

数控零件加工工时及成本快速预测系统软件设计

Software Design of Numerical Control Machining Manhour and Cost Estimation System

中国航空规划建设发展有限公司工程技术研究院 王明珠

[摘要] 简要阐述了从数控加工零件的结构性能、生产工艺等方面入手,采用特征信息模型结合成组技术、人工神经网络等先进数学方法建立数控零件加工工时及成本快速预测系统的总体设计思路,详细介绍了对系统进行软件化的需求分析、系统构架、功能模块、算法设计及界面设计等软件设计方案,并展示了软件设计结果和系统实施案例。

关键词: 数控加工 工时 成本 预测 软件设计

[ABSTRACT] General design idea of numerical control machining manhour and cost estimation system was introduced applying methods of key character model, group technology and artificial neural networks. Further, the software design scheme of demand analysis, system frame, functional module and interface design is detailed introduced. At last, the software design result and implementation case of the system are exhibited.

Keywords: NC machining Manhour Cost Estimation Software design

在现代市场经济中,企业要想获得成功,就必须重视成本管理,成本控制是现代企业成本管理工作的重要环节。国防航空产品与一般工业产品相比有一定特殊性。通过对航空产品生命周期各个阶段的成本结构进行分析,产品的成本包括产品设计、制造、装配、检测、销售、使用、维护、回收和报废等各个阶段,而结合国防军工企业的制造模式及企业特点,航空产品工时是产品成本控制的关键因素之一。

航空产品生产制造工时是产品生产制造过程中企业人力资源和物质资源投入多少的具体体现,也是企业生产产品、生产规模、生产水平的一种反映,更是企业进行生产条件建设、生产管理、成本核算、计划控制等的重要依据,更是企业进行科学管理、优化加工结构、提高劳动生产效率的基础和重要前提。航空制造企业只有准确地把握产品工时信息,合理地制定产品工时,才能合理地组织生产,适时地挖掘企业潜力,提高企业生产效率,降低企业成本,最终加强企业市场竞争力。此外,对

于航空工业咨询设计工作来说,航空产品生产制造工时是对航空产品进行生产性技术改造的主要依据之一,是咨询设计中确定工厂规模大小、生产设备以及人员、面积配置情况的重要依据。

飞机产品机械加工零件的生产工时涉及到产品结构、性能、特征、工艺方法、生产设备和加工参数等众多方面因素。在零件实际生产之前,其工时只能通过一些特定方法进行估算或预测。国外著名航空企业如波音、空客已经在成本预测方面形成了相应的技术体系与应用范畴,可以在产品生产前对零件的加工时间及成本进行预测。当前我国对零件工时预测的方法主要有以下2种:(1)普遍采用的零件定额工时制定方法是根据产品的详细生产工艺过程,逐步计算其生产工时,所用方法包括查表法、数学模型法、典型零件法和混合法等。随着计算机技术的普及,目前国内外已经基于上述方法开发出了一些成形软件系统,如昆明理工大学、南京航空航天大学等单位开发的机械加工工时定额子系统,实现了工时定额计算的快速、科学、通用^[1-6]。随着飞机零件复杂程度的不断提升和数控加工技术的大量采用,该类方法已经越来越无法适用。(2)随着数控加工快速编程技术的不断进步,UG、CATIA等软件均提供了根据零件数控加工程序及走刀轨迹仿真加工工时的功能,由于其无法准确地描述实际加工,该仿真工时不能真实的反映实际加工情况,使得该方法的应用受到一定程度的限制^[7]。上述两种方法在使用过程中,都是以产品的详细生产工艺过程为前提,涉及到产品的结构特征、详细加工工序、生产设备、工艺参数,甚至加工型面、刀具、加工余量、走刀路线等众多方面,不仅需要使用者具有深厚的生产工艺知识,还需要有大量实际工作经验。

本文针对现有软件在使用上的局限性,开发了数控零件加工工时及成本快速预测系统(以下称本系统),实现零件工时及成本的简便、快捷估算。本系统以已有典型数控零件的外形、结构特征、加工工艺参数以及工时信息、成本系数为基础数据,利用成组技术、神经网络等先进数学方法建立特征信息模型,并实现其软件化。在实际使用过程中,只需要在系统内输入待计算零件的基本结构特征、工艺特征等指定特征信息,无需掌握每

个零件的详细加工工序和加工参数,即可通过本系统对零件的数控加工工时和成本进行快速估算。该方法工作量大,对使用者的工艺水平和实际经验要求较低,计算速度快,较适合在咨询设计项目及企业管理中使用。本系统附带零件数据库,可实现零件的导入、导出、查询、统计和汇总等操作,在实现零件工时及成本快速估算的同时可满足企业对现有航空产品的零件信息管理。

1 系统总体设计思路

航空产品的零件与一般工业零件不同,具有种类繁多、零件复杂程度高的普遍特点。在一架飞机上就有不同种类的机加零件达几千项到几万项,随着飞机工业的不断发展,飞机整体性逐渐加强,零件的复杂程度也大大提高。根据不同机种各类数控加工结构件的特征、加工工艺以及数控加工工时的统计资料,结构件的应用功能、结构形状、材料毛坯、尺寸大小和加工方法等都具有不同的特征。这些数控零件也往往具有一定的共性。根据数控零件功能、特征和加工工艺方面的共性,可以采用成组技术将数控加工零件按照相似性原则进行划分。在同类零件中,提取影响零件数控加工工时的各种代表性因素作为特征参数(也称为特征基),并利用已知数控加工工时的相似数控加工零件的特征信息与工时信息,通过一定的数学模型概略得出研究对象的数控加工工时。上述得到待研究零件数控加工工时的方法,称为零件数控加工工时估算的特征信息模型^[8-9]。

总的来说,本系统基于特征信息模型的总体设计思路重点包括以下几方面:一是根据零件功能、特征、加工工艺等方面的共性,采用成组技术原理对数控加工零件进行合理分类;二是在成组技术原理的基础上建立产品或零件的特征体系;三是建立完善而准确的典型零件数据库;四是采取神经网络等数学模型计算零件加工工时,根据零件加工成本与工时的内在关系估算零件加工成本;五是在工时估算和成本预测基础上,进行零件典

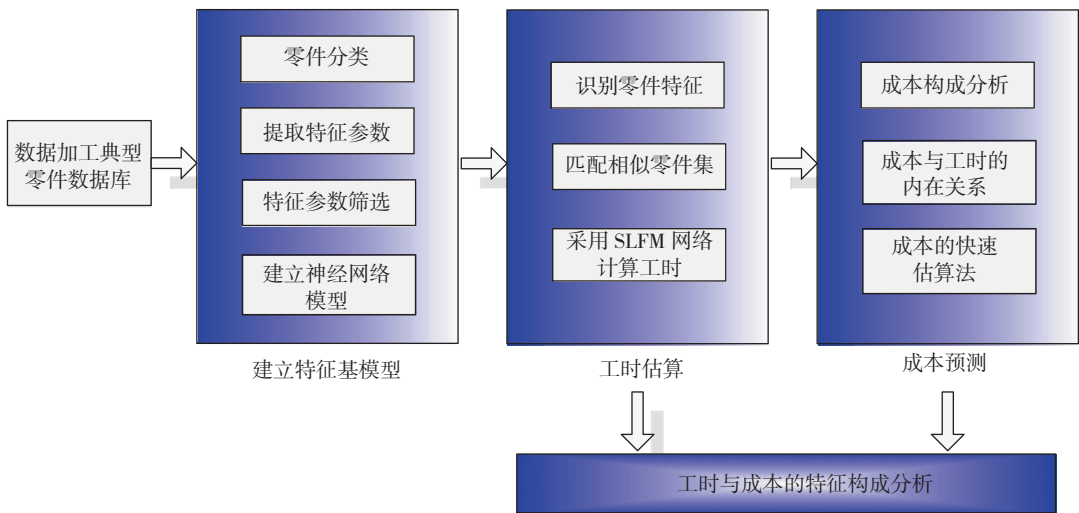


图1 系统总体设计思路

Fig.1 Comprehensive design of the system frame diagram

型加工特征构成分解。总体设计思路框架图见图1。

2 系统软件功能需求分析

从系统开发的角度,分析本系统的需求特点是:

(1)计算过程复杂。航空产品数控加工零件类型多、形状复杂,传统的工时计算方法工作量较大,可见,本系统需处理的计算过程复杂。本系统根据航空产品特点将机加零件划分为不同类型,各类型零件中需针对零件特点处理零件尺寸、材料、加工特征、加工工艺等几十个相关参数及修正系数,同时随航空零件的不断变化需不断调整参数设置。在系统实现工时和成本计算之前,应首先建立基于已有典型零件数据库的神经网络模型训练和系统参数维护工作。

(2)实现系统与工艺专业知识分离。输入待计算零件的基本结构特征、工艺特征等指定特征信息,即可以计算得出零件数控加工工时和成本,无需使用者掌握每个零件的详细加工工序和加工参数,从而抛开“工艺路线”的约束,把工程设计人员或管理人员从专业技术知识中解脱出来。

(3)需要典型零件数据库支持。用于计算零件工时和成本的神经网络模型需要基于典型零件建立。

(4)系统方便维护。随着技术的不断变化,航空产品更新换代很快,零件类型、参数及相关修正系数也在不断变化,需要系统可以维护以适应零件的变化。

(5)计算快速、操作简便、交互性强。

(6)实现数据分级权限管理。航空产品工时属于敏感型数据,其知悉范围应限定在指定范围,这就要求系统可进行分级的权限管理。此外,核心数据应存放在指定服务器,系统计算功能可在客户端实现。

(7)系统可移植。为便于咨询设计现场工作,本系统应可移植到个人电脑或远程专网环境。当系统在个人电脑上运行时,可附带小型数据库。

3 系统软件设计方案

3.1 软件系统架构

基于前述系统总体设计思路及软件需求分析,本系统以 Microsoft Windows 操作系统和 Microsoft Visual Studio 2005 为平台,采用 C# 语言进行软件开发,以大型关系数据库系统 MS SQL Server 或 Oracle 9i 作为数据库支撑平台。

系统采用 C/S 架构模式,所有功能均在客户端实现,服务器端只用作数据库和文件存储,其总体构架见图 2。

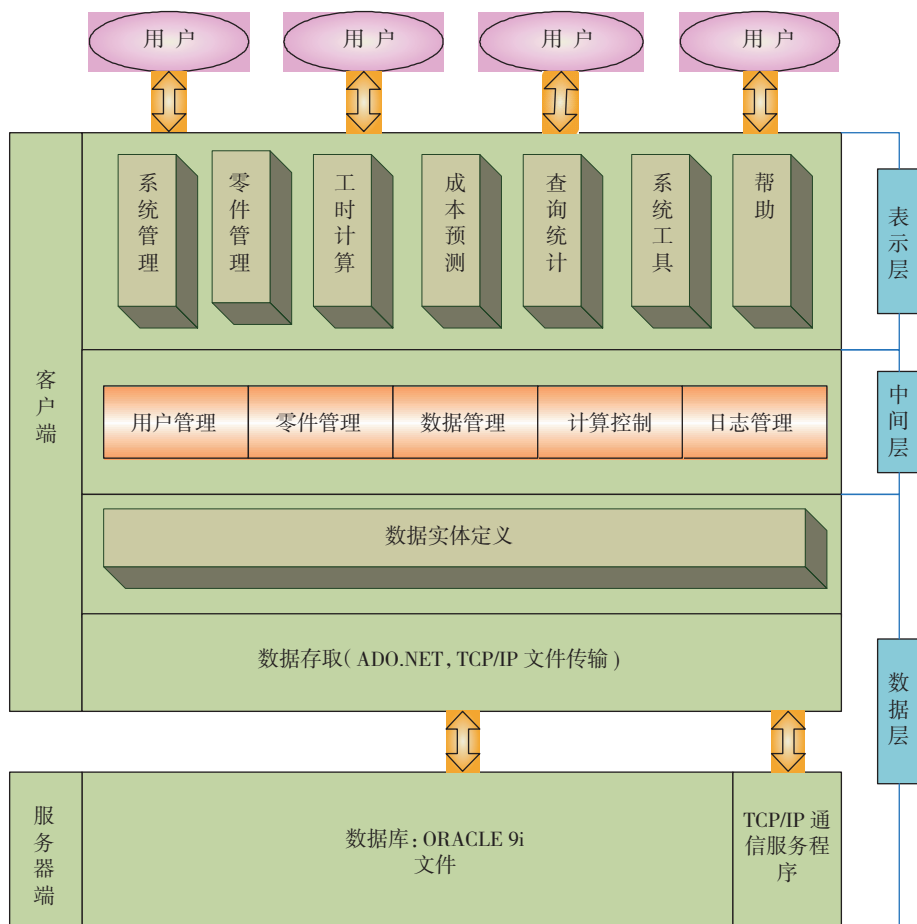


图2 软件系统架构

Fig.2 Software system architecture

数据层的数据实体定义:用于直接与数据库进行交流,其中这些一般会用到代码生成器。直接将数据库中的表名、字段映射到实体层。实体层作用是隔离数据库操作与业务逻辑操作,尤其在批量处理时比较好,因为不用将数据直接与数据库打交道。另外,数据层中还包括了 TCP/IP 传输模块,用于上传和下载文件。

中间层:逻辑层的作用是封装业务操作过程,处理业务逻辑。

表示层:这一层主要包括定制的控件、用户的其它界面。定制的空间可以用来减少开发量,把多处用到的控件抽象出来以供重复使用,大大减少开发量。

3.2 软件功能构成及功能模块

本系统采用特征信息模型的总体设计思路,建立数控加工零件工时估算、成本预测以及工时和成本的构成分解模型,系统功能组成框架如图 3 所示。本系统以零件的特征参数为输入参量,该输入方式可以为采用手动输入,或采用动态识别软件识别结果直接导入,或者从数据库中直接读取的形式输入待计算零件的特征信息。系统中对工时的估算采用神经网络模型,在对零件工时

估算的基础上,系统可以完成对零件成本计算以及工时和成本特征构成分解。该系统也可以直接进入零件的成本计算或者工时及成本的构成分解,其实质也是由系统首先完成对零件的工时计算,然后在工时计算的基础上完成成本计算或工时及成本构成分解。在对零件工时及成本估算的功能中,系统可提供单个零件的计算也可提供成批零件的工时及成本计算。

根据本系统总体需求及图 3 所示系统功能构成,从软件设计角度将系统功能进行整合和调整,软件系统具有的主要功能见图 4。

3.3 主要算法设计

(1)零件分类。

通过分析我国飞机数控加工零件的性质、功能和加工工艺等方面的共性,依据成组技术原理和相似性原则,结合飞机生产企业实际情况,本软件设计将飞机结构件划分为框类零件、梁类零件、整体壁板类零件和接头类零件等零件类型。当按照性质不同划分的结构件种类结果不能满足使用目的时,

还可以根据需要按照结构件尺寸进一步划分结构件,如将框类零件划分为整体框和半框,梁类零件划分为长梁和短梁等。

(2)相似零件集匹配算法。

飞机数控加工零件之间存在的相似性主要表现在零件结构特征(零件形状、形状要素及其布置、尺寸、精

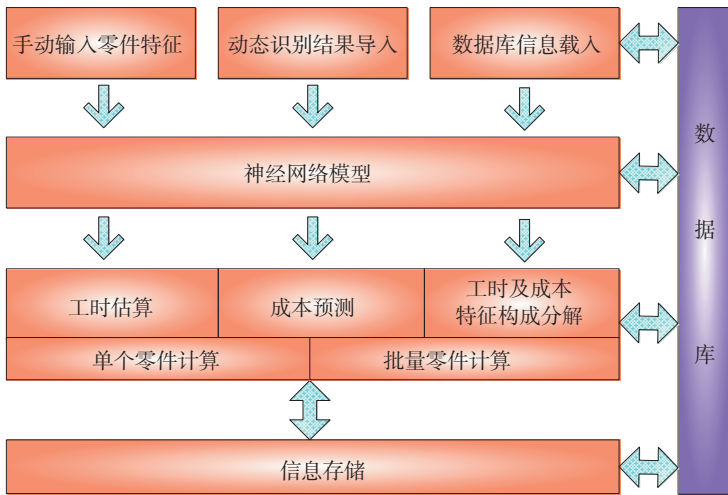


图3 系统功能组成框架
Fig.3 System framework

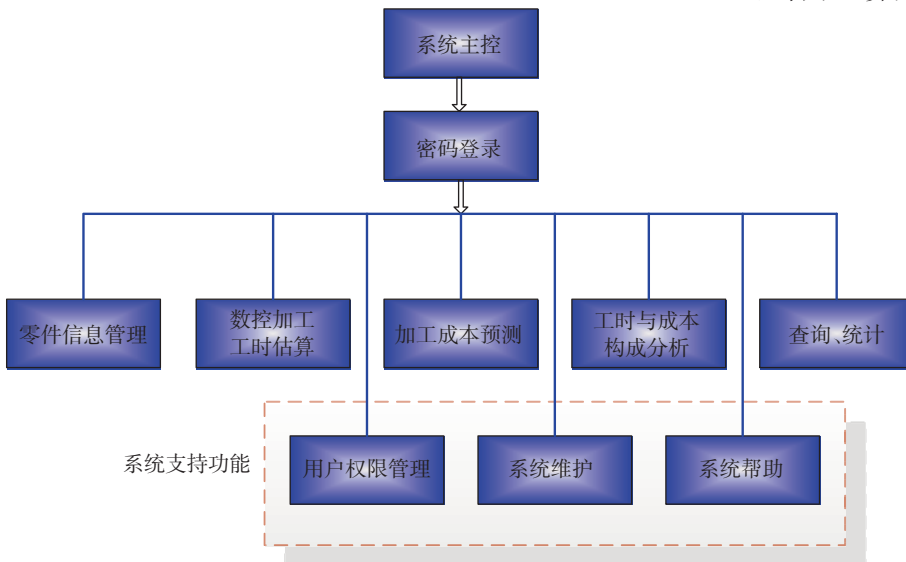


图4 系统功能模块
Fig.4 System function module

度等)相似性、零件材料特征(零件材质、毛坯形式等)相似性和零件制造工艺(加工方法、加工过程、加工设备)相似性三个方面。

本系统中选取零件类型、截面形状、材料种类、毛坯状态和加工工艺方式作为相似特征。对这些相似特征相似性的度量方法采用匹配计分法。用户输入零件信息后,系统读取零件类型和类型ID,然后与系统中所有的典型零件进行比较,将这两个方面均相同的典型零件放入一个列表中,再按照一定的规则对它们进行评分,最后根据评分的结果降序排列输出。如系统中找不到当前零件所属零件类型,发出提示信息“找不到可匹配零件”。评分完成后,可以选择系统评分靠前的一定量典型零件作为可匹配典型零件集。具体过程如图5所示。

示。

(3)SLFM 神经网络算法。

有监督线性特征映射网络(Supervised Linear Feature Mapping Network, SLFM)是在自组织特征映射网络(Self-Organizing Feature Mapping Network, SOM)的基础上提出的,综合了BP网络的可监督性和SOFM网络算法简单的优点,具有学习速度快、精度高,扩展能力较强的优点。SLFM网络采用线性分度式输出结构,输出层节点分别对应于连续量的不同估计值。在网络学习阶段,每一个学习样本对应一个特定的获胜节点,即映射到输出层的一个特定节点上,该获胜节点通过计算权值向量和输入模式的欧几里得距离最近的点确定,网络的最优权值向量通过采用奖罚式有监督学习算法得到;在网络工作阶段,通过计算某一输入模式的获胜节点映射到输出层的一个特定节点上,从而获得输出结果^[10-11]。

采用SLFM网络进行零件工时计算的流程如图6所示。

(4)成本快速估算方法。

目前,绝大部分大型飞机结构件都已经采用数控加工技术加工,数控加工过程主要由下料、加工准备、加工过程、加工后打磨等几部分组成。根据成本构成理论,零件加工成本包括工时成本和直接生产耗材、设备折旧等制造成本,此外还需考虑车间照明、管理等公共成本,涉及因素较多。根据对现有典型机种的数控加工结构件加工成本的构成和数据分析,在相同加工环境下,加工成本与加工时间存在一定的比例关系,因而在不便确定其它加工成本的情况下,可以暂时根据加工时间与加工成本的内在关系对加工成本进行快速预测。

值得指出的是,加工时间与加工成本的内在关系随生产企业的不同而存在差异,应根据企业实际情况确立合理的关系值。

(5)工时及成本构成分解算法。

数控加工零件是由孔、槽等众多特征组合而成,相应的其加工工时和加工成本也是由孔、槽等各类制造特征的工时及成本构成。由此,可对零件工时和成本进行特征构成分解,算法如下:

a. 考察影响零件加工工时的加工面形状特征,并对

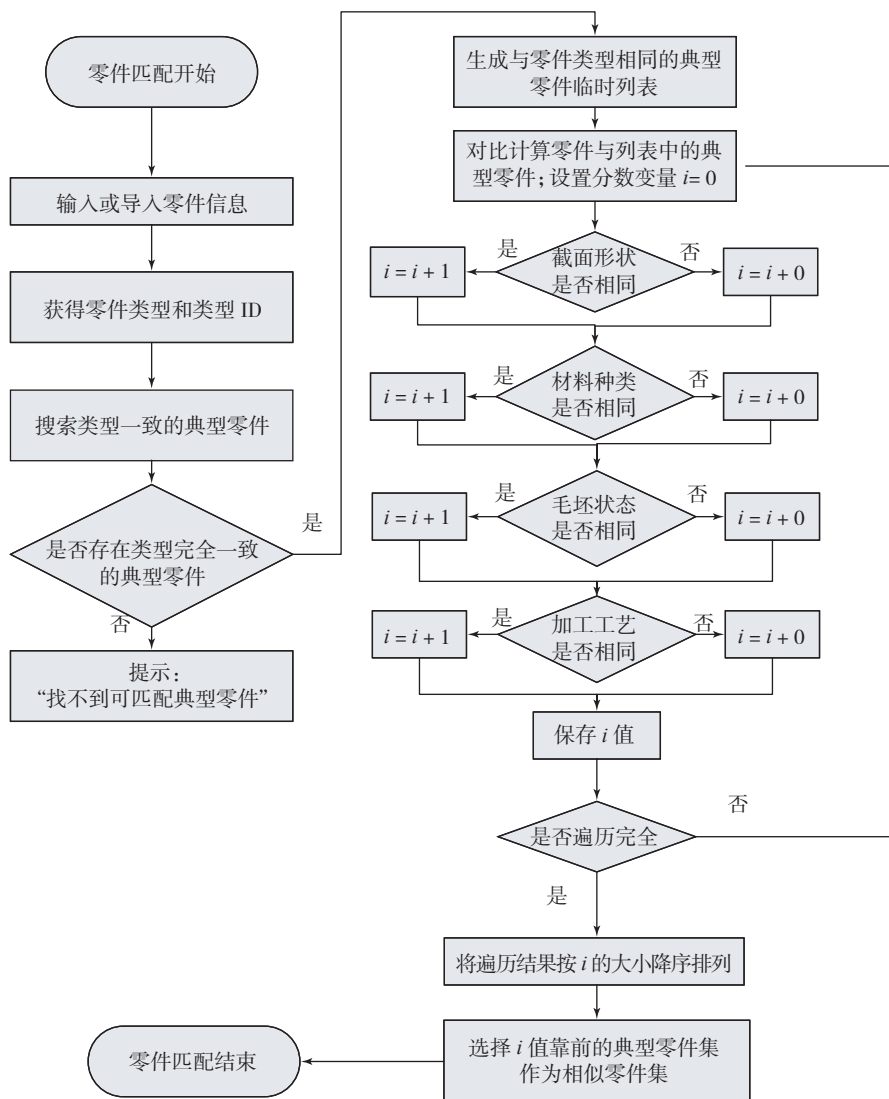


图5 相似典型零件检索算法流程图

Fig.5 Retrieval algorithm flow chart of similar typical parts

其进行特征分类,可分为孔、槽、筋、轮廓4类。确定每类特征的加工时间影响指标。

b. 针对 a 中所述各类特征建立对应的仿真特征工时数据库。

c. 利用 b 中所述仿真特征工时数据库逐个计算零件各个特征的工时,并汇总各类特征工时。

d. 计算各类特征之间的工时比例。

e. 利用 d 中所述各类特征之间的工时比例对零件加工工时和成本估算结果进行按比例分解。

3.4 界面设计

软件系统界面设计包括输入、输出和程序运行中人与计算机交互的各个环节。本系统界面设计及功能菜单设计均采用 Windows 窗体风格,以契合用户长期使用习惯。软件在经过用户权限确认后,进入主控界面,

全部功能由主控菜单驱动。主控界面以蓝色和白色为主色调(该色彩风格可以由用户自行设置),采用航空飞机为主背景,彰显航空行业。主控界面分为3部分,零件信息树、主界面和状态栏。主控界面左部采用零件信息树的方式可以随时显示系统核心即数控零件的相关信息,在任意条件下均可通过右键实现主功能,界面上设计了适当提示与帮助,方便用户使用。

4 系统实施算例

采用本系统对某飞机生产企业的数控加工零件工时进行快速估算,现简要介绍系统实施效果。

首先对企业提供的数控加工零件进行有效性甄别,以准确性、具有代表性和去除数据奇异点为原则,共获得典型零件数据108条,涵盖6个零件类型,具体数据分布如表1所示。将上述零件信息导入本系统典型零件数据库。

由于本系统中工时估算的核心数学模型是采用SLFM神经网络模型,根据人工神经网络模型的一般规则,随机选取80%的典型零件样本作为训练样本对SLFM神经网络进行训练,并保存训练结果,训练参数根据各零件类型的具体情况设定。选取剩余20%典型零件

作为测试样本对本系统计算结果进行仿真检验,检验结果如表2所示。

由表2所示检验结果可见,随机测试情况下,本系

表1 典型零件数据类型分布

零件类型	数据数量
半框	16
整体框	19
短梁	16
接头	10
肋	27
整体壁板	20
总计	108

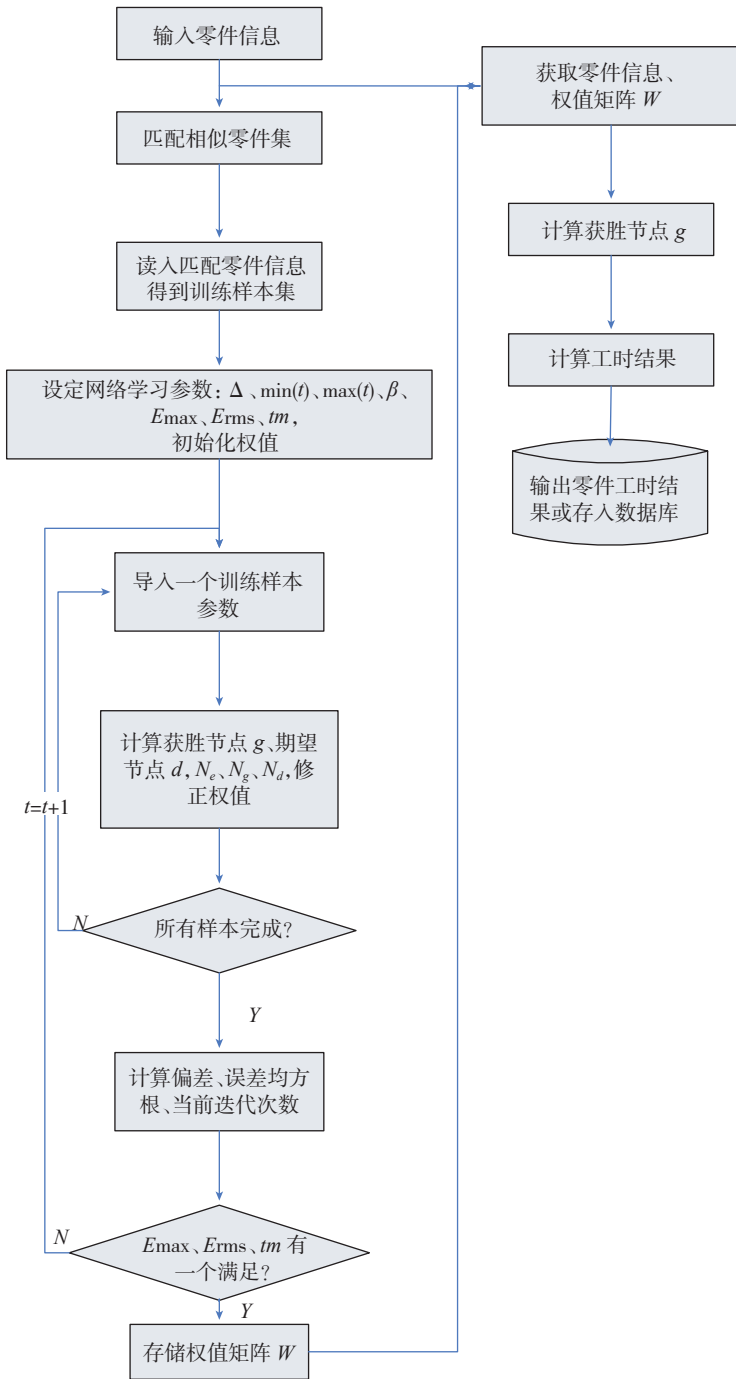


图6 SLFM网络工时计算流程图

Fig.6 SLFM network manhour calculation flow chart

统计计算得到的零件工时与实际情况相比误差基本在 10% 以下,70% 以上的零件计算结果相对误差在 5% 以下。未来,随着典型零件数量及多样性的不断增加,系统计算精度将会进一步提高。

由于缺乏零件加工成本以及工时和成本构成分解的实际数据,本文未对系统实施的成本计算及工时和成本构成分解结果进行误差检验。

5 结束语

“数控零件加工工时及成本快速预测系统”是针对航空领域飞机生产企业需求专门开发的软件平台,为飞机结构件数控加工工时和成本的快速预测提供了新方法和新工具,为航空制造企业前期合同谈判、成本控制、制定生产计划、优化加工结构提供了智能化软件工具,结合企业生产管理和标准工时数据,本系统亦可实现零件定额工时的智能化制定和系统管理。

本系统经过在某航空生产企业的现场实施,系统运行稳定,操作简单、方便快捷,在实际使用过程中,用户只需输入零件的特征信息,即可通过本系统计算得到零件加工工时、加工成本及其构成分解,工时估算结果准确度在 90% 以上。结合数控零件三维模型识别模块,更可以达到给系统输入零件三维图纸,即可从系统获得工时数据的输出结果。

本系统的实施,可显著提高零件加工工时计算效率,并且将用户从工艺专业知识和实际工作经验中解放出来,非常适用于咨询设计规划工作,同时对于企业管理工作也有积极的意义。系统在企业中的主要用途归纳如下:

(1) 系统可实现数控加工零件加工工时的快速估算,为企业前期规划和管理工作提供参考依据;

(2) 通过在零件加工之前对零件数控加工工时的预测,有利于车间合理组织生产,优化加工结构,提高数控设备利用率,改善生产效率;可以帮助企业实现系统智能化分配加工设备,实现高能

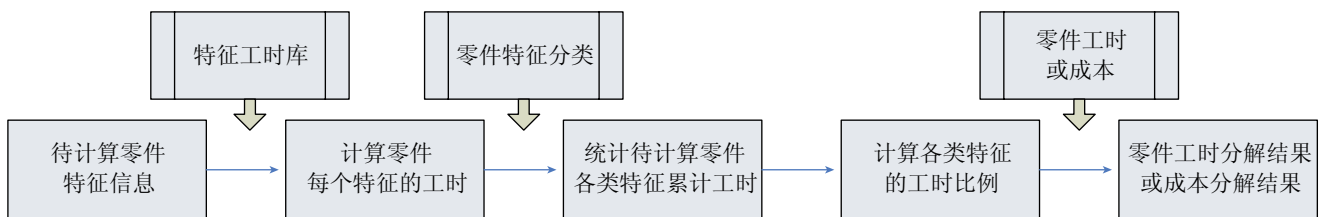


图7 特征构成分解流程图

Fig.7 Decomposition diagram of characteristics

表2 系统仿真检验结果

零件类型	零件序号	工时 /min		相对误差 /%
		实际工时	系统计算工时	
半框	1	565	565	0
	2	101	95	-5.9
	3	141.2	131	-7.2
整体框	4	389.9	406	4.1
	5	971.6	892	-8.2
	6	608	562	-7.6
	7	211.4	236	11.6
短梁	8	35	35	0.0
	9	129	132	2.3
接头	10	18.6	18	-3.2
	11	78.7	76	-3.4
	12	124.7	121	-3.0
	13	98	101.5	3.6
肋	14	17	17.5	2.9
	15	37	37.5	1.4
	16	22	21.5	-2.3
	17	13	13.5	3.8
整体壁板	18	128	129	0.8
	19	87	89	2.3
	20	74	77	4.1
	21	112	112	0

设备增效;

(3)零件的数控加工工时预测结果可以为选择合理的工艺方案、加工设备,以及科学的数控程编提供参考;

(4)对于数控加工零件来说,加工工时是其成本的重要组成部分,准确的工时预测有利于产品的成本控制,从而提高产品竞争力;

(5)在转包生产项目中,数控加工零件的工时预测可以为对外方的产品报价提供参考依据;

(6)结合企业标准工时数据库,可实现数控加工工定额的智能化制定及管理;在此基础上,可系统管理产品定额工时、实际工时,实现车间自动化工时管理及考核管理。

参 考 文 献

- [1] 杜茂华,黄亚宇,王学军. CAPP 系统中机械加工工时定额系统的开发. 机械设计, 2006, 23(1):10-12.
- [2] 朱历新,刘诚格. 计算工时定额的神经网络系统建模与实现. 航天制造技术, 2004(2):46-49.
- [3] 李晓斌,谭理刚,刘子建. CAPP中的工时定额的计算研究. 同煤科技, 2005(4):3-4.
- [4] 黄喜,王真星. CAPP 中工时定额系统的研究与开发. 电脑开发与应用, 2002, 15(9):2-4.
- [5] 庄长远. 机械加工工序工时自动计算方法的研究. 成组技术与生产现代化, 1996(3):29-31.
- [6] 姜晓鹏,王润孝,高琳,等. 计算机辅助工时定额系统中的定额测算模型研究. 计算机应用研究, 2006, 3:183-185.
- [7] 龚清洪,夏雪梅,牟文平,等. 基于加工特征实例的零件工时预测评估. 工具技术, 2009(3):58-61.
- [8] 邓寅东,王明珠. 特征信息模型在航空产品工时估算中的应

用. 咨询研究, 2008(2):23-26.

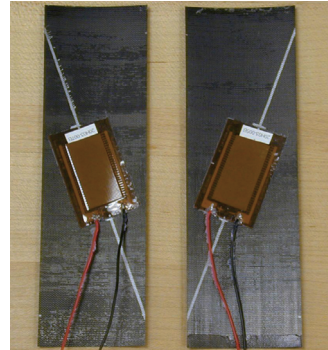
[9] 王明珠. 神经网络在飞机零件工时估算中的应用. 咨询研究, 2008(3):23-26.

[10] 朱名铨,蔡永霞,邓寅东. 刀具磨损估计的多信号神经网络方法研究. 工具技术, 1995(11):35-38.

[11] 蔡永霞. 神经网络在刀具磨损量估计及监控中的应用. 西安:西北工业大学, 1997.

(责编 三丰)

(上接第 71 页)



(a) 预置 MFC 传感器 (b) 试验组合装配件

图4 有效试验件

Fig.4 Effective experimental device

3 双稳态复合材料的发展趋势

美国宇航局已经将性能优异的复合材料非对称铺层设计应用到诸如可展开旋翼、太阳能帆板等延展空间结构。通过控制释放折迭过程积蓄的能量,结构能自行延展,在满足结构材料的强度需求外,具有一定的智能功能性。与此类似的结构应用前景十分广泛,通过深入研究,可满足结构材料功能化的需求。

复合材料铺层的可设计性本身就为其向智能材料发展创造了巨大的空间,而国外双稳态复合材料向智能材料、结构的发展又为其应用指明了前进的方向。随着研究对双稳态复合材料变形本质的进一步认识及其与光、电、自动化控制的交叉应用,双稳态复合材料必定能在空天技术领域获得更大的应用。

从国内外对双稳态复合材料的研究对比可以看出,美国、英国对“Snap-Through”引发的双稳态结构发现较早,航空航天等领域已经开始就这一现象的不同形式发挥其潜在的作用。国内的诸多学者也发现了这一现象在材料、工艺、力学、模拟等诸多方面的深远影响和实用意义。但涉及面较窄,实际应用的例子鲜见。

本文有参考文献 31 篇,因篇幅所限,未能一一列出,读者如有需要,请向本刊编辑部索取。

(责编 三丰)