

# 基于ANSYS Workbench的橡胶材料十字形试样的设计和有限元分析

张选利, 彭冬冬

(青岛科技大学 机电工程学院, 山东 青岛 266061)

**摘要:**采用有限元分析软件ANSYS Workbench建立橡胶材料开臂缝设计的十字形试样的数学模型,并模拟分析臂缝及其参数对中心测试区域应力分布均匀性的影响。结果表明:开臂缝可以提高十字形试样中心测试区域应力分布的均匀性;臂缝宽度和长度对试样中心测试区域的应力分布无明显影响,但臂缝宽度增大对拉伸臂的应力分布影响较大,臂缝宽度为1 mm、长度为20 mm较好。本研究可为橡胶材料双向拉伸试验标准试样的制备提供参考。

**关键词:**橡胶材料;十字形试样;臂缝;ANSYS Workbench软件;有限元分析

**中图分类号:**TQ330.7<sup>+</sup>2;O241.82

**文献标志码:**A

**文章编号:**1000-890X(2020)04-0311-05

**DOI:**10.12136/j.issn.1000-890X.2020.04.0311



OSID开放科学标识码  
(扫码与作者交流)

橡胶是高弹性的高分子材料,其泊松比在0.400 0~0.499 9范围内,接近于液体的泊松比0.5,橡胶可以近似认为是一种不可压缩性材料,具有大变形性和非线性等特点,广泛应用于汽车、医疗和国防等领域。为了表征橡胶材料真实的力学性能,仅靠单轴拉伸和压缩试验数据不足以为其本构模型提供可靠的参数。近年来,随着双轴拉伸试验机的出现和发展,开始出现了不同的拉伸试样,研究最多的是十字形试样<sup>[1-4]</sup>。十字形试样的出现表明:可以把所加载荷产生的应力传递到试样中心区域,并使其应力均匀分布,从而为测试区域真实应力应变计算提供可靠依据。

在金属材料领域,GB/T 36024—2018《金属材料 薄板和薄带 十字形试样双向拉伸试验方法》规定了双向拉伸试验十字形试样的形状和应变测量的位置<sup>[5]</sup>。在橡胶材料领域,对十字形橡胶试样形状没有统一的标准。查阅国内外文献发现,运用有限元分析软件进行十字形试样模拟分析的报道比较少。为此,本研究针对橡胶材料,采用ANSYS Workbench软件建立开臂缝设计的十字形试样的数学模型,并模拟分析臂缝及其参数对试样中心测试区域应力分布均匀性的影响,为橡胶

材料双向拉伸试验标准试样的制备提供参考。

## 1 开臂缝十字形试样模型的建立

本研究采用的开臂缝十字形试样如图1所示。试样参数如下:整体尺寸 120 mm,圆角半径 1.5 mm,厚度 2 mm,夹持区长度 15 mm,臂端预留量 10~20 mm(臂缝长度取值不同,臂端预留量相应变化),中心区域尺寸 30 mm,开3条均匀分布的臂缝,臂缝宽度 变量(0.5, 1, 2, 3, 4, 5 mm),臂缝长度 变量(20, 15, 10 mm)。

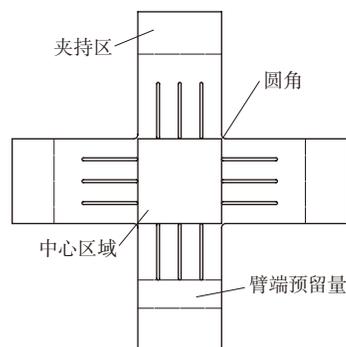


图1 开臂缝十字形试样示意

由于十字形试样的几何形状和负荷具有对称性,在有限元分析时,仅对1/8试样进行建模分析。实际试验中,夹持区的刚度远大于其他部位,因此建模时去掉夹持区<sup>[5]</sup>。材料属性选择Ogden

**作者简介:**张选利(1965—),男,山东青岛人,青岛科技大学副教授,博士,主要从事橡胶疲劳与断裂方面的研究。

**E-mail:**zxl6503@126.com

三阶本构模型来表征,材料参数采用默认设置。在对模型进行网格划分时,设置单元格最小尺寸,生成四边形网格,即建立拉伸试样有限元网格模型。需要注意的是,在网格划分时,网格越小,对臂缝处应力集中的模拟越准确,但也会延长运算时间<sup>[1]</sup>。本工作对臂缝处的应力集中不做研究,因此网格尺寸选用0.4 mm,设置后生成的试样有限元模型如图2所示。

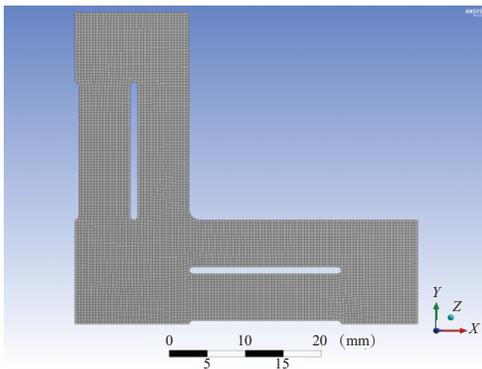


图2 开臂缝十字形试样有限元模型(1/8模型)

## 2 边界条件和负荷的施加

以臂缝宽为1 mm的十字形试样为例,由于模型的对称性,则可以分别在模型左边、底边和厚度方向施加对称边界条件,同时在两个十字拉伸臂边缘处施加10 N均布负荷,边界条件和负荷施加如图3所示。

## 3 臂缝及其参数的影响

为了得到理想的双向拉伸效果,使中心测试区域存在均匀应力应变场,在十字形试样基础上

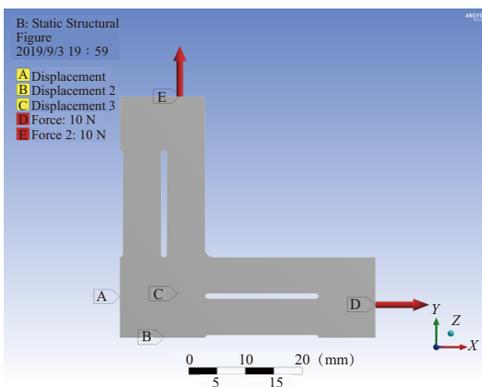
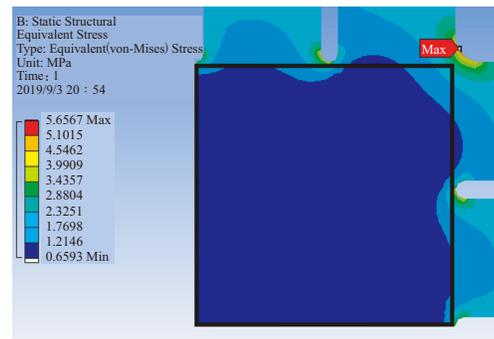


图3 边界条件和负荷施加示意

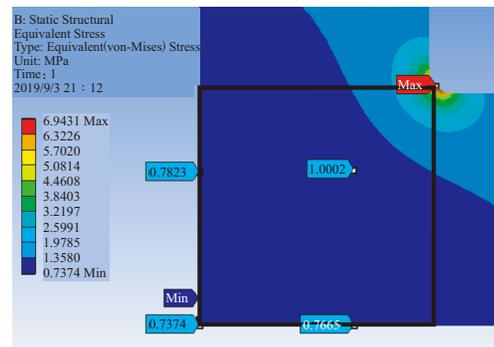
进行开臂缝设计。以下分别对有臂缝和无臂缝及臂缝宽度和长度对试样中心测试区域应力分布均匀性的影响进行分析。

### 3.1 有臂缝与无臂缝

分别对有臂缝和无臂缝的十字形试样模型进行有限元分析,为了使结果更加直观,分别截取两试样中心测试区域的等效应力云图进行比较,如图4所示。



(a) 有臂缝



(b) 无臂缝

图4 有臂缝和无臂缝十字形试样中心测试区域的等效应力云图

通过图4(a)与(b)对比分析可以发现,有臂缝试样中心测试区域应力分布比无臂缝试样更均匀,而且应力均布的面积更大。因此,在十字形试样上开臂缝是有必要的。

### 3.2 不同臂缝宽度

在十字形试样的拉伸臂上开3条均匀分布的臂缝,臂缝长度取20 mm,臂缝宽度分别取0.5, 1, 2, 3, 4, 5 mm。不同臂缝宽度试样变形后的等效应力分布云图如图5所示。

从图5可以看出,随着臂缝宽度的增大,试样变形后中心测试区域的应力分布没有产生太大的

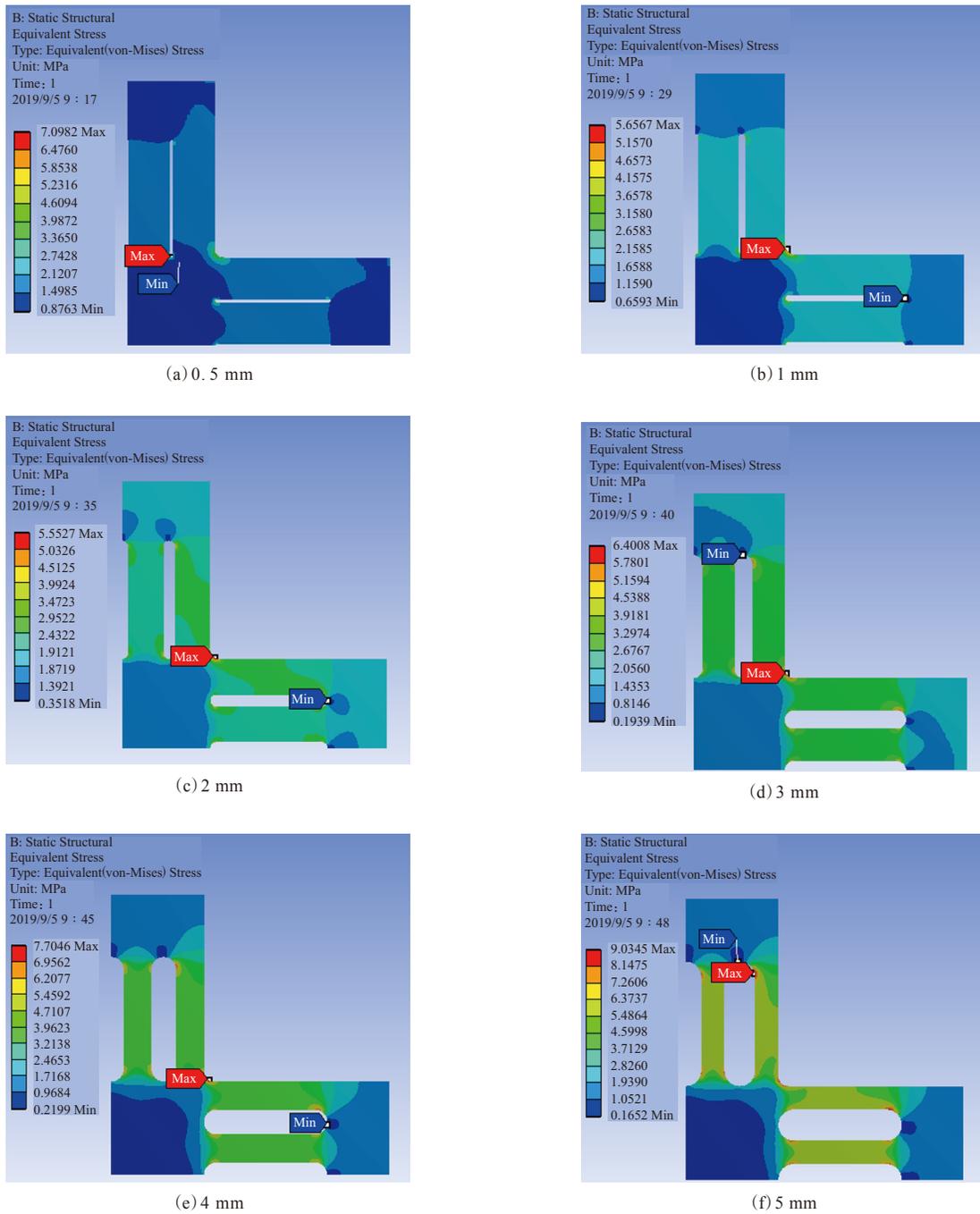


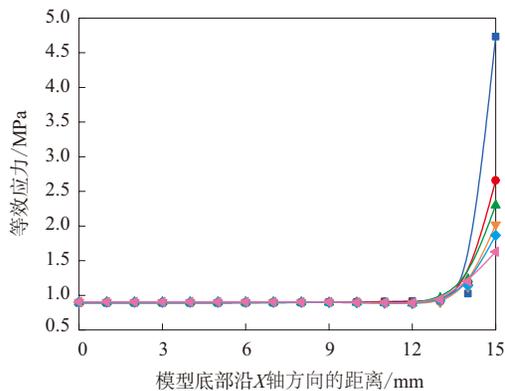
图5 不同臂缝宽度十字形试样等效应力分布云图

变化,但在非测试区域出现应力集中现象:臂缝宽度为0.5 mm试样在臂缝的圆角处出现应力集中;臂缝宽度为1,2,3,4 mm试样在拉伸臂的倒角处出现应力集中;臂缝宽度为5 mm试样在靠近拉伸臂的臂缝圆角处出现应力集中,如果负荷较大,在拉伸过程中可能出现拉伸臂破裂现象。

由于十字形试样的几何形状和负荷的对称

性,其等效应力沿X轴与Y轴方向的分布情况是一致的,因此提取模型底部沿X轴方向各节点的等效应力,结果如图6所示。

从图6可以看出,不同臂缝宽度试样在中心测试区域的应力分布变化趋势大体一致,而在接近臂缝区域,尤其是在臂缝圆角比较小的情况下,应力集中更加明显。



臂缝宽度/mm: ■—0.5; ●—1; ▲—2; ▼—3; ◆—4; ▲—5。

图6 不同臂缝宽度十字形试样沿X轴方向节点的等效应力分布

结合图5和6分析可以得出,臂缝宽度为1 mm比较符合设计要求。

### 3.3 不同臂缝长度

在十字形试样的拉伸臂上开3条均匀分布的臂缝,臂缝宽度取1 mm,臂缝长度分别取10,15,20 mm。不同臂缝长度试样变形后的等效应力分布云图如图7所示。

从图7可以看出,随着臂缝长度的增大,试样变形后中心测试区域的应力分布没有太大的变化,但在靠近拉伸臂末端应力比较大,如果负荷过大,在拉伸过程中可能会出现拉伸臂破裂现象。

同样提取模型底部沿X轴方向各节点的等效应力,结果如图8所示。

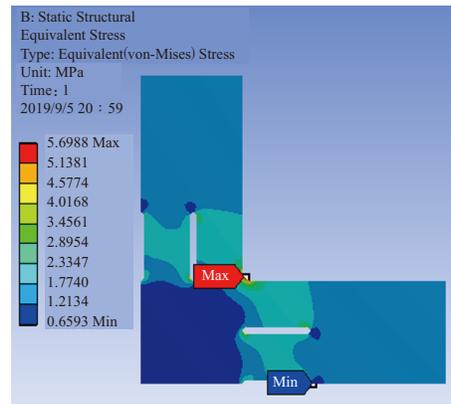
从图8可以看出,不同臂缝长度试样在中心测试区域的应力分布变化趋势大体一致,而在接近臂缝区域应力集中比较明显。

结合图7和8分析可以得出,臂缝长度对试样中心测试区域的应力分布无明显影响,但臂缝长度为20 mm试样整体应力分布均匀性好于臂缝长度为10 mm试样。

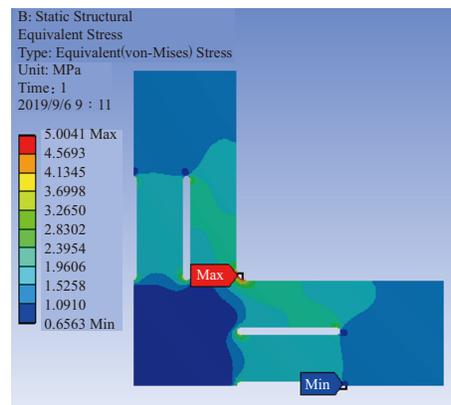
## 4 结论

(1) 开臂缝可以提高十字形试样中心测试区域应力分布的均匀性。

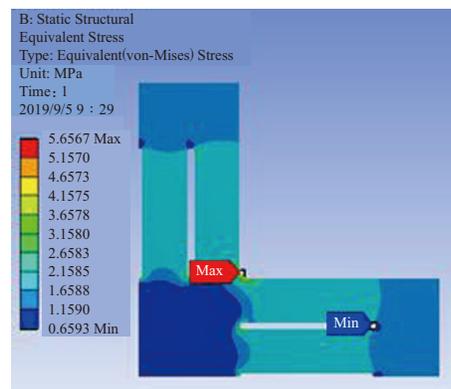
(2) 不同臂缝宽度十字形试样中心测试区域的应力分布变化趋势大体一致,但臂缝宽度增大对拉伸臂的应力分布影响比较大,甚至在增大负



(a) 10 mm



(b) 15 mm



(c) 20 mm

图7 不同臂缝长度十字形试样等效应力分布云图  
荷时会出现拉伸臂(非测试区域)断裂。因此,臂缝宽度为1 mm比较符合设计要求。

(3) 臂缝长度对十字形试样中心测试区域的应力分布无明显影响,但臂缝长度为20 mm试样的整体应力分布均匀性好于臂缝长度为10 mm试样。

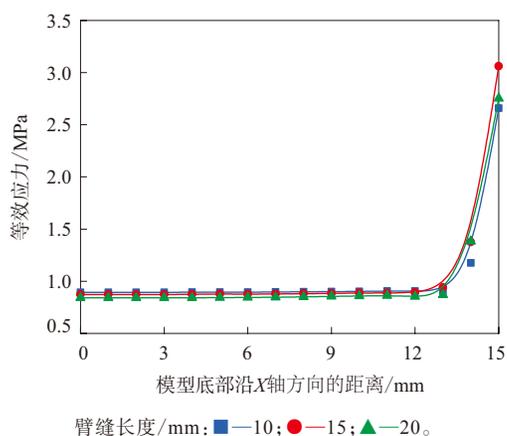


图8 不同臂缝长度十字形试样沿X轴方向节点的等效应力分布

#### 参考文献:

- [1] Adeel Y J, Muhammad A I, Zeeshan A. Characterization of Hyperelastic (Rubber) Material Using Uniaxial and Biaxial Tension Tests[J]. *Advanced Materials Research*, 2012, 570: 1-7.
- [2] 邓国红, 余雄鹰, 汤爱华, 等. 十字形双向拉伸试验有限元模拟及分析[J]. *重庆理工大学学报*, 2007, 21(9): 15-17.
- [3] 周华森, 杨晓翔. 橡胶等双轴拉伸十字形试样的设计与有限元分析[J]. *橡胶工业*, 2018, 65(10): 1102-1107.
- [4] Diani J, Bhatnagar N, Brieu M. A New Biaxial Tension Test Fixture for Uniaxial Testing Machine—A Validation for Hyperelastic Behavior of Rubber-like Materials[J]. *Journal of Testing & Evaluation*, 2007, 35(4): 1-9.
- [5] 全国钢标准化技术委员会. 金属材料 薄板和薄带 十字形试样双向拉伸试验方法: GB/T 36024—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.

收稿日期: 2019-10-17

## Design and Finite Element Analysis of Rubber Material Cruciform Specimen Based on ANSYS Workbench

ZHANG Xuanli, PENG Dongdong

(Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

**Abstract:** The mathematical model of the cruciform specimen with open arm gap design by finite element analysis software ANSYS Workbench was established, and the influence of arm gap and its parameters on the stress distribution uniformity in the central test area was simulated and analyzed. The results showed that the opening of the arm gap could improve the uniformity of the stress distribution in the central test area of the cruciform specimen. The width and length of the arm gap had no significant influence on the stress distribution in the central test area of the specimen. However, the increase of the width of the arm gap had a relatively greater influence on the stress distribution of the extension arms. It was found that the suitable width and length of the arm gap were 1 and 20 mm, respectively. This study provided a reference for the preparation of standard sample for the biaxial tensile test of rubber material.

**Key words:** rubber material; cruciform specimen; arm gap; ANSYS Workbench software; finite element analysis

**天然橡胶期货全线下跌** 近日天然橡胶(NR)期货市场全线下跌。截至2020年2月6日收盘,沪胶主力合约RU2005收于11 340元(吨价,下同),比1月23日收盘价下跌745元,跌幅6.16%;20号胶主力合约NR2005收于9 630元,比1月23日收盘价下跌480元,跌幅4.75%。

供应方面,2020年2月国外NR主产区步入低产或停割状态,产量明显下滑。国内云南与海南主产区则在2019年第4季度全面停割之后,新一季的开割期尚未到来,全乳胶依然处于低产期。库存方面,国内NR显性库存量依然较高。

下游方面,2020年1月17日,半钢子午线轮胎企业开工率为68.06%,全钢子午线轮胎企业开工率为60.58%。受新冠肺炎疫情影响,大部分轮胎企业推迟复工时间,预计短期开工率难有大幅提升,对NR需求有限。

出口方面,随着中美贸易摩擦阶段性缓和,我国向美国的轮胎出口量有望回升,但目前国内疫情或将影响到后期的轮胎出口业务,叠加春节休假因素,2020年2月轮胎出口量缩减。短期来看,国内NR供需关系维持偏弱态势。

(摘自《中国化工报》,2020-02-10)