

ICS  
CCS

# 团体标准

T/CAAMM XXXX—202X/T/NJ XXXX—202X

## 奶牛体尺自动检测技术规范

Automatic detection technical specification of dairy cow body size

(征求意见稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国农业机械工业协会 发布

## 前 言

本文件按照 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。

请注意本文件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。

本文件由中国农业机械工业协会提出。

本文件由中国农业机械工业协会归口。

本文件起草单位：河南科技大学，东北农业大学，宁夏金宇智慧科技有限公司。

本文件主要起草人：赵凯旋，王俊，沈维政，戴百生，马军，张瑞红，洪星，年悦。

本文件为首次发布。

# 奶牛体尺自动检测技术规范

## 1 范围

本文件规定了奶牛体尺自动检测技术规范，包括相关的术语与定义、奶牛深度图像采集技术规范、奶牛体表点云的三维重建技术规范和奶牛体尺参数的提取技术规范。

本标准适用于奶牛体尺参数的自动检测。

## 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 16568-2006 奶牛场卫生规范

GB/T 20014.8-2013 良好农业规范 第8部分：奶牛控制点与符合性规范

GB/T 35568-2017 中国荷斯坦牛体型鉴定技术规程

GB/T 41194-2021 肉用母牛体况评分技术规范

GB/T 3157-2023 中国荷斯坦牛

GB/T 40659-2021 智能制造 机器视觉在线检测系统 测试方法

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

奶牛体尺 body size of dairy cows

奶牛体尺是判断奶牛外形的一种指标。指以长度、角度、面积为单位，以数字表示奶牛表各部位的大小，如体高、体长、胸围等。

### 3.2

深度图像 depth image

深度图像也被称为距离影像，是指将从图像采集器到场景中各点的距离（深度）作为像素值的图像，它直接反映了目标可见表面的几何形状。

### 3.2

三维点云 3D point cloud

三维点云是一种用于表示三维空间中对象或场景的数据结构。在最基础的形式中，它是一个包含多个三维坐标点的集合。

### 3.3

点云配准 point cloud registration

点云配准是指将不同位置或视角获取的点云数据进行对齐，以实现不同位置或视角的点云之间的一致性和对齐，从而提供更全面、准确的三维信息。

### 3.4

体尺测点 key measurement points for body size  
为了获取体尺参数需要定位的牛体关键点。

3.5

臀宽 hip width  
牛体坐骨结节位置的两个突起之间的宽度。

3.6

腹宽 abdominal width  
牛体腹部两侧的最大水平宽度。

3.7

臀角 hip angle  
牛体腰角骨与坐骨结节的高度差。

3.8

体高 body height  
牛体腰角骨与脊柱交点到地面的垂直距离

3.9

体直长 body length  
牛体坐骨节点到耆甲点垂直的水平距离。

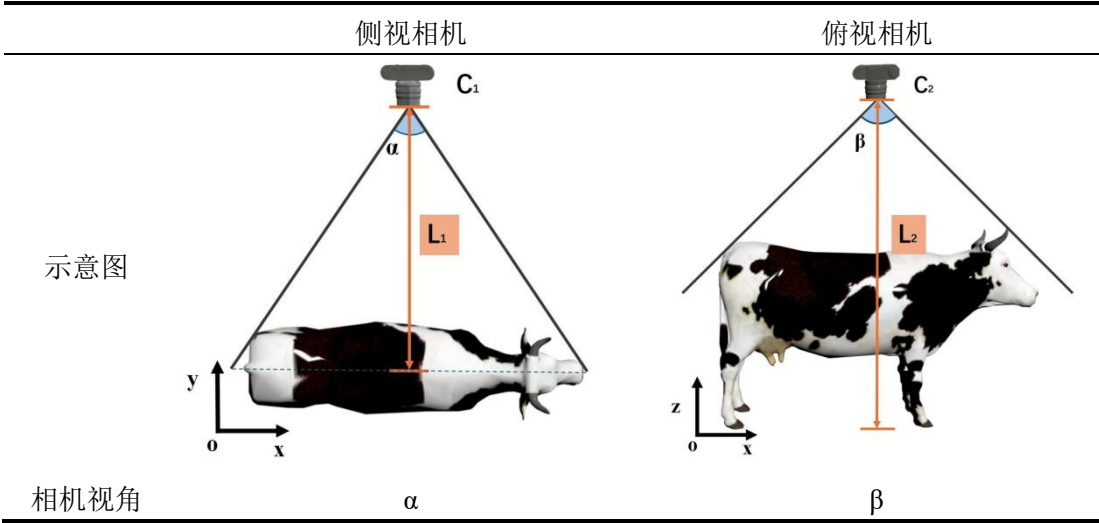
3.10

体深 body depth  
牛体腹部最高处到腹部最底处的垂直距离。

4 奶牛深度图像采集技术规范

在奶牛静止站立时，利用两台深度相机分别从俯视机位和侧视机位采集奶牛的深度图像，要求从两个不同角度采集的数据包含完整的奶牛躯干。成年奶牛体长一般为 1.8m，体高在 1.4m-1.5m 之间，奶牛与侧视相机之间的遮挡小于 10%，侧视相机  $C_1$  在 Z 轴上的高度应为奶牛体高的 1/2，俯视相机  $C_2$  的推荐安装位置在奶牛脊柱所在的 XOZ 平面上，侧视相机  $C_1$  在 Y 轴上与奶牛之间的推荐距离  $L_1$ ，俯视相机  $C_2$  在 Z 轴上与地面之间的推荐距离  $L_2$ ，如表 1 所示。

表 1 相机距离要求



$L_1、L_2$ 

(m)

$$L_1 = 0.9 \cot \frac{\alpha}{2}$$

$$L_2 = 1.5 + 0.9 \cot \frac{\beta}{2}$$

## 5 奶牛体表点云的三维重建技术规范

### 5.1 多视角点云的预处理

(1) 坐标系转换。利用深度相机经过标定而获得的内参数据，将深度图像中的像素坐标系转换为世界坐标系，实现从二维深度图像到三维点云的转换。

(2) 背景去除。利用统计滤波器对点云进行预处理，例如，利用直通滤波去除奶牛目标之外的固定背景；基于已知信息的模板匹配法去除地面；利用半径滤波去除噪声点。要求滤波后的点云数据中仅包含奶牛，不包含栏杆、地面等背景。

### 5.2 奶牛点云拼接

(1) 点云配准。利用点云配准技术将不同坐标系中的顶视点云和俯视点云统一到一个共同的坐标系中。例如，采用 Super4PCS 算法进行初步的粗配准；再利用 ICP 算法进行精配准，实现奶牛不同视角点云的配准。要求点云配准后的配准误差 RMSE 小于 0.8。RMSE 的计算公式为：

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{(x_c - x_r)^2 + (y_c - y_r)^2 + (z_c - z_r)^2}}{n}} \quad (1)$$

式中， $(x_c, y_c, z_c)$  为重建点云某一点坐标， $(x_r, y_r, z_r)$  参考点云中的对应点坐标。当 RMSE 的值越小，说明这两片点云的配准效果越好。

(2) 点云镜像。以脊柱线作为对称线，利用镜像处理得到奶牛另一侧的点云，从而获得完整的奶牛点云。

### 5.3 点云滤波

对重建后的点云进行滤波，去除离群点和噪声点。例如，使用半径滤波方法、统计滤波方法。要求滤波后的奶牛体表点云中，法曲率小于 0.1 的点的个数与所有点的个数的比值大于 60%。法曲率描述了点云表面在单位法线方向上的平均变化率，可以评估点云表面的平滑程度。

## 6 奶牛体尺参数提取技术规范

### 6.1 体尺参数的定义

考虑到奶牛体尺参数的多样性和复杂性，选择了以下6种能够有效代表奶牛体型特征的体尺参数：

- (1) 臀宽：奶牛坐骨结节位置的两个突起之间的宽度。
- (2) 腹宽：指奶牛的腹部两侧的最大水平宽度。
- (3) 臀角：指奶牛腰角骨与坐骨结节的高度差。
- (4) 体高：指奶牛的腰角骨与脊柱交点到地面的垂直距离。
- (5) 体直长：指奶牛坐骨节点到耆甲点垂直的水平距离。
- (6) 体深：指腹部最高处到腹部最底处的垂直距离。

图1为奶牛不同体尺参数的测量示意图。

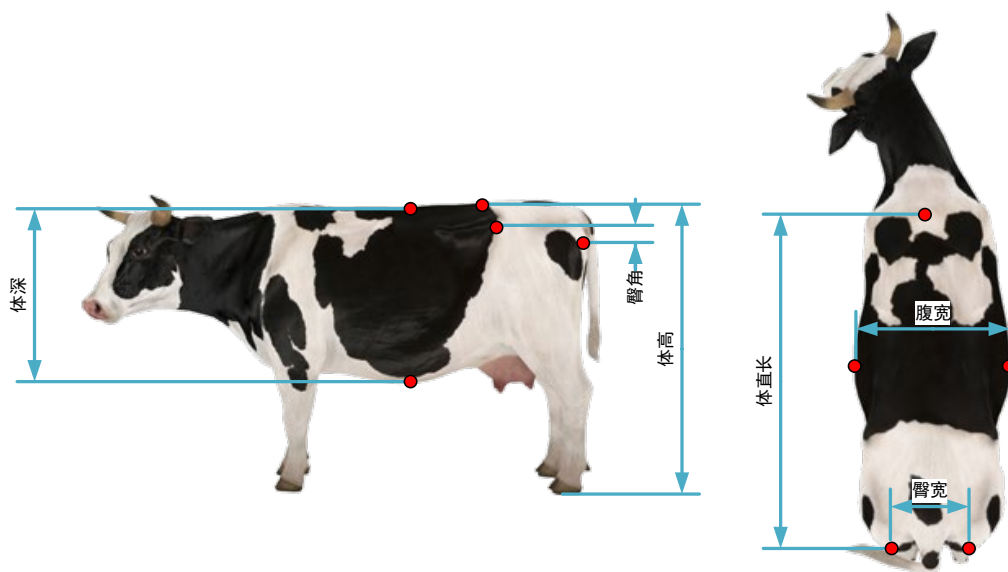


图1 奶牛体尺示意图

## 6.2 体尺测点定位

为了获取体尺参数，需要首先检测重建后的奶牛体表点云上的关键特征点的三维坐标。

### (1) 坐骨结节突起点

1) 定义：奶牛臀部区域坐骨结节部位的突起点，如图2中的红色圆点位置。

2) 定位流程：首先定位奶牛的臀部区域，接着根据骨骼分布特征定位坐骨结节突起点。例如，首先利用PointNet++定位奶牛的臀部区域；接着，对臀部点云的z轴方向中间部分进行采样和拟合，拟合曲线左右两侧凸包顶点即为坐骨结节突起点。

3) 定位指标：要求检测的坐骨结节突起点的位置 $A_1$ 、 $A_2$ 与人工标记的位置 $A_1'$ 、 $A_2'$ 之间的欧氏距离分别小于20mm。

图2 坐骨结节突起点的检测结果 $A_1$ 、 $A_2$ 和人工测量结果 $A_1'$ 、 $A_2'$ 

### (2) 腹宽最大点

1) 定义：腹宽最大点位于奶牛的腹部区域沿Y轴两侧最宽的两个点，如图3中的红色圆点位置。

2) 定位流程：首先定位奶牛的腹部区域，再检测腹部区域最宽的两个点，即为腹宽最大点。例如，根据经验，奶牛的腹部区域位于奶牛躯干的40%-60%之间，因此利用直通滤波提取处奶牛躯干；接着利用检测到的该处点云Y坐标值的最大最小值来定位腹宽的最大点。

3) 定位指标：要求检测的腹宽最大点的位置 $B_1$ 、 $B_2$ 与人工标记的位置 $B_1'$ 、 $B_2'$ 之间的欧氏距离分别小于20mm。

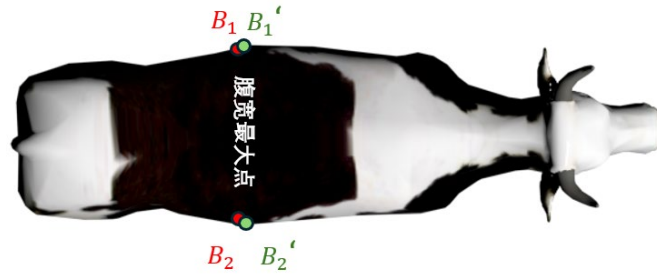


图3 腹宽最大点的检测结果 $B_1$ ,  $B_2$ 和人工测量结果 $B_1'$ ,  $B_2'$

### (3) 腰角点

1) 定义：腰角点位于奶牛腰角骨的突起点，如图4中的红色圆点位置。

2) 定位流程：首先定位腰角骨区域，再检测腰角区域的突起点。例如，将奶牛点云尾部起20%-50%部位进行分割得到腰角骨所在位置，再把奶牛腰部俯视区域投影至二维平面，再将每列的奶牛躯干切片的z坐标值进行求均值，求出z轴坐标均值的最大值所在列即为奶牛腰角骨所在位置。再计算腰角骨所在列的轮廓线凸包，两侧最高的两个突起即奶牛腰角点所在的位置。

3) 定位指标：要求检测的腰角点 $C_1$ ,  $C_2$ 与人工测量的腰角点 $C_1'$ ,  $C_2'$ 之间的欧氏距离分别小于20mm。

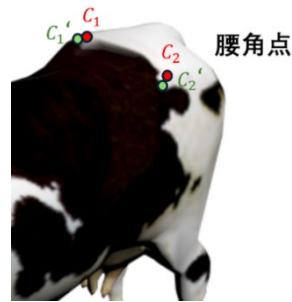


图4 腰角点的检测结果 $C_1$ ,  $C_2$ 和人工测量结果 $C_1'$ ,  $C_2'$

### (4) 耆甲最高点

1) 定义：耆甲是指颈脊与背脊之间的隆突部位，如图5中的红色圆点位置，耆甲最高点指奶牛的耆甲部最高点到地面的垂直距离。

2) 定位流程，首先定位肩颈区域，再检测耆甲最高点。例如，首先使用条件滤波法将奶牛的肩部对应的投影区域从俯视图中剪切出来。接着使用3x3大小的体素将点云进行均值下采样，让数据更加平滑稳定。最后求出点云中z坐标值最大的点即奶牛耆甲最高点。

3) 定位指标：要求检测的耆甲最高点 $D$ 与人工测量的耆甲最高点 $D'$ 之间的欧式距离小于20mm。



图5 耆甲最高点的检测结果 $D$ 和人工测量结果 $D'$

### (5) 腹部最低最高点

1) 定义：腹部最低点是指腹部点云中距离地面最近的点，如图 6 中的红色圆点位置。

2) 定位流程：首先定位腹部区域，接着检测腹部最低点。例如，根据经验，奶牛的腹部区域位于奶牛躯干的 40%-60%之间，因此利用直通滤波提取处奶牛躯干。通过查找点云在  $z$  轴方向上的最小值的点确定为腹部最低点。相反， $z$  轴方向上的最大值的点即为腹部最高点。

3) 定位指标：要求检测的腹部最低点、最高点 $E_1, E_2$ 与人工测量的腹部最低点、最高点 $E_1', E_2'$ 之间的欧式距离分别小于 20mm。

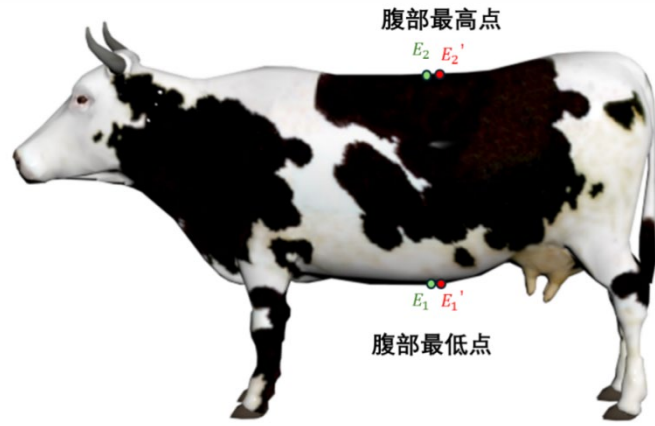


图 6 腹部最低最高点的检测结果 $E_1, E_2$ 和人工测量结果 $E_1', E_2'$

### 6.3 体尺参数计算

利用检测得到的坐骨结节突起点 $A_1(x_1, y_1, z_1), A_2(x_2, y_2, z_2)$ ；腹宽最大点 $B_1(x_3, y_3, z_3), B_2(x_4, y_4, z_4)$ ；腰角点 $C_1(x_5, y_5, z_5), C_2(x_6, y_6, z_6)$ ；耆甲最高点 $D(x_7, y_7, z_7)$ ；腹部最高最低点 $E_1(x_8, y_8, z_8), E_2(x_9, y_9, z_9)$ 计算所需体尺参数。

(1) 臀宽  $d$ ：通过计算两坐骨结节突起点 $A_1(x_1, y_1, z_1), A_2(x_2, y_2, z_2)$ 之间的欧式距离，即得到奶牛的臀宽，如式 (2) 所示。

$$d = \sqrt{(x_1^2 - x_2^2) + (y_1^2 - y_2^2) + (z_1^2 - z_2^2)} \quad (2)$$

(2) 体高 $H_1$ ：奶牛的耆甲部最高点 $D(x_7, y_7, z_7)$ 到地面的垂直距离，地面可看作 XOY 平面，如式 (3) 所示。

$$H_1 = z_7 \quad (3)$$

(3) 体深 $H_2$ ：奶牛腹部的最高点 $E_1(x_8, y_8, z_8)$ 和最低点 $E_2(x_9, y_9, z_9)$ 之间的垂直距离，如式 (4) 所示。

$$H_2 = |z_8 - z_9| \quad (4)$$

(4) 体直长 $L_1$ ：指奶牛坐骨节点 $A_1(x_1, y_1, z_1)$ 到耆甲部最高点 $D(x_7, y_7, z_7)$ 的水平距离，如式 (5) 所示。

$$L_1 = |y_1 - y_7| \quad (5)$$

(5) 腹宽 $L_3$ ：指奶牛的腹部两侧的最大水平宽度，即 $B_1(x_3, y_3, z_3), B_2(x_4, y_4, z_4)$ 之间沿  $x$  轴的距离，如式 (6) 所示。

$$L_3 = |x_3 - x_4| \quad (6)$$

(6) 臀角 $H_3$ ：指奶牛腰角骨 $C_1(x_5, y_5, z_5)$ 与坐骨结节 $A_1(x_1, y_1, z_1)$ 的高度差，如式 (7) 所示



$$H_3 = z_5 - z_1 \quad (7)$$

表 2 奶牛体尺参数的定义、公式和精度要求

体尺参数	定义	公式
臀宽( $d$ )	奶牛坐骨结节位置的两个突起之间的宽度	$d = \sqrt{(x_1^2 - x_2^2) + (y_1^2 - y_2^2) + (z_1^2 - z_2^2)}$
体高( $H_1$ )	奶牛的腰角骨与脊柱交点到地面的垂直距离	$H_1 = z_7$
体深( $H_2$ )	腹部最高处到腹部最底处的垂直距离	$H_2 =  z_8 - z_9 $
体直长( $L_1$ )	奶牛坐骨节点到耆甲点垂直的水平距离	$L_1 =  y_1 - y_7 $
腹宽( $L_3$ )	指奶牛的腹部两侧的最大水平宽度	$L_3 =  x_3 - x_4 $
臀角( $H_3$ )	奶牛腰角骨与坐骨结节的高度差	$H_3 = z_5 - z_1$

#### 6.4 体尺参数评价指标

为了评价奶牛体尺参数自动提取方法的有效性和精度，采用了绝对误差与相对误差的方法来评价。绝对误差  $\delta$  为人工测量值  $M_s$  与自动检测值  $L_s$  的差值，如式（8）所示。体尺参数检测的绝对误差精度要求如表 3 所示。

$$\delta = |L_s - M_s| \quad (8)$$

表 3 奶牛体尺参数检测技术要求

体尺参数	臀宽( $d$ )	体高( $H_1$ )	体深( $H_2$ )	体直长( $L_1$ )	腹宽( $L_3$ )	臀角( $H_3$ )
绝对误差 $\delta$	<30mm	<30mm	<40mm	<50mm	<30mm	<20mm

要求体尺参数检测的相对误差精度均小于 6%。相对误差  $e$  为绝对误差  $\delta$  与人工测量值  $M_s$  的百分比，如式（9）所示：

$$e = \left| \frac{\delta}{M_s} \right| \times 100\% \quad (9)$$

要求体尺参数的平均绝对误差小于 30mm。平均绝对误差  $e_{MAE}$  为所有检测值的绝对误差  $\delta$  的绝对值的平均值，如式（10）所示：

$$e_{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\delta_i| \quad (10)$$

要求体尺参数的平均相对误差小于 5%。平均相对误差  $e_{MRE}$  为所有检测值的相对误差  $e$  的绝对值的平均值乘以 100%，如式（11）所示：

$$e_{MRE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i| \times 100\% \quad (11)$$