

人因工程学 课程设计说明书

题 目：免手搓肥皂盒人因工程分析与改善设计

专 业：工业工程

班 级：210831 班

姓名（学号）：杨宸铭（21083114）

指导教师：韦波

设计时间：2023-2024（一）第 16 周

目录

第一章 问题提出	1
一、 研究背景分析	1
二、 目的及意义阐明	5
第二章 现状调查及分析	6
一、 调查实施	6
二、 数据解读	7
第三章 改善过程	15
一、 角度分析	15
二、 改善顺序确定	21
三、 方案提出	23
第四章 方案评价	36
一、 评定视角	36
二、 评价标准	37
三、 各方案评价	37
第五章 总结建议	41
参考文献	42

第一章 问题提出

一、研究背景分析

（一）市场与用户描述

1. 产品价格定位在 5 至 24 人民币，这一价格区间使其既实惠又具有一定的质量保证，适合广泛的消费者群体。

2. 家庭主妇：家庭主妇每天面临着大量的清洁工作，从洗碗到清理房间。她们需要一种既经济又高效的清洁方式，以减少家务劳动强度并保持家庭环境的整洁与卫生。

3. 清洁工：清洁工在公共场所如商场、写字楼等地方工作，频繁接触各种清洁任务。他们需要快速、有效的清洁工具，以提高工作效率并确保区域卫生。

4. 餐饮业务工作人员：这一群体在处理食物和餐具时，经常需要清洁双手以保证食品卫生。快速且卫生的清洁方法对他们尤为重要。

5. 医疗卫生人员：医护人员在工作中经常接触患者和医疗器械，频繁洗手是他们日常工作的重要部分，因此，一种既快速又能有效杀菌的清洁方法是他们所需。

（二）产品特性介绍

总体来看可以分为四个部分组成分别是防水塑料外壳，肥皂支撑平台，起泡结构，弹簧结构。

防水塑料外壳：起到存放肥皂盒内部其他系统的作用。其组合尺寸长宽高为 12*7*6.5 cm，如图 1-1，图 1-2。

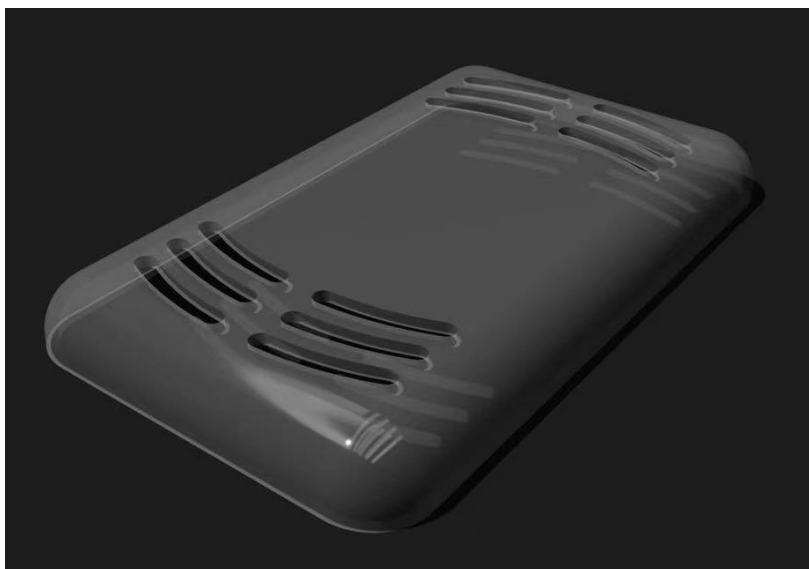


图 1-1 外壳盖

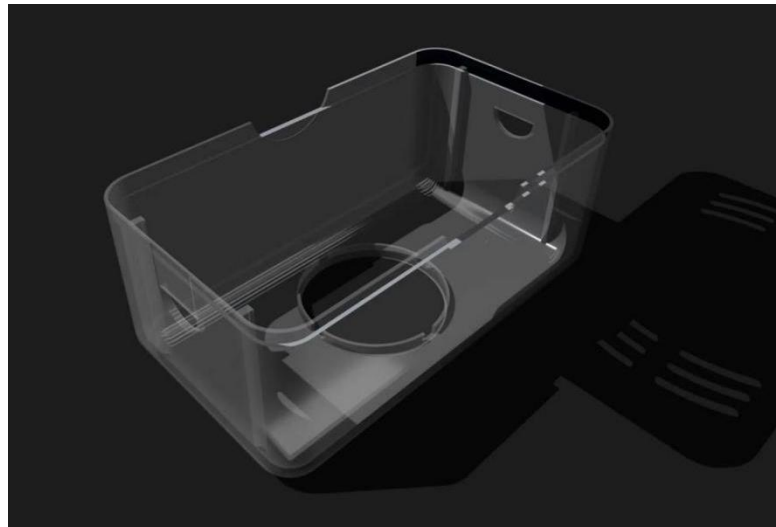


图 1-2 外壳底座

肥皂支撑平台：起到呈放肥皂的作用其尺寸为 11.7*6.5 cm，如图 1-3，图 1-4。

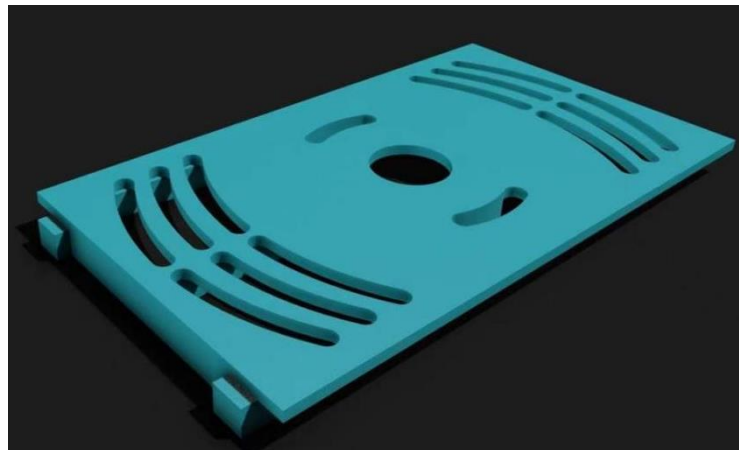


图 1-3 支撑平台默认视图

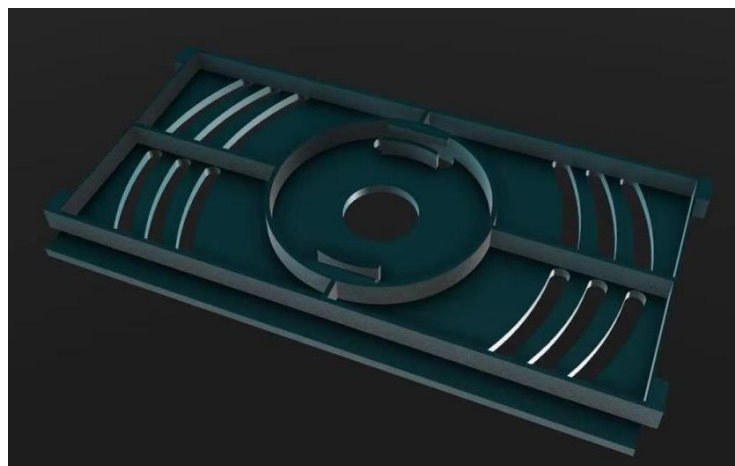


图 1-4 支撑平台背面视图

起泡结构：由一个矩形框架作为外壳支撑固定在塑料外壳上，内部固定了四根硅胶齿轮滚轴，可以将肥皂浸湿软化的部分通过摩擦带到洗涤表面与更多的水融合。肥皂遇水生成泡沫的原理是由于肥皂的表面

活性作用。肥皂是一种表面活性剂，它的分子有两个端，一个是亲水的，一个是疏水的。当肥皂和水混合时，亲水的一端会溶入水中，疏水的一端会脱离水，聚集在水面或包裹空气。这样，肥皂就形成了一个非常薄的双层膜，称为肥皂膜。从而产生泡沫方便洗涤。

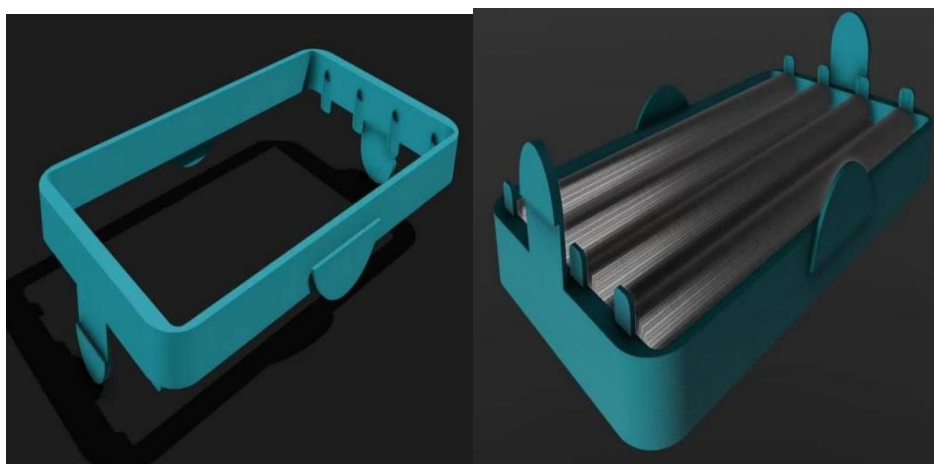


图 1-5 起泡滚轮框架

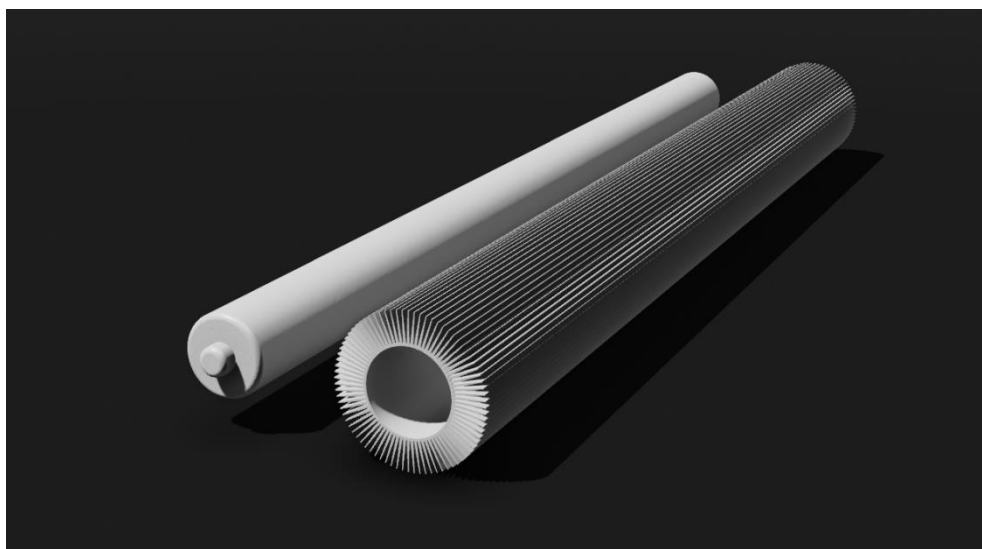


图 1-6 起泡滚轮及支撑住

弹簧结构：由一根长 5.6 cm，弹簧刚度为 $280000N/m$ 的铁质弹簧。

弹簧由两侧的起泡结构和肥皂的支撑平台来固定弹簧，分别设计了固定弹簧的结构如图 1-7，图 1-8



图 1-7 弹簧与底部固定处

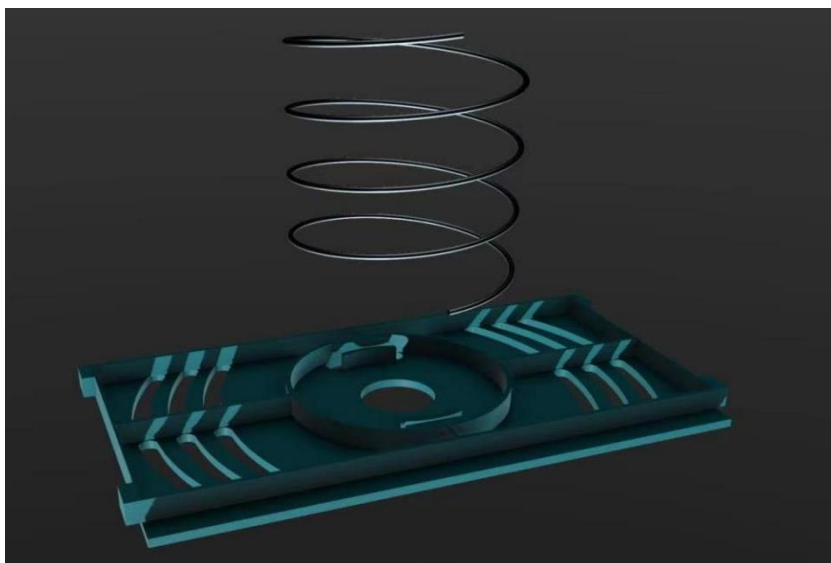


图 1-8 弹簧与平台固定处

（三）应用场景细化

1. 家庭浴室：在家庭环境中，人们希望有一种既方便又卫生的清洁方式，尤其是在处理家务或照顾孩子后。

2. 公共厕所：在公共场所，尤其是高流量的区域如商场、机场的厕所，需要能够快速提供清洁的设施，以减少排队时间并提高卫生标准。

3. 洗衣房：在公共或家庭的洗衣房中，处理衣物前后的手部清洁尤为重要，以保持衣物的清洁度。

4. 医院和餐馆的洗手区：这些地方的洗手区需要提供高效、卫生且符合卫生标准的清洁方式，确保工作人员和顾客的健康安全。

（四）设计初衷阐述

1. 针对健身爱好者：设计考虑到健身爱好者在运动后需要快速清洁身

体和运动服装。这种免手搓肥皂盒可以在不接触肥皂的情况下快速产生泡沫，减少了在潮湿环境中使用肥皂的不便。

2. 减少肥皂浪费：传统的肥皂使用方式常常会导致肥皂的过量消耗和浪费。这种设计通过控制适量的肥皂泡沫输出，减少了肥皂的浪费，既环保又经济。

3. 经济与环保的结合：这种设计不仅提高了个人卫生标准，还考虑到了环保和经济效益。它通过减少肥皂的过量使用，降低了长期的经济成本，并减少了环境负担。

综上所述，这款免手搓肥皂盒不仅满足了不同用户群体在日常生活中的基本清洁需求，还在设计上体现了对用户实际生活环境的深入理解和对环境保护的关注。

二、目的及意义阐明

（一）用户体验优化

1. 解释如何使产品更加适合用户使用，减少操作难度，增加使用舒适性。说明如何通过人因工程改善设计，使得用户在使用产品时更加安全、便捷。

（二）使用问题识别

1. 肥皂水残留与携带问题：设计将特别考虑使用后肥皂盒内的肥皂水残留问题，确保盒内不会积水，避免肥皂溶解或产生不卫生的环境。同时，改进盒盖的密封性，确保在健身后将肥皂盒收进健身包中时，盒内残留的水分不会渗出，保持健身包内的清洁干燥。

2. 肥皂块脱落问题：对于肥皂块在使用过程中的脱落问题，将改进内部平台的设计，使小肥皂块也能稳固地放置，防止肥皂在使用或携带过程中掉出，减少浪费。

第二章 现状调查及分析

一、调查实施

（一）方面分析

1. 市场调研

（1）目标定位：明确肥皂盒面向的目标市场和用户群体，这将帮助更有效地进行市场调研。

（2）竞品分析：关注类似产品的市场表现，通过在线平台、用户评论和专业评测获取竞争对手产品的优缺点。

（3）用户调查：进行问卷调查，并进一步通过用户访谈、小组讨论等方式，深入了解用户对当前肥皂盒的使用体验和期望。

2. 产品使用情况：

（1）场景细分：细化用户在家庭、健身房、公共场所等不同环境下使用肥皂盒的情况和特殊需求。

（2）观察和记录产品使用过程，特别是可能出现的问题，如肥皂水残留、肥皂块脱落、不便携带等。

（3）问题记录：收集和记录使用过程中的问题，可以使用视频、照片等形式，为后续分析提供直观材料。

3. 产品评估：

（1）分析用户对产品的设计、功能性、可用性和耐用性的评价。

（2）利用问卷调查结果，对产品的设计美感、功能实用性、可用性和耐用性进行综合评估。

（3）评估产品在实际使用中的性能，包括耐用性、便捷性和卫生情况。

（4）分析耐用性、便捷性和卫生情况等在实际使用中的表现，根据用户反馈识别需要改进的性能指标。

（二）问卷设计

1. 性别

2. 年龄

3. 职业

4. 您通常在哪些场合使用肥皂？

5. 您选择肥皂盒的主要标准是什么（例如：价格、品牌、设计、功能）？

6. 您是否了解或使用过免手搓肥皂盒？

7. 您更期待肥皂盒的耐用性还是起泡效果？
8. 您认为肥皂盒哪些方面需要改进？
9. 您是否在使用过程中遇到了肥皂水残留的问题？
10. 您是否经历过肥皂块从肥皂盒中脱落的情况？
11. 在使用免手搓肥皂盒时，您是否觉得其外观和抓握设计方便？
12. 您在健身后是否会将肥皂盒带回家或放入健身包中？
13. 在携带和存放肥皂盒时，您是否担心会有肥皂水渗出弄脏其他物品？
14. 您认为一个理想的肥皂盒应具备哪些携带和存放的特性？
15. 您对免手搓肥皂盒的总体满意度如何？
16. 您是否会向他人推荐使用免手搓肥皂盒？
17. 您愿意为一个具有理想功能和设计的肥皂盒支付多少费用？

二、数据解读

（一）经济参数

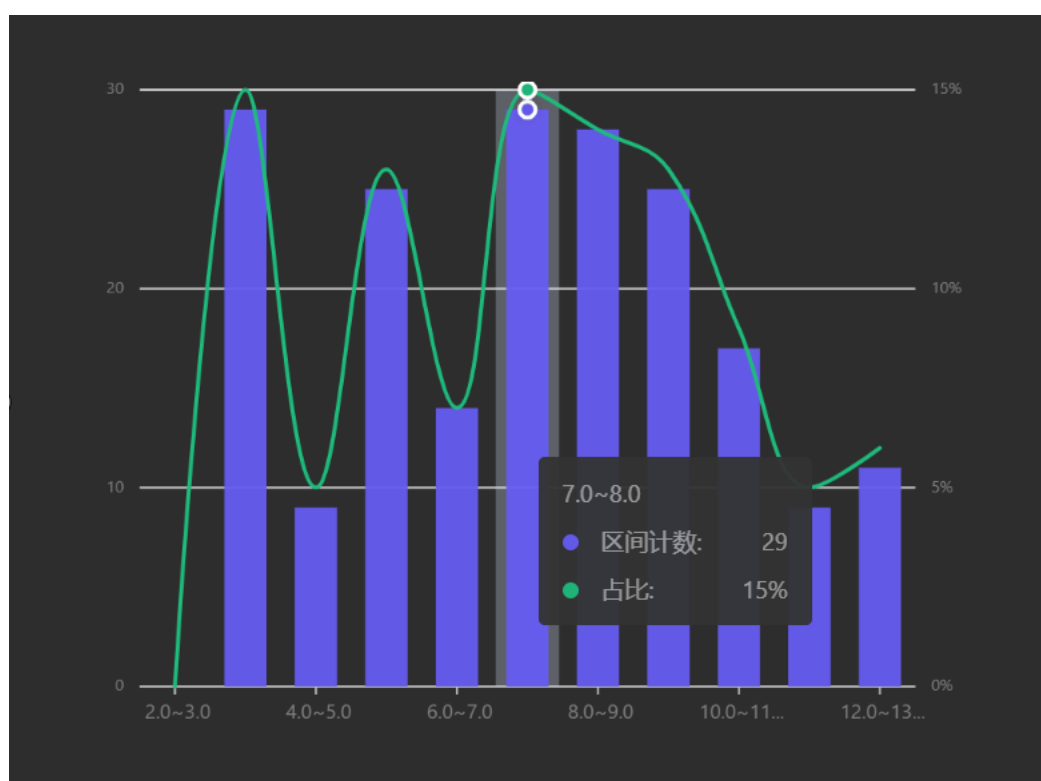


图 2-1 消费者价格意向区间

数据显示，消费者对价格的偏好分布相对均匀，较高的计数集中在 3.0~8.0 的区间，占比大约在 0.13 至 0.15 之间。这表明大部分消费者倾向于中等价位的肥皂盒。

加权平均数可以更精确地反映消费者对价格的真实偏好。通过考虑每个价格区间内的消费者数量，它提供了一个综合了所有消费者意见的单一价格点。

$$\text{加权平均价格} = \frac{\sum (\text{间隔的中点} \times \text{间隔计数})}{\sum \text{按时间间隔计数}} \approx 7.57 \text{ 元}$$

内涵：消费者对价格的敏感度可能与其可支配收入和对产品质量的期望有关。将价格设定在 7.57 元的附近可能是最广泛的市场需求点。

在改善肥皂盒时，保持成本效益和质量的平衡是至关重要的。定价策略应考虑到大部分消费者的价格接受范围，同时确保产品质量满足消费者的基本预期。

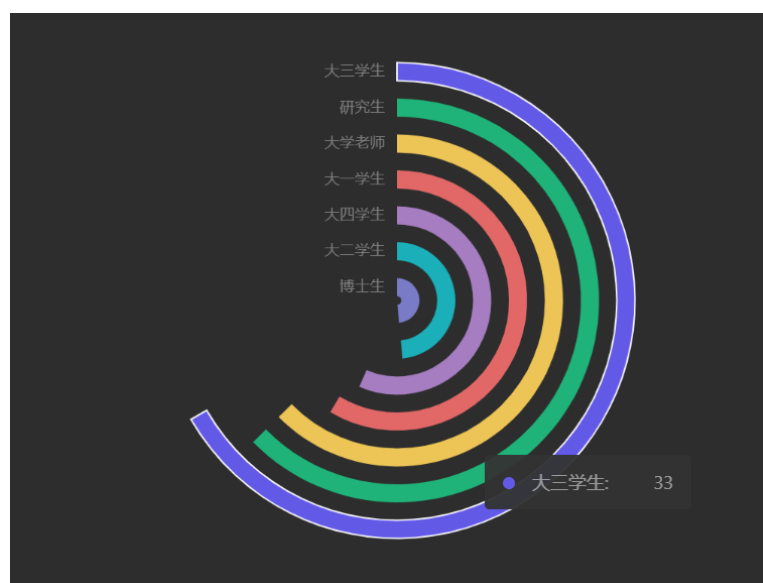


图 2-2 大学中消费者职业分布

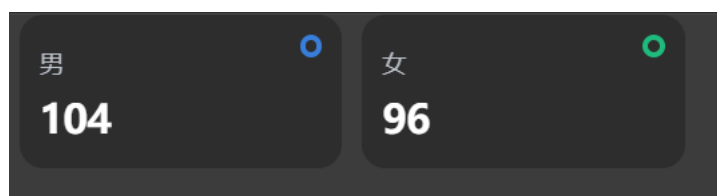


图 2-3 消费者的性别分布

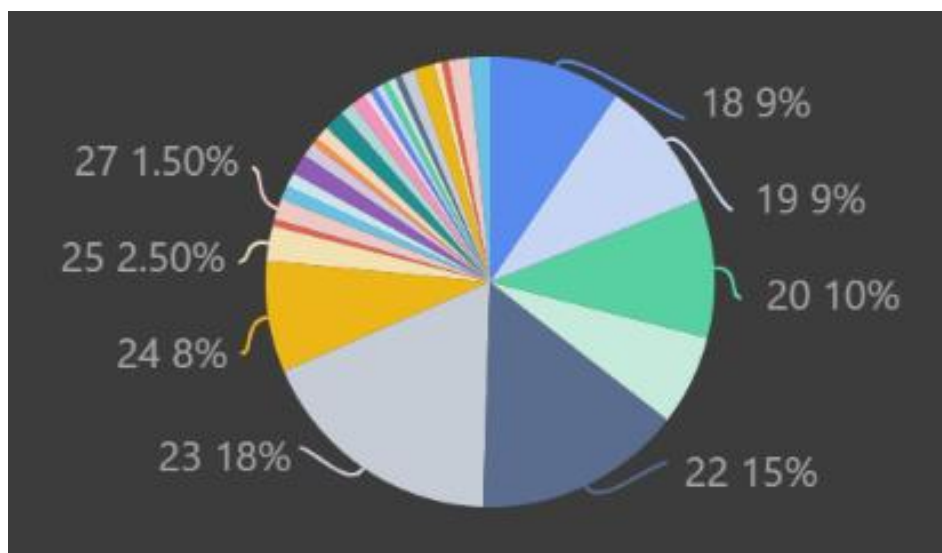


图 2-4 消费者的年龄组成

数据显示：在年轻、有学术倾向的人（主要是不同学术水平的学生）中，肥皂盘的使用率很高。年龄数据表明，用户集中在 22 至 23 岁之间，随着年龄的增长，用户数量大幅下降。

内涵：这种浓度表明，肥皂盘可能在年轻人群中特别受欢迎，可能是因为它的功能性、审美吸引力或与这个年龄段产生共鸣的特定特征。他们的学生身份也可能意味着对价格有一定的敏感度，并且偏爱创新但价格合理的产品。由于主要用户可能对价格更敏感，因此确保肥皂盘价格实惠，同时不影响质量至关重要。

总结：消费者对肥皂盒的价格敏感度和对产品质量的期待揭示了市场对中等价位且高质量肥皂盒的广泛需求，特别是在年轻的学生群体中。

这些用户不仅寻求实用和美观兼具的产品，而且还倾向于价格合理且具有创新性的设计。因此，在改善肥皂盒时，应重点考虑成本效益和质量的平衡，设计出符合年轻消费者审美和功能性需求的产品，同时采用合适的定价策略来吸引并满足这个关键市场细分。通过强调环保、风格或便利性等方面，并利用与年轻受众产生共鸣的营销

渠道，可以进一步加强产品的市场吸引力。

(二) 使用背景

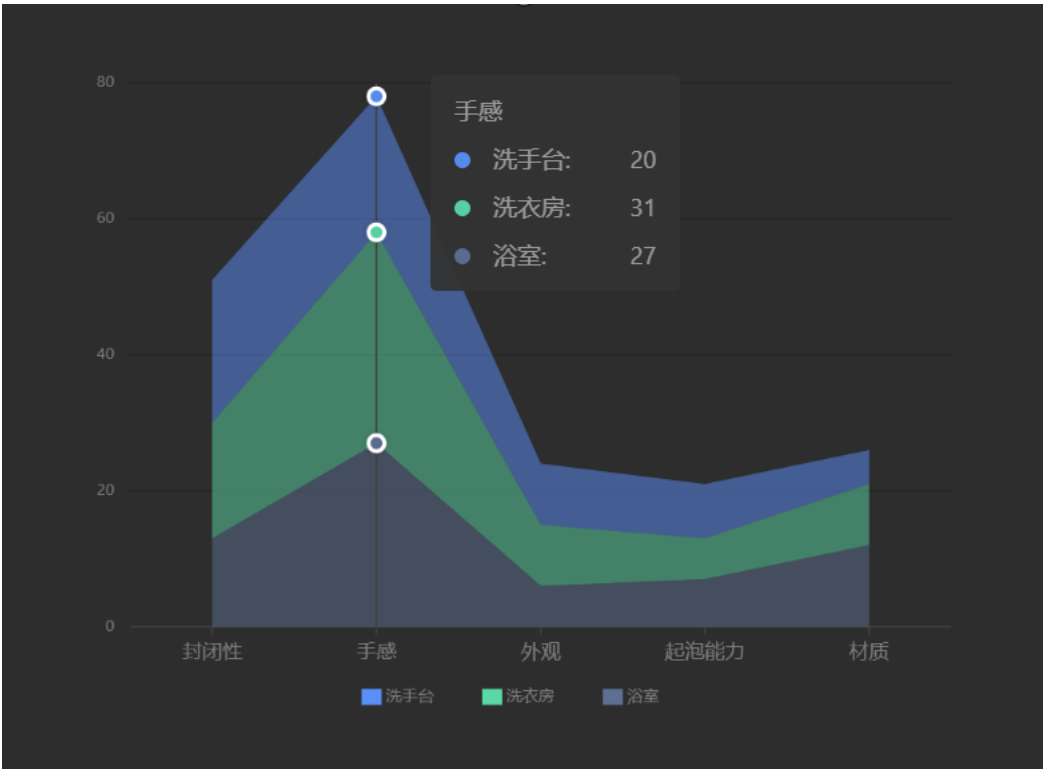


图 2-1 使用免手搓肥皂盒的场景分布

表 2-1 使用免手搓肥皂盒的场景分布

您认为肥皂盒哪些方面需要改

进?	封闭性	手感	外观	起泡能力	材质
洗手台	21	20	9	8	5
洗衣房	17	31	9	6	9
浴室	13	27	6	7	12

在洗手台，用户强烈关注封闭性以保持干燥和清洁，而在频繁操作的洗衣房，手感成为显著关注点，反映出用户对操作舒适性的高度重视。

浴室的潮湿环境则使材质成为关键考量，用户倾向于选择防水、防霉和耐用的材料。这些洞察表明，改善肥皂盒不仅需要考虑其基本功能性，还应综合用户在不同环境下的实际使用体验和需

更符合用户期待的设计和功能性。

1. 手感的重要性

手感在洗衣房（31 次）和浴室（27 次）使用场合获得了较高的关注，而在洗手台（20 次）使用时关注度相对较低。

这可能反映了在频繁操作或长时间握持肥皂盒的场合下，用户更加重视手感。“手感”占比较高的原因：洗衣房使用肥皂盒可能涉及频繁的搬动和操作，用户在这种频繁接触的场合下可能更注重手感。良好的手感可以减少使用不便和提高使用满意度。

2. 封闭性在洗手台的重视：

多数用户在洗手台场合更关注肥皂盒的封闭性（21 提及次数），其次是洗衣房（17 次），浴室的关注度最低（13 次）。

这表明在不同使用场合中，用户对肥皂盒封闭性的需求有所差异，尤其在洗手台使用时最为关注。

“封密性”需求占比高的原因：在洗手台使用肥皂时，封闭性成为一个重要考虑因素，可能是因为用户希望保持肥皂的干燥和清洁，避免水溅或细菌污染。

反映的结果：这意味着在设计肥皂盒时，尤其是用于洗手台的，需要重视其封闭性设计。确保盒子可以紧密关闭，以防水溅入和减少灰尘、细菌等的侵入，是设计时的重要考虑点。

3. 材质在浴室的关注度：

材质在浴室场合获得了最高的关注（12 次），其次是洗衣房（9 次）和洗手台（5 次）。

原因：浴室通常环境潮湿，对肥皂盒材质的要求更高。用户可能更关注肥皂盒是否防水、防霉、耐用等特性，以保证长期在潮湿环境

中使用不会变形、损坏或影响健康。

反映的结果：这强调了在浴室等湿润环境下，肥皂盒的材质设计要特别注意。选择耐水和耐湿的材料，如塑料、不锈钢或特殊木材，可以提高用户的使用满意度和产品的寿命。

结合图 2-1，表 2-1 来分析可以知道最先需要考虑的改善背景是用户在洗衣房或浴室里使用肥皂盒时肥皂盒手感较差的情况。

（三）存在缺陷

结合“您在健身后是否会带肥皂盒回家或放入健身包中？”和“您是否在使用过程中遇到了肥皂水残留的问题？”这两个问题的结果绘制图 2-2。

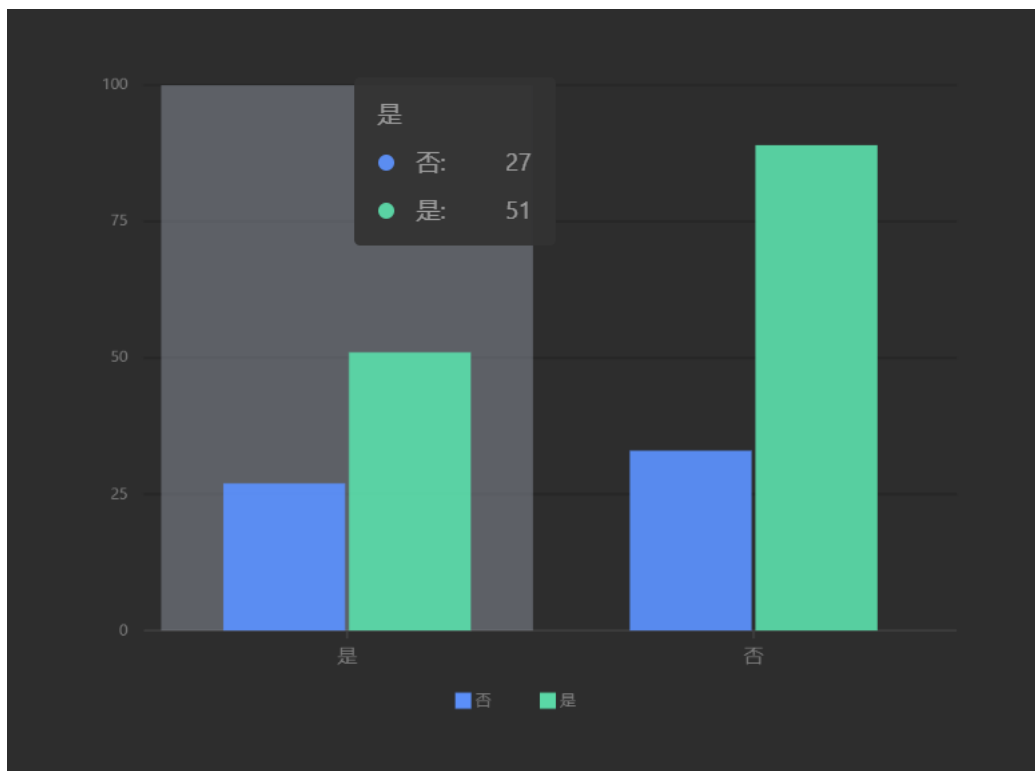


图 2-2 健身人群的肥皂盒携带情况

图 2-2 表明健身的人群在洗澡时不愿意将肥皂放入健身包，其原因很可能是因为肥皂盒放入包中后残留的肥皂水浸湿了包中衣物。

1. 肥皂水残留（70%）：

这一高比率表明肥皂水残留是用户普遍遇到的问题。残留的肥皂水不仅影响用户对产品的整体卫生印象，还可能导致异味、细菌滋生或肥皂盒变形等问题。

原因：肥皂盒内部设计不利于水分排出。材料或结构导致水分不易蒸发。封闭性差，使得水分无法有效隔绝。

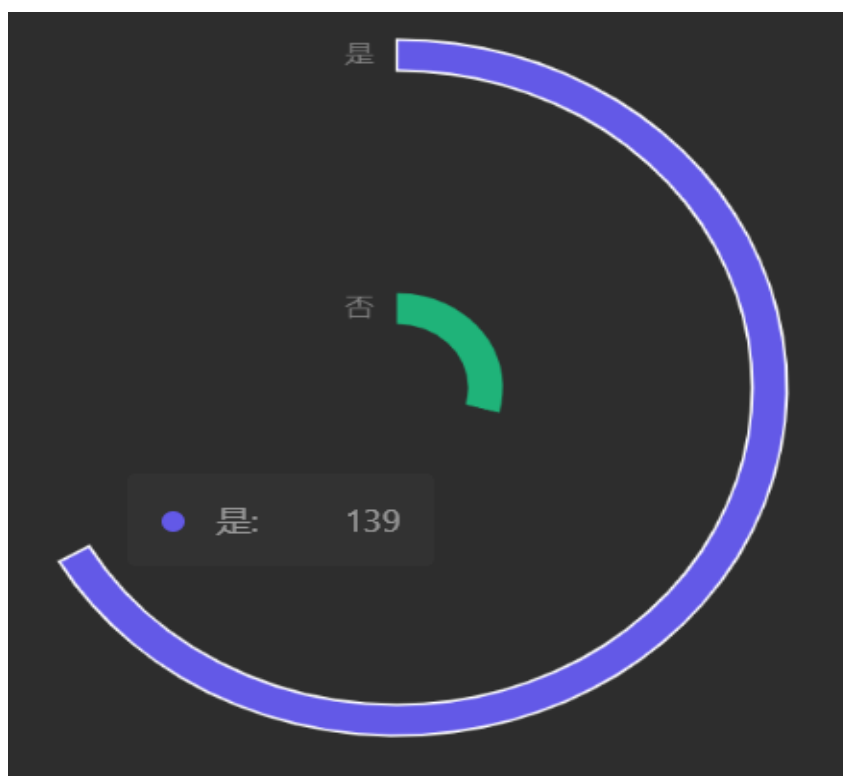


图 2-3 是否觉得其外观和抓握设计方便?

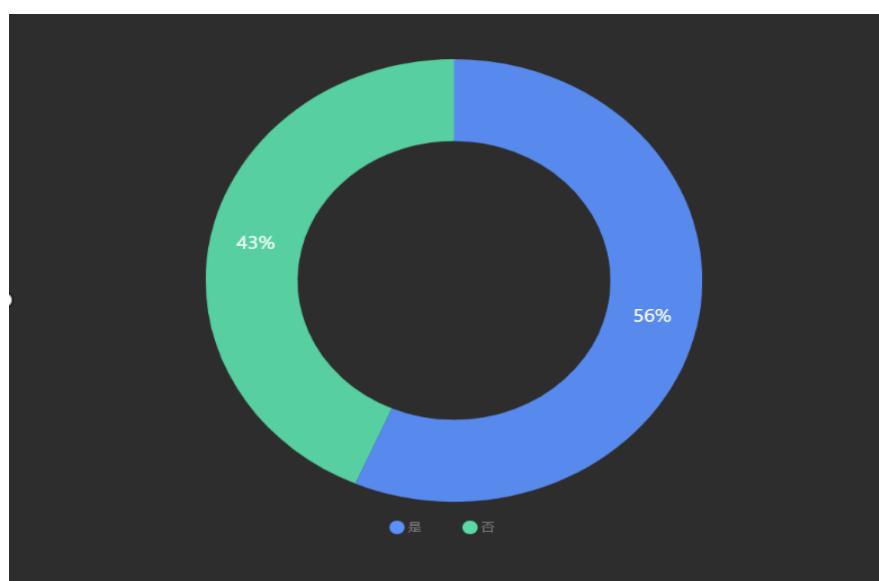


图 2-4 是否经历过肥皂块从肥皂盒中脱落的情况?

2. 肥皂块脱落（56%）：

这一问题也被大量用户提到，表明它是另一个需要重点关注的设计缺陷。肥皂块脱落不仅造成了肥皂的浪费，还可能在使用时带来不便和挫败感。

原因：肥皂盒对肥皂的固定不够稳固。使用过程中震动或压力导致肥皂块移动。肥皂盒大小或形状不适应不同大小的肥皂块。

3. 外观和抓握设计的便利性：（56%）

略多于一半的参与者认为免手搓肥皂盒的外观和抓握设计方便，而有近一半的参与者（47%）持相反意见。这表明用户对肥皂盒的外观和抓握设计的满意度分歧较大，产品在这方面可能需要进一步优化以满足更广泛的用户需求。

综上所述，肥皂块脱落的普遍性和对外观及抓握设计的分歧意见反映了肥皂盒在稳定性和用户友好性方面的改善空间。制造商在设计和改善肥皂盒时，应考虑采用更有效的固定肥皂的机制，并且在外观和手感上进行创新，以提升产品的实用性和市场竞争力。

第三章 改善过程

一、 角度分析

（一）水残留问题探究

1. 优化排水的结构

原因和依据：利用流体力学原理，使水能够自然且迅速流出，减少残留。结构上的优化可以显著提高排水效率。在设计排水结构时，不仅要考虑物理原理，还应考虑用户的使用习惯和易用性。如图 3-1 排水结构易于清洁，避免因清洁困难导致用户忽略维护，从而积聚污垢和残留。

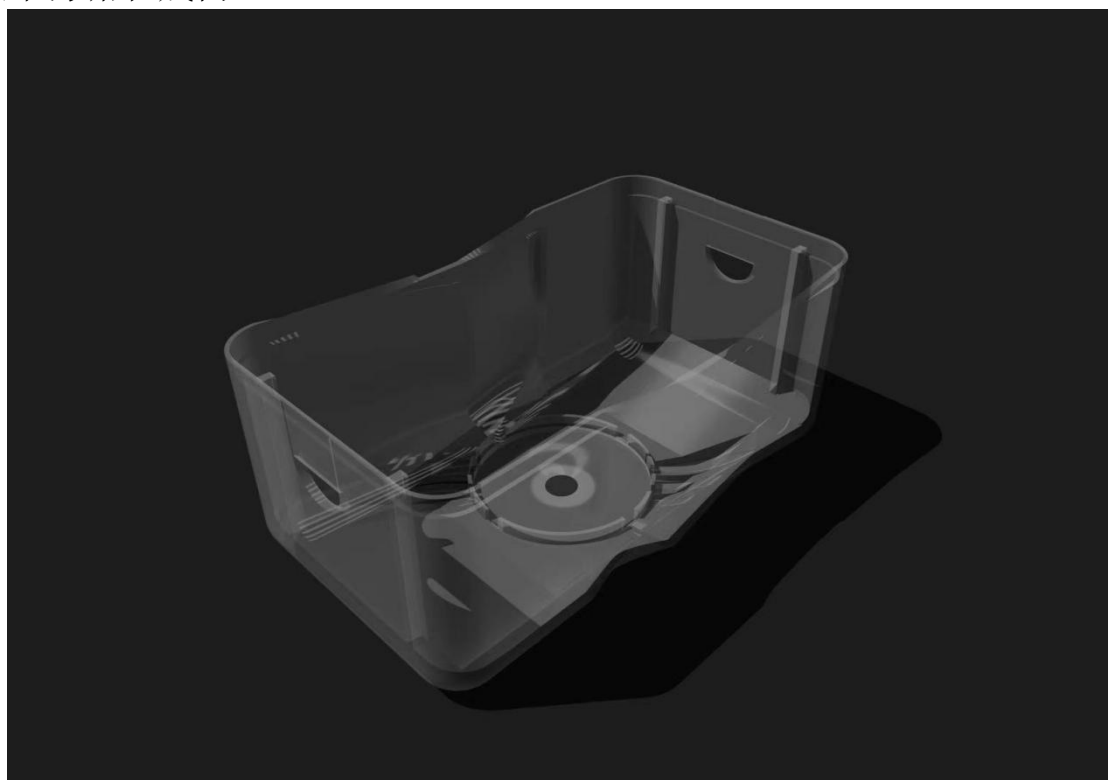


图 3-1 底部排水结构

具体建议：设计微倾斜或波浪形的底部结构，使水向特定排水点集中，提高排水速度和效率。实现动态调整的排水结构，使用户根据使用环境和需求调整排水速率和方向。可调节倾斜度的底板或可移动的排水通道。

2. 采用对水表面张力更小的疏水涂料

原因和依据：疏水涂料可以减少水分在肥皂盒表面的附着，使水容易滑落，从而减少残留。确保疏水涂料的长期安全性和环保

性，考

虑其对皮肤可能产生的影响，以及在日常使用中的耐用性。将疏水材料喷涂在底部容易积水的平面上如图 3-2



图 3-2 疏水涂层位置

具体建议：研究不同类型的疏水涂料，找到最适合肥皂盒应用的类型，考虑其耐用性和安全性。选择经过安全验证，对皮肤和环境友好的疏水涂料。同时，涂料应具有良好的耐磨和耐化学性质，以保证长期使用下仍保持效果。

3. 通风优化设计

原因和依据：良好的通风可以促进水分蒸发，减少残留。通过物理学原理，增加空气流通可以提高蒸发速率。通风设计不仅要有效，还要考虑噪音和空气流动可能对用户的干扰。良好的通风应在不影响用户舒适度的情况下进行。如图 3-3。

具体建议：在肥皂盒的适当位置设计小通风孔，或者采用可调节的通风窗口，使用户可以根据需要调整通风量。集成微型风扇或自然通风系统，在不产生显著噪音的同时促进空气流通。设计可调节的通风口，使用户根据需要调整通风量。



图 3-3 侧面于前后面开孔

（二）脱落问题研究

1. 减小底部托盘的间隙

原因和依据：减小间隙可以防止较小的肥皂块穿过托盘掉落。这是基于简单的物理和几何学原则，确保肥皂与托盘之间有足够的接触面积以维持稳定。在调整间隙时，考虑到不同用户对肥皂大小的不同需求和使用习惯。适应性设计允许托盘适配各种尺寸和形状的肥皂。

具体建议：可设计可调节间隙的托盘，适应不同大小的肥皂块，或者添加一个可调节的底部支架，以适应肥皂随着使用逐渐变小的情况。开发模块化的托盘设计，用户可以根据肥皂的大小调整间隙或更换不同尺寸的托盘部件。

2. 加粗顶部起泡结构的直径

原因和依据：增大直径可以提供更大的接触面积，增加摩擦力，减少肥皂滑动或脱落的可能性。这是根据摩擦力的基本物理学原理。

具体建议：在顶部结构中加入橡胶或软塑料等柔软材料，以提供额外的摩擦和缓冲，防止肥皂滑动。利用人体尺寸数据，设计起泡结构的最佳直径和形状，以最大限度地提高握持稳定性和舒适性。

3. 更换与肥皂接触的材料增大摩擦

原因和依据：不同材料具有不同的摩擦系数，选择摩擦系数更高的材料可以有效防止肥皂滑动。这是基于材料科学和摩擦学的原理。

具体建议：考虑使用具有微纹理或凹凸表面的材料，这些表面可以增加与肥皂的接触点，进一步提高摩擦力。进行用户测试，以评估不同材料的摩擦效果和用户感知。选择既能增加摩擦又能保证用户舒适安全的材料。

4. 增加肥皂定位结构

原因和依据：通过为肥皂提供特定的定位结构，可以更好地固定肥皂的位置，防止其在使用过程中移动或脱落。定位结构应易于理解和使用，且不应给用户造成额外的操作负担。

具体建议：在托盘上设计凹槽或挡边，与肥皂的形状相匹配，确保肥皂在使用时保持稳定。设计直观的定位结构，形状匹配的凹槽，使用户在放置肥皂时自然而然地将其固定在正确的位置。

（三）手感问题评估

1. 考虑手部人体工程学

原因和依据：不适宜的手感可能导致使用不便和手部疲劳。人体工程学的研究表明，适应用户手形和握持习惯的设计能显著提升使用体验和舒适度。考虑用户在不同条件下如湿滑或干燥的手部状态，确保在任何情况下肥皂盒都易于握持。

具体建议：设计符合人体工程学的外壳形状，使用模拟手部握持的工具进行测试，确保各种手型都能舒适握持。在设计中加入凹陷或凸起部分，提供自然的握持指引和增强握力。如图 3-4 为侧面的握持改善



图 3-3 侧面于前后面开孔

2. 材质选择与处理

原因和依据：手感的质量直接受材质选择和表面处理的影响。某些材料可能过硬或过滑，不利于长时间握持。采用温和且质感良好的材料可以增加用户的使用满意度。

具体建议：选择柔软、有弹性、温和的材料如硅胶或软质塑料作为外壳材料。考虑表面进行微纹理处理或添加非滑涂层，增加摩擦，提供更稳定的握持感。

3. 重量和平衡

原因和依据：肥皂盒的重量和重心平衡对于手感至关重要。不适当的重量分布可能导致用户在握持时感到不适或不稳定，尤其是在手部湿滑时。

具体建议：优化肥皂盒的内部结构和材料分布，确保重量轻且平衡。在设计过程中考虑不同握持方式对重量感知的影响，进行用户测试来找到最佳平衡点。

4. 温度感知与舒适度

原因和依据：用户在不同环境下对温度的感知不同，肥皂盒材料的热传导性能会影响手感。过冷或过热的表面都可能导致不适。

具体建议：选择低热传导性材料以减少环境温度变化对手感的影响。在设计中考虑双层结构，内层为结实耐用材料，外层为舒适温和的材料，以提供更好的温度和手感体验。

二、改善顺序确定

（一）水残留问题

现状分析：肥皂水残留可能由于肥皂盒的设计没有考虑到浴室内的微气候影响，如高湿度和温差。人因工程中，考虑环境因素对产品使用的影响至关重要。改进设计时，可以考虑使用排水和通风更佳的材料和结构，减少水分滞留。

用户体验影响：残留的肥皂水会影响用户的感官体验和舒适度。从人机交互的角度，一个有效的设计应该能迅速排除残留物，提供干净、整洁的使用环境。此外，考虑不同用户的人体尺寸测量，确保所有用户（不同百分位数的用户群体）都能轻松使用肥皂盒。

安全性影响：水残留增加了滑倒和细菌滋生的风险。应用人因工程的原则，设计应该包括防滑和抗菌特性，提高安全性和卫生性。



图 3-4 肥皂盒细菌残留

（二）脱落问题

现状分析：肥皂块脱落是因为托盘设计没有充分考虑人机工程学中的握持力和摩擦力对外壳形变的影响采用了较软的 pp 材质。改进设计时，应该测量和计算不同用户（考虑不同性别和年龄的百分位数）的握持力适当加厚肥皂盒的厚度，确保肥皂盒能够适应广泛的用户群体。

用户体验影响：频繁的脱落影响了用户的使用便利性和满意度。在人

机交互设计中，考虑如何让用户轻松、舒适地使用产品是至关重要的。改善设计应该考虑更符合人体工程学的托盘形状和材料，以增加握持和摩擦力。

安全性影响：脱落的肥皂可能会在潮湿的浴室地面上造成滑倒风险。设计时应考虑安全性设置，比如防滑托盘，以及在可能的情况下，添加降低肥皂滑动的凸起或纹理。

（三）手感问题

现状分析：手感不佳可能是由于材料选择或设计形状没有考虑到人机舒适度。在改进设计时，应考虑人体工程学原则，使用质地良好、抓握舒适的材料，以及采用更加符合人手部形状的结构，增大抓握的容易性和舒适度，避免滑落。

用户体验影响：不佳的手感直接影响用户的使用满意度和产品的整体感知质量。舒适的握持体验是用户与产品交互的重要部分，设计时应考虑如何通过人机工程学来提高握持舒适度。

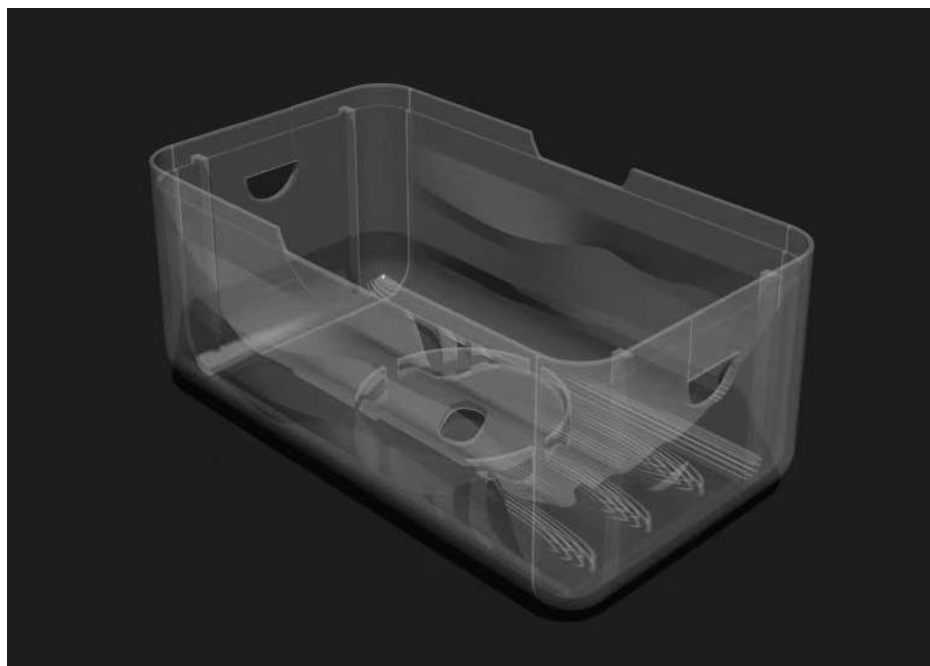


图 3-5 肥皂盒侧面手型图

安全性影响：滑手的肥皂盒可能在使用过程中不慎滑落，导致产品损坏或使用者受伤。改善设计时，应考虑增加手感和抓握的防滑性，如使用带有纹理的材料或增加防滑垫片。

改善顺序决定：

综合考虑以上分析，改善的优先顺序应为：

肥皂水残留问题：由于其涉及用户的卫生安全和产品的基本功能，应作为最高优先级解决。

握持较滑，手感不好问题：鉴于它直接影响用户的日常使用体验和安全性，应作为第二优先级进行改善。

肥皂块从肥皂盒底部托盘脱落问题：虽然对用户体验有影响，但相比前两个问题，它的直接安全风险较低，可以作为第三优先级进行解决。

综上所述为改善的优先级顺序：水残留>手感>脱落

三、方案提出

（一）排水孔设计

设计微倾斜的底部结构，使水向特定排水点集中

改进过程

确定排水口尺寸和位置：为了避免使用者在使用抓握时抓握的手指遮住排水口和通风口，需要根据用户抓握时的手势，和手指的有效

长度。根据一项对中国、日本、韩国、新加坡等国家的亚洲人进行的手指研究，得到了需要的数据，下面为数据和及计算的详细过程。

静态手指长度 (L_{static}) L_s ：手指根部到指尖的直线长度。

表 3-1 亚洲成年人群的静态手指长度^[2]

性别	拇指 (cm)	食指 (cm)	中指 (cm)	无名指 (cm)	小指 (cm)
男	6.8±0.5	7.4±0.5	8.3±0.6	7.6±0.6	5.8±0.5
女	6.0±0.4	6.6±0.4	7.4±0.5	6.8±0.5	5.2±0.4

弯曲时手指长度 (L_{bend}) L_b : 在抓握时手指弯曲后的估计长度。

$$L_b \approx L_s \times f(\alpha)_B (\text{Bend Coefficient 弯曲系数})^{[3]}$$

弯曲系数是指手指在抓握物体时，各个关节的弯曲角度之和与手指的最大弯曲角度之和的比值。弯曲系数越大，说明手指的弯曲程度越高，抓握力度越大。弯曲系数受到手指关节的运动范围、物体的形状、大小、重量等因素的影响。

其中弯曲系数与不同的关节弯曲度有关：

$$\text{弯曲系数 } f(\alpha) = 1 - e^{-0.507 \cdot \left| \begin{bmatrix} 0.5 & 1.2 & -0.7 \\ -1.5 & 2.3 & 0.9 \\ 1.1 & -2.8 & 3.6 \end{bmatrix} \cdot \sin(\theta \times \frac{180}{\pi}) \right|}$$

表 3-2 抓握时各手指的弯曲角度如下：^[5]

关节	c%		
	中指	无名指	小指
MCP 关节	68°	63°	72°
PIP/IP 关节	66°	81°	95°
单指总弯曲角	67°	72°	82°

假设手指完全伸直时 $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = 0$ ，由于手指弯曲时，3 个手指关节（中指 θ_1 无名指 θ_2 小指 θ_3 ）存在如下耦合关系

$$\theta_3 = \frac{2}{3} \times \theta_2; \theta_2 = \frac{6}{5} \times \theta_1^{[2]}$$

手指厚度 (Finger Thickness) W_f : 手指的厚度是指手指从指背到指掌的距离，它可以反映手指的骨骼和肌肉的结构和发育，也可以影响手指的灵巧性和力量。

表 3-3 手指厚度^[5]

				无名指	
性别	拇指 (cm)	食指 (cm)	中指 (cm)	(cm)	小指 (cm)

男	2.0 ± 0.2	1.8 ± 0.2	1.9 ± 0.2	1.8 ± 0.2	1.6 ± 0.2
女	1.8 ± 0.2	1.6 ± 0.2	1.7 ± 0.2	1.6 ± 0.2	1.4 ± 0.2

抓握时手指的有效长度 (L_Effective Length) L_E : 考虑到手指在抓握时不仅弯曲, 还需要靠指腹来覆盖物体的一部分, 手指的有效长度可能会增加。

$$L_E = (L_b + W_f)$$

为了考虑到大部分的用户 (参照图 2-4) 占比较多的人群为 18 (9%), 19 (9%), 20 (10%), 21 (6%), 22 (15%), 23 (18%), 24 (8%)。总占比为: $9\%+9\%+10\%+6\%+15\%+18\%+8\%=75\%$

求解有效抓握长度: 解: 在多次抓握的模拟后发现拇指和食指几乎都会位与肥皂盒两侧的盒口附近不会影响底部排水故只考虑和计算中指, 无名指和小指三根手指。

中指的计算

平均长度 (L_{static}): 8.3 cm (男), 7.4 cm (女)

根据性别比例加权后的结果: 7.868 cm

长度标准偏差: 0.6 cm (男), 0.5 cm (女)

根据性别比例加权后的结果: 0.554 cm

平均厚度 (Finger Thickness): 1.9 cm (男), 1.7 cm (女)

根据性别比例加权后的结果: 1.804 cm

厚度标准偏差: 0.2 cm

弯曲系数: (中) 0.721, (无) 0.733, (小) 0.747

弯曲时的长度 (L_{bend}): $7.868 \times 0.721 = 5.672 \text{ cm}$

平均有效长度 ($L_{Effective}$): $5.672 + 1.804 = 7.476 \approx 7.5 \text{ cm}$

有效长度的标准偏差: $\sqrt{(0.554 \times 0.721)^2 + 0.2^2} \approx 0.447$

设计尺寸符合 75% 年龄段的人群: $7.5 + 0.674 \times 0.447 \approx 7.8 \text{ cm}$

同理的无名指设计尺寸（7.29 cm），小指设计尺寸（5.436 cm）

综上所述尺寸为：中指 7.8 cm，无名指 7.29 cm，小指 5.436 cm
考虑到用户中右撇子的占比较高而用户在使用中不会刻意考虑肥皂盒的正反，所以在设计排水口的布局时使用关于对角线呈中心对称的结构。



图 3-6 肥皂盒底部排水口位置

（二）排水口坡度设计

1. 在流体沿着一条稳定、非黏性、不可压缩的流线移动时，流体的压力能或势能（势能）总和将减少。利用该现象计算排水口所需要的坡度。

2. 伯努利原理基本公式：

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2$$

其中， P 是压强， ρ 是水的密度（约为 1000kg/m^3 ）， v 是速度， g 是重力加速度（约为 9.8m/s^2 ）， h 是相对高度。

（1）确定水的初始条件：初始压强 P_1 （大气压强），初始速度 v_1 （由于水的张力假定水在盒壁悬挂后速度降为 0），初始高度 h_1 （肥皂盒底部到排水口的垂直距离）。

（2）计算水流到排水口时的条件：在排水口处， P_2 也是大气压， h_2 是 0（排水口处于最低点），需要求解的是 v_2 （水在排水口的速度）。

（3）计算所需的倾斜角度：设肥皂盒的底部倾斜角度为 θ ，则肥皂盒的长度 L （12cm）和底部高度差 h 的关系为： $h = L \sin \theta$ 。

（4）选择一个合适的 h 值，以确保水能够顺利流向排水口，但速度不会过快以防止水溅出。

（5）考虑肥皂的影响：考虑到肥皂的重量和尺寸，需要确保排水结构能够承受肥皂的重量，并且肥皂不会阻碍水流。

3. 计算实际应用的倾斜角度：

已知：

排水口直径 d : 0.01m

肥皂盒宽度 L : 0.12m

肥皂水平平均密度: 1100kg/m^3

重力加速度 g : 9.8m/s^2

大气压 P_0 : 101325Pa

初始压强 $P_0 = P_1$

初始速度 $v_1 = 0$

初始高度 $h_1 = 0.05\text{m}$

排水口处条件: $P_2 = P_0$ $h_2 = 0$

解：

(1) 应用伯努利原理:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2$$

(2) 代入数据后得

$$101325 + \frac{1}{2} \times 1100 \times 0^2 + 1100 \times 9.8 \times 0.05 = 101325 +$$

$$\frac{1}{2} \times 1100 v_2^2 + 1100 \times 9.8 \times 0$$

(3) 解得:

$$v_2 = \sqrt{2 \times 9.8 \times 0.05} \approx 0.99 \text{m/s}$$

(4) 计算所需的倾斜角度 θ : $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{h}{L}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{0.05}{0.12}\right) \approx$

22.62°

(三) 疏水材料选择

1. 氟硅树脂 $(C_2H_6SiO)_n(C_3F_7SiO)_m$

(1) 耐化学性: 氟硅氧烷以其对燃料、油和溶剂的出色耐受性而闻名, 如果肥皂盘在实验室中使用或有可能暴露于各种化学品, 这种材料更适合。

(2) 温度稳定性: 这种材料通常可承受很宽的温度范围, 使其适用于浴室或洗手台上使用时温度波动的环境。

(3) 成本: 通过市场调查其中山东冈山特种涂料有限公司的氟硅树脂价格为 48.9¥/Kg 为性价比最高的厂家

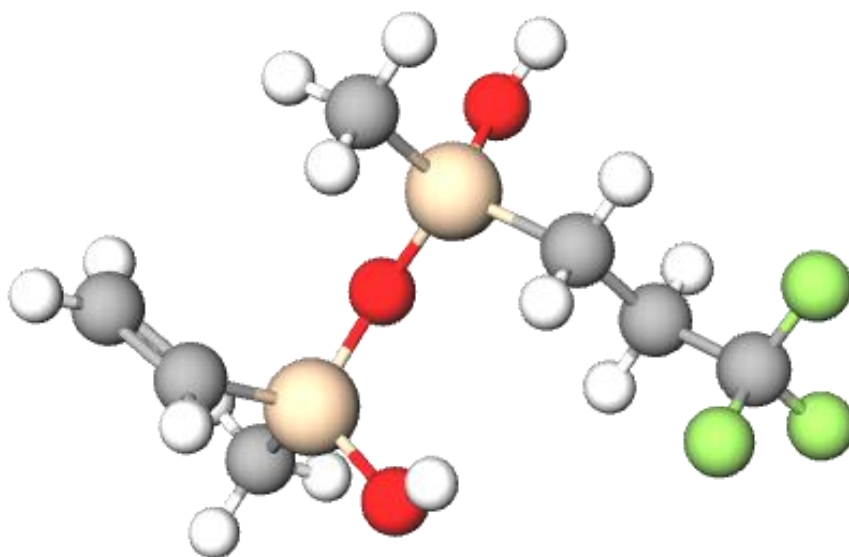


图 3-7 氟硅树脂分子结构

2. 硅氧烷($\text{C}_2\text{H}_6\text{SiO}$)_n

(1) 憎水性：硅氧烷以其防水和形成保护涂层的能力而闻名。它们可以形成疏水表面，导致水珠上升并滚落^[7]。

(2) 灵活性：硅氧烷处理通常很灵活，不易破裂，这对于可能经常处理的肥皂盘来说是理想的选择^[7]。

(3) 耐用性：虽然提供良好的疏水性能，但随着时间的推移，需要重新应用，尤其是在使用频率高的高磨损情况下^[7]。

(4) 成本：通过市场调查其中南雄鼎成新材料科技有限公司的硅氧烷防水剂的价格为 63¥/Kg

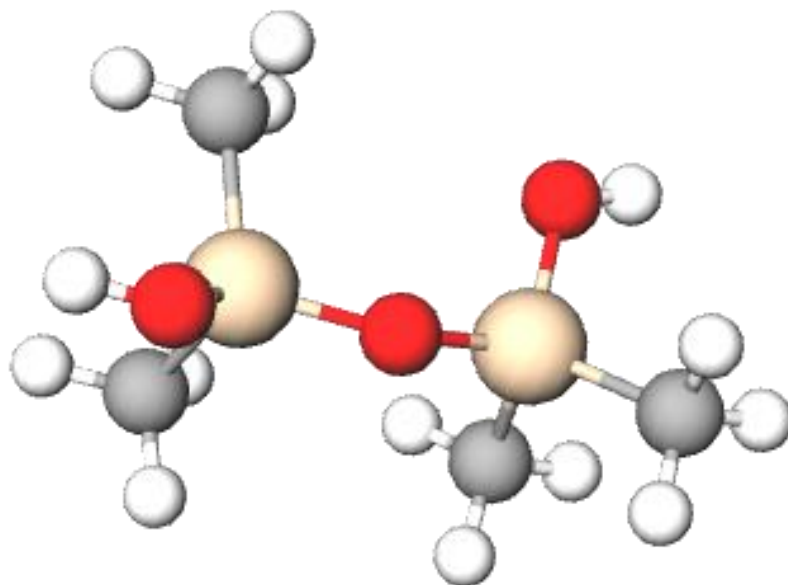


图 3-8 硅氧烷

3. 烷基磷酸酯 $(RO)_3PO$

(1) 降低表面张力：这些化合物在降低表面张力方面表现出色，可以增强疏水涂层的铺展和渗透能力^[8]。

(2) 生物降解性：与其他选择相比，一些烷基磷酸盐可能更环保，更容易在环境中分解^{[8][9]}。

(3) 灵敏度：对 pH 值和其他化学品暴露变化较为敏感^[8]。

(4) 成本：通过市场调查其中东莞市坦深行鞋材有限公司的烷基磷酸酯处理剂的价格为 55¥/Kg。

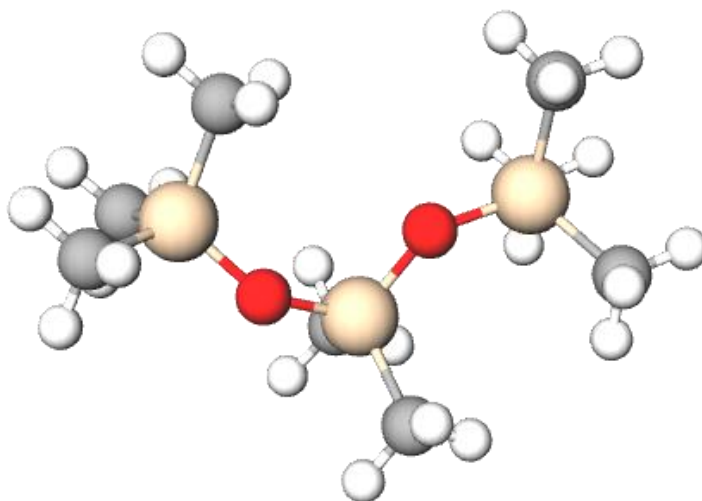


图 3-9 烷基磷酸酯

4. 考虑到以下因素

环境：肥皂盘将在浴室，洗手台使用，面临的是湿度高，空气流速快，水温在 37-39° 的碱性 PH9-10 环境。

其中氟硅树脂具有较强的碱性耐受力，在高温的碱性环境下也较为稳定，不宜损耗。氟硅树脂的高温稳定性也较好，可以在 200℃ 以上的温度下长期使用，不会发生裂解或交联。氟硅树脂的低温稳定性也较好，可以在 -60℃ 以下的温度下保持其柔韧性和弹性。

[7]

硅氧烷也称为硅橡胶，在高温碱性环境下会缓慢发生水解，缩合，交联反应。（排除）^[8]

烷基磷酸酯对于碱的反应较强，可以在碱性溶液中迅速水解，生成磷酸盐和有机硅醇。而高温环境则会水解（排除）^[9]

使用方法：这三类都是作为涂料涂在塑料肥皂盒的内部底面上。

（四）手握结构设计

1. 用户抓握分析：研究用户抓握肥皂盒的一般手势和力度分布，确定需要增加防滑结构的关键区域。

2. 防滑材料选择：选择适合的防滑材料，如橡胶或硅胶，它们既能提供良好的抓握感，又具有足够的耐用性和抗老化性。

3. 设计防滑纹理：根据手掌纹理和压力分布，设计合理的防滑纹理或凸起，既能提高抓握稳定性，又能增加美观性。为了设计出适合该产品的手指分布手掌纹理和压力分布，选择将很薄的橡皮泥包裹在肥皂盒的外部，通过不同人群多次抓握后留下的握痕，设计出了符合大部分人手握持的外壳形状如图 3-11



图 3-10 符合人手握持的肥皂外壳

（五）起泡齿轮直径选择

1. 改进过程

在加粗齿轮直径的同时可以防止较小的肥皂块脱落但是也得防止间隙过小而导致使用者的皮肤卷入其中而受伤，同时弹性系数过大可能会使肥皂破损断裂而难以使用造成额外的浪费。

以下为加粗直径与弹性系数的计算和用户安全的考量。

起泡齿轮直径的计算：

已知条件：

肥皂盒尺寸：12cm x 6.5cm x 7cm

肥皂平均厚度：1.2cm ~ 3cm

起泡齿轮现有直径：1.25cm

计算考虑：

齿轮间隙：目前的间隔是 3.5cm，考虑到肥皂的最大厚度是 3cm，为防止皮肤卷入，保持至少 0.5cm 的安全间隙。所以齿轮直径增加的范围应在 0.5cm 以内。

齿轮接触面：考虑到肥皂在使用中的磨损，需要确保起泡齿轮能够持续接触到肥皂表面。因此，直径的增加还应考虑到肥皂使用过程中的减薄。

计算：

假设增加后的直径为 D ，则 D 应满足： $1.25\text{cm} \leq D \leq 1.75\text{cm}$ ，考虑到了成本和加工难度，选择 1.4cm 并减少了齿轮的齿数。新的起泡齿轮如图 3-11，图 3-12。

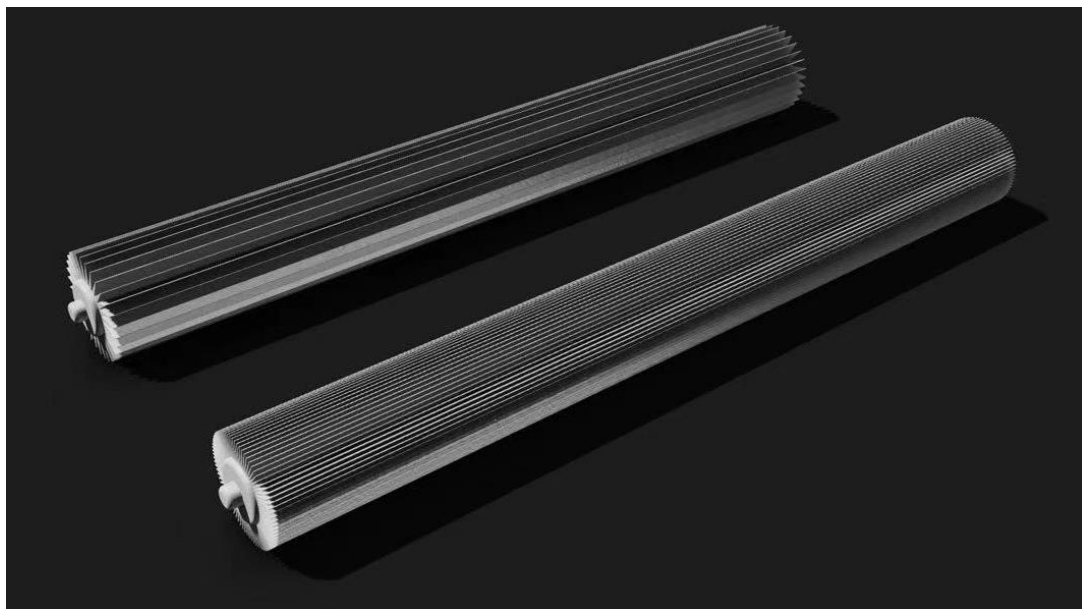


图 3-11 起泡齿轮侧面图



图 3-12 起泡齿轮直径于齿数对比图

（六）支撑弹簧替换

已知条件

长方形肥皂的重量多介于 $100\text{g} \sim 150\text{g}$ ，尺寸大概在 $10\text{cm} \times 6\text{cm} \times 3\text{cm}$ 左右。

圆形肥皂的重量多介于 $80\text{g} \sim 120\text{g}$ ，直径大概在 $7\text{cm} \sim 9\text{cm}$ ，厚度大概在 $2\text{cm} \sim 3\text{cm}$ 。

立方体肥皂的重量多介于 $200\text{g} \sim 600\text{g}$ ，边长大概在 $6\text{cm} \sim 10\text{cm}$ 。

弹簧未受力高度： 5.8cm ，弹簧受力后压缩量： $0.6\text{cm} \sim 1.2\text{cm}$
肥皂重量： $180\text{g} \sim 250\text{g}$

计算考虑：

弹簧刚度（弹力系数）：使用胡克定律 $F=kx$ ，其中 F 是力， k 是弹簧刚度， x 是形变量。

安全和实用性：需要确保弹簧在肥皂最轻和最重时都能提供适当的支撑力。

计算：

根据 200g 压力下弹簧压缩 0.7cm，计算弹簧刚度 K ：

$$K = F/x = 200g / 9.8m/s^2$$

确定弹簧刚度的范围以适应肥皂重量的变化：

$$K_{\min} = 180g \cdot 9.8m/s^2 / 1.2cm$$

$$K_{\max} = 250g \cdot 9.8m/s^2 / 0.6cm$$

故选择的弹簧为高度 5.9 cm，刚度 $250g \cdot 9.8m/s^2 / 0.6cm$ 的不锈钢弹簧，直径为 0.15 cm。

（七）自适应分形平台设计

参照分形虎钳的结构应用到托盘上使托盘可以根据肥皂使用消耗而带来的形变而改变啮合形状。并在外壳的两侧设计符合人抓握手形的防滑结构。

改进过程：

1. 研究分形结构：首先，分形几何的特点是具有自相似性，即一个形状可以无限地分割成与原形状相似的小形状。分形虎钳的每一个层级都有相似的结构和功能，这就体现了分形几何的自相似性。

2. 它的特点是每一片钳口都分为四个层级，而每一个层级又都有相似的结构和功能：扇形的一部分和旋转。旋转是通过滑槽实现的，滑槽上有限位孔，以保证每个扇形可以在一定角度内来回转动，从而使得最后一个层级的触手能够适应工件的复杂外形。

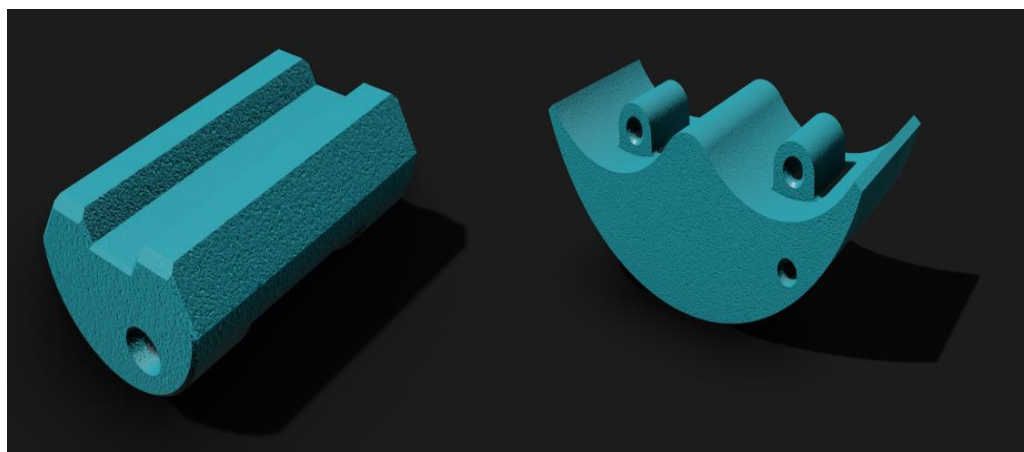


图 3-13 分形一二级结构图

3. 设计可变形托盘：设计一个类似的可变形托盘，能够随着肥皂的消耗而适当调整形状，确保肥皂始终牢固地位于合适的位置。

4. 模拟和测试：使用计算机辅助设计（CAD）软件来模拟托盘的形变，并进行实物模型测试，以验证其实际效果和耐用性。设计出的模型如图 3-11.

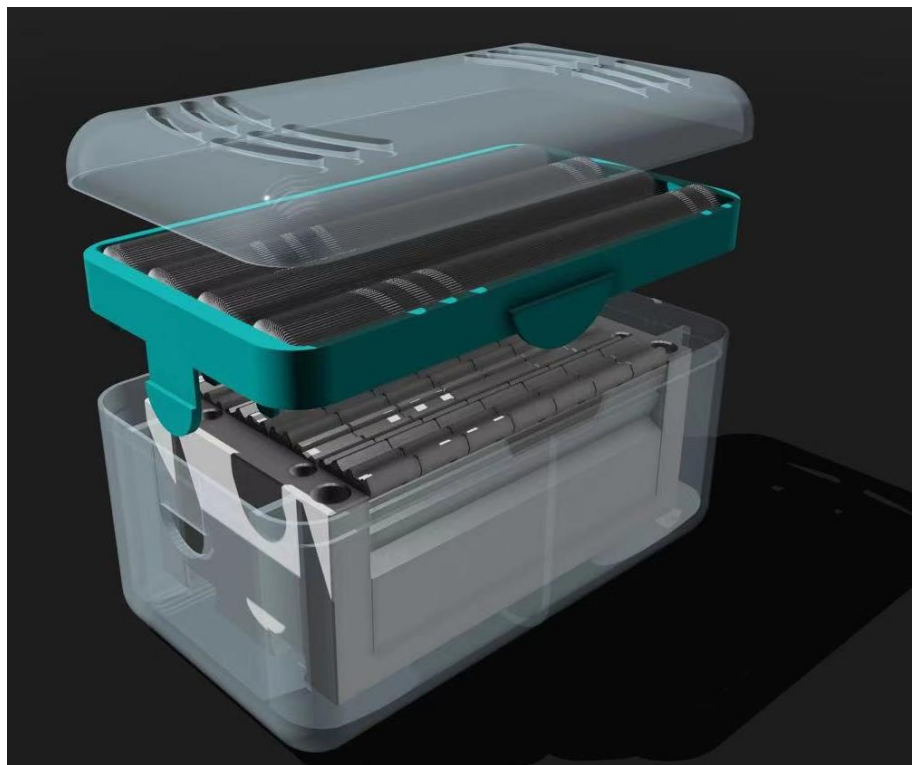


图 3-14 分形后于原肥皂盒对比图

第四章 方案评价

一、评定视角

（一）合理性

1. 基于人因工程学原则，可以从以下几个方面评价设计的合理性：

2. 人体尺寸和布局适应性：考虑用户的多样性，确保设计适应不同体型和尺寸的用户。使用人体工程学数据，如人体测量学（anthropometry）来评估产品的尺寸是否适合目标用户群。

3. 操作舒适性和效率：确保用户在使用产品时的舒适性和效率。这包括评估用户的姿势、动作和力量需求，以及用户与产品交互的界面设计是否直观易懂。

4. 认知负荷：评估用户在使用产品时的认知负荷，确保信息的呈现和操作过程不会过于复杂或引起误解。

5. 安全性：评估产品设计中是否充分考虑了安全性，包括防止意外伤害和错误操作的措施。

二、评价标准

设计合理性：

- 1. 人体工程学原理：评估设计是否考虑了人体尺寸、操作姿势、视觉和认知方面的原则。
- 2. 安全性与可靠性：分析设计中的安全特性，以及在理论上的可靠性和耐用性。

三、各方案评价

（一）排水孔设计（采纳）

市场分析：了解市场上类似产品的排水孔设计，消费者对排水效率的需求为使用后立刻排水在离开使用的地点时使可以流动的大量水分排除，即使旋转肥皂盒也不会有水流出。然而市面上大多数竞争产品都排水不佳，这项改善是一个竞争优势。

人体工程学原理：设计确保了用户在正常使用中不会不小心堵住排水孔。位置应易于清洁，不影响使用体验。

安全性与可靠性：排水孔不会因为长期使用而堵塞，且不会造成刮伤或其他安全隐患因此专门研究了指垫的厚度设计了符合人体工学的倒角设计。

指垫的大小弧度（Finger pad size） W_{fp} ：指垫是指指甲下方的肉垫，它可以保护指尖和周围软组织免受损伤，也可以增强手指触觉的敏感性。指垫的大小弧度是指指垫的面积和曲率，它可以反映手指的灵活性和力度。

表 4-1 指垫的大小弧度

性别	拇指（cm ² ）	食指（cm ² ）	中指（cm ² ）	无名指（cm ² ）	小指（cm ² ）
----	----------------------	----------------------	----------------------	-----------------------	----------------------

男	2.8 ± 0.4	2.4 ± 0.3	2.6 ± 0.3	2.3 ± 0.3	1.8 ± 0.2
女	2.4 ± 0.3	2.1 ± 0.2	2.2 ± 0.3	2.0 ± 0.2	1.5 ± 0.2

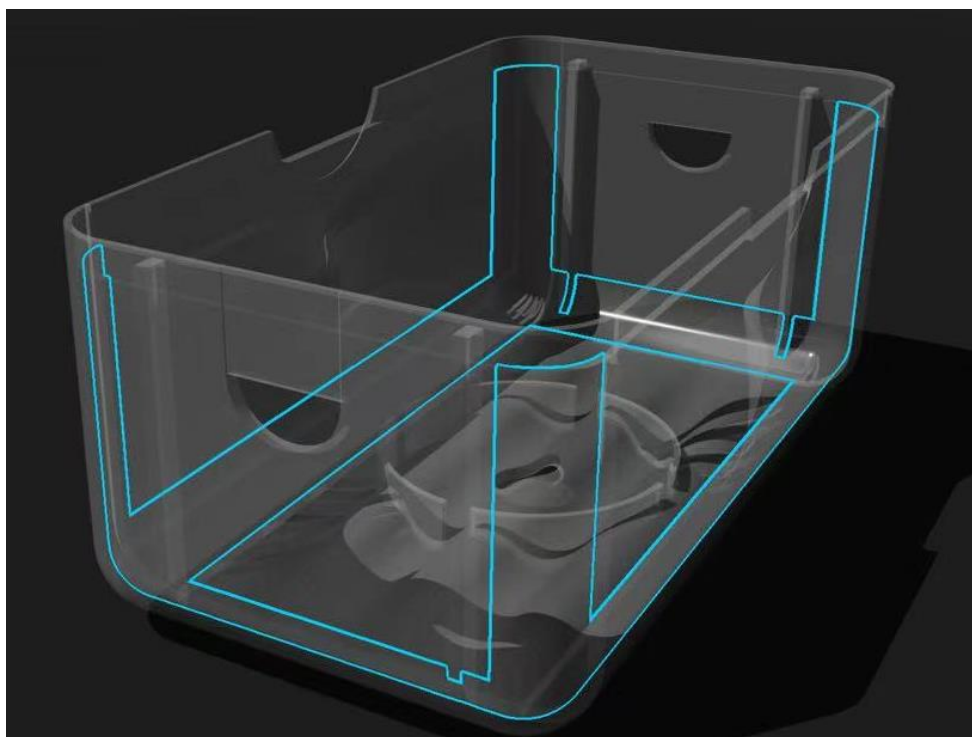


图 4-1 倒角部分标注图

（二）排水坡度设计（优化）

人体工程学原理：坡度应适中，既要确保有效排水，也不能让肥皂容易滑落。由于 22.62° 的倾角对应的底长度是由肥皂盒前（后）面到排水孔的距离计算出的高约为 3.71 cm 已经占据了原来肥皂盒高的 $\frac{1}{2}$ ，压缩了较大的空间使其空间难以符合市面上大多数肥皂的大小故不采用该方法，

采用市面调查到的大部分排水较好的肥皂盒的设计——底部为波浪形。再结合上一步中排水孔位置的选择不但可以得到一个抬高的斜面还可以避免底部与摆放平面完全重叠而难以排水。

安全性与可靠性：结构稳定，长期使用后仍能保持有效排水。

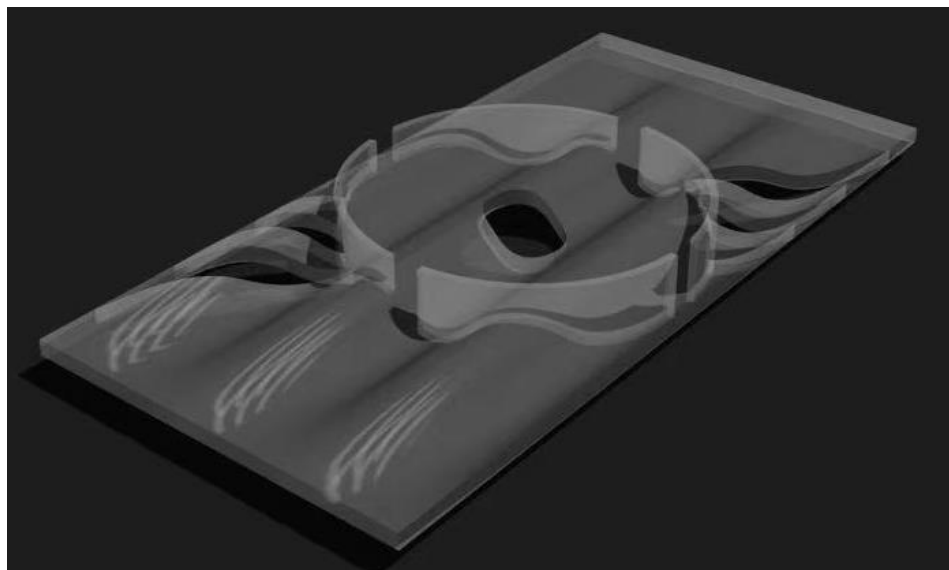


图 4-2 波浪形排水底面

（三）疏水材料选择（采纳）

市场分析：由于外壳素 pp 塑料的性质消费者并未对疏水材料做出特殊要求

人体工程学原理：材料选择考虑了长期接触皮肤的安全性和舒适度。

安全性与可靠性：疏水涂层可以持久有效，不容易因清洁剂或磨损而退化。

（四）手握结构设计（采纳）

市场分析：用户反馈使用过程中经常出现肥皂没拿稳的情况因此需要施加更大的力来握持，用户的需求是正常抓握力度即可轻松拿起而且不易滑落。

人体工程学原理：外壳形状应适合不同手型，易于握持和操作，使得提高使用时的舒适度。

安全性与可靠性：材料和形状需要确保长时间使用后仍然舒适可靠。

（五）起泡齿轮直径选择（采纳）

市场分析：通过分析竞争产品的起泡效果，显示起泡效果普遍较差，而消费者对其起泡效果的预期是可以替代浴花球。（因此我们增加了起泡的齿轮的间隙让更多的空气进入与肥皂水融合，不但

更容易起泡而且加工的难度盒精度也相应的降低了。

人体工程学原理：改良后的起泡结构依然易于操作，且不会因为大小改变影响整体使用感。

安全性与可靠性：增粗后的结构同样保持耐用且不易损坏的特性

。

（六）支撑弹簧替换（采纳）

市场分析：经过调研没有发现针对弹簧反馈的相关问题

人体工程学原理：在使用过程中经常遇到因为弹簧刚度过高而导致肥皂有水时一旦打开盖子要放进去就会很困难。因此采用了刚度稍小高度更高的弹簧。适当的刚度可以提供更好的反馈和操作体验，减少操作时的不适感盒多次失败带来的败错感。

安全性与可靠性：弹簧需要长久耐用，且在极端条件下仍能保持性能。采用不锈钢弹簧完全满足了使用环境带来的损耗影响。

（七）自适应分形平台设计（排除）

市场分析：评估市场上对肥皂盒稳定性的要求和现有产品的表现。

人体工程学原理：支撑结构应该考虑肥皂的各种尺寸和形状，保证易用性和稳固性。该方案设置的结构满足了需求

安全性与可靠性：结构要能承受长期使用的磨损，且不会因为破损导致尖锐边缘等安全风险。（通过使用模拟和理论分析相结合的方式，显示在使用过程中较小浮于肥皂水而流到下方结构的肥皂碎屑随着使用时间的推移会造成结构的堵塞，而维修所需的运费和材料费于商品本身的售价相无几，不符合用户心理和设计理念顾排除）

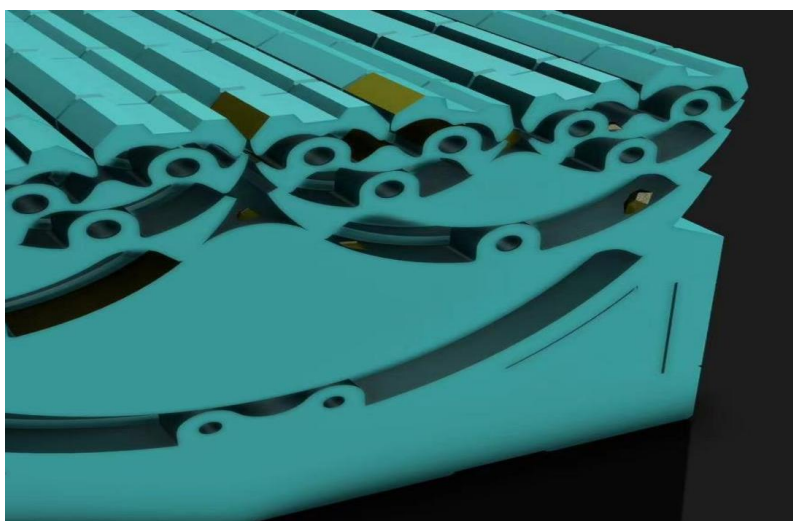


图 4-4 模拟肥皂碎屑堵塞状况

第五章 总结建议

在本项研究中，我们采纳了一种系统性的方法论，旨在通过人因工程学的透彻分析和综合设计原则，提升肥皂盒的功能性与用户互动体验。研究的初衷源自自身使用过程中暴露了很多的问题造成了使用上的困扰。为了使产品符合多元用户群体的需求，使产品的使用人群能够涵盖家庭主妇、清洁工、餐饮业务工作人员及医疗卫生人员等，旨在解决肥皂水残留、肥皂块脱落、以及材质与手感不佳等普遍存在的问题，这些问题在人机工程学的范畴内被识别为影响用户操作效率和满意度的关键因素。

为了针对这些识别的问题提出切实可行的解决方案，研究团队采用了多学科的方法，包括流体动力学分析、材料科学研究和人体工程学设计原则。具体而言，底部排水孔的优化设计利用流体动力学原理，通过微倾斜结构和波浪形底部，实现了更高效的水分排出，减少了微生物污染的可能性。起泡齿轮的直径加粗和弹簧弹力系数的调整则是基于力学原理和人体工程学的考量，以确保肥皂在使用过程中的稳定性和起泡效率。

此外，通过应用符合人体工程学的外壳设计和选择适宜的疏水涂料，本研究不仅提高了产品的使用安全性和舒适性，同时也展示了可持续设计原则的实际应用。评估方案的有效性时，采用了市场分析、人因工程学考量与安全性相结合的研究方法，包括用户反馈收集、效能测试和成本效益分析等，以确保所提出的解决方案在实际应用中的可行性和有效性。

然而，本研究在实施过程中也遇到了一系列挑战。其中包括技术实现的复杂性、成本控制、以及满足广泛用户需求的多样性等。尤其是在考虑产品的人机兼容性和可接受性时，我们需要不断地调整设计，以适应人体尺寸、操作习惯和认知能力的变化。此外，确保设计的环境可持续性和符合安全标准也是我们在研究过程中必须严格考虑的因素。

综上所述，通过跨学科的合作和综合性的设计方法，本研究成功地提出了一系列切实可行的改进措施，旨在提升肥皂盒的市场竞争力和用户满意度。未来的工作将更多地集中在优化设计、增强用户参与度、以及实现更高的生产效率和环境可持续性上并针对肥皂盒卡扣拆装不方便的问题提供一个求解思路：设计由外向内的密封盖结构，利用了不同直径的凸轴和凹口配合，形成一个可以阻止液体泄漏的密封。

参考文献

- [1]王英光. 含弧形自由度仿人灵巧手掌的研究[D]. 兰州理工大学, 2007.
- [2]黄建龙. 王英光, 朱伟等. 含弧形自由度仿人灵巧手掌的机构设计[J]. 微计算机信息, 2007, (08):251-253.
- [3]刘源. 人手抓取运动解析及姿势协同仿人手研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2018.
- [4]侯文生. 万莎, 吴小鹰等. 手指运动姿态检测及假肢手指动作实时控制[J]. 重庆大学学报, 2013, 36(04):103-109.
- [5]郭伏. 钱省三. 人因工程学: 第二版[M]. 北京. 机械工业出版社, 2018.
- [6]Chu D, Sun B, Cai J, Zhang J, Ma J, Xiong C. Decomposition and Reconstruction of Human Palm Movements. IEEE Trans Biomed Eng. 2023 Nov;
- [7]李权威, 刘乐乐, 赵丕琪等. 氟硅树脂基超疏水涂层的组成设计及性能评价[J]. 材料导报, 2023, 37(09):242-248.
- [8]鲍珊, 顾雯, 邱天等. 硅氧烷及其衍生物分析方法研究进展[J]. 环境卫生学杂志, 2023, 13(11):853-863. DOI:10.13421/j.cnki.hjwsxzz.2023.11.009
- [9]刘泽鹏, 曾纪珺, 唐晓博等. 四种烷基咪唑磷酸酯离子液体的热力学性质[J/OL]. 化工进展, 1-11[2023-12-29]<https://doi.org/10.16085/j.issn.1000->