

# 基于 ANSYS 结果文件的 结构强度可视化研究

凌扬超, 米彩盈

(西南交通大学 机械工程学院, 四川 成都 610031)



作者简介: 凌扬超 (1987-), 男, 硕士研究生, 从事结构强度分析与 ANSYS 二次开发研究。

**摘 要:** 运用 FORTRAN 编程对 ANSYS 软件的二进制结果文件快速读取, 基于 ORE B12/RP17 方法将多轴应力转化为单轴应力, 由单元/节点的方向应力计算结构的最大应力、最小应力、平均应力和应力幅, 根据 Haigh 形式的 Goodman 曲线对结构进行疲劳强度评估, 并将疲劳强度分析结果写入 ANSYS 结果文件, 在 ANSYS 通用后处理器以图形的形式显示疲劳强度结果, 实现结构疲劳强度结果的可视化。

**关键词:** ANSYS; 二次开发; 二进制文件; 结构强度; 可视化

中图分类号: TB301

文献标识码: A

文章编号: 1000-128X(2013)05-0088-03

## Visualization of Structure Strength Based on ANSYS Result File

LING Yang-chao, MI Cai-ying

(School of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 610031, China)

**Abstract:** A FORTRAN program had been established to read ANSYS binary result file promptly. Based on ORE B12/RP17, multi-axial stress status was transformed to uniaxial stress status, and the maximum stress, minimum stress, mean stress and stress amplitude with unit or node direction stress were calculated; then, the fatigue strength of structure was evaluated based on Goodman curve about Haigh style; finally, calculated results were written into original ANSYS result file, and the fatigue strength results could be displayed by ANSYS general post process, with which, visualization of structure strength and its displaying had been achieved.

**Key words:** ANSYS; secondary development; binary file; structure strength; visualization

## 0 引言

ANSYS 软件作为大型通用有限元分析软件, 在工程技术领域达到广泛运用。ANSYS 软件通用后处理器直接为用户提供了通用单元解和节点解, 通过列表以及图形等方式将大量数据直观清晰地展现出来, 使用户能轻松提取数据并对其进行分析。但是, ANSYS 软件不能对特殊计算结果进行处理, 如在进行铁道机车车辆主要承载部件疲劳强度分析时, ANSYS 软件不能直接显示如平均应力、应力幅、安全系数等疲劳强度处理结果。因此, 开发使用户自定义数据能够在 ANSYS 软件中显示的后处理十分必要。

本文利用 FORTRAN 编程实现了 ANSYS 结果文件的快速读取, 并且通过读取的有效数据精确计算总体

坐标系下节点的方向应力、主应力以及方向余弦。将计算结果按相关标准进行处理进而对结构的静强度和疲劳强度进行评估, 且将强度分析结果按照 ANSYS 文件格式写入结果文件, 用 ANSYS 软件读入强度分析结果文件实现用户数据的图形显示。

## 1 ANSYS 结果文件数据结构

ANSYS 在进行有限元分析时会把数据以二进制形式写入文件进行存储, 结构分析的结果主要存储在 RST 文件中。每一个 ANSYS 二进制文件都包含 ANSYS 标准文件头。里面存储有文件编号、时间、ANSYS 版本信息等。ANSYS 标准文件头之后是每一种 ANSYS 二进制文件各自特有的文件信息。在结果文件中存储有载荷步、单元类型、材料属性、实常数、坐标系、单元序列、节点载荷、部分节点解和单元解等有用信息。但是 ANSYS 二进制文件是紧密的数据文件, 文件写入过程

中没有写入明显的记录标记, 因此 ANSYS 二进制文件中还存储了大量数据指针, 以供用户在庞大的数据库中正确查找读取有用信息。对于多个载荷步的结果文件, ANSYS 以载荷步为单位, 将结果依次写入结果文件中。

## 2 ANSYS 结果文件的快速读写方法

FORTAN 对数据文件访问时, 通常有顺序访问和直接访问 2 种方式。顺序访问文件中的记录必须按照顺序从第一条记录访问到最后一条, 而直接访问文件中的记录可以按照任意顺序来访问<sup>[1]</sup>。大规模有限元模型的 ANSYS 结果文件是庞大的二进制数据文件, 通常采用直接访问方式对文件的任意记录进行读写。

对数据量较大的文件进行读写时, 其程序运算速度也是工程上必须考虑的因素。考虑到 ANSYS 结果文件中存在单精度整数、双精度实数等多种数据类型, 同时在进行读写时往往会读写相同数据类型的集合, 所以程序合理控制 FORTRAN 文件访问语句中的 RECL 变量, 尽量减少程序对硬盘的访问次数, 提高程序运算速度。同时运用 FORTRAN 内存等效算法, 实现对二进制文件任意字节读写以及任意数据类型转换<sup>[2]</sup>。

## 3 应力计算方法

ANSYS 结构分析结果文件中只有单元坐标系下的单元/节点方向应力结果, 要得到整体坐标系下的方向应力、主应力及其方向余弦节点解, 还需程序完成复杂的计算过程。

### 3.1 方向应力坐标转换

ANSYS 有限元模型中每一个单元都有自己的坐标系, 默认情况下, 单元坐标系与总体坐标系一致, 但是对某些单元的坐标系 ANSYS 有特殊规定, 如 63 号单元。对于这些单元, 只能通过坐标系旋转来实现单元坐标系向整体坐标系转换, 得到整体坐标系下的计算结果。ANSYS 对坐标系旋转作出了按 Z-X-Y 轴顺序旋转的规定, 可以根据式 (1) 计算坐标变换的方向余弦矩阵, 用  $A_Z$ 、 $A_X$ 、 $A_Y$ 、 $A_{ZXY}$  分别表示绕 Z、X、Y 轴的坐标系变换矩阵以及整体坐标系变换矩阵。

$$A_{ZXY} = A_Z \times A_X \times A_Y = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & \alpha_{33} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$A_Z = \begin{bmatrix} \cos z & -\sin z & 0 \\ \sin z & \cos z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_X = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos x & -\sin x \\ 0 & \sin x & \cos x \end{bmatrix}$$

$$A_Y = \begin{bmatrix} \cos y & 0 & -\sin y \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin y & 0 & \cos y \end{bmatrix}$$

其中,  $x$ 、 $y$ 、 $z$  表示单元欧拉角。根据方向余弦矩阵以及二阶张量计算公式, 得到新旧坐标系下的方向应力坐标转换可用应力张量公式 (2) 表示。

$$T_{i'j'} = \alpha_{ii'} \alpha_{jj'} T_{ij} \quad (2)$$

式中:  $i$ 、 $j$ 、 $i'$ 、 $j'$  分别取 1、2、3;  $T_{i'j'}$ 、 $T_{ij}$  分别表示整体坐标系和单元坐标系下的方向应力<sup>[3]</sup>。

### 3.2 主应力、主方向计算

建模过程中会出现单元退化的情况, 如 63 号单元退化成三角形单元, 45 号、95 号单元退化成四面体单元等。ANSYS 在主应力计算过程中对这些单元进行特殊处理, 所以程序进行计算时, 将退化单元单独处理得到与 ANSYS 一致的计算结果。

不同单元类型连接的节点应力也是计算难点。本程序运用相关算法对不同单元类型连接的节点进行单独计算, 使这些节点主应力计算结果与 ANSYS 计算结果一致。

根据应力张量性质以及任意斜截面上应力矢量计算关系得出某应力状态下的主应力由式 (3) 给出:

$$\sigma_1 = \frac{I_1}{3} + R \cos \frac{\varphi}{3}; \quad \sigma_2 = \frac{I_1}{3} + R \cos \frac{2\pi - \varphi}{3};$$

$$\sigma_3 = \frac{I_1}{3} + R \cos \frac{2\pi + \varphi}{3} \quad (3)$$

$$\text{式中: } R = \frac{2}{3} \sqrt{I_1^2 - 3I_2}; \quad \varphi = \arccos \frac{2I_1^3 - 9I_1I_2 + 27I_3}{2(I_1^2 - 3I_2)^{3/2}};$$

$$I_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z; \quad I_2 = \sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_z\sigma_x - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{zx}^2;$$

$$I_3 = \det([\sigma]^T)。$$

结合主应力求解方程和几何关系补充方程  $l^2 + m^2 + n^2 = 1$  可以求出对应主应力的主方向余弦<sup>[4]</sup>。

## 4 算例

### 4.1 计算模型和载荷工况

利用 63 号单元建立某转向架有限元模型并进行结构强度计算, 有限元模型如图 1 所示。

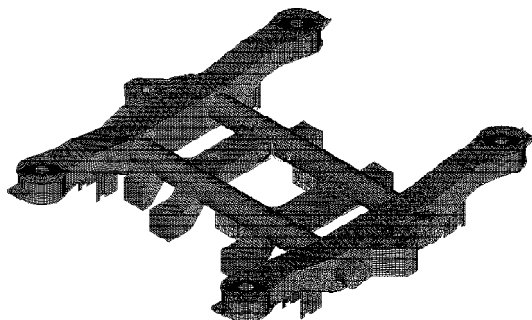


图 1 转向架有限元模型

根据 UIC615-4 标准, 最终确定 13 个载荷工况进行加载计算。得到 ANSYS 结构分析结果文件后, 便可运用本程序计算并对结果文件进行修改。

### 4.2 疲劳强度评定方法及结果

工程上多数应力状态处于多轴应力状态, 为了进

行单轴应力状态下疲劳强度评定,需要将多轴应力状态转化为单轴应力状态。本文结合国际铁路联盟中心的研究报告ORE B12/RP17和结构疲劳相关文件给出的转化方法进行转换,最终得到单轴应力状态下的最大应力 $\sigma_{\max}$ 和最小应力 $\sigma_{\min}$ 。节点的平均应力 $\sigma_m$ 和应力幅 $\sigma_a$ 满足关系式(4)和式(5)<sup>[5]</sup>。

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad (4)$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \quad (5)$$

运用平均应力、应力幅并结合材料参数运用修正Goodman疲劳曲线评定焊接结构的疲劳强度。构架计算应力幅与许用应力幅比较如图2所示。

通过计算表明,转向架结构疲劳强度满足设计要求。用户在进行疲劳强度评定时,还会关心对应节点的平均应力、应力幅、疲劳安全系数等疲劳结果的图形分布情况,所以程序将计算得到的相关疲劳结果按照结果文件相应形式写入原有ANSYS结果文件,在ANSYS通用后处理器中显示平均应力、应力幅、疲劳安全系数如图3~图5所示。

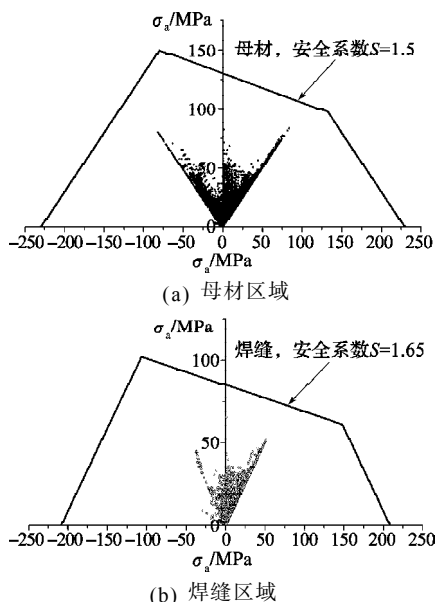


图2 构架计算应力幅与许用应力幅的比较

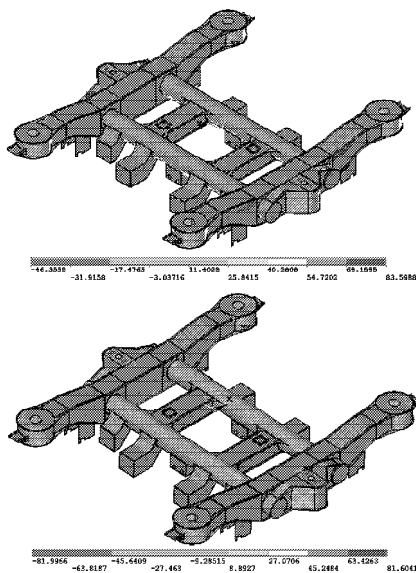


图3 TOP (上图) 和 BOTTOM 面 (下图) 平均应力分布

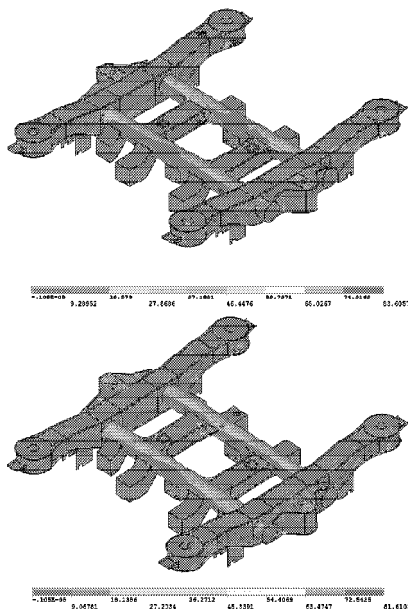


图4 TOP (上图) 和 BOTTOM 面 (下图) 应力幅分布

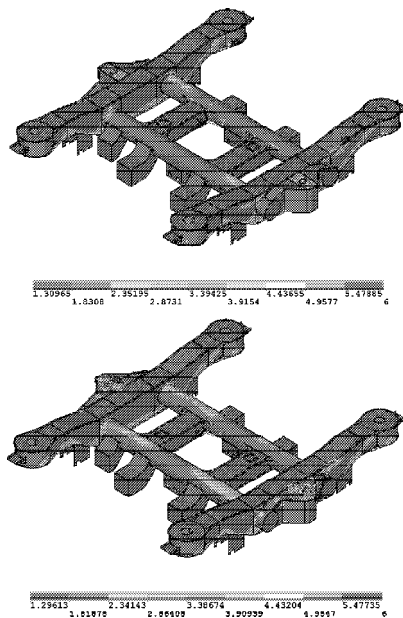


图5 TOP (上图) 和 BOTTOM 面 (下图) 疲劳安全系数分布

## 参考文献:

- [1] Chapman S J. Fortran 95/2003 程序设计[M]. 第三版. 北京: 中国电力出版社, 2009.
- [2] 王成良. 让FORTRAN也能随机读写二进制文件任意字节数[J]. 电脑编程技巧与维护, 1996(6): 17-19.
- [3] 王光钦. 弹性力学[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2004: 88-89.
- [4] 危洪清. 运用Matlab分析三向应力状态[J]. 科技信息: 学术版, 2006 (9): 72-74.
- [5] 米彩盈. 铁道机车车辆结构强度[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2007: 147-149.

## 5 结语

运用FORTRAN语言编程,直接读取ANSYS结果文件中的有限元计算结果。基于ORE/B12/RP17方法将多轴应力转化为单轴应力,由单元/节点的方向应力计算结构的最大应力、最小应力、平均应力和应力幅等结果。根据Haigh形式的Goodman曲线对结构进行疲劳强度评估,同时将疲劳强度分析结果写入ANSYS结果文件。使用ANSYS通用后处理器以图形显示计算结果在模型中的分布情况,并可以进行ANSYS后处理器中列表、拾取、排序等其他相关操作,实现疲劳强度结果可视化,使疲劳强度分析数据后处理直观方便。

