

# Comparison of Different 3D H-Point Machines under Zero-Gravity Seats Test Condition

Jie JIANG<sup>1</sup>, Peifeng WANG<sup>2</sup>

China Automotive Engineering Research Institute Co., Ltd, Chongqing, 401122

Email: Jiangjie@caeri.com.cn, Wangpeifeng@caeri.com.cn

**Abstract:** As the new energy vehicle market expands domestically, the demand for vehicle intelligence and multifunctionality among consumers is growing, which has led to the birth of numerous innovative products. Among them, the zero-gravity seat, as an emerging technology, has become a hot topic in the industry because it can provide a larger backrest inclination angle, a suitable seat cushion angle, and a legrest angle, thereby bringing a more comfortable riding experience for drivers and passengers. However, the safety issues of zero-gravity seats urgently need in-depth research. When discussing the safety of zero-gravity seats, safety collision testing is an indispensable part. In this process, how to accurately define the seat angle and determine the position of the H point has become the key and challenge of the research. Currently, the automotive industry has not yet formed a unified method to define the angle of zero-gravity seats and the positioning method of the H-point. This study used three types of H-Point Machine (HPM), and arranged the HPM and dummies on rigid seats and automotive zero-gravity seats set at different angles. The research found that under large inclination angles, the HPM-II fits more closely to the seat back; experimental data further revealed that there are differences in the torso angle, seat cushion angle, and H-point position measured using three different HPMs on various vehicle zero-gravity seats. In addition, the relative position relationship of H point between the HPM and the THOR-50M dummy in the traditional protocols may no longer be applicable to the current test conditions.

**Keywords:** Zero-gravity seat; HPM; Dummy; Torso angle; Cushion angle; H-point

## 零重力座椅测试条件下不同三维H点测量装置对比

蒋 杰<sup>1</sup>, 王沛丰<sup>2</sup>

中国汽车工程研究院股份有限公司, 重庆, 401122

Email: Jiangjie@caeri.com.cn, wangpeifeng@caeri.com.cn

**摘 要:** 随着新能源汽车市场的国内拓展, 消费者对车辆的智能化和多功能性的需求日益增长, 这促使了众多创新产品的诞生。其中, 零重力座椅作为一种新兴技术, 因其能够提供更大的靠背倾斜角度、适宜的坐垫角度和腿托角度, 从而为驾驶者和乘客带来更为舒适的乘车体验, 而成为业界的热门话题。然而, 其安全性问题亟待深入研究。在探讨零重力座椅的安全性时, 安全碰撞测试是不可或缺的一环。在这一过程中, 如何准确定义座椅角度以及确定 H 点 (H point) 的位置, 成为了研究的关键和挑战。目前, 汽车行业内尚未形成一套统一的标准来界定零重力座椅的角度和 H 点的定位方法。本研究采用了三种三维 H 点测量装置 (H-Point Machine, 简称 HPM), 在不同角度设置的刚性座椅和汽车零重力座椅上进行了 HPM 装置及大倾角假人的布置。研究发现, 在大倾角状态下, HPM-II 装置与座椅靠背的贴合度更高; 实验数据进一步揭示, 使用三种不同的 HPM 装置在多种汽车零重力座椅上进行测量时, 所得的躯干角、坐垫角和 H 点位置存在差异。此外, 传统的评估规程中 HPM 装置与 THOR-50M 假人的 H 点相对位置关系可能已不再适用于当前的测试条件。

**关键词:** 零重力座椅; HPM; 假人; 躯干角; 坐垫角; H 点

## 1 引言

零重力座椅的概念源自美国国家航空航天局 (NASA) 为模拟太空舱环境而研发的技术<sup>[1]</sup>。该技术最初旨在

解决宇航员在微重力条件下的身体姿势舒适性与安全性问题。随着中国新能源汽车市场的蓬勃发展，消费者对车辆舒适性的需求日益提升，驾驶舱的智能化水平也在不断提高，零重力座椅因此逐渐受到国内市场的青睐<sup>[2]</sup>。零重力座椅的首次商业应用可追溯至 2013 年，当时 Nissan Altima 车型首次引入了“零重力”座椅概念<sup>[3]</sup>。这种座椅通过模拟零重力状态，有效减轻乘客身体压力，提供卓越的乘坐舒适性。然而，随着零重力座椅在国内市场的普及，乘客对其安全性的担忧也随之增加，如何在车辆行驶过程中确保使用零重力座椅的乘员安全，已成为业界广泛关注的问题<sup>[4]</sup>。NASS/CDS 数据显示，完全倾斜的乘员死亡概率约比直立坐姿的乘员高 77%<sup>[5]</sup>。

目前，汽车行业尚未形成一套针对零重力座椅或大倾角座椅乘员安全性的统一评估方案。关键问题包括零重力座椅的角度定义、H 点定位以及假人摆放等。座椅角度和假人 H 点位置对于安全性测试结果具有重要影响。因此，本研究针对零重力座椅，采用不同的 HPM 装置测量座椅角度及 H 点，并进行深入分析与研究，旨在为行业标准的制定提供科学建议。

## 2 研究背景

### 2.1 座椅角度测量及 H 点定位方法

在当前的汽车安全性测试工况中，座椅靠背角度大多设置在 20°~30° 之间。目前常见的座椅定位 H 点的方法，是将座椅调节至设计位置，用 HPM 进行摆放，测量得到座椅的 H 点<sup>[6]</sup>。然而，这种方法主要适用于乘员直立坐姿的情况，而针对零重力座椅，目前尚缺乏统一的方法。调节座椅靠背角度的常用方法为：按相应测试标准摆放 HPM，将座椅调节到设计靠背角或者按照制造商的特征点将靠背调节到指定的位置；调节座椅坐垫角度的常用方法为：参考《车内乘员安全指数-座椅 / 头枕动态试验规程（2023 版）》规程，用三坐标测量仪记录座垫中线的前缘和最前向后 400mm 的点，将角度尺最末端置于第二点上，角度尺下表面与座垫上表面相切，测量座垫角度<sup>[7]</sup>。或者测量两个 Z 方向的距离，根据反正切求座垫角度。调节座椅腿托角度的常用方法为：用三坐标测量仪记录上缘点和下缘点，将刚直尺放置腿托上与表面相切，把角度仪放置记录的两点中间测量角度。或者或者测量两个点 X 和 Z 方向的距离，根据反正切求座垫角度

### 2.2 三种 HPM 装置

三维 H 点测量装置（简称 HPM-I）。SAE J826 定义了二维 H 点模板和三维 H 点测量装置，用于定义和测量车辆座位空间<sup>[8]</sup>。其背板和座板由强化的塑料和金属制成，模拟了成年男性在座椅上的轮廓还原躯体和腿，H 点位于背板和座板的机械铰接的地方。小腿和大腿部分分别都有 10th、50th、95th 百分位成年男性的限位器可以选择调节。三维 H 点测量装置可以协助座椅和座椅材料的设计和开发，检查车辆座椅是否符合设计规范，及 H 点与车身结构、座椅、控制装置等的关系。三维 H 点测量装置仅用于测量座椅和乘员的空间容纳关系，不用于测量座椅的空间大小或者舒适性。目前国内使用的 HPM-I 主要依赖进口的现状，国内生产的三维 H 点测量装置的厂家比较少，进口供货周期长、资金压力大，进而国内需要自主研发填补国内的空白<sup>[9]</sup>。

新型三维 H 点测量装置（H-Point Machine-II，简称 HPM-II）。SAE J4002 定义了 HPM-II 仍是用于座椅的设计和验证，不是用于量座椅的空间大小或者舒适性<sup>[10]</sup>。它和 HPM-I 相比，所做的更改提高了可重复性，更利于利用，并且增加了更多的功能和测试能力。对于 HPM-I 相比腿、脚、座板和背板都是独立的部件，HPM-II 的一大优势是测量 H 点可以不用安装腿部。脚重新定义了脚掌的基准点，重新定义了脚放在脚踏板上的新标准程序。它还提供了一种新的测量方法，称为腰部支撑突出度（LSP），能够测量腰托的突出量。用 HPM-II 测量的 H 点是不能用在 HPM-I 相关人体模型的 H 点测量。国内目前使用 HPM-II 的企业不多，但未来可能成为主流的研发装置，国内已有多家公司开始对它的研发工作<sup>[11]</sup>。

HPM-TAE(H-Point Machine Torso Angle Extension)是 Humanetics 最新针对大靠背角座椅，改良现有 HPM 得来的。HPM-TAE 将一部分靠近臀部的背板结构进行了调整，实现更大范围的角度测量。目前是在初步试验阶段，还未在市场出现，具体技术细节暂未公布。

图 1、图 2、图 3 分别为 HPM-I、HPM-II、HPM-TAE 的实物侧视图。HPM-TAE 的结构大体与 HPM-I 接近，HPM-TAE 腰部支撑部分改良使背板可活动的角度变大。HPM-II 在靠背部分和它们最大的区别是背板是由三部分组成，可以具有更大的背板弧度。



Figure 1 HPM-I

图 1 HPM-I



Figure 2 HPM-II

图 2 HPM-II



Figure 3 HPM-TAE

图 3 HPM-TAE

### 3 试验方法

#### 3.1 试验设备

##### 3.1.1 HPM 装置

使用 HPM-I、HPM-II、HPM-TAE 三种 HPM 装置进行试验。

##### 3.1.2 试验座椅

试验座椅包括一款刚性座椅以及多种汽车零重力座椅。刚性座椅是由中国汽车工程研究院股份有限公司研发的靠背、坐垫、腿托角度可调的刚性座椅<sup>[12]</sup>。汽车零重力座椅来自多家主流汽车主机厂、供应商。

##### 3.1.3 碰撞假人

试验中用到 THOR-AV, THOR-RS 两种物理碰撞假人, 用于静态坐姿摆放。

#### 3.2 试验步骤

##### 3.2.1 座椅位置调整

为了实现座椅的精确调节, 本研究采用了两种方法: 一种是通过厂家提供的控制线束直接与座椅相连, 以实现座椅的电动调节功能; 另一种则是利用插线连接各个独立的电机, 以控制座椅的调节。在座椅调节完成后, 将工装夹具通过螺栓固定于试验台面上, 并确保座椅牢固地安装在工装夹具之上。随后, 依据前述的调节方法, 对坐垫角、腿托和靠背角进行精确调整, 以确保座椅处于设计位置或制造商指定的位置。

##### 3.2.2 HPM 装置测量

HPM-I 及 HPM-TAE 摆放步骤: 将一块细布铺在座椅上, 安放 HPM 座板和背板总成, 使乘员中心面(C/LO)与 HPM 的中心面重合, 将脚和小腿总成装到座板总成上, 加载小腿及大腿重块, 并调平 HPM。将背板前倾到前向限位处, 用 T 形杆将 HPM 拉离座椅靠背后再使 HPM 接触靠背在臀部量角器和 T 形杆外壳相交处, 对 HPM 施加 100N 士 10N 的载荷。装上左右臀部重块, 再交替加上八块躯干重块, 使 HPM 保持水平, 将背板前倾左右摇晃三次以释放对座椅靠背的压力。小心地将背板放回座椅靠背上, 检查装置是否水平。

HPM-II 摆放步骤: 安放座板和背板, 参考座板的气泡水平仪, 在座椅上抖动并调节 HPM-II, 使其侧向水平, 确保 HPM-II 与座椅靠背稳定接触。向 HPM-II 上安放重块称为“加载”。加载 HPM-II 时应松开躯干铰接机构。从 H 点向外和向上加载重块, 防止 HPM-II 倾倒, 脱离座椅。在每一轮重块加载之前, 应在适当载荷施加点上通过弹簧加载探头, 用 89N 的力冲压两次。每一次“冲压”探头达到弹簧的载荷后, 应立即松开所有的加载力。这个步骤可使 HPM-II 在加载过程中与座椅完全紧密接触。同样的, 对于背板, 每轮配重冲压两次, 每一轮在下悬挂架加载两个重块, 在上悬挂架加载两个重块, 检查水平。背板加载完成并且水平后, 锁止躯干铰接机构。数据记录之前, 应当将安放好的 HPM-II 在座椅上放置 5min。

##### 3.2.3 碰撞假人摆放

头部和胸部通过内置倾角传感器, 使得角度在  $0^\circ \pm 1^\circ$  (绕 x 轴)。上臂应尽可能靠近躯干, 肘部接触座椅靠

背。手放置于大腿上，手掌朝大腿，中指对齐膝盖于大腿螺丝孔连接线。背部应接触座椅靠背，将假人左右对称放置于座垫上，使假人的对称面为铅垂面，并穿过座垫的中心。使用假人内置的倾角传感器确定骨盆角度为 $0^{\circ}\pm 1^{\circ}$ （绕 x 轴）。假人大腿和小腿尽可能靠着座垫和腿部支撑。双腿膝部 U 形凸缘金属外表面间距应在 $270\text{mm}\pm 10\text{mm}$  范围内。假人脚与小腿呈自然状态悬空或者放在腿部支撑上。整体摆放假人的要求应该如下：假人整体由重力的引导下，假人与座椅之间没有重力的运动趋势，这个位置能产生舒适感和平衡感<sup>[13]</sup>。

## 4 试验结果

### 4.1 HPM 角度及 H 点测量对比结果

按照上述试验方法，分别在刚性座椅及多款汽车零重力座椅上摆放三种 HPM 装置，记录对应的躯干角、坐垫角、H 点坐标。

#### 4.1.1 刚性座椅试验结果

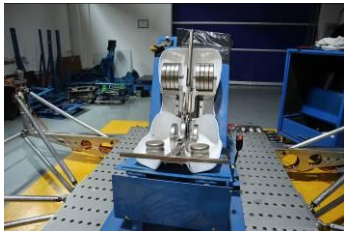


Figure 4 HPM-I tested on Rigid Seat

图 4 刚性座椅上测试的 HPM-I



Figure 5 HPM-II tested on Rigid Seat

图 5 刚性座椅上测试的 HPM-II

表 1 为使用 HPM-I 及 HPM-II 测量刚性座椅躯干角、坐垫角、H 点坐标结果。

Table 1 Rigid Seat Measurement Record Form

表 1 刚性座椅测量记录表

	刚性座椅直立 坐姿	HPM-I	HPM-II	刚性座椅倾斜 坐姿 1	HPM-I *	HPM-II	刚性座椅倾斜 坐姿 2	HPM-I	HPM-II	刚性座椅倾斜 坐姿 3	HPM-I	HPM-II
躯干角 (度)	25.0	23.6	23.6	50.0	45.7	49.2	50.0	50.7	49.7	65.0	63.8	62.9
坐垫角 (度)	15.0	10.8	11.1	15.0	11.4	11.3	25.0	21.7	22.0	35.0	30.3	30.9
H 点 X 值 (mm)		-95.2	-118.0		-69.1	-74.5		-75.7	-71.2		-50.9	-41.7
H 点 Z 值 (mm)		154.6	163.4		147.3	150.9		161.3	161.1		161.5	155.2

\*注：在此角度设置下，HPM-I 超过自身量程极限，躯干角与坐垫角夹角达到极限。

#### 4.1.2 汽车座椅试验结果

表 2 为使用 HPM-I 及 HPM-II 测量多种汽车座椅在直立坐姿及倾斜坐姿下的躯干角、坐垫角、H 点坐标结果。表 3 和表 4 为使用 HPM-I、HPM-II、HPM-TAE 三种 HPM 测量多种汽车座椅在直立坐姿及倾斜坐姿下躯干角、坐垫角、H 点坐标结果。文中直立坐姿代指躯干角接近  $25^{\circ}$  时的座椅状态，倾斜坐姿代指躯干角在  $35^{\circ}$  及以

上姿态的试验，后同。



Figure 6 HPM-I tested on Vehicle Seat

图 6 汽车座椅上测试的 HPM-I



Figure 7 HPM-I tested on Vehicle Seat

图 7 汽车座椅上测试的 HPM-II



Figure 8 HPM-TAE tested on Vehicle Seat

图 8 汽车座椅上测试的 HPM-TAE

Table 2 Vehicle seat A Measurement Record Form

表 2 汽车座椅 A 测量记录表								
测量工具	汽车座椅 A 直立坐姿 1*		汽车座椅 A 倾斜坐姿 1**		汽车座椅 A 直立坐姿 2		汽车座椅 A 倾斜坐姿 2	
	HPM-I	HPM-II	HPM-I	HPM-II	HPM-I	HPM-II	HPM-I	HPM-II
躯干角（度）	25.2	22.0	43.1	37.7	25.3	22.0	42.9	38.7
H 点 X 值（mm）	-261.5	-255.5	-264.6	-250.0	-262.6	-253.5	-263.9	-252.7
H 点 Z 值（mm）	347.1	337.2	346.2	332.4	344.7	340.1	346.9	336.1

Table 3 Vehicle seat B Measurement Record Form

表 3 汽车座椅 B 测量记录表										
测量工具	汽车座椅 B 倾斜坐姿 1			汽车座椅 B 倾斜坐姿 2		汽车座椅 B 倾斜坐姿 3			汽车座椅 B 倾斜坐姿 4	
	HPM-I	HPM-II	HPM-TAE	HPM-II	HPM-TAE	HPM-I	HPM-II	HPM-TAE	HPM-II	HPM-TAE
躯干角（度）	54.1	49.1	54.9	47.4	54.2	50.2	45.2	53.8	55.5	65.2
坐垫角（度）		25.9	24.5	27.4	24.2		16.8	16.0	16.2	11.2
H 点 X 值（mm）	3923.6	3929.5	3920.6	3931.5	3921.5	4124.6	4141.0	4105.9	4147.9	4110.3
H 点 Z 值（mm）	1409.6	1396.6	1410.9	1389.4	1413.2	1408.6	1393.5	1414.0	1394.9	1430.8

Table 4 Vehicle seat C and D Measurement Record Form

表 4 汽车座椅 C 和 D 测量记录表

测量工具	汽车座椅 C 倾斜坐姿 1			汽车座椅 D 倾斜坐姿 1	
	HPM-I	HPM-II	HPM-TAE	HPM-II	HPM-TAE
躯干角(度)	43.4	38.75	44.6	49.9	58.5
坐垫角(度)	19.6	20.7	21.55	23.4	16.7
H 点 X 值 (mm)	2302.8	2316.7	2294.4	3743.1	3718.1
H 点 Z 值 (mm)	529.5	519.7	528.3	1026.5	1053.1

## 4.2 假人摆放试验结果

表 5、表 6 为按照试验方法,使用 HPM-II 测量 H 点后,使用 THOR-RS 或 THOR-AV 假人进行摆放,统计的 H 点数据。包含多种汽车座椅的 HPM-II 测量 H 点及假人 H 点坐标。

Table 5 THOR-RS Dummy H-Point and HPM-II Measurement H-Point Recording Form

表 5 THOR-RS 假人 H 点与 HPM-II 测量 H 点记录表

	HPM-II		THOR-RS		差值*	
	H 点 X 坐标 (mm)	H 点 Z 坐标 (mm)	H 点 X 坐标 (mm)	H 点 Z 坐标 (mm)	H 点 X 坐标 (mm)	H 点 Z 坐标 (mm)
汽车座椅 A 倾斜坐 姿 1 (45°)	4097.4	1395.5	4068.3	1431.0	-29.1	35.5
汽车座椅 A 倾斜坐 姿 2 (47.4°)	4098.6	1393.6	4081.1	1428.2	-17.5	34.6
汽车座椅 E 倾斜坐 姿 1 (45°)	3719.2	1041.0	3708.6	1039.3	-10.6	-1.7
汽车座椅 E 倾斜坐 姿 2 (50°)	3738.6	1010.8	3717.0	1034.0	-21.6	23.2
汽车座椅 E 倾斜坐 姿 3 (50°)	3653.3	1017.1	3636.6	1040.0	-16.8	22.9
汽车座椅 E 倾斜坐 姿 4 (55°)	3758.8	1009.1	3740.3	1038.7	-18.6	29.5
平均值					-19.0	24.0

Table 6 THOR-AV Dummy H-Point and HPM-II Measurement H-Point Recording Form

表 6 THOR-AV 假人 H 点与 HPM-II 测量 H 点记录表

	HPM-II		THOR-AV		差值*	
	H 点 X 坐标 (mm)	H 点 Z 坐标 (mm)	H 点 X 坐标 (mm)	H 点 Z 坐标 (mm)	H 点 X 坐标 (mm)	H 点 Z 坐标 (mm)
汽车座椅 B 倾斜坐 姿 1 (49.1°)	3929.5	1396.6	3916.1	1419.4	-13.4	22.9
汽车座椅 B 倾斜坐 姿 2 (47.4°)	3931.5	1389.4	3914.4	1422.0	-17.2	32.7
汽车座椅 B 倾斜坐 姿 3 (45.2°)	4141.0	1393.5	4121.0	1417.3	-20.0	23.8
汽车座椅 F 倾斜坐 姿 3 (45°)	2437.5	408.7	2405.8	425.4	-31.7	16.7
汽车座椅 F 倾斜坐 姿 3 (45°)	2444.8	448.3	2408.3	464.1	-36.5	15.8
汽车座椅 F 倾斜坐 姿 3 (45°)	2433.0	445.5	2413.0	464.0	-20.0	18.5
汽车座椅 C 倾斜坐 姿 3 (38.75°)	2316.7	519.7	2302.6	534.9	-14.1	15.2
汽车座椅 D 倾斜坐 姿 3 (49.9°)	3743.1	1026.5	3720.2	1048.3	-22.9	21.8
平均值					-22.0	20.9

## 5 分析

### 5.1 HPM 装置测量躯干角及坐垫角对比分析

表 1 中在“刚性座椅倾斜坐姿 1”试验条件下，发现 HPM-I 在测量过程中，其外壳表面无法整体贴合座椅上表面，HPM-I 达到测试角度极限无法继续展开，此时用角度仪测得刚性座椅表面角度分别为 50°、15°。除此次试验外，根据表 1-4 中不同座椅及角度设置下的 HPM-I、HPM-II、HPM-TAE 数据，将各试验条件下的不同 HPM 测量躯干角、坐垫角分布展示于图 9、图 10。

在刚性座椅试验中，HPM-I 与 HPM-II 测得躯干角及坐垫角均较为接近，相差最大不超过 1°。

在汽车座椅试验中，HPM-I 与 HPM-II 所测得躯干角及坐垫角表现出明显的差异。HPM-I 与 HPM-II 的躯干角差值均在 4°以上，且 HPM-II 测量躯干角均小于 HPM-I 及 HPM-TAE 所测量躯干角，其中 HPM-I 所测量躯干角与 HPM-TAE 测量角度较为接近，HPM-I 略小；HPM-I 及 HPM-TAE 所测坐垫角普遍小于 HPM-II 测得坐垫角。



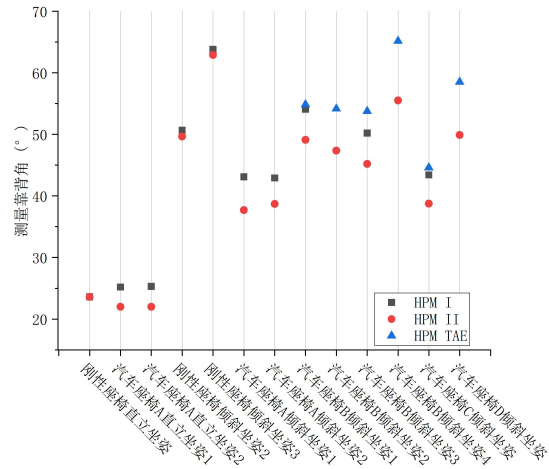


Figure 9 Comparison of torso angles measured by different HPMs

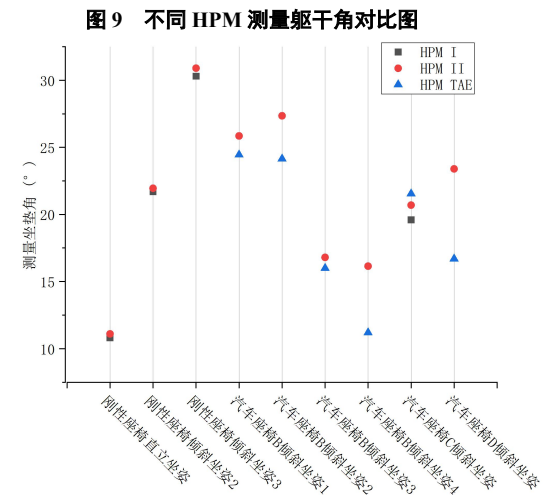


Figure 10 Comparison of cushion angles measured by different HPMs

图 9 不同 HPM 测量躯干角对比图

图 10 不同 HPM 测量坐垫角对比图



Figure 11 Side view of HPM-II on reclined rigid seat

图 11 大倾角状态刚性座椅摆放 HPM-II 侧视图



Figure 12 Side view of HPM-I on reclined rigid seat

图 12 大倾角状态刚性座椅摆放 HPM-I 侧视图

观察发现在刚性座椅上，在直立坐姿时，HPM-I和 HPM-II的背板外轮廓相似，因此测量角度一致，但在倾斜坐姿时，如上图 11-12，HPM-I和 HPM-II的背板外轮廓由于结构差异，HPM-I背板上部部分悬空，与刚性座椅之间产生明显间隙，而 HPM-II上部间隙与刚性座椅无明显间隙。

而在汽车座椅上，调节到倾斜坐姿时，如图 6-8，由于真实座椅靠背曲面或腰托的轮廓，相较于 HPM-II，



HPM-I及 HPM-TAE 的背板无法完全贴合座椅表面，HPM-II呈更贴合座椅轮廓的状态。随着座椅靠背的角度增大，这种差异逐渐放大，如图 13、图 14，在此姿态下 HPM-I 因为角度限制已不适用，HPM-TAE 背板上部与座椅靠背间存在间隙，且背板与座板连接处与座椅间隙也较大，而 HPM-II 因为多块可背板可以适应靠背不同区域的不同弧度，整体与座椅表面贴合更紧密。



Figure 13 Side view of HPM-TAE on reclined vehicle seat

图 13 大倾角状态汽车座椅摆放 HPM-II 侧视图



Figure 14 Side view of HPM-II on reclined vehicle seat

图 14 大倾角状态汽车座椅摆放 HPM-II 侧视图

在不同的靠背倾斜角度下，人体的脊椎姿态的确也会发生规律性的改变，如下表 7 及图 15，TOYOTA 在开发 THUMS v7.0 时，发现人体腰椎随着倾斜角度的增大，腰椎区域（下背部）脊柱的自然向内弯曲的程度（lumbar lordosis, LL）也会增加<sup>[14][15]</sup>。HPM-I 及 HPM-TAE 的背板均为整体式结构，而 HPM-II 为分段式，可以根据靠背不同区域的角度变化相应地改变不同背板的角度的，因此可以更好的模拟真人在大倾角下的坐姿，更好地贴合座椅靠背。

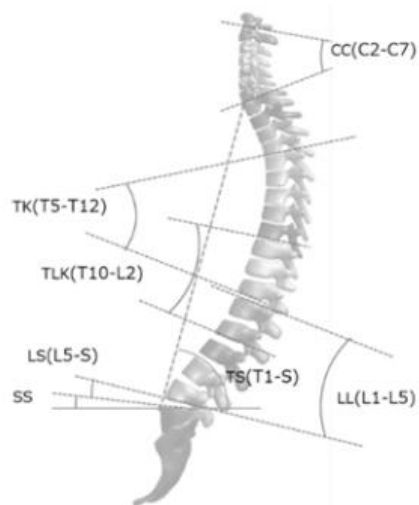


Figure 15 Vertebral angles of THUMS AM50

图 15 THUMS AM50 的脊柱角度示意图

Table 7 LL angle of THUMS AM50 at different seat back angle

表 7 在不同靠背角度下的 THUMS AM50 的 LL 角度

	Seat Back Angle (deg)		
	25deg	35deg	45deg
LL	5.8	10.8	16.8

## 5.2 HPM-II装置与假人 H 点对比分析

根据表 5、表 6，将 HPM-II 测量 H 点作为坐标原点，分别将 HPM-I 及 HPM-TAE 测量 H 点、THOR-AV 及 THOR-RS 测量 H 点绘制于图 16 图 17。

从图 16 中发现，除刚性座椅直立坐姿外，在刚性座椅和汽车座椅上，HPM-I 及 HPM-TAE 的测量 H 点均分布在以 HPM-II 测量 H 点为原点的第二象限，表明 HPM-I 及 HPM-TAE 测量 H 点较 HPM-II 测量 H 点更向上、向前（座椅朝向方向）。而 HPM-I 与 HPM-TAE 相比较，HPM-I 测量 H 点普遍更向下、向后。

从图 17 中发现，除一次 THOR-RS 试验外，在汽车座椅上，THOR-AV 及 THOR-RS 的 H 点均分布在以 HPM-II 测量 H 点为原点的第二象限，表明 THOR-AV 及 THOR-RS 假人 H 点较 HPM-II 测量 H 点更向上、向前。平均后可得，Thor-RS 相比 HPM-II 的 H 点 X 值总体更向前约 19mm，Z 值总体更向上约 24mm。Thor-AV 相比 HPM-II 的 H 点 X 值总体向前约 22mm，Z 值总体向上约 20.9mm。蓝色框为目前主流汽车安全测评规程中，相较于 HPM 装置测量的 H 点，假人 H 点摆放的容许范围。THOR-RS 及 THOR-AV 在骨盆皮肤及假人其他部位相较于 THOR-50M 假人均做了修改，因此尽管目前大部分试验可以做到目前的规程摆放要求，但少数试验无法达到。

此外，在座椅躯干角度较大，座垫角度较小时，由于座椅腰部支撑呈现突出轮廓，HPM-I 和 HPM-TAE 背板上半身呈现一个相对悬空的状态。此时为了将背板支撑住，按照 SAE J826，应在使用 HPM-I 和 HPM-TAE 测量时会施加 100N 的力并且保持住，但因为背板的悬空状态，100N 可能会不足以稳定住 HPM 装置，导致其整

体向座椅外滑动一定距离，这也是测量出来的 H 点 X 值偏小的可能原因之一。

不少的企业都对 HPM-I、HPM-II在座椅直立坐姿做过比较，得到测量的 H 点差异较大<sup>[16]</sup>。分析表中数据发现，HPM-I、HPM-II和 HPM-TAE 在躯干角增大的情况，测量的 H 点 X 坐标值越来越大，但 HPM-II H 点 Z 值越来越小，HPM-I和 HPM-TAE H 点 Z 值会越来越大。当大角度时，HPM 装置会越来越贴合，导致 X 的增大，而座椅的腰部支撑对 HPM-I和 HPM-TAE 的背板有一定支撑，而大腿配重和上胸部的配重两端的重量使得两边压住，导致中间座板尾端滞空，所以会导致 HPM-I和 HPM-TAE H 点的 Z 值略微增大。

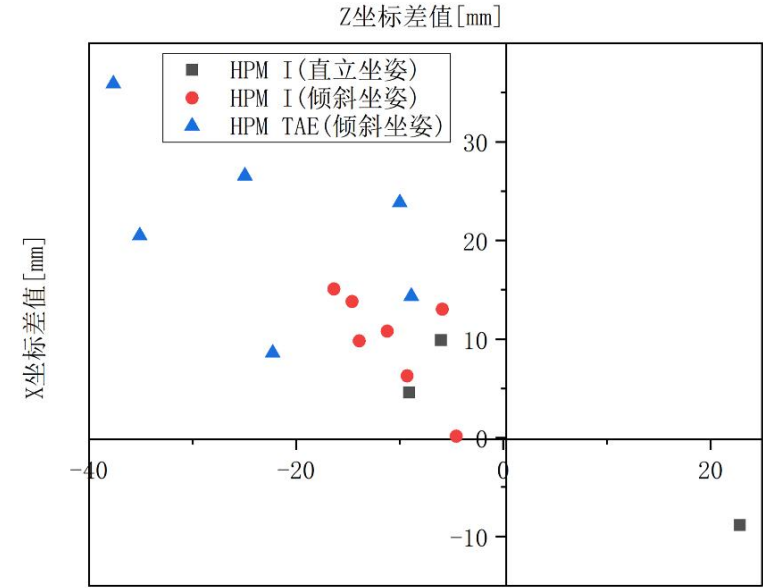


Figure 16 Comparison of H point measured by HPMs

图 16 HPM 测量 H 点对比

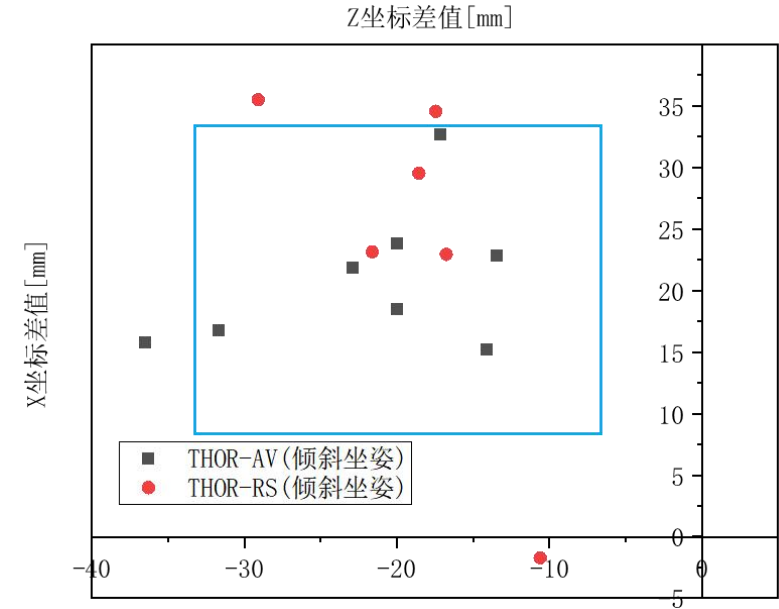


Figure 17 Comparison of dummy's H point and HPM-II's H point

图 17 Thor-AV 和 Thor-RS 与 HPM-II 测量的 H 点对比

## 6 结论

HPM-I 在实际测量过程中,相较于其他 HPM,存在测量角度限制。在 HPM-I 的基础上开发出的 HPM-TAE 能够扩大测量量程,这两种 HPM 装置测得躯干角及坐垫角角度接近。HPM-II 装置相较于 HPM-I 能更好贴合大倾角姿态汽车座椅的表面,且适用座椅角度范围更广,可满足更多座椅测试需求。

在直立坐姿下,HPM-I 与 HPM-II 测量角度差异不大,但在汽车座椅上,由于座椅曲面,HPM-II 的多段式背板能够更好的贴合座椅,在倾斜角度增大后,HPM-II 与 HPM-I 和 HPM-TAE 表现出不同的测量差异。

对于测量角度,在有效测试量程内,三种 HPM 装置测量真实座椅躯干角时,角度大小顺序为 HPM-TAE>HPM-I>HPM-II,且 HPM-II 测量坐垫角普遍大于 HPM-I 及 HPM-TAE。对于 H 点坐标,以朝向座椅靠背的水平方向为 X 正方向,HPM-II>HPM-I>HPM-TAE,以垂直水平向上为 Z 正方向,HPM-TAE>HPM-I>HPM-II。目前的两种倾斜姿态假人 THOR-AV 和 THOR-RS 的 H 点与 HPM-II 测量出来的 H 点之间的对应关系大多数可满足当前规程 Thor-50M 与 HPM-I 的摆放规定要求。

## 7 后续研究

HPM-TAE 目前仍处于研究阶段,缺乏公开的技术文件作为支撑,需要更进一步的探索来确认其在大倾角座椅场景下的适用性。由于假人设计改变,HPM-II 测量 H 点与假人 H 点之间的位置关系已不再满足现行测评规程要求,需要更深入的研究和大量的数据来确定假人 H 点与 HPM 装置的位置关系。

## 参考文献 (References)

- [1] Du Changjiang, Qiao Yu, Peng Weiqiang, et al. Research on Seating Position of Zero-Gravity-Seats based on Working Condition Analysis[J]. China Auto.2023:61-64  
杜长江,乔宇,彭伟强,等.基于工况分析的零重力座椅乘坐姿态研究[J].中国汽车, 2023(10):61-64
- [2] LI Jian, WU Xiaoqing, XU Haixia, et al. Design Analysis and Development Trend of Zero Gravity Seat for Automobile[J].Automobile Parts.2023 (2):76-79  
李健,吴小青,许海霞,等.汽车零重力座椅的设计分析和发展趋势[J].汽车零部件, 2023(2):76-79.
- [3] Chunxian Ju, Yaohui Zhang, Gang Wang, et al. Injury Assessment of large angle seats based on HBM.[C].INFATS.2023:43-51  
鞠春贤,张耀辉,王刚,等.基于 HBM 人体模型对大角度座椅的伤害评估[C] INFATS.2023:43-51
- [4] 无.专家详解零重力座椅的安全性[J].世界汽车, 2023(2):58-59. 1
- [5] Dissanaik S, Kaufman R, Mack C D, et al. The effect of reclined seats on mortality in motor vehicle collisions.[J].The Journal of Trauma-Injury, Infection, and Critical Care, 2008, 64(3):614-619
- [6] GB/T 29120-2012, H 点和 R 点确认程序[S],中国国家标准化管理委员会, 2012
- [7] Liu, C. and Wang, Z., "Dummy Positioning at Reclined Seating Position before Impact Testing," SAE Technical Paper 2024-01-2490
- [8] 车内乘员安全指数-前排假人及座椅调节规程(2023 版) [S],<https://www.ciasi.org.cn>
- [9] 3D CAD For SAE J826 -Point Machine [S], <http://www.sae.org.cn/2021>
- [10] 白晓莉,金正宾,陈建辉,等.三维 H 点装置 HPM-I 的研制[J].工程机械文摘,2023,(04):25-28.
- [11] J4002\_202202 H-Point Machine (HPM-II) Specifications And Procedure For H-Point Determination - Auditing Vehicle Seats[S],<http://www.sae.org.cn/2021>
- [12] 陈星,朱春嵩.新型三维 H 点装置(HPM-II)的研制[J].工业计量,2015,25(03):51-53.
- [13] 万鑫铭,刘煜,费敬,等.一种零重力特征的汽车碰撞试验刚性座椅:CN202310645676.5[P].CN116659795A[2024-09-14].22
- [14] Total Human Model for Safety[Z]<https://www.toyota.co.jp>Liu, C. and Wang, Z., "Dummy Positioning at Reclined Seating Position before Impact Testing," SAE Technical Paper 2024-01-2490
- [15] Total Human Model for Safety[Z]<https://www.toyota.co.jp>
- [16] Nishida N, Izumiyama T, Asahi R, Jiang F, Ohgi J, Yamagata H, Imajo Y, Suzuki H, Funaba M, Sugimoto S, Fukushima M, Chen X, Sakai T. Analysis of individual differences in pelvic and spine alignment in seated posture and impact on the seatbelt kinematics using human body model. PLoS One. 2021 Jul 9;16(7):e0254120. doi: 10.1371/journal.pone.0254120. PMID: 34242288; PMCID: PMC8270461.
- [17] Fang Zheng, Zhao Qingjiang, Comparison of Measuring Result by Using Three-Dimensional H-Point Machine and Three-Dimensional H-Point Machine-I[C]2017:92-97  
方正,赵清江.第一代三维 H 点装置与第二代三维 H 点装置测量结果的比较[C]2017:92-97