

《设计方法学的探讨》

赵 昌 然

(机 械 工 程 系)

摘 要

设计方法学以系统工程学的原理为指导思想,综合运用多学科的理论与方法,以解决工程设计问题,其根本目标是实现整体设计优化,同时实现设计进程中各个步骤的优化。设计方法学与其他现代设计方法(如优化,CAD,可靠性分析,有限方法,价值工程分析等等)的关系是整体与局部,战略与战术的辩证关系。设计方法学和现代设计方法的应用与发展,并不排除传统设计方法在其适应的设计领域内继续发挥其作用。设计方法学目前正在迅速发展。可以相信,它必将为改进我国设计工作现状,提高产品设计质量等方面作出重大贡献。

一、导 言

自五十年代末期以来,随着科学技术的迅猛发展和国际的竞争日益加剧,以及由于能源危机的影响,产品只有不断更新,增加品种,降低成本,提高性能质量,减少能耗和污染,才能在市场上具有竞争活力,否则就会被淘汰。为了使产品能满足上述要求,关键的问题,在于产品设计,而设计方法又是首要问题。根据国外有关专家估计,一般产品的成本大约有百分之七、八十是在设计中被确定的,可见设计对于产品的生存和发展具有极其重要的意义。

在我国国内,现正处于经济振兴的时期,为了现代化建设的需要,同时为了提高我国工业产品进入国际市场的竞争能力,也迫切需要发展新产品,成套提供品种齐全、高效、可靠、经济、美观的产品;解决这些问题的关键同样是产品设计,尤其是设计方法问题。多年以来,在我机械工业设计中,对于优化设计、价值工程、可靠性设计、计算机辅助设计等现代设计理论和方法的研究及应用已取得了一些成果;但是,我国目前在设计方面的具体情况表明,设计人员无论在数量上或素质上都远远不能满足当前形势发展的需要,诸如对于现代设计理论和方法的研究还很不够,主要还依靠传统的常规的设计方法进行设计,设计质量差,效率低,仿制和类比产品仍占相当大的比重,缺乏独立创新设计;科技情报资料缺乏,生产与科研单位大多缺乏好的数据库和程序库;电子计算机的应用极少,设计计算工具还相当落后;在设计人员中,对经济不够熟悉,在设计过程中对价值分析和系统分析很少考虑;

本文于1984年10月31日收到

机械制造水平和测试水平都不够高,以致产品质量常常得不到保证;数据的可用性差,标准化水平向国际标准靠拢缓慢。由于以上种种原因,我国工业产品与国际产品比较,除少数外,差距都很大,竞争能力不强。为了改变这种落后面貌,适应产品迅速发展的各方面的要求,就必须大力提高设计水平;因此在我国迅速推广和应用先进设计理论和方法,已到了刻不容缓的地步。

近二十年来,由于电子计算机的发展,促进了现代设计方法的发展和应用。尤其是系统工程学的原理引进设计方法中,为先进设计理论和方法的飞跃发展,提供了极其重要的基础和必要条件。在这种新的情况下,国际上掀起了“设计方法学运动”和“创新设计运动”。随后在西德和德语地区逐渐形成一门新的边缘学科——《设计方法学》(Design Methodology);在英、美等英语地区也形成了另外形式的新学科——《创新设计》。上述这两个学派在学术观点上是有所不同的,德语地区学派侧重于规律设计方法,将设计过程规定了典型的程式,体现了设计过程是从抽象到具体和分析与综合过程的规律性,在过程各阶段强调优化和价值分析,保证技术和经济价值目标的一致。这一学派在《设计方法学》的奠基工作和发展方面,进行了巨大的工作,影响也很深远。英、美地区学派则特别强调发挥人的创造能力,反对过于具体的设计模式。但是,我们应该看到,无论是美、英或西德,他们在宇航、汽车、电子等工业方面,都能设计制造出高质量的产品,都能培养出高水平的设计人员。因此我们应该吸取各学派、各个国家的优点,结合我国具体情况和经验,创立我们自己的具有中国设计风格和传统的设计方法学体系。

二、设计方法学的概念,性质,目的及其发展过程

1.设计方法学的概念和性质

设计方法学是研究工程(产品)如何最合理地进行设计,以使产品达到整体最优的设计方法和进程的一般规律性的理论。不过,关于设计方法学的概念,目前在国际上还没有形成明确统一的定义。

设计方法学是一门涉及面很广的综合性的边缘学科,包括自然科学和社会科学,是属于方法学(Methodology)范畴的一门学科。

2.设计方法学的目的

在我国研究和推广设计方法学的目的,主要有以下几点:

(1) 通过对方法学的研究和实践,加速培养和壮大我国设计队伍,培养设计人员敢于创新的思想。

(2) 通过全面地系统地分析,找到具有竞争能力的最优方案,提高产品设计质量。

(3) 缩短产品研制周期。

3.设计方法学的发展过程

从方法上来讲,设计方法学的发展是从可行设计到最优设计,并进一步发展到系统设计。六十年代以前,设计方法基本上是寻求满足各种要求的可行解;例如满足产品的各种要求的方案集合分别为 R_A 、 R_B 、 R_C 及 R_D ,则可行解集合(或可行解方案)为上述各集合的交:

$$R = R_A \cap R_B \cap R_C \cap R_D;$$

对于普遍情况,则可行解集合为:

$$R = \bigcap_{i=1}^n R_i;$$

上式中 R_i 为设计应满足的第 i 组条件所确定的设计方案集合。

这种设计方法,当设计量的数值满足要求,形成可行方案后,这一方案是否好,能否更好,只能凭经验判断,没有牢固的科学依据。

从六十年代开始,从设计计算的系统科学基础来讲,较广泛地进入了优化设计阶段。最优化设计是在高速电子计算机出现以后,以最优化的数学理论为基础,借助电子计算机来合理地选择设计方案。这种方法与传统方法相比,既可大大缩短设计周期,又能使设计质量明显地提高;当建立了目标函数和确定了约束条件后,采用适当可行的方法,即可解出所寻找的最优方案。

设计方法的进一步发展,是将系统工程学的思想运用于工程设计中来,从而可以实现整个系统设计的最优化,即整体设计最优化。系统设计是设计方法与设计原理在认识上的重大的带根本性的飞跃;因为系统设计从整体出发,从整体与其所属各个组成部分的相互关系中,去研究全系统的设计,以达到整体设计最优,使整个设计在技术、经济和社会等各个方面都达到满意的效果。

关于设计方法的发展过程,如果从它的设计观点的不断革新来进行观察,也可认为是从性能设计发展到价值工程的引入,乃至广义节能的引入。将价值分析引进产品设计问题以后,则产品设计的优劣,不仅要看它作为实物功能的好坏,而且要看其价值的多少。这样,优化设计的目标函数,变量和约束条件不但应包括产品性能各方面的内容,而且还应包括经济效益方面的内容。

过去将狭义节能引入到设计领域中来,为降低单位产值的能耗作出了贡献。而将广义节能引入设计中来,则在同样国民经济社会效果下“完全能耗”(指从完全自然状态的原材料物质开始,经过各种人工加工所消耗的全部能量)达到最小。这是向设计方法学和设计指导思想提出来的一个重大的战略性的问题。这样,将产品性能、价值、资源消耗等方面合理地引入到目标函数和约束中来,对于建立起较完善的设计分析和计算的体系具有重大的意义。

但是,应当看到,设计方法学是一门新兴的年轻的边缘学科,是许多学科在系统工程学的思想的统一指导下,互相渗透,互相交叉而逐步形成的;目前尚处于发展的早期阶段,还难以准确地预料它今后的具体发展;然而随着科学技术和各个学科的不断发展和新的学科不断产生,设计方法也必将进一步壮大,并有着无限广阔的发展前景。

三, 设计方法学的研究对象、内容及其战略与战术的理论基础

设计方法学综合运用多学科的理论和方法,对于工程设计这个领域进行了系统的、全面的研究。它不是以特定的工程专业的具体设计作为研究对象,而是以抽象的方法研究工程设计进程和方法中共同的一般的规律性,从而使工程设计进行得更科学和合理。所以设计方法学也可看作是一门“软科学”,它的重点是解决设计进程中的战略问题,并不能代替具体的设计。

计, 它使设计者在设计进程中的思维过程尽可能地符合客观规律。

设计方法学重点是要研究整个设计进程的总路线, 即研究设计进程的战略方面。它也要研究设计进程中与各个工作步骤相应的设计方法(即战术方法), 但重点在于使这些战术方法在设计进程中能互相协调配合, 而得到有效的运用。

设计进程中的总路线是以系统工程原理作为指导思想, 而且具体地反映在设计进程的模式上。下面是关于新产品开发设计的合理进程的一般模式(图一附后);

设计方法学在战略方面的理论基础, 主要是系统工程学和哲学; 在战术方面的理论基础主要是工程设计理论、力学、材料科学、计算机辅助设计、优化设计、可靠性设计、有限元分析、美学设计、人类工程学、试验理论及技术等等。

现代工程设计除了技术内容外, 还渗入了经济和社会的内容。因此设计方法学除了上述理论基础以外, 还有属于社会科学方面的其他理论学科, 如决策理论、价值工程、工业经济、物料再生准则, 安全准则以及法律等等。

四、设计方法学是系统工程学在工程设计方法中的应用

设计方法学所以能有效地将多学科的理论和方法综合运用到设计中来, 并使局部与整体之间的关系协调配合, 实现整体设计的优化, 其最根本的原因是运用了系统工程学的思想; 否则, 各个具体的设计方法(如优化, 可靠性分析, 价值工程分析等等)将得不到正确的运用和发展, 整个设计工作将陷入混乱。

在现代设计中, 尤其在从事大型、成套、复杂、尖端等新产品的开发设计中, 必须从整体出发, 统筹全局, 从部分与整体的有机地相互联系中, 研究整个系统的设计, 这就是系统工程学的思想。

所谓系统, 按照系统科学关于系统的定义, 一个系统就是具有特定功能的, 相互间有机联系的许多元素(单元)构成的一个总体。以机械工程来讲, 系统是相互关联和可识别的机械元素(结构和功能), 在规定条件下能达到预期目的或功能的集合体。所以在工程设计中, 系统可以通过系统的结构和功能加以描述。按照群论的观点有:

(1) 工程系统结构:

$$S = \{G, P, B\}$$

其中G为系统单元集(按群论为一组事物),

$$G = \{G_1, G_2, \dots, G_n\}$$

(n为单元数目);

P为单元有关性能,

$$P = \{P(G_i)\};$$

B为单元间关系,

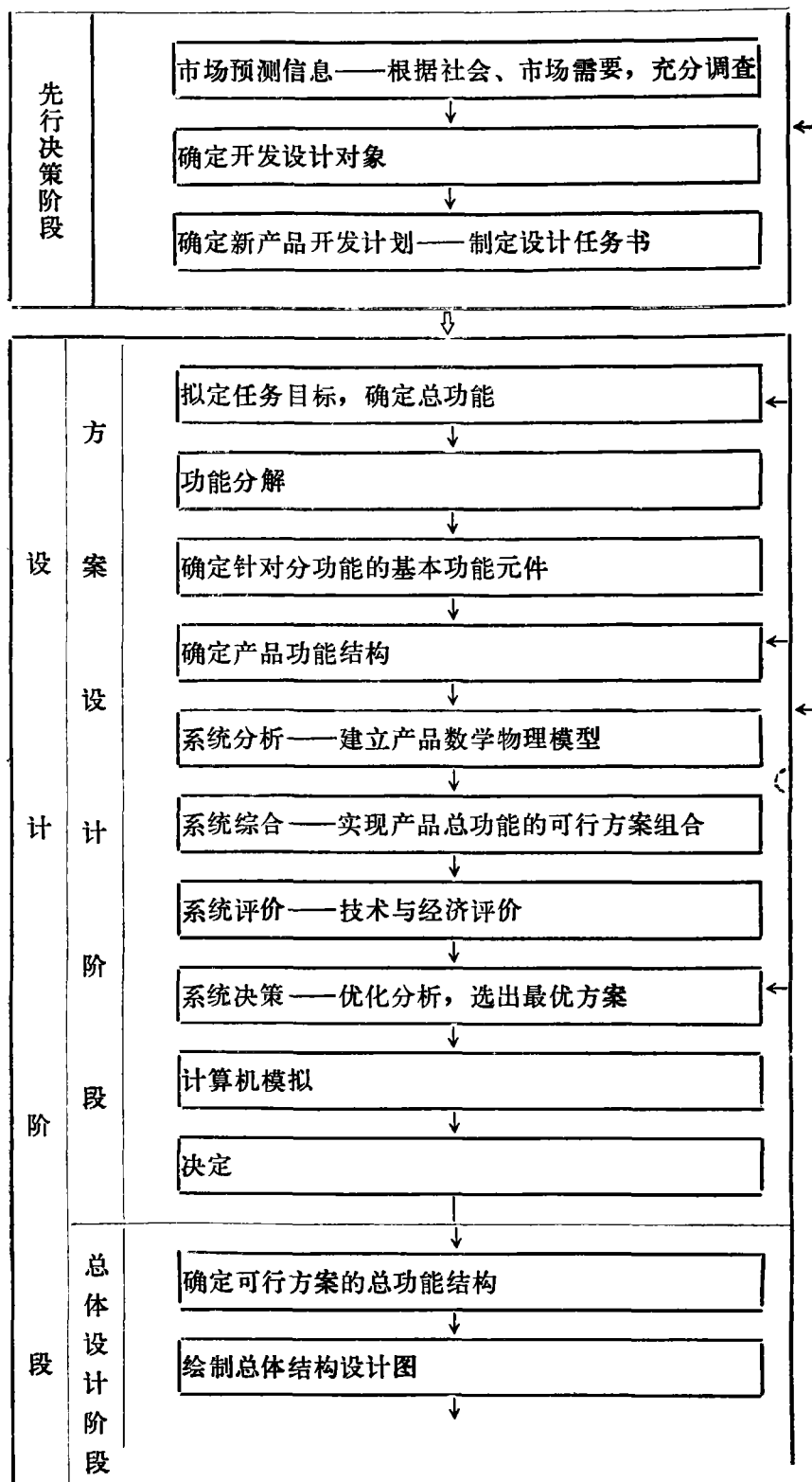
$$B = \{B(G_i, G_j)\}。$$

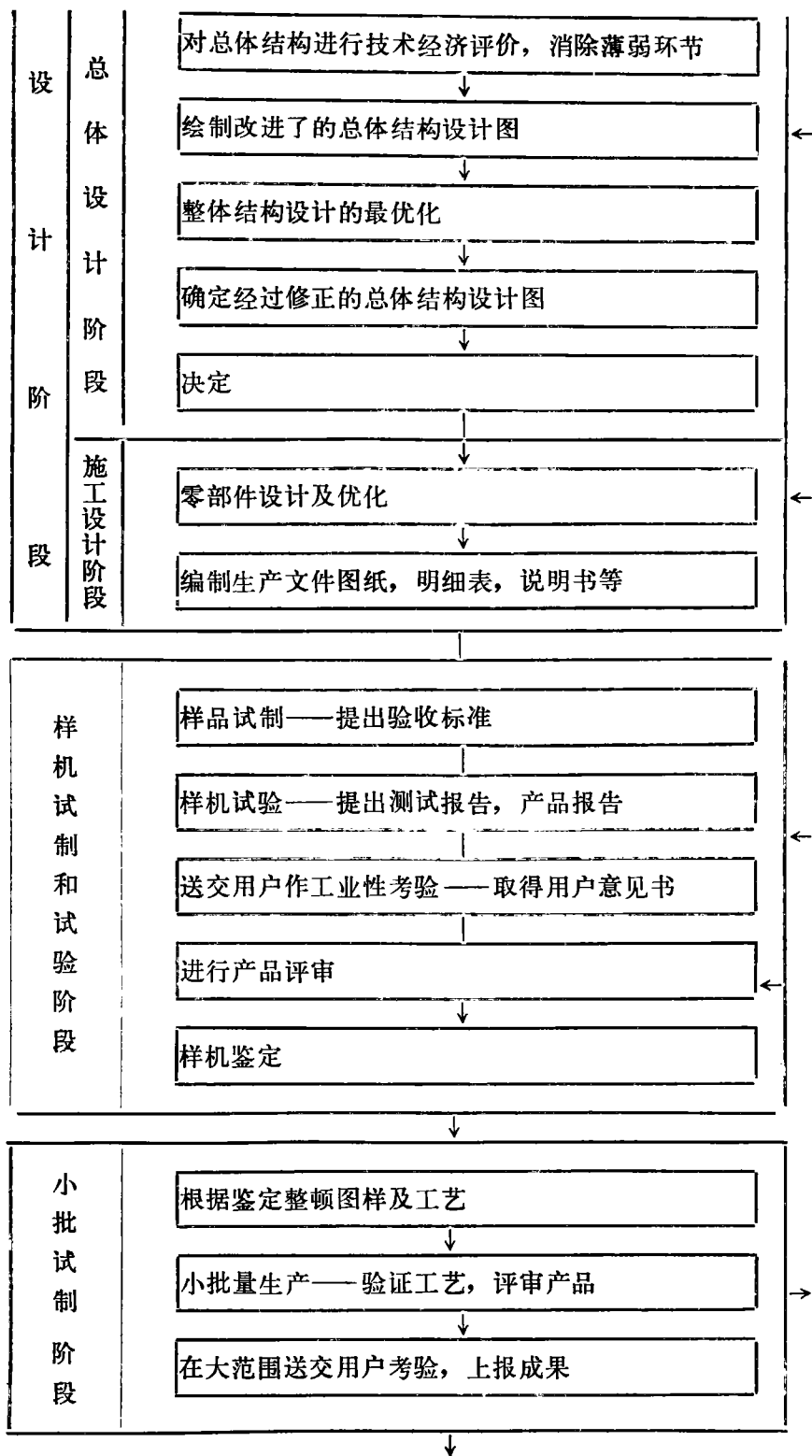
(2) 工程系统通过输入(能量、物料、信息)与输出(能量、物料、信息, 统称为产品)越过系统边界与环境联系。

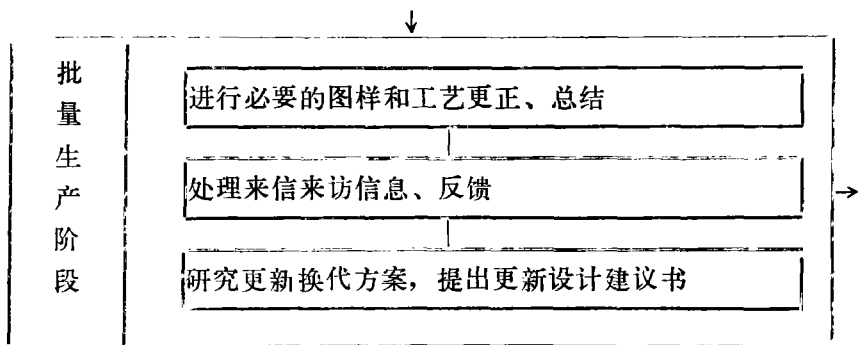
$$\text{输入 } E = \{(U, G_i)\}$$

图一

开发新产品设计进程模式示意图



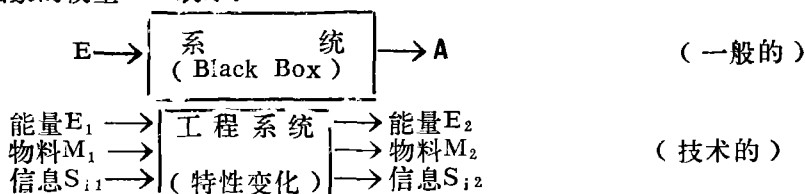




输出 $A = \{G, U\}$

其中 U 为环境。

(3) 系统功能: 将输入转换为输出; 其一般特征可用黑箱理论 (Black Box) —— 对系统最抽象的模型 —— 表示:



在设计方法中运用系统工程学的分析原理, 是设计方法学在发展中的重大飞跃。传统的分析方法往往是把一个事物分解成许多独立的、静止的, 由此得出的结论只能在局部的条件下才是正确的, 放到更大范围内考察, 这个结论就可能是片面的或错误的。所以在设计方法中运用系统工程学的思想, 可以使原来各个孤立的组成部分有机地、综合地联系成一个新的整体。总的来讲, 设计方法学是系统工程学在工程设计中的应用, 而其根本目标是达到全系统总体设计的优化, 同时实现设计进程和各个步骤的优化, 这对于大型、复杂系统的设计, 其意义特别重大。

五、设计方法学与其他现代设计方法的关系是整体与部分, 战略与战术的辩证关系

设计方法学与其他现代设计方法 (如优化设计, CAD, 可靠性设计, 价值工程分析, 有限元分析等等) 之间的关系, 是相辅相成的辩证关系, 是整体与局部, 战略与战术的关系。一般现代设计方法在整个系统设计的进程中, 是局部性的、战术性的方法, 同时是构成全局性的、战略性的方法的基础; 离开了这些具体的设计方法, 设计方法学将是空洞的, 但它不能代替具体设计方法 (即战术方法)。但是, 局部性的方法往往只考虑了设计的某个侧面, 例如优化设计, 在当前往往只是在方案设计已确定后的情况下, 去选定一组最优的设计参数; 然而, 如果在方案设计中存在错误, 那么这种局部性的优化可能变为完全无用, 所以这些局部性的方法的使用, 必须与全局性的方法相结合, 而且尤其要重视战略性方法的使用。局部效果好, 不等于整体效果好; 局部效果差, 不一定整体效果差; 如果整体效果差, 则

局部效果再好也无用。在工程设计中,在战略性的方法指导下,综合运用各种战术方法,发扬它们各自的优点,联合“作战”,也就能使这些方法更好地发挥它们各自的作用;也为这些方法进一步发展提供了广阔的前景。当然,战术方法的发展,也将推动设计方法学向更高阶段发展。例如,在前例中,在战略性方法指导下,找到一个创新的优异的方案设计,同时又发挥优化设计等方法的作用,可使这个方案在进一步设计中得到不断的完善和修改,实现最终设计的整体优化。

设计方法学作为一门新的综合性的学科,首先在于其设计的内容,已远远超出有关各专门学科的范围,并有着其自己特定的研究范围和目的,同时组成设计方法学的各门学科,本来都是可广泛应用并相对独立的学科。当综合运用这些学科于工程设计中时,并非是将这些学科简单地、孤立地叠加,而是通过它们之间互相结合,互相渗透来进行的。如优化设计与可靠性分析、有限元分析、CAD等的结合。同时这些学科常常还要根据工程设计的特点,不断地进行必要的改进和发展,以适应设计实践的需要。例如优化技术可以广泛用于设计、管理、加工、控制、试验等领域;当它在工程设计中应用时,由于设计变量往往是离散的,这就需要在优化技术中加强发展整数规划等的研究。

设计方法学可以认为是设计科学体系中一门具有普遍意义的带领性的学科,它是从方法论的高度来认识问题的,与其他现代设计方法相比,它是处于第一位的,它为其他方法的实际应用和充分有效地发挥作用,创造了必要的条件;反过来,其他方法的发展,也必将促进设计方法学不断向更高阶段发展。例如设计方法学的研究,使CAD的应用有可能扩展到方案设计阶段,使将来计算机有可能不仅在工程计算、绘图等方面,而且将在人工智能方面发挥作用,其意义是十分重大的。同时,这也必将促进设计方法学发展到更高水平。

六、结 束 语

设计方法学和现代设计方法的应用与发展,并不排除传统的常规的设计方法在其适应的设计领域(如简单设计)内继续发挥其作用。虽然传统的设计方法,常常是采用经验和类比的方法,并且主要是用人工进行分析、计算,由于其分析不够全面和深入,设计速度缓慢,故往往只能进行不够完善的综合,通常难以获得优化方案,尤其难以达到总体优化。但是对于一些简单产品来讲,具有丰富经验的设计人员,仍然可以优异地完成设计任务。应该指出,设计人员随着个人设计经验和方法的积累,从而自觉或不自觉地在其专业范围内运用了方法学。

设计方法学和现代设计方法虽然可以使设计进行得更科学、更快、更好,但它本身不会形成创造性设计。因此设计人员在设计工作中,要善于提出问题,大胆设想,充分发挥自己的创造性思维,敢于进行并善于进行创新设计。设计方法学和现代设计方法比较适用于大型、复杂系统和创新设计中。对于某些难以用数学模型抽象的设计对象,例如对工程的外形美学设计等等,目前仍然需要通过人的经验和想像力,采用传统设计方法。

设计方法学目前在国际上正在进一步发展着,并且提出了“一体化的产品发展模式”。这是指应该从头到尾同时考虑在市场、产品设计和生产的领域内的一体化活动,要求阶段划分必须与商业机会逐步明确相适应。

可以相信,随着我国现代化建设的发展,设计方法学在我国必将获得普遍的重视和广泛

的应用,从而为改进我国设计工作现状,提高产品设计质量,加速培养和壮大我国设计队伍,逐步建立我国自己的设计风格传统作出重大贡献。

本文介绍有关设计方法学的一点粗浅知识,是希望籍以引起有关同志对这门学科的重视,加快开展对设计方法学的研究,为我国设计科学的进一步发展作出努力。笔者学识浅陋,文中错误缺点在所难免,敬请指正。

参 考 文 献

〔1〕黄致甲,“关于设计方法学问题(参加罗马国际工程设计会议专题总结)”,“两次国际设计会议的某些启示”,《天津机械》1982,12。

〔2〕陆思齐,“设计方法学的研究”《上海科大学报》1983,4。

〔3〕舒光复,“设计方法学与设计的系统科学原理”,“性能设计价值工程与广义节能”,中国科学院系统科学研究所印,1983,4。

〔4〕朱家玮,“简论我国机械(工程)设计的现状及改进意见”,同济大学印,1983。

〔5〕S.A.Gregory,“Engineering And Design Methodology”, ICED81, RoMe—Italy 9—13 March 1981。

〔6〕A.Seireg,“Review of Design Engineering And Methodology In The U.S.A.”, ICED81, Rome Italy 9—13 March 1981。

简 讯

江西高等学校学报研究会在南昌召开成立大会

为了加强江西各高校学报编辑部的联系,开创江西高校学报工作的新局面,更大地发挥在四化建设中的作用,在省委宣传部和教育厅的领导、关怀和支持下,江西高等学校学报研究会经过四个多月的积极筹备,于一九八四年十二月二十七日至二十九日在南昌市召开了成立大会。这是江西学报界的盛事,标志着江西高校学报工作有了新的发展。出席成立大会的有副省长柳斌、省委宣传部副部长张致和、教育厅副厅长金日强、江西省教育学会副会长兼秘书长李忠云、江西医学院院长朱越蕃、江西省哲学学会副会长兼秘书长,江西大学副校长陈正夫和江西各高校学报工作者近六十人。在会上,柳斌同志、张致和同志、金日强同志和陈正夫同志作了重要的讲话,他们充分肯定了学报在繁荣学术、培养和发现人才、推动高校的教学和科研,以及促进社会主义精神文明建设等方面作出的成就,并就如何进一步办好江西高等学校学报等问题发表了很好的意见,与会同志受到了极大的鼓舞。在会上,代表们还听取了有关华东地区高校学报文理两个研究会一九八四年年会的情况。

会议期间,代表们互通了情况,交流了经验,并就如何开创江西高校学报工作的新局面、更大地发挥学报在四化建设中的作用等问题,进行了认真而热烈的讨论。代表们强烈呼吁,各高校的领导要真正加强对学报工作的领导。认真、切实地解决长期存在并亟待解决的学报建制、编制和编辑人员的职称、工作与生活待遇等一系列问题。

会议讨论并通过了江西高等学校学报研究会章程,产生了理事单位和理事,选举张致和同志为名誉会长、陈正夫同志为会长、王膺权同志、刘炳生同志为副会长、黄方同志和柳志慎同志分别为正副秘书长,决定研究会设在江西大学学报编辑部,并部署了研究会一九八五年的工作。