高空气球综合/开放式设计系统

马云鹏 武 哲 吕明云 刘东旭

(北京航空航天大学 航空科学与工程学院，北京 100191)

摘 要：开发了一种新架构的高空气球设计系统，引入了综合性、开放式的设计理念，采用面向对象的整合方法，包含了自定义开发、多 Agent 基线比选等开放性设计功能，通过实例证明了该系统不仅可以进行模型建立、性能分析、费用评估等分析结果综合评价，还使方案设计与数字加工、飞行仿真等实际应用结合在一起.

关 键 词：气球；综合性；开放式系统；设计

中图分类号：V 274

文献标识码：A **文 章 编 号**：1001-5965(2010)01-0061-04

High-altitude balloon integration/opening design system

Ma Yunpeng Wu Zhe Lü Mingyun Liu Dongxu

(School of Aeronautic Science and Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: A high-altitude balloon design system based on a new framework was developed. The design theory of integration, opening source and multi-object contrasting were imported. Meanwhile, the object-oriented method was used to conform the data. The project could be designed by using the opening function of user-defined developing and baseline comparing of multi-agents. The examples prove that the high-altitude balloon design system can synthetically estimate the analyzing results of model establishing, capability and cost evaluating. And the system can combine the pratical applications such as schematic design, digital manufacturing and flight simulation together.

Key words: balloons; integration; open system; design

各空间大国的空间研究机构，如美国、法国、俄罗斯、日本等都建立了完整的高空科学气球系统. 超长飞行时间气球 ULDB(Ultra-Long Duration Balloon)计划[1]将高空气球研究带入了一个新的时代.

20 世纪 70 年代，美国 NCAR 和 NSBF 机构开发了零压气球和超压气球的模拟软件，此软件凭借着可以模拟升空时间和位置的关系在当时得到了很大的认可[2]. 随着分析的深入，高空气球的热分析成为了重点研究的对象，NASA/WFF 机构设计的 THERMTRAJ[3]，是气球热分析系统 PKGTHRML[3]的替代产品，它制定多种有效而简单的假设，提高了模型的性能并优化了定义参数的数量，但仅适用于零压气球，所以具有一定的局限性. 后来 SINBAD 的出现才使气球分析软件达到了较高的水平[4]，现在的气球设计软件是 SINBAD 衍生出的多个不同版本.

国内多家科研单位也在很早就开始了高空气球的研究，如北京航空航天大学、上海交通大学、中国科学院等[5]都做了大量研究工作.

虽然现在的气球设计软件比起过去已经有了很大的进步，但仍有很多限制和不足，表现为以下几个方面：

1) 综合设计能力较弱. 大多数气球设计软件在某一高空气球设计方案的受力、裁剪、飞行仿真、费用评估等性能分析方面各自独立，数据传递大多依赖人工完成，效率低且可靠性差.

2) 开放性较差. 目前气球材料、能源、结构形式更新较快，这些重要的参数直接影响到气球的升空情况，而软件并未给使用者适当的自主设计

收稿日期：2009-07-23

作者简介：马云鹏(1981—)，男，山西长治人，博士生，yunpeng_123@163.com.

空间;并且大多数软件没有与商业软件建立接口,使其分析结果不能快速与其他专业软件结果进行对比,这些都从一定程度上制约了气球设计软件的准确性.

3) 多方案对比评估性能不佳.针对同一任务的多种气球设计方案的评估、改进与优化较大地依赖于设计者的经验,不能满足复杂产品的设计要求.

4) 设计与加工、飞行试验等实际应用脱节.如大多数气球设计软件没有裁剪模块,或者裁剪模块输出的文件与裁剪系统不能匹配,从而使气球设计与加工制造脱节,既增加了成本又降低了工作效率;另外,气球飞行仿真模块的输出结果与飞行数据实时对比分析需要人工完成,在飞行试验中,不能实时有效地进行升降控制.

针对目前国内外气球设计软件存在的以上缺点,本文开发了高空气球设计系统 HBDS(High-altitude Balloon Design System),采用了面向对象的系统综合性架构和开放式的软件设计方法.

1 综合性架构

面向对象的系统架构是一种综合性的软硬件架构,它将系统软件根据不同功能分为了5个层次,各层独立且相互结合,系统可以完成模型建立、性能分析、费用评估等各种分析并且可以进行综合评价.硬件架构中充分结合了自动裁剪加工和飞行试验等实际应用要求,通过各种设备按功能不同将设计和仿真结果与加工、飞行控制等紧密结合在一起,增加了设计系统的实用性.

1.1 软件架构

HBDS新的软件架构如图1所示,根据功能不同,分为了Basic,Data,Agent,Mission和Sub-system层5个部分.

1) Basic层.作为高空气球综合设计系统的基础,包括:各类大气环境、囊体材料、结构材料、费用、能源动力等数据库和各类图形库;所有质量计算模块、成本计算模块、能源动力平衡计算模块、升空仿真计算模块、实时控制计算模块等性能计算所需各种模块;受力分析方法包、裁剪分析方法包、热分析计算方法包和各类优化工具包等基础分析方法模块.为不同Agent目标分析提供了大量可以调用的资源.

2) Data层.联系Basic层和Agent层的纽带,负责各个组成部分和数据流的实现、工具软件的集成、软件接口,是平台的中间件和软件总线.

3) Agent层.该层可以由设计人员直接操作,根据需求,通过Data层向Basic层提出数据和任务请求,并对Basic层提供的模块信息进行分析处理,得出所需要的性能数据和曲线.设计者对三维建模、性能计算、费用评估、裁剪加工以及升降模拟等Agent进行相关操作,也可以根据方案的特殊性,修改其中的部分参数,进行自主设计和分析.

4) Mission层.高级的分析评估中心,可以对多个Agent进行基线比选,也可以针对某一个Agent进行参数优化.在进行任何一项Mission时,不仅可以调用任何一个Agent资源进行计算,而且可以同时对多个Agent计算结果和曲线进行对比分析,从而大大提高设计质量和效率.

5) Sub-system层.可以在多个Agent资源利用基础上,将多个具有类似功能的模块和Agent任意整合在一起以完成一项特定任务,从而

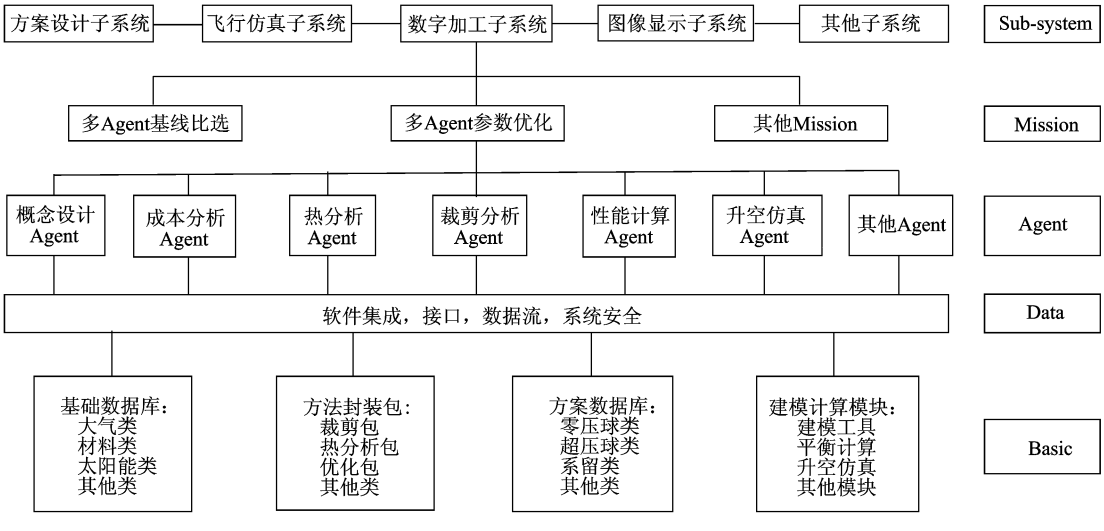


图1 面向对象的软件架构

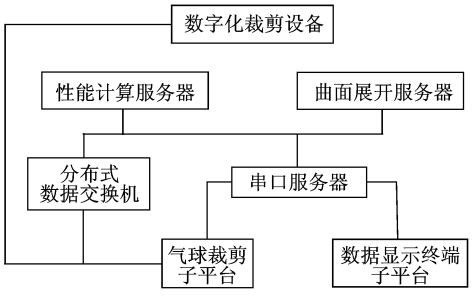
可有效避免因整合资源零散带来的主系统框架复杂问题;完成对 Agent 的历程管理、过程监控,并将子系统的计算结果与终端设备互联,最终实现与设计者之间的完全交互.

1.2　硬件架构

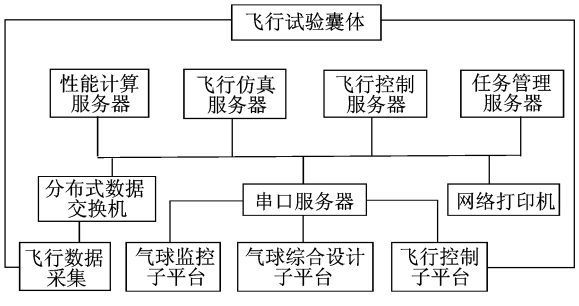
HBDS 新的硬件架构主要实现了方案设计与数字加工的无图纸连接,并且将仿真结果与飞行数据进行实时对比分析,使用者可以根据实际飞行状态对气球进行升降控制和姿态调整.

一方面,所形成的方案可以通过数字加工子平台,直接将曲面展开后的数据文件通过数据交换输入大型囊体裁剪系统后进行加工裁剪,如图 2a 所示,主要由裁剪分析服务器、数据交换服务器、大型囊体裁剪系统组成.

另一方面,通过飞行仿真数据与实时飞行数据之间的相互对比,设计者可以调用控制方法包中不同的控制策略对飞行中气球进行实时控制.主要由性能计算服务器、飞行仿真服务器、飞行控制服务器、任务管理服务器和数据采集系统以及气球监控子平台、气球综合设计子平台、飞行控制子平台等组成,如图 2b 所示.



a　囊体裁剪系统



b　设计平台

图 2　HBDS 硬件架构

飞行数据实时采集后作出分析,与飞行仿真曲线进行对比,判断当前气球系统是否在正确的任务规划范围内,如发现其偏离了升降轨道,应当采取软件设置好的各种不同预案对气球进行干预,使其返回设置好的升降轨道中.这样就将综合设计与飞行试验紧密地结合在一起,增加了该设计系统的实用性,提高了飞行效率和安全品质,在飞行试验中发挥了作用.

2　开放式设计

2.1　自定义开发

自定义开发功能是 HBDS 重要的特点之一.自定义开发的 Mission,Agent 和各方法模块采用数据文件方式进行集成,具有流程控制功能,独立设计实体可直接应用于主系统节点,同时也可通过其他子系统、Agent 进行调用,为系统扩展奠定了基础.

自定义开发环境可将现有的模块资源与自定义的模块资源进行封装并生成用于子系统的自定义 Agent,该 Agent 与其他 Agent 集成到自定义子系统中.同样的方法可以建立起气球形状分析模块、气球应力分析模块等集成到自定义分析 Agent 中,与三维建模 Agent 和热分析 Agent 等一起形成方案设计子系统,如图 3 所示.

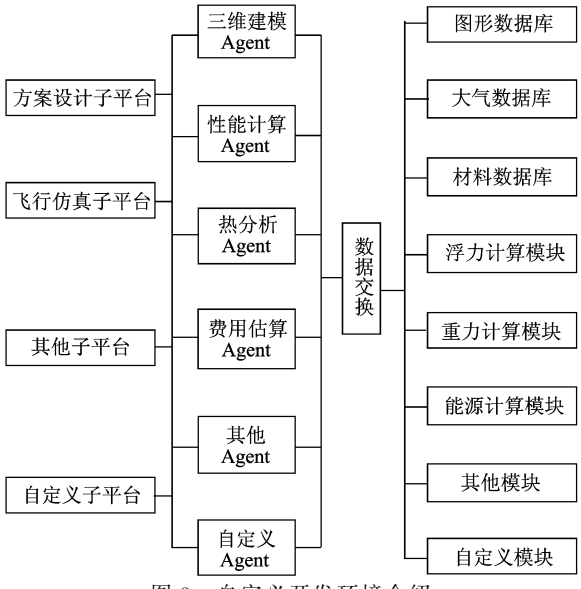


图 3　自定义开发环境介绍

2.2　多 Agent 基线比选

多 Agent 基线比选功能是 HBDS 中另一个亮点,设计思想是将基线设计作为评估比较各衍生和对立方案的依据,通过基线比选的方法可以更加清晰地判断出设计方案的优劣.方案设计中采用交互式的建模方法循环进行最初的集成、气球大小和综合性能的制图;然后根据浮重平衡、能量平衡以及成本因素来调整方案,选定基线特征.在迭代设计中可能会数次对多个 Agent 进行计算,针对不同的基线进行基线比选,从而对各自方案的特点进行分析比对,为设计者正确判断提供参考,如图 4 所示.

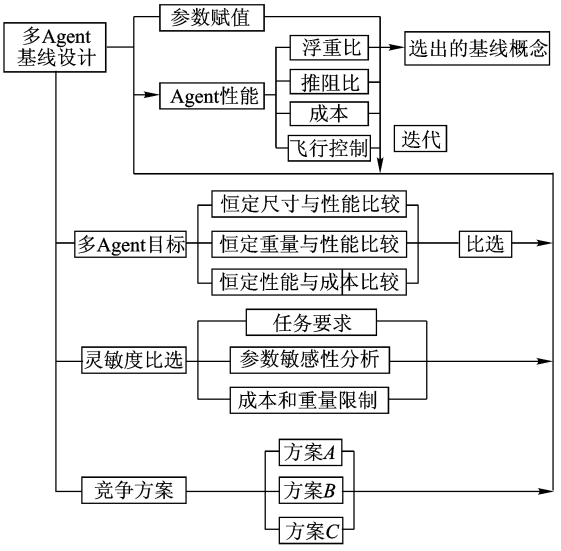


图4 多Agent基线比选方法

3 应用分析

目前高空气球综合设计系统已经应用在平流层气球研究中,利用综合性和开放式的设计思想,成功构建了自定义综合设计系统的分析模型.根据某平流层气球任务要求进行了多Agent综合设计,如图5所示,进行了数字化裁剪加工,完成了样球超压试验,并仿真出飞行高度时间曲线,验证了系统的可行性和有效性.

如表1所示,整个系统主体为多Agent设计,根据子系统的要求,调用了包括三维建模Agent、性能计算Agent、费用评估Agent、裁剪加工Agent和升降模拟Agent在内的多个Agent,各Agent数据之间可以进行交互,服务于各子系统.

采用面向对象的方法集成的气球设计系统,具有开放性、综合性的特点.

1)利用模块二次开发功能,重新改写了材料参数模块.在原来材料密度、横纵向拉伸强度、伸长率等参数的基础上,设计者加入了材料的太阳吸收率、太阳反射率、太阳发射率、近红外吸收率、近红外发射率、近红外反射率等热力学参数,修改后既可以用于热力学计算,又可以将计算结果服务于应力计算和升空模拟,增加了软件的开放性.

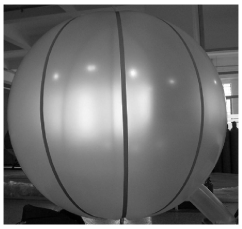
2)设计者加入了商业软件的调用功能,构建了各Agent调用商业软件的流程.应力分析模块直接与商业计算软件进行工具集成,采用数值计算与商业有限元计算两种方法,并且可以将不同计算模块得出的结果进行对比分析.

3)将曲面展开分析结果通过数据交换以dxf格式传输给裁剪设备,减少了许多中间环节,提高了裁剪加工效率,实现了设计与加工的无图纸对接.

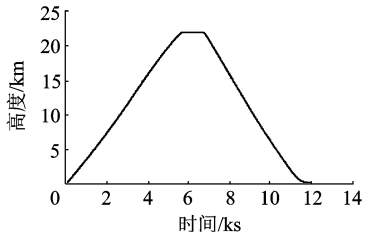
4)在飞行仿真模拟中加入了不同的控制策略,可以根据气球在飞行中的实时状态进行升降控制和姿态调整,大大提高了效率和飞行可靠性.



a 数字化裁剪加工



b 样球超压试验



e 飞行曲线仿真

图5 高空气球综合设计系统应用案例

表1 应用系统功能配置

子平台	Agent	模块
方案设计	三维建模	几何参数
		材料参数
		能源参数
		载荷参数
	性能计算	浮重力分析
		推阻力分析
		热分析
		应力分析
	费用估计	囊体成本
		氦气成本
		人员成本
		维护成本
数字加工	三维建模	几何参数
		找形分析
	裁剪加工	曲面展开
		应变补偿
		误差分析
		幅片排版
飞行仿真	升降模拟	高度仿真
		速度仿真
		加速度仿真
		飞行轨迹仿真

(下转第70页)