DOI：10.13890/j.issn.1000-128X.2024.01.150

列车碰撞安全试验用假人的研究

张春玉[1]，郑成功[1]，杨　青[2]，程　林[2]，徐唐杰[3]，刘鑫光[2]
（1.中国长春轨道客车股份有限公司，吉林 长春 130062；
2.湖南赛孚汽车科技股份有限公司，湖南 长沙 410205；
3.湖南大学 汽车车身先进设计制造国家重点实验室，湖南 长沙 410082）

摘　要：针对列车碰撞场景与汽车碰撞场景中乘员损伤情况的不同，文章在传统的汽车正面碰撞试验假人（Hybrid Ⅲ-50th假人）基础上，参考人体乘员约束测试装置（THOR）假人结构，研制了可调角度的腰椎和立姿臀部模块；并重点研究了上腹部和下腹部生物力学响应特性，制作出可坐可站的列车碰撞安全试验用假人（H3-RS假人），使其既具备Hybrid Ⅲ-50th假人生物力学特性，又增加了上腹部和下腹部生物力学特性，更加符合列车碰撞安全试验需求；最后通过台车试验进行了初步验证，结果表明H3-RS假人在结构、功能和强度上基本满足试验需求。

关键词：列车安全；列车碰撞；H3-RS假人；生物力学特性；腹部；立姿

中图分类号：U271；U298　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1000-128X（2024）01-0077-08

0　引言

随着我国轨道交通事业的迅猛发展，轨道交通安全也面临着更严峻的考验[1]，列车发生碰撞事故时的乘员安全成为非常重要的研究课题。为了在列车碰撞时能有效减少碰撞冲击对乘员的损伤，列车研发时应开展碰撞测试，以优化列车内部结构和布局等，因此碰撞测试所需的假人对碰撞冲击环境下人体伤害程度的评估，以及对车辆安全性的评价具有重要作用[2]。

目前，国内外列车碰撞试验所用的假人主要是借用汽车碰撞假人——Hybrid Ⅲ-50th假人。相较于汽车乘坐环境，列车乘坐场景有两个重要区别：①列车座位前方一般会设置小桌板[3]；②当载客量较大时，列车中常有站立的乘客。列车的这种不同将会导致碰撞事故发生时其乘员损伤部位的不同，因此设计出更符合列车碰撞试验需求的假人非常必要。

国外相关机构对碰撞假人的研究起步较早，目前已开发Hybrid Ⅲ-50th-RS假人用于列车碰撞安全研究。2015年，英国运输研究实验室针对Hybrid Ⅲ-50th-RS假人和Hybrid Ⅲ-50th假人进行了对比测试，说明Hybrid Ⅲ−50th−RS假人更适合列车碰撞试验[4]。国内近年也有部分高校（四川大学、吉林大学、清华大学、湖南大学等）开展了汽车碰撞测试假人研究，并取得了一定成效；但在列车碰撞安全研究方面，仍主要基于有限元模型而开展，且受国外技术限制，国内还没有针对列车二次碰撞伤害研究的假人[5]。

在交通事故中，腹部是人体较容易受伤的部位之一，常发生钝性撞击损伤[6]。当列车发生碰撞事故时，腹部容易因列车小桌板的撞击而发生严重损伤[7]。站立的乘员由于其重心较高且完全没有约束，更容易产生损伤，甚至可能对座位上的乘员造成严重的二次伤害。目前市场上普遍使用的Hybrid III-50th假人，其一体式腹部结构简化、没有测量腹部入侵的传感器，不能定量评估腹部的损伤情况；且假人为坐姿，无法模拟站立的乘员[8]。

基于上述分析，本文以Hybrid III-50th假人为基础，结合目前汽车行业较为先进的THOR假人结构，研制了具有一定生物力学仿真度的假人腹部和可站立的假人臀部模块（通过更换臀部模块实现可坐可站的姿态），从而制成用于列车碰撞试验的H3-RS假人，最后进行了台车试验验证。

通信作者：杨　青（1991—），男，长期从事被动安全研究；E-mail: 863385518@qq.com
引用格式：张春玉, 郑成功, 杨青, 等. 列车碰撞安全试验用假人的研究[J]. 机车电传动, 2024(1): 77-84. DOI:0.13890/j.issn.1000-128X.2024.01.150.
Citation：ZHANG Chunyu, ZHENG Chenggong, YANG Qing, et al. Research on dummies used in train crash safety testing[J]. Electric drive for locomotives, 2024(1): 77-84. DOI:0.13890/j.issn.1000-128X.2024.01.150.

1 假人基本结构

1.1 假人的基本构造

碰撞测试假人是形态高度拟人化、结构功能仿生化、具有一定生物力学响应特性的“人体替身”，主要是在危险试验中作为真人的替身来完成试验，提高试验的安全性、重复性和可靠性。

H3-RS 假人基本结构如图 1 所示。该假人借鉴了

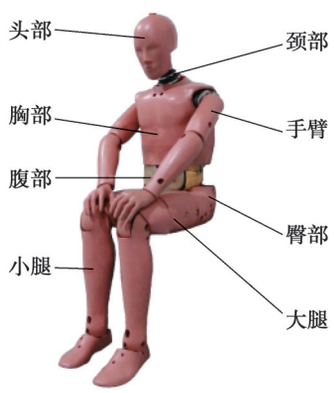

图 1 H3-RS 假人基本结构

Fig. 1 Basic structure of H3-RS dummy

THOR 假人的腹部及腰椎结构，修改了 Hybrid III-50th 假人的臀部以适应新的腹部结构[9]，其余部分沿用了 Hybrid III-50th 假人的结构，并确保躯干高度、质量、坐姿状态与 Hybrid III-50th 假人基本一致[8]。假人内部的特定位置可安装加速度传感器、载荷传感器、位移传感器等器件，以测量试验过程中假人各部位的响应数据。

1.2 假人的标定

作为替代人体进行碰撞试验的工具，假人应能真实反映人体在实际碰撞过程中的损伤响应情况，因此，在测试前需对假人各部位进行标定试验，使得假人在规定试验工况下的力学响应符合设计要求[10]。H3-RS 假人保留了 Hybrid III-50th 假人所有标定部位的性能要求，包括头部跌落、颈部弯曲和拉伸、胸部冲击、骨盆弯曲、膝部冲击和滑移以及足部冲击特性，以保证 H3-RS 假人的生物力学仿生性能。

依据已经掌握的 Hybrid III-50th 假人生产工艺，制作出 H3-RS 假人，并按照《汽车碰撞试验用人形实验装置校准规范》对 H3-RS 假人进行校准[11]，如图 2 所示，校准结果如表 1 所示。

表 1 H3-RS 假人标定结果

Table 1 Calibration results of H3-RS dummy

序号	标定项目	计量特性	技术指标	实测结果
1	头部跌落	合成加速度峰值/g	225.0~275.0	258.6
		二次振幅比/%	≤10.0	4.8
		横向加速度峰值/g	−15.0~15.0	5.5
2	颈部弯曲	“D”平面旋转角度峰值/（°）	−78.0~−64.0	−71.3
		最大转角时间/ms	57.0~64.0	59.1
		转角减至 0 时间/ms	113.0~128.0	116.0
		头颈部链接力矩峰值/（N·m）	88.1~108.4	101.3
		最大转矩时间/ms	47.0~58.0	50.5
		转矩减至 0 时间/ms	97.0~107.0	104.7
3	颈部拉伸	“D”平面旋转角度峰值/（°）	81.0~106.0	98.2
		最大转角时间/ms	72.0~82.0	77.2
		转角减至 0 时间/ms	147.0~174.0	157.8
		头颈部链接力矩峰值/（N·m）	−80.0~−52.9	−74.3
		最大转矩时间/ms	65.0~79.0	70.4
		转矩减至 0 时间/ms	120.0~148.0	140.2
4	胸部冲击	冲击力峰值/kN	−5.894~−5.160	−5.757
		胸部位移峰值/N	−72.60~−63.50	−65.14
		滞后率/%	69.00~85.00	79.72
5	骨盆弯曲	力矩 203 N·m 时骨盆角度/（°）	40.00~50.00	左侧：47.26；右侧：46.37
		角度 30 °时弯曲力矩/（N·m）	≤95.00	左侧：93.75；右侧：88.70
6	膝部冲击	冲击力峰值/kN	−5.780~−4.720	左侧：−5.392；右侧：−5.324
7	膝部滑移	位移−10.2 mm 时大腿力/kN	−1.72~−1.26	左侧：−1.33；右侧：−1.36
		位移−17.8 mm 时大腿力/kN	−3.10~−2.27	左侧：−2.65；右侧：−2.99
8	足上部冲击	脚踝力矩峰值/（N·m）	95.0~145.0	左侧：133.1；右侧：138.4
	足下部冲击	摆锤加速度峰值/g	245.0~345.0	左侧：277.1；右侧：297.4
	足下部冲击（穿鞋）	脚踝力峰值/kN	−3.80~−2.80	左侧：−3.24；右侧：−3.04

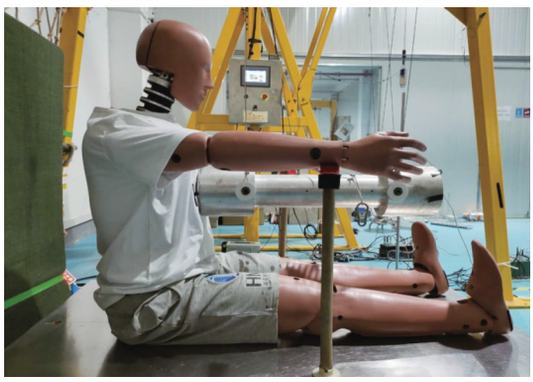

图2　H3-RS假人标定

Fig. 2　Calibration of H3-RS dummy

由表1可知，H3-RS假人标定数据均满足《汽车碰撞试验用人形实验装置校准规范》要求，说明H3-RS假人与Hybrid III-50th假人具有生物力学响应特性的一致性。

1.3　假人的立姿

H3-RS假人由坐姿变换为立姿的几个主要变化包括：膝关节的角度变化，臀部股骨的角度变化以及站立时腰椎角度的变化。由于H3-RS假人的膝关节变化是可以直接实现的，因此重点针对臀部股骨和腰椎部分进行了设计。

臀部保留了坐姿臀部的所有金属骨架，并根据人体大腿活动空间对两侧限制股骨运动的模拟肌肉进行分割，如图3所示，以保证股骨可以在坐姿和站姿所需要的区间活动。但由于臀部外侧肌肉不再是一个整体，立姿假人的臀部无法进行标定试验，不能满足生物力学响应的要求。

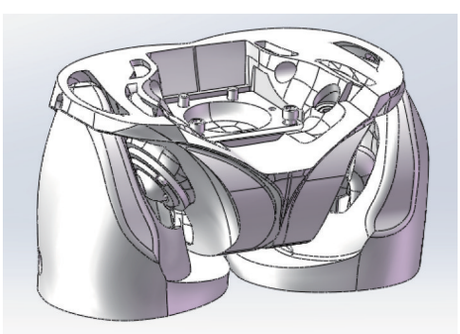

图3　H3-RS立姿假人臀部结构

Fig. 3　Hip structure of H3-RS standing dummy

H3-RS假人采用THOR假人腰椎，其下部通过腰椎连接板固定在臀部总成的盆骨上，其上部通过胸部适配器连接胸部总成，腰椎变位装置可以通过调节角度来实现坐姿与立姿的切换。腰椎屈曲关节为直腰椎，是由金属构件腰椎顶板、腰椎底板与橡胶注胶组成，腰椎由两根钢丝绳拉紧，受力可产生弯曲，其结构如图4所示。

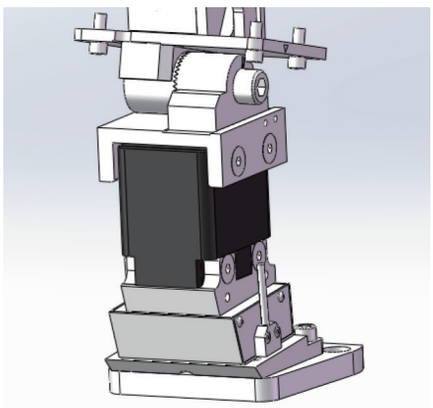

图4　H3-RS假人腰椎结构

Fig. 4　Lumbar spine structure of H3-RS dummy

2　假人腹部

为更好地模拟列车碰撞时乘员的损伤情况，重点研究了较易受到严重损伤的腹部。参考国外相关研究，H3-RS假人腹部设计借用了具有较高生物仿生度的THOR假人的腹部结构和生物力学响应特性要求，将腹部设计成上腹部和下腹部组合[12-13]，如图5所示。上腹部内部左右各安装1组可以测量腹部压缩量的三轴位移传感器，下腹部内部左右各安装1个拉线位移传感器，上下腹部的前端面用魔术贴连在一起，使其内部相互独立、外部能相互联动，更加符合人体受到冲击时腹部的运动状态。

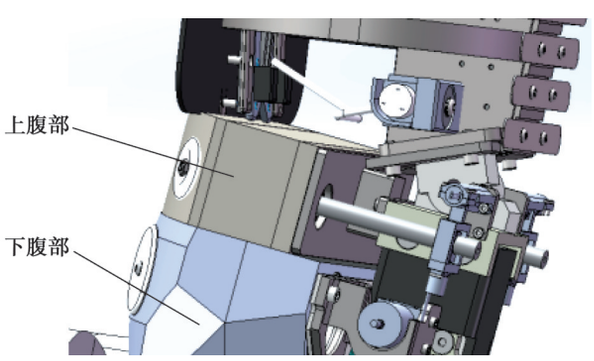

图5　H3-RS假人腹部结构

Fig. 5　Abdomen structure of H3-RS dummy

2.1　假人上腹部研究

2.1.1　上腹部的构造

假人上腹部由模拟真实人体腹部的材料成型而成，其生物力学特性与真人基本一致，同时采用三轴位移传感器单元测量其空间压缩量。上腹部结构如图6所示，主要包括上腹部魔术贴、上腹部泡沫层（前层泡沫、中层泡沫和后层泡沫）和两组三轴位移传感器单元等。其中，上腹部泡沫层的结构、材料类型及材料性能决定了其生物力学响应特性是否与真实人体具有一定的一致性。在H3-RS假人中，前层采用了聚氨酯泡沫，便于调节腹部外层硬度以使其软硬程度尽可能

模拟真实人体；中层采用了三元乙丙泡沫，便于调节腹部冲击性能以满足生物力学特性的要求；后层采用了丁腈橡胶，缓冲较小，有利于保护传感器及后层结构。通过调整下腹部内部泡沫硬度及其不同组合，制作出了满足生物力学响应特性的上腹部。

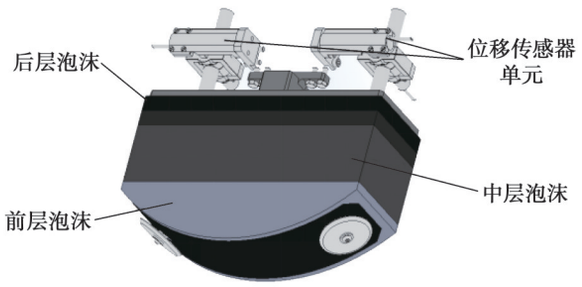

图6　H3-RS假人上腹部结构

Fig. 6　Upper abdomen structure of H3-RS dummy

2.1.2　上腹部的性能

参考针对THOR假人生物力学的相关研究，基于Nusholtz在1994年通过方向盘接触碰撞人体上腹部而得到的数据，得出冲击响应要求：假人上腹部压缩位移在41～50 mm时，冲击力需在5 220~6 380 N区间内。假人上腹部标定时，利用方向盘冲击器以8.0 m/s的速度撞击假人上腹部。其中，方向盘冲击器总质量为18 kg；前端方向盘冲击器直径为26.7 mm，对于垂直面呈30 °角；后端圆柱摆锤通过加速度传感器来获得摆锤冲击加速度，计算冲击力；上腹部位移通过假人中左右两个上腹部位移传感器单元测得，并计算其平均值[12-15]。

按照上述标定方法对H3-RS假人进行标定，如图7所示。通过不断调整上腹部内部3种泡沫的硬度及组合方式，最后得出后层采用2块邵氏硬度为70 HA的丁腈橡胶、中层采用邵氏硬度为18 HC的三元乙丙泡沫和前层采用邵氏硬度为5 HC的聚氨酯泡沫的组合，可满足试验要求，不同组合方式的试验数据如图8所示。由图8可知，加载曲线完全穿过生物力学响应特性要求的红色框区间，曲线走势平滑，连续3次试验数据稳定，说明这种组合的上腹部具有较好的生物力学特性。



图7　假人上腹部标定

Fig. 7　Calibration of the upper abdomen of the dummy

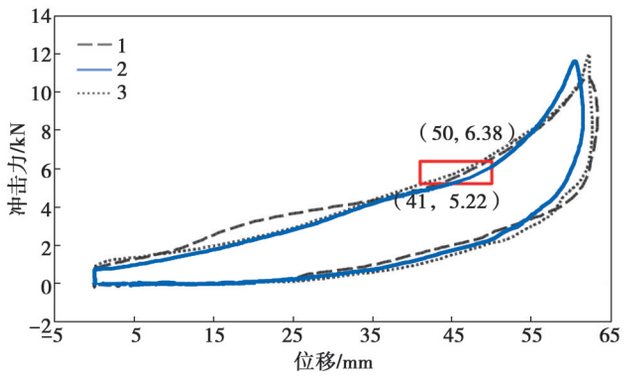

图8　上腹部标定数据曲线

Fig. 8　Calibration data curve of upper abdomen

2.2　假人下腹部研究

2.2.1　下腹部的构造

参考THOR下腹部的结构，保持下腹部传感器中心轴线孔距一致，并缩短高度。下腹部采用模拟真实人体腹部的材料成型，确保与真人有一致的生物力学响应特性，同时采用单轴的拉线位移传感器测量下腹部的压缩位移。下腹部的内部构造如图9所示，主要包括下腹部泡沫、下腹部袋、两个拉线位移传感器等。其中下腹部泡沫层分为前层泡沫、中层泡沫和后层泡沫，参考上腹部的材料，前层选择了聚氨酯泡沫，中间层采用了假人常用的PVC皮肤料[16]，后层采用三元乙丙泡沫。

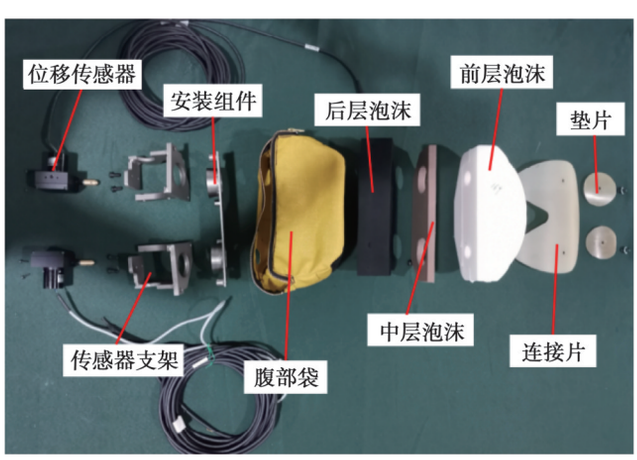

图9　H3-RS假人下腹部内部构造

Fig. 9　Internal structure of the lower abdomen of H3-RS dummy

2.2.2　下腹部的性能

参考THOR假人腹部的生物力学响应特性要求，基于Cavanaugh在1996年对尸体下腹部所进行的低强度冲击测试，得出冲击响应要求：假人下腹部位移在49~60 mm时，冲击力需在2 200~2 700 N以内。试验所用摆锤前部有T型冲击器，如图2所示，其前端横杆直径为25 mm，长度为30 cm，摆锤总质量为32 kg，冲击速度为4.9~7.2 m/s，平均速度为（6.1±0.1）m/s[12-15]。

按照上述标定试验方法对H3-RS假人下腹部进行

标定，通过调整腹部泡沫的不同硬度和组合方式，按照如表2所示的组合方案进行试验研究，确定出满足上述生物力学响应特性的下腹部，试验曲线如图 10 所示。

表2　腹部3层结构试验组合

Table 2　Abdominal test combination of three-layer structure

分组	前层泡沫/HC	中层泡沫/HA	后层泡沫/HC
1	20	45	30
2	20	52	30
3	20	52	18

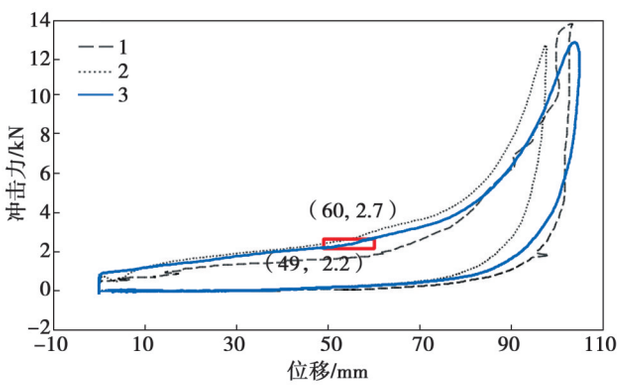

图10　下腹部标定数据曲线

Fig. 10　Calibration data curve of lower abdomen

由图10可知，第1组组合方式数据表现偏软，第2组组合方式数据表现略偏硬，第3组组合方式数据所表现出来的性能最优，曲线穿过了红色框所表示的限定区间的大部分范围，且走势平滑，由此说明采用第3组的“邵氏硬度 20 HC 的聚氨酯泡沫前层+邵氏硬度 52 HA 的聚氯乙烯泡沫中间层+邵氏硬度 18 HC 的三元乙丙泡沫后层”的3层结构方式研制的下腹部是比较合理的，具有较好的生物力学响应特性，适合于评估列车碰撞试验对人体的损伤。

3　台车试验

3.1　试验基本设置

高速列车碰撞模拟试验的基本设置如下：在车头前端安装一级、二级防爬吸能结构；后端台车通过配重模拟车厢重量，其中台车质量为 48.66 t，车头质量为 12.2 t；将司机座椅安装在车头内，H3-RS 假人放置在座椅上并通过三点式安全带进行约束，脚部平稳踩踏在连接车体地板的垫板上；增加宽松的安全绳防止假人飞出，检查调整假人各关节确保其活动正常。台车加速器曲线参照 GM/RT 2100 issue 5 标准中的列车碰撞加速度要求，碰撞速度设置为（21±0.5）km/h，列车试验如图 11 所示。



图11　高速列车模拟试验

Fig. 11　High-speed train simulation test

3.2　试验数据分析

3.2.1　假人姿态分析

试验选取了安全带安装立柱位置为 x 方向参考原点，以假人头部质心位置、手肘关节点、脚踝关节点为测量点，对其试验前后 x 方向的距离变化进行记录，以考察碰撞前后假人在 x 方向的姿态变化。碰撞前后假人姿态如图 12 所示，测量点的位置变化如表3所示。



(a) 碰撞前　　(b) 碰撞后

图12　假人姿态变化

Fig. 12　Posture changes of the dummy

表3　假人姿态变化

Table 3　Posture changes of the dummy　　mm

部位	测量点对原点的距离及变化量		
	碰撞前	碰撞后	变化量
头部	370	525	155
肘关节	365	538	173
踝关节	750	982	232

由图 12 和表 3 可知，列车发生碰撞时，假人由于惯性产生向前的位移，安全带对乘员起到了一定的约束保护作用。基于该假人，可通过标记点记录碰撞试验中假人姿态的变化，以方便乘员约束系统保护效果的评估。

3.2.2　测试数据分析

H3-RS 假人生物力学仿生性能已通过对各部位的标定试验进行了验证。在台车试验中，为验证假人各部位能够有效测试数据，进而用于列车碰撞试验的人

体损伤评估，通过在假人的头部、颈部、胸部、腹部、腰椎根部，以及下肢安装的不同传感器，获取了假人不同部位的损伤指标。假人各部位传感器测量数据如图 13 所示，根据测试数据计算获得的假人部分损伤指标如表 4 所示。

结合图 13 和表 4 可知，H3-RS 假人各部位安装的传感器均可正常采集数据，通过这些数据可以计算人体损伤指标用于评估；本设计新增加的上腹部和下腹部均采集到有效数据，因此，H3-RS 假人可为列车碰撞中人体腹部伤害的研究提供重要的测试工具。

由于目前轨道交通行业使用实体假人进行列车碰撞测试的相关研究较少，乘员损伤评判指标较少，而且相关标准与汽车行业不同，因此本文仅仅通过 H3-RS 假人获得的损伤指标计算给出了损伤值，验证了 H3-RS 假人结构、功能的有效性，未基于指标进行损伤情况的分析评判。

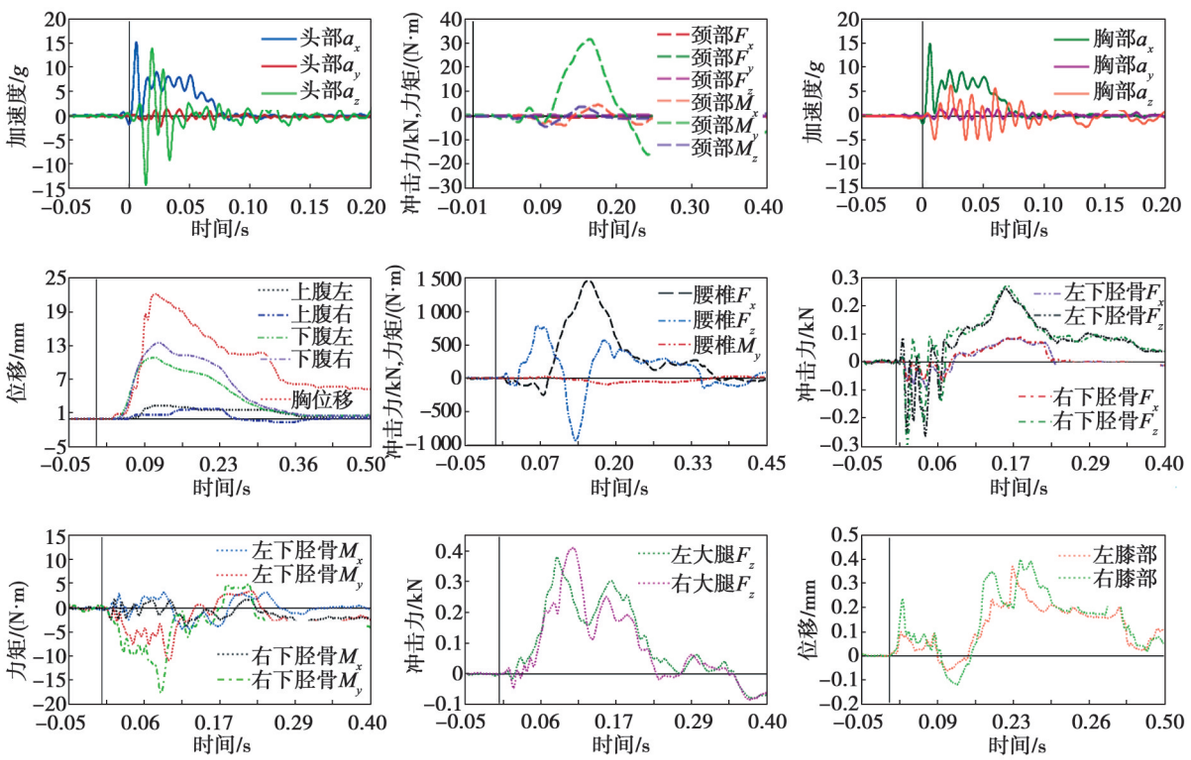

图 13　假人测试数据

Fig. 13　Dummy test data

表 4　损伤指标

Table 4　Damage index

部位	损伤指标	损伤值	部位	损伤指标	损伤值
头部	3 ms 合成加速度 a_r	11.94g	下腹部	压缩位移 $D_{\text{L-abdomen}}$	12.17 mm
	头部伤害指标 H_{HIC15}	5.89	腰椎	剪切力 F_x	1.46 kN
颈部	剪切力 F_x	0.44 kN		张力 F_z	0.93 kN
	张力 F_z	0.46 kN		伸张弯矩 M_y	88.35 N·m
	伸张弯矩 M_y	31.93 N·m	左大腿	压缩力 F_z	0.38 kN
	颈部伤害指标（拉伸伸展）N_{te}	0.117	右大腿	压缩力 F_z	0.41 kN
	颈部伤害指标（拉伸屈曲）N_{tf}	0.007	左膝部	滑移 D_{knee}	0.40 mm
	颈部伤害指标（压缩伸展）N_{ce}	0.188	右膝部	滑移 D_{knee}	0.35 mm
	颈部伤害指标（压缩屈曲）N_{cf}	0.103	左小腿	压缩力 F_z	0.26 kN
胸部	压缩量 D_{chest}	22.17 mm		胫骨指数 T_{I}	0.05
	粘性指标 V_c	0.15 m/s	右小腿	压缩力 F_z	0.29 kN
	3 ms 合成加速度 a_r	10.44g		胫骨指数 T_{I}	0.08
上腹部	压缩位移 $D_{\text{U-abdomen}}$	1.87 mm			

4　结论

本文研究得出如下结论：

①以 Hybrid Ⅲ-50th 假人为基础研制了 H3-RS 假人，通过标定试验使该假人具备了 Hybrid III-50th 假人的各项生物力学响应指标。

②对立姿 H3-RS 假人进行了研究，通过更换臀部模块和调整腰椎角度实现了坐姿与立姿假人的转换。

③针对在列车碰撞时较易受伤的腹部，为更准确地测量损伤情况，将 H3-RS 假人腹部设计成上腹部和下腹部，并对其结构和生物力学特性进行研究，研制出满足生物力学响应特性要求（该特性分别由 Nusholtz 在 1994 年、Cavanaugh 在 1996 年提出）的上腹部和下腹部。

④通过台车试验验证了 H3-RS 假人在结构、功能和强度上符合列车碰撞试验的需求，假人各部位可以有效获取试验数据，可计算出相应的损伤指标以评估列车碰撞中乘员的伤害情况，为列车碰撞中乘员防护体系的评估和完善提供了测试工具。

参考文献：

[1] 刘彬, 肖守讷, 杨冰, 等. 吸能装置对列车碰撞能量吸收的影响研究[J]. 机车电传动, 2019(5): 29-33.
LIU Bin, XIAO Shoune, YANG Bing, et al. Study on impacts of energy absorbing devices on train collision energy absorption[J]. Electric drive for locomotives, 2019(5): 29-33.

[2] 秦永刚,李艳松. 新一代智能化假人[J]. 汽车与安全, 2000(3): 18-19.
QIN Yonggang, LI Yansong. A new generation of intelligent dummies[J]. Automobile and safety, 2000(3): 18-19.

[3] 刘雅浓, 潘振华, 马浩然, 等. 动车组智能座椅系统设计[J]. 科技创新与应用, 2021, 11(32): 76-79.
LIU Yanong, PAN Zhenhua, MA Haoran, et al. Design of intelligent seat system of EMU[J]. Technology innovation and application, 2021, 11(32): 76-79.

[4] DAVID Hynd, CLAIRE Willis. Sled tests using the hybrid III rail safety ATD and workstation tables for passenger trains[R]. Washington: Federal Railroad Administration, 2017.

[5] 张乐乐, 佟鑫, 卫亮. 基于拟人仿真试验的列车事故乘员损伤预测方法及应用[J]. 中国铁道科学, 2018, 39(3): 117-124.
ZHANG Lele, TONG Xin, WEI Liang. Prediction method and application of occupant damage in train accident based on anthropomorphic simulation experiment[J]. China railway science, 2018, 39(3): 117-124.

[6] 陈吉清, 杜天亚, 兰凤崇, 等. 汽车碰撞中乘员腹部损伤机理及生物力学响应研究进展[J]. 汽车工程学报, 2015, 5(2): 79-89.
CHEN Jiqing, DU Tianya, LAN Fengchong, et al. Research progress in injury mechanism and biomechanical response of human abdomen during a car crash[J]. Chinese journal of automotive engineering, 2015, 5(2): 79-89.

[7] PARENT D, Tyrell D, PERLMAN B, et al. Evaluating abdominal injury in impacts with workstation tables[J]. Transportation research record, 2005, 1908(1): 205-213.

[8] 湖南赛孚汽车科技股份有限公司. Hybrid III 50 百分位男性假人用户手册[Z]. 长沙: 湖南赛孚汽车科技股份有限公司, 2020.
Hunan Saifu Automotive Technology Co., Ltd.. User manual of Hybrid III 50th male dummies[Z]. Changsha: Hunan Saifu Automotive Technology Co., Ltd., 2020.

[9] National Transportation Biomechanics Research Center. Biomechanical response requirements of the thor nhtsa advanced frontal dummy: GESAC-05-03[R]. Boonsboro: General Engineering and Systems Analysis Company, 2005.

[10] 鲁鑫. 汽车正面碰撞假人胸部设计及标定研究[D]. 长春: 吉林大学, 2017.
LU Xin. Study on design and calibration of dummy chest in frontal collision of automobile[D]. Changchun: Jilin University, 2017.

[11] 全国振动冲击转速计量技术委员会. 汽车正面碰撞试验用人形实验装置校准规范: JJF 1230—2009[S]. 北京: 中国计量出版社, 2009.
National Technical Committee for Vibration and Impact Speed Measurement. Calibration specification of the anthropomorphic test device in vehicle frontal collision test: JJF 1230—2009[S]. Beijing: China Metrology Publishing House, 2009.

[12] ESHRAGHI S, SEVERSON K, HYND D, et al. Finite element model validation of the Hybrid-III rail safety (H3-RS) anthropomorphic test device (ATD) [C]//ASME. ASME 2018 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. Pittsburgh, Pennsylvania: ASME, 2018.

[13] DAVID H, JOLYON A C, KRISTINE S. Abdomen impact testing of the Hybrid III rail safety (H3-RS) anthropomorphic test device[C]//IRCOBI. 2017 IRCOBI Conference. Antwerp: IRCOBI, 2017.

[14] National Transportation Biomechanics Research Center. Thor certification manual: GESAC-05-04[R]. Boonsboro: General Engineering and Systems Analysis Company, 2005.

[15] CAVANAUGH J M, NYQUIST G W, GOLDBERG S J, et al. Lower abdominal tolerance and response[C]//SAE. 30th Stapp Car Crash Conference. Delft: SAE, 1986: 611-633.

[16] 王文权, 李文茉, 梁平, 等. 汽车碰撞假人皮肤的制备及其力学性能测试[J]. 吉林大学学报(工学版), 2019, 49(1):

192-198.
WANG Wenquan, LI Wenmo, LIANG Ping, et al. Preparation and mechanical property analysis of automobile collision dummy skin[J]. Journal of Jilin university(engineering and technology edition), 2019, 49(1): 192-198.

Research on dummies used in train crash safety testing

ZHANG Chunyu[1], ZHENG Chenggong[1], YANG Qing[2], CHENG Lin[2], XU Tangjie[3], LIU Xinguang[2]

(1. CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., Changchun, Jilin 130062, China; 2. Hunan Saf Automobile Technology Co., Ltd., Changsha, Hunan 410205, China; 3. State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body, Hunan University, Changsha, Hunan 410082, China)

Abstract: In view of the difference in occupant damage between car crash scenarios and train collision scenarios, adjustable-angle lumbar spine and standing hip modules were developed based on the traditional automobile frontal crash test dummy (Hybrid III-50th dummy) with reference to the dummy structure of test device for human occupant restraint (THOR). Focus was given to the study of the biomechanical response characteristics of the upper and lower abdomens, and a train crash safety test dummy (H3-RS dummy) that can sit and stand was produced. This dummy possesses both the biomechanical characteristics of the Hybrid III-50th dummy and those of upper and lower abdomens, and so is more suitable for train crash safety test. Finally the preliminary verification test was carried out through the trolley test. The results demonstrate that the H3-RS dummy basically meets the test requirements in terms of structure, function, and strength.

Keywords: train safety; train crash; H3-RS dummy; biomechanical properties; abdomen; standing posture

收稿日期：2021-09-15；修回日期：2023-08-27