【工业设计】

基于多维感性的用户需求分析方法研究

曹国忠[1,2]，石开[1,2]，王听[1,2]
（1.河北工业大学，天津 300401；2.国家技术创新方法与实施工具工程技术研究中心，天津 300401）

摘要：目的 以提高产品设计中用户需求信息获取及评估的准确性、有效性和全面性为主要目标，提出基于多维感性的用户需求信息分析方法。**方法** 针对用户需求多层面的属性，提出对应的描述及归纳方法；根据用户需求的多层次性和动态性，提出面向产品和用户的多维度用户需求获取方法，应用需求预测技术分析、预测用户需求；应用层次分析法对建立的多层次用户需求进行评估。**结果** 建立用户需求信息分析流程与方法，给设计工作者提供明朗的产品概念设计参考方向；通过对该方法进行实际应用，验证其在需求描述、归纳、获取、分析及评估方面的可行性、易用性和合理性。

关键词：用户需求；多维感性；产品概念设计；需求获取；需求评估
中图分类号：TB472　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1001-3563(2019)06-0119-09
DOI：10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.06.021

User-Requirement Analysis Method Based on Multi-Dimensional Sensibility

CAO Guo-zhong[1,2], *SHI Kai*[1,2], *WANG Ting*[1,2]
(1.Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China; 2.National Engineering Research Center for Technological Innovation Methods and Tool, Tianjin 300401, China)

ABSTRACT: The paper aims to propose a multi-dimensional sentiment-based user requirements information analysis method to improve the accuracy, validity and comprehensiveness of user information acquisition and evaluation in product design. Firstly, according to the multi-level attributes of user requirements, the corresponding description and induction methods were proposed. Secondly, according to the multi-level and dynamic of user needs, a multi-dimensional user needs acquisition method for products and users was put forward. At the same time, the demand forecasting technology was applied to analyze and predict user needs. Finally, the analytic hierarchy process was applied to assess the multi-level user needs established. The user demand information framework model is established. It provides design workers with clear reference direction on product conceptual design. Through practical application of this method, the practicality, ease of use and justifiability in description, conclusion, obtaining, analysis and evaluation are verified.

KEY WORDS: user needs; multi-dimensional sensibility; product conceptual design; requirement acquisition; requirement evaluation

用户的需求往往是动态的、多方面的、不确定的。极少的用户具备对自我需求信息的精确描述能力，并且用户之间还存在很大的个体差异性。鉴于用户需求信息的模糊性和主观性，对用户需求信息获取、分析、规划和评估则成为产品设计前期的关键性问题。

在通常的产品概念设计过程中，设计开发团队采用的用户需求获取方法一般为问卷调查或网上调研获取数据。随着大数据技术、人工智能等方法的发展，获取用户需求的方法也愈加高效。单鸿波等[1]提出面向概念设计的功能需求获取机制研究，形成基于用户需求和功能需求技术特征矩阵的需求获取过程；司光耀等[2]提出基于大数据和粗糙集的产品需求分析方

收稿日期：2018-10-11
基金项目：国家自然科学基金项目（51475137）；河北省自然科学基金项目（E2015202029）；河北省高层次人才资助项目（A201500113）；河北省高校百名优秀创新人才支持计划（SLRC2017030）
作者简介：曹国忠（1974—），男，河北人，博士，河北工业大学教授，主要研究方向为产品创新设计、TRIZ、可持续设计。

法；王晨等[3]提出了基于本体的多维度用户需求获取方法；张建辉等[4]提出了需求进化和技术进化集成的产品用户需求获取方法。

上述方法从不同层面对用户需求获取进行了较深入的分析。由于用户需求表现形式多样且多变，从单一的角度做出分析获取的结果往往存在不足。本文将 TRIZ 理论、情景分析法、AHP 层次分析法等重构、整合后嵌入到产品概念设计中需求分析的各个阶段，形成一种基于多维感性的需求信息获取及评估方法，从不同的维度去审视用户的感性需求，对用户需求进行条理性分析和规划，为企业提供系统化的产品设计策略来进行用户需求分析，提升企业竞争力。

1 用户需求描述与归纳

1.1 用户需求分析流程

根据用户需求属性特征，从目标用户和产品两个方向进行分析，建立了一种多维感性的用户需求分析流程，包括用户需求的描述、获取、分类、分析以及评估，见图 1。

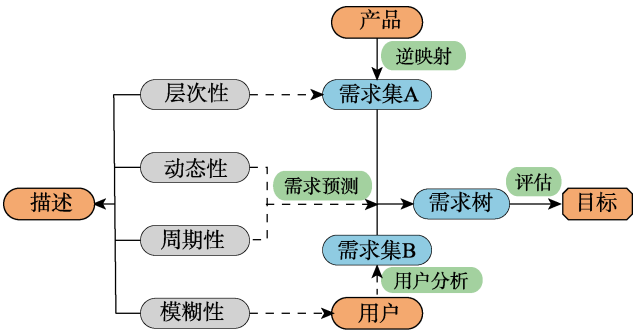

图 1 用户需求分析流程
Fig.1 Process of user needs analysis

1.2 基于需求自然属性的用户需求描述原则

根据用户需求信息的模糊性、周期性、动态性和层次性 3 个自然属性。提出 3 个用户需求描述原则，见图 2。

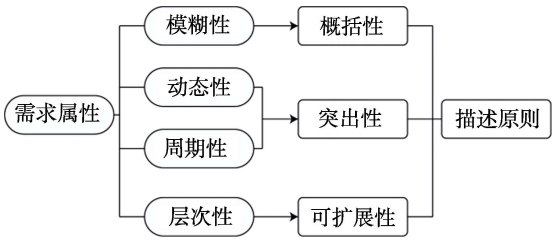

图 2 用户需求描述原则
Fig.2 Description principle of user needs

1）概括性原则。在将用户需求转化为产品的详细设计说明时，设计人员要通过自己的专业知识补全用户的认知。将用户需求语言精准的概括为设计需求语言，使其既能对需求信息定性描述又能保证需求信息的完整性。

2）突出性原则。用户需求在不同年代、环境下是不同的。设计人员要根据对产品的定位信息，确定产品使用阶段所出现的需求形式进行突出性描述。

3）可扩展性原则。用户需求信息应该是一个开源的语法结构。

1.3 基于 XML 的用户需求半形式化描述

通过对用户需求信息属性分析，并依据上文所提出的描述原则，提出一种基于 XML 的可扩展化需求描述方，见图 3。设计人员遇到较为复杂的用户需求信息时，可以通过运用模糊集理论对用户需求信息进行半形式化的描述[5]。

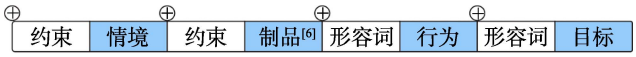

图 3 基于 XML 的用户需求描述结构
Fig.3 XML-based user needs description structure

其中：“情境”和“制品[6]”采用约束词汇进行限制性描述；“行为”和“目标”使用该产品领域特定的形容词汇进行标准化描述；“+”为开源结构，可以加入表述信息使用户需求信息更加完整和精准。

该用户需求描述方法不仅在宏观上可以对用户需求进行准确定位，具备可扩展性；同时，在局部又可以使用半形式化的自然语言以减小用户需求的描述难度[5]。

不同的产品领域，需求的表述语言也会有所差别。设计人员可以产品族作为研究对象，对该领域所使用的需求描述词汇进行归纳整理。结合开源化的描述方式，规划出适用于该类产品设计用户需求表述的语法结构。

1.4 基于需求层次的用户需求归纳方式

用户需求具有层次性：能按照一定的层次关系逐级分解和细化，上级需求的满足是下级需求生效的必要条件[6]。

产品功能具备层次性：下级功能为基本功能服务，基本功能的失效会导致子功能失效。

基于上述的特性，利用层次化的用户需求分类方式——需求树模型将用户需求与功能需求建立关联，从而实现产品概念设计中需求—功能的高效转化。

需求树是用树形结构描述的用户需求信息的概念空间，需求树的根节点表示被描述对象，即产品本身。中间节点表示该产品的一个需求概念层次，叶子节点表示明确某层次概念的一个需求条目。需求树是能够完整定义某个产品概念空间，并且能够将所有需求信息按照树形层次结构进行组织与描述[7]。需求树也是一种半形式化的需求描述方式。

在产品概念开发阶段对用户需求构建需求树模型，不仅可以让设计人员更加有条理地对需求进行层次和结构关系分析，清晰用户需求之间的关联，还避免了调查问卷在设计初期的介入，提高设计效率。

2　多维度用户需求获取

产品设计是一个从用户需求到功能需求，再到设计参数和过程变量之间的连续映射过程。通过对已有的典型产品进行分析，进行产品功能类型和功能结构的逆映射，获得具备层次结构关系的用户需求信息。

用户需求是一个感性、动态的信息，单对现有产品的分析是不足的，同时还要考虑到用户自身的需求，并对需求的动态性做出预测，以获取更加全面的用户需求信息。

基于上述内容，提出一种基于多维感性的用户需求分析流程，见图 4，从产品、用户、预测 3 个维度对用户的感性需求信息进行获取，从而获取具备层次结构的需求树模型。

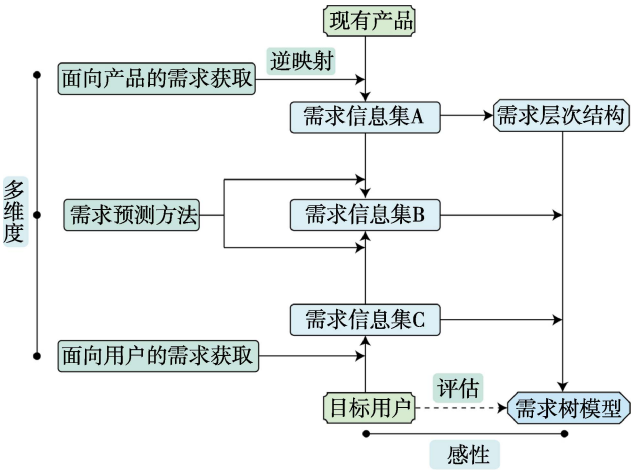

图 4　多维度用户需求获取方式
Fig 4 Multi-dimensional access to user needs

2.1　面向产品的用户需求获取

制造业从大批量生产到大批量定制时代的转变，使市场上的产品种类非常丰富，基本覆盖了人们生活的各个方面。这些成功产品蕴含了丰富的用户需求信息，可以对市场上已有的产品进行功能需求分析，来得到用户需求信息[8]。

本文基于反向鱼骨图法和功能分析对已有产品进行功能建模，获取用户需求信息。

1）反向鱼骨图法模块分析。将市场上某一典型产品作为对象，运用反向鱼骨图对其进行分析，得到该产品各个模块和功能元件对应关系的反向鱼骨图，见图 5。

选定一款典型的现有产品作为分析原型；按照功能模块组成对产品进行原始模块分解；在脊骨的右侧按拆卸顺序标注各原始模块；在脊骨的左侧按被拆卸

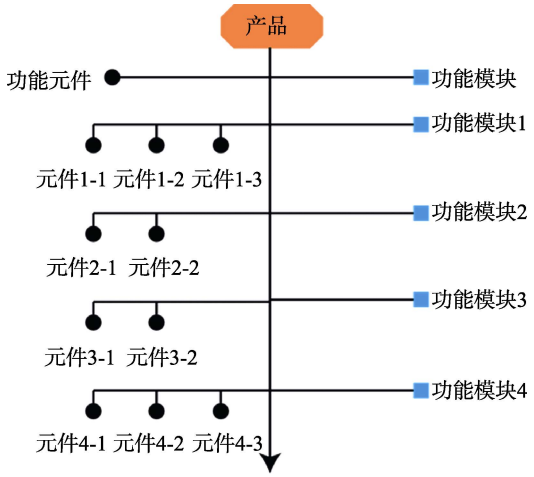

图 5　反向鱼骨图
Fig.5 Reverse fishbone diagram

的原始模块顺序标注各功能元件如果 1 个原始模块为 1 个功能元件，将其标注在脊骨的左侧；如果 1 个原始模块可分解为几个功能元件，将其分别标注在脊骨左侧的同一层面上[9]。根据产品定位信息，设计人员可自定义产品的分解程度，对功能元件进行合理的分析拆解，有助于提高设计效率。

2）基于物质—场的功能元件相互作用分析。在 TRIZ 中，一个功能由两种物质和一种场 3 个基本元件构成。功能是元件、制品和超系统三者之间的相互作用。元件为产品系统的组成部分，如同一个产品的组成零件，小到齿轮，大到由许多零件组成的系统，都可以认为是一个元件。制品是技术系统基本（主要）功能的作用对象，是系统存在的目的，是系统对环境的输出。超系统存在于系统之外的环境中，是与系统之间相互作用的系统。作用分析是通过判断功能元件的作用是否满足用户要求，从而分析功能元件的作用级别，即标准作用、不足作用、过剩作用和有害作用。标准作用是设计人员根据当前或潜在用户需求确定的；不足或过剩作用指功能是合理的，但作用未达到或超过了标准作用；有害作用是负面作用。产品处在环境之中，与环境中的能量、物质和信息进行交换。把产品的功能元件及作用视为一个系统，环境则由多个超系统组成。超系统与系统存在输入或输出关系。系统、超系统和制品共同构成产品功能模型，见图 6。其中，S2 是主动元件，S1 的被动元件，其意义为 S2 作用于 S1，改变或者保持 S1 的参数值或性质。

应用相互作用矩阵对产品功能元件进行相互作用分析，见表 1，可以全面、系统的获取产品的功能状况信息。如果有相互作用，则标记为“+”，否则标记为“–”。

将所有“+”的单元进行作用分析，并确定其作用类型和功能类型，见表 2。其中标准作用对应为标准功能，过剩/不足作用对应为非标准功能，有害作用对应为有害功能。

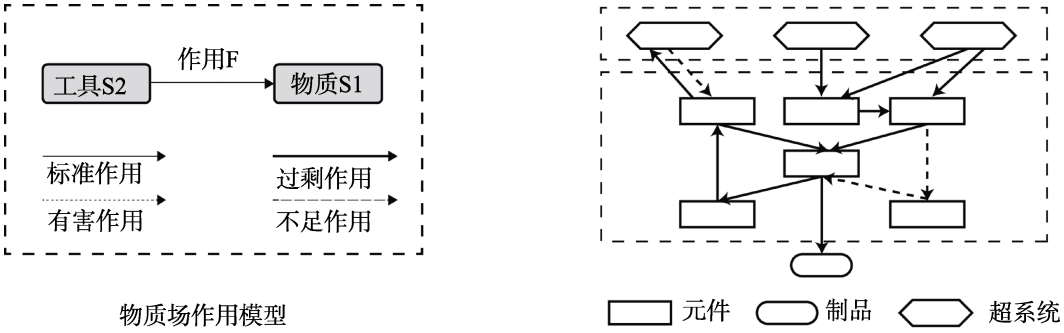

图 6 基于物质—场的产品功能分析模型
Fig 6 Product Function Analysis Model Based on Material Field

表 1 相互作用矩阵
Tab.1 Interaction matrix

元件	元件 A	元件 B	元件 C	制品 a	超系统 a
元件 A		+	–	–	–
元件 B	+		–	+	–
元件 C	–	+		–	+
制品 a	–	+	–		–
超系统 a	+	–	+	–	

表 2 功能分析
Tab.2 Functional analysis

元件	作用类型	功能类型
元件 A-B	标准作用	标准功能
元件 B-C	非标准作用	非标准功能
元件 C-A	标准作用	有害功能

3）基于功能基的功能分析及需求提取。在相互作用分析中步骤中，得到的是产品功能元件作用关系。基于功能基的功能结构模型，是基于功能基的功能结构，将各个元件的功能从作用关系中抽象出来，见图 7。将作用描述与功能描述建立联系，见图 8，元件 A 或 B 都有可能会产品输入流或输出流，同时也可能对功能的形式产生影响。作用所对应的是功能的实现方式。通过设计人员的专业知识和经验，可以提取出产品元件的功能类型。TRIZ 中抽象出了 30 多种功能，并附有详细的功能集合描述词汇。将元件的功能描述与功能集合进行匹配，可以得到该元件功能的标准化描述。

4）建立需求模型。通过确定功能性能，可以确定用户需求性质，将标准功能对应已满足需求，将非标准功能对应未满足需求，将有害功能对应为反向需求。

功能向用户需求的逆映射也可以通过标准化的描述建立联系，见图 9。功能—用户需求的关联形式：用户在一定的情境和约束下，通过某种行为完成某项目标。该过程在产品的实现形式是输入流与输出流转化。

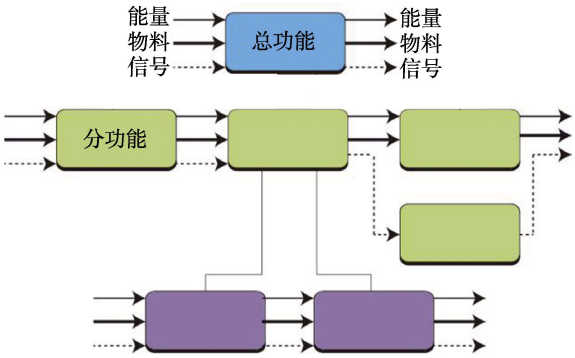

图 7 基于功能基的功能结构模型[10]
Fig.7 Function-based functional structure model

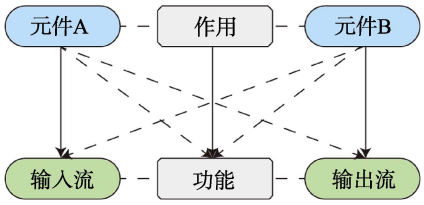

图 8 作用—功能描述关联
Fig.8 Role-function description association

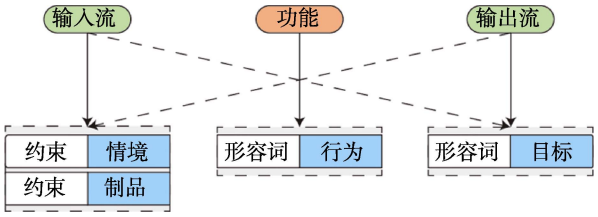

图 9 功能—用户需求逆映射
Fig 9 Inverse mapping of function-user needs

对产品进行基于反向鱼骨图法的产品功能建模，可以通过功能元件和功能模块的结构关系逆映射获取产品的功能层次结构。从产品的功能层次结构模型可以反馈得到用户需求的层次结构关系，即用户需求树模型。

2.2 面向目标用户的需求获取

Donald Norman 提出“采取行动的 7 个步骤”，见图 10，指出人的行动分为执行和评估两个方面。执

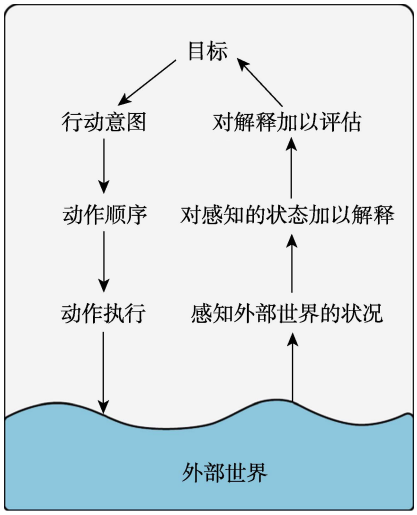

图 10　行动的 7 个步骤
Fig.10 Seven steps to action

行是指做某件事，评估是指把行动目标和外部世界的状态进行比较。具体的动作是连接用户的目标及意图和所有可能实施方法之间的桥梁。目标是用户想要达到的状态。目标被转化成意图，意图又被转化成一系列的内在指令，即满足意图需要的一系列动作顺序。动作顺序依旧属于心理活动阶段，加以执行后，才能在外部世界产生效果[11]。

将行动的 7 个步骤嵌入到场景分析法中对其进行重新的构架，提出一种基于行动的场景分析流程，见表 3。

通过对用户在产品使用时的一个单项操作进行描述，可以构建用户在完成该项操作的详细步骤流程及产品的一系列状态。当用户的行动或产品的状态与用户期待产生鸿沟时，说明产品在该项操作中存在不足，即新需求的产生。

表 3　基于行动的场景分析步骤
Tab.3 Action-based scenario analysis steps

场景	目的	意图	行动内容	执行	产品感知	解释	评估	需求提取
			动作 1	动作 1	产品状态 1			
			动作 2	动作 2	产品状态 2			
_	_	_	…	…	…			

2.3　基于 TRIZ 的用户需求预测分析

许多成果的产品诞生并不是通过市场调研而来的，如索尼的随身听，苹果的个人电脑，蓝牙、WIFI、4G 网络在移动手机端的应用等，这些产品主要是技术进化的结果。因此根据需求、技术和消费的发展规律对需求信息进行预测分析不仅可以使新产品更具竞争力，还可以明确企业的战略方针。

1）需求进化定律。需求具有周期性和动态性。Petrov 通过对用户需求的发展和特征进行分析，总结出了用户需求的普遍发展规律[10]，即需求进化定律，见表 4。需求进化定律是对已有需求的预测和扩展，通过运用需求进化定律对面向产品和面向用户所获取的需求信息进行分析，可以对用户需求的发展趋势进行判断，从而产生新的产品概念。

表 4　需求进化定律及其特征
Tab.4 Evolutionary law of needs and its characteristics

需求进化定律	需求特征
需求进化理想化	提升质量
	减少生产时间
	减少副作用
	降低生产成本
需求进化动态化	随环境变化
	适应性强
	减少人的介入
需求进化协调化	协调性强
	提高适用性
需求进化集成化	相似性强
	具有相反特性
需求进化专门化	专门性

基于需求进化定律的需求预测见图 11。已获取的用户需求有已满足和未满足两种类型，运用需求进化定律对这些用户需求逐条进行分析，其中已满足需求优先使用理想化、动态化和专门化，未满足需求优先使用专门化、协调化和集成化。新需求生成后，设计人员通过产品定位信息和专业知识来判断新需求的合理性。

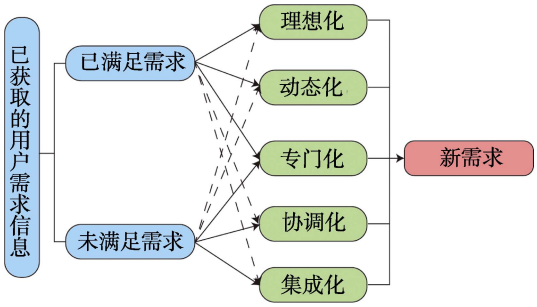

图 11　基于需求进化定律的需求预测
Fig.11 Needs forecast based on evolutionary law of needs

2）技术进化定律。每一项技术出现以后，随着经济、科技以及人们生活方式的改变，技术自身也会发展、升华以适应新的环境，如蓝牙 5.0、5G 网络等。G.S.Altshuller 对世界专利库的分析发现，技术的进

化趋势存在一定的规律，这些技术的发展规律组成了技术进化定律，见表 5。

通过分析产品的功能组成，可以确定产品的技术系统组成。通过对产品的组成技术进行分析，可以判断相关技术的发展趋势，从而衍生出新需求的预测，应用过程步骤见图 12。

表 5 技术进化定律及进化路线

Tab.5 Evolutionary law of technology and evolutionary route

技术进化定律	技术进化路线
1. 提高理想化水平	空洞程度增加：实体→一个空洞→几个空洞→多个空洞→毛细孔实体→活性物质填充物
	简化路线：完整系统→移除一个部件→移除多个部件→柔性系统
	扩展—简化路线：最少部件系统→引入一个附加部件→引入多个附加部件→扩展系统→移除一个部件→移除多个部件→最大限度简化系统
2. 子系统的非均衡发展	解决由不均衡性导致的子系统间的冲突，可使系统突破性进化
3. 动态化增长	向连续变化系统进化：单系统→多系统→连续变化的系统
	向自适应系统进化：被动适应系统→分级控制系统→主动适应系统
	向流体或场进化：刚性系统→柔性系统→基于流体的系统→基于场的系统
4. 向复杂系统进化	宏观进化路线：单系统→双系统→多系统
	增加部件的多样性：同质性→性能改变→非同质性→反向特性
5. 向微观系统进化	向微观系统进化：晶体、分子团→分子→原子、离子→基本粒子
6. 完整性	完整性：执行装置→传动装置→能源装置→控制装置
7. 缩短能量流路径长度	减少能量传递的级数：减少能量形式的转换次数、减少参数的转换次数
	增加能量的可控性：势能→机械能→热能→电磁能
8. 增加可控性	增加物质-场的复杂性：不完整物质-场→完整物质-场→复杂物质-场
9. 增加和谐性	表面属性进化：平滑表面→带有凹凸的表面→精细的轮廓表面→引入场和力
	内部结构进化：实心组件→引入空腔→形成几个空间→形成多个空间→引入场和力
	几何方面的进化：点→线→面→体
	线性部件的几何进化：直线→向一个方向弯曲的线→向两个方向弯曲的线→复杂线
	表面的几何进化：平坦表面→向一个方向弯曲的表面→表面大面积变形→复杂的复合表面
	增加频率匹配性：不可变参数→梯度变化的参数→均匀变化的参数→利用动作间隙运作

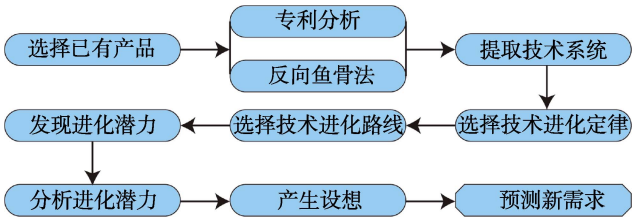

图 12 技术进化定律应用

Fig.12 Application of the law of evolution

运用技术进化定律进行需求预测的关键因素如下：

一个产品是由若干个技术系统组成的，通过“反向鱼骨法”或“专利分析”将产品所应用的技术系统提取并分类。根据技术领域类别，运用技术进化定律选择进化路线，发现进化潜力。本文把进化路线分为 4 个状态：初始状态、当前状态、未来状态和理想状态。运用进化路线对技术系统进行分析，确定当前技术系统状态，对未来的技术状态进行预测。

技术系统本身就是功能实现的一种方式，将分析完成的技术系统回归到产品本身，对应到产品功能元件。可通过对功能元件的分析反馈出用户需求预测信息。

2.4 基于层次分析的用户需求评估

通过上述的用户需求分析，已得到一个具备层次结构的用户需求信息模型。针对需求模型的层次性和需求信息的主观性，可采用层次分析法对用户需求进行权重分析。

层次分析法可以确定用户需求的优先级，从而对设计资源进行更高效的配置，同时还可以提升产品的用户体验[12]。

3 案例分析

面向产品的需求获取方法：选取市场上一种典型的健身脚踏车作为原型进行功能分析见图 13，本文将健身脚踏车分为 6 个功能模块。对功能模块进行元件拆解，以老年人健身脚踏车的身体支撑模块为例进行实例分析。

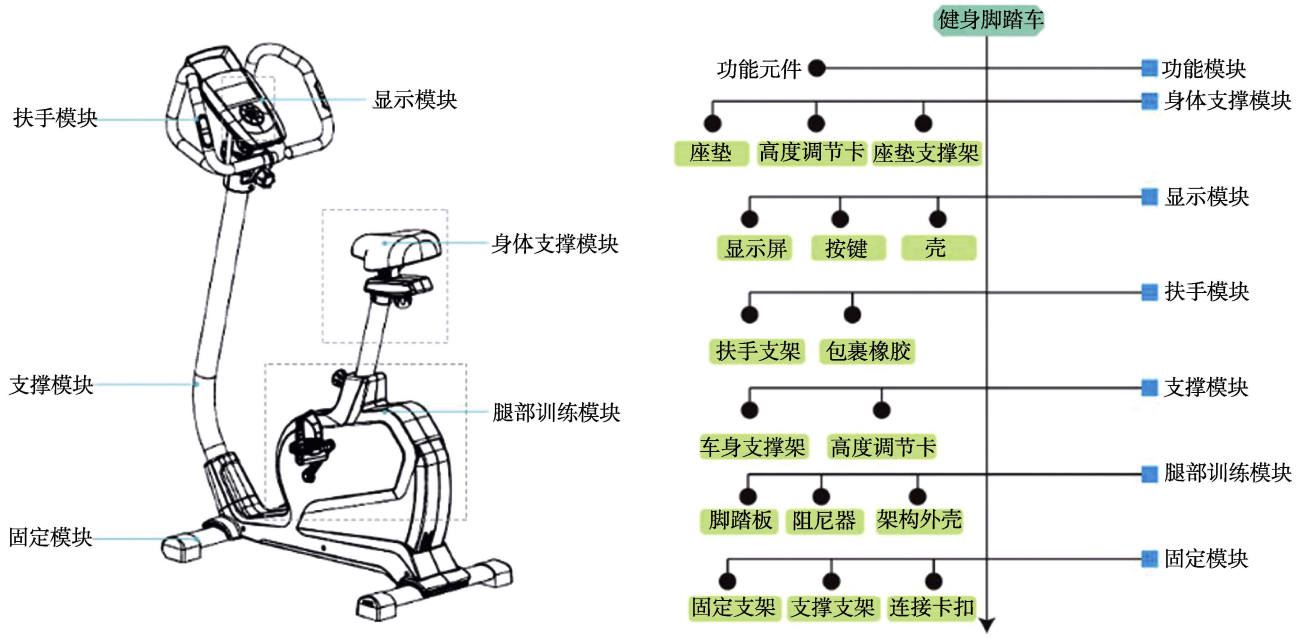

图 13　健身脚踏车功能分析
Fig.13 Function analysis of exercise bike

运用相互作用矩阵对健身脚踏车的元件、制品、超系统进行相互作用分析。对存在相互作用的因子进行基于物质—场模型的作用分析。以座垫和人体的相互作用为例：其中座垫对人体产生的支撑力不能完全维持和保护老年人用户身体的作用，为不足作用，用虚线箭头表示；人体对坐垫产生的压力为标准作用，用实线箭头表示。

随后，对元件之间的作用关系进行基于功能基的功能描述以便于进行需求提取，见图 14。

图 14　脚踏车座垫功能模型分析
Fig14 Functional model analysis on bicycle saddle

将所有存在相互作用的元件进行上述分析，按照图 9 所示的关联形式进行需求提取，见表 6。

最后按以上步骤对健身脚踏车所有元件进行分析，整理出需要的信息。

表 6　需求提取
Tab.6 Needs extraction

功能元件	相互作用对象	功能类型	功能性能	需求提取	需求类型
座垫 A	对人体产生支撑力	支撑功能	非标准	支撑/保护用户	未满足
座垫支撑 B	对座垫产生支持力	支撑功能	标准	稳定人体	已满足
高度调节卡 C	对座椅支撑产生摩擦力	控制功能	非标准	调节用户姿势	未满足
高度调节卡 C	对用户手产生静摩擦力	控制功能	非标准	易于用户进行调节	未满足

基于行动的老年人健身脚踏车场景分析：以老年人在室内健身活动中调节座垫高度的行为为例，对用户进行基于行动的场景分析，见表 7。

选取健身脚踏车产品设计中所有与用户行动相关的操作进行以上分析，整理信息。

1）基于需求进化定律的需求预测：本文案例面向老年人群体，即特殊目标用户。优先选取需求进化专门化对座垫部分进行需求预测，见表 8。

表 7　基于行动的老年人健身脚踏车场景分析
Tab.7 Scene analysis on exercise-based seniors exercise bike

场景	目的	意图	行动内容	执行	用户感知	解释	评估	需求提取
室内	舒适、安全的姿势健身	调节座垫高度	寻找控制键	找到控制键	产品提示	产品引导	满意	信息引导
			预想操作方法	寻找操作方法	产品无提示	产品无引导	不满意	引导操作
			操作控制键	操作控制键	座垫移动	操作有效	有效	多级位置选择
			操作控制键	操作控制键	座垫固定	未知的操作结果	无反馈	反馈操作信息

表 8 基于需求进化专门化的老年人健身车坐垫分析
Tab.8 Analysis on the elder's special exercise bike seat cushion based on need evolution

老年人群体	充分条件
舒适/安全健身需求	身体固定适于老年人 材质柔软适于老年人 便于调节适于老年人

2）基于技术进化定律的需求预测。以坐垫高度调节为例，提取技术系统为调节高度、角度。选取技术动态化进化定律，即控制系统由被动适应系统—分级控制系统—主动适应系统方向进化，座垫调节技术的初始状态为被动适应，现状态为分级控制，理想状态为主动适应。分级控制和主动适应之间的技术状态就是产品的进化潜力。设计人员应根据产品中不同的技术系统，依据自身的经验和理论知识合理地选择技术进化定律。

建立 XML 的用户需求描述，见表 9。

表 9 基于 XML 需求描述方式
Tab.9 Description way based on XML requirements

约束	情景	约束	制品	形容词	行为	形容词	目标
室内	健身	体质机能衰退	老年人	便捷	调节	匹配	座垫高度
			老年人	便捷	调节	舒适	座垫角度

建立需求树模型，见图 15。

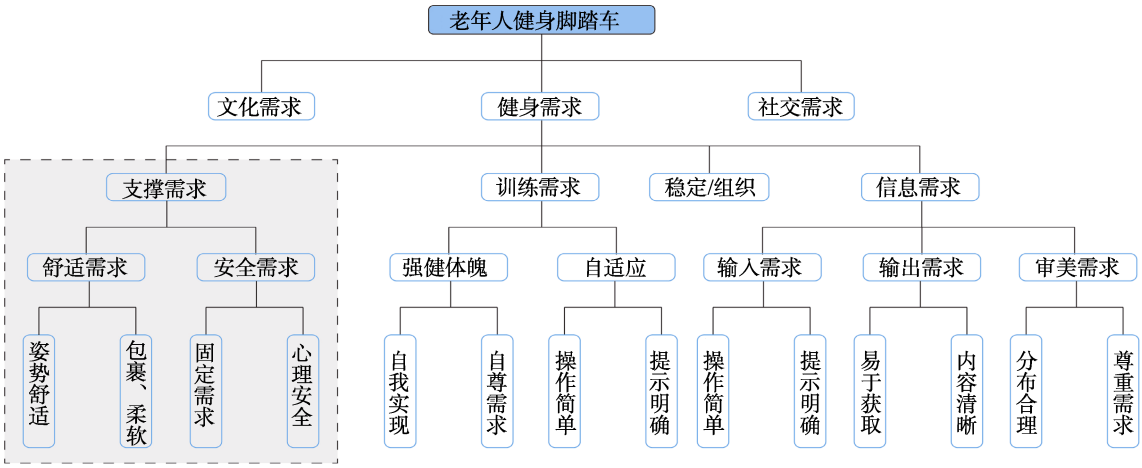

图 15 老年人健身脚踏车需求树模型
Fig.15 Elderly exercise bike demand tree model

用户需求权重分析：通过相对重要程度问卷调查，运用基于 AHP 层次分析评估方法对用户需求进行权重分析。以健身脚踏车支撑需求为例，获取需求权重，见表 10。

表 10 基于层次分析法的用户需求权重分析
Tab.10 Analysis on user needs based on analytic hierarchy process

概念层次	B2	需求条目	B4	合成权重
支撑需求	0.305	固定需求	0.433	0.13
		姿势舒适	0.216	0.07
		材质柔软	0.156	0.05
		身体包裹	0.124	0.04
		心理安全	0.071	0.02

4 结语

本文通过对用户需求的研究，建立以多维感性为主导的需求分析方法。对概念设计阶段用户需求的描述、获取、分析、评估做了系统的规划。不仅可以使设计人员高效全面地获取用户需求信息，还可以对需求信息进行清晰的分层分类，最后通过层次分析法对用户需求进行权重分析。

参考文献：

[1] 单鸿波，葛滨，于海燕，等. 面向概念设计的功能需求获取机制研究[J]. 中国机械工程，2013，24(12): 1605—1610.
SHAN Hong-bo, GE Bin, YU Hai-yan, et al. Research on Functional Requirements-Oriented Mechanism for Conceptual Design[J]. China Mechanical Engineering, 2013, 24(12): 1605—1610.

[2] 司光耀，王凯，李文强，等. 基于大数据和粗糙集的产品需求分析方法研究[J]. 工程设计学报，2016，23(6): 521—529.
SI Guang-yao, WANG Kai, LI Wen-qiang, et al. Research on Product Demand Analysis Based on Big Data and Rough Set[J]. Journal of Engineering Design, 2016, 23(6): 521—529.

[3] 王晨, 赵武, 王杰, 等. 基于本体的多维度用户需求获取[J]. 计算机集成制造系统, 2016, 22(4): 908—916.
WANG Chen, ZHAO Wu, WANG Jie, et al. An Ontology Based Multi-Dimensional User Requirement Acquisition[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2016, 22(4): 908—916.

[4] 张建辉, 李勇, 张鹏, 等. 需求进化和技术进化集成的产品用户需求获取研究[J]. 机械设计, 2017, 34(7): 15—22.
ZHANG Jian-hui, LI Yong, ZHANG Peng, et al. Research on Product User Requirements Acquisition Based on Evolution of Demand and Evolution of Technology[J]. Journal of Mechanical Design, 2017, 34(7): 15—22.

[5] 杨琨, 李文强, 李彦, 等. 基于 SOA 的产品创新设计服务认知组合模型[J]. 计算机集成制造系统, 2014, 20(10): 2329—2339.
YANG Kun, LI Wen-qiang, LI Yan, et al. A Cognitive Portfolio Model Based on Soa for Product Innovation Design Services[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2014, 20(10): 2329—2339.

[6] 李梦, 邓学雄. 基于需求层次的产品设计方法探究[J]. 包装工程, 2015, 36(8): 92—95.
LI Meng, DENG Xue-xiong. Based on the Demand Level of Product Design Method[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(8): 92—95.

[7] 赵定海, 黄玺瑛, 饶飞彪. 需求树模型:推进需求研究成果走向实践应用[J]. 装备指挥技术学院学报, 2010, 21(1): 15—18.
ZHAO Ding-hai, HUANG Xi-ying, RAO Fei-biao. Demand Tree Model: Driving Demand for Research Achievements and Applications[J]. Journal of the Academy of Equipment Command and Technology, 2010, 21(1): 15—18.

[8] 丁俊武, 韩玉启, 郑称德. 基于TRIZ的产品需求获取研究[J]. 计算机集成制造系统, 2006(5): 648—653.
DING Jun-wu, HAN Yu-qi, ZHENG Chen-de. Research on Product Demand Acquisition Based on TRIZ [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2006(5): 648—653.

[9] 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.
TAN Run-hua. TRIZ and Application: Technological Innovation Process and Method[M]. Beijing: Higher Education Press, 2010.

[10] 曹国忠, 檀润华. 功能设计原理及应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2016.
CAO Guo-zhong, TAN Run-hua. Functional Design Principles and Applications[M]. Beijing: Higher Education Press, 2016.

[11] 唐纳德·A·诺曼. 设计心理学[M]. 北京: 中信出版社, 2010.
DONALD A N. Design Psychology[M]. Beijing: CITIC Publishing House, 2010.

[12] 李永锋, 朱丽萍. 基于模糊层次分析法的产品可用性评价方法[J]. 机械工程学报, 2012, 48(14): 183—191.
LI Yong-feng, ZHU Li-ping. Evaluation Method of Product Usability Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2012, 48(14): 183—191.