

doi: 10.7690/bgzdh.2019.07.010

## 创新设计在机械结构设计中的应用研究

蒋良荭, 刘 濛, 王逸鸣

(上海电控研究所灭火抑爆研发中心, 上海 200092)

**摘要:** 为最大化地发挥机械结构设计的作用, 对机械结构设计创新进行研究。分析创新设计对机械结构设计的重要性, 阐述创新设计在机械结构设计中的具体应用, 介绍基于发明问题的解决理论 (teoriya resheniya izobreatatelskikh zadatch, TRIZ) 创新设计理论变元法的创新设计实例。结果表明: 通过使用创新设计可以进一步提高机械的质量与性能, 并促使机械制造业实现更好的发展。

**关键词:** 创新设计; 机械结构设计; 重要性; 应用

**中图分类号:** TJ03 **文献标志码:** A

## Research on Application of Innovative Design in Mechanical Structure Design

Jiang Lianghong, Liu Meng, Wang Yiming

(Fire Explosion Suppression Research Department, Shanghai Electric Control Research Institute, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** In order to maximize the function of mechanical structure design, the design innovation of mechanical structure was studied. This paper analyzes the importance of innovative design to mechanical structure design, expounds the specific application of innovative design in mechanical structure design, and introduces the innovative design examples based on Teoriya Resheniya Izobreatatelskikh Zadatch (TRIZ). The results show that the use of innovative design can further improve the quality and performance of machinery, and promote the better development of machinery manufacturing industry.

**Keywords:** innovative design; mechanical structure design; importance; application

### 0 引言

目前, 在机械结构设计中使用创新设计已经得到相关人员的高度重视, 主要目的是能更好地利用机械, 并最大化地发挥机械结构设计的作用。机械结构的创新设计通常采用变元法。该方法使用起来比较简便, 在创新设计过程中使用逻辑化思维能够实现可对可变元素的系统化梳理, 在此基础上进一步应用基于发明问题的解决理论 (TRIZ) 创新设计理论, 可以进一步提高机械结构设计的效率。

### 1 创新设计对机械结构设计的重要性

近年来, 我国社会经济的发展速度持续加快, 人们的思想观念也开始朝着多元化的方向发展, 因此, 对机械结构设计也提出了更高要求。在这种情况下, 传统的机械结构设计理念逐渐显示出许多不足, 例如, 设计出来的机械结构相对单一, 能够使用的范围也相对较小, 导致机械结构的实际作用难以发挥。机械结构设计人员必须要提高自身的创新意识, 使用新工艺、新结构、新材料等设计方式来

弥补传统设计理念的不足, 以提高机械结构设计的效率, 促使机械制造行业实现更好的发展<sup>[1]</sup>。

### 2 创新设计在机械结构设计中的应用

#### 2.1 材料变元

在机械结构设计的过程中, 通常要按照不同的结构类型选择不同的材料, 在选择材料时, 通过材料变元可以得到很多意料之外的成果。通过改变材料的特性, 或者利用材料特性设计更稳定可靠的机械结构。例如, 在玻璃外表易损器件的固定结构设计中, 可利用柔性材料和刚性材料不同的特性, 设计一种能够提高敏感光学器件抗冲击能力的结构, 从而达到将敏感光学器件运用在高冲击高振动环境中。如图 1 所示, 在易损器件的固定设计中, 摒弃了传统刚性固定的设计, 采用了橡胶约束垫进行径向的固定, 然后通过金属固定环和固定线路板进行轴向固定的设计。2 种不同特性的材料相互作用, 不仅可以最大限度地利用产品内部空间, 而且提高了易损器件在高冲击高振动环境中的可靠性。

收稿日期: 2019-06-11; 修回日期: 2019-07-19

作者简介: 蒋良荭(1978—), 女, 浙江人, 学士, 高级工程师, 从事车辆特种防护结构设计研究。E-mail: 31380818@qq.com。

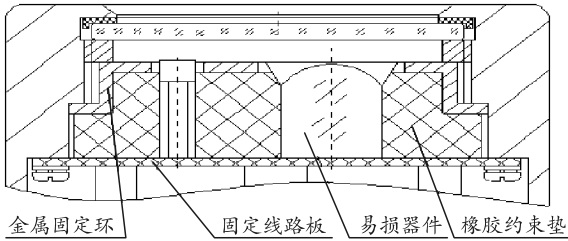


图 1 材料变元在创新设计中的应用

### 2.2 数量变元

在机械结构设计过程中，经常存在很多需要进行细微调整的元素，而最为简单的变元方法就是通过改变设计结构中基础元素的数量来实现对机械结构的合理调整。这种创新方式非常普遍<sup>[2]</sup>。例如，在对铸件结构进行设计的过程中，为了可以有效防止螺栓脱落，就使用弹簧垫圈与螺钉 2 种类型的元件。从物理学原理的角度来说，通过这种方式能够改变设计结构中存在的元素数量，设计出集多功能于一体的零件，不但可以优化整体的机械结构，而且可以简化机械结构的安装步骤。

### 2.3 尺寸变元

尺寸变元主要通过改变元器件的形状来实现结构设计的最优化，即把元器件长宽高的参数都进行适当改变。

### 2.4 工艺变元

机械产品的质量由机械结构与机械制造工艺决定。设计人员需要在每个零件的性能、精确度和安全标准的基础上设计出对应的结构方案，根据制造工艺的相关要求，来保证零件的精准度与外观的美观性，以保证机械产品的质量。

### 2.5 位置变元

在进行机械结构设计的过程中，通过改变机械结构中每个零件的位置来实现对机械结构的优化。在对焊缝位置进行分配的过程中，可以适当地把零件调整到中性轴或是临近中性轴的位置，不但能够缩短力矩、减少弯曲变形的可能性，而且也可以使机械操作变得更为稳定。

### 2.6 外形变元

机械结构外型的改变也可以实现对整体产品性能的改变。在确保机械产品外形美观的前提下，设计人员需要对机械结构的外形展开优化设计，以此来进一步提高产品的精确度，从而实现对整体产品性能的优化。

## 2.7 TRIZ 创新设计

在解决问题初期，先将各种客观限制条件进行隔离，通过理想化来定义问题的最终理想解 (ideal final result, IFR)，以确定理想解所在的方向和位置，保证在问题解决过程中始终向着确定的方向和位置前进并获得最终理想解，从而避免了传统创新中缺乏目标的弊端，进而加快创新设计的进程、提高创新设计的质量。

TRIZ 创新设计可以将复杂问题简单化，从而摆脱传统固化思维和单一的专业知识，打破知识领域界限，实现跨学科、跨领域的创新设计突破。

## 3 机械结构创新设计实例

以基于 TRIZ 创新设计理论的变元法设计为例进行创新设计。TRIZ 理论认为，创造性问题是指包含至少一个矛盾的问题，问题的种类则可归纳为物理矛盾、技术矛盾和管理矛盾 3 类。在机械结构设计中，矛盾主要为物理矛盾和技术矛盾：物理矛盾是指系统中的问题由一个参数正负方向要求导致的；技术矛盾则是指系统中的问题由 2 个参数导致的。

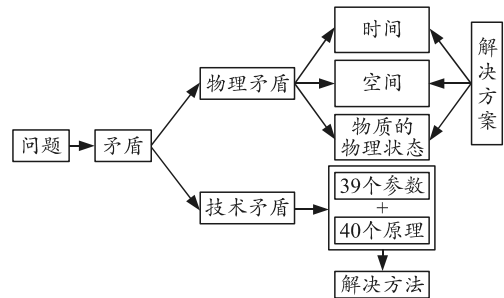


图 2 TRIZ 创新设计理论流程

在经过 TRIZ 分析明确设计的矛盾点后，针对矛盾点通过不同的变元法进行创新性设计，从而达到预期的效果。这种创新设计方法可提高单一变元法的设计效率和成功率。

以一种需要在旋转状态下保持高压力的结构为例，这种结构需要在一定的密封结构以保持高压力的状态，同时旋转阻力又需要足够小以满足小电机的驱动能力。在创新设计时，首先通过 TRIZ 创新设计理论确定物理矛盾为该结构的密封设计，既需要密封结构达到一定的密封效果，又对由密封结构产生的旋转阻力提出了足够小的要求。确定了矛盾方向和目标后，通过运用 TRIZ 创新发明原理中第 40 项“复合材料”——用复合材料替代均质材料，并结合材料变元的方法对密封结构进行创新性设计。

- [J]. 战术导弹技术, 2018(1): 42-46.
- [5] SAMUEL A G. Ballistic Missile Defense Update, 2017 Space and Missile Defense Conference[EB/OL]. 2017(2017-08-09). <https://smdsymposium.org/wp-content/uploads/2017/08/09Aug-0840-Lt-Gen-Greaves-without-video.pdf>
- [6] 张万层, 陈津, 高原. 美国红外预警卫星系统发展概述[J]. 兵工自动化, 2018, 37(6): 1-5.
- [7] FELIX R H, PAUI W S J, ROBERT A G, et al. Glover. A History of Analytical Orbit Modeling in the United States Space Surveillance System[J]. Journal of Guidance Control and Dynamics, 2004, 27(2): 174-185.
- [8] JOHN W, KEITH Z. The Missile Defense Agency's Space Tracking and Surveillance System[C]. Proc. SPIE 7106, Sensors, Systems and Next-Generation Satellites XII, 2008.
- [9] 余二永, 徐学文. STSS 星座空间覆盖性能分析方法研究[J]. 计算机仿真, 2010, 27(6): 103-106.
- [10] 胡磊, 闫世强, 刘辉, 等. 美国 GEO 预警卫星覆盖性能分析[J]. 空军雷达学院学报, 2012, 26(6): 404-408.

- [11] 胡磊, 闫世强, 刘辉, 等. 美国 HEO 预警卫星覆盖性能分析[J]. 空军雷达学院学报, 2013, 24(3): 76-80.
- [12] 高美凤, 颜国顺, 黄树彩, 等. 基于卫星观测线距离的导弹主动段状态估计[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2012, 17(6): 114-118.
- [13] 李冬, 易东云, 程洪玮, 等. 低轨预警自由段弹道估计的多项式逼近算法[J]. 国防科技大学学报, 2011, 33(4): 48-50.
- [14] 张世杰, 曹喜滨. 基于预警卫星观测的弹道导弹运动状态估计算法[J]. 宇航学报, 2005, 26: 16-22.
- [15] 梁新刚, 周志成, 曲广吉. 基于“天基红外系统”对弹道导弹主动段估计滤波算法研究[J]. 航天器工程, 2011, 20(3): 56-63.
- [16] 曾番, 李晓军, 李国宏, 等. 天基预警卫星弹道预报能力仿真分析[J]. 火力与指挥控制, 2014, 38(4): 162-164.
- [17] 严冬冬, 李智, 徐灿. 低轨预警卫星引导下的相控阵雷达搜索区域研究[J]. 电子科技大学学报, 2016, 45(6): 911-916.

\*\*\*\*\*  
(上接第 42 页)

在需要旋转的密封结构设计中常用 O 型圈来作为密封结构, 通过 O 型圈受压力变形后的自密封作用, 可产生较好的密封效果。但是 O 型圈受压力变形后, 因为本身橡胶材质的特性和接触面变大, 会产生较大的滑动摩擦力。通过改变材料特性的办法(如图 3 所示), 将 O 型圈直径圆周的一半涂覆摩擦系数很小的聚四氟乙烯(Poly tetra fluoroethylene, 简称为 PTFE)材料, 改变 O 型圈本身材质的特性。

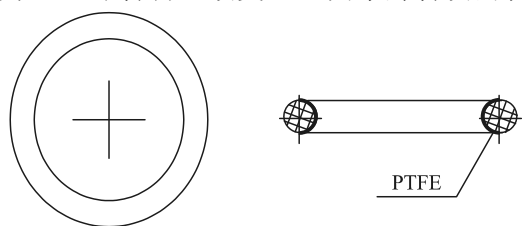


图 3 O 型圈

如图 4 所示, 当旋转结构工作时, O 型圈的自密封作用可达到高压空间的密封效果要求, 而 PTFE 材质本身具有的摩擦系数低的特点也可以达到旋转阻力小的要求。

经过实验, 采用普通橡胶材质 O 型圈设计, 在保持高压空间 30 MPa 压力的同时, 旋转扭力为 2.7 N。

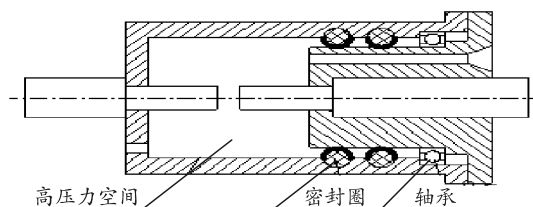


图 4 旋转结构

采用涂覆了 PTFE 材质 O 型圈设计, 在保持高压空间 30 MPa 压力的同时, 旋转扭力仅为 0.38 N, 达到设计要求的目标。

#### 4 结束语

从机械设计的现状来看, 在之后的机械创新设计过程中还存在很多需要改进的地方。在机械结构设计的过程中, 应该加大对创新设计的应用力度, 以提高机械结构设计的质量与效率, 从而促使机械制造行业实现可持续发展。

#### 参考文献:

- [1] 吴小四, 营梦, 张芹, 等. 四足平台机械结构的设计与制作[J]. 齐齐哈尔大学学报(自然科学版), 2017(3): 80-82.
- [2] 李宁, 李林, 李千山. 深井钻机钻杆自动传送装置载重臂的机械结构设计[J]. 机械制造与自动化, 2018, 47(1): 213-217.