

机构

设计的

构思

〔日〕和田忠太著



机械工业出版社

机构设计的构思

〔日〕和田忠太 著

毕传湖 姚可法 译

张展 校订



机械工业出版社

本书共有九章，分别阐述了组成机械所必需的机构学、力学、电学、气动、液压及其相应的基本知识，机械化设备中的各种机构：运动、送料、运输、挑选、装配、检测、包装以及商业机械化等，其中有一章列举出利用摩擦、重力、惯性、陀螺、弹性、振动、热、流体、磁铁等原理的机构。全书着重启示读者为开拓新机构开阔思路的内容和基本方法。

本书可供初备机械常识的技术工人、大中专、职业学校师生以及工程技术人员在技术改造、设计新产品、构思新机构设计方案时参考。

着想メカニズム設計

和田忠太

株式会社テクノ

昭和53年4月15日 第6刷

* * *

机构设计的构思

〔日〕和田忠太 著

毕传潮 姚可法 译

张展 校订

责任编辑 蔡耀辉

封面设计 王 伦

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16·印张 12·字数 290 千字

1986年12月北京第一版·1986年12月北京第一次印刷

印数 10,001—6,400·定价2.90元

*

科技新书目：134—121

统一书号：15033·6343

译者的话

本书是根据日本和田技术事务所所长和田忠太著《着想メカニズム設計》一书，株式会社テクノ于昭和53年4月15日（1978年）发行的第六版译出的。作者现任和田技术事务所所长兼动力学社社长，自动化、省力化的技术顾问。他对于以省力自动化系统设计为中心的新技术、新产品开发等给予许多指导和帮助。

全书抓住机械设计中构思机构设计这一主要环节，通过大量常见的和较新的各种机械中的机构实例，运用机构学的理论，结合该机械的生产、使用上的经济性要求，对简单的机动玩具到复杂的机械化系统装置中各部组成的机构特征，作了符合实际的剖析，并进一步阐述了构思机构设计的基本观点和方法，有益于智能开发。读者读了这本书将会受到启示，进而为求技术进步实现机械化，发挥创造性地构思出既经济又合理的机构。

译者认为机械化中构思机构设计很关键。对从事各种类型的机械产品改进设计与创新者，不论是培养期间，还是从事设计，都应把强化构思能力放在第一位。译者同意日本读者对著者的寄语。因此，译出本书为在校学习的大中专、职业学校师生以及从事机械设计工作的读者服务。

译者

1984年2月



15

11
的
利
是

读者寄语

- 确实有趣，很有参考价值，是一本良好的书籍。

（日本大学理工学部教授 木村秀政）

- 在该学科中，对强化较弱的工程学方面较大的作用，是非常有参考价值的。学科的图书馆应当存藏此书。

（九州大学农学部教授 木村浩久）

- 很有趣味的内容，并附有确实易懂的插图。我曾放开别的事专行拜读过。

（青山学院大学理工学部教授 石井千尋）

- 活跃思维的独特著作，若没有实践经验是写不出来这样著作的。

（东北大学工学部助教授 佐藤喜一）

- 很有意义、有价值的书籍。今后将广泛地应用它。

（日产玉川医院外科医长 武野良仁）

- 是惊人的优秀书籍，大多有图文对照，更有助于理解。

（庆义塾大学工学部学生 赤塚英彦）

- 显现出实际经验的一本书籍，在工厂中持有此书，是很有参考价值的。

（日本真空技术（株）技术课 清野英辉）

- 世间净是机构，实质易懂，对发展新构思很有益处。

（儿童画家 梅田俊作）

- 精华构思的集锦，至今为止尚未有这种书籍。

（系统工程研究中心－理事长 片方善治）

前 言

会不会设计新的机器和装置，与是否能构思出确切的机构有关。仅学了一般的工程基础知识，是不会作实际工作的。

它需要灵感、经验和丰富的构思。要设计出最适合于特定要求的机构，要从许多方案中选出最合适的一个方案，由此，才能组成一台机器。

与高度发展的控制和伺服技术相比，在制造机器的工作中，常常需要从头来考虑许多基本因素，必须经常以发明家的观点去探讨问题。当然探讨的方式是多种多样的，难以系统化和定型化。要求设计者具有机动灵活的头脑。

对于实际的设计，与其说采用演绎方法倒不如说更多的是采用归纳的方法。譬如，虽然只盯着一两个机械元件，是不会浮现出可用图案的，但有时也会在观察不同类型的机械部件动作时，得到某些启迪，开阔思路。设计构思的信息来源愈丰富愈好。

机构（mechanism）要抓住约束运动的系统。它处于机械工程学的起点上。在明治（注：日本年号）以前的，称之为唯一的机械工程学书籍的“机巧図彙”（1796年 著者：細川半藏頼直）里，就有许多时钟和自动娃娃的机构图解，它集结了人类的巧妙智慧。自动装置或机构这一语言所具有普遍具体的特性一直渗透到现代机械结构中。与其说是理论，倒不如说是伴随着智慧的产物。

现代机构中不仅含有纯机械的要素，而且还含有许多流体和电的要素。如果只拘泥于古典的手段，就不可能形成新的系统，同时，若忘记机械要素的特点，只偏向代替手段，则会陷入意想不到的多余的不适合的设计之中。

作为新的要素已出现的有超级飞轮、钚铅滚子、静力混合器、热管以及其他独特的东西。这将使下一代的机构更放光彩。

有关机构学的理论及其分析留给专门书籍去阐述，本书作为素材举一些对机构设想、立案有用的实例，供设计人员在实际设计时，开阔思路，这是我的最大愿望，我期待着设计工作者们能创造性地应用这些实例。

和田忠太

目 录

译者的话

读者寄语

前言

示例	1
第一章 机构的设计〈掌握机构学的逻辑〉	3
1·1 机械运动	3
1·2 力与形	7
1·3 电力、气动与液压	11
1·4 方案设计的拟订	15
第二章 元件及其组合〈着眼于简单与可靠〉	20
2·1 常用零件	21
2·2 曲柄、连杆	25
2·3 齿轮、棘轮	29
2·4 凸轮机构	33
2·5 摩擦传动机构	37
2·6 柔性传动机构	41
2·7 螺旋机构	44
2·8 空间机构	48
第三章 检测及其处理〈针对系统进行选用〉	53
3·1 位移的放大和转换	54
3·2 控制机构	58
3·3 计算机构	63
3·4 记录机构	68
第四章 转换与传递〈以适应于从动为条件〉	73
4·1 直线运动和回转运动	74
4·2 变速机构	79
4·3 可逆与不可逆	82
4·4 复合运动	86
第五章 手足运动的机械化〈重视特性的区别〉	91
5·1 人力和机构	92
5·2 四杆机构	96
5·3 步行机构	100
5·4 制品设计的变更	104
第六章 生产机械的构成〈结合移动、作业的两因素〉	109
6·1 间歇运动	110
6·2 供给、分离	114
6·3 整列、挑选	119

VI

6.4	装配、结合、操作	123
6.5	检查、包装	128
第七章	商业机械的构成〈建立人、机的接点〉	134
7.1	货币的处理	135
7.2	贮藏和送出	140
7.3	固体、液体的处理	145
7.4	服务机能(从硬件到软件)	149
第八章	理想机构〈新原理的开拓〉	154
8.1	摩擦、重力(上下的运动)	155
8.2	惯性、陀螺	159
8.3	弹性、振动	163
8.4	热、流体、磁铁	167
第九章	设计的实际业务〈提高创造性〉	173
9.1	设计室、制图	173
9.2	设计、制造	176
9.3	系统、经济性	180
参考文献		184
编后语		186

示 例

1. 移动用箭头表示

原动，用涂黑箭头表示，见图0·1：

从动，用空白箭头表示，见图0·2：

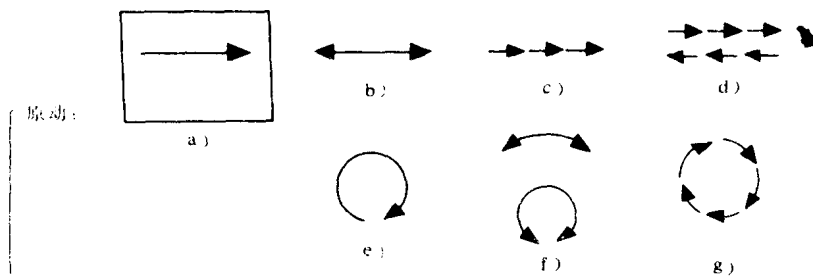


图 0·1

a) 直线运动 b) 往复运动 c) 间歇运动（右） d) 间歇往复运动
e) 回转运动（右） f) 摆动 g) 间歇回转运动（右）

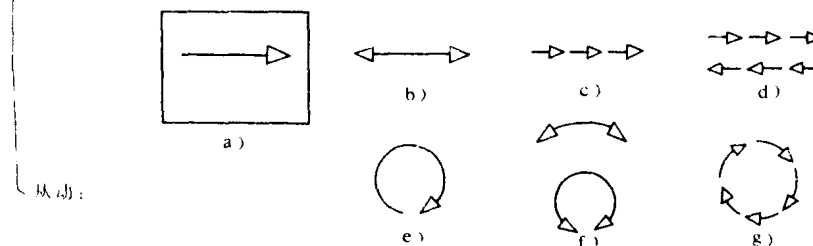


图 0·2

a) 、b) 、……g) 运动形式同上

2. 在固定位置上转动的或静止的轴和销轴用黑圆点表示，移动轴和自由转动的销轴用空心圆点表示，见图0·3。

3. 在滑动部分中，要特别表示支承滑动的静止外框时，用涂黑或加斜线表示，见图0·4。通常要表示固定或静止时，用斜线束表示，见图0·4b。

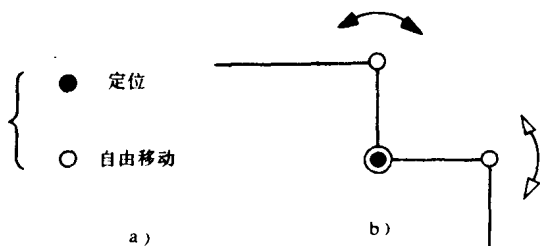


图 0·3

a) 固定位置与自由移动表示
符号 b) 直角杠杆实例

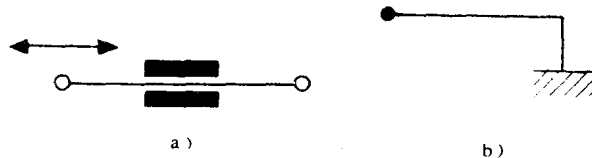


图0·4 滑动轴承

4. 图中的移动方向用箭头表示, 若方向垂直于纸面由外向里移动时, 则表示为 $\otimes$; 由里向外移动时, 则表示为 $\odot$, 见图0.5。

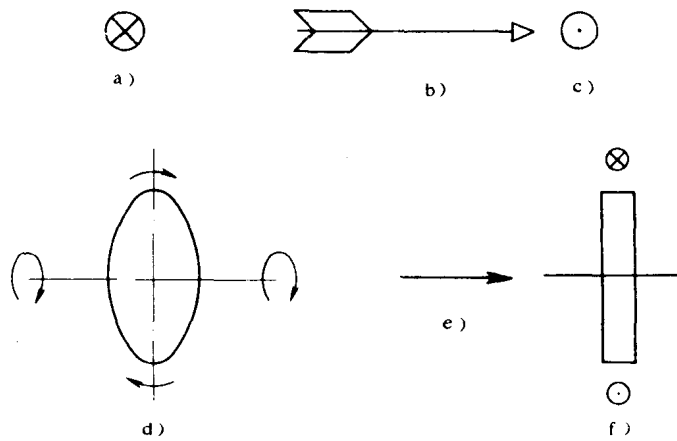


图 0.5

- a) 由外向里(从后面看到箭头的尾部) b) 箭头的移动方向 c) 由里向外(从前面看到箭头的尖顶) d) 左图的回转方向如右图所示

第一章 机构的设计〈掌握机构学的逻辑〉

机械是由处理材料、能量和信息等机构所组成。

将原料进行加工、输送并制成成品，其主要部分为处理材料的机构，通常称为机械的主体。

再者，能量是靠动力设备，信息是靠控制设备处理，使机械合理地进行运行。

机构系各部分所必备的，尤其是对材料处理来说更是必不可少。狭义的所谓机器或机构，多是指这一部分构造。

机械运动必须有原动和从动。平时设计开始时首先要有从动方面的条件，然后再选择满足该条件的机构用什么原动方式开始进行工作。

在手工操作的机械化或自动机开发时，其出发点是现有的手工产品本身。在手工不能完成的加工过程而让机器来完成时，怎样做好呢？于是，从这里便开始了加工机械的设计。虽然能马上想出把手工进行的工作顺序让机器原样不变地模仿着工作的模型来，但一般来说，那样的模型是不太灵巧的。

为什么这样说呢？那是因为人手和机构的性质几乎完全不同。没有理由要求让坚硬的金属制品连杆、凸轮和齿轮等机械元件与柔软的人体手指，以相同顺序安排进行动作。即使偶尔有类似的情况，也只不过是几个例子。

机构有其本身的特点，自然的动作，满意的功能和易行的顺序等均与人类大不相同。换句话说，因为存在着机械的逻辑，所以不根据其逻辑将得不到合理的机构。即使勉强组装成功，在机构里将会存在不稳定因素和故障根源。

机构的设计，应以机构学为基础。

简单、反复、连续和回转等要素是机构学中主要论述的部分，应用它可较容易发挥出高效能，即使在正常的风扇或泵中，回转式的机器寿命较长，操作简便，然而往复式机器却很难做到。那是因交变应力和惯性处理上构成的苛刻条件所致。必须在针对绝对准确、可靠性高的方面或人、机连接点的机构方面要花费很大的精力才行。在产业机械中，在很大程度上是由工序特性支配机构的思考方法的。

在进行机构的设计时，最主要的是要弄清目的和条件，创造和选择出合乎机构学逻辑的方法。

1·1 机械运动

研究一下机构学所用的基础术语。

机构

机构是由一些元件所组成（图 1·1），其中一元件运动时，而其他元件作相应的动作。也就是说是一个约束运动的系统。

单一的元件不能成为机构。数个类似元件组合在一起，而且相互间有联系才能构成机构。运动源一侧称为原动，被动一侧称为从动。恰其相应称为输入功率和输出功率。例如，

在一个机构中，靠近原动机侧为原动部分，而紧靠输出动作一侧，则为从动部分。

由直齿圆柱齿轮组合传递功率时，一对齿轮中以任一齿轮为原动或从动都能转动。这种原动部分和从动部分交换后也可转动的是可逆运动系统。

然而在蜗轮和蜗杆传动情况下却不同。如果蜗杆作原动，则可构成减速的传动机构，但是如果反过来则轮齿产生自锁不能转动。这是合乎自锁目的的，可是从传递回转运动的角度来看，则为不可逆的运动系统。

因此，这种被约束方式因组成元件的不同，而有各种变化。在设计时，为达到特定动作作为目的，其焦点该是怎样把最普通元件组装好。

所谓机构设计也可以说是“组合”的构思工作。

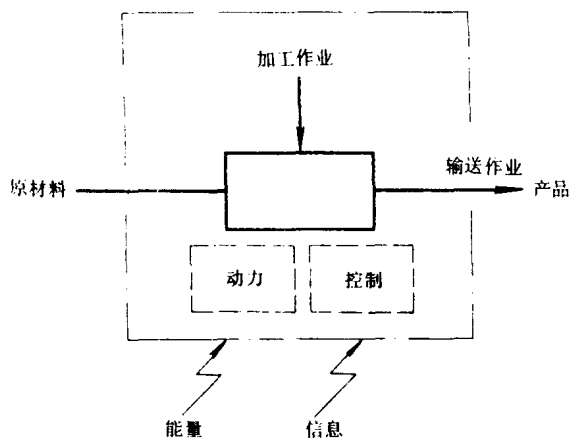


图 1-1 机构的组成

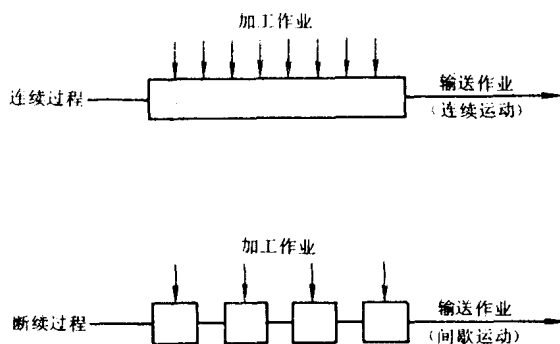


图 1-2 工艺过程的工况

元件、运动副

元件在机构中被称为单元体（element）或杆（member）等。元件相互接触，形成一对的运动组合，称为运动副（Pair），见图 1-3。

要素的考虑方法应该联想系统与其构成的元件（component）之间的关系。在全部或局部的取法中大或小均可，按道理是形成运动副的部分称为单元体。

与人类的配偶相似，一对夫妻乃是集体的基础。按相互接触的方式，可分为面接触的低副（移动副、转动副、螺旋副）与线接触、点接触的高副，见表 1-1。

一般高副容易磨损，材质和加工均要求较高。

低副简单容易使用，富有实用性。

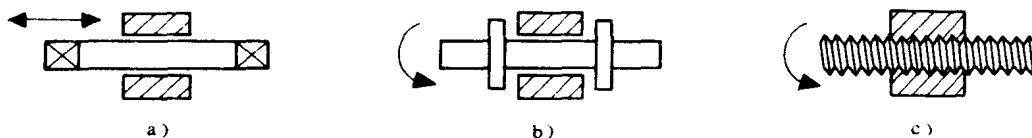


图 1-3

a) 移动副 b) 转动副 c) 螺旋副

表1-1 运动副的种类

种 类			实 例
低副	面接触	移动副	滑块与导轨、活塞与缸体等
		转动副	销轴与轴承、轴与滑动轴承等
		螺旋副	螺杆与螺母等
高副	线接触	滚子轴承的滚子与滚道面等	
	点接触	球轴承的钢球与滚道面等	

杆、链

联接运动副 (Pair) 与运动副之间的元件 (element) 为杆 (link), 只具有两个运动副者为单杆, 而具有三个以上运动副者为复杆, 见图 1-4 a、b。

虽然机械有许多元件, 但因为若干元件只构成一个杆, 所以, 杆数并不很多。机架等为固定杆, 由于滑动部分和支承部分较多, 常为复杆。

在研究机械的各部分运动情况时, 常常将杆用几何学图线表示。称此为机构简图, 由此可方便地掌握整体组成。

此外, 虽然也把杆称为连杆, 但这不仅是指狭义的杆状构件, 而是指广义的联接件。

一个杆必须具有两个以上的运动副, 几个杆若按顺序相联, 则形成一个封闭环。这便是链 (chain)。

这里所说的链, 也不只限于指狭义的自行车的链, 而是指长联接类的广泛含义, 与杆中的连杆一样, 结构是多种多样的。

在组成链 (chain) 的各杆之间, 完全不能产生相对运动者称为固定链。例如构架。

对链中一个杆给以运动, 而其余杆中不固定者进行着一定运动, 此链是约束链, 见图 1-4 d。实际上机械中的运动部分, 几乎都是这种约束链。

杆按其功用可分为以下几种

(1) 承受能量的杆; (2) 传递和转换动力的杆; (3) 进行特定工作的杆; (4) 支承、静止的杆 (即固定杆) 等。

此外, 杆具有阻抗性。杆或狭义的连杆类是抗拉、抗压杆, 胶带和绳索则只能显示出抗拉的特性。水泵中的水因为受压, 也可成为机械的杆。

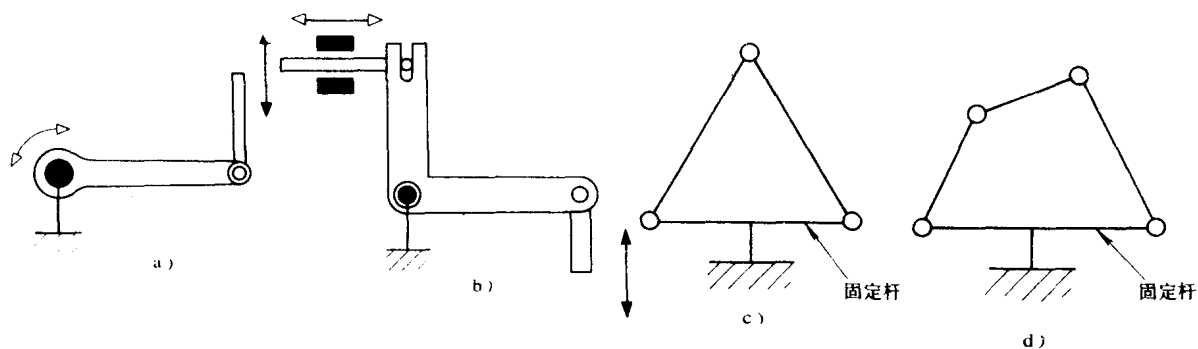


图 1-4 杆和链的实例

a) 两个运动副的杆 (单杆) b) 三个运动副的杆 (复杆) c) 三杆链 (固定链) 例如构架 d) 四杆链 (约束链), 例如机械中的运动部分

实体的杆，因为都具有质量，所以不能忽视力的影响。因为杆的运动轨迹是预先给定的，所加力的特定分力使杆发生有效运动。其他力则产生无效运动，这将作为摩擦或振动、噪音的来源而被消耗。以热和噪音的形式大量向外散发的机构，损耗大，也就是说机械效率低。

在三杆链（见图 1·4 c）——三角形联接方式中，因为各杆间不能相对运动，所以这是固定链。为了进行多种动作，就必须采用四杆以上的链。

运动的形式

在实际机械中，各种形式的运动是相互联系地进行的。见图 1·5。

〔连续〕—〔间歇〕

连续运动可以考虑为一个方向的同样运动，但在机械加工中，最多的是间歇运动。组合机床就是其中一例。

〔直线（笔直线、近似直线）〕—〔曲线（圆、圆弧、简谐振动轨迹、异形轨迹等）〕

即使在直线运动中，要从圆运动中导出数学上的笔直线，也不是那么简单的。相反得到正弦曲线反而容易。

〔往复（直线、摆动）〕—〔回转〕

在机械运动中往复运动可以说是最普通的。大多数原动机是利用转矩的回转式，而极少数利用线性推力式。

〔平面〕—〔空间（球面、螺旋等）〕

平面运动是基本的，在实用机构中大多是将其多层重叠。空间运动方面对机构开发的可能性尚有许多可研究的问题。

〔等速〕—〔不等速〕

有等速的回转运动导出不等速的直线往复运动并快速返回一类机构。在不等速运动中，其惯性的处理有时是个难题。

〔等加速〕—〔不等加速〕

如果涉及到加速度，分析和处理均有一定的困难。克服重量问题，是设计机械离不开的问题。

〔可逆〕—〔非可逆〕

作为从动方面的条件，常常需要特定的运动。与此有关的则有正反运行、单向传动和制动机构等。

〔变速（增速、减速）〕

为使原动与从动协调普遍使用变速机构。

〔差动〕

汽车等传递动力均采用齿轮的差动机构。

〔平行、比例〕

利用连杆和绳索，保持方向性并工作的机构制作了许多种。

〔增压〕

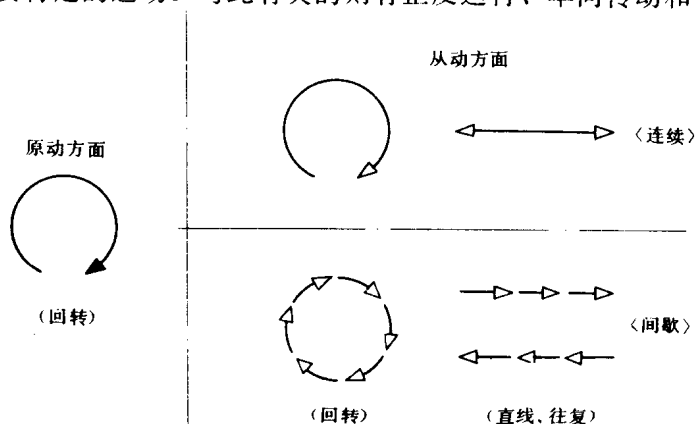


图 1·5 常用的运动形式

得到很大的力传递运动，使用杠杆方法。（利用外部能量增大者例外）

〔复合〕

在组合机械中，使从动杆作特殊的运动。导出异形轨迹。

表1·2 常用机构实例

运动形式		机 构
原动方面	从动方面	
等速回转运动	等速运动	齿条、小齿轮、凸轮、齿轮、胶带传动等
	等加速运动	凸轮、重锤等
	简谐运动	滑块、曲柄、曲柄移动导杆机构
	间歇运动	凸轮、缺齿齿轮、槽轮、棘轮等
	增力机构	曲拐、螺旋等
	变速运动	齿轮、皮带、摩擦轮等
	平行运动	胶带、连杆等
	摆动	连杆、凸轮等

1·2 力 与 形

机构的任务就运动部分来讲为：

（1）改变运动形式：

（2）传递动力。

例如象把回转运动变为直线的往复运动：或用多少功率（kW）、多少转速（rpm）的电动机能驱动多少外力（kgf）、多少速度（m/s）的升降机那样任务。

动力源

动力利用转矩（回转力）、推力这类的力学形式，或热能形式等。

驱动机械的动力源有：

（1）人力

手动机械的动力，靠重锤和发条、橡胶所储存的能量，应用于钟表和玩具等方面。

（2）电力

电力除广泛应用在一般机械以外，还可用以转换成液压和气动。

（3）燃料

特别在交通运输机械之类的移动式原动机中是必不可少的。

（4）自然变化

水力、风力和温差等能量用来发电。此外，还有有趣的利用着气压变化（如钟表等），热能（饮水鸟等），光能（如辐射针等）等虽说种类很多，但可以说电能是最常用的。

电能也好，精制的燃料、人力和化学原料等形成的能源也好，都是经过加工的能源，所以称为二次能源。

相对于二次能源，也有未加工过的一次能源。那是自然界本身所具有的能源，例如从外界吸收来的太阳能可说是典型的一次能源。除了直接的光、热能以外，风、雨、海流那样形式也是有巨大影响的能源。

地球里所含的地热及核燃料和原油等，是一次能源的原材料。如果要在生产上应用，则

要进行精制和调质等处理后才能加以应用。

氢作为石油化工燃料的代用品，已被人们注重起来。它正好是对应于电力的所谓直接热源的二次能源。其输送、转换和后处理等优点正在引起重视，节氢系统化正在推进。

自然系统与人工系统相比较，可以说自然的稳定，但效率低；而人工的虽效率高，但不稳定。要使尚未利用的广泛自然能源作为物质使用时，作为课题必然是效率问题，接受的机构研制并不容易。

表 1.3

能源的所在和利用

一次能源
· 空间能源
太空（热、光→风力、水力、海流、温差和气压差等的利用）
潮汐力、放射线（宇宙线、重力波等）
· 地球能源
原子能、地热、石油化工燃料、矿物→落差、压力差等的利用
二次能源
· 人力→直接操纵力→机械的储藏（发条等的利用）
· 电力→电力、电磁力、热等的利用→转换为气动、液压等的利用
· 精制燃料→利用热、转矩、推力→氢燃料的研制
· 化学原料→爆炸物的利用等
能源的六种形态
· 力能（势能、动能）
· 电磁能（电能、磁能）
· 化学能（燃料、食品等）
· 热能（分子运动）
· 辐射能（光、电波、红外线等）
· 核能（原子核）
现代技术的研制课题
· 一次能源→太阳、原子能（特别是核聚变）、未利用的自然变化
· 二次能源→主要是电力、氢等

力比与速比

向一个杆原动一侧施加一 P (kgf) 力移动 a (m) 时，从动一侧有 Q (kgf) 的反作用力移动 b (m)，因为 Pa 的能量作了 Qb 的功，如不计损耗率则

$$Pa = Qb$$

则
$$\frac{a}{b} = \frac{Q}{P}$$

称 $\frac{Q}{P}$ 为力比， $\frac{b}{a}$ 为速比，(力比) × (速比) = 1。换句话说，其关系是力增加距离则减少，充分表示了杠杆的作用。

某一杆的速度增加时，所给能量中的有效成分转换为运动能，帮助增速，但减低速度时则放能。无论哪一个都是在效率范围内的能量输入与输出。

飞轮的回转与马达的超限，活塞和连杆的内力变化等都表示了这种关系。

机构的速度

当给出机构上某一点的速度时，则可求出其余杆的所有部分的速度。通常可考虑以固定杆为基准的，相对于它的相对速度。

为了确定速度,有以下几种方法:(平移法)、(连续法)、(分解法)、(映射法)

在实际设计中,掌握一个循环的速度变化比某一瞬时速度变化要重要得多。采用根据位移的线图形式,归纳研究变化情况。

加速度的问题

要使速度发生变化则需加速度,一有加速度便有惯性力作用,会给机械部分的应力带来影响。在高速的机构中,常常由于加速度而使应力骤增,超过静载荷下的应力。

在高速回转的凸轮和自动机的高速间歇运动中,加速度是造成随动不自如或振动、噪音的根源,在设计工作中必须采取一个实质性的对策消灭惯性。

位移、速度、加速度的曲线图

取时间 t 为横坐标,纵坐标上是取位移 s 、速度 v 和加速度 a 的位移曲线图、速度曲线图和加速度曲线图,如图1-7所示。在周期性运动的情况下,若取回转角(rad)为横坐标,则很容易得到各位置的状况。

s 与 v 、 a 分别为一次、二次的微分关系。由计算或图解法可以求得线图。

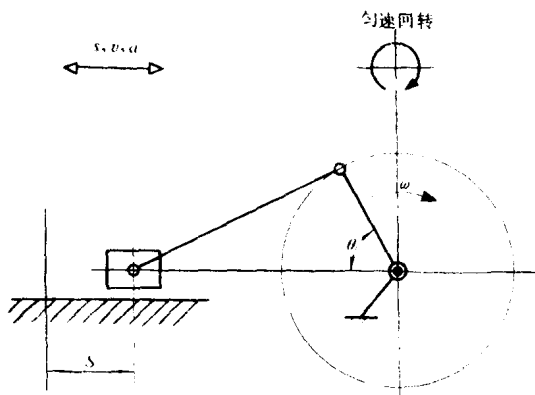


图1-6 曲柄滑块机构

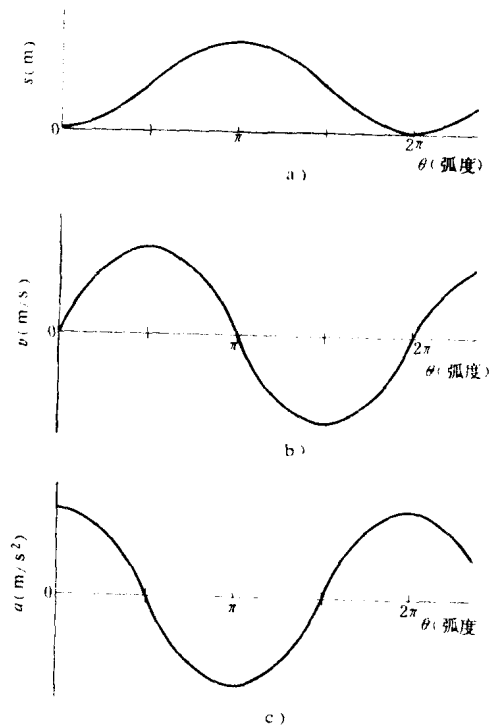


图1-7 曲柄滑块机构中滑块的运动

a) 位移曲线图 b) 速度曲线图 c) 加速度曲线图

传动的方式

传递动力的机构称为传动机构。其传动方式如下

- (1) 直接接触;
- (2) 联接;
- (3) 间接接触。