

现代设计理论和方法的研究*

谢友柏

(教育部现代设计与制造网上合作研究中心 上海 200030)

摘要: 在分析了市场和资源结构变化等与制造业竞争有关的时代特征基础上, 提出了现代设计理论和方法的命题。以教育部现代设计与制造网上合作研究中心为中心的群体进行了在互联网上组织合作设计的实践, 并对设计理论进行了探索。事实表明, 已有的研究仅仅是与设计有关的一些片段, 不能统帅整个设计过程, 尤其是不能面对市场对产品创新的压力空前增加和设计所依赖的智力资源从垂直结构向水平结构转变的环境。现代设计理论应当主要由四部分构成: 设计过程理论, 性能需求驱动理论, 知识流理论和多利益方协调理论。介绍了它们的内容框架和讨论了可以采用的方法。这里面除设计过程理论和性能需求驱动理论中一部分内容曾经有过研究, 多数问题刚刚开始受到重视, 所以现代设计理论和方法的研究具有非常广阔的空间。有效的方法只能在正确理论指导下产生, 工具(含软件)则是为实现方法而开发的。认为不必研究理论就可以实现好的设计软件是不对的, 即使最终也能获得一些能够推广的方法, 效率将会很低, 有时广泛应用的软件甚至会是设计进步的障碍。

关键词: 现代设计 设计理论和方法 性能需求 知识流

中图分类号: TP391.72 TB21 TP242.6

0 前言

设计理论和方法并不是新课题, 但是要对它们做一个综合的评述, 却十分不易。自从人类以制造工具使自己区别于其他动物, 人就开始设计, 也就逐渐萌生设计理论和方法的研究。例如, 《天工开物》就是一本讲了许多关于设计问题的书^[1]。目前, 设计理论和方法的研究主要在两个方面: 一方面, 人的设计活动涉及到智能科学前沿, 所以吸引了大量研究兴趣, 人们希望通过对设计过程和任务建模, 使计算机能代替人进行设计。因为学说之繁杂, 致使有人专门来研究如何对这些学说进行整理^[2]; 另一方面, 由于制造业当前设计产品的需要, 也促使许多解决实际问题的研究成果问世^[3,4], 例如杭州气轮机厂在 20 世纪 70 年代从德国维塞尔工厂引进工业气轮机制造技术, 用的是模块化设计, 就是设计方法学中的一个派别。这一类针对某特定实际问题而进行的研究, 有可靠性设计, 优化设计、极限应力设计、动力学设计、摩擦学设计、绿色设计以及全生命周期设计等, 名目繁多, 难以穷举。如果考虑有大量研究是把两个方面交织在一起进行的, 再加上不同作者对表达研究意图和研究结果的名词, 常常有不同的理解, 以及由于主观和客观(如希望达到的目标最后没有达到等)原因, 有些名词又名不属实。这就使得不能用很

整理出一个头绪。

提出现代设计理论和方法的命题, 是因为设计在制造业中的作用已经比以前任何时期都更加突出, 因而设计理论和方法的研究, 不能再停留在学术讨论和实际问题的个别解决上。有人说, 现在制造业竞争的焦点, 就是设计的竞争。完成一项设计任务所涉及的知识领域(如全生命周期设计), 也比以前任何时期都更为复杂、更为广泛。出于形势的要求, 现代设计理论和方法, 必须既不同于上述的第一方面研究(这类研究受目前计算机能力的限制, 在可见的将来很难真正控制实际的设计全过程), 也应当不同于上述的第二方面研究, 仅仅解决设计某一个局部的问题, 而不能统帅整个设计, 在全局上指导设计的进行。局部问题的解法固然不可或缺, 但是如果缺少全局的安排, 局部解法往往难以集成在一起工作, 甚至会妨碍集成。

需要对设计理论作进一步发展, 还与以下事实有关:

以量产为特征的制造业, 设计主要是针对一种或一类产品(包括比较复杂的产品或系统), 每一次设计对创新程度的要求往往不高, 允许比较长的开发时间和比较大的资金投入, 而最重要的一点是它所依赖的资源, 主要是属于企业内部。

随着市场竞争日益激烈和经济全球化, 用户对产品要求的个性化和多样化, 产品创新的空间空前扩大, 对于创新程度的要求越来越高, 同时产品(或系统)的复杂程度越来越大, 涉及的技术和科学领域越来越多, 竞争压力迫使制造业对新创意、新技术

* 国家自然科学基金重大资助项目(59990470)。20040202 收到初稿, 20040302 收到修改稿

更为强烈的追求。新创意和新技术的实施,意味着需要更多的知识和更多对资源的依赖。而产品开发的周期却被迫大大减少,不允许有足够的时间来为新开发项目建设所需要的新资源。而产品更新频率的加快,建设起来的资源又可能在开发完成以后(对一个企业)不再有用。投入的资金不仅不能增加,对于单个项目而言往往越来越少,就是说,既没有足够的时间,又没有足够的资金来建设和运作资源。这就使得设计不得不越来越依赖外源。我们在很多文章中说过,现代设计是以知识为基础,以知识获取为中心,设计是知识的物化,新设计是新知识的物化^[5]。所以,依赖外源主要是依赖外部的智力资源,即依赖外部的知识和知识获取服务^[6]。可以说,竞争的结果,也是经济全球化的结果,产品开发所依赖的智力资源,逐步由传统的垂直结构向水平结构,即分布式结构转变。由于是外源,这些资源是属于不同利益方的,于是问题就更为复杂。不难设想,现代设计中一个设计总是由许多不同利益方合作来完成的。而且对产品应当有一种广义的理解,产品也可以是一个过程,一个软件或是一个组织机构^[4]。所以设计的也就可能是一种知识服务和知识获取服务(简称知识服务)。

所以,传统的设计理论和方法已经不能适应指导这样一种设计活动的要求,市场的变化和资源结构的变化对设计理论和方法提出了新的命题。设计理论和方法的发展,与智力资源变化有密切关系,如资源的生成和发展、资源的结构、设计任务中资源单元的组织、设计 workflow 由此而产生的变化、设计知识的获取、知识服务、知识在各个设计节点之间的流动及其控制以及多利益方合作决策等。

有人说,设计是一种技术,当前要解决的主要是计算机、软件和通信的问题。美国最近两个关于先进工程环境(AEE)的研究报告^[7,8],就持这种观点。但这是不全面的。没有对设计活动科学的描述,没有关于活动规律的理论研究,究竟什么样的硬件和软件配置,或者说什么样的环境其功能能够满足现代设计的要求?其中非常重要,而参考文献^[7,8]所没有涉及的一点,就是分布式智力资源如何生成、生存、发展和运作,这是要建成这个环境所不可回避的问题,后面第 3 节将进一步讨论有关的理论。没有智力资源,所谓环境就是空谈。对于智力资源匮乏的中国固然如此,即使美国,在资源由垂直结构转变为水平结构的情况下,也面对相同的局面,当然他们的智力资源比我们要丰富和成熟得多。只研究环境而不研究资源,就像原来寄希望于 CAD 软件那样,以为能制图了就能设计,其实设计不等

于制图;也像我国早期研究 CIMS 一样,以为计算机就能解决制造业的困难,实际上, CIMS 并不能解决开发有竞争力产品的问题,设计不等于计算,也不等于制图加计算。

我国推行先进制造技术(AMT)多年,其中有一个子项,就是“现代设计技术”。这反映把设计仅仅看成是一种技术的观点,说明对于先进制造技术的内涵和时代特征认识得并不充分。从满清政府办洋务运动到现在,已经一个半世纪了。这一个半世纪中,多数情况下,我们的制造业都是依靠外来技术制造的。现在我们已经成为一个制造大国,大家正在为如何使国家进一步成为制造强国思考。与制造强国相比,设计、开发能力严重不足是比较一致的认识。但是设计能力不足的关键在什么地方,认识上并不一致。人们习惯于用过去解决制造(指狭义理解下的制造)问题的办法来解决设计、开发中的问题,而对于在新环境下设计理论和方法的研究,则常常处于被遗忘的地位。

理论不可能产生在实践之前,它需要实践经验作为其构成的基本素材。理论也不是产生在实践的终点,因为它负有指导后续实践使之有更多成功机会的责任。所以,理论和实践是相辅相成、相互促进而又相互制约的。理论是研究方法的指导,在对客观规律认识的基础上,将研究出许多解决问题的方法,而工具(含软件)则是实现方法的手段。

以教育部现代设计与制造网上合作研究中心(IBC DM)^[9]为中心的群体,多年来一直在这个领域中进行工作。起初是探索设计能力不足的原因和解决途径,进而研究分布式智力资源对设计的影响和可能给我国带来的机遇,最终得到一个结论,那就是传统的设计理论和方法必须进一步加以发展并在实践中得到应用,否则我国的制造业就不能跟上时代步伐,也就抓不住时代的机遇。当然,如前所说,设计理论和方法涉及的范围十分广泛,我们还远不能说对各个方面都已经有所研究,只是在理论和方法的主要问题上进行了一些探索。这里发表的是我们对现代设计理论和方法应当包含的基本内容的看法,也就是试图回答,什么是现代设计理论和方法?它对传统的设计理论和方法应当在哪些方面有所发展?我们认为,现代设计理论主要由四部分构成,它们是:设计过程理论、性能需求驱动理论,知识流理论和多利益方协调理论。在这四个理论的框架中,可以有许许多多解决具体问题的方法,而工具则是为实现这些方法服务的。

1 设计过程理论

设计过程理论是研究设计过程构成及任务的理论。相对而言,设计理论的这部分比较成熟,已经有许多论述^[3,4,10,11]。有一些研究把设计过程说得过分复杂,过分玄妙。设计过程的复杂程度是与所设计的对象复杂程度、从而又与涉及到的智力资源的复杂程度相关,不可一概而论。其实,不论是复杂的设计还是简单的设计,它们的过程构成和任务都能很简单地讲清楚。设计过程可以表达如下:①确认需求(含潜在的需求)→②扫描技术可能(含联想到的可能解)→③产生矛盾统一设想(概念)→④经济、技术分析(贯穿全过程)→⑤设想的优选和确认→⑥结构的优选和确认→⑦材料的优选和确认→⑧加工过程的优选和确认→⑨综合评价→⑩产生和表述最终解^[11]。这里面主要是三段(见图1):第一段是任务的提出;第二段(含上述过程描述中的②、③)是可能解的形成,通常称为概念设计;第三段(含上述过程描述中的④~⑨)是对可能解的评估、优选和确认(新知识获取)并产生最终解(⑩),通常称为结构设计和详细设计。不论第二段中有多少关于概念设计的学说,以及第三段中对不同的设计对象可能有完全不同的评估和可能解被拒绝后回溯路线图的千变万化,它们对过程的构成和任务并不会有什么影响。

图1中的过程,可以看成是完成设计的一个完整的过程,也可以看成是这个完整过程中的任一个子过程(节点)。它们一般都具有相同的构成和任务。

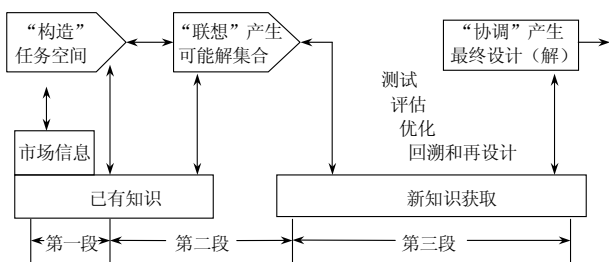


图1 设计过程构成及任务

但是环境变化不可避免会要求与过程构成和任务相关的许多概念和内涵产生相应的变化。比较重要的可以举出如“什么是设计?”这样的问题。问题的焦点是:设计是不是一定要创新?经常有“创新设计”的说法,意味着可以存在“不”创新的设计。这种理解对现代设计理论和方法的发展是有害的。设计过程理论必须以“创新是设计的灵魂”作为原则,才能符合“制造业的竞争实际上是设计竞

争”的时代特征。另外,资源结构从垂直向水平转变,也会引起设计过程和任务最优划分方面的变化,需要理论的指导。因为在分布式智力资源环境下的设计,相当一部分任务是利用外源完成的,也就是由许多不同利益方提供的服务来完成的,这时就存在任务的最优分解,过程的最优划分和资源的最优配置等问题。

应当看到,第二段可能会有多次的回溯和再设计,所以任务的分解和提供服务的利益方的构成是动态的,而且虽然是合作,仍然有主从关系,这就是请求服务和提供服务的区别。但是这并不妨碍某个层次的决策是由请求方和若干个相关的提供方共同做出,即所谓共同决策。当一种可能解在评估中被拒绝后的再设计中,任务的分解和利益方构成也可能需要改变。所以所谓虚拟动态联盟不可能是一开始就组织好并在设计全过程一成不变。因此,从发布需求、发布(描述)服务、发现(搜索)服务、请求服务、优化(选择)合作关系、结成合作关系、管理合作进程到解除合作关系,是一个复杂的过程。这里有大量的理论和方法问题需要研究,大量的工具需要开发。这一类工作虽然复杂,但是路线图清晰,比较适合由计算机辅助完成。关于发布、发现和集成,IBCDM在参考文献[9]上提供了一个以UDDI协议为基础的注册中心;评估合作关系,在参考文献[9]上通过UDDI注册中心可以找到一个提供智力资源服务供应商评估服务的平台,评估需要的参数一部分是由服务提供方自己发布的,一部分是提供方应请求方的要求提交的,还有一部分则是请求方自己通过调查获得的,当然总还有一部分在评估时是模糊的或根本无法知道的,所以对评估结果的置信度也需要有一个评估;同样,在参考文献[9]上也可以得到一个适应分布式智力资源环境下管理合作关系的平台。由于知识产权等原因,上一级请求方并不一定要求或能够得到下一级提供方服务中的Know How,也不一定知道下一级服务又是由哪些更下一级的服务参与的,这往往是商业机密。所以作为一种通用的模式,管理平台只要涉及3个层次,即平台当事级与它的父级和它的子级,更远的服务方的资料仅仅是参考,这是分布式智力资源环境下设计的一个新情况。不过根据市场知识提出需求和在评估的基础上选择合作关系以及确认最终设计却没有这么简单,需要人的多方面的介入,而且往往需要有单独决策、互动决策和合作决策等多种决策形式的交替运作(关于决策模式将在第3节和第4节讨论)。

创新在设计各段中的作用是否有不同?从竞

争的需要看,构成产品竞争力的要素是多方面的,一般讲,有以下几个方面:功能,质量(与功能统称为性能),价格(全成本,效益),交货期,售后服务(维修,升级,培训),环境(含人,机)相容性以及营销活动。确定竞争策略,虽然可以有多种选择,但从根本和长远的角度考虑,还是要制造具有别人不能制造的性能的产品^[12]。只有功能上的创意和质量上的保证,才能使产品具有全新的面貌和较强的竞争力,并形成品牌效应。功能上的创意主要产生在设计的第一段和第二段,质量保证也与第一段和第二段有密切关系。人们通常习惯于在第三段,也就是在物理域中思维,不论是做 CAE 分析,还是做物理模型试验,方法都比较具体,工具也比较完备。功能上的创新要求在第一和第二段,即在功能域中思维,主要靠人在他所掌握的知识(含市场需求和潜在需求的知识)和市场能够提供的服务的知识)的基础上联想。虽然研究的工作很多,但是还没有成熟的理论能完全指导这个进程,因而也就没有离开人的方法和工具能完全实施这个进程。

2 性能需求驱动理论

前面说过,从竞争的需要看,设计的任务是要制造出具有别人不能制造的性能的产品,所以性能或满足性能需求总是设计追求的首要目标,换一个说法,设计是由性能需求驱动的,包括在设计过程中请求知识服务和提供知识服务以及知识服务的准备。

什么是性能?

性能是一个被广泛应用的词,有不同的理解。这里给“性能”一个严格的定义:性能是功能和质量的集成。而“质量”又被定义为功能实现和保持性的度量^[5]。在全生命周期设计,设计对象就是一个时变系统。这意味着功能和质量是时间函数,全生命周期设计就是要预测和控制这个函数,同时还需要预测和控制与约束条件有关的变量,如人、机、环境友好以及成本等,这使得设计的任务变得非常复杂,涉及许多有待获取的新知识。对于多数产品,真正意义上的全生命周期设计还做不到,因为还没有准备好足够的知识和知识获取手段,但是这是设计追求的目标,见图 2。性能特征研究是与仅仅从几何特征出发的传统 CAD 的研究方法的分水岭,后者是面向制造的,而设计的竞争和分布式智力资源环境需要有能更好支持设计——描述设计要达到的目标的工具。

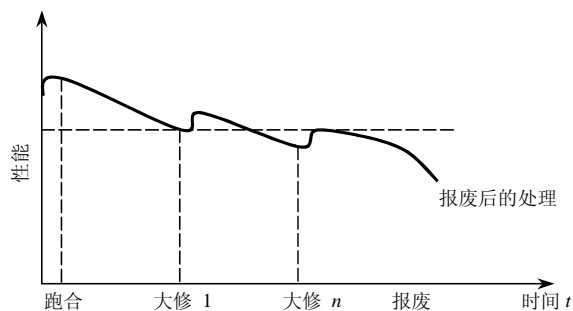


图 2 全生命周期中产品的性能与时间的关系

用户对产品的要求是从性能出发的,是设计的起点和完成的标志,性能特征应当成为控制整个设计过程的基本特征。设计过程就是在“要达到什么(性能)”和“如何达到(即解决方案)”之间反复迭代的过程^[4]。对于复杂的产品,不可能直接找到满足产品性能需求的解,而是通过一系列的功能分解和子功能、孙功能等的实现,即设计的许多子过程,最终实现产品的性能需求。如果把图 1 看成是设计的一个子过程,其解决方案同样也是由满足性能需求驱动产生的。性能驱动,在各个子过程中,有时是功能需求驱动,有时是质量需求驱动,有时则是功能需求和质量需求交替驱动。如前所说,可能解可能来自外源,它们可能是知识服务,也可能是另外一个设计或者产品,另外一个设计和产品都可以看成是知识的载体,也可以看成是隐含的知识。那么到外界去寻求服务和评估得到的可能解,只能是性能需求驱动和以满足性能需求为接受的标准。

现在的问题是:如何表达性能需求?即如何用特征和特征参数来描述这种需求,也就是说如何定义产品的性能特征,如何定性和通过特征参数定量描述性能特征?性能特征比几何特征要复杂得多,由于这方面的理论还不成熟,所以表达和描述的方法也还在探索的过程之中。

原则上,一个系统的功能应当由系统输出对系统输入的响应来描述。我们曾经以机械产品的“运动保证功能”为例,对功能特征的描述做过初步探讨。转子轴承系统的功能可以描述为:将系统在负荷作用下一处的旋转运动转变为另一处的旋转运动。产品的功能可以分解为若干子功能,功能特征集的结构应当是一个树形结构。但是功能树与结构树却不一定具有相同的形状。因为功能需要满足功能独立公理,而一个结构却需要能实现尽可能多的功能^[4]。图 3 给出了上述系统的功能和第一级子功能分解。如果进一步分解,例如把第四个一级子功能分解成第二级功能子集,即产生如图 4 所示的树。仅仅有图 3 和图 4 中的说明还不够,因为没有定量的描述。例如图 3 左边框图中的语言可以用功能表

达式定量描述为： $\omega_2 \{ \omega_1 \} = \omega_1$ ，式中 ω_1 、 ω_2 为 1 端和 2 端的角速度。图 4 右边最下面框图中语言的功能表达式为： $z_i \{ W_i \leq W_{i\text{given}} \} = k_i$ ，式中 z_i 是第 i 个运动部件的轴向位置， W_i 是作用在第 i 个运动部件上的负荷， $W_{i\text{given}}$ 是对应于 W_i 的给定值， $i = 1, \dots, n$ ， n 是运动部件的数目。功能表达式的等号左边是在给定输入条件下的输出参数，“{ }”内表示的是输入参数或参数表达式，等号右边是输出参数的值。从这两个例子可以看到，一个功能特征的描述至少要有 3 个组成部分：文字说明，功能表达式和参数表，见表 1。功能分解应遵守以下原则：

- (1) 在每一级分解中，各子功能都应当是本级中最基本的功能。
- (2) 同级各基本功能之间应当是正交的。

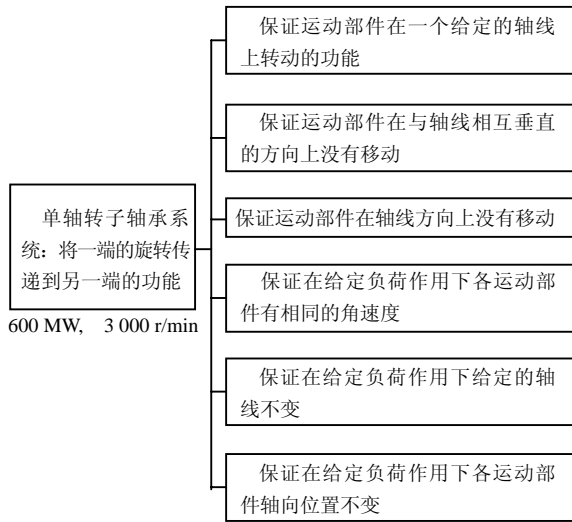


图 3 单轴转子轴承系统第一级功能分解

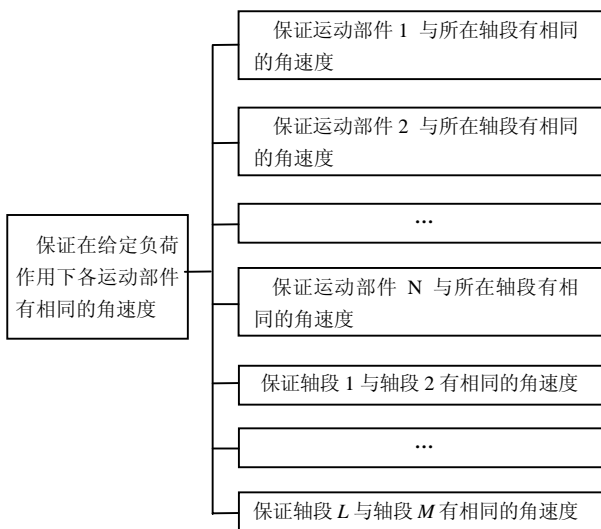


图 4 第四个子功能的再分解

质量特征也可以用同样的办法来处理，但是根据质量的定义质量树应当和结构树对应。表 2 给出

了对应的质量特征描述举例，质量特征的描述也需要 3 个组成部分：对应的功能表达式、质量表达式和参数表。

表 1 功能特征描述的组成举例

文字说明	功能表达式	参数表
将一端的旋转传递到另一端	$\omega_2 \{ \omega_1 \} = \omega_1$	ω_1 ——1 端的角速度 ω_2 ——2 端的角速度
保证在给定负荷作用下各运动部件轴向位置不变	$z_i \{ W_i \leq W_{i\text{given}} \} = k_i$	z_i ——第 i 个运动部件的轴向位置 W_i ——作用在第 i 个运动部件上的负荷 $W_{i\text{given}}$ ——对应于 W_i 的给定值 k_i ——常数 $i = 1, \dots, n$ n ——运动部件的数目
由输入的流体动力滑动轴承结构和运动参数给出该轴承的 8 个计算的动特性参数	$[k, c] \{ S, M \} = [\bar{k}, \bar{c}]$	S ——某流体动力滑动轴承的结构参数 M ——某流体动力滑动轴承的运动参数 $[k, c]$ ——4 个刚度系数和 4 个阻尼系数 $[\bar{k}, \bar{c}]$ —— $[k, c]$ 的输出值

表 2 质量特征描述举例

功能表达式	对应的质量表达式	参数表
$\omega_2 \{ \omega_1 \} = \omega_1$	$\Delta \omega_2 \{ \omega_1 \} \leq \omega_{11},$ $t_0 \leq t \leq t_1$ $\Delta \omega_2 \{ \omega_1 \} \leq \omega_{12},$ $t_1 \leq t \leq t_2$	$\Delta \omega_2$ —— ω_2 的误差 ω_{11} —— $t_0 \leq t \leq t_1$ 中 $\Delta \omega_2$ 允许值 ω_{12} —— $t_1 \leq t \leq t_2$ 中 $\Delta \omega_2$ 允许值 t_0 ——起用时刻 t_1 ——跑合期终止时刻 t_2 ——需要维修或报废的时刻
$z_i \{ W_i \leq W_{i\text{given}} \} = k_i$	$\Delta z_i \{ W_i \leq W_{i\text{given}} \} \leq k_{i1},$ $t_0 \leq t \leq t_1$ $\Delta z_i \{ W_i \leq W_{i\text{given}} \} \leq k_{i2},$ $t_1 \leq t \leq t_2$	k_{i1} ——跑合期中 Δz_i 的允许值 k_{i2} ——正常工作中 Δz_i 的允许值 t_0 ——起用时刻 t_1 ——跑合期终止时刻 t_2 ——需要维修或报废的时刻
$[k, c] \{ S, M \} = [\bar{k}, \bar{c}]$	$\Delta [k, c] \leq \delta$	$\Delta [k, c]$ ——输出值与参考值之差 δ ——公差

如前所述，在分布式智力资源的环境中，知识服务也是一种产品，也是由功能需求驱动的，所以其功能和质量的描述也需要符合这类产品的特征，表 1 和表 2 的最下一条就是对这类产品的举例。

接下来就是如何统一输入和输出词汇的问题，参考文献[13]曾经建议采用调和功能基础(Reconciled function base, RFB)的功能词汇统一表达方式^[14]。所谓词汇，包括概念的分类，名称、参数以及符号的

定义,因为涉及到不同的领域、不同的行业,是十分复杂的问题。当然,采用任何一种表达方式,关键在于有关方取得一致意见。只有性能特征的描述逐步成熟和得到广泛的认可,分布式智力资源环境下的合作设计才能流畅地运作。

UDDI 协议试图解决智力资源的发布、发现和集成中信息的非结构化问题,但是在结构化过程中,仍旧有一个描述方法和用词统一的问题,在能够完全付诸实施之前,还有大量的工作要做。

3 知识流理论

现代设计是以知识为基础,以新知识获取为中心。所以从某个视角看,设计的过程可以看成是知识在设计各个节点和各个有关方面之间的流动过程。设计知识是一个复杂的领域,传统的设计理论和方法研究很少涉及这个问题,总是以一种似乎设计知识已经存在的姿态来研究后续问题。实际上往往这种知识并不存在。现在产品设计竞争的焦点之一就是如何尽快引入最新技术。在分布式智力资源的环境下,企业要进行产品开发,就不可能不直接面对知识流的问题,对于我国的制造业尤其如此。研究知识流实际上就是研究动态的知识,包括知识的分类,动态特征,运动机制,知识获取和流动控制,研究目标是为以知识获取为中心的设计活动做出清晰的描述,为研究实现方法和工具研发提供理论基础。从流动要完成的任务及其特征看,知识流可以分成四类,见图 5。从本质上讲,设计活动就是各种不同类型知识的流动。例如,由已有知识联想产生概念,这是图 1 中的第二段。首先要说明的,所谓“联想”,是一个广义的理解,并不排斥各种有关的理论、方法和计算机辅助手段,它们都是帮助人联想但又不能脱离人的联想,所以可以用“联想”来代表这一切。其次,由对概念解,即可能解评估的需要搜索有关的智力资源单元并请求知识服务^[6],对各种智力资源单元提供的知识,即评估结论,有一个融合的过程,包括比较、综合、优化、扬弃、回溯和再设计等,最后物化为最终设计(解决方案)^[5,11],这种融合过程,是知识在各个节点间的复杂的流动过程,这是图 1 中的第三段。第三,如果把任何层次上的决策都看成是知识流或设计过程的一个节点,有一些决策及其所依赖的知识可以通过某种算法(含融合或挖掘算法)简单地获取,这常常是独立于人的意愿的已知规律;但是设计中还需要获取另外两类被称为“共构(Co-construction)知识”的知识,一类是需要经过交互过程才能获取的

知识,例如甲方给出了 A,乙方由 A 给出 B,甲方由 B 给出 C,等等;一类是需要多方在一起讨论得到共识后才能产生的知识。共构知识的流动总是双向或多向的,包括提出问题和给出答案,都是知识流,但是与第一类不同,里面往往含有比较多的利益方的意愿。但是共构知识绝对不仅仅是意愿的产物,每一方无论是提出问题或是给出答案,经常需要得到非意愿知识的服务。这三种知识的获取,在图 1 中的三段里,都有存在。知识从设计任务到解的流动,对于每一个子过程也是这样,是第一类流动,知识在这里流过所有设计过程主要决策节点。知识和知识获取是资源依赖的,知识和获取的新知识是由分布的智力资源单元汇集到设计的决策节点上。流动还包括与搜索(发现)、发布(描述)、测试和形成或解除委托和服务关系等一系列活动内容有关的信息。有的子过程是主过程的分支,在从子过程输出时,它可能是由该子过程所获取的知识,而作为下一个子过程的输入时,它则可能是赖以获取知识的信息。信息和知识在这里不能也没有必要严格区分,它们也是双向流动的。这是第二类流动。第三类流动是在各个智力资源单元内部进行的,根据请求方的请求采集信息并加工成可以支持设计(回答请求)的知识,这一类流动,比较多的是非意愿知识的流动。对于这类知识服务,不仅有内容的要求,还有形式的要求。一种是不需要物理过程(如物理模型试验)的数字化知识或完全可以通过数字化工具获取的知识,这种知识服务可以由通常意义下的网络服务(Web-service)实现,但是需要以交互可视化形式提供以便于在下一个节点上参与共构;另一种是必须经过物理过程(例如物理模型试验)才能提供的知识,这种物理过程通常是在后台进行,并且不能实时提供,见图 6。但是也希望能实现以交互可视化形式提供。如前所述,还有一种是共构知识,需要经过几个智力资源单元之间或智力资源单元与服务请求方之间的互动才能获取。后面两种知识服务只能由一种扩展意义下的网络服务来实现,也就是说,网络服务技术必须在现代设计理论指导下进一步予以发展。第四类流动是各个智力资源单元根据需要采集信息过程中的流动。没有信息,知识就没有来源,这是一个基本原理。信息采集也有需要通过物理过程进行的和需要通过社会活动进行的两种。前者涉及到传感器系统、原位处理、信息传输的理论和 技术等,后者还涉及到社会调查和信息处理的理论和方法。图 4 中虚线的箭头,表示这种流动的不可替代性。因为设计对知识使用的特殊需要、它本身的不清晰、不确定和复杂性,所以知识流理

论还包括流动中的设计知识的表达形式研究。顺利流动，包括各种平台之间的无障碍互动是实现知识流理论的基础，由于历史原因，实现起来，在方法上还有许多困难。

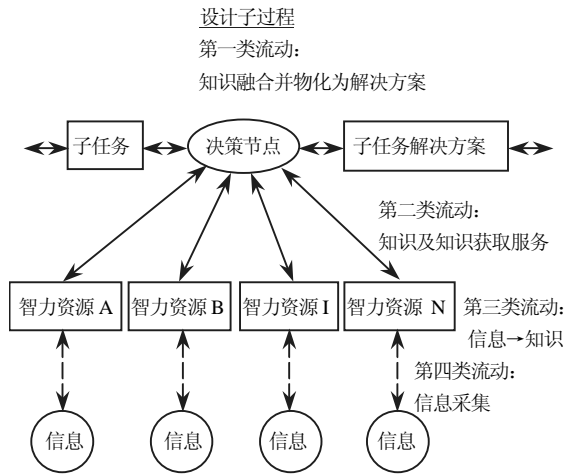


图 5 设计过程中知识流动的一般路径

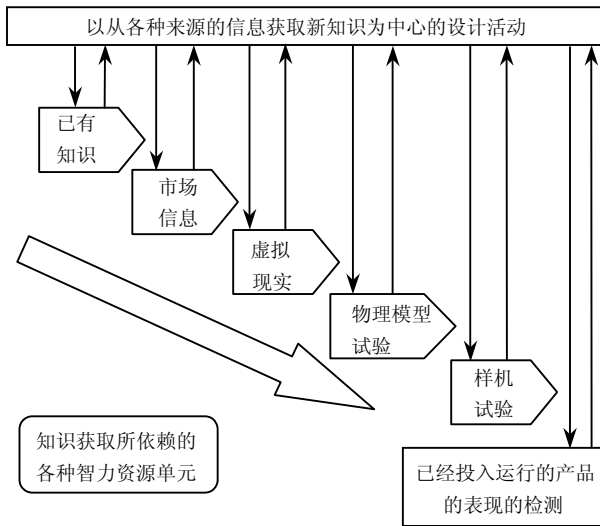


图 6 知识获取所依赖的各种资源单元

与第二、三、四类流动密切有关的是智力资源单元，所以智力资源单元本身的结构、生成、生存、发展和有效运作也是知识流理论要关注的问题，没有这些，也就不存在分布式资源环境下的知识流。参考文献[15]对此提出了一些看法，可以作为研究的起点。

知识流是关于设计的一个新的视角，因而需要有新的理论阐述。

4 多利益方协调理论

由于一个设计是由不同的利益方完成的，因此，设计的最终解不能实现通常意义上的最优，而且也不能由通常的优化算法得到。即使是多目标优化，

也只能获取上面所说的非意愿知识和实现非意愿决策。这方面的研究，国内做得很少，国外也正在开始^[16,17]。最近，CIRP 还组织了一个关于所谓 ECN (Engineering as collaborative negotiation)的讨论^[18]。既然设计要由不同的利益方来完成，那么设计的完成就体现各参与方的主要利益。但是，各参与方又具有不同的利益属主，选择这种解决方案或那种解决方案，会给各方带来不同的利益，也就是说，参与各方对于决策会有不同的意愿。所以，认识的统一和合作的进行，就要求各方在保证主要利益前提下，在次要利益上让步。这个过程，是通过对话完成的。其中的规律，就构成了多利益方协调理论。

没有采用通常所谓“冲突消解”的说法。因为设计过程中一类非常重要的节点就是决策。从非意愿知识支持决策的视角看，冲突是客观的事实，只有改变某些参数和条件，或完全改变方案，才能改变这个事实。但是设计中的许多决策，常常是由共构知识支持产生的，是一种互动决策(Interactive decision making)或共同决策(Joint decision making)。不同视角会有不同的意愿，但是经过对话理解了其他利益方的视角和意愿后，往往会改变自己的视角和意愿(含对自己利益的重新认识)并与其他利益方形成共识。这种形成共识与冲突消解有本质上的不同，称为“协调”比较妥当。

设计是由人操作的，特别是许多不同利益方的人共同操作，而设计又要决定后续过程中许多人的行为，同时，设计出来的产品是为了满足人的需要，所以设计绝对不可能是单纯的技术问题，而是技术问题和社会问题交织在一起并相互耦合的过程。传统设计理论和方法的研究常常只注意其技术方面，这就不可能统帅设计全过程。

有时，价格、人、机和环境相容性等会以约束条件的形式出现在设计中，它们同样也是既有根据非意愿知识决策，又有根据共构知识决策的。对它们的处理在理论和方法上与满足性能要求没有重大不同，这里就不展开了。

5 结论

(1) 制造业的竞争将是设计的竞争，竞争的焦点是最快地引入最新技术、最短的开发周期和最小的开发成本。

(2) 设计是以知识为基础，以知识获取为中心。知识和知识获取是资源依赖的，当智力资源由垂直结构向水平结构转变时，参与设计各个要素之间的相互关系随之发生变化。

(3) 现代设计理论就是在这种环境下对传统设计理论的发展。方法和实现方法的工具必须以理论的发展为指导。

(4) 现代设计理论应当至少有 4 部分内容: 设计过程理论, 性能需求驱动理论, 知识流理论和多利益方协调理论。

(5) 性能是功能和质量的集成, 质量是功能实现和保持性的度量。功能特征可以由文字说明、功能表达式和参数表 3 个要素描述, 而质量特征则可以由对应的功能表达式、质量表达式和参数表 3 个要素描述。

(6) 设计活动可以看成是知识流动的过程, 在设计活动中有 4 类不同的知识流动, 它们在设计中各自有其不可替代的性质和作用, 需要用不同的方法来实现和控制。

(7) 设计知识有独立于人的意愿的非意愿知识, 经过交互过程才能获取的互动知识和多方讨论后获取的共识知识的区别。基于上述不同类型知识的决策相应也有单方决策、互动决策和共同决策的不同。

(8) 4 类流动中有 3 类直接与智力资源单元有关, 对于智力资源单元的研究, 应当是知识流理论不可缺少的内容。

参 考 文 献

- 1 宋应星(明). 天工开物. 钟广言注释. 广东: 广东人民出版社, 1976
- 2 Jin Y, Stephen Lu. Toward a better understanding of engineering design models. *Universal Design Theory*(Edited by Grabowski, H.). Aachen: Shaker Verlag GmbH, 1998: 71~86
- 3 帕尔 G, 拜茨 W. 工程设计学. 北京: 机械工业出版社, 1992
- 4 Suh N P. *The principles of design*. New York: Oxford, 1990
- 5 谢友柏. 现代设计与知识获取. *中国机械工程*, 1996(6): 36~41
- 6 谢友柏. 知识服务——互联网上合作设计的基础. *中国机械工程*, 2002, 13(4): 290~297
- 7 Committee on Advanced Engineering Environments. *Advanced Engineering Environments: Phase 1, Achieving the Vision*. Washington, D.C.: National Academy Press, 1999
- 8 Committee on Advanced Engineering Environment etc. *Advanced Engineering Environment: Phase 2, Design in the New Millennium*. Washington, D.C.: National Academy Press, 2000
- 9 <http://www.chinamoderndesign.com>
- 10 何献忠. 设计学. 北京: 北京理工大学出版社, 1988
- 11 谢友柏. 产品的性能特征与现代设计. *中国机械工程*, 2000, 11(1~2): 26~32
- 12 Grabowski H. (Edited by). *Universal design theory: Preface*. Shaker Verlag GmbH. Aachen, 1998
- 13 凌卫青. 基于性能的现代产品设计知识资源服务体系研究: [博士学位论文]. 西安: 西安交通大学, 2002
- 14 Hirtz J, Stone R, McAdams D A, et al. Evolving a functional basis for engineering design. In: *Proceedings of the 2001 ASME Design Engineering Technical Conferences (13th International Conference on Design Theory and Methodology)*. Pittsburgh, PA: ASME, 2001, DETC2001/DTM-21688
- 15 谢友柏. 智力资源应用的另一种模式——知识服务. *工程设计*, 2002(1): 1~3
- 16 Lu S C Y, Cai J, Burkett, et al. A methodology for collaborative design process and conflict analysis. *IMPACT Working Paper*, USC, 2000, WPOO-01: http://impact.usc.edu/pubs/year_based/pub_00.htm
- 17 Lu S C Y, Cai J. A generic collaborative engineering design process model for conflict management. *IMPACT Working Paper*, USC, 2000, WPOO-03: http://impact.usc.edu/pubs/year_based/pub_00.htm
- 18 http://mspde.usc.edu/ecn/about_ECN_what_is_ECN.htm

STUDY ON THE MODERN DESIGN THEORY AND METHODOLOGY

Xie Youbai

(Internet Based Collaborative Research Center on Modern Design and Manufacturing, the Ministry of Education of China, Shanghai 200030)

Abstract: On the base of analyzing the time features of competition in manufacturing, a proposition on modern design theory and methodology is suggested. Several Internet-based collaborative design projects are practicing by a group in China. Theoretical investigation is carried out concurrently and presented. It is clear that existed results of design theory dealt with only pieces of the topic in design and cannot control a whole design process, especially in front of the daily increasing pressure on product innovation from market and the trend of intelligent resource varying from a vertical structure to a horizontal structure. The results of investigation show that modern design theory is in principle consisted of four parts: theory of the de-

sign process, theory of performance needs driving, theory of knowledge flow and theory of working in line between stakeholders. The basic frameworks for the theories are introduced and possible methods relative to the theories are discussed. Besides parts of the first two, most contents of the theories have not been studied or are just been recognized. Therefore there is a very wide space, in which the modern design theory and methodology can be developed. It is argued that good design methods can be studied and established only under the guide of perfect theories, and good design tools (including software) must be studied and developed only for realizing the good design methods. Those viewpoints considering that advanced software can be developed independent with the study of modern design theory and methodology cannot be accepted. Tools

produced under the guide of theory and methodology out of date will be of low efficiency or sometimes become the obstacles of advancement of design.

Key words: Modern design Design theory and methodology
Performance needs Knowledge flow

作者简介: 谢友柏, 男, 1933 年生, 教授, 中国工程院院士。现任上海交通大学和西安交通大学教授, 博士生导师。兼任《机械工程学报》、《中国机械工程》、《摩擦学学报》、英《Proc ImechE(Part J) J of Engineering Tribology》等杂志的编委。曾任中国机械工程学会摩擦学学会理事长。主要从事机械学、摩擦学教学及研究工作。主持完成国家重要科研项目数十项, 曾获得全国科学大会奖, 国家自然科学基金, 国家科技进步奖, 省部委科技进步奖, 何梁何利奖等 10 多项。培养硕士、博士研究生 60 多人, 发表论著 200 多篇。

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