

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.07.005

基于可供性改进产品原理方案的设计系统研究^{*}

周升铭, 李吉泉^{*}, 周杭超, 杨少广

(浙江工业大学 特种装备制造与先进加工技术教育部重点实验室, 浙江 杭州 310014)

摘要:针对现有的产品设计主要是基于功能的设计,但功能只能对产品中存在输入输出状态转变的部分进行设计,固而无法表达一些非功能性信息的问题,鉴于可供性可用于表达与产品相关的各实体间的非功能性关系,对结合可供性与传统基于功能的设计求解方法进行了研究,通过综合物-场可供性模型等分析工具形成了开发设计系统的关键技术,在此基础上开发了面向产品概念设计阶段的改进产品原理方案的设计系统,探讨了物-场可供性的实现方法,并以玻璃清洁剂方案设计为例与传统基于功能设计方法进行了对比。研究结果表明,考虑可供性后的设计系统生成的设计方案更理想。

关键词:交互作用;物-场可供性模型;产品原理方案;设计系统

中图分类号:TH122

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2016)07-0799-06

Design system of improving product principle scheme based on affordance

ZHOU Sheng-ming, LI Ji-quan, ZHOU Hang-chao, YANG Shao-guang

(Key Laboratory of Special Purpose Equipment and Advanced Manufacturing Technology,
Ministry of Education, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Aiming that the existing product design is mainly based on function, while the function of the product only reflect the partial information that the transformation of some input-output state instead of the non-functional information, the affordance can be applied to express non-functional relationship between different entities associated with product, therefore the method of combining affordance with traditional design solutions based on function was investigated. And the key technology of the developing design systems was formed after synthesizing the substance-field Affordance Model and other analysis tools, then the design system of improving product principle scheme for the conceptual design phase was developed based on these analysis tools and discussing the method to implement Substance-Field Affordance. The comparison of the scheme design of the glass cleaner between design method based on affordance and based on function was presented. The results indicate that the design scheme turns to be more ideal under the design system when affordance is considered.

Key words: interaction; substance-field affordance model; product principle scheme; design system

0 引 言

概念设计是产品设计的关键阶段。现有的产品概念设计主要是基于功能的设计研究^[1-3],但是功能无法表达一些非功能性作用,需要引入可供性设计表达产品生命周期所有的影响因素^[4]。产品设计系统是实现产品设计自动化的一个重要工具,开发并使用设计

系统可以提升设计效率,缩短产品开发周期。

目前产品设计系统的研究主要集中在4个方面:一是研究基于零件可供性的产品设计系统^[5-6];二是产品形态设计系统^[7-8];三是基于功能的产品概念设计系统^[9-10];四是面向具体类型产品设计系统^[11-12]。但是,目前有关可供性的设计系统研究还不成熟,缺少基于可供性产品方案设计系统研究。

收稿日期:2016-01-22

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51375451)

作者简介:周升铭(1990-),男,江西九江人,主要从事设计方法学、设计自动化方面的研究。E-mail: zjut_zsm@163.com

通信联系人:李吉泉,男,副教授,硕士生导师,E-mail: lijq@zjut.edu.cn

本研究基于可供性理论^[13-15]与物-场分析理论^[16]提出物-场可供性模型,基于模型和其他分析工具开发辅助产品概念设计的改进产品原理方案的设计系统,并应用玻璃清洁器的实例对设计系统进行分析验证。

1 设计系统框架

结合可供性与传统基于功能的设计方法提出的设计系统框架如图 1 所示。系统主要由设计知识库模块和提升产品设计质量模块两个部分组成。

1.1 设计知识库模块

设计知识库模块包括作用结构知识库、实体知识库、广义场知识库、模型符号知识库、可供性知识库及

原理方案知识库。在该模块中,广义场知识库、模型符号知识库为通用知识库,系统数据库已经包含相关信息;作用结构知识库、实体知识库、可供性知识库及原理方案知识库需要分析具体基于功能产品设计方案并填充与各知识库有关的产品信息,方便后续分析过程调用相关信息。

1.2 提升产品设计质量模块

该模块包括原理方案分析、交互作用分析、可供性分析、求解改进方案以及方案分析评价 5 个子模块。每个模块分别有不同的技术路线和对应的关键技术。此模块基于“物-场可供性”模型优化产品设计方案,逐步完成每个流程从而得到基于可供性的概念设计方案。

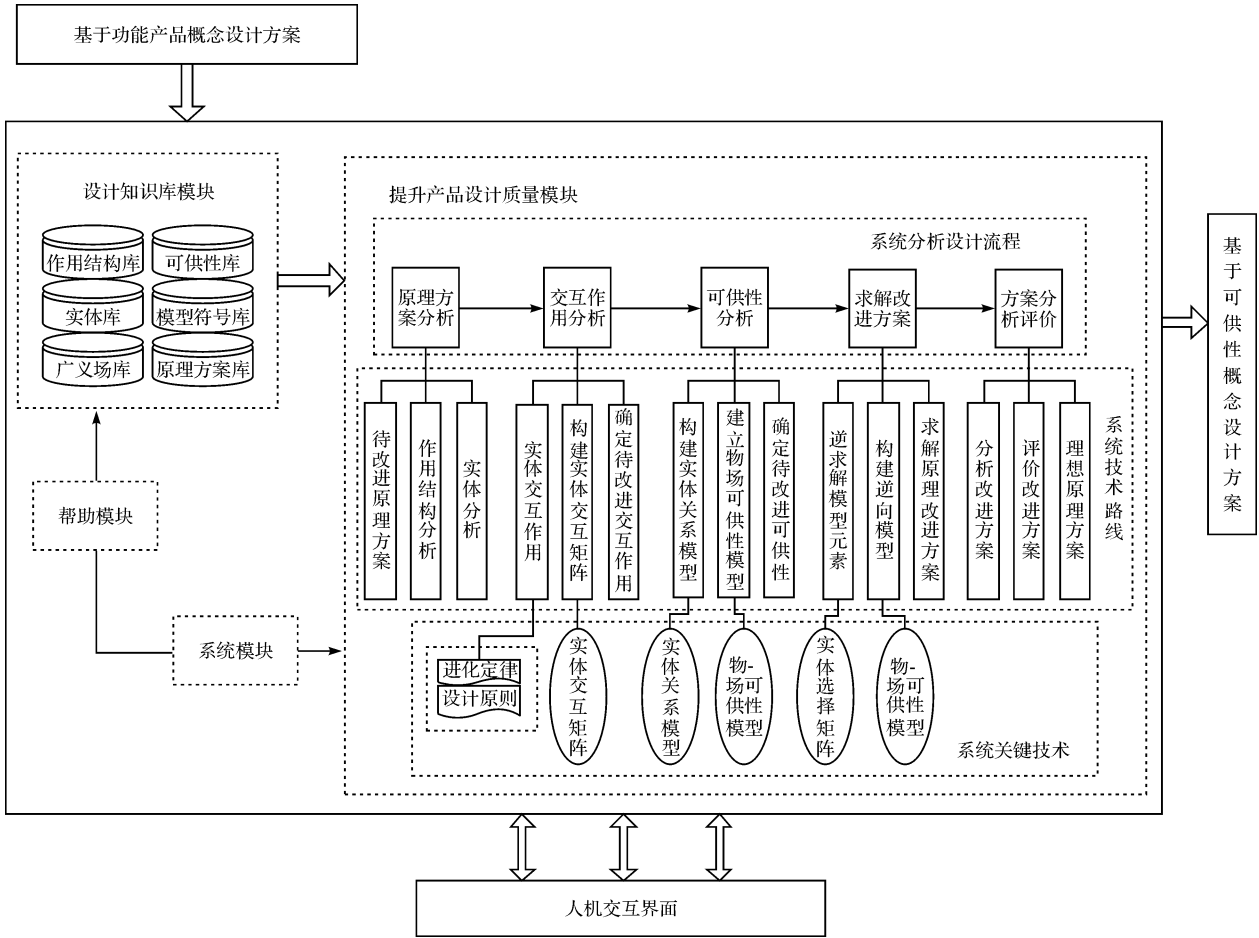


图 1 设计系统框架

2 设计系统的关键技术

2.1 物-场可供性模型

模型包括 4 个组成部分:产生交互的主实体(A 或 U)和客实体(A 或 E 或 U)、促使交互作用发生的广义场 F 和生成的可供性 Affordance。

广义场 F 是一种促发作用,可以促使两个不同实

体发生交互作用,包括功能场和非功能性场,例如,机械场、电磁场等属于功能场,美观、环保、经济性等属于非功能性场。

根据需要进行改进的交互作用,物-场可供性模型可分为正向模型和逆向模型两类,如图 2 所示。

(1)正向模型。可用于分析产品设计中消极作用和需提升的积极作用。模型分为 3 类:消极交互作用模型、有效的积极交互作用模型、效应不足的交互作用模型。

(2) 逆向模型。可用于产品设计中有待改进的两类作用的分析,包括需改进可供性与需增加交互作用,模型结构刚好与正向模型相反,可由可供性反推出实体或场。

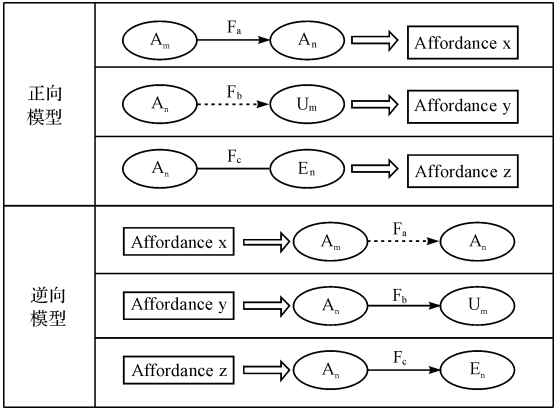


图 2 物-场可供性模型

2.2 进化定律与设计原则

产品设计中有 3 类交互作用需要进行改进。通过分析设计方案可找出消极交互作用;需提升的积极交互作用可通过考虑产品技术进化与考虑用户体验得到;考虑需求进化可分析发现要增加的积极交互作用。设计系统中为确定需要改进的交互作用参考的进化定律^[17]与设计原则^[18]如图 3 所示。

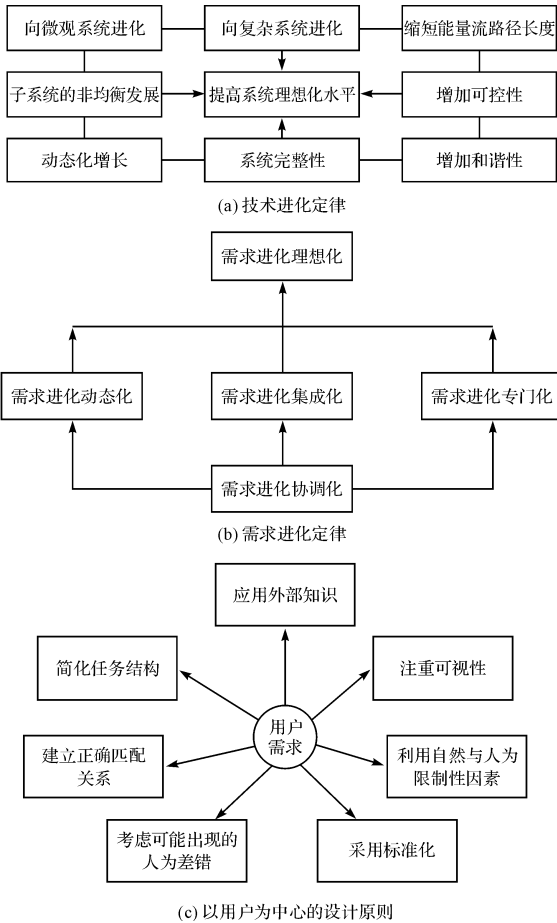


图 3 进化定律与设计原则

2.3 实体交互矩阵

产品一般存在用户实体与产品实体、产品与产品实体和产品与环境实体 3 类交互作用。产品中的消极作用、需提升积极作用以及需增加积极交互作用都需要改进。而这些需要借助实体交互矩阵分析,并分别用“×”、“√”和“#”标示,具体矩阵见 3.2.2 节。

2.4 实体关系模型

为方便建立物-场可供性模型,研究人员需要先确定发生交互作用的两实体,并区分作用发生的主体和客体关系,于是需要建立实体关系模型,并使用 I、J、K 对交互作用分类编号,具体模型见 3.2.2 节。

2.5 实体选择矩阵

当一个可供性存在多个实体可供选择时,研究人员就需要进行比较分析,先挑选出理想实体,再确定交互需要的作用场,于是笔者提出用来选择改进可供性所需实体的实体选择矩阵,消极与积极作用使用“×”和“√”标记,并计算百分数选出理想实体,具体矩阵见 3.2.2 节。

3 原型系统及工程实例

笔者基于本研究前述部分的设计系统框架和系统关键技术开发出了面向产品概念设计阶段改进产品原理方案的设计系统,并以玻璃清洁器为例对系统进行验证。

3.1 原型系统

产品可供性分析与应用系统^[19]是基于 VB. net 语言和 SQL Server 数据库平台开发的,它将物-场可供性模型引入基于功能的产品概念设计过程,并结合实体交互矩阵和实体关系模型等分析工具对产品原理方案进行分析,通过对产品积极作用最大化、消极作用最小化优化产品设计方案。

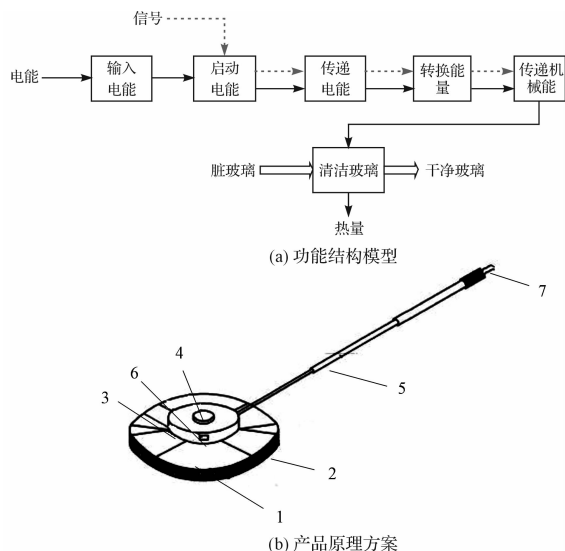
3.2 实例验证

本研究应用玻璃清洁器作为实例说明设计系统的一般求解过程。

3.2.1 设计知识库模块

首先,本研究分析客户对玻璃清洁器的基本需求:可控制机器启停、握杆可伸缩、电动的方式清洁玻璃,并参考功能设计方法,建立玻璃清洁器的一种功能结构模型,如图 4(a) 所示。

根据玻璃清洁器功能结构模型,可设计得到一种产品原理方案^[20],如图 4(b) 所示。



1—驱动盘;2—海绵体;3—机体;4—直流电机;
5—手柄;6—电机开关;7—电源线

图 4 电动玻璃清洁器

再分析图 4(b) 产品方案设计信息, 建立对应设计知识库, 方便后续分析过程直接调用。

3.2.2 提升产品设计质量模块

本研究按照原理方案分析、交互作用分析、可供性分析、求解改进方案以及方案分析评价的流程顺序分析玻璃清洁器设计方案, 逐步完成系统所有分析流程后, 可获得相对理想产品设计方案, 实现设计质量的提升。以下选取设计系统部分关键求解过程进行简要说明。

首先, 本研究将基于功能设计得到的玻璃清洁器设计方案定为目标改进方案, 产品名称: 电动圆盘玻璃清洁器, 组成机构: 驱动盘、圆盘固定刷头、机体、直流电机、手柄、电机开关、电源线。

在分析实体交互作用时, 本研究参考前述进化定律与设计原则分析两实体间存在需要提升质量的交互作用, 对应设计系统窗体如图 5 所示。



图 5 实体交互作用窗体

在构建实体交互矩阵时, 本研究将实体交互作用

分析得到需要提升质量的交互作用对应的实体找出并进行分析, 确定交互作用的类型和数量, 实体交互矩阵图如图 6(a) 所示, 对应设计系统窗体如图 6(b) 所示。

交互实体	产品实体	产品实体								数量统计		
		玻璃清洁器	驱动盘	圆盘固定刷头	机体	直流电机	手柄	电机开关	电源线	清除消极	提升积极	增加积极
产品实体	玻璃清洁器	-										
	驱动盘		-									
	圆盘固定刷头			-								
	机体				-							
	直流电机					-						
	手柄			√			-				1	
	电机开关							-				
用户实体	电源线								-			
	操作者	#					×√	√		1	2	1
环境实体	玻璃	×		×		#				2		1

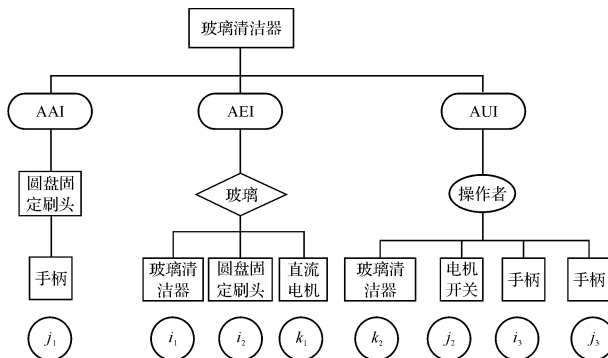
(a) 实体交互矩阵图



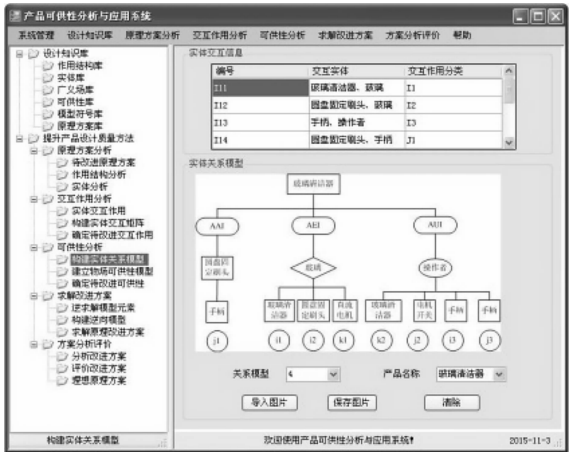
(b) 实体交互矩阵系统窗体

图 6 实体交互矩阵

在构建实体关系模型时, 本研究根据交互矩阵确定发生每个交互作用的两实体, 并区分作用主体和客体建立实体关系模型, 实体关系模型图如图 7(a) 所示, 对应设计系统窗体如图 7(b) 所示。



(a) 实体关系模型图



(b) 实体关系模型系统窗体

图7 实体关系模型

在构建实体选择矩阵时,本研究分析找出改进可供性需用的实体(存在多个备选实体的部分):刷头与握杆连接结构、手柄、套管伸缩固定结构,分析实体间交互作用,统计积极与消极个数,找出理想实体,得到实体选择矩阵如图8(a)所示,对应设计系统窗体如图8(b)所示。

产品实体	交互实体	刷头与握杆连接结构备选实体			手柄备选实体			套管伸缩固定结构备选实体	
		转轴连接	铰接	螺栓连接	伸缩旋转弓形圆杆	U型钢架握杆	可折叠握杆	弹簧销轴固定套管	制动螺母
产品实体	玻璃清洁器	√	√	√	√	√	√	√	√
	驱动盘	√	√	√	√	√	√		
	圆盘固定刷头	√	√	×	√	√	√		
	机体								
	直流电机								
	手柄	√	√	√	-	-	-		
用户实体	电机开关								
	电源线								
环境实体	操作者	√	√	×	√	×	×	√	×
	玻璃	√	×	×	√	√	√	√	√
数量统计	积极个数	6	5	3	5	4	4	3	2
	消极个数	0	1	3	0	1	1	0	1
	积极百分数	100%	83%	50%	100%	80%	80%	100%	67%

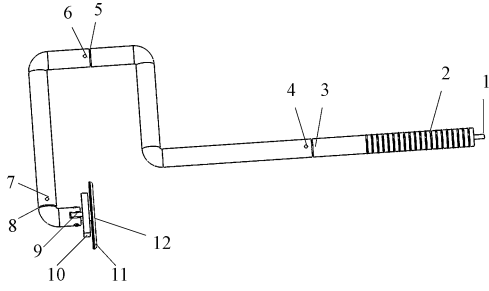
(a) 实体选择矩阵图



(a) 实体选择矩阵系统窗体

图8 实体选择矩阵

在求解原理改进方案时,综合分析得到的物-场可供性模型信息包括:交互实体、作用场和可供性,可得到一种新的玻璃清洁器设计方案,组成结构:电源线、防滑橡胶套、电机开关、旋转伸缩结构、弹簧固定销轴、转动轴、驱动底盘(带风机孔)、可换矩形刷头、调速电机,原理改进方案图如图9(a)所示,对应设计系统窗体如图9(b)所示。



(a) 原理改进方案图

- 1—电源线;2—防滑橡胶套;3,5,8—旋转伸缩结构;
4,6,7—弹簧固定销轴;9—转动轴;10—驱动底盘
(带风机孔);11—可换刷头;12—转速电机



(b) 原理改进方案系统窗体

图9 原理改进方案

3.2.3 与传统基于功能设计方案进行对比

本研究将原型系统设计的设计方案与传统基于功能设计方案进行对比(对应设计系统里的评价改进方案流程),研究情况如表1所示,通过对比可看出由设计系统得到的设计方案更理想。

表1 设计方案对比

改进前实体或场	改进后实体或场	改进效果
圆盘固定刷头	可换矩形刷头	可充分清洁玻璃
直流电机、电场	调速电机、电场	清洁快慢能控制
刷头与握杆固定连接	刷头与握杆转轴连接	刷头角度可调
圆柱直握杆	伸缩旋转弓形圆杆	方便擦拭内外玻璃
玻璃清洁器、机械场	风机、流体场	加快玻璃干燥速度
套管伸缩握杆	弹簧销轴固定套管	可固定握杆长度
光滑圆杆	圆杆端部装橡胶套	握杆可防滑
开关(装于刷头)	开关(装于握杆)	方便机器启停

4 结束语

本研究基于物-场可供性模型等分析工具形成了产品方案设计系统的关键技术,并开发了面向产品概念设计阶段产品可供性分析与应用系统。笔者将该产品原型系统用于对基于功能设计产品原理方案的分析,对产品积极作用最大化、消极作用最小化,可得到更理想的产品原理方案。玻璃清洁器的实例验证了考虑可供性后开发的改进产品原理方案的设计系统可以有效辅助产品概念设计过程。

笔者后续将研究把物-场可供性模型引入产品其他设计阶段以及进一步优化设计系统。

参考文献(References):

- [1] PAHL G, BEITZ W. Engineering Design: A Systematic Approach[M]. 2nd ed. . London: Springer-Verlag,1996.
- [2] 赵琳,贺华波,邓益民. 可变功能机械系统概念设计的相似模型构建研究[J]. 机电工程,2014,31(12):1530-1534.
- [3] 姜少飞,邵建辉,李吉泉. 设计历史功能重用与变异方法研究[J]. 计算机集成制造系统,2014,20(6):1276-1290.
- [4] MAIER J R A, FADEL G M. Affordance based design: a relational theory for design[J]. **Research in Engineering Design**,2009,20(1):13-27.
- [5] CHEN Y, HUANG J, ZHANG Z, et al. A part affordance-based approach for capturing detailed design knowledge[J]. **Computer-Aided Design**,2013,45(12):1617-1629.
- [6] HUANG J, CHEN Y, ZHANG Z, et al. A part affordance-based approach for detailed design process planning in collaborative environment [J]. **Concurrent Engineering**, 2014,22(4):291-308.
- [7] 初建杰,陆长德,余隋怀,等. 定制设计的产品形态设计系统研究[J]. 西北工业大学学报,2006,24(1):72-75.

- [8] 李博,余隋怀,初建杰,等. 多约束下的产品形态设计计算机辅助系统研究[J]. 中国机械工程,2013,24(3):340-345.
- [9] 陈帅,姜少飞,洪滔,等. 基于设计意图捕捉的叉车参数化设计系统研究[J]. 浙江工业大学学报,2011,39(6):639-643.
- [10] 姜少飞,梁伟,李吉泉. 基于效应综合的设计历史产品逆求解方法[J]. 机械工程学报,2015,51(17):128-137.
- [11] 于同敏,单秀海,刘铁昌,等. 基于 Internet 的注塑模具智能化并行设计系统研究[J]. 机械工程学报,2002,38(51):181-185.
- [12] 侯亮,唐任仲,徐燕申,等. 机械产品柔性模块化设计知识库系统的研究[J]. 浙江大学学报:工学版,2004,38(1):44-47.
- [13] 刘尚,史冬岩. 基于可供性分析的技术系统理想度提高方法[J]. 机械设计,2013,30(3):12-16.
- [14] MAIER J R A. On the computability of affordances as relations[J]. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing**,2015,29(3):249-256.
- [15] CORMIER P, LEWIS K. An affordance-based approach for generating user-specific design specifications [J]. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing**,2015,29(3):281-295.
- [16] TERNINKO J. Su-field analysis [J/OL]. Triz Journal, [2000]. <http://www.triz-journal.com/su-field-analysis/>.
- [17] 檀润华. TRIZ 及应用:技术创新过程与方法[M]. 北京:高等教育出版社,2010.
- [18] NORMAN D A. The design of everyday things[M]. New York: Basic books,2002.
- [19] 姜少飞,周升铭,李吉泉. 产品可供性分析与应用系统.[CP/DK]. 中国著作权登记号:2016SR005141. 2016-1-8.
- [20] 杨光. 电动玻璃清洁器. 中国,CN202044204U[P]. 2011-11-23.

[编辑:李辉]

本文引用格式:

周升铭,李吉泉,周杭超,等. 基于可供性改进产品原理方案的设计系统研究[J]. 机电工程,2016,33(7):799-804.

ZHOU Sheng-ming, LI Ji-quan, ZHOU Hang-chao, et al. Design system of improving product principle scheme based on affordance[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2016,33(7):799-804.

《机电工程》杂志:<http://www.meem.com.cn>