面对中数量及定位尺寸公差作为影响因素,工时作为系统变量。利用遗传算法优化参数的 SVM 算法建立工时定额模型。得出的结果见表 3。

3) 紧固连接

螺纹连接使用模特法估算消耗时间。焊接的影响因素复杂,使用数学模型法计算。压入工时使用数学模型法

计算。

表 2 定位工时实测数据(部分)

零部件质量/kg	平面贴合数量	柱面对中数量	定位尺寸公差/mm	工时/min
6.02	1	0	0.02	1.3
26.71	2	1	0.06	4.8
8.07	2	8	0.02	2.3
12.95	1	0	0.12	1.9
43.55	4	0	0.12	6.1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

表 3 预测结果

实际值/min	预测值/min	误差/(%)
3.2	3.06	-4.3
1.6	1.71	6.9
0.8	0.72	-10.0

3 基于装配工艺的连接工序工时定额应用实例

以图 3 的综合机架装配件为例,说明其装配流程。部分计算过程如表 4 所示。

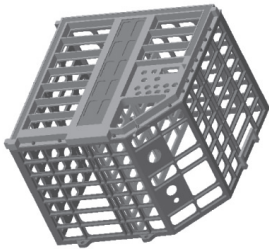


图 3 综合机架

表 4 机架装配连接工序工时计算过程

工步	操作	备注	时间/min
将机架 8. 061. 5246 放置到工作台	搬运	质量 30.4 kg	1.58
将上盖板 6.102.453 安装到机架 8. 061. 5246 上,用螺钉 GB818 M4×14 紧固	搬运	质量 23.102 kg	1.28
	定位	平面配合×5 柱面对中×24	3.2
	螺栓连接	数量 24	7.2
将把手 6.456.893 安装到机架 8. 061. 5246 上,用螺钉 GB818 M4×10 紧固	搬运	质量 0.323 kg	0.137
	定位	平面配合×1	0.2
	螺钉连接	数量 2	0.6
⋮	⋮	⋮	⋮
合计			32.5