

Causes and Countermeasures of Abnormal Femur Force of Dummy Based in Knee Mapping Test

Hongfeng CUI¹, Huowang WAN^{1,2}, Xingxing FENG^{1,2}

¹China Automotive Engineering Research Institute Co.,Ltd., Chongqing, China

²State Key Laboratory of Vehicle NVH and Safety Technology, Chongqing, China

Email: cuihongfeng@caeri.com.cn

Abstract: Knee Mapping test is an evaluation method to verify the knee injury of drivers and passengers in traffic accidents, and it is widely used. The femur force of dummy is one of the key indexes to judge the test results. However, abnormal compression force often appears in the femur force curve, which affects the judgment of test results. Based on the test data of 7 vehicles, this paper analyzes the four key nodes of femur force curve, discusses the abnormal performance and causes of femur force curve, and finds out the solution. Finally, the feasibility of the scheme is verified by experiments.

Keywords: Knee mapping test; Femur force curve; Leg placement; Abnormal compressive force

KNEE MAPPING试验中假人大腿力异常的原因及对策

崔洪峰^{1,2}, 冯星星^{1,2}

¹中国汽车工程研究院股份有限公司, 重庆, 中国, 401122

²汽车噪声振动和安全技术国家重点实验室, 重庆, 中国, 401122

Email: cuihongfeng@caeri.com.cn

摘要: Knee Mapping 试验是验证交通事故中汽车对驾乘人员膝部损伤的一种评估方式, 被广泛采用。假人大腿力是试验结果判定的关键指标之一。但大腿力曲线常出现异常压缩力, 影响试验结果判定。本文综合 7 个车型的试验数据, 分析了大腿力曲线构成的 4 个关键节点, 并深入讨论了大腿力曲线的异常表现及形成原因, 并找出了解决方案。最终通过试验, 验证了方案的可行性。

关键词: Knee mapping 试验; 大腿力曲线; 腿部摆放; 异常压缩力

1 引言

2023 中国汽车产销量分别达到 3016.1 万辆和 3009.4 万辆, 创历史新高, 连续 15 年位居全球第一。随着汽车行业的不断发展, 消费者对于汽车被动安全的要求也越来越高, 研究也越来越广泛。从陆凯基于全球汽车被动安全系统法规及新车评价规程(NCAP), 提出了多个产品解决方案, 为汽车主被动安全产品的设计提供了研究方向^[1], 到秦豪毅等发现驾驶员开车的行为变化对身体各部位的损伤程度也有影响, 为汽车的安全提供了新的思路^[2]; 从对驾乘人员头部、颈部、胸部等上半身安全性能的研究, 如张倩等通过对比汽车副驾和驾驶员后排位置的 Hybrid III 5 百分位假人的头、颈、胸、腹部、大腿和骨盆等身体部位的伤害值, 发现在同一交通事故中副驾受到的损伤比主驾后排较小^[3]。到对膝部的安全性能的关注, 如李威等基于 2021 版 C-NCAP, 提出了优化汽车仪表板的设计方法, 为提升乘员膝部保护性能提供了一个可行的角度^[4]。国内外对于新车被动安全的评价体系主要有 Euro NCAP、C-NCAP 和 C-IASI, 这三套体系均引入了滑台 Knee Mapping 试验考察汽车对驾乘人员膝部安全的保护性能。

Knee Mapping 试验的结果会影响整车被动安全性能的总体评价, 是实车试验的补充, 验证驾乘员下肢伤害的一种有效的全面的评估方式^[5]。通过基于 Knee Mapping 试验的研究, 已经提出了诸多汽车的优化方案以降低假人膝部伤害。例如杨领军等通过 Knee Mapping 仿真分析及优化, 提出了可以降低膝部伤害的汽车转向管柱及

相关件的设计建议^[6]。Knee Mapping 试验中，假人大腿力表现至关重要，其不只会代表试验结果的好坏，还代表试验结果是否有效。只有在试验结果有效且满足评价标准要求才能代表测试通过。杨领军^[6]和刘珍海的《Euro-NCAP 大腿伤害评价及性能提升》^[7]中对此都有提及。

所以此试验工况对假人大腿力要求较高，这也导致笔者在进行此试验的时候会更加关注假人的大腿力表现。在实际试验过程中，笔者发现假人大腿力易出现异常的压缩力，影响到试验结果的有效性判定，出现纵使大腿力满足评价标准要求而测试车型依旧不能通过试验这种情况。试验判定失效会降低测试车型的评价，汽车厂商需要花费更多时间和成本重复验证，还会降低 Knee Mapping 试验在验证驾乘人员下肢伤害准确性和有效性。而国内外学者对大腿力表现的研究多分布于其他工况，如姜章豪《MPDB 工况 Thor 假人损伤特性分析与约束系统优化》^[8]。而 Knee Mapping 试验工况下尚未有相关方面研究。本文将基于 Knee Mapping 试验工况，深入讨论假人大腿力异常问题的具体表现、形成原因，并提出相应的解决方案，优化假人大腿力表现，从而避免因此问题造成成本增加。

2 Knee Mapping 试验及大腿力要求简介

2.1 试验简介

2.2.1 风险区域划分

Knee Mapping 试验的风险区域划分由实车试验后假人膝部与仪表接触印记决定。具体范围是：在垂直方向上膝部印记最高点上下延伸 50mm；在水平方向上，对于外侧腿，它从转向管柱的中心/乘客座椅中心线延伸到仪表板的末端，对于内侧腿，它从转向管柱的中心/乘客座椅中心线向内侧延伸相同的距离；深度上自印记最低点起向仪表内延伸 20mm。在划定的风险区域内选择可能会造成膝部损伤的风险点，通过 Knee Mapping 试验对其进行验证，当假人膝部与其稳定接触后是否会产生超过限值的膝部损伤。风险点位于外侧风险区域则假人外侧腿为主要支撑腿，内侧腿为次要支撑腿；位于内侧风险区域则内侧腿为主要支撑腿，外侧腿为次要支撑腿。

2.1.2 试验设置

Knee Mapping 试验在滑台上进行，模拟实车碰撞波形。测试车型白车身安装在滑台上，所有可能影响膝部碰撞保护性能的部件都要安装在白车身内，包括完整汽车仪表、内饰、座椅等约束系统。通常使用 Hybrid III 95 百分位假人进行测试。座椅按规程调节到指定位置向后 30mm，转向管柱调节到角度最上，轴向中间位置，其他调整到厂家设计位置^[9]。

2.1.3 假人摆放

假人调节分为两次，第一次按照规程调节，第二次在第一次基础上，以假人膝部与风险点的稳定接触为目的，尽量少的偏离第一次调整后的假人姿态。

第一次调节假人其 H 点应位于 SAE J826 装置测量的 H 点后 30mm 处，骨盆角应为 22.5°，头部水平角度应为 0°。驾驶员手应放在方向盘上，乘员手应放在大腿两侧。躯干应与座椅中心线对齐。大腿与小腿应处于同一垂直面内。左脚应尽可能放在平行于车辆中心点的足板上。右脚应放置于未踩下的加速踏板上，脚跟应放在地板上^[10]。

如图 1，为第二次调整后的假人姿态。第二次调节假人时基于假人膝部与风险点（图 1 位置 4 标记处）的稳定接触的目的，可以对假人手和手臂、躯干、大腿以及脚部进行调整偏移。风险点位于方向盘右侧，右腿为主要支撑腿。为保证其与风险点的稳定接触，将右脚往后移动，左脚往内侧移动，见位置 1 处；将假人大腿中间塞入泡沫垫块，见位置 3 处；左侧膝盖向外倾斜，大腿与小腿未处于同一垂直平面内，见位置 2 处。

假人摆放完成后进行涂色，标记并拍照记录。使用高速摄像记录碰撞过程中的假人运动姿态。完成一次模拟碰撞后，采集假人大腿数据进行分析判断假人膝部的损伤是否超标。



Figure 1. Dummy posture

图 1. 假人姿态

2.2 大腿力要求

假人大腿力的判断条件有三个：

- 假人主要支撑腿（以下称主要腿）的大腿力不能超过允许的最大限值。
- 假人主要支撑腿的大腿力要大于次要支撑腿（以下称次要腿）。
- 假人主要支撑腿要先于次要腿撞击仪表板。

第一点是评价标准要求，二、三点为试验有效性判定要求。假人大腿力分为拉伸力和压缩力。而大腿力伤害评价则以压缩力为主^[8]。假人大腿结构与传感器布置原理及位置如图 2，大腿力传感器受压，即膝盖受到撞击，力从膝盖和大腿指向大腿力传感器方向，向后压缩，此时大腿力为负值为压缩力；大腿力传感器受拉，即膝盖往前运动，大腿往后运动，力从大腿力传感器指向膝盖和大腿方向，向前拉伸，此时大腿力为正值为拉伸力^[11]。

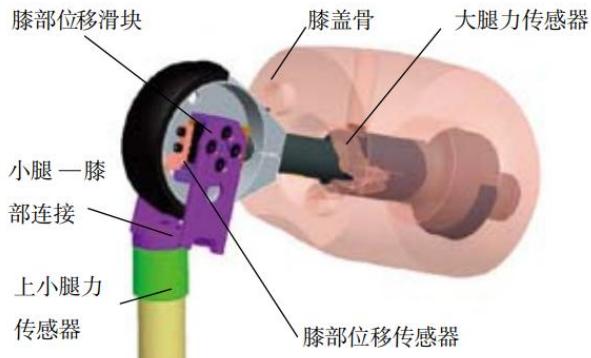


Figure 2. Connecting structure of femur and tibia

图 2. 大腿和小腿连接结构^[12]

以某车型的一次 Knee Mapping 试验为例，假人大腿力曲线如图 3 所示，其中蓝色为次要腿，红色为主要腿。以主要腿为例，图上有 ABCD 4 个临界点，其中 A 点为碰撞试验开始时刻，此时大腿力为 0，随后逐渐上升，呈正值，此过程膝盖向前移动，大腿受到拉力。B 点为膝盖与汽车仪表板接触时刻，此时大腿力上升达到峰值，膝盖开始受到仪表板的挤压，产生压力，并随着膝盖深入逐渐增大，与拉力相消，呈现出拉力减小的趋势。C 点为拉力与压力相等，膝盖受力平衡为 0，往后压力继续增加，大腿呈现只受到压力状态。D 点为大腿受压最大值，膝盖撞击深入仪表板达最大值，随后假人反弹大腿逐渐离开仪表，大腿所受压力逐渐减小，最后趋于平稳。

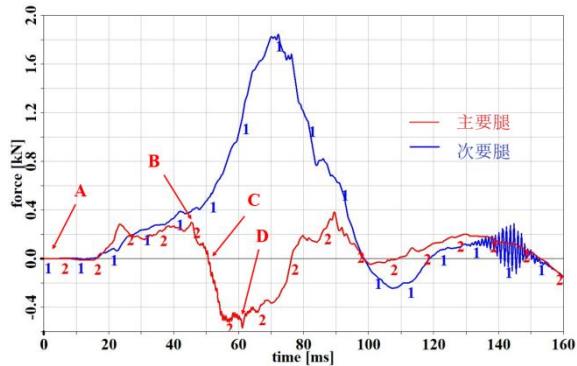


Figure 3. Curve of femur force in a test

图 3. 某次试验大腿力曲线图

以上为 Knee Mapping 试验的大腿受力分析。而理论上主要腿（红色）应承载该次碰撞的主要载荷，次要腿（蓝色）应不承载载荷或承载较小载荷^[13]，且主要腿必须先于次要腿撞击到汽车仪表板。如图 3 所示，蓝色曲线为次要腿力曲线，该次试验假人大腿与仪表接触时刻为 46ms，90ms 离开仪表，在此时间段内，次要腿未受压缩力。图 4 所示为次要腿承载较小载荷的大腿力曲线，该次试验假人大腿与仪表接触时刻为 36ms，离开时刻为 119ms，在此时间段内，次要腿受到较小压缩力。Knee Mapping 试验关于大腿力的要求从大腿力曲线上分析主要分为两种情况：1、次要腿不承载载荷，即在撞击过程中次要腿未撞击汽车仪表，曲线一直在 0 线以上，此时则不用考虑两大腿与仪表撞击先后，如图 3 蓝色曲线；2、次要腿承载较小载荷，如图 4，此时需要考虑大腿力的大小和撞击时刻的先后。即次要腿的 B₂ 点在 X(时间)轴上应位于主要腿 B₁ 后，表示主要腿先于次要腿撞击仪表。而 D₂ 点在 Y 轴（大腿力）上应位于主要腿 D₁ 的上方，表示次要腿力小于主要腿。

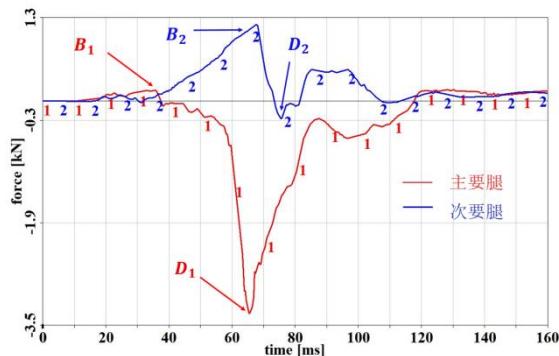


Figure 4. Secondary leg under small load femur force curve

图 4. 次要腿承受较小载荷大腿力曲线

3 问题描述及原因分析

而在实际的试验过程中，次要腿的力曲线易出现异常压缩力。基于此，引入一个伪 B 点的概念，其特征为：1、在受力曲线上会如同正常 B 点一样，其后会紧接一个类似膝盖受力平衡为 0 的 C 点和一个受压缩力的 D 点；2、在该点对应时刻假人膝盖与汽车仪表并未发生碰撞（通过高速视频观察），即此点并非由膝盖撞击仪表导致。如图 5，次要腿会先于主要腿 B₁ 点出现一个伪 B 点 B₂₋₁。由高速视频观察得知，点 B₂₋₁ 对应时刻膝盖并未与汽车仪表发生碰撞，此点并非由膝盖与仪表撞击形成，由其他原因造成。伪 B 点的出现表示次要腿先于主要腿受到载荷，不符合试验结果的判定。而次要腿膝盖真正受力位于点 B₂₋₂ 对应时刻，点 B₂₋₂ 位于主要腿 B₁ 点之后，符合我们试验结果的判定条件。一次试验由于受力曲线出现伪 B 点的原因可能出现两种不同的判定结果，所以我们有必要进一步分析此问题形成原因，尽可能消除伪 B 点。

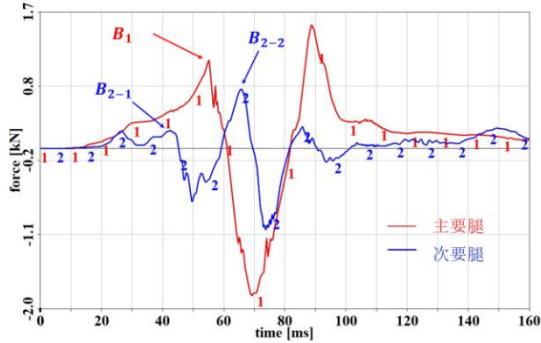


Figure 5. Curve: Secondary leg abnormal femur force curve

图 5. 次要腿大腿力异常曲线

影响大腿压缩力的因素有仪表板刚度、前围板侵入量、腿部空间、乘员坐姿、座椅刚度、安全带配置和车身加速度等^[14]。而在同一车型的 Knee Mapping 试验中，仪表板刚度、座椅刚度、安全带配置和车身加速度都是不变的。而前围板侵入量和腿部空间都跟乘员坐姿即假人摆放姿态有关，假人摆放姿态则为唯一变量。而 Knee Mapping 试验中对假人大腿力影响最大的为腿部摆放位置。

纵向对比以往出现此异常的试验数据，找到了在假人腿部摆放时出现的几个频次较高的特征：①假人脚部不固定，会在碰撞过程中向前移动；②膝盖位置较低；③小腿与大腿夹角偏大^[15]（超过 90°）；④膝盖过于向车辆内侧偏移，试验过程中会与副仪表板接触摩擦。如图 6 左，右腿为次要腿，左腿为主要腿。主要腿有绑带固定，次要腿无，且次要腿高度明显过低，大腿与小腿夹角过大。而图 6 右假人右侧大腿紧贴副仪表板，势必在其运动过程中发生摩擦。究其原因，特征①是为了让次要腿撞击到仪表板时，不出现稳定的膝部接触（Knee Mapping 试验规程中，对于主要支撑腿需固定其脚部，防止其向前移动，形成稳定的膝部接触），让该腿承受载荷的时候会因为脚部的滑移而卸力，减小其膝部载荷。特征②、③和④则均是能让次要腿获得更大腿部空间，增加其与仪表的直线距离，延后其与仪表的接触时间，降低其所受载荷。且压低膝盖可以降低小腿与地板的夹角，能有效降低大腿的伤害^[16]。

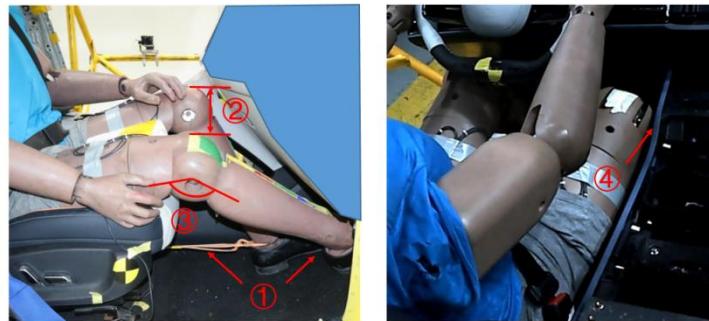


Figure 6. Dummy placement characteristics

图 6. 假人摆放特征

为了过滤掉干扰特征，将大腿力异常与未异常的试验进行横向对比，见表 1。分析数据发现上述②、③特征与大腿力异常并无相关性，而出现特征④只有 4 次，但此 4 次试验大腿力都出现异常，且特征④会单独出现，可以判断特征④为一个大腿力异常的影响因素。

出现特征①高达 35 次，而大腿力异常 14 次（除去独立由特征④引起的一次后），大腿力异常几乎都伴有特征①，但并不是每次有特征①都会出现异常。于是，继续细分特征①，剔除掉非影响因素。通过高速视频分析带有特征①的 35 次试验，发现大腿在与仪表接触前存在两种运动轨迹：一种是大腿与小腿角度几乎不变，整条下肢维持角度向仪表方向平移。另外一种是小腿向前移动速度大于膝盖向前移动速度，即整条下肢向前运动的同时小腿会围绕膝盖向仪表方向旋转。前者定为特征⑤，后者定为特征⑥，这两者是互异的。统计发现大腿力异常的 14 次均出现特征⑥，未异常的均是特征⑤。因此，特征⑥定为大腿力异常的影响因素之一。

Table 1. Resulting of experiment
表 1. 试验结果

车型	试验号	大腿力异常	特征①	特征②	特征③	特征④	特征⑤	特征⑥
车型 1	1		√	√			√	
	2	√	√					√
	3		√		√		√	
	4		√				√	
	5	√	√					√
车型 2	1		√	√			√	
	2		√				√	
	3	√	√					√
	4	√	√					√
	5							
车型 3	1	√	√			√		√
	2		√				√	
	3		√				√	
	4		√	√	√		√	
	5		√				√	
车型 4	1	√	√					√
	2	√	√	√		√		√
	3	√	√					√
	4		√				√	
	5							
车型 5	6		√				√	
	1	√	√			√		√
	2		√	√	√		√	
	3		√				√	
	4		√	√	√		√	
车型 6	5							
	6		√	√	√		√	
	7	√	√	√	√			√
	1		√				√	
	2	√	√	√	√			√
车型 7	3							
	4	√	√					√
	5		√				√	
	6	√	√					√
	7		√	√	√		√	

综上，会导致大腿力异常的影响因素有两个：一是膝部过分偏移导致试验过程中与副仪表板摩擦，使大腿向前运动受阻产生负向压力 F 。二是小腿未固定，在试验过程中下肢运动轨迹不能预期，会出现整条下肢向前运动的同时小腿会围绕膝盖向仪表方向旋转的情况，也会导致大腿的负向压力。如图 7，当小腿向前运动速度 v_2 大于下肢整体向前运动速度 v_1 时，小腿会绕膝盖旋转，此时会产生负向的压力 F 。此力 F 就是大腿力曲线出现异常的原因。

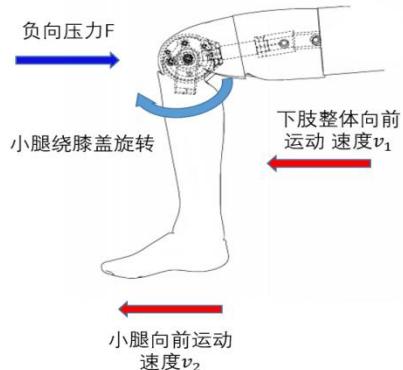


Figure 7. Diagram of tibia trajectory

图 7. 小腿轨迹图示

4 解决措施及验证

为避免膝部过分偏移导致试验过程中与副仪表板摩擦，应在试验前假人摆放时，注意保留足够间隙。由于 Knee Mapping 试验假人姿态与常规正面碰撞试验不同，躯干会根据不同位置的风险点有不同程度的扭转，假人膝部运动轨迹不能准确预估，无法判断所留间隙是否足够。鉴于此，可以在假人大腿与副仪表之间塞入一定厚度的泡沫垫块，防止试验过程中假人膝部与副仪表板的接触。需要注意的是，泡沫垫块的位置应尽可能位于大腿后方至骨盆端，避免泡沫垫块与膝部的摩擦。如图 8 左黄色垫块。

针对小腿未固定，在试验过程中下肢运动轨迹不能预期而产生负向的压力，可采用绑带固定假人脚踝，如图 8 右，防止小腿发生无法预期的运动，使其与大腿一起围绕脚踝转动。此举措还可以加强假人试验过程中膝部运动轨迹的可预期性。



Figure 8. Schematic diagram of solution measures

图 8. 解决措施示意图

运用以上两种操作方法，对试验前的假人摆放进行优化，结果如图 9。对比试验后次要腿的大腿力曲线，优化前箭头处所受大腿压缩力有明显改善，优化后曲线呈上升逐步上升趋势。高速视频上查看，脚部无明显移动，如图 10，大腿运动轨迹与预期基本一致，证实方法有效。

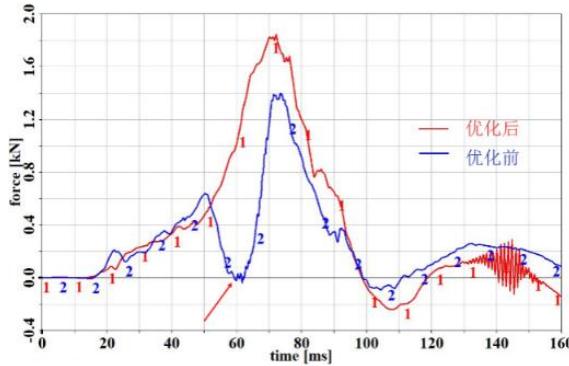


Figure 9. Comparison chart of femur force curve before and after optimization

图 9. 优化前后大腿力曲线对比图

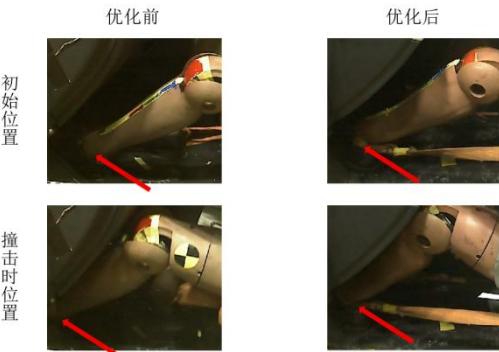


Figure 10. Comparison chart of foot movement distance before and after optimization

图 10. 优化前后脚部移动距离对比图

5 结论

Knee Mapping 试验中，大腿力这一指标是判断结果的重要因素。由于 Knee Mapping 试验假人姿态与常规正面碰撞试验不同，躯干会根据不同位置的风险点有不同程度的扭转，假人膝部运动轨迹不能准确预估。而试验中常因大腿力曲线异常导致试验结果判定失败，需要增加试验次数重复验证。其原因有两个：1、是在假人腿部摆放时为了满足试验主、次要腿力的要求会将次要腿摆放到接近副仪表的位置，如果距离过近会造成膝部与其摩擦，产生的摩擦力会导致大腿压缩力异常。可通过往大腿与副仪表之间塞一定厚度的泡沫垫块，厚度应能达到隔绝摩擦的目的以解决此问题。2、脚部不固定，造成试验中小腿超过膝部速度差异引起大腿力异常。可以通过绑带固定脚踝，防止小腿往前移动解决此问题。

参考文献 (References)

- [1] LU Kai. Research and Countermeasures on the Technical Development of Automotive Passive Safety System [J]. Shanghai Automobile,2022(9):35-43,48.
陆凯. 汽车被动安全系统技术发展研究及应对[J].上海汽车,2022(9):35-43,48.
- [2] QIN Haoyi,YANG Xin,MA Shuai, et al. Behavioral response and damage analysis of drivers' lower limbs in automobile collision [J]. Journal of Chongqing University of Technology, 2024,38(7):64-71.
秦豪毅,杨欣,马帅,等. 汽车碰撞驾驶员下肢行为响应及损伤分析[J]. 重庆理工大学学报,2024,38(7):64-71.
- [3] ZHANG Qian, Wang Youjun. Injury analysis of Hybrid III 5th percentile dummy based on MPDB trial in C-NCAP [J]. Auto Time, 2023 (14): 195-198.
张倩,王友俊.基于 C-NCAP 中 MPDB 试验对 Hybrid III 5 百分位假人的伤害分析[J].时代汽车,2023,(14):195-198.
- [4] LI Wei, Ye Qin, Kang Shengli, et al. Based on the 2021 C-NCAP of IP Five-star Knee-mapping Research [J]. Automotive Technology, 2024,(01):61-69.
李威,叶勤,亢胜利,等.基于 2021 版 C-NCAP 仪表板五星膝碰研究[J].汽车科技,2024,(01):61-69.

- [5] LIU Shan, Fang Rui, Zhang Yajun, et al. The optimization of knee inspection zone based on knee mapping [C].//Proceedings of the 18th Symposium on Automobile Safety Technology in 2015.2015: 522-527.
刘珊,方锐,张亚军,等. 基于膝部碰撞区域优化[C]. //2015 第十八届汽车安全技术学术会议论文集. 2015:522-527.
- [6] YANG Lingjun, Liu Zhenhai, Han Feng, et al. The Steering Column and cover optimization and test Base on KneeMapping [C].//Proceedings of the 18th Symposium on Automotive Safety Technology in 2015.2015: 261-267.
杨领军,刘珍海,韩峰,等. 基于膝部碰撞区域优化与试验分析[C]. //2015 第十八届汽车安全技术学术会议论文集. 2015:261-267.
- [7] Liu Zhenhai, Liu Songmei, Qiao Leilei, et al. Femur injury assessing and performance improving according to the Euro-NCAP frontal impacting tests [J]. Automobile Safety and Energy, 2015,6 (2): 164-170. DOI: 10.3969/j.ISSN.1674-8484.2015.
刘珍海, 刘松梅, 乔磊磊, 等. Euro-NCAP 大腿伤害评价及性能提升[J]. 汽车安全与节能学报,2015,6(2):164-170. DOI:10.3969/j.issn.1674-8484.2015.02.xxx.
- [8] JIANG Zhanghao. Injury Characteristics Analysis of Thor Dummy and Restraint System Optimization FOR MPDB Load-case [D]. Chongqing University of Technology, 2023.
姜张豪. MPDB 工况 Thor 假人损伤特性分析与约束系统优化[D]. 重庆理工大学,2023.
- [9] CHINA INSURANCE AUTOMOTIVE SAFETY INDEX.Vehicle Occupant Safety Index-Knee Mapping Test Protocol (2023).<http://www.ciasi.org.cn/>.
- 中国保险汽车安全指数.车内乘员安全指数—乘员膝部保护动态试验规程 (2023) . <http://www.ciasi.org.cn/>.
- [10] China Automotive Technology Research Center Co., Ltd. C-NCAP 2024 Management Regulation. <https://www.c-ncap.org.cn>.
中国汽车技术研究中心有限公司.C-NCAP 管理规则 (2024 年版) . <https://www.c-ncap.org.cn>.
- [11] CUI Xinkang, Ma Deren, Shen Guangyong, et al. Lower extremity injuries on a Hybrid- III 50th dummy lower leg by impact at different locations and angles [J]. Journal of Automobile Safety and Energy Conservation, 2013 (4): 334-338.
崔新康,马德仁,沈光勇,等. Hybrid- III 50th 假人小腿受冲击位置和角度对腿部的伤害[J]. 汽车安全与节能学报,2013(4):334-338.
- [12] QIAO Xi, Wang Zhenhua, Yan Yunlu, et al. Study on lower limb impact and knee slip characteristics of Hybrid III dummy [J]. Automotive Knowledge, 2023,23(11):110-113.
乔曦,王振华,严云璐,等. Hybrid III 假人下肢冲击和膝部滑移特性研究[J]. 汽车知识,2023,23(11):110-113.
- [13] The European New Car Assessment Programme. SLED TEST PROCEDUREFOR ASSESSING KNEE IMPACT AREAS. <https://cdn.euroncap.com>.
- [14] FAN Shasha, Duan Dalu, Li Qian, et al. Effect of Vehicle Frontal Impact Acceleration on Occupant Leg Injury [J]. Auto Parts, 2022 (7): 79-82.
凡沙沙,段大禄,黎谦,等.正面碰撞车身加速度对乘员腿部损伤的影响[J]. 汽车零部件,2022(7):79-82.
- [15] CHEN Baolei, Yang Huaming, Zhao Hui, et al. Injuru on Hybrid-III 50th dummy lower limbs by impact at different velocity,locations,and thigh angle [C].//Proceedings of the 18th Symposium on Automobile Safety Technology in 2015.2015: 549-554.
陈堡磊,杨华明,赵会,等. H3 50th 假人下肢受冲击速度、位置和大腿角度对腿部伤害的研究[C]. //2015 第十八届汽车安全技术学术会议论文集. 2015:549-554.
- [16] ZENG Qingyong, Xiang Zhongke, Cheng Wenming, et al. Research on the thigh injury of a frontal collision dummy based on a certain type of vehicle [J]. MACHINE TOOL & HYDRAULICS, 2020,48 (18): 116-122. DOI: 10.3969/j.ISSN.1001-3881.2020.18.
曾庆勇,项忠珂,程文明,等. 基于某车型正面碰撞假人腿部伤害研究 [J]. 机床与液压,2020,48(18):116-122. DOI:10.3969/j.issn.1001-3881.2020.18.018.