

# 构性理论:对设计的建构

徐前,李彦,李松

四川大学制造科学与工程学院,成都 610065

**摘要** 对设计科学的讨论首先应当探究设计的本质。本文以构性理论为基础探索设计,认为构性理论的提出是由于事物本身存在的方式,提出了构性理论的基本概念,并基于此对设计中的相关概念进行了重新定义;探究了设计本质,建立了设计驱动-设计蕴含-设计匹配的设计过程模型(AIM模型),即通过设计驱动获得需求、问题、目的3种形式的构性关系来源,通过设计蕴含得到构性关系模式,通过设计匹配得到具体的构性关系,再通过子AIM模型进一步完善。最后通过空轨列车逃生问题设计事例验证了构性理论的有效性,从而奠定了构性理论思想和概念基础,建立了设计过程模型,为设计本质和设计科学的探究提供了新的观点和思路。

**关键词** 设计科学;设计本质;构性理论;构性;构性关系

探究设计本质应当是设计科学讨论的一个核心内容。对于设计已有不少的研究,在过去几十年里,Altshuller<sup>[1]</sup>的TRIZ理论中的发明问题解决、科学效应知识、发明原理、技术进化等为设计研究奠定了基础、提供了指导与参考;Yoshikawa的general design theory是一个由实体、实体概念、抽象概念定义的拓扑空间阐述设计的公理<sup>[2]</sup>;Simon<sup>[3]</sup>认为,设计是一个旨在将已有的现状变为更好的有目的的活动,设计也是问题解决的活动,这一活动认为设计表明了事物应当怎样以达到目的或者功能;Suh<sup>[4]</sup>认为,设计是我们想获得什么和我们怎样选择去实现它之间的相互作用,并且设计是在用户域、功能域、物理域、过程域之间的映射;Gero<sup>[5]</sup>认为,设计是一个功能、行为、结构之间转化的过程,并进一步地用包含在设计中的8个过程进行了扩展<sup>[6]</sup>;Niiniluoto<sup>[7]</sup>认为,设计是对塑造期望的物体和对其构造的方法、工具、流程的构想的筹划;Buchanan<sup>[8]</sup>认为,设计者关心构想和计划一个尚不存在的事项;Heylighen等<sup>[9]</sup>从设计者心智活动解释设计,认为设计是让世界应该是什么而适合于想法;Kroes<sup>[10]</sup>认为,我们不能没有考虑物质结构,也不能没有人类活动目的而理解技术产品;Gropius<sup>[11]</sup>认为设计科学是找到一个设计的共同的分母,设计科学是去实现目的的;Farrell等<sup>[12]</sup>认为完成计划(或规划)是一种设计;Verkerke等<sup>[13]</sup>认为,设计旨在从已有的知识实现一个新的世界,起始于目标和功能,结束于结构;Ben-eli<sup>[14]</sup>认为,设计是一个实现目的的过程;Hatchuel等<sup>[15]</sup>认为,设计可以由

不同结构和逻辑的概念空间和知识空间之间的相互作用进行模型表示;谢友柏<sup>[16]</sup>认为,设计是所有人类有目的的活动的起始;李彦等<sup>[17]</sup>认为,设计是一个有目的的行为,其基本目标在于创造有使用价值的人造物;Maimon等<sup>[18]</sup>认为,独立于具体设计领域的设计过程具有6大基本特征,并提出了一套为了建立一个通用的人工物设计模型的数学理论;Zeng等<sup>[19]</sup>认为设计过程是一个从设计需求到产品描述的进化过程,提出了一个包含综合评价过程、设计问题定义过程和设计分解过程的设计过程模型,该设计过程模型的基础是具有6个子过程的原始设计,任何设计问题都可分解为原始设计;并且Zeng<sup>[20]</sup>利用客体的公理和人类思想的公理两组基本公理形式化地表达设计,Salustri等<sup>[21]</sup>提出了利用具有一致性和逻辑严密性的公理集合理论而扩展出的混合模型来表达设计信息的形式化理论。另外,《Design Science》的编辑也在文献[22]中综述了部分观点:Jin认为,设计是一个在各种环境情况下,明确目标、发展概念、实现产品,最终实现目的的人类活动;Kim认为,设计是在自然、人类、社会的约束下去构想并制造人工制品;Mitchell认为,设计是通过找到用户的需求而起始于用户,并通过满足用户的需求而结束于用户。

以上学者阐述了各自的观点,但实质上,所有的设计包含两方面:目的和事物,可以由此进行探究。设计终归是为了一定目的而对其事物变化的操作,本文提出构性理论以探究设计的本质。

收稿日期:2017-09-03;修回日期:2017-11-02

基金项目:国家自然科学基金重点项目(51435011)

作者简介:徐前,硕士研究生,研究方向为创新设计、机电系统等,电子信箱:yysqxq@163.com;李彦(通信作者),教授,研究方向为创新设计理论与方法、智能制造、开放式数控等,电子信箱:liyan@scu.edu.cn

引用格式:徐前,李彦,李松. 构性理论:对设计的建构[J]. 科技导报, 2017, 35(22): 35-45; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2017.22.004

## 1 构性理论的提出

### 1.1 构性理论的提出

世界的事物总是无序与有序共存的,“熵把系统与有序性和无序性联系起来,正是因为有了熵定律,我们得以生存、进化”<sup>[23]</sup>。设计的过程就是要建立目的导向新的有序,这个有序事物的建立就源于宇宙中事物本身的存在方式的反映。

宇宙形成了从原子、分子(或者更小的微粒)到动植物、再到星系等各个事物,也存在着物理学原理、化学效应、机械原理、电子电气原理以及生物活动规律等运行这些事物的关系,反映出世界中事物的存在方式是:事物本身与事物之间的关系(法则、规律、效应、现象等的本质就是某种关系)。世界中事物是由于事物之间的关系而发生事物的改变、发展、演化,人类因此可以进行设计。例如,将水、树木、人之间利用力学关系做成可以载人的船,利用机械原理建立的事物之间的传动关系,利用逻辑门电路建立事物之间的信息关系等。人类能联想、类比、分割、组合、迁移等也正是因为这种存在方式。所有的设计都是由于事物的这种存在方式而建立的某种有序关系。人类运用这种存在方式而建立有序关系就可以形成技术,Blaine<sup>[24]</sup>认为技术的本质就是对现象的编程,而编程实质上是对事物操作建立的一种有序性关系。

因此,世界呈现的是事物本身及运行这些事物的关系的存在方式,即包含着两部分:事物本身和事物之间的关系。这种存在方式是世界本身呈现的,事物只能在这种存在方式下遵从相应的规则与定律而发展、演变。因此,人类就是在这样的存在方式下操作事物的变化而进行着设计活动,即为了满足一定目的而通过事物的变化建立新的利于人类的有序。这种存在方式的规律揭示设计的本质,因此提出构性理论以探究设计。

### 1.2 构性理论的基本概念

本文提出一些概念以建立构性理论的概念基础。

如前所述,世界中事物的存在方式包含两部分:事物及事物之间的关系。因为这种存在方式,事物就存在着构性及构性关系,这里,用构性表达对事物本身的描述,用构性关系来表达事物之间的关系。将事物的存在方式概括为二元,即构性和构性关系。

概念1:构性(constituent),构性是对事物本身的一种描述,包括事物的状态、性质、属性、性能、特征等。

事物具有自身的性质、属性、特征等,这些都是事物本身的这种存在性信息,以“构性”描述构性用 constituent,表达因构成、形成、产生等而存在的事物本身信息的描述,用 fa 表示。材料的物理性质、化学性质、机械性能、体积、质量等都是它的构性,事件发生的时间、地点、人物、事件、环境、结果等都是描述这个事件的构性;一个理论的目的、意义、价值、范围等也是它的构性。

概念2:构性关系(constituent relation),描述事物之间的关系(或联系),包括规律、规则、现象、效应、模式、时间、方法

等关系,用 far 表示。

按照抽象程度,构性关系可分为:具体的构性关系和抽象的构性关系,如桥对汽车的支撑力是具体的构性关系,而方法、模式、原理等是抽象的构性关系。

按照复杂程度,构性关系可分为:简单的构性关系和复杂的构性关系。如一张椅子对人的支撑就是简单的构性关系,而一个芯片就含有复杂的构性关系。

按照相互关系,构性关系可分为:“自是构性关系”和“共是构性关系”,自是构性关系是构成事物自身的构性关系,共是构性关系是事物与其他事物的作用的构性关系,自是构性关系与共是构性关系是相对的。

构性理论中把关于设计的事物对象的知识分为两种表现形式:构性知识和构性关系知识。构性关系知识是表达事物关系的一类知识,如物理学知识、数学知识、法律知识、程序知识表达了效应、定理、规定等的知识。构性知识是描述了事物构性的知识,如描述钢材的强度、硬度等的材料科学知识。

概念3:构性规律(constituent law),因一定的构性关系而改变事物的构性或事物之间的构性关系,使得事物不断发展、演化的规律。

例如,汽车因组件之间的相互作用关系而建构在一起,一幅画的色彩、布局等形成的相互之间的构性关系而具有一定的审美效果。构性规律是基于事物的这种存在方式的规律,是世界本身的存在方式所呈现的,它表达了设计中事物变化的机理,是整个构性理论的思想基础。

构性规律具有两条性质:

- 1) 构性或构性关系只能通过一定的构性关系改变;
- 2) 构性必须通过一定的构性关系才能表达。

例如材料的性能改变只能通过添加新的元素、时效处理等建立新的构性关系而改变;事物构性的表达也只能通过构性关系,例如探索事物的构性需要通过测量、实验、仿真等建立构性关系(或者通过推理等概念关系)而研究。此两条性质表明,对于事物的构性的探索或对构性和构性关系的改变,必须通过建立一定的构性关系。

概念4:关系度(degree of relation),表示事物的构性关系的程度。

事物之间不仅存在关系,而且这种关系还具有程度,包括强烈程度、好坏程度。关系度体现了事物的变化性。例如,汽车上的货物和汽车因空间位置、力等关系而成为一个系统,而卸下货物之后,此时它们之间因关系度几乎变化为零而不成为一个系统。

关系度用 rd 表示,取值为[0,1],1表示强相关,0表示不相关,0~1之间的数值表示具有一定的关系度。关系度决定了事物是否满足相应的关系程度而能否进入设计内容中,是必要条件。

概念5:构性空间(constituent space),事物的构性及其构

性关系所组成的空间。构性空间用  $FAS$  表示,根据定义可得

$$FAS = (X, FA, FAR) \quad (1)$$

式中,  $FA$  是各个构性  $fa_i (1 \leq i \leq n)$  的集合,即  $FA = (fa_1, fa_2, \dots, fa_n)$ ;  $FAR$  是构性关系  $far_j (1 \leq j \leq m)$  的集合,即  $FAR = (far_1, far_2, \dots, far_m)$ 。

此表达式表示事物  $X$  的构性空间  $FAS$  具有构性  $FA$  和构性关系  $FAR$ 。

一件事物的构性元素  $fa$  因相应的构性关系  $far$  组成了一个事物的整体空间  $fas$ 。如一个理论也是由它的目的、方法、范围、意义等构成的一个构性空间。通过设计产生了新的事

物,就形成了新的构性空间。事物的构性空间决定了事物的可能,例如可供性(affordance)<sup>[25]</sup>,可供性实质上就是在一定情况下事物具有可提供某种构性关系的性质。进行设计,就是要去把握事物的构性空间,发掘和探索事物背后的构性及构性关系,在平常看似不相关的事物之间建立新的构性关系。例如,原研哉为长野冬季奥运会设计节目册<sup>[26]</sup>,将踏雪的印记与印刷的文字结合,就产生了新的构性关系,收到了良好的设计效果。以上,建立了构性理论中的基本概念,整理如表1所示。

表1 构性理论的相关概念  
Table 1 The concepts in the Constituent Theory

概念	定义与表示
构性	事物存在本身所包含的信息,来表达事物本身的这种存在性描述,包括事物的结构、参数、状态、性质、属性、性能、特征等,用 $fa$ 表示
构性关系	事物构性之间的关系(或联系),即包括规律,规则、作用、效应、过程、现象、功能、时间等关系,用 $far$ 表示
构性规律	因一定的构性关系而改变事物的构性或事物之间的构性关系,使得事物不断发展、演化的规律
关系度	事物之间的构性关系的程度,用 $rd$ 表示
构性空间	事物的构性及其构性关系所组成的空间 构性空间 $FAS = (X, FA, FAR)$ , 其中, $FA = (fa_1, fa_2, \dots, fa_n)$ , $FAR = (far_1, far_2, \dots, far_m)$

### 1.3 设计本质的探究

由于世界本身构造而呈现的事物存在方式,世界中事物的变化机理即是:事物因一定的构性关系发生构性或构性关系的改变而不断发展、演化的规律。设计是基于事物本身的存在方式而对事物变化进行操作,所以设计的基础就是构性规律。

设计是一个有目的的活动,包含了目的和设计的对象事物,设计主体提供了事物变化的目的,目的则为客观的事物变化提供了意向,而事物的变化则是建立事物之间的构性关系,即为了满足一定目的而通过事物的变化建立新的利于人类的有序,正是新的构性关系的产生而揭露了设计的本质。

因此,设计的本质是:满足一定目的的新的构性关系的建立。

### 1.4 基于构性理论重新定义设计中的概念

基于构性理论对设计中相关的基本概念进行重新定义与阐述,构建基于构性理论的设计的概念基础。这样的好处是:一是在运用构性理论进行设计研究时,没有构性理论中的概念与现有设计中概念之间的脱节、混乱以及理解上的不便;二是研究设计的本质需要探求其概念的本质,而基于构性理论可以清晰地揭示设计中相关概念的本质及其在本质上的关系,以及它们出现在设计中是因为它们与设计的本质紧密相关;三是设计中的概念可在构性理论中统一地建立起来,这有利于设计理论体系的建立。

#### 1) 系统及系统中的相关概念

#### (1) 系统

系统是一个广泛的基本概念。Bunge<sup>[27]</sup>定义了系统:a (material) system can be regarded as a complex thing that has two or more things in interaction. 构性理论中定义:系统,即事物因具有一定关系度的构性关系而形成的内容。系统(system)用  $SYS$  表示,表达式为

$$SYS = (FA, FAR, RD) \quad (2)$$

式中,  $FA$  是系统中的各个构性元素  $fa_i$  的集合;  $FAR$  是系统中各个构性关系  $far_i$  的集合;  $RD$  是各个构性关系  $far_i$  的关系度  $rd_k (1 \leq k \leq n)$  的集合,即  $RD = (rd_1, rd_2, \dots, rd_n)$ 。

设计就是要满足一定目的而进行新的构性关系的建立,这就使得因构性关系形成的内容而可以成为一个系统。所以进行着设计就意味着在形成一定的系统。

#### (2) 结构

构性理论中定义为:结构,即系统中(或者构性空间中)事物之间的构性关系的形成状态。

结构表达了系统中的元素因构性关系形成在一起的形成状况,包括系统的元素以及将这些元素融合在一起的构性关系,例如汽车的部件及其部件之间的构性关系就表达了汽车的结构。结构(structure)用  $STR$  表示,表达式为

$$STR = [(S^{FAR}, FAR), (S^C, C)] \quad (3)$$

式中,  $S^{FAR}$  表示结构中的各个构性关系  $far$  的状态  $s^{far_i} (1 \leq i \leq n)$  的集合,即  $S^{FAR} = (s^{far_1}, s^{far_2}, \dots, s^{far_n})$ ;  $S^C$  表示各个构性元素  $c$  的状

态  $S_j^c (1 \leq j \leq m)$  的集合, 即  $S^{FAR} = (S_1^c, S_2^c, \dots, S_m^c)$ 。

### (3) 状态

系统(或事物)总会处在一定的状态之中。构性理论中定义: 状态, 即系统所处的一种状况。状态(state)用  $S$  表示。

系统具有构性及构性关系(即  $(FAR, FA)$ ), 状态应从构性及构性关系两方面表达, 例如, 连接关系断裂, 属于从构性关系失效的状态; 某个部件受热膨胀, 体积变大, 属于从体积构性表达的状态。为了表达状态, 总是以某些构性及构性关系的值(定性或定量的描述)来表达系统的状态, 用  $S = ((FAR, V^{far}), (FA, V^{fa}))$  表达, 其中,  $V^{far}$  是各个构性关系  $far_i$  的状态值  $V^{far}_i (1 \leq i \leq n)$  的集合, 即  $V^{far} = (V^{far}_1, V^{far}_2, \dots, V^{far}_n)$ ;  $V^{fa}$  是各个构性  $fa_j$  的状态值  $V^{fa}_j (1 \leq j \leq m)$  的集合, 即  $V^{fa} = (V^{fa}_1, V^{fa}_2, \dots, V^{fa}_m)$ 。构性关系或构性的状态值是在相应的运行函数和影响函数下共同作用得到的值, 假设有系统运行函数  $\varphi$ , 以及对系统(或事物)状态有影响函数  $\varphi^*$ , 则有,  $(V^{far}, V^{fa}) = (\Phi^{far}(t) \cdot \Phi^{far^*}(t), \Phi^{fa}(t) \cdot \Phi^{fa^*}(t))$ , 式中的运算符“ $\cdot$ ”表示运行函数和影响函数共同作用, 式中的时间参数  $t = T$  或  $t = \Delta T$ , 分别表示某个时刻  $T$  的状态或某个某段时间  $\Delta T$  的状态, 式中,  $\Phi^{far}(t)$  是系统中各个构性关系的运行函数  $\varphi^{far}_i(t) (1 \leq i \leq n)$  的集合(每个构性关系可能有其自身的运行函数), 即  $\Phi^{far}(t) = (\varphi^{far}_1(t), \varphi^{far}_2(t), \dots, \varphi^{far}_n(t))$ ;  $\Phi^{fa}(t)$  是系统中各个构性关系受到影响的函数  $\varphi^{fa}_j (1 \leq j \leq m)$  的集合(若无影响,  $\varphi^{fa}_j = 1$ ), 即  $\Phi^{fa}(t) = (\varphi^{fa}_1(t), \varphi^{fa}_2(t), \dots, \varphi^{fa}_m(t))$ ; 同理,  $\Phi^{far^*}(t) = (\varphi^{far^*}_1(t), \varphi^{far^*}_2(t), \dots, \varphi^{far^*}_n(t))$ ,  $\Phi^{fa^*}(t) = (\varphi^{fa^*}_1(t), \varphi^{fa^*}_2(t), \dots, \varphi^{fa^*}_m(t))$ 。某个构性关系的状态值表示为  $v^{far}_i(t) = (\varphi^{far}_i(t) \cdot \varphi^{far^*}_i(t))$ , 某个构性的状态值表示为  $v^{fa}_j = (\varphi^{fa}_j(t) \cdot \varphi^{fa^*}_j(t))$ 。

因此,  $t = T$  或  $t = \Delta T$  时, 状态  $S$  的表达式为

$$S = \left[ (FAR, \Phi^{far}(t) \cdot \Phi^{far^*}(t)), (FA, \Phi^{fa}(t) \cdot \Phi^{fa^*}(t)) \right] \quad (4)$$

### (4) 功能

设计中一个重要的概念就是功能。Pahl 和 Beitz<sup>[28]</sup>认为, 功能是系统的输入和输出之间的一般关系。Chen 等<sup>[29]</sup>将功能定义为设计者从问题状态改变到期望状态或者阻止环境变为不期望状态的抽象动作。

构性理论中定义: 功能, 是指表达了一定目的的构性关系。功能(function)用  $f$  表示, 功能的表达式为

$$f = (far, \eta, C) \quad (5)$$

式中,  $far$  表示功能中的构性关系;  $\eta$  表示了功能的目的性, 并且这种目的性带有指向性, 可以是单向或者双向;  $C$  表示参与功能关系的各个事物元素的集合, 即  $C = (c_1, c_2, \dots, c_n), n \geq 2$ 。

如果去掉  $C$ , 就形成了抽象的功能  $f = (\eta, far)$ 。例如润滑油对轴承的润滑功能  $f$ ,  $C$  中的元素就是润滑油和轴承; 功能中的构性关系  $far$  就是润滑油与轴承部件之间的力学关系; 目的性  $\eta$  就是润滑油通过这种力学关系使轴承部件之间减少了摩擦, 这里目的性的指向是单向的, 是润滑油对于轴承产生构性关系的作用。

因此, 功能具有构性关系的本质, 完成功能即是为了满

足一定目的建立新的构性关系, 这与设计本质密切相关, 这从本质上解释了设计可以以功能的实现作为设计任务。

### (5) 行为、动作

构性理论中定义: 行为, 是系统中构性关系以一定形式的表达; 动作, 是这种行为的实施。需要说明的是, 这里的行为是和 FBS 模型<sup>[5]</sup>的行为不同, 这里的行为是系统的构性关系一定形式的表达, 如挖掘机铲土的行为。

### (6) 质量

构性理论中定义: 质量, 是系统的自是构性关系能够满足或保持期望的一种性质。质量(quality)用  $qua$  表示, 其表达式为

$$qua = (SYS, FAR, V^{far}, K) \quad (6)$$

式中,  $SYS$  表示质量描述的对象, 即一个系统;  $FAR$  表示形成系统的各个自是构性关系  $far_i$  的集合;  $V^{far}$  表示各个自是构性关系  $far_i$  的状态值  $V^{far}_i$  的集合, 质量是在运行函数  $\Phi^{far}(t)$  和受到的干扰影响函数  $\Phi^{far^*}(t)$  的共同作用下的状态值来衡量的, 根据状态的表达式, 可得  $V^{far} = (\varphi^{far}_1(t) \cdot \varphi^{far^*}_1(t), \varphi^{far}_2(t) \cdot \varphi^{far^*}_2(t), \dots, \varphi^{far}_n(t) \cdot \varphi^{far^*}_n(t))$ , 而质量是在全生命周期下衡量的, 所以  $t$  取值范围为全生命周期  $T_{全}$ ;  $K$  表示对应于各个构性关系  $far_i$  的期望值  $k_i$  的集合, 即  $K = (k_1, k_2, \dots, k_n)$ 。

质量  $qua$  描述的结果是  $v^{far}$  和  $k$  的比较结果,  $v^{far} > k$ , 质量好;  $v^{far} < k$ , 质量不好;  $v^{far} = k$ , 质量正常。设计时, 形成系统的自是构性关系的好坏就决定了系统的质量。

## 2) 其他与设计相关的概念

### (1) 价值

价值是设计中重要的部分, 没有价值, 设计的事物就没有意义。“事物并不是自在的东西, 事物只有在关系中, 只有通过我以及它与我的关系才有意义”<sup>[30]</sup>。事物的价值就存在于自身与其他事物的关系之中, 即共是构性关系。

构性理论中定义: 价值, 即事物之间的共是构性关系的效益属性的度量。价值(value)用  $VAL$  表示, 价值的表达式为

$$VAL = (SYS, far, m) \quad (7)$$

式中,  $SYS$  是价值描述的对象, 即一个系统(或事物);  $FAR$  是  $SYS$  与其他事物之间的共是构性关系  $far_i$  的集合;  $m$  是这种构性关系  $far_i$  的效益属性值。

价值是对共是构性关系的效益属性的度量, 而设计建立了事物之间新的共是构性关系, 因此设计产生价值。

### (2) 需求

需求源于对事物构性关系的需要, 例如对食物的需求是人体各器官组织的构性关系的需要; 对工具的需求也是建立一定构性关系实现某些目的。

构性理论中定义: 需求, 即新的构性关系建立的需要。需求(need)用  $N$  表示, 需求的表达式为

$$N = (S^{CS}, \tau, FAR_N) \quad (8)$$

式中,  $S^{CS}$  表示现状(current state);  $\tau$  是修正算子, 是对现状的修正;  $FAR_N$  是需求中改变现状需要建立各个构性关系集

合,这指明了需求的本质内容。

$FAR_N$ 即是设计需要建立的内容。至于需求能否实现以及最终实现的状态需要考查 $FAR$ 的设计结果。需求的本质是对构性关系的需要,即需要通过设计建立新的构性关系满足需求,所以满足需求需要以设计实现。

### (3) 问题

檀润华<sup>[31]</sup>总结了相关研究并认为,“问题是目前状态和期望状态的差距”。但是该定义中并未指明这差距的具体内容。而差距的内容实质上是两个状态的事物之间不良的构性关系。

构性理论中定义:问题,即目前状态和期望状态之间不良的构性关系。问题(problem)用 $Pr$ 表示,问题的表达式为

$$Pr = (S^{CS}, FAR_p, S^{DS}) \quad (9)$$

式中, $S^{CS}$ 表示现状(current state),可用状态值 $V^{CS}$ 衡量; $FAR_p$ 是问题中目前状态和期望状态之间不良的各个构性关系的集合,是设计需要完成的内容; $S^{DS}$ 表示期望状态(desired state),可用状态值 $V^{DS}$ 衡量。

问题的解决即需要针对不良的构性关系通过设计建立新的构性关系,使达到期望状态,即形成一个设计过程。

### (4) 目的

目的,是预先设想的行为目标和结果,而目标状态的事物具有新的构性关系,产生目的就是建立新的构性关系而使事物达到一种目标状态。

构性理论定义:目的,即建立新的构性关系的意识。目的(purpose)用 $P$ 表示,目的的表达式为

$$P = (S^{CS}, \eta, FAR_p, S^{DS}) \quad (10)$$

式中, $S^{CS}$ 表示目的当前的状态; $\eta$ 表示目的性; $FAR_p$ 表示需要达到目的状态的各个构性关系的集合,同样是需要通过设计建立的内容; $S^{DS}$ 表示目标状态(期望状态)。

所以,目的表示为,对一定的现状 $S^{CS}$ ,在目的性 $\eta$ 的指引下建立构性关系 $FAR_p$ ,从而达到的期望状态 $S^{DS}$ 。满足目的就是在建构新的构性关系达到预想的目标状态,这个过程就进行着设计。

以上基于构性理论重新定义了设计中的一些主要概念,而这些概念均具有构性关系的本质特性,所以它们与设计具有密切的本质关系。概念及其概念之间关系的整理见表2。这为应用构性理论探究设计奠定了一定的概念基础。

表2 基于构性理论重新定义的相关基本概念

Table 2 Related basic concepts redefined based on the Constituent Theory

概念	定义与表达式
系统	定义:事物因具有一定关系度的构性关系而形成的内容,表达式: $SYS=(FA, FAR, RD)$
结构	定义:系统中(也可称为构性空间中)事物之间的构性关系的形成状况,表达式: $STR=[(S^{AR}, FAR), (S^C, C)]$
状态	定义:即系统所处的一种状况,表达式: $S=(V^{ur}, V^a)$
功能	定义:系统中表达了一定期望的构性关系,表达式: $f=(far, \eta, C)$
行为、动作	定义:行为,是系统中构性关系以一定形式的表达;动作,是这种行为的实施
质量	定义:系统的自是构性关系能够满足或保持期望的一种性质,表达式: $qua=(SYS, FAR, V^{ur}, K)$
价值	定义:事物之间的共是构性关系的效益属性的度量,表达式: $VAL=(SYS, FAR, m)$
需求	定义:新的构性关系建立的需要,表达式: $N=(S^{CS}, \tau, FAR_N)$
问题	定义:目前状态和期望状态之间不良的构性关系,表达式: $Pr=(SCS, FAR_p, SDS)$
目的	定义:建立新的构性关系的意识,表达式: $P=(S^{CS}, \eta, FAR_p, S^{DS})$

## 2 设计过程的建立

### 2.1 设计过程模型

本文基于设计的本质——满足一定目的的构性关系的建立,提出一种新的设计过程模型,称作设计驱动——设计蕴含——设计匹配模型,即 design actuating—design implying—design matching 模型,简称 AIM 模型(图 1)。

AIM 模型由 4 个构性空间构成,即现状空间、建构空间、基础空间、期望空间。4 个空间进行相互的信息交流。

1) 现状空间是处于一定现状的事物的构性空间。现状空间中包含了需要设计事物的现状信息以及约束与条件,包括它的结构、特征、元素、环境等。现状空间是设计的源头。

2) 建构空间是正在进行建立构性关系的构性空间。建构空间是未知的,是需要建构的。进行设计驱动时,建构空间就产生了;建构空间的完成意味着构性关系的建立。建构空间是设计的核心过程。

3) 基础空间是具有一定背景的构性空间,包括了设计人员所拥有的经验、知识,以及相应的工具、法律、环境等,它为正在建立构性关系的建构空间提供一定的基础。基础空间分为两部分,一部分是用于设计建构的知识,另一部分是对设计提供约束和条件。基础空间是对设计活动的基础支撑。

4) 期望空间是表达了期望中事物状态的空间,包括了事物可能的结构、模样、环境等。事物的目标状态往往不是具

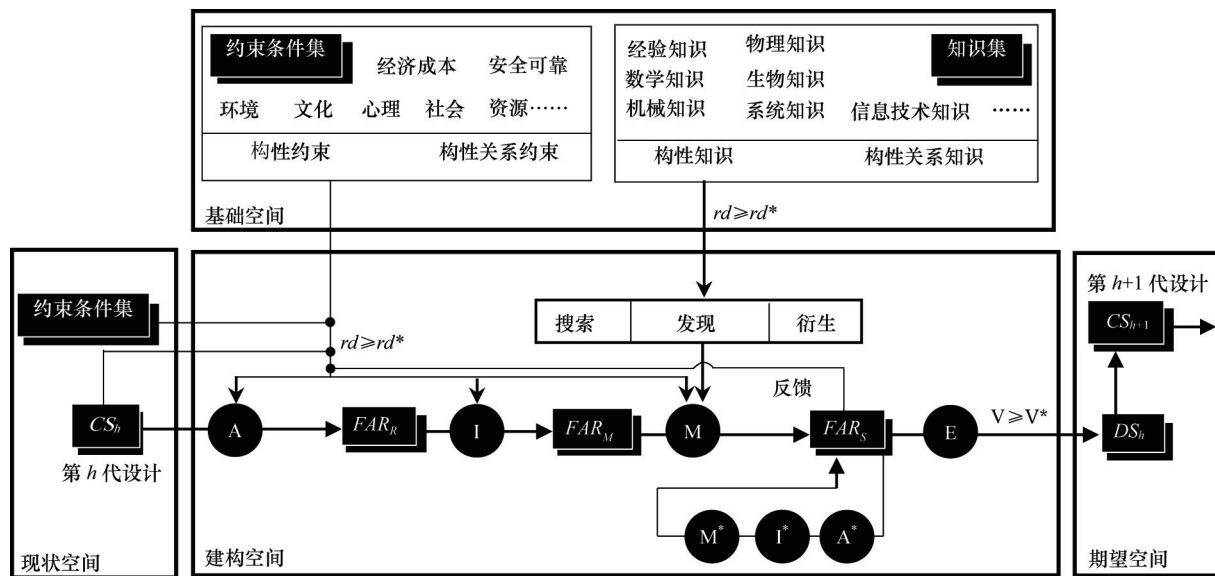


图1 设计过程模型

图1 The design process model

体的,可能是一个很抽象描述的状态,需要诠释,并通过建构来达到这样的期望状态。期望空间是设计的引导方向。

设计是一个实现目的的过程,即从目前状态(现状)通过设计达到一种目标状态(期望状态),因此,把设计定义为

$$D:CS \rightarrow DS \text{ 或者 } DS = D(CS) \quad (11)$$

式中,  $D$  表示设计过程;  $CS$  表示目前状态(current state)的事物,  $CS = (FA^{CS}, FAR^{CS})$ ,  $FA^{CS}$  是现状事物的各个构性  $fa^{CS}_i (1 \leq i \leq n)$  的集合,即  $FA^{CS} = (fa^{CS}_1, fa^{CS}_2, \dots, fa^{CS}_n)$ ,  $FAR^{CS}$  是现状事物的各个构性关系  $far^{CS}_j (1 \leq j \leq m)$  的集合,即:  $FAR^{CS} = (far^{CS}_1, far^{CS}_2, \dots, far^{CS}_m)$ ;  $DS$  表示目标状态(desired state)的事物,同理,  $DS = (FA^{DS}, FAR^{DS})$ 。

设计过程主要由3种过程完成,即设计驱动过程(A过程)、设计蕴含过程(I过程)、设计匹配过程(M过程)。所以,设计过程  $D$  又可表达为:

$$D = (A, I, M) \quad (12)$$

## 2.2 设计驱动过程

进行设计时,对一定现状的事物(包括想象或期望中的事物)进行感知,对事物产生忍受或期望,进而修正产生了忍受或期望的现状,得到产生设计的构性关系来源(需求、问题、目的)以驱动设计,这个过程称为设计驱动过程(A过程)。

对事物的感知状态有两类:活跃状态和非活跃状态。活跃状态又分为期望和忍受两种类型,期望这一类型表达的是兴奋、满意、欢快、愉悦、好奇、兴趣等正向积极状态;忍受这一类型表达的是不满、抱怨、厌恶、痛苦、焦虑等负向消极状态。忍受和期望是属于负向消极与正向积极不同方向的活

跃状态,但是它们是共通的,是相互对立统一的。非活跃状态是处于平衡中的状态,既没有明显积极状态,也没有明显的消极状态。实质上,大多数事物都处于非活跃状态,并且活跃状态中期望或忍受的事物都从非活跃状态中产生。

通过设计驱动,当从非活跃状态发展为活跃状态,对事物产生了忍受或者期望,需要改变事物:一是产生了对事物的修正  $\tau$ ,需要通过建立一种新的构性关系  $FAR_N$  而改变事物,从而产生了需求;二是发现了忍受或期望状态事物的不良的构性关系  $FAR_P$ ,从而产生了问题;三是产生了消除忍受或者满足期望而要达到的目的状态,而目的状态是新的事物状态,具有新的构性关系  $FAR_P$ ,从而产生了目的。所以,通过设计驱动产生了3种形式的构性关系来源。

设计总是从对事物的忍受或对事物的期望开始,产生对事物的修正,对事物的修正就是因事物构性关系产生的需求、问题、目的,进而得到构性关系来源。

$$A:CS \rightarrow FAR_R \text{ 或 } FAR_R = A(CS) \quad (13)$$

式中,  $FAR_R$  是构性关系来源。

A过程包含了两类活跃状态的过程:忍受和期望,出现了忍受和期望就希望改变事物,即实现对事物的修正,从而产生用于设计的构性关系来源。所以,A过程是对忍受或者期望的事物的修正以获得构性来源的:

$$A = \tau(\alpha) \text{ 或 } A = \tau(\beta) \quad (14)$$

式中,  $\tau$  是带有目的性方向的修正算子;  $\alpha$  和  $\beta$  都是一种认知算子,分别是忍受算子和期望算子,并且  $\alpha = -\beta$ ,“-”表示两种具有相反的效果,是对立统一的。  $\tau$  对  $\alpha$  具有反向的修正效

果,对 $\beta$ 具有同向的修正效果。

A过程通过修正算子 $\tau$ 和忍受算子 $\alpha$ (或期望算子 $\beta$ ),实现从当前状态的事物得到需求中的构性关系 $FAR_N$ 、问题中的构性关系 $FAR_P$ 、目的中的构性关系 $FAR_V$ (并且在同一设计中三者中的构性关系等同,即: $FAR_R=FAR_P=FAR_V=FAR_N$ )。

### 2.3 设计蕴含过程

从A过程得到的构性关系来源进行构性关系的挖掘,找到设计问题蕴含的构性关系模式,这个过程称为设计蕴含过程(I过程)。

实质上,A过程得到的构性关系来源只是呈现出问题,并没有提供解决问题的具体方式。所以需要通过I过程找到构性关系来源蕴含着怎样的构性关系,即需要用怎样的构性关系来解决构性关系来源中的问题,所以需要通过I过程获取较为清晰、明确的构性关系,得到解决问题方式的各种构性关系模式。

I过程需要理清问题中事物的各种构性及构性关系,这就需要从现状空间中获取现状信息。而I过程中现状空间的现状信息和约束条件以及基础空间的约束条件能否进行起作用需要满足约束条件的关系度大于期望的关系度,即是必须有用的信息才能被纳入到设计过程中,即满足 $rd' \geq rd^*$ ,其中, $rd^*$ 是期望的关系度。

设计蕴含的过程中,可以对构性关系来源从不同的层次和不同的方向进行构性关系挖掘而获取解决问题的构性关系模式,即设计蕴含有两种蕴含方式:层次性蕴含和方向性蕴含,如图2所示。层次性蕴含是从构性关系来源的某一个层次进行蕴含而得到构性关系模式。层次性蕴含是从构性关系的高低层次(或前后关系)考虑问题的。方向性蕴含是在构性关系来源的同一层次中不同方向上进行蕴含而进行构性关系的挖掘,找到不同的解决问题的方向,如不同的原理、效应,但是它们实现的是同一的构性关系模型。两种设计蕴含方式就包含了各种建立构性关系方式的所有情况,包括形成的复杂立体网络式结构。

在解决问题时,需要在理清问题的构性及其形成的构性关系链的基础上,找到较好解决问题的蕴含方式,挖掘出解决问题的构性关系模式。有的问题需要两次或多次设计蕴含才能找到好的解决问题的构性关系模式,例如挖掘具有多层次因果关系的事物关系。

I过程是从构性关系来源 $FAR_R$ 中蕴含出解决问题的各种构性关系模式 $FAR_M$ ,假设 $rd' \geq rd^*$ ,则

$$I: FAR_R \rightarrow FAR_M \text{ 或 } FAR_M = I(FAR_R) \quad (15)$$

而I过程是设计蕴含过程,用一个带有目的性方向的蕴含算子 $\bar{e}$ 表示,即

$$I = \bar{e} \quad (16)$$

而设计蕴含包含两种蕴含方式,所以蕴含算子 $\bar{e}$ 包含层次性蕴含(hierarchy)算子 $e_h$ 和方向性蕴含(direction)算子 $e_d$ ,即: $\bar{e} = e_h$ 或 $\bar{e} = e_d$ 。

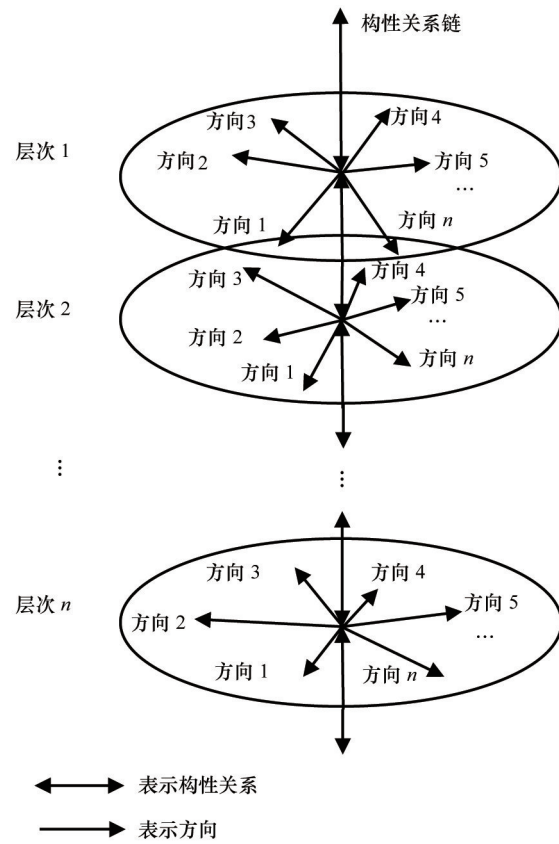


图2 设计蕴含的两种方式  
Fig. 2 Two ways of design implied

### 2.4 设计匹配过程

从I过程挖掘出构性关系模式之后,需要采用一定事物的关系匹配挖掘出的构性关系模式,使得它们具有相同的意向,得到具体的构性关系,形成设计方案,这个过程叫做设计匹配过程(M过程)。

完成M过程有3种方式:通过搜索现有的经验、知识进行新的应用的匹配;通过发现新的构性关系进行匹配;通过对现有信息的思考衍生出新的构性关系进行匹配。搜索方式是较为直接的方式,直接查找到与构性关系模式匹配的构性关系,可基于case-based reasoning<sup>[32]</sup>方法进行匹配;发现方式是较为复杂的方式,通过科学研究发现能够匹配构性关系模式的构性关系;衍生方式是通过对相关信息的分析、推理等活动衍生出能够匹配构性关系模式的构性关系的方式。这3种方式在一次设计活动中可以是综合使用的。

设计匹配是一个较为复杂的过程,可能需要多步达到;一个构性关系模式可以由多个具体的构性关系共同实现。通过设计匹配最终得到的具体的构性关系 $FAR_M$ 可能是通过衍生产生的信息关系、通过搜索得到的现有的经验与知识、通过实验与仿真得到的成果以及通过发现得到的知识。

M过程实现的是,对构性关系模式匹配具体的构性关系,M过程中的相关的信息、知识、约束条件等需要达到设计

条件,即 $rd^m \geq rd^*$ ,得到

$$M: FAR_M \rightarrow FAR_S \text{ 或 } FAR_S = M(FAR_M) \quad (17)$$

M过程是一个匹配的过程,用一个带有目的性方向的匹配算子 $\bar{m}$ 表达,即

$$M = m \quad (18)$$

而设计匹配方式有搜索、发现和衍生3种,所以匹配算子 $m$ 是由3种方式的匹配算子组成的集合,搜索方式的匹配算子 $m_s$ 、发现方式的匹配算子 $m_f$ 和衍生方式的匹配算子 $m_y$ ,所以 $m = m_s$ 或 $m = m_f$ 或 $m = m_y$ 。

## 2.5 AIM模型的作用过程

前面分别介绍了AIM模型的A过程、I过程、M过程,现在介绍整个模型的作用机制。

假设对现状事物产生了 $n$ 个设计驱动,设计活动就产生了 $n$ 个设计任务,则

$$D = (D_1, D_2, \dots, D_n) \quad (19)$$

对每个设计 $D_i$ 任务有设计过程 $(A_i, I_i, M_i)$ ,  $1 \leq i \leq n$ ,则

$$D = \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ \vdots \\ D_i \\ \vdots \\ D_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (A_1, I_1, M_1) \\ (A_2, I_2, M_2) \\ \vdots \\ (A_i, I_i, M_i) \\ \vdots \\ (A_n, I_n, M_n) \end{bmatrix} \quad (20)$$

前文在介绍AIM模型时,并未考虑约束条件、知识信息、反馈等在过程中的输入,现将其加入到整个AIM模型的作用机制。

每个设计活动首先都对现状事物的设计驱动开始,对于第 $i$ 个设计任务 $D_i$ 的设计驱动过程 $A_i$ ,进行驱动得到构性关系来源 $FAR_R$ ,由式(6)~(7),对于 $A_i$ 过程:如果 $rd^A \geq rd^A_1$ ,则

$$FAR_{R_i} = \tau_i(\alpha_i(CS_i, CS_i^*)) \quad (21)$$

式中, $CS_i^*$ 表示与现状相关并作用于 $A_i$ 过程的约束条件及后续过程的反馈信息; $\alpha_i = -\beta_i$ ,  $FAR_{R_i} = FAR_{P_i}$ 或 $FAR_{R_i} = FAR_{F_i}$ 或 $FAR_{R_i} = FAR_{N_i}$ 。

对获得的构性关系来源,通过I过程获得构性关系模式。由式(8)~(9),对于I过程:如果 $rd^I \geq rd^I_i$ ,则

$$FAR_{M_i} = e_i(FAR_{R_i}, FAR_{R_i}^*) \quad (22)$$

式中, $FAR_{R_i}^*$ 表示与现状相关并作用于I过程的约束条件及后续过程的反馈信息;且 $e_i = e_{hi}$ 或 $e_{di} = e_{di}$ 。

对获得的构性关系模式,通过M过程获得具体的构性关系,从而形成方案。由式(9)~(10),对于M过程:如果 $rd^M \geq rd^M$ ,则

$$FAR_{S_i} = m_i(FAR_{M_i}, FAR_{M_i}^*, Kn_i) \quad (23)$$

式中, $FAR_{M_i}^*$ 表示与现状相关并作用于 $M_i$ 过程的约束条件及后续过程的反馈信息; $Kn_i$ 表示用于 $M_i$ 过程的知识;且 $m_i = m_{si}$ 或 $m_i = m_{fi}$ 或 $m_i = m_{yi}$ 。

通过第 $i$ 个设计任务过程就得到各个具体的构性关系的

集合 $FAR_{S_i}, FAR_{S_i}$ 向A过程、I过程、M过程反馈信息。通过构性关系 $FAR_{S_i}$ 形成的内容就形成了新的设计事物,因而形成了设计方案。然而这些构性关系只是初步得到的,可能并未与现状很好的契合。所以,在得到的 $FAR_{S_i}$ 的基础上还需要进行进一步具体解决问题,以获得更加完善的 $FAR_{S_i}$ 。同样,在获得的 $FAR_{S_i}$ 基础上,又从 $FAR_{S_i}$ 开始设计驱动,发现设计需求、设计问题、设计目的,即又应用着子AIM模型。所以在第 $i$ 个设计任务中又会有使其完善的 $D_i^*$ 过程,即

$$FAR_{S_i}^* = D_i^*(FAR_{S_i}) \quad (24)$$

式中, $FAR_{S_i}^*$ 表示更加完善的具体的构性关系。

$D_i^*$ 由 $m$ 个子设计任务 $D_{ik}^*$ 组成,即

$$D_i^* = \begin{bmatrix} D_{i1}^* \\ D_{i2}^* \\ \vdots \\ D_{ik}^* \\ \vdots \\ D_{im}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (A_{i1}^*, I_{i1}^*, M_{i1}^*) \\ (A_{i2}^*, I_{i2}^*, M_{i2}^*) \\ \vdots \\ (A_{ik}^*, I_{ik}^*, M_{ik}^*) \\ \vdots \\ (A_{im}^*, I_{im}^*, M_{im}^*) \end{bmatrix} \quad (25)$$

通过以上过程得到较为完善的具体的构性关系 $FAR_{S_i}$ 之后,就进入评价(evaluate)过程,即E过程。E过程通过各个形成方案进行评价,评价该方案中设计的事物的状态值 $V$ 是否达到期望的状态值 $V^*$ ,如果 $V \geq V^*$ ,则通过设计达到了期望状态 $DS$ 。

综上,得到总的设计过程即为各个设计任务求和,其表达式为

$$D = \sum_{i=1}^n D_i + \sum_{i=1}^n D_i^* \quad (26)$$

其中

$$D_i = m_i[e_i(\tau_i(\alpha_i))] \quad (27)$$

$$D_i^* = \sum_{k=1}^m D_{ik}^* \quad (28)$$

$$D_{ik}^* = m_{ik}^*[e_{ik}^*(\tau_{ik}^*(\alpha_{ik}^*))] \quad (29)$$

且其中 $D_i$ 的输入从现状 $CS_i$ 开始, $D_i^*$ 的输入从 $FAR_{S_i}$ 开始。

设计过程中还有相应的约束条件、现状信息和知识的输入。所以,通过设计过程 $D$ ,将 $CS$ 变化到 $DS$ ,实现某种新的构性关系的建立以实现设计目的。

AIM模型具有不同的形态,通过建立满足目的的构性关系来实现系统、功能、技术、产品,即系统是建立了一定的构性关系而形成的内容(可参见前文的概念定义),系统对作用对象表达了一定意向的构性关系就是系统的功能,技术是建立的构性关系的一种有序形式,产品则是有序的构性关系形成的结果。

设计的创新性在于建立新的构性关系,在设计过程中创新性可能体现在AIM模型的任何一个或多个环节,既可能体现在设计驱动中,瞄向了新的需求;可能出现在设计蕴含中,采取了新的解决问题方式;也可能出现在设计匹配中,采取

了新的原理或者新的组织与结构关系。“在物理学中,有效理论是一种框架,被创造来模拟某种被观察的现象,而不用仔细地描述所有的基本过程。”<sup>[33]</sup>同样,设计也是一种“有效理论”。

### 3 空轨列车安全逃生的设计

2016年,中国首条空轨列车在成都下线,如图3。空轨列车悬挂运行在空中,如果发生突发意外情况,列车上人员难以安全逃生将是一个不得不面临的问题。本文将针对空轨列车安全逃生的实际问题作为构性理论应用的一个事例,验证构性理论的有效性。基于AIM模型的空轨列车安全逃生的设计过程如图4所示。



图3 成都市空轨列车  
Fig. 3 The H-Bahn in Chengdu

1) A过程第一个过程是通过设计驱动,获取构性关系的来源。针对空轨列车在空中运行的现状,突发状况时,难以安全逃生,需要通过设计进行改变。得到设计任务:

$$D: \text{“难以安全逃生”} \rightarrow \text{“从列车安全逃生”} \quad (30)$$

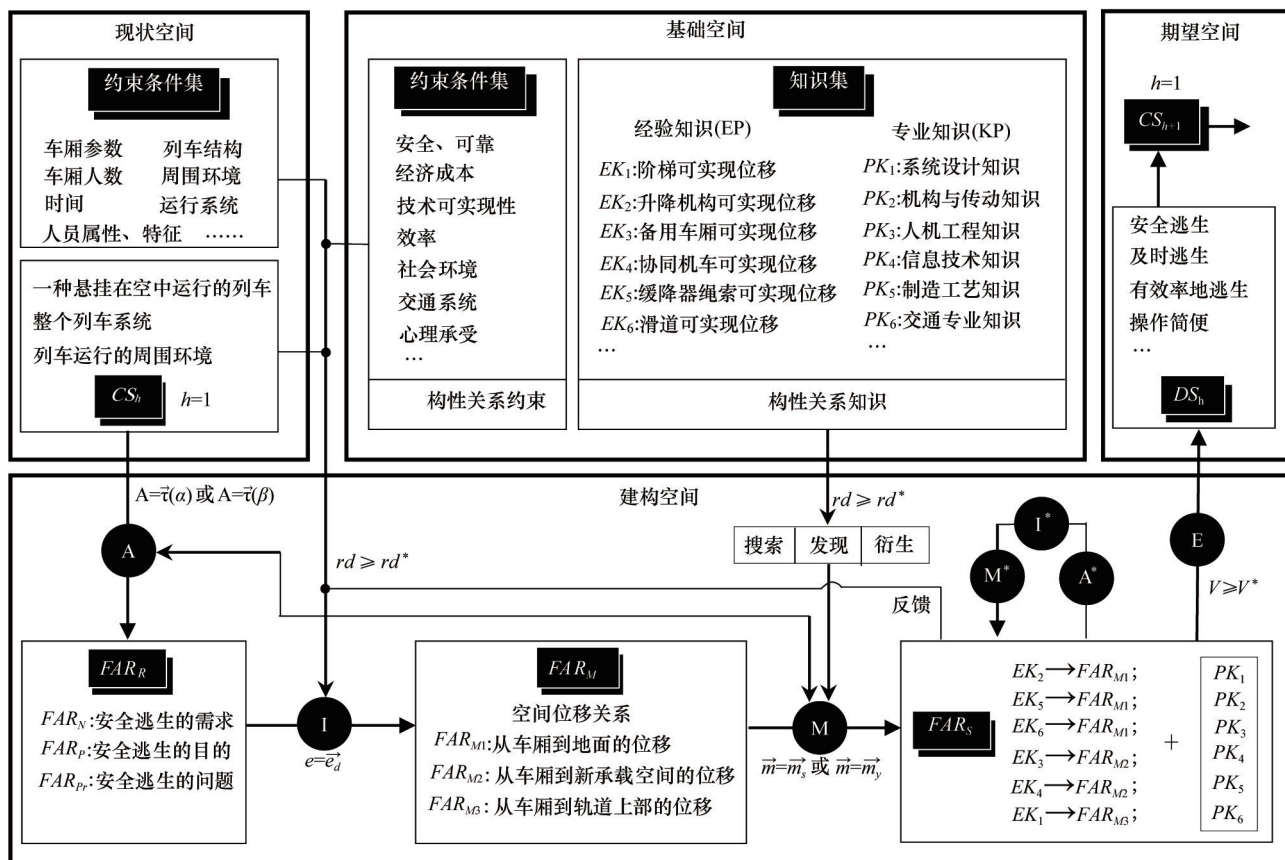
$$A: FAR_R = \tau(\alpha(CS)) \quad (31)$$

式中,  $FAR_R = FAR_P = FAR_N = FAR_S = \text{“从列车安全逃离”}$ ;  $\tau = \text{“使人$

员能从列车安全逃离”; $\alpha = \text{“人员难以从列车安全逃离”}$ ;  $CS = \text{“空轨列车在空中运行”}$ 。

2) I过程

第2个过程是通过设计蕴含,进行构性关系挖掘,得到构性关系模式。人和有害因素以及汽车系统、运行方式、运行环境等处在一定构性关系链中。安全逃生问题即是人员通



图示说明: CS: 现状; A: 设计驱动过程 (actuate);  $FAR_R$ : 构性关系的来源; E: 评价;  
 DS: 期望状态; I: 设计蕴含过程 (imply);  $FAR_M$ : 构性关系的模式;  $rd$ : 关系度;  
 h: 第 h 代设计; M: 设计匹配过程 (match);  $FAR_S$ : 具体的构性关系。 V: 状态值

图4 空轨列车安全逃生的设计过程模型

Fig. 4 Design process model for the escaping safely from the H-Bahn

过逃离车厢的构性关系问题。通过设计蕴含,从车厢的逃离就是人员从车厢开始的空间位移,所以得到蕴含方式: $\bar{e} = \bar{e}_d =$ “逃离蕴含着空间位移”,得到构性关系模式:空间位移。这里采用的是方向性蕴含的方式。

得到构性关系模式—空间位移,而空间位移意味着有起点与终点,在此问题中,根据现状信息,起点即车厢,也需要有一个最终(或暂时的中间点)承载人员的地方。为了实现空间位移,最终承载人员的地方可以是地面,可以是车轨上部,还可以重新增加一个承载空间。所以,可以产生3种构性关系模式:从车厢到地面的空间转移、从车厢到轨道上部的转移、从车厢到新的承载空间的转移。

$$I: FAR_M = \begin{bmatrix} FAR_{M1} \\ FAR_{M2} \\ FAR_{M3} \end{bmatrix} = e_d(FAR_R) \quad (32)$$

式中, $FAR_{M1}$ “从车厢到地面的位移”; $FAR_{M2}$ “从车厢到新承载空间的位移”; $FAR_{M3}$ “从车厢到轨道上部的位移”; $e_d$ “逃生蕴含着空间位移”; $FAR_R$ “从列车安全逃生”。

### 3) M过程

第3个过程是通过设计匹配,完成构性关系的建构,形成设计方案。这个过程需要完成对从设计蕴含得到的空间位移的匹配。对空轨列车的系统及其环境进行研究(即研究系统的构性及其相关的构性关系),在这些信息条件下,通过搜索匹配方式,即 $m = m_s$ “搜索匹配经验知识”,对于从车厢到地面的空间转移,可以采用液压机构实现整车升降到地面、采用缓降器的绳索将单个位置升降到地面、借用滑道使人员移动到地面等方案;对于从车厢到轨道上部的空间位移,可以采用阶梯转移到轨道上部的方案;对于从车厢到新承载空间的空间位移,可以采用附于原车厢或者非原车厢所属的方案。

$$M: FAR_S = \bar{m}_s \begin{bmatrix} FAR_{M1} \\ FAR_{M2} \\ FAR_{M3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} FAR_{S1} \\ FAR_{S2} \\ FAR_{S3} \\ FAR_{S4} \\ FAR_{S5} \\ FAR_{S6} \end{bmatrix} \quad (33)$$

式中, $FAR_{S1}$ “液压机构实现整车降到地面”; $FAR_{S2}$ “缓降器绳索将位置降到地面”; $FAR_{S3}$ “滑道使人员从车厢滑到地面”; $FAR_{S4}$ “人员从原车厢转移到备用车厢”; $FAR_{S5}$ “从原车厢转移到协同运行地车厢”; $FAR_{S6}$ “阶梯实现从车厢到上轨道转移”; $m_s$ “搜索匹配经验知识”。

6种 $FAR_S$ 就产生了6种方案。这里只是探讨了几种方案以表示模型的作用过程。

### 4) D\*过程

前面得到的相应具体的构性关系还不够具体,还未能与现状较好的契合,所以需要进一步完善,就进入到D\*过程,可由式(16)~(17)得到更加契合现状的更加完善的更具体的构性关系。而D\*过程的A\*过程、I\*过程、M\*过程分别与之前的A

过程、I过程、M过程是相似的过程,为了简洁,这里不再赘述。但是在M\*过程中往往需要匹配以应用更为专业的知识,如匹配从 $PK_1$ 到 $PK_6$ 的专业知识,以完成更具体的构性关系,并且可以具体到构性关系的各个参数及参数关系以进行详细设计。

该事例只是为了表达主要过程,省去了一些其他过程,如评价过程(E过程)以及反馈过程(只需将反馈信息加入到前面过程进行决策、调整即可)。在以上过程中,均已假定所应用的信息、知识、约束等已满足预期条件,即 $rd \geq rd^*$ 。

通过D和D\*过程得到相应的概念设计方案。经过设计过程的AIM过程模型,建立了从车厢开始的空间位移以实现安全逃生,建立了安全逃生的新的构性关系,可以在发生突发情况时能够建立人员通过设备逃生的有序关系,实现了设计的价值,从而验证了构性理论的有效性。

## 4 结论

建立了构性理论的概念基础与设计过程模型,本文以构性理论为基础探究设计本质。本文主要创新点在于:1) 论述了构性理论的思想来源于世界本身的存在方式,这种存在方式形成了构性规律,建立了概念与思想基础;2) 探究了设计本质,即设计本质是满足一定目的的新的构性关系的建立;3) 基于构性理论对设计中的相关概念进行了重新定义,明晰了概念的本质,从而可发现它们是因为它们和设计的本质是密切联系而能够纳入到设计活动中,并且体现了构性理论与现有研究的不同形态,例如,构性理论以建立构性关系完成系统、结构、功能以及技术、产品;4) 提出了一个新的设计过程模型——AIM过程模型。

构性理论对创新设计过程的建构并不够精致,还需要构性理论的概念与思想的完善、AIM过程模型更精致的机理、支撑AIM模型的计算机辅助工具、支撑设计匹配过程的知识服务、构性理论中知识流与信息流的机理、构性理论与其他理论和方法的融合等后续研究。尽管如此,本文为设计的研究奠定了新的概念、思想基础以及建立了设计过程模型,以探究设计的本质,为设计科学的讨论提供了新的观点和思路。

### 参考文献(References)

- [1] Altshuller G S, Shulyak L A, Rodman S. The innovation algorithm: TRIZ, systematic innovation and technical creativity[M]. Worcester: Technical Innovation Center, Inc, 1999.
- [2] Kikuchi M, Nagasaka I. On the three axioms of general design theory [J]. Proceedings of the International Workshop of Emergent Synthesis, 2002, 69-76.
- [3] Simon H A. The sciences of the artificial[M]. 3rd ed. MIT Press, 1996.
- [4] Suh N P. Axiomatic design theory for systems[J]. Research in Engineering Design, 1998, 10(4): 189-209.
- [5] Gero J S, Kannengiesser U. The function-behaviour-structure ontology of design: An anthology of theories and models of design[M]. London:

- Springer, 2014: 263–283.
- [6] Gero J S, Kannengiesser U. The situated function–behaviour–structure framework[J]. *Design Studies*, 2004, 25(4): 373–391.
- [7] Niiniluoto I. Values in design sciences[J]. *Studies in History & Philosophy of Science: Part A*, 2014, 46(175): 11–15.
- [8] Buchanan R. Wicked problems in design thinking[J]. *Design Issues*, 1992, 8(2): 5–21.
- [9] Heylighen A, Cavallin H, Bianchin M. Design in mind[J]. *Design Issues*, 2009, 25(1): 94–105.
- [10] Kroes S P. *Technical artefacts: Creations of mind and matter*[M]. Springer Netherlands, 2012.
- [11] Reich Y. Designing science[J]. *Research in Engineering Design*, 2013, 24(3): 215–218.
- [12] Farrell R, Hooker C. Design, science and wicked problems[J]. *Design Studies*, 2013, 34(6): 681–705.
- [13] Verkerke G J, Eb V D H, Broekhuis A A, et al. Science versus design; Comparable, contrastive or conducive?[J]. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 2013, 21(3): 195–201.
- [14] Beneli M. Design science: A framework for change[EB/OL]. <https://www.bfi.org/design-science/primer/design-science-framework-change>.
- [15] Hatchuel A, Will B. C–K design theory: An advanced formulation[J]. *Research in Engineering Design*, 2009, 19(4): 181.
- [16] Xie Youbai. Four basic laws in design science[J]. *中国工程科学: 英文版*, 2014(2): 2–8.
- [17] 李彦, 李文强. 设计方法[M]. 北京: 科学出版社, 2013.  
Li Yan, Li Wenqiang. *Method to creative design*[M]. Beijing: Science Press, 2013.
- [18] Maimon O, Braha D. A mathematical theory of design representation of design artifacts (Part I)[J]. *International Journal of General Systems*, 1999, 27(4–5): 275–318.
- [19] Zeng Y, Gu P. A science–based approach to product design theory Part I: formulation and formalization of design process[J]. *Robotics and Computer–Integrated Manufacturing*, 1999, 15(4): 331–339.
- [20] Zeng Y. Axiomatic theory of design modeling[J]. *Journal of Integrated Design & Process Science*, 2002, 6(3): 1–28.
- [21] Salustri F A, Venter R D. An axiomatic theory of engineering design information[J]. *Engineering with Computers*, 1992, 8(4): 197–211.
- [22] Papalambros P Y. Design science: Why, what and how[J]. *Design Science*, 2015: 1.
- [23] 吴今培, 李学伟. 系统科学发展概论[M]. 北京: 清华大学出版社, 2010: 4.  
Wu Jinpei, Li Xuewei. *An introduction to the development of systems science*[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2010: 4.
- [24] 阿瑟. 技术的本质[M]. 杭州: 浙江人民出版社, 2014.  
Arthur B. *The essence of technology*[M]. Hangzhou: Zhejiang People’s Publishing House, 2014.
- [25] 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.
- [26] 原研哉. 设计中的设计[M]. 济南: 山东人民出版社, 2006: 11.  
Kenya. *Design of design*[M]. Jinan: Shandong People’s Publishing House, 2006: 11.
- [27] Bunge M. *Treatise on basic philosophy, Vol. 4, Ontology II: A world of systems*[M]. D. Reidel Publishing Company, 1979.
- [28] Pahl G, Beitz W. *Engineering design: A systematic process*[M]. 2nd ed. London: Springer, 1994.
- [29] Chen Y, Zhang Z, Xie Y B, et al. A new model of conceptual design based on Scientific Ontology and intentionality theory. Part I: The conceptual foundation[J]. *Design Studies*, 2015, 37: 12–36.
- [30] 黑格尔. 精神现象学[M]. 北京: 商务印书馆, 1979.  
Hegel. *Phenomenology of spirit*[M]. Beijing: Commercial Press, 1979.
- [31] 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 Runhua. *TRIZ and applications: The process and methods of technological innovation*[M]. Beijing: Higher Education Press, 2010.
- [32] Maher M L. Case–based reasoning in design[J]. *IEEE Expert*, 1995, 12(2): 34–41.
- [33] 霍金, 蒙洛迪诺. 大设计[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2011.  
Hawking S, Mlodinow L. *The grand design*[M]. Changsha: Hunan Science and Technology Press, 2011.

## The Constituent Theory: Constructing the design

XU Qian, LI Yan, LI Song

School of Manufacturing Science & Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China

**Abstract** The essence of the design is the most important issue in the design science, and the Constituent Theory is put forward to explore the nature of the design. The Constituent Theory is based on the way of existence of the world; some basic concepts of the Constituent Theory are put forward in this paper; based on the Constituent Theory, some basic concepts in the design are redefined, and the nature of the design is explored; a design process model is established, namely, the Design Driving–Design Implied–Design Matching model (DIM model). The three types of the Constituent relationship sources are obtained by the Design Driving; the Constituent relationship models are obtained through the Design Implied; the specific Constituent relationships are obtained through the Design Matching, and then further improvement is obtained through the sub–DIM model. Finally, the design example for escaping from the H–Bahn is used to verify the validity of the Constituent Theory. Thus, the conceptual foundations and the design process model of the Constituent Theory are established, with a clear nature of the design and new perspectives and ideas for the design.

**Keywords** design science; nature of design; the Constituent Theory; constituent; constituent relation

(责任编辑 祝叶华)