

先进复合材料结构的制造成本估算

Manufacturing Cost Estimation of Advanced Composite Structure

北京航空制造工程研究所 张 斌 梁宪珠 王天玉 王永贵
哈 尔 滨 工 业 大 学 张博明

[摘要] 概述了复合材料制造成本的构成、估算方法的分类以及选择,阐述了复合材料制造成本估算的理论框架及可实际应用的标准工序建模流程和标准模块的概念模型,并指出了成本估算实际应用中的问题及解决途径。

关键词: 复合材料 制造成本 成本估算

[ABSTRACT] The classification and selection of estimating method and composition of composite manufacturing cost are summarized. The theoretical framework of composite manufacturing cost, modeling process of practical standard process and concept model of standard modular are expounded. Some problems and solutions of cost estimating in practical application are pointed out.

Keywords: Composite Manufacturing cost
Cost estimation

先进复合材料自问世以来,由于其高比刚度、高比强度特性,在航空航天领域上的应用有着显著的优势。随着国内外航空工业的发展,对于结构重量的要求越来越高,先进复合材料在航空制造业中的大量使用已成为了一种趋势,它在飞行器结构中所占的比重也成为了衡量飞行器先进性的重要指标之一。但是,复合材料高昂的制造成本严重制约了其应用的广泛程度,因此降低成本已成为发展新的复合材料制造技术的一个重要推动因素。

目前,先进复合材料的制造技术种类繁多,技术的先进程度差别较大,从人工铺层到自动铺带,从机械装配到整体成型,均有各自的应用范围。究其原因,除了制造厂商之间技术水平的差距外,生产实践也证明了先进的制造技术不是任何时候都具有低成本优势。为提高市场竞争力,制造厂商需根据实际情况,选择相对成本较低的制造技术。因此,建立准确、真实反映先进复合材料制造成本的估算方法和理论,对于解决先进复合材料的成本问题及制造方案的决策,具有重要的作用。目前,美国和欧洲在先进复合材料的成

本估算理论上做了大量的工作^[1-4],并先后开发了多种复合材料成本估算软件。但由于使用环境的差别、专利的保护以及高昂的价格,国内制造厂商很少能够从中受益。

本文从实际需求出发,对先进复合材料的制造成本估算进行了理论层次上的研究,阐述了适合于国内先进复合材料制造成本估算的理论框架和思路。

1 制造成本及其构成

成本的定义早就受到人们的关注,并随着时代的发展不断变化。随着上世纪中期企业成本管理的出现,全寿命周期成本(Whole Life Cycle Cost, WLCC)的概念被广泛的接受。全寿命周期成本^[5]是指产品从开始酝酿,经过论证、研究、设计、发展、生产、使用一直到最后报废的整个寿命周期内所需的费用(包括研究、设计与发展费用,生产费用,使用、保障费用及最后废弃费用)的总和。

从充分考虑产品成本的角度来说,完整的成本估算需对产品的全寿命周期成本进行分析。本文主要将与复合材料制造技术关联较大的制造成本作为研究对象。由于所讨论的成本估算不同于财务核算,因此对于成本的分类需根据制造成本的构成特征以及对整个成本的影响程度来划分,具体分为:材料成本、人工成本、设备成本、模具成本、固定资产(厂房)使用成本、管理成本。成本构成如图1所示。

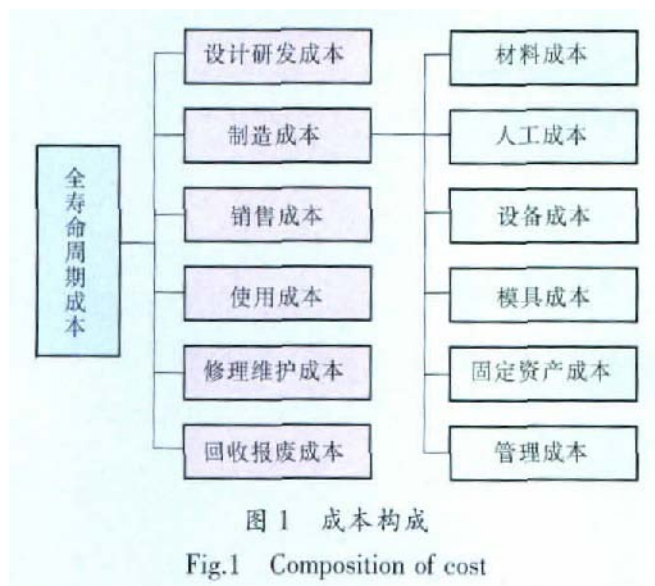
(1)材料成本。制造过程中所使用的主材料及高值易耗的辅助材料,对低值非易耗的辅助材料可忽略不计。

(2)人工成本。制造过程中单纯人工劳动的人工费用及质检人工成本,不包括设备运行时的人工费用和管理人员费用。

(3)设备成本。包括设备的年折旧费用、使用过程中的水电费用、设备运转所需人工费用及维护修理费用。

(4)模具成本。模具的购买费用及修理维护费用。

(5)固定资产(厂房)使用成本。厂房的使用费用。



所占用厂房的面积包括设备占用面积、储存面积、工作活动区域、保留空间、走道。

(6)管理成本。管理人员费用及相关的管理耗费。

本文假设制造过程中所使用的设备、厂房为公用投资,因此,在相应成本计算时,需合理分摊到所估算的复合材料产品成本当中,不作为专门投资考虑。

2 成本估算方法的选择

目前,成本估算的方法种类繁多。但从估算方法建立的原理来看,针对制造成本的估算方法,大致可分为3类^[6]:

2.1 参数估算法

其特点为侧重于对大量数据进行处理、分析,通过各数据间的关联,找出影响成本的重要驱动因素及其相互间的规律,并建立模型。这种建模原理可以无需知晓真实的制造过程,重点在于数据的收集、处理以及成本影响因素的确定。模型本身较难体现成本与影响因素之间的真实规律。准确性依赖于对原始数据库的不断扩充以及新数据对模型的不断调整。

目前,国外通过参数估算法研发了诸如 PRICE-H、SEER-H、DAPCA IV 等商业成本估算软件,但由于其数据库的数据均采自国外,模型对于国内复合材料制造成本估算准确性无法保证,因此不能直接应用。

2.2 过程估算法

由已知成本的发生过程,总结设计参数或工艺参数与成本之间的规律建立成本模型。使用前提为熟悉成本发生过程,重点在于通过对过程的准确理解,将其标准化,并根据标准化过程找出影响成本的驱动因

素,建立驱动因素与标准化过程中发生成本之间的模型。该模型能够体现成本与驱动因素之间的真实规律,其建立同样需要与过程相关的必要的数据。

2.3 预定动作时间系统 (Predetermined Motion Time System, PMTS) 类成本模型^[7]

其特点类似于过程估算法,但在人工成本的建模过程中强调所有的过程都是各类人员的自然动作的合成,并预先对过程中的动作及内容进行严格的认定。所需参数可分为设计参数与个体动作参数两类。重点在于标准动作的设定及建立基于标准动作的估算模型。模型本身同样能够体现成本与驱动因素之间的真实规律,其建立需要实际标准动作的相关数据。

在上述3类估算方法中,前2类均是在建模之前模型所针对对象的成本已经发生。模型的建立需要对已发生过程的认识或相关数据作为基础,而 PMTS 估算方法所针对的对象,无需考虑其成本发生过程是否已存在,但对成本的内容界定十分严格。

由于在建模原理上的差别,3种估算方法的使用环境各有不同。小批量生产阶段,一般管理投入相对较少,对工艺过程的控制力度有限,此时只存在部分工艺数据搜集的工作且制造过程细节标准较少,适合过程估算法建模;大批量生产阶段,管理的投入巨大,且对工艺过程的控制精益求精,所有细节(特别是人的动作)务必规范合理,此时工艺数据的收集工作细致全面,人工的工艺过程易于分解到细微的动作上,适合 PMTS 成本模型的建立;参数估算法则强调对复合材料产品的整体数据的需求,因此,只有在复合材料产品生产种类达到一定程度,产品整体数据积累到一定阶段时,方可建立成本参数模型。

3 成本估算框架及估算模型的建立

3.1 复合材料结构制造成本估算框架

由过程成本法的估算内容可知,需要在已知具体结构设计参数的条件下,按照某制造工艺方案估算出其相应的制造成本。由此可见,若要得到成本估算结果,需要有结构的设计参数和针对某个详细工艺方案的成本估算模型。

因复合材料结构制造工艺方案众多,针对每种工艺方案都建立独立的成本估算模型没有必要且耗费较大。因此,拟将已有的完整的工艺流程分解为若干独立的标准工序(如图2所示),并据此建立标准工序库。针对具体的工艺方案进行估算时,首先需在标准工序库中找出各制造环节相应的标准工序(若出现此

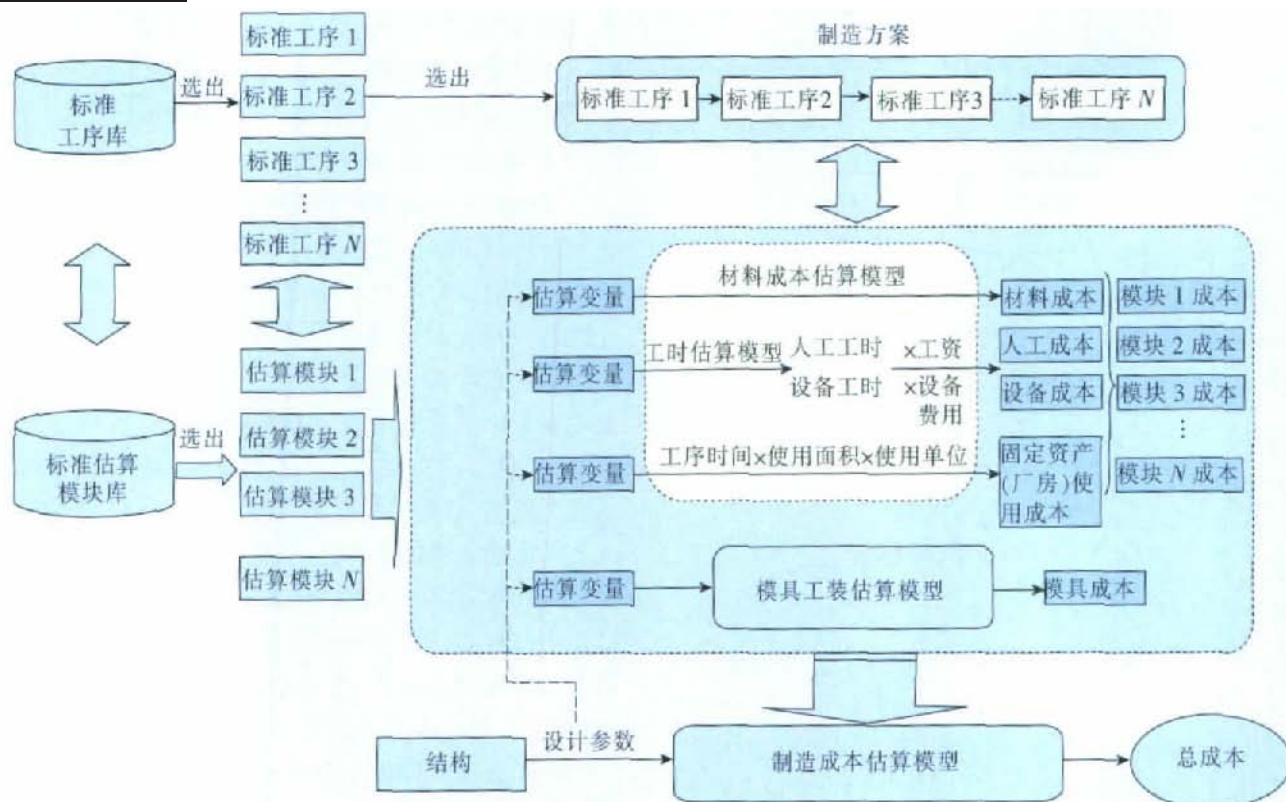


图2 复合材料结构制造成本估算框架

Fig.2 Manufacturing cost estimate framework of composite structure

前未有的标准工序,则将其补入标准工序库中,使标准工序库不断完善),再通过将各个标准工序估算模型加和,并与模具工装估算模型整合得到估算结果。

由此,具体工艺方案的估算模型转化为相应标准工序估算模型加和的形式,估算建模的工作即转化为各个标准工序的估算模型建模。

3.2 标准工序估算模型建立流程

标准工序建模流程见图3。标准工序的建立要满足切合实际、普适、标准化的要求。工序划分完毕后,首先要针对具体的工序内容根据工艺经验提取出工序中影响成本的主要物理现象及其成本驱动因素(一般为设计参数或者物理过程中的某些过程参数),并根据实际的物理现象建立初始成本模型。成本估算模型最终的输入参数应以设计参数为主。对于非设计因素的过程参数,应设定为由使用者给出;或者推导出过程参数与设计参数之间的函数关系式,由设计参数确定。通常,这种函数关系式的某些待定系数需要搜集足够的工艺数据进行数据分析得出。

标准工序中的成本分类已在制造成本估算框架上表示。在具体的标准工序估算模型内,估算模型的

估算内容包括材料成本、人工成本、设备成本和固定资产使用成本。

需强调的是,管理成本由于与复合材料结构的设

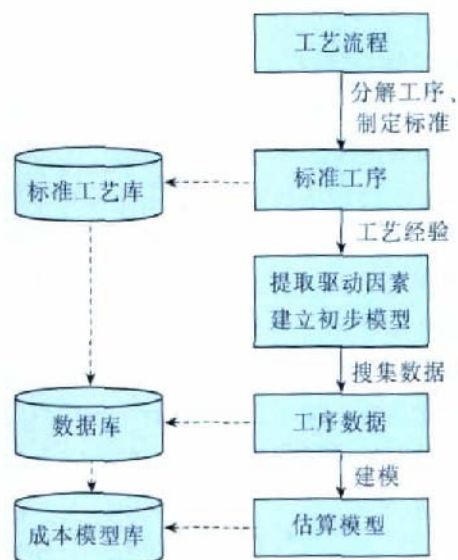


图3 标准工序估算模型建立流程

Fig.3 Modeling process of estimating model for standard process

计参数制造方案的选择无过多关联,在制造成本估算模型框架中可以不作考虑,与其相关的估算内容同样不在本课题的研究范围之内。

3.3 标准工序估算概念模型

在每一个标准工序估算模型中,工序的成本为工序内材料成本、设备成本、人工成本与固定资产使用成本的总和。

(1)材料成本。

由于是按设计进行成本估算的,在结构尺寸一定的情况下,可以较为容易地计算出制造过程中材料的理论使用量。但大部分的制造过程都会存在不能使用的边角料和废料,这些也必须考虑进材料成本内。因此,材料成本应是理论计算值与实际制造过程中所产生的废料、边角料之和再乘以材料的单价。

(2)设备成本。

设备成本在材料加工中占据重要的地位,其使用状况多种多样。目前较为通用的计算设备成本方法为设备的使用时间乘以设备单位时间的均摊价格。计算均摊价格时,需要考虑到设备的固定资产利率以及购买、维修、能源、人工材料等各项费用。设备单位时间的均摊价格往往会由于不同的目的和环境的影响而发生变化。

(3)人工成本。

标准工序中的人工成本是工序中的各种人工作业成本之和。由于复合材料制造工艺复杂,在许多制造阶段中,都不可避免地要有检测人员参与。检测人员不同于一般的管理人员,他们是制造过程中不可或缺的一部分,因此检测人工成本不宜记入管理成本,而应归入人工成本。

人工成本中的各种人工作业成本与检测人员的工作成本均通过工作时间与单位工资相乘得到,加和后即为标准工序中的人工成本。

在建立人工成本模型之前,首先需提炼出工序中的几种主要作业,并搜集与各作业相关的工作人数、结构参数以及标准工时的数据,分析标准工时与有效结构参数之间的关系。在某些作业中,工时较为复杂且变化极小或基本固定不变者,可通过日常积累的标准工时数据确定其固定的值,作为某些固定环境下的工时模型的工艺参数。

(4) 固定资产使用成本。

在复合材料制造初期,需要进行固定资产投资(这里主要指厂房及通用设备)。作为较为完整的制造成本估算,需将固定资产投资的成本也记入复合材料

制造成本当中。

固定资产使用成本是在复合材料产品制造过程中占用厂房面积之时发生的,直到场地清理完毕,可进行其他作业为止。成本的数额由占用面积、使用时间及单位面积、单位时间的均摊价格决定。其中均摊价格与设备成本的均摊价格取得方式相同,需考虑具体环境和目标进行定价。

标准工艺估算模型的建立,在概念模型的基础上,需要通过对具体过程的把握,建立体现规律的初步模型,并由实际数据确定初步模型当中的待定值,最终得到估算模型,如图4所示。



图4 标准模块估算模型的建模流程
Fig.4 Modeling process of estimating model
for standard modular

3.4 人工工时估算

由概念模型可知,工时的估算是标准模块中的设备成本、人工成本估算的要点。设备由于其自身规律性较强,相应的工时估算关系式易于得到,而人工的工时估算则相对较为困难。

PMTS类模型中,对于人工的工时估算的研究较为完善。在PMTS类模型中,动作为人工工时的估算对象,在成本估算的研究中,对于动作的工时的估算存在着以幂定律近似^[8-10]和一阶系统近似^[11]为理论依据的工时估算方程。

根据目前国内的先进复合材料制造环境,很难建立PMTS类模型,其相应的人工工时估算也与实际情况存在一定差距。动作的幂定律近似和一阶系统近似的工时估算,其前提假设为1人无配合完成的动作,而在众多人工成本发生过程中,一种作业往往必须通过几人之间的配合来完成。以动作为对象的工时估算不能很好地表达此类现象,虽然工时估算模型可以通过用实际数据进行回归处理来进一步修正,以达到估算结果误差在满意的范围之内,但此时公式本身已达不到反映真实规律的作用。

因此,本文针对过程估算法,提出一种人工工时的估算方法:认为每一种作业,在不同的作业人数的情况下,均有与之对应的作业总速度。每种作业的工

3.5 标准工时

4 结束语

目前,国外已开发了众多复合材料制造成本估算的商业软件,但由于种种原因,并不能完全适用于国内复合材料制造业。国内复合材料制造成本估算的相关研究较少,主要集中在 PMTS 类模型的工时估算研究方面^[12]。本文通过过程估算法的建模思路,阐述了复合材料的制造成本估算的理论框架及估算模型建立的流程,并给出了标准模块中的概念模型、计算模型的建模流程和工时估算的概念公式。应用本文的成本估算理论,可以有效建立适合于估算复合材料制造成本的估算模型。

参考文献

- [6] Ilcewicz L B, Mabson G E, Metschan G E. Cost optimization software for transport aircraft design evaluation (COSTADE)-design cost methods, NASA/CR 4737. Washington: NASA, 1996.
- [7] Niebel, B W. Motion and Time Study, 8th Edition, Irwin, Homewood, Illinois, 1988.
- [8] Ostwald P F. Cost estimation. 4th Edition, Penton Publishing Inc, 1988: 1-35.
- [9] Gutowski, Neoh E T, Dillon G. Framework for estimating fabrication time of advanced composites manufacturing processes. Proc.40th Intl SAMPE Symp. May 8-11, 1995: 58-69.
- [10] LeBlanc D J. Advanced composites cost estimating manual. Northrop Corporation, AFFDLTR-76-87, 1976 (1): 67-82.
- [11] Willden K, Harris C G, et al. Advanced technology composite fuselage manufacturing. NASA Report, CR -4735, 1997: 1-68.
- [12] 刘玲, 张博明, 王殿富. 热压釜成型工艺工时估算的理论模型. 复合材料学报. 2004, 21(3): 146-150.

(责编 未艾)

Microscan 收购
西门子机器视觉业务部

“收购西门子公司机器视觉业务部使 Microscan 公司能够扩大我们的视觉与智能相机产品系列,符合我们全球的客户和合作伙伴的利益”,Microscan 公司总裁 Jeff Timms 说道。“用于识别和检查的视觉产品是精确数据采集与控制市场中的一个正在成长的部分。伴随着收购西门子公司机器视觉业务部而带来的是包含在 Datamatrix(数据矩阵码)与视觉产品设计中精湛的技术专长。

通过与 Microscan 在数据采集解决方案上丰富的经验相结合,收购这个业务部极大地扩充了我们的产品系列,其结果是为我们的客户带来独特和相互补充的产品组合。这次收购将使我们在目标市场中置身于比我们的竞争对手更加优越的地位。”

(本刊记者 依然)