

基于 TRIZ 理论的轨检小车机械结构创新设计

杨雪荣, 孟欢, 姚丽娟, 成思源
(广东工业大学, 广州 510006)

摘要: **目的** 针对轨检小车机械结构存在的缺陷, 应用 TRIZ 理论进行创新设计。**方法** 按提出的基于 TRIZ 理论的已有产品的改进创新设计框架, 对轨检小车的机械结构进行组件分析, 建立功能模型, 结合轨检小车使用过程中存在的问题和功能分析的结果找到技术系统的薄弱点, 应用 TRIZ 理论方法对功能模型存在的问题进行解决, 高效地产生创新方案。**结论** 形成了基于 TRIZ 理论的已有产品的改进创新设计框架, 应用此方法对轨检小车的机械结构进行了创新设计, 解决了轨检小车在实际使用中存在的问题。

关键词: 轨检小车, TRIZ; 功能分析; 创新设计

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)14-0016-05

Mechanical Structural Innovation Design of Track Inspection Instrument Based on TRIZ

YANG Xue-rong, MENG Huan, YAO Li-juan, CHENG Si-yuan
(Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

ABSTRACT: The paper aims to put forward an innovative design for mechanical structure defects of the track inspection instrument based on TRIZ theory. According to the framework of innovation design for existing product based on TRIZ theory, it conducted component analysis of the mechanical structure of the track inspection instrument, built a function model and found out the weak points of the technical system by combining problems with the application and the results of functional analysis. It had resolved the problems with the function model and efficiently created an innovative proposal by virtue of the TRIZ theory. In conclusion, this revised program using the TRIZ theory has made an innovation in the design of the mechanical structure of track inspection instrument and solved the problems with the track inspection instrument in actual operation.

KEY WORDS: track inspection instrument; TRIZ; functional analysis; innovative design

我国是世界上高铁运营里程最长、在建规模最大的国家, 高速铁路高效安全的运营对国家经济的发展和人民生命财产的安全具有重要意义。轨道线路是铁路运输的物质支撑基础, 是确保铁路安全运营最重要的因素^[1-4]。我国在新建路线中的无砟轨道施工测量过程中提出了高精度测量、高标准施工、轨道几何状态测量指标内容新和精度高等要求。轨检小车是高速铁路施工成套设备中最关键的专业精测技术体系, 是工程精度控制的核心装备。它结合

专用计算机、特殊传感器、高精度全站仪等先进仪器设备, 组成精密的轨道检测系统, 检测出轨距、水平(超高)、轨向(高低)、长短波不平顺等轨道几何参数。目前, 我国轨检小车的研发处于高速发展状态, 但与国外先进精密的瑞士安伯格 GRP、德国 GEDO CE 轨检小车相比, 仍存在一定的差距, 为了减少昂贵的进口采购费用, 提高我国自主创新能力, 轨检小车的研发势在必行^[5-8]。

TRIZ 理论是在归纳总结了海量发明专利的基础

收稿日期: 2016-03-06

作者简介: 杨雪荣(1978—), 女, 宁夏人, 博士, 广东工业大学副教授, 主要研究方向为机械创新设计、逆向工程。

上，提出的基于知识的、面向人的发明问题解决理论和系统化的方法学。它由分析问题、解决问题和实现创新设计的各种方法及工具组成。将 TRIZ 理论应用到产品创新设计过程中，有条理地、系统地指导产品的创新设计，能够大大缩短产品的设计周期，提高问题解决的效率^[9-12]。这里提出了基于 TRIZ 理论的已有产品的改进创新设计框架，并针对轨检小车的机械结构缺陷进行了创新设计。

1 基于 TRIZ 理论的已有产品创新设计总体框架

对于创造性问题的解决，TRIZ 理论提供的是一种辩证的思考方式，包含众多用于问题分析、问题解决的方法和工具。与传统创新方法例如头脑风暴法、试错法等相比，TRIZ 理论具有完整的理论体系，但其理论体系较为庞大，包括技术系统进化法则、物质—场分析法、矛盾问题解决法、发明问题解决算法(ARIZ)以及科学效应知识库等^[13-15]，工程设计人员掌握与实践较困难。这里提出一种系统化的创新设计方法，应用 TRIZ 理论从已有的产品出发，定义问题进行分析和求解，提出一组改进方案，进行方案评估，得到最优解，实现对已有产品的改进及升级换代。基于 TRIZ 理论的已有产品创新设计流程图见图 1。

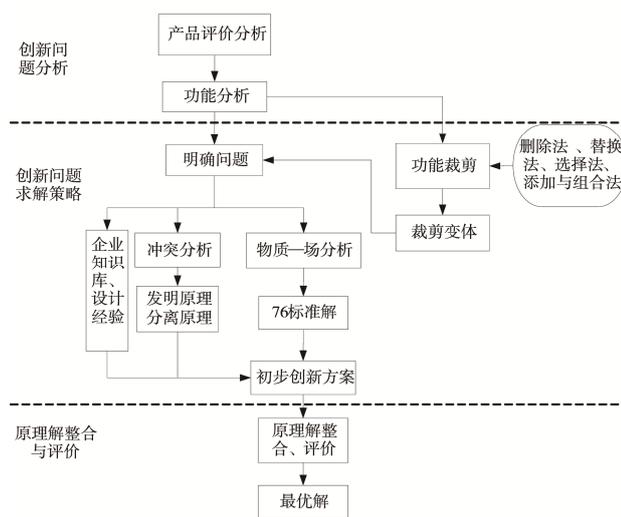


图 1 基于 TRIZ 理论的已有产品创新设计流程

Fig.1 The flow chart of existing product innovation design based on TRIZ theory

首先对已有产品进行功能分析，从产品的总功能开始，对功能进行逐层分解，确定系统子功能，构建产品的功能模型。然后根据功能模型中存在的

问题确定问题类型，矛盾问题，按照矛盾问题求解策略用矛盾矩阵、发明原理、分离原理进行求解；物质场问题，采用 76 标准解进行分析求解；有些问题可以充分利用企业知识库以及设计经验进行求解，得到初步创新方案。对于已申请专利的产品，或结构复杂的产品，进行功能分析后，可以运用功能裁剪对冗余组件进行删除、添加、替换或组合，得到裁剪变体，对裁剪变体再进行功能分析，明确问题类型，应用 TRIZ 理论工具对裁剪后的新问题进行求解，得到初步创新方案。最后对初步创新方案进行原理解整合和评价，得到符合实际情况的最优解。在此框架的指导下，整个创新设计过程变得具有方向性、条理性，可有效缩短推出高质量产品的周期。

2 轨检小车机械结构组件分析

轨检小车是对铁路轨道的不平顺性进行检测的设备，是高速铁路施工工程精度控制的核心装备。在铁路轨道施工、轨道验收测量以及在轨道运行时的线路养护、维修中都起着举足轻重的作用。轨检小车结构见图 2，主要由车架、行走导向机构、手推换向机构、轨距测量机构、棱镜机构等组成。所有机构安装在车架上，检测时车架在行走机构的支撑下放置在轨道踏面上方；手推换向机构控制轨检小车的前行、换向与停止；轨距测量机构和行走导向机构相配合，实现轨道距离检测；应用棱镜机构与全站仪实现轨道的三维坐标测量。



图 2 轨检小车结构

Fig.2 Structure of track inspection instrument

由于系统结构复杂，组件较多，运用反向鱼骨图方法对几个主要组件进行层级划分，轨检小车的反向鱼骨图见图 3，能够无遗漏地找出所有的关键组

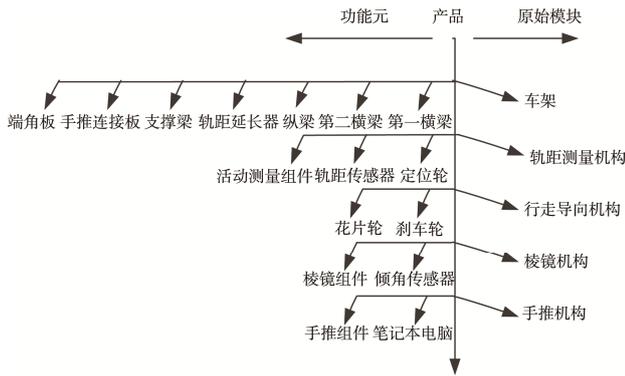


图3 轨检小车的反向鱼骨图

Fig.3 Reverse fishbone of track inspection instrument

件,同时去除一些不必要进行分析的组件,图3使整个系统中各主要组件的结构关系清晰明了。

根据图3中各组件之间的关系,建立轨检小车结构功能模型,见图4。

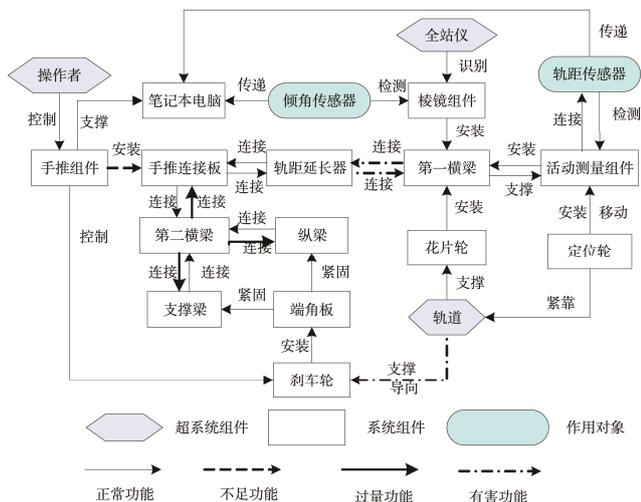


图4 轨检小车结构功能模型

Fig.4 Structure function model of track inspection instrument

结合轨检小车功能模型及在实际使用中存在的问题,现有轨检小车产品存在以下两方面的问题。

(1) 刹车轮放置在轨面上,其大端面紧贴在轨道内侧面上用于轨检小车行进导向,轨道内侧是轨距的测量基准。轨检小车运行过程中,刹车轮的大端面与轨道内侧面的滑动摩擦,不仅使刹车轮磨损,而且会造成轨距测量误差,降低测量精度。分析得出轨道对刹车轮的支撑导向作用属于有害功能。(2) 轨检小车的车架采用T型结构,由多个模块组成,包括第一横梁、第二横梁、轨距延长器、纵梁、支撑梁等。第一横梁与第二横梁之间用轨距延长器进行连接,第二横梁与纵梁、支撑梁两两连接形成T形架构。手推连接板、刹车轮与花片轮都与车架相连。由于各组件之间都是通过螺栓进行连接,连接

关系复杂,且容易发生连接松动,降低系统的稳定性,因此第二横梁与纵梁、支撑梁及手推连接板的连接关系属于功能过量。

针对轨检小车功能模型中出现以上两个问题,应用物质-场问题求解策略、裁剪等方法对问题进行求解。

3 轨检小车机械结构创新设计

3.1 刹车轮创新设计

针对问题1,轨道对刹车轮的导向作用磨损刹车轮,降低轨距测量精度,应用TRIZ理论的物质-场工具进行分析,构建物质-场分析模型1,见图5。其中:S1为刹车轮;S2为轨道;F1为机械场。S2对S1的作用为有害作用,采用76个标准解中第1.2子类拆解物场模型的启示进行问题求解,其中第1.2子类包含的标准解见表1。

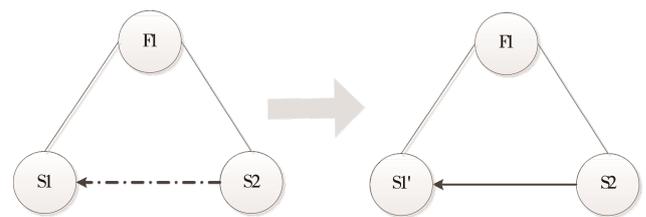


图5 物质-场分析模型1

Fig.5 The Su-Field model 1

表1 第1.2子类包含的标准解

Tab.1 Standard solutions contained in Subclasses 1.2

子类	标准解
S1.2 拆解物场模型	S1.2.1 引入S3消除有害作用
	S1.2.2 引入改进的S1或(和)S2来消除有害作用
	S1.2.3 引入物质消除有害作用
	S1.2.4 用场F2来抵消有害作用
	S1.2.5 消除磁场的影响

根据标准解S1.2.2引入改进的S1或(和)S2来消除有害作用的启示,将S1刹车轮改进为S1',将轨道对刹车轮导向作用和支持作用分离,通过增加一对导向轮来实现导向功能,删除刹车轮的大端面,使其仅起到支撑车架的作用,有效地消除了因刹车轮大端面与轨道内侧面的滑动摩擦造成的刹车轮频繁更换及降低轨距测量误差的影响。新增的导向轮安装在车架的纵梁上,与轨道内侧面相接触实现导向功能,改进后的刹车轮与导向轮结构示意见图6。

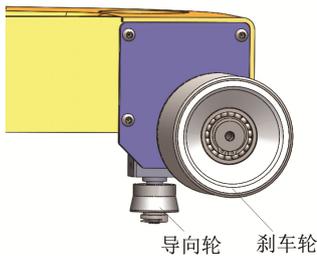


图 6 改进后刹车轮与导向轮结构示意图

Fig.6 The improved structure of brake wheel and guide wheel

图 6 中，轨道通过刹车轮对车架进行支撑，通过导向轮来实现车架的方向控制，在实现支撑功能和导向功能的同时，保证了轨距测量数据的稳定性，提高了测量精度，避免了经常更换刹车轮，有效降低了轨检小车的使用成本。

3.2 车架创新设计

针对轨检小车 T 型结构，连接关系复杂，容易发生连接松动，降低系统的稳定性的问题，对系统的组件进行功能裁剪。（1）用删除法裁剪掉支撑梁和端脚板，这样端脚板安装刹车轮的功能就需要寻找系统中其他组件来实现。选择直接将刹车轮安装在纵梁上。（2）轨检小车上手推连接板有两个功能，第一为连接第二横梁与轨距延长器，第二为安装手推组件。裁剪掉手推连接板，其安装手推组件的功能选择由轨距延长器来实现。（3）轨距延长器与第二横梁之间的连接主要功能是构成车架的支撑结构，完成花片轮与刹车轮的中间连接，可以进一步删除第二横梁或者将轨距延长器与第二横梁进行合并，将合并后的组件称为轮架横梁。

裁剪掉支撑梁、端脚板、手推连接板及第二横梁后，重新建立轨检小车的功能模型，裁剪后轨检小车功能模型见图 7。裁剪后系统的组件数目明显减少，大大降低了系统结构的复杂程度，但是带来了轮架横梁与纵梁之间的连接稳定性降低的问题。裁剪后带来的新问题，采用 TRIZ 理论中的物质—场模型来分析，构建的物质—场分析模型 2 见图 8。其中：S1 表示纵梁；S2 表示轮架横梁。它们之间的场为机械场 F1，即机械固定连接，S2 对 S1 的作用为功能不足。应用 76 个标准解中的第 2、3 类的标准解法进行求解，可以选择增加物场模型中作为工具的物质 S2 的分割程度，达到加强物场模型的目的。选择改变 S2 为 S2'，即改变轮架横梁的形状，增加其与纵梁之间机械连接的部位，达到连接的稳定性。

通过分析，将轮架横梁的外观改进后车架模型

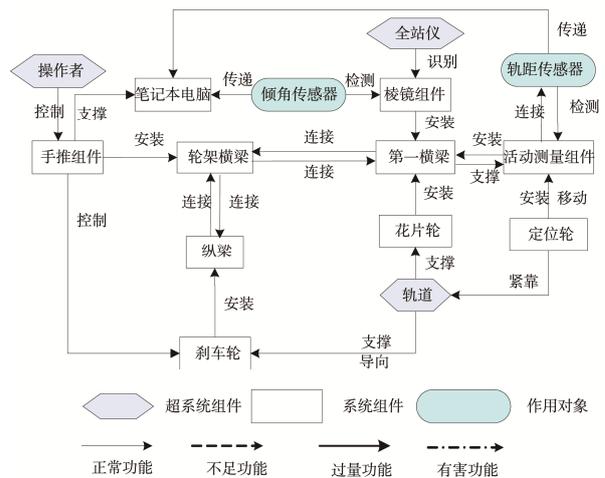


图 7 裁剪后轨检小车功能模型

Fig.7 Function model of track inspection instrument after trimming

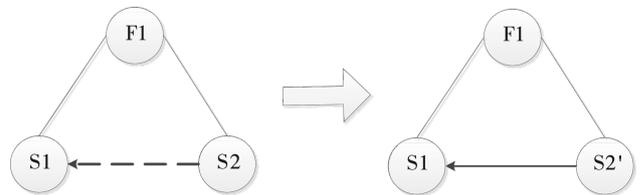


图 8 物质—场分析模型 2

Fig.8 The Su-Field model 2

见图 9，起始端面与第一横梁相连接，另外两个末端与纵梁的两端部连接，在 Y 型的中间部位安放手推组件。轮架横梁采用铝合金材料一次铸造成型的方式，不仅避免了分体式结构造成轮架结构内部的螺栓连接松动的问题，而且有效降低了车架的重量，与 T 型车架相比质量更轻，且材质耐磨、耐腐蚀、刚度好。

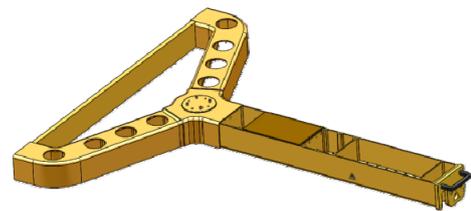


图 9 改进后车架模型

Fig.9 The improved model of the frame

此设计方案已成功申请专利（ZL 2013208853 11.1），且在企业的新型轨检仪的制造中得以实际应用，有效地降低了轨检仪车架的结构复杂程度，减轻了轨检仪的重量，便于操作和运输。

4 结语

这里提出了基于 TRIZ 理论的已有产品的改进创新设计框架，可使整个创新设计过程变得具有方向

性与条理性,有效缩短了推出高质量产品的周期,应用此方法针对轨检小车的机械结构缺陷,对轨检小车的刹车轮及车架进行了创新设计,有效地减轻了轨检小车的重量,方便使用,同时保证了测量数据的稳定。

参考文献:

- [1] 陈彦,孟晓晨.高速铁路对客运市场、区域经济和空间结构的影响[J].城市发展研究,2013,20(4):119—124.
CHEN Yan, MENG Xiao-chen. The Impact of High-speed Railway on Passenger Transport Market, Regional Economy and Spatial Structure[J]. Urban Development Studies, 2013, 20(4): 119—124.
- [2] 张勇,田林亚,王建,等.轨检小车用于高速铁路轨道几何状态检测的关键问题研究[J].铁道标准设计,2013(5):5—9.
ZHANG Yong, TIAN Lin-ya, WANG Jian, et al. Research of Key Problems of Track Geometry Inspection Car Used for Track Geometry Inspection of High-speed Railway[J]. Railway Standard Design, 2013(5): 5—9.
- [3] 罗丽萍,卢俊.实现轨距水平直接测量的轨检小车新结构研究[J].铁道标准设计,2014,58(7):35—37.
LUO Li-ping, LU Jun. Research on a New Structure of Tack Inspection Instrument That Can Directly Measure Rail Gauge and Level[J]. Railway Standard Design, 2014, 58(7): 35—37.
- [4] 袁玫,朱丽.轨道几何状态测量仪结构优化设计研究[J].铁道勘察,2014(1):14—16.
YUAN Mei, ZHU Li. Research on Structural Optimization Design for the Measuring Instrument of Track Geometry Condition[J]. Railway Investigation and Surveying, 2014 (1): 14—16.
- [5] 杨成宽.GEDOCE轨道检测系统在无砟轨道施工测量中的应用[J].铁道工程学报,2009(3):57—61.
YANG Cheng-kuan. Application of GEDO CE Track Detection System in Slab Track Construction[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2009(3): 57—61.
- [6] 魏世斌,李颖,赵延峰,等.GJ-6型轨道检测系统的计与研制[J].铁道建筑,2012(2):97—100.
WEI Shi-bin, LI Ying, ZHAO Yan-feng, et al. The Design and Development of Type GJ-6 Track Inspection System[J]. Railway Engineering, 2012(2): 97—100.
- [7] 占栋,于龙,肖建,等.轨道检测中激光摄像式传感器标定方法研究[J].机械工程学报,2013,49(16):39—46.
ZHAN Dong, YU Long, XIAO Jian, et al. Calibration Approach Study for the Laser Camera Transducer of Track Inspection[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2013, 49(16): 39—46.
- [8] 刘铁,任胜伟,许贵阳,等.GJ-4型轨检车轨距-轨向检测系统改造[J].中国铁道科学,2006,27(6):137—140.
LIU Tie, REN Sheng-wei, XU Gui-yang, et al. Upgrade of Gauge-alignment System of Type GJ-4 Track Inspection-car[J]. China Railway Science, 2006, 27(6): 137—140.
- [9] 熊开封,张华,崔鹏.我国TRIZ理论研究综述[J].包装工程,2009,30(11):221—223.
XIONG Kai-feng, ZHANG Hua, CUI Peng. Summarization of Theoretical Research on TRIZ in China[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(11): 221—223.
- [10] 彭慧娟,成思源,李苏洋,等.TRIZ的理论体系研究综述[J].机械设计与制造,2013(10):270—272.
PENG Hui-juan, CHENG Si-yuan, LI Su-yang, et al. The Overview of TRIZ' s Theoretical Systems[J]. Machinery Design & Manufacture, 2013(10): 270—272.
- [11] 江屏,罗平亚,孙建广,等.基于功能裁剪的专利规避设计[J].机械工程学报,2012,48(11):46—54.
JIANG Ping, LUO Ping-ya, SUN Jian-guang, et al. Method about Patent Around Design Based on Function Trimming[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2012, 48(11): 46—54.
- [12] 成思源,王瑞,杨雪荣,等.基于TRIZ的专利规避创新设计[J].包装工程,2014,35(22):68—72.
CHENG Si-yuan, WANG Rui, YANG Xue-rong, et al. Methods of Patent around Design Based on TRIZ[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(22): 68—72.
- [13] 吕桂志,任工昌.基于功能分析TRIZ中理想解的建模[J].机械设计与制造,2009(4):41—43.
LYU Gui-zhi, REN Gong-chang. Modeling of IFR in TRIZ Based on Functional Analysis[J]. Machinery Design & Manufacture, 2009(4): 41—43.
- [14] 郭建威,张玉臣,谢永红,等.基于物质场与案例推理的创新辅助系统[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2012,31(5):792—796.
GUO Jian-wei, ZHANG Yu-chen, XIE Yong-hong, et al. A Computer Aided Enterprise Innovation System Based on Substance-fields and Case-based Reasoning[J]. Journal of Liaoning Technical University(Natural Science), 2012, 31 (5): 792—796.
- [15] 赵燕江,张永德,邹赫莉.基于TRIZ理论的抽油烟机叶片清理机的设计[J].机械设计,2010,27(2):70—73.
ZHAO Yan-jiang, ZHANG Yong-de, ZUO He-li. Design on Vane Cleaning Machine for Soot Absorber Based on TRIZ Theory[J]. Journal of Machine Design, 2010, 27(2): 70—73.