

工程设计学丛书

第二册

机械系统设计

〔日〕寺野寿郎 编

机械工业出版社

78.12
186

工程设计学丛书
第二册
机械系统设计

〔日〕寺野寿郎 编

姜文炳 郑中男 陈 滨 译
张宇河 王悦民

姜文炳 ~~校~~



机械工业出版社

DT12/17

本书作者试图以系统工程学的观点，总结如何将机械作为一个系统进行设计的规律。全书共七章：一、系统设计论。介绍了系统的概念、分析、综合评价；二、机械运动系统的设计。介绍了如已知机械运动的要求，对其实现有组织地综合机构的方法；三、液压控制系统的设计。介绍液压气动的机械特性及其控制回路的设计方法；四、省力自动化设计。对目前生产中最必要的自动化问题及其规划方法等作了详细介绍；五、自动仓库的系统设计。包括硬、软件两个方面；六、伺服系统的设计。介绍以系统来解决实际问题的设计方法；七、过程系统的最佳设计。以大规模化工联合企业的生产过程进行综合最佳化为例，并作了独特的阐述。全书内容新颖，可供有关工程技术人员、高等院校师生参考。

工程设计学丛书共有七册，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、自动设计、创造性设计。

設計工学シリーズ 2

機械システム設計

寺野寿郎 編

丸善株式会社 1975年

工程设计学丛书 第二册

机械系统设计

〔日〕寺野寿郎 編

姜文炳 郑中男 陈滨 译
张宇河 王悦民

姜文炳 校

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092 1/32·印张 14 1/2·字数 314 千字
1983年 1月北京第一版·1983年 1月北京第一次印刷

印数 00,001—11,000·定价 1.50 元

统一书号：15033·5345

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。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

⊖ 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。——编者。

⊖ 见于《孟子·公孙丑上》：“敢问何谓浩然之气，曰难言也”。——译注

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篇以及以提高生产率为目的多篇机械设计技术各论。

五、设计信息处理 第五册《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信息的加工,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信息的途径的启蒙书。

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

李永新译

前 言

翻开本书看看，到处可以看到“机械系统”或“系统设计”这些不常听到的名词。所谓机械系统到底是指的什么？在本书图中所见到的都是普通的机械，可以认为没有什么特别不同的地方。这样，很自然可以想到，机械系统并没有什么特别的东西，在我们设计和使用时，可以将对象（机械）作为一个系统。所以，即使是同一对象，它既是普通的机械，又是机械系统。

从前，认为将好的零件和好的材料集中起来，作出的机械必定是好的。所以，在机械工程学中，自然是以分析对象的方法作为重点。但是，最近感到只这些是不够充分的，逐渐主张在此基础上要有整体的均衡或协调才算是好的机械。不论使用怎么好的零件，如果装配方法不当，失去均衡，当然就不能成为好的机械。重视这些方面，对机械综合地进行重新评价，这就是机械系统学。

另一方面，因为设计是对迄今没有的东西进行新的创造，所以使用的方法不是分析而必须是综合（Synthesis）。综合的标准是创造出一个均衡的合乎要求的系统。而综合与分析不同，它不存在一个有组织的方法论，只是依靠专门的经验和直接的感觉。只有当类似的机械业已存在，而且对其元件特性充分了解时，才有可能进行有组织的设计。

最近，在机械系统中，由于对组成单元（分系统）的研究的进展，以及利用电子计算机的设计方法的发展，综合的

工作才有可能在某种程度上有组织地进行。介绍其思考方法和技术方法是本书的目的。目前,在这方面还刚刚开始,这里介绍的例子虽然是很有有限的,但是机械系统学的思考方法,和它如何与有组织的设计结合起来的这样问题,可通过这些例子得到理解。今后,随着研究的进展,也可能构成较大规模、较复杂系统的综合。本书如能起到抛砖引玉的作用,则深感荣幸。

本书由七章组成。第一章讲述系统的概念,主要介绍分系统的分解方法;第二章讲述在给出作为所有机构设计基础的机械运动的要求时,有组织地综合机构的方法;第三章讲述液压、气动的机械特性,并说明利用这些,设计各种控制回路的方法。以上为机械系统学中最基本的一般的内容;第四章以后具体地论述大规模的机械系统的设计方法和问题要点,即,第四章举出当前最需要的生产过程自动化的问题,详细论述其具体方法以及进行规划的方法;第五章讲述在流通过程中,合理地发挥自动仓库的作用,从软件、硬件两方面来处理这些设计问题;第六章是以伺服机构为对象,把在实际中所遇到的各种问题作为系统来讲述它的设计方法;第七章讲述对大规模化工过程进行综合最佳化的独特的方法论,也可供其它方面的读者参考。

寺野寿郎

1975年10月

目 录

第一章 系统设计概论	1
1.1 什么是系统设计	1
1.2 系统的分解及综合	7
1.3 系统设计的顺序	12
1.4 系统分析的方法	19
1.5 系统的评价	44
第二章 机械运动系统的设计	57
2.1 人-机系统	57
2.2 机构的综合	62
2.3 形式的综合	64
2.4 数的综合	70
2.5 量的综合	73
2.6 函数创成机的系统设计	73
2.7 轨迹创成机的系统设计	84
2.8 动态的综合	103
2.9 机械运动系统设计的流程图	105
第三章 流体控制系统的设计	109
3.1 概要	109
3.2 液压系统	112
3.2.1 液压工作原理	112
3.2.2 液压系统的元件	118
3.2.3 液压系统的设计	124
3.2.4 电-液顺序回路	137

Ⅺ

3.3 气动系统	139
3.3.1 气动工作原理	139
3.3.2 气动系统的元件	145
3.3.3 气动系统设计	152
3.4 伺服机构	157
3.4.1 液压伺服机构	158
3.4.2 电-液伺服机构	163
3.4.3 过程控制中的气动系统	166
第四章 省力自动化系统的设计	169
4.1 生产加工系统	169
4.1.1 生产消费的循环	169
4.1.2 生产过程的内容	170
4.1.3 生产加工系统的省力、自动化	171
4.1.4 机械工业中自动化的难度	172
4.1.5 生产加工所需要的功能	173
4.2 大量生产和多品种小批量生产的自动化	174
4.2.1 大量生产的自动化	176
4.2.2 多品种小批量生产的自动化	211
4.3 自动化的计划	233
4.3.1 自动化的范围和问题	233
4.3.2 自动化的设想	237
4.3.3 控制的设想	243
4.3.4 联锁计划	259
4.3.5 信号计划	264
4.3.6 自动化计划的一例	271
第五章 自动仓库的系统设计	282
5.1 前言——自动仓库的必要性	282
5.2 什么是自动仓库系统	283
5.3 自动仓库系统的结构	284

5.3.1	高层堆货建筑的存贮方式	285
5.3.2	单轨堆垛起重机	288
5.3.3	信息处理系统和控制系统	292
5.4	自动仓库系统的运用	294
5.4.1	运用方式	294
5.4.2	运用系统中计算机的作用	295
5.5	计算机系统的计划	304
5.5.1	系统组成的方式	304
5.5.2	计算机控制方式	306
5.5.3	单轨堆垛起重机的控制技术	309
5.6	自动仓库系统的实例	313
5.6.1	技术规格的概要	313
5.6.2	系统的概要	315
5.6.3	生产管理系统	319
5.6.4	计算机系统的硬件	322
5.6.5	计算机系统的软件	326
第六章 伺服系统的设计		332
6.1	概要	332
6.2	伺服驱动系统元件的特性	333
6.2.1	伺服机构齿轮系的选择方法	333
6.2.2	齿轮直径和转动惯量的关系	342
6.2.3	齿轮箱	342
6.2.4	伺服驱动用的滚珠丝杠	345
6.2.5	伺服刚度	348
6.2.6	由于伺服刚度和机械刚度的失动量	351
6.2.7	伺服驱动系统的刚度和固有振荡频率	352
6.2.8	移动部件的导轨面	356
6.3	伺服系统的基本特性	358
6.4	控制装置与机械的匹配	

XV

—精度和稳定性、驱动功率的关系—	365
6.4.1 反馈控制系统的特征	365
6.4.2 开环增益的限度和驱动转矩的选择方法	366
6.4.3 硬伺服和软伺服	368
6.4.4 软伺服系统的分析	371
6.4.5 伺服系统的摩擦负载所引起的定位误差	375
6.4.6 功率放大器失灵区所引起的定位误差	378
6.5 伺服系统的设计举例	
—系统的共振频率和失动量的求法—	380
6.5.1 概要	380
6.5.2 由直流电动机驱动的半闭环系统	381
6.5.3 由直流电动机驱动的闭环系统	384
6.5.4 由液压马达和滚珠丝杠直接驱动的半闭环系统	389
6.5.5 由液压缸驱动的闭环系统	392
第七章 过程系统的最佳设计	395
7.1 绪言	395
7.2 化工过程系统的构成	397
7.2.1 联合企业	397
7.2.2 过程	399
7.2.3 设备和单元操作	402
7.3 模型化和最佳化	404
7.3.1 模型化的目的和系统的合成	404
7.3.2 过程模型化的基础	405
7.3.3 最佳化方法的分类	408
7.3.4 网络系统的分级最佳化	409
7.3.5 模型在分级最佳化中的作用	410
7.3.6 分级最佳化功能模型的建立方法	413
7.3.7 过程系统的最佳化	414
7.4 联合企业的规划和最佳化	415

7.4.1	规划的前提条件	415
7.4.2	适用于企业相关分析的联合企业规划	416
7.4.3	联合企业规划的最佳化	419
7.5	单元过程的设计和最佳化	422
7.5.1	单元过程的构成方法	422
7.5.2	单元操作的模型	426
7.5.3	整体过程的分析 and 功能在单元操作中的分配	430
7.6	单元操作内部系统的最佳化	436
7.7	过程整体的最佳化	442
7.7.1	方法	442
7.7.2	实例	443
7.7.3	通用程序	446

第一章 系统设计概论*

1.1 什么是系统设计

机械设计的目的，不用说都是为了创造出好的机械。那末，好的机械是指什么而言呢？这虽然是一目了然的事情，但也有意外不清楚的问题。比如，以我们常见的机械——“汽车”为例，研究一下对它评价的要点。从前我们设计了许多汽车，其中许多是有名的。但是，考虑根据什么理由对它进行评价时，则只是着重强调某些部分的要点。被强调的要点，由于评价者站在厂家、用户或评论家等的立场不同而异，一般是不一致的。另外，即使由一种立场（例如用户的）来看，评价的要点也是很多的，追求于综合的判断也不少。比如，对汽车的功能评价，则以操纵性、速度、载重能力、乘车感觉和安全性等作为评价要点。但是，对使用者来说，除这些功能外，经济性和可靠性当然也必须考虑。于是，价格、燃料消耗、寿命、维修难易等均应作为评价要点。此外，对外观、附件、通用性等也不能忽视。这些要点中，有很多是互相矛盾的，满足了这一方面，就不能满足另一方面。因此，对汽车的评价，结果变为在充分满足评价者认为是重要的要点的同时，对余下的要点大体上得到均等的满足。认为是重要的要点，除上述评论者的立场和使用目的外，也受评论者的爱好、社会情况和环境等的影响，是随时代而变化的。大气污染等就是一个很好的例子。

* 执笔：寺野寿郎

1110558

不仅限于汽车，所有机械都应有这么多评价要点。过去，工程学不过于严格地探讨这些评价要点究竟是什么，只是要求设计者个人来判定。设计人员各自掌握了不同经验的评价标准，虽然他们尽自己的最大力量来设计，但评价要点是主观上选定的。虽然他们设计的产品有的可能成为后世的名牌产品，但有的也很可能成为自以为不错而实际上是不好的产品。特别是最近，由于技术细分为很多专门的学科，评价要点的选择更加困难了。机械要很好均衡地满足本应具有的多方面的评价要点，最近反而有远离此目标的趋势。

既能合理设计又能合理开发具有这么多评价要点的复杂机械和装置的方法论之一就是系统工程学。在美国，它与宇宙开发和国防系统开发有关，它是从对大规模复杂系统进行合理设计的需要而发展起来的。现在不仅限于工程学的系统，也用于对交通、城市、海洋、公害、资源、环境等社会上和经济上相互联系的大系统进行规划和研究。由于这些大规模系统的研究费用庞大，完成后对社会的影响也非常大，所以，如果规划和设计上有错误，将受到无法挽回的损失。因此，对所要求的目的、功能以及波及到的效果等都要事前进行彻底的调查，必须达到可靠的设计。可是，这些系统的评价要点要比单纯的机械装置等更多，其中除技术方面的评价外，还包括经济问题、社会问题、人的心理以及生理方面问题等，所以是非常困难的。

系统工程学采用了外部设计和内部设计的思考方法，以便正确处理上述复杂问题。设计时，对其直接对象（机械、装置或系统）和包围它的外界环境同时进行考虑，前者称为内部系统，后者称为外部系统。两者之间必然有干涉并互有影响。所谓外部系统对内部系统的干涉（也称它为输入），比