

# 预报动力学环境的好帮手

## ——“VISPERs”软件简介

冯振兴

(北京强度环境研究所, 北京 100076)

**摘要:** 文章旨在介绍一个航天器工程设计工具——“VISPERs”。与其他软件相比, 该软件有许多特色。首先, 它可以在航天器初步设计阶段进行声振、振动、冲击分析, 并直接输出部件级或系统级试验规范曲线。第二, 使用方便、快捷、直观, 例如: 可以一键预报动力学环境结果, 也就是当用户点击航天器/运载火箭某个位置, 这个位置的动力学载荷、试验规范就马上显示。第三, 它可以提供其他动力学环境分析(如: 火工品冲击, 疲劳寿命分析)。第四, 各类数据库和专家系统干预或参加运算, 把不确定性降到最小, 使预报结果可信。第五, 引入由知识内涵编制的专家系统。最后, 提供一个火工品冲击损伤可能性的例子, 说明该专家系统的应用价值。

**关键词:** 声振; 振动; 试验规范; 环境; 数据库; 专家系统

**中图分类号:** V411.8; V416.2

**文献标识码:** A

**文章编号:**

### 1 引言

VISPERs是“Vibroacoustic Intelligent System for Prediction of Environments, Reliability, and Specifications”(智能预报振/声环境、可靠性、试验规范系统)的缩写。介绍该软件的论文在1999年IES年会上发表, 立刻引起普遍重视。这不仅仅是它的名称吸引人, 而是因为它从根本上解决了用数学模型预报动力学环境时对复杂结构的模化不可能完全正确而必须用试验数据修正或补充这一不可避免的缺陷。VISPERs软件采用开放式设计。它一方面引入最先进的预报方法, 另一方面, 把试验数据(包括: 发射台的结构或环境数据, 各种型号系统、各部件的试验/设计数据)或来自实践积累的宝贵经验以及有关领域的专家建议直接干预或参与计算, 从而使最后结果与实际接近。由于受篇幅所限, 本文只能把它的最后一级架构、特色、功能以及如何运作或使用进行简单介绍。

### 2 VISPERs软件的架构

图1为VISPERs软件最后一级架构示意图。由图可见: 该软件是一个开放式设计的软件。图中, Kernel表示VISPERs软件本体<sup>[1-3]</sup>, 它可以与多种

外设进行数据交换。除了用户操作界面, 它还有专家系统接口, 飞船与运载火箭数据库接口, 分析/经验缩放模块接口(包括振动/声振环境预报模块, 疲劳分析预报模块, 中频段分析模块, 火工品冲击分析模块以及其它设计需要的分析或预报模块)。此外, 它还有一个非常重要的接口, 这就是COTS分析工具接口。COTS是指可通过商品渠道采购到的试用或成熟软件。有了这个接口可随时引入最新软件或设计工具对计算结果进行校核或补充。

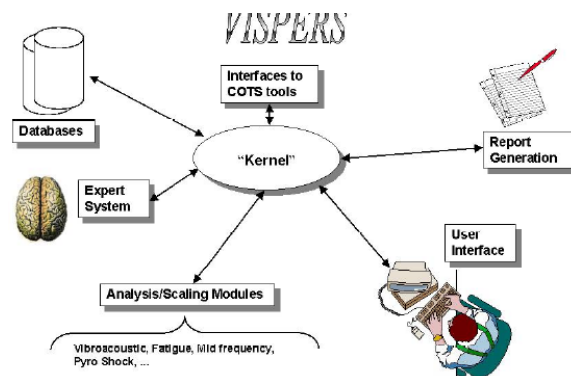


图1 “VISPERs”软件最后一级架构

Fig.1 VISPERs top-level architecture

由上述最后一级架构可以看出, VISPERs之所以受到航天设计人员的重视和欢迎, 在于软件

收稿日期: 2006-09-20

作者简介: 冯振兴(1936-), 男, 高级工程师, 主要从事动力学环境试验和工程方面的研究。E-mail: fengzx2002@sina.com.cn

设计的科学性、合理性以及提供结果的快捷、简便、直观、及时等特点。

### 3 VISPERS软件的特色与功能

VISPERS软件有很多与众不同的特点。比如, 尽管它是一个环境预报工具, 但它既不是单一的有限元分析/边界元分析工具, 也不仅是一个优于统计能量分析工具或计算机辅助设计软件包的预报工具。它的比较确切的名称是航天器环境预报、设计技术平台或集成器, 因为它允许分析人员在VISPERS软件预设的接口和外设软件包之间进行数据传递和变换, 完成图1列出的各种环境预报或强度分析并将结果输出。通过COTS工具以及传统软件的虚拟接口, 把各有特色的软件模块有效地“粘合”(glue)在一起, 这样有利于提升分析人员的计算分析水平, 并使计算结果更加精确。

假设分析人员在航天器初步设计阶段需要进行一项初步振动/声振分析。在这个阶段, 不可能提供系统的细化数学模型, 但是分析人员可以利用VISPERS软件, 从它的某个或多个相似结构的数据库中调出分析使用的数据, 并使用简便的经验缩放公式计算出当前航天器结构布局所用的数据。由上述数据计算出的结果或预报值既可以用于飞船结构设计, 也可以用于鉴定试验规范的制定。随着设计的进展, 分析人员就可以进行环境预报值的改进并确定航天器上关键部件的振动响应。分析人员可以首先使用VISPERS软件中某个分析工具进行运载火箭有效载荷可分离气动力整流罩的外声压环境预报。第二步, 就要适当选择响应分析软件(比如成熟的统计能量法软件包), 并将第一步计算出的环境载荷输入该软件包。该软件包可以计算出运载火箭和有效载荷各关键部位的声振响应值。第三步, 将第二步计算结果反馈到VISPERS软件。分析人员可以调出运载火箭和有效载荷结构全图并点击相应部位, 视屏马上显示该部位的声振响应值。将点出的预报值与数据库中参照结构鉴定试验值以及相关的飞行和地面试验数据比较并做出是否合适的判断, 即: 是否需要进一步计算修正, 是否需要通过COTS接口引入最新的软件进行核准或改进, 是否需要变动

或修改结构。如果还需要进行其它强度计算(比如疲劳寿命计算), 就将声振载荷值输入相应的计算模块进行计算。

VISPERS软件除了上述集成功能外, 还有提高预报效率与精度的功能。图2是VISPERS软件预报流程图, 也称“声振工具箱”。它是“VISPERS软件的一个组成部分。正是这个工具箱使分析工作变得简便、快捷、科学、合理。

图2的左边是外力或载荷计算, 右边是响应计算。如果“激振源计算工具”预报的载荷和“响应预报工具”预报的响应与“环境数据库”按照新结构布局缩放后调出的载荷和响应数据不同, 则进入右边的响应运算方块。在响应运算流程中, 要适调“质量载荷”, “力极限值”, “填充或致密度因子”等参数, 一旦按照新型航天器有效载荷的结构布局调整后, 就可通过“生成试验规范”输出新的试验规范。如果生成的新试验规范与“试验技术条件指南”的数据比较后发现过高, 可以进入VISPERS软件设置的“环境减缓指南”程序。由于“试验技术条件”, “环境减缓指南”模块都得到试验设施数据库和检测仪器实测数据库的支持, 所以, 利用这2个模块修正偏高的试验技术条件, 最后获得的试验条件是合理的、科学的、而且是正确的。VISPERS软件之所以要这样设计, 其根本原因是由于声振、振动、冲击环境的预报工作的本身有许多不确定性, 这是计算这些环境固有的复杂性带来的。一个科学的解决办法就是通过地面试验(也许是缩比试验)和/或飞行数据进行修正或补充。研发部门强调: VISPERS软件研发的一个重要动力是发展声振、振动、冲击数据库。该数据库包括试验规范, 地面试验、飞行数据, 各种各样航天器、有效载荷、运载火箭的各个部件的结构参数, 还包括试验设施、发射台的信息。正是这些数据的支持, 使VISPERS软件解决了声振、振动、冲击环境的复杂性带来的问题, 使预报的结果符合设计要求。

除此以外, 还有许多便于计算的子程序, 比如, 窄带PSD谱变成1/3或1/6倍频程PSD谱, 计算P95/50, P95/90载荷极限和阻尼振荡频率, 计算外场发射声载, 圆筒声传递率, 声吸收率等的子程序或计算模块。在某些情况下, 分析人员还可以

选择多个预报计算方法, 比如: Gruner、Eldred、Dyer、Fanken等发射外声场声载预报计算方法, 可以进行相互比较、补充, 以确定合理的试验规范。

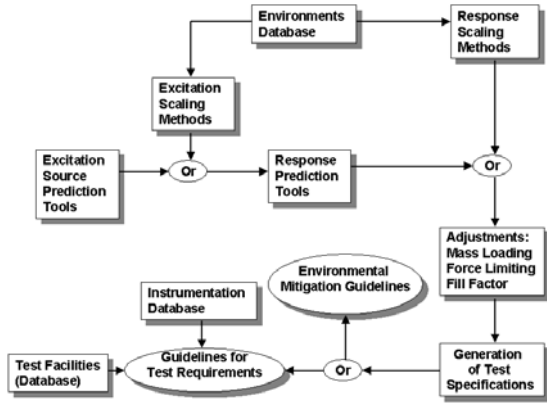


图2 VISPERS软件工作流程  
Fig.2 VISPERS flowchart

VISPERS软件最大的特点是引入专家系统。这也是开发并研制该软件的一项主要目标。该目标就是要让声振、振动、冲击等领域的专家参与试验规范制定或分析计算决策, 要把他(她)们的知识、经验、以及至理名言引入系统。这一点对那些已经或将要退休的专家来说尤其宝贵, 只有及时抢救这些财富, 后人才能在他们的基础上继续发展。

VISPERS软件专家系统的具体功能是按照分析或研究这两大类实施体现的。它包括振动、声振、冲击环境的估算, 各种方法的具体使用, 环境试验规范的编制, 试验值的确定或计算以及试验规范实施手册或指南的制定等功能。为了支持这些分析计算或编制工作, 专家系统必须提供以下与其相关的信息:

- (1) 在分析工作中, 要提供完成分析具体步骤的信息;
- (2) 要提供以往研究的信息, 要让用户基于过去经验启动新的研究;
- (3) 提供在分析预报期间使用的分析工具信息, 包括工具的可获得性, 以及如何使用它们的信息;
- (4) 提供在选择分析工具、算法、方法方面的准则与决策过程等方面的信息, 还要包括输入数据如何设置方面的信息;
- (5) 辅助用户如何工作的信息, 包括: 针对

新手或有经验的老手, 他们的新创方法与其他方法比较, 如何选择过去研究成果中有效数据的指导; 针对各类用户使用 VISPERS软件水平的不同, 提供熟悉 VISPERS软件以及计划使用软件的指导性信息;

(6) 提供有关检验被选定专家指导意见是否合理方面的信息: 比如某些参数, 专家估计的最大、最小期望输入值有几个范围可以选择; 专家系统可以指导用户哪种结果应该选择哪些输入数据; 还可以对如何综合选择输入数据以便获得满意结果进行指导。

总之, VISPERS软件专家系统的编制是应用最新的“知识内涵”技术。它着重将知识内涵方面的数据提供用户选择, 包括数据选择的前提假设、来源、单位, 如何使用并说明数据有效性的限制条件, 是原创, 是实测, 还是推算等等。与其它专家系统的不同之处在于, 它可以让用户权衡利弊, 从多种角度、明明白白地选择或利用专家知识, 从而使声振、振动、冲击环境的预报水平提高一个层次。

## 4 实例

使用该专家系统, 按照MIL-HDBK 340A<sup>[4]</sup>第二卷的要求, 对火工品冲击是否会对安装在航天器上的电子组件产生破坏进行评估。

图3所示为使用专家系统的流程。首先, 用户要打入项目名称“火工品冲击损伤可能性”。如果用户是个新手, 专家系统一开始就会向你提问: 该组件是电子器件吗? 如果打入“yes”, 那末, 系统进行右边流程。此时, 系统要问: 该组件是否进行过松散脱落微粒污染筛选试验。如果打入“no”, 系统会做出如下说明: 微小脱落颗粒起到导体的作用, 它与电子元件可以构成桥路, 最终会导致短路。简单说, 会构成严重事故。如果打入“yes”, 专家系统会指出: 由脱落颗粒导致短路事故的可能性很小。尔后进入其它项目的评估。在本例中, 进一步评估电子器件内含继电器、阀门等器件的评估。如果用户是有经验的老手, 系统会根据用户在这个领域的了解程度, 列出便于用户剪裁试验决策的文字性提问或说明, 指导用户进行下面的操作。

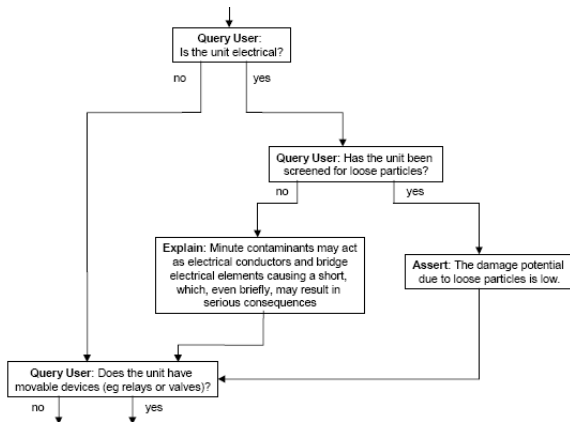


图3 专家系统执行火工品冲击损坏可能性评估逻辑图  
Fig.3 Reasoning about pyroshock damage potential

### 5 结束语

综上所述，VISPERS软件工具确实是航天器工程设计人员，尤其是环境工程设计或试验人员的好帮手。它对我国当前创建国际一流航天公司也有一定价值。为此，作者建议：进一步学习、消化

VISPERS软件工具的有关资料，结合我国实际，创建适用我国设计流程的环境预报工具。作者相信：我国有能力，有条件填补这一领域的空白。

#### 参考文献 (References)

- [1] McInerny S, Wong D. Vibroacoustic intelligent system for predicting environments, reliability and specifications: VISPERS[C] // Proceedings of the Institute of Environmental Sciences and Technology, 1999: 287
- [2] McInerny S, Dixon B, Parrish A, et al. Intelligent system for vibroacoustic and shock environment predictions[C] // Proceedings of the 5th Annual AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, Seattle, WA, 1999-5, 2: 802-807
- [3] Bradford K B, Manning J E. Vibroacoustic intelligent system for predicting environments, reliability and specifications (VISPERS) [C] // Proceedings of the 19th Aerospace Testing Seminar, 2000-10
- [4] MIL-HDBK 340A Test requirements for launch, upper-stage, and space vehicles. Volume II. 1999-4-1: 54-55

