

基于 TRIZ 理论的奶罐车罐内搅拌机构设计

Design of stirring mechanism in milk tanker based on TRIZ theory

高国华¹ 黄娟¹ 刘继超²

GAO Guo-hua¹ HUANG Juan¹ LIU Ji-chao²

(1. 北京工业大学机电学院, 北京 100124; 2. 北京三元食品股份有限公司, 北京 100163)

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;

2. Beijing Sanyuan Food Co., Ltd., Beijing 100163, China)

摘要:针对牛奶厂人工搅拌不均匀、不充分的问题,应用 TRIZ(theory of inventive problem solving)理论对整个储奶罐系统进行创新性设计。通过分析组件间相互作用,得出人工使用铁耙搅拌牛奶作用不足的结论;针对搅拌装置在工作时因高度不同而弯曲程度不同,运用物理矛盾分析,结合时间分离中的发明原理——动态特性,设计出一种电机驱动式、可伸缩的柔性机构。运用 solidworks 三维软件搭建具体的打耙机构模型,通过试验验证柔性臂工作的可行性。试验结果表明,该柔性臂能完成压缩、伸长、弯曲、扭转等姿态,可实现较大范围的搅拌。

关键词:TRIZ 理论;牛奶;搅拌;柔性臂

Abstract: The TRIZ (theory of inventive problem solving) helped to solve the innovative design of the entire tank system. Through the analysis of the interaction between components, the conclusion was drawn that the use of artificially stirred iron ladles to agitate milk was insufficient. Using physical contradiction analysis, according to the degree of bending of the stirring device due to different heights during operation the dynamic characteristics A motor-driven, retractable and flexible mechanism was designed. The solid works of three-dimensional software was used to build a specific snoring mechanism model, and the feasibility of the flexible arm work was verified through experiments. The test results showed that the flexible arm could complete the compression, elongation, bending, twisting and other gestures, and achieve a wider range of agitation.

Keywords: TRIZ theory; milk; mixing; flexible arm

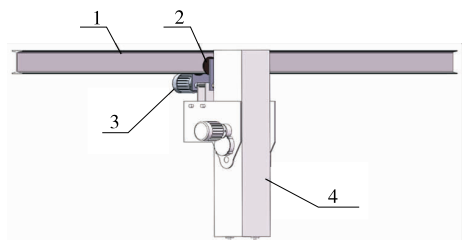
牛奶从牧场到加工厂的运输过程,受运输时间和奶罐车内温度不稳定等因素的影响,牛奶在储奶罐中会出现黏度不均匀及牛奶成分中微生物改变的现象,因此牛奶在进入工厂

加工之前需要进行搅拌和检测^[1-3]。

牛奶属于热敏性物质,在温度较高和撞击环境下,稳定性会发生变化。20 世纪 90 年代以来,人们对如何科学安全地设置搅拌形式展开了深入的研究。中国已有奶罐车的内部安装叶轮和搅拌轴的装置,但其装置占空间,清洗不方便^[4]。有的是改变搅拌器的材质或者加上传感装置,检测牛奶的变化。而在流体介质中,普遍采用的是机械搅拌,它是利用搅拌轴上装有各种型式叶轮运转来实现的。但机械搅拌普遍存在搅拌不充分的问题。甚至有用压缩空气或氮气进行搅拌,还有用泵使流体多次经过设备迫使流体在密封的管路中循环进行搅拌。后 2 种搅拌能量消耗较大,用空气搅拌会使流体介质氧化或蒸发,故很少使用。搅拌头由最开始的行星式垂直桨叶发展到螺旋式再发展为锥形,搅拌形式对搅拌效果有着极大的影响^[5-7]。本研究将运用 TRIZ 理论对打耙机构进行系统性分析,设计出具体的方案,对比试验结果得出新方案的优势。

为解决用机械设备代替人工爬上奶罐车搅拌的问题,工厂在此之前已设计出移动搅拌装置(图 1),该装置由减速机驱动小车载着打耙装置在横梁上进行定位性移动,能够保证打耙装置准确地通过取样口。

TRIZ(Theory of inventive problem solving)理论方法是 G.S.Altshuller 领导的研究人员通过分析大量专利,综合多个学科领域的原理和法则形成的理论体系。在 TRIZ 理论



1. 横梁 2. 滚轮 3. 减速机 4. 打耙装置箱体

图 1 搅拌器的移动装置

Figure 1 Stirrer moving device

基金项目:科技部创新方法专项(编号:2016IM030400)

作者简介:高国华(1977—),男,北京工业大学教授,博士。

E-mail: ggh0912@126.com

收稿日期:2018-03-16

中,解决物理矛盾及技术矛盾被认为是创新设计的关键。技术矛盾通常表示为2个子系统之间的矛盾,总是涉及2个基本参数:当一个参数得到改善,那么另一个参数会恶化。物理矛盾是指一个参数的矛盾,其核心是对一个物体或系统中的一个子系统有相反的、矛盾的要求^[8-11]。

1 基于TRIZ理论打耙系统分析

1.1 组件分析

结合TRIZ理论分析奶罐车系统,确定人工打耙的工程系统组件为搅拌装置、取样口、罐体、移动小车、奶罐车。

1.2 系统的功能模型分析

在对系统进行相互作用分析之后,可以分析出搅拌装置在搅拌牛奶的过程中,取样口的大小是确定的,直径大约是罐体直径的1/3,搅拌棒在罐体中的搅拌范围约为40%,可以确定这个功能是不够的,参照文献^[12~14]建立储奶罐的功能模型图见图2。

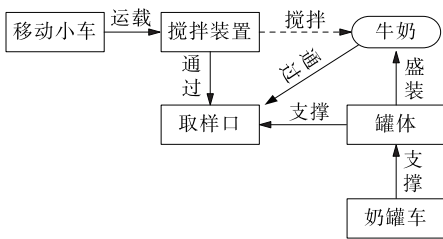


图2 储奶罐的功能模型图

Figure 2 Milk tank functional model diagram

1.3 物理矛盾分析

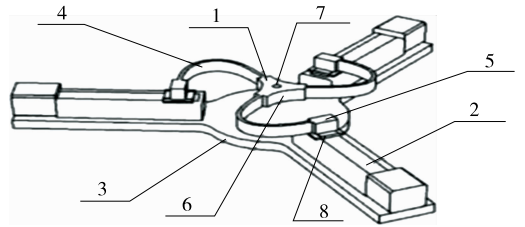
本设计需要研究的物理矛盾问题为工人打耙时需要调节打耙工具的长短,在不同高度搅拌时,储奶罐的纵向截面面积大小不同,需要打耙工具弯曲的弧度也不同。

对应的物理矛盾描述:要在奶罐横截面较大的地方进行更大范围的搅拌,搅拌工具的弯曲弧度要大;但是,要在奶罐横截面较小的地方让打耙工具在小范围自由搅拌,搅拌工具的弯曲弧度要小。

在解决物理矛盾的过程中,按照相应的条件进行分离,查找对应的方法:基于空间分离。通过在空间分离对应的发明原理中查找并结合厂房和储奶罐系统的实际情况,筛选得到创新原理1——分割原理和原理7——嵌套原理,运用这2个原理对该系统进行设计。

1.4 解决矛盾并获得最终方案

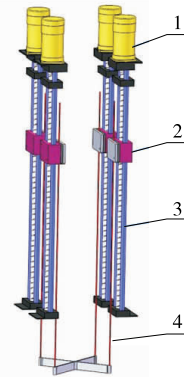
为了扩大搅拌装置的搅拌范围,本设计将对铁耙进行分析和改进。为了满足搅拌区域的最大化,该柔性臂在不同的高度,有着不同的半径,实现不同的弯曲姿态。目前已经有了一个平面两自由度柔性并联机械臂的结构(图3),这个结构与本设计的要求类似。图3的设计是通过3个直线电机的不同步运动,实现3个滑台带动弹簧连接的三角形刚体在水平面内实现自由移动。图4根据此原理,为改进后的设计结构,结构中的电机1驱动丝杠3,使得滑台2带动弹性杆4上下运动,4个电机的不同步,使得弹性杆的伸缩量不同,实现不同的弯曲程度。



1. 柔性臂 2. 直线电机 3. 机座 4. 柔性薄片 5. 小凸台 6. 大凸台 7. 固定孔 8. 滑块

图3 两自由度柔性并联机构

Figure 3 Two-degree-of-freedom flexible parallel mechanism



1. 电机 2. 滑台 3. 丝杠 4. 弹性杆

图4 四自由度柔性并联机构

Figure 4 Four degrees of freedom flexible parallel mechanism

2 整体机构设计

2.1 局部具体结构

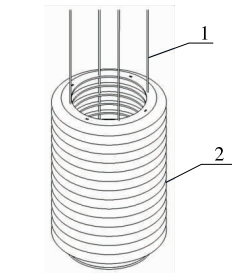
根据TRIZ理论的分析结果,对打耙的具体结构进行了创新设计,设计出的三维模型见图5。图5(a)中的弹性杆连接柔性外壳,弹性杆的伸长量决定柔性外壳的弯曲程度;图5(b)中的铝型材1连接在横梁的小车上,角铁支撑整个框架,提高整体的刚度,直线电机固定在铝型材4上,柔性外壳的底盘固定在铝型材5上。

2.2 工作形式及内部连接结构

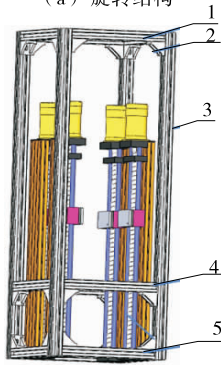
图6(a)为打耙装置未启动时,为节约场地空间,将柔性臂横向放置于上空,电动小车的行走轮在横梁轨道上运行。图6(b)为当奶罐车需要打耙时,工人通过开关控制电机驱动小车,带动柔性臂在横梁上快速移动到奶罐车取样口的正上方。在电动小车停稳之后,锥形制动电机驱动旋转板带动整个柔性臂装置旋转到竖直方向。然后,控制柔性外壳的4个小伺服电机同时作用,使得柔性外壳沿着竖直方向伸长到取样口。图6(c)为柔性外壳随着下降深度不断弯曲。通过4个电机配合运转,实现柔性外壳压缩、伸长、弯曲、扭转等功能。

2.3 柔性机构的设计试验

为了验证柔性结构设计合理性,本试验利用3D打印机打印出柔性臂结构,搭建出样机验证柔性臂的工作状态。



1. 弹性杆 2. 柔性外壳
(a) 旋转结构



1. 铝型材1 2. 角铁 3. 铝型材2 4. 铝型材5 5. 铝型材6
(b) 外部框架结构

图 5 局部结构

Figure 5 Local structure

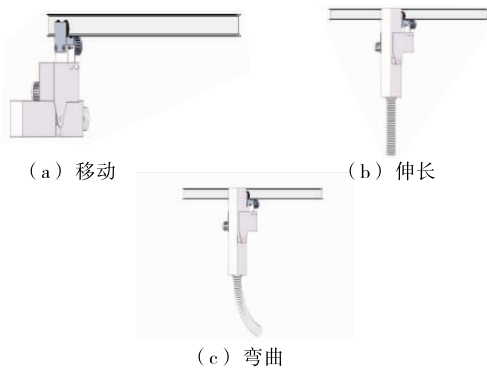


图 6 搅拌装置的运动形式

Figure 6 Stirring device movement form

样机中采用了弹性棒作为支撑结构,金属节片来限制弹性棒的中段姿态,同时利用弹性棒外套上的弹簧来分隔各个节片,提高了整体结构的稳定性并使得全柔性机械臂在收缩和舒张后各节片间的距离保持一定。

图 7(a)静止时,弹簧处于静平衡状态,开启电机之后,4 个小伺服电机驱动丝杠控制 4 根弹性棒。图 7(b)中柔性臂处于伸长状态,4 根弹性棒同时伸长,弹簧处于拉伸状态,金属节片之间的距离增大。图 7(c)中柔性臂处于弯曲状态,当丝杠上的滑台运动位置不一致时,导致 4 根弹性棒伸缩量不同,穿套在滑套上的 4 根弹性棒由于受到金属节片的限位,可以实现各种姿态。

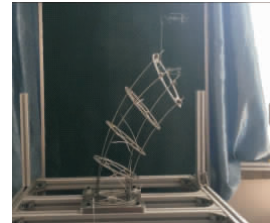
3 效果对比

图 8 为铁棒搅拌和柔性臂搅拌的效果图。铁棒不能实现弯曲功能,搅拌区域大约为整个奶罐截面积的 $1/3 \sim 1/2$ 。



(a) 静止时

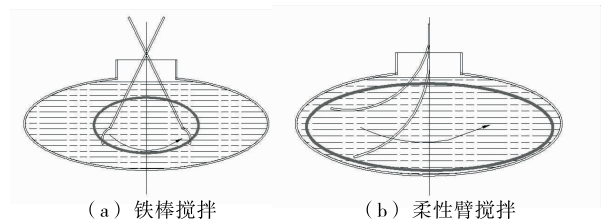
(b) 伸长时



(c) 弯曲之后

图 7 拉伸和弯曲试验

Figure 7 Tensile and bending experiments



(a) 铁棒搅拌

(b) 柔性臂搅拌

图 8 搅拌效果对比图

Figure 8 Stirring effect comparison chart

而柔性臂的弯曲程度随着搅拌高度的变化而变化,搅拌截面积大约为整个奶罐截面积的 90%。椭圆形区域为搅拌的主要区间。

4 结论

本研究设计出的柔性臂机构使得搅拌范围更大,牛奶搅拌更加均匀。比目前存在的各种刚性结构的搅拌装置更加适用于工业生产,柔性臂机构原理能够增加其自由度,使得运动更自如,运动范围更广泛。

目前本设计在一定程度上能够优化搅拌结构,在搅拌行业具有很大的应用前景,也能在其他的行业中应用,能够很好地解决各种运动学的问题。

参考文献

[1] 高子娟, 梁永明. 基于加权平均法的鲜奶最佳运输时间的探索[J]. 科技致富向导, 2011(18): 51-51.
 [2] 张少辉, 莫蓓红, 田雷. 搅拌型酸奶生产过程中粘度变化的研究[J]. 中国乳品工业, 2002, 30(1): 31-36.
 [3] 田亚芳. XKC5080GYSA3 型奶罐车的设计与试验研究[J]. 河南机电高等专科学校学报, 2010, 18(3): 28-30.
 [4] 黄志刚. 奶罐车液压驱动搅拌系统[J]. 工程技术: 文摘版, 2016(4): 304.
 [5] 陈登丰. 搅拌器和搅拌容器的发展[J]. 压力容器, 2008, 25(2): 33-41.

(下转第 105 页)

表 1 原凸轮与三次样条曲线拟合轮廓性能对比

Table 1 Performance comparison of original cam contour and cubic spline fitting cam contour

对象	压力角/ (°)	从动件速度范围/ (mm·s ⁻¹)	从动件加速度范围/ (mm·s ⁻²)
原凸轮	5.31	-80.9~124.2	-4 150~6 000
三次样条曲线拟合	7.59	-113.1~178.2	-2 180~1 950

曲线方程,在此基础上分析了原凸轮轮廓线上的压力角,以及从动轮速度、加速度等特性,数据得出该压盖凸轮曲线存在设计不合理的地方,从动件滚子局部速度变化过于急促,并且局部柔性冲击较大。对不合理的凸轮轮廓曲线采用三次样条曲线拟合优化设计,并分析了拟合后凸轮轮廓曲线压力角、从动件的速度和加速度性能曲线,对比优化前后运动特性曲线图可知,三次样条拟合方法能有效地降低加速度峰值,并且使得凸轮工作过程中冲击力相比于现用凸轮曲线降低了;优化后的凸轮轮廓线压力角仍在设计的范围之内,其从动件的速度虽有小幅提升,但运动更加平稳;更适用于中低速场合。

参考文献

- [1] OUYANG Tian-cheng, WANG Pan, HUANG Hao-zhong, et al. Mathematical modeling and optimization of cam mechanism in delivery system of an offset press[J]. Mechanism & Machine Theory, 2017, 110: 100-114.
- [2] TSAY D M, LIN B J. Improving the geometry design of cylindrical cams using nonparametric rational B-splines [J]. Computer-Aided Design, 1996, 28(1): 5-15.
- [3] WU L I, LIU C H, CHEN T W. Disc cam mechanisms with concave-faced followers[J]. ARCHIVE Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 2009, 223(6): 1 443-1 448.
- [4] SATEESH N, RAO C S P, REDDY T A J. Optimisation of cam-follower motion using B-splines[J]. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 2009, 22(6): 515-523.
- [5] XIAO Han-song, ZU Jean W. Cam profile optimization for a new cam drive[J]. Journal of Mechanical Science & Technology, 2009, 23(10): 2 592-2 602.
- [6] FLOCKER F W. Addressing cam wear and follower jump in single-dwell cam-follower systems with an adjustable modified trap-

ezoidal acceleration cam profile[J]. Journal of Engineering for Gas Turbines & Power, 2008, 131(3): 327-335.

- [7] JIANG J K, IWAI Y R, SU H. Minimizing and restricting vibrations in high-speed cam-follower systems over a range of speeds[J]. Journal of Applied Mechanics, 2007, 74(6): 1 157-1 164.
- [8] ACHARYYA S, NASKAR T K. Fractional polynomial mod traps for optimization of jerk and hertzian contact stress in cam surface[J]. Computers & Structures, 2008, 86(3): 322-329.
- [9] HWANG W M, YU C Z. Optimal synthesis of the adjustable knock-out cam-follower mechanism of a bolt former[J]. ARCHIVE Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 2005, 219(8): 767-774.
- [10] KAPLAN H. Mathematical modeling and simulation of high-Speed cam mechanisms to minimize residual vibrations[J]. ARCHIVE Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 2014, 228(13): 2 402-2 415.
- [11] QIN W J, HE J Q. Optimum design of local cam profile of a valve train[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 2010, 224(11): 2 487-2 492.
- [12] 张有良, 张国安, 王剑峰, 等. 纯生啤酒冲瓶灌装压盖一体机的技术优势[J]. 包装与食品机械, 2010, 28(2): 31-35.
- [13] 郑艳楠. 啤酒灌装压盖机监控系统的研究与改进[J]. 内蒙古石油化工, 2013(1): 4-5.
- [14] 肖海蓉, 罗友琴. 啤酒灌装压盖机 PLC 系统升级[J]. 酒·饮料技术装备, 2012(4): 60-62.
- [15] 李大柱, 韩江, 夏链. 基于虚拟插削的非圆齿轮齿廓获取研究[C]//上海交通大学第 16 期博士生学术论坛——机械百年·智能制造·智造中国学术论坛. 上海: [出版者不详], 2013: 137-141.
- [16] 徐伟. 基于 VB 的凸轮 CAD 系统的研究与开发[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2005(2): 37-39.
- [17] 方芳, 黄松和, 林刚. 基于 MatLab 和 SolidWorks 的凸轮轮廓设计及性能分析[J]. 矿山机械, 2010(6): 39-42.
- [18] 石全伟, 张迎春, 王金铃. 基于 matlab 的凸轮轮廓曲线的分析与研究[J]. 现代机械, 2006(3): 75-76.
- [19] 杜新宇, 孙新国, 胡飞嘉. 三次曲线拟合的一种简便方法[J]. 装备制造技术, 2008, 37(3): 20-21.
- [20] 席晓燕. 推料机构凸轮轮廓曲线设计仿真及误差分析[J]. 食品与机械, 2017, 33(2): 77-80.

(上接第 85 页)

- [6] 韩丹, 李龙, 程云山, 等. 叶轮式搅拌器的研究进展[J]. 合成橡胶工业, 2005, 28(1): 71-74.
- [7] 仪维, 王即武, 廉爱东, 等. 一种智能牛奶加热搅拌器的设计[J]. 机电一体化, 2017(5): 64-67.
- [8] 徐峰. 国外企业应用创新方法的经验与启示[J]. 中国科技论坛, 2009(8): 140-144.
- [9] 陈敏慧, 蒋艳萍, 吕建秋. TRIZ 国内外研究现状、存在问题及对策研究[J]. 科技管理研究, 2015, 35(1): 24-27.

- [10] 高常青, 黄克正, 张勇. TRIZ 理论中问题解决工具的比较与应用[J]. 机械设计与研究, 2006, 22(1): 13-15.
- [11] 张简一, 郭艳玲, 杨树财, 等. 基于 TRIZ 理论的产品创新设计[J]. 机械设计, 2009, 26(2): 35-38.
- [12] 高国华, 马帅. 基于离散单元分析与物场分析的盆花移栽手爪优化[J]. 农业工程学报, 2017, 33(6): 35-42.
- [13] 高国华, 刘群. 盆花筑模成穴机构创新优化设计[J]. 北京工业大学学报, 2017, 43(7): 987-995.
- [14] 张丹, 常宏, 娄高翔, 等. 基于 TRIZ 理论的螺纹口食品瓶清洗机创新设计[J]. 食品与机械, 2017, 33(3): 84-87.