

基于功能分析与 TRIZ 的林果采摘装置概念设计

于慧伶, 郭洁, 陈广胜 (东北林业大学, 黑龙江哈尔滨 150040)

摘要 传统的依赖于产品研发人员经验与灵感的设计方法已经无法满足使用者快速、高质量的功能需求。笔者提出将功能分析与 TRIZ 矛盾解决工具相结合的林果采摘装置概念设计方法, 以采摘剪为例从功能角度加以分析, 建立功能模型, 挖掘其中的不足功能, 应用 39 个通用工程参数和 40 条发明原理描述和解决问题功能, 从而缩短研发时间, 实现林果采摘创新设计。研究表明该方法在林果采摘装置设计过程中具有创新加强和有效性。

关键词 功能分析; TRIZ; 矛盾矩阵; 林果采摘装置

中图分类号 S225 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2014)05-01566-03

A Conceptual Design Method of Fruit Picking Device Based on Functional Analysis and TRIZ

YU Hui-ling et al (Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040)

Abstract The traditional design method which depends upon the experience and inspiration of researchers can no longer meet user demands for functions of high speed and quality. A conceptual design method of fruit picking device which is based on functional analysis and the theory of contradiction matrix of TRIZ was proposed. Plucking shears is taken as an example through analyzing function, establishing functional model, mining the insufficient function, describing and solving the function problems with 39 contradiction matrices and 40 innovation principles to shorten the time of research and development and achieve innovations of fruit picking device. The research illustrates the robustness and effectiveness of the method in the design of fruit picking device.

Key words Functional analysis; TRIZ; Contradiction matrix; Fruit picking device

产品创新是企业竞争力的核心。随着科技的发展, 制造水平的进步, 使得产品的生命周期大幅度缩减, 越来越多的新产品涌向市场。产品的设计过程是一个面向功能的设计过程^[1]。应用系统化、科学化的概念设计方法对现有产品加以分析, 可以帮助研发人员快速地发现产品功能中所存在的缺陷与冲突, 提出概念设计方案, 从而在短时间内有效地研发出低成本、高质量、具有创新性的产品。

将功能分析与 TRIZ 理论相融合, 运用功能分析将抽象的采摘结构转化为系统的功能模型, 以展现出系统组件与组件之间相互作用的目的与性能, 从而不受结构的约束, 发现系统问题的症结; 运用 TRIZ 理论中的矛盾解决工具描述和分析所发现的问题, 获得改进设计方案。笔者应用该设计流程对采摘剪进行了改进设计尝试。

1 基于功能分析与 TRIZ 的概念设计流程

产品设计需要经历一个极其复杂的过程。研究表明, 产品设计成本的 80%~90% 是由概念设计阶段决定的^[2], 其设计结果的优劣对产品开发的效率和效果具有十分重要的影响。

功能分析是系统设计过程中制定功能结构方案的重要方法, 有助于设计人员对系统的工作原理和功能结构进行深入地认识与理解。将功能分析引入到林果采摘装置概念设计当中, 可以帮助研究设计人员对采摘功能进行明确地把握, 合理化功能结构, 弥补不足功能, 去掉不合理功能, 从而降低设计成本, 提高产品价值。TRIZ 理论被认为是可以帮助挖掘和开发人们的创造潜能、全面系统地阐述发明创造

和技术创新的理论, 被西方的专家称为“超级发明术”, 在许多国家企业当中得到了广泛地应用并极大地提高了企业的市场竞争力。将功能分析与 TRIZ 理论两种方法相融合, 可以完善林果采摘装置概念设计的流程, 避免设计人员投入不必要的时间与精力, 从而保证设计的时效性与创新性。其具体设计流程如下。

1.1 组件分析 任何产品作为一个系统, 都包含一个或多个功能以满足用户的使用需求。而功能的实现是由执行不同功能的组件所完成的。

功能分析理论认为, 系统分为技术系统、子系统和超系统。技术系统由多个子系统组成, 并通过子系统之间的相互作用实现一定的功能。子系统由组件和操作构成, 通过组件之间的相互作用实现较小的功能。超系统是比技术系统更高级的系统, 包括技术系统和与之有关的其他系统。不同的系统层次由相应的组件所组成, 完成各自的功能。组件分析的目的在于描述系统的组成、确定组件的数量以及各个组件的层次, 从而建立组件模型。

1.2 结构分析 在组件分析的基础上, 进一步分析确定各组件之间的相互作用关系, 即为结构分析。分析结果是建立结构模型, 具体包括: 结构矩阵和结构表格。

在结构矩阵中, 行、列为模型组件, 行、列的交叉处表示未经特殊性分析的系统组件对之间的相互作用。若某对组件之间存在作用关系, 则用“+”填列, 不存在关系则用“-”填列。

结构表格是对组件对之间相互作用关系的详细描述, 分析项目如下:

(1) 功能载体。是指执行特定功能的物体, 即功能作用的主体。

(2) 功能对象。将对其实行某种特定功能的物体, 即功能载体作用的客体。

基金项目 中央高校基本科研业务费专项资金资助(DL12EB01); 黑龙江省留学回国科学基金项目(LC2011C25)。

作者简介 于慧伶(1980-), 女, 博士, 副教授, 从事计算机辅助创新理论与方法研究。

收稿日期 2014-01-04

(3) 行动。是指功能载体对功能对象的作用方式,应用一个动词进行表述。

(4) 所改变的参数。功能载体通过改变功能对象的参数而对其产生应用,实现功能。为了与后续矛盾问题分析保持一致,此处参数需从 TRIZ 理论提出的 39 个通用工程参数中选取。

(5) 功能种类。TRIZ 理论认为,功能包括有益功能和有害功能。有益功能是指有利于实现物体需求的功能,而有害功能是指影响实现物体性能的副作用。通过有益有害功能的判断,可以初步确定系统中所存在的问题,为系统改进提供方向。

(6) 完成级别。是对有益功能的进一步分析以确定相应功能的完成程度,包括不足功能、充分功能和过量功能。

1.3 建立功能模型 功能建模是指在组件分析和结构分析结果的基础上采用图形化的方法构建系统功能模型,确定系统的组件构成和各组件的功能。在功能模型中,用矩形代表组件、六角形代表超系统、椭圆形代表系统作用对象。系统作用对象为系统功能的受体,属于特殊的超系统组件。功能载体作用于功能对象的有益充分功能用直线箭头连接,不足功能用虚线箭头连接,过量功能用加粗的直线箭头连接,有害功能用波浪箭头连接。以采摘剪局部分析为例,如图 1 所示。整个刀片与枝条相互作用形成一个简单的系统,枝条为系统的作用对象,刀片为系统的组件。凹形刀片与凸形刀片同时作用于枝条表面,对其进行切割作用,改变枝条的形状参数。由于刀片本身存在一定的缺陷,使其作用不足,故用虚线箭头连接。

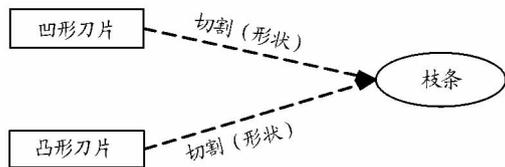


图 1 采摘剪局部功能模型

1.4 运用 TRIZ 理论解决系统问题 一个系统当中可能同时存在多个有害、过量或者不足的功能。根据上述结构分析中的结构表格,将这些缺陷功能提取出来,建立功能清单。并非清单上的所有功能都引发了系统问题。功能模型的优点在于能够以图形化的方式有效地反应关键不足所带来的因果关系,从而帮助研究设计人员在众多的问题功能中高效、准确地发现关键功能,确定影响系统功能的作用组件。当因改进产品而改变其中一个组件设计,即提高产品某方面的性能时,可能会影响到与之相关联的另一个组件,结果可能使产品系统另一些方面的性能受到影响,这样就构成了技术矛盾^[3]。为解决产品设计过程中的技术矛盾问题,TRIZ 理论提供了矛盾解决工具阿奇舒勒矛盾矩阵。

由于各个行业、领域中都存在着大量的工程参数,这些参数的名称不同,为了标准化定义技术矛盾,阿奇舒勒及其团队在对大量专利研究分析的基础上,总结提出了 39 个通用工程参数,以及与技术矛盾相对应的标准解 40 个发明原

理^[4]。矛盾矩阵以 39 个通用工程参数为横纵行标题,40 个发明原理为横纵行交叉处矛盾的解决方法,建立起技术矛盾与发明原理之间的对应关系。

研究人员首先应用 39 个通用工程参数对技术矛盾进行重新描述,确定欲改善的工程参数以及随之被恶化的工程参数;查找阿奇舒勒矛盾矩阵表,得到推荐的发明原理序号,按照序号查找发明原理,得到发明原理名称,将所推荐的发明原理逐一应用到具体问题上,探讨每个原理在具体问题上的应用实现;最后根据研究结果筛选出最理想的解决方案,完成产品的设计。

2 采摘剪功能分析

采摘获取过程约占整个果实生产作业量的 40%^[5]。其作业质量的优劣会直接影响到果实的存储、运输以及销售,最终对市场价格和经济效益造成影响。采摘剪是被广泛应用于果实采摘过程中的一种摘取工具。目前市场上生产采摘剪的企业有很多,但所生产的采摘剪大都由剪刀片、手柄等简单部件组成。为了提高产品的竞争力,加强采摘剪使用时的高效性和实用性,对采摘剪进行研究,以期获得改进的概念设计方案。

对采摘剪进行组件分析,构成采摘剪的组件包括:①连接保险钩 ②手柄 ③弹性装置 ④凹形刀片 ⑤凸形刀片 ⑥铆钉 ⑦枝条 其中①—⑥为技术系统组件,⑦为超系统组件中的系统作用对象。

分析采摘剪 7 个组件之间的相互作用关系,如下图 2 所示:

①							
②	-						
③	-	+					
④	+	+	-				
⑤	+	+	-	-			
⑥	-	-	-	+	+		
⑦	-	-	-	+	+	-	
组件	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦

图 2 组件关系结构矩阵

由上图可知,采摘剪组件结构中存在①与④、①与⑤、③与②、②与④、②与⑤、⑥与④、⑥与⑤、④与⑦和⑤与⑦共 9 对相互联系的组件,再此基础上进一步分析确定组件对中的功能载体、功能对象,功能载体对功能对象的作用种类、所改变的参数,以及功能的完成情况。结果如下表 1 所示:

根据结构模型建立采摘剪的功能模型,以图形化的方式直观的展现组件与超系统之间的相互关系。功能模型如图 3 所示。通过图形分析,可以发现系统在刀片作用于枝条剪切阶段存在功能作用上的不足。目前市场上所销售的果实大都带有枝叶,应用普通采摘剪摘果树枝时,会有一定的倾斜程度,不能保证刀刃与果枝保持 90 度剪下,这样就使得剪取的果实枝端比较尖锐,在果农采摘过程中会对果农造成伤害,运输过程中果实会相互作用,顾客购买时也可能刮伤。

为了避免上述现象的发生,完善刀片的剪切功能是改进采摘剪设计的方向,也是该产品创新设计的出发点。

表1 组件作用结构

序号	功能载体	行动	功能对象	改变参数	功能种类	完成级别
1	①	固定	④	强度	有益	充足
2	①	固定	⑤	强度	有益	充足
3	③	支撑	②	力	有益	充足
4	②	连结	④	长度	有益	充足
5	②	连结	⑤	长度	有益	充足
6	⑥	固定	④	强度	有益	充足
7	⑥	固定	⑤	强度	有益	充足
8	④	切割	⑦	形状	有益	不足
9	⑤	切割	⑦	形状	有益	不足

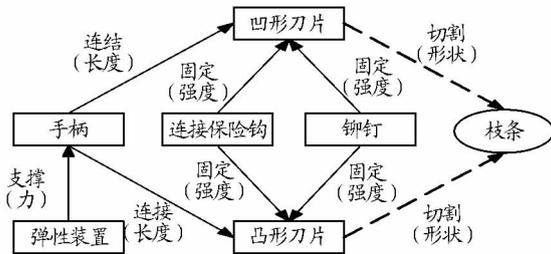


图3 采摘剪功能模型

3 采摘剪矛盾求解

运用 TRIZ 理论中的矛盾解决理论定义果实采摘中存在的功能问题。由于矛盾组件是刀片与枝条,欲改进刀片与枝条之间的作用关系,所以改善参数为刀片的形状,刀片形状的改变很可能导致采摘效率的降低,所以恶化参数为功率。根据改善参数与恶化参数查询矛盾矩阵表,可得到解决问题的发明原理:第2、4、6条。

原理2:提取法。此原理是指将物体中 useful 或有害的部分提取出来进行相应的处理。包含2方面的含义,一方面是指从物体中抽出产生负面影响的部分或属性;另一方面是指从物体中抽出必要的部分或属性。

原理4:非对称法。此原理利用不对称性进行创新设计。包含2方面的含义,一方面是指将物体的对称形式转化为不

对称形式;另一方面是指如果物体已经是不对称的,则加强它的不对称程度。

原理6:一物多用法。也称多元性原理,是指使一个物体能够执行多种不同功能,以取代其他物体的介入。

4 采摘剪改进设计方案

对查询矛盾矩阵所得到的发明原理进行逐条分析,由原理4和原理6所得启示,结合本领域实际应用需要,提出2种改进设计方案。

方案1:根据原理4,改进现有刀片形状,加剧凸形刀片和凹形刀片的非对称程度,使其在采摘果实时能够夹紧枝条,避免枝条打滑倾斜,从而保证将枝条90度剪下,避免枝端尖锐。

方案2:根据原理6,增加刀片的功能,使其在执行剪切作用的同时能够实现枝端的打磨功能。具体做法为:在凸形刀片和凹形刀片的内侧制作类似于锉刀的不平纹路,这样在刀刃逐渐剪切夹紧的过程中,纹路与枝端之间会有相互的摩擦作用,从而降低枝端的尖锐程度。

5 结论

将功能分析与 TRIZ 理论相结合的林果采摘装置概念设计方法应用于已有产品的创新设计当中,不仅有助于研究设计人员打破思维惯性和经验设计的约束,指明改进设计方向,还可以帮助他们解决创新设计中所遇到的技术矛盾,实现高水平的改进创新。以采摘剪为例的改进设计,通过组件分析、结构分析、功能建模和矛盾求解4个步骤,获得了最终设计方案,表明了该概念设计方法的实用性和健壮性。

参考文献

- [1] 韩彦良. 基于 TRIZ 理论功能裁剪的产品创新设计[J]. 制造业自动化, 2013, 35(1): 150-156.
- [2] NETTEN B D, VINGERHOEDS R A. EADOCs: Conceptual Design in Three Phases—An Application to Fibre Reinforced Composite Panels[J]. Engng Applic Artif Intell, 1997, 10(2): 129-138.
- [3] 吕欣. 基于 TRIZ 理论中39矛盾矩阵与40创新原则的产品创新设计研究[J]. 包装工程, 2009(5): 211-213.
- [4] 蒲娟, 陈勇, 熊艳, 等. 基于 TRIZ 理论和模糊层次分析法的产品概念设计及评价[J]. 制造业自动化, 2014, 36(1): 14-17.
- [5] 宋健, 张铁中, 徐丽明, 等. 果蔬采摘机器人研究进展与展望[J]. 农业机械学报, 2006, 37(5): 158-162.

(上接第1565页)

键在于:由于采用了双刀片的形式,刀片始终在水果筐范围移动,有效地避免了由于刀片旋转而误伤。通过切割力分析论证了,不存在切割刀片一次切割行程无法切断果柄的情况。经试验测定,系统搭载的伺服电机作电流为0.3A。由于系统采用的12V/6AH电池,即系统工作支持连续工作10h,并且,由于双刀片的设计思路,有效地降低了因采摘过程而产生的水果产量损失。

参考文献

- [1] 2009年世界主要国家豆类、蔬菜、水果产量[J]. 世界农业, 2012(1): 103-104.
- [2] SANDERS K F. Orange harvesting systems review[J]. Biosystems Engineering, 2005, 90(2): 115-125.
- [3] 卢明湘. 农业机械化对区域农业的影响[J]. 贵州农业科学, 2012, 40(2): 180-182.
- [4] 段洁利, 陆华忠, 王慰祖, 等. 水果采收机械的现状与发展[J]. 广东农业科学, 2012, 39(16): 189-192.
- [5] 曾正明. 实用有色金属材料手册[M]. 2版. 北京:机械工业出版社, 2008: 572-573.