

床垫贴合度定量与评价方法

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.....	2
4. 方法研究过程.....	2
4.1 背景知识.....	3
4.2 方法原理.....	4
4.3 仪器、设备、实验床垫.....	5
4.4 贴合度的测试方案.....	6
4.5 床垫贴合度的确定方法.....	10
4.5.1 K 值的确定.....	10
4.5.2 K 值的标准化.....	11
4.6 验证实验测试方法.....	13
4.6.1 床垫纵向各层硬度测试方法.....	13
4.6.2 床垫硬度等级测试方法.....	13
4.6.3 体压分布测试.....	14
4.7 实验数据分析.....	16
4.7.1 床垫贴合度与床垫软硬度之间的关系.....	16
4.7.2 床垫贴合度与床垫软硬度对床垫减压效果的影响.....	17
5. 小结.....	21
参考文献.....	21

《床垫贴合度定量与评价方法》编制说明

1. 标准制定的目的和意义

床垫是睡眠系统的重要组成部分，其性能直接影响使用的舒适性。睡眠系统的机械性能（特别是背部支撑性能）对睡眠质量的影响大于非机械特性（例如，热传导）。床垫硬度是评价床垫支撑性能的指标，且明显影响人-床界面的压力分布以及人的脊柱形态。然而除了床垫硬度以外，床垫的贴合度也是床垫支撑性能的重要方面。床垫完美贴合人体是脊柱各位置点得到有效支撑的前提，也反映了床垫优质的塑形性。而床垫优质的塑形性是睡姿状态下，人体各部位获得均匀支撑，有效增加人-床界面接触面积，实现床垫减压的有力保障。床垫的塑形性与床垫的独立支撑性能有着密切的关系。目前，为了展示独立袋装弹簧床垫具有较好的独立支撑性，市场上，商家经常将保龄球和酒杯同时置于独立袋装弹簧床芯之上，并通过观察酒杯的稳定性来反映独立袋装弹簧床芯的独立支撑性和无干扰性，但这种方法只能定性地反映独立袋装弹簧床芯各点的独立支撑性及各点之间的无干扰性，而不能反映整体床垫的独立支撑性和整体床垫各点之间的无干扰性，更不能量化地反映人-床之间的贴合程度。据此，目前急需一种能够为床垫的人性化设计和定制化生产提供科学依据的床垫贴合度量化测试设备、方法以及评价方法。

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

目前国内外对于床垫贴合度测定的方法处于空白状态，并没有关于床垫贴合度测定的相关方法。目前市场上很多商家都会将床垫的独立支撑性能作为重要宣传点，而他们经常是通过观察保龄球落在床芯上时酒杯的稳定性来反映床垫的独立支撑性和无干扰性。显然，这种方法只能定性地反映独立袋装弹簧床芯各点的独立支撑性及各点之间的无干扰性，而不能反映整体床垫的独立支撑性和整体床垫各点之间的无干扰性，更不能对人-床之间的贴合程度进行有效量化。

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。

诚然，床垫完美贴合人体是脊柱各位置点得到有效支撑的前提，也反映了床垫优质的塑形性，而床垫优质的塑形性是睡姿状态下，人与床垫充分接触的保证。而只有人与床垫充分接触，才可以有效避免压力过于集中的现象，即有助于床垫的缓压。

众所周知，独立袋装弹簧每个袋簧都是独立的，一个袋簧受压变形并不会影响到未受压的袋簧，每个弹簧都可提供独立的支撑。独立袋装弹簧在分区床垫中最常用。分区床垫的设计是根据人体各部位的重量和形状确定床垫各区域的软硬度，使得臀部、背部、头部、腰部都能得到合理的支撑和下陷量，保证脊椎呈现自然弯曲的状态。另外，记忆棉的缓压效果和随形能力较好，受压时，受压部位随施压物的形状发生变形，受压处于施压物紧密贴合，而受压物周围变形性较小，表明记忆绵这种材料具有较好贴合的特性。无论是记忆棉还是独立袋装弹簧，它们都具有较好的贴合性能，这也是使用这些材料生产的床垫受欢迎的重要原因。那么，具体什么样的床垫具有良好的贴合性？如何量化地评价床垫的贴合度？

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》中指出，床垫在一定载荷作用下，除了会产生垂直于位移方向的变形外，还会在受力点周围一定范围内会发生一定的横向变形。床垫的横向变形与床垫层状结构、各层材料性能、各点之间的独立支撑性等有着密切的关系^[4]。为了获得床垫的横向变形及横向变形引发的体积变形，陈玉霞提供了本标准中提及的测试的方法。2018年张凯婷在陈玉霞提供的方法的基础上，提出了波及半径和贴合度的概念，并利用该方法研究了贴合度对卧姿舒适性和人-床界面体压分布、脊柱形态的影响^[5]。

3.2 方法原理

床垫是由面料复合层、铺垫层、芯层等多层材料层叠而成的整体，床垫上某点受压时，受压点周围材料受到受压处材料的拉伸作用，也会发生一定的下陷变形。这种床垫一点受压下陷后，会辐射周围床面也发生下陷的现象，可以反映床垫本身的支撑性能。辐射区域为圆形，圆形的半径越小，床垫上各点的独立支撑性能越好，床垫的贴合性越好。因此，本标准采用受压点波及半径来量化反映

床垫的贴合度。

另外,根据半无限弹性空间承受垂直于边界面的集中应力(布西涅斯克问题)时,在边界面的垂直位移分布规律为:

$$\Delta u = \frac{\Delta P}{r} \times \frac{1 - \nu^2}{\pi E}$$

其中, ΔP 为载荷增量, r 为距中心的距离, E 为弹性半空间的杨氏弹性模量, ν 为泊松比(横向应变与纵向应变之比值称为泊松比,也叫横向变形系数,它是反映材料横向变形的弹性常数)。实验研究表明,一定载荷($<200\text{N}$)范围内 $\frac{1 - \nu^2}{\pi E}$ 近似一个常数,可以用它来表征床垫的性能。而体压分布测试的结果表明局部每

一个测点的压力都在这个范围之内。载荷不能过大,载荷越大, $\frac{1 - \nu^2}{\pi E}$ 的值越小,这主要是因为床垫不是严格的各向同性材料。从床垫的结构上考虑,在挠度方向上,床垫的弹性主要取决于床垫填充材料的弹性及其分布,而在沿床垫表面的方向上,其弹性主要取决于床垫填充材料和面料复合层材料的弹性,而床垫面料复合层材料不可能像床垫填充材料那样具有良好的伸缩性,从而限制了实测的挠度,载荷越大,床垫表面挠度越大,同时,面料复合材料对挠度的限制也就越大,因此,随着载荷的增大,实际测试值有减小的趋势。因此,为了尽量减小面料复合材料对垂直挠度的限制,应尽量采用弹性较好的面料复合层材料作为床垫的外裹材料,这样有利于获得较好的床垫贴合性能^[4]。

本标准通过采集受压点周围距离压头中心点 80 mm、160 mm 和 240 mm 的三个点的床垫挠度,并进行曲线拟合,获得受压点的波及半径;利用压头挠度与波及半径的比值反映床垫受压点对周围床垫的影响和床垫的独立支撑性能,最后对比值进行标准化处理得到床垫贴合度的定量化指标。注意:为了实验的方便性和准确性,在测试点周围选择 3 个挠度采集点,如果条件允许也可以增加挠度采集点的个数,来提高测试的准确性。

3.3 仪器、设备、实验床垫

(1) 床垫贴合度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了二维幅面测试。另外,设有三个并排的光栅位移传感器,三个光栅位移传感器与圆柱形压头的相对位置固定,一字排开,相邻中心位置的距离

为 80mm,可随着压头移动,采集周围距离压头中心点 80 mm、160 mm 和 240 mm 处的三个点的床垫扰度,如图 1 所示。

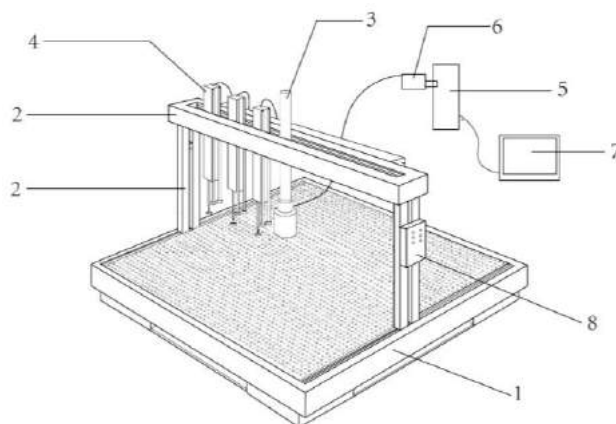


图 1 床垫各层硬度及硬度等级测试仪器

1——测试平台；2——支架横梁；3——力学性能测试装置；4——光栅位移传感器；5——主机；6——采集卡；7——电脑；8——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) 实验床垫

从市场上购买的 7 张床垫,床垫硬度等级 0.3~9.7,如表 1 所示。

表 1 实验床垫基本参数

床垫序号	床垫厚度 (mm)	表层硬度 (mm)	芯层硬度 (mm)	底层硬度 (mm)	总硬度 (mm)	硬度等级
1 号床垫	180	8.0±0.4	11.0±0.6	2.1±0.1	20.2±1.1	0.3±0.04
2 号床垫	180	13.8±0.2	40.0±0.7	8.0±0.4	61.8±1.1	3.2±0.2
3 号床垫	210	22.5±1.3	37.8±1.2	6.7±0.3	67.0±2.5	3.3±0.2
4 号床垫	250	15.4±2.5	43.8±2.1	8.6±0.3	67.8±4.8	6.1±0.4
5 号床垫	290	21.0±2.0	42.8±1.5	7.7±0.3	71.5±2.9	5.9±0.3
6 号床垫	330	27.9±1.3	51.5±2.2	8.5±0.8	87.9±4.0	8.6±0.3
7 号床垫	380	28.8±0.9	62.16±1.84	11.51±0.23	102.5±2.43	9.7±0.1

3.4 贴合度的测试方案

(1) 床垫测试试样环境调节

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 $(27 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，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) 床垫贴合度测试点

根据床垫分区设计，确定床垫各区域测试点位置，如图 2 所示。

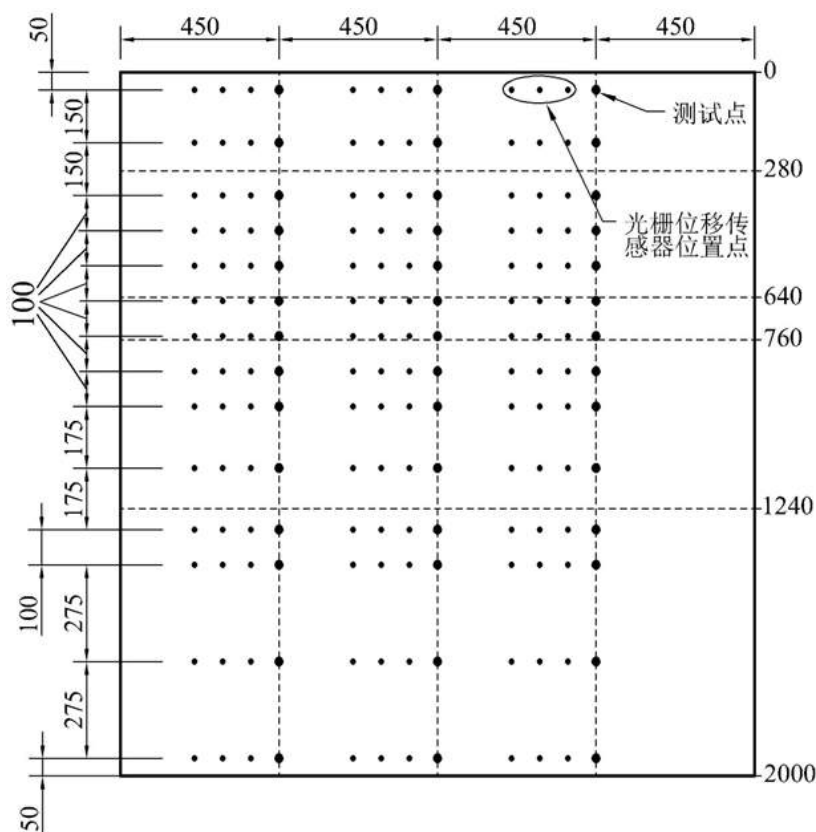


图 2 床垫贴合度测试点分布

注：测试点越多，测试结果越准确，单位为 mm。

(3) 床垫贴合度测试

① 实验采用直径为 10cm 的圆柱形压头，如图 3 所示，将压头调节至与床垫接近接触，对床垫进行预压处理，载荷 100 N，加载速度 20 mm/min，保载 30 秒，重复加载卸载 3 次。

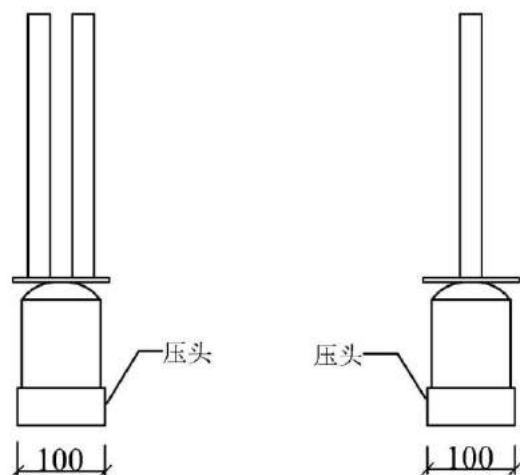


图 3 圆柱形压头

测试时压头仍以 20 mm/min 的速度对床垫进行压缩，加载至载荷为 200N 后立即卸载，卸载至载荷为 0N 停止。实验过程中，采集压头载荷分别为 40N、90 N、140 N、190 N 时对应压头（A 点）和 3 个测试点（B 点、C 点、D 点）的挠度值（如图 4 所示）。40N 载荷下 A, B, C, D 四点位移分别记为 a_0 、 b_0 、 c_0 、 d_0 ；90N 载荷下 A, B, C, D 四点位移分别记为 a_1 、 b_1 、 c_1 、 d_1 ；140N 载荷下 A, B, C, D 四点位移分别记为 a_2 、 b_2 、 c_2 、 d_2 ；190N 载荷下 A, B, C, D 四点位移分别记为 a_3 、 b_3 、 c_3 、 d_3 。

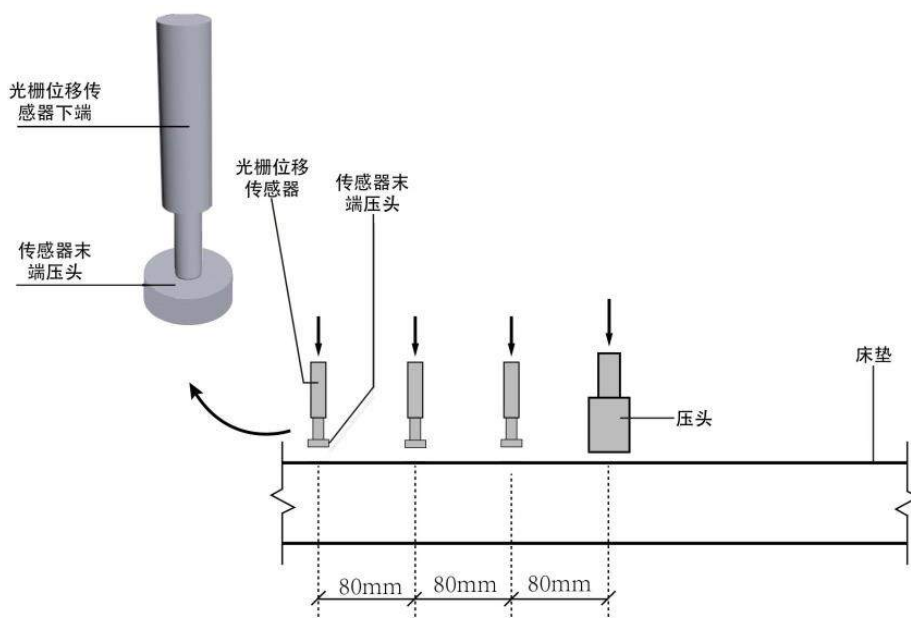


图 4 光栅位移传感器位置分布

7 张实验床垫的测试结果如表 2 所示。注：表中数据为一次测试结果，最终测试结果为三次重复实验的平均值。

表 2 床垫上测试点的坐标

载荷	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	
90N	A点	(-50, -3.62)	(-50, -13.6)	(-50, -16.2)	(-50, -17.8)	(-50, -15.1)	(-50, -18.8)	(-50, -22.5)
	B点	(-80, -0.65)	(-80, 0.07)	(-80, -1.87)	(-80, -0.37)	(-80, -1.79)	(-80, -0.88)	(-80, -4.47)
	C点	(-160, -0.23)	(-160, -0.02)	(-160, -0.05)	(-160, -0.14)	(-160, -0.14)	(-160, -0.20)	(-160, -1.33)
	D点	(-240, -0.15)	(-240, -0.01)	(-240, -0.01)	(-240, -0.02)	(-240, -0.002)	(-240, -0.02)	(-240, -0.20)
140N	A点	(-50, -6.41)	(-50, -23.9)	(-50, -28.0)	(-50, -32.7)	(-50, -27.7)	(-50, -33.9)	(-50, -42.4)
	B点	(-80, -1.56)	(-80, -0.83)	(-80, -4.79)	(-80, -2.57)	(-80, -5.56)	(-80, -4.56)	(-80, -11.4)
	C点	(-160, -0.70)	(-160, -0.10)	(-160, -1.43)	(-160, -0.44)	(-160, -0.87)	(-160, -1.08)	(-160, -3.80)
	D点	(-240, -0.40)	(-240, -0.03)	(-240, -0.5)	(-240, -0.05)	(-240, -0.03)	(-240, -0.07)	(-240, -0.90)
190N	A点	(-50, -8.77)	(-50, -35.8)	(-50, -38.0)	(-50, -45.8)	(-50, -38.7)	(-50, -45.6)	(-50, -60.5)
	B点	(-80, -2.26)	(-80, -2.57)	(-80, -7.46)	(-80, -6.61)	(-80, -8.18)	(-80, -8.09)	(-80, -21.2)
	C点	(-160, -1.12)	(-160, -0.26)	(-160, -2.30)	(-160, -1.21)	(-160, -2.26)	(-160, -2.10)	(-160, -8.20)
	D点	(-240, -0.63)	(-240, -0.06)	(-240, -0.67)	(-240, -0.13)	(-240, -0.36)	(-240, -0.40)	(-240, -2.15)

由表 2 中数据看出，随着离压头中心点的距离的增加（由 A 到 D），床垫表面下陷量随之减小，即纵坐标的绝对值减小，符合床垫变形情况。

② 然后根据实验数据进行曲线拟合。90N 状态下的波及半径 R_1 计算过程如下：通过计算得到四个坐标点，A $(-50, a_0 - a_1)$ ，B $(-80, b_0 - b_1)$ ，C $(-160, c_0 - c_1)$ ，D $(-240, d_0 - d_1)$ ，再通过四个坐标点进行幂指数曲线拟合，得到拟合方程后求出 $x = -0.1$ 时坐标点 $(-0.1, -R_1)$ ，单位为 mm。140N 状态下的波及半径 R_2 计算过程如下：通过计算得到四个坐标点，A $(-50, a_0 - a_2)$ ，B $(-80, b_0 - b_2)$ ，C $(-160, c_0 - c_2)$ ，D $(-240, d_0 - d_2)$ ，再通过四个坐标点进行幂指数曲线拟合，得到拟合方程后求出 $x = -0.1$ 时坐标点 $(-0.1, -R_2)$ ，单位为 mm。190N 状态下的波及半径 R_3 计算过程如下：通过计算得到四个坐标点，A $(-50, a_0 - a_3)$ ，B $(-80, b_0 - b_3)$ ，C $(-160, c_0 - c_3)$ ，D $(-240, d_0 - d_3)$ ，再通过四个坐标点进行幂指数曲线拟合，得到拟合方程后求出 $x = -0.1$ 时坐标点 $(-0.1, -R_3)$ ，单位为 mm。

以表 2 中数据画出散点图，发现四个坐标点连成的曲线比较像幂函数的曲线，所以选择幂函数作为床垫变形的拟合曲线。为了拟合的方便，将各个坐标点以原点为对称点，由第三坐标系对称到第一坐标系中。拟合曲线如图 5 所示。

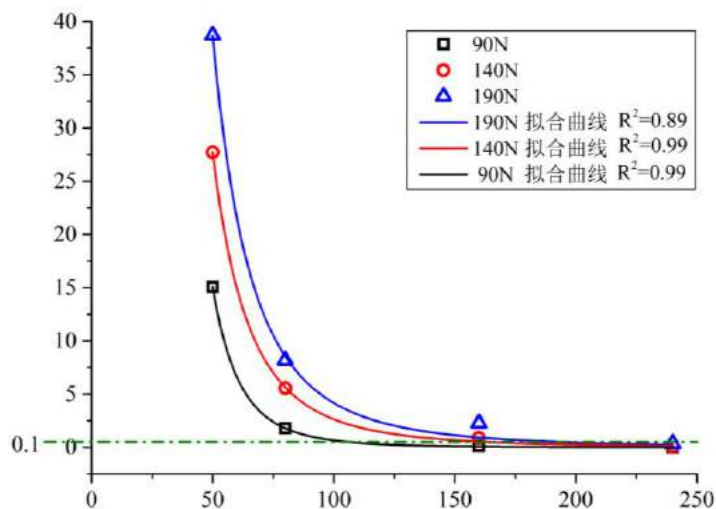


图5 测试点分布图

3.5 床垫贴合度的确定方法

3.5.1 K 值的确定

贴合度测试的主要内容就是测试点受压下陷后对周围的影响程度，影响程度的大小是由波及半径与压头挠度的比值（K）确定的。之所以利用波及半径与压头挠度的比值而不用波及半径来表示床垫贴合度，是为了消除压头挠度大小对贴合度测定结果的影响。

波及半径的测定是以测试点中心为直角坐标系的原点，过原点垂直于床垫平面的坐标系为 Y 轴，初始床垫平面为 X 轴，确定一定载荷下压头和离中心一定距离的点的坐标。压头半径为 50mm，为了测试压头附近的下陷量同时不影响压头下移，第一个测试点（B 点）距离压头 30mm。按均匀分布的原则确定第二个测试点（C 点）的位置，距离第一个点 80mm，第三个测试点（D 点）距离第二个测试点 80mm。

根据以下公式计算三种受力状态下床垫变形波及半径与受力点变形量的比值 K_1 、 K_2 、 K_3 ：

$$K_1 = \frac{R_1}{a_1 - a_0}$$

$$K_2 = \frac{R_2}{a_2 - a_0}$$

$$K_3 = \frac{R_3}{a_3 - a_0}$$

由拟合曲线求出 $y=0.1$ 时 x 值， x 值即为波及半径 R 。表 3 为 7 张床垫的压

头挠度、波及半径以及波及半径与压头挠度比值（一次实验结果）。

表 3 床垫测试数据

床垫序号	载荷 (N)	压头挠度(mm)	波及半径(mm)	波及半径/压头挠度比值
1 号床垫	90	3.6	139.4	38.5
	140	6.4	233.0	36.3
	190	8.8	293.9	33.5
2 号床垫	90	13.6	89.4	6.6
	140	24.5	111.8	4.6
	190	33.7	133.1	3.9
3 号床垫	90	15.9	167.6	10.6
	140	26.3	286.0	10.9
	190	34.9	352.9	10.2
4 号床垫	90	17.4	119.3	6.9
	140	30.9	208.3	6.8
	190	42.1	315.6	7.5
5 号床垫	90	15.0	176.5	11.8
	140	26.7	271.1	10.2
	190	36.4	329.3	9.1
6 号床垫	90	19.2	150.4	7.8
	140	33.6	240.3	7.2
	190	44.6	328.5	7.4
7 号床垫	90	22.5	252.8	11.2
	140	42.4	490.5	11.6
	190	60.5	1091.6	18.1

3.5.2 K 值的标准化

得到的波及半径与压头挠度比值越大，代表床垫的独立支撑性能越差，贴合效果也就越差。结合主观评价贴合性评价，对 K 值进行标准化处理，得到床垫的贴合度指标，范围为 0-100%，标准化计算公式如下：

$$T_1 = (1 - e^{-15/K_1}) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$T_2 = (1 - e^{-15/K_2}) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$T_3 = (1 - e^{-15/K_3}) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3)$$

其中 $0 \leq T_1 \leq 100\%$ ， $0 \leq T_2 \leq 100\%$ ， $0 \leq T_3 \leq 100\%$ 。

$$T = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：T ——床垫贴合度，以百分率表示（%）。

当 $60\% \leq T \leq 100\%$ 床垫的贴合度达到优。当 T_1 、 T_2 、 T_3 之间的差异大于 15% 时，表明床垫面料复合层的伸缩性不能满足床垫独立支撑性能的需求。

根据贴合度指标将床垫贴合度分为五个等级：

- 0% $T \leq 20\%$, 床垫的贴合度达到非常差（1级）；
- 20% $T \leq 40\%$, 床垫的贴合度达到较差（2级）；
- 40% $T \leq 60\%$, 床垫的贴合度达到一般（3级）；
- 60% $T \leq 80\%$, 床垫的贴合度达到较优（4级）；
- 80% $T \leq 100\%$, 床垫的贴合度达到优（5级）。

对7张实验床垫的K值进行标准化处理，获得床垫的贴合度，如表4所示。

表 4 床垫贴合度数据（一次测试结果）

床垫编号	T_1 (%)	T_2 (%)	T_3 (%)	T (%)	标准差 (%)
1 号床垫	32.3	33.8	36.1	34.1	1.9
2 号床垫	89.7	96.2	97.8	94.6	4.3
3 号床垫	75.7	74.7	77.1	75.8	1.2
4 号床垫	88.7	89.1	86.3	88.0	1.5
5 号床垫	72.0	77.1	80.8	76.7	4.4
6 号床垫	85.2	87.7	86.9	86.6	1.3
7 号床垫	73.7	72.6	56.4	67.6	9.7

T 值为 T_1 、 T_2 、 T_3 床垫贴合度的平均值，其值越高床垫的贴合度越好，塑形性越好，各点的独立支撑性能越好，而各点之间的相互干扰性越小。当 $60\% \leq T \leq 100\%$ 床垫的贴合度达到优。 T_1 、 T_2 和 T_3 代表三种载荷下床垫的贴合度，即代表床垫表面下陷至三种深度后对周围床垫的影响程度。床垫的铺垫层上面是面料复合层，床垫受压下陷时，周围面料复合层受拉变形。床垫受较小载荷作用时，床垫表面下陷量较小，所以周围面料所受拉伸量较小，床垫外裹材料对床垫内填充材料的约束较小。而床垫所受载荷较大时，床垫表面下陷量较大，周围面料所受拉伸量增大，床垫外裹材料对床垫内填充材料的约束较大，如图 6 所示。即床垫面料复合层对床垫贴合度的影响随床垫表面下陷量的增加而增加。当 T_1 、 T_2 、 T_3 之间的差异大于 15% 时，表明床垫面料复合层的伸缩性不能满足床垫独立支撑性能的需求。

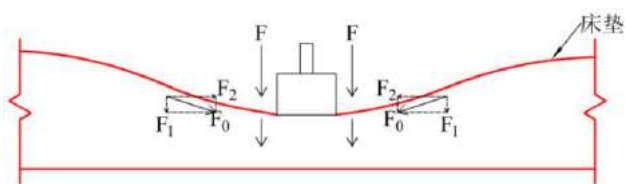


图 6 床垫受力变形示意图

3.6 验证实验测试方法

3.6.1 床垫纵向各层硬度测试方法

测试之前床垫需在室温（ 23 ± 2 ） $^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度（ 50 ± 5 ）%的环境中静置 24 小时（适应环境），然后将整体床垫放置于支撑台上，测试床垫上的离散的点，如图 7 所示。撑台具有直径约为 6mm 的多孔，孔间距 20mm（以便在试验过程中将产生的气体排出）。试验机的压头为圆柱形，直径 $d = 100\text{mm}$ ，压力范围 0~250N，加载速度 100mm/min。预压次数 101 次，其中总压力达到 1200N 的预压循环 100 次，总压力达到 300N 的预压 1 次。床垫的硬度由 $D_{surface}$ 、 D_{core} 、 D_{bottom} 三个值来表示，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 7 所示。

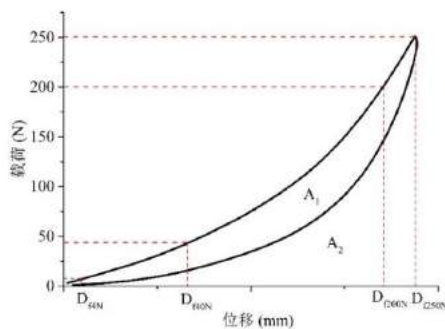


图 7 床垫纵向各层硬度测试的方法

3.6.2 床垫硬度等级测试方法

将整体床垫放置于支撑台上，测试床芯上的离散的点，如图 8 所示。支撑台具有直径约为 6mm 的多孔，孔间距 20mm（以便在试验过程中将产生的气体排出）。压头为球缺（直径 $d = 355\text{mm}$ ， $r = 800\text{mm}$ ，总接触面积 $s = 1000\text{cm}^2$ ），匀速运动，运动速度 90mm/min。压力范围 0N~1000N。

床垫的硬度指标 S 的计算方法如下：

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

其中 $a=7.737 \times 10^{-4}$, $b=9.706 \times 10^{-2}$; e 是自然常数; $1 \leq S \leq 10$, 当 $S < 3$ 表示硬, $3 \leq S \leq 6$ 表示软硬适中, $6 < S \leq 10$ 表示软。

而 K 是影响床垫硬度的重要因素, 单位为 mm^2 , 公式如下:

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

测试结果中: ① $K < 900 (\text{mm}^2)$ 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; ② A_{450} 为 $0\text{N} \sim 450\text{N}$ 范围内加载曲线与 x 轴之间的总面积, T 为加载曲线斜率的平均值 (单位 N/mm), 公式如下:

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

其中, T_{210} 、 T_{275} 、 T_{340} 分别为加载曲线在 210N 、 275N 和 340N 时的切线斜率, 其单位为 N/mm , 如图 8 所示。

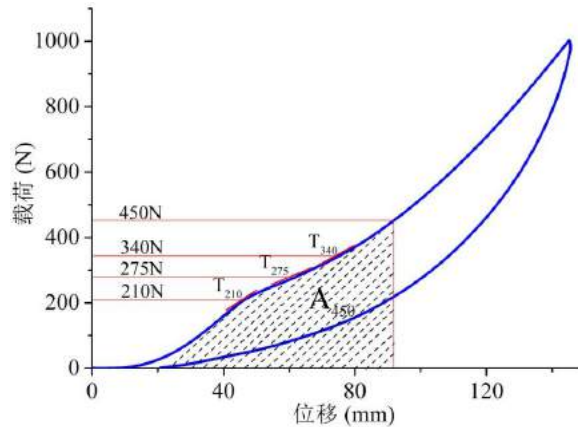


图 8 床垫硬度等级测试、计算参量示意图

3.6.3 体压分布测试

(1) 受试者

首先, 利用匹兹堡睡眠质量指数 (Pittsburgh sleep quality index, PSQI) 和睡眠日志评价的方法选出 57 名志愿者进行体压分布测试, 28 名男性受试者, 年龄 (21.5 ± 1.5) 岁, 身高 (173.1 ± 6.34) cm, 体重 (65.8 ± 10.4) Kg; 29 名女性受试者, 年龄 (22.0 ± 2.0) 岁, 身高 (162.0 ± 5.7) cm, 体重 (55.7 ± 5.3) Kg。受试者身体健康, 社会交往简单, 无肌肉骨骼病痛症状和睡眠障碍问题。

(2) 体压分布测试

根据 1992 年 De Koninck 等人的研究可知, 95% 以上的人都喜欢仰卧睡姿或侧卧睡姿, 只有不到 5% 的人喜欢俯卧睡姿^[7], 因此, 本部分研究以侧卧和仰卧睡姿为卧姿保持状态, 进行体压力分布测试。实验时, 要求受试者衣着轻薄、宽松、舒适性, 并且能够按照规定的睡姿要求, 躺在压力传感垫相应的位置上, 避免传感垫皱褶。体压分布测试记录过程中, 要求受试者身体放松, 保持安静。

采用美国 Tekscan 公司生产的体压分布测量系统 (BPMS, body pressure measure system) 测试人-床界面压力分布。测试时, 首先将压力传感垫置于人与床垫之间, 待压力分布相对稳定后进行记录, 记录时间为 2 分钟, 采样率为 8f/s, 以 KPa 为单位记录测试压力。传感器的压力测试范围在 (0-33.92) KPa, 即 (0-255) mmHg。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 软件求人-床界面接触面积、最大压力、平均压力、压力指数等压力分布数据, 其中, 各评价指标的具体内容为:

①接触面积指数 PAI

接触面积指数 PAI 即为“在某一域限值压力范围内的压力接触面积”, 许多研究表明, 压力作用于皮肤是导致褥疮发生的最重要的原因, 若外界施予局部压力过高 (>4.25KPa), 且作用时间较长, 血管就会发生萎陷并形成血栓^[3,4]。因此, 在本实验中使用 5mmHg (0.67kPa)、10mmHg (1.33kPa)、20 mmHg (2.67kPa)、30 mmHg (4.00kPa) 4 个压力阈值, 7 项接触面指数来反映人-床之间的接触面积。

②最大压力 P_{95}

最大压力定义为全部测试点的第 95 百分位压力值, 即:

$$P_{95} = \bar{P}_N + (SD \times K)$$

其中, N 为测点数, \bar{P}_N 为全部测点的平均压力, SD 为全部测点压力的标准方差, K=1.645, 即:

$$\bar{P}_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i$$

其中, N 为测试点数, P_i 为各测试点压力。

$$SD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left(\sum_{i=1}^N P_i^2 - N\bar{P}^2 \right)}$$

其中, N 为测试点数, P_i 为各测试点压力。

(3) 平均压力 P_{50}

平均压力定义为全部测试点的第 50 百分位压力值，亦即全部测试点的算术平均值，为：

$$P_{50} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i$$

其中，N 为测试点数， P_i 为各测试点压力。

(4) 压力指数 PI

压力指数的公式如下：

$$PI = \sqrt{(P_{M10} - 10)^2 + SD_{10}^2}$$

其中， P_{M10} 为大于 10mmHg 的接触面压力的平均值， SD_{10} 为大于 10mmHg 的接触面压力的标准方差，即：

$$P_{M10} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N_{10}} P_i$$

$$SD_{10} = \sqrt{\frac{1}{N_{10} - 1} \left(\sum_{i=1}^{N_{10}} P_i^2 - N_{10} P_{M10}^2 \right)}$$

其中， $P_i \geq 10\text{mmHg}$ ， N_{10} 为大于 10mmHg 的压力测试点数。

3.7 实验数据分析

3.7.1 床垫贴合度与床垫软硬度之间的关系

利用本标准获得 7 张实验床垫的贴合对，并进行方差分析，结果如表 5 所示。利用 4.6.1 和 4.6.2 两种方法获得 7 张实验床垫的纵向硬度分布及硬度等级，并进行方差分析，结果如表 6 所示。

表 5 床垫的贴合度数据

床垫序号	T ₁ (%)	T ₂ (%)	T ₃ (%)	T (%)
1 号床垫	27.6±2.4 ^a	31.8±1.6 ^a	32.7±2.4 ^a	30.7±2.7 ^a
2 号床垫	89.7±2.0 ^d	96.2±1.4 ^e	97.8±0.3 ^e	94.6±4.3 ^e
3 号床垫	75.8±3.2 ^c	74.9±6.3 ^c	77.3±6.4 ^c	75.8±1.2 ^c
4 号床垫	88.6±5.4 ^d	88.9±6.2 ^d	86.3±6.4 ^d	88.0±1.5 ^{d,e}
5 号床垫	72.1±3.5 ^{b,c}	77.2±1.7 ^c	80.9±2.5 ^{c,d}	76.7±4.4 ^c
6 号床垫	85.2±5.8 ^d	87.7±3.4 ^d	86.9±3.7 ^d	86.6±1.3 ^d
7 号床垫	68.0±4.6 ^b	65.4±3.9 ^b	55.6±1.8 ^b	63.0±6.6 ^b
F 值	165.055	172.194	187.662	203.434
P(显著性)	0.000	0.000	0.000	0.000

由表 5 可知，7 张市场上的床垫中有 6 张的贴合度均超过了 60%，表明市场上多数床垫具有良好的贴合性。其中，3 号床垫与 5 号床垫具有相似的贴合性能，其它床垫的贴合度具有显著的差异性。

表 6 床垫的硬度及硬度等级

床垫序号	表层硬度 (mm)	芯层硬度 (mm)	底层硬度 (mm)	总硬度 (mm)	硬度等级
1 号床垫	8.0±0.4 ^a	11.0±0.6 ^a	2.1±0.1 ^a	20.2±1.1 ^a	0.3±0.04 ^a
2 号床垫	13.8±0.2 ^b	40.0±0.7 ^b	8.0±0.4 ^{c,d}	61.8±1.1 ^b	3.2±0.2 ^b
3 号床垫	22.5±1.3 ^c	37.8±1.2 ^b	6.7±0.3 ^b	67.0±2.5 ^c	3.3±0.2 ^b
4 号床垫	15.4±2.5 ^b	43.8±2.1 ^c	8.6±0.3 ^d	67.8±4.8 ^c	6.1±0.4 ^c
5 号床垫	21.0±2.0 ^c	42.8±1.5 ^c	7.7±0.3 ^c	71.5±2.9 ^c	5.9±0.3 ^c
6 号床垫	27.9±1.3 ^d	51.5±2.2 ^d	8.5±0.8 ^d	87.9±4.0 ^d	8.6±0.3 ^d
7 号床垫	28.8±0.9 ^d	62.2±1.8 ^e	11.5±0.2 ^e	102.5±2.4 ^e	9.7±0.1 ^e
F 值	175.021	637.589	296.081	477.998	700.022
P(显著性)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

表 7 床垫贴合度与床垫软硬度之间的关系

	表层硬度	芯层硬度	底层硬度	总硬度	硬度等级	T
表层硬度	1.00	0.85**	0.75**	0.92**	0.84**	0.33*
芯层硬度		1.00	0.98**	0.99**	0.93**	0.60**
底层硬度			1.00	0.95**	0.88**	0.62**
总硬度				1.00	0.93**	0.54**
硬度等级					1.00	0.39*
T						1.00

注：**，在 0.01 水平上显著相关；*，在 0.05 水平上显著相关

由表 6、7 可知，床垫软硬度与床垫贴合度具有显著正向相关性，尤其是芯层硬度、底层硬度、总硬度与床垫贴合度的显著性更显显著，即床垫越柔软，一般情况下床垫的贴合度越好。但硬度较低（柔软度较高）的床垫，未必贴合度较高，如 7 号床垫的硬度等级高达 9.7（非常柔软），但贴合度仅为 63.0%，而硬度相对较大的 2 号床垫贴合度高达 94.6%。

3.7.2 床垫贴合度与床垫软硬度对床垫减压效果的影响

利用 4.6.3 提供的方法，获得 57 位受试者仰卧和侧卧两种状态下的体压分布测试结果，并分别计算整体床面、肩部区域、臀部区域各项压力分布指标值，取各个受试者的平均值，计算结果如表 8~表 13 所示。

表 8 仰卧状态下人-床界面压力分布指标参量（整体床面）

	1 号床垫	2 号床垫	3 号床垫	4 号床垫	5 号床垫	6 号床垫
--	-------	-------	-------	-------	-------	-------

总接触面积 (cm ²)	2756.0±381.6	4273.3±566.7	3635.1±498.5	4109.1±513.0	3577.3±422.3	3970.4±467.4
≥0.67KPa 的接触面积 (cm ²)	1921.9±381.3	2838.1±656.9	2495.9±550.5	2741.5±596.1	2527.1±406.8	2702.2±521.6
≥1.33KPa 的接触面积 (cm ²)	1093.6±295.5	1178.6±435.8	1289.0±495.6	1191.9±397.9	1372.2±326.8	1136.4±390.2
≥2.67KPa 的接触面积 (cm ²)	365.9±117.8	126.6±75.3	206.4±100.4	142.8±71.2	223.1±116.3	128.9±67.1
≥4KPa 的接触面积 (cm ²)	143.3±24.9	15.0±2.4	20.8±13.1	14.5±15.4	24.3±17.9	12.7±6.0
最大压力 (KPa)	3.7±0.2	2.2±0.2	2.5±0.2	2.2±0.3	2.6±0.2	2.2±0.2
平均压力 (KPa)	1.4±0.1	1.0±0.1	1.2±0.1	1.0±0.1	1.2±0.1	1.0±0.1
压力指数 (KPa)	5.4±0.4	2.8±0.2	3.2±0.4	2.8±0.3	3.3±0.3	2.7±0.2

表 9 仰卧状态下肩部区域体压分布指标参量

	1 号床垫	2 号床垫	3 号床垫	4 号床垫	5 号床垫	6 号床垫
总接触面积 (cm ²)	927.7±235.5	1419.6±240.8	1236.4±317.4	1391.3±387.3	1214.4±311.2	1339.8±236.2
≥0.67KPa 的接触面积 (cm ²)	676.9±205.7	967.6±297.9	894.2±312.6	977.4±388.9	884.4±232.1	900.5±258.9
≥1.33KPa 的接触面积 (cm ²)	372.8±127.7	347.4±251.1	403.5±261.6	367.6±258.9	395.9±155.4	270.5±158.5
≥2.67KPa 的接触面积 (cm ²)	74.6±54.0	7.5±4.4	24.9±22.1	16.8±20.1	21.4±17.5	7.5±7.0
≥4KPa 的接触面积 (cm ²)	10.4±7.0	0.0±0.0	0.6±1.3	0.6±1.3	0.6±1.3	0.0±0.0
最大压力 (KPa)	2.8±0.2	1.8±0.3	2.1±0.3	1.9±0.3	2.1±0.2	1.7±0.2
平均压力 (KPa)	1.3±0.1	0.9±0.2	1.1±0.2	1.0±0.2	1.1±0.1	0.9±0.1
压力指数 (KPa)	3.7±0.3	2.0±0.5	2.4±0.5	2.1±0.5	2.5±0.4	1.9±0.4

表 10 仰卧状态下臀部区域体压分布指标参量

	1 号床垫	2 号床垫	3 号床垫	4 号床垫	5 号床垫	6 号床垫
总接触面积 (cm ²)	883.8±62.9	1610.9±334.3	1294.8±195.3	1441.6±147.0	1334.1±138.9	1532.9±285.4
≥0.67KPa 的接触面积 (cm ²)	670.5±68.5	1174.0±315.5	1002.3±204.4	1049.1±131.9	1019.6±113.1	1149.7±262.7
≥1.33KPa 的接触面积 (cm ²)	472.8±78.4	648.0±198.2	650.8±188.6	568.2±98.8	650.3±87.0	596.5±210.6
≥2.67KPa 的接触面积 (cm ²)	226.0±55.5	83.2±78.2	135.3±81.0	85.0±55.5	131.8±87.2	82.1±71.8
≥4KPa 的接触面积 (cm ²)	96.0±27.4	3.5±4.7	4.0±2.6	4.0±4.8	5.8±9.8	1.7±2.6
最大压力 (KPa)	4.4±0.3	2.5±0.3	2.9±0.2	2.5±0.4	2.8±0.3	2.4±0.3
平均压力 (KPa)	1.9±0.2	1.2±0.1	1.4±0.1	1.2±0.2	1.4±0.1	1.2±0.1
压力指数 (KPa)	6.4±0.5	3.1±0.4	3.8±0.4	3.2±0.6	3.7±0.5	3.0±0.5

由表 8 可知:

(1) 贴合度较高时,尤其是贴合度高于 85% (如 2 号、4 号、6 号床垫) 时,床垫的人-床界面总接触面积和低压压力阈限范围内的接触面积(≥0.67KPa 的接触

面积)较大,而中高压压力阈限范围内的接触面积($\geq 2.67\text{KPa}$ 的接触面积和 $\geq 4\text{KPa}$ 的接触面积)较小,最大压力、平均压力、压力指数也较小,表明贴合度较高的床垫,尤其是贴合度高于 85%的床垫具有较好的减压的效果;

(2) 尽管随着床垫硬度的减小,人-床界面总接触面积和低压力阈限范围内的接触面积($\geq 0.67\text{KPa}$ 的接触面积)有增大的趋势,中高压压力阈限范围内的接触面积($\geq 2.67\text{KPa}$ 的接触面积和 $\geq 4\text{KPa}$ 的接触面积)有减小的趋势,最大压力、平均压力、压力指数也有减小的趋势,但这些变化趋势一定程度上受床垫贴合度的影响,表明床垫的缓压性与床垫的硬度和贴合度均有着密切的关系;

(3) 床垫硬度相近(如 2 号床垫与 3 号床垫,4 号床垫与 5 号床垫)时,贴合度高的床垫,人-床界面接触总接触面积和低压力阈限范围内的接触面积($\geq 0.67\text{KPa}$ 的接触面积)较大,中高压压力阈限范围内的接触面积($\geq 2.67\text{KPa}$ 的接触面积和 $\geq 4\text{KPa}$ 的接触面积)较小,最大压力、平均压力、压力指数也较小,表明贴合度越高,越有利于人与床垫的充分接触,越有利于人-床界面压力趋于均匀化;

(4) 床垫贴合度相近(如 4 号床垫与 6 号床垫)时,硬度较小与硬度较大的床垫相比,人-床界面接触总接触面积、不同压力阈限范围内的接触面积、最大压力、平均压力、压力指数的差异性并不明显,表明床垫的贴合度较软硬度对床垫的缓压性有更大的影响。

仰卧状态下肩部和臀部是高压压力容易出现的风险部位,由表 9、10 可知:

(1) 仰卧时,臀部最大压力、平均压力、压力指数、中高压压力阈限范围内的接触面积均大于肩部,表明仰卧时,臀部更需要进行减压设计;

(2) 较高的床垫贴合度,更有利于臀部最大压力、压力指数以及中高压压力阈限范围内接触面积的减小。

表 11 侧卧状态下床垫贴合度与整体区域体压指标之间的关系

	1 号床垫	2 号床垫	3 号床垫	4 号床垫	5 号床垫	6 号床垫
总接触面积 (cm ²)	2156.0±306.1	3452.5±427.0	2854.2±511.1	3474.5±371.9	2865.2±554.8	3197.0±381.2
$\geq 0.67\text{KPa}$ 的接触面积 (cm ²)	1646.8±290.3	2646.7±446.5	2255.4±502.8	2621.9±376.8	2243.3±414.2	2518.4±452.9
$\geq 1.33\text{KPa}$ 的接触面积 (cm ²)	1071.1±272.6	1578.0±496.3	1505.7±522.3	1546.2±384.3	1539.3±411.4	1506.3±494.6
$\geq 2.67\text{KPa}$ 的接触面积 (cm ²)	461.8±168.0	441.0±276.6	519.6±218.3	435.2±158.6	513.3±236.8	315.6±120.3
$\geq 4\text{KPa}$ 的接触面积 (cm ²)	209.2±81.2	131.8±88.4	173.4±72.5	121.4±26.8	112.1±56.2	67.6±26.2

最大压力 (KPa)	5.0±0.2	3.2±0.5	3.8±0.4	3.3±0.2	3.6±0.6	3.0±0.2
平均压力 (KPa)	1.8±0.1	1.5±0.2	1.7±0.2	1.4±0.1	1.5±0.3	1.4±0.2
压力指数 (KPa)	7.5±0.3	4.4±0.8	5.4±0.6	4.6±0.4	5.0±1.0	4.0±0.3

由表 8、11 可知：

(1) 侧卧时，人-床界面总接触面积、中高压力阈限范围内的接触面积、最大压力、平均压力、压力指数均显著大于仰卧状态，表明侧卧睡姿需要更好的床垫贴合度和更小的硬度；

(2) 对于侧卧睡姿，当床垫的贴合度相近时，硬度较小的床垫更有利于中高压力阈限范围内的接触面积和最大压力、压力指数的减小，表明在贴合度相近时，柔软的床垫有利侧卧状态下人-床界面压力缓解。

表 12 侧卧状态下床垫贴合度与肩部区域体压指标之间的关系

	1 号床垫	2 号床垫	3 号床垫	4 号床垫	5 号床垫	6 号床垫
总接触面积 (cm ²)	613.9±146.6	911.0±182.1	787.3±196.0	968.2±201.6	740.4±248.3	883.8±168.2
≥0.67KPa 的接触面积 (cm ²)	485.0±131.3	709.2±151.8	659.5±200.1	777.4±186.7	612.7±173.5	716.7±168.3
≥1.33KPa 的接触面积 (cm ²)	330.0±100.4	448.5±131.8	457.8±166.4	489.6±196.1	430.0±172.5	421.4±138.8
≥2.67KPa 的接触面积 (cm ²)	164.2±66.8	105.8±83.8	137.0±73.8	128.3±111.6	163.6±114.7	63.6±23.7
≥4KPa 的接触面积 (cm ²)	61.8±26.5	31.8±30.4	33.5±18.9	24.9±11.3	36.4±21.0	11.0±5.2
最大压力 (KPa)	5.0±0.4	3.3±0.8	3.7±0.4	3.1±0.5	4.0±1.1	2.9±0.2
平均压力 (KPa)	2.0±0.2	1.5±0.3	1.7±0.1	1.5±0.2	1.8±0.5	1.4±0.2
压力指数 (KPa)	7.3±0.7	4.6±1.4	5.1±0.8	4.1±0.8	5.6±1.8	3.7±0.3

表 13 侧卧状态下床垫贴合度与臀部区域体压指标之间的关系

	1 号床垫	2 号床垫	3 号床垫	4 号床垫	5 号床垫	6 号床垫
总接触面积 (cm ²)	722.5±135.9	1455.4±245.2	1136.4±205.9	1377.4±212.1	1185.5±381.8	1230.0±135.5
≥0.67KPa 的接触面积 (cm ²)	588.4±125.7	1201.7±283.6	943.9±214.2	1104.6±201.9	1004.0±305.9	1027.1±179.3
≥1.33KPa 的接触面积 (cm ²)	395.4±96.8	778.6±277.1	668.2±224.1	712.1±163.8	710.4±254.2	647.4±179.3
≥2.67KPa 的接触面积 (cm ²)	161.3±38.4	274.6±154.7	277.4±105.6	236.4±91.2	249.7±128.3	157.8±56.1
≥4KPa 的接触面积 (cm ²)	86.1±10.9	87.3±35.5	104.0±33.4	74.6±24.8	59.5±41.8	36.4±14.0
最大压力 (KPa)	5.9±0.6	3.8±0.5	4.3±0.3	3.7±0.4	3.9±0.8	3.2±0.3
平均压力 (KPa)	2.1±0.1	1.7±0.3	1.9±0.2	1.7±0.2	1.8±0.3	1.6±0.2
压力指数 (KPa)	8.7±1.2	5.2±0.9	6.1±0.5	5.1±0.7	5.4±1.2	4.3±0.4

由表 8、10 可知：

(1) 侧卧时，臀部最大压力、平均压力、压力指数、中高压压力阈限范围内的接触面积仍均大于肩部，表明侧卧时，臀部也更需要进行减压设计；

(2) 较高的床垫贴合度，更有利于臀部中高压压力阈限范围内接触面积的减小，表明较高的贴合度更有利于臀部压力的缓解；

(3) 较小的床垫硬度，更有利于臀部和肩部最大压力、平均压力、压力指数、中高压压力阈限范围内的接触面积减小，表明较软的床垫有利于侧卧状态下肩部和臀部压力的缓解。

肩部与臀部为人的骨突部位，这再一次证明，床垫的缓压性与人体体型有着密切的关系，喜欢侧卧睡姿，体型为梨形和沙漏型的人群使用的床垫应该给予更多的压力缓解的关注。同时，可以通过软垫贴合性与软硬度的优化设计，满足不同体型和睡姿偏好的人群的缓压需求。

4. 小结

床垫贴合度和床垫软硬度都是床垫支撑性能的固有属性，二者之间关系密切，相互影响，且均对床垫缓压有着重要的影响。床垫软硬度反映了床垫受压后能够变形吸收压力的能力，而床垫的贴合性反映了床垫的随形性、塑形性、独立支撑性，反映了在压力作用下发生变形的床垫对人体的贴合、包裹性。随着贴合度、软硬度的增加，床垫的缓压性能增加。压力缓解是提高床垫使用舒适性的重要方面，因此，可以通过床垫贴合度和软硬度的定量化分级，对床垫的舒适性进行量化和分级。另外，通过床垫贴合度和软硬度的量化分级可以满足不同体型、睡姿偏好的人群的不同需求，实现床垫的定制化和舒适量化。再者，由于床垫贴合性和床垫软硬度相互影响、互为补充，因此，在对床垫舒适量化和根据不同体型、睡姿偏好进行定制化设计时，应该结合使用两个反映床垫支撑性能不同方面的指标。

参考文献

- [1] Addison, R.G., Thorpy, M.J., Roth, T. A survey of United States Public concerning the quality of sleep [J]. Sleep Res. 1986, 16:244

- [2] Hildebrandt, V.H. Back Pain in the Working Population: Prevalence Rates in Dutch Trades and Professions [J]. Ergonomics, 1995, 38:1281-1289
- [3] B. Haex, Back and Bed: Ergonomic Aspects of Sleeping [M], Boca Raton: CRC Press, 2005
- [4] 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
- [5] 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
- [6] 臧昆.弹簧床垫的力学模型[J].北京服装学院学报(自然科学版), 1995(1): 53-7.
- [7] De Koninck, J., Lorrain, D., Gagnon, P., Sleep positions and position shifts in five age groups: an ontogenic picture [J], Sleep, 1992, 15(2):143-149.
- [8] 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