

工程设计学丛书

第六册

自动设计

[日] 中尾尚正 编

机械工业出版社

作者以自动设计是一个技术体系的观点,在本书中从适应机械工程学的角度,对自动设计问题予以广泛解释,并结合基本设计到生产准备的整个过程说明自动设计的方法及外围问题,并详细解释了实例。全书共分九章:概论、设计理论及方程式的程序化、最佳设计方法、元件形状的确定、生产系统与生产指令、设计实例:锅炉、核反应堆、飞机的设计以及自动化的外围问题。

这套《工程设计学丛书》还包括:《工程设计学基础》、《机械系统设计》、《可靠性设计》、《生产性设计》、《设计信息处理》和《创造性设计》等。

本书适合于机械工程设计人员、工科院校师生阅读。

設計工学シリーズ 6

自動設計

中島尚正 編

丸善株式会社 1971

* * *

工程设计学丛书 第六册

自動設計

〔日〕 中島尚正 編

李永新 译

*

机械工业出版社出版 (北京阜成門外百万庄南街一號)

(北京市书刊出版业营业許可証出字第 117 号)

北京市密云县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $10 \frac{3}{4}$ · 字数 230 千字

1983年1月北京第一版·1983年1月北京第一次印刷

印数 0,001—8,600 · 定价 1.65 元

*

统一书号: 15033 · 5359

工程设计学[⊖]丛书出版序言

“设计工程”这个词，现在是不是已经被普遍承认为一个正式的工程术语了呢？关于这个问题说法不一。但是，设计工程（Design Engineering）这个词实际上在国内 外 工程界人士之间已经常常提到，在一些书刊上也已经出现。因此我想不久的将来它一定会成为普遍承认的通用术语，它的内容也会愈来愈明确。

什么是工程设计学呢？用一句话来说，我想下面的说法可能大体不错，即“为了找出高效率完成高质量设计的方法而对工程设计的本质进行研究的学问就是工程设计学”。

人们一向认为，好的设计人员是靠以经验为基础的技能训练培养出来的。其实不但设计，其他学问、体育运动等，凡造诣精深的，也都是如此。但必须承认，这一点对设计来说尤其突出。然而，由于有经验的设计人员过分固执于“曰难言也”[⊖]的态度，致使许多年轻的设计人员屡屡重犯前人的错误。教育期间所花费的时间精力也容易造成很大的浪费。为了减少这种浪费，建立起工程设计学，把对于设计来说至少无大错的思路记述下来，这样的努力恐怕不会是无用的。

这种广义的工程设计学对于一切工程领域都是适用的。

⊖ 原文书名为“設計工学”，可译为设计工程，考虑到这套丛书的内容为各类工程均适用的设计方法学，故中文译为工程设计学。全书正文中按照概念的区别而分别采用上述两种不同译法。——编者

⊖ 见于《孟子·公孙丑上》：“敢问何谓浩然之气，曰难言也。”——译注。

而且不只是工程领域，对于自然科学研究、商业等，至少是其中的一部分，凡人们为达到某种目的而制订计划的场合都是可用的。但是，这样广义的工程设计学，不但要包罗整个工程界的，而且要包罗工程界以外的共性内容，单只包罗太广这一点就已经是个难题，再加上这样做就会过分抽象化，最后会变得难于理解和枯燥无味。基于这样的考虑，本丛书的主要范围确定为机械工程领域。这样做的原因之一是，编辑者和执笔者大部分是机械工程界人士；还有一个原因则是机械工程设计可以作为工程设计的一种典型。一切工业产品最终都要具体化为“硬件”，而实现“硬件化”就要靠机械工程。因此，即使从这个意义上讲，也可以把机械工程看作一切工程的雏型。在机械工程学中一直有一门称为“机械设计”的学科，在这门学科里总是在“机械设计指针”、“机械设计守则”之类的名目之下多少谈到有关设计全局的一些问题。在这类“机械设计”教程内，学习的主要目的是掌握机械零件方面的知识。要求机械设计人员完成的设计必须是能够给出所有设计的具体的空间形状尺寸和材料的东西，一般表现为“设计图纸”的形式。在这种机械设计的最后阶段，对于机械零件的知识是不可缺少的，因此以机械零件为学习目标的“机械设计”的重要性是不言自明的。但是，不能否认，以往的“机械设计”，对于设计的全局性问题的研究很不够，虽然可能培养出能从事细节设计的设计人员，但对于培养具有更广阔视野的设计人员来说就显得非常不够。在“工程设计学”中也有在这方面加以充实，对以往的“机械设计”加以增强的意思。

“工程设计学”的出现，不言而喻，是近年整个工业的迅速发展促成的。也就是说，工业大发展——包括好坏两方

面的意思——的结果，社会对工业和工程学的要求愈来愈严苛，工业和工程学对社会的责任愈来愈重大，因此，从事工业和工程学的人们，一方面要考虑远比过去错综复杂得多的许多条件，同时又必须尽心竭力追求“更好的设计”。

尤其不能忽视的是电子计算机的进展。过去是“人干的事情”，现在成了计算机的工作，这类事例很多。在“设计”工作中如有适于由电子计算机进行的部分，把这部分工作找出来，最大限度地利用电子计算机，而把人力集中于更适于由人进行的部分，这样做当然更合理。为此，我们必须对一向所说的“设计”工作进行一番彻底的分析，用新的观点加以评价。

考虑到“工程设计学”的这种重要性，我们筹划了这套工程设计学丛书的出版。由于“工程设计学”的体系还不十分确定，在这套丛书的筹划过程中，对于应当包括哪些内容，曾经颇费苦心，经过多次会谈商讨，最后决定其组成如下：

一、工程设计学基础 第一册“工程设计学基础”是为读者学习第二册到第七册作准备而编的。首先，在第一章“工程设计学绪论”中概述了人类社会与工业技术的关系、工程学和工程设计学的概略；在第二章“创造”中论述了工程设计中创造能力的重要性和创造能力的培养方法；在第三章“工程分析”中概述工程设计中的分析方法；在第四章“决策论”中概述工程设计判断的重要性和决策方法；在第五章“设计业务管理”中概述工厂中设计业务的分析及其管理；在第六章“自动设计”中概述了用电子计算机实现部分设计工作自动化的问题；在最后一章第七章“未来”中论述了未来的工程学和工程设计学在未来人类社会中应当完成的使命。

二、机械系统设计 这一册说明,把机械视为系统时会产生什么样的新问题,其设计如何进行。所选择的对象是系统的效果表现得最明显的自动化装置。即具体地叙述从机械运动机构和流体机械等的基础系统起,到伺服机构、自动化工厂、自动化仓库、化工成套设备等复杂系统的综合设计。

三、可靠性设计 提出可靠性要求的背景是机器产品的复杂化和对机器功能要求的提高。本册对什么是可靠性进行了广泛的探讨,提出了消除产品故障的问题(狭义可靠性)、在考虑人的特点和局限性的前提之下如何使人对机器的运转和操纵更方便的问题(人机工程学)、机器工作不正常时容易修理的问题(维修性),并说明了在设计阶段如何考虑这些问题,考虑的思路和处理的方法。

四、生产性设计 机械产品的整个研制过程包括开发性研究、规划、试制品设计、产品设计、制造、试验、运转使用等,可以把这个过程看作生产系统。生产系统中有关生产率、可靠性的技术情报,经过再循环、集约化,在机械产品的设计阶段才算有了归宿。本篇特别注意于将生产系统中有关生产率的技术情报有效地集中于设计之中,包括了从系统工程学出发的基础篇以及以提高生产率为目的的多篇机械设计技术各论。

五、设计信息处理 第5册《设计信息处理》一书首先说明设计信息的特点及其流通和处理;其次详细介绍了作为设计输出信息的图纸,图纸管理以及图纸处理所用的各种器材;最后具体地介绍了设计技术情报的加工,存贮和检索的方法。可见,本册以工程数据处理(Engineering Data Processing)为主题,是一本说明设计技术人员对此应有的认识以及介绍具体运用设计情报的途径的启蒙书。

六、自动设计 所谓自动设计可以说是这样一种系统，在这里，设计过程中能用计算机做的事情尽可能用计算机，省去人的日常事务，使技术人员尽可能从事创造性活动。自动设计的范围极广，本书以设计图形处理、设计计算机、与生产的结合三个问题为主要线索来说明自动设计的方法，同时还举出锅炉、核反应堆、飞机等具体设计实例作详细的解释，并试图对将来做一番展望。

七、创造性的设计 工程技术是创造性设计活动的产物。然而创造性地生活、创造性地工作并不是容易的事。

关于创造性，创造开发之类的书刊出版了不少，它们的内容尽是生吞活剥，已经说不上什么创造性。本书则是作者通过教育、研究的实践，记录了所遇到的多种多样的问题和情况，以及人们如何抓住问题加以变通和解决，从而展示了创造性设计的一个侧面。

工程设计学丛书的出版发行在日本乃是初次尝试。关于丛书的内容读者肯定会有各种宝贵意见，编者和作者恳切希望听到读者的意见和批评。

本丛书如能对日本的“设计工程”，并进而对日本的工业和工程学的发展发挥一点作用，编者将感到十二分欣幸。

编辑委员代表

北郷薰

一九七一年四月

前 言

自从头一次听到自动设计这个词儿到现在，大约已经过去五六年了。自动设计，同计算机的情况一样，一开始只是引起极少数人的兴趣，而现在在日本的各个设计室里似乎已经变成了常规的东西。

作者由于工作关系，有幸比较早地有机会接触自动设计，于是常常有人来问，要学习自动设计读哪些书刊最合适。关于自动设计的专著已经出了几本，但是自动设计的含意极广，询问者所面对的问题也极为多样，靠已出的几本书是应付不了的。这种情况的出现，我想还有一个原因，那就是自动设计从诞生之日起便是一个技术体系，而且目前又在迅速的向前发展。

由于上述的情况，所以尽管我们明知困难很大，但还是想在有机会时，试着把自动设计技术，就我们的认识所及汇编起来。恰好在这时，经东京大学北郷薰教授的介绍，得知了设计工程丛书的编写出版计划，并且受命执笔编写本书。

在本书编写中，我们特别想着力于以下几点。

1. 凡是属于自动设计的问题都尽可能从适应机械工程学的要求出发予以广泛的解释，并结合从基本设计到生产准备的整个过程，对自动设计的外围问题也进行了探讨。

2. 对于自动设计的将来或发展方向，尽可能直率、大胆地将平时的设想和盘托出。

3. 各章的内容尽可能自成独立体系，因此根据面对的

X

问题只读相应的几章也会使读者获得大体的理解。

4. 对具体实例作详细介绍。

然而，书成之后，通读全书就发现，未能达到预期目标之处比比皆是。各章内容在质和量两方面不平衡就是一例。

但是，想到如果本书对自动设计的发展能起一点作用也是一种欣慰，也就下了出版的决心。

最后，对于在本书编写过程中始终给予指导的东京大学渡边茂教授、主编本书的北郷薰和田稻苗、阿武芳朗各位先生以及对编辑工作尽过力的丸善出版部的各位谨致感谢之意。

中島尚正

1971年4月

目 录

第一章 自动设计	1
1.1 概论	1
1.1.1 自动设计的定义	1
1.1.2 自动设计所必需的知识	4
1.1.3 自动设计系统	7
1.2 自动设计的进展	10
1.3 自动设计的未来	15
1.3.1 人-机系统的改善	15
1.3.2 与数控机床的直联	18
1.3.3 创造性的自动设计	19
参考文献	21
第二章 设计理论、方程式的程序化	22
2.1 计算机系统与程序语言	22
2.1.1 自动设计的硬件	22
2.1.2 自动设计的软件	24
2.1.3 机器语言	30
2.1.4 符号语言	31
2.1.5 通用编译语言	33
2.1.6 专用编译语言	39
2.2 计算式、图、表的程序化	41
2.2.1 理论式、实验式的程序化	41
2.2.2 数表的程序化	49
2.2.3 图表、图的程序化	56
参考文献	61
第三章 最佳设计方法	62
3.1 自动设计与最佳化	62

Ⅱ

3.2 最佳化方法	65
3.2.1 最佳化问题	65
3.2.2 线性规划法	68
3.2.3 非线性规划法	83
3.2.4 动态规划法	100
参考文献	108
第四章 元件形状的确 定	109
4.1 人-机系统	109
4.2 CRT 屏幕显示装置	110
4.2.1 概要	110
4.2.2 CRT 显示装置的结构和原理	113
4.2.3 CRT 显示装置的软件	119
4.3 图形的表述和处理	123
4.3.1 任意曲线的数学式表达	124
4.3.2 任意曲面的数学式表达	134
4.3.3 各种变换与投影	142
参考文献	153
第五章 生产系统与生产指令	154
5.1 计算机与生产系统	154
5.1.1 零件编码化与成组工艺	155
5.1.2 数控机床的利用	161
5.1.3 今后的生产系统	173
5.2 APT 语言与图象APT	185
5.2.1 概论	185
5.2.2 APT 语言	186
5.2.3 图象 APT	193
参考文献	208
第六章 设计实例之一——锅炉设计——	209
6.1 锅炉及其设计步骤	209

6.1.1 锅炉的近期发展情况	209
6.1.2 锅炉设计步骤	212
6.2 自动设计的目的	214
6.2.1 大量反复计算的处理	214
6.2.2 规划阶段的经济比较	215
6.3 热计算的自动化	215
6.3.1 大型锅炉热计算程序实例	215
6.3.2 部件组合式处理方法	219
6.3.3 基本子程序	223
6.4 材料选择的自动化	224
6.4.1 强度计算与材料选择程序	224
6.4.2 最佳化的可能性	227
6.4.3 基本子程序	229
6.5 循环水计算的自动化	232
6.5.1 布置定型化的锅炉	232
6.5.2 部件组合方式的思路	234
6.5.3 基本子程序	236
6.6 设计与成本估算的综合自动化	237
6.6.1 标准型锅炉	237
6.6.2 大型锅炉	240
6.6.3 综合自动化的问题	242
参考文献	243

第七章 设计实例之二——核反应堆的设计（重视最佳化的基本设计实例）——

7.1 核反应堆及其设计内容	245
7.1.1 设计对象：快中子增殖堆	245
7.1.2 设计内容	260
7.2 设计自动化	263
7.2.1 促进设计自动化的主要因素	263

7.2.2 设计系统的研制	265
7.3 设计系统的功能	266
7.3.1 自动设计计算	266
7.3.2 最佳设计点的自动探索	267
7.3.3 研究发展的经济评价	268
7.3.4 实用性	268
7.4 设计系统的组成	269
7.4.1 程序系统	269
7.4.2 用计算机进行最佳化	270
7.4.3 系统的组成	271
7.4.4 对备选方案的探讨	276
7.5 子系统的组成	279
7.5.1 数理计算	279
7.5.2 堆芯部的设计计算	282
7.5.3 冷却系统的设计计算	291
7.6 设计系统的发展	294
7.6.1 设计系统所占的地位	294
7.6.2 设计系统的发展	295
参考文献	296
第八章 设计实例之三——飞机设计 (用 CRT 显示 装置进行设计的实例)——	298
8.1 概论	298
8.2 机翼剖面形状设计	300
8.3 结构分析	303
参考文献	310
第九章 自动设计的外围	311
9.1 综合系统	311
9.1.1 综合系统	311
9.1.2 综合系统与自动设计	313

9.2 情报检索与自动设计系统的建立	318
9.2.1 设计活动的分析	319
9.2.2 情报检索的作用	320
9.2.3 自动设计系统的完成	324
参考文献	328

第一章 自动设计

1.1 概 论*

1.1.1 自动设计的定义

所谓自动设计，就是设计过程中凡能用计算机进行的工作都交由计算机进行，最大限度地减轻人的日常事务的一种设计。

设计就是提出满足给定目的具体手段，设计，或设计系统的设计与利用，应该能大大地发挥创造性。因此，即使叫做“自动”设计，也决不是完全不用人，反而应当说，只有尽可能使计算机进行事务工作从而大大发挥人的创造性的设计方式才能称为自动设计。

a. 自动设计的对象 即使设计对象仅限于机械，设计这一词儿也可以代表各种各样的意思。例如在确定汽车的型式时，既可以指侧重从外观来确定机械和零件形状尺寸，也可以指绘制设计图，以及根据机构学、机械力学、材料力学或可靠性工程学对机械装置和零件的功能和强度的计算探讨。因此，自动设计这个词儿，在很多情况下单指在与计算机联机的图形显示装置上对机械和零件的形状进行最后修定，单指制图的自动化，或单指用计算机对机械装置、零件的功能、性能、强度进行计算。

但在本书中，作为自动设计的对象来探讨的将是：以用户提出的规格也就是设计条件作为输入数据，以此为根据对

* 执笔者 中岛尚正

机械装置的功能、强度进行探讨，确定机构、外观和详细尺寸的设计系统；在可以使用标准机型、标准零部件的情况下，则指对零部件进行选择，直至输出装配图、零件图以及数控机床用穿孔带等生产指令，包括了全部程序的一贯到底的设计系统。

b. 自动设计的类型 在自动设计中，给定的目标有的能够以目标函数的形式定量地清楚地描述，有的则不能。对于这两种情况，计算机的用法各不相同。前一种情况是指，例如在重量一定的前提之下，以推力/重量最大为目标设计宇航设备用的发动机，或者在热效率一定的条件下，以制造成本最低为目标来设计发电设备，在这种情况下可以通过计算求得目标函数最大的具体设计方案。这种具体设计方案也称为设计解或设计点。

螺钉、螺帽、轴承、联轴器等机器零件，油缸、小型液压泵等部件已经标准化，已有多种标准零件或部件，在这种情况下找出满足规格要求的最合适的零部件就是设计。工业用的大型泵和热交换器等多数是找出过去已有的设计实例，根据具体情况加以修正，进行制造。这种设计虽然变成了通过用计算机检索求得设计解，但以能定量地写出目标函数为前提条件。

如上所述，当目标函数已被定量地描述时，数据由人输入，以后就可以用计算机求得设计解，所以还称为自动化设计 (AD, Automated Design)。

与上述情况相反，象在汽车本身设计之类重视美观的情况，或象集成电路设计中各种半导体、晶体管、电阻等要求尽可能紧密配置的情况，要使目标函数达到定式化的程度，一般说非常困难。但是，经验丰富的设计人员常常只要一看

草图或配置图就能够看出什么地方进行什么样的修改可以更好地满足要求。在这种情况下，可以采用下述方法：设计人员先给计算机大略的指令，使图形显示装置输出精确图，然后设计人员将这个图与从自己经验中得到的评价基准相对照，如有不满意之处则反复给予指令进行修正。

在后一种情况下，计算机的作用是作人的助手，所以称为计算机辅助设计（CAD, Computer Aided Design）。

这里是根据能否使目标函数定式化来区分设计的类型，但是目前还没有能够准确地反映其内容的英语和日语名称，暂且只好就用 AD 和 CAD 来称呼。AD 的本来意思是“自动化的设计”，CAD 的意思是“象工具那样运用自如地使用计算机的设计”。但在实际进行的自动设计中，称为 AD 型的恰恰就是目标函数定式化的类型，而称为 CAD 型的恰恰是目标函数未定式化的类型。此外，还有所谓 CORD（Computer Reinforced Design，意为计算机加强设计）的叫法。从这种设计系统的实际内容来看，可以认为它是属于目标函数未定式化的一种类型。

在 AD 中，还有进行最佳计算和进行检索这样两种类型的区别，前者也称最佳规划（或计算）型，后者也称为信息或情报检索型。CAD 也称为逐步逼近型，因此也可以把自动设计分为最佳规划型、信息检索型和逐步逼近型三种。以下各举一些例。

最佳规划型的例子：锅炉、涡轮机、核反应堆、化工设备、钢结构等；

信息检索型的例子：机器零件、液压缸、电动机、液动机、液压泵、水泵、热交换器等；

逐步逼近型的例子：飞机机身、汽车车身、连杆装置、