



中华人民共和国工业和信息化部机械计量 技术规范

JJFZ（机械）005-2022

行人保护标准腿型冲击器 校准规范

（报批稿）

Specification for Legform Impactors Calibration Regarding
Pedestrian Protection

20 . . — . . — . . 发布

20 . . — . . — . . 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

行人保护标准腿型冲击器 校准规范

JJFZ（机械）

005-2022

Specification for legform impactors
calibration regarding pedestrian protection

归口单位：中国机械工业联合会

主要起草单位：中汽研汽车检验中心（天津）有限公司

参加起草单位：上海机动车检测认证技术研究中心有限公司

襄阳达安汽车检测中心有限公司

中国汽车工程研究院股份有限公司

杭州集普科技有限公司

本规范主要起草人：

陈 曦（中汽研汽车检验中心（天津）有限公司）
裴元津（中汽研汽车检验中心（天津）有限公司）
朱海涛（中汽研汽车检验中心（天津）有限公司）
冯晓枫（上海机动车检测认证技术研究中心有限公司）

参加起草人：

李 昕（襄阳达安汽车检测中心有限公司）
王树杭（中汽研汽车检验中心（天津）有限公司）
张 寅（中国汽车工程研究院股份有限公司）
潘 烨（杭州集普科技有限公司）

本规范条文由中国机械工业联合会负责解释

目 录

引 言	IV
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语	1
4 概述	2
5 计量特性	2
5.1 外观	2
5.2 其他计量特性	2
6 校准条件	2
6.1 环境条件	2
6.2 测量标准及设备	3
7 校准项目和校准方法	3
7.1 校准项目	3
7.2 校准方法	3
8 校准结果表达	15
9 复校时间间隔	16
附录 A aPLI 腿型冲击器计量特性	17
附录 B Flex-PLI 腿型冲击器计量特性	28
附录 C 上腿型（大腿）冲击器计量特性	37
附录 D 典型计量特性转动惯量校准结果测量不确定度评定	39
附录 E 动态特性校准结果测量不确定度评定	43
附录 F 校准证书或校准报告内容	50

引 言

本规范介绍了行人保护标准腿型冲击器的组成，规定了其技术性能和校准方法。

本规范以 JJF1071《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001《通用计量术语及定义》、JJF1059.1《测量不确定度评定与表示》、GB 24550《汽车对行人的碰撞保护》为基础性系列规范进行制定。

本规范参考了 GB 24550《汽车对行人的碰撞保护》、ISO 3784 道路车辆 碰撞试验中冲击速度的测量(Road vehicles—Measurement of impact velocity in collision tests)、ISO 6487 道路车辆 碰撞试验中的测量技术 设备(Road vehicles—Measurement techniques in impact tests—Instrumentation)与 ISO/TS 20458 Road vehicles — Design and performance specifications for advanced Pedestrian Legform Impactor (aPLI)对腿型冲击器的技术要求。

本规范为首次发布。

行人保护标准腿型冲击器校准规范

1 范围

本规范适用于新制造、使用中和维修后行人保护标准腿型冲击器的校准。

2 引用文件

JJG1001 通用计量术语及定义

JJF1059 测量不确定度评定与表示

JJF1071 国家计量校准规范编写规则

JJF1094 测量仪器特性评定与表示

GB 24550 汽车对行人的碰撞保护

ISO 3784 道路车辆 碰撞试验中冲击速度的测量 (Road vehicles—Measurement of impact velocity in collision tests)

ISO 6487 道路车辆 碰撞试验中的测量技术 设备 (Road vehicles—Measurement techniques in impact tests—Instrumentation)

ISO/TS 20458 Road vehicles — Design and performance specifications for advanced Pedestrian Legform Impactor (aPLI)

凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本规范;凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本规范。

3 术语

3.1 aPLI 腿型冲击器

aPLI 腿型冲击器是一种用于行人保护试验中的设备。能够模拟人体下肢在碰撞事故中的生物运动学响应。该冲击器包含了皮肤、肌肉、大腿总成、小腿总成、膝部总成、上体模块等多个部分,

3.2 Flex-PLI 腿型冲击器

Flex-PLI 腿型冲击器是一种用于行人保护试验中的设备。能够模拟人体腿部在碰撞事故中的生物运动学响应。该冲击器包含皮肤、肌肉、大腿组件、膝部组件和小腿组件。

3.3 上腿型（大腿）冲击器

上腿型（大腿）冲击器是一种行人保护试验设备，能够模拟人体大腿在车辆碰撞中的动态响应，常用于标准法规测试中，以评估车辆对行人保护性能。

4 概述

本规范适用于目前常用于行人保护试验的三种腿型冲击器的校准，包括 aPLI 腿型冲击器、Flex-PLI 腿型冲击器与上腿型（大腿）冲击器。

aPLI 腿型冲击器在行人保护试验中撞击目标车辆前保险杠，通过其内置的上下弯矩传感器及膝部 MCL 拉线位移传感器采集数据，反映出目标车辆对行人腿部的伤害情况。Flex-PLI 腿型冲击器在试验中撞击目标车辆前保险杠，通过其内置下腿型弯矩传感器及膝部 MCL、PCL、ACL 三个拉线位移传感器采集数据，反映出目标车辆对行人下腿部的伤害情况。上腿型（大腿）冲击器在试验中撞击目标车辆前保险杠，通过其内置的上下力传感器及上中下弯矩传感器采集数据，反映出目标车辆对行人上腿部的伤害情况。

5 计量特性

5.1 外观

外观检查，表皮无裂痕及破损。

5.2 其他计量特性

aPLI 腿型冲击器、Flex-PLI 腿型冲击器、上腿型（大腿）冲击器的尺寸、质量、质心位置、转动惯量、静态特性、动态特性详见附录 A、附录 B、附录 C。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度： $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

环境相对湿度为 10%~70%。

校准应在周围的污染、振动、电磁干扰对校准结果无影响的环境下进行。

6.2 测量标准及设备

表 1：校准用标准器

序号	校准用设备	测量范围	技术要求
1	电子天平	测量范围：（0~32）kg	准确度等级:I 级
2	温湿度计	测量范围：温度（0~40）℃， 湿度（0~95）%RH	最大允许误差：温度 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ， 湿度 $\pm 2\%\text{RH}$
3	长量爪游标卡尺	测量范围：（0~1000）mm，	最大允许误差： $\pm 0.3\text{mm}$
4	动态标定试验台	最低速度不小于 40km/h	最大允许误差： $\pm 0.5\text{km/h}$
5	静态标定试验台	最大加载力不小于 5000N， 最小加载速度不大于 35mm/min， 最大加载速度不小于 65mm/min；	最大允许误差： $\pm 0.1\%$
		最小加载位移量不小于 50mm。	最大允许误差： $\pm 0.5\%$
6	转动惯量校准装置	测量范围（0~0.05） $\text{kg}\cdot\text{m}^2$	最大允许误差： $\pm 0.0003\text{kg}\cdot\text{m}^2$

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

- a) 外观
- b) 尺寸
- c) 质量
- d) 质心位置
- e) 转动惯量
- f) 静态特性
- g) 动态特性

7.2 校准方法

7.2.1 外观检查

用眼观察腿型冲击器外观，都应有唯一性的识别标识，显示清晰，不应有影响校准的缺陷。用手检查各部件操作灵活，无明显的瑕疵、损伤。

7.2.2 尺寸

利用游标卡尺对腿型冲击器的尺寸进行测量，反复测量三次，并记录到原始记录内，以平均值作为每个尺寸的测量结果。按照 5.2 内的尺寸位置进行测量。

$$L_i = \frac{L_{i1} + L_{i2} + L_{i3}}{3} \quad (1)$$

其中： L_i ——腿型冲击器尺寸测量结果，mm；

L_{i1} 、 L_{i2} 、 L_{i3} ——腿型冲击器尺寸每次测量结果，mm。

7.2.3 质量

利用电子天平对腿型冲击器的质量进行测量，反复测量三次，并记录到原始记录内，以平均值作为每个质量的测量结果。按照 5.3 内的质量进行测量。

$$m_i = \frac{m_{i1} + m_{i2} + m_{i3}}{3} \quad (2)$$

其中： m_i ——腿型冲击器质量测量结果，kg；

m_{i1} 、 m_{i2} 、 m_{i3} ——腿型冲击器质量每次测量结果，kg。

7.2.4 质心位置

将腿型冲击器放到转动惯量校准装置平台上，重复测量三次，以平均值作为质心位置的测量结果。按照 5.4 内的质心位置进行测量。

$$M_i = \frac{M_{i1} + M_{i2} + M_{i3}}{3} \quad (3)$$

其中： M_i ——腿型冲击器质心位置测量结果，mm；

M_{i1} 、 M_{i2} 、 M_{i3} ——腿型冲击器质心位置每次测量结果，mm。

7.2.5 转动惯量

将腿型冲击器放到转动惯量校准装置平台上，重复测量三次，以平均值作为转动惯量的测量结果。按照 5.5 内的转动惯量进行测量。

$$J_i = \frac{J_{i1} + J_{i2} + J_{i3}}{3} \quad (4)$$

其中： J_i ——腿型冲击器转动惯量测量结果， $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ；

J_{i1} 、 J_{i2} 、 J_{i3} ——腿型冲击器转动惯量每次测量结果， $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ 。

7.2.7 静态特性

在开始静态特性校准前，需将腿型冲击器放置到温度为 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，湿度为 $(40 \pm 30)\% \text{RH}$ 的环境内 2h，其内置传感器的校准可参考其他传感校准规范进行。

7.2.7.1 aPLI 腿型冲击器

(1) 将股骨的不弯曲部件牢固地固定在支撑装置上，并转移到加载机下，使压头应位于传感器位置之上，并在装载支架之间，安装误差不超过 $\pm 0.2\text{mm}$ 。缓慢降低压头，直到轻触碰到大腿。将力和位移测量值调整为零。以不超过 30 mm/min 的速度向下移动压头，使加载力高达 13.8kN 。并在三个传感器位置重复此步骤。记录加载弯矩 (Mc/Nm) 与变形量 (Dc/mm) 的曲线。

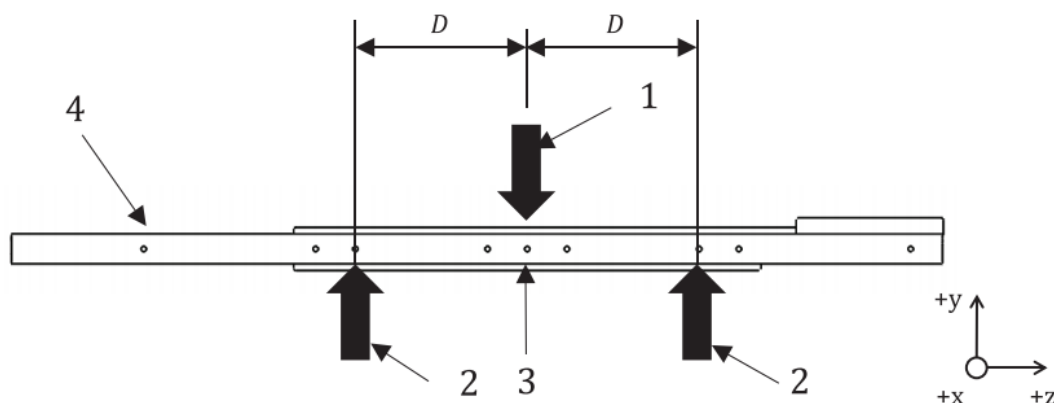


图1 股骨支撑夹具布置的位置特征示意图

1 压头处施加力 2 支撑力 3 传感器位置 4 冲击方向 D 支撑夹具与传感器的距离： $65\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$

(2) 将胫骨的不弯曲部件牢固地固定在支撑装置上，并转移到加载机下，使压头应位于传感器位置之上，并在装载支架之间，安装误差不超过 $\pm 0.2\text{mm}$ 。缓慢降低压头，直到轻触碰到大腿。将力和位移测量值调整为零。以不超过 30 mm/min 的速度向下移动压头，使加载力高达 11.5kN 。并在四个传感器位置重复此步骤。记录加载弯矩 (Mc/Nm) 与变形量 (Dc/mm) 的曲线。

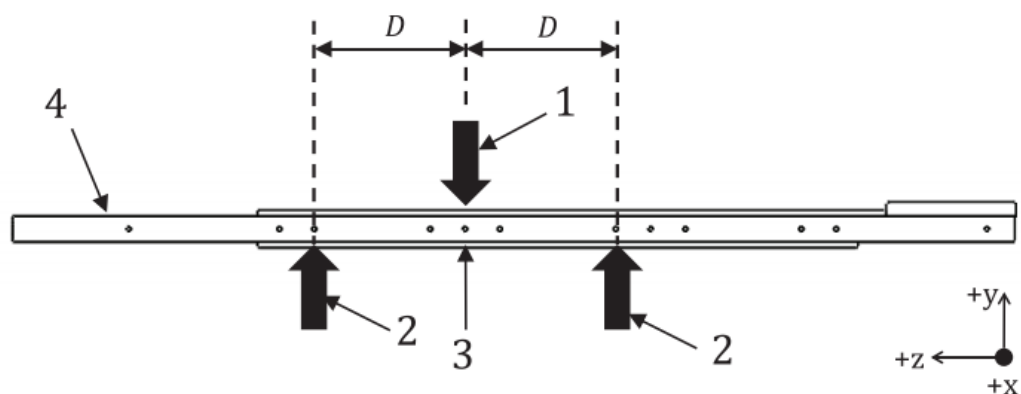
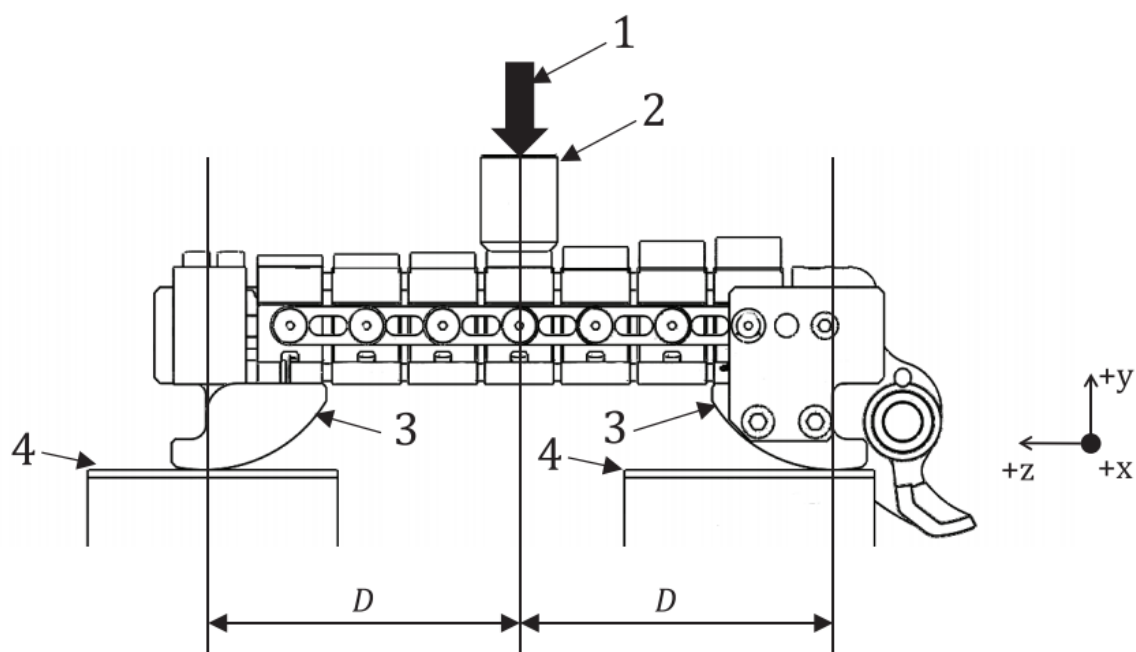


图2 胫骨支撑夹具布置的位置特征示意图

1 压头处施加力 2 支撑力 3 传感器位置 4 冲击方向 D 支撑夹具与传感器的距离: $65\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$

(2) 降低压头, 直到接触到股骨总成。将力和位移测量值调整为零。以 $60\text{mm/min} \pm 5\text{mm/min}$ 的速度向下移动股骨载荷, 最少移动 20mm 。记录加载载荷与移动位移的曲线。

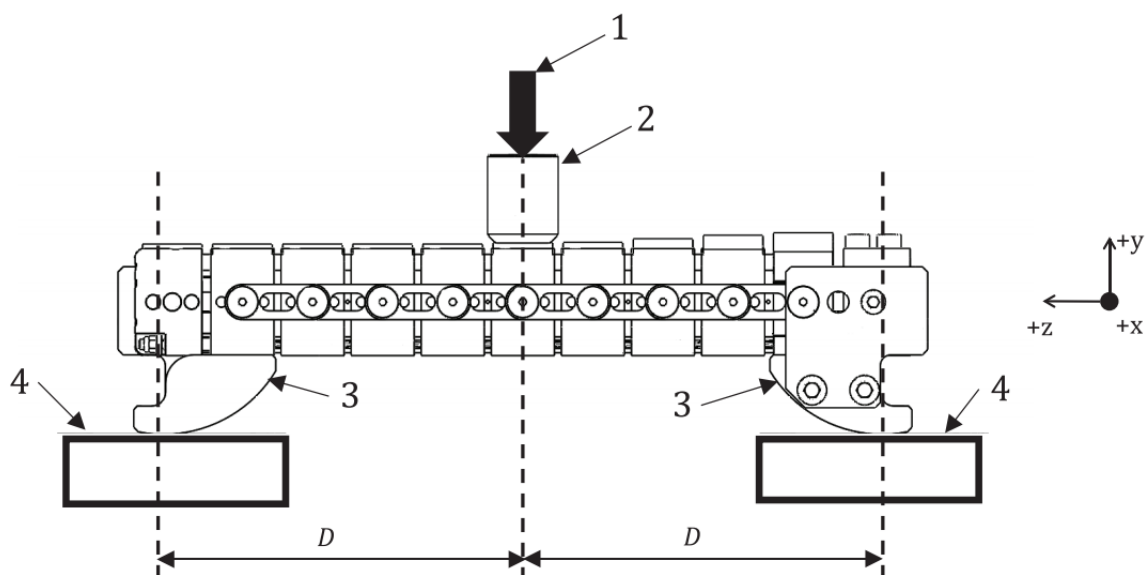


1 施加力 2 压头 3 枢轴块 4 低摩擦面 D 从支撑夹具旋转中心到压头的距离: $165\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$

图3 股骨总成静态特性校准示意图

(3) 降低压头, 直到它触到胫骨总成, 将力和位移测量值调整为零。以 60mm/min

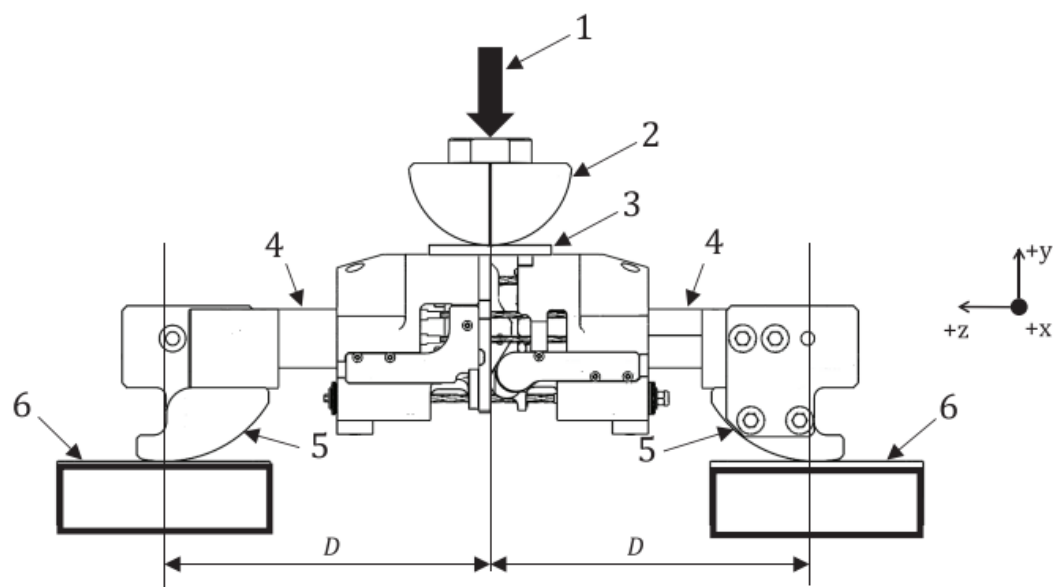
$\pm 5\text{mm/min}$ 的速度向下向股骨总成施加力，直到达到 30 mm 位移。记录加载载荷与移动位移的曲线。



1 施加力 2 压头 3 枢轴块 4 低摩擦面 D 支撑夹具的位置: $205\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$

图 4 胫骨总成静态特性校准示意图

(5) 按下图将膝部两端牢固地固定在支撑装置上。为获得重复加载载荷，每个支撑装置下面应放置厚度为 $5\text{mm} \pm 2\text{mm}$ 的低摩擦的 PTFE 板。降低压头，直到它接触到聚氯丁橡胶片。将压头力、压头位移和韧带伸长测量值调整为零。为避免冲击器损坏，在膝部中心位置处以 $40\text{ mm/min} \pm 5\text{ mm/min}$ 的速度向下移动压头，向膝关节组件施加 4.8kN 的载荷。记录加载弯矩 (Nm) 与韧带延伸量 MCL (mm)、ACL (mm)、PCL (mm) 的曲线。



1 施加力 2 压头 3 聚氯丁橡胶材料贴片 4 连接器 5 枢轴块 6 低摩擦面 D 从支撑装置中心到压头的距离：
200mm \pm 0.5mm

图 5 膝部总成静态特性校准示意图

7.2.7.2 Flex-PLI 腿型冲击器

按下图 6 和 7 所示将 Flex-PLI 腿型冲击器大腿和小腿两端的不弯曲部件牢固地固定在支撑装置上。冲击器的 Y 轴与加载方向平行，偏差为 $\pm 2^\circ$ 。为获得重复加载载荷，每个支撑装置下面应放置厚度为 5mm \pm 2mm 的低摩擦的聚四氟乙烯 (PTFE) 板。在大腿和小腿中心位置处以 10mm/min \sim 100mm/min 的速度施加载荷使弯矩达到 380N \cdot m。施加载荷位置偏差应在 ± 2 mm 以内，加载方向沿冲击器 Z 向。记录加载弯矩 (Mc/Nm) 与变形量 (Dc/mm) 的曲线。

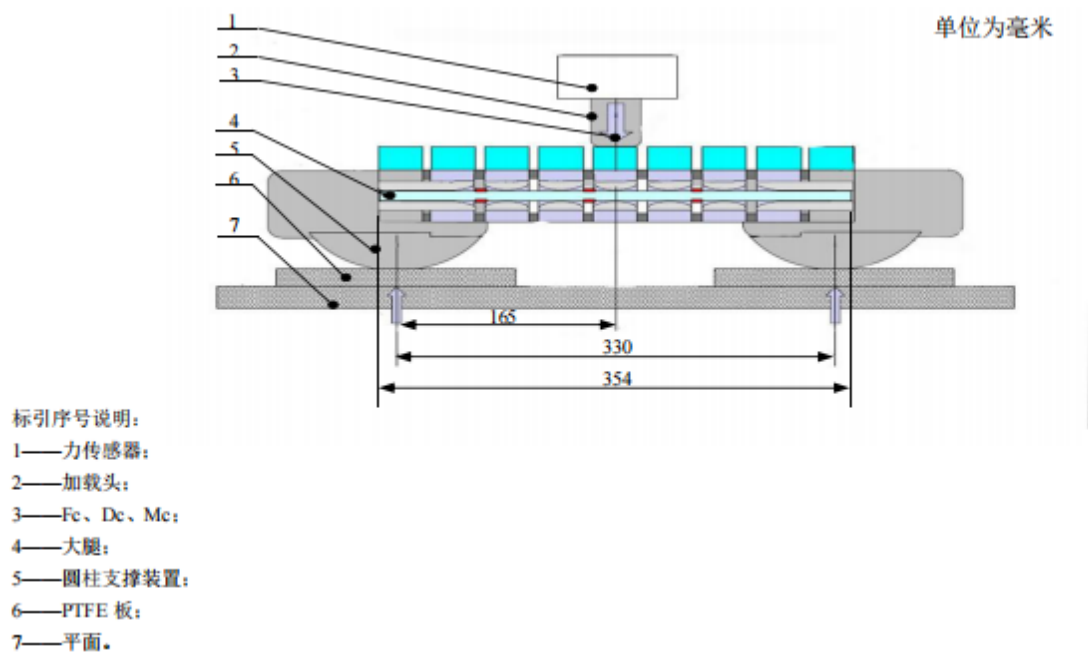


图 6 Flex-PLI 腿型冲击器大腿静态校准试验示意图

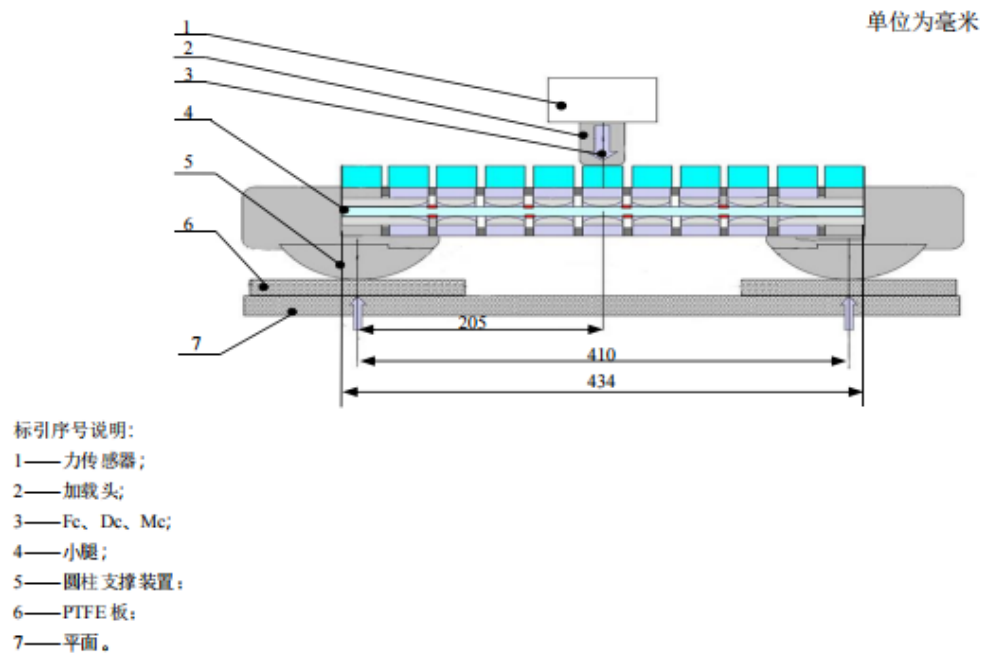


图 7 Flex-PLI 腿型冲击器小腿静态校准试验示意图

按下图将膝部两端牢固地固定在支撑装置上。冲击器的 Y 轴与加载方向平行，偏差为 $\pm 2^\circ$ 。为获得重复加载载荷，每个支撑装置下面应放置厚度为 $5\text{mm} \pm 2\text{mm}$ 的低摩擦的 PTFE 板。为避免冲击器损坏，在加载头下面放置符合压缩特性的尼龙片，移除膝部冲击

面。在膝部中心位置处以 10mm/min~100mm/min 的速度施加载荷使弯矩达到 400Nm。施加载荷位置偏差应在±2mm 以内，加载方向沿冲击器 Z 向。记录加载弯矩 (Nm) 与韧带延伸量 MCL(mm)、ACL(mm)、PCL(mm) 的曲线。

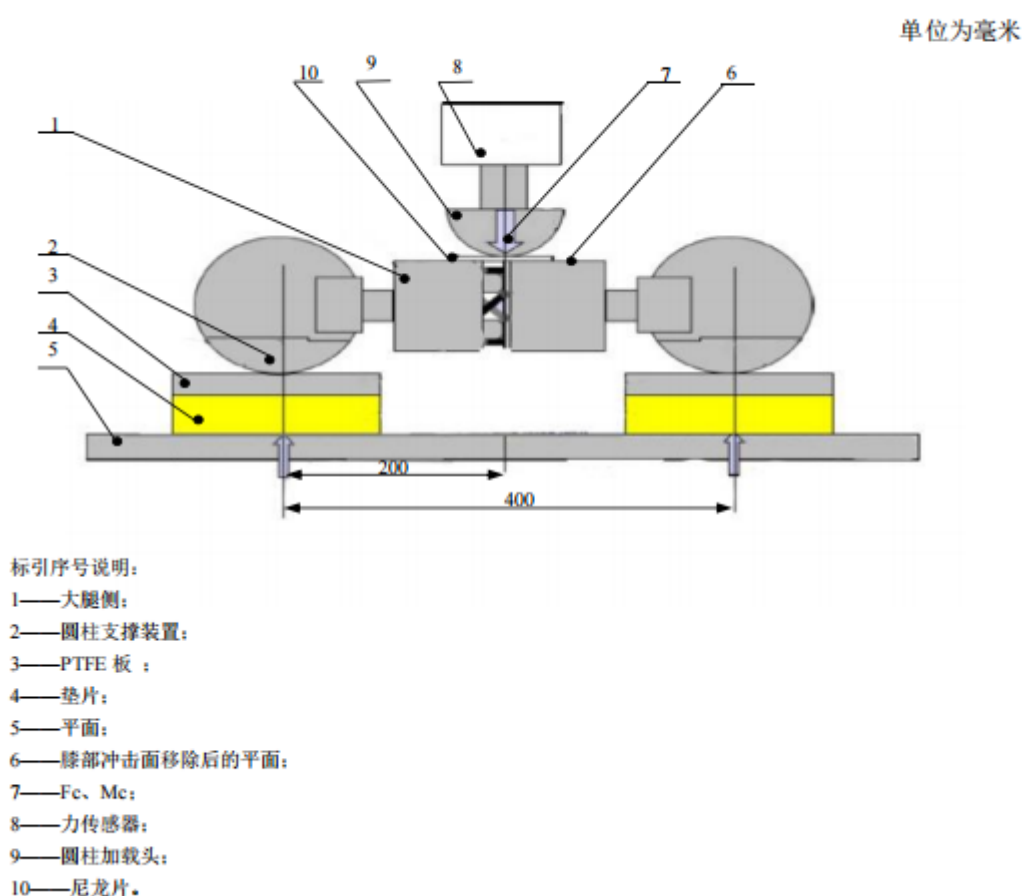


图 8 Flex-PLI 腿型冲击器膝部静态校准试验示意图

7.2.8 动态特性

7.2.8.1 aPLI 腿型冲击器

(1)将直线导向的蜂窝铝冲击器以 $11.1\text{m/s} \pm 0.2\text{m/s}$ 的速度冲击竖直悬挂的 aPLI 腿型膝关节中心位置或膝关节中心以上 120mm 处。蜂窝铝表面覆盖厚度不超过 1mm 薄纸衣，与蜂窝铝冲击器第一接触时刻起 12ms 内，腿型应处于自由飞行状态。

(2)将蜂窝铝 5052 粘附在可移动撞击装置前面。蜂窝铝宽 $200\text{mm} \pm 5\text{mm}$ ，高 $160\text{mm} \pm 5\text{mm}$ ，厚 $60\text{mm} \pm 2\text{mm}$ ，其压溃强度为 $0.517 \times (1 \pm 10\%) \text{Mpa}$ 。蜂窝铝蜂窝尺寸为 6.35mm

或 4.76mm，密度分别为为 36.8kg/m^3 或 32kg/m^3 。

(3) 蜂窝铝上边缘与直线导向冲击器刚性板在一条直线上。第一接触时刻蜂窝铝上边缘与膝关节中心或膝关节中心以上 120mm 在同一水平面上，垂直误差不超过 $\pm 2\text{mm}$ 。冲击试验前蜂窝铝不应变形。

(4) 第一接触时刻，aPLI 侧倾角（绕 Y 轴旋转）和蜂窝铝冲击器速度矢量在车辆横向垂直平面内的偏差不超过 $\pm 2^\circ$ 。aPLI 俯仰角（绕 X 轴旋转）和蜂窝铝冲击器的俯仰角在车辆纵向垂直平面的偏差不超过 $\pm 2^\circ$ 。aPLI 偏航角（绕 Z 轴旋转）和蜂窝铝冲击器速度矢量偏航角偏差不超过 $\pm 2^\circ$ 。记录各载荷传感器与韧带延伸量的测量结果。

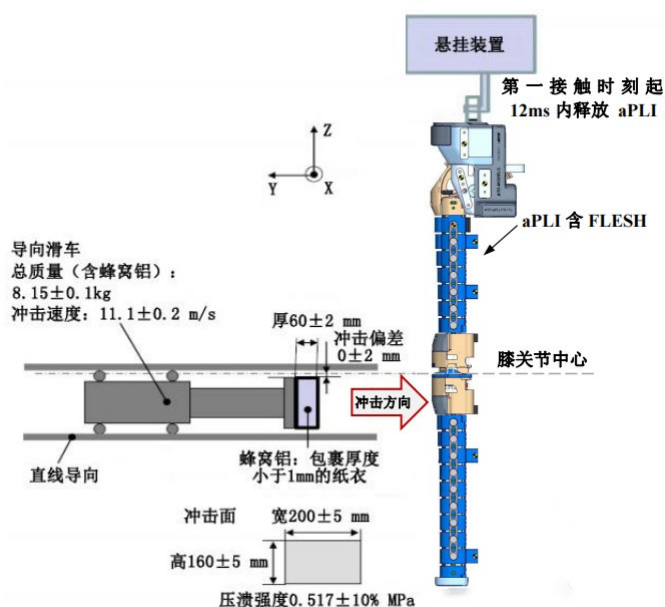


图9 aPLI 腿型冲击器膝关节中心位置动态冲击

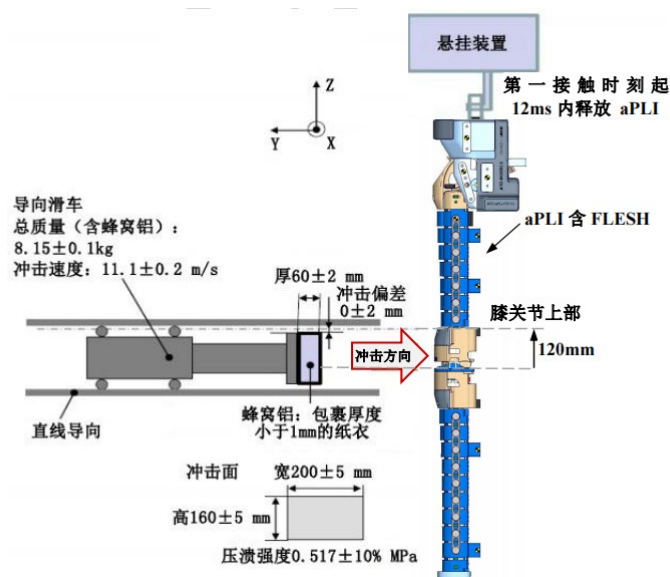


图 10 aPLI 腿型冲击器膝关节中心以上 120mm 位置动态冲击

7.2.8.2 Flex-PLI 腿型冲击器

(1) 摆锤冲击

Flex-PLI 腿型冲击器膝部中心应在挡块底面以下 $30\text{mm} \pm 1\text{mm}$ 处。在未包裹肌肉和皮肤的 Flex-PLI 腿型冲击器的底部安装质量为 $(5.00 \pm 0.05)\text{kg}$ 的质量块后，将其处于自由悬挂状态，小腿冲击面与挡块前上边缘间距应为 $13\text{mm} \pm 2\text{mm}$ 。

将包裹肌肉和皮肤的 Flex-PLI 腿型冲击器悬挂在摆锤标定试验台上，保持 Flex-PLI 腿型冲击器纵轴与水平面之间的夹角在 $15^\circ \pm 1^\circ$ 。将 Flex-PLI 腿型冲击器从悬挂位置处释放（绕转轴自由摆动），Flex-PLI 腿型冲击器绕试验台转轴自由下落，如图。记录各载荷传感器与韧带延伸量的测量结果。

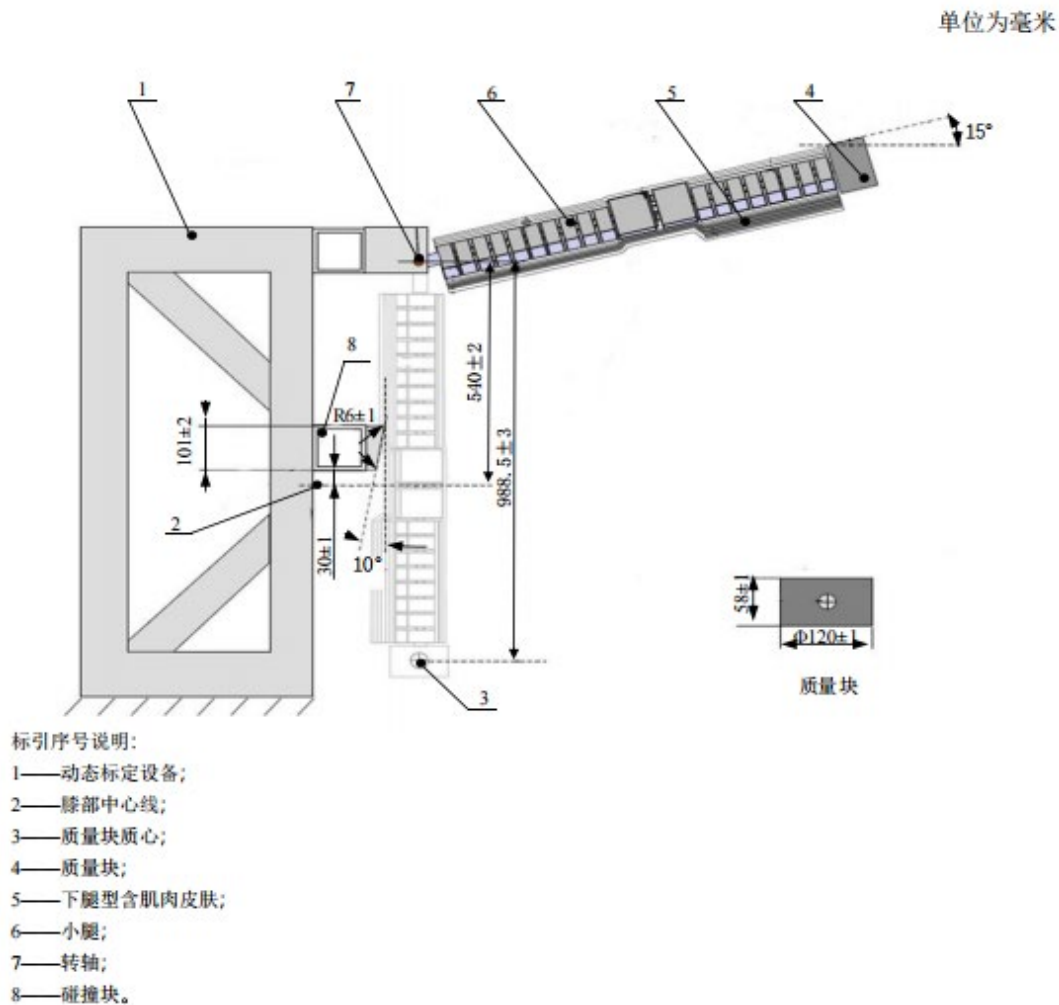


图 11 Flex-PLI 腿型冲击器摆锤冲击

（2）动态反向冲击

在可移动撞击装置前面粘附蜂窝铝。蜂窝铝整体宽 $200\text{mm} \pm 5\text{mm}$ ，高 $160\text{mm} \pm 5\text{mm}$ ，厚 $60\text{mm} \pm 2\text{mm}$ ，其压溃强度为 $0.517\text{Mpa} \pm 0.052\text{Mpa}$ 。蜂窝铝每个蜂窝尺寸为 6.35mm 或 4.76mm ，对应密度分别为 36.8kg/m^3 或 32.0kg/m^3 ，蜂窝铝表面覆盖厚度不大于 1mm 的纸衣。

蜂窝铝上边缘应与可移动撞击装置的刚性板的上边缘在同一水平面内。第一接触时刻蜂窝铝上边缘与膝部中心在同一水平面上（偏差为 $\pm 2\text{mm}$ ）。试验前，蜂窝铝应无压溃变形。

第一接触时刻，下腿型侧倾角（绕 Y 轴旋转）和蜂窝铝冲击器的速度方向在车辆横向垂直平面内的偏差为 $\pm 2^\circ$ 。Flex-PLI 腿型冲击器俯仰角（绕 X 轴旋转）和蜂窝铝冲击器的俯仰角在车辆纵向垂直平面的偏差为 $\pm 2^\circ$ 。Flex-PLI 腿型冲击器偏航角（绕 Z

轴旋转）和蜂窝铝冲击器速度矢量偏航角偏差为 $\pm 2^{\circ}$ 。

将包裹好肌肉和皮肤的 Flex-PLI 腿型冲击器自由垂直悬挂在试验设备上，见下图。将直线导向的表面覆盖厚度不大于 1mm 薄纸的蜂窝铝冲击器（质量为 $8.15\text{kg} \pm 0.10\text{kg}$ ）以 $11.1\text{m/s} \pm 0.2\text{m/s}$ 的速度冲击自由悬挂的 Flex-PLI 腿型冲击器。与蜂窝铝冲击器第一接触时刻起 10ms 内，Flex-PLI 腿型冲击器应处于自由飞行状态。记录各载荷传感器与韧带延伸量的测量结果。

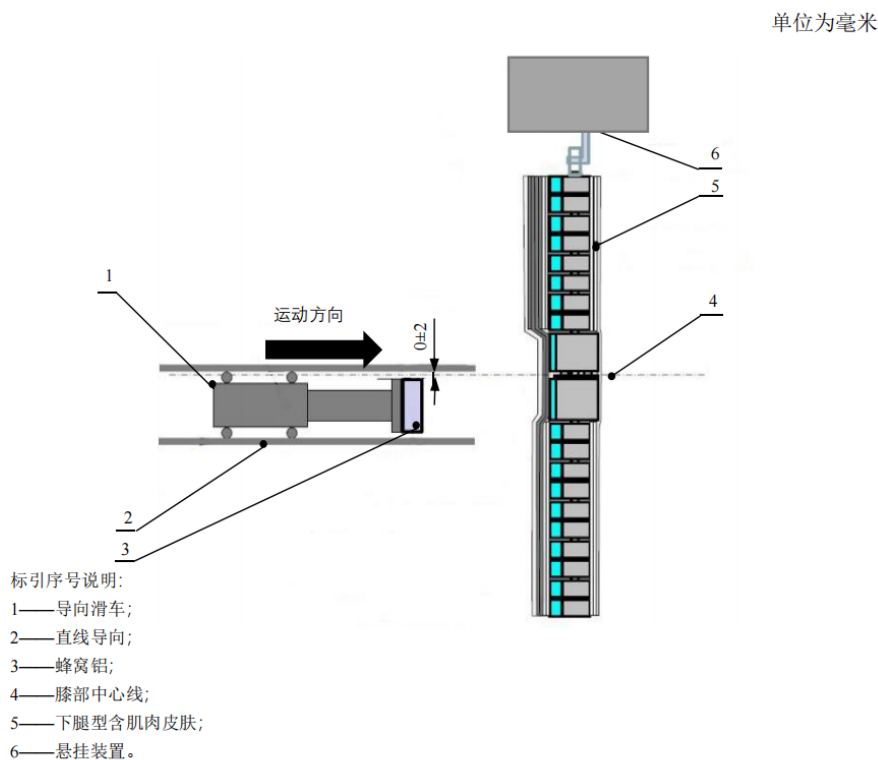


图 12 Flex-PLI 腿型冲击器动态反向冲击

7.2.8.3 上腿型（大腿）冲击器

校准前，上腿型冲击器用的泡沫肌肉应置于相对湿度为 $(35 \pm 10)\%$ ，温度为 $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 的贮存区内放置至少 4h；上腿型冲击器应置于相对湿度为 $(40 \pm 30)\%$ ，温度为 $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 的特定环境内放置至少 4h。

上腿型冲击器应通过力矩限制铰接点安装在推进装置和导向装置上。力矩限制铰接点的设置，应保证上腿型冲击器前端部分的纵轴垂直于导向装置的导向轴，偏差为 $\pm 2^{\circ}$ 。力矩限制铰接点的摩擦力矩设置在 $675\text{Nm} \pm 25\text{Nm}$ 范围内。为保证上腿型冲击器与摆锤接

触时只沿着规定的方向移动，应确保导向装置在导向过程中产生较小的摩擦力。

上腿型冲击器的质量应调整为 $12.0\text{kg} \pm 0.1\text{kg}$ ，该质量包括上腿型冲击器的推进装置和导向装置部件在冲击过程中有效部分的质量。

位于力矩限制铰接点前部的上腿型冲击器（包括附加质量）部件的重心，应在上腿型冲击器的纵向中心线上，其偏差不应超过 $\pm 10\text{mm}$ 。

上腿型冲击器试验时应使用全新泡沫肌肉。

上腿型冲击器的泡沫肌肉在安装前、安装过程中、安装后，不应出现捏压或变形。

摆锤管质量为 $3.00\text{kg} \pm 0.03\text{kg}$ ，壁厚为 $3.00\text{mm} \pm 0.15\text{mm}$ ，外径为 $150\text{--}141\text{mm}$ 。摆锤管总长度为 $275\text{mm} \pm 25\text{mm}$ 。摆锤管为外面可电镀的冷拉无缝钢管，外表面的粗糙度应高于 $2.0\mu\text{m}$ 。由两根直径为 $1.5\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ 、长度不小于 2.0m 的钢丝绳悬挂。摆锤表面应干净、干燥。摆锤管的定位应保证其纵向轴垂直于冲击器前端部分，偏差为 $\pm 2^\circ$ ；垂直于上腿型冲击器的运动方向，误差为 $\pm 2^\circ$ ；摆锤管的中心与上腿型冲击器前端部分的中心对齐，对应水平方向和垂直方向的偏差均为 $\pm 5\text{mm}$ 。

上腿型冲击器应保持前端部分竖直，以 $7.1\text{m/s} \pm 0.1\text{m/s}$ 的速度沿水平方向撞击处于静止状态的摆锤管，见图 13，记录各载荷传感器的测量结果。

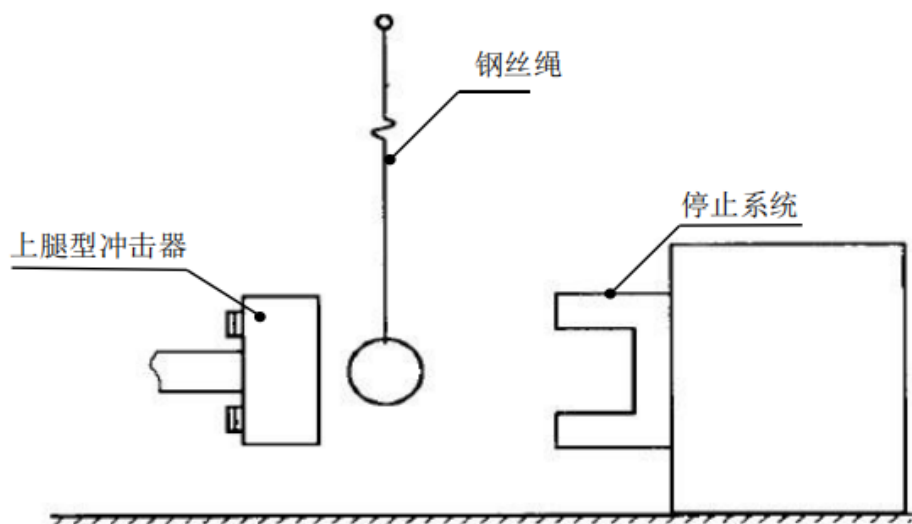


图 13 上腿型（大腿）冲击器动态校准

8 校准结果表达

经校准的腿型冲击器，出具校准证书。注明校准项目，校准用测量标准的溯源性及

有效性说明，测量不确定度等(详见附录 D 与附录 E)。

9 复校时间间隔

复校间隔时间建议一般不超过 12 个月,由于复校时间间隔的长短是由头型冲击器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸多因素决定,因此,使用单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

aPLI 腿型冲击器计量特性

A.1 尺寸

(1) 整体尺寸（单位 mm）

上部宽度为 $200\text{mm}\pm2\text{mm}$ ，下部宽度为 $142\text{mm}\pm2\text{mm}$ ，高度为 $222\text{mm}\pm2\text{mm}$ ，其他尺寸见图 1 和图 2。

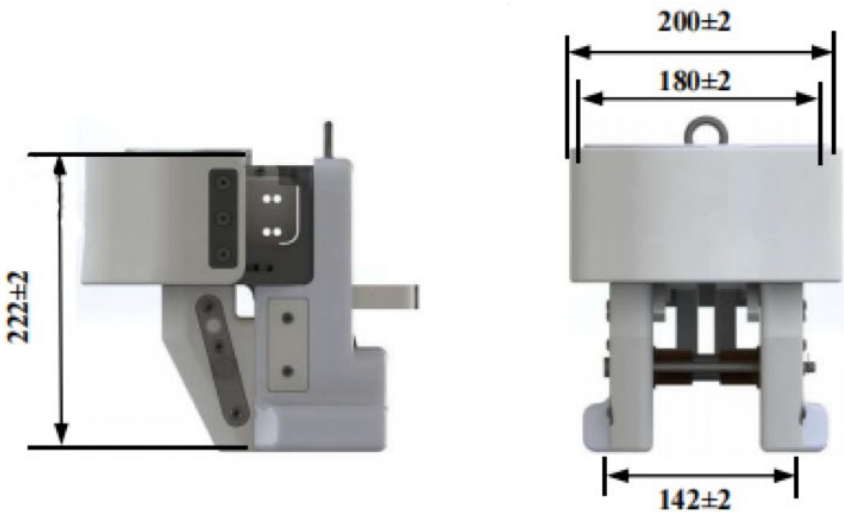


图 A.1 aPLI 腿型冲击器上体模块尺寸

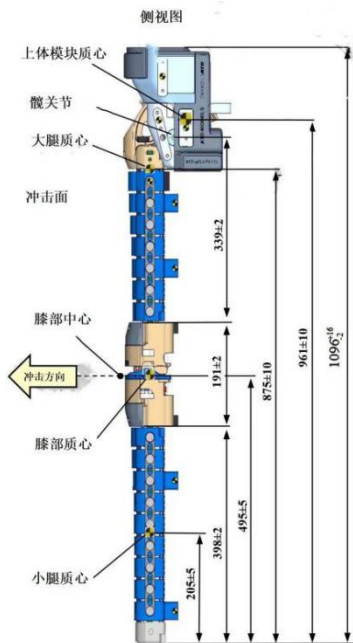


图 A.2 aPLI 腿型冲击器结构尺寸

(2) 截面尺寸 (单位 mm)

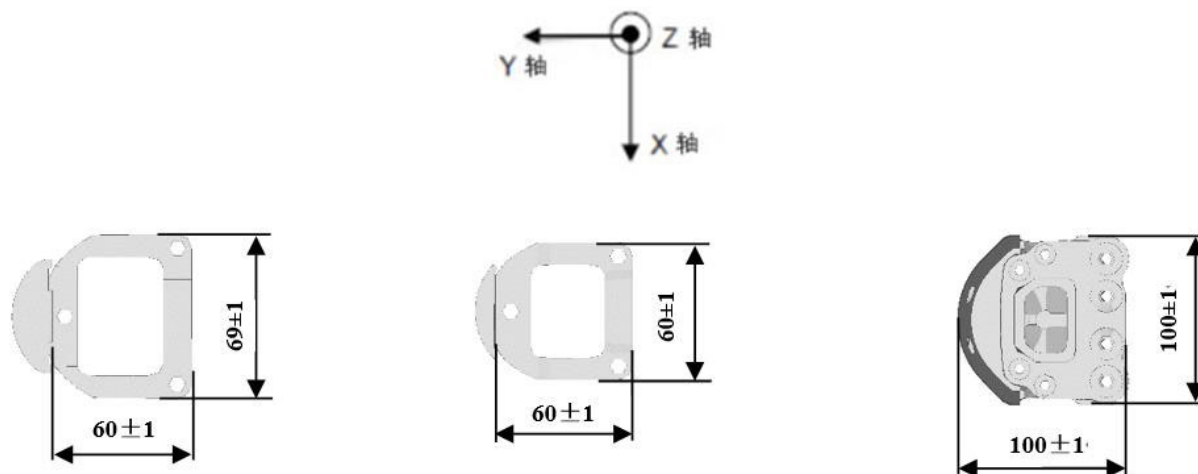


图 A.3 膝部位置大腿、小腿、膝部截面

A.2 质量

总质量为 $24.7\text{kg} \pm 0.3\text{kg}$ 。

大腿 (不包括外侧一体成型肌肉, 但包括上弧形冲击件及其相关的肌肉和腿型固定装置) 的质量为 $4.3\text{kg} \pm 0.2\text{kg}$ 。小腿 (不包括外侧一体成型肌肉, 但包括下部保护盖和腿型固定装置) 的质量为 $2.35\text{kg} \pm 0.1\text{kg}$ 。膝部 (不包括外侧一体成型肌肉, 但包括与腿部的连接件) 的质量为 $2.8\text{kg} \pm 0.1\text{kg}$ 。上体模块的质量 (包括固定其上的肌肉和中枢轴销) 为 $11.8\text{kg} \pm 0.3\text{kg}$ 。大腿、小腿和膝部的总质量为 $9.45\text{kg} \pm 0.3\text{kg}$ 。

A.3 质心位置

大腿 (不包括外侧一体成型肌肉, 但包括上弧形冲击件及其相关的肌肉和腿型固定装置) 的质心位于腿型底部向上 $875\text{mm} \pm 10\text{mm}$ 。

小腿 (不包括外侧一体成型肌肉, 但包括下部保护盖和腿型固定装置) 的质心位于腿型底部向上 $205\text{mm} \pm 5\text{mm}$ 。

膝部 (不包括外侧一体成型肌肉, 但包括与腿部的连接件) 的质心位于腿型底部向上 $495\text{mm} \pm 5\text{mm}$ 处。

上体模块的质心位于腿型底部上方 $961\text{mm} \pm 10\text{mm}$ 处。

aPLI 腿型的质心位于腿型底部上方 $780\text{mm} \pm 10\text{mm}$ 处。

A.4 转动惯量

上体模块通过其质心关于 X 轴转动惯量为 $(0.0850 \pm 0.004)\text{kg} \cdot \text{m}^2$, 其他部位无质

心要求。

A. 5 静态特性

A. 5. 1 股骨

加载弯矩（Mc/Nm）与变形量(Dc/mm）应处于下表所示的上下值范围内：

表 A. 1：股骨加载弯矩（Mc/Nm）与变形量(Dc/mm）上限值范围

点序	上限		下限	
	Dc/mm	Mc/Nm	Dc/mm	Mc/Nm
1	0. 0	15. 0	0. 0	-15. 0
2	0. 5	75. 5	0. 5	45. 5
3	1. 0	141. 3	1. 0	111. 3
4	1. 5	207. 1	1. 5	177. 1
5	2. 0	271. 7	2. 0	241. 7
6	2. 5	335. 0	2. 5	305. 0
7	3. 0	397. 7	3. 0	367. 7

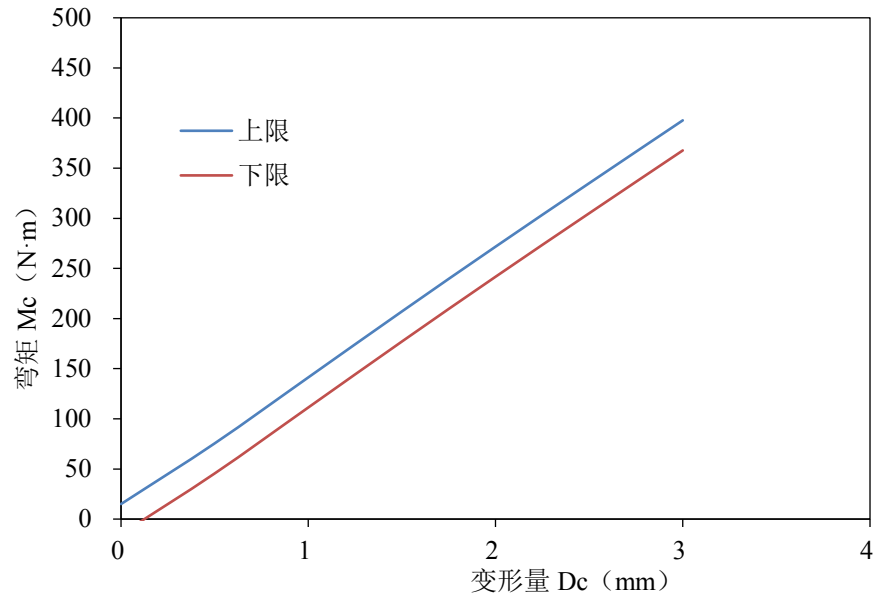


图 A. 4 股骨加载弯矩（Mc/Nm）与变形量(Dc/mm）上下限值图

A. 5. 2 胫骨

加载弯矩（Mc/Nm）与变形量(Dc/mm）应处于下表所示的上下值范围内：

表 A. 2：胫骨加载弯矩（Mc/Nm）与变形量(Dc/mm）上限值范围

点序	上限		下限	
	Dc/mm	Mc/Nm	Dc/mm	Mc/Nm
1	0.0	12.5	0.0	-12.5
2	0.5	64.5	0.5	39.5
3	1.0	117.4	1.0	92.4
4	1.5	171.3	1.5	146.3
5	2.0	223.6	2.0	198.6
6	2.5	275.4	2.5	250.1
7	3.0	326.2	3.0	301.2
8	3.5	377.6	3.5	352.6

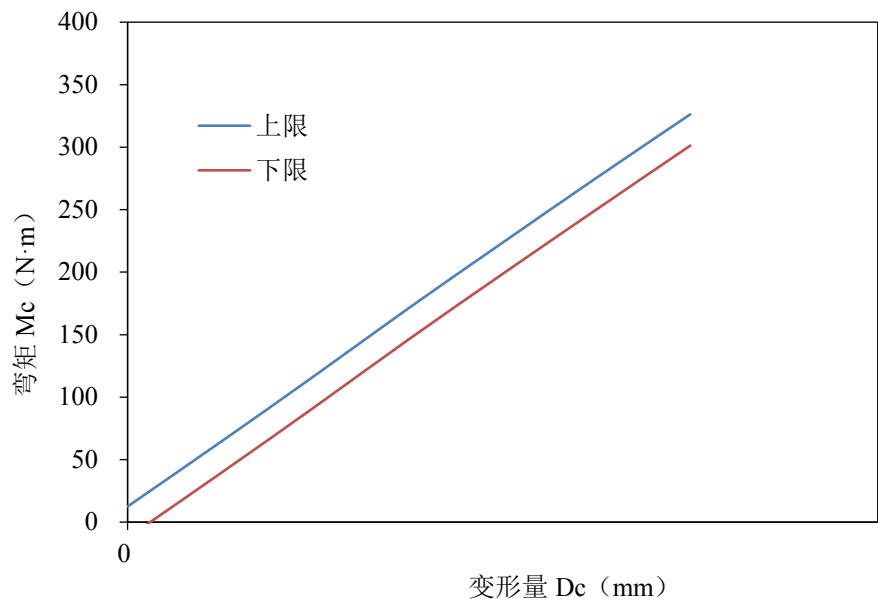


图 A.5 股骨加载弯矩（Mc/Nm）与变形量(Dc/mm)上下限值图

A.5.3 股骨总成

加载弯矩（Nm）与压头处偏移(mm)应处于下表所示的上下值范围内：

表 A.3：股骨总成加载弯矩（Nm）与压头处偏移(mm)上限值范围

压头处偏移（mm）	股骨总成加载弯矩（Nm）	
	上限	下限
0	23.8	-22.7

1	43.7	-2.8
2	66.3	19.8
3	89.7	43.2
4	113.1	66.6
5	136.7	90.2
6	158.7	112.2
7	183.3	136.7
8	206.9	160.4
9	230.1	183.6
10	253.7	207.2
11	276.9	230.4
12	300.0	253.5
13	323.6	277.1
14	347.5	301.0
15	371.1	324.5
16	395.0	348.5
17	419.4	372.9
18	443.9	397.4
19	467.7	421.2

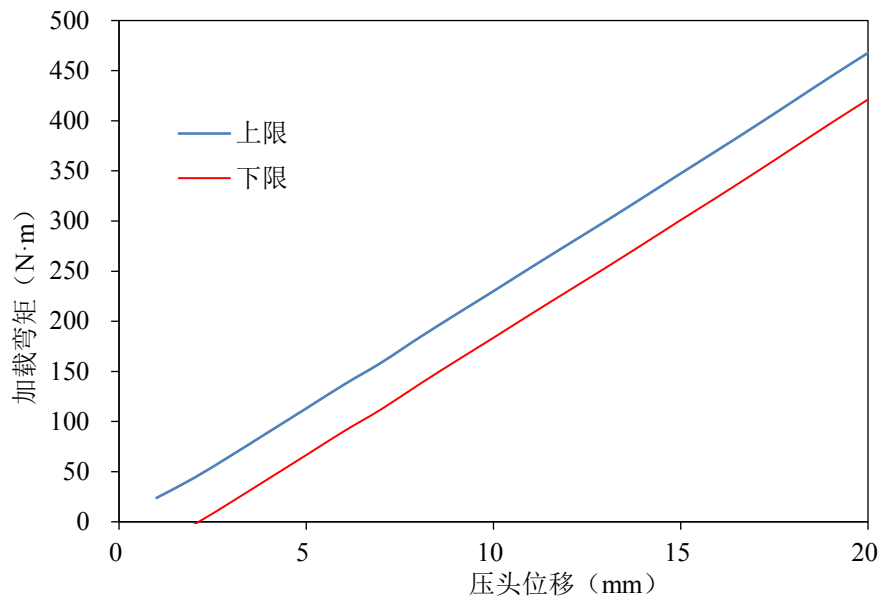


图 A.6 股骨总成加载弯矩 (Nm) 与压头处偏移(mm) 上下限值图

A. 5. 4 胫骨总成

加载弯矩 (Nm) 与压头处偏移(mm) 应处于下表所示的上下值范围内：

表 A. 4：胫骨总成加载弯矩 (Nm) 与压头处偏移(mm) 上限值范围

压头处偏移 (mm)	胫骨总成加载弯矩 (Nm)	
	上限	下限
0	18. 5	-19. 5
1	29. 0	-9. 0
2	40. 9	2. 9
3	52. 9	14. 9
4	64. 7	26. 7
5	76. 9	38. 9
6	89. 0	51. 0
7	100. 9	62. 9
8	113. 3	75. 3
9	125. 5	87. 5
10	137. 6	99. 6
11	150. 1	112. 1

12	162.4	124.4
13	175.4	137.4
14	187.9	149.9
15	200.3	162.3
16	213.0	175.0
17	225.7	187.7
18	238.3	200.3
19	251.4	213.4
20	264.3	226.3
21	277.4	239.4
22	290.5	252.5
23	303.8	265.8
24	316.7	278.7
25	329.8	291.8
26	342.9	304.9
27	356.0	318.0
28	369.2	331.2

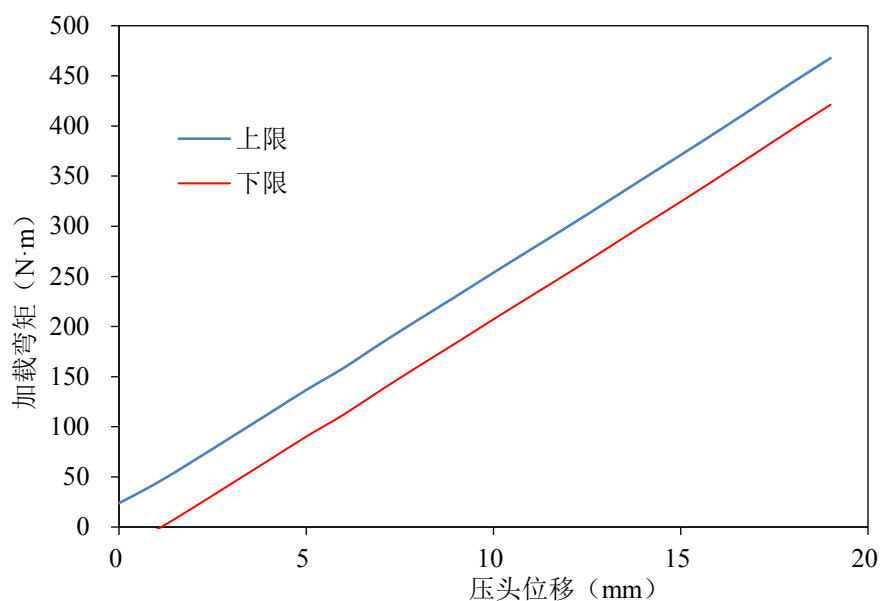


图 A.7 胫骨总成加载弯矩 (Nm) 与压头处偏移 (mm) 上下限值图

A. 5. 5 MCL 延伸量

加载弯矩（Nm）与韧带延伸量 MCL(mm) 应处于下表所示的上下值范围内：

表 A. 5：加载弯矩（Nm）与韧带延伸量 MCL(mm) 上下限范围

点序	上限		下限	
	加载弯矩（Nm）	韧带延伸量 MCL(mm)	加载弯矩（Nm）	韧带延伸量 MCL(mm)
1	0.0	2.8	0.0	0.0
2	40.0	2.8	40.0	0.0
3	80.0	5.8	80.0	0.0
4	100.0	7.4	100.0	2.0
5	300.0	23.7	300.0	18.3
6	350.0	27.3	350.0	21.9
7	400.0	30.4	400.0	25.0
8	430.0	32.1	430.0	26.7
9	460.0	33.8	460.0	28.4
10	480.0	34.3	480.0	28.9

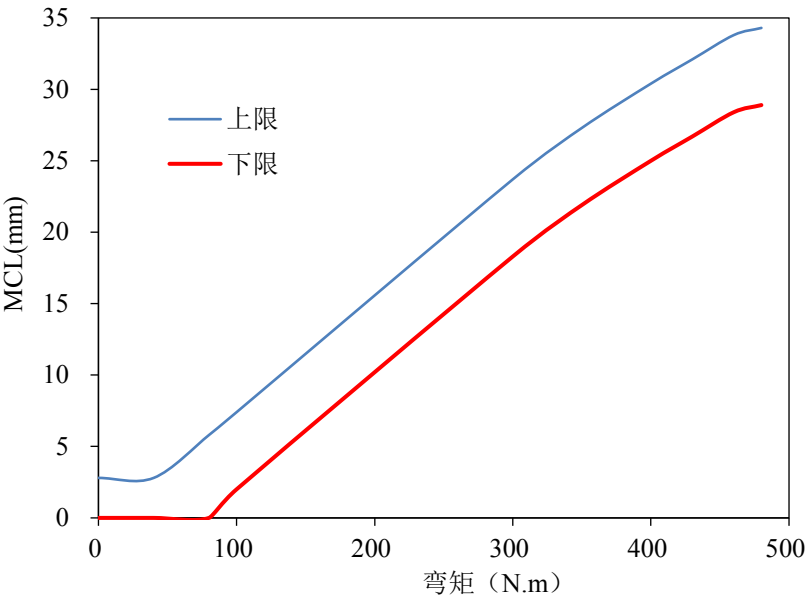


图 A. 8 加载弯矩（Nm）与韧带延伸量 MCL(mm) 上下限值图

A. 5. 6 ACL 延伸量

加载弯矩（Nm）与韧带延伸量 ACL(mm) 应处于下表所示的上下值范围内：

表 A. 6：加载弯矩（Nm）与韧带延伸量 ACL（mm）上下限范围

点序	上限		下限	
	加载弯矩（Nm）	韧带延伸量 ACL（mm）	加载弯矩（Nm）	韧带延伸量 ACL（mm）
1	0.0	1.00	0.0	0.00
2	40.0	1.00	40.0	0.00
3	80.0	1.49	80.0	-0.51
4	250.0	3.91	100.0	1.91
5	300.0	4.51	300.0	2.50
6	350.0	5.00	350.0	3.00
7	400.0	5.37	400.0	3.40
8	430.0	5.60	430.0	3.60
9	460.0	5.75	460.0	3.75
10	480.0	5.82	480.0	3.82

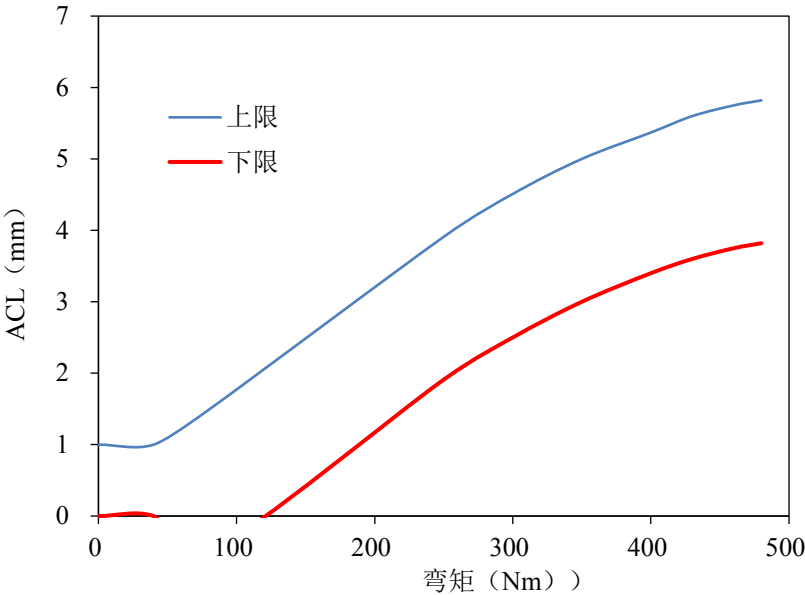


图 A. 9 加载弯矩（Nm）与韧带延伸量 ACL（mm）上下限值图

A. 5. 7 PCL 延伸量

加载弯矩（Nm）与韧带延伸量 PCL（mm）应处于下表所示的上下值范围内：

表 A. 7：加载弯矩（Nm）与韧带延伸量 PCL（mm）上下限范围

点序	上限	下限
----	----	----

	加载弯矩 (Nm)	韧带延伸量 PCL (mm)	加载弯矩 (Nm)	韧带延伸量 PCL (mm)
1	0.0	1.00	0.0	0.00
2	40.0	1.00	40.0	0.00
3	80.0	2.20	80.0	0.00
4	100.0	2.90	100.0	0.90
5	300.0	9.60	300.0	7.60
6	350.0	10.90	350.0	8.90
7	400.0	11.90	400.0	9.90
8	430.0	12.40	430.0	10.40
9	460.0	12.80	460.0	10.80
10	480.0	13.00	480.0	11.00

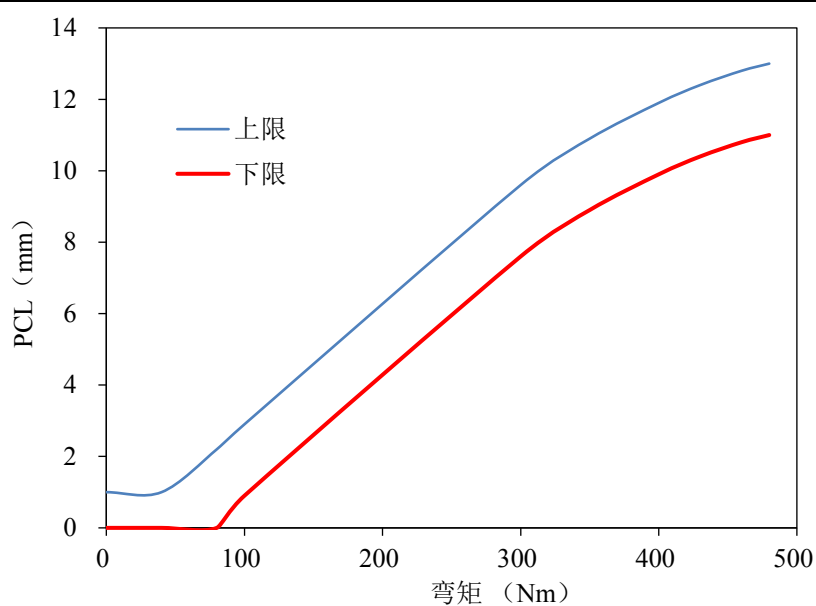


图 A.10 加载弯矩 (Nm) 与韧带延伸量 PCL (mm) 上下限值图

A.6 动态特性

分别以 Tibia-1、Tibia-2、Tibia-3、Tibia-4、Femur-1、Femur-2、Femur-3，表示对 aPLI 腿型冲击器进行动态冲击后，腿部弯矩的最大值。

A.6.1 aPLI 腿型冲击器膝关节中心位置

腿部弯矩和膝部韧带延伸量的最大值与最小值须符合以下要求：

表 A.8：腿部弯矩和膝部韧带延伸量的最大值与最小值

名称	最大值	最小值
Tibia-1	291Nm	334Nm
Tibia-2	238Nm	272Nm
Tibia-3	160Nm	193Nm
Tibia-4	92Nm	116Nm
Femur-1	162Nm	208Nm
Femur-2	133Nm	178Nm
Femur-3	101Nm	134Nm
MCL	12mm	16mm

A. 6. 2 aPLI 腿型冲击器膝关节中心以上 120mm 位置

腿部弯矩和膝部韧带延伸量的最大值与最小值须符合以下要求：

表 A. 9：腿部弯矩和膝部韧带延伸量的最大值与最小值

名称	最大值	最小值
Tibia-1	206Nm	251Nm
Tibia-2	182Nm	228Nm
Tibia-3	132Nm	164Nm
Tibia-4	63Nm	83Nm
Femur-1	233Nm	293Nm
Femur-2	189Nm	238Nm
Femur-3	147Nm	190Nm
MCL	20mm	24mm

附录 B

Flex-PLI 腿型冲击器计量特性

B.1 尺寸

(1) 整体尺寸（单位 mm）

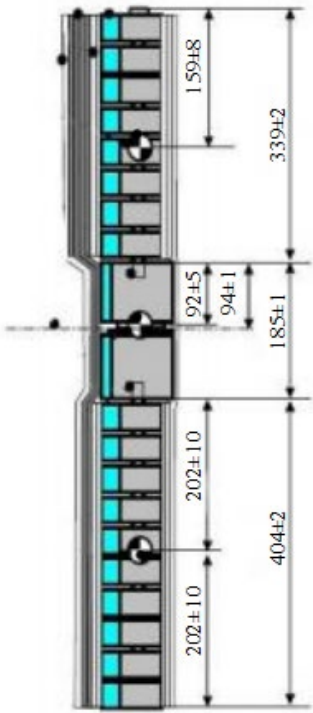


图 B.1 Flex-PLI 腿型冲击器整体尺寸

(2) 截面尺寸（单位 mm）

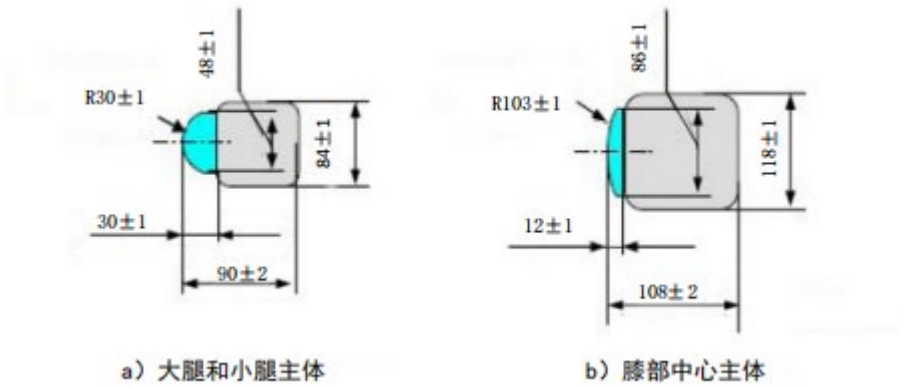


图 B.2 Flex-PLI 腿型冲击器截面尺寸

B.2 质量

冲击器总质量为 $13.2 \text{ kg} \pm 0.4 \text{ kg}$ 。

大腿和小腿（不包括肌肉和皮肤，但包括与膝部的连接件）的质量分别为 $2.46 \text{ kg} \pm 0.12 \text{ kg}$ 和 $2.64 \text{ kg} \pm 0.13 \text{ kg}$ 。膝部（不包括肌肉和皮肤）的质量为 $4.28 \text{ kg} \pm 0.21 \text{ kg}$ 。大腿、小腿和膝部的总质量（不包括肌肉和皮肤）为 $9.38 \text{ kg} \pm 0.30 \text{ kg}$ 。

B.3 质心位置

大腿和小腿（不包括肌肉和皮肤，但包括与膝部的连接件）的质心位置如图

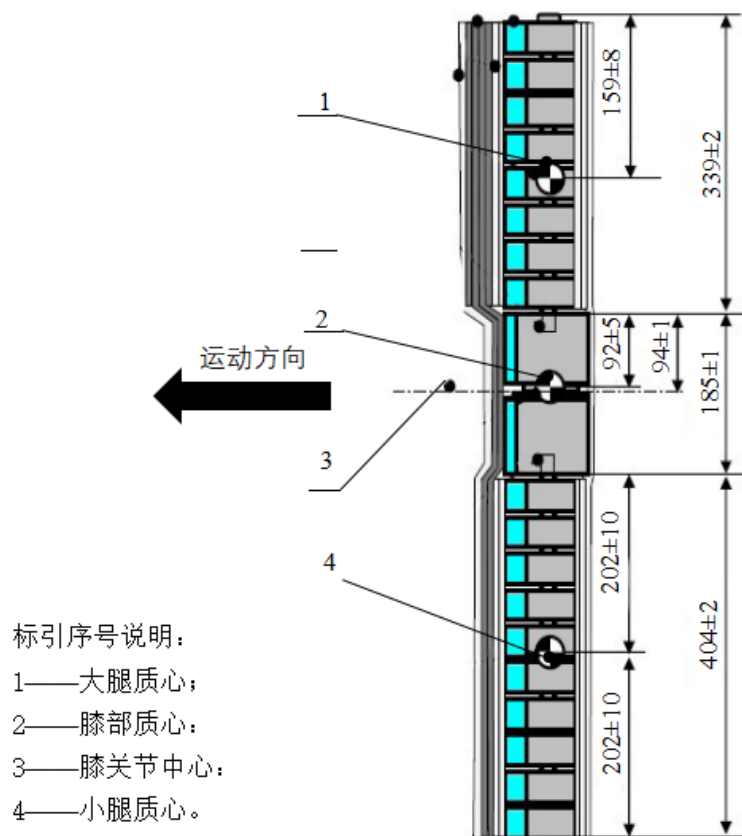


图 B.3 Flex-PLI 腿型冲击器的大腿、小腿、膝部质心位置及尺寸示意图

B.4 转动惯量

大腿和小腿（不包括肌肉，但包括与膝部的连接件）通过各自质心相对 X 轴的转动惯量分别为 $0.0325 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \pm 0.0016 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ 和 $0.0467 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \pm 0.0023 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ ，膝部通过其质心相对 X 轴的转动惯量为 $0.0180 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \pm 0.0009 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ 。

B.5 静态特性

B. 5. 1 大腿

加载弯矩（Mc/Nm）与变形量(Dc/mm) 应处于下表所示的上下值范围内：

表 B. 1：加载弯矩（Mc/Nm）与变形量(Dc/mm) 上下限值

点序	上限		下限	
	Dc/mm	Mc/Nm	Dc/mm	Mc/Nm
1	0. 0	19. 0	1. 0	0. 0
2	19. 6	399. 0	19. 6	361. 0

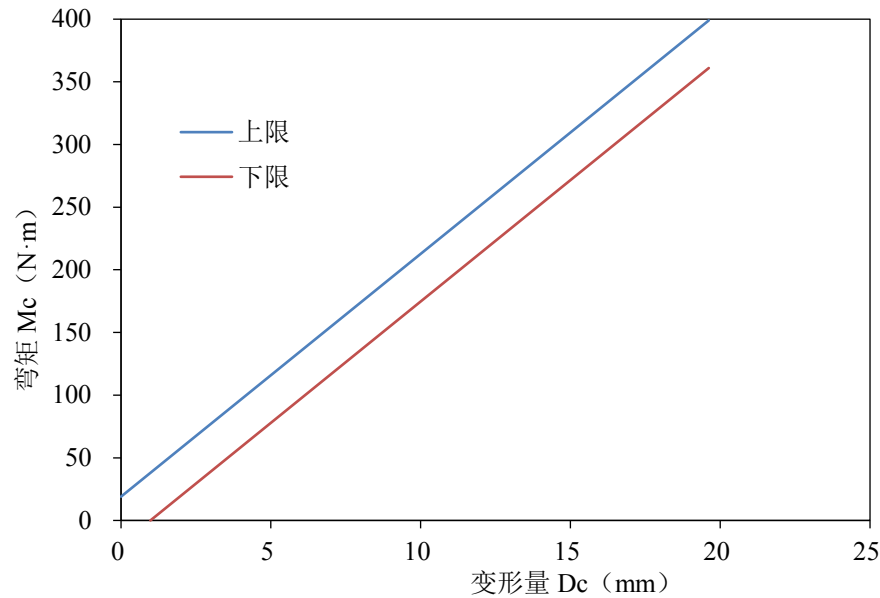


图 B. 4 加载弯矩（Mc/Nm）与变形量(Dc/mm) 上下限值图

B. 5. 2 小腿

加载弯矩（Mc/Nm）与变形量(Dc/mm) 应处于下表所示的上下值范围内：

表 B. 2：加载弯矩（Mc/Nm）与变形量(Dc/mm) 上下值限值

点序	上限		下限	
	Dc/mm	Mc/Nm	Dc/mm	Mc/Nm
1	0. 0	19. 0	1. 5	0. 0
2	29. 8	399. 0	29. 8	361. 0

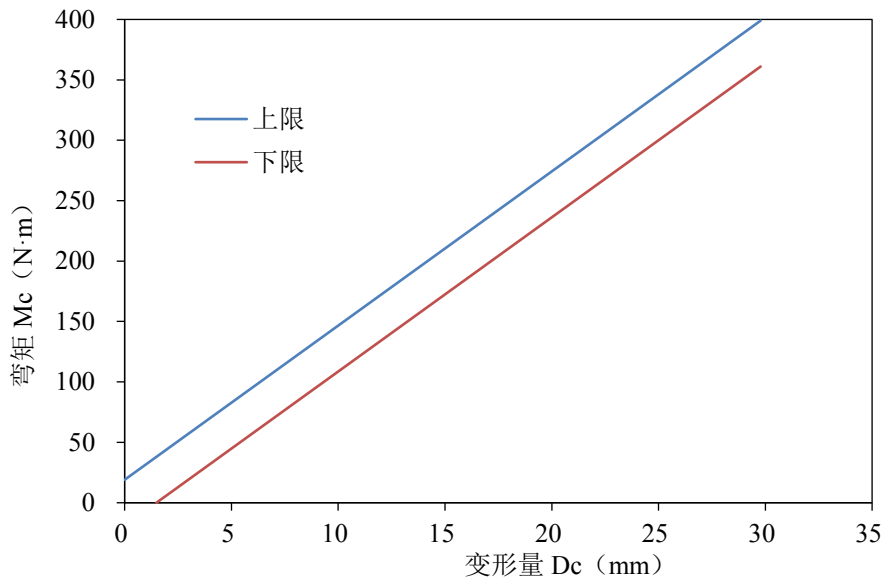


图 B.5 加载弯矩（Mc/Nm）与变形量(Dc/mm)上下值限值图

B. 5. 3 MCL 延伸量

加载弯矩（Mc/Nm）与韧带延伸量 MCL(mm) 应处于下表所示的上下值范围内：

表 B. 3：加载弯矩（Mc/Nm）与韧带延伸量 MCL(mm) 上下限值

点序	上限		下限		中心线	
	韧带延伸量 MCL (mm)	弯矩 Mc (Nm)	韧带延伸量 MCL (mm)	弯矩 Mc (Nm)	韧带延伸量 MCL (mm)	弯矩 Mc (Nm)
1	-0.5	0.0	——	——	——	——
2	-0.5	60.0	0.5	0.0	0.0	50.0
3	0.5	73.5	0.5	40.0	0.5	56.8
4	2.5	96.0	2.5	63.0	2.5	79.5
5	5.0	124.0	5.0	91.0	5.0	107.5
6	7.5	154.0	7.5	121.0	7.5	137.5
7	10.0	185.0	10.0	152.0	10.0	168.5
8	20.0	310.0	20.0	276.0	20.0	293.0
9	24.0	362.0	24.0	328.5	24.0	345.3
10	28.0	416.0	28.0	382.7	28.0	399.4

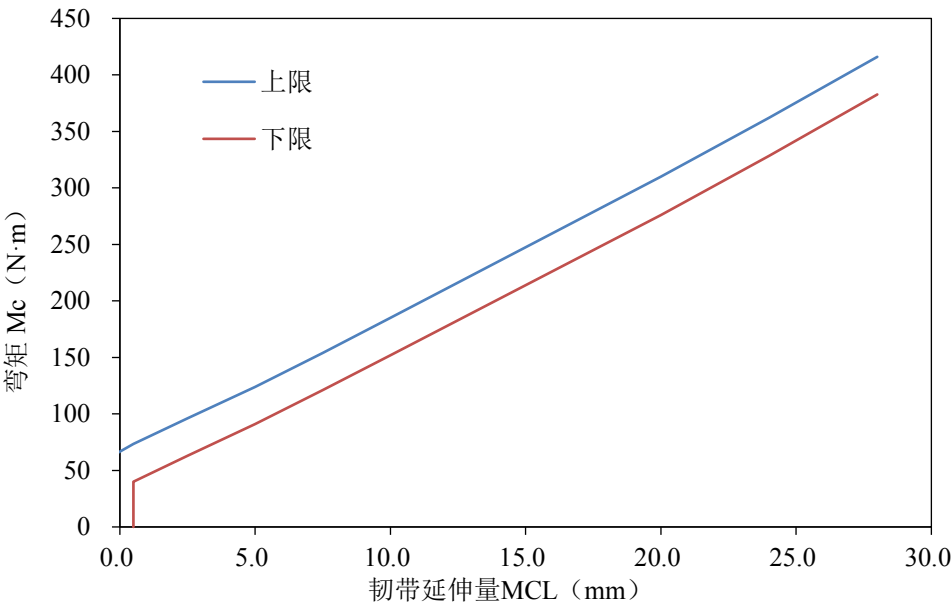


图 B.6 加载弯矩（Mc/Nm）与韧带延伸量 MCL (mm) 上下限值图

B. 5. 4 ACL 延伸量

韧带延伸量 ACL(mm) 与载荷（N）应处于下表所示的上下值范围内：

表 B. 4：韧带延伸量 ACL (mm) 与载荷（N）上下限值

点序	上限		下限	
	载荷（N）	韧带延伸量 ACL (mm)	载荷（N）	韧带延伸量 ACL (mm)
1	0.000	1.000	0.000	-1.000
2	500.000	1.000	500.000	-1.000
3	1000.000	3.320	1000.000	1.320
4	1500.000	5.160	1500.000	3.160
5	2000.000	6.690	2000.000	4.690
6	2500.000	7.960	2500.000	5.960
7	3000.000	9.100	3000.000	7.100
8	3500.000	10.170	3500.000	8.170
9	3800.000	10.772	3800.000	8.772

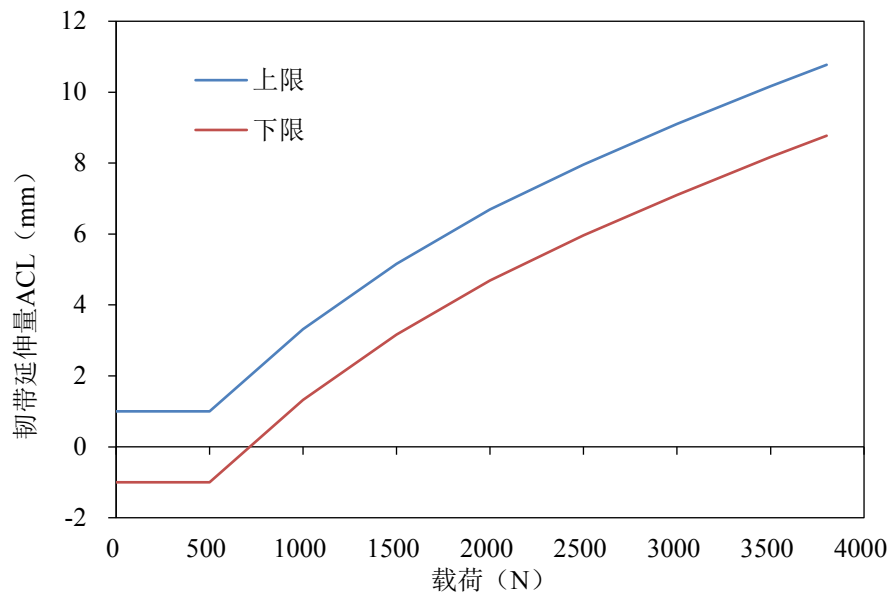


图 B. 7 韧带延伸量 ACL(mm) 与载荷 (N) 上下限值图

B. 5. 4 PCL 延伸量

韧带延伸量 PCL(mm) 与载荷 (N) 应处于下表所示的上下值范围内：

表 B. 5：韧带延伸量 PCL(mm) 与载荷 (N) 上下限值

点序	上限		下限	
	载荷 (N)	韧带延伸量 ACL (mm)	载荷 (N)	韧带延伸量 ACL (mm)
1	0.000	1.000	0.000	-1.000
2	500.000	1.000	500.000	-1.000
3	1000.000	1.200	1000.000	-0.800
4	1500.000	1.930	1500.000	-0.070
5	2000.000	2.810	2000.000	0.810
6	2500.000	3.950	2500.000	1.950
7	3000.000	5.110	3000.000	3.110
8	3500.000	6.170	3500.000	4.170
9	3800.000	6.812	3800.000	4.812

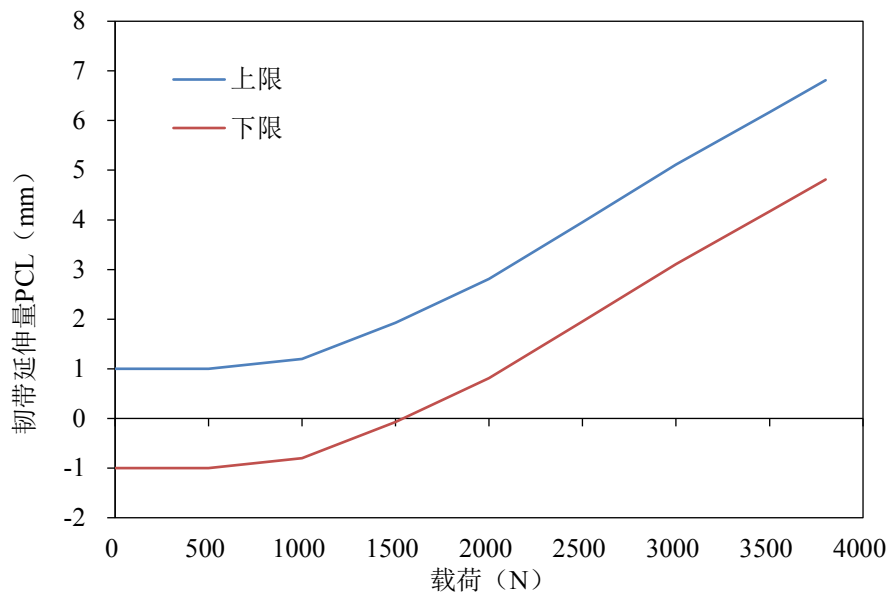


图 B.8 韧带延伸量 PCL(mm) 与载荷 (N) 上下限值图

B.6 动态特性

分别以 T1、T2、T3、T4，表示对 Flex-PLI 腿型冲击器进行摆锤冲击后，小腿弯矩的最大值。

(1) 摆锤冲击

小腿部弯矩和膝部韧带延伸量的最大值与最小值须符合以下要求：

表 B.6：摆锤冲击小腿部弯矩和膝部韧带延伸量的最大值与最小值

名称	最大值	最小值
T1	235Nm	272Nm
T2	187Nm	219Nm
T3	139Nm	166Nm
T4	90Nm	111Nm
MCL	20.5mm	24mm
ACL	8.0mm	10.5mm
PCL	3.5mm	5.0mm

(2) 动态反向冲击

表 B.7：动态反向冲击小腿部弯矩和膝部韧带延伸量的最大值与最小值

名称	最大值	最小值
----	-----	-----

T1	230Nm	272Nm
T2	210Nm	252Nm
T3	166Nm	192Nm
T4	93Nm	108Nm
MCL	17. 0mm	21. 0mm
ACL	8. 0mm	10. 0mm
PCL	4. 0mm	6. 0mm

附录 C

上腿型（大腿）冲击器计量特性

C.1 尺寸

上腿型冲击器应是刚性的，以泡沫覆盖撞击侧，长度为 $350\text{ mm} \pm 5\text{ mm}$ ，（注：可根据实际尺寸记录测量结果）如图所示

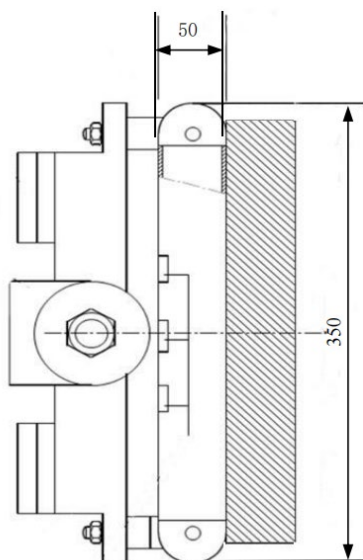


图 C.1 上腿型（大腿）冲击器尺寸

C.2 质量

包括在撞击过程中作为冲击器重要部分的推进和导向的部件，总质量应为 $9.5\text{ kg} \pm 0.1\text{ kg}$ 。冲击器前面部件和载荷传感器总成前面的其他部件，加上载荷传感器总成中在启动元件前面的部件，总质量（不包括泡沫和皮肤）为 $1.95\text{ kg} \pm 0.05\text{ kg}$ 。

C.3 质心位置

无质心要求。

C.4 转动惯量

无转动惯量要求。

C.5 静态特性

其静态特性无要求。

C.6 动态特性

当上腿型冲击器被推向一个静止的圆柱摆锤管时，每个载荷传感器所测的峰值载荷

应不小于 1.20kN 且不大于 1.55kN，上、下载荷传感器所测得峰值载荷的差值应不大于 0.10kN。由应变传感器所测得的中间位置的弯曲力矩峰值应不小于 190Nm 且不大于 250Nm，外侧位置的弯曲力矩峰值不小于 160Nm 且不大于 220Nm，上、下弯曲力矩峰值的差值应不大于 20Nm。

附录 D

典型计量特性转动惯量校准结果测量不确定度评定

D.1 概述

利用转动惯量校准装置对转动惯量进行测量，在此转动惯量测量方法中，转动惯量的测量不确定度来源于环境振动、周期测量误差、天平质量测量误差、标定块尺寸测量误差和质心偏离等因素。根据从技术手册中得到的测量分布的极限范围，对周期测量误差、天平质量测量误差、标定块尺寸测量误差以及质心偏移等引起的不确定度进行 B 类标准不确定度分析，根据对实验结果的统计分析，采用 A 类不确定度评定对测量重复性误差进行评定。

D.2 测量模型

腿型冲击器的转动惯量按照公式

$$J_i = \frac{J_{i1} + J_{i2} + J_{i3}}{3} \quad (\text{D.1})$$

其中： J_i ——腿型冲击器转动惯量测量结果， $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ；

J_{i1} 、 J_{i2} 、 J_{i3} ——腿型冲击器转动惯量每次测量结果， $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ 。

D.3 不确定度来源

转动惯量校准结果测量不确定度来源及说明见表 D.1。

表 D.1 转动惯量校准结果测量不确定度分量来源和说明

序号	符号	标准不确定度分量名称	说明
1	$u_1(J_i)$	转动惯量重复性引入的标准不确定度分量	用 A 类方法评定
2	$u_2(J_i)$	转动惯量测量系统引入的不确定度分量	用 B 类方法评定

D.4 合成标准不确定度计算公式和灵敏系数

$$u^2(J_i) = c^2 u_1^2(J_i) + c^2 u_2^2(J_i) \quad (\text{D.2})$$

$$c = 1 \quad (\text{D.3})$$

D.5 标准不确定度评定

D.5.1 转动惯量重复性引入的标准不确定度分量

依据本校准规范的校准方法, 获取 10 次转动惯量的测量结果, 每次测量结果以三次测量结果平均值作为测量结果。见 D.2。

表 D.2 转动惯量校准结果

序号	次数	转动惯量 ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)	测量结果($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)
1	1	0.0325	0.0325
	2	0.0325	
	3	0.0326	
2	1	0.0326	0.0326
	2	0.0326	
	3	0.0325	
3	1	0.0325	0.0326
	2	0.0327	
	3	0.0326	
4	1	0.0325	0.0326
	2	0.0326	
	3	0.0327	
5	1	0.0325	0.0326
	2	0.0326	
	3	0.0327	
6	1	0.0325	0.0325
	2	0.0325	
	3	0.0325	

7	1	0.0325	0.0326
	2	0.0327	
	3	0.0325	
8	1	0.0325	0.0325
	2	0.0325	
	3	0.0326	
9	1	0.0325	0.0325
	2	0.0324	
	3	0.0325	
10	1	0.0326	0.0326
	2	0.0325	
	3	0.0327	

利用贝塞尔公式计算：

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = 4.7 \times 10^{-5} \text{kg} \cdot \text{m}^2 \quad (\text{D. 4})$$

以平均值作为测量结果，则：

$$u_1(J_i) = \frac{s(x)}{\sqrt{3}} = 2.7 \times 10^{-5} \text{kg} \cdot \text{m}^2 \quad (\text{D. 5})$$

D. 5. 2 转动惯量测量装置引入的标准不确定度分量

根据转动惯量测量装置的说明书，利用 B 类评定方法评定：

则

$$u_2(J_i) = 1.0 \times 10^{-5} \text{kg} \cdot \text{m}^2 \quad (\text{D. 6})$$

D. 6 合成标准不确定度

按照公式 D. 2

$$u(J_i) = \sqrt{u_1(J_i)^2 + u_2(J_i)^2} = 2.9 \times 10^{-5} \text{kg} \cdot \text{m}^2 \quad (\text{D. 7})$$

D. 7 扩展不确定度

在应用中, 取包含因子 $k=2$, 扩展不确定度 U 按公式 (A. 11) 计算:

$$U = k u_c \quad (\text{D. 8})$$

扩展不确定度为:

$$U = 2 \times 2.9 \times 10^{-5} = 5.8 \times 10^{-5} \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

附录 E

动态特性校准结果测量不确定度评定

E. 1 概述

本附录以 aPLI 腿型冲击器动态特性为例做不确定度评估。采用直接测量法，通过 aPLI 腿型冲击器上的弯矩传感器和位移传感器测量柔性腿冲击器的各项参数。

E. 2 测量模型

对于弯矩

$$M = \bar{M} \pm U \tag{E. 1}$$

对于位移

$$S = \bar{S} \pm U \tag{E.2}$$

式中：M—弯矩测量值；

\bar{M} —弯矩测量均值；

S—位移测量值；

\bar{S} —位移测量均值；

U—不确定度。

E. 3 不确定度来源

动态特性校准结果测量不确定度来源及说明见表 E. 1。

表 E. 1 动态特性校准结果测量不确定度分量来源和说明

序号	符号	标准不确定度分量名称	说明
1	$u_1(x_i)$	动态特性重复性引入的标准不确定度分量	用 A 类方法评定
2	$u_2(x_i)$	动态标定试验台引入的不确定度分量	用 B 类方法评定

E. 4 合成标准不确定度计算公式和灵敏系数

$$u^2(x_i) = c^2u_1^2(x_i) + c^2u_2^2(x_i) \tag{E. 3}$$

$$c = 1 \tag{E. 4}$$

E.5 标准不确定度评定

E.5.1 动态特性重复性引入的标准不确定度分量

E.5.1.1 冲击膝部中心位置

表 E.2 Femur1 的重复性数据

Femur1 所测量的弯矩 (Nm)					
M1 (Nm)	M2 (Nm)	M3 (Nm)	M4 (Nm)	M5 (Nm)	M6 (Nm)
179.4	181.1	181.5	181.5	179.1	181.6

表 E.3 Femur2 的重复性数据

Femur2 所测量的弯矩 (Nm)					
M1 (Nm)	M2 (Nm)	M3 (Nm)	M4 (Nm)	M5 (Nm)	M6 (Nm)
149.5	149.1	150.9	147.2	154.4	152.3

表 E.4 Femur3 的重复性数据

Femur3 所测量的弯矩 (Nm)					
M1 (Nm)	M2 (Nm)	M3 (Nm)	M4 (Nm)	M5 (Nm)	M6 (Nm)
115.7	114.9	118.9	118.7	116.4	118.6

表 E.5 Tibia1 的重复性数据

Tibia1 所测量的弯矩 (Nm)					
M1 (Nm)	M2 (Nm)	M3 (Nm)	M4 (Nm)	M5 (Nm)	M6 (Nm)
307.0	306.2	304.7	305.1	305.5	305.6

表 E.6 Tibia2 的重复性数据

Tibia2 所测量的位移 (Nm)					
M1 (Nm)	M2 (Nm)	M3 (Nm)	M4 (Nm)	M5 (Nm)	M6 (Nm)
253.9	251.0	253.8	255.2	251.8	254.5

表 E.7 Tibia3 的重复性数据

Tibia3 所测量的位移 (Nm)					
M1 (Nm)	M2 (Nm)	M3 (Nm)	M4 (Nm)	M5 (Nm)	M6 (Nm)
167.8	169.1	168.2	166.4	167.1	166.5

表 E.8 Tibia4 的重复性数据

Tibia4 所测量的位移 (Nm)					
M1 (Nm)	M2 (Nm)	M3 (Nm)	M4 (Nm)	M5 (Nm)	M6 (Nm)
96.2	96.3	96.7	92.7	94.8	93.2

表 E.9 MCL 的重复性数据

MCL 所测量的位移 (mm)					
S1 (mm)	S2 (mm)	S3 (mm)	S4 (mm)	S5 (mm)	S6 (mm)
15.6	15.3	15.6	15.5	15.6	15.7

E. 5. 1. 2 冲击膝部中心向上 120mm 位置

表 E.10 Femur1 的重复性数据

Femur1 所测量的弯矩 (Nm)					
M1 (Nm)	M2 (Nm)	M3 (Nm)	M4 (Nm)	M5 (Nm)	M6 (Nm)
271.9	269.0	272.4	269.5	268.7	270.4

表 E.11 Femur2 的重复性数据

Femur2 所测量的弯矩 (Nm)					
M1 (Nm)	M2 (Nm)	M3 (Nm)	M4 (Nm)	M5 (Nm)	M6 (Nm)
215.9	214.8	219.8	218.9	214.9	217.6

表 E.12 Femur3 的重复性数据

Femur3 所测量的弯矩 (Nm)					
M1 (Nm)	M2 (Nm)	M3 (Nm)	M4 (Nm)	M5 (Nm)	M6 (Nm)

155.9	155.0	157.9	157.8	157.3	156.4
-------	-------	-------	-------	-------	-------

表 E.13 Tibia1 的重复性数据

Tibia1 所测量的弯矩 (Nm)					
M1 (Nm)	M2 (Nm)	M3 (Nm)	M4 (Nm)	M5 (Nm)	M6 (Nm)
211.2	211.7	213.0	212.3	212.4	215.2

表 E.14 Tibia2 的重复性数据

Tibia2 所测量的位移 (Nm)					
M1 (Nm)	M2 (Nm)	M3 (Nm)	M4 (Nm)	M5 (Nm)	M6 (Nm)
189.4	190.4	191.1	190.6	190.4	192.0

表 E.15 Tibia3 的重复性数据

Tibia3 所测量的位移 (Nm)					
M1 (Nm)	M2 (Nm)	M3 (Nm)	M4 (Nm)	M5 (Nm)	M6 (Nm)
136.5	137.6	139.4	138.8	138.3	138.9

表 E.16 Tibia4 的重复性数据

Tibia4 所测量的位移 (Nm)					
M1 (Nm)	M2 (Nm)	M3 (Nm)	M4 (Nm)	M5 (Nm)	M6 (Nm)
69.7	69.5	71.7	71.3	69.4	69.8

表 E.17 MCL 的重复性数据

MCL 所测量的位移 (mm)					
S1 (mm)	S2 (mm)	S3 (mm)	S4 (mm)	S5 (mm)	S6 (mm)
22.6	22.6	22.3	22.6	22.6	22.6

根据 A 类不确定度重复性测量的计算公式, 各弯矩通道:

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum (M_i - \bar{M})^2}{6-1}} \quad (\text{E. 5})$$

和各位移通道:

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum (S_i - \bar{S})^2}{6-1}} \quad (\text{E. 6})$$

各通道的 A 类不确定度可以被计算出来。

表 E. 18 各通道冲击膝部中心的 A 类不确定度 (保留一位小数)

通道	Femur1 (Nm)	Femur2 (Nm)	Femur3 (Nm)	Tibia1 (Nm)	Tibia2 (Nm)	Tibia3 (Nm)	Tibia4 (Nm)	MCL (mm)
测量均值	180.7	150.6	117.2	305.7	253.4	167.5	95.0	15.6
A 类 不确定度	1.1	2.5	1.7	0.8	1.6	1.0	1.7	0.1

表 E. 19 各通道冲击膝部中心向上 120mm 的 A 类不确定度 (保留一位小数)

通道	Femur1 (Nm)	Femur2 (Nm)	Femur3 (Nm)	Tibia1 (Nm)	Tibia2 (Nm)	Tibia3 (Nm)	Tibia4 (Nm)	MCL (mm)
测量均值	270.3	217.0	156.7	212.6	190.7	138.3	70.2	22.6
A 类 不确定度	1.5	2.1	1.2	1.4	0.9	1.1	1.0	0.1

由于实际开展标定过程只做一次测量, 所以重复性测量引入的不确定度分量 u_A 可直接以表 E.18 和表 E.19 中所式的数据为准。

E. 5.2 由动态标定台引入的不确定度分量评定

由于动态标定台传感器的零漂可以在读取数据前进行清零处理, 故不考虑此情况对测试结果的 B 类不确定度。

根据动态标定台校准证书上所示:

位移传感器的不确定度为: 0.003 mm ($k=2$)

弯矩传感器的不确定度为: 0.15% ($k=2$)

表 E. 20 各通道冲击膝部中心位置的 B 类不确定度 (保留一位小数)

通道	Femur1	Femur2	Femur3	Tibia1	Tibia2	Tibia3	Tibia4	MCL
----	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	-----

	(Nm)	(Nm)	(Nm)	(Nm)	(Nm)	(Nm)	(Nm)	(mm)
测量均值	180.7	150.6	117.2	305.7	253.4	167.5	95.0	15.6
B 类 不确定度	0.3	0.2	0.2	0.5	0.4	0.3	0.1	0.0

表 E.21 各通道冲击膝部中心向上 120mm 位置的 B 类不确定度 (保留一位小数)

通道	Femur1 (Nm)	Femur2 (Nm)	Femur3 (Nm)	Tibia1 (Nm)	Tibia2 (Nm)	Tibia3 (Nm)	Tibia4 (Nm)	MCL (mm)
测量均值	270.3	217.0	156.7	212.6	190.7	138.3	70.2	22.6
B 类 不确定度	0.4	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.1	0.0

E.6 合成标准不确定度

表中各不确定分量相互独立, 所以:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$$

表 E.22 各通道冲击膝部中心位置的合成不确定度 (保留一位小数)

通道	Femur1 (Nm)	Femur2 (Nm)	Femur3 (Nm)	Tibia1 (Nm)	Tibia2 (Nm)	Tibia3 (Nm)	Tibia4 (Nm)	MCL (mm)
测量均值	180.7	150.6	117.2	305.7	253.4	167.5	95.0	15.6
合成 不确定度	1.2	2.6	1.8	0.9	1.7	1.1	1.7	0.1

表 E.23 各通道冲击膝部中心向上 120mm 位置的合成不确定度 (保留一位小数)

通道	Femur1 (Nm)	Femur2 (Nm)	Femur3 (Nm)	Tibia1 (Nm)	Tibia2 (Nm)	Tibia3 (Nm)	Tibia4 (Nm)	MCL (mm)
测量均值	270.3	217.0	156.7	212.6	190.7	138.3	70.2	22.6
合成 不确定度	1.6	2.1	1.2	1.4	0.9	1.1	1.0	0.1

E.7 扩展不确定度

扩展不确定度 U 由合成标准不确定度 u_c 乘以包含因子 k 得到。取 $k=2$, 得:

表 E.24 各通道冲击膝部中心位置的扩展不确定度 ($k=2$)

通道	Femur1 (Nm)	Femur2 (Nm)	Femur3 (Nm)	Tibia1 (Nm)	Tibia2 (Nm)	Tibia3 (Nm)	Tibia4 (Nm)	MCL (mm)
合成 不确定度	1.2	2.6	1.8	0.9	1.7	1.1	1.7	0.1
扩展 不确定度	2.3	5.1	3.5	1.9	3.3	2.2	3.4	0.3

表 E. 25 各通道冲击膝部中心向上 120mm 位置的扩展不确定度 ($k=2$)

通道	Femur1 (Nm)	Femur2 (Nm)	Femur3 (Nm)	Tibia1 (Nm)	Tibia2 (Nm)	Tibia3 (Nm)	Tibia4 (Nm)	MCL (mm)
合成 不确定度	1.6	2.1	1.2	1.4	0.9	1.1	1.0	0.1
扩展不确定 度	3.2	4.3	2.4	2.9	1.8	2.1	2.0	0.2

附录 F

校准证书或校准报告内容

- a) 标题，如“校准证书”或“校准报告”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如不在实验室内进行校准）；
- d) 证书或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页的标识；
- e) 送校单位的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性的应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对抽样程序进行说明；
- i) 对校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及测量不确定度的说明；
- m) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识，以及签发日期；
- n) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- o) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。