

# 伦理关怀视角下的核酸检测试剂盒改良设计

苏晨, 吴昭仪, 彭魏, 李昌骏, 陈杰  
(湖北工业大学, 武汉 430068)

**摘要:** **目的** 在疫情常态化背景下, 为避免核酸检测试剂盒在使用与回收周期中, 对传染源处理不当造成二次污染, 因此进行试剂盒改良设计, 以构建良好的伦理关怀关系。**方法** 首先分析了当下核酸检测产品所存在的弊端, 获取功能需求, 确定了所属设计类型, 运用 AD 理论对功能需求进行分解, 然后对初步设计方案进行耦合判断, 运用 TRIZ 进行解耦, 最终得到设计方案。**结果** 采用集成 AD 和 TRIZ 的设计方法, 从伦理关怀的视角下, 对核酸检测试剂盒的安全消毒模块进行设计, 将核酸检测试剂盒改良为一体化结构, 并增添消毒灭菌模块, 最终设计方案可有效解决二次污染问题并实现伦理关怀。**结论** 方案通过集成 AD 和 TRIZ 的设计方法, 从功能结构上对核酸检测试剂盒进行改良设计, 解决了现有产品存在的诸多问题。在设计中注重产品使用感受, 帮助人们在使用产品时舒缓紧张感并构建信任, 同时为产品新功能模块的创新设计提供思路 and 参考。

**关键词:** 核酸检测试剂盒; 防疫消毒功能; 伦理关怀; AD 理论; TRIZ 理论

**中图分类号:** TB482 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)06-0232-09

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.06.025

## Improved Design of Nucleic Acid Detection Kit from the Perspective of Ethical Care

SU Chen, WU Zhao-yi, PENG Wei, LI Chang-jun, CHEN Jie  
(Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China)

**ABSTRACT:** The work aims to improve the design of nucleic acid detection kit to avoid secondary pollution caused by improper treatment of infectious source in the use and recovery cycle of nucleic acid detection kit, so as to build a good ethical care relationship under the background of normalization of epidemic situation. Firstly, the disadvantages of current nucleic acid detection products were analyzed, the functional requirements were obtained, the design type was determined and the functional requirements were decomposed with AD theory. Then, the preliminary design scheme was coupled and judged, and TRIZ was used for decoupling to obtain the design scheme finally. The design method integrating AD and TRIZ was used to design the safety disinfection module of the nucleic acid detection kit from the perspective of ethical care, and the nucleic acid detection kit was improved to an integrated structure and added with disinfection and sterilization module. The final design scheme could effectively solve the secondary pollution and achieve ethical care. By the design method integrating AD and TRIZ, the scheme improves the design of nucleic acid detection kit from the functional structure, and solves many problems in existing products. In addition, the scheme pays attention to the product use experience in the design, helps people ease the tension and build trust when using the product, and provides ideas and references for the innovative design of new functional modules of the product.

**KEY WORDS:** nucleic acid detection kit; epidemic prevention and disinfection function; ethical care; AD theory; TRIZ theory

收稿日期: 2022-11-15

基金项目: 2021 年湖北省教育厅项目——哲学社会科学研究重点项目 (ZXKY202155)

作者简介: 苏晨 (1968—), 男, 硕士, 教授, 主要研究方向为工业设计。

通信作者: 彭魏 (1986—), 男, 硕士, 讲师, 主要研究方向为产品设计。

常态化的疫情防控下, 国家、社会和个人均需建立互信的常态关怀关系, 以增进相互间的情感交流<sup>[1]</sup>。哲学家内尔·诺丁斯提出“伦理关怀”一词, 她认为关怀是人类生活中的一个基本要素、一种普遍的道德情怀、一种导向实际的行动。在风险和不确定性的环境下, 人们依赖的是价值理性和人与人之间的温情, 是伦理关怀, 因此, 对产品设计提出了全新的要求。将设计结合伦理关怀能够给疫情防控带来信心和力量, 因此, 在设计上更应注重人的使用感受, 将人的精神需求放在设计的首位, 将设计的终极目标从物质层面提升到更高的精神层面<sup>[3]</sup>。

此次疫情具有传染性高的特点, 并具有一定的潜伏期, 核酸检测试剂盒因快速、适用性广泛、易于标准化且节约人力等优点而备受人们关注, 但由于其操作复杂、回收周期对传染源难以处理等, 导致核酸检测试剂盒在我国没有进行大规模投用。据此, 本次研究从伦理关怀的角度出发, 对现有的核酸检测试剂盒进行分析, 找出其需要改进的设计点, 将用户需求映射为设计属性, 融合集成 AD 和 TRIZ 的方法, 设计一种高效易用、安全卫生的核酸检测试剂盒, 以解决目前核酸检测试剂盒存在的诸多问题。

## 1 核酸检测试剂盒存在问题分析

新冠疫情以来, 核酸检测试剂盒的相关设备研究受到国内外学者的关注, 研究主要体现在现有的核酸检测试剂盒的检测准确性及降低核酸检测成本达到批量化生产两部分。Fang 等<sup>[4]</sup>开发了一个全自动核酸分析平台, 将生物样品分析的所有检测步骤集成一个封闭的一次性盒中后, 该平台所设计的电路和驱动器可以满足病原体快速检测的需要, 可在 2 h 内获得检测结果。Dong 等<sup>[5]</sup>为了实现全自动盒无污染的核酸检测, 提出了一种封闭式盒式系统, 制造了一种盒式驱动装置, 用于在孔与孔之间转移试剂, 控制每个反应的温度, 并检测孔中的颜色, 判断检测结果。Liu 等<sup>[6]</sup>与他的团队设计、构建和测试了一种简单、低价、方便的一次性试剂盒, 用于检测从病原体中提取的核酸, 配备 FYA 膜进行分离、浓缩、纯化 RNA, 并且通过盒外部的薄膜加热器进行消毒。以上学者从不同角度对提高核酸检测试剂盒的便携度、核酸检测速度、检测成本和解决核酸检测试剂盒使用后的污染问题进行了探索, 并有针对性地解决了部分问题, 但没有考虑到在疫情防控中, 人们会受疫情的影响而产生焦虑、紧张、害怕等情绪。在设计产品时, 情感和温度被用作信息传递的重要手段, 产品成为了传递这种信息的载体。融入伦理关怀设计理念的产品表现出社会对于“人”的重视, 它在产品与“人”之间构建了一种信任的关系, 让人们在使用产品的过程中, 可以感受到被关怀。

通过对市场现有的检测试剂盒调研, 结合专家的建议发现, 现有的核酸检测试剂盒使用完后, 必须进行严格的消毒处理, 才能丢弃。如果核酸检测试剂盒没有经过严格的消毒处理, 试剂盒上残存的病毒容易扩增繁衍, 从而产生再次污染的风险。并且大量研究表明, 个体在经历创伤后可能会出现诸如焦虑、抑郁和创伤后应激障碍等消极心理<sup>[7]</sup>。当在试剂盒上看到显示为阳性后, 部分人群可能会产生以上消极心理, 导致忘记或没有心情去消毒、销毁检测后的核酸检测试剂盒, 从而造成二次污染, 导致病毒传播。对核酸检测试剂盒进行改良设计, 既保护自身安全, 又关怀他人健康, 体现出一种伦理关怀中的责任。

根据国家知识产权局官网检索分析已有专利及商品, 结合 TRIZ 进化曲线, 可得出当前关于核酸检测试剂盒设计方案正处于发展阶段中的婴儿期。现有核酸检测试剂盒方案 2 种: 一体化的检测装置盒和一次性的试剂盒。一体化核酸检测装置如图 1 所示, 只能应用于家庭等人数较少的地方, 该产品通过加热来进行消毒, 检测操作简单, 但设备成本较高, 且反复使用易造成交叉感染。一次性的试剂盒见图 2 所示, 虽然能够解决成本问题, 且是一次性产品, 使用起来会更卫生, 但是使用步骤复杂, 在使用后需要进行严格消毒才能丢弃, 不然易再次造成污染, 对安全存在一定的威胁。因此, 本研究将 AD 与 TRIZ 理论相结合, 以提高核酸检测效率、解决医疗垃圾二次污染、绿色可持续为出发点, 设计研发一款从源头解决污染问题、体现伦理关怀的核酸检测试剂盒。

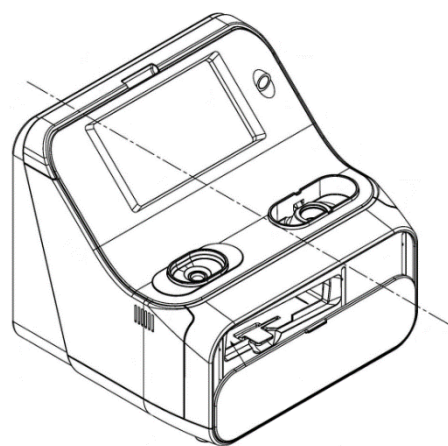


图 1 一体化检测装置盒  
Fig.1 Integrated detection device kit

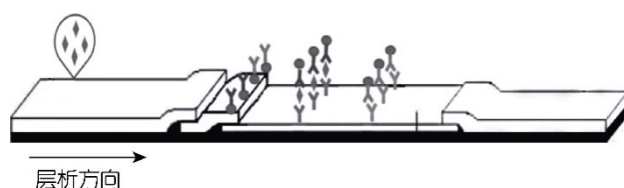


图 2 一次性抗原检测试剂盒  
Fig.2 Disposable antigen detection kit

## 2 基于 AD 和 TRIZ 的优化设计流程

### 2.1 公理设计

公理设计 (Axiomatic Design, AD) 作为设计决策方法之一, 对产品设计领域有着重要影响。AD 将设计划分为 4 个域: 用户域表示用户需求; 功能域表示产品所要实现的一系列功能; 物理域表示满足功能需求的设计参数; 过程域表示设计过程中的工序和工艺的变量集合。AD 在产品设计过程中, 先将提取到的用户需求转化为功能需求, 再通过功能需求映射与

迭代到设计参数中去, 为设计提供最为合理的决策判断<sup>[8]</sup>, 见图 3。公理设计包括独立公理和信息公理, 独立公理研究核心在于保持功能需求之间的独立性, 信息公理则是通过比较设计方案的信息含量, 将信息量最少的方案定义为最佳方案<sup>[9]</sup>。在核酸检测试剂盒改良设计中, 主要涉及独立公理, 本次研究的重点在于帮助设计人员识别、记录并理解功能耦合。设计人员需要将用户需求转化为功能需求, 并建立设计矩阵, 通过独立公理判断系统设计的耦合性, 将符合独立公理的系统设计作为候选设计方案。

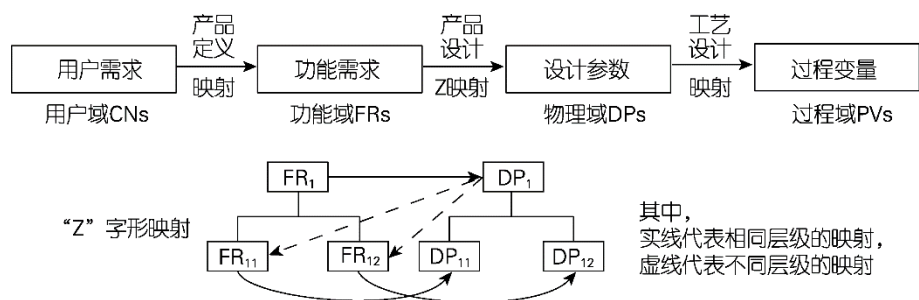


图 3 AD 理论产品设计过程  
Fig.3 Product design process based on AD theory

### 2.2 发明问题解决理论

TRIZ 理论为前苏联教育家阿奇舒勒及其课题组在对大量专利与创新案例进行分析后归纳而成。这是一种以知识为基础, 以人类为导向, 以发明问题求解为目的的系统化方法学。TRIZ 理论以解决技术系统内的矛盾为核心, 重点在于明确并强调系统内的矛盾问题, 目的在于彻底解决矛盾问题, 并得到最终优化的具体问题解决方<sup>[10]</sup>。目前, TRIZ 理论在产品创新及改良设计领域被广泛使用, 其应用的一般流程见图 4。

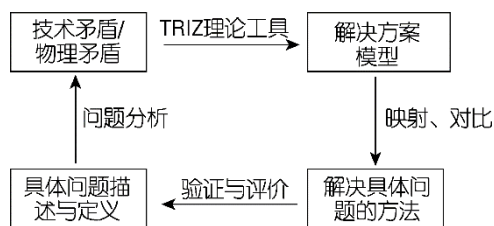


图 4 TRIZ 理论解决问题的基本流程  
Fig.4 Basic process of solving problems with TRIZ theory

### 2.3 AD 与 TRIZ 集成模型构建

AD 和 TRIZ 两大理论在应用中各有优势, 但也存在不足之处。AD 理论能够通过参数映射的方式, 把功能域的功能需求映射到物理域上的设计映射矩阵中, 从而判断设计是否为最佳设计, 但是并不能给问题求解提供最佳途径<sup>[11]</sup>; TRIZ 的优势在于对具体矛盾问题的解决, 获得最终的理想解, 使设计产品更

接近实际。国内外众多学者建议将二者有机地融合在一起, 各取所长 (取长补短)。Awasthi 等<sup>[12]</sup>认为, AD 可以更准确地帮助决策者来选择最优方案, 常用于设计方向指导和最佳方案选择。杨涛等<sup>[13]</sup>提出扩展 AD 理论设计矩阵, 可有效降低设计参数所含的信息量, 并应用该拓展 AD 理论进行了新型康复机器人设计开发。张璞等<sup>[14]</sup>运用集成 AD 和 TRIZ 的创新方法重新设计了箱式电梯的防疫功能模块, 针对传统箱式电梯分别设计非接触式交互控制模块和分条件消毒灭菌模块。胡康等<sup>[15]</sup>以 AD 框架型设计流程为主线, 利用 TRIZ 解决方案中的矛盾冲突, 结合 AD 信息公理评价方法进行方案筛选, 建立其产品创新设计模型, 并将其用于消防头盔方案设计中, 验证该方法的可行性和合理性。

通过以上研究可以发现, AD 是用于帮助设计人员了解设计问题, 进而综合分析设计需求、解决方案及解决流程的普适方法<sup>[13]</sup>。独立公理在强调功能需求间的独立性时, 主要是依靠设计人员的主观感受, 缺少保持独立性的工具, 而 TRIZ 关注特定功能实现路径, 为设计人员提供了大量的设计工具, 能够产生高效的产品结构设计方案。通过将二者进行整合运用于产品设计中, 可以提高产品设计效率和质量, 缩短研发周期并降低产品成本。在实际应用中, 可根据独立公理进行产品功能分析, 将其中的功能需求矛盾描述为 TRIZ 问题, 再利用 TRIZ 工具得到问题解决方法。因此, 本文将基于 AD 与 TRIZ 集成方法对核酸检测试剂盒进行改良设计。

集成 AD 与 TRIZ 的设计步骤为: (1) 采用公理

化设计方法,分析产品功能需求、设计方案中各设计参数的映射关系;(2)根据产品的功能和性能做出是否符合产品独立性要求的判断;(3)利用 TRIZ 工具,对映射不符合独立公理要求的设计矩阵融入 AD 矛盾问题中进行解耦处理;(4)经过多次迭代求解后得到独立的设计矩阵,从而得到满足客户需求的设计方案,其流程见图 5。

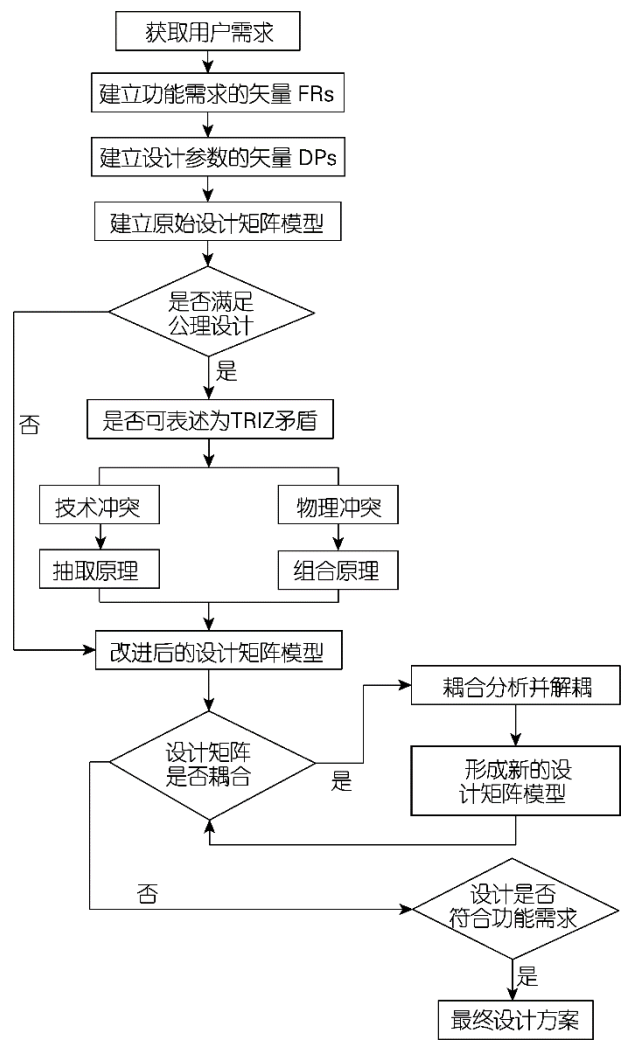


图 5 集成 AD 和 TRIZ 理论的产品开发模型流程

Fig.5 Development model process of product integrating AD and TRIZ theories

3 设计实例

在疫情常态化的发展背景下,公共健康已成为全球化时代无法规避的主题<sup>[16]</sup>。为了防止病原体传染,从源头进行消毒处理,争取以较低的成本和简单的技术改善试剂盒安全问题,利用本文所提出的集成 AD 和 TRIZ 的设计方法,对核酸检测试剂盒消毒模块进行设计。通过获取用户域功能信息,产生特定功能需求信息,并在功能域(FR)到物理域(DP)之间进行 TRIZ 功能整合和映射,最后结合信息公理进行方

案评价,优选出最终方案。

3.1 基于 AD 的功能设计分析

集成 AD 与 TRIZ 理论进行产品设计是以用户为中心的,在产品开发过程中为了获得更加丰富的用户需求信息,通过对相关专家和用户展开深度访谈,搜集了相关数据。以核酸检测试剂盒为研究对象,分析人们在进行自我检测时的使用步骤,并对检测时的具体行为进行描述,见表 1。

表 1 用户进行自我检测的行为描述

Tab.1 Description on behaviors of users conducting self-testing

| 活动序号 | 行为内容描述                         |
|------|--------------------------------|
| 1    | 使用拭子收集鼻/鼻咽/口咽分泌物               |
| 2    | 撕掉提取管上的密封膜                     |
| 3    | 将拭子头浸入检测试纸条配套的,含保存液的采样容器中      |
| 4    | 将拭子头在保存液中旋转混匀,同时用手隔着采样管外壁挤压拭子头 |
| 5    | 用手隔着采样管外壁拭子头液体挤干后,将拭子弃去        |
| 6    | 采样管盖盖上后,将液体垂直滴入检测卡样本孔中         |
| 7    | 等待检测结果                         |

通过对使用核酸检测试剂盒的活动过程可获取以下信息:要使用核酸检测试剂盒自测,不仅需要考  
虑使用者的个人需求,也需进一步考虑用于检测过程中、过程后的病毒传染风险和使用时的心理状态,保持愉悦的情绪是抵御病毒强有力的保障。依据使用检测盒的活动行为来提取用户需求的关键信息。

本次研究从核酸检测盒的功能要求出发,将检测盒的防疫功能和其映射的结构,视为功能需求和结构的最高层级,分别为  $FR_s(F_s)$  与  $DP_s(D_s)$ 。在此基础上,根据这两个层级所包含的具体功能要求建立相应的矩阵模型,第 2 层级的功能需求加入检测盒原有的功能设计矩阵模型中,见表 2。

表 2 第 2 层级的功能需求映射

Tab.2 Functional requirement mapping at level 2

| $F_s$ | 功能需求    | $D_s$ | 设计参数     |
|-------|---------|-------|----------|
| $F_1$ | 检测功能    | $D_1$ | 检测结果面板   |
| $F_2$ | 操作和取样功能 | $D_2$ | 样本混合提取结构 |
| $F_3$ | 病毒防控功能  | $D_3$ | 病毒消杀结构   |

对第 2 层级的功能需求分解的具体设计方程如下:

$$\begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & X \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \end{bmatrix} \tag{1}$$

式中：[F]与[D]对应功能需求与设计参数之间的联系；X 代表两者之间存在联系；0 则代表不相关。该矩阵为对角阵，属于无耦合设计。

将第二层级中的功能需求  $F_2$  与  $F_3$  进一步分解为下一层次的功能需求及其对应的结构（见表 3—4）。

表 3 对  $F_2$  功能分解映射  
Tab.3 Decomposition mapping of  $F_2$  function

| $F_S$    | 功能需求   | $D_S$    | 设计参数 |
|----------|--------|----------|------|
| $F_{21}$ | 样本提取功能 | $D_{21}$ | 拭子   |
| $F_{22}$ | 试剂混合功能 | $D_{22}$ | 试管   |

表 4 对  $F_3$  功能分解映射  
Tab.3 Decomposition mapping of  $F_3$  function

| $F_S$    | 功能需求   | $D_S$    | 设计参数    |
|----------|--------|----------|---------|
| $F_{31}$ | 病毒消杀功能 | $D_{31}$ | 消毒装置    |
| $F_{32}$ | 隔离接触功能 | $D_{32}$ | 封闭式操作装置 |

至此，已经对符合疫情防控要求的核酸检测试剂盒有关功能与结构进行了分解，得到设计矩阵模型如下：

$$\begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 & X & 0 \\ 0 & X & 0 & 0 & X \\ 0 & 0 & X & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \\ D_4 \\ D_5 \end{bmatrix} \quad (2)$$

通过式（2）可以发现，该矩阵内部耦合度过高，不满足独立公理设计，所以从功能上利用 TRIZ 实现试剂盒的结构进行解耦。

3.2 设计矛盾分析

通过式（2）可以看出，初始设计方案中主要包含 2 个矛盾。

矛盾 1：检测功能与消毒装置之间的矛盾，即  $F_1$  与  $D_{31}$ 。现有的核酸检测试剂盒没有消杀功能，但在疫情期间，检测核酸提取的样本具有传染性，直接将样本进行检测完就丢弃，存在二次感染风险，避免病毒进一步地扩散传播。即检测功能与样本中病毒消杀功能之间存在矛盾。

矛盾 2：操作和取样功能与封闭式操作装置之间的矛盾，即  $F_2$  与  $D_{32}$ 。目前，使用核酸检测试剂盒提取样本需要使用者自己将保存液与拭子进行混合，在这个过程中，会直接接触到样本，有样本被破坏及污染的风险，且操作流程复杂。即样本提取功能与避免使用者直接接触操作装置之间存在矛盾。

通过分析可发现，存在 1 组物理冲突和 1 组技术冲突，将他们转化为 TRIZ 问题模型，在保证核酸检测试剂盒检测效率的同时，添加消毒装置，消除检测过程中产生的有害因素。在提取样本的操作流程中，为减少使用者与产品的直接接触，需要将样本提取功

能设计在一个封闭的容器内，即改善参数为形状，恶化参数为物质损失。根据改善和恶化的工程参数，即建立 TRIZ 冲突问题模型，见表 5。

表 5 TRIZ 冲突问题模型  
Tab.5 TRIZ conflict model

| 编号 | 冲突需求              | 通用工程参数           | 矛盾类型 |
|----|-------------------|------------------|------|
| 1  | 检测功能<br>消毒装置      | 31 物体产生的有害因素     | 物理矛盾 |
| 2  | 操作取样功能<br>封闭式操作装置 | 12 形状<br>23 物质损失 | 技术矛盾 |

利用上表中所分析出的发明原理解决方案，根据核酸检测试剂盒设计的具体情况和要求，对得到的各个发明原理进行分析筛选，针对物理矛盾，利用 4 个分离原理使双方分离。经研究发现，核酸采集过程分为 3 个部分，在消毒功能与采样功能存在冲突的情况下，可将 2 个步骤布置到不同的时间段内，以降低解决问题的难度。因此，采用时间分离原理解决上述物理矛盾；对于技术矛盾，取样和检测这 2 个步骤在一定程度上增加了暴露风险，应避免使用者与样本的直接接触，改变产品结构，优化使用流程，减少不必要的操作。在确定工程参数后，利用阿奇舒勒冲突矩阵，对产生的技术矛盾进行解耦，见表 6。

表 6 TRIZ 问题解决方案  
Tab.6 TRIZ solutions

| 编号 | TRIZ 理论解决方案                      | 矛盾类型 |
|----|----------------------------------|------|
| 1  | 时间分离（9、10、11、15、16、18、19、34、37）  | 物理矛盾 |
| 2  | 35 参数变化、29 气动与液压结构、03 局部质量、05 组合 | 技术矛盾 |

对于矛盾 1，初始设计时，要求对提取的样本在检测结果出来前进行消杀工作，以保证检测结果的准确性。然而，这一要求可能会对检测效率和结果产生不利影响。根据分析，将采用发明原理 10（预先作用）、11（事先防范）来解决该矛盾。

在检测盒中预先安置消毒装置，并根据检测盒中是否提取样本来决定是否使用消毒装置，当样本没有提取完成时，检测盒的消毒装置无法使用；当样本提取完后，消毒液流入样本中，对病毒进行消杀。在实际应用中，采用胍盐保存液灭活对标本核酸检测结果无负面影响<sup>[17]</sup>，进行消毒后，在观察窗等待结果。在整个使用过程中，将消毒步骤从检测后提前至提取样本后，减去了一些不必要的步骤，且提高了产品使用的安全度。

对于矛盾 2，初始设计时要求样本提取过程中无直接接触的操作装置，但是样本的提取需要保存液与拭子完全混合，难以避免会直接接触到保存液或拭

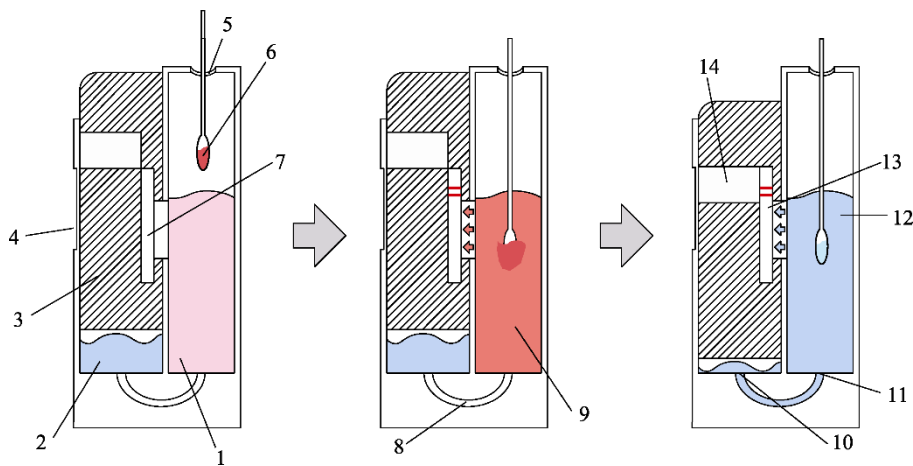
子。根据分析, 选取发明原理 5 的“组合”原理来解决该矛盾。

根据使用拭子提取样本、将拭子与保存液混合这一操作流程, 原始的核酸检测试剂将其分为 3 个模块, 分别进行操作, 但是经过多次实践发现, 在操作过程中容易将保存液洒出, 造成污染。于是将 3 个模块组合为一体, 将其控制在一个密封容器内提取、混

合及检测, 保证内部溶液不流出, 避免溶液与外界接触, 提高产品的易用度。

3.3 基于 TRIZ 的矛盾解决

针对以上 2 个矛盾的解决方案, 完善了对核酸检测试剂盒初始设计方案。将功能需求  $F_{31}$  和  $F_{32}$  分别并到  $F_1$  和  $F_2$  中, 形成一种新的设计方案, 见图 6。



1-活化剂 (未采样); 2-消毒液容纳腔; 3-活塞; 4-观察窗; 5-采样口; 6-拭子 (已采样); 7-检测卡; 8-连通管; 9-活化剂 (已采样); 10-连通管阀门 (入口); 11-连通管阀门 (出口); 12-活化剂 (已消毒); 13-检测卡 (已完成检测); 14-观察通道

图 6 工作流程与结构  
Fig.6 Workflow and structure

通过采用上述技术方案, 将壳体内部分为检测区和洗脱区, 采样完的拭子置入洗脱区内, 经过一段时间后, 拭子与活化剂完全混合, 按压内盒, 消毒液进入连通管并通过检测连接孔滴在检测卡上, 等待一段时间后便可以判断是阴性还是阳性。整个过程中不需要将活化剂在不同的装置间转移, 简化了操作过程, 且只有在消毒后, 使用者才能在观察窗看到检测结果。通过设计建立并维系关怀关系, 不管得到怎样的检测结果, 都需要遵守消毒流程, 使人们了解到二次传播的危害性, 实现合理社会秩序的目的。对需求  $F_1$  进行功能分解, 其描述如表 6 所示。

表 6 检测功能分解映射  
Tab.6 Detection function decomposition mapping

| $F_S$ 功能需求                | $D_S$ 设计参数                                   |
|---------------------------|----------------------------------------------|
| $F_1$ 可消毒的检测功能            | $D_1$ 具有消毒功能的检测装置                            |
| $F_{11}$ 样本采集判断功能         | $D_{11}$ 可控制的消毒装置。在采集样本后结果显示前可触发             |
| $F_{12}$ 对检测效率和结果无影响的消毒功能 | $D_{12}$ 无影响的消毒装置。采用对核酸检测结果无影响的胍盐保存液对样本进行消毒。 |

对需求  $F_2$  功能分解, 其描述如表 7 所示。  
对  $F_1$  功能分解的具体设计方程如下:

$$\begin{bmatrix} F_{11} \\ F_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 \\ X & X \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} D_{11} \\ D_{12} \end{bmatrix} \quad (3)$$

表 7 操作和取样功能分解映射  
Tab.7 Operation and sampling function decomposition mapping

| $F_S$ 功能需求             | $D_S$ 设计参数                    |
|------------------------|-------------------------------|
| $F_2$ 间接接触的操作和取样功能     | $D_2$ 无直接接触样本的混合提取结构          |
| $F_{21}$ 与样本无直接接触的取样功能 | $D_{21}$ 模块化结构。取样操作结构分为不同模块装置 |
| $F_{22}$ 无接触样本混合提取功能   | $D_{22}$ 一体化封闭操作控制装置          |

对  $F_2$  功能分解的具体设计方程如下:

$$\begin{bmatrix} F_{21} \\ F_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 \\ 0 & X \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} D_{21} \\ D_{22} \end{bmatrix} \quad (4)$$

由独立公理可知, 对  $F_1$  分解后的式 (1) 为解耦设计, 对  $F_1$  分解后的式 (2) 为独立设计方程, 符合独立公理的设计原则, 由此可以得知该设计方案是可行的。

3.4 最佳方案筛选

结合 TRIZ 理论和 AD 理论进行核酸检测试剂盒设计规划后, 试剂盒的主体结构已基本形成。采用一体化的设计思路, 将使用核酸检测试剂盒的过程在一个整体内完成, 同时将消毒结构置于核酸检测试剂盒的内部, 避免溶液流出, 使其满足疫情防控的总体需求。后续的造型设计应体现功能诉求, 满足大部分人

的使用习惯，并体现医疗产品独特的美学风格，主要包括 4 个方面内容：（1）在产品的操作习惯上符合人机工程学原理，产品具有易用性、通用性。（2）将各物理部件集成，可以减少设计中的信息量，使试剂盒的操作变得更为合理的同时降低部件操作的复

杂性。（3）试剂盒的材料选择应以环保为主，使用低成本的可降解材料；（4）造型上应给人一种高效、精密、安全、健康的意向，让人从心理上更愿意接受且使用产品。

综合上述分析，设计了 3 种方案，见图 7。

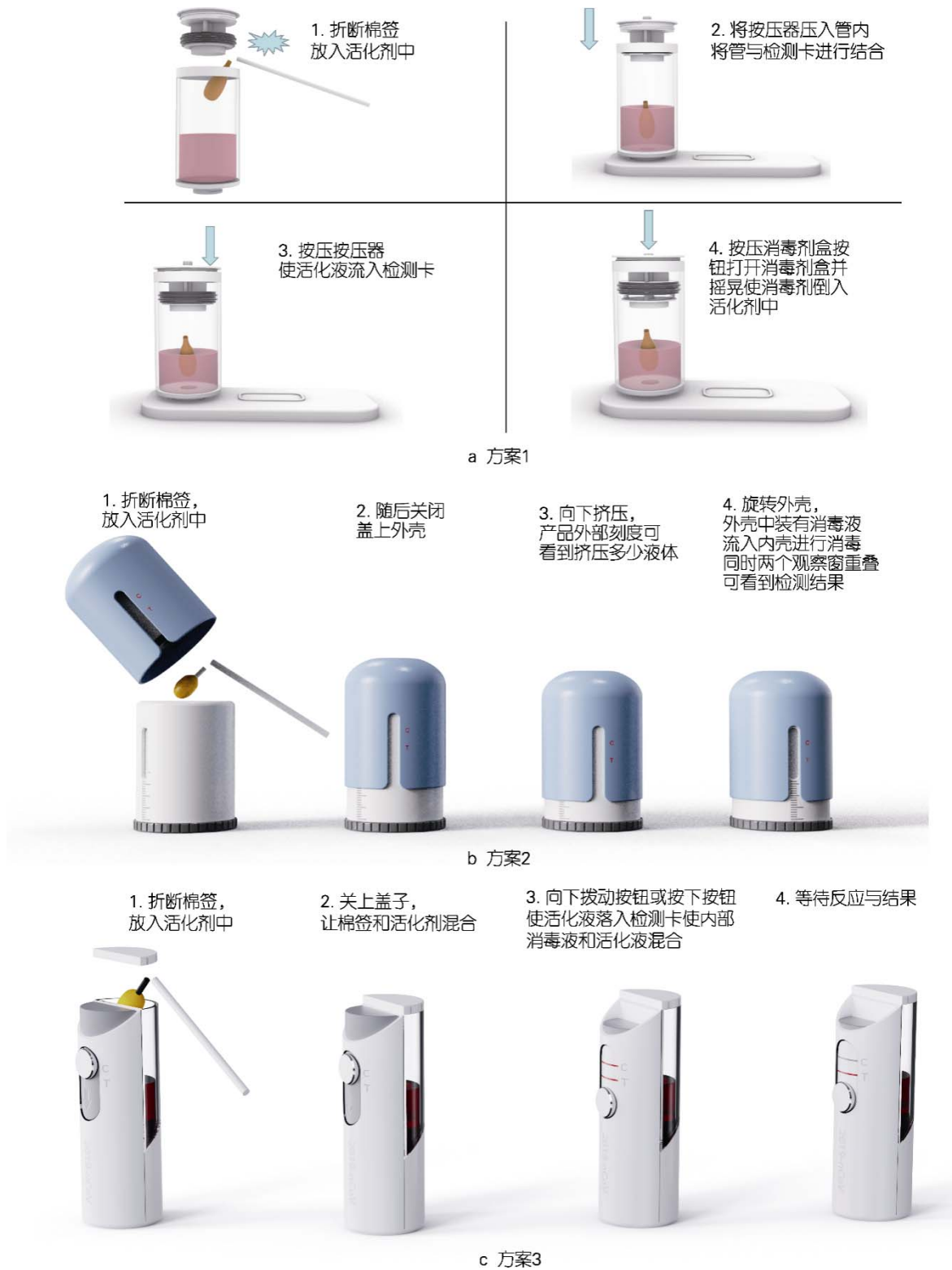


图 7 方案设计效果  
Fig.7 Design renderings of scheme

对3种方案进行了对比分析,结果表明:方案3在形态上较为整体,使用方式更为简单,造型和色彩搭配上更为均衡、协调,整体给人带来亲切、友好的意向。经过专家对美学特征、成本和操作难度等维度的评估后,最终确定方案3为最佳方案。

此设计涉及采样、反应、检测一体化装置,包括壳体 and 检测盒,壳体内设有检测区和消毒区的上分隔板。采样完的拭子置入消毒区内,经过一段时间后,将内盒活动至进液孔与出液孔正对的位置,使消毒液进入空腔,并通过检测连接孔滴在检测卡上,等待一段时间后即可以判读是阴性还是阳性。整个过程中不需要将消毒液在不同的装置间转移,简化了操作过程,保障了使用者的安全,让人们在使用产品时能够感受到关怀,加强共同抗击疫情的使命感,促进社会关系的和谐。

#### 4 结语

本研究通过构建集成AD与TRIZ设计流程,运用到核酸检测试剂盒改良设计中。充分分析了用户需求,证实了阻隔二次污染在核酸自测流程中的必要性。通过AD完成产品设计中功能到结构的映射,借助TRIZ冲突的标准求解方法,使核酸检测试剂盒达到了杀毒灭菌和降低传染风险的要求。研究结果表明:将AD与TRIZ集成设计流程运用于核酸检测试剂盒的改良设计中,能精准分析并捕捉实际需求,快速找准设计方向,开发出的核酸检测试剂盒,使人与人之间构建一种关怀联系,能够给人们在疫情防控中带来信心和力量。将伦理关怀融入产品的改良与开发设计中,关注产品使用感受,让人们在疫情中感受到温度、温暖与温情,病毒可以被隔离,但关怀温暖永远都在。本研究也存在一定的不足,在需求选取上不够客观,且在产品实际设计阶段对材料、成本等属性研究不够深入。据此在后续研究中,将通过更有效、客观的方法对产品进行更深层次的探索。

#### 参考文献:

- [1] 谭德礼,蒋颖荣. 常态化疫情防控中的伦理关怀[J]. 道德与文明, 2021(5): 114-121.  
TAN De-li, JIANG Ying-rong. Ethical Care in the Regular Epidemic Prevention and Control[J]. Morality and Civilization, 2021(5): 114-121.
- [2] 李颖. 疫情背景下的智能传播与人文关怀——AI主播传播效度[J]. 中国电视, 2021(9): 72-76.  
LI Ying. Intelligent Communication and Humanistic Care Under the Background of Epidemic Situation—effectiveness of Ai Anchor Communication[J]. China Television, 2021(9): 72-76.
- [3] 戴云亭. 知常曰明——基于人文关怀理念的香烟灭烟器设计[J]. 装饰, 2016(1): 132-133.
- DAI Yun-ting. Know Before You Do: The Cigarette Extinguisher Design Based on the Concept of Humanistic Concern[J]. Zhuangshi, 2016(1): 132-133.
- [4] FANG Yi-le, LIAO Pei, LI Song, et al. Design and Implementation of the Control Circuit and Driver for a Cassette-Based Fully Automated Nucleic Acid Analyzer[J]. Nanoscience and Nanotechnology Letters, 2017, 9(5): 650-659.
- [5] Dong Tian-hui, Ma Xue-ping, Sheng Nan, et al. Point-of-care DNA Testing by Automatically and Sequentially Performing Extraction, Amplification and Identification in a Closed-type Cassette[J]. Sensor Actuat B- Chem. 2021, 327:128919.
- [6] LIU Chang-chun, GEVA E, MAUK M, et al. An Isothermal Amplification Reactor with an Integrated Isolation Membrane for Point-of-Care Detection of Infectious Diseases[J]. The Analyst, 2011, 136(10): 2069- 2076.
- [7] 徐慰,姜慧丽,张伊,等. 红十字会救援人员的心理创伤反应及预测因素[J]. 中国临床心理学杂志, 2019, 27(1): 181-184, 188.  
XU Wei, JIANG Hui-li, ZHANG Yi, et al. Responsiveness and Predictors of Red Cross Rescue Workers' Psychological Trauma[J]. Chinese Journal of Clinical Psychology, 2019, 27(1): 181-184, 188.
- [8] 苏珂,徐聪. 基于公理设计的产品结构设计模型研究[J]. 包装工程, 2020, 41(10): 136-143.  
SU Ke, XU Cong. Axiomatic Design Based Structural Design Model[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(10): 136-143.
- [9] 程贤福,杨艳芳,徐新辉. 基于信息公理的产品平台可适应性评价方法[J]. 机械设计与研究, 2016, 32(1): 68-71, 79.  
CHENG Xian-fu, YANG Yan-fang, XU Xin-hui. An Evaluation Method of Product Platform Adaptability Based on Information Axiom[J]. Machine Design & Research, 2016, 32(1): 68-71, 79.
- [10] 郜红合,曾旭,赵谦. 基于TRIZ理论的公共扶手消毒装置设计[J]. 包装工程, 2021, 42(18): 333-340.  
GAO Hong-he, ZENG Xu, ZHAO Qian. Design of Public Handrail Disinfection Device Based on TRIZ Theory[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(18): 333-340.
- [11] 李军,张勇,刘玉川. 应急救援车概念创新设计中的QFD<sub>TRIZ</sub>集成方法[J]. 中国工程机械学报, 2018, 16(1): 35-41.  
LI Jun, ZHANG Yong, LIU Yu-chuan. QFD<sub>TRIZ</sub> Integration Method in Concept Design of Emergency Rescue Vehicle[J]. Chinese Journal of Construction Machinery, 2018, 16(1): 35-41.
- [12] AWASTHI A, OMRANI H. A Goal-Oriented Approach Based on Fuzzy Axiomatic Design for Sustainable Mobility Project Selection[J]. International Journal of Systems Science: Operations & Logistics, 2019, 6(1): 86-98.

- [13] 杨涛, 高学山, 彭晋民, 等. 基于扩展 AD 理论的下肢康复机器人概念设计研究[J]. 机械设计, 2018, 35(7): 114-118.  
YANG Tao, GAO Xue-shan, PENG Jin-min, et al. Lower Rehabilitation Robot Concept Design Based on Extended AD Theory[J]. Journal of Machine Design, 2018, 35(7): 114-118.
- [14] 张璞, 王峻峰, 高一聪, 等. 集成 AD 和 TRIZ 的箱式电梯防疫功能创新设计[J]. 工程设计学报, 2021, 28(3): 305-311.  
ZHANG Pu, WANG Jun-feng, GAO Yi-cong, et al. Innovative Design of Box Elevator Epidemic Prevention Function Integrating AD and TRIZ[J]. Chinese Journal of Engineering Design, 2021, 28(3): 305-311.
- [15] 胡康, 许芳婷, 艾险峰. 集成 AD 与 TRIZ 的消防头盔创新设计方法[J]. 机械设计, 2017, 34(12): 111-115.  
HU Kang, XU Fang-ting, AI Xian-feng. Innovation Design Method of Fire Helmet Based on the Integration of AD and TRIZ[J]. Journal of Machine Design, 2017, 34(12): 111-115.
- [16] 谢瑜, 李玉梅. 抗疫中的价值理性与伦理关怀[J]. 道德与文明, 2021(4): 122-128.  
XIE Yu, LI Yu-mei. Value Rationality and Ethical Concern in the Process of Fighting the Epidemic[J]. Morality and Civilization, 2021(4): 122-128.
- [17] 何剑锋. 不同灭活方式对新型冠状病毒标本核酸检测效率的影响[J]. 中国消毒学杂志, 2022, 39(3): 177-179.  
HE Jian-feng. The Effect of Different Inactivation Methods on the Efficiency of Nucleic Acid Detection of SARS-CoV-2 Samples[J]. Chinese Journal of Disinfection, 2022, 39(3): 177-179.

责任编辑: 陈作

(上接第 214 页)

- [9] 廖勇强. 下肢外骨骼机器人结构可拓设计与仿真研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2016.  
LIAO Yong-qiang. Research on Extension Design and Simulation for Lower Extremity Exoskeleton Robot's Structure[D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2016.
- [10] 徐敬. BGC45 抱罐车结构优化与试验测试研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2012.  
XU Jing. Structural Optimization and Testing Research of the BGC45 Slag Pot Carrier[D]. Changsha: Hunan University, 2012.
- [11] KANO N, SERAKU N, TAKAHASHI F, et al. Attractive Quality and Must-be Quality[J]. Journal of the Japanese Society for Quality Control, 1984, 14(2): 39-48.
- [12] 侯智, 陈世平. 基于 Kano 模型的用户需求重要度调整方法研究[J]. 计算机集成制造系统, 2005, 11(12): 1785-1789.  
HOU Zhi, CHEN Shi-ping. Regulatory Method for Importance of Customers' Requirements Based on Kano Model[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2005, 11(12): 1785-1789.
- [13] 陈嫵, 宁萌, 徐相凯, 等. 基于 Kano 模型的家用户移位辅助设备设计[J]. 机械设计, 2016, 33(12): 109-114.  
CHEN Yan, NING Meng, XU Xiang-kai, et al. Design of Home-Use Auxiliary Shifting Equipment Based on Kano Model[J]. Journal of Machine Design, 2016, 33(12): 109-114.
- [14] 孟庆良, 何林. 基于模糊 KANO 模型的质量属性分类方法及其应用[J]. 工业工程, 2013, 16(3): 121-125.  
MENG Qing-liang, HE Lin. Fuzzy-KANO-Based Classification Method and Its Application to Quality Attributes[J]. Industrial Engineering Journal, 2013, 16(3): 121-125.
- [15] 杨春燕, 罗良维. 可拓创新方法在产品中的应用[J]. 包装工程, 2016, 37(14): 7-10.  
YANG Chun-yan, LUO Liang-wei. Application of Extension Innovation Method in Product Design[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(14): 7-10.
- [16] 杨春燕. 可拓创新方法[M]. 北京: 科学出版社, 2017.  
YANG Chun-yan. Extension Innovation Method[M]. Beijing: Science Press, 2017.
- [17] 赵燕伟, 周建强, 洪欢欢等. 可拓设计理论方法综述与展望[J]. 计算机集成制造系统, 2015, 21(5): 1157-1167.  
ZHAO Yan-wei, ZHOU Jian-qiang, HONG Huan-huan, et al. Overview and Prospects of Extension Design Methodology[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2015, 21(5): 1157-1167.

责任编辑: 马梦瑶