

# 基于TRIZ及TOC理论的滤棒测径仪结构设计

杨智皓<sup>1</sup>, 何邦贵<sup>1</sup>, 杨朝丽<sup>2</sup>, 周玲<sup>3</sup>, 蔡培良<sup>4</sup>

(1. 昆明理工大学, 昆明 650500; 2. 昆明学院, 昆明 650214;

3. 云南侨通包装印刷有限公司, 昆明 650000; 4. 红云红河集团曲靖卷烟厂, 曲靖 655000)

**摘要:**目的 解决KDF2, KDF3型滤棒成型机在线监测系统测径仪的初始结构总体尺寸过大, 不能安装在滤棒成型机有限空间内的问题。方法 将发明问题解决理论(TRIZ)及约束理论(TOC)的优点结合, 并用于指引KDF2, KDF3型滤棒成型机在线监测系统测径仪的结构创新设计。结果 通过约束理论寻找到制约设计的关键矛盾, 并引导发明问题解决理论对矛盾进行消除, 最终形成可行的滤棒成型机测径仪结构创新设计方案, 引导完成产品设计。结论 合理结合该2种理论可以更快捷地得到创新设计方案。

**关键词:** 发明问题解决理论; 约束理论; 关键矛盾; 创新设计

**中图分类号:** TB486+.03 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)21-0079-05

## Structure Design of the Diameter Measuring Gauge of Filter Rod Based on TRIZ and TOC

YANG Zhi-hao<sup>1</sup>, HE Bang-gui<sup>1</sup>, YANG Chao-li<sup>2</sup>, ZHOU Ling<sup>3</sup>, CAI Pei-liang<sup>4</sup>

(1. Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China;

2. Kunming University, Kunming 650214, China; 3. Yunnan Qiaotong Package Printing Co., Ltd., Kunming 650000, China; 4. Hongyun Honghe Group, Qujing Cigarette Factory, Qujing 655000, China)

**ABSTRACT:** The initial designed structure of the diameter measuring gauge of filter rod forming machine was too large, so that it could not be installed in the limited space of filter rod forming machine. The structure of the diameter measuring gauge was redesigned in order to overcome the space constraints of filter rod forming machine. Firstly, the redesigning of diameter measuring gauge of KDF2, KDF3 type filter rod forming machine was guided by combining the advantages of the theories of inventive problem solving (TRIZ) and constraints (TOC). Next, through constraints theory, the key contradictions of the initial design were found and the contradictions were eliminated using the inventive problem solving theory. Finally, a feasible innovation design scheme for diameter measuring gauge of filter rod forming machine was achieved, and the product design was successfully completed. In conclusion, reasonable combination of these two theories can obtain innovation design schemes more rapidly.

**KEY WORDS:** theory of inventive problem solving; theory of constraints; key contradiction; innovation design

KDF2, KDF3型烟支过滤嘴滤棒成型机缺乏对滤棒几何尺寸在线实时检测和控制系统, 难以满足高速生产设备对滤棒质量的控制要求。为提高滤棒成型机生产效率和滤棒圆度检测及控制精度, 要为滤棒成型机加装一种在线检测系统。现有滤棒测径仪结构

总体尺寸过大, 不能安装在滤棒成型机的有限空间内, 为解决此问题文中将TRIZ和TOC理论结合, 用于在线检测系统中测径仪的结构创新设计。使用TOC理论找到测径仪结构设计中的关键冲突<sup>[1-4]</sup>, 而后用TRIZ理论解决关键冲突得出创新设计方案<sup>[1,4-9]</sup>。

收稿日期: 2015-03-09

作者简介: 杨智皓(1990—), 男, 山东人, 昆明理工大学硕士生, 主攻创新设计理论、包装设备结构设计、机械制造。

通讯作者: 何邦贵(1964—), 男, 四川人, 昆明理工大学教授、硕导, 主要研究方向为创新设计、包装机械、机械设计及理论。

## 1 约束理论

### 1.1 TOC理论解决问题的流程

TOC理论解决工程问题的一般流程为:分析问题—构造逻辑图表—分析逻辑图表—解决问题。TOC技术工具由5个逻辑图表(CRT, CRD, FRT, PRT, TRT逻辑图)组成,用于确定系统中存在问题的根原因、核心问题、矛盾冲突,以及确定解决矛盾冲突的方向并检验最终解的有效性,保证整个分析的严密性和逻辑性<sup>[2-4,6]</sup>。

### 1.2 TOC理论中的关键工具和步骤

1) CRD(冲突解决图表)在TOC理论中是解决冲突最有力的工具。CRD解决冲突的能力体现在2个方面,它是一个出色的构造和说明任何冲突关键要素的方法;它有助于揭露和确定隐藏于每个冲突元素中的基本假设。CRD中包含1个共同目标与2个目的、2个目的与2个原在问题,以及2个原在问题之间的假设关系<sup>[3-4]</sup>。CRD的概念结构图1。

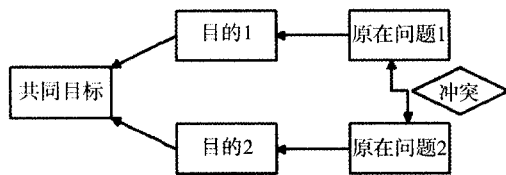


图1 CRD的概念结构

Fig.1 The conceptual schematic of CRD

2) TOC理论中构造CRT(当前实现树)是整个概念设计过程的关键步骤。CRT功能类似于TRIZ理论中功能模型和关联问题的陈述,是一个很好的分析问题的工具。构造CRT后,应明确了解解决问题的过程,同时逻辑图表会表达出未考虑的因素,最后通过分析图表得出真正的问题。CRT的构建流程见图2。

## 2 TRIZ理论与TOC理论结合驱动创新方法

TRIZ理论中将矛盾归类为物理矛盾和技术矛盾,TRIZ理论使用自身的工具可以有效地解决系统中存在的矛盾,但是TRIZ理论自身并不能有效地寻找到矛盾所在处。TRIZ理论中2种矛盾可以互相转化,可以使用39个工程参数、冲突矩阵、40条发明原理或分离原理等工具来找到具体的发明问题的解决方案。

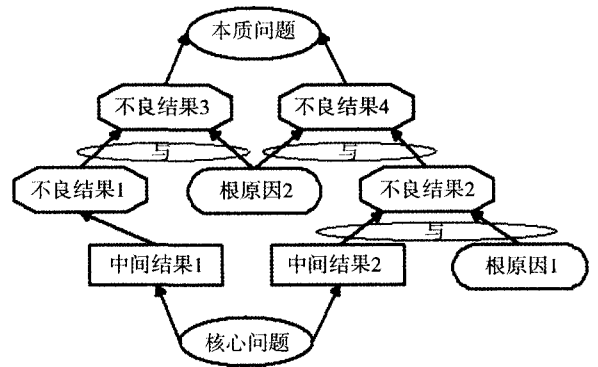


图2 CRT构建流程

Fig.2 The building process of CRT

CRT用于从系统的不良结果中推断根原因并确定核心问题和系统中存在的冲突,CRT能够确定要改进什么。CRD(冲突解决图表)用于确定冲突的存在,找到导致系统出现问题的主要冲突,并寻找到解决问题(如何使用TRIZ工具)的方向。CRD能够确定要改成什么。

CRD可以帮助找到工程问题中的矛盾和冲突,并帮助呈现矛盾出现的原因,这弥补了TRIZ理论难寻找矛盾的弱点。CRD的弱点是不能快捷、准确地产生消除矛盾的新想法。在弥补CRD的不足方面,TRIZ理论对于产生消除矛盾的新想法提供了一个结构化的方法论,因此可以将TOC理论作为使用TRIZ理论的前提基础框架。

基于TRIZ和TOC理论的概念框架结构设计模型,将创新设计过程分为4步:初步分析问题(分析系统并确定问题);构造逻辑图表(描述系统及构造问题);分析逻辑图表(确定关键冲突及解决问题的方向);产生解决方案。其中第1—3步是使用TOC理论完成的,第4步使用TRIZ理论得到TRIZ领域标准解而后转化成为工程实际应用领域解<sup>[3-4]</sup>。此方法可归纳为一种新流程见图3。

## 3 TRIZ和TOC理论结合对于KDF2,KDF3滤棒成型机测径仪的创新设计

### 3.1 KDF2,KDF3型滤棒成型机现状分析

研究对象是现代化程度非常高的卷烟生产设备,而KDF2,KDF3是目前卷烟企业的主要生产设备,其技术水平和能力也是最新的。同时KDF3的生产滤棒的速度到达10 m/s,测试对象的直径在10 mm左右。另外对KDF2,KDF3滤棒成型机的结构分析,在满足设备现有功能不受影响的情况下,可以安装测径仪系统的空间仅为(270 mm × 250 mm × 80 mm),

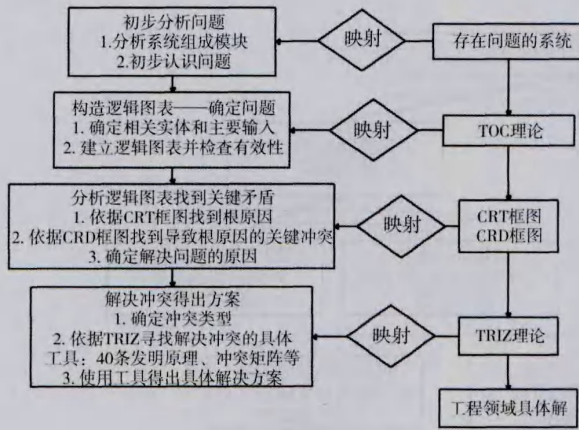
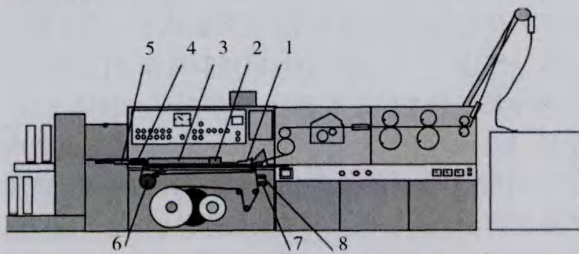


图3 TRIZ理论与TOC理论结合驱动创新流程

Fig.3 The flow chart of TRIZ and TOC combination-driven innovation

沿滤棒长度方向仅有80 mm。测试对象(滤棒)的外部形状和成型纸不能受损,需要在每支滤棒上进行圆周测试,单向测径或双向测径都难以满足测试精度和数据处理的需要,最佳测量为四向测径。滤棒成型机结构见图4。



1.烟舌 2.烙铁 3.冷却条 4.断条装置 5.圆周测量管布带轮 7.冷胶枪 8.热胶枪

图4 滤棒成型系统组成

Fig.4 Composition of the filter rod forming system

滤棒成型机测径仪系统安装在圆周测量管布带轮的左侧至机器外壳。单头 CCD 型传感器结构见图5。

由于受测量精度限制,文中设计的测径仪必须有4个CCD型传感器,而单个CCD型传感器的尺寸就与限定的安装空间基本相当,受安装空间、传感器光路等限制,不能用当前的CCD测径仪,需重新对测径仪的结构进行设计。

### 3.2 构造测径仪的CRT和CRD流程

通过构建并分析CRT框图,可以从系统的不良结

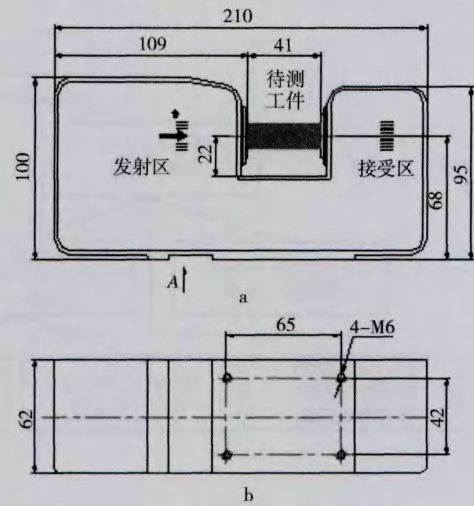


图5 单头 CCD 型传感器形状及尺寸

Fig.5 Shape and dimensions of single type CCD sensor

果中推断根原因并确定核心问题,找到导致测径仪总体结构设计过大的各项因素以及根原因,见图6。通过构建并分析CRD框图,找出设计中导致根原因发生的关键冲突,为后面使用TRIZ理论做基础,见图7。

从图6可以看出,由于滤棒的运动速度很快(10 m/s)且伴随有振动,滤棒外部的成型纸易破损,所以测径仪使用的传感器一定要是非接触式的。为了保证测径仪测量的准确性必须要有4个传感器同时存在于测径仪内部,且传感器的4个测试角度一定,不能任意调整。4个传感器的光路必须在同一平面内。若用最初的CCD传感器,要在测径仪内部安装这种传感器则导致整个测径仪的总体结构尺寸将大出预安装空间3倍以上。根原因是CCD传感器的位置确定后其安装空间就一定了,满足了测量精度就不能满足设计空间的限定。从图7可知,测径仪设计之所以不能满足设计要求的冲突是:既要求4个传感器的位置和尺寸大小一定,又要求4个传感器的位置和尺寸大小能够自由改动。

### 3.3 TRIZ理论在四向测径仪结构设计上的应用

通过分析图6和图7,可以清楚地发现该系统中存在的矛盾属于物理矛盾<sup>[1-8]</sup>。解决物理矛盾的核心思想是:利用分离方法,将对同一个对象的某个特性的互斥要求分离开,并分别予以满足。TRIZ理论中使用分离原理来解决物理矛盾,分离方法分为4种:时间分离、空间分离、条件分离、系同级别上的分离。文中选用空间分离方法,空间分离方法与40个发明原理中的分割原理、抽取原理、局部质量原理、空间维数变化原

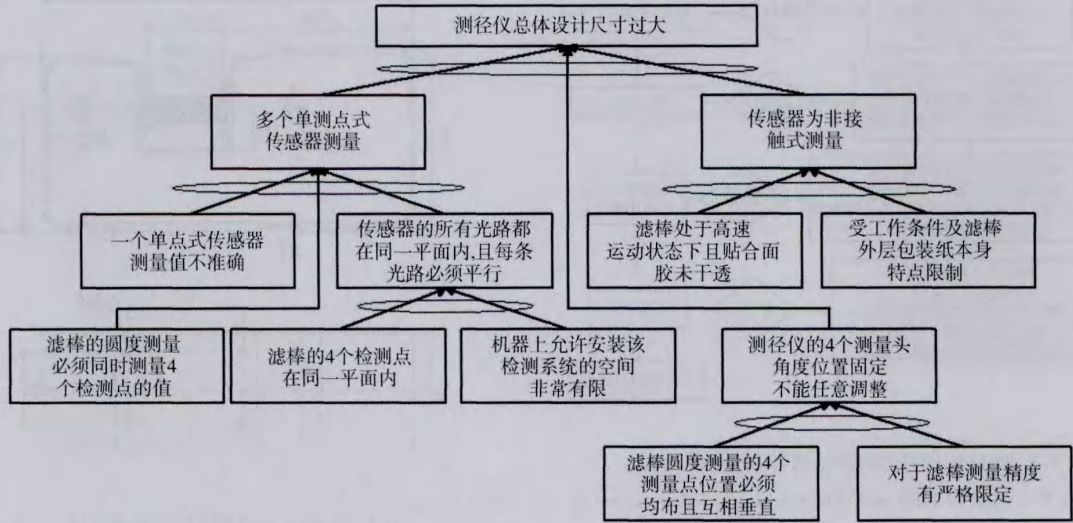


图6 四向测径仪CRT流程

Fig.6 CRT flow chart of four-way diameter measuring gauge

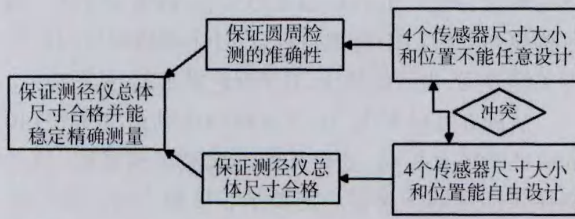


图7 四向测径仪CRD流程

Fig.7 CRD flow chart of four-way diameter measuring gauge

理、反向作用原理、曲率增加原理、嵌套原理、柔性壳体或薄膜原理、增加不对称性原理、借助中介物原理、复制原理等相对应。

从中选取分割原理、反向作用原理、嵌套原理、复制原理等4个发明原理对创新设计进行方向性引导,对各个原理所对应产生的方案进行对比后,发现分割原理所对应的方案最为合适,故下面详细介绍此方案。

分割原理是指以虚拟或真实的方式将一个系统分成多个部分,以便分解(分开、分隔、抽取)或合并(结合、集成、联合)一种有益的或有害的系统属性。在多数情况下,会对分隔后得到的多个部分进行重组(或集成),以便实现某些新的功能,并(或)消除有害作用。随着分割程度的提高,技术系统逐步向微观级别发展。指导原则:将一个对象分成多个相互独立的部分;将对象分成容易组装(或组合)和拆卸的部分;增加对象的分割程度<sup>[1,8]</sup>。

参照上述分析得出的原理,在测径仪结构设计中,将CCD传感器分拆为系统模块:发射系统和接收

系统两大模块<sup>[9-10]</sup>。由于被测件直径限制,发射系统模块远离被测件而接收系统模块紧靠被测件。将原有接收系统模块(每一组均为方形,共4组)设计成圆弧形一体式结构,并将4组接收器集成于一个圆弧形接收系统中<sup>[4,11-16]</sup>。按照分割原理解释,可以使4对传感器都安装在同一平面内,能够保证光路的平行。至此,解决了测径仪厚度和宽度的限制,随之也解决了4对传感器之间的角度不能任意设计的问题。按照系统的理论分析得出了测径仪的新结构,此新结构保证了测径仪结构设计中最难满足要求的测径仪厚度限制。最终设计的四向测径仪结构见图8。

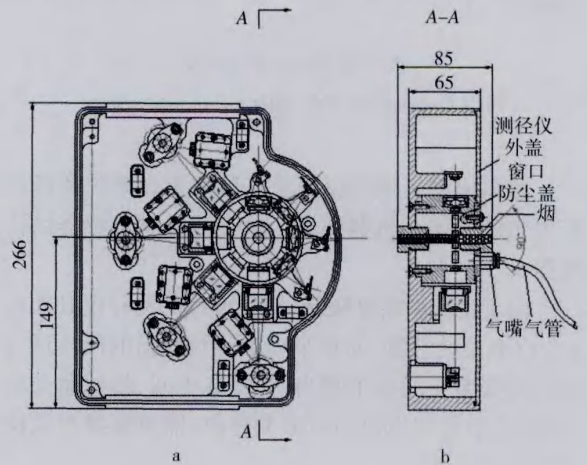


图8 四向测径仪的结构创新设计

Fig.8 The structure innovation design of four-way diameter measuring gauge

## 4 结语

1) 合理地结合 TRIZ 和 TOC 理论可以有效提高创新设计的效率和成功率,该理论成功指导了 KDF2, KDF3 型滤棒成型机在线监测系统的四向测径仪的结构设计。

2) 结合 TRIZ 和 TOC 理论,可以快捷地找出系统存在的关键矛盾和解决关键矛盾应该使用的 TRIZ 工具。

3) 论证了约束理论(TOC)能够作为引导发明问题解决理论(TRIZ)使用的框架。

## 参考文献

- [1] 根里奇·斯拉维奇·阿奇舒勒. 创新算法—TRIZ、系统创新和技术创造力[M]. 武汉: 武汉华中科技大学出版社, 2008.  
ALTSHULER G S. Innovation Algorithm—TRIZ, System Innovation and Technology Creativity[M]. Wuhan: Wuhan Huazhong University of Science and Technology Press, 2008.
- [2] 中野明. 图解高德拉特约束理论[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2008.  
NAKANO M. Diagram of the Goldratt' s Constraint Theory [M]. Beijing: China Renmin University Press, 2008.
- [3] STEPHEN R L. A Conceptual Design Tool for Engineers: An Amalgamation of Theory of Constraints, Theory of Inventive Problem Solving and Logic[D]. Virginia: Old Dominion University, 2002.
- [4] 马力辉, 檀润华. 发明问题解决理论解到领域解的转化方法研究[J]. 计算机集成制造系统, 2008, 14(10): 1873—1880.  
MA Li-hui, TAN Run-hua. The Research of the Methods to Transform the TRIZ to Domain[J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2008, 14(10): 1873—1880.
- [5] ILEVBAREN I M, PROBERT D, PHAAL R. A Review of TRIZ, and Its Benefits and Challenges in Practice[J]. Technovation, 2013, 33: 30—37.
- [6] STRATTON R, MANN D. Systematic Innovation and the Underlying Principles Behind TRIZ and TOC[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2003, 139: 120—126.
- [7] DETTMER W H. Goldratt' s Theory of Constraints: A System Approach to Continuous Improvement[M]. Milwaukee (USA): ASQC Quality Press, 1997.
- [8] 李海军, 丁雪燕. 经典 TRIZ 通俗读本[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2009.  
LI Hai-jun, DING Xue-yan. Classic TRIZ[M]. Beijing: China Science and Technology Press, 2009.
- [9] HOU Liang, WANG Hao-lun, MU Rui, et al. Research on the Evolution & Innovation for Modular Product Family[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2012, 11: 55—64.
- [10] 张展. 基于系统化设计创新趋势的研究[J]. 包装工程, 2015, 36(2): 99—101.  
ZHANG Zhan. The Research of Innovation Trend Based on the Systematic Design[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(2): 99—101.
- [11] 王秀红. 基于 QFD 和 TRIZ 集成理论的电动吸尘黑板擦创新设计[J]. 包装工程, 2014, 35(18): 39—42.  
WANG Xiu-hong. The Eraser Innovative Design Based on the Theory of the QFD and TRIZ Integrated Electric Vacuuming [J]. Packaging Engineering, 2014, 35(18): 39—42.
- [12] 陈国强, 王振, 董超. 基于 TRIZ 创新理论的便携式耳机设计[J]. 包装工程, 2013, 34(12): 42—45.  
CHEN Guo-qiang, WANG Zhen, DONG Chao. Portable Headset Design Based on TRIZ Innovation Theory[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(12): 42—45.
- [13] 吴国荣, 余畅. TRIZ 原理对香水容器的创新改造设计[J]. 包装工程, 2014, 35(2): 48—50.  
WU Guo-rong, YU Chang. Principles of TRIZ Innovative Transformation of Perfume Container Design[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(2): 48—50.
- [14] LIU Zhi-feng, HU Di, GAO Yang, et al. TRIZ Based Revised Design for Disassembly of Joint Structure[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2012(11): 65—71.
- [15] ZHENG Yi-bing, REN Gong-chang. Innovative Research of Relay Protection Device Based on Evolution Theory of TRIZ [J]. Relay, 2011(2): 83—87.
- [16] HUANG Wei, ZHU Long, HOU Liang. Product Innovation and Optimization Process Based on Patent and TRIZ[J]. Mechanical & Electrical Engineering Magazine, 2011(7): 774—778.