

分析含泡沫元件组合结构的一个近似方法

尹益辉, 刘远东, 史平安

(中国工程物理研究院 总体工程研究所, 四川绵阳, 621900)

摘要: 文章提出了一个建立预紧组合结构中泡沫材料有限元模型的近似方法, 其基本过程包括: 建立泡沫材料性能试验系统的数值模型, 调整模型中泡沫材料的某些参数值直到数值结果与相应的试验结果非常接近, 并将这些数据应用于相关的组合结构分析中。

关键词: 泡沫; 组合结构; 数值模拟; 有限元法

中图分类号: TB34; V414.8

文献标识码: A

文章编号: 1673-1379(2009)01-0071-02

1 引言

多孔泡沫元件广泛应用于各种组合结构中, 以提供预紧和缓冲。由于泡沫材料力学行为的高度非线性, 泡沫元件对组合结构的预紧和缓冲效果影响很大, 因此对含有泡沫元件的组合结构进行准确的力学分析非常必要。

目前在采用商用程序 MSC.MARC 和 ANSYS 等对含有泡沫元件的组合结构进行分析时, 需要同时输入材料的单轴拉伸(压缩)、双轴拉伸、平面剪切、简单剪切和体积压缩等试验数据。但是由试验获得所有材料的这些数据非常困难, 与之相应, 分析人员通常只有单向应力-应变试验数据。在这种情况下为了有效地分析含有泡沫元件的组合结构, 本文提出了一个近似方法, 并演示了一个应用实例。应用结果表明该方法比以前的近似解析方法更好。

2 再现试验的数值建模方法

再现试验的数值建模方法包括: 建立用以得到泡沫力学性能的整个试验系统的数值模型, 输入试验得到的数据组并调整模型中泡沫材料的某些参数值直到数值结果与相应的试验结果非常接近, 然后将已有试验数据组和调整得到的参数值应用于相关的组合结构分析中。这里假设分析人员只有如表 1 所给的多孔泡沫材料的单向压缩试验数据。在此情况下, 以单向压缩情况为例来演示再现试验

的数值建模方法, 其中泡沫材料选用作为典型代表的 FOAM 模式。

表 1 泡沫的单轴压缩应力-应变数据
Table 1 Stress-strain data of a foam block by uniaxial compression test

变量名称	工程应力/MPa	工程应变
	0	0
	-0.128	-0.246
	-0.211	-0.348
	-0.320	-0.420
	-0.500	-0.480
	-1.920	-0.580

实现该实例的过程包括下述步骤:

- (1) 建立试验系统的有限元模型。模型中, 试样和夹具的几何形状及尺寸分别与试验中的相同。
- (2) 输入表 1 中的数据组和虚拟泊松比的任意值作为试样的性能数据, 同时输入夹具的材料参数、载荷以及边界条件等。
- (3) 基于所建模型进行数值计算, 获取与试验中相应的工程应力-工程应变数据组。
- (4) 比较试样材料性能的输入和输出数据组, 检查它们是否一致。若不一致, 则根据其差别的特点, 调整虚拟泊松比的值, 然后重复(1)至(3), 直到每一个输出数据与相应的输入数据(即试验数据)一致为止。通过上述过程, 得到当虚拟泊松比为 0.106 和相互接触界面的摩擦系数在 0.01 至 0.5 范围内变化时, 所有的输出数据都与相应的输入数据非常接近(见表 2)。

收稿日期: 2008-10-25; 修回日期: 2008-11-13

作者简介: 尹益辉(1965-), 男, 博士学位, 研究员, 博士生导师, 从事复杂结构分析和计算固体力学研究。联系电话: (0816) 2485439; E-mail: yin-yihui@sohu.com。

(5) 将表 1 中的数据组和调整后的虚拟泊松比应用于组合结构, 进而完成相关的力学分析。

表 2 输出的和输入的工程应力比较
Table 2 Comparison between output and input engineering stresses

变量名称	输入的工程应力/MPa	输出的工程应力/MPa
数据	0	0
	-0.128	-0.130
	-0.211	-0.210
	-0.320	-0.320
	-0.500	-0.500
	-1.920	-1.930

上述过程表明, 再现试验的数值建模方法的主要作用是获取尚没有的泡沫材料的力学性能数据。值得提及的是, 由该方法得到的信息不仅包含了泡沫的材料行为, 还包含了泡沫元件的结构和表面行为。因此, 当在组合结构中的泡沫元件的状态与材料性能试验中的很接近时, 该方法就会很准确。事实上, 由于在大多数组合结构中泡沫元件的变形主要是单向压缩, 因此这里描述的再现试验的数值建模方法在工程结构分析中是具有切实应用前景的。

3 方法的应用与验证

3.1 提取泡沫材料本构信息的应用

对于具有超弹性特性的泡沫材料, 其应变能密度函数可写为^[1]

$$w = \sum_{n=1}^N \frac{\mu_n}{\alpha_n} (\lambda_1^{\alpha_n} + \lambda_2^{\alpha_n} + \lambda_3^{\alpha_n} - 3) + \sum_{n=1}^N \frac{\alpha_n}{\beta_n} (1 - J^{\beta_n}), \quad (1)$$

式中: w 是应变能密度函数; λ_1 、 λ_2 和 λ_3 是主伸长率; J 是体积率; μ_n 、 α_n 和 β_n 是材料常数。显然, 当每一个输入数据都分别与相应的输出数据很接近时, 再现试验的数值建模方法也给出了式(1)中的常数 μ_n 、 α_n 和 β_n , 由此就可进一步导出具体的应力-应变关系, 从而用来进行相关组合结构的分析甚至是解析法分析。对于表 1 中的试验数据组, 得到的材料常数是: $\mu_1 = -0.000\ 665\ 3$, $\mu_2 = 0.101\ 737$, $\alpha_1 = -8.024\ 51$, $\alpha_2 = 4.861\ 37$, $\beta_1 = 1.079\ 44$, $\beta_2 = -0.653\ 941$ 。

目前, 当分析人员采用 ANSYS 结构分析软件进行组合结构的数值分析时, 还不能直接利用再现试验的数值建模方法。但是分析人员可以先用 MSC.Marc 软件得到泡沫类材料的本构参数, 然后再把它们输入 ANSYS 软件来进行相关的结构分

析。事实上, 这一间接的应用已在作者的工程分析实践中成功实行。

3.2 选取材料拟合模型的应用

一般来说, 一个结构分析软件总是提供几种材料模式供选择, 如 MSC.Marc 软件中有 FOAM、OGDEN 和 MOONEY 等^[2], 当分析人员对含泡沫元件的组合结构进行数值模拟时, 他们必须根据单向应力-应变试验数据组来正确选择每一种泡沫材料(即超弹性材料)的模式, 而再现试验的数值建模方法对这种选择很有帮助。事实上, 对于表 1 中的数据组, 如果选择 OGDEN 模式, 无论怎样调整相关参数, 输出应力-输出应变曲线总是与输入应力-输入应变曲线不一致, 即 OGDEN 模式不适合于表 1 中的数据组。

3.3 在组合结构分析中的应用及与实验的比较

在工程实践中, 作者及其同事利用本文方法已成功地对一些比较复杂的工程组合结构进行了数值模拟分析, 其中的一项典型的模拟采用 MSC.Marc 软件实施, 泡沫材料选择了 FOAM 模式。经过分析, 轴向压力与相应试验数据相差 6.0%, 而以前的解析法计算的轴向压力与相应试验数据相差 47.8%。这表明本文的再现试验的数值建模方法比以前的解析法更好。这里需补充说明的是, 以前的解析法只考虑泡沫元件的变形, 而假设其他部件都为刚体, 且直接根据预紧组合结构中泡沫材料在压缩终了状态时的压应变和单向应力-应变曲线来求应力及相应的预紧力。

4 结论

对于含泡沫元件的组合结构的数值分析, 提出了一个建立泡沫材料有限元模型的近似方法, 讨论了该方法的作用, 并给出了采用该方法进行组合结构分析的一个实例。应用实例表明该方法比以前的近似解析法更好。

参考文献 (References)

- [1] Ogden R W. Large deformation isotropic elasticity: on the correlation of theory and experiment for compressible rubberlike solids[C] // Proc R Soc London, Ser A, 1972, 328: 567-583
- [2] 陈火红. MSC.Marc 有限元实例分析教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002: 171-208