

国外机械工程设计的一些基本动态

陈 金 元

本文讨论了现代机械工程设计的基本特点及面临的任务,介绍了国外在这方面的基本动态并结合我国目前实情提出了初浅的想法。

一、目前机械工程设计的特点及其面临的任务

从人类开始使用简单机械至今,至少已有四千多年的历史。从机械设计角度看,这段漫长的历史,大致可分为三个阶段。在早些年代,人们根据需要,除了不断创制一些简单机械外,着重对现有机械进行分析研究,从而建立并发展了机械科学,使之逐步与力学分开而独立存在。因此这时期的主要特点是着重分析研究现有机械,从而建立并发展了机械学科。到十八世纪中叶,随着采煤,炼铁,纺织,贸易,及交通运输的发展,欧洲发生了工业革命,机器生产的出现和发展,十九世纪是科学技术发展史上一个重要时期。但当时虽然已有一些理论可用来计算材料,结构件,机械零件的应力和强度,机器的功率,成本以及机构的运动分析和综合也得到了很大的发展,但没有更多的理论和足够的资料来帮助人们的设计工作。因此这时期的机械设计特点主要是依靠经验,借助于试凑的方法,并且多半以个人设计,创造发明为主。最近几十年,科学技术得到了飞速的发展,积累了大量的设计资料,这为机械设计不断提供了新的依据,方法和手段。目前机械工程设计的特点,大致有三个方面:

(一) 涉及的知识面广。现代机械工程,从总体看,它处于土木工程和电机电子工程之间的广阔区域中,涉及到各行各业,同时其它领域内的科技进步和发展又不断地丰富和革新了机械工程设计的内容,使机械学科与其它学科相互渗透,穿插,形成许多综合性的课题及某些边缘学科。这样再把机械设计局限在纯机械学科范围内,显然已无法满足现代机械工程设计的要求。当今具有代表性的机械系统为机—电—液(气)的组合。电已由一般电器控制发展到计算机,微处理机控制,使整个系统向全自动化发展,从而进一步提高了劳动生产率。与知识面广这一特点密切有关的是当今一些重要的发明创造愈来愈依靠集体,个人发明创造明显少了^[3]。

(二) 对机械产品提出了更高的要求。用试凑法所设计的产品,一般只是得到一种可行的设计。如果这种设计为主要地满足基本设计要求的话,那么现在的设计明显地向更高的要求发展了。显然沿用试凑法进行设计(目前不能完全排除这种方法)已不能满足今天设计要求。因此目前设计工作的另一个特点是凡能采用理论方法设计时,则尽可能采用理论方法进

本文收到日期 1983 年 5 月 13 日

行设计。这反映在两个方面：从整体看，整个设计工作本身希望尽可能在理论指导下进行，从局部看，每个零件，结构件，部件甚至一个机械系统，根据某一目的要求希望设计得更好，这样就导致了新的设计方法——最优化机械设计和计算机辅助设计的产生和发展。应该指出，一个产品设计成功与否，不仅决定于科学技术以及有关理论，还决定于实践经验，创造才能，经济学，人体工程学，审美观，社会学，销售学等各方面的因素。只有将所有这些方面有机地结合起来，贯彻于整个设计过程中，才能使设计工作得到满意的结果，因此除了理论设计外，还有一个综合性特点。

(三) 要求产品不断更新。社会的发展，人们的要求以及产品的竞争，更新，要求设计工作要富有创造性。从历史看，创新设计始终贯彻于设计工作中，但对产品更新换代的要求从来没有象今天这样强烈。这样势必要求加强对创造性设计的方法研究，以便更有效地指导创新设计。

面对当今机械工程设计的形势，“机械设计”(暂且称这个名词)作为机械学科中的一门科目，应该与之相适应。也就是说如何根据当今机械设计的特点，总结研究设计全过程中的客观规律，从而更有效地指导设计工作，这便是“机械设计”面临的一项任务。

二、国外的一些基本动态

国外在近几年来围绕着如何更有效地进行设计工作大致做了三方面的工作。

(一) “工程设计”的产生和发展

国外过去所讲授的“机械设计”或现在所用的“机械工程设计”主要是讲零部件的设计计算，或再加进材料及材料力学等有关方面的内容。这门课程作为机械设计的基础是必要的，但以此代替整个机械设计是值得讨论的。国外几十年的实践证明，这导致了整个设计工作死气沉沉，不利于设计人员打开思路，综合设计工作各方面的因素进行综合设计，也不能有效地指导设计人员进行创新设计。究竟如何教好“设计”这门课，便成为目前急需研究解决的问题。英国于1962年在帝国理工学院召开第一次会议专门讨论设计方法问题。来自工程界，建筑界，计划，工程设计，绘图，心理学等各方面的十八位与会者，对新的设计方法提出了一些建议，对设计过程作了很多描述。接着在1964年又召开了专门会议，讨论“设计”的教学问题。在会上，对“设计”的理解仍很不统一，对如何教学问题的看法出入很大。认为“设计”就是“硬件”设计者居绝大多数，而从为是“系统”设计者极少，于是建议以后在适当的时候再召开专门会议讨论。会后编写了一本专辑“设计方法”^[4]。据一些资料来看，在美国同样存在着类似的问题。但到六十年代，美国陆续出版了许多有关工程设计方面的书籍。由于人们对“工程设计”的理解不同，反映在这些书的内容上出入很大。美国T.T.Woodson^[5]归纳了各种理解并提出了他的解释为“工程设计是一种反复作出决定的活动以便制订计划，借此使资源更适宜地转变为系统或装置以满足人们的需要。”到目前，虽仍有分歧，但愈来愈多的人们同意这种解释：“工程这个职业的基本目的在于研制技术装置，设施及系统以满足人们的需要，而工程技术人员的设计在某种意义上讲就象跨越“未知”的一座桥，将所提供的资源与人们的需要连接起来^[6]。”目前在英国，上述这种解释也为大多数人们所接受，只是表达不同而已^[7]。在英国工科院校机械工程系里，对高年级学生均开设“工程设计”这门必修课。在Loughborough University of Technology的“工程设计

中心”每年还招收“工程设计”一年制硕士研究生班。

综上所述,不难看出“工程设计”与原来的“机械设计”或现有的“机械工程设计”截然不同,它不是讲授零件的具体设计计算,而是系统地讲述如何进行设计,以便能适宜地利用资源来满足人们的需要。如果这样的话,显然它能较好地满足当今机械设计的要求。但相对而言,这门课程还很年青,还有待进一步发展和完善。近几年来,围绕着整个设计过程,人们做了大量的总结研究工作,发表了很多有关文章,其中尤为令人感兴趣的是关于创造性设计方法的探索和研究。人们从技术和心理学角度出发提出了很多有助于创新设计的方法,例如提问法(Check-Lists),相互作用法(Interaction Technique),小组讨论法(Brainstorming),设计树法(Design Tree),全系统法(Fully Systematic Method)^[4]以及类比法(Synergetics, Analogy),特征法(Attributes),反向法(Inversion),组合法(Combining)^[7]等等。然而深入分析这些方法,这仅给设计人员提供了一些帮助创新设计的思路或间接方法,这显然是不够的。如何去探索研究一些更有效的创新设计方法,也许是人们渴望解决的一个课题,但至今知道得还不多。运动链系法(Systematics of Mechanisms)^[8]是一种帮助创新设计的有效方法。它分为机构类型综合和机构数目综合。该法不仅适用于刚性杆件,还适用于柔性件的机构综合。在机构综合中,这是行之有效的方法。R.C.Johnson^[9]又将这种运动链系推广到多种自由度(自由度为1,0,2,-1),从而进一步扩大了它的使用范围,可用来综合机构,结构以及施加有内力的装置或机械系统。逻辑积木法(Logical Building Block)是另一种行之有效的创新设计法,不仅可用来帮助组合机构的综合^[9],还可用来整个系统的综合^[11]。这里顺便提及的是关于创造发明能否教授的问题。M.W.Thring和E.R.Laithwaite^[3]作了专门的探讨和论述,回答是肯定的。

在整个设计过程中,还有很多内容值得进一步去总结研究,例如面对设计中的各种问题,如何作出判定;方案列出后如何进行合理的评定;指导零部件详细设计的原理或方法;设计工作的技术管理以及如何运用价值分析指导新产品设计开发工作等等,在此不多赘述。

(二) 最优化机械设计

在“工程设计”产生的同时,人们为了使产品获得更好的功能和技术经济指标,于五十年代中期开始探索运用优化理论来解决机械工程设计中的一些优化问题,至今已形成一门最优化机械设计新技术。在英国工科院校机械工程系里,都设有“优化理论”的选修课,但比较系统地讲授最优化机械设计还不多,多半在“工程设计”或“机械工程设计”中适当介绍一些优化设计方法。但有关优化设计的研究和应用很活跃。

近二十多年来,优化设计的研究主要在两个方面:优化设计的方法MOD(Method of Optimum Design)和自动寻找优化设计点的方法AOD(Automated Optimal Design)。MOD总的来说有判断法,图解法和解析法几种。在解析法中,又可根据具体的优化问题,分为无约束条件下的极值求解,有约束条件的极值求解以及一些特殊方法^[13]。R.C.Johnson结合机械设计的优化问题,提出了一套独特的优化设计方法MOD^{[9][10]},AOD指的是借助计算机如何自动寻找最优化设计目标函数的优化设计点问题。目前由美国麻省理工学院D.E.Whitney研制的称为PATSH的一套程序,与其它程序相比,具有求解速度快,效率高,要求计算机容量小等优点,很受设计人员欢迎。采用优化设计方法来解决机械设计中的许多优化问题,取得了明显的效益,这种理论设计法的优越性愈来愈为人们所认识。但有些问题仍值得进一步讨论。

1、最优化机械设计与工程设计的关系

从一个产品设计的全过程看，如前所述，一个产品设计得成功与否，决定于设计有关各方面的有机结合和协调一致。在全过程中存在着各种优化问题。而目前最优化机械设计根据各种优化目标在解决零件，结构件的材料选择，几何形状，尺寸大小的确定，以及小部件、机构及结构配置等方面是行之有效的，这些应属于工程设计中的一个部分。从一个产品发展过程来看，当产品处于研制阶段，人们对产品设计中的内在规律还没有完全了解掌握时，试图进行最优化设计显然是不现实的。人们不可能在1900年就提出对内燃机进行最优化设计。因此这阶段的任务是创新设计问题，首先解决“从无到有”的问题，当然亦不排斥力求产品具有好的功能和技术经济指标。当产品生产使用一定时期后，人们对产品存在的问题，内在规律有了比较清楚认识后，采用优化机械设计解决“从有到好”的问题，这才有现实意义。因此从时间和空间观点来看，最优化机械设计处在工程设计范围内。

2、最优化机械设计本身具有一定的局限性

最优化机械设计涉及到数学方面的许多专门知识，并且要熟悉这套优化设计的方法和处理技巧，否则不易取得预期的效果，甚至有可能得出错误的结论，而这种错误往往又很难检查发现，这给广大设计人员带来了一定的困难，并且需要化费很多时间。同时在优化设计时必须正确选择优化目标，防止不切实际的优化设计发生。一般来说只有当采用优化设计所耗费的人力和时间有可能被取得的效益补偿时，这种优化设计才具有现实意义，否则会走向反面，就象法国作家 Voltaire 所说的“*The best is the enemy of the good*”。

(三) 计算机辅助设计

计算机辅助设计是最近二十年来发展起来的又一种新的设计方法，由于设计结果能在显示屏上直观地显示图象，设计人员根据图象又可随时通过输入对设计结果进行修改，以取得最后满意的结果，显然这比一般的打印输出具有更大的优越性，更符合设计人员的语言。同时这种计算机——图象系统是根据人和机的各自特点，按“问题——解答”形式组成的一种“人一机”对话系统，深受设计人员欢迎。它充分发挥了人和机的各自长处，这就能更有效地用来解决工程设计中的许多繁复问题。这方面的工作最早开始于美国麻省理工学院。1963年首先研制出一种称之为 SKETCHPAD 的计算机图象显示系统。当时由于造价昂贵，未能广泛使用。十多年来，由于显象管的成本大大降低，同时由于大型集成块的研制成功和发展，计算机成本也大幅度下降，这样计算机图象显示系统才得到了广泛采用。

在英国，计算机辅助设计的研究工作同样很活跃，各工科院校在不同程度上都开设这门课程，但比较系统地论述这方面的资料还不很多。当前大致有两种看法，一种认为计算机辅助设计的出现和发展，能替代工程设计；另一种看法是计算机辅助设计无疑具有很大的优越性，能大大帮助人们的设计工作，但不能完全代替设计工作^[15]。从设计全过程看，重要的一个阶段是方案设计，需要思维，分析，综合和创新等活动，在这方面计算机目前是无能为力的。另外在分析计算中，计算机只能告诉人们结果是否可行，如果不行，它无法帮助人们找出不行的原因，这还得依靠设计人员的分析判断。当然这仅是一种看法，它并不排斥计算机辅助设计的巨大优越性。

三、初浅的想法

综上所述不难看出,随着科技的飞速发展和人类物质生产的不断提高,国外在“设计”方面作了大量的总结研究工作,至今已成为机械学科中的一门重要科目。暂不管这门科目称为“工程设计”还是“设计学”^[11]或是“机械设计学”,总之这是客观的需要。人们长期的设计活动,为设计工作积累了大量的经验和资料,这在客观上为这科目的建立提供了一切必要的条件。从学科观点来看,如果允许将“机械原理”,“机械零件”或现经充实提高后称为的“机械工程设计”看作为机械设计基础的话,那么在这基础之上,理应还有一门诸如“机械设计学”此类科目,这也是符合逻辑的。这门科目的任务应该是根据当今机械工程设计的特点,总结研究国内外设计过程中的内在规律,以便更好地培养符合我国国情的机械工程设计人才,更有效地指导设计工作。近年来,我国正在积极开展优化设计和计算机辅助设计的研究工作并且取得了很多可喜的成绩,相比之下,对于“设计”本身的总结研究工作,还没有引起人们应有注意和重视,这对于设计人才的培养和设计工作的指导是不利的。因此应该把它提到议事日程上来考虑研究。假如我们对国内外机械设计工作加以认真的总结研究,把设计过程中的内在规律上升到理论,将有助于创新设计的方法加以总结和提高,这将对我国设人才的培养和产品设计的水平有所促进和提高。

主要参考文献

- [1] 刘仙洲, 中国机械工程发明史第一册。科学出版社, 1962年
- [2] Gregory, M.S., History and Development of Engineering.
Longman Group Limited, 1971年
- [3] Thring, M.W., Laithwaith, E.R., How to Invent.
The Macmillan press Ltd, 1977年
- [4] Edited by Gregory, S.A., The Design Method.
London Butterworths, 1966年
- [5] Woodson, T.T., Introduction to Engineering Design.
McGraw-Hill, Inc., 1966年
- [6] Beakley, G.C., Chilton, E.G., Design Serving the Needs of Man.
Macmillan Publishing Co., Inc., 1974年
- [7] Pugh, S., Smith, D.G., Engineering Design.
为研究生开设的讲稿 1981—1982年
Engineering Design Centre, Loughborough university of Technology.
- [8] Hain, K., Applied Kinematics McGraw-Hill, Inc., 1967年
- [9] Johnson, R.C., Mechanical Design Synthesis With Optimization Ap-
plications. Van Nostrand Reinhold Co., 1971年
- [10] Johnson, R.C., Optimum Design of Mechanical Elements John wiley
& Sons, Inc., 2nd Ed. 1980年
- [11] Beitz, W., 设计学 在同济大学机械系讲授 1982年
- [12] Wilde, J.D., Globally Optimal Design John wiley & Sons, 1978年
- [13] Fox, R.L., Optimization Methods for Engineering Design.
Addison-wesley publishing Co., 1973年
- [14] Besant, C.B. Computer-Aided Design and Manufacture.
John wiley & Sons, 1980年
- [15] Pugh, S., Smith, D.G., CAD in the Context of Engineering Design
—the Designer's Viewpoint CAD 76 proceedings 1976年