

【兵器与装备】

基于 Weibull 分布的武器系统研制 时间 - 费用模型*

陈士涛, 张志峰, 归建洲

(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘要:采用 Weibull 分布形式进行拟合计算和分析, 对武器系统研制的时间 - 费用模型进行研究. 最后, 以某型武器系统研制为例, 介绍该方法的应用过程.

关键词:武器系统; 时间 - 费用模型; Weibull 分布模型

中图分类号: TJ762.1⁺3

文献标识码: A

文章编号: 1006 - 0707(2008)02 - 0039 - 03

武器系统研制的时间 - 费用模型具有一定的预测功能, 可用于分配和控制研制过程中相应年(月)份的投资强度和总费用, 为计划、控制和分配研制费用提供一种有效的量化方法^[1]. 研究武器系统研制的时间 - 费用模型具有重要的现实意义. 由于武器系统的复杂性, 研制费用基本上都表现为多峰值 Weibull 分布形式, 可采用分系统叠加法、分段建模法等方法进行参数估计. 根据相似系统的历史数据进行新系统时间 - 费用模型的参数估计, 为准确预测研制费用提供更为科学的依据.

1 Weibull 时间 - 费用模型

武器系统研制费用的分布十分复杂, 表现为时间 - 费用曲线的多峰值和不规律性. 研制费用分布表现为中间多, 开始和结束少的特点, Weibull 分布可以科学地描述这一内在规律.

当利用 Weibull 分布描述武器系统研制的时间 - 费用曲线时, 一般取研制时间起点为 0, 设 k 为武器系统研制的总费用, 则 t 时刻需要的费用以单峰值 Weibull 分布表示为:

$$c(t) = Kmat^{m-1}e^{-at^m}, m \geq 1 \quad (1)$$

其中: m 为形状参数, 决定了曲线峰值的位置; a 为急迫性参数, 决定了曲线的陡度, 即武器系统研制的紧迫性; t 为系统研制的某时间点. 其函数分布如图 1 所示.

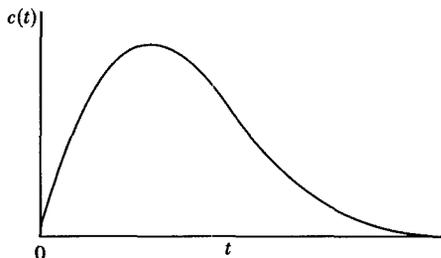


图 1 单峰值 Weibull 资金分布

由分布存在唯一的峰值点 t^* , 使 $f(t^*)$ 达到最大值, 可令 $f'(t^*) = 0$ 得:

$$t^* = \left(\frac{m-1}{ma}\right)^{1/m} \quad (2)$$

在建立系统研制的时间 - 费用过程中, 令 t_s 为结束时间, 当 $F(t_s) = 0.995k$ 时, 即认为研制过程结束^[2]. 对式(1)积分可得:

$$t_s = \left(\frac{-\ln(1-0.995)}{a}\right)^{1/m} = \left(\frac{5.3}{a}\right)^{1/m} \quad (3)$$

研究武器系统研制的时间 - 费用模型, 就是要尽可能精确地估计形状参数 m 和急迫性参数 a . 对于一个已经研制结束的武器系统, 实际的费用发生情况比较清晰, 利用式(2), (3)能够较容易地得到待估参数 m 和 a ^[3].

武器系统由多个分系统组成, 由于各分系统的研制进度不同, 则各分系统研制费用的单峰 Weibull 分布出现峰值的时间不同, 费用发生的起始和结束时间也不同, 各个分系统叠加而成的整个研制费用的分布随时间的进展就会

* 收稿日期: 2008 - 12 - 28

作者简介: 陈士涛(1984—), 男, 黑龙江桦南人, 硕士研究生, 主要从事武器系统分析与仿真研究; 张志峰(1960—), 男, 陕西礼泉人, 教授, 博士生导师, 主要从事武器装备管理研究.

出现多个峰值.多峰值 Weibull 分布模型可看成若干单峰值 Weibull 分布的叠加,即

$$C(t) = \sum_{i=1}^n C_i(t, r_i) = \sum_{i=1}^n K_i m_i a_i (t - r_i)^{m_i - 1} e^{-a_i (t - r_i)^{m_i}} \quad (4)$$

其中: $C_i(t, r_i)$ 为分系统研制费用分布函数; $C(t)$ 为武器系统总研制费用分布函数; n 为分系统数.

多峰值 Weibull 分布的参数估算较难进行,根据具体的样本数据,可分 2 种情况处理^[4].第 1 种情况,分系统的划分及分系统的研制费用都很清晰,可采用分系统叠加法,先对各分系统作单峰值 Weibull 分布的参数估计,然后对它们进行叠加,得到武器系统的费用分布模型.如果某一分系统本身也是个多峰值 Weibull 分布,则对其子系统的单峰值 Weibull 分布再进行参数估计.第 2 种情况,分系统的费用数据不足或费用难以相互剥离(在武器系统的研制过程中较为常见),根据项目的进度计划,人为地将整个过程分为若干个阶段,确定各阶段的起始点、峰值点和结束点,各阶段的拟合结果为单峰值 Weibull 模型,最终模型等于各段模型相应时间的叠加.

2 实例分析

2.1 分系统叠加法.某型地空导弹武器系统由功能和结构相对独立的 4 个分系统组成:发射系统、制导系统、后勤保障系统和指挥控制系统.这里分别记为 A, B, C, D.对该类型已有装备的研制费用分析,各分系统的研制费用分布均可用单峰值 Weibull 分布来描述.表 1 是专家估算给出的费用和进度数据,可据此对该型地空导弹武器系统总研制费用的时间-费用模型作出估计.

表 1 研制费用和进度数据

| 分系统 | 研制费用/ 万元 | 开始年份 (基准年为 0) | 结束 年份 | 峰值 年份 |
|-----|-------------|------------------|----------|----------|
| A | 2 900 | 0 | 6 | 3 |
| B | 3 200 | 0 | 7 | 4 |
| C | 1 400 | 2 | 8 | 6 |
| D | 1 800 | 4 | 10 | 9 |
| 总计 | 9 300 | 0 | 10 | |

利用式(2)和(3)即可确定各分系统的待估参数 m_j , a_j , 得:

$$m_1 = 2.551, a_1 = 0.0371, r_1 = 0, K_1 = 2900;$$

$$m_2 = 2.978, a_2 = 0.0108, r_2 = 0, K_2 = 3200;$$

$$m_3 = 3.581, a_3 = 0.00499, r_3 = 2, K_3 = 1400;$$

$$m_4 = 5.563, a_4 = 0.000105, r_4 = 4, K_4 = 1800.$$

叠加各分系统的分布模型,就得到了总研制费用的分布模型,结果如图 2 所示.

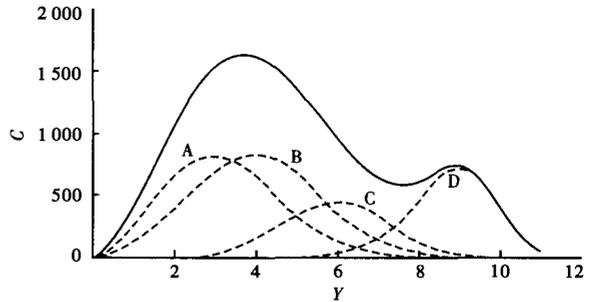


图 2 各分系统叠加的总研制费用分布模型

2.2 分段建模法.上例中,4 个单峰值 Weibull 分布可以叠加成 1 个多峰值的 Weibull 分布,但 1 个多峰值的 Weibull 分布却不一定分解为 4 个单峰值 Weibull 分布,在没有具体约束的条件下,可以有无穷多的分解形式.利用分段建模法对多峰值 Weibull 分布有几个峰值就分解为几个单峰值 Weibull 分布,可以得到确定的解.

某型地空导弹武器系统研制费用分布的原始数据如表 2 所示,分布如图 3 所示.

表 2 研制费用发生情况

| 年份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------|-------|---------|---------|---------|---------|
| 费用/万元 | 332.2 | 1 021.1 | 2 407.5 | 1 782.2 | 173.6 |
| 年份 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 费用/万元 | 118.4 | 1 044.2 | 2 067.2 | 2 561.2 | 2 177.4 |
| 年份 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 费用/万元 | 435.9 | 623.2 | 915.0 | 1 058.1 | 203.8 |

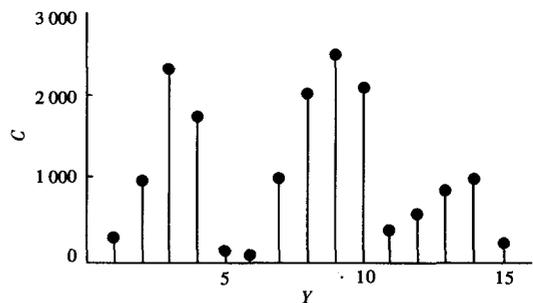


图 3 武器系统研制费用分布

由图 3 可见,原始数据呈现 3 个明显的峰值,相互间可明显分段,适合用分段建模法建立模型.将武器系统研制的进度分成 0~6 年、5~12 年、9~15 年 3 段,在各时间段用线性回归法进行单峰值 Weibull 分布的参数估计,结果为:

$$m_1 = 3.135, a_1 = 0.02552, r_1 = 0, K_1 = 5835;$$

$$m_2 = 2.603, a_2 = 0.00641, r_2 = 5, K_2 = 7850;$$

$$m_3 = 3.712, a_3 = 0.00317, r_3 = 9, K_3 = 3236.$$

理论曲线与实际数据拟合曲线的比较如图 4 所示.两者有一定的平均相对误差,考虑到实际工程的费用分布是一个拥有大量不确定性因素的复杂问题,这样的误差是可以接受的.

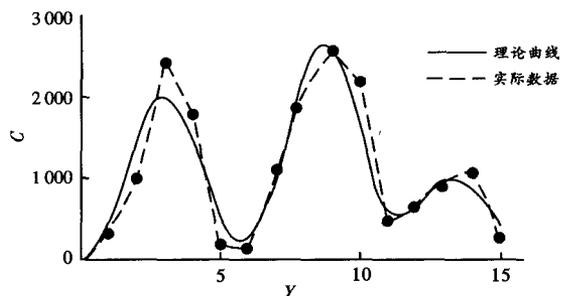


图4 理论曲线与实际数据拟合曲线的比较

3 结束语

基于 Weibull 分布形式,对武器系统的研制时间-费用模型进行了研究.由于武器系统(及分系统)的复杂性,研制费用基本上都表现为多峰值的 Weibull 分布,可采用分系统叠加法和分段建模法进行参数估计.当根据相似系统的历史数据进行新系统时间-费用模型的参数估计时,常用

(上接第 25 页)

最后在压料面和工艺补充墙两面以及零件延伸面与工艺补充墙两面之间倒一定角度的圆角,这样,就完成了工艺补充面的设计.

5 拉深筋的设计

拉深筋的具体参数在首次设计时,一般都不在 CAD 模型中创建,而只是确定其中心线位置,此位置距离分模线 25 mm.在 CAE 分析中利用虚拟拉深筋进行锁料分析,待确定了具体的拉深筋参数后,才在 CAD 中具体设计拉深筋的几何模型.

图 9 所示为行李箱盖外板最终设计好的拉深模具型面.

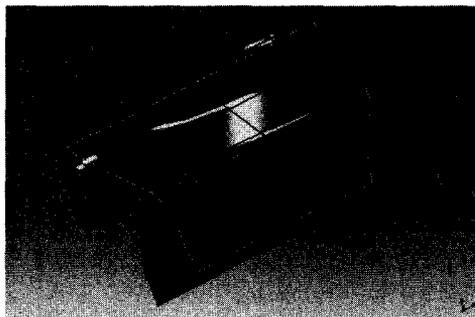


图9 行李箱盖外板最终模具型面

的专家估计法易受主观因素影响,本研究根据武器系统研制费用的实际发生特点,对此提出了改进方法,对相应公式进行了推导,得到了更为科学的估算结果.

参考文献:

- [1] 郭基联,段宝君,张恒喜.基于威布尔分布的装备研制时间-费用模型[J].装备指挥技术学院学报,2002,13(2):2-4.
- [2] 谢红胜,吴春诚,吴相林.基于威布尔分布的水电设备费用模型研究[J].华中科技大学学报,2006,34(9):54-56.
- [3] 金少华,李志刚,陆俭国.关于威布尔分布的一种参数估计方法[J].天津轻工业学院学报,2003(18):43-46.
- [4] 程靖.威布尔分布的参数估计[J].巢湖学院学报,2007,9(3):20-23.

6 结束语

本研究通过应用 CATIA V5 所提供的强大曲面设计功能,实现了车身复杂模具拉深型面的设计,使得复杂曲面产品的设计变得更容易.利用行李箱盖外板拉深模具型面设计所提供的设计方法,可以推广到车身其他覆盖件产品的设计中,为复杂曲面的造型设计提供了一种方法.同时,结合 CAE 有限元软件对拉深件模具型面进行优化设计,还可有效地提高模具设计质量和效率,缩短模具设计、制造和调试周期,降低车身覆盖件模具开发的成本和风险.

参考文献:

- [1] 崔令江.汽车覆盖件冲压成形技术[M].北京:机械工业出版社,2003.
- [2] 周天瑞.汽车覆盖件冲压成形技术[M].北京:机械工业出版社,2000.
- [3] 尤春风.CATIA V5 机械设计[M].北京:清华大学出版社,2002.
- [4] 《冲压工艺及冲模设计》编写委员会.冲压工艺及冲模设计[M].北京:国防工业出版社,1993.
- [5] 王昶.轿车车身覆盖件冲压模具工艺补充面设计的应用与实践[J].锻压技术,2006(5):88.