

桥梁动力响应有限元计算程序系统开发及疑难问题分析^①

刘 鹏¹, 湛文涛²

¹(湖南省高速公路管理局, 长沙 410000)

²(湖北交投科技发展有限公司, 武汉 430030)

摘要: 移动车辆通过变截面连续箱梁桥的动力响应一般采用有限元数值计算程序进行分析, 但其前后处理界面和图形功能微弱. 针对这一情况, 提出了混合编程方法, 把 Fortran 语言强大的计算功能和 Visual Basic 语言良好的可视化界面设计功能结合起来, 开发了桥梁动力响应有限元计算程序系统. 系统不仅能解决复杂的工程问题, 并且具有较好的人机交互界面. 对系统开发过程中混合编程方面遇到的疑难问题进行阐述, 给出了相应的解决方法.

关键词: 混合编程; 疑难问题; 连续箱梁桥; 程序系统; 动态链接库

System Development of FEM Calculation on Bridge Dynamic Response and its Analysis for Knotty Problem

LIU Peng¹, ZHAN Wen-Tao²

¹(Hunan Provincial Expressway Administration Bureau, Changsha 410000, China)

²(Hubei Communications Investment Technologies Development Co., Ltd, Wuhan 430030, China)

Abstract: The dynamic response of continuous box girder bridge when vehicle crossing was analyzed with a finite element calculation program. But the pre-post processing interface and graphic function are weak. In view of this, a mixed programming method was proposed by Fortran language with powerful computing function combined with Visual Basic language which has the good functions of visualization design. A finite element system for the calculation of bridge dynamic responseis worked out. This software not only can solve the complex engineering problems, but also has a good interactive interface. Some knotty problems encountered in the development process about mixed programming are described, and some corresponding solutions are given.

Key words: mixed programming; knotty problems; continuous box girder bridge; program system; dynamic link library

对于变截面连续梁桥或移动质量作用下的梁桥, 其振动方程为变系数的微分方程, 无法直接解微分方程得到结果, 人们常采用自编有限元程序, 时域内数值积分计算车辆通过时桥梁的振动响应^[1-4]. 有限元计算程序一般采用 Fortran 语言编制, Fortran 语言为解决复杂的科学与工程问题而设计. 具有计算能力强、运算速度快、结构形式简单等优点, 一直为科学数值计算领域所使用, 并积累了大量有关工程技术研究方面 Fortran 语言子程序资源, 例如: 直接对数组、矩阵的

计算、线性方程组的求解以及并行计算等, 因此至今它仍然是科学计算的好帮手^[5]. 但也存在图形界面功能弱、数据处理繁琐等不足之处. 近年来诞生出来的一些面向对象高级编程语言, 如 Visual Basic (以下简称 VB)、Visual C++等, 其界面设计、图形开发、数据库管理等功能都十分强大^[6], 能开发出较好的桥梁动力响应分析人机交互界面.

为充分利用 Fortran 语言强大的数值计算功能及大量子程序资源, 同时使得桥梁动力响应数值计算自

^① 收稿时间:2015-04-10;收到修改稿时间:2015-05-15

动化、可视化,提出了 Fortran 语言与 VB 语言混合编程^[7-9]方法. 本文在 Windows XP 操作平台上,把它们结合起来,采用混合编程技术开发出桥梁结构动力分析有限元计算系统. 通过系统前处理界面建立需要求解的桥梁模型,调用 Fortran 外壳程序进行数值计算,然后在后处理界面上演示出车桥耦合振动动画,具有方便、直观、处理效率高等优点. 同时,对系统开发过程中 Fortran 语言和 VB 语言混合编程方面遇到的疑难问题进行阐述,并给出相应的解决方法.

1 混合编程技术

采用混合编程技术开发应用软件,其源代码一般用两种或多种程序设计语言编写,它可以充分利用各种语言的优势,弥补各自的不足,提高代码的重用率,节约软件研发时间. 但是基于每种语言都有它各自的特点,要做到无缝连接需要一定的混合编程基础.

Fortran 和 VB 混合编程技术即可以利用 VB 调用 Fortran 生成的*.dll 可执行模块—动态链接库^[10],也可以利用 VB 直接调用 Fortran 生成的*.exe 可执行文件^[11]. 前者能充分利用现有的动态链接库资源,开发出来的系统便于维护和升级;而后者流程比较简单,在系统后台运行 Fortran 程序,数据都是通过磁盘文件进行交换,处理大量数据经济、效率高. 本文开发的桥梁结构动力分析有限元计算系统,其计算数据庞大,后处理图形动画的演示也需要交换大量的数据,因此采用了直接调用可执行文件法.

在混合编程中,要解决和掌握的核心问题是参数传递. Fortran 和 VB 在混合编程中不能共享公共数据,它们之间必须以参数的形式进行数据传递,因此在命名变量和子程序时,需要考虑对堆栈和参数传递协议等规则进行定义. 在传递数据时,有关这两种语言的调用标准、形参与实参的数据类型、大小和在磁盘上的存储格式等要引起注意.

2 疑难问题分析

2.1 Fortran 语言整型与字符型变量转换

假设用桥梁结构动力分析有限元计算程序系统数值计算了 20 个算例,那么由前处理系统生成的数据文件有 20 个,分别为*.DAT,其中*是从 1 到 20 的整数,采用以下循环语句代码,可以依次打开这些数据文件.

```
PROGRAM MAIN
```

```
IMPLICIT NONE
CHARACTER(LEN = 2) :: CTEMP
INTEGER :: K
DO K = 1, 20
    WRITE (CTEMP,(I2)) K
OPEN(1,FILE='L//TRIM(ADJUSTL(CTEMP))//'.DAT')
    ...
CLOSE(1)
END DO
END
```

代码中的 WRITE 语句是实现将整型变量 K 转换成字符型变量 CTEMP. 由于 K 是 1 到 20,那么 CTEMP 的字符长度至少是 2 个,才能保证最大容量. TRIM 和 ADJUSTL 是 FORTRAN 的标准内部函数,它们的功能是删除字符串中的所有空格,保证打开文件路径中不会出现多余的空格. "//" 是字符串操作符,起连接字符串作用,将字符'L'、字符串'CTEMP'和'.DAT'连接起来,形成一个新的字符串'LCTEMP.DAT'.

同理,如果是字符型数字转整型或实型,方法一样,可以采用 READ 语句,例如:

```
CHARACTER(LEN = 4) :: CTEMP = '2009'
INTEGER :: YEAR
READ(CTEMP,(I4)) :: YEAR
```

2.2 Fortran 语言字符串不能正常读写

在 Fortran 编程过程中,不能给字符型变量赋带有"*"或"/"的字符串,但允许带"—"的字符串;要输出带有"*"或"/"的字符串,可以采用 Format 格式语句控制输出的字符个数.

2.3 Fortran 程序不能正常调试

程序语法检查没有出现错误,也能正常运行程序,但在进行 Debug 跟踪调试时,会弹出提示对话框: Preloaded symbols may not match "...exe",状态栏出现: The program "...exe " has exited with code 0(0X0),经研究发现,其原因为:源程序的 Project Workspace 路径每层目录的名称长度不能超过 8 个字符,查询源程序存放的位置,将目录名称改成 8 个字符以下即能 Debug 跟踪调试.

2.4 VB 程序变量的作用域

在有限元计算程序系统开发过程中,需要用到的变量特别多,容易发生变量值被莫名其妙地替换掉的现象,其实这是变量的作用域问题^[12]. 变量的作用域

定义了变量在程序中的有效作用范围. 根据变量声明的位置不同, 可将变量分为过程变量、模块变量和全局变量, 其使用语句和作用域如表 1.

表 1 变量作用域

变量名称	过程变量	模块变量	全局变量
声明位置	过程	窗体/模块	标准模块
使用语句	Dim/Static	Dim/Private	Public/Global
作用域	该过程	该模块	整个程序

2.5 VB 调用 Fortran 可执行文件异步执行问题

在对桥梁动力响应进行数值计算时, 需要利用系统平台调用 Fortran 语言编制生成的有限元计算可执行文件. 但在调用过程中存在 Shell 功能函数异步执行的问题, 即 Fortran 程序可能还没有计算完成, VB 程序就已经运行后面语句的问题, 然后在系统界面上显示“计算完成”.

要实现同步调用, 关键在于系统能实时监测到 Fortran 程序运行进度情况, 程序运行流程如图 1 所示. 可利用 API 函数 OpenProcess 和 CloseHandle 来实现等待 Shell 程序的执行^[13], 从而解决 Shell 函数异步执行问题. 先对 OpenProcess 和 CloseHandle 函数进行声明, 然后在 Shell()调用语句之后加入一条 Do While 循环判断语句, 用 StillRun()函数实时监控 Fortran 程序的运行情况, 直到被调用的程序运行结束, 再执行 Shell()后面的语句.

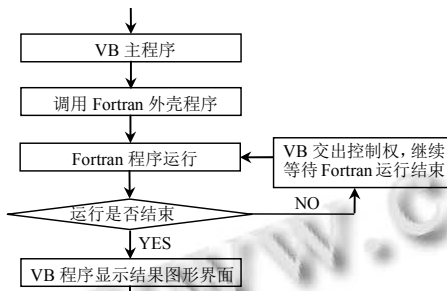


图 1 VB 调用 Fortran 外壳程序流程

2.6 VB 调用 Fortran 可执行文件黑屏现象

当 VB 程序启用 Shell 功能函数调用 Fortran 可执行文件进行动力计算时, 由于 Fortran 有限元计算程序是在 DOS 界面上运行, 假如运行时间很短, 容易造成系统会出现一闪的“黑屏现象”, 从而影响界面的美观. 解决此问题的方法是将 Shell 函数的第二个参数 WindowStyle 设置成 vbHide, 进行窗口隐藏, 这样处理

使得软件的整体性好, 界面更美观.

3 桥梁动力分析有限元计算程序系统

3.1 有限元计算程序系统

由于强风、水流和地震等动力荷载对桥梁结构的破坏性非常大, 因此在桥梁工程的研究、设计和安全性评价时, 需要对桥梁结构进行动力分析. 为了较好地模拟动力荷载作用下桥梁的振动情况, 实时监控掌握数据, 确保桥梁运营安全, 采用混合编程技术开发了桥梁结构动力分析有限元计算程序系统. 它的计算程序模块是基于有限元思想用 Fortran 语言编写的, 前后处理系统则用 VB 语言开发. 开发的软件计算功能强大, 人机交互性较好, 用户在 VB 界面上建立桥梁结构模型, 生成计算数据文件, 调用 Fortran 计算程序进行计算, 生成的计算结果文件, 通过 VB 平台将结果以图形动画展现出来. 系统运行过程中的数据通过磁盘文件进行交换, 结构关系如图 2.

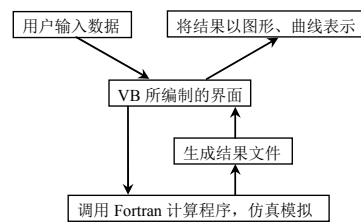


图 2 系统结构图

3.2 系统操作流程及功能结构

在 Windows XP 操作环境下, Fortran Power Station 4.0 和 Visual Basic 6.0 平台上分别开发了有限元计算程序和前后处理界面系统, 系统的操作流程如图 3 所示.

在文件读取和数据输入步骤中, 其实就是建立模型过程, 可打开导入已有的模型数据文件, 对其进行修改, 也可以新建一个项目, 重新建立一个计算分析模型. 对于连续梁、连续刚构等结构, 系统可以直接绘制出桥梁模型图, 并标注好桥跨结构尺寸、荷载类型及作用位置等, 通过数据检验步骤, 检查建模过程是否正确.

本程序系统既可以对桥梁进行静力计算, 也能进行动力分析. 对于受定位激扰力、移动常量力或移动简谐力作用下梁桥的动位移, 可以计算得到解析解; 对于变截面连续梁桥或移动质量作用下的梁桥, 可用数值积分方法计算出不同荷载组合作用下的数值解.

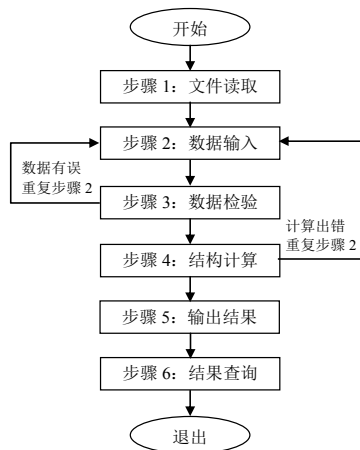


图 3 系统的操作流程

对计算分析得到的结果，系统能自动读取数据文件，根据计算类型能自动绘制静力挠度图或位移、速度和加速度响应动画图形，并在动画演示之后显示出桥梁中点和全桥位移、速度及加速度最大值，以及最大值出现的时间点和位置。此外，系统还具有查询原始数据文件和计算结果文件功能。

3.3 桥梁动力响应有限元可视化计算实例

应用本文开发的程序系统对长沙市某座变截面连续箱梁桥进行动力响应计算分析，主桥跨径为 78m+152m+78m，上部结构箱梁为 C50 混凝土，梁高 3.91~8.81m，详细参数见文献[14]中工程实例 2。

要对该座桥梁进行动力响应计算，首先应该利用软件系统建立桥梁分析模型。根据箱梁截面尺寸数据，在前处理系统中的截面几何特性界面上输入截面参数，如图 4 所示，计算出箱型截面的面积和惯性矩。

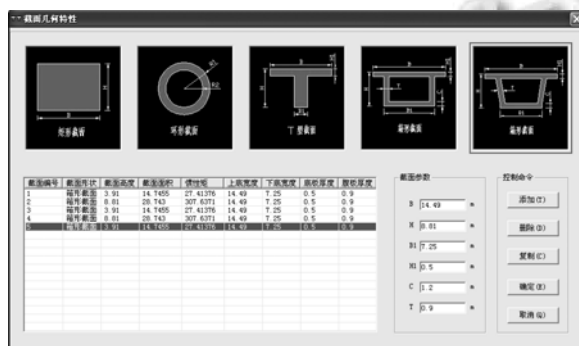


图 4 截面几何特性

为满足计算精度要求，将全桥划分为 80 个梁单元，输入箱梁弹性模量和密度数据，由截面几何特性不难

得到图 5 所示的箱型梁单元信息。然后依次增加支座约束条件、移动荷载及结构计算信息，保存之后，在相应路径下生成模型原始数据文件，系统右边图形区域显示出已建好的三跨变截面变截面连续箱梁桥模型，如图 6 所示。检查计算模型是否正确，可通过系统修改信息功能对模型进行修改，直至符合要求为止。

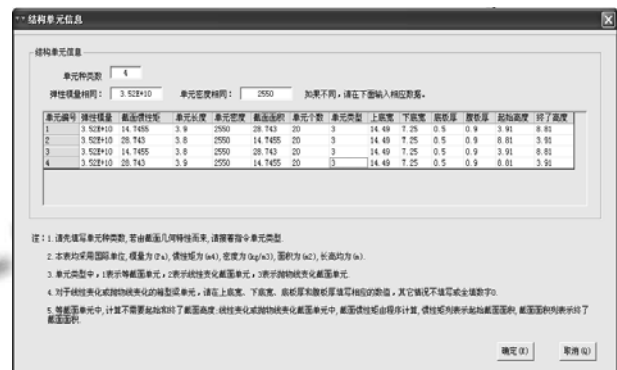


图 5 桥梁结构单元信息

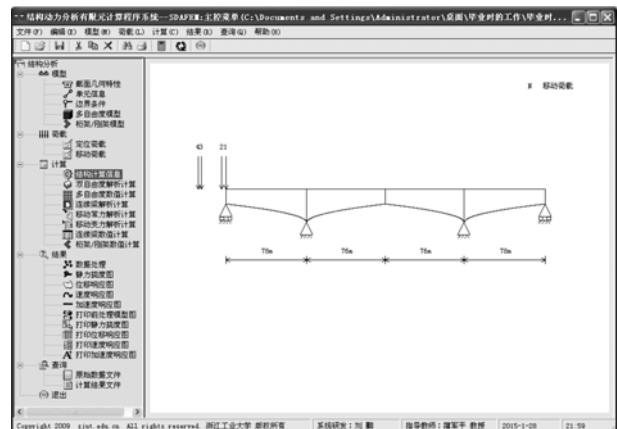


图 6 移动荷载列作用下变截面连续箱梁桥系统模型

利用系统结构计算功能，点击左侧控制面板或菜单栏计算中的连续梁数值计算按钮，系统启动调用 Fortran 有限元计算程序，程序运行读取原始数据文件中的数据，进行有限元动力响应数值计算，计算完成后生成结果文件。

在后处理界面中，通过系统调用并读取结果文件中的数据，以动画的形式显示出动力响应结果(如图 7)，无需再借助绘图软件处理计算结果。数据的输入和输出均由系统界面承担，实现计算模型数据生成(前处理)、数值计算和结果的演示(后处理)的无缝联接，提高了桥梁动力分析工作的效率，并且动力响应仿真模拟效果显得直观、逼真。

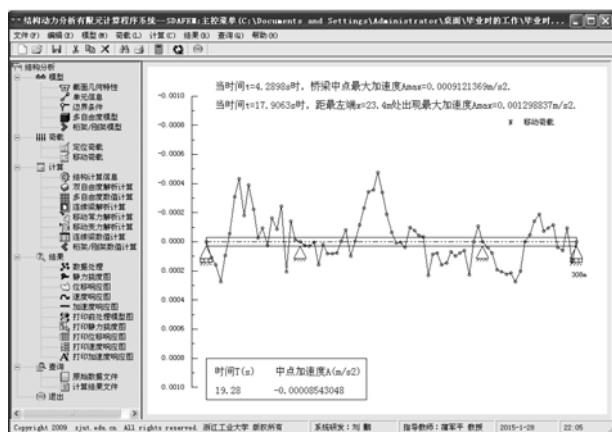


图7 三跨连续箱梁桥振动时的加速度动态响应图

4 结语

利用 Fortran 语言和 VB 语言混合编程技术, 开发了桥梁结构动力分析有限元计算程序系统, 充分利用了这两种语言的优点, 弥补各自的缺陷, 节约程序研发时间. 同时, 使得桥梁有限元计算程序前后处理系统具有良好的界面, 实现了数值计算的可视化.

对系统开发过程中 Fortran 语言和 VB 语言混合编程方面遇到的疑难问题进行阐述, 并给出相应的解决方法, 供相关人员借鉴与参考. 选取某工程梁桥计算实例, 详细介绍了系统的功能、操作流程及运行过程. 开发的系统操作方便简洁, 自动化程度高, 有效提高了桥梁动力分析工作的效率.

当然 Fortran 语言和 VB 语言以及它们混合编程中类似的疑难问题还很多, 我们在学习的过程中要善于及时归纳总结, 深入掌握 Fortran 语言和 VB 语言的使用.

参考文献

- 1 施颖,宋一凡,王荣波.基于有限元的曲线连续梁桥车桥耦合振动分析.公路交通科技,2010,27(4):95-100.
- 2 朱炳华.多跨连续梁在移动荷载序列作用下的动力响应.公路工程,2011,36(3):19-22.
- 3 蒲军平,汪小超,刘鹏.多跨变截面连续梁桥在车辆通过时的振动分析.中国公路学报,2009,22(1):66-71.
- 4 凌胜春.大跨度铁路斜拉桥车桥耦合振动分析.公路工程,2014,39(6):34-38.
- 5 唐章宏,薛赛男,冯峰.Visual Fortran 程序设计.北京:人民邮电出版社,2000.
- 6 郑海春,谢维成.Visual Basic 编程及实例分析教程.北京:清华大学出版社,2007.
- 7 陈学良,金星.可视化解耦近场波动有限元分析系统的初步实现.计算机系统应用,2013,22(1):34-38.
- 8 王晓影,陈次昌.VB 和 Fortran 混合编程在工程计算上的应用.西华大学学报,2006,25(1):34-37.
- 9 王鹏,徐莹,杜卫东.VC 与 MATLAB 混合编程用于压力容器焊缝缺陷检测.计算机系统应用,2014,23(3):172-175.
- 10 潘克家,汤井田,郑洲顺.Matlab 与 Fortran 混合编程之 DLL 实现方法.计算机工程与应用,2011,47(31):1-3.
- 11 何萌,柴军瑞.VB 与 FORTRAN 混合编程的两种方法及其比较.水电能源科学,2005,23(1):60-63.
- 12 刘模群.VB 变量作用域的讨论.电脑知识与技术,2009,5(3):610-612.
- 13 朱从旭,邓宏贵.用 VB 和 Fortran 混合编程开发科学计算和作图软件.计算机应用,2000,20(4):65-67.
- 14 刘鹏,莫林辉,李世慧,杨国梁.大跨度变截面连续箱梁车桥耦合振动分析.公路工程,2011,36(3):11-15.