

# 团体标准

T/CAAMM 312—2023/T/NJ XXXX—2023

仿生橡胶履带

Bionic rubber track

(公示稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国农业机械工业协会  
中国农业机械学会 发布



## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》给出的规则起草。

请注意本标准的某些内容可能涉及专利。本文件的提出和发布单位不承担识别专利的责任。

本标准由中国农业机械工业协会和中国农业机械学会联合提出。

本标准由中国农业机械工业协会归口。

本标准起草单位：河南科技大学、吉林大学、江苏大学、河北农业大学、华中农业大学、河南农业大学、知轮（杭州）科技有限公司、河北耕耘农业机械制造有限公司、桑普农机（常州）有限公司、国创农业装备质量检验检测技术（洛阳）有限公司。

本标准主要起草人：张伏、付三玲、张亚坤、邹猛、王亚飞、王甲甲、杨欣、张锐、王洪昌、朱晨辉、闵俊杰、田建峰、庄晓华、王新月、张朝臣、崔夏华、邱玉博、孙昊轩、颜宝苹、张方圆、韩伟东、李小帅。

本标准首次发布。



# 仿生橡胶履带

## 1 范围

本文件规定了仿生橡胶履带相关术语和定义、分类与标记、产品结构、技术要求、试验方法和检验规则等内容。

本文件适用于农业机械、工程机械和运输车辆等行走部分的仿生橡胶履带。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期的对应版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 528 硫化橡胶或热塑性橡胶 拉伸应力应变性能的测定
- GB/T 529 硫化橡胶或热塑性橡胶撕裂强度的测定（裤形、直角形和新月形试样）
- GB/T 531.1 硫化橡胶或热塑性橡胶 压入硬度试验方法 第1部分：邵氏硬度计法（邵尔硬度）
- GB/T 1689 硫化橡胶 耐磨性能的测定（用阿克隆磨耗试验机）
- GB/T 3512 硫化橡胶或热塑性橡胶 热空气加速老化和耐热试验
- GB/T 20786 橡胶履带

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**生物系统** biological system

源于生物世界的一组从纳米尺度到宏观尺度的可观测元素的集合。

### 3.2

**模型** model

源于对生物系统观察所得到的连贯可用的抽象。

### 3.3

**仿生原型** bionic prototype

应用于橡胶履带的仿生结构的原型应为偶蹄类动物。

### 3.4

**橡胶履带** rubber track

由橡胶、金属复合而成的环形带状产品。

### 3.5

**仿生花纹** bionic pattern

模拟生物的表现形态设计非规则花纹结构。

3.6 仿生结构 bionic structure

3.6.1

单一仿生结构 single bionic structure

模仿生物体单一的线、面结构应用于橡胶履带花纹形成单一仿生结构。其中，模仿生物体单一的线、面结构不具体指生物体的某种结构，可为形态仿生即通过相似类比模拟生物的表现形态的线、面结构，或者结构仿生即生物体不同尺度的宏观、微观、纳观的线、面结构，或者构形仿生即体态、形状、外形的线、面结构仿生。

3.6.2

复合仿生结构 multiple bionic structure

模仿生物体多种的线、面结构应用于橡胶履带花纹形成复合仿生结构。

3.7

仿生橡胶履带 bionic rubber track

具有非规则仿生花纹结构/材料设计的橡胶履带。

3.8

附着性能 adhesion performance

橡胶履带车辆与地面间产生的最大附着能力和抗打滑的能力。

4 分类与标记

4.1 分类

仿生橡胶履带按履带花纹结构分为以下两类：

SBRT——单一仿生结构橡胶履带

MBRT——复合仿生结构橡胶履带

4.2 标记

4.2.1 标记方法

仿生橡胶履带的标记由仿生橡胶履带类型、宽度（mm）、节距（mm）、橡胶履带节数（可变）、适用最大机器重量（t）组成。标记方法见图1：

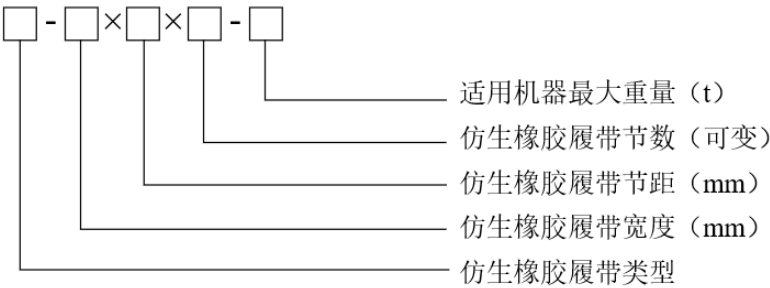


图1 仿生橡胶履带标记方法

4.2.2 标记示例

示例1：

履带宽度400mm，节距为72.5mm，节数为80，适用于最大重量为5t以下的机器的单一仿生结构橡胶履带标记为：SBRT-400×72.5×80-05。

示例2:

履带宽度762mm，节距为153mm，节数为42，适用于最大重量为30t以下的机器的复合仿生结构橡胶履带标记为：MBRT-762×153×42-30。

## 5 产品结构

### 5.1 单一仿生结构

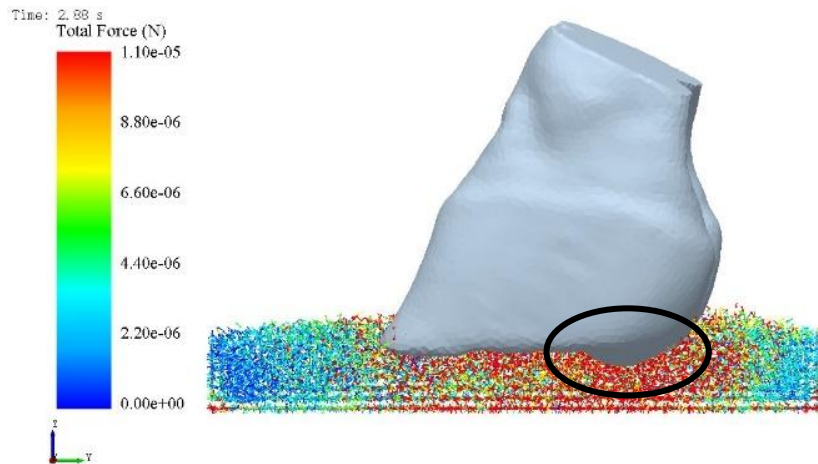
以山羊蹄为仿生原型，CT扫描后，采用3-matic对羊蹄结构三维重构、网格划分，导入EDEM离散元仿真软件，仿真分析蹄球-土壤作用过程，发现触土过程中蹄球轮廓背部脊线的切土段、固土段对其附着性能发挥着关键作用，如图2（a）所示。因此，采用CATIA软件中工程图投影功能提取山羊蹄球脊线，如图2（b）所示。为提取山羊蹄球脊线的坐标值，采用OpenCV软件处理投影的山羊蹄球背部脊线图像，经灰度化、二值化、描点等流程提取山羊蹄球脊线坐标，如图2（c）所示。采用Matlab2016自带工具箱里的曲线拟合（cftool）工具对提取的点坐标数据进行多项式拟合，可决系数（ $R^2$ ）为0.9851，均方根误差（RMSE）为1.504，拟合方程如下：

$$f(x)=0.00007298x^3-0.01195x^2+0.1134x+78.29, 10\leq x\leq 158$$

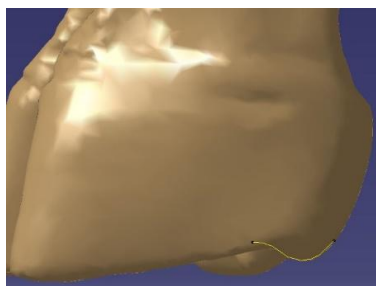
考虑到花纹参数的完整性，对x的取值区间进行取整，取整后的仿生曲线满足方程：

$$f(x)=0.00007298x^3-0.01195x^2+0.1134x+78.29, 0\leq x\leq 160$$

从功能上将仿生曲线划分为切土段、支撑段、固土段三部分，从而达到增强其动态附着性能的效果。其中固土段取值范围： $0\leq x\leq 70$ ；支撑段取值范围： $70< x\leq 130$ ；切土段取值范围： $130< x\leq 160$ 。将其闭合后得到仿生花纹截面，结合实际履带花纹尺寸，在不影响其功能效果的情况下，将花纹截面草图尺寸整体缩小一倍，如图2（d）所示，然后沿着花纹本体长度方向拉伸，拉伸宽度为300mm，拉伸后如图2（e）所示，履带单体实物如图2（f）所示。



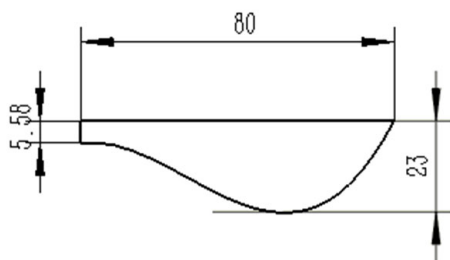
（a）蹄球-土壤作用的离散元仿真结果



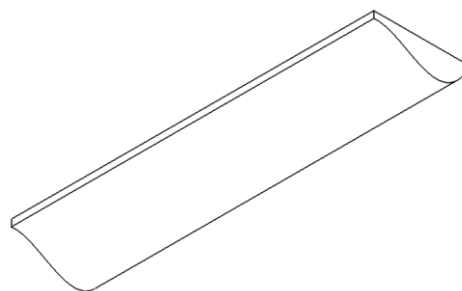
(b) 蹄球背部脊线



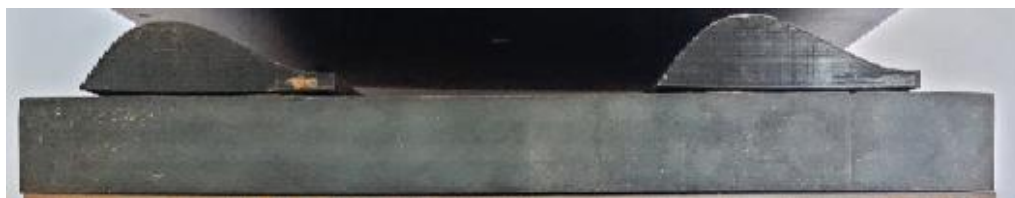
(c) 模拟生物线结构



(d) 花纹截面图



(e) 仿山羊蹄履带花纹单体结构



(f) 仿山羊蹄履带花纹单体结构实物图

图2 单一仿生结构履带单体实物图

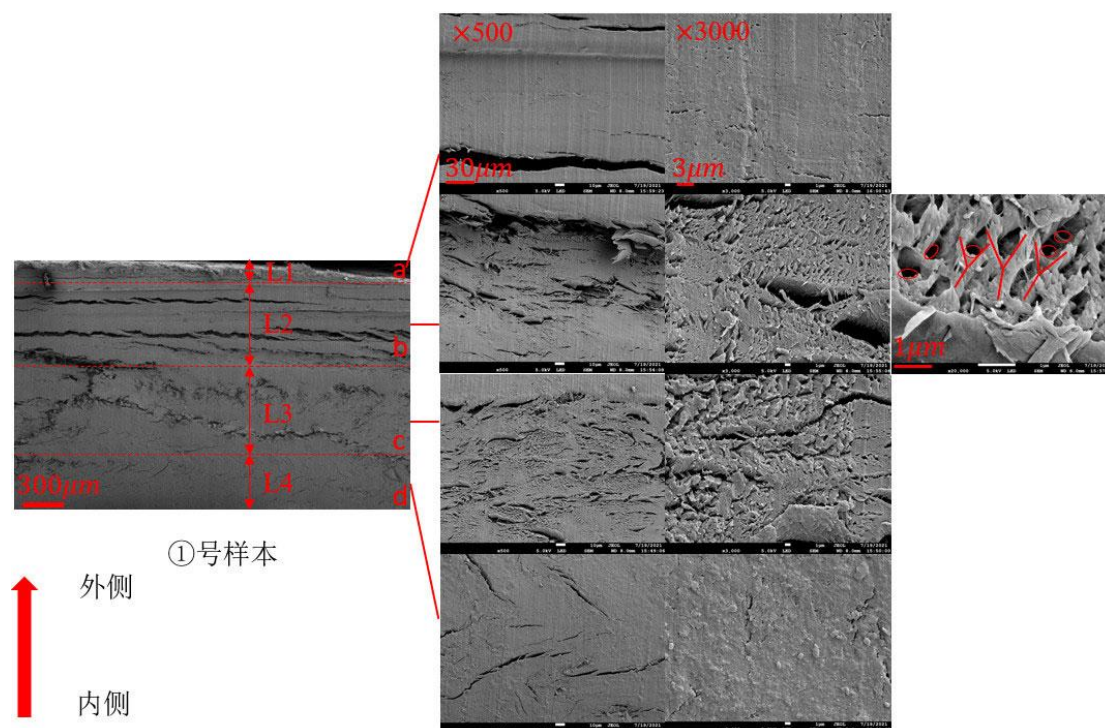
## 5.2 复合仿生结构

解剖羊蹄蹄壁，显微镜下观察蹄壁切片，分析蹄壁层次结构及层与层之间的联系，发现a层比较坚硬光滑，结构致密、均匀、单一；b层规律排列着“Y”型结构，连接层与层间，且排列分布着直径 $0.23\sim 0.46\mu\text{m}$ 的孔洞，这对减轻山羊蹄的重量有重要作用，可吸收冲击能量，起到缓冲作用；c层簇状结构凹凸不平，相互叠压；d层零散分布着块状突起结构，如图3（a）所示。

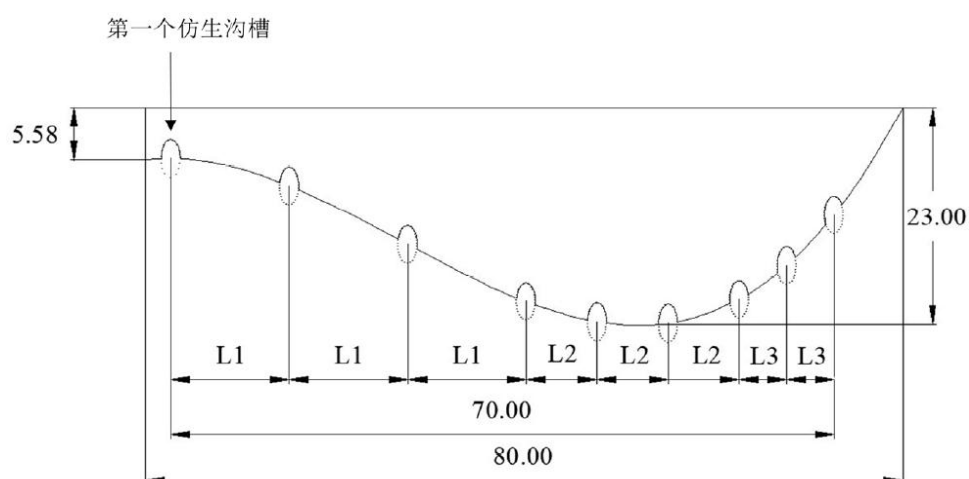
在图2（e）仿山羊蹄履带花纹单体结构的基础上，基于生物相似性原理，结合图3（a）羊蹄蹄壁截面显微结构中的孔洞结构，设计仿生沟槽结构，该结构是长轴a与短轴b尺寸比例为2:1的椭圆结构，根据花纹宽度，取椭圆短轴 $b=2\text{mm}$ ，则长轴 $a=4\text{mm}$ 。椭圆中心均位于仿生曲线上，该曲线将上述椭圆结构划分为两部分，保留靠近花纹本体的部分曲线。

单块花纹本体上布置9个仿生沟槽，以仿山羊蹄履带花纹固土段曲线区间顶点为第一个仿生沟槽布置中心，其余仿生沟槽依次按间距排列，仿生沟槽结构在仿山羊蹄履带花纹固土段曲线排列间距为 $L_1$ ，在仿山羊蹄履带花纹支撑段曲线排列间距为 $L_2$ ，在仿山羊蹄履带花纹切土段曲线排列间距为 $L_3$ ，且排列间距比例为 $L_1:L_2:L_3=5:3:2$ ，根据本文设计的花纹尺寸，取 $L_1=12.5\text{mm}$ ， $L_2=7.5\text{mm}$ ， $L_3=5\text{mm}$ 。带沟槽的仿山羊蹄履带花纹单体结构如图3（b）所示。花纹加工尺寸为：长 $\times$ 宽 $\times$ 高 $=80\text{mm}\times 300\text{mm}\times 23\text{mm}$ ，履带单体实物如图3（c）所示。





(a) 羊蹄蹄壁截面显微结构



(b) 带沟槽的仿山羊蹄履带花纹单体结构



(c) 带沟槽的仿山羊蹄履带花纹单体结构实物图

图3 复合仿生结构履带单体实物图

## 6 技术要求

6.1 设计方法

仿生研究过程重点在于对生物系统与目标系统进行类比或相似性的查验。在选取生物模型并将其细节特征转化前，应对模型系统性能进行测试和分析。上述测试和分析确定的功能、参数、参数比率及质量标准等，作为判别功能目标简化生物模型与目标系统的关联程度。

6.2 尺寸、公差及评价指标

仿生橡胶履带花纹公称尺寸应满足设计图纸要求，尺寸公差应符合表1的规定。

表1 仿生橡胶履带花纹尺寸及公差

公称尺寸	公差/mm
长度 ( $L$ )	$\pm 5.0\%L$
宽度 ( $W$ )	$\pm 2.0\%W$
高度 ( $H$ )	$+15.0\%H$ $-10.0\%H$
间距 ( $D$ )	$\pm 5.0\%D$

仿生橡胶履带花纹拟合曲线（面）的评价指标应符合表2的规定。

表2 仿生花纹评价指标

指标	范围
可决系数 ( $R^2$ )	$\geq 0.96$
均方根误差 (RMSE)	$\leq 2.50$
多项式方程阶数 ( $n$ )	$\leq 3$

注：考虑实际生产情况，四阶及以上曲线（面）加工时难度较大，可操作性和可实施性较低，因此，仿生曲线（面）采用多项式拟合时，拟合方程中x的最大指数 $n \leq 3$ 。

6.3 外观质量

仿生橡胶履带外观质量应符合表3的规定。

表3 仿生橡胶履带外观质量

缺陷名称	质量标准
钢丝外露	不允许
气泡、表面杂质、海绵状结构	不允许
凹凸不平	不允许
明疤（除花纹外）	深度 $\leq 1\text{mm}$ ，直径 $\leq 5\text{mm}$ 。允许数量：不多于3处
脱层、裂纹、裂口	不允许
外伤（非制造原因所产生的外表损伤）	出厂前不允许

6.4 橡胶材料

橡胶履带用橡胶材料物理机械性能及相应试验方法应符合表4的规定。

表4 橡胶履带用橡胶材料物理机械性能

项目	性能指标	试用试验条目
附着力 (N)	$\geq 83$	7.2.1
同条履带同侧硬度偏差（邵氏A）/度	$\leq 2$	7.2.2
拉伸强度/MPa	$\geq 18$	7.2.3

拉断伸长率/%		≥200	
拉断永久变形/%		≤28	
撕裂强度/（kN/m）		≥53	7.2.4
阿克隆磨耗/（cm <sup>3</sup> /1.61km）		≤0.4	7.2.5
热空气老化 （70℃×96h）	拉伸强度变化率/%	按GB/T 20786的规定进行	7.2.6
	拉断伸长变化率/%		

## 7 试验方法

### 7.1 试样制备

试验履带应在室温下停放48h后进行试验，包括：尺寸和表面硬度测量、产品解剖、试样制备等。

### 7.2 橡胶材料物理机械性能

#### 7.2.1 附着性能

橡胶附着性能的测定以最大牵引力为指标，通过土槽试验测试。验证所用履带板单体尺寸为：长×宽×高=300mm×300mm×30mm，在每块履带板上布置两个履带花纹，其间距为100mm；验证所用土槽的土壤物理参数应符合表5的规定：

表5 土壤物理参数

参数	误差
含水率/%	10±0.1
土壤密度/（g/cm <sup>3</sup> ）	1.33±0.1
泊松比	0.33±0.3
弹性模量（MPa）	10±0.1

#### 7.2.2 硬度

橡胶硬度的测定按GB/T 531.1的规定进行。

#### 7.2.3 拉伸强度、拉断伸长率、拉断永久变形

橡胶拉伸强度、拉断伸长率、拉断永久变形的测定按GB/T 528的规定进行。采用1型试样。

#### 7.2.4 撕裂强度

橡胶撕裂强度的测定按GB/T 529的规定进行，采用新月形试样。

#### 7.2.5 阿克隆磨耗

阿克隆磨耗的测定按GB/T 1689的规定进行。

#### 7.2.6 热空气老化

橡胶热空气老化性能的测定按GB/T 3512的规定进行。

## 8 检验规则

### 8.1 出厂检验

出厂前应对外观质量100%检验。

### 8.2 型式检验

批量生产后，按照GB/T 20786的规定进行。

### 8.3 周期性检验

批量生产后，按照GB/T 20786的规定进行。

### 8.4 判定规则

8.4.1 外观质量如有一项不合格，则判定该件橡胶履带不合格。

8.4.2 批量生产后，成品硬度差、尺寸及公差，按照GB/T 20786的规定进行。

8.4.3 批量生产后，橡胶材料物理机械性能按照GB/T 20786的规定进行。

---