

# 优化及其在现代设计中的作用

陆 思 齐

(上海科技大学付教授)

## 摘 要

正确地估价优化在设计中的地位和作用,对于充分发挥优化作用,提高设计质量有着重要的意义。文中首先区分了广义与狭义的优化,区分了优化设计与优化方法,指出了广义的优化不一定要用数学优化方法,设计是一种创造性的劳动,设计本身不是数学。文中着重分析了优化与设计方法学的关系,指出了优化在现代设计中的地位和作用主要是在方案设计阶段以后的过程,最后,文中展望了优化与CAD相结合的发展趋势。

从工程意义来看“优化”这个名词,通常是指针对某些优化目标,用数学优化方法,使系统的一些参数取得其优化值。应该说,这是一种狭义的优化。其实,广义而言,优化的途径可能有多种方式,它不一定要采用数学优化方法,也不一定能用得上数学方法。广义的优化可认为是针对某些优化目标,使系统的参数或方案达到优化。根据经验运用直觉判断的方法,对方案进行评价,作出最后的较好的决策,这也是一种优化,而且在设计结构方案的选择中常常只能是这种优化。因为,在这种情况下,有不少因素是难以用数学来描述的。例如,在机构优化设计中,为使输出机构实现预定的运动,可以采用不同的机构方案,此时就难以定量反映如连杆机构和凸轮机构不同的结构特性。数学优化方法是一种客观的定量分析方法,当一些因素不适宜用数量来表示而更多地需要发挥人的主观能动性时,数学优化方法往往显得力不从心。所以,不能认为用数学优化方法才算优化,更不能认为只有采用电子计算机才是优化。当然,在合适的情况下,使用数学优化方法(特别是采用电子计算机优化时),无疑将提供我们一个强有力的工具,但是就广义的优化而言,不懂数学优化方法,不用计算机也可能找到优化解,这也是一种优化。人们在设计活动中,总是需要有从评价任意的设计方案来满足所提出的要求,到最终进行决策、选定方案这样的过程。在相当广阔的设计领域中,当设计处于对方案的评价和决策的阶段,数学优化方法往往帮助不大,甚至可能妨碍了设计工作的正常展开,而只有当设计方案选定后,数学优化方法才能很好地发挥作用,它可用来改进和完善所选的方案,也正是此时,才能充分发挥优化在现代设计中的重要作用。当设计处于方案设计阶段,许多因素尚处于未定的或难以捉摸的情况下,其中有些是客观性的因素,但更多的是主观性的因素,难以用数学来描述,因而主要采用定性分析方法(当然可能局部采用一些定量分析方法)来评价和决策方案的选择。然后,在上述基础上,才有可能建立数学模型,并进而运用定量分析的数学方法。在方案设计阶段,设计方法学就是一个可供使用的最重要的方法(后面还将较为详细地讨论它与优化的关系),自然,设计方法学还

本文于1984年9月13日收到

适用于设计的其余各阶段。在机械优化方面，特别是在大系统的优化中，在方案设计阶段，能有效地使设计获得成功的方法，主要依赖于如设计方法学等定性的方法。随着方案的确定，就导致了运用数学优化方法的良好条件，当系统分解得愈细，元件愈是基本的，则能有效运用的数学优化方法愈多。在结构优化方面，目前的优化设计主要处于较低的优化层次（优化设计中给定的变量愈少愈次要，则可变的变量愈多愈重要，则优化层次愈高，反之愈低），即在给定的方案下（包括结构的类型、材料、布局及外形几何等）运用优化方法来改变各组成构件的截面尺寸，使结构达到最经济或重量最轻。随着将更多、更重要的设计参数作为变量，例如不但使结构的几何可变，而且使结构的构件布局和节点联结关系也进行优化，即随着优化层次的提高，单纯采用数学方法就愈来愈感到困难，而发挥人的分析和决策作用将愈益显得重要。其中，特别是结构类型的优化，更难以单纯使用数学优化方法，这也说明，从狭义的角度来理解优化是有局限性的。

在工程设计中，人们往往容易把优化设计等同于数学优化方法，其实这是不全面的看法。从本质上看，二者就是有区别的。设计是一种创造性的活动，很大程度上依赖于人的智慧的发挥，而不仅是一个数学计算问题。数学优化方法是一个重要工具，但永远代替不了人在设计中的作用。设计本身就包含优化的概念，这当然是指广义的优化。使设计达到优化的问题，应该贯穿于整个设计过程，但设计本身不是数学，而只是用到数学。优化设计是将优化方法应用于设计过程之中，最终获得最优的设计参数。这首先是通过模型化工作，即将一个实际工程设计问题变成一个数学优化问题，然后才能运用优化方法来求解这个数学模型，一般优化设计就总要包括上述两个基本步骤。有些人一提起优化设计，就往往较多地考虑数学优化，而忽视了数学模型的建立。然而，数学模型的正确和完善与否，对优化设计是至关重要的问题。数学模型不但是选择优化方法和进行计算的主要依据，而且直接影响到优化设计的结果。数学模型建立得不正确，优化方法选择得再好，计算得再精确也是徒然的。在数学模型的建立中，最能体现一个设计者的经验、才能和知识，例如目标函数中加权因子的选择就是这样。这就是说，在数学模型建立中，最能体现人的作用，而数学优化方法是不可能来处理这些问题的。不过，数学模型一旦建立后，选择合适而简单的优化方法和计算程序，以获得好的结果，也是一个不能忽视的重要问题。

顺便指出，区分优化设计和优化这两个不完全相同的概念也可能是有意义的。如上所述，优化设计一般是指优化方法在工程设计中的应用，通常包括数学模型的建立和求解这两个过程。而优化（这里是指广义的优化）的概念要广泛得多，这不仅表现在实现优化途径的多样性（不一定采用数学优化方法），而且表现在其应用范围的普遍，它可应用于设计、加工、管理、试验及控制等各个领域。所以，优化这个概念里应该包含着优化设计，反之则不然。

从前述数学模型的建立，使我们认识到优化的意义是相对的，优化设计或优化解都是相对的。因为，在将实际工程问题，简化、抽象和归纳成一个数学模型，只能在一定程度上代表真实的系统。这里有一个模型建立得是否合适的问题，是否代表或在多大程度上代表真实结构的问题。数学模型往往不能完全反映真实的系统，而且从计算的经济性等角度来看，恐怕也不一定都要求完全反映实际系统。能抓住主要矛盾，对复杂问题作必要的简化，获得实用上较好的结果，即使不能完全反映实际，可能也是合算的。所以，优化的结果，从数学模

型的建立来看，往往是相对的。此外，优化方法运用在工程时，本身也在不断发展和完善。例如工程设计中提出的离散变量处理问题、多目标问题以及求取总体极值等问题的圆满解决，尚有待于进一步的研究。所以，优化和优化设计都是相对的，用“优化”和“优化设计”的名词比用“最优化”和“最优化设计”要恰当，相应地用“优化值（解）”比用“最优化值（解）”要好，当然，有时人们习惯上使用“最优”这个词，但意义上应是指“优化”。

为了更全面地认识优化在现代设计中的作用，现在来研究优化（以下所指的优化均系狭义的）与设计方法学的关系。设计方法学是重点研究设计进程战略（即设计进程的总路线）的学科，它是系统工程学在设计领域中的应用。设计方法学与优化的关系，总的来说是战略与战术的关系，是全局与局部的关系。大家知道，设计是一种创造性的活动，而方案设计是其中最重要、最关键的阶段。而正是设计方法学能有力地促进设计人员的直觉思维（直观和灵感）、逻辑思维来形成创造性的构思，所构思的方案就是创造性劳动的顶峰。优化作为一种科学的分析方法，只能作出客观的符合数理逻辑的结果，而不能代替人的主观意识，因而优化不可能直接给出创造性的设计。目前的优化设计，通常是在方案已选定的情况下去选得一组最优的设计参数，但若在设计方案的决策中有错误，则这种局部性的优化可能会变得完全徒然。虽然，有时优化也可用来对方案作出比较，但一般它不可能对方案的决策起决定的作用。这里必须指出：虽然优化在方案设计中不能发挥主要作用，但当方案初步确定后，在方案的完善和修改的过程，在最终确定一组优化的参数时，优化可以在宽广的范围内发挥重要的作用。而为了使优化发挥更好的作用，在使用优化手段时必须重视与战略性的方法（设计方法学等）更好地配合起来。所以，指出设计方法学在设计中的主导地位，不但不是贬低优化的作用，而是为了更充分地发挥优化的作用。优化在工程设计中许多领域内应用的不断扩大的实际情况，也充分说明优化在设计中的上述地位，并未影响其实际的使用。随着优化在设计领域中应用的发展，例如结构优化中向优化层次越来越高的方向发展，数学上的困难日益增加，计算费用也急剧上升，此时进一步发挥人的作用就日益显得重要，为此必须加强计算机辅助的人机交换与图象显示来设计，而不要过于依靠数学的方法，因为如上所述，设计本身不是数学，而是一个很大程度上依赖于人的智慧发挥的创造性活动。

随着优化在工程领域（特别是设计）中使用的日益广泛，优化设计将逐步成为人机结合的计算机辅助设计的一部份。优化需要计算机，当然不能全靠计算机。在设计这个创造性活动中，计算机虽难以完全代替人，但它作为人的助手将发挥日益重要的作用。优化一方面提供了计算机辅助设计有力的支撑软件和应用软件，另一方面优化也愈益需要人机对话，需要发挥人的创造性、判断力和想像力。这就是说优化设计存在着和计算机辅助设计相结合并成为后者一部分的趋势。看来，这种发展趋势，从设计活动的本质来看是完全正常的、合理的，相反地过于依赖数学，盲目地追求设计的全盘自动化的观点，将继续被证明是不正确的。