

文章编号:1004-7220(2011)02-0173-08

侧碰假人颈部标定系统的实验研究

刘利^{1,2}, 陈海斌¹, 乐中耀³, 宁心¹, 孙浩³, 尹志勇¹, 张波¹, 周继红¹, 王正国¹

(1. 第三军医大学大坪医院野战外科研究所, 创伤、烧伤与复合伤国家重点实验室, 重庆 400042;

2. 解放军第62医院, 普洱 665000; 3. 中国汽车工程研究院有限公司, 重庆 400039)

摘要:目的 研究“侧碰假人颈部标定系统”的设计方法和加工技术。**方法** 采用“摆臂撞击原理”,设计“ES-2型侧碰假人颈部标定系统”;开发国产化的新技术、新方法,研制该标定系统中的两个关键设备,即“摆臂装置”和“头颈弯曲角测量装置”;根据ECE R95标准的相关技术要求,对该标定系统进行6次验证实验。**结果** 摆臂装置产生的摆臂初始速度3.36~3.48 m/s、摆臂对吸能块的碰撞速度-时间曲线均符合ECE R95标准要求;头颈弯曲角测量装置能较为准确地检测出ES-2型侧碰假人头颈部的“最大前摆基本角”、“最大后摆基本角”和“最大头颈弯曲角”。**结论** “ES-2侧碰假人颈部标定系统”简便、实用,基本满足ECE R95标准要求;其设计方法和加工技术具有一定的应用价值。

关键词: 人体模型; 颈部; 标定系统; 碰撞测试; 生物力学

中图分类号: R 3 **文献标志码:** A

Experimental study on calibration system of side-impact dummy neck

LIU Li^{1,2}, CHEN Hai-bin¹, YUE Zhong-yao³, NING Xin¹, SUN Hao³, YIN Zhi-yong¹, ZHANG Bo¹, ZHOU Ji-hong¹, WANG Zheng-guo¹ (1. State Key Laboratory of Trauma, Burns, and Combined Injuries, Institute of Surgery Research, Daping Hospital, Third Military Medical University, Chongqing 400042, China; 2. Sixty-second Hospital of Chinese People's Liberation Army, Puer 665000, China; 3. China Automotive Engineering Research Institute, Chongqing 400039, China)

Abstract; Objective To investigate the design approaches and manufacturing techniques for the calibration system of side-impact dummy neck. **Method** The ES-2 side-impact dummy neck was selected as the research subject and a set of calibration system of ES-2 side-impact dummy neck was developed in this experiment according to the pendulum impact theory, and the new design approaches and new manufacturing techniques suitable for the present industrial conditions in China were created to establish its two key components: the pendulum device and the head-neck flexion angle measurement device. The optimal designs for the quality distribution and inertia moment distribution of the whole pendulum were also carried out to assure the pendulum initial velocity and the pendulum impact velocity-time curve during the pendulum-absorber impact, while optimal designs for three angle sensors and the complex stereoscopically-dependent relationship among those three sensors were carried out to assure the reliability of the head-neck flexion angle measurement device. Correspondingly, a total of six calibration tests were carried out to validate this calibration system in terms of the technical requirements of ECE R95. **Results** The pendulum initial velocity of 3.36~3.48 m/s and the pendulum impact velocity-time curve during the pendulum-absorber impact, which were generated by the pendulum device in this calibration system of

收稿日期:2010-10-09; 修回日期:2011-02-01

基金项目:国家自然科学基金海外及港澳学者合作研究项目(30928005),重庆市自然科学基金(CSTC2009BB5013),第三军医大学科研发展基金(2009XHG16)资助项目。

通讯作者:陈海斌,副研究员, E-mail:chenhb1996@vip.163.com。

ES-2 side-impact dummy neck, were in accordance with the ECE R95. Meanwhile, the head-neck flexion angle measurement device of this calibration system was sufficient to detect the following three target angle values more accurately: the maximum values of fore pendulum base angles, the maximum values of aft pendulum base angles, and the maximum values of head-neck complex flexion angles. **Conclusions** The calibration system of ES-2 side-impact dummy neck is basically capable of meeting the demands of the existing international rule, the ECE R95. Besides, this neck calibration system is convenient and practical, and its design approaches and manufacturing techniques are likely to find the wider application in the impact biomechanics field.

Key words: Manikins; Neck; Calibration system; Impact testing; Biomechanics

颈部是有大量神经、血管和食道、气管通过的重要部位,呈细长体柱状结构;轻微的撞击也会造成很严重的后遗症,严重的撞击则可能造成颈部脊髓损伤^[1-3]。交通事故伤流行病学调查表明,汽车侧面碰撞是严重颈部撞击伤的主要致伤因素之一^[3]。

侧碰假人能够模拟人体在汽车侧面碰撞中的生物力学响应^[4-7](如左右方向的弯曲、绕垂直轴的旋转),可用于探讨颈部撞击伤的发生机制与防护措施。根据相关标准(如欧洲 ECE R95^[8]、美国 FM-VSS 214、国标 GB 20071-2006^[9])准确标定侧碰假人是保证侧碰假人生物仿真性的关键措施。目前,由于技术条件的限制,国内汽车碰撞试验室均采用全套引进或引进关键零部件的方法组建侧碰假人颈部标定系统。

然而,现有侧碰假人的设计原理和标定方法,主要基于 20 世纪 60 年代以前欧美人种的碰撞生物力学实验数据^[10]。更重要的是,随着大量安全防护设备的引入以及道路状况和交通设施的改善,无论在国外还是在国内,现在的交通事故致伤机制与 60 年代以前有较大的不同。因此,为深入开展中国人颈部撞击伤研究,需要立足于中国现有交通事故伤的发生特点,自主开发适合于中国人的、包括侧碰假人在内的碰撞假人设计原理和标定方法。

本文选定国际上较为通用的 ES-2 型侧碰假人颈部作为研究对象,开发新技术、新方法,设计摆臂、头颈弯曲角测量装置等关键部件,研制一套“侧碰假人颈部标定系统”,为侧碰假人颈部标定系统的国产化研究积累基本的设计方法和加工技术。

1 设计方法和加工技术

1.1 系统组成

采用“摆臂撞击原理”设计 ES-2 型侧碰假人颈部标定系统^[11]。“ES-2 型侧碰假人(以下简称:ES-

2)”颈部由头/颈交界部分、颈/胸交界部分和两者之间的柱体中心部分组成(见图 1)。头/颈交界部分、颈/胸交界部分均由 1 个铝盘、1 个半球头螺栓和 4 个橡胶缓冲垫连接而成。颈椎柱体中心部分由橡胶构成,两端有与其固化成一体的铝盘。颈部安装在颈部支架上,不包括颈部支架的颈部质量为 (1.0 ± 0.05) kg。完整的颈部还包含有 1 个“颈索”,用于模拟颈髓、韧带和肌肉的作用。颈索穿过颈椎柱体中心,其上端、下端分别连接头颈接盘、颈胸接盘。ES-2 头颈部在侧碰试验中具有与人体头颈部相似的动力学特性和运动学特性。

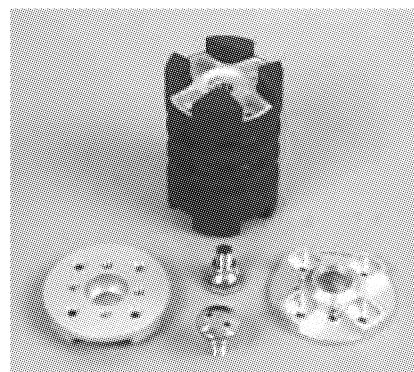


图 1 ES-2 型侧碰假人颈部结构图

Fig.2 ES-2 side-impact dummy neck parts

ES-2 颈部标定系统的组成为:摆臂装置、头型物、头颈弯曲角测量装置、数据采集与处理系统。头型物模拟 ES-2 头部,摆臂装置产生作用于被试颈椎的标准碰撞速度,头颈弯曲角测量装置检测被试颈椎的角位移响应。整个标定系统的工作流程为:首先,被试 ES-2 颈椎与头型物合并为 1 个 ES-2 头颈组合体后安装在摆臂底部;接着,摆臂升至预定高度后自由释放,在指定位置摆臂撞击吸能块并产生 ECE R95 标准所要求的标准的碰撞速度-时间曲线;

同时,头颈弯曲角测量装置检测测量碰撞过程中ES-2头颈组合体的角位移响应;最后,利用数据采集与处理系统进行信号分析。

1.2 摆臂装置

1.2.1 技术要求 摆臂装置包括:摆臂及支架、吸能块及其固定装置。该装置的技术要求^[8-9]是:摆臂撞击吸能块的初始速度可以根据摆臂高度变化进行调节;当摆臂初始速度为 (3.4 ± 0.1) m/s时,摆臂碰撞速度-时间曲线应处于图2中上限和下限所限定的范围内。

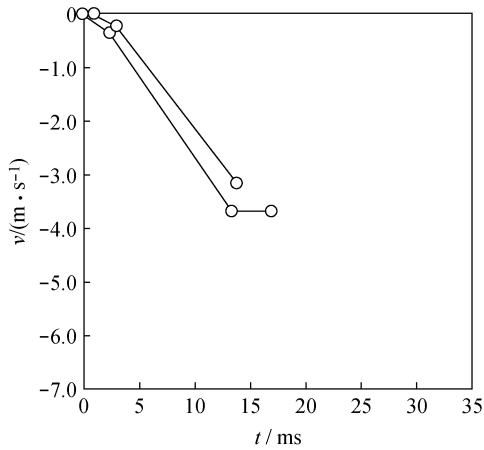


图2 摆臂碰撞速度-时间曲线的上限和下限

Fig.2 The upper and lower limit of impact velocity-time curve of pendulum

1.2.2 标准摆臂碰撞速度的产生方法 如图3所示,在摆臂自由下落转动过程,摆臂的转动方程为

$$M g l \sin \alpha = J \ddot{\alpha} \quad (1)$$

求解可得,摆臂撞击吸能块的初始速度为

$$v_{im0} = f(M, l, J, \alpha_0) \quad (2)$$

式中: M 、 l 、 J 、 α_0 、 $\ddot{\alpha}$ 、 v_{im0} 分别表示摆臂质量、摆臂质心离摆臂转轴的距离、摆臂惯性矩、摆臂与垂直轴之间的初始夹角、摆臂自由转动过程中的角加速度、摆臂撞击吸能块的初始速度。

在摆臂撞击吸能块的过程中,由于吸能块及其固定装置的缓冲作用,摆臂速度从 v_{im0} 减至0、摆臂碰撞速度-时间曲线(即 v_{im} -曲线)落在规定的界限内(见图2~3)。

为了产生标准的 v_{im0} 和 v_{im} -曲线,需要专门设计

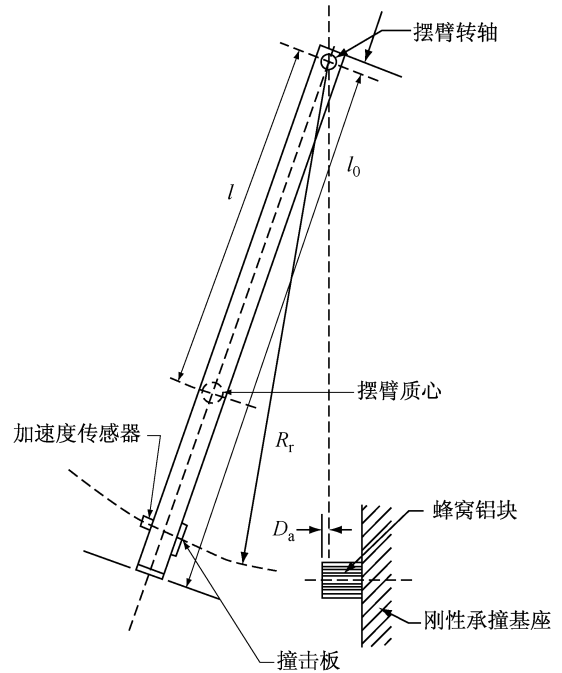


图3 摆臂的设计原理

Fig.3 Design principles of neck pendulum

合适的 M 、 l 、 J 、 v_{im0} ,吸能材料及其固定装置。

1.2.3 摆臂的结构设计 ECE R95标准为ES-2型侧碰假人颈部标定系统的摆臂推荐的型材为:3/16”的矩形钢管;并对 M 、 l 、 J 、 v_{im0} 及吸能材料均作了明确的规定^[8-9]: $M = 29.6$ kg, $l = 828$ mm, $J = 20.3$ kg·m², $v_{im0} = (3.4 \pm 0.1)$ m/s;吸能材料为蜂窝铝块。但是,国内无法购得这种矩形钢管。为此,本文通过槽型钢对焊形成一矩形钢管。为了满足这组(M 、 l 、 J 、 v_{im0})参数,经过反复计算、调试,在摆臂上合理设置、钻削“条形孔”以优化摆臂的质量分布、惯性矩分布。

设计中,依次将整个摆臂分成9个区段,前8个区段均分别钻削1个“条形孔(通孔)”;第9个区段靠近摆臂底部,需要安装传感器,没有条形孔。于是有:

$$M = \sum_{i=1}^9 m_i \quad (3)$$

$$J \approx \sum_{i=1}^9 m_i l_i^2 \quad (4)$$

式中: m_i 、 l_i 分别为第 i 个摆臂区段的质心质量、质心离摆臂转轴的距离。显然,合理分配 m_i 、 l_i 成为设计的关键技术。图4所示为实际制作的摆臂。



图4 摆臂与支架实物图
Fig. 4 The developed product of neck pendulum and stand

1.2.4 吸能块及其固定装置的结构设计 选用直径19 mm、密度 28.8 kg/m^3 的蜂窝铝材^[8-9]作为吸能材料,并研制了专门的固定装置。

1.3 头颈弯曲角测量装置

1.3.1 头颈组合体的结构设计 颈部标定实验时,由于假人头部不对称,颈部在侧向弯曲运动的同时会产生绕垂直轴方向的转动。为了解决这个问题,设计一对称的头型物(见图4~5)来代替头部^[8-9]。这样,ES-2头颈组合体包括:头型物、连接盘、ES-2颈椎。

头型物(见图4)由长方形铝块和2片圆型的复合材料板构成,铝块通过连接盘与假人颈部连接。头型物的质量为3.92 kg。连接盘厚度为12 mm,质量为0.208 kg。

1.3.2 头颈组合体弯曲角的测量方法 3个角度传感器(即Pot-A、Pot-B、Pot-C)用来测量ES-2头颈组合体的弯曲角^[11]。Pot-A、Pot-B、Pot-C分别测量摆基本角 θ_A 、后摆基本角 θ_B 、头型物转动角 θ_C 。Pot-A、Pot-B的芯轴为固定件、芯轴套为转动件,而Pot-C的芯轴为转动件、芯轴套为固定件。Pot-A、Pot-B

分别附着有滑杆A、B,每个滑杆与芯轴套的“过孔”保持滑动配合,确保两者之间精密、顺滑地相对滑动。Pot-C附着有1个连杆C,C与Pot-C的芯轴同轴线且固接(见图5~6)。

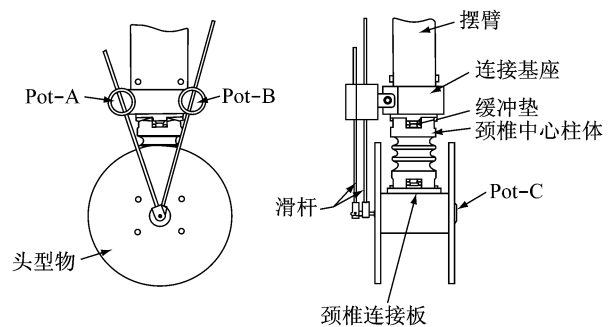


图5 ES-2头颈组合体弯曲角的测量方法
Fig. 5 The measurement principle of ES-2 head-neck complex flexion angles

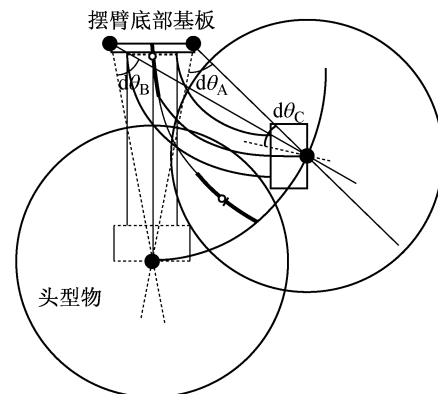


图6 3个角度传感器的分布图
Fig. 6 The distribution scheme of three angle sensors

ES-2头颈组合体受撞击而弯曲时,角度传感器Pot-C的“芯轴”发生转动,角度传感器Pot-A、Pot-B的滑杆分别滑过角度传感器Pot-A、Pot-B的“芯轴套”带动芯轴套转动。

角度传感器Pot-A、Pot-B固定在摆臂的两侧,Pot-C安装在头型物对称轴线上。为了精密测量ES-2头颈弯曲角,要求Pot-A、Pot-B、Pot-C及底座、滑杆A、B、连杆C实现精密的空间耦合(见图5)。

由图6可见,ES-2头颈组合体弯曲角的计算公式^[11]为:

$$\beta = \theta_A + \theta_C - \frac{\pi}{2} \quad (5)$$

或

$$\beta = d\theta_A + d\theta_C \quad (6)$$

1.3.3 头颈弯曲角测量装置的结构设计 由图 5、6 可见,要求头颈弯曲角测量装置能够精密测量:前摆基本角 θ_A 、后摆基本角 θ_B 、头型物转动角 θ_C ;头颈弯曲角 β 通过换算可求得^[11]。

选用 WDS36 精密导电塑料电位器,研制 3 个角度传感器 (Pot-A, Pot-B, Pot-C)。根据摆臂的实际结构,设计 3 个角度传感器的固定基座和空间耦合机构,经过反复设计、调试,研制完成头颈弯曲角测量装置 (见图 7)。其中,空间耦合机构用于确保 ES-2 颈部、头型物和 Pot-A、Pot-B、Pot-C 之间精确耦合、顺滑传动,用于确保 3 个角度传感器固定基座及联动机构定位准确、结构紧凑。

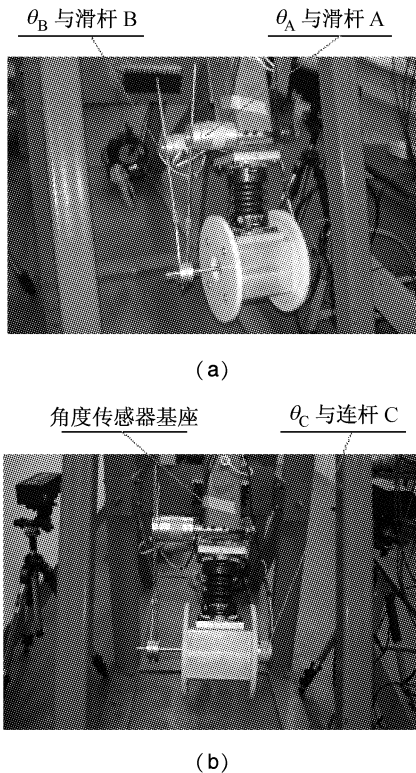


图 7 头型物 (a) 与头颈弯曲角测量装置 (b)
Fig. 7 ES-2 head form (a) and the measurement device of head-neck flexion angles (b)

1.4 数据采集与处理

1.4.1 摆臂碰撞速度的测量 采用激光测速仪

(意大利 Manfrotto 公司产 Speed Meter) 测量摆臂的初始速度。测速仪由两部分组成,一部分负责信号发送,一部分负责信号接收。信号发送装置发出两条平行的激光束,光束由接收装置的两点分别接收。当摆臂从激光束穿过时,光束被遮挡;利用两条激光束被遮挡的时间差及两者间的平行距离,测速仪可以计算、显示出摆臂的初始速度 v_{im0} 。

采用单向加速度传感器 (美国 Meas 公司产 A011018 型单向加速度传感器) 检测撞击吸能块后摆臂的碰撞速度-时间曲线 (v_{im} -曲线)。该加速度传感器安装在摆臂上指定位置;实验时,摆臂碰撞加速度换算成摆臂碰撞速度。

1.4.2 头颈组合体弯曲角的测量 根据 1.3.2 节,检测 3 个角度传感器的输出信号 θ_A 、 θ_B 、 θ_C ,并求得头颈弯曲角 β 。

1.4.3 滤波与绘图 采用德国 Kayser-Threde 公司的 Minidau K3700 型数据采集系统 (64 通道),检测摆臂碰撞加速度 $a_{pendulum}$ 、角度传感器的输出信号 θ_A 、 θ_B 、 θ_C 。根据 ISO6487, $a_{pendulum}$ 及摆臂碰撞速度的数字滤波频率等级为 ISO CFC60,而 θ_A 、 θ_B 、 θ_C 的数字滤波频率等级为 ISO CFC180。

采用 Matlab 软件,对 $a_{pendulum}$ 和 θ_A 、 θ_B 、 θ_C 编写滤波与绘图等后处理程序。

1.4.4 从加速度到速度的换算 根据设计要求,将摆臂碰撞加速度计算成摆臂碰撞速度。换算公式如下:

$$v_{i+1} = v_i + a_i(t_{i+1} - t_i) \quad (7)$$

式中: t_{i+1} 表示下一时刻, t_i 表示此时刻; v_i 为此时刻的速度, a_i 为此时刻的加速度; v_{i+1} 为下一时刻的速度。

1.4.5 碰撞零点的确定 加速度在摆臂与吸能装置碰撞的瞬间会有一个跳变,在加速度-时间关系曲线上形成一个转折点,即碰撞零点。本文设计专门的算法和软件确定碰撞零点。

2 验证实验结果

选用标准 ES-2 型侧碰假人来验证本文研制的“ES-2 型侧碰假人颈部标定系统”。重点验证:摆臂装置能否产生标准的摆臂碰撞速度以及头颈弯曲角测量装置能否准确检测 ES-2 头颈组合体弯曲角。

2.1 需要达到的技术指标

2.1.1 摆臂初始速度 摆臂初始速度限定^[8]为:

$$v_{im0} = (3.4 \pm 0.1) \text{ m/s}$$

2.1.2 摆臂碰撞速度-时间曲线 当摆臂以初始速度(3.4 ± 0.1) m/s 撞击吸能块后,减速、吸能过程中摆臂碰撞速度时间曲线应处于图2中上限和下限所限定的范围内^[8]。

2.1.3 前摆基本角、后摆基本角、头颈弯曲角

最大前摆基本角^[8] $d\theta_{A \max}$:应在 32.0° ~ 37.0°,且发生在碰撞零点后 53.0 ~ 63.0 ms 内。

最大后摆基本角^[8] $\theta_{B \max}$:应在 27.67° ~ 34.22°,且发生在碰撞零点后 54.0 ~ 64.0 ms 内。

最大头颈弯曲角^[8] β_{\max} :应在 49.0° ~ 59.0°,且发生在碰撞零点后 54.0 ~ 66.0 ms 内。

2.2 材料与方法

在支架上安装吸能块:蜂窝铝材料直径19 mm、密度 28.8 kg/m³;在摆臂上安装好 ES-2 头颈组合体、加速度传感器、头颈弯曲角测量装置;调试好激光测速仪和数据采集系统。严格按照 ECE R95 标准关于“ES-2 型侧碰假人颈部标定试验”的规定^[8-9, 11],依次完成实验准备和实验步骤。

2.3 结果

共开展了6次验证实验,如表2所示。

2.3.1 摆臂的碰撞加速度与碰撞速度 图8为实

表2 ES-2 型侧碰假人颈部标定系统验证实验数据

Tab.2 Validation experiment data of the calibration system of ES-2 side-impact dummy neck

| | 摆臂初始 速度/(m·s ⁻¹) | 最大头颈弯曲角 | | 最大前摆基本角 | | 最大后摆基本角 | | 最大头型物转动角 | |
|-------|---------------------------------|---------------|-------------|--|-------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|
| | | 角度值/ (°) | 发生时间/ ms | 角度值/ (°) | 发生时间/ ms | 角度值/ (°) | 发生时间/ ms | 角度值/ (°) | 发生时间/ ms |
| 标准参考值 | 3.3 ~ 3.5 | 49.0 ~ 59.0 | 54.0 ~ 66.0 | 32.0 ~ 37.0 | 53.0 ~ 63.0 | 27.67 ~ 34.22 | 54.0 ~ 64.0 | — | — |
| 实验1 | 3.36 | 52.8 | 55 | 27.6 | 49 | 25.2 | 55 | 27.9 | 57 |
| 实验2 | 3.52 | 52.3 | 56 | 27.2 | 51 | 25.1 | 61 | 27.4 | 59 |
| 实验3 | 3.39 | 53.6 | 54 | 27.5 | 50 | 26.1 | 57 | 28.6 | 61 |
| 实验4 | 3.44 | 57.1 | 53 | 29.4 | 49 | 27.7 | 53 | 29.3 | 59 |
| 实验5 | 3.48 | 55.6 | 57 | 28.7 | 53 | 26.9 | 62 | 29.4 | 63 |
| 实验6 | 3.43 | 58.3 | 55 | 30.4 | 51 | 27.9 | 60 | 30.0 | 58 |
| 评价 | — | 满足 ECE R95 要求 | | 后3次实验接近满足 ECE R95 要求,仅有 -5.7% 的超调量(约 20) | | 后3次实验基本满足 ECE R95 要求 | | — | — |

验6的1组摆臂碰撞加速度曲线、碰撞速度曲线。图8中, g 表示重力加速度;摆臂碰撞速度是由碰撞加速度换算得来中间曲线为实测的摆臂碰撞速度-时间曲线,上、下包络折线分别表示为 ECE R95 标准中规定速度的上、下限。从表1、图8中可以看出,6次验证实验中摆臂碰撞速度-时间曲线,全部满足 ECE R95 标准要求。

2.3.2 前摆基本角、后摆基本角、头颈弯曲角

图9为实验6的1组前摆基本角、后摆基本角、头颈弯曲角曲线(图9中,0时刻即为碰撞零点)。其中, $d\theta_{A \max}$ 为 30.4°(标准参考值:32° ~ 37°),发生

在碰撞零点后 49 ms(标准参考值:53 ~ 63 ms); $d\theta_{B \max}$ 为 27.9°(标准参考值:27.67° ~ 34.22°),发生在碰撞零点后 59 ms(标准参考值:54 ~ 64 ms); β_{\max} 为 58.3°(标准参考值:49° ~ 59°),发生在碰撞零点后 60 ms(标准参考值:54 ~ 66 ms)。其中, $d\theta_{B \max}$ 和 β_{\max} 的最大值及其发生时间均满足了 ECE R95 的要求; $d\theta_{A \max}$ 的最大弯曲角略微偏小,发生的时间略微提前。

从表1和图9中可以看出,6次验证实验中前摆基本角、后摆基本角、头颈弯曲角曲线,具有与实验6的相似特点,基本满足法规要求。

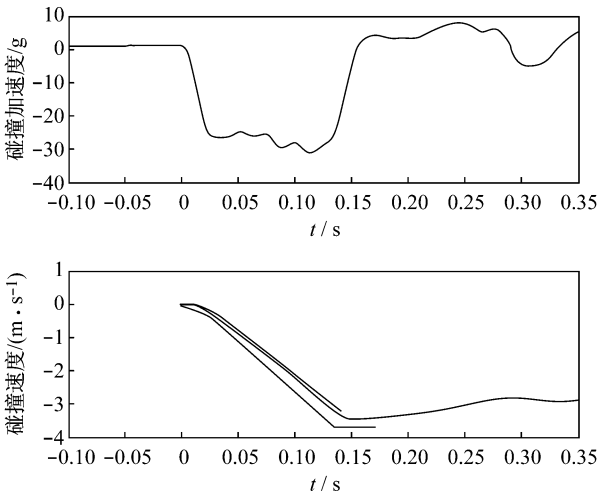


图8 摆臂的碰撞加速度、碰撞速度与时间关系曲线(实验6)
Fig.8 The impact acceleration and impact velocity-time curve of pendulum (Test No.6)

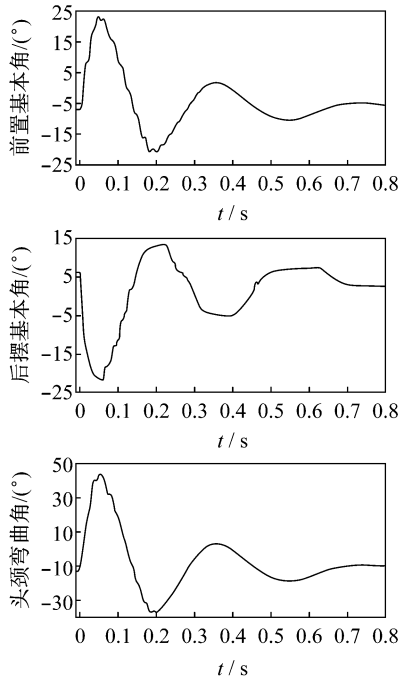


图9 ES-2 头颈组合体的弯曲角-时间曲线(实验6)
Fig.9 The flexion angle-time curve of ES-2 head-neck complex (Test No.6)

3 讨论与结论

3.1 本文建立的新技术方法

中国人体碰撞生物力学研究起步较晚^[3, 12],已经取得的主要进展在于头、胸、下肢等部位典型撞击伤的动物模型。关于包括侧碰假人在内的人体物理

模型及其配套技术,尚处于引进、消化、吸收阶段。例如,目前由于技术条件的限制,国内汽车碰撞试验室均采用全套引进或引进关键零部件的方法组建侧碰假人颈部标定系统。因此,迫切需要开发国产化的人体物理模型及其配套技术。

为了研制一种国产化的“ES-2型侧碰假人颈部标定系统”,本文针对“摆臂装置”和“头颈弯曲角测量装置”这2个关键设备,建立了2种新技术方法:

(1) 立足于国产钢材等原材料,引入“摆臂撞击原理”,优化设计整个摆臂的质量分布、惯性矩分布,所产生的摆臂初始速度、摆臂碰撞速度波形能够满足 ECE R95 法规要求。

(2) 立足于国内现有的角度传感器和测量技术,针对 ES-2 型侧碰假人颈部、头型物、3 个角度传感器之间的复杂的空间耦合关系,优化设计专门的空间耦合机构,实现这三者之间的精确耦合、顺滑传动;据此所建立的头颈弯曲角测量装置,能够较为准确地检测 ES-2 型侧碰假人颈部前摆基本角、后摆基本角、头颈弯曲角。

3.2 前摆基本角微小偏差的原因分析

比较表 1 中的实测数据与标准参考值可知: $d\theta_{B\max}$ 和 β_{\max} 基本达到了法规的要求,但 $d\theta_{A\max}$ 最大值约有 -5.7% 的微小偏差。造成前摆基本角微小偏差的可能原因,包括:

(1) 由于机械加工条件的限制,摆臂的质量分布、惯性参数与理论设计并非完全一致、存有一定的偏差。

(2) 由于 ES-2 型侧碰假人颈椎、头型物、3 个角度传感器的空间耦合关系复杂、精度要求高,他们之间的定位装置、联动装置可能存有不够完善之处。

(3) 假人颈部本身的力学特性可能出现微小的“功能退化”,引起整个颈椎假人模型刚度偏大。

3.3 结论

本文所建立的 ES-2 侧碰假人颈部标定系统,简便、实用,基本满足现行国际标准要求。其中,前摆弯曲角所存在微小测量偏差,可以通过后续改进措施予以修正。因此,该标定系统可能具有一定的国产化推广应用价值。

参考文献:

[1] Chen HB, Yang KH, Wang ZG. Biomechanics of whiplash

- injury [J]. Chin J Traumatol, 2009, 12(5):305-314.
- [2] 柳松杨, 从红, 王鹤, 等. 军机飞行员的颈部损伤研究[J]. 医用生物力学, 2010, 25(4): 262-265.
Liu SY, Cong H, Wang H, *et al.* Study on neck injuries in military pilots [J]. J Med Biomech, 2010, 25(4):262-265.
- [3] 王正国. 交通医学[M]. 天津:天津科技出版社,1997.
- [4] Byrnes K, Abramczyk J, Berliner J, *et al.* ES-2 dummy biomechanical responses [J]. Stapp Car Crash J, 2002, 46: 353-396.
- [5] Sutterfield A, Pecoraro K, Rouhana SW, *et al.* Evaluation of the ES-2re dummy in biofidelity, component, and full vehicle crash tests [J]. Stapp Car Crash J, 2005, 49: 481-508.
- [6] Been B, Philippens M, Lange RD, *et al.* WorldSID dummy head-neck biofidelity response [J]. Stapp Car Crash J, 2004, 48: 431-454.
- [7] Dibb AT, Nightingale RW, Chancey VC, *et al.* Comparative structural neck responses of the THOR-NT, Hybrid III, and human in combined tension-bending and pure bending [J]. Stapp Car Crash J, 2006, 50: 567-581.
- [8] ECE Regulation No. 95. Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to the protection of the occupants in the event of a lateral collision [S]. 1995.
- [9] 中国国家标准化管理委员会. GB 20071-2006 汽车侧面碰撞的乘员保护[S]. 2006.
- [10] 王瑄. 模拟人的试验装置——假人. 见: 王瑄, 李宏光, 赵航, 等. 现代汽车安全[M]. 北京:人民交通出版社, 1997: 130-143.
- [11] First Technology Safety Systems Corporation. ES-2 user manual [M]. 2002.
- [12] 徐中明, 张亮, 刘世谦. 基于汽车安全的碰撞生物力学研究综述[J]. 中国科技论文在线, <http://www.paper.edu.cn>. 2010: 1-7.

· 致读者 ·

关于缩略语使用的要求

摘要及正文中首次出现缩略语时应先写出其中文全称,再在括号内注明其英文全称及缩略语,二者之间以逗号隔开。缩略语的使用需规范、准确、避免出现缩略语相同的词语。公知公用的缩略语可不写出其全称,如“DNA”。缩略语不得拆开移行。

本刊编辑部
2011-04-20