

A Comparative Study of HPM-I and HPM-II Measurements Under Reclined Seat

Changjiang DU, Jiansheng MA*, Chenggang DUAN, Tianqiang DU, Shuwen GUO

China Automotive Parts Technology (Tianjin) Co., Ltd, Tianjin, 300300

Email: jianshengma@outlook.com

Abstract: The H-point is the basis for automobile design and testing, and the three-dimensional H-point measuring device (HPM) is a device that measures the actual H-point of the seat. With the development of autonomous driving technology and intelligent network technology, car seats that can achieve large-angle riding posture have emerged, such as zero-gravity seats, queen co-pilots, etc., and these products have become important selling points and brand promotion points in the development of new products of OEMs. However, the existing HPM I and HPM II are mainly designed for normal sitting posture. It is worth investigating whether the existing HPM device can test the large-angle seat, what is the difference between the measurement results of the two HPM devices, and whether the biomimetic degree meets the requirements. In this paper, the HPM I and HPM II measurements were carried out on 9 seats with a conventional backrest angle of 25°. For a large-angle seat, the HPM I and HPM II device were tested and compared in the wide angle range of the seat backrest angle of 25° to 45°, which provided support and reference for the measurement of the H-point and backrest angle of the seat in the large-angle sitting posture.

Keywords: Reclined seat; Vehicle crash; HPM; J826; J4002

HPM-I与HPM-II在大角度座椅下的测量对比研究

杜长江, 马健胜*, 段成刚, 杜天强, 郭树文

中汽零部件技术(天津)有限公司, 天津, 中国, 300300

Email: jianshengma@outlook.com

摘要: H 点是汽车设计以及试验的基础, 三维 H 点测量装置(简称 HPM)为测量座椅实际 H 点的设备。随着汽车自动驾驶技术和智能网联技术的发展, 能够实现大角度乘坐姿态的汽车座椅应运而生, 如零重力座椅、女王副驾等, 且这些产品已经成为主机厂新产品开发中的重要卖点和品牌宣传点。然而现有 HPM I 与 HPM II 主要是针对正常坐姿设计研发与使用。现有 HPM 装置能否对大角度座椅进行测试, 两款 HPM 装置测量结果有何差异, 生物仿生度是否满足要求值得研究。本文对 9 款座椅在常规靠背角 25°状态下, 进行了 HPM I 与 HPM II 的测量对比试验。而对于一款大角度座椅, 在座椅靠背角为 25°至 45°的大角度范围内, 对 HPM 装置 I 代和 II 代进行了试验对比, 为大角度乘坐姿态下座椅的 H 点和靠背角度测量提供支撑和参考。

关键词: 大角度座椅; 汽车碰撞; HPM; J826; J4002

1 引言

座椅设计 H 点是用于建立乘员调节工具和尺寸的基本基准点, H 点在汽车设计与试验中具有重要的作用。三维 H 点测量装置 HPM (three-dimensional H-point machine) 是用于测定车辆上的实际 H 点和实际躯干角的装置。行业现有的 HPM 装置有 SAE J826 定义的一代 HPM I (three-dimensional H-point machine-I)^[1]与 SAE J4002 定义的二代 HPM II (three-dimensional H-point machine-II)^[2-3]。在座椅静态测量、静态加载、整车碰撞等座椅

相关试验中，用 HPM 测量 H 点、躯干角并将座椅靠背调节至设计位置是试验的必要步骤。随着车辆智能化、网联化的发展，智能座舱等新的人机交互的出现，零重力座椅、女王副驾已经成为主机厂新品开发中的重要卖点和宣传点，大角度座椅在市场上越来越多。大角度座椅的安全性越来越受到重视。从产品开发以及安全性测试评价的角度，需要用 HPM 装置对大角度座椅的 H 点进行测量。然而行业现有的 HPM I 与 HPM II 装置均在座椅靠背角为 23°、25°等常规坐姿下进行开发与验证，设计之初并未考虑大角度座椅测量的工况。现有 HPM I 与 HPM II 在大角度座椅测量工况下是否适用，测量结果有何差异，生物仿生度是否满足要求值得行业研究与确定。

目前，对于 HPM I 与 HPM II 是否适用于大角度靠背角工况下的测量研究较少。在自动驾驶汽车中，座椅更有可能调整到更倾斜的位置时，大角度座椅 H 点的确定显得越来越重要。在 9 款座椅调整至 25°常规靠背角的状态下，对比了 HPM I 与 HPM II 的测量结果。并对其中一款具有大角度功能的座椅，在靠背角 25°至 45°的大角度范围内，对 HPM I 与 HPM II 的测量结果进行了对比。

2 HPM-I 装置简介

目前测量汽车座椅 H 点最广泛使用的标准工具是 SAE J826 中定义的 H 点人体模型，即 HPM I 代假人。HPM I 是 20 世纪 60 年代早期开发的，以满足在车辆设计过程中需要一个三维工具代表汽车乘员。虽然 HPM I 已经成功使用了将近 60 年，在现代座椅以及电脑设计环境中，HPM I 的局限性逐渐凸显。图 1 为 SAE J826 定义的 HPM I 代假人。

HPM I 的开发历史如下：在 1955 年，密西根大学的 Wilfred Dempster 教授进行了一项骨骼运动学的深入研究^[4]，以开发一个代表坐姿乘员的三维运动装置。Dempster 教授站在新兴的工程人体测量学的前沿，力求将人体测量和数据分析程序应用于工作空间和设备设计问题。在 1950 年代后期，通用汽车公司的 Myal 完成了“舒适性人体模型”的第一个原型^[5-6]，这是一种代表汽车驾驶员的三维配重模型。该三维模型旨在提供以前不能测量的车辆内部空间测量量。首先，该人体模型臀部包括一个参考点，该点称为 H 点。相比于不装假人没有变形的座椅，当假人安装在座椅上时，H 点的位置提供了对于乘员位置更有用的预测。其次，人体躯干也被配重，装在座椅上时，产生的靠背角度类似于人类乘员产生的靠背角，于是该假人提供了一种改进的座椅靠背角的测量方法。最后，假人髋关节和膝关节的角度提供了一个测量腿部空间的方法。为了获得一个典型的座椅变形，选择重量为男性的中位数体重 170 磅（77.3kg），基于当时的民用和军用人体测量数据。然而，因为也需要对腿部空间进行测量，基于设计极限的理念，假人的参考身高建立为 1803mm，大约是当时男性驾驶员的第 90 百分位数。座椅接触区域的外部轮廓是根据 8 名男性的座椅界面轮廓开发的。这些男性身高约为 1803mm，体重约为 77.3kg。选择一个被认为最能代表该组的主体轮廓作为人体模型轮廓的基础。可能是为了提高人体模型的性能或出于制造的考虑，轮廓进行了一些额外的修改。

1962 年，SAE 设备设计委员会采用了 SAE 推荐规程 J826，描述了具有壳体的三维配重人体模型。新的 H 点人体模型使用了 GM 的外表面外壳，但使用 Geoffrey 等人的输入修改了连杆几何图形。到 1968 年，J826 已被修订，以指定使用较长的腿部和大腿部分。这些部分被确定为 95 百分位数。



图 1 HPM I

HPM I 人体模型目前已被用于许多其初衷以外的其他用途，这主要是因为它是使用最广泛的车辆乘员物理表示。SAE J1100 包含数十个相对于 HPM 的测量的尺寸，包括臀部空间、腿部空间和头部空间的测量值。H 点人体模型已用作其他测量设备的平台，包括测量头枕位置的工具等。美国联邦机动车安全标准使用具有修改过腿长的 H 点人体模型来建立定位碰撞测试假人的参考点。定义 HPM I 的 SAE J826 已经被 ISO 6549-1999 以及 GB/T 29120-2012 所引用。

HPM I 重量分布如表 1 所示。对设备进行实际测量，HPM I 总重 76.68kg。上半身配重块总重 31.2kg，下半身配重块总重 16.98kg。

表 1 HPM1 重量分布

部位	质量(kg)	数量	重量(kg)
躯干配重圆盘	3.9	8	31.2
臀部配重圆盘	3.9	2	7.8
大腿配重块	3.39	2	6.78
小腿配重块	1.2	2	2.4
小腿和鞋	4.4	2	8.8
背板+座板	19.7	1	19.7
总质量			76.68

3 HPM-II 装置简介

虽然 SAE J826 中定义的 HPM I 的广泛应用证明了车辆乘员模型的许多潜在应用。但是 HPM I 的局限性导致汽车行业呼吁改进。在 1993 年，SAE 设备设计委员会召集了一个工作组来改进人体模型。来自汽车制造商，座椅供应商和大学代表确定建立一个专注于开发新人体模型的研发计划 ASPECT (Automotive Seat and Package Evaluation 首字母缩写)。该计划于 1994 年 7 月开始，1999 年 6 月底完成。该计划的目标包括开发新的人体模型和用于预测乘员姿势和位置的新的统计工具^[7-8]。

HPM II 的是在 HPM I 的基础上，增加了新的测量能力和改善易用性。HPM II 假人具有一个关节式躯干连接来测量腰椎支撑突出度，基于人体实验数据的新轮廓，一个修正的的配重方案。具有轻量化补充大腿、腿部、和鞋部^[9]。以及一个更简单，用户友好的安装程序^[10]。图 2 为 SAE J4002 定义的 HPM II 假人。SAE J4002 被标准 ISO 20176—2006《道路车辆-H 点机械 HPM-II, H 点测定的规范程序》所引用。

HPM II 的官方质量分布如表 2 所示。HPM II 总重量 72.69kg。其中上半身配重块总重 21.48kg，下半身配重

块总重 31.9kg。HPM II 装置设计之初只进行了座椅靠背角 25°下的验证，并未在大角度座椅测量工况下进行验证。



图 2 HPM II

表 2 HPM II 重量分布

部位	官方质量(kg)	数量	重量(kg)
头部空间装置	1.43	1	1.43
背板	5.94	1	5.94
背部重块	1.79	12	21.48
座板	8.41	1	8.41
大腿	2.11	1	2.11
骨盆重块（直角块）	3.2	4	12.8
骨盆重块（斜角块）	3.13	2	6.26
大腿重块	2.14	6	12.84
小腿	0.88	1	0.88
鞋具	0.54	1	0.54
总质量			72.69

4 两款 HPM 试验对比及结果分析

为了对两款 HPM 测量结果进行对比，需要座椅在相同位置状态下进行测量比较。使用 FARO 三坐标仪测量 H 点空间坐标，三坐标仪的坐标轴方向建立方向示意图如图 3 所示，X 水平轴正方向指向座椅前方，Z 轴正向指向座椅上方。在每次测量对比过程中保持三坐标仪建立的坐标系不变。

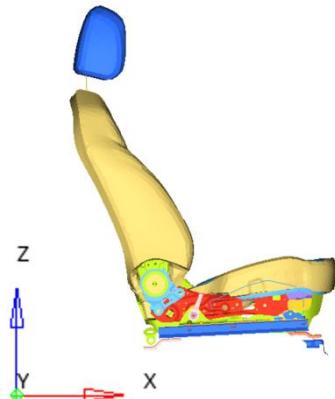


图 3 三坐标仪坐标轴建立方向示意图

首先 9 款座椅用 HPM I 调整至 靠背角为 25° 标准坐姿下，与 HPM II 进行测量对比。对于 9 款座椅，首先用 HPM I 按照 SAE J826 操作规程，将座椅位置调至靠背角 25° ，用 FARO 三坐标仪测量此时的 H 点，用电子角度尺测量此时的靠背角。保持座椅位置不变，三坐标仪坐标系不变，撤换 HPM I，按照 SAE J4002 规程安装 HPM II。记录 HPM II 在该座椅状态下的的 H 点与靠背角测试结果。9 款座椅常规靠背角度下，HPM I 与 HPM II 靠背角对比如图 4 所示，HPM II 测量的 H 点 X 向坐标相对于 HPM I 测量的 X 坐标差值如图 5 所示。

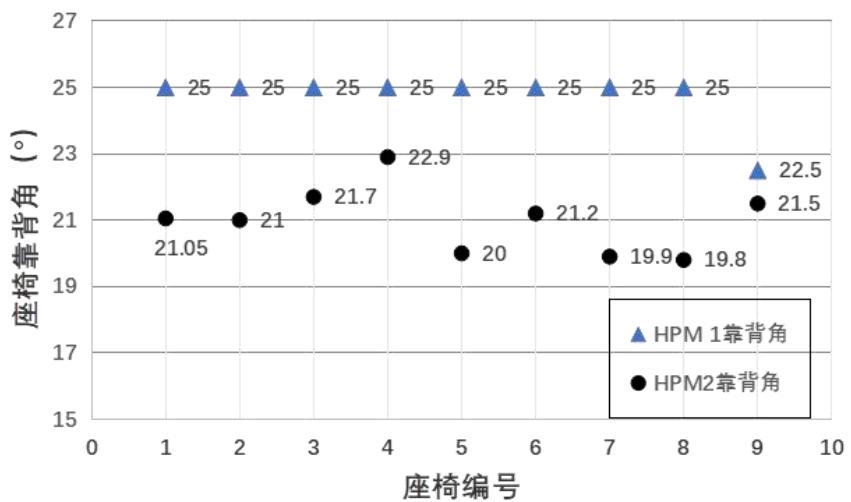


图 4 九款座椅 HPM I 与 HPM II 靠背角对比

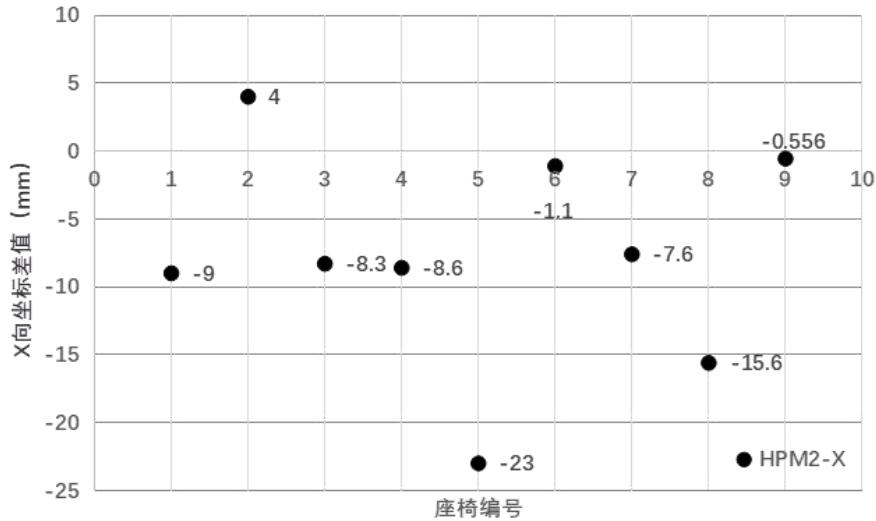


图 5 九款座椅 HPM-II H 点 X 坐标与 HPM I 所测 H 点 X 向差值

由图 4 可见，在 9 款座椅测量中，对于相同的座椅位置，HPM I 和 HPM II 测得的 H 点坐标与靠背角度是不相同的。对于同款座椅相同状态的情况下，HPM I 测量的靠背角为 25° ，HPM II 测量的靠背角比 HPM I 小 4° 左右。由图 5 可见，HPM II 测量的 H 点 X 向坐标基本比 HPM I X 向坐标更靠后，两款 HPM 的 X 向坐标差值与座椅本身靠背形状有关。

选取一款具有大角度功能的 1 号座椅（如图 6、7 所示），在靠背角 25° 至 45° 的大角度范围内对 HPM I 与 HPM II 测量结果进行对比。在 1 号座椅测量过程中，用 HPM I 测量的最大座椅躯干角度被限制在 50° ，用 HPM II 测量的最大座椅躯干角度被限制在 55° 左右（最大角度与具体座椅的特性有关）。图 6 左图为 HPM I 调节座椅至 25° 状态，更换 HPM II 的状态如图 6 右图所示。再用相同的比较方法，用 HPM I 将座椅分别调节至 30° 、 35° 、 40° 、 45° ，记录下各个角度下 HPM I 测量的 H 点坐标与靠背角。用 HPM I 将座椅调节至指定靠背角度后，拆除 HPM I，保持座椅位置不变，安装 HPM II。用 FARO 三坐标仪对对应 HPM II 的 H 点坐标进行测量，记录 HPM II 测量的靠背角。图 7 为用 HPM I 将座椅调至 45° 靠背角时，更换 HPM II，从左至右依次为 HPM I、HPM II 的安装状态。

在各个状态下，除了记录 HPM 基本的 H 点与靠背角之外，还记录了大腿角度、腰部突出度等数据。



图 6 HPM I 靠背角 25° 、HPM II



图 7 HPM I 靠背角 45°、HPM II

将各自靠背角度下 HPM I 测得的 H 点坐标作为零点，计算的 HPM II 的 X 坐标与 HPM I 的 X 坐标差值见图 8，两款 HPM 的 Z 坐标差值见图 9。图 10 为 HPM I 与 HPM II 靠背角对比。

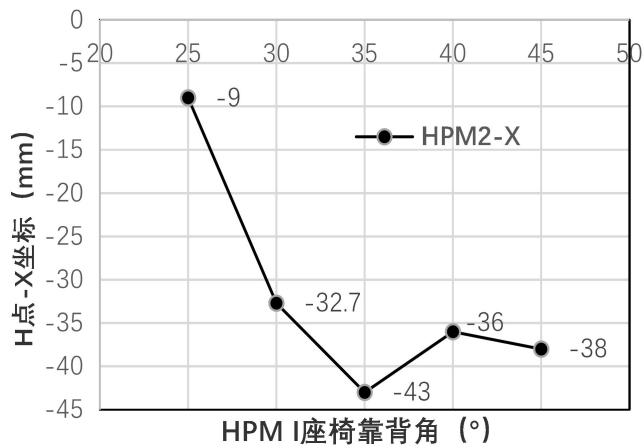


图 8 H 点 X 坐标与 HPM I H 点差值

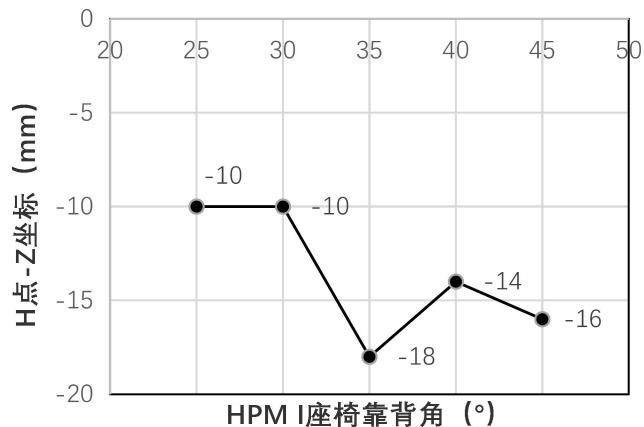


图 9 HPM-II H 点 Z 坐标与 HPM I H 点差值

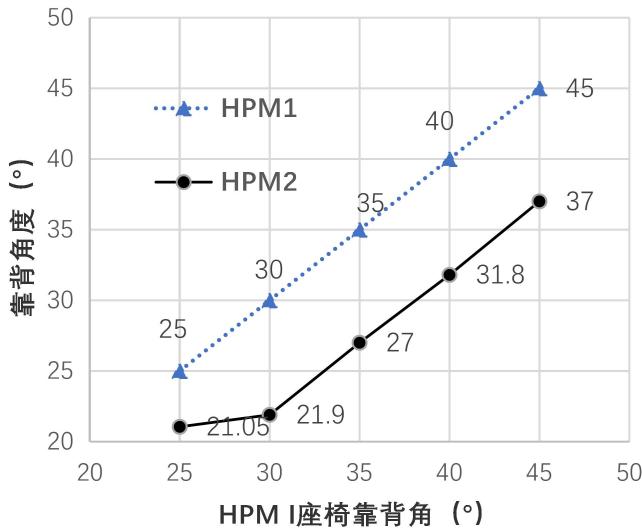


图 10 座椅靠背角

由图 8 中 H 点 X 差值图、图 9 中 Z 坐标差值图和图 10 靠背角对比图线可见：

在 HPM I 定位的 25° 座椅位置下，HPM II 在 HPM I 的 H 点 X 向后方 9mm，Z 向下方 10mm。HPM II 测得的靠背角为 21.05°，比 HPM I 小 3.95°。

随着靠背角的增大，HPM II 测得的 H 点 X 坐标与 HPM I 的 H 点 X 坐标差值逐渐增大。30° 靠背角时，HPM II 的 H 点在 HPM I 的 H 点的 X 向后方 32.7mm，在 35° 时差值最大，相差 43mm。在座椅靠背角 40° 时相差 36mm，座椅靠背角 45° 时，在 HPM I 的 H 点的 X 向后方 38mm。

图 9 中 HPM II 的 H 点 Z 坐标均在 HPM I 下方。因为 HPM I 上半身配置块总重 31.2kg，HPM II 上半身配重块总重 21.48kg。HPM I 上半身配重块质量大，导致在座椅靠背角增大的过程中，靠背承担了更多的支撑力，HPM I 的 H 点在 Z 方向上要高，靠背角 HPM I 比 HPM II 测量数值大。

由图 10 中座椅靠背角对比图可见：在 HPM I 定位的 25° 靠背角下，HPM II 的靠背角为 21.05°，小 3.95°。随着靠背角的增大，HPM I 与 HPM II 的靠背角曲线基本平行，在 30° 至 45° 范围中，HPM I 靠背角基本比 HPM II 大 8° 左右。

由图 8 至图 10 发现，在该试验座椅上，随着所测座椅靠背角的增大，HPM I 所测的靠背角比 HPM II 大 8° 左右，X 方向上比 HPM II 靠前的距离最大能达到 40mm 左右。HPM I 与 HPM II 测量的 H 点 X 坐标差距过大，超出了生物仿生度可接受的范围。由于 HPM I 与 HPM II 在大角度下的生物仿生度在设计的时候并未考虑，两者之间的所测结果也相差过大，现有 HPM 在大角度工况下的生物仿生度是否能够接受值得行业后续共同研究确定。

HPM I 采用一体式靠背，金属硬质靠背几乎不可变形，上半身 8 块配重块均在肩部位置，在座椅靠背角达到 45° 左右时，不能和座椅靠背很好地贴合在一起，容易发生 HPM 装置左右摇晃的问题，导致测量数据不准确，重现性和可重复性较差。HPM II 靠背为分段式设计，靠背背板为软质铁片，在座椅大角度的状态下，与靠背的贴合度较好，能够测量腰部突出度，HPM II 摆放更加稳定。

5 结论

介绍了现有 HPM I 与 HPM II 测量装置的开发历史，各部件质量分布等情况。首先在常规 25° 靠背角状态下，在 9 款座椅上对比了 HPM I 与 HPM II 的测量结果。并选取一款具有大角度功能的 1 号座椅，用 HPM I 分别调整座椅位置至 25° 至 45°。在座椅相同位置下，在大角度范围内对比了 HPM I 与 HPM II 的测量结果。所得结论如下：

1) 在 9 款座椅用 HPM I 调节靠背至常规靠背角 25° 情况下，HPM II 所测靠背角比 HPM I 测量值小 4° 左右。HPM II 所测 X 坐标相比于 HPM I 所测 H 点的 X 坐标普遍偏后，具体差值与座椅靠背形状有关。

2) 在 1 号座椅 25° 至 45° 大角度靠背角测量工况下，HPM I 所测靠背角比 HPM II 大 8° 左右。HPM II 在大

角度靠背角状态下测量的 H 点坐标相对于 HPM I 测量的坐标，普遍 X 向更偏后，Z 向更偏下。X 方向上 HPM I 所测 H 点比 HPM II 向前最大能达 40mm 左右。X 向坐标相差过大，超出了生物仿生度的误差接受范围。

3) HPM I 与 HPM II 装置设计之初，也并未考虑大角度靠背角的测量工况。即使现有 HPM 装置能够摆放到大角度座椅上，HPM 在大角度下的生物仿真度未得到验证。大角度座椅工况下 HPM 的仿生度需要行业共同研究确定。

4) 在大角度座椅工况下，HPM I 在大角度下摆放不稳定，测量结果重现性和可重复性差。HPM II 分段式靠背更加符合贴合状态，与座椅贴合更加紧密。

5) 在大角度座椅测量过程中，腰部突出度的影响值得考虑。HPM II 采用的分段式靠背设计更具优势。

参考文献 (References)

- [1] Devices for Use in Defining and Measuring Vehicle Seating Accommodation [S]. SAE J826-2022.
- [2] H-point Machine(HPM-II)Specifications and Procedure for H-Point Determination-Auditing Vehicle Seats[S]. SAE J4002-2022.
- [3] H-point Machine(HPM-II)Procedure for H-Point Determination-Benchmarking Vehicle Seats [S]. SAE J4003-2019.
- [4] Dempster, W.T. (1955). Space requirements of the seated operator: Geometrical, kinematic, and mechanical aspects of the body with special reference to the limbs. WADC Technical Report 55-159. Wright-Patterson AFB, OH: Wright Air Development Center.
- [5] Geoffrey, S.P. (1961). A 2-D mannikin--The inside story. Xrays used to determine a new standard for a basic design tool. Technical Paper 267A. New York, NY: Society of Automotive Engineers, Inc.
- [6] Kaptur, V. and Myal, M. (1961). The General Motors comfort dimensioning system. Technical Paper 267B. New York, NY: Society of Automotive Engineers, Inc.
- [7] Schneider L W , Reed M , Roe R W ,et al.ASPECT: The Next-Generation H-Point Machine and Related Vehicle and Seat Design and Measurement Tools[C]//International Congress & Exposition.1999.DOI:10.4271/1999-01-0962.
- [8] Reed M P , Roe R W , Schneider L W .999-01-0963 Design and Development of the ASPECT Manikin[J].Society of Automotive Engineers, 1999(6).DOI:10.4271/1999-01-0963.
- [9] 刘磊,李充,李春.HPM-II装置研究[J].天津科技, 2016, 43(11):3.DOI:10.3969/j.issn.1006-8945.2016.11.011.
- [10] Flgannagan, Carol A C.Reproducibility and Repeatability of the SAE J4002 and J826 H-point Machines[C]//Sae World Congress &Exhibition.2005.DOI:10.4271/2005-01-1010.