

文章编号:1009-3087(2013)06-0176-08

基于创新认知思维过程多参与者协同创新设计研究

万延见,李彦*,熊艳,闫喜强

(四川大学 制造科学与工程学院,四川 成都 610065)

摘要:企业产品研发活动,往往是多参与者协同创新思考的过程,认知思维过程较为复杂。基于认知思维特点,提炼出协同创新认知思维过程,提出一种多方法集成创新策略及设计流程。结合设计流程,针对协同创新人员、过程操作、信息决策等方面进行探究与确定,组织、规范和控制各参与者的设计行为和思维操作,以促进集体创造力发挥,推动创新活动开展。最后,以打钉机创新为例,演示了这一协同过程,以验证其应用的有效性与实用性。

关键词:多参与者;协同创新思考;认知思维过程;集体创造力

中图分类号:TH122

文献标志码:A

Research on the Multi-participant Collaborative Innovative Design Based on Creative Cognitive Thinking Process

WAN Yan-jian, LI Yan*, XIONG Yan, YAN Xi-qiang

(School of Manufacturing Sci. and Eng., Sichuan Univ., Chengdu 610065, China)

Abstract: Product development activity always involves the innovative thinking of various participants. The cognitive thinking process is complicated. Based on the characteristics of cognitive thinking, a collaborative innovation process of cognitive thinking was summarized, and an innovative strategy of multi-method and design process was proposed. Combined with the design process, the aspects of collaborative innovation personnel, process operation and decision making were explored. The design activities and thinking operations of various participants were organized and standardized to maximize the collective creativity and promote the innovation activities. Finally, an example of nailing machine was taken to show the collaborative process and demonstrate the effectiveness of its application.

Key words: multi-participant; collaborative innovative thinking; cognitive thinking process; collective creativity cognition

在整个产品研发过程中,概念设计是创新性体现最为突出的阶段,设计者的创新认知思维过程也较为复杂^[1]。而具体的企业产品研发活动,参与/涉及到的部门通常很多,需要多参与者协同思考加以实现^[2],且团队集体创造力的发挥水平是决定这一活动能否顺利开展的重要方面^[3]。因此,要对概念设计阶段设计者的创新认知思维过程加以研究,以揭示创新想法产生的内在机理,进而提出较为有效的协同策略。同时,还要结合企业实际及所应用的策略、流程,对参与活动的人员组成、协同过程组织与控制等,影响/制约集体创造力发挥的重要因素加以探究与确定。

目前,针对多参与者协同创新的研究主要集中在协同主体(组织模型、协同感知、决策权重等)、协同过程(过程控制、任务分配、智能推理等)、协同资源(资源分布、知识结构、信息处理等)3个方面^[2,4-10]。如文献[2]认为概念设计是用户、设计者、制造者等多利益相关者参与的过程,针对协同设计过程信息冲突问题,提出了一种一致性协商方法;文献[4]构建了客户和专业人员多角色主体共同参与设计的,客户协同创新集成组织模型;文献[5]对用户创意向成熟产品转化的协同创新过程进行了研究;文献[6-7]则针对协同过程中的设计信息扩散、搜集、储存、共享及理解等问题,分别提出了各自的观点,等等。

但这些研究大多都是对协同创新过程的信息化实现,而不是出于对创新认知思维过程加以较为全面规划基础上,对设计过程中的多参与者协同操作过程、信息决策等方面的综合考虑。这使得提出的策略及开发的软件在具体应用时,易受到问题类型、

收稿日期:2013-05-24

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51175355);科技部创新方法工作专项项目(2011IM010100)

作者简介:万延见(1986—),男,博士生.研究方向:产品创新设计理论及方法. E-mail: wan-yan-jian@163.com

* 通信联系人

信息类型以及方法应用范围等多重因素影响,进而降低协同过程的操作性、流畅性等。

基于此,作者通过研究产品创新认知思维过程及规律,提炼出一般协同创新认知思维过程,提出一种多方法集成创新策略及设计流程。并结合这一流程,对协同创新过程中的人员配备,多参与者间的设计操作、信息决策等方面进行了探究和确定,以使各参与者都能更好地理解这一协同创新思考过程,进而更好地引导/辅助其开展创新活动。

1 基于创新认知思维过程产品创新策略应用

1.1 多参与者协同创新认知思维过程

产品创新设计的过程是设计者通过创造性思维,发挥其创造力,进而提出新概念、设计新方案、开发新产品的创新思考过程^[11]。对于个体创新思考的行为,是设计者通过大脑从外部摄入任务信息及可获取资源信息,感知并使之转化为感觉记忆;然后,大脑结合感知到的设计任务,调用感觉记忆中的明显相关信息单元,并在此刺激条件下,调用以往设计经验,形成工作记忆;最后,再经人脑综合处理,形成创新想法,并进一步感知形成新的感觉记忆的思维往复操作过程。

对于多参与者协同创新的情况,思考过程通常更为复杂。其是通过各思维个体,在可获取的设计资源环境下,针对设计任务进行创新思考,迁移、共享产生的想法,并积极加以研讨,使想法能被他人感知、重构,或激发他人产生新记忆,进而获得更多、更高价值创新想法的过程。但具体到每一步思维操作,还应结合操作的职能、特点,参与者的主要职责、设计经验、思维优势等,以及所应用方法策略、流程,对每一操作中各个参与者的设计行为和思维过程加以合理的组织、规范与控制,以促进集体创造力的发挥。

1.2 基于创新认知思维过程多方法集成创新应用

对于产品创新思考的过程,通常包含发现并确定创新问题,生成解决问题的创新想法,选择、发展并确定创新方案等思考阶段^[1]。结合产品设计和新产品开发实际,在对整个产品创新思考过程加以综合规划基础上,作者将这一过程进一步细分为问题分析、问题发展、概念求解、领域求解、方案评价、组合优化6个主要思考阶段,并针对每一阶段都配置以相应的思考职能,以引导设计者在规定阶段只针对这些职能展开思考,避免其思维混杂。基于此,并在综合考虑已有方法应用特点的基础上,提出一

种多方法集成式产品创新设计策略,具体应用流程如图1所示。

1.2.1 问题分析与问题发展

创新问题主要来源于市场调研信息及已有产品信息2个方面^[12]。问题分析操作正是针对项目的不同问题来源,分别利用质量功能配置、FEMA分析等方法,对获取的初始信息加以整理、加工,探索到蕴藏其间创新机会的思考过程。而对于问题发展,则是建立在问题分类的基础上,对机会信息作进一步探讨的操作,目的在于确定出问题的本质。根据问题自身特点的不同,可将其分为缺陷问题、功能问题和感性问题3类^[11]。对于前两类问题,分别利用根源分析和系统功能分析加以发展思考,以探求缺陷存在的本质原因与实现功能的根本所在。而对于感性问题,则直接进行领域求解操作。

1.2.2 概念求解与领域求解

概念求解主要是针对前2类问题,结合已有规律及可获取知识资源,进行映射求解的操作。对于缺陷问题,先结合TRIZ理论中的工程参数加以转换,再利用冲突矩阵进行求解;对于功能问题,利用功能基对其加以标准化,然后再利用FBS方法进行映射转换。此外,对于经物场分析得到的问题,在此直接利用76个标准解进行求解。领域求解则是实现“一般解”向“特殊解”转换的创造性思维操作,是设计者结合自身设计经验、获取的概念解,进行类比关联思考,进而激励产生领域内问题解决方案的过程。此外,对于问题发展得到的感性问题,在此则直接利用形态分析法,从外观、质感、人文等方面进行形态列举、组合分析,进而得到相应的领域方案。

1.2.3 方案评价与组合优化

方案评价是对得到的创新想法加以评价筛选,以得到较优的创新方案集的操作。主要通过先利用亲和图法,对得到的方案加以归类;然后,再利用AHP方法,逐级对每一问题下对应的方案进行评价筛选。组合优化则是对评价后的结果加以组合、优化处理,以得到较优组合创新方案的操作。主要利用形态分析法进行方案组合分析,然后再从功能组合、结构性能改进等方面,对得到的组合方案加以优化、改进和完善思考,进而得到最终创新方案。方案

评价计算的公式为 $Q_i = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \tilde{\omega}_j \nu_{ij}, \tilde{\omega}_j = \frac{\omega_j}{\sum_{j=1}^m \omega_j}, Q_i$

代表第*i*个方案的综合评价结果, ν_{ij} 表示针对该方案的第*j*个评价指标的评价值, ω_j 指第*j*个评价指

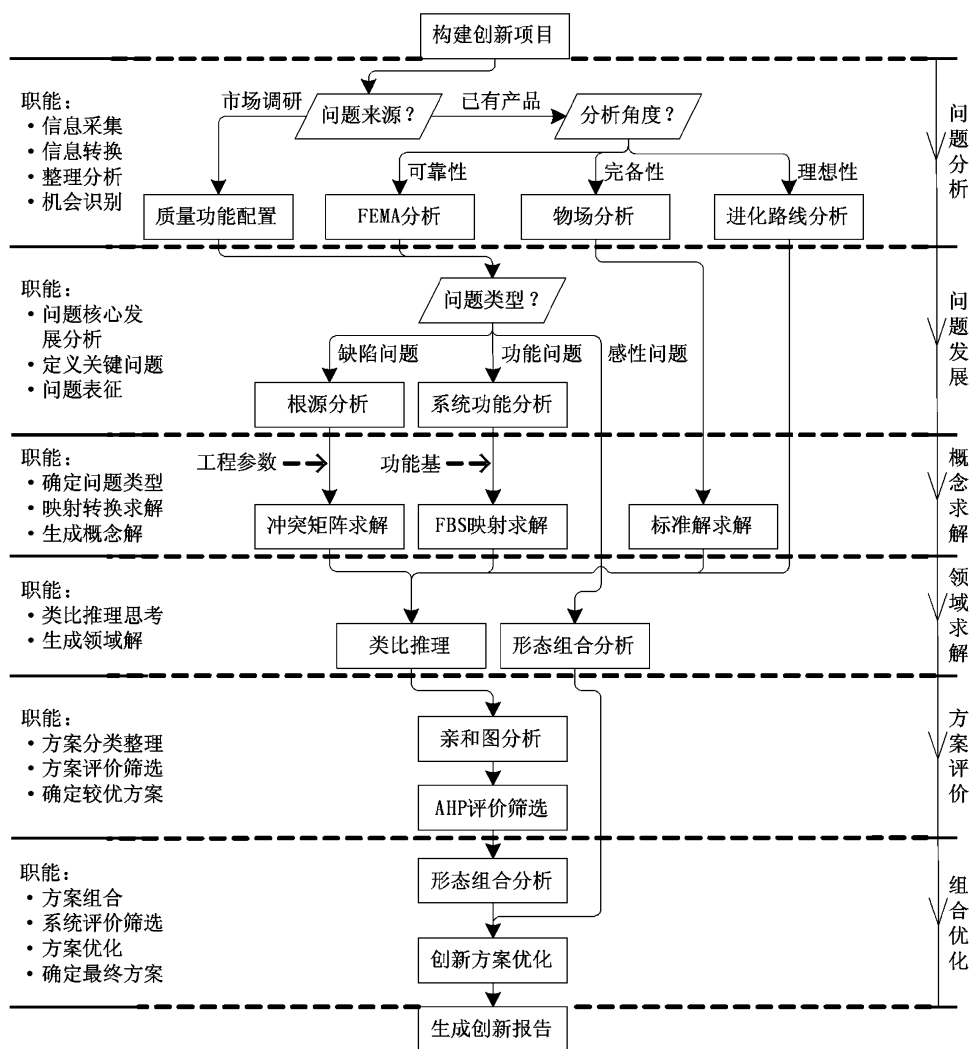


图 1 基于创新认知思维过程多方法集成创新设计流程

Fig. 1 Multi-method innovation process based on cognitive thinking process

标的相对权重值, $\tilde{\omega}_j$ 则代表绝对权重值。其中, 评价指标主要包括任务相容性、需求满足性、可实现性、经济性、人机性能、创新性 6 个方面^[11]。

2 基于创新认知思维过程多参与者协同创新设计

结合以上对多参与者协同创新认知思维过程的理解和认识, 及提出的设计策略与流程, 以下从人员配备、过程操作、信息决策 3 个方面, 对这一协同创新思考过程中, 各个参与者的设计行为与思维操作进行较为系统的阐述。

2.1 协同创新人员配备

创新活动往往是概念设计师、市场工程师、结构设计师等来自于多领域、多部门的多参与者间协同创新思考的过程。对于这一集体研讨活动, 通常要求各参与者最好来自于不同部门, 具有不同的学科背景, 其资历、知识水准等也应力求相近, 且人数以

5 ~ 10 人为宜^[11]。

结合一般机械制造企业实际, 提出由项目经理、概念设计师、结构设计师、详细设计师、市场工程师、测试工程师、技术支持工程师、高级制造工程师组成的, 一般协同创新团队模型。其中, 项目经理主要是对设计过程信息及时加以决策, 也参与部分创新过程的研讨; 概念设计师负责组织整个创新过程的开展, 参与研讨, 并完成软件分析等辅助性操作; 其他参与者则结合自己的职责及设计经验, 针对其所参与思维操作的设计任务, 提出自己的想法、意见等。

2.2 协同创新思维过程操作

在协同创新活动中, 对各个参与者的设计操作加以较为合理的组织, 往往对活动开展与设计结果有十分重要的影响。结合提出的一般协同创新团队模型中各参与者的主要职责、经验, 及多方法集成创新策略的设计流程, 作者对各个参与者在协同创新思考活动中的交互权限及设计操作进行规划, 具体如下文所述。

2.2.1 构建创新项目

在这一阶段,所有参与者都参与其中,由项目经理决定立项,概念设计师组织研讨,所有参与者定义产品需求、目标成本等信息,再由概念设计师制定设计规划书,最终由项目经理做最后审定。

2.2.2 问题分析与问题发展

在问题分析阶段,由概念设计师组织研讨,选定问题分析模式,与所有参与者一起进行分析,控制整个团队创新思考的进程,并及时评定结果;结构设计师参与各方法分析模型的构建,并参与评定结构失效及缺陷等信息;详细设计师也参与各方法分析模型的构建;市场工程师则完成质量功能配置分析过程中的评定需求、技术竞争力,以及分析结果的工作;其他参与者则只参与到质量屋的构建过程中。在问题发展阶段,概念设计师依然负责组织整个研讨过程的开展,选定问题及分析方法,参与分析,并控制进程、评定结果;项目经理只参与最后的创新问题确定操作;结构设计师和详细设计师参与构建功能模型、根源树;其他参与者则只参与构建根源树的操作。

2.2.3 概念求解与领域求解

概念求解主要由概念设计师完成,其可利用已有创新软件,通过输入创新问题并加以求解,以得到相应的概念方案。而对于领域求解,则是在概念设计师组织下,由所有参与者研讨完成。此外,概念设计师还承担选定思考的方案、方法的操作,并控制整个思考的进程。

2.2.4 方案评价与组合优化

这2个思维操作阶段,都是通过所有参与者在

概念设计师组织下,参与研讨并完成相应的操作加以实现。而对于概念设计师,在方案评价阶段,还要负责构建亲和图、控制评定过程、评定评价结果;在组合优化阶段,则要完成控制组合优化思维进程、评定组合优化思考结果的操作。

2.3 协同创新过程信息决策

在多参与者协同思考过程中,由于各自所持技术标准、思考侧重点,以及有限的认知能力等方面,都存在一定的差异性,这致使各自所提出的设计过程信息存在优劣、冲突等差异性,故必须及时、有效地对这些信息加以综合评定、筛选。

对于这些信息决策的过程,作者则根据各参与者在不同创新思维操作活动中的效用影响程度的不同,而赋予其信息决策的权限,并设定相应的决策规则,以保证设计活动的顺利开展。决策权限设置的依据在于对每一活动的主要设计目标,所用方法的应用特点,以及各参与者的主要设计职责、已有经验等多方面因素进行综合考虑的基础上, 衡量各参与者对活动影响程度的高低,并用数字 0 ~ t 依次表示。其中,0 表示参与者不参与该设计操作;1 ~ t 则代表其参与该设计操作,且数值大小与权限高低成正比; t 表示参与者的人数。如表 1 所示,为针对本文提出的设计过程中各参与者的主要设计操作,而构建的活动决策权限矩阵。其中,A1 ~ A8 分别指一般协同创新团队中,项目经理、概念设计师、市场工程师等 8 个主要参与者;“—”则表示该操作按表 2 所示的几步细化评价步骤,逐级对方案信息加以评定处理(表 2 中的元素指代关系与表 1 类同)。

表 1 产品概念设计过程中各参与者主要设计活动效用优先序集

Tab.1 Priority order set of participants' design activity during the product conceptual process

设计操作	设计角色								设计操作	设计角色							
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
确定需求特征、重要度及竞争性	1	1	1	1	2	1	1	1	功能模型构建	0	1	3	2	0	0	0	0
确定技术特征、相关度、重要度及竞争性	0	0	5	4	0	1	2	3	功能模型分析	0	1	0	0	0	0	0	0
									标准化冲突	0	1	0	0	0	0	0	0
质量屋分析	0	1	0	0	0	0	0	0	标准化功能	0	1	0	0	0	0	0	0
失效矩阵构建	0	1	3	2	0	0	0	0	领域类比思考	1	1	1	1	1	1	1	1
失效矩阵分析	0	1	0	0	0	0	0	0	感性形态列举	1	1	1	1	1	1	1	1
物场模型构建	0	1	3	2	0	0	0	0	形态矩阵构建	0	1	0	0	0	0	0	0
物场模型分析	0	1	0	0	0	0	0	0	形态评价分析	—	—	—	—	—	—	—	—
进化单元分析	0	1	3	2	0	0	0	0	亲和图构建	0	1	0	0	0	0	0	0
进化路线分析	0	1	0	0	0	0	0	0	方案评价分析	—	—	—	—	—	—	—	—
根本原因列举	0	1	6	5	1	2	3	4	组合方案评价	—	—	—	—	—	—	—	—
根源树分析	0	1	0	0	0	0	0	0	方案优化分析	1	1	6	5	1	2	3	4

表 2 方案选优操作中各参与者设计活动效用优先序集

Tab.2 Priority order set of participants' design activity during scheme selection operation

设计操作	设计角色								设计操作	设计角色							
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
构建评价矩阵	0	1	0	0	0	0	0	0	人机性能评价	1	1	1	1	1	2	1	1
相容性评价	1	3	2	2	1	1	1	1	创新性评价	1	2	1	1	1	1	1	1
满足性评价	1	3	1	1	2	1	1	1	指标权重设定	0	1	0	0	0	0	0	0
可实现性评价	1	1	2	2	1	1	3	4	评价结果计算	0	1	0	0	0	0	0	0
经济性评价	1	1	1	2	1	1	1	3									

而对于决策的规则,则结合所涉及参与者的权限数值,由低至高依次加以评定,即数值低者提出的信息无条件服从于数值高者的安排,数值高者决策时也要参考数值低者提出的想法、意见,且通常由最高权限者对所有信息做最后的综合决策评定;若所有角色权限数值相同,则录用所有信息。

3 示 例

打钉机是常用的将紧固件推入工件装置的工具之一。但目前这一工具仍以手动为主,为了更好地满足大工程作业的要求,迫切需要开发新产品。课题组通过组建相应的创新团队,针对这一问题加以研讨,以对本文提出的多参与者协同创新思考过程加以演示。

表 3 打钉机用户需求重要度权重打分矩阵

Tab.3 User requirements importance weights rating matrix of the nailing machine

用户需求名	需求重要度初评								决策后 重要度	用户 需求名	需求重要度初评								决策后 重要度
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8			A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	
外形尺寸小	0	0	8	6	0	4	7	7	7	价格适中	0	0	7	6	0	8	6	5	6
质量轻巧	0	0	6	4	0	2	4	4	5	安全可靠	0	0	6	8	0	7	5	6	6
工作快速连续	0	0	9	7	0	8	8	7	8	使用寿命长	0	0	8	8	0	9	8	7	8
启动延迟短	0	0	8	8	0	9	6	8	8	维修方便	0	0	4	2	0	3	2	5	3
振动噪音低	0	0	4	4	0	6	5	4	4										

先由项目经理确定选取增加最大打钉力、增加最大打钉能量等较具创新价值的功能问题,再由概念设计师选定用系统功能分析方法对其加以问题发展分析。首先,通过概念设计师、结构设计师、详细设计师协同思考,并结合常用的打钉机产品,构建出相应的功能模型,如图 3 所示。然后,概念设计师再结合问题,对模型进行功能细化、关联分析,进而转化并抽象得到“存储/吸收能量”、“将动能传递给钉子”等多个功能创新问题。

针对得到的创新问题,概念设计师利用课题组此前开发的原型系统中的 FBS 方法应用模块,对需要实现的功能进行映射求解,得到“柔性表面吸收冲击”、“勒沙特列原理”等效应知识,“易于流动使用的组合式压力机”、“一种电机驱动的双飞轮自动打钉机”等

通过对打钉机使用者进行调研,获取到大量市场需求及已有产品中存在的不足等初始信息。基于这些信息,概念设计师决定采用质量功能配置的方法,针对市场调研信息做进一步研讨。各参与者结合这种方法的要求及自身操作权限,提出技术特征、重要度等(如表 3 所示,为各个参与者对获取到的用户需求,所做的重要度权重评估统计结果)。然后,由结构设计师对所有建议信息做决策、计算,构建相应的质量屋(图 2)。最后,概念设计师再对质量屋进行评定计算分析,得到打钉机产品的创新机会点主要在于:增加最大打钉力、增加最大打钉速度、减小噪声等技术特性,以及“最大打钉力与使用寿命”等技术冲突。

专利知识,“蜗轮传动”、“往复液压缸”等领域知识,等等。紧接着,所有参与者再结合常用打钉机及创新问题,对生成的原理解进行领域具体化研讨,激励产生“缠绕弹簧”、“运动质量块”、“液压缸增压”等蓄积动能,“冲锤单次冲击”、“推动钉子”等施加动力的想法。在领域求解完成后,概念设计师按所解决的创新问题,及对应的电能、风能、化学能等能量形式的不同,将得到的领域方案分成多个子类。然后,所有参与者都从自身经验出发,结合每一评价指标,逐一对方案加以评估打分,并由每一评价指标对应下的决策权限最高者,及时对评估结果加以仲裁、计算,最终筛选得到较优的创新方案集。接下来,概念设计师再针对结果,构建相应的方案形态矩阵(表 4),并组合形态生成相应的组合方案(图 4)。

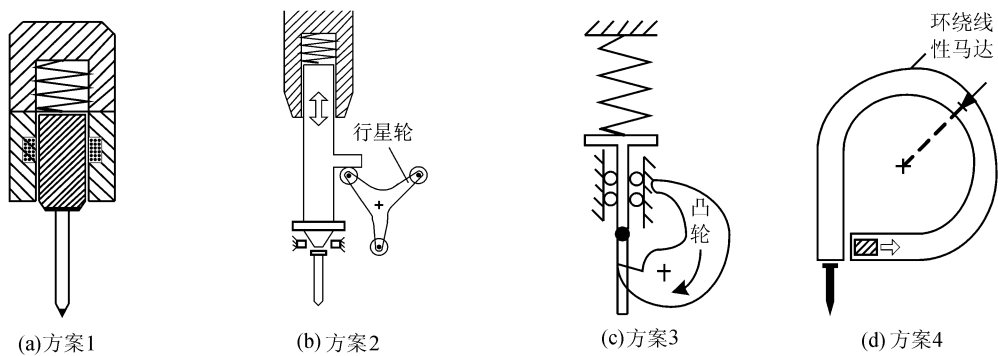


图 4 手握式打钉机创新设计方案

Fig. 4 Innovative design schema of the hand type nailing machine

其中,方案 1 是通过螺线管不断“压缩 - 松开”弹簧,以实现多次冲击驱动钉子;方案 2 是通过马达带动行星轮转动,再推动推杆反复压缩和松开弹簧,储存能量并通过几个支流传递能量;方案 3 则通过马达转动凸轮,凸出端推动撞杆向上运动,压缩弹簧使之吸收并储存潜在能量,然后再以单次冲击的形式将能量传递给钉子;方案 4 利用线性马达推动一个质量锤,使之吸收并积蓄动能,然后再通过单次冲击将动能传递给钉子。

表 5 打钉机创新方案评价矩阵

Tab. 5 Evaluation matrix of nailing machine's innovation scheme

设计 指标	相对 权重	创新 方案	方案初评值								决策后 评价价值	设计 指标	相对 权重	创新 方案	方案初评值								决策后 评价价值												
			A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8					A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8													
相 容 性	7	S1	4	5	6	5	6	5	4	4	5	经 济 性	6	S1	4	3	5	4	4	6	5	4	5	人 机 性 能	4	S1	7	6	7	6	7	8	7	7	7
		S2	6	5	6	4	7	5	5	6	5			S2	6	5	6	5	6	6	5	5	5			S2	6	4	5	5	7	7	6	7	7
		S3	7	7	6	7	6	5	5	6	7			S3	5	7	4	7	5	8	7	7	7			S3	5	5	4	5	6	5	5	5	5
		S4	6	5	5	7	6	4	6	6	6			S4	7	7	5	6	4	7	6	6	6			S4	5	3	4	4	5	4	4	5	4
满 足 性	7	S1	4	5	6	5	5	7	5	6	5	人 机 性 能	4	S1	7	6	7	6	7	8	7	7	7	创 新 性	9	S1	4	5	4	4	5	4	5	4	4
		S2	5	7	5	5	6	5	4	5	6			S2	6	4	5	5	7	7	6	7	7			S2	5	5	4	5	4	5	6	5	5
		S3	5	6	6	5	7	6	5	6	6			S3	5	5	4	5	6	5	5	5	5			S3	6	7	6	7	4	6	5	6	6
		S4	5	6	6	5	6	7	5	6	6			S4	5	3	4	4	5	4	4	5	4			S4	7	6	5	6	4	5	6	7	6
可 实 现 性	4	S1	6	5	6	4	4	6	5	5	5	创 新 性	9	S1	4	5	4	4	5	4	5	4	4	创 新 性	9	S1	4	5	4	4	5	4	5	4	4
		S2	8	6	6	6	5	6	6	7	6			S2	5	5	4	5	4	5	6	5	5			S2	5	5	4	5	4	5	6	5	5
		S3	8	5	7	7	8	6	7	8	8			S3	6	7	6	7	4	6	5	6	6			S3	6	7	6	7	4	6	5	6	6
		S4	7	6	7	6	6	7	7	7	7			S4	7	6	5	6	4	5	6	7	6			S4	7	6	5	6	4	5	6	7	6

4 结 论

基于协同创新的思想,作者结合提炼的多参与者协同创新认知思维过程,及提出的多方法集成创新策略、流程,针对多参与者协同环境下的产品创新设计过程加以较为全面的探究,并结合打钉机创新开发示例,对这一过程加以演示。研究的目的在于为进一步的协同创新平台开发提供框架模型支持,进而为设计者提供相应的理论指导和工具支持,体系化、导向性地辅助其更好地进行产品创新设计。

参考文献:

[1] Howard T J, Culley S J, Dekoninck E. Describing the creative design process by the integration of engineering design and cognitive psychology literature [J]. Design Studies, 2008, 29(2): 160 - 180.

[2] Yan Xiqiang, Li Yan, Li Wenqiang, et al. A method of complex product concept design for multi-stakeholder negotiation [J]. Journal of Sichuan University: Engineering Science Edition, 2012, 44(5): 226 - 232. [闫喜强, 李彦, 李文强, 等. 一种支持多利益相关者协商的复杂产品概念设计方

- 法[J]. 四川大学学报:工程科学版,2012,44(5):226 – 232.]
- [3] Kaufman J C, Sternberg R J. The cambridge handbook of creativity[M]. London: Cambridge University Press, 2010: 316 – 317.
- [4] Yang Yu, Xing Qingsong, Liu Aijun, et al. Organization model and coordination efficiency in customer collaboraitve products innovation[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2012, 18(4): 719 – 728. [杨育, 荆青松, 刘爱军, 等. 客户产品创新中的组织模型及协调效率[J]. 计算机集成制造系统, 2012, 18(4): 719 – 728.]
- [5] Baldwin C, Hiennerth C, Hippel E V. How user innovations become commercial products: a theoretical investigation and case study[J]. Research Policy, 2006, 35(9): 1291 – 1313.
- [6] Ellis S, Shpiceberg N. Organizational leaning mechanisms and managers perceived uncertainty[J]. Human Relations, 2003, 56(10): 1233 – 1254.
- [7] Tippins M J, Sohi R S. IT competency and firm performance: Is organizational learning a missing link? [J]. Strategic Management Journal, 2003, 24(2): 745 – 761.
- [8] Shen W, Hao Q, Li W. Computer supported collaborative design: Retrospective and perspective[J]. Computers in Industry, 2008, 59(9): 855 – 862.
- [9] Valilai O F, Houshmand M. A collaborative and integrated platform to support distributed manufacturing system using a service-oriented approach based on cloud computing paradigm[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2013, 29(1): 110 – 127.
- [10] Ma Jiaqi. Study on process modeling of conceptual design oriented to collaborative product innovation and its key technologies[D]. Chongqing: Chongqing University, 2012. [马家齐. 协同产品创新中概念设计过程模型及关键技术研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2012.]
- [11] 李彦, 李文强. 创新设计方法[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 15 – 16.
- [12] Wan Yanjian, Li Yan, Li Wenqiang, et al. Method and realization for product innovative design based on endogenous function requirement[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2013, 19(2): 235 – 243. [万延见, 李彦, 李文强, 等. 功能需求内生式产品创新设计方法及其实现[J]. 计算机集成制造系统, 2013, 19(2): 235 – 243.]
- [13] Ulrich K T, Eppinger S D. Product design and development [M]. 3nd. New York: The McGraw-Hill Companies, 2004: 93 – 119.

(编辑 黄小川)