

# 基于Abaqus的角码有限元分析

李嘉琪, 王 艳

上海理工大学机械工程学院, 上海

收稿日期: 2025年3月27日; 录用日期: 2025年4月20日; 发布日期: 2025年4月29日

## 摘 要

本文在SolidWorks建模并通过Abaqus有限元分析法, 研究了不同压强工作条件下角码的变形量和应力。结果表明, 应力最大处在中间板块的左上角与侧板连接处; 最大变形量在角码顶部离连接处较远的右下角, 并分析了其形成的原因; 还进行了不同尺寸的角码在相同工作条件下的应力应变仿真, 分析了结果。同时对结构进行了1到6阶的模态分析, 并据此提出了优化结构的建议。

## 关键词

有限元分析, 角码, Abaqus, 模态分析

# Finite Element Analysis of Corner Code Based on ABAQUS

Jiaqi Li, Yan Wang

School of Mechanical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: Mar. 27<sup>th</sup>, 2025; accepted: Apr. 20<sup>th</sup>, 2025; published: Apr. 29<sup>th</sup>, 2025

## Abstract

In this paper, the deformation amount and stress of the corner code under different pressure working conditions were investigated by modeling in SolidWorks and by Abaqus finite element analysis method. The results show that the maximum stress is at the upper left corner of the middle plate block where it connects with the side plate; The maximum deformation is in the lower right corner of the top of the corner code far away from the joint, and the reason for its formation is analyzed; the stress-strain simulation of different sizes of corner codes under the same working conditions is also carried out and the results are analyzed. Meanwhile, the modal analysis of the structure was carried out from the 1st to the 6th order, and suggestions for optimizing the structure were made.

# Keywords

Finite Element Analysis, Corner Code, Abaqus, Modal Analysis

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.  
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

在现代工程设计中,角码广泛应用于建筑[1]、机械及桥梁等领域[2]。作为连接结构中重要的构件,其强度和稳定性直接影响到整体结构的性能[3]。因此,对角码的研究尤为重要。研究角码在不同工况下的受力特点,可以为工程应用提供理论依据,同时为今后的角码设计和优化提供参考。通过对角码的有限元分析,我们可以更深入地理解其在结构中的作用。

赖其谈[4]等人通过对角码在竖向平面内的受力分析,进而分析两种连接方式的利弊,并提出设计时的注意事项。李百明[5]针对角码孔径测量工作量大、速度慢、受主观因素影响大等问题,提出了一种基于机器视觉的角码孔径测量方法。何国锐[6]等人制定了一套针对门窗组角安全性能的检测方法,并挑选了市面上常见的三种角码结构组角进行测试,对试验结果进行比对,并分析上述三种角码结构的优劣。许志远[7]分析了销钉角码注胶窗的配件空心销钉、角码、专用注胶材料、组装和注胶技术。经对4组试件进行承载能力测试,得出不同载荷条件下的变形情况。赵玉凤[8]等设计了一种可靠、稳定的角码上料装置,并通过仿真分析评估其性能和振动特性。

## 2. 角码仿真模型建立

### 2.1. 角码结构设计

根据某品牌角码的实际参数,在 SolidWorks 建模。如图 1 所示。图 1(a)是正视图,图 1(b)是侧视图。其中  $a = 21\text{ mm}$ 、 $b = 60\text{ mm}$ 、 $c = 27\text{ mm}$ 。

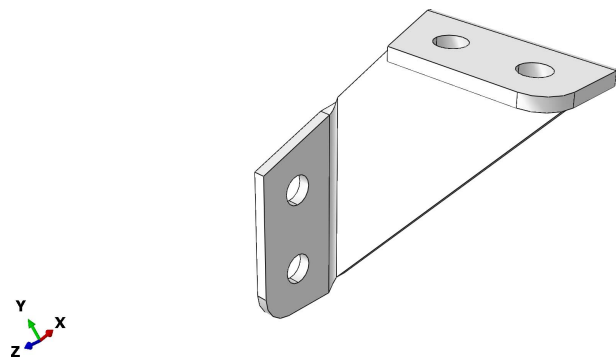


Figure 1. Structure model of corner code  
图 1. 角码结构模型

角码的材料选择应综合考虑强度、耐腐蚀性、疲劳强度、韧性,以确保其在各种工况下的可靠性和耐用性。本设计所选材料为 304 不锈钢,其具体性能参数如表 1 所示。

Table 1. Material characteristics of corner code  
表 1. 角码的材料特性

密度 $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	弹性模量 $E$ (MPa)	泊松比 $\mu$	屈服强度 $\sigma_s$ (MPa)	拉伸强度 $\sigma_b$ (MPa)
$7.93 \times 10^3$	$2.0 \times 10^5$	0.3	205	520

按照上表中的参数在 Abaqus 中设置材料参数。

2.2. 角码仿真模型建立

本文将 SolidWorks 中的建模导入 Abaqus 中, 并根据表 1 设定材料参数并进行网格划分、边界设置和载荷设置。其中对角码上表面施加的压强  $P = 1 \text{ MPa}$ 。如图 2 和图 3 所示。

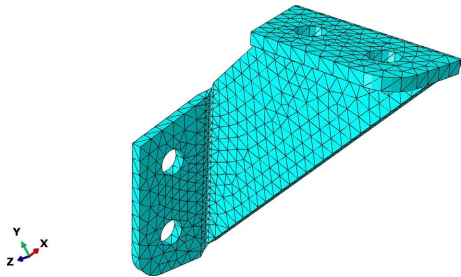


Figure 2. Schematic diagram of grid division  
图 2. 网格划分示意图

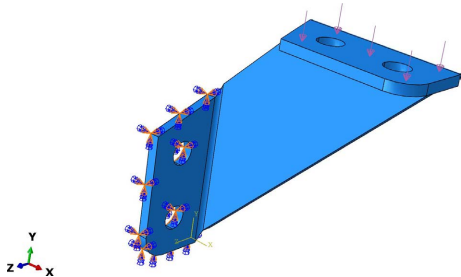


Figure 3. Load and constraint application  
图 3. 载荷和约束设置

3. 仿真结果分析

根据以上说明的步骤在 Abaqus 中提交作业, 得到角码的应力云图和应变云图, 如图 4 和图 5 所示。

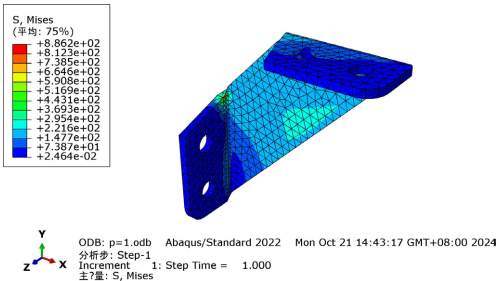


Figure 4. Stress clouds of corner code  
图 4. 角码应力云图

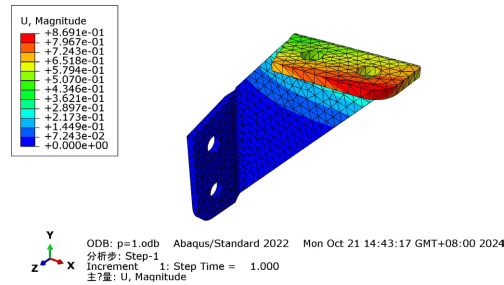


Figure 5. Displacement clouds of corner code  
图 5. 角码应变云图

结果显示,最大的应力在中间板块的左上角与侧板连接处,大小为 $8.862 \times 10^2$  MPa;最大变形量在角码顶部离连接处较远的右下角,大小为 $8.691 \times 10^{-1}$  mm。由此可推断出该角码的失效与断裂最可能发生在顶部区域。

其中最大应力出现在该位置主要有以下两个原因: 1) 中间板块的左上角与侧板连接处为角码的几何突变处,由于几何不连续从而产生应力集中; 2) 该位置同时也是约束边界处,由于接触约束产生了高应力。最大应变出现在角码顶部离连接处较远的右下角则是因为该位置的自由度较高,由于没有约束所以产生了较大的位移,导致了应变累积。

改变施加压强的大小并记录变形量和应力大小,结果如表 2 所示。

Table 2. Deformation and maximum stress of corner code under different pressures  
表 2. 不同压强下角码的变形量和最大应力

压强(MPa)	变形量(mm)	应力(MPa)	压强(MPa)	变形量(mm)	应力(MPa)
1	$8.691 \times 10^{-1}$	$8.862 \times 10^2$	5	2.834	$3.08 \times 10^3$
2	1.545	$1.638 \times 10^3$	6	3.208	$3.34 \times 10^3$
3	2.063	$2.253 \times 10^3$	7	3.669	$3.501 \times 10^3$
4	2.473	$2.728 \times 10^3$	8	4.343	$3.556 \times 10^3$

如表 2 所示,变形量和最高应力都随着压强的增大而增大,在 8 MPa 的压强作用下角码的变形量才超过 4 mm,最大应力为  $3.556 \times 10^3$  MPa,远小于材料的屈服极限。证明本设计的结构安全性能比较好。

为了研究不同尺寸的角码在相同载荷下最大应力和应变的不同,在改变了图 1 中 a、b、c 的值后都进行了压强为 8 MPa 的仿真试验并记录了最大应力和应变的值。结果如表 3 所示。

Table 3. Maximum strain and maximum stress for different sizes of angle yards  
表 3. 不同尺寸角码的变形量和最大应力

序号	a	b	c	最大应变(mm)	最大应力(MPa)
1	15	54	27	3.987	$3.368 \times 10^3$
2	21	60	27	4.343	$3.556 \times 10^3$
3	25	64	27	9.987	$8.095 \times 10^3$
4	15	60	32	6.027	$5.025 \times 10^3$
5	28	60	22	9.568	$6.097 \times 10^3$

由表可知，当角码的斜边  $c$  不变时，随着上下边  $a$ 、 $b$  增长，最大应变和最大应力都随之增大；当角码的下边  $b$  不变时，随着斜边  $c$  的增长，最大应变和最大应力也会随之增大。其原因是最大应变点离约束面距离越远，产生的力矩也就越大，进而导致应力应变的增加。

4. 角码的模态分析

角码在工作过程中，可能会受到其承载的物体振动的影响，因此有必要对该角码进行动态特性的模态分析。在 Abaqus 中进行前六阶的模态分析并记录每阶的固有频率和振型。其结果如表 4 所示，振型如图 6~11 所示。

Table 4. 1st~6th order frequency values of corner code  
表 4. 角码 1~6 阶频率

模态阶数	固有频率/Hz
1	543.72
2	2119.8
3	3029.6
4	5286.4
5	7257.5
6	10558

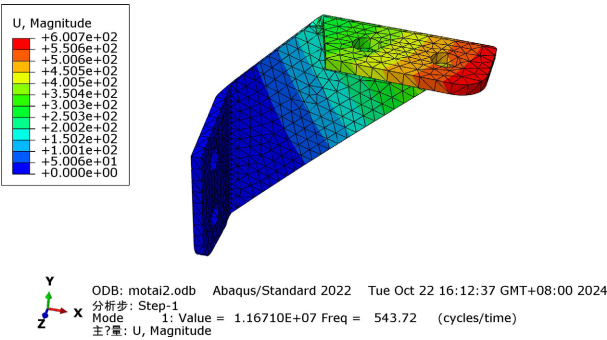


Figure 6. First-order modal analysis of corner code  
图 6. 角码的一阶模态分析

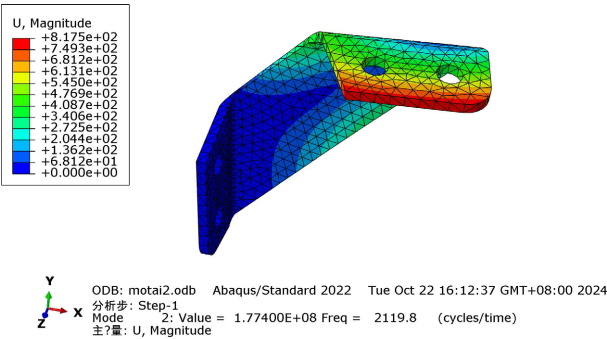


Figure 7. Second-order modal analysis of corner code  
图 7. 角码的二阶模态分析

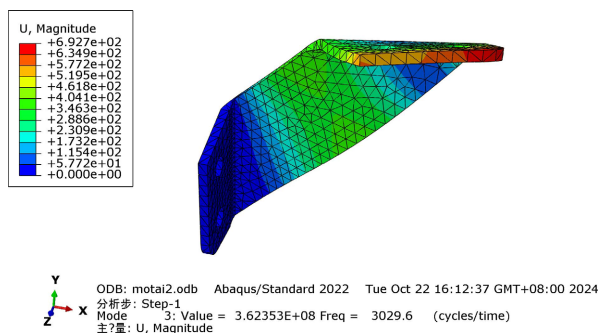


Figure 8. Third-order modal analysis of corner code  
图 8. 角码的三阶模态分析

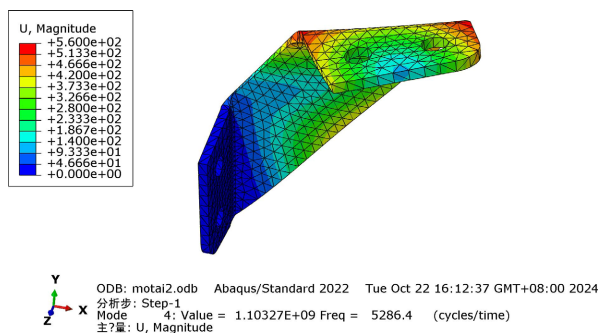


Figure 9. Fourth-order modal analysis of corner code  
图 9. 角码的四阶模态分析

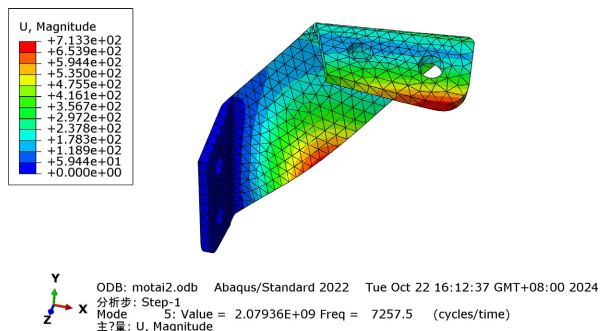


Figure 10. Fifth-order modal analysis of corner code  
图 10. 角码的五阶模态分析

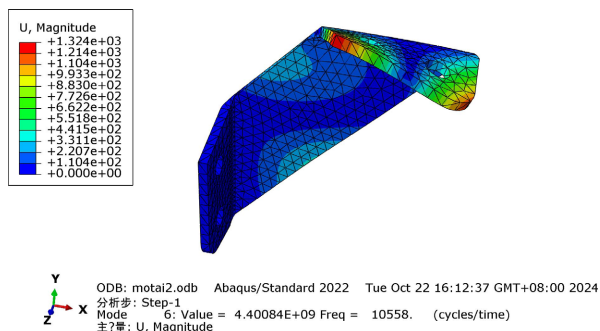


Figure 11. Sixth-order modal analysis of corner code  
图 11. 角码的六阶模态分析

分析表明,角码的最低固有频率为 543.72 Hz,随着阶数提高频率也随之提高,六阶时达到 10,558 Hz,但由于大部分角码的工作场合相对静止,可能出现的振动频率远低于固有频率,因此很难发生共振现象。由此表明该设计十分可靠。一阶模态的变形区域主要集中在角码的上表面部分的前端点处,而六阶模态的变形区域主要在上表面的前后两端点处。

同时可以看出该结构在高频振动的工作环境下变形量较大可以适当增加厚度至 2 mm 到 3 mm 或者在角码中间板区域添加肋板以提升结构在高频工作环境下的稳定性。如图 12 和图 13 分别为将厚度提高至 2 mm 后,在 8 MPa 压强下的应力和应变云图。最大应力和应变分别为  $2.078 \times 10^3$  MPa、2.084 mm,对比之前都有明显的改善。图 14 和图 15 分别为增加 1.6 mm 肋板后,在 8 MPa 压强下的应力和应变云图。最大应力和应变分别为  $3.059 \times 10^3$  MPa、1.734 mm,对比之前的结果也有所改善。

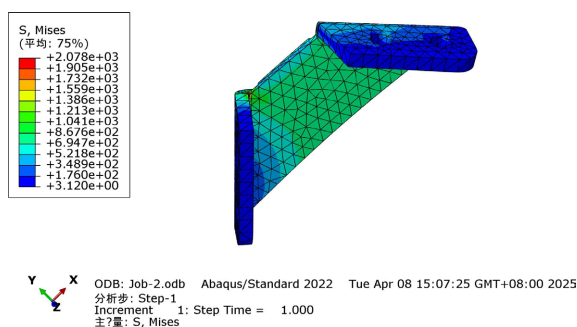


Figure 12. Stress cloud of 2 mm angle code

图 12. 2 mm 角码应力云图

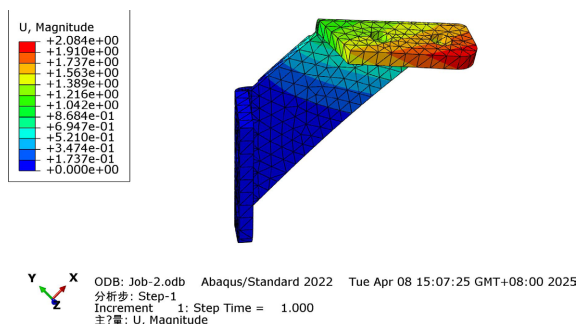


Figure 13. Strain cloud of 2 mm angle code

图 13. 2 mm 角码应变云图

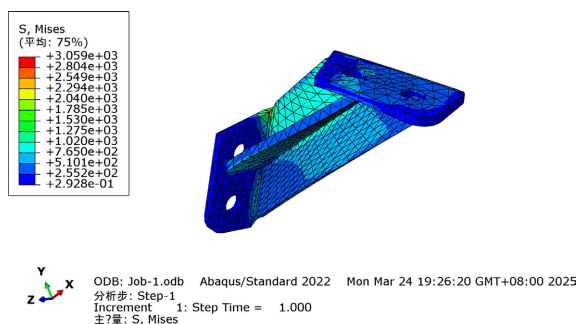


Figure 14. Stress cloud of angle code with ribbed plate

图 14. 带肋板的角码应变云图



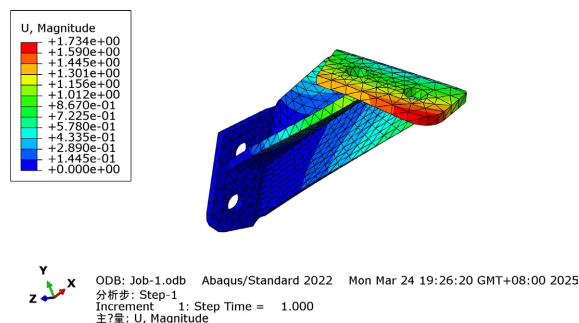


Figure 15. Strain cloud of angle code with ribbed plate  
图 15. 带肋板的角码应变云图

## 5. 结论

角钢在工作时需要承受负载, 可以进行静力学分析和模态分析以预测其在大应力或高频率工作下的变形和应力情况。根据仿真结果可以对角钢的结构进行优化从而提高其工作的稳定性和工作寿命。

本文通过 SolidWorks 软件进行角钢的建模, 并通过 Abaqus 软件进行仿真分析, 研究了在不同载荷压强下角钢的变形量和应力情况; 同时分析了不同尺寸的角码在同一工作条件下的仿真结果。还对其进行了模态分析。由于其在大部分工作条件下都没有高频环境, 不会发生共振现象, 务必避免其在高频的工作环境下工作。结果如下:

- 1) 最大的应力在中间板块的左上角与侧板连接处, 最大变形量在角码顶部离连接处较远的右下角。变形量和最高应力都随着压强的增大而增大, 但是远小于材料的屈服极限。
- 2) 对比不同尺寸在同样压强下的应力应变, 发现尺寸越大的角码最大应力应变越大。
- 3) 模态分析表明角码在角码的最低固有频率为 543.72 Hz, 随着阶数提高频率也随之提高, 六阶时达到 10,558 Hz, 由于大部分角码的工作场合相对静止, 可能出现的振动频率远低于固有频率, 很难发生共振现象。
- 4) 通过加厚角码的厚度以及增加肋板可以显著降低角码的应力应变, 验证了结构优化的作用。

## 参考文献

- [1] 卓建明, 陆勇, 郭士新, 等. 高预制率装配式建筑角码支撑体系研究与应用[J]. 建筑, 2017(21): 73-75.
- [2] 张豪杰. 角码连接件对 CFS 卷边拼合柱极限承载力的影响[J]. 四川建筑, 2022, 42(4): 195-196.
- [3] 程骥, 金睿, 尤可坚, 等. 新型预制装配式建筑构件吊装支撑角码受力性能分析[C]//中国建设科技集团股份有限公司, 中国建筑学会工程建设学术委员会, 昌宜(天津)模板租赁有限公司, 《施工技术》杂志社. 2019 全国模板脚手架工程创新技术交流暨首届工程建设行业杰出科技青年论坛论文集. 2019: 224-226.
- [4] 赖其淡, 郭海滨. 从角码的受力分析角码与立柱的连接设计[J]. 浙江建筑, 2006(3): 9-10+13.
- [5] 李百明. 基于机器视觉的角码孔径测量方法研究[J]. 吉林化工学院学报, 2023, 40(7): 77-82.
- [6] 何国锐, 邝家祥. 铝合金门窗角码结构组角的安全性能研究[J]. 广东建材, 2023, 39(8): 59-62+104.
- [7] 许志远. 销钉角码注胶窗制造工艺及性能测试[J]. 建材技术与应用, 2024(6): 81-85.
- [8] 赵玉凤, 马国平, 张秋菊, 等. 角码上料装置结构设计及机架仿真分析[J]. 现代制造技术与装备, 2023, 59(10): 115-117+127.