

Analysis and Research on the Anomaly of Shoulder Data from the WorldSID 50th Dummy

Xi YANG¹, Hao CHEN²

China Automotive Engineering Research Institute Co., Ltd., Chongqing, China
Email: yangxi@caeri.com.cn, chenghao@caeri.com.cn

Abstract: This study aims to delve into the anomalous shoulder data phenomenon observed in the side pole tests of the WorldSID 50th dummy, particularly the sharp increase in shoulder compression force when the rib compression angle reaches its physical limit. By constructing a multidimensional static compression test matrix for the shoulder ribs and integrating data from dynamic impact calibration tests, this research comprehensively analyzes the key factors affecting the compression performance of the shoulder ribs. The findings reveal that the compression angle of the shoulder ribs easily reaches its physical limit, which is closely related to the material properties of the ribs, the design and installation method of the IR-TRACC sensors. Furthermore, the deformation of the dummy's rib internal and external bands, the smoothness of the IR-TRACC sensors, and the multi-angle overall stiffness of the shoulder rib components all significantly impact the shoulder data anomalies. This study points out the limitations of the current shoulder calibration procedures and proposes improvements to enhance the accuracy and reliability of side pole testing, providing a scientific basis for automotive safety design and assessment.

Keywords: WorldSID 50th dummy; side pole impact test; shoulder data anomaly; automotive safety assessment

WorldSID 50th 假人肩部数据异常分析与研究

杨 喜¹, 陈 浩²

中国汽车工程研究院股份有限公司, 重庆, 中国, 401122
Email: yangxi@caeri.com.cn, chenghao@caeri.com.cn

摘要: 本研究旨在深入探究WorldSID 50th假人在侧面柱碰撞试验中肩部数据异常现象, 特别是肋骨压缩角度达到物理极限时肩部压缩力的急剧增加。通过构建多维度的肩部肋骨静态压缩试验矩阵, 结合动态冲击标定试验数据, 本研究综合分析了影响肩部肋骨压缩性能的关键因素。研究发现, 肩部肋骨的压缩角度易于达到物理极限, 与肋骨材料性能、IR-TRACC传感器的设计和安装方式密切相关。此外, 假人肋骨内外缓冲件的变形、IR-TRACC传感器的顺滑度, 以及肩部肋骨组件的多角度整体刚度均对肩部数据异常有显著影响。本研究指出了现行肩部标定程序的局限性, 并提出改进建议, 以提高侧面柱碰撞测试的准确性和可靠性, 为汽车安全设计和评估提供科学依据。

关键词: WorldSID 50th 假人; 侧面柱碰撞; 肩部数据异常; 汽车安全评估

1 引言

在现代汽车安全性能评估中, 侧面柱碰撞测试是必不可少的环节, 它能够有效评估车辆在受到侧面柱撞击时对乘员的保护能力。随着汽车安全标准的不断提升, 如欧洲新车评价规程(Euro NCAP)和中国新车评价规程(C-NCAP), 侧面柱碰撞测试已成为评价车辆安全性的重要指标之一^{[1][2]}。在这些测试中, WorldSID 50th假人作为模拟车内乘员的关键工具, 其数据的准确性和可靠性对于评估结果具有决定性影响。

WorldSID 50th假人是目前汽车测试领域内生物仿真度最高的假人之一, 它能够提供较为精确的损伤生物力学响应^[3]。该假人的肩部包含肋骨、力传感器和IR-TRACC传感器, 用于测量肩部的压缩力、位移以及角度, 是评估乘员肩部损伤风险的关键参数^[4]。然而在侧面柱碰撞测试中, 该假人的肩部数据会出现异常, 尤其是在肩部角度达到物理极限时, 肋骨压缩受阻, 导致肩部压缩力急剧增加, 可能超出测试规程的封顶值。这种数据

异常不仅影响了测试结果的准确性，也可能对车辆的安全评级产生误导。目前，国内学者针对 WorldSID 50th 假人做过一些研究；邱宇航^[5]对假人手臂动态冲击特性进行了研究；郑光洁等^[6]基于侧面柱碰撞工况驾驶员肩部损伤优化；胡经国等^[7]将 WorldSID 与 ES-2 假人肋骨结构对比；蒋斌庆等^[8]对假人 ball joint 断裂原因进行了分析与研究；张毅等^[9]对假人颈部标定方法进行了研究，这些研究都涉及了假人各个部位的性能，但仍然缺少了针对肩部肋骨的研究。

因此，本研究旨在通过数据对比和实证研究方法，系统分析 WorldSID 50th 假人肩部数据异常的原因，并探讨其对侧面柱碰撞测试评级的影响。通过本研究，期望提出有效的解决方案或改进建议，以提高侧面柱碰撞测试的准确性和可靠性，为汽车安全设计和评估提供科学依据。

2 案例分析

在进行某车型的 Euro NCAP 侧柱碰撞测试中，编号为 A 的 WorldSID 50th 假人肩部伤害数据出现异常急剧上升。IR-TRACC 角度传感器的响应曲线在 42ms 时达到了其测量极限，并出现了削峰现象。与此同时，肩部力急剧增加至 3.31kN，这一异常数据导致假人胸部的评分降至零分。为了进一步验证该现象，我们采用了编号为 B 的 WorldSID 50th 假人，并配备了更新的肋骨组件及 IR-TRACC 传感器，重新进行了相同条件下的侧柱碰撞测试。此次试验的结果显示肩部伤害数据表现正常，与前次试验的曲线对比见图 1。通过分析假人肩部 IR-TRACC 的结构设计和安装方式，如图 2 所示，我们发现当 IR-TRACC 角度传感器旋转至其物理极限位置时，位移传感器在伸缩方向上的压缩受到限制，导致肩部力值的急剧上升。图 1 中的数据表明，第一次试验的肩部压缩位移显著小于第二次试验，表明第一次试验中的数据异常，不能准确反映车辆的安全性能。两次试验的详细数据对比见表 1。值得注意的是，两个假人在试验前均通过了肩部撞击标定试验，其标定结果见表 2。这一发现揭示了现行肩部标定程序的局限性，即由于标定过程中撞锤以正侧面方向撞击假人，而未能充分模拟实际碰撞测试中肩部可能受到的多方向力，导致标定程序无法准确反映肋骨的综合压缩性能。

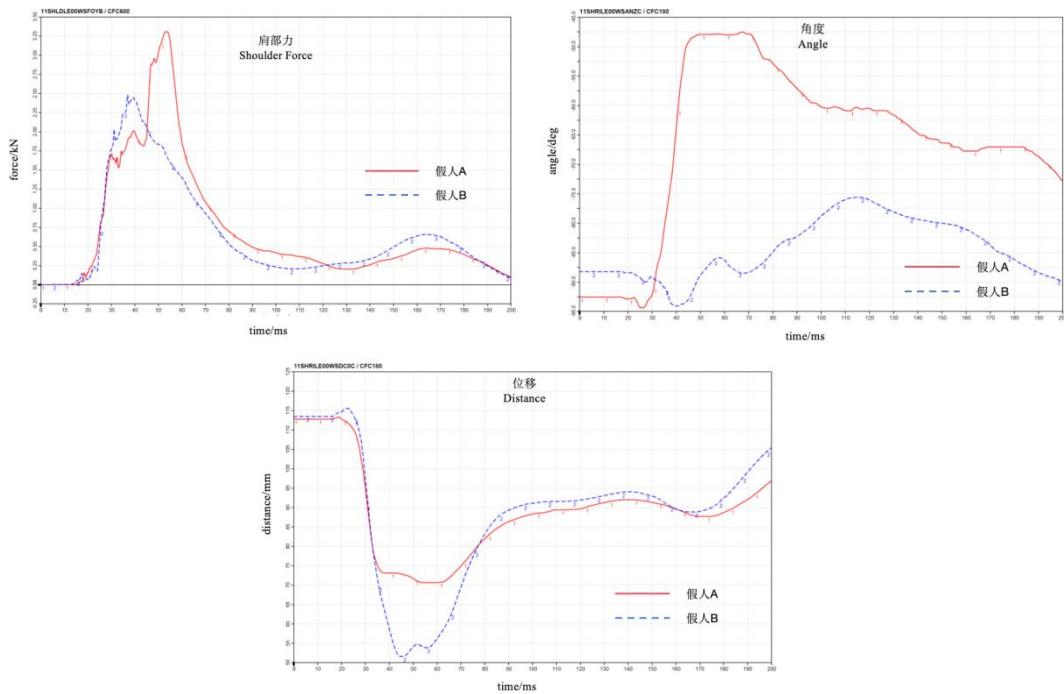


Figure 1. Curve: shoulder rib injuries for the WorldSID 50th dummy in two tests

图 1. 两次试验 WorldSID 50th 假人肩部肋骨伤害对比曲线



Figure 2. Structural design of the IR-TRACC sensor

图 2. IR-TRACC 传感器结构设计

Table 1. Comparison of shoulder injury values for dummy A and dummy B

表 1. 假人 A 和假人 B 的肩部伤害值对比

假人	肩部力/kN	肩部角度/°	肩部位移/mm
A	3.31	45.1	42.2
B	2.48	12.7	62.0

Table 2. Comparison of shoulder calibration results for dummy A and dummy B

表 2. 假人 A 和假人 B 的肩部标定结果对比

参数描述	下限要求	假人 A	假人 B	上限要求
速度/m/s	4.20	4.23	4.24	4.40
撞锤力峰值/kN	2.60	2.93	3.02	3.30
肩部位移/mm	35.00	41.68	37.41	45.00

3 数据异常影响因素分析

3.1 车辆结构变形及内饰侵入量分析

通过分析碰撞车载视频, 本研究发现撞击假人肩部的车辆内饰件主要集中在车窗上沿部分。由于撞击过程中的侵入量测量属于动态范畴, 而当前的检测技术尚无法实现动态侵入量的直接测量, 因此本研究采取试验后静态测量方法, 对车窗上沿的内饰件及对应位置的板金结构进行了静态侵入量测量, 并将这些数据用作研究的参考依据。数据曲线如图 3 所示。对比分析“试验 1”与“试验 2”的试验结果显示, 两次试验中车窗上沿内饰和板金结构的侵入量数据极为接近, 可以排除由于车辆结构变形差异所引起的数据异常。

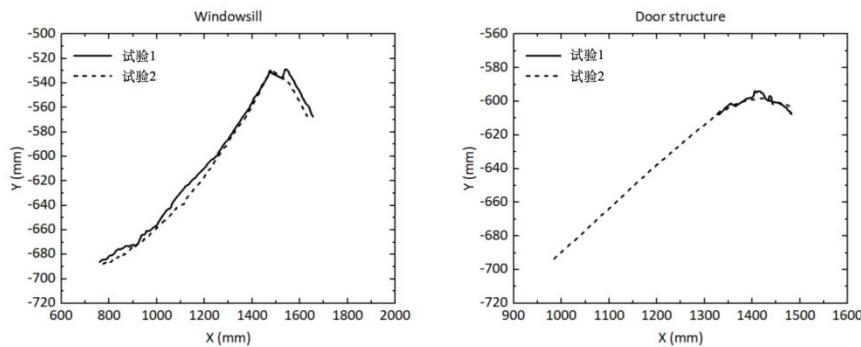


Figure 3. Deformation of the windowsill and sheet metal structure

图 3. 车窗上沿内饰和板金结构变形量

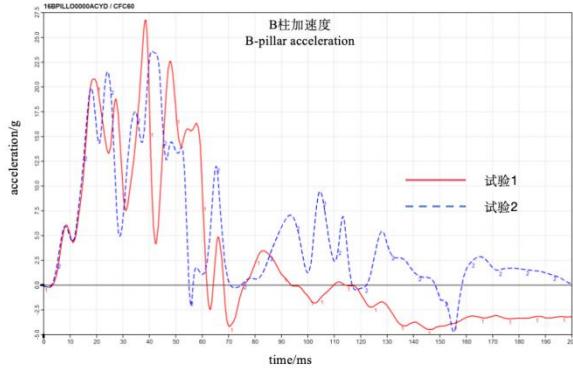


Figure 4. Comparison curve of B-pillar acceleration on the non-impact side.

图 4. 非碰撞侧 B 柱加速度对比曲线

3.2 假人肋骨内外缓冲件变形分析

对假人 A 和假人 B 的肋骨内外缓冲件进行静态尺寸测量。测量过程中，将肋骨从假人身上拆卸并平置于桌面上，以消除安装限制对测量结果的影响。通过测量肋骨的外形轮廓尺寸，我们得到了每组肋骨的 a、b、c、d 四个关键数据点，如图 5 所示。测量结果表明假人 A 的肩部肋骨由于长期频繁参与试验，其外形轮廓相较于假人 B 的肋骨呈现出明显的压扁现象。这种变形可能导致了肩部肋骨的几何结构改变，从而可能对实际试验结果产生不利影响。这一发现强调了对假人肋骨缓冲件定期检查的必要性，以确保试验数据的准确性和可靠性。

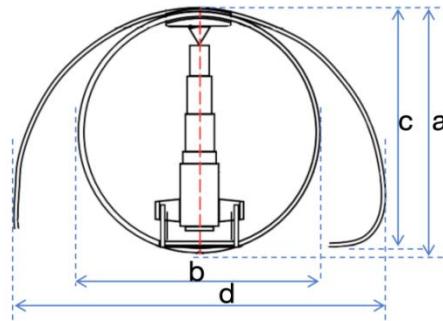


Figure 5. Static measurement of rib internal and external banner

图 5. 肋骨内外缓冲件静态测量

Table 3. Results of static measurement

表 3 静态测量结果

肋骨组件	测量项目	假人 A /mm	假人 B /mm
内缓冲件	a	14.3	14.6
	b	16.9	15.4
外缓冲件	c	12.5	13.2
	d	20.0	19.1

3.3 IR-TRACC 传感器伸缩顺滑度分析

考虑到 IR-TRACC 传感器的顺滑度在不同旋转角度下对肋骨压缩性能的影响可能存在显著差异，本研究选取了三个具有不同顺滑度级别的 IR-TRACC 传感器进行评估，其中顺滑度以 5 星等级表示，5 星代表最高顺滑度。通过使用推拉力计对这些传感器进行了系统性的垂直推拉试验，分别在旋转角度为 0°、15°、30°、45° 时测

量其推力数据。试验过程中,传感器从其最长拉伸位置被推至最短位置,以记录在拉伸过程中的最大推力值。具体的测量结果汇总于表 5 中。

数据分析表明,顺滑度最低的传感器在仅旋转 15°时的最大推力已经超过了 200N。进一步地,当旋转角度达到 45°时,所有三个传感器的垂直推力均超过了 200N。参考某试验室对 36 次侧柱碰撞试验的统计数据,平均肩部力为 2.43kN。当推力超过 200N 时,说明其对肩部力的影响程度至少达到了平均值的 8.23%以上。此外,试验过程中还观察到,随着 IR-TRACC 传感器旋转角度的增大,其对推力的影响程度也随之增加。这些发现强调了定期检查和维护 IR-TRACC 传感器顺滑度的重要性,以降低其对肩部力测量准确性的影响程度。

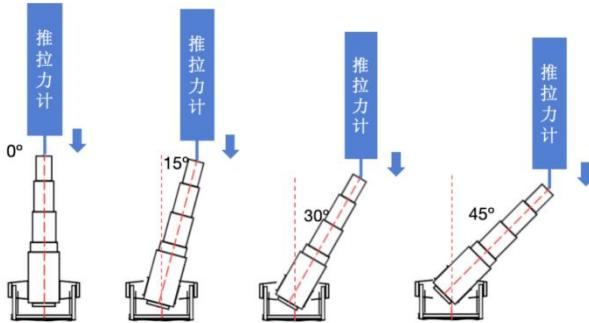


Figure 6. Smoothness test of IT-TRACC at different angles
图 6 . IT-TRACC 在不同角度的顺滑度试验

Table 4. IR-TRACC smoothness
表 4. IR-TRACC 顺滑度

IR-TRACC	1 号	2 号	3 号
顺滑度	★★★★★	★★★★	★

Table 5. Maximum push force of IR-TRACC sensor at different angles
表 5. IR-TRACC 传感器在不同角度的最大推力

试验角度	1 号 (N)	2 号 (N)	3 号 (N)
0°	1.2	1.8	52.8
15°	14.1	36.6	>200
30°	26.5	73.9	>200
45°	>200	>200	>200

备注: 考虑到在试验过程中不损坏 IR-TRACC 传感器,推力达到 200N 时试验立即停止,记录推力>200N。

3.4 肩部肋骨组件多角度整体刚度分析

在现行的假人肩部标定程序中,撞锤以 4.3m/s 的速度垂直撞击假人肩部^[10],仅能反映单一方向上的刚度特性。然而,在侧柱碰撞测试过程中,假人肩部实际上会受到多方向的撞击力。因此,本研究将肩部肋骨组件,包括内外缓冲件、IR-TRACC 传感器和肩部力传感器等,视为一个完整的系统进行评估。针对假人 A 和假人 B 的肋骨组件系统,本研究进行了多角度多点位的加载试验,以计算不同点位的系统刚度,如图 7 所示。

在试验中,每个角度被定义为一种特定的工况,分别为 15°、30°、45°和 60°四种工况。对于每种工况,我们施加了 5 个不同的加载点位,每个点位的加载力为 100N。在每个加载点位,我们记录了肩部力传感器的读数、IR-TRACC 传感器的位移数值和角度数值。随后,利用公式 (3) 计算各个加载点位的系统刚度。从肋骨材料的特性可知,刚度值越低,说明肋骨在试验过程中越容易达到其物理极限位置。

IR-TRACC 角度变化量 $\Delta\theta_t$

$$\Delta\theta_t = \theta_t - \theta_0 \quad (1)$$

式中 θ_t 为 IR-TRACC 传感器在该点位时的角度, θ_0 为传感器初始角度;
IR-TRACC 位移变化量 ΔD_t

$$\Delta D_t = D_0 - D_t \quad (2)$$

式中 D_t 为 IR-TRACC 传感器在该点位时的位移, D_0 为传感器初始位移;

根据胡克定理 $F = -kx$, 将 ΔD_t 带入公式 (3) 可以得到加载点位的系统刚度 k_t

$$k_t = \frac{F_t}{\Delta D_t} \quad (3)$$

式中 F_t 为在每个点位加载时的最大肩部力。

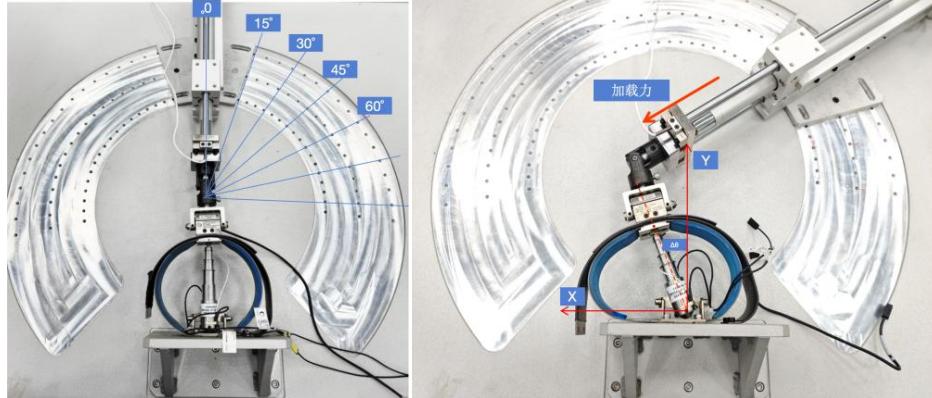


Figure 7. Static compression test of shoulder components
图 7. 肩部组件静态压缩试验

试验结果如图 8 和图 9 所示, 假人 B 的肩部肋骨组件系统在不同角度的静态挤压试验中显示出比假人 A 更高的整体刚度。此外, 假人 A 的 IR-TRACC 传感器在试验中偏转的角度更大, 进一步证实了在试验过程中, 假人 A 的肋骨组件系统更容易达到其物理极限值。

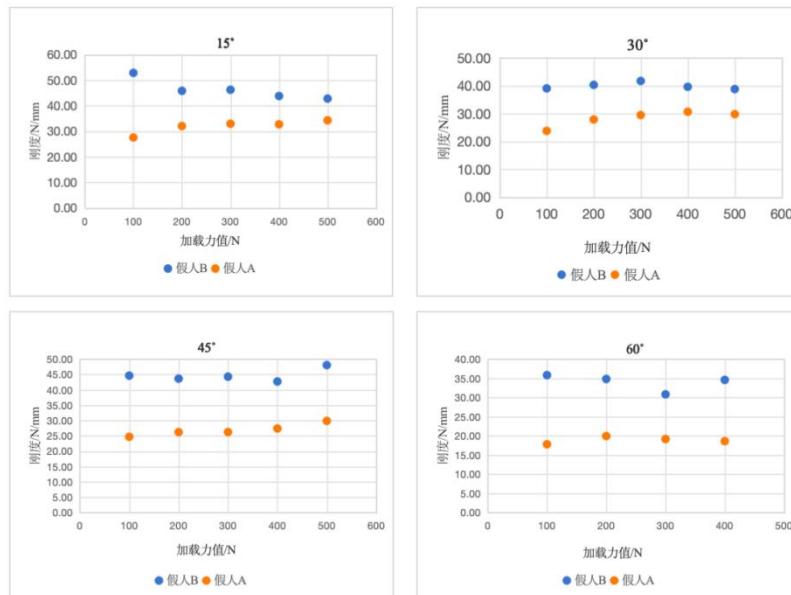


Figure 8. Stiffness of ribs at different angles and under various loading forces
图 8. 肋骨在不同角度不同加载力下的刚度

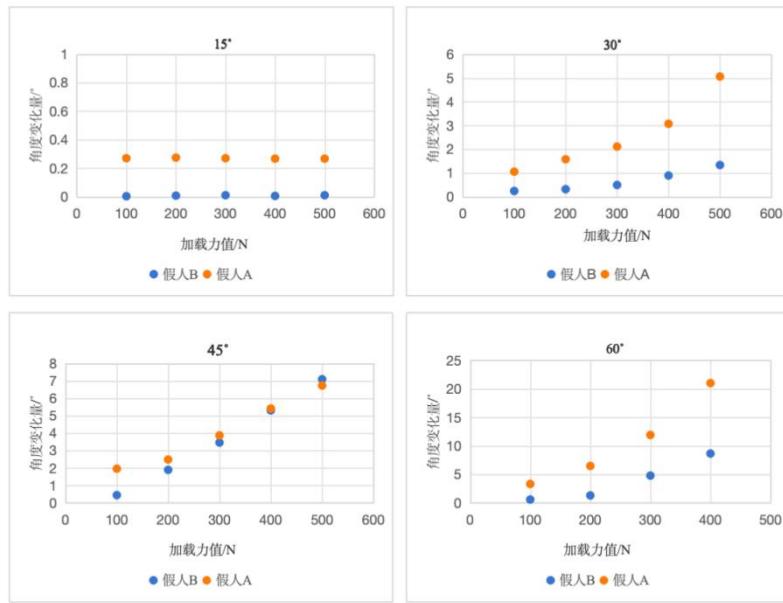


Figure 9. Angle change of IR-TRACC sensor under different angles and loading forces.

图 9. IR-TRACC 在不同角度不同加载力下的角度变化量

4 总结

本研究通过深入分析 WorldSID 50th 假人在侧面柱碰撞测试中肩部数据异常的现象，揭示了影响肩部肋骨压缩性能的多个关键因素。首先，肩部肋骨的压缩角度易于达到物理极限，导致肩部压缩力急剧增加，这可能与肋骨材料性能、IR-TRACC 传感器的设计和安装方式有关。通过对比两次相同条件下的侧面柱碰撞试验，我们进一步证实了这一点。

其次，假人肋骨内外缓冲件的变形以及 IR-TRACC 传感器的顺滑度对肩部数据的影响较为明显。特别是 IR-TRACC 传感器在不同旋转角度下的顺滑度差异，对肩部力的影响程度较大。

此外，肩部肋骨组件的多角度整体刚度对肩部数据异常也有重要影响。通过多角度多点位加载试验，我们发现假人 A 的肩部肋骨组件系统整体刚度小于假人 B，且假人 A 的 IR-TRACC 偏转角度更大，这表明假人 A 更容易达到物理极限值。

综上所述，本研究指出了现行 WorldSID 50th 假人肩部标定程序的局限性，并提出了改进建议。我们建议对肩部肋骨的多方向刚度进行更全面的研究，并优化 IR-TRACC 传感器的设计和安装方式，以提高侧面柱碰撞测试的准确性和可靠性。这些改进将有助于更准确地评估车辆的安全性能，为汽车安全设计和评估提供更科学的依据。

参考文献 (References)

- [1] Euro NCAP. *Side Oblique Pole Test Protocol v7.2*. [EB/OL]. (2023-12)[2024-10-15]. <https://www.euroncap.com/media/79876/euro-ncap-pole-protocol-oblique-impact-v72.pdf>
- [2] China Automotive Technology and Research Center. *C-NCAP Management Regulations (2024 Edition) Appendix D: Side Pole Crash Test Procedure*. [EB/OL]. (2024-01-19)[2024-10-15]. <https://www.c-ncap.org.cn/guicheng/cncap?columnId=cb6014a591dd4b2fb7192367fec9012b&childIndex=1>
- [3] Liu L., Zhu H.T., Li C., et al. *Research on the WorldSID 50th Percentile Male Dummy* [J]. Tianjin Science & Technology, 2014, 41(08): pp. 50-54.
- [4] ISO Technical Committee. *Design and Performance Specifications for the WorldSID 50th Percentile Male Side-impact Dummy: ISO 15830 part 4: user's manual*. The International Organization for Standardization, 2022.
- [5] Qiu Y.H.. *Experimental Study on Dynamic Impact Characteristics of the WorldSID 50th Dummy Arm*. [J]. Practical Automotive Technology, 2024, 49(10): p. 103-107.
- [6] Zheng G.J., Wang D., Han F.F., et al. *Optimization of Driver's Shoulder Injury Based on Side Pole Crash Scenarios* [J]. Practical Automotive

- Technology, 2024, 49(02): p.110-114.
郑光洁,王德,韩菲菲,等.基于侧面柱碰撞工况驾驶员肩部损伤优化[J].汽车实用技术,2024,49(02):p. 110-114.
- [7] Hu J.G., Zhou P.. *Comparative Study on Rib Structures of WorldSID and ES-2 Dummies* [J]. Auto Parts, 2021, (12): p. 63-66.
胡经国,周鹏.WorldSID 与 ES-2 假人肋骨结构对比[J].汽车零部件,2021,(12):p.63-66.
- [8] Jiang B.Q., Liu Y., Shi Y.T., et al. *Analysis and Study on the Fracture Cause of the Ball Joint in the World SID Dummy* [J]. China Automotive, 2021, (10): p. 53-58.
蒋斌庆,刘洋,师玉涛,等.World SID 假人 ball joint 断裂原因分析与研究[J].中国汽车,2021,(10):p. 53-58.
- [9] Zhang Y., Shang E., Han G., et al. *Research on the Calibration Test Method of the WorldSID Dummy Neck* [J]. Environmental Technology, 2016, 34(02): p.51-54.
张毅,商恩义,韩刚,等.WorldSID 假人颈部标定试验方法研究[J].环境技术,2016,34(02):p.51-54.
- [10]ISO Technical Committee. *Design and Performance Specifications for the WorldSID 50th Percentile Male Side-impact Dummy:ISO 15830 part 2:Mechanical subsystems*. The International Organization for Standardization,2022.