

doi: 10.12052/gdutxb.180127

基于TRIZ理论的一体式干手器执行机构创新设计

王丽丽¹, 杨杰^{1,2}, 梁锐¹, 张志明¹, 刘雄¹, 陆佳¹

(1. 广东工业大学 机电工程学院, 广东 广州 510006;
2. 广东创新方法与决策管理系统重点实验室, 广东 广州 510006)

摘要: 针对目前市场上的一体式干手器存在干手时间过长、废水回溅等用户体验不佳的问题, 运用TRIZ理论对该产品进行了系统创新设计. 基于功能分析辨识了系统组件之间的相互作用关系, 利用因果分析逐层梳理了问题产生的因果逻辑链条, 识别出需要重点解决的关键问题. 应用裁剪、物理矛盾与分离法则、物场模型与标准解等工具进行问题求解, 并得到一系列相应的解决方案. 最后, 基于不断提高理想度的进化法则对这些方案进行了综合优化与评价.

关键词: 干手器; TRIZ; 创新设计

中图分类号: TB472 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-7162(2019)04-0113-06

An Innovative Design of Integrated Hand Dryer Actuator Based on TRIZ Theory

Wang Li-li¹, Yang Jie^{1,2}, Liang Kai¹, Zhang Zhi-ming¹, Liu Xiong¹, Lu Jia¹

(1. School of Electromechanical Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China;
2. Guangdong Key Laboratory of Innovative Methods and Decision Management System, Guangzhou 510006, China)

Abstract: The integrated hand dryer currently used on the market has several problems such as the users having a poor experience in drying the hand for a long time and the waste water being splashed back. An innovative design of the product is systematically executed based on TRIZ, identifying the interaction of system components based on functional analysis, and using casual method to sort through the casual logic chain and root cause of the problem. Focusing on the key problem, results to solving problems are analyzed and several solutions obtained by the tools of Cutting Rules, Physical contradiction, Separation Rule, Filed Rule, Standard Solution etc. Ultimately, these programs have been comprehensively optimized and evaluated based on the principle of continuous improvement of ideals.

Key words: hand dryer; TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving); innovative design

干手器是一种卫浴间烘干双手或者吹干双手的洁具电器, 分为感应式自动干手器和手动干手器, 主要运用于宾馆、餐馆、科研机构、医院、公共娱乐场以及家庭的卫生间等场所. 相比于常规的纸巾擦手方式^[1], 干手器干手方式更加环保, 同时减少频繁添加纸巾的问题. 现阶段市面上的干手器主要为挂壁式干手器和一体式干手器两种. 挂壁式干手器出现较早, 占据了市场的大部分份额, 但销售量逐年递减; 一体式干手器出现较晚, 占据份额相对较小, 但销售量呈指数方式递增. 挂壁式干手器通常安装在洗手

池旁边的墙上^[2], 工作时通过红外感应装置来控制电路开关, 当感应装置在出风口检测到人手时, 控制开关闭合, 电热丝和电动机开始工作, 输出暖风烘干使用者双手, 当人手离开时, 控制开关断开, 电热丝和电动机停止工作. 这种干手器具有成本低、安装维修便捷及自动化程度高等优点, 但使用前人们需从水龙头移动到干手器, 在移动过程中占用使用者时间且手部的废水会在重力作用下滴落到地板, 造成地板二次污染, 增加清洁的工作量, 使用中存在噪声较大^[3]、细菌增生多^[4-7]、能耗大^[8]等问题, 影响用户体验.

收稿日期: 2018-10-17
基金项目: 广东省科技计划项目(2013B061000007)
作者简介: 王丽丽(1994-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为机械创新设计、技术创新方法.
通信作者: 杨杰(1974-), 男, 副教授, 主要研究方向为技术创新方法、机电系统智能控制等. E-mail: jiejyang@gdut.edu.cn

基于以上问题,一体式干手器孕育而生.它将水龙头和干手器组合在一起,使用者洗手之后便可直接干燥双手,有效避免了废水弄脏地板的问题,同时节省了使用者来回走动的时间.据统计,一体式干手器可将干手速度从30 s降低至10 s,碳排放量降低70%^[9].一体式干手器虽然较传统的挂壁式干手器有较大改善,但在实际使用过程中,又暴露出一些新的问题,主要是手部活动受限、干手时间长.本文基于TRIZ理论对该问题进行系统深入的分析,以期得到理想度更高的系列解决方案,从根本上改善或解决这些问题.

1 系统工作原理分析与问题识别

1.1 工作原理分析

一体式干手器为一种与水槽配套使用的设备^[10],其执行机构如图1所示.该设备合并有水龙头和干手器,该水龙头包括喷口、供水管与出水口,用于洗手时提供水流;干手器包括相对的左右手出风管、喷口,用于干手时提供高流速气流;立柱用于支撑喷口.洗手时,使用者将手置于出水口下方,根据检测系统检测到双手控制出水装置出水,水流流经供水管,从出水口流出,供使用者清洗双手;干手时,将双手展开分别置于左右出气孔下侧,根据检测识别系统检测到双手出风装置出风,气流经供水管与喷口及立柱之间的间隙的传输到达左右出风管,从出风管上分布的出气孔流出吹干双手,从而实现使用者洗手与干手的功能.

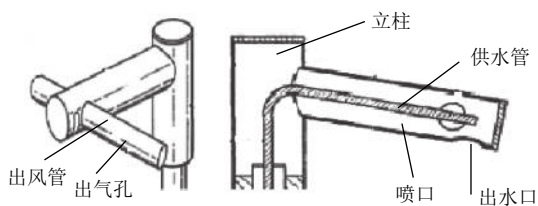


图1 一体式干手器执行机构

Fig.1 The executive agency of integrated hand dryer

1.2 问题识别与初步解决思路

通过对图1所示执行机构的分析可知:供水软管与气流共存于同一喷口管壁内,可在一定程度上缩小装置所占空间.由于供水软管存在一定的自由度,在喷口内气流的影响下位置发生变动并反作用于气流,改变气流的流向,影响干手效果.因此,需对干手器的位置进行一定的改进.

面对一个问题时,人们通常会在惯性思维的驱动下^[11],直接针对初始问题开始寻找解决方案.既然引起气流方向不稳定的主要原因是供水软管与气流相互作用改变了气流的方向,那么解决问题的直接

办法就是将相互接触的两者分开或者将供水软管固定.图2所示为一种一体式干手器水/气分离执行机构的初步解决方案.该方案将供水管与气流共存的喷口设计为喷口A与喷口B,喷口A走气,喷口B走水,从而将供水软管与出风口分离,以尽可能消除供水软管对气流的影响.

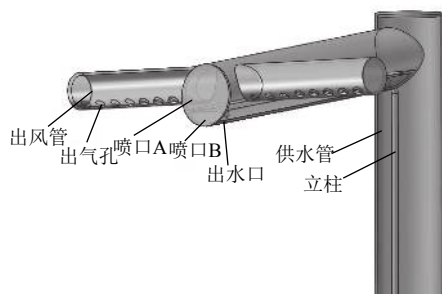


图2 一种一体式干手器水/气分离执行机构

Fig.2 The water/gas separation mechanism of integrated hand dryer

一体式干手器水/气分离执行机构消除了供水软管对气流的扰动,却加大了喷口的体积,缩小了手部活动空间;同时,出风管限制手部活动空间这一问题并没有得到解决.

2 系统功能分析与裁剪

功能分析可以识别系统组件及与超系统组件之间的相互作用^[12],发现不足、过度、有害等非充分作用的功能.而裁剪工具则是通过去掉某个组件的方式寻求问题的解决,同时会将所去掉组件的功能在系统与超系统组建内进行重新分配.

2.1 功能分析

按照功能分析的3个步骤,对一体式干手器以此进行了组件分析与相互作用分析,从而构建了如图3所示的执行机构功能模型图.在图3中,组件之间的主要作用为:水气分离的干手机机构的喷口由喷口A与喷口B构成;喷口B支撑内部的供水软管;喷口与其两侧出风管固定连接;出风管轴线方向上分布有出气孔;气流流经喷口A、出风管、出气孔从而作用于手部的废水,达到干手效果.通过分析,可发现非充分的功能主要为:出风管对手部空间的限制属于有害功能,出风孔处的气流对手部废水的刮除力属于不足功能.对于存在的有害作用以及不足作用,可以直接应用TRIZ的解决问题的工具,消除相应的有害作用,加强不足功能作用.

2.2 系统裁剪

裁剪法有3个基本规则^[13],规则A是指当功能对象不再需要存在或可被去掉时,已有功能载体可被

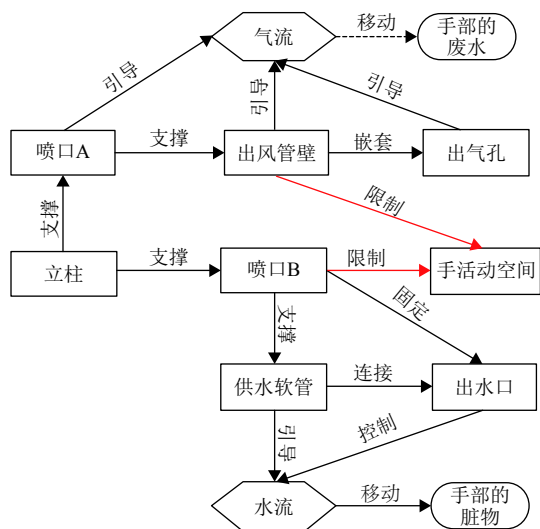


图3 执行机构功能模型图

Fig.3 The function model of executive agency

裁剪;规则B是指当功能对象能自我实现功能时,已有功能载体可被裁剪;规则C是指当能在系统或超系统内找到一个新的组件实现已有功能载体相同的功能,已有功能载体可被裁剪。

2.2.1 出风管壁的裁剪

由功能模型可知,出风管壁为导致手部活动间受限的问题组件。由功能模型可知:出风管提供嵌套出气孔、引导气流的有用作用及限制手活动空间的有害作用,喷口A提高支撑出风管壁、引导气流的有用功能,由于喷口A具有和出风管类似的壁厚,具有对出气孔的嵌套作用。根据裁剪规则C^[14-16]:技术系统或超系统中的其他组件可以完成A的功能,可对该组件进行裁剪,因此可对出风管壁进行裁剪,将其执行的有用功能重新分配。图4为出风管壁裁剪后结构示意图。

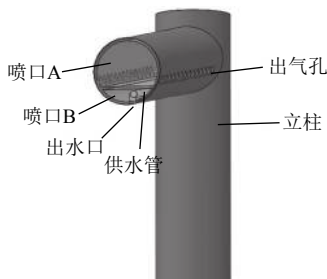


图4 出风管壁裁剪后结构示意图

Fig.4 Schematic diagram of cropped outlet wall

将出风管壁裁剪掉,将出气孔沿喷口A的轴向均匀分布,喷口A提供引导气流、嵌套出气孔的功能,从而保留了出风管壁的有效功能且消除了其阻碍手部活动空间的有害功能。使用者洗手后可以将双手置于喷口A两侧的出气孔下方干手。

2.2.2 裁剪方案的优化

由于喷口A与喷口B并行,喷口B占据一定的空间,阻碍使用者的双手.由功能模型图可知:喷口B提供支撑供水软管、固定出水口的有用功能及限制手部活动空间的有害功能,立柱具有与喷口B相类似的功能,因此可裁剪掉喷口B,由立柱支撑供水管.

基于使用者洗手习惯,出水口位于喷口A端部较为舒适。根据‘嵌套原理’的提示,可以将供水软管出水端部设置为类似钓鱼竿式的嵌套结构,供水管具有一定的刚度,从而可以实现自我支撑。干手时,嵌套供水管端面在水压的作用下向前伸出,出水口出水供使用者清洗双手;清洗结束后,供水系统停止供水,由于嵌套供水管向上倾斜一定的角度,在重力的作用下收缩到最短,为使用者提供干手空间;干手时,使用者将双手置于喷口两侧的出气孔下方干燥双手,图5为水管动态化示意图。

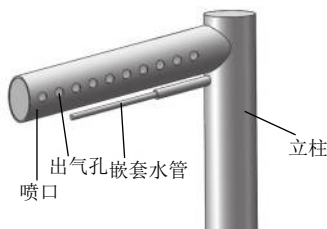


图 5 水管动态化示意图

Fig.5 Schematic diagram of dynamic water pipe

根据一体式干手器功能分析得到的问题组件, 可通过裁剪问题组件来增大一体式干手器的手部活动空间, 提高系统理想度、简化系统、降低成本及规避相应的专利^[14-16]. 同时, 在希望保留喷口B对供水软管的支撑功能又要求喷口B不占据空间的情况下尝试采用裁剪法来解决.

3 因果链分析与关键问题的解决

因果链分析通过建立初始缺点与底层缺点的逻辑关系^[17-18],找到解决问题的突破口.物理矛盾与分离法则、物场模型与76个标准解等解决问题的工具通过借鉴不同领域相类似的解决方案,提高解决问题的效率且使问题的解决更具可预见性.

3.1 因果链分析

通过功能模型并不能完全识别出关键问题及问题之间的因果逻辑关系,从初始问题“气流作用于手的时间过度”分析可得如图6所示的因果链分析,发现针对初始问题的TRIZ理论的功能分析显示的气流对手部废水的作用力不足从而引起干手时间长这一

问题^[16],通过功能模型图并不能找到解决问题的入口点,因此我们需要借助因果链分析图⁶,发现其直接原因是气流作用于手部的强度不足、气流流量不足、气流与手的接触面不足、气流相对于双手的移动速度不足,然后将此原因分别看做结果,再分析导致其下一层的原因,一直追到根本原因为止.原则上建议先从根本原因着手解决问题,因为一旦根本原因得到解决,中间问题有可能迎刃而解.若根本原因解决成本高、难度大,则逐层往上追溯.结合因果链分

析和项目实际要求,确定需要解决的关键问题点为出风管壁与手距离远和出风管壁长度不足.

经过对关键问题的分析得到对应的两对关键物理矛盾:(1) 矛盾一:对于出风管长度既要长又要短,长度短是因为需要为用户提供较大的手部活动空间;长度长是因为需要为用户提供更快的烘干效率.(2) 矛盾二:出风管与手距离既要近又要远,距离近是因为保证气流作用于手部的气流强度,距离远是因为要防止管壁碰撞双手.

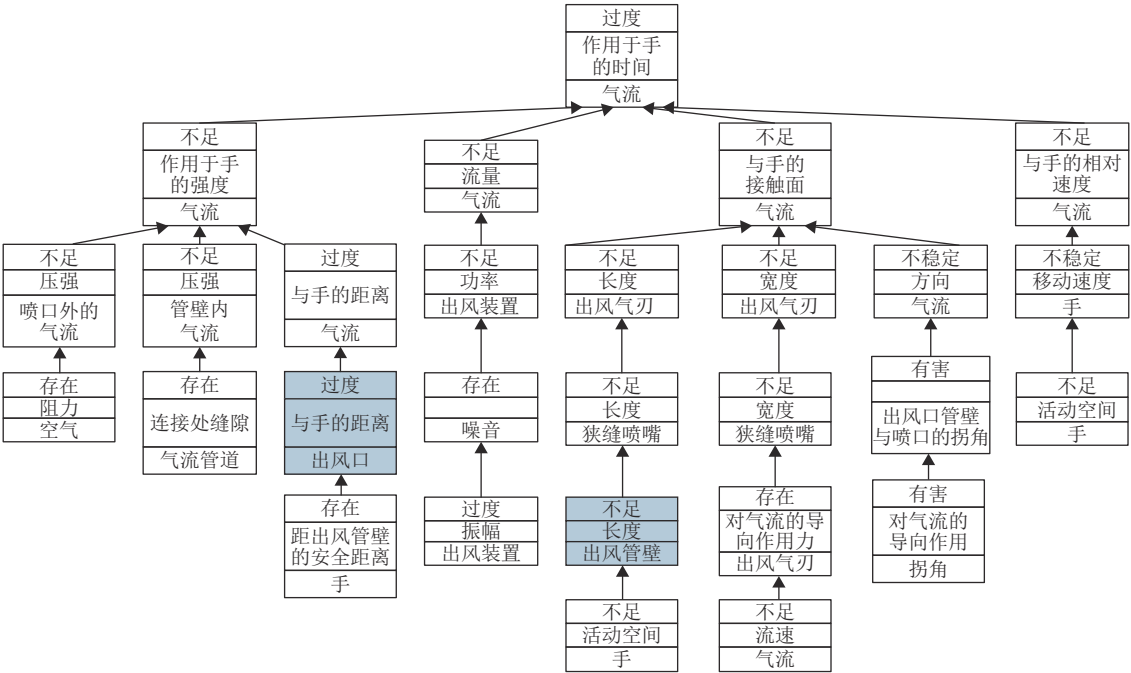


图 6 因果链分析

Fig.6 The analysis of causal chain

3.2 关键问题矛盾一的求解

3.2.1 基于时间分离法则分离矛盾

由问题一描述中存在的时间导向词可从时间分离角度寻找解决方案. 根据时间分离法则对应的NO.15动态特性原理的提示,改变喷口与出风管壁的固定连接方式,使出风管与喷口转动连接,优选在水平面内向与使用者相反的方向转动. 旋转的出风管可增大手部活动空间,但同时要求喷口长度大于自身长度,因此需对出风管壁长度进一步改进.

动态特性原理产生的问题分析后仍属于物理矛盾,根据时间分离原理的NO.07嵌套原理可以很好地解决长度限制问题. 在出风管动态旋转的基础上将出风管分为可以相互套叠的几部分,洗手/干手流程示意图如图7所示.

干手时,利用超系统中的气流对出风管根部楔形面的作用力使出风管转动到干手位置,气流对出

风管顶端的反冲力大于弹簧的拉力使嵌套的出风管伸展到最长状态;干手后出风装置停止出风,出风管在弹簧的拉力下收缩到最短状态;由于喷口向上倾

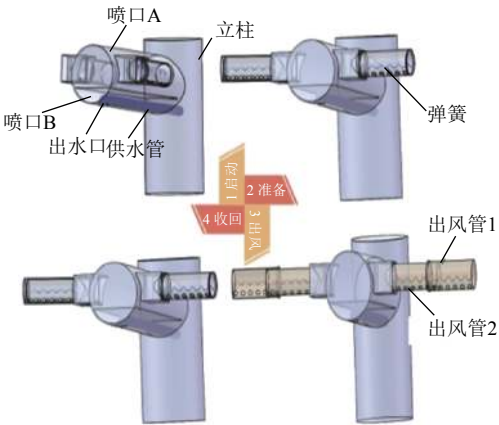


图 7 洗手/干手流程示意图

Fig.7 Schematic diagram of hand washing/drying process

斜一定角度,出风管与喷口在同一倾斜一定角度的平面内,从而收缩到最短的出风管壁在重力的作用下回复到与喷口轴线相平行的位置,增大手部活动空间.

3.2.2 基于物场模型与标准解的方案优化

根据动态化与嵌套原理提示,改进的方案在保证出风管长度的同时增大了手部的活动空间. 由于出风管主要依靠弹簧提供的拉伸力实现出风管的收缩,但并行于出风管内并与出气孔气流方向垂直的弹簧会对气流造成巨大的扰动.

拉伸弹簧、气流以及彼此之间的接触形成有害的完整物场系统. 如物场模型图8所示,将对出风管壁端部作用的机械场转换为无形的磁场,则可以实现对嵌套管壁的拉力且对气流无干扰作用.

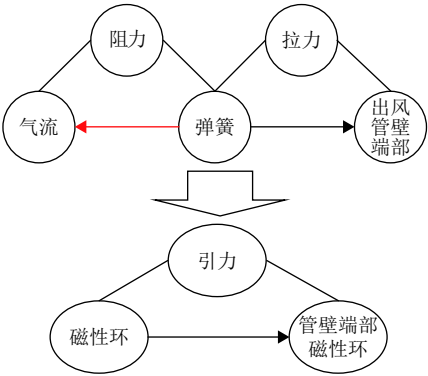


图8 物场模型图
Fig.8 Object field model

采用引力场来实现嵌套管壁的收缩,可以采用外界提供的引力场,也可以利用自身的重力提供收缩的作用力. 如拉伸转换示意9所示,在嵌套的出风管壁两端分别安装有磁性环,干手后在磁性环A、B的引力作用下缩回到最短状态.

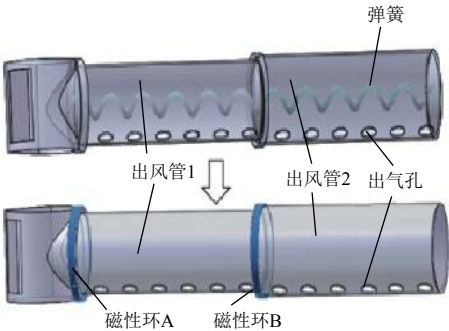


图9 拉伸转换示意图
Fig.9 Schematic diagram of stretch conversion

3.3 关键物理矛盾二的求解

3.3.1 基于整体与部分分离法则分离矛盾

由矛盾二问题的描述,可从整体与部分寻找解决方案. 根据整体与部分分离法则转换到相反系统

对应的反向作用原理的提示,将通常运动的双手静止,让通常静止的气流出气孔运动. 如可旋转出气孔示意10所示,洗过手之后,可将手静置在出气出风口下方,检测装置启动出风装置出风,在气流的流动下带动与出风管一体的旋转机构旋转,从而使出气孔相对双手旋转,气流在出气孔旋转的同时扫过双手表面,刮走手部废水,干燥双手. 由于手静止不动,双手与出风管壁的距离恒定,因此可以减小手与出风管壁的距离,增强气流作用于手部废水的强度.

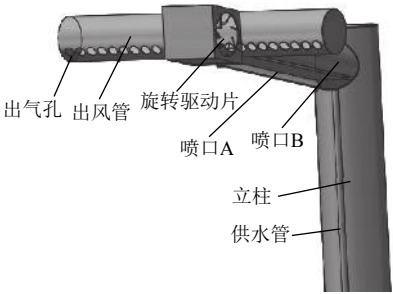


图10 可旋转出气孔示意图
Fig.10 Schematic diagram of rotatable vent

3.3.2 基于空间分离法则分离矛盾

出气孔在随出气管旋转的过程中,从出气孔喷出的气流会扫到人手部之外的部位,但在使用过程中气流真正需要吹到的范围为人手表面这一区域. 根据空间分离法则对应的“嵌套原理”的提示,将随出风管壁旋转的出气孔外侧套以固定的管壁,管壁上根据手部需要扫过的角度开有一定的出风口,出气孔扫过出风口时喷出高速气流,在转到非出风口位置时出气孔被外侧管壁密封,不喷射气流. 为了进一步提高效率,根据出风口的的角度在出气管壁上按相应的角度开有效应的出气孔,如定向旋转出气孔示意11所示.

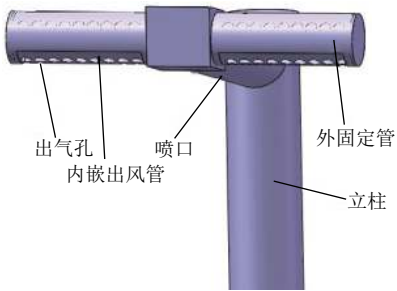


图11 定向出气旋转出气孔示意图
Fig.11 Schematic diagram of directional gas rotatable vent

4 方案分析与评价

由TRIZ理论的特点可知:针对同一问题,采用不同的发明原理会产生不同的解决方案,方案之间优点的相互组合又会产生新的方案. 因此,在产生若

干方案的基础上根据产品的实际情况进行评价选择较为满意的方案^[19]。而技术系统总是以客观的规律随着时间向更高级别的方向进化,掌握当前产品所处的进化阶段、预测未来的发展方向,从而取得市场主导权。

根据对干手器申请数量方面的分析^[20],干手器处于进化S曲线的成长期,应朝着提高系统的理想度法则、动态性进化法则、子系统不均衡进化法则提供的方向进化。在符合S曲线的进化方向的前提下,综合考虑方案的优点、缺点、实施的可行性等因素,对执行机构的改进方案进行评价得到以下结论:兼备旋转伸缩的出风管壁的动态化设计,消除了管壁对手部空间的限制,但是成本高;手静气动的反常规干手方式设计,可近距离干手且不存在空间限制,可行性强;采用裁剪方式的无壁机构设计,节省空间且消除气壁对手部空间的限制,可行性高,但干手角度难调节,舒适度差;结合可旋转的动态化设计和“气动手静”的干手方式,可在保证稳定性的同时消除管壁的空间限制,可行性高。

通过方案分析筛选出裁剪出风管壁的方案、“气动手静”的干手方案以及嵌套动态化的设计方案。

5 结论

通过分析干手器的使用现状,提出一体式干手器水/气输出执行机构在干手时间以及手部活动空间方面的改进设计。基于TRIZ理论建立功能模型以及进行因果链分析;根据分析结果对应的物场分析、分离原理以及裁剪等若干工具产生相应的解决方案;针对产生的若干方案的评价以及组合,筛选出符合市场未来需求的解决方案,为一体式干手器执行机构的改进提供参考。

参考文献:

- [1] 郭亚楠. 现代社会干手习惯与方式的选择对环境的影响[J]. 科技传播, 2014, 6(1): 128-129.
- [2] 仇高贺, 叶小木. 自动干手器工作原理及常见质量问题分析[J]. 家电科技, 2010(5): 57.
- [3] BERKOWITZ S S. Hand dryer noise in public rest-rooms exceeds 80 dBA at 10 ft (3m) [J]. Noise & Health, 2015, 17(75): 90-92.
- [4] 李光香, 王惠青, 程伟荣. 不同干手方法对医护人员手二次污染的研究[J]. 中国护理管理, 2012, 12(6): 55-58.
LI G X, WANG H Q, CHENG W R. Secondary pollution of medical staff's hands by using different hand-dry methods [J]. Chinese Nursing Management, 2012, 12(6): 55-58.
- [5] 杨迎花, 刘芙蓉, 张天敏, 等. 不同干手方式效果与效益比较[J]. 中国热带医学, 2011, 11(1): 89-90.
YANG Y H, LIU F R, ZHANG T M, et al. Comparison of

- results of different hand-cleaning methods [J]. China Tropical Medicine, 2011, 11(1): 89-90.
- [6] DEL H E, ASLANZADEH J, FEINN R, et al. Deposition of bacteria and bacterial spores by bathroom hot air hand dryers [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2018, 84(8).
- [7] ALHARBI S A, SALEMAN S H, CHINNATHAMBI A, et al. Assessment of the bacterial contamination of hand air dryer in washrooms [J]. Saudi Journal of Biological Sciences, 2016, 23(2): 268-271.
- [8] 郭君怡, 王荣荣, 彭远婵, 等. 2种干手工具成本及使用依从性比较研究[J]. 护理学, 2011, 18(5): 40-41.
- [9] SNELLING A M, SAVILLE T, STEVENS D, et al. Comparative evaluation of the hygienic efficacy of an ultra-rapid hand dryer vs conventional warm air hand dryers Journal of Applied Microbiology [J]. Journal of Applied Microbiology, 2011, 110(1): 19-26.
- [10] 考特尼S, 莫洛尼P, 莱斯尼奥斯基 C. 组合的龙头和干手器[P]. 英国: CN108118752A, 2018-06-05.
- [11] 陈圣鹏, 伍铁军. 头脑风暴法对个体创意产生的影响[J]. 机械制造与自动化, 2016, 45(5): 150-151.
CHEN S P, WU T J. Effect of brain-storming on individual creativity [J]. Machine Building & Automation, 2016, 45(5): 150-151.
- [12] 卢希美, 张付英, 张青青. 基于TRIZ理论和功能分析的产品创新设计[J]. 机械设计与制造, 2010(12): 255-257.
LU X M, ZHANG F Y, ZHANG Q Q. Product innovation design based on the theory of TRIZ and functional analysis [J]. Machinery Design & Manufacture, 2010(12): 255-257.
- [13] 于菲, 刘芳, 檀润华, 等. TRIZ辅助多层次裁剪方法集构建[J]. 机械工程学报, 2015, 51(21): 156-164.
YU F, LIU F, TAN R H, et al. Construction of multi-level trimming method set based on TRIZ [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2015, 51(21): 156-164.
- [14] 王梁武. TRIZ理论在产品专利规避中的应用研究及软件开发[D]. 广州: 广东工业大学, 2016.
- [15] 王瑞. 基于TRIZ的专利规避产品创新设计研究及应用[D]. 广州: 广东工业大学, 2015.
- [16] 孙久姗. 浅析专利侵权判定中的全面覆盖原则和等同原则[J]. 中国金属通报, 2017(8): 106-107.
- [17] 郝娟. 社会科学研究中因果分析方法的比较与应用[J]. 统计与决策, 2009(24): 34-36.
- [18] 冯智刚. 并联液压支架的设计和探究[J]. 机械研究与应用, 2018, 31(4): 178-180.
FENG Z G. Design and application of parallel hydraulic support [J]. Mechanical Research & Application, 2018, 31(4): 178-180.
- [19] 张晓旭, 张芸, 李金花, 等. 基于DEA的水泥脱硝清洁生产方案可行性评价[J]. 环境科学与技术, 2015, 38(1): 164-169.
ZHANG X X, ZHANG Y, LI J H, et al. Feasibility assessment of cleaner production programs based on DEA: case study of the denitration technology in cement industry [J]. Environmental Science & Technology, 2015, 38(1): 164-169.
- [20] 张欣. 基于专利分析和TRIZ技术进化理论的产品预测研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2018.