

[环保·安全]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2015.01.025

基于 FESA/TRIZ 的机械产品创新设计方法

刘卫艳, 周俊

(上海工程技术大学 机械工程学院, 上海 201620)

摘要:机械产品的设计一直注重于市场需求和产品功能的开发,随着科学和技术的发展,环境因素变得越来越重要。提出一种基于功能-环境-结构分析(FESA)与 TRIZ 的机械产品创新设计方法,通过分析机械产品结构之间的功能要素以及功能要素与环境要素的相互作用关系,确定机械产品中存在的问题。建立根原因模型图,寻找结构设计上的不足和缺陷,利用 TRIZ 创新理论来实现机械产品的改进创新。通过污水处理系统的创新设计实例验证了该方法的可行性。

关键词:功能-环境-结构分析(FESA);发明问题解决理论(TRIZ);环境要素;根原因分析

中图分类号:TH122

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2015)01-0098-05

Product Innovative Design Method Based on FESA/TRIZ

LIU Weiyan, ZHOU Jun

(School of Mechanical Engineering, Shanghai University of Engineering and Technology, Shanghai 201620, China)

Abstract: Mechanical product design always focuses on the development of market demand and product features, along with the development of science and technology, environmental factors become increasingly important. An innovative design method of mechanical products based on the function-environment-structural analysis (FESA) and Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch (TRIZ) was presented in the paper, through the analysis of functional elements and interaction between environmental factors and mechanical product structures to determine the problem of mechanical products, the model of root cause was established, looking for structural design defects, using TRIZ innovation theory to achieve improvement and innovation of mechanical products. The innovative design example of waste water treatment system demonstrates the feasibility of this method.

Key words: Function-Environmental-Structural Analysis(FESA); Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch (TRIZ); environmental factors; root cause analysis

随着市场激烈的竞争,越来越多的企业注重于以市场为导向的产品开发,因而一些以顾客需求为主导的机械产品创新设计方法被提出:例如天津大学的 Zhang Fuying^[1]提出基于 AHP/QFD/TRIZ 的产品创新设计;西南大学的谢建民^[2]提出集 TRIZ 与 DMAIC 创新方法的研究。但是客户可能无法从技术角度提出深层次的潜在需求,导致以上创新设计通常只是针对产品布局、结构和形状的改进创新,设计层次较低。客户需求主观性和随意性较强,耗费大量的精力和时间,延长了产品的开发周期^[3]。而且客户往往仅考虑产品自身的功能需求,而忽略产品自身功能及作用对环境的影响或环境对产品自身功能及作用的影响。

在传统的机械产品设计中,仅仅注重产品的功能

和性能,从而对机械产品的结构进行改进创新,而忽略了环境要素。随着科学和技术的发展,机械产品设计中的功能要素与环境要素的相互关系变得越来越重要,对于当代机械产品的设计我们不得不考虑产品设计中的环境要素,因此本文提出一种基于功能-环境-结构分析(Function-Environment-Structure Analysis, FESA)和发明问题解决理论(Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch, TRIZ)^[4]的机械产品创新设计方法,可以帮助技术人员对机械产品进行更全面地分析,并指导实现机械产品的创新设计。

1 基于 FESA/TRIZ 的机械产品创新设计

针对以往机械产品创新设计更注重于客户需求及其功能而忽略环境要素的问题,本文提出了基于

收稿日期:2014-04-27;修回日期:2014-07-30

作者简介:刘卫艳(1989),男,河南柘城人,硕士,主要从事机械创新设计方法研究。E-mail:652434153@qq.com

FESA/TRIZ 的机械产品创新设计模型,这个模型分为 3 个步骤:功能-环境-结构分析、系统问题描述、冲突问题解决。功能-结构-环境分析是从机械产品的功能要素、环境要素及结构要素 3 方面进行分析,进而判断分析系统问题产生的原因;系统问题描述是运用工程参数对机械产品的问题进行描述,把系统问题参数化;冲突问题解决即是运用 TRIZ 理论,通过冲突矩阵寻找问题解。

1.1 功能-环境-结构分析(FESA)

FESA 是在避免传统的单一功能或结构分析的基础上,提出在结合功能与结构分析的基础上添加环境要素,通过功能、结构与环境的相互关系进行分析,功能-环境-结构分析图表示在 1 个机械系统中 2 个或 2 个以上直接或间接接触的零件会互相作用并产生一定的功能,同时其功能作用于它所处的环境并且受到环境影响。将总功能分解成子功能元 $R_1, R_2, \dots, R_n$; 机械产品结构分成子结构零件 $F_1, F_2, \dots, F_M$; $Q_1, Q_2, \dots, Q_p$ 表示子零件工作环境,如图 1 所示。

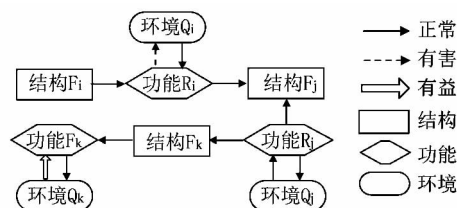


图 1 功能-环境-结构分析图

Figure 1 Function-Environment-Structural analysis diagram

功能要素、环境要素、结构要素构成系统分析网络。功能-环境-结构分析图中以机械产品中的固定件结构为起始点,相邻零件依次相连并分析其功能作用,直到最底层零件的结构及其作用。其中功能要素指 2 个或 2 个以上相连或间接接触的零件之间的相互作用而产生的功能;结构要素是功能要素的执行者,是设计研究分析的重要部分,在分析中以机械零件的形式进行分析,一般一个机械产品由若干个零件组成;环境要素指机械零件工作时所处的环境条件或者将来可能发生改变的环境条件。

设计人员根据需要确定产品的任务框架,对该框架进行初步分析。并画出该系统的所有组件及其所对应的功能,对其所处环境进行分析,列出功能-环境-结构分析图,从而可以从系统图中找出问题所在。并通过层次分析法得出其根原因,将根原因对应到其产品结构中。

1.2 发明问题解决原理(TRIZ)

TRIZ 是由前苏联发明家阿奇舒勒 (G. S. Altshuller) 在分析了世界近 250 万份高水平的发明专利的基础上提出的,它总结了各种科学技术发展进化所遵循的规律模式,以及解决各种技术冲突和物理冲突的创新法则和原理^[5]。

TRIZ 向我们提供 1 个解决冲突获得创新的高效工具,它定义了 2 类冲突:技术冲突和物理冲突。技术冲突是指 2 个参数之间的矛盾,改善某一个参数,同时会导致另一个参数的恶化,并对应着 39 个标准工程参数、矛盾矩阵和 40 条发明原理;物理冲突是指由一个技术系统对同一个工程参数提出的完全相反的需求而引发的,针对物理冲突阿奇舒勒提出了包括空间分离、时间分离、基于条件的分离和系统级别分离等 4 大分离原理解决方法。除此之外,还提出了物-场模型分析法,用于建立与已存系统或新技术系统相关问题的功能模型,与其对应的是发明问题的标准解。

1.3 基于 FESA/TRIZ 的产品创新设计模型

功能-环境-结构分析法提供一种很好的发现问题,分析问题的方法,让我们能够更好地从功能、环境的角度去思考问题,从而寻找出结构上的问题,但却不能够向我们提供有效的解决方法。然而 TRIZ 理论为我们提供了问题解决的有效方法,却不善于发现和分析问题。本文提出将功能-环境-结构分析法的问题分析方法与 TRIZ 理论中的问题解决方法相结合,可以更高效、快速地实现问题的发现、分析、解决。如图 2 所示基于 FESA/TRIZ 的产品创新设计模型。

首先技术设计人员根据设计的任务,画出产品的功能-环境-结构分析模型图,并根据模型图对系统问题进行分析,确定系统存在的问题。分析其根原因,然后对问题进行工程参数描述,并将问题进行列表,对问题性质进行判断,利用 TRIZ 工具寻找理想解。如果不能找到理想解,返回到第 2 步,对新问题进行分析,直到找到理想解。

2 污水处理系统创新设计案例

污水处理是我们生活中的重要问题,关系到人们的身体健康。本文通过对 MBR——一体化污水处理设备^[6]的改进创新设计来证明这种方法的可行性。

2.1 建立系统的功能-环境-结构分析模型图

一套完整的污水处理系统组件主要包括箱体、转笼、转轴、轴承、轴承座、电机、电极板等。根据各零件之间的结构关系依次相连,分析零件之间的相互作用,并添加环境要素画出功能-环境-结构分析模型图,如

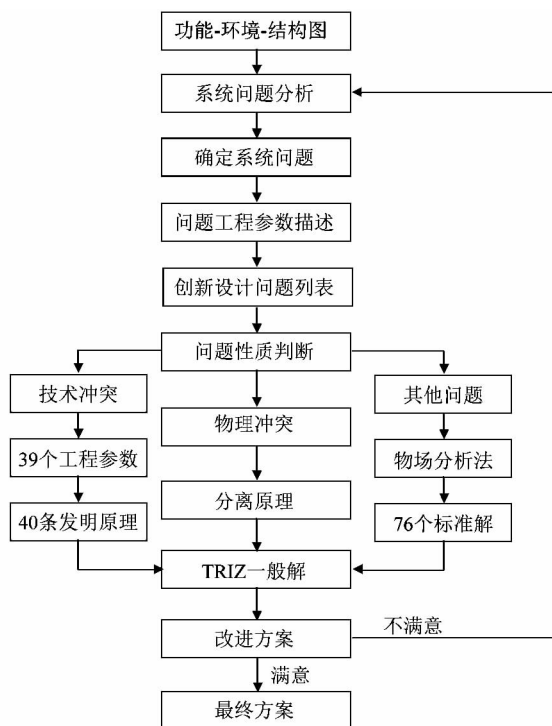


图2 基于FESA/TRIZ的产品设计过程

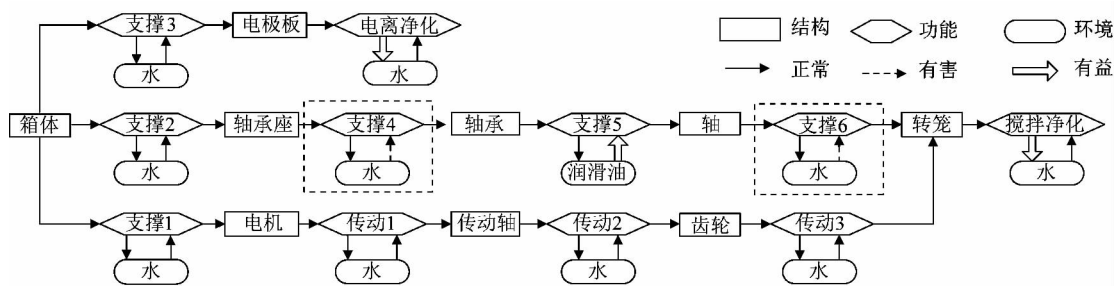
Figure 2 Product design process
based on FESA/TRIZ

图3 污水处理系统的功能-环境-结构分析模型

Figure 3 Function-Environment-Structural analysis model of sewage system

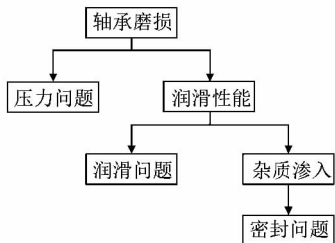


图4 系统问题1的根原因分析图

Figure 4 Root cause analysis diagram of
the first system problem

我们需要改善的是密封圈的磨损,即工程参数23:物质损失。而此时会产生恶化的是密封圈磨损产

图3所示。

根据框架图我们可以看到在模型中存在2个问题如图3虚线方框所示。污水处理系统问题1,水对轴承的影响,加速轴承的磨损毁坏;系统问题2,转笼在水中受力不平衡,发生扭转变形。

针对问题1轴承的加速磨损毁坏的根原因分析,主要原因有2点:①压力;②润滑性。而压力是系统工作量决定,即转笼大小一定时,是不能改变的。我们所能改变的只有轴承的润滑性,逐层分析并得出其系统问题的根原因,如图4所示。

系统问题2转轴变形的根原因分析,主要原因有2点:①转笼运转时外界水的阻力;②转轴承受的重力的问题。由于转笼必须在水中工作,所以外界水的阻力不能避免。但可以改变转轴承受的重力,其根原因分析模型图如图5所示。

2.2 TRIZ理论问题解

针对于第1个问题由根分析法得属于密封问题。传统的密封方法由密封圈与转轴的接触式密封,靠密封圈对转轴的压力起到密封作用。但是由于压力作用,使密封圈与转轴产生摩擦,随时间的迁移,产生间隙,污水渗入,轴承的润滑性能恶化。

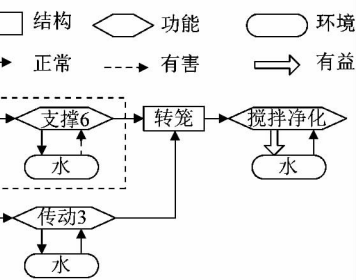


图5 系统问题2的根原因分析图

Figure 5 Root cause analysis diagram of
the second system problem

生间隙,技术系统本身产生对本系统或超系统的有害作用,即工程参数31:物体产生的有害因素。

针对于系统的第2个问题,我们由根原因分析知

道,转轴运转过程中产生变形,影响到系统的稳定性,我们要改善的一方是工程参数 13:稳定性。而由于转笼的重力作用导致转轴变形,如果我们改变转笼体积,影响系统污水处理能力,恶化的一方即工程参数 3:运动件的体积。

系统问题集如表 1 所示。

表 1 系统问题集

Table 1 System Questions

问题	性质	问题描述工程参数	
		改善参数	恶化参数
密封问题	技术冲突	23	31
转轴稳定性	技术冲突	13	3

将分析工程参数带入 TRIZ 理论的矛盾矩阵,得到第 1 组解集:1、10、29、34。第 2 组解集:1、13、15、28。根据 40 个创新原理找出对应解如表 2 所示。

表 2 创新原理解

Table 2 Original understanding of innovation

原理	原理解	原理解应用方法
1	分割	可以把一个物体变成相互独立的部分;将物体变成容易拆卸和组装的部分。
10	预先作用	预先对物体(全部或至少部分)施加必要的改变;预先安置物体,使其在最方便的位置开始发挥作用而不浪费运输时间。
13	反向作用	用相反的动作代替问题定义中所规定的动作;让物体或环境可动部分变为不可动部分,不动部分可动;将物体上下颠倒或内外翻转。
15	动态性	调整物体或环境的性能,使其在工作的各阶段达到最佳状态;分割物体,使其各部分能够改变相对位置;如果一个物体整体是静止的,可以使其移动或可动。
28	机械系统代替	用声学/听觉系统、光学/视觉系统、电磁系统、味觉系统或嗅觉系统代替机械系统;使用与物体相互作用的磁场、电磁场,电场;结构化场代替非结构化场,运动场代替静止场,时变场代替恒定场;利用铁磁粒子与场的联合使用。
29	液压和液压结构	将物体的固体部分用气体或流体代替。
34	抛弃或再生	采用溶解、蒸发等手段抛弃系统中已完功能的多余部分,或在系统运行过程中直接修改他们;在工作过程中迅速补充系统或物体中消耗的部分。

根据系统问题分析,原理 1、10、29 不适合,原理 34 适合问题 1。我们可以通过迅速补充系统或物体中消耗的部分来防止间隙的产生、污水的渗入。由于轴承的密封圈的不断磨损,产生间隙,我们采取不断补充密封圈的方法,在密封圈外圈添加 1 个弹圈,靠弹圈的

弹性不断补充密封圈的磨损。改进前、后密封圈如图 6 和图 7 所示。

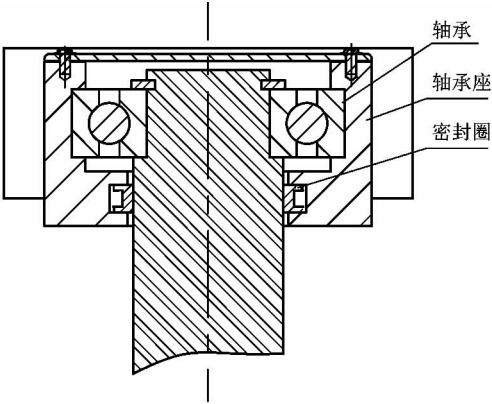


图 6 改进前密封图

Figure 6 Sealing before improvement

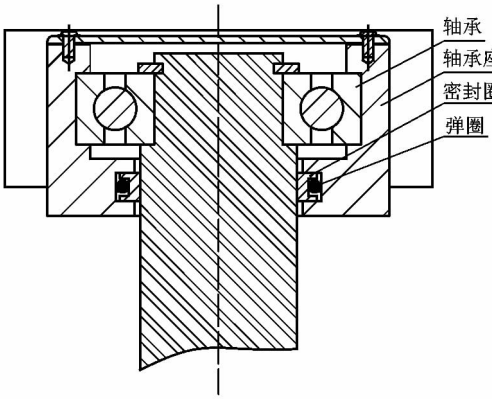


图 7 改进后密封图

Figure 7 Sealing after improvement

根据系统问题分析可知,原理解 1、15、28 不适合,我们可通原理解 13 的反向作用来寻找问题 2 的解,为克服转笼重力对转轴的影响,我们可以采用添加支撑滚球的方法,其改进前、后装配图如图 8 和图 9 所示。

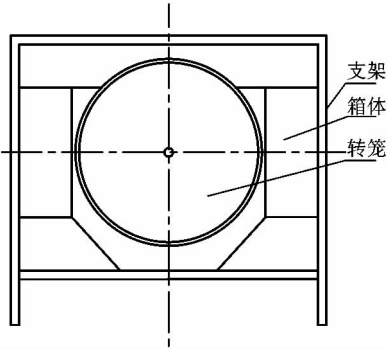


图 8 改进前装配图

Figure 8 Assembly before improvement

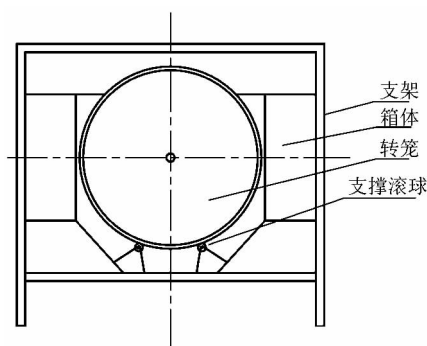


图9 改进后装配图

Figure 9 Assembly after improvement

3 结语

本文通过分析机械产品中结构与结构之间的相互作用以及其产生的功能与环境要素之间的相互作用,找出系统的问题所在。通过根原因分析法,建立根原因模型图,对系统问题进行工程参数描述,利用TRIZ创新理论实现机械产品的改进创新。它突破了传统的仅从市场和客户需求、功能分析出发的缺点,从功能、环境角度出发,帮助设计人员实现对机械产品更全面地分析,从而指导实现机械产品的创新设计。

参考文献:

[1] ZHANG Fuying, ZHANG Qinging, WANG Ping, et. al. Product

innovative design based on AHP/QFD/TRIZ [C]. Technology and Innovative Conference, Xi'an; IET, 2009; 1-5.

- [2] XIE Jianmin. Study on innovative method based on Integratrd of TRIZ and DMAIC [J]. Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering, 2009, 1: 351-354.
- [3] 刘小莹. 基于 FMEA/TIPS 的机械产品设计方法及支持系统研究 [J]. 西华大学学报: 自然科学版, 2011, 30(4): 53-58.
- [4] 张士运, 林岳. TRIZ 创新理论研究与应 [M]. 北京: 华龄出版社, 2010.
- [5] 沈萌红. TRIZ 理论及机械创新实践 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
- [6] 许春莲, 戴建坤, 张伟, 等. 循环缺氧/MBR 工艺处理装置的性能实证研究 [J]. 中国给水排水, 2012, 28(17): 84-87.
- [7] 钱炜苗. 基于功能分析、约束公理与 TRIZ 创新设计理论的产品改进设计研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2013.
- [8] 邱国华, 胡龙兴. 污水处理一体化装置的研究现状与展望 [J]. 环境污染治理技术与设备, 2005, 6(5): 7-14.
- [9] 王德吉. TRIZ 在 GDX2 包装机剔除装置改造中的应用 [J]. 自动化博览, 2011(10): 88-92.
- [10] 王明琪, 李参军. TRIZ 理论在燃烧器优化设计中的应用 [J]. 新世纪水泥导报, 2011(4): 13-17.
- [11] 书科. 解决创新发明问题的理论-TRIZ 简介 [J]. 中国制笔, 2009(4): 32-45.
- [12] 唐和东. 服务木材加工行业的 TRIZ 专利分析系统研究 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2009.

【信息·简讯】

· 行业简讯 ·

全国食品加工机械标准化技术委员会成立大会在杭州举行

2014年12月2日至4日,由轻工业杭州机电设计研究院承办的全国食品加工机械标准化技术委员会 SAC/TC551 成立大会暨第一次委员会全体会于在杭州举行。

全国食品加工机械标准化技术委员会(National Technical Committee 551 on Food Machinery of Standardization Administration of China)编号为 SAC/TC551,第一届全国食品加工机械标准化技术委员会由 27 名委员组成,中国联合装备集团有限公司总经理兼中国轻工机械协会理事长刘安江任主任委员,李建国、应义斌任副主任委员,张卫民任委员兼秘书长,秘书处承担单位为轻工业杭州机电设计研究院。全国食品加工机械标准化技术委员会主要负责直接接触食品的大型食品加工机械,如油炸设备、蒸煮设备、发酵设备、浓缩设备、分离设备、杀菌设备等领域的国家标准制修订工作。

会议由副主任委员李建国主持。主任委员刘安江在讲话中重点介绍了本标委会成立的背景情况,阐述了全国食品加工机械标准化技术委员会的工作领域在我国国民经济分类表中的位置和地位,对标委会编制上报的框架体系的建立和今后的工作做了详细的论述,并且提出了要求和希望,对各级领导的关心和支持表示感谢。会议审议通过了《全国食品加工机械标准化技术委员会章程》,并对《全国食品加工机械标准化技术委员会工作细则》、《全国食品加工机械标准化技术委员会秘书处工作细则》提出了修改意见。

中国轻工业联合会副会长钱桂敬、国家标准化管理委员会农业食品部王晓燕、中国轻工业联合会质量标准化部主任查长全、浙江省质量技术监督局标准化处贾后林、杭州市质量技术监督局标准化处张俐以及余杭区的有关方面领导出席了会议。

王晓燕介绍了最近国标委完成的国家标准十三五规划编制的情况,并对标委会的工作提出了一些要求。查长全主任介绍了轻工业 45 个行业的标准现状,要求轻工系统所属各标委加强标准体系建设,鼓励各标委积极参与国际标准化事务,强调了标准化工作应按规章开展,尤其对于主任委员领导下的集体表决制度进行了重点说明,非常明确地提出了需要表决的重大事项的范围。贾后林对浙江省标准化工作进行了介绍并对新成立的食物加工机械标委会提出了在做好行业标准化工作的同时,也能够更好地为属地标准化工作做好服务的希望。

轻工业杭州机电设计研究院为本次会议的召开做了充分的准备工作,与会代表给予了充分的肯定。

(江 杭)