

# 团 体 标 准

T/CAAMM 347—2024

## 奶牛体尺自动检测 机器视觉法

Automated Cow Body Dimension Assessment Using Machine

Vision

（报批稿）

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。本文件的发布机构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 机器视觉法

## 1 范围

本文件规定了奶牛体尺寸自动检测相关的术语与定义、深度图像采集、体表点云的三维重建要求和体尺寸参数的提取方法。

本文件适用于符合 GB/T 3157 要求的健康奶牛体尺寸参数的自动检测。

## 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 35568-2017 中国荷斯坦牛体型鉴定技术规程

GB/T 3157-2023 中国荷斯坦牛

## 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 traits of dairy cows

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

### 3.2

尻宽 rump width

牛体坐骨结节位置的两个突起之间的宽度。

### 3.3

腹宽 abdominal width

牛体腹部两侧的最大水平宽度。

### 3.4

尻角度 rump angle

牛体腰角骨与坐骨结节的高度差。

### 3.5

体高 body height

牛体腰角骨与脊柱交点到地面的垂直距离

### 3.6

体直长 straight body length

牛体坐骨节点到耆甲点垂直的水平距离。

### 3.7

体深 body depth

牛体腹部最高处到腹部最底处的垂直距离。

### 3.8

体长 body length

牛体坐骨结节突起点到牛嘴垂直的水平距离。

3.9

坐骨结节突起点 ischial tuberosity

奶牛臀部区域坐骨结节部位的突起点。

3.10

腹宽最大点 point of maximum abdominal width

奶牛的腹部区域两侧最宽的两个点。

3.11

腰角点 lumbar angle point

牛体腰角骨的突起点。

3.12

耆甲最高点 the highest point of the jain

牛体颈脊与背脊之间隆突部位的最高点。

3.13

腹部最低最高点 the lowest and highest point of the abdomen

牛体腹部距离地面最近的点及距地面最远的点。

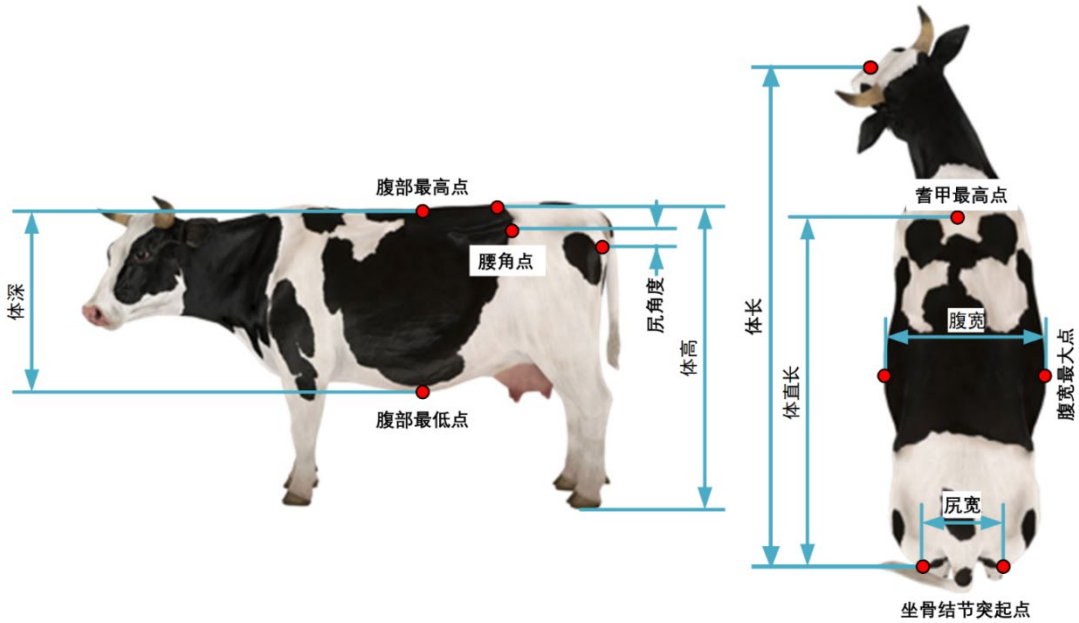


图1 奶牛体尺示意图

4 奶牛体尺自动检测流程

奶牛体尺自动检测流程包括深度图像采集、点云转换、点云拼接、点云滤波、关键点定位、体尺参数计算等环节，流程如图 2 所示。

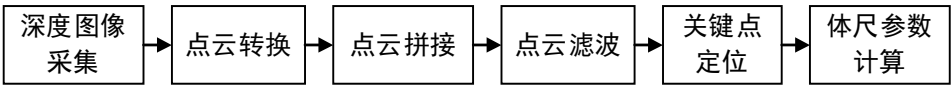


图2 奶牛体尺自动检测流程图

5 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，侧视和顶视相机安装位置如图 3 和图 4 所示。建立笛卡尔坐标系，以奶牛顶视图中脊柱线最左端在地面的投影点为原点 O，X 轴与奶牛脊柱线重合，指向奶牛头部方向，Y 轴垂直于 OX 轴，与地面平行，指向侧视相机方向，Z 轴与地面垂直。设奶牛体长为 T，体高为 H，侧视相机  $M_1$  视角为  $\alpha$ ，俯视相机  $M_2$  视角为  $\beta$ ，要求奶牛与侧视相机之间的遮挡小于 10%。

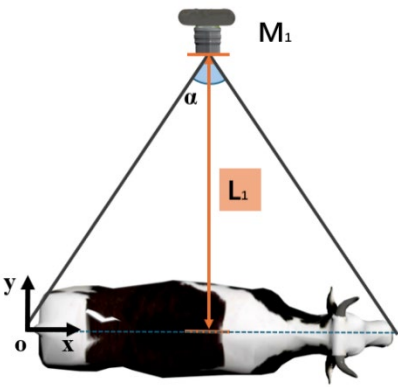


图 3 侧视相机安装示意图

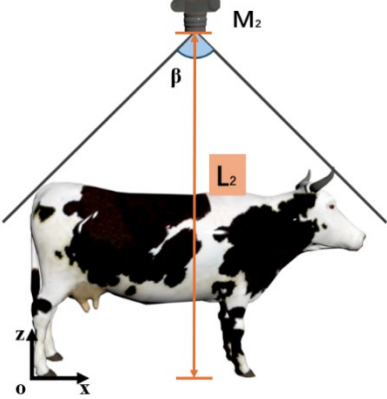


图 4 顶视相机安装示意图

侧视相机  $M_1$  与地面高度应为  $H/2$ ， $M_1$  在 Y 轴方向与奶牛之间的距离为  $L_1$ ，俯视相机  $M_2$  安装位置在 XOZ 平面上， $M_2$  与地面高度的距离为  $L_2$ ，相机视角与相机距离之间的计算公式见表 1。

表 1 相机距离要求

	侧视相机	俯视相机
相机视角	$\alpha$	$\beta$
$L_1$ 、 $L_2$	$L_1 = \frac{T}{2} \cot \frac{\alpha}{2}$	$L_2 = H + \frac{T}{2} \cot \frac{\beta}{2}$

6 奶牛体表点云的三维重建技术规范

6.1 多视角点云的预处理

多视角点云的预处理按下列要求：

- (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。

6.2 奶牛点云拼接

奶牛点云拼接按下列要求：

- (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 算法和 ICP 算法对点云数据进行配准，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均方根误差 RMSE（Root Mean Square Error）小于 0.8。
- (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。

### 6.3 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。

## 7 奶牛体尺参数提取技术规范

### 7.1 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。体尺测点定位按下列要求：

#### (1) 坐骨结节突起点

1) 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。

2) 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5 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。

2) 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6 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。

2) 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。

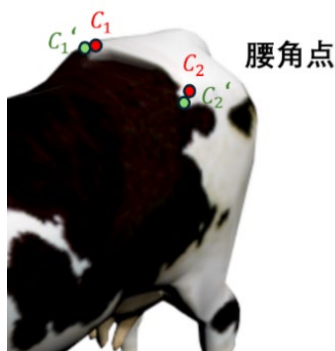


图7 腰角点的检测结果 $C_1$ ， $C_2$ 和人工测量结果 $C_1'$ ， $C_2'$

#### (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。

2) 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8 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。

2) 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。



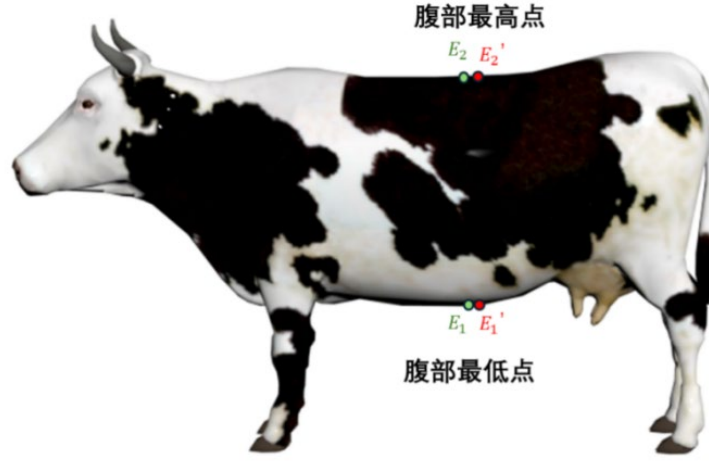


图9 腹部最低最高点的检测结果 $E_1$ ,  $E_2$ 和人工测量结果 $E_1'$ ,  $E_2'$

## 7.2 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。体尺参数计算按下列要求:

(1) 尻宽 RW: 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, 即得到奶牛的尻宽, 如式(1)所示。

$$RW = \sqrt{(x_1^2 - x_2^2) + (y_1^2 - y_2^2) + (z_1^2 - z_2^2)} \quad (1)$$

(2) 体高 BH: 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(2)所示。

$$BH = z_7 \quad (2)$$

(3) 体深 BD: 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(3)所示。

$$BD = |z_8 - z_9| \quad (3)$$

(4) 体直长 BL: 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(4)所示。

$$BL = |y_1 - y_7| \quad (4)$$

(5) 腹宽 AW: 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(5)所示。

$$AW = |x_3 - x_4| \quad (5)$$

(6) 尻角度 RA: 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(6)所示

$$RA = z_5 - z_1 \quad (6)$$

## 7.3 体尺参数评价指标

为了评价奶牛体尺参数自动测量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(7)所示。体尺参数检测的绝对误差精度要求如表3所示。

$$\delta = |L_s - M_s| \quad (7)$$

表 2 奶牛体尺参数检测精度要求

体尺参数	定义	公式	绝对误差 $\delta$
尻宽 (RW)	奶牛坐骨结节位置的两个突起之间的宽度	$d = \sqrt{(x_1^2 - x_2^2) + (y_1^2 - y_2^2) + (z_1^2 - z_2^2)}$	<30mm
体高(BH)	奶牛的腰角骨与脊柱交点到地面的垂直距离	$H_1 = z_7$	<30mm
体深(BD)	腹部最高处到腹部最底处的垂直距离	$H_2 =  z_8 - z_9 $	<40mm
体直长 (BL)	奶牛坐骨节点到耆甲点垂直的水平距离	$L_1 =  y_1 - y_7 $	<50mm
腹宽(AW)	指奶牛的腹部两侧的最大水平宽度	$L_3 =  x_3 - x_4 $	<30mm
尻角度 (RA)	奶牛腰角骨与坐骨结节的高度差	$H_3 = z_5 - z_1$	<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（8）所示：

$$e = \left| \frac{\delta}{M_s} \right| \times 100\% \tag{8}$$

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（9）所示：

$$e_{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\delta_i| \tag{9}$$

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（10）所示：

$$e_{MRE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i| \times 100\% \tag{10}$$

7.4 体尺精度验证要求

随机挑选 10 头符合 GB/T 3157 要求的健康奶牛，按照本文件规定采集深度图像、重建体表三维点云、计算体尺参数。每头牛需重复测量体尺参数 3 次，3 次所得各项误差均值小于本文件要求，即视为符合本文件标准。