

设计科学中关于知识的研究

——经济发展方式转变中要考虑的重要问题

谢友柏^{1,2}

(1. 上海交通大学机械与动力工程学院, 上海 200240; 2. 西安交通大学机械工程学院, 西安 710049)

[摘要] 本文研究了知识在人类设计一切有目的活动中的行为, 分析了设计中知识的流动和在竞争中的完整化即进化, 论证了创新和设计的关系以及创新和设计的知识本质。提出了设计是以已有知识为基础, 设计是以新知识获取为中心, 设计知识具有不完整性、竞争性等基本规律和基本特征, 认为要依赖创新推动经济增长方式的转变, 知识行为研究应该是设计科学的重要命题。

[关键词] 设计; 设计科学; 知识; 知识获取; 知识流

[中图分类号] C93 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2013)04-0014-09

1 前言

工程离不开设计。设计可以被理解为在很大范围中的顶层活动, 有时称为计划或者规划, 也可以理解为对很具体的底层活动的布局, 如为连接两个零件选配螺钉。设计科学是研究设计中共性的客观规律。人类一切有目的活动都可以分成两个部分, 即: 设计和实施。所以设计科学应该是工程科学中非常重要的组成部分。设计科学并不仅仅存在于工程科学中, 不过这并不妨碍在工程科学范畴中讨论设计科学的一些基本问题。

创新是国家的国策, 经济发展方式转变要依靠创新。现代设计理论认为: 创新有两个不可或缺的要害, 即引入此前未曾用过的知识和满足现在未能满足的需求。对新需求和如何实现新需求的认识都是知识, 所以知识是创新的核心。知识是通过设计进入创新的, 创新离不开设计。没有正确的设计, 就不可能有成功的创新。现在到处都贴着创新的标签, 但是认真研究现代设计理论的工作却很少, 只有技术或者方法上的发展。没有理论上的探

索, 就谈不上设计科学, 所以关于有没有设计科学和什么是设计科学, 一直存在着争论^①。

设计作为一种活动, 有两种不同的研究视角^{①, ②}, 一种是以推理为中心的理性模型, 另一种是以行为为中心的所谓行为反映模型。虽然这两种模型都承认设计来自知识和经验, 但是都没有对设计中的知识和经验进行研究。以在工程设计中占主导地位的理性模型权威著作^[2, 3]为例, 似乎都以(除书中所讨论的以外)设计师已经具备其他知识为前提, 回避设计还需要什么知识和设计师怎么得到和运用这些知识。文献[2]讨论的主要是设计过程 workflows 的知识, 文献[3]讨论的则是控制设计过程的两条基本原理。仅仅有设计过程的知识是不能设计的, 设计需要关于设计对象本身多方面的知识。设计对象, 五花八门; 设计所处的环境, 千变万化; 设计涉及的知识, 也不断随时间变化。如何让

^①http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Design_science&oldid=513611427

^②<http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Design&oldid=471931213>

[收稿日期] 2012-11-01

[基金项目] 国家自然科学基金重点项目(50935004/E05067); 机械系统与振动国家重点实验室项目(MSVZD20114)

[作者简介] 谢友柏(1933—), 男, 江苏高邮市人, 中国工程院院士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为机械学、设计理论及方法、摩擦学;

E-mail: ybxie@mail.sjtu.edu.cn

设计师能够高效率地得到设计中所需要的知识并正确运用,一直是工程界、教育界和企业界长期探讨且觉得难以解决的问题。

从创新到设计,从创新和设计到知识,说明要建设创新型国家,必须深入研究设计中的知识,认清设计的知识本质,才能找到有效解决创新问题的途径。实现经济发展方式转变固然有多方面工作,但是认识知识(不是认识GDP)和正确而高效地运作知识(不是运作文件)则是最核心的工作。

教育部现代设计与制造网上合作研究中心(ICCDM)、现代设计网络(MDN)和西安交通大学(XJTU)、上海交通大学(SJTU)的有关团队在现代设计理论方面做了大量工作^[4-6],提出了现代设计具有以知识为基础,以获取新知识为中心的属性^③。近些年,研究者更对设计中的知识和知识流理论进行了探讨,本文汇总研究结果如下。

2 设计中的知识条、知识集、知识的不完整性和知识的竞争性

什么是知识?简单地说,知识就是问题的答案。虽然设计涉及的知识几乎无所不包,本文只讨论与设计相关的方面。关于某一事物的知识,就是人们对于这个事物所能够回答的问题。为了讨论具体,定义回答一个独立存在最小问题的答案为一个知识条。若干知识条集合在一起就是一个知识集。例如,一个试验报告是一个知识集,其中包含了大量知识条。一个物件也是一个知识集,例如,面前的一台DELL-XPS笔记本电脑,从知识的视角看它是一个物化了的的知识集,里面包含大量的已知和未知知识。实际上,最终对设计师有用的往往是知识集里面的知识条。设计过程是一个从新需求知识集出发,不断提出问题,征求答案,集成得到的知识,产生一个满足需求的新(设计)知识集的过程,其中包含与实现这个新设计相关的许多知识条。实现后的事物虽然已经存在,但是经过集成,其中许多关系发生了变化,集成后各部分关系发生什么变化则并不完全知道。有一些知识条比较容易从知识集中分离出来,称为浅知识,例如,试验用的燃料是93#汽油,这在试验报告中可以查到,或者电脑的操作系统是Windows 7,使用说明书中有介绍。也有一些知识条,如果没有说明则并不容易得

到,例如,为什么试验不采用水冷而采用风冷,或者该笔记本电脑上为什么没有视频图形阵列(VGA)接口?也许要经过仔细研究或者向相关设计师询问才能够知道,这些往往是比较有价值而知识拥有者希望保密的,或者可以称为深知识。所以有了知识集,并不等于有了知识条。也有一些问题,试验报告的撰写者或者电脑设计师自己也不知道。例如,虽然试验已经做完,试验中某零件为什么时间未过半就坏了?或者虽然电脑已经做出来,电脑键盘被水浸泡到什么程度将损坏?许多名牌汽车出厂后因为发生问题又被召回,那并不是故意的,而是虽然在设计和制造它们的过程中已经尽力解决发现的问题,但是仍有一些知识条设计师并没有掌握。不仅当设计已经完成或者设计的事物已经实现是这样,其实在设计过程中每走一步,每得到一个新知识集,设计师都要面对相同的问题:这一步走过究竟形成了什么未知关系?

当然知识条和知识集是相对存在的。

设计知识有已有知识和为回答新问题而获取的新知识的不同。凡是有人知道的就是已有知识,与设计师本人是否知道无关。需要时总可以通过某种途径得到它们。当在设计中引入此前未曾用过的已有知识或者构造已有知识的新的集合时,没有人知道这样做的结果如何。这就需要通过获取来回答问题,答案就是新知识。显然,随着时间推移,新知识会转变为已有知识。得到已有知识和获取新知识在本文中是两个不同的概念,过去的研究没有对新知识获取给予有区别的关注,多数企业也没有将新知识获取提上议事日程。

设计知识的不完整性说的是在设计任何阶段,直至设计完成以后,设计师对于设计对象的认识总是不完整的。前面关于汽车召回的例子,就是这种不完整性的实证,这符合认识论的基本原理^[7]。在设计中,当一些此前未曾用过的已有知识条(集)或者为回答问题而获取的新知识条(集)被引入和集成到原来的知识集中,一个新的知识集取代了原来的知识集,这就是设计知识的竞争性。设计过程是一个不断以新知识通过竞争取代原来知识的过程,也是关于所设计事物的知识,或者说这个知识集通过竞争变得更为完整的进化过程。

实践中,设计师总是想更多地获取所设计事物的新知识以使设计更为完善,但是新知识获取是资源依赖的^[4],如何处理设计完善与成本及交货期之

③ <http://www.chinamoderndesign.com>

间的矛盾,也一直是许多现代企业所困惑的问题。

3 现代设计的3个基本属性

此前的研究提出了现代设计具有3个基本属性^{[4-6]、③}:a. 竞争性;b. 以已有知识为基础和以获取新知识为中心;c. 对分布式资源环境的依赖性。

先讨论竞争性。传统设计是以技术上正确作为成功的标志。但是一个技术上成立的产品,如果在市场上卖不出去,这个设计就没有意义。为什么要创新?创新是为了竞争取胜,为了让产品在市场上有更多用户,占据更大份额。中国的制造企业和世界上其他国家的一样,在发展初级阶段,都是以扩大产能以降低价格来竞争取胜。这时市场需求缺口很大,产能不足,企业家就拼命筹资金,盖厂房,买设备,招工人,出产品。技术呢?可以购买或者模仿,照猫画虎不需要多少知识。从中国的发展情况看,在这种模式下扩大产能,速度快得令人害怕。任何产品总会有饱和的时候,一旦产能超过市场需求,或者由于某种原因,例如,原料枯竭、环境污染制约,以及经济衰退导致市场萎缩,危机就发生了。也就是说,依赖这种模式竞争,将不再能够取胜。所以这种模式是不可持续发展的,而持续发展则需要创新,即引入此前未曾用过的知识,满足现在未能满足的需求。这就不是资金、厂房、生产设备所能够解决得了的。目前,中国的实体经济,特别是制造业,正处于比较困难的境地。许多人说,危机、危机,“危”就是“机”。“机”在哪里?“机”就在于回过头来盘点企业的知识,不是盘点资金、厂房、设备和工人,而是盘点知识。从规模竞争转变为创新竞争,就不能不面对设计,就不能不面对知识,而不仅仅是资金、厂房、设备和工人。

在企业的初级发展阶段,知识是被普遍忽视的。这个阶段,需要的是已有知识,而且是已有的浅知识,这些知识比较容易得到。挖到一位有经验的工程师,或多或少都知道怎么干,就是没有干过,看看也明白了。买一个标杆产品,经过测绘,可以得到初级生产需要的知识。有许多知识,例如,一个零件的材料经过怎样处理,才达到如此性能,则往往不是测绘能够知道的,属于已有知识中的深知识。这些知识要么花钱去买,要么就在不知道的情况下做,让自己做的产品质量比别人差,而用低价来竞争取胜。因为不重视知识,许多企业就连浅知识也没有管理和积累好,抓管理也只抓文档管理,

是知识集管理而不是知识条管理。将知识集变成知识条是知识管理中的新命题,现在市场上的商品知识管理软件不能解决这个问题。这需要有资质的人来做,计算机目前还做不了这样的事。没有管理就没有积累,一旦低价竞争不能竞争取胜,企业面对的只有厂房和设备了。

与已有知识的管理和积累相比,在企业里更加不受注意的是新知识获取。前面说过,创新就是要先设计一个新知识集。这个知识集能不能成立,能不能满足期望的需求,其功能在生命期中是否稳定,是否满足所有约束需求,是不是最优,能不能竞争取胜等,是没有人知道的。成功的创新必须有正确的设计,这些问题在设计中必须尽可能回答,这就是新知识获取。在过去的发展阶段里,因为不做此前未曾做过的事,获取新知识并没有成为企业一个需要关注的问题。

新知识获取需要更多的资源,主要包括:有资质的人员(受过相关培训并具有一定经验,能进行相关试验或者仿真并能处理、分析结果等)、硬件(如试验台架、分析仪器、各种传感器、数据传输系统等)、软件(各种数据处理、分析和仿真软件,如计算机辅助工程和分布式资源环境下工作的全生命期性能数字样机等)、经验(已有知识积累、知识集和知识条的分离、存储和共享的环境)和资金投入(新知识获取一般不能像生产产品那样马上赚钱,先期投入是必要的)。中国许多一流企业领人参观,总是看车间,看有多少加工中心,看有多大的熔炉;外国一流企业则带人看实验室;一些企业常常讲有多少研发人员,讲的其实是开发人员,而不是(从事新知识获取的)研究人员;在许多制造企业里,常常没有实验室,有的只是原材料进厂检验和产品出厂性能测试的车间;这些就是差距。

如果要引入此前未曾用过的知识,满足现在未能满足的需求,就不能没有上述资源。许多企业引进了技术,为什么不敢创新?因为没有知识获取资源,没有能力知道如果换一个使用条件,引进的技术会怎么样,于是一代又一代地引进。设计中的新知识获取不同于科学研究中的客观规律发现,前者要当即回答设计中遇到的任何问题,后者则是对确定领域、确定方向上未知规律的持续探索;前者是一种立等可取的服务,有明确的服务对象,后者则是对人类知识总和做贡献,使用者和使用时间由其他条件确定。设计中只要引入此前未曾用过的知

识,以后就会产生一系列需要获取新知识来回答的问题,包括产品进入用户手里以后,还需要不断获取后设计知识。举一个制造业以外的例子:当局2012年决定中秋、国庆长假期间高速公路免收过路费,事先虽然设计了预案。结果头一天就发生了超乎想象的拥堵和其他许多问题,通过知识获取认定进出收费站发卡、收卡占据了一部分通行时间,于是取消发卡、收卡。出行者通过知识获取认定要错峰上路,结果回程就一路畅通。对于当局和出行者考虑下一个长假时的过路费政策和驾车上路的设计,这些都是已有知识。但是下一个长假又会有新的情况,要求设计预案和出行计划时做好新知识获取,尽可能让高速公路系统运行在意料之中。这就是现代设计的第二个基本属性:以已有知识为基础,以新知识获取为中心^③。很明显,它是由现代设计的竞争属性派生而来的。

新知识获取是资源依赖的,这导致了现代设计的第三个属性:现代设计对分布式资源环境的依赖。新知识获取较之已有知识的积累和管理,所涉及的资源要复杂得多,耗费的资金也大得多。前面已经说过,资源包括有资质的人、硬件、软件、已有知识积累(经验)和资金投入这5个要素,其中有资质的人是首要的。建设、发展和运行知识获取资源需要相当长的时间和大量的资金,这不像机床那样有钱就能买来,而且投资资源建设、发展和运行更不像生产设备那样买来就能出产品获利。与设计需要无所不包的知识不同,知识获取资源需要细分和专业化,需要在专业的方向上长期坚持积累。在当前的企业运营模式里,知识获取资源的效益只能寄希望于未来的产品竞争。只有到了不通过自己获取知识(包括竞争对手不愿意转让的已有深知识和新知识)参与竞争就不能生存时,企业才会感觉到知识获取资源不足的严重性。现在产品在创新和设计上的竞争,从某种意义上可以说是企业在知识获取资源的建设、发展和运行上的竞争。20世纪六七十年代,日本汽轮机行业的几个大企业,为获取轴承油膜震荡方面的知识以设计出稳定运行的大型汽轮发电机组,争相建设全尺寸轴承试验台。一下子在日本就建了8个大型轴承试验台,最大轴承颈直径达到800 mm,要用汽轮机拖动,这就是典型的例证。实际上,一个国家根本不需要这么多大型轴承试验台,全世界也许一两台就够了。到了20世纪90年代,当到这些企业想看他们的试验台时,都

已经荡然无存。英国某企业甚至愿意用1英镑出让一个类似的试验台。这种在竞争推动下的资源无序建设,给企业和社会造成了严重的负担和浪费。当创新的频数和压力不断增加,对资源的专业要求不断变化,使企业为创新准备资源在资金上和时间上越来越困难时,这种形势迫使资源的结构从垂直结构(见图1)向水平结构(见图2)转变,后者本文称之为分布式资源环境。一些工业发达国家,实际上已经相当程度上实现了资源结构水平化,他们也在研究如何使自然发展的水平化转变为有意识发展的先进工程环境^[8,9]。设计知识获取资源水平化,资源从企业内转移到企业外,资源运营商和资源消费者之间就必须以一种服务关系代替原来在企业内的派工关系或者协调函关系,这就是得到已有知识的服务和获取新知识的服务,通称知识服务。现代设计的第三个属性也可以写为:现代设计对分布式资源环境中知识服务的依赖。

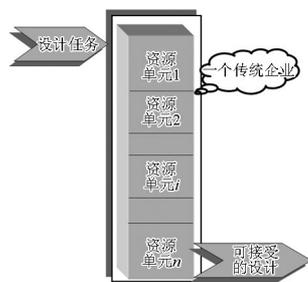


图1 企业的垂直资源结构

Fig.1 Vertical resource structure in an enterprise

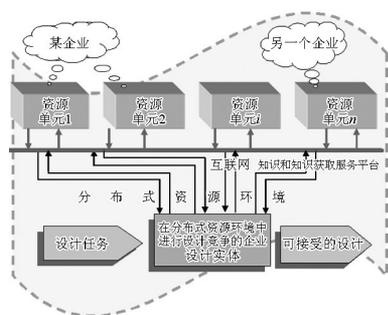


图2 分布式资源结构

Fig.2 Distributed resource structure

4 分布式资源环境中的资源单元、设计实体、知识服务和知识流

现在知识流是一个研究热点,但是多数是从管理出发、以知识重用为目的的已有知识移动的研

究,没有涉及知识本身的特性、流动中的行为和进化^[10-12]。设计是一个知识完整化的过程,完整化是在流动中通过竞争完成的。如图1所示,在垂直资源结构里,知识是在企业内流动。在分布式资源环境中完成设计任务,知识要在设计实体和资源单元中间反复流动,不仅流动的路径复杂得多,还要途经许多属于不同拥有者的资源单元(见图2),并在设计实体和这些资源单元中竞争和进化。

从事知识获取一定要细分和专业化,精通才有竞争力,所以现代设计理论提出了资源单元这样的概念,它是智力资源单元的简称。资源单元的定义为:在一个专业领域中以自己拥有的资源向社会提供知识服务的独立运营单位。资源包括积累已有知识和获取新知识所需要的人员、硬软件设备和资金。知识服务包括为用户得到已有知识和获取新知识,其中获取新知识是主要的。根据细分和专业化原则,资源单元必须面向一个明确的专业,或者叫学科。这类资源单元以回答该专业的问题向消费方提供服务,因而需要了解该专业的最新发展,积累该专业必要的已有知识,能够依赖自有资源(不排除请求其他资源单元的服务)获取该专业范围内的新知识,并承担服务失败的风险。但是也有一类比较特殊的资源单元,他们以提供某一个行业中事物(大到系统,小到原材料)的设计为消费者服务,当然也包括回答相关问题。这类资源单元需要了解该行业的最新发展和市场竞争态势,在相关事物的实现上积累必要的已有知识,能够依赖自有资源和其他资源单元提供的服务完成该类事物的设计,即集成从各方面得到的知识产生一个新知识集,并承担所设计事物市场竞争失败的风险。为区别起见,这类资源单元又称为设计实体(见图2)。有时成品供应商也可以列入这一类资源单元,他们提供的成品或者半成品可以作为一个知识子集提供给设计实体,并回答相关的问题。

现代产品构成模式首要的是实现功能,而实现功能的各组成部分(实现各自的子功能)往往来自遍布世界各地的供应商,包括这些组成部分的设计和相关的知识服务。设计实体的任务是它们创造性地集成(含竞争和进化)起来。各组成部分如果发生问题,都可以由供应商提供服务解决。这种产品构成模式是全球经济一体化的使然。此前说过,新知识获取与科学研究不同。这里讲的知识服务也与现在盛行的产学研结合不同。虽然并没有

人为产学研结合给出过明确定义,实际运作的情况是“学”和“研”方面,虽然是以“研”为主,但是需要找到对接企业将“研”的成果在项目合作基础上一对一地转让给“产”,对接常常很困难。多数情况下“研”的成果是卖不掉的。当企业不具备设计实体资质时,往往要求“学”和“研”提供完整的设计,甚至要求帮助生产。但是“学”和“研”是面向专业的,提供设计和帮助生产未免不务正业,妨碍了“学”和“研”在专业领域中的深入发展,而“产”方因此更加远离具备设计实体资质的竞争,进不了以创新竞争取胜的行列。用很多天字一号项目来支持这种模式,形成类似过去盛行的动态联盟,结果是技术封闭,排斥真正的市场竞争,显示了官、产、学、研的实质。

分布式资源环境下的知识服务是以细分和专业化的资源提供服务,一个资源单元可以为多个用户服务,一个用户也可以在多个同类的资源单元中选择,是一种完全市场竞争的机制,知识水平和服务质量决定竞争胜负。服务不同于转让,它需要尽快回答当前问题,而不是给出普适规律,就是所谓的“即插即用”,这是支持设计所必要的服务质量要素。而以项目为基础的转让通常需要较长时间,不符合设计竞争需要。面向专业的资源单元只提供细分和专业化的知识服务,迫使面向设计的资源单元或者设计实体投入建设与设计相关的自有资源和提高集成知识能力的竞争。“学”和“研”一方面在自己专业范围内探索客观规律,为人类知识总和做贡献,一方面也可以为设计实体在专业范围内提供知识服务,而不必为提供力不胜任的设计和生服务分散自己专业研究的精力。现在推行的产学研政策,连同企业不分专业地竞争企业内部研究和发(R & D)中心的扩展,都是工业化而不是后工业化时期的发展模式,其结果是从总体上延缓了国家设计竞争力和创新竞争力的提高^[13]。

分布式资源环境中的知识服务需要有联系设计实体和资源单元的通道。信息技术的高速发展为知识服务提供了优越的条件。知识服务在通道里流动的是信息,或者叫做知识流,有极高的流通效率,不像其他服务在很大程度上要依赖物流。遗憾的是许多方面的服务都已经充分利用了信息技术,例如,网上购物、信息查询、物流标签等,而利用网络支持设计的知识服务却仍然进展缓慢。在互联网上实现请求服务和提供服务,需要有服务中介

或者称为知识服务平台。知识服务平台的任务是发布提供服务和请求服务的信息,制定连接提供服务和消费服务双方信息通道的标准,制定双方需要遵守的基本规则,处理资费管理和纠纷仲裁等。所以分布式资源环境实际上包括3个组成部分:资源单元、设计实体和知识服务平台。如图3所示,分布式资源环境中设计知识的知识流有4种不同类型。不同类型流动处于不同设计阶段,适应不同设计需求,完成不同知识服务任务,基于不同进化机制,运用不同工具,依赖不同资源,由不同专业人士操作,涉及同一利益方和不同利益方,在局域网流动或者在互联网上流动等。第一类知识流是在设计实体内部的流动,任务是集成得到和获取的知识产生最终可接受的设计知识集。它可以被看成一个个决策节点的序列,每个节点要完成相似但是处于不同未知度的4项任务(见图4)。第二类知识流是设计实体与资源单元之间请求服务和提供服务的知识流。

是从提出问题到获得答案的过程,图5对此做了详尽描述。图5中的活动一部分由知识服务平台完成,一部分由设计实体和资源单元分别完成。第三类知识流是资源单元按请求产生答案过程中知识的流动。第四类知识流是为获取新知识而从其他资源单元服务得到支持的知识流。后两类知识流与前两类知识流有相似之处,但是规模与复杂程度较低。这在此前的工作^[4-6]中已经有详尽讨论,由于篇幅限制,不再展开。

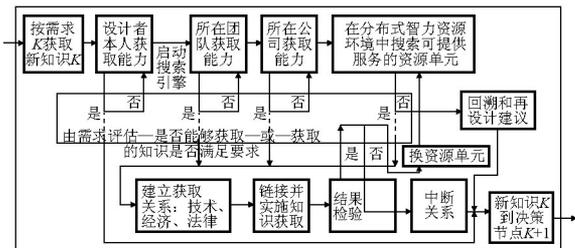


图5 从问题到答案的知识流

Fig.5 Knowledge flows from a question to an answer

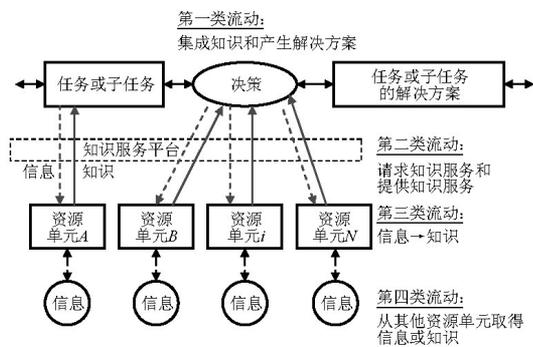


图3 设计过程中的知识流

Fig.3 Knowledge flows in a design process

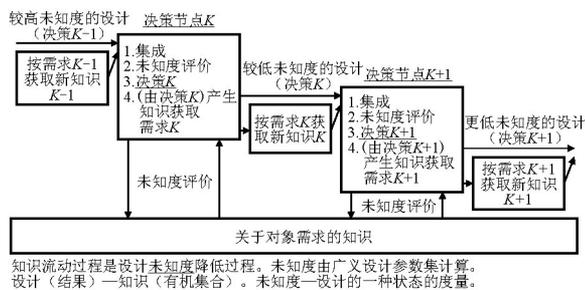


图4 第一类知识流与决策节点

Fig.4 The first kind of knowledge flow and decision making nodes

图3中的知识服务平台框画成虚线,表示当提供方和消费方一旦链接成功,知识流不必经过知识服务平台。图4中“按某需求获取某新知识”的框,

5 设计中知识的集成

前面说过,设计过程是一个通过竞争使得设计知识不断完整化的过程,是通过设计集成得到的已有知识和获取的新知识形成新知识集取代原有知识集的进化过程。集成连同其前后处理是一个很复杂的过程,讨论它并不是企图建立什么智能模型并通过计算机来实现它。现今各种智能设计学说以及相关的商品软件都存在两个基本问题:一是没有分布式资源环境和知识服务的支持,就没有无所不包的设计知识来源,缺乏知识的智能是不可想象的;二是许多已有知识是隐性存在的,即所谓人的灵感,因为不能显式表达,计算机就无能为力。本文在此尝试从知识的视角给出关于集成内涵的解析。

如图4所示,集成是决策节点中的一项任务,其进展需要其他任务的支持,但是它是形成知识集的中心环节。在它前面,需要有前一个节点给出的高未知度的知识集和为降低未知度而获得的答案;它的后面需要有对集成的新知识集的评价和由此提出的进一步降低未知度的问题,答案则是下一个集成的必要条件。设计成功的标志是竞争取胜,而取胜则要满足现在未能满足的需求。需求包括两个方面:性能需求和约束需求^[4-6]。性能定义为功能加质量,功能定义为事物的输入到输出的变换,质量

是功能在使用期中保持性的度量。在所有需求中,满足性能需求是首要的^[14]。人们需要一个事物,首先是要它的功能。所以集成的首要形成能够实现期望功能的知识集,然后以其他需求(特别是质量需求和约束需求)来评价,识别有问题的知识子集(条),并寻求能够取代它们的已有知识或者新知识,实现知识的竞争和进化。

根据上述思想,本文提出一个分层集成框架。第一层是概念层,在这一层进行功能集成,产生功能知识子集;第二层是系统层,进行行为集成,产生行为知识子集;第三层是组装层,进行结构集成,产生结构知识子集。结构知识子集^[15]是设计的最终结果,是在给定成本和交货期条件下能够得到的关于设计对象的最完整的知识。在不同层上进行相关质量和约束需求的评价,当发生问题时,即按照图5的路径寻求答案。

在概念层,要满足的功能需求现在还未能满足,没有现成的功能知识子集。设计是以已有知识为基础,可以寻找某些特定的已有知识集,期望当将它们连接起来时能够获得需要的功能。图6给出一个关于这个过程的描述。如图6(a)所示,当需要得到对应功能子集Set A的输入I和输出O时,可以在众多已有知识集中分别搜索一组输入是I的知识集和另一组输出是O的知识集,例如图6(b)左列的Set 1、Set 3和Set 5和右列Set 2、Set 4和Set 6,然后再在它们之间寻找左列输出与右列输入匹配的知识集,找到了左列中的Set 5和右列中的Set 2满足这个条件,于是将它们集成在一起,就得到了图6(d)中与Set A相同功能的Set B。如果失败,可以再找一系列Set 7至Set 11放在中间,如图6(c)所示。根据输入输出匹配原则找到图6(e)中与Set A相同的功能的Set C。

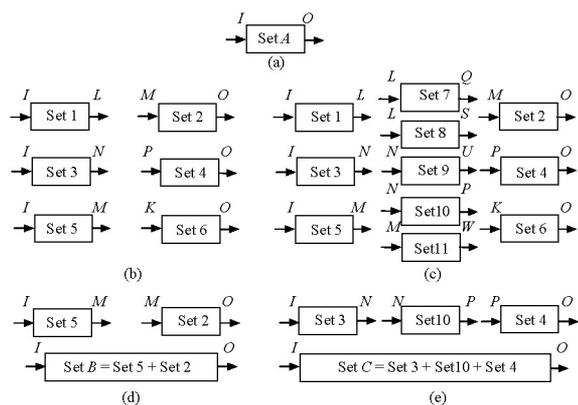


图6 概念层上的功能知识集成

Fig.6 Knowledge integration on the concept level

这里用“匹配”而不是用“相同”,因为输入输出不仅要同质且量的差别要在允许范围内,还需要有适合传输的结构。例如输入输出的是电流,那么两个集合的结构子集上就要有能够接插通过电流的结构。否则中间还要集成一个接插件(另一个已有知识集)进去才行。

需要说明的是,既然参与集成的是已有知识集,例如,对于机械设计,这些往往是以已有商品作为载体存在。在概念层集成时,关心的是输入输出匹配,其他结构知识并不重要,甚至不可能知道(商业机密)。理性模型要求概念设计从工作原理或者原理解出发思考^[2],这与现代产品构成模式已经相去甚远。

各个已有知识集集成前当然是能够各自行为的,但是集成后是否能够成为具有期望行为的系统,就需要在系统层上评价。如果不能实现期望行为,也就没有输入输出。例如,对于机械设计,运动是重要的行为,输入输出要通过运动实现。功能集成得到的运动链是否能够运动或者是否有确定的运动,需要获取满足机构条件的知识来评价。

组装层上的集成是最繁重的,因为要确定所有结构细节。如果是机械设计,包括每一个构件的组成,每一个组成部分的几何、材料、材料性质,这些是由该组成部分所承受的载荷和加工方法确定。载荷可能是力、热、电、化学、物理或者生物的,载荷使该组成部分发生可恢复变化和不可恢复变化,而不可恢复变化将决定其在全生命期中功能的保持性。所谓确定,并不是一切从零开始。因为被集成进来的是已有知识集,虽然在概念层和系统层上为实现功能集成和行为集成可能对结构做了若干更改,即集成进来了另外的已有知识或者新知识,这些都是记录在案的,其余大部分结构子集的知识都可以由供应商提供。组装层的任务是通过全生命期性能数字样机的仿真和模型、台架以及样机试验获取各个组成部分结构知识子集和整体结构知识子集是否满足性能需求和约束需求的新知识。事实上,在全球供应的产品构成模式中,设计实体可以要求供应商(提供部件成品或者设计的资源单元)保证提供的部件满足给定要求而不必自己去获取其是否合格的新知识。全生命期性能数字样机在仿真时也可以与供应商在线进行交互(分别获取并不断交换新知识)仿真以达到满足需求的优化。关于知识集成的研究和全生命期性能数字样机的

开发,将在另外的文章中进行更详细的论述。

6 结语

知识是创新的核心。知识通过设计进入创新,创新离不开设计。没有正确的设计,就不可能有成功的创新。建设创新型国家必须深入研究设计中知识的特性、行为和进化规律,认清设计的知识本质,认清创新的知识本质。知识在具体运用时,是以知识条和知识集的形式出现。一个事物或者一个事物的设计,从知识的视角,它们都是一个物化了的的知识集,是知识的载体。设计过程是一个从新需求知识集出发,不断集成设计中得到的已有知识和获取的新知识,产生一个满足新需求的新知识集的过程,其中包含与实现这个新事物相关的众多知识条。

已经完成的设计甚至已经实现的事物虽然已经存在,但是经过设计过程中知识的重新组合,作为一个新知识集,其中的知识条并不都能够知道。新知识集中有一些知识条可以分离出来,回答独立的问题;也有一些知识条,不能轻易得到;更有一些知识条,在有限成本和有限交货期条件下,则不可能得到。设计知识具有两个基本特性:即不完整性和竞争性。

设计过程中的新知识获取是现代设计理论提出的一个新概念,来源于对创新中设计的知识不完整性和竞争性的研究。在设计各个阶段,设计师力求更多地知道自己的设计是否成立,并用新的认识取代已有的认识,用新知识集置换原来的知识集,使设计更加满足需求。但是直至设计完成甚至设计的事物已经实现,认识还总是不完整的,还要继续获取后设计知识。这就是以已有知识为基础,以获取新知识为中心的现代设计的属性。

中国的制造企业在发展初级阶段,都是以扩大产能降低价格来竞争取胜,关心的是资金、厂房、设备和工人,而知识则被普遍忽视。不仅已有知识的管理和积累不受重视,新知识获取更没有提上议事日程。但是到了靠扩大产能,靠资金、厂房、设备和工人已经不能竞争取胜的时候,必须从规模竞争转变为创新竞争,企业就不能不面对设计,就不能不面对知识。而对于推动经济发展方式转变的各级政策制定者和执行者,也必须检讨是否已经认识到知识的特性,知识在经济发展方式转变中的作用和现行的与知识相关的政策是否已经与知识的特性、

行为和知识在设计和创新中的作用相适应。

当创新的频数和压力不断增加,对资源的专业要求不断变化时,企业为创新准备资源在资金上和时间上越来越困难。这种形势就迫使资源结构从垂直结构向水平结构转变,形成一个分布式的资源环境。但是我国对这种转变并没有足够的准备,不管是企业还是政府,所采取的措施还停留在适应工业化而不是后工业化时期的生产模式,专注于发展企业内R & D中心的垂直结构资源和以项目为基础一对一的产学研合作或者所谓的动态联盟,其根本是对于现代设计中的知识特性缺乏研究,对创新的知识本质缺乏研究,对知识在创新和现代设计中的行为缺乏研究,对信息技术高速发展条件下资源布局需要发生的根本变化缺乏研究。

分布式资源环境是与知识服务联系在一起。分布式资源环境由资源单元、设计实体和知识服务平台构成。充分的、能够提供优质服务的资源单元和能够投入创新竞争的设计实体是分布式资源环境的必要条件,优质的知识服务平台是分布式资源环境的充分条件,知识服务平台也是一种资源单元。分布式资源环境在创新的频数和压力推动下,已经在工业发达国家有了自然发展。在中国,如果能够得到政策支持实现有意识发展,将能更有力地支持经济发展方式转变。

现今各种智能设计学说以及相关的商品软件都存在两个基本问题:一是没有分布式资源环境和知识服务的支持;二是许多已有知识是隐性存在的,即所谓人的灵感,因为不能显式表达,计算机就无能为力。虽然在技术上能够为设计过程的理性模型增加得分,很难设想能够对设计科学的发展指出正确方向。

设计是一个过程,设计也是这个过程的产物。在一些情况下,设计被称为计划或者规划,在另一些情况下,设计则被称为构思、创意或者策划。不管用什么名词,从根本上来讲,设计就是人类在自己的行为中谋求主观与客观的一致。设计,作为人类这样一个无所不在的活动,不能没有科学。设计科学就是研究实现一致的原理和实现一致的方法。与客观一致的基础是对客观的认识,或者叫知识。当然,这不是研究哪一个专门领域的知识,而是研究如何能够主观和客观一致,研究知识在求得一致过程中的运动和进化。长期以来,工程界的设计主要是从专业技术和方法上来研究。所谓设计学,关

注的是过程安排,是设计的工作流。当环境发生变化时,例如,生产技术有了前所未有的发展,信息技术渗透到生产和生活的每一个角落,世界经济向一体化发展,产能提高到与需求、原料、环境等发生矛盾,创新成为经济发展方式转变的关键或者全球陷入经济危机等,归纳起来都是客观发生了变化,而在客观发生变化时主观怎样尽可能地保持与客观一致,这时需要的不是工作流而是知识流。只有设计科学的基本原理,即对新知识获取、知识集成和对客观认识在竞争中的完整化和进化基本规律的研究,而不是那些依赖固定模式发展的思维能够告诉人们设计技术或者设计方法应该向什么方向发展。

致谢

本文在形成上述观点的讨论中,得到上海交通大学现代设计研究所张执南和李响博士一些有价值建议的启发,在此表示感谢。

参考文献

- [1] Ralph P. Comparing two software design process theories[C]//International Conference on Design Science Research in Information Systems and Technology (DESRIST 2010). St. Gallen, Switzerland: Springer, 2010: 139-153.
- [2] Pahl G, Beitz W. Engineering Design: A Systematic Approach [M]. 3rd ed. London: Springer-Verlag, 1996.
- [3] Suh N P. Axiomatic Design[M]. London: Oxford University Press, 2001.
- [4] 谢友柏. 现代设计理论和方法的研究[J]. 机械工程学报, 2004, 40(4): 1-9.
- [5] Xie Youbai. On the modern design theory [C]//Proceedings of the 1st International CIRP Design Seminar. Shanghai, China. 2005: 20-25.
- [6] 谢友柏. 现代设计理论中若干基本概念研究[J]. 机械工程学报, 2007, 43(11): 7-16.
- [7] 毛泽东. 实践论[M]//毛泽东选集: 第1卷. 北京: 人民出版社, 1991: 282-298.
- [8] Committee on Advanced Engineering Environments. Advanced Engineering Environments: Phase 1, Achieving the Vision[M]. Washington, D.C.: National Academy Press, 1999.
- [9] Committee on Advanced Engineering Environments. Advanced Engineering Environment: Phase 2, Design in the New Millennium [M]. Washington, D.C.: National Academy Press, 2000.
- [10] Nissen M, Levitt R. Dynamic models of knowledge-flow dynamics (CIFE Working Paper#76) [R]. Stanford, California: Stanford University, 2002:20.
- [11] Zhuge H, Guo W. Virtual knowledge service market—for effective knowledge flow within knowledge grid[J]. The Journal of Systems and Software, 2007, 80: 1833-1842.
- [12] Zhuge H, Guo W, Li X. The potential energy of knowledge flow[J]. Concurrency and Computation: Practice and Experience, 2007, 19 (15): 2067-2090.
- [13] 谢友柏. 全生命期设计与节约型制造[M]//张彦仲, 殷瑞钰, 柳百成. 工程前沿——节约型制造科技前沿: 第6卷. 北京: 高等教育出版社, 2007: 69-79.
- [14] Grabowski H. Universal Design Theory: Preface[M]. Aachen: Shaker Verlag GmbH, 1998.
- [15] Xie Youbai. Theory of Tribo-Systems[M/OL]. Chang-Hung Kuo. Tribology-Lubricants and Lubrication. [2011-10-12]. <http://www.intechopen.com/articles/show/title/theory-of-tribo-systems>.

Study into the knowledge in design science — Some important issues should be considered in mode transformation of economic development

Xie Youbai^{1, 2}

(1. School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China;

2. School of Mechanical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

[Abstract] The behaviors of knowledge in designing human purposeful activities are studied. The knowledge flow and the efforts in making the knowledge more complete via competition, i.e. the knowledge evolution in design are analyzed. The relations between innovation and design and the knowledge essentiality of innovation and design are discussed. The study reveals that design is based on existed knowledge and centered on new knowledge acquirement. The study also gives the incompleteness and competitiveness of knowledge in design. Since innovation has been identified as a basic driving force of the mode transformation of economic development, the behaviors of knowledge should be important issues to be studied in design science.

[Key words] design; design science; knowledge; knowledge acquirement; knowledge flow