

床垫硬度分级与分布测试评价方法

编制说明

2019年8月22日

目 次

1. 任务来源.....	错误!未定义书签。
2. 标准制定的目的和意义.....	2
3. 目前国内外标准现状, 该项目与国内相关标准、文献的关系.....	3
4. 方法研究过程.....	4
4.1 背景知识.....	4
4.2 方法原理.....	5
4.3 仪器与设备.....	7
4.4 实验方案一(方法 B)	7
4.4.1 实验研究的目的.....	8
4.4.2 实验研究的内容.....	8
4.4.3 实验方法.....	8
4.4.4 实验材料.....	10
4.5 方法 B 实验结果分析	11
4.5.1 弹簧压力力学性能与弹簧床垫基本力学性能之间的关系.....	11
4.5.2 床芯类型对床垫力学性能的影响.....	14
4.5.3 弹簧的连接方式对床垫力学性能的影响.....	16
4.5.4 铺垫层材料特性对床垫力学性能的影响.....	20
4.5.5 铺垫层材料组合方式对床垫力学性能的影响.....	22
4.5.6 床芯与铺垫层组合方式对床垫力学性能的影响.....	27
4.6 实验方案二(方法 A)	30
4.6.1 床垫硬度等级测试方法 A 实验验证方法.....	30
4.6.2 床垫硬度等级公式的验证.....	34
4.6.2.1 主观硬度评级结果.....	34
4.6.2.2 体压分布检验.....	36
4.6.2.3 床垫各层硬度及硬度分布验证.....	37
4.6.2.4 床垫硬度分布检验.....	38
5. 小结.....	40
参考文献.....	40

《床垫硬度分级与分布测试评价方法》编制说明

1. 标准制定的目的和意义

睡眠是人体精力与体力恢复的保证，床垫作为睡眠的平台，其物理特性对睡眠质量有着重要的影响。床垫的硬度是表征床垫物理性能的一个重要的方面，这主要是因为床垫的硬度不仅会影响人-床之间压力的缓解，还会影响脊柱支撑。当床垫过硬时，如果人-床之间的界面局部压力大于人体终末小动脉血管压力的2倍^[1]，即 9.33KPa（70mmHg）时，且压力持续时间 1~2h，就可阻断毛细血管对组织的灌流，引起组织缺氧，受压时间超过 2h 以上就会引起人体肌肉软组织不可逆的损伤^[2]。对于健康人，人们会通过翻身等适度的动作行为来减小人-床界面压力对人体肌肉软组织的影响（正常情况下，每晚翻身次数约为 20 次左右），但睡眠中过于频繁的动作行为会使睡眠时断时续难以保持，因此，不利于睡眠质量的提高。对于行为受限或长期卧床者，在载荷作用时间和作用强度双重影响下，会导致褥疮的形成。当床垫过软时，人体会深深陷入床垫之中，人体翻身或姿势调节需要消耗较大的能量，人体翻身次数明显减少，过少的翻身次数会导致人体局部处于持续受压的状态，从而不利于人体的血液循环和神经传导^[3, 4]，同时也不利于人体肌肉的放松；再者，当床垫过软时，人-床界面接触面积增大，过大的接触面积不利于人-床界面湿气的散发，湿粘的人-床界面微环境不利于人体睡眠舒适性的提高。

另外，床垫过硬时，人-床界面压力分布较为集中，仰卧睡姿时，压力主要集中于臀部、肩部、头部等骨突部位，腰部处于悬空状态，缺乏支撑，不利于肌肉放松和脊柱保持自然的状态；侧卧睡姿压力主要集中于大拐子点、肋部、肩部和头部，侧卧在硬度较大的床垫时，人体的稳定性较差，为了保持睡姿，部分肌肉将处于紧绷施力状态，长时间会造成肌肉疲劳。即床垫过硬不利于人体脊柱处于自然弯曲状态和肌肉的放松。而一旦脊柱处于非自然弯曲的状态，椎间盘受压就会增加。床垫过软，臀部极易深深陷入床垫之中，也不利于脊柱保持自然弯曲的状态，从而也不利于椎间盘压力为零和肌肉的放松。

由此可以看出，床垫的软硬程度对人体健康、睡眠质量等都有重要的作用。

众所周知，床垫对人体的支撑是床垫整体与人体重量之间相互作用的结果，但目前床垫软硬程度的评价主要还停留在床垫单一材料的测试和床垫整体主观地、定性描述等方面，如床垫“软”、“硬”、“硬度适中”等，缺乏客观地、量化测试评价整体床垫软硬度的标准。随着中国床垫消费市场的不断扩大，床垫软硬度评价不能再停留于主观地、定性描述，必须要通过标准的量化测试来对床垫软硬度进行评价和分级，这样一方面可以帮助消费者选购适合于自己的床垫，另一方面也有利于企业的标准化设计与生产。

同时，随着定制家具和智能家具的进一步发展，床垫软硬度的量化测试与评价也是床垫智能化设计、定制化生产的基础。这主要是因为，人体是个性化的人体，不同人具有不同的体型和体重，而不同的体型和体重对床垫的硬度和硬度分布有着不同的需求。如亚洲人的腰椎曲线比欧美人种平缓，欧美人由于腰椎曲线与床垫之间的缝隙较大，为了使脊柱保持自然形态，床垫的整体硬度比较小，尤其是臀部区域的下陷量要足够大。所以，针对中国消费者对床垫硬度的选择范围与西方不同，西方国家制定的床垫硬度的标准也不适用于中国人。国内床垫硬度现行的测试方法主要参考材料的测试相关标准，过于简单，同时根据中国人体型制定的床垫硬度分级标准则更为缺乏。

据此，本标准提供了一种整体床垫硬度分级与分布的测试评价方法，为床垫的标准化设计与定制化生产提供了科学理论依据。

2. 目前国内外标准现状，该项目与国内相关标准、文献的关系

目前国内关于床垫硬度等级的测试标准有《软体家具 弹簧软床垫》（QB 1952.2-2011）^[5]，这标准中床垫硬度等级的测试方法是参照标准《家用家具:床及床垫功能评定的测试方法》（EN1957-2000）^[6]和 ISO 2439/B MOD1 确定的，所用的硬度等级确定方法是根据外国人的体型特点和硬度需求确定的硬度等级。

实验研究表明，近 40% 的中国人比较偏爱仰卧睡姿，有时仰卧睡姿的时间甚至超过整个睡眠时间的 70%；而西方人比较喜欢侧卧睡姿，占整个睡眠时间的 60%^[7]。这主要是因为欧洲人的腰椎曲线与亚洲人有较大的区别，其腰椎曲度较大，若仰卧睡姿，则为了使脊柱处于自然弯曲的状态，臀部需陷入床垫之中，因此，西方人有睡软床的习惯^[1]。由此可见，盟标准中的床垫硬度等级评定不适用

于中国的消费市场，需要进行重新修订。另外，这些标准测试结果是用床垫中心点的硬度代表整体床垫的硬度，而人体不同的部位重量分布不同，尤其是对于不同体型的人群而言，因此，目前许多床垫设计为“分区式”，即使床垫的肩部、腰部、臀部等区域具有不同的硬度特征，以改善脊柱的支撑条件。由此可见，仅测试床垫中心点的硬度的方法无法满足床垫对个性化人体需求的特点，无法实现床垫根据不同体型和体重的人群的需求进行床垫的定制化设计。另外，实验研究还表明床垫应表层比较柔软，芯层弹性要好，而底层的稳定性要好，要必须“漏斗效应”产生^[7-12]。而目前床垫软硬度的标准仅给出了硬度等级，而未进一步描述床垫的硬度分布。

2004年 Haex 在《Back and Bed: Ergonomic Aspects of Sleeping》一书中提到该两种描述床垫软硬度分布的测试方法^[1]。2012年陈玉霞在其博士论文《床垫支撑性能对卧姿舒适性和睡眠质量影响的研究》中，细化和详细介绍了该方法，并利用该方法对 1000 多种不同层状结构的床垫进行了测试与评价^[7]。同年，陈玉霞等人在《Work》期刊上发表论文“Research on the Relationship between the Structural Properties of Bedding Layer in Spring Mattress and Sleep Quality”，文中采用该方法对床垫的各层硬度进行了描述，并研究了各层硬度对人体睡眠质量的影响^[13]。另外，2012年陈玉霞等人利用该方法研究了“弹簧床芯对床垫性能及卧姿舒适的影响”^[9]。2013年和2018年，赵磊、苏娜、张凯婷等在其研究生毕业论文中利用该方法研究了不同类型的丝瓜络床垫的支撑性能^[14-16]。2018年任林燕等人利用体压分布测试和该方法研究了“基于体压分布的床垫硬度对人体舒适性的影响”，表明床垫的软硬度对体压分布有着重要的影响，不同体型和性别的人群对床垫软硬度有不同的需求^[17]。

3. 方法研究过程

3.1 背景知识

人的一生当中有三分之一的时间是在睡眠中度过的，睡眠是人体健康和精力、体力恢复的保证。睡眠质量对人的社会交往、情绪、生活质量、工作效率等都有重要的影响。美国的一项调查研究表明，7%的睡眠障碍问题与床垫的支撑性能有关^[1]，睡眠时不正确的睡姿和不正确的支撑条件，尤其是背部支撑不足是导致低背部疼痛的重要原因^[2]。调查研究还表明，80%的人都有过背部疼痛的经

历。人直立行走时，脊柱中的椎间盘受压，失去部分的水分，椎间盘的弹性就会降低。卧姿是最好的休息方式，此时椎间盘压力较小，椎间盘可重新获得水分而恢复其弹性。但如果床垫支撑不足，则脊柱处于非自然弯曲的状态，这种状态不仅不能使椎间盘重新获得水分而恢复其弹性，甚至还会加速脊柱病变。因此，一些专家认为脊柱支撑条件是影响睡眠质量的最重要的因素^[3]。同时，脊柱处于非自然弯曲状态时，部分肌肉处于持续紧张的状态，容易产生肌肉疲劳，也不利于睡眠质量的提高。由此可见，通过床垫脊柱支撑条件的优化设计，提高睡眠质量对睡眠健康有着重要的意义。

睡眠过程中，人-床接触的部位特别容易出现局部缺血现象。而局部缺血会使新陈代谢产生一种能够刺激神经末梢的物质，使健康人在感觉到疼痛之前就会调节睡姿。尤其是睡眠在比较硬的床垫上时，睡眠者可能会频繁翻身，大小的动作也会增多。这主要是因为，此时人-床界面接触面积较小，局部肌肉、软组织受压增大，血液循环受阻。受阻程度主要与人体肌肉软组织的变形情况有关。一般情况下，人体小动脉毛细血管压力在 3.3-4.6kPa (25-35mmHg)，小静脉血管压力为 1.6KPa (12mmHg)，小静脉血管压力的临界值为 4KPa (30mmHg)，若外界施于人体局部的压力超过终末毛细血管动脉压的两倍，即 9.33KPa (70mmHg)，且压力持续 1-2h，就可阻断毛细血管对组织的灌流，引起组织缺氧，受压超过两小时以上就会引起不可逆的损伤^[3,4]。但如果这种情形发生在长期卧床者或者由于受伤而不能动弹的人身上，则在载荷作用时间和作用强度的双重影响下，可能导致褥疮的形成^[4]。因此，床垫减压能不仅对人体睡眠质量有着重要的影响，也对行为受限的人群的身体健康有着重要的影响。其中，仰卧时肩胛骨、肘部、骶骨和脚跟存在受压过大的风险；而侧卧时，脚踝、膝盖、大转子处和肩峰区等存在受压过大的风险。由此可见，重量分布与接触面有着密切的关系。接触面不宜过小，当床垫较硬时，接触面较小，人体重量不能比较均匀地分布，因此，容易造成压力和剪切力增大，从而引发并发症状。同时，接触面较小也不利于稳定姿势的保持，从而影响睡眠。

3.2 方法原理

(1) 方法 A 原理

标准中方法 A 的测试方法参照床垫硬度等级的测试标准《软体家具 弹簧软

床垫》(QB 1952.2-2011)^[5]、《家用家具:床及床垫功能评定的测试方法》(EN1957-2000)^[6]和 ISO 2439/B MOD1 执行。为了满足中国人群对床垫软硬度需求特点,对床垫软硬度的等级进行修改,并通过测试床面上个位置点的硬度等级,满足不同体型人群的定制化需求。

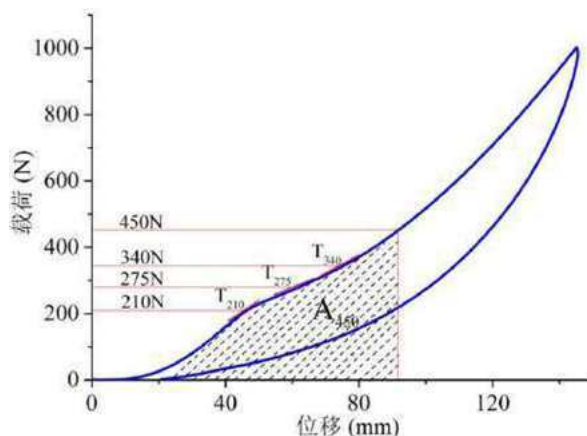


图1 床垫的力学性能曲线(位移-载荷)

(2) 方法 B 原理

理论上讲床垫硬度是指床垫抵抗外界变形的能力或者讲是对人体的支撑性能。人体的各个部分重量不同,臀部占人体总重量的40%,背部占人体总重量的15%^[2],头部10%,腰部25%。另外,据调查,中国成年人全年龄阶段平均体重63.6kg^[10,11],臀部所产生的载荷为249N,背部所产生的载荷为93N,头部63N,腰部156N,因此,选择250N作为最大施加载荷。

床垫为多层结构复合而成的整体结构,在250N载荷作用下,其加载曲线呈现三阶段的趋势(如图2所示),第一阶段为线性弹性变化的过程;第二阶段为斜率平缓变化的过程,此阶段伴随床垫内泡沫材料空隙结构支撑失效的过程;第三阶段是斜率急剧增加的过程,此阶段伴随着泡沫材料空隙密实化的过程。第一个阶段结束约为40N,第二阶段结束约为200N。由此通过各阶段床垫所经历的变形确定床垫表层、芯层、底层硬度。另外,为了避免选择0N作为起始点引起的误差,选择4N为表层硬度的起始载荷。

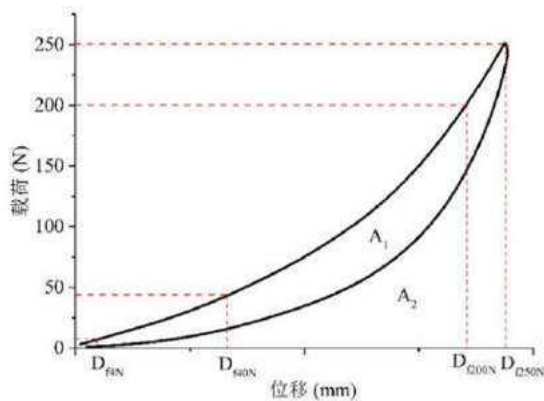


图 2 床垫各层硬度测试加载曲线

3.3 仪器与设备

(1) 床垫各层硬度及硬度等级测试所用仪器为自主开发测试仪器，在传统万能力学测试机的基础上增加二维测试幅面，可以对平面上所有点进行测试。床垫硬度试验仪器如图 3 所示。

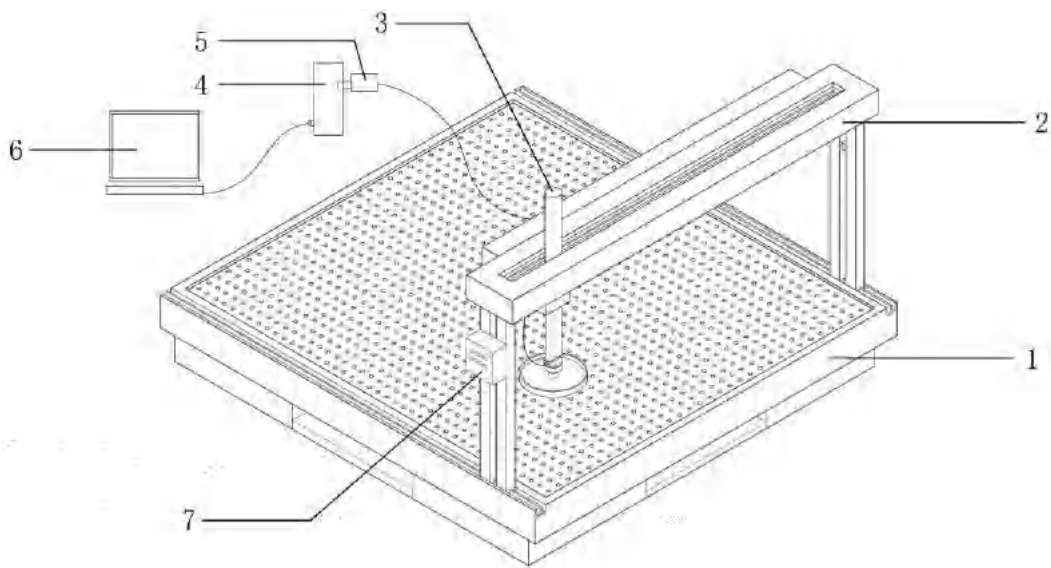


图 3 床垫各层硬度及硬度等级测试仪器

1——测试平台；2——支架横梁；3——力学性能测试装置；4——主机；5——采集卡；6——显示器；7——伺服电机。

(2) 体压分布测试

采用美国 Tescan 公司的体压分布测量系统。

3.4 实验方案一（方法 B）

3.4.1 实验研究的目的

(1) 建立弹簧床垫结构、材料物理几何性能、材料组合方式与床垫力学性能之间的关系，为床垫支撑性能的优化设计提供科学理论依据，为完善床垫质量检测和相关标准的制定提供理论参考。

(2) 为建立人-床之间优化的支撑关系奠定床垫力学性能测试的实验基础，并提供大量床垫力学性能测试的相关数据。

3.4.2 实验研究的内容

本部分实验研究主要包括双锥弹簧床垫、圆柱独立袋装弹簧床垫、腰鼓独立袋装弹簧床、棕榈床垫四种床垫类型，涉及普通海绵、花切海绵、乳胶绵、记忆海绵、乳胶棕垫、毛毡等铺垫层材料及其搭配组合方式共有 55 种，共计床垫小样 782 个，主要研究以下几个方面的内容：

- (1) 床芯类型与床垫力学性能之间的关系；
- (2) 弹簧连接形式与床垫力学性能之间的关系；
- (3) 床垫铺垫层材料性能与床垫力学性能之间的关系；
- (4) 床垫铺垫层材料组合方式与床垫力学性能之间的关系；
- (5) 床芯与铺地层组合方式与床垫力学性能的关系。

3.4.3 实验方法

(1) 床垫硬度测试试样环境调节

床垫试样在生产后放置72h以上方可进行试验，如果可以证明经放置16h或48h的试验结果之差不大于 $\pm 10\%$ ，试验可以在放置16h或48h后进行。实验前将试样放在不受弯曲变形和破坏的条件下，在温度为 $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度为 $(50\pm 5)\%$ ，或温度为 $(27\pm 2)^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度为 $(65\pm 5)\%$ 的条件下放置不小于24h，这一状态调节时间可包括在生产后72h内。试验应在同等环境下进行。

(2) 整体床垫硬度测试点

根据床垫长度和宽度，均匀分布测试点的个数。床垫长度方向上测试点不少9个，宽度方向上测试点不少7个。图4为两种尺寸床垫测试点分布图，实验时需要对床垫上所有测试点的硬度进行测量。

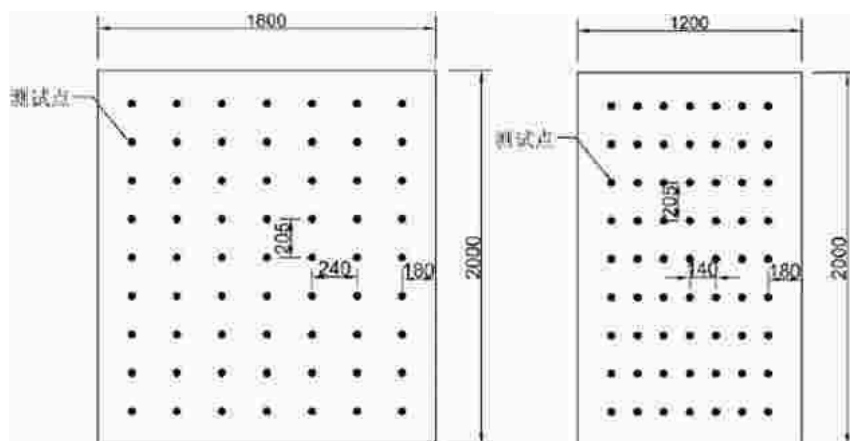


图 4 床垫硬度测试点分布

注：测试点越多，测试结果越准确。

(3) 床垫各层硬度测量

对床垫进行预压处理：把试样放在测试平台中央上，移动支架横梁和力学性能测试装置，使圆柱形压头中心位于床垫测试点的正上方。使压头以100 mm/min的速度加载，当压头载荷达到1200 N后，保载30秒，再以同样的速度卸载至载荷为0 N，重复加载和卸载3次。随后再以相同速度压陷试样，当压头载荷达到300 N后，保载30秒，以同样的速度卸载至为0 N。

实验测试时，圆柱形压头以100 mm/min的速度进行加载，当载荷达到250 N时，以同样速度卸载至0 N。得到位移-载荷加载曲线，如图6所示。

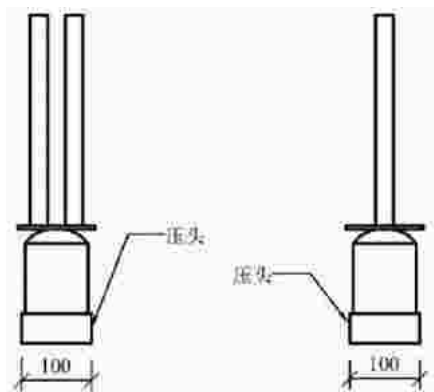


图 6 圆柱形压头

床垫的硬度由 $D_{surface}$ 、 D_{core} 、 D_{bottom} 三个值来表示，其值越大表示床垫越软，其值越小表示床垫越硬，单位 mm，分别表征床垫表层、芯层和底层的硬度，公式为：

$$D_{surface} = D_{f_{40N}} - D_{f_{4N}}$$

$$D_{core} = D_{f_{200N}} - D_{f_{40N}}$$

$$D_{bottom} = D_{f_{250N}} - D_{f_{200N}}$$

其中， $D_{f_{4N}}$ 、 $D_{f_{40N}}$ 、 $D_{f_{200N}}$ 、 $D_{f_{250N}}$ 分别表示加载曲线上对应于 4N、40N、200N 和 250N 的位移，如图 1 所示。

床垫的滞后损失率 H 的计算公式为：

$$H = \frac{A_1}{A_2} \times 100\%$$

其中 A_1 为 0N~250N 范围内加载曲线和卸载曲线之间的面积， A_2 为 0N~250N 范围内加载曲线与 x 轴之间的面积。

3.4.4 实验材料

试样床垫有双锥弹簧型、圆柱袋装弹簧型、腰鼓袋装弹簧型和棕榈型四种，如图7所示。其中双锥弹簧床芯又有9种，圆柱袋装弹簧床芯6种，腰鼓袋装弹簧床芯8种，每种床芯弹簧力学性能如表1所示。铺垫层材料有普通海绵、高回弹海绵、慢回弹海绵（记忆海绵）、花切海绵、乳胶绵、棕榈垫、毛毡等，共有55种搭配组合方式，床垫铺垫层软质泡沫聚合材料的压陷硬度、回弹性、滞后损失率如表2所示。面料复合层为全棉针织面料绗缝普通海绵和喷胶海绵、无纺布组合而成，绗缝花纹为独立花型，花型大小6英寸。床垫铺垫按海绵层数分为无、一层、两层和多层以及乳胶棕铺垫层。

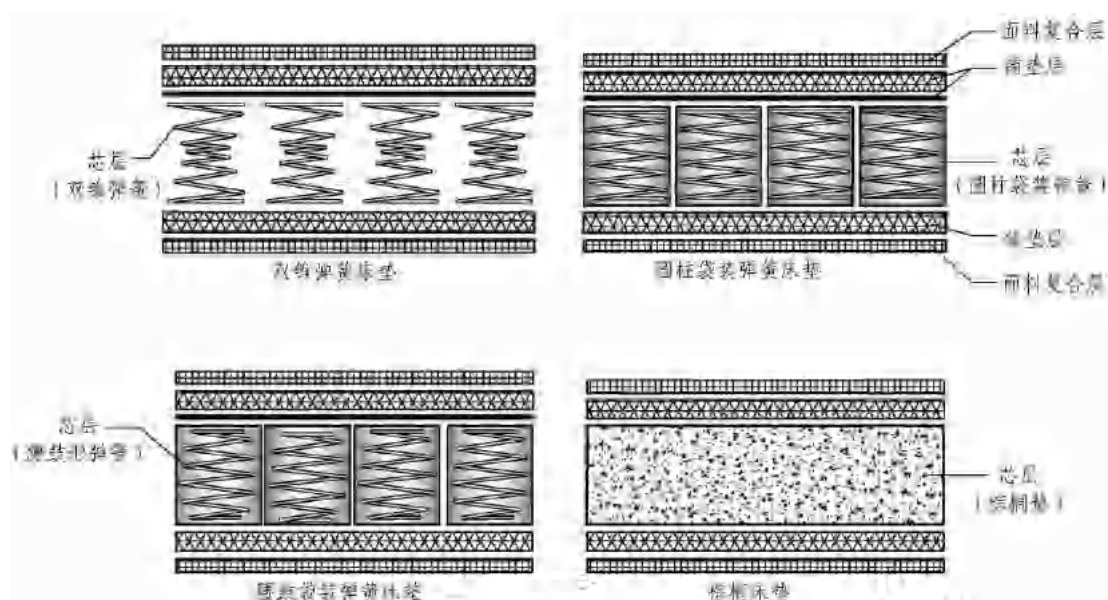


图 7 实验床垫类型及结构

表 1 弹簧的压缩力学性能

弹簧类型	弹簧编号	弹簧参数			弹性	弹簧的硬度指征		
		线径	端口直径	圈数		25%压缩量	40%压缩量	65%压缩量
		mm	mm	—		N		
圆柱形	01a	1.8	65	6	0.085	3.4	5.4	8.8
	01b	1.8	60	6	0.109	4.4	7.0	11.3
	01c	2	65	6	0.13	5.2	8.3	13.5
	01e	2	60	6	0.166	6.6	10.6	17.3
	01d	2.2	65	6	0.191	7.6	12.2	19.9
	01f	2.2	60	6	0.242	9.7	15.5	25.2
腰鼓形		线径	腰径	圈数				
	02a	1.8	65	6		5.4	7.7	12.8
	02b	1.8	60	6		5.8	8.9	14.2
	02c	2	65	6		7.1	11.7	19.2
	02d	2	65	5		8.6	13	20.8
	02e	2	60	6		9	14.1	22.8
	02f	2.2	65	6		10.3	15.8	26
	02h	2.2	60	6		11.6	18	29.4
	02i	2	60	5		9.5	14.6	24.6
双锥形		线径	端口直径	圈数				
	03a	2.1	87	6				
	03b	2.1	87	5		10.3	16.4	30.1
	03c	2.1	90	5		10.6	16.7	27.7
	03d	2.3	90	6		15.6	23.2	44.2
	03f	2.3	90	5		12.6	21.3	36.7
	03i	2.5	90	5		15.8	25.6	43.8
	03e	2.3	87	5				
	03h	2.5	87	6		21.4	34.8	65.8
03g	2.5	83	6		21.1	37.9	68.4	

3.5 方法 B 实验结果分析

3.5.1 弹簧压力力学性能与弹簧床垫基本力学性能之间的关系

选择 20 张弹簧床垫小样，其中 6 张圆柱袋装弹簧床垫、7 张腰鼓袋装弹簧床垫和双锥弹簧床垫，铺垫层材料相同。以 40%压缩量时，弹簧的硬度指征值为横坐标，以使用这些弹簧制造的 20 张弹簧床垫表层、芯层、底层硬度以及压缩过程中床垫的滞后损失率为纵坐标作图，得弹簧硬度指征与床垫硬度之间关系，如图 8、图 9、图 10、图 11、图 12 和图 13 所示。

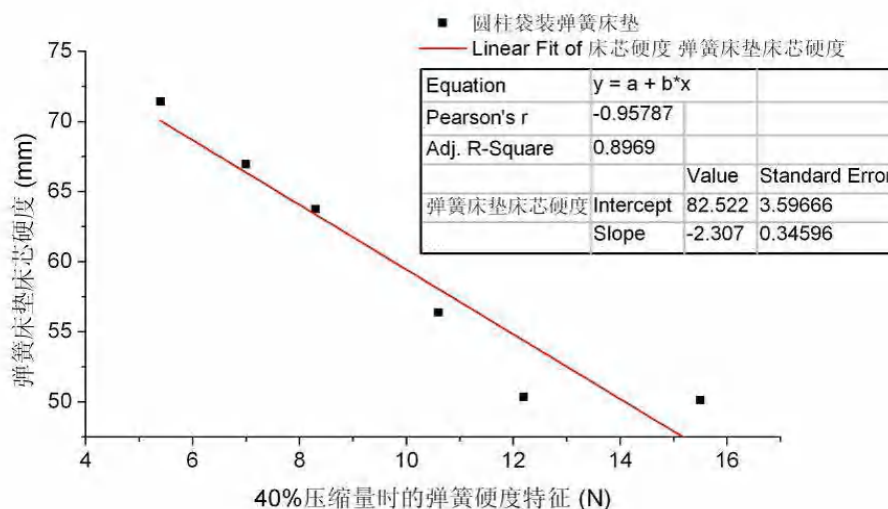


图 8 40%压缩量时弹簧的硬度指征与圆柱袋装弹簧床垫芯层硬度之间的关系

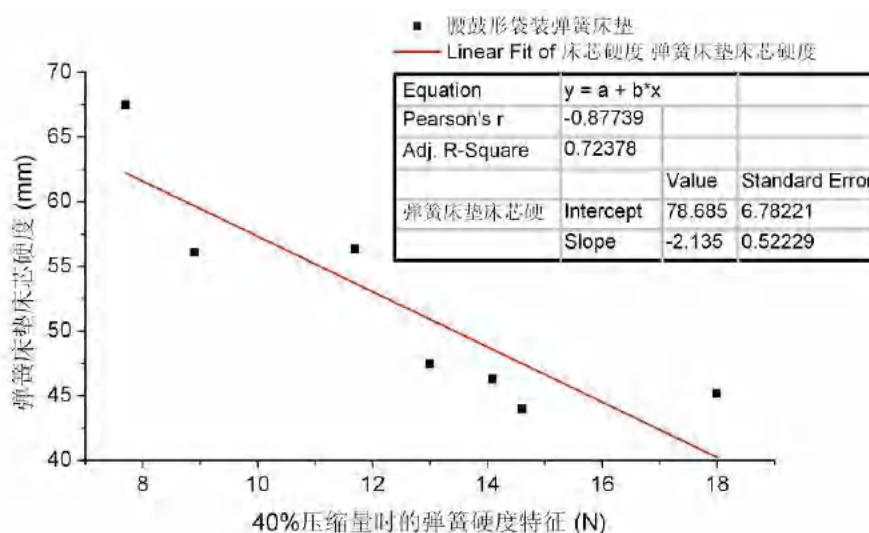


图 9 40%压缩量时弹簧的硬度指征与腰鼓袋装弹簧床垫芯层硬度之间的关系

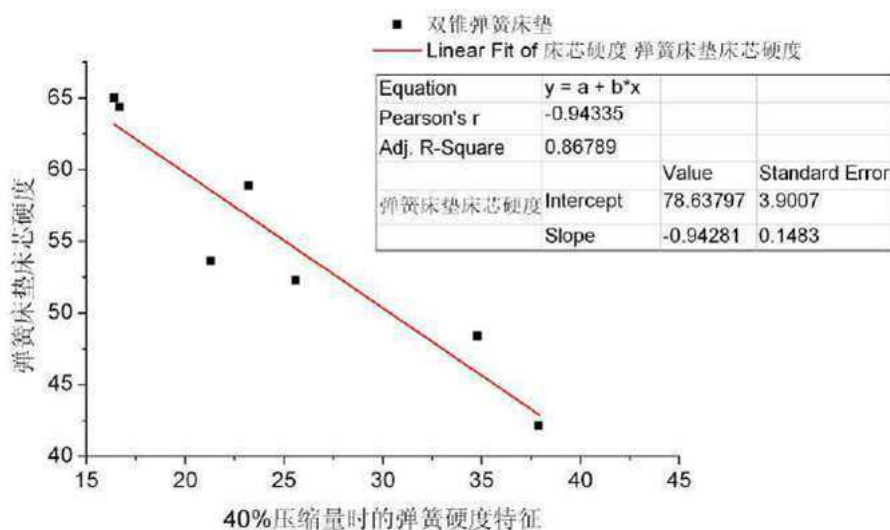


图 10 40%压缩量时弹簧的硬度指征与双锥弹簧床垫芯层硬度之间的关系

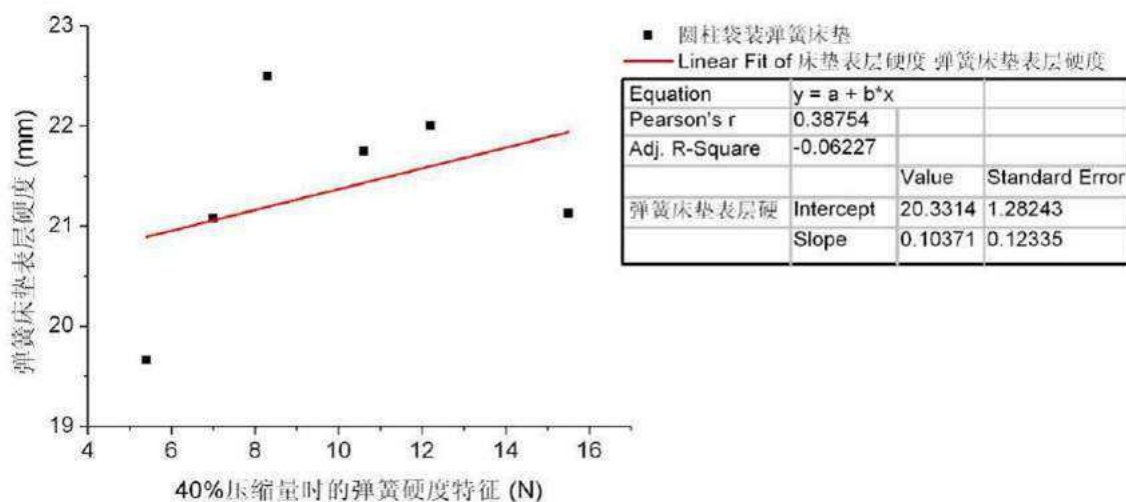


图 11 40%压缩量时弹簧的硬度指征与圆柱袋装弹簧床垫表层硬度之间的关系

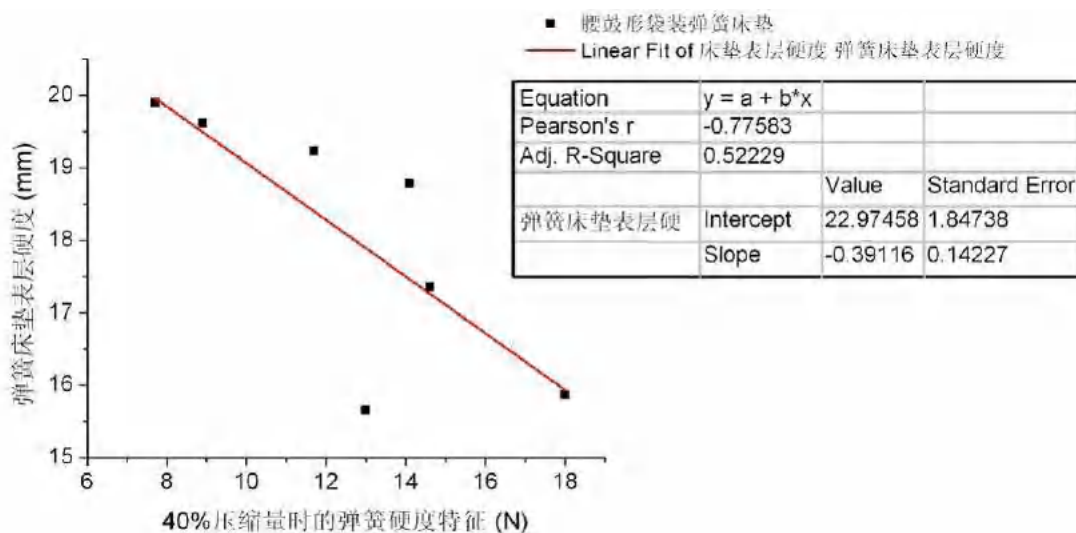


图 12 40%压缩量时弹簧的硬度指征与腰鼓袋装弹簧床垫表层硬度之间的关系

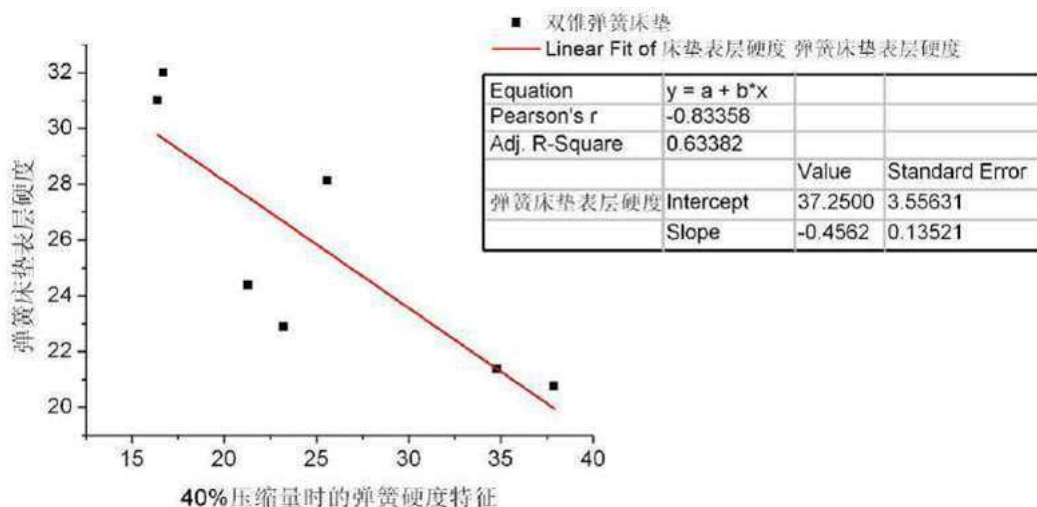


图 13 40%压缩量时弹簧的硬度指征与双锥弹簧床垫表层硬度之间的关系

由图 8、图 9、图 10 可知：

三种弹簧床芯的硬度均随弹簧硬度的增大而增大，其中圆柱形袋装弹簧床垫硬度增大的趋势最大，其次为腰鼓形袋装弹簧床垫，再次为双锥弹簧床垫。分析出现这种现象的原因可能有两个方面：一是弹簧的连接方式，这主要是圆柱形袋装弹簧床垫的弹簧与弹簧之间通过 C 形钉相扣接，使弹簧床芯表面连为一个整体，弹簧与弹簧之间的约束作用增大了弹簧床垫的硬度，而双锥弹簧床垫的弹簧与弹簧之间通过穿簧相连接，穿簧具有一定的弹性，其约束作用小于 C 形钉，腰鼓形袋装弹簧床垫的弹簧与弹簧之间通过无纺布袋相连接，弹簧与弹簧之间几乎完全独立，相互之间约束作用最小；二是床垫弹簧的分布，通过前面弹簧压缩力学性能分析可知，双锥弹簧的硬度显著大于圆柱形和腰鼓形弹簧，但双锥弹簧床垫的硬度却没有与其弹簧的硬度一样显著大于圆柱形和腰鼓形弹簧床垫，不仅如此，其床垫硬度随弹簧硬度增大而增大的趋势反而不如其它两种弹簧床垫快，这主要是因素，双锥弹簧床垫中，弹簧与弹簧之间不是紧密连接，而是通过穿簧，间隔一定的距离相连接的，即弹簧的排列密度较小，因此，整体床垫的硬度相对于自身弹簧硬度而言较小。

由图 11、图 12、图 13 可知：

①三种弹簧床垫表面硬度随弹簧硬度变化而变化的趋势均不显著，这表明床垫表层硬度受弹簧硬度的影响小于床垫芯层；

②无铺垫层时，腰鼓形袋装弹簧床垫表层硬度最大，其次是圆柱形袋装弹簧床垫，再次是双锥弹簧床垫。分析出现这种现象的原因可以在于以下两个方面：一是床芯弹簧硬度对床垫表层硬度有一定的影响，腰鼓形袋装弹簧的硬度较大；二是弹簧覆盖率对弹簧床垫的表层硬度有一定的影响，三种弹簧中双锥弹簧的弹簧覆盖率最低，其表层硬度最小。

3.5.2 床芯类型对床垫力学性能的影响

选择 22 张弹簧床垫小样，其中 6 张圆柱袋装弹簧床垫、7 张腰鼓袋装弹簧床垫、9 张双锥弹簧床垫，铺垫层材料相同，根据 CTBA 标准测试这些床垫小样的压缩力学性能，并计算其表层硬度、芯层硬度、底层硬度、滞后损失率，其标准差，如表 2 所示。

表 3 三种弹簧床垫的压缩力学性能

弹簧类型	床垫编号	弹簧参数	床垫硬度
------	------	------	------

		—			床垫表层硬度	床垫芯层硬度	床垫底层硬度
		线径	直径	圈数			
		mm	mm	—	mm	mm	mm
圆柱弹簧	01a	1.8	65	6	19.7	71.4 (5.38)	19.3 (2.35)
	01b	1.8	60	6	21.1	67.0 (5.33)	17.3 (2.26)
	01c	2.0	65	6	22.5	63.8 (5.32)	15.9 (2.34)
	01d	2.0	60	6	21.8	56.4 (5.27)	12.1 (2.17)
	01e	2.2	65	6	22.3	50.4 (5.11)	13.8 (1.83)
	01f	2.2	60	6	21.1	50.1 (5.24)	11.1 (2.12)
腰鼓弹簧		线径	中径	圈数			
	02a	1.8	65	6	19.9	67.5 (4.06)	18.9 (2.33)
	02b	1.8	60	6	19.6	56.1 (3.85)	16.0 (1.58)
	02c	2.0	65	6	19.2	56.4 (3.81)	13.8 (2.04)
	02d	2.0	65	5	15.7	47.5 (3.78)	12.3 (1.64)
	02e	2.0	60	6	18.8	46.3 (3.71)	13.2 (1.89)
	02f	2.2	60	6	15.9	45.2 (3.67)	10.5 (2.41)
02g	2.0	60	5	17.4	44.0 (3.73)	11.8 (1.92)	
双锥弹簧		线径	中径	圈数			
	03a	2.1	87	6	35.1	65.9 (3.50)	15.3 (2.44)
	03b	2.1	87	5	31.0	65.0 (3.41)	15.8 (1.92)
	03c	2.1	90	5	32.0	64.4 (3.37)	15.6 (2.83)
	03d	2.3	90	5	22.9	58.9 (3.16)	12.1 (1.76)
	03e	2.3	90	6	24.4	53.6 (3.11)	11.6 (2.14)
	03f	2.5	90	5	28.1	52.3 (3.22)	11.6 (2.06)
	03g	2.3	87	5	26.0	50.4 (2.93)	12.0 (1.87)
	03h	2.5	87	6	21.4	48.4 (2.86)	10.3 (0.91)
03i	2.5	83	6	20.8	42.1 (2.47)	9.5 (1.29)	

注：表中数据为床垫小样各测试点的平均值，小括号内为这些数据点的标准差。

由表 2 可知：

(1) 随着弹簧床垫弹簧硬度的增加，三种弹簧床垫的表层硬度、芯层硬度和底层硬度均增加，其中双锥弹簧床垫的表层较软，底层较硬，根据双锥弹簧床垫的这一特性可以推知，双锥弹簧床垫比较适合于体重较大、体型身体线条不是特别明显的人群，可以防止床垫过渡下陷；

(2) 随着弹簧硬度的增加，圆柱袋装弹簧床垫的表层硬度先大于腰鼓袋装弹簧床垫，后小于腰鼓袋装弹簧床垫；随着弹簧硬度的增加，圆柱袋装弹簧床垫的芯层硬度大于腰鼓袋装弹簧床垫。

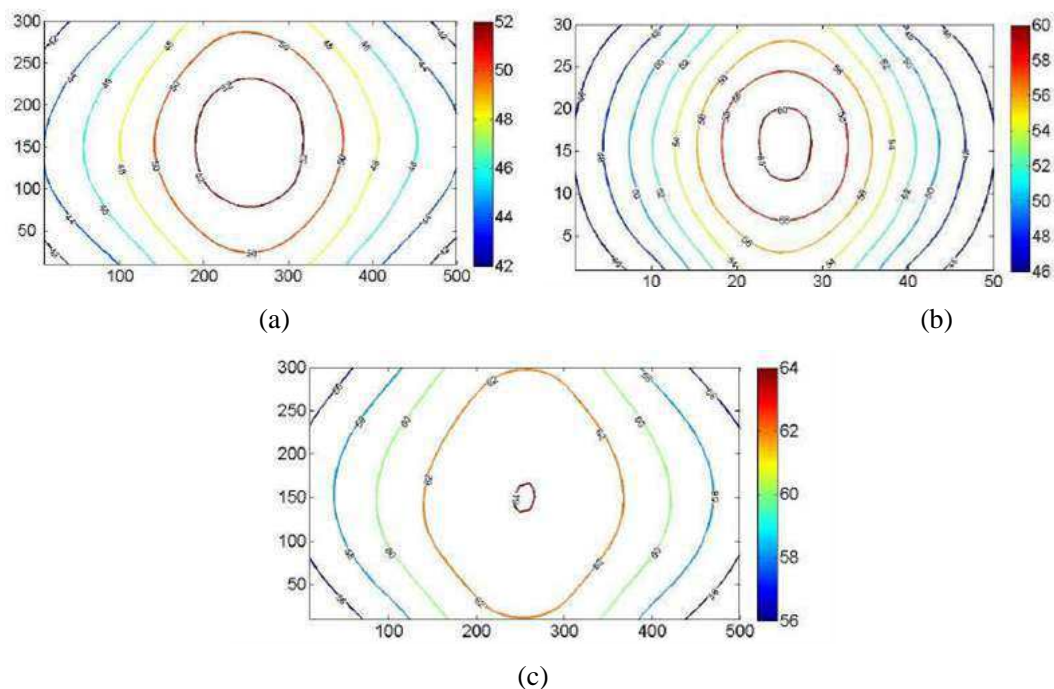


图 14 三种弹簧床垫芯层硬度分布

(a. 为腰鼓形袋装弹簧 2.0 60 6; b. 为圆柱形袋装弹簧 2.0 60 6; c. 为双锥弹簧 2.3 90 6)

由表 2 和图 14 可知：

(1) 三种弹簧床垫相比，双锥弹簧床垫上各测试点的硬度变化最小，即床垫硬度分布梯度最小，其次是腰鼓形袋装弹簧床垫，而圆柱形袋装弹簧床垫的硬度分布梯度最大，又由于圆柱袋装弹簧床垫其弹簧与弹簧之间通过 C 形钉相连接，床垫芯层表面为一整体，因此体重较大的人，尤其是下躯干较重的人使用圆柱袋装弹簧床垫，特别容易使床垫下躯干部位出现 V 形凹陷的现象，从而不利于脊柱的支撑；

(2) 随着床垫硬度的减小，三类床垫上各测试点的硬度具有减小的趋势。

3.5.3 弹簧的连接方式对床垫力学性能的影响

以圆柱袋装弹簧床垫和腰鼓形袋装弹簧床垫为例分析床垫连接方式对床垫力学性能的影响，选择尺寸参量相同腰鼓袋装弹簧床垫和圆柱袋装弹簧床垫小样各 6 张，圆柱袋装弹簧床垫的弹簧之间利用 C 形钉相连接，床网表面为以整体，腰鼓袋装弹簧床垫之间靠布袋和布袋之间的胶相连接。以弹簧参量为横坐标，以弹簧压缩量达到 25%、40%、65% 时的载荷为纵坐标作柱状图，得圆柱两种弹簧的硬度指征值，如图 15 所示。以弹簧的参量为横坐标，以两种弹簧床垫的表层硬度、芯层硬度、底层硬度为纵坐标作图，得两种弹簧床垫硬度特征之间的关系，

如图 16 所示。以 40%压缩量时弹簧的硬度指征值为横坐标，以弹簧床垫的表层硬度、芯层硬度和底层硬度为纵坐标作图，得弹簧硬度与两种弹簧床垫硬度之间的关系，如图 17 所示。

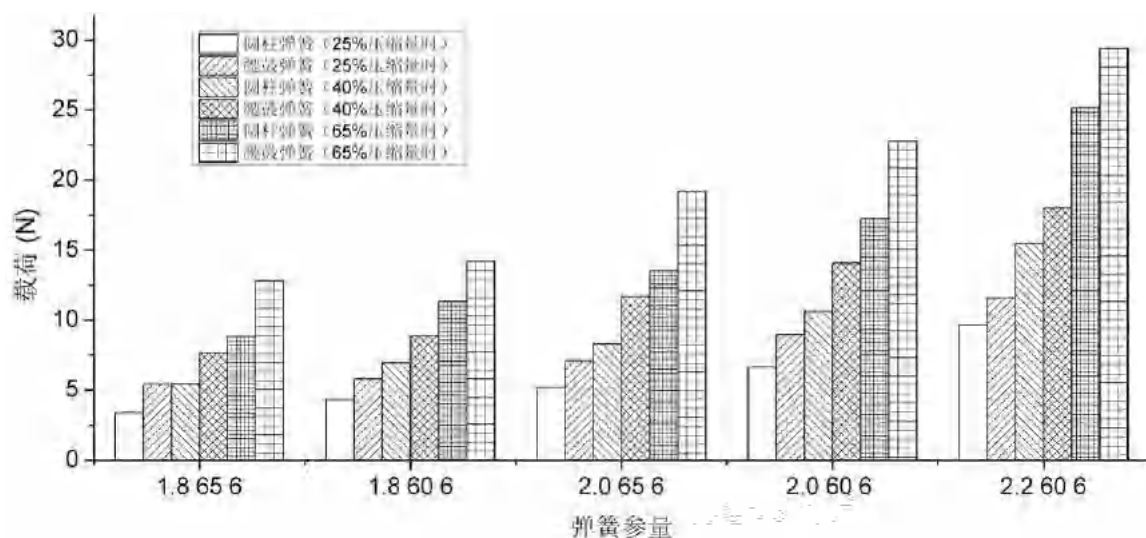


图 15 圆柱袋装弹簧和腰鼓袋装弹簧压缩力学性能的关系

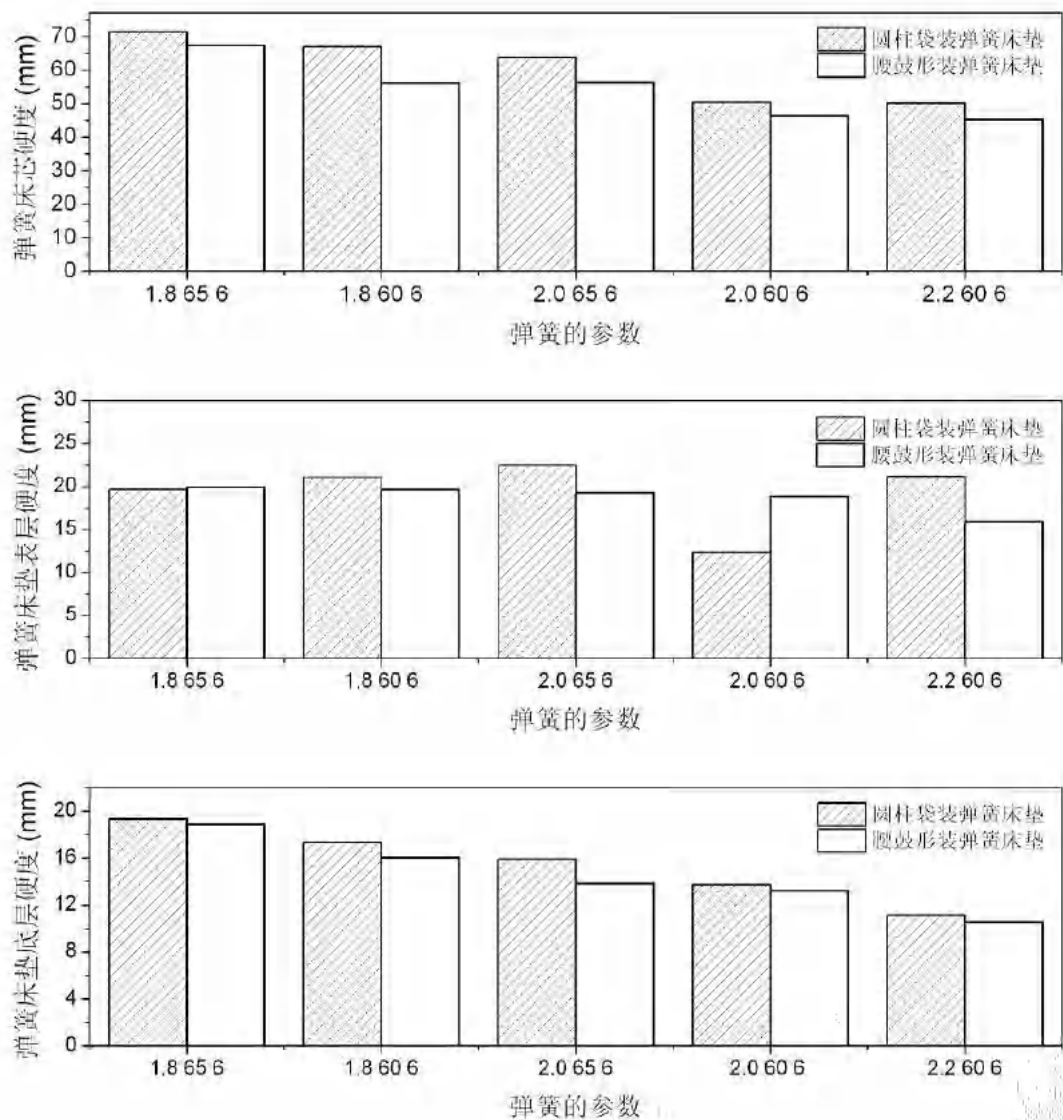


图 16 弹簧参量与两种弹簧床垫硬度之间的关系

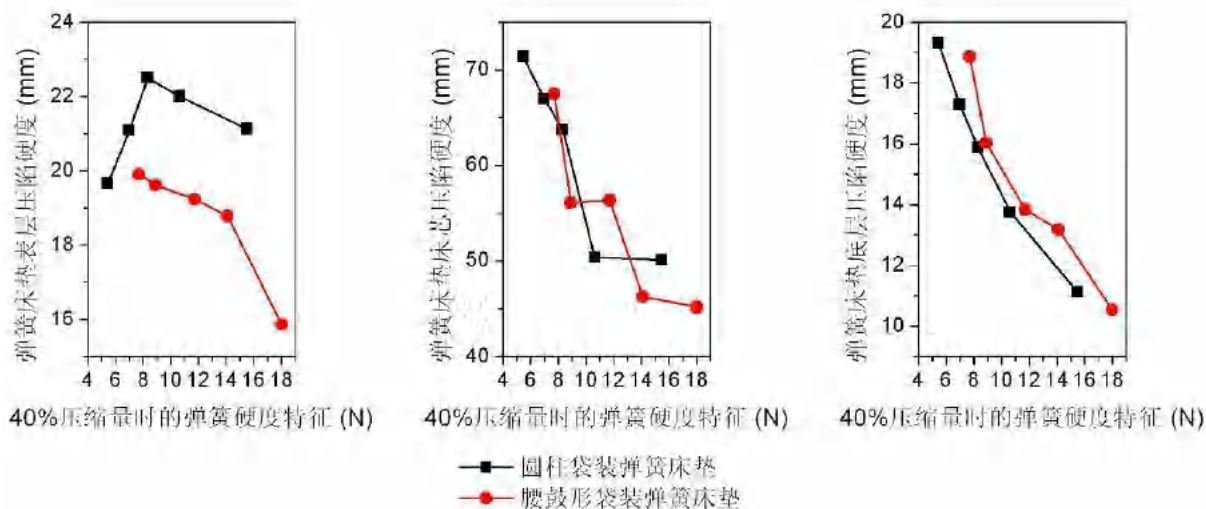


图 17 弹簧硬度与两种弹簧床垫硬度之间的关系

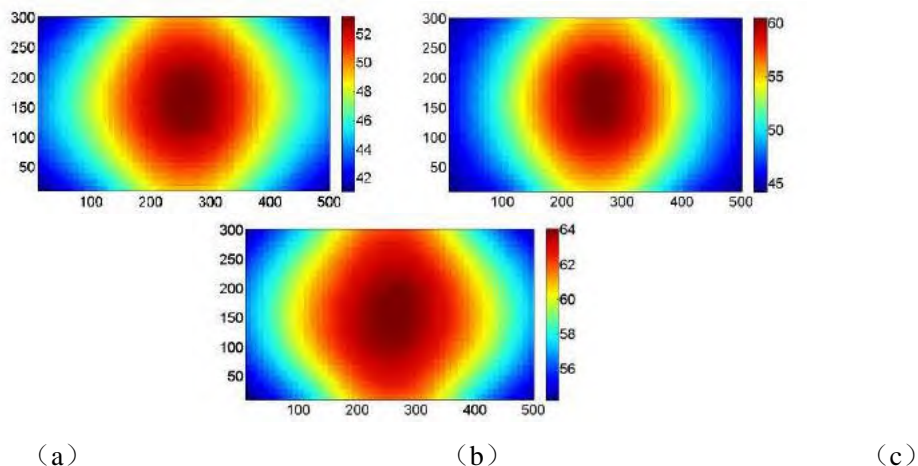


图 18 三种床垫芯层硬度分布

(a. 为腰鼓形袋装弹簧 2.0 60 6; b. 为圆柱形袋装弹簧 2.0 60 6; c. 为双锥弹簧 2.3 90 6)

由图 15 可知：

① 相同参量的圆柱袋装弹簧和腰鼓袋装弹簧相比，圆柱袋装弹簧的硬度小于腰鼓形袋装弹簧，这主要是因为相同参量的圆柱袋装弹簧的硬度小于腰鼓袋装弹簧床垫；

② 随着弹簧线径的增大，弹簧的硬度增大，随着弹簧直径的增大，弹簧的硬度减小。

由图 16、图 17 和图 18 可知：

① 相同参量的腰鼓袋装弹簧床垫的硬度显著大于圆柱袋装弹簧床垫，这主要是因为腰鼓袋装弹簧的硬度大于圆柱袋装弹簧所决定的；

② 随着弹簧硬度的增加圆柱袋装弹簧床垫表层的硬度先大于后又小于腰鼓袋装弹簧床垫，这主要是因为，一方面随着弹簧硬度的增大，床垫硬度有增大的趋势，而另一方面由于圆柱袋装弹簧床垫床芯表面弹簧与弹簧之间通过 C 形钉相连接，形成一个整体的床网，随着弹簧硬度的增加，受力区域弹簧垂直向下运动受到周围弹簧的制约作用增大，床网变形有减小的趋势，在相同外力载荷的作用下，对床垫铺垫层和面料复合层的支撑力分量增大，在较大力作用下床垫铺垫层和面料复合层的压缩量有增大的趋势，即床垫的连接方式对床垫的硬度有一定的影响，当床垫连接方式对床垫表面硬度的影响起主导作用时，圆柱袋装弹簧床垫的表层硬度反而较小。而腰鼓袋装弹簧床垫的弹簧与弹簧之间主要通过无纺布袋及布袋之间的胶相结合，弹簧近似完全独立向下运动，双簧弹簧之间通过通

过穿簧相连接，穿簧具有一定的弹性，对弹簧的约束力与 C 型钉相比较小，即腰鼓袋装弹簧床垫和双锥弹簧床垫的受弹簧连接方式的影响较小。不仅如此，床垫的连接方式对床垫的硬度分布也有一定的影响，如图 18 所示。

3.5.4 铺垫层材料特性对床垫力学性能的影响

本部分研究以普通海绵、花切海绵、乳胶绵配合毛毡对比分析铺垫层材料特性对床垫力学性能的影响。首先，以铺垫层材料的种类为横坐标，以床垫的表面硬度、芯层硬度、底层硬度为纵坐标作图，得床垫铺垫层材料类型与床垫硬度之间的关系，如图 3-36 所示。分别以铺垫层泡沫材料的压陷硬度、回弹性、滞后损失率、变形特征为横坐标，以床垫的表层硬度、芯层硬度、底层硬度以及滞后损失率为纵坐标作图，得铺垫层材料特性与床垫力学性能之间的关系，如图 3-37、图 3-38、图 3-39、图 3-40、图 3-41 所示。

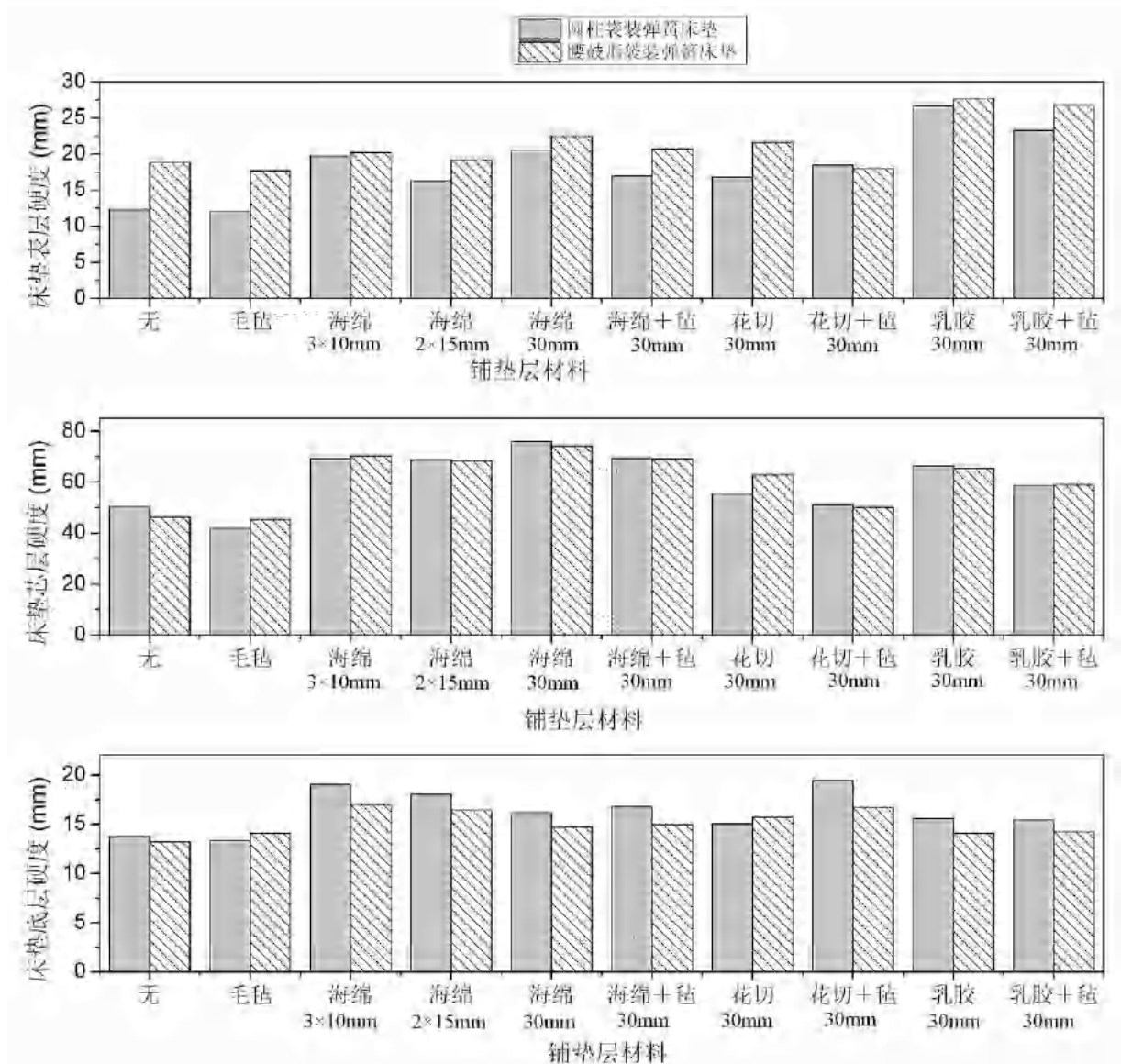


图 19 床垫铺垫材料类型与床垫硬度之间的关系

由图 19 可知：

①弹簧床垫的表层硬度与铺垫层材料的压陷硬度相一致，如乳胶海绵铺垫层床垫的表层相对较软，花切海绵铺垫层床垫的表层相对较硬，普通海绵铺垫层床垫的表层硬度介于前两种床垫之间，同时，相同材料、相同厚度的铺垫层，分层会增加床垫的表面硬度；

②铺垫层材料类型对圆柱袋装弹簧床垫表层硬度影响较大，对腰鼓袋装弹簧床垫表层硬度影响相对较小；

③床垫铺垫层材料下陷硬度对床垫芯层和底层硬度影响较小，铺垫层材料对床垫芯层硬度的影响主要与材料的变形特征有关，变形特征值越大，芯层硬度越大，即床垫铺垫层材料随着载荷的增大，抗变形能力变大，床垫芯层较硬；

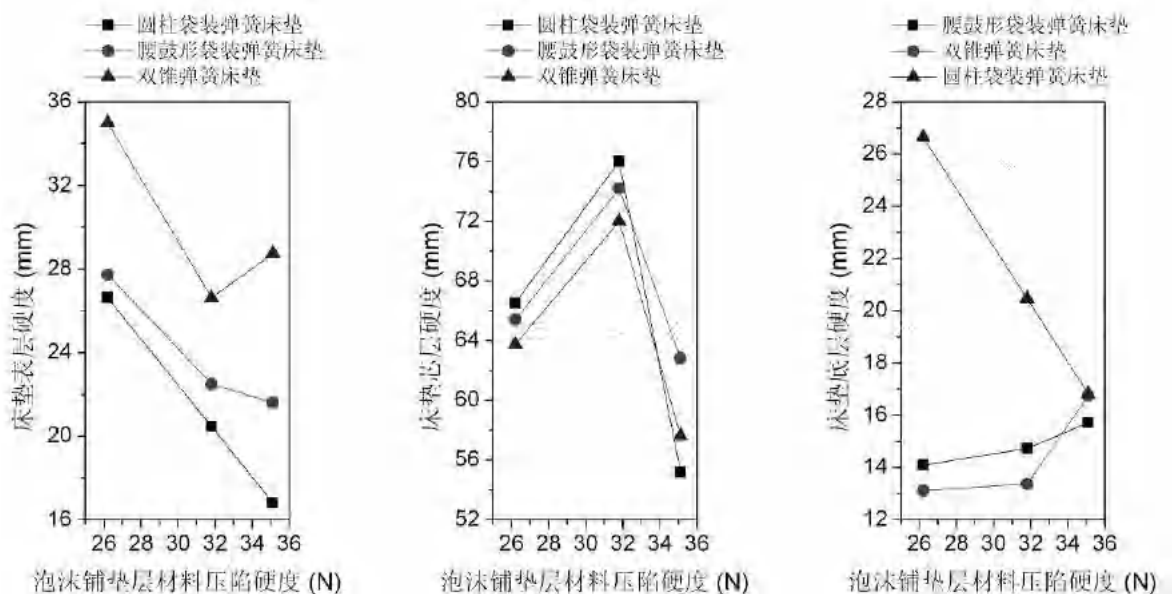


图 20 铺垫层泡沫材料压陷硬度与床垫硬度之间的关系

由图 20 可知：

①随着铺垫层材料压陷硬度的增加，床垫表面硬度有增大的趋势，但相同铺垫层材料压陷硬度对不同床芯的影响不同，如当铺垫层材料的压陷硬度达到一定程度时，双锥弹簧床垫的表层硬度反而有减小的趋势；

②随着铺垫层材料压陷硬度的增大，床垫芯层硬度先减小后增大，这主要是因为：随着铺垫层材料硬度的增加，铺垫层材料的抗弯曲变形的能力增加，即周围材料对受力区域铺垫层材料的拉应力增大，铺垫层材料垂直向下运动受到限

制，为了克服这一拉应力，铺垫层材料对床芯的应力作用减小，因此，表现为床垫芯层随着床垫铺垫层材料硬度的增大先减小的趋势；但当铺垫层材料的硬度非常大时，铺垫层材料的变形较小，周围材料拉应力的作用也较小，即床垫铺垫层的整体性增强，对床芯的应力作用增大，床芯变形增大，所以又表现为床芯硬度随铺垫层材料硬度的增大后又减小的趋势。这也是为什么铺垫层下增加一层毛毡会增大床垫硬度的主要原因。床垫表层硬度随着铺垫层材料硬度的增大而增大，但当硬度达到一定程度时，出现减小的趋势也是这一道理。

③床垫底层硬度的变化受床垫铺垫层材料和床芯类型的共同影响与作用，因此，变化比较复杂。

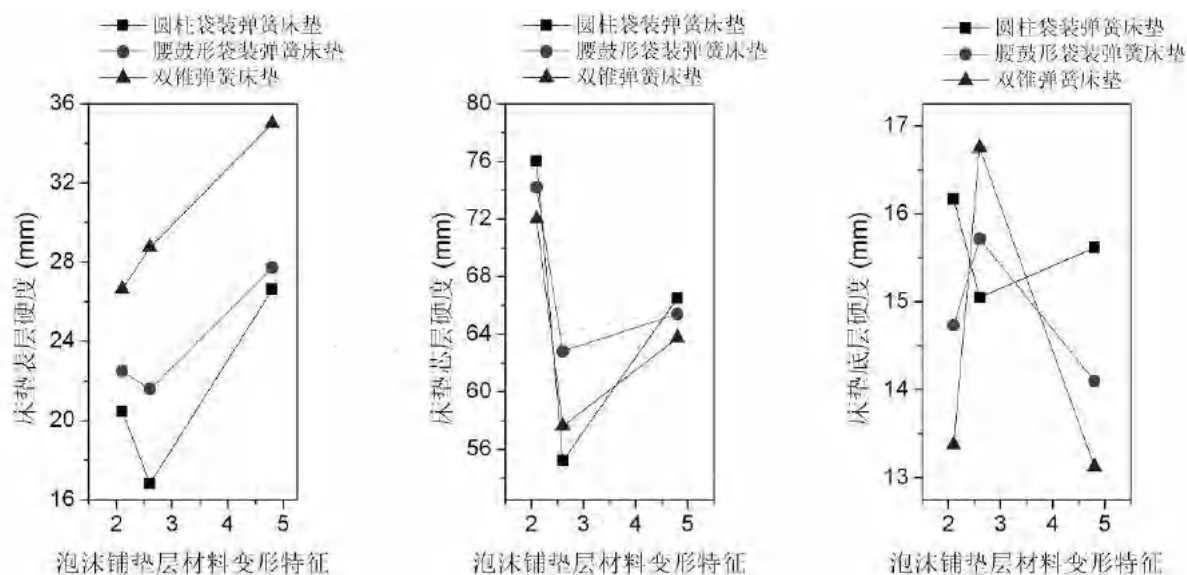


图 21 铺垫层泡沫材料变形特征与床垫硬度之间的关系

铺垫层料的变形特征主要反映随着载荷的增大，材料的抗变形能力的变化，变形特征值越大，说明材料的抗变形能力随着载荷的增大而增大，而变形特征值越小，说明材料的抗变形能力随着外载荷的增大有减小的趋势，即变形特征值与材料变形的加速度有关系。

3.5.5 铺垫层材料组合方式对床垫力学性能的影响

(1) 铺垫层材料搭配组合方式对床垫力学性能的影响

床垫的硬度是反映床垫支撑性能的一项主要指标，与卧姿舒适性有着密切的关系，这里以床垫的硬度为例分析床垫铺垫层材料组合方式对床垫力学性能的影响。以床垫的表层硬度、芯层硬度、底层硬度为横坐标，以铺垫层材料的组合方

式为纵坐标，作堆积柱形图，得床垫铺垫层材料组合方式与床垫硬度之间的关系，如图 22、图 23 和图 24 所示。图中“乳”指乳胶绵，“海”指普通海绵，“花”指花切海绵，“忆”指记忆海绵，“棕”指乳胶棕，“毡”指毛毡，纵坐标中材料从左至右的顺序代表铺垫层结构中从上至下的铺垫结构顺序。另外，除乳胶棕为 20mm 厚度，其它每层铺垫层材料的厚度均为 30mm 厚。

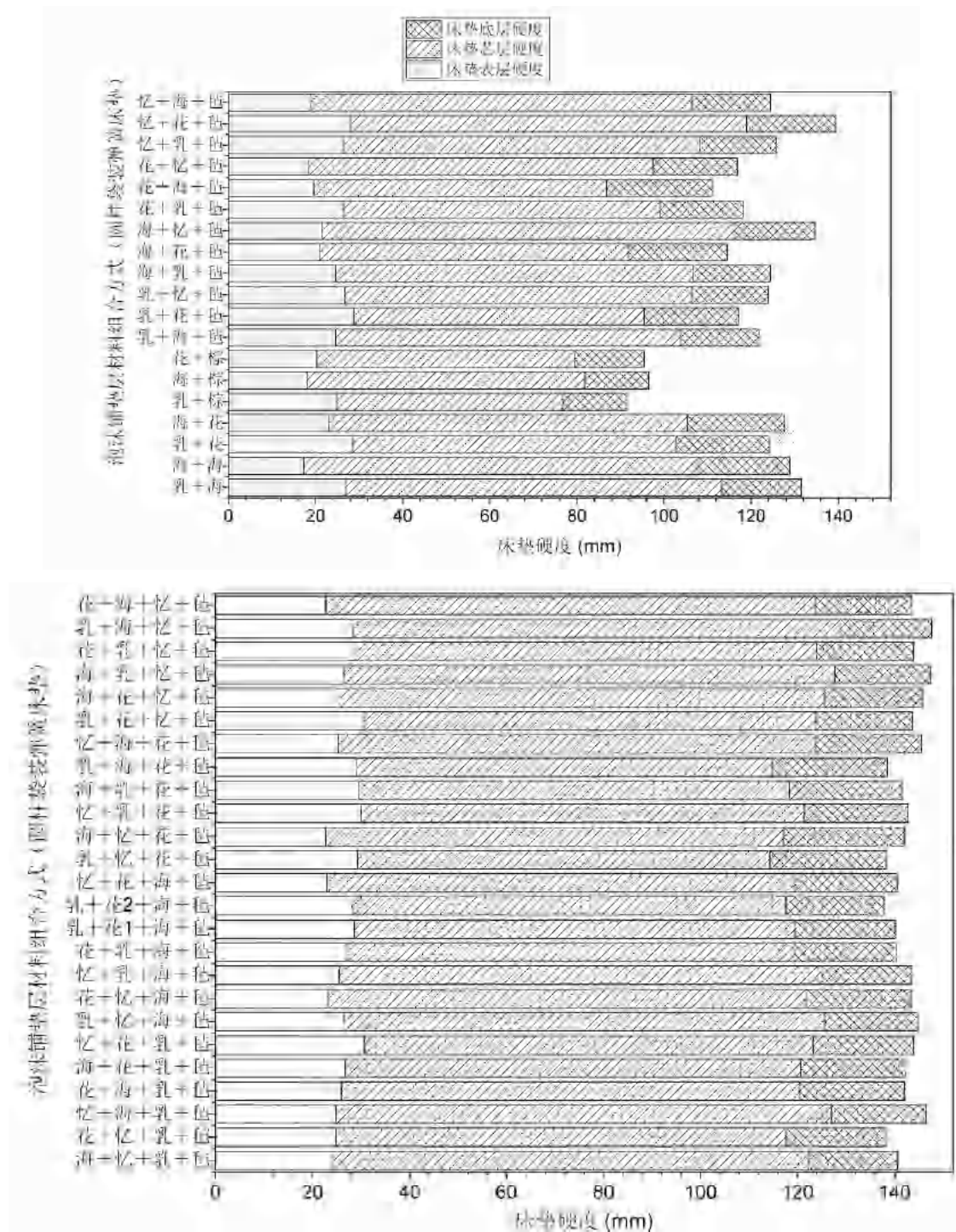


图 22 铺垫层材料组合方式与圆柱袋装弹簧床垫硬度之间的关系

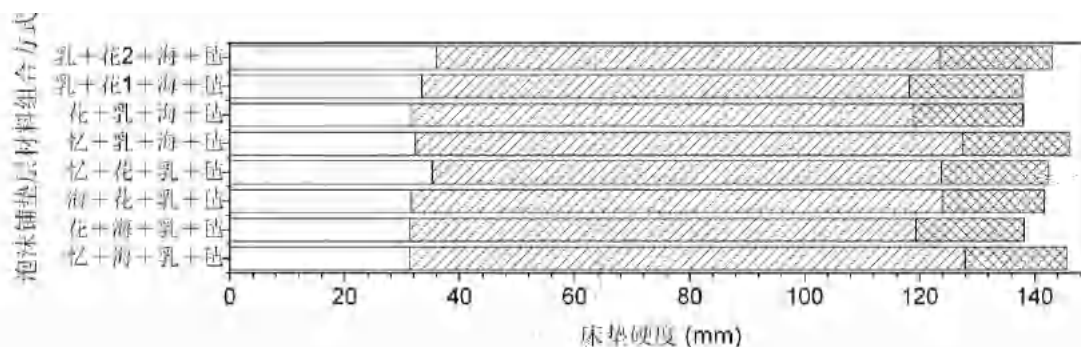


图 25 铺垫层材料组合方式与双锥弹簧床垫硬度之间的关系 (2)

由图 22、图 23、图 24、图 25 可知：

①随着铺垫层厚度的增加，床垫的表层硬度、芯层硬度和底层硬度均有减小的趋势，这主要是因为随着床垫厚度的增加，床垫的芯层上移动，床垫铺垫层材料的压陷硬度小于弹簧床芯的硬度，因此会有床垫芯层硬度减小的趋势；

②铺垫层中增加乳胶棕床垫的表层硬度和整体显著增大；

③铺垫层中海绵材料会使床垫的表层硬度增大，床垫整体硬度减小；乳胶海绵会使床垫的表层硬度减小，而芯层和底层硬度相对增大；

④铺垫层结构中上层较软，下层较硬的结构可以减小床垫表层的硬度，提高床垫芯层和床垫整体的硬度，即可以提高床垫表面的柔软性，提高芯层和整体床垫的支撑性能；

⑤床垫铺垫层材料对床垫硬度的影响与床芯的类型有关，相同铺垫层结构与不同床芯相匹配，床垫的硬度特征不同。

⑥随着床垫铺垫层材料厚度的增大，床垫表层的硬度差异性减小，即床垫铺垫层过厚时，床垫表层柔软性与相对较薄的铺垫层相差不大，且随着海绵铺垫层材料的增加，床垫的透气性降低，反而不利于床垫使用舒适性的提供，因此，床垫铺垫层结构的优化不仅包括层状结构的优化，也应该包括厚度的优化。

(2) 铺垫层材料层状结构对床垫力学性能的影响

对 330 张圆柱袋装弹簧床垫小样、330 张腰鼓袋装弹簧床垫小样和 54 张双锥弹簧床垫小样的表层硬度、芯层硬度、底层硬度按铺垫层结构进行分组，并对其进行分析，结果列于表 4 中，计算每类床垫中相同层状结构的床垫表层硬度、芯层硬度和底层硬度的平均值和标准差，结果也列于表 4 中。其中每层铺垫层结构的厚度为 30mm，共有 55 种铺垫层材料组合方案，各类床垫的铺垫层从

中选取。

表 4 铺垫层材料层状结构与床垫硬度之间的关系

弹簧床芯的类型	层状结构	表层硬度		芯层硬度		底层硬度		硬度分布
		平均值	SD	平均值	SD	平均值	SD	平均值
		mm		mm		mm		
圆柱形袋装弹簧	无	17.48	3.77	56.06	9.71	14.50	2.99	9.40
	单层	22.68	3.48	74.24	12.40	19.53	16.38	8.71
	双层	25.68	4.37	85.17	16.53	19.05	4.18	6.43
	多层	29.07	2.79	103.84	11.99	21.41	3.81	5.12
	总计	26.43	4.59	90.81	19.09	20.04	7.65	7.03
	Df	329		329		329		329
	方差分析 F	74.73		103.26		4.55		68.71
P-value	8.3×10^{-37}		5.2×10^{-47}		0.004		5.610^{-33}	
腰鼓形袋装弹簧	无	18.22	2.19	49.99	8.67	13.57	2.52	8.32
	单层	25.36	4.32	70.36	10.44	16.64	2.81	7.16
	双层	26.94	3.89	81.72	13.73	18.28	3.32	5.95
	多层	29.74	2.55	101.35	10.97	20.43	3.14	4.87
	总计	27.04	4.35	83.61	18.04	18.35	3.55	6.75
	Df	329		329		329		329
	方差分析 F	51.2		134.48		32.2		92.35
P-value	3.6×10^{-27}		1.0×10^{-56}		3.0×10^{-18}		2.2×10^{-45}	
双锥弹簧	无	21.81	1.50	50.50	11.84	10.81	1.86	7.33
	单层	28.40	4.34	59.63	7.40	12.83	2.36	6.08
	双层	29.89	3.12	70.72	10.24	13.90	2.50	5.17
	多层	32.79	1.70	84.70	6.68	17.29	1.77	4.62
	总计	30.19	3.64	72.42	12.66	14.57	2.86	5.53
	Df	53		53		53		53
	方差分析 F	9.87		16.42		10.33		10.97
P-value	3.5×10^{-5}		1.8×10^{-7}		2.3×10^{-5}		2.8×10^{-5}	

注：①圆柱袋装弹出床芯 6 种，腰鼓袋装弹簧床芯 8 种，双锥弹簧床芯 2 种；②表中床垫硬度分布指标值为床垫上各测试点总硬度的标准差的平均值。

由表 4 可知：

①随着铺垫层材料层数（厚度）的增加，床垫表层硬度、芯层硬度、底层硬度均有显著降低，由方差分析可知，各组床垫表层硬度、芯层硬度、底层硬度差

异性显著，即床垫铺垫层结构对床垫硬度影响显著，其中对表层和芯层硬度的影响大于对底层硬度的影响；

②随着铺垫层材料层数（厚度）的增加，床垫表面各测试点总体硬度差异性减小，即随着床垫铺垫层厚度的增加，床垫表面的硬度分布趋向于均匀化，并且通过方差分析可知各种床垫上各测试点总硬度的标准差差异性显著，说明床垫的层状结构对床垫的硬度分布影响显著；

③通过 3.5.1、3.5.2 和 3.5.3 的研究可知，床芯的类型对床垫硬度也有重要的影响，而表中各类弹簧床垫的数据主要基于不同参量的弹簧床芯，因此，各类弹簧床垫之间其表层硬度、芯层硬度和底层硬度无可比性。

3.5.6 床芯与铺垫层组合方式对床垫力学性能的影响

(1) 不同类型床芯与铺垫层的组合方式对床垫力学性能的影响

对 330 张圆柱袋装弹簧床垫小样、330 张腰鼓袋装弹簧床垫小样和 54 张双锥弹簧床垫小样的表层硬度、芯层硬度、底层硬度按床垫的类型进行分组并进行方差分析，结果列于表 5 中，并计算每类床垫表层硬度、芯层硬度和底层硬度的平均值和标准差，结果也列于表 5 中。其中每层铺垫层结构的厚度为 30mm，共有 55 种铺垫层材料组合方案，各类床垫的铺垫层从中选取。另外，选择其中 54 种铺垫层材料组合方案分别与圆柱袋装弹簧床芯（圆柱形弹簧参数：2.0 60 6）、腰鼓形袋装弹簧床芯（腰鼓形弹簧参数：2.0 60 6）和双锥弹簧床芯（双锥弹簧参数：2.3 90 6）相组合，获得三类床垫各 54 张，其中单铺垫层结构的床垫各 10 张，双铺垫层结构的床垫各 19 张，三层铺垫层结构的床垫各 25 张，共计 162 张实验床垫小样，其中每层铺垫层结构的厚度为 30mm。

表 5 弹簧床芯类型与铺垫层结构组合方式对床垫硬度指标的影响（按 CTBA 标准测试）

弹簧床芯的类型	表层硬度		芯层硬度		底层硬度		硬度分布
	平均值	SD	平均值	SD	平均值	SD	平均值
	mm		mm		mm		
圆柱形袋装弹簧	26.43	4.59	90.81	19.09	20.04	7.65	7.66
腰鼓形袋装弹簧	27.02	4.36	83.52	18.07	18.34	3.55	5.81
双锥弹簧	30.19	3.64	72.42	12.66	14.57	2.86	4.92
总计	26.98	4.52	86.09	18.93	18.85	5.96	5.79
	Df	713		713		713	713
方差分析	F	16.27		28.95		22.38	17.53
	P-value	1.24×10^{-7}		8.17×10^{-13}		3.76×10^{-10}	5.37×10^{-7}

注：①圆柱袋装弹出床芯 6 种，腰鼓袋装弹簧床芯 8 种，双锥弹簧床芯 2 种；②表中床垫硬度分布指标值为床垫上各测试点总硬度的标准差的平均值。

由表 5 可知：

（1）不同类型床芯的弹簧床垫表层硬度、芯层硬度、底层硬度差异性显著，即床垫类型与铺垫层材料的组合方式对床垫的硬度有显著的影响；

（2）随着床垫铺垫层厚度的增加，床垫表层硬度、芯层硬度和底层硬度均减小；

（3）腰鼓袋装弹簧床垫和双锥弹簧床垫的表层相对较软，底层相对较硬，因此，床垫的支撑性能较好，其中双锥弹簧床垫的表层最软，底层最硬，支撑性能最强。

（4）各类床垫表面各测试点标准差的差异性显著，即床垫类型与床垫铺垫层的组合方式对床垫硬度分布的影响显著。

（2）铺垫层与不同力学性能的床芯组合对床垫性能的影响

对 330 张圆柱袋装弹簧床垫小样、330 张腰鼓袋装弹簧床垫小样和 54 张双锥弹簧床垫小样的表层硬度、芯层硬度、底层硬度按床芯弹簧的参数进行分组，并进行方差分析，结果列于表 6 中，计算每类床垫表层硬度、芯层硬度和底层硬度的平均值和标准差，结果也列于表 6 中。其中每层铺垫层结构的厚度为 30mm，共有 55 种铺垫层材料组合方案，各类床垫的铺垫层从中选取，每类弹簧床垫所选的铺垫层结构一定，如圆柱袋装弹簧床的铺垫层材料组合方案有 55 种，腰鼓袋装弹簧床垫的铺垫层材料组合方案 42 种，双锥弹簧床垫的组合方案 27 种，即

各类弹簧床垫中各组的组合方案相同。

表 6 铺垫层与不同力学性能床芯的组合与床垫硬度之间的关系（按 CTBA 标准测试）

床芯的类型	床芯弹簧参数	表层硬度		芯层硬度		底层硬度		硬度分布	
		平均值	SD	平均值	SD	平均值	SD	平均值	
		mm		mm		mm			
圆柱袋装弹簧	1.8 65 6	27.02	3.66	105.91	16.37	25.06	2.98	7.46	
	1.8 60 6	28.14	4.33	102.07	15.45	23.78	15.38	6.88	
	2.0 65 6	27.24	4.01	94.04	15.43	20.39	2.38	6.51	
	2.0 60 6	26.16	5.50	82.80	18.11	16.28	3.87	6.19	
	2.2 65 6	23.84	4.65	81.89	15.86	19.33	2.74	6.10	
	2.2 60 6	26.18	4.19	78.12	14.63	15.37	2.40	5.89	
	总计	26.43	4.59	90.81	19.09	20.04	7.65	6.86	
		Df	329		329		329		329
	方差分析	F	6.05		28.74		17.91		24.65
		P-value	2.3×10 ⁻⁵		4.1×10 ⁻²⁴		1.1×10 ⁻¹⁵		3.2×10 ⁻²¹
床芯的类型	床芯弹簧参数	表层硬度		芯层硬度		底层硬度		硬度分布	
		平均值	SD	平均值	SD	平均值	SD	平均值	
		mm		mm		mm			
腰鼓袋装弹簧	1.8 65 6	26.93	3.99	101.60	16.96	23.66	2.73	6.49	
	1.8 60 6	27.75	3.91	94.18	16.91	21.29	2.20	6.23	
	2.0 65 6	30.07	4.75	87.19	16.10	18.38	2.64	6.09	
	2.0 65 5	26.50	4.21	79.18	15.83	17.90	2.33	6.41	
	2.0 60 6	24.82	4.13	77.33	15.82	17.11	2.33	5.71	
	2.2 65 6	26.34	3.54	78.34	13.24	16.67	1.91	5.63	
	2.0 60 6	25.97	4.53	76.20	16.11	16.84	2.64	5.51	
	2.2 60 6	28.04	3.91	74.82	14.12	14.91	2.19	5.28	
	总计	27.04	4.35	83.61	18.04	18.35	3.55	6.12	
		Df	329		329		329		329
方差分析	F	5.98		16.12		58.18		31.18	
	P-value	1.4×10 ⁻⁶		3.6×10 ⁻¹⁸		1.7×10 ⁻⁵³		1.5×10 ⁻³⁶	
双锥弹簧	2.3 90 6	30.46	3.43	73.65	10.30	14.86	2.23	6.31	
	2.5 83 6	30.04	3.79	71.72	13.94	14.41	3.19	5.63	
	总计	30.19	3.64	72.42	12.66	14.57	2.86	5.97	
		Df	53		53		53		53
	方差分析	F	0.156		0.277		0.303		0.181
	P-value	0.694		0.601		0.584		0.467	

注：①圆柱袋装弹出床芯 6 种，腰鼓袋装弹簧床芯 8 种，双锥弹簧床芯 2 种；②表中床垫硬度分布指标值为床垫上各测试点总硬度的标准差的平均值；③已排除有数据缺失现象的各组的相关数据。

由表 6 可知：

① 圆柱袋装弹簧床垫和腰鼓袋装弹簧床垫随着弹簧线径和圈数的增大，直径和腰径的减小，床垫的表层硬度、芯层硬度、底层硬度均增大，两类弹簧床垫

中不同参量的弹簧床垫通过表层硬度、芯层硬度、底层硬度的方差分析可知，不同参量的弹簧床垫的硬度差异性显著，而不同参量的弹簧床垫意味着其力学性能不同，因此这说明对于圆柱形袋装弹簧床垫和腰鼓袋装弹簧床垫而言，不同力学性能的床芯与铺垫层材料的组合方式对床垫的硬度有着显著的影响；

② 圆柱袋装弹簧床垫和腰鼓袋装弹簧床垫随着弹簧线径和圈数的增大，直径或腰径的减小，床垫表面各测试点整体硬度的标准减小，通过不同弹簧参量的床垫整体硬度的方差分析可知，对于这两类弹簧床垫而言，不同弹簧参量的床垫表面各测试点整体硬度的标准差存在显著的差异性，即不同力学性能的弹簧床芯与铺垫层材料的组合方式对床垫的硬度分布也有显著的影响，且随着弹簧硬度的增大，床垫的硬度分布趋向于均匀化；

③ 相同弹簧参量的圆柱袋装弹簧和腰鼓袋装弹簧床垫相比，腰鼓袋装弹簧床垫的芯层硬度显著大于圆柱袋装弹簧床垫；

④ 通过方差分析可知两种双锥弹簧床垫的表层硬度、芯层硬度、底层硬度以及弹簧床垫整体硬度的分布差异性均不显著。通过双锥弹簧的力学性能研究可知，这两种弹簧的力学性能差异性显著，这表明双锥弹簧床垫铺垫层材料对床垫力学性能的影响较大，而不同力学性能的床芯弹簧对床垫力学性能的影响相对较弱，这主要是因为双锥弹簧的排列密度相对较小，即弹簧覆盖率相对较小，床芯弹簧对床芯力学性能的影响相对较小，本部分研究的两种双锥弹簧床垫虽然弹簧力学性能差异性较大，但床芯力学性能的差异性较小。这也进一步说明弹簧排列密度（或弹簧覆盖率）对床垫的力学性能也有重要的影响。不仅可以通过床垫弹簧的形状、尺寸来改变床垫的力学性能，对于双锥弹簧床垫更多地可以通过弹簧排列密度（或弹簧的覆盖率）的优化设计来优化床芯的力学性能。

3.6 实验方案二（方法 A）

在测试方法 B 实验研究的基础上，结合床垫软硬度主观 VAS 评价，对床垫硬度等级的测试标准《软体家具 弹簧软床垫》（QB 1952.2-2011）的参量进行修改，获得床垫硬度等级测试方法 A。

3.6.1 床垫硬度等级测试方法 A 实验验证方法

（1）实验床垫

从市场上购买的 8 张床垫，利用根据标准《家用家具：床及床垫功能评定的测试方法》测定床垫的硬度等级为 0.41~9.30，如表 7 所示。

表 7 实验床垫基本参数

床垫名称	床垫厚度(mm)	芯层类型	芯层高度(mm)	铺垫层厚度(mm)	床垫硬度等级（欧标）
1 号床垫	180	棕垫	60	30	0.41
2 号床垫	290	独立袋装弹簧	120	60	4.87
3 号床垫	200	独立袋装弹簧	160	40	3.73
4 号床垫	210	独立袋装弹簧	150	30	2.66
5 号床垫	330	独立袋装弹簧	150	70	7.70
6 号床垫	380	独立袋装弹簧	180	120	9.30
7 号床垫	250	精钢连锁弹簧	150	10	1.43
8 号床垫	180	高弹棉	160	20	2.58

(2) 受试者

受试者为 73 名，其中 25 名男性，48 名女性，年龄为 21—60 岁，身体健康，无病痛。

(3) 主观硬度评级

随机选择73名受试者，随机躺在8款编号的床垫上，采用单盲评价法，根据表8语义微分法对床垫的软硬度进行评级。评分范围0~10，分数越低，表示床垫越硬。

表8 对床垫物理性能印象的视觉模拟量表（Visual Analogue Scale, VAS）（仰卧/侧卧）

实验编号：	受试者：		实验时间：							
评价项目	等级及评分									
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
柔软性	非常柔软				一般					非常硬
稳定性	非常稳定				一般					非常不稳
弹性	非常大				一般					几乎无
支撑力	非常大				一般					几乎无
肩部下陷感	非常强				一般					非常弱
臀部下陷感	非常强				一般					非常弱
腰椎变形感	上凸非常大				自然弯曲					后凹非常大
翻身难易度	非常容易				一般					非常难

(4) 床垫硬度测试试样环境调节

床垫试样在生产后放置72h以上方可进行试验，如果可以证明经放置16h或48h的试验结果之差不大于±10%，试验可以在放置16h或48h后进行。实验前将试样放在不受弯曲变形和破坏的条件下，在温度为(23±2)°C，相对湿度为(50±5)%，或温度为(27±2)°C，相对湿度为(65±5)%的条件下放置不小于24h，这一状态调节时间可包括在生产后72h内。试验应在同等环境下进行。

(5) 整体床垫硬度测试点

根据床垫长度和宽度，均匀分布测试点的个数。床垫长度方向上测试点不少于9个，宽度方向上测试点不少于7个。图26为两种尺寸床垫测试点分布图，实验时需要对床垫上所有测试点的硬度进行测量。

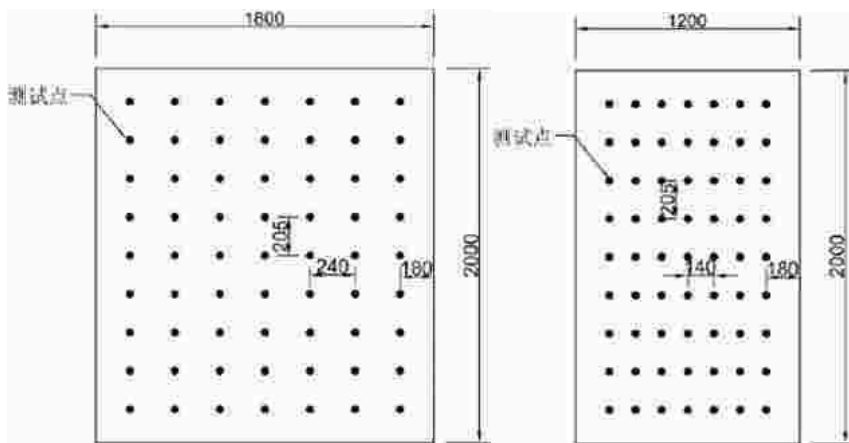


图 26 床垫硬度测试点分布

注：测试点越多，测试结果越准确。

(6) 床垫硬度等级测量与计算

测试前同样需要进行压处理，预处理时球缺形压头以90 mm/min的速度匀速下降，当压头载荷达到1200 N后，保载30秒，再以同样的速度卸载至载荷为0N，重复加载和卸载3次。

实验测试时，球缺形压头以90 mm/min的速度匀速下降，并作用在试样的各个离散测试点，当压头载荷达到1000 N后，以同样的速度卸载至载荷为0N，重复试验3次。得到加载曲线图27，根据曲线图数据进行如下计算：

$$T = \frac{(T_{210} + T_{275} + T_{340})}{3} (N/mm)$$

式中：

T —— 为加载曲线斜率的平均值，单位为牛每毫米 (N/mm)；

T_{210} ——为加载曲线在 210 N 时的切线斜率，其单位为牛每毫米 (N/mm)；
 T_{275} ——为加载曲线在 275 N 时的切线斜率，其单位为牛每毫米 (N/mm)；
 T_{340} ——为加载曲线在 340 N 时的切线斜率，其单位为牛每毫米 (N/mm)。
 K 是影响床垫硬度的重要因素，单位为 mm^2 ，公式如下：

$$K = \frac{A_{450}}{T}$$

式中：

K ——为床垫硬度影响因子，单位为平方毫米 (mm^2)；

A_{450} ——为 0N~450N 范围内加载曲线与 x 轴之间的总面积，单位为牛毫米 (N mm)；

T ——为床垫的劲度系数，即加载曲线斜率的平均值，单位为牛每毫米 (N/mm)。

$K < 900 (\text{mm}^2)$ 表示床垫比较硬， $900 (\text{mm}^2) \leq K \leq 1800 (\text{mm}^2)$ 表示床垫软硬适中， $K > 1800 (\text{mm}^2)$ 表示床垫较软；

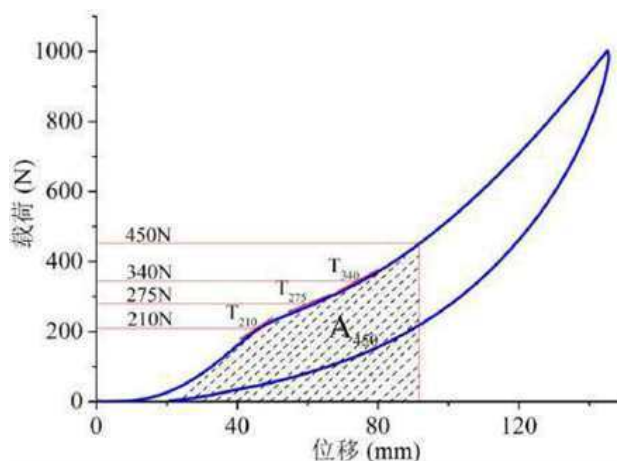


图 27 床垫硬度等级测试、计算参量示意图

(7) 体压测试

体压分布测试采用美国 Tekscan 公司的体压分布测量系统 (BPMS, body pressure measure system)。

测试时，首先将压力传感垫平铺于床垫表面，人采取卧姿躺在压力传感垫上，记录时间为 2 分钟，采样率为 8 帧/秒，以 KPa 为单位记录测试压力。传感器通过 Tekscan 软件在电脑上生成的体压分布图直接导入 Excel 软件生成数据，利用 MATLAB 软件求最大压力、平均压力、总接触面积、压力指数。

3.6.2 床垫硬度等级公式的验证

3.6.2.1 主观硬度评级结果

表9 主观硬度评定结果

	1号床垫	2号床垫	3号床垫	4号床垫	5号床垫	6号床垫	7号床垫	8号床垫
柔软性	0.33±0.51	5.92±1.12	4.61±1.85	3.29±1.93	8.63±0.94	9.72±2.51	1.66±0.91	3.18±2.85
稳定性	0.43±0.96	6.05±1.89	3.41±1.77	3.11±0.84	8.45±2.78	9.57±1.74	0.98±0.42	3.04±0.77
弹性	0.25±0.61	6.32±1.04	3.69±1.73	3.58±1.77	8.16±0.75	9.69±0.34	2.11±1.54	3.55±2.42
支撑力	0.34±0.73	5.33±0.92	4.66±2.29	4.01±1.03	8.04±3.88	9.81±1.25	1.14±0.23	3.74±1.03
肩部下陷感	0.51±0.63	5.02±1.01	5.20±1.05	3.24±1.49	8.84±1.14	9.28±2.46	1.58±1.46	3.87±0.53
臀部下陷感	0.33±0.92	5.95±1.72	4.74±0.98	3.34±0.73	8.70±0.42	9.06±1.48	1.69±0.42	3.23±1.80
腰椎变形感	0.23±0.51	5.92±1.90	4.24±2.47	3.84±1.04	8.52±4.64	9.17±4.87	1.47±0.84	3.31±1.15
翻身难易度	0.37±0.24	6.13±1.07	5.01±0.74	2.89±0.47	8.56±1.27	9.33±0.92	1.39±1.36	3.82±0.74

表9中为8款床垫主观物理印象评级结果。由表中数据可得到8款床垫硬度的主观评分存在明显差异，其中1号、7号和4号床垫主观硬度评价较硬，评分分别为0.33、1.66和3.29，5号和6号床垫柔软，评分分别为8.63和9.72。8款床垫主观硬度评级由软到硬的顺序如下：6号床垫、5号床垫、2号床垫、3号床垫、8号床垫、4号床垫、7号床垫、1号床垫。

利用origin软件对实验数据进行拟合，以K值为自变量x，硬度等级为因变量y。拟合结果如下：

表10 床垫硬度等级拟合结果

床垫序号	K值	主观硬度等级A	拟合硬度等级S	欧美床垫评级
1号床垫	133 (16)	0.33 (0.51)	0.3 (0.04)	0.41
2号床垫	1770 (108)	5.92 (1.12)	5.9 (0.4)	4.87
3号床垫	1342 (78)	4.61 (0.85)	4.6 (0.3)	3.73
4号床垫	975 (64)	3.29 (0.93)	3.3 (0.3)	2.66
5号床垫	3297 (262)	8.63 (0.94)	8.6 (0.3)	7.70
6号床垫	5389 (289)	9.72 (0.51)	9.7 (0.1)	9.30
7号床垫	551 (48)	1.66 (0.91)	1.7 (0.2)	1.43
8号床垫	948 (52)	3.18 (0.85)	3.2 (0.2)	2.58

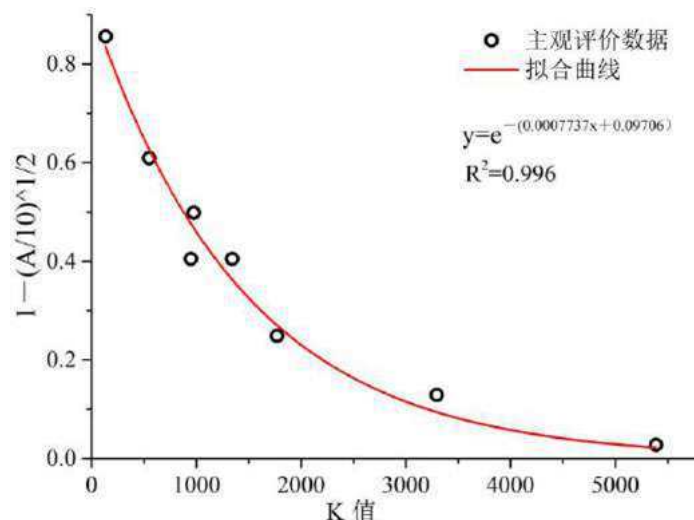


图 28 床垫硬度等级拟合曲线

由表中数据可以看出，利用 K 值和主观硬度等级数据进行拟合可以得到较好的拟合效果，拟合方程为方程（8）。拟合得到参数 a、b 值分别为 7.737×10^{-4} 和 9.706×10^{-2} 。拟合度 R^2 为 0.996，这说明选用的拟合方程可以很好的拟合实验结果。

拟合硬度等级 S 的公式如下：

$$S = 10(1 - e^{-(Ka+b)})^2$$

式中：

S —— 床垫的硬度指标；

K —— 影响床垫硬度的重要因素，单位为平方毫米 (mm^2)

a —— 7.737×10^{-4} ；

b —— 9.706×10^{-2} ；

e —— 自然常数。

根据 S 值的大小将床垫硬度分为三个等级： $0 \leq S \leq 10$ ，S 值越小，则越硬；当 $S < 3$ 表示硬， $3 \leq S \leq 6$ 表示软硬适中， $6 < S \leq 10$ 表示软。

标准 EN1957-2000 中的床垫硬度等级计算公式与本标准相同，但其中系数 a 和 b 与本标准不同，分别为 0.000592 和 0.148。根据欧标 EN1957-2000 中的床垫硬度计算公式得到外国消费者对相同床垫的评级，如表 10 所示。对比中国和外国人对床垫硬度评级结果可发现，相同床垫上中国消费者的硬度评级与外国人不同，比如对于 4 号床垫，中国人的硬度评级为 3.3，属于软硬适中的床垫，而外

国人对该床垫的硬度评级为 2.66，属于较硬床垫。

3.6.2.2 体压分布检验

表11 床垫整体体压指标

整体区域 床垫序号	硬度等级 S	卧姿 状态	高压力阈限范围内接触面 积百分比 (>4KPa) (%)	最大压力 (KPa)	平均压力 (KPa)	压力指数 (KPa)
1号床垫	0.33	仰卧	5.2	3.7	1.4	5.4
		侧卧	9.7	5.0	1.8	7.5
2号床垫	5.88	仰卧	0.7	2.6	1.2	3.3
		侧卧	3.3	3.5	1.5	4.7
4号床垫	3.26	仰卧	0.6	2.5	1.2	3.2
		侧卧	6.1	3.8	1.7	5.4
5号床垫	8.58	仰卧	0.3	2.2	1.0	2.7
		侧卧	3.1	3.0	1.4	4.0
6号床垫	9.71	仰卧	2.1	1.7	0.8	2.1
		侧卧	1.1	2.5	1.1	3.1
8号床垫	3.16	仰卧	2.8	2.2	1.0	2.8
		侧卧	3.8	3.2	1.5	4.4

表 11 为人卧姿状态下整体界面体压分布情况，由表中数据可以看出，床垫硬度等级越大，即床垫越柔软，人-床界面的最大压力、平均压力和压力指数越小。另外，仰卧睡姿是，1号床垫的高压力阈限范围内接触面积百分比最大，其次是8号床垫、6号床垫、2号床垫、4号床垫，5号床垫最小；侧卧时，1号床垫的高压力阈限范围内接触面积百分比依然最大，其次是4号床垫、8号床垫、2号床垫、5号床垫，6号床垫最小。对比床垫硬度等级 S 可发现，随着床垫 S 值的增加，高压力阈限范围内接触面积百分比随之降低，特别是侧卧睡姿时这种变化规律最明显。这说明，拟合得出的床垫硬度等级 S 可以很好的反映床垫的客观硬度，同时，通过体压分布检验可以得出床垫越柔软，其压力分布越均匀，进一步验证该硬度等级评级结果的正确性。

对比表中4号和8号床垫可以看出，两张床垫的硬度等级分别为3.26和3.16，软硬度相近，但由界面压力指标看出两张床垫的缓压效果存在明显的差异，8号床垫的缓压效果较好。另外，8号床垫的硬度等级为3.16，明显小于2号床垫（5.88），而8号床垫上除高压力阈限范围内接触面积百分比外，其最大压力、平均压力和压力指数均小于2号床垫。因此以上结果说明，床垫整体硬度等级与

床垫的缓压效果并不是一一对应的，单独用床垫硬度等级指标描述床垫力学性能是不全面的。

床垫内部是由多层结构组合而成，其结构设计对床垫舒适性的影响较大。一般床垫在使用时人们希望与人体接触的部分具有较好的柔软感，同时人在躺在床垫上时又要求床垫具有较好的支撑性，支撑人体重量和保护脊柱健康，另外床垫底部还必须就有较好的稳定性，保证安全。所以床垫的纵向各层性能不同，对界面压力缓解的效果也不同，了解床垫各层力学性能是非常有必要的。

3.6.2.3 床垫各层硬度及硬度分布验证

表12 不同床垫各层硬度均值

床垫序号	硬度等级S	表层硬度(mm)	芯层硬度(mm)	底层硬度(mm)	总硬度	滞后损失率(%)
1号床垫	0.3 (0.04)	8.03 (0.42)	11.00 (0.61)	2.08 (0.12)	20.21 (1.12)	34.3 (0.7)
2号床垫	5.9 (0.4)	20.89 (2.14)	43.83 (1.77)	8.03 (0.45)	72.74 (2.60)	40.1 (0.5)
3号床垫	4.6 (0.3)	15.21 (0.86)	39.36 (1.59)	7.46 (0.47)	62.02 (2.37)	39.6 (0.6)
4号床垫	3.3 (0.3)	22.53 (0.73)	38.03 (1.25)	6.85 (0.30)	67.41 (1.91)	35.4 (0.4)
5号床垫	8.6 (0.3)	28.31 (0.77)	52.73 (1.65)	8.76 (0.49)	89.80 (2.46)	41.9 (0.7)
6号床垫	9.7 (0.1)	28.80 (0.9)	62.16 (1.84)	11.51 (0.23)	102.5 (2.43)	43.9 (0.6)
7号床垫	1.7 (0.2)	16.88 (0.62)	19.64 (0.96)	3.92 (0.24)	40.45 (1.63)	30.3 (1.0)
8号床垫	3.2 (0.2)	13.86 (0.37)	40.74 (1.15)	8.40 (0.60)	63.00 (1.76)	48.89 (0.3)

表12中为8款床垫的通过物理力学测试得到的各层硬度值和硬度等级。床垫各层硬度指标可以直观反映在相同载荷作用下不同床垫下陷量，对比得出不同床垫各层硬度之间的差异。4号床垫和8号床垫相比，硬度等级S值相近，但两张床垫的各层硬度之间存在明显差异，其中8号床垫的表层硬度值为13.86mm，4号床垫表层硬度为22.53mm。2号床垫的硬度等级大于4号，但表层硬度指标之间仅相差2mm，从而使得两床垫界面压力缓解效果相近。这证明，相同硬度等级的床垫，其纵向各层硬度之间也会存在较大的差异，进而影响床垫的界面压力分布。同时也证明，床垫表层硬度显著影响人-床界面压力缓解的效果。

但是不论是床垫硬度等级还是纵向各层硬度都只能反映床垫某点或整体床垫的平均性能，但目前市场上分区床垫越来越多，床垫根据人体各部分的硬度需求会将床垫设计为多个硬度分区床垫，因此单一测试床垫的某点硬度不能表示床垫的硬度特性，而且由于人体各部分重量和体型曲线不同，所需要的支撑力也不同。所以，为了全面的反映床垫的性能，需要了解床垫硬度分布。

根据床垫各层硬度测试方法，可以得到床垫上各个点的表层硬度、芯层硬度和底层硬度，再根据这些离散的测试点硬度值利用 MATLAB 软件采用插值法得到整体床垫各层硬度的分布图，如图 29 所示。由图 29 可看出，5 号床垫在长度方向存在明显的梯度，臀部区域最硬，其次是头部、腰部和肩背部。

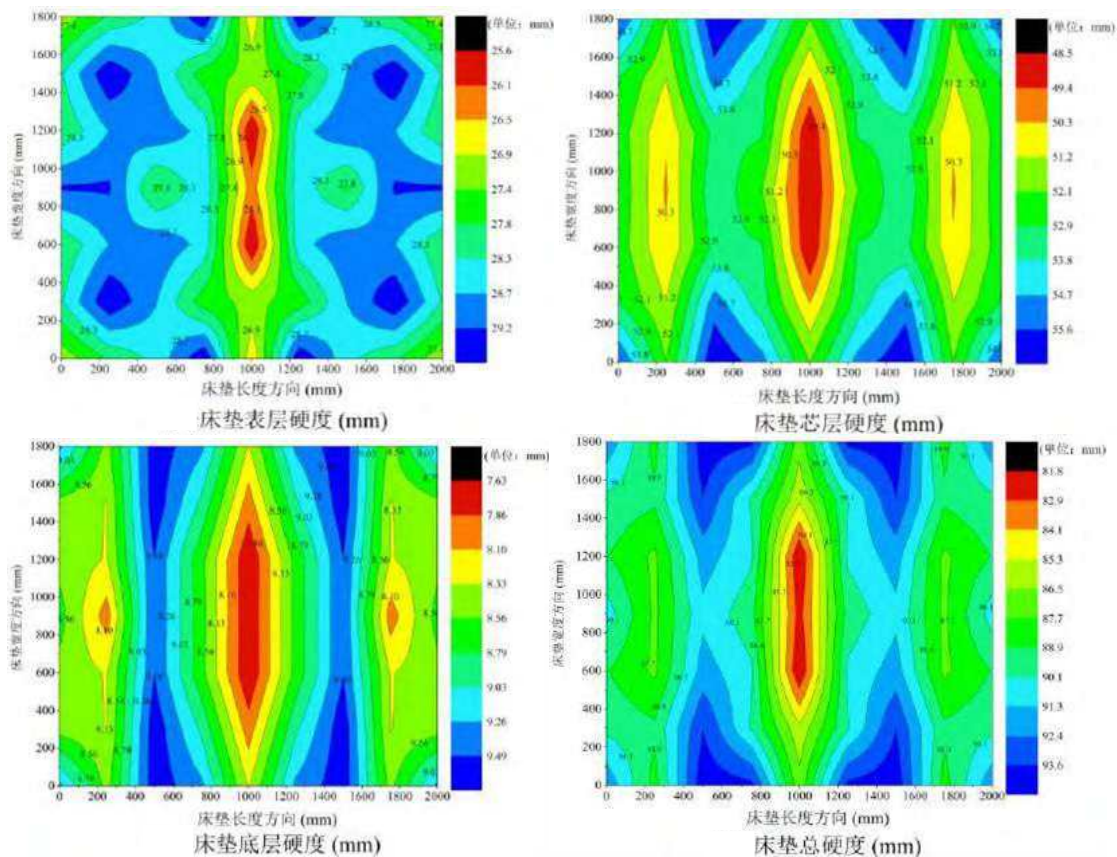


图 29 5 号床垫各层硬度及总硬度分布图

3.6.2.4 床垫硬度分布检验

根据所有测试点的硬度等级 S 值画出床垫的硬度等级分布图，如图 11，12 所示。从上图可以看出，这四张床垫的硬度等级分布存在明显不同，且人-床界面的压力分布也存在明显差异。从图中也可以看出，这四张床垫的中部的硬度明显高于四周，靠近床垫边缘的硬度较小，这也造成床垫边缘塌陷的原因。所以，在床垫设计时，床垫边缘部位需要进行加固处理。

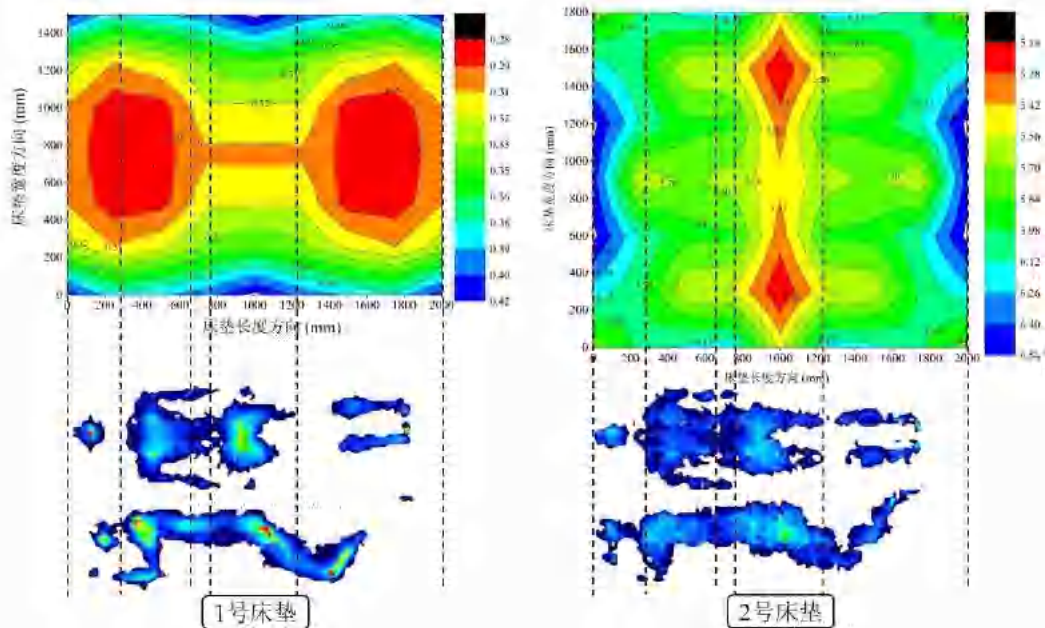


图 30 1 号和 2 号床垫硬度等级分布图

1 号和 2 号床垫硬度等级存在较大差异，1 号床垫的平均硬度等级为 0.33，2 号床垫硬度等级为 5.88。从图 30 可以看出，无论是仰卧还是侧卧，2 号床垫上的总接触面积均大于 1 号床垫，且臀部和肩部区域的最大压力也明显大于 1 号床垫。另外，2 号床垫上人体的腰部支撑区域面积明显大于 1 号床垫，这说明 2 号床垫上人的腰部区域得到了有效支撑。这主要是由于 2 号床垫的臀部硬度等级（5.63）远大于 1 号床垫（0.34），相同的重量载荷作用时，2 号床垫的臀部下陷量较大，从而保证腰部可以得到支撑。

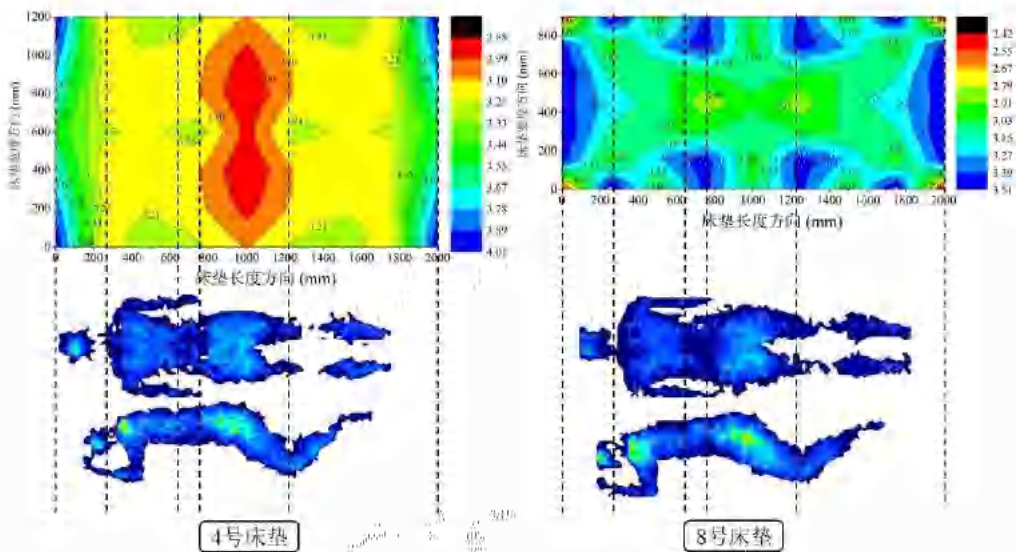


图 30 4 号和 8 号床垫硬度等级分布图

从表 12 可以看出，4 号床垫和 8 号床垫的硬度等级 S 值相近，而且床垫的

表层硬度、芯层硬度和底层硬度值也相近,这说明这两个床垫的硬度相似。但对比图 13 中的 4 号和 8 号床垫上的体压分布可发现,4 号床垫的体压分布与 8 号床垫明显不同,4 号床垫的接触面积明显小于 8 号床垫,且侧卧时黄色区域的面积明显对于 8 号床垫。

以上分析证明了床垫硬度分布影响界面压力分布,影响床垫的缓压效果。

4. 小结

床垫硬度是床垫的固有属性,反映了床垫抗变形的能力和对人体的支撑能力。人体不同部位外形和重力分布不同,对床垫的支撑需求也不同。另外,亚洲人体型与西方人体型有着较大的区别。因此,有必要对源于欧洲,只测试中心点硬度等级的床垫硬度测试的方法进行改进与升级,以满足不同体型中国人群的定制化需求。床垫面料复合层和铺垫层对表层硬度影响较大,而弹簧的类型与连接方式对床垫芯层硬度、硬度分布等有较大的影响,可以通过床垫结构与材料的量化设计获得合理的床垫硬度和硬度分布,以满足不同体型、体重、睡姿偏好等人群的需求,实现床垫的定制化设计与生产。

参考文献

- [1] Haex B. Back and Bed, Ergonomics of sleeping. Crc Press. 2004:1.
- [2] T D. The effect of position and mattress on interface pressure. Appl Nurs Res. 2000;13(1):2-11.
- [3] Buckle P, Fernandes A. Mattress evaluation--assessment of contact pressure, comfort and discomfort. Appl Ergon. 1998;29(1):35-9.
- [4] Tanimoto Y, Takechi H, Tokuhiko A, Takechi H. Buttock pressure measurement using bed mattress. Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2002 Imtc/2002 Proceedings of the IEEE2002. p. 1113-8 vol.2.
- [5] QBT 1952.2-2011 行业标准 软体家具 弹簧软床垫[S]。
- [6] EN 1957-2000, European Norm, Domestic furniture - Beds and mattresses – Test methods for the determination of functional characteristics[S]. P13
- [7] 陈玉霞.床垫支撑特性对卧姿舒适性和睡眠质量影响的研究[D].江苏南京:南京林业大学, 2012

- [8] 陈玉霞, 申黎明, 郭勇, 潘颖玲, 胡天怡, 宋杰. 床垫的人性化设计对睡眠健康的影响. 包装工程. 2012(12):36-9.
- [9] 陈玉霞, 申黎明, 郭勇, 赵静, 方菲, 周毅, et al. 弹簧床芯对床垫性能及卧姿舒适性的影响. 南京林业大学学报(自然科学版). 2012;36(6):110-4.
- [10] 陈玉霞, 申黎明, 郭勇, 方菲. 床垫支撑性能评价方法探讨. 家具. 2013(1):19-23.
- [11] 张凯婷, 陈玉霞, 苏娜, 郭勇, 赵磊, 朱诗留, et al. 丝瓜络床垫力学性能研究. 2017.
- [12] Yuxia Chen, Kaiting Zhang, Fangcheng Yuan, Tingting Zhang, Beibei Weng, Shanshan Wu, Aiyue Huang, Na Su, and Yong Guo*. Properties of two-variety natural luffa sponge as potential mattress filling materials [J]. Materials, 2018, 11, 541:1-20
- [13] [1] L. M. Shen, Y. X. Chen, Y. Guo, F. Fang., Research on the Relationship between the Structural Properties of Bedding Layer in Spring Mattress and Sleep Quality [J], Work: a Journal of Prevention Assessment & Rehabilitation, 2012, 41: 1268-1273
- [14] 赵磊. 丝瓜络床垫性能的研究: 安徽农业大学; 2015.
- [15] 张凯婷.柱状丝瓜络填充材料及床垫性能研究[D].安徽合肥: 安徽农业大学, 2018
- [16] 苏娜. 丝瓜络床垫特性对人-床界面体压分布影响的研究[D].安徽合肥: 安徽农业大学, 2018
- [17] 任林燕, 张凯婷, 苏娜, 王莉, 朱珍珍, 郭勇, 陈玉霞 (通讯作者). 基于体压分布的床垫硬度对人体舒适性的影响[J].安徽农业大学学报, 2018,45 (6): 146-151
- [18] Hou L, Wang H, Zhang W. Study on adult male bodily form in three areas of China. Journal of Textile Research. 2008;29(10):95-7.
- [19] Gu D, He J, Duan X, Reynolds K, Wu X, Chen J, et al. Body weight and mortality among men and women in China. JAMA. 2006;295(7):776-83.