

● 高等学校教学用书 ●

现代机械设计方法

臧 勇 主编

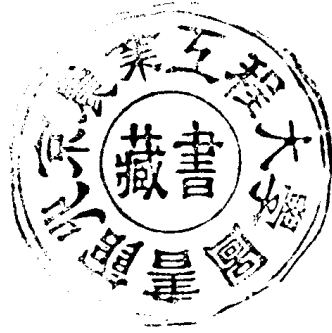
G A O D E N G
X U E X I A O
J I A O X U E
Y O N G S H U

冶金工业出版社

高等学校教学用书

现代机械设计方法

北京科技大学 臧勇 主编



北京
冶金工业出版社
1998

内 容 简 介

本书是为适应科学技术发展和教学体系改革而编写的机械工程与自动化专业(专业机械方向)的一门专业课教材,系统地介绍了现代机械设计的理论和方法。全书共分八章,分别阐述了设计方法学、相似理论及相似设计方法、有限单元法和边界元法、机械最优化设计、机械可靠性设计、计算机辅助设计、动态分析设计等内容。各章内容独立,深入浅出,适应不同读者的需要。

本书可作为机械工程专业的本科生专业课教材,也可供有关专业的研究生、教师和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代机械设计方法/臧勇主编.-北京:冶金工业出版社,1998.9
高等学校教学用书
ISBN 7-5024-2199-8

I.现… II.臧… III.机械设计-高等学校-教材 IV.TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(98)第21320号

出版人 卿启云(北京沙滩嵩祝院北巷39号,邮编100009)

梨园彩印厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

1998年8月第1版,1998年9月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;13·25印张;306千字 201页;1-1500册;
18·20元

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

本书是为适应科学技术发展和教学体系改革而编写的机械工程与自动化专业(专业机械方向)的一门专业课教材。

随着科学技术的迅速发展,特别是自60年代始,许多软科学技术大量涌现,并进入实用阶段,加上计算机和计算机技术的迅速发展,为现代设计科学和设计方法的现代化提供了理论基础和先进手段。机械设计领域发生了深刻变革,进入了一个新的发展阶段。

传统的设计大多是凭借现有的专利、图纸等资料和设计者自己的经验进行,采用的方法基本上是静态的、古典力学的、经验性的,其计算、绘图大多以手工方式进行,所提供的选择方案少,局限性大。而现代的设计方法,是运用系统工程思想,把产品开发和设计放在一个人-机-环境系统中一体化进行。设计过程中,采用动态分析、优化设计、有限单元分析、可靠性分析、价值分析、故障分析、外观造型分析等各种现代方法,使问题的分析动态化。可以说,现代设计是动态的、科学的、计算机化的。

为适应这种变革,要求现代机械专业的学生和工程技术人员对现代设计方法有一个较为全面的了解和掌握。为此我们调整了专业教学体系并编写了这本教材。

现代设计理论与方法是一门广义的综合性学科,它包括了近年来出现的设计方法学及一切用于机械产品设计的相关理论和方法。本书只根据工程实用要求、教学体例安排等,并参照有关著作,编选了部分内容。主要包括如下几个方面:现代设计方法概述、设计方法学简介、相似理论及相似设计方法、有限单元法和边界元法、机械最优化设计、机械可靠性设计、计算机辅助设计、动态分析设计等。本书各章内容既互相关联,又保持相对独立,教师和读者可根据教学和工作需要选取。

参加本书编写工作的有,臧勇(第一章、第二章、第三章和第四章)、杨海波(第五章、第六章)、窦忠强(第七章)、孙志辉(第八章)、权良柱(第三章部分内容)和何亚梅(第四章部分内容)等。由臧勇任主编。

邹家祥教授和吴菊英教授详细地审阅了全部文稿,易秉钺教授也审阅了部分内容,并提出了很多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中,参考了有关著作(详见参考文献),在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中错误及不妥之处在所难免,恳请读者指正。

编 者

1998年2月

目 录

前言	
第一章 绪 论	1
§ 1-1 设计与设计过程.....	1
§ 1-2 设计方法的发展.....	2
§ 1-3 现代设计方法的范畴.....	3
第二章 设计方法学	6
§ 2-1 创造性设计方法.....	6
一、创造及创造性思维.....	6
二、创造能力.....	7
三、创造性设计方法.....	8
§ 2-2 系统分析设计方法.....	11
一、技术系统的组成.....	11
二、系统分析设计方法.....	12
第三章 相似理论及相似设计方法	17
§ 3-1 相似理论.....	17
一、相似概念.....	17
二、相似定理.....	19
§ 3-2 相似准则的导出.....	21
一、方程分析法.....	21
二、量纲分析法.....	23
§ 3-3 模型试验.....	26
一、模型设计.....	26
二、模型试验.....	27
三、弹性结构的相似模型试验.....	27
§ 3-4 相似性设计.....	30
一、系列设计的概念.....	30
二、系列产品的构成.....	30
三、几何相似系列产品设计.....	32
四、半相似系列产品设计.....	33
第四章 有限单元法和边界元法	37
§ 4-1 有限单元法概述.....	37
一、有限单元法的基本概念和分析步骤.....	37
二、有限单元法的发展及应用.....	39
§ 4-2 有限单元法模型结构的离散化.....	42
一、建立数学模型.....	42
二、单元划分.....	43

三、载荷移置.....	46
四、约束简化.....	47
§ 4-3 有限单元法单元特性的导出.....	48
一、单元位移函数.....	48
二、单元的应变和应力.....	51
三、单元刚度矩阵.....	52
四、单元载荷移置.....	54
§ 4-4 整体分析.....	55
一、节点平衡方程.....	55
二、总体刚度矩阵的建立.....	59
三、总体刚度矩阵的特性及存贮.....	60
四、边界约束的处理.....	61
§ 4-5 边界单元法.....	62
一、概述.....	62
二、边界元法基本方程的导出.....	63
三、边界元法的离散化单元.....	65
四、数值计算过程.....	68
第五章 机械最优化设计	71
§ 5-1 最优化设计的基本概念.....	71
一、概述.....	71
二、最优化设计的基本要素.....	72
三、约束非线性规划的若干重要概念.....	74
四、非线性规划数值算法及收敛条件.....	78
§ 5-2 无约束最优化方法.....	79
一、一维搜索计算方法.....	80
二、变尺度法.....	82
三、POWELL 法.....	84
§ 5-3 约束问题的最优化方法.....	88
一、起作用约束集的概念.....	89
二、广义简约梯度算法.....	90
三、惩罚函数法.....	95
第六章 机械可靠性设计	100
§ 6-1 可靠性概论.....	100
一、可靠性的基本概念.....	100
二、可靠性的尺度及其定义.....	101
§ 6-2 机械强度可靠性设计.....	103
一、机械可靠性设计的主要特点.....	103
二、机械可靠性设计原理——应力-强度分布干涉理论.....	103
三、零件工作应力分布的确定.....	107

四、强度分布的确定.....	108
五、强度可靠性计算条件式与许用可靠度.....	110
六、强度可靠性设计方法及步骤.....	111
§ 6-3 各态强度-应力分布模式的可靠度计算.....	115
一、应力和强度均呈对数正态分布时的可靠度计算.....	115
二、应力和强度均呈指数分布时的可靠度计算.....	116
三、应力呈指数(正态)分布而强度呈正态(指数)分布时的可靠度计算.....	116
§ 6-4 疲劳强度可靠性分析.....	118
一、S-N 曲线及 P-S-N 疲劳曲线.....	118
二、P-S-N 曲线的绘制原理和方法.....	123
三、机械零件的疲劳极限分布.....	125
四、机械零件的疲劳强度及其可靠度.....	125
第七章 计算机辅助设计	129
§ 7-1 概 述.....	129
一、计算机绘图、计算机图形学与计算机辅助设计.....	129
二、CAD 系统的硬件.....	131
三、CAD 系统的软件.....	134
四、机械 CAD 技术的现状.....	135
§ 7-2 机械产品设计方法——智能产品建模.....	136
一、机械产品的设计过程.....	136
二、机械产品的智能建模.....	136
§ 7-3 智能型参数化绘图与设计系统 SIGRAPH-DESIGN 简介.....	140
一、系统特色.....	140
二、屏幕布局.....	142
三、菜单的组织.....	143
四、系统的主要功能.....	145
§ 7-4 AutoCAD 绘图软件.....	146
一、AutoCAD 的特点与基本操作.....	146
二、实体绘图命令.....	150
三、图形编辑命令.....	153
四、显示控制命令.....	156
五、图层、线型、颜色.....	157
六、图块.....	159
七、辅助绘图命令.....	160
八、尺寸标注.....	162
九、三维实体造型.....	164
十、AutoLISP - AutoCAD 二次开发工具.....	166
十一、ADS - AutoCAD 开发系统.....	170
第八章 动态分析设计法	173

§ 8-1 频响函数(传递函数).....	173
一、频率响应函数的概念.....	173
二、具有粘性阻尼单自由度系统的频响函数.....	173
三、具有结构阻尼单自由度系统的频响函数.....	176
四、频响函数的特性曲线.....	176
五、多自由度系统的频响函数.....	180
§ 8-2 模态分析基础.....	183
一、模态分析的概念和基本方法.....	183
二、多自由度系统的实模态分析.....	183
三、多自由度系统的复模态分析.....	186
§ 8-3 模态参数识别.....	189
一、概述.....	189
二、模态参数的频域识别方法.....	190
三、模态参数的时域识别方法.....	193
§ 8-4 模态分析的应用.....	196
一、故障诊断与状态监测.....	196
二、振动载荷的识别.....	197
三、结构的动力修改.....	198
参考文献	200

第一章 绪 论

§ 1-1 设计与设计过程

一、设计

设计,是人类征服自然改造世界的基本活动之一;是在有限的时空范围内,在特定的物质技术条件下,人们为满足一定的需求而进行的一种创造性思维活动的实践过程。

一般来讲,它是从给定的合理的目标参数出发,通过各种方法和手段创造出一个所需要的优化系统或结构的过程。所以,任何设计都是开发和创造新的系统和结构的过程。用通俗的话讲,就是把各种先进的科学技术成果转化为生产力的一种手段和方法。

具体地说,设计就是提出或拟定把某些人工制品组装起来的方案,或者是对人工制品提出改进的措施,以便最佳地(在给定的约束条件下)满足人们某些特殊的需求。

任何设计活动都具备如下特征:

(1) 所有的设计活动都受到时间和空间的限制,此即设计活动的时空性特征。这主要表现在设计活动所处的时间阶段和地域的不同,设计技术水平和设计周期等是不一样的。这是因为在不同的时间阶段和地域,人们所掌握的技术信息和技术手段是不同的。人们对客观世界的认识能力和创造精神的发挥也是不一样的。

(2) 所有的设计活动都是在特定的物质条件约束下进行的。这是设计活动的物性特征,主要体现在设计受到可利用的资源(如工程材料、经济条件、使用场所)、社会条件等诸多因素的限制。

(3) 所有的设计都是为满足某种要求,这称之为设计的需求性特征。这也是科学研究和工程设计的最大区别。科学探索从好奇心开始,设计过程则从需要出发。“科学家研究现在的世界,工程师创造过去没有的世界(Von Karman)”。

(4) 创造性为设计的又一重要特征。只有设计人员和设计成果具有创造性,才能满足人们不断更新的需求。

(5) 设计活动的过程性特征。任何设计都不是一蹴而就的,而是一个时间过程。这就要求我们重视设计过程中所应用的方法,以提高工作效率,缩短设计周期。同时,设计是一种综合运用多种学科知识创造出新物质条件的实践活动,是有别于纯粹理论研究过程的。这就要求设计工作人员的个人素质、设计工作的组织协调、工作环境及具体条件都要与这一实践活动相适应,否则将影响设计工作的进程和最后结果。

二、设计过程

一个将提供的物质资源转化为技术装置以满足客观需求的实践活动就是一个设计过程。一般来讲,设计过程大致由下列环节组成:

- (1) 根据需求提出设计任务;
- (2) 调查研究、掌握信息;
- (3) 提出明确、详细的设计要求;
- (4) 方案构思、初评最佳设计方案;

- (5) 选择模型、确定参数;
- (6) 详细设计;
- (7) 制造加工;
- (8) 样机试验、设计评定;
- (9) 设计改进、生产使用。

在设计过程中, 以上各步骤间存在着严密的逻辑关系, 既不能颠倒, 也不可随意跳跃。在一次设计过程中为获得满意的产品设计, 在各个步骤之间存在着各种循环。因此设计又是一个根据各种信息反复做出判断的过程。另外, 产品设计完成后, 由于时空、条件的变化, 原有设计已不满足新的要求, 这就要对产品进行改进设计, 进入一个新的设计循环过程。产品就是经过这种反复循环, 不断改进、更新、升级, 甚至换代, 呈螺旋形向前发展。

§ 1-2 设计方法的发展

设计方法可以理解为设计中的一般过程及解决具体设计问题的方法和手段。前者可认为是战略问题, 后者是战术问题。设计方法的研究包括设计步骤和程式以及与之相联系的解决具体设计问题的方法和手段的研究。

根据人类设计发展历史, 可以将设计方法的发展划分为四个阶段:

1. 直观发展阶段

人类在改造自然、利用自然资源以满足人类社会需求的历史中, 一直在从事着设计活动。但在最初阶段, 这完全是靠人的直觉。设计过程是凭当事人的智力和灵感, 在实践中不断摸索而自发进行。一项新产品的问世, 周期很长, 且一般无经验可以借鉴, 是一种有很大偶然性的自发设计。

2. 经验发展阶段(传统设计阶段)

到了 17 世纪, 数学和力学得到了很大发展并建立了密切联系, 使工程设计有了一定的理论指导。但从总体上看, 由于实际情况的复杂性, 设计计算所用的数学公式仍是一些经验公式, 对一些不确定的因素, 只能用依靠经验确定的系数来考虑。这时, 设计过程仍是建立在经验与技巧能力的积累之上。人们依赖通过实践积累起来的丰富经验, 作为设计计算和类比的主要依据; 将现成产品作为参考, 经过多次设计--试制的反复、循环, 再最后定型投入生产。它虽然较自发设计前进了一步, 但周期仍长, 质量也不易保证。这就是传统的常规设计阶段。

3. 中间试验辅助设计阶段

随着测试技术的发展, 取得系统或机器工作过程内在规律的数据有了可能, 于是开始采用局部试验、模拟试验, 作为设计过程的辅助手段。通过中间试验取得较为可靠的数据, 选择合适的结构, 从而缩短了试制周期, 提高了设计的可靠性。

4. 现代设计阶段

近 30 年来, 随着科学技术的迅猛发展, 特别是计算机的发展和普遍应用, 为进行有关设计中的理论分析、数值计算和物理模拟等提供了极为有利的条件。系统论、控制论、信息论、突变论等等一系列横向交叉学科的发展, 使辩证唯物主义的哲学思想具体应用于科

学领域，打破了长期以来的孤立、片面、静止地观察和思考问题的方法。工程设计吸收了当代科学的成果，逐渐形成了自身的科学体系—现代设计方法，即研究现代设计规律、方法、程式等的学问。这是一门多元性的新兴交叉科学，它将当代各种先进科学方法融于设计之中，使设计工作完全不同于以往的传统设计，设计工作的面貌焕然一新，设计领域开始产生了突破性的变革。

将传统设计方法和现代设计方法比较，可以说传统设计方法是静态的、经验的、手工的方法；而现代设计方法是动态的、科学的、计算机化的方法。传统设计方法是被动地重复分析产品的性能，而现代设计方法则可能做到主动地设计产品参数。

关于现代设计方法的研究，以德、英、日、美等工业发达国家最为先进和迅速。

德国学者和工程技术人员比较注重研究设计的进程、步骤和规律，进行系统化的逻辑分析，并将成熟的设计模式、解法等编成规范和资料供设计人员参考。早在1963年，他们就举办了全国性的“薄弱环节在于设计”讨论会，制订了有关设计工作的指导性文件；举办有关产品系统规划、创造性设计与发展、CAD等问题的专题培训班和研讨会，并在高校开设了设计方法的课程。

英、美比较注重分析创造性开发和计算机在设计中的应用。英国自1963年，开始提出工程设计思想后，广泛开展了设计竞赛，加强设计过程中的创造性开发、技术可行性、可靠性和价值分析等方面的研究，提高了其设计水平。美国是创造性设计的首倡者，在CAD方面也做出了许多贡献。1985年9月由美国国家科学基金会发起、美国机械工程师学会(ASME)组织，召开了“设计理论和方法研究的目标和优先项目”研讨会，会后成立了“设计、制造和计算机一体化”工程分会，制订了设计理论和方法的研究计划，还成立了由化学、土木、电机、机械和工业工程以及计算机科学等领域代表组成的指导委员会。

日本主要是利用其国内电子技术和计算机方面的优势，在创造工程学、自动设计、价值工程方面做了不少工作。前苏联和东欧国家也在宏观设计的基础上提出了“新设计方法”等。

现在国际上经常组织一系列关于设计方法和理论的国际会议(如 ICED—工程设计国际会议)。

近年来我国也已经广泛开展了对现代设计方法的研究，成立了各种研究协会和组织，各方面研究取得了实用成果，出版了一批专著和论文，在各高校也已相继开设了此方面的课程。现在，现代设计理论和方法已开始在我国各个方面推广应用。

各国虽在设计方法研究的内容上各有侧重，但共同的特点都是总结设计规律，启发创造性，采用现代化的先进技术和理论方法，使设计过程自动化、合理化。其目的就是设计出更多质高价廉的工程技术产品，以满足人们的需求和适应日益尖锐的市场竞争。

§ 1-3 现代设计方法的范畴

现代机械设计理论与方法是一门广义的综合性学科，它包括了近年来出现的设计方法学及一切用于机械产品的相关理论和方法。不过从一件产品的设计角度来看，它又是狭义的，可以理解为各个环节具体应用的现代方法和技术。本书主要介绍后者。

现代设计方法实质上是科学方法论在设计中的应用。根据当前科学方法论的发展,涉及广义设计和分析方法的方法论,经聚类分析以后可以简要归纳为下列具有普遍意义的方法:

1. 信息论方法。以历史性和试验性数据为分析依据以取得原始设计参数的方法。主要包括预测技术法、方差分析法、相关分析法、谱分析法、信息合成法(信息分析法)等等。信息处理是现代设计的依据。

2. 系统论方法。以整体系统为研究对象的方法。如系统分析法、聚类分析法、逻辑分析法、模式识别法、系统辨识法、人机工程法及设计方法学等。系统分析是现代设计的前提。

3. 控制论方法。以控制与动态作为深化分析,以取得更符合客观变化的参数。如动态分析法、振荡分析法、柔性设计法、动态优化法、动态系统辨识法等。动态分析可说是现代设计的深化。

4. 优化论方法。以满意和优化为目标的分析、设计方法。主要内容有优化设计法和优化控制法。广义优化是现代设计方法的目标。

5. 对应论方法。以相似和模拟分析、设计为主要途径,以取得设计参数。主要有相似设计法、模拟分析法、仿真技术、仿生技术等。相似模拟可以说是现代设计的捷径。

6. 智能论方法。以发挥智能载体(人、机、生物、有机物等)的作用为核心的方法。如CAD(计算机辅助设计)、计算机辅助计算、CAE(计算机辅助工程)、智能机械化方法等。智能的应用是现代设计的核心。

7. 功能论方法。有限寿命是自然和社会的客观现实,以实现在有限使用寿命内设计对象的经济有效功能为宗旨的方法。如可靠性预测和可靠性设计、功能价值工程、安全与故障诊断等。

8. 离散论方法。事物,特别是复杂广义系统由离散体组成,是自然与社会的另一个基本客观现象,因此用离散化处理方法近似确定参数作为复杂系统的细解,称为离散论方法,其主要方法有有限单元法、边界元方法、离散优化、子模态分析及其它应用离散数学技术的方法。

9. 模糊论方法。事物的模糊性是一大量的客观存在,所以,应用模糊分析的量度方法(以避免精确的数学方法)是现代设计分析的发展和补充。其方法目前主要是运用隶属函数的论域法,以进行模糊分析、模糊评价、模糊控制及模糊设计等等。所以说模糊定量是现代设计的发展。

10. 突变论方法。事物的突变是产生突破的机理,以突变创造为基础的方法,称为突变论(创造性)方法。如创造性设计法等。突变创造是现代设计方法的基础。

11. 艺术论方法。以悦目宜人为主要目的的美学设计。如艺术造型等。

上述每种方法论虽是普遍适用的,但也有最适宜的应用范围。从当前的时代特征及现代设计法的规律来看,突变创造、智能方法、信息分析和广义优化,则起着决定性的作用,并贯穿于其他方法之中。

以上是从总体上看现代设计方法。实际上,在各个具体的设计阶段,必须采用各种相应的现代设计方法(技术)以解决具体问题。目前常用的现代设计方法有:技术预测法、创造性设计法、系统论设计法、信号分析方法、相似设计方法、模糊设计法、动态分析方法、

有限单元法和边界元分析设计方法、优化设计法、可靠性设计法、计算机辅助设计(CAD)法及艺术造型设计法等。

设计的时间、程式和上述具体设计技术就构成了一个三维的“系统工程设计方法”模式。它是一个考虑多因素、多层次的复杂的科学方法体系。

本书将针对机械工程设计的特点，有选择地介绍现代设计方法中目前常用的具体技术。

第二章 设计方法学

设计方法学(Design Methodology)是研究产品设计的程序、规律及设计中的思维和工作方法的一门新型综合性学科。其研究内容可以概括为:

- (1) 研究设计过程、各阶段的任务和特点,寻求符合设计规律的设计程序;
- (2) 研究设计中解决问题的合理逻辑步骤和应遵循的工作原则;
- (3) 分析设计中的思维规律,研究设计人员科学的创造性的思维方法和技术;
- (4) 研究各种类型设计(如开发型设计、变型设计、反求设计等)的特点,以及系统工程、创造工程、价值工程、优化工程、可靠性工程、相似工程、人机工程、工业美学等现代理论与方法在设计中的应用;
- (5) 研究设计信息库(设计目录)的建立和应用,如各种知识库和方法库的建立和应用;
- (6) 研究设计步骤、理论、方法如何结合计算机等先进工具的运用,进一步促进设计自动化的实现。

总而言之,设计方法学是在深入研究设计过程本质的基础上,以系统论的观点研究设计进程(战略问题)和具体设计方法(战术问题)的科学。设计方法学本身现已成为现代设计科学的一个重要组成部分。

设计方法学的具体内容很多,其范畴目前也尚无定论。本章仅简单介绍涉及设计战略的创造性设计方法和系统设计方法,这也是设计方法学中最重要、最基本的方法。

§ 2-1 创造性设计方法

创造性设计方法是现代设计方法的基石。设计中是否注重创造性,是区别现代设计和传统设计的重要标志。在工程设计中,无论是确定技术原理、技术过程,还是确定系统的功能结构,乃至具体零件的尺寸、形状、制造方法等,充分发挥人的创造潜力,用创造性的方法求解问题,可能获得始料未及的突出效果。

一、创造及创造性思维

创造,根据辞海释义,就是首创前所未有的事物。人类的文明史就是一部创造史。社会就是在人类不断创造新事物以满足人类需求的活动中得到进步和发展的。这些主要靠工程设计来实现。所以工程设计的根本意义就是创造。实际上,“工程”一词来自拉丁文,其原意即为创造。

从“思维心理学”角度来讲,创造是人的全部体力和智力都处于高度紧张状态下的一种活动。创造活动的进程是动态的变化的,是一个过程,是可以划分出阶段和步骤的。它大致可以分为:

- (1) 准备阶段——提出问题、搜集资料和定向科学分析等;
- (2) 创造阶段——构思、顿悟和发现等;
- (3) 整理结果阶段——验证、评价和决策等。

在创造过程中,人的心理活动达到最高水平,或者说大脑处于高度紧张状态的创造性

思维。它是铸成创造性成果的唯一思维方式。创造性思维反映事物本质属性和内在、外在有机联系，是具有新颖的、广义的、可以物化的一种思想心理活动。这种思维活动具有如下特点：

1. 独立性。就是能突破框框，敢于提出与前人、众人不同的见解，具有真知灼见。从因素分析学说研究，这种独立性又存在三种“因子”：一是“怀疑因子”，即敢于对“司空见惯”或“完整无缺”的事物提出否定或怀疑；二是“抗压因子”，即能突破陈规陋习，锐意进取创新，勇于向旧的传统和习惯挑战；三是“自变因子”，即能主动否定自己，打破“自我束缚”。

2. 连动性，也称为推理性。思想活跃，具有由此及彼的思维能力。对于任何现象和想法，善于由此及彼地、合理地进行逻辑推理。其表现形式有三种：一是“纵向连动”，即发现一种现象后能立即推向纵深，究其根源；二是“横向连动”，当看到一现象后，能扩展思维，想到与之相关联的事物；再就是“反向连动”，即看到一现象后，能联想到其反面。

3. 多向性。善于从不同的角度想问题，以便寻找新的思路和解法。这种思维之所以能获得成功，主要通过下列几种途径：一是“发散”，即在一个问题面前，尽量提出多种设想和方案，拓宽选择范围；二是“换元”，即灵活地变换影响事物的诸多因素中的一个，从而产生新的思路；三是“转向”，即当思维在一个方向受阻时，便马上转向其他方向；四是“创优”，即力求寻找最优解。

4. 跨越性。从思维进程而言，能省略思维步骤，加大思维跨度；从思维条件而言，能跨越事物可现度的限制，迅速实现事物的“虚体”到“实体”的转化。

5. 综合性。善于把现有的各种信息、现象、概念等加以综合概括，加以应用，以解决问题。这要求具备三个方面的能力：一是“智慧杂交能力”，善于提取前人智慧宝库中的精华，通过巧妙结合，形成新的成果；二是“思维统摄能力”，即把大量的概念、事实和观察材料进行分析综合，概括整理，形成科学概念和系统；三是“辩证分析能力”，即对占有的材料进行分析综合，灵活对待，从中选取有用的东西。

二、创造能力

创造思维的运用即表现为各种创造能力。创造心理学认为，创造才能包括以下诸方面：

1. 探索问题的敏锐性。即能敏锐地通过一些简单的、人们司空见惯的现象去思索、求解，最终得出正确揭示事物本质的规律。如牛顿通过苹果落地得出万有引力定律。

2. 统摄思维活动的的能力。思维过程总是从推论的一个环节逐渐过渡到另外一个环节，但最重要的是始终把握事物的全过程，以便了解事物的全貌。统摄思维活动的过程，就是用一个概念取代若干个概念的过程，这集中的表现在应用内涵更加丰富、概括力更强的符号的能力，也就是高度抽象的能力。明晰而简洁的符号标识就是履行统摄功能的重要手段。那么数学的发展，引进了巧妙的符号体系，作出了优美的符号表达，为创造性工作提供了强有力的工具。

3. 转移经验的能力。把已取得的经验用来解决类似问题时，就是运用经验转移的能力。其中，寻找类似是转移经验的必要条件，所以要具备转移经验的能力，就得先具备发现类似的能力。

4. 侧向思维能力。利用相离较远的领域的信息等获得启示的思维方法，就是侧向思维。广泛涉猎一切领域，可以大大提高创造成功的机会。阿基米德解决厄洛王的“金冠之谜”就是侧向思维成功的一个很好例证。侧向思维一般要在所研究问题成为研究者坚定不移的研究目标，在研究者的大脑中形成“优势灶”之后，才能发挥作用。

5. 形象思维的能力。人的感觉器官的不同类的感觉相互联系，经过综合以后，在大脑中形成所觉知的外界事物的感性形象，就是所谓的映象，又称表象，而应用表象进行的思维活动就是形象思维。形象思维属感性认识，是初级的认识活动。但是创造性的形象思维却是把表象重新组织安排、进行加工，创造出新的形象。这也是科学家、特别是工程设计人员工作时所必不可少的。

6. 联想的能力。就是那种使概念相接近，并且从中引出正确的、新的结论的能力。

7. 记忆力。对各个领域知识的博闻强记，大量积累，是人们进行创造性活动的重要条件。

8. 思维的灵活性。思维迅速地、轻松方便地从一类对象转移到一类内容相距甚远的对象上的能力，称作思维的灵活性。它包含两个方面的涵义，一是思路开阔，思想活跃；二是能适时地抛弃显然是错误的假说。

9. 评价的能力。就是从许多可能的方案中选定优化适用方案的能力。

10. “联结”和“反联结”的能力。联结，就是人们在知觉的时候，把所感知的对象联结起来，并且把这些新的信息同以前的知识和经验迅速地结合起来。而反联结就是使知觉和以前积累的知识相对抗，避免“先存知识”的压力，即避免通常所说的“先入为主”。

另外还有其它一些能力也是创造性才能所应包含的，如产生思想的能力、预见的能力、运用语言的能力、完成的能力等等。实际上，这些能力是每个人都具备的，但又都是互有长短。问题是，我们要通过认识这些能力，正确的认识评价自己，科学地、有计划地培养、训练自己的创造才能，并能较合理地组织应用它们，以适合事业的发展。

三、创造性设计方法

创造性发明(设计)也是有方法可循的。下面扼要给出一些常用的创造性思维方法和创造性技法，供大家参考。它们都是人们曾经使用过的做法的归纳和总结。

1. 直觉思维法

直觉思维，又称灵感。利用某一闪念的灵感，将两个或两个以上互不相关的观念串在一起而得到问题新的解法或新的发现的方法，称为直觉思维法。属于这类的具体方法很多，这里仅简单介绍几种。

(1) 智暴法

指抓住瞬时的灵感意识流而得到一些新想法的方法。这些想法有时可能显得不着边际，近于胡思乱想，五花八门，但它们却具有打破常规、突破“框框”的特点。灵感和顿悟不是靠天才，只有在大量的知识经验积累和长期思索之后才可能产生。

(2) 集智小组会

它是建立在个人“智暴”基础上的，类似我国的“诸葛亮会”。它是1950年首先由美国的奥斯本(A.F.Osborn)提出来的。具体方法是：针对一个既定目标，召集5~10位不同专业、不同经历的有关专家开会；与会者自由发言，各抒己见，思路越广、方案越多越好；

允许与会者改进自己的设想，也可综合别人的设想；会议组织者只起引导作用，不作任何评价和结论，力戒“思维扼杀”。

这种方法可以克服个人知识和经验的局限，使与会者能相互启发，思路开阔，从而引起创造性设想的连锁反应，一下子可获得很多方案。

(3) 专家预测法

这种方法是美国的咨询机构兰德(RAND)公司在 50 年代首先使用的。其方法是：组织者针对有关问题编写一个意见征询表，分发给一定范围的有关专家，请他们以书面形式充分发表意见和见解。将这些意见和见解收集、统计整理后，再编写意见征询表，征求专家意见。通过多次反馈，意见和见解会逐渐集中明确，从而得到较好的设想、预测和决策。

这种方法和集智小组会相比，可以避免专家之间可能出现的互相妨碍和无形压力，专家可以有较为充分的时间考虑问题，不受空间距离限制等。

2. 推理思维法

推理思维法也是一类重要的创造性技法。它的特点有二：一是在逻辑推理、启发思考和强制联想的基础上扩展思路；二是在分析的基础上推理，即经过分析，把一个复杂问题细分为一些较为简单的小问题，再通过分析每个问题的各种影响因素，有针对性、有步骤地进行推理，寻求解法。这类方法的具体做法很多，下面几种是其中较为典型的。

(1) 奥斯本提问法

针对研制的新产品提出并回答下列问题：

- ① 就现有产品稍加改进，能否有新的用途？
- ② 能否借用别的经验和发明？过去有类似的东西吗？有什么东西可供模仿？
- ③ 能否对产品进行某些改变？如改变运动方式、元件形式和颜色等。
- ④ 能否增加、减少一些东西？如组件数量、体积尺寸等。
- ⑤ 能否相互变换？如改变结构、改变顺序、元件互换、变换速度等等。
- ⑥ 能否把某些东西颠倒过来？如上下、里外、正反颠倒。
- ⑦ 能否代用？如代用其它材料、元件工艺、动力等。
- ⑧ 能否形成组合？如目标组合、方案组合、部件组合、材料组合等等。

(2) 阿诺德提问法

针对设计过程中为解决各种问题而制订的检验表法。提出并回答下列问题：

- ① 增加功能——在原有基础上能增加新的功能吗？
- ② 提高性能——在便携、耐用、可靠、修理、保养等方面能否有所改善？
- ③ 降低成本——是否能用去掉多余零件、选择便宜材料、采用简便制造工艺等方法来减少费用、降低成本？

- ④ 增加销售——对商品特点、产品包装等是否作了研究，更有利于销售？

(3) 参量提问法

分析影响某系统的各个参量，然后针对参量分别提出问题，以深入剖析或综合该系统。如针对影响轴毂连接的各参量可以提出下列问题：

- ① 有哪些连接原理？
- ② 每种原理有哪些结构型式？
- ③ 从几何形状上可作哪些改变？