

# Nonlinear Analysis of Rivet Structural Materials

Dahan Chen Jie Zhao

The Second Supervision and Inspection Station of Construction Engineering Quality of Anhui Province, Hefei, Anhui, 230000, China

## Abstract

This paper is based on ANSYS to analyze the material non-linearity of the rivet structure, and study the influence of the material non-linearity on the structure mode, displacement and stress. The research shows that the deformation of the rivet structure is mainly in the Y direction and there is no tensile stress in the stress cloud diagram; The nonlinear deformation and stress of the structure gradually increase from the convex head to the blind hole section of the rod body; The stress concentration causes the most dangerous position of the structure to be around the section of the blind hole of the rod body.

## Keywords

rivet structure; material nonlinearity; stress and displacement

# 铆钉结构材料非线性分析

陈大汉 赵杰

安徽省建筑工程质量第二监督检测站, 中国 · 安徽 合肥 230000

## 摘要

论文基于ANSYS对铆钉结构进行材料非线性分析, 研究材料非线性对结构模态、位移和应力的影响。研究表明: 铆钉结构变形以Y方向为主且应力云图均没有出现拉应力; 结构非线性的变形和应力由凸头到杆体盲孔断面逐渐增大; 应力集中导致结构最危险位置在杆体盲孔断面周围。

## 关键词

铆钉结构; 材料非线性; 应力与位移

## 1 引言

在铆钉结构使用时非线性特征明显, 对结构材料非线性分析具有重要意义。基于此, 专家学者对铆钉结构受力性能及非线性特性做了一系列研究。苏明周<sup>[1]</sup>等人在预紧力以及抗剪承载力两方面研究了栓群效应对于环槽铆钉连接的纵向接缝承载力的影响。Christophe<sup>[2]</sup>探索了一种使用创新碳纤维增强聚铆钉的替代紧固解决方案。法洋洋<sup>[3]</sup>提出混合失效准则研究铆钉结构的破坏机理。上述研究对铆钉结构材料非线性的探索十分有限, 论文基于 ANSYS 对铆钉结构进行材料非线性分析, 通过建立有限元模型进行结构模态、静力和非线性分析, 以此研究材料非线性对结构模态、位移和应力的影响。

## 2 结构模型

论文选取硬度高、防锈耐腐蚀的半空心铆钉作为研

究对象, 由凸头、杆体和盲孔三部分组成, 结构实物和尺寸如图 1 所示。文中采用 ANSYS 的 GUI 操作直接进行建模, 模型均为 Solid 185 单元, 材料为钢材, 弹性模量为  $2.06 \times 10^5 \text{MPa}$ , 泊松比为 0.30, 密度为  $7850 \text{kg/m}^3$ , 屈服强度为 345MPa。

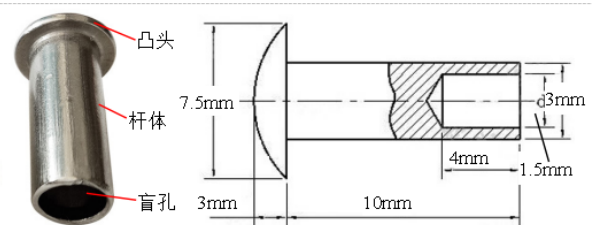


图 1 半空心铆钉结构实物和尺寸图

## 3 静力分析

### 3.1 模态分析

表 1 为 ANSYS 计算铆钉结构前 4 阶模态的自振特性, 分析可知: 1 阶固有频率小于 2Hz, 最大变形量为 1.42mm; 第 2、3 和 4 阶固有频率相差较大, 表现为铆钉前端的较大

【作者简介】陈大汉 (1994-), 男, 中国安徽六安人, 本科, 助理工程师, 从事工程检测研究。

变形, 最大变形量为 1.48mm。

表 1 结构自振特性参数

振型	周期 (s)	自振频率 (Hz)	各振型质量参与系数		
			X 方向	Y 方向	Z 方向
1	0.74	1.01	68.42%	0.06%	0.00%
2	0.66	1.45	0.08%	43.56%	0.00%
3	0.57	2.69	0.00%	6.33%	0.00%
4	0.42	3.47	0.00%	0.08%	3.72%

### 3.2 静力结果分析

由静力计算可知, 铆钉结构最大总位移为 3.02mm, 在杆体盲孔顶端截面处。结构最大 Y 向位移为 3.00mm, 表明结构变形以 Y 方向变形为主。第一和第三主应力云图均没有出现拉应力, 对结构较为有利, 最大压应力分别为 105.05MPa 和 51.64MPa, 均分布在杆端位置。

## 4 非线性分析

### 4.1 基本概念与原理

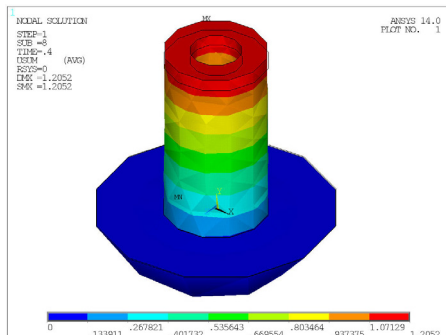
在 ANSYS 有限元分析时, 原弹性矩阵是有关应变和位移的函数。分析结构非线性问题主要有 3 类方法: 增量法、迭代法和最小化法, 由于迭代法计算结果比较精确, 适用高度非线性问题, 本文采用此类方法, 其原理为:

由于结构的刚度矩阵是几何变形的函数, 设结构几何变形为  $\lambda$ , 结构的平衡方程为一非线性方程组, 即式 (1), 其中,  $K$  为结构刚度矩阵,  $R$  为结构抗力。

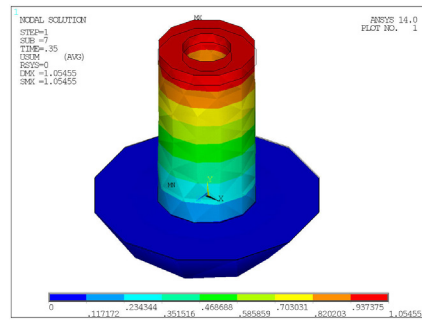
$$K(\lambda) \cdot \lambda - R = 0 \quad (1)$$

### 4.2 计算结果分析

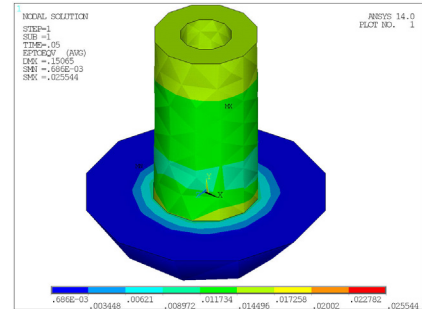
铆钉结构非线性计算结果位移和应力云图分别如图 2 所示。前 2 步的最大位移分别是 1.81mm 和 1.42mm, 前 2 步的最大应力分别为 68.6MPa 和 51.09MPa, 最大位移和应力均出现在杆体盲孔处且前 2 步变形和应力情况较相似, 变形和应力由杆体和凸头连接位置到杆体盲孔断面逐渐增大, 表明结构变形最危险位置为盲孔处的杆体, 造成此现象的主要原因为孔洞的出现, 导致结构应力集中。



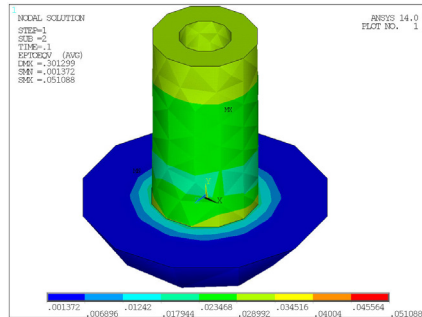
(a) 第 1 步位移



(b) 第 2 步位移



(c) 第 1 步应力



(d) 第 2 步应力

图 2 非线性不同荷载步位移和应力云图

## 5 结论

论文基于 ANSYS 对铆钉结构进行材料非线性分析, 研究发现:

- ① 结构最大总位移和 Y 向位移分别为 3.02mm 和 3.00mm, 主应力云图均无拉应力分布。
- ② 结构非线性变形和应力分布均由杆体和凸头连接位置到杆体盲孔断面逐渐增大。
- ③ 由于盲孔的设置造成应力集中, 结构最危险位置在杆体盲孔断面周围。

### 参考文献

- [1] 苏明周, 诸成豪, 张辰茜, 等. 波纹钢板纵向接缝高强度螺栓连接与环槽铆钉连接受剪性能试验研究[J]. 建筑结构学报, 2021: 1-14.
- [2] Absi C, Alsinani N, Lebel L L. Carbon fiber reinforced poly(ether ether ketone) rivets for fastening composite structures. 2021.
- [3] 法洋洋. 埋件结构拉脱破坏非线性分析数值模拟[D]. 上海: 上海交通大学, 2012.