

中文版序言

我高兴地得知，中国的工程技术人员及大学生对我的关于设计方法的书很感兴趣。如果这本书能有很多中国读者，并对工程技术人员在解决课题任务时有所启发与帮助的话，我将感到非常高兴。孔子说过大意如下的名言：

总结经验有三种方法：

一是经过自己深思熟虑。这是最宝贵的方法。

一是模仿别人。这是最省力的方法。

一是通过总结自己失败的教训。这是最痛苦的方法。

如第一种方法所述，本书的宗旨是启发工程技术人员及大学生的独立思考，有益于他们在研制机器的过程中总结经验，以便对其工作有所帮助。

R. 柯勒

1981年9月于联邦德国亚瑟

-
- 本书作者在获悉我社翻译出版他所撰写的本书第一版原著时曾特地为中译本撰写了序言。序言原文收到时由于第一版中译本业已付印，因此在我们重新翻译出版该书第二版时予以发表。（序言援引的孔子的话系意译。）

再 版 前 言

在本书第一版问世以来的九年中,设计方法研究领域又出现了大量的新知识,解决了早期研究成果中存在的矛盾,使以前的工作更加发展和完善。因而现在已经到了必须对最初的阐述进行修订和补充的时候,特别对原书的第12章“技术设计和构形设计”及第13章“符合限制条件的设计”进行了大量的补充和改写。对其它章节的多处文字和图表进行了修订,以使其适应新的知识。按照当时一般语言规则,设计方法研究的成果被称为设计方法学,因此本书的书名也相应地做了变动。

在此,我衷心地感谢工学博士W. Willkommen先生在编写本书新版本过程中所提出的宝贵建议。特别要感谢J. Bergmann工程师和M. Mundt小姐。J. Bergmann工程师在绘制图表时付出了辛勤的劳动;M. Mundt小姐在抄写和校阅手稿方面做了很多工作。此外,还应对Springer出版社的大力支持与印刷方面的细致工作深表谢忱。

R. 柯勒 ·

1985年6月于联邦德国亚琛

第一版前言

直至本世纪中叶,人们才逐渐认识到,工业产品的发明和精巧设计仅仅是极少数天才人物凭知识和才能所掌握的一种技巧,而且在设计时除了设计者的直观能力(这无疑是非常重要的)外,还要对设计过程中的一系列关键过程加以说明,并根据相应的规律有计划地予以实现。目前,几乎所有工业国家的高等院校、工业部门以及其它研究机构中的工程师、数学家、经济学家、预测学家和哲学家等都在从事设计过程的研究、设计过程合理化和自动化方面的工作。

如果说原来的目的只是想使设计过程更加合理,那么在近代,范围日益广泛的各种系统和对未来工业产品不断增长的巨大需求,使得设计方法学越来越重要。由于世界范围内的原料短缺而要求工业原料回收利用,由于要解决汽车的排气和安全规范及其它的一些更新措施,以及由于设计者在解决这些问题时所遇到的困难,我们就会更加认识到设计方法学的重要意义。使设计过程自动化的现有电子计算机对设计方法在世界范围内的发展是又一个重要的“推动力”,因为依此拟定的设计程序是研制通用计算机程序的先决条件和基础。

很久以来,物理学和数学为解决定量的设计程序(确定尺寸)提供了许多方法,但却忽视了用类似精确的方法对定性的设计程序进行研究——这里指的是那些通常被称为发明创造、构思和寻求解决途径的活动。因此本书将着重系统地讨论与原理解法和技术设计有关的方法和算法,而对构件和系统的计算和确定尺寸的方法本书没有讨论,因为已有大量的专门文献对此作了论述。

促使我对这种以物理-算法为依据的设计方法进行研究的最初动机,是自我早年的工业实践,其特点是独立地研究新的解法。本书总结了近代设计方法研究的重大成果。这种设计方法已经被许多工业实例所验证。本书根据1970年以来本人在亚琛(Aachen)工业大学机械系第五、六学期的讲稿整理而成。

R. 柯勒

1975年8月于联邦德国亚琛

重要概念的定义

一般系统	在某系统边界内，全部直接或间接相互作用的系统的整体。
分类表（系统分类表）	按某一标准排列的顺序和简明图示，例如化学元素周期表。
主要功能	描述根本目的功能，该技术系统就是为这一目的而研制的。
功能面	一种面，在这个面上或借助于这个面引起一个物理现象。
功能单元	一个能从技术系统上拆卸的、且能单独存在的结构单元，它至少能够实现一个或几个技术功能。
功能结构方案	分功能和基本功能在结构关系图（线路图）中联结成整体功能。 分功能解或基本功能解的最佳组合方案。
物理原理	确定效应和效应载体，用以实现一技术功能。效应和效应载体不能规定一个技术产物的构形。
原理解	确定物理原理以及构形方案，可以绘制示意图。
仪器	是一种技术系统，其主要目的是以任意方式实现信息的转变和形成信息流。
机器	是一种技术系统，其主要目的是以任意方式实现能量的转变和形成能量流。
设备	是一种技术系统，其主要目的是以任意方式实现物料的转变和形成物料流。
设计	在某一时刻、为某一技术任务给出一个尽可能好的解（决方法）所必需的一切综合和分析活动称为设计和研制。所谓尽可能好的解，应是指一个十分可靠的、财力方面是可行的而又能满足其它限制条件的解。
设计方法	为某一技术任务有计划地研制一个解的有规律可循的活动。
设计任务书	任务书或说明书。是全部可能的数据和资料的汇编，用来规定某一工业产品是“做什么用的”（产品的用途）以及在什么条件（限制）下达到这个目的（即“怎样”达到这一目的）。
任务书	参见“设计任务书”条。
形状	零件或物体表面的种类；例如表面可以是平面、圆柱形、圆锥形或球形等。表面是零件构形的几个参量之中的一个。
技术功能	技术系统输入参量与输出参量之间关系的定性或定量（有规律的）的描述。
技术设计	确定一个表面、零件、部件、机器或比较复杂的系统的宏观构形（参见宏观构形）。
完善的结构解	为制造某一技术系统所要求的全部数据及其文件。

研制 (开发)	参见设计。
物理技术的基本功能	两个确定的物理量之间的因果关系的定性和定量的描述。
物理原理	确定效应和效应载体,用以实现某一技术功能。效应和效应载体不能规定一个技术产物的构形。
物理效应	物理现象或物理现象的全过程;原因与效果之间的因果关系。
宏观构形设计	一个零件的宏观构形是由表面的尺寸、形状、数量、位置、排列与联接结构组成的。
直觉	对解决某一问题的认识或者突然产生的想法,并无明确的解决办法。
系统边界	为划定系统的边界而确定的接口。
构形	规定技术产物的宏观构形和微观结构(表面、零件、部件、机器等)。
构形元素	依据构形层次的不同,线、面、零件、部件等可以分别是下一个更为复杂的系统的构形元素(即线是面的构形元素、面是零件的构形元素等)。
构形变异	具有相同用途的技术产物可选择的构形(尺寸、形状、数量、位置、排列、联接结构的变异)。
说明书	参见“设计任务书”条。
效应载体	实现一物理效应的物料(材料)或空间。有时,仅只空间也可以是“效应载体”(例如真空管)。
要求明细表	对某种产品提出的要求、条件、限制。要求明细表是产品设计任务书的组成部分。参见“设计任务书”条。
基本操作	操作进程中的活动。例如转变、放大、加、减等不能再分成其它的活动。
黑箱	技术系统的抽象。对黑箱的考虑仅限于输入参量和输出参量,因为系统本身(系统的“内部”)对系统的输入参量和输出参量来说是次要的。
微观结构	技术表面的微观结构是通过它们的公差配合(DIN 7150),形位公差(DIN 7184)和表面状态(DIN 1302)决定的。
算法(规则系统)	用来解某类问题的方法,由规则(规定)组成。

目 录

重要概念的定义	(ix)
A. 引言	(1)
1. 设计概述及其重要性	(1)
2. 设计方法学的目标和宗旨	(2)
3. 设计方法学的适用范围	(2)
4. 产品开发的动机和产品的产生过程	(4)
5. 任务书(设计任务书、说明书)	(5)
5.1 用途描述	(5)
5.2 要求、条件、限制	(6)
B. 设计过程和研制过程	(9)
I. 功能综合	(9)
6. 过程概况	(9)
7. 功能结构的研制	(12)
7.1 目的功能或主要功能的表述	(13)
7.2 分功能结构、基本功能结构和基本操作结构的研制	(15)
7.3 物理基本操作的推导	(18)
7.4 数学基本运算	(26)
7.5 逻辑(布尔)基本运算	(26)
7.6 实例	(27)
II. 定性的设计过程(方案设计、技术设计、构形设计)	(29)
8. 效应变换与效应结构	(30)
8.1 基本操作“转变”	(31)
8.1.1 能量和信号的转变	(31)
8.1.2 物料的转变	(32)
8.2 基本操作“放大”	(32)
8.2.1 能量组分或信号的放大	(32)
8.2.2 物料特性值的放大	(33)
8.3 基本操作“结合”和“分离”	(33)
8.3.1 能量和物料的结合和分离	(33)
8.3.2 物料的结合和分离	(33)
8.4 基本操作“接合”和“分开”	(35)
8.4.1 物料的结合	(35)
8.4.2 物料的分	(36)
8.5 实例: 泵	(37)
8.6 方案代数	(39)

8.6.1	通过基本操作“转变”使变量联接	(39)
8.6.2	通过基本操作“放大”和“缩小”使变量联接	(40)
8.6.3	通过不同的基本操作使变量联接	(41)
9.	效应载体的变换	(41)
10.	原理解或基础解的说明	(42)
10.1	实例: 泵	(43)
11.	原理解、零件或部件组合成复杂系统	(45)
12.	技术设计和构形设计	(46)
12.1	技术设计和构形设计的一般规律	(49)
12.1.1	构形元素	(50)
12.1.2	构形参数	(51)
12.2	各种结构类型的研制	(58)
12.2.1	零件的结构类型	(59)
12.2.2	部件和机器的结构类型	(66)
12.3	对结构系列和类型分级(型谱)的阐述	(70)
III.	解的选择	(76)
13.	符合限制条件的设计	(76)
13.1	一般限制条件	(76)
13.2	构形准则	(83)
13.2.1	符合铸造要求的构形	(86)
13.2.2	符合钻孔要求的构形	(92)
13.2.3	符合装配要求的构形	(92)
13.2.4	符合负荷要求的构形	(98)
13.2.5	符合材料要求的构形	(100)
13.2.6	符合公差要求的构形	(104)
13.2.7	降低成本的构形设计	(107)
14.	功能单元的技术设计及其按不同观点的编排	(116)
14.1	联接	(116)
14.2	简单传动机构	(127)
IV.	实例	(133)
15.	原理解的阐述: 点火时间调节器	(133)
16.	构形方案变换: 控制阀	(136)
C.	附录	(140)
表1	基本操作“能量和信号的转变与放大”物理效应分类表	(140)
表2	基本操作“能量和物料的结合与分离”物理效应分类表	(144)
表3	基本操作“物料的分离”物理效应分类表	(146)
表4	材料的物理特性	(149)
表5	物理特性的分级	(151)
表6	固体材料特性表(摘要)	(156)
表7	具有“相同性能断面”的各种材料的特性比较	(158)
原理目录1	能量类型或信号类型的转变	(159)

原理目录2	物理量的放大或缩小.....	(191)
原理目录3	物料的结合.....	(198)
原理目录4	物料的分开.....	(199)
原理目录5	物料的分离.....	(202)
原理目录6	物料的结合.....	(231)
参考文献	(234)
附录的参考文献	(240)
内容索引	(242)

A. 引 言

1. 设计概述及其重要性

如果我们观察一下市场上出现的新的工业产品,无论它是一件比较简单的日用工业品,还是一架复杂的电子计算机,那么我们便会发现,在制成这些新产品之前一定是先有了许多想法,而后才使产品达到完美无缺的程度。在工业产品达到高度完善的今天,某些“小小的改进”便会使产品在市场竞争中获得成功。此外,一个工业国社会产品的增长以及一个企业的成就主要依赖于产品的质量及产品的竞争能力,而产品的质量及竞争能力又是以这些国家和企业的科研能力、设计能力和制造能力为前提的。由此我们便可以看到设计对于一个国家的经济以及对人类有着多么重要的意义。

基于上述原因,所以有必要研究设计过程,必要时还要总结出规律,以便借助日益丰富的知识获得一种不断改进的“工具”,从而研制更好的产品。用算法和规则来描述设计过程以及电子计算机的出现都是设计过程合理化和自动化(计算机辅助设计)的先决条件。例如,只为一个系统的某种结构形式研制专用的计算机程序并无多大意义,相反,通过有条理的、系统的方法找到所有存在的结构形式,以便为研究一种通用的程序创造条件则更为合适。

研制和应用设计方法还有另外一个重要原因,就是今天工业产品已经在很多方面达到了相当高的完美程度,以致用直观的工作方法想使产品得到改进(即使是很小的改进)也得要花费很多时间才行。因此,今后我们必将越来越多地采用系统的工作方法。

虽然,人类自古以来就从事着设计活动,以便为自己制造工具,从而减轻和简化必要的劳动。但是,直到最近这种活动主要还是以直观的方式进行的。过去的几位天才的工程师,如阿基米得(Archimedes)、达·芬奇(Leonards)等人,他们至少把自己的设计思想成果留给了后人。近代,蒸汽机的发明者瓦特(Watt, 1778年)、数字计算机第一个方案提出者巴巴格(Babbage, 1833年)也把他们的设计成果留传了下来。其后大约一百年,祖泽(Zuse)在巴巴格的基础上研制了第一台数字计算机,成为办公室工作自动化的辅助工具。众所周知,蒸汽机的发明奠定了手工劳动自动化的基础。

但在上述实例或类似的实例中从未报道过有关工程师们获得这些伟大技术成就的研究方法。并且认为研究方法只是达到目的的手段,不值得费力气去报道它。直到最近,富朗克(Franke)^[38]、汉森(Hansen)^[49,50]、凯塞林(Kesselring)^[60,61]、罗登纳克(Rodena-cker)^[104,106]、沃格包尔(Wögerbauer)^[143]等人才从事机器综合过程的研究并试图描述这些工作过程。

过去人们曾认为,设计、特别是寻求技术问题的新的解决方法,是只有那些天才的设计师才能完成的创造性的活动。当然,再好的设计方法也不可能完全代替天赋很高或天资一般的工程师的才能,但是利用有条理的设计方法能够显著地提高这些工程师的工作

效率。倘若设计工作仅按纯系统的模式进行(如果这是可能的话),那么这样的设计工作就会大大失去它的吸引力。

2. 设计方法学的目标和宗旨

近几年来,人们正致力于使工业产品的设计和研制工作合理化、自动化并且简化教学工作。设计方法的研究是研制系统的设计理论和大有发展前途的设计程序的重要先决条件。自觉从事设计和研制工作也是研制更高质量的产品的“工具”。最后,设计方法学是用来一般地观察和更好地通观不断扩大的和正在发展成为许多专门领域的“机械工程”这一知识领域的工具。

因此设计方法研究所要达到的目的是:

- 1) 研制物美价廉的产品;
- 2) 使设计过程合理化并为设计过程自动化创造条件(计算机辅助设计);
- 3) 创造一种又快又好地培养设计师的理论;
- 4) 创造一种机械系统的一般理论并创造一种方法,以便更好地理解 and 通观日益扩大的并且正发展成许多专门领域的机械工程科学。

为了正确评价设计方法学的上述意图,创造一种通用的、不受客观事物影响的、在机器、仪器和设备的设计中都适用的工作方法就是该设计方法要达到的目的。这种设计方法的规律必须保证为某一问题提供现有的全部解,以便确实做到不遗漏任何一个可能是更好的解。最后,这种方法还应具有这样的规律,即:可从供选择的解中客观地选出一种最有利的解或者至少使这种选择变得更为容易。为此,知道某一问题的全部解是一个重要的先决条件。正像人们对数学方法所期望的那样,数学方法能给出现有的全部解。到目前为止,我们还不知道那些只能提供某一个解的设计方法,假如该问题实际上存在几个解的话。与数学相反,在设计中,某个任务的解要比可用数学式表达的问题的解多得多。因此,研究那些只提供最佳解的设计规律也许是符合人们的愿望的。这个目的可能永远无法完全达到。因此,近期的目标就是尽可能全面地描述设计过程,以便为科学的设计方法学和设计过程自动化(开发CAD程序)创造条件。

3. 设计方法学的适用范围

在发展过程中,内容广泛的机械工程专业实际上已经形成了三大领域,即能源工程、信息工程和工艺或材料工程。通常把这三个领域的技术系统分别称为机器、仪器和设备。遗憾的是在一种语言习惯用法中引进了许多违背逻辑概念的技术产品的名称。由于上述问题,因而尚未建立标准,建议对这些概念先作如下定义:

- 1) 机器是以通过任意方式实现能量转变和形成一种能量流为主要目的的技术系统。
- 2) 仪器是以通过任意方式实现信息转变和形成一种信息流为主要目的的技术系统。
- 3) 设备是以通过任意方式实现物料转变和形成一种物料流为主要目的的技术系

统。

在图3.1中列出了机器、仪器和设备的典型的产品。按上述定义，用于书写或计算的技术系统不应称为机器，而应称为书写器或计算器，因为它们主要是用于信息的转换，而不是能量转换。

据此，农业机械不是机器而是设备，因为它们主要用于不同物料(庄稼、田地等)的转变。机床应称为设备，因为它主要用于物料的转变。按照上述定义，机器这个概念应该是变压器，尽管变压器没有活动的零件。在原子能发电站中应用的钠泵(要输送的介质除外)同样没有活动的零件，因此也应称为设备，因为它主要用于输送物质¹⁾。这几个例子已足够说明这些概念的的定义的问题所在。

一种通用的设计方法应当不受任何限制地适用于上述三个领域。由于技术系统中所有过程都可以归诸于物理、化学和生物学效应(现象)——正如实践所表明的那样——无论在机器、仪器、还是设备中都可以应用实现功能单元的相同的效应，因此没有必要为不同的专业领域研究不同的设计方法。至少没有明显的理由这样做。

正如在以后的论述中还要提到的那样，在设计方法学专业中也有所谓综合技术产物的基础或方法。它们与具体的产品毫无关系。同样，设计技术与制造工艺、力学和其它科学领域相类似，可以撇开具体的产品进行教和学。这就使高等学校有可能先进行不涉及具体产品的设计培训，然后再进行传统的、针对具体产品的培训。不涉及产品的或一般的机械系统的设计方法学、除了具有系统地求解以及设计工作的合理化和自动化的固有的优点外，还有利于更快、更好地全面了解日益扩大的并且正在发展成许多专业领域的机械工程科学。

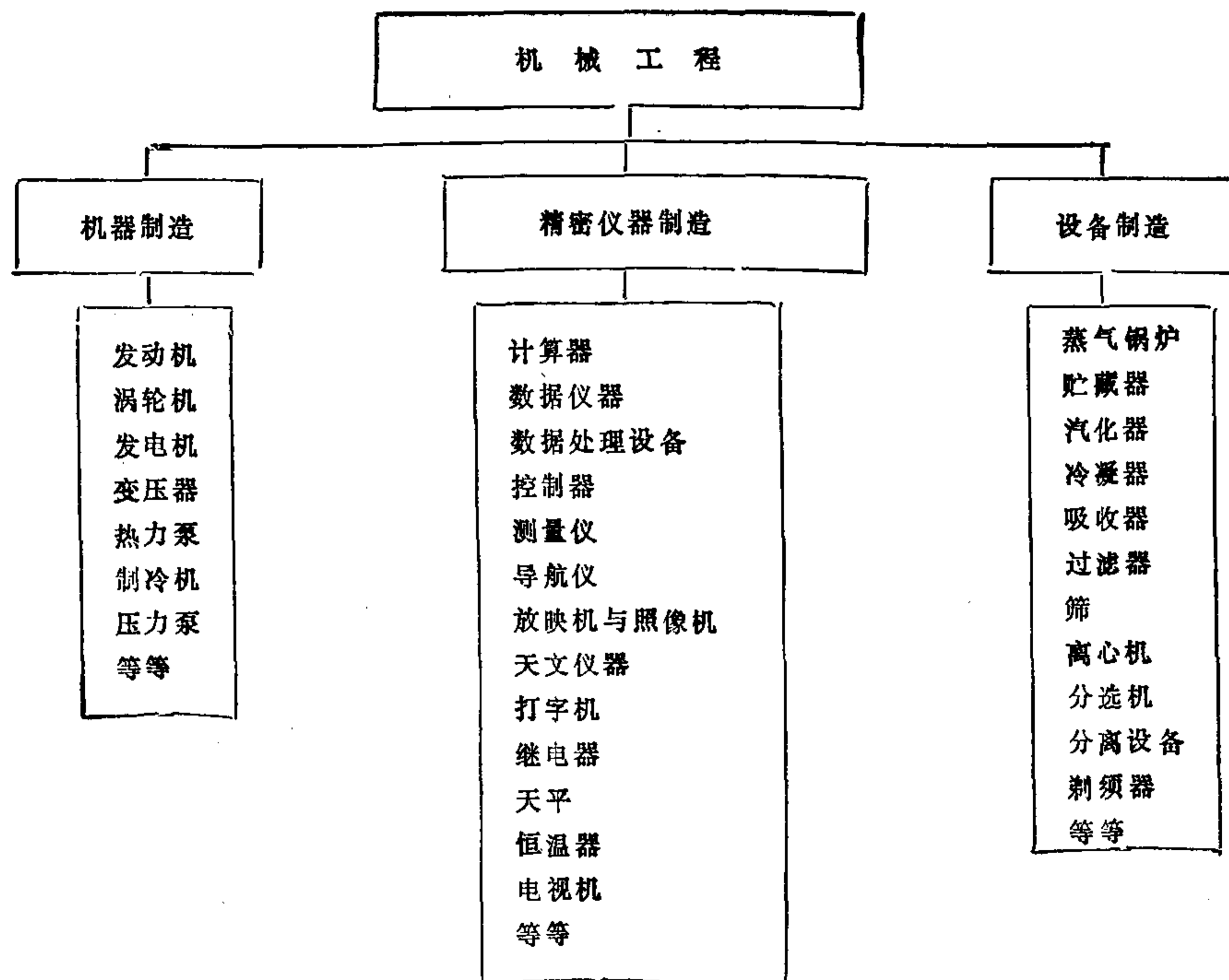


图 3.1 机器制造、仪器制造和设备制造的典型产品

1) 这种泵的物理原理示于图10.1.1a。

4. 产品开发的动机和产品的产生过程

人类对于饮食、衣着、健康、居住、旅行、信息往来以及交谈方面的需求和愿望是开发工业产品的动机。简单地说就是致力于“生活文明”。为了满足这些需求和愿望需要付出许多劳动。为了尽可能舒适地或者更好地工作,便产生了使用工具和自动装置进行劳动的愿望,这些工具和自动装置能够减轻人们的必要劳动,或者在很大程度上独立工作。将人类的愿望依次排列,其顺序是:农业生产和食品生产技术,纺织、建筑和交通运输工程,医疗和通讯工程,如新闻、无线电、电视机等。要制造第一类必需的技术系统就需要第二类必需的技术系统和设备装置,如机床、夹具和生产钢材的设备,以便经济地制造第一类技术系统。

开发某种工业产品的前提是对该产品的需求。因此在开发一种产品之前一定要对市场的需求进行仔细的分析和预测。研制工作开始前必须做的这些工作被称为产品规划。产品规划的任务除了了解市场的需求外,还要确定在什么时候,为哪个市场开发、创造和销售哪种产品。除了上述已经是相当高的要求外,详细介绍产品的开发目的、性能和其它数据也是产品规划的重要任务。产品规划的结果是为给某一用户或同一类用户而开发的产品制定详细的任务书。

用户的愿望、征询用户意见、自己的或他人的想法、改进现有产品、“妙主意”、市场分析、趋势研究,以及由此而获得的市场预测等都可以成为构思新产品的途径。例如,在制订IBM计算机370系列的任务书时,大约花了两年时间,征求了大约一千个用户的意见。趋势推断、趋势比较及样品预测已成为众所周知的市场预测的现实手段^[18]。产品规划的结果最终是为某一产品制订任务书,包括对具体生产期限、件数、用途和其它数据的设想。

产品规划后便是我们这里要仔细讨论的产品的研制和产品的生产。为了广泛的研究和考虑由此而产生的条件必须同时研究产品的运转和报废或回收。这样可以把“产品的寿命”分为如下几个阶段:产品规划、产品研制、产品生产、产品销售、产品运转、产品报废或回收(参见图4.1)。

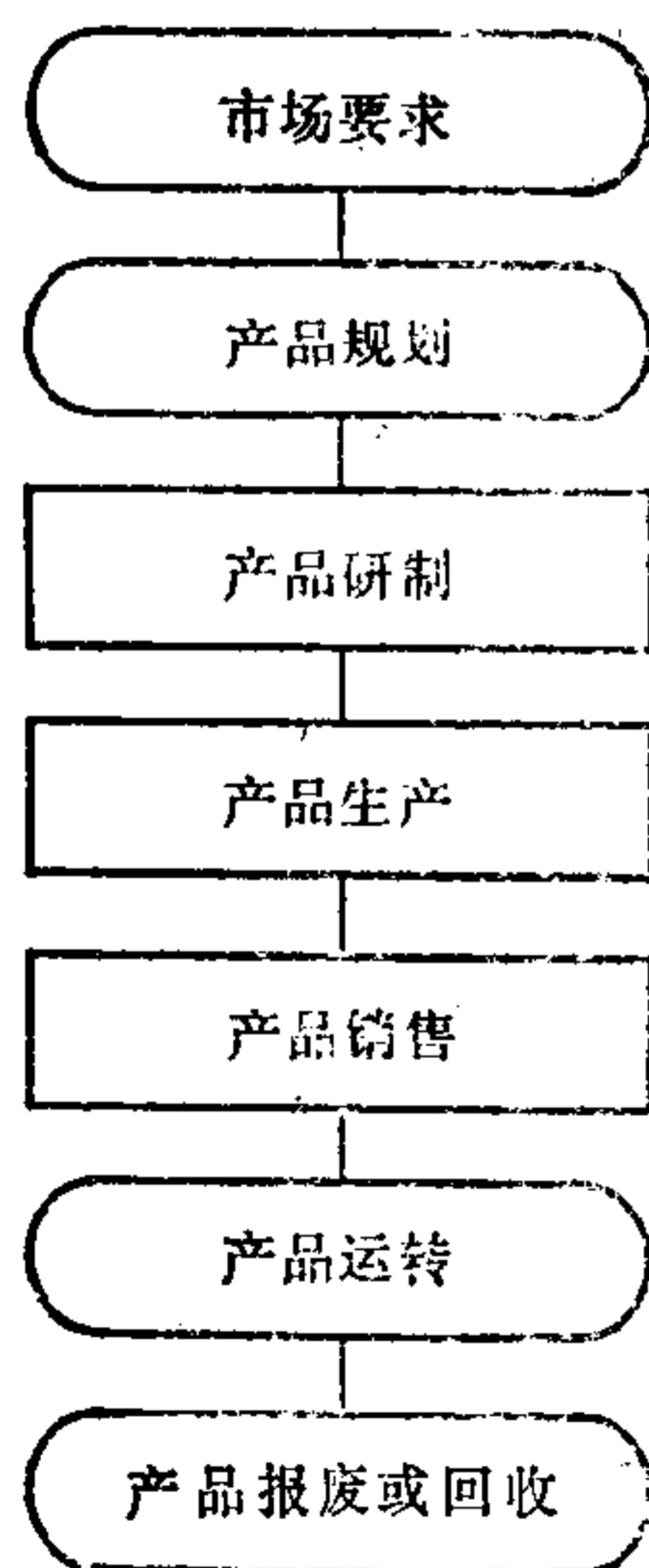


图4.1 工业产品的“产生阶段和寿命阶段”

产品研制指的是,为了明确确定某一产品所要做的全部工作,即从提出任务书到制定工艺文件所必须做的工作。当然也包括对该产品的样品进行的研究和试验。也可以把产品研制视为数据处理过程。输入的数据是任务书中所包含的信息。这些信息在研制过程中继续被处理。这个过程的结果(输出)是用图形表示的大量信息。这些信息再经过制造转化为产品。这时,应用电子计算机自动地进行这一工作肯定将起重要作用。为了尽可能减少收集数据的费用,最好在要输入的数据还很少时,也就是说,在产品研制过程的开始就着手设计过程的自动化。

产品生产的任务是计划和组织产品的生产以及产品的制造和装配。产品原始资料是在设计室和在生产准备工作中制订产品生产的书面资料和管理资料。

下面还要考虑产品研制过程,包括从提出任务书直到绘制图

纸和制定工艺文件。实际上经常把这些工作再进一步分为研制与设计,这里应当概括地用“设计”这个概念来表示。实际上人们经常把主要是构思新的想法和方案,并为此经常进行试验工作的部门视为研制部门。研制部门的工作也能用设计这个词的本来意义表示。

5. 任务书 (设计任务书、说明书)

任何一种产品在研制或设计工作开始以前,有必要以任务书的形式来说明一项设计要达到的目的。在大多数情况下制订任务书是很困难的。但任务书对以后产品在市场上的成功或失败都起决定性的作用。因此就不得不对想要制造的产品将要达到什么样的目标和意图进行慎重的考虑,这样有助于避免研制项目的失误。当委托人和承包人之间发生争议的时候,一份精心制订的设计任务书便可以做为重要的文件。下面所说的任务书,实际上也经常称作说明书或要求明细表。

任务书应当包括研制工作所必需的全部重要数据。其中包括对原来意图的说明,对要研制的工业产品的说明以及求解方案的限制条件(约束)明细表,就是说,要在这些条件下达到预定的目的。为此,把任务书分为目的说明书和其它限制条件两部分。

对于工程师来说,任务书是一个随时都要仔细考虑的“路标”,这是因为在研制过程中有了新的认识或者由于市场形势的变化需要修订的缘故。有时在要求上进行小小的变动就能获得便宜得多的方案或者得到开始时人们预想不到的其它好处。为了对任务书作些必要的修改,通常要求在产品研制与市场判断方面有一定的进展。

5.1 用途描述

用途描述就是描述所研制的产品要做什么,或者说其目的(用途)是什么,而不说明求解的途径。用途描述应与求解方案无关。换句话说,目的(用途)或目的功能¹⁾应理解为说明要研制系统应该达到什么目的,而并不限制实现这个目的可能采用的方案的数量。

对于一个要研制的技术系统的用途描述可以是这样的:例如需要研制一种割草的技术系统。如果预先规定电能为输入参量,于是这个条件就限制了方案的数量。一个目的(用途)可以通过几种不同的技术功能来达到。这句话反过来说同样也成立:一个技术功能有时能达到几个目的(用途)。例如一台通风机能用来制冷(能量传输)或者把空气从一个空间输送到另一个空间(物料传输),两者的目的(用途)是不同的。

下述定律是适用的:

对某一目的来说,可以想到的所有的解 L 是该目的的函数:

$$L = f(\text{目的})$$

每个目的一般都有几个解。可以想到的所有解的总数 M_G 同样与目的有关:

$$M_G = f(\text{目的})$$

用途描述是任务书最普通的表达方式。

1) 在价值分析或其它情况下,也把目的称作技术系统的功能(目的功能,或用途功能)。因为功能这个概念在技术系统中就是因果关系(技术功能)的意思,为了避免误解,下面所说的功能概念不是目的(用途)(目的功能,或用途功能)的含义。

在重视接口条件时仍然存在的解的分量 M_T 一般是目的和给定接口条件的函数。 M_T 小于或最多等于全部解的总数 M_G ：

$$M_T = f(\text{目的, 接口条件})$$

$$M_T \leq M_G$$

在考虑其它条件时分量 M_T 将进一步减小。如果按某一最佳目标来寻求最佳解,那么一般说来,解的数量就会减少到一个或很少几个。最佳目标可以是:成本最有利的解,功能最可靠的解等,或者是许多单项要求的综合或折中。也可以设想把要求提得很高,以致完全不可能得到满足这些要求的解。实际上,要研制的技术系统的目的(用途)和几个接口条件(输入和输出参量)通常是已知的或预先规定的。

除了目的(用途)和接口条件外,还有许多其它条件(约束)决定着某一技术任务的解。这些条件和要求可从市场、周围环境和其它的影响得到。对此下面还要详细讨论。对解提出的每一个条件都会减少某项任务存在的解的数量。最后,最终产品是目的(用途)和对产品提出的全部条件的函数。

$$\text{产品} = f(\text{目的(用途)}, g_1 B_1, g_2 B_2, \dots, g_n B_n)$$

式中 B_1 至 B_n 表示某些条件, g_1 至 g_n 表示其重要性系数。要研制的工业产品的用途描述表明了该产品要达到什么目的,而要求或限制则表明怎样或者在什么条件下才能达到这个目的(用途)(可参阅图12.1)。

5.2 要求、条件、限制

通常工业产品应满足哪些要求、条件或限制?在一般情况下,每个工业产品都是庞大的技术系统的一部分(例如汽车、道路、桥梁、隧道或电动剃须刀、插头、电源、发电机)并且必须满足由系统属性得到的条件(接口条件等)。工业产品是为某个市场(工业国、发展中国家等)而研制的,这些产品必须经得起环境的影响。另一方面,还得考虑到它的环境。这些产品必须成为“诀窍”并适应生产厂家的生产能力。这些产品还必须符合销售国的法律规定。

按照对工业产品提出的条件的来源可以分为市场条件、环境条件、系统属性条件、制造厂家条件以及有关国家的立法部门的条件等。

为使所有参加求解的人能更好地互相理解起见,任务书上还应有一个要研制的产品的工作名称。在不要求全面的情况下,大致可如下制定工业产品的任务书:

市场条件

- 1) 产品的工作名称和用途描述。
- 2) 市场和用户范围的类型(工业国、发展中国家等)。
- 3) 制造成本、价格。
- 4) 运转费用。
- 5) 每年的件数和总件数。
- 6) 日期(研制开始和结束日期,试验、出厂、交货日期等)。
- 7) 外形、结构。

8)功率或速度。如转数、频率、力、压力、扭矩、位移、行程、单位时间的物料通过量、单位时间的比特、有效距离或描述技术系统“能力”的其它参量。

9)精度、测量精度、可重复生产性。

10)效率。

11)重量、质量。

12)尺寸、结构大小(体积)等。

13)可靠性。

14)寿命。

15)维修条件、维修费用。

16)使用特性、舒适程度、自动化程度。

17)运转条件、如可允许的位置、气候、震动等。

18)系列结构或用户专门要求的结构。该产品同时或者以后是以系列结构制造和出售还是按用户的愿望制造?

19)模块组合式结构系统或其它的结构类型。该产品能否以模块组合式结构来开发和制造?如果可以,它又包括哪些功能块?

20)附加装置。附加装置指的是可以装入或装在基本结构上的功能单元(结构元件或部件),以便扩大基本结构的功能。因为早在确定基本结构时就得考虑能否附加上这种装置,以免以后再附加这种装置时支付更高的费用,所以最好在制定基本结构的任务书时就计划到这点。不属于该系统基本结构的各种元件或部件都可被视为附加装置,例如,在小轿车上的附加装置有雾灯(黄灯)、挂钩装置等。

21)特殊结构。就某种工业产品的某种一般结构而言,能在一般结构上有选择地装上不同的,但能实现相同功能的部件的产品被称为变型结构或特殊结构。例如,机床的主轴可以采用滑动轴承、滚动轴承或液体静压轴承。又如载重汽车可以采用汽化器发动机、汽油-喷油式发动机或柴油发动机。再如汽车可以选择左操纵系统或右操纵系统,在制定任务书的阶段了解并考虑以后可能采用的特殊结构同样是十分重要的,因为在确定一般结构时就得考虑这些特殊结构,以避免后来出现不必要的困难和费用。

系统属性条件

要研制的技术产品通常又是其它技术系统的组成部分,因为这点并不总是显而易见的,所以,对于要研制的产品来说,随之产生的条件有时很晚才被注意到甚至被忽略。由此而造成的经济损失可能是很大的。由于上述原因,在研制之前也要掌握这些条件是很重要的。由系统属性所得到的这些条件常被称为“接口条件”,它们是:

1)当要研制的机器或数据仪器必须与电源或数据网络联接时,就需要电参量,如电压、电流、频率、比特/秒等。

2)几何数据、尺寸等,例如:在系统中使用插头、插座;机器、输送系统(集装箱);机房(大门尺寸等),照像机和电影摄影机,胶片和相纸规格;车辆、道路、隧道、车库;各种类型的机械联接,如插塞联接、法兰、卫生设备的联接。

3)重量,例如:在系统中的车辆、桥梁;机器、建筑物。

4)在人-机系统中的工效数据,如汽车、打字机、屏幕工作场所、医疗器械等。

环境条件

可以把环境条件分为两类：环境对要研制的系统提出的条件以及要研制的系统对环境提出的条件。

前者指的是，要研制的系统必须满足包围该系统的空气、湿度、空气中可能存在的有害物质、灰尘等方面的条件。第二类条件指的是，要研制的系统不可避免地对其环境的要求，以保证系统良好运转。这些条件可以是装有空调装置的空间或无尘空间；具有一定的空气湿度、一定的气压等。

在第13章“符合限制条件的设计”中对此作了详细的叙述。

法律、规定、标准

如果要研制的产品打算投放到某个国家，那么该国家有关安全、防止事故、允许的噪声和允许排放的废气、射线保护、无线电干扰等方面的法律、规定和标准以及该国家的立法机关制定的法规等在任务书中对要研制的产品又提出了一些应该考虑的重要条件。

公司的结构

最后，在研制和生产已规划好的工业产品时，要考虑到企业内部工作人员的能力（专门技能）、组织情况、基础结构（如运输、通讯等设施）以及该企业或该国家的生产手段^[82]。必要时，也可以外协加工。

B. 设计过程和研制过程

I. 功能综合

6. 过程概况

工业产品的设计或研制过程主要由综合过程、选择过程和分析过程组成。当必须弄清要开发的系统所提出的噪声的产生、磨损情况、动力状态等问题时,才需要分析过程。因为这些问题只有通过实验研究才能搞得清楚(参见图6.1和12.1)。

综合过程一般是由下述设计步骤组成:功能结构综合,原理综合、构形综合和尺度综合。例如:如果已经决定给要研制的系统采用哪个原理解,那么实际上综合过程便减少了那些其结果为已知的步骤。每综合一步,都会为某个研制目标提供几个解。因此,每综合一步之后,接着便是一个选择过程,以便尽可能把大量的解减少到一个唯一的最佳解。

所谓“选择过程”是由下述每综合一步之后都要重复的工作组成:

1) 检查对一个解提出的全部要求(要求明细表)是否能通过该解得到满足,并且去除那些不能满足固定要求(必达要求)的解;

2) 弄清一个解能在什么程度上满足要求明细表中的“愿望”;

3) 评价每个要求并且确定解的总值(经济值和技术值,参阅VDI 2225);

4) 比较并选出最适宜的解;

5) 必要的时候弄清最适宜解的薄弱环节;

6) 消除解的薄弱环节并且用综合的方法改进解。

技术解并不都能满足对它提出的要求。因此必须弄清一个解能在什么程度上满足某个要求。这在很多情况下,不能客观地进行是理所当然的。各种要求相互之间更不能客观地进行比较,但是为了断定某个解比另一个解是好些还是差些,这种比较还是需要的。除了简单的情况外,选择过程与设计的主观判断能力有关。一般来说,只能通过下述方

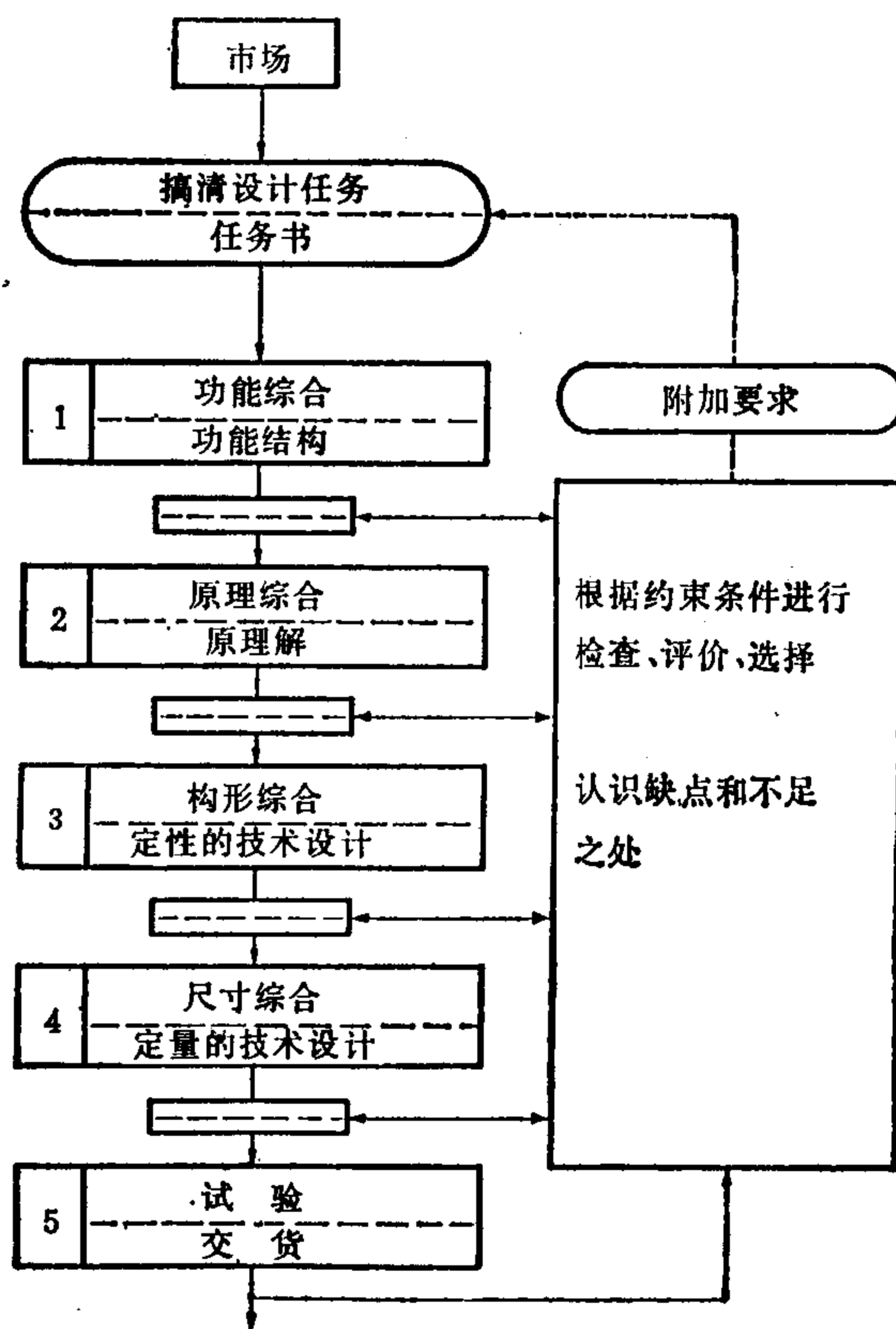


图6.1 将设计过程或研制过程分为综合、选择和分析过程

法才能使选择过程更客观些,即让几个人进行评价,由各个评价结果构成平均值并以此作为决策的基础。

设计过程的出发点是在产品规划中制定的设计任务书。从设计任务书到具体解的进程中的第一步是根据预先规定的目的来说明要研制的系统的目的功能。下一步是把目的功能进一步分为基本功能结构和基本操作结构。一般来说,一个设计任务可能有多种不同的功能结构,它们虽然都能满足规定的目的功能,但在某些情况下使用时并不是都同样的好。指出可能的功能结构并说明最佳功能结构是功能结构综合或简称功能综合的任务和目标。

在电工技术中解决一个课题,通常也是从研制功能结构或线路图开始的。因为在电工技术中可以从熟知的、构成复杂系统的基本功能(电阻、电容、线圈、逻辑结构元件等)开始研究。对于一般的机械制造来说,阐明基本功能或基本操作无疑也是有益的。这样便可将电工技术的复杂系统的研制方法运用到机械制造中来。一般来说,电工系统的基本功能已经有了相应的结构元件,而在机械制造中(除所谓的机械零件这种特殊情况外),首先得研制用于各种系统的元件。因此,对于机械制造来说,重要的是除了研制复杂系统的辅助手段外,还要有实现功能单元的规则。对于某种功能的解的想法,首先只包含定性的信息。为了能够确定尺寸,定性的解方面的知识当然是前提。由此可知,定量的设计原则上说来必须是以定性的设计过程为前导,因为技术产品只有当它定性地被确定(也就是确定了其原理及其定性的构形)时,才能进行分析和确定尺寸。例如,一个传动机构,只有当确定了它是哪种传动机构时(杆式机构、齿轮机构、凸轮结构等)才能确定其尺寸。一个弯梁,只有当定性地确定了其断面型式后才能确定其尺寸。

设计过程的第一阶段产生一个定性的解(定性技术设计)并且在实践中常被称为新思想、方案设计和技术设计。因此,应当把这一阶段概括为定性设计和定性综合这一概念。从定性的技术设计开始,直到绘制施工图样所必需的工作也相应地概括为定量设计和定量综合这一概念。定性设计和定量设计是两种逻辑上相连的工作,其先后顺序不能颠倒。这就说明,在可能推导出这些定律之前,必须定性地知道一个解。换句话说,绝对不能由物理定律来逻辑地推断出原理解;相同定律适用于不同的原理解。

根据上述产品研制和设计过程的说明,可将工作原则地划分为以下几个方面:

- 1) 功能综合;
- 2) 定性综合或定性设计;
- 3) 定量综合或定量设计。

它们又进一步划分为以下工作步骤(见图6.2)。

功能综合

- 1) 描述目的功能、主要功能或核心功能。
- 2) 划分并研制一个或几个相应的分功能结构并且选出最佳结构。
- 3) 划分为可供选用的基本操作结构并且选出看来是最佳的基本操作结构。

定性综合

- 1) 为基本操作结构编排不同的物理效应。

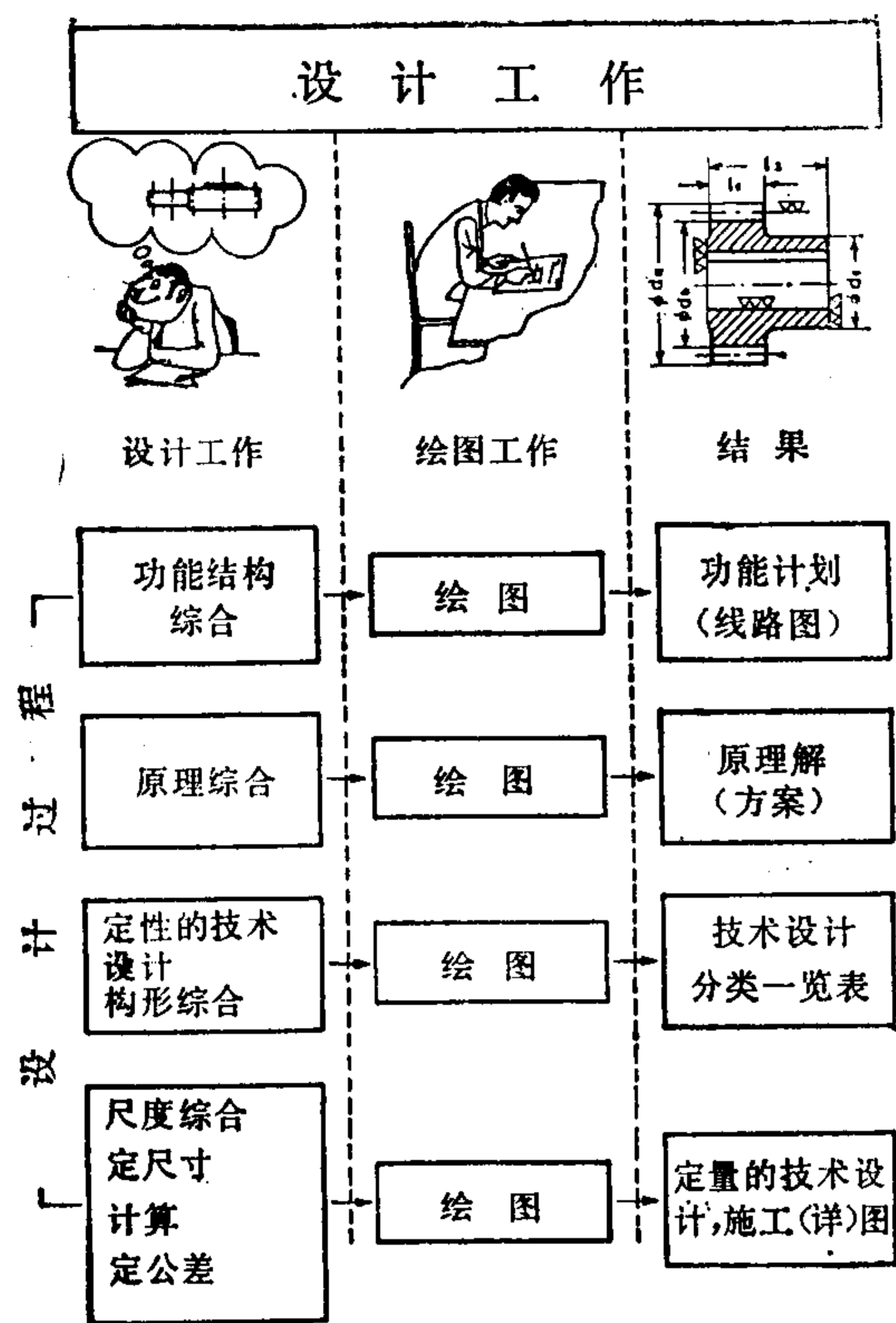


图6.3 原来的设计工作、绘图和设计结果之间的区别

随时检验研制过程的目的性,并且在具有充分的理由时,可以中断研制工作或者反回到前一个工作步骤中去。

把真正的设计工作和绘制简图、制定文件或绘制图样区别开来,对理解设计过程还是有益的。尽管这两方面的工作在实践中经常是同时进行的,但设计和制图仍然有本质的区别。所谓设计是指观察者看不见的、“设计师头脑中”的思维过程,通过设计“怎样”才能得到一个技术解,以便在一定的条件下完成某项任务。与此相反,制图则是对设计结果进行形象说明和清楚地表示的手工工作。图6.3说明了设计和制图之间的区别。

7. 功能结构的研制

设计过程分为三个阶段:功能综合、定性的机器综合和定量的机器综合。在开发工业产品的时候,总是在自觉或不自觉地经历着这三个阶段。

在解决一个任务时,将按具体情况看看能利用多少已知的东西,从而省略个别的工作步骤或整个研制阶段,因为它们已是多余的了。为了完整起见,下面讨论的出发点是必须重新研制实现解的任何可能性,因此必须经过设计过程的每个工作步骤。

下述四方面的认识对后面的阐述具有重要意义,它们是:

- 1) 在机器、仪器和设备中只出现能量流、物料流或信号流(参见图7.1);
- 2) 在技术系统中只改变能量或信号和物料的特性和状态及其流;
- 3) 技术系统中的复杂过程都可归因于有限数量的物理、化学、生物、数学和逻辑基本操作;
- 4) 这些基本操作只能通过物理、化学或生物效应来实现。

基于上述认识,可以导出工业产品设计时所经历的过程:根据设计任务书中给出的目的说明和接口条件,首先应阐述整体系统的输入和输出参量之间的因果关系(参见图7.1)。研制系统的这一目的功能在下个工作步骤中又可分为预先给定的分功能或者进一步分为基本功能或基本操作,它们必须相互联系或有关系,从而实现整体系统的目的功能。这个工作阶段的结果,一般是产生几个可供选择的基本功能结构或基本操作结构,然后便可为所设计的系统从中选出最佳结构。该结构可在下个设计阶段由相应的物理原理或结构元件实现。

正如引言中所提到的,机器、仪器和设备,原则上可分为物理的、代数的和逻辑的基本

操作,逻辑的和代数的操作过程可以通过普通代数和布尔代数已知的基本运算很好地描述。但是通过适宜的基本操作可以描述技术系统中的物理过程(电工技术和 液压技术除外)却是鲜为人知的。

功能综合概念指的是为了把口头提出的任务形成技术系统的目的功能所需的工作,以及为了通过分功能结构或基本功能结构来代替这样形成的目的功能所需要的工作。后者大致相当于电工系统和液压系统线路图的研制。

为此所必需的各个工作步骤应该称为研制(综合)分操作结构或基本操作结构。这些工作步骤的进程或结果就是随着详细(说明)程度的增加而用目的功能、分功能结构和基本功能结构或基本操作结构等词来表示的功能结构(图 6.2)。这些过程的目标和宗旨是创造该系统一个非常一般化和非常抽象的模型,该模型适于研制所有存在的解。

在下一章中还要详细阐述实现上述工作步骤的问题。

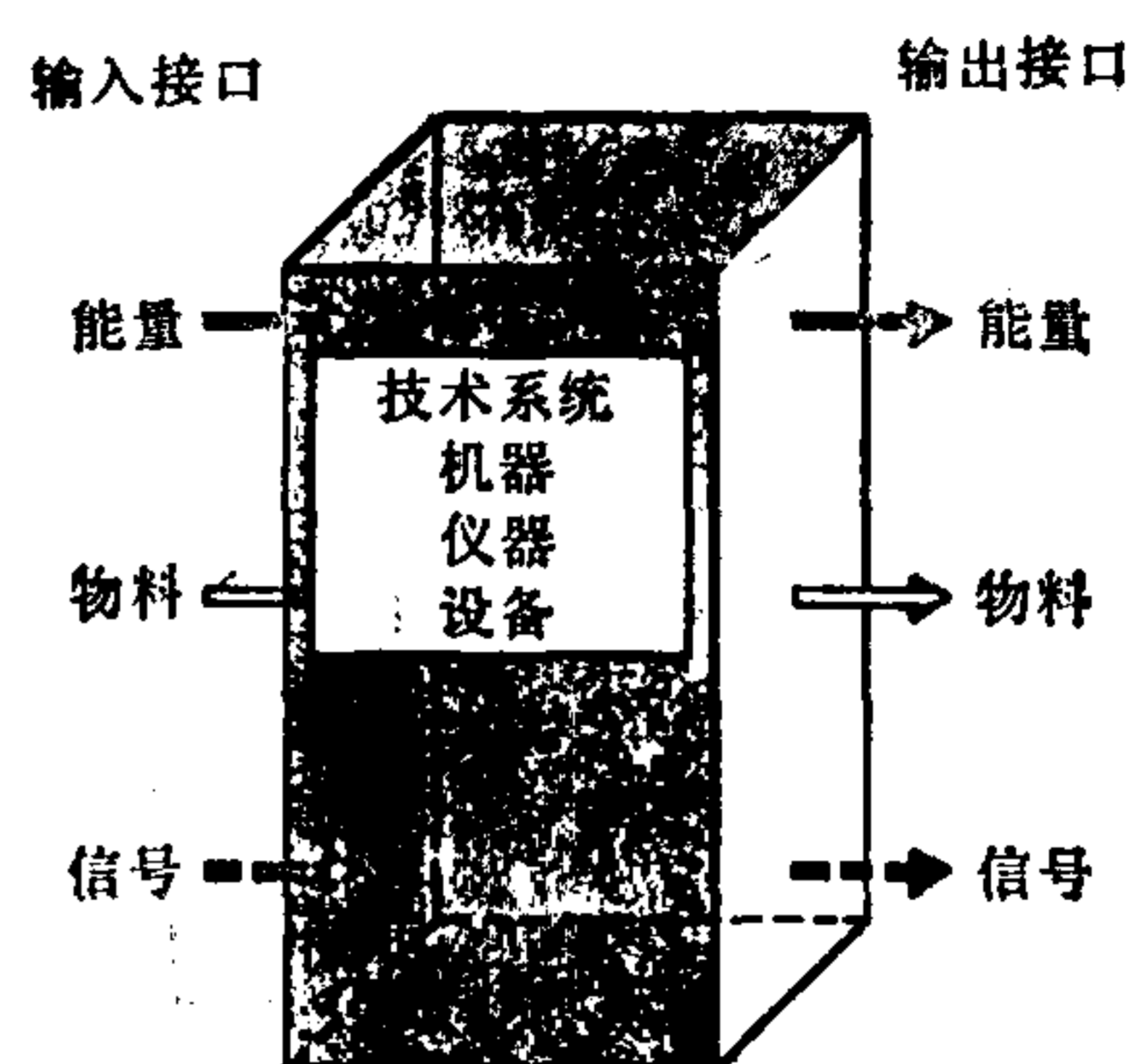


图7.1 用能量、物料和信号(信息)的输入接口和输出接口抽象图示一个技术系统(黑箱)

7.1 目的功能或主要功能的表述

所谓描述要研制的技术系统的目的功能(用途功能)或主要功能[以系统的目的(用途)描述为出发点],就是认识和确定该系统要实现的主要功能(操作),也就是认识该任务的“核心”。例如:水泵的目的功能、主要功能或者称为核心功能是给水施加动能。在研制泵时,以后还要补充的所有其它功能,如单项阀门等都是次要的功能;虽然它们是实现目的功能所必需的,但却又依赖于目的功能。另一个物理原理作为主要功能的解,一般也会造成其它次要功能。因此,新技术系统的研制要从实现目的功能或核心功能,即从主要部件开始;只有确定了主要部件,才能“围绕着它”研制必需的其它次要功能,即次要部件,因为次要功能要适应主要功能或者是由主要功能决定的。

表达目的功能的出发点和前提是用文字形式写下来的、关于要研制的系统的目的和达到该目的所需的条件的设计说明书(参见第5章)。目的描述一般只说明某个系统要达到的结果(输出),并不说明怎样达到这个结果。

系统这个概念下面指的是这样一种技术产品,按照不同的规模,它可以实现一个或几个物理的、逻辑的或数学的过程。下面的讨论应主要限制在物理过程范围内,这就是为什么没有讨论逻辑过程或其它数学过程的原因。

对于物理过程的各种系统来说,其任务是共同的,那就是用任意方式改变能量、物料、信号¹⁾的特性或特性的状态或它们的流,以使这些能量、物料、信号或它们的流以改变后的状态离开该系统,或者使能量、物料或信号尽可能不变地传输,以使它们在其它地方毫无改变地重新被应用。技术功能指的是与此相应的输入参量和输出参量之间的因果关系。

1) 这里指的并非其信息内容,而是其物理量和特性。

它可以具体地通过描述输入参量和输出参量的特性或状态以及实现这种转变所必需的工作得到。

根据具体的设计任务研制技术功能结构时,把未知的、要开发的系统视为有能量、物料和信号的入口和出口的“黑箱”(图7.1)是有益的。系统的入口和出口是与其它相应的技术系统、与人或其它自然系统的联接。此外,它们还表示各分功能之间的分界限。输入参量和输出参量和系统边界互相制约并且总是一起出现,因为只要不是封闭系统,技术系统和自然系统总是和它们的“环境”联接起来或者能够进行联接。

这种联接或系统的边界常被称为各个系统之间的接口。根据进入系统或离开系统的能量流、物料流或信号流,应将输入接口和输出接口区别开来。应该把那些必须满足的、能进行能量交换、物料交换和信号交换以及各系统之间物质联系的条件相应地称为接口条件。

有时输入参量和输出参量可以通过与要研制的系统相符合的邻接系统预先给定,或者可以或多或少地进行自由选择。一般来说,在某些实际产品的设计任务书中规定了受其它系统影响的接口条件。否则,接口条件可以依据开发产品的目的来确定;有些还可以在了解设计目的时,自由选择接口条件。

输入参量和输出参量之间存在着一定的因果关系,这在第一个工作步骤中应予阐明。综上所述可以概括如下:

规律1: 根据设计任务书,在第一个工作步骤中就应该看清并且确定研制系统的目的功能或主要功能。“目的功能或主要功能的表述”就是详细确定输入参量和输出参量的特性和状态并在考虑预定目的的条件下输入参量和输出参量的排列。换句话说,目的功能的阐述就是为把目的描述转变成物理功能、数学功能或逻辑功能(参见第7.6节“实例”中的“泵”)。

如果用 $G_{E,i}$ 表示输入参量的特性或状态, $G_{A,i}$ 表示其对应的输出参量,那么作为物理功能,该任务可简化为:

$$G_{E,i} \Rightarrow G_{A,i}$$

该功能表达式表示输入参量 $G_{E,i}$ (能量、物料或信号)对应于输出参量 $G_{A,i}$ (状态的输入参量 $G_{E,i}$ 是对应的),而且状态的输入参量 $G_{E,i}$ 能以任意方式“转变”成状态的输出参量 $G_{A,i}$ 。一般来说,技术系统的能量流、物料流或信号流也可以被分枝或聚合,也就是说一个输入参量对应于两个(或几个)输出参量,或者几个输入参量只对应于一个输出参量。箭头表示“转变”或“改变特性或状态”。脚标 i 表示与其对应的参量,根据要求,其值可以为1至 n 。

在这个阶段,对输入参量和输出参量、能量、物料或信号(G_E 和 G_A)的特性(或状态)应该有具体的设想,而对“怎样”转变的问题倒可以放一放。 G_E 和 G_A 是互相没有联系的变量,在理论上可以认为它们是任意的。但是设计任务书经常预先给出这个或那个输入参量和输出参量或输入参量和输出参量都给出。

研制系统的输入参量和输出参量是要达到的目的的函数:

$$G_E \text{ 或 } G_A = f(\text{目的})$$

系统的目的功能是由各个输入参量和输出参量之间的所有相应关系的总和来描述:

$$(G_{E1}, G_{E2}, \dots, G_{EU}) \Rightarrow (G_{A1}, G_{A2}, \dots, G_{AU})$$

除了第5.1节给出的定义外,功能这一概念还表示技术产物的输入参量和输出参量之间的对应关系及其定性的特性变化或状态变化。这里所指的物理-技术功能是通过该系统前和通过该系统后物理参量的特性和状态,以及把输入参量转变为输出参量所必需的工作描述的(图7.1.1)。

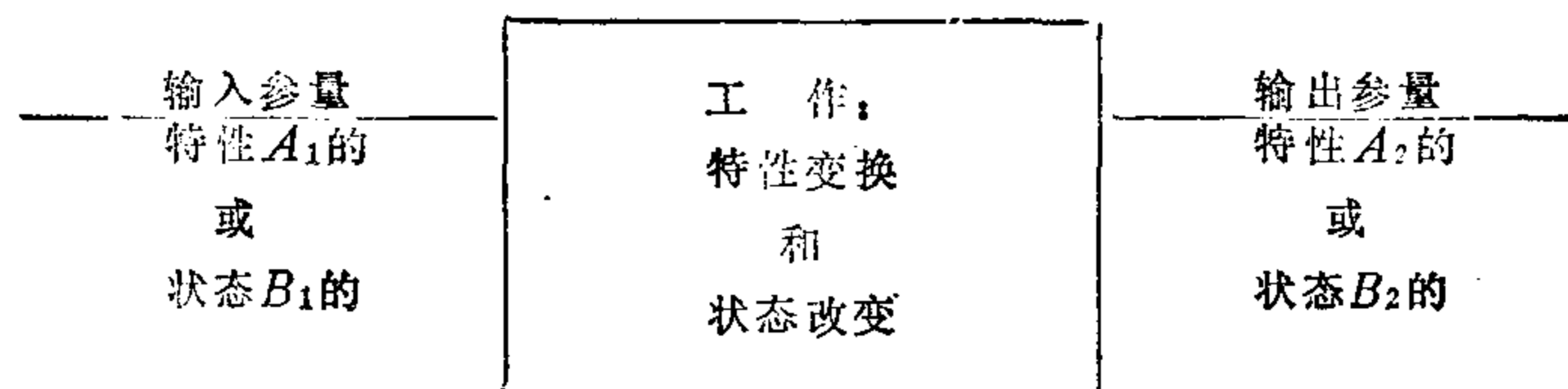


图7.1.1 物理功能的描述特征

因此,功能常以提示词的方式用一个或几个名词和一个动词来表示。可以用电动机和白炽灯为例说明。电动机把电能转变为动能(电能[Ws]转变为机械能[Nm])。白炽灯把电能转变为光能(电能[Ws]转变为光[lm])。也可以把要研制的系统先用几个词给出的目的功能抽象地用物理参量来描述并使之精确化。本书第7.6节将用实例形象地说明上述情况。

7.2 分功能结构、基本功能结构和基本操作结构的研制

复杂技术产物的目的功能一般可以由几个分功能或基本功能组合而成。按照系统边界的位置从概念上可分为整体功能、分功能和基本功能。在7.3节中将准确定义这一概念。在此,暂时把基本功能理解为最小的、不能再细分的功能就可以了。分功能一般由两个或几个基本功能组成。另一方面,几个分功能又可构成一个整体功能。

假定可以把机器、仪器和设备中的各个过程都归因于有限数量的基本操作的话,那么把要研制系统的目的功能归因于该基本操作的一个结构也是有意义的。这种方法的优点是可用较少的时间为该系统所要求的目的功能研制出可供选择的几个功能结构方案,并选出其最佳方案。值得注意的是:即便是复杂的电气系统和液压系统也可以通过规定的基本功能或分功能(电阻、放大器“或门”电路等)的结构线路图来实现。

在研制电气系统和液压系统方面这种方法早已是众所周知的。设计师根据被研制系统预先给定的目的功能,设法通过已知的分功能或基本功能组成的结构来替代这种因果关系。为此,必须分析已给的目的功能并把它分为分功能和基本功能。这项工作的前提是已规定的分功能或基本功能。用已规定的基本功能或分功能组成等效于整体功能的功能结构主要是一个综合过程,它是由同时进行的分析过程来补充和支持的。

实际上人们先有一个关于整体系统因果关系的设想,然后设法通过规定的基本功能和分功能的逻辑连接来替代它。这个过程与一位建筑师的情况相类似。这位建筑师知道他要建造的高楼大厦的外观应该是什么样的,使用哪些建筑构件(砖、窗、门等)来实现他的设想。另外拼图游戏也与研制功能结构的过程相仿。游戏者知道单个的积木块和要拼成的总图。做拼图游戏时“只是”一个挨一个地“正确地”排列起来就可以了。

最好以研制电气系统线路图的情况来说明制定功能结构时的问题(实际上,电气线路图与这里所说的功能结构是一样的)。众所周知,某些电气系统有着非常完善的设计逻辑系统的方法。如布尔代数和多极理论。如果不知道这些方法或者由于其它原因不能利用

这些方法,这时可重新根据可供使用的系统的结构元件,以线路图的形式把这些元件组合成一种结构并同时对该结构进行分析。如果这“第一个草案”还有错误,那么就进行相应的修改并重新进行分析。这个过程经常重复,直到这样研制的功能结构符合预先给定的目的功能或整个系统所希望的因果关系为止。由于缺乏详细阐明的求解方法,在实践中就是这样来研制线路图的。

这种方法可以直接应用到研制一般交叉学科的功能结构中。人们设法用规定的基本功能或分功能建立(综合)功能结构的方法来取代预定的目的功能,并对这样逐步形成的功能结构进行分析和修正,直至它与目的功能等效为止(参见第7.6节和第15章的实例)。用物理的基本功能来系统地研制功能结构的方法,目前才刚刚开始。第8.6节对至今还知之不多的这种代数方法做了简单的介绍。

从理论上讲,目的功能可以直接在一个工作步骤中被基本功能结构代替。但是,由于种种原因,不是把目的功能直接转变为基本功能结构,而是首先把它转变为分功能结构。这样做的原因可能是想把目的功能成分功能,而对这些分功能来说已经有了可以买到的合适的部件,因此这些部件就不需要再研制了。有时一个公司已经研制和生产了分功能相同的几种机器、仪器或设备,因而同样的部件就能重复使用。认识这些共同点是这种方法的一个优点。然而,中间这一步,原则上是不必要的。相反,成分功能就是任意确定分系统的边界,而在实践中这无疑是有意义的。于是,就经常会出现用可以买到的结构元件或部件作为分功能组成的结构,如减速机、发动机、回转工作台、电路板等。

- 此外,各种功能的排列方式可分为下述三种形式(图7.2.1a、b、c):
- 串联(链式)结构,用于按先后顺序进行的过程;
 - 并联(平行)结构,用于同时进行的过程;
 - 环形结构,用于反馈过程。

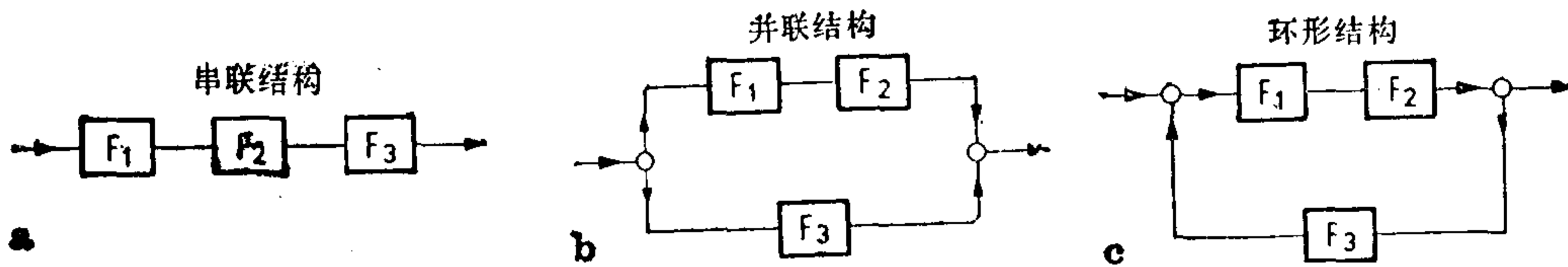


图7.2.1 a、b、c 技术系统的功能结构

在7.6节中引用了传动技术方面的串联、并联和环形结构的实例。

为了研制分功能结构或基本功能结构可以总结归纳如下:

规律2: 研制分功能结构或基本功能结构就是将事先给出的目的功能划分为已知的分功能或基本功能,或者通过把分功能或基本功能逻辑联接起来构成(综合)功能结构,从而便产生了所要求的整体系统的因果关系。

定义那些经常重复出现的各种功能对分功能来说是有益的。这实际上也是习以为常的。例如把机床系统划分为: 主轴传动机构、进给单元、回转工作台等分功能,把汽车划分为驱动装置、变速机构、操纵装置、车身、底架等分系统。因为随着工业产品的不断增加,可以想到的各种分功能或部件的数目会变的很大,所以当然不可能把所有可能的分功能都规定下来。因此,也只能在有限的范围内,按照专业(部门)或公司的特点适当地定义

和确定分功能。

因此设计研究工作中的重要而宝贵的认识就是：可以把机器、仪器和设备中的复杂过程归结为较少的基本活动，即所谓的物理基本操作(图7.3,1)。下面就是这些基本活动及其相反的活动：

——转变	——复原
——放大	——缩小
——变向	——变向
——传导	——绝缘
——联接(连接)	——分离
——接合	——分开
——存贮	——取出

上述这些基本操作目前可能够用了，如何导出它们以及操作概念的定义将在第7.3节中说明。

假定技术系统的所有复杂的物理功能都可以由上述基本操作构成；另外假定对每种基本操作都可以给出适于实现这些基本操作的现有的所有物理效应、化学效应或生物效应，从而就得到一种有可能从理论上为某一任务找出所有存在的解的方法。迄今为止所谈的“功能综合”阶段可概括为下述三个基本的工作步骤(也可参见图6.2)。

——确定要研制系统的目的功能。研制目的功能的出发点是说明要研制的产品的目的或者至少是对目的的设想。这项活动应简称为“目的功能或主要功能的描述”。其结果是得到该系统的目的功能。

——由已知的分功能和基本功能组合成目的功能，简称分功能的综合或分功能的细分和设计。其结果是得到等效于目的功能的分功能结构或基本功能结构。

——把基本功能抽象化为所谓的基本操作。其结果是基本操作结构。如果有时与传递信息使用哪些物理参量无关，那么也可以把基本功能结构一般地当作基本操作结构。基本操作结构没有确定的输入参量和输出参量。

基本功能和基本操作只是其输入参量和输出参量的确定不同。在基本功能时，这些参量是固定的，而过渡到基本操作时，只要设计任务书允许，应该省去或者撇开这些参量。基本操作结构与基本功能结构只是通过省去确定输入参量和输出参量区别开来的。在基本操作结构中，只是确定操作或者活动本身，不再说明从什么转变成什么。

如果在具体情况下，不涉及一定要加工哪种能量、物料或信号，那么这种解法的设想是有普遍意义的。例如，在信号技术中常出现这种情况。因此，对于传输信息来说，信号的种类(无论是光、电、声或机械信号等)有时并不重要。所以这时先撇开物理量的类型并引入另一个可变的设计参数是明智的。因为这样就不会错过其它的解决方案。如上所述，把一个技术系统的整体功能划分成分功能本来就是给分系统划定边界，这个工作是在合理的观点指导下进行的。这也可以在制定了基本操作结构后或者再早些时候进行。当人们想采用现有的部件或元件时，再次去“虚构”那种分功能或基本功能就不好了。相反，这时倒可以不再进行功能综合，以便留待研制部件或系统方案时再进行(图6.2；第9点或第10点)。

此外，将一个整体功能划分为不太复杂的分功能或基本功能对于实现模块组合式系

统和采用现有的部件或元件也具有重要意义。

特别值得注意的是,对某一任务来说,通常不是只有一种,而是有几种功能结构。其中可供使用的功能结构的数目随着对系统所提条件的增加而减少。

7.3 物理基本操作的推导

技术系统中的诸过程可以归结为有限数量的基本活动,这一认识在设计方法讨论的路程上又迈出了重要的一步。为了导出这些基本操作,重要的概念是在技术系统中只能存在可以任意方式传输和变更(转换)的能量流、物料流或信号流¹⁾。

与功能的含义相反,操作的含义只是活动本身,它不涉及“什么”应该转变为“什么”,而功能的含义首先就指输入参量和输出参量之间的因果关系,即“什么”应该转变为“什么”。从这个意义上讲,所谓物理功能则指的是通过什么活动把哪种物理量转变为另外哪种物理量。通过公式:

$$G_A \Rightarrow G_B$$

可以看出,A类能量通过“转变”而变成B类能量。箭头表示“转变”,它指出通过什么样的活动来实现这个过程。箭头应被视为上述函数表达式的运算符号,就像加号(+)可以是一个普通数学函数的运算符号一样,+号本身并不说明由哪些量相加。

在技术系统中只有能量、信号和物料的特性和状态可以变化或者不变,知道这一点对于下面的讨论是很重要的。能量和信号以及它们的分量(如力、电压、电流等)的特性和状态将由给定的量纲(单位)、数值和方向(如果它是一个向量的话)来说明,或者由单位和数值(如果它是一个标量的话)来说明。对于物理量来说,技术系统只能改变单位、数值,必要时还可以改变方向,其它可能性是没有的。一般来说,物理量单位的改变总是与特性变化联系在一起。特性变化也可以理解为能量、物料、信号,或能量流、物料流、信号流的质的变化。物理量的数值(数量)的变化应该称为状态的变化。换句话说,状态的变化就是特性的数值(质的数量)的变化。

改变能量类型的特性(或信号类型,即实现信号的能量的类型)与改变能量的量纲是一样的。换句话说,不同的能量(电能、机械能等)通常也有不同的特性。能量特性的改变或者把一种类型的能量改变成另一种类型的能量应当称为“转变”。如果回想一下不同类型的能量在几年前还用着不同的单位,如机械能、电能或热能的单位分别为 mkp、Ws、kcal,那么,现在也可以说:“改变能量的量纲”应该称为“转变”。能量重新复原为它的原来的形式应当称为复原或简称为“转变”。与上述情况相类似,在实践中,也可以使某种材料获得或失去一种特性,例如使一种材料磁化或去磁,变硬或变软等等。获得或失去特性也应相应地用“转变”来表示。

改变能量组成分量(力、电压等等)的物理量的数量应该用放大或缩小来表示。对于信号的物理量同样也可以这样表示。与此相类似的是,物料的状态参量或特性参量的放

1) “信号”这个概念在这里指的是一个有源的物理量的时间变化过程。这里,应该把所有带有能量的物理量或能量的分量都视为这类有源的物理量。举例来说,它们是:电压、电流、力、位移、压力、光通量、声等等。有源的信号表示能从一处传输到另一处的(信号流)流量。与此相反,无源的信号没有能量,除非事先把它变为有源的信号,否则它们是不能被传输的。诸如图象、形状、穿孔纸带、可变电阻等等都是无源信号。这里,信号流首先是被当作能量流的,对于信号设备的结构设计来说,这些流的信息容量是次要的。

大或缩小同样应该用放大或缩小来表示。

改变物理矢量的方向(例如圆锥齿轮传动),如力、转矩、速度或转数等矢量,应该用“改变方向”来表示。因为可以任意的方式再取消上述的操作,或者也可以为上述的活动设想一种相反的活动。看来对每一种基本操作都相应地定义一种相反的基本操作是必要的。

能量、物料和信号“流过机器、仪器和设备”;或者换句话说,在机器、仪器和设备中存在着能量流、物料流和信号流。基于这种假设还可以假定四种基本操作。如果问及所有有流(能量流、物料流和信号流)存在时才有可能的活动的活动的话,那么至少还有如下四种操作,即:

- 能量流、信号流或物料流的传导或隔断;
- 能量流(信号流)或物料流的存贮或提取;
- 按能量流(信号流)或物料流的量进行的定量的组合或分开;
- 能量流、信号流或物料流的结合或分离,它们是根据不同的质(特性)按照某种物理特征进行的。

实际上,除了这七种真正的或初始的基本操作外,还应定义其它的所谓“准基本操作或次级基本操作”。在技术系统中经常要实现的这些“次级基本操作”是电开关、机械离合器、单向阀等等。从理论上讲,这些开关(用于电能、机械能或液压能)是可控地实现传导或隔断能量流、信号流或物料流的部件,并且可以相应地用一个可控的基本操作传导或隔断来代替。但是将这些“基本操作”用于“闸刀开关”功能和其它看来是基本的活动则是有益的。

在此应该提到,由于实际的原因在教学中也采用了这类“准基本操作”。例如在教学中把乘法或除法也看作是基本操作,尽管这可以通过反复的加法或减法来代替。

此外,从实际出发,在能量流和物料流引导、分支、定向和发射时以及相应的相反活动时,采用“准基本操作”看来是相宜的。事实上,刚才所说的这些“准基本操作”都可以通过前面所说的七个基本操作之中的一个来代替。因为在不同专业领域内已将刚才谈到的操作归类为“准基

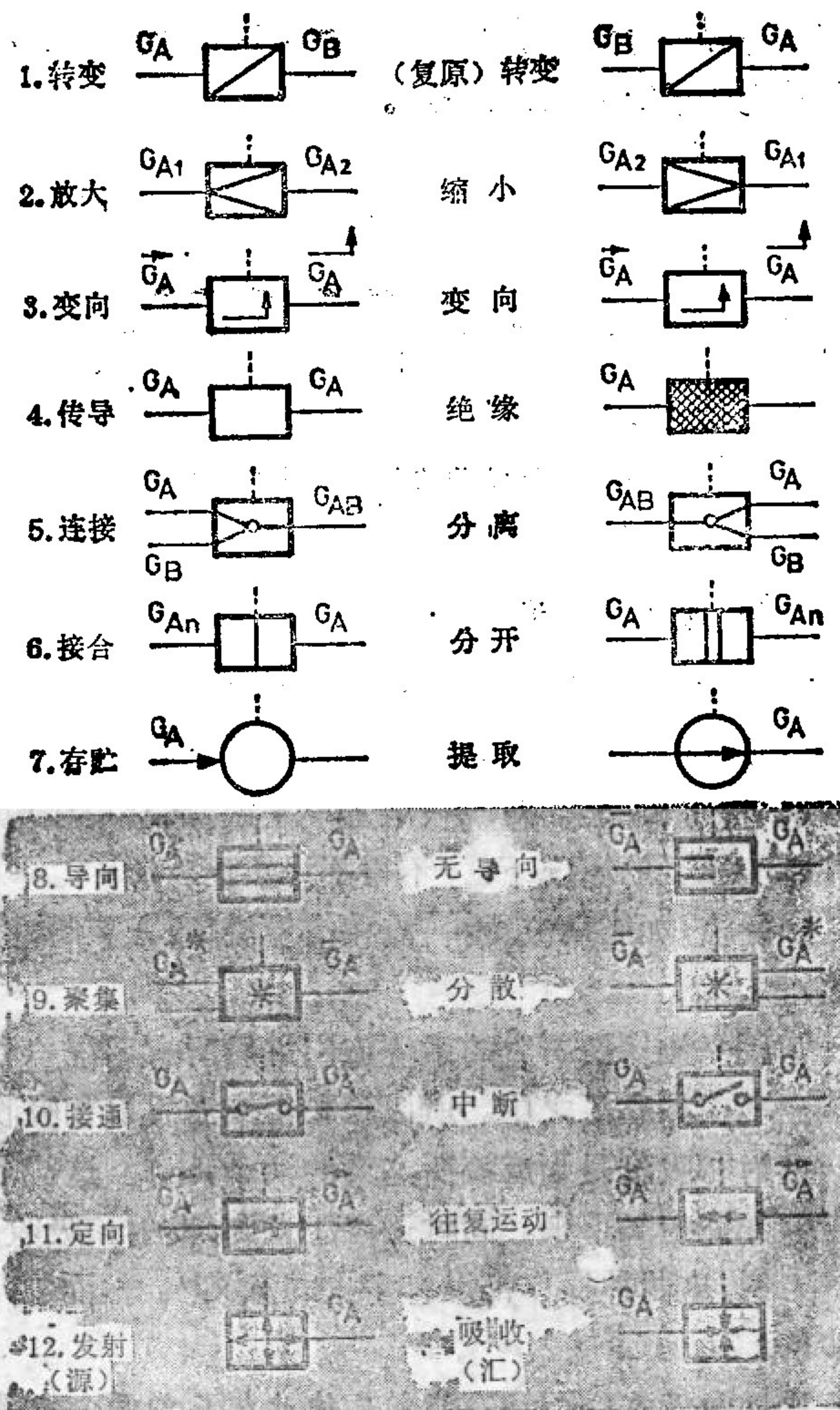


图7.3.1 物理基本操作及其表示符号。1至7为主要基本操作;8至12为次要基本操作

本操作”(电源、整流符号等),所以这里也把它们称为“基本操作”。

总而言之,这样就得到了图7.3.1中用符号表示的七种(1至7)主要基本操作和五种(8至12)“次要基本操作”以及相应的相反操作。

从形式上看,可以取消任意一种特性、状态或方向的变化。也就是说,从理论上和实际中给每一个基本操作都增加一个相反的基本操作是有益的。例如转变与复原、放大与缩小、变向与再次变向等等。

转变和复原操作可以发电机或电动机为例,齿轮传动装置是矢量物理量(转数或转矩)的放大和缩小操作和矢量方向改变(角速度)的恰当的例子。

一般来说,每一个基本操作都有一个输入和输出。与这一事实相符,操作符号都有两条连接线(两极)。这里所说的大多数基本操作都可以通过一个辅助量来控制。可控的基本操作应该对应与三极,用有三条连接线的符号来表示。

实际上,控制基本操作的方法是以基本操作经常是通过物理效应来实现为基础的,而物理定律是一个函数,它不只是由一个而是由两个或几个相互无关的、可被用于控制的参数组成($y = f(x_1; x_2; x_3; \dots)$)。

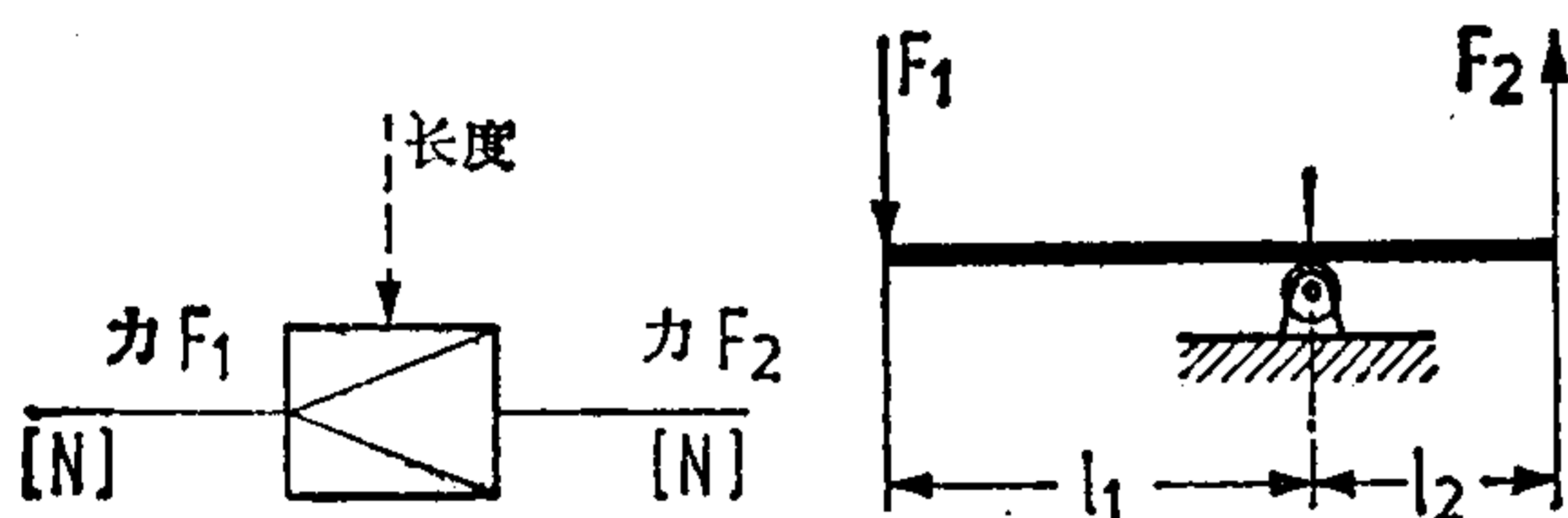


图7.3.2 基本功能“力的放大”及通过杠杆效应的实现(举例)

一个基本操作可有一个或几个控制输入端(三极、四极或多极)。气动放大器、无级变速器、有可变传动比的杠杆系统(图7.3.2)等是实现可控放大基本操作的技术系统。可以实现放大基本操作的系统通常被称为放大器。也有不可控的基本操作。

发射-吸收(源-汇)

能量流、物料流或信号流始终要求有相应的源和汇。相应于源和汇的活动应该用发射和吸收这两个概念来表示。一切自然能源、物料源和信号源(太阳、水力、燃料等)都具有发射(源)的功能。对于技术系统来说,通常用环境作能量汇、物料汇和信号汇。只是在环境不能承受的情况下,才不得不设置汇。

源是流(如能量流、物料流和信号流)进入要研究的系统之前所有技术系统总和的抽象概念。

汇则是流从要研究的系统流出之后所有系统总和的抽象概念。因此一切可能的操作都能出现在源或汇之中。所以源和汇或者发射和吸收不是主要的基本操作。

发射和吸收是形成流所必需的活动,因此,这些活动应该被视为次要的基本操作,而且应该如此定义下来。同时还应注意到,发射和吸收是相反的活动(图7.3.1)。对于实际设计来说,这两种操作都没有多大的意义¹⁾。然而从形式来说,它们对于流的存在是必不可少的。

发射和吸收(源和汇)指的是彼此相反的两个次要基本操作。它们是形成能量流、物料流和信号流的必要条件。自然界中出现的、和技术系统中的(通过定义这样表示的)一

1) 这与研制线路图时的情况类似,这时,电源通常也只有形式上的特征。

各学科通用的基本功能符号

各学科通用的基本功能符号		电工学	流体力学	力学	光学
发射 (源)					
传导					
聚集					
引导					
转变 (复原)转变					
放大					
变向					
定向					
接通					
连接					
接合					
存贮					

图7.3.3 物理基本功能符号和不同专业中常用的相同符号(对照)

切能量源、物料源或信号源或者能量汇、物料汇或信号汇都应被视为源和汇。

传导-绝缘

对于流的形式,只有源和汇¹⁾是远远不够的。某种能量、物料或信号还必须在源和汇之间的空间内“传导”。为了避免误解起见,“传导”在这里是“可以传导”的意思,而不是引导(管道)的意思。因此,在设计时设计师应采取适当的措施,以便某些东西可以“流动”。

与传导作用相反的活动是“绝缘”。传导和绝缘是技术系统的基本活动(基本操作)。声的“传导”功能可以充有空气或另一种介质的空间以及电磁波(无线电、光)传播时的空间为例。机壳、密封、车身等是“绝缘”功能的实例(图7.3.3)。

传导和绝缘是两种彼此相反的基本操作,它们可使能量流、物料流或信号流传播或阻止它的传播。

聚集-分散

出自源的自然流和技术流具有一种向所有方向传播的本性。为了阻止其传播,必须在技术系统中采取措施,这些措施被称为聚集和聚束。实现次要基本操作“聚集”的技术产物有液体用的漏斗、抛物面镜、聚光透镜(光学)以及收集电磁波的雷达屏。漫反射的银幕和草地浇水用的喷头都可以作为“分散”操作的实例(图7.3.3)。准确地说,聚集和分散可由引导元件的某一几何装置实现。

聚集(聚束)或分支(分散)是两个彼此相反的次要基本操作。它们可使任意传播的能量流、物料流或信号流聚集,或使一定方向的能量流、物料流或信号流(射线)分散。

引导-无引导

能量流、物料流或信号流即使已经聚集,但它们仍具有逐渐重新分散的本性。此外,存在于技术系统中的上述的流通常在一定的轨道上被引导。机械导轨、管道或电路系统是引导活动的实例。在特别简单的情况下,技术系统中的物料流可以失去引导的原意(无引导、自由运动)。自由喷射的水束或正在飞行的炮弹就是无引导的物料流(图7.3.3)²⁾。

引导或无引导是两种彼此相反的次级基本操作。用来使已经集中(聚集)的能量流、物料流或信号流维持原状并使其在某一给定的轨道(导轨)上从A处运动到B处的活动叫做引导。无引导则意味着在技术系统中,能量流、物料流或信号流在其自然的运动方向或传播方向上不受影响。

引导能量流或信号流的操作也可以通过“改变方向”的操作来实现。众所周知的光导体便是引导的实例。光导体是通过其内部的全反射保持光辐射的。

转变-复原

转变和复原是彼此相反的基本操作。凡是引起能量、物料或信号特性发生变化的活动都应称为转变或复原。

能量的转变: 因为能量的特性通常是随其表现形式而变化的,所以,能量的转变就是

1) 在研究时设想一个自然源是合适的。

2) 在该系统中,可通过初始条件(初始角、初使速度)预先给定轨道。

指一种能量(能量形式)转变为另一种能量。热能、动能、电能、势能、声能、光能、化学能等就是不同种类的能量(图7.3.3)。

而物料的转变则是特性的变化,即物料特性的增加或消失。例如,通过改变物料的状态(固态、液态、气态)便可实现物料特性的变化。传导或非传导,一般传导或超导,磁性或非磁性等是物料特性变化的另一些例子。物质的化学变化总是同该物质的特性变化相连的。对一种物质进行“处理”,可使该物质经过这种处理后增加以前没有的某种特性,或者失去以前曾有的某种特性(图7.3.4)。

所谓信号的转变是指代表信号参量的能量种类或能量形式(参见“能量的转变”的定义)的变化过程。因为对于信号参量来说,重要的不是能量的形式,而只是能量的组成分量,如电压、位移、力等,所以,信号的转变也可以理解为把某种量纲的物理输入量(原因)转变为另一量纲的输出量(结果)的过程(图7.3.5)。常见的电、光或气动长度测量仪就是技术系统中信号转变的实例。

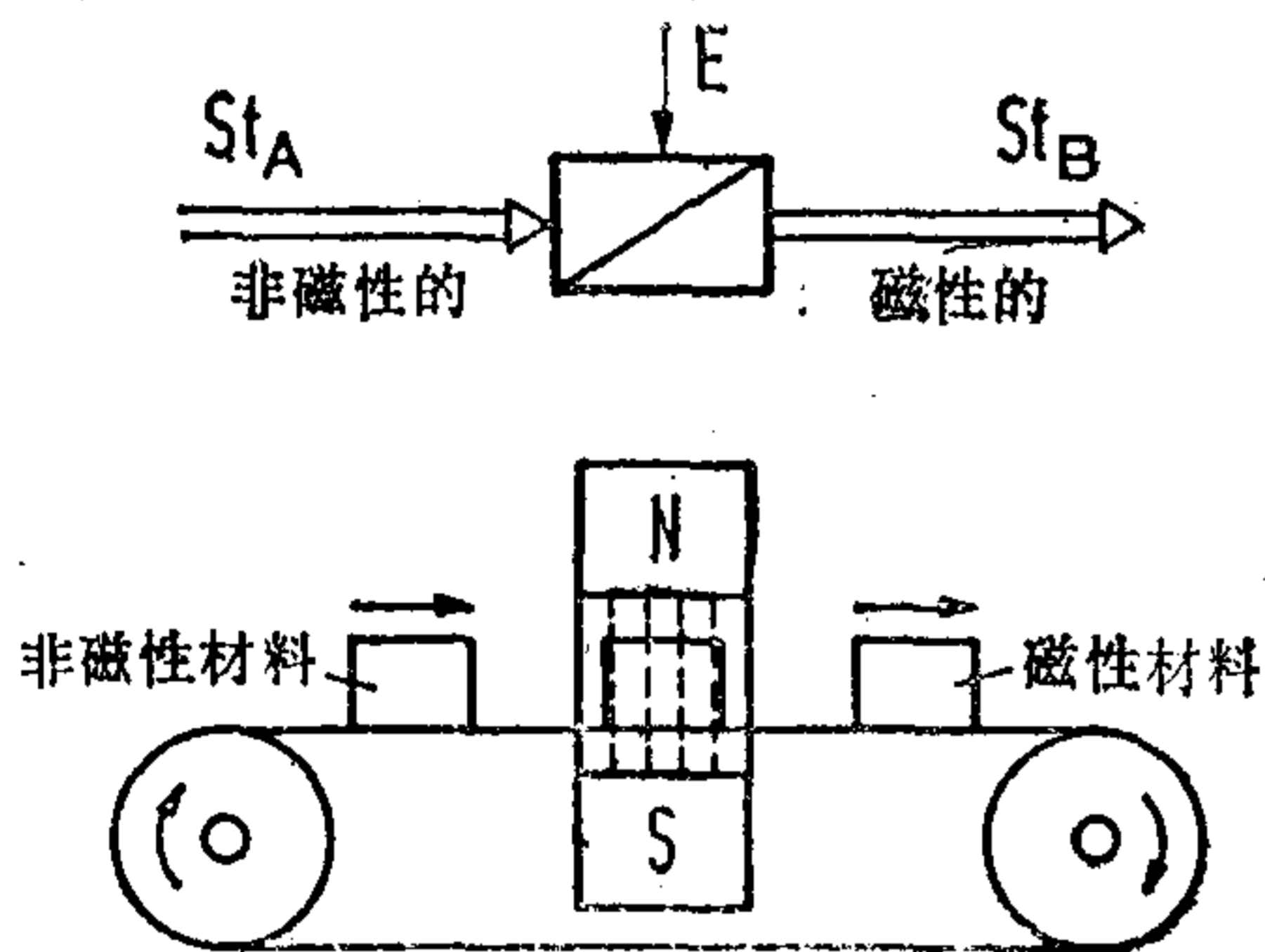


图7.3.4 基本功能“物料的转变”及其示例;材料的磁化

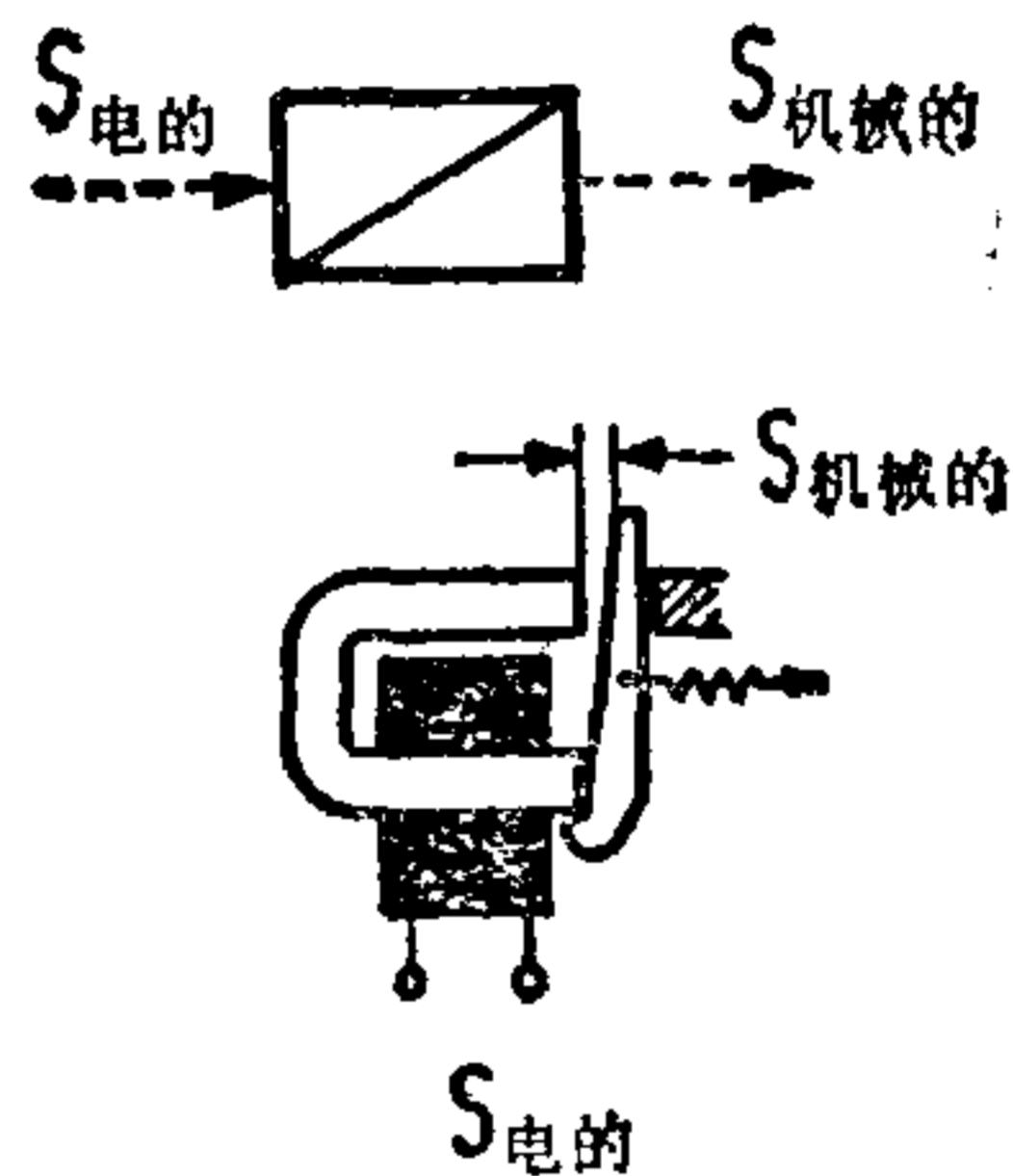


图7.3.5 基本功能“电信号(电压/电流)转变为机械信号(位移)”并用电磁铁实现这一转变的方法

放大-缩小

一切使物理矢量或标量的数量(数值)放大或缩小的活动都称为放大或缩小。杠杆系统(齿轮传动机构)或楔形系统(凸轮传动机构)都是力或位移基本操作的“放大”或“缩小”的恰当实例。根据能量或物质守恒定律,把基本操作“放大”或“缩小”用于物料流或能量流方面是没有意义的。而只能用于各种物理特性参量或状态参量的数值。有关的能量、物料或信号就是通过这些参量来描述的。

能量状态参量的放大和缩小是只有状态参量的数量(数值)发生变化的两个彼此相反的过程。增减转速或转矩的传动机构以及电气变压器都是基本操作能量状态参量放大或缩小的实例(图7.3.3)。例如,状态参量指的是位移、力、压力、体积、温度等物理量,即能量的所有组成分量。放大器通常是指那些能控制能量状态参量或信号的放大,而且放大

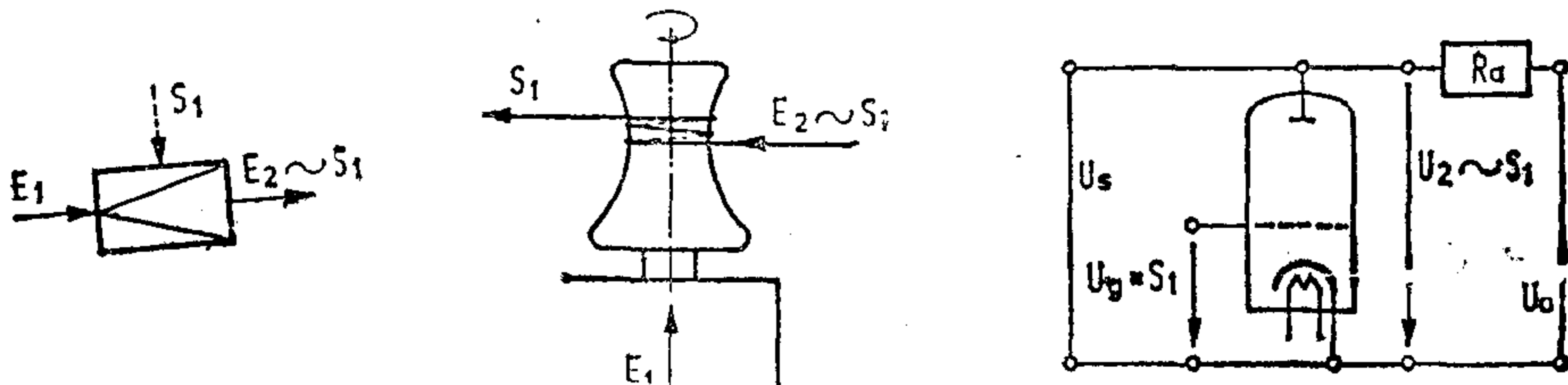


图7.3.6 可控的基本功能“放大”(或加强)以及用于增加力(左)和提高电压(右)的系统

又取决于控制参量和输出参量之间的比例(放大系数)的系统,例如常见的电、机械或气动放大器(图7.3.6)。

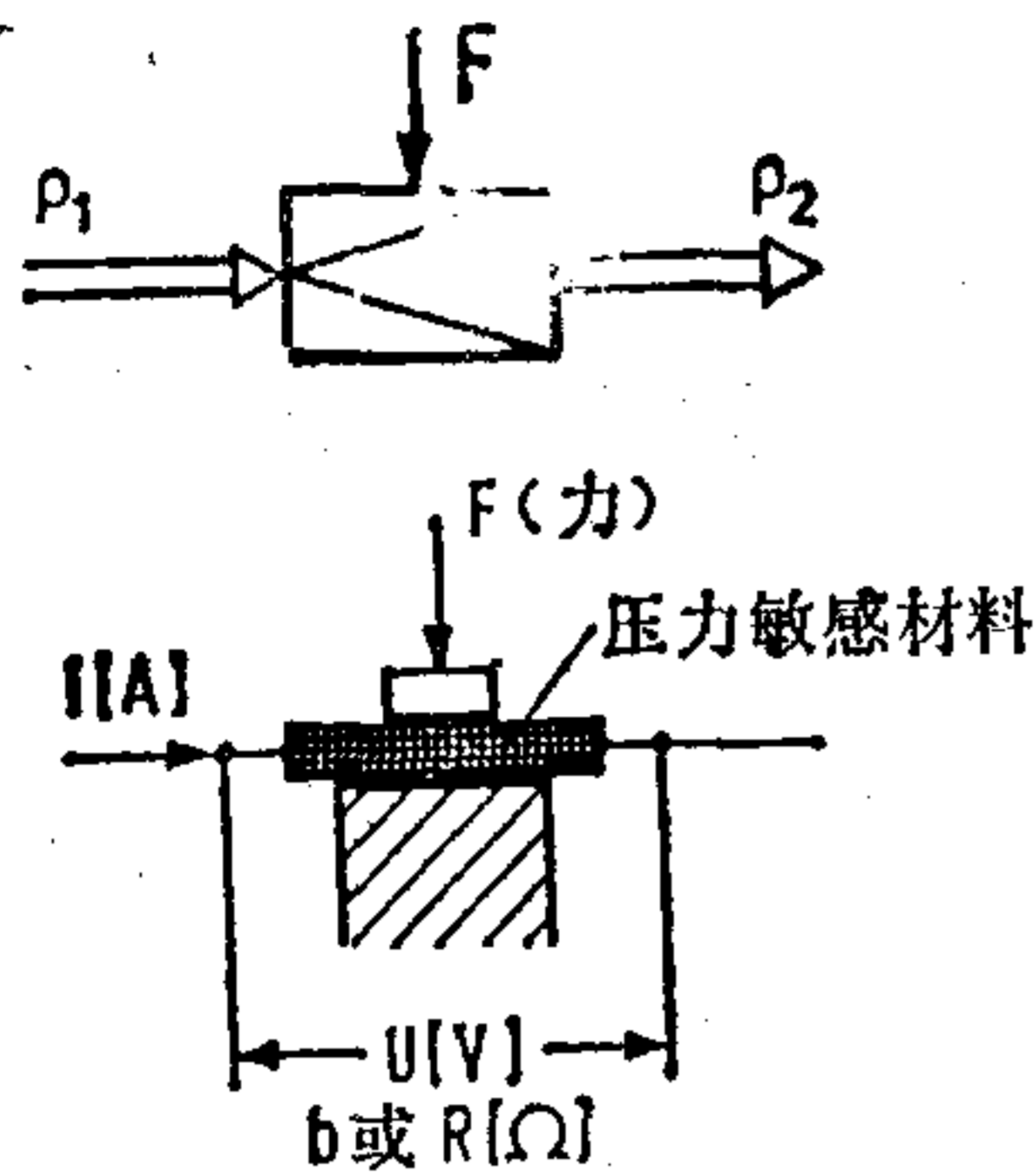


图7.3.7 可控制的基本功能材料特性的“放大”或“缩小”。实例:材料的电阻(用网格表示)变化正比于作用在其上的力 F 。

材料特性值的放大或缩小是指材料特性数量(放大或缩小)改变的过程。例如材料特性的数量变化可以是电导率的提高或降低(图7.3.7)或者是反射率的改变。

信号的放大或缩小仅指形成信号的物理状态参量的数值改变的过程。因为信号流本来就是物理学上的能量流,所以,信号流的放大或缩小,其定义与能量的放大或缩小相同。可控制的放大操作通常指放大器。例如常见的机械、电或气动放大器等(图7.3.6)。

变向-变向

改变一物理矢量的方向的活动称为变向。这时,该参量的量纲和数值保持不变。肘形节杆、圆锥齿轮或齿轮传动、反光镜、棱镜、反射板等等都是能量流、信号流或物料流变向的实例。图7.3.3示出能量流或信号流变向的一些实例。

所谓变向是指改变一物理矢量方向的过程。

定向-往返

任一被引导的流在任何时刻都有一个既定的流向(运动方向)。一种流可以稳定地保持其流向,或者往返流动。有两个方向相反的流进行往返流动,这时,从一个流向转变到另一个流向总是发生在一定的时刻(换向时刻)。使从往返运动的流中产生一定方向的流的操作称为定向。与此相反,从定向流转变为往返运动的流的操作称往返运动。例如:电整流器、终端定向闭锁机、单向阀等都是能量流、物料流定向的部件。有曲柄和摆动从动件的四杆机构(曲柄摇杆机构)都是往返运动操作的实例(图7.3.3)。定向或往返运动操作可以用一个适当控制的开关(连接、中断)来代替,这样就实现了定向运动或者往返运动。

定向和往返是两个彼此相反的次级基本操作,其用途是将往返运动的能量流和物料流转变为定向流,或者将定向流转变为往返运动的流。

接通-中断(开关)

被引导的能量流、物料流或信号流可以被中断,随后也可重新接通。这两个需要一定活动的过程称为“中断”和“接通”。它们是次级的基本操作,可以用开关器、离合器、单向阀、门等来实现(图7.3.3)。通常人们都称这两种操作为“开关”。从物理学上说,接通或中断是被控制的、可选择的传导和绝缘。

接通和中断指的是两个彼此相反的活动或次级基本操作,它们的作用是使两个通道接口之间的能量流、物料流和信号流接通或中断。

结合-分离

两个在任一物理量(重量、密度、颜色、振幅、频率、波长等)方面,彼此不同的能量流、物

料流或信号流可以相互结合或者根据其不同特征彼此分离。为此而要采取的必要措施就是基本操作被称为“结合”和“分离”。混合器和调制器是“结合”操作的实例；相当于“分离”操作的过程常出现在离心机、滤色器或热过滤器、光谱计、过滤设备或分选设备中(图7.3.3)。

结合和分离是两个彼此相反的活动,其用途是使具有不同特性参量的能量流、物料流或信号流结合或彼此分离。凡是根据不同的物理特性参量(密度、原子量、聚合状态、波长、频率、几何形状等等)使两个或几个混在一起的流分离或者使已经分开的、不同的流混合的过程都应称为分离或结合。与此相反还有一种只按数量把流分开的过程,例如功率分流机构中的功率分配。此外,凡是使能量和物料、能量和信号或物料和信号结合或分离的过程都应称为结合或分离。

举例来说:在水暖或汽暖供热系统中,给锅炉里的物质(水)加上热能(结合),热能随水流输送到要取暖的室内,并在暖气片散热器中将热能散发到周围环境中,也就是说通过热传导、对流和辐射物料和热能在暖气片

中被分离。此外,液压发动机是使物料和能量分离或者结合的又一实例。齿轮泵或齿轮液压发动机是物质和动能结合或分离的恰当实例(图7.3.8)。

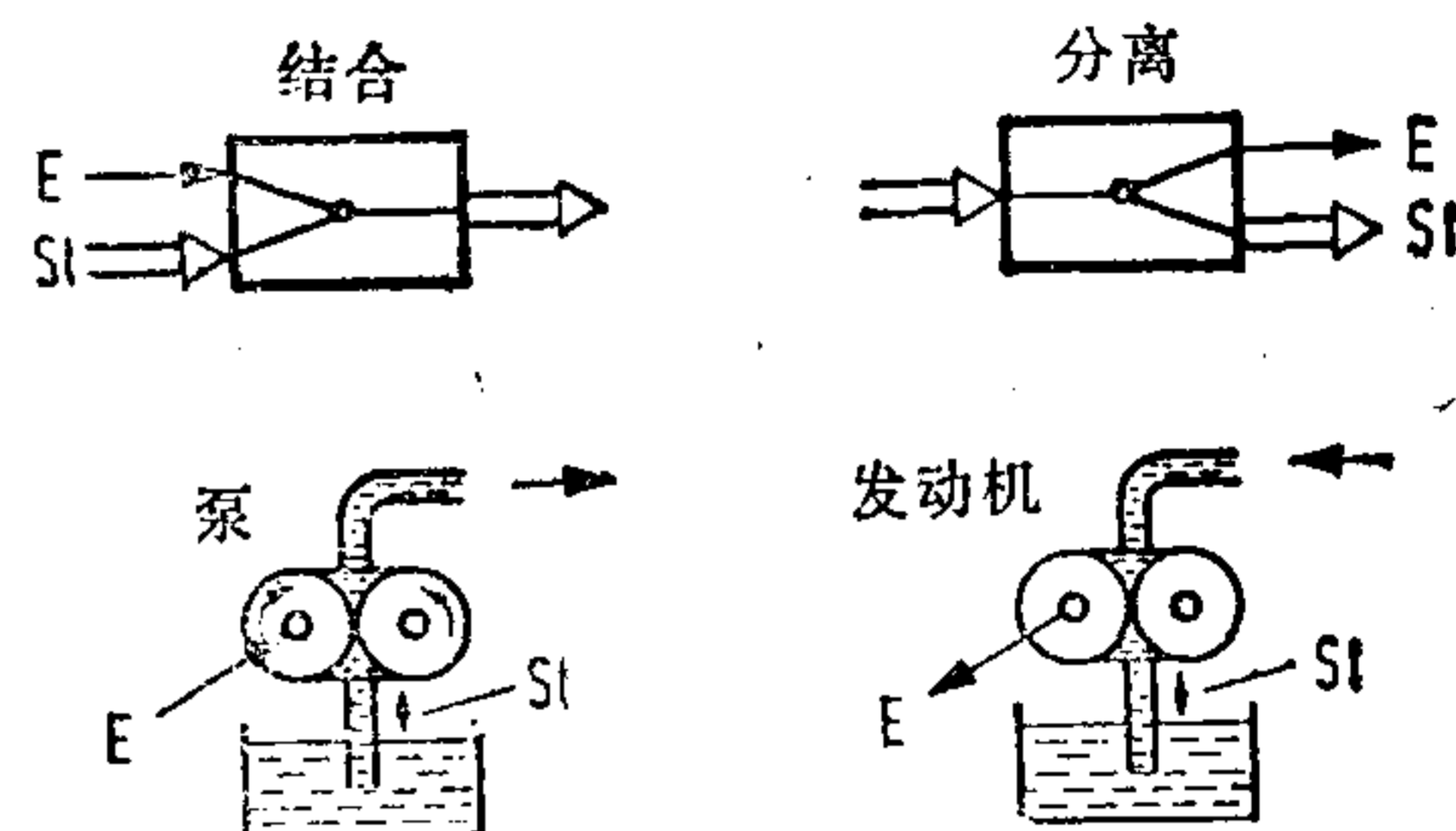


图7.3.8 基本功能能量流和物料流的“结合”和“分离”。实例:液压泵及液压发动机

接合-分开

如果能量或物料的多少不是按照质量而是按照数量的观点将它们接合或者分开的话,那么这些活动应定义为基本操作并称为“接合”或“分开”¹⁾。差速器、半透明的镜面等常见的装置是用来分开力流和能量流的实例。常见的熔焊、钎焊、粘接或者切割、切削等工艺是物料接合或分开操作的实例。

例如,在光学仪器中用一个半透明的镜面在两个不同的地方产生一个信息内容相同的图像。由于把光流分开的缘故,所以两个图像的频谱强度只有通过这个光流所产生的唯一的图像的一半。而且这时信号流也被分为两股流,而信息却不分开;信息在两个分流中是完整存在的。

因此,说将信息流分开是没有意义的,但是可以说将信号流分开。

用来把能量的数量、力、位移等接合(相加)或者把能量的数量、力、位移等分成几个分量、分力、分位移的活动称为接合和分开。

用来产生或取消相同或不同物料间接合力的活动也称为接合和分开。

存贮-取出

最后,能量、物料和信号也可以存贮或者从存贮器(仓库)中取出来。为此所需的活功应定义为基本操作并称为“存贮”或“取出”。用于“能量存贮”基本操作的实例有飞轮、弹簧、提升的重量、水库、电池、压缩空气缸、电容器等;容器、贮缸、气瓶等为物料存贮器的

1) 实际上,常用分离这一概念代替分开这一概念,但这里分离指的是物料质的分离,其意义同在工艺流程中理解的一样。

实例。信号存贮的实例有穿孔卡片、穿孔带、磁膜存贮器、延迟存贮器、半导体存贮器和其它存贮器。在通信工程中通常还分长期和短期存贮器。此外,将物料和信号存贮器分为有源存贮器和无源存贮器更为合适。有源存贮器是把要存贮的物料和信号同能量存贮在一起,也能把它们重新取出来(有源物理量),这样便可以在没有外加能量的条件下取出物料和信号。在零级水平以上存贮的液体是有源物料存贮器的实例;充电的电容器也是有源信号存贮器的实例。穿孔卡片和磁带是无源信号存贮器。

用来将能量流、物料流或信号流有限期或无限期地加以保存(存贮),以便经较长一段时间或经任意时间后重新使用的所有活动称为存贮和取出。存贮和取出是两个彼此相反的基本操作。

概括起来有图7.3.1中所示出的各种物理基本操作。在技术系统中,所有的过程都可归诸为这些基本操作,或者说可以由这些基本操作构成各种复杂的系统。

上述过程就是考虑将一具体的任务书或者目的描述转变为由上述物理基本操作、和将要在第7.4节和第7.5节中谈到的、数学的和逻辑的基本运算所组成的结构。正如第8章还要详述的那样,找到从结构上实现这些所谓的物理基本操作的规律和辅助方法是可能的。

7.4 数学基本运算

与7.3节中谈到的物理基本操作类似,也有熟知的代数基本运算。它们是:

- 加和减;
- 乘和除;
- 乘方和开方;
- 积分和微分。

值得注意的是,不仅在物理基本操作中有相反的操作,而且在代数基本运算中也有相反的运算。因为在技术系统中也同样出现代数基本运算(有些仪器主要是进行代数运算的),所以除了物理的基本操作外,最好将数学基本运算同时应用于技术系统的功能综合。

图7.4.1综合地示出了这些运算及其符号。机械台式计算机、求积仪、模拟计算机等是实现数学运算的实例。

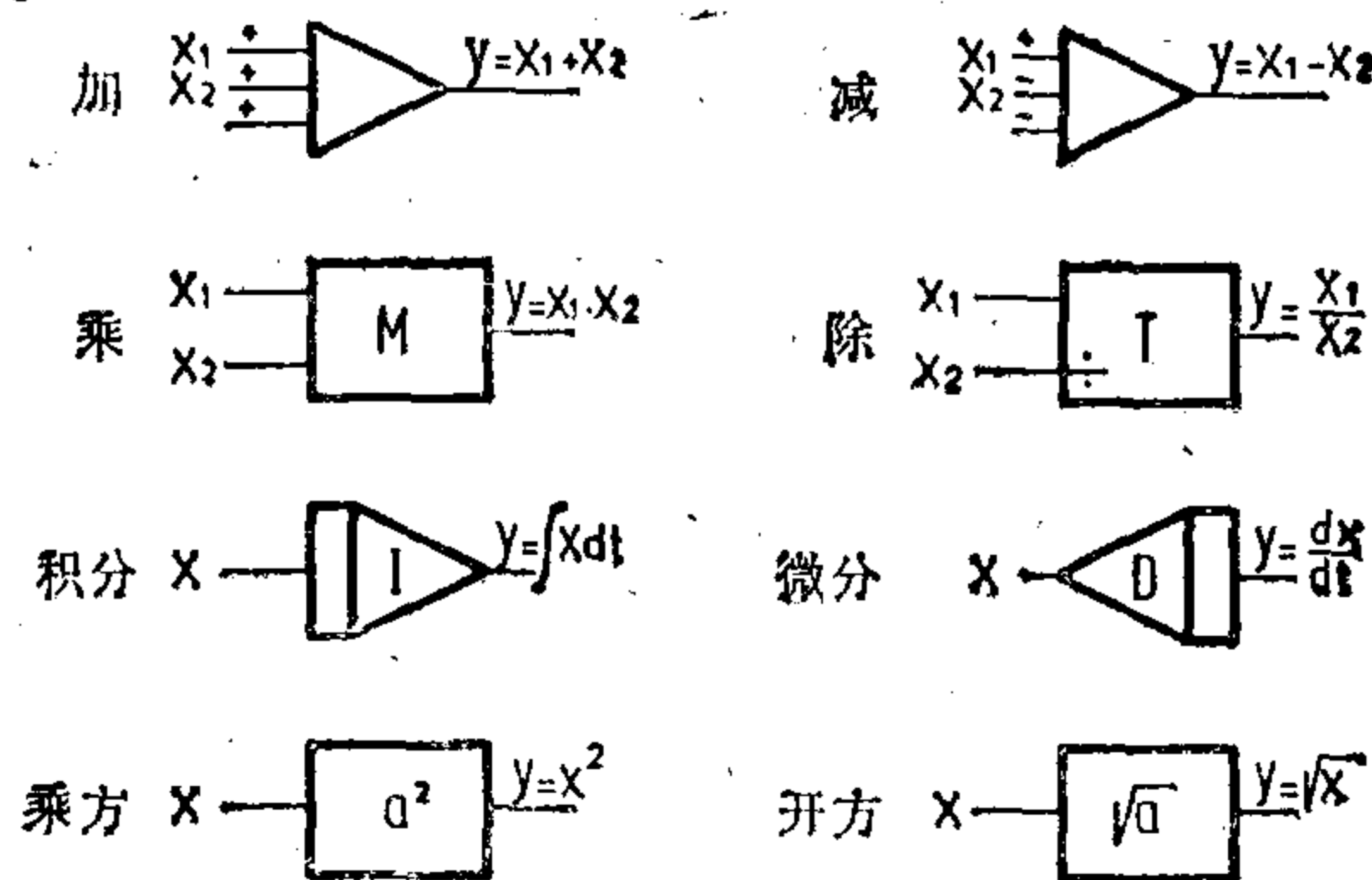


图7.4.1 数学基本运算

7.5 逻辑(布尔)基本运算

技术系统往往不仅包括物理基本操作或代数基本运算,而且也包括逻辑的基本运

算。例如在载人和载货的电梯安全线路中就有逻辑运算的结构元件。与这些运算相应的有称为反功能或非功能的非操作,也有称为与功能或与联接的与操作,以及称为或联接的或操作。图 7.5.1 综合示出了这些运算及其对应的线路符号;其中 A 和 B 作为两个输入变量,符号 \bar{A} 表示取反(翻转)变量,与联接相当于逻辑代数方程式 $C = A \cdot B$,而或联接相当于逻辑代数方程式 $C = A + B$ 。

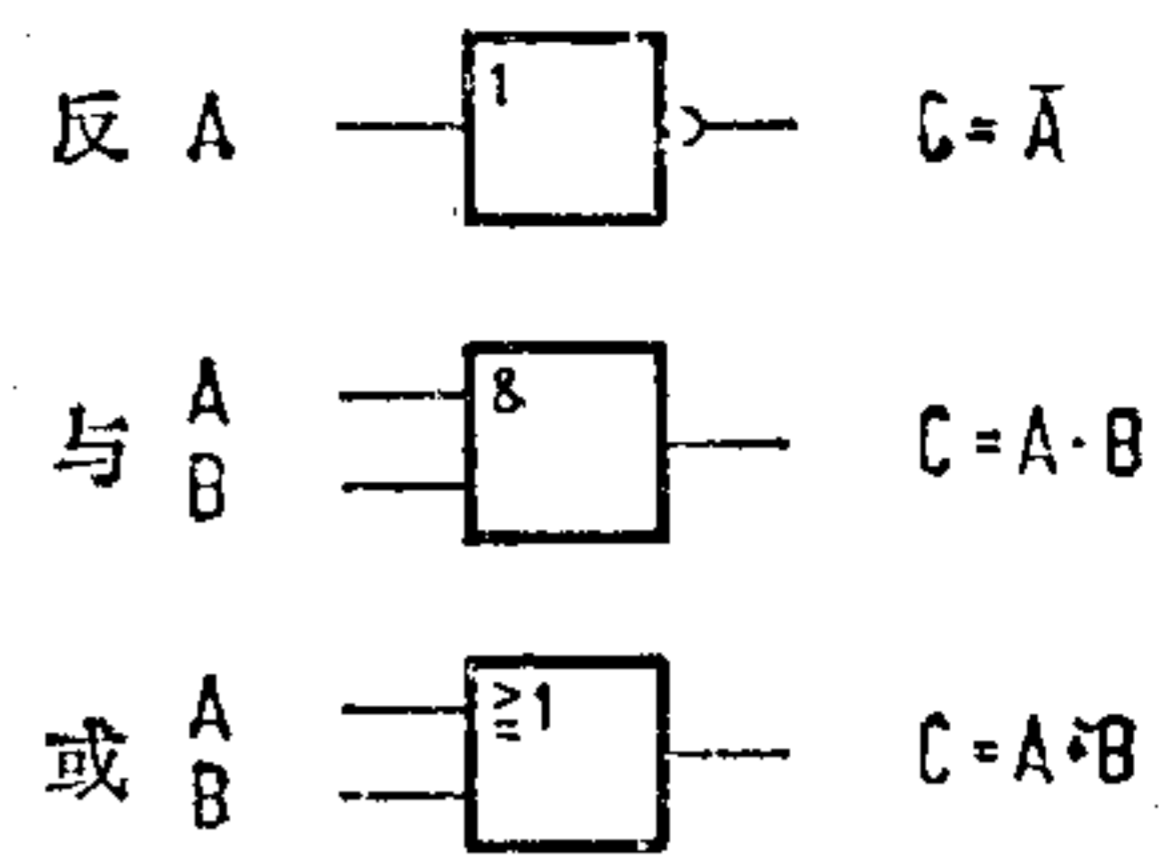


图 7.5.1 逻辑(布尔)基本运算

由上述讨论可得如下假说,即最后应以机器、仪器和设备的形态实现的一切理想的技术过程都一定能够通过已知的基本操作的逻辑联结(功能综合)来表示。反过来也可以这样说:机器、仪器和设备中的所有过程都可归诸于上述的物理基本操作和代数、逻辑的基本运算(功能分析)。

7.6 实 例

泵

有一项任务是将液体从 A 处输往 B 处,液体的流量应能无级调节。此外,要研制的技术系统应能开关。为了限制解的多样性,还规定驱动能源为电能。在下面的讨论中,这个系统在单位时间内输送的绝对液体数量并不重要,因此,暂不考虑这个问题。

求解的方法:要研制的技术系统的目的是输送液体,至于怎样或者通过什么方法来达到这个目的的问题还没有解决。从任务书给出的数据可以推断,在要研制的技术系统中有一物流(液体)在流进和流出。此外,系统应拥有输入信号和输出信号、数量控制信号和能量的输入端。图 7.6.1 示出了相应的目的功能。目的功能可以先分成由分功能泵、驱动装置和控制装置组成的分功能结构(图 7.6.2),或者也可以按图 7.6.3 所示直接将其分成基本功能结构。

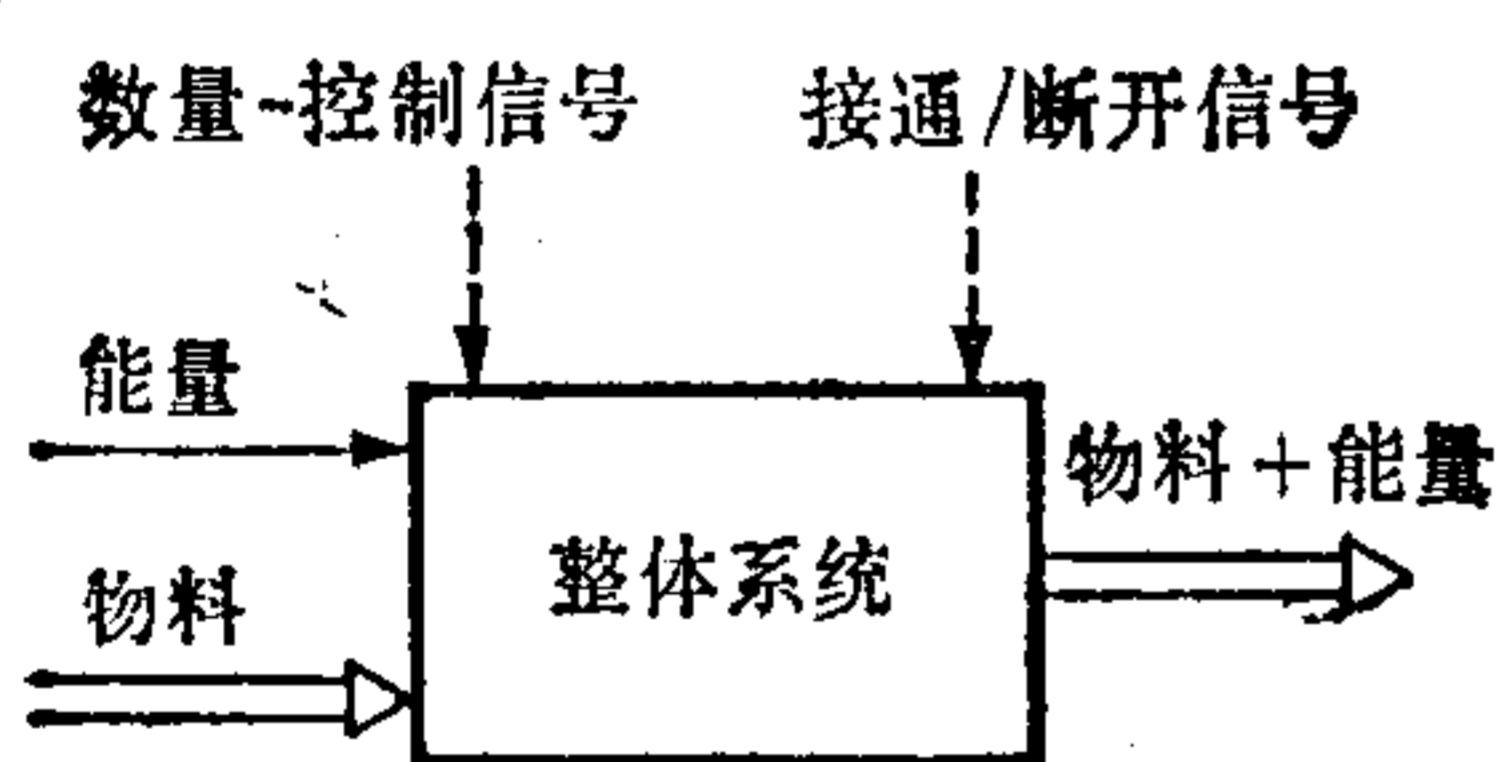


图 7.6.1 泵系统的目的功能

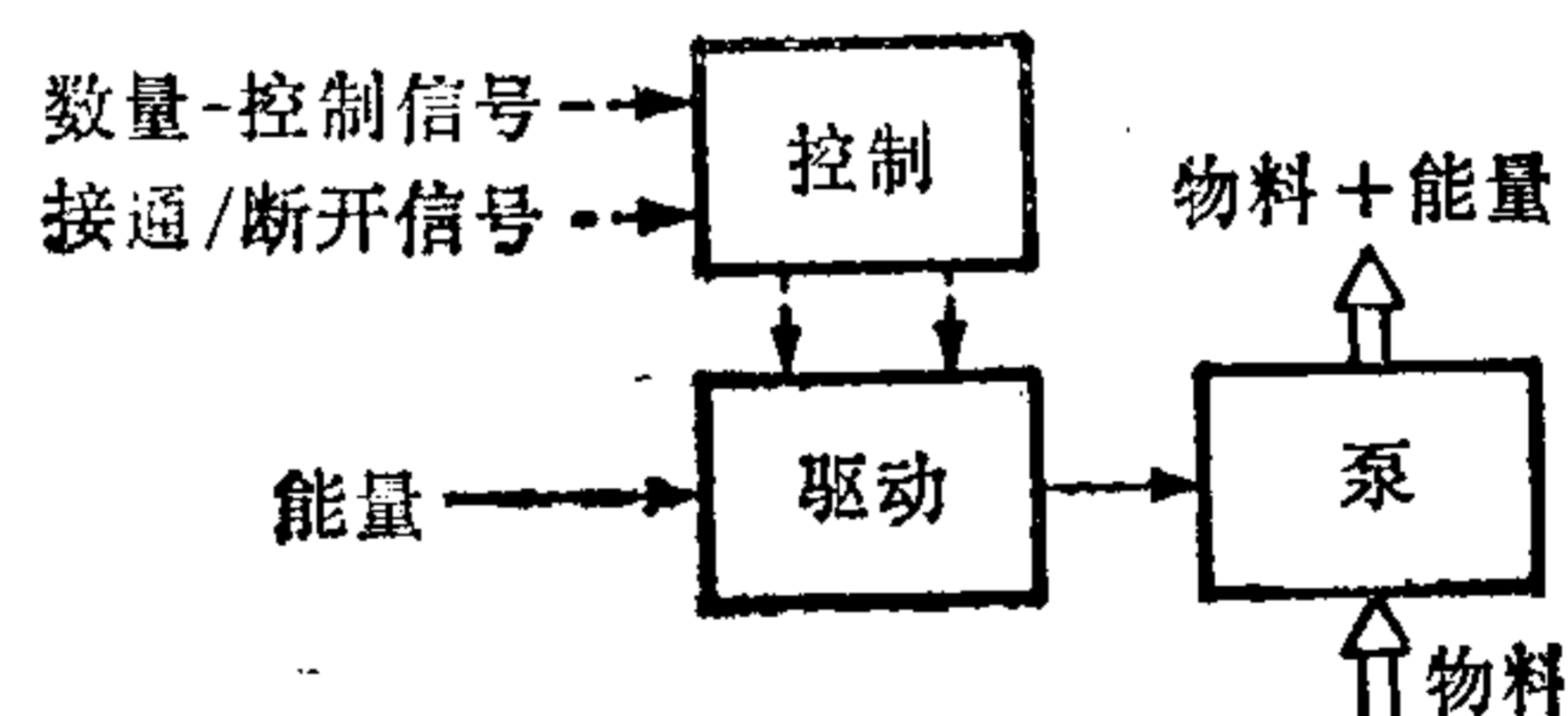


图 7.6.2 泵系统的分功能结构

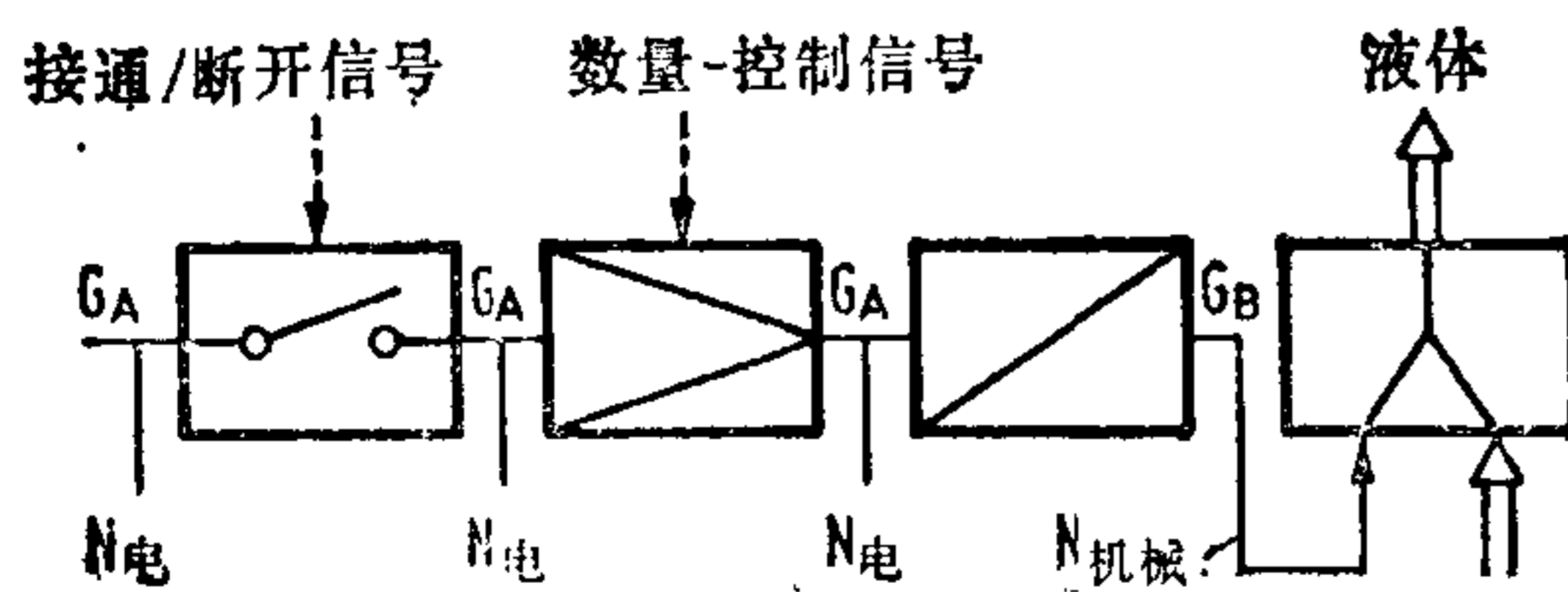


图 7.6.3 泵系统的基本功能结构

因此,下面的考虑是必要的:为使液体流动,必须给液体加上(结合)动能。与这一事实相符,接着便是基本功能“能量和物料的结合”(图 7.6.3 右)。因为在这个研制阶段中还不知道应该用哪种能量形式来实现“结合”操作(泵)(这与以后要选择的物理效应有关),所以通常需要与能量匹配,也就是说,应该相应地考虑一个“能量的转变”操作。由于要求该系统即可

由于要求该系统即可

开关又可调节输送量,因此系统还得有开关操作(接通和中断)和缩小操作(图7.6.3)。

在上述情况下确定的各个操作顺序并不一定非要这样排列。开关、缩小和转变等操作顺序可以随意调换。图7.6.4a、b、c示出了可能的组合方案。接通/中断操作和控制输送量的操作可以不放在能量通道中,而放在物料通道中。这时,必须用“分散”操作代替“缩小”操作,因为按照物质不灭定律,物质的数量是不会减少的(图7.6.4d)。对于这种功能结构来说,也可以通过交换操作顺序得到其它不同的结构。

这些论述暂且够用了。在第8.5节中还要再次谈到此例,那时将再进一步详细讨论。

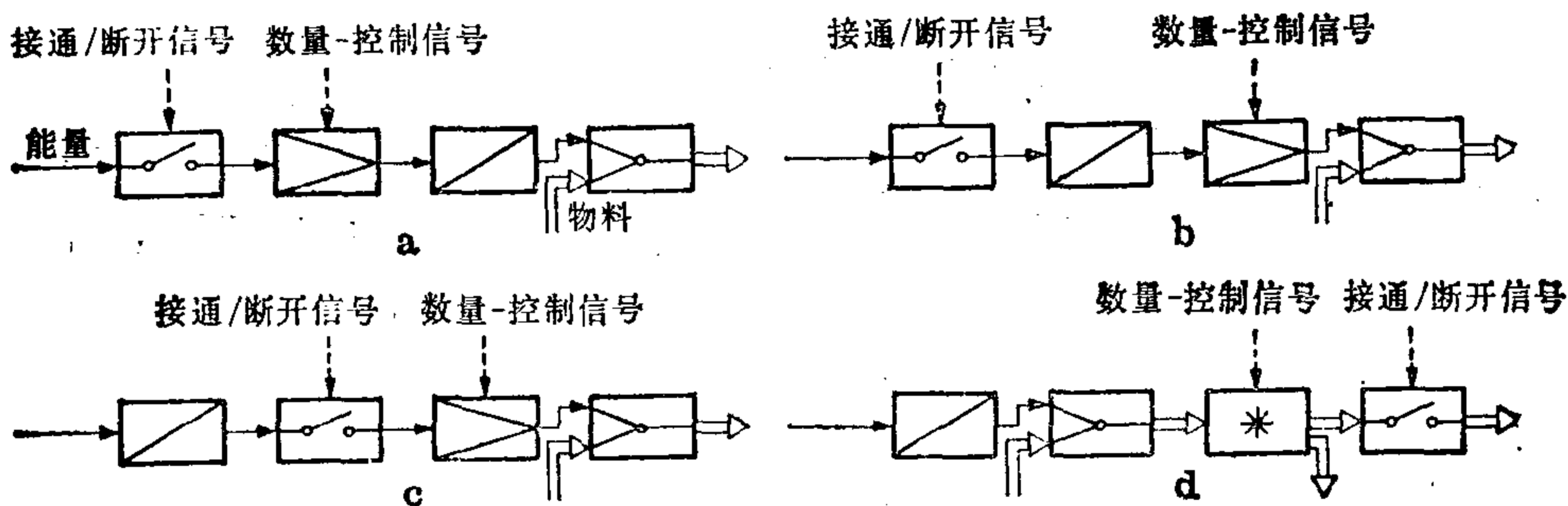


图7.6.4a—d 泵系统的基本操作结构

传动机构

上节中所介绍的基本操作也很适合于研制运动系统的功能结构。这时,人们可以为每个对运动系统有用的基本操作设想出相应的基本机构,如图7.6.5所示的几个基本操作那样。一个多自由度的差速机构,相当于基本运算“加法”。用这个机构可以将两个或几个输入运动参量相加(叠加或附加)(图7.6.5a)。

图7.6.5c所示齿轮机构相当于基本操作“放大”。此外,曲柄摇杆机构相当于基本操作“往返运动”,如图7.6.5b所示。图7.6.5所示的机构可以代表其它各种具有相同功能的机构。

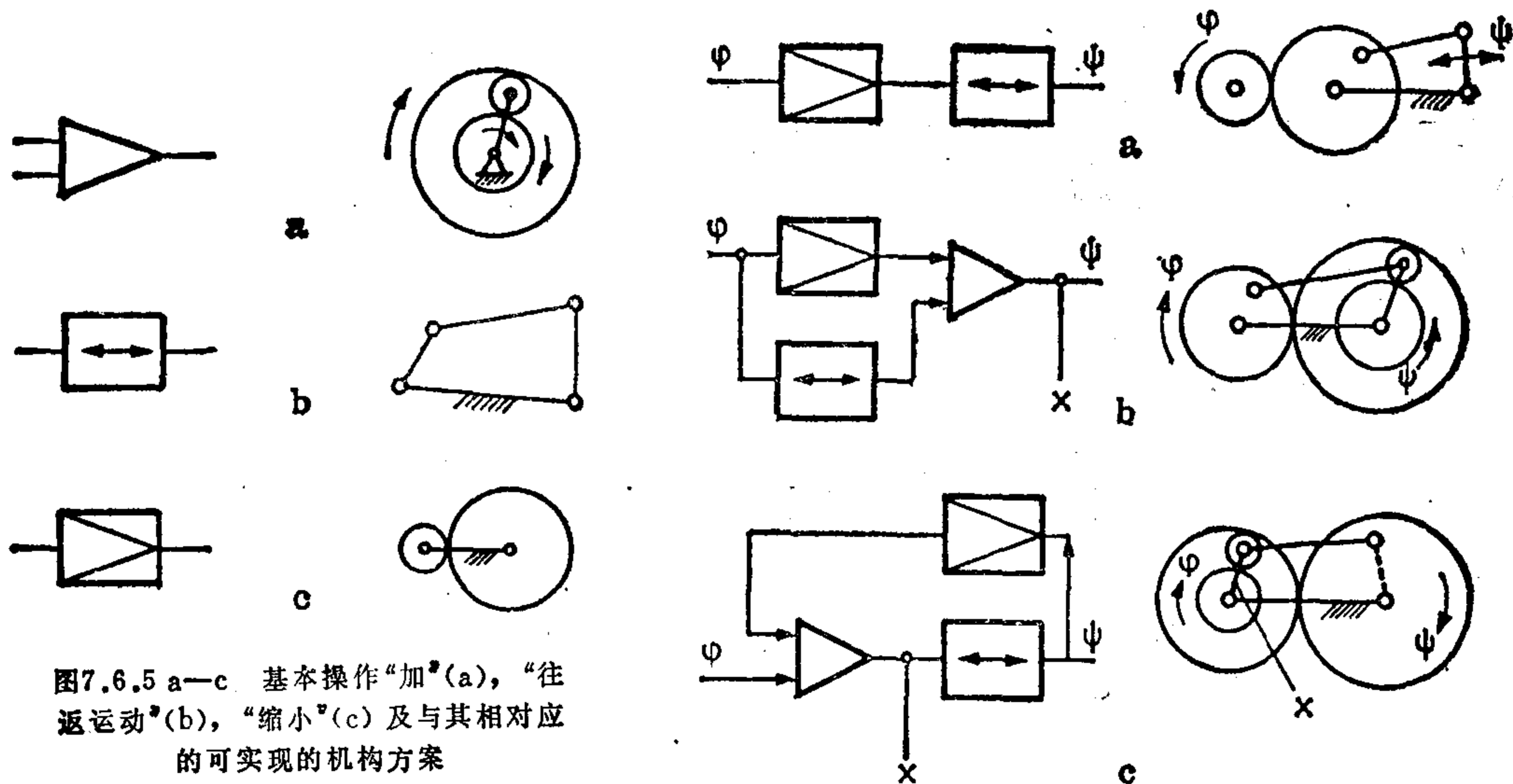


图7.6.5 a—c 基本操作“加”(a),“往返运动”(b),“缩小”(c)及与其相对应的可实现的机构方案

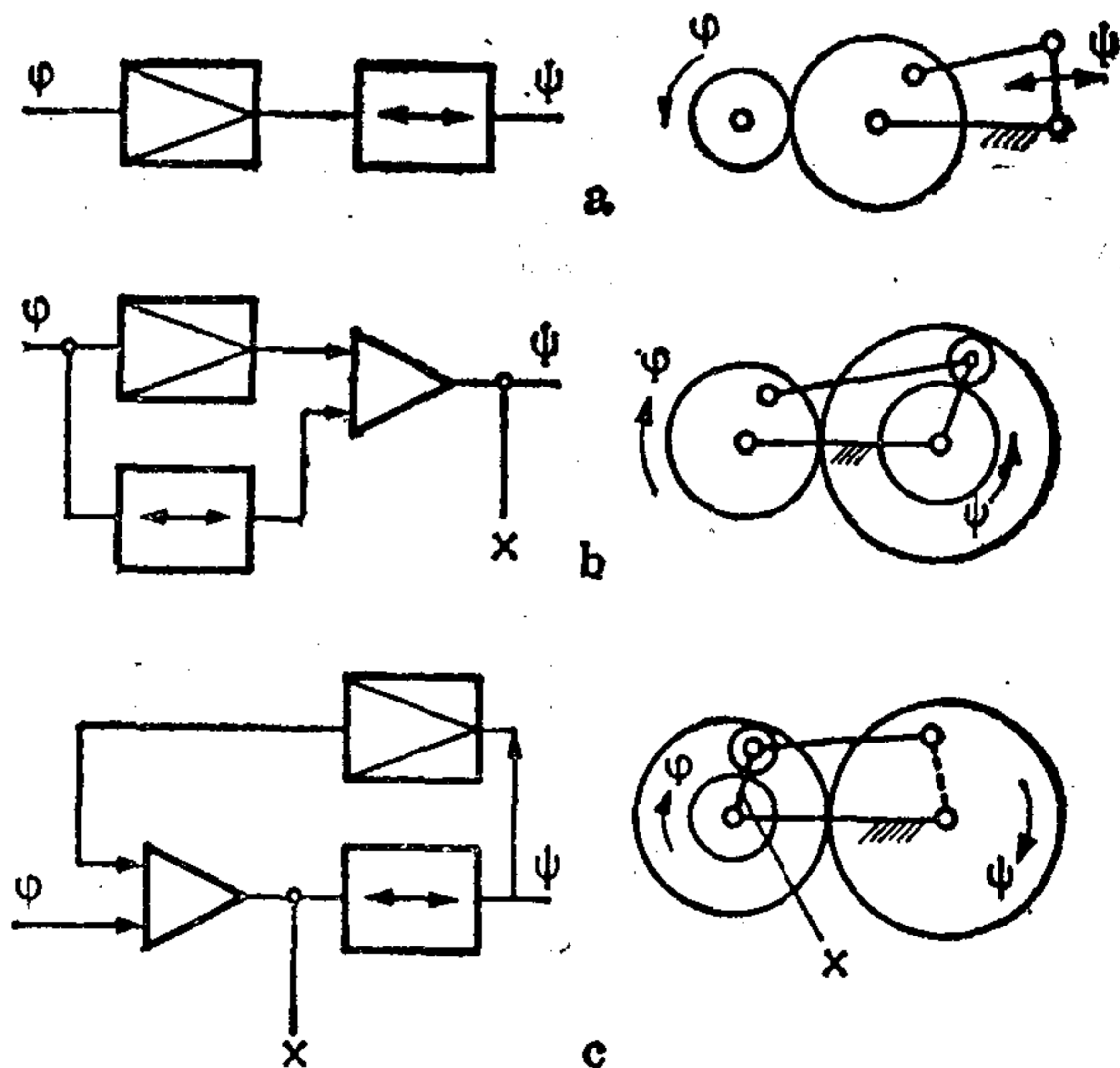


图7.6.6a—c 基本操作结构(串联结构a,并联结构b,环形结构c)以及实现它们的机构

将各个基本操作组合成复杂的功能结构提供了相应广泛的运动系统。这时,无须机构方面的知识,依据功能结构便可事先确定某运动系统的定性的特性。在匀速驱动条件下,通过“缩小”和“往返运动”操作的串联线路,只产生从动件的较慢或较快的往返运动。图7.6.6a表示这种结构和相应的机构系统。从形式上看,这个机构系统是通过图7.6.5 b和c两个机构组合而成的。

将一均匀单向运动和一往返运动叠加(相加),在对各个机构参数进行相应的设计计算(定尺寸)之后,就可得到一种在均匀驱动运动时产生从动件步进运动(有时停止或回行,皮尔格式的步进运动)的机构。例如,由一个加法操作和并联起来的“缩小”和“往返运动”操作组成的功能结构就符合这种机构,如图7.6.6b所示(并联结构)。如果无需增减速度便可将同样形式的运动传到加法器上,有时也可省掉“缩小”操作。

图7.6.6c示出了功能综合的又一实例。如果振荡器的输出运动返回到加法器中(反馈),也会产生步进运动。当系统具有相应结构时,步进运动在标有“×”的部位便可减小。应该注意,反馈总是导致环形结构;图7.6.6c的结构就是例子。正如这个例子所示,可以借助基本操作来设计具有预定特性的运动系统。与机构的定量综合或尺度综合相反,这时只能考虑定性的标准。因此,这种研制机构方案的方法也可称为机构的定性综合。

II. 定性的设计过程 (方案设计、技术设计、构形设计)

对设计师最富有吸引力的工作大概就是为某项设计任务书研制新的解。这项工作常分别称为发明、构思方案、设计、技术设计等。这里则概括称为定性的设计。这一工作常被视为只有设计师的直觉才能完成的、地地道道的创造性劳动。下面将讨论如何系统地研究“构思”。应该指出,“发明”在很大程度上是方法问题,也就是说,借助规律是可以进行发明的。当然,这并不能代替才能超群或才能一般的工程师的创造性劳动。但是通过一定的方法,可以大大促进和推动他们的工作,如果无需设计师的直觉也能进行设计的话,那么设计将大大失去其吸引力。

在前面“功能综合”一节中最后谈到了制定功能结构的问题。这里应再次强调指出,对某一设计任务来说,一般都有几种功能结构。定性综合的任务和目的是,以这些结构中的一种结构为依据,为各个基本功能研制解,并把这些解组成一个整体系统。正如下面还要谈到的,定性综合是由下列基本的、即不能再分的工作步骤组成(参阅图6.2):

- 变换效应;
- 变换效应载体;
- 变换并阐述原理;
- 为整体系统选择和编制各种解;
- 整体系统的构形;
- 整体系统的技术设计。

定性综合是以绘制一张定性的技术设计图而告结束的。这就是为要研制的技术产物

按尺寸比例绘制一张总装配图。图中包括关于系统各零件、部件的功能、尺寸、形状、位置及数量等全部重要资料。

在定性的技术设计中确定的细节，将在下面定量设计过程以及定量综合中考虑。将定性和定量的技术设计完全分开是不可能的，因为若不确定零件的尺寸（这是最起码的要求），实际上便不能描述零件。因此，定性设计和定量设计这两项工作实际上经常是同时进行的。

为了系统地研制解，下述的认识曾经起过重要作用，即每种功能或操作只有在技术系统中相应的物理、化学或生物学现象的基础上才能实现。例如，如果物理学没有揭示出杠杆效应，那么，要设计用于放大或缩小力的杠杆是不可能的。这就是说，可以把物理效应或其它效应视为设计的“最小组成部分”。基于上述认识，将所有的物理、化学和生物学效应搜集起来，然后按照“因果关系”这一标准进行排列，以便在寻找有某种因果关系的效应时能够迅速地找到它们。这样产生的各种基本操作的物理效应分类表是实现某种基本功能的极好的辅导方法。因为通常不仅能利用某一种效应，而且能利用各种效应有选择地实现基本功能。所以按照某种基本功能来编排整理所有存在的物理现象或其它现象，是实现基本功能道路上最基本的一步。因此应称它为效应变换，这将在下面进一步讨论。

8. 效应变换与效应结构

如果经过前面几个工作步骤后，要解决的设计任务已经具有基本功能结构的形式，而且预先规定了各个基本操作的输入和输出参量，那么，便可知道要由“什么”转变成“什么”，或者要改变流的哪种特性或状态。通过编排整理适当的效应（这些效应在其因果关系方面符合功能结构中提出的条件），就使各个基本功能的实现前进了一步。

如果没有可以直接实现所要求的因果关系或基本功能的效应，那么，一般说来也可以通过组成效应链来实现。在组成效应链时，利用了由两个或几个效应接连起来实现一种基本功能的方法。这时尚需注意，两个相接效应的每个输出和输入参量（结果—原因）是相同的。这时，得把预定的输入参量先变成任意一个中间量，再利用第二个效应把这个中间量变成另一个中间量等等，直到最后便可用合适的效应把最后的中间量变成所希望的输出参量。

参与组成效应链的效应数量，原则上可以任意选择。为了获得简单的系统，应尽量把效应链做得短些。与此相反，为了获得具有高倍放大测量值的测量装置和具有高效率的能量转换，只得不怕麻烦地采用较长的“效应链”。

一般来说，人们可以为每种基本功能规定能够选用的几个效应或效应链（效应变换），这样该基本功能结构就有了很多组合方案。概括起来可归纳为：

规律 3： 所谓效应变换指的是通过编排相应的效应或效应链来实现基本功能的最初工作步骤。一个基本功能不是没有直接效应，就是只有一个或几个直接效应，而通常却有很多间接效应。基本功能结构或基本操作结构转变为相应的效应结构，这时将相应的效应写到操作符号的小方框里（见图 8.5.1）。

如果物理效应、化学效应等是实现基本功能的“最小组成部分”，那么最好是按不同的

基本操作和不同种类的流(能量流、物料流、信号流)来编排迄今已知的物理现象和化学现象¹⁾,以使用它作为一种“想法目录”。以下几节将讨论这种辅助方法。

8.1 基本操作“转变”

众所周知,能量、物料和信号都有一定的特性。根据7.3节所述,凡是导致上述参量特性改变,即:使特性增加或消失的活动都应称为转变。因为在下面的讨论中,重要的不是信号流的信息,而是其物理特性的变化,而且在信号流中,从物理意上来说,本来就关系到能量流。因此下面可以将能量和信号的转变放在一起加以讨论。

8.1.1 能量和信号的转变

实现基本操作“转变”的任务在实践中常以如下形式出现:即,要把某种形式的能量或信号转变为另一种形式的能量或信号。电动机或内燃机就是实现“电能或化学能转变为动能”的实例。电传打字机中的接收机磁铁就是电信号转变为机械信号的实例。如果人们在脑子里想像一下每种能量及它们的单位(kNm, kcal, Ws),就像目前通用的几种能量的计量单位制整顿以前的那种情况,就可以把“转变”与“改变能量的量纲(单位)”相提并论。

对于“信号转变”操作来说,这个定义本来就非常合适。位移转变为力、电压转变为位移(接收机磁铁)或电信号转变为光信号等总是和形成信号的物理量的量纲变化相联系。因此,最好是按照能量和信号的输入参量和输出参量(原因—结果)的量纲来编排能量和信号转变的物理效应,并且将其整理成矩阵的形式(附录表1)。如果这个分类表包括了所有已知的现象,那么原则上就可以借助这种辅助方法得到“物理量的转变”这类任务所有存在的解。

信号流本来只不过是具有较小能量值的能量流。始终只是能量流的一个组成分量,如电压、电流、力、位移、压力等来传送信号。因为,没有与信号流同类的能量的转变,就不会发生信号或信号流的转变,所以能量和信号的转变在物理意义上是相同的。因此,表1既可作为“信号转变”操作的辅助方法,也可作为“能量转变”操作的辅助手段。

基本操作“转变”也可写成如下形式(图8.1.1):

$$F_w \equiv G_A \Rightarrow G_B$$

这种写法意味着:量纲为A的物理量应转变成量纲为B的物理量。当然 G_A 和 G_B 也可以是不同类的能量或信号,而它们的量纲按新达成协议的计量单位制是相同的。

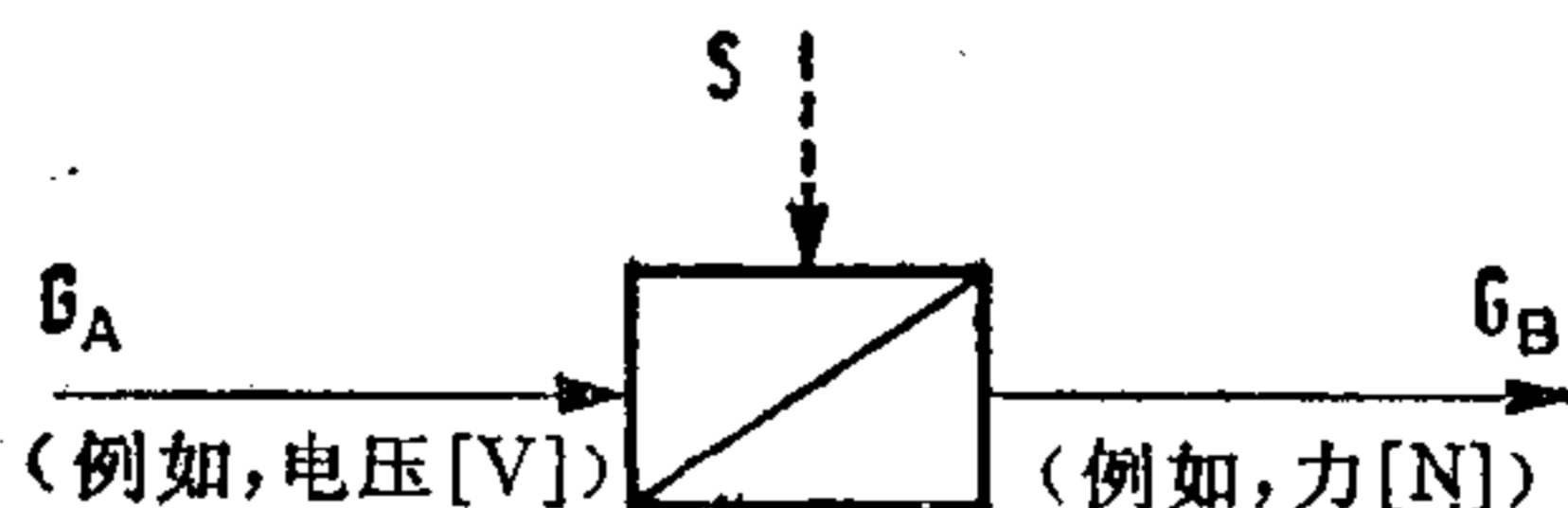


图8.1.1 物理量 G_A 的能量和信号转变为物理量 G_B 的能量和信号

在表1最左边一栏(原因)和最上面一行(结果)中记入了所有的物理量。由于地方较

1) 归根结底,化学过程同样可以通过物理过程来解释。但这里应该把它看成是固有的现象。为使本书的篇幅尽可能少些,这里基本上只讨论物理效应。

小, 所以把相近的物理量放在了同一栏和同一行中。在属于同一行和同一栏的格子中, 列有将第一栏和最上面一行中的参量彼此联系起来的效应。使用表 1 时, 应把第一栏的物理量理解为输入参量(原因), 把第一行的物理量理解为输出参量(结果)。就是说, 表 1 总是从左向右然后向上使用的, 不能反过来用。这样便考虑到了在自然界中存在着可逆过程和不可逆的过程这一实际情况。空白的格表示还不知道与它们所属的物理量彼此直接联系的效应。

如果要把某种类型的能量和信号转变为另一种类型的能量和信号, 那么就只有当自然界中存在使这种转变成为可能的效应(物理效应、化学效应或生物效应)时, 才能为这个任务求出直接的解。对所谓设计的基本任务来说, 直接解的全部数量与上述特性所有存在的现象的数量相同。对于某个基本功能来说, 通常没有、有一个或几个能实现这一基本功能的效应。

如果没有可以直接实现一个基本功能的效应, 那么这并不意味着这个基本功能就没有技术解。相反 A 种能量也可以逐步地转变为 Z 种能量, 即先把 A 种能量转变为 B 种能量, 然后转变为 C 种、 D 种能量等, 以便最终把最后一个中间参量转变为所希望的 Z 种能量。这就是说, 通过组成效应链, 实际上可以找到任意多个实现某一基本功能的解。这就是为什么设计任务通常有那么多解的原因之一。

为了重新回忆表 1 中的物理效应, 附录中以原理图和其它资料的形式对主要特性和因果关系作了简短说明(第一栏中的两个数字相当于该行和该栏的号码, 该行和该栏中的有关效应可在表 1 中找到)。

8.1.2 物料的转变

按照规定, 物料的转变指的是给一种物料增添或去掉一种特性所要求的活动。铁磁材料的磁化或去磁就是物料特性转变的例子。改变物料的聚合特性是与特性的变化相联系的, 因此, 它同样是物料转变操作。通过能量的作用, 使特种纸的吸收能力发生局部变化(变色)的各种非机械印刷方法是“物料转变”操作的另一实例。这种基本操作的分类表目前尚未编写出来。

8.2 基本操作“放大”

8.2.1 能量组分或信号的放大

能量组分或信号的放大或缩小指的是所有放大或缩小矢量物理量或标量物理量的数量(数值)的活动。杠杆系统(图 7.3.2)、电压分压器和变电器是力、位移以及电压或电流的“放大”或“缩小”基本操作最恰当的例子。能量组分和信号参量是一致的, 因而可以放在一起讨论。

物理量的数值放大和缩小的效应作为“转变”操作的特殊情况包括在基本操作“能量或信号的转变”的物理效应分类表内(附录表 1)。只改变物理量的数值而不改变其单位的各种物理效应都列在分类表 1 从左上方向右下方画的对角线区域内, 因为这个区域具有相同的因(最左栏)果(最上行)参量。“转变”操作的物理效应分类表也包括“放大”和“缩小”操作的物理效应。

8.2.2 物料特性值的放大

所谓物料的放大和缩小是指物料特性参量的数值发生相应变化的过程。按第8.1.2节所述,物料特性参量缩小到零值称为转变(例如,某些材料的低温超导特性)。

由于“物料转变”与“物料放大”操作非常相似,所以把要制定的“物料特性转变”和“放大”的分类表合并成一个共同的分类表也许更为合适。

8.3 基本操作“结合”和“分离”

8.3.1 能量和物料的结合和分离

能量和物料的结合和分离是工程技术中经常遇到的任务。例如,液压泵、液压马达和水力透平就有着物料和动能结合和分离的系统。众所周知,泵是用来输送液体的,为此要使被输送的液体运动。抽象地说,泵就是使物料(液体)同动能相结合(加上动能)的系统。

液压马达和水力透平是具有相反过程(能量和物料分离)的例子。液流中本来具有的能量给了从动轴。液流经过马达以后,实际上就没有能量了。

热水取暖是另一种能量,即热能与物料结合和分离的实例。在锅炉中加上(结合)了热能,热能随水流被输送到各个暖气片中,并在那里散发到周围环境中。也就是说,能量和物料在暖气片中被分离,热能与物料的结合和分离是在热传导、对流和辐射等物理现象的基础上发生的。如果不存在相应的物理效应,就不会实现上述热传输过程。

为了解决物料与任一种能量分离或结合的任务,最好将所有相应的物理现象汇集在一起并编排整理成基本操作“能量和物料的结合和分离”的物理效应分类表(附录表2)。如果该分类表比较完善,那么从理论上讲有可能得到“物料和能量的结合和分离”这类任务的全部解。

现将该分类表的结构详述如下:左栏中给出了各种物料-能量的混合物,如物料和动能、物料和热能等;最上面一行中分别给出了从物料中分离出来的能量种类。在这个表的行与栏的交叉点处列出了那些适于实现相应的结合与分离操作的所有物理效应。在需要实现分离操作时,应从上向下,再向左进行。不可逆的过程(效应)通过主题词后面相应的箭头表示;箭头的方向表明,该效应在什么方向上起作用或者该效应是否可以用来实现结合或分离操作。

例如,在第二行第二栏中可以找到使物料和动能结合和分离的所有效应,这就是那些使物料运动或抑制物料运动的全部效应。使物料运动的技术装置是输送装置,更确切地说是这些装置的驱动系统。例如,输送液体的系统(泵)就属于这类。为了驱动液体,可以利用动量效应(离心泵)、玻意耳-马略奥特效应(真空活塞泵)、万有引力(渗透容器)、附着效应(在毛细管中输送液体)等。第8.5节更加详细地举例说明了这个分类表的使用方法。

8.3.2 物料的结合和分离

使具有一种或几种不同物理特征的物料分离的技术系统的实现,是工艺流程中经常

遇到的一项任务。例如,按其分离物料的物理特征可以是各种几何尺寸、重量、密度、沸点、导电性等。用于分离固体或者固体-液体物料常见的技术系统有筛、过滤器;还有用于分离不同密度或不同原子量的气体(分离铀同位素)的气体离心机、空气和废水净化设备、水-油分离器,提取化学的纯材料或工业材料,如铁、铝、铜的设备等。这几个例子足以说明“分离”操作的实际意义。

为了解决“物料分离”这类任务,应尽量将适合于分离混合物的全部物理效应汇集起来,并按一定的准则进行编排(附录表3)。因为聚合状态对所应用的分离方法至关重要。而且在具体情况下通常已经知道要分离的混合物的组成部分分别处于哪种聚合状态,所以最好是将那些适用于物料分离的效应,按下述原则排列,即:看它们是否适用于分离由两种固体、液体或气体组成的混合物;或者是否适用于分离聚合状态不同的两种物料组成的混合物,如:固体-液体、固体-气体、液体-气体。因此,在用于基本操作“物料分离”的物理效应分类表中,在最左栏和最上行中列出的是“固体”、“液体”和“气体”的标准。

在这样形成的由三栏和三行组成的表格内,在“分离特性”这一栏里列出了各种选用准则,要分离的物料都有不同的标准值,所以可以把它们作为分离的特征。此外,在“效应”栏中列出的那些物理现象可按相应的特征参量来区分和分离上述聚合状态的混合物。最后在第三栏内还列出了已经采用了相应物料分离效应的工艺和技术系统。图8.3.1示出了基本操作“物料分离”的原理目录的摘录及其实例。用于“物料分离”操作的物理效应的详细分类表可在附录/原理目录5“物料分离”中找到。

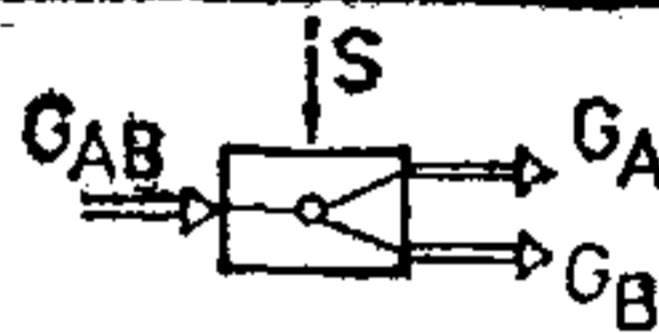
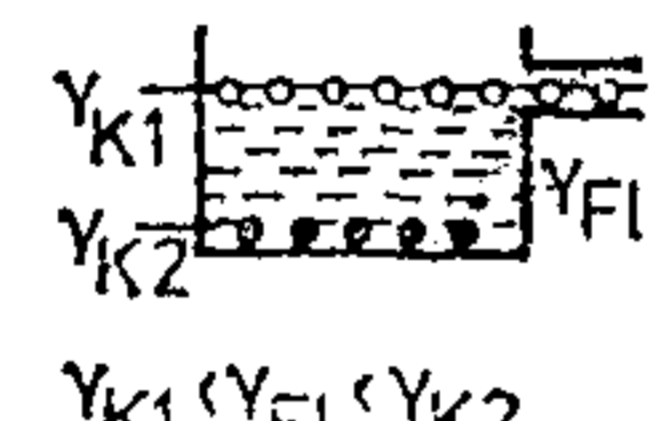
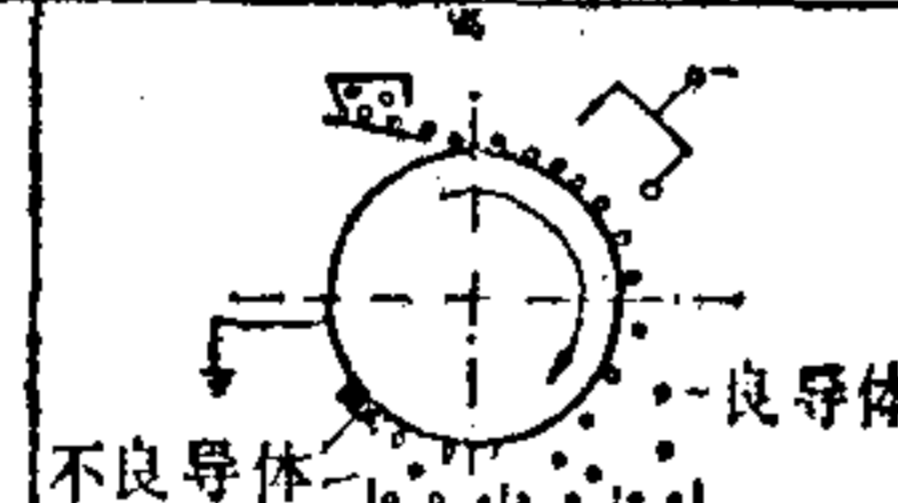
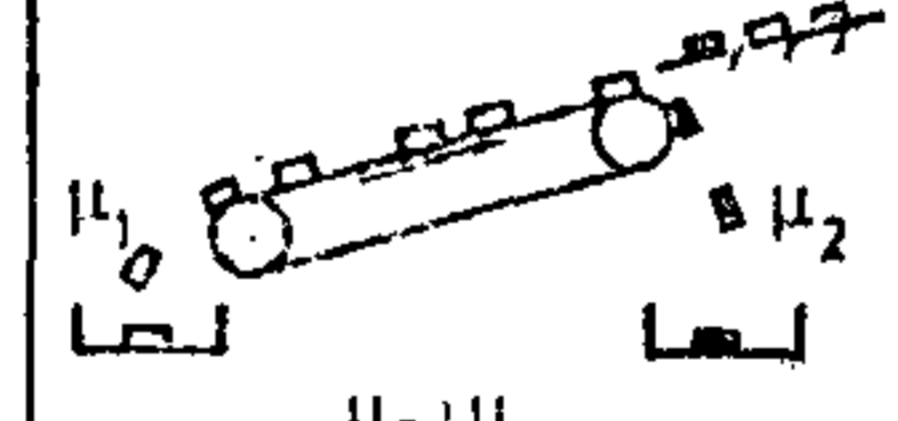
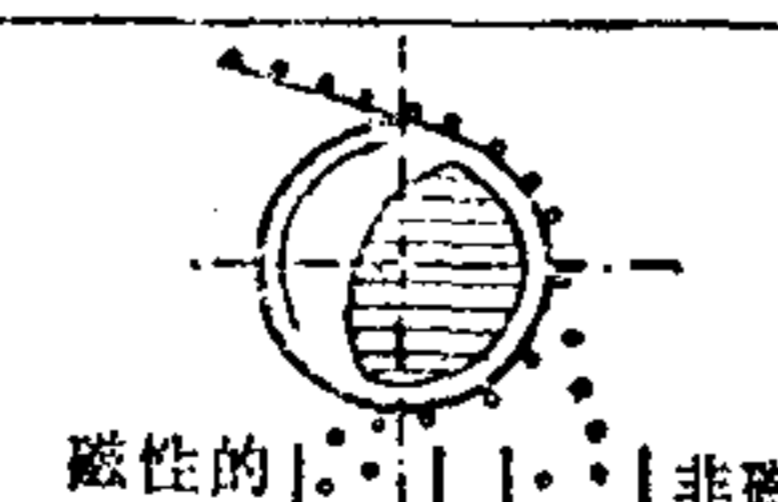
原理目录: 物料的“分离”					
					
分离特征	效应	原理解	定理	应用	文献
密度	浮力		$F_A = \rho_{FI} \cdot V_K \cdot g$ $= \gamma_{FI} \cdot V_K$ $1 \geq \frac{\gamma_K}{\gamma_{FI}}$	沉降 跳汰机	
导电性	库伦 I		$F_C = C_E \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$	电分离器	
摩擦系数	摩擦		$F_R = -\mu \cdot F_N$ $\mu = \lg \alpha$		
相对导磁率	库伦 II		$F_M = C_M \frac{\Phi_1 \cdot \Phi_2}{r^2}$ $C_M = \frac{1}{4\pi\mu_0\mu_r}$ $\kappa = \frac{\mu}{\mu_0} - 1 = \mu_r - 1$	磁分离器	

图8.3.1 基本操作“物料分离”原理目录摘录及实例^[10]

实际上,物料的结合与“物料的混合”意义相同。各种搅拌机和搅拌器是完成“结

合操作”的技术系统。混合就是改变两种或几种物料的排列。本来排列好的物料不用外界的帮助自身就能进行混合。大自然总在不断提高系统的不规则性。两种不同的、本来分离的气体或液体，经过一定的时间之后就会理想地彼此混合在一起。某种介质的扩散速度越低，这个过程持续的时间就越长。

根据物料混合的自然趋势，混合或者说结合的技术问题，主要是通过使分子微粒运动，来缩短混合过程所需的时间。迄今只知道很少几种物理方法。除了加速混合过程的搅拌器外，还可采用超声或液体动力摩擦过程(楔形间隙)等使物料快速混合。因为对于“结合”这一操作来说，显然还不能列出内容广泛的物理效应分类表，从这个意义上说，这个简短说明也就够了。

原理目录6“物料的结合(混合)”示出了用于这个操作的主要物理现象(见附录)。

8.4 基本操作“接合”和“分开”

接合是将两个或几个有一定几何形状的工件或者无定形材料的工件连接在一起(DIN 8580)。分开就是将由于原子的力、分子的力或其它力而相互联接在一起的物体拆开。

在日常用语中有时把这种活动叫做切断、锯断、折断、撕断等。分开一词指的是与接合相反的活动。

遗憾的是，在日常用语中并没有把接合过程的结果称为“接合”，而是称为“结合”。这就导致了概念上的混乱，因为“结合”这个概念(见第8.3节)缺少另外一个合适的总概念。对于“给物料赋予能量”和“物料A与物料B混合”(定性的结合)来说，已经在其它意义上使用过“结合”这个词。因此，在本章中还得在接合的意义上再次使用“结合”这个概念，以避免“接合”这个不常用的字眼。

8.4.1 物料的接合

例如机器、仪器和设备等工业产品是由以任意的方式联接在一起的零件和部件组成的。将两个零件或部件接合成复杂的系统(它可能是把发动机“悬挂”在汽车的机架上或者把钻头夹紧在机床上)是设计工作中经常需要解决的任务，由于实践对联接提出了各不相同的要求和边界条件，因此，在技术工作中就出现了各种联接。可分为固定联接和活动联接，可拆联接和不可拆联接，材料联接、形状联接和动力啮合的联接，还可按联接的制造方法(如粘接、钎焊接、熔焊接和铆接)以及其它的实际情况来分类。过去采用的使用方面的分类准则(无疑这些准则具有某些优点)并不能包括所有存在的联接。下面叙述的目的和用意就是利用设计方法学的分类准则，尽可能毫无遗漏地包括所有的接合方法。这样设计师就掌握了方便而迅速地解决联接问题的辅助方法，这些辅助方法可以指导设计师系统地进行联接的研制工作。

物理原理

两个零件或部件是否可以联接，关键在于它们能不能在某个方向上运动或者只在边缘处相对运动，而在其它方向上则可以运动(导轨)。为了防止零件散开，或者说为了实现

零件的联接,联接结构必须对作用于它的力有相应的阻止零件散开的反作用力。从设计方法学的意义上说,这就意味着,基本上说来所有物理效应都能实现两种材料的联接。这些效应可以使两个零件或两种材料在与外力相反的方向上连接起来。用来实现两个零件或两种材料联接的物理现象有:

- 两种材料之间的附着或附着力;
- 固体材料的聚合力;
- 虎克力(利用弹性构件或弹性元件使两个零件进行弹性联结);
- 液体中的气体/液体动压力;
- 相对于大气压的低压(真空);
- 重力;
- 静电场力;
- 铁磁力,顺磁力和电磁力;
- 抗磁力;
- 摩擦力,粘滞性;
- 浮力;
- 离心力;
- 动量力(脉冲力)。

根据这些原则上各不相同的方法,应将工艺联接初步按照物理现象来编排,区分为粘
结联接、聚合联接、摩擦联接等。在原理目录3(见附录)中汇集了各种物理原理并且通过
原理图作了说明。在第一行中列出了附着效应的原理,这对于粘结、钎焊联接和表层涂色
具有重要作用。在第二行中示出了由于固体构形稳定而导致的材料联接(熔焊联接)和形
状联接的聚合效应。另一种适于联接的效应是表面张力,例如它常用于“水银矿”(第三
行)。在第四行中列出了利用弹性材料进行联接的原理。两个零件的弹性联接或者通过
弹力使一个机械零件紧贴在另一零件上(例如力联接的凸轮机构)是这类联接的实例。

基于液体静力或气体静力的联接列于第五行;属于这类联接的有液体静压轴承和气
体静压轴承,以及在液压夹紧元件中力的传递。第六行示出了同样可以进行联接的液体
动压效应或气体动压效应;液体动压滑动轴承和气体动压滑动轴承就是这类联接的实
例。利用低于大气压的低压来联接两个零件的原理示于第七行。第8、9、10行示出了在
重力、静电、电磁、铁磁、顺磁和抗磁等场力基础上进行联接的原理。在实践中以多种形
式应用的库伦摩擦原理、根据Eytelwein定理的库伦摩擦加“摩擦力增强”(绳索摩擦)原理和
牛顿摩擦(液体摩擦)原理列于第11行。第12行为两个零件通过浮力联接的可能性。第13
行是两个零件借助离心力的联接。最后一个效应是在近代宇宙航行中,将物体固定在宇
宙飞船的内壁上。最后,在第14行还介绍了两个零件通过动量进行联接。

8.4.2 物料的分开

原子力、分子力或联接结构(螺纹联接)产生的力能够连接一个物体(物体的两部分)。

所谓分开就是把一个物体拆开,并且在与原子力、分子力或其它作用在分物体之间的
力相反的方向上形成两个或几个分物体。因此将一个联接结构拆开就属分开这个概念。
通过“分开”,由原来的一个物体产生出两个或几个分物体。例如在实践中基本操作分开

可以通过切削、气割、折断、剪切、拉断、化学过程(腐蚀)或电化学过程,或者通过拆卸来实现。在技术应用中,物料分开实际上可以限制在固体物料(物体)的范围内,因为液体或气体的聚合力是相当小的,甚至是负值,因此分开它们不需要任何力,而且不需要相应的技术装备。例如,将自来水管中的液体或气体管道中的气体按照量分开(分配)时,本来就没有分开过程(介质已呈分开状态),而是将物料的分量分流或引导到不同的地点。要分开的物体(固体材料),可以分为带有预定分开线(接合部)和没有预定接合部的分开过程。所有常见的可拆联接和不可拆联接,如键联接或过盈配合,只要沿其接合部施加相当大的力便能重新被拆开的联接都属于第一类分开过程的联接。所有那些局部地克服该材料的原子或分子的聚合力,以便将某物体分开或者分成小物体的分开过程为第二类分开过程。

将一个均质的物体或由两个分物体结合在一起的物体分开,可以通过下述方法进行:使作用于该物体的力克服其聚合力,或者使引起分物体联接的力或作用面失去作用或失去咬合。在进行热、化学或电化学分开的工艺中,是将材料局部地转化为另一种聚合状态,并以化学方法将其分开。在用机械方法分开的工艺中,给要分开的材料局部地加以高负荷,以克服其内聚力,并使其折断。所有机械分开工艺的共同特征是:通过相当大的力,使材料局部地被破坏。这在原理目录4(附录)中,用力的箭头来表示。通过改变产生力的效应或者通过五种应力(如拉、压、剪、弯和扭转一个固体材料)可以得到使物料分开(分成或剪成小物体等等)的方法。在原理目录4中(见附录)示出了几种力发生器-效应。

8.5 实例: 泵

为了更好地理解上述论点,现以第7.6节中开始讨论的泵为例进一步加以说明。在7.6节结束时谈到,“液体与功能的结合”这一基本功能相当于泵的实际过程。人们通过探讨使液体运动的物理现象,或者说使液体与动能相结合的物理现象,便可找到所有存在的、原理上不同的解。借助“物料与能量的结合”基本操作的物理效应分类表(附录,表2)便可得知相应的效应。

在这种情况下如果认为各种能量都可用来驱动泵,那么,在系统分类表第二行中的所有适用于动能

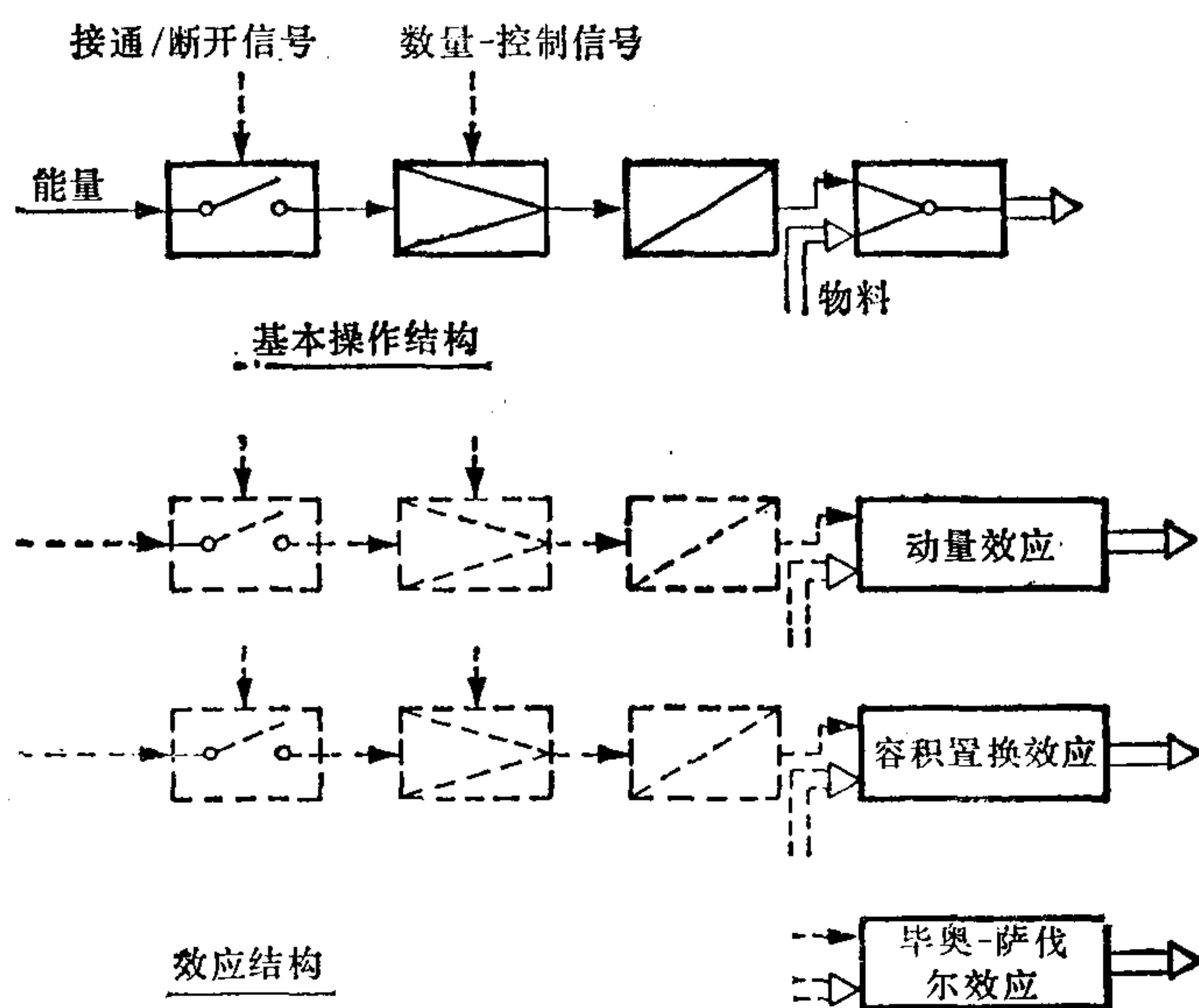


图8.5.1 泵系统的“物料和能量结合”操作的几种效应方案
(文中有说明)

和物料的结合的效应原则上都可加以考虑。例如动量效应(叶轮泵)、容积置换效应(活塞泵)、附着效应(通过毛细管输送液体)、库伦 I、库伦 II 和伯努利 (Bernoulli) 效应(水泵)、毕奥-萨伐尔 (Biot-Savart) 效应(钠泵)和电渗效应。图8.5.1示出了由上述效应得到的几种效应结构。

通过将有关的效应写入操作符号方框内,基本操作结构或者基本功能结构就变成了具体的效应结构。第10.1节叙述了由这些效应得到的泵的原理(参阅图10.1.1)。一般说来,各种原理的泵可用不同种类的能量(动能、电能等)来驱动。用于“转变”操作的效应(图8.5.1)相应地由选出的“结合”操作的效应,必要时由网络系统中可供使用的能源种类来确定。对于其它的过程,从“结合”操作(泵)的效应出发,经过“转变”、“缩小”和“开关”操作,在注意其相互关系的情况下依次确定。

例如,如果为“结合”(泵)操作选择容积置换效应,也就是说,选择所有有可变工作容积的泵都是以此为基础的那种效应。如活动泵、离心泵等,那么,对于建立在这种基础上的泵,在任何情况下都需要使用动能来改变泵的容积。此外,为了限制解的种类,假定对这种系统只能提供电能,那么为了实现(电能的)“转变”操作,基本上只考虑那些能将电能转变为动能的效应。这主要是系统分类表中基本操作“转变”(附录表1),那些效应,即从电参量(电压、电流等,第10行和第12行)为原因和以长度或力或者动能(第一栏和第四栏)为结果的那些效应,例如电致伸缩效应、磁致伸缩效应、毕奥-萨伐尔效应(电动力学效应=电动机的原理)、动电学效应(电渗透效应)、库伦 I 和库伦 II 效应。图8.5.2示出由此得到的几个效应结构。图10.1.2示出活塞泵或膜片泵的驱动原理。

还需特别注意的是,上述用于“转变”操作的部分效应,如电渗效应和毕奥-萨伐尔效应,在实现“结合”操作时也曾提到过。这就是说,这些效应具有多种特性,因此,它们即能

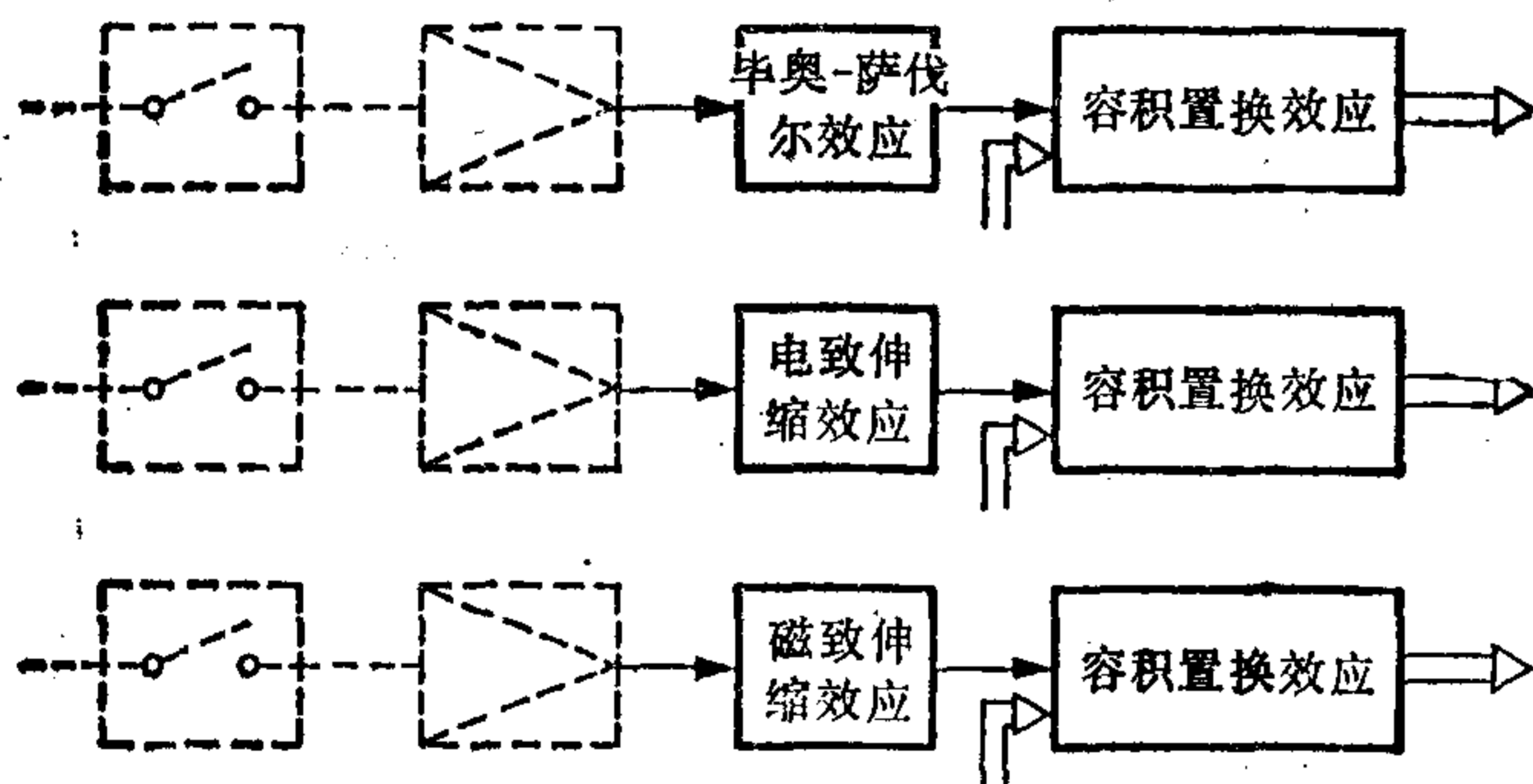


图8.5.2 泵系统的“能量转变”操作的几种效应方案

用于实现“将电能转变为动能”的操作,也适用于“液体与动能结合”的操作。有些效应可以实现出现在一个系统中的两种或几种操作或者功能,这种情况通常可导致非常简单的解(参阅图10.1.1例如a解和b解)。技术系统的所谓集成结构方式的这种方法及其它方法以后

还要在第12.2节中详细讨论。

为了指出变换效应的主要过程,这些说明暂时可能足够了,这个例子将在第10.1节中继续讨论。

“效应变换”这一步的结果是各个基本功能的可供选择的效应或效应链。将它们填入基本功能结构或基本操作结构的各个小方框里来代替操作符号。这样一来就得到了效应结构,部分说明如图8.5.1和图8.5.2所示。

8.6 方案代数

技术系统中的数学和逻辑过程可以通过熟知的普通代数和布尔代数的基本运算来描述。如7.3节所述,技术系统中的物理过程也可以通过有限数量的基本操作来描述。因此可以推测,对于物理系统从理论方面进行论述也有“计算规律”或者说是一种“代数”。如果是这样,就有可能完全正式地按照这种代数的规律来阐述物理技术系统的功能结构。

事实上,目前已经有了正式论述物理功能结构的简单规则。因为这种计算主要是影响要研制系统的原理方案,所以应该称这种新代数为“方案代数”或简称“K-代数”。

类似于普通代数中的加、减、乘法等,也应为物理基本操作确定符号。例如,可以用下面这些符号来说明“转变”基本操作:

$$F_w \equiv G_A \rightarrow G_B$$

这个表达式表明,要把量纲为A的物理量G转变为量纲为B的另一参量G;箭头是“转变”操作的符号。

对各种基本操作,建议采用如下的符号:

这里必须注意,这些与DIN 1302的数学符号一致的那些操作符号,这里都有不同的意义。

众所周知,在普通代数中的变量可以是任意数值,而在布尔代数中则与此相反,只能是离散值0和1。在K-代数中,在“能量的转变”操作时,变量 G_A 、 G_B 等是对每个任意量纲或能量形式的一般表达。一般说来,K-代数的变量与描述能量、物料和信号以及能量流、物料流和信号流的特性和状态的特征参量有关。这关系到下面的见解,即K-代数的变量可以是某些描述能量、物料或信号的特性或状态的“离散值”。在这种意义上说,这指的是所有定性确定与能量、物料或信号有关的特性或状态(特征参量)。例如,它们可以是一个物理参量的量纲、数量级或方向。

$$\text{转变 } F_w \equiv G_A \rightarrow G_B \left(\text{或 } F_w = \frac{G_A}{G_B} \right)$$

$$\text{放大 } F_{Vg} \equiv G_{A1} < G_{A2}$$

$$\text{缩小 } F_{Vg} \equiv G_{A2} > G_{A1}$$

$$\text{变向 } F_{R\ddot{a}} \equiv G_A \updownarrow G_A$$

$$\text{引导 } F_{Fh} \equiv G_A = G_A$$

$$\text{聚集 } F_{S\ddot{a}} \equiv G_A \otimes G_A$$

$$\text{分散 } F_{Vz} \equiv G_A * G_A$$

$$\text{定向 } F_{Ri} \equiv G_A \rightarrow G_A$$

$$\text{往返运动 } F_{Os} \equiv G_A \leftrightarrow G_A$$

$$\text{结合 } F_{Vb} \equiv (G_A, G_B) > G_{AB}$$

$$\text{分离 } F_{Tr} \equiv G_{AB} < (G_A, G_B)$$

$$\text{接合 } F_{F\ddot{u}} \equiv G_A + G_A | G_{AA}$$

$$\text{分并 } F_{Te} \equiv G_{AA} || G_A + G_A$$

$$\text{存贮 } F_{Sp} \equiv G_A \rightarrow \ominus G_A$$

$$\text{取出 } F_E \equiv G_A \ominus G_A$$

8.6.1 通过基本操作“转变”使变量联接

按下式将物理量 G_A 转变为另一物理量 G_Z 的“指令”相当于基本操作 F_w :

$$F_w \equiv G_A \rightarrow G_Z \left(\text{或 } F_w \equiv \frac{G_A}{G_Z} \right)$$

在上述简写形式中,两个变量之间的箭头象征性地表达了转变的规则。

前面已经指出,参量 G_A 转变为参量 G_Z 可按下式逐步进行:

$$G_A \rightarrow G_Z = G_A \rightarrow G_B \rightarrow G_C \rightarrow G_D \rightarrow \dots \rightarrow G_Y \rightarrow G_Z \quad (1)$$

这种写法或下面的等效写法

$$\frac{G_A}{G_Z} = \frac{G_A}{G_B} \cdot \frac{G_B}{G_C} \cdot \frac{G_C}{G_D} \dots \frac{G_Y}{G_Z} \quad (2)$$

都表明,首先由参量 G_A 转变为 G_B ,然后由 G_B 转变为 G_C ,最后由参量 G_Y 转变为所希望的参量 G_Z 。这时应该注意,一般说来,在公式(1)中,各个参量的顺序不能交换。

由参量 G_A 逐步地转变为参量 G_Z ,从理论上讲是一种按照下式进行的直接转变:

$$G_A \rightarrow G_B \rightarrow G_C \rightarrow \dots \rightarrow G_Z = G_A \rightarrow G_Z \quad (3)$$

这种关系(代数中参量的化简相当于这一关系)说明了下述事实,即从理论上讲,包括多个转变操作的一个效应链可以被使参量 G_A 直接转变为参量 G_Z 的效应代替。

下面两个例子可以简要说明这种表达形式的实际意义。目前,热能转变为电能主要是分级进行的。首先,气体的热能转变成气体辐射的动能,气体辐射的动能(也应用了动量效应)作为机械能传递到旋转轴上,最后(在毕奥-萨伐尔效应的基础上)转变为电能。“锅炉-透平机-发电机”系统(图8.6.1)就是实现了这种效应链。最近,人们就致力于采用直接将热能转变为电能的效应来代替这种效应链。在磁流体发电机(MHD)中的磁一流体动力的直接转变就是为实现上述意图而进行的研究开发工作。

与此相反,在计量技术中,测量信号往往不只一次地转变,而是利用效应链进行多次转变,以便在测量时得到高度放大的测量值。例如,在电测长仪中,首先将被测的长度变化转变为电参量(转变),当电参量加强(放大)时,再转变为长度变化或指针偏转。光学测量仪或气动测量仪都是利用效应链的实例。

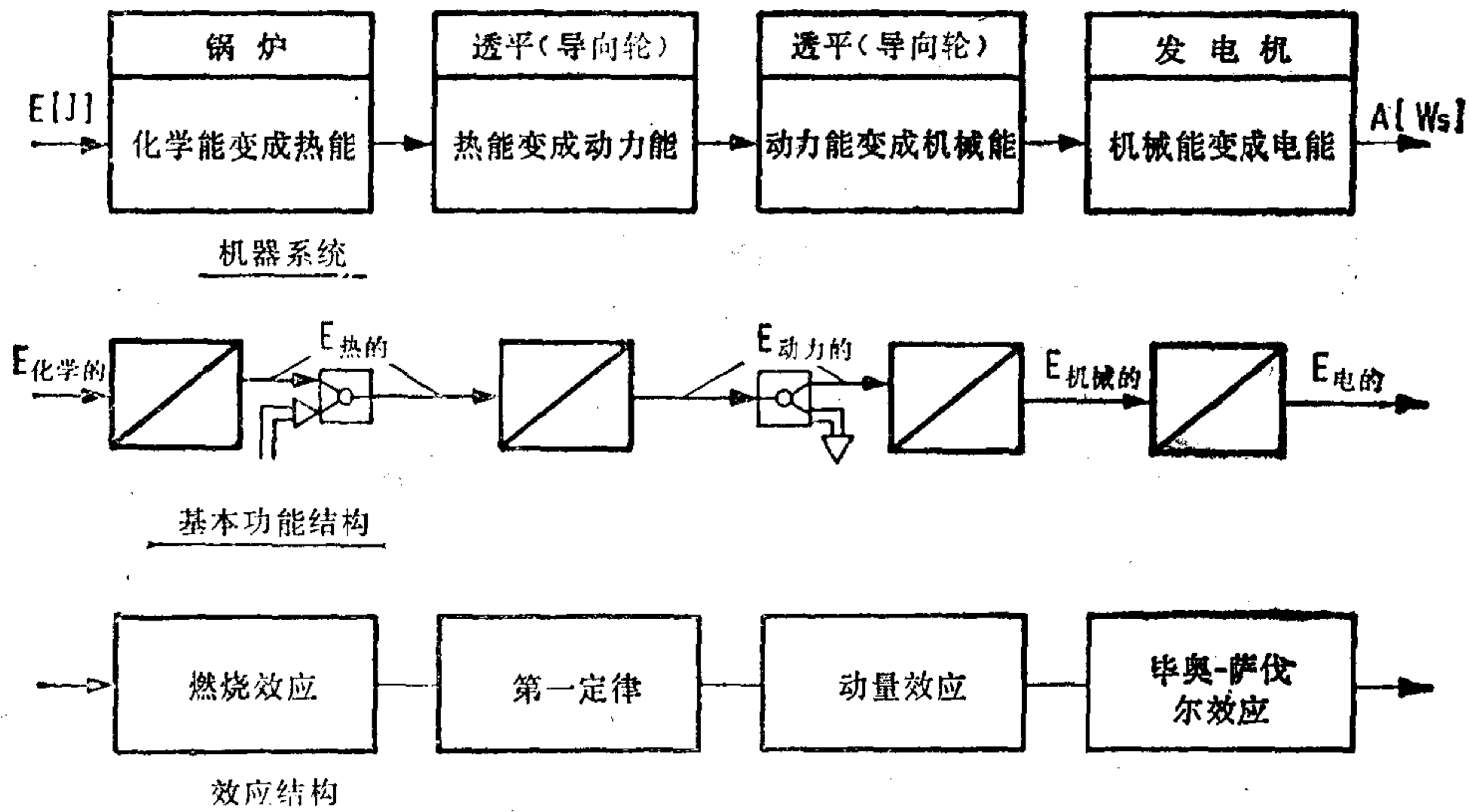


图8.6.1 众所周知的、将化学能转变为电能的锅炉-发电机系统基本功能结构和效应结构

8.6.2 通过基本操作“放大”和“缩小”使变量联接

一个物理参量数值的“放大”或“缩小”基本操作可以作为基本功能“转变”的特殊情况来看待。从形式上也有与“转变”功能非常相似的关系式。将一个物理量 G_A 的数值放大 n 倍理论上可按式分为任意多步来完成。

$$G_{A1} < G_{An} = G_{A1} < G_{A2} < G_{A3} < \dots < G_{An} \quad (4)$$

与此相反,可以设想只通过一个操作来代替一个放大链。

$$G_{A1} < G_{A2} < G_{A3} < \dots < G_{An} = G_{A1} < G_{An} \quad (5)$$

相同变速的传动装置就是通过(4)和(5)式所表达的关系的实例。众所周知,可以用一级或多级变速来实现转速的增加(放大)或减少(缩小)。从理论上说,多级传动装置一向可用一级传动装置来代替。带有一个、两个或三个齿轮的电度表以及蜗杆传动装置都是有很大传动比的传动装置的实例。

8.6.3 通过不同的基本操作使变量联接

通常在技术系统中会出现各种可能的基本操作。也有一些必须通过不同操作使变量彼此联接起来的功能需要实现。例如,带有凸缘连接的机械传动装置(用来改变转速)的电动机的特性,或者带串激直流电动机的分压器的特性都可通过下列关系式来表示:

$$G_A \rightarrow G_{B1} > G_{B2} = G_{A1} > G_{A2} \rightarrow G_B \quad (6)$$

左边的表达式说明,首先是电参量 G_A (电压)转变为机械参量 G_{B1} (转数),然后将这个参量再缩小一定的倍数。反之,右边的表达式则首先将电参量 G_{A1} 缩小另一个相当的倍数,然后再转变为机械参量 G_B (转数)。等号表示属于这两种表达式的功能在定性方面是等效的。这些例子作为引言可能足够了,但作为对这种代数的全面描述尚嫌不足。

9. 效应载体的变换

前面根据某个设计任务书进行的工作,以得到相应的效应结构而结束。就是说,对于要实现的每一个基本功能都可以设想用哪一种物理效应或者说用哪一种效应才能实现这个基本功能。在进一步设计的过程中,必须为每一个效应定一个效应载体(材料)。一般来说,每一种效应可以用不同的材料,这样就可以找到可供选择的不同的解。

通过效应或效应载体可以确定功能元素的原理解或基础解^[65]。由此可知,通过改变同一效应的效应载体,可以系统地研制出不同的原理解。一般说来,通过变换聚合状态“固体”、“液体”和“气体”,就可以为某种效应得到三种不同的原理解。固体、液体和气体激光系统就是这方面的典型实例。然而事情并不总是如此,对有些效应来说,变换聚合状态有时就没有意义。也就是说,利用聚合状态变换时“失去”特性的那些效应,如杠杆效应。此外,还有一些需要有不同聚合状态的两种物质才能实现的效应,例如由液体或气体环流的机翼(浮力效应)。用钢、塑料或橡胶制造的弹簧(虎克效应)(图9.1)或者用固体材料或液体材料制造的热胀元件都是效应载体变换(图10.1)的实例。

效应载体变换的一个很现实的例子是用塑料代替钢或其它金属(轴承合金)。在设计的中期阶段,

当设计人员在强度、减震、噪声、成本等方面提出的要求遇到困难,并正在寻找可以在相同部位应用的上述材料特性更好的材料时,他们须经常采用变换效应载体这种方法。通过变换效应载体(材料),有时可以避免因改变几何尺寸而花费巨额资金。

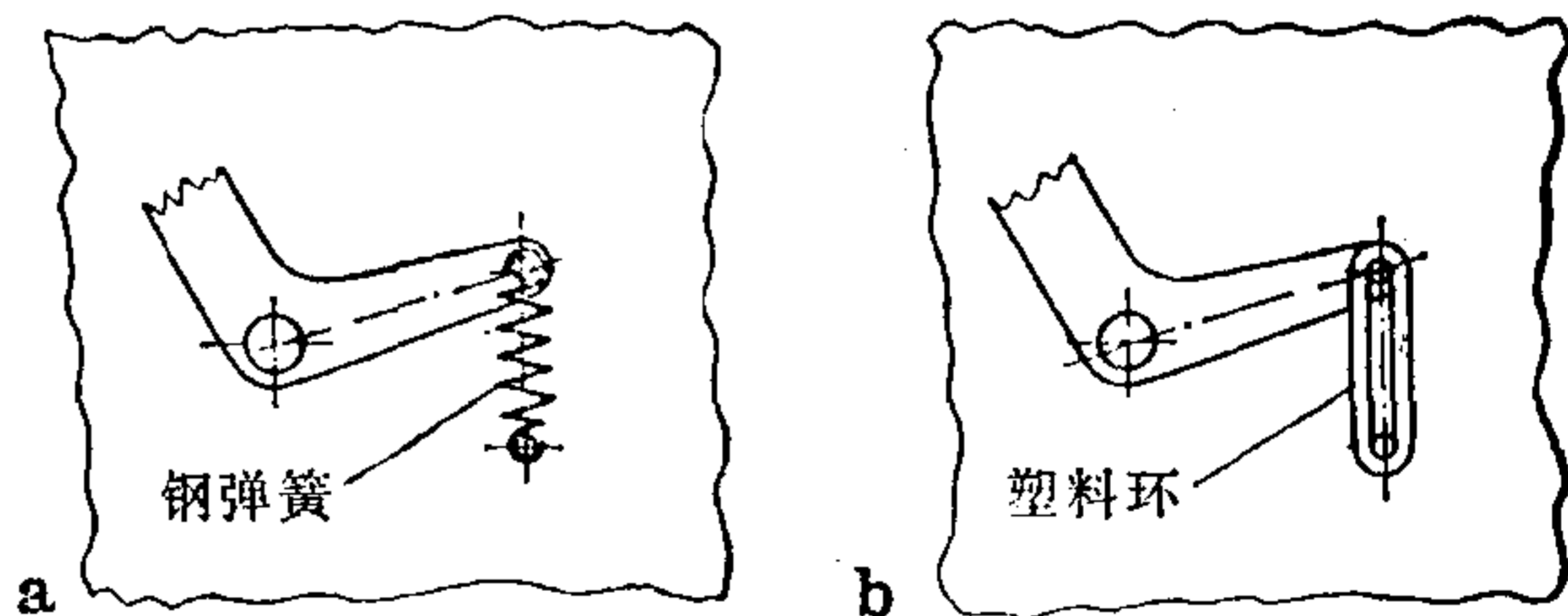


图9.1 用于虎克效应的效应载体变换(钢/塑料)

在实际设计工作中,利用效应载体变换来系统地研制不同的原理解,为此仅仅区分材料的不同聚合状态是不够的,还必须更确切地定义效应载体这一概念。应将那些在特定使用情况下具有一种或几种特性明显不同(质的飞跃)的材料看作是不同的效应载体。一般来说,效应载体变换可以提供多种解。在随后的选择过程中可以从这些解中选出,并进一步研制出最好的一种或几种方案。

总之,利用效应载体变换可以提出其它可供选用的解。

规律 4: 实现有关效应所必需的特性的各种材料都可以被视为某种效应的不同效应载体。通过改变效应载体,可以得到适于某一种效应的多种不同的原理解¹⁾。例如,不同的效应载体可以是固体、液体或气体材料。

这样描述的效应载体变换是(定性)确定材料的第一步。精确确定材料的数据通常需要在以后的定量设计阶段进行。因此,对该效应十分重要的材料特性数据具有重要意义。搜集所有重要的结构材料及其特性数据并加以编排整理,使之可以按照聚合状态和实际材料特性“调用”,这对建立设计资料,以便系统地进行效应载体变换以及必要时进行计算机辅助效应载体变换是十分重要的。在附录 4 中概略地示出了固体、液体和气体材料的重要特性。

为了简单地比较和判断材料对某种使用情况的适用性,最好将材料特性现有的数值范围分为从 0 到 9 十个等级。其中 0 表示某种材料的某种特性小到不值一提。当该特性数值与出现的最大值几乎相等时,这种材料的某种特性就是 9 级。附录表 5 a 和 b 示出了固体、液体和气体材料特性数值的分类。

附录表 6 示范性地给出了铁和钢的特性数据。

若有电子计算机,就可以将最重要的结构材料及其特性值储存在数据库中,并在确定材料时将数据调出。为此,经常需要比较不同材料的一种或几种特性或者适用性。为此,把不同材料的有关特性值以某种形式,如附录表 7 那样表示出来是很实用的。附录表 7 示出了各种材料的“金属的屈服极限(σ_s)”^[35]。

10. 原理解或基础解的说明

上述两个工作步骤确定了某一基本功能的效应和效应载体。随着效应的选择,原则上实现该功能也就确定下来了。但是还未能描述所谓的原理解,因为原理解通常不仅由效应决定,而且也由所选择的效应载体决定。原理解是效应和效应载体的函数:

$$\text{原理解} = f(\text{效应}, \text{效应载体})$$

只有当定性确定了效应和效应载体的时候,才能形象地描述原理解。原理解的图形至少应包括那些在该效应的数学公式(物理定律)中作为参量出现的所有量,只要这些量可以用图形描述(参阅图 7.3.2. 杠杆效应)。因为原理解是随后构形设计阶段的基础和出发点,因此,最好也应称它们为基础解。

为了使上面的叙述更容易理解,现简单举例说明。假定提出了这样的任务,即利用室内每天温度的变化给室内的钟表上弦,或者汽车发动机上的冷却水系统的阀门(恒温箱)

1) “原理解”这个概念还要在第 10 章中详细说明。

靠冷却水的温度开关。概括地说,这两个任务就是要把温度的变化转变为机械能(力或者位移)。为了实现“温度的变化转变为力或位移”这一基本功能,可以利用熟知的热膨胀效应。原理解将随效应的选择而部分地确定下来。只有当效应载体也定性地被确定之后,才能给出原理解的草图。上述情况中的效应载体可以是固体材料,也可以是液体材料。

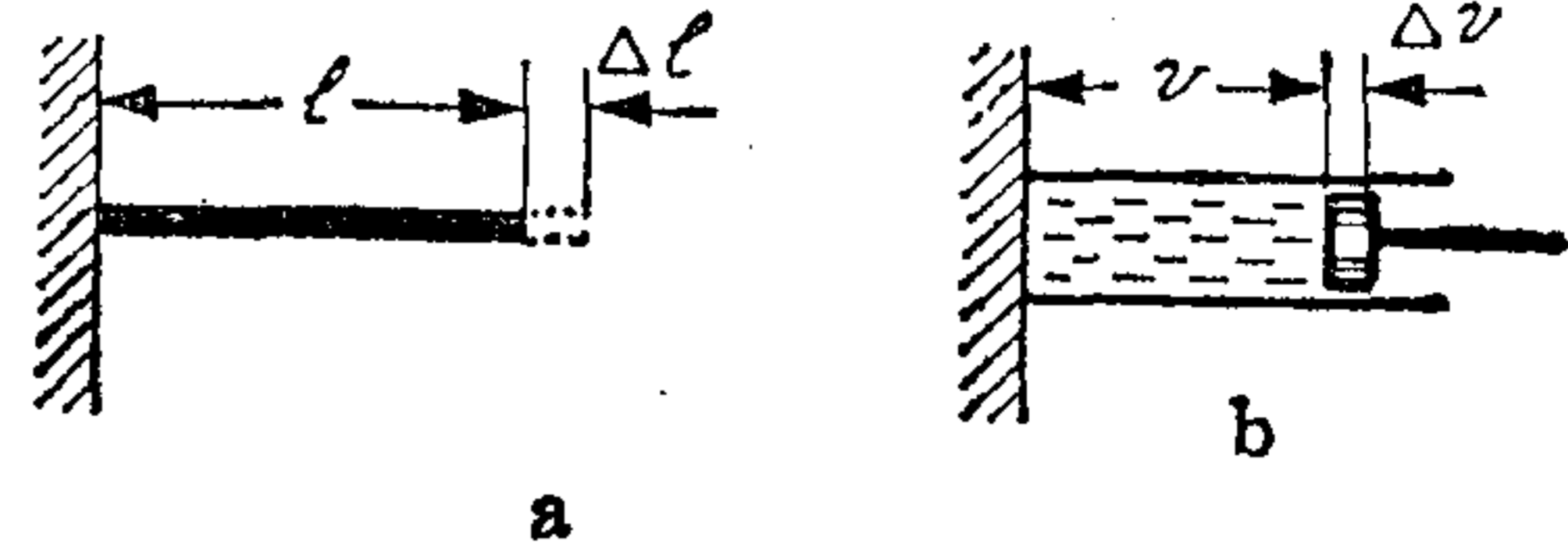


图10.1a,b 一种原理解或基础解的图示

上述效应分别采用固体材料或液体材料,因而图10.1中便出现了与此相对应的两种热驱动的原理解和基础解。还应注意,这两种原理解(图10.1)包括相应物理定律($\Delta l = \alpha l_0 \Delta t$ 和 $\Delta V = \beta V_0 \Delta t$)的所有几何参量。

为了系统地研制各种原理解,便得出如下的规律。

规律5: 通过变换效应和效应载体,可以得到某功能的各种原理解。在图示原理解或基础解时,考虑到由所选择的效应载体决定的特性,可将由所选择的效应决定的因果关系转变成功能原理图。所谓原理解或基础解的图示可以或者说必须以能够重复由该效应的物理定律所规定的几何参数和可图示的参数为限。对图示一个原理来说,根本的是能够图示描述该原理的所有参数。如果这涉及到具有空间矢量的效应,那么,为了图示这个原理就需要一个三维的图形。

因此,在图示原理时,实际上是将那些必须由三维构成的部分,只用一维或二维来表示就足够了。例如,为了图示杠杆效应的原理,重要的只是“长度”(杠杆长度)这一物理量,杠杆的横断面在这种情况下是无关紧要的。因此,为了图示杠杆效应的原理,将杠杆作为一维的图形表示就够了(图7.3.2)。除了几何参量 l_1 和 l_2 之外,在图7.3.2中还示出了力 F_1 和 F_2 ,虽然这两个量不是几何参量。

对于“能量或信号的转变”这个基本功能来说,已将相应于各个效应的原理解,其物理定律以及其它重要数据汇编在附录的所谓原理目录中。有了这类目录,设计人员便无需绘制原理解。目录还向设计人员提供了某些效应的因果关系数量级方面的资料(数量),以便容易判断出可能是一种全新的,非传统的解。在该目录后面还附有本书的参考文献,以便查找其它的资料。

10.1 实例: 泵

为了容易了解这个工作步骤,最后应围绕原理解的图示继续讨论第7.6节和第8.4节已经提到过的泵。最后的讨论应以为泵系统制定各种效应结构而结束。过去已认识到,可借助某些物理效应使液体运动是重要的。在这个工作步骤中,可以利用原理解或基础解的相应的图形来补充用文字说明的解。

图10.1.1示出了几种符合上述效应的,可使液体运动的原理解。图a示出应用毕奥-萨伐尔效应(电动机原理)输送液体。管内的液体处在垂直于(液体)运动方向作用的磁场 B 内。此外,如果沿图示方向有一电流通过液体,根据毕奥-萨伐尔定律(或者说毕奥效应)液体在管内垂直于电流 I 的方向和磁场 B 的方向运动。当然,这个原理只能用于导电的液体。但由于效率较低,至今它只被用在没有运动零件的泵上(原子能发电站的钠环

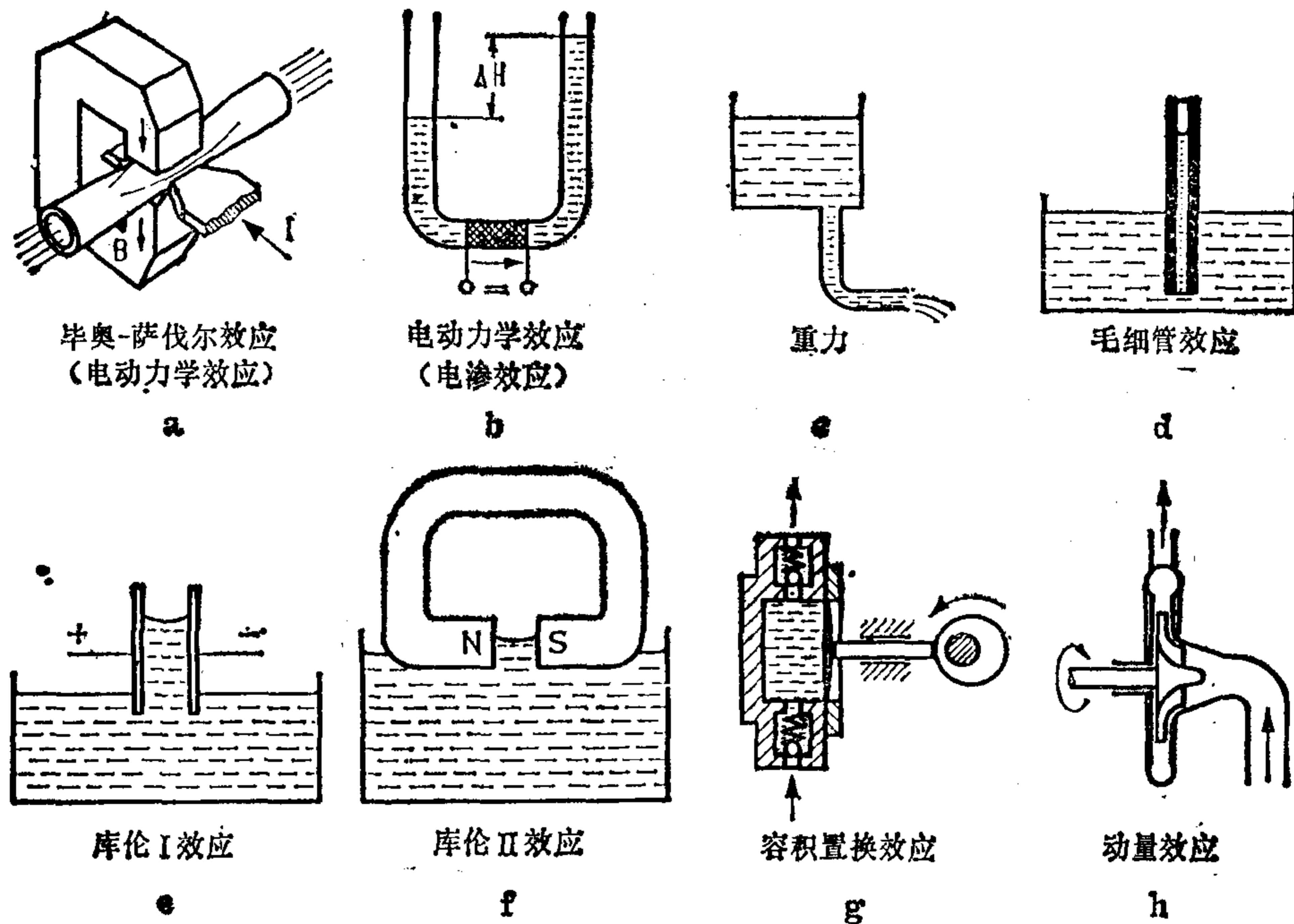


图10.1.1 a—h 基本功能“能量流和物料流的结合”的原理解

流)。

其它的原理解表示基于电渗效应、重力效应、毛细管效应、库伦 I (电场) 效应和库伦 II 效应的液体运动。当然,库伦 II 效应只可用于磁性液体。此外,图10.1.1还示出了在实践中制造薄膜泵或活塞泵和离心泵时常用的玻意耳-马略奥特效应和动量效应。例如人们若选用玻意耳-马略奥特效应作为泵的工作原理,那么这种泵运转时就应该产生一种抽

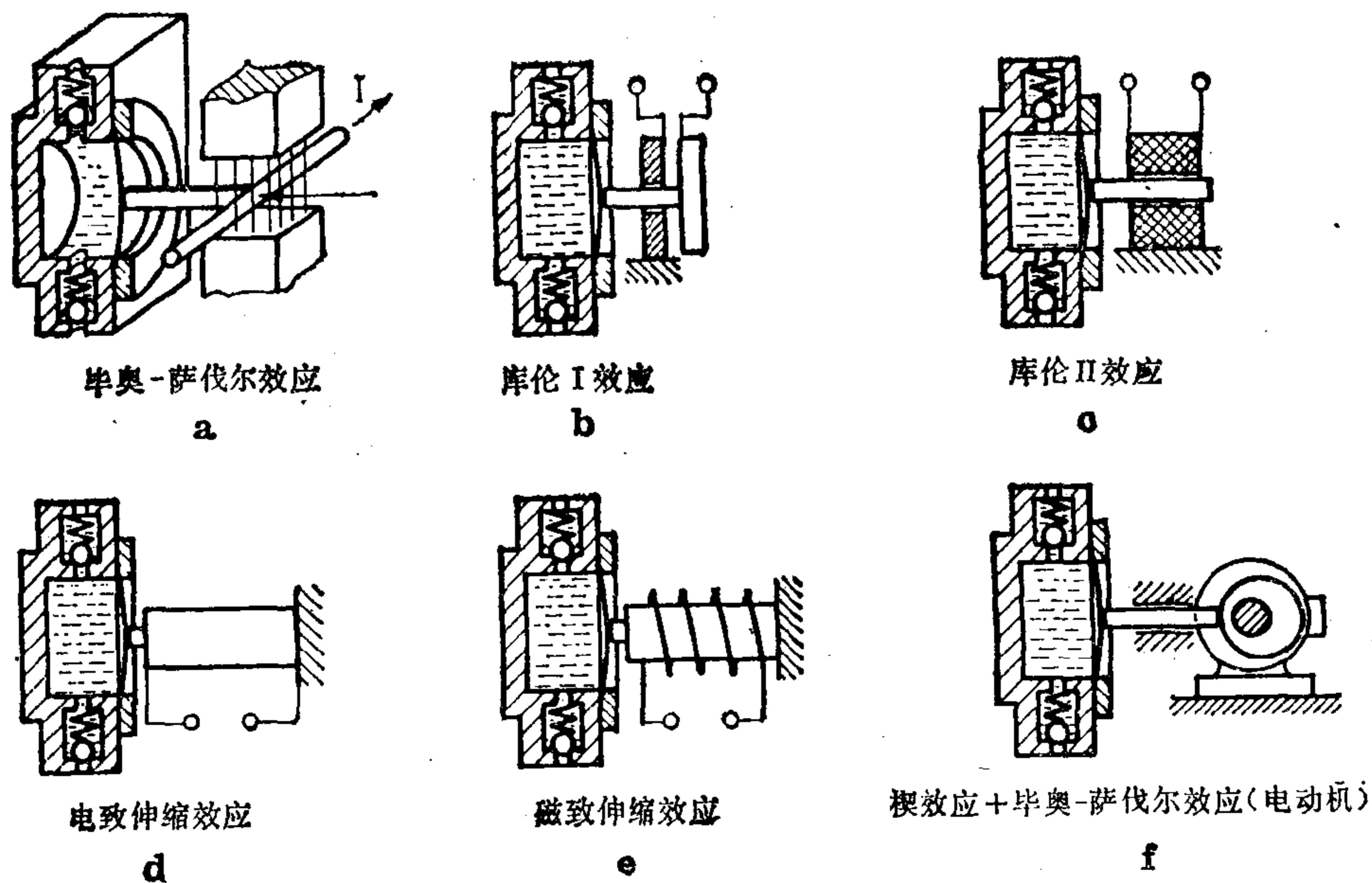


图10.1.2 a—f 基本功能“电能转变为动能”的原理解

吸和改变容积的运动。如果这时只有电能,那么,便又提出了一个任务,这就是将电能转变成动能。为了完成这个转变,所有那些能够将电参量转变成位移或力的效应基本上都适用。图10.1.2a至e示出了基于毕奥-萨伐尔效应、库伦 I 效应、库伦 II 效应、电致伸缩效应和磁致伸缩效应的驱动原理。

还应注意,如果不像图10.1.2所示的那样预先设置两个单向阀(球阀),那么容积的反复变动将产生同样反复的容积流。与活塞泵或膜片泵相反,离心泵的运转原则上不需要单向阀,这可能是由于其它原因造成的,例如启动离心泵系统。正如这个例子应该表明的那样,通过所选择的物理原理,必要时还需要其它的基本功能或功能元件来将一种“物理解”转变为实际中适用的“技术解”。

此外,如果设想一下毕奥-萨伐尔原理按照图10.1.2a进一步研制成常见的电动机,那么为了将连续的回转运动转变为往复的移动,还需要“转变”和“往复运动”操作;在图10.1.2f中已经示出了相应于这个操作的传动机构。如果回顾一下绘制的膜片泵系统的基本操作结构图,那么就得到增加了“材料流的定向”以及“能量流的转变和往返运动”这两个操作的基本操作结构图,如图10.1.3所示。

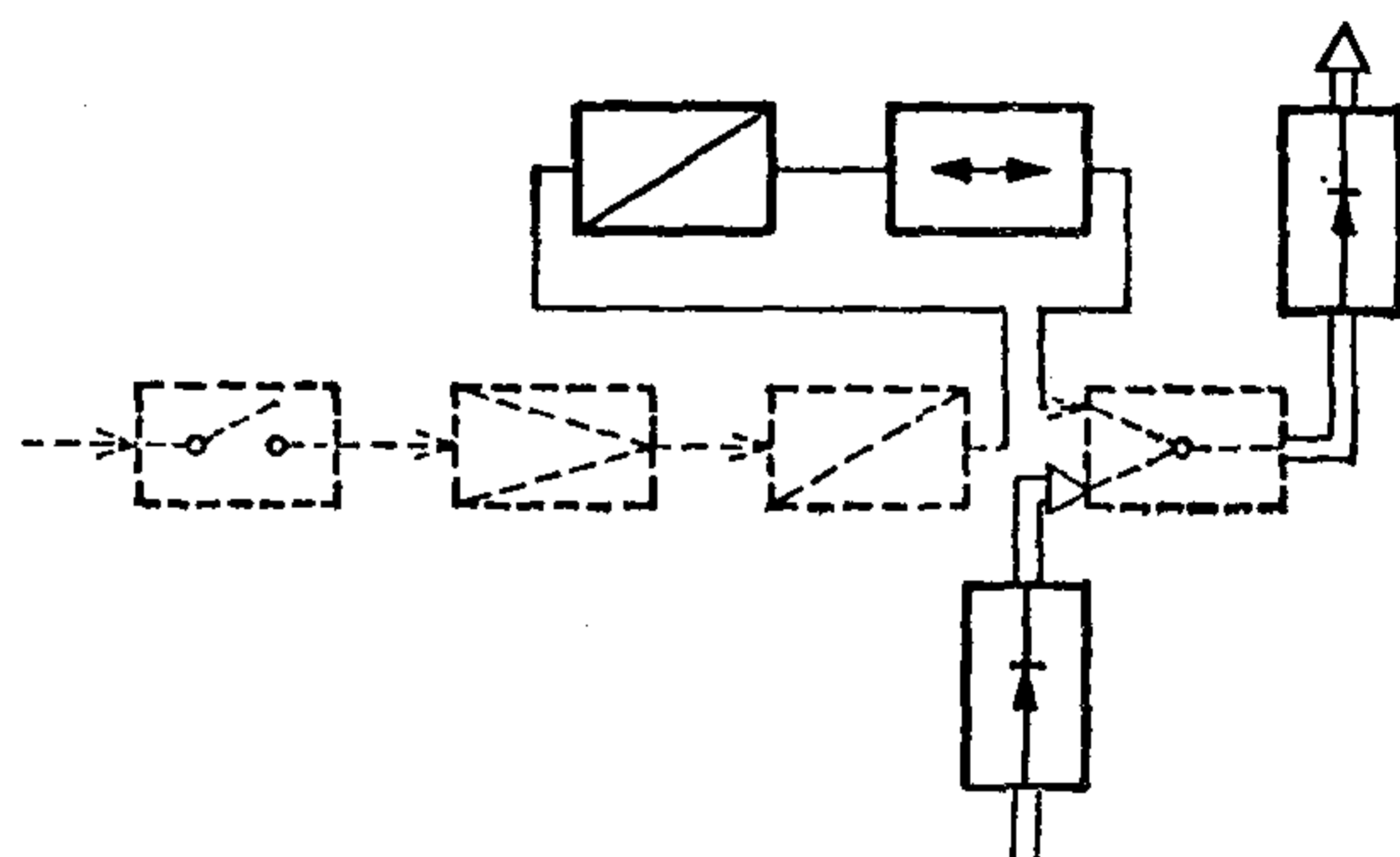


图10.1.3 泵系统扩展了的基本操作结构(说明在文中)

这个例子应该表明,在研制过程中,还不断地有另外一些由逻辑决定的操作来补充最初的基本操作结构。随着解的进一步具体化,本来是很通用的结构将成为某一产品的包罗万象的专门结构。

11. 原理解、零件或部件组合成复杂系统

上一步工作的结果是制定出原理解或基础解。这个解只限于对该因果关系定性的图示说明,并且基本上只包括由该物理定律所规定的参数。下一步工作“组合”是将对应于各个基本功能的原理解,按照基本功能结构组合成复杂的系统。这步工作必须在构形设计之前进行,这是因为相互有很大影响的各个元件不可能脱离其相邻元件进行构形设计。

机器、仪器和设备通常是由许多功能元件或部件组成的。部件通常又是由许多功能单元组成的。这里规定,所谓功能单元指的就是从技术上实现一种基本功能。在上一步工作中,一般说来为每个分功能或基本功能都找到了许多可供选用的解。为了限制由所有可供选择的解组合出解的数量,有必要确定分功能或基本功能的最佳解的客观准则。

遗憾的是,除了特殊情况外,一个解就其本身来说是最佳解,但当它与整体系统相联时并不总是最合适的解。这就表明,在许多情况下,先将各个分解组合成整体系统,然后再根据它们对具体情况的最佳适应性加以选择。为了将各个分解系统而完善地组合成相应的整体系统,可以利用众所周知的、名为“形态学箱”的组合分类表^[83]。

为使组合方法不要太多,在这步工作开始前,先对各个分功能或基本功能可供选择的

解进行筛选,对那些被筛选掉的解,人们即使经过再三考虑也会毫不犹豫地说,这些解是不会有用的。然后将留下来的解用关键词填写到组合分类表中,如图11.1所示。将相同分功能或基本功能的各个可供选择的解沿水平方向填写到各行内。行的数目相当于构成整体系统的分功能或基本功能的数目。栏的数目相当于某一功能的可供选择的解的数目。

由每一行选出的一个解组成的一组原理解就是该整体系统的一个原理方案。若 n_1, n_2, n_3, \dots 就是相应行(1, 2, 3等)中可供选择的解的数目,那么从理论上讲就是

$$N = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot \dots \cdot n_n$$

个彼此不相同的组合。每一种组合就代表整体系统的一种可能的方案。必须根据具体情况检验哪些组合有实用价值,哪些没有实用价值^[86]。

利用这种分类表原则上可以将可供选择的解,系统地组合成复杂系统。例如,按照同样的示意图可以将供选择的效应和效应载体(第10章)组合成原理解,或者将已有的零件组合成部件,将部件组合成机器或者将机器和仪器组合成更为复杂的系统。

		效应、效应载体、原理 构形, 或零件的选择					
基本功能或分功能	1	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	A ₁₄	A ₁₅	A ₁₆
	2	A ₂₁	A ₂₂	A ₂₃			
	3	A ₃₁	A ₃₂	A ₃₃	A ₃₄		
	4	A ₄₁	A ₄₂				
	5	A ₅₁	A ₅₂	A ₅₃			

可行的组合(方案)

图11.1 组合分类表(形态学箱)

为了进行这步工作,因此得出如下的规律。

规律6: 利用图11.1所示的组合分类表组合适用的元件,便可得到技术系统的各种设计方案。更详细地说,就是可以按照这种矩阵式的规律将供选择的效应和效应载体组合成各种原理解,将供选择的单元组合成部件,将供选择的部件组合成机器或者将供选择的

机器、仪器或设备组合成复杂的系统。

如果可能的话,可从这样得到的许多组合方法中选出最适合某种情况的一个或几个解。这步工作的结果看来就是研制的技术系统的最佳设计方案。在这一阶段中达到的可以实现的程度,相当于一个原理解¹⁾可以实现的程度。在下一步工作中将在考虑到各个元件间的相互关系的情况下来构形各个元件,并在一个按比例草图中统一考虑。下一节还要详细讨论这方面需要进行的工作。

12. 技术设计和构形设计

上述几步工作结束时便制定出了要研制的系统的一个设计方案。各个技术功能的原理解表示至今所达到的实现设计的程度。后来用于部件的解是以原理草图的形式表示的,同时未来的各个几何元素仍然可以以一维或二维的图形表示。与此相反,一个实际的工业产品是由许多以任意方式联接在一起的三维零件或物体组成的。从原理解过渡到可

1) 这里先决条件是,该系统的主要部分必须是新研制的,而不能应用已有的零件和部件。

那个结果的,并准确地掌握这种方法。

在构形阶段,要对在上步工作找到的原理解进行构形设计。要绘制第一个草图。在研制新产品时,人们是以实现要研制的技术系统的本来的“目的功能¹⁾”开始的。为系统的其它辅助功能和次要功能需要以后或同时研制的所有其它的部件,都与目的功能部件的实现有关;它们隶属于功能部件,并且要与功能部件相适应。因此,首先出现了能实现要研制系统的目的功能的部件;然后又出现了其它的、用于必要的次级功能的、补充或者支持该主要部件的部件。最后便逐渐地形成一个对要研制的整体系统来说多少是比较完满的第一个整体草图。详细地检查系统的关键性的操作并且分析它的不足之处,然后修正和完善第一个草图;还会有其它的草图出现,直到最后获得一个最终适用的草图,即达到了在可靠性、寿命、生产成本等准则方面都符合预定要求的开发研制状态。

就这样,设计师根据任务书中较少的数据资料取得了许多数据资料,并把它们绘制在总装配图中。同样也可以把设计过程视为数据制订过程,即在这个过程中,在技术系统的草图设计时,根据任务书中较少的数据制订出大量的数据。

如果更仔细地观察一下部件的技术设计过程或构形过程就可以知道,设计师通常先从构形功能表面开始,然后再逐渐同其它的表面一起连接成一个零件,再将这个零件与其它的零件联接成部件,再组合成机器。因为零件(或结构元件)的构形与其用途,以及该零件同相对应零件的相关条件有关,所以,一个零件不能与其“相邻零件”“隔离”开来进行构形。一个零件一个零件地构形是不可能的。因此,设计师总是同时构形较多的相关的零件或部件。相邻结构元件和部件等的构形是彼此相关的。

一个很简单的例子:“支承元件的构形”可以说明这个过程。为了将系统1支承在系统2上,必须设计一个零件,该零件将出现在系统1上的力传递给系统2,这样系统1能够可靠地支承在系统2上(参见图12.2a)。为了将系统1和系统2的力传给要构形的支承元件,这个支承元件就需要相应的引入功能表面I、II。假如系统1对系统2的作用力完全垂直于系统的表面,那么支承元件的功能表面除了平面之外,也可以是圆柱形或其它形状(见图12.2b)。

必要时可赋与这些功能表面同其系统相同的平面形状。

为了由两个功能表面I、II做成一个实际的传力元件,还得为功能表面I、II设置一个物体的其它界面,这些界面最后都通过一个均质的物体联接起来(见图12.2c)。图12.2d表示利用两个支承将两个功能表面I、II联接起来。图12.2的第二行(依据图12.2c的Massiv解)示出了两个解,这里不是用一个零件而是用几个零件来完成同一个任务的(见图12.2f、g、i)。由此表明,为了实现一个功能,不一定只用一个零件,也可以用几个零件(整体或分组结构方式,见第12.2节)。

图12.2的第2行还示出了传递(传导)垂直力和水平力的支承元件的构形方案。一个零件用来传递垂直力,另一个零件用来传递水平力(图12.2i),而且两种操作只用一个零件(图12.2k;“集成结构方式”,见第12.2节)。最后图12.2的第3行还示出了将系统1的力传导给系统2的三个解,它们还具有传导电流(图12.2l)、电绝缘或隔热(图12.2m)或减小振动(图12.2n)等辅助功能。后面这几个例子表明,如果某种材料(效应载体)具有

1) 也称作主要功能或核心功能。

多种适宜的特性,如能承重,能传导(多功能结构方式,见第12.2节),那么同一个零件也可以实现两个或几个功能。

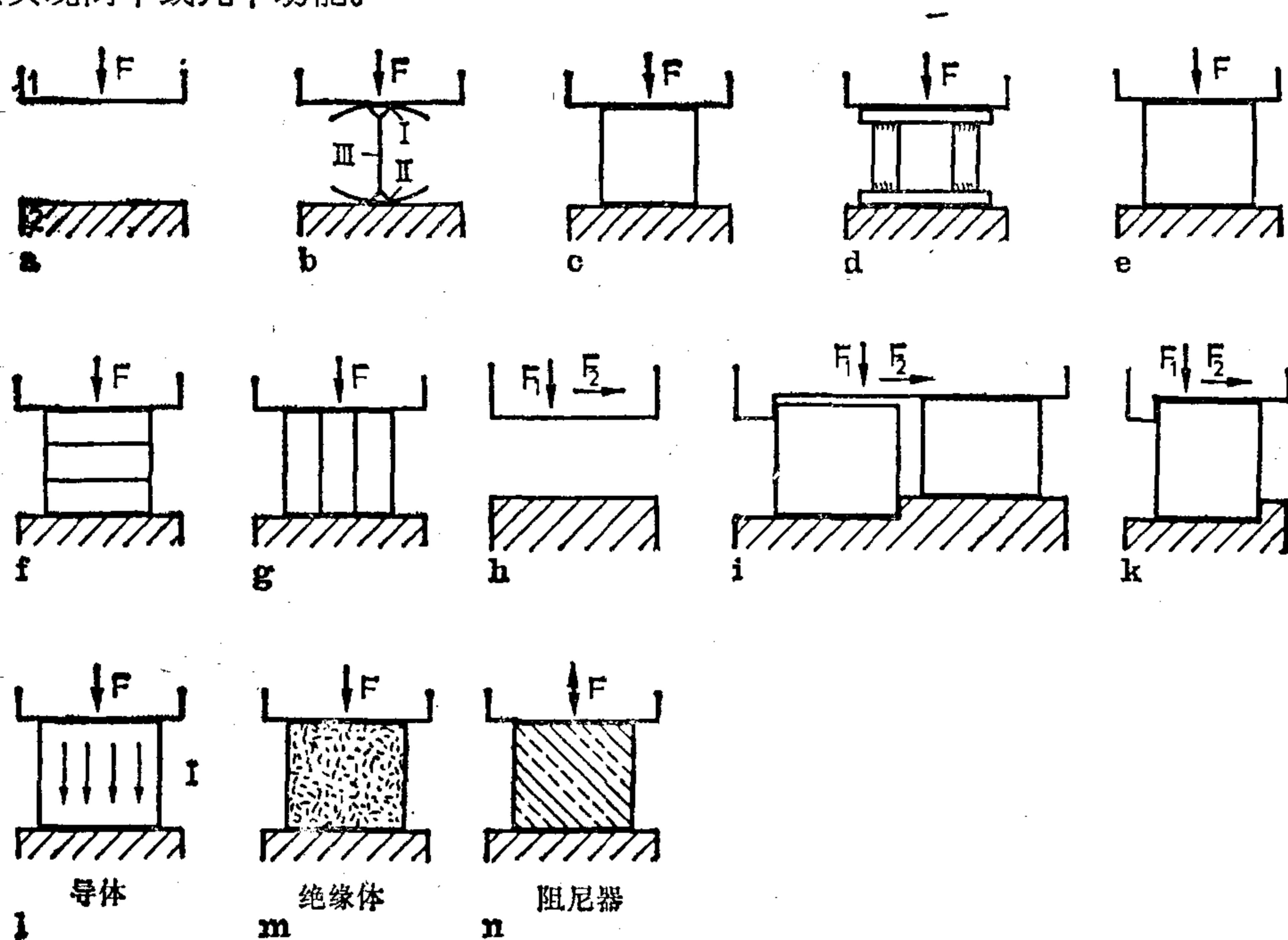


图12.2a—n 简单支承元件的构形变化和各種結構(說明在文中)

12.1 技術設計和構形設計的一般規律

一位設計師理論上能確定的最小的幾何形體是點(例如,針尖、圓弧中心),較小的形體是稜(例如刀刃)、面(例如滾動軸承的滾道面、導軌面等)、零件(如球、銷、環、螺釘等)、部件、機器、成套設備,最後是由許多機器、儀器、建築等技術產品組成的技術系統(見圖12.1.1.),按照技術產品的複雜性分級,應將簡單零件的構形和複雜的產品如部件區別開來)。正如下面還要提到的,最好也將零件的不同結構方式同複雜系統區別開來。

實踐表明,最小的構形形體除稜線和尖點以外通常是零件的面(功能表面),例如接觸面、導軌面、聯接面(凸緣)、透平葉輪面等。在繼續構形的過程中,幾個這樣的功能表面和其它表面連接成一個零件;這就產生了由同一種材料製成的零件。廣義地說,幾個功能表面在一個零件中的“連接”也是一種“聯接”的構形。最後,功能表面通過物體的形體來實現。然後,幾個相同或不同的零件再組合成機械元件¹⁾,如球軸承、滑動軸承、鏈條等。

在進一步構形過程中,這些機械元件還可聯接成複雜的系統,如部件、機器、成套設備等。

按照什麼樣的規律產生或綜合出一個零件、部件或一個複雜系統的構形,而且工業產品的哪種構形方案在理論上和實踐中是可行的,下面還要从最小的構形單元,即功能表面出發進行詳細的討論。

1) 有時機械元件由一個零件組成(銷、螺釘),但經常還是由幾個零件組成的,例如球軸承等。

12.1.1 构形元素

一般来说,一个零件(物体)是由几个表面¹⁾组成的,它们通过边棱²⁾邻接,又通过边棱隔开。观察者可以看到的,决定一个物体构形的元素是物体的表面(图12.1.2a)。因此,

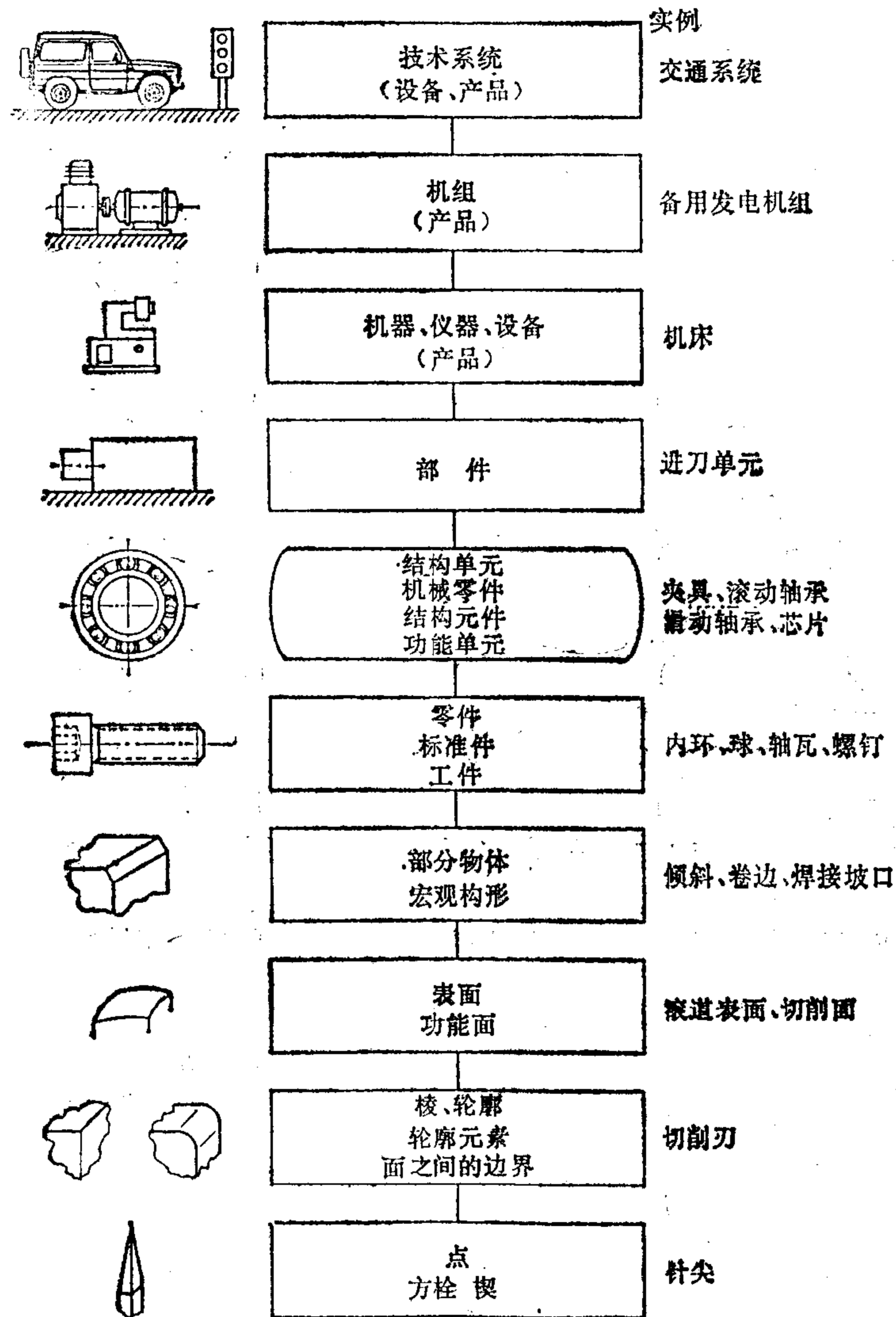


图12.1.1 工业产品的分级

形成物体边界的表面可以称为物体或零件的构形元素。在对技术系统的复杂性进行分级时,如果从简单形体到大规模形体进行分级,那么,就可以将构成机械元件的零件近似地称为这些机械元件的构形元素,或者将构成部件的机械元件称为这些部件的构形元素,或者将构成机器的部件称为这些机器的构形元素等。如果为了完整起见,对简单形体进行复杂分级,那么就可以将形成面的线称为这个面的构形元素。最后,还可以将组成线的点视为线的构形元素。概括起来可以这样说,即零件、机械元件或者部件的构形可以通过形

- 1) 对于零件的功能、因此也是对构形来说,为了强调起见,通常称一个零件的重要表面为功能表面。
- 2) 高阶导数中的棱或非连续性(表)面。

成零件、机械元件或部件的构形元素的参数来确定和变化。

12.1.2 构形参数

如果问及改变一个零件、部件或机器的构形的基本可能性究竟有多大,那么还要看构形的参量以及参量变化的可能性。

尺寸变换

为了更加容易、全面地了解情况,我们再观察一个简单物体(图12.1.2a)及其构形元素或表面。这时便可发现,通过改变表面的尺寸(长、宽)或边棱的长度可以改变物体的表面,从而改变其构形。图12.1.2a和b示出了通过改变一个或几个尺寸来改变棱柱形零件的构形和齿轮的构形。

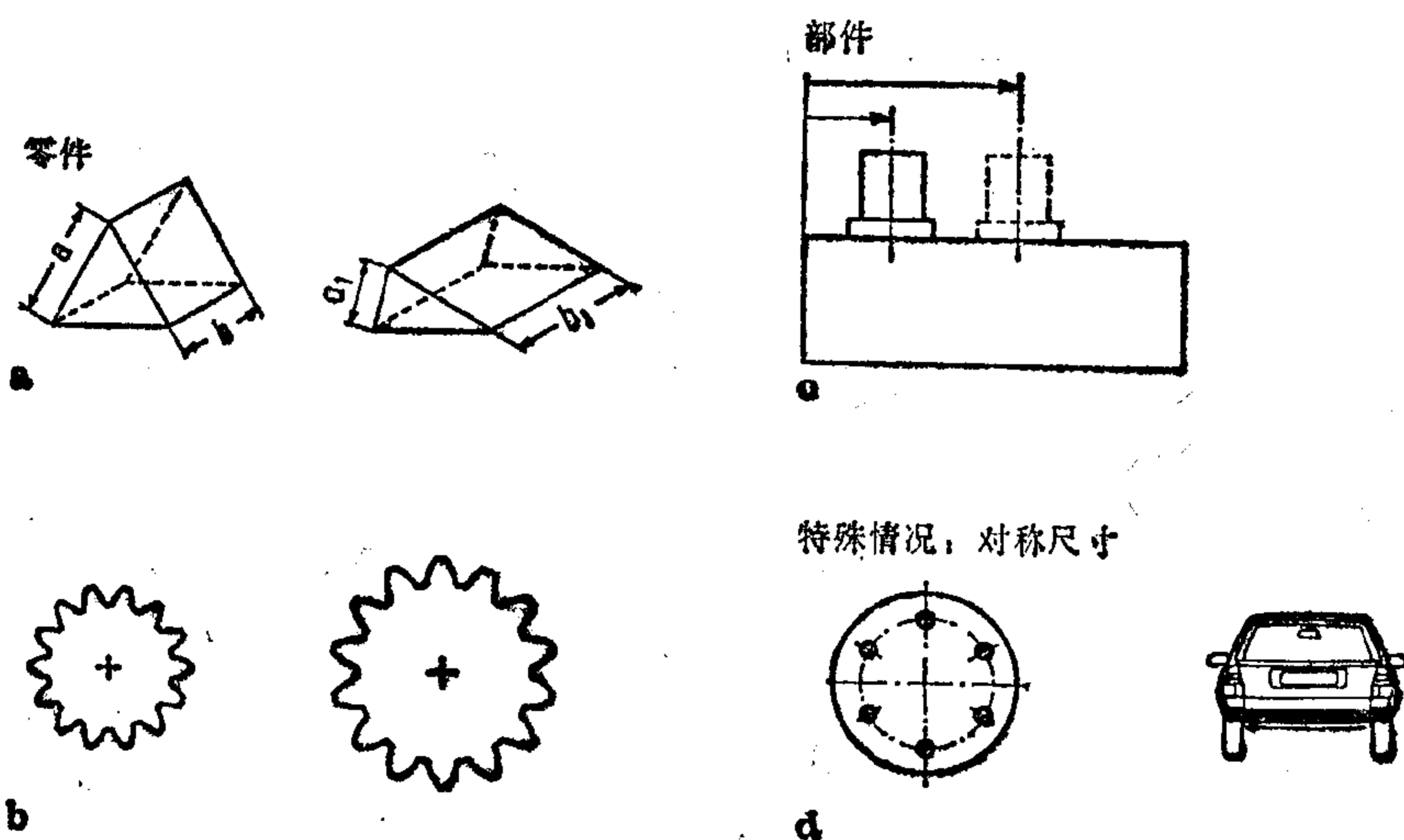


图12.1.2a—d 零件(a、b)和部件(c)的尺寸变化;对称尺寸变化的特殊情况(d)

改变尺寸时,应该把功能面或零件本身的尺寸以及功能面之间的距离尺寸或零件与其它功能面或者零件与其它零件或参考点之间的距离尺寸区别开来(图12.1.2c)。在实践中特别重要的而且应该强调的是那些尺寸变化的特殊情况,即通过使角度和距离相等而得到的对称构形方案,如图12.1.2d所示的凸缘和轿车车身。

所谓零件或部件的尺寸变化是指通过改变零件功能面的尺寸和距离以及改变零件和部件彼此之间的距离,或它们对参考点的距离但并不因此而改变该形体的功能的方法来研制零件或部件的最佳构形方案¹⁾。使尺寸为零或无限大,实际上这不叫尺寸的变化。

对于实际应用中重要的特殊情况是一些对称的构形方案,如矩形、正方形、多角形、工字形等等,它们是在零件或部件上选用相同的尺寸、距离或角度而形成的。

形状变换

零件的构形也可以通过改变表面形状来变化(图12.1.3a)。技术形体经常使用的表

1) 由此而获得的所有构形方案都必须满足同一任务书的要求。

面有平面、圆柱面、球面、锥面和环形面。抛物面、双曲面或不可解析的表面,在技术产品中很少使用。图12.1.3b至d以打字机头、凸轮机构和步进机构为例,示出了构形方案。通过其功能面形状的变化,人们还可以设想出更多的方案。

所谓功能面的形状变化,这里指的是通过有目的地改变对零件的功能来说是十分重要的功能面的形状而不改变其功能的方法来研制零件的构形方案。

例如,平面或圆柱面、球面和圆锥面这些第二级曲面可以认为是不同形状的面,原则上可以利用任何一种平面形状来改变零件的形状。如果某个零件的功能没有规定必须采用其它的、制造费用昂贵的表面形状,那么,对于技术形体来说,限制条件应采用尽可能简单的、用某种制造方法能够经济制造的表面形状。

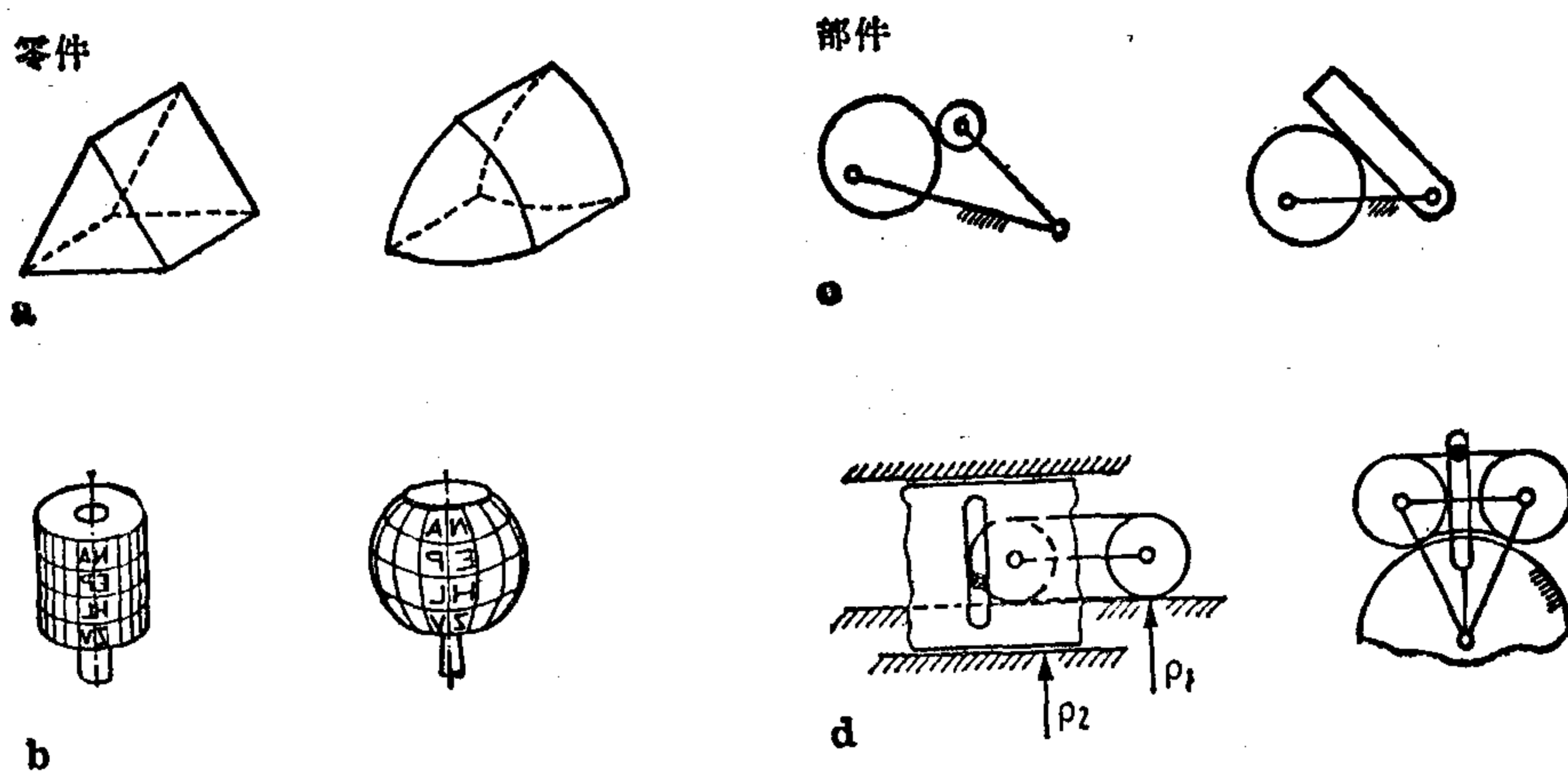


图12.1.3a—d 零件(a,b)和部件(c,d)上功能面(表面)的形状变化

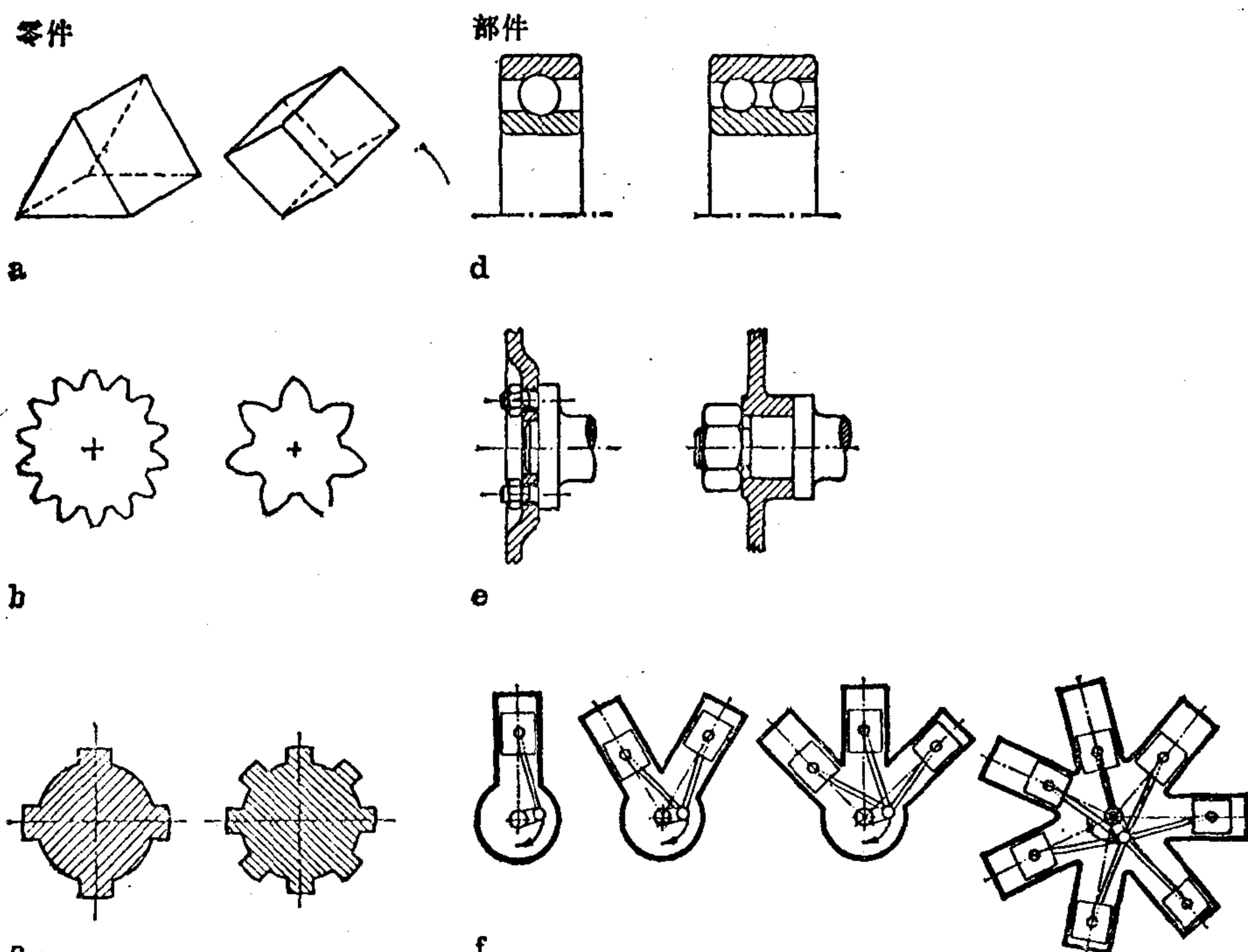


图12.1.4a—f 零件(a,b,c)上功能面的数量变化,部件(d,e,f)上零件或功能单元的数量变化

数量变换

构形的另一参量是某物体或零件的表面数量(图12.1.4a到c)。通过改变包围零件的表面数量,可以改变零件的构形。一个部件或一台机器也可以类似地通过改变构成部件或机器的零件(机械零件)或部件而变化。举例来说,可以利用几个弹力相同的弹簧代替一个弹簧,或者利用一个或几个螺栓来固定一个轮子(图12.1.4e)。在每个气缸头上有一个或几个进气阀的内燃机结构或者单缸或多缸发动机结构也是通过改变零件或部件的数量而改变构形的实例(图12.1.4f)。

所谓功能面以及零件或部件的数量变化,这里指的是通过改变构成零件、部件和机器的功能面¹⁾或零件、部件的数量来研制零件、部件或机器的不同的构形方案(解),而且并不因此而改变它们的功能(目的功能)。

位置变换

在下面的讨论中,最好先将一个物体的各个表面只想像成有一个正面和一个背面的薄片形状的结构元件。在构形一个物体(零件)时,将这些结构元件放在物体上并同最终要用的物体(零件)联接。正如图12.1.5b的两个例子所示,改变物体的构形还可以用翻转表面的方法,即将表面的正面或者反面放在要构形的物体上。这个过程称为“功能面的翻转”,通常称为“位置变换”。因此对于面的位置变换来说,每个表面只有两个解。

类似于功能面的翻转,零件或部件有几个连接面就会有几种位置变化的可能性。两个长方(六面)体的零件共有 $6 \times 6 = 36$ 种不同的相对位置或位置变化。当然,如果假定零件六个面的每个面都适合用作连接面的话。这个情况已在谈到图12.1.5a中的两个长方体时提到过了。液压控制箱安装阀门及其它液压结构元件,尤其经常采用这种构形方法(图12.1.5c)。

所谓位置变换就是通过改变两个零件或部件的相对位置来研制两个或几个彼此需要联接起来的零件或部件的构形方案,而不改变解所希望的功能。也可以把通过翻转物体的表面来改变物体的构形理解为位置变换。因而一个物体的表面也可以看做是“附加”在这个物体上的一个零件。

顺序变换或排列变换

此外,还可以通过改变形成该零件的表面顺序或排列来改变零件的构形。图12.1.6a示出了物体第1面与第2面互换。设置从外向里(图12.1.6b和c)或从圆柱体的圆柱外壳面到端面的螺纹面或者齿面就是实践中经常采用的、通过改变表面顺序或排列来产生的构形方案。

下面把改变功能面的顺序或排列称为排列变换或顺序变换²⁾。作为构形措施来说,零件或部件改变排列或顺序则更加一目了然。图12.1.7a示出轿车座椅水平和垂直调整部分的不同排列方案。 X_V 、 X_H 、 Y_V 、 Y_H 分别表示在X方向和Y方向(H:后面,V:前面)的不同调整系统。图12.1.7b中说明打印机的不同排列结构。

1) 同时,这样继续形成(产生)的每一个功能面、零件等都要实现自身的功能。任意增加更多的面或任意拆解零件都是不可取的。

2) 为了更好地理解起见,这两个概念可以作为同义词同时应用。

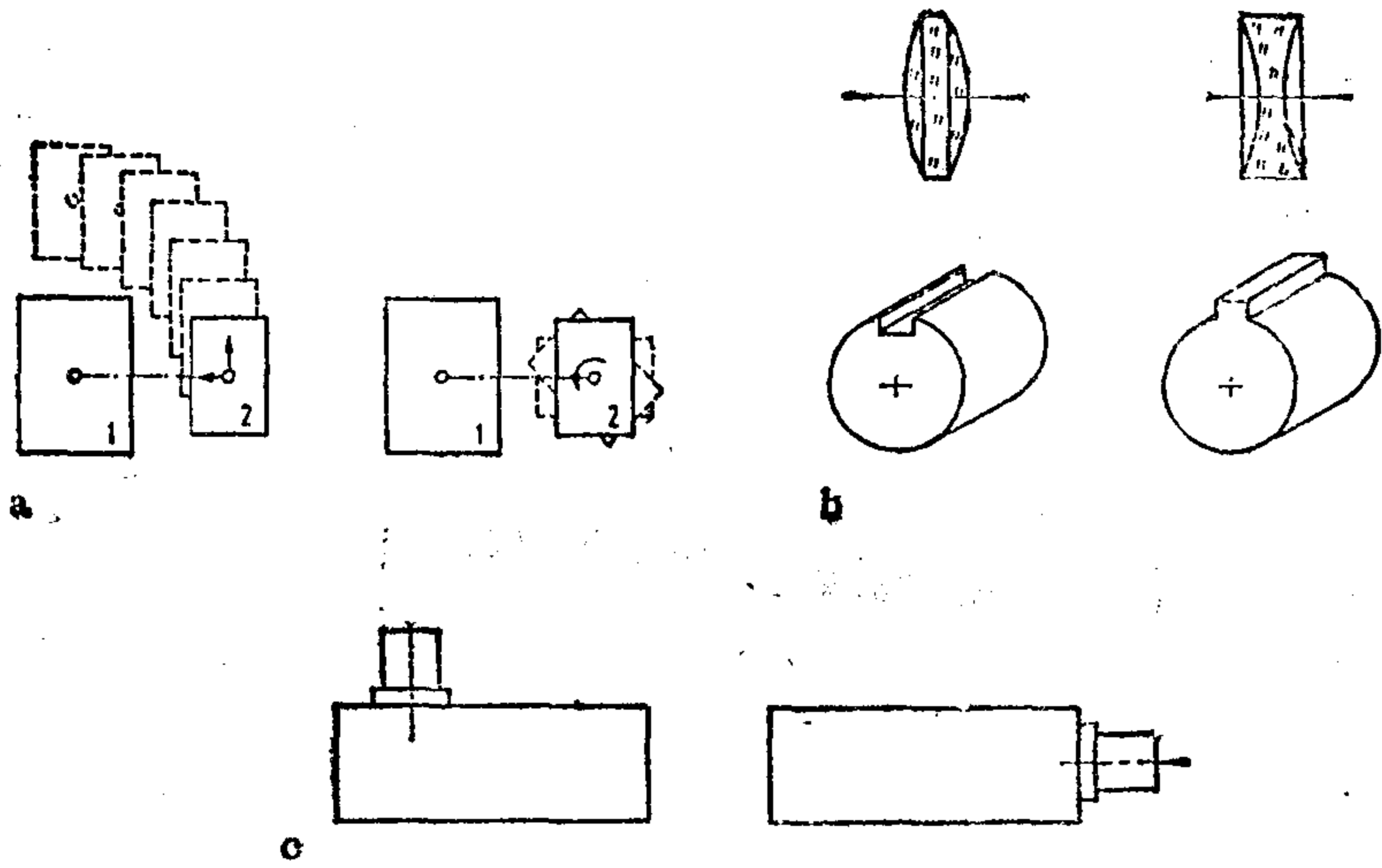


图12.1.5a—c 零件(上)功能面的位置 交换或功能面的翻转(b), 在部件上零件 (部件)的位置变换(a,c)

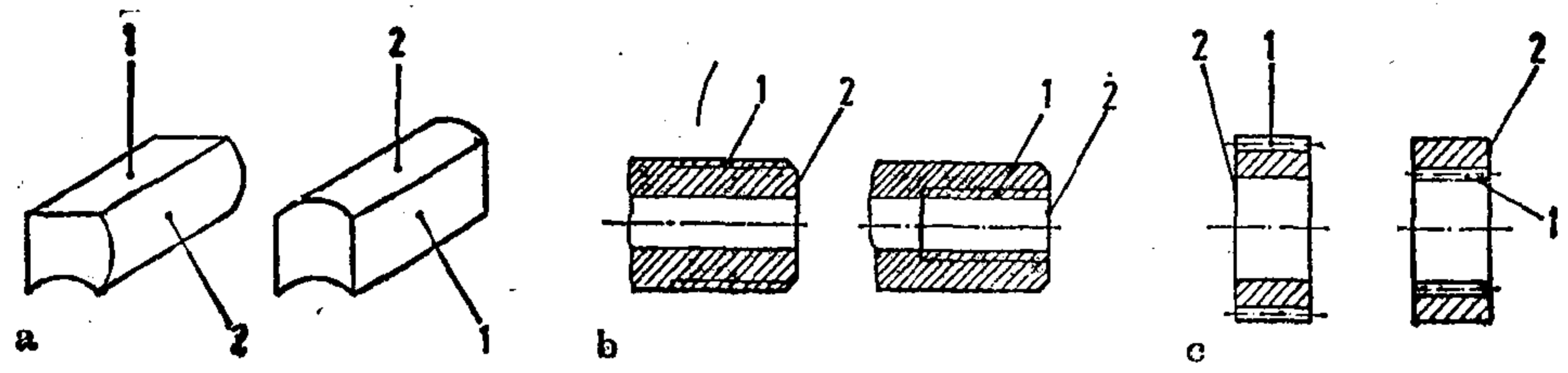


图12.1.6a—c 零件的功能面排列变换或顺序变换(a,b,c)

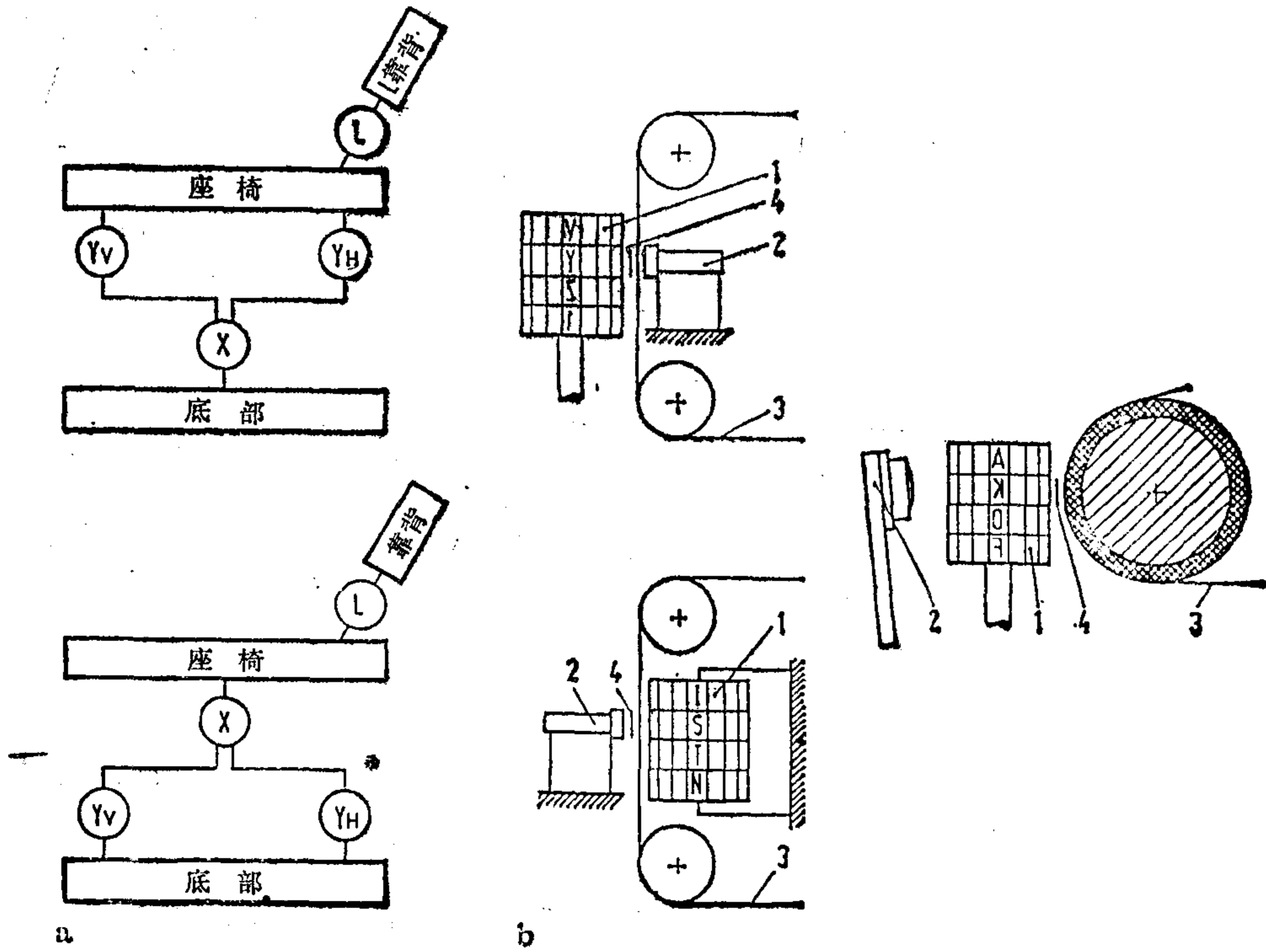


图12.1.7a,b 部件上的零件(b)或部件上的部件(a)的排列变换或顺序变换

图12.1.8示出了用于笔直切割(或经线切割)毛巾布料幅面机器的四种排列方案。结构a类似于美国专利3182536的一台机器,结构b类似于德国专利2544410的一台机器,结构d类似于Rütters公司的一台机器,结构c类似于一台迄今还没有的、但根据这种研究方法有可能被发明的机器。

所谓功能面、零件或部件的排列或顺序变换是指通过改变系统的功能面、零件或部件的顺序来研制零件、部件或机器的解(构形方案),不会因此而改变系统所希望的功能。

一般来说,改变以后要进行的操作(工艺步骤)是与改变部件、机器等的排列顺序相联的,然而不能因此而改变整体功能。

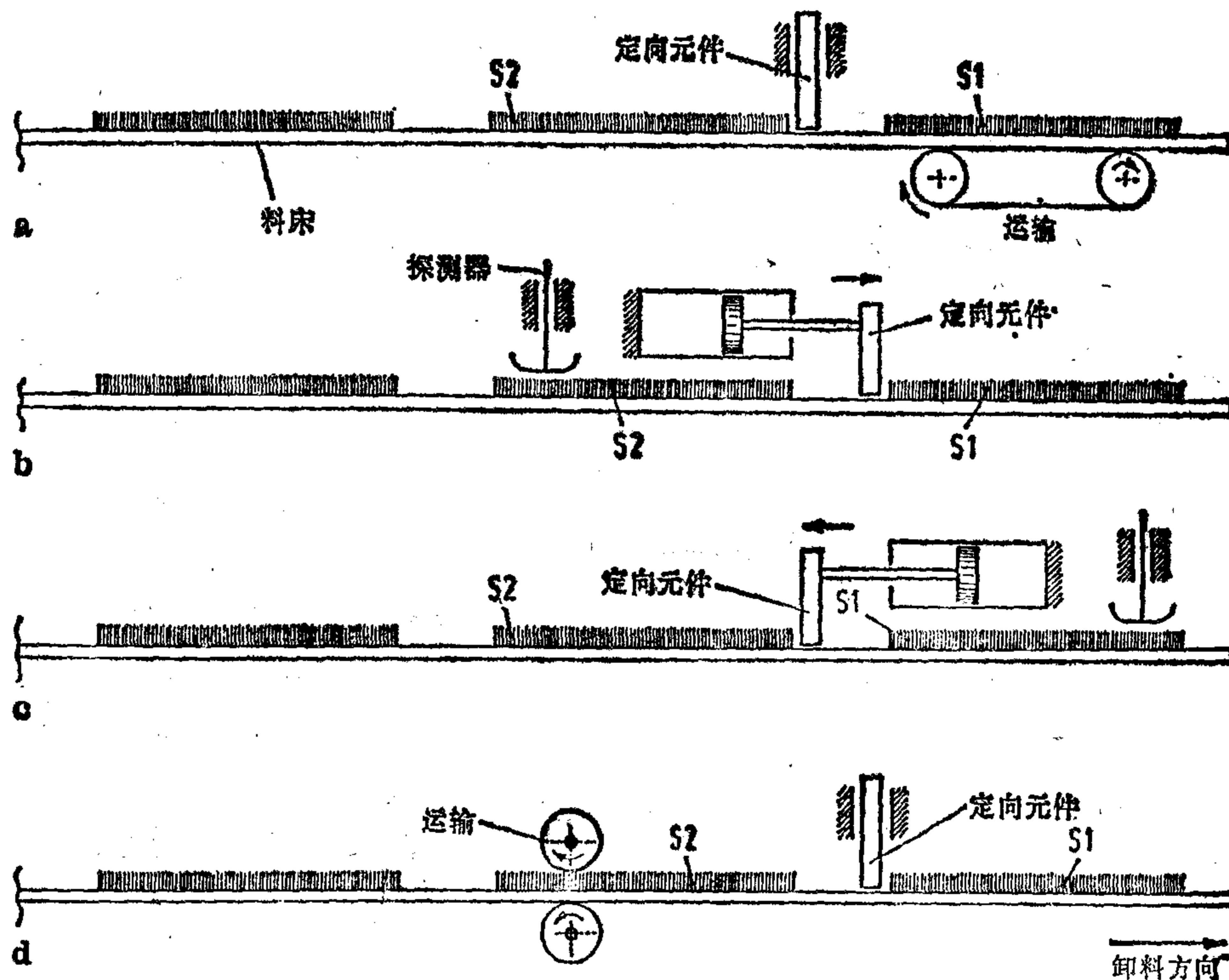


图12.1.8a—d 在经线平行精整和整幅布料切割的装置中, 部件的排列变换或顺序变换

联接结构的变换

最后,零件、部件或机器的构形的变换也可以通过改变构成它们的元素之间的联接顺序,同时又不改变它们的空间或位置的排列来实现。如果有两个以上的功能面、零件或部件需要相互联接起来,那么对此就有几种可供选择的解。选择不同的联接顺序就可得出不同的联接结构,从而得出不同的构形方案。这里应该注意,在(仅)改变联接结构时,功能面、零件或部件的空间排列保持不变。图12.1.9a和b示出了两个这方面的例子。它们的重要功能面分别标以数字1至3以及1至4。特别是在液压控制箱中,在设计联接接线孔的管路结构时,这种构形方法具有特别重要的意义(图12.1.9c);同时,连接处就是与管路联接的结构元件。另一个恰当的例子则是齿轮机构中,齿轮的可以选择的联接结构方案。

所谓联接结构的变换是指以不同的顺序把要联接的元素(功能面、接线孔等)联接起

来,而不致因此改变某产品所希望的功能,通过这种方法来研制零件、部件或机器的不同的构形方案。这时各元素的空间或位置的排列保持不变。

零件或部件构形的主要数据及其变化可以借助图论形象地予以说明。特别是利用这种方法可以说明不同的构形参数并划分彼此之间的界限。下面还将详细说明这种方法。

众所周知,一个图是由所谓的结和棱边组成的(图12.1.10a)。在目前的应用中可以将结视为抽象的信息或构形元素(表面、零件、部件等)的符号。与结联结的棱边表示两个构形之间的关系或联系;棱边是联接两个构形元素的抽象信息。两个结之间没有棱边就表示这两个构形元素之间不存在联系(关系)。图12.1.10a图示了有五个表面的棱柱的构形结构。由几个零件组成的机械零件,如双排球轴承的构形结构,如图12.1.10b所示。为了区别指的是哪类构形元素,是表面还是零件、部件等,应使用不同的结符号(如圆、正方形等)或者附带使用有字母、数字或文字符号的标志。

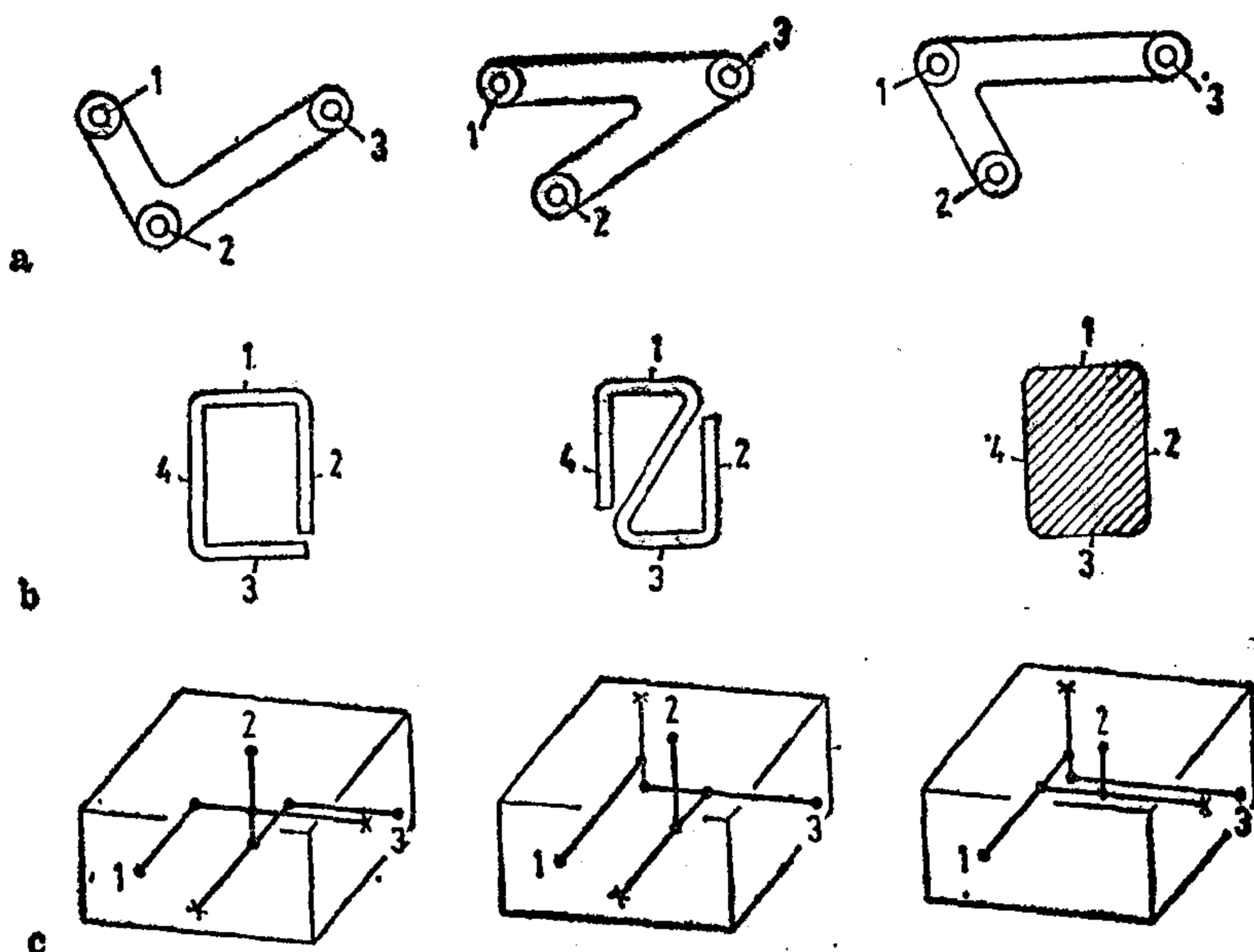


图12.1.9a—c 杠杆的三孔表面(a)、导轨的侧面(b)及液压控制箱连接线(c)的联接结构的变换

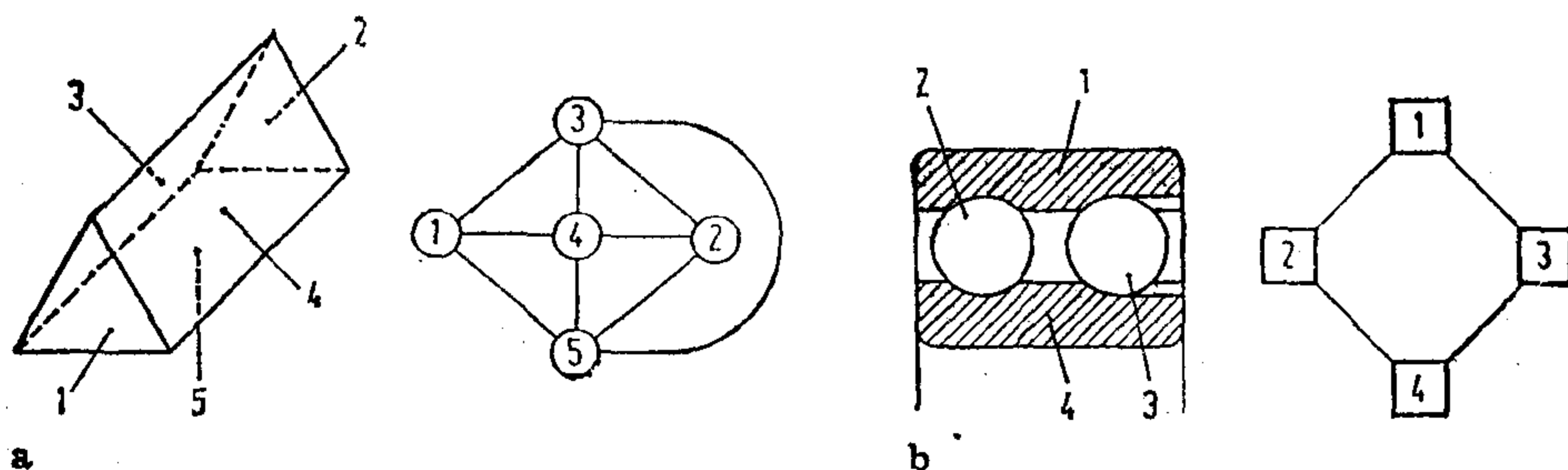


图12.1.10a和b 用图论来图示工业产品的构形结构。零件的构形结构或表面结构(a), 机械零件的构形结构或零件的组合结构

为了精确地表达各种构形规律,借助这种抽象的图示工业产品的构形的方法可以得出如下结论:零件或部件的尺寸变换或形态变换,在其构形结构上不会产生图形的变化。换句话说:人们可以把尺寸和形状想像成结的内部信息变化或数据的变化,这种变

化不会改变其外部的抽象图像以及构形结构(图12.1.11a和b)。构形元素的数量变化,也就是说在一个工业产品上添加或者去掉一个构形元素(表面、零件等)决定了该构形结构的相应的变化(图12.1.11c)。

如上所述,所谓位置变换指的是两个零件或部件有选择地与其不同的表面联接(法兰联接)。例如用数字或字母标出的图形的结(图12.1.11d)表示两个方形零件的六种情况。如果某个零件的每一个面与另一个零件的每一个面相联接,就可得到理论上可能的所有位置变换数目。两个各有六个面的方形零件共有36种可能。图12.1.11d示出了36种理论上可能的位置变换中的一种及与此有关的构形结构变化。

结构元件的安排或顺序的变换及其对与此有关的构形结构的影响示于图12.1.11e中。图12.1.11f示出了构形元素联接结构变换方面的一个例子。

最后,通过图论研究还可以指出,“棱边”的信息也可以改变,就是说从广义上说,通过改变两个构形元素之间联接的方式,可改变一个工业产品的构形。图12.1.11g表示通过“颜色变换”或改变图形的棱边符号来改变联接的型式。与尺寸变换或形状变换相类似,两个零件联接型式的变化,是指内部棱边数据的变化。图的外部图形不会因联接型式

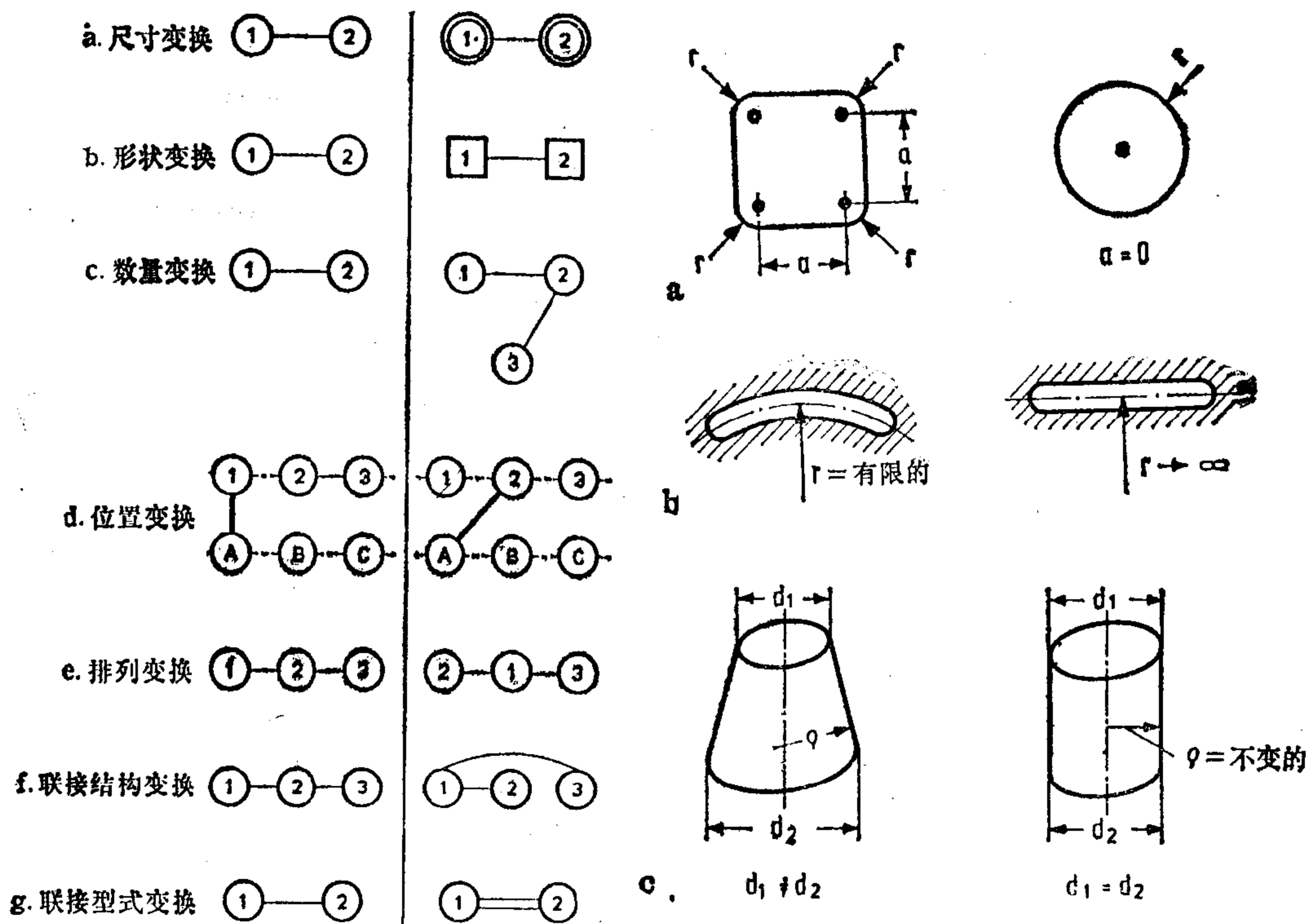


图12.1.11a—g 不同构形参数的变换及其对相应构形结构或图形的影响(说明见正文)

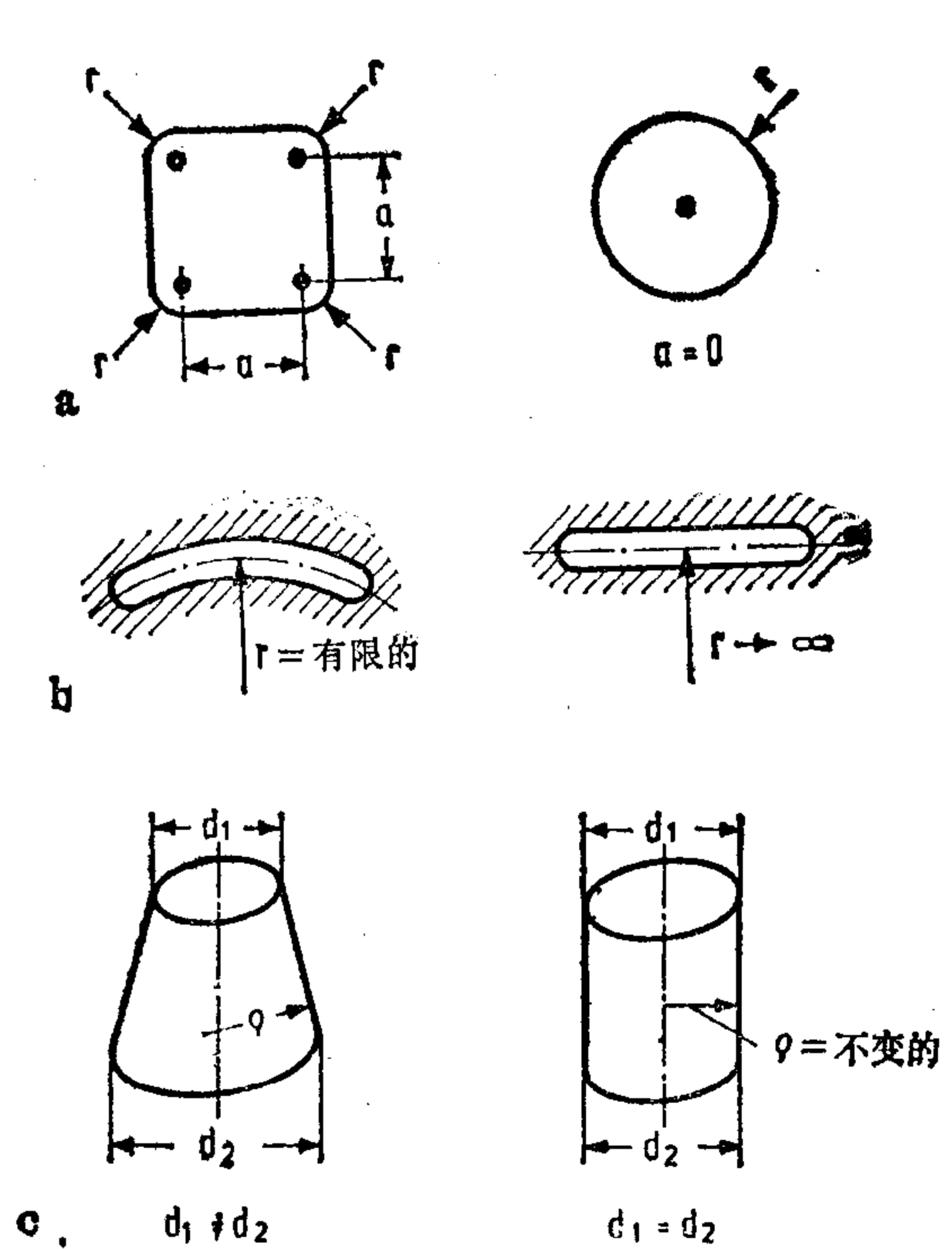


图12.1.12a—c 对形状、数量等构形变换参量的界限(说明见正文)

的变化而改变。一般来说,一种联接又有其自己的构形和相应的构形结构,人们可按规律a至f研制这些构形和构形结构,必要时还可以改变它们。从“图形”上看到的构形变化给人留下的印象是,上述六个参数几乎包括了工业产品构形变化的所有可能性,除此之外

再没有其它的可能性了。

为了避免误解起见,还应指出:上述的形状、数量、位置和排列的变换,理论上也可以通过尺寸的变换来产生。对此,图12.1.12示出了三个例子。图中右边示出的构形方案可以认为是其左边的图通过尺寸变换而产生的。在第一种情况中,如果尺寸等于零,那么原来是方形的构形就变成一个半径为 r 的圆形(图12.1.12a)。如果按照图12.1.12b,弧形导轨的曲率半径 r 趋向无限大,那么,从弧形导轨中便产生了直导轨。如果直径 d_1 等于直径 d_2 (图12.1.12c),那么,通过“尺寸变换”,原来的圆锥形就变成了圆柱形。如前所述,第一种情况是功能面的数量变换,因去掉了四个平面;第二种情况和第三种情况可以说是一种形状变换,因为其表面形状从圆柱形变成了平面形,或者从圆锥形变成了圆柱形。这样从理论上讲,形状变换、数量变换、位置变换和排列变换都可归因于尺寸的变换。这种观点对于理论研究来说尽管是很新颖的,但在设计实践中看来是不合适的,因为它们不符合设计师的思维方式和工作方法,而且也不能将构形变换的各种可能性充分区别开来。

为了将这里谈到的“尺寸变换”与形状、数量、位置和排列变换区分开来,还得作出如下规定:

如果一个面或一个物体的尺寸趋于零或无限大,或者如果两个重要的尺寸变成相等,那么根据面的形状是否因此而有了改变,或者物体面的数量是否有变化,这种情况不叫做尺寸变换,而叫做形状和数量的变换。

如果位置变换或排列变换不是通过连续的几何尺寸的变化彼此过渡,而只是作为不连续的位置或排列存在,那么从某一位置或排列过渡到另一位置或排列就称为位置变换或排列变换,而不称为尺寸变换。

根据上述图论的观点,这种区分是有益的和实用的。

12.2 各种结构类型的研制

在研制机器、仪器和设备时,也像建筑工程一样,可以采用不同的结构方式。具体地说,不仅结构元件,而且复杂系统,如部件或机器都有不同的结构方式,在实践中应根据具体情况决定,哪种结构类型对哪种产品更合适。下面介绍几种结构类型并且指出其特征。

在与建筑工程相联系的字眼里,例如“建在桩上的结构方式”、“桁架式结构类型”、“木结构类型”、“预制构件结构类型”等,人们知道了结构类型这个概念。在建筑学中,建筑工程依据截然不同的标准,被称为“结构方式”。请注意,这里不应考虑工业产品的式样,而是其结构方式。在机械工业中也有许多标准被称为“结构方式”,例如在机器或仪器中人们谈到“集成结构方式”(杆式结构方式)、“模件式结构方式”、“模块式组合结构方式”等。

因此,在技术系统中,被称为不同结构方式的有:应用不同的材料(钢、塑料或木料等)的结构或不同的半成品(板、桩等)的结构;此外,具有特殊的使用特性(轻型、安全等)或具有特殊构形特点(箱形、桁架、薄型或微型、单缸或多缸等)的结构。

人们也可以将技术系统按照下面的主要内容称为不同的结构方式,即按照制造方法

(铸造、焊接、铆接等)的结构方式。或者按照零件是在安装地点制造还是在工厂里已经预制好(在房屋建筑中叫做预制构件)的结构方式,或者按照谁是最最后完成的——一个公司还是某人的独立结构方式或者“自行完成的结构方式”。

最后,工业产品也有不同的结构方式,如根据每个结构元件或部件能实现多少功能的结构方式(如整体结构、集成结构、多功能结构、模件式结构方式等)。

因为最后一种结构方式(下面概括地称为“功能结构方式”)有着特殊的经济效益,下面应该对这种结构方式进一步说明。

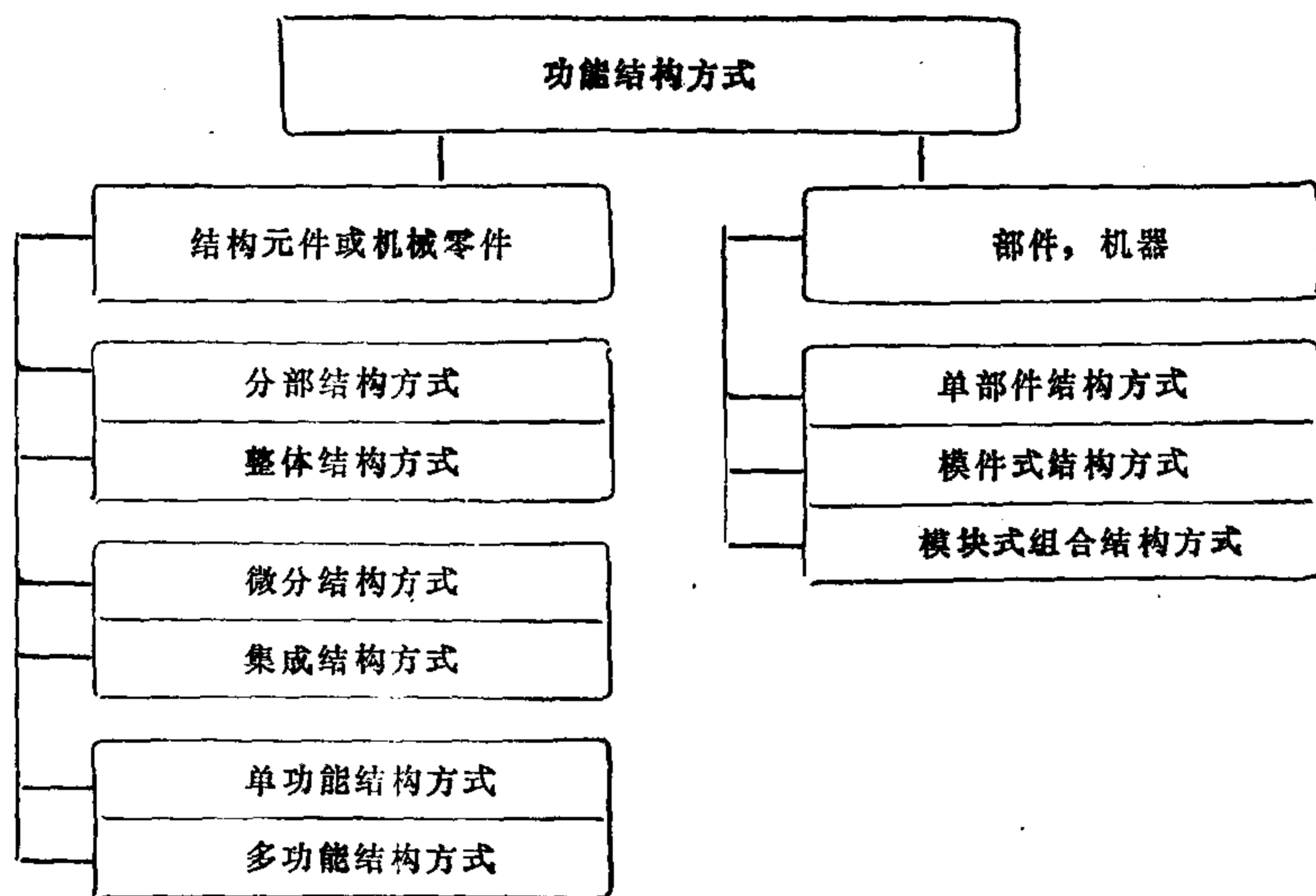


图 12.2.1 结构元件或机械零件以及复杂系统(部件和机器)的各种功能结构方式一览表

在研制机器或其它技术系统时,不仅在构形单一结构元件时,而且在构形各种整体系统时都应区分不同的结构方式所能实现的功能数量。所谓不同的结构方式或功能结构方式,这里一方面是指可以将复杂技术系统化分为若干个具有某种(些)功能的、独立的部件,另一方面是指可以将两个或数个零件在一定条件下合并(积分)成一个零件或者将一个零件化分(微分)成两个或数个零件。与此相应地也要区分复杂系统(如机器、仪器及其部件)和机械零件或结构元件的不同结构方式。图12.2.1概括地示出机械零件或结构元件和复杂系统(部件、机器等等)的各种可能的功能结构方式。正如下面的论述还要谈到的那样,这些不同的功能结构方式是由功能数目与形成结构单元(结构元件、部件等)的零件数目的不同比例得到的。

12.2.1 零件的结构类型

下面在复杂系统中要装配的最小结构单元都可以认为是结构元件或机械零件。此外,结构元件的特点是能够实现至少一个或几个完全的功能。它可以由一个零件组成,也可以由几个零件组装而成。所谓功能是指描述一个物理操作的因果关系,或者一个结构元件或结构单元输入参量与输出参量之间的关系。

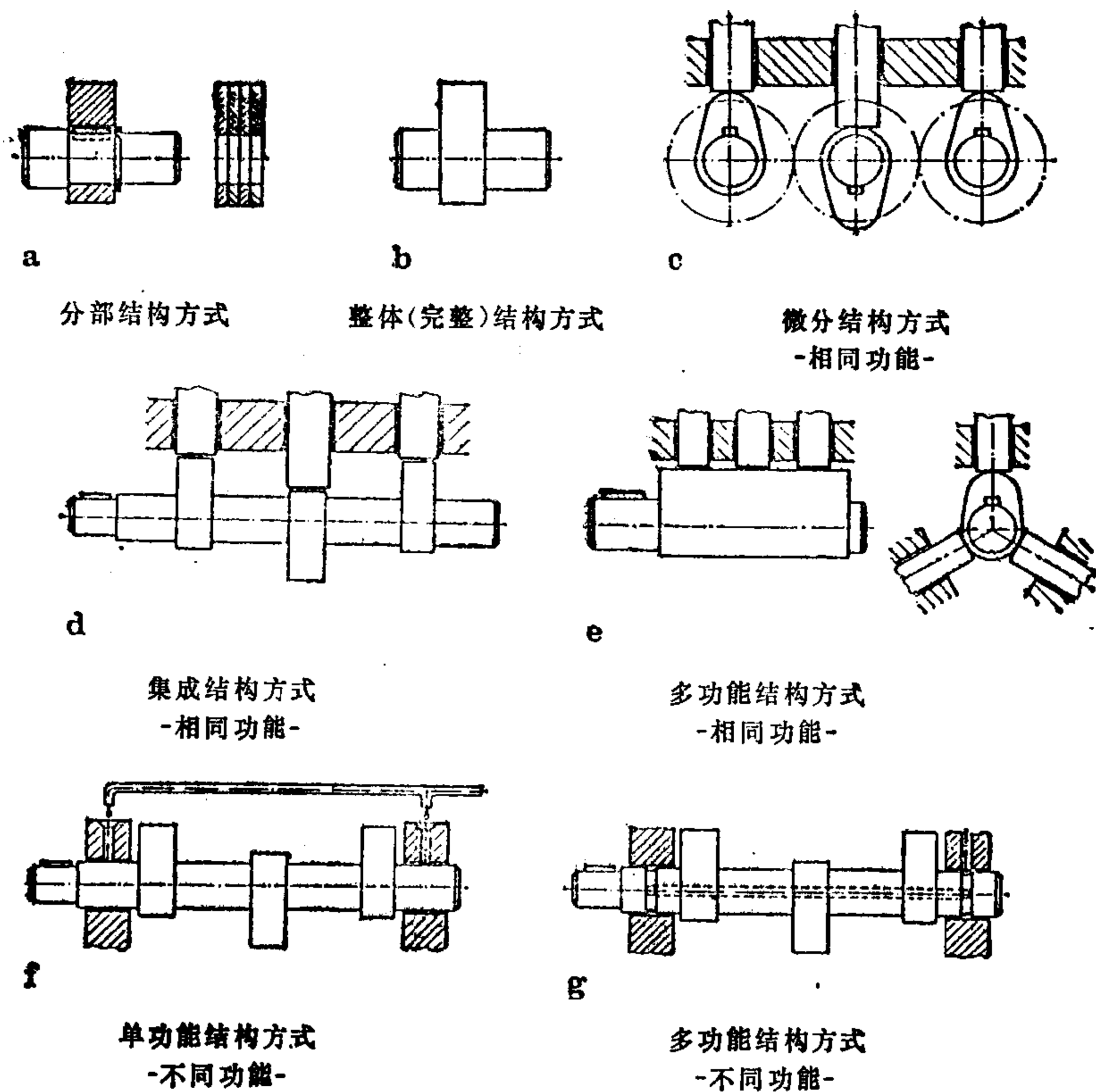


图12.2.3a—g 不同结构方式的凸轮轴(例)。a——分部结构方式;b——整体结构方式;c——相同功能时的微分结构方式;d——相同功能时的集成结构方式;e——相同功能时的多功能结构方式;f——单功能结构方式(不同功能);g——多功能结构方式(不同功能)

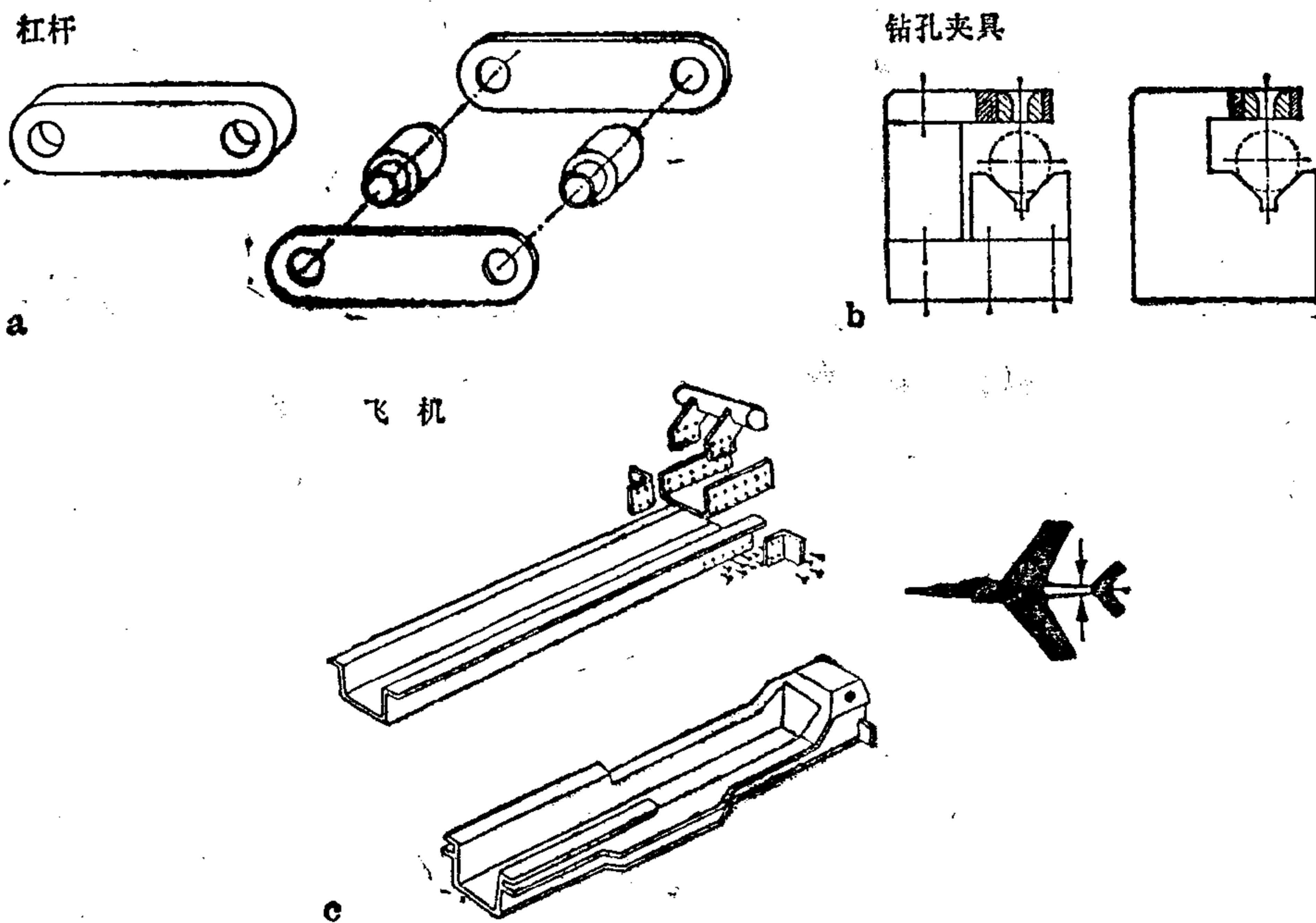


图12.2.4a—c 采用分部结构或整体结构方式的结构元件、杠杆(a)、钻孔夹具(b)、飞机零件(c)^[51]

功能的结构元件的构形方案。

图12.2.2a和b示出分部结构方式(a)和整体结构方式(b)时,功能和结构元件组成部分之间的关系。图12.2.3a和b示出了分部或整体结构方式的凸轮轴。图12.2.5示出整体或分部结构方式的又一个例子。图a示出分部结构方式的煤尘输送机中传动机构的壳体,它主要由三部分壳体组成;图b示出具有相同用途的单件的传动机构壳体。按文献[145],在这种情况下利用整体结构方式,可以使整个生产成本降低29%。

微分结构和集成结构

数个相同或不同功能的分立(微分)结构元件,在一定的条件下可以组合成一个具有相应功能总数的、所谓集成的机械零件。当然,这句话反过来也成立,即一个具有几个相同或不同功能的集成机械零件可以分解(分离)成各具有一个功能的几个微分结构元件。

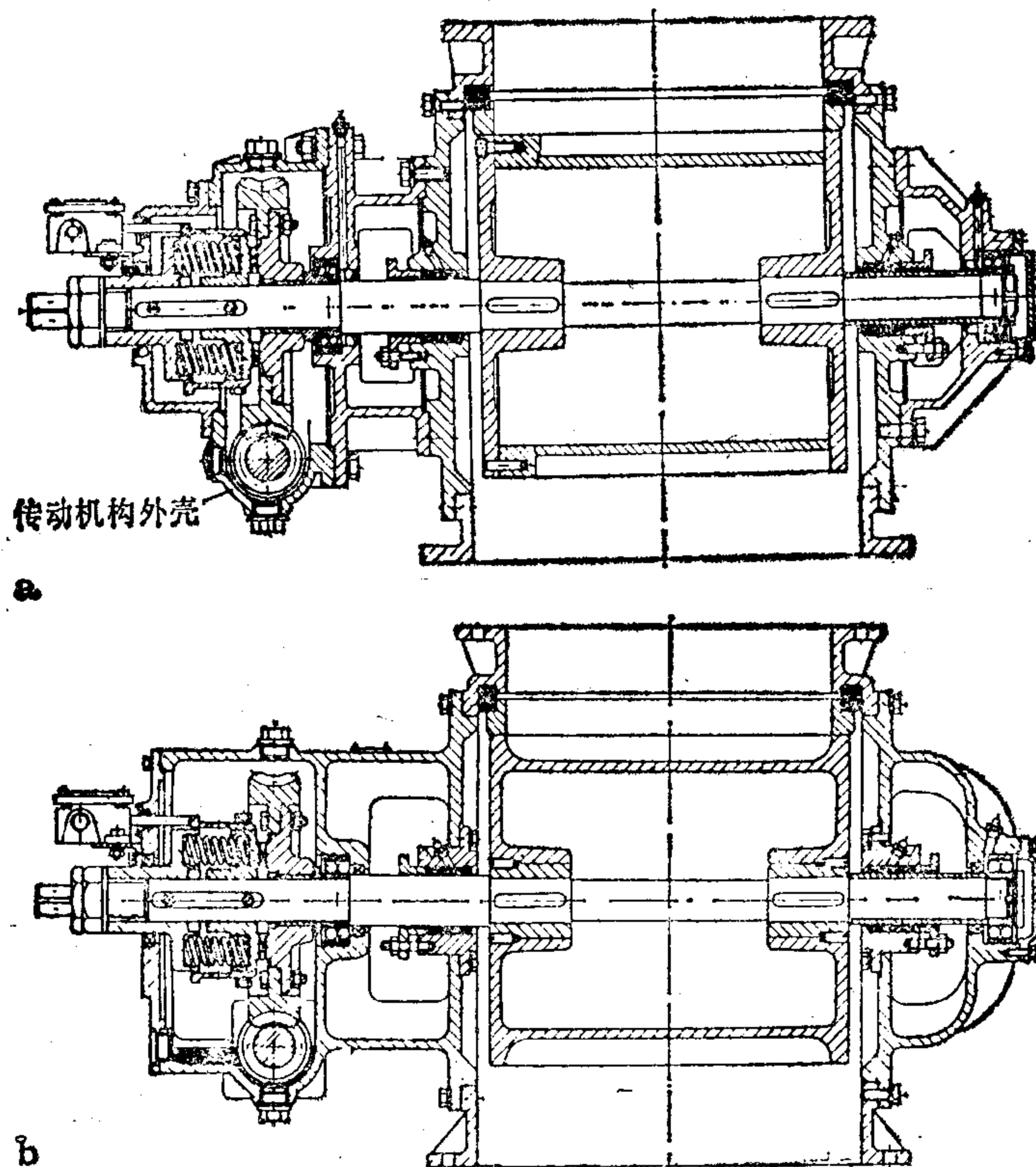


图12.2.5a和b 盘式给料机传动机构和联轴器的壳体,采用分部结构方式(a)或整体结构方式(b),摘自“Nachrichten der Zentrale für Gußverwendung”,Düsseldorf Nr.2/1971

集成电子线路(集成电路块)或者分立的电子结构元件(电阻、放大器等)是常见的例子。图12.2.2c和d示出了采用微分结构方式和集成结构方式的功能-元件结构。这里还可以按照相同或不同功能结构元件的微分和集成结构方式来划分。图12.2.3c和d示出微分或集成结构方式的凸轮轴。图12.2.6a、b和c还示出设计弹簧元件(a)和内燃机(集成曲轴b、集成汽缸c)时集成结构方式的其它例子。

所谓微分或者集成结构方式,是指通过将具有几个相同或不同功能的结构元件分解成单个(分立)的结构元件,或者将具有几个相同或不同功能的结构元件组合成一个公用

的、包含所有功能(集成)的结构元件来研制结构元件的、可供选用的构形方案。

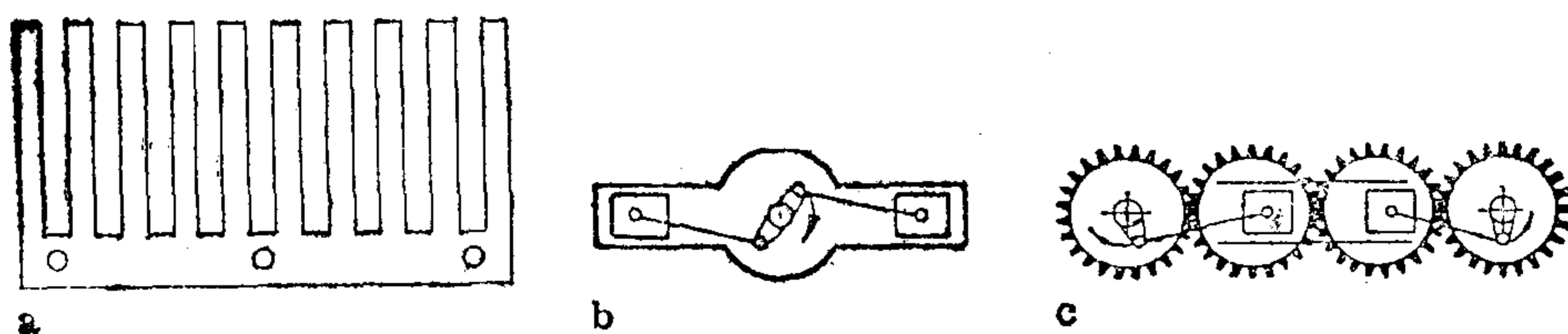


图12.2.6a—c 集成的板弹簧(a);具有集成曲轴(b)或集成汽缸面(c)的发动机

单功能结构和多功能结构

为了实现一种物理操作,通常需要一个效应载体,即一种材料。自然界中的材料,即效应载体,不只可以实现一个功能,而是经常可以实现几个功能。这就是说,能够研制实现两个或几个功能的结构元件,而无需为此再付出必需的费用和成本。可以利用结构元件的多功能。这方面的一个“典型”例子就是铁路的铁轨,它既是火车的轨道,也是电气铁道的导体。另一个例子是大众牌汽车底盘管(车架纵梁),它既用来承载底盘,也用作把热空气(暖气)从发动机送到车箱中去的传输管。多功能结构方式的另一个例子是简单照明器所使用的电缆,它既被用来导电,又用来作悬挂灯具的吊装件。对于比较贵重的和较重的照明器,为了固定在天花板上而设置了一个独特的链条或拉杆。塑料制的轴即可用来传递扭矩,也可用作电流的绝缘体和用作热阻体。用来传输电能的远距离输电线路,除了用来传输能量外,最近还用作传输信息。用来输送某种液体和固体的管道系统(远程管道)也是类似的例子。

这些例子表明,可以利用结构元件材料的不同特性同时(并行)实现不同的功能。也可以利用结构元件的同一个特性(参见远程输电线或管道)来传输不同参量或事物(能量和信息或液体和固体)。最后,通过对系统的结构元件进行适当的几何排列(出口的分支)便可多次连续利用结构元件的同一个功能。因此应该把多功能结构方式分为三种。这三种多功能结构方式的特点是:

- 利用本来已存在于结构元件中的几种特性来实现多种功能(额外费用不多)。
- 多次利用结构元件的一种功能来达到不同的目的(完成不同的任务)。
- 或者在几个输出口上通过增加输出参量多次提供结构元件的一种功能并连续提供这种功能(多路运行)。

图12.2.3e为上述第三种多功能结构方式提供了两个多次利用带有三个从动构件(输出)的凸轮的例子。图12.2.7是这方面的又一实例。图12.2.3f和g以单功能结构方式(f)和多功能结构方式(g)示出了不同功能的(凸轮轴和供油)结构方式的一例。所谓多功能结构方式或者多功能结构指的是,可以

- 利用本来已存在于结构元件中的几种特性(能力)来实现不同的功能,
- 同时将结构元件的同一功能用于不同用途(任务),
- 为同一个用途(任务)多次、连续(多路)利用结构元件的同一功能。

图12.2.2f和g还示出在利用同一特性(f)和不同特性(g)时多功能结构方式之间结构上的差别。

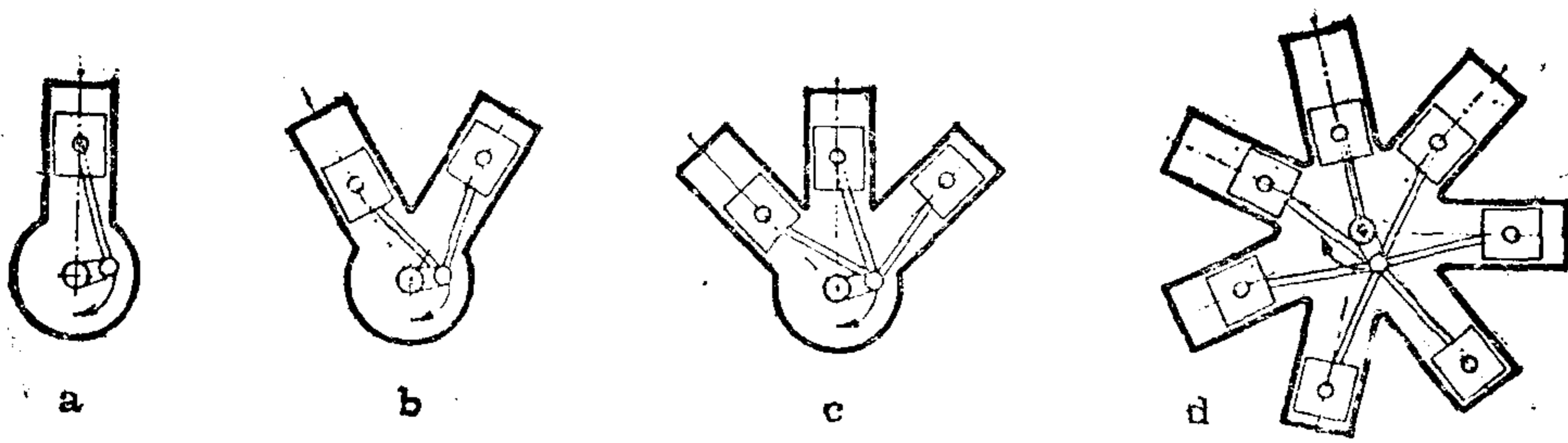


图12.2.7a-d 曲轴的多功能利用(1、2、3、7次)

如果想多功能地利用凸轮轴的凸轮(图12.2.8),那么这就是说,进气阀和排气阀要用同一个凸轮。除了这个解可能通过相应的摇杆结构获得进气阀和排气阀之间开启时刻必要的相位差外,这种发电机(电动机)(其凸轮运动定律必须是进气和排气凸轮运动定律的折中)的运转特性会是很糟糕的,(如果发电机能够运转的话)。换句话说:工业产品的集成程度是有限度的,这个限度可以根据具体情况求得。

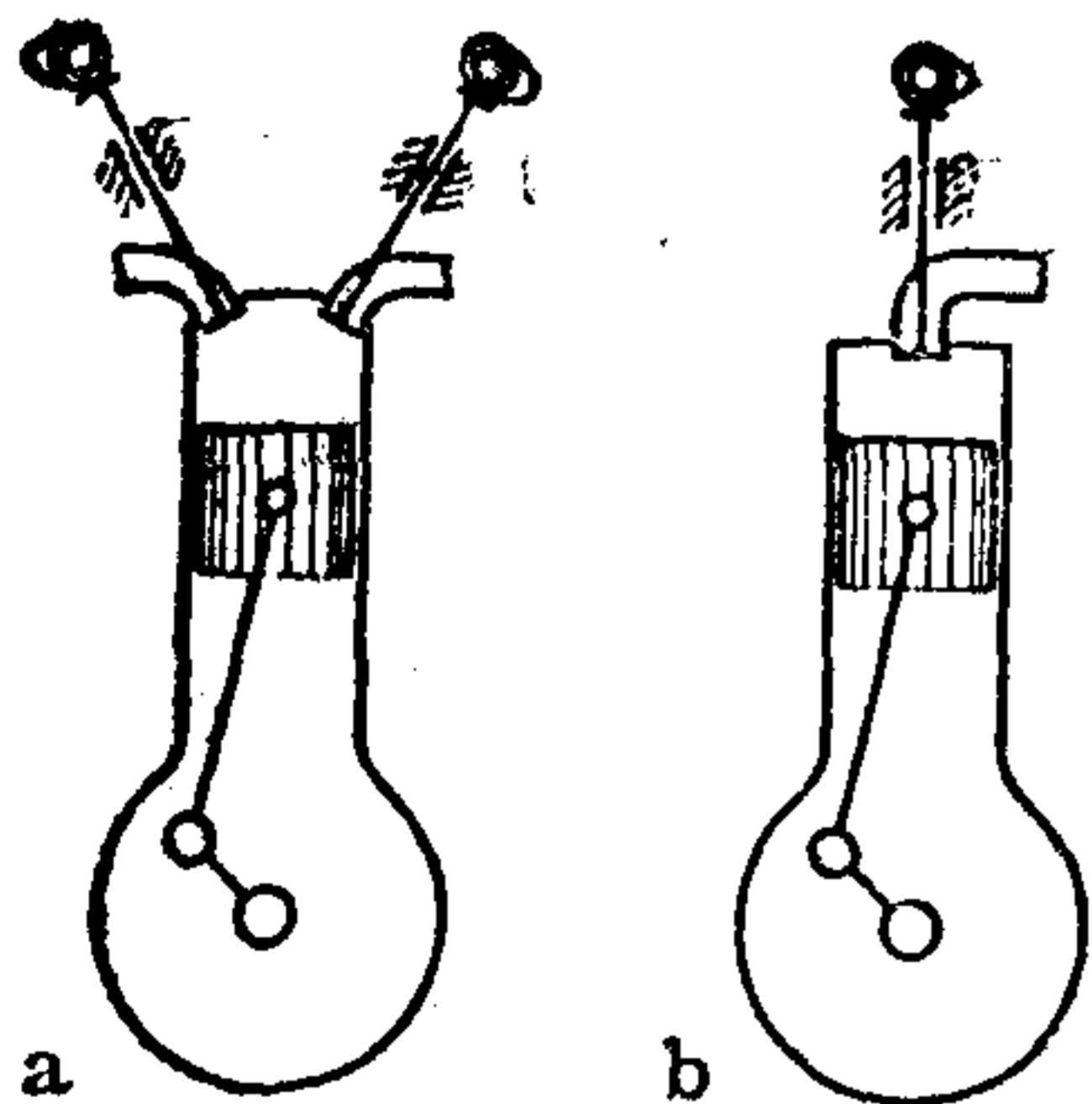


图12.2.8(a)和 b 采用集成结构方式(a)及具有高集成度(b)的活塞式发动机凸轮轴

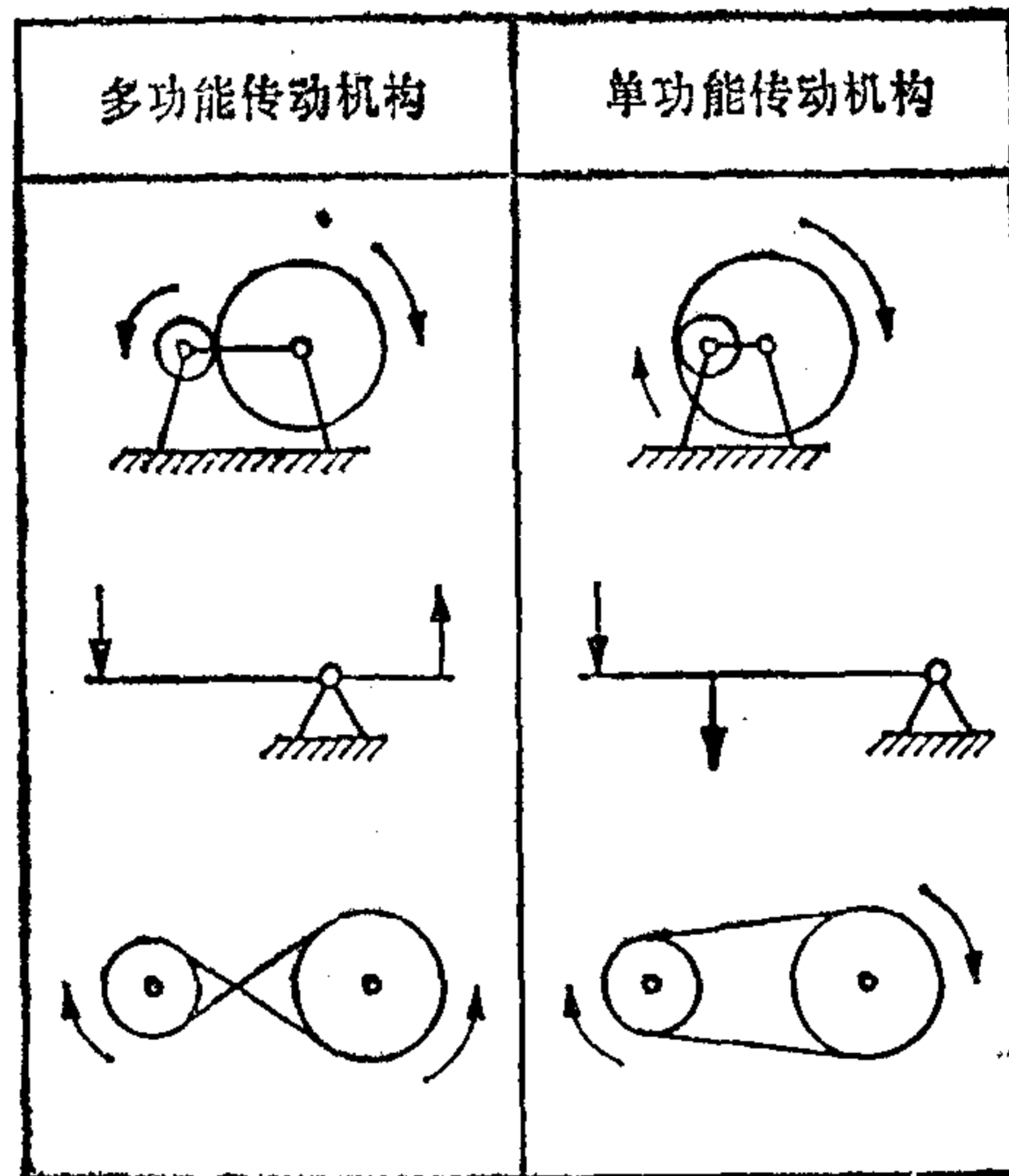


图12.2.9 单功能或多功能传动机构
(说明见正文)

在这方面,要特别注意如下事实,即许多常见的传动机构同样具有多功能的特性。这就意味着,已经非常简单的传动机构可以实现多种基本功能,无需为此采取其它结构措施。图12.2.9左边的机构既可以减小(或放大)驱动运动,也可以改变运动方向,而图中右边的机构只能缩小(或放大)运动。

图12.2.10所示的数据电传打字机的打印机构也是结构元件多功能应用的实例。这个系统主要是由一个带铅字(b)的铅字载体(a)、一个铅字载体滑座(c)、一个译码机构(e)、一个滑座进给机构(f)、打印辊(d)和一个打字色带线路(图中未标出)所组成。铅字载体是由译码机构经过皮带段(g₁)按照某些打印符号进行调整的。为此,装在杠杆(k)上的四个滑轮由盘形凸轮(e)驱动共同摆动。利用钢丝(n)操纵钩子(m)可以有选择地使每个滑轮运动或阻止其运动。各个滑轮的行程为1:2:4:8,按照 $2^4 = 16$ 种组合可能

性,可以使铅字载体有16个旋转位置。同一个盘形凸轮(1)通过杠杆(p)驱动棘轮机构(f)(进给机构),棘轮机构借助皮带段(g_2)而使打字滑座(c)一步步地向右运动一个符号间距。

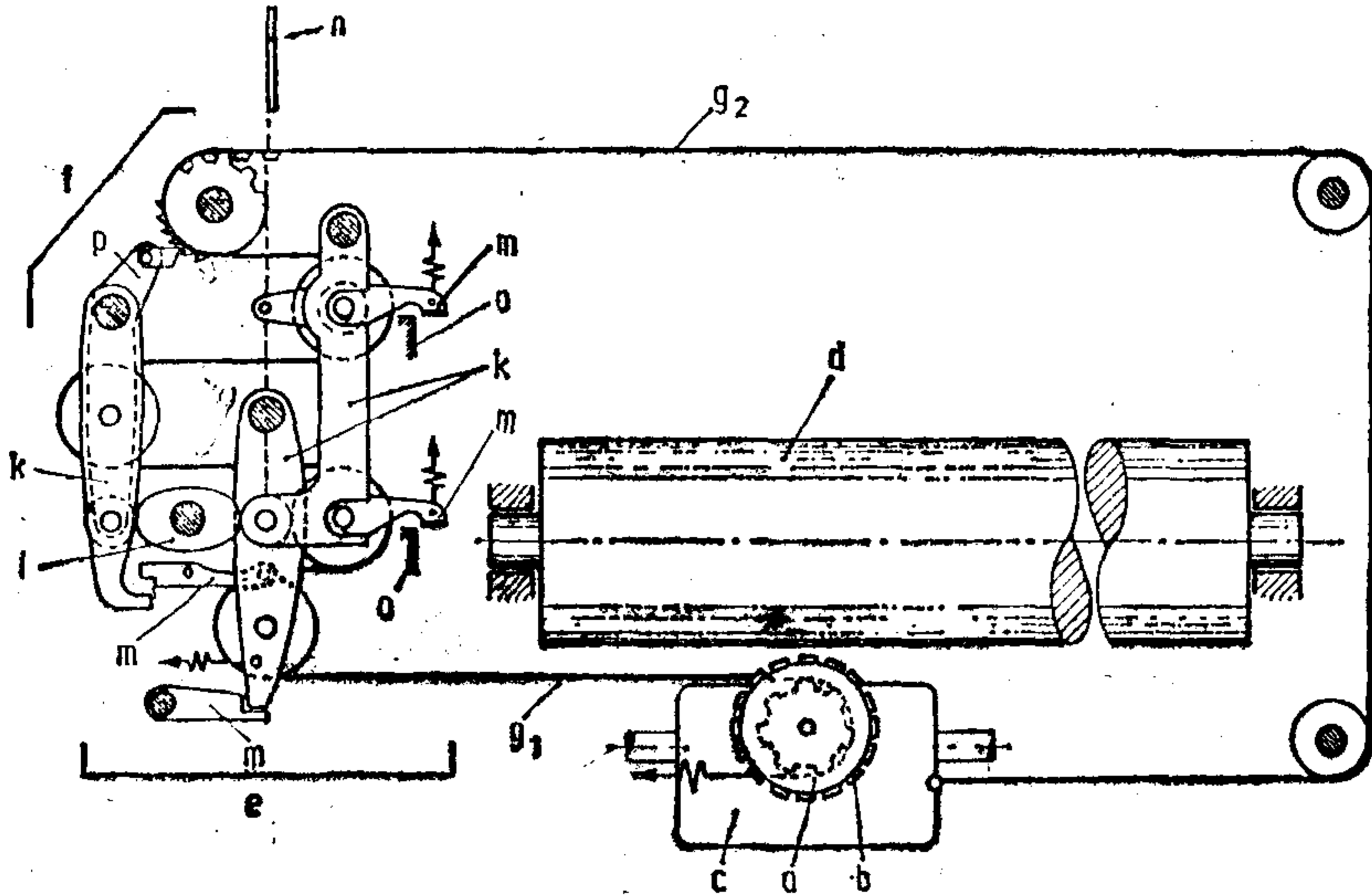


图12.2.10 在一个打印机构(西门子)上多功能(两次)使用一条皮带(皮带段 g_2 :传输进给运动;皮带段 g_1 :传输调准运动)和一个凸轮1(译码机构e和进给机构f的驱动凸轮)

由于巧妙地安排滑轮或者杠杆(k)及进给机构(f)使得这个解有可能只用一个盘状凸轮(1)驱动所有四个滑轮和棘轮机构(f);如果没有这个装置,那么就需要五个单独的驱动装置。在这种情况下,上述元件最适当的排列就是多功能使用盘形凸轮(1)的前提。此外,结构元件“牵引件”也是多功能使用的。它可将调节运动传送到铅字载体(皮带段 g_1)上。并将进给运动传送到铅字载体滑座(皮带段 g_2)上。在图12.2.11中,牵引件还实现了另一种功能,这就是调准铅字载体的功能。铅字分几排重叠在牵引件上。为了调整各排铅

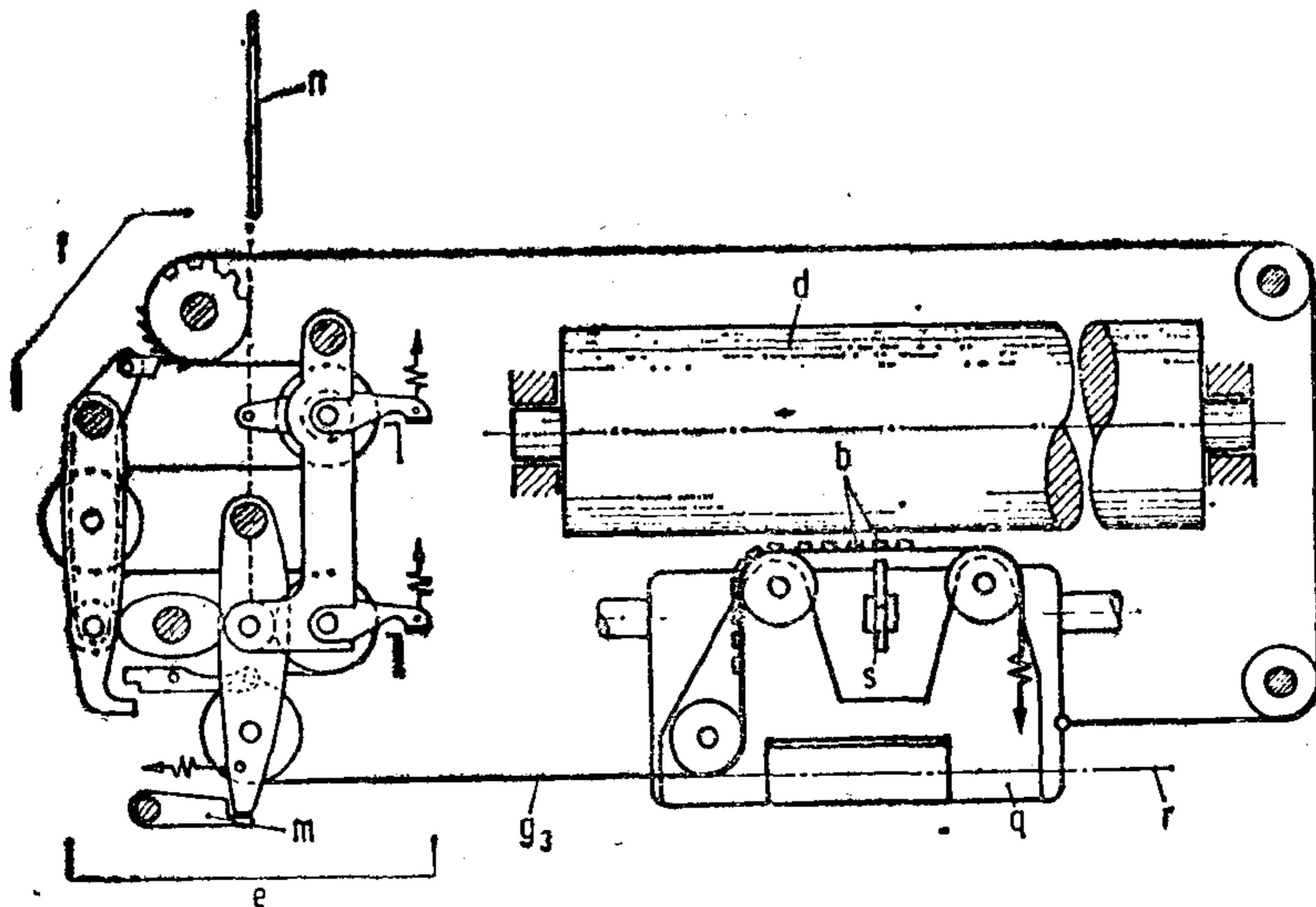


图12.2.11 在打印机构(西门子)中多功能应用皮带(三次)作为进给运动以及调整运动的传送工具并作为铅字载体

字的高度,可将铅字载体滑座的部分(q)绕轴(r)倾斜。要打印的铅字由一个打字锤(s)打在打印辊上。其它方面,这个解与图12.2.10的解相同。利用牵引件作为传送工具和铅字载体是“多功能结构方式的一例”。

最后,图12.2.12概括地示出上述不同结构方式的“机械零件”,并附有以“黑箱图”(方框图)表示的相应的输入和输出参量。

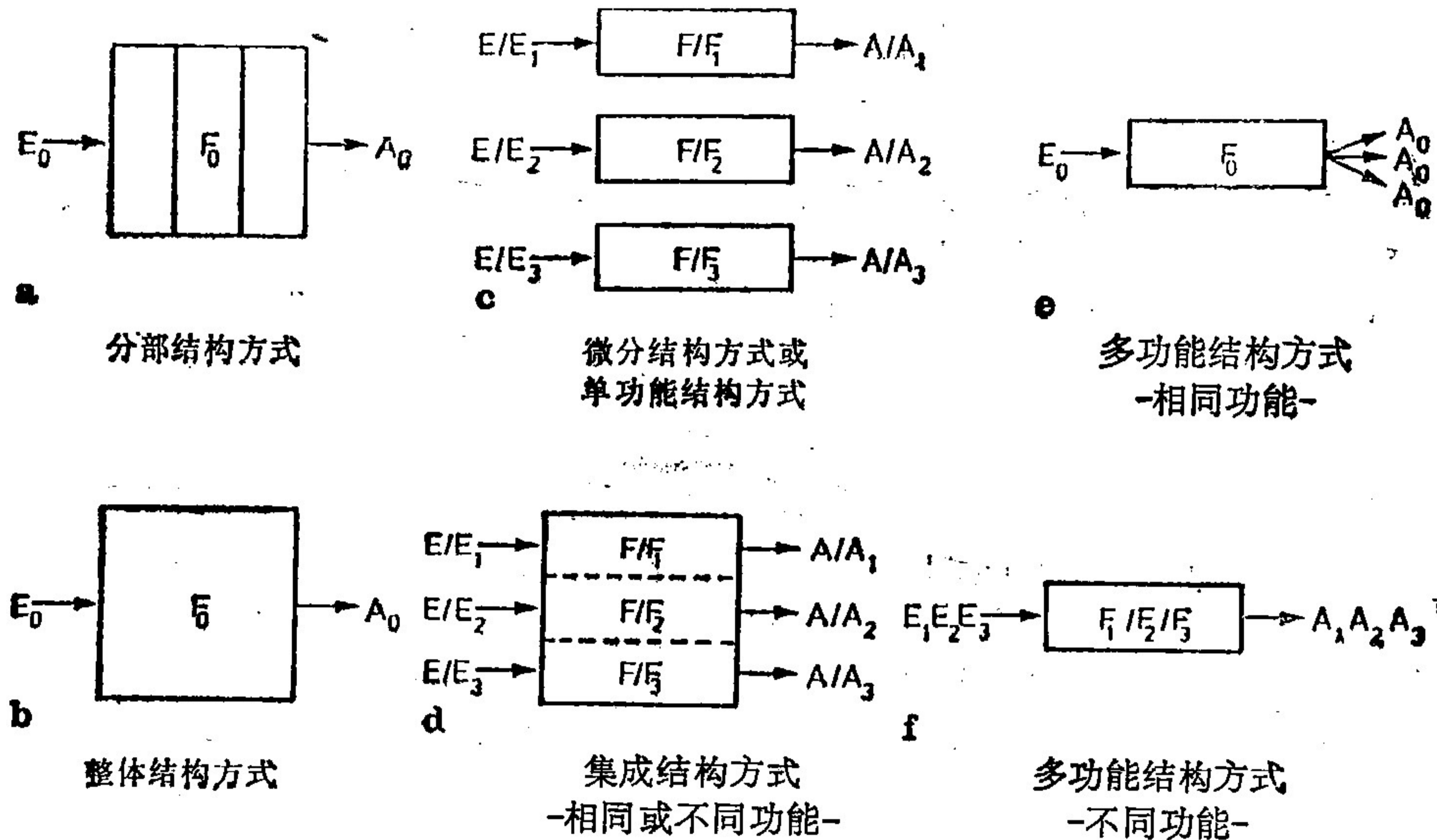


图12.2.12a—f 不同结构方式的结构元件或机械零件的图示。 E = 输入参量, A = 输出参量, F = 功能, 小方框△结构元件

整体、集成和多功能结构方式常是降低技术系统生产成本的有效方法。但这种方法并不总是合适的,因为随着集成度的增加,零件的制造也变得更加复杂了,而且费用也更高。与此相反,将一个复杂零件分解成的单件越多,这些单件就越简单,但是将它们组装成一个整体所需的费用也越高。因此,生产成本和零件数量方面有一个最佳值,尽可能地接近这个最佳值是研制物美价廉的产品的目的。

12.2.2 部件和机器的结构类型

同结构元件一样,也可以用不同的结构方式研制部件、机器、仪器或其它更为复杂的系统。

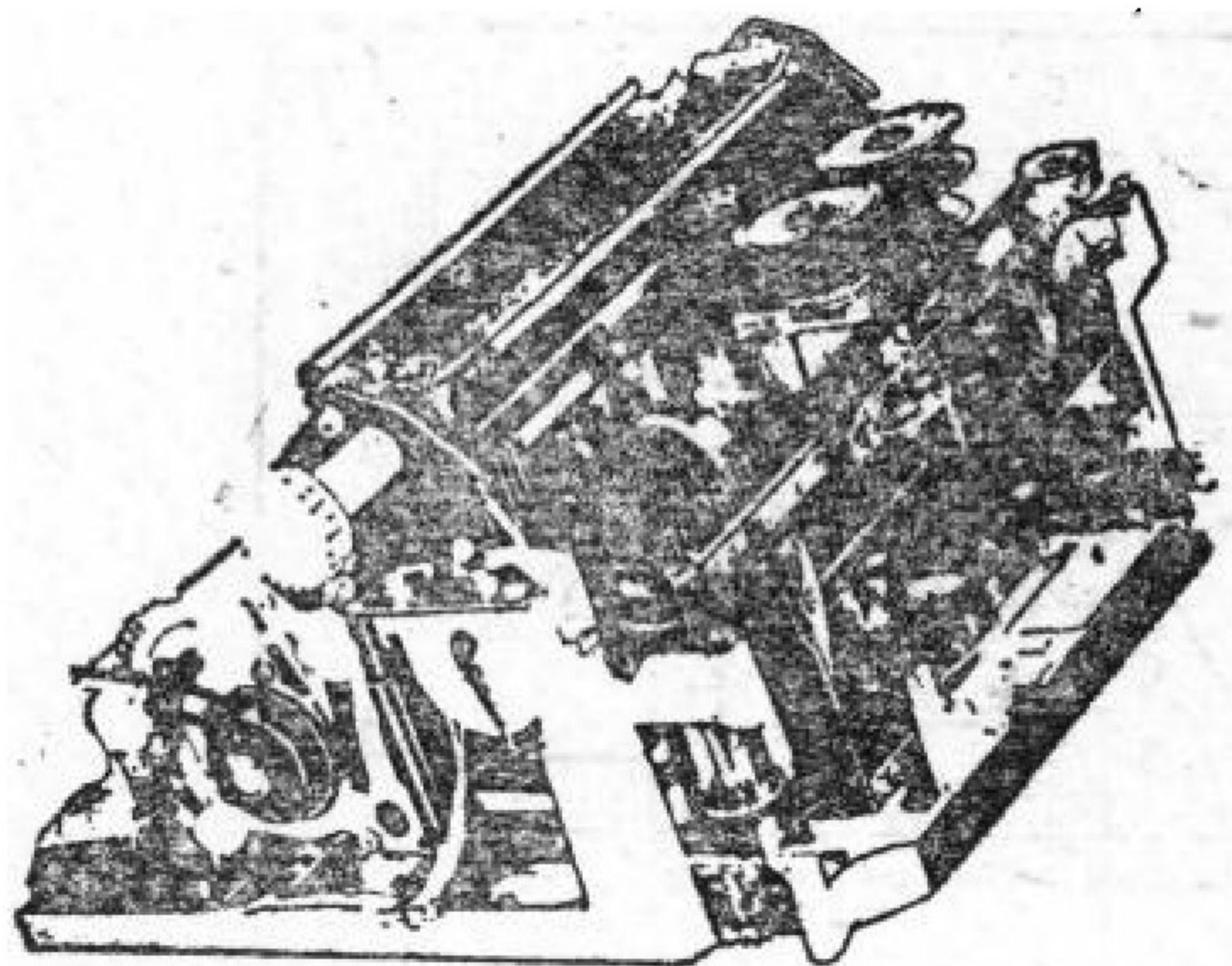


图12.2.13 实例:单部件结构方式的电传打字机(Teletype公司, 33型)

各种技术系统、机器、设备没有必要一定划分成“能单独存在的部件”,相反,倒可以这样来研制和设计它们,也就是使它们形成一个将系统的所有零件和功能统一在其中的单独的、复杂的部件。特别是老式的机器、汽车等经常被设计成所谓“单部件结构方式”。即使近代也有一些产品被成功地设计成“单部件结构方式”。最新的例子是不久前出现在市场上的SWATCH手表。这种表不像其它的那样分成表芯和表壳,而是将所有的结构元件直接固定在

表壳上。美国Teletype公司制造的33型数据电传打字机是单部件结构方式的另一例证(图12.2.13)。这种机器是将各种功能组合件,如打印机构、键盘、穿孔纸带、阅读器和穿孔器组装成一个部件。这种仪器不能像模件式结构方式那样简单的进行功能单元互换。然而,这种电传打字机的制造成本却特别低。

目前多数消费品(家用设备等)却是以单部件结构方式进行研制和设计的。由于雇佣劳动工资很高,所以这类消费品修理的可能性是有限的。与此相反,其它较贵重的技术系统,特别是资本货物(指生产工业品所需的生产资料——译者注)鉴于便于修理、维护及其它原因,一般化分为部件或者设计成模件式的。将技术系统化分成某些部件(功能单元)通常称为模件式结构方式(多部件结构方式)。如果化分成模件的技术系统是由可以有选择地组装在一起的基本结构(机械零件、结构元件)组成的,那么就称这种系统为“模块式组合系统”。因此,模块式组合系统是一种特殊的模件系统。

单部件结构

机器、仪器和其它技术系统不一定要化分成若干独立的部件(功能单元),相反,在极端情况下,可以将某台机器的所有功能组合在一个部件之中;技术系统不一定设计成模件式的。这种结构方式的特征是所有功能或零件共用一个机架或机壳。这种结构方式的机器和仪器生产成本可能很低。而修理费用较高或者有些产品实际上贵到无法修理的程度。如电炉、吸尘器、洗衣机、炊事机械等消费品由于成本关系经常被广泛地设计成单模件的。

单部件结构方式或单模件结构方式可定义如下:

减少技术系统的部件数,在极端情况下,减为单一部件的结构方式称为单部件结构方式。这种结构方式的特征是所有零件共用一个机壳和机架,或者没有带自己的机架和相应接口的独立部件。

组件式结构

为了便于修理或由于其它许多原因,今天比较昂贵的工业产品不设计成单组件的,而设计成多组件的。这些产品多数是比较贵的,通常把它们划分成部件,如分成电动机、传动机构、联轴器等。每个部件(组件)都有自己的机架(底盘、插板等)。此外还可以有自己的(封闭的)机壳,而且自身具有一定功能。因此,各个部件或功能单元可以比较方便地从整体系统中取出、修理,或者用新功能的组件来替代(更换)。组件式的、化成部件的系统的特征是,各部件相互间具有标准化的配合处或接口。所谓配合处或接口,指的是在连接处使两个零件相互配合(几何构形)和共同工作(功率数据等)所需的全部数据。这样规定的接口对于各个组件的共同工作是必需的。

除部分混合式结构外,电视机、计算机、T1000型电传打字机(见图12.2.14)、传动装置等都是采用组件式构造的工业产品的典型实例。用玩具积木堆积某种模型飞机或汽车,是采用组件式构造的又一常见实例。

将工业产品区分为有某种(些)功能和接口的若干基本结构(部件、零件)的结构方式称为多部件或组件结构方式。与模块式组合结构系统相反,通过将这些基本结构(组件)组装在一起,只能得到某种产品。基本结构可以是:零件、部件或较复杂的系统,如机器

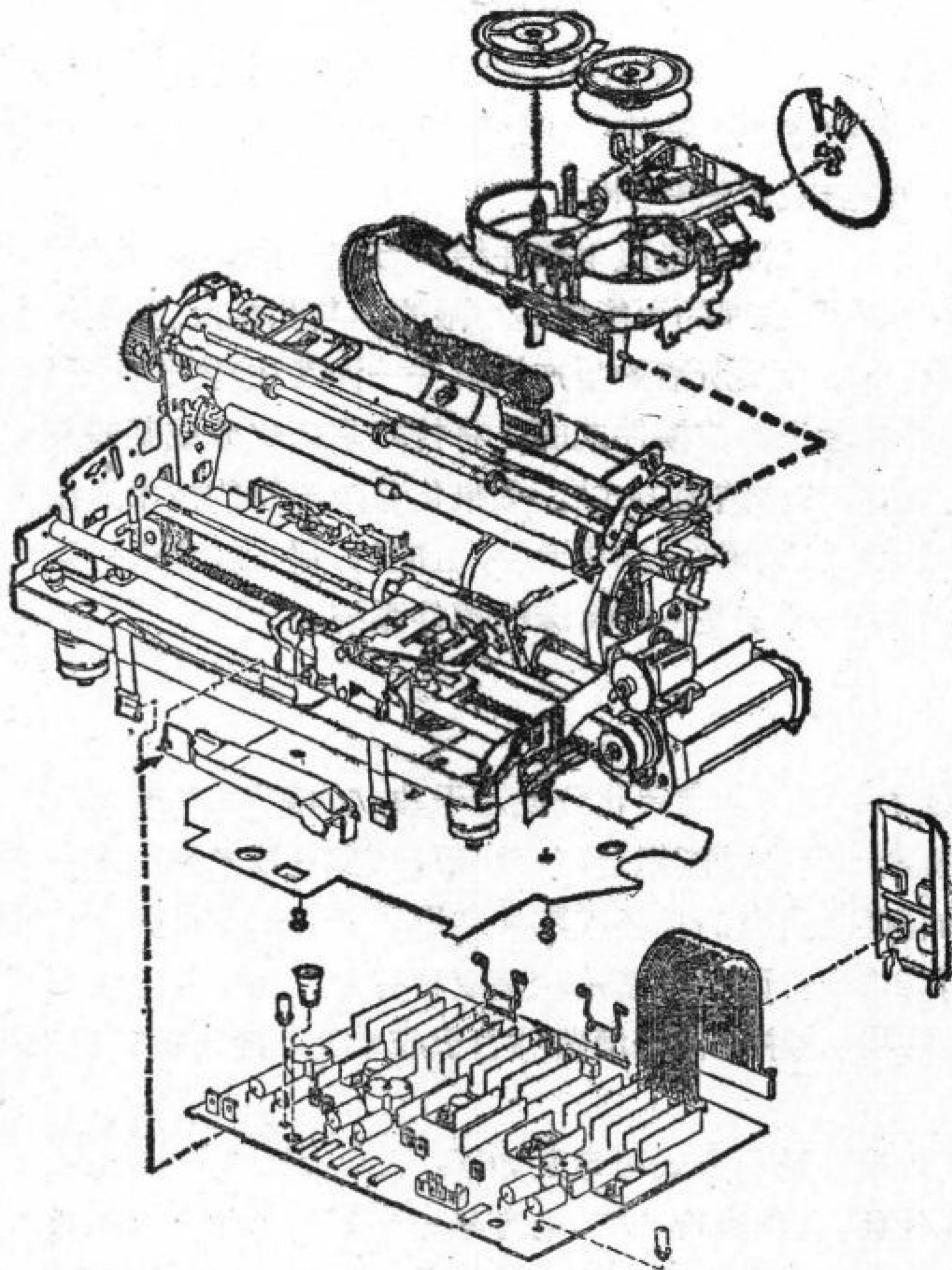


图12.2.14 实例:模块式和组件式构造的电传打字机(T1000, 西门子公司)

和仪器。组件结构系统可以是纯粹的零件、结构元件系统和部件系统;也可能是所谓的“混合系统”,在这些“混合系统”中存在着上述每一复杂平面的基本结构。组件系统基本结构的主要特点是,它们互相之间的接口(也称凸缘面或连接处)是规定的。

组件系统的优点是:修理时,可以方便地拆卸各个部件,必要时可以用同型号的完好部件替换。可以迅速修理且不担风险。小汽车的发动机和变速箱的更换以及更换计算机中有问题的部件(插入)就是一些例子。缺点是为制造组件系统所必要的配合部(处)和制造附加的联接(插接联接、凸缘等)需要更多的费用。

积木模块式结构

由于经济上的优点,目前各个部门有越来越多的工业产品是制成积木模块式组合系统提供的。例如刀具、夹具、机床、传动装置、电子数据处理设备、蒸汽透平、电声设备、家具等(见图12.2.15)。模块式组合系统同样可以分拆成组件。模块式组合系统的各个“基本结构”(组件)可以是零件、机械零件、部件、机器、仪器或较复杂的产品。模块式组合系统的基本结构或它们的配合部和接口,必要时应标准化和规范化,以便使它们机械地联接并能协同工作。与简单的组件系统相反,模块式组合系统的突出优点是,对各个基本结构都存在一种或多种不同功能的基本结构,这些不同功能的基本结构可以有选择地附加在另一个基本结构上。模块式组合系统的另一突出优点是只用一个或几个标准化的基本结构

就可以在某一产品范围内制造出任意多特性或功能不同的系统。

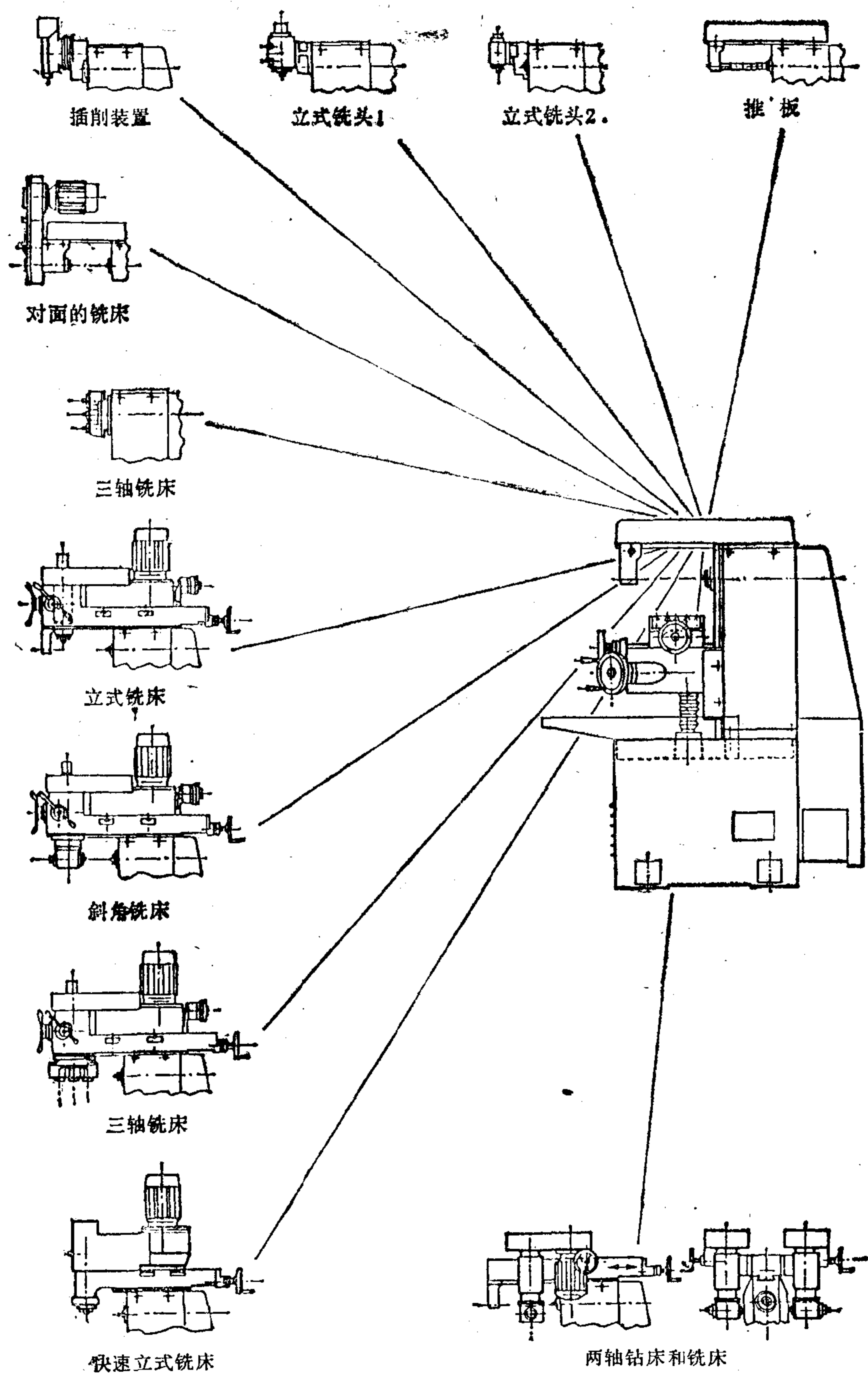


图12.2.15 实例：积木模块式结构的铣床(Hermle公司)

所谓模块式组合结构方式或模块式组合系统是指将工业产品分解成具有某种功能的一个或较少几个标准化的基本结构,这样,在某产品范围内可以用这些基本结构组建成有限数量或任意数量的各种工业产品。这些基本结构可以是零件、部件或更复杂的系统,如

机器。模块式组合系统可以是纯粹的零件、机械零件或部件系统,也可以是包括上述每一不同层次的基本结构的所谓“混合系统”。模块式组合系统的基本结构的主要特点是:其标准化的接口(也称连接部或配合部)可与同一个或其它的基本结构联接。模块式组合系统的其它主要特点还有:可以在一个用模块式组合系统制做的产品中,多次应用相同型号的基本结构,以及用其它的基本结构,有选择地替换某系统中一基本结构。

可以大批量地生产是模块式组合系统经济方面的优点。由于批量生产,通常制造成本较低、容易检查或质量较好。此外,供货时间短、容易购置备件以及以后可使系统扩充和改装也是其优点。

在文献[14]中有关于模块式组合系统的进一步的论述。今天,模块式组合系统,特别在汽车变型设计方面,在机床(见图12.2.15)、夹具、刀具、傢具、计算机等工业产品设计中得到了广泛应用。

12.3 对结构系列和类型分级(型谱)的阐述

在设计和制造领域中,合理化的主要手段是作为结构系列或类型分级来研制工业产品。除了可以通过确定产品的离散尺寸形成结构系列以外,还有许多其它重要的设计参量同样可以用来研制结构系列。对应于不同类型的设计参量可以分成大小、构形、材料和质量系列。下面将概括地叙述研制工业产品结构系列和类型分级的方法。

通过以结构系列方法研制机械零件、部件、机器、仪器或设备,可使该产品的设计和制造工作基本上合理化。此外,系列化产品在质量、价格和供货时间方面也有一些优越性。下面应将目的和物理原理相同、而定性和定量设计不同的一些工业产品(型号)理解为结构系列。

结构系列的工业产品或元素可以是零件、机械零件、部件、机器、仪器、设备或者更为复杂的系统。结构系列的特点是:其型号可按系列的规律排列;可以按照系列的规律预先决定结构系列位于两型号之间的型号或继一个型号后面的一个元素。除了结构系列产品外,还有“类结构系列产品”,“类结构系列产品”是按照系列的规律排列的。因此,不应称它为结构系列,而应称为“类型分级”。实际上,结构系列和类型分级有相同的经济价值。

原则上说,工业产品的每一个参量都可构成结构系列或类型分级。这些参量是:

- 物理量,如功率、速度、位移、力、温度等;
- 构形参量,如构形元素的形状、位置、数量、排列、尺寸¹⁾和联接结构;
- 材料类型和材料参量;
- 质量参量。

图12.3.1示出了可能的结构系列和类型分级。

实际上,迄今为止并不是上述全部参量在形成结构系列或进行类型分级时都有意义。从理论上讲,工业产品的每个参量都可以有无限多的值。而实际上,在绝大多数情况下,没有“无限多的值”也可以,而且相当少的值就够了。因此,并不是一个工业产品的任

1) 尺寸虽然也是一个物理量,但是应把它作为构形参量使用。

物理量	构形	材料	质量
功率	尺寸	钢	精度
力、压力	形状	∴	可靠性
速度	数量	轻金属	寿命
位移、行程	位置	∴	舒适性
温度	排列	塑料	功率/价格
•	结构	∴	•
•	•	陶瓷	•
•	•	∴	•
	•	玻璃	
		∴	

图12.3.1 结构系列和类型分级概况

何可能的参量,而只有较少的离散值可以将产品标准化,或者作为结构系列和类型分级进行研制。这点在多数情况下是可能的,而且出于经济方面的考虑是可以理解的。工业产品可以按照一个或几个准则排列;结构系列的一个型号可以属于几个不同的系列。例如,在结构系列或类型分级中滚动轴承是按照与滚动体的形状、承载能力和运转精度等相应的尺寸进行排列的。

结构系列或类型分级的型号,除上述排列参量之外,当然还有许多其它参量,这些参量对确定结构系列不太重要。在研制结构系列或类型分级时,这些参量可以像排列参量那样变化,也可以与排列参量无关地变化,或者尽可能在某个范围内保持不变。其它参量以什么方式变化最好,这不能一概而论,而只能根据具体情况决定。在大多数情况下,对不同的参量采取不同的变化对策。

尺寸系列

按照上面的叙述,可以定量的全部参量都是有用的,而且可以作为研制结构系列的“指示剂”。它们是全部物理量,如:

- 功率,
- 力、压力、重量,
- 速度、转数、频率,
- 位移、行程、有效距离,
- 电参量,如电压、电流、电阻、电感、电容,
- 温度、热量,
- 光强度、光流、反射。

对于工业产品的用户来说,这些都是主要的参量。

相应的结构系列应当概括为“参量结构系列”这一总概念,或者简称为“参量系列”(见图12.3.1)。

虽然工业产品的尺寸是一个物理参量,但是它也是一个工业产品构形的主要参量(参见第12.1节),因此,在这里它不是物理参量,而是构形参量。为了避免误解起见,这里应该指出,上述许多参量结构系列的力、功率、行程等,实际上应归入尺寸结构系列,因为

$$T_n = T_1 \cdot \varphi^n$$

主要值基本系列				精确值	(对数的) 尾数	主要值基本系列				精确值	(对数的) 尾数			
R5	R10	R20	R40			R5	R10	R20	R40					
1.00	1.00	1.00	1.00	1.0000	000	2.50	3.15	3.15	3.15	3.1623	500			
			1.06	1.0593	025				3.35	3.3497	525			
			1.12	1.12	1.1220				050	3.55	3.55	3.5481	550	
				1.18	1.1885				075		3.75	3.7584	575	
		1.25	1.25	1.25	1.2589			100	4.00	4.00	4.00	4.00	3.9811	600
	1.32			1.3335	125		4.25	4.2170				625		
	1.40			1.40	1.4125		150	4.50				4.50	4.4668	650
				1.50	1.4962		175					4.75	4.7315	675
	1.60		1.60	1.60	1.60		1.5849	200			5.00	5.00	5.00	5.00
		1.70			1.6788		225	5.30		5.3088				725
1.80		1.80			1.7783	250	5.60	5.60		5.6234				750
		1.90			1.8836	275		6.00		5.9566				775
2.00		2.00		2.00	1.9953	300	6.30	6.30		6.30			6.30	6.3096
			2.12	2.1135	325	6.70						6.6834	825	
			2.24	2.24	2.2387	350			7.10			7.10	7.0795	850
				2.36	2.3714	375						7.50	7.4989	875
		2.50	2.50	2.50	2.50	2.5119			400	8.00		8.00	8.00	8.00
2.65					2.6607	425		8.50	8.4140					925
2.80	2.80			2.8184	450	9.00		9.00	8.9125		950			
	3.00			2.9854	475			9.50	9.4406		975			

图 12.3.2 标准数(字)的主要值(摘自 DIN 323)

一般来说,较大的载荷、较大的行程或功率等都会相应地导致工业产品具有较大的尺寸。尽管如此,这并不是尺寸结构系列问题,而是不同功率、力等的结构系列问题。一个典型的例子便是常见的、各种功率的白炽灯结构系列。众所周知,不同的功率要求不同尺寸的玻璃灯泡。正如下一节还要提到的,除了这种“准尺寸结构系列”外,还有真正的尺寸结构系列,这种结构系列主要是具有不同的尺寸(见第2.1节)。与此相反,主要取决于不同载荷的压力和功率的结构系列的例子有滚动轴承、皮带、链条、螺栓、螺母、传动机构、压力机等结构系列。图12.3.3示范性地示出了几个用于不同力(a)、转矩(b)、功率和转矩(c)的结构系列产品。

经验表明,在研制参量结构系列时,在多数情况下,最好将结构系列各个型号的特性值(排列参量值)按几何级数的规律分级。但是也可以采用其它的规律。几何级数通常可用下列数学公式表示:

$$\varphi = n \sqrt{\frac{T_n}{T_1}}$$

式中：\$T_1\$ 和 \$T_n\$ 是结构系列重要参量的第 1 个和第 \$n\$ 个值；\$\varphi\$ 表示级差；\$n\$ 是系列的分级数；而 \$z = n + 1\$ 是结构系列的型号数。如 Kienzle^[92] 所指出的，在许多情况下，从十进制几何级数作为产品系列的主要参量值来分级是合适的。不同的十进制几何级数的可能级差可由下式得出：

$$\varphi = \sqrt[n]{10}$$

例如 10 或 20 级时的系列级差为

$$\varphi = \sqrt[10]{10} = 1.25; \varphi = \sqrt[20]{10} = 1.12$$

用 \$n = 5, 10, 20, 40\$ 等得出众所周知的标准数列 \$R_5, R_{10}, R_{20}, R_{40}\$ 等 (DIN 323)。图 12.3.2 是由 DIN 323 中节录的主值。为了实际应用，重要的是应该知道将理论值化成“整数”可能与级数的精确值不同。这点也是经常用到的。一般来说，也可以通过选择产品系列的最小型号和最大型号的主值以及选择要计划的型号数量 \$z\$ 来确定结构系列。因此，范围 \$B\$ 可这样确定：

$$B = \frac{\text{该范围的最大型号主值}}{\text{该范围的最小型号主值}} = \varphi^{(z-1)}$$

由此可以计算相应的级差

$$\varphi = \sqrt[z-1]{B}$$

并可求得最大型号主值与最小型号主值之间的其余主值。有关结构系列规律性的其它问题可在文献 [96] 中找到。

有时，对结构系列的产品最好不按几何级数分级，而按算术级数分级。例如钻头、滚动轴承、板(厚度)、成批缝制的服装(西服、鞋、帽子等)的结构系列最好按算术级数分级。

构形系列

一个零件、部件、机器等的构形是由构形元素的尺寸、形状、数量、位置、顺序和联接结构等参量规定的。这些构形参量的每一个参量基本上都可作为结构系列或类型分级的“指示剂”(见图 12.3.1)。

尺寸、表面和体积的结构系列

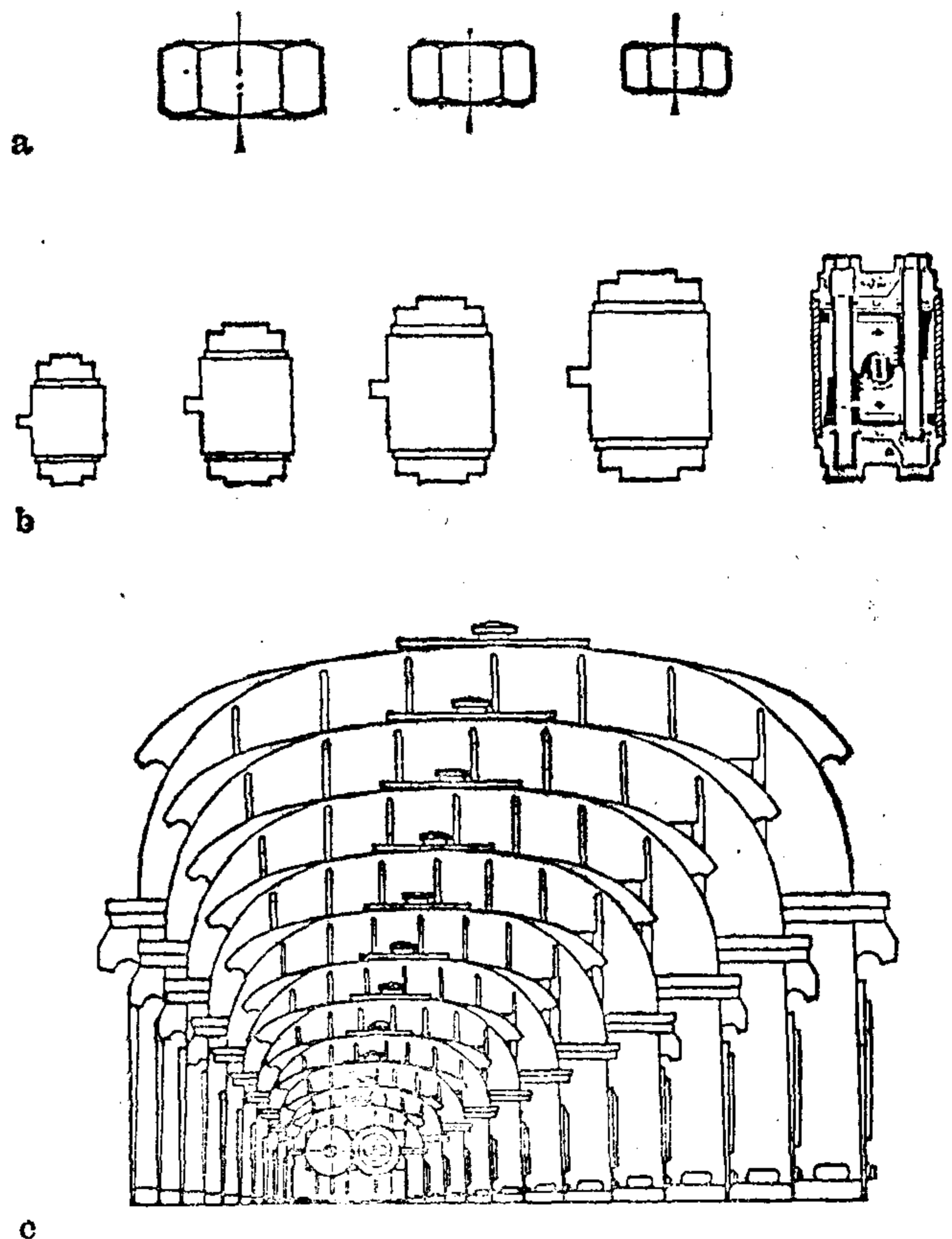


图 12.3.3a-c 力、转矩和功率，即螺母(a)、气压回转驱动装置(b, NOBRO 公司)、减速器(c, Flender 公司的车间图(机械装置图))的参量结构系列

典型的尺寸结构系列主要是有着不同尺寸(长度、宽度、高度、直径、圆周等)值的那种结构系列,例如,钻头(钻头组)、结构系列各种半成品、间隔垫圈、块规(千分垫)、卡规、测量心轴、门、窗、家具,纸张、信件、图片和胶片的规格以及成批缝制的服装、鞋、帽等。

水管或气管和导体(铜线)都是很好的例子。它们的横截面的面积就是结构系列的参量。

此外,容器、油箱、瓶子和盛饮料的容器则是容积结构系列的例子。

形状组(形状类型分级)

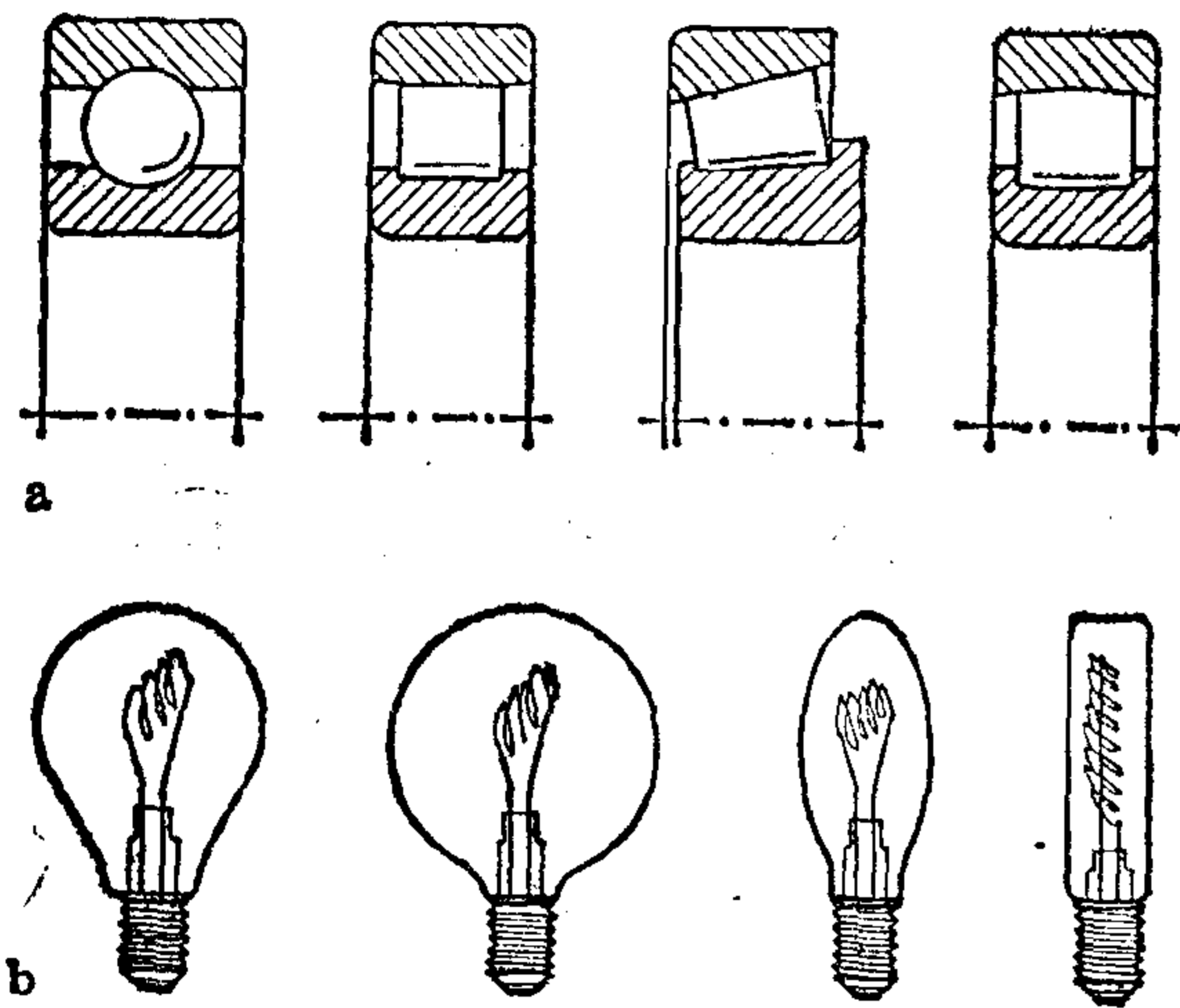


图12.3.4a和b 滚动轴承(a)和白炽灯泡(b)的形状类型分级的实例

对于某些工业产品来说,主要功能面的形状或者它的外观形状可以是类型分级的排列准则。在工程技术领域中,不同的功能面有:平面形、圆柱形、圆锥形、球形、筒形或环形。滚动体形状不同的滚动轴承(如图12.3.4a的球轴承、圆柱轴承、圆锥轴承和球面轴承)就是形状类型分级的例子。白炽灯的各种玻璃灯泡的形状(梨形、球形、蜡烛形、环形、圆柱形)同样也是形状类型分级(图12.3.4b)。同样,有圆锥形、球形或圆柱形关断元件的单向阀或者有渐开线、摆线、三角函数形或其它表面形状的齿轮,以及有圆形、三角

角形或梯形的螺纹也都属于形状类型分级。

总之,对研制形状类型可以作如下的说明:

形状分级的不同型号可以通过如下方法找到,即可在简单制造的表面形状范围内,改变工业产品的主要功能表面形状(工作表面、密封表面、外形等)并为某种情况选出有意义的形状,然后再整理成一个“产品系列”或“类型分级”。

数目系列

构形的另一个参量是构形元素的数量。构形元素的数量同样是结构系列的“指示器”或者排列准则。在这个意义上来说,构形元素指的是功能表面、零件、部件或复杂的产品。因此,除构形元素外,技术系统的其它的数量参量也是“元素”,例如步进马达每转的步数。

内燃机的结构系列可以作为数目类型系列的实例,可以制成具有某种用途的单缸、双缸、四缸、五缸或六缸结构型式的内燃机。单孔、双孔、三孔等插座(见图12.3.5)和两极、四极或六极的电动机是数目类型系列的另一些实例。它们不是以尺寸或物理量作为排列的准则,而是以构形元素数目作为排列准则的。在其它方面结构型式相同,但有3、4、5或6个腿的椅子,或者有1、2、3或4个抽屉的柜子可以作为其它方面的数目结构系列



图12.3.5 实例:插座的数目结构系列

或数目类型系列的实例。因此，对数目结构系列的研制可以作如下的说明：产品的数目结构系列可以通过改变工业产品的几个主要元素（功能表面、零件、部件等）的数目并规定有意义的数目变异来作为结构系列的型号。

位置分类（位置类型分级）

对于某些工业产品来说，零件的功能表面相对于其余表面的位置排列，或者零件彼此之间的位置排列也可以是类型分级的排列准则。这方面的实例有尺寸相同而有内外六方头的螺钉、有内外螺纹的螺钉、内外齿轮、直齿和斜齿齿轮等。在甲板内外放置的发动机的游艇是复杂产品的位置分类的实例。上操纵或侧面操纵的各种内燃机是零件位置改变的一种“产品系列”（位置分类）。因此，以功能表面、零件或部件的位置变换为基础的类型组作为类型分级似乎还没有得到广泛应用。

排列组或顺序组

对于某些工业产品来说，部件彼此之间的排列或顺序也可以是类型分级的又一排列准则。尽管这在实践中不常出现，但为了完整起见，这里还是提一提。举例来说，图12.3.6a所示抽屉排列不同的柜子是“排列类型组”型式的产品。打印元件排列不同的打印机是这方面的又一实例（见图12.3.6b）。这类排列组的每一组的型号变异是有限的。读者可以自己考虑图12.3.6中尚未绘出的排列类型变异方案。

对排列组的研制可作如下说明：排列组的各种型号可以通过系统地改变其排列顺序，选出有用的排列顺序，并组成一个“产品系列”的方法得到。

工业产品的材料、表面和颜色

对某些工业产品来说，形成类型分级的其它准则可以是材料的种类、表面类型以及表面的颜色。通过改变材料种类构成“产品系列”的例子有：选用钢或轻金属制造的汽车轮圈，用钢、不锈钢、黄铜或塑料制造的螺钉和螺母，用各种塑料或陶瓷材料制造的用于化学制品的配件，用钢、轻金属或塑料制造的碗、盘、锅、盆以及用各种木材制做的同样的家具等。

具有相同用途、相同构形而表面不同的工业产品也有类似情况。结构相同而表面不同的产品应称为表面类型组。金属的、镀铬的、镀铜的、涂漆的、镀银的、镀金的和具有其它表面的螺钉、推杆、触点以及许多其它的零件就是这样的例子。此外，用各种贴面覆盖在相同的家具表面（橡胶、胡桃树、塑料）也是不同表面类型分级的又一实例。

在表面涂色方面，还有所谓的颜色类型分级，汽车工业为这方面提供了例子。某种型号的汽车车身和车箱只采用某种颜色或配色。

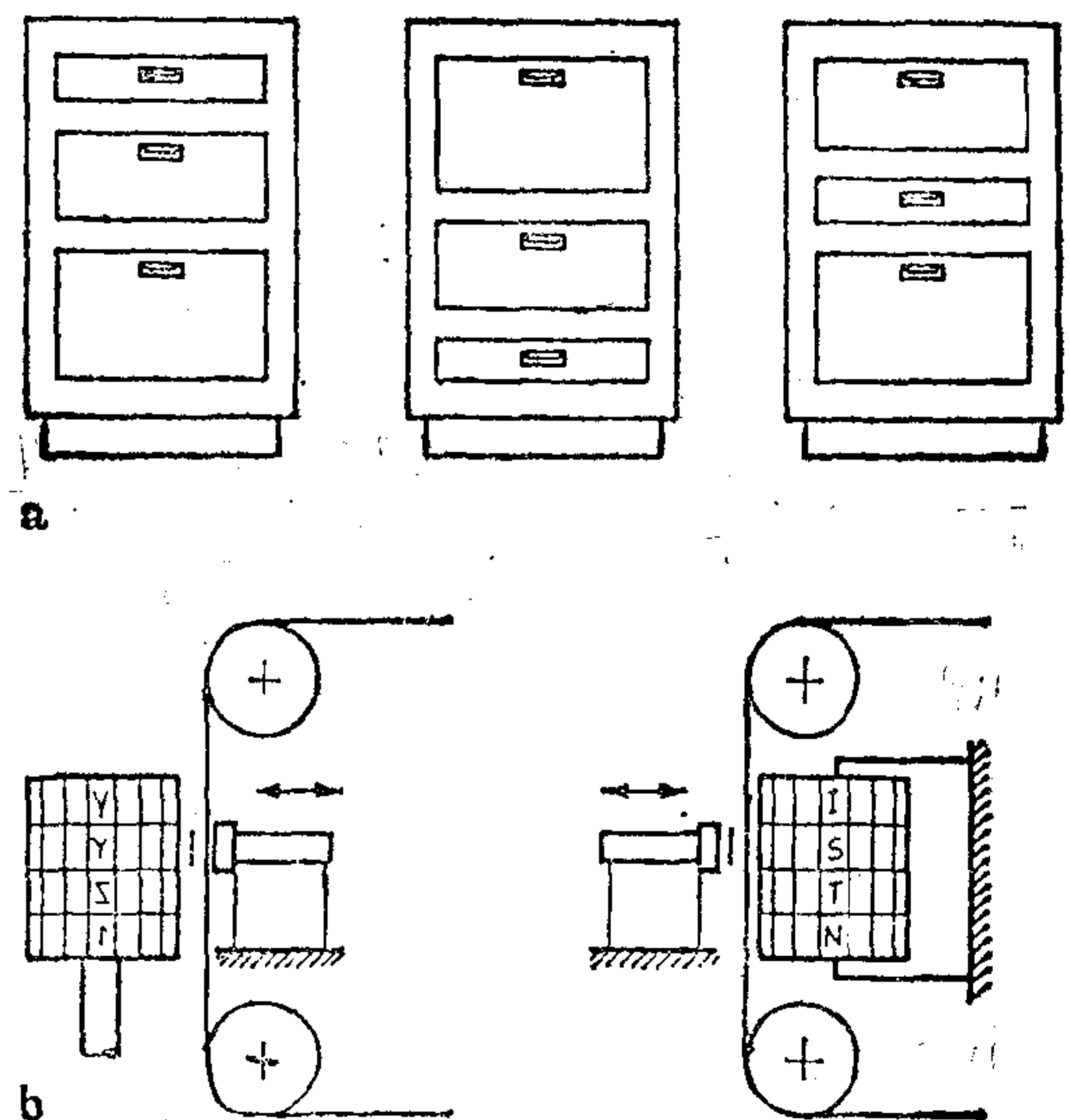


图12.3.6a和b 实例：抽屉(a)、打印装置(b)的排列类型分级或顺序类型分级

质量系列

产品的质量也可以是结构系列又一排列准则。在工程技术中,所谓质量指的是:

- 精度(公差范围),通过精度来保证某产品一定的尺寸,保证匹配等;
- 寿命;
- 可靠性(误差率);
- 舒适(使用简便);
- 功率-价格比等。

此外,在很多情况下,在工程技术中需要不同质量的相同的产品。例如轴承、量规、砝码、物镜、消费品(一等品或二等品)。特别是根据对零件提出的精度要求,以一定的质量制造零件尺寸(配合)是很常见的。在DIN 7151或者ISO的公差表中推荐了从01至18的精度等级,以便保持尺寸质量。公差表给出国际通用的、研制各种产品质量结构系列的质量顺序。实际上还需要对某些产品(DIN 3141)的技术表面质量进行分级。此外,对于某些用途来说,存在着表面质量不同的相同产品。特别是轴承的滚道面、块规、光学零件(透镜、棱镜、平板等)、机壳、家具、门、窗、车身以及其它工业产品的可见表面等都是这方面的例子。

这里列举的排列方法和实例足以阐明构成结构系列和类型(组)分级的方法,以便使人们出于经济方面的原因,检查自己的产品构成结构系列或类型(组)分级的方法。

III. 解 的 选 择

13. 符合限制条件的设计

13.1 一般限制条件

工业产品是综合过程和检验过程或选择过程的结果。综合过程指的是那些为某项设计任务提供所有存在的解所必需的工作。与此相反,检验过程或选择过程则是为了从各种解的方案中选出适于特定情况的最佳解,或认识解的缺点,并采取改进措施所需要的全部工作。

对技术系统的研制工作进行选择(检查、评价和选出)或许进行最佳化所依据的全部准则叫做限制条件。

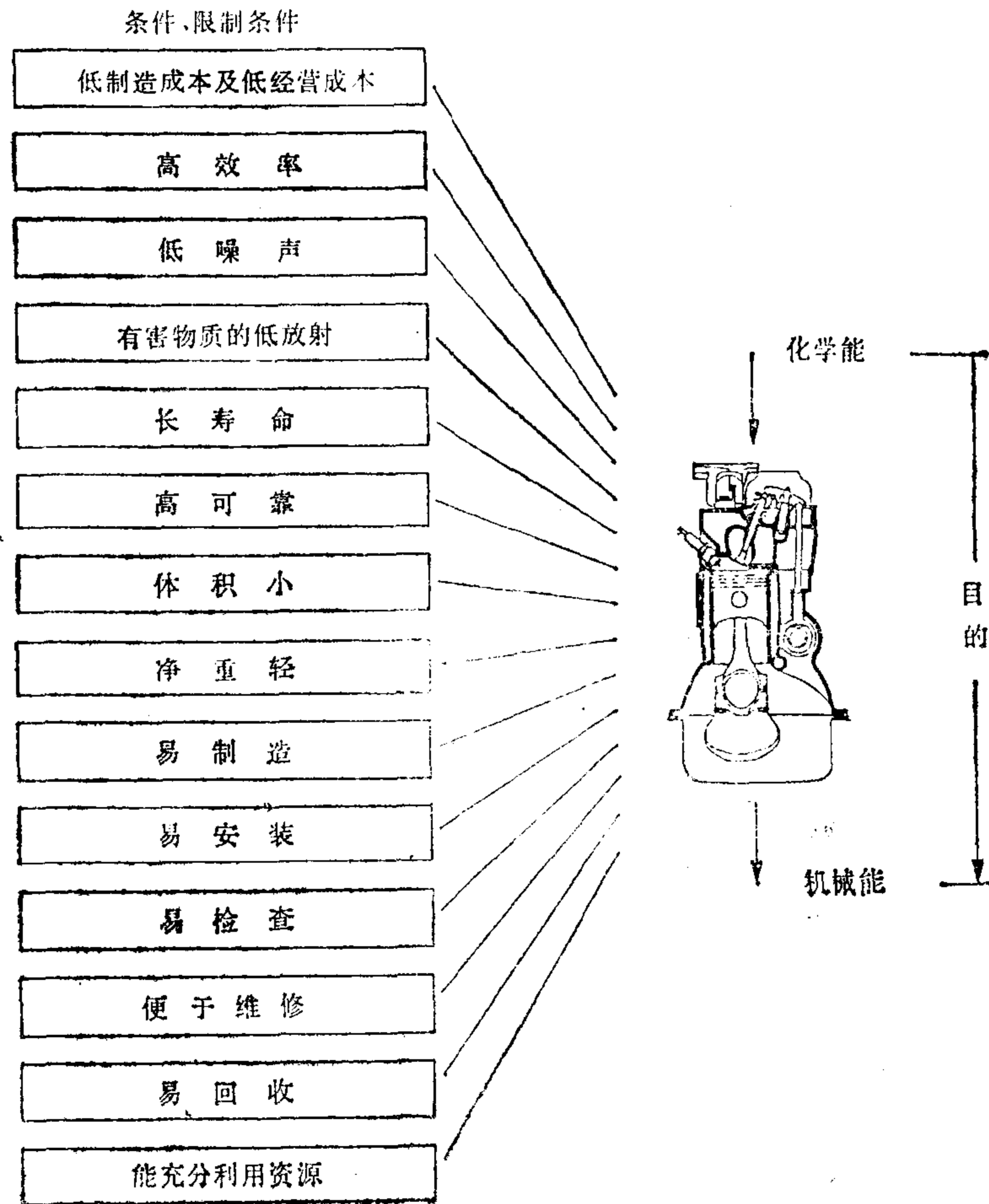
利用前面几段中介绍的设计规则可以阐明某个技术功能全部现有的解。假如设计师利用这些设计规则工作,而不考虑限制条件,那么他就能给要实现的大多数功能提供极大数量的解的方案,然后还要按照一定的准则对这些解的方案的实际性及其效益进行研究。一般说来,选择过程在某种情况下只保留最佳解,而必须摒弃其它所有的解。事实上,设计师在思考过程中已经摒弃了许多解,而且起初根本就不去描述它们,因为这些解不能满足“可加工”、“成本低”等标准。也就是说,在设计师的头脑中,除了综合过程外还有一个正在不断进行的“选择过程”。简单的选择过程在思考过程中已经进行了。复杂的选择过程要在图纸上进行讨论。有些选择准则是起主导作用的,以致常把这些准则误认为是设

计规律;而实际上它们是限制解的条件。由这些限制条件可以引出设计的、特别是构形的技术准则(参见第13.2节)。图13.1.1示范性地给出了几个重要的限制条件。限制条件限制了了解的多样性,而且很可能只局限于唯一的一个最佳解。

经验丰富的设计师和缺乏经验的设计师的解的主要区别在于:有经验的设计师的解能够满足对某种情况来说是更为重要的限制条件。对设计师来说,这种检查常是很随便的,在他的下意识中已经进行着这些活动。有时设计师会疏忽了用某个重要的准则来检查某个解。如果对于选择这个解或那个解来说它是被忘记的、但却是具有决定意义的检查准则,那么,这就会导致研制工作的失误,直至发现这个错误为止。如果考虑到设计师要注意的检查准则的数量很多,而且大多数是没有记录下来的,那么这类失误就是难以避免的。产品研制的成功与失败在于评价及重视重要的限制条件。

要研制(开发)的工业产品不能脱离产品产生的“环境”及规定使用的“环境”来讨论。加工场所、市场以及许多其它的“环境”对工业产品都有影响。设计师的“设计艺术”主要在于认识并适当考虑在某种情况下的全部主要限制条件。为了掌握对工业产品提出的尽可能多的限制条件,由可能的影响范围推断各种限制条件将是有益的。

技术系统的设计都受到哪些方面的影响? 市场(工业产品就是为它而提供的)是主要



13.1.1 研制工业产品的限制条件(摘录)

的影响。产品的结构随着产品是为欧洲、美洲、还是为发展中国家的市场而提供的有所区别。市场对技术系统的(开发)研制有两种影响：一方面是满足条件,以便产品“被市场接受”;另一方面,产品的结构在很大程度上取决于配件供应公司为研究人员提供的原材料、半成品、机械零件等,也就是说,这方面的“市场供应”或市场的基本设施(如街道、铁路、机场等)对要研制的产品有很大影响。

因为工业产品一般不是自成系统的,而总是与其它技术系统或生物系统协同工作,所以,从由此得到的系统的属性中产生了要研制的系统必须满足的另外一些条件。

每一个技术系统必须在某种环境中(无论在地球上、还是在宇宙中)实现其功能。由于环境对技术系统可能有干扰作用,所以,如果系统对环境不敏感,那么技术系统还必须满足另外一些条件。与此相反,技术系统也能干扰或损害环境,这同样应该避免,而且这对要研制的技术系统又提出了一些条件。

最后,技术系统也可能自身干扰,这是由于次要效应(副效应)或干扰效应受到原来所希望的效应的“激励”而产生的。共振现象、内阻、内耗就是这种不希望的内在(固有)干扰的实例,它们不可避免地会对产品的研制产生反作用。

此外,为技术系统选择的或技术系统需要的制造方法和运输方法对系统的研制也提出了条件。有时,要研制的技术系统反过来也影响制造方法和运输方法,或者个别时候也会产生新的制造方法或运输方法。

法律、准则和推荐标准同样也影响技术系统的研制。这应该相应地综合为另一个影响方面。此外,新的技术系统也可以使法律和准则成为必需的。

最后,在技术系统的研制过程中会有一系列只凭设计师的直觉作出的决定,因为他们

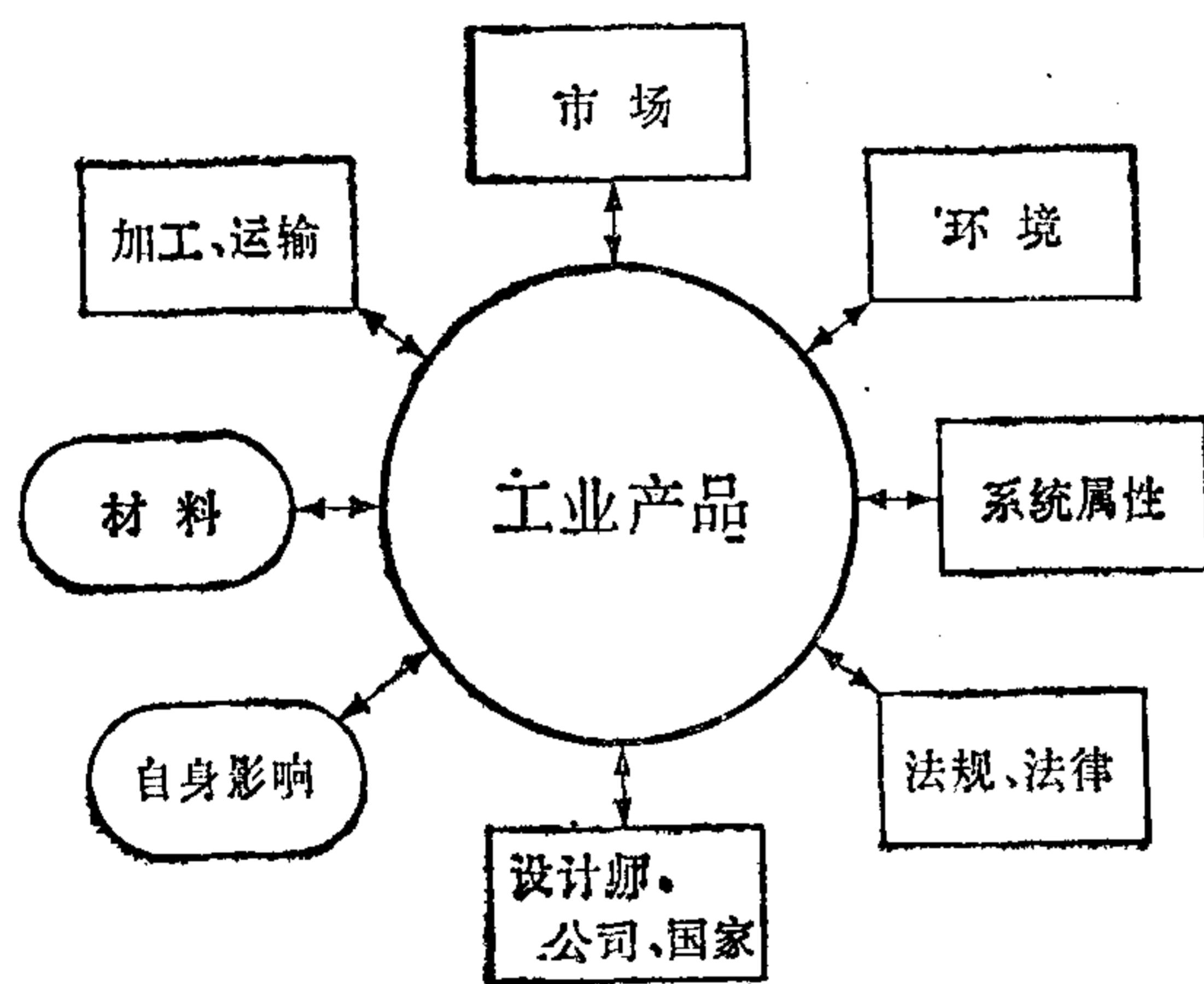


图13.1.2 技术限制条件的来源

还不知道或不清楚合理的决策准则。这指的是那些设计参量值,即规定这些参量值时,不仅有一个,而是有几个相同值的解,而且看不出支持这个解或那个解的明确的原因。因为这时要听凭设计师作出决定。所以,一项设计工作表达了一位设计师、一个部门、一个公司或一个国家的“风格”。例如,一种产品的“细微差别”使某个人、某个公司或某个国家的产品各具特色。图13.1.2再次概况地示出了所有这些影响。

研制技术系统的限制条件

由上述各方面的影响产生了研制工业产品的大量限制条件。下面将尽可能全面地描述这些限制条件(不受具体情况的影响)。条件分类一览表适用于各种机器、仪器和设备。在具体情况下,应从其中选出重要的条件,如果可能,还要补充专门的条件。

市场条件

研制工业产品的许多重要条件来自市场的需求以及市场的竞争形势,特别是技术系统设计任务书(设计责任书、说明书)方面的资料,绝大部分是由市场的实际情况得到的。

由市场得到的条件主要是那些对于产品的用户和产品的研制者来说都十分重要的条件。例如,机器、仪器和设备的这些条件或资料有:

- 功率,
- 速度、转数、频率或单位时间的工作行程、起动时间,
- 力、压力和转矩,
- 位移、行程,
- 效率,
- 单位时间的能量、信号和物料的通过能力,
- 精度、测量精度和重复生产的可能性,
- 重量、质量,
- 结构参数、尺寸,
- 发射、噪声和环境的载荷,
- 可靠性、实用性,
- 寿命,
- 安全性,
- 维护条件(维护方法、维护距离、维护周期和维护地点),
- 使用范围、通用性,
- 自动化程度、舒适和便于操作,
- 特殊结构,
- 结构系列,
- 结构类型(模块式组合系统(模块式结构方式)、集成式结构方式),
- 件数,
- 外观设计,
- 制造费用和经营费用、价格,
- 时间、期限。

系统属性

技术系统一般不是封闭的,它必须与其它系统一起工作。因此,每个技术系统一般都有一个能量流、物流和信号流的输入口和输出口。通常,两个系统的过渡部位称为接口。实际上,接口可以是两个机器或机器部件之间的凸缘联接,电器仪器上的插接件或是材料加工设备的送料设备(分流旋塞——小轿车上的油箱开口)。还可进一步分为技术系统之间的接口和技术系统与生物系统(生物)之间的接口。人类工程条件是人和机器之间的接口条件。

由于一个技术系统必须与另一个技术系统或生物系统共同工作,所以便出现了一些条件,下面称这些条件为“接口条件”。例如机器、仪器和设备的接口条件有:

- 用于能量、物料或信号联接的凸缘、插头、联轴器和漏斗的某种几何结构、数据、构形数据和尺寸数据;
- 用于测量能量流或信号流以及物料通过能力的功率数据,如转矩、转数、电流强度、电压、频率等;
- 人类工程学资料。

如果研制时忽略这些条件,便会造成可观的经济损失。

环境条件

由于技术系统是在环境系统中运转的,所以一方面系统对环境有作用;另一方面,环境对系统也有作用。要研制的系统必须承受得了这些作用,而且对环境的干扰又不敏感;另一方面,技术系统也不能干扰或损坏环境。这样可以分为环境对技术系统的干扰和技术系统对环境的干扰。此外,看来最好按照干扰类型即物理干扰、化学干扰或生物干扰以及干扰原因分类。

环境对技术系统的干扰

环境对技术系统的物理干扰原因可以是:

- 冷凝水、海水、洪水、雨水和空气湿度;
- 灰尘和污物的沉积;
- 雪和冰;
- 火、暴风雨、雷击、冰雹;
- 气压;
- 地震;
- 辐射、光、热、冷和源辐射;
- 静电充电。

化学干扰原因为:

- 化学损坏,如由于周围的空气、空气湿度、蒸汽或空气中存在的有害物质的腐蚀、氧化物层的形成和局部电池的形成。

生物干扰原因有:

- 植物分泌物,如花粉、分泌液、树叶、生长,
- 生物,如细菌、白蚁、昆虫等,
- 人的错误行为。

技术系统对环境的干扰

技术系统在运转时,以及即使在停止运转后都可能损害环境。这些损害或干扰能够对人、兽和植物形成具体危险或者导致对其它技术系统、货物和工艺品的损害。研制工作的任务还有减轻或完全避免这种危险。

技术系统对环境的物理干扰原因可以是:

- 噪声,
- 辐射、光、热、无线电波和源辐射,
- 技术系统造成的机械性损伤,如爆炸、碎裂、剪切、压碎、夹、振动、震动、冲撞和打击(DIN 31000和31001)。

技术系统在运转时和停止运转后的化学干扰原因可以是附带产生的有害的扩散物质,如煤气、流体、放射性物质或其它物质。技术系统对环境的干扰也能通过排放无害物质形成。例如,燃烧过程中排出的氧气或在建筑工程中排放地下水等。

加工方法和运转

除了实现系统的功能和制造系统的材料外,不同的加工方法和装配方法对技术系统的形成也有很大影响。图13.1.3以一个简单的例子说明了加工方法对相同结构的杠杆构

形的影响。一个零件的构形要看该零件是通过什么方法制造的,如:

- 铸造,
- 锻造,
- 冲压,
- 挤压,
- 压铸,
- 深度拉伸,
- 磁成形,
- 剪切,
- 焊接,
- 超声焊接,
- 吹炼,
- 爆炸成形,
- 挤压成形,
- 烧结,
- 切削,
- 超声钻孔,
- 电腐蚀,
- 电化学腐蚀,
- 综合制造方法。

零件的其它加工方法对构形也有影响,例如:

- 电镀,
- 硬化,
- 其它再处理,特别是磨削。

除了零件的加工方法外,影响零件构形的因素还有零件的

- 装配方法,
- 检验方法,
- 操作方法。

特别是这些方法是怎样实现的,是

- 手动,
- 部分自动化,还是
- 全自动化。

第13.2节给出了与几种加工方法相应的构形准则。

因为工业产品制成后一般要运到使用地点,即运给用户。由于需要运输,所以对技术系统还有一些要求,这在研制时就应该考虑到。因运输方法和由运输方法而产生的

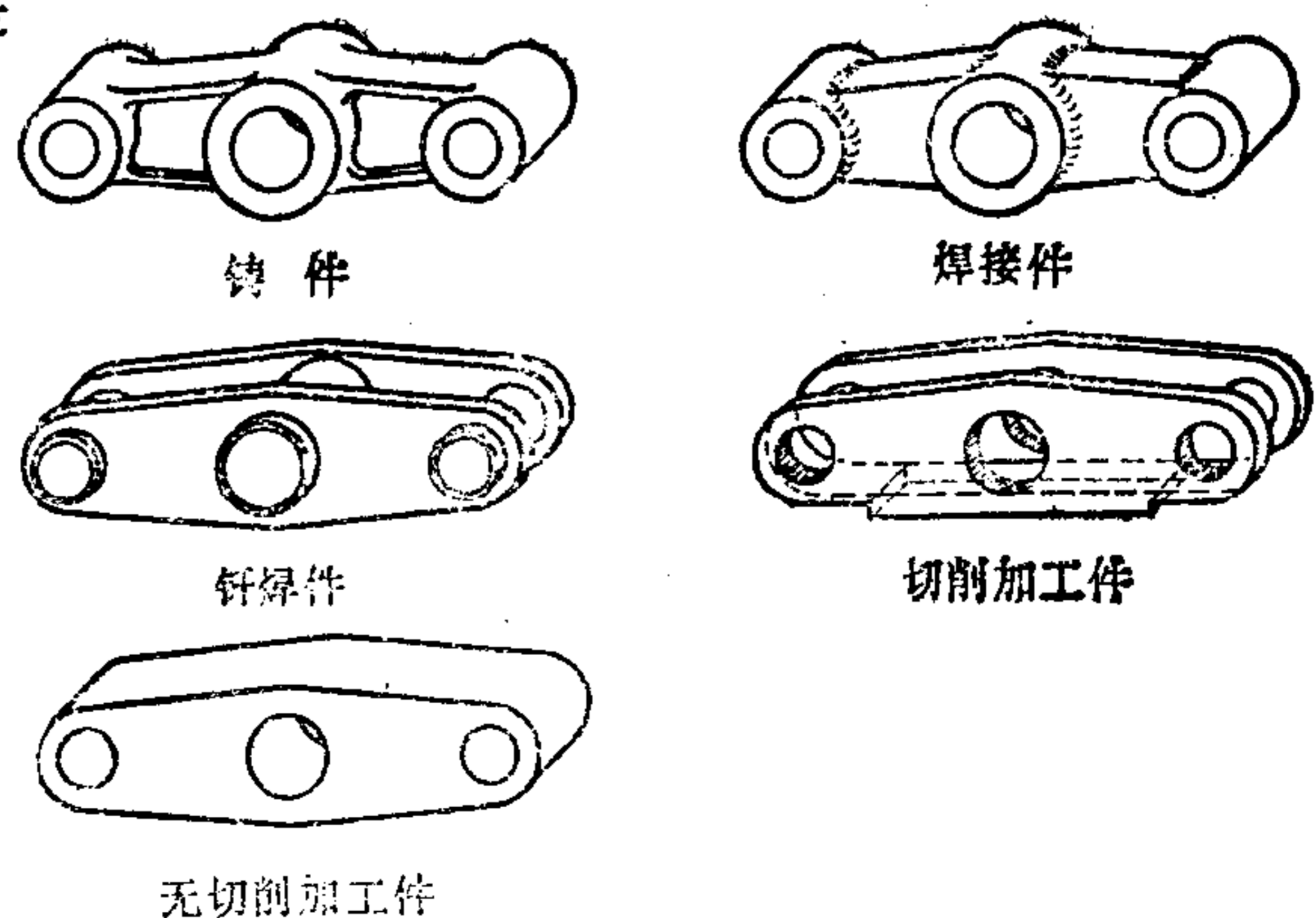


图13.1.3 加工方法对零件构形的影响

运输费用,从而必须限制要运输的系统的尺寸和重量。应该考虑到产品要通过铁路、载重汽车或轮船,驶过隧道、立交桥,穿行门洞或桥梁。此外,在运输过程中由于如下的原因,技术系统会出现工作时通常不会有的负荷,如

- 位置变化,
- 震动或冲击,
- 气候变化,
- 其它情况。

自身影响,自身干扰

不仅外界的影响可以使技术系统的功能受到干扰,自身的内部原因也可以使其良好的工作受到阻碍。众所周知的技术系统的物理干扰原因可以是:

- 摩擦,
- 公差和尺寸误差,
- 磨损,
- 固有振动和共振,
- 材料疲劳,
- 老化(塑料),
- 自热、热膨胀和热传导,
- 固有电阻、固有电感和固有电容,
- 自充电,
- 固有噪声,
- 净重和固有质量,
- 固有体积,
- 固有电压和容许电压,
- 松弛,
- 液体和其它物质的吸收。

引起自分解的化学干扰原因可以是:

- 局部电池的形成,
- 腐蚀性的润滑材料或废气,
- 其它的内部化学过程。

法律和法规

法律、法规、保险规章、标准和推荐标准同样可以对研制的技术系统有重要的影响。在研制新的工业产品时,必须了解而且必要时必须考虑已有的或将要有的法律和法规。现将立法机构和其它国家机关的限制条件举例如下:

- 机器和汽车的最大允许的噪声值和废气放出值,
- 对汽缸工作容积的征税,
- 对技术系统的尺寸限制和重量限制,
- 安全规程和事故法规,
- 收费规定,
- 建筑规范,

——标准、规范和其它规程。

一般来说,限制条件影响了技术问题的研制和解决,并增加了研制工作的难度。实际上,研制时还得考虑许多经常要求采取相反措施的限制条件。“设计的艺术”尤其在于找到符合各种限制条件的适宜的措施,正确评价各种限制条件的重要性,并且通过采取的措施的“剂量”,产生一个与限制条件的重要程度相当的最佳的折中解。例如,低成本地制造一种产品靠的是大的公差;但是若考虑到精确地实现功能、高可靠和长寿命,却与此相反,要求尽可能小的公差。

对每一个限制条件,一般都有一种或几种措施。这些措施经常错误地被当作“设计规律”来制订,并作为推荐标准来阐述。但因为这些“规律”实际上无助于找到所有理论上可以想到的解,反而限制了了解的多样性,所以,不应该把它们叫做规律,而应当叫做设计准则或设计建议。之所以叫做设计建议,是因为可以考虑这些建议,但并不是在任何情况下都必须考虑。这些设计准则或建议是很多的,而且这方面的文献也很多(例如关于适合铸造和焊接的设计,耐腐蚀和适合加工的设计)^[16,111,124]。对于一部分不同的影响范围和条件很难找到通用的补救措施或准则。因此,最好是由不同的制造方法所提出的条件为依据来确定相应的措施或准则,因为这些条件是非常熟悉的,而且不会变化或者很长时间以后才会变化。与此相反,为市场条件提出普遍适用的设计措施就难多了。因为市场条件变化较快,而且大多是针对专门产品的。且由于范围太广,因而在这里不可能阐述对这些条件的全部补救措施。因此,我们只能对很少几个重要的限制条件进行深入的讨论。

13.2 构形准则

第12章介绍的构形规律原则上适用于设计零件或部件的任何一种构形。但是,实际上人们并不需要任意构形的零件,而需要可以用来完成某种任务的(最佳的)零件。这个条件首先是技术任务的函数或是该零件的目的的函数;其次是制造零件所需的材料的函数,也是加工工艺与装配工艺的结果。此外,可能还有系统属性、环境、避免固有干扰、外观(设计)、标准、法律等条件。首先,一个零件就是由这个零件实现的技术任务的结果,而且也是制造和装配零件所必须的加工工艺和装配工艺的结果。实际上,除上述条件外,还有经济方面的限制条件。如果一个零件足以完成某种任务(目的)并且能以最低的材料费用、加工费用、装配费用、运输费用和经营费用制造、运输和工作,那么这个零件就是最佳零件。因此,适于完成任务的设计或者说适合功能、加工和装配的设计就是确定某工业产品的构形数据和材料数据。从而使该工业产品足以实现其技术任务并能以最低的费用来制造。零件的任务或用途决定了该零件使用某种材料(效应载体)。一个零件(或一个部件)的任务(用途或功能)也已经规定了大部分零件的构形参量。零件的其它构形参量与制造零件的材料、加工和装配方法、其系统属性、环境条件、避免固有干扰的条件、运输、外观、规定(法律)以及其它条件等有关。归纳起来可以认为:

零件构形的函数是:

- 目的,
- 材料,
- 制造和装配工艺,

- 系统属性,
- 环境,
- 固有干扰的趋势,
- 已有的规定(法律),
- 外观(设计)条件,
- 允许的费用等条件。

- 在“正确构形一个零件”的任务中具体还包含着一个符合
- 零件的功能,
 - 功率,
 - 负荷,
 - 寿命以及其它由零件应完成的任务所规定的条件的构形。

符合负荷要求的构形可进一步分为零件的物理负荷和化学负荷、动力负荷和静力负荷等。符合寿命要求的构形是指减少零件疲劳断裂危险、减轻磨损、补偿蠕变和松弛现象的构形准则。根据这种论述便产生了按零件的任务或用途,按材料的类型(如适合塑料的构形)、加工方法、装配方法、系统属性、环境、固有干扰等编排整理的构形准则。图13.2.1中概括地归纳了这些准则,为了容易理解各个总概念,还示范性地列举了几个概念,如适合功率要求的,适合负荷要求的等。所谓总概念指的就是这些概念。除了这些技术方面的要求外,还有尽可能低的制造费用这一经济方面的要求。所有构形准则的出发点都是力求使零件或部件的构形在经历一段所希望的时间(即寿命)后仍有足够的功能并且制造成本要尽可能的低。所有这些“符合于构形”的要求最终都是为了提高工业产品的质量(可靠性和寿命)或者降低制造成本。为了比较两个质量和成本不同的解,应该建立“效益”这个概念,

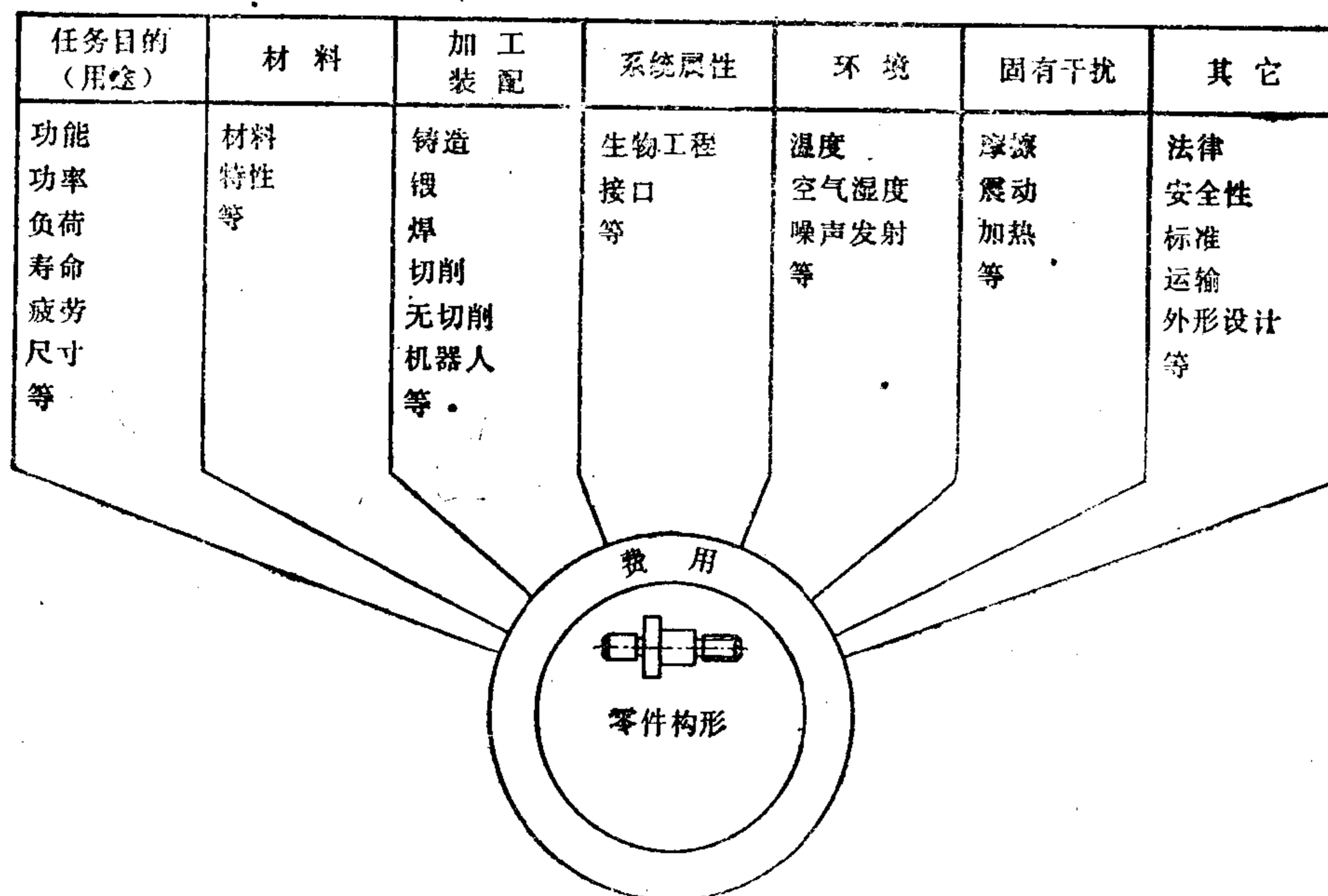


图13.2.1 设计准则的分类

即质量与成本的商。这就是说,当一种工业产品在保持相同的特性和相同的质量的情况下,能降低制造成本,或者在保持相同的制造成本的情况下,能提高质量,那么该工业产品就具有较高的经济效益。

适合加工要求的构形是指考虑到某种加工方法的零件构形,例如适合铸造、焊接或钻孔的构形。图13.1.3示出了加工方法对同一用途的零件构形的影响。

适合加工要求的构形的条件是怎样产生的呢?任何一种加工方法,无论是手工的还是机械的,都有可能不能制造某些构形的零件,或者生产成本很高,或者质量受到影响,而

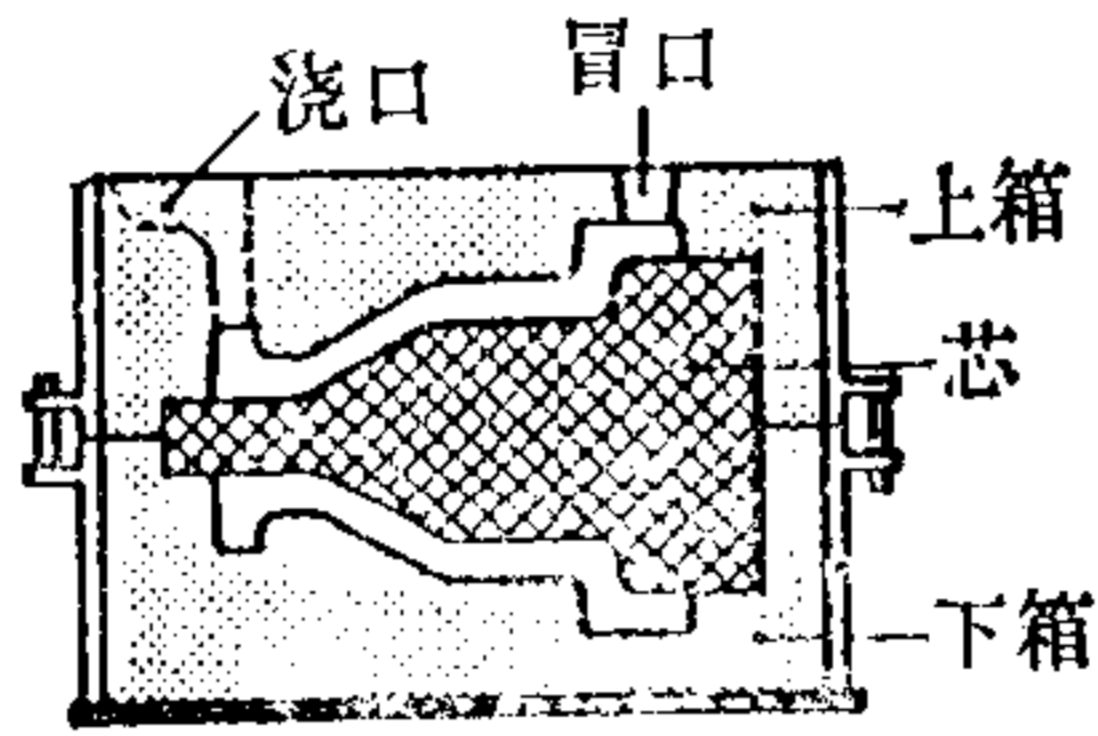
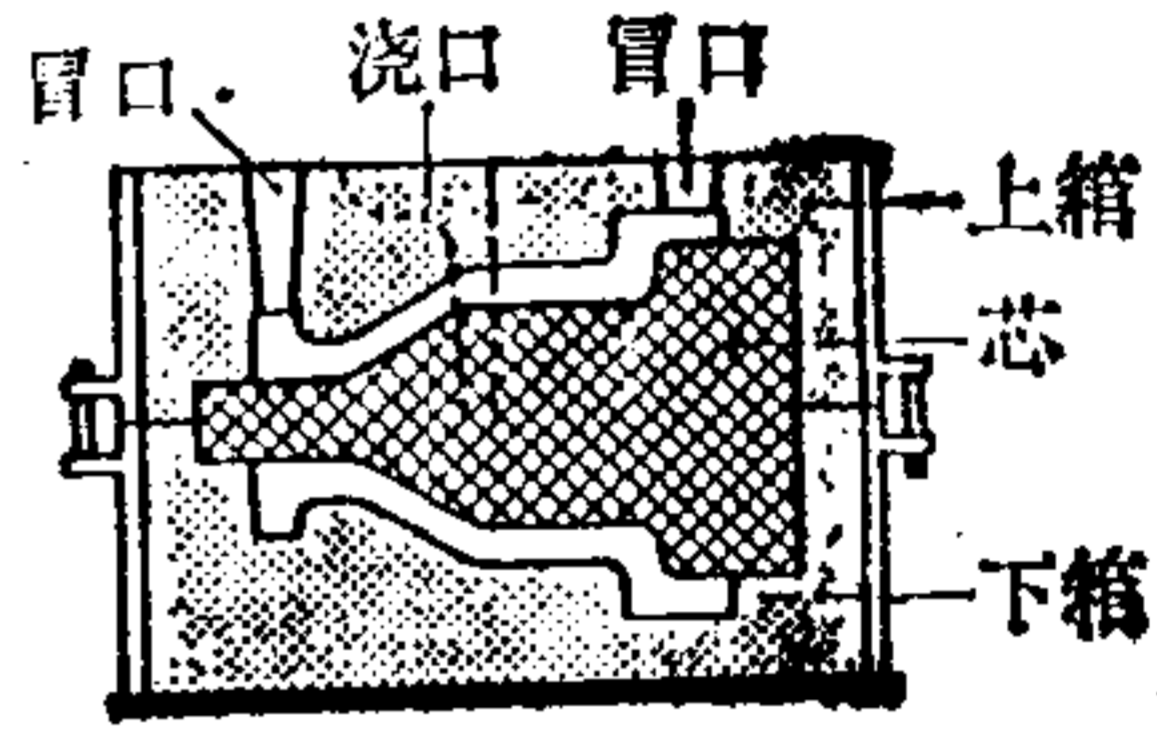
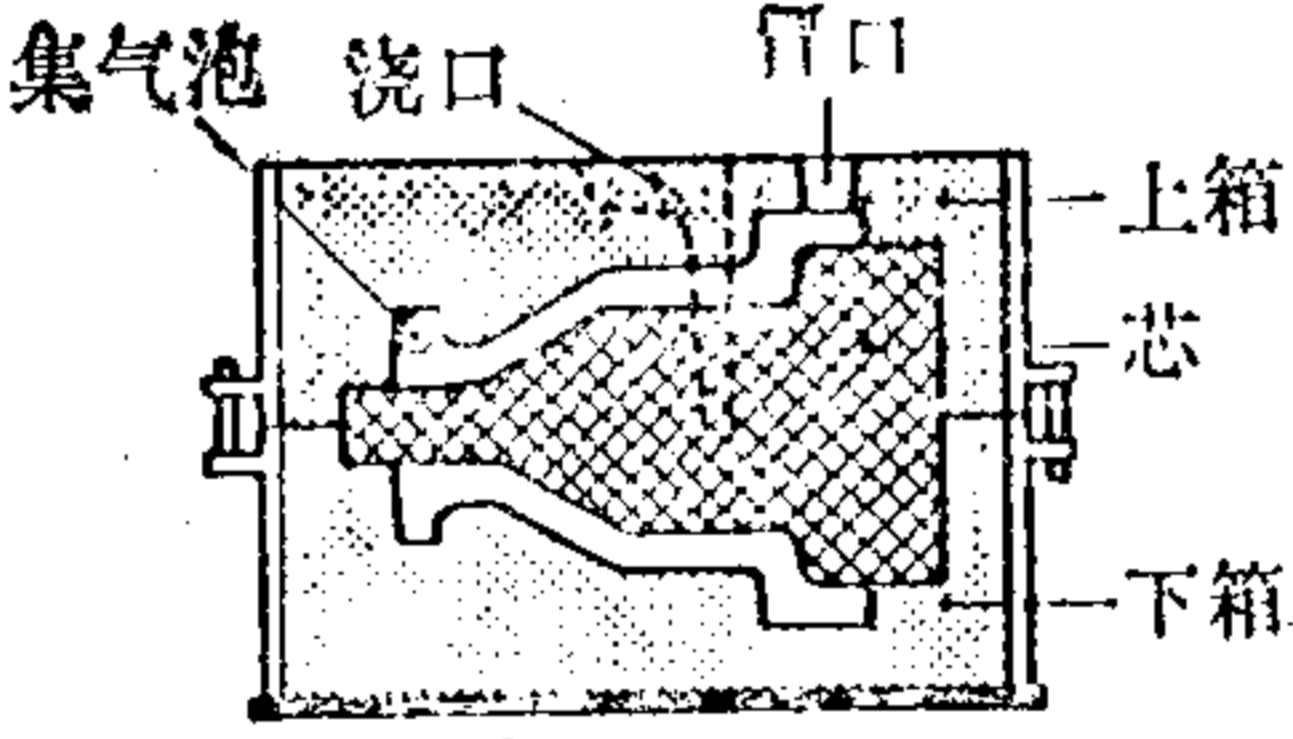
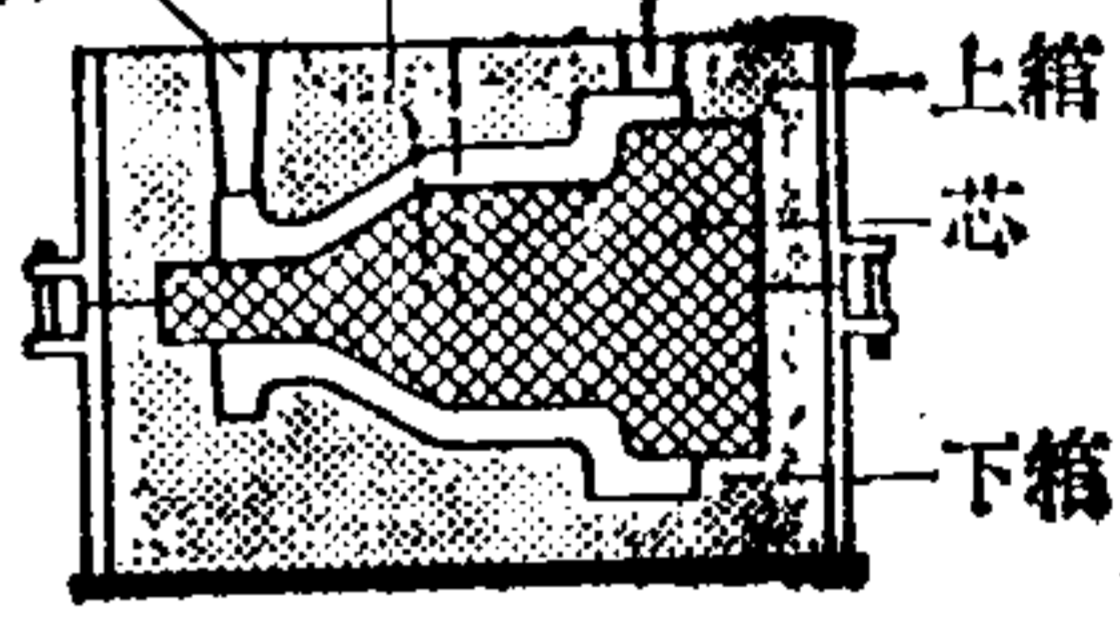
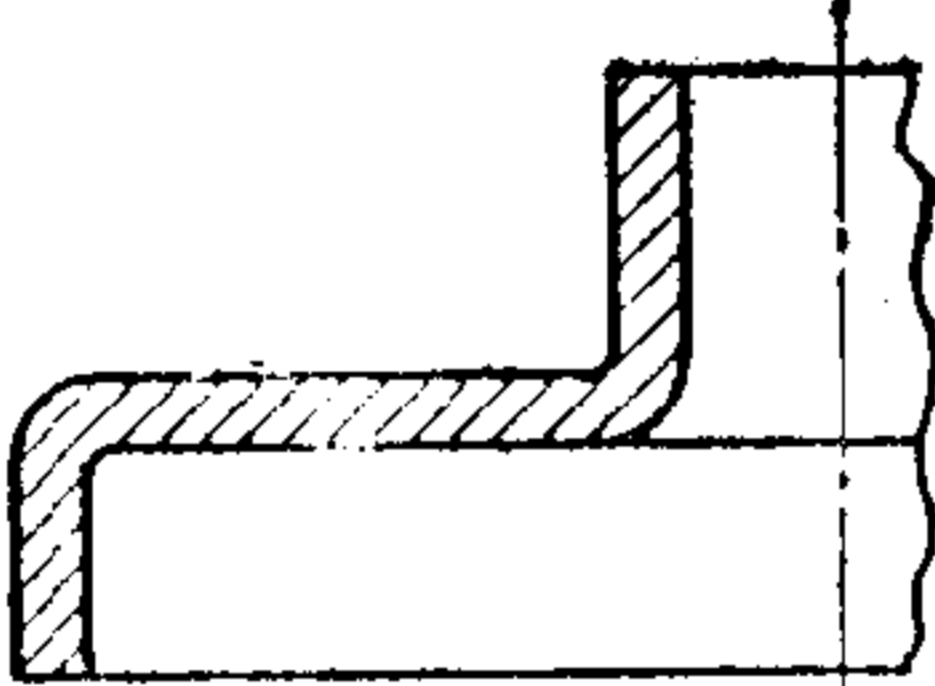
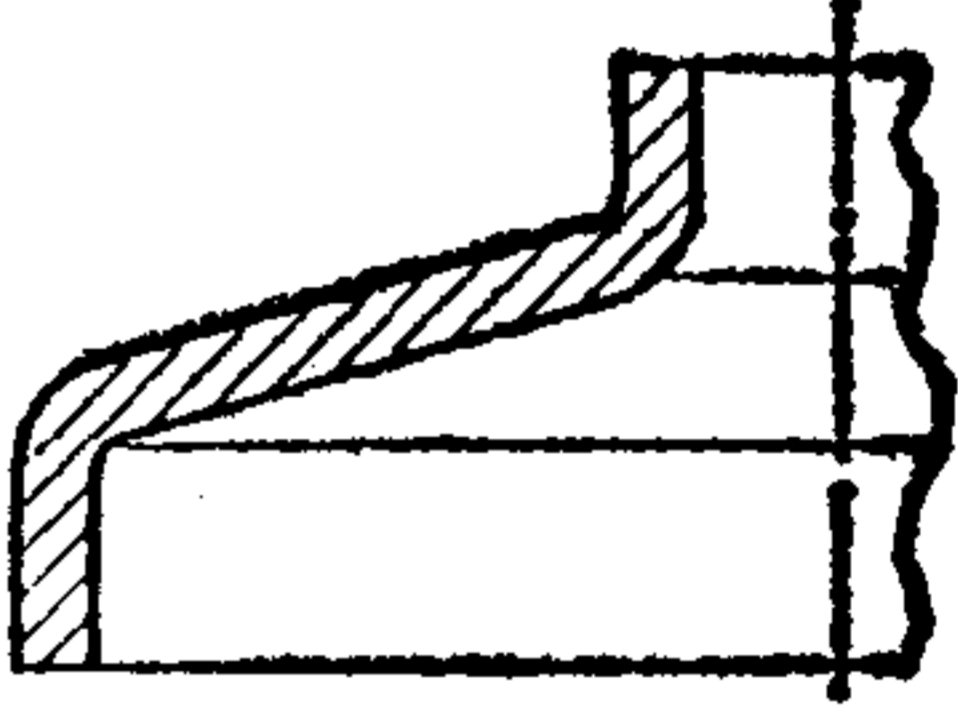
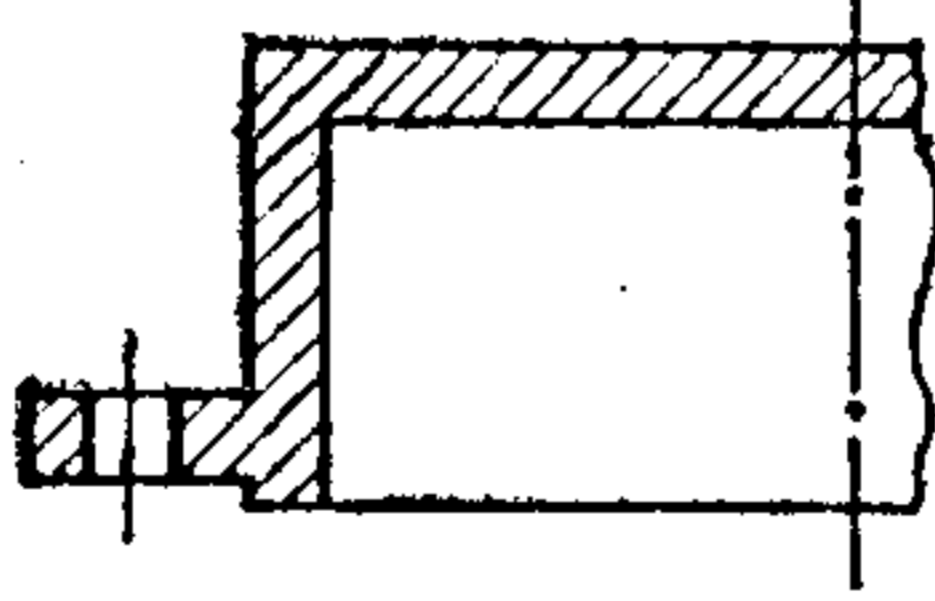
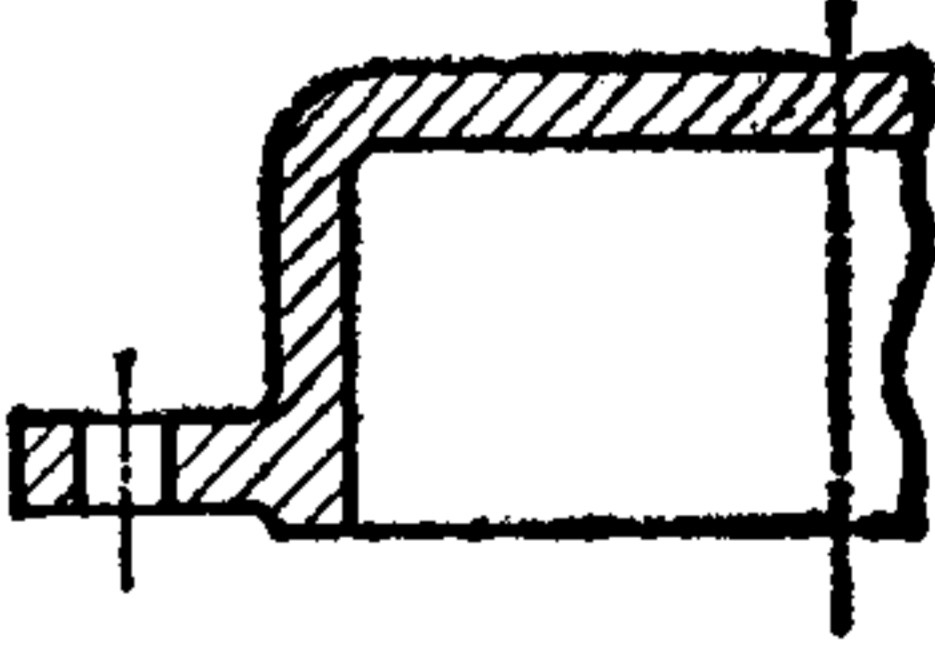
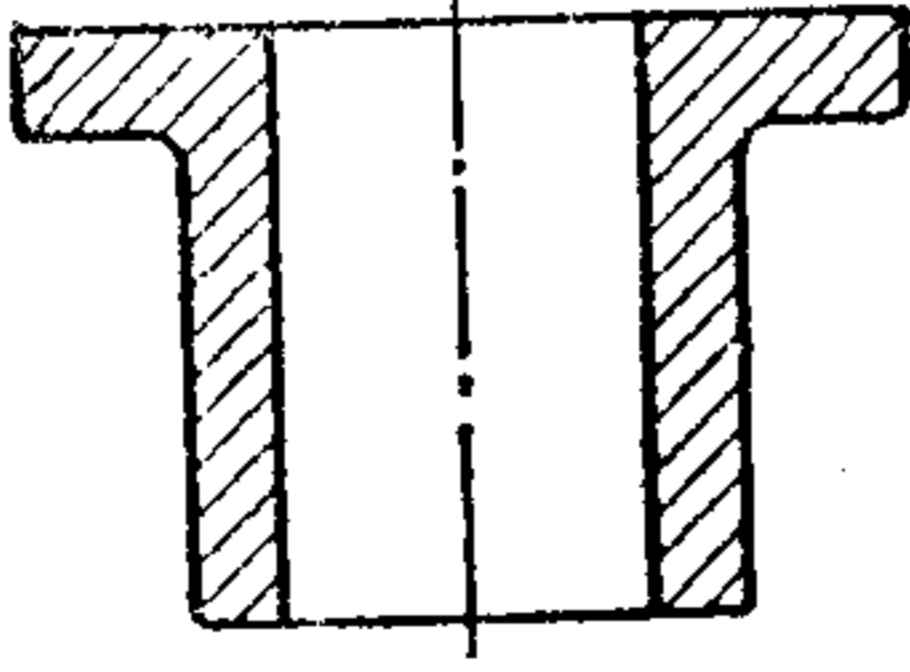
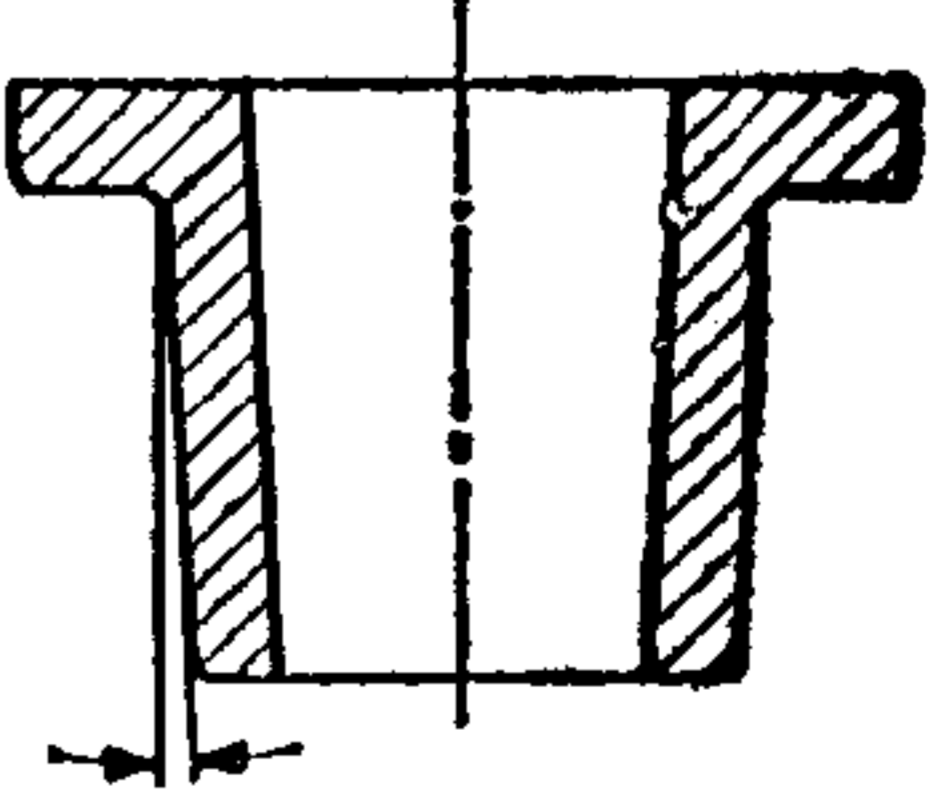
准 则	实 例	
	不 好	好
<p>流动过程</p> <p>1. 设置浇口和冒口;浇口开在工件的大横截面上;避免通往浇口的横截面减小,并在内部考虑足够的横截面</p>		
<p>2. 铸型结构应能使空气通畅地散发出去;避免气泡聚集,注意芯中产生气体</p>		
<p>3. 避免较大的、铸造时水平放置的平面</p>		
<p>4. 尽可能避免铸件的尖棱,而将其设计成圆角(铸造圆面!)</p>		
<p>取 出</p> <p>5. 设置铸造斜度</p>		

图 13.2.2 符合铸造要求的构形准则及实例

对生产其它零件却毫不费力,而且质量很好。因此,对于设计师来说,认识一种加工方法的“优缺点”是很重要的,以便在研制零件时,尽可能回避制造某些构形的零件,而力求制

造其它的零件。

13.2.1 符合铸造要求的构形

一个零件或其它工业产品的任何一种构形方法所要达到的最佳目的,是使零件保持足够高的质量,并且尽可能降低零件的制造成本。通过对构形准则的研究,应该获得一种容易达到这个目标的辅助手段。这对于利用铸造或者利用其它方法制造的零件来说就意味着:

- 利用这种加工方法可以顺利地制造这样构形的零件(质量可靠的构形),或者所构形的零件的废品的百分比尽可能的低;
- 可以用尽可能低的生产成本构形零件。

实际上,这两个目的是密切相关的,而且往往不能分别对待。为了给“什么是没有问题的和可以便宜制造的?”这一问题找到答案,必须深入地讨论该加工方法及其特点,以便认识该方法的“缺点”,并通过适当的构形来弥补这些缺点。铸造方法的分过程中的困难有:

- 制造砂型,特别是从砂型或金属型中取出模型及铸件。为了由(铸)型中完好地取出木型或铸件,首先应在铸件以及铸型上预先设计出斜度。
- 热金属或塑料在铸型中流动。为了使流体适宜流动和保护铸型,应避免铸型上出现尖锐的环流边棱并设置铸造圆角。此外,在铸型的适当位置应有出气口,避免夹杂气体等。
- 工件的冷却与收缩。为使铸件均匀地、尽可能无内应力地冷却和收缩,应相应地力求设计成厚度均匀的壁厚和断面;避免薄厚断面的急剧过渡,而以逐渐的过渡代之。
- 为了使整个生产成本降低到最小,还应考虑铸造过程之后的加工过程或装配过程。例如,可以预先铸孔,为了以后钻孔,在铸造时应使铸件的钻头的钻入面和钻出面垂直于钻头的轴线,以防止钻入时钻头跑偏或钻出时钻头折断。

这几个例子足以证明,符合加工要求的构形准则来自那些加工方法的特性。为了获得良好的工件质量并降低生产成本,由加工方法的各个过程及其特性得到的构形准则(不要求很完整)是:

流动过程

- 1) 在铸型中,工件断面较大的部位有浇口,这样浇入的流动的金属就不会破坏铸型本身(参见图13.2.2第1行¹⁾)。
- 2) 铸型上应有气孔,这样空气就能畅通无阻地从铸型散发出去。铸型上还要有加料口,以便冷却时,材料在堆积较多的地方从加料口流出,见图13.2.2第2行。
- 3) 由于有形成气泡的危险,所以应避免较大的、在铸造时呈水平方向的平面(参见图13.2.2第3行)。
- 4) 由于环流时有“冲洗”的危险以及以后可能出现的不利的强度特性,应当避免铸件有尖棱;应把尖棱尽可能做成圆角(见图13.2.2第4行)。

从砂型中取出模型或从铸型中取出工件

- 5) 为了毫无问题地、无损坏地从砂型中取出模型或者从金属铸型中取出工件,铸件

1) 构形准则(图13.2.2到13.2.9和图13.2.14至13.2.20)中的各图形是由文献[16, 86, 111, 122, 124, 129]综合而成。

的表面不应做成平行的,而应做成楔形的(锥形的)结构——要有铸造斜度(见图 13.2.2 第 5 行)。

冷却过程和收缩过程

6) 为了避免热应力和裂缝,应避免铸件中出现材料的聚集,壁厚应尽可能均匀(见图 13.2.3 第 1 行)。

7) 避免壁厚的急剧变化。壁厚尽可能逐渐变化(见图 13.2.3 第 2 行)。

8) 为了避免薄壁铸件边缘的不均匀冷却,薄壁铸件应该有加强边缘(见图 13.2.3 第 3 行)。

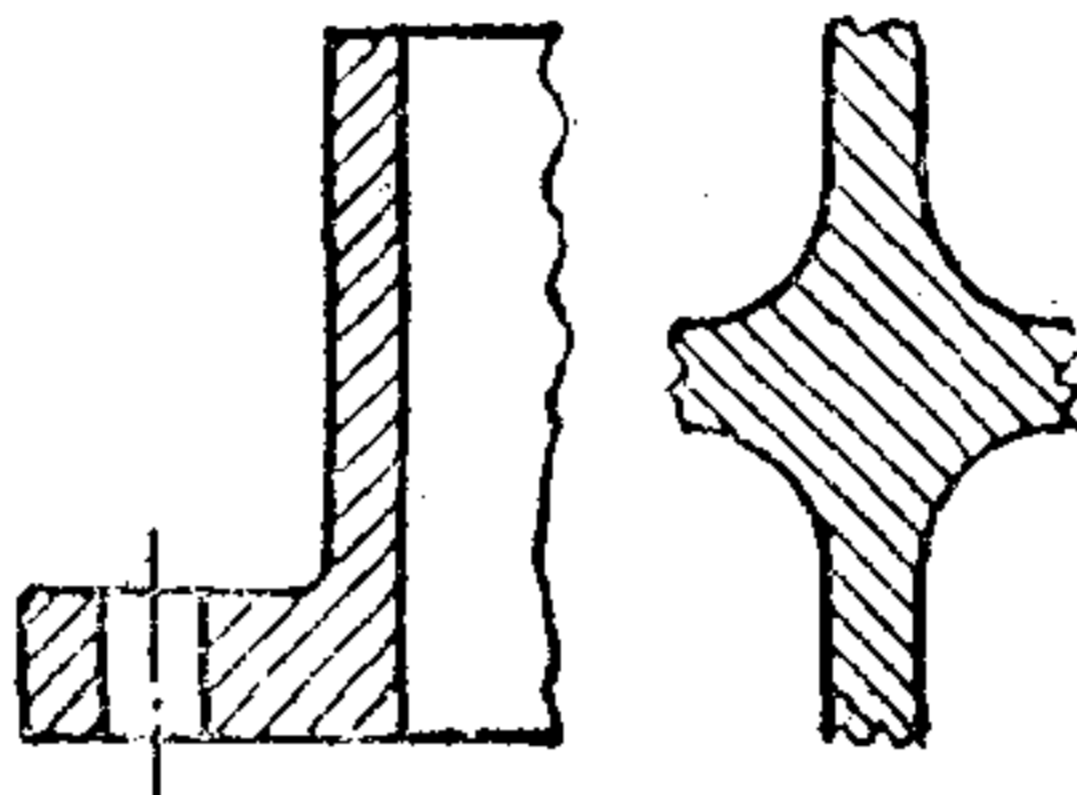
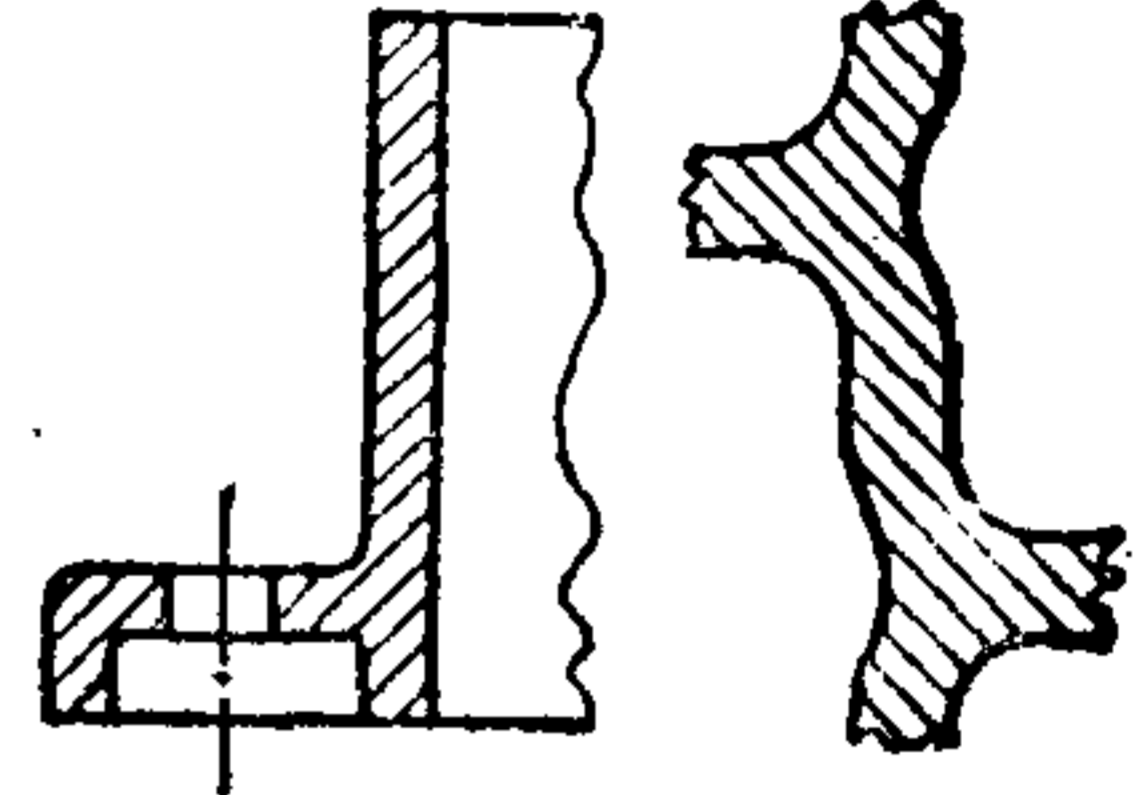
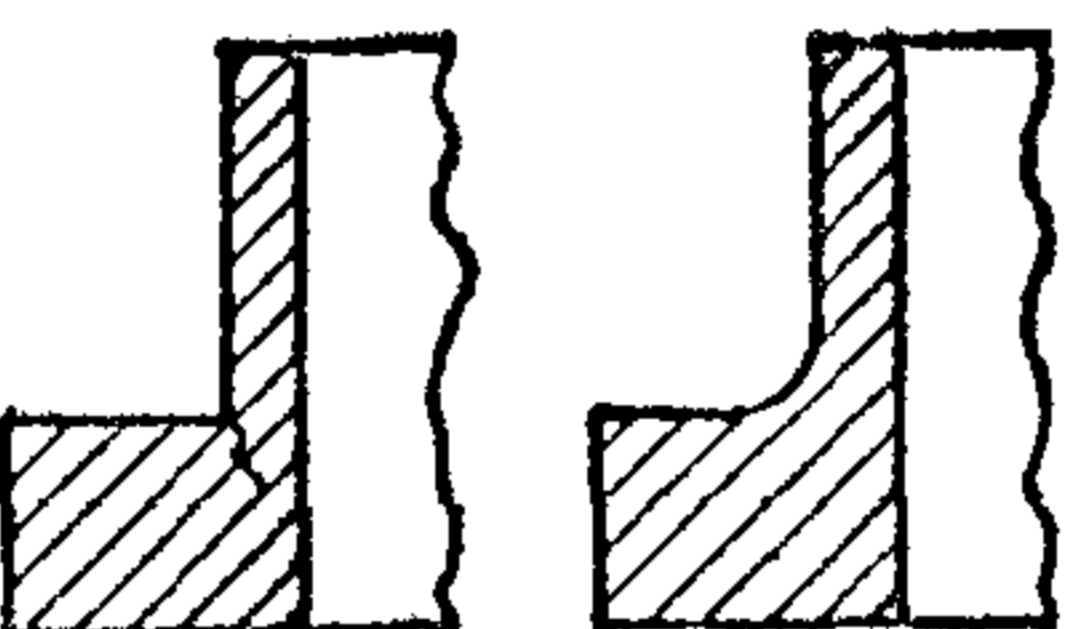
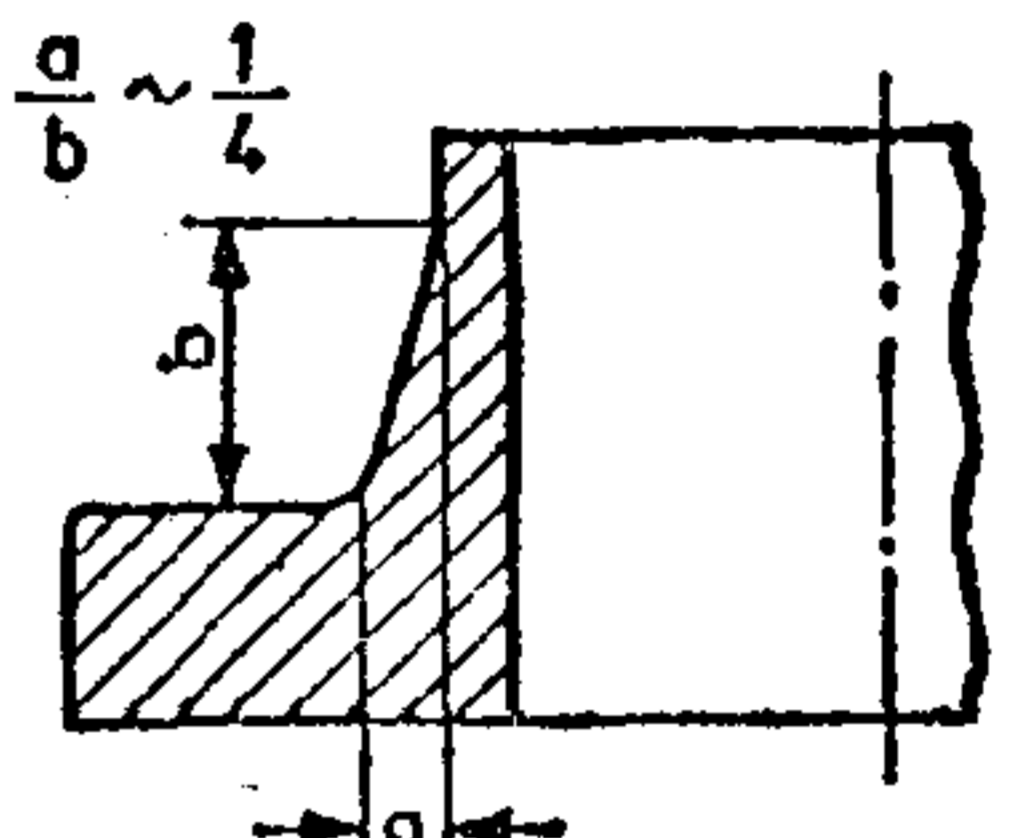

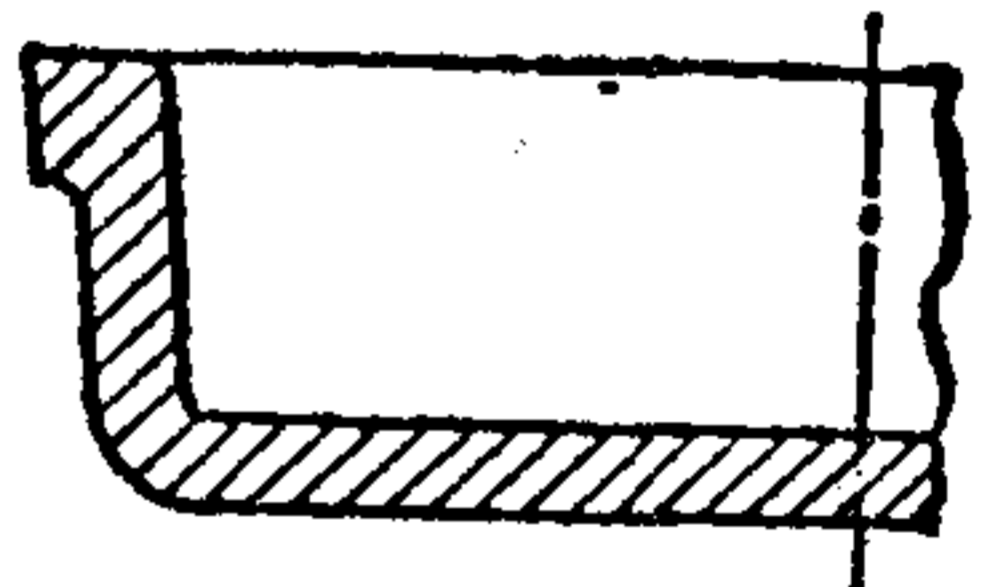
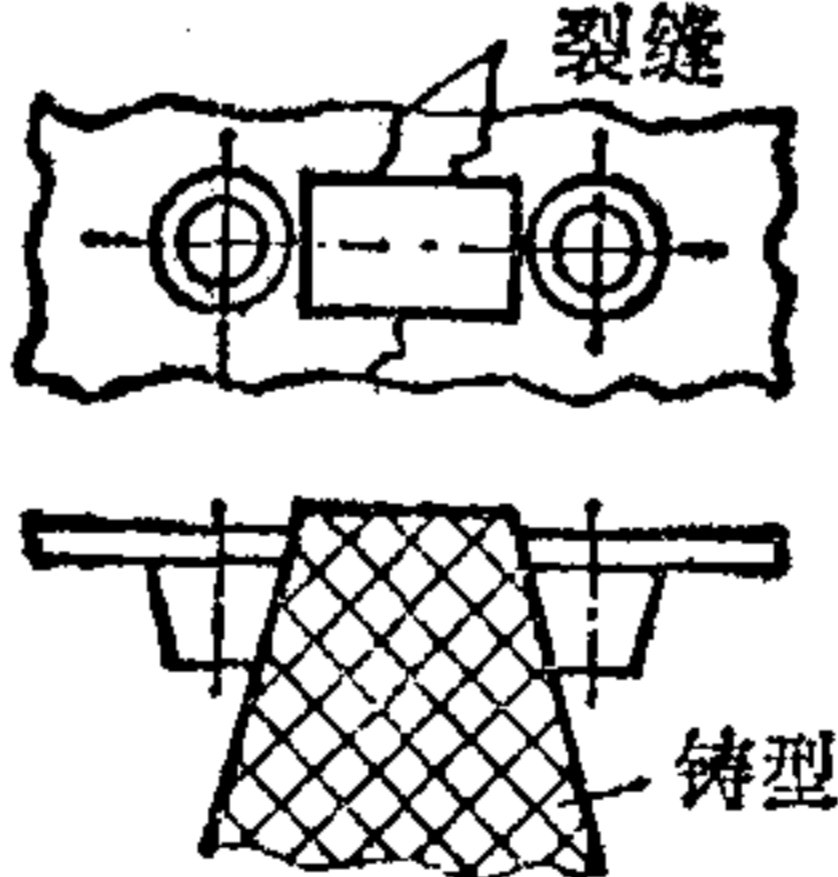
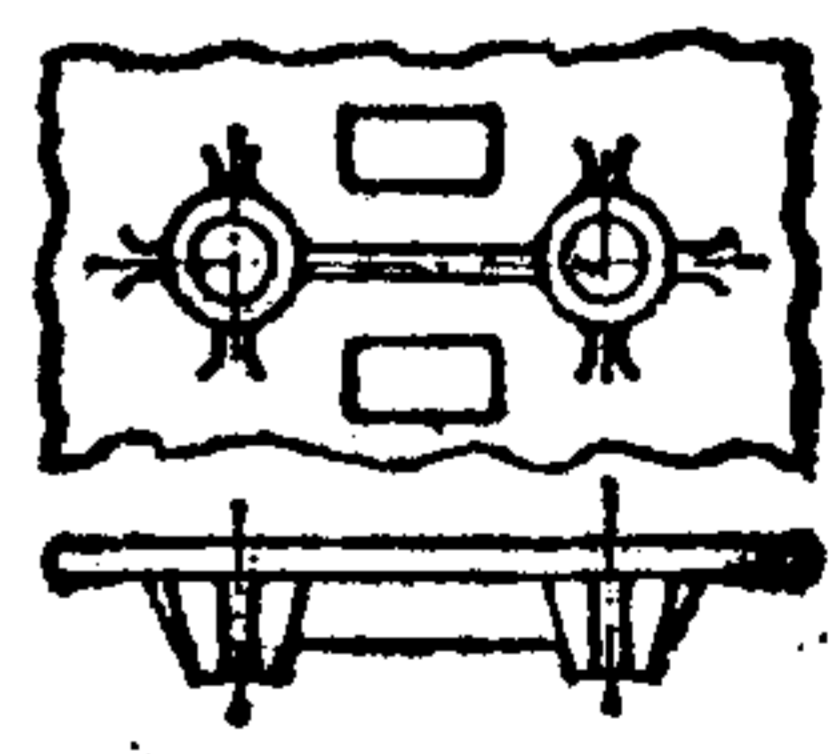
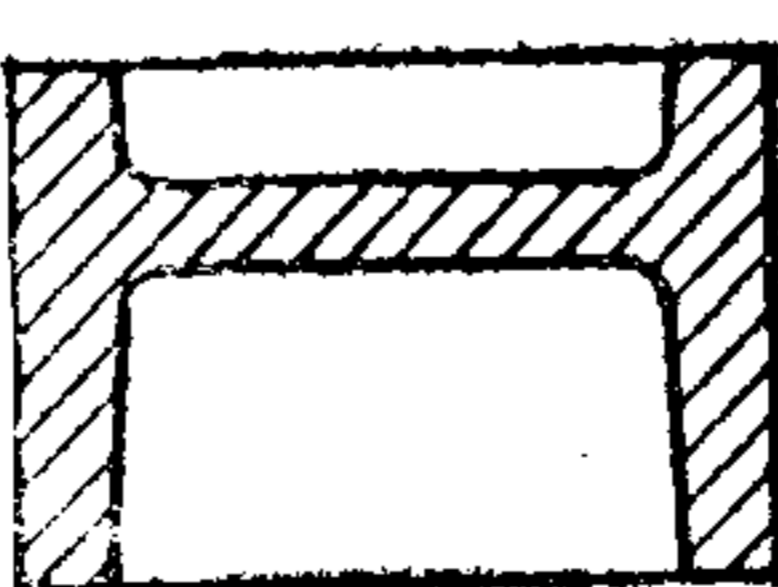
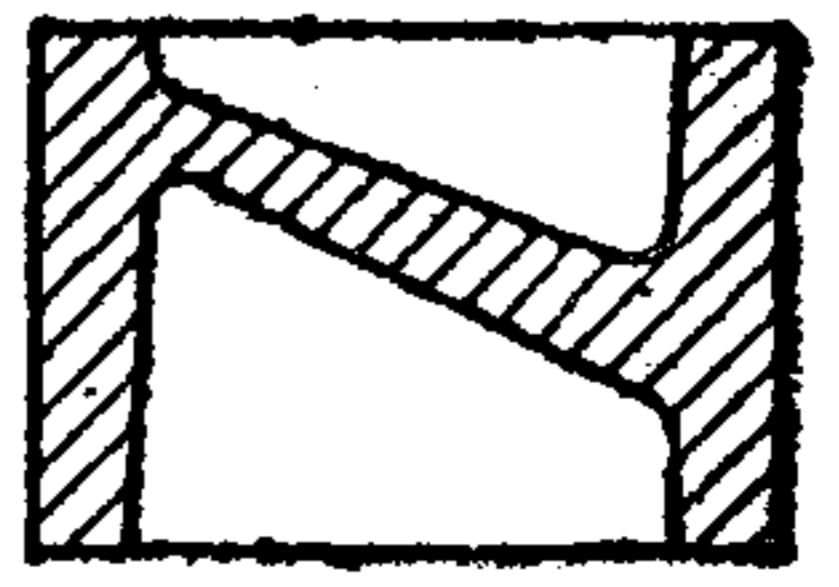
准 则	实 例	
	不 好	好
冷却-收缩 1.壁厚尽可能均匀,避免材料聚集		
2.壁厚不应急剧变化,如果需要,应逐渐过渡		
3.加强薄壁铸件的边缘(边缘冷却不均匀)		
4.加强妨碍收缩的构形区		
5.通过柔性几何形状减轻收缩应力		

图 13.2.3 符合铸造要求的准则及实例

9) 尽量避免妨碍收缩的区域,如果不能避免,应尽可能加强收缩区域,以便避免裂缝或断裂(见图13.2.3第4行)。

10) 通过构形柔性中间区来减轻工件两部分间的可能的收缩应力(见图13.2.3第5行)。

模型和铸型结构简单,质量可靠

11) 几何形状简单可以降低生产成本,提高生产质量,便于检验和确定尺寸(见图13.2.4第1行)。

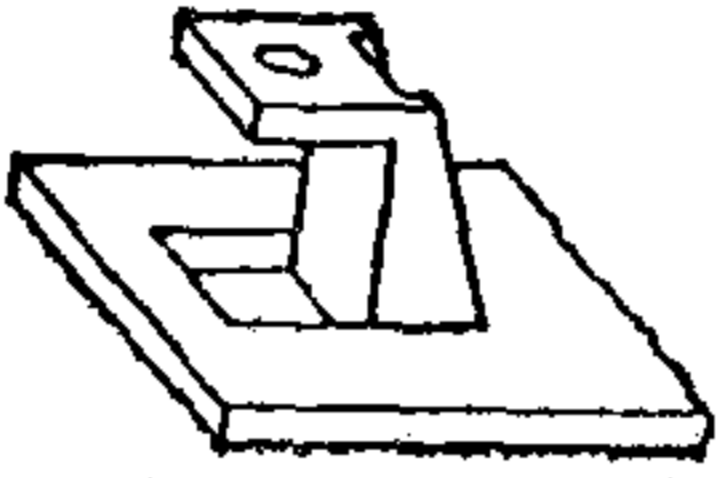
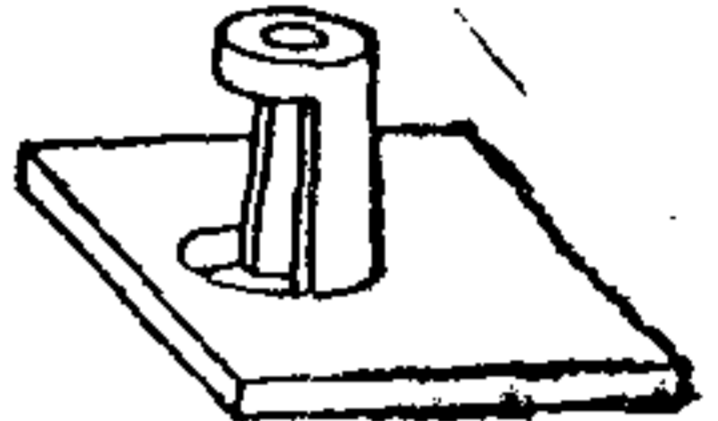
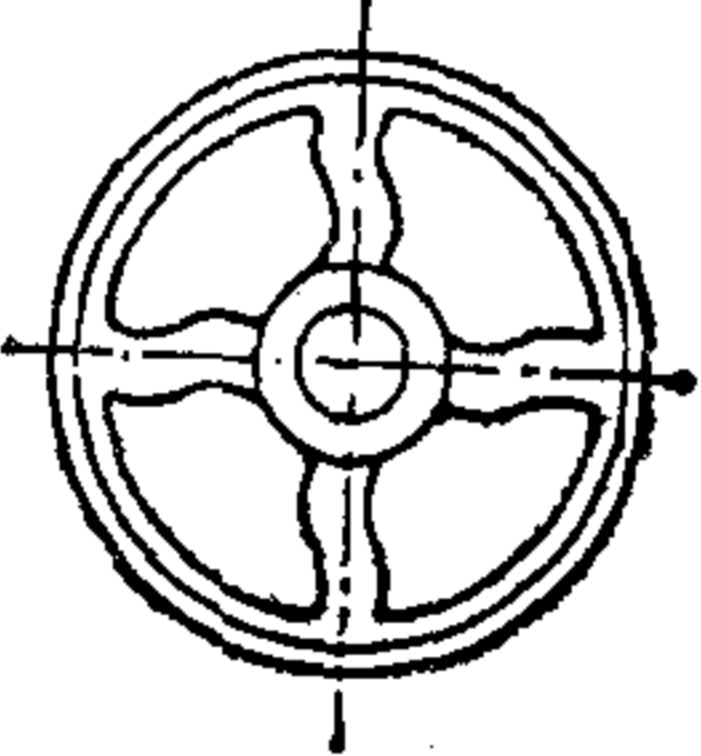
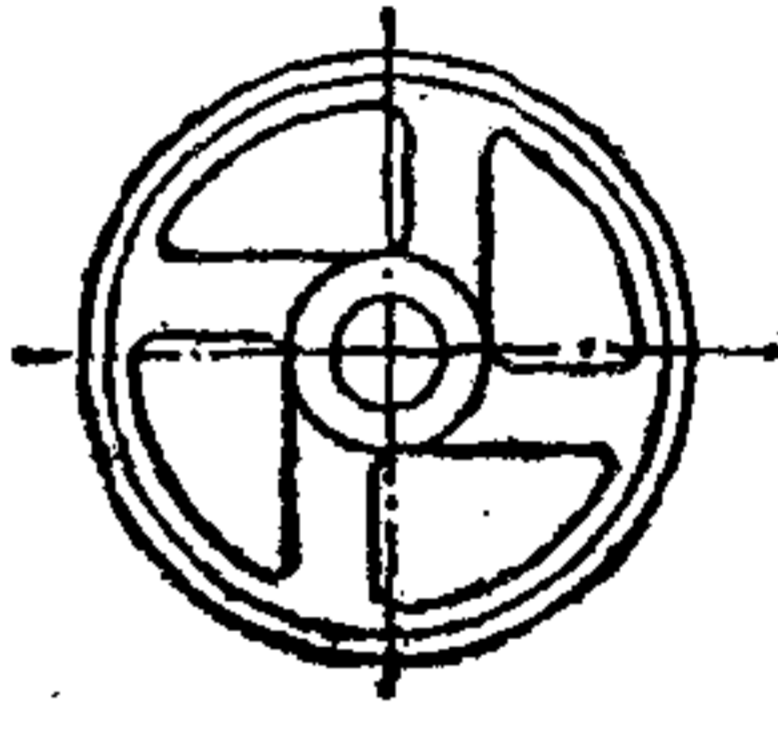
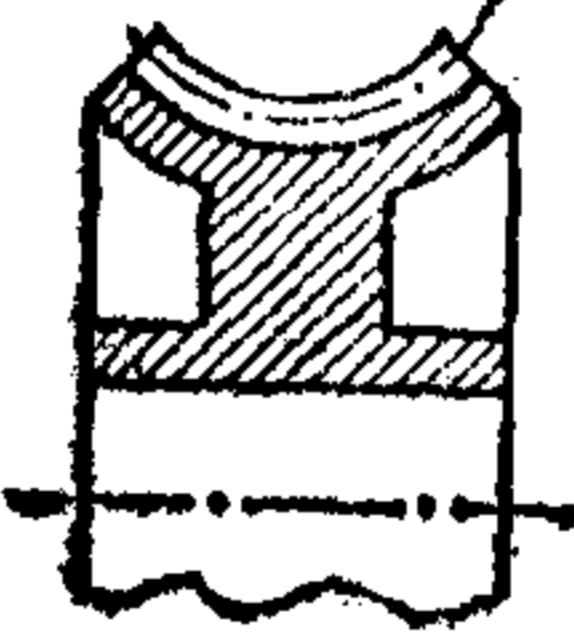
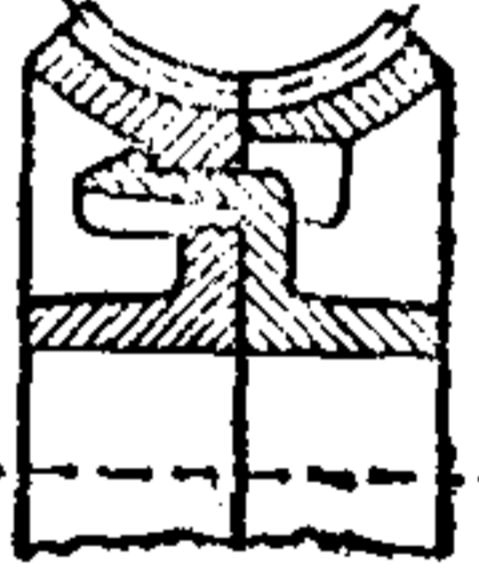
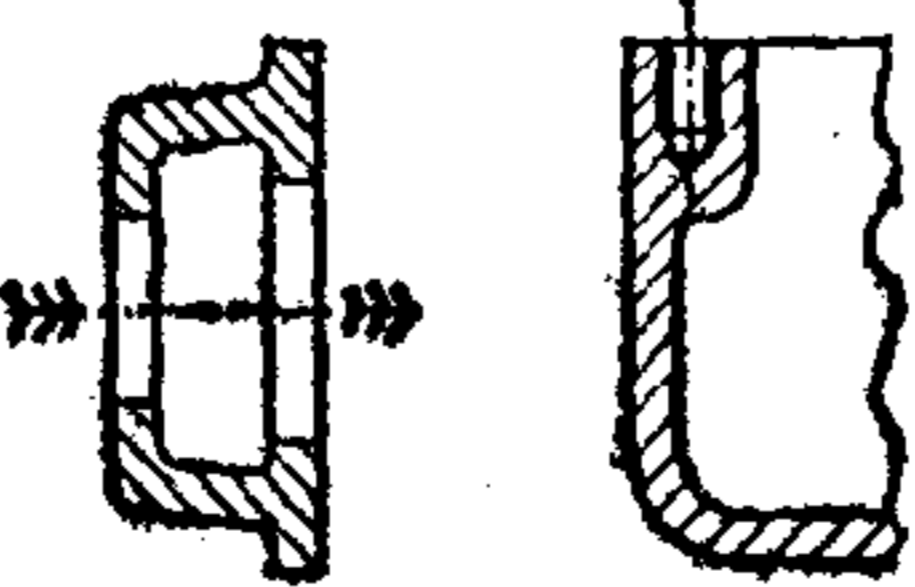
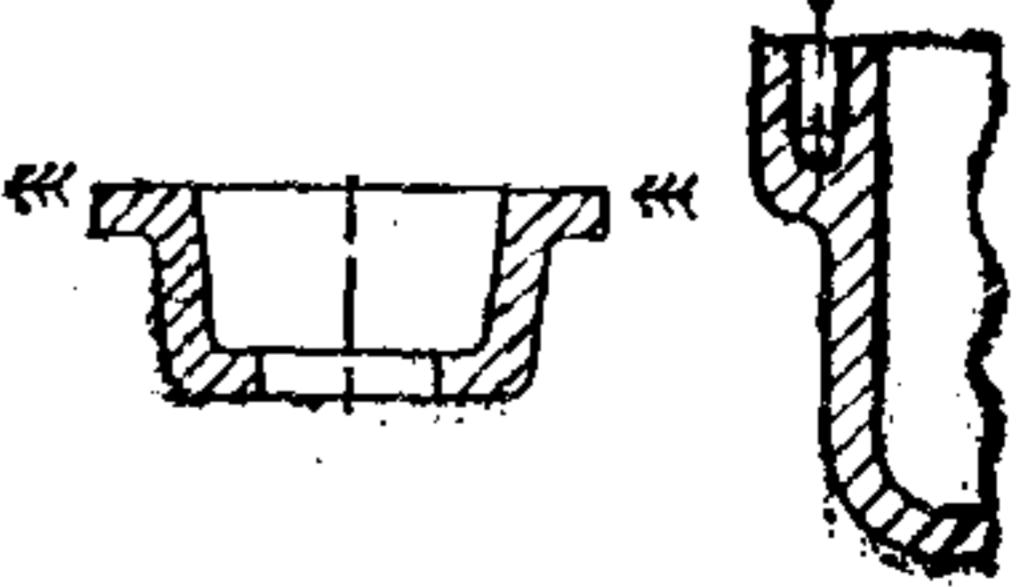
准 则	实 例	
	不 好	好
简单工具/提高质量		
1.采用简单形状		
2.把复杂的形状拆解成两个或几个零件		
3.减少芯子的数量或不用芯子,避免后切口		

图 13.2.4 符合铸造要求的构形及实例

12) 难以制造的工件形状用分部结构方式则易于制造。缺点:把零件组合成整体的

成本太高(见图13.2.4第2行)。

13) 减少“铸芯”的数量或者干脆不要“铸芯”可以提高铸件的尺寸稳定性(质量),降低生产成本(见图13.2.4第3行)。

14) 减少或完全避免铸造工具的侧向拉拔,便可提高工件的质量,降低工具成本和生产成本(见图13.2.5第4行)。

15) 不仅单边而且多边支承芯子可以提高工件的尺寸稳定性,降低废品率(见图13.2.5第5行)。

16) 铸型在一个面上而不是几个面上分箱或把整个铸型放在工具上,这样便可提高

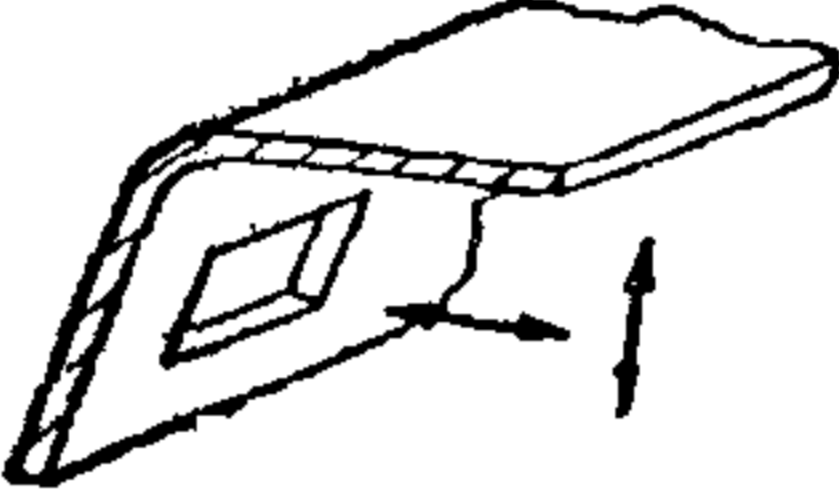
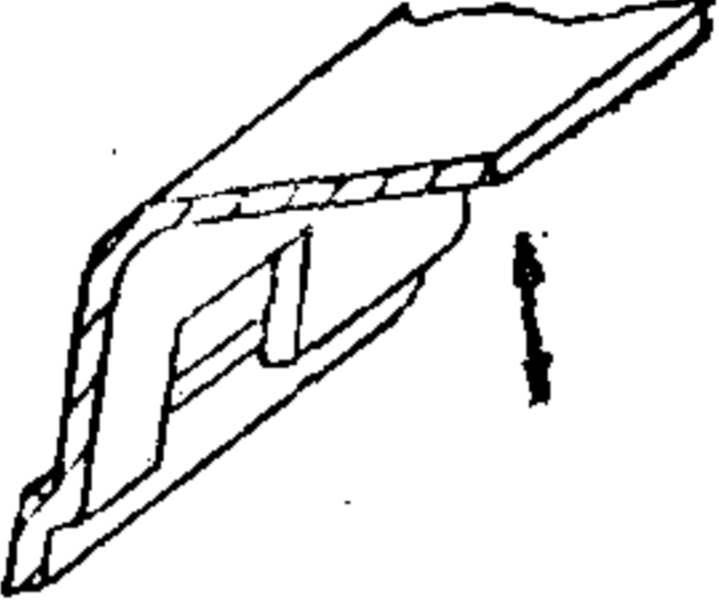

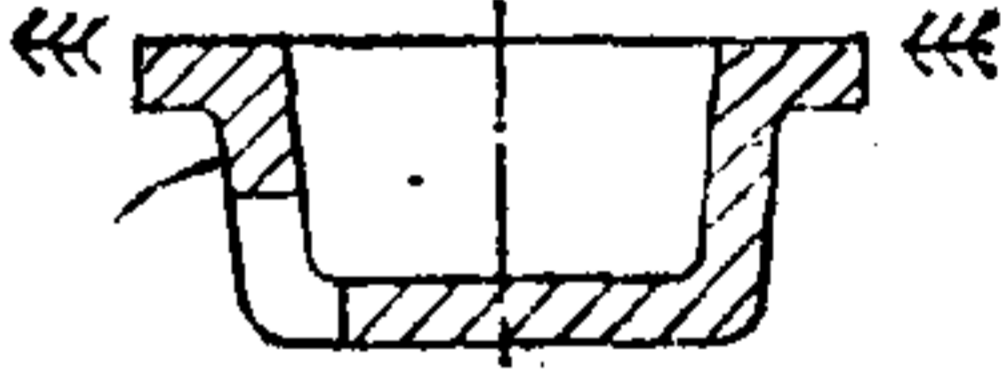
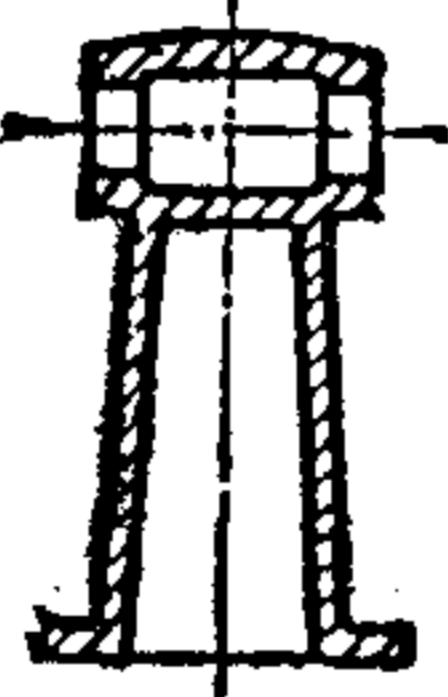
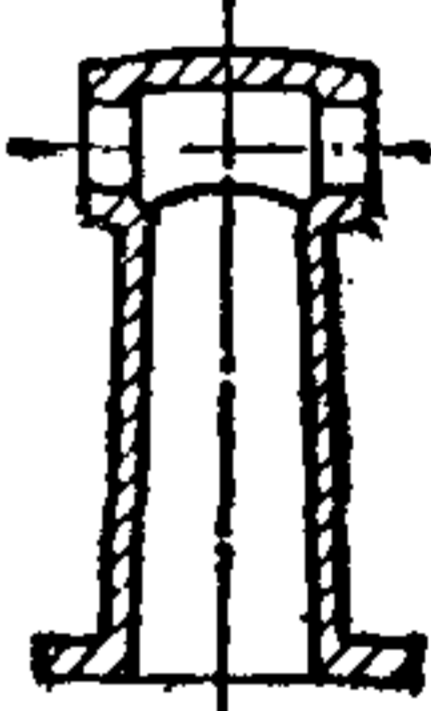

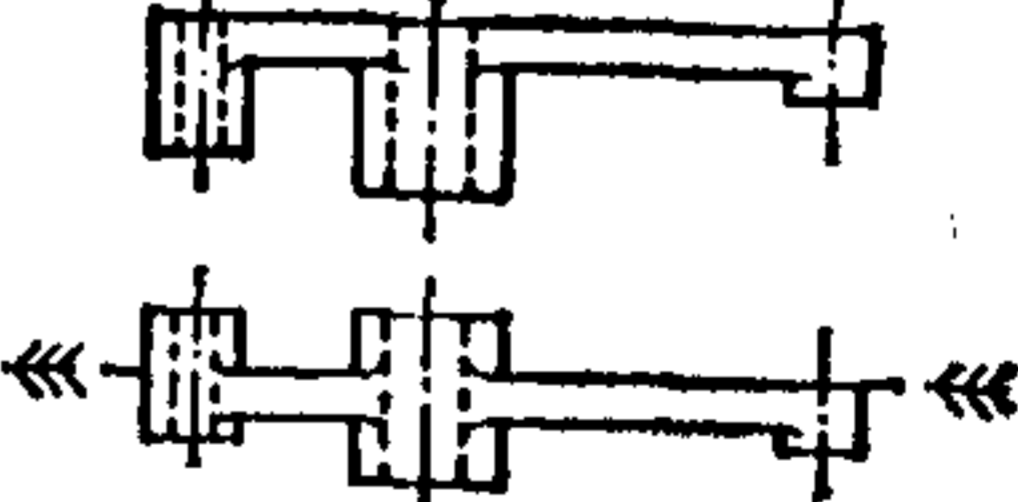
准 则	实 例	
	不 好	好
4. 减少侧向拉拔数量或完全避免侧向拉拔		
		
5. 从两边支承芯子		
6. 将铸型在一个面上分箱, 并把最大的工件断面放在分箱面上		

图 13.2.5 符合铸造要求的构形准则及实例

工件质量,而无需增加费用(见图13.2.5第6行)。

减少费用

17) 选用尽可能小的工件壁厚(见图13.2.6第1行)。

18) 在构形铸件时首先把材料放在因强度关系或其它原因而需要材料的地方; 尽可

准 则	实 例	
	不 好	好
<p>减少费用</p> <p>1. 壁厚尽可能小</p>		
<p>2. 采用“轻型结构方式”减轻铸件重量, 即把材料用在那些需要加强的地方; 加筋、双层壁、箱形等。通过在铸件上留空隙(孔)的方法节省材料</p>		
<p>3. 统一圆角、斜角等尺寸</p>		

图 13.2.6 符合铸造要求的构形准则及实例

能采用轻型结构方式(见图13.2.6第2行)。

19) 工件的尺寸应尽可能地标准化,并且尺寸大小应相同,以便减少所需刀具(铣刀等)及量规等的数量(见图13.2.6第3行)。

考虑后面的工艺过程

20) 为了以后去掉进料口和浇铸口,应将它们放在铸件上容易去除的部位(见图13.2.7第1行)。

21) 放芯子的空间应该做成有尽可能大的开口,从而使芯子得到可靠的支承而且容易清除芯砂(见图13.2.7第2行)。

22) 为了节省加工费用,最好把以后要加工的面从其它面上移开,并且将这些要加工的面尽可能放在一个平面上(见图13.2.7第3行)。

23) 以后要加工的铸件表面应有加工余量(见图13.2.7第4行)。

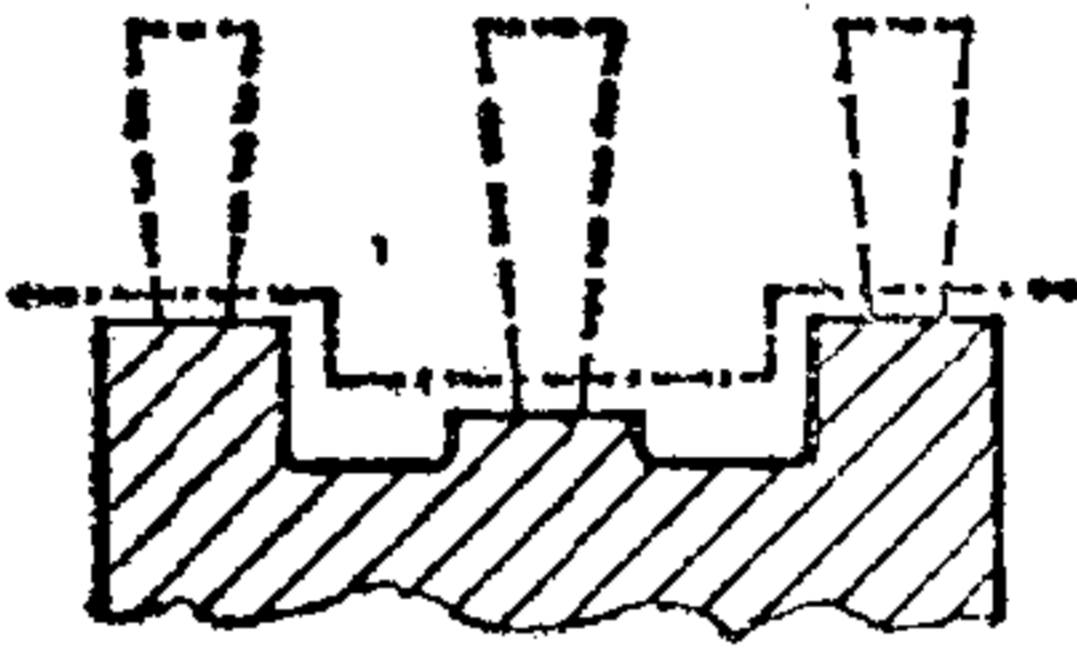
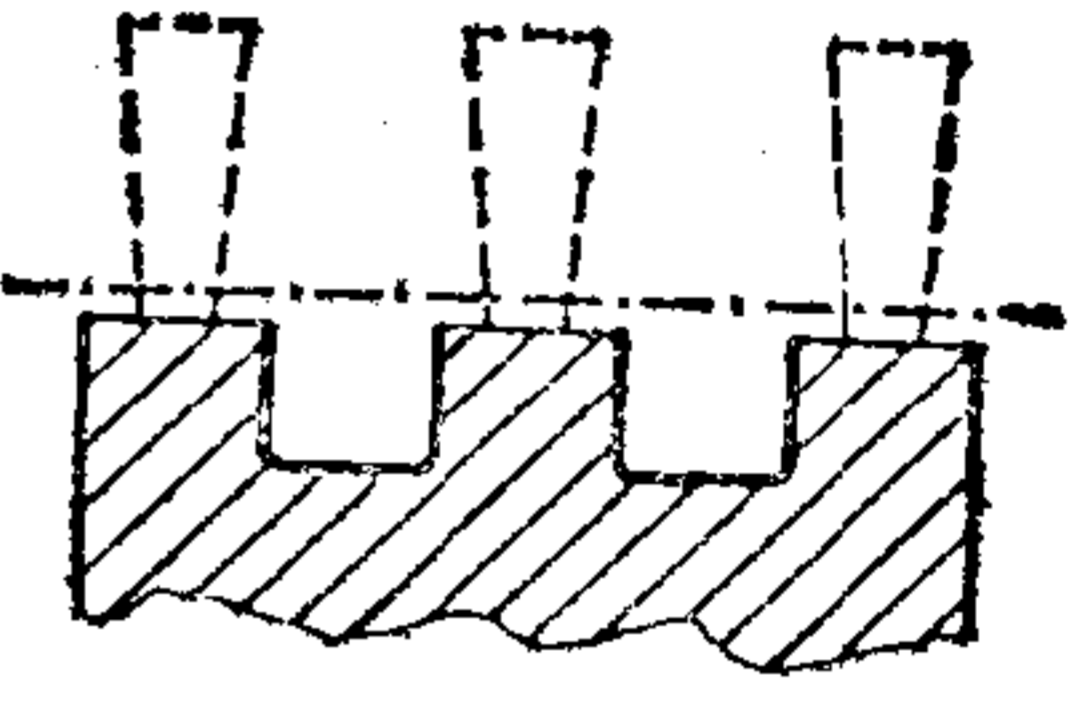
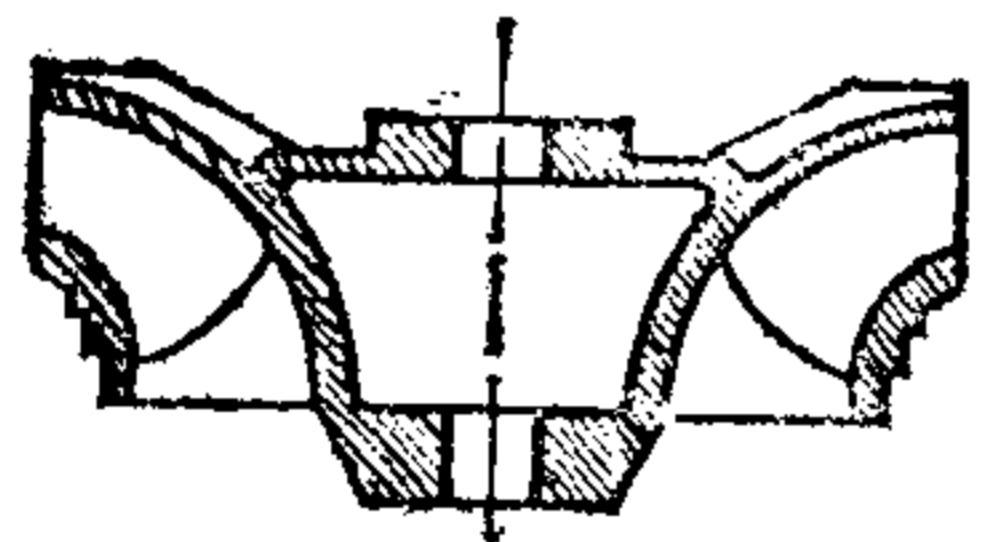
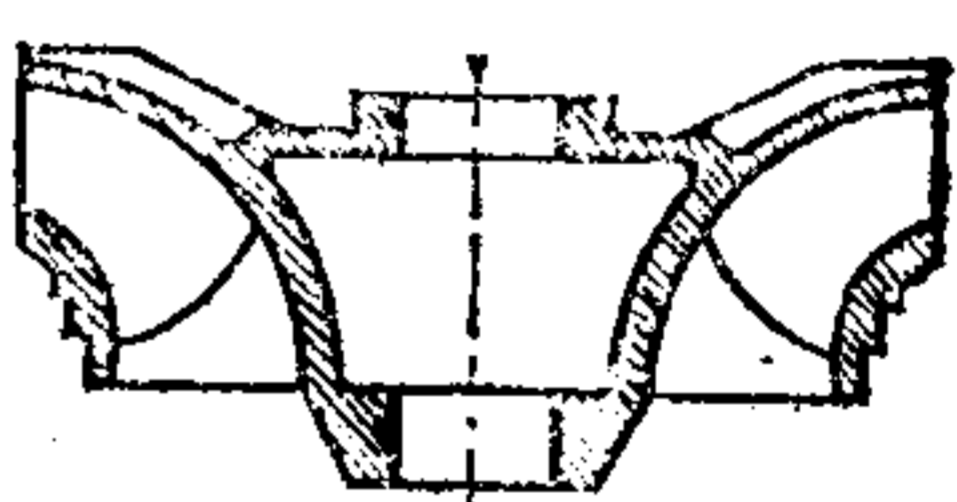
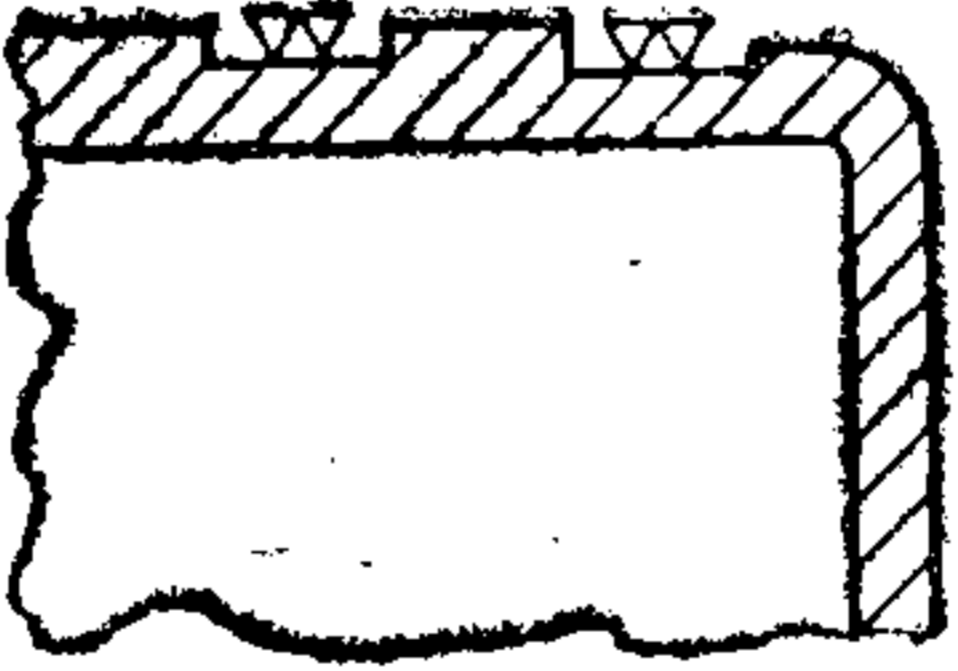
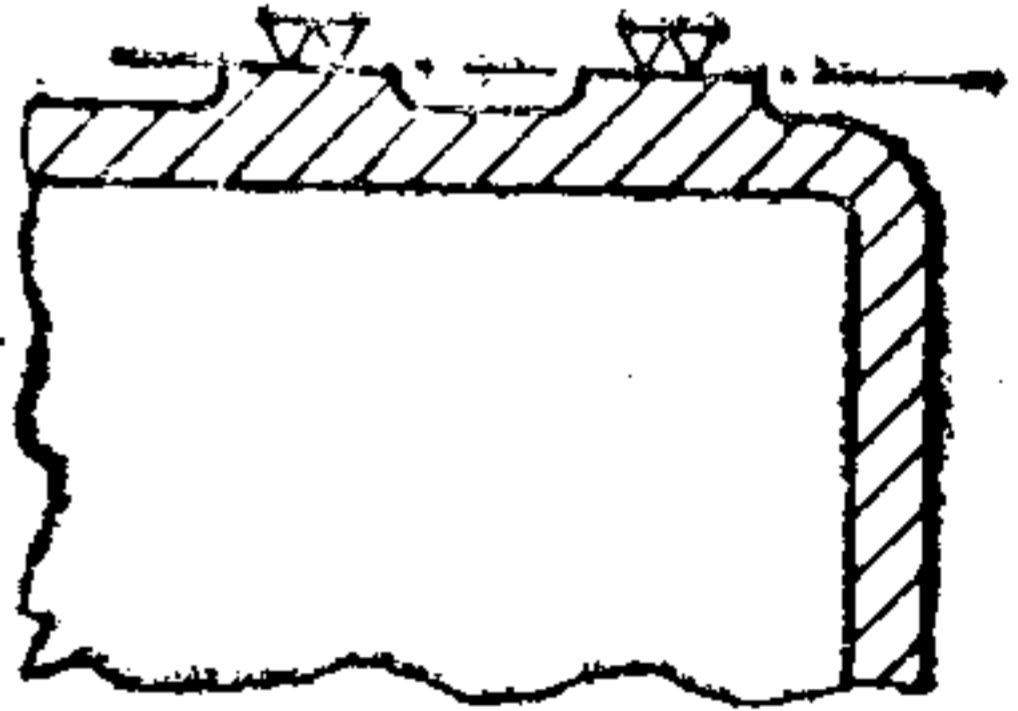

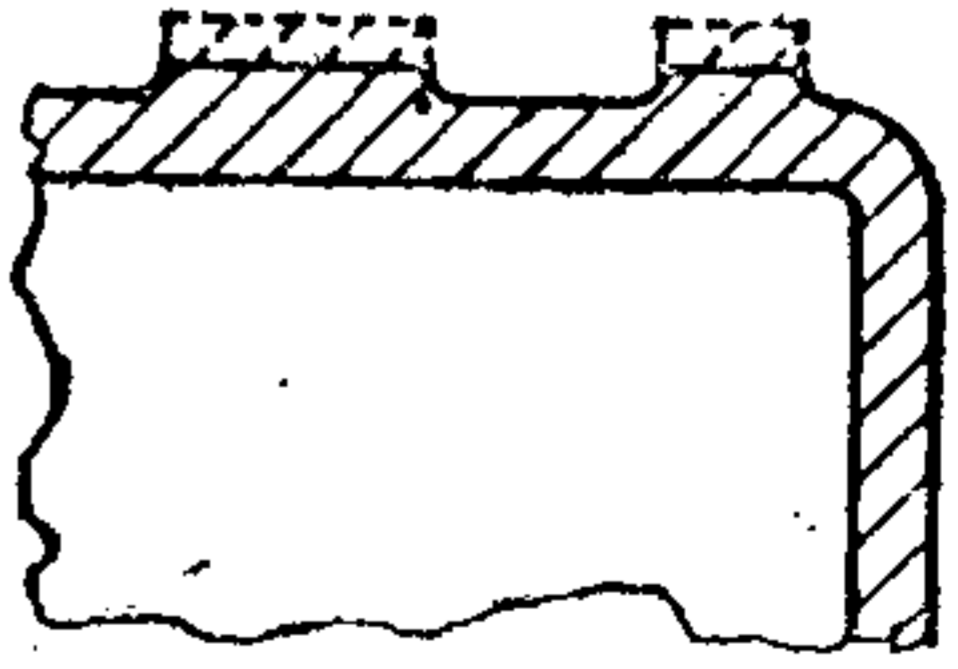
准 则	实 例	
	不 好	好
<p>后续过程</p> <p>1. 便于消除浇冒口的型砂</p>		
<p>2. 设置有足够大的开口的空间,以便容易清除和牢固地支持芯子</p>		
<p>3. 使加工面高出非加工面,而且加工面尽量在同一平面上</p>		
<p>4. 留出加工余量</p>		

图 13.2.7 符合铸造要求的构形准则及实例

24) 以后要加工的铸件表面应符合钻孔、铣、装配的要求(见图13.2.8第5行)。

25) 几何形状复杂的工件在一定条件下应该有用用来定位和卡紧工件自身的表面,如果不再需要这些面可以除去(见图13.2.8第6行)。

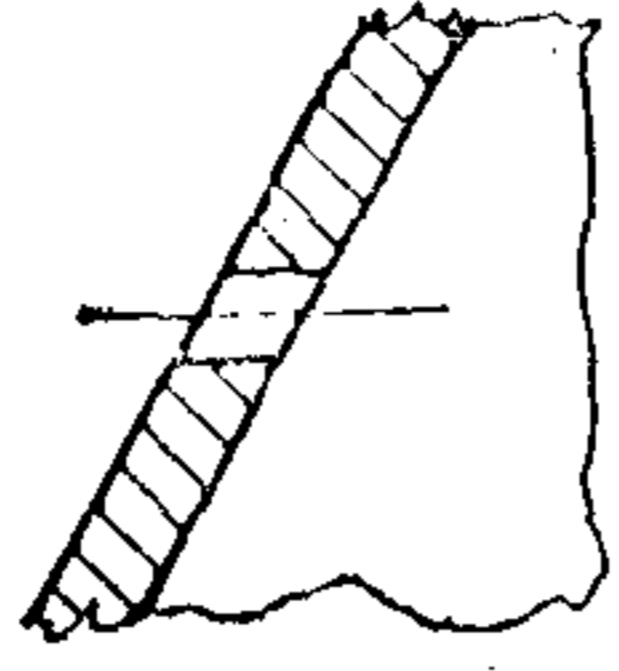
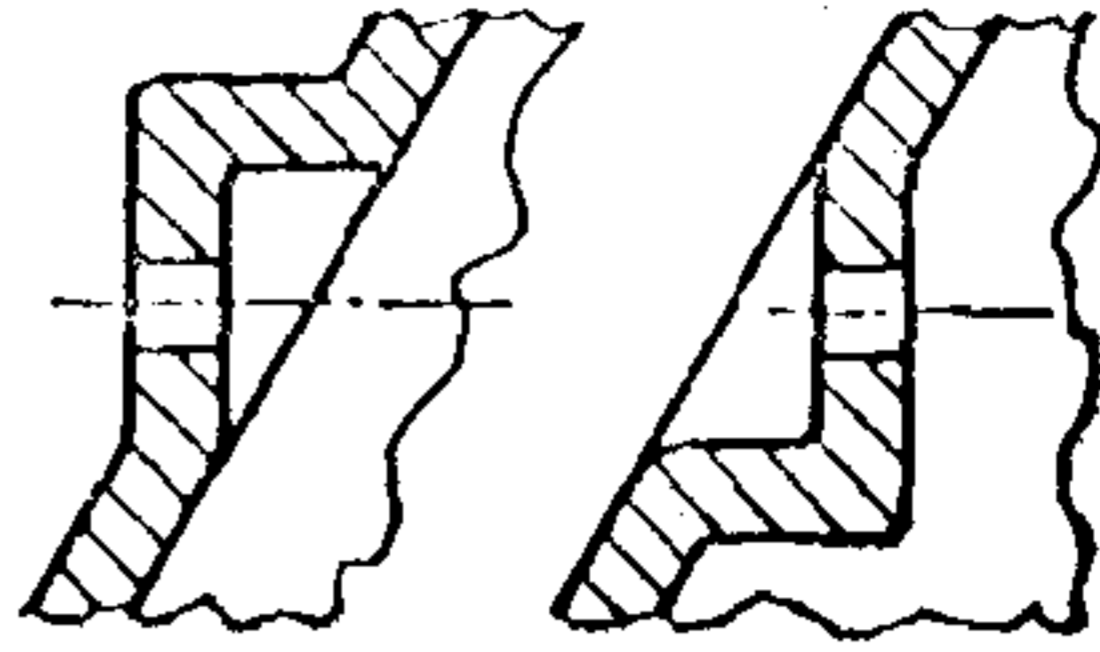
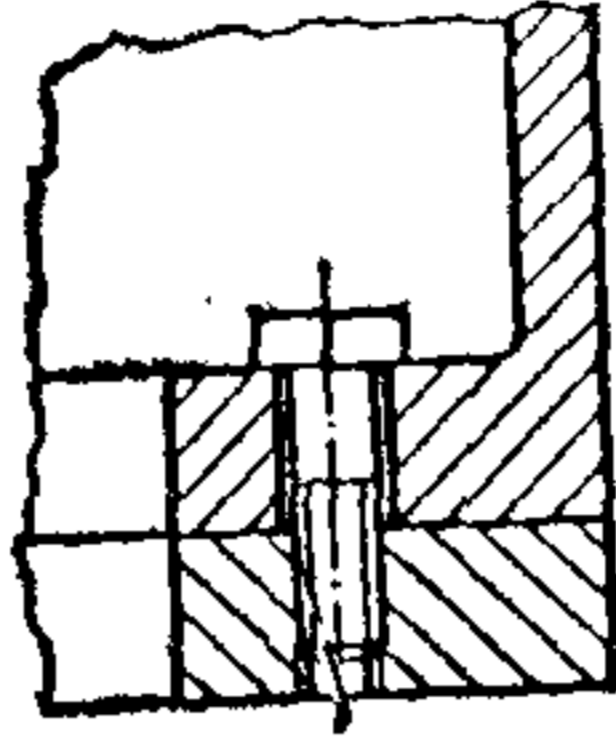
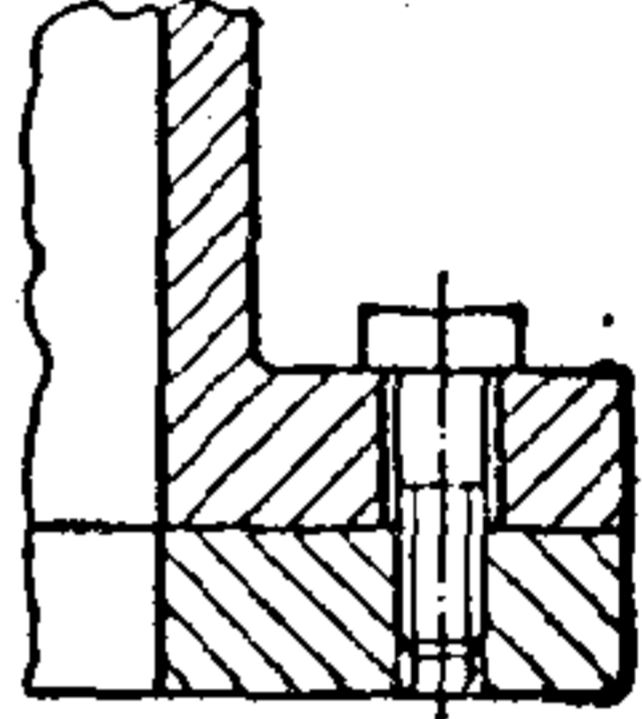
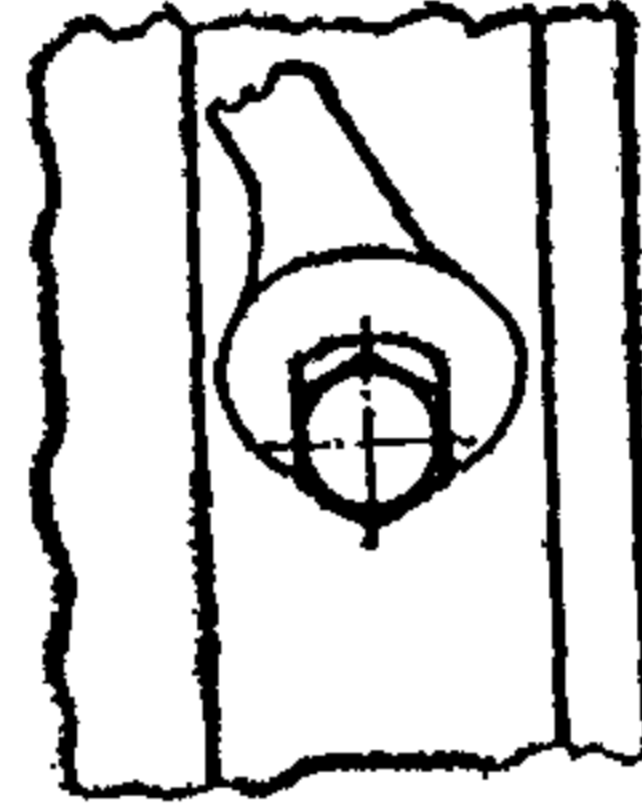
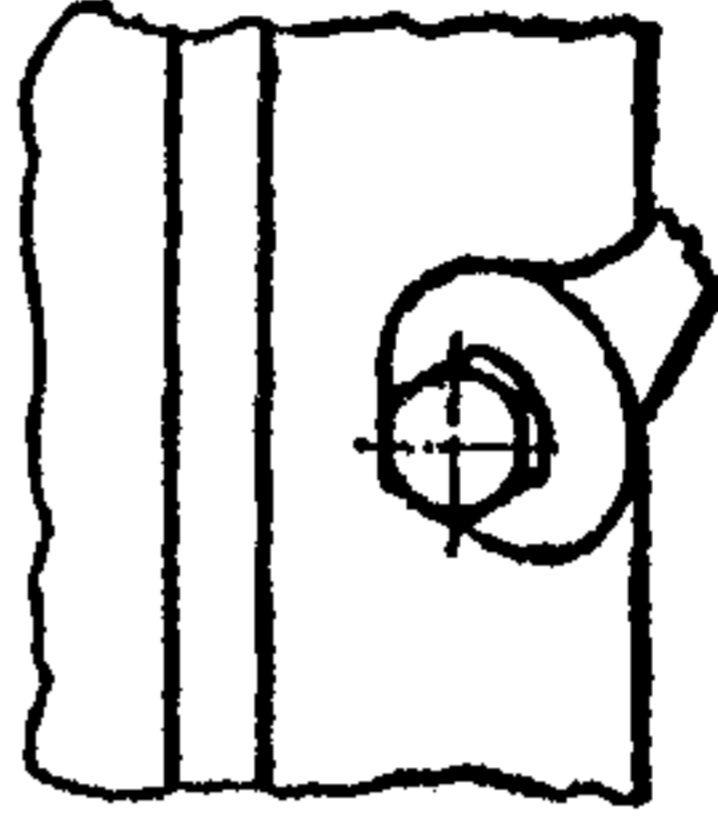
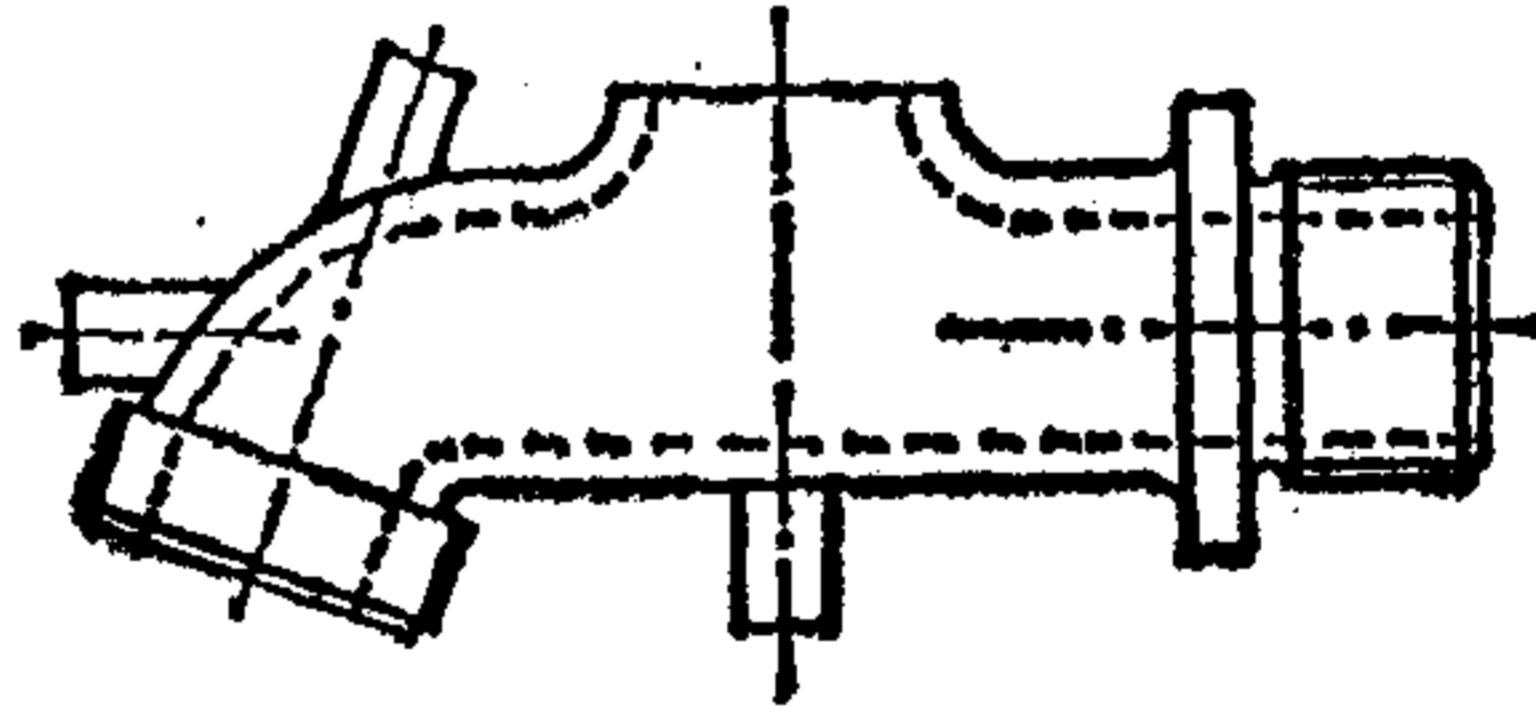
准 则	实 例	
	不 好	好
5. 要加工的面 的构形应适应以后的加工方法, 如钻、铣、磨、装配等		
		
6. 应该有可靠的、无变形的夹持面和定位面, 以便继续加工		
		

图 13.2.8 符合铸造要求的构形准则及实例

13.2.2 符合钻孔要求的构形

如果零件的工作表面要通过钻孔产生, 那么根据这种加工方法的特性则应注意下面的准则:

——由于钻头有走偏和折断的危险, 钻头的钻入面和钻出面应尽可能垂直于钻头的轴(见图13.2.9第1行)。

——盲孔应尽可能是与钻头尖相同的锥形底面, 应避免盲孔的底面是平的。

在钻螺纹盲孔时, 应考虑螺纹丝锥运动的备用空间及螺纹切削过程中的排屑, 尽可能避免螺纹盲孔并用通孔代替(见图13.2.9第2行)。

如果螺纹直径是阶梯形的并且有相同的螺距, 那么, 可以从一边同时车上螺纹(见图13.2.9第4行)。

13.2.3 符合装配要求的构形

在设计零件和部件时, 除其它诸条件外, 还要注意的是这些零部件都是可以装配的,

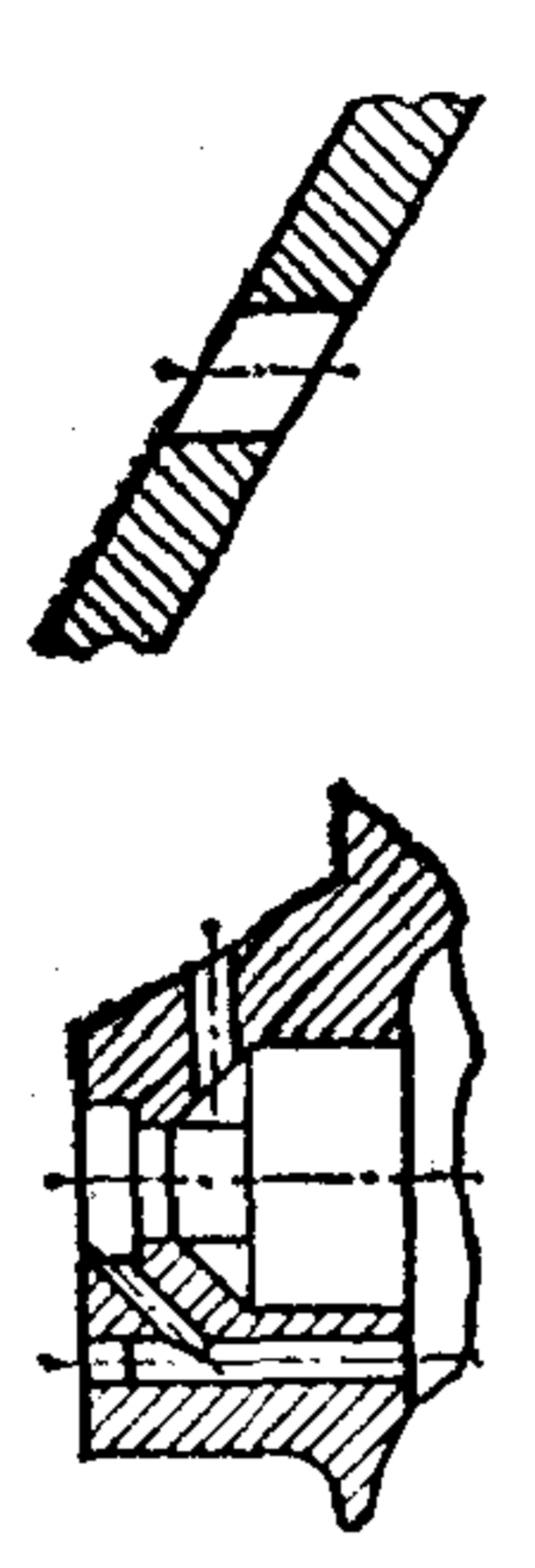
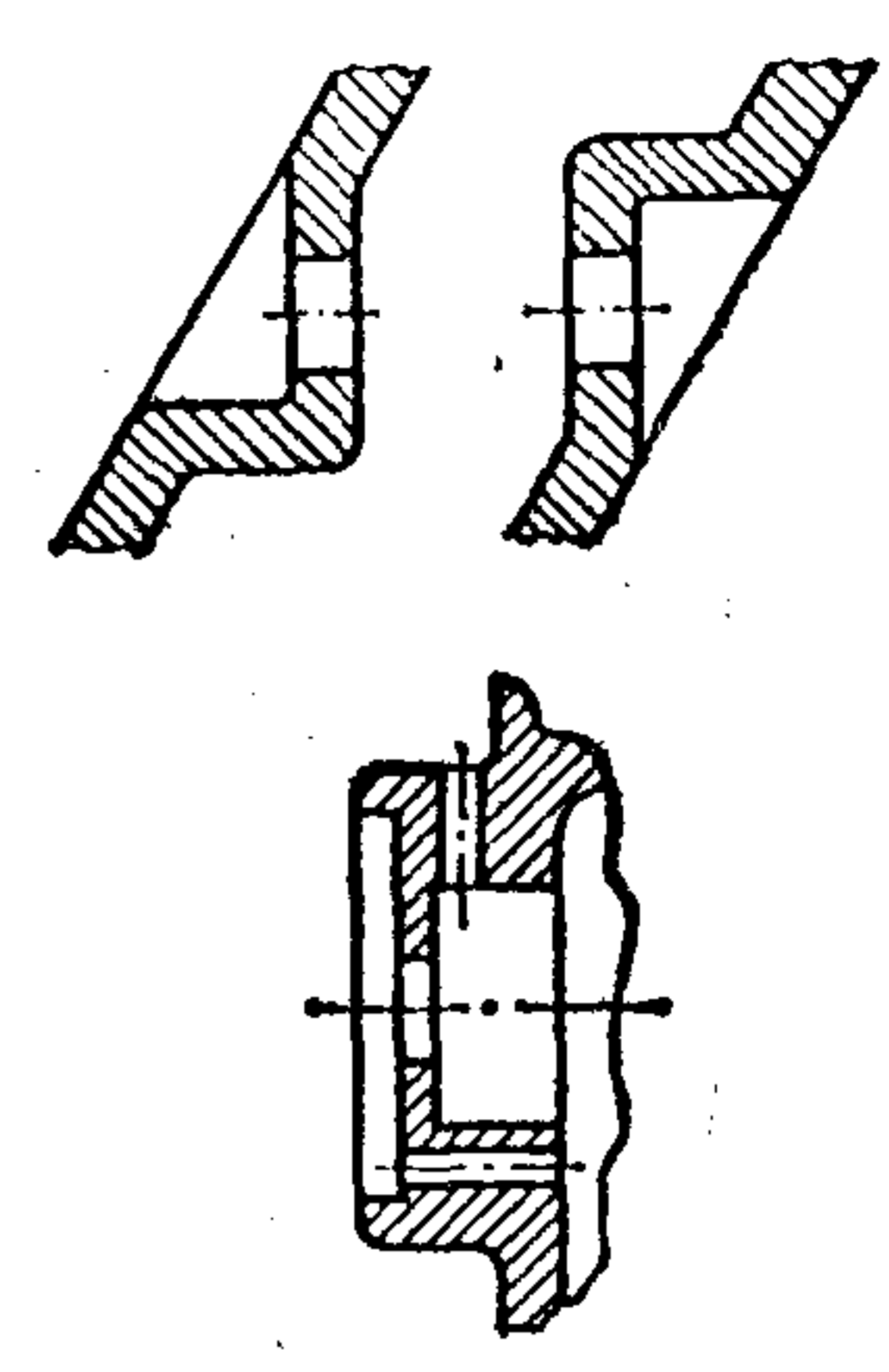
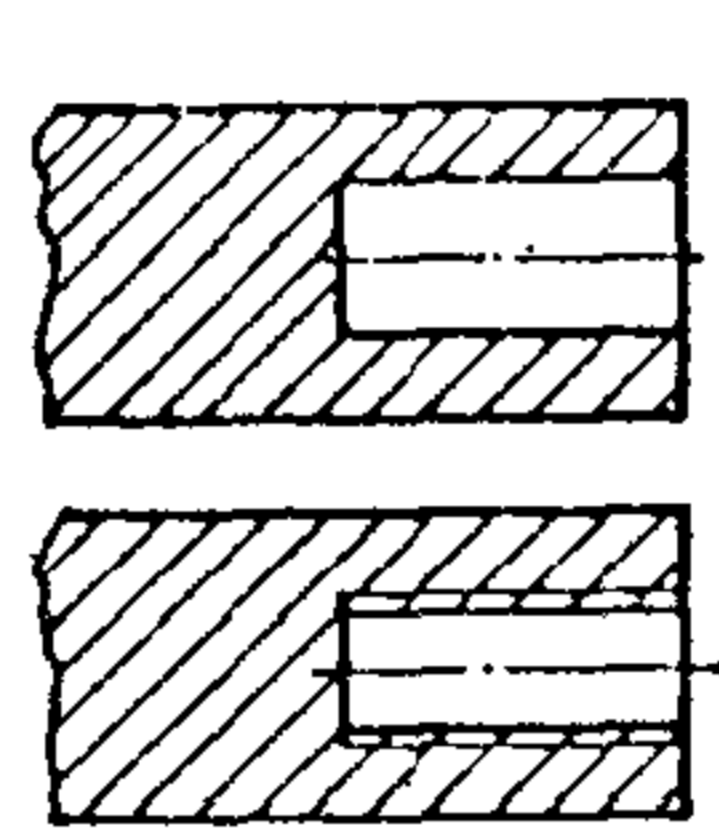
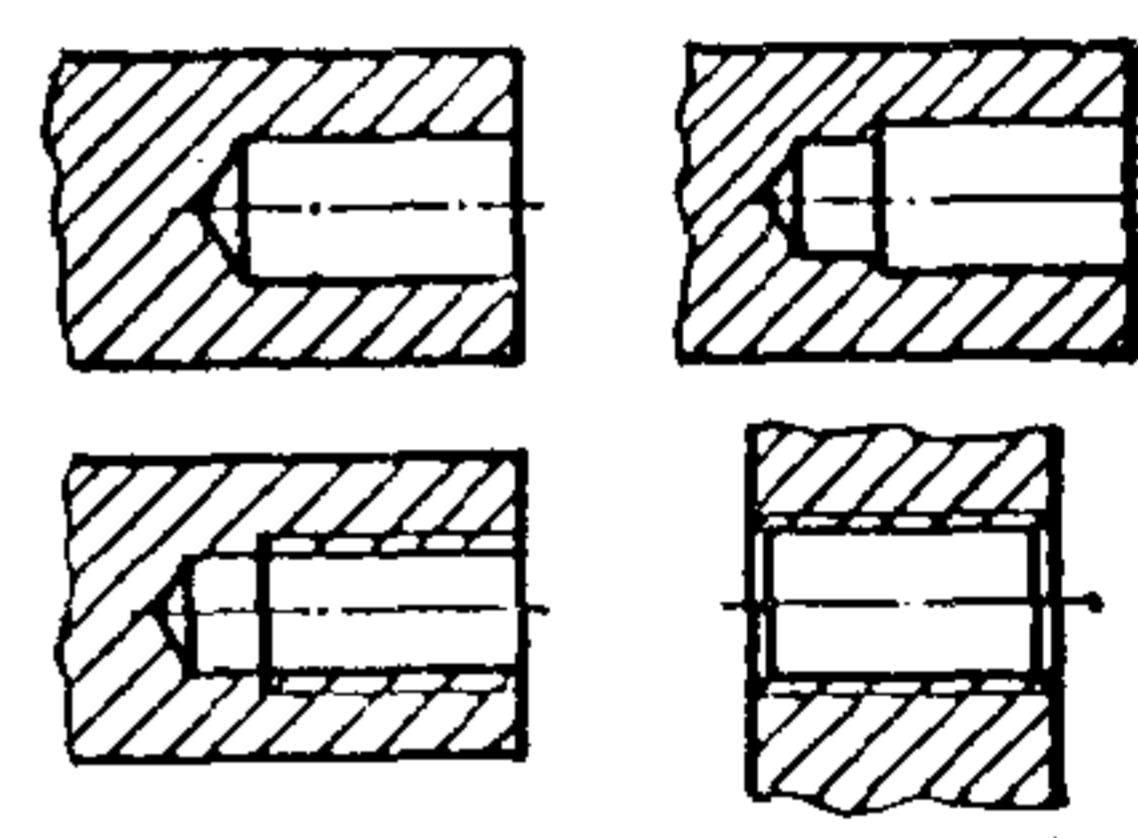
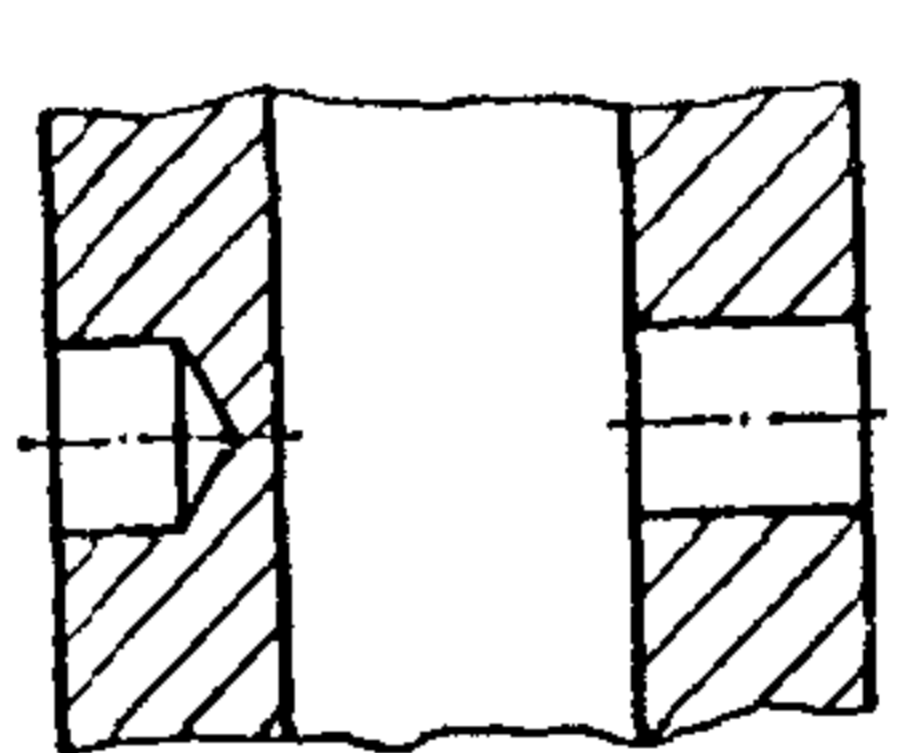
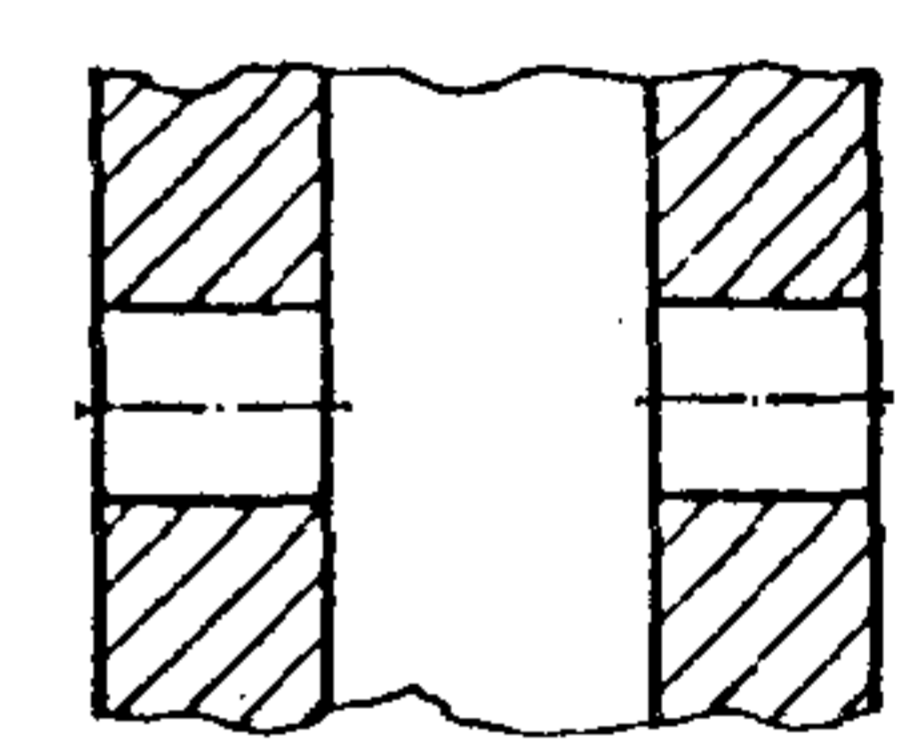
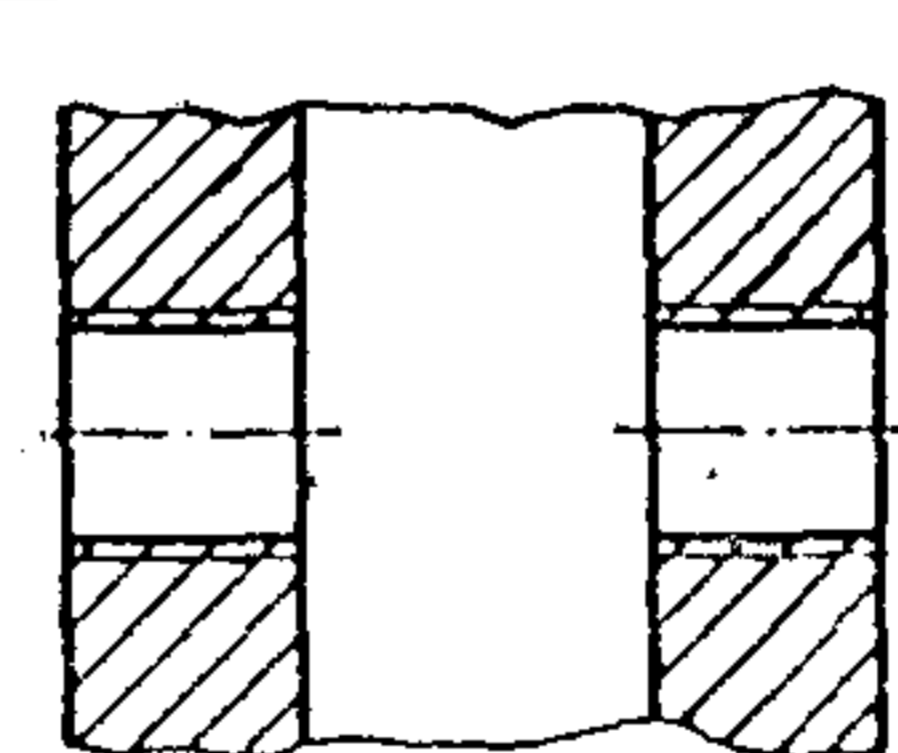
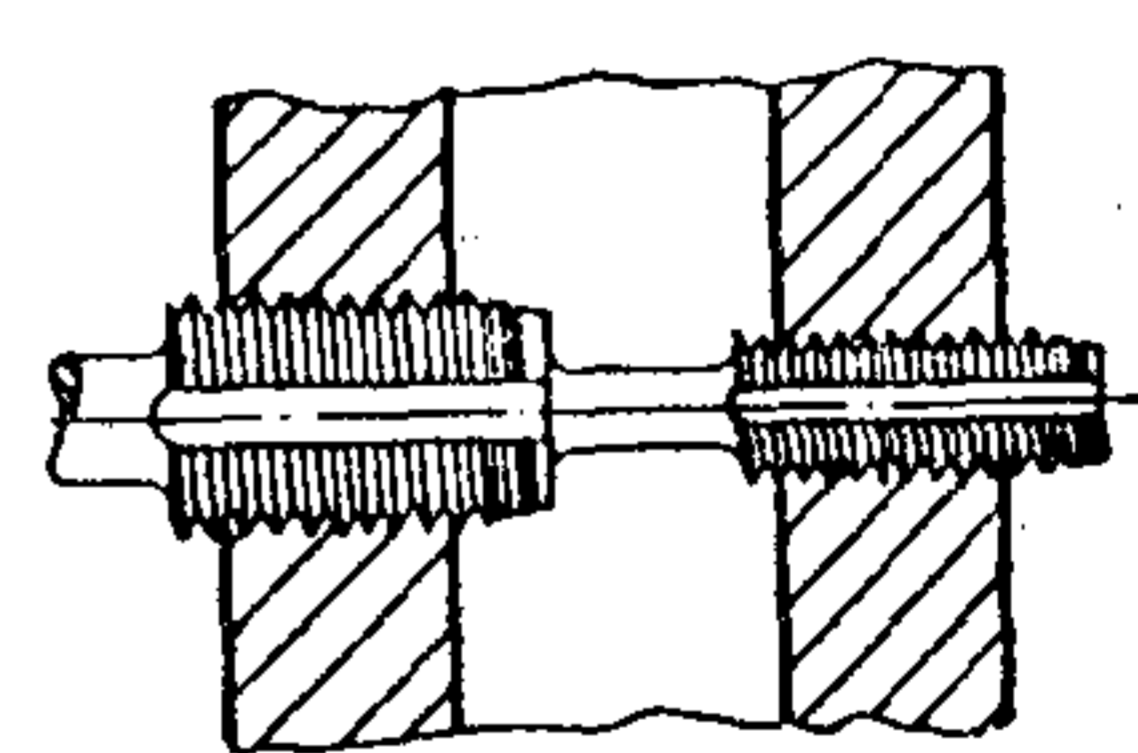
准 则	实 例	
	不 好	好
1. 使钻入面和钻出面垂直于钻头的轴线		
2. 避免盲孔；如果需要盲孔，只能用钻头尖打成		
3. 尽可能用相同直径的通孔		
4. 直径不同的螺丝可以以相同的螺距同时加工而成		

图 13.2.9 符合钻孔和车螺纹要求的构形准则及实例

而且可以在很短的时间内装配起来。

在研制符合装配要求的构形准则时，必须区分手工装配、用自动装置装配和用机器人装配。

一般来说，自动装配装置和装配机器人比手工装配对符合装配要求的构形提出了更高的要求。此外，装配工人和装配机器人都有非常类似的“弱点”，所以，下面可以同时讨论这三种装配类型。正如下面的例子所表明的：对自动装置有益的构形措施，通常对手工装配也是有益的。

为了回答什么是符合装配的构形，特别是符合机器人装配的构形这个问题，首先必须规定哪些工作属于“装配”这个概念。应将装配工作和装配前及装配后要进行的工作区别

开来。下面应把那些为了抓取地点A的某个有序态的零件1,并将其送至地点B的零件2,然后将零件1和2联接起来所需要的工作视为装配过程。因此,装配过程可由以下工作组成:

- 确定两个相互联接的零件的地点和空间位置¹⁾;
- 排列并且定位要装配的零件¹⁾;
- 抓取位置A的零件1;
- 将零件1送至零件2(从A到B),保持零件一次到位;
- 确定两个零件的相互位置;
- 将零件1与零件2联接起来。

对于装配过程的自动化具有重要意义的是有着“编排整理到什么程度”的零件:是完全没有编排整理(a),有一个或几个(最多5个)自由度的编排整理(b),完全编排整理(在3个移动方向和3个转动方向上)(c),或完全编排整理并有位能或其它形式的能量,可以自动推进(d)(见图13.2.10)。

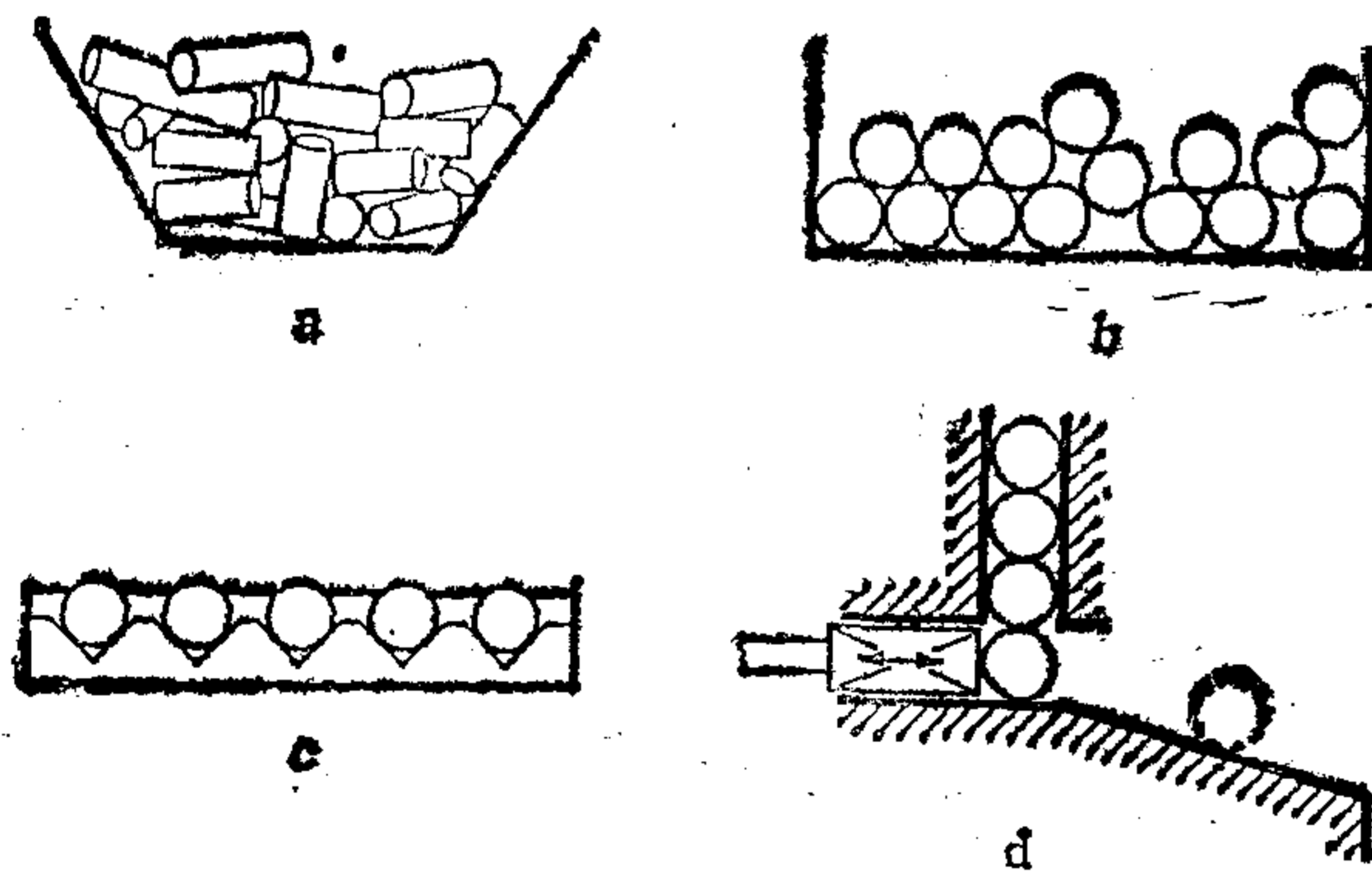


图13.2.10 零件的各种编排整理的程度:
a——未编排整理; b——部分编排整理;
c——完全编排整理; d——完全编排整理+位能

此外,零件2的编排整理也是同样重要的,也就是说,在装配过程中零件2是否能放在一个平面或空间的任意位置,或者为了装配的目的,是否始终能精确地定位于某一点。装配过程自动化开始于明确边界条件,即“可以为装配机器人提供编排整理到什么程度的零件”。为了经济起见,如果将业已编排整理好的零件送入装配过程更好。今天当然已经有了带简单“视觉器官”的工业机器人,

即有光电传感器,传感器使“抓取到箱中”成为可能(见图13.2.10a)。然而这类机器人动作较慢,且费用较高。因此,为了经济起见,即使在未来最好也还是给装配机器人提供已经编排整理好的零件。

由不同的机床加工时始终保持零件和工件的编排顺序,比在每个工作过程之后都打乱顺序,继而为重新建立顺序所需的花费要经济得多。然后,便可省掉“理顺”操作,而且机器人的能力和成本可以明显减少。反之,如果是小的零件,如螺钉、铆钉等往往很难保持其排列顺序,那么,可以把“理顺”操作与“零件的装配”操作分开,并且可以当作前者的技术装备如振动分选设备和储料设备使用。这时机器人的工作就只限于在地点A抓取(检取)已经理顺的零件,将这些零件送到地点B的同样已经理顺了的零件处,并将两个零件定位和联接起来。将零件悬挂在“冲压线”中,以便使零件在装配时或装配后可以整个地从冲压线分离出来。用这种方法理理由无切削加工法制造的零件可以保持低成本。

1) 如果装配已经编排整理和已定位的零件,或者将来有灵敏的机器人可以廉价提供使用,那么这第一个和第二个操作可以省掉。

机器人的特性

目前,机器人已经用于多种装配和联接工作,例如在汽车制造业中用来装配车身和其它部件、焊接车身零件、喷漆等加工过程,装配电机、压力机等许多其它产品。尽管目前机器人种类繁多,并开发了有多种复合功能的机器人,但由于机器人需要很高的投资和使用费用,因而在不久的将来只能在因健康、安全或其它原因而别无办法的情况下方才使用。机器人可以装上键控或间距测量传感器、力或力矩测量传感器和光电传感器以及电视传感器等,这些传感器的能力也是多方面的。若要利用光传感器和计算机将一图形的阴影棱线从物体棱线中区分出来,或者通过这种方法有立体感地看到阴影棱线,这时人们便要考虑为此所需要的巨额花费。因此,由于经济方面的原因,在考虑装配过程时,应尽量使机器人在无需昂贵的传感器技术的条件下就能工作。

一般来说,供给装配机器人要联接的两个零件,是已经编排整理和定位的。所以机器人只需承担“抓取、运走、定位和联接”的任务。下面关于机器人的特性的讨论最好只限于所谓的正常情况。这里不讨论未来的机器人将有哪些能力和特性。若要简单总结一下正在使用的机器人的特性,以便从中得到在下一步工序中适合机器人要求的构形准则便可发现:

- 机器人只能有限精确地抓取一个零件;
- 和人类相似,机器人只能有限精确地使一个零件相对于另一零件定位(± 1 到 $\pm 0.05\text{mm}$,随要定位的零件的质量而变);
- 机器人抓取器的抓取和定位运动通常带有不希望的振动,这种振动与人手的颤动其作用是相同的;
- 机器人完成简单的运动形式和短距离位移比完成复杂的运动形式或长距离位移要快;
- 机器人的抓取器不像人手那样万能,一个抓取器只能抓取具有某种抓取面的东西;
- 与人相反,简单的机器人不能看、不能摸、不能听、不能将东西从一只手递到另一只手中。简单的机器人不能使抓取时所必须的力适应出现的不规律性(干扰)等。

如果把机器人的特性与装配工人的装配工作特性作一比较就会注意到,其中有些“弱点”是共同的。因此,正如下面的实例还要表明的那样,大量的构形准则既适用于手工装配的构形,也适用于机器人装配的构形。

总而言之,研制适合装配要求的设计准则有下面几个原因或用意:

- 不需增加费用或降低成本来弥补该方法的弱点;
- 在不提高生产成本的条件下,保证或提高该方法和产品的质量;
- 要考虑到以后的加工过程,以便就全部操作来说,使成本降至最低;
- 普遍降低成本。

为了达到这些目标,可以规定如下适合装配要求的设计准则:

1)为了降低投资费用,应为装配机器人提供业已编排理顺、并已定位的装配零件(见图13.2.11第3行;这同样地适用于手工装配)。

2)力求得到在分类整理设备中能方便地编排整理的零件、以及与多轴对称的零件(见图13.2.11第2行)。必要时可把非对称零件设计成明显的不对称,以便于清楚地识别和



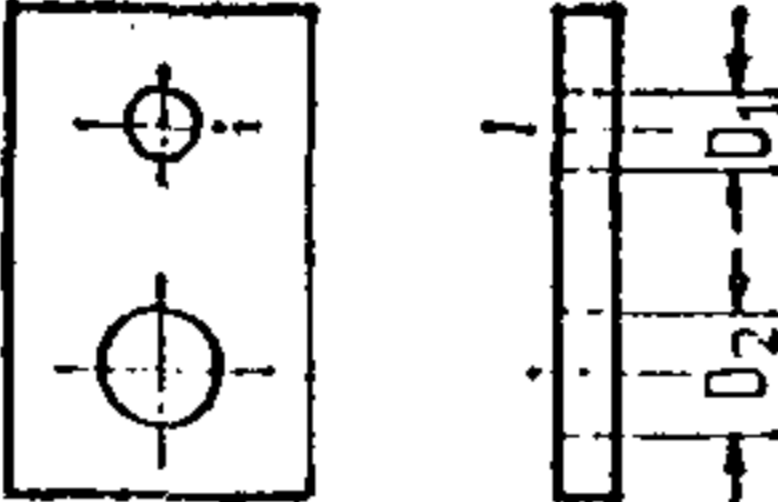
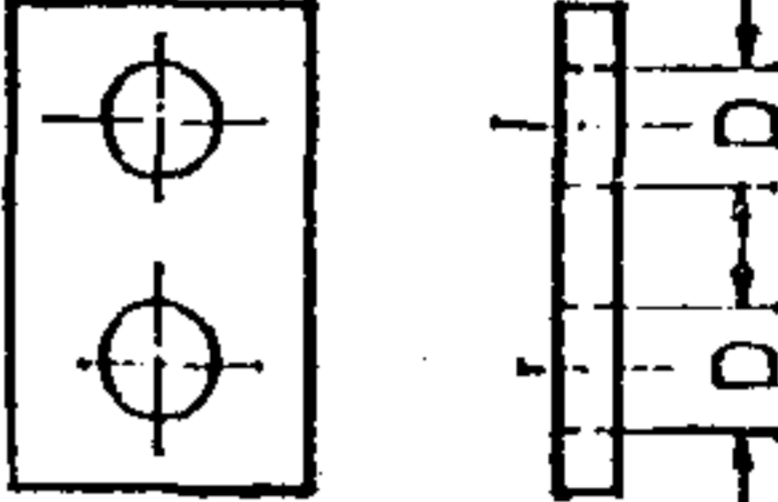
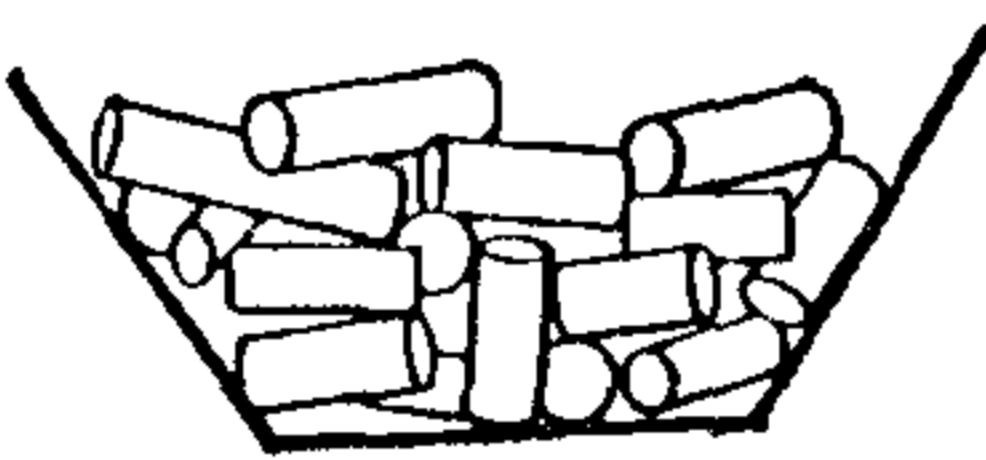

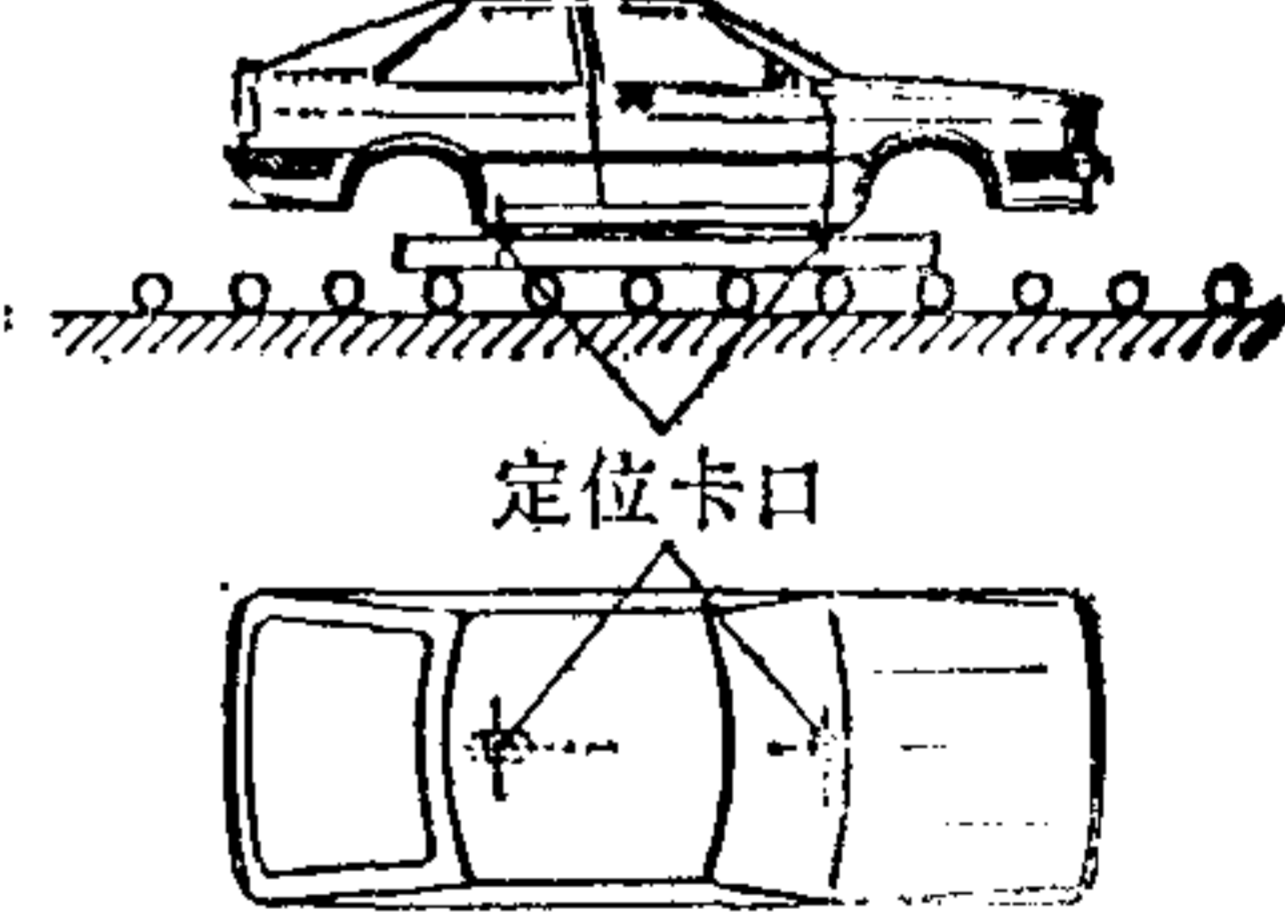
准 则	实 例	
	不 好	例
1. 为使编排整理方便起见, 必要时 可把不明显的非对称零件设计成 明显的非对称零件		
2. 零件应尽可能对称, 以便简化零 件的编排整理		
3. 定位要联接的零件或部件		
		

图 13.2.11 符合装配要求的构形准则及实例

编排整理。

3) 如果需要, 可在自动化装配的零件上设计出适宜的抓取面; 不同零件的抓取面应设计成能用相同的抓取器尽可能抓取许多不相同的零件(形成抓取面系列)。

4) 减少装配方向(组装方向)。由于变向装置或翻转装置需要昂贵的费用, 所以特别应避免双面装配(从前面和后面装配)。尽可能设计成只能从一“侧”或一个方向装配的部件(见图13.2.12第4行和第5行)。

5) 通过减少零件数量来减少装配操作的数量, 即尽可能设计成整体式、集成式或多功

能的结构方式。

这就是说：尽量采用直接连接，避免3个或更多个零件的间接连接。减少零件品种，例如尽可能采用相同尺寸的螺栓。

6)由于自动化装配过程的调整费用可能很高，所以应避免以后再次变动要装配的产品。

7)在要连接的零件上设置定心面(自定心)，以便补偿机器人的定位不精确性和“颤

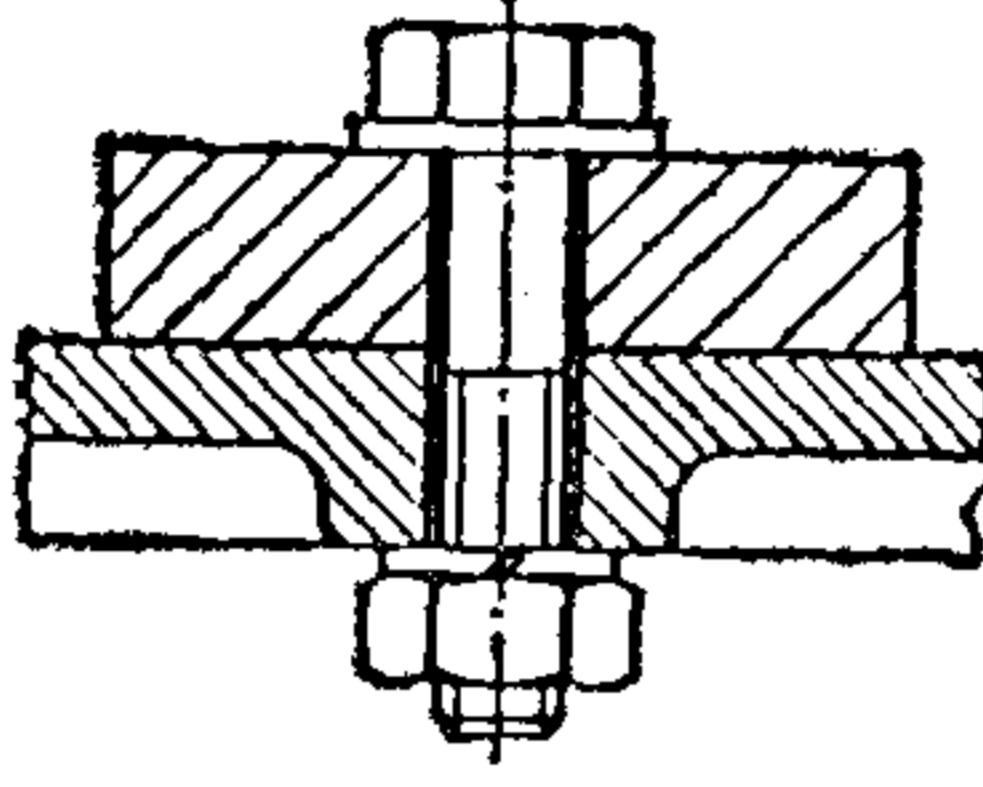
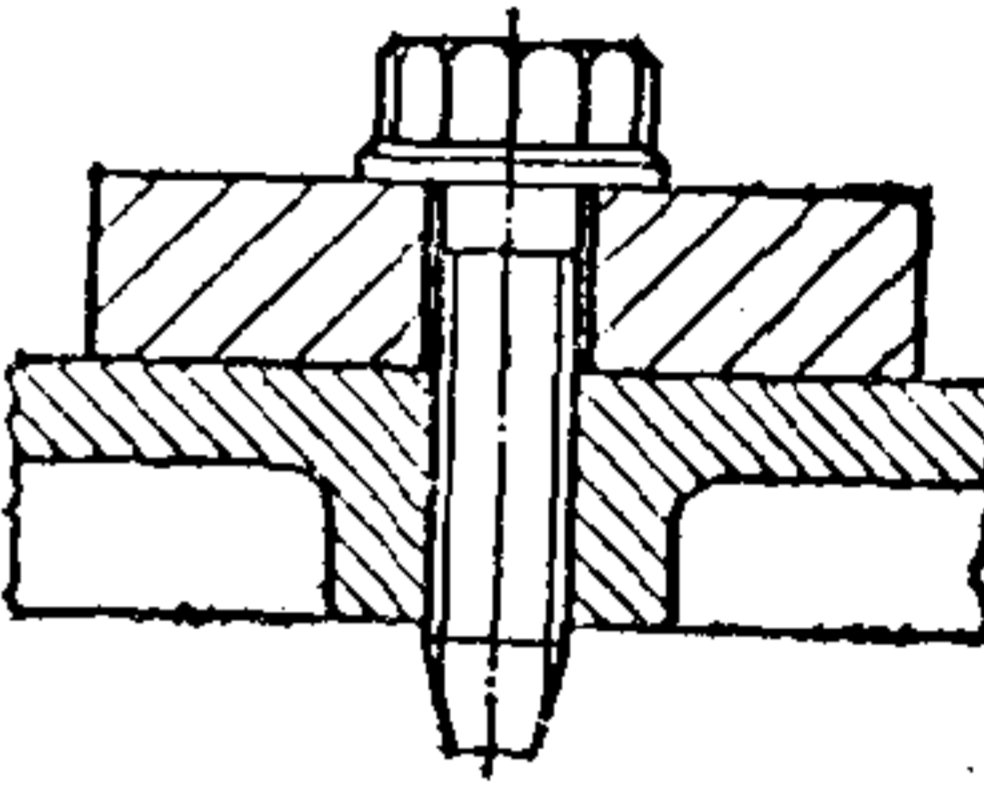
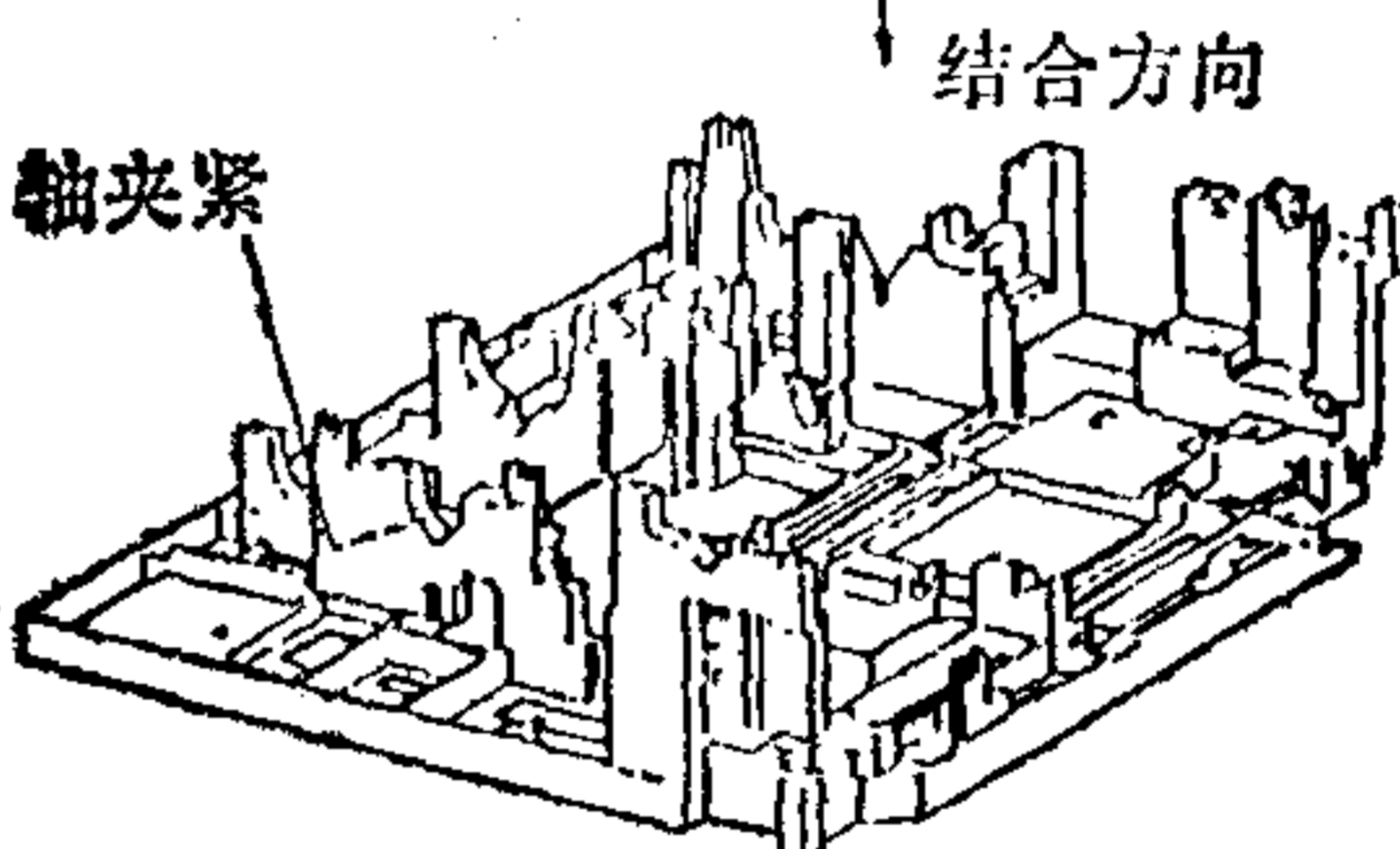
准 则	实 例	
	不 好	好
4.减少要结合的零件的数量		
5.通过减少结合的方向来减少换位		

图 13.2.12 符合装配要求的构形准则及实例

动”(见图13.2.13第7行)。

8)用构形刚度大的零件代替构形刚度小的零件。例如：轿车尾灯的电导线不做成软线，而采用刚性的金属板，同时用刚性的塑料顶盖代替纺织的“顶盖装帧”。

9)尽量采用简单的直线联接运动；或者说避免多维的运动形式(见图13.2.13第6行)。把复杂的产品分解为几个部件便可达到这种要求；许多不太复杂的部件，通常可以简单地自动化装配，然后组装成一台单部件结构方式的机器。

10)避免用机器人在两个以上的方向上使零件精确定位的装配结合过程。如果不能避免三轴定位或多轴定位，那么这些零件应该带有相应的定位辅助(面)。这样，这些定位辅助面就是“自校准”的。

11)避免不必要的过紧的公差(配合)，它会妨碍结合过程。

12)设置自动检测过程，例如检测某个零件是否存在，如果某一加工过程或装配过程事先没有完成，那么能否把一个零件或部件装进去。在手工装配时通常不提这个检测过程，因为人们无需向一个装配工指出这点他就能完成这个检测过程。而在自动检验时应能自动地报告错误。

13)为自动化结合过程提供足够的空间(掏空等)并使为此所需要的工具运动尽可能是直线运动(见图13.2.13第8行)。

14)避免前面的装配过程影响后面的装配过程，或者后面的装配过程可能损害前面的装配，或者拆解前面的装配。

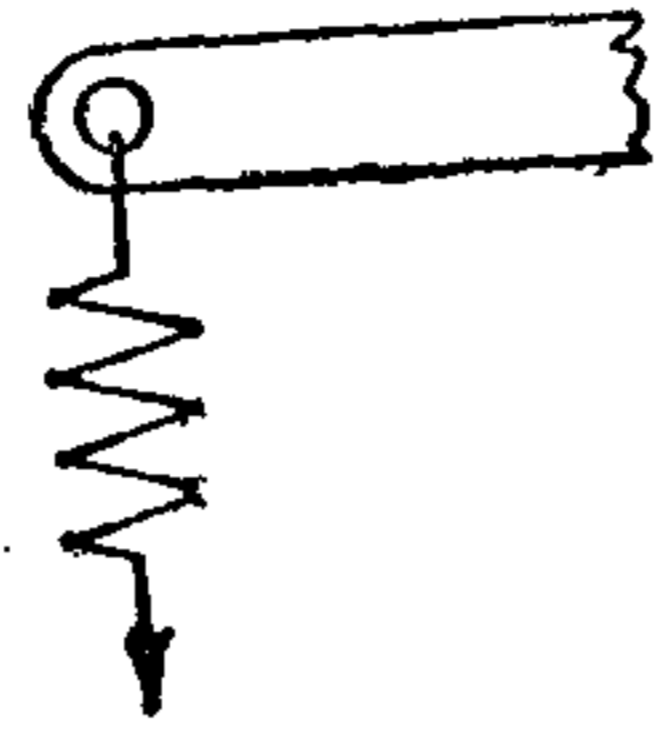
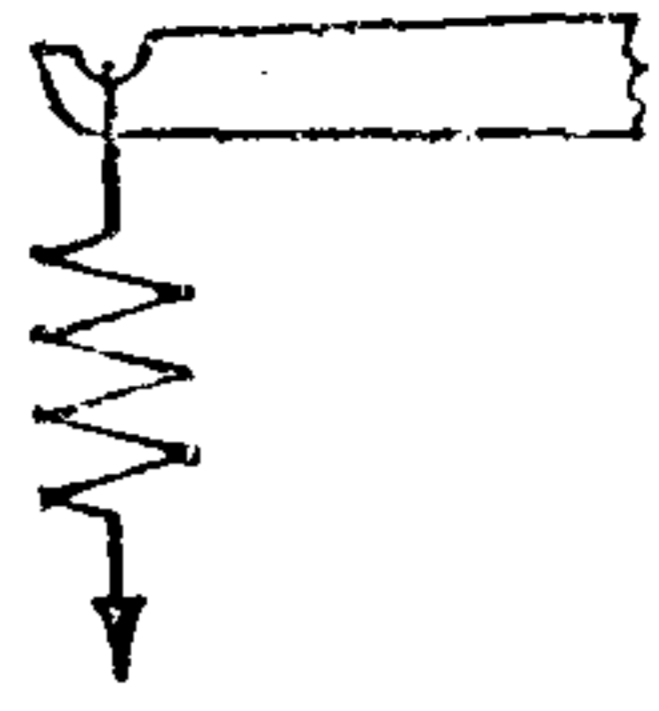
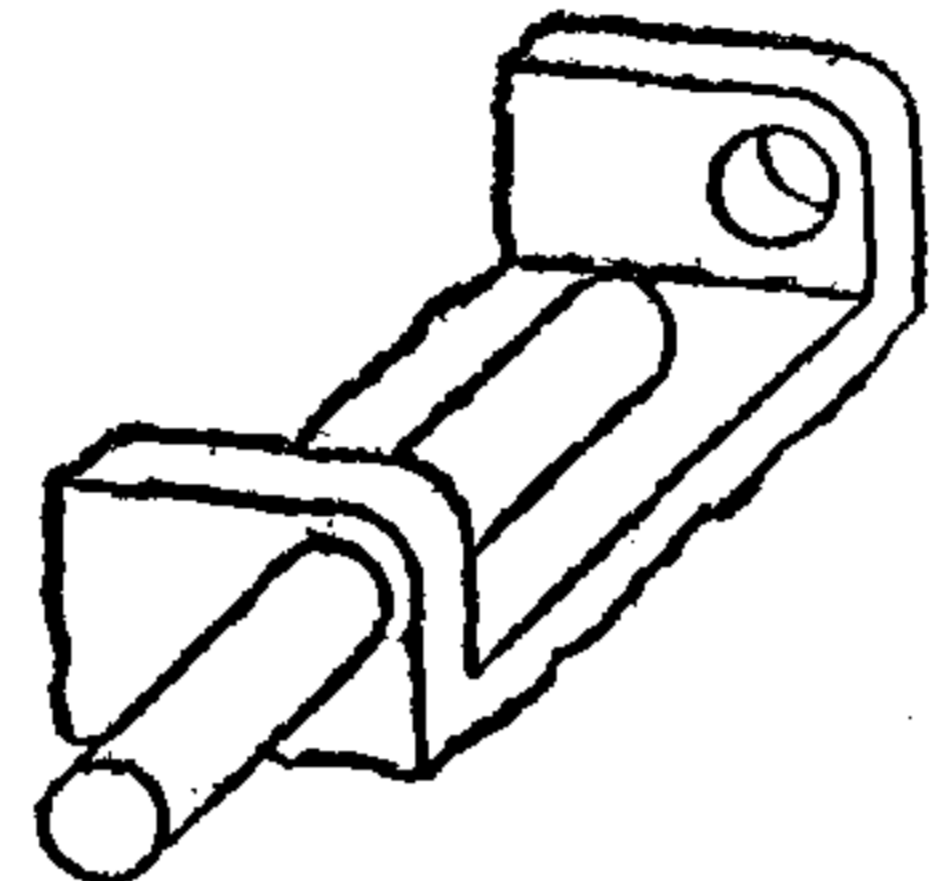
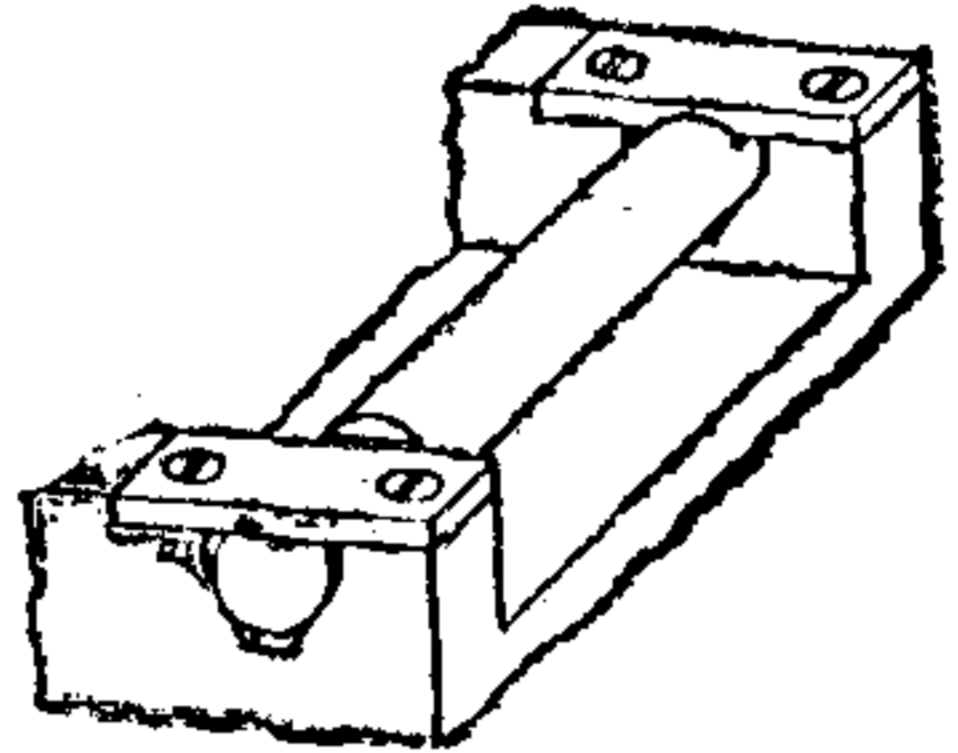
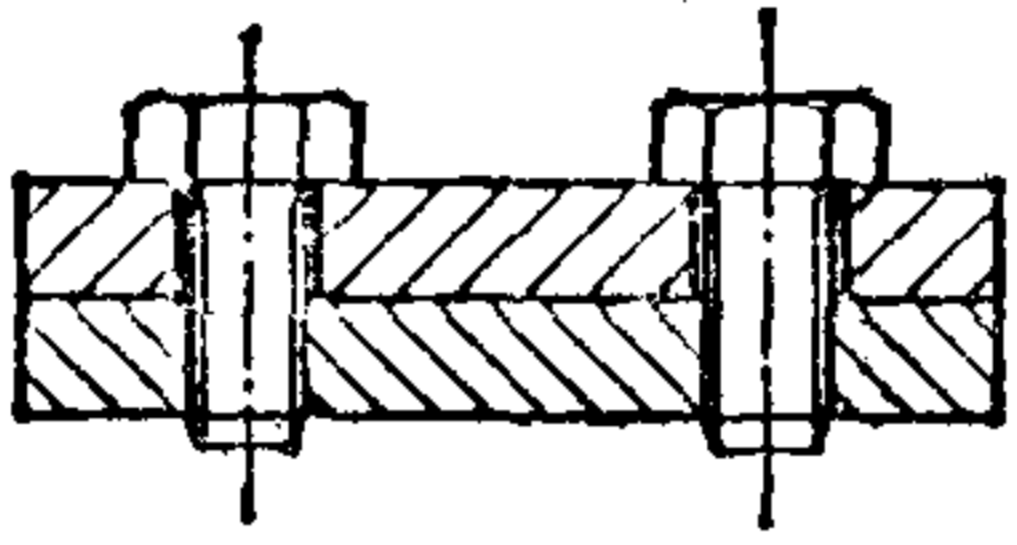
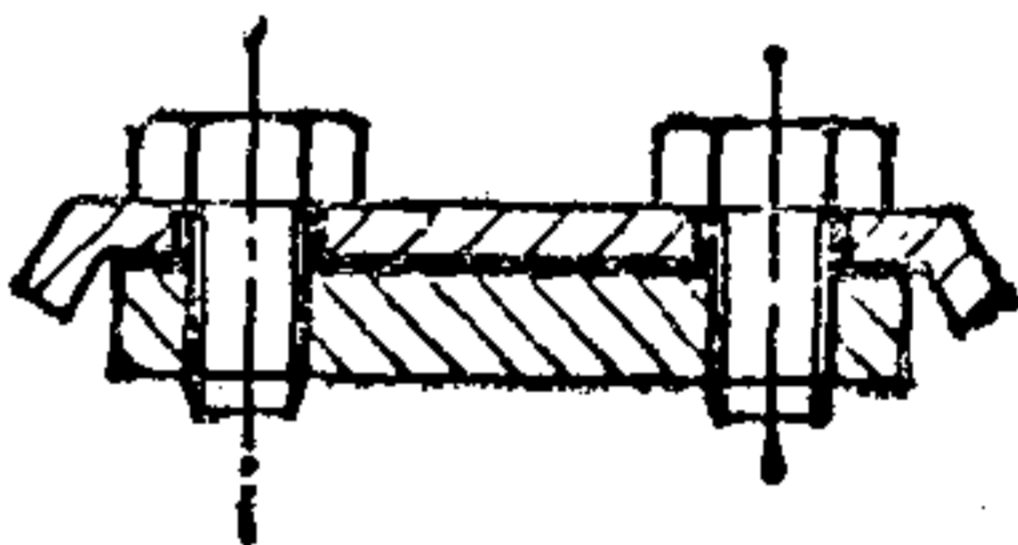
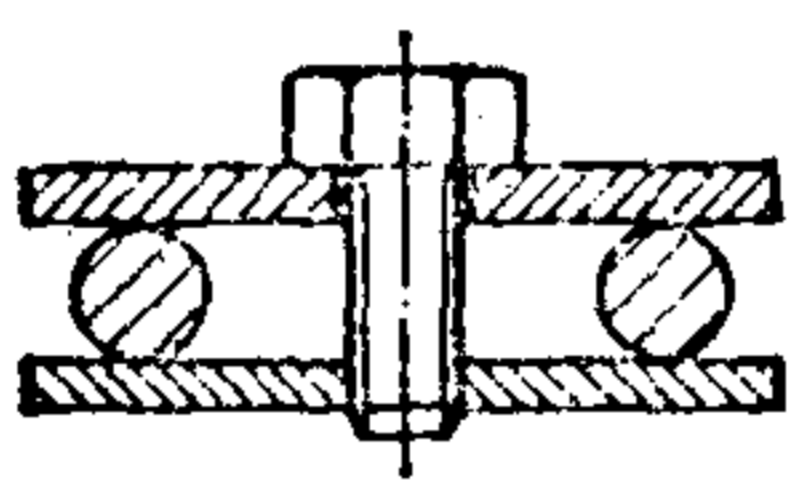
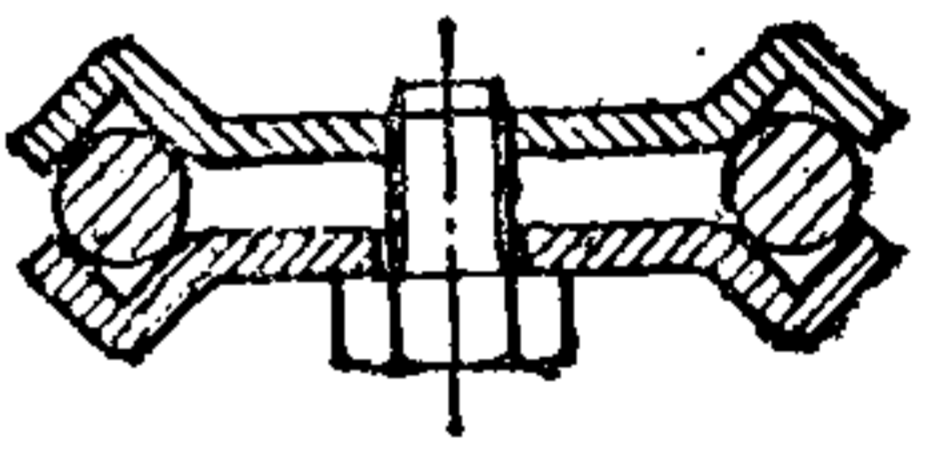
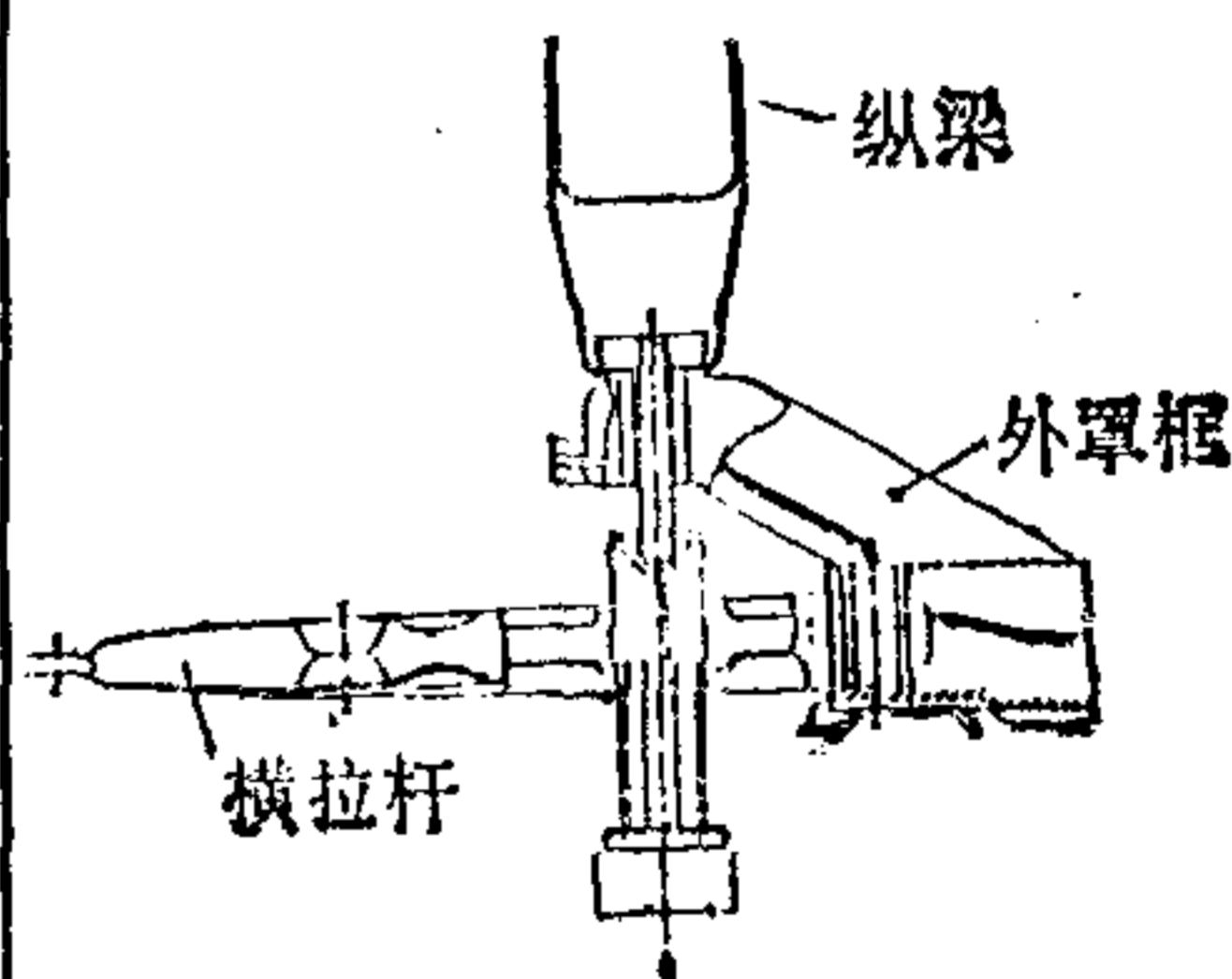
准 则	实 例	
	不 好	好
6. 尽可能用简单的结合运动, 力求短的结合位移		
		
7. 力求采用自定位零件(在接缝范围内)		
		
8. 力求可以方便地用手和(或)用工具操作		

图 13.2.13 符合装配要求的构形准则及实例

13.2.4 符合负荷要求的构形

工业产品的受力零件的设计可以分为定性设计和定量设计。定性设计是指适当地确定某个零件的定性的构形。定量设计则是指根据强度要求定量地确定(计算)零件。正如开始时所提到的, 定性地正确确定零件是以后定量设计零件或计算零件强度的重要先决条件。定性设计中的错误不可能再通过定量计算来纠正。什么是适合负荷要求的构形

呢？

适合负荷要求的构形，是指在定性和定量方面正确地确定以某种方式受力的零件的最小材料消耗的构形，以便使该零件能够可靠地承受出现的负荷。

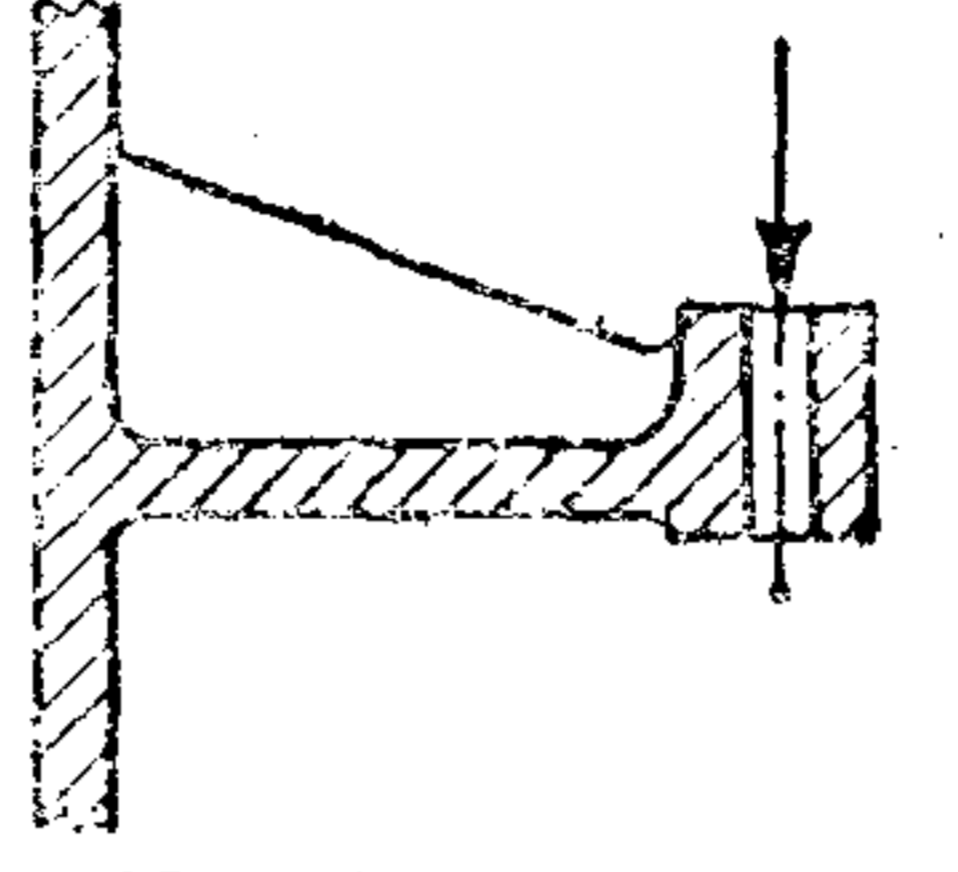
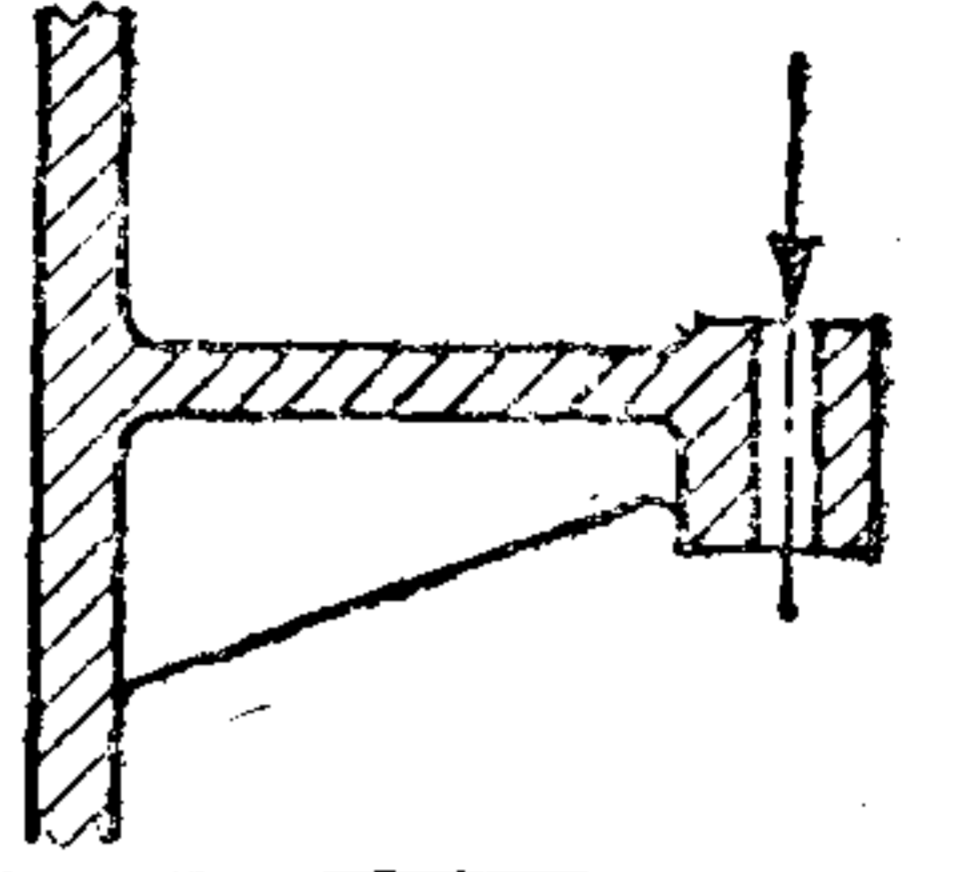
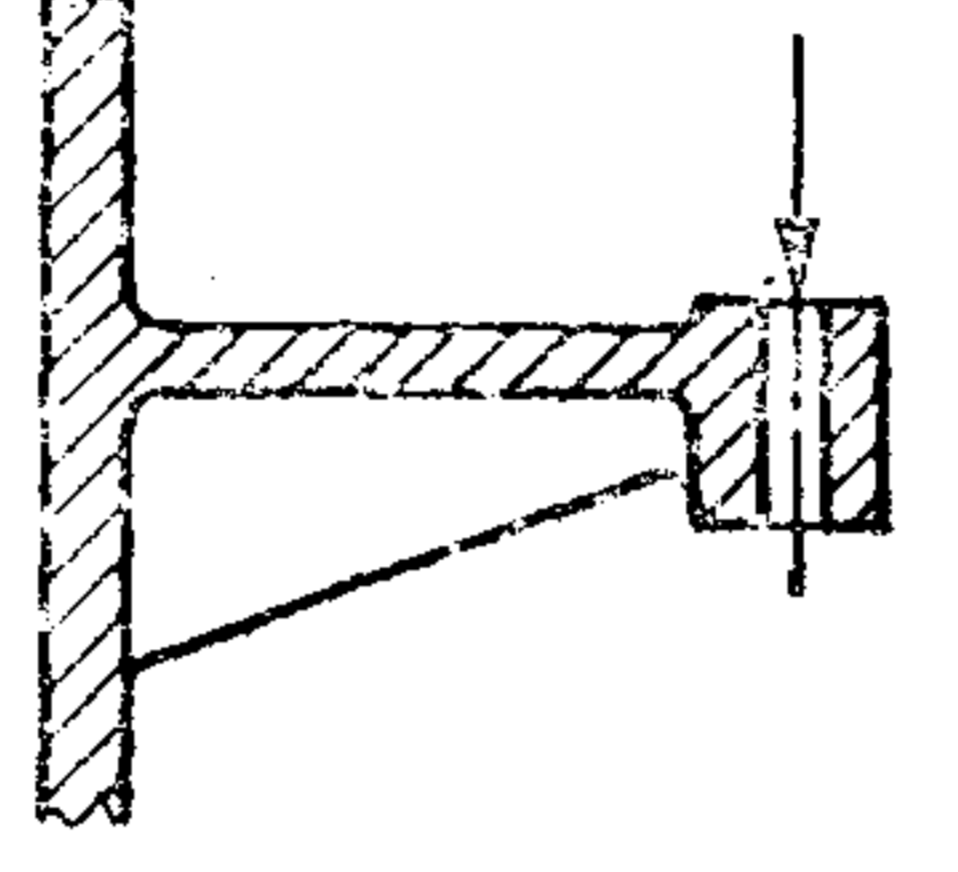
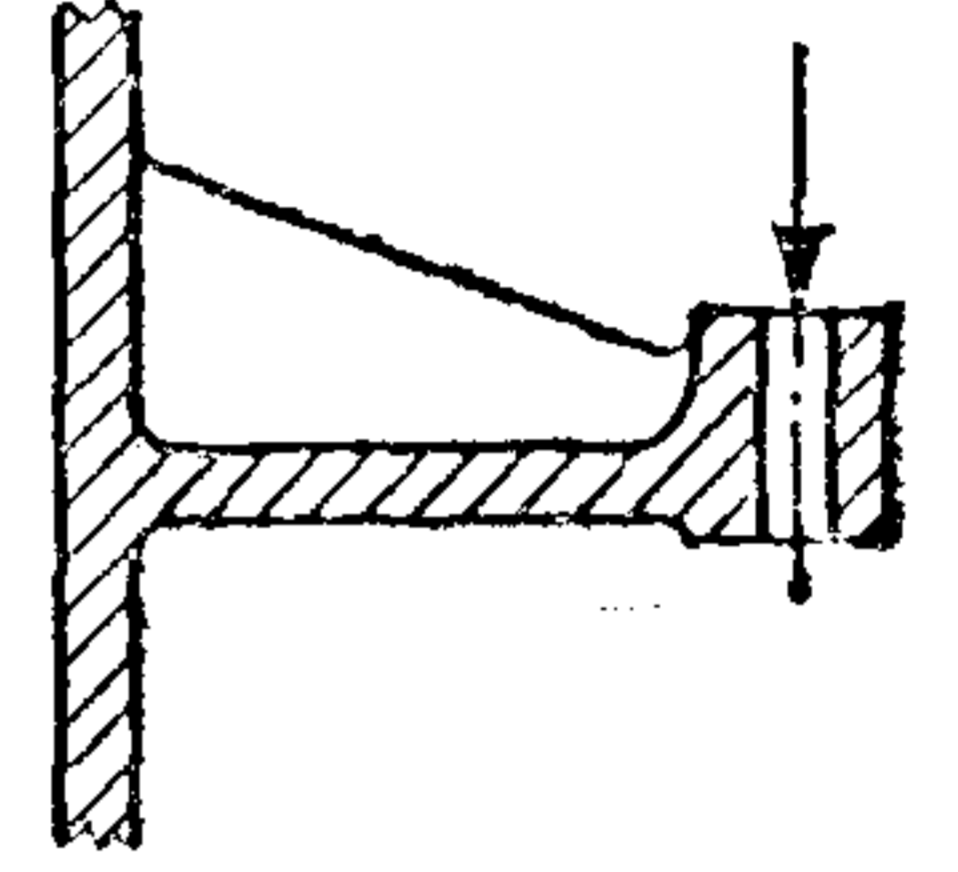
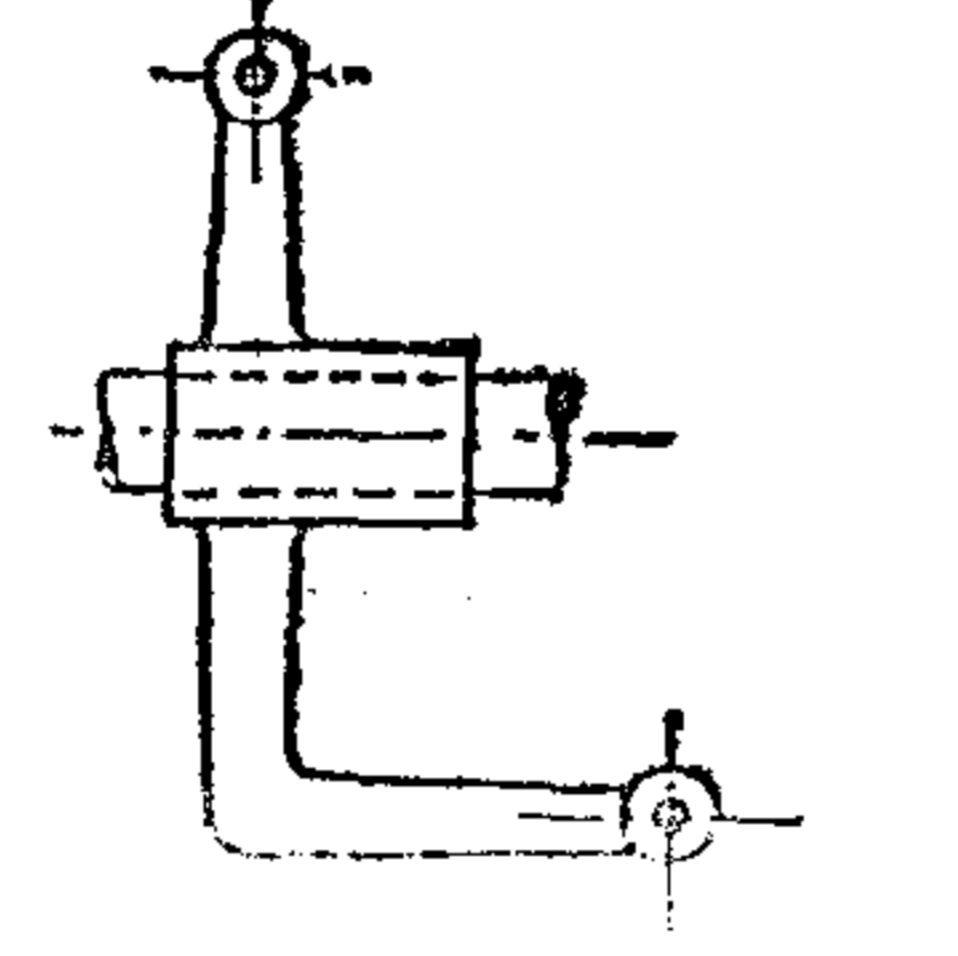
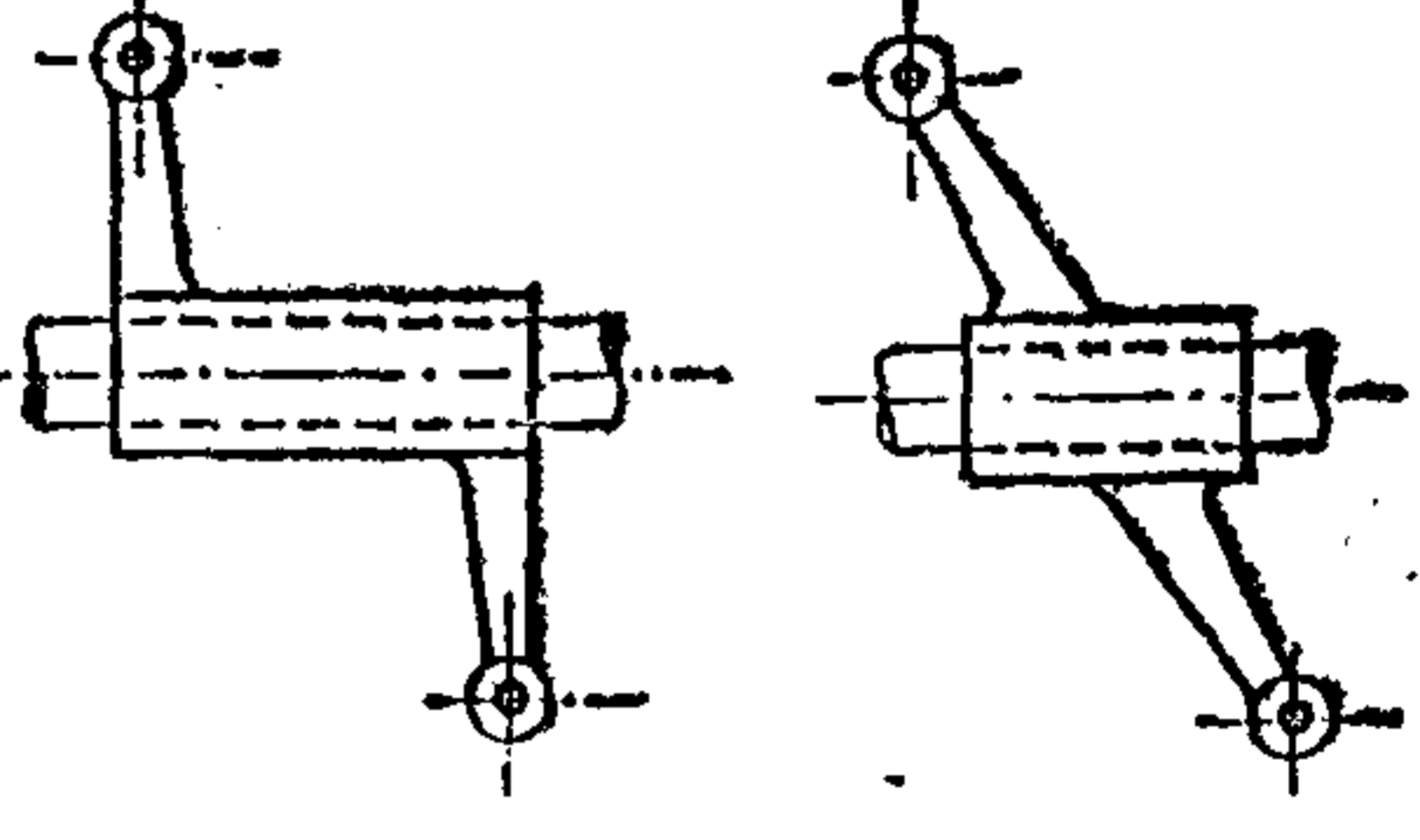
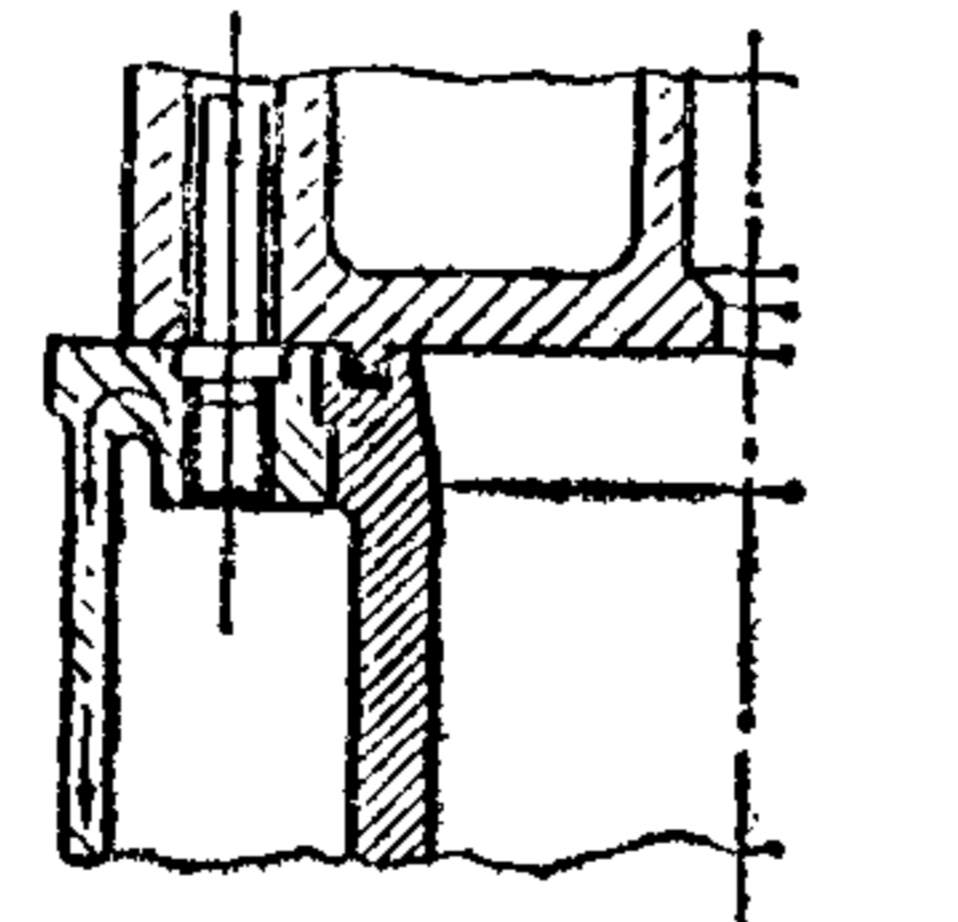
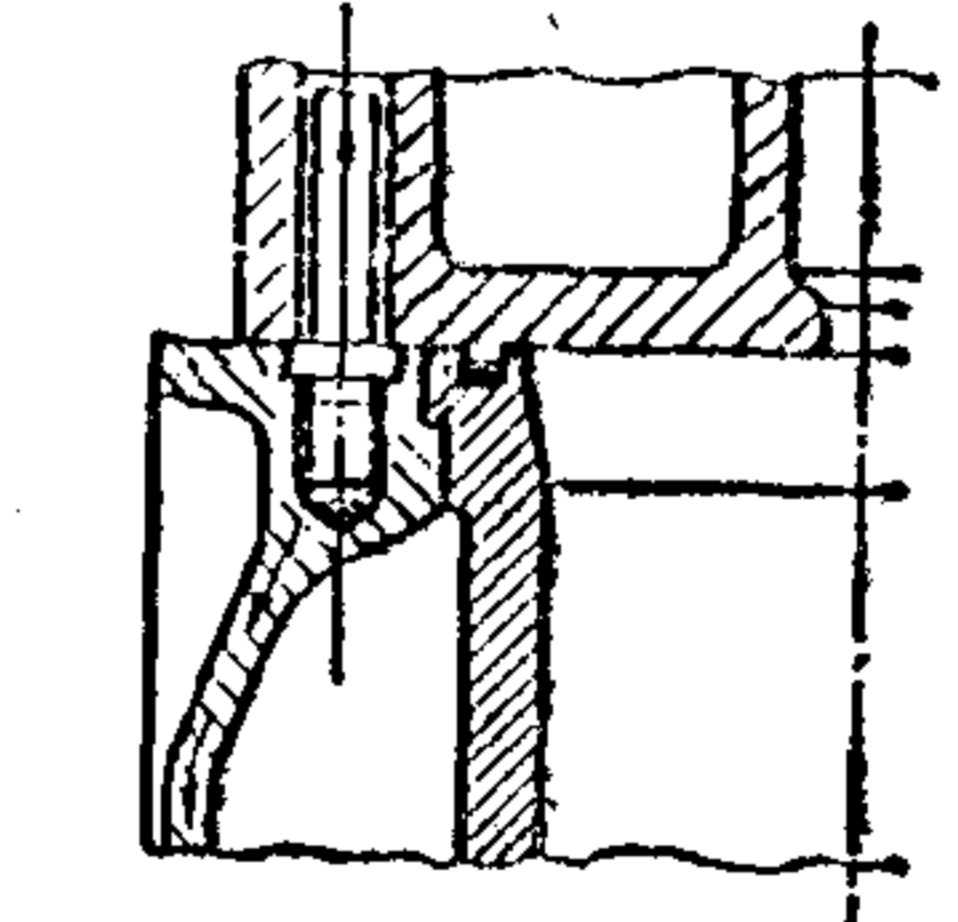
准 则	实 例	
	不 好	好
1. 铸钢受压应力比受拉应力或扭转应力好		
2. 由于纵向弯曲的原因，钢或塑料受拉比受压好		
3. 力求力的传导路程尽可能短， 传力断面的刚性尽可能大		
		

图13.2.14 符合负荷要求的构形准则及实例

具体讲就是考虑到零件的材料强度特性，零件应这样设计，即：

- 在一定的载荷下，使应力尽可能均匀分布，而且在材料中经常出现一些材料最适宜的应力（拉应力和压应力）（见图13.2.14第1行和第2行）；
- 以最短的路程把力从系统的一个位置传到系统的另一位置（避免零件中有扭矩或弯矩）（见图13.2.14第3行）；
- 零件之间的收缩结合（过盈配合）或密封作用的工作力（离心力、压力等）以后会消除或减小（见图13.2.15第4行或第5行）；
- 力均匀地（无峰值应力）从一个零件传到另一个零件（见图13.2.15第6行）；

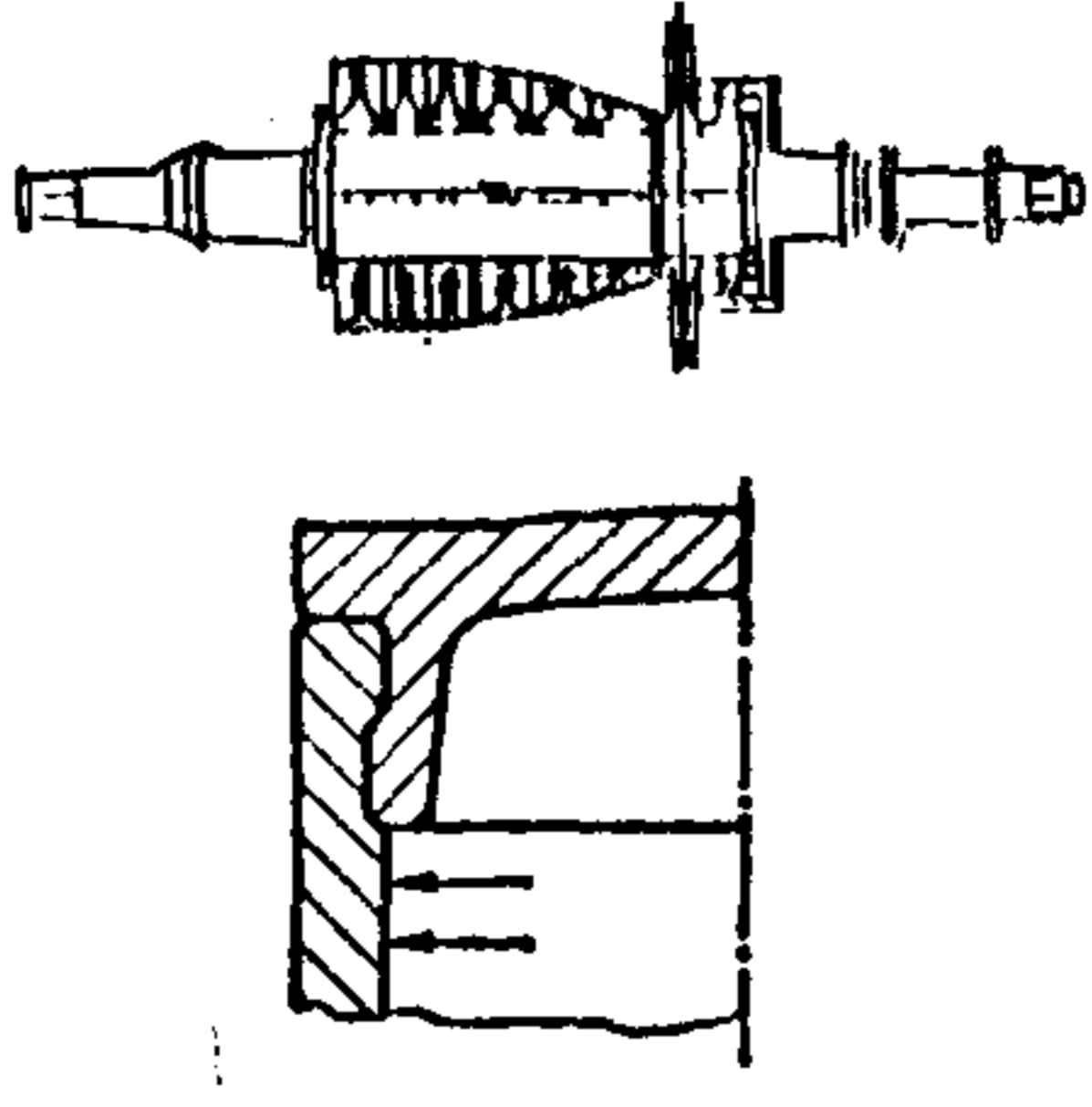
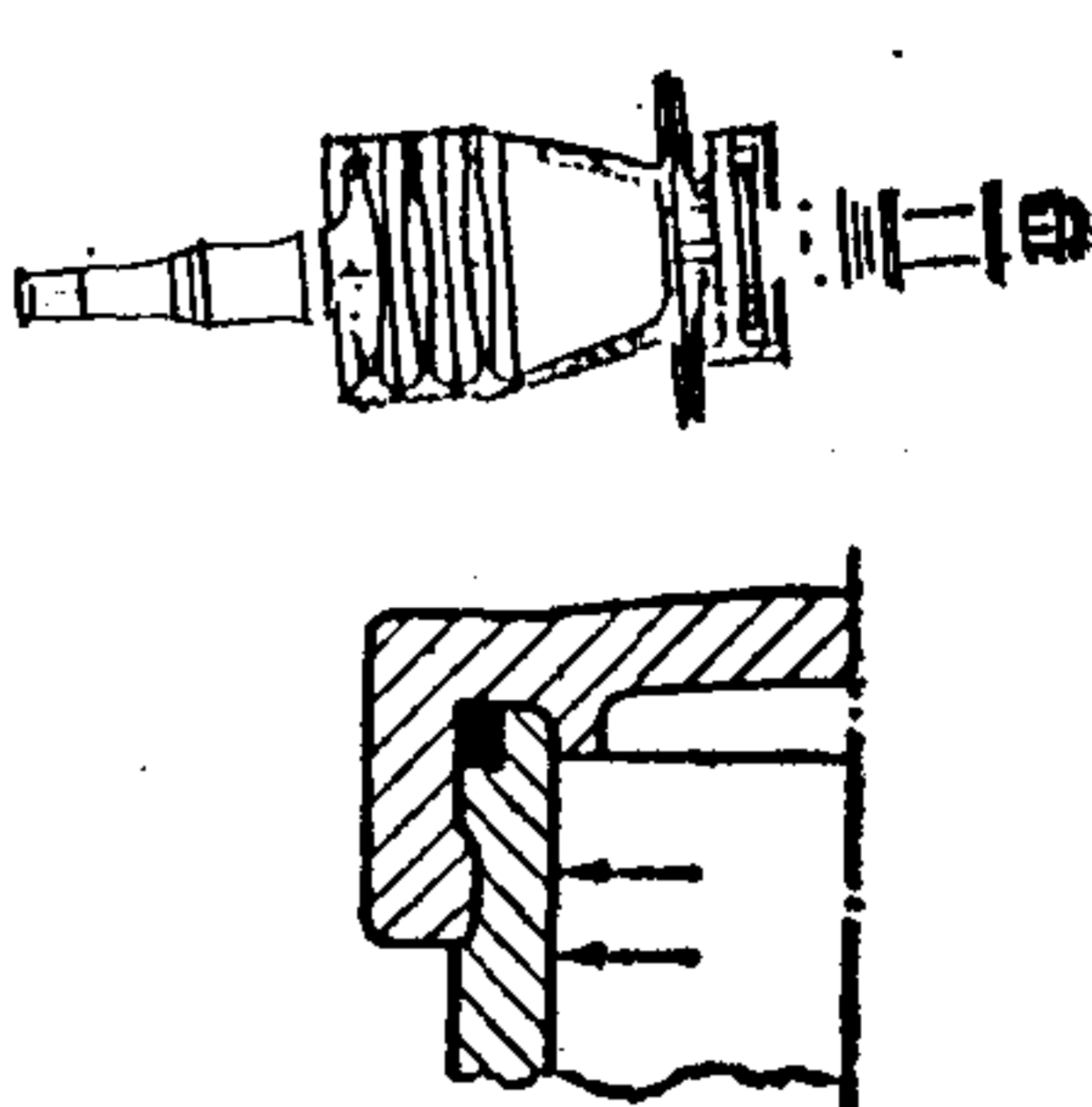
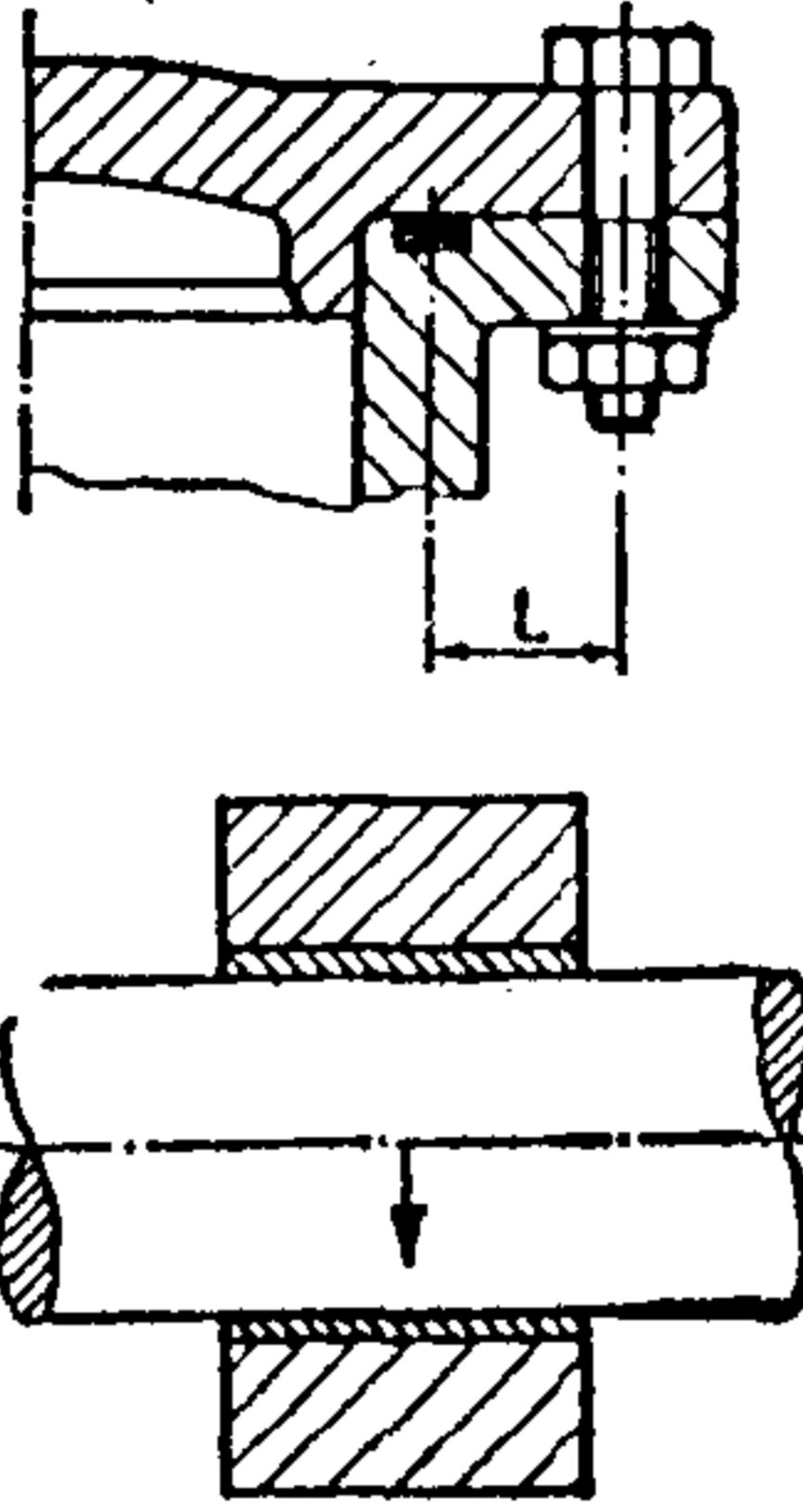
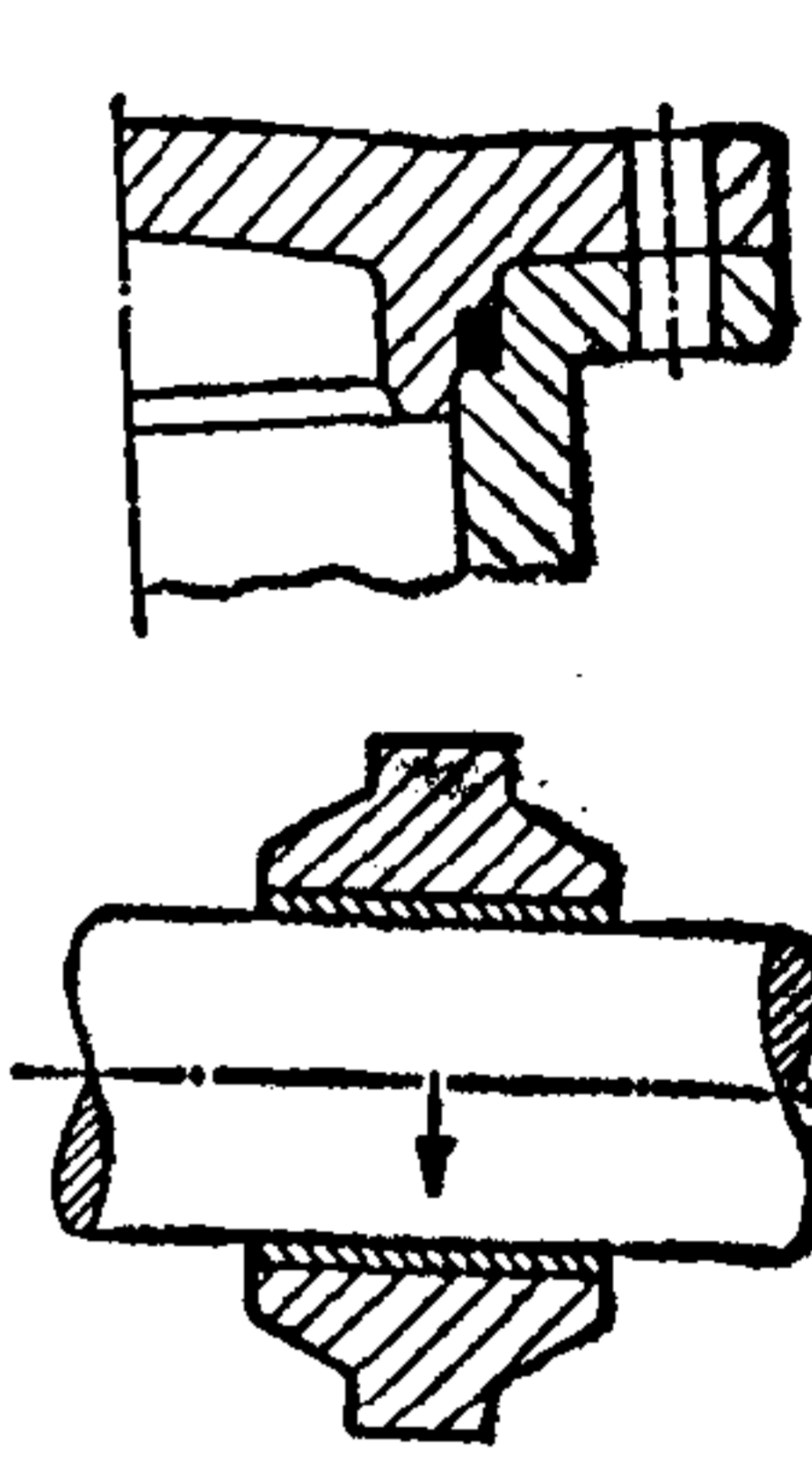
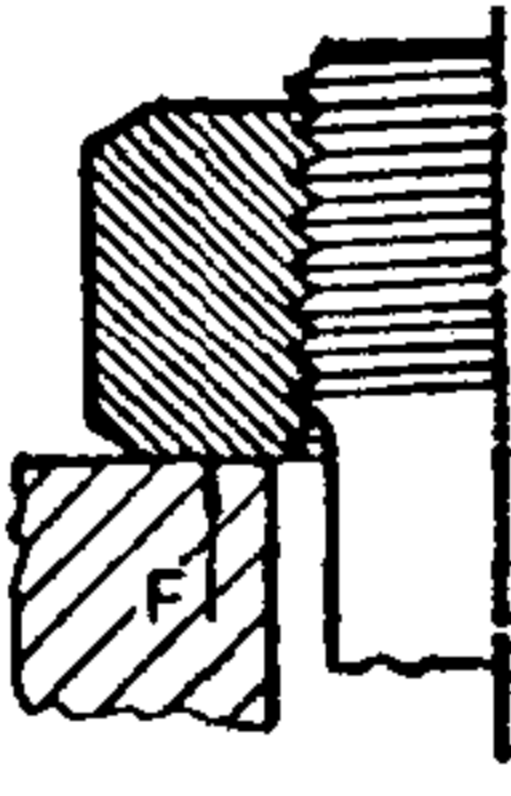
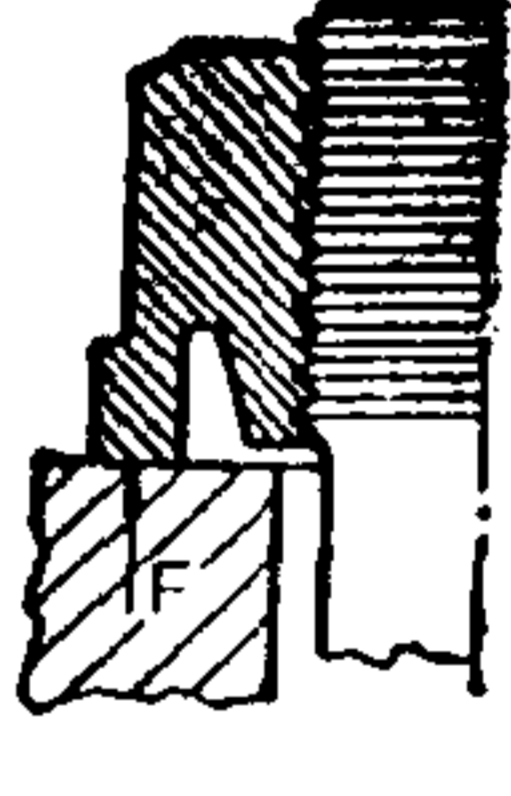
准 则	实 例	
	不 好	好
4. 避免因离心力而损害收缩接合 (过盈联接)		
5. 避免由于变形产生的内压力造成 不密封		
6. 力求传导面的负荷均匀		

图13.2.15 符合负荷要求的构形准则及实例

- 零件在安装时不要过负荷(见图13.2.16第7行);
- 把切口修圆,以保持零件切口部位有较小的应力(见图13.2.16第9行);
- 在夹紧固定板带、缆索的时候,通过修圆夹紧固定部位或利用塑料阻尼减振器,来减小由于可能出现的振动而产生的弯曲交变应力,避免对夹紧固定部位的破坏(见图13.2.16第10行)。

如果不求完整的话,那么,这几个例子就足够说明定性的、适合负荷要求的构形的基本观点了。

13.2.5 符合材料要求的构形

机器、仪器和设备的零件是用特性各异的不同材料加工而成。零件的构形不仅与


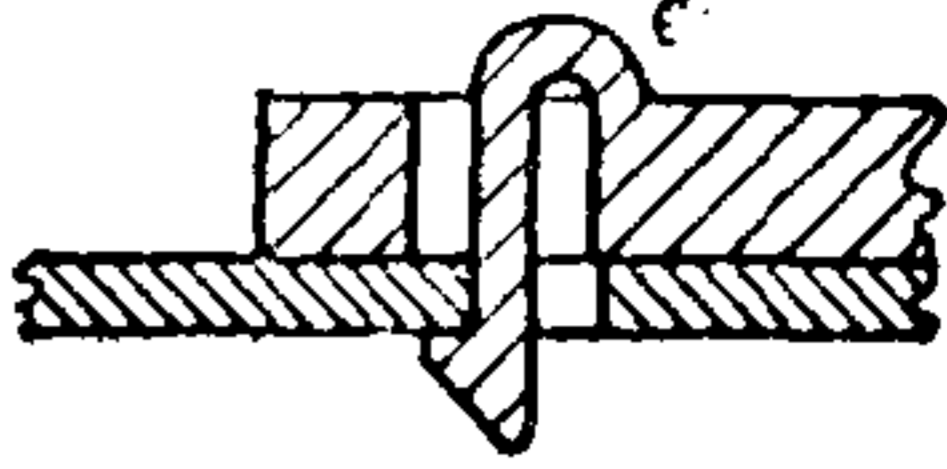
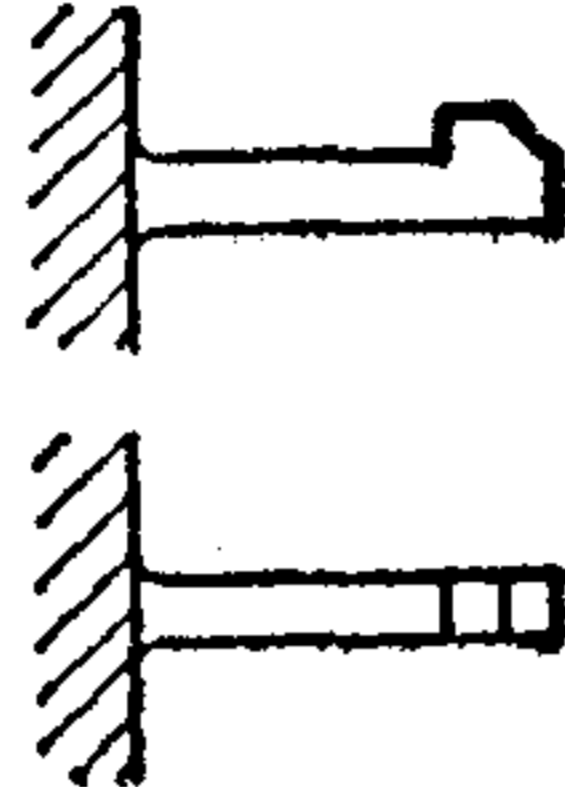
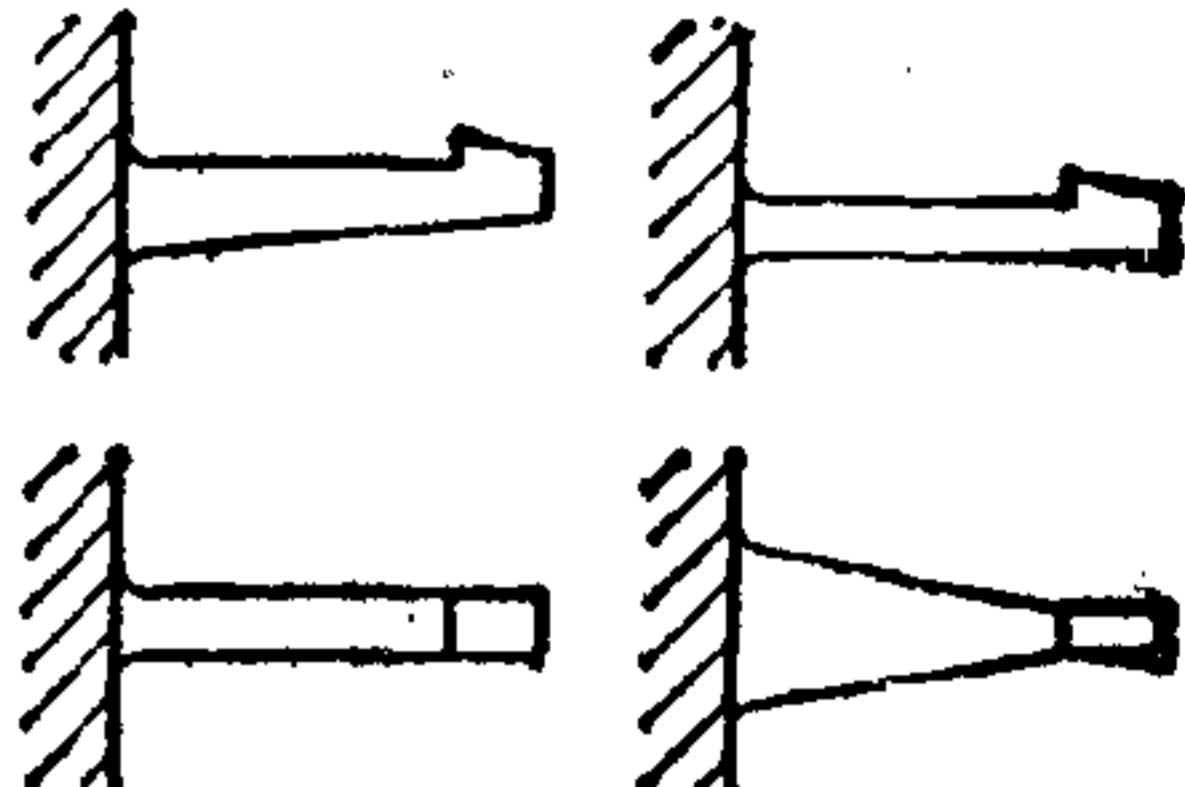
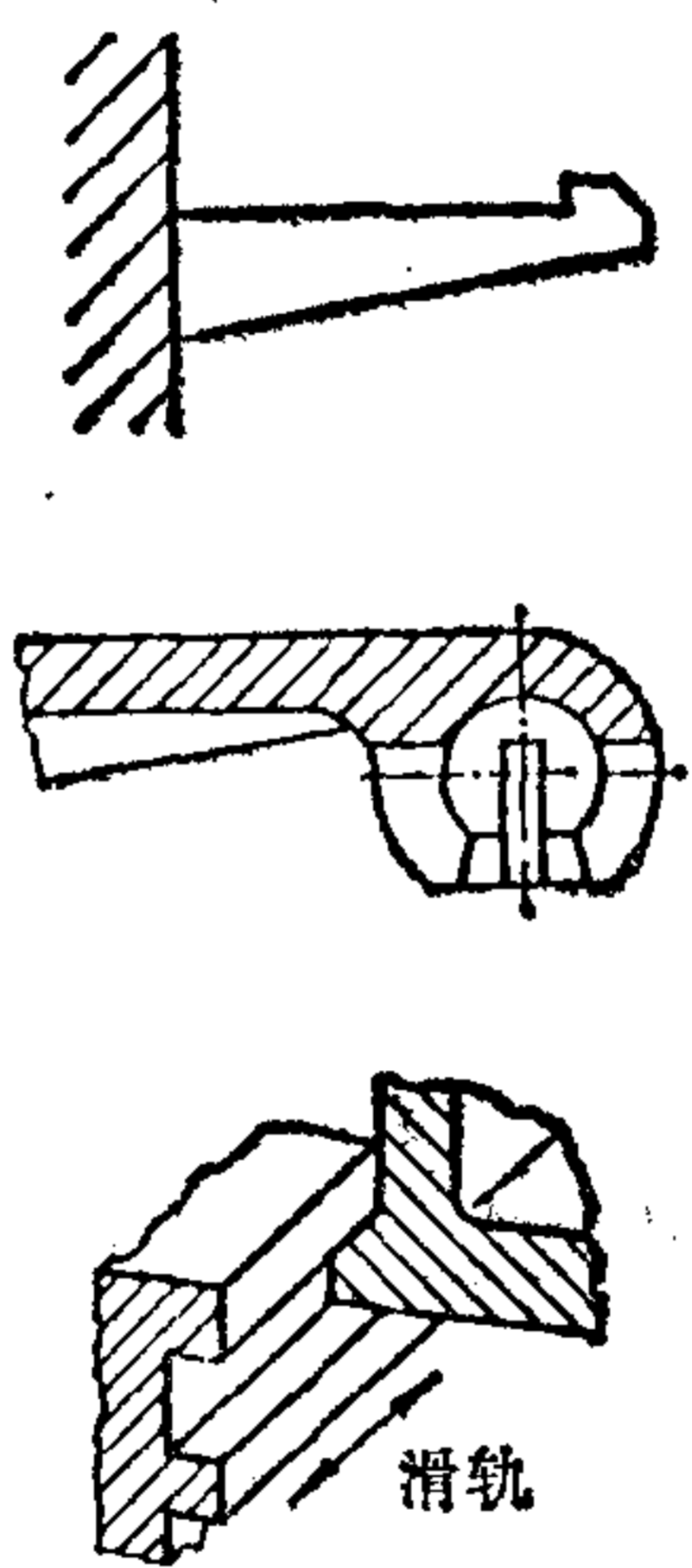
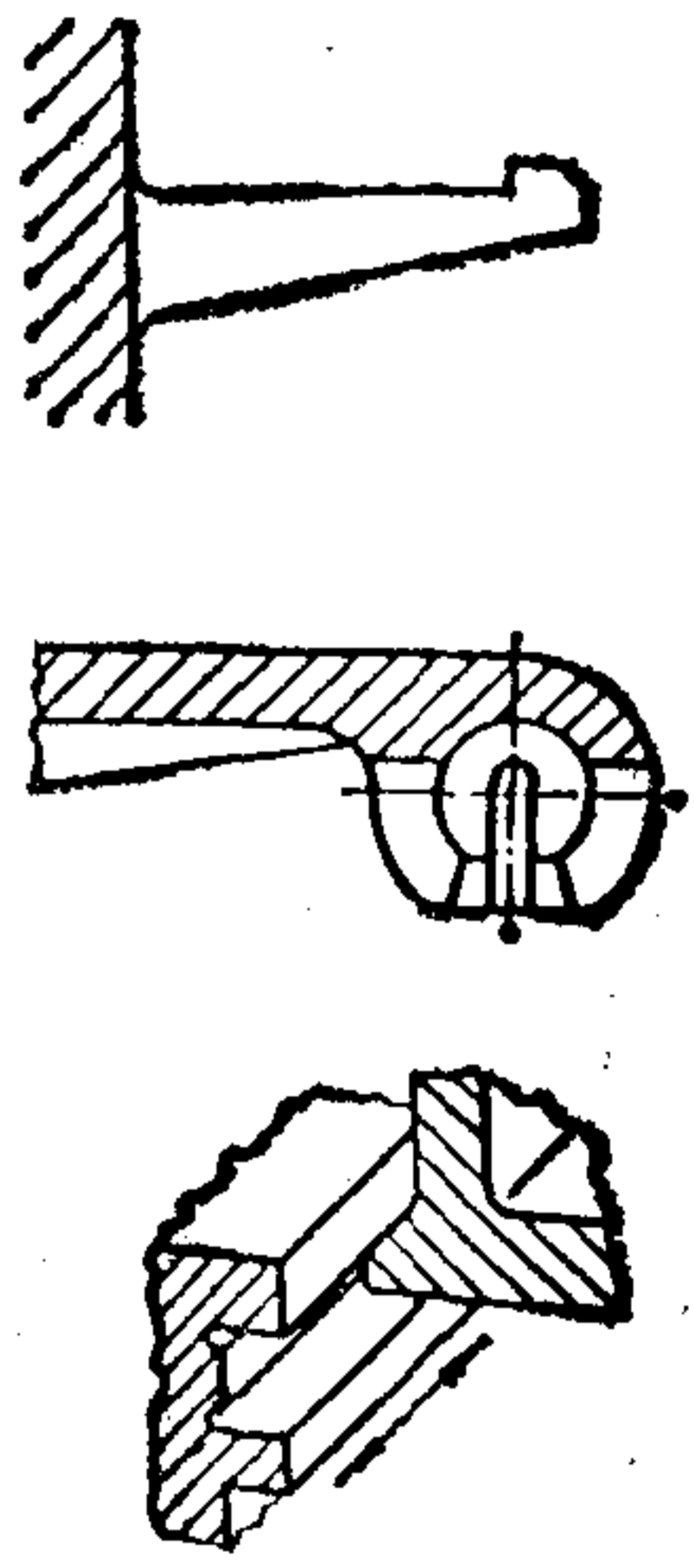
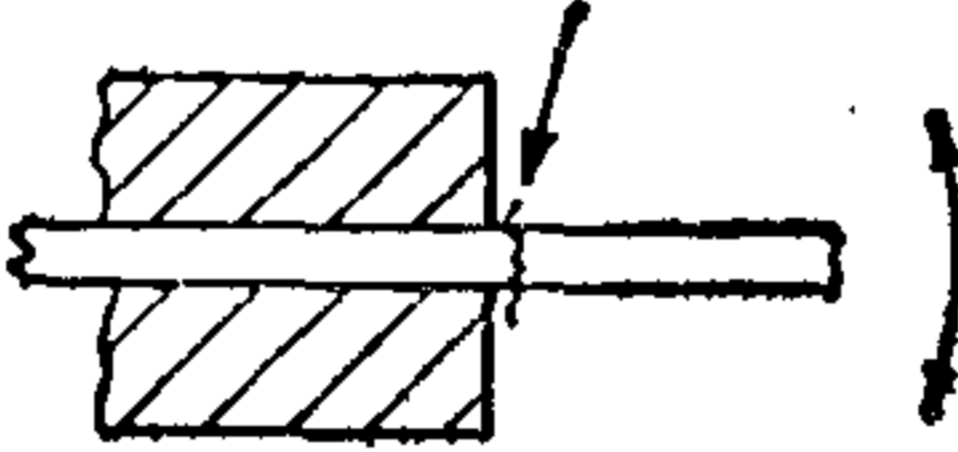
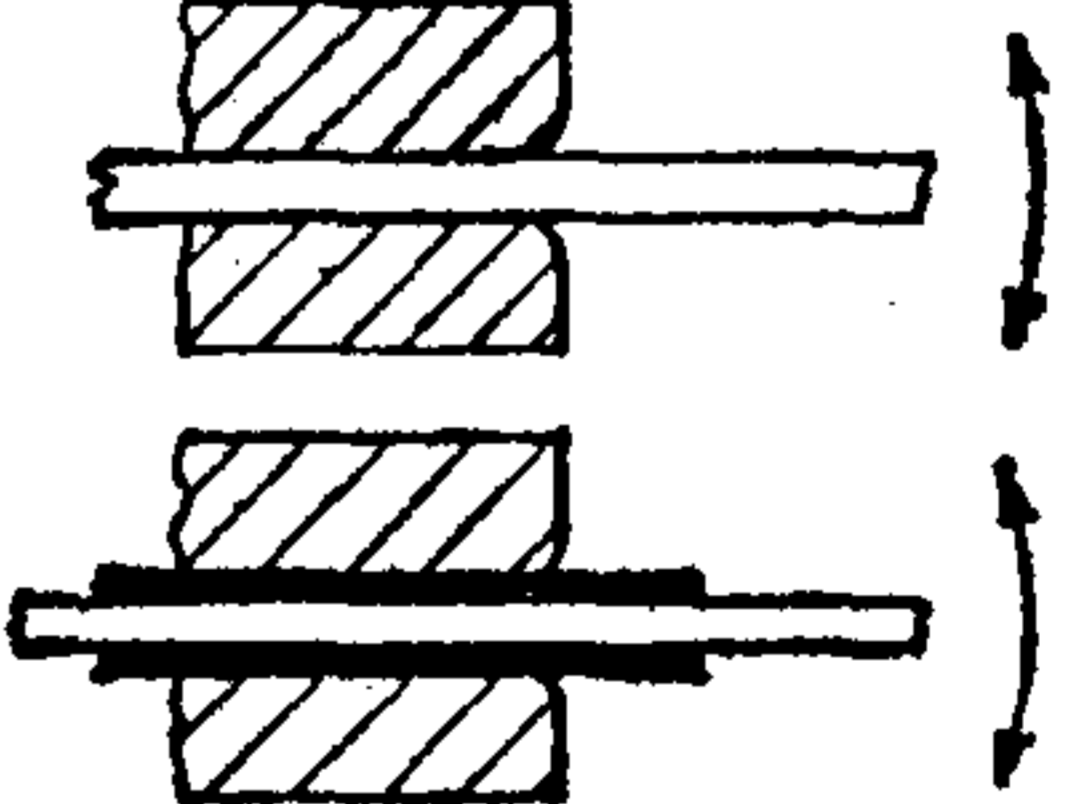
准 则	实 例	
	不 好	好
7. 通过增大弹簧长度，减小弯曲应力(软弹簧特性)		
8. 力求具有恒定强度(应力)的梁		
9. 避免零件高应力部位的切口		
10. 在板带、缆索上通过夹紧部位的阻尼保持小的弯曲交变应力		

图13.2.16 符合负荷要求的构形准则及实例

零件的用途有关,而且与材料的有利和不利特性有关。必须认识有利和不利的特性,并且在构形时适当地利用这些特性或者通过适宜的构形进行补偿。

适合材料要求的构形是指在具体应用时,通过适当的构形,利用材料的有利特性,并且补偿材料的不利特性。

下面谈谈零件构形的详细情况,例如:

——由于铸钢能承受的压力大于拉力,所以铸钢零件较高负荷的断面应以压力代替拉力。与此相反,钢或塑料零件较高负荷的断面,应以拉力代替压力。这是由于细长杆

- 有纵向弯曲的危险, 这些断面能承受的拉力大于压力(见图13. 2.17第1行);
- 利用材料已知的有利特性(高弹性), 以便把多种功能集中在一个零件上(力求采用多功能结构方式)(见图13. 2.17第2行);
- 利用零件已知的有利特性(在水中变软), 以便简化加工方法和装配工作(见图13. 2.17第3行);
- 通过零件的适当构形来补偿塑料的不利的特性(蠕变、松弛)。如果塑料字头的构形

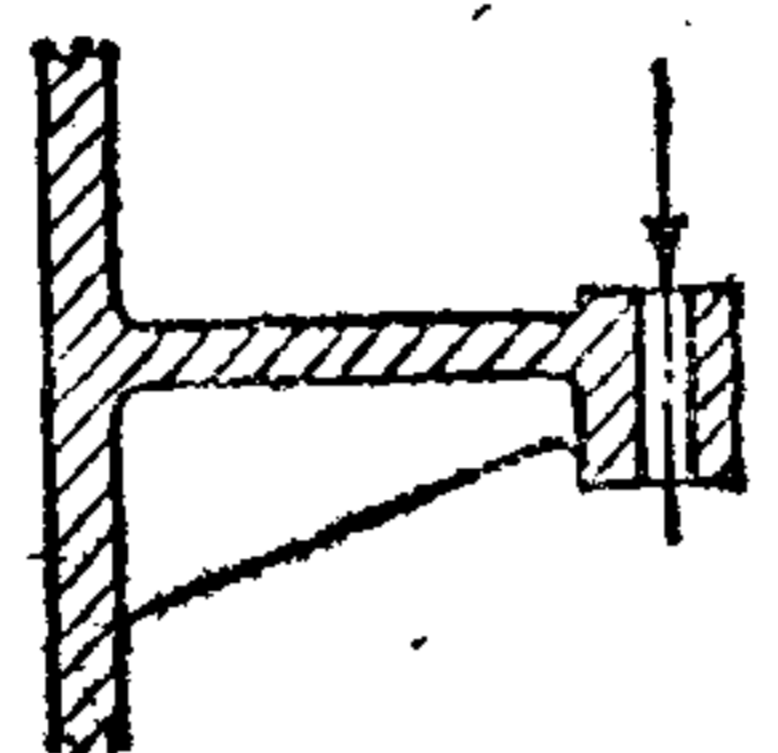
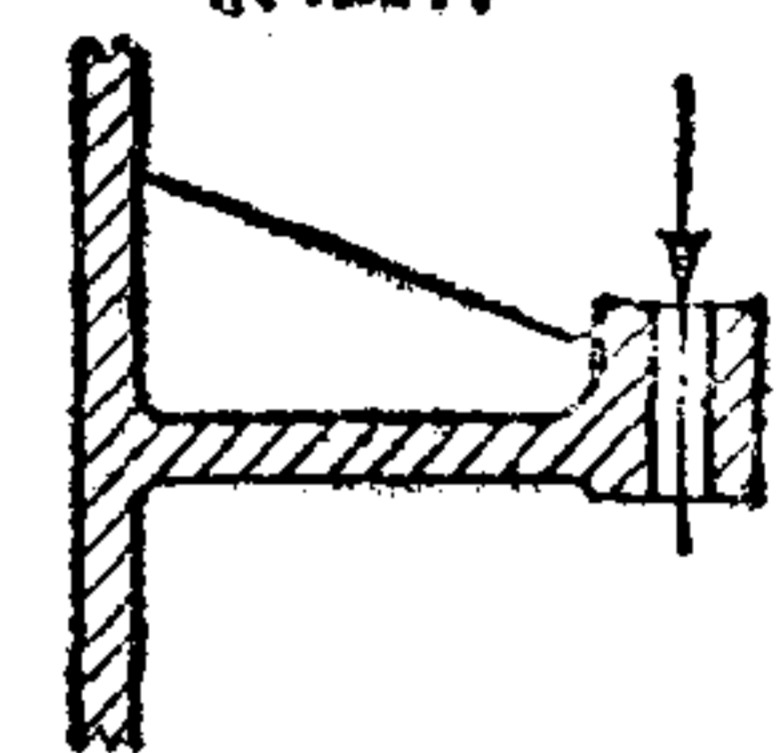
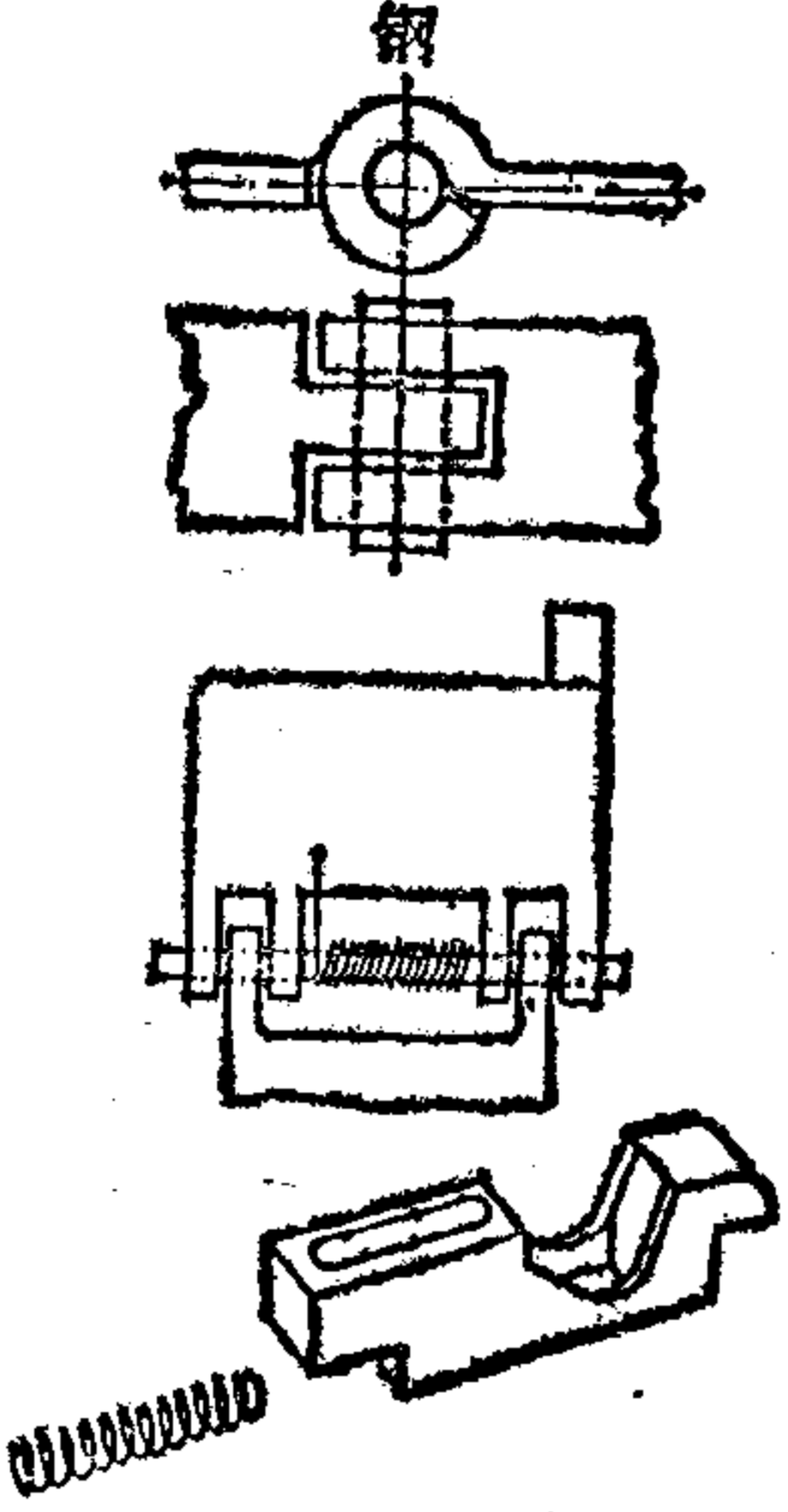
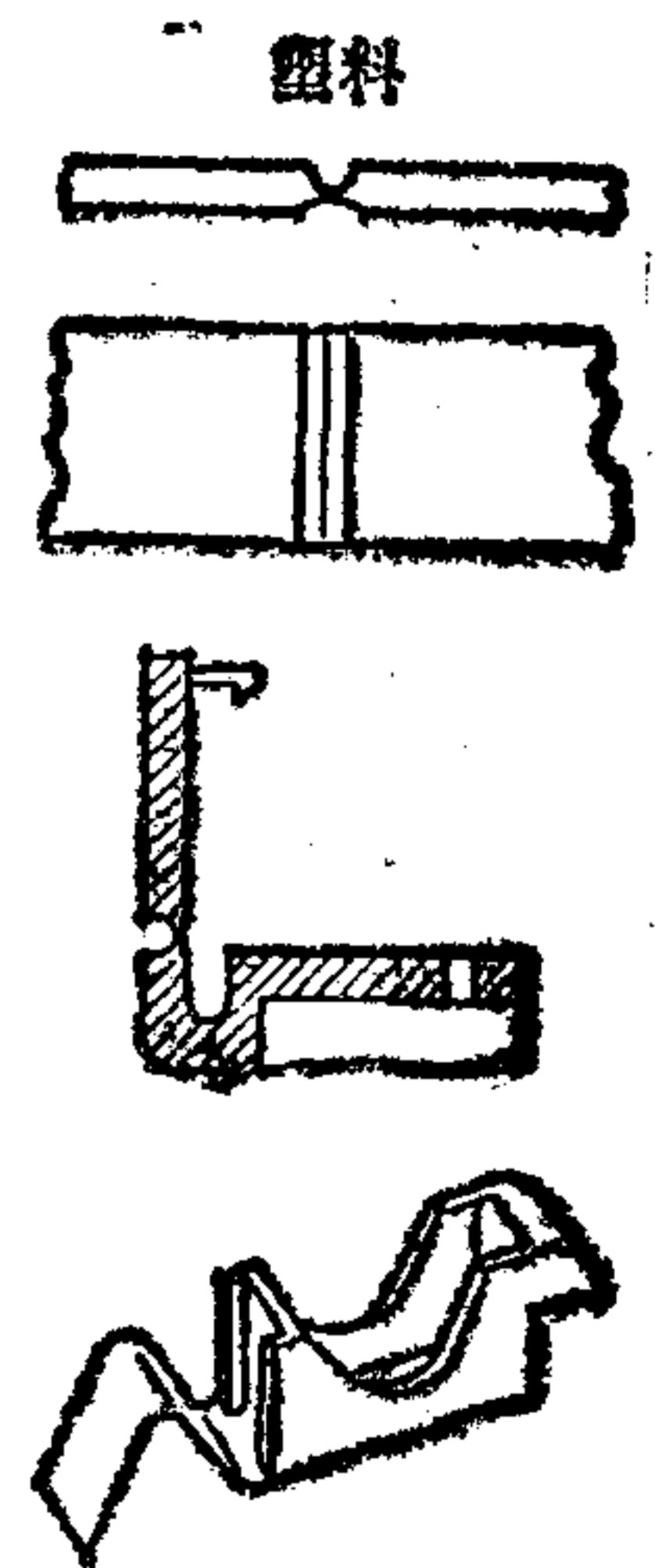
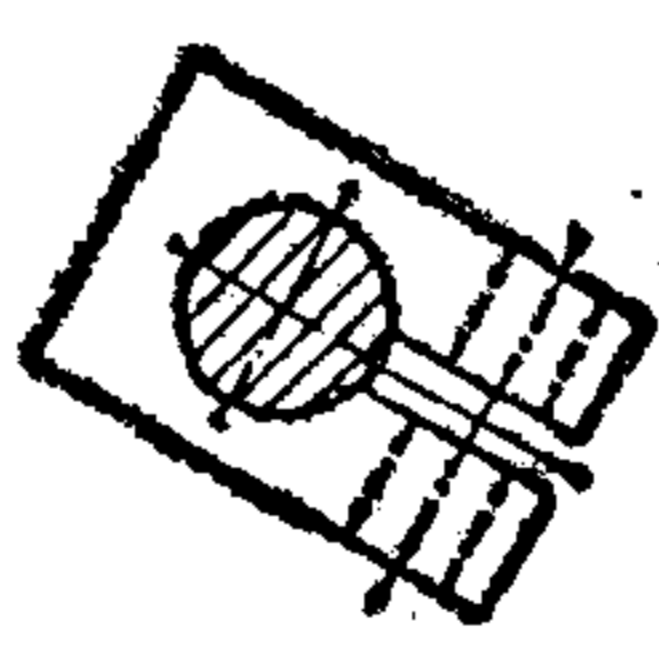


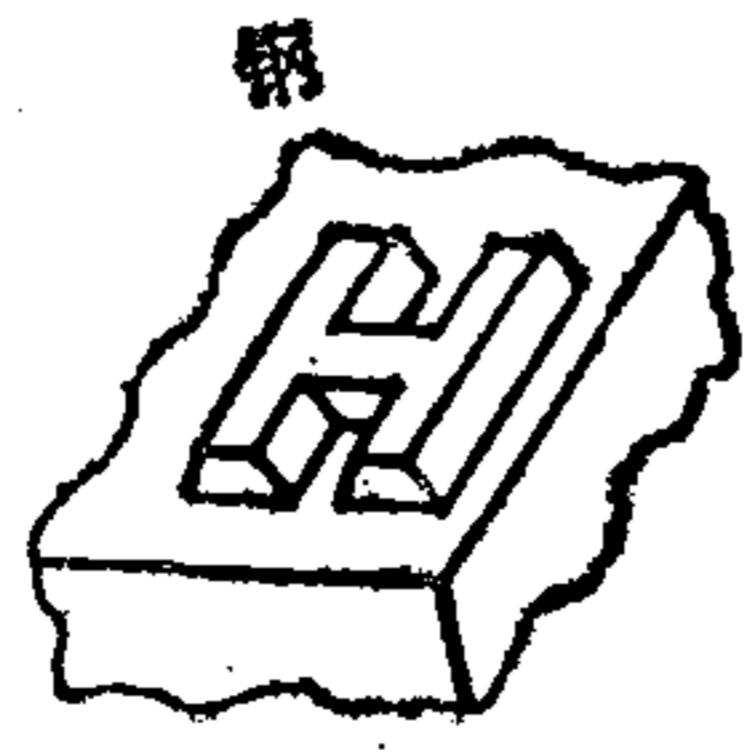

准 则	实 例	
	材 料 A	材 料 B
1. 补偿材料的不利特性: 铸钢受压应力比受拉应力更好。钢和塑料则相反, 受拉应力比受压应力好些(纵向弯曲)	<p>铸钢</p> 	<p>钢, 塑料</p> 
2. 通过多功能结构方式, 利用有利的特性(小的弹性模量或较大的弹性); “用喷铸”的铰链、弹簧	<p>钢</p> 	<p>塑料</p> 
3. 利用水的软化功能	<p>钢</p> 	<p>塑料 PA</p> <p>这样制造</p>  <p>这样安装</p> 
4. 在冲击负载下, 由于热塑性塑料具有蠕变这一不利特性, 因此, 塑料字头的形状应与钢不同	<p>钢</p> 	<p>塑料</p> 

图13.2.17 符合材料要求的构形准则

和钢字头完全一样(见图13.2.17第4行左),那么打字时一次次地冲击负荷便使塑料字头表面逐渐消失在支承字头表面的楔形体积中。如果做成棱形的字头(如右图所示)便可避免工作表面的“潜没”——这种构形时,在字头表面形成一种“迈塞尔胡须”;

——避免易蠕变的塑料零件上的疲劳荷重。零件的构形应只出现短时的负荷;如快速咬入联接或帘式操纵杆的支撑。

准 则	实 例	
	不 好	好
1. 通过避免双重配合(超确切)来避免小的公差		
2. 通过弹性元件(弹簧)来避免小的公差和消除间隙配合		

图13.2.18 符合公差要求的构形准则及实例

13.2.6 符合公差要求的构形

加工尺寸公差小的零件要花费大量资金,而且产品价格昂贵。通常公差减小十倍,费用也同样要增加十倍或更多。因此,在确定尺寸时应遵循这样的原则,即:“公差需要多小就多小,可能多大就多大”。

通过定性的适合公差要求的构形,在大多数情况下可以回避零件或部件的小的公差或者至少可以比较经济地获得小的公差。所谓适合公差要求的构形,是指定性地确定零件或复合系统的构形,以便能够完全排除小的公差,或者至少能够以经济合理的费用获得小的公差。对此,可详细地给出如下准则或结构设计方法:

准 则	实 例	
	不 好	好
3. 通过采用调整元件避免小公差		
4. 如果只限于制造几何形状简单的构形元件(可以精密加工的物体形状),例如平行平面,那么,还可以在在某些情况下,以经济可行的花费实现小的公差		

图13.2.19 符合公差要求的构形准则及实例

- 通过避免过分确切(双重配合)来避免小公差(见图13.2.18第1行);
- 利用一个力(弹簧力等),经适宜的结构元件从一侧把间隙“压小”的办法来回避为了减少机械零件之间的间隙而要求的小公差(见图13.2.18第2行);
- 利用可调整的调整元件,避免因精确配合而要求的小公差(见图13.2.18第3行);
- 如果可以把一个系统的所有公差归结为加工制造一个几何形状简单的调整元件,那

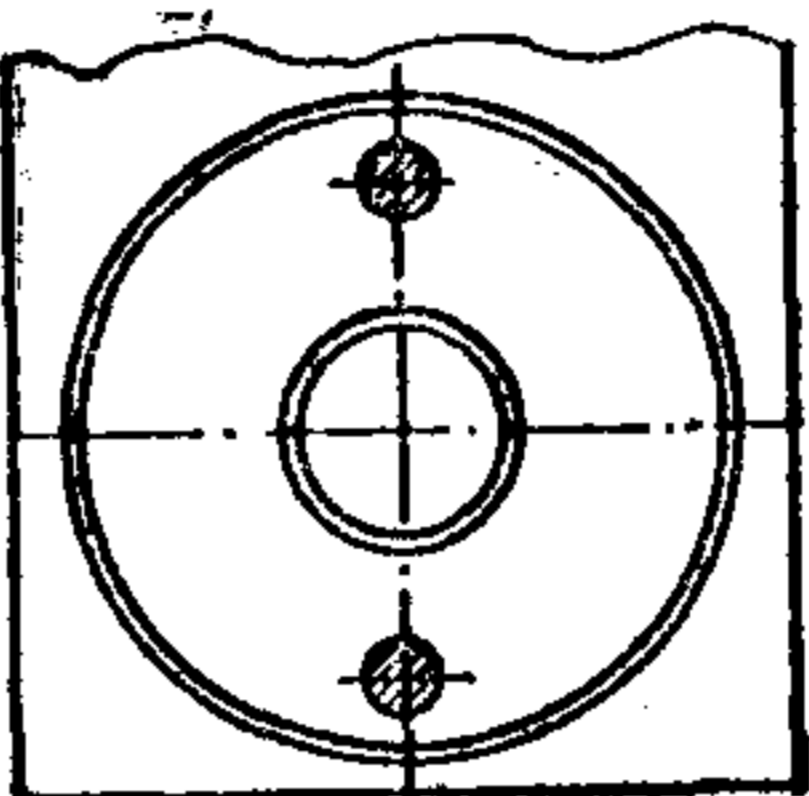
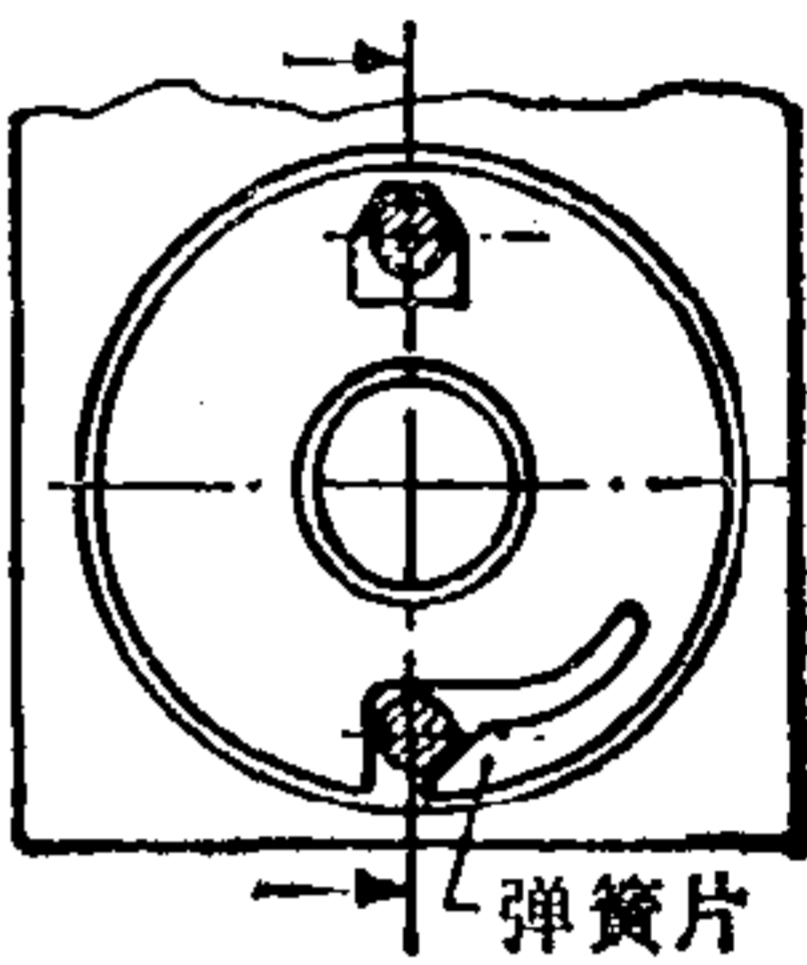
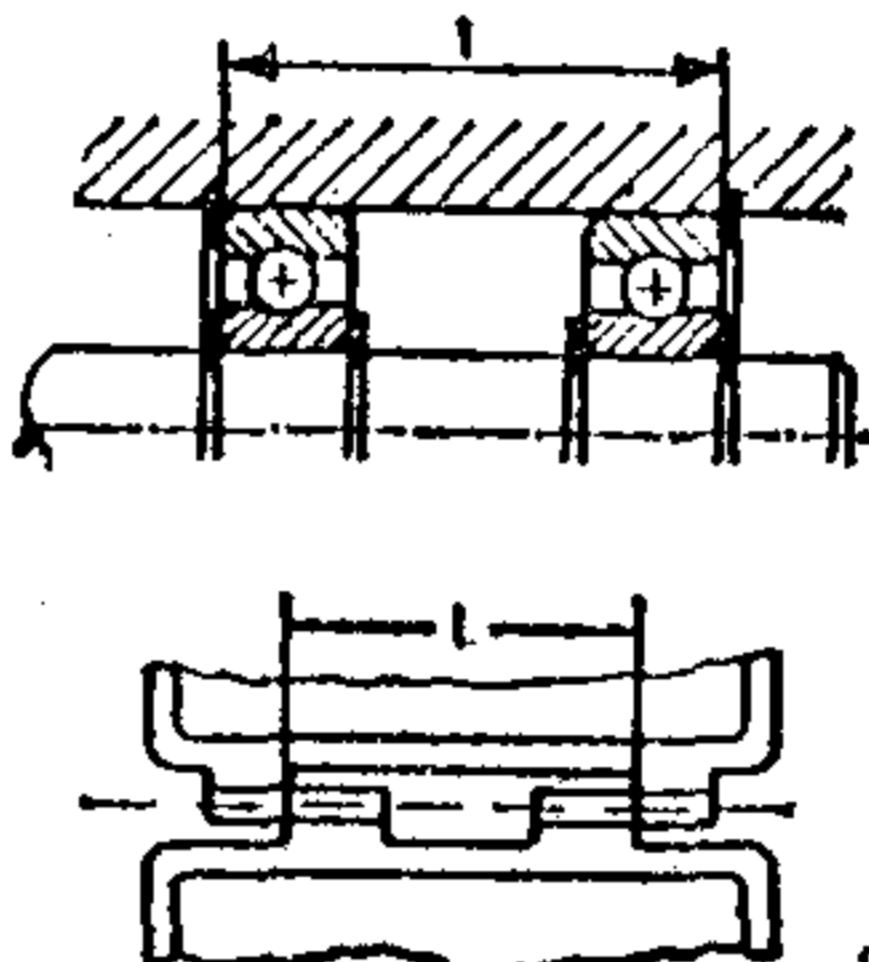
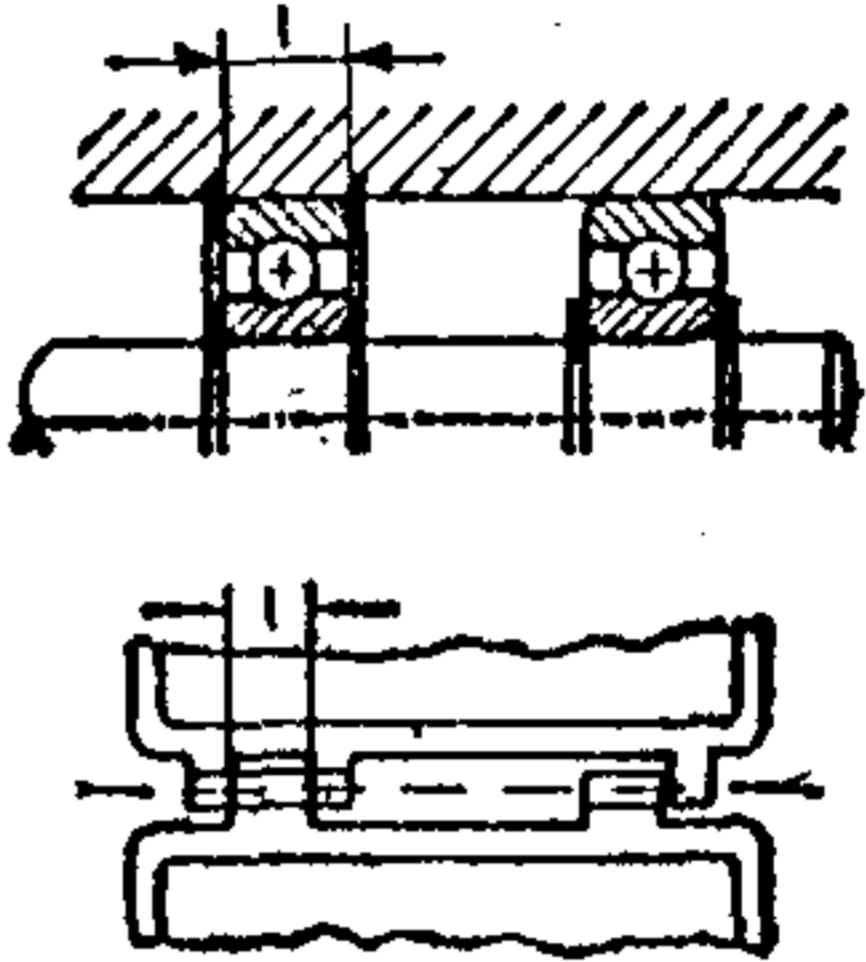
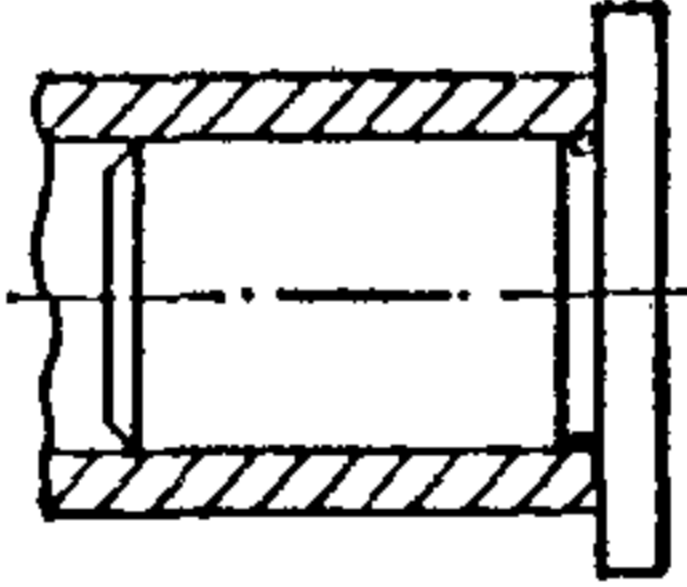
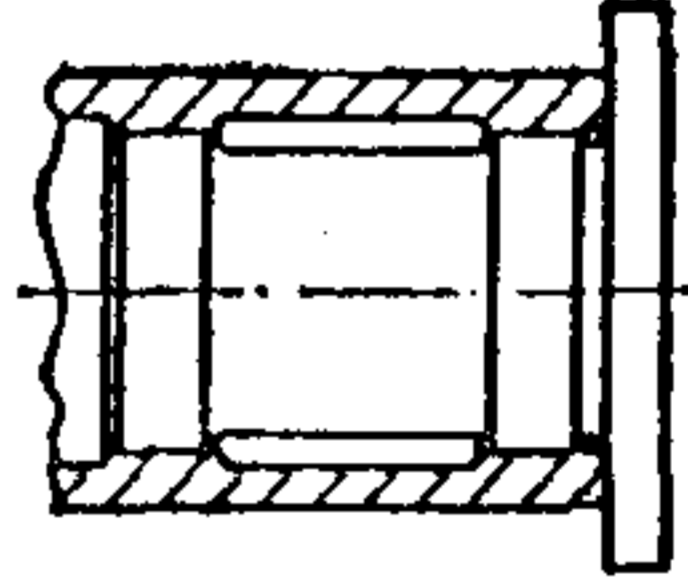
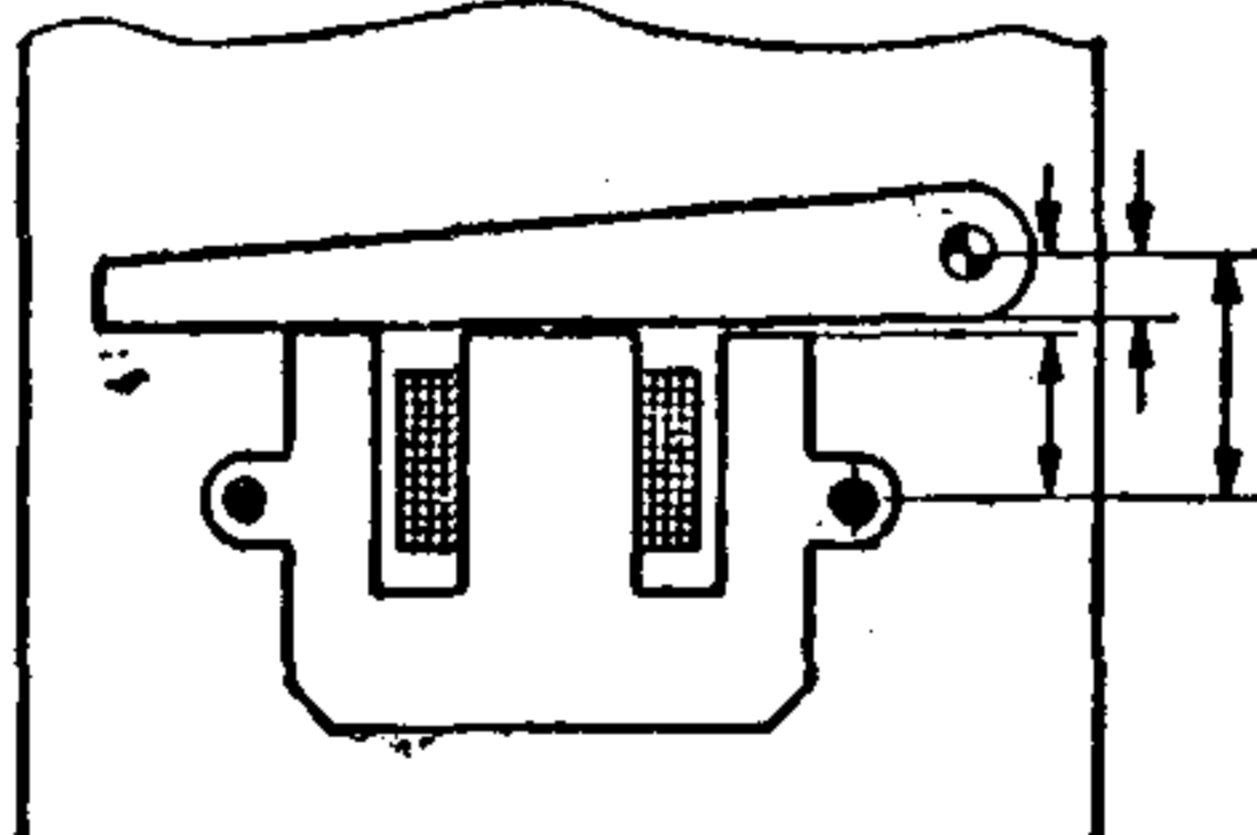
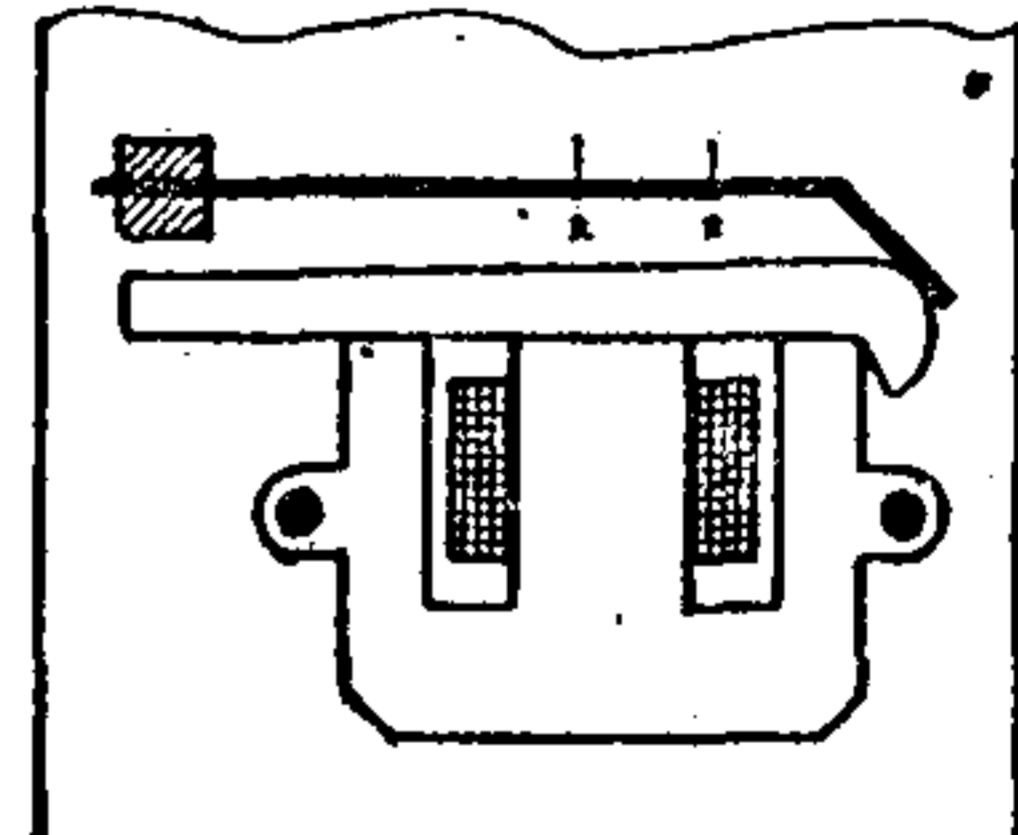
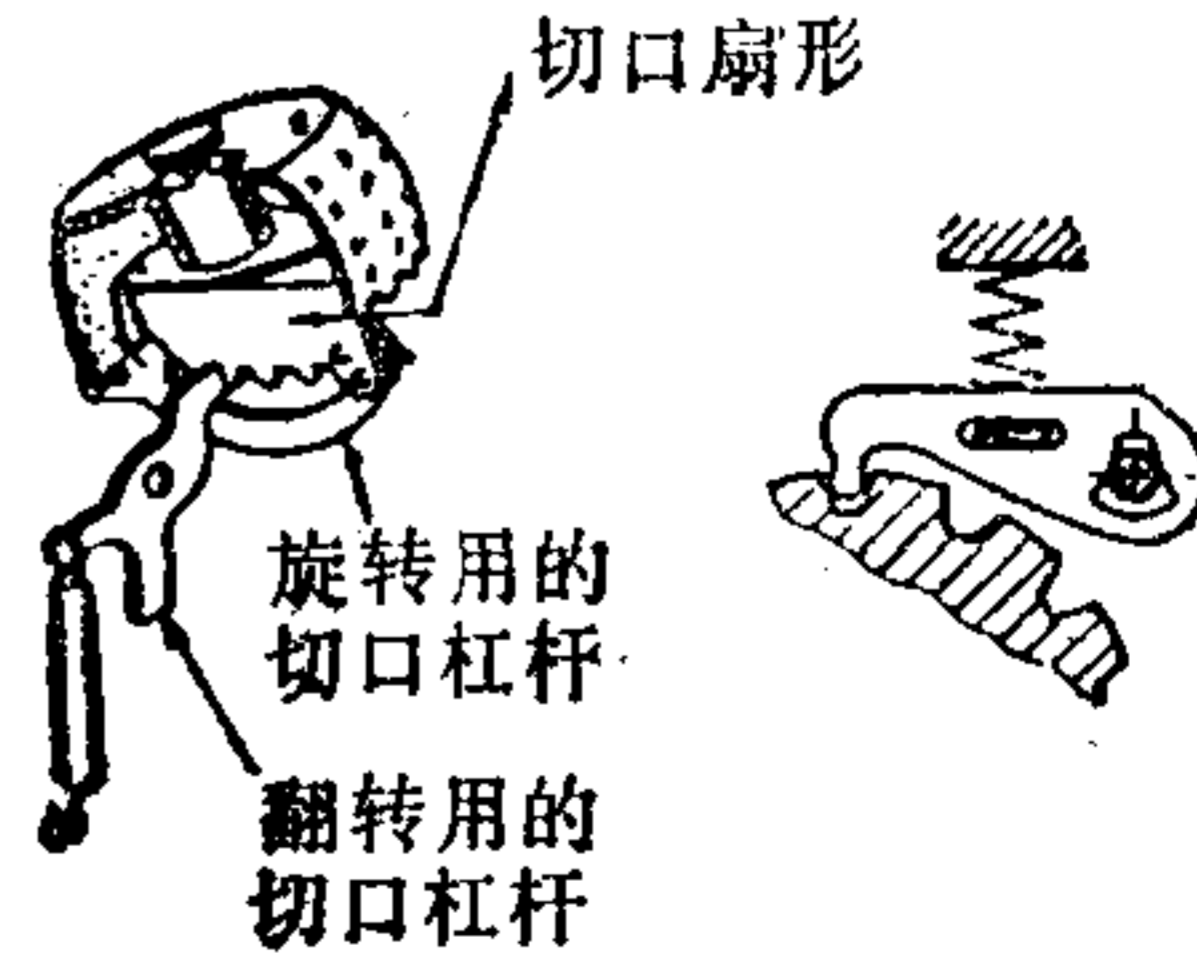
准 则	实 例	
	不 好	好
5. 通过避免超确切以及采用弹性元件来避免小公差及间隙		
6. 利用小的绝对尺寸可以得到低成本的小公差		
7. 延伸较小的面比延伸较大的面更能低成本地实现小公差		
8. 通过减少中间构件的数量(尺寸的数量或“尺寸链的长度”)可以低成本地获得小公差		
9. 采用在运动链中留有间隙并且用可控制的切口装置精确定位要调整的最后一个构件的办法也可以避免传动机构链的小公差		

图13.2.20 符合公差要求的构形准则及实例

- 么,在某些应用情况下,便可以以合理的费用来实现小的公差;这时,只不过必须在调整元件上适当精确地加工两平行平面之间的距离(见图13.2.19第4行);
- 还可以通过避免过分确切和利用弹性元件(弹簧)压紧的办法来避免精确定位零件所要求的小公差(见图13.2.19第5行);
- 如果能减小决定精度的功能表面要规定的公差的绝对尺寸,那么就能更加经济地获得小公差(见图13.2.20第6行)。配合精度相同时,较小的绝对尺寸的公差比较大的绝对尺寸的公差要小;
- 较小的延伸面(三点支承等)比较大的延伸面更能经济地获得小公差(见图13.2.20第7行);
- 如果可以减少实现两零件之间精确尺寸的尺寸链的尺寸数量或功能面的数量,那么就可以经济得多地获得小公差(见图13.2.20第8行);
- 通过给运动链中的链结留有规定间隙,经传动机构只能近似地调整某一个从动构件

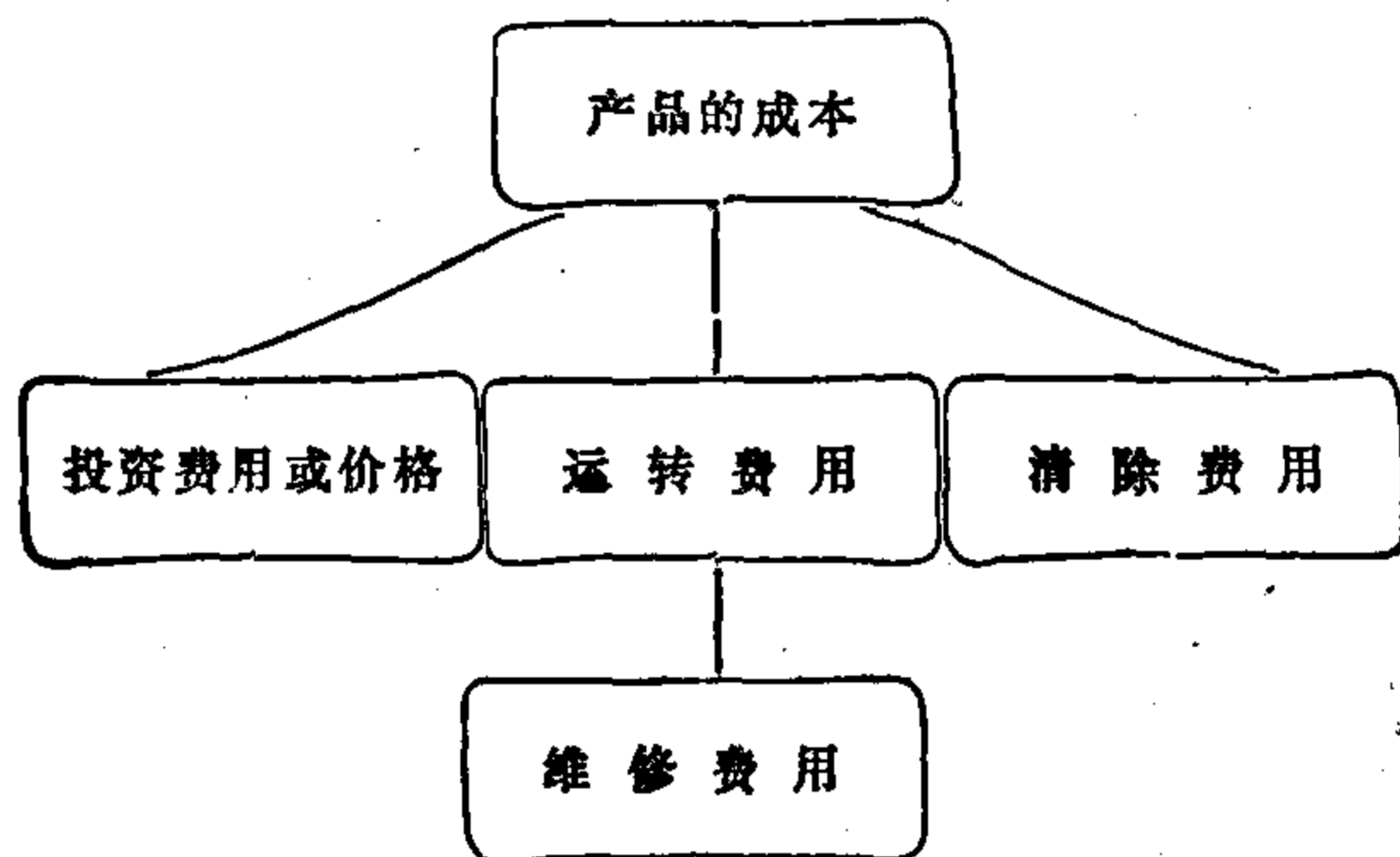


图13.2.21 工业产品总成本的组成

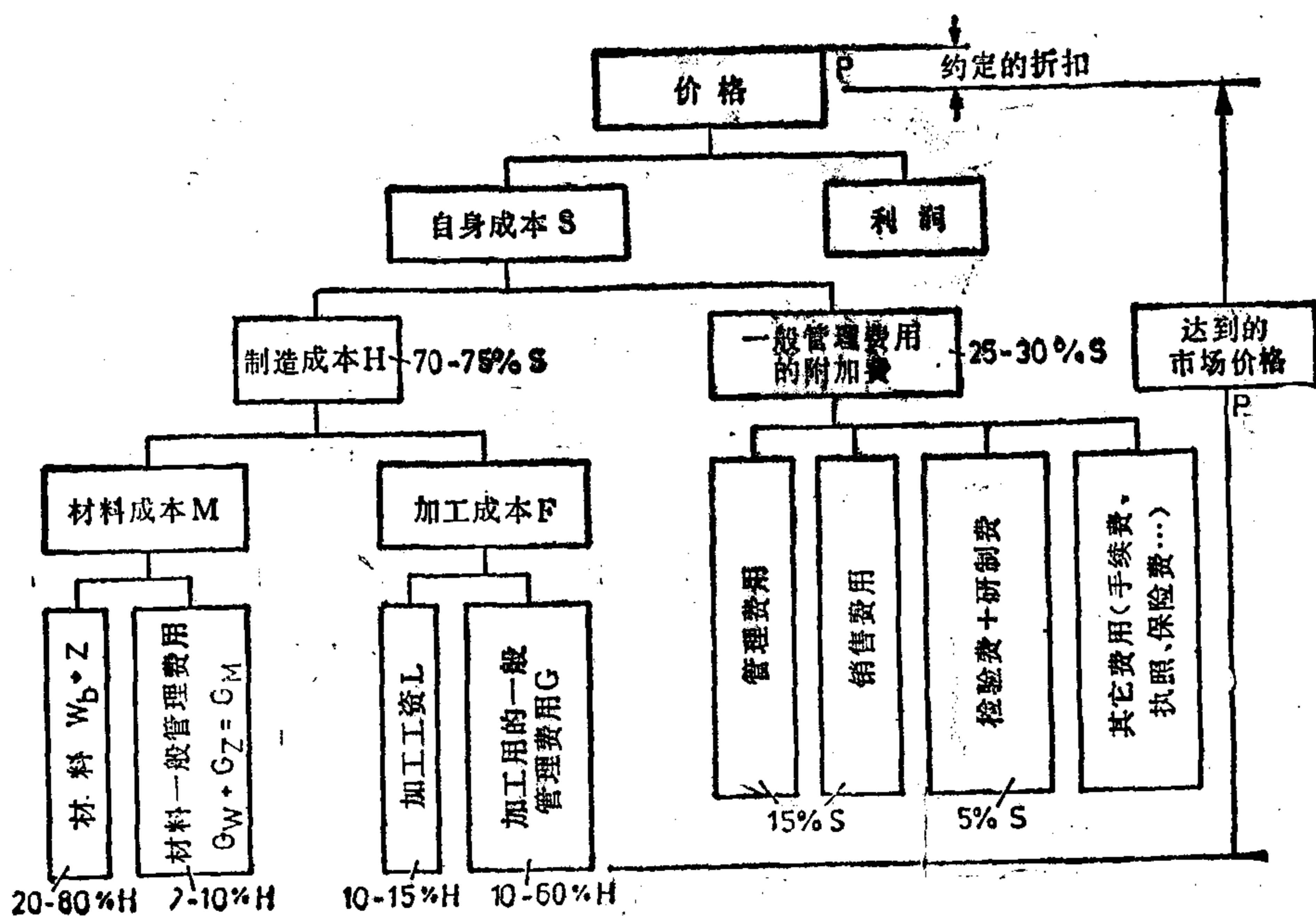


图13.2.22 工业产品成本的分类(按Ehrlenspiel分类);
表中的百分比只是零散生产或小批量生产的中等工业企业的概括值

并且通过一个可控切口装置实现从动构件的精确定位,就可以避免运动链中的小公差(见图13.2.20第9行);

——最后,如果两个或几个零件都是相同的厚度、相同的长度或者有几个相同的孔(如果所有零件的孔都可以在一个工序中加工出来(精磨、钻孔等)),那么,也可以经济地加工制造小公差。

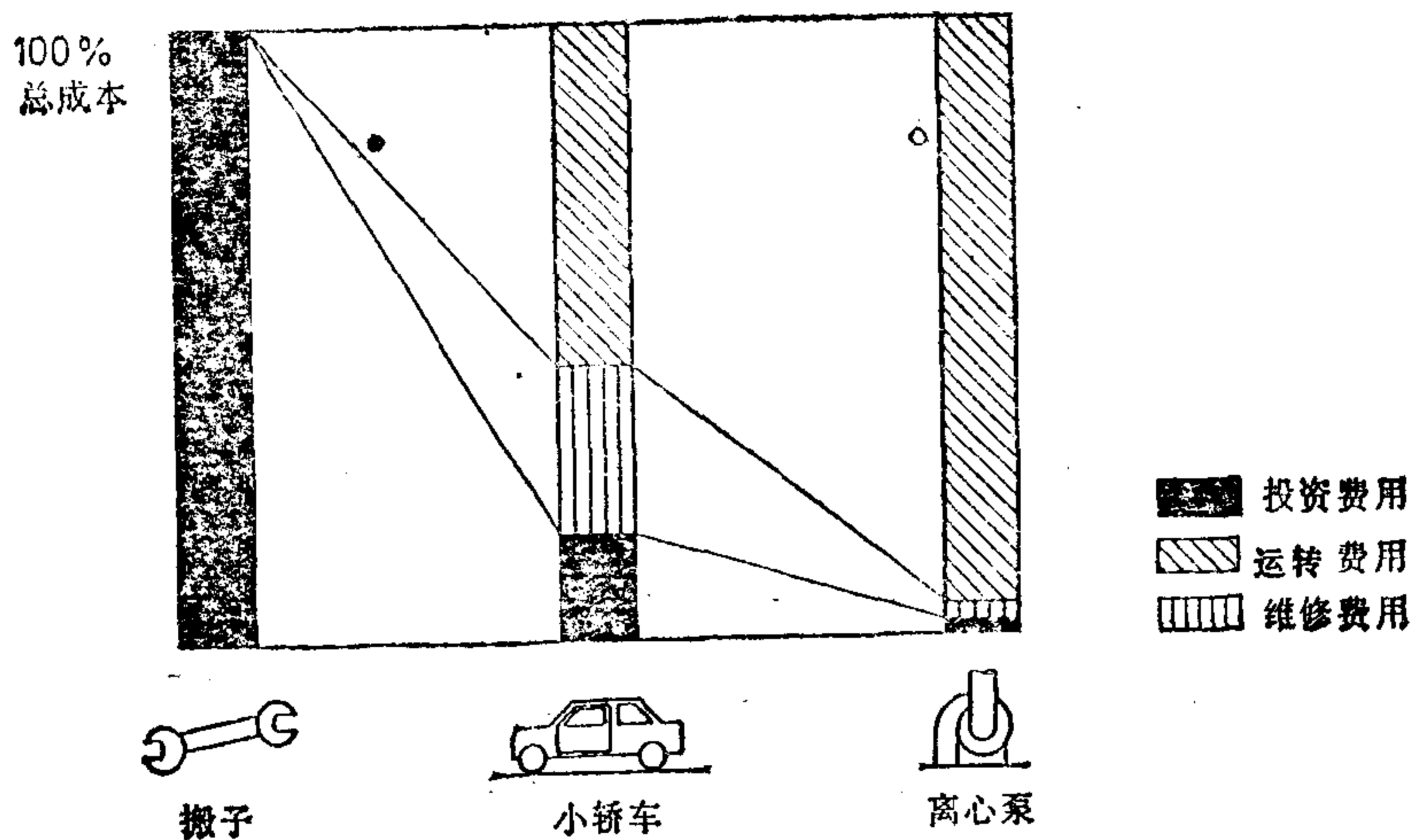


图13.2.23 不同产品的总成本结构(根据Ehrlenspiel)

如果不要求完整的话,那么,这些规则和实例应能说明符合公差要求的构形的主要方法。

13.2.7 降低成本的构形设计

一个工业产品能够满足功能及可靠性的要求,而且可以以经济合理的费用制造,这是一个企业能够生存的主要条件。因此,对已经批量生产的产品来说,设计任务的主要目的是在降低成本的情况下,制造出质量相同或质量更高的产品。因此,“降低成本的设计”是构形工业产品时的核心要求之一。如果考虑到设计师随着设计成果的确定也可以确定该产品的成本的基数时,那么从这点便可估计到降低成本的设计的重要意义。采购、工作准备和设计工作之后的其它工作只能在设计规定的范围之内来降低一个解的单项成本。

为了降低工业产品的成本,重要的是按照产品过程来区分各种费用。工业产品的成本是在产品制造、产品运转和在产品报废时形成的。对于产品的用户来说,这都是所谓的投资费用(价格)、运转费用、维修费用和报废费用(图13.2.21)。产品的投资费用或价格由产品的自身成本和企业得到的利润的总和得出。图13.2.22为各种费用的分类表。值得注意的是,投资费用、运转费用和维修费用在产品总成本中的百分比随着产品的不同而有很大差别,如图13.2.23所示。原则上说,设计参数的任何变动都会改变产品的成本。因此,产品成本可以通过下述几方面的选择自动变化:

- 选择其它的功能结构;
- 选择其它的物理解的原理(效应和效应载体或者材料);
- 选择其它的构形。

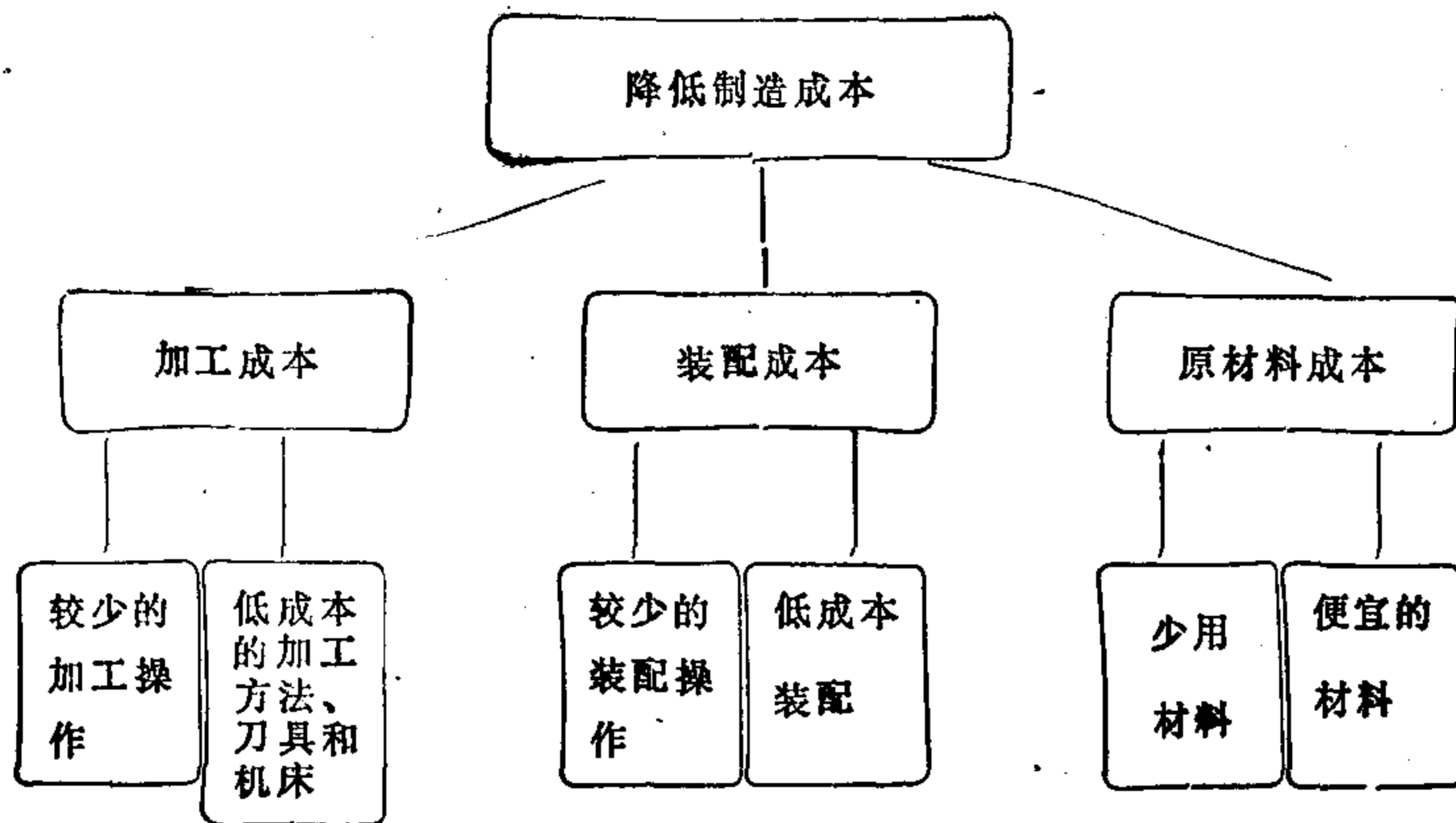


图13.2.24 降低制造成本的方法

准 则 “少加工”	实 例	
	不 好	好
1. 减少零件数量，即尽量采用整体的、集成的和多功能的结构方式		

图13.2.25 降低成本的构形准则及实例

实际上,前两种降低成本的方法使用极少,因为使用时间较长的产品,反正在使用过程中已经实现了经济上最佳的功能结构和原理,而另一方面,真正的新产品较少,所以,改变零件和部件或整个机器的构形对降低成本具有重要意义。因此,下面主要应该讨论怎样利用构形措施来降低成本。

降低某产品的生产成本,具体地说,就是降低加工成本、装配成本和原料成本。原则上说,使结构需要尽可能少的加工操作和装配操作以及需要尽可能少的材料,或采用低成本的加工方法和装配方法以及使用便宜的原料就能降低成本(见图13.2.24)。符合这些原则的、降低零件和部件成本的构形的准则可简单概括如下:

少量加工

少量加工或降低加工费用可以通过如下具体措施达到:

- 1)减少零件数量,例如尽量采用整体结构、集成结构和多功能结构方式(见图13.2.25第1行)。
- 2)减少工业产品的功能,因此也就是减少零件(减少不必要的零件)。
- 3)减少需要加工的面,例如可通过:
 - 为了合理加工,把不同的面放在一个平面上(见图13.2.26第2行)。
 - 减小需要加工的面尺寸(见图13.2.26第2行)。
- 4)把几个孔(平面)做成可以同时加工的构形。
 - 注意多刀具的排列方法,即在多主轴系统时,注意方向相同,距离最小(见图13.2.26第3行)。
 - 在一个轴线上的几个螺纹孔按直径分级,以便可同时车出螺纹(见图13.2.9第4行)。
- 5)减少或避免工件的反复装卡。减少加工方向;尽可能从一个侧面和由一个方向加工完成全部加工操作(见图13.2.27第5行)。
- 6)减少需要切削的体积:
 - 回转零件的直径变化应尽可能小。
 - 切削余量应最小。
- 7)通过多工件组合加工,减少进刀和退刀次数(见图13.2.27第4行)。
- 8)减少加工操作的数量:
 - 公差要尽可能大,以便避免精加工操作(见图13.2.28第7行)。
 - 按照需要决定表面质量的好坏。
 - 尽量不采用需要表面精整、涂覆等加工方法,例如用彩色塑料压铸壳体零件,取代还需进行表面精整的金属板或轻金属的壳体。
- 9)自动强制进行检查,即
 - 如果前一步操作没有完成,那么下一步操作便不能进行(见图13.2.29第8行)。
- 10)用标准化、规范化的零件或半成品代替自行设计的零件(见图13.2.28第9行)。

采用从批量生产部门得到的外购件(大批量生产)。

低成本加工

通过下述具体措施可以获得低成本的加工:

准 则 “少加工”	实 例	
	不 好	好
2. 减少加工面 ——把不同的面放在一个平面上		
——减少加工面的尺寸		
3. 把几个平面构形成为同时加工的 ——尽量有相同的加工方向 ——在多主轴头时注意最小距离		

图13.2.26 降低成本的构形准则及实例

- 1) 尽量采用多件数和低成本的加工方法(见图13. 2. 29第1行):
——以无切削加工代替塑料压铸,以塑料压铸代替金属压铸,以金属压铸代替铸造、焊接,以铸造、焊接代替切削加工,以刨代替车,以车代替铣等。
- 2) 尽量采用适当的刀具和适当的机床(见图13. 2. 29第2行)。
- 3) 尽量采用简单的、由较少尺寸就能描述的零件构形(见图13. 2. 29第5行)。
- 4) 统一要加工的孔、半径等尺寸,以减少或避免更换刀具,即为了制造不同的功能表面,可以采用相同的铣刀、相同的钻头等(见图13. 2. 30第3行)。

准 则 “少加工”	实 例	
	不 好	好
4. 在一步工序中加工几个零件		
5. 减少或避免工件反复装卡次数 ——减少加工方向，尽可能从一个侧面和由一个方向加工来完成全部加工操作		

图13.2.27 降低成本的构形准则及实例

准 则 “少加工”	实 例	
	不 好	好
7. 减少加工操作数 ——避免双重配合，设置几何形状简单的连接件		
——用调整元件或其它措施避免小公差； 其结果是节省昂贵的精密加工和匹配工作或避免长的尺寸链		
——尽可能避免车螺纹，如用快速吸入连接代替螺纹连接		
8. 检验过程自动化，如上一步操作尚未完成便不能进行下一步操作		
9. 用标准化、规范化零件或半成品代替自行设计的零件		

图13.2.28 降低成本的构形准则及实例

5) 使零件相同,特别是使对称排列的零件相同(见图13.2.30第4行)。

减少装配(减少装配操作)

通过下面的办法可以减少装配操作:

1) 减少要装配的零件的数量:

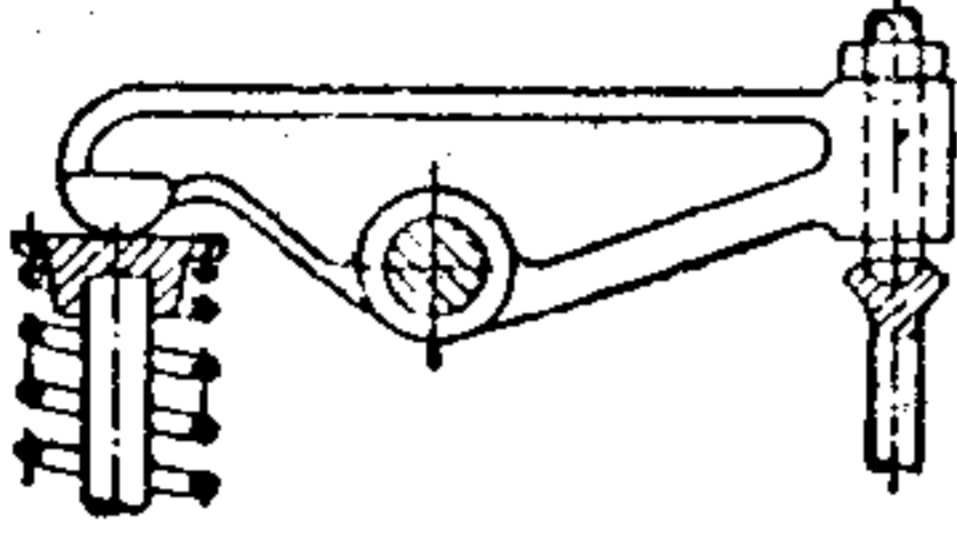
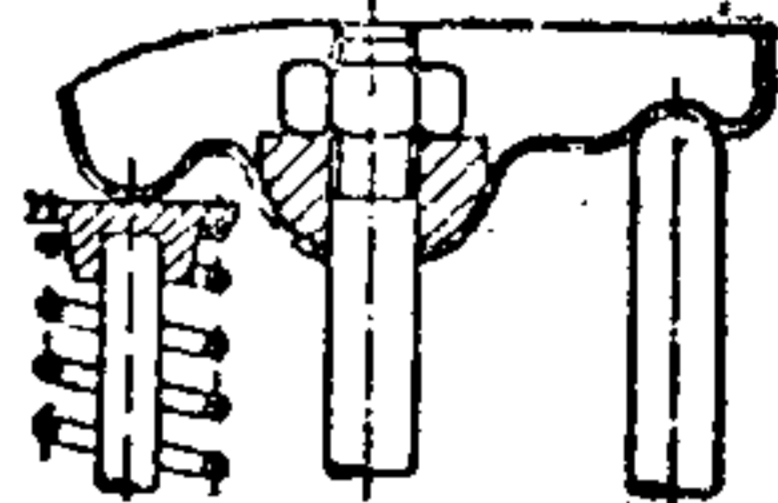
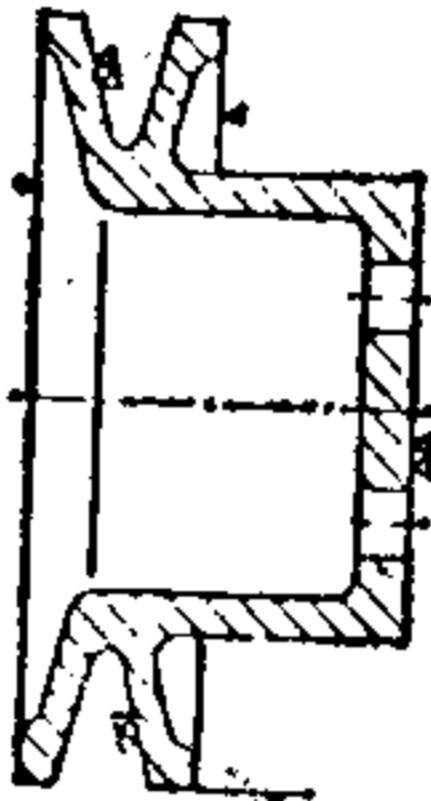
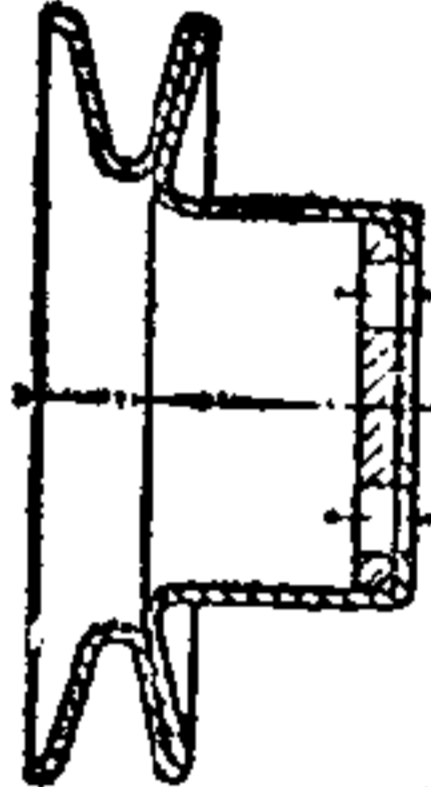

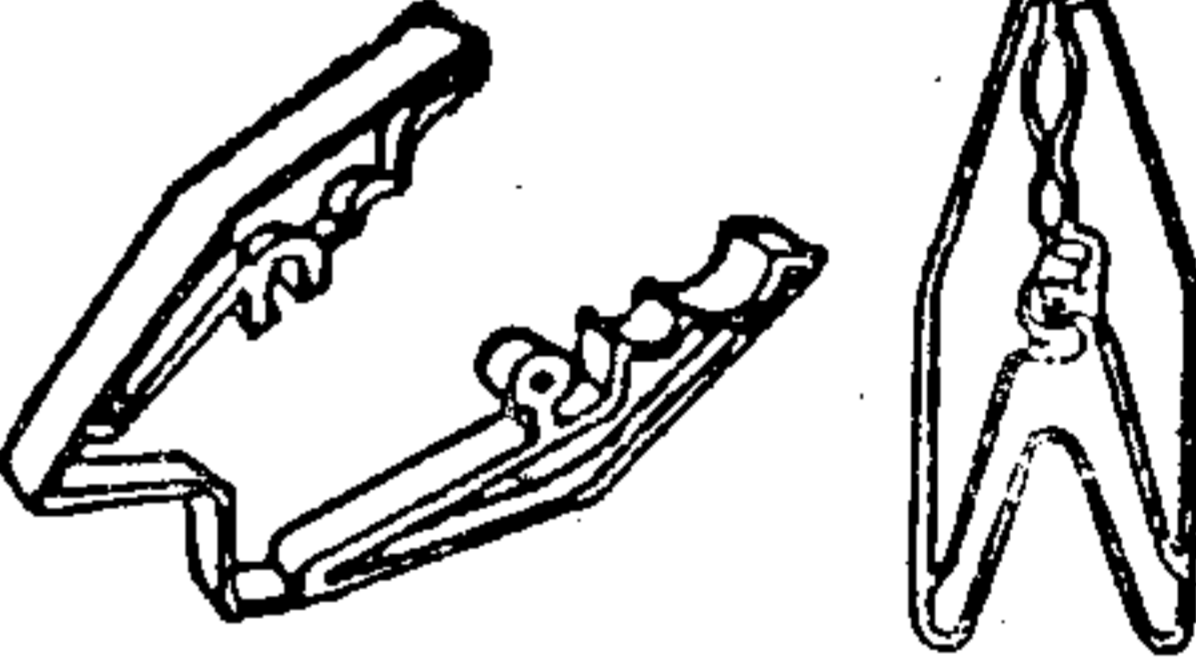
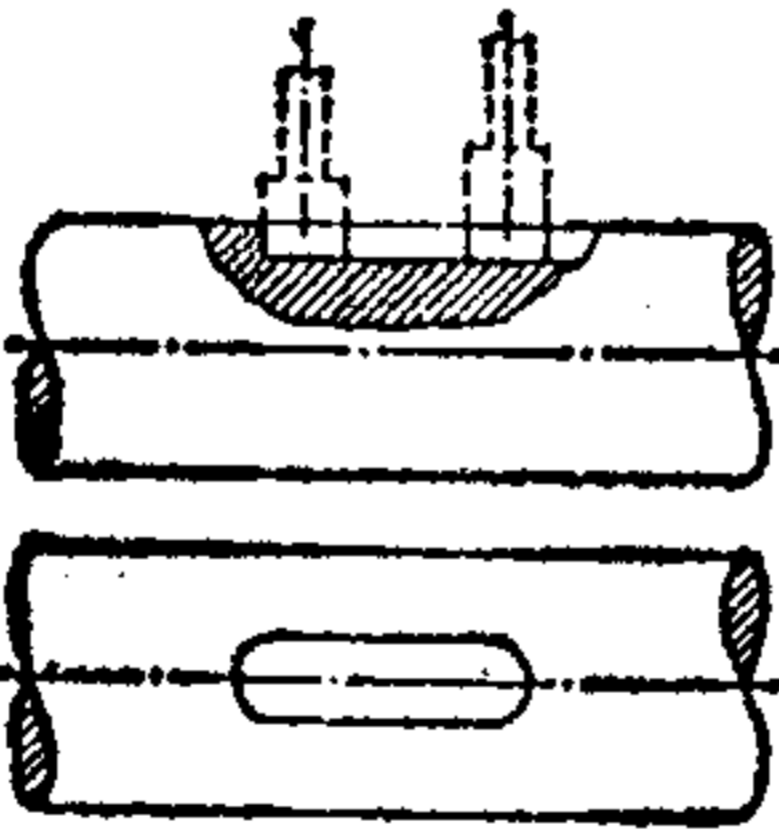
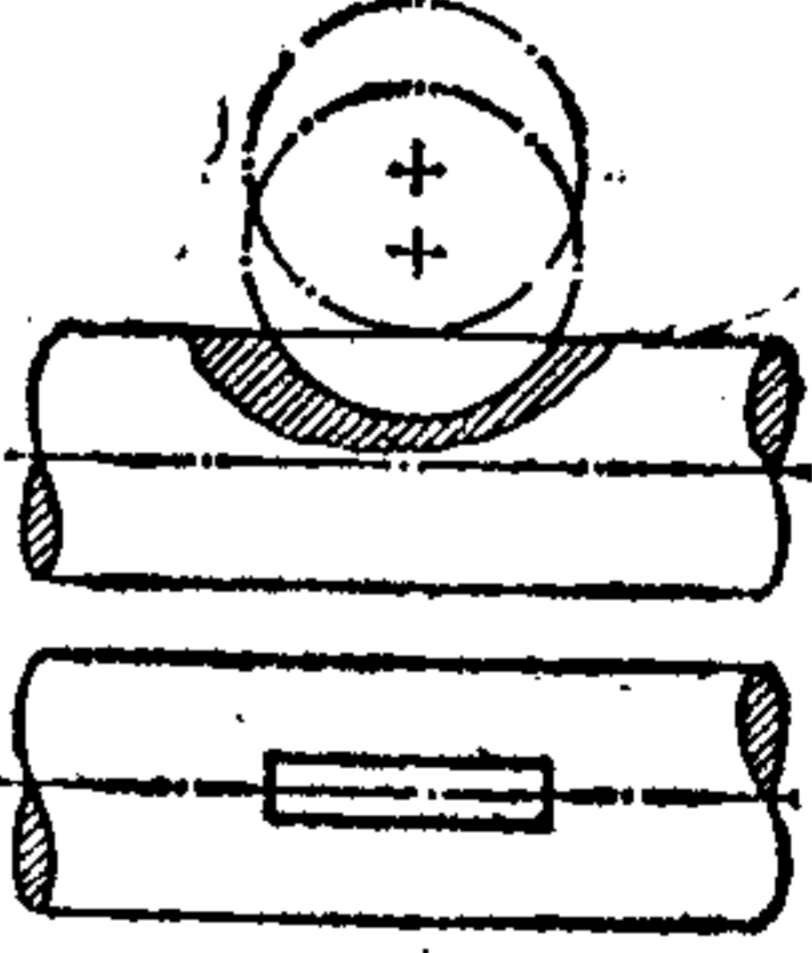
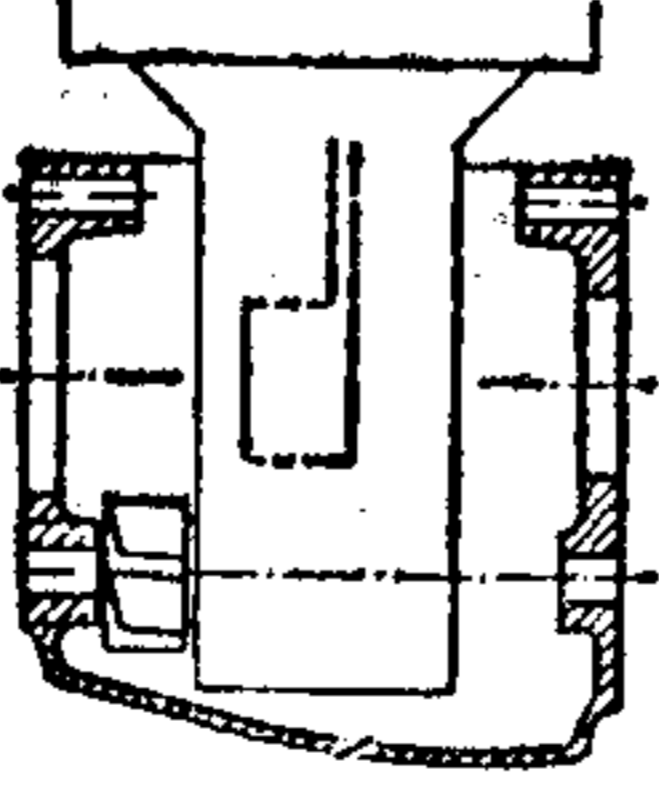
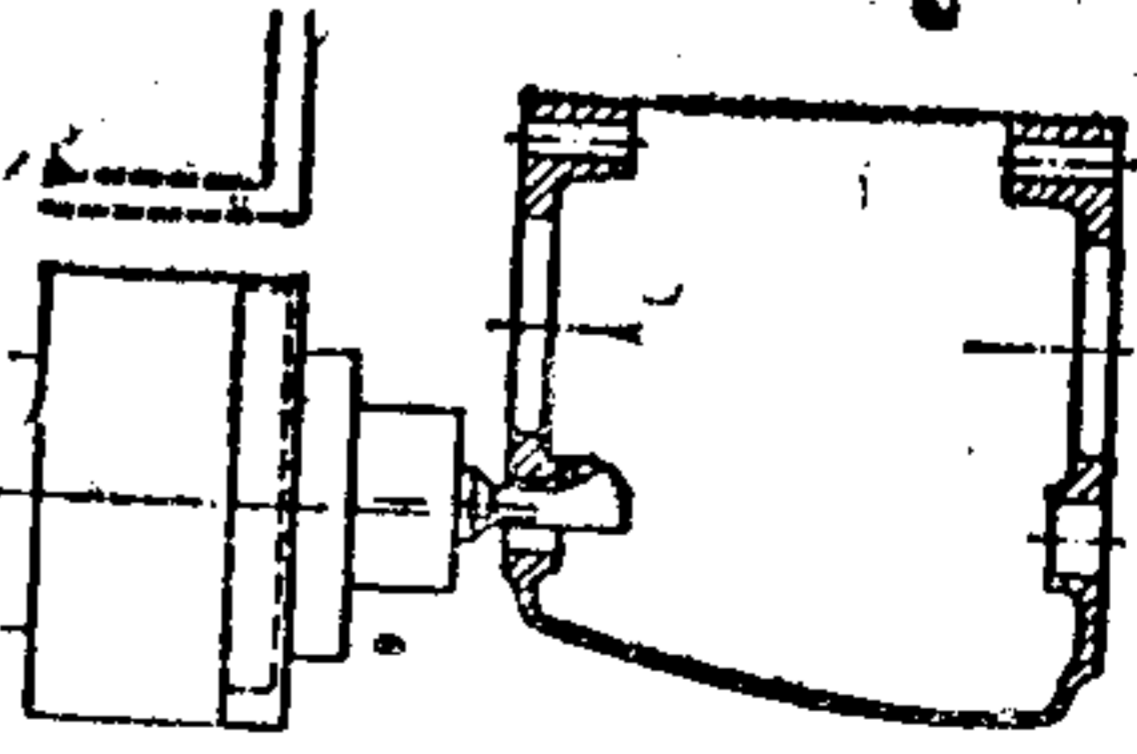
准 则 “低成本加工”	实 例	
	不 好	好
1. 尽量采用多件数和低成本的加工方法		
		
		
——用无切削加工代替切削加工		
——用其它材料和加工方法, 如压铸代替切削加工		
2. 尽量应用低成本的刀具和刀具加机床		
		

图13.2.29 降低成本的构形准则及实例

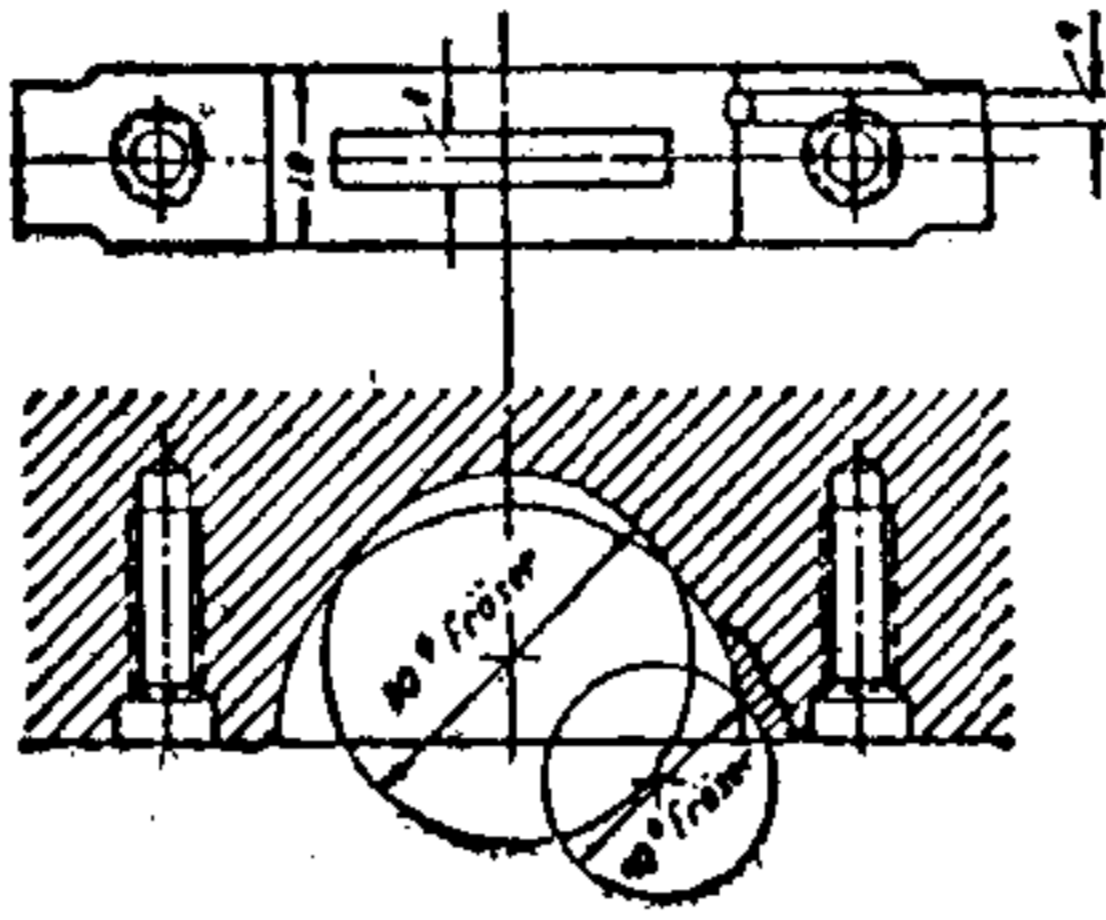
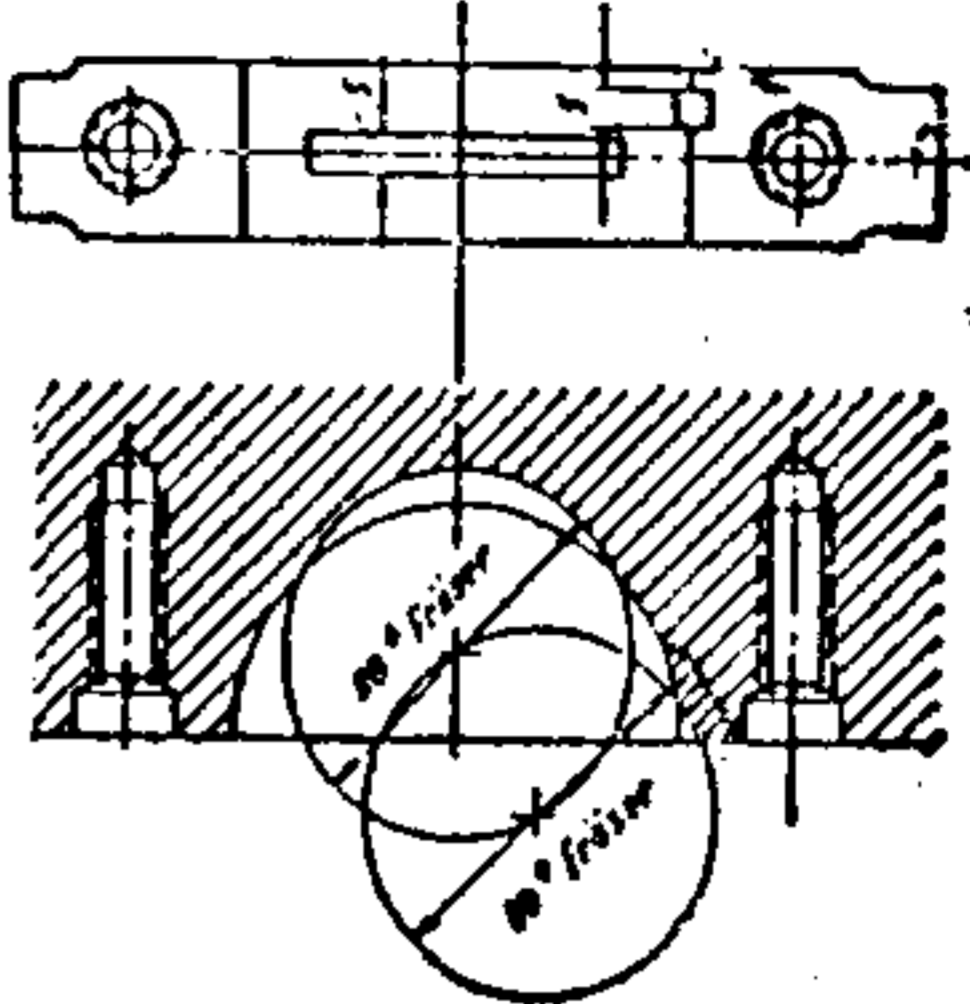
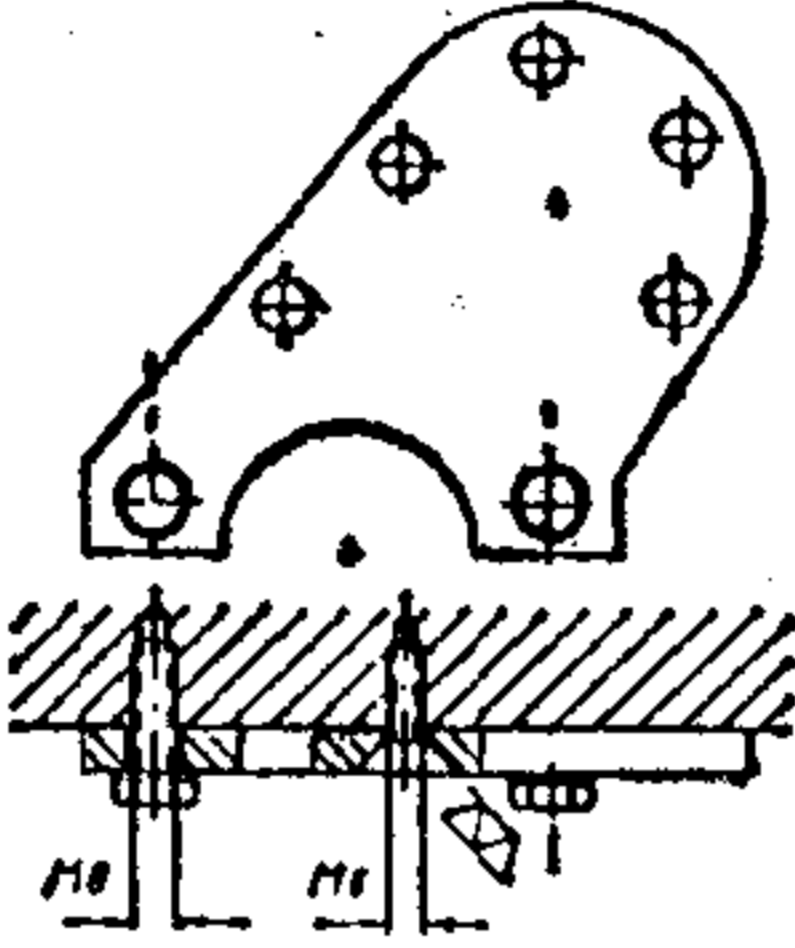
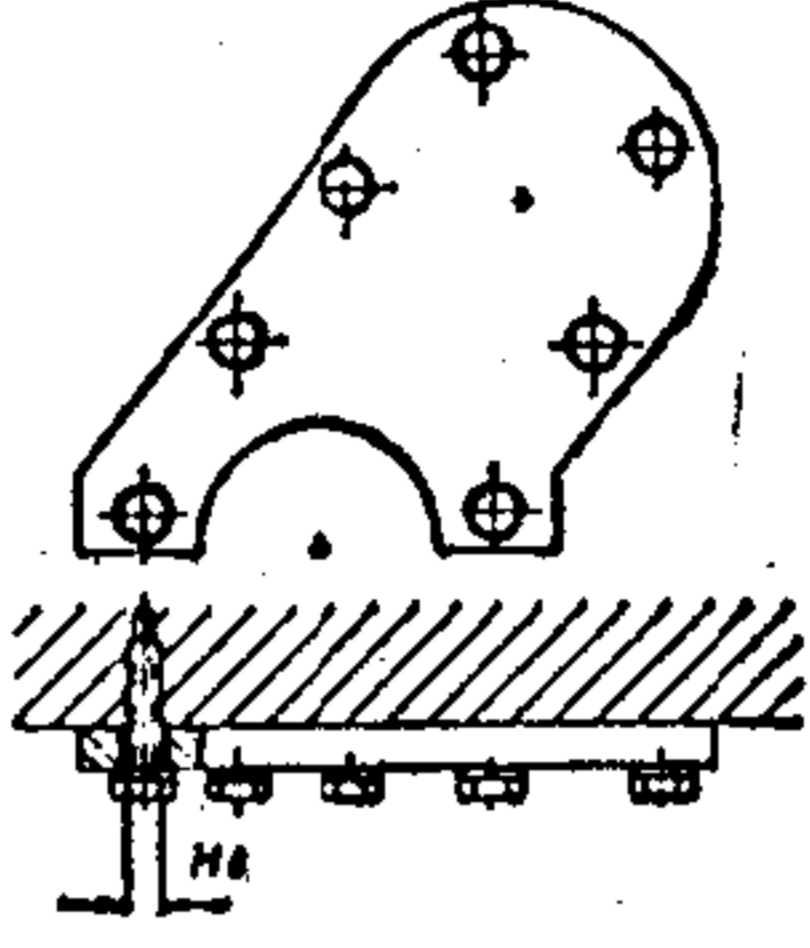
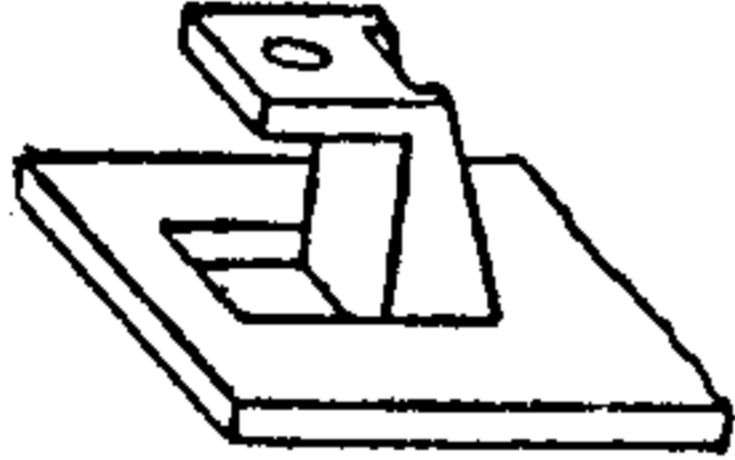
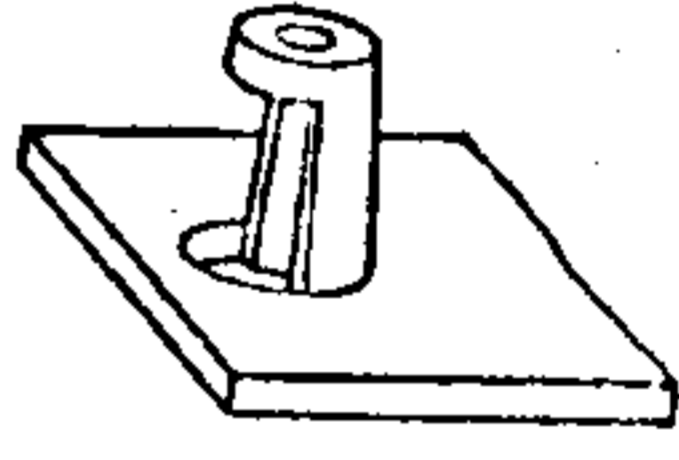
准 则 “低成本加工”	实 例	
	不 好	好
3. 统一功能表面的尺寸，以减少刀具数量和更换刀具的次数		
4. 避免不相同或平面不对称的零件，减少刀具的费用，使对称排列的零件相同		
5. 尽量采用低成本制造的物体形状		

图13.2.30 降低成本的构形准则及实例

——尽量采用整体式结构、集成式结构和多功能结构方式。

——减少功能，从而减少零件。

2) 尽量采用能在一侧或一个方向上装配部件的办法，以减少变换装卡和翻转工件。

3) 要装配或要联接的零件构形时应能在某确定的范围内自定位(自定中心)。

4) 为了避免反复地“编排整理”操作，应尽量保持要装配的零件的顺序。

5) 进行部件的零件构形就没必要再检查“装配是否正确”；

——不可能错装。

——在下一步装配操作中自动检查零件错装或误装。

——必要的检查可以自动进行。

低成本装配

通过下面的措施可以降低装配成本：

1) 选择低成本的装配方法。检查一下是手工装配便宜，还是利用安装设备自动装配或利用机器人自动装配以及综合利用上述方法进行装配便宜。

2) 要装配的联接件，必须依次装配，而不得同时装配，以避免几个零件同时夹持或结合。

3) 使结合路程尽可能地短。

4) 使装配形式或结合形式尽量简单。

5) 要注意便于使用，并为装配或结合留有足够的空间。

6) 装配零件的构形尽可能做成对称(尽可能对2个轴线，最好对3个轴线对称)，以完全避免或减少识别操作或编排操作。

7) 不能够对称构形的零件要构形成明显的不对称，以便容易识别和编排整理零件。

8) 将待装配的零件尽可能构形成可以滚动或者可以滑动的，以便能廉价地运输。

少用材料(减少材料品种和用量)

通过下面的措施可以减少工业产品的材料品种和用量：

1) 减少零件：

——尽量应用整体结构、集成结构或多功能结构方式。

——减少功能，从而减少零件。

2) 只在确实需要材料的地方放置材料，尽量通过成型或原型等措施实现轻型结构方式(见图13.2.31第1行)。

3) 通过最佳化计算减少材料用量。

4) 可以应用适宜的半成品减少材料用量(见图13.2.31第2行)。

5) 应用其它的加工方法和加工操作结果来减少材料用量(见图13.2.31第3行)。

低成本的材料

在很多情况下，可以用低成本的材料代替较贵重的材料，例如：

1) 材料的代用，即检查一下是否能用便宜的材料代替贵重的材料。

2) 只在需要的地方应用贵重的材料，否则应用较便宜的材料(见图13.2.32第1行¹⁾)：

——插件结构方式。

——涂覆(电镀、胶粘、蒸发、“镀金”、“镀银”等)。

——局部结构方式。

——纤维强化材料(玻璃纤维、非晶金刚石纤维等)。

1) 图13.2.25至图13.2.32中的一部分是在征得了杜塞尔多夫VDI出版社有限公司的同意后，从VDI标准3237, 1967年第1期和1973年第2期(在自动输送、加工和装配方面适合加工要求的工件构形)选来的。

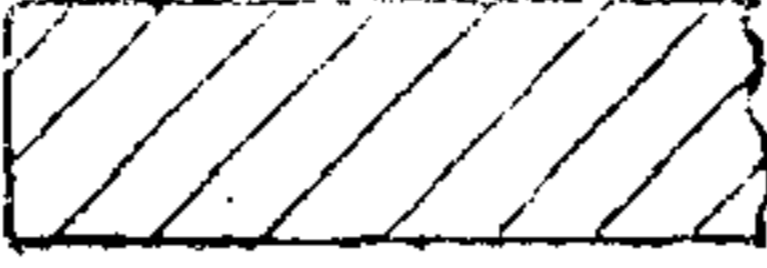

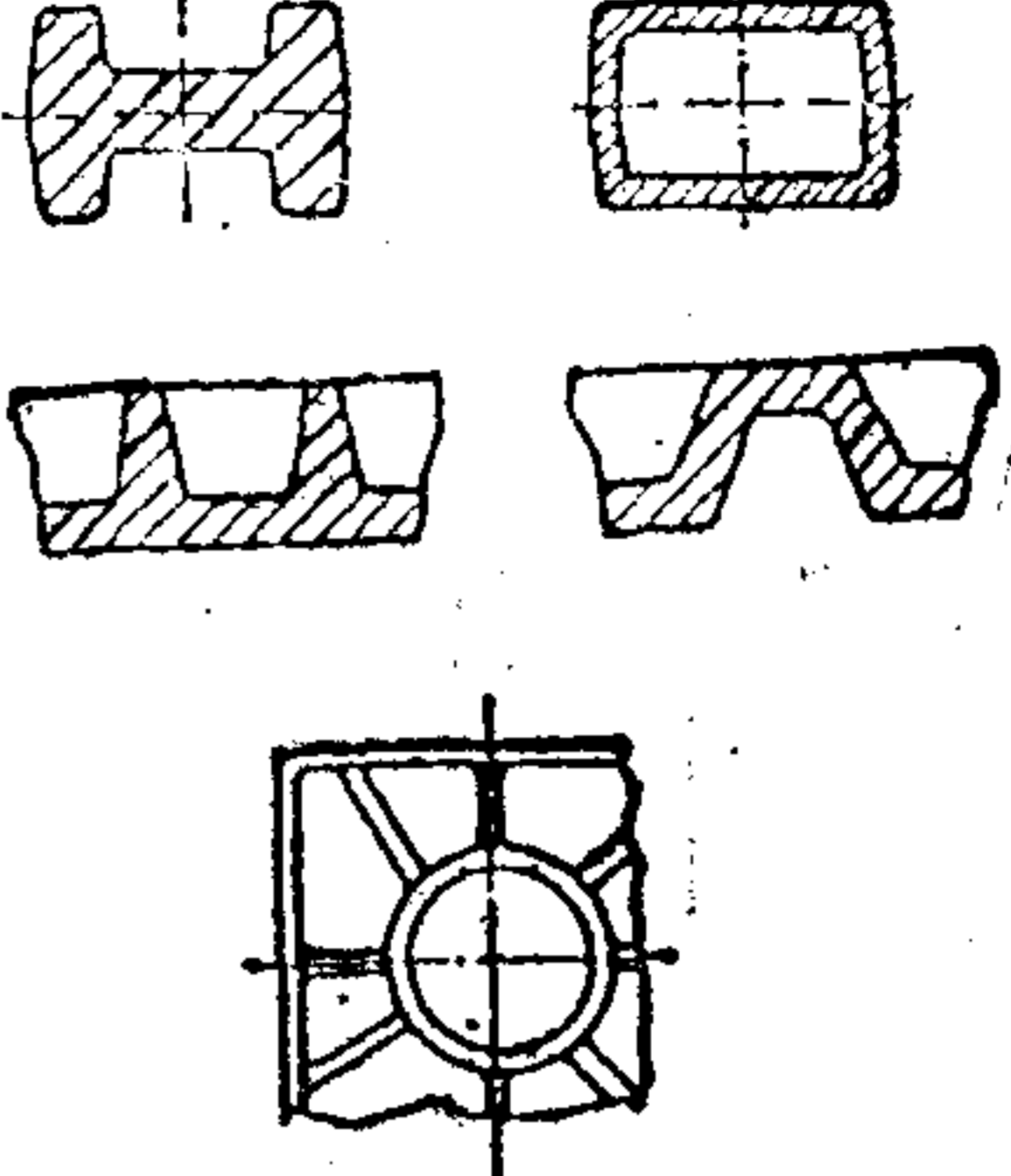
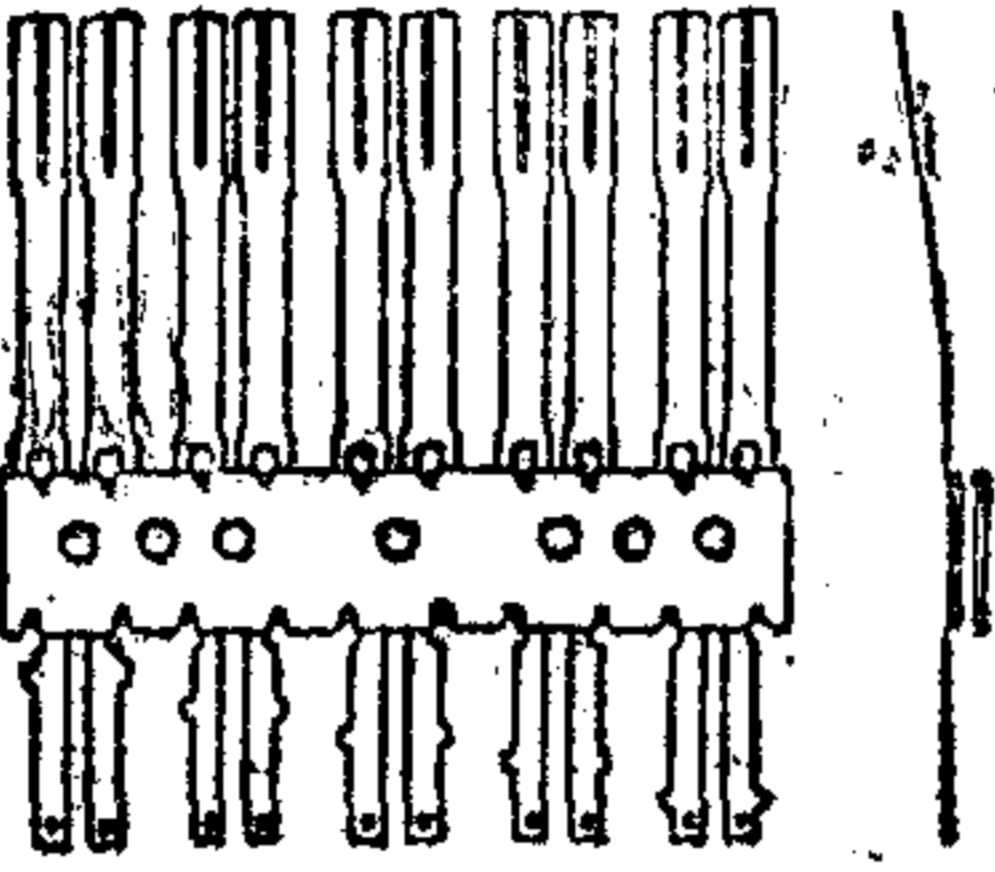
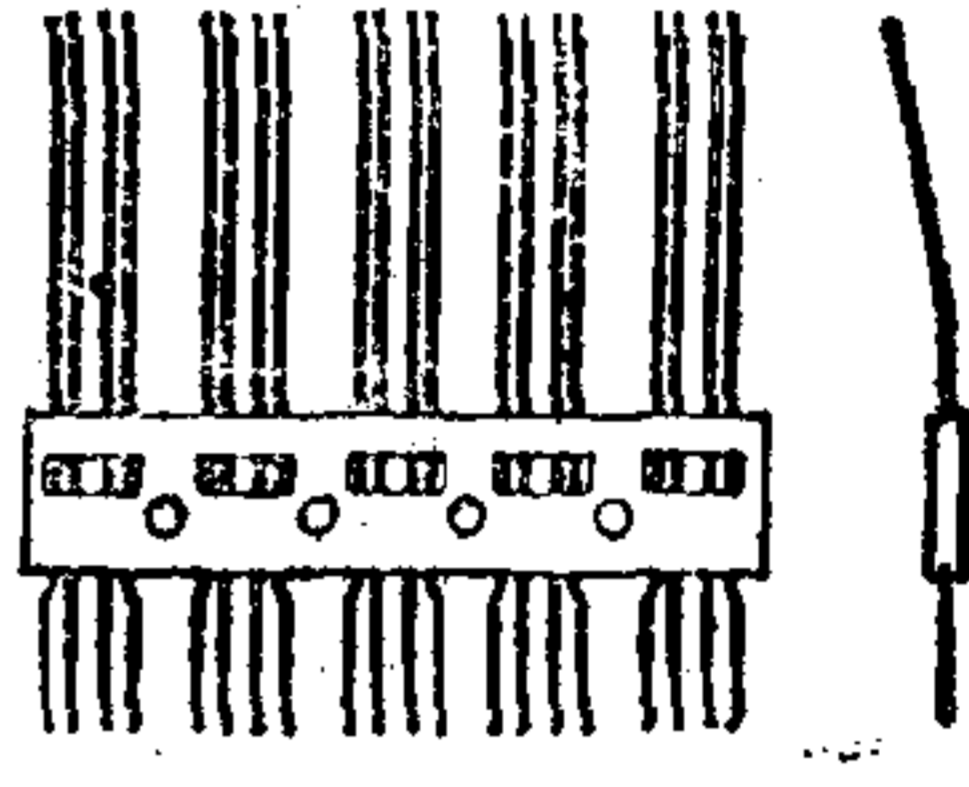
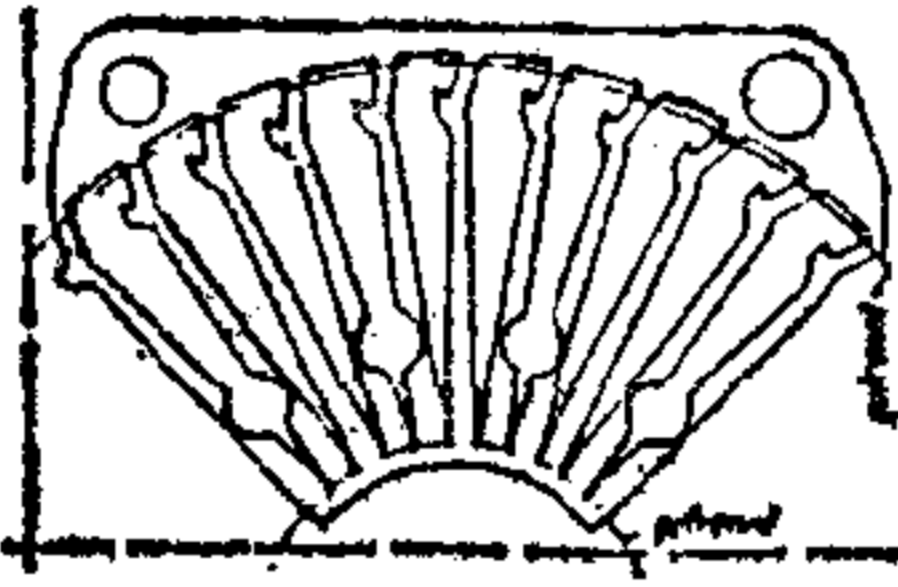
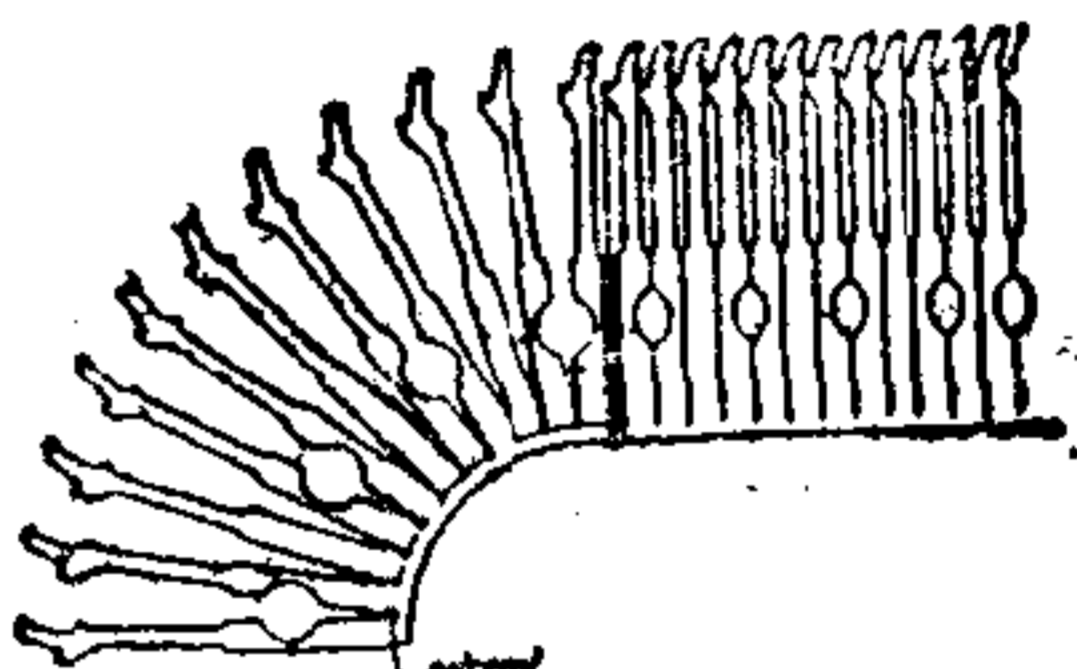
准 则 “少用材料”	实 例	
	不 好	好
1. 只在那些由于强度原因需要材料的地方才用材料	 	
2. 通过选用适宜的半成品减少材料的用量		
3. 通过不同的划线排列和紧接的补充加工操作来减少材料用量		

图13.2.31 低成本构形的准则及实例



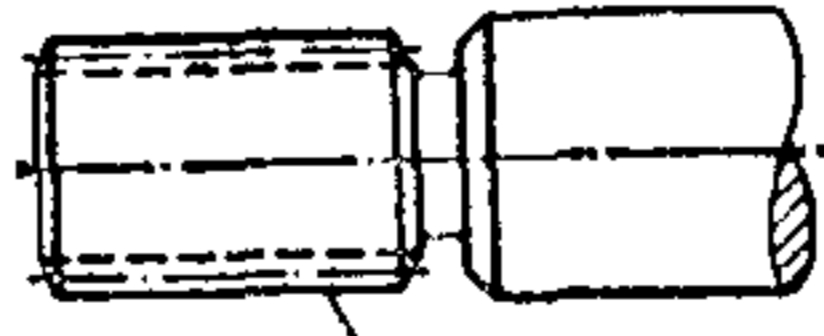
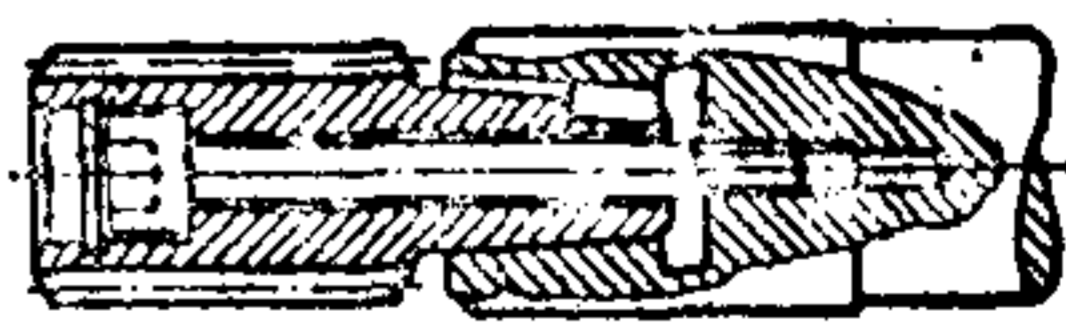
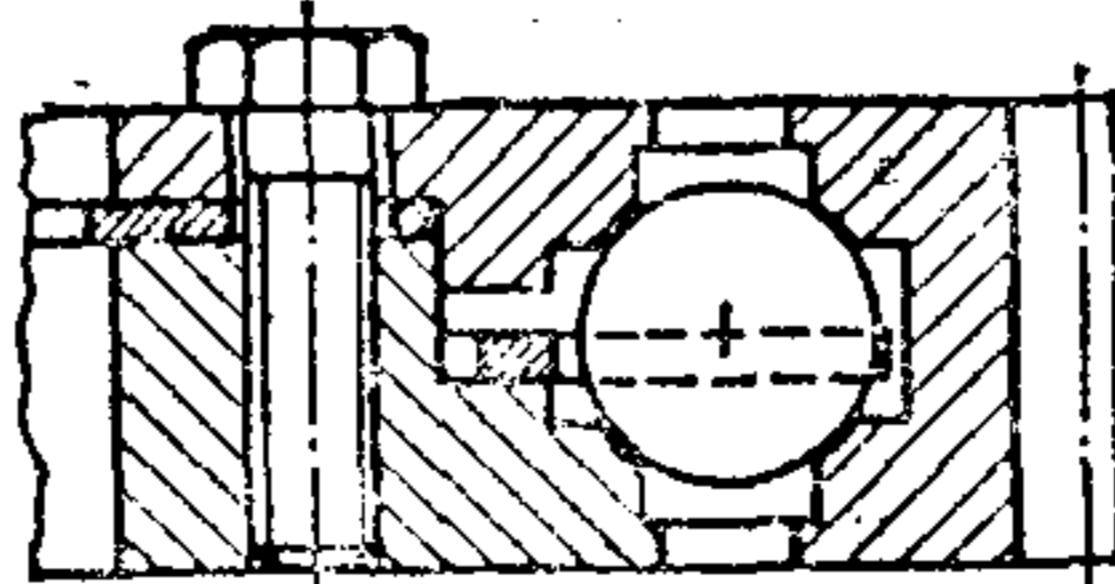
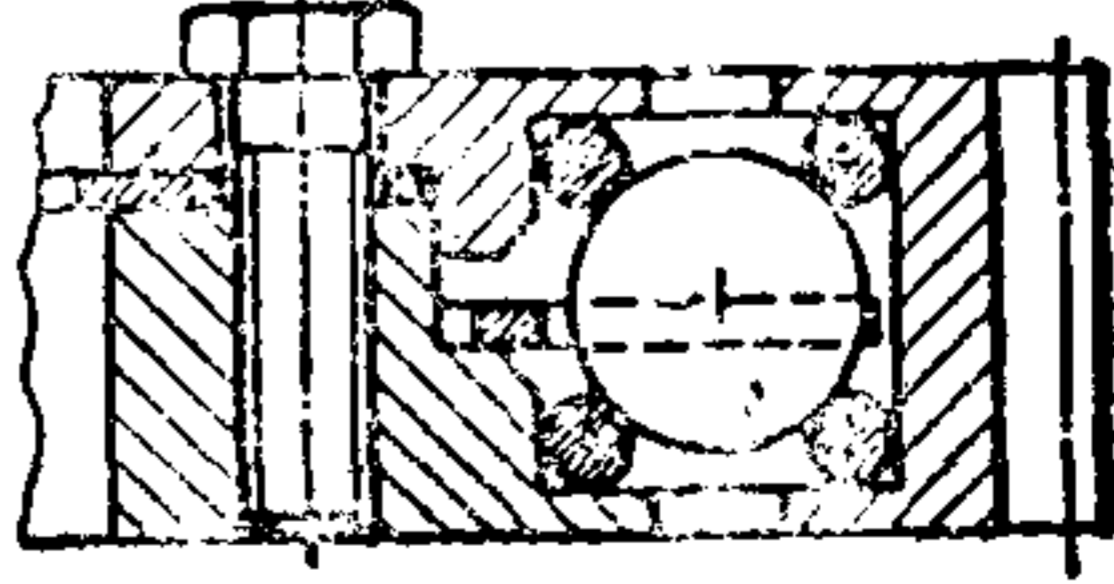
准 则 “廉价材料”	实 例	
	不 好	好
1. 只在需要的地方应用贵重的材料， 否则应用便宜的材料		
	 很牢固	
		

图13.2.32 降低成本的构形准则及实例

——三明治结构方式(分层结构方式)。

3) 应用低成本的表面硬化钢代替可淬透钢。

14. 功能单元的技术设计及其按不同观点的编排

这一章将讨论在机器制造中经常采用的几种功能单元(如联接和简单传动结构)的技术设计及其编排分类。这里应该再来说明一下进行的方法。

在设计技术系统时(尽管它们各不相同),有些分任务几乎在任何研制过程中都可以以修正的形式完成。例如,在完成任何设计任务时,都必须使一些零件或部件以某种方式相互联接成复杂的系统。此外,在研制机器、仪器和设备时,通常必须实现某种运动系统(传动机构)。因此,下面将进一步讨论经常出现的设计任务。

14.1 联 接

如上所述,机器、仪器和设备是由许多以不同的方式相互联接起来的零件和部件组成。因此,两个零件或部件的“联接”是经常重复出现的设计任务。如果设想一下,技术系统(无论什么样的设计系统)的所有的零件都是以某种方式相互联接起来的,那么就能估计出联接对于整个工程技术的重要性。

联接的编排标准

两个零件的联接可以是固定联接或活动联接(铰链、导轨)。这些联接通常是用来传递力或力矩、引导零件、固定层以及联结纺织纤维等。所谓联接是指那些约束或限制相互接触的零件或相邻零件之间在一个或几个运动方向上相对运动的技术手段。固定联接是自由度为零或不自由度为6的联接。活动联接可以有1、2、3、4、5或6个铰接自由度^[25]。轴承和导轨是两个零件的动联接,下面还要对它们进行讨论。

正若要指出的那样,联接可以按适合它们的四种标准进行编排,即:

- 物理原理(现象),
- 构形特征,
- 目的或使用特性,
- 制造方法。

如果不把联接制造方法作为编排标准,那么就可以按其它三种标准,即,物理原理、构形特征以及按其目的或其特性进行编排分类。因此,可以把联接的广泛的系统分类想像成三维矩阵图形,正如图14.1.1所示。

联接的构形特征

为实现联接而选择一种适宜的物理效应,便得到某种还没有最终构形的原理解或基础解。实际的构形在其它设计阶段(构形方案设计阶段或构形阶段)才能确定。因此,最

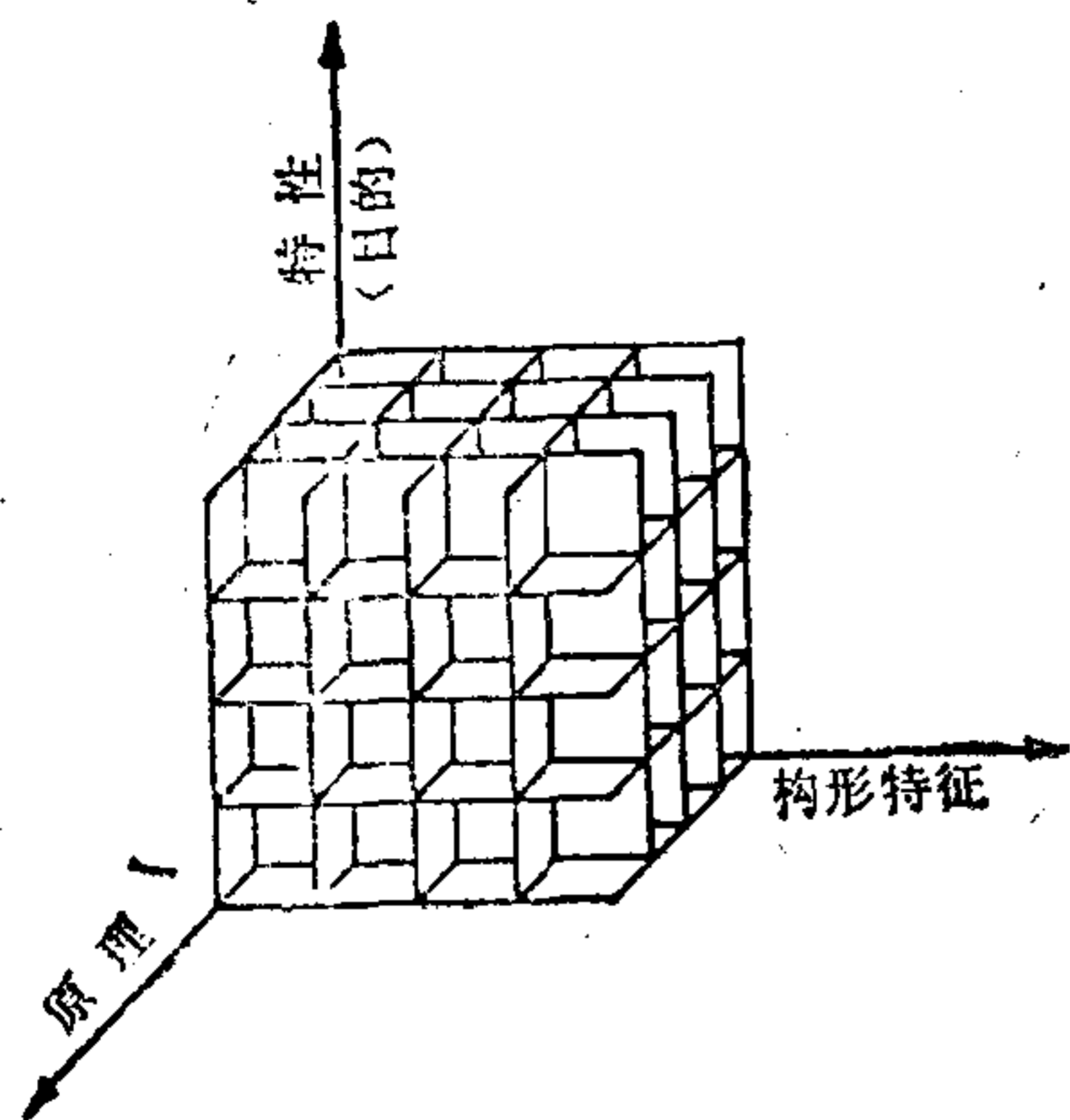


图14.1.1 按物理原理、构形特征和目的(特性或任务)对技术联接进行编排分类的图示

图14.1.2是以简单驱动轴为例,通过功能表面的尺寸、形状、数量等变换所形成的各个构形方案组。

联接的目的和特性

一般来说,技术系统的联接是为了完成不同的任务(用途)。

因此,联接可以有如下的用途:

——使两个结构元件(零件)或部件彼此固定联接起来(固定联接),

——使零件或部件彼此之间只在一定的方向上不动地联接,而在其它方向上则是可移动地联接起来。

下面称这种在一定的方向上运动而在其它方向上不动地联接,为“动联接”或“铰链”或“导轨”。它们可以有1、2、3、4、5或6个自由度或5、4、3、2、1或0个不自由度。例如轴承、铰链、导轨、联轴器、驱动轴和链条等概念都是大家所熟悉的。此外,在一定的方向上运动的联接可以有如下的特性,如

——转动、移动或一般运动,
——能旋转或不能旋转,

好将决定联接构形的特征作为进一步的构形标准并据此对联接进行编排分类。

零件、部件或机器的构形是由六个构形参量来描述的。正如下面还要详细说明的那样,与此相应地可以把联接构形方案分为不同的六组,并按这六组进行编排分类。

这六组构形方案是由所有元件的

- 尺寸,
- 形状,
- 数量,
- 位置,
- 顺序和排列结构,
- 联接结构的系统变化而形成的^[80]。

	初始构形	多边形轴		
尺寸				
形状				
数量				
位置				
排列/顺序				
联接结构				

图14.1.2 有相应附件(输出)的驱动轴的构形变化;所有构形方案的任务(目的)和实现任务所使用的效应是相同的;构形分类实例

- 低摩擦或非低摩擦，
- 滑动、滚动、弹性运动或滑动-滚动的混合运动。

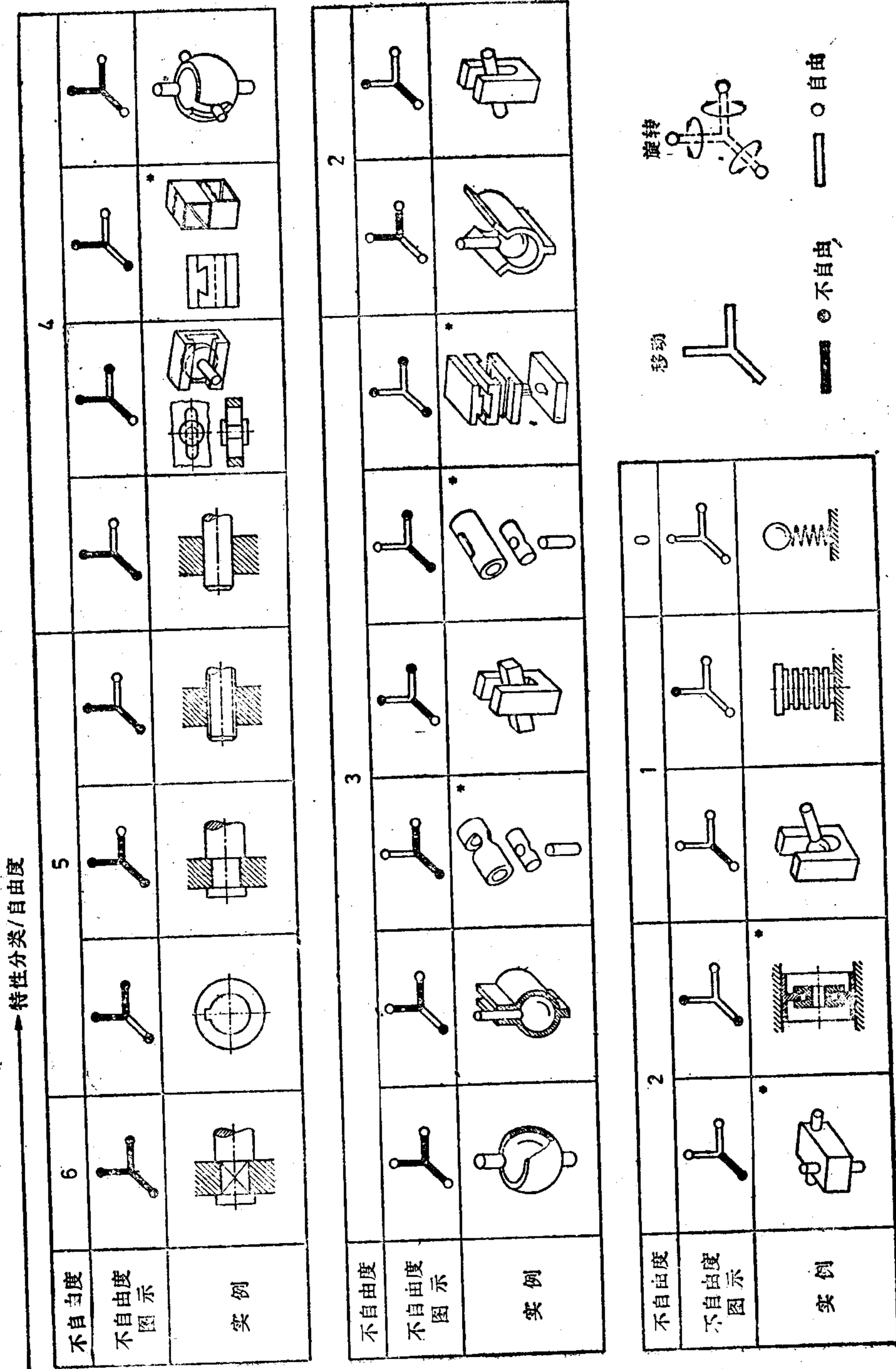


图14.1.3 铰链特性“自由度”的变化；“特性分类”实例；有●号的铰链是由几个“基本的铰链”组成的

→ 物理原理

↓ 轴承

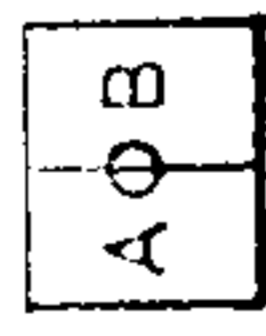


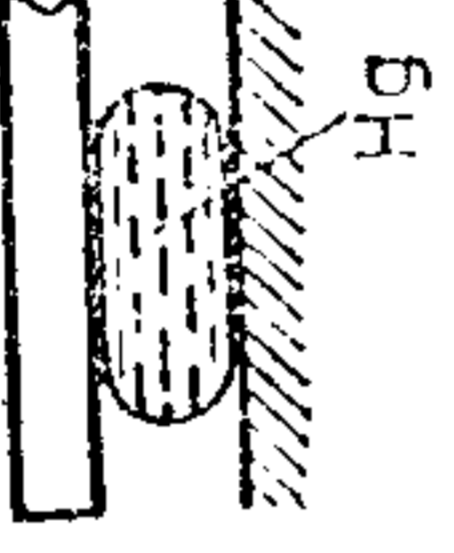

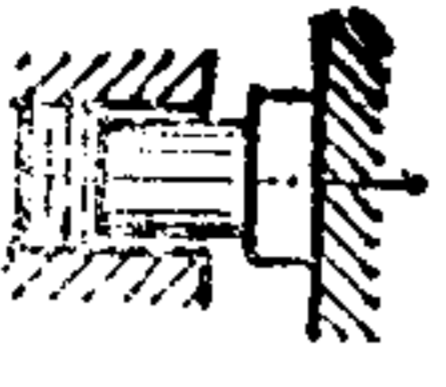


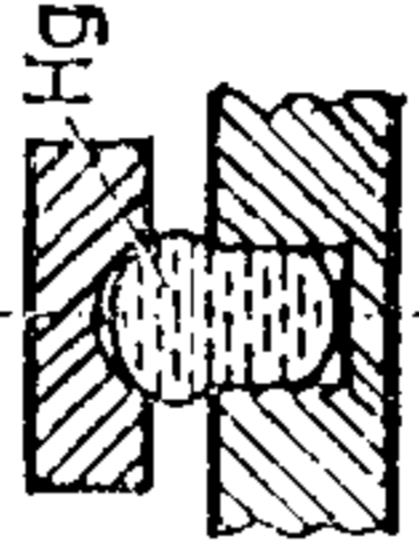




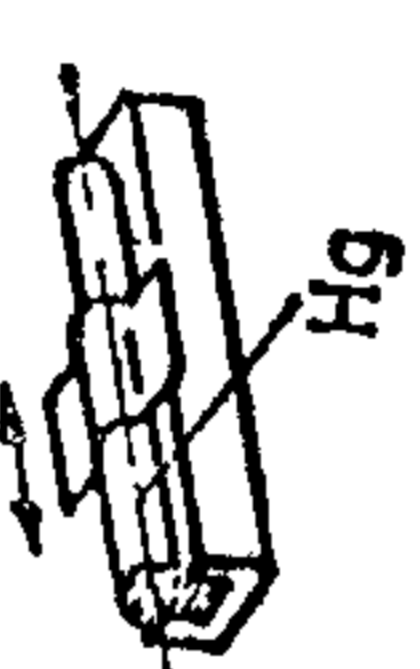
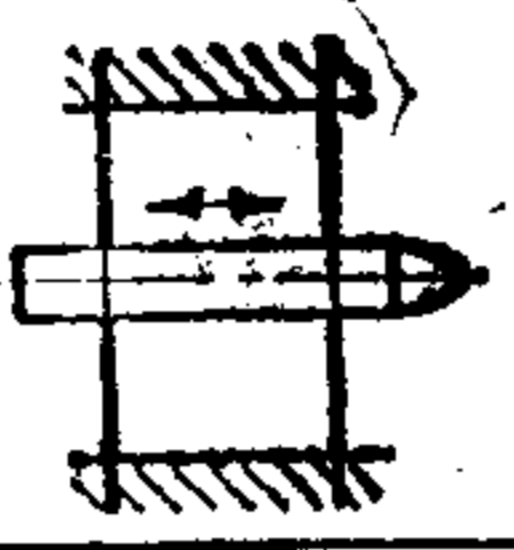
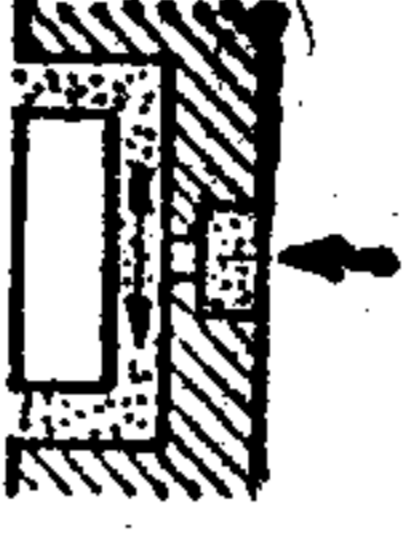
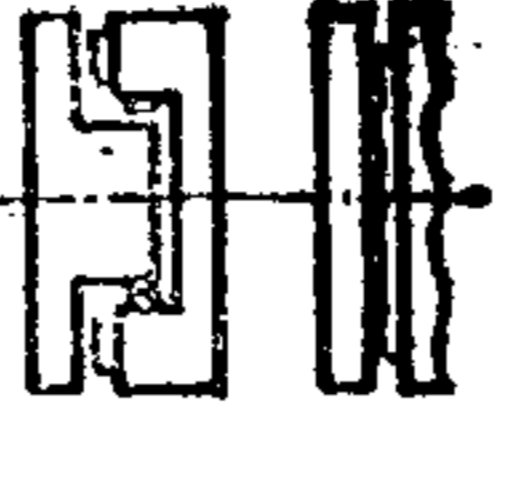
名称	轴承和导轨						
物理效应	1 粘结	2 物质联系	2 亲和形联系	3 表面张力	4 虎克定律	5 空气/液体静力学	6 空气/液体动力学
原理							
回转运动							
移动							

图 14.1.1.4 按物理原理和特性进行联接的编排分类. 这里是: 转动和移动; “原理-特性-分类”实例

此外，它们还可以是少维修或不维修，也还可以有其它的特性。

联接还有如下的用途：

- 将较薄的层固定在其它材料上(如涂层、蒸发层、电镀层)，
- 纺织纤维、软线等彼此串接或联接(结合)。

从机械学中知道的，具有不同自由度的铰链的分类就是只按联接的用途进行编排的动联接的分类实例(图14.1.3)。它们只是按其特性“自由度”来编排分类的；图中有意不考虑物理原理和构形的变化。

根据上述三个标准，联接可按其物理原理、构形特征、目的或特性进行编排分类。沿着划分为许多区间的坐标轴，人们可以想像在每一个区间内都记入了联接的一个物理原理、一个构形特征和一个目的(一个特性)(图14.1.1)。在位于坐标切点上的格子内可以找到对应于坐标轴各个位置上指示的原理、构形特征和目的解(或许许多解)。由这种认识可以得到多少建立联接分类的方法呢？

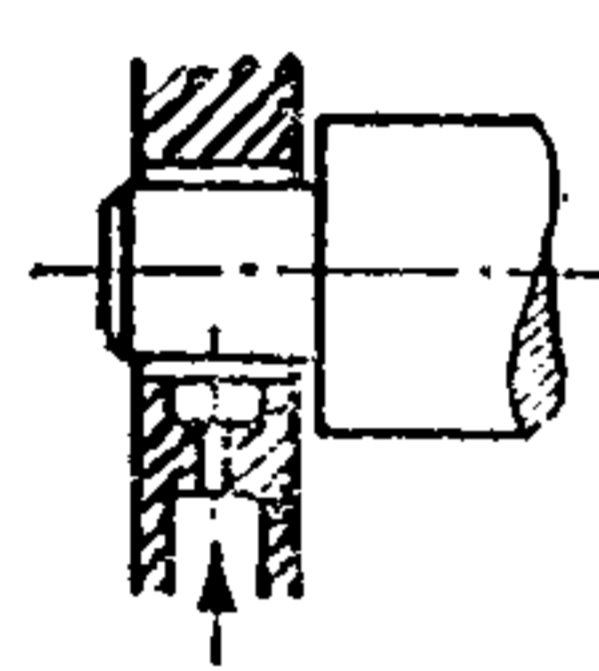
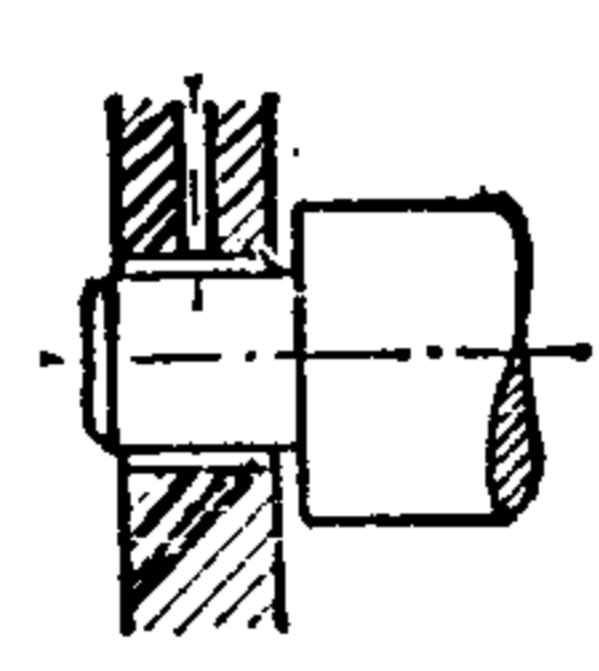
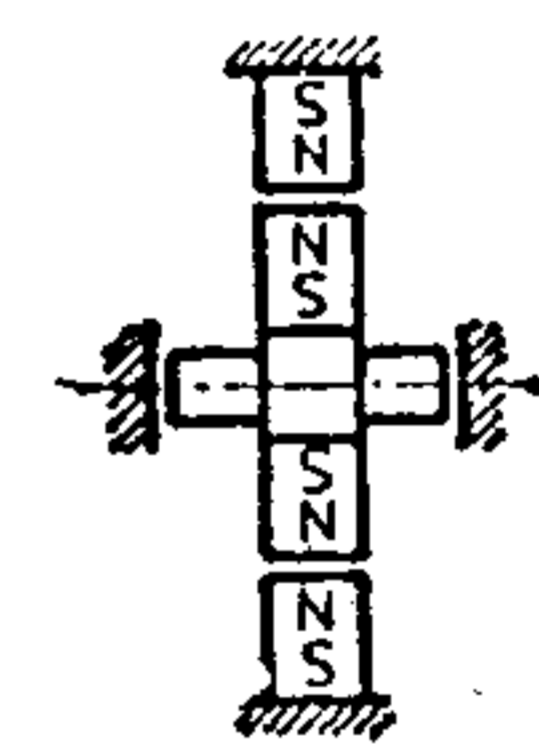
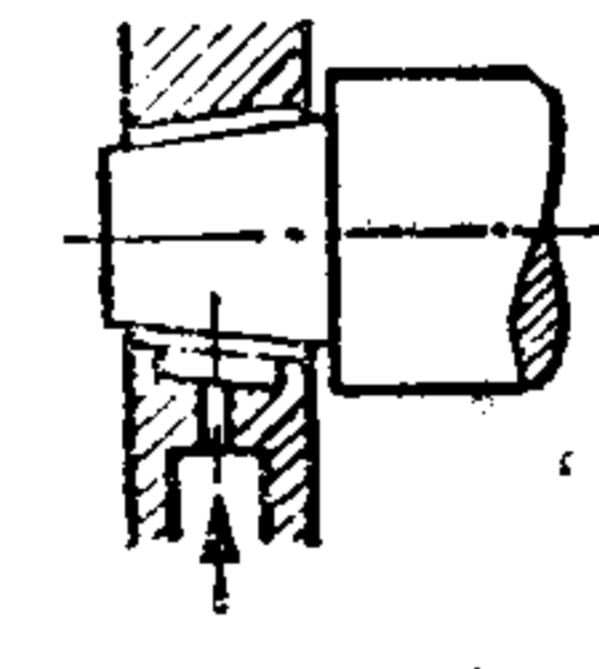
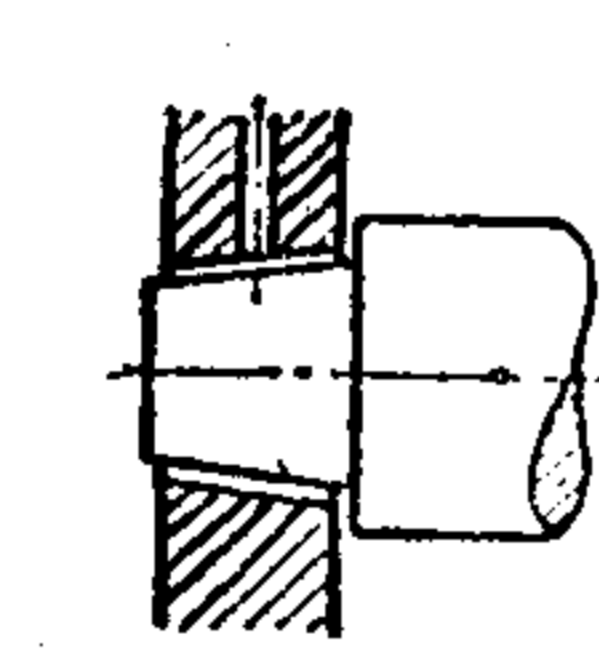
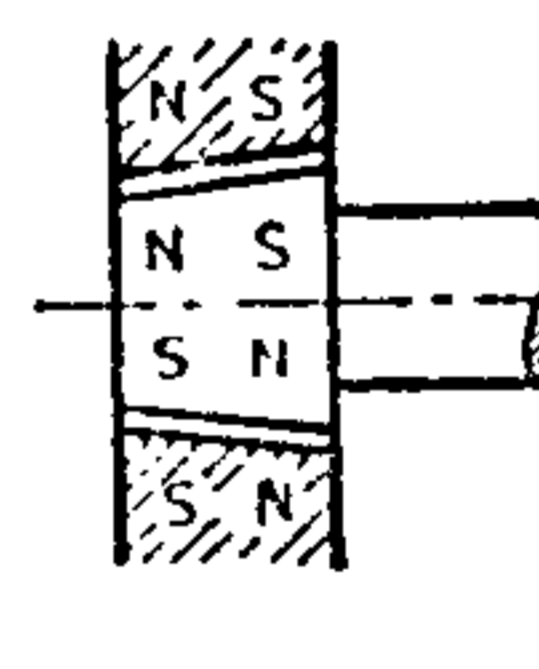
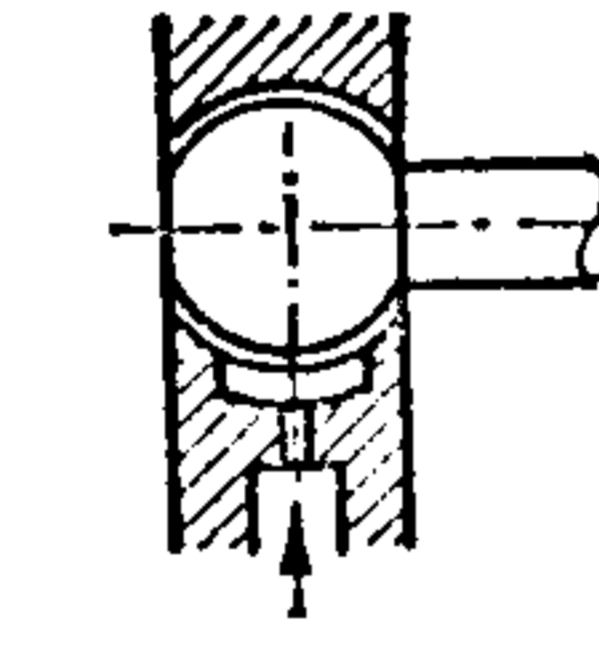
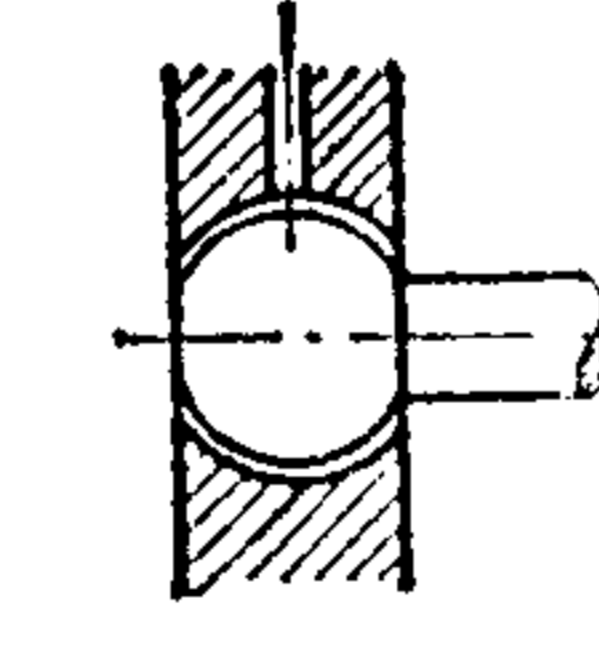
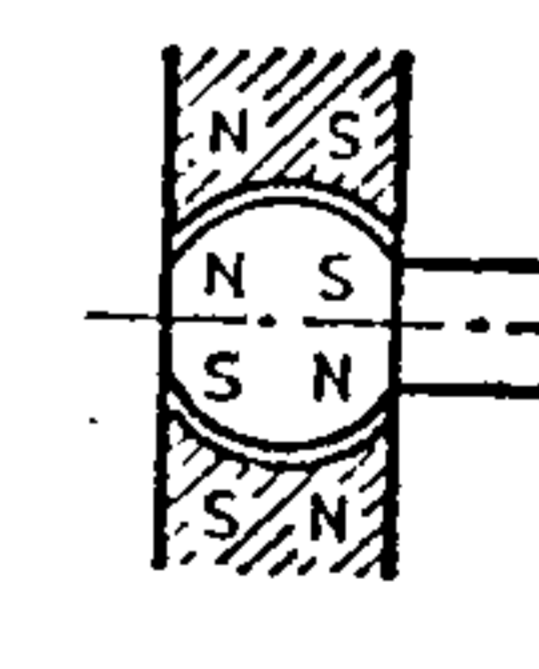
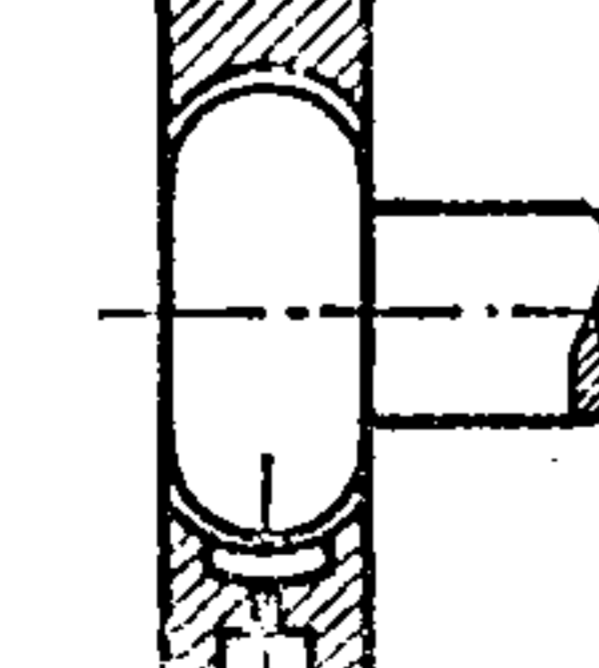
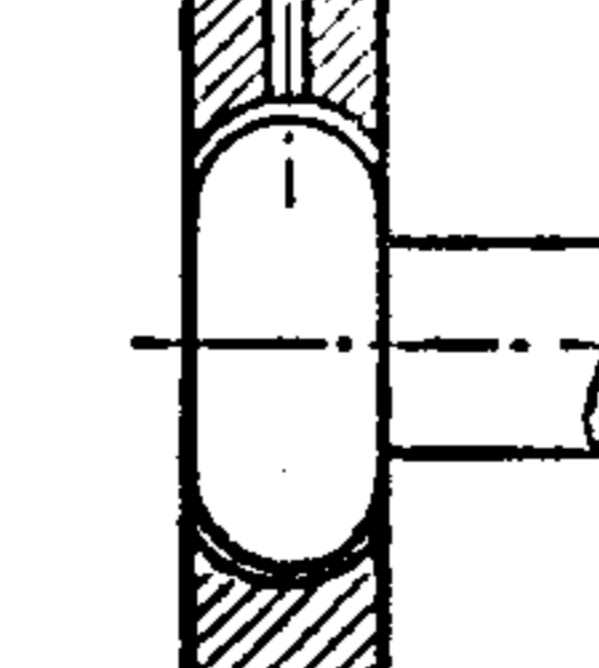
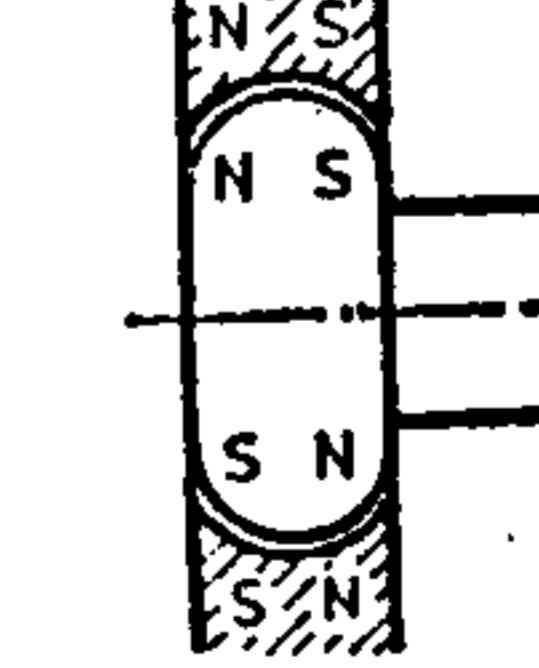
→原理			
↓构形特征	空气/液体静力学	空气/液体动力学	电-磁学
			
			
			
			

图14.1.5 按物理原理和构形特征进行联接的编排分类。这里是：回转运动联接(轴承)；“原理-构形分类”实例

	初始构形	立式轴承	初始构形	直线导轨
尺寸				
形状				
数量				
位置				
顺序				

图14.1.6 按构形特征和特性进行联接的编排分类，这里是：立式轴承和直线导轨：“构形-特性分类”实例

联接基本上可按不同的物理原理、构形特征或目的来编排分类，这时每次可以有两个不作为编排分类标准(观点)的变量(如构形的目的、原理和构形，或原理和目的)保持不变。

也可以先放一放不作为编排分类观点的两个变量(一维的分类)。用于结合(联接)操作的物理效应的原理目录3(见附录)就是这样的例子。这时为了说明这个原理，选择了任意的构形，也可以先不管以某种联接原理就可以实现联接目的。

与此相反，图14.1.2示出在目的不变(传递力矩、望远镜或可以套装的轴)和物理原理不变(亲和力)的情况下，有不同构形的两个型面轴同步回转结构分类。

最后，图14.1.3示出有不同特性(目的或自由度，不管构形变量或是任意的构形变量)和两种不同的物理效应，即亲和力(参见0至5自由度的铰链)和虎克效应(参见有6个自由度的弹簧铰链)的铰链的分类表。如果只想在这个分类表中准确地示出一个原理(亲和力)的解，必须以有6个自由度并由刚性零件组成的铰链代替弹簧铰链。读者自己可以想像一下，有6个自由度的这种铰链是个什么样子。此外，图14.1.1所示的三维的联接分类可以分为许多二维的分类。为此，可以把图14.1.1的分类想像为切成了许多平行于 $x-y$ 、 $x-z$ 或 $z-x$ 平面的平面。换句话说，联接也可以按两个变量进行编排分类，即按照

- 原理和构形特征;
- 原理和特性;
- 构形特征和特性。

不作为编排分类标准用的第三个变量这时都保持不变。

图14.1.4示出部分按原理和特性编排的,两个零件动联接的分类。空白的区域表示不存在具有“转动或移动特性”的解的原理。图14.1.5示出了部分按原理和构形特征编排的铰链联接(轴承)的分类。图14.1.6示出了按构形特征和特性编排的、回转或移动运动联接(铰链和导轨)的分类。为了完整起见,这里还应该指出,联接的加工和构形也与要构

形联接的边界条件有关,例如要联接的零件的构形或其材料(金属或塑料)的构形。

图14.1.7示出了这方面的实例。

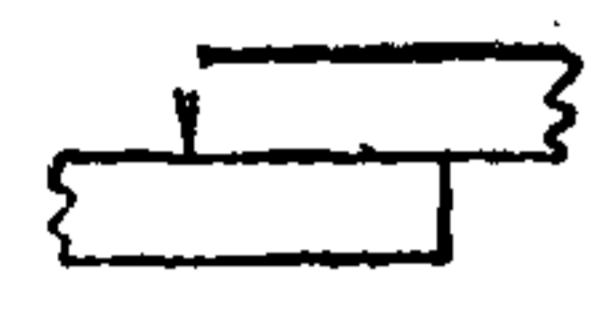
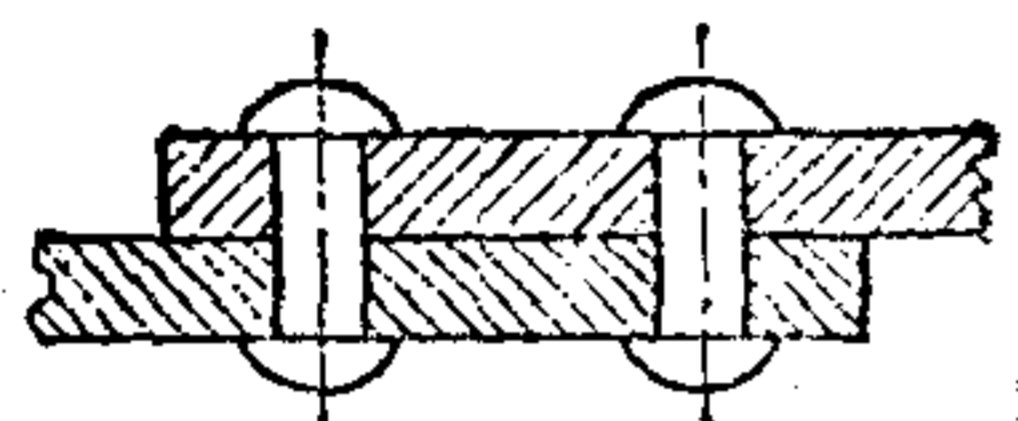
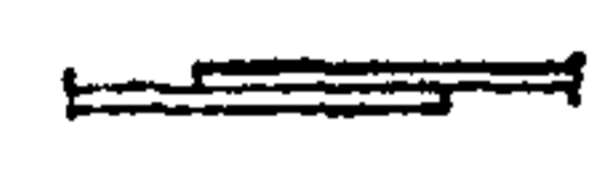
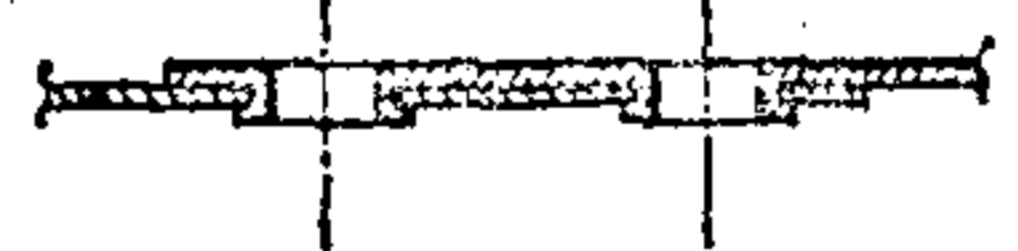
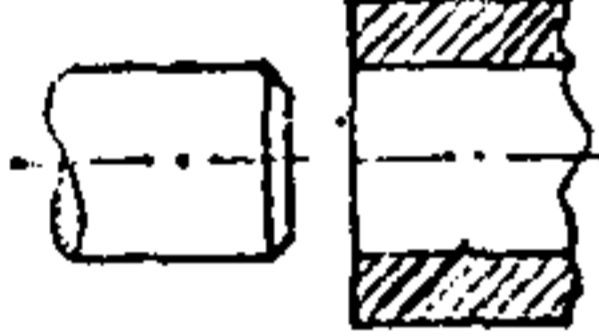
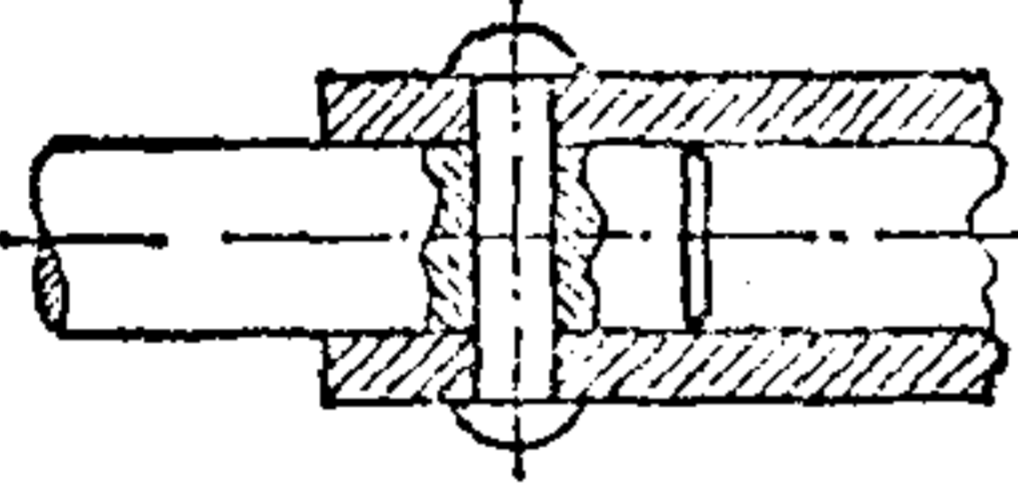
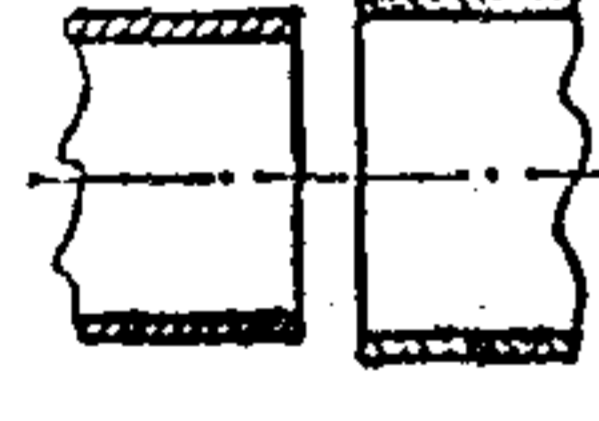
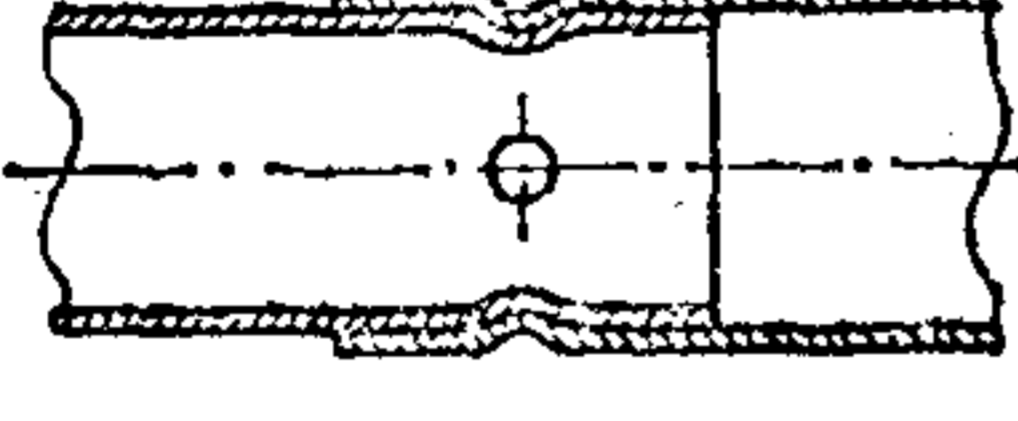
初始状态	固定联接
a 	
b 	
c 	
d 	

图14.1.7 边界条件对固定联接构形的影响。

(a)厚板与厚板; (c)壁管与壁管;
(b)薄板与薄板; (d)壁管与壁管

联接表面的分类

由于联接表面对设计工作具有重要意义,所以最后还应进一步讨论联接表面的构形方法。

两个零件的联接至少由这两个零件各有一个的联接面组成,或者由一对互相接触的面、线、点或相邻表面组成。联接也可以是面和棱(例如金属线-包覆联接)的组合,或是棱与棱的组合。如果系统地变化联接部位的构形参量(功能表面的尺寸、形状、数量、位置、顺序和联接结构),那么就可得到两个联接部位的所有可能的构形组合方案。联接表面可以采用不同的形状,不同或相同的尺寸(图14.1.8第1、2行)。通过改变组成联接的功能表面的数量也可以得到不同联接的构形。此外,系统地变换该零件联接表面的位置(表面翻转),也可以得到不同的构形方案。“正面或背面”(凸面或凹面)不同的表面,理论上共有 $2^2 = 4$ 种位置变换,但这时,每次位置

变换一般都没有实际意义(图14.1.8第4行,虚线)。

最后,当元素的顺序结构变换时,还可得到其它的构形方案。由圆锥面、圆柱面(定心结构)和螺纹组成的联接元素也可通过以不同顺序编排这三个面元素的方法来改变其构形(图14.1.8第5行)。

图14.1.9示出了联接表面可能的形状变换和组合。(在A6中的*号表示在这种组合时出现的平面与螺旋面之间的棱线接触)。图14.1.10包含了每个形状组具有的位置变换构形方案。最后,图14.1.11还摘要地示出了通过不同组合表面的数量变换可以找到的构形方案。在图14.1.11的分类表中最右边一栏中也列出几个“棱接触”的联接。正如“金属

线-包覆联接”的例子所示,这种形式的联接有时在工程技术中可能有用;因此,不应该匆匆忙忙地对这些联接不予全面考虑。从上述观点我们可以清楚地知道,在技术系统中存在着多少联接方式以及研制时需要花费多少时间。上面的阐述应该为联接进行广泛的编排分类,指出一条途径,并激发人们独立地为某项任务寻求专门的联接方法。

	初始状态	构形方案			
形状 ↓ 尺寸					
数量					
位置					
顺序					

图14.1.8 通过形状、尺寸、数量、位置和顺序变换得到的联接构形方案的各种实例(概况)









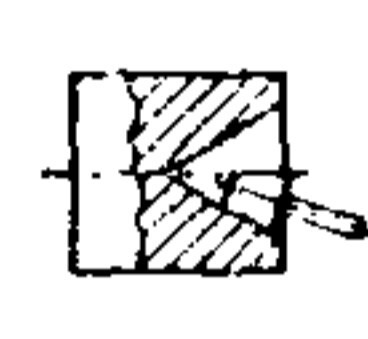
▶ 形状变换

形状变换

	1 平面	2 圆柱面	3 圆锥面	4 球面	5 圆环面	6 螺旋面	7 一般平面
A 平面							
B 圆柱面							
C 圆锥面							
D 球面							
E 圆环面							
F 螺旋面							
G 一般平面							

图14.1.9 通过形状变换对联接表面的构形分类

* 表示棱线接触

	1 平 面	2 圓 柱 面	3 圓 錐 面
A 平 面			
B 圓 柱 面		 	 
C 圓 錐 面			 
D 球 面			
E 圓 環 面			
F 螺 旋 面			

4 球面		5 圆环面		6 螺旋面		
						A 平面
						B 圆柱面
						C 圆锥面
						D 球面
						E 圆环面
						F 螺旋面

图14.1.10 通过图14.1.9各种形状方案的位置变换得到的联接表面的构形分类，*表示棱线接触

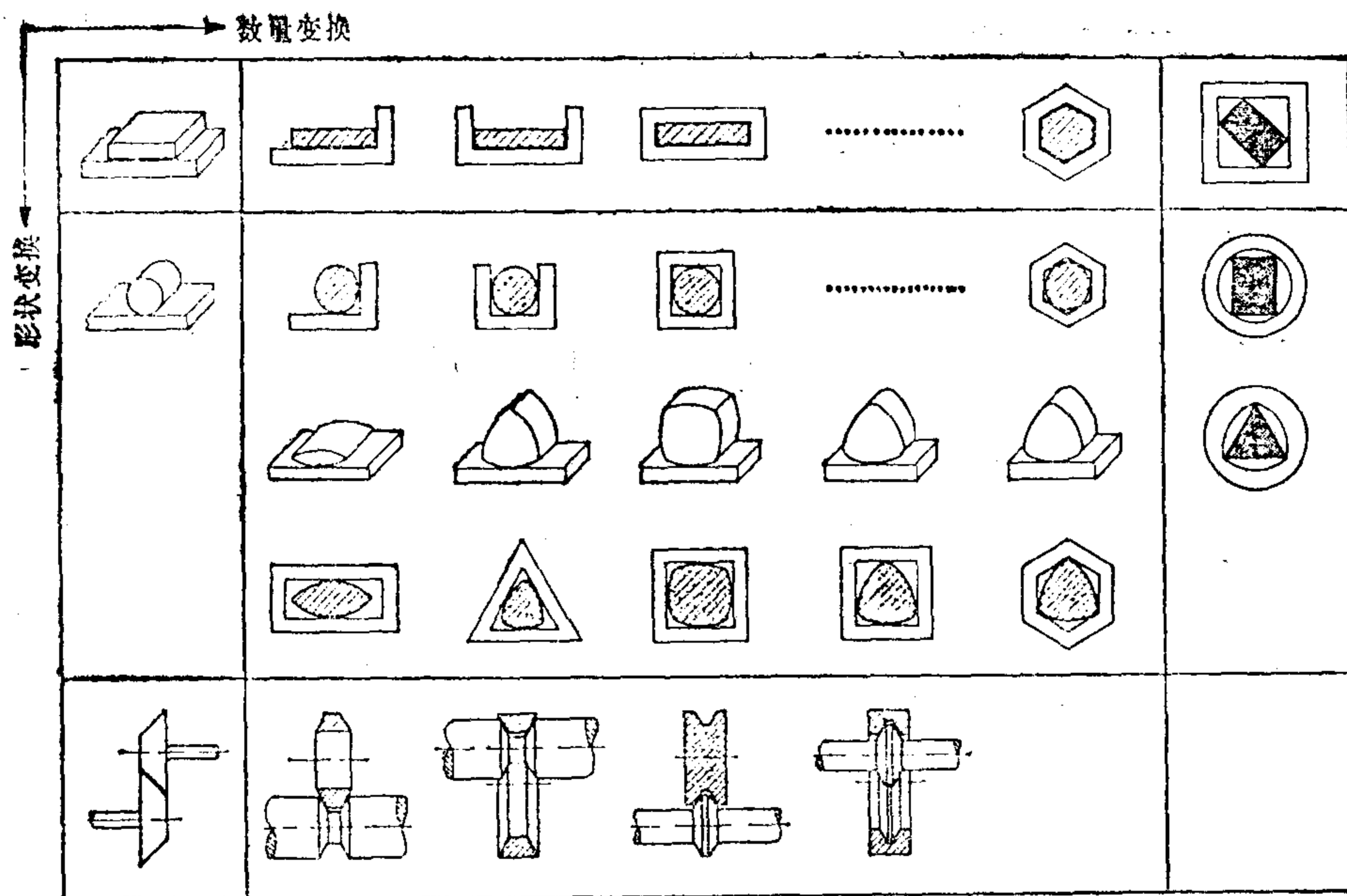


图14.1.11 通过数量变换或数量和顺序变换(下面一行)得到的联接表面的构形分类

14.2 简单传动机构

机构原理的变换和机构结构形式的变换

在机器和仪器设备中同样也经常需要解决简单运动问题的机构。为了实现运动功能,通常不仅可以利用建立在杠杆效应基础上的机械传动机构,而且也可以利用其它任何一种物理效应,使任意一种能量转变为运动(或动能)、放大或缩小运动,或改变运动方向。为了寻求某具体问题的最佳解或者为了研制运动系统尽可能完善的目录,其先决条件是知道所有的运动原理、它们的各种结构形式和类型。因此建立一种系统地研制所有可能的运动系统的算法是有益的。研制这种方法(算法)的出发点和基础是认识到运动系统总是建立在物理现象的基础上,而这些物理现象是能够传递、放大或缩小运动或运动参量(位移、速度等)、或者能量参量(力、力矩)以及改变其运动方向(机构等运动系统)或把任意形式的能量转变为动能(产生运动的系统或马达)。

上面最后谈到的那类产生运动的系统,这里不再继续讨论。对于第一类运动系统来说,我们可以推测,所有那些能够传导(传递)、放大或者缩小力或力矩或运动参量和改变其方向的物理现象(效应)都适于研制这类系统。具有上述特性的效应,形式上可从相应的基础操作的分类“放大”、“方向变化”和“传导”中得到。

最经常用于运动的放大或缩小的效应是杠杆效应和楔效应¹⁾。

1) 理论研究表明,杠杆机构和楔机构可以相互转换。图14.2.1第2行第2栏所示的杠杆机构应定义为杠杆效应的原理解或基础解。如果设想把这种构形的杠杆的支点延伸到无限远,那么这个构件就只能做移动运动。本来有旋转主动构件和旋转从动构件的机构就变成了有移动从动构件的楔机构。如果把原理图中两个杠杆的支点移到无限远,那么就由图14.2.1第2行第2栏中的机构形成一个有两个移动构件的楔机构。由此可知,杠杆机构和楔机构原则上是相同的机构。实际上,这里应该用它们自己的名称来表示,有时也应把它们看作是两种“不同的”机构。

此外,扭转效应和横向收缩效应、流体中的压力不变效应以及电磁效应也可用来实现上述基础操作。图14.2.1第2行示出了由此而得到的相应运动系统的原理。杠杆效应或楔效应是所有已知只有固体元件的机构的基础,如:凸轮机构、铰链机构、轮式机构和牵引元件机构等。

扭转效应导致有一个或几个弹性构件的机构;这种原理在所谓的扭簧比较仪,即用来机械地测量极小的长度变化(1/10000mm)的仪器中放大较小的运动。

如图14.2.1所示,在拉力负荷或压力负荷下,将弹性体的横向收缩用于运动学目的至今还未见过。为了明了和完善这种系统化的过程,这里也要谈谈这种应用的可能性。

除采用固体元件外,也采用液压或气压元件的所有液体静压传动机构都是以气体和液体中的压力不变效应(静态状况)为基础的。

通过电场和磁场产生力和传递力的可能性最终导致了有电元件或磁元件的运动系

运动系统分类表							
1	基础操作						
2	物理效应 机构原理	杠杆机构/楔机构	扭转机构	横向收缩机构	流体机构	电磁机构	
2	原理						
3	构形方案 第一级 (机构类型)	凸轮机构	铰链机构	轮式机构/滚 转杠杆机构	拉/压中间件机构	混合机构	
4	构形方案 第二级 平面的、球 面的、空间 的机构	平面凸轮机构 摆杆— 推杆— 楔— 球面凸轮机构 空间凸轮机构 圆柱凸轮机构 螺旋机构	平面铰链机构 球面铰链机构 空间铰链机构	平面轮式机构 圆柱轮式机构 球面轮式机构 圆锥轮式机构 空间轮式机构 螺旋齿轮机构 蜗轮机构 双曲线齿轮机构	平面拉/压中 间件机构 球面拉/压中 间件机构 空间拉/压中 间件机构	平面混合机构 球面混合机构 空间混合机构	

图14.2.1 运动系统的分类

统。这些系统还通过玻璃隔板或其它隔板,特别是用来无机械联接地传递运动。

目前只有杠杆效应或楔效应和在液体中压力不变效应对工业用机构具有比较重要的意义,其它的效应则较少应用(扭簧比较仪)或根本不用。

从杠杆效应的原理解(图14.2.1)可以用构形规律和草图设计规律导出如下类型的机构:凸轮机构、铰链机构、滚转杠杆机构或齿轮式机构和拉/压中间元件机构(图14.2.1第3行)。凸轮机构是杠杆系统最普通的形式。这类机构的特点是,两杠杆或两曲面的接触点(铰链)上同时有滚动和滑动。在进行定性分析时,可以把螺旋机构视为一般凸轮机构的特殊结构形式。在两个杠杆的接触点上只有滚动(没有滑动)。这个条件就是设计滚转杠杆机构的重要特征¹⁾。那些有封闭的曲面轮廓的专门的滚转杠杆机构通常被称为轮式机构。

铰链机构(也称连杆机构或曲柄机构)的特点是:各个杠杆通过回转铰链²⁾联接起来,相邻构件只能在环形轨道上作相对的回转运动。最后,可以把受拉中间元件机构想像为由轮式机构经白相应于受拉中间件的轮式机构的空心轮变成可弯曲的弹性体而形成的。在定性分析时,受压中间件机构在中间件的负荷类型上与受拉中间件机构是相同的。

此外,机构的构形还明显地受机构轴线位置的影响,而与用该机构要实现的运动功能无关。图14.2.1第3行中示出的各种机构的轴线的位置可以规定为所有的轴互相平行、交于一点或相互间具有一般的空间位置。与这些轴线位置相应的机构构形方案称为平面、球面或者空间机构(图14.2.1第4行)。

概括起来可以归纳如下:运动系统可以不同的原理或者物理效应为基础。运动系统的构形通过轴线的位置(平面的、球面的、空间的)可以发生很大变化。对杠杆系统,人们可以有目的的划分为凸轮机构、铰链机构、滚转杠杆(齿轮)机构、拉/压中间件机构和上述类型的组合(混合机构)。

按照上面的论述,对运动系统进行定性综合的方法有:

——通过改变原理(杠杆效应、楔效应、液体中的压力不变、扭转效应等)或结构类型(凸轮机构、铰链机构、轮式机构、拉/压中间件机构等)便可以对一个运动课题得到不同的解。上述机构的结构型式一般说来还可以继续变化,其方法是把这些机构变成平面机构、球面机构或空间机构,即有平行轴的或者轴线相交于一点的,或者有任意轴线位置的机构。

为了把上述观点解释清楚,图14.2.2和图14.2.3示出了几个实际的例子。

图14.2.2示出了开关小轿车车窗的各种类型的机构。事实上,在研制过程中,这些解绝大多数已被应用于各种汽车中。这些例子以及下面的例子表明,通过变换机构的类型便可系统地得到运动课题的不同解。所谓变换机构的类型,就是选择应用凸轮机构、铰链机构、齿轮机构、受拉中间件机构、受压中间件机构或混合机构。这样,螺旋机构就是可由楔形机构导出的专门空间机构。作为机构类型变换(铰链机构(a)、受拉中间件机构(b)和轮式机构(c))的又一实例,图14.2.3示出了三种二进制信号译码的加法机构。译码机构经常用于数据电传打字机上。

1) 滚转机构的两杠杆接触点一向精确地位于经回转中心 A_0 、 B_0 画出的直线上。

2) 移动铰链指的是有大约无限大半径的回转铰链。

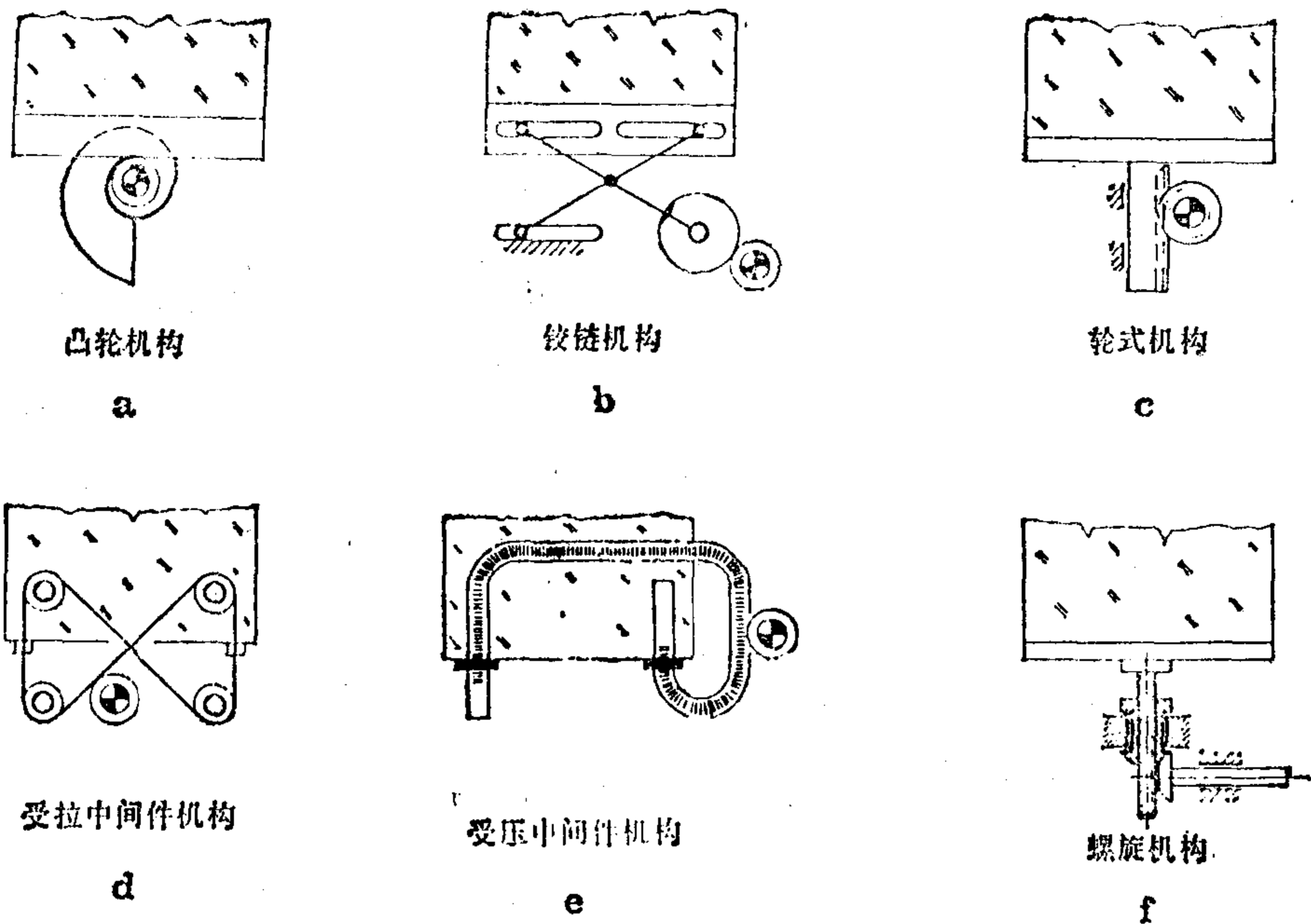


图14.2.2a—f 小轿车车窗杠杆机构方案, 机构类型的变换: 凸轮机构(a和f), 铰链机构(b), 轮式机构(c), 拉/压中间件机构(d,e)

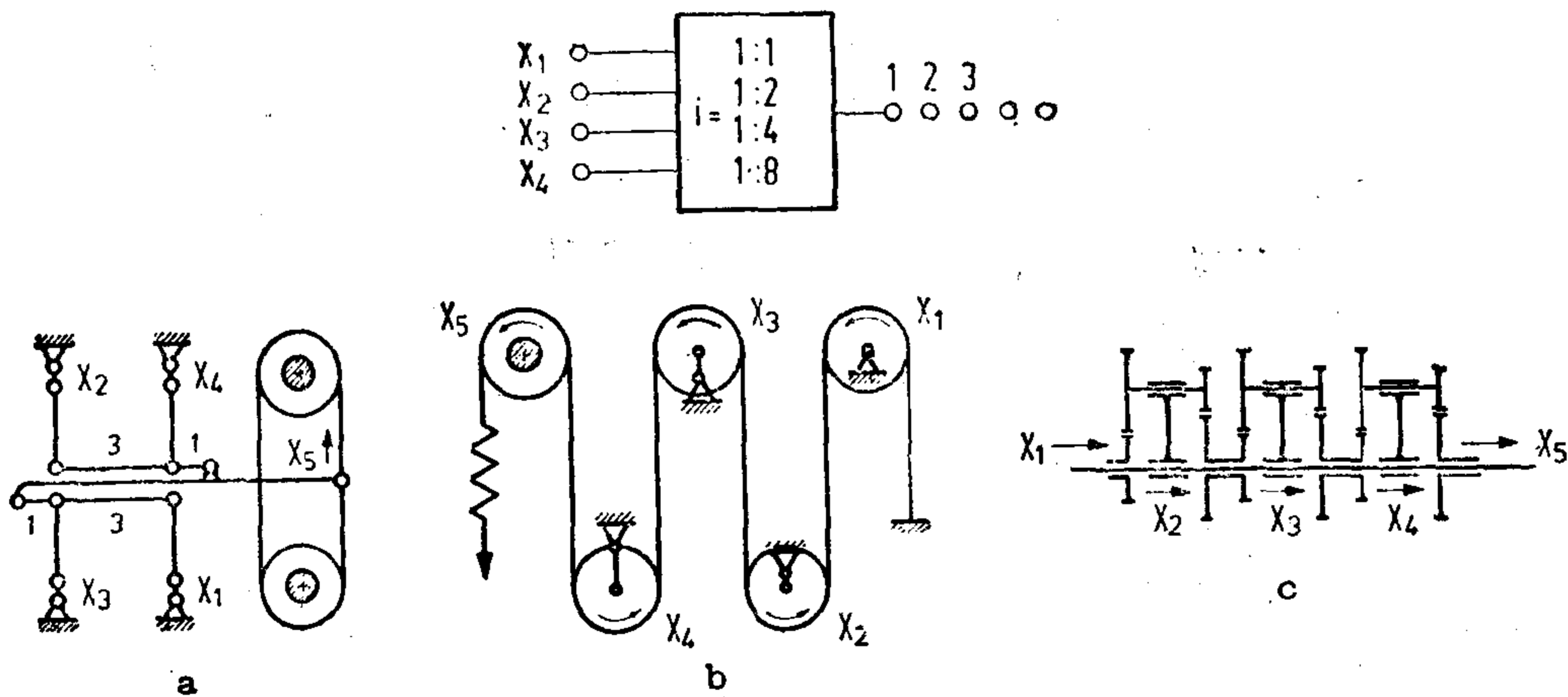


图14.2.3a—c 功能相同、有四个自由度的各种译码机构: 铰链机构(a), 受拉中间件机构(b), 轮式机构(c)

例: 压紧装置

假定提出了设计一个压紧装置的任务, 该装置应将手驱动轴的回转运动转变为移动的压紧运动。为了产生一个较大的压紧力, 应使从动运动显著小于驱动运动(变换)。根据空间条件, 输入轴必须水平布置。此外, 从动构件应在垂直方向起作用(图14.2.4上图)。

由此可以得到下面的结论: 水平布置的轴的回转运动应转变为移动运动; 移动运动

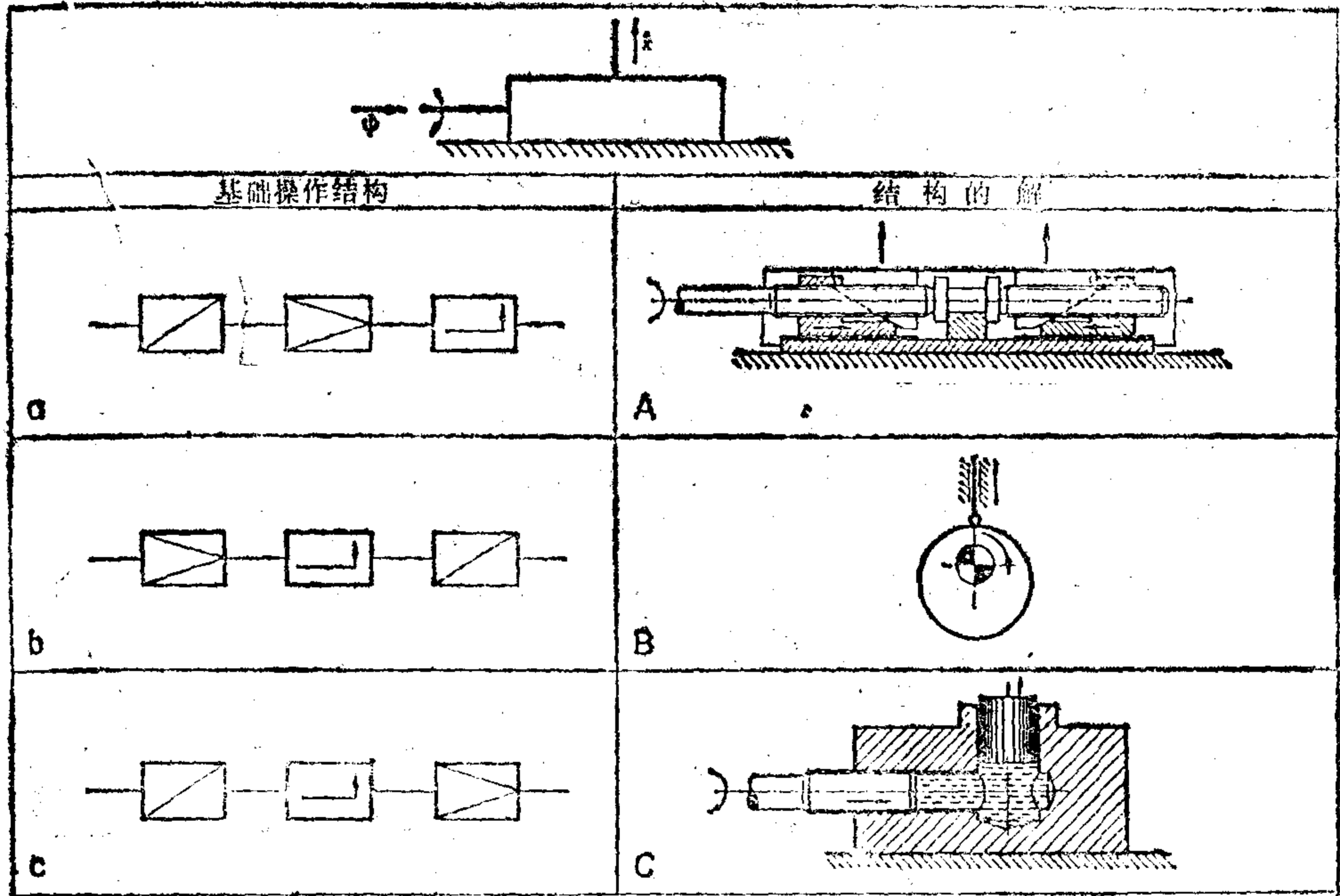


图14.2.4 压紧装置,基础操作结构和解

原理 整体方案 第二级 基本功能	杠 杆 机 构				液体传动机构
	凸轮机构	铰链机构	轮式机构	拉/压中间件机构	

图14.2.5 机构-组合分类

必须减小,而且其方向应这样变化,即最终产生垂直的压紧运动。图14.2.4a示出了几个可能的基础操作结构中的一种。因为在这种情况下可以任意选择各个操作顺序,所以,通过有计划地交换三种基础操作“转变”、“放大”、“改变方向”共得到六种基础操作结构。

为了阐明可能的原理方案,应该借助基础操作的各个解来研制一个组合分类表(图14.2.5)。在分类表的各栏中分别示出了转变、缩小和改变方向的解,它们是通过机构类型(第1至4栏)和机构原理(第5栏)的变换得到的。在第1行中收集了把回转运动转变成移动运动的各种类型的机构。[因为在这个操作时运动参量的量纲有了变化(位移→角位移;速度→角速度等),所以按照定义(第7.3节)把这个操作称为“转变”]。第2行示出了用来缩小运动参量的各种类型的机构。在第3行中示出了改变位移方向、速度方向或力的方向的机构。由于它们具有很大的实用价值,所以在第一栏中除了一般的有移动从动构件的凸轮机构外,也列出了螺旋机构和楔形机构。这两个机构都是一般凸轮机构的构形方案。各个机构的输入端和输出端的箭头再次表示已实现的操作。还须特别注意的是,移动从动构件凸轮机构(第一栏)既能把一种运动形式转变成另一种运动形式(第1行),缩小位移(第2行),又可以改变运动方向(第3行)。

现在,借助组合分类表就可以很容易地给出整体原理方案解,这些解是通过将每一行的一个解,即:将每个给定的操作组合成一个整体系统产生的。如果为转变和缩小操作各选择一个螺旋机构(第1栏第1行以及第1栏第2行),为了改变方向选择楔形机构(第1栏第3行),那么就得到一种原理方案,如图14.2.4A所示。如果为所有三个操作都选择移动从动构件的凸轮机构,那么,就可得到一种特别简单的解。这个解示于图14.2.4B。最后,解C时,为了转变运动形式和缩小运动,选择了螺旋机构,为了改变运动方向选择了流体机构¹⁾(第5栏第3行)。

单纯从形式上说,图14.2.5第1行的每一个解与第2行和第3行各选出的一个解一起可以形成与任务书一致的机构的整体原理方案。利用全部组合方法,理论上共有 $6^3=216$ 种原理方案。实际上,在这个综合步骤之后,就是选择过程。其目的是为某种情况提出最佳原理方案。因为在上述具体应用时,很小的结构高度是十分重要的,所以,图14.2.4A的解看来最合适。

运动形式的变换

在机器和仪器中,某一零件经常要运动到不同的位置上,而这往往与运动形式无关。电开关、门、某种推进装置、座椅高度调节装置等就是这类机构的实例。在运动时,当与零件的运动形式无关,而只与零件的某些不同起始位置有关的时候,可以通过下述办法得到机构的不同构形方案。

——通过变换从动构件的运动形式,这时,从动构件的运动形式可以是回转、移动或一般形式的运动。

运动形式变换的实例是回转、移动或一般运动的门,如回转门、拉门或用铰链机构的门,铰链机构的门有时用于电车、赛车或其它车辆。对于电接触的控制来说,运动形式同样是无关系要的。很容易联想到,运动形式的变换可以导出大家熟悉的转动开关(回

1) 除了改变方向外,该机构还有缩小运动位移的特性。

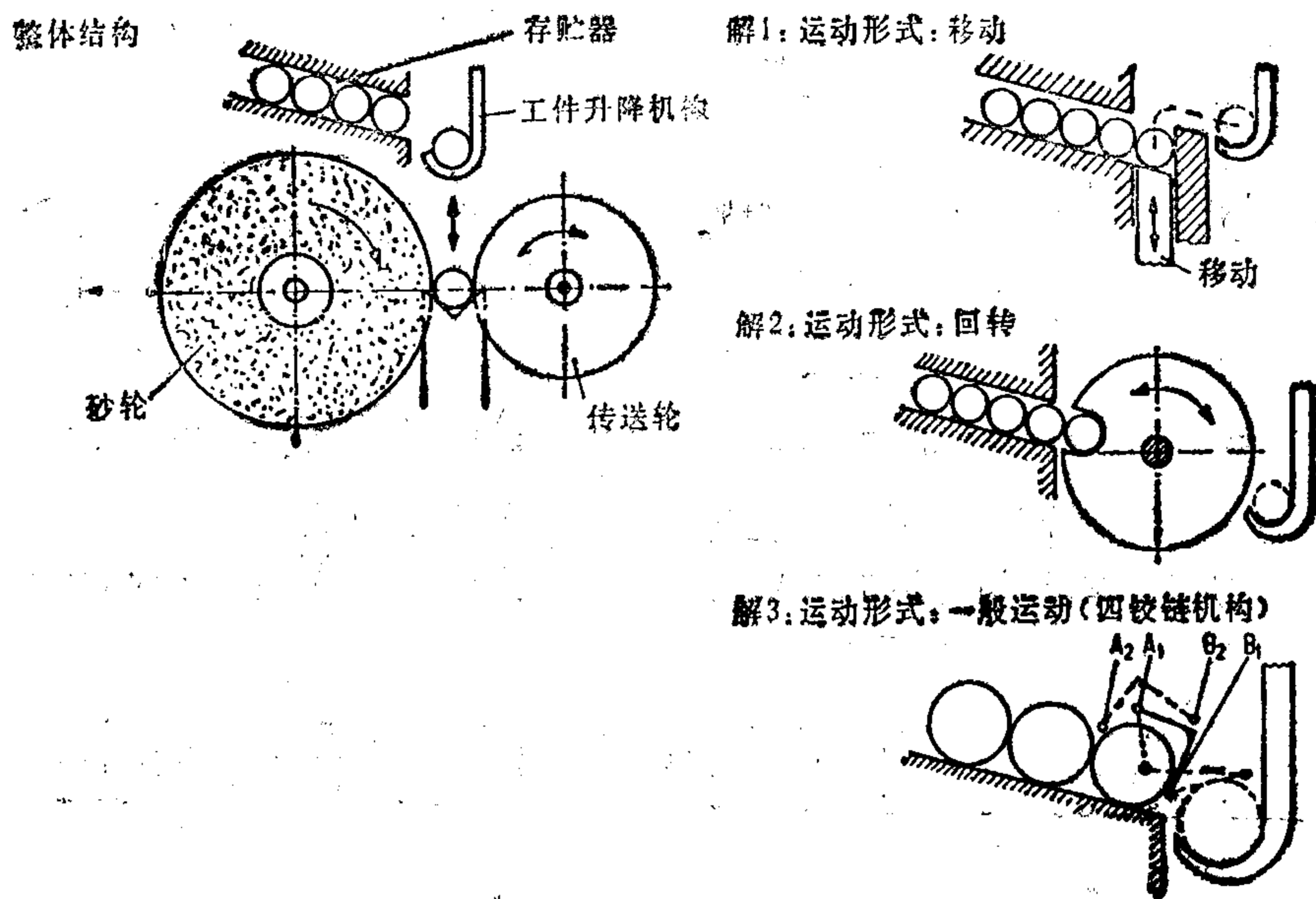


图14.2.6 以工件分类装置为例,通过运动形式的变换研制解

转)、按钮开关(移动)或用铰链机构控制的开关。

为了给圆柱形工件分离,图14.2.6示出了三种不同的机构方案,这三种方案可通过运动形式的变换得到。其任务是,将位于存贮器中的圆柱形工件一个个地输送到工件升降机构或加工位置。图中a、b、c示出为使该工件分离机构构件具有移动、回转和一般运动形式的机构方案。

IV 实 例

15. 原理解的阐述: 点火时间调节器

众所周知,高速内燃机的点火时间随发动机转数的增高而提前,即燃烧室内混合气体的点火随着转数的增高而提前(与发动机驱动机构的曲轴位置有关)。为此,在内燃机的点火配电器内有点火时间调节器。点火时间调节器主要由一个通过发动机凸轮轴带动的轴组成。在轴上有一个转动的电触点(点火配电器转子)和一个与发动机缸数相同的多路凸轮,以便控制断路器的触点。分电器触点和断路器触点则通过一个公用的轴同步控制。由配电器转子和断路器凸轮的相位决定的发动机的点火时间,可以通过配电器转子和断路器凸轮的一起转动对驱动轴进行调节。

如果把“点火时间调节器”这个分系统(ZZV)抽象化,那么可以把它想象为一个有输入参量为转角 φ 和角速度 $\dot{\varphi}$ 以及输出参量 $\Delta = \dot{\psi} + \psi$ 的“黑箱”(图15.1),这里 ψ 是某个与角速度 $\dot{\varphi}$ 成正比的角,它应与驱动角 φ 相等。如用一个基础操作结构或基本功能结构来代替点火时间调节器系统的整体功能,那么,为了说明这点,就需要两个基础操作,即一个将角速度 $\dot{\varphi}$ 转换为偏转角 ψ 的“转变”操作和一个将角 φ 和 ψ 相加得到所需输出量的“相加”操作。从而得到图15.2所示的基本功能结构。如果可以列出“转变”和“相加”操作的所有存

在的物理现象,那么通过系统地组合可选择解,便可得到点火时间调节器的所有的原理方案。



图15.1 点火时间调节器的整体功能

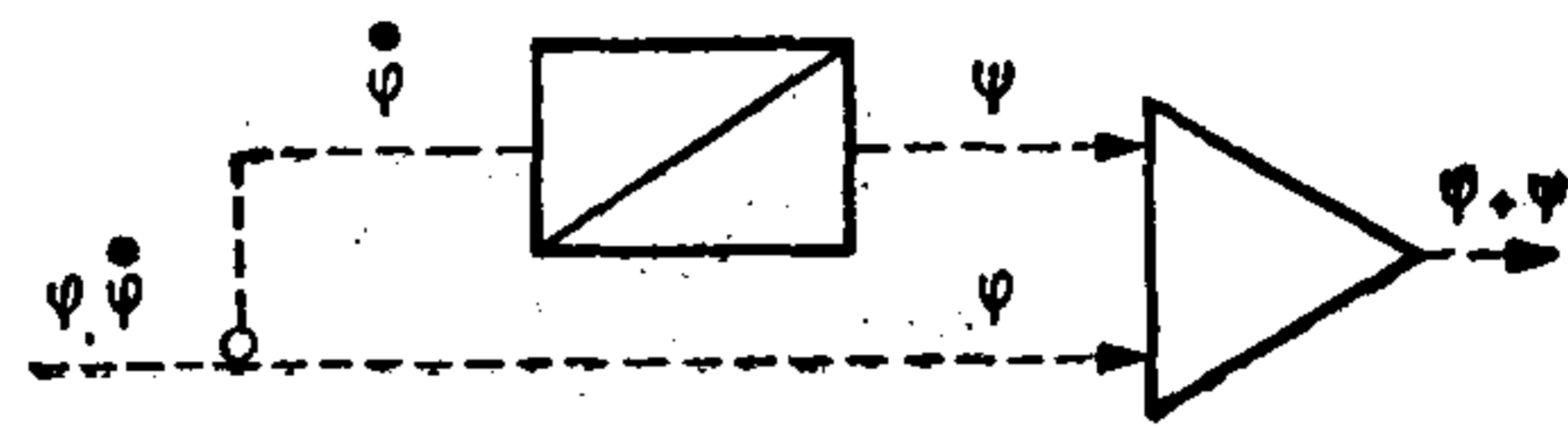
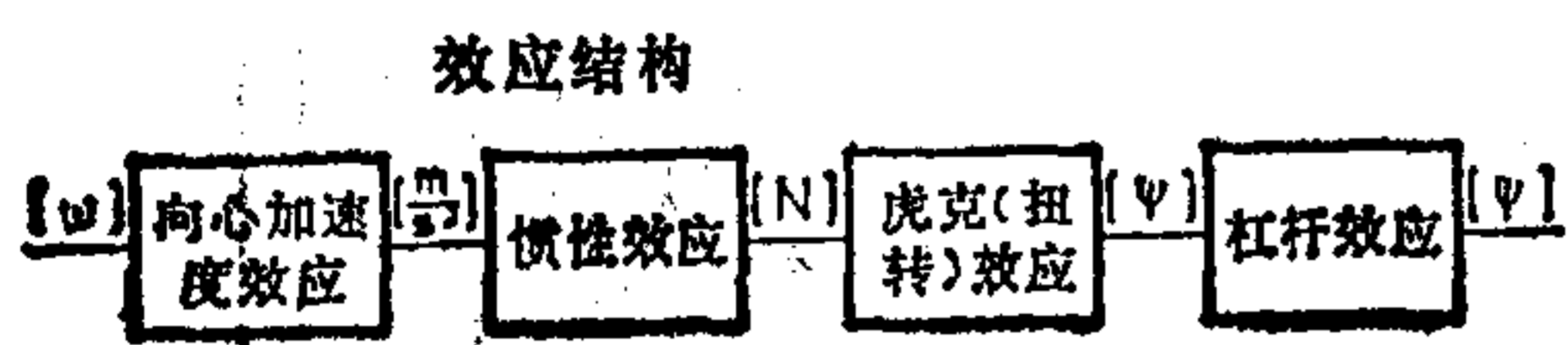
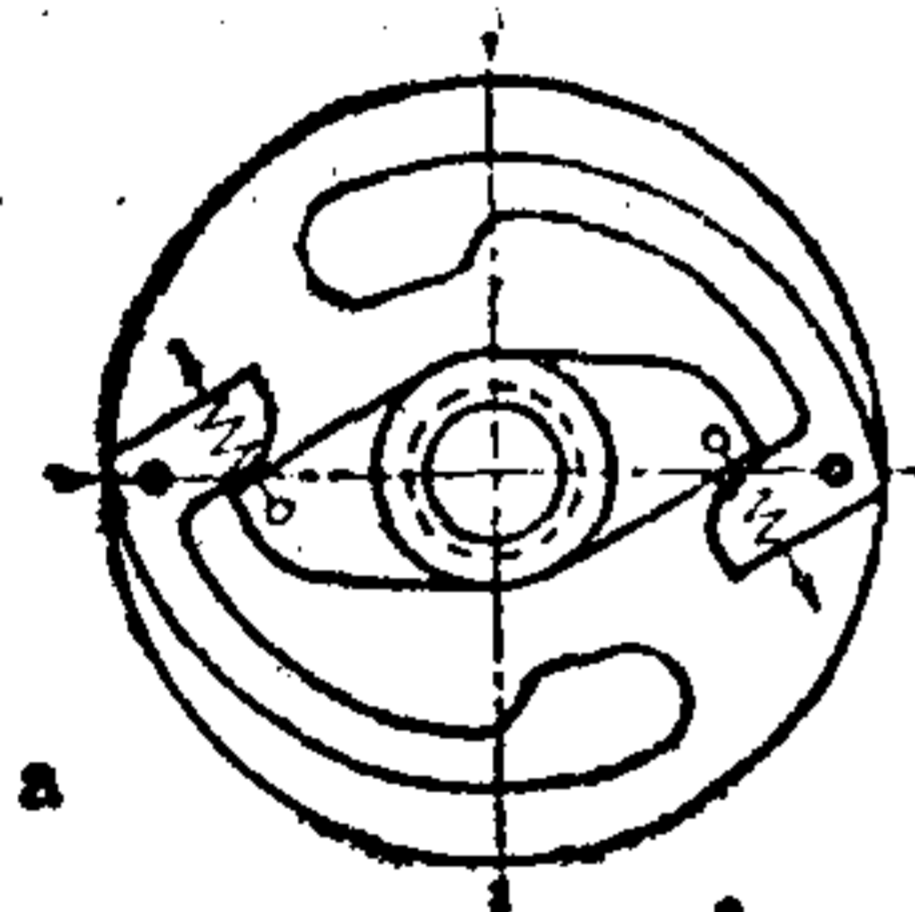
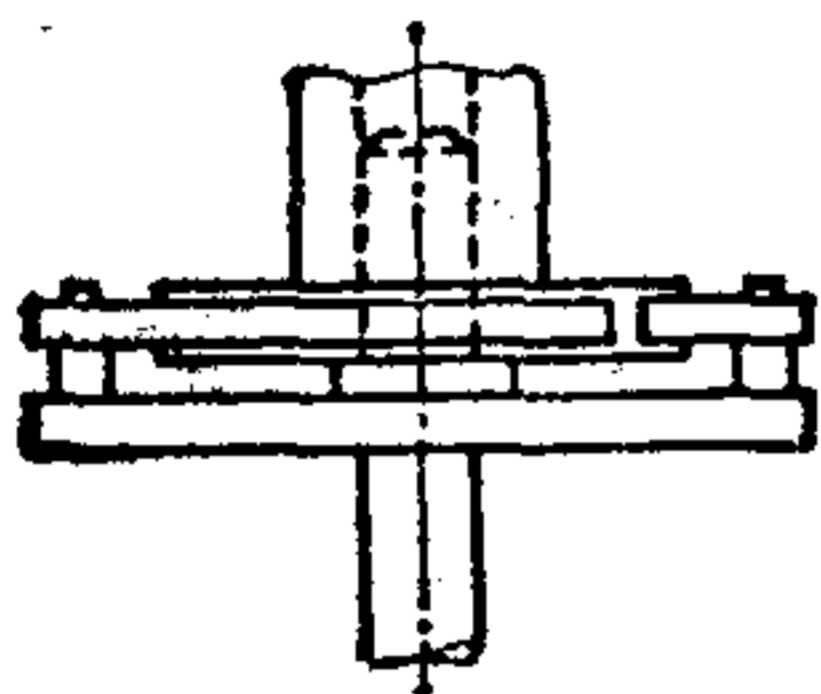


图15.2 点火时间调节器的基本功能结构

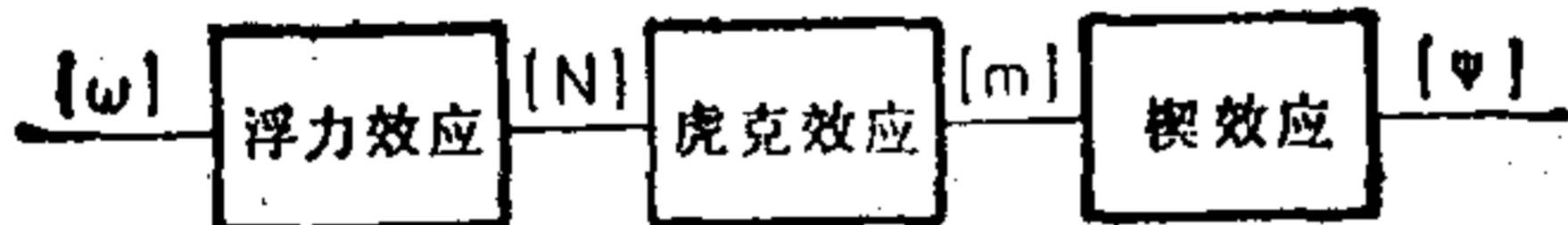
如果假定在任何情况下都能把实现“转变”操作的系统成功地装在回转轴上,那么就可以省掉“相加”操作,因为角 ψ 和 ψ 就自动相加了。于是在继续实现点火时间调节器系统



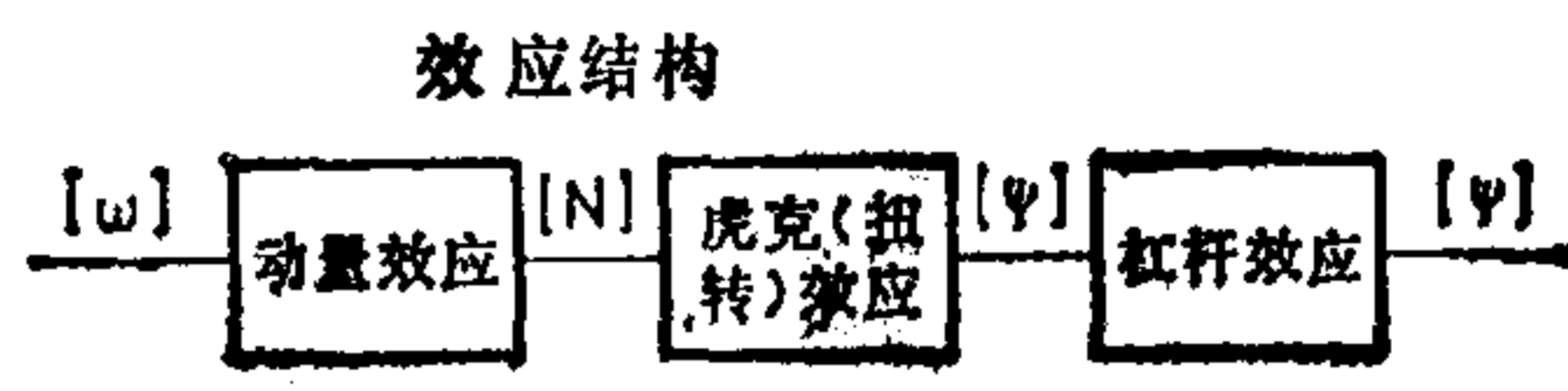
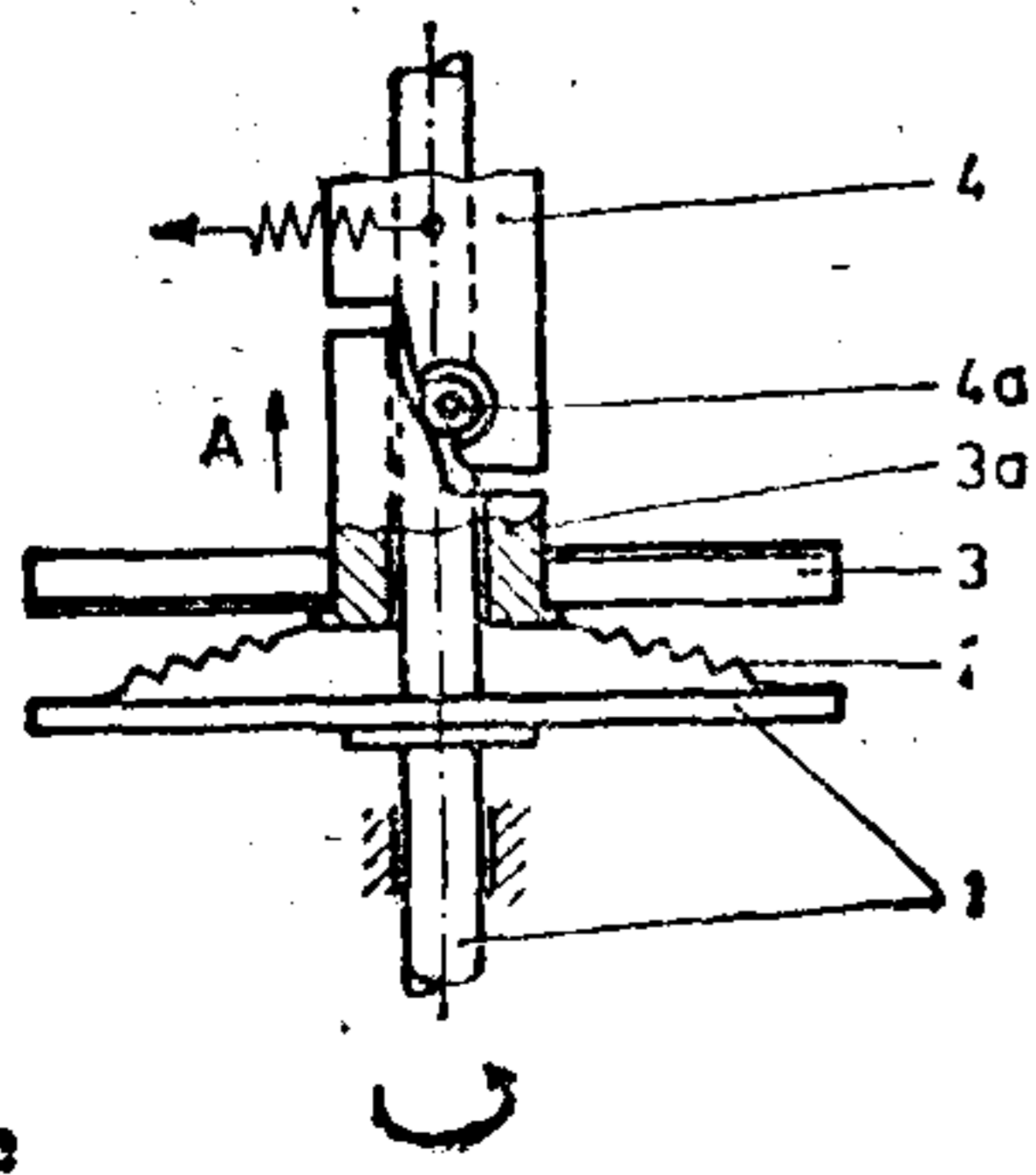
原理解



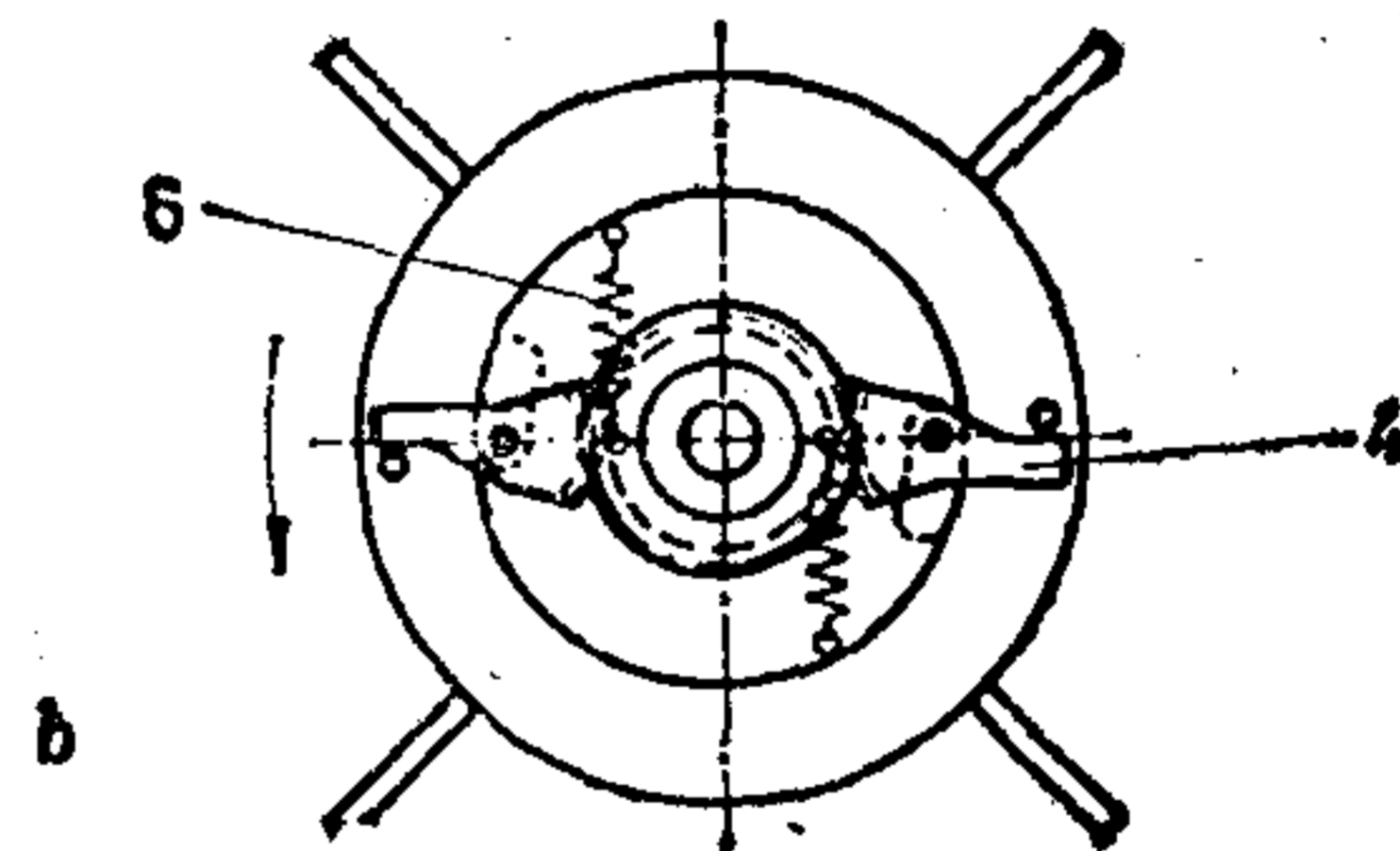
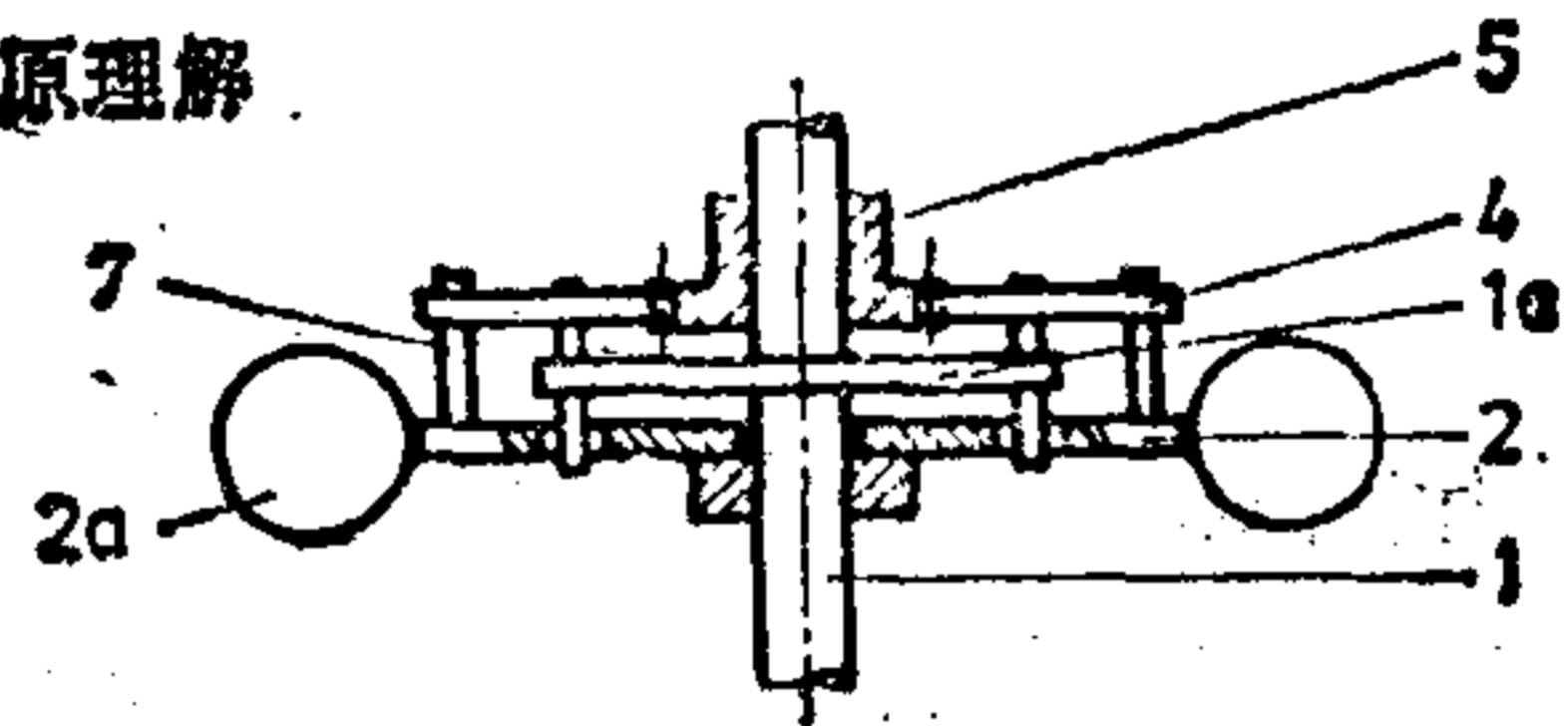
效应结构



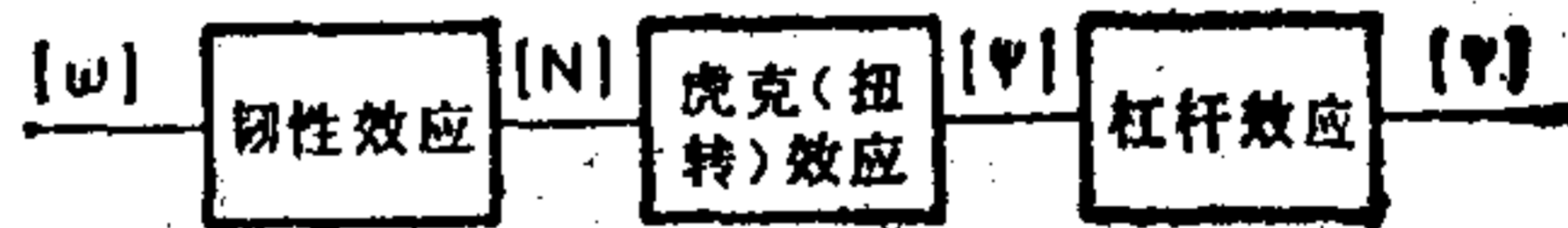
原理解



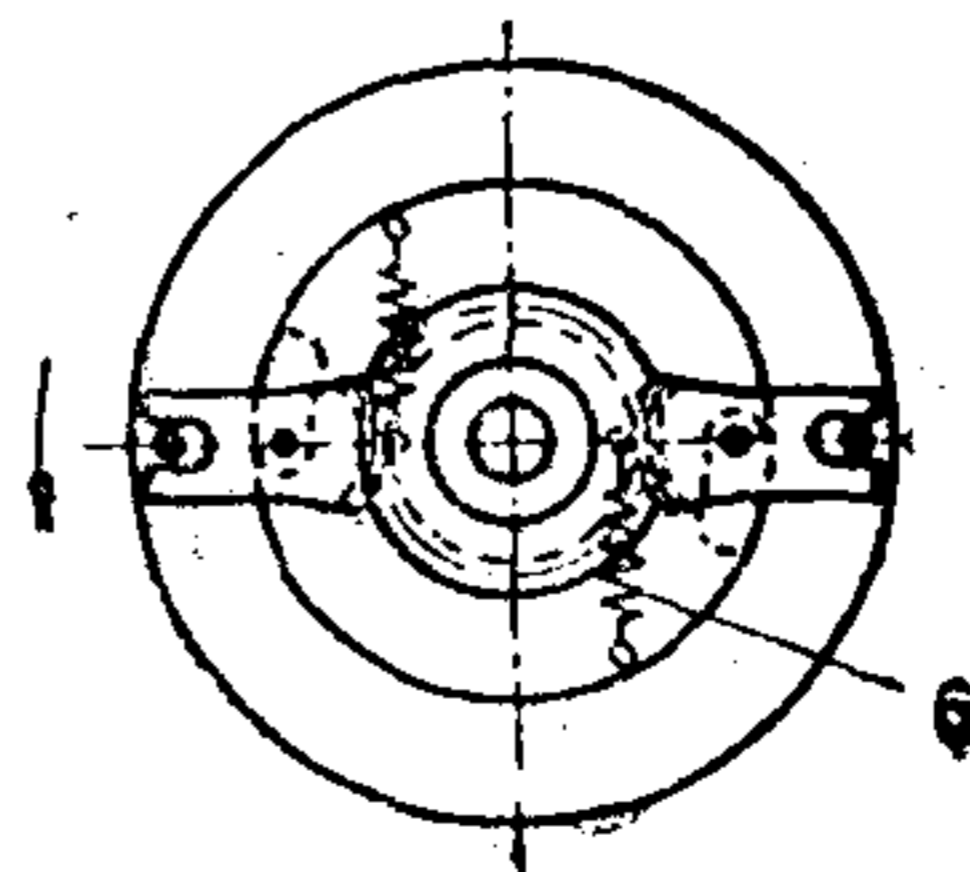
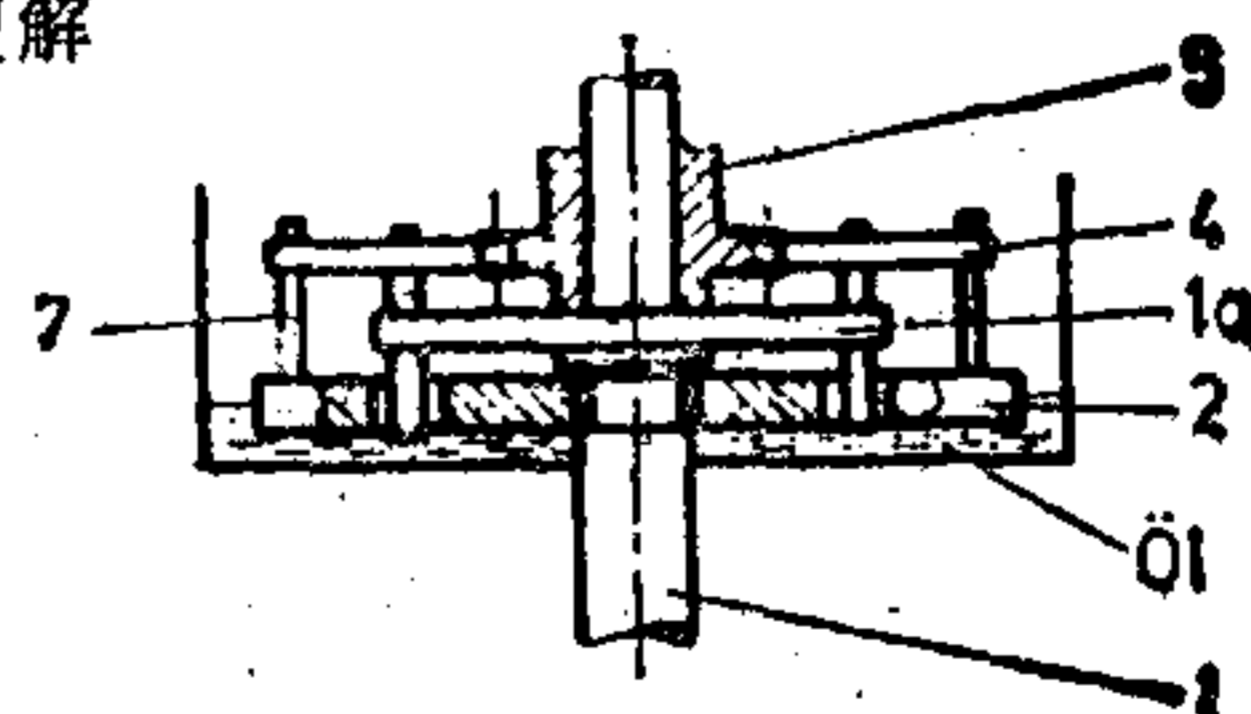
原理解



效应结构



原理解



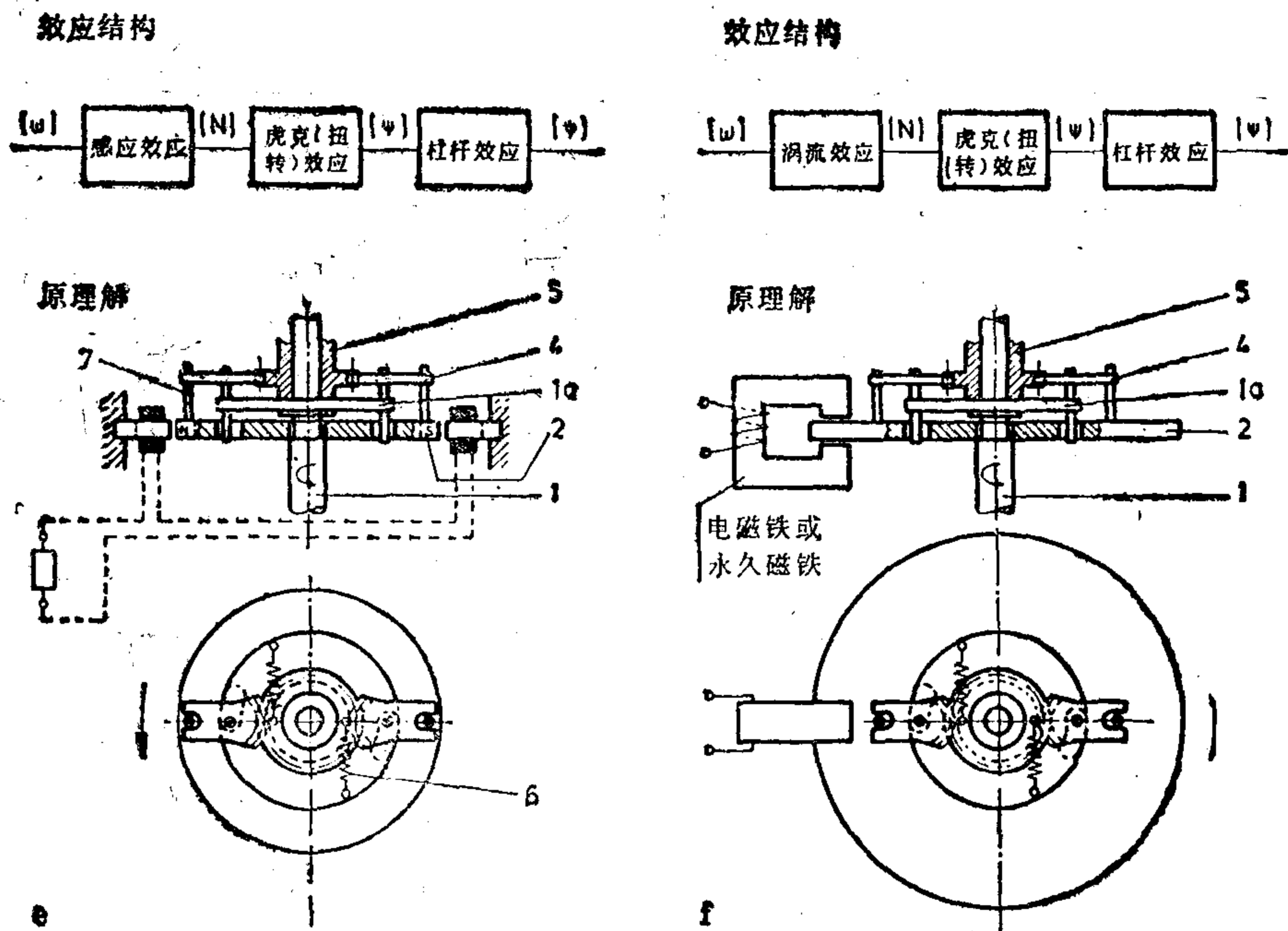


图15.3a—f 点火时间调节器的原理解，分别以下述效应为基础拟定：向心加速度效应(a)，动量效应(b)，浮力效应(c)，韧性效应(d)，毕奥-萨伐尔效应(e)和涡流效应(f)

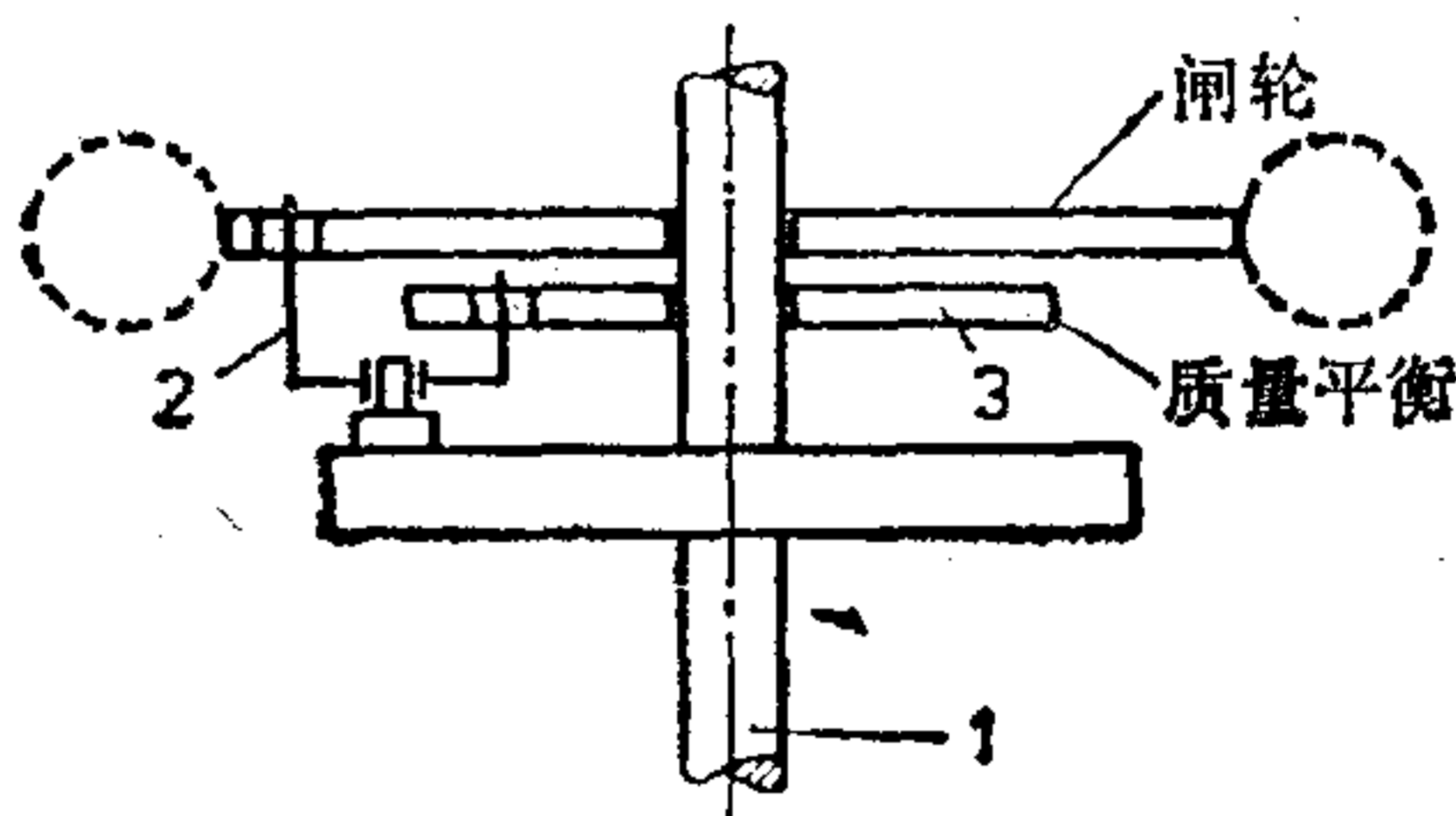


图15.4 点火时间调节器系统的质量平衡

的过程中只剩下“将角速度 $\dot{\psi}$ 正比例地转变为角 ψ ”这一分任务。这个任务可利用分类表“能量或信号的转变”(附录表1)系统地求解。

搜集和编纂合适的效应也可利用适当的程序，通过数据处理设备来完成。在这种情况下，计算机将开发出由两个效应组成的12个效应链、由3个效应组成的118个效应链和由4个效应组成的1872个效应链的不同的效应结构。然而如果进一步研究这些解就会很快发现，只要改变效应链的第一个效应或者改变输入效应或传感器效应便可形成完全不同的解。考虑到这种情况，上述任务就有21种不同的原理解。图15.3示出了从其中选出的几个原理解。它们均分别以向心加速度效应(a)、动量效应(b)、浮力效应(c)、韧性效应(d)、毕奥-萨伐尔效应(e)和涡流效应(f)为基础。图的上方是相应的效应结构。

考虑到能够满足功能要求的设计时，若不采用适当的辅助措施，图15.3所示的大多数原理对角加速度是很敏感的。为了使有关系统对加速度不致敏感，还必须进行相应的质量平衡，如图15.4所示。考虑杠杆长度和质量必须以轴加速时杠杆系统处于平衡状态为度。

16. 构形方案变换: 控制阀

为了制动某种车辆,需要控制由两个信号参量决定的制动力或者产生制动力的压力。为此,需要一个相应的可控压力阀,如图16.1所示。这个系统是由两个活塞1和2、平衡

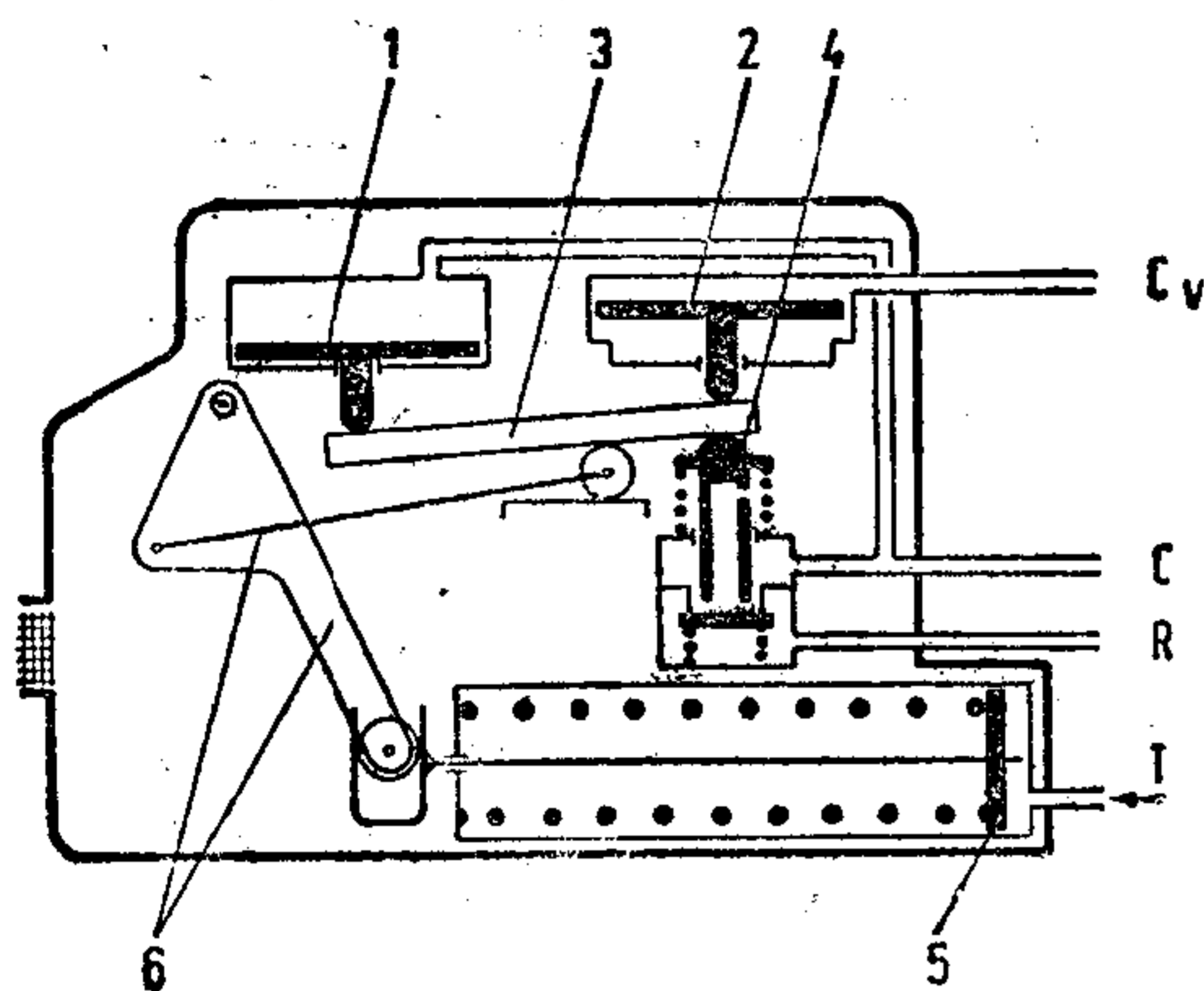


图16.1 可调载荷制动阀示意图
(Knorr-Bremse有限公司供图)

杠杆3、固有阀4、调节活塞5和调节杠杆系统6组成。这个系统的主要任务是使锅炉压力 R 降低到与两个信号参量(压力) C 和 T 相当的制动压力 C 。

现将控制阀的作用原理简述如下:信号压力(T)向左与弹簧力方向相反地推动调节活塞5(T -活塞),这样便可调节与这个量相当的杠杆3的传动比。如果给活塞2一定的压力(C),那么活塞2就向下运动并且制动阀4。这时,阀的上部先把原来与大气相通的空间 C 与大气隔绝,然后使空间 R 与 C 相通。空气从压力锅炉(R)流入管道

C 并在那里形成相应的制动压力。一旦压力足够大,它就马上通过活塞1和杠杆3把活塞2压回去,从而中断空间 R 与 C 之间的联系。如果空间 C 中的压力下降,活塞2重新打开 R 与 C 之间的阀,空气再次流入管道,直至活塞1再次中断这个过程为止。在 C 内产生的压力与 C 和 T 的大小成正比。如果去掉管道 C 中的压力,阀4返回到它原来的位置,管道 C 又与周围(大气)相通,制动压力或制动力再度消失。该设计任务就是把由活塞1、2,平衡杠杆3和阀4,调节活塞5和调节机构6组成的系统设计为在尽可能小的总体积时不超过某个基础面的尺寸(长、宽)。当然,还要注意,必要零件的数量尽可能少,制造起来尽可能简单。

如果从图16.1给出的物理原理都是固定不变的这点出发,那么这个任务主要就是制定上述系统的按比例的总体设计草图。此外,如果各个部件的构形本身没有多大困难,或者一旦设计了第一个总体设计草图就能保留其绝大部分,那么这里由于篇幅有限,这个任务就只限于各个部件的相互位置和顺序的安排问题(见第12章)。

在安排部件(或零件)的相互位置和顺序时,或者说由许多部件组成的系统进行总体设计时,不是随意从那个部件开始,而是从一个核心的部件开始,所有其它部件都围绕这个部件来安排。一般来说在构形时,有的部件安排到整体系统中困难大些,有的不太困难。因为,设计工业产品时的困难随着组成系统的部件数量的增加而加大。所以,要把难安排的部件优先放入总体设计草图中,然后再把容易安排的部件放到总体设计草图中,因为空间问题开始时还比较小。一般说来,核心部件总是指那些实现系统的主要功能,即原来希望的功能的部件。

在上述情况下,阀4就是最后完成控制制动压力的核心部件。其它比较重要的部件看来是两个活塞1、2,调节活塞5,以及调节机构6。调节机构6最容易适应由其它部件的位置所决定的空间位置。为了获得可能的位置安排方案,可以把部件1想象成固定的,把部件2

想象成围绕部件1安排的。如图16.2所示,或者反过来,其结果是一样的。因此,也可以把两个活塞看作是(准)核心部件,并以此开始位置变化,如上述例子所示。

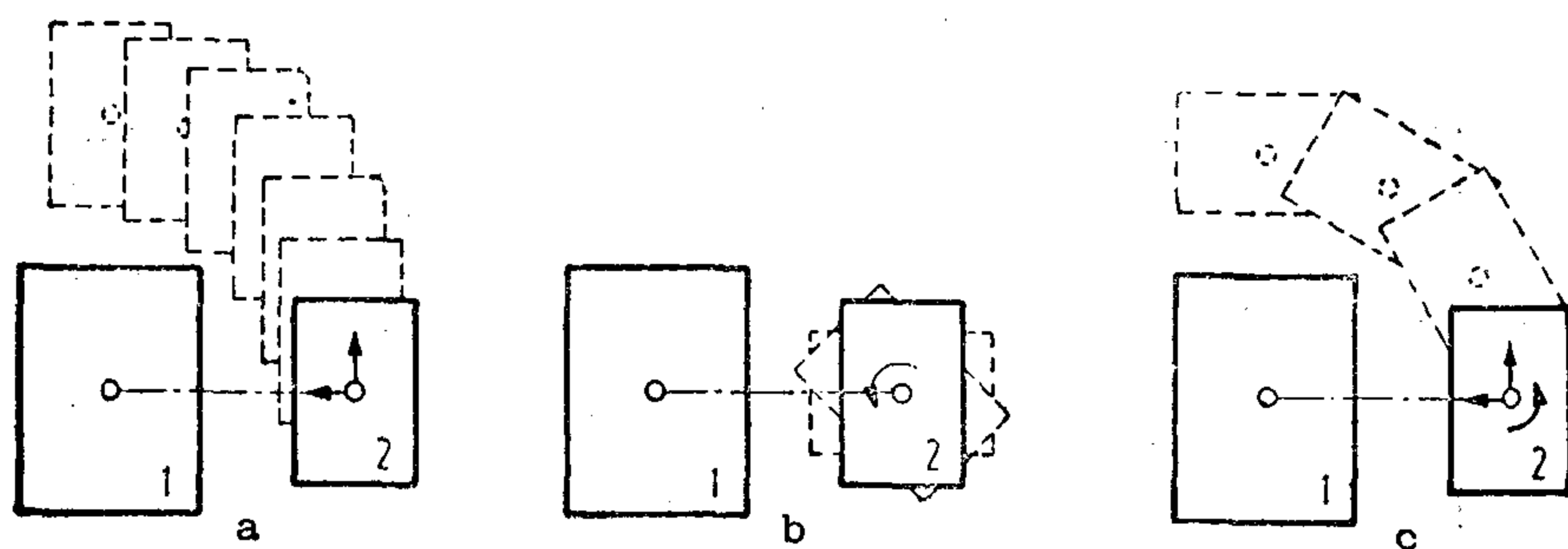


图16.2a—c 两个元件位置的系统变换(示意图)。
平行移动(a), 转动(b), 移动加转动(c)

如图16.2所示,两个部件相互位置的可能安排方案,可以通过平行移动(a),转动(b),或转动加平行移动(c)得到。在实践中,通常只对几个特殊位置(90° 、 180° 、 270° 等)感兴趣,如图16.3所示的两个活塞1和2那样。为了便于制图工作,最好是用代表有关元件或部件大致轮廓的、有尺寸比例的符号来代替各个元件。在图16.3第2行中为每一活塞位置的排列各给出了两个控制阀的位置排列。图中的箭头表示控制阀。在下面的第3、4和5行内,是在上述部件位置固定的情况下,给出3T-活塞的各种位置和顺序排列方案。最后第6、7和8行示出了第3、4和5行和合适的调节机构6所组成的构形方案。

图16.3只列出了理论上可行的全部位置和顺序方案中的一部分。尽管如此,这个系统分类表仍然较好地概括了通过位置和顺序变换得出的构形方案。结构体积较小,特别是采用相当小的拧紧螺栓的表面(凸缘面)的构形方案,预示着有边缘较厚的“星座”式凸缘。当然,图示的这些构形或位置变换不能准确判断这里所列举的构形方案中的某一个是否就是绝对的最佳方案,而只是大略地指出这种方案可能在哪里。

在上述情况下,根据图16.3系统分类表制定出了几种总体设计草案,这时下面的推测可以得到证实,即上述应用情况的最佳构形方案,是来自图16.3中用粗实线表示的位置方案。图16.4示出按图16.3第10栏的解作的第一次总体设计。在这个设计中可以明显地看到,阀和两个活塞中的一个有着在工作过程中压力总是相同(C-压力)的空间。因此,可以把这两个通过管道联接起来的、在阀和活塞内的空间联在一起,或者“集成”起来(第12.2节)。通过两个C-空间的集成,省掉了联结件7(图16.4),因而形成一种更加简单的解,如图16.5所示。

T T		T T		=		T T		T T		T T		T T		T T	

控制缸 控制阀 T 控制缸 C-或 CV-缸

图16.3 控制阀位置安排系统分类表(选择)

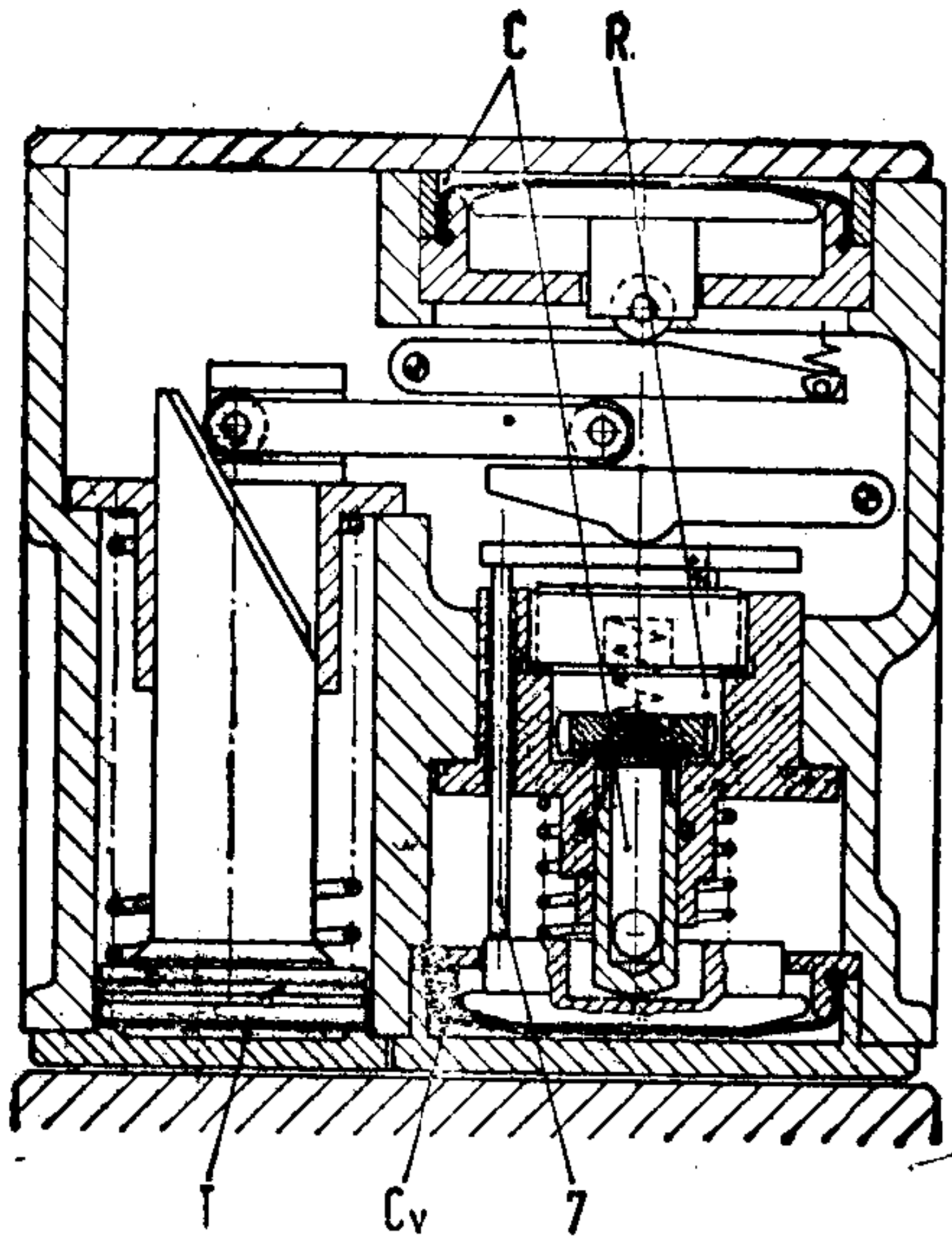


图16.4 控制阀的总体设计草案
(Knorr-Bremse有限公司供图)

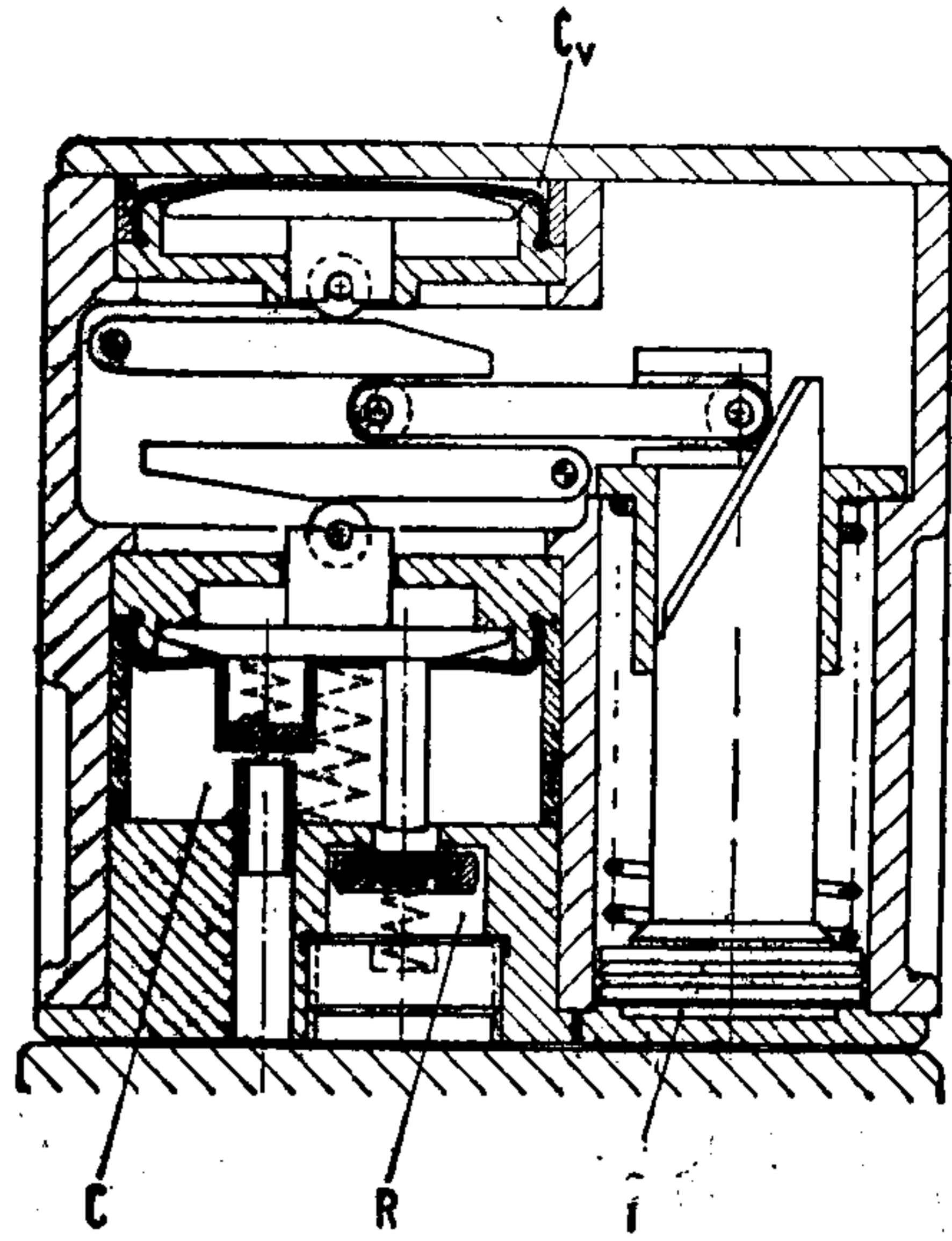


图16.5 控制阀的总体设计的改进草案
(说明在正文中, Knorr-Bremse有限公司供图)

C. 附

1 基本操作“能量和信号的

结果 原因	长度 横断面 体积 1	速度 2	加速度 3	力 压力 机械能 4	质量 惯性矩 密度 5	时间 频率 6
长度 横断面 体积 1	杠杆效应 楔效应 (传动机构、 齿轮、螺旋) 毛细现象 横向收缩 剪切变形 流体效应 内聚性效应 附着效应	连续性 (喷嘴) 粘滞性 托利拆里定 律 运动定律 转动中心间 距	离心加速度	虎克定律 表面张力 剪切变形 玻意耳-马略奥特定律 库仑定律 I、II 浮力 重力引力 离心压力 重力压力 毛细压力	质量至回转 中心的距离	弹性(支点长度) 重力(摆长) 渡越时间效应
速度 2	韦森伯效应 运动定律	杠杆效应 楔效应 (传动机构、 齿轮、螺旋) 冲击 流体效应	科里奥利 加速度 离心加速度 磁场中的电 荷	能量守恒定律 科里奥利加速度 动量(扭转、剪 切) 伯努利定律 涡流 粘滞性 紊流 断面形状浮力 马格纳斯效应 流动阻力		多普勒效应 爬行效应 涡流线
加速度 3			杠杆效应 楔效应 (传动机构、 齿轮、螺旋) 流体效应	牛顿公理		
力 压力 机械能 4	虎克定律 横向收缩 剪切/扭转 库仑定律 I、II 浮力 玻意耳-马 略奥特定律	能量守恒定 律 伯努利定律 动量(守恒) 定律 动量矩 声速 粘滞性	牛顿公理	流体(静) 杠杆、楔 摩擦 滞后 内聚效应 附着效应	玻意耳-马略 奥特定律	弦线
质量 惯性矩 密度 5		声速	牛顿公理	重力 牛顿公理 离心力 能量守恒定律 科里奥利力		固有频率
时间 频率 6	运动定律 驻波 共振	频散		共振吸收		差拍振动 (频闪观测器)

录

转变与放大”物理效应分类表

机械波 (声) 7	温度 热 8	电阻 9	电压 电流 电场 10	电容 11	磁场 电感 12	电磁波 (光、辐射) 13
机械长度 变化消声	塑性变形 导热 辐射 对流	应变计 导体长度和 横断面 (滑线式变阻 器, 接触面尺 寸、浸没深度、 间隙宽度) 电解质	压电效应 极板间距 冲击电离 (电极间距的变化) 电离传感器	极板间距 (可变电容器) 电介质推移 电介质厚度 电介质宽度	线圈长度 空气隙 铁心位移 两个线圈的 位置(屏蔽)	干涉 涂层的厚度 和位置 吸收 衍射 中性楔子 散射
多普勒效应 爬行效应	对流 ($\alpha = f(v)$)	涡流引起的 复合阻抗变化	感应定律 电动效应 电离		巴尼特效应 电荷速度	多普勒效应 (红移) 流动双折射
			托尔曼效应 电动力效应			电磁波 电荷
爬行效应 压力波	摩擦 第一基本定律 汤姆逊-焦耳效应 滞后 对流 涡流 紊流 塑性变形	狭窄效应 (压力敏感的 材料、油漆、碳 粒、金属、锰 银、碳电阻、狭 窄点传感器)	压电效应 摩擦电 电容器 电动效应 电离 巴克豪森效应 各向异性压力效应 勒纳德效应	极板间距 介电常数 $= f(p)$	磁导率 $\chi_m = f(p)$ 磁弹性各向异性 (压力传感器) 磁弹性效应	应力双折射 折射率(气体) $= f(p)$ 摩擦(火石)
				介电常数 $= f(p)$	磁导率 $= f(p)$	折射 (纹影)
频散	电介质 损耗热 涡流	趋肤效应 复合阻抗 (共振)	约瑟夫森效应			散射

原因 \ 结果	长度 横断面 1 体积	速度 2	加速度 3	力 压力 4 机械能	质量 惯性力矩 5 密度	时间 频率 6
机械波 (声) 7	声激发 (膜、调音叉)			声压力		
温度 热 8	热膨胀 水异常	分子速度 热学 声速		热膨胀 蒸汽压力曲线 表面张力 气体方程 渗透压力	气体方程	固有频率 (石英)
电阻 9						
电压 电流 电场 10	电致伸缩	电动效应	在电场内充 电	毕奥-萨伐尔定律 电动效应 滞后 库伦定律 I (约翰逊-拉珀克) 相对介电常数		约瑟夫森效应
电容 11						
磁场 感应 12	磁致伸缩	感应定律 涡流		毕奥-萨伐尔定律 库伦定律 II 爱因斯坦-德哈斯 效应 铁磁-顺磁-抗磁 感应 滞后		
电磁波 (光、辐射) 13				辐射压力		

续表 1

机械波 (声) 7	温度 热 8	电阻 9	电压 电流 电场 10	电容 11	磁场 感应 12	电磁波 (光、辐射) 13
反射 (超声波检验) 传导 折射 全反射 干涉 吸收	摩擦 (超声焊接)					德拜-席尔 斯效应 (衍射) 吸收 (荧光屏)
热致发生器	熔化 蒸发 冷凝 (热管道) 凝固 传导 辐射 对流	导体 半导体 超导体 热电离	热效应 热发射 (热电子发射) 热电 (压电效应) 噪声效应	居里温度	居里点 (热通量) 磁导率 $\chi_m = f(T)$ (顺磁气体) 迈斯纳-奥森 生费尔特效应	威恩位移律 强度分布 斯蒂芬-玻耳兹 曼定律 液晶 折射率
			欧姆电阻			
热致发生器	焦耳热 珀耳帖效应 电弧	压敏电阻 $R = \alpha J^p$ 磁放大器 电感线圈 隧道效应 场效应晶体 管	放大器效应 变压器 电子倍增管 热叉线 传导 换能器 感应 磁放大器	电容二极管 铁电体	磁化特性曲线 $\mu = f(B)$	辉光放电 伦琴射线 电发光 闪烁现象 克尔效应 激光效应 斯塔克效应 液晶
		复合阻抗	电荷守恒定律			
	里纪效应 去磁	洛伦兹力 (磁场板极、 汤姆逊效应) 复合阻抗 超导	洛伦兹力 (霍尔效应) 等离子体 (磁流体发电机) 磁变管 感应定律		饱和效应 (换能器) 感应 剩磁 磁滞	法拉第效应 塞曼效应 科顿-莫顿 效应
	辐射热	阻挡层充电 效应 (光电二极管) 光敏电阻 晶体的电阻 变化 电离	光电效应 (光电管、光电池)			折射、激光 双折射 偏振 干涉 发光 散射 导体 吸收

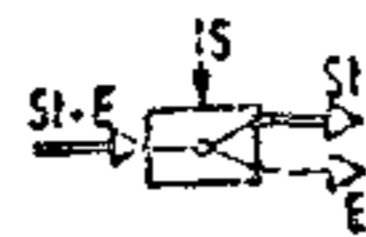
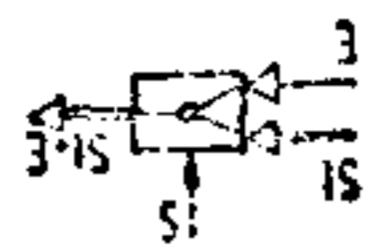
表2 基本操作“能量和物料的结合”

基本操作“能量和物料的结合(↓)与分离(↑)”

能量种类 物料 + 能量	机械能 ¹⁾	热能	电能
物料 + 动能	动量 冲击 扭转 玻意耳-马略奥特 内聚性 不可压缩性 摩擦 附着 库伦 I 库伦 I 伯努利 表面张力	热学 ↓ 摩擦 ↑	毕奥-萨伐尔 取出电介质 ↑ 电渗透 ↓ 库伦 I ↓ 感应 ↓ 通过隔膜的电 流 ↑ 涡流 ↑
物料 + 热能	摩擦 ↓ 膨胀 ↑ 压缩 ↓ 塑性变形 ↓	热传导 热辐射 对流	温(差)电偶 ↑ 焦耳热 ↓ 电介质损失热 ↓ 珀耳帖效应 ↓
物料 + 电能	电荷分离 ↓	热电现象 ↓ 火花 ↑ 电弧 ↑ 热电子发射 ↓ 热效应 ↓	静电感应 电导 (电容器)
物料 + 磁能	库伦 II ↑		通电导体周围的 磁场 ↓
物料 + 声能	膜片		
物料 + 光能		吸收 ↑ 加热 ↓	发光 ↓
物料 + 化学能		离解 ↓ 燃烧 ↑	电势差 电解 电池

1) 位能、动能、表面能、弹性能。

合与分离”物理效应分类表



磁 能	声 能	光 能	化 学 能
库伦 I ↙	膜 片	辐射压力 ↙	爆炸 ↙
滞后 ↙ 涡流 ↙	吸收 ↙	吸 收 ↙ 辐 射 ↙	放热反应 ↙ 燃烧 ↙ 气体的溶解 ↙ 结晶
		火花 ↗ 电弧 ↗ 光电效应 ↙	燃料电池 ↙ 电池
磁 化 感 应			
		泵浦激光器 ↙ 磷光(现象) ↙	摩擦发光 ↙ 燃烧 ↙ 化学发光 ↙
		光合作用 ↙ 摩擦发光 ↗ 燃烧 ↗ 化学发光 ↗	

表3 基本操作“物料的分离”物理效应分类表

固 体		液 体		气 体		
分离特征	效 应	应 用	分 离 特 征	效 应	应 用	
Ge	长度 面积 体积 角度	伯努利 虎克 滞后 亲和 表面张力 粘附 库伦 涡流 库伦 截面浮力 浮力 玻意耳-马略 奥特 楔	Me	科里奥利力 液体中压力恒定 重力 惯性 离心力 浮力 附着 毛细管效应 蒸发 升华 汽化 溶解 扩散 电渗	Me	压滤机 筛 离心(分离)器 从岩石中取油 反射离心机 常压干燥机 冻结干燥 汽化干燥 干燥器 萃取 泥煤烘干
Me	浸润性 质量 重量 惯性	浮选	Td Vt	密度 压缩性 压力关系 温度关系 吸收倾向 吸附倾向 扩散系数	浮力 重力 气体压缩常数 压力下降 温度升高 吸收 吸附 扩散	真空除气 解吸(作用) 解吸(作用)
	密度	离心式分离器 沉降分级 重介质选砂机				



续表 3

		固 体				液 体				气 体				
		分离特征	效 应	应 用	分离特征	效 应	应 用	分离特征	效 应	应 用	分离特征	效 应	应 用	
固 体	Td	阻尼 摩擦系数 冲击系数 凝固温度 沸点 导电性	滞后 摩擦 冲量 亲和力 升华 库伦 I 涡流 库伦 II	结晶 提取钙 电分选机 磁分选机										
	EI													
液 体	Ma	磁化率	库伦 II	磁分选机										
	Ge Me	克分子体积 密度	渗析 浮力 重力 惯性 离心力 浮力 内聚性 附着 摩擦 升华 库伦 I 库伦 II 涡流 库伦 II 渗析 电渗析 索雷效应 吸附	浮选 沉降分级 过滤器 分选机 浮选 过滤器 附着离心机	Me	浮力 重力 离心力 附着 毛细管效应 蒸发 汽化 结晶 熔化 凝缩 蒸发 离子迁移 库伦 I 库伦 II 库伦 II 吸附 扩散 溶解	油分离器 分液漏斗 离心机 水油分离 油吸收正立方体 蒸馏 分级结晶 蒸馏 蒸馏 电解 分配色谱 振荡萃取	Me Td Ei Vt	密度 溶解气体量 与压力的关系 溶解气体量与 温度的关系 介电常数 吸附倾向 扩散系数 可溶性 分子量	浮力 离心力 压力降低 温度升高 库伦 I 吸附 扩散 电置换 溶解 索雷效应	离心机 真空去气			
体	Td	可浸润性 内聚性 表面张力 摩擦系数 升华温度 介电常数 电导率	库伦 I 库伦 II 涡流 库伦 II 渗析 电渗析 索雷效应 吸附	磁分选机	Ei	蒸发 汽化 结晶 熔化 凝缩 蒸发 离子迁移 库伦 I 库伦 II 库伦 II 吸附 扩散 溶解								
	Ei													
体	Me Vt	相对磁导率 分子量 吸附倾向	库伦 II 渗析 电渗析 索雷效应 吸附	磁分选机 色层分离	Mo Vt	库伦 I 库伦 II 库伦 II 吸附 扩散 溶解	蒸馏 蒸馏 电解 分配色谱 振荡萃取							

续表 3

基本操作“物料的分离”					
固 体		液 体		气 体	
分离特征	效 应	应 用	分 离 特 征	效 应	应 用
液 体	长度 密度 质量 浸润性 (亲水的) 介电常数 电荷	亲合力 重力 惯性 离心力 附着 凝聚作用 库伦 I 库伦 I 感应	分子量	盐析作用 电泳 热扩散分离管	
气 体	Ge Me	过滤器 集(除)尘室 隔板除尘装置 旋涡除尘装置 湿法除尘 超声除尘 电除尘器	Me	过滤 旋涡 浸润 超声干燥	Me Td El Ma Vt
体	Ge Me El	亲合力 重力 惯性 离心力 附着 凝聚作用 库伦 I 库伦 I 感应	Me El	盐析作用 电泳 热扩散分离管	Me Td El Ma Vt
	长度 密度 质量 浸润性 (亲水的) 介电常数 电荷	亲合力 重力 惯性 离心力 附着 凝聚作用 库伦 I 库伦 I 感应	分子量	盐析作用 电泳 热扩散分离管	
	密度 熔点 沸点 介电常数 离子电荷 磁化率 可溶性	重力 惯性 离心力 表面张力 凝聚作用 库伦 I 感应	密度 熔点 沸点 介电常数 离子电荷 磁化率 可溶性	盐析作用 电泳 热扩散分离管	浮力 离心力 结晶 冷凝 库伦 I 库伦 I/I 库伦 I 吸收 吸附 扩散 电置换 电离 反应 压力扩散 溢出 热扩散 渗流 在分子筛中吸附
	长度 密度 质量 浸润性 (亲水的) 介电常数 电荷	亲合力 重力 惯性 离心力 附着 凝聚作用 库伦 I 库伦 I 感应	分子量	盐析作用 电泳 热扩散分离管	
	密度 熔点 沸点 介电常数 离子电荷 磁化率 可溶性	重力 惯性 离心力 表面张力 凝聚作用 库伦 I 感应	密度 熔点 沸点 介电常数 离子电荷 磁化率 可溶性	盐析作用 电泳 热扩散分离管	浮力 离心力 结晶 冷凝 库伦 I 库伦 I/I 库伦 I 吸收 吸附 扩散 电置换 电离 反应 压力扩散 溢出 热扩散 渗流 在分子筛中吸附
	长度 密度 质量 浸润性 (亲水的) 介电常数 电荷	亲合力 重力 惯性 离心力 附着 凝聚作用 库伦 I 库伦 I 感应	分子量	盐析作用 电泳 热扩散分离管	
	密度 熔点 沸点 介电常数 离子电荷 磁化率 可溶性	重力 惯性 离心力 表面张力 凝聚作用 库伦 I 感应	密度 熔点 沸点 介电常数 离子电荷 磁化率 可溶性	盐析作用 电泳 热扩散分离管	浮力 离心力 结晶 冷凝 库伦 I 库伦 I/I 库伦 I 吸收 吸附 扩散 电置换 电离 反应 压力扩散 溢出 热扩散 渗流 在分子筛中吸附

1) 原文为吸附倾向、吸附应为可溶性、吸收，参见原理目录图中“固体-气体”部分。——译者注

缩写符号:

- El 电学
- Ge 几何学
- Ma 磁学
- Me 力学
- Td 热力学
- Vt 工艺流程

表4 材料的物理特性

固				体			
序号	材料的物理特性	符号	量纲	序号	材料的物理特性	符号	量纲
1	比重	ρ	kg/dm ³	40	相对磁导率	μ_r	1
2	屈服点	σ_s	N/mm ² · 10	41	居里点	θ	℃
3	抗压强度	σ_{dB}	N/mm ² · 10	42	剩余磁感应	B_r	Vs/m ²
4	抗弯强度	σ_{bB}	N/mm ² · 10	43	矫顽(磁)力	H_b	A/m · 10 ³
5	抗拉强度	σ_{zB}	N/mm ² · 10	44	饱和磁化强度	I_s	Vs/m ²
6	抗剪强度	τ_{tB}	N/mm ² · 10	45	里纪-勒杜克系数	S	Oe ⁻¹ · 10 ⁻⁶
7	单位面积压力	p	N/mm ² · 10	46	霍尔系数	R_h	cm ³ /(As)
8	弹性模数	E	N/mm ² · 10 ⁴				
9	剪切弹性模数	G	N/mm ² · 10 ⁴	50	声速	c	m/s · 10 ²
10	压缩弹性模数	K	N/mm ² · 10 ⁴	51	吸收系数	α	s ² /m · 10 ⁻¹⁰
11	泊松比	μ	1				
12	摩擦系数	μ	1				
13	碰撞系数	k	1	60	折射率	n	1
14	损耗因数	d	1	61	反射系数	σ_r	%
				62	吸收常数	k	m ⁻¹
				63	旋光率	α	rad dm ³ /(dmg)
20	热导率	λ	W/(m grd)	64	费尔德常数	β	$\frac{\text{角分}}{\Lambda} \cdot 10^{-2}$
21	线膨胀系数	α	m/(m grd) · 10 ⁻⁶	65	阿贝数	ν	1
22	体膨胀系数	β	grd ⁻¹ · 10 ⁻⁶	66	相对光弹性系数	C_0	cm ² /N · 10 ⁻⁸
23	比热	c	J/(kg grd) · 10 ³				
24	熔化热	c_s	J/kg · 10 ³	70	扩散系数	D	m ² /s
25	辐射系数	C	W/(m ² grd ⁴)				
26	电阻温度系数	β	grd ⁻¹ · 10 ⁻³				
27	塞贝克系数	e_{cu} B	μ V/grd	80	疲劳极限	σ_D	N/mm ² · 10
				81	振动疲劳极限	σ_{Dw}	N/mm ² · 10
				82	延伸率	σ	%
30	比电阻	ρ	Ohm · cm	83	持久延伸极限	$\sigma\%/h$	N/mm ² · 10
31	介电常数	ϵ	1	84	硬度	HB	N/mm ² · 10
32	压电电荷常数	d	C/N · 10 ⁻¹²	85	缺口冲击韧性	e_s	Nm/cm ² · 10
33	介电损耗因数	$\text{tg}\delta$	1	86	孔隙度	p	%
34	跃变温度	T_s	K	87	熔点	t_B	℃
35	珀耳帖系数	P_{AB}	mV	88	沸点	t_s	℃
36	压电电压常数	g	Vm/N · 10 ⁻³	89	冲击疲劳强度	U_s	kV/cm
37	居里温度	t_c	℃	90	最大工作温度	t_a	℃

续表 4

液 体				气 体			
序号	材料的物理特性	符号	量 纲	序号	材料的物理特性	符号	量 纲
1	密度	ρ	kg/dm ³	1	密度	ρ	kg/m ³
2	表面张力	σ	N/m · 10 ⁻³	2	动力粘度	η	P
3	(液面)边缘角	φ	rad				
4	动力粘度	η	cP				
5	可压缩性	α	bar ⁻¹ · 10 ⁻⁶				
20	热导率	λ	W/(m grd)	20	热导率	λ	W/(m grd) · 10 ⁻³
21	体积膨胀系数	β	grd ⁻¹ · 10 ⁻³	21	气体常数	R	J/K kg · 10
22	临界温度	t_k	℃	22	临界温度	t_k	℃
23	比热	c	J/(kg grd) · 10 ³	23	比热	c_p	J/(kg grd) · 10 ³
24	熔化热	r_m	J/kg · 10 ³	24	各向同性指数	α	1
25	临界压力	t_k	bar	25	临界压力	t_k	bar
26	蒸发热	λ	J/kg · 10 ³	26	蒸发热	λ	J/kg · 10 ³
27	熔点	t_B	℃	27	熔点	t_B	℃
28	沸点	t_B	℃	28	沸点	t_b	℃
30	比电阻	ρ	Ohm · cm				
31	介电常数	ϵ	1	31	介电常数	ϵ	1
40	相对磁导率	μ_r	1	40	相对磁导率	μ_r	1
50	声速	c	m/s	50	声速	c	m/s
51	吸收系数	α	s ² /m · 10 ⁻¹³	51	吸收系数	α	s ² /m · 10 ⁻¹¹
60	折射率	n	1	60	折射率	n	1
61	吸收常数	k	1/m	61	费尔德常数	α	$\frac{\text{角分}}{\text{A}} \cdot 10^{-4}$
62	费尔德常数	β	$\frac{\text{角分}}{\text{A}} \cdot 10^{-2}$				
63	旋光率	α	rad dm ³ /(dm kg)				
64	克尔常数	K	cm ⁻¹ (es E) ⁻² · 10 ⁻⁷				
65	阿贝数	ν	1				
66	相对光弹性系数	D	cms ² /g · 10 ⁻¹¹				
70	凝固(冰点)降低常数	KK	grd kg/Mol				
71	摩尔数	M	g/mol	71	摩尔数	M	g/mol
72	扩散系数	D	m ² /s · 10 ⁻²				
73	沸点升高常数	KE	grd kg/Mol				

表5 物理特性的分级

序号	材料的物理特性	符号	量纲	体 固 体								
				2	3	4	5	6	7	8	9	
1	比重	ρ	kg/dm ³	<1	1-2	2-3	3-6	6-9	9-12	12-15	>15	
2	屈服点	σ_s	N/mm ² · 10	<3	3-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	>60	
3	抗压强度	σ_{dB}	N/mm ² · 10	<3	3-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	>60	
4	抗弯强度	σ_{bB}	N/mm ² · 10	<3	3-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	>60	
5	抗拉强度	σ_{zB}	N/mm ² · 10	<10	10-25	25-40	40-55	55-70	70-85	85-100	>100	
6	抗剪强度	τ_{tB}	N/mm ² · 10	<3	3-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	>60	
7	单位面积压力	ρ	N/mm ² · 10 ⁴	<3	3-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	>60	
8	弹性模数	E	N/mm ² · 10 ⁴	<1	1-5	5-10	10-15	15-20	20-30	30-45	>45	
9	剪切弹性模数	G	N/mm ² · 10 ⁴	<1	1-3	3-5	5-7	7-9	9-12	12-15	>15	
10	压缩弹性模数	K	N/mm ² · 10 ⁴	<1	1-3	3-5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25	
11	泊松比	μ	1	<0.12	0.12-0.15	0.15-0.20	0.20-0.25	0.25-0.30	0.30-0.35	0.35-0.40	>0.40	
12	摩擦系数	μ	1	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	0.4-0.5	0.5-0.6	0.6-0.7	>0.7	
13	碰撞系数	k	1	< $\frac{5}{16}$	5-6 16-16	6-8 16-16	8-10 16-16	10-12 16-16	12-13 16-16	13-14 16-16	> $\frac{14}{16}$	
14	损耗因数	d	1	<0.0001	0.0001 -0.0005	0.0005 -0.001	0.001-0.005	0.005-0.01	0.01-0.05	0.05-0.1	>0.1	
20	热导率	λ	W/(m grd)	<0.1	0.1-2.0	2-10	10-50	50-150	150-250	250-350	>350	
21	线膨胀系数	α	m/(m grd) · 10 ⁻⁶	<1	1-4	4-8	8-12	12-16	16-20	20-25	>25	
22	体膨胀系数	β	grd ⁻¹ · 10 ⁻⁶	<3	3-12	12-14	24-36	36-48	48-60	60-75	>75	
23	比热	C	J/(kg grd) · 10 ³	<0.1	0.1-0.3	0.30-0.45	0.45-0.60	0.60-0.75	0.75-0.9	0.9-1.1	>1.1	
24	熔化热	c_s	J/kg · 10 ³	<50	50-100	100-150	150-250	250-350	350-450	450-550	>550	
25	辐射系数	c	W/(m ² grd ⁴)	<0.3	0.3-1.0	1.0-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.5-4.5	>4.5	
26	电阻温度系数	β	grd ⁻¹ · 10 ⁻³	<1.0	1.0-2.0	2.0-3.0	3.0-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-6.0	>6.0	
27	塞贝克系数	e_{cuB}	μ V/grd	<-60	(-60) -(-40)	(-40) -(-20)	(-20)-0	0-20	20-40	40-60	>60	
30	比电阻	ρ	Ohm · cm	<10 ⁻⁵	10 ⁻⁵ -10 ⁻⁴	10 ⁻⁴ -10 ⁻³	10 ⁻³ -10 ⁻²	10 ⁻² -10 ⁻¹	10 ⁻¹ -10 ⁰	10 ⁰ -10 ¹	>10 ¹	
31	介电常数	ϵ	1	<1.5	1.5-5.0	5-10	10-20	20-35	35-60	60-100	>100	

序号	材料的物理特性	符号	量纲	固体								
				分 级								
				2	3	4	5	6	7	8	9	
32	压电常数	d	$C/N \cdot 10^{-12}$	<75	75—100	100—150	150—250	250—350	350—450	450—500	>500	
33	介电损耗因数	$tg\delta$	1	0.0001	0.0001—0.0005	0.0005	0.001—0.005	0.005—0.01	0.01—0.05	0.05—0.1	>0.1	
34	跃变温度	T_s	K	<1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—8	>8	
35	珀耳帖系数	P_{AB}	mV	<0.1	0.1—0.5	0.5—1	1.0—5.0	5—10	10—50	50—100	>100	
36	压电电压常数	g	$Vm/N \cdot 10^{-3}$	<10	10—15	15—20	20—25	25—30	30—35	35—40	>40	
37	居里温度	t_0	°C	<50	50—100	100—150	150—200	200—250	250—300	300—350	>350	
40	相对磁导率	μ_r	1	<1	1	1—100	100—1 000	1 000—20 000	20 000—100 000	100 000—200 000	>200 000	
41	居里点	θ	°C	<100	100—300	300—400	400—500	500—3000	600—800	800—1000	>1000	
42	剩余磁感应	B_r	Vs/m^2	<0.2	0.2—0.4	0.4—0.6	0.6—0.8	0.8—0.9	0.9—1.0	1.0—1.2	>1.2	
43	矫顽(磁)力	H_c	$A/m \cdot 10^3$	<0.01	0.01—0.05	0.05—1.0	0.1—0.2	0.2—5.0	5—10	10—15	>15	
44	饱和磁化强度	I_s	Vs/m^2	<0.05	0.05—0.3	0.3—0.5	0.5—0.9	0.9—1.3	1.3—1.8	1.8—2.2	>2.2	
45	里纪-勒杜克系数	S	$Oe^{-1} \cdot 10^{-6}$	<0.05	0.05—0.1	0.1—0.5	0.5—1.0	1.0—1.5	1.5—2.0	2.0—2.5	>2.5	
46	霍尔系数	R_H	$cm^3/(As)$	<10 ⁻⁵	10 ⁻⁵ —10 ⁻³	10 ⁻³ —10 ⁻¹	10 ⁻¹ —10	10—50	50—100	100—500	>500	
50	声速	c	$m/s \cdot 10^2$	<3	3—10	10—20	20—30	30—40	40—45	45—50	>50	
51	吸收系数	α	$s^2/m \cdot 10^{-10}$	<1	1—2	2—3	3—4	4—6	6—8	8—10	>10	
60	折射率	n	1	<1.3	1.3—1.4	1.4—1.6	1.6—1.8	1.8—2.0	2.0—2.2	2.2—2.4	>2.4	
61	反射系数	σ_r	%	<30	30—40	40—50	50—60	60—70	70—80	80—90	>90	
62	吸收常数	k	m^{-1}	<0.5	0.5—1.0	1—5	5—10	10—50	50—100	100—200	>200	
63	旋光率	α	$rad \text{ dm}^3 / (\text{dm kg})$	<2	2—6	6—10	10—20	20—50	50—180	180—270	>270	
64	费尔德常数	β	$\frac{\text{角分}}{A} \cdot 10^{-2}$	<1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	>7	
65	阿贝数	ν	1	<20	20—30	30—40	40—50	50—60	60—70	70—80	>80	
66	相对光弹性系数	C_0	$cm^2/N \cdot 10^{-8}$	<0.1	0.1—1.0	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	>6	

70	扩散系数	D	m^2/s	10-19	10-19-10-17	10-17-10-15	10-15-10-13	10-13-10-11	10-11-10-9	10-9-10-7
80	疲劳极限	σ_D	$N/mm^2 \cdot 10$	<10	10-25	25-40	40-55	55-70	70-85	85-100
81	振动疲劳极限	σ_{Dw}	$N/mm^2 \cdot 10$	<3	3-8	8-13	13-18	18-23	23-28	28-33
82	延伸率	σ	%	<5	5-10	10-15	15-20	20-30	30-40	40-50
83	持久延伸极限	$\sigma\%/h$	$N/mm^2 \cdot 10$	<10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40
84	硬度	HB	$N/mm^2 \cdot 10$	<5	5-20	20-50	50-100	100-150	150-200	200-250
85	缺口冲击韧性	α_k	$Nm/cm^2 \cdot 10$	<3	3-5	5-8	8-11	11-14	14-17	17-20
86	孔隙度	p	%	<2	2-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50
87	熔点	t_M	$^{\circ}C$	<50	50-200	200-500	500-1000	1000-1500	1500-2000	2000-3000
88	沸点	t_B	$^{\circ}C$	<500	500-1000	1000-1500	1500-2000	2000-3000	3000-4000	4000-5000
89	冲击疲劳强度	U_s	kV/cm	<20	20-100	100-150	150-200	200-250	250-300	300-400
90	最大工作温度	t_G	$^{\circ}C$	<20	20-50	50-80	80-120	120-200	200-300	300-400

b) 液体

序号	材料的物理特性	符号	量纲	级								
				2	3	4	5	6	7	8	9	
1	密度	ρ	kg/dm^3	<0.7	0.7-0.8	0.8-1.0	1.0-1.2	1.2-1.6	1.6-2.0	2.0-2.5	>2.5	
2	表面张力 (液面)边缘角	σ	$N/m \cdot 10^{-3}$	<20	20-25	25-30	30-40	40-50	50-60	60-70	>70	
3	动力粘度	φ	rad	<5	5-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	>120	
4	可压缩性	η	cP	<0.3	0.3-0.6	0.6-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-100	100-500	>500	
5	热导率	χ	$bar^{-1} \cdot 10^{-6}$	<22	22-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	>80	
20	热导率	λ	$W/(m \cdot grad)$	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	0.4-0.5	0.5-0.6	0.6-0.7	>0.7	
21	体积膨胀系数	β	$grad^{-1} \cdot 10^{-3}$	<0.3	0.3-0.5	0.5-0.7	0.7-0.9	0.9-1.1	1.1-1.3	1.3-1.5	>1.5	
22	临界温度	t_k	$^{\circ}C$	<200	200-250	250-300	300-350	350-400	400-450	450-500	>500	
23	比热	c	$J/(kg \cdot grad) \cdot 10^3$	<0.5	0.5-1.0	1.0-2.0	2-3	3-5	5-15	15-25	>25	
24	熔化热	c_s	$J/kg \cdot 10^3$	<50	50-75	75-100	100-150	150-200	200-250	250-300	>300	
25	临界压力	f_k	bar	<30	30-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	>100	
26	蒸发热	λ	$J/kg \cdot 10^3$	<200	200-300	300-400	400-500	500-600	600-800	800-1000	>1000	
27	熔点	t_M	$^{\circ}C$	>10	10-20	20-60	(-20)-(-40)	(-40)-(-80)	(-80)-(-120)	(-120)-(-160)	<-160	
28	沸点	t_B	$^{\circ}C$	<0	0-20	20-60	60-100	100-150	150-200	200-300	>300	

b) 液体

序号	材料的物理特性	符号	量纲	级								
				2	3	4	5	6	7	8	9	
30	比电阻	ρ	$\Omega \cdot \text{cm}$	<10	10-50	50-100	100-10 ⁴	10 ⁴ -10 ⁸	10 ⁸ -10 ¹²	10 ¹² -10 ¹⁴	>10 ¹⁴	
31	介电常数	ϵ	1	<2	2-10	10-15	15-20	20-30	30-40	40-50	>50	
40	相对磁导率	μ_r	1	0.99900	0.99900	0.99990	0.99999	1.00000	1.00001	1.00010	1.00100	
50	声速	c	m/s	<900	900-1100	1100-1200	1200-1300	1300-1400	1400-1500	1500-1600	>1700	
51	吸收系数	α	$\text{s}^2/\text{m} \cdot 10^{-13}$	<0.1	0.1-0.5	0.5-1.0	1.0-3.0	3.0-5.0	5.0-10.0	10-15	>15	
60	折射率	n	1	<1.3	1.3-1.4	1.4-1.6	1.6-1.8	1.8-2.0	2.0-2.2	2.2-2.4	>2.4	
61	吸收常数	k	1/m	<0.5	0.5-1.0	1.0-5.0	5.0-10.0	10-50	50-100	100-200	>200	
62	费尔德常数	β	$\frac{\text{角分}}{\text{A}} \cdot 10^{-2}$	<1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	>7	
63	旋光率	α	$\text{rad dm}^3/(\text{dm kg})$	<2	2-6	6-10	10-20	20-50	50-180	180-270	>270	
64	克尔常数	K	$\text{cm}^{-1}(\text{esE})^{-2} \cdot 10^{-7}$	<1	1-10	10-50	50-100	100-150	150-200	200-300	>300	
65	阿贝数	ν	1	<20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	>80	
66	相对双折射率	D	$\text{cm s}^2/\text{g} \cdot 10^{-11}$	<1	1-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	>60	
70	凝固点(冰点)降低常数	KK	grd kg/mol	<2	2-5	5-10	10-15	15-20	20-30	30-40	>40	
71	摩尔数	M	g/mol	<30	30-50	50-70	70-90	90-110	110-130	130-150	>150	
72	扩散系数	D	$\text{m}^2/\text{s} \cdot 10^{-2}$	<4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	>16	
73	沸点升高常数	KE	grd kg/mol	<0.5	0.6-1.0	1.0-2.0	2.0-3.0	3.0-4.0	4.0-5.0	5.0-6.0	>6.0	

c) 气体

序号	材料的物理特性	符号	量纲	级								
				2	3	4	5	6	7	8	9	
1	密度	ρ	kg/m^3	<0.1	0.1-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-3.0	3.0-4.0	>4.0	
2	动力粘度	η	P	<80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	180-220	>220	

20	热导率	λ	$W/(m \cdot \text{grad}) \cdot 10^{-3}$	<20	30—40	40—50	50—60	60—70	70—80	>80
21	气体常数	R	$J/^{\circ}K \cdot \text{kg} \cdot 10$	<15	30—45	45—60	60—80	80—100	100—150	>150
22	临界温度	t_k	$^{\circ}C$	<-200	(-100)—0	0—50	50—100	100—150	150—180	>180
23	比热	c_p	$J/(kg \cdot \text{grad}) \cdot 10^3$	<0.5	1.0—1.5	1.5—2.0	2.0—2.5	2.5—3.0	3.0—3.5	>3.5
24	各向同性指数	χ	1	<1.20	1.25—1.30	1.30—1.35	1.35—1.40	1.4—1.5	1.5—1.6	>1.6
25	临界压力	p_k	bar	<20	30—40	40—50	50—60	60—70	70—80	>80
26	蒸发热	λ	$J/kg \cdot 10^3$	<150	200—250	250—300	300—400	400—500	500—600	>600
27	熔点	t_F	$^{\circ}C$	>-70	(-100)— (-130)	(-130)— (-160)	(-160)— (-190)	(-190)— (-220)	(-220)— (-250)	<-250
28	沸点	t_b	$^{\circ}C$	>20	0—(-50)	(-50)— (-100)	(-100)— (-150)	(-150)— (-200)	(-200)— (-250)	<-250
31	介电常数	ϵ	1	1.00001	1.0001— 1.0010	1.001— 1.010	1.01—1.1	1.1—1.3	1.3—1.8	>1.8
40	相对磁导率	μ_r	1	0.99900	0.99990 0.99999	0.99999 1.00000	1.00000 1.00001	1.00001 1.00010	1.00010 1.00100	1.00100
50	声速	c	m/s	<150	200—300	300—400	400—500	500—600	600—700	>700
51	吸收系数	α	$s^2/m \cdot 10^{-11}$	<1.5	2.5—3.5	3.5—5.0	5.0—10	10—15	15—20	>20
60	折射率	n	1	1.00005	1.0001— 1.0002	1.0002— 1.0004	1.0004— 1.0006	1.0006— 1.0008	1.0008— 1.0010	>1.0010
61	费尔德常数	α	$\frac{\text{角分}}{A} \cdot 10^{-4}$	<0.05	0.03—0.07	0.07—0.08	0.08—0.09	0.09—0.10	0.10—0.11	>0.11
71	摩尔数	M	g/mol	<10	20—40	40—60	60—80	80—100	100—120	>120

表6 固 体 材

材 料	力 学														热 力 学								电 学													
	密 度	屈 服 点	抗 压 强 度	抗 弯 强 度	抗 拉 强 度	抗 剪 强 度	单 位 面 积 压 力	弹 性 模 数	剪 切 弹 性 模 数	压 缩 弹 性 模 数	泊 松 比	摩 擦 系 数	碰 撞 数	材 料 阻 尼	热 导 率	线 膨 胀 系 数	体 膨 胀 系 数	比 热	熔 化 热	辐 射 热	电 阻 温 度 系 数	塞 贝 克 系 数	比 电 阻	介 电 常 数	压 电 荷 常 数	介 电 损 耗 因 数	跃 变 温 度	珀 耳 帖 系 数	压 电 压 常 数							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	35
α铁	6	4		3			7	6	7	6										6	6	6	5	6		9	6							3		
St33-1	6	4		4			4	7	6											6	5		5												3	
St34-2	6	5		4			4	7	6											6	5		5												3	
St37-2	6	5		5			4	7	6											6	5		5		8										3	
St37-2K	6	6		6				7												6	5		5												3	
St42-2	6	5		5			4	7	6											6	5		5												3	
St50-2	6	5		6			4	7	6											6	5		5												3	
St60-1	6	6		6			4	7	6											5	5		5		8										3	
Ck35	6	6		6			4	7	6											5	5		5		8										3	
Ck45	6	7		6			4	7	6											5	5		5												3	
Ck60	6	8		8			4	7	6											5	5		5		8										3	
20Mn5	6	5		6			4	7	6																											
30Mn5	6	7		7			4	7	6											5	7														3	
36CrNiMo4	6	9		9			4	7	6																											
34CrNiMo6	6	9		9			4	7	6																											
30CrNiMo8	6	9		9			4	7	6																											
24Ni4	6	6		6			4	7	6																											
34Ni5	6	6		6			4	7	6																											
14Ni6	6	5		6			4	7	6											5	5															
24Ni8	6	7		7			4	7	6																											
16Ni14	6	6		6			4	7	6											5	5															

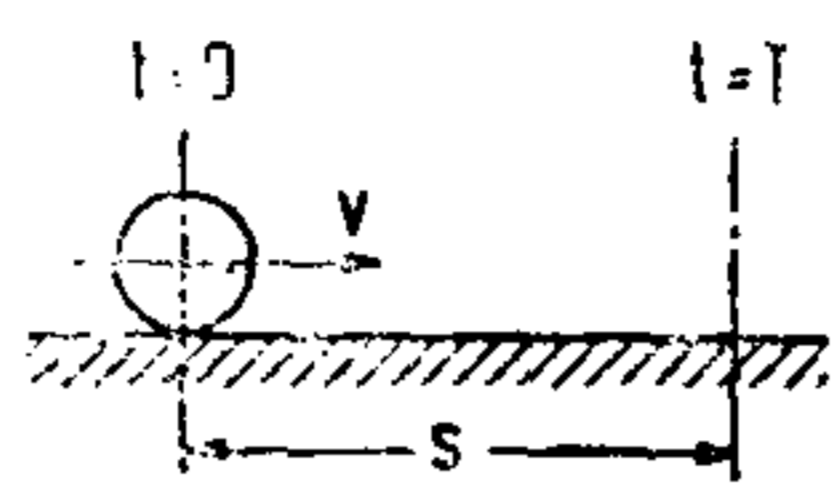
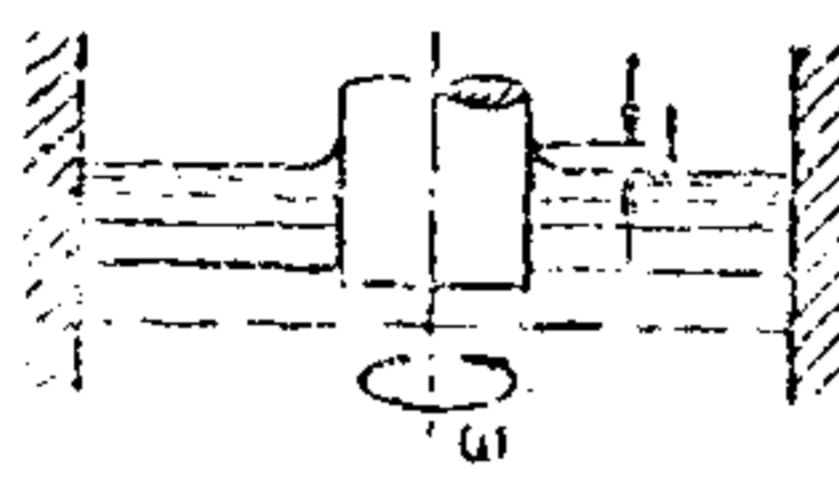
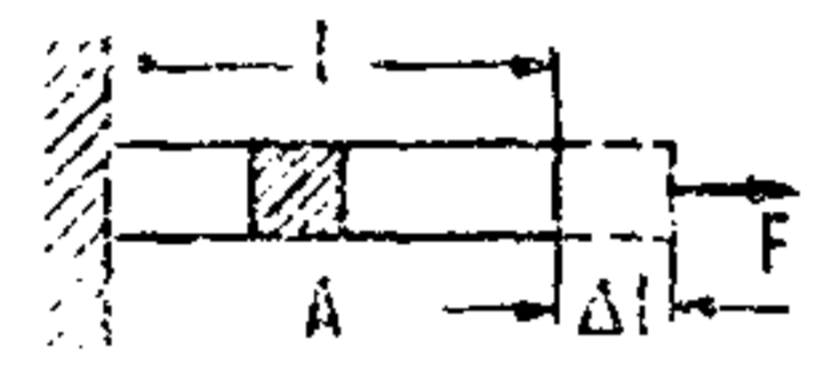
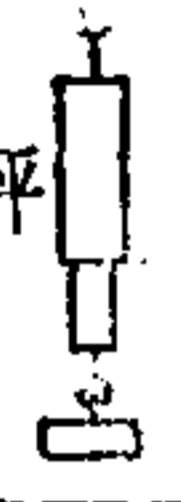
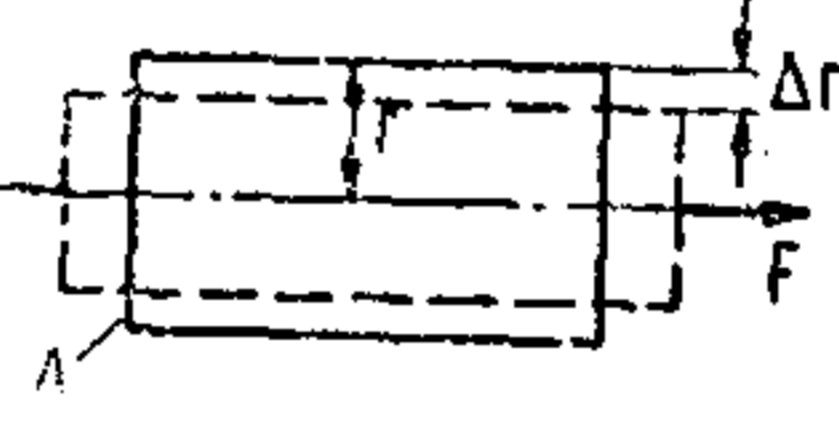
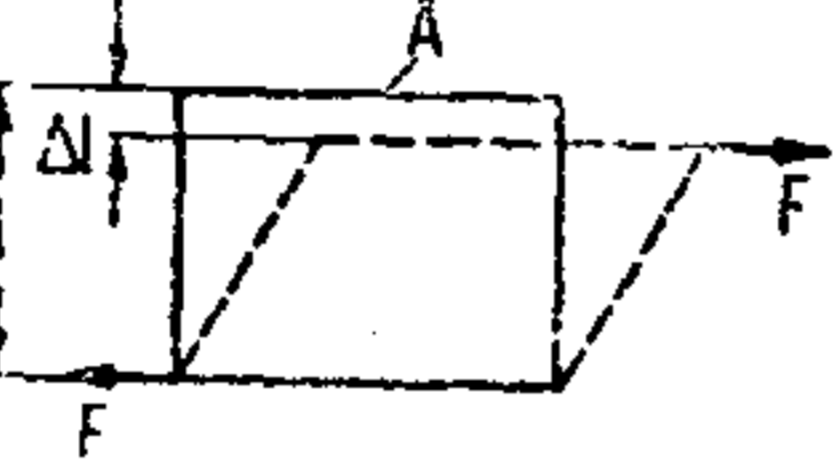
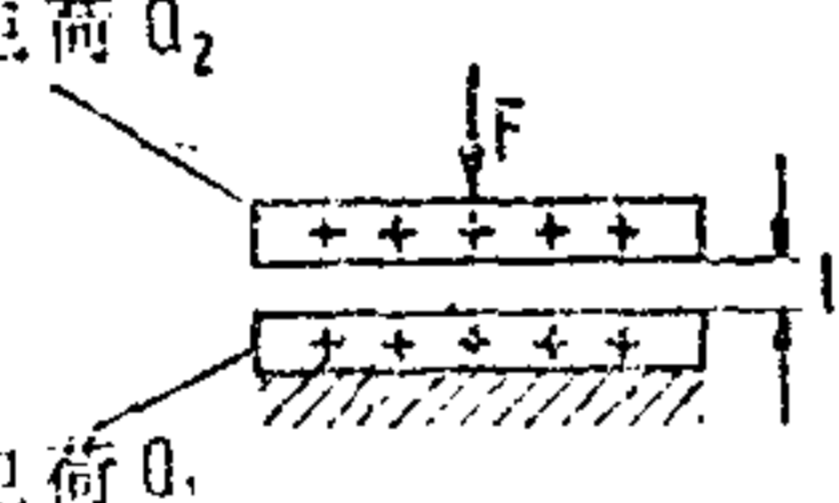
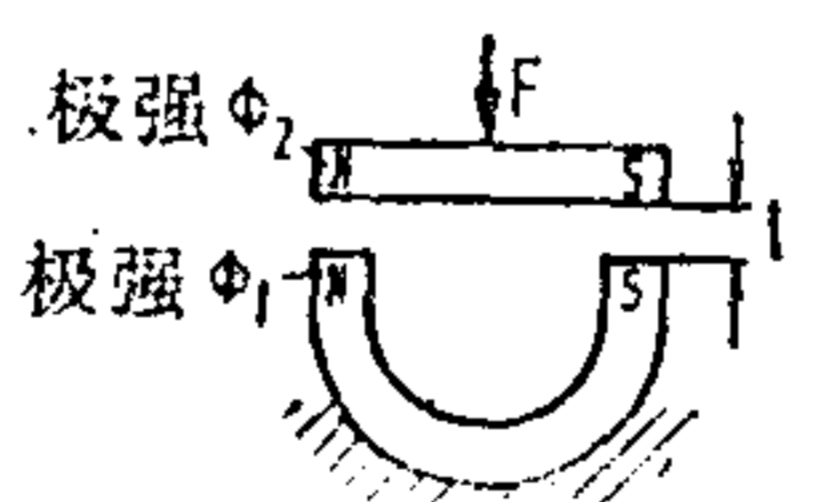
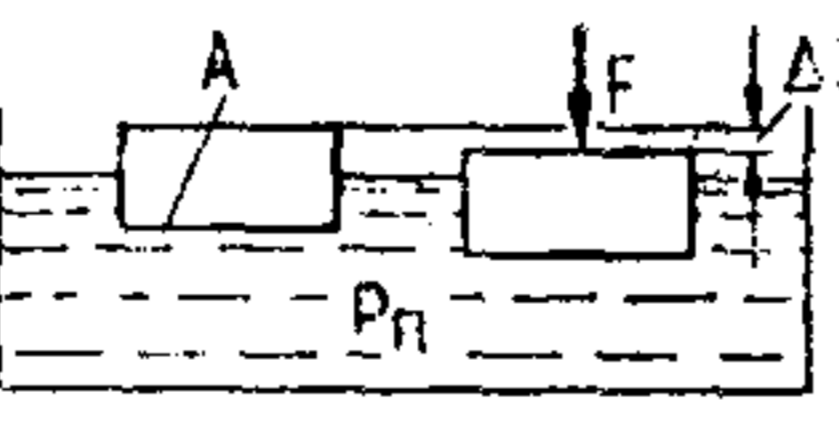
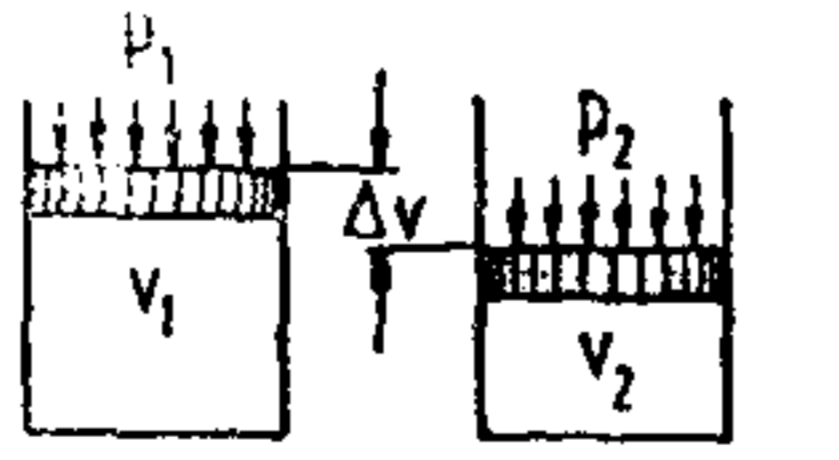
表7 具有“相同性能断面”的各种材料的特性比较

材 料 代 号	屈 服 点 σ_e	
	定 性 级 别	定 量 数 值
α 铁	—— 4	12.0 N/mm ² · 10
St 33-1	—— 4	19.0 N/mm ² · 10
St 34-2K+G	—— 5	21.0 N/mm ² · 10
St 37-2	—— 5	23.0 N/mm ² · 10
St 37-2K	—— 6	31.0 N/mm ² · 10
St 42-2	—— 5	25.0 N/mm ² · 10
St 50-2	—— 5	29.0 N/mm ² · 10
St 60-1	—— 6	34.0 N/mm ² · 10
Ck 35	—— 6	38.0 N/mm ² · 10
Ck 45	—— 7	41.5 N/mm ² · 10
Ck 60	—— 8	52.0 N/mm ² · 10
20 Mn5	—— 5	30.0 N/mm ² · 10
30 Mn5v	—— 7	48.0 N/mm ² · 10
36 Cr Ni Mo 4	—— 9	72.5 N/mm ² · 10
34 Cr Ni Mo 6	—— 9	80.0 N/mm ² · 10
30 Cr Ni Mo 8	—— 9	87.5 N/mm ² · 10
24 Ni 4	—— 6	32.5 N/mm ² · 10
34 Ni 5	—— 6	40.0 N/mm ² · 10
14 Ni 6	—— 5	28.0 N/mm ² · 10
24 Ni 8	—— 7	40.0 N/mm ² · 10
16 Ni 14	—— 6	35.0 N/mm ² · 10
12 Ni 19	—— 7	45.0 N/mm ² · 10

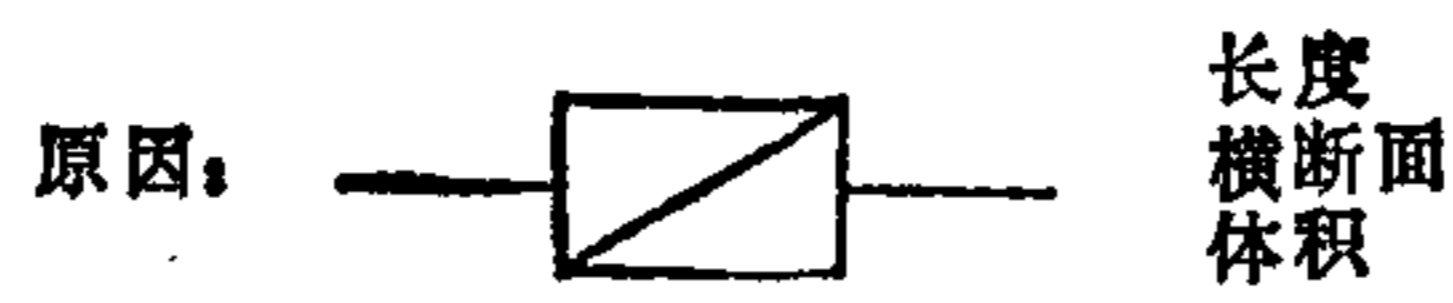
原理目录1 能量类型或信号类型的转变

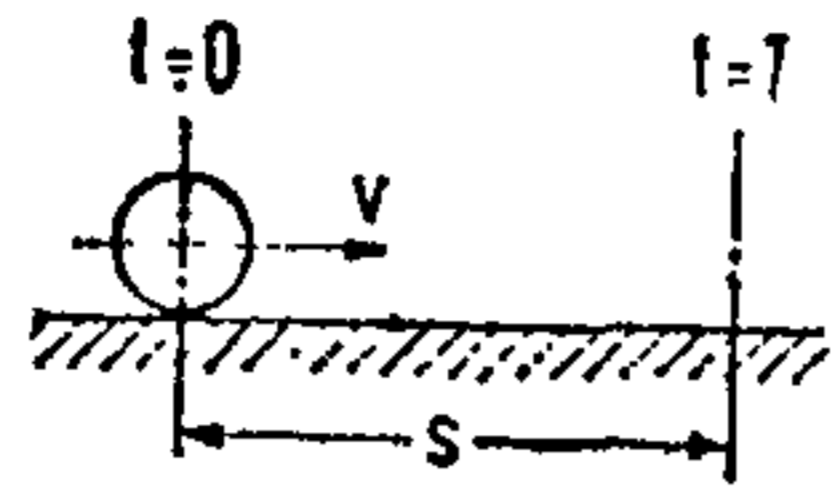
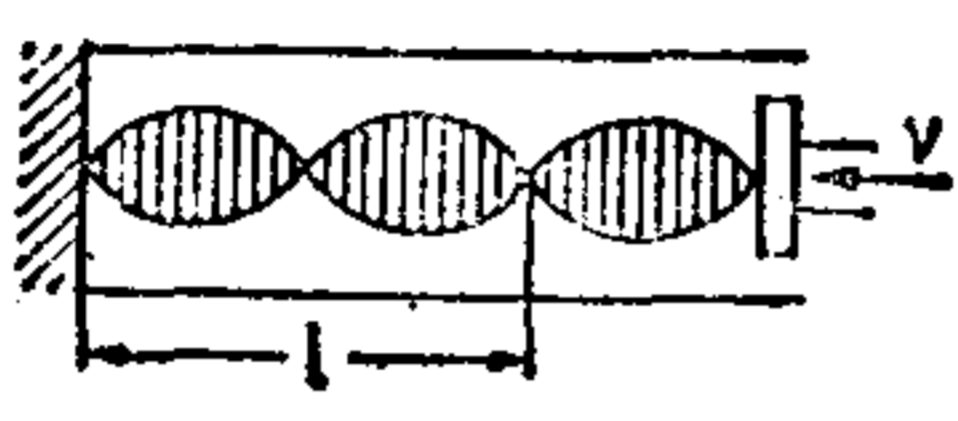
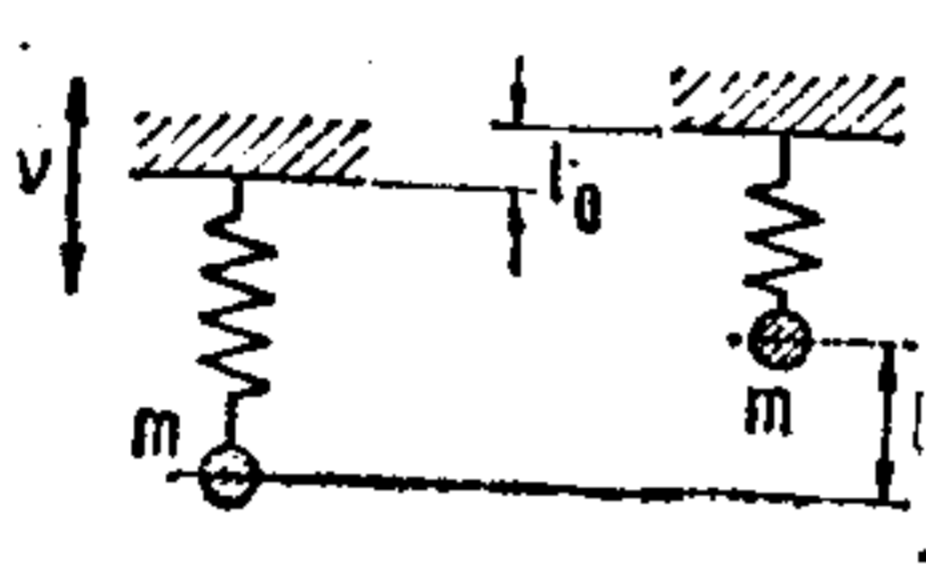
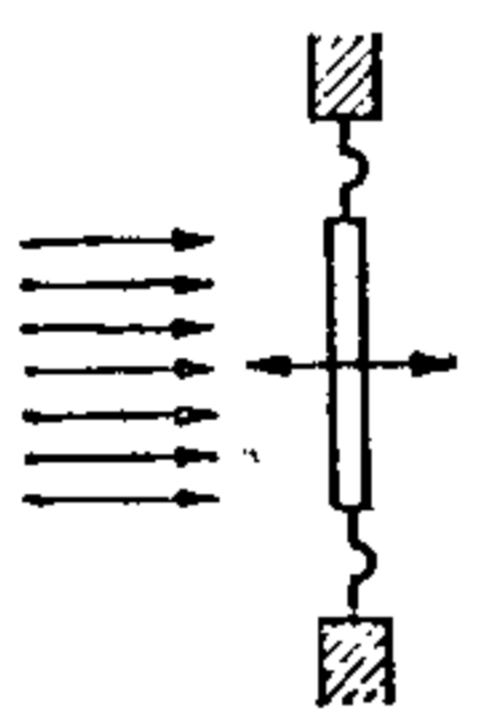
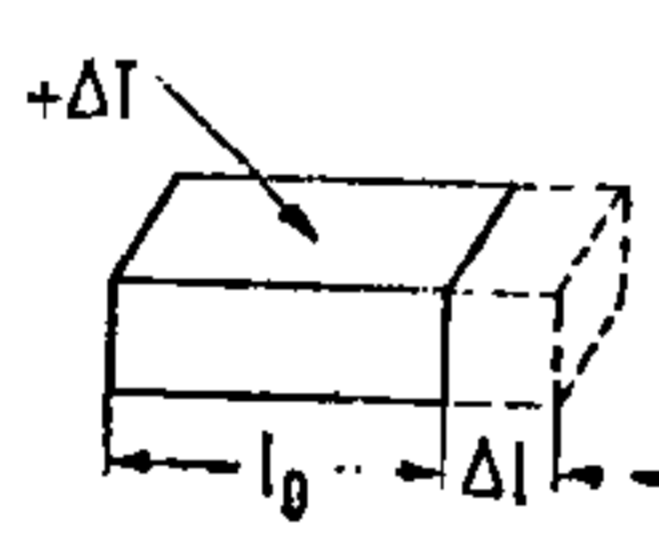
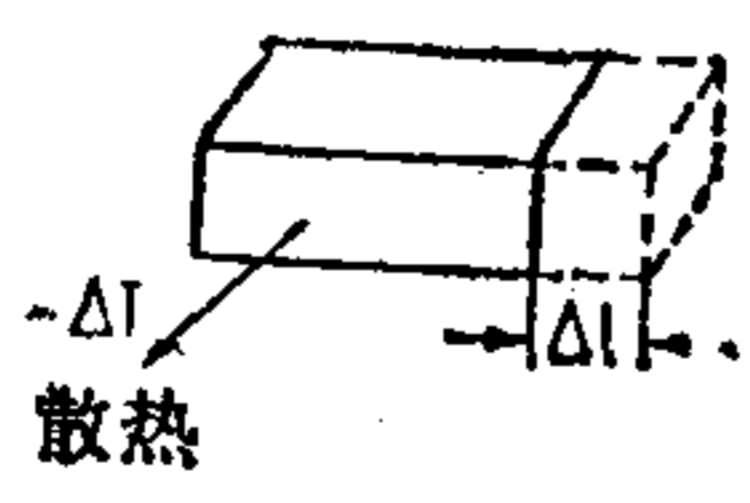
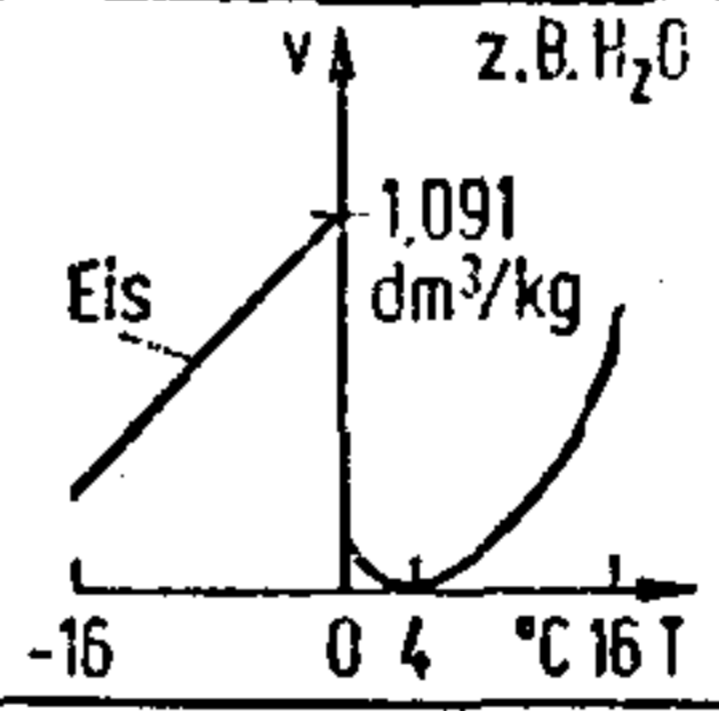
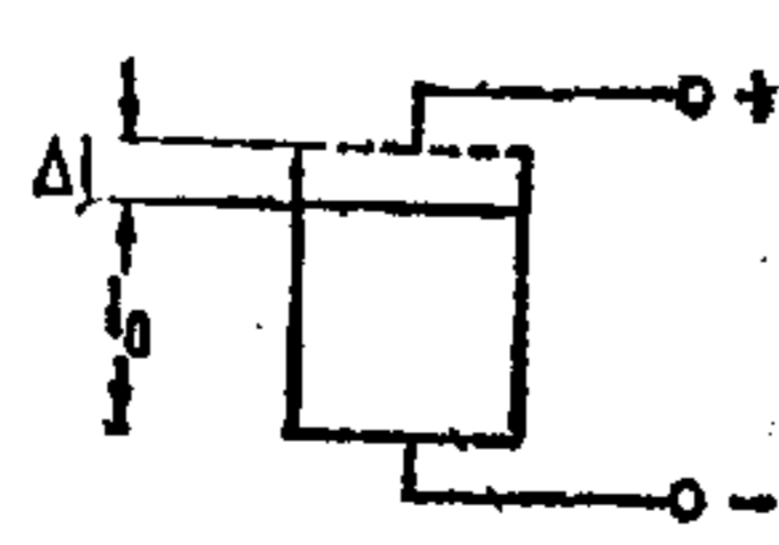
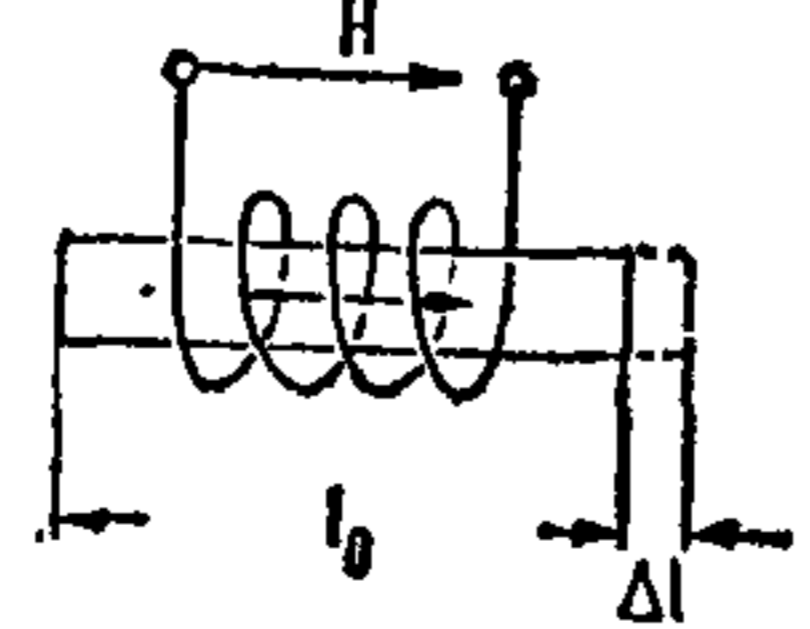
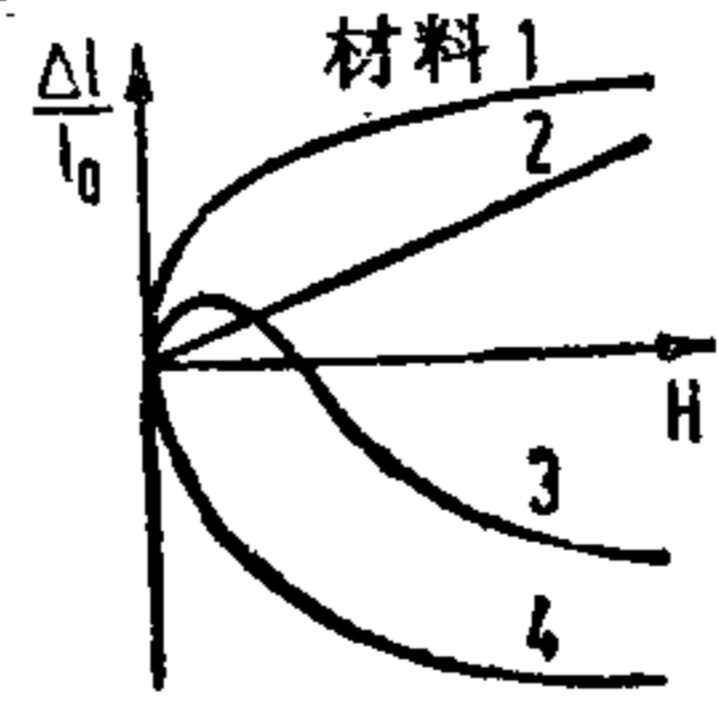
原理目录: 能量类型或信号类型的转变



原因	物理效应	定律	文献	应用实例
02.01 速度	运动定律 	$s = \int_0^T v dt$	[2.1], S.31	
	韦森伯效应 		[4], S.104	
04.01 力 压力 机械能	虎克定律 	$\Delta l = \frac{1}{E} \cdot \frac{1}{A} \cdot F$	[7.1]	弹簧秤 
	横向收缩 	$\frac{\Delta r}{r} = \mu \cdot \frac{F}{E \cdot A}$	[11], S.81	
	剪切、扭转 	$\Delta l = \frac{1}{2} \left(\frac{F}{G \cdot A} \right)^2$	[11], S.83	
	库伦定律 I 电荷 Q ₂ 电荷 Q ₁ 	$l = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{c_E \cdot F}$ $c_E = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r}$	[28], S.238 [30], S.283	
	库伦定律 II 极强 Φ ₂ 极强 Φ ₁ 	$l = \sqrt{c_M \cdot \frac{\Phi_1 \cdot \Phi_2}{F}}$ $c_M = \frac{1}{4\pi \cdot \mu_0 \cdot \mu_r}$	[31], S.471	
	浮力 	$\Delta l = \frac{F}{\rho_{Fl} \cdot g \cdot A}$	[2.1], S.288	
	玻意耳-马略 奥特定律 	$\Delta v = \left(1 - \frac{p_1}{p_2} \right) v_1$	[2.1], S.273	

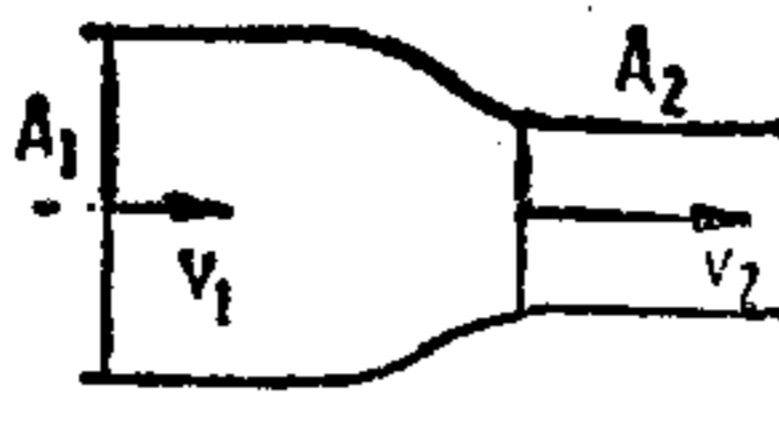
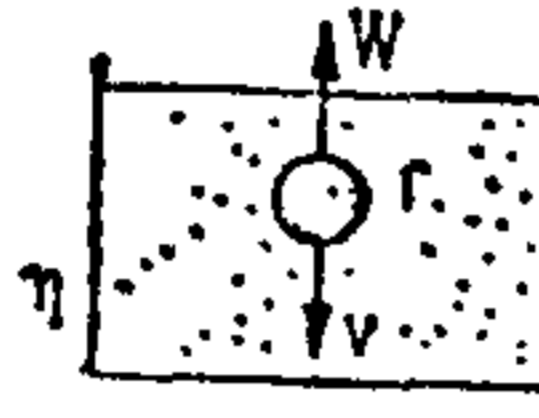
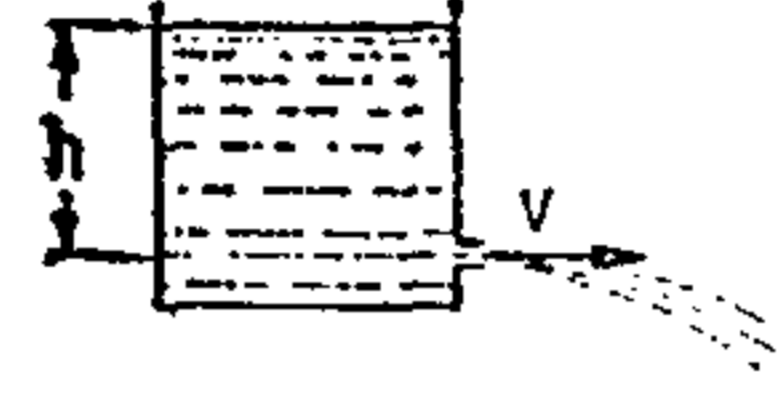
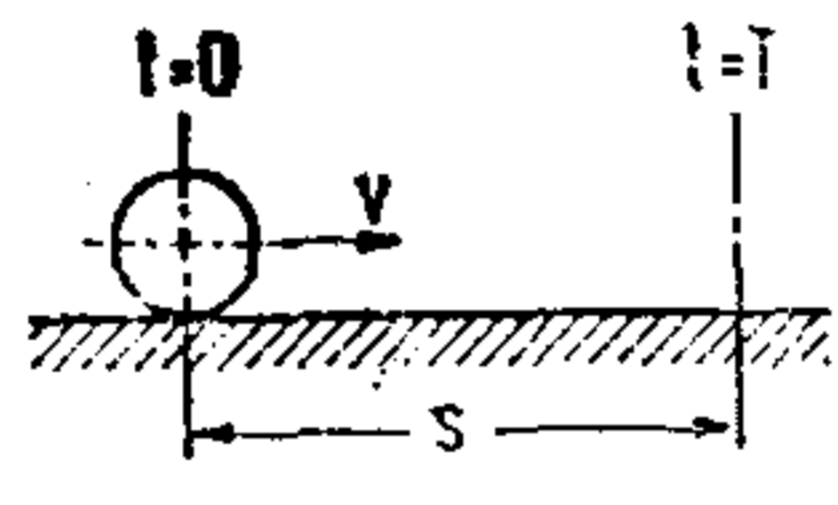
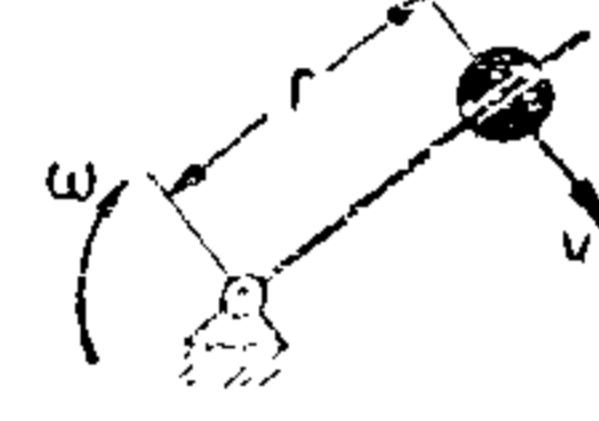
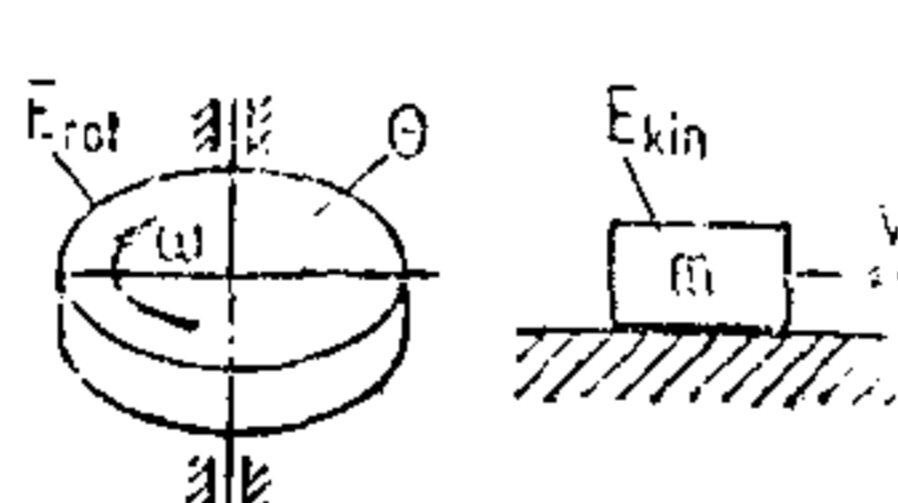
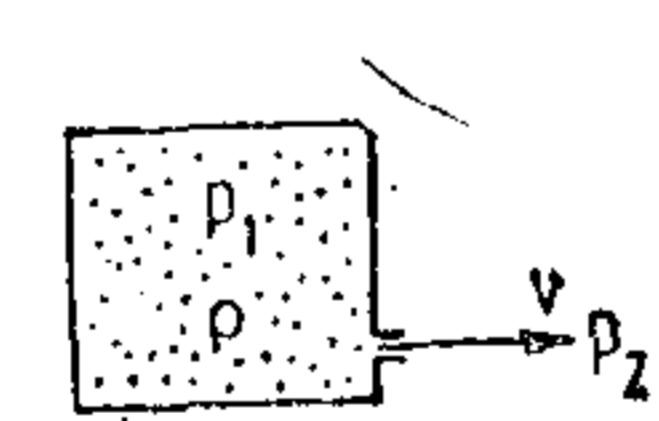
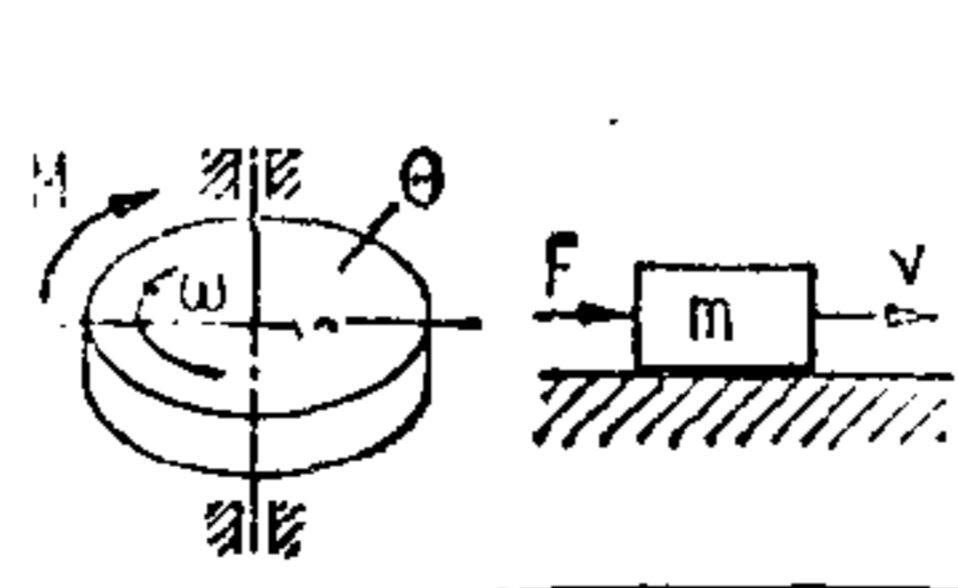
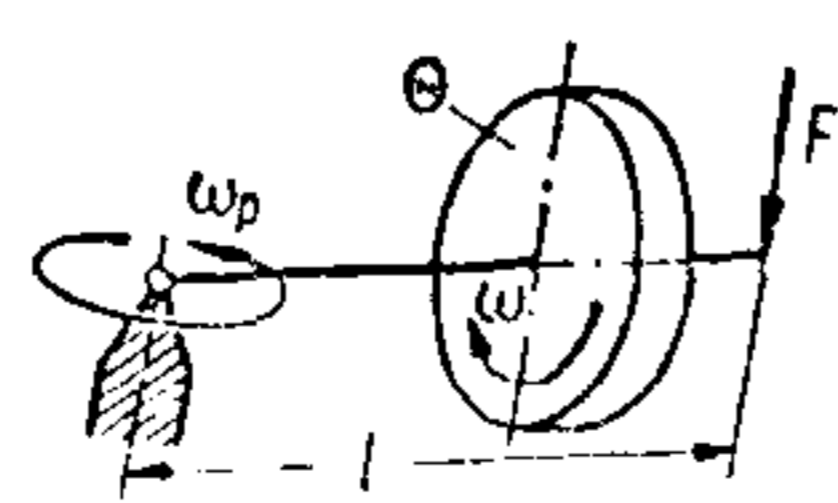
原理目录: 能量类型或信号类型的转变



原因	物理效应	定律	文献	应用实例
06.01 时间 频率	运动定律	 $S = \int_0^T v dt$	[2.1], S. 31	用摄影法测定速度
	驻波	 $l = c/\nu$ $c = \text{波速}$ $\nu = \text{频率}$	[11], S. 113	孔特管 波长计
	共振	 $I = \frac{I_0}{1 - (\nu/\omega_0)^2}$ $\omega_0 = \text{固有频率}$	[7.1], S. 268	簧片式频率计
07.01 机械波 (声)	声激发		[2.1], S. 542	传声器
08.01 温度 热	热膨胀	 $\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$ $\alpha = \text{线膨胀系数}$	[31], S. 314	双金属 恒温箱
	热膨胀 异常	  z.B. H ₂ O 1.091 dm ³ /kg -16 0 4 °C 16 T	[31], S. 318	用水爆破岩石
10.01 电压 电流 电场	电致伸缩	 $\pm \Delta l = l_0 \cdot d \cdot E$ $E = \text{电场强度}$ $d = \text{材料常数}$	[29], S. 15	产生超声波
12.01 磁场 电感	磁致伸缩	  材料 1 2 3 4	[2.2], S. 215	产生超声波

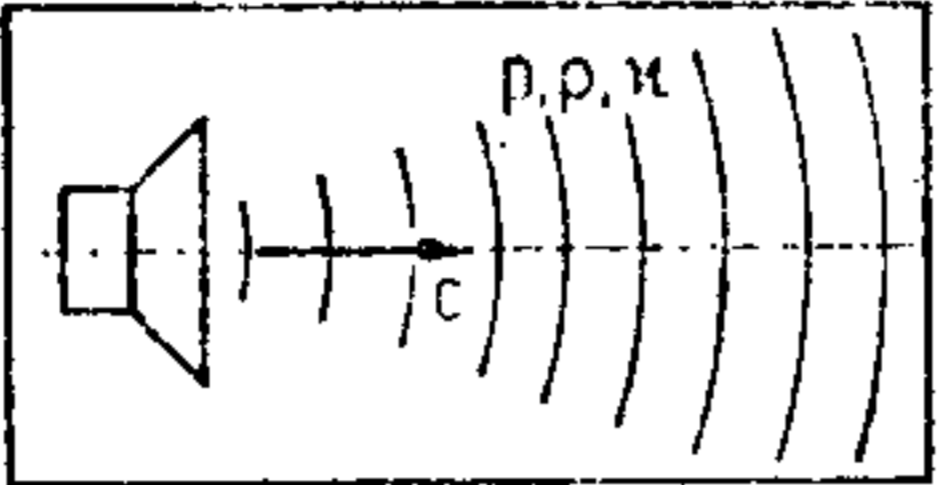
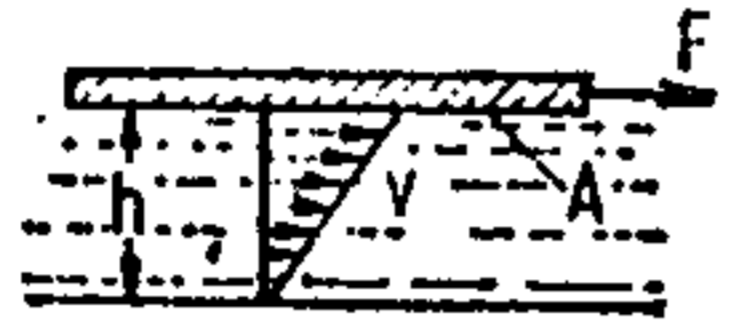
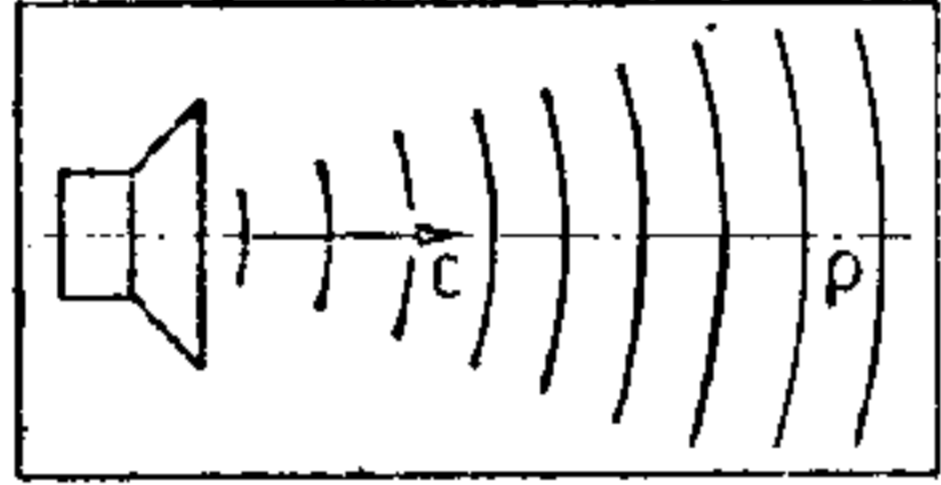

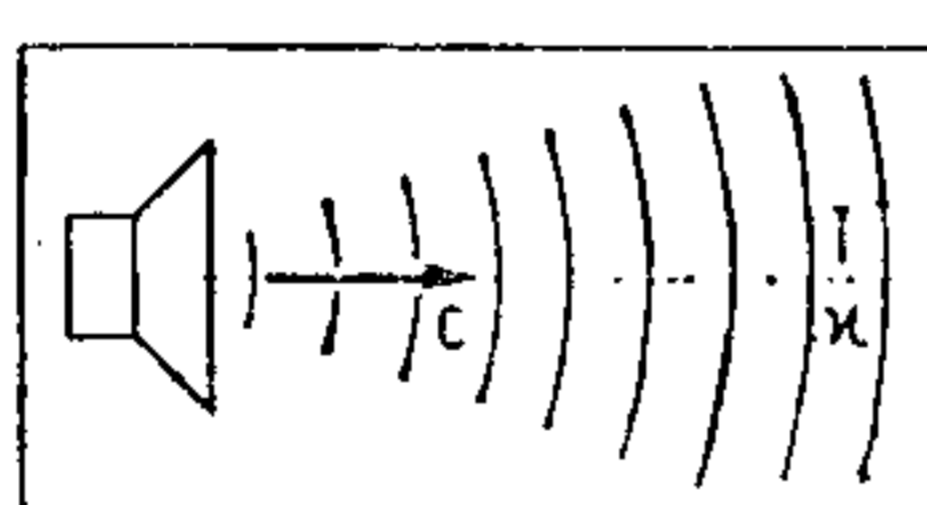
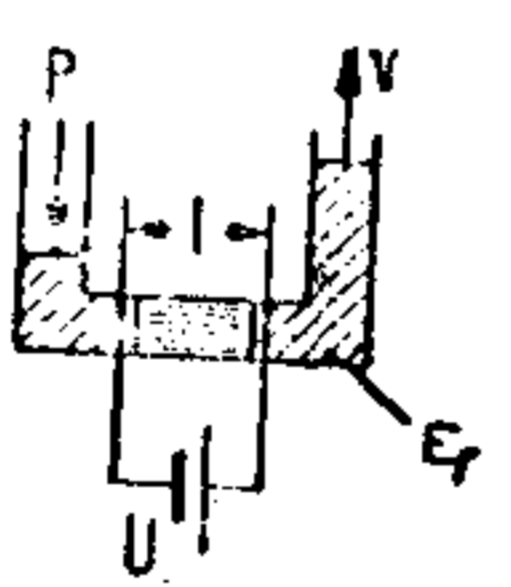
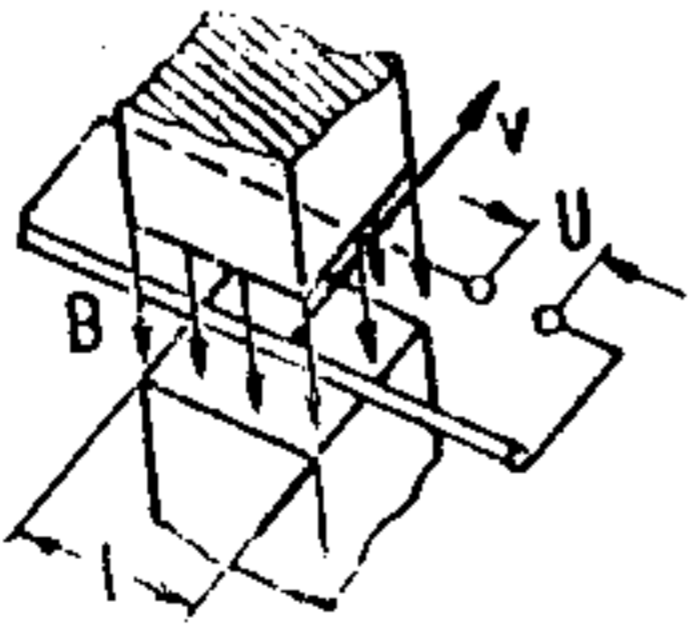
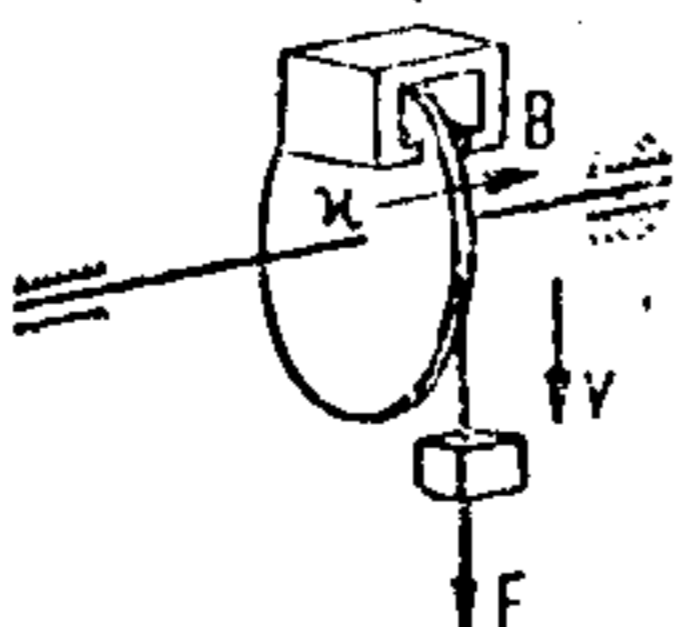
原理目录：能量类型或信号类型的转变

原因：  速度

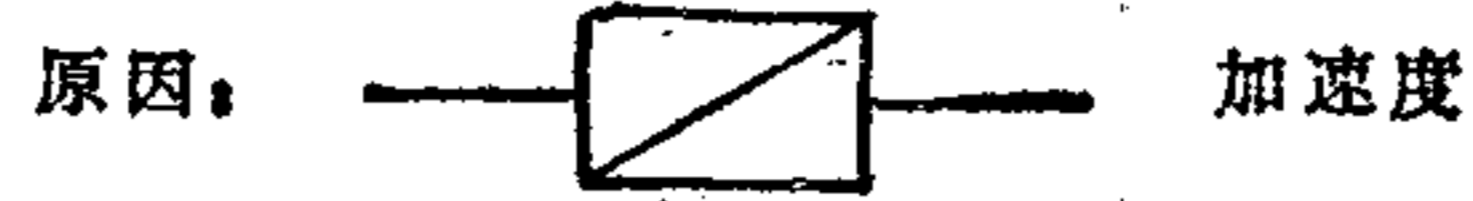
原因	物理效应	定律	文献	应用实例
01.02 长度 横断面 体积	连续性 	$v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1$	[11], S.75	喷嘴
	粘滞性 	$v = \frac{W}{6\pi \cdot \eta} \cdot \frac{1}{r}$ $W = \text{摩擦阻力}$	[2.1], S.324	
	托利塞里定律 	$v = \sqrt{2gh}$	[2.1], S.309	蓄能发电站
	运动定律 	$v = \frac{ds}{dt}$	[2.1], S.29	
	转动中心间距 	$v = r \cdot \omega$	[2.1], S.37	P.I.V. 传动机构转速变换
04.02 力 压力 机械能	能量守恒定律 	$\omega = \sqrt{2E_{rot}/\Theta}$ $v = \sqrt{2E_{kin}/m}$	[7.1], S.269	飞轮驱动 碰撞能量交换
	伯努利定律 	$v = \sqrt{2(p_1 - p_2)/\rho}$	[2.1], S.304	喷嘴 涡轮导向轮
	动量(守恒)定律(陀螺效应) 	$v = \frac{1}{m} \int F dt$ $\omega = \frac{1}{\Theta} \int M dt$	[7.1], S.260	泵 碰撞能量交换
	动量矩定律(陀螺效应) 	$\omega_p = \frac{F \cdot l}{\Theta \cdot \omega}$	[7.1], S.278	

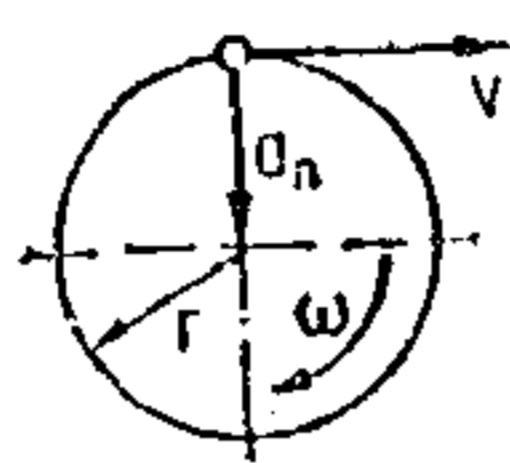
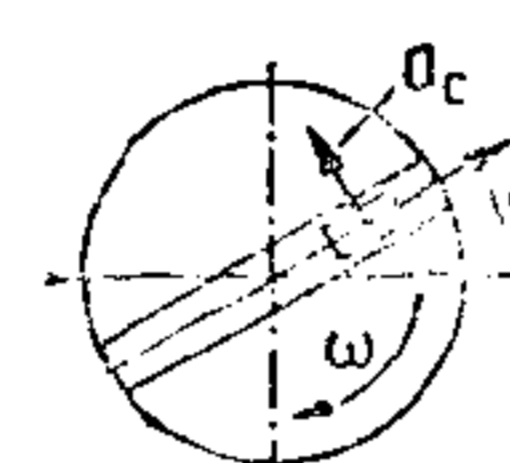
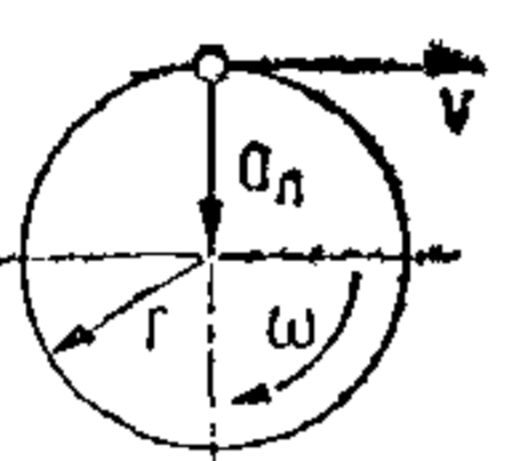
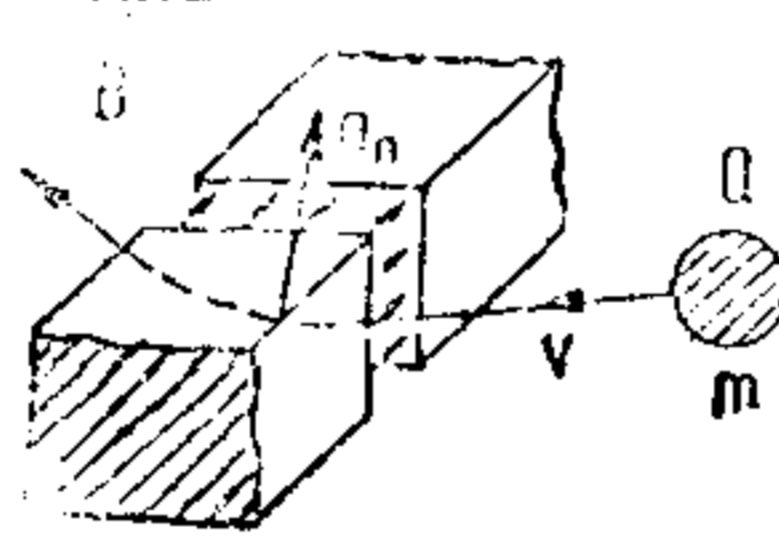
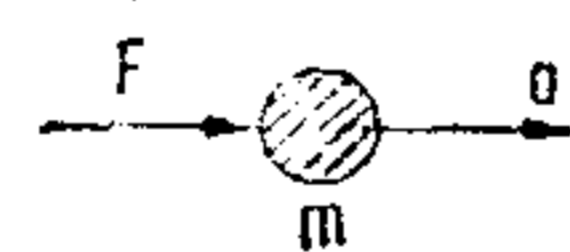
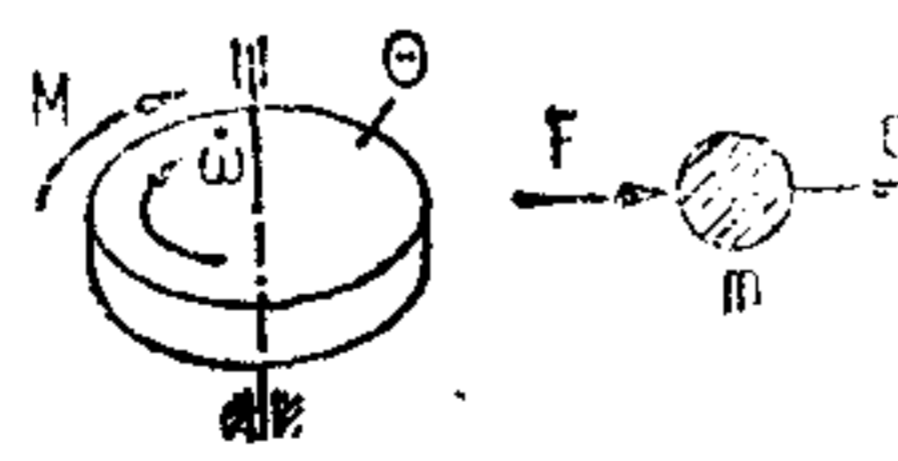
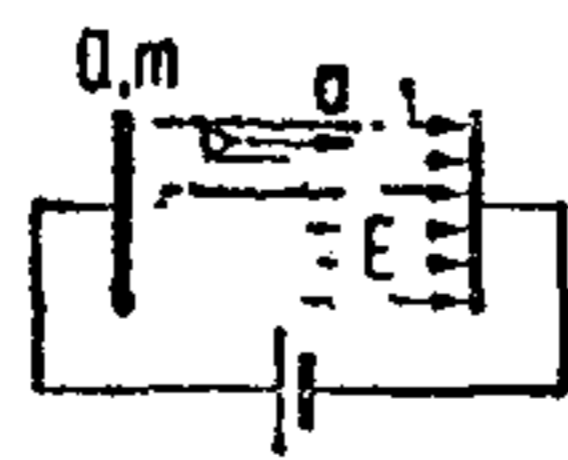
原理目录: 能量类型或信号类型的转变



原因	物理效应	定律	文献	应用实例
04.02 力 压力 机械能	声速	 $c = \sqrt{\kappa p / \rho}$ $\kappa = \text{等熵指数}$	[2.1], S.492	激波管 超声速风洞
	粘滞性	 $v = F \frac{h}{\eta A}$ $\eta = \text{动力粘度}$	[2.1], S.323	
05.02 比重	声速	 $c = \sqrt{\kappa p / \rho}$ $\kappa = \text{等熵指数}$	[2.1], S.492	激波管
06.02 时间 频率	频散	取决于频率的信号传播速度  例如: 二氧化碳中的声速	[2.1], S.595	频率滤波 光谱学
08.02 温度 热	声速	 $c = \sqrt{\kappa RT}$	[11], S.114	
10.02 电压 电流 电场	电动效应	 $v = \frac{\xi \epsilon_r \epsilon_0 U}{l \eta}$ $\epsilon = \text{介电常数}$ $\xi = \text{电动势}$ $\eta = \text{动力粘度}$	[5], S.886	液电水泵
12.02 磁场 电感	感应定律	 $v = \frac{U}{BI}$	[40], S.200	减弱场强, 提高电动机 的转速
	涡流	 $v = c \frac{F}{\kappa B^2}$ $c = \text{结构常数}$ $\kappa = \text{电导}$ $B = \text{磁感应强度}$		电能计 数器

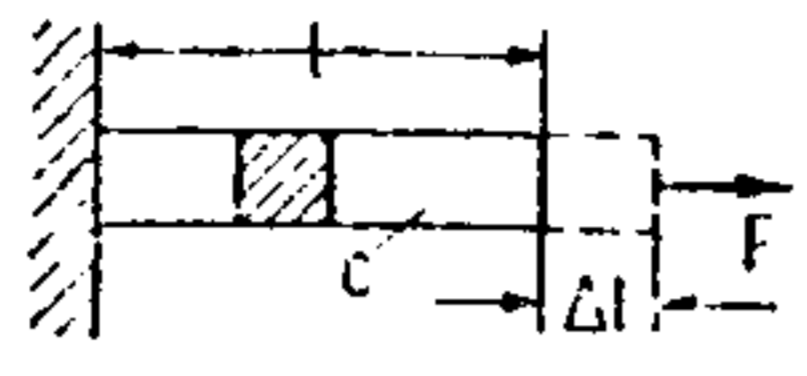
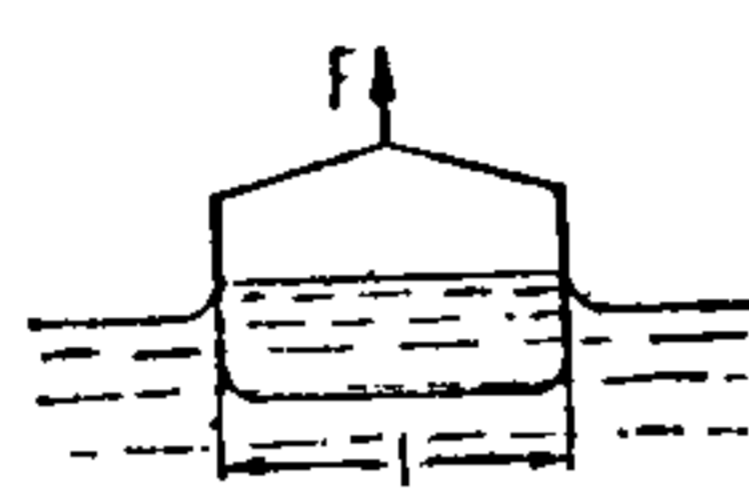
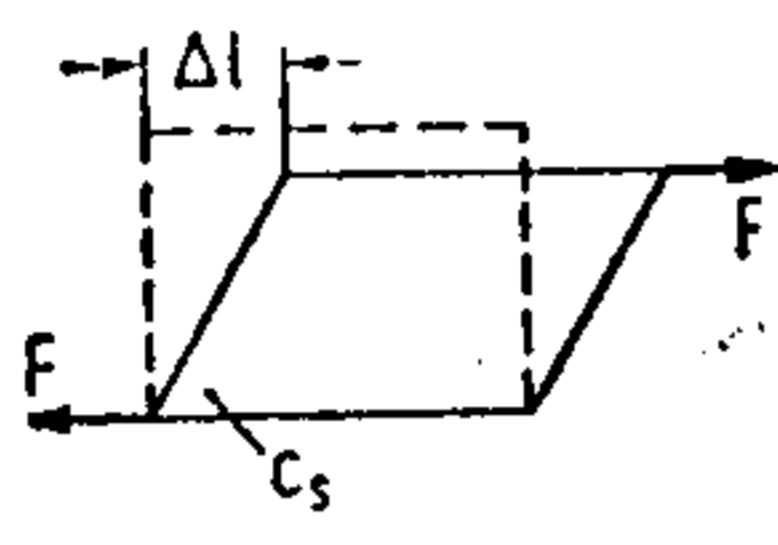
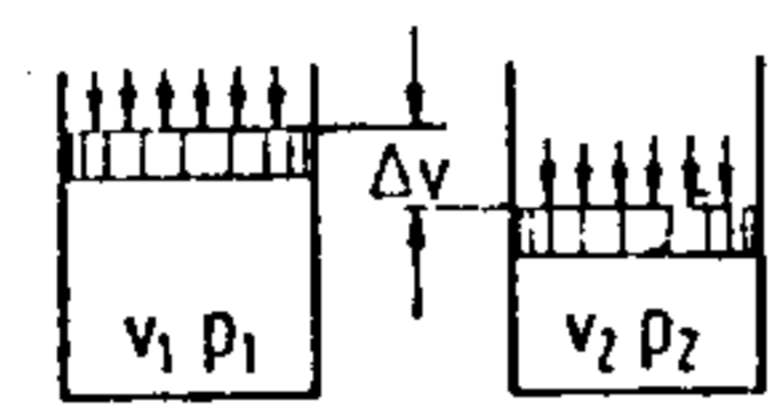
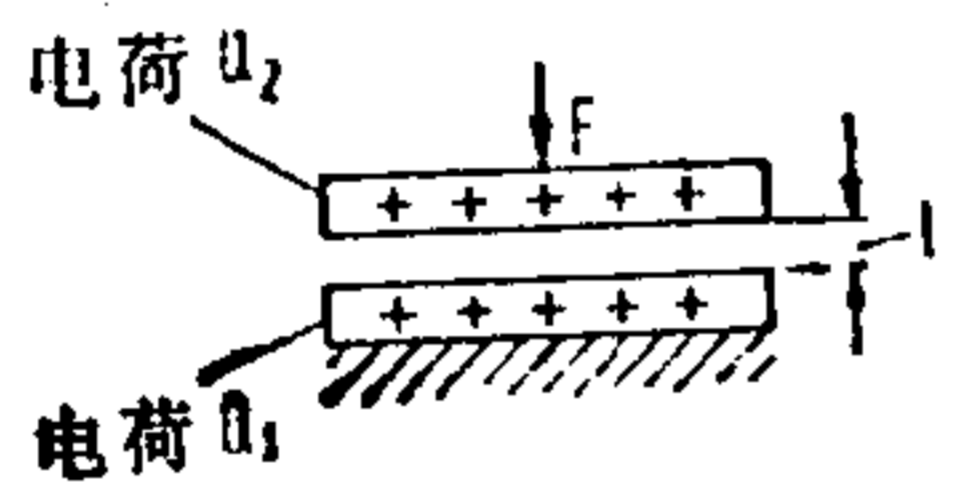
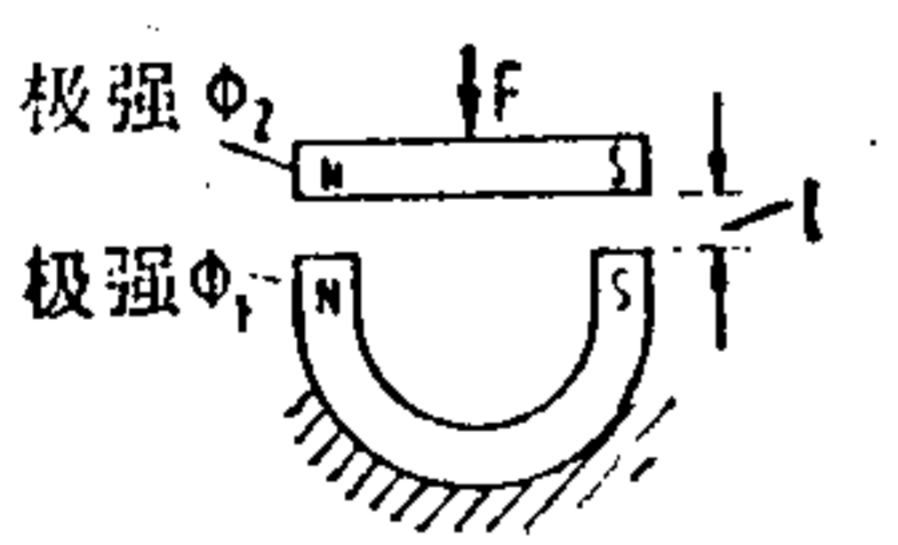
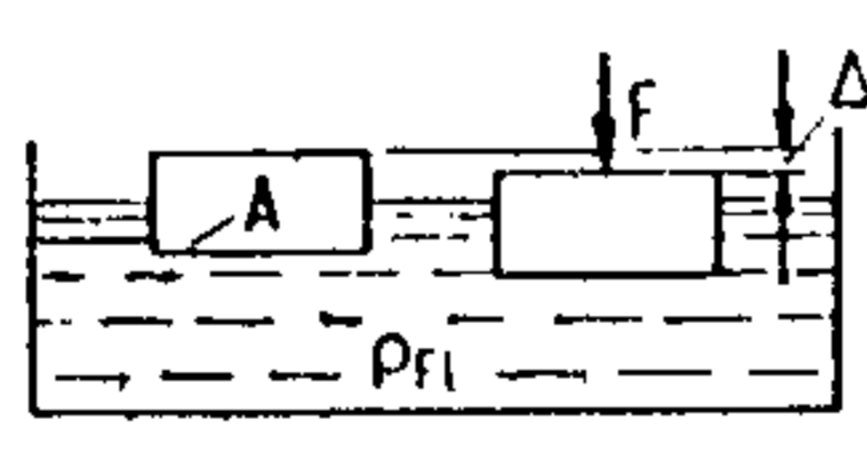
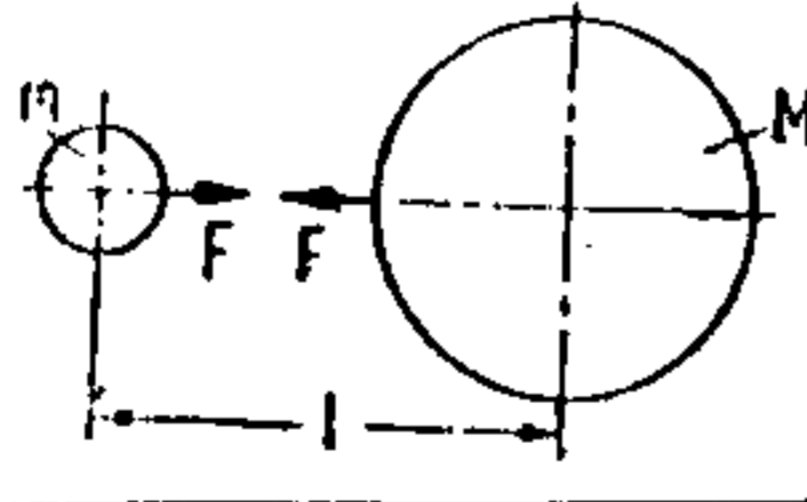
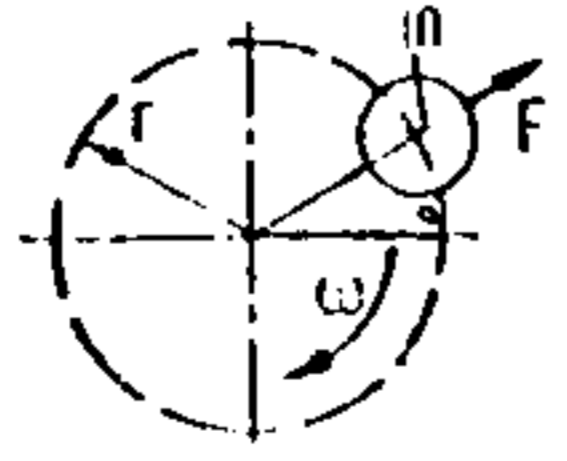
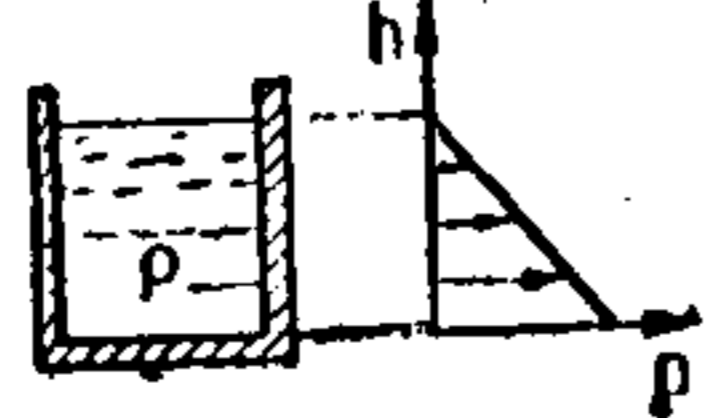
原理目录: 能量类型或信号类型的转变



原因	物理效应	定律	文献	应用实例
01.03 长度 横断面	离心加速度 	$a_n = r\omega^2$	[7.1], S.243	
02.03 速度	科里奥利加速度 	$a_c = 2v_p\omega$	[7.1], S.250	弗廷格联轴器
	离心加速度 	$a_n = r\omega^2$	[7.1], S.243	
	磁场中的电荷 	$a_n = B \cdot v \frac{Q}{m}$	[11], S.301	磁透镜 显象管中的磁偏转
04.03 力 压力 机械能	牛顿公理 	$a = \frac{F}{m}$	[7.1], S.256	运动系统
05.03 质量 惯性 比重	牛顿公理 	$a = \frac{F}{m}$ $\dot{\omega} = \frac{M}{\Theta}$	[7.1], S.256	
10.03 电压 电流 电场	电场中的电荷 	$a = \frac{Q}{m} E$	[11], S.278	静电涂料 回旋加速器

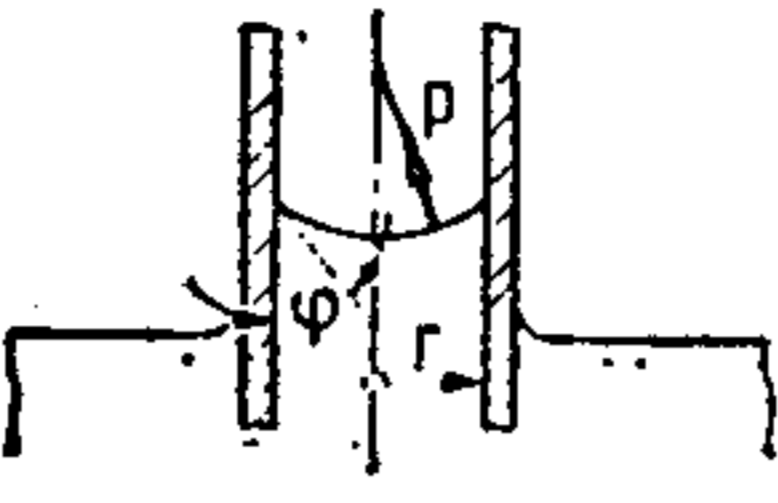
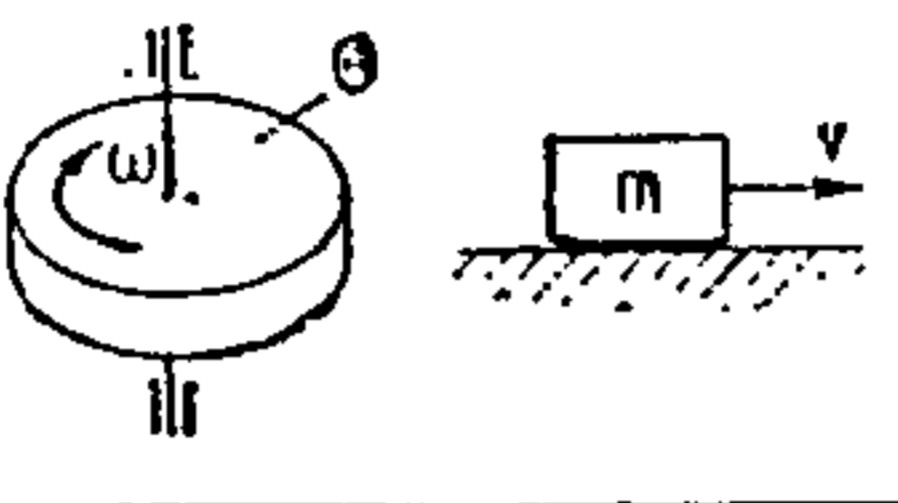
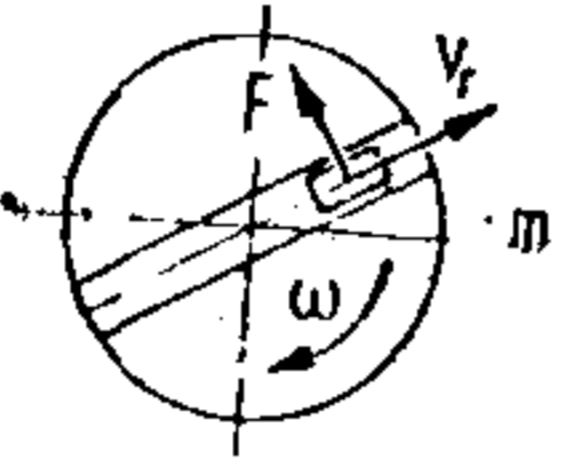
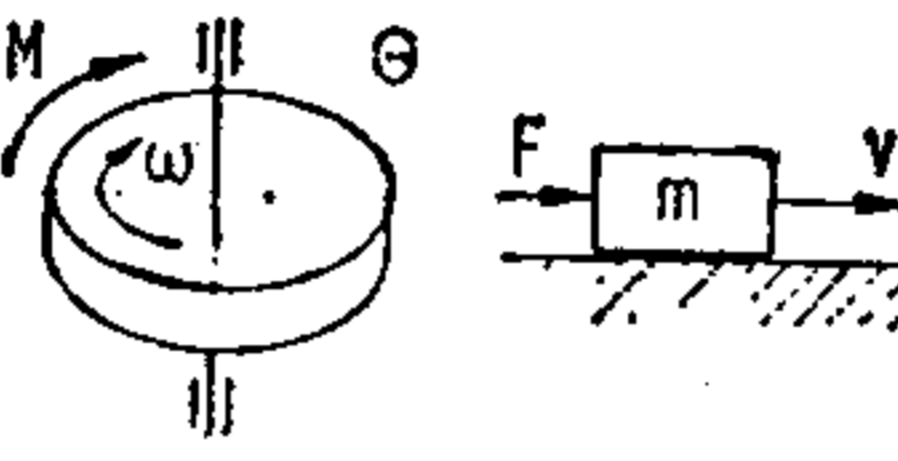
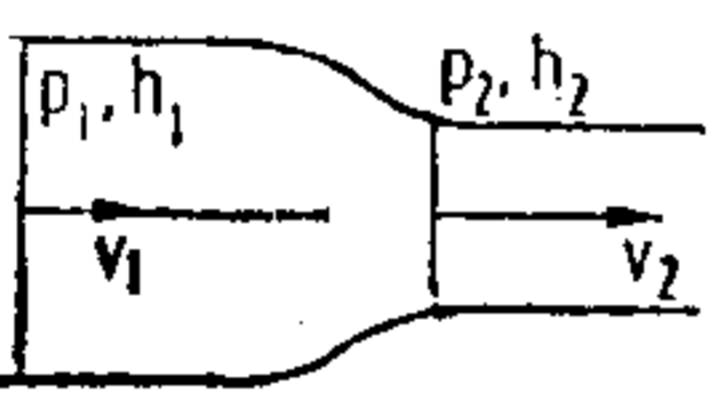
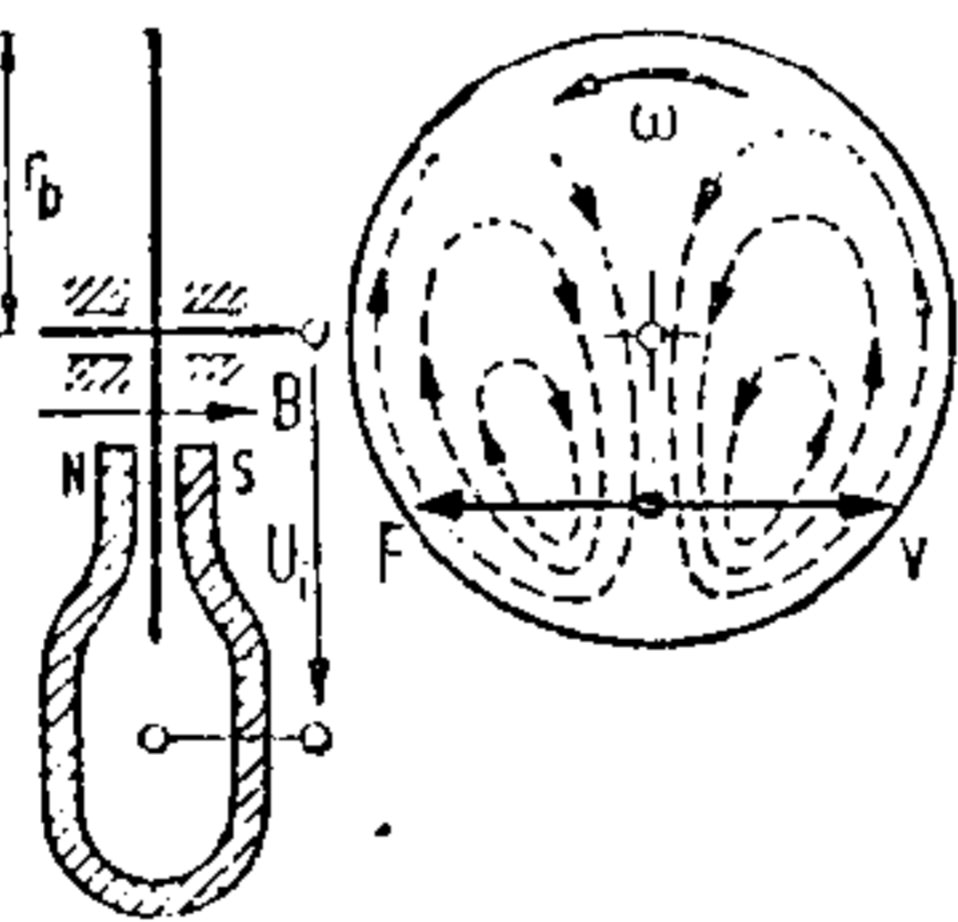
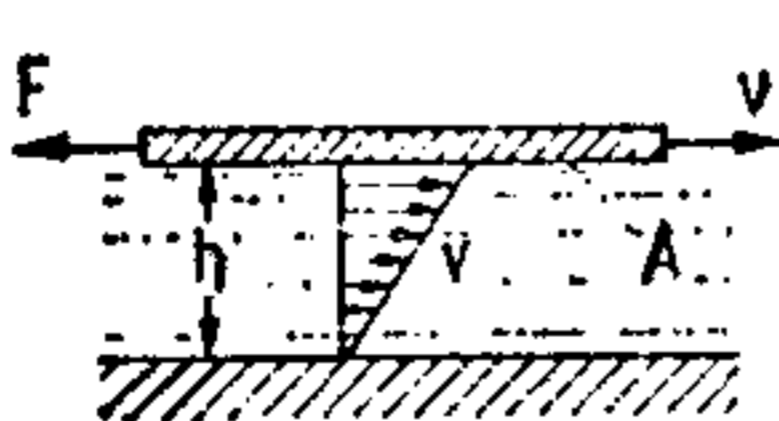
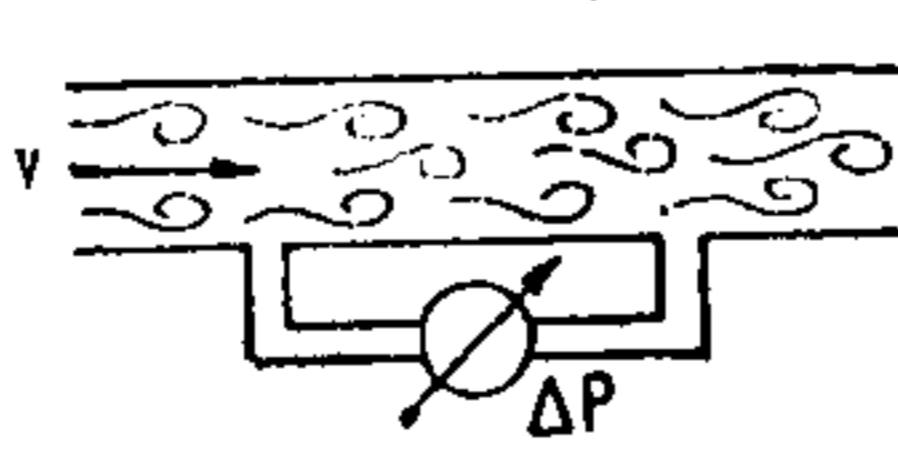
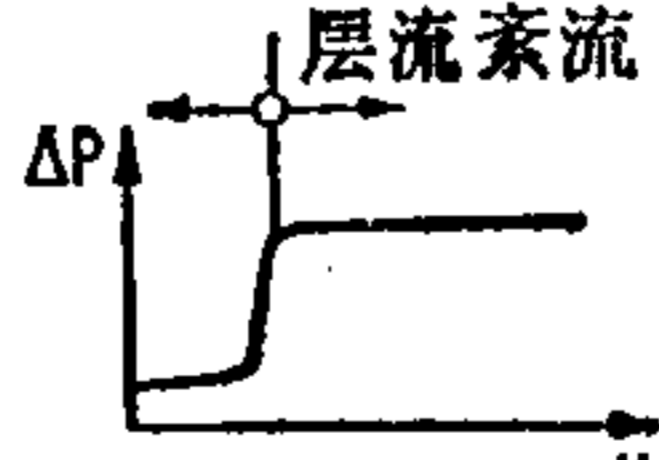
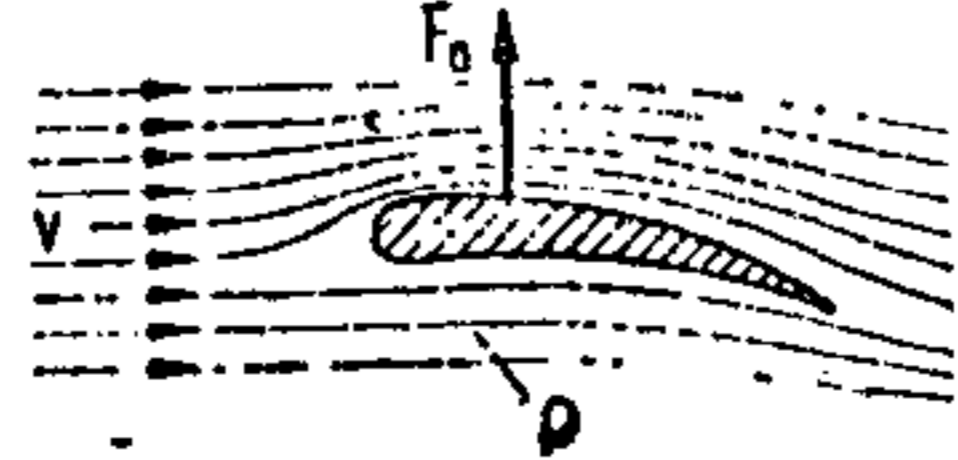
原理目录: 能量类型或信号类型的转变



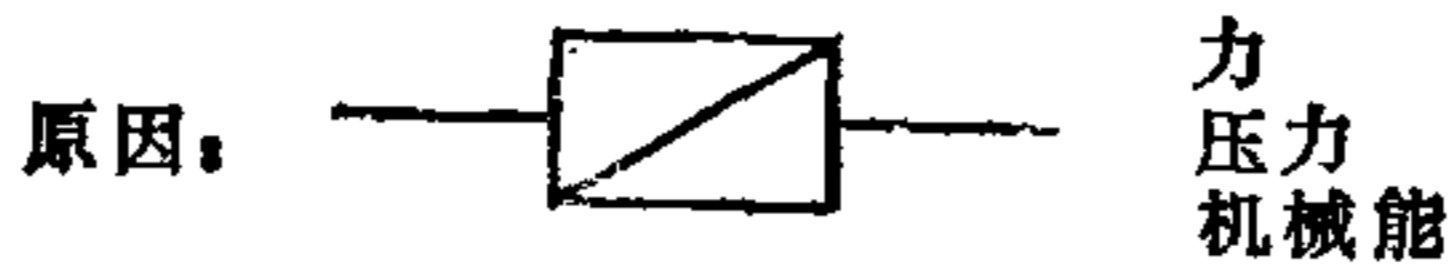
原因	物理效应	定律	文献	应用实例
01.04 长度 横断面 体积	虎克定律	 $F = c \cdot \Delta l$ $c = \text{弹簧常数}$	[7.1], S.246	预应力弹簧 阀门弹簧 产生力连接
	表面张力	 $F = 2\sigma l$ $\sigma = \text{表面张力}$	[2.1], S.403	毛细管
	剪切变形	 $F = c_s \cdot \Delta l$ $c_s = \text{弹簧常数}$	[7.1], S.246	产生力连接 扭簧
	玻意耳-马略 奥特定律	 $\Delta p = p_2 - p_1$ $= p_1 \cdot \frac{\Delta v}{v_2}$	[2.1], S.273	空气弹簧
	库伦定律 I	 电荷 Q_2 电荷 Q_1 $F = c_E \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{l^2}$ $c_E = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r}$	[2.2], S.42	
	库伦定律 II	 极强 Φ_2 极强 Φ_1 $F = c_M \cdot \frac{\phi_1 \cdot \phi_2}{l^2}$ $c_M = \frac{1}{4\pi \cdot \mu_0 \cdot \mu_r}$	[31], S.491	磁弹性
	浮力	 $F = \rho_f \cdot g \cdot A \cdot \Delta l$	[2.1], S.288	浮子式阀
	(万有) 引力	 $F = \frac{mM}{l^2} G$ $G = \text{万有引力常数}$	[2.1], S.122	重力
	离心力	 $F = mr\omega^2$	[7.1], S.273	机械振荡激励
重力压力	 $p = h\rho g$	[7.1], S.274	水塔	


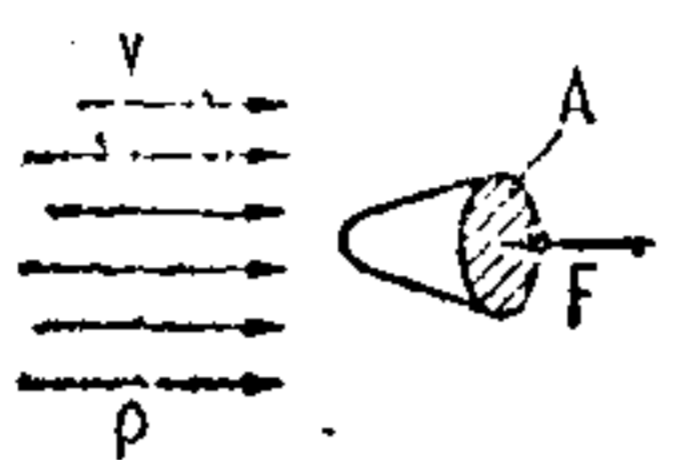
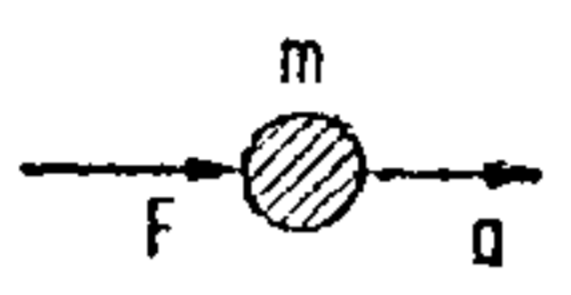
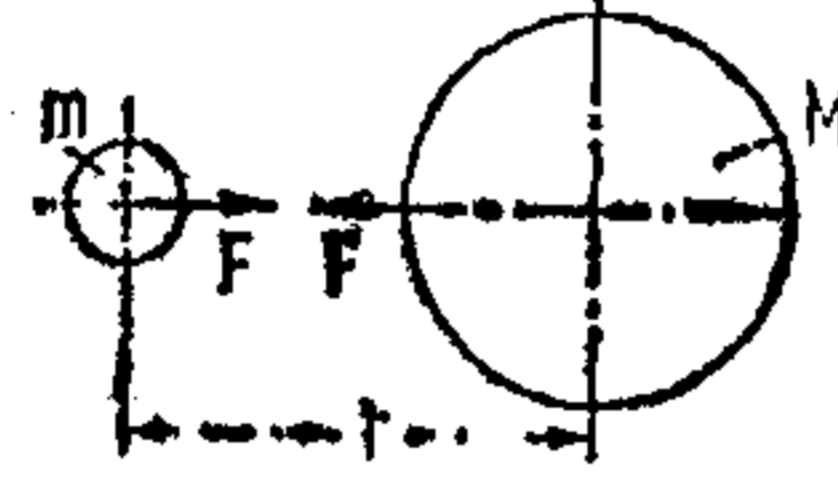
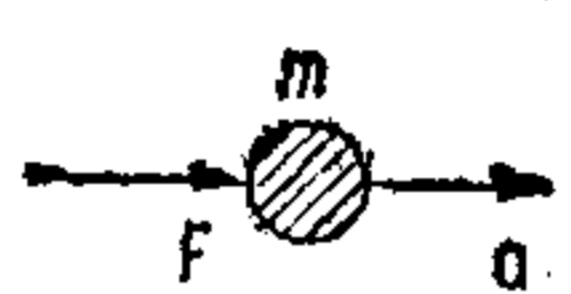
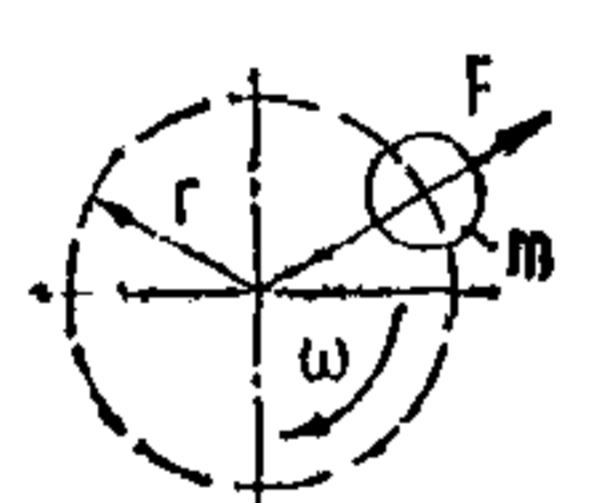
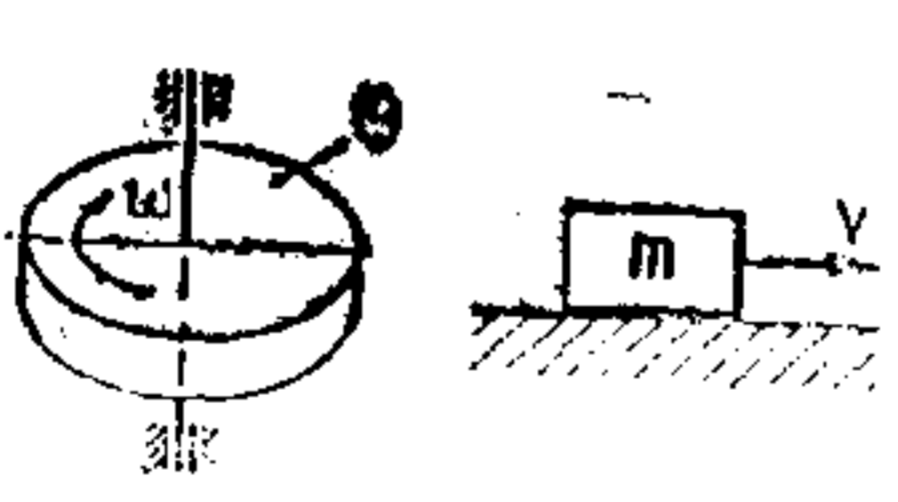
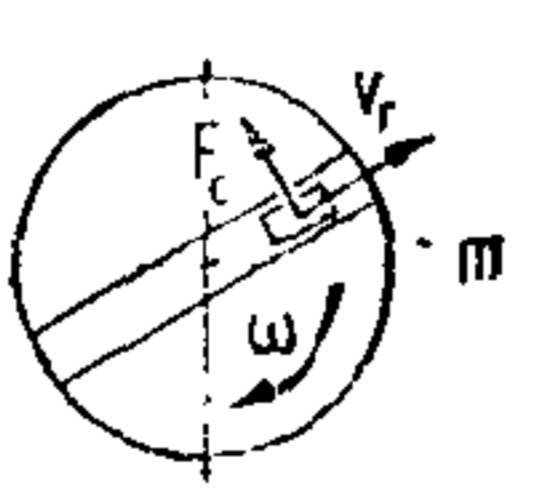
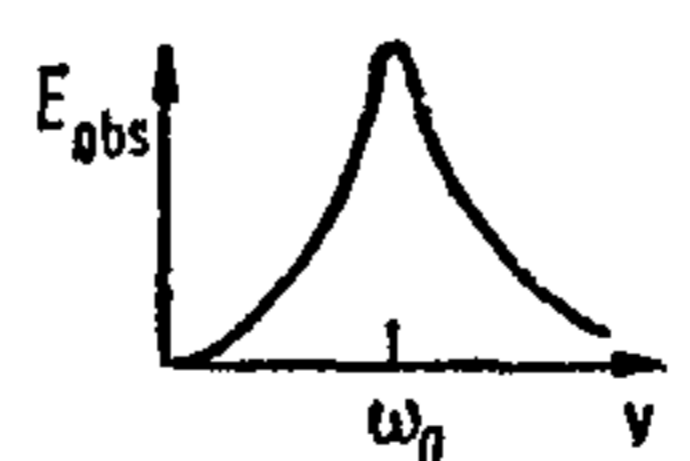
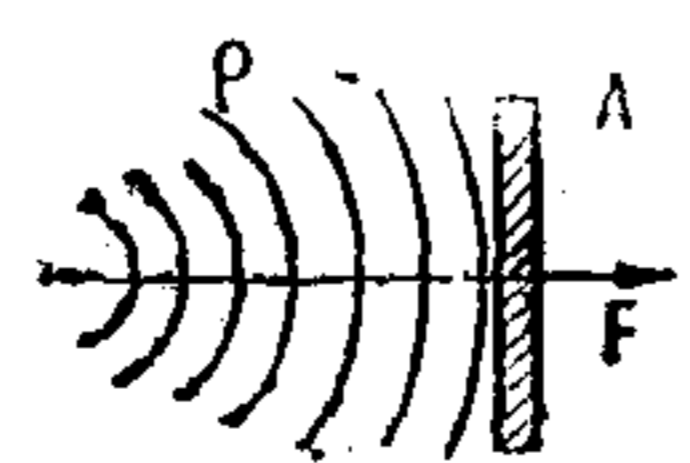
原理目录: 能量类型或信号类型的转变



原因	物理效应	定律	文献	应用实例
01.04 长度 横断面 体积	毛细管压力 	$p = \frac{2\sigma \cos \varphi}{r}$ $\sigma = \text{表面张力}$	[2.1], S. 419	油芯 毛细管
02.04 速度	能量守恒定律 	$E_{rot} = \Theta \frac{\omega^2}{2}$ $E_{kin} = m \frac{v^2}{2}$	[7.1], S. 269	飞轮
	科里奥利力 	$F_c = 2m\omega v_r$	[7.1], S. 263	弗廷格联轴器
	动量 	$F = \frac{d}{dt} (mv)$ $M = \frac{d}{dt} (\Theta\omega)$	[2.1], S. 84	火箭发动机 碰撞能量交换
	伯努利定律 	$\Delta p = \frac{\rho}{2} \Delta v^2$ $\Delta p = p_2 - p_1$ $\Delta v^2 = v_2^2 - v_1^2$	[2.1], S. 304	测速管 喷水泵
	涡流 	$F = cB^2 v \kappa$ $c = \text{结构常数}$ $\kappa = \text{电导值}$ $B = \text{磁感应强度}$	[40], S. 204	仪表阻尼 涡流制动器 转速表
	粘滞性 	$F = A\eta \frac{dv}{dh}$ $\eta = \text{动力粘度}$	[2.1], S. 319	液动压轴承 液体阻尼
	紊流 		[7.1], S. 310	
	(断面) 形状 浮力 	$F_L = c_L \frac{\rho}{2} v^2 A$ $A = \text{机翼面积}$ $c_L = \text{浮力系数}$	[7.1], S. 327	机翼 离心式压缩机

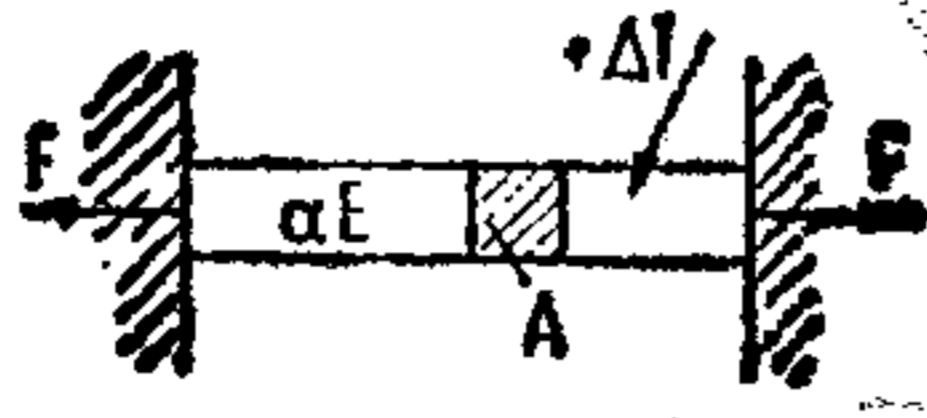
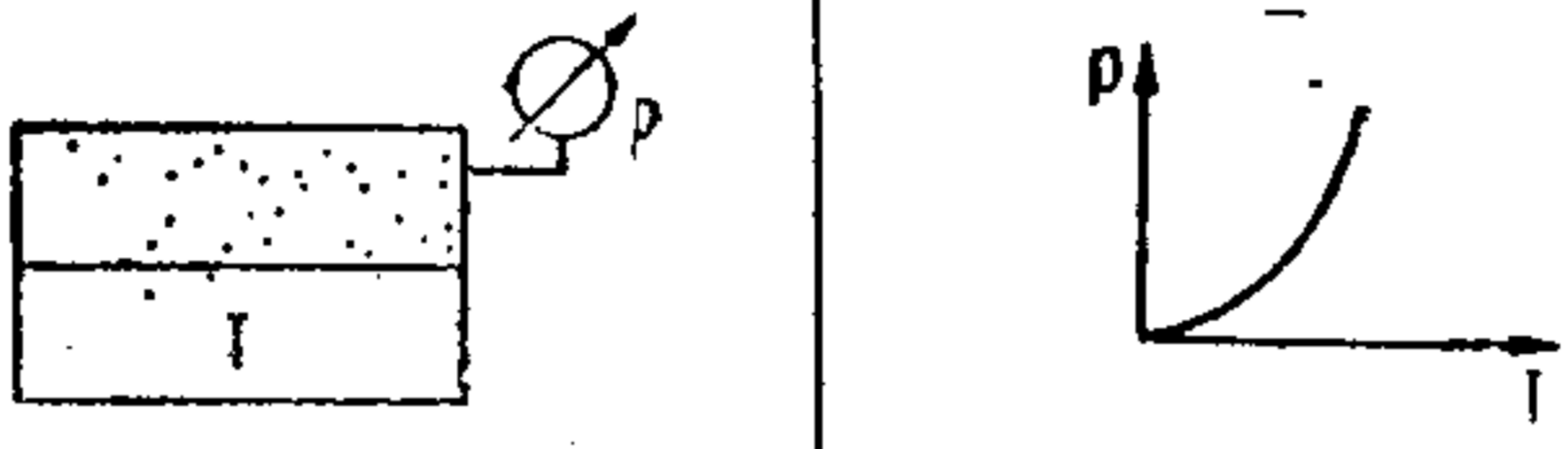
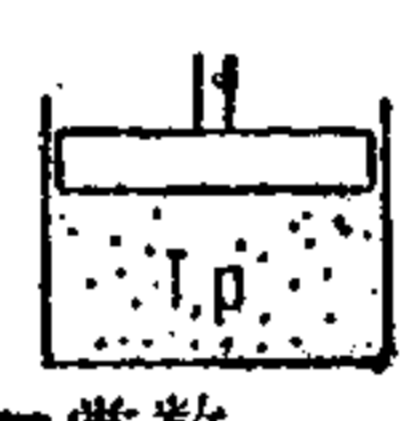
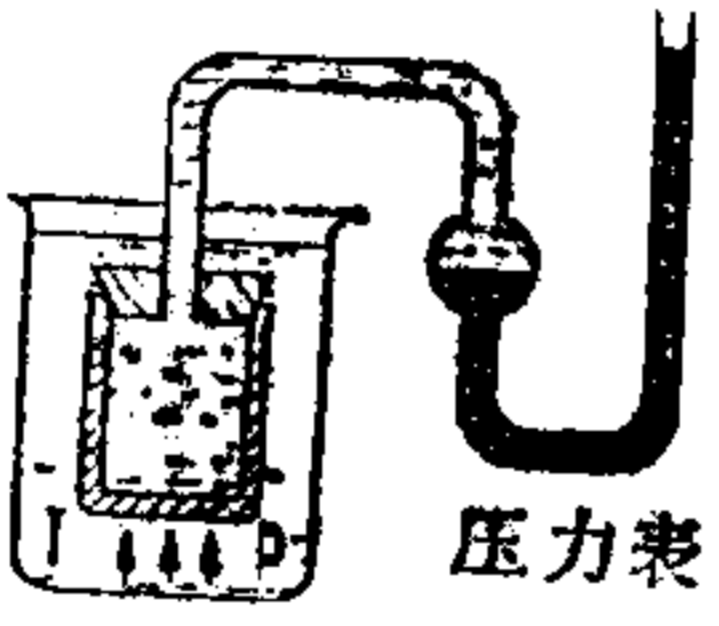
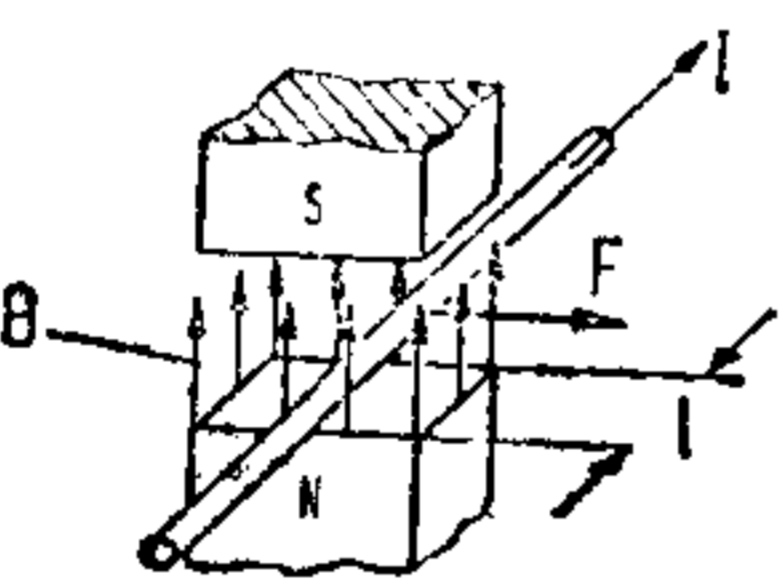
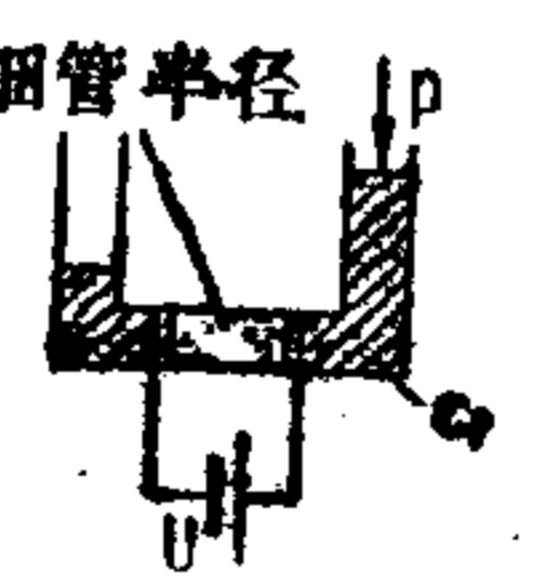
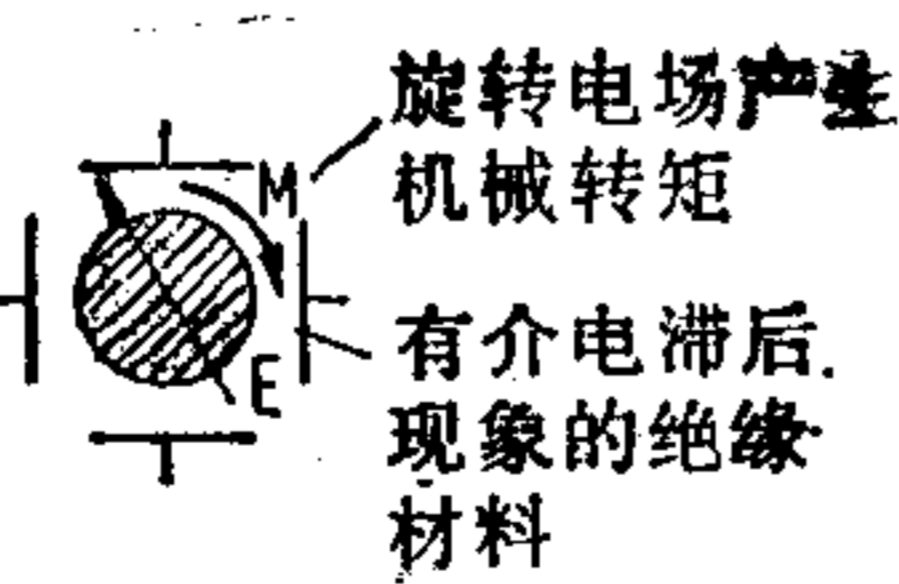
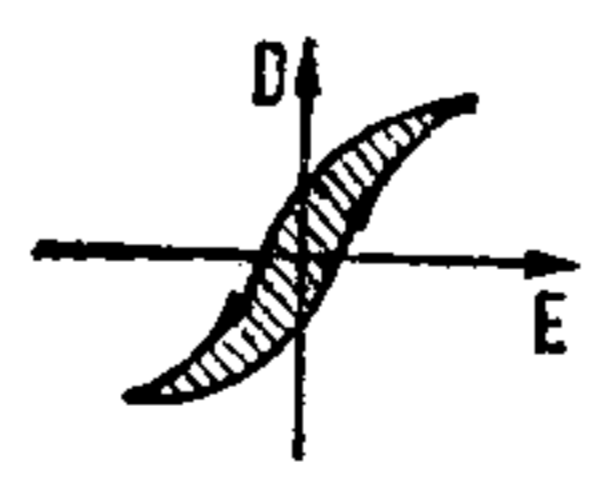
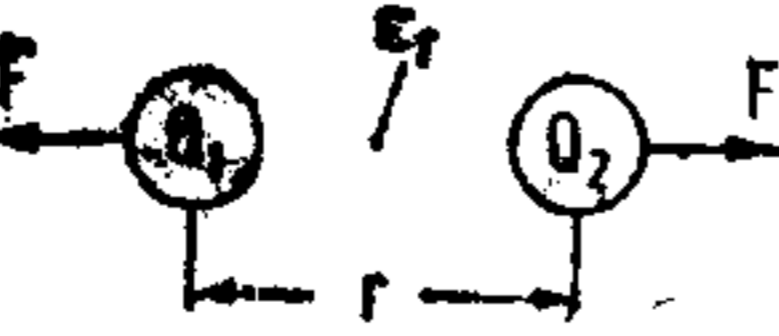
原理目录：能量类型或信号类型的转变



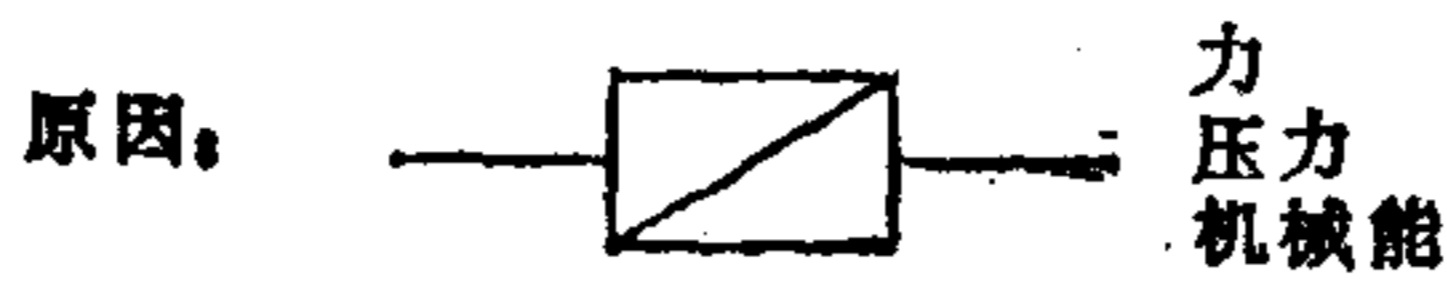
原因	物理效应	定律	文献	应用实例
02.04 速度	马格那斯效应 	$F = 2\pi\rho R^2\omega v l$	[2.1], S.316	船用动力装置 (弗莱特勒转 动机)
	流动阻力 	$F = \frac{\rho}{2}v^2 A \cdot c_w$ $c_w = \text{阻力系数}$	[7.1], S.304	降落伞 风速器
03.04 加速度	牛顿公理 	$F = ma$		
05.04 质量 惯性 比重	(万有) 引力 	$F = \frac{mM}{r^2}G$ $G = \text{(万有) 引力常数}$	[2.1], S.122	
	牛顿公理 	$F = ma$		
	离心力 	$F = m\omega^2 r$	[7.1], S.272	(机械) 平衡
	能量守恒定律 	$E_{rot} = \frac{I\omega^2}{2}$ $E_{kin} = m\frac{v^2}{2}$		
	科里奥利力 	$F = 2m\omega v_p$	[7.1], S.263	
06.04 时间 频率	共振吸收 可以振动的系统在其振频率 范围内具有高的能量吸收		[20]	减振器
07.04 机械波 (声)	声压 	$F = \rho^2 \frac{A}{2\rho c^2}$ $c = \text{声速}$		碳精(粒)传 声器

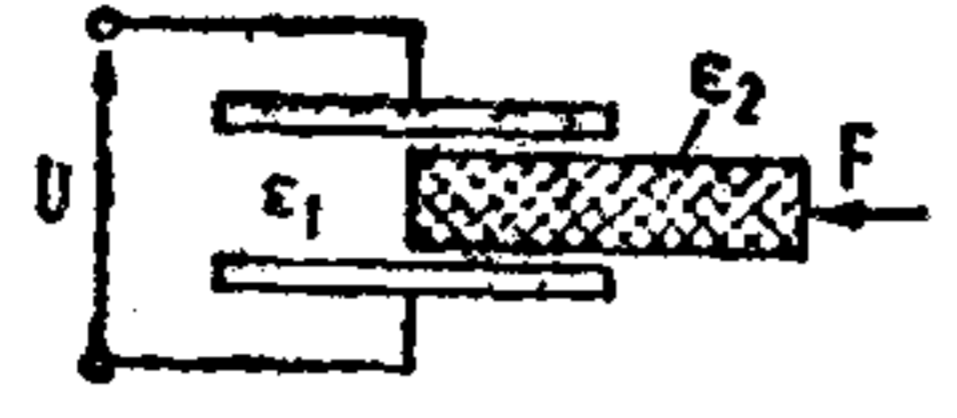
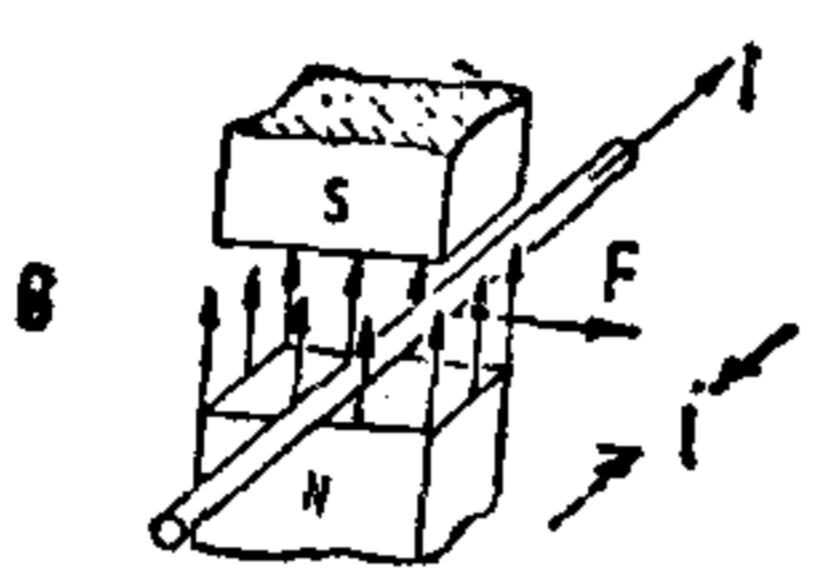
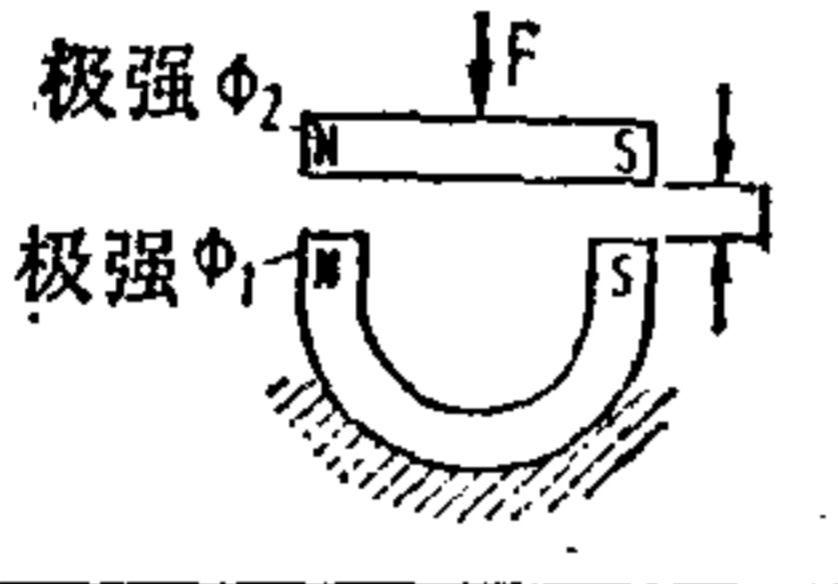
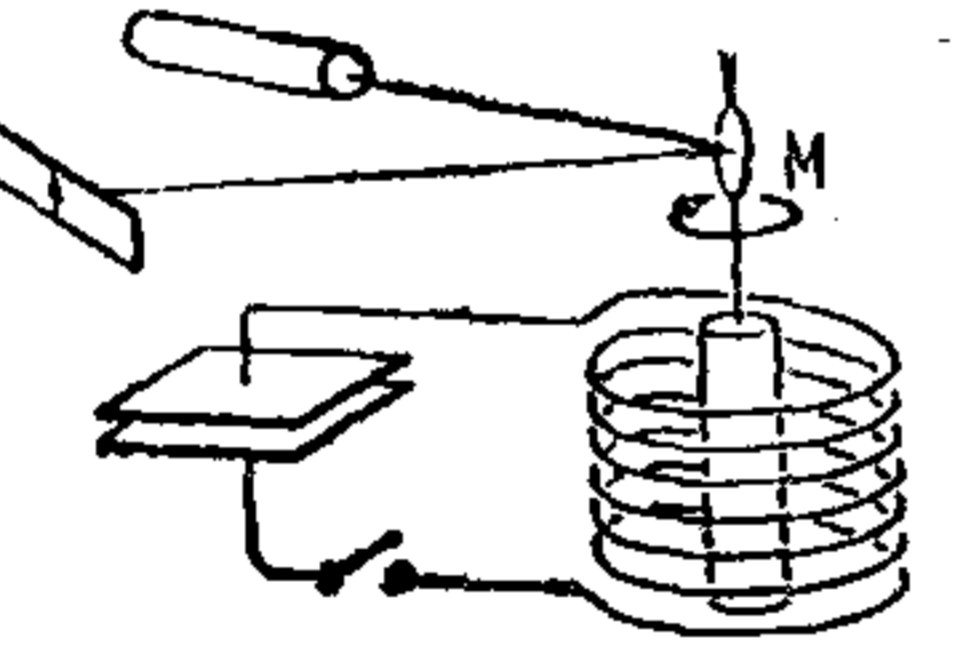
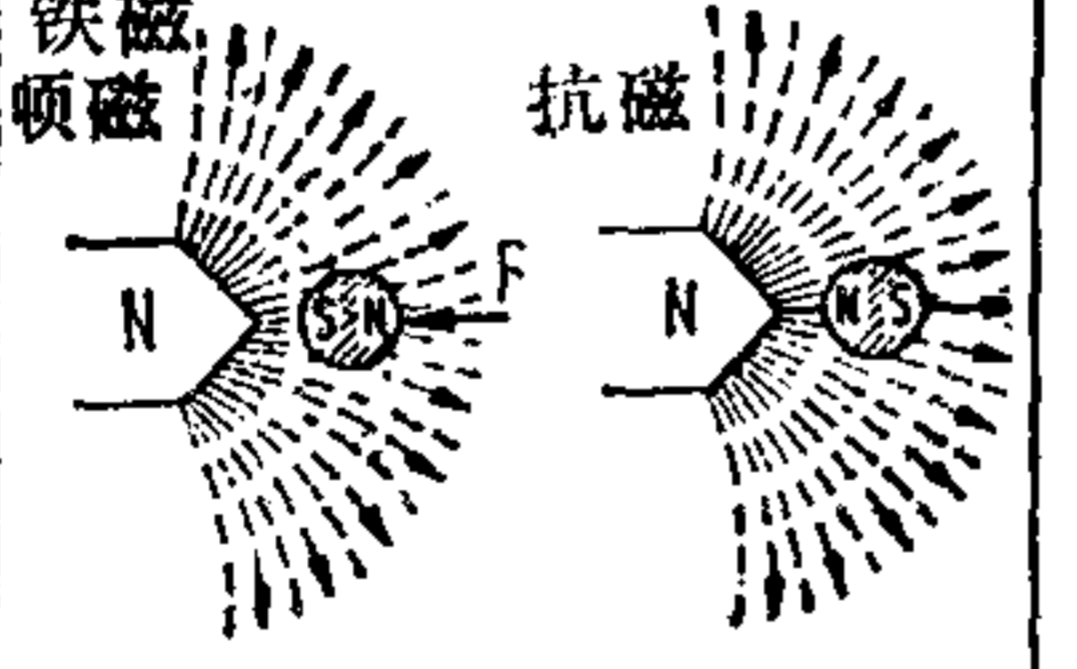
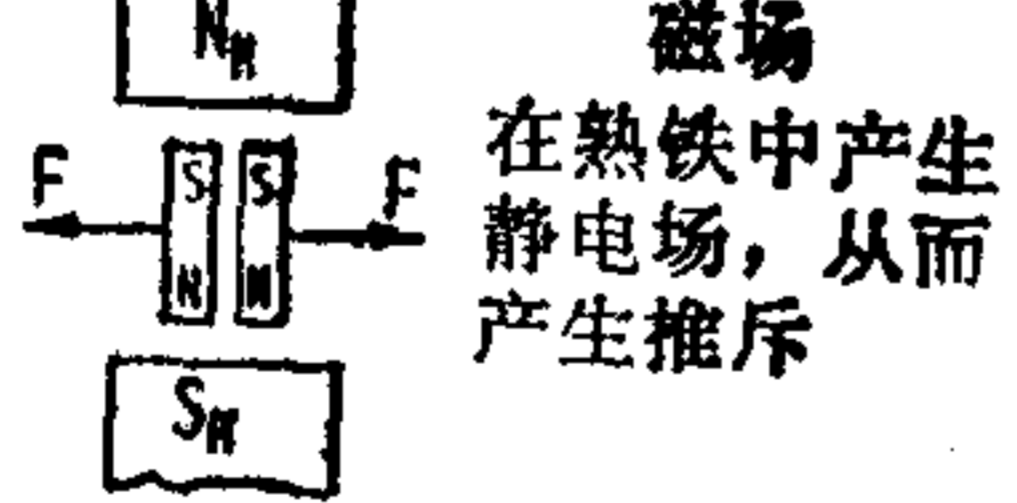
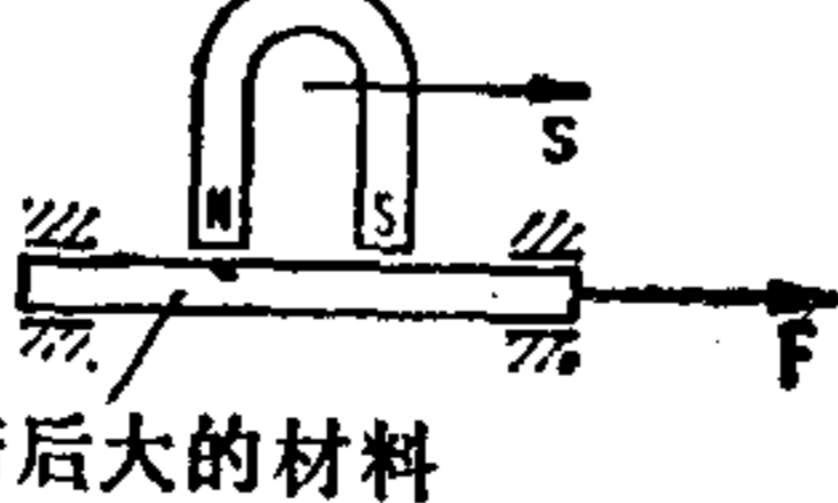
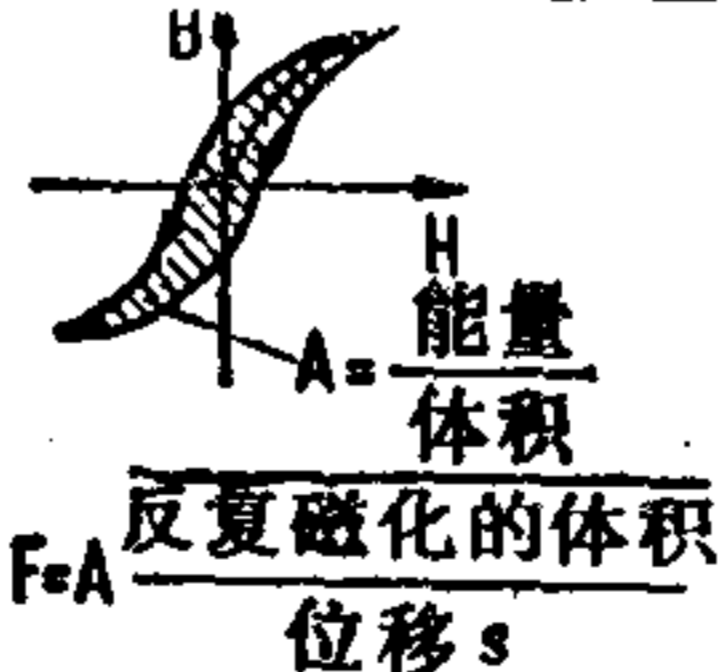
原理目录: 能量类型或信号类型的转变



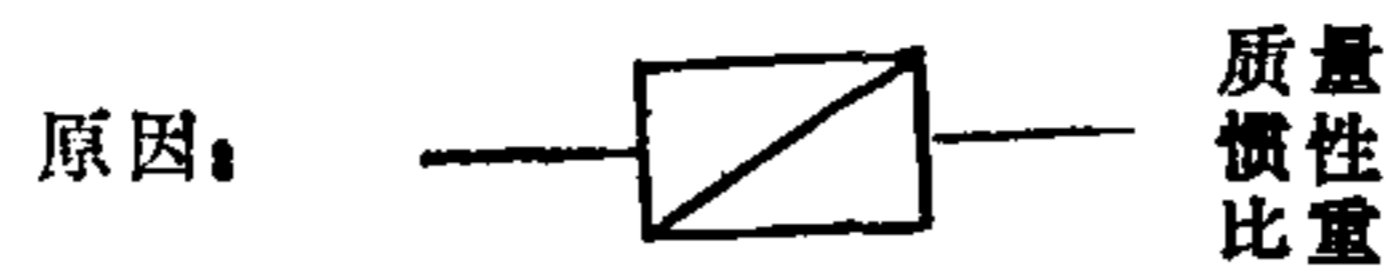
原因	物理效应	定律	文献	应用实例
08.04 温度 热	热膨胀 	$F = \alpha \cdot \Delta T \cdot E \cdot A$ $E = \text{弹性模量}$ $\alpha = \text{热膨胀系数}$		热压配合
	蒸汽压曲线 		[2.1], S.710 [25]	蒸汽锅炉
	表面张力 液体的表面张力随温度而降低 (通常只下降很少)	$F = 2\sigma l$ (参看01.04) $\sigma = f(T)$	[14.1], S.186	
	气体方程  $V = \text{常数}$	$p_2 = p_1 \frac{T_2}{T_1}$	[7.1], S.445	内燃机
	渗透压  压力表	$p = c \cdot R \cdot T$ $c = \text{自然常数}$ $R = \text{气体常数}$	[5], S.332	
10.04 电压 电流 电荷	毕奥-萨伐尔定律 	$F = I \cdot l \cdot B$	[11], S.223	电动机 扬声器 动圈式测量装置
	电动效应 $r = \text{毛细管半径}$ 	$p = \frac{8\zeta \epsilon_r \epsilon_0}{r^2} U$ $\zeta = \text{电动势}$ $\epsilon_r = \text{相对介电常数}$	[5], S.886	泵 (静电的)
	滞后  旋转电场产生 机械转矩 有介电滞后 现象的绝缘 材料		ATM 1974(Nov.) Blatt V 942-15 S.201	
	库伦定律 I 	$F = \frac{1}{\epsilon_0 \epsilon_r} \frac{Q_1 Q_2}{4\pi r^2}$ $\epsilon_r = \text{相对介电常数}$	[2.2], S.42 [28], S.238	静电测量仪表 静电绷紧纸张 约翰逊-拉珀 克效应

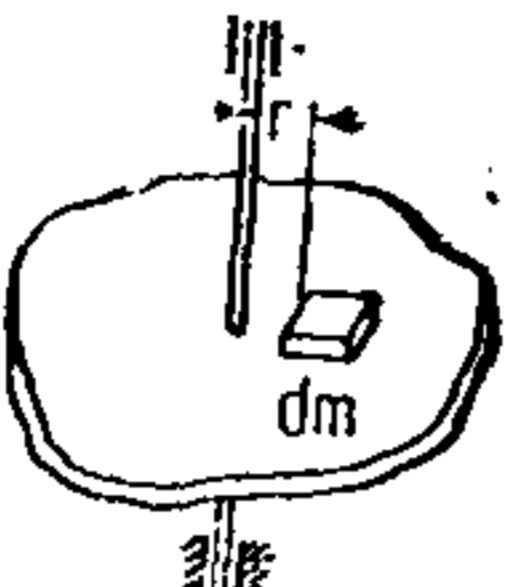
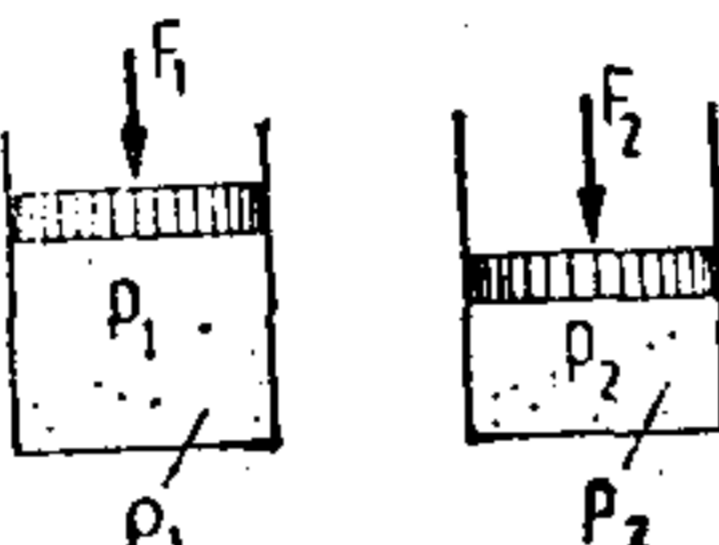

原理目录: 能量类型或信号类型的转变



原因	物理效应	定律	文献	应用实例
10.04 电压 电流 电场	相对介电常数 	$F = c \cdot U^2 (\epsilon_2 - \epsilon_1)$ $c = \text{结构常数}$	[11], S.191	静电电压表
12.04 磁场 电感	毕奥-萨伐尔定律 	$F = I \cdot l \cdot B$	[28], S.238	电动机
	库伦定律 I 	$F = c_M \cdot \frac{\phi_1 \cdot \phi_2}{l^2}$ $c_M = \frac{1}{4\pi \cdot \mu_0 \cdot \mu_p}$	[31], S.491	起重磁铁 轴承的磁卸载
	爱因斯坦-德哈斯效应 	铁磁体反复磁化产生动量矩	[11], S.241	由于这种效应的效果很差, 故至今还未应用于技术工程中
	铁磁、顺磁和抗磁 		[2.2], S.108	磁铁 磁选机 顺磁 O ₂ -测量
	静电感应  磁场在热铁中产生静电场, 从而产生排斥		[2.2], S.93	板材升降机 热铁安培表
	滞后  滞后大的材料	 $F = A \cdot \frac{\text{反复磁化的体积}}{\text{位移 } s}$	[2.2], S.209	滞后联轴器 滞后制动器
13.04 电磁波	辐射压 辐射对射中的物体有压力		[11], S.392	由于这种效应的效果很差, 故至今还未应用于工程技术中

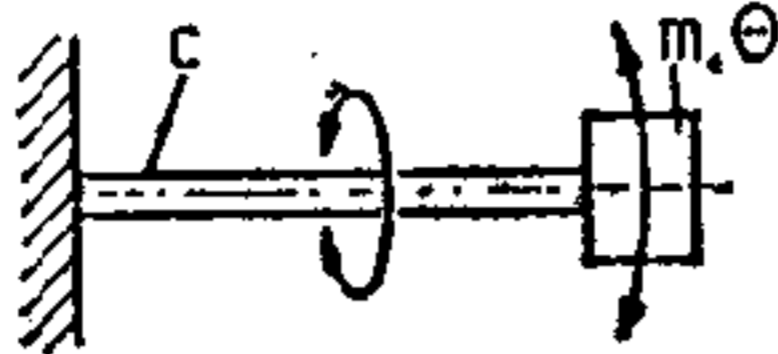
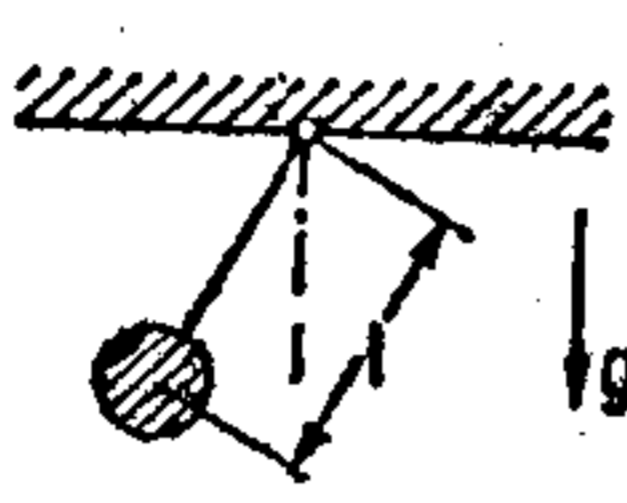
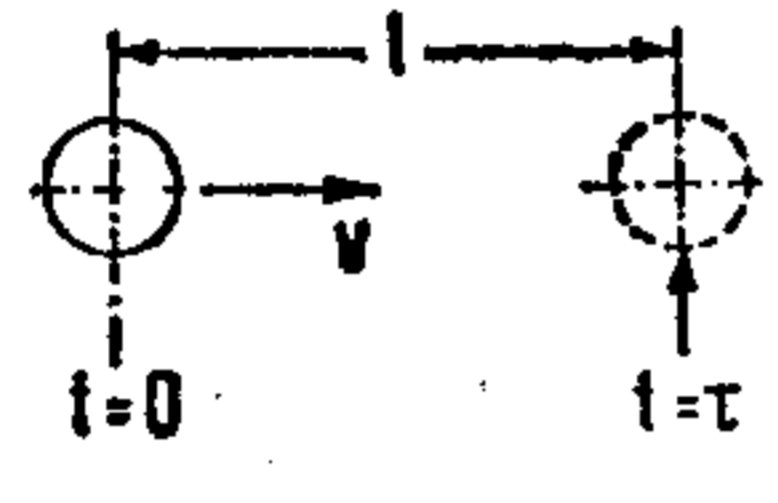
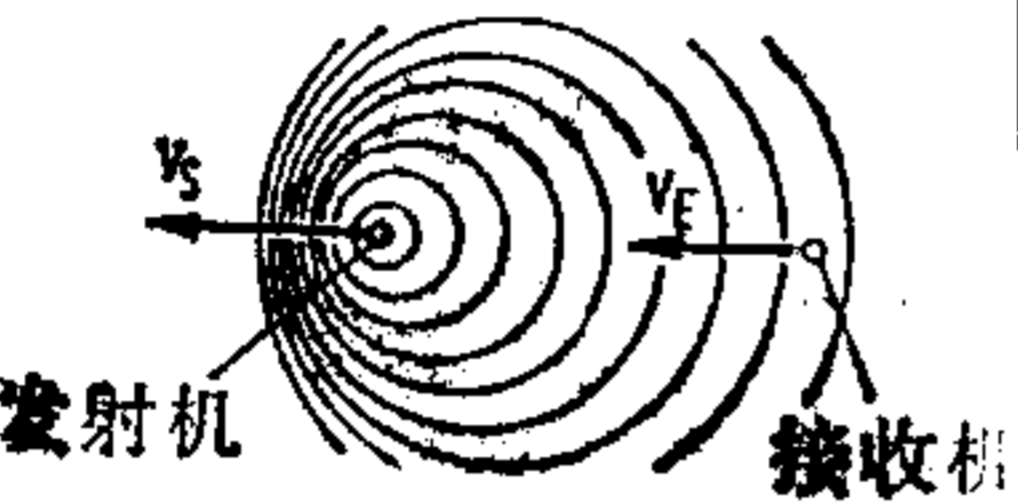
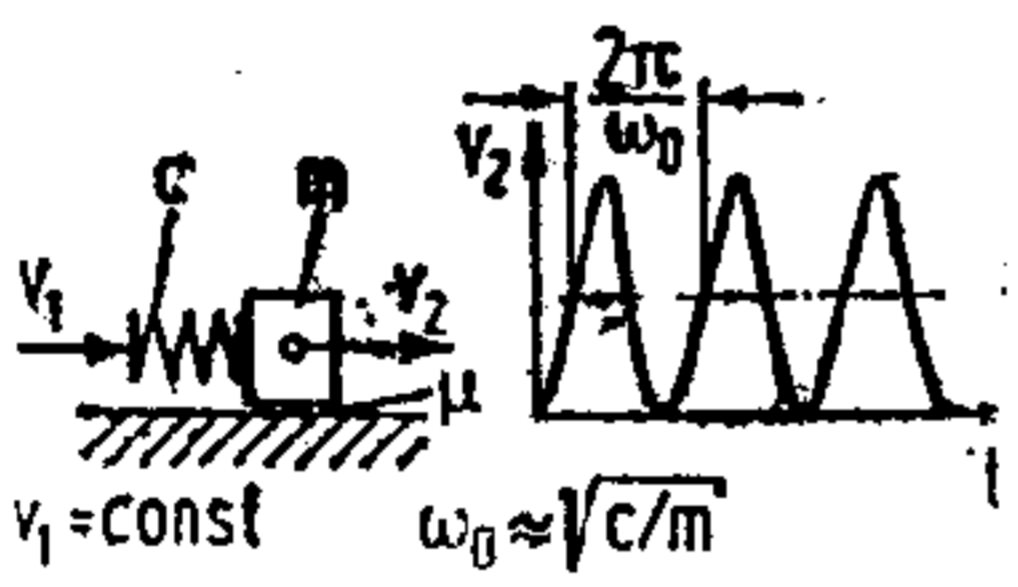
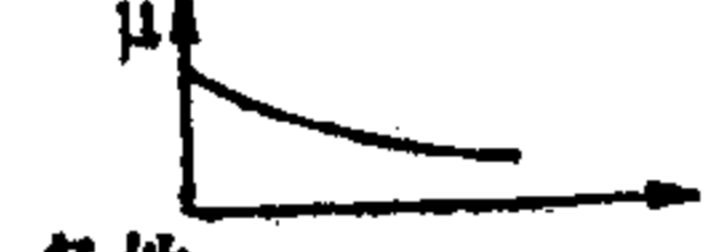
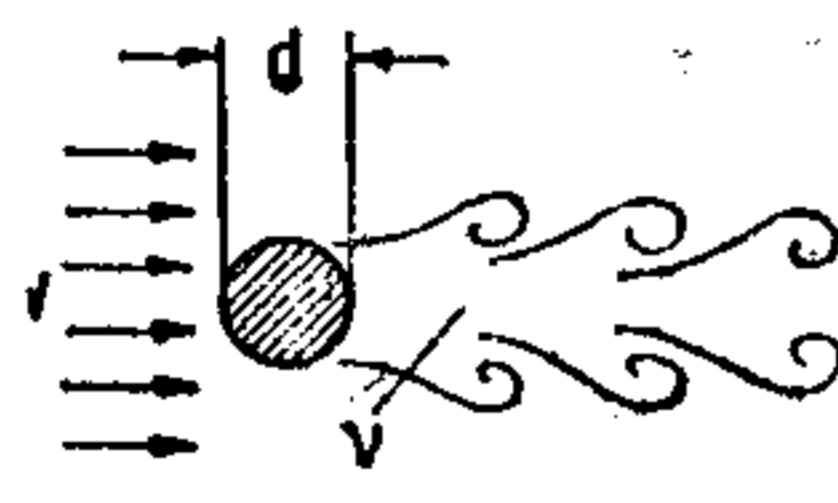
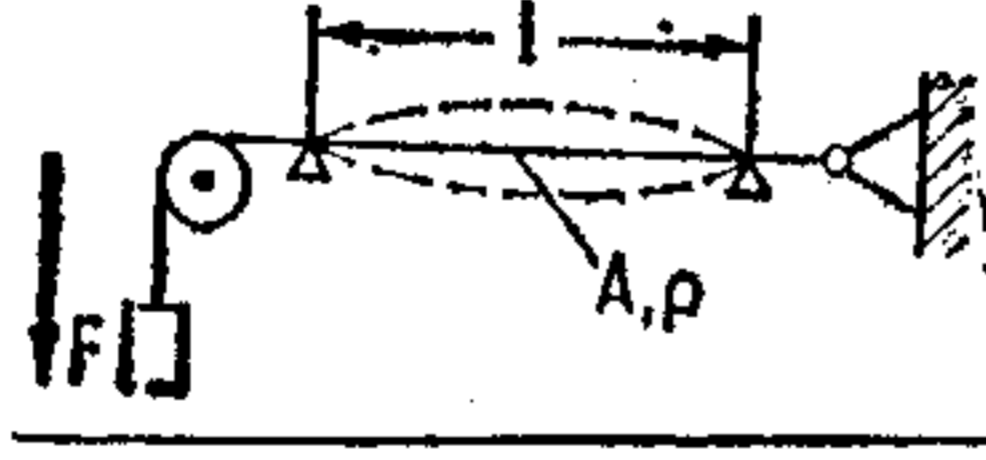
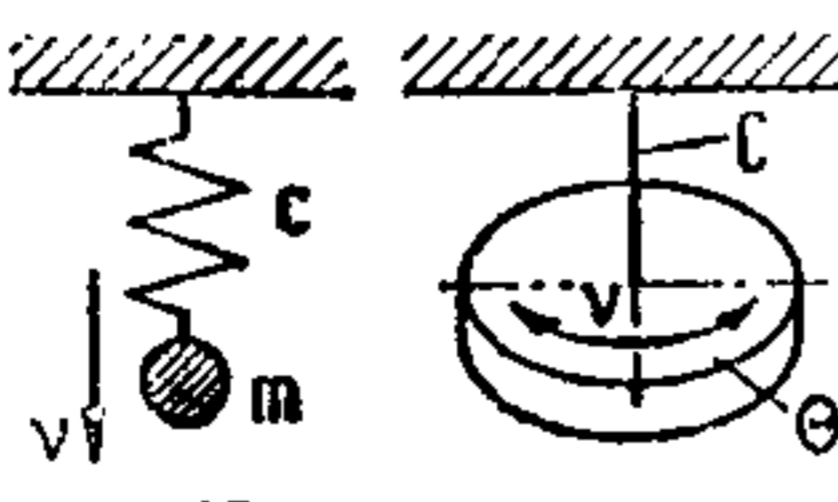
原理目录：能量类型或信号类型的转变



原因	物理效应	定律	文献	应用实例
01.05 长度 横断面 体积	质量与回转 中心的距离 	$\theta = \int r^2 dm$	[7.1], S.269	飞轮
04.05 力 压力 机械能	玻意耳-马 略奥特定律 	$\rho_2 = \rho_1 \frac{p_2}{p_1}$	[2.1], S.273	
08.05 温度 热	一般气体方 程(等压的) 	$\rho = \frac{p}{R \cdot T}$ $R = \text{一般气体常数}$	[7.1], S.445	

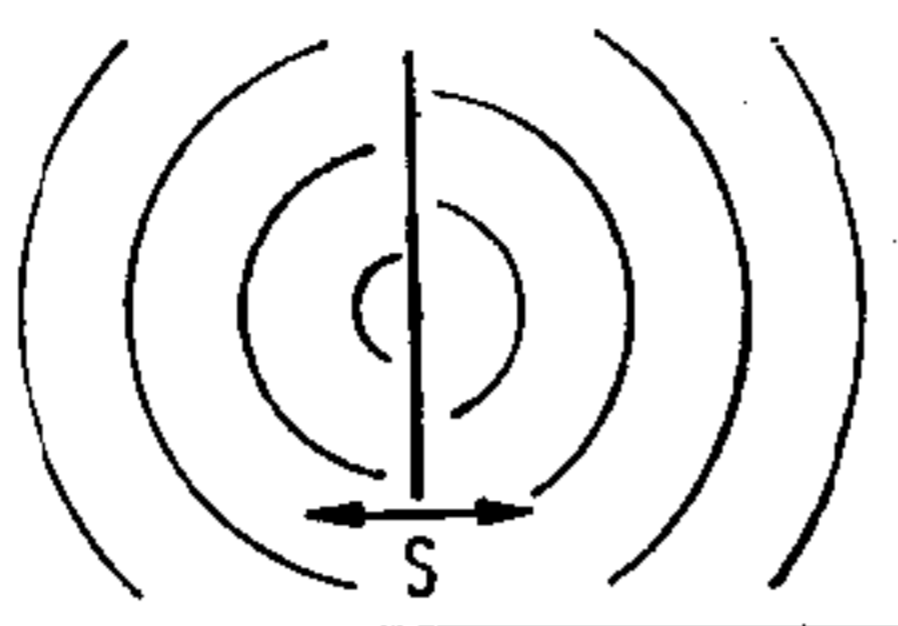
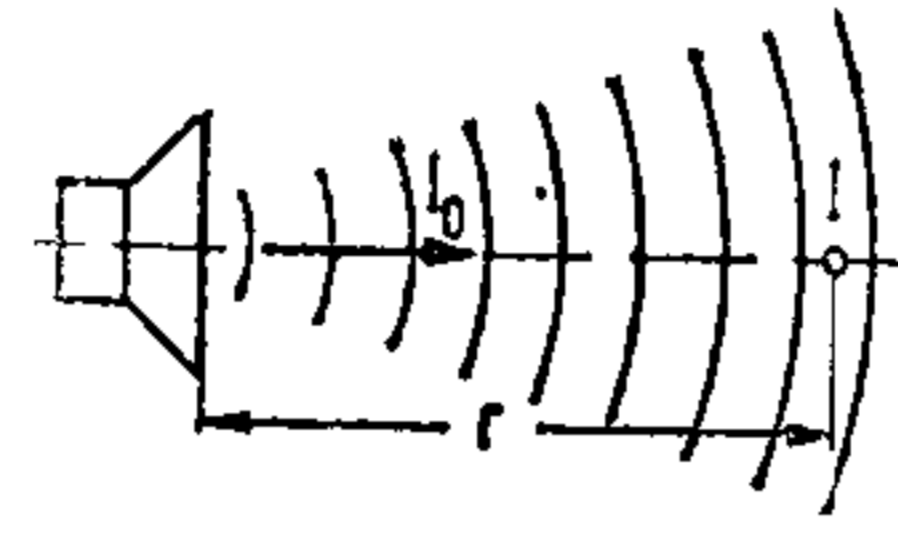
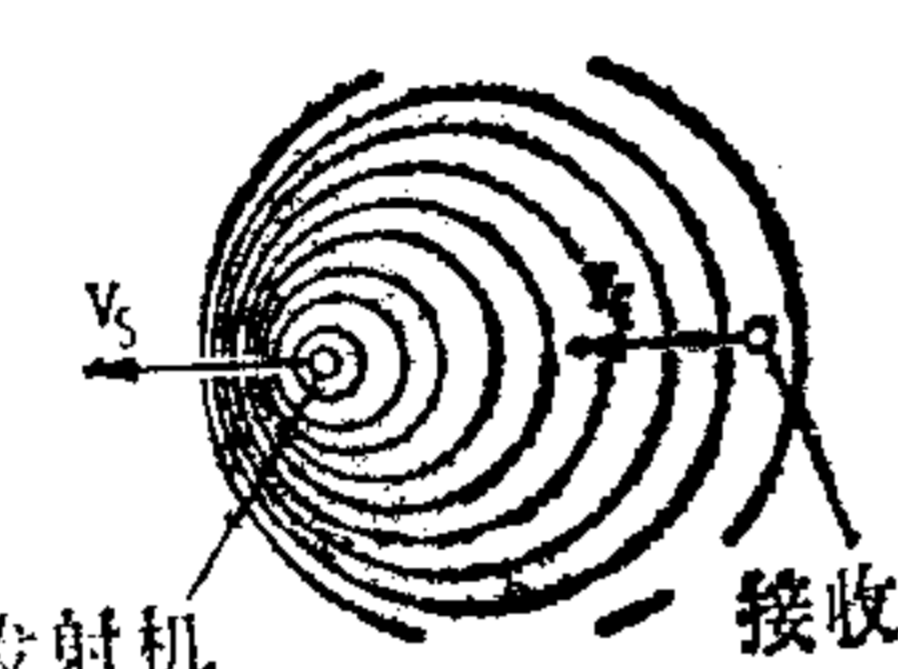
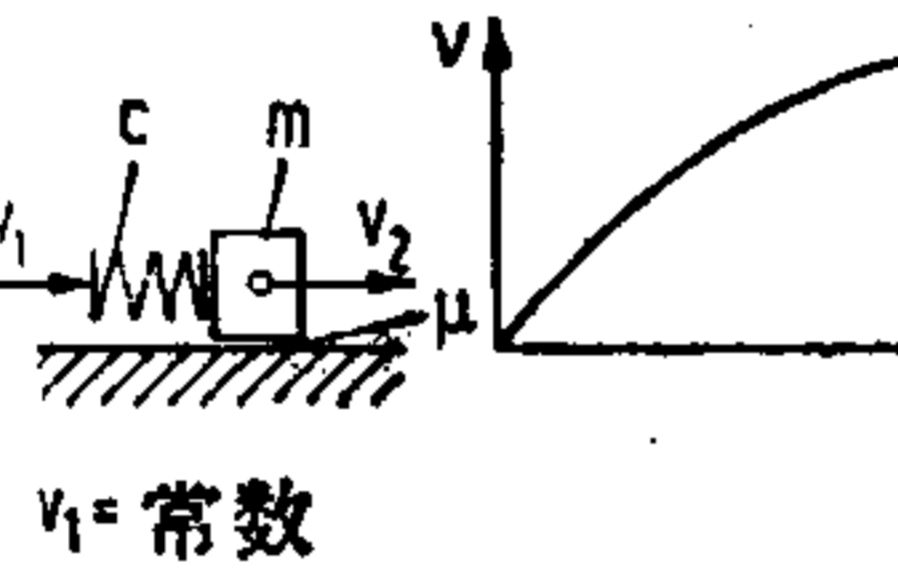

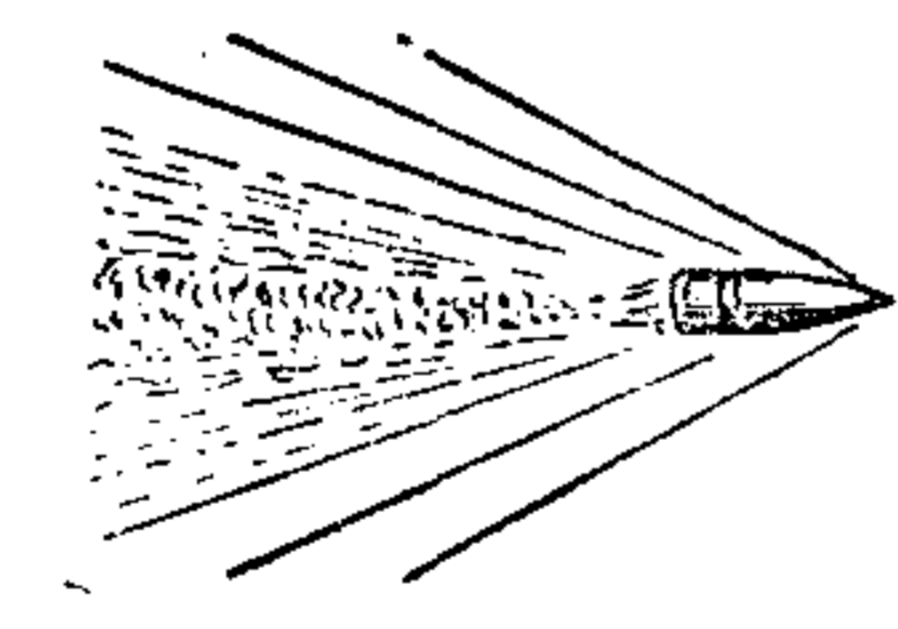
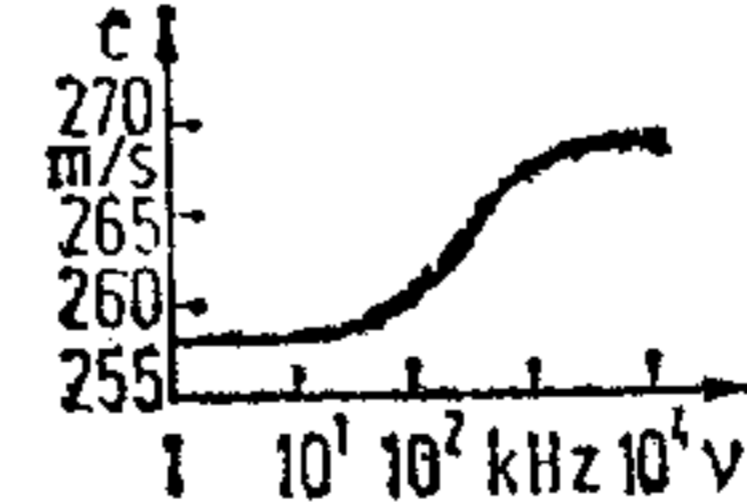
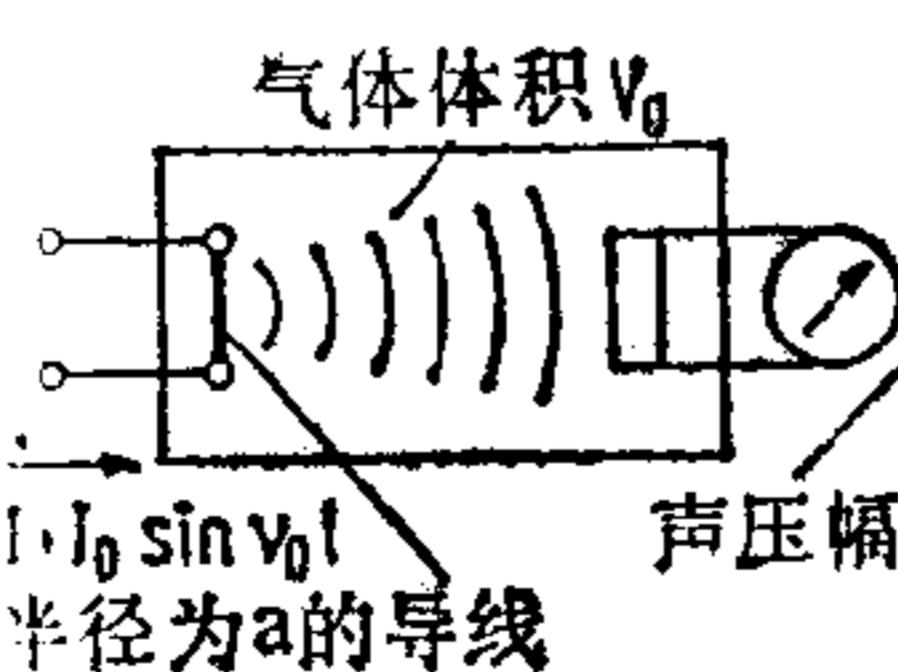
原理目录：能量类型或信号类型的转变



原因	物理效应	定律	文献	应用实例
01.06 长度 横断面 体积	弹性	 $\omega_0 = \sqrt{c/m}$ $\omega_0 = \sqrt{c/\Theta}$ c = 与尺寸有关的弹簧刚度	[7.1], S.288	簧片式频率计 调音叉
	重力	 $\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{g/l}$ 例如数学摆	[2.1], S.162	摆式钟
	渡越时间效应	 $\tau = \frac{l}{v}$		超声波测厚 回波探测 雷达
02.06 速度	多普勒效应	 $v_H = v_B \frac{1+v_H/c}{1+v_B/c}$ c = 声速	[31], S.289	速度测定
	爬行效应	 $v_1 = \text{const}$ $\omega_0 \approx \sqrt{c/m}$	 条件： 1. 振荡系统 2. $dv/dv < 0$	小提琴弦
	涡流线	 $\nu = 0.185 \frac{v}{d}$ $\nu = \text{涡流分离频率}$	[2.1], S.530	测定流速
04.06 力 压力 机械能	弦	 $\nu = \frac{1}{2l} \sqrt{F/A\rho}$	[2.1], S.505	弦乐器的调频
05.06 质量 惯性矩 比重	固有频率		[7.1], S.281	质量或惯性力矩的动力测定
08.06 温度 热	固有频率 (石英)	石英振荡的固有频率在相应的晶体断面时，随温度而有很大变化	VD1-Z 1970 Nr.1 S.14	石英-温度传感器
10.06 电压 电流 电场	约瑟夫森效应	在低温范围内利用约瑟夫森元件可使直流电压U转变为高频	$\omega = \frac{2eU}{h}$	[2.2], S.520 发射机 接收机 参量放大器

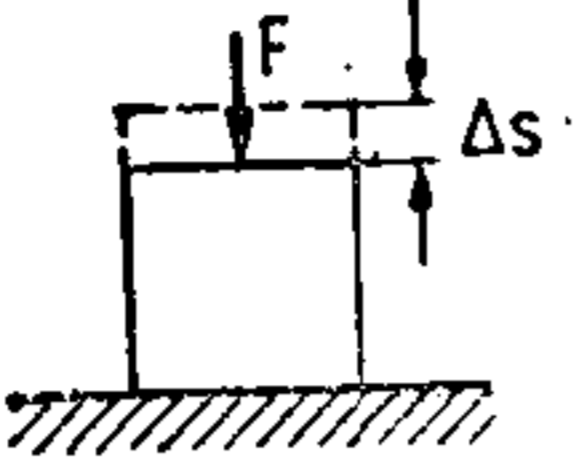
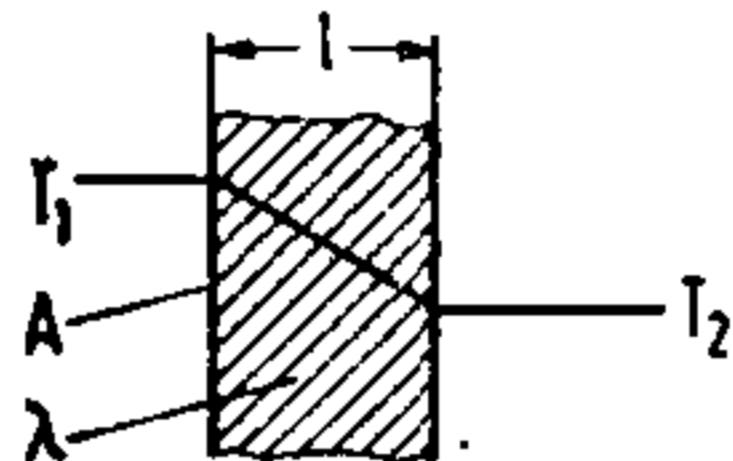
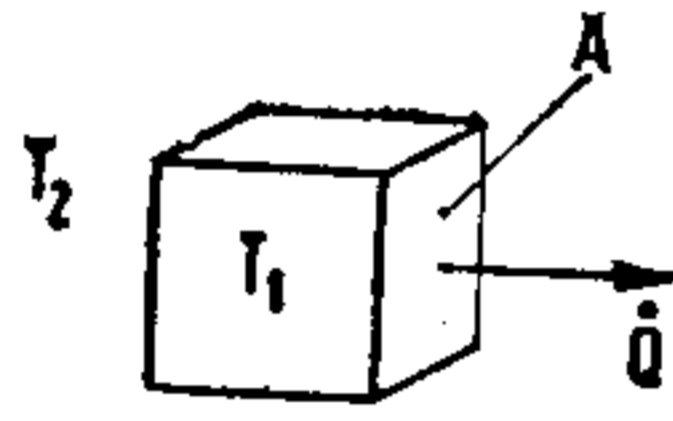
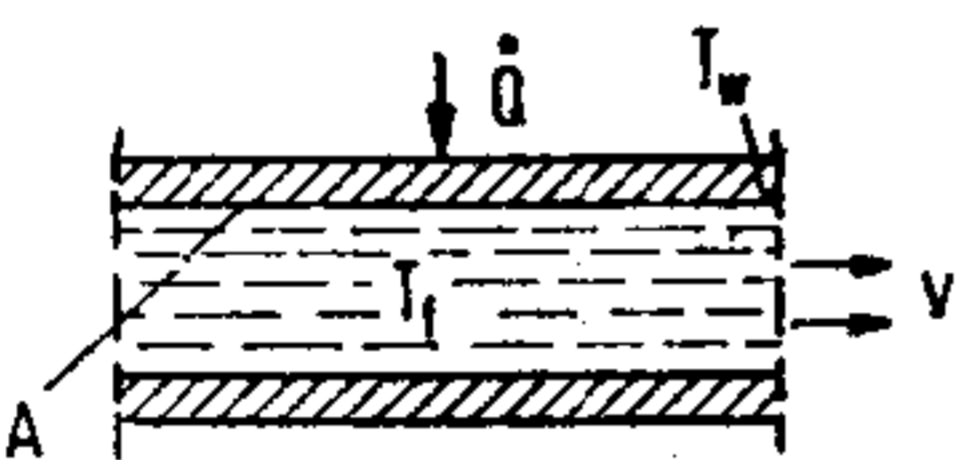
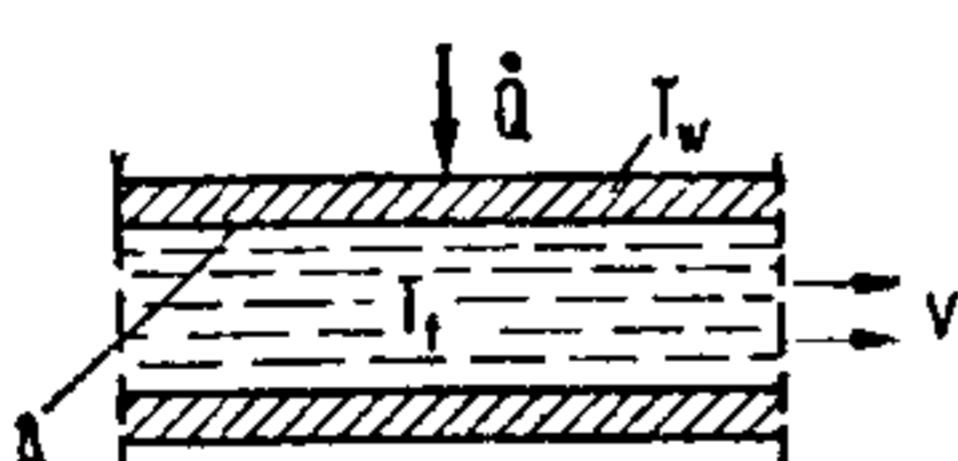
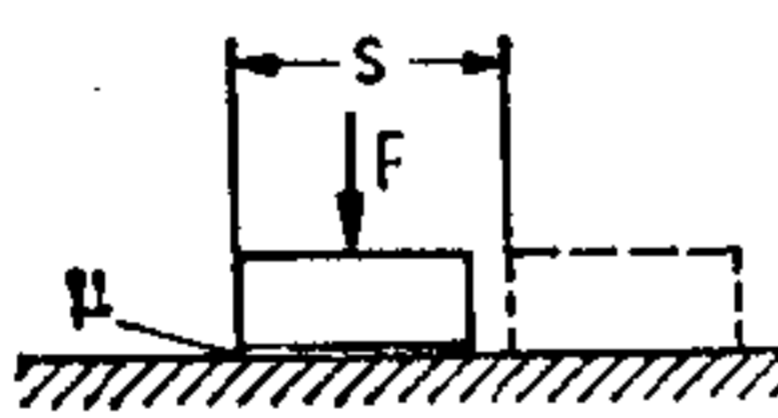
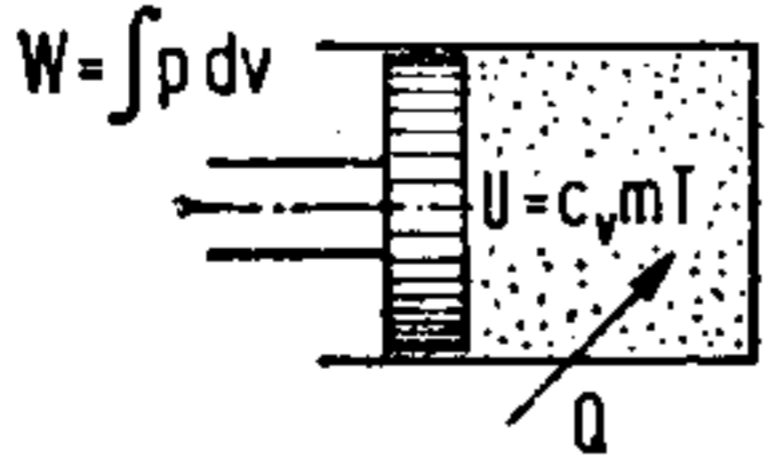
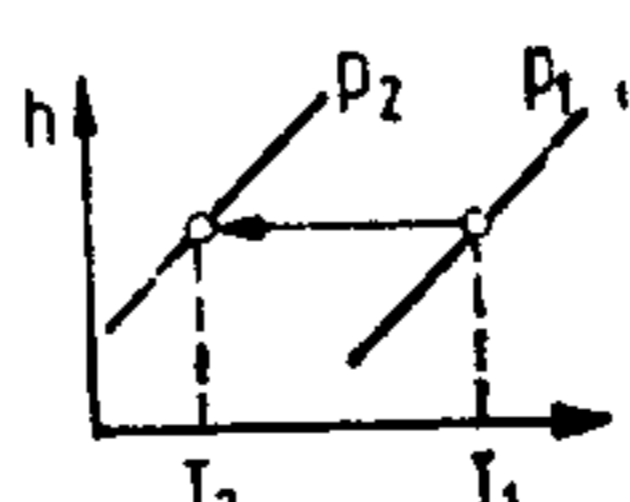
原理目录：能量类型或信号类型的转变



原因	物理效应	定律	文献	应用实例
01.07 长度 体积	机械长度 变化			[2.1], S.530 扬声器
	消声		$I = I_0 e^{-mr}$ $m = \text{吸收系数}$	[2.1], S.503 声衰减
02.07 速度	多普勒效应		$v_{\text{观}} = v_{\text{源}} \frac{1 + v_{\text{观}}/c}{1 + v_{\text{源}}/c}$ $c = \text{声速}$	[31], S.289 速度测定
	爬行效应	 $v_1 = \text{常数}$	对小的 v_1 : $v = kv$ $k = \text{系统常数}$	
04.07 力 压力 机械能	爬行效应			弦乐器 弗鲁德摆
	压力波			[2.1], S.495 冲击波
06.07 时间 频率	频散	介质中机械波随频率而变的渡越时间  例如: CO ₂ 中的声波	[2.1], S.493	
10.07 电压 电流 电场	热致发生器	 $i = I_0 \sin v_0 t$ 声压幅度 半径为a的导线	$p_0 = \frac{11.4 I \cdot I_0 \cdot R}{a^2 \cdot v_0 \cdot \varphi}$ $R = \text{线绕电阻}$ $\varphi = \text{系统常数}$	[8], S.550 消声器的校准 仪器

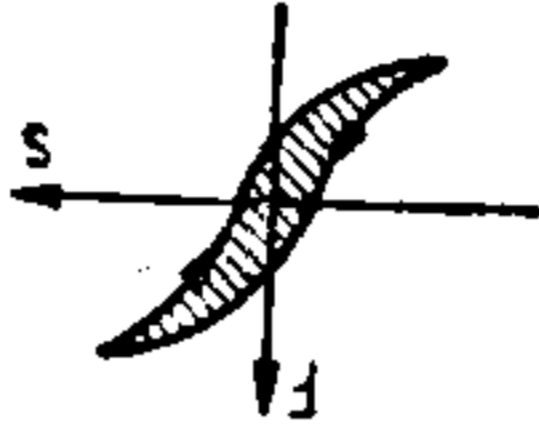
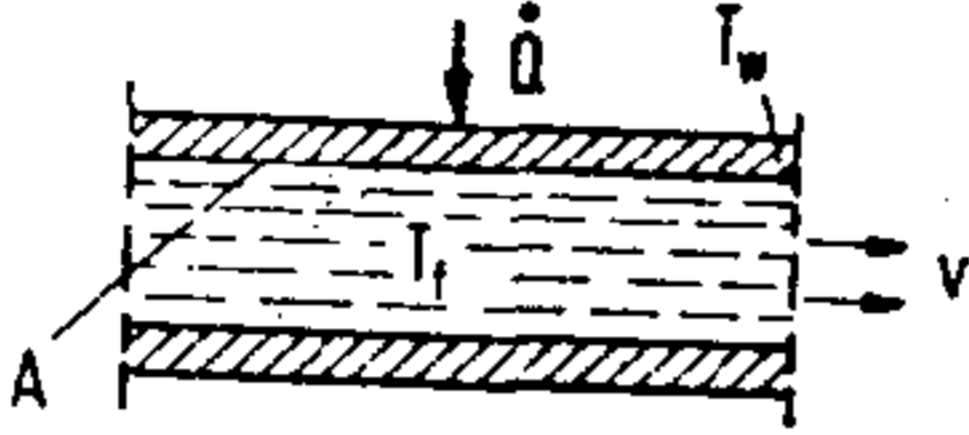
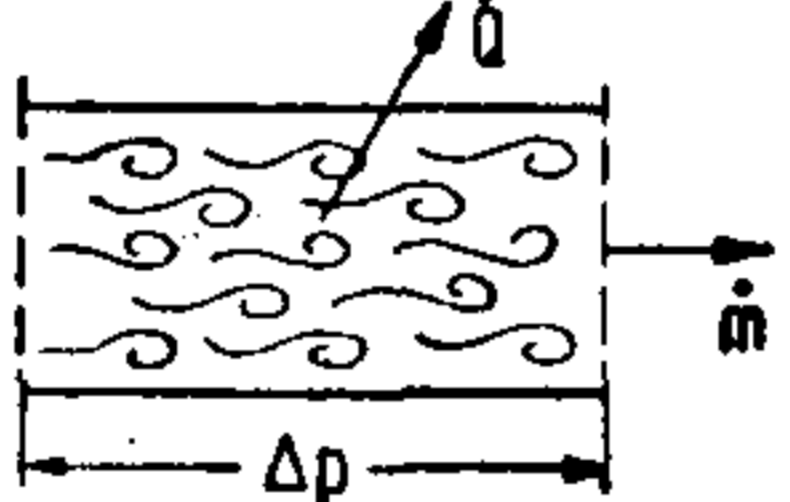
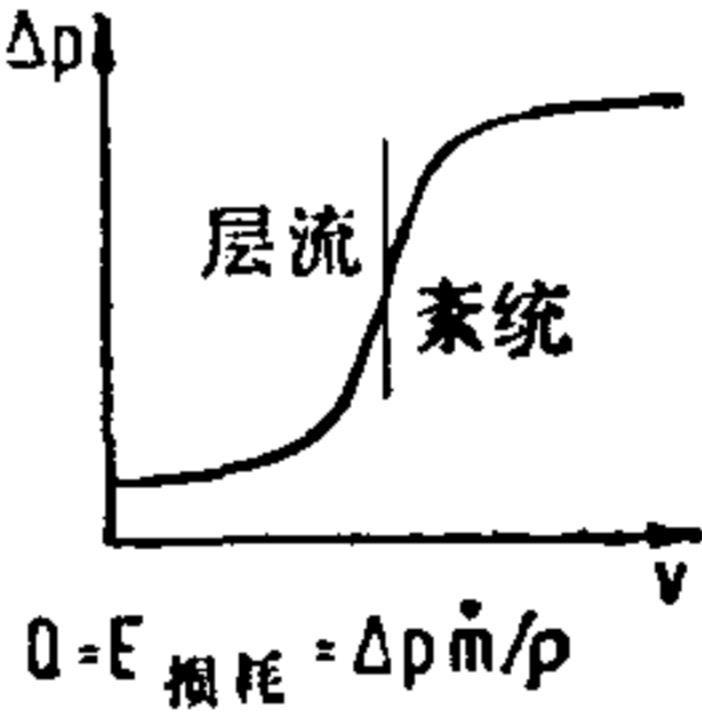
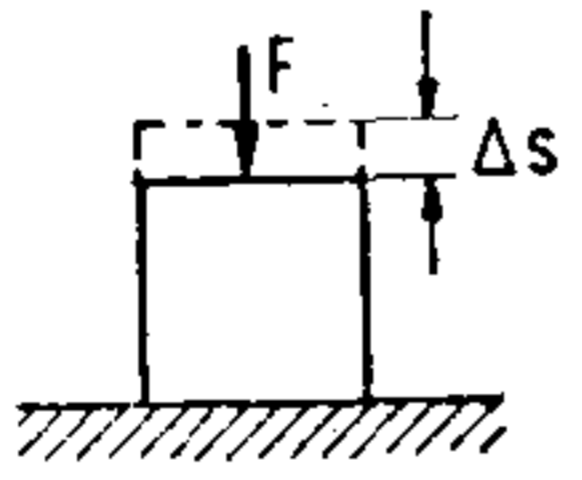
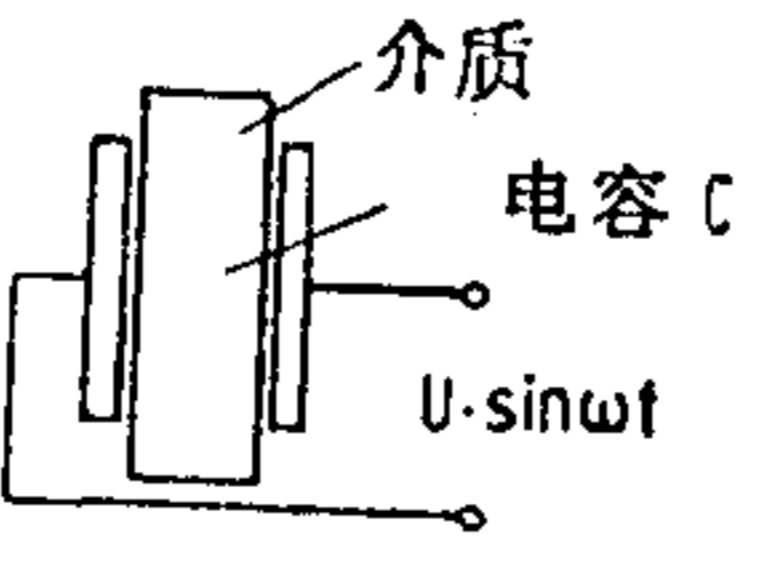
原理目录：能量类型或信号类型的转变



原因	物理效应	定律	文献	应用实例	
01.08 长度 横断面 体积	塑性变形		$Q = W = \int F ds$	[14.1], S.168	
	热传导		$\dot{Q} = A \frac{\lambda}{l} (T_1 - T_2)$	[7.1], S.479	热绝缘
	辐射		$\dot{Q} = cA \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$ $c = \text{辐射常数}$	[7.1], S.477	确定加热面的尺寸
	对流		$\dot{Q} = \alpha A (T_w - T_f)$ $\alpha = \text{传热系数}$	[14.1], S.386	确定热交换器的尺寸
02.08 速度	对流		$\dot{Q} = \alpha A (T_w - T_f)$ $\alpha = f(v)$	[14.1], S.386	流速计 热风机 冷却通风机
04.08 力 压力 机械能	摩擦		$Q = W = \mu Fs$	[7.1], S.229	摩擦焊接
	第一基本定律		$\Delta Q = \Delta U - \Delta W$ $U = \text{内在能}$ $W = \text{功}$	[1], S.66	热机、发动机和作功机械
	汤姆逊-焦耳效应	热含量 h 不变时，实际气体在节流时产生温度变化		[1], S.187 [2.1], S.673	空气液化(林德)

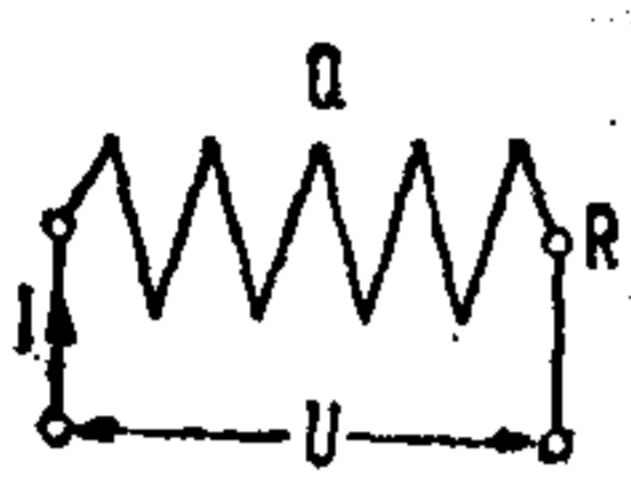
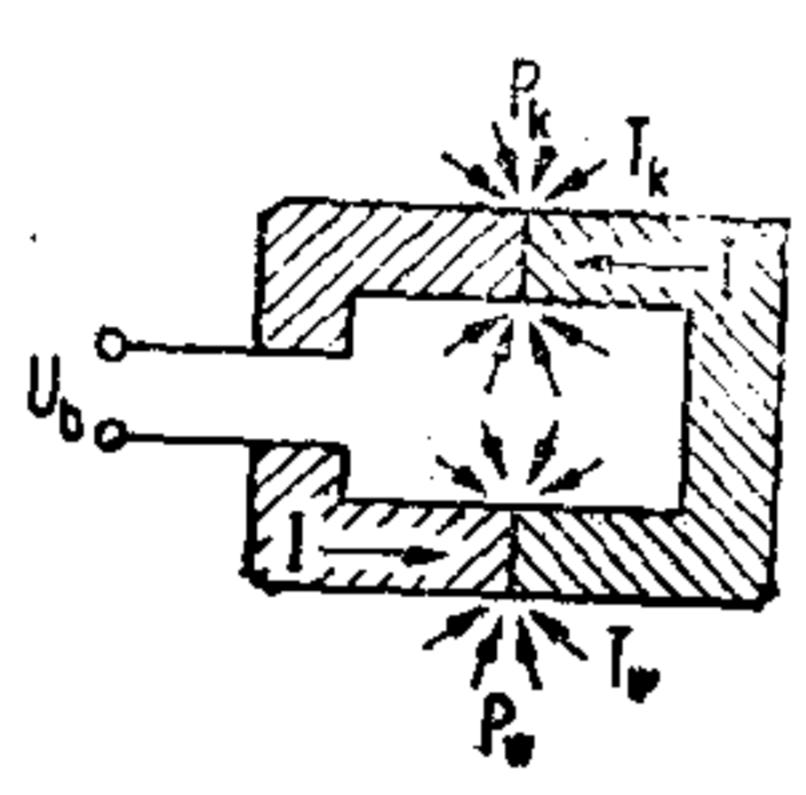
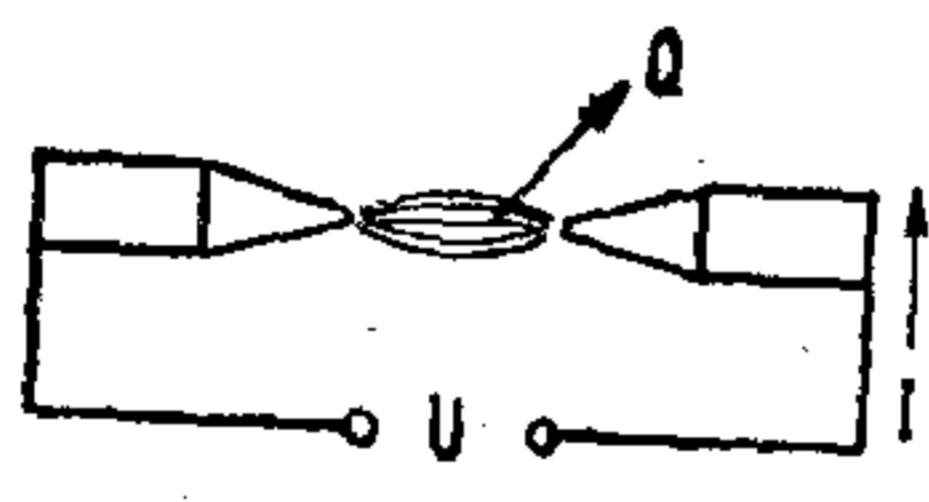
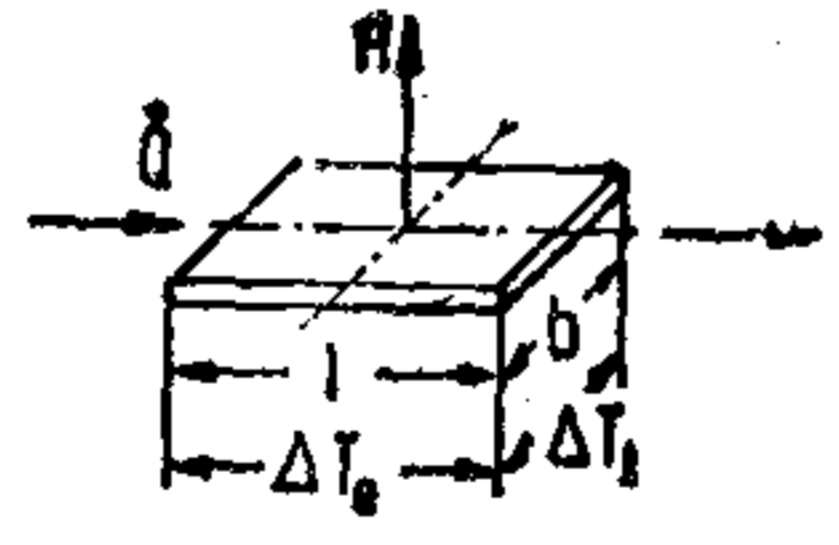
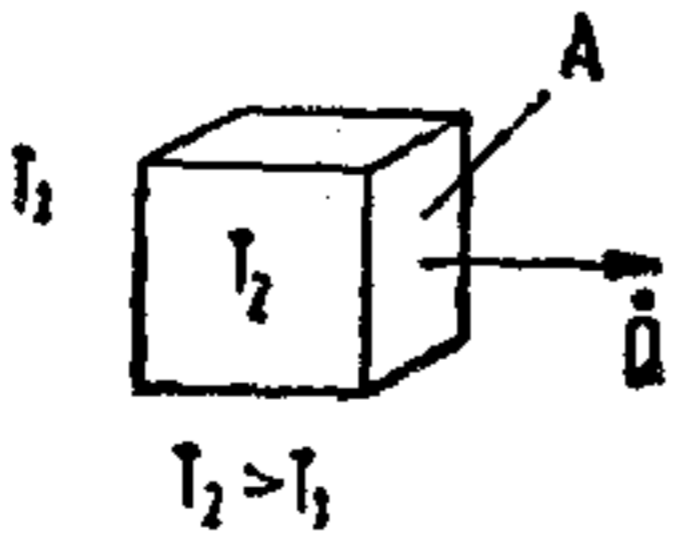
原理目录：能量类型或信号类型的转变



原因	物理效应	定律	文献	应用实例	
04.08 力 压力 机械能	滞后		$Q_s = \oint F ds$ $Q_s =$ 每一循环产生的热量	[2.1], S.251 超声波焊接	
	对流		$\dot{Q} = \alpha A (T_w - T_f)$ 当气体: $\alpha = f(p)$ 时	[8], S.212 气压计(真空)	
	涡流	在穿过磁场 B 运动(v) 的导电(κ)体中,由于涡流 而产生热	$\dot{Q} = \text{const} \cdot B^2 v^2 \kappa$	[30], S.408	
	紊流		 $Q = E_{\text{损耗}} = \Delta p \dot{m} / \rho$	[7.1], S.310	
	塑性变形		$Q = W = \int F ds$	[14.1], S.138	
06.08 时间 频率	电介质损耗热		$Q = U^2 C \omega \tan \delta$ $\delta =$ 介质损耗角	[21], S.589 塑料焊接 胶合板的粘合	
	涡流	在处于交变磁场 ($B \sin \omega t$)中的导电(κ)体 中,由于涡流而产生热	$Q = \text{const} \cdot B^2 \omega^2 \kappa$	[2.2], S.249 感应加热	


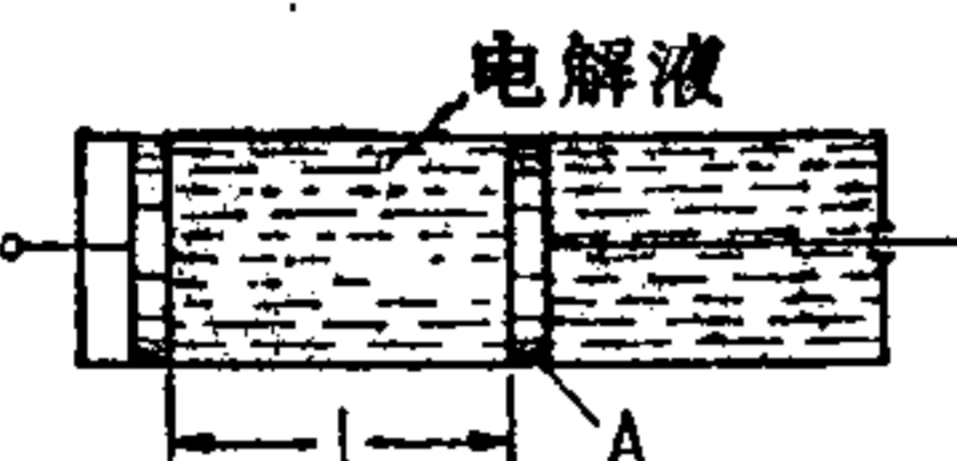
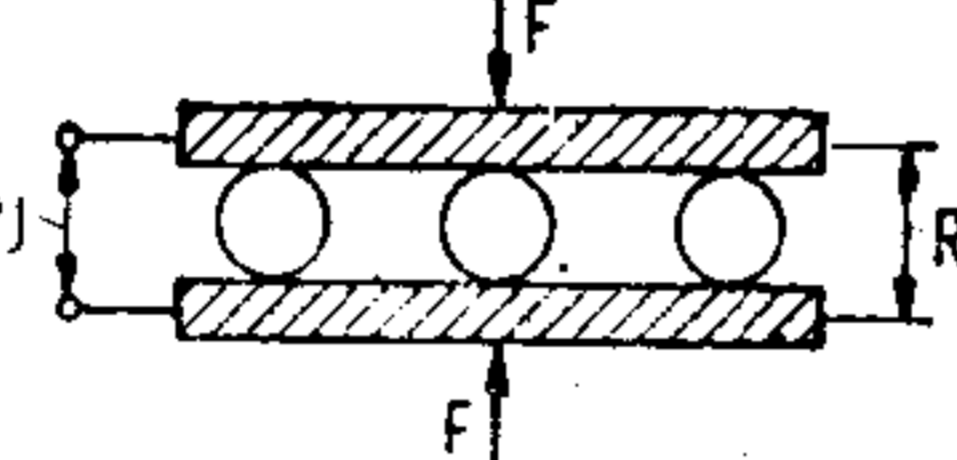
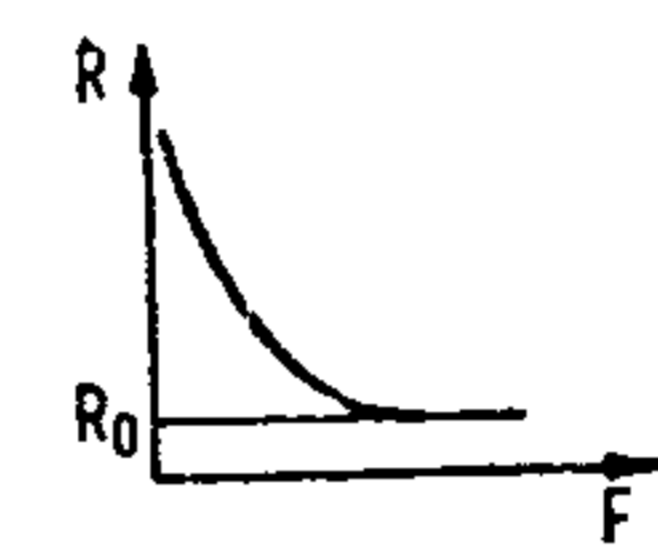
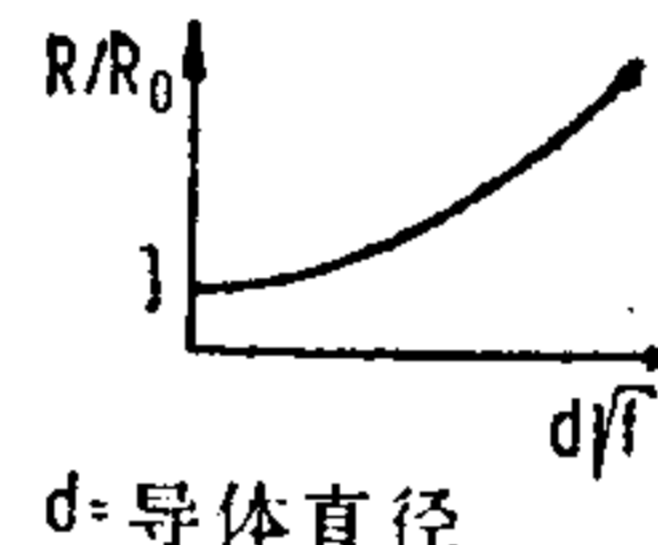
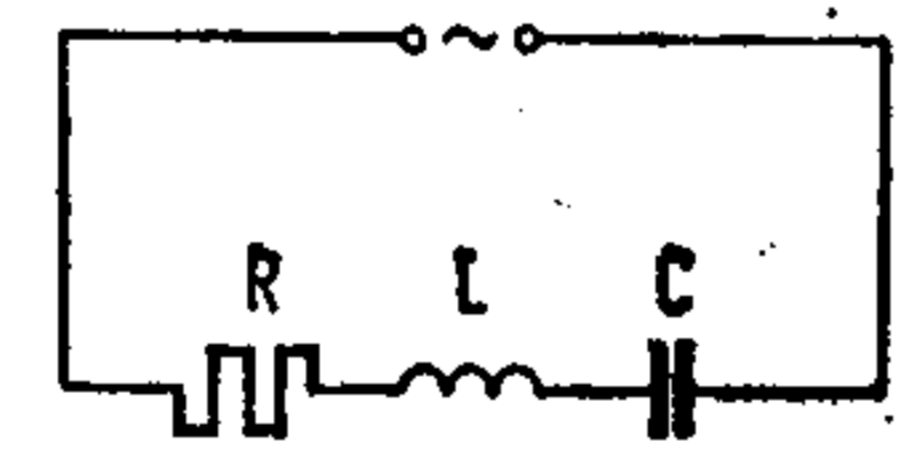
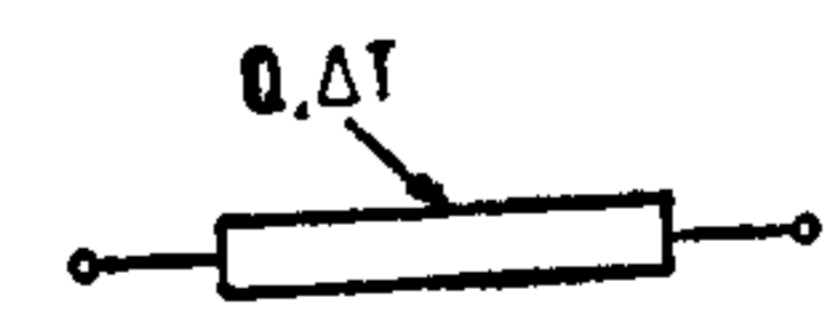
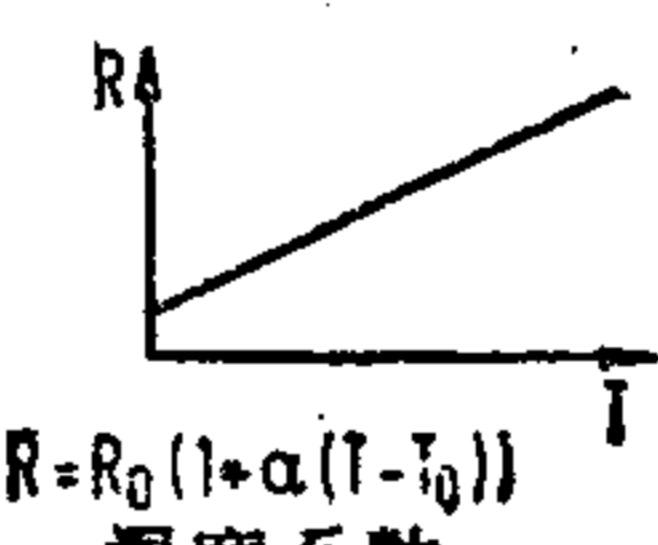
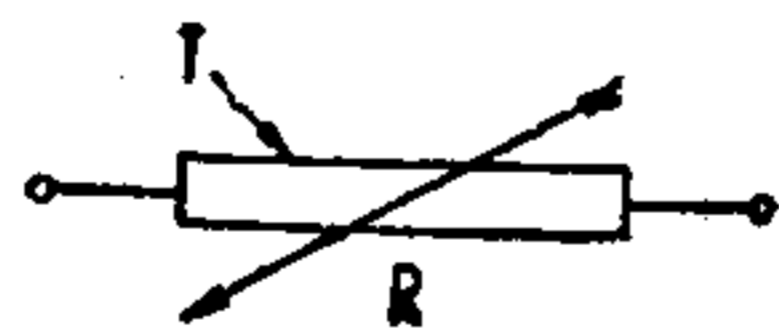
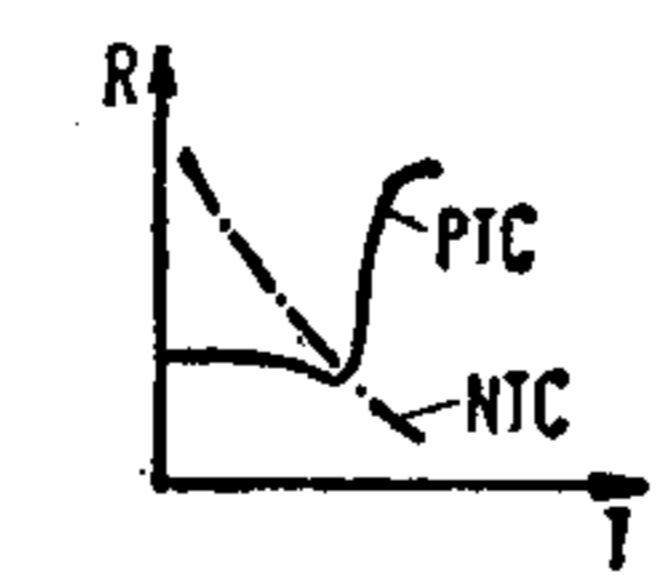
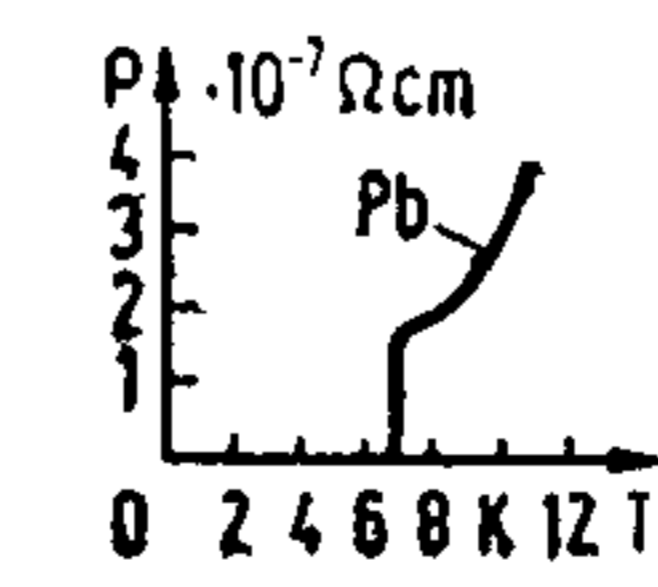
原理目录：能量类型或信号类型的转变

原因：  温度热

原因	物理效应	定律	文献	应用实例
07.08 机械波 (声)	摩擦 两摩擦表面间的相对运动被机械波激励就产生热		[21], S.2608	超声波焊接
10.08 电压 电流 电场	焦耳热 	$\dot{Q} = UI$	[30], S.301	电(加)热
	珀耳帖效应 	$Q = \Pi I$ $\Pi =$ 珀耳帖系数	[14.2], S.313 Valvo Heft Peltier- Batterien	制冷装置
	电弧 	$\dot{Q} = UI$	[21], S.1637 [31], S.550	焊接法 熔化金属
12.08 磁场 电感	里纪效应 	$\Delta T_1 = SH \frac{\Delta T_0 - b}{l}$ $S =$ 里纪-杜洛克系数	[2.2], S.493	
	去磁 一顺磁材料绝热磁化或绝热去磁，它就会增温或者冷却	$\Delta T = k \Delta H^2$ $k =$ 材料常数	[11], S.164 [30], S.379	电磁泵
13.08 电磁波 (光、辐射)	辐射热 	$\dot{Q} = cA \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$ $c =$ 辐射常数	[7.1], S.477	太阳热 激光焊接

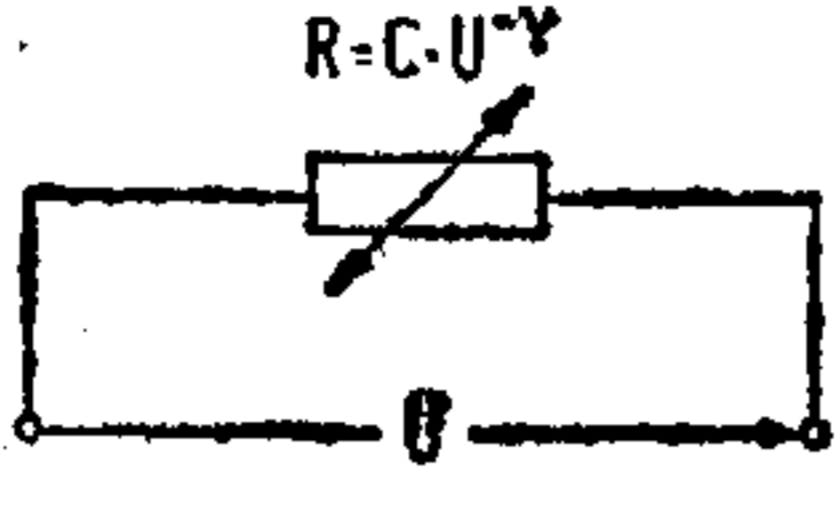
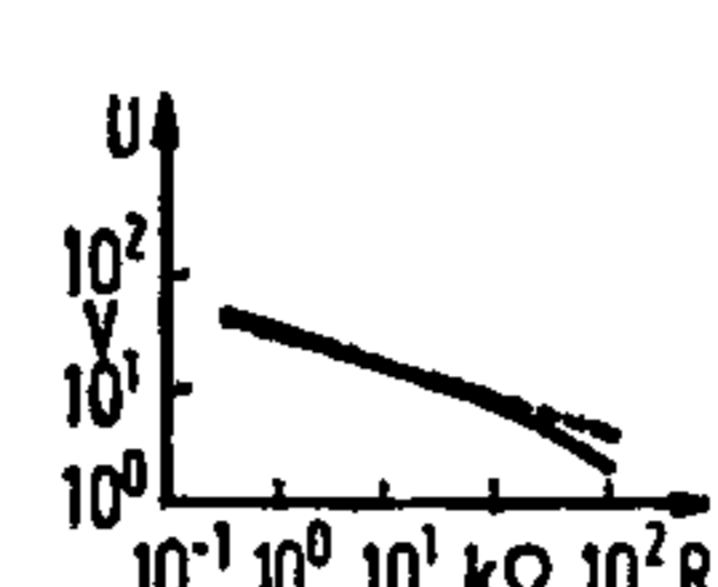
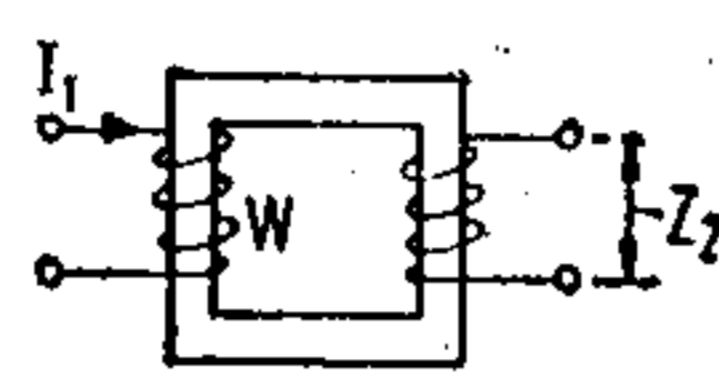
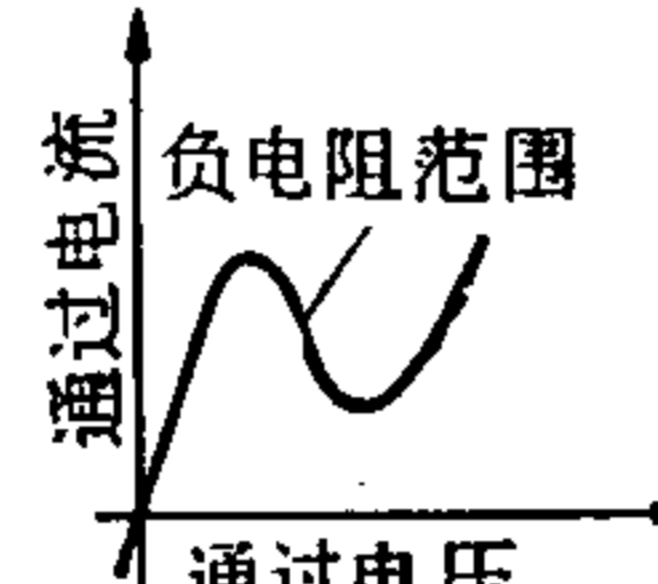
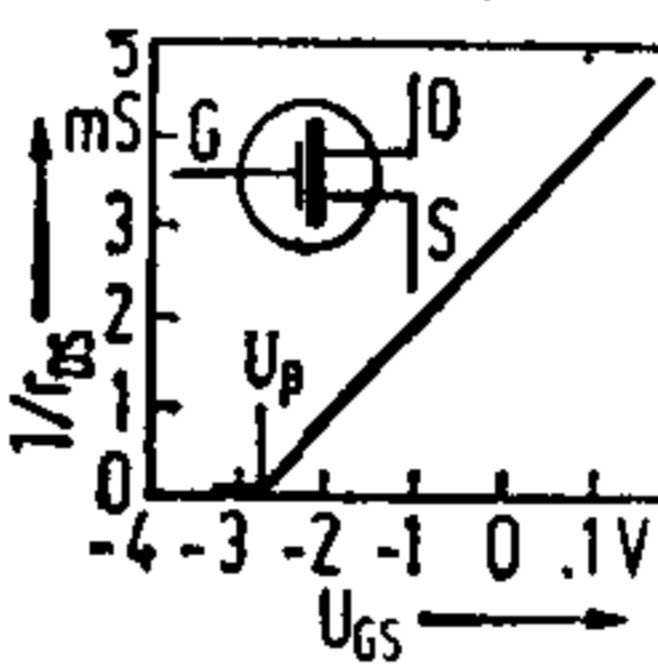
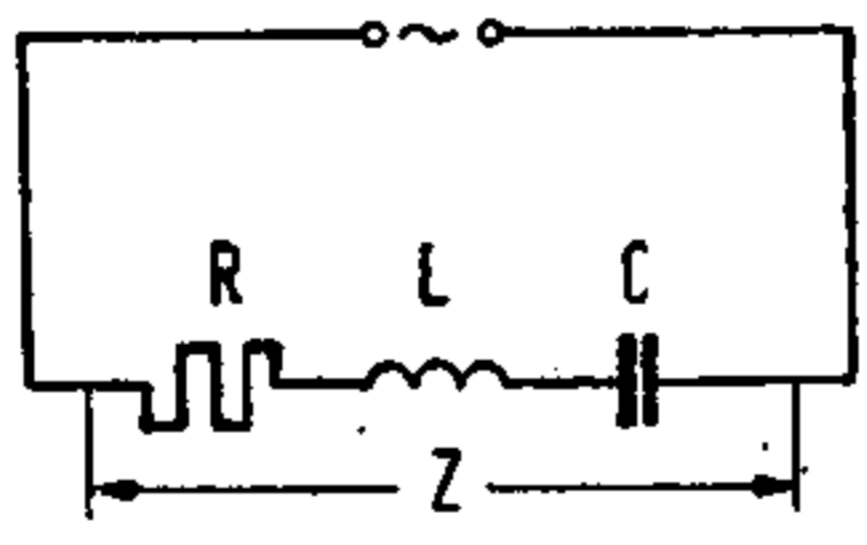
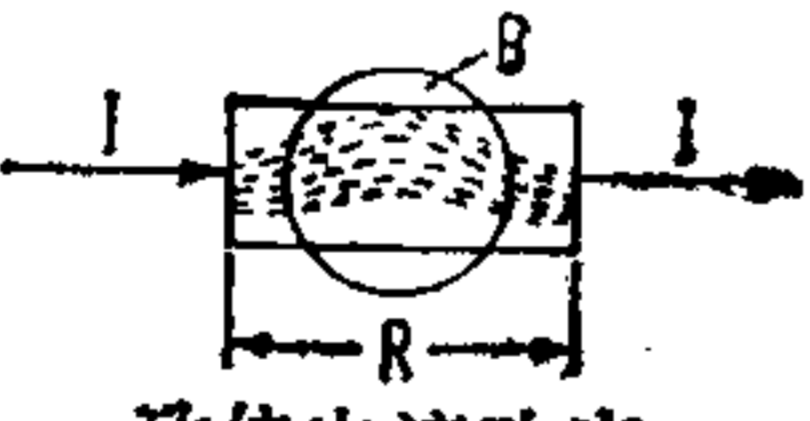

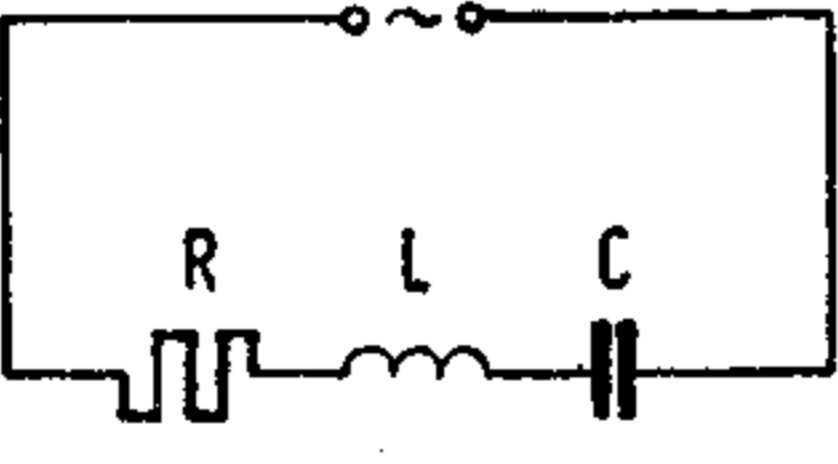
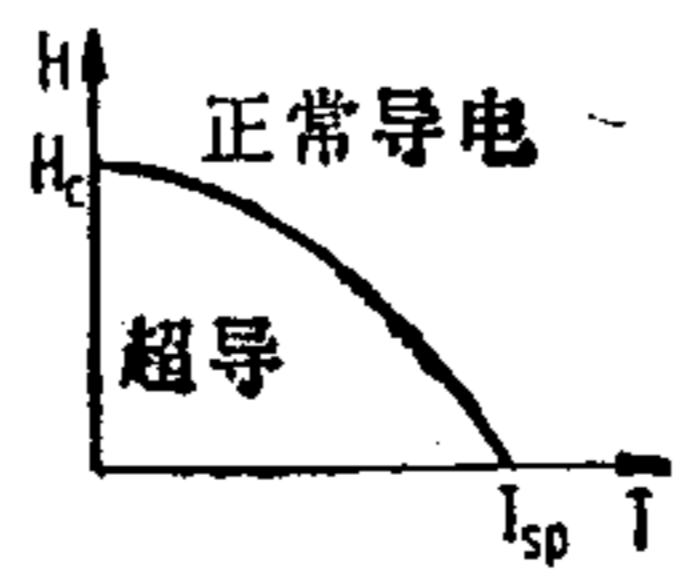
原理目录：能量类型或信号类型的转变

原因：  电阻

原因	物理效应	定律	文献	应用实例
01.09 长度 横断面 体积	导线长度和横断面	$R = \frac{l}{\kappa A}$ κ ：电导率 	[2.2], S.135	电位计 滑移式变阻器 分压器 电阻应变片
	电解质		$R_s = \frac{l}{A\sigma}$ σ ：电导值	[2.2], S.396 电解传感器
04.09 力 压力 机械能	狭窄点效应			[2.2], S.141 狭窄点的电阻-力传感器 狭窄点的电阻-膨胀传感器
	趋肤效应	交流电随频率移到导体表面，从而提高电阻	 <p>d=导体直径</p>	[2.2], S.324 表面硬化 导波管
06.09 时间 频率	复合阻抗		$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}$	[11], S.252 振荡电路
	导体		 $R = R_0(1 + \alpha(T - T_0))$ α ：温度系数	[11], S.197 电阻温度计 辐射热测定器 电流强度的自动控制
08.09 温度 热	半导体			[2.2], S.508 [21], S.1265 NTC-电阻 PTC-电阻
	超导	当冷却到绝对零度（跃变温度）附近的某一临界温度时，几种金属的电阻率 ρ 将会突然下降到无法测得的很小值		[2.2], S.137 [11], S.506
	热电离	当温度高于（高于1000℃）时，气体因热分解而变成可导电的		[30], S.321

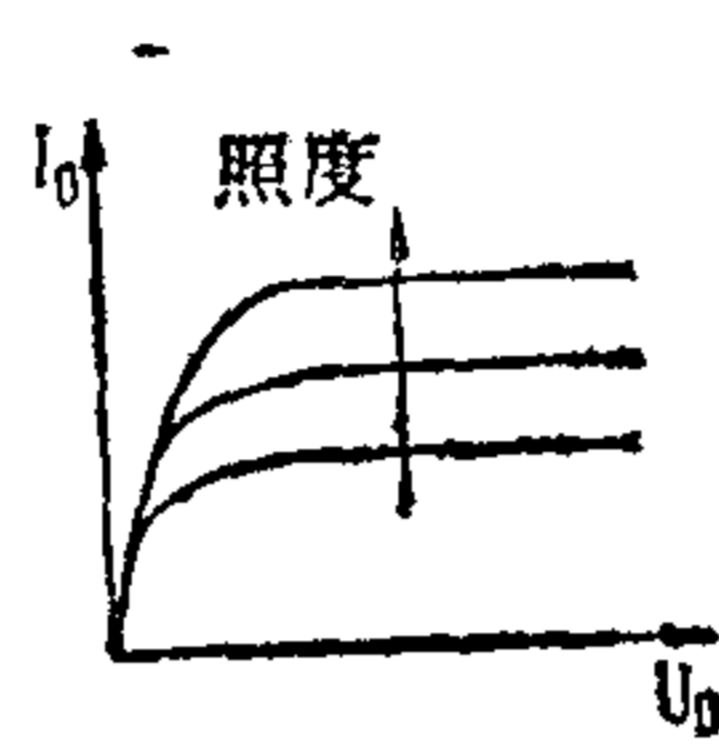

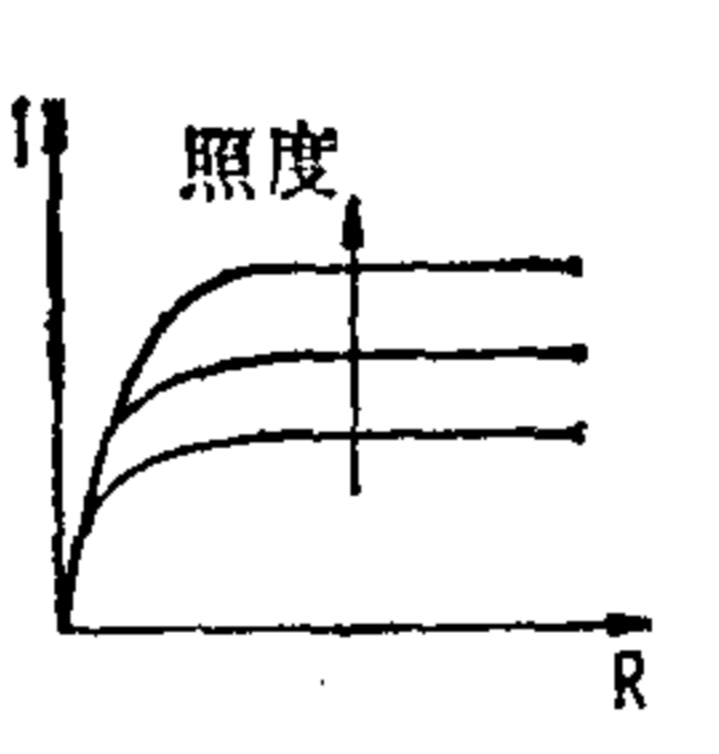
原理目录: 能量类型或信号类型的转变



原因	物理效应	定律	文献	应用实例
10.09 电压 电流 电场	变阻器  $R=C \cdot U^{-\gamma}$ C, γ = 结构元件值		[46], S.104	火花熄灭 电压稳定化
	磁放大器 电感线圈  在 $I_1 \cdot W$ 铁心饱和增加时, Z_2 降低		[22], S.308	自动控制
	隧道二极管 负电阻、微分电阻范围内的半导体元件		[46], S.69	快速开关 在高频设备中使振荡器去阻尼的负电阻
	场效应晶体管 可以通过电场控制电阻的半导体元件		Valvo-Heft Feldeffekt-Transistoren	模拟计算线路的电子可控电阻放大器 电压-频率交换器
11.09 电容	复合阻抗 Z 	$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}$ R = 欧姆电阻 L = 电感 C = 电容	[11], S.252	振荡电路 相位补偿器
12.09 磁场 电感	洛伦兹力 (汤姆逊效应)  致偏电流改变磁场内的电阻		[30], S.368	磁场测定 磁场片
	复合阻抗 	$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}$ R = 欧姆电阻 L = 电感 C = 电容	[11], S.261	
	超导 在达到某一临界磁场强度 H_c 时, 超导体变成普通导体, 同时其电阻相应增加		[11], S.506	

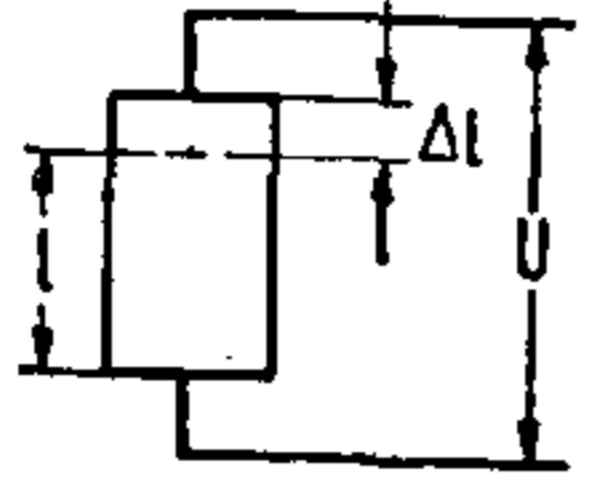

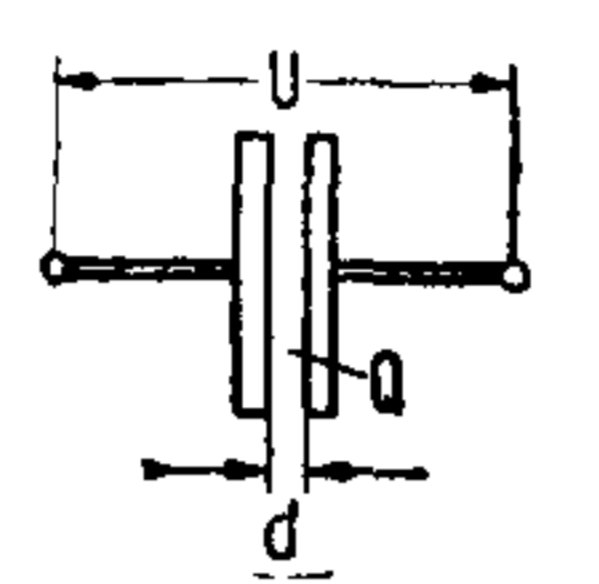
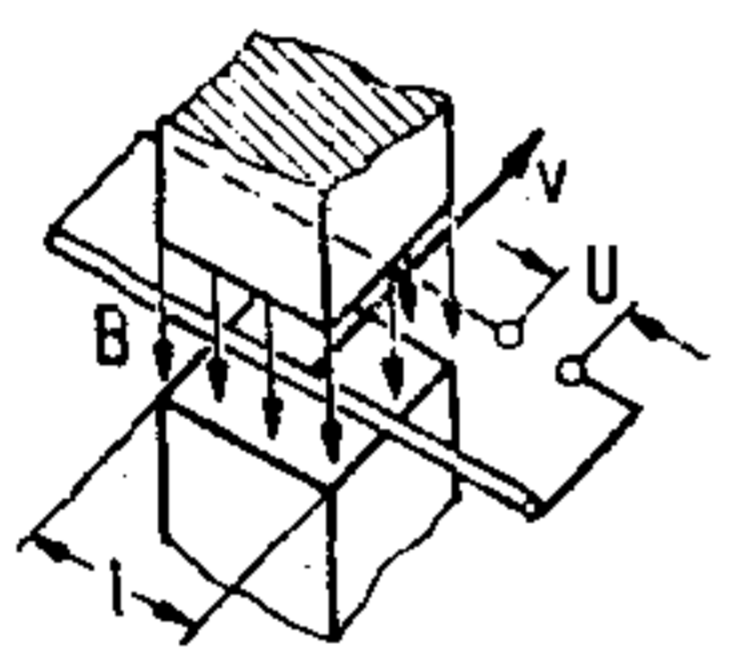
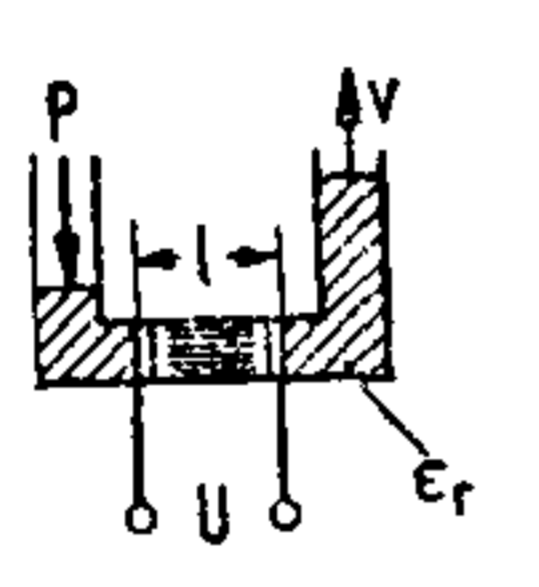
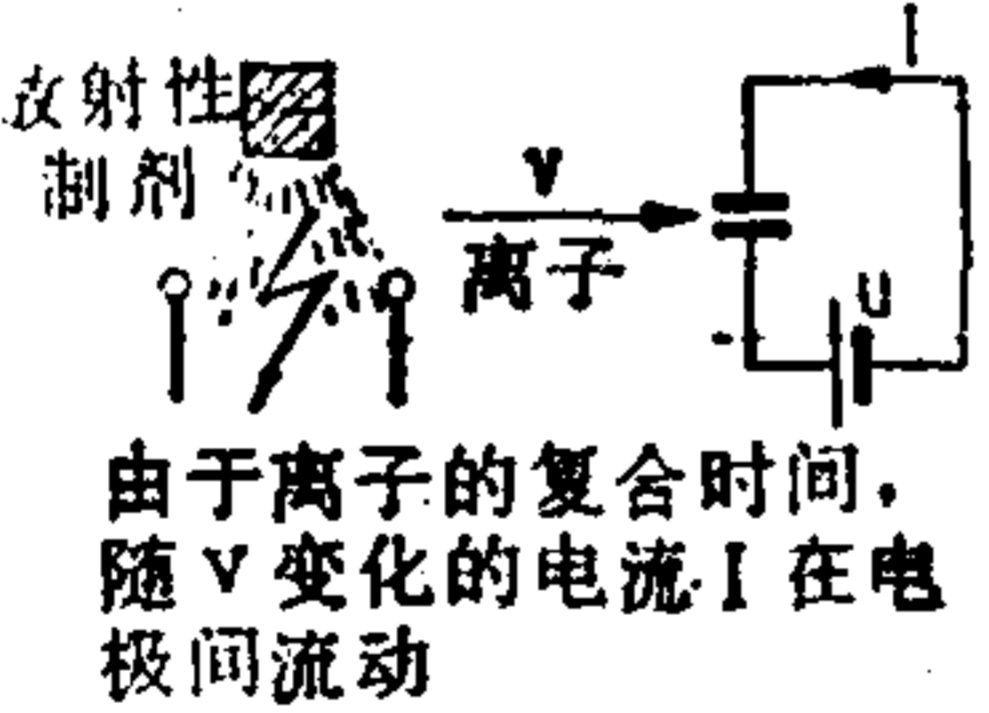
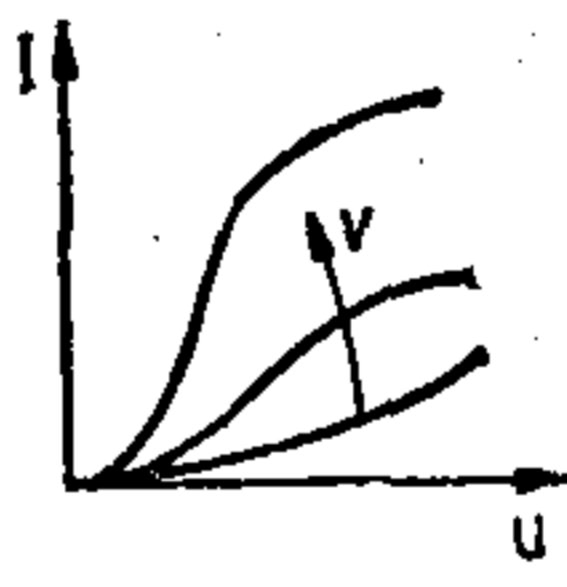
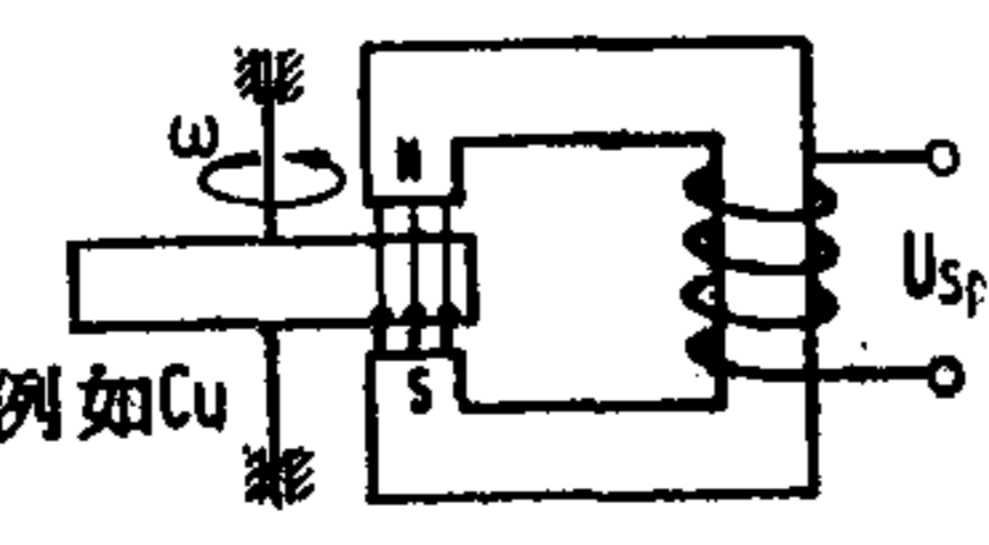
原理目录: 能量类型或信号类型的转变



原因	物理效应	定律	文献	应用实例	
13.09 电磁波 (光、辐射)	阻挡层光电效应	如果半导体的阻挡层被照射, 就会形成可起导电作用的自由载流子		[41]	光电二极管 光电晶体管
	光敏电阻	由于照射时形成自由载流子, 半导体元件的电阻减小		[22], S.227 [41], S.35	光敏电阻
	晶体的电阻变化	通过辐射, 在晶体中形成可导电的自由载流子		[42], S.7	半导体辐射探测器
	电离	通过大能量辐射, 在气体中产生可导电的离子		[45], S.226	剂量计

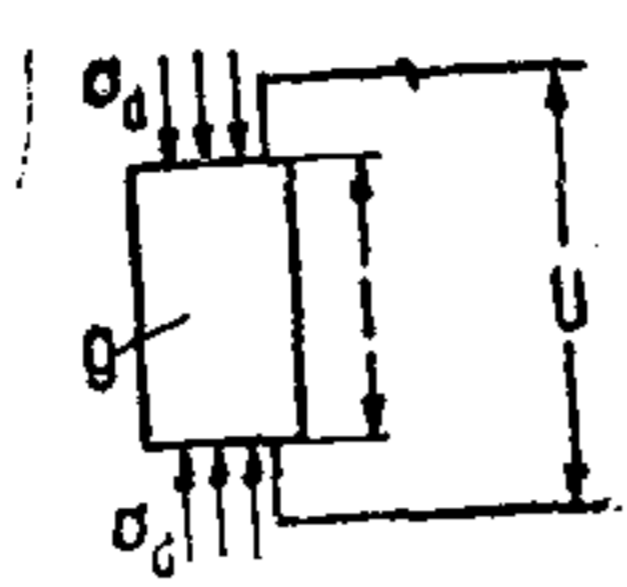
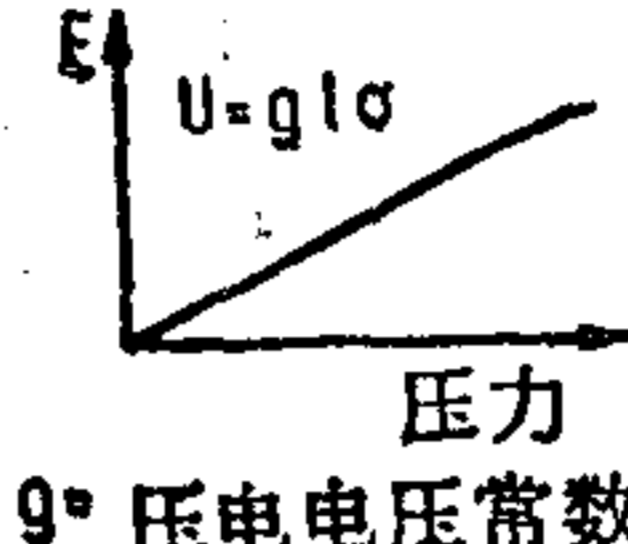
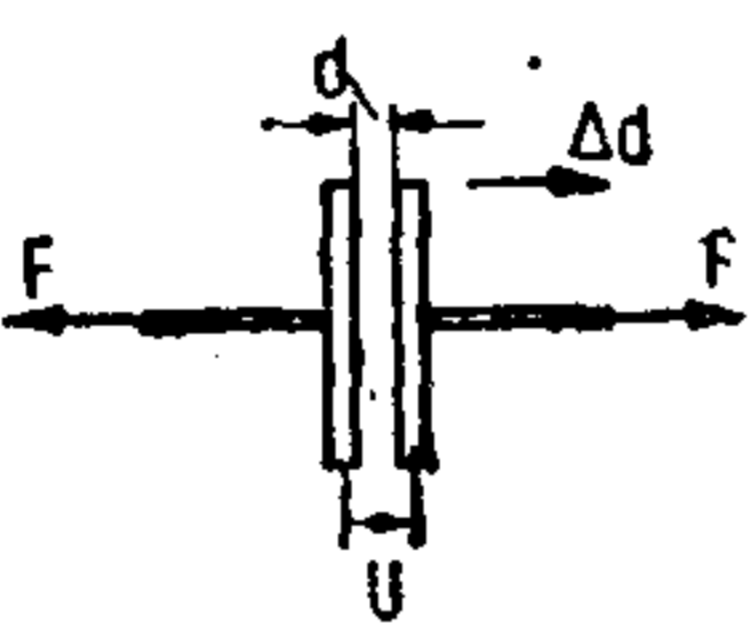
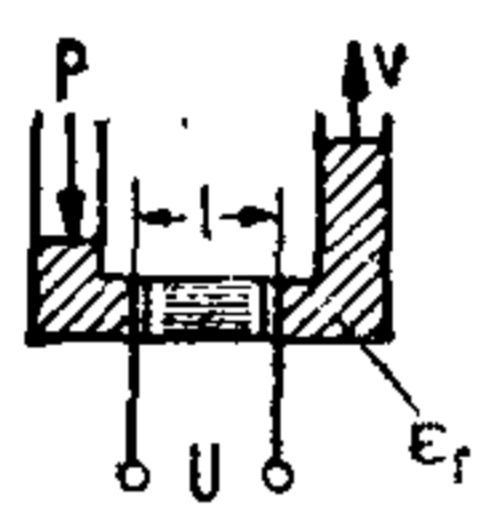
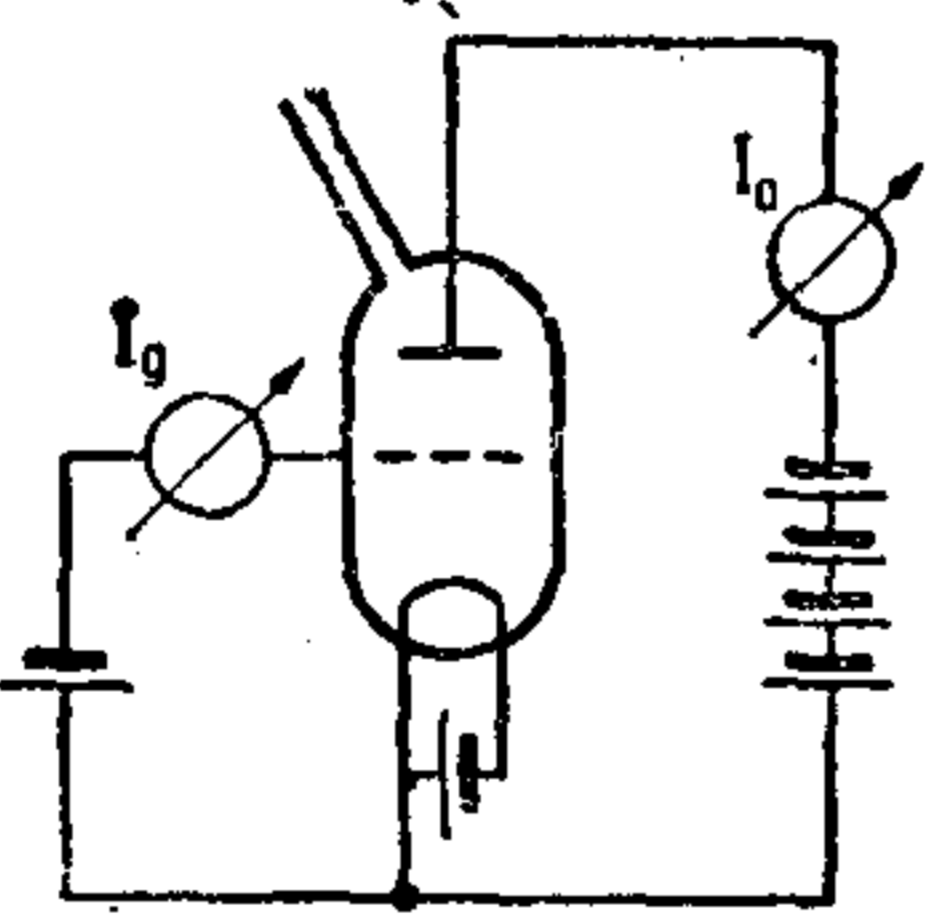
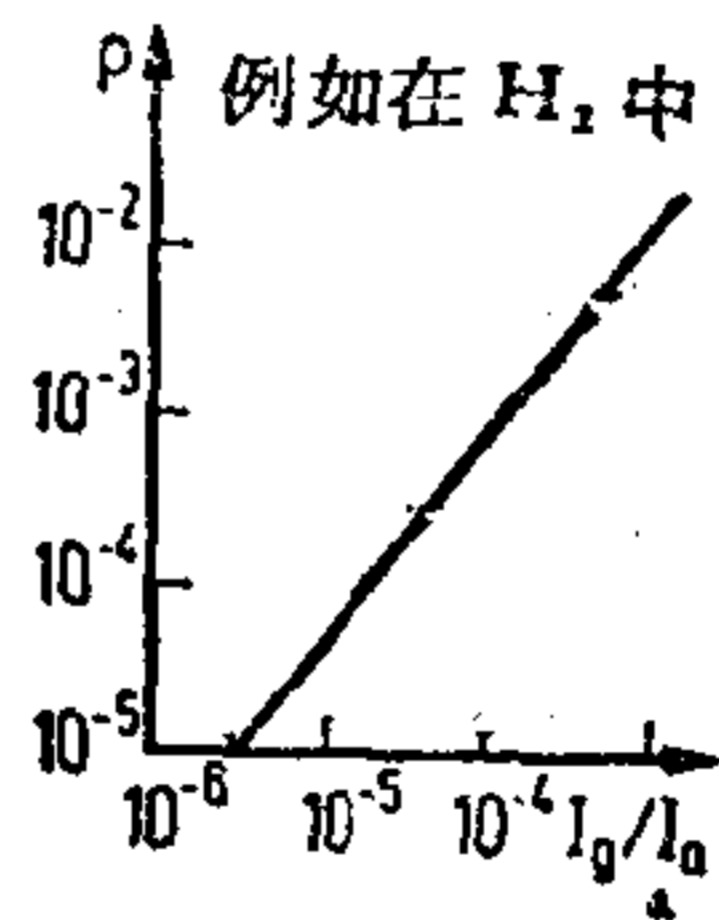
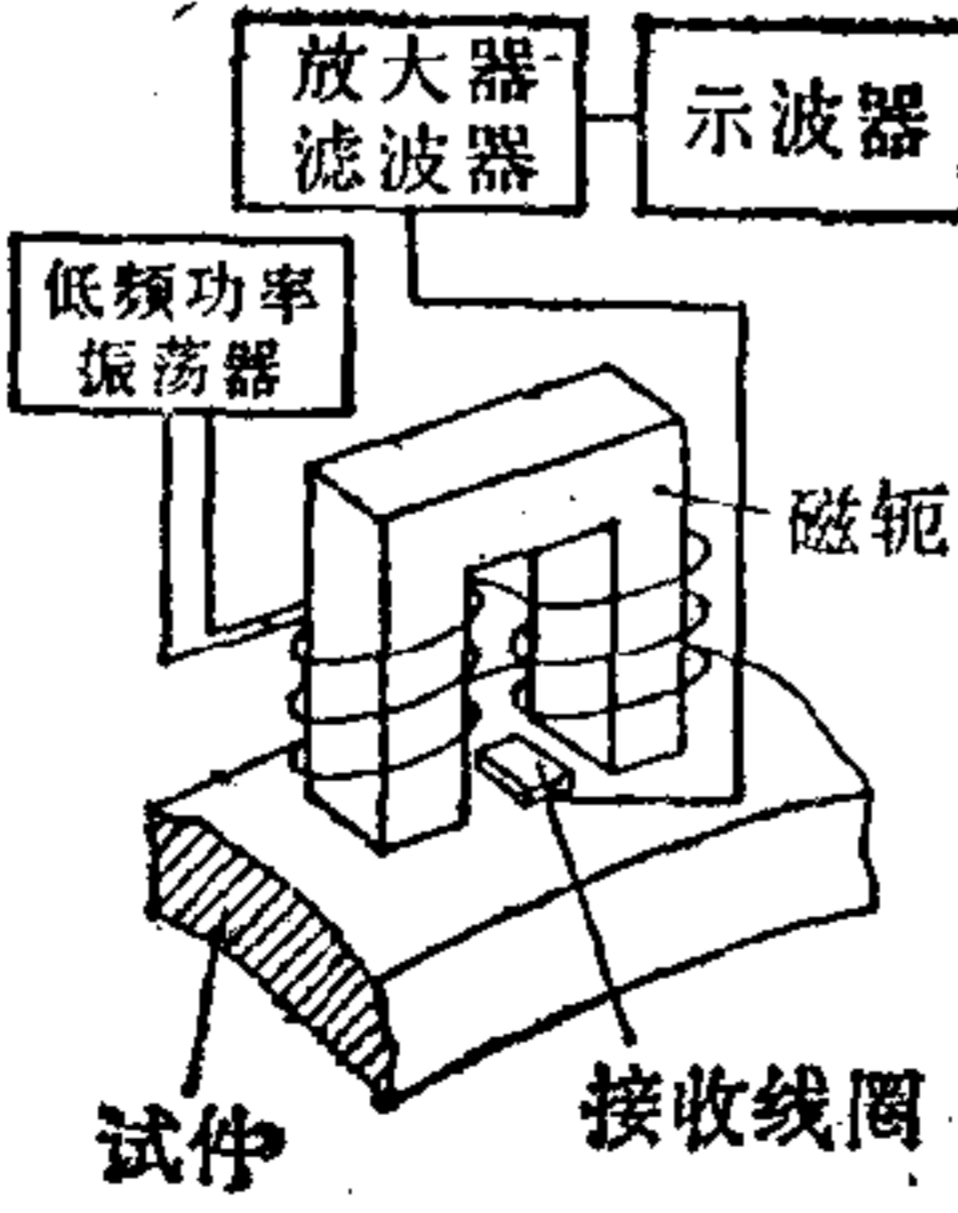
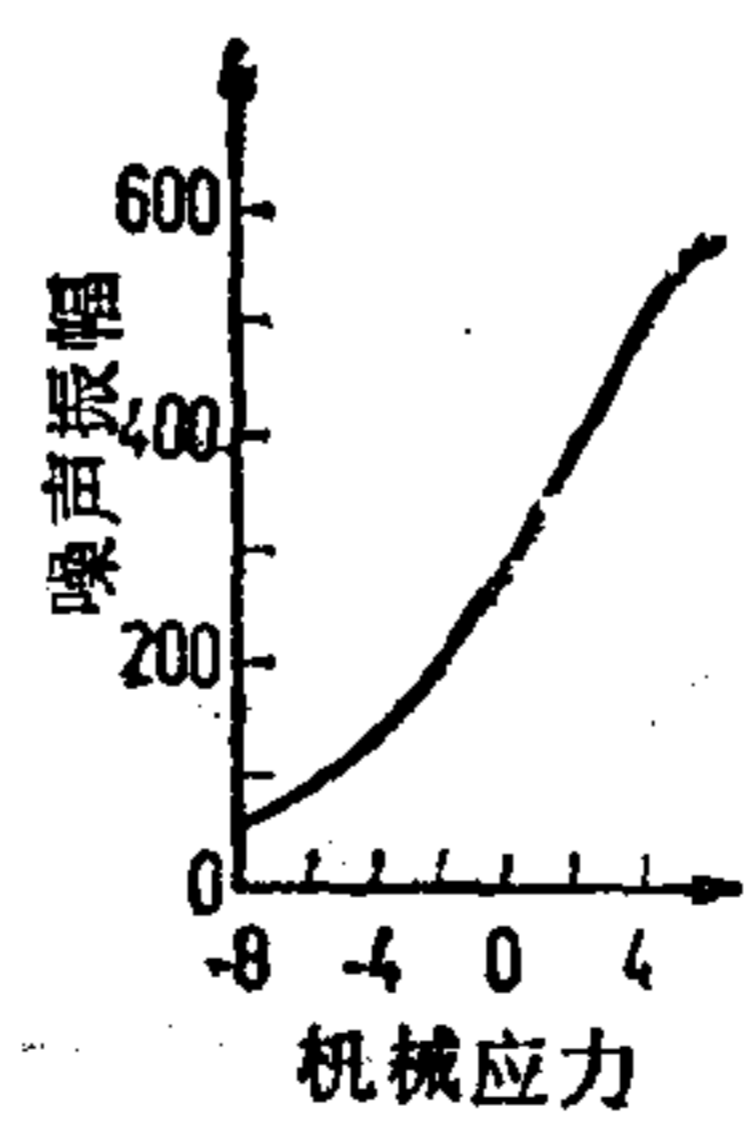
原理目录: 能量类型或信号类型的转变



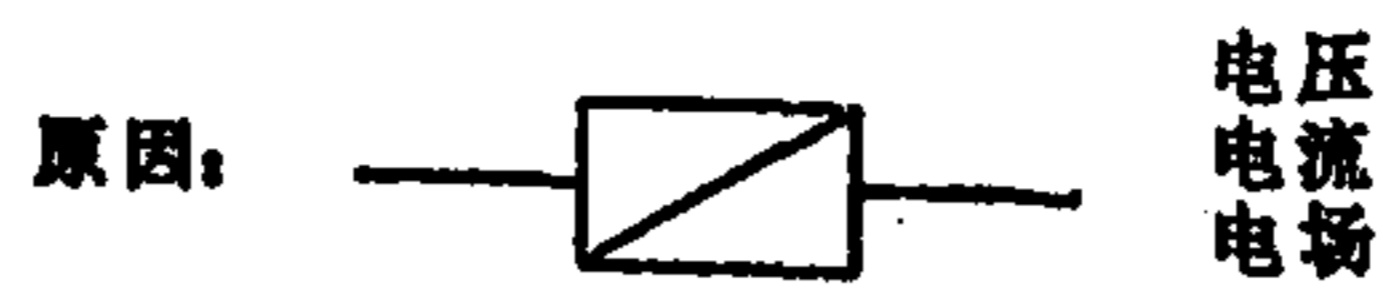
原因	物理效应	定律	文献	应用实例	
01.10 长度 横断面 体积	压电效应			[29], S.14	应变仪 煤气点火器
	板极间距 (在电容器中)		$U = \frac{Q}{\epsilon_0 \epsilon_r A} d$ $\epsilon = \text{介电常数}$	[40], S.69	带状静电发 生器
	碰撞电离	如果在一有极低电压的电子管中从阴极射出电子流 I_b , 那么这个电子流将随阳-阴极的间距成倍增加	$I = I_b \cdot \alpha^d$ $\alpha = \text{电离数}$	[40], S.176	
02.10 速度	感应定律			[40], S.200	流量计 测速发电机
	电动效应		$U = v \frac{l \eta}{\zeta \epsilon_r \epsilon_0}$ $\epsilon = \text{介电常数}$ $\zeta = \text{电动势}$ $\eta = \text{动力粘度}$	[5], S.886 [30], S.310 [22], S.221	电动速度传 感器
	电离	 由于离子的复合时间, 随 v 变化的电流 I 在电极间流动		[8], S.305	起始电流- 风速计
03.10 加速度	托尔曼效应	由于电子的惯性, 加速时, 金属导体的端面之间出现电场	$E = b \frac{1}{e/m}$	[11], S.200	
	电动力效应	 例如Cu	$U = K \cdot B \cdot \frac{d\omega}{dt}$ $B = \text{磁感应}$ $K = \text{结构和材料常数}$	[2.2], S.200	加速度计

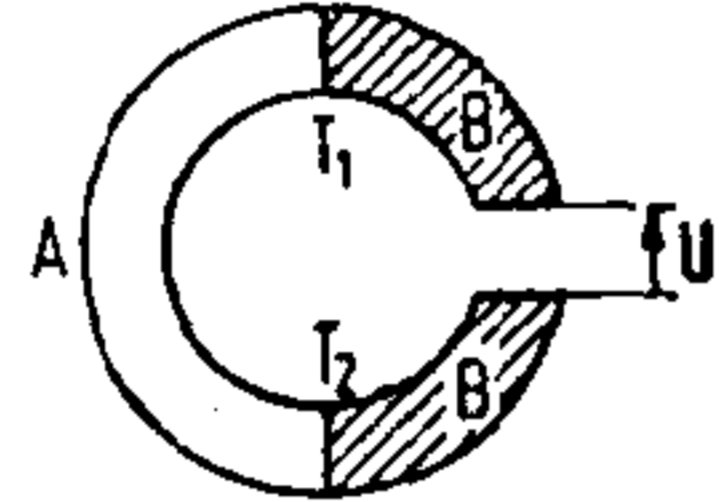
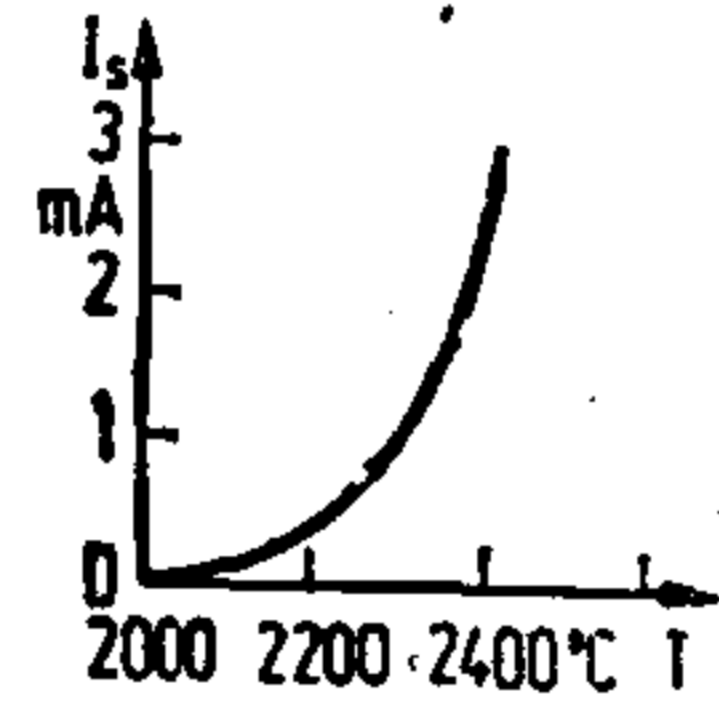
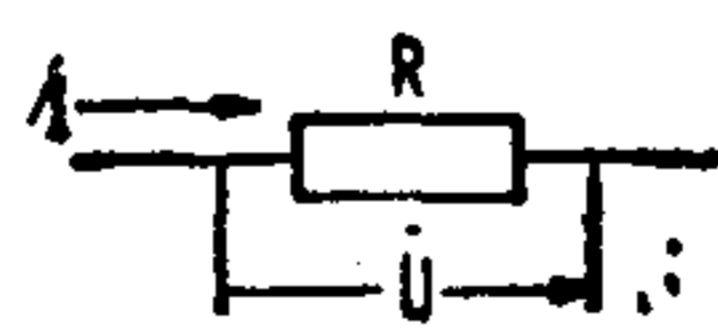
原理目录: 能量类型或信号类型的转变



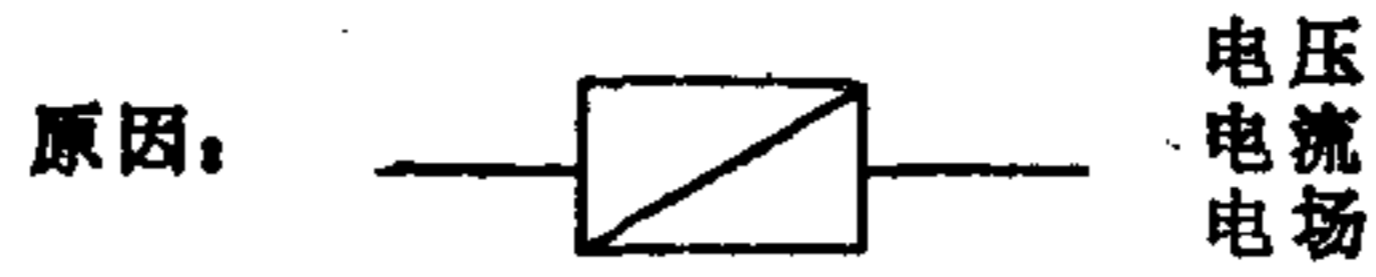
原因	物理效应	定律	文献	应用实例
04.10 力 压力 机械能	<p>压电效应</p> 	 <p>$U = g \cdot p$</p> <p>9° 压电电压常数</p>	[29], S.14	压力计 煤气点火器 扬声器
	<p>摩擦电 (接触电势)</p> <p>电荷在两个紧密接触的绝缘体之间进行交换。为了分离接触面,需要与“板极间距01.10”效应相应地提高电压的机械能</p>		[2.2], S.76	带状静电发生器
	<p>电容器</p> 	$U = \frac{W}{Q} \cdot \frac{d}{\Delta d} = \frac{F \cdot d}{Q}$ $W = F \cdot \Delta d$	[31], S.479	
	<p>电动效应</p> 	$U = \frac{\epsilon_p \epsilon_s \zeta p}{\eta \kappa} l$ <p>ζ, η, ϵ 同 02.10 κ = 电导率</p>		
	<p>电离</p> 	 <p>例如在 H₂ 中</p>	[8], S.221	电离真空计
	<p>巴克豪森效应</p> 		Industrie-Anzeiger 1974, Nr.31 S.685	无损材料检验

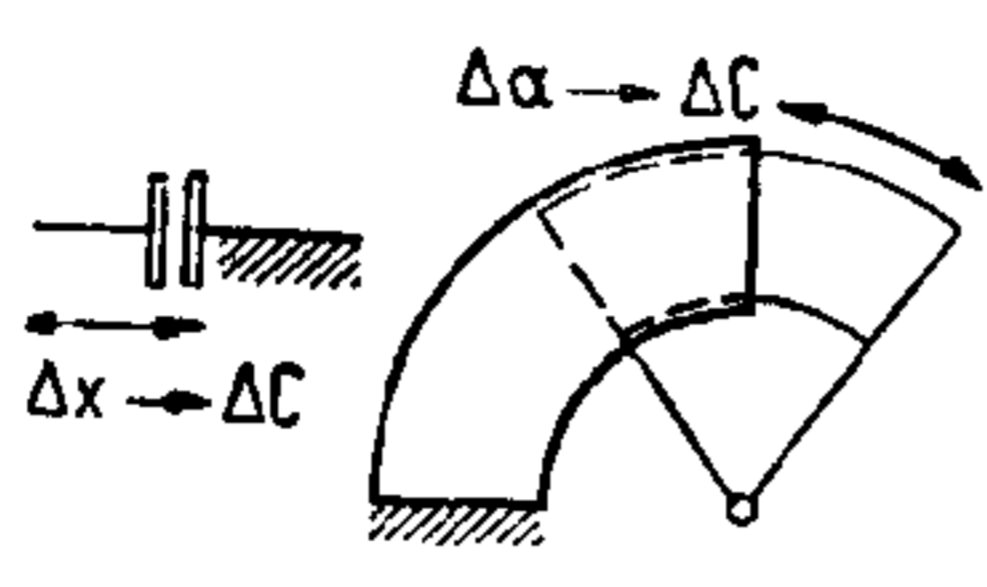
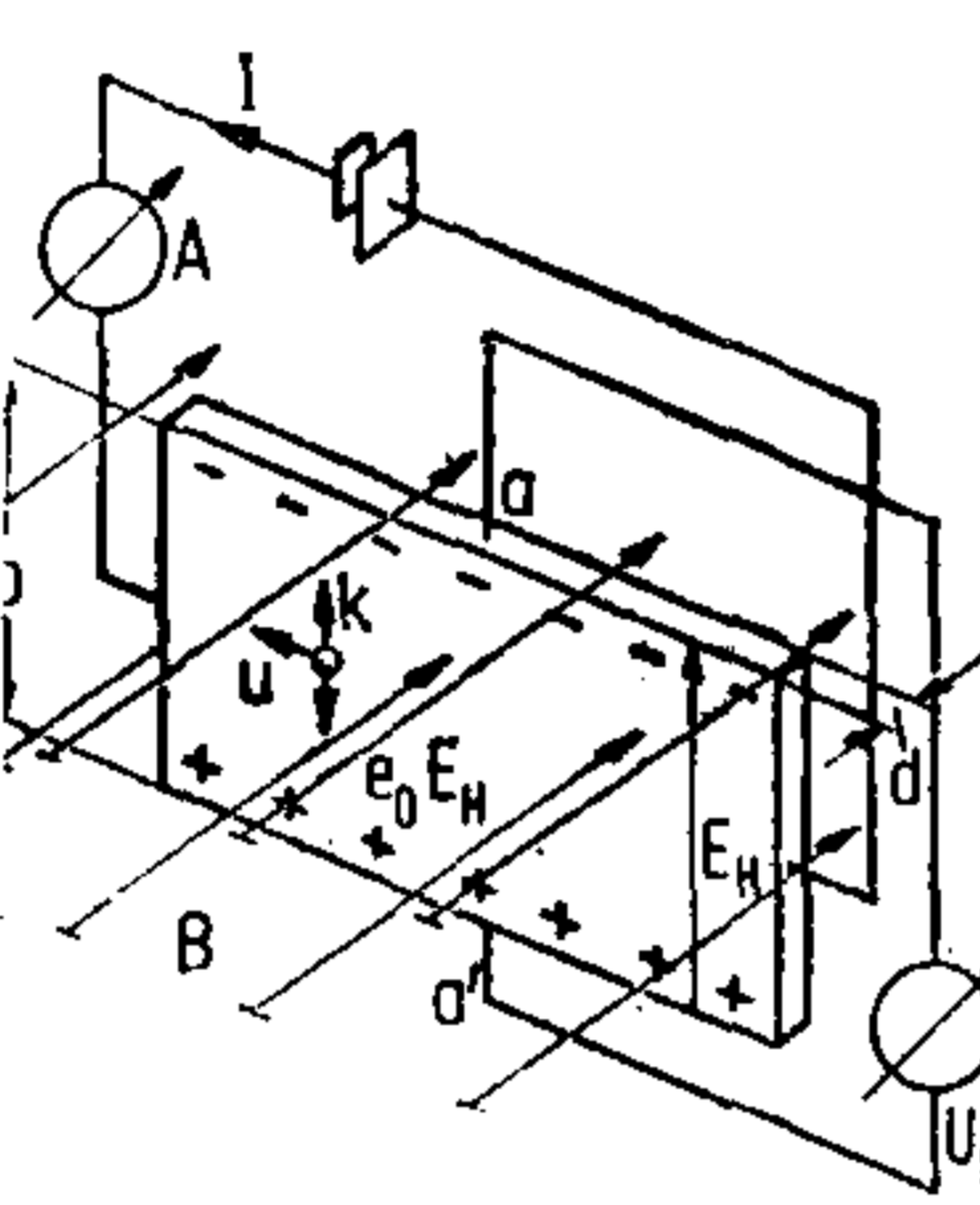
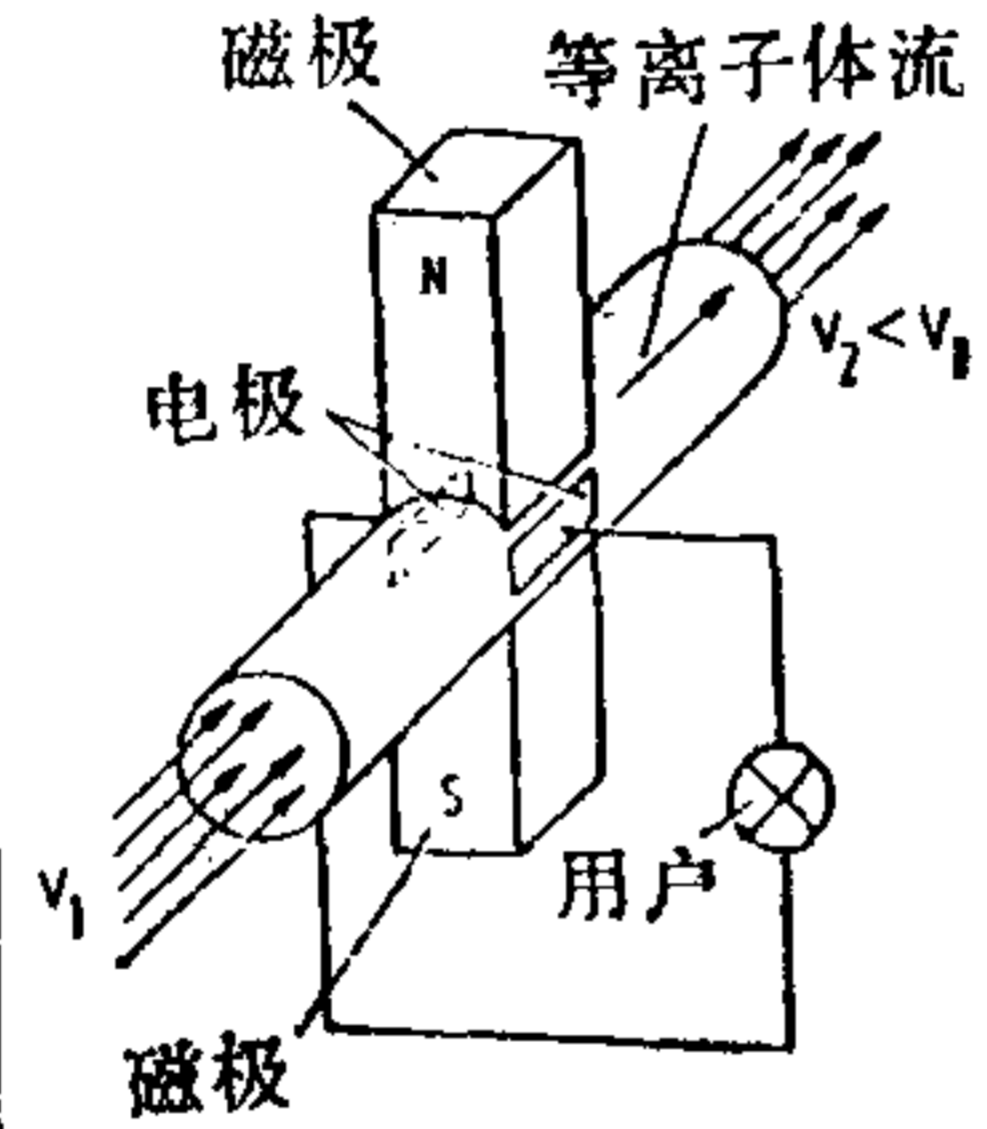
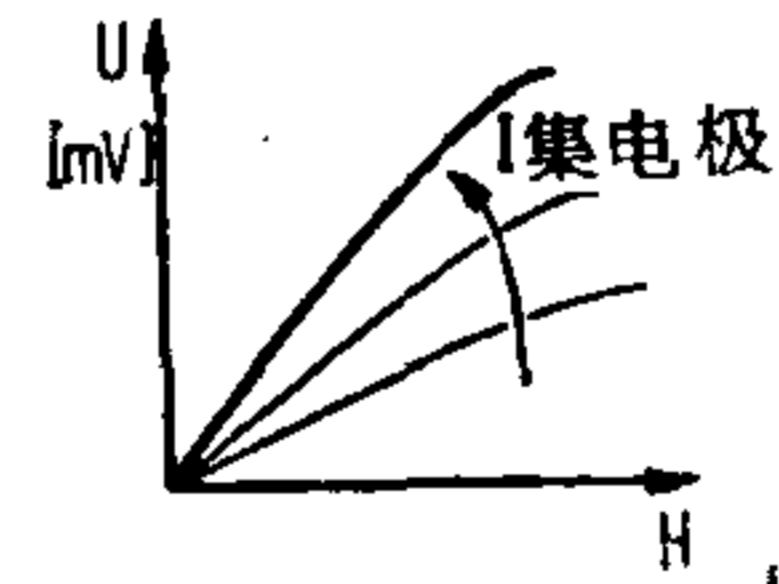
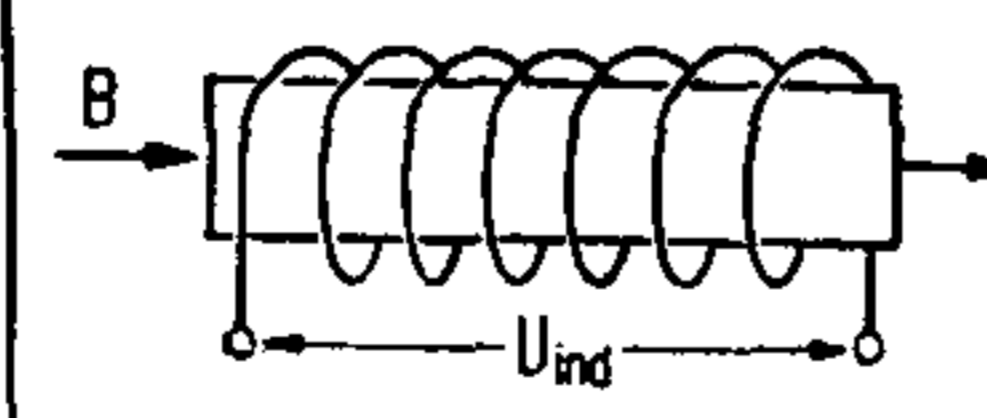
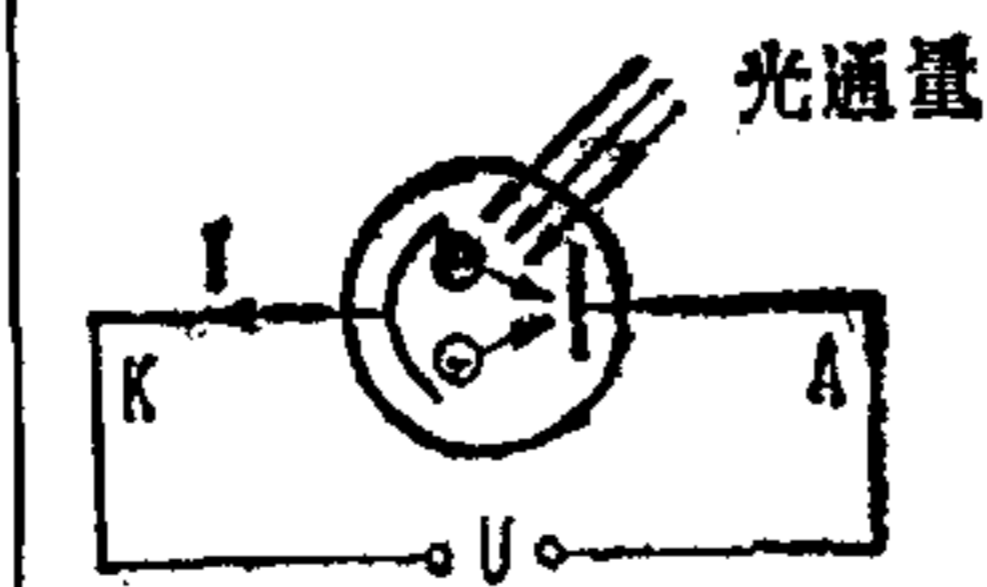
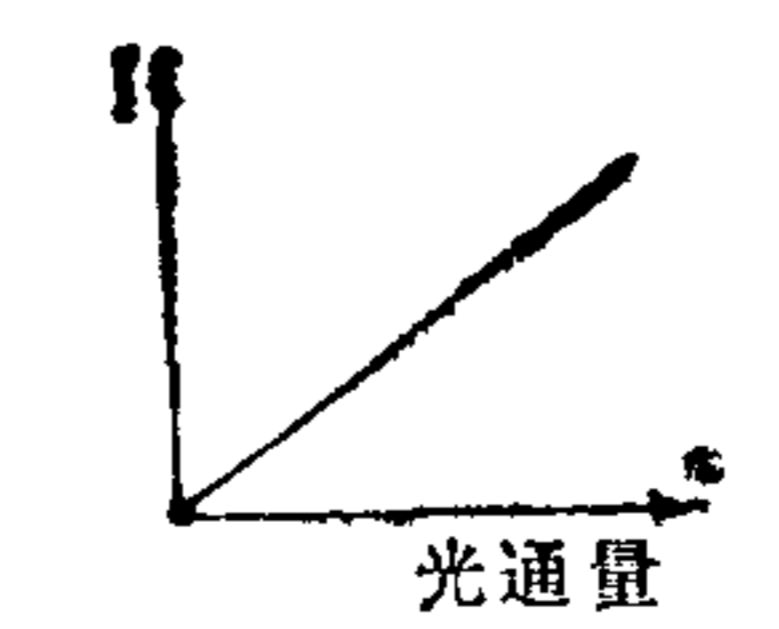
原理目录: 能量类型或信号类型的转变



原因	物理效应	定律	文献	应用实例
04.10 力 压力 机械能	各向异性压力效应	在磁各向异性材料中, 磁力线分布的变化随机械负载而变, 并因此产生感应电动势	[22], S.509	压力传感器
	勒纳德效应	雾化时液滴充电	[30], S.304	
06.10 时间 频率	约瑟夫森效应	两个超导体在微波辐射中相接触, 这样在它们之间就形成与微波频率成正比的直流电压	$U = \frac{h\nu}{2e}$	VDI-Z 1974 Nr.S.378 电压基准
08.10 温度 热	热效应		$U = a(T_2 - T_1)$ $a =$ 塞贝克系数	[2.2], S.156 [14.2], S.312 温度测量 热电偶 热磁铁
	热发射 (热电子发射)	如果电子的热能比它的输出功大, 那么就会向周围射出电子, 并使周围能导电		[2.2], S.435 电子管
	热电	加热压电材料, 由于热膨胀, 就会在两端面之间产生电压		[2.2], S.75
	噪声效应	电子的热运动, 在电阻R上会形成一个噪声静电压, 其有效值随温度T变化	$U^2 = 4 \cdot k \cdot T \cdot R \cdot \Delta f$ $k =$ 玻耳兹曼常数 $\Delta f =$ 结构的带宽	[14], S.397 温度测量 (噪声温度计)
09.10 电阻	欧姆电阻		$U = R \cdot I$	[11], S.196 滑线式变阻器 分压器

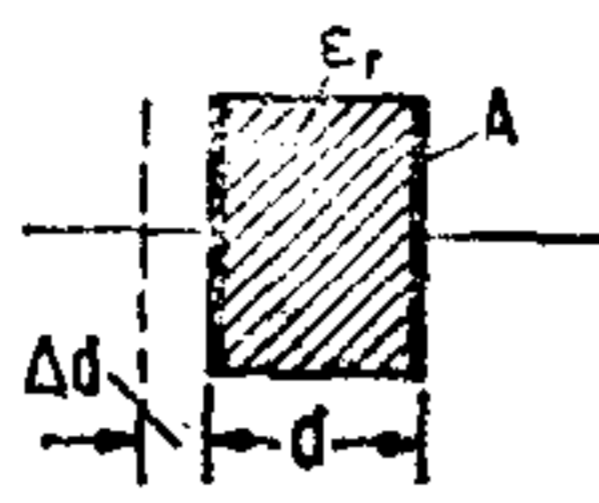
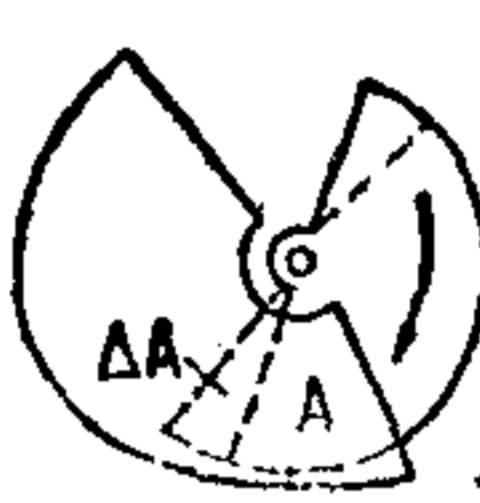
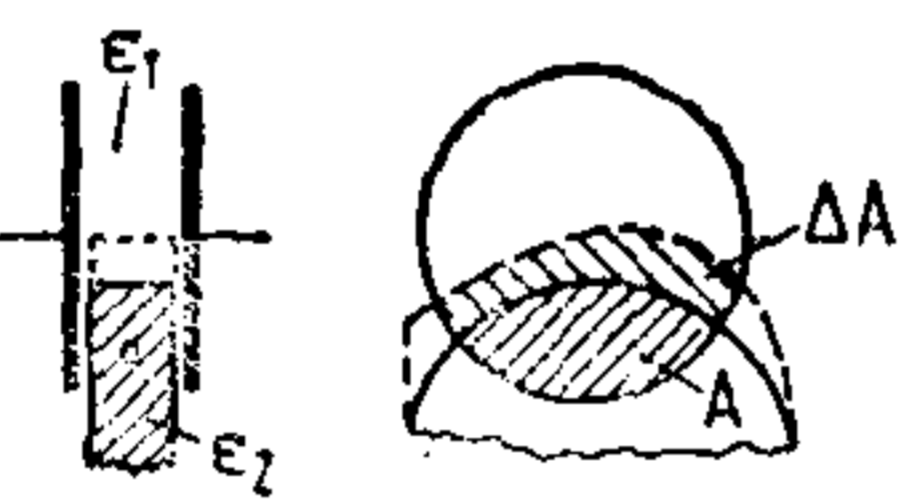
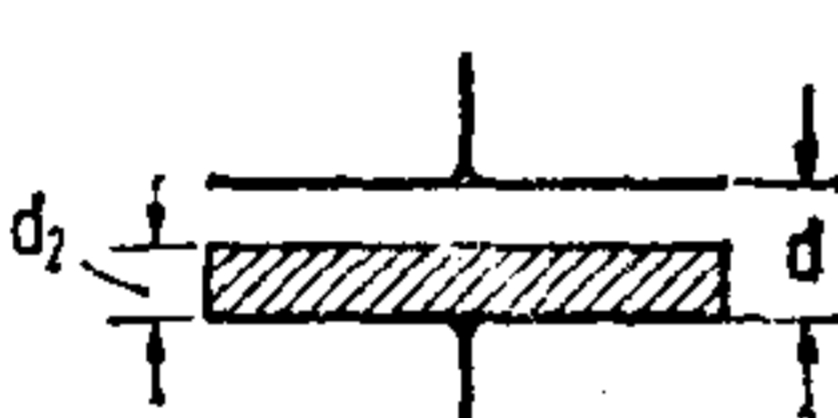
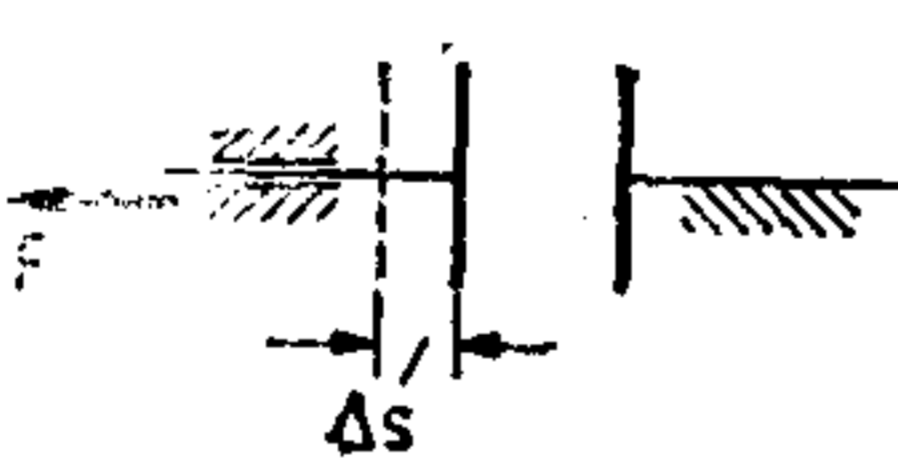

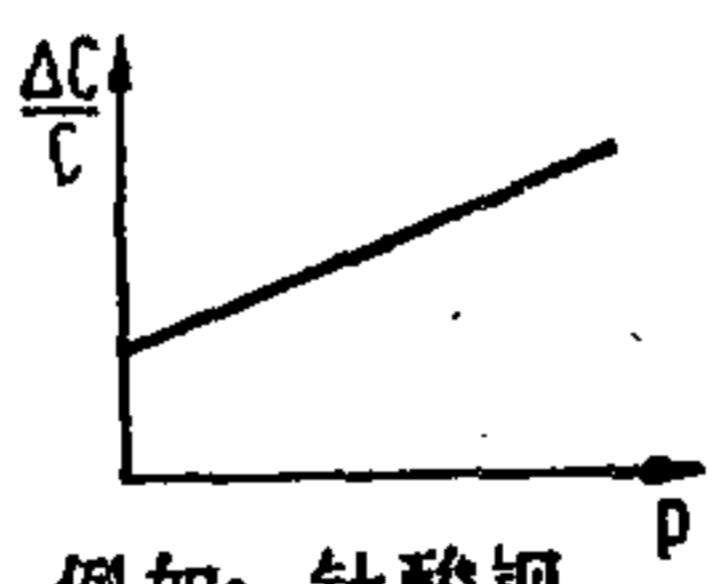
原理目录：能量类型或信号类型的转变



原因	物理效应	定律	文献	应用实例
11.10 电容	电荷守恒定律 	$U = \frac{Q}{C}$	[40], S.107	
12.10 磁场 电感	洛伦兹力 (霍尔效应) 	$U = BI\frac{R}{d}$ R = 霍尔常数	[11], S.227	磁场测定 霍尔倍增器
	等离子体 		[2.2], S.428	磁流体发电机
	磁变管 晶体管的输出电压与 磁场强和集电极电流有 关			磁场测定
	感应定律 	$U_{ind} = -NA\frac{dB}{dt}$ A = 线圈断面 N = 线圈匝数	[31], S.507	变压器
13.10 电磁波 (光、辐射)	光电效应 		[31], S.568 [41]	光电管 光电池

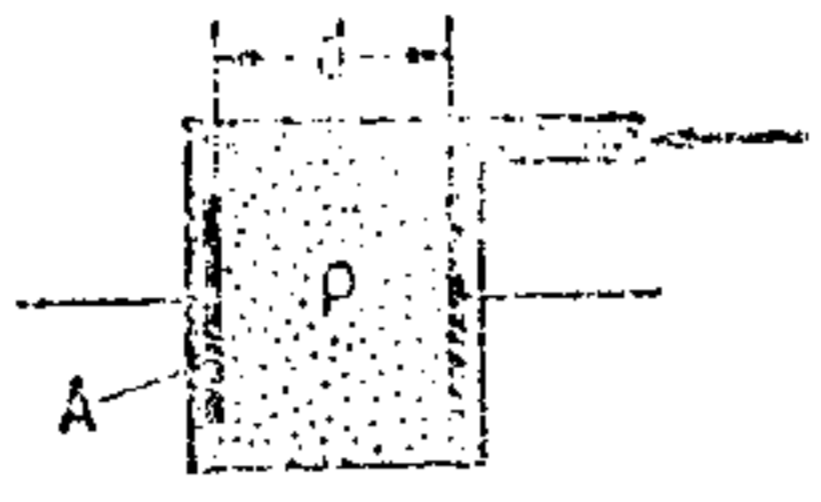
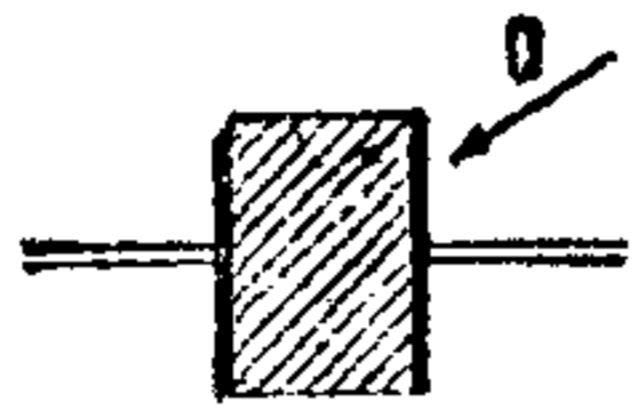
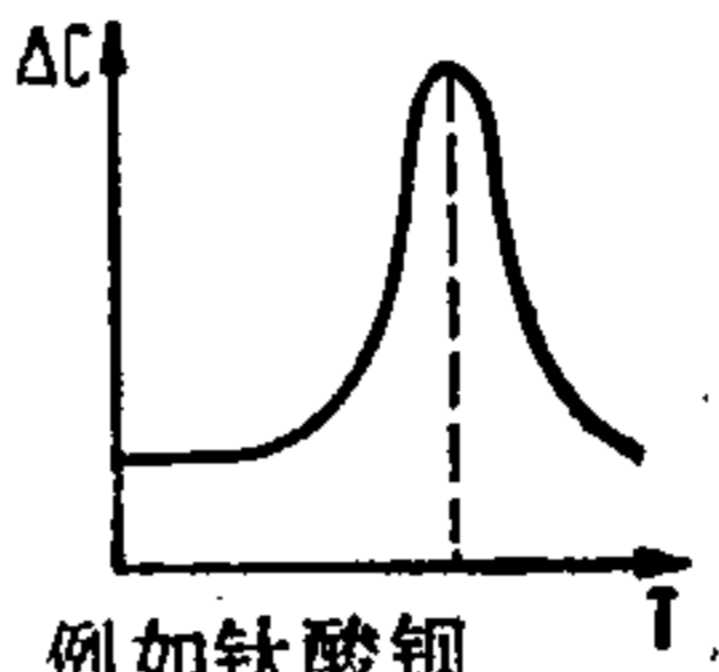
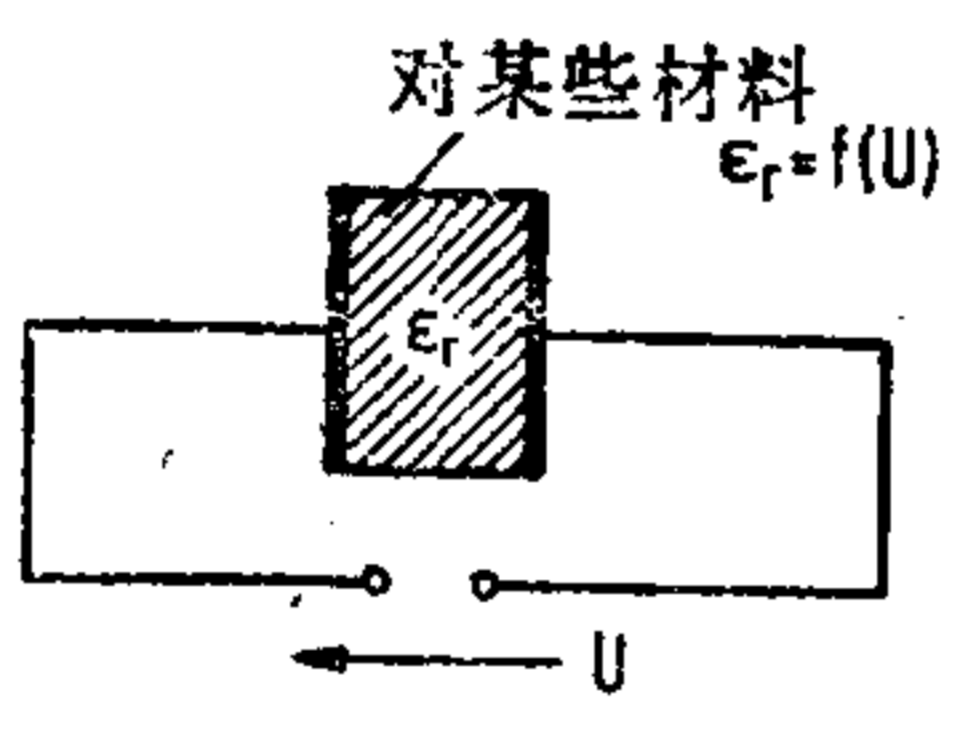
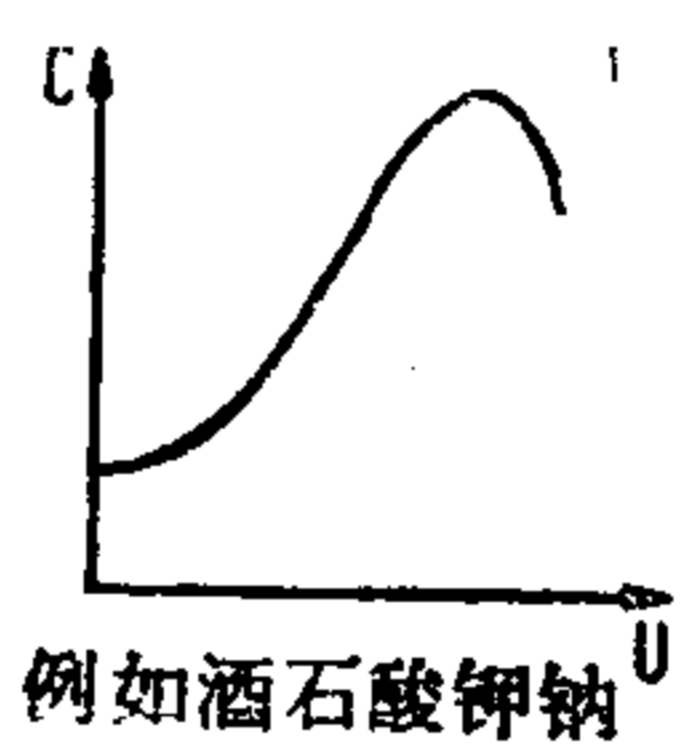
原理目录: 能量类型或信号类型的转变

原因:  电容

原因	物理效应	定律	文献	应用实例	
01.11 长度 横断面 体积	电容器 (板极间距)		$\Delta C = C \frac{\Delta d}{d}$	[22], S.150	长度测定
	电容器 (面)		$\Delta C = C \frac{\Delta A}{A}$	[22], S.154	可变电容器
	电介质位移		$\Delta C = C \frac{\Delta A}{A} (\epsilon_1 - \epsilon_2)$	[22], S.154	穿孔带阅读器
	电介质的厚度		$\Delta C = C \frac{d_2(\epsilon_2 - \epsilon_1)}{d\epsilon_2 - d_2(\epsilon_2 - \epsilon_1)}$	[22], S.157	厚度测定
04.11 力 压力 机械能	板极间距		$\Delta C = \frac{2}{U^2} F \Delta s$	[40], S.108	力的测定
	介电常数 $f(p)$		 例如: 钛酸钡 $\Delta C/C \approx 0.1/\text{at}$	[8], S.560	压力测定

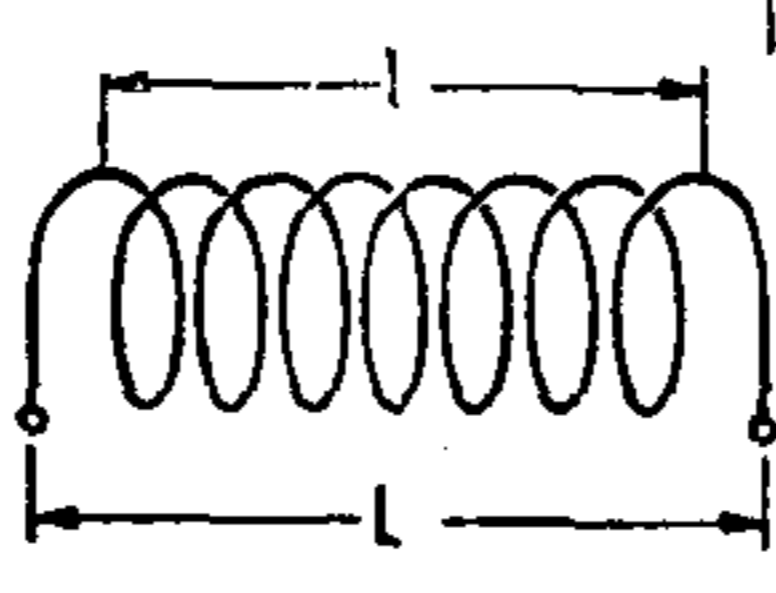
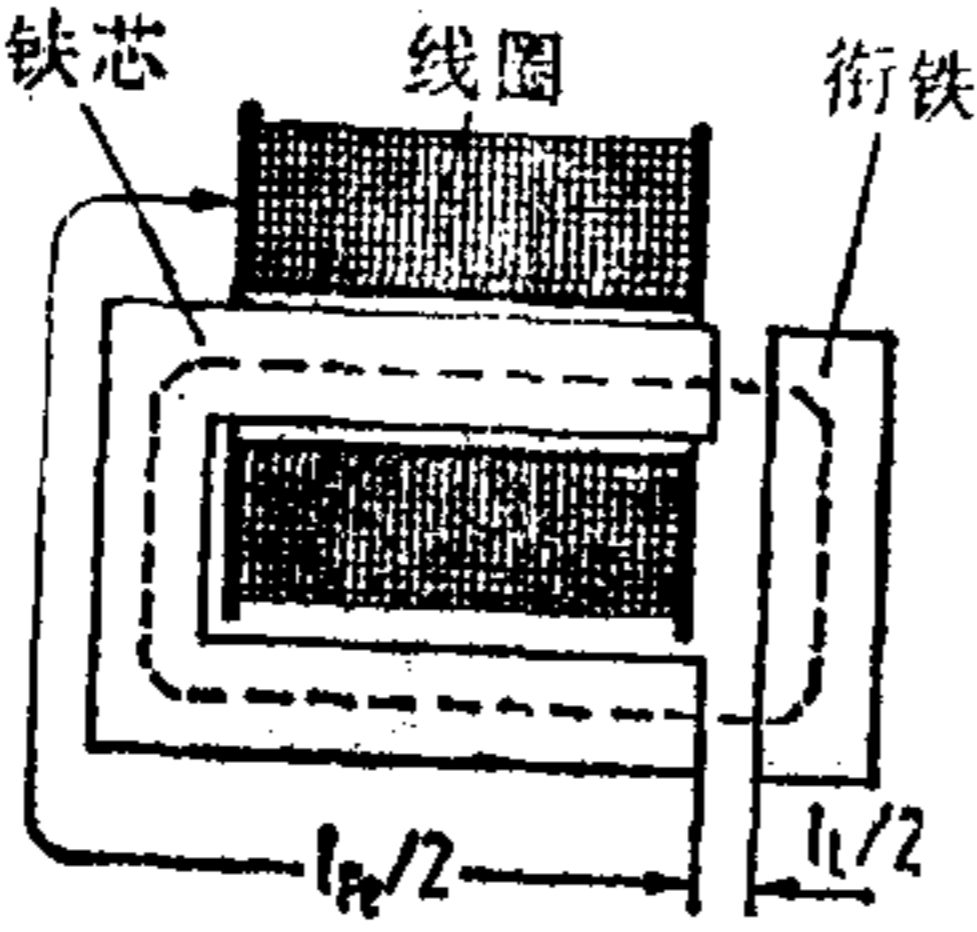
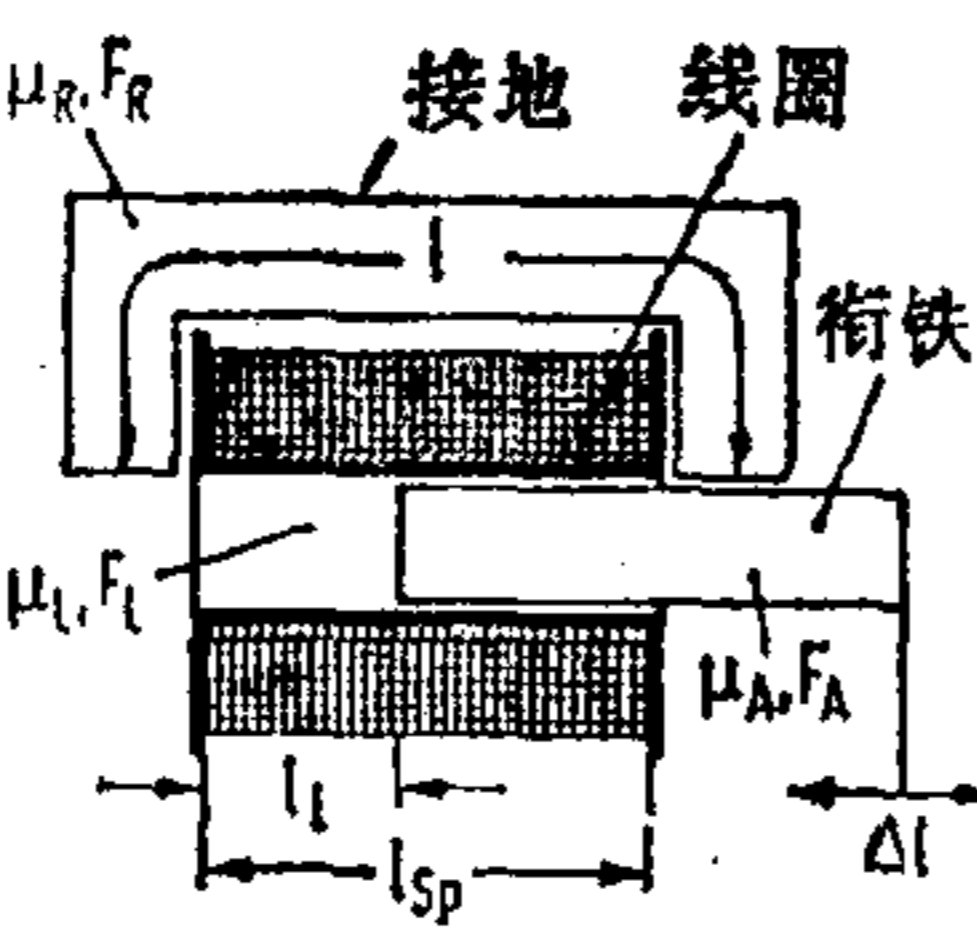
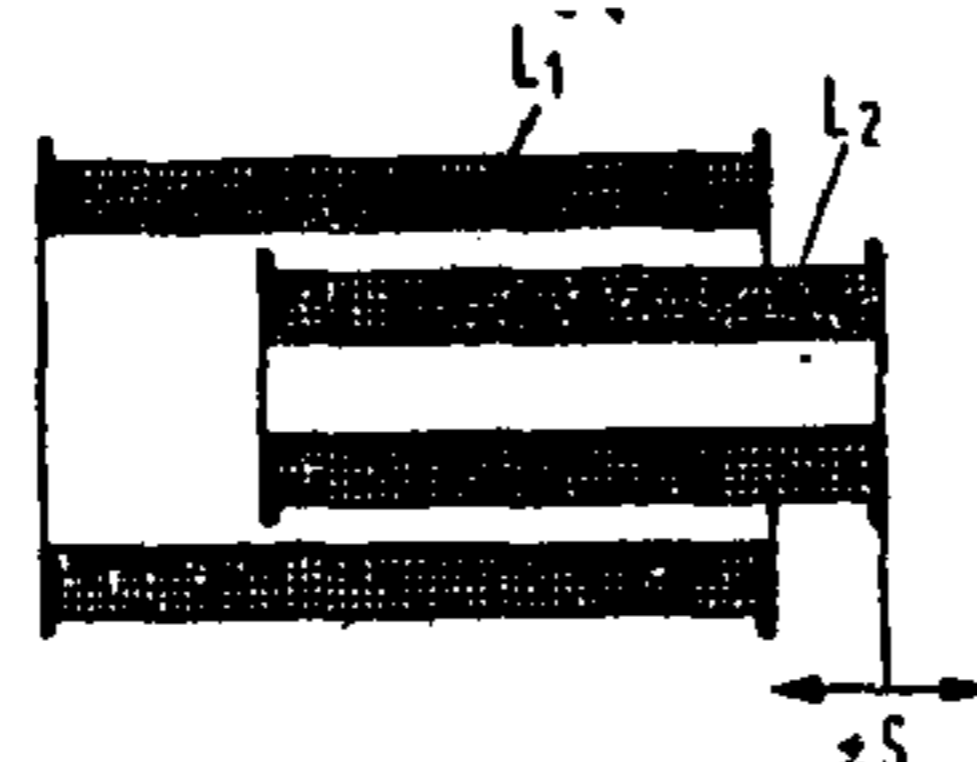
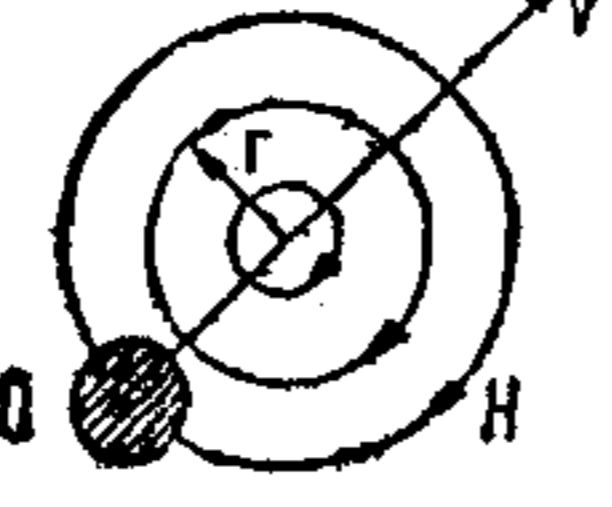
原理目录：能量类型或信号类型的转变

原因：  电容

原因	物理效应	定律	文献	应用实例
05.11 质量 惯性 比重	介电常数 $f(\rho)$ 	ϵ_r 1.1 1 例如空气 $C = \epsilon_0 \epsilon_r A/d$ at 200 op	[34.2], S.901	
08.11 温度 热	居里温度 	ΔC  例如钛酸钡 T	[21.2], S.941 [8], S.561	温度测定
10.11 电压 电流 电场	电容二极管 半导体元件的电容可以超过电压变化	$C = \frac{K_1}{\sqrt{U + K^2}}$ $K_1 = \text{结构元件常数}$	[40], S.532 Intermetall Sonderdruck 14, 1962	可调滤波器 调频 自动搜索发射机
	铁电体 对某些材料 $\epsilon_r = f(U)$ 	C  例如酒石酸钾钠 U	[27], S.301	

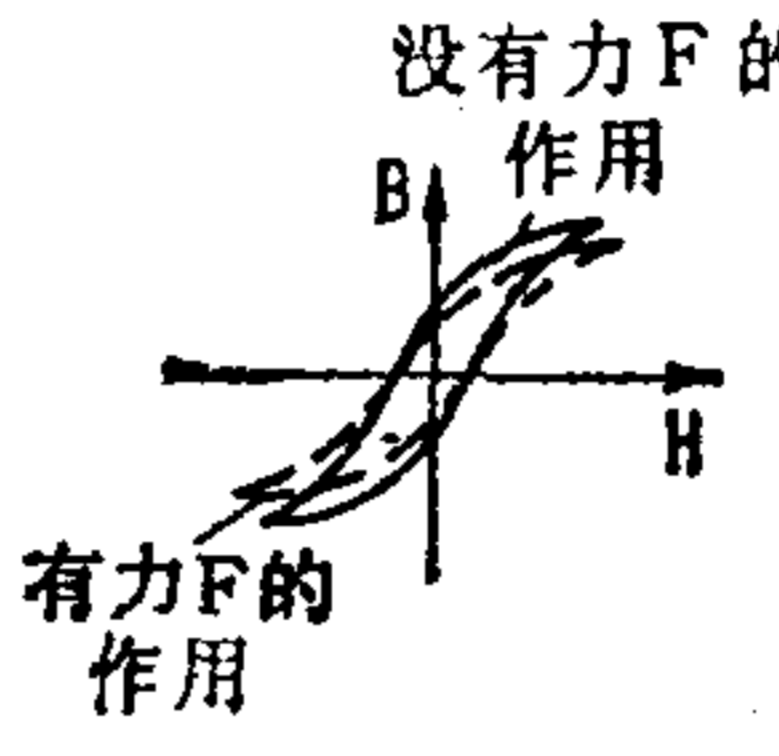
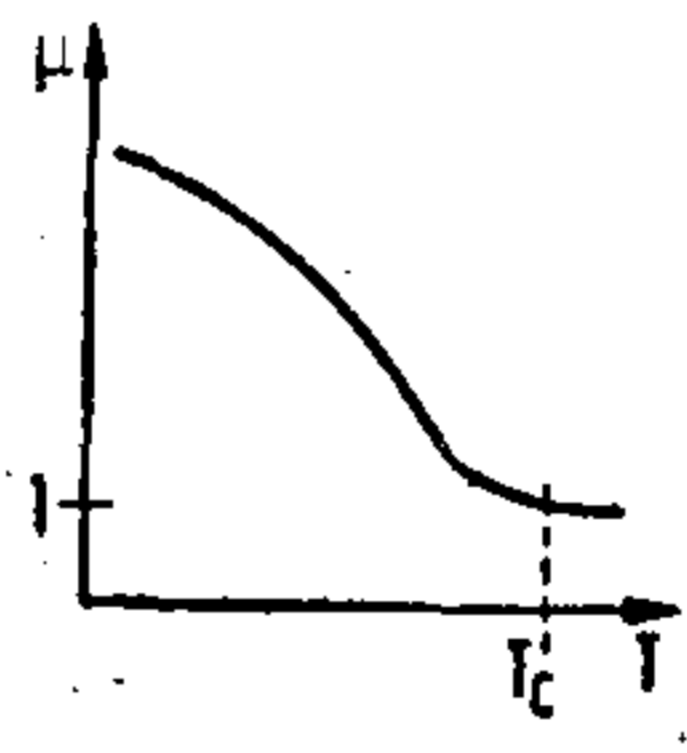
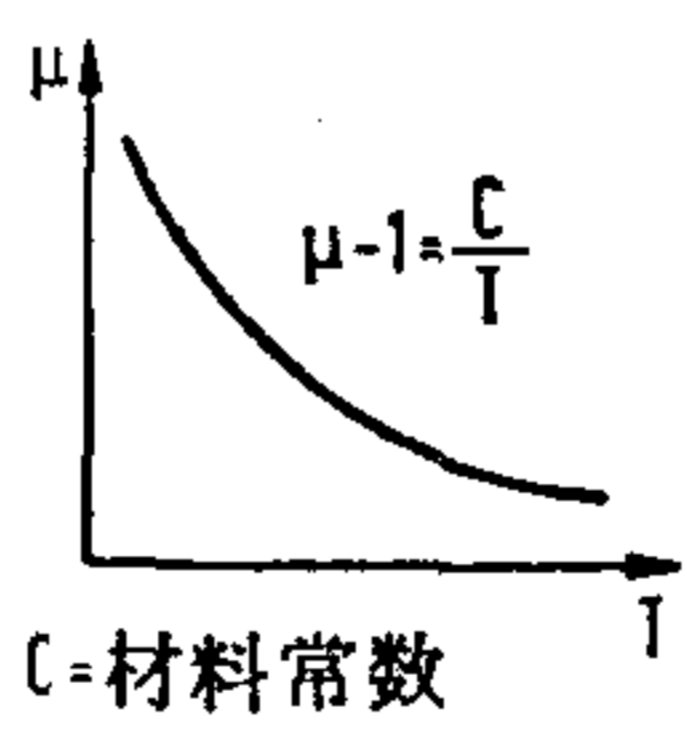
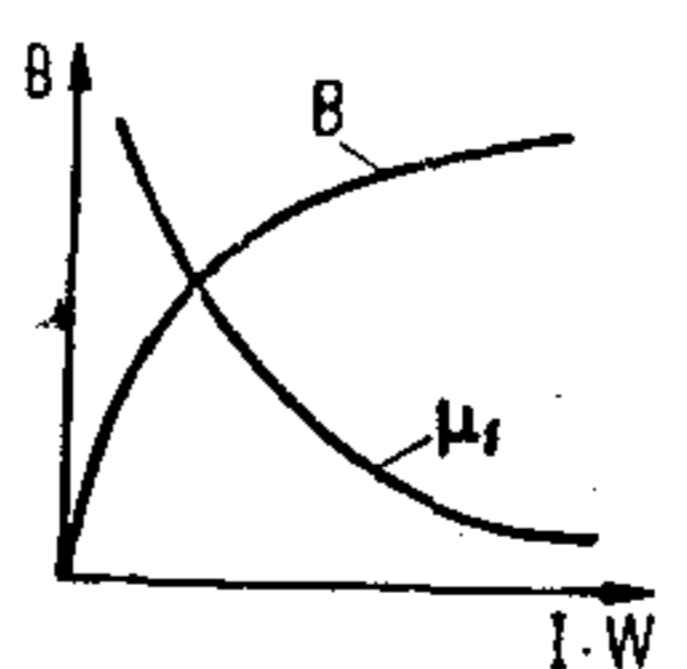
原理目录: 能量类型或信号类型的转变



原因	物理效应	定律	文献	应用实例
01.12 长度 横断面 体积	线圈长度 	$L = \mu_0 \mu_r \frac{n^2 A}{l}$ $n = \text{线圈数}$	[31], S.527	振荡回路调谐
	空气间隙 	$L = \mu_0 n^2 \frac{A}{\frac{l_{Fe}}{\mu_{Fe}} + \frac{l_L}{\mu_L}}$	[22], S.170	感应位移传感器
	铁芯位移 	$L = \mu_0 n^2 \times \frac{1}{\frac{l_L}{\mu_L F_L} + \frac{l_{sp} - l_L}{\mu_A F_A} + \frac{l_r}{\mu_r F_r}}$	[22], S.174	活动铁芯传感器
	两线圈的位置 	串联时 $L = L_1 + L_2 \pm 2M$ 并联时 $L = \frac{L_1 L_2 - 2M}{L_1 + L_2 \pm 2M}$ $M = \text{互感量}$	[22], S.169	电感位移传感器
02.12 速度	巴尼特效应 转动一未经磁化的铁磁体, 在其回转轴线方向上便产生一个弱磁场		[30], S.385	
	电荷速度  以速度 v 运动的电荷 Q 相当于 I = Qv 并产生一个磁场 H	$H = \frac{Qv}{r} \text{const}$	[31], S.497	

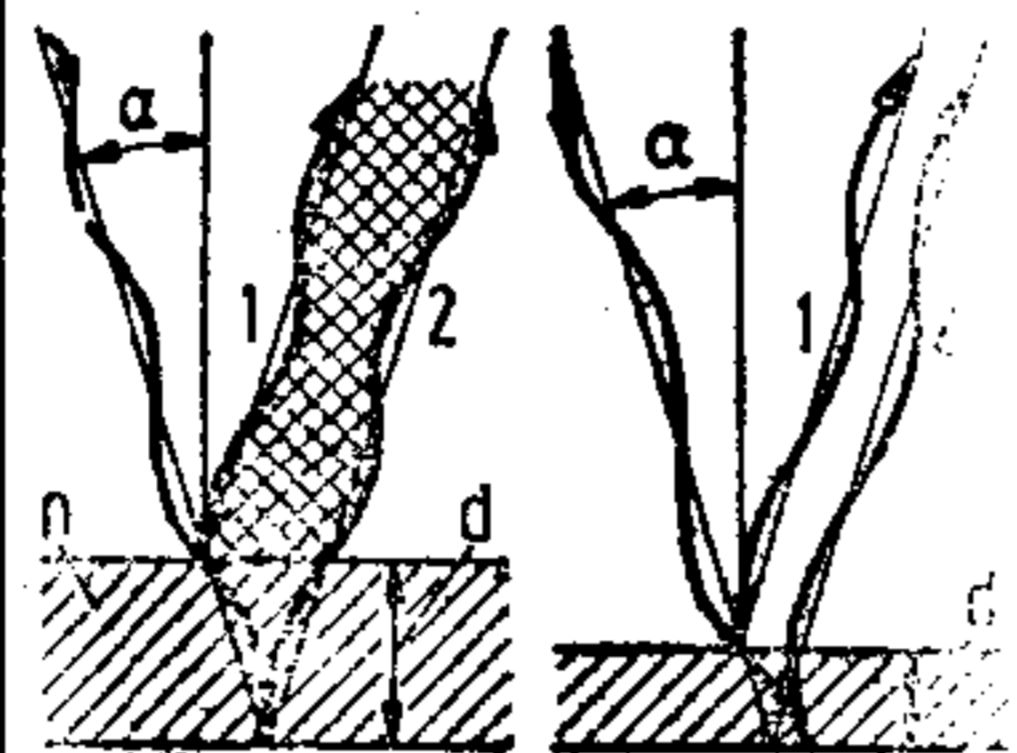
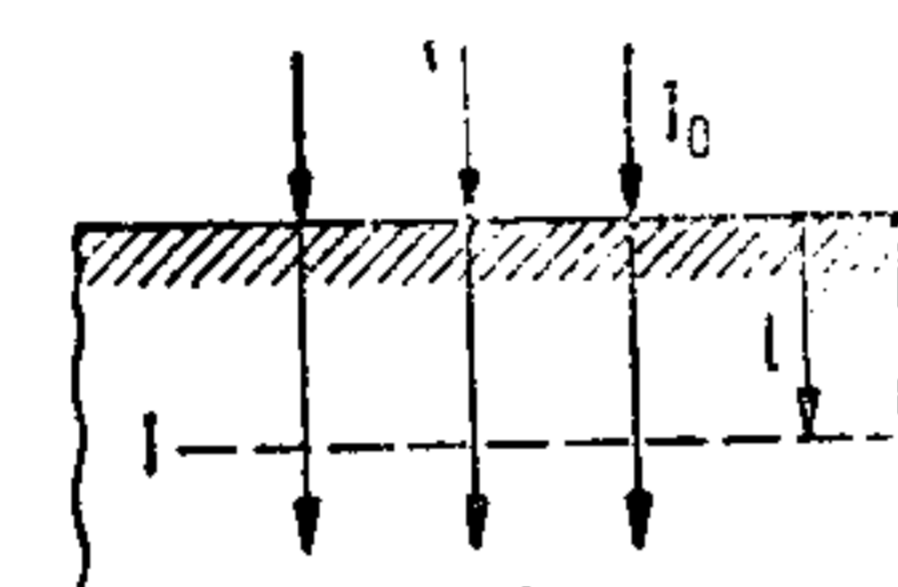
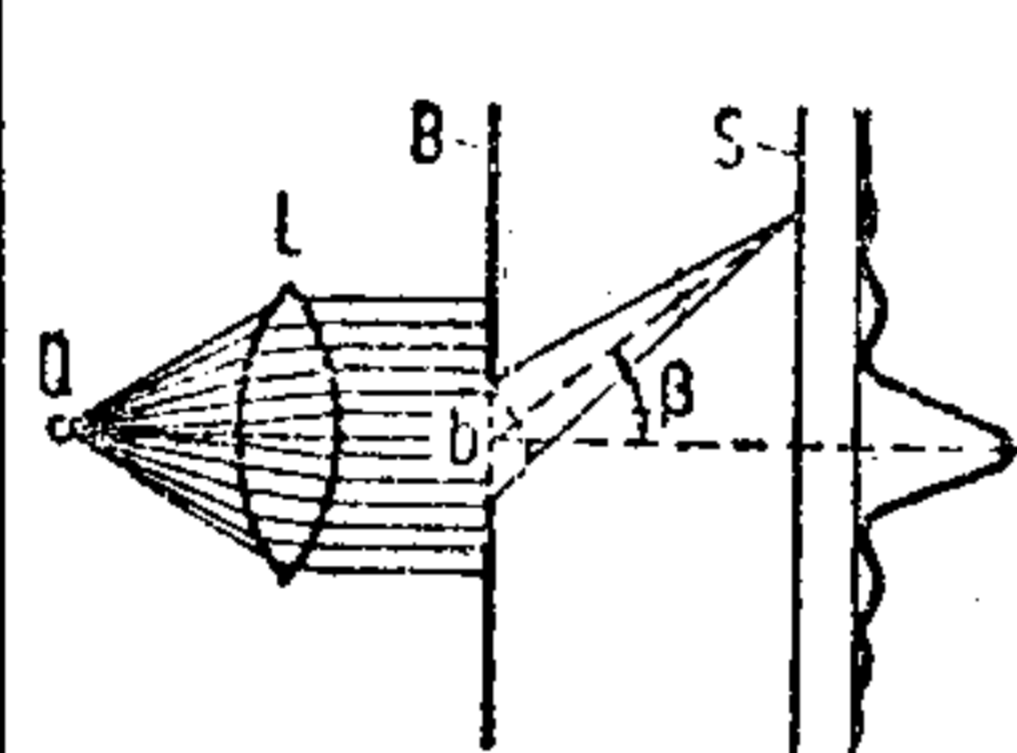
原理目录：能量类型或信号类型的转变



原因	物理效应	定律	文献	应用实例
04.12 力 压力 机械能	磁导率 $X_m = f(p)$	在顺磁气体中，磁导率随单位体积（压力）分子数量而变 $X = \gamma \frac{p}{T}$ $\gamma =$ 顺磁气体的材料常数	[44], S.97	
	磁弹性效应	铁磁体经受机械负荷时，其磁导率就会改变（磁致伸缩的逆反） 	[22], S.179	磁弹性的力传感器
	磁性各向异性	在磁性各向异性材料中，磁力线的分布随机械负荷而变	[22], S.509	压力传感器
05.12 质量 惯性矩 比重	磁导率 $X_m = f(\rho)$	在顺磁气体中，磁导率随单位体积（密度）的分子数量而变 $X = \gamma_1 \frac{\rho}{T}$ $\gamma_1 =$ 顺磁气体的材料常数	[44], S.97	
08.12 温度 热	居里点	加热铁磁材料，使其超过某一温度 T_c （居里温度）时，铁磁材料的铁磁特性消失并且显示顺磁性质 	[11], S.239 [14.2], S.342	温度开关 电子计数器中温度自动开关 电动计数器中的温度补偿
	磁导率	在不太低的温度时，大多数顺磁材料的磁导率 μ 与绝对温度 T 成反比 $\mu - 1 = \frac{C}{T}$ $C =$ 材料常数 	[11], S.237 [14.2], S.342	
	迈斯纳-奥克森费尔特效应	在某一临界温度 T_c 以下，超导体是绝对抗磁的，这就是说，它将磁场线全部由其内部引出 $\mu = 0$ 在 $T \leq T_c$ 时	[2.2], S.517	
10.12 电压 电流 电场	磁化特性曲线	由于磁化特性曲线的原因，电流与电感之间的关系是非线性的 	[2.2], S.207	

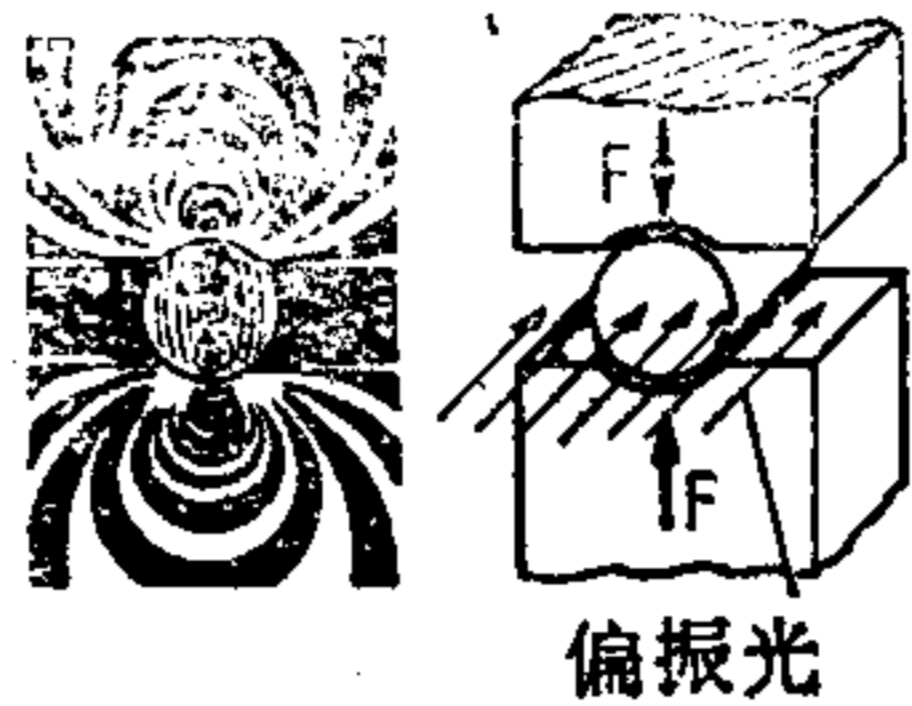
原理目录: 能量类型或信号类型的转变



原因	物理效应	定律	文献	应用实例	
01.13 长度 横断面 体积	干涉	 <p>加强 按 $2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}$ $+\frac{\lambda}{2} = k\lambda$ 消光 按 $2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}$ $+\frac{\lambda}{2} = \frac{(2k+1)\lambda}{2}$ $n = \text{折射率}$ $\lambda = \text{波长}$ $k = 0, 1, 2, 3, \dots$</p>	[2.3], S.239	表面镀膜 长度测定 全息照相变形 测量技术 表面检查	
	吸收	 <p>$I = I_0 e^{-kl}$ $k = \text{吸收常数}$</p>	[43], S.475	中性楔子	
	衍射	 <p>缝隙辐射: Q光源, 透镜L, B有缝隙的隔板, b.缝隙的宽度 β衍射度 S屏</p>	$\frac{I(\beta)}{I_0} = \frac{b^2 \sin^2\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin\beta\right)}{\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin\beta\right)^2}$	[2.3], S.284	测定衍射光栅常数 确定线材直径
	散射	<p>以统计学的精度均匀分布着微粒(尺寸量级为λ)的介质中, λ射的方向、强度、光谱与偏振状态都有变化。其变化的大小可以由微粒的大小推断</p>			
02.13 速度 时间	多普勒效应	<p>正以速度v移开的光源的视在辐射频率比其真实的辐射频率小, 而正在靠近的光源的视在辐射频率则比其真实的辐射频率大</p>	$v = v_0 \sqrt{\frac{c \mp v}{c \pm v}}$	[43], S.489 [2.3], S.223	速度测定
	流动双折射	<p>在不同的流体(线状分子)中, 产生了与其速度梯度有关的各向异性微粒的定位, 因此出现了光的双折射</p>		[14.1], S.572	

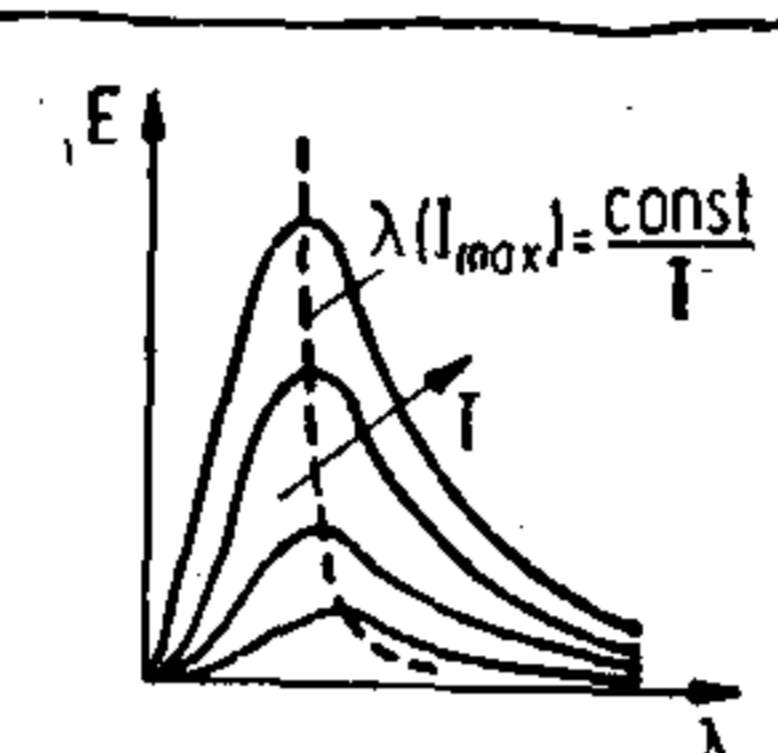
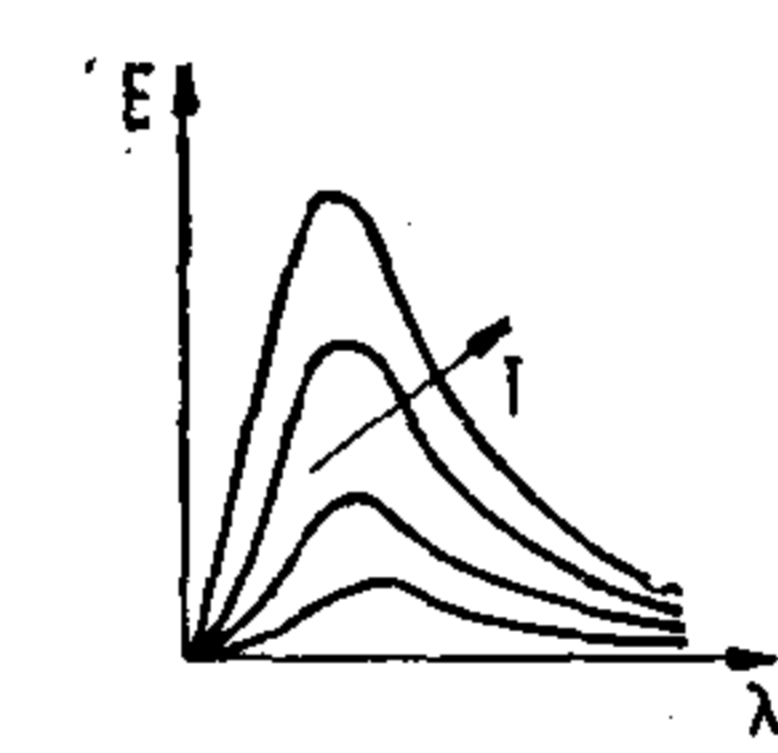
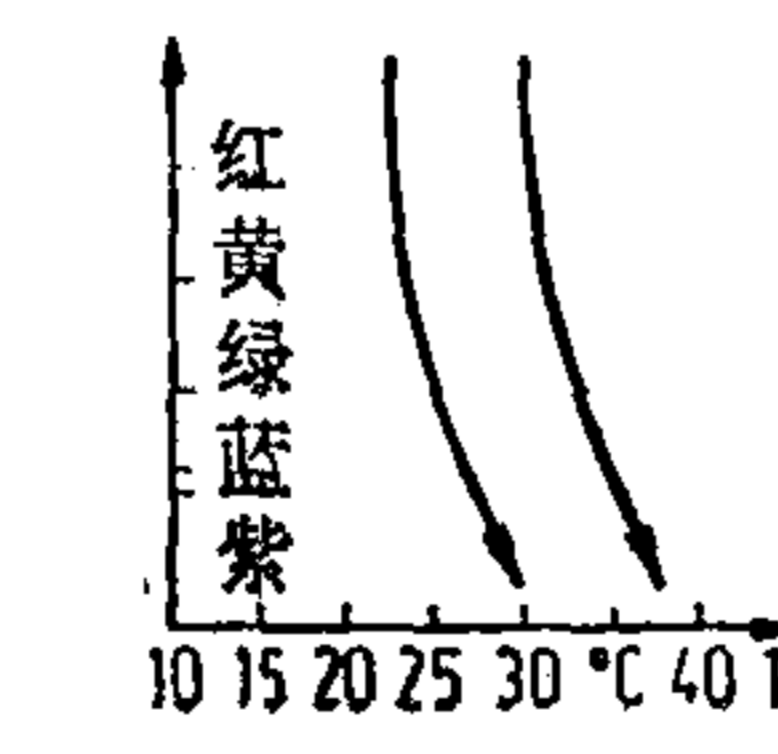
原理目录：能量类型或信号类型的转变



原因	物理效应	定律	文献	应用实例	
03.13 加速度	电荷	加速电荷引起电磁波	[19], S.258	X射线管	
04.13 力 压力 机械能	应力双折射	 <p>偏振光</p>	$I = f(\delta)$ $\delta = c(\sigma_1 - \sigma_2)d/\lambda$ $\sigma =$ 机械应力 $\delta =$ 程差 $d =$ 辐射方向材料的厚度 $c =$ 材料常数	[8], S.333	应力光学
	折射系数	大多数材料（特别是气体）的折射率随压力的增加而增加	对气体和蒸汽可用下列公式： $n(p) - 1 = (n_0 - 1)p \cdot k$ $k =$ 与温度有关的材料数值	[14.1], S.408	
	摩擦	用摩擦热产生火花		[21], S.956	打火石
05.13 质量 惯性 密度	折射	如果介质内各部分的密度不均（纹影），其折射率也是位置的函数。光偏转的大小是衡量密度差的标准		[2.3], S.317	检验均匀性 (阴影法)
06.13 时间 频率	散射	散射光的强度 I 与频率 ν 的 4 次方成正比。	$I = I_0 \text{const} \cdot \nu^4$	[11], S.365	

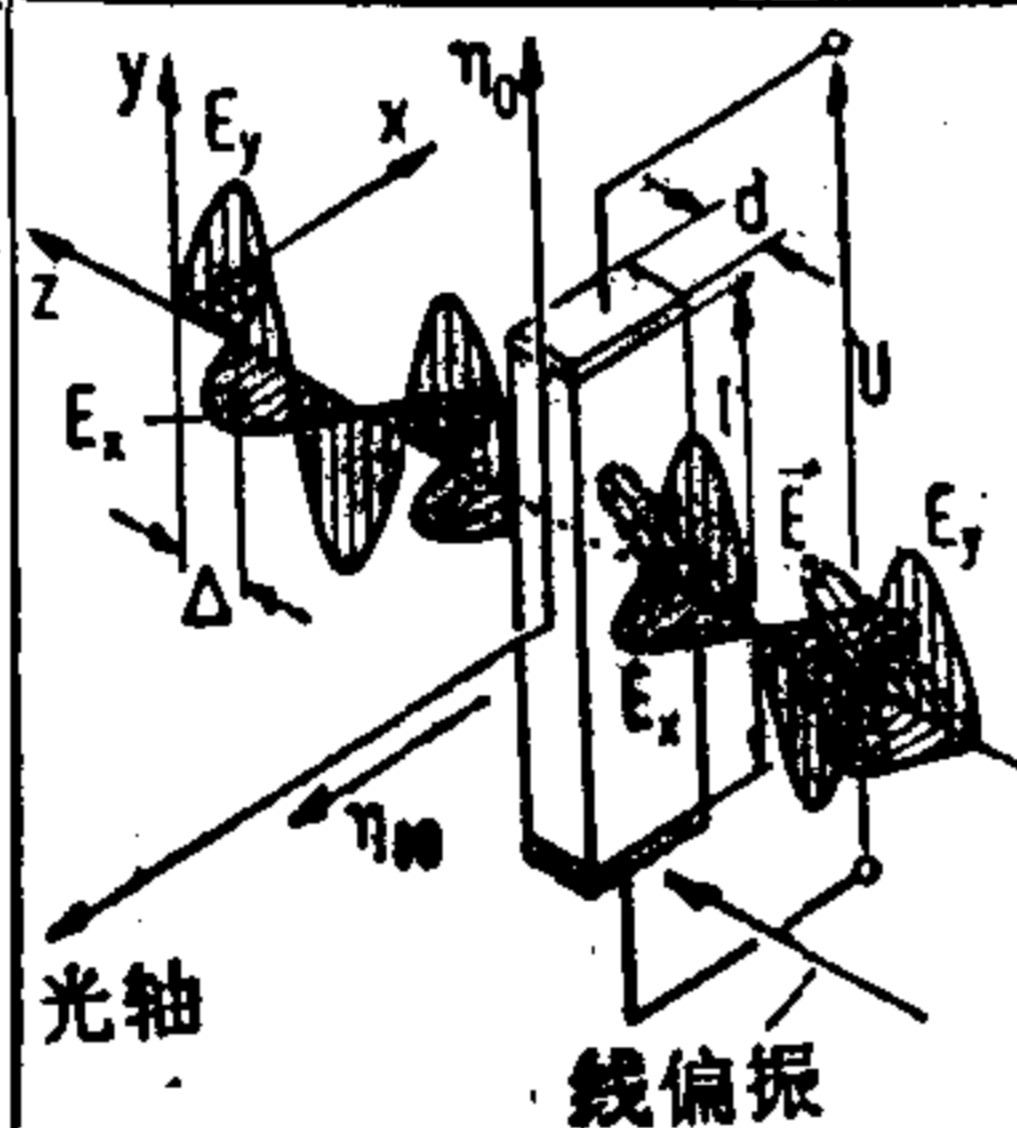
原理目录：能量类型或信号类型的转变



原因	物理效应	定律	文献	应用实例
07.13 机械波	德拜-席尔 斯效应 (衍射)	光在超声波引起的相 栅上的衍射 (由空间周 期密度变化所致的 n 的 相应变化) $\sin \alpha = k \frac{\lambda_{\text{光}}}{\lambda_{\text{声}}}$ $\alpha = \text{最大强度的衍射角}$ $k = 0, 1, 2, 3, \dots$	[2,3], S.294	
	吸收 (荧光屏)	吸收超声波激发荧光 (声发光)	[21], S.2377	
08.13 温度 热	威恩位移定律	辐射强度的最大值随 温度的升高而向较小波 长值 λ 方向偏转 	[11], S.376 [30], S.554	温度测定
	普朗克强度 分布	普朗克辐射定律说明 在整个温度和波长范围 内, 辐射能 E 与温度之 间的关系 	[45], S.489 [11], S.375	温度测定 比色高温计
	斯蒂芬-玻 耳兹曼定律	在任意波长时, 单位 面积和单位时间的黑体 总辐射 E 与绝对温度的 4 次方成正比 $E = \sigma T^4$ $\sigma = \text{玻耳兹曼常数}$	[30], S.555	温度测定
	液晶	溶解某种色素的薄层 (胆甾醇型液晶) 显示 出对温度十分灵敏的色 彩现象 	[24], S.368	表面温度的测定 温度分布的图示
	折射率	大多数材料 (特别是 气体) 的折射率 $n(t)$ 随 温度 T 的升高而降低 $n(t) - 1 = k(n_0 - 1) \frac{1}{1 + dT}$ $\alpha = \text{膨胀系数}$ $k = \text{与压力有关的材料常数}$	[14.1], S.407	

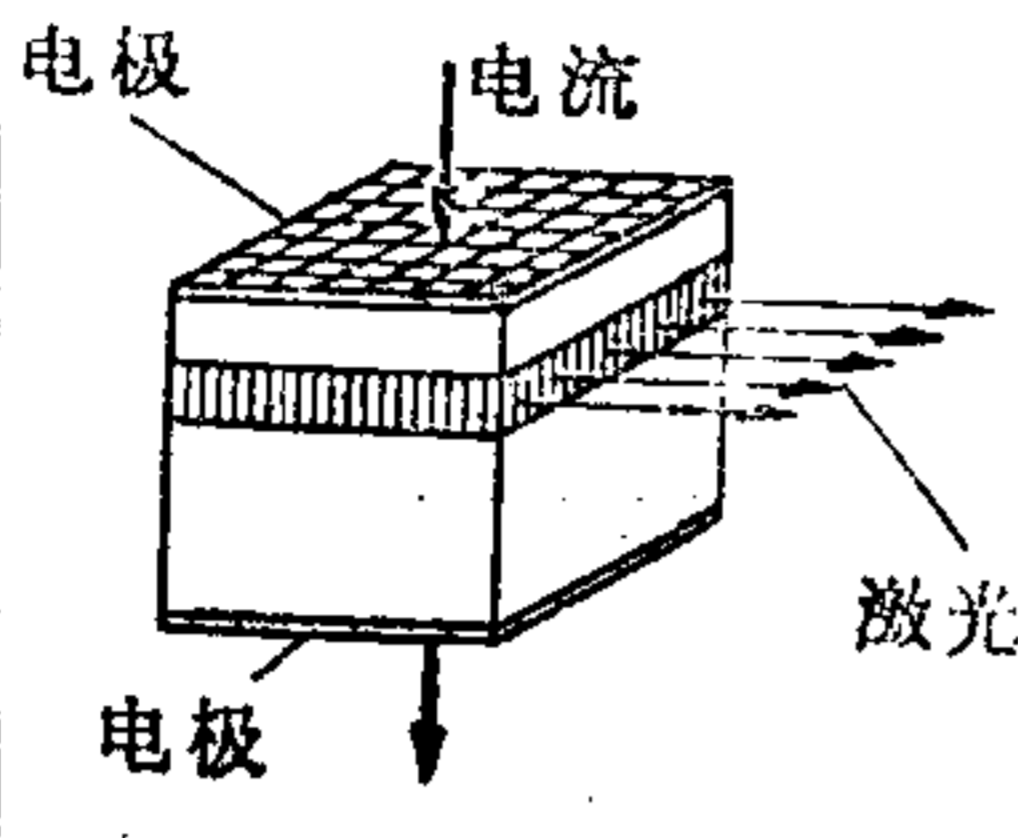
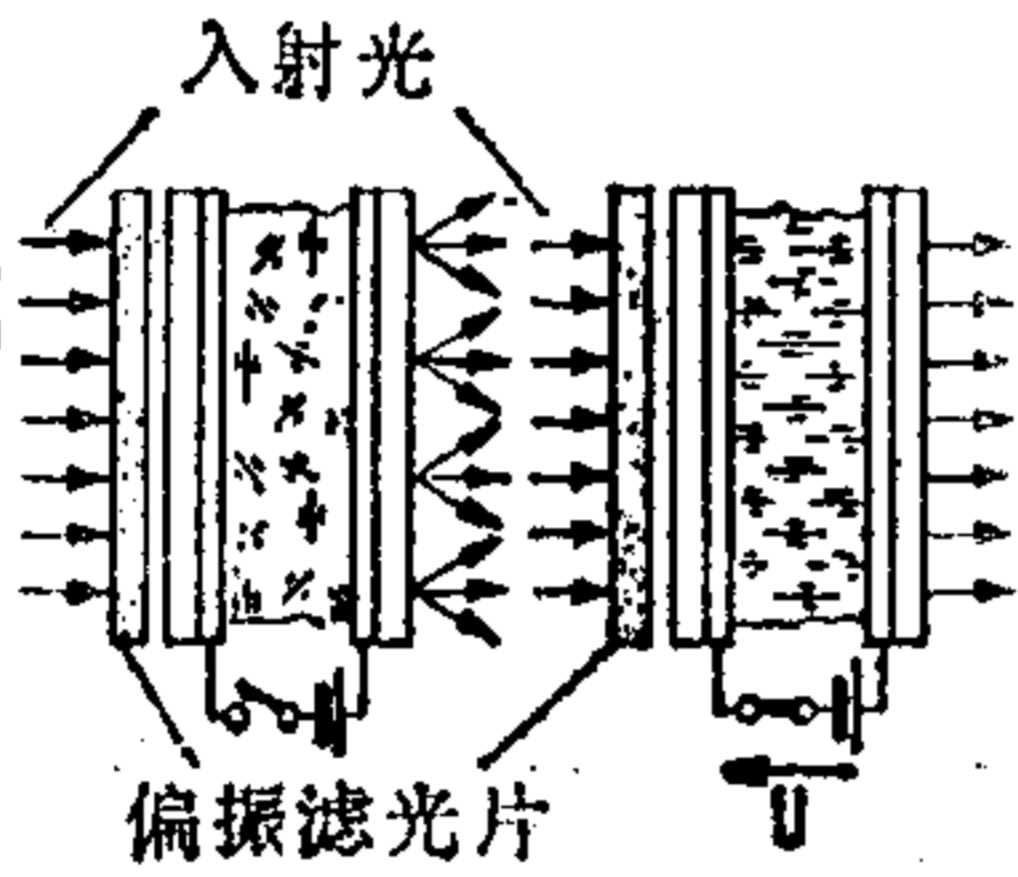
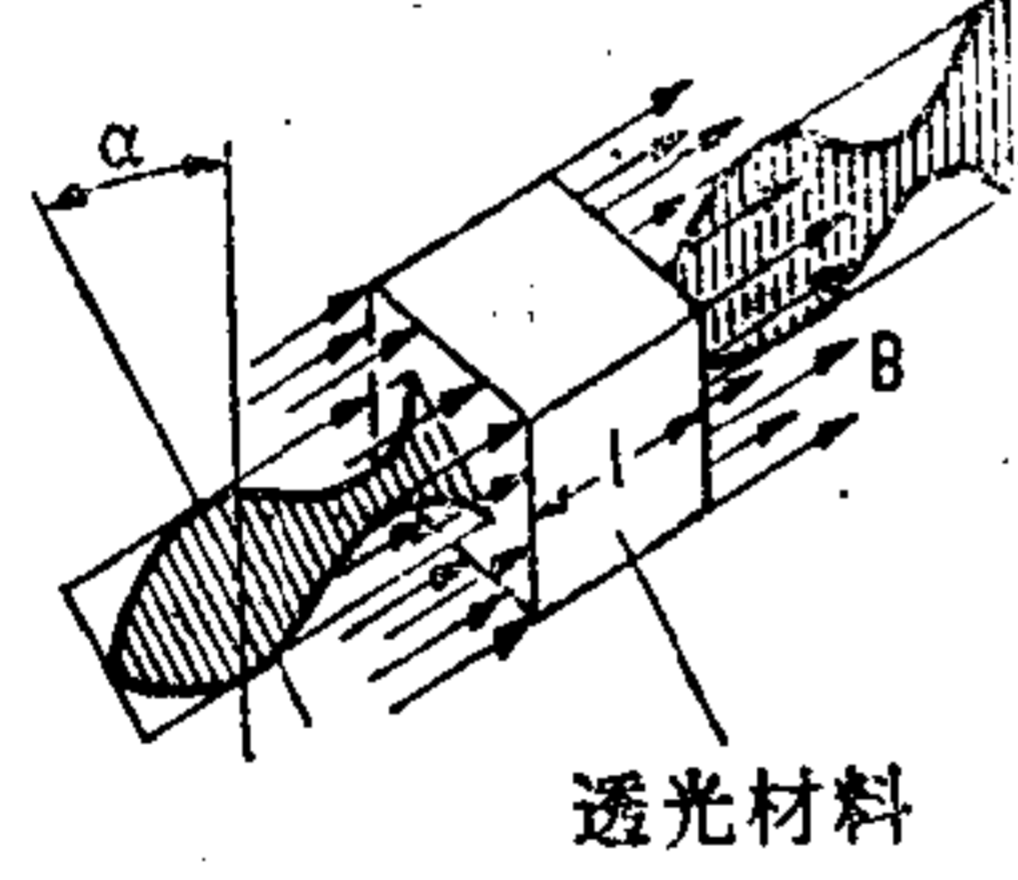
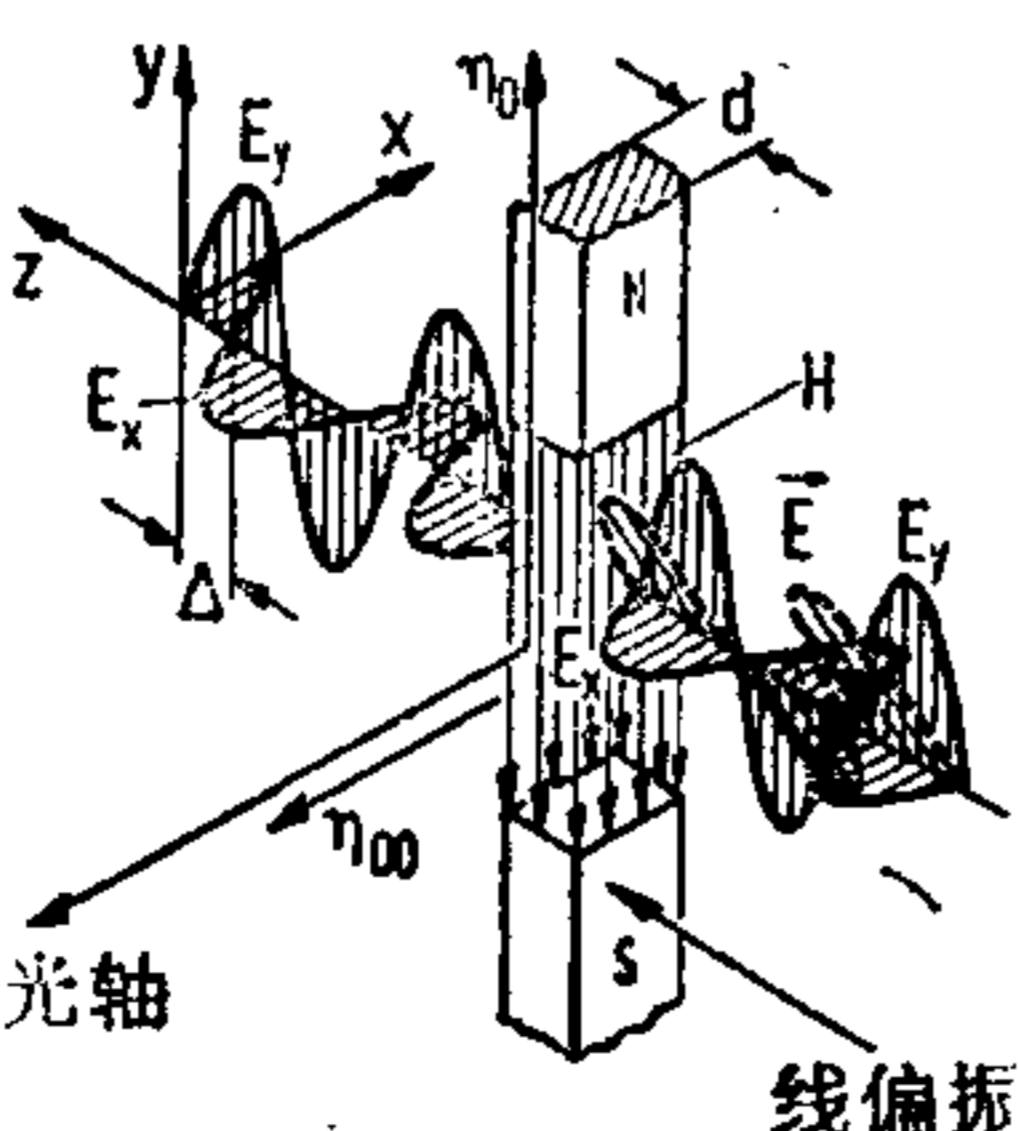
原理目录: 能量类型或信号类型的转变



原因	物理效应	定律	文献	应用实例
10.13 电压 电流 电场	辉光放电	在较小的压力和极小的电流密度条件下, 电气体放电时的发光现象		[11], S.291 辉光灯
	X 射线	如伦琴射线管中由于加速电压而运动的电子在阳极材料中受到抑制, 从而产生极短电磁波(X 射线)	$h \cdot \nu = U \cdot e$ $U = \text{加速电压}$	[30], S.541 X 光机
	电发光	来自固体的光发射, 先给固体的电子加一电场, 使之处于激发状态		[30], S.609 [2.4], S.572 注入式发光二极管 荧光板 激光二极管
	闪烁现象	快速 α 粒子渗入 ZnS 晶体中, 便产生精确定位的闪光。其发射的光量与粒子的能量损耗成正比		[21], S.2500 闪烁计数器
	克尔效应	 光轴 线偏振	$\Delta = d(n_{e0} - n_o) = Kd\lambda E^2$ $E = U/l$ $\Delta = \text{程差}$ $\lambda = \text{真空中光波长}$ $K = \text{克尔常数}$	[21], S.1460 [30], S.530 克尔盒 光调制

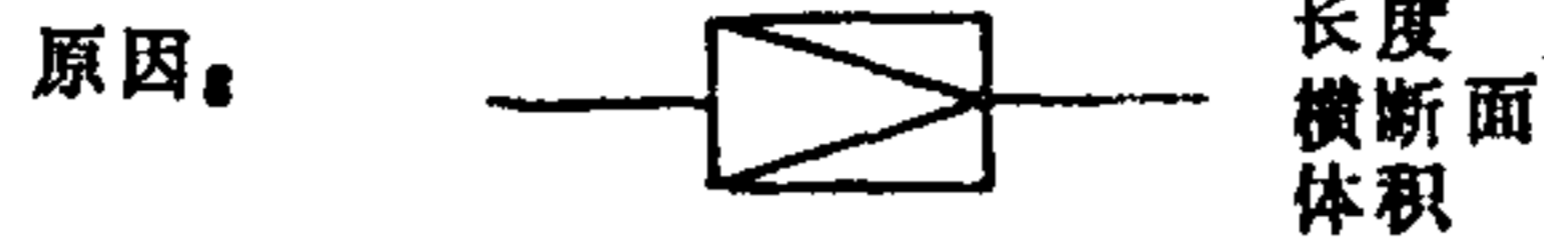
原理目录: 能量类型或信号类型的转变

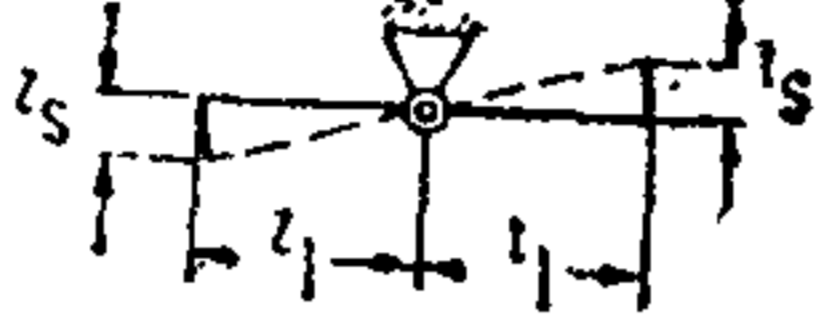
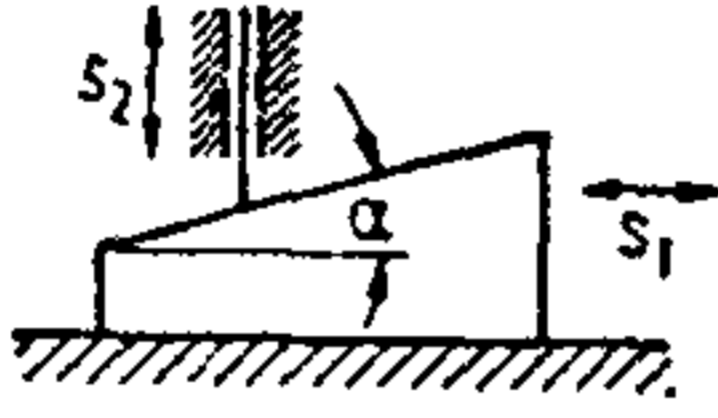
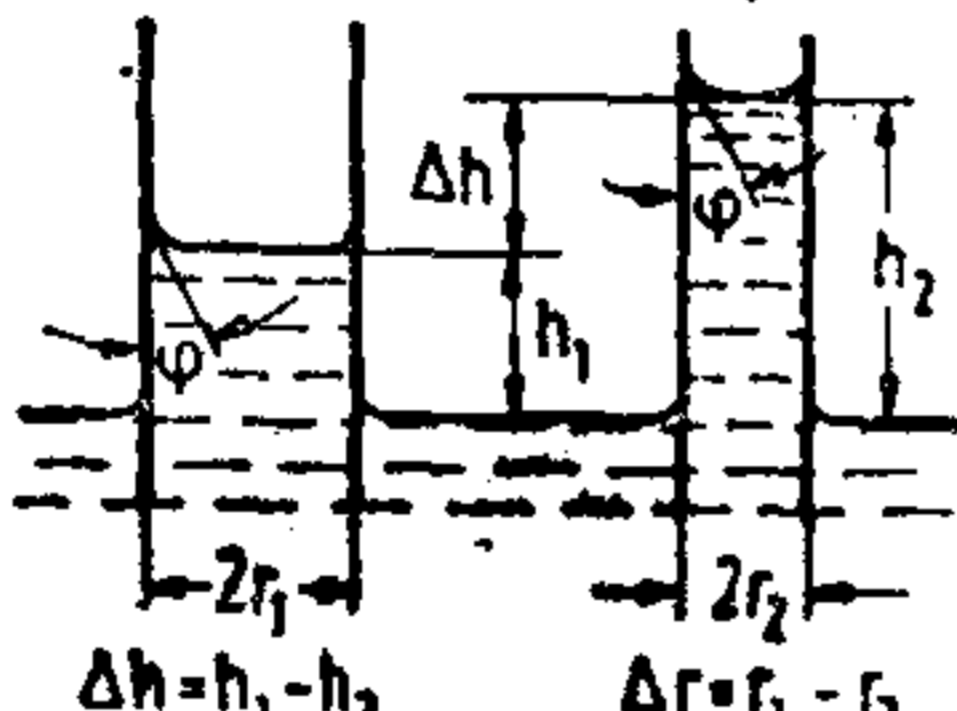
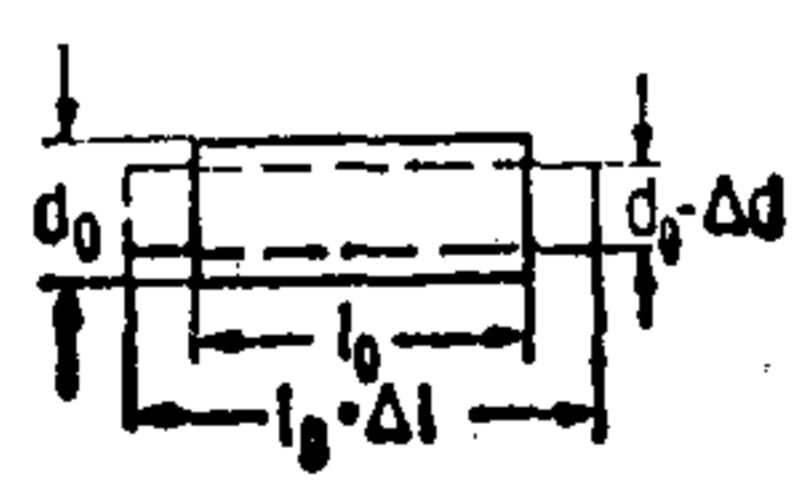
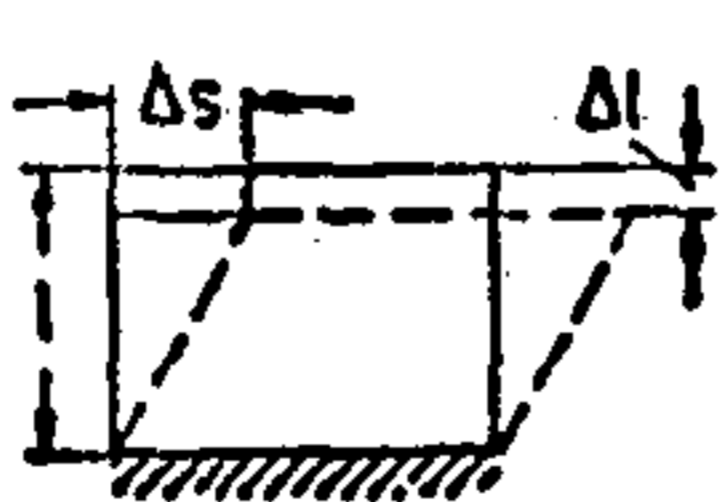
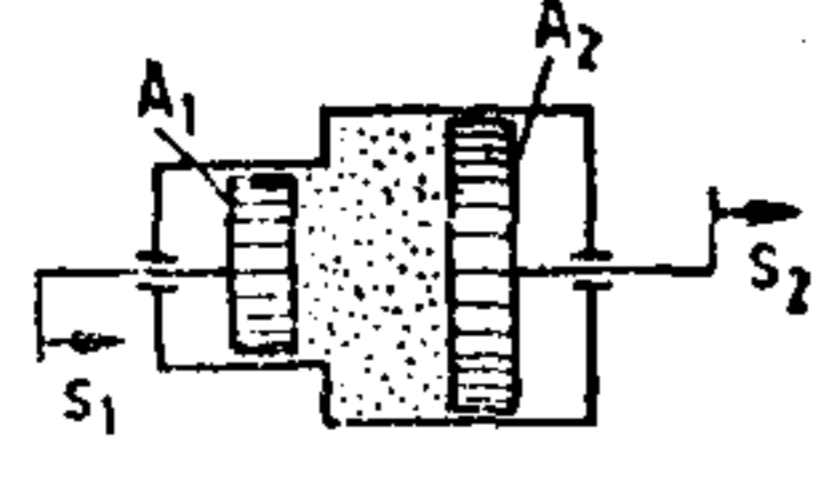


原因	物理效应	定律	文献	应用实例
10.13 电压 电流 电场	激光效应 		[2.1], S.1605	激光二极管 气体激光器 全息照相术
	斯塔克效应 若发光原子位于电场中, 其核外电子与电场之间的相互作用使光谱线分离	$\Delta\nu = R_H \frac{N}{Z} E$ $\Delta\nu = \text{频率变化}$ $R_H = \text{斯塔克常数}$ $N = \pm 1, 2, 3, \dots$ $Z = \text{核电荷数}$ $E = \text{电场强}$	[2.3], S.415	
	液晶 		[2.4], S.366	指示器部分 可变滤色器 计算机存储单元 扁平荧光屏
12.13 磁场 电感	法拉第效应 	$\alpha = V \cdot l \cdot B$ $\alpha = \text{偏振平面的转角}$ $V = \text{费尔德常数}$ $B = \text{磁感应}$	[1], S.364	光强度调制
	塞曼效应 若发光原子位于磁场中, 其核外电子与磁场之间的相互作用使光谱线分离	$\Delta\nu = \pm \frac{e}{4\pi \cdot m \cdot c} H$ $e, m = \text{电子电荷, 电子质量}$ $c = \text{光速}$ $H = \text{磁场强}$	[2.3], S.409	双频激光器
	科顿-莫顿效应 	$\Delta = (n_{e0} - n_0) d$ $= C \cdot \lambda \cdot d \cdot H^2$ $C = \text{科顿-莫顿常数}$	[2.3], S.397	

原理目录 2 物理量的放大或缩小

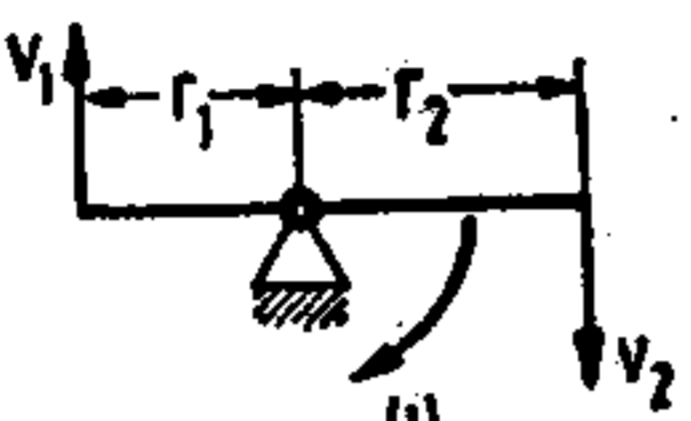
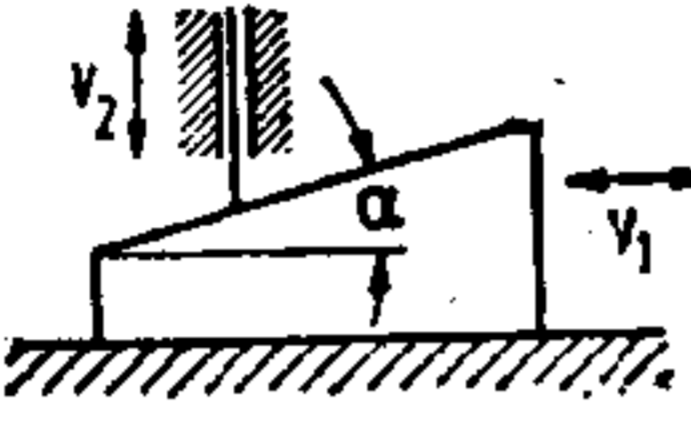


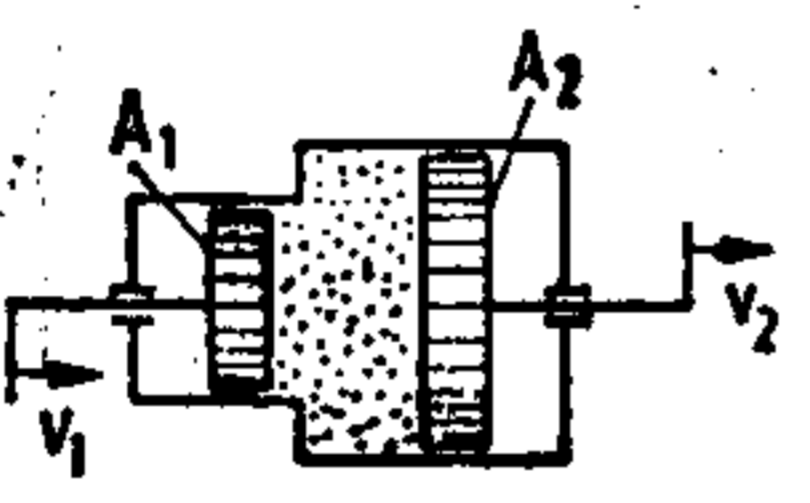
原理目录: 物理量的放大或缩小



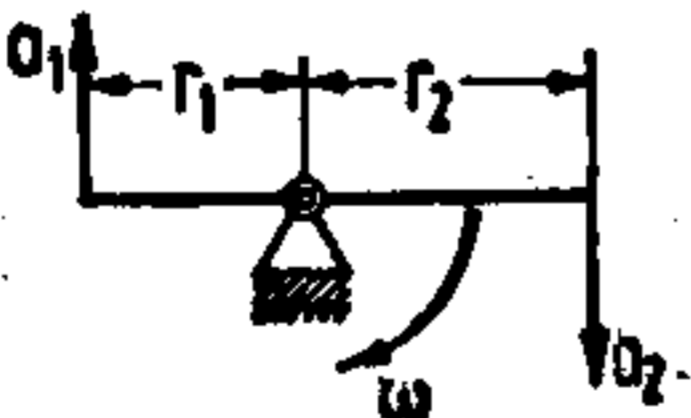
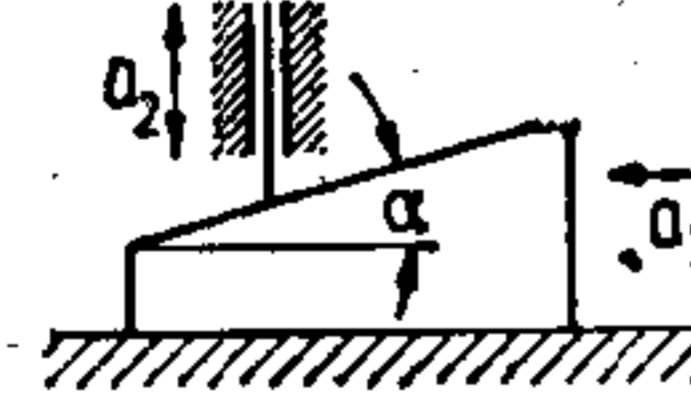
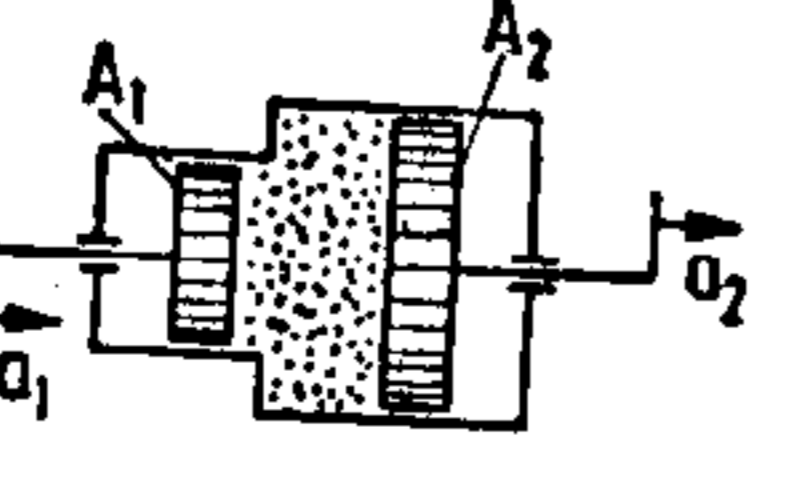
原因	物理效应	定律	文献	应用实例	
01.01 长度 横断面 体积	杠杆效应	$s_2 = s_1 = \frac{l_2}{l_1}$	[7.1]	杠杆传动机构 齿轮	
		楔效应	$s_2 = s_1 \tan \alpha$	[7.1]	螺栓 凸轮传动机构
		毛细管现象	$\Delta h = - \frac{\Delta r}{r_1^2 - r_1 \Delta r} \cdot \frac{2\sigma \cos \varphi}{\rho g}$	[2.1], S. 416	
		横向收缩	$\Delta d = \mu \frac{d_0}{l_0} \Delta l$	[2.1], S. 242	
		剪切变形	$\Delta l = \frac{\Delta s^2}{2l}$	[30], S. 120	扭簧比较仪
		流体效应	$s_2 = \frac{A_1}{A_2} s_1$	[7.1]	流体动力学 气体动力学
					

原理目录: 物理量的放大或缩小

原因:  速度

原因	物理效应	定律	文献	应用实例
02.02 速度	杠杆效应	 $v_2 = v_1 \frac{r_2}{r_1}$		杠杆传动机构
	楔效应	 $v_2 = v_1 \tan \alpha$		凸轮传动机构 偏心轮 螺栓
	碰撞	碰撞前  碰撞后  $c_2 = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2 - m_2 (v_1 - v_2) k}{m_1 + m_2}$ $k = \text{碰撞系数}$	[7.1], S.279	
	流体效应	 $v_2 = v_1 \frac{A_1}{A_2}$		流体动力学 气体动力学

原因:  加速度

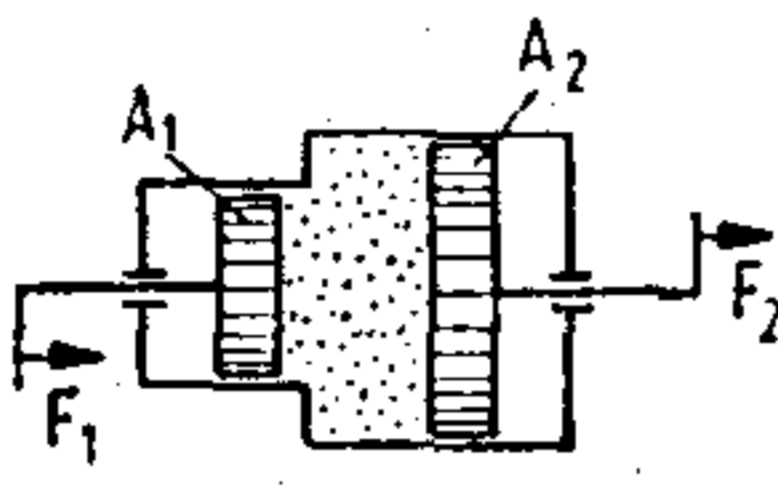
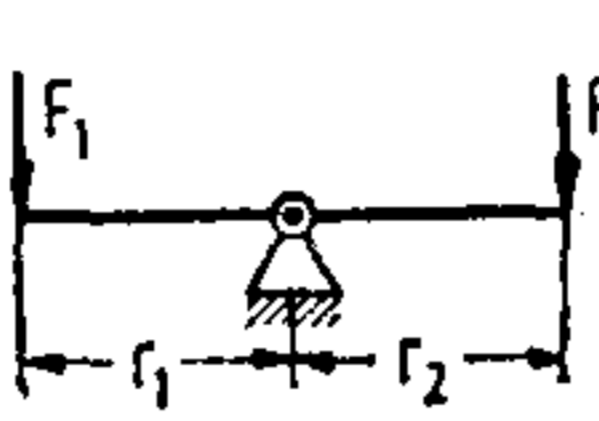
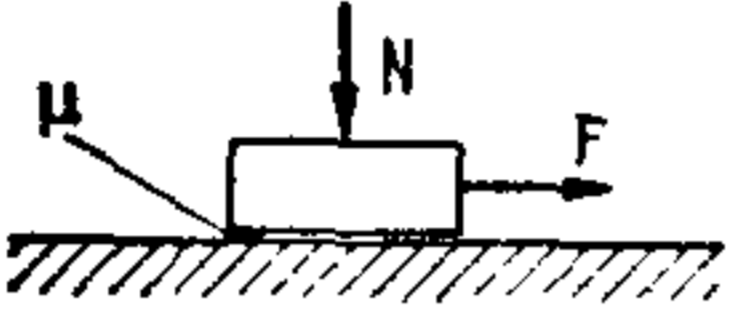
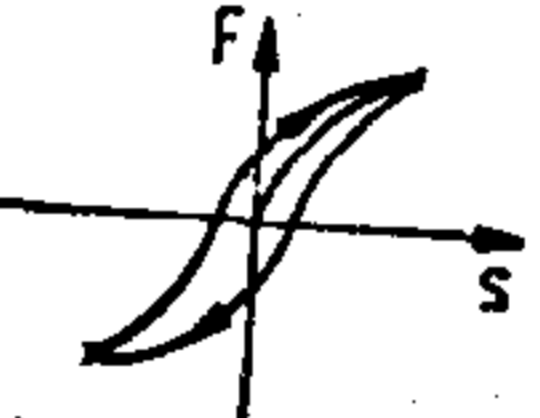
03.03 加速度	杠杆效应	 $a_2 = a_1 \frac{r_2}{r_1}$		杠杆传动机构
	楔效应	 $a_2 = a_1 \tan \alpha$		凸轮传动机构 偏心轮 螺栓
	流体效应	 $a_2 = a_1 \frac{A_1}{A_2}$		流体动力学

原理目录: 物理量的放大或缩小

原因:

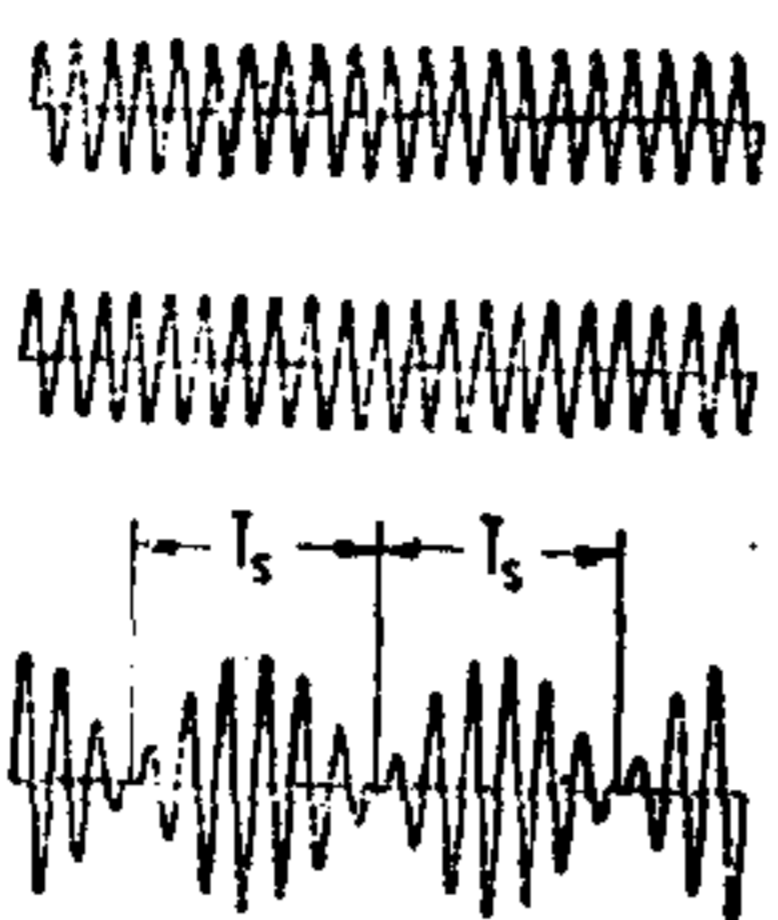


力
压力
机械能

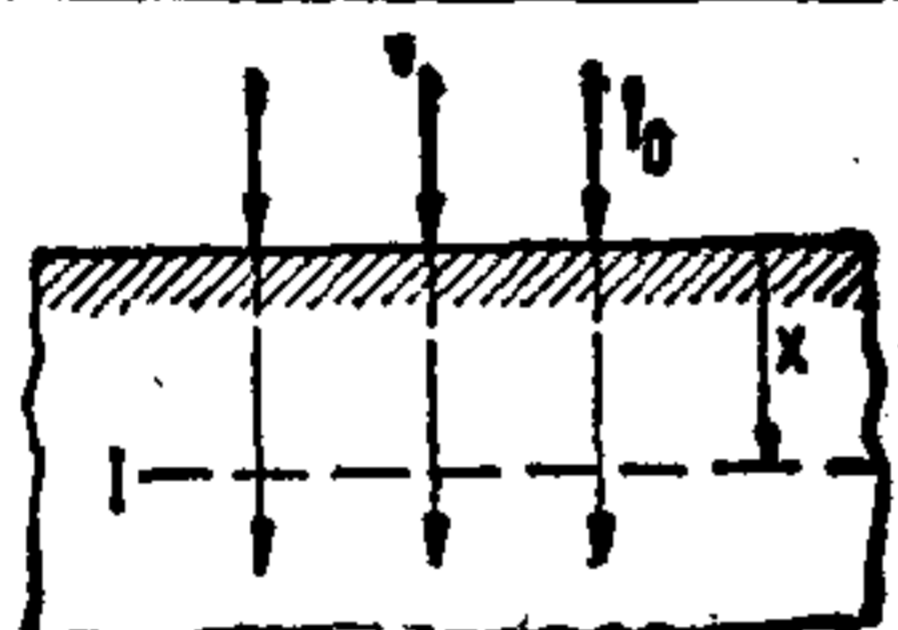
原因	物理效应	定律	文献	应用实例
04.04 力 压力 机械能	流体效应	 $F_2 = F_1 \frac{A_1}{A_2}$		流体动力学 气体动力学
	杆杠效应	 $F_2 = F_1 \frac{r_1}{r_2}$		杆杠传动机构
	摩擦	 $F = \mu N$		制动
	滞后	 $W_{\text{verl}} = \oint F \cdot ds$ $W_{\text{verl}} = \text{每负荷周期变成热量的能量}$	[37.4], S.761	

原理目录: 物理量的放大或缩小

原因:  时间频率

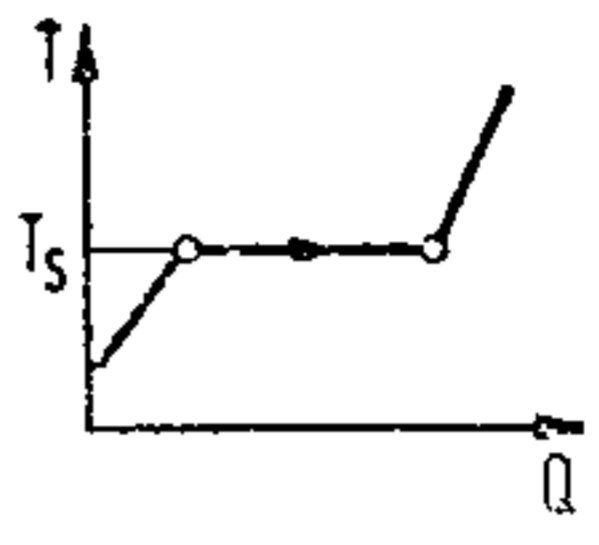
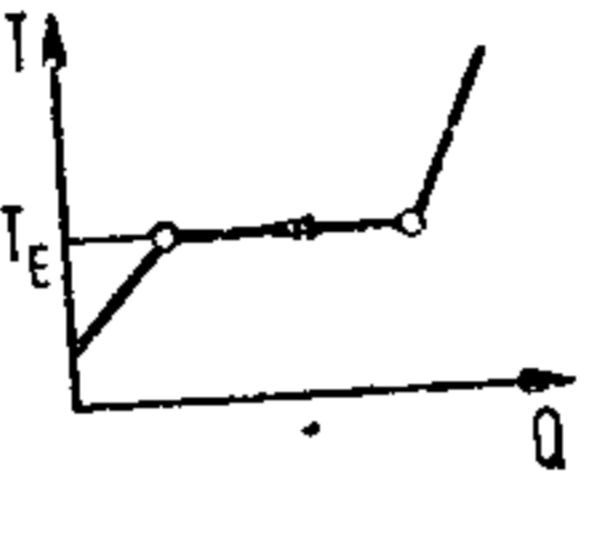
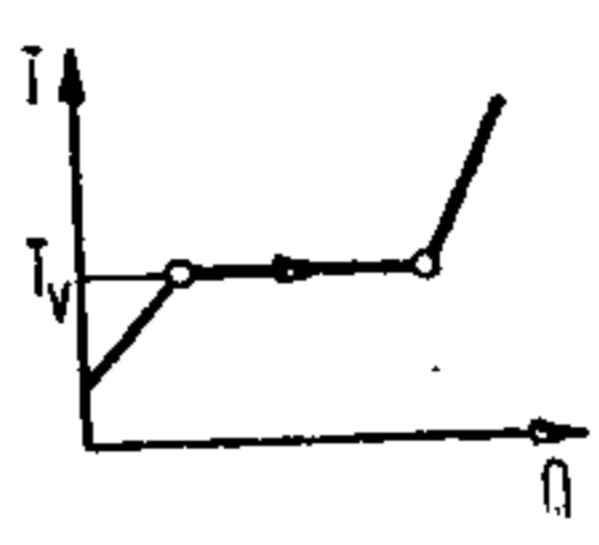
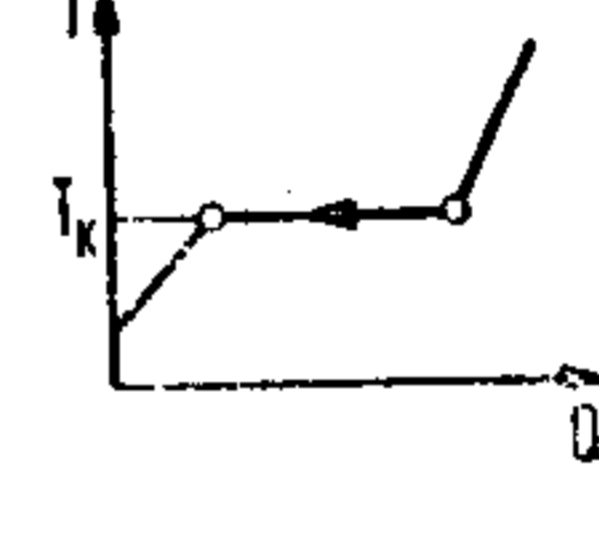
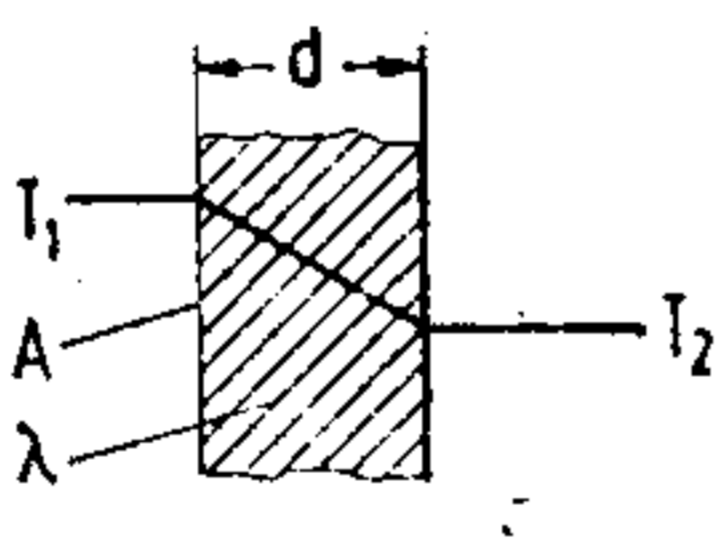
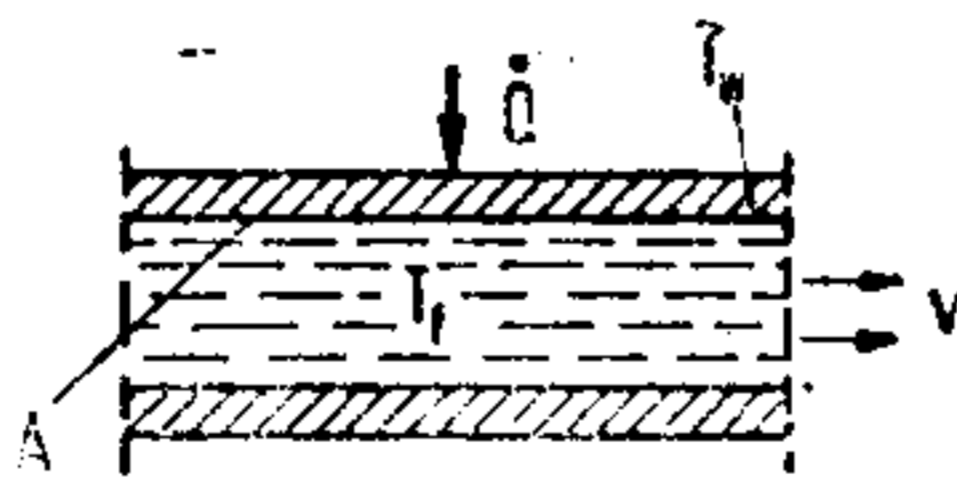
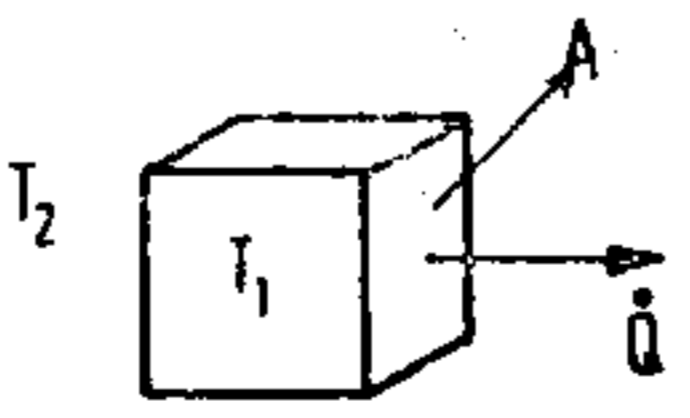
原因	物理效应	定律	文献	应用实例
06.06 时间 频率	差拍振动 	$\nu_s = \nu_1 - \nu_2 = \frac{1}{T_s}$ $\nu_s = \text{拍频}$ $\nu_s = \text{基频}$	[2.1], S.179	确定频率调谱 频闪观测器

原因:  机械波
(声)

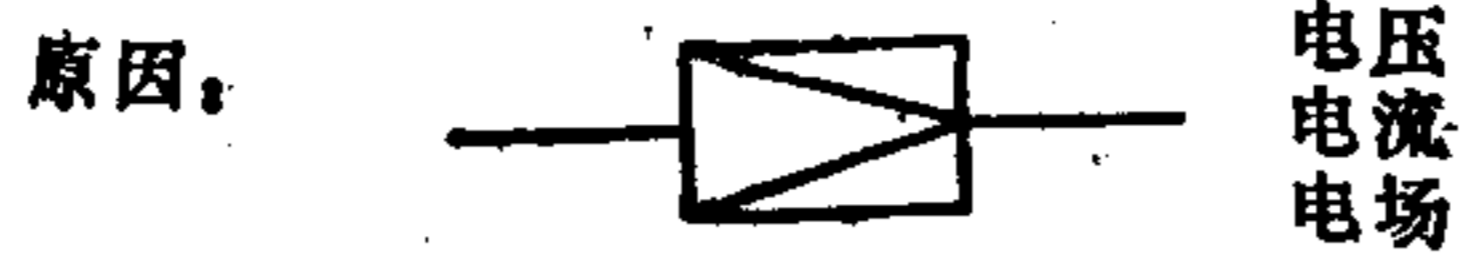
07.07 机械波 (声)	反射	声反射时强度减弱		[2.1], S.492	隔声
	干涉	由于干涉作用, 两个声波重叠时可能消失或加强		[2.1], S.452	
	吸收		$I = I_0 e^{-\beta x}$ $\beta = \text{吸收系数}$	[11], S.120	

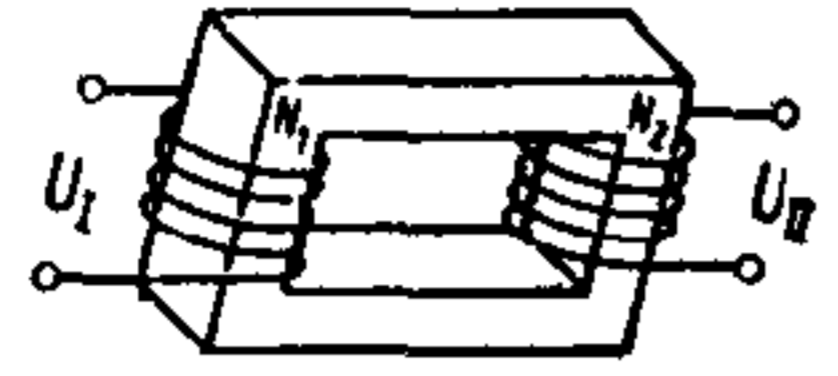
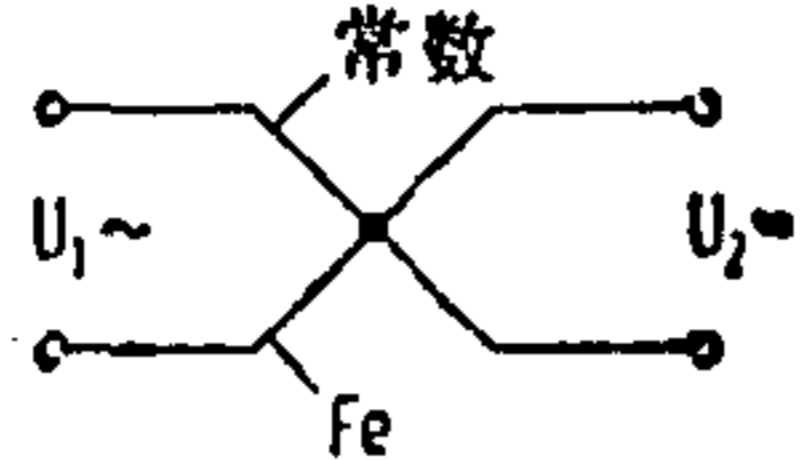
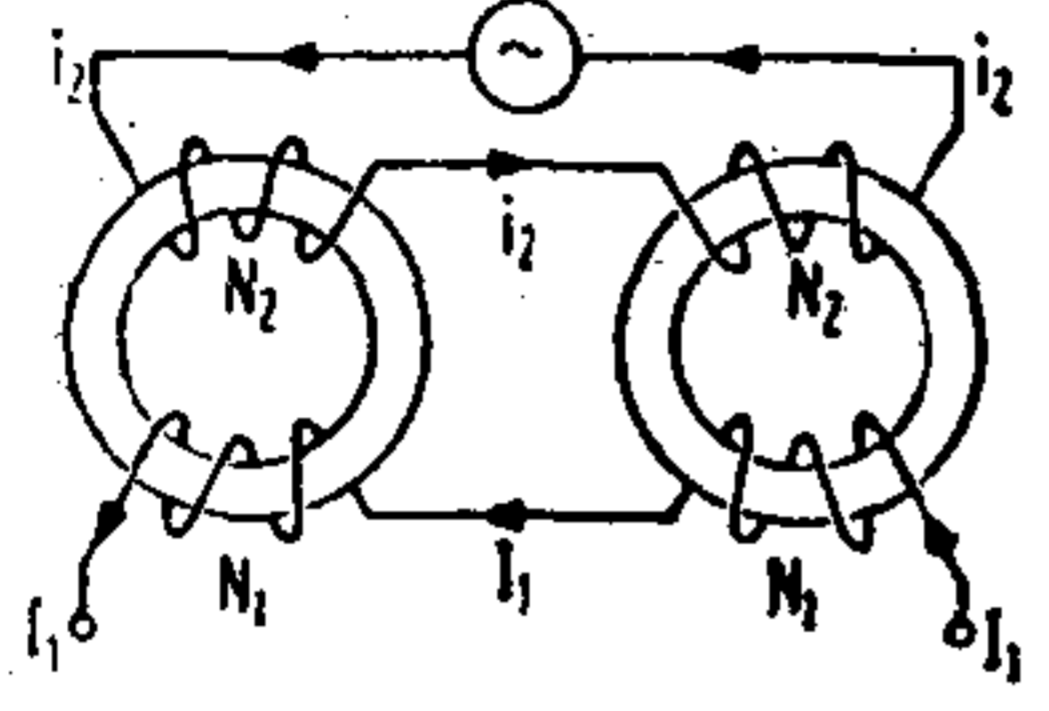
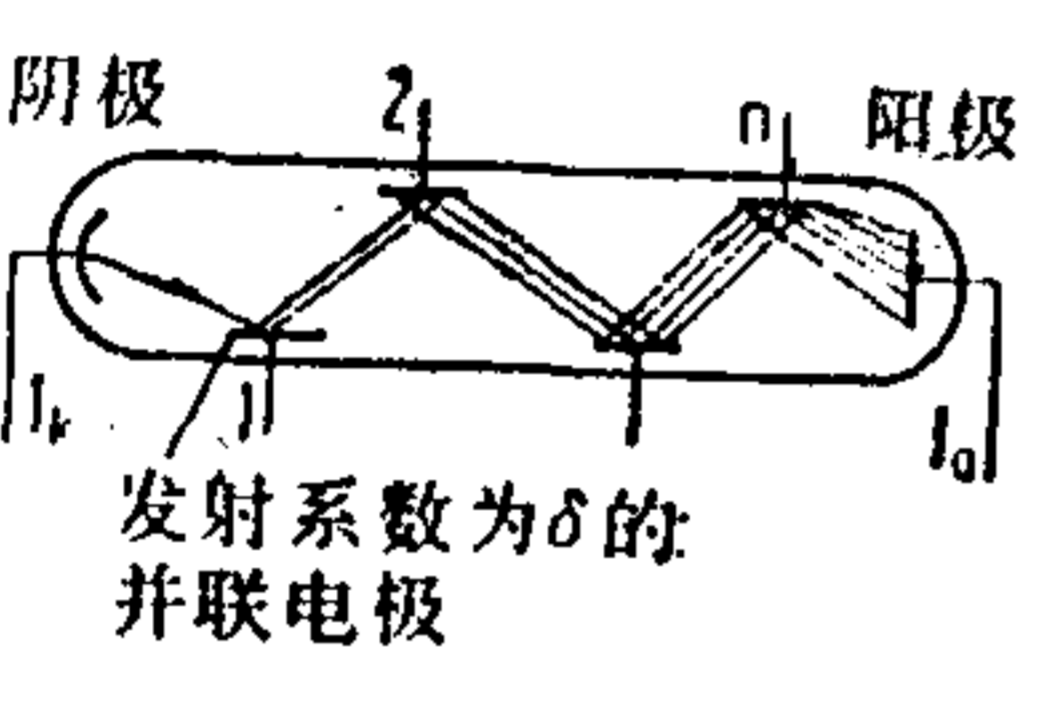
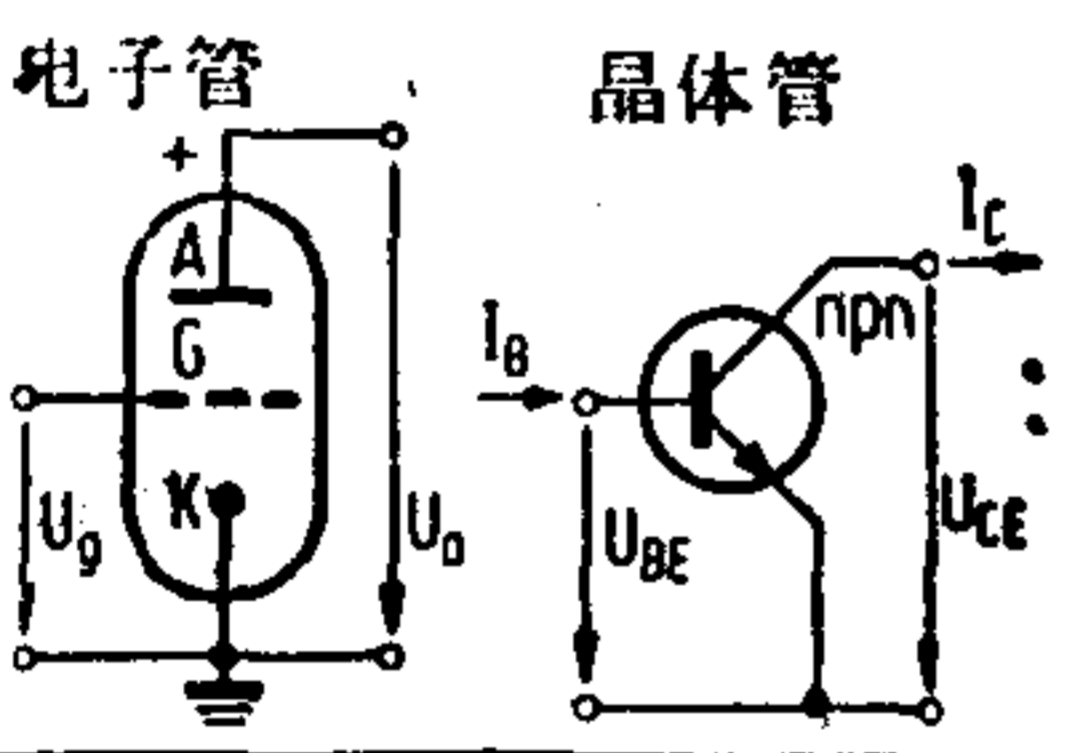
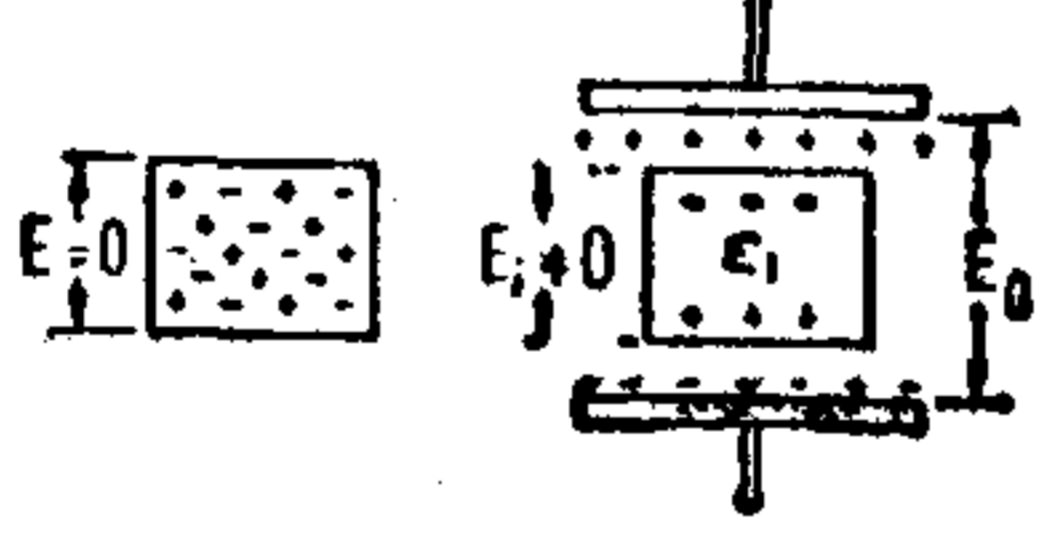
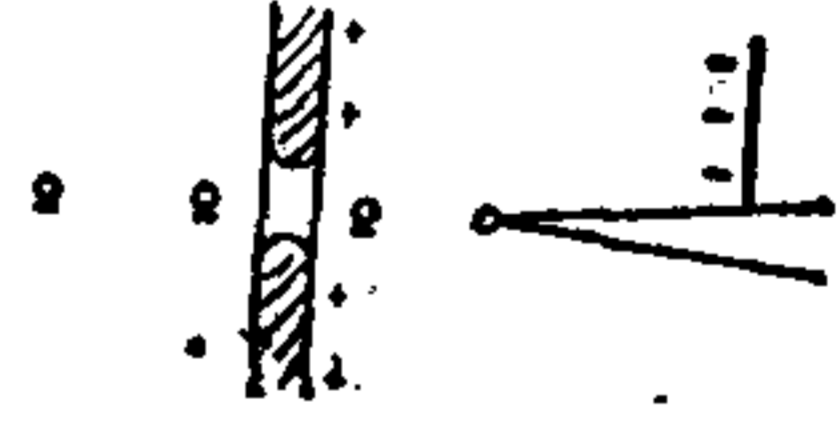
原理目录: 物理量的放大或缩小



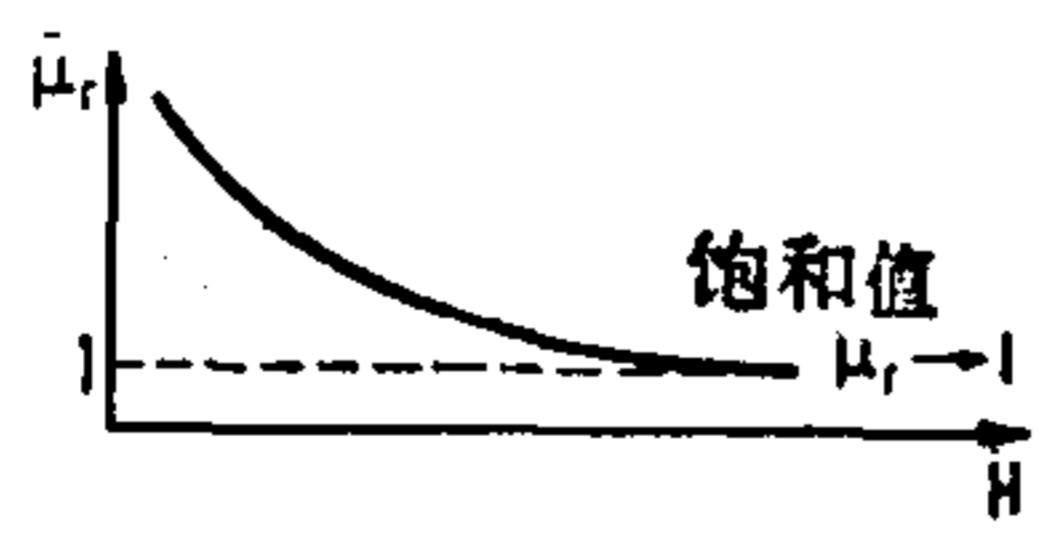
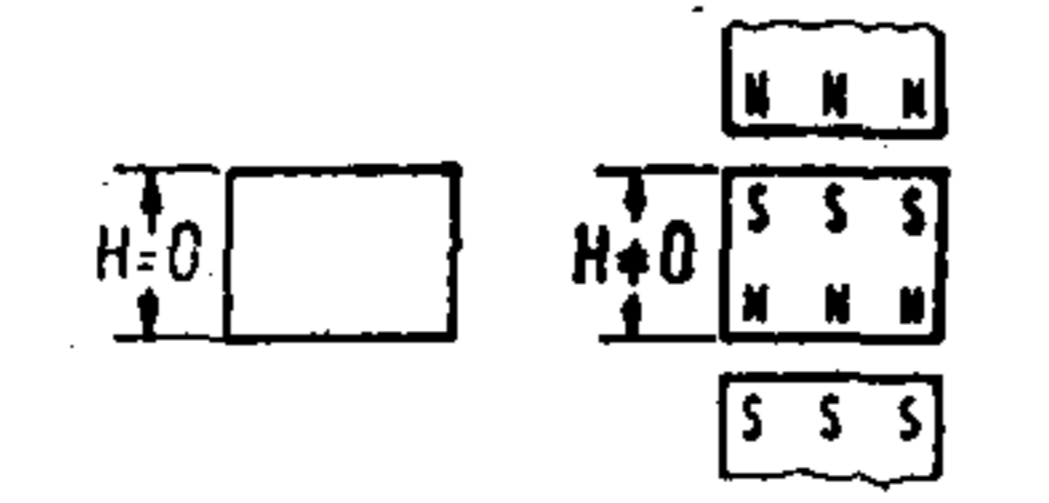
原因	物理作用	定律	文献	应用实例	
08.08 温度 热	熔化	在熔化温度时吸热		[2.1], S.720	充液体的致冷元件
	凝固	在凝固温度时放热		[2.1], S.720	
	蒸发	在蒸发温度时吸热		[2.1], S.720	冰箱气化器 保温管道
	冷凝	在冷凝温度时放热		[2.1], S.720	保温管道
	导热		$\dot{Q} = A \frac{\lambda}{d} (T_2 - T_1)$ A = 导体横截面	[31], S.369	热交换器
	对流		$\dot{Q} = a \cdot A (T_2 - T_1)$ a = 传热系数	[7.1], S.470	暖器
	辐射	 $T_2 > T_1$	$\dot{Q} = c \cdot A \left[\left(\frac{T_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 \right]$ c = 辐射常数	[7.1], S.477	辐射散热器

原理目录: 物理量的放大或缩小



原因	物理效应	定律	文献	应用实例	
10.10 电压 电流 电场	变压器 	$U_{II} = \frac{N_2}{N_1} \cdot U_1$	[31], S.139	变压器 传送器	
	热叉线 (温差十字电偶) 	常数 $U_1 \sim U_2$ Fe		[2.2], S.160	高频电流的测量
	换能器 (磁放大器) 	I_2 $N_1 = N_2$ I_1 U_2		[40], S.522	动力交流电的控制
	二次电子 倍增器 	阴极 阳极 I_k I_a 发射系数为 δ 的 并联电极	$I_a = \delta^n \cdot I_k$	[29.1], S.26	闪烁计数器 光电倍增器
	放大器 	电子管 晶体管 I_c I_b U_{BE} U_{CE} U_g U_a	I_c I_b U_{CE}	[30], S.323 [22], S.309 [40], S.368 S.156	在数字或模拟开关电 路中, 电压或电流放大
感应 	$E_i = \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r} \cdot E_0$	[2.2], S.50	点滴充电 		



12.12 磁场 电感	饱和效应 	感应: $L = \text{const} \cdot \mu_r(H)$	[40], S.521 [2.2], S.207	磁放大器 饱和扼流圈
	感应 		[2.2], S.93	在铁磁材料中产生 磁极

原理目录: 物理量的放大或缩小

原因:


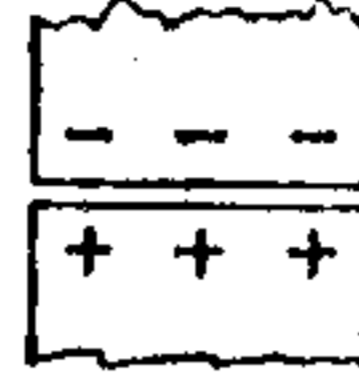

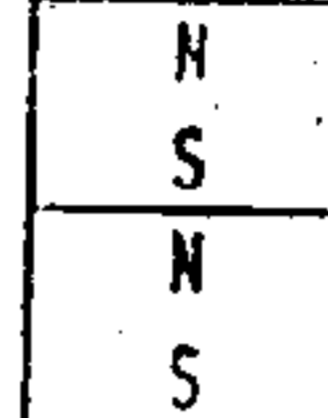
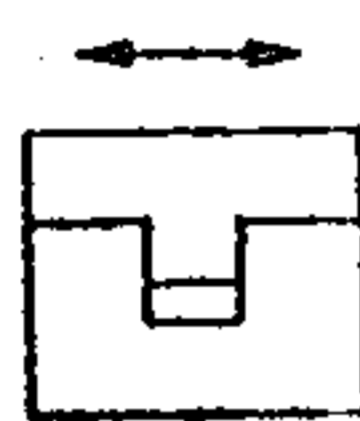

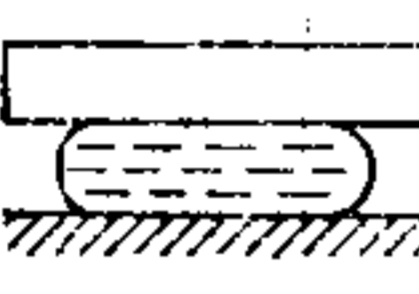
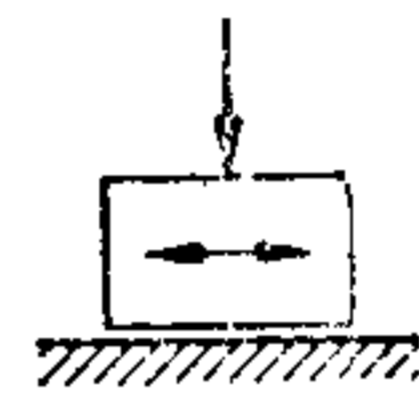

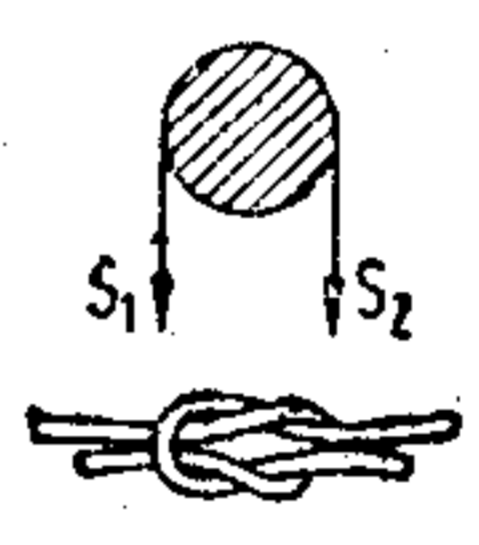

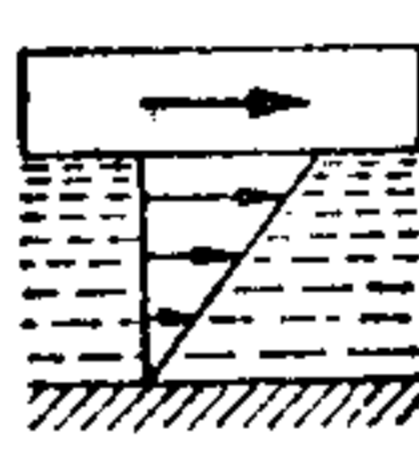

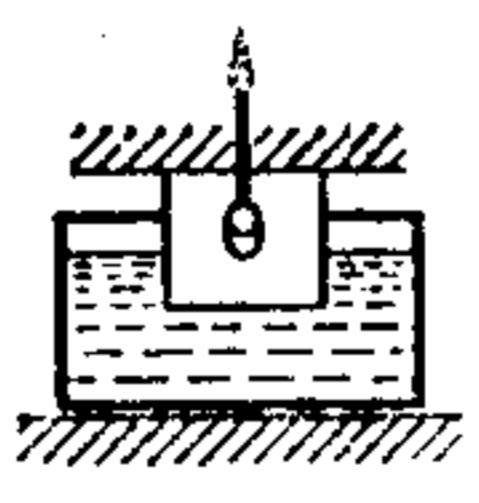
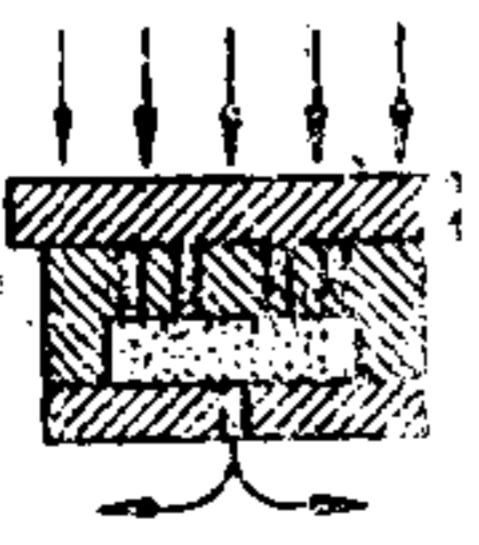
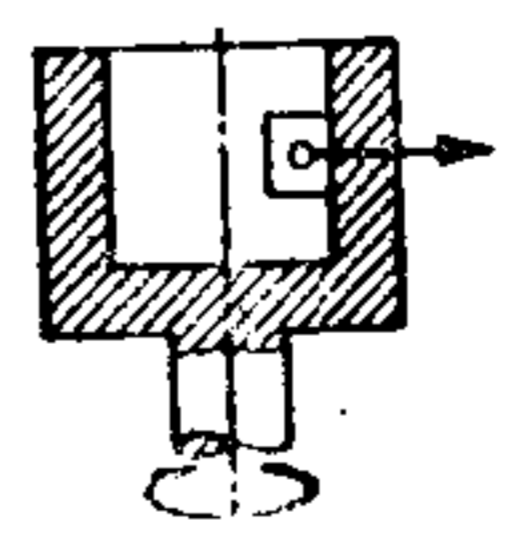
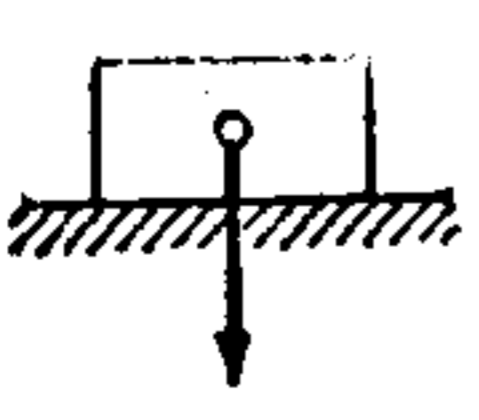
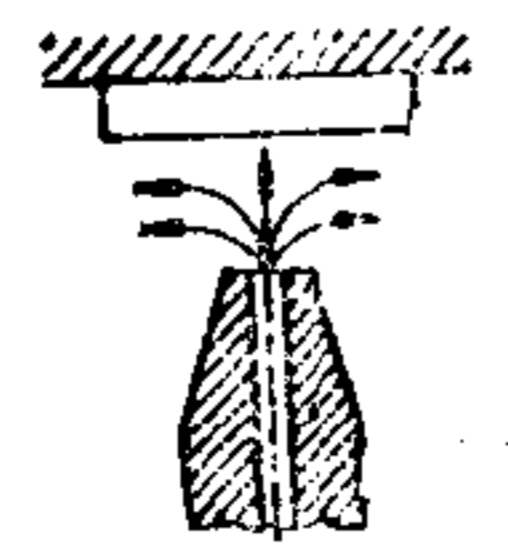


电磁波

原因	物理效应	定律	文献	应用实例
13.13 电磁波	<p>激光</p>		[21],S.1602	
	<p>双折射</p>	$\phi_1 = \phi_2 = \phi_0/2$	[2.3],S.351	
	<p>偏振</p>	$\phi' = \phi_0 \cdot \cos^2 \alpha$	[2.3],S.324	光衰减
	<p>干涉</p>		[2.3],S.296	去反射 介质反射镜
	<p>荧光</p>	$\nu_2 < \nu_1$	[2.3],S.438	荧光色料 洗涤剂中的 光漂白剂 荧光材料
	<p>吸收</p>	$I = I_0 \cdot e^{-k \cdot l}$ $k = \text{吸收指数}$	[2.3],S.187	中性楔子 护光玻璃

原理目录 3 材料的接合

原理目录：材料的“接合”

效 应	原 理 图	应 用 实 例	效 应	原 理 图	应 用 实 例
附着		粘接 钎焊联接	静电力		纸的静电固定
聚合 物料联系		熔焊接合	磁力 铁磁/顺磁 电磁铁		磁性工作台
形联系		槽榫 铆接	抗磁的		
表面张力		水银支承	摩擦 库伦		摩擦连接
霍克定律		弹性连接	欧拉文		联接 结 绞盘
空气/流体静 力学		液压夹紧元件	牛顿		
空气/流体动 力学		轴承	浮力		安全阀
压下		吸盘	离心力 惯性力		宇宙飞船 离心联轴器
重力		机器安放	动量		

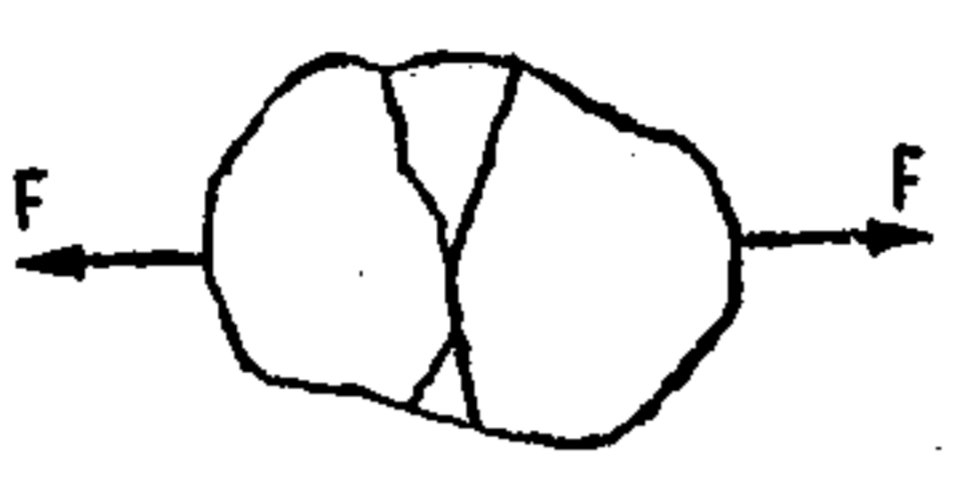
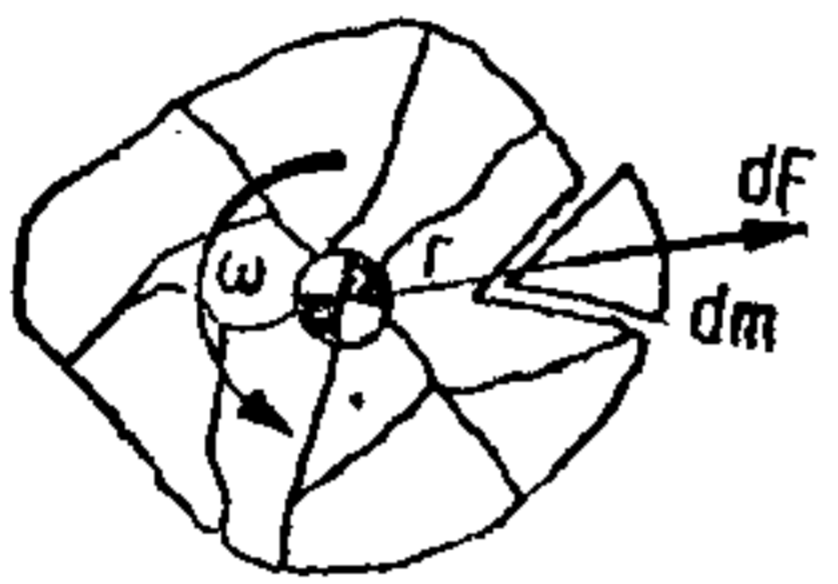
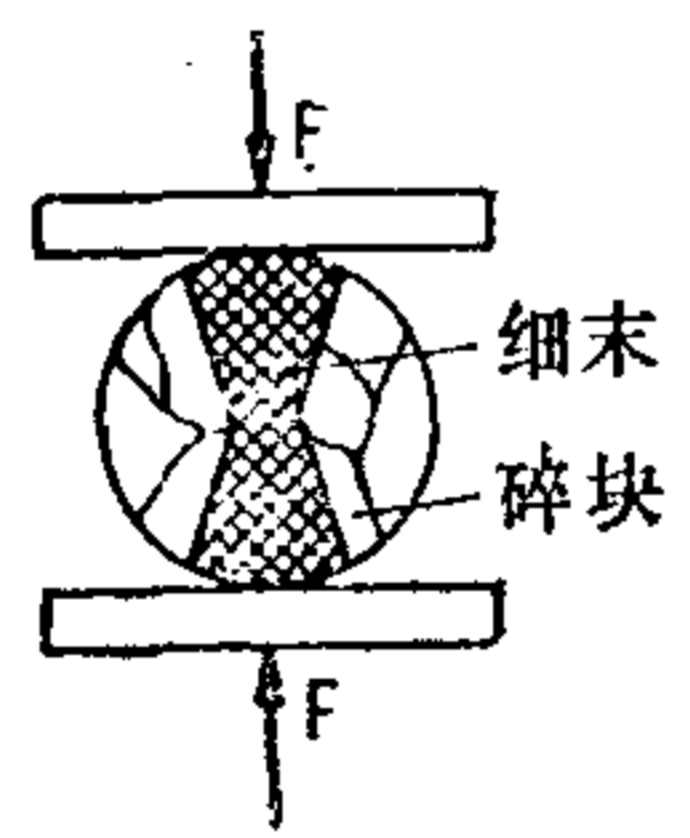
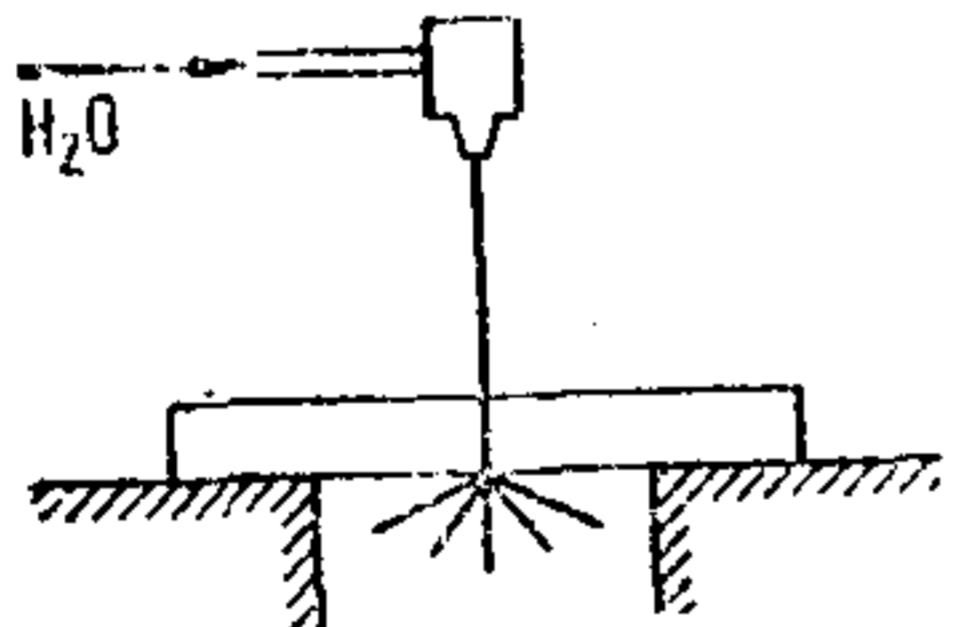
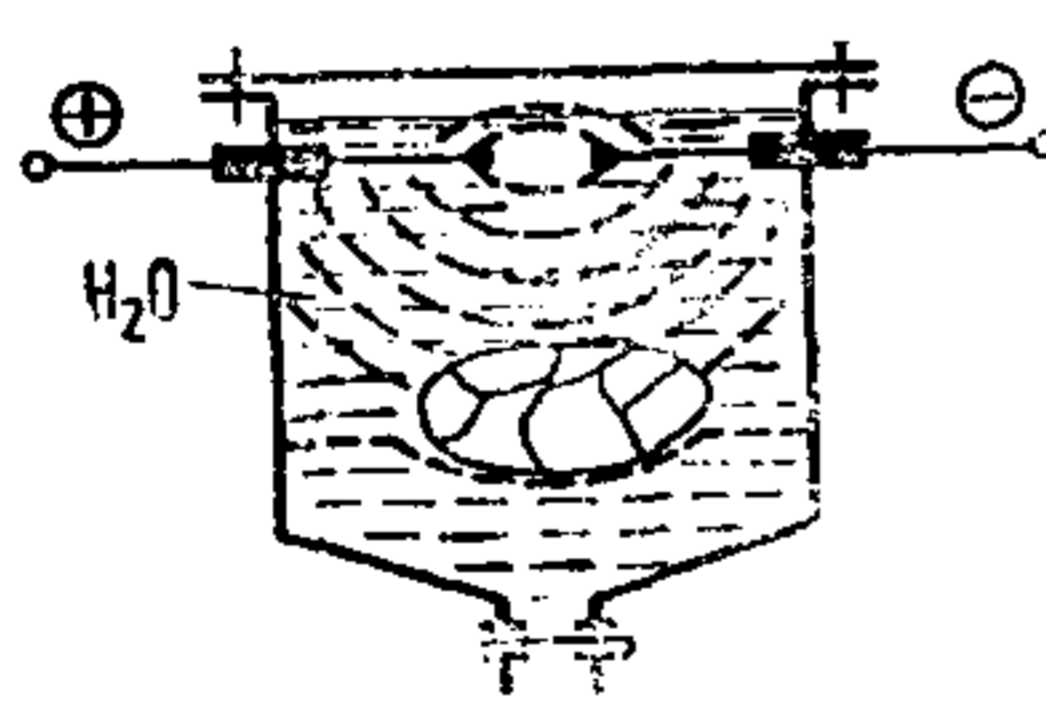
原理目录 4 物料的分开

文献说明可在[101]中找到

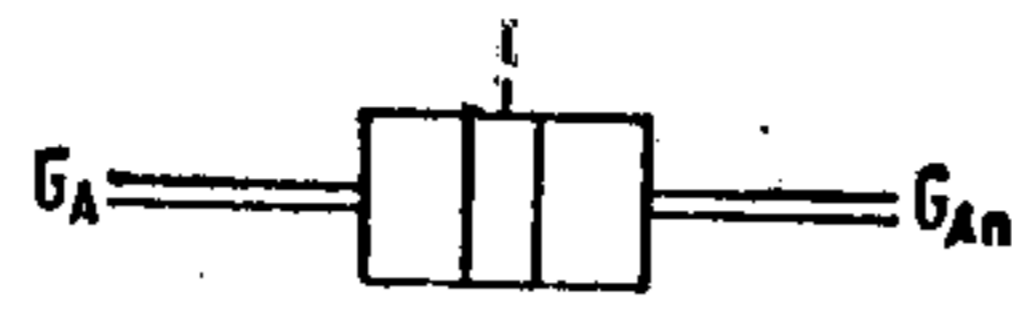
原理目录: 物料的“分开”



机械负荷
(材料破坏)

效应	原理图	定律	注释	应用实例
拉力		$F = \epsilon EA$	材料延伸超过可塑范围而折断	拉断
用来产生力F的例子				
离心力		$dF = r\omega^2 dm$		
压力		$F = \epsilon EA$	材料延伸超过可塑范围而折断	颚式破碎机, 圆锥破碎机, 辊式破碎机, 滚筒磨碎机, 锤式破碎机, 轮碾机, 离心磨碎机
用来产生力F的例子				
高压水注切割			用水的冲击作用切割。原子从晶格接合处被分开并被冲掉	用高压水注切割
电液效应			要弄碎的材料经水中的放电冲击波而破碎	于特金式破碎机

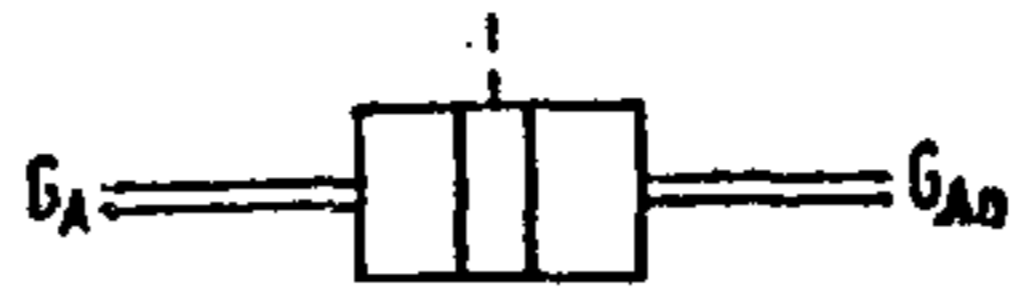
原理目录: 物料的“分开”



机械负荷
(材料破坏)

效应	原理图	定律	注释	应用实例
横向力		$\tau = \gamma \cdot G$ $\gamma = \text{滑移}$ $G = \text{抗剪弹性模量}$	材料延伸超过可塑范围而折断	剪断
产生力F的例子				
摩擦		$F_R = \mu \cdot F$	接触面部位的碎末, 其颗粒度可以很小	磨机 球磨机 棒式磨碎机 滚筒磨碎机 摆式振荡磨碎机
剪切		$F = l \cdot s \cdot \tau_B$ $F = \text{切断力}$ $\tau_B = \text{抗剪强度}$ $s = \text{板厚}$ $l = \text{切口长度}$		刀具 开式模 导向切断 带胶垫的刀具等 切磨机
弯曲		$\rho = E I / M_b$ $\rho = \text{曲率半径}$	材料延伸超过可塑性而破坏	切断 铁块破碎机
产生弯矩的例子				
谐振		$\omega_r = (\omega_0 - 2\delta)$ $\omega_r = \text{共振频率}$ $\omega_0 = \text{固有频率}$ $\delta = \text{衰减常数}$	条件: $\omega_0 = \omega_r$	

原理目录: 材料的“分开”

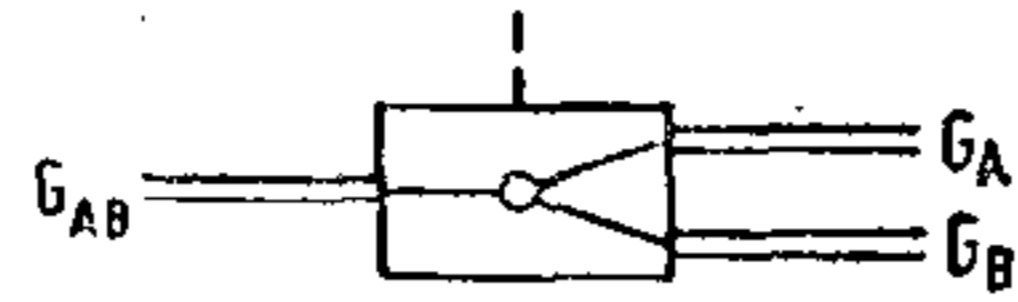


机械负荷
(材料破坏)

效应	原理图	定律	注释	应用实例
扭转		$\varphi = M_1 \frac{2 \cdot l}{\pi \cdot r^4 \cdot G}$	材料延伸超过可塑范围而折断	
产生扭矩的例子				
局部有限温升			材料加热超过熔点	气割, 电弧切割, 激光切割, 电子束切割, 等离子切割, 电火花腐蚀
局部有限的压强增高			由于水的反常现象, 冰在压强增高时变成液体。溶化的水从缝隙中流走	切冰
局部化学反应			通过同腐蚀介质的化学反应去除材料	腐蚀, 浸渍腐蚀, 喷射腐蚀
局部电化学反应			通过电蚀反应去除材料, 材料必须具有导电性	电化学沉降, 搪磨, 研磨, 去毛刺, 抛光
热电作用			通过电火花腐蚀去除材料	线腐蚀
局部热作用			通过电子束、激光束等去除材料	用电子束或激光束切割

原理目录 5 物料的分离

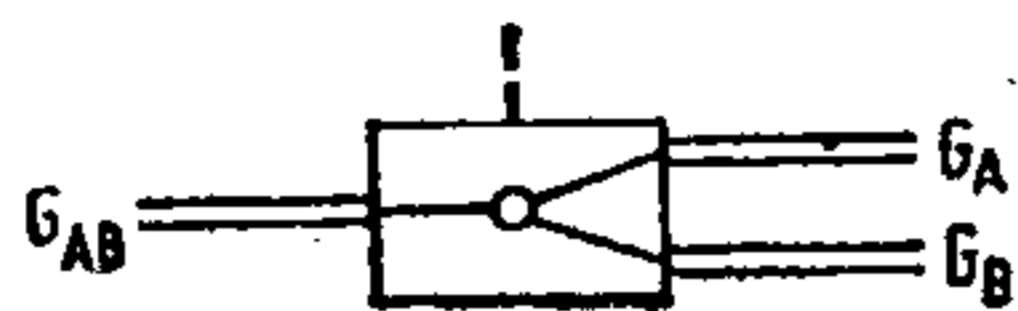
原理目录: 材料的“分离”



固体-固体

分离特征	效应	原理图	定律	应用实例
长度 面积 体积	伯努利		$l_x < l_{kr}$: 物体被吸收 (液体动力奇论) $l_x > l_{kr}$: 物体停留在原位 $l_x = l_0 - l_f$ l_{kr} = 临界距离 $F_f = (P_a - P_f) \cdot A_f$	
	虎克		去除电磁后得到不同的 投掷抛物线 $W(l_f)$ $W(l_f) = f(F_f), F_f = c \cdot s_f,$ $s_f = l_0 - l_f$	
	重力		通过筛子的运动(惯性, 离心力、科里奥利力), 提 高筛的功率, 利用空气或 水(冲量、粘性) 附带运输 筛分物料	筛 硬币检测器 卡规
	马格努斯效应		$F_M = 2\pi \cdot \rho \cdot R_i^2 \cdot \omega \cdot v \cdot l$ ρ = 流动介质的密度	
表面张力		在 l_0 (= 周边) 时, 表面 张力 $F(=f(l))$ 和重力正 好处于平衡状态 $l_f > l_0$: 物体漂浮 $l_f < l_0$: 物体下沉		
流体阻力 (层流的)		$V_{res} = V_{1f} + V_{2f}$ $V_{1f} = W / (6\pi\eta \cdot l / l \cdot v_{2f})$ = $v_{流体}$ 在重量相同时, 由于体积 不同, 大物体和小物体将 有不同的速度	分选机	
			$l_x < l_{kr}$: 由于流体的粘 度, 物体随之运动 $l_x > l_{kr}$: 物体停留在原位 $l_x = l_0 - l_f$ l_{kr} = 临界距离, $F_f = A \cdot \eta \cdot \omega \cdot r \cdot l / l_x$	

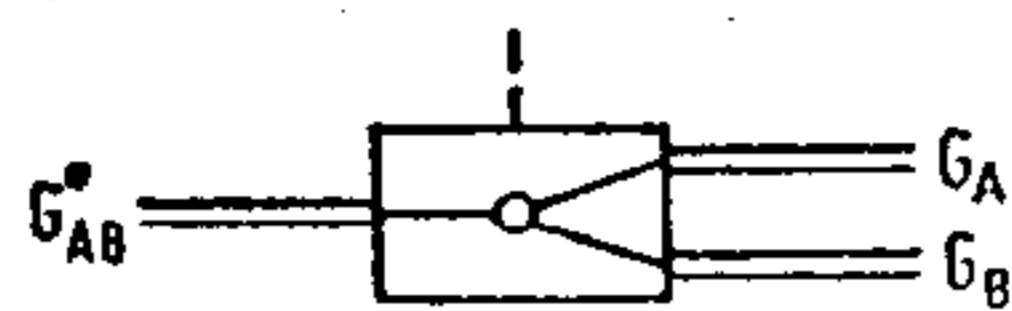
原理目录: 材料的“分离”



固体-固体

分离特征	效应	原理图	定律	应用实例
长度 面积 体积	离心力		滚动阻力可能很小, 可以忽略 $F_{st} = f(m, R_1, \alpha, \omega)$ $R_1 > g \cdot \omega \tan \alpha / \omega^2$: 球上升 $R_1 < g \cdot \omega \tan \alpha / \omega^2$: 球停留在原位置, $R_1 = f(r, \alpha)$	离心机
	玻意耳-马略奥特		$F_1 > F_R$: 物体被抛出 $F_1 < F_R$: 借助弹簧的回复力, 物体被挡住 $F_R =$ 弹簧的回复力 $F_1 = p_1 \cdot A, p_1 = p / (l_1 - \Delta l)$ $A =$ 活塞面积	
	库伦 I		$l_x < k_r$: 物体升高 $l_x > k_r$: 物体停留在原位置, $l_x = l_0 - l_1$ $k_r =$ 临界距离 $F_1 = C_E \cdot Q_1 \cdot Q_2 / l_x^2$	
	涡流		$l_x < k_r$: 物体随涡流力运动 $l_x > k_r$: 物体停留在原位置, $l_x = l_0 - l_1$ $k_r =$ 临界距离	硬币检测器
	库伦 II		$l_x < k_r$: 物体升高 $l_x > k_r$: 物体停留在原位置, $l_x = l_0 - l_1$ $k_r =$ 临界距离 $F_1 = C_M (\Phi_1 \cdot \Phi_2 / l_x^2)$	
	断面形状浮力		$F_1 = C_{a1} \cdot \rho / 2v^2 \cdot A_1$ $C_{a1} = 2(\alpha_1 + 2f/l)$ $f/l =$ 机翼断面的凸面相对高度 $\rho =$ 流动介质的密度 $\alpha_1 =$ 迎角	
	声压		$F_1 = p / 2c^2 \cdot A_1$ $c =$ 声速	

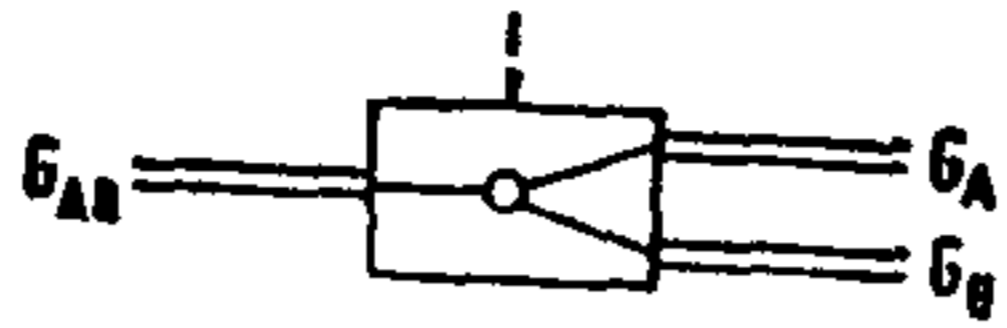
原理目录: 物料的“分离”



固体-固体

分离特征	效应	原理图	定律	应用实例
角度	冲量		$F_i = F_{iv}^2 \cdot A \cdot (1 + \cos^2 \cdot \alpha_i)$ $F_i < F_{Gr}$: 物体不动 $F_i > F_{Gr}$: 物体被推移	
	楔		$F = \text{被压} \lambda$ $\alpha_i < \alpha_{Gr}$: 物体不动 $\alpha_i > \alpha_{Gr}$: 物体被推移	
浸润性	浮力		$mg > F_A$: 亲水物: 物体被水浸润 $\rightarrow mg > F_A \rightarrow$ 物体停留在原位置 $mg < F_A$: 疏水物: 物体不被水, 而被空气浸润 $\rightarrow mg < F_A \rightarrow$ 物体上升到水表面 $F_A = (V_k + V_{\text{空气}}) \cdot \rho_{Fi} \cdot g$ $V_{\text{空气}} = f(\text{浸润性})$	8) 浮选 选矿
质量 重量 惯性	附着力		$m_i g < F_{Ad}$: 物体上升 $m_i g > F_{Ad}$: 物体停留在原位置 $F_{Ad} = f(\text{粗糙深度, 表面光洁度})$	
	浮力		$m_i \cdot g > F_A$: 球在闭锁装置下面滚过 $m_i \cdot g < F_A$: 球的滚动运动被闭锁装置阻止 $F_A = \rho_{Fi} \cdot g \cdot V_B$	
	伯努利		$m_i \cdot g < F$: 物体上升 $m_i \cdot g > F$: 物体停留在原位置 $F = (p_q - p_l) \cdot A$	
	玻意耳-马略奥特		$m_i \cdot g > F$: 球在闭锁装置下面滚过 $m_i \cdot g < F$: 球的滚动运动被闭锁装置阻止 $F = p \cdot A_k$ $pV = \text{常数}$	

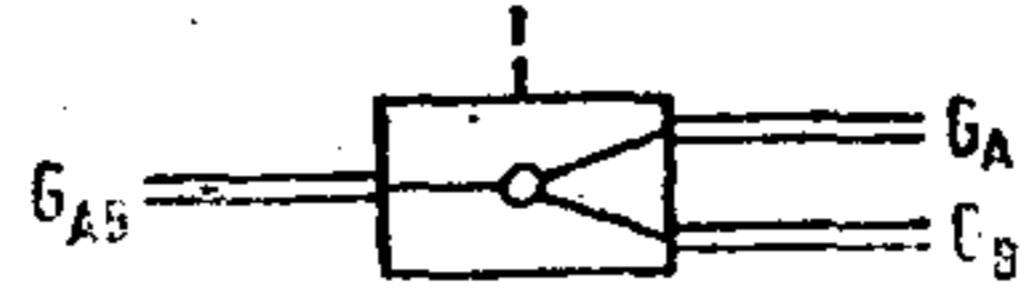
原理目录: 材料的“分离”



固体-固体

分离特征	效 应	原 理 图	定 律	应用实例
质量 重量 惯性	库伦 I		$m_1 \cdot g < F$: 物体上升 $m_1 \cdot g > F$: 物体停留在原位置 $F = C_E(Q_1 \cdot Q_2 / l^2)$	
	库伦 II		$m_1 \cdot g < F$: 物体上升 $m_1 \cdot g > F$: 物体停留在原位置 $F = C_M(\phi_1 \cdot \phi_2 / l^2)$	
	杠杆		$m_1 \cdot g > F$: 球在闭锁装置下面滚过 $m_1 \cdot g < F$: 闭锁装置阻挡球的滚动运动 $F = m_0 \cdot g \cdot s_2 / s_1$	
	虎克弹性		$m_1 \cdot g > F$: 球在闭锁装置下面滚过 $m_1 \cdot g < F$: 闭锁装置阻挡球的滚动运动 $F = c \cdot s$ c = 弹簧常数 s = 弹簧位移	
	压缩性		$m_1 \cdot g > F$: 球在闭锁装置下面滚过 $m_1 \cdot g < F$: 闭锁装置阻挡球的滚动运动 $F = (\rho_0 + E(\Delta V / V_0)) \cdot A_0$ ρ_0, V_0 : 压力初始状态的体积 E = 流体的弹性模量	
	马格努斯效应		$m_1 \cdot g < F$: 圆柱上升 $m_1 \cdot g > F$: 圆柱停留在原位置 $F = 2\pi\rho R^2 \cdot \omega \cdot v \cdot l$ ρ = 流体介质的密度 l = 圆柱体的宽度	
	表面张力		$m_1 \cdot g < F$: 物体上升 $m_1 \cdot g > F$: 物体停留在原位 $F = 2\sigma l$ σ = 表面张力 l = 物体的周边	

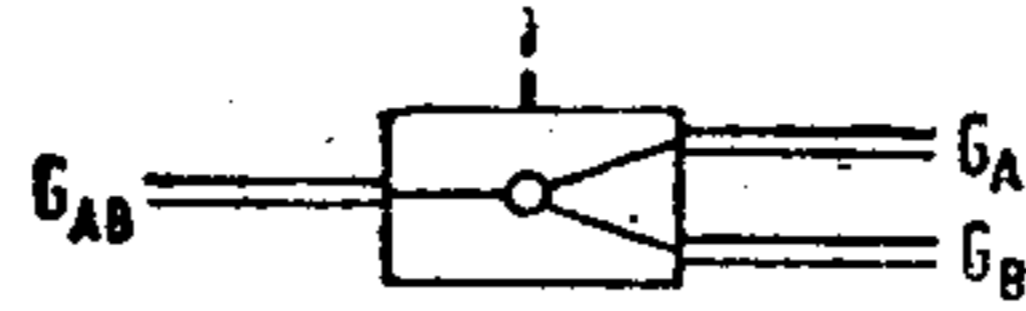
原理目录: 物料的“分离”



固体-固体

分离特征	效应	原理图	定律	应用实例
质量 重量 惯性	断面浮力		$m_i \cdot g < F$: 物体上升 $m_i \cdot g > F$: 物体停留在原位 $F = c_0 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A / 2$ c_0 = 浮力系数 ρ = 流动介质的密度 A = 机翼表面	
	共振			分级机
	科里奥利力		$F_{ci} > F_{\text{弹簧}}$: 物体落进容器1中 $F_{ci} < F_{\text{弹簧}}$: 物体落进容器2中 $F_{ci} = 2m_i \cdot \omega \cdot v_R$	
	离心力		$F_{si} > F_k$: 物体被甩到外边 $F_{si} < F_k$: 物体停留在原位 $F_{si} = m_i \cdot \omega^2 \cdot r$ F_k = 挡料板的回复力	离心机 旋分器 螺旋分选机
	能量守恒定律		$v_{0i} = \sqrt{D/m_i \cdot x}$ v_{0i} = 加速度终止时的速度 x = 弹簧的伸长 D = 弹簧常数	
	冲量		由 v_{0i} 得到的飞行轨迹 $v_{0i} = 2m_0 \cdot v_0 / (m_0 + m_1)$ v_{0i} = 冲击后质量为 m_1 的各物体的速度。附注: 公式适用于理想的弹性冲击 ($e = 1$)	
速度	科里奥利力		$F_{ci} > F_{\text{弹簧}}$: 物体落进容器1 $F_{ci} < F_{\text{弹簧}}$: 物体落进容器2 $F_{ci} = 2 \cdot m \cdot \omega \cdot v_{Ri}$	

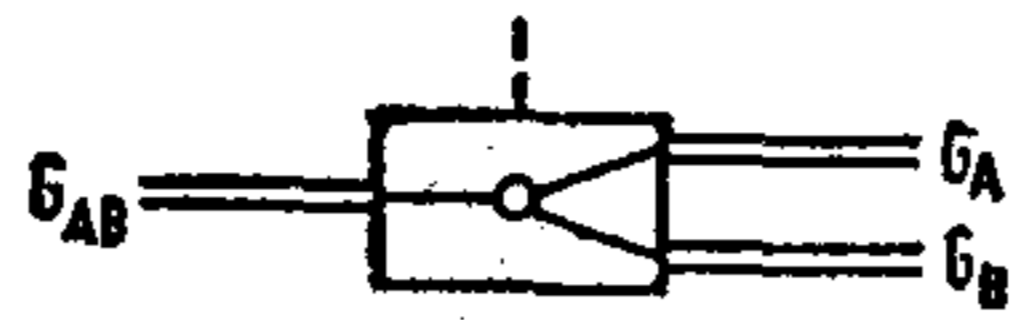
原理目录: 物料的“分离”



固体-固体

分离特征	效 应	原 理 图	定 律	应用实例
速度	重力		$v_x = v_1 \cdot \cos\alpha$ $x = v_1 \cdot t \cdot \cos\alpha$ $v_y = v_1 \cdot \sin\alpha - gt$ $y = v_1 \cdot t \cdot \sin\alpha - 1/2gt^2$	
	冲量		$F_I < F_R: \text{物体停留在挡料板前}$ $F_I > F_R: \text{物体克服弹簧的回复力并落进蓄料箱}$ $F_I = dp_I/dt, p_I = m \cdot v_I$ $F_R = \text{弹簧的回复力}$	
	洛伦兹力		$w = f(F_{LI}) = \text{物体的轨迹}$ $F_{LI} = Q(V_I \times B)$ $Q = \text{各个物体电荷总数}$	
	马格努斯效应		$w = f(F_M) = \text{圆柱体的运动轨迹}$ $F_M = 2\pi \cdot \rho \cdot R^2 \cdot \omega \cdot l \cdot v_I$ $\rho = \text{静止介质的密度}$ $l = \text{圆柱体的宽度}$	
	断面形状浮力		$w = f(F_f) = \text{物体的轨迹}$ $F_f = c_0 \cdot \rho \cdot A \cdot v_I^2 / 2$ $\rho = \text{静止介质的密度}$ $c_0 = \text{浮力系数}$ $A = \text{机翼面积}$	
	摩擦		$E_{kin1} < E_{Gr}: \text{物体停止在边界线前}$ $E_{kin2} > E_{Gr}: \text{物体越过边界线运动}$ $E_{Gr} = \text{为了越过边界线(例如由于滚动摩擦)所需要的能量}$ $E_{kin1} = 1/2m \cdot v_1^2$	
	流体阻力 (层流的)		$E_{kin1} < F_{Gr}: \text{物体停止在边界线前}$ $E_{kin2} > F_{Gr}: \text{物体越过边界线运动}$ $F_{Gr} = \text{为了越过边界线(由于流体摩擦)所需要的能量}$ $E_{kin1} = 1/2m \cdot v_1^2$	

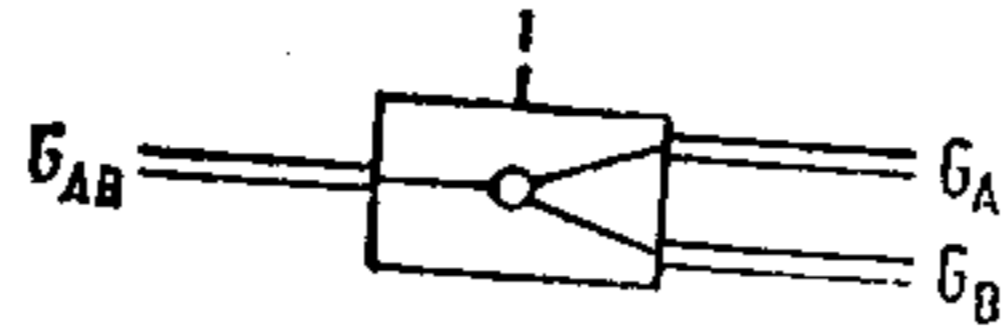
原理目录: 物料的“分离”



固体-固体

分离特征	效 应	原 理 图	定 律	应用实例
速度	涡流		$F_i = c \cdot B^2 \cdot \chi \cdot v_i$ $F_f =$ 涡流的制动力 $c =$ 结构常数 $\chi =$ 电导 $B =$ 磁感应	
	粘度		$E_{kin} < E_{Gr}$: 物体停止在边界线前 $E_{kin} > E_{Gr}$: 物体越过边界线运动 E_{Gr} : 为了越过边界线(例如由于滚动摩擦)所需要的能量, $E_{kin} = 1/2 m \cdot v_i^2$	
	离心力		$F_{sl} < F_F$: 物体落进箱架1 $F_{sl} > F_F$: 物体落进箱架2 $F_{sl} = m/R \cdot v_i^2$ $F_F =$ 弹簧力	
密度	浮力		$\rho_{k1} < \rho_{F1}$: 物体上升到水表面 $\rho_{k1} > \rho_{F1}$: 物体停留在原位 $\rho_{k1} < \rho_{F1} < \rho_{k2}$	沉降分级 液流分级机 跳汰机 选矿
	下沉速度		$v_{sink} = f(\rho)$ $\rho_{F1} < \rho_i$	重介质选矿机 平衡分选机
阻尼	滞后		通过不同的衰减 D_i , 物体在时间 t_i 超过了不同的距离 s_i $v_i = f(\text{挤压阻力})$ 挤压阻力 = $f(\text{衰减} D_i)$	
弹性模量	虎克		$v_i = f(E_i) =$ 不同的投掷抛物线, $v_i =$ 去掉偏压后的速度 $v_t = \int F_i/m \cdot dt,$ $F_i = E_i(\Delta l/l_0) \cdot A$ $E_i =$ 弹性模量 $A =$ 横断面面积	

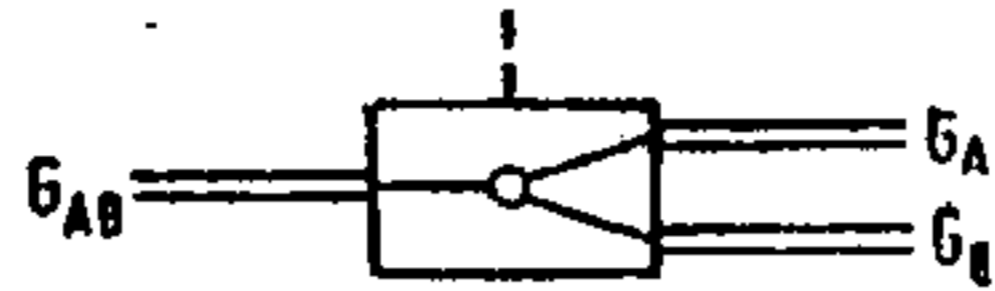
原理目录: 物料的“分离”



固体-固体

分离特征	效应	原理图	定律	应用实例
滑动模数	滑移形变		$v_i = f(G_i)$; \triangleq 不同的投掷抛物线 $v_i =$ 去掉偏压后的速度 $v_i = \int F_i/m \cdot dt, F_i = G_i(\Delta l/l_0) \cdot A$ $G_i =$ 滑动模数 $A =$ 横断面积	
摩擦系数	摩擦		$\mu_1 < \tan \alpha$: 物体从传送带上滑掉 $\mu_i > \tan \alpha$: 物体随之运动	
碰撞系数	冲量		v_i 相当于轨迹(定量的) $v_i =$ 冲击后, 有不同碰撞系数 ϵ_i 的各个物体的速度 $v_i = ((1 + \epsilon_i) \cdot m_0 \cdot v_0) / (m_0 + m)$ $\epsilon = 0$ 理想的塑性冲击 $\epsilon = 1$ 理想的弹性冲击	
流动阻力系数	流动阻力 (层流的)		$F_i < F_R$: 物体停留在原位 $F_i > F_R$: 物体被排出 F_R : 折顶力 $F_i = C_{wi} \cdot \rho / 2 v^2 A$, C_{wi} = 各物体形状的阻力系数 $A =$ 在流动方向上的投影面积	
硬度	刻痕性		$F_{zi} > F_{kmax}$: 物体停留在原位 $F_{zi} < F_{kmax}$: 物体借助活塞运动而被移开 $F_{kmax} =$ 受 P_{max} 限制 $F_{zi} = i$ (物体的硬度)	
表面粗糙度	附着力		$mg < F_i$: 物体上升 $mg > F_i$: 物体停留在原位 $F_i = f$ (表面粗糙度)	
温度	熔化		$T_i < T_{\text{薄膜}}$: 物体停留在薄膜上 $T_i > T_{\text{薄膜}}$: 薄膜熔化, 物体坠落	

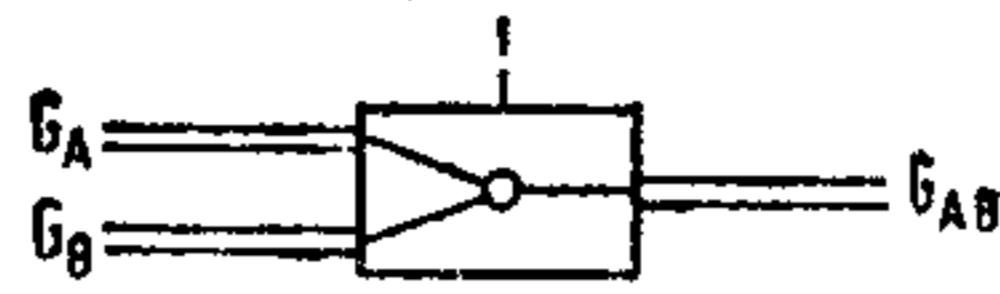
原理目录: 物料的“分离”



固体-固体

分离特征	效应	原理图	定律	应用实例
温度	库伦 I			
	库伦 I		$F_1 = C_{MI} (\Phi_1 \cdot \Phi_2 / 2)$ $C_{MI} = f(\mu_{r1})$ $\mu_{r1} = f(T_1)$ 当 $T > T_{c1}$ 时 $\mu_r > 1$	
熔化温度	内聚性			
沸点	升华			提取钙
	库伦 I		$\epsilon_1 < \epsilon_{F1}$ 物体由电容器排出 $\epsilon_1 > \epsilon_{F1}$ 物体被吸进电容器 $F_1 = CU^2(\epsilon_1 - \epsilon_{F1})$ $c = \text{结构常数}$	电分离机
电荷	库伦 I			
介电常数	洛伦兹力		$w = f(F_{Li}) = \text{物体的飞行轨迹}$ $F_{Li} = Q_i (V \times B)$ $Q_i = \text{各物体的电荷总数}$	

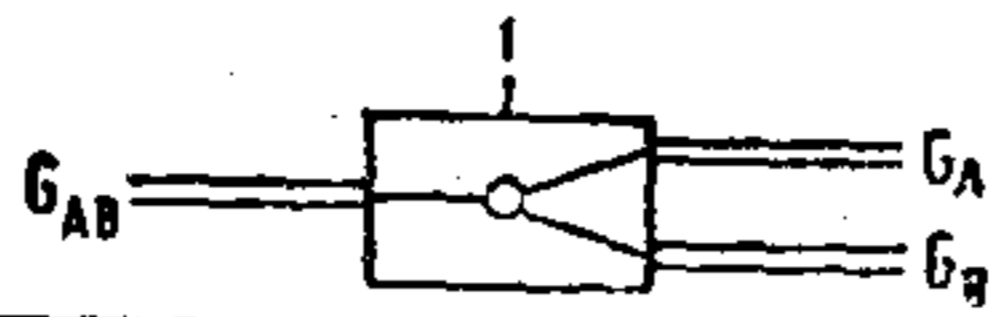
原理目录: 物料的“分离”



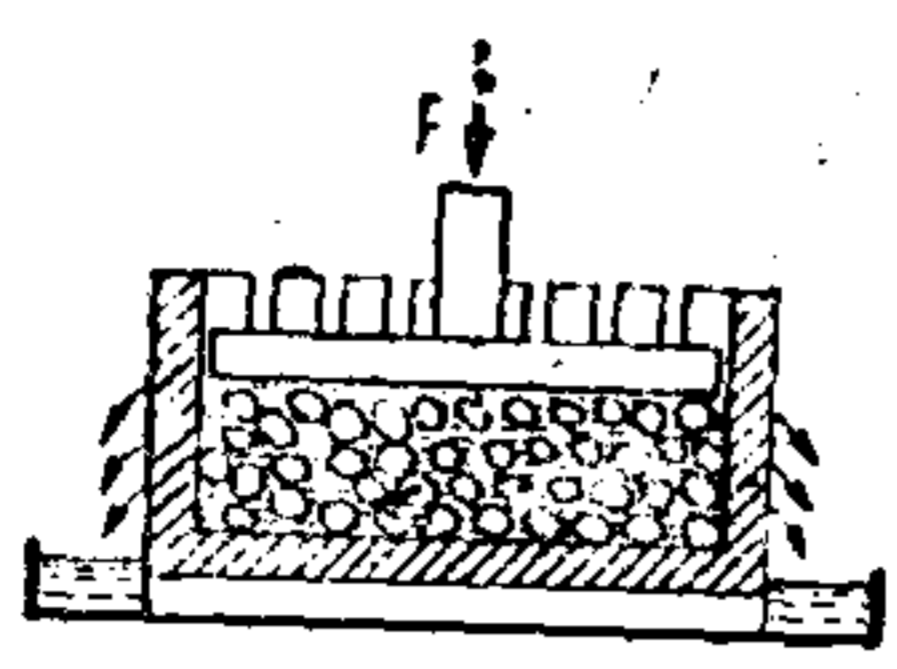
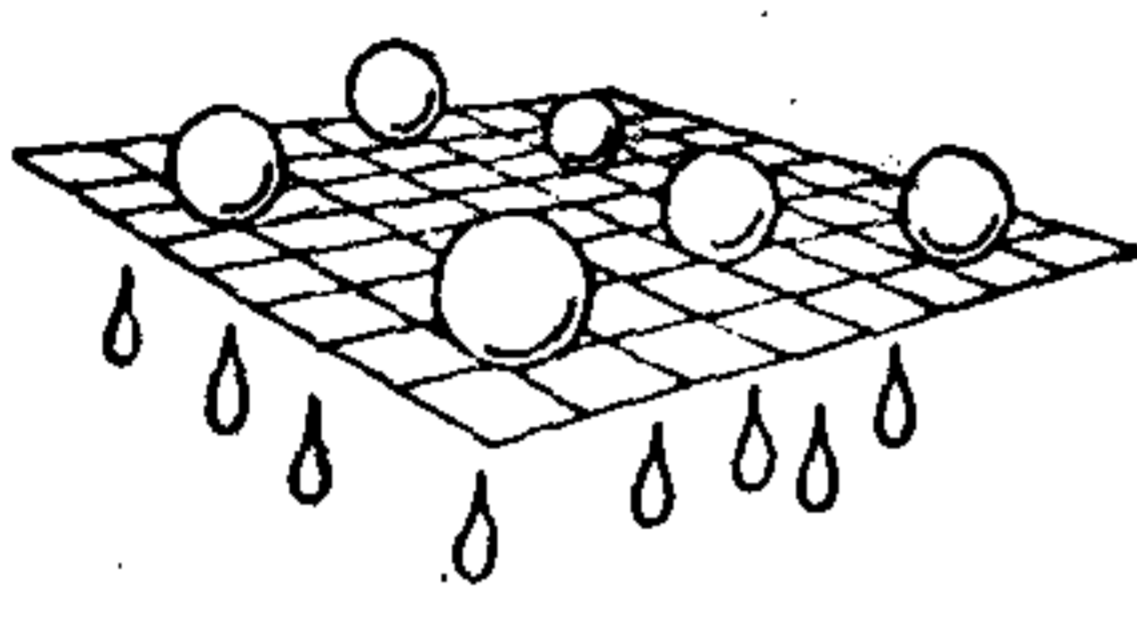
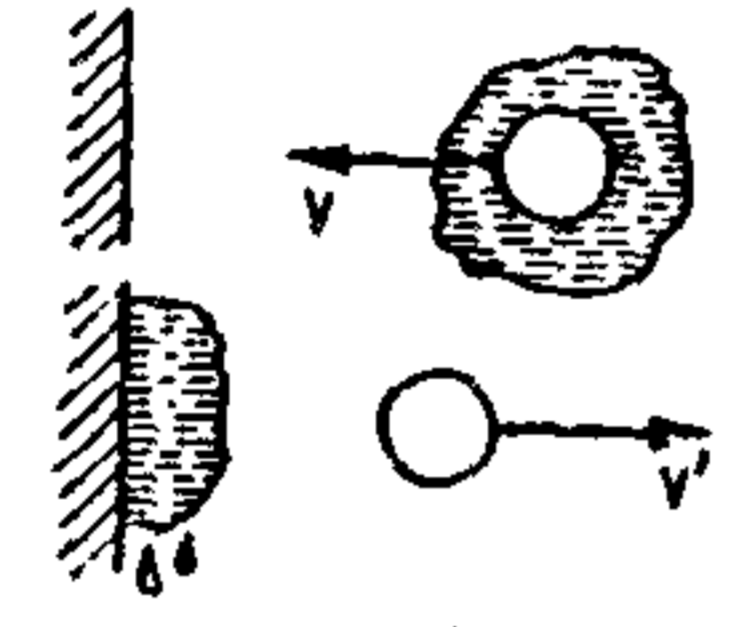
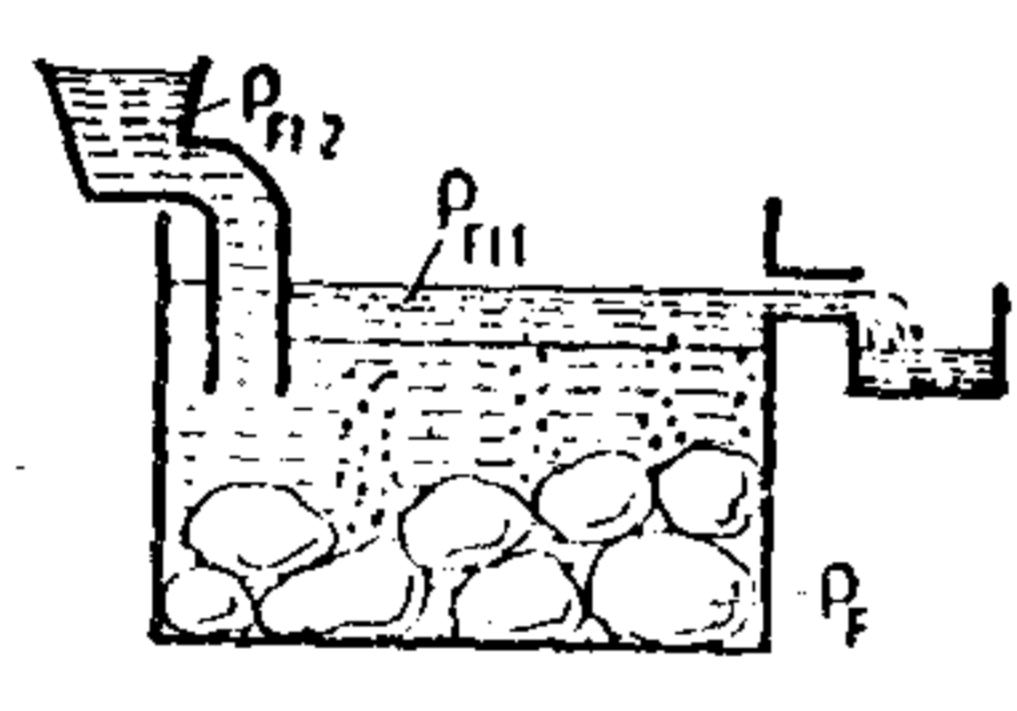
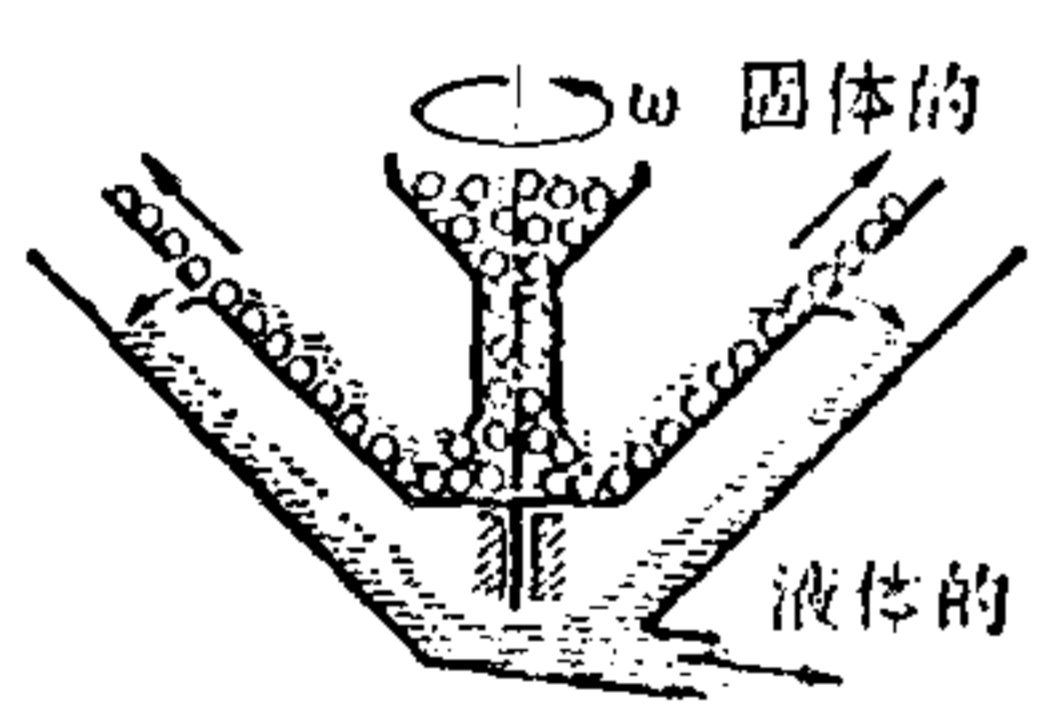
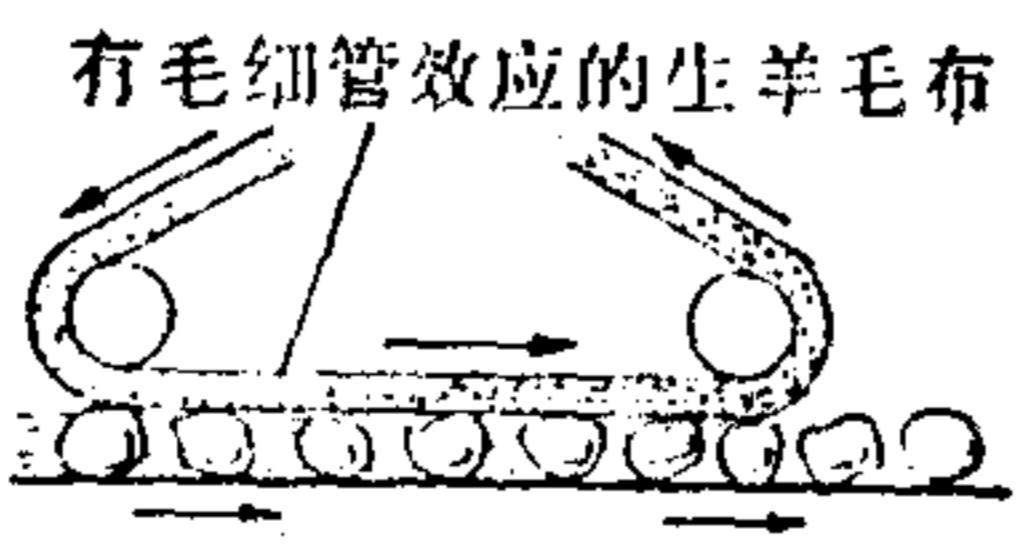
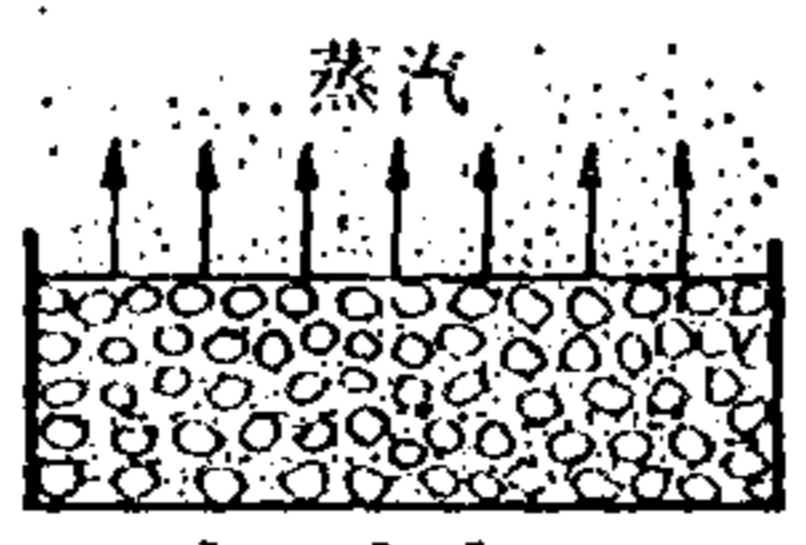
固体-固体

分离特征	效应	原理图	定律	应用实例
导电性	库伦 I		给各个物体从外面加上同号电荷。导电性差的物体放出电荷并且仍然附着在滚筒上。导电性好的物体迅速放出电荷，变成与滚筒电荷同号并被排斥。	电子滚筒分选机(矿石精选)
	涡流		$F_i = c \cdot B^2 \cdot v \cdot \chi_i$ F_i = 因涡流而产生的制动力 C = 结构常数 χ_i = 电导 B = 磁感应	
材料电阻的温度系数	库伦 I			
居里点	库伦 I		$F_i = C M_i (\Phi_1 \cdot \Phi_2 / l^2)$ $C M_i = f(\mu_{ri})$ $\mu_{ri} = f(T_i)$ 当 $T > T_c$ 时 $\mu_r \rightarrow 1$	
磁化率	库伦 I		$F_i = C M_i (\Phi_1 \cdot \Phi_2 / l^2)$ $C M_i = f(\mu_{ri})$ μ_{ri} = 导磁系数	磁分选机选矿
可溶性	吸收作用		汞溶解金(形成混合), 混合物仍保持固体形状	混汞法

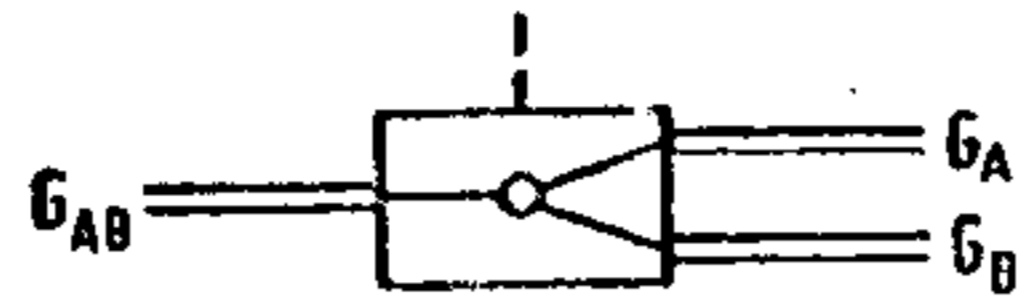
原理目录: 物料的“分离”



固体-液体

分离特征	效应	原理图	定律	应用实例
亲合力	在液体中 压力恒定			泥渣排水设备 分选压力机 水果压榨机 选矿罩 压力过滤器
	重力		通过筛子运动(惯性、离心力、科里奥利力)以及借助于空气(冲量、粘性)附带运输分选物料可以提高筛选效果	筛 过滤器
	惯性		将浸湿的物体投向墙壁, 此时液体贴在墙上, 而固体反弹回来	
密度	浮力		$p_{F11} < p_{F12} < p_F$	从岩石中压出油
表面张力	离心力			反射环式离心机
	毛细管效应	有毛细管效应的生羊毛布 		毛细管带式过滤器 海绵
沸点	蒸发	蒸汽 	$t_{s11} < t < t_{sF}$	汽化脱水器 干燥机

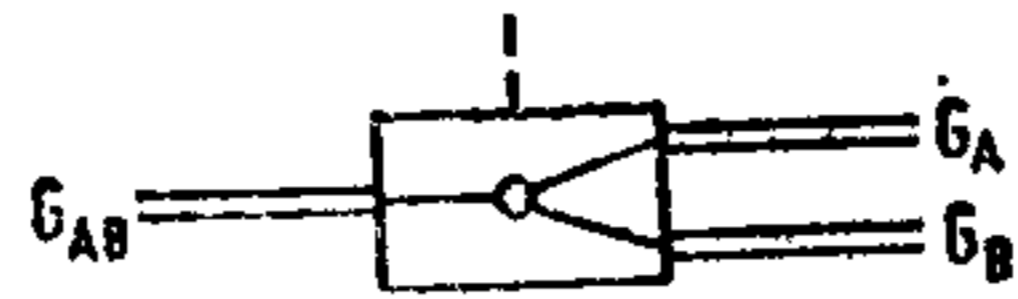
原理目录: 物料的“分离”



固体-液体

分离特征	效应	原理图	定律	应用实例
分压	汽化			汽化干燥器
	溶解		<p>H₂SO₄ 吸收潮湿 (通过它对H₂O的高的亲合力)</p>	在干燥器中干燥 洗涤瓶
扩散系数	扩散		<p>$dn/dt = -D \cdot q \cdot (dc/dx)$ $dc/dx =$ 在运输方向上的浓度梯度 $dn/dt =$ 通过横断面q漂移的分子数 $D =$ 扩散系数</p>	萃取
电离	电渗		<p>电渗时, 加一电压, 使H₂O电离, 并被吸进毛细管中</p>	泥煤干燥 潮湿墙壁的干燥

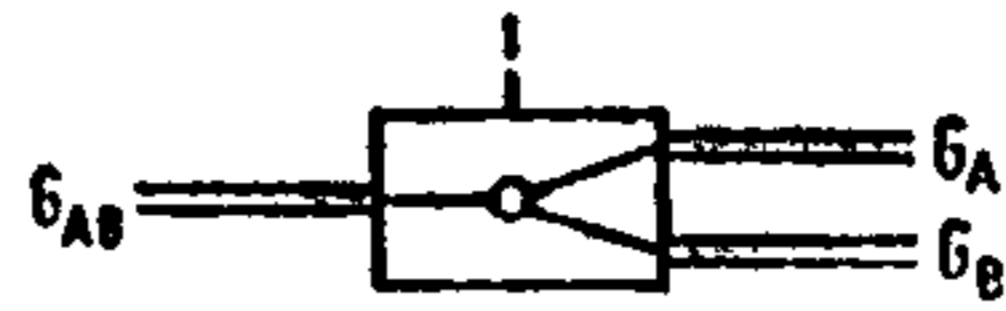
原理目录: 物料的“分离”



固体-气体

分离特征	效应	原理图	定律	应用实例
密度	浮力			利用液体或重气体从多孔的材料中挤出气体
	重力		如果气体的密度大于周围空气的密度, 那么气体将从多孔的固体材料中排出	从灰中得到 CO ₂
亲合力	离心力			离心机
压缩性	在气体中压力恒定		用真空泵将固体中的气体抽出	在真空中排气
压力关系	减压			用压力变换法解吸 清洗吸收过滤器
温度关系	提高温度			用温度变换法解吸 清洗吸收过滤器
可溶性	吸收		固体材料中的气体被液体(例如水中的 NH ₃)吸收并溶解。最佳分离条件是把吸收剂同固体材料-气体混合物强化搅拌在一起	固体材料的排气

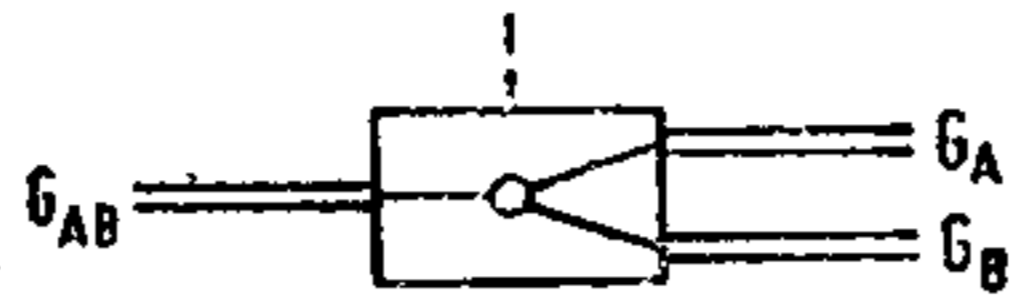
原理目录: 物料的“分离”



固体-气体

分离特征	效应	原理图	定律	应用实例
吸附趋势	吸附		<p>借助于范德瓦耳力使气体分子吸附结合在固体的表面。最佳分离的条件是把固体-气体混合物同吸附剂强化搅拌在一起</p>	
扩散系数	扩散		<p>在热运动的作用下，固体中的气体分子在周围介质（空气等）中自由扩散 $dc/dx =$ 浓度陡度 $dn/dt =$ 单位时间的分子数 $D =$ 扩散系数</p>	
可溶性	溶解		<p>只有通过外部的作用，气体才从积聚的固体中逸出。实际上，固体不能在溶剂C中溶解</p>	

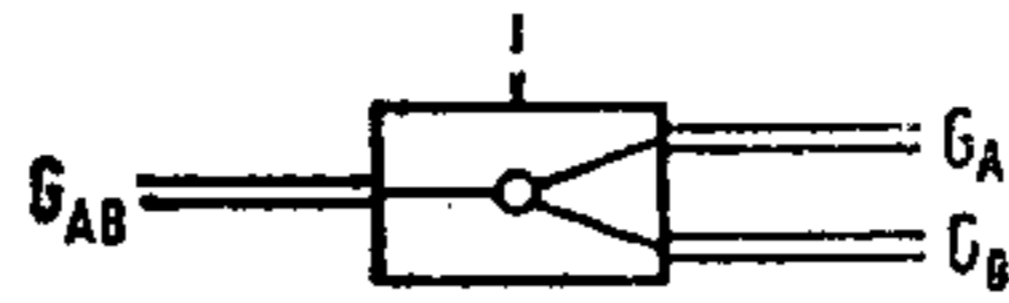
原理目录: 物料的“分离”



液体-固体

分离特征	效应	原理图	定律	应用实例
密度	浮力	 $\rho_F < \rho_{F1}$		浮选
	重力	 $\rho_F > \rho_{F1}$	$v_s = \frac{d^2}{18\eta} (\rho_F - \rho_{F1}) \cdot g$ $v_s =$ 沉降分级的分离速度 $d =$ 固体的直径	沉降分级 沉淀分离器 浮沉分选机
	离心力	 ρ_F , ρ_{F1} , ω , r	$v_s = \frac{d^2}{18\eta} (\rho_F - \rho_{F1}) \cdot r \cdot \omega^2$ $v_s =$ 分离速度 $d =$ 固体的直径	液压旋风分离器 离心分离机 分选机 在离心力场中沉降分级
浸润性	浮力	 空气	固体对气体的亲附性比对液体大, 固体被浸润后其比重变轻, 因而上升 $F_A = V_{总} \cdot \rho_{F1} \cdot g$, $V_{总} = V_K + V_{空气}$ $V_{空气} = f(\text{浸润性})$	浮选 污水处理
内聚性	内聚性	 水滴	通过筛子运动 (惯性、离心力、科里奥利力) 提高筛分效率。通过空气 (冲量、粘性) 附带运输筛分物料	渗滤器 沉淀分离器 脱水筛 (例如, 预排水)
表面张力	附着力	 ω	通过液体附着在转子上实现分离。按照大小分类的固体粒子, 从越来越薄的液体薄膜中分离出来	旋转控制台 (附着离心机)
摩擦系数	摩擦	 μ_F , μ_{F1} , α , $\mu_F > \mu_{F1}$	条件: $\mu_F > \tan\alpha$ 否则, 固体在运输带上也向下滑	

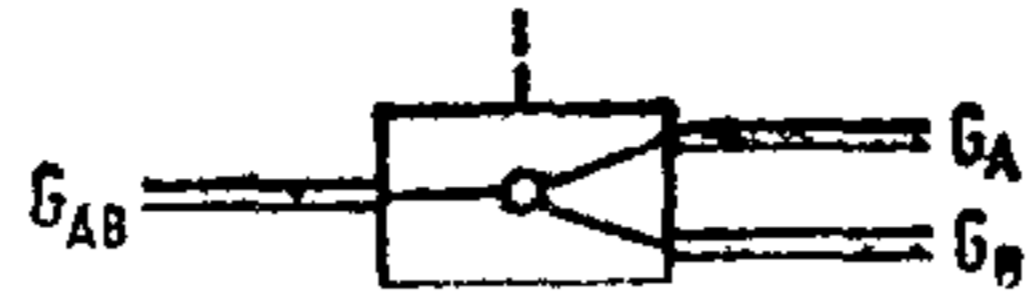
原理目录: 物料的“分离”



液体-固体

分离特征	效应	原理图	定律	应用实例
升华温度	升华			
介电常数	库伦 I		固体被“吸”进电容器中。容器使电容器运动，以便抓取全部小粒子 $F = c \cdot U^2 \cdot (\epsilon_2 - \epsilon_1)$ $c =$ 结构常数	
导电性	库伦 I		给液体和固体加同号的电荷。液体(导电性较差)慢慢放出电荷并且附着在滚筒上。固体(导电性很好)迅速放出电荷，变成与滚筒同号并被推斥	电动分选机
	涡流		导电的固体通过由涡流产生的力制动。物料的导向是借助于两个同步运行的、其周围已经极化的磁性圆盘来实现的	
相对导磁率	库伦 II			磁过滤器 磁分选机
分子量	渗析	高分子量材料的溶解 	$dn/dt = -D \cdot q \cdot (dc/dx)$ $dc/dx =$ 运输方向的浓度陡度 $dn/dt =$ 漂移过断面 q 的分子数 $D =$ 扩散系数	分离器 似晶质的胶态(例如蜜糖的糖)
	电渗析		用所谓选择导磁膜片的脱盐方法，膜片的一半可通过阴离子，另一半可通过阳离子	使含盐低于1%的废盐水脱盐，从胶态溶液中分离存在于真正溶液中的全部材料

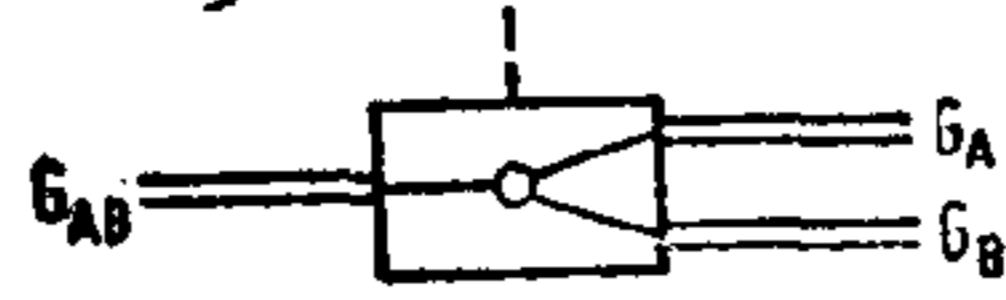
原理目录: 物料的“分离”



液体-固体

分离特征	效 应	原 理 图	定 律	应 用 实 例
分子量	索雷效应		如果溶液置于温度差的环境中就会出现浓度的差别。轻的部分(I)向热导线扩散并且向上升；重的部分向冷壁扩散并向下降	层析法 有机染料从液体中分离出来
吸附趋势	吸 附		固体颗粒被粉末柱(成分见文献)吸附,即固体颗粒的吸附能力大于液体	同位素分离 热扩散分离管
可溶性	溶 解		液体A不能溶解在溶剂B中	

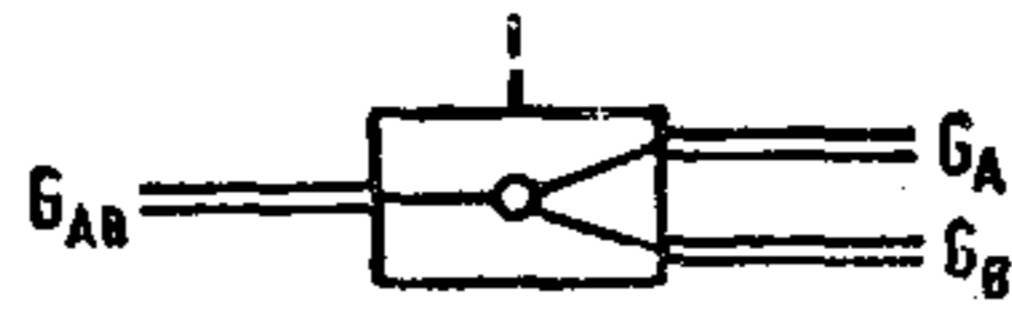
原理目录: 物料的“分离”



液体-液体

分离特征	效应	原理图	定律	应用实例
密度	浮力			油分离器 分液漏斗
	离心力			管状分离器 旋分器 分选机
表面张力	附着力			利用皮带等进行油水分离 (例如: 去浮渣带、粗过滤机)
粘度	粘度			分离具有不同粘度的浸润液体
可溶性随压力变化	压力下降		条件: $\rho_1 \neq \rho_2$	真空结晶
可溶性随温度变化	温度下降		由于溶液在低温时的溶解性降低, 通过液体的沉积进行分离 (例如水中的KCl)	冷却结晶
	温度升高		由于溶液在高温时的溶解性降低, 通过液体的沉积进行分离 (例如水中的Na ₂ SO ₄)	雾化结晶

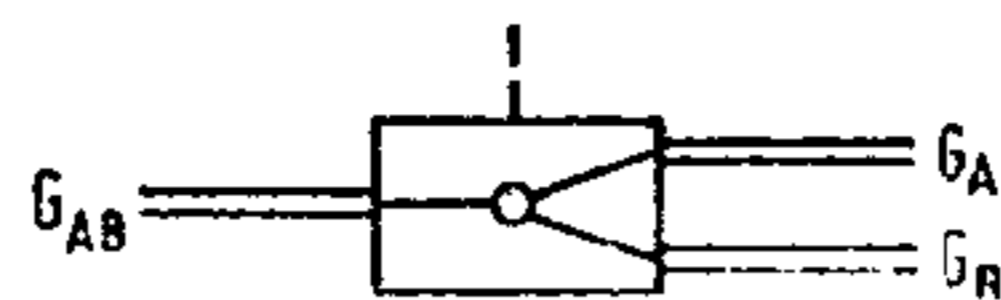
原理目录: 物料的“分离”



液体-液体

分离特征	效应	原理图	定律	应用实例
临界压力	结晶		结晶时, 混合液体必须是熔融液体	由同分异构体的混合物分离出 P-二甲苯
	蒸发		 压力降低 温度降低	通过蒸馏使同位素分离
临界温度	结晶		S = 升华压力曲线 Sch = 熔化压力曲线 D = 汽化压力曲线 TP = 三态点	
	蒸发			蒸馏 分馏 精馏 油水浮浊液的分离
分压力	汽化			
介电常数	库伦 I		$F = c \cdot U^2 \cdot (e_2 - e_1)$ C = 结构常数 F = 在液体 2 上作用的力	
电荷	离子迁移		分离的标准是在电解时同位素离子不同的迁移速度, 例如 L ₁ -离子比 L ₂ -离子迁移到阴极快	借助离子迁移使同位素分离 (电解)

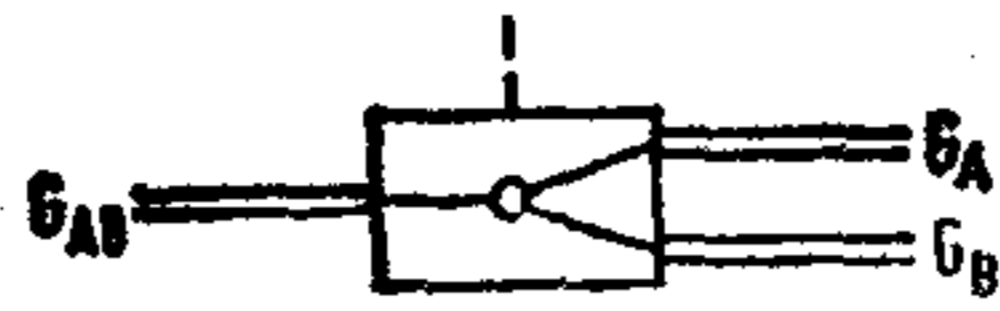
原理目录: 物料的“分离”



液体-液体

分离特征	效应	原理图	定律	应用实例
相对导磁率	库伦 I			
吸附趋势	吸附		A(可吸附的液体)留在粉末柱(成分见302)中。A比B的吸附能力强	层析塔 油水浮浊液的分离
扩散系数	扩散		液体B扩散到溶剂C中 $\frac{dn}{dt} = -D \cdot q \cdot \left(\frac{dc}{dx}\right)$ $\frac{dc}{dx}$ = 迁移方向上的浓度梯度 $\frac{dn}{dt}$ = 通过断面q迁移的分子数 D = 扩散常数	液体-液体萃取
可溶性	溶解		实际上溶剂 C 不能同液体A混合	去掉液体的组分
	电解置换		通过在溶液 A+B 中添加强电解质(如盐), 而从溶液中排挤出弱电解质(这里是溶解的液体B)	盐析作用 用于油水浮浊液的盐-缝隙方法
分子量	索雷效应		溶液置于温度差的环境中就会出现浓度的差别。轻的部分(I)扩散到热导线中并向上升。重的部分扩散到冷壁上并向下降	热扩散分离管 同位素分离

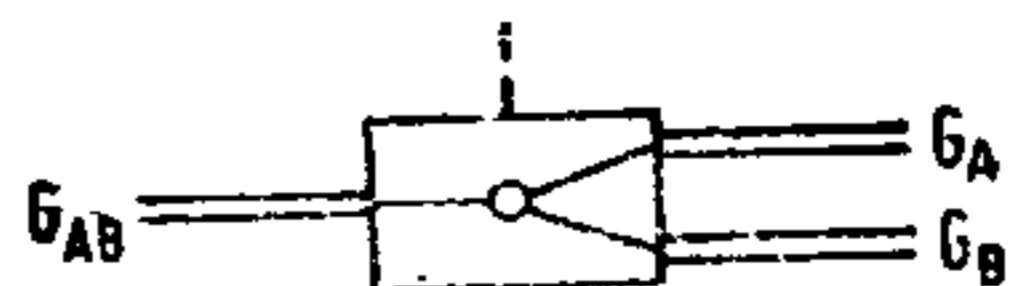
原理目录: 物料的“分离”



液体-液体

分离特征	效应	原理图	定律	应用实例
分子量	渗析		利用半渗透的薄膜, 从高分子材料的溶液中分离出分子量小的可溶的材料; 低分子材料通过薄膜扩散 $dn/dt = -D \cdot q \cdot (dc/dx)$ $dc/dx = \text{浓度陡度}$	将晶体(低分子)从胶体(高分子)中分离出来, Emupern 分离法; 均匀渗析, 超过滤, 渗透器
	电渗析		分离方法是用所谓的选择膜片进行的, 膜片的一半可通过阳离子, 另一半可通过阴离子	Emupern 分离法, 均匀渗析, 超过滤(两者都用于血液解毒)
	亲合力		这里使用了规定的细孔径的膜片, 从而只能滤掉分子直径小于细孔直径的液体	

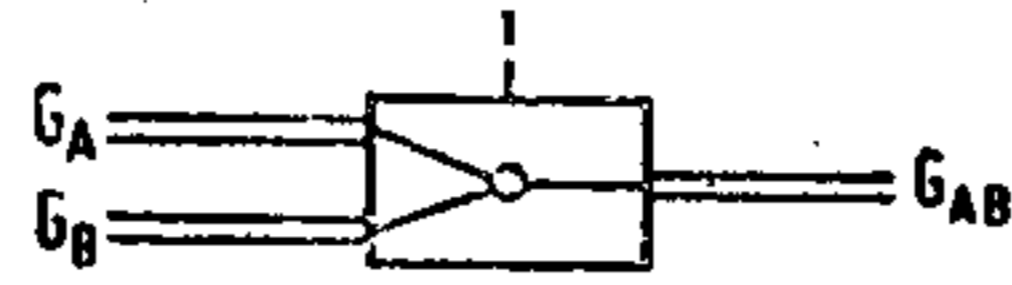
原理目录: 物料的“分离”



液体-气体

分离特征	效应	原理图	定律	应用实例
密度	浮力			除掉液压系统中的油泡沫
	离心力			管形离心机
溶解的气体量与压力的关系	压力降低			通过降低压力排出气体 在真空中排气 超声排气
溶解的气体量与温度的关系	温度升高			通过提高温度排出气体
介电常数	库伦 I		$F = c \cdot U^2 \cdot (\epsilon_g - \epsilon_{F1})$ $c = \text{结构常数}$ $F = \text{作用在气体上的力}$	
吸附趋势	吸附		将较大表面的吸附材料放入液体中, 气体沉积在吸附材料上 $\frac{dn}{dt} = -D \cdot q \cdot (\frac{dc}{dx})$ $\frac{dc}{dx} = \text{在迁移方向上的浓度梯度}$ $\frac{dn}{dt} = \text{分子数/时间}$ $D = \text{扩散系数}$	

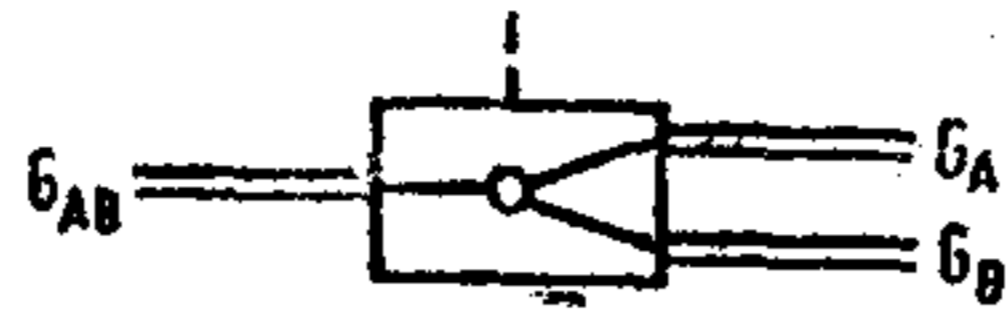
原理目录: 物料的“分离”



液体-气体

分离特征	效应	原理图	定律	应用实例
扩散系数	扩散		液体中的气体分子在热运动的作用下自由地扩散到周围的介质中 $d_n/dt = -D \cdot q \cdot (dc/dx)$ $dc/dx =$ 迁移方向上的浓度陡度 $d_n/dt =$ 分子数/时间 $D =$ 扩散系数	
可溶性	溶解		液体 1 应与气体分开 方法: 气体溶解到液体 2 中继而吸出	
	电解置换		在溶液(液体+气体)中添加强电解质(盐 S)而从溶液中排挤出弱电解质(这里是溶解的气体)	盐析气体
分子量	索雷效应		将溶液置于温度差的环境中, 就会出现浓度差。轻的部分(I)扩散到热导线上并上升; 重的部分扩散到冷壁上并向下等	热扩散分离管

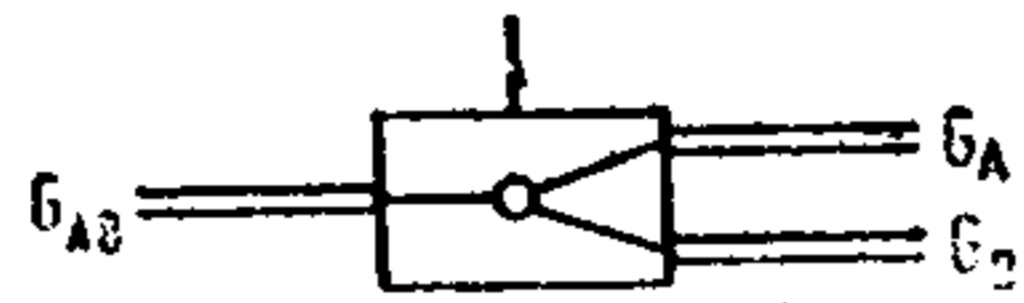
原理目录: 物料的“分离”



气体 固体

分离特征	效应	原理图	定律	应用实例
长度	内聚性		过滤介质: -毛毡 -无纺布 -织物	筛/布袋过滤器
密度	重力		下述方法可促进固体颗粒的沉积 -减小流速, -颗粒的聚集(例如通过感应)	重力除尘器 尘袋 室式分选设备
质量	惯性		由于固体颗粒的惯性较大, 所以气流不能换向	过滤器 喷雾式洗涤塔 冲压式分离机
浸润性 (表面张力)	离心力		借助于入射流的高离心加速度将固体颗粒甩出	离心除尘器 旋分器 涡轮加速器 分离喷嘴-灰尘分离器
	浸润		如果 $\rho_F > \rho_F1$: 通过凝聚提高沉积速度	湿法除尘器, 例如 poto-clune 瀑布式洗涤器
介电常数	附着		固体仍粘附在薄片的粘性表面	
	库伦 I		因为 $\epsilon_2 > \epsilon_1$, 固体颗粒附着在电容器中	电除尘器

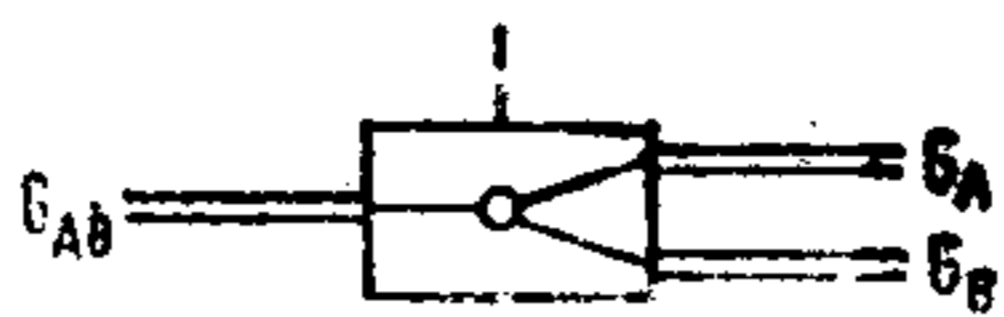
原理目录: 物料的“分离”



气体-固体

分离特征	效 应	原 理 图	定 律	应 用 实 例
电 荷	库伦 I		特别适合于分离细的和很细的烟道灰颗粒 带负电荷的灰尘颗粒附在放电电极上；接着，沉淀物附在沉积电极上	电除尘器 电子管式静电除尘器
溶 解	可溶性		固体被液体溶解	从气流得到盐
相对导磁率	库伦 I			

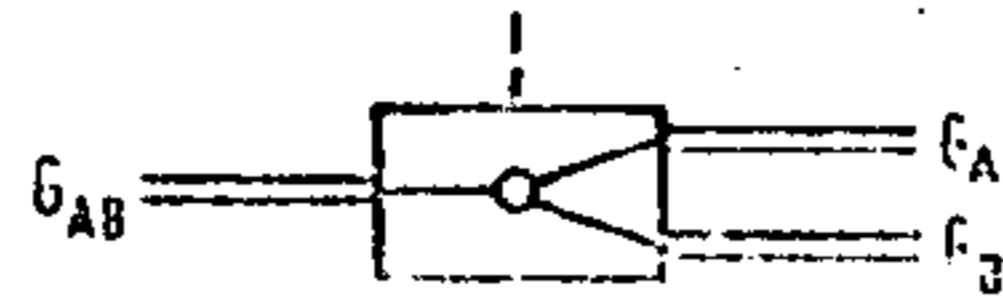
原理目录: 物料的“分离”



气体-液体

分离特征	效应	原理图	定律	应用实例
密度	重力		下述方法可促进液滴的沉积: 一减小流速 一聚集颗粒(如通过感应)	室式分选设备
质量	惯性		由于液滴的惯性较大, 气流不能换向	过滤器 洗衣机 反射式分离器
	离心力		借助入射流的高离心加速度, 将液体挤出并下沉	涡轮加速器 离心机
浸润性 (表面张力)	表面张力		如果不超过某个润湿边缘角, 那么液滴就浸润各散热片, 边缘角或者极限角与散热片上液体材料的配套有关	
电荷	库伦 I		液电滴的负电荷附在放电电极上; 接着沉淀物沉积在沉积电极上	电子管式静电除尘器
可溶性	溶解		液滴溶于溶液, 气体不溶于溶液	

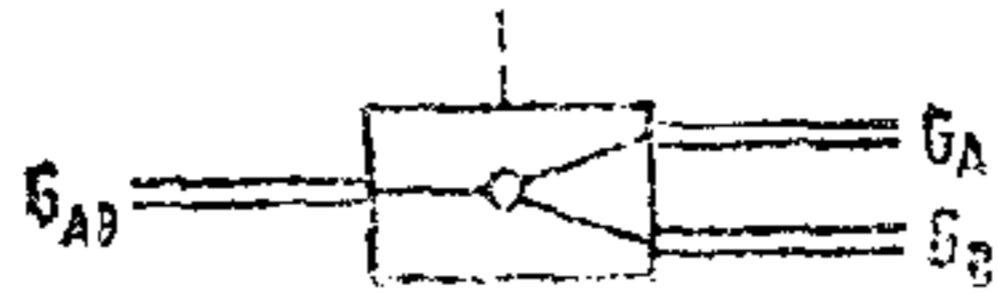
原理目录: 材料的“分离”



气体-气体

分离特征	效应	原理图	定律	应用实例
密度	浮力			沉降
	离心力		较重的部分通过离心力紧紧贴在壁上，通过剥离板进行最后分离	通过下面的方法进行同位素分离： 分离喷嘴、气体离心机、超离心机、铀235浓缩
熔点	冷凝		将气体或蒸汽直接冷凝成固体实现分离	凝升 气体载体升华
沸点	冷凝			薄膜冷凝
分压力	冷凝			分馏 废气净化
介电常数	库伦 I		$F_1 = c \cdot U^2 \cdot (\epsilon_1 - \epsilon_F1)$ c = 结构常数 F ₁ = 作用在气体上的力 有较大介电常数ε的气体被吸入电场中，其它气体被排出	电离
离子电荷/质量	洛伦兹力 (毕奥-萨伐尔特)		分离的特征是离子在磁场中偏离的可能性，在静电场中预加速；在磁场中偏离 1 = 半径为 1 的重同位素的离子轨道 2 = 半径为 2 的轻同位素的离子轨道	电磁同位素在Calutron (电磁分离器) 中分离阿斯顿质谱仪

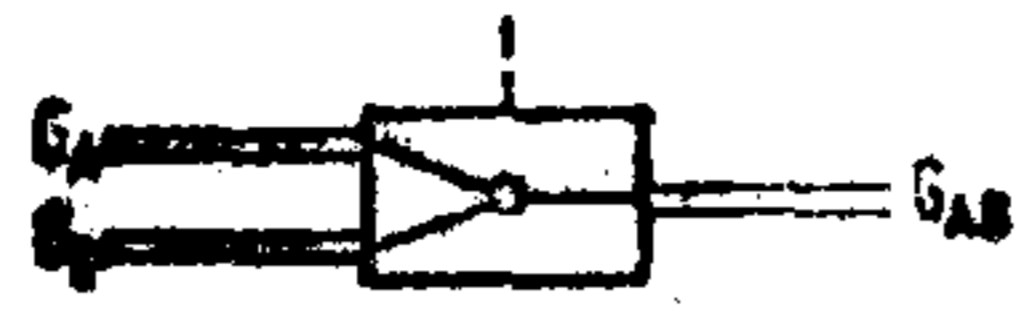
原理目录：物料的“分离”



气体-气体

分离特征	效应	原理图	定律	应用实例
相对导磁率	库伦 II		通过磁极吸引顺磁气体 (如氧) 实现分离	气体分析器
吸附趋势	吸附		根据不同的吸附趋势，气体 A 和 B 留在不同的吸附剂上	气体色谱法的惰性气体的分离和烃的分离等，废气净化 (例如吸附硫) 毛细管-色谱法
扩散系数	扩散		气体 C 的分子在热运动的作用下自由地扩散到周围的介质——外来气体中	外来气体扩散
可溶性	溶解			洗选 (湿法，用于废气净化，气体干燥)
	电解置换			气体脱盐
分子量	压力扩散		较轻的部分在加大的流速的外部富集起来并通过分离板被分离出来	用分离喷嘴法进行同位素分离
	隙透		气体通过毛细管扩散的速度可用格拉哈姆定律求出： $W_1:W_2 = M_2^{1/2}:M_1^{1/2} = \rho_2:\rho_1$ 通过多孔的膜扩散时，渗入	同位素分离 (隔膜扩散) 气体扩散设备 氦-氟分离

原理目录: 物料的“分离”



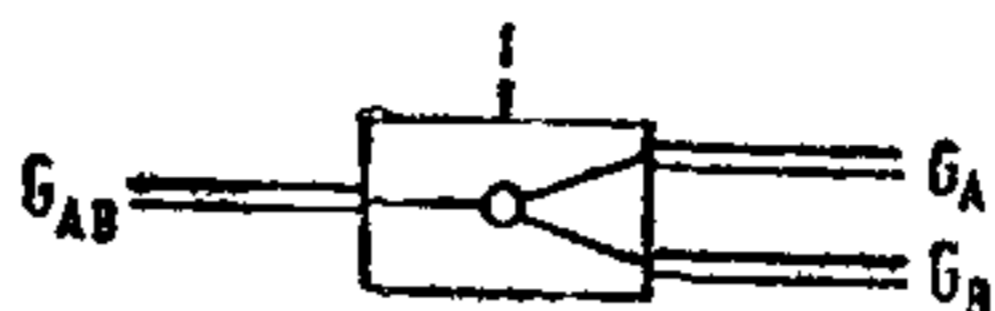
气体-气体

分离特征	效应	原理图	定律	应用实例
分子量	索雷效应		<p>如果将气体的混合物置于温度差的环境中, 就会出现浓度差。轻的部分(I)扩散到热导线中并上升; 重的部分扩散到冷壁上并下降</p>	<p>热扩散分离管</p>
分子大小	吸附在分子筛中			<p>分离:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 从同位素烷烃中分离出n个烷烃 - 从N和O中分离出惰性气体 - 从空气中分离出O₂

原理目录6 物料的结合

文献说明可在[101]中找到

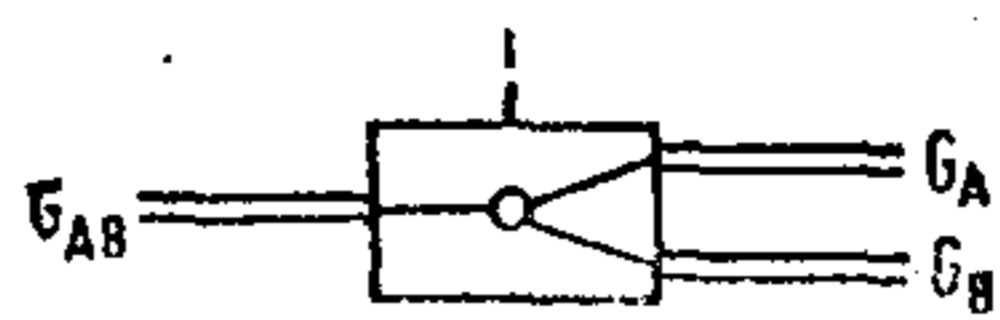
原理目录：物料的“结合”



原理 1

效应	原理图	定律	注释	应用实例
扩散			初始状态： 材料在分离的空间内	
			中断分离，开始扩散	
			浓度均衡，扩散中止	
渗透力			固体材料，浸透液体	
吸附			气体结合在固体材料中	活性炭过滤器

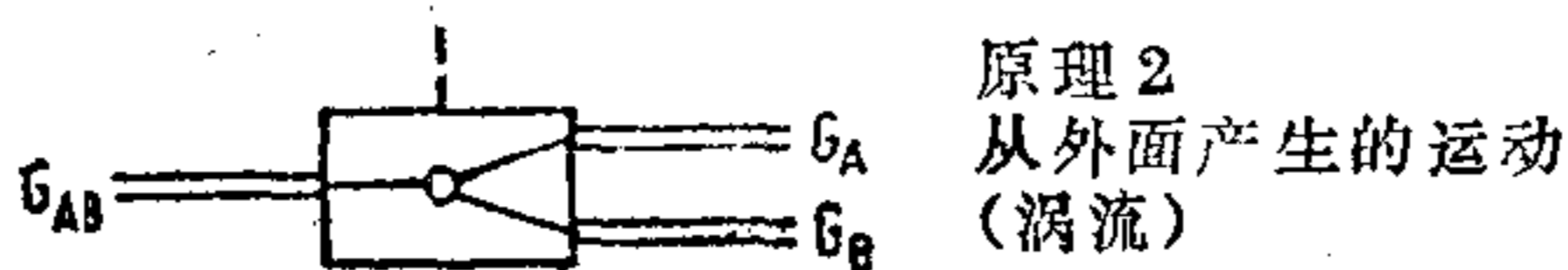
原理目录: 物料的结合



原理 2
从外面产生运动
效应副

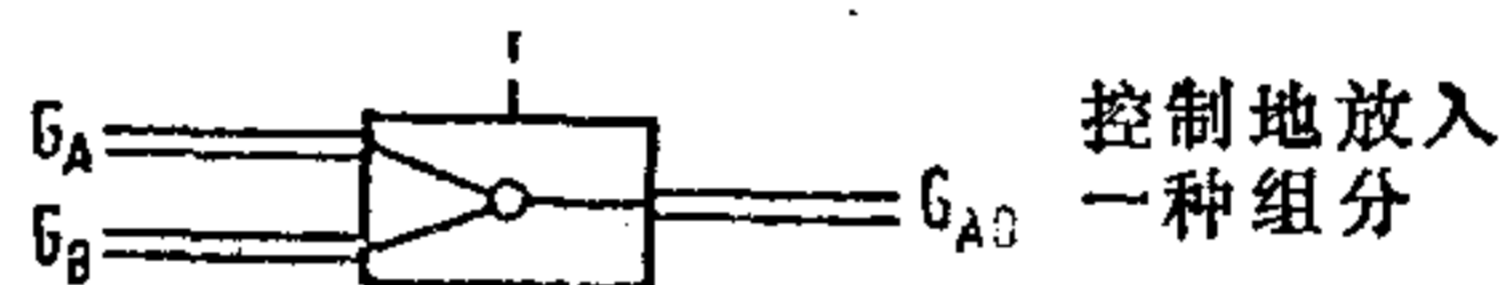
效应	原理图	定律	注释	应用实例
摩擦-重力				筒式混合机 自由降落混合机
内聚性-重力				自由降落混合机
离心力-离心力			通过绕M ₁ 和M ₂ 转动叠 加离心力	行星式磨机
摩擦-剪应力			在隙缝中存在剪切应力、 塑压应力、拉应力和压 应力，这就意味着在材 料堆积中同样存在着剪 切流	在楔形间隙中混合 辊压设备 辊压堆积 压光机
内聚性-惯性				犁铲混合机 桨式搅拌机 带式混合机
库伦 I - 重力			a) 栅板 b) 烃 c) 溶剂 d) 炉底电极	电搅拌机
库伦 I - 重力			导磁材料使磁力线短路， 因此，只有重力的作用， 混合管固定不动	

原理目录: 物料的“结合”



效应	原理图	定律	注释	应用实例
用下述方法可以产生涡流: -降低粘度 -增加密度 -提高速度 -改变几何形状 -加大不连续的表面 -放入干扰物体		$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\eta}$ $Re_1 > Re_c > Re_2$		

原理目录: 物料的“结合”



效应	原理图	定律	注释	应用实例
库伦 I			吸引力只作用在组分K ₂ 上	
库伦 II			吸引力只作用在组分K ₂ 上 $\mu_{r1} \ll \mu_{r2}$	
浮力			增加辅助介质, 使 $\rho_1 = \rho_H$ $\rho_2 < \rho_H$	

● 考 文 献

a) 方法设计

1. Autorenkollektiv: **Konstruktionsbeispiele**, VEB-Fachbuchverlag Leipzig 1970
2. Bauer, C.-O.: **Integrierte Qualitätssicherung ermöglicht das Überwachen bis hin zum fertigen Produkt**. Maschinenmarkt 89 (1983) H. 26, S. 511—514
3. Beinhoff, O.: **Konstruktionsaufgaben für den Maschinenbau**, Berlin, Göttingen, Heidelberg, Springer 1950
4. Bernhardt, R.: **Systematisierung des Konstruktionsprozesses**. Düsseldorf: VDI-Verlag 1981
5. Beitz, W., Pahl, G.: **Aufsatzreihe für die Konstruktionspraxis**, Konstruktion 24 bis 26, H. 1 (1972), H. 12 (1974)
6. Beitz, W., Meyer, H.: **Untersuchungen zur recyclingfreundlichen Gestaltung von Haushalts-großgeräten**. Teil 1: Konstruktion 33 (1981) H. 7; 257—262; Teil 2: Konstruktion 33 (1981) H. 8, 305—315
7. Beyer, R.: **Kinematische Getriebe-synthese**. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer 1953
8. Bischoff, W., Hansen, F.: **Rationelles Konstruieren**, Konstruktionsbücher Bd. 5, Berlin: VEB Verlag Technik 1953
9. Bischoff, W.: **Das Grundprinzip als Schlüssel zur Systematisierung**. Feingerätetechnik 9 (1960) 91 ff
10. Bock, A.: **Arbeitsblätter für die Konstruktion von Mechanismen**. Maschinenbautechnik 16 (1967) 387 ff
11. Bock, A.: **Konstruktions-systematik — die Methode der ordnenden Gesichtspunkte**, Feingeräte-technik 4 (1955) 4 ff
12. Bodack, K. D.: **Ästhetisches Maß technischer Produkte**, Konstruktion 20 (1968) 391 ff
13. Bode, K.-H.: **Werkstoff- und verfahrensgerecht Konstruieren**, Konstruktionsatlas, Hoppenstedt & Co, Darmstadt, 2. Auflage, 1983
14. Borowski, K. H.: **Das Baukastensystem in der Technik**. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer 1961
15. Brader, C.: **Elektromechanische Konstruktionen**, Forsch.-Ber. VDI-Z Reihe 10 (1964), Nr. 1, 1
16. Brandenberger, H.: **Fertigungsgerechtes Konstruieren**, Zürich, Schweizer Druck- und Verlags-haus, 1946
17. Brandenberger, H.: **Funktionsgerechtes Konstruieren**, Zürich, Schweizer Druck- und Verlags-haus, 1957
18. Brankamp, K.: **Planung und Entwicklung neuer Produkte**, de Gruyter, Berlin 1967
19. Brankamp, K.: **Leitfaden zur Leistungssteigerung in der Konstruktion: Methoden Hilfsmittel Fallstudien**, 2. Aufl., VDI-Verlag Düsseldorf 1975
20. Buhl, H. R.: **Creative Engineering Design**, The Iowa State University Press 1962
21. Conrad, P., Schiemann, H., Voemel, P.: **Erfolg durch Methodisches Konstruieren**, Lexika Verlag Grafenau 1977
22. Czeranowsky, N.: **Bestimmung der Kompliziertheit von Baugruppen**, Industrie-Anzeiger, Jg. 100, Nr. 59 v. 26. 07. 78, 22—23
23. Dietz, P.: **Baukastensystematik und methodisches Konstruieren im Werkzeugmaschinenbau**, Zeitschrift für Maschinenbau, Konstruktion und Fertigung, 116. Jg., April 1983, Heft 4, 185—240
Hanser Verlag, München
24. Dizloglu, B.: **Lehrbuch der Getriebelehre** Bd. 1, (1965), Bd. 2 Vieweg, Braunschweig (1967)
25. Dizloglu, B.: **Zur Konstruktionslehre der mechanischen Bewegungsübertragung**, Melliand-Textilberichte 8/1971, 911—917, Fortsetzung in 9/1971, 1036—1041
26. Droscha, H.: **Funktionsverbesserung und Kosteneinsparung durch Gußkonstruktionen**, Kon-struktion 35 (1983) H. 11, 445—448
27. Dürr, F.: **Kunststoffe im Feingerätebau**, Kunststoffe 64, (1974), H. 10, 575—580.
28. Dubbel: **Taschenbuch für den Maschinenbau**, 14. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1981
29. Eder, W. E., Gosling, W.: **The Design of Mechanical Systems** Oxford: Pergamon Press 1965
30. Ehrlenspiel, K.: **Wirtschaftlichkeit als Ziel beim methodischen Konstruieren**, VDI-Z 123 (1981) Nr. 11 — Juni (I), 473—476
31. Ehrlenspiel, K., Lindemann, U.: **Ein Beitrag zur Theorie des Konstruktionsprozesses**, Kon-struktion 31 (1981) H. 7, 269—277

32. Ehrlenspiel, K., Petrag, H.: Anwendung der Konstruktionsmethodik auf das Lastenausgleichsproblem am Zweiweggetriebe, *Konstruktion* 35 (1983) H. 3, 85—90
33. Ewald, O.: Lösungssammlungen für das methodische Konstruieren, VDI-Verlag 1975
34. McFarlane, A. G. J.: Analyse technischer Systeme, B. I. Hochschultaschenbücher, Mannheim, 1967
35. Farwick, H.: Systematisches Entwickeln, Selektieren und Optimieren von Konstruktionen — Ein Beitrag zur Konstruktionssystematik, Diss. RWTH Aachen 1974
36. Fischer, A., Weißner, R.: Folgen der automatischen Montage für die Konstruktion, *VDI-Berichte* Nr. 501, 1983
37. Fish, J. C. L.: *The Engineering Method*, Stanford/Calif.: Stanford University Press 1950
38. Franke, R.: Vom Aufbau der Getriebe Bd. 1, Düsseldorf, VDI-Verlag 3. Aufl. (1958), Bd. 2 (1951)
39. Franke, R.: Eine vergleichende Schalt- und Getriebelehre, Oldenbourg Verlag Berlin 1930
40. French, M. J.: Aids to Engineering Design, *The Engineer*, 19. 5. 1967 und 2. 6. 1967
41. Fritsch, M.: Zur integralen Funktionsausnutzung von Bauelementen, *Feingerätetechnik* 16 (1967) H. 9, 402—404
42. Gao, X.: Systematik der Verbindungen — ein Beitrag zur Konstruktionsmethodik, Diss. RWTH Aachen 1983
43. Glegg, G.: *The Design of Design*, Cambridge University Press 1969
44. Grave, H. F.: Elektrische Messung nichtelektrischer Größen, 2. Aufl. Frankfurt: Akad. Verlags-Ges. 1965
45. Grübler, M.: *Getriebelehre, Eine Theorie des Zwangslaufs und der ebenen Mechanismen* 2. Aufl. Berlin: Springer 1917
46. Gunther, W.: Praktische Erfahrungen mit der Wertanalyse, *Werkstattechnik* 57 (1967) 490ff
47. Haeder, H.: Konstruieren und Rechnen, 3 Bde. Braunschweig: Schmidt 1962
48. Hain, K.: *Angewandte Getriebelehre*, 2. Aufl., Düsseldorf: VDI-Verlag 1961
49. Hansen, F.: *Konstruktionssystematik* 2. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1966
50. Hansen, F.: *Konstruktionssystematik*, München, Wien: Hanser 1974
51. Hertel, H.: *Leichtbau-Bauelemente, Bemessungen und Konstruktionen von Flugzeugen und anderen Leichtbauwerken*, Berlin, Heidelberg, New York; Springer 1960
52. Hochmuth, W.: *Elektronik — eine Aufgabe für den Konstrukteur*, *Feinwerktechnik & Meßtechnik*, 86. Jg., Heft 1/1978, 1—8
53. Höhne, M.: *Praxisnahes Handbuch für schweißgerechtes Konstruieren und Fertigen*, Braunschweig: Richard Carl Schmidt + Co
54. Hohmann, K.: *Methodisches Konstruieren*, Essen: Girardet 1977
55. Hubka, V.: *Theorie der Konstruktionsprozesse, Analyse der Konstruktionstätigkeit*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1975
56. Hubka, V.: *Konstruktionsmethoden in Übersicht*, ICED Rom 1981, Heurista Verlag Zürich 1981
57. Hubka, V.: *Konstruktionsunterricht in Übersicht* ICED Rom 1981, Heurista Verlag Zürich 1981
58. Hubka, V.: *Theorie Technischer Systeme*, 2. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1984
59. Jung, A.: Produktbezogenes systematisches Konstruieren, *Feinwerktechnik & Meßtechnik* 89 (1981) H. 3, 129—132
60. Kesselring, F.: *Technische Kompositionslehre*. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer 1954
61. Kesselring, F.: Morphologisch-analytische Konstruktionsmethode, *VDI-Z* 97 (1955) 327ff
62. Kienzle, D.: Die Normzahlen und ihre Anwendung, *VDI-Z* 83 (1939) 717
63. Kiper, G.: *Getriebetechnik, eine Grundwissenschaft des Konstruierens*, *Konstruktion* 7 (1955) 247ff
64. Koller, R.: Ein Weg zur Konstruktionsmethodik. *Konstruktion* 23. Jg., (1971), H. 10, 388—400
65. Koller, R.: Eine algorithmisch-physikalisch orientierte Konstruktionsmethodik, Teil 1: Aufgabenanalyse, *VDI-Z* Bd. 115 (1973) Nr. 2, S. 147—152, Teil 2: Qualitative Konstruktion, von der Effektvariation bis zur Darstellung der Prinziplösung, *VDI-Z*, Bd. 115 (1973), Nr. 4, S. 309 bis 317, Teil 3: Qualitative Konstruktion, Gestaltvariieren und Kombinieren, *VDI-Z*, Bd. 115 (1973), Nr. 10, S. 843—847, Teil 4: Qualitative Konstruktion: Entwerfen, *VDI-Z* Bd. 115 (1973) Nr. 13, S. 1078—1085
66. Koller, R.: *Methodisches Konstruieren und Entwickeln von Produkten*, *Schweizer Maschinenmarkt*, Nr. 42, 1972
67. Koller, R.: *Systematisches Konstruieren von Antrieben nach Prinziplösungen*, *Maschinenmarkt*, Würzburg 80 (1974) 95

68. Koller, R.: Methodisches Konstruieren von Bewegungssystemen. Ein Weg zu einer qualitativen Getriebesynthese, *Antriebstechnik* 13 (1974) Nr. 5
69. Koller, R.: Physikalische Grundfunktionen zur Konzeption technischer Systeme — Ein Beitrag zur Konstruktionsmethodik, *Industrie-Anzeiger*, 97. Jg., Nr. 17, 312–326, 1975
70. Koller, R.: Systematisches Konzipieren von Druckverfahren und Druckwerken für Datengeräte, *Feinwerktechnik & Meßtechnik* 84, H. 1, 1–5
71. Koller, R., Lauschner, H. J.: Methodisches Konstruieren mit Kunststoffen, Teil 1: Konstruktion 28, 1976, 219–226; Teil 2: Konstruktion 28, 1976, 259–266
72. Koller, R.: Konstruktionsmethode für den Maschinen-, Geräte- und Apparatebau. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1979
73. Koller, R.: Restriktionsgerechtes Konstruieren, *Konstruktion* 31, 1979, H. 9, 352–356
74. Koller, R., Pielen, J.: Systematik der Prinziplösungen zum Trennen von Stoffen — Ein Beitrag zur Konstruktionsmethodik, *Chem.-Ing. Technik* 52 (1980) Nr. 9, 695–702
75. Koller, R.: Physikalisch-algorithmisch orientierte Konstruktionsmethode, Schriftenreihe WDK 5, V. Hubka (editor), Konstruktionsmethoden in Übersicht M 2/8, S. 203–219, IDEC 81, Rom
76. Koller, R.: Physikalisch-algorithmisch orientierte Konstruktionsmethode, *Schweizer Maschinenmarkt* Nr. 3 (1982) 37–41
77. Koller, R.: Gestaltsynthese von Maschinenbaugruppen und -bauelementen, *Konstruktion* 34 (1982) H. 1, 7–12
78. Koller, R.: Methodisches Konstruieren lärmärmer Getriebe für Mehrspindel-Drehautomaten, *Maschinenmarkt*, Würzburg 88 (1982) 51, 1073–1076
79. Koller, R., Runkel, W.: Methodische Entwicklung automatischer Nahtwebmaschinen für Drahtgesiebe, *Maschinenmarkt*, Würzburg 88 (1982) 74, 1505–1508
80. Koller, R.: Qualitatives Entwerfen und Gestalten technischer Gebilde, *Schweizer Maschinenmarkt* Nr. 34 (1983) 51–55 und Nr. 35 (1983), 31–33
81. Koller, R.: Entwicklung einer Systematik für Verbindungen — ein Beitrag zur Konstruktionsmethodik, *Konstruktion* 36 (1984), H. 5, 173–180
82. Koller, R., Pauli, G.: Besondere Anforderungen an Produkte für Entwicklungsländer, *Maschinenmarkt*, Würzburg 90 (1984) 30
83. Koller, R.: Konstruieren von Bauteilen für eine Montage mit Industrierobotern, *Maschinenmarkt*, Würzburg 90 (1984) 65
84. Kuhlenskamp, A.: Konstruieren und Entwerfen in der Feinwerktechnik, *Konstruktion* 15 (1963) 349 ff.
85. Kuhlenskamp, A.: Entwerfen und Konstruieren von Meßgeräten, *Konstruktion* 17 (1965) 121
86. Lauschner, H. J.: Methodisches Konstruieren mit Kunststoffen, Diss. RWTH Aachen 1977
87. Leyer, A.: Maschinenkonstruktionslehre H. 1 (1963) H. 2 (1964) H. 3 (1965). Stuttgart: Birkhäuser
88. Leyer, A.: Konstruktion erneut zur Diskussion gestellt, *Konstruktion* 33 (1981) H. 2, S. 45–48
89. Lichtenheldt, W.: Konstruktionslehre der Getriebe Berlin, Akademie-Verlag 1961
90. Lüpertz, H.: Anwendung des morphologischen Schemas beim Festlegen eines Scheibenbremsen-Bauprogrammes für Pkw, *Konstruktion* 33 (1981) H. 10, S. 383–392
91. Matousek, R.: Konstruktionslehre des allgemeinen Maschinenbaues, Springer Verlag Berlin Göttingen Heidelberg 1957
92. Müller, J.: Probleme einer Konstruktionswissenschaft, *Maschinenbautechnik* 16 (1967) 454
93. Niemann, G., Winter: Maschinenelemente, Band 1, 1981, Band 2, 1983
94. Osborn, A.: Brainstorming, *Time* 12. 2. 1957, S. 48 f.
95. Pahl, G., Beitz, W.: Aufsatzreihe „Für die Konstruktionspraxis“, *Konstruktion*, H. 1 (1972), Jg. 24, bis Heft 12 (1974) 1–26
96. Pahl, G., Beitz, W.: Konstruktionslehre. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1977
97. Pahl, G., Beelich, K. H.: Ermittlung von Herstellkosten für ähnliche Bauteile, *VDI-Berichte* Nr. 347, 1979, 155–164
98. Pahl, G., Beelich, K. H.: Erfahrungen mit dem methodischen Konstruieren, *Werkstatt & Betrieb*, 114. Jg., Nov. 81 Heft 11, S. 773–840
99. Pahl, G., Rieg, F.: Relativkostendiagramme für Zukaufteile — Approximationspolynome helfen bei der Kostenabschätzung von fremdelieferten Teilen, *Konstruktion* 36 (1984) H. 1, 1–6
100. Peeken, H., Troeder, C., Diekhans, G.: Parametererregte Getriebschwingungen Teil 1: *VDI-Z.* 122 (1980) Nr. 20 — Okt. (II), 869–877; Teil 2: *VDI-Z.* 122 (1983) Nr. 21 — Nov. (I), 967–977; Teil 3: *VDI-Z.* 122 (1980) Nr. 22 — Nov. (II), 1029–1043

101. Pielen, H. J.: Systematiken physikalischer Prinzipien für den Stoffumsatz zur Konzeption von Maschinen und Apparaten, Diss. RWTH Aachen 1979
102. Rauh, K.: Aufbaulehre der Verarbeitungsmaschinen (Maschinenlehre), Bild- und Textband, Essen: Girardet 1950
103. Rauh, K., Hagedorn, O.: Praktische Getriebelehre, Bd. I, 3. Aufl. (1965), Bd. II, 2. Aufl. (1954), Berlin, Heidelberg, New York: Springer
104. Rodenacker, W.: Wege zur Konstruktionsmethodik, Konstruktion 20 (1968) 381
105. Rodenacker, W.: Physikalisch orientierte Konstruktionsweise, Konstruktion 18 (1966) 263
106. Rodenacker, W.: Methodisches Konstruieren, 2. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1976
107. Rodenacker, W.: Methodisches Konstruieren, Regeln und Beispiele, Folge 1-12, Fachzeitschriftenbeilage, Krausskopf Verlag 1972
108. Rodenacker, W., Claussen, U.: Regeln des Methodischen Konstruierens, Teil 1, Krausskopf 1973
109. Rodenacker, W., Claussen, U.: Regeln des Methodischen Konstruierens, Teil 2, Krausskopf 1975
110. Rodenacker, W.: Methodisches Konstruieren — eine neue Denkweise, VDI-Z 120 (1978) Nr. 22 — Nov. (II), 1062-1065
111. Rögwitz, H., Köhler, G.: Fertigungsgerechtes Gestalten im Maschinen- und Gerätebau, 4. Aufl. Stuttgart: Teubner 1968
112. Ropohl, G.: Bankastensysteme, Sonderdruck aus: Handwörterbuch der Produktionswissenschaft, C. E. Poeschl-Verlag, Stuttgart
113. Roth, K.: Kennzeichnende Merkmale feinwerktechnischer Konstruktionen, VDI-Z 105 (1963), 1017 und 1125
114. Roth, K.: Gliederung und Rahmen einer neuen Maschinen-, Geräte- und Konstruktionslehre, Feinwerktechnik 72 (1968) 1
115. Roth, K.: Systematik der Maschinen und ihre mechanischen elementaren Funktionen, Feinwerktechnik 74 (1970), Heft 11
116. Roth, K.: Systematik fester Verbindungen als Grundlage für ihre sinnvolle Anwendung und Weiterentwicklung, VDI-Z 122 (1980) Nr. 10 — Mai (II), 381-389
117. Roth, K.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen, Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1982
118. Roth, K., Kopowski, E.: Konstruktionskataloge fester Verbindungen, VDI-Z 124 (1982) Nr. 6 — März (II), 193-204
119. Runkel, W.: Methodische Entwicklung einer Nahtwebmaschine zur Endloswebung von Gesiebebändern, Diss. RWTH Aachen 1982
120. Salje, E.: Darstellung von Zahnradgetrieben in mehrspindligen Bohrköpfen als Graph. Industrie-Anzeiger Nr. 70 v. 28. 08. 81 103. Jg., 31-32
121. Schlottmann: Ein Beitrag zur Konstruktionssystematik signalverarbeitender Geräte, Diss. TU Hamburg 1972
122. Schmitz, J.: Anleitung zum methodischen Konstruieren von Spritzgießteilen, Diss. RWTH Aachen 1984
123. Seifert, H., Weber, C.: Systematik der hydrostatischen und der Riemen-Stellkoppelgetriebe (Teil 2), Antriebstechnik 22 (1983) Nr. 10, 47-52
124. Sieker, K. H., Rabe, K.: Fertigungs- und stoffgerechtes Gestalten in der Feinwerktechnik, 2. Aufl., Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1968
125. Simonek, R.: Ein Beitrag zur Ermittlung der speziellen Funktionsstruktur in der Konstruktion Diss. TU Braunschweig 1973
126. Steinwachs, H. O.: Praktische Konstruktionsmethode, Würzburg: Vogel 1975
127. Steinwachs, H. O., Krieter, B.: Praktische Konstruktionsmethode — programmiert, Würzburg: Vogel 1979
128. Strnad, H., Vorath, B.-J.: Ein Beitrag zur Gestaltung des systematischen sicherheitstechnischen Konstruierens, VDI-Z 121 (1979) Nr. 23/24 — Dez. (I, II), 1217-1220
129. Tempelhof, K. H., Lichtenberg, H., Rugenstein, J.: Fertigungsgerechtes Gestalten von Maschinenbauteilen, 2. Aufl., VEB-Verlag Technik Berlin 1979
130. Tjalve, E.: Zielgerichtete Modellierung bei der Formgestaltung, Konstruktion 34 (1982) H. 7 271-273
131. Tränker, G.: Um die Wissenschaftlichkeit der Konstruktionsarbeit, Maschinenbautechnik 1. (1966) 281
132. Tschochner, H.: Konstruieren und Gestalten, Essen: Girardet 1954

133. Uetz, H.: Instandhaltungsgerechtes Konstruieren von Fertigungseinrichtungen, Industrieanzeiger Nr. 81 v. 07. 10. 77, 99. Jg., 1572-1573
134. Unterberger, R.: Ein Vergleich der Laufgenauigkeit von Präzisionslagern und vorgespannten Luftlagern, Feinwerktechnik (1961), Heft 11, 398-402
135. VDI-Richtlinie 3237: Fertigungsgerechte Werkstückgestaltung im Hinblick auf automatische Zubringen, Fertigen und Montieren, Blatt 1/1967 und Blatt 2/1973, Berlin: Beuth
136. VDI-Richtlinie 2225: Technisch-wirtschaftliches Konstruieren, Düsseldorf 1984, Berlin: Beuth
137. VDI-Richtlinie 2222: Konstruktionsmethodik, Konzipieren technischer Produkte, Berlin Beuth
138. VDI-Berichtsheft Nr. 219: Konstruktion als Wissenschaft — Forschung hilft Praxis, Berlin Beuth
139. Vorbach, G.: Das Zusammenwirken von Mechanik und Elektronik, dargestellt am Beispiel des Fernschreibers, Konstruktion 35 (1983) H. 9, 351-358
140. Wächter, R.: Ein Beitrag zu einer Theorie des Entwickelns (Konstruieren), Feinwerktechnik 71 (1967) 353
141. Wostnhal, W. H.: Physik, Ein Lehrbuch 25./26. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1970
142. Wiendahl, H. P.: Funktionale Standardisierung — ein Konzept zum Rationalisieren in der Maschinenbau-Einzelfertigung, Konstruktion 30 (1978) H. 6, 221-227
143. Wögerbauer, H.: Die Technik des Konstruierens, München, Berlin: Oldenbourg 1943
144. Wolff, J.: Kreatives Konstruieren, Essen: Girardet 1976
145. Zentrale für Gußverwendung: Nachrichten der Zentrale für Gußverwendung, Düsseldorf 2/71
146. Zerweck, K., Huppenbauer, G.: Berücksichtigen des Korrosionsschutzes beim systematischen Konstruieren von Maschinen, Industrie-Anzeiger Nr. 95 v. 28. 11. 79 101. Jg., 34-35
147. Zwicky, F.: Morphologische Forschung, Helv. Phys. Acta 23 (1950) 223
148. Zwicky, F.: Entdecken, Erfinden, Forschung im morphologischen Weltbild, München, Zürich: Droemer/Knaur 1966

b) 计算机辅助设计 (CAD)

149. Autorenkollektiv: Rechnergestütztes Konstruieren. Beuth-Vertrieb 1971
150. Bargelé, N., Fritsche, B., Seifert, H.: Verschiedene Möglichkeiten der rechnerunterstützten dreidimensionalen Bauteilbeschreibung mit PROREN 2, VDI-Z 121 (1979) Nr. 11 — Juni (I), 565-571
151. Blank, O.: Automatisierung der Abwicklungskonstruktion von Blechbiegeteilen, Industrie-Anzeiger Nr. 37 v. 09. 05. 79, 101 Jg., 48-50
152. Blank, O.: Rechnerunterstützte Konstruktion von Gesamtschneidwerkzeugen, Diss. RWTH Aachen 1980
153. Bohle, D., Jakobs, G., Hänisch, K., Kalbitz, H.: Rechnerunterstützte Konstruktion von Chemieanlagen im 3D-Raum, Konstruktion 33 (1981) H. 7, 263-268
154. Borgmann, J.-D.: 3D-Geometrie für die rechnerunterstützte Konstruktion von mechanischen Bauteilen, VDI-Z 119 (1977) Nr. 1/2 — Jan. (I/II) 17-24
155. BMW: Forschungsbericht DV 72-02: Datenverarbeitung, Rechnerunterstütztes Entwickeln und Konstruieren im Werkzeugmaschinenbau, Atomenergie-Dokumentation ZAED 1972
156. Brueninghaus, G.: Rechnerunterstützte Konstruktion von Baukastenvorrichtungen, Diss. RWTH Aachen 1979
157. Busacker, R. G., Saaty, T. L.: Endliche Graphen und Netzwerke; eine Einführung mit Anwendungen, München, Wien: Oldenbourg 1968
158. Claussen, U.: Konstruieren mit Rechnern. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1971
159. Claussen, U.: Methodisches Auslegen, Rechnergestütztes Konstruieren, Hanser 1973
160. Coenen, H. P.: Ein Weg zur Entwicklung von Konstruktionsprogrammen am Beispiel der Konstruktion von Schneidwerkzeugen, Diss. RWTH Aachen 1983
161. Daus, W., Gulbins, J.: CAD-Systeme, Hardwareaufbau und Einsatz, Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1983
162. Eckert, R., Enderle, G., Kansy, K., Prester, F. J.: Graphische Datenverarbeitung: Entwicklungen auf dem Weg zur Standardisierung, Informatik-Spektrum 3 (1980), 246-260
163. Eigner, M., Maier, H.: Einführung und Anwendung von CAD-Systemen, München, Wien: Hanser 1982
164. Enders, H. H., Grüner, E., Otto, D.: Erfolge durch EDV-Unterstützung für die mechanische Konstruktion, Feinwerktechnik & Meßtechnik 85 (1977), 12-18
165. Fischer, W. E.: Rechnerinterne Werkstückdarstellung und ihre Speicherung in der Technischen Datenbank, VDI-Z 121 (1979) Nr. 13 Juli (I), 673-678

166. Fischer, W. E., Denker, A.: Bildschirmgestütztes Konstruieren von Gesamtschneidwerkzeugen, Konstruktion 31 (1979) H. 2, 67-75
167. Forschungsgruppe Bildschirmunterstütztes Konstruieren: Problemseminar: Bewerten bei konstruierender und projektierender Arbeitsweise, TH Karl-Marx-Stadt 1982
168. Golinski, J.: Neue Methoden der Maschinensynthese mit elektronischen Rechenmaschinen, Feingerätetechnik 15 (1967) 70.
169. Grabowski, H., Eigner, M., Kaiser, H.: Anforderungen an eine benutzerfreundliche Kommunikationsschnittstelle von CAD-Systemen, VDI-Z 123 (1981) Nr. 1/2 — Jan. (I/II) 5-14
170. Haendler, W., Nees, G.: Rechnergestützte Aktivitäten, Bibliographisches Institut Mannheim 1980
171. Harry, F.: Graphentheorie, München, Wien: Oldenbourg
172. Jansen, H., Meyer, B.: Rekonstruktion volumenorientierter 3D-Modelle aus 2D-Ansichten, Industrie-Anzeiger Nr. 43 v. 1. 06. 83 105. Jg., 104-106
173. Kanarachos, A.: Zur Anwendung von Parameteroptimierungsverfahren in der rechnerunterstützten Konstruktion, Konstruktion 31 (1979) H. 5, 177-182
174. Kiper, G.: Rechnerunterstützte Synthese von Getriebebauformen, VDI-Berichte Nr. 281, 1977, 85-94
175. Kock, D.: Rechnerunterstütztes Konstruieren von Formbohrwerkzeugen, Industrie-Anzeiger Nr. 86 v. 27. 10. 78 100. Jg., 36-37
176. Koller, R., Farwick, H., Spiegels, G.: Konstruieren von Kurvenscheibengetrieben mit Unterstützung elektronischer Datenverarbeitungsanlagen und einer Bildschirmleinheit, Industrie-Anzeiger 94 (1972) Nr. 44
177. Koller, R.: Kann der Konstruktionsprozeß in Algorithmen gefaßt und dem Rechner übertragen werden? VDI-Berichte Nr. 219, 1974
178. Koller, R., Farwick, H.: Optimierung von Konstruktionen mit Hilfe elektronischer Datenverarbeitungsanlagen, Industrie-Anzeiger 96 (1974) Nr. 8
179. Koller, R., Tschörtner, K. A.: Rechnerunterstütztes Konstruieren von Hydraulik-Steuerblöcken, Konstruktion 27 (1975) 457-461
180. Koller, R., Blank, O.: Konstruktion von Gesamtschneidwerkzeugen mittels Elektronischer Datenverarbeitungsanlagen, Konstruktion 30 (1978) H. 1, 27-32
181. Koller, R., Pieperhoff, H. J.: Rationalisierung und Automatisierung der Vorrichtungskonstruktion mit Hilfe elektronischer Rechenanlagen, Konstruktion 30, 1978, H. 8, 319-325
182. Koller, R.: Automatisierung des Konstruktionsprozesses für Maschinen-Baugruppen und Betriebsmittel, VDI-Z 121 (1979), Nr. 10 — Mai (II) 485-492
183. Koller, R.: Rechnergestütztes Konstruieren von Hydrauliksteuerblöcken, Schweizer Maschinenmarkt Nr. 35/1980 62-64 und Nr. 37/1980, 40-41
184. Koller, R., Lenhart, H. G.: Rechnerunterstützte Konstruktion und Fertigung von Hydrauliksteuerblöcken, Tagungsheft des 4. Aachener Fluidtechn. Kolloquiums, 18.-20. 3. 1980
185. Koller, R., Esser, H.: Rechnerunterstützte Konstruktion und Berechnung von Verzahnungen mit beliebiger Flankenform, Feinwerktechnik & Meßtechnik 88 (1980) 356-360
186. Koller, R.: Rechnerunterstütztes Konstruieren von Maschinen und Geräten, Tagungsheft „The Science of Design and Computer Aided Design“, Zagreb Juni 1981. B2-IV. 1-20
187. Koller, R., Ludwig, A., Mannweiler, H. P.: Programm zum Automatisieren der Konstruktion von Hydrauliksteuerblöcken, Maschinenmarkt: Würzburg 88 (1982) 37, 745-748
188. Koller, R.: Programmsystem RUKON zur Konstruktion und Zeichnungserstellung von Maschinen- und Gerätebaugruppen, Konstruktion 34 (1982) H. 6, 239-244
189. Koller, R., Pikart, M.: CAD-Programm ASKON zur dreidimensionalen Konstruktion von Bauteilen und Baugruppen, Industrie-Anzeiger Nr. 74 v. 15. 9. 82 104 Jg., 62-65
190. Koller, R.: Rechnerunterstützte Konstruktion von Vorrichtungen, Journal of the Japan Society of Precision Engineering Nr. 11/1982, Vo. 48, 40-45
191. Koller, R.: Automatisieren von Konstruktionsprozessen mit Rechnerunterstützung, Maschinenmarkt, Würzburg 90 (1984) 36
192. Koller, R., Willkommen, W. W.: Produkte aus dem Baukasten rationeller konstruieren mit Computerunterstützung, Maschinenmarkt, Würzburg 90 (1984) 72
193. Krause, F.-L.: System der CAD-Technologie für Konstruktion und Arbeitsplanung, München: Hanser 1980
194. Krause, F.-L.: Leistungsvermögen von CAD-Software für Konstruktion und Arbeitsplanung, Zwf 75 (1980) 2, 72-82
195. Krause, F.-L., Müller, G., Schließ, W.: CAD-Systeme zur Geometrieverarbeitung und Zeichnungserstellung, Zwf 75 (1980) 5, 209-224

196. Kussl, V.: Datenverarbeitung und Feinwerktechnik, Feinwerktechnik 67 (1963) 37
197. Lamei, H.: Dem Konstrukteur entgegenkommen: Benutzerfreundliche CAD-Arbeitsplätze, Elektronik 22/04. 11. 1983, 141-145
198. Merker, G.: Computergestützte Konstruktion — Entlastung für den Konstrukteur, Feinwerktechnik 73 (1969) 488
199. Pahl, G., Menke, W.-H., Schultheis, N.: Ein „Intelligentes Dateisystem“ zur Verarbeitung von Norm- und Wiederholteilen, DIN-Mitteilungen 61, 1982, Nr. 7, 377-383
200. Pahl, G., Engelken, G., Lorey, J., Menke, W.-H.: Interaktiver Konstruktionsarbeitsplatz (IKA) mit zeichnender und berechnender EDV-Unterstützung, Konstruktion 34 (1982) H. 6, 213-222
201. Pieperhoff, H. J.: Rechnerunterstützte Konstruktion von Vorrichtungen, Diss. RWTH Aachen 1979
202. Praß, P.: Prinzipien für den Aufbau von Konstruktionsprogrammsystemen, Konstruktion 29 (1977) H. 8, 299-302
203. Roth, K., Bohle, D.: Rechnerunterstütztes methodisches Konstruieren von Hydraulik-Steuerplatten, Konstruktion 34 (1982) H. 4, 125-131
204. Roth, K., Jakobs, G.: Dreidimensionale Werkstückbeschreibung, VDI-Z 124 (1982) Nr. 1/2 — Jan. (I/II) 33-37
205. Roth, K.: Modellbildung für die Lösung konstruktiver Aufgaben mit Rechenanlagen, Konstruktion 36 (1984) H. 2, 41-45
206. Rottländer, H. P.: Automatisierung der Konstruktion von Hydrauliksteuerblöcken — Rechnerunterstütztes Gestalten technischer Systeme, Diss. RWTH Aachen 1980
207. Seifert, H., Diedenhoven, H., Stracke, H.: Die industrielle Anwendung der Geometriesoftware PROREN 1, Konstruktion 32 (1980) H. 7, 267-276
208. Seifert, H.: Der unaufhaltsame Weg des CAD/CAM, VDI-Z 124 (1982) Nr. 15/16 — Aug. (I/II), 565-580
209. Simonek, R.: Die konstruktive Funktion und ihre Formulierung für das rechnergestützte Konstruieren, Feinwerktechnik 75 (1971) 145
210. Spur, G.: Rechnerunterstützte Zeichnungserstellung und Arbeitsplanung, München: Hanser 1980
211. Tschörtner, K. A.: Entwicklung von Konstruktionsalgorithmen und eines Programmsystems zur rechnerunterstützten Konstruktion von Hydrauliksteuerblöcken, Diss. RWTH Aachen 1978
212. VDI: Datenverarbeitung in der Konstruktion VDI-Berichte, VDI-Verlag Düsseldorf 1970
213. VDI: Datenverarbeitung in der Konstruktion, VDI-Verlag Düsseldorf 1973
214. Welp, E. G.: Forderungen an die graphische Datenverarbeitung im Maschinenbau — ein Teilsystem in der Auftragsabwicklung, Konstruktion 35 (1983) H. 9, 359-367
215. Wokurka, J.: Rechnerunterstützte dreidimensionale Gestaltung und Darstellung von Baugruppen und Bauteilen, Diss. RWTH Aachen 1984

附录的参考文献

1. Baehr, H. D.: Thermodynamik. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1966.
2. Bergmann/Schäfer: Lehrbuch der Experimentalphysik. Berlin, New York: de Gruyter 1972.
 - 2.1 Band 1: Mechanik, Akustik, Wärme, 8. Aufl.
 - 2.2 Band 2: Elektrizität, Magnetismus, 6. Aufl.
 - 2.3 Band 3: Optik, 5. Aufl.
 - 2.4 Band 4: Aufbau der Materie, 1. Aufl.
3. Born, M.: Die Relativitätstheorie Einsteins, 5. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1975.
4. Bird, St.: Lightfoot transport phenomena. New York, London: Wiley & Sons 1960.
5. Brdicka, R.: Grundlagen der physikalischen Chemie. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1969.
6. D'Ans/Lax: Taschenbuch für Chemiker und Physiker, Bd. I, 3. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1967.
7. Dubbel Taschenbuch für den Maschinenbau, 13. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1974.
 - 7.1 Bd. 1.
 - 7.2 Bd. 2.
8. Eder, F. X.: Moderne Meßmethoden der Physik, Bd. 1: Mechanik u. Akustik, 3. Aufl. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1968.

9. **Elektronik-Anzeiger** 4. Jg., Nr. 4.
10. **Das Fischer Lexikon**. Frankfurt/Main: S. Fischer 1962.
11. Gerthsen, Chr.: **Physik**, 11. Aufl. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer 1973.
12. **Jaworski, B. M.; Detlaf, A. A.**: **Physik griffbereit**. Braunschweig: Vieweg & Sohn 1972.
13. **Knoche, F.**: **Thermodynamik**. Institutsumdruck RWTH Aachen 1970.
14. **Kohlrausch: Praktische Physik**, 22. Aufl. Stuttgart: Teubner 1968.
 - 14.1 Bd. 1: **Mechanik, Akustik, Wärme, Optik.**
 - 14.2 Bd. 2: **Elektrizität, Magnetismus, Struktur der Materie.**
 - 14.3 Bd. 3: **Tafeln.**
15. **Koller, R.**: **Methodisches Konstruieren**. Institutsumdruck RWTH Aachen 1974.
16. **Koller, R.**: **Ein Weg zur Konstruktionsmethodik**. Konstruktion 23 (1971), Nr. 10.
17. **Koller, R.**: **Methodisches Konstruieren in der Konzepterarbeitungsphase**. **Industrie-Anzeiger** 94. Jg., Nr. 16.
18. **Linke**: **Wärmeübertragung**. Institutsumdruck RWTH Aachen 1971.
19. **Macke, K.**: **Wellen**, 2. Aufl. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig 1962.
20. **Magnus, K.**: **Schwingungen**, 2. Aufl. Stuttgart: Teubner 1969.
21. **Meyers Lexikon der Technik und der exakten Wissenschaften**. Mannheim, Wien, Zürich: Bibliographisches Institut 1970.
22. **Rohrbach, Chr.**: **Handbuch für elektrisches Messen mechanischer Größen**. Düsseldorf: VDI-Verlag 1967.
23. **Naumann, A.**: **Strömungslehre**. Vorlesungsmanuskript RWTH Aachen.
24. **Peeken, H.**: **Maschinenelemente**. Institutsumdruck RWTH Aachen.
25. **Schmidt, E.**: **Technische Thermodynamik**. 10. Aufl. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer 1963.
26. **Schultz-Grunow, F.**: **Dynamik**. Institutsumdruck RWTH Aachen.
27. **Simony, K.**: **Grundgesetz des elektromagnetischen Feldes**. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1963.
28. **Siemens Handbuch der Elektrotechnik**. Essen: Girardet 1971.
29. **Piezoxide Wandler**. Hamburg: Valvo GmbH 1968.
30. **Westphal, W. H.**: **Physik**. 25./26. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1970.
31. **Zeller, W.; Franke, A.**: **Das physikalische Rüstzeug des Ingenieurs**. Darmstadt: Fikentscher & C 1971.
32. **Hütte: Des Ingenieurs Taschenbuch**, Bd. 1, **Theoretische Grundlagen**. 28. Aufl. Berlin: Ernst Sohn 1954.
33. **Phillipow, V. E.**: **Taschenbuch der Elektrotechnik** Berlin: VED Verlag Technik.
34. **Landolt-Börnstein: Zahlenwerte und Funktionen aus Physik, Chemie, Astronomie, Geophysik und Technik**. 6. Aufl.
 - 34.1 Band 2/8.
 - 34.2 Band 4, Technik.
35. **Werkstoff-Handbücher**.
 - 35.1 **Werkstoff-Handbuch Stahl und Eisen**, 4. Aufl. Düsseldorf: Verlag Stahleisen 1965.
 - 35.2 **Werkstoff-Handbuch Nichteisenmetalle**, 2. Aufl. Düsseldorf: VDI-Verlag 1960.
36. **Stahl-Eisen-Werkstoffblätter**. Düsseldorf: Verlag Stahleisen.
37. **rororo Techniklexikon, Werkstoffe und Werkstoffprüfung**. Reinbek: Rowohlt 1973.
 - 37.1 Bd. 1.
 - 37.2 Bd. 2.
 - 37.3 Bd. 3.
 - 37.4 Bd. 4.
38. **Dechema Werkstofftabellen**.
39. **Müller, E. A. W.**: **Handbuch der zerstörungsfreien Materialprüfung**, Loseblattwerk. München Oldenbourg 1959-74.
40. **Küpfmüller, K.**: **Einführung in die theoretische Elektrotechnik**. 9. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1968.
41. **Fotoelektronische Bauelemente**, Valvo GmbH, Hamburg.
42. **Halbleiter-Kernstrahlungsdetektoren**, Valvo GmbH, Hamburg.
43. **Fleischmann, R.**: **Einführung in die Physik**. Weinheim/Bergstraße: Physik Verlag 1973.
44. **Valvo Berichte**, Band 11, Heft 4.
45. **Frauenfelder, Huber**: **Einführung in die Physik**. München-Basel: Reinhardt Verlag 1958.
46. **Bitterlich, W.**: **Einführung in die Elektronik**. Wien, New York: Springer 1967.

内 容 索 引

二 画

十进几何级数 72, 73
几何级数 72

三 画

工作步骤 10, 11, 12
工业产品产生的过程 4
工业产品分级 4
工业产品的材料 75

四 画

尺寸变换 51
分析 9, 46, 47
分部结构方式 58, 60
分开, 基本操作 25
分功能 15
分离, 基本操作 24
分散, 基本操作 22
公司的结构 8
方案 46
方案代数 39
方案设计 29
引导, 基本操作 22
无引导, 基本操作 22
反馈 16
中断, 基本操作 24

五 画

仪器, 定义 2, 3
布尔基本运算 26, 27
发射, 基本操作 20
加工方法, 影响 80, 86
功能 15, 39
功能结构方式 59
功能结构 15, 17
功能综合 9, 10
主要功能 13
市场条件 6, 78
汇, 基本操作 20
用途 5
用途描述 5
用途功能 11, 13, 43

六 画

吸收 20
压紧装置 130
压紧装置实例 130
任务书 5
传动机构 28, 127
传动机构的种类, 变换 129
传导, 基本操作 22
自身影响, 限制条件通过-
决定 12
产品开发的动机 4
产品规划 4
产品规划过程 4
设计方法学的适用范围 2
设计过程的分类 9
设计 12
设计过程 9, 29, 47
设计步骤 9, 11
设计活动 9, 11, 12
机器, 定义 2
多功能结构方式 58, 63
次要功能 48
次要基本操作 20
并联结构 16, 17
存贮, 基本操作 25
过程 9

七 画

技术系统的抽象 13
技术限制条件的来源 78
技术设计
 最初技术设计 12, 48
 最终技术设计 12, 46, 48
 进一步的技术设计, 改进
 了的技术设计 12
位置变换 53
位置-(类型)-组 75
条件 6, 76
连接, 基本操作 24
接连结构变换 55
连接(见物料的连接) 198
 -编排标准 116
运动形式, 变换 132
评价 9, 76
译码机构 130

形状-(类型)-组 74
形态学箱 46
串联机构 16, 17
系统 50
系统属性条件 7, 8
作用面 51
附加装置 7

八 画

构形参数的限制 57
构形-图形 55
构形系列 74
 -元素 51
 -参量-界限 57
 -结构 55
构形设计 29, 46
构形准则 83
构形图 55
详图 10, 11
制定文件 5
制图 11, 12
实验研究 12
法律 8, 82
物料的物理特性分类 42,
 151, 158
物理效应 12, 29, 30
物理效应分类 34, 40
物料的物理特性, 分类表
 149
物理量(能量分量)和信号的
 放大和缩小, 原理目录
 32, 191
物料特性值的放大和缩小
 33
组合的可能性 46
组合的分类 46
环形结构 16
环境条件 80
单部件结构方式 67
单功能结构方式 58, 63
表面类型组 75
往返, 基本操作 24
定性的设计过程 29
定性综合 12, 13
定向, 基本操作 24
质量结构系列 76
限制条件 6
变向, 基本操作 24

变量的连接 39
放大, 基本操作 28
转换, 基本操作 22, 31

九 画

要求明细表 5
要求 6
结合, 基本操作 24
结构系列 70
结构类型 66
结构系列的规律性 74
泵实例 27, 37, 43
点火时间调节器实例 133
活动连接 116
说明 5
研制过程 9
绝缘, 基本操作 22
费用 107
降低成本的构形设计 107
标准/符合标准 7, 83
标准数 72
顺序-(类型)-组 75
顺序变换 58
复原, 基本操作 22
选择过程 46
信号 13, 14
信号流 12
说明书 5
结果-原因 31

十 画

部件 50
部件和机器的结构类型 66
效应, 物理的, 化学的, 生物的
 12, 13
效应链 30, 31
 -结构 30, 31
 -载体 41, 42
 -载体变异 41, 42
 -变异 30
特殊结构 7
能量分类 31
能量流 13
能量转换 31
原理 42
原理解 41, 41, 43
原因-结果 31

能量的转换 55
类型(组)分级 70
积木模块式结构 68

十一画

排列组(典型组) 75
排列变化 53, 54
基础解 41, 42, 43
基本功能 15, 17
基本运算 12, 17, 18
基本操作结构 17
符合负荷要求的构形 98
符合钻孔要求的构形 92
符合铸造要求的构形 86
符合限制条件的设计 76
符合装配要求的构形 92
符合公差要求 104

符合材料要求 100
控制网实例 139
接合, 基本操作 24
接通, 基本操作 24
接口条件 6
辅助功能 48
综合过程 46, 47

十二画

黑箱 13, 14
提取, 基本操作 25
集成结构方式 59, 62
装配要求 92
最佳解 6, 76
最佳化目标 6
联接结构的变换 55

十三画

输出参量 12, 15, 31
输入参量 12, 15, 31
零件 50
零件的结构类型 59
数据设计过程 48
数目-(结构)-系列 74
数目的变换 53
微分结构方式 59, 62
简单传动机构 127
解的组合 45
解的选择 46
新进展 48
源, 基本操作 20

十四画

算术分级的结构系列 74
模块式组合系统 68
聚集, 基本操作 22
缩小, 基本操作 23

十五画以上

颜色-(类型)-组 75
整体设计 48
整体系统 48
整体结构方式 58, 60