

TB21-51

1:1

11060

工程设计学丛书

第一册

工程设计学基础

〔日〕北郷 薰 著

彭晋龄 张明华 姜 玲 译

彭晋龄 刘昌祺 姜文炳 校

机械工业出版社

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，故又译为“工程设计学”。全书依照概念的不同而分别采用不同译法——译注。

⊖ 见于《孟子·公孙丑上》“敢问何谓浩然之气，曰难言也”——译者注。

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定计划的场合都是可用的。但是，这种广义的工程设计学，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，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“机械设计指南”、“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，学习的主要目的就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，对于以往的“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格，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发展。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编以及以提高生产率为目的的多篇机械设计技术各论。

五、设计情报处理 第五册“设计情报处理”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、存储和检索的方法。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、与生产的结合的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 薫

一九七一年四月

李永新译

前 言

从前，在一般人的脑海里，包括工程技术人员在内，不言而喻的支配思想是工业技术在社会上处于第二位。可是现在看来形势好像发生了逆转。人们认为工业技术在人类社会里所具有的影响力是最大的。

这是因为工业技术能制造出自然界不存在的“东西”，并不断地提供给人类社会。

但遗憾的是，现在人们好像只看到了工业技术给人类社会带来很大危害的这一面，而忘记了工业技术赋予人类社会丰富物质享受的另一面。有的人还把工业技术看成是“必要的灾害”这样的东西。

不过，这只是人类社会发展中一个阶段的偏见。将来通过一般人及工程技术人员努力，一定会出现一个没有生物性“公害”和人类精神相协调的物质文明的世界。这种理想的文明世界，是不会自然诞生的。我们应预先充分地深思熟虑，而后制订计划。只有在实现了计划之后，这样的世界才会出现。我想其计划科学就是广义的工程设计学。

随着工程技术人员社会责任的增加，在工业技术中具有重大意义的设计研究活动，即工程设计学必然会兴旺起来。

工程设计学要解决的是，何谓优良设计以及如何进行高效率的优良设计等问题。或者说，设计程序的分析就是工程设计学。

不过，像设计能力那样，虽然通过实践来学习是提高设

计能力的重要方法，但也还是担心，具备了有关设计程序的分析知识也起不了什么大作用。

对于这个问题，正像本册开头“工程设计学丛书出版序言”中已概略提到的那样，写书也和体育运动的道理一样——如果不通过自身锻炼的话，身体是不会健壮起来的。我相信，写出一本质量高的工程设计学丛书是有益于设计能力的提高的。

假如本书对设计能力的提高无益的话，这是笔者学浅才疏之故，并非工程设计学本身的问题。

当编写工程设计学丛书第一册《工程设计学基础》时，笔者自己确立的根本方针是：给读者提供阅读工程设计学丛书全书的必要准备，尤其注意了以下几点：

(1) 尽量使本册成为轻松的“读物”。为此，较多地编入了趣味性“引用”。

(2) 使本册起到工程设计学辞典的作用。现在是充满新术语的时代。只要懂得术语的意义，不用说，就不会发生因不懂术语而使全部内容都弄不懂的现象。所以，我认为在术语的旁边加上简明的注释较好（例如 QC、IE、VA、GT 等）。

(3) 引用的文献都集中在各章的末尾，并将本书中所引用的部位和原文献的对应部位都明确地表示出来。这是为了表示对原文献各位作者的尊敬和便于读者阅读原文献。

为了发展日本的工程设计学，我不顾自己的才疏学浅，决定将本书献给社会；我想本书的不足之处是很多的。

切望能听到各位读者不客气的意见。

最后，对在编写本书第三章的“有限元法”、第五章中的“情报检索”和第六章的“自动设计”时，曾给予很大协

助的东京大学中島尚正副教授及出版本书的丸善株式会社的
诸位先生们致以衷心的感谢。另外，对本书中引用的很多著
作及论文的作者深表谢意。

北郷 薫

1972年5月

目 录

第一章 工程设计学绪论	1
1.1 工程技术与社会	1
1.2 工程师与社会	9
1.3 工业技术的使命与责任	16
1.3.1 满足人类生活需要的使命	16
1.3.2 工业技术对于人类社会影响的责任	16
1.4 工程学和工程设计学	18
1.5 工程学的设计及其周围学科	22
1.6 工程设计学的特征	25
1.7 工程设计学的程序	26
1.7.1 目的的认识	27
1.7.2 问题的设定	30
1.7.3 构思与方案	37
1.7.4 工程分析	38
1.7.5 完成与表达	39
1.8 工程设计者所需要的能力	40
问题	41
参考文献	41
第二章 创造	43
2.1 创造力的培养	43
2.2 创造性和独创性	45
2.3 有价值的创造、独创、发明	47
2.4 创造和素材, 创造和学习	48
2.5 创造和偶然	54

2.6 创造的过程	55
2.7 有创造力的人的特征	58
2.8 培养创造力的长期性方法	60
2.9 发明的短期性方法	63
2.9.1 智暴法	63
2.9.2 创造工程学	65
2.9.3 核对表	68
2.9.4 等效变换思考法	69
2.9.5 KJ法	70
2.9.6 NM法	71
2.9.7 有组织的组合(组织)	71
问题	72
参考文献	75
第三章 工程分析	77
3.1 工程分析序论	77
3.2 工程分析的方法	79
3.3 问题的定义和模型的建立	83
3.3.1 模型的建立和假设	83
3.3.2 经常使用的假设	86
3.4 自然规律的应用	88
3.4.1 关于自然规律的理解	88
3.4.2 主要基础课程	90
3.5 验算	93
3.5.1 工程分析的验算	93
3.5.2 用数学方法验算	93
3.5.3 用工程学知识验算	94
3.6 计算	96
3.6.1 计算	96
3.6.2 有分析解的情况	97

Ⅱ

3.6.3	一次方程的解法、数值解法、图解法和试探法	97
3.6.4	微分方程	102
3.6.5	积分	104
3.6.6	差分方程	106
3.6.7	有限元法	108
3.6.8	电子计算机和分析能力的提高	120
3.6.9	模拟计算机	121
3.7	评价,最佳化和通用化	122
3.7.1	评价和最佳化	122
3.7.2	通用化	124
3.8	成果的表达和编写报告书	124
3.8.1	语义学	125
3.8.2	良好的信息传递条件	126
3.8.3	关于信息传递的手段	127
3.9	例题 液压缸的活塞杆	128
3.9.1	问题的设定(第一阶段)	128
3.9.2	问题的设定(第二阶段)	129
3.9.3	模型的建立	129
3.9.4	物理规律的应用和计算	129
3.9.5	评价、通用化和最佳化	136
问题		137
参考文献		139
第四章 ²	决策论	140
4.1	决策问题	140
4.2	决策问题的目的	143
4.3	决策问题的对策	144
4.4	影响决策的条件	145
4.5	决策方法	150
4.5.1	决策方法概论	150

4.5.2	合理的决策程序	152
4.5.3	检验单	155
4.6	决策科学	157
4.6.1	决策科学的要素	157
4.6.2	决策过程的分类	166
4.6.3	风险型决策	167
4.6.4	确定型决策	171
4.6.5	非确定型决策	179
问题	183
参考文献	183
第五章	设计业务管理	185
5.1	设计的分类	186
5.2	设计业务管理上的问题及其解决方法	189
5.3	设计管理的对象	192
5.3.1	组织	194
5.3.2	人	196
5.3.3	物	197
5.4	设计情报的管理	201
5.4.1	设计情报的多样化	202
5.4.2	设计情报的种类	203
5.4.3	文献检索和情报检索	206
5.4.4	设计情报的管理	211
5.5	设计日程的管理	215
5.5.1	设计日程	216
5.5.2	设计工时的估计	216
5.5.3	拥有工时的估计	217
5.5.4	设计的日程管理	218
5.5.5	计划评审法 (PERT) 和关键路线法 (CPM)	219
问题	226

参考文献	226
第六章 自动设计	228
6.1 自动设计	228
6.1.1 自动设计的概念	228
6.1.2 自动设计产生的背景	230
6.2 两种类型——AD 和 CAD	231
6.3 自动设计的进展	234
6.3.1 第一代计算机	234
6.3.2 第二代计算机	236
6.3.3 第三代计算机	238
6.4 子系统——基本设计部、详细设计部、生产指令部、 资料部	239
6.5 自动设计面临的各种问题	247
6.5.1 基本计划	247
6.5.2 设计计算	254
6.5.3 形状处理	256
参考文献	259
第七章 未来	260
7.1 预测未来的方法	260
7.2 近期未来	261
7.2.1 近期未来的动向	261
7.2.2 日本科学技术厅的技术预测	264
7.2.3 机械元件的研究	269
7.3 远期未来	270
7.4 工业技术和人道主义	273
参考文献	282

第一章 工程设计学绪论

1.1 工程技术与社会

当人类在地球上刚出现的时候，他们受自然环境支配并过着原始生活的景象是容易想像出来的。然而，此后人类便逐渐地获得了有意识地将自然环境改变成人工环境的能力。当人用手接触到石头等自然物，并发现了能将它制成有效的工具之后，人类就开始了技术上的突破性大进步。在人类历史最初的100万年内¹⁾，技术的发展几乎是停滞的，在长时期内，世界上使用着几乎完全相同形式的工具。在大约3万年前¹⁾旧石器时代之初，这种工具制作技术有了比较迅速的进步，从而促进了有效率的工具的发展。从这个时候开始，在大约1万¹⁾年至8000年前的新石器时代，技术进一步获得了加速发展。在此期间，研磨石器的技术是先进的，同时发明了农业、畜牧业、纺纱、织布，甚至发明了陶器。在7000年至6000年前，矿业和金属加工业也相继问世了。作为原动力，利用自然能源代替人和动物肌肉力气的有如下两种：大约5000年前¹⁾，利用了风帆推动船只前进；大约2000年前¹⁾，利用了水力推动水车。大约200年前，由于蒸汽机的发展，发生了第一次产业革命，其后技术的进步就越来越快了，而第二次世界大战后（1945年）的急速进步，则达到了令人惊奇的程度。

比较明显的是，以前的技术进步是靠强化人的体力或强化劳动力来实现的，而最近的进步则不仅是利用了能源，还

借助于自动化、电子计算机的发展。与此同时，在强化和改变人类精神方面也变得明显起来。由于这个特点，这一发展被称为第二次产业革命。

谈到工业活动，就要考虑它在当前世界各国所起的作用。美国、西欧各国、苏联和日本是现代最发达的工业社会。因为工业技术是以改善人类的自然环境和丰富人类生活所需的物质为目的的，所以，工业社会的人们必然是非常富有的。然而上述各国中也有贫困的人，但那是受政治和社会方面的影响，并不是由于缺少工业及其基础的科学，也不是由于缺少工程学及其技术方面的知识而造成的。在瑞典和丹麦，一般很少有贫困的人，西欧以外的几个国家中也有这种趋势。技术未开发的社会，例如，非洲、印度、中近东、中美以及南美的大部分，其农业也好，制造业也好，都还没有充分摆脱原始的形态，所以效果差，贫困也就是理所当然的了。这两者之间所以产生差异，是由于在工业技术发达的社会里，每一个生产者的生产量非常大，为另外许多人生产了粮食和各种各样的产品。与此相反，在工业技术不发达的社会里，每一个生产者的生产量都是非常少的。

由此可见，发达的工业技术将制造出各种人造物质，从而在丰富人类居住环境方面获得成功。然而在工业技术发达的同时，却也带来了许多麻烦的问题，这也是事实。

其中最主要的，第一个问题是：担心工业技术的发达所产生的“机械”是否会完全剥夺人类在劳动中对人类来说是比较愉快的东西。工人对机器的恐惧是自古以来就存在的，甚至发生过破坏机器的运动。

例如，蒸气机的先驱者帕宾（1647～1724年）发明了大气压活塞机，于是他设想把它安装在带有叶轮的船上使其运

转。而且，作为这种设想的准备，先制作了一只用人力转动叶轮使之前进的船，并从德国划到了英国。但据说是船老大们怕被德国剥夺威悉河的航行权，而把这只船破坏了²⁾。

然而，只要看一下其后的历史潮流，就可看到工业技术的发展，虽然是暂时地剥夺了从事某种职业的人们的工作，但那些认为工业技术的发展最终会剥夺全人类的工作的人们，却反而变得工作越来越多，甚至可以说都忙得很。这就是现代在我们周围出现的事实。而在发生这种情况之前不久，却出现了原来许多人都希望做的工作，现在却变得找不到人去做的现象。这在工业技术越发达的国家里，越以极端的形式表现出来。从这些事实来看，由于机械的发达，即便是发生了从所熟悉的工作转移到其它工作，似乎也不会见到剥夺人们工作而造成失业者群的现象。这也许会招致所谓过于乐观看法的讥笑。今后，至少是最近的将来都不会改变目前的现状。

出现这种现象的原因是，由于交通工具的发展，市场在广阔的世界中发展得非常广泛，所以预计各工业国所生产的工业品的消费速度不会轻易减慢。

现在姑且不论将来会怎么样？维纳说³⁾：

第一是，对于纯属重复性工作类型的工厂劳动来说，预期必然会突然或最终被取消。这种或迟或早的结局是由于重复性的工作本来就非常枯燥无味。但这件事也许会变成好事，使各行各业的人都能有余暇去充分发展文化。

——(中略)——

不管怎么说，在引进新技术的中间期，特别是预见它将必然会爆发新的激烈竞争的话，那将立即成为重新寻找门路的凄惨混乱的转换期。

——(中略)——