

# 基于 CATIA 二次开发的机翼模型的快速生成及其应用

## Wing Model Rapid Generation Based on CATIA Secondary Development and Its Application

陕西应用物理化学研究所 高少波 韩庆

**[摘要]** 针对机翼模型的快速生成以及如何提高建模、变换、有限元分析、优化综合流程效率的问题,通过对基于形状函数/分类函数变换(Class function/Shape function Transformation, CST)的翼型参数化描述方法和机翼平面参数化描述方法的研究,结合 CATIA 二次开发技术在 VB 环境下,采用 VB 语言编程,完成了机翼参数化 CAD 模型生成系统的开发,同时通过具体实例验证了此系统所生成的 CATIA 三维模型在 MSC.Nastran 中做有限元分析的可行性。此实例表明,采用此系统很大程度上提高了机翼建模效率,并为机翼优化提供了便捷的建模及模型修改途径。

**关键词:** 机翼模型 参数化描述 二次开发 快速生成 翼型

**[ABSTRACT]** Aiming at the problem of rapid generation of wing model and the improvement of modeling, transform, finite element analysis, optimization comprehensive process efficiency, through the research of airfoil and wing plane parameter description methods based on class function/shape function transformation, in the VB environment, combining with technology of CATIA secondary development, using VB programming language, the software development of wing parametric CAD model generation is completed. Meanwhile through concrete example the feasibility of CATIA three-dimensional model which is generated by the system being used to do MSC. Nastran finite element analysis is verified. This example shows that the use of this modeling system greatly improves the efficiency of the wing and provides a convenient way of modeling and model changes for the wing optimization.

**Keywords:** Wing model Parametric description Secondary development Rapid generation Airfoil

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.S1.028

飞机三维模型的建立是飞机总体设计中的一个重要环节,三维模型不仅为各学科设计提供了一个统一的外形模型,更是各学科展开设计工作的基础部分。然而

在一些学科基于三维模型展开设计的过程中,需要对模型外形尺寸、结构布置做出相应的调整,比如在做机翼结构拓扑优化,或是气动外形优化、减重优化、静力分析等优化设计时,可能要针对梁、桁、肋的尺寸、位置、个数进行三维模型的修改<sup>[1]</sup>。如果是气动外形优化,可能还要做翼型的修改,但后期修改模型的工作十分复杂,有时甚至无法修改。机翼结构中相同的元件(如长桁、翼肋等)建模方式虽然完全相同,但结构设计人员仍要做大量重复性工作。1992年6月在东京 CIRP 国际会议上并行工程技术被正式提出来,在此基础上延伸出以缩短产品设计周期为目的的快速设计技术与方法<sup>[2]</sup>。1996年美国 AUTOFACT 举办了以“快速设计与制造”为主题的专项学术讨论会,由此“快速设计”理论与技术开始成为世界各国研究的热点<sup>[3]</sup>。因此为了缩短建模、变换、优化分析综合流程的周期,基于计算机辅助设计软件的二次开发技术为飞机模型参数化设计方法提供了一种有效的途径<sup>[4]</sup>,采用此途径,利用模型的参数化描述以及三维模型的快速生成技术,很好地解决了这一问题。

参数化建模不仅可以提高建模效率,还能很好地改善模型质量<sup>[5]</sup>。本文以飞机机翼外形及结构布局作为研究对象,首先采用 CST 方法对翼型做了参数化描述,同时对机翼平面外形也做了参数化描述。在 VB 环境下基于 CATIA 二次开发技术,结合 VB 语言进行了机翼外形参数化 CAD 模型生成系统的开发。最后结合 MSC. Nastran 有限元分析,对三维机翼模型的快速生成以及所生成机翼模型做有限元分析可行性进行了验证。

## 1 机翼模型参数化描述

### 1.1 机翼翼型的参数化描述

基于 CST 的翼型参数化描述方法<sup>[6]</sup>,以翼型弦向控制点处的厚度为控制参数,建立翼型模型。CST 方法介绍了一种将形状函数和类函数相结合的综合函数,形状函数具有简单解析解,可以较好地对飞机几何外形进行描述,而且可以直接控制飞机外形的几何参数。类函数是用来概括各种各样几何外形的函数,通过形状函数和类函数的结合,得到了一个用来描述几何外形具有综合性质的函数,此函数可以用来描述任意的二维图形。

对于形状函数,用伯恩斯坦多项式来定义,其数学表达式为:

$$BP_n = \sum_{r=0}^n K_{r,n} x^r (1-x)^{n-r} \quad (1)$$

形状函数的单位分解可用帕斯卡三角来表示,如图1所示。

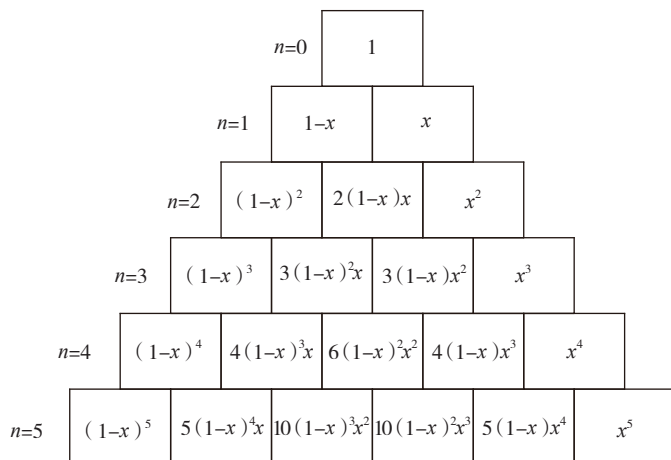


图1 帕斯卡三角  
Fig.1 Pascal triangle

选择可以表示翼型的单位分类函数:  $C(x) = \sqrt{x}(1-x)$ , 单位形状函数选择四阶伯恩斯坦多项式,将二者相乘,便可以用来描述一个单位化的翼型曲线,表达式为:

$$Y(x) = C(x) \cdot S(x) \quad (2)$$

实践经验表明:采用四阶的  $BP_n$  方法,可以足够精确地描述大多数翼型;采用 5~8 阶的  $BP_n$  方法可生成各种超临界翼型。即使不需要直接控制前缘半径及尾锥角等参数,也可以很好地描述翼型前缘和后缘的形状,具体方法为通过标准翼型利用公式  $x_i = (N1 + i) / (N1 + N2 + n)$  算出控制点坐标,将坐标代入翼型曲线表达式,解出对应翼型形状函数的各个系数,便可以通过完解后的翼型曲线表达式准确地拟合出相应的翼型曲线,图2为用 4 阶的  $BP_n$  生成的对称翼型。

### 1.2 机翼平面外形参数化描述及内部结构的位置描述

用来描述机翼平面外形的参数有机翼半展长  $L$ 、前缘后掠角  $\chi$ 、翼根弦长  $a$ 、翼尖弦长  $b$ 。图3为双梁式机翼,翼肋为顺气流布置,根据以下所标参数便可以确定机翼平面外形。

## 2 VB 环境下的 CATIA 二次开发

通过编程来访问 CATIA 的对象有很多种不同的方法,对于其他脚本或程序来说, CATIA 只是一个对象连接与嵌入(Object Linking and Embedding, OLE)自动化

对象服务器而已,任何能访问部件对象模型(Component Object Model, COM)<sup>[7]</sup>对象的程序或脚本都能访问 CATIA 的对象并对其进行操作,如图4所示,进行了 CATIA Automation 的描述<sup>[8]</sup>。

### 2.1 CATIA 二次开发的一般步骤

本文在此仅以 VB6.0 进行 CATIA 二次开发,叙述 CATIA 二次开发的一般步骤。通常情况下有以下几个步骤:

- (1) 初始化 COM 库,引入类型库文件;
- (2) 打开或新建一个全局对象 Application,即启动 CATIA;
- (3) 向 Application 中加入 Document 对象,以实现数据管理;
- (4) 声明欲使用的对象,读入对应参数,绘制几何形体;
- (5) 更新 Document 对象或 Viewer 对象,显示图形;
- (6) 保存 CAD 文件,关闭 Application,释放 COM 库。

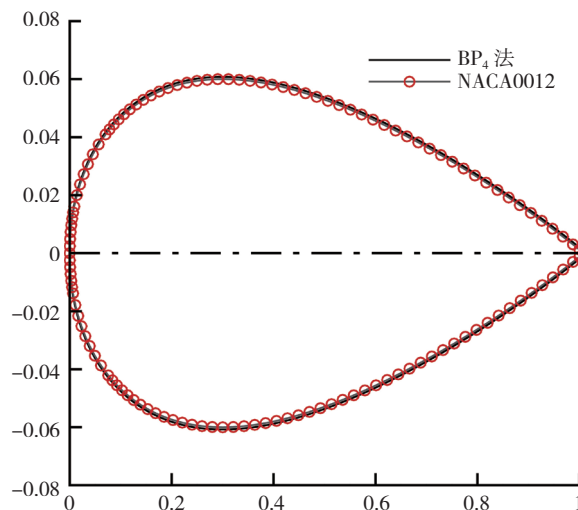


图2 用4阶  $BP_n$  方法生成的对称翼型  
Fig.2 Airfoil generated by the fourth order  $BP_n$  method

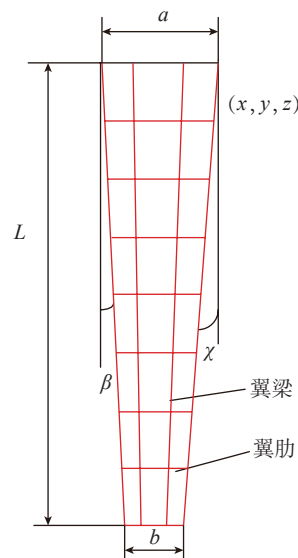


图3 机翼平面外形参数图  
Fig.3 Wing plane configuration parameter diagram

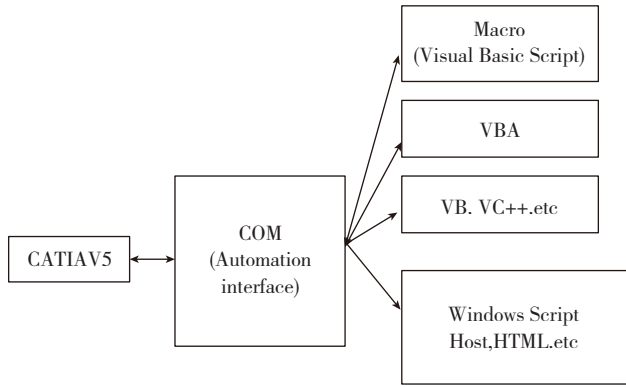


图4 CATIA Automation的描述

Fig.4 Description of CATIA Automation

2.2 机翼结构的参数化创建

创建 VB 环境下 CATIA 的访问,创建方法为:当 CATIA 已经运行时,脚本只要用 GetObject 方法连接到 CATIA 即可;当 CATIA 没有运行,脚本首先要用 CreatObject 方法启动 CATIA。将上述 2 种方法结合在一起,即可避免访问 CATIA 时出现的问题。

访问 CATIA 成功后,根据用户手动输入的机翼外形参数及翼型参数,梁、翼肋的个数和位置生成 CATIA 机翼结构数模。具体流程如下:

首先将点、线、面各元素分类,将绘制机翼结构的梁、蒙皮、翼肋所用到的点、线、面几何特征分别放在相应几何图形集(UpSkinDatum、DnSkinDatum、RibDatum、SparDatum、StringerDatum)下。

然后根据获取的展长、根弦、尖弦、后掠角绘制机翼平面形状。根据翼型数据先生成翼根剖面(翼型数据点 × 根弦长),根据站位信息可以生成表示翼肋的剖面,此时需要根据前缘后掠角等数据来计算所有沿展向的剖面数据点的 x 坐标的偏移。绘制代表前缘和后缘的直线,作为生成蒙皮时的引导线,根据梁的设计数据,绘制出代表各梁的直线。

3 机翼参数化 CAD 模型生成软件的开发

应用 CATIA 二次开技术和 VB 语言编程实现机翼模型参数化设计,要自动生成尺寸精确的机翼模型。飞机机翼设计中翼型的准确描述与否,对飞机气动特性有着重要的影响,所以首先必须对机翼翼型做准确的参数化描述,然后做了机翼平面外形和机翼内部结构站位的描述。在 VB 环境下编写,利用 VB 驱动 CATIA,完成了机翼外形 CAD 模型生成软件的开发。设计了用户界面,用户界面中提供机翼翼型和机翼平面外形的参数输入窗口,以及机翼内部结构站位参数输入窗口。用户根据界面提示内容输入数据,在 VB 环境中可以预览二维模型,输入这些参数后,结合 CATIA 的建模规范,应用

CATIA 二次开发技术可以自动生成机翼外形 CATIA 三维模型。

如图 5 所示为翼型参数的输入界面,此翼型参数化描述是采用四阶伯恩斯坦多项式的方式进行描述的,上下翼面均有 5 个控制点。N1、N2 分别为前缘后缘形状的控制系数,通过对参数 N1、N2 的调整,可控制曲线的起点和终点的形状,界面中所示翼型取 N1=0.5、N2=1。

图 6 为翼面外形参数的输入界面,包括机翼半展长、前缘后掠角、翼根弦长、翼尖弦长、站位值及翼肋个数和位置参数。



图5 翼型参数的输入界面

Fig.5 Input interface for airfoil parameters

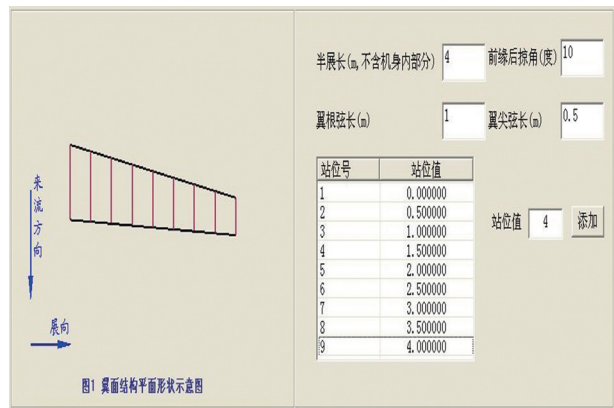


图6 翼面外形参数的输入界面

Fig.6 Input interface for wing plane configuration parameters

根据用户设置的机翼外形参数,用户手动输入各梁的位置(根弦长百分比),程序根据翼型参数和翼面参数自动计算出各梁的高度,如图 7 所示。

4 基于 CATIA 二次开发所建三维模型的有限元分析

CATIA 二次开发技术不但具有快速便捷的模型修改功能,而且可根据工程设计人员所需外形参数和结构

参数方便快捷地建立 CAD 模型。但就 CATIA 软件本身来说,其分析功能比较薄弱,而 MSC.Nastran 的分析结果已逐渐成为行业标准<sup>[9]</sup>,但 Patran 的建模及模型修改功能相对薄弱。若将 CATIA 二次开发技术与 MSC.Nastran 相结合,便很大程度上提高了建模、变换、优化这一综合流程的效率。但 CAD 模型生成系统所生成的机翼模型能否在 MSC.Nastran 中进行有限元分析,有待验证。本文将 CAD 模型生成系统所生成的机翼模型另存为 igs 文件格式并将其导入 Patran 中,进行有限元分析,验证了此模型结构做有限元分析的可行性。

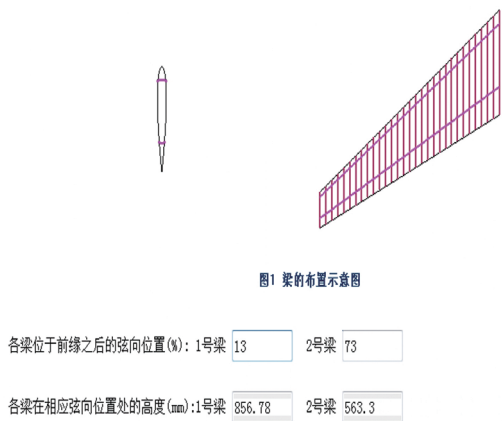


图7 梁位置参数输入界面

Fig.7 Input interface of position parameters of beam

## 5 实例

### 5.1 机翼三维模型的生成

以机翼模型参数化为基础,采用 AG44ct-02f 翼型,如图 8 所示。

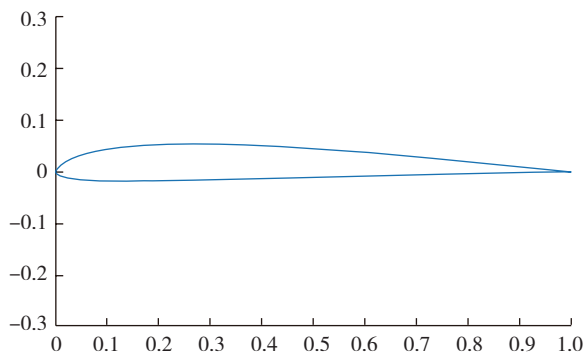


图8 AG44ct-02f翼型

Fig.8 AG44ct-02f airfoil

表 1 给出了机翼平面外形参数化描述所需数据和尺寸,根据这些数据程序可以绘制出机翼的平面轮廓。

表 2 列出了机翼内部结构沿展向各段的站位值,即翼肋的位置。

实例采用双梁结构,上、下蒙皮等百分比布置,表 3 展示了前梁和主梁位置信息。

表1 机翼平面参数

参数	值
半展长 $L/m$	4
前缘后掠角 $\chi/ (^{\circ})$	10
翼根弦长 $a/m$	1
翼尖弦长 $b/m$	0.5

表2 站位号及站位位置

站位号	站位位置 /m
1#	0
2#	0.5
3#	1.0
4#	1.5
5#	2.0
6#	2.5
7#	3.0
8#	3.5
9#	4.0

表3 梁位置信息

梁位置参数	参数值 /%
1# 梁	27
2# 梁	65

通过运行机翼模型参数化 CAD 模型生成系统,程序调用 CATIA 软件自动生成机翼结构的三维模型。图 9 所示机翼 CATIA 模型为该软件系统依据上述参数自动创建完成。

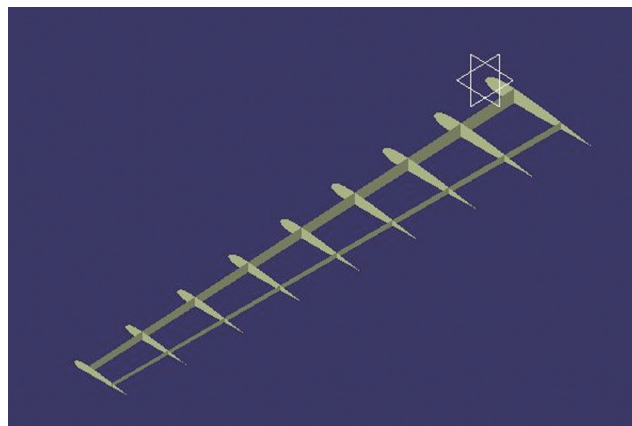


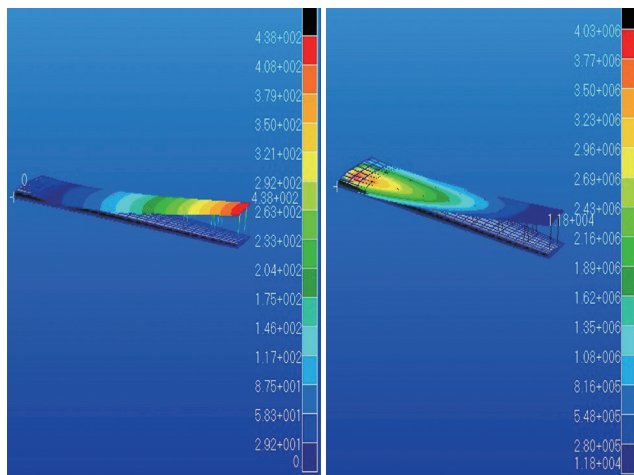
图9 生成的机翼结构模型

Fig.9 Generated wing structure model

## 5.2 机翼模型结合 MSC.Nastran 的有限元分析

首先将实例中生成的机翼三维 CATIA 模型另存为初始图形交换规范(Initial Graphics Exchange Specification, 简称 iges)格式,然后导入 Patran 中,根据梁和翼肋位置将机翼蒙皮分块,结合机翼尺寸大小,给分割后的每块蒙皮周边布点,最后整体生成有限元网格,选择梁与机翼上蒙皮相交的直线进行曲线网格划分,并生成梁单元。进行材料属性的定义,均定义为超硬铝合金<sup>[10]</sup>,弹性模量为 69GPa,泊松比为 0.33。

在上述基础上,进行单元属性的定义,蒙皮和翼肋均定义为厚度为 4mm 的壳单元,翼梁定义为截面为工字梁形状的梁单元,进行边界条件的设置,加 100kg/m<sup>2</sup>的翼载。最后利用 MSC.Nastran 求解器,进行有限元分析。图 10 为机翼应力云纹图与位移云纹图。



(a) 位移云纹图 (b) 应力云纹图

图10 位移云纹图与应力云纹图

Fig.10 Displacement and stress nephograms

## 6 结束语

通过以上算例可知,对机翼进行参数化描述后,利用 CATIA Automation 二次开发技术可以自动生成机翼三维模型。机翼模型参数化 CAD 模型生成系统的开发实现了机翼模型的快速设计,提升了翼面结构的设计能力和设计水平,具有现实的工程意义和使用价值。应用 CATIA Automation 二次开发方法能够快速、准确地建立参数化的翼面结构模型。在此基础上,通过将二次开发所生成的机翼模型与 MSC.Nastran 有限元分析相结合,并结合以上算例验证了此模型进行有限元分析的可行性,在很大程度上提高了建模、变换、有限元分析优化综合流程的效率。为以后在飞机设计过程提供了快速、精确的模型建立途径以及有限元分析模型。再者,还可以通过机翼模型参数化 CAD 模型生成系统所生成的三维 CAD 模型,获取机翼零件模型图样,确定相应的加工工

艺,在此基础上编写数控加工程序,加工出相应的实体模型,可以为科学研究提供尺寸数据精确的试验件,从而很好地将理论与实践相结合。

## 参考文献

- [1] 孟令涛,刘莉,龙腾,等.基于 CATIA 模型在 CFD 中的应用. 弹箭与制导学报,2008,28(5):161-164.
- [2] Sohlenius G. Concurrent engineering. Annals of the CIRP, 1992, 41(2):645-655.
- [3] Duffy A H B, Duffy S M. Sharing the learning activity using intelligent CAD. Artificial Intelligence for Engineering Design Analysis and Manufacturing,1996, 10(2):83-100.
- [4] 周桂生,陆文龙. CATIA 二次开发技术研究与应用. 机械设计与制造,2010(1):81-83.
- [5] 范辉,李为吉. CAD 系统的二次开发在飞机构型优化中的应用. 计算机工程与设计,2006,27(13):2319-2321.
- [6] Kulfan B M. A universal parametric geometry representation method—CST//AIAA. Proceedings of the 45th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit. AIAA 2007-62.
- [7] HEL Stress and emotion recognition in natural speech in the work and falllily enrinnments[D]. Melbourne: RMIT University, 2011:26-76.
- [8] 胡挺,吴立军. CATIA 二次开发技术基础. 北京:电子工业出版社,2007:14-27.
- [9] 马爱军,周传月,王旭. Patran 和 Nastran 有限元分析. 北京:清华大学出版社,2005:224-233.
- [10] 邓阳晨,孙聪,王琦. 飞机设计中工程优化方法与建模. 长春:吉林大学出版社,2009:183-194.

(责编 叶枫)

(上接第 23 页)

系统维修优化研究. 中国西部科技,2013,12(11):22-24.

- [6] Modarres M. Risk analysis in engineering: Techniques, tools, and trend. NW: Taylor & Francis,2006.
- [7] Vaurio J K. On time dependent availability and maintenance optimization of standby units under various maintenance policies. Reliability Engineering and System Safety, 1997, 56(1):79-89.
- [8] Vaurio J K. Optimization of test and maintenance intervals based on risk and cost. Reliability Engineering and System Safety, 1995,49(1):23-36.
- [9] Rausand M, Vath J. Reliability modeling of surface controlled subsurface safety valves. Reliability Engineering and System Safety, 1998,61(1/2):159-166.
- [10] Evolution / Optimization Guidelines IMRBPP Issue Paper 44 (Issue 3). IMRBPP,2007.
- [11] Kumar U, Akersten P A. Availability and maintainability// Melnik E L, Everitt B S. Encyclopedia of quantitative risk analysis and assessment. Chichester: John Wiley & Sons, 2008.
- [12] Aven T, Abrahamsen E. On the use of cost-venefit analysis in ALARP processes. International Journal of Performability Engineering, 2007,3(3):345-353.
- [13] 刘福胜,吴纬,单志伟,等. 装甲装备使用可用度与维修保障费用的优化模型. 装甲兵工程学院学报,2010,24(4):11-14.

(责编 春早)