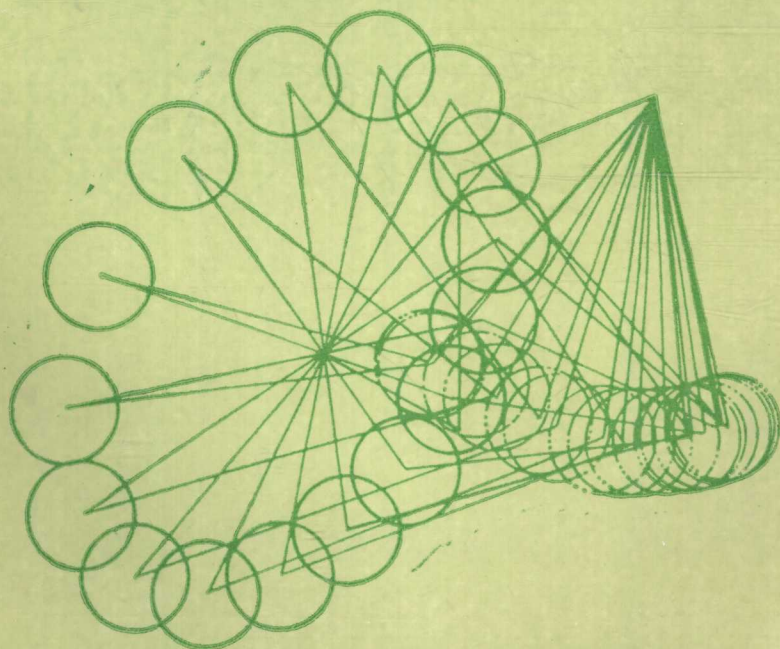


# 机械系统的组成设计 与计算机绘图

(机械原理课程设计)

诸传中 编著



气象出版社

# 机械系统的组成设计 与计算机绘图

(机械原理课程设计)

诸传中 编著

气象出版社

## 内 容 简 介

在机械设计的整个过程中，早期的设计决策；创造性构思环节中的基本机构选型、变异与组合扩展；机械传动系统的方案筛选；以及根据运动和动力条件进行的机构分析与综合，是决定机械设计对象品质高低的一些关键性工作。本书将其看成一项系统性的工程，概括为“机械系统的组成设计”，并着重对机械系统组成设计的步骤、要领和构思组成方案用的多种辅助方法进行了系统性论述。此外，为满足获得最佳设计方案的需要，本书把优化设计和计算机绘图也列为论述重点。为培养读者完成机械系统组成设计的能力，书中编排了供练习用的多种设计选题。结合选题，适当配备了解题参考资料。

本书可作为指导高等工科院校机械类专业学生进行机械原理课程设计和学习机械原理课程的教材和参考书，也可供从事机械设计专业的教师和工程技术人员参考。

### 机械系统的组成设计与计算机绘图

(机械原理课程设计)

诸传中 编著

\*

气象出版社出版发行

(北京西郊白石桥路46号 邮政编码：100081)

责任编辑 史秀菊

武汉工学院印刷厂激光照排制版印刷

\*

开本：787×1092 1/16 印张：10 字数：230,000

1994年12月第1版 1994年12月第1次印刷

印数：1-3000 定价：7.50元

ISBN7-5029-1860-4/TP.0048

(京)新登字046号

## 序 言

多年来我一直致力于高等学校机械设计学科的教学工作，接触机构学、机械零件设计和计算机辅助设计等课程的时间较多。每当教学计划进行到需做整部机械或该机械传动系统设计的阶段时，就会看到这样一种现象，即学生面对粗线条的选题很难立即产生能动的设计意识、迅速理出行动的头绪，以致设计进程因盲目性而效率较低；设计方案因措施不健全而品质不高。经过仔细分析、研究，我发觉造成这一现象是由于目前关于机械设计过程的描述和针对这种过程的举措著述甚少，机械设计工作的系统化概念不够明确的原故。

反映自然事物内在规律的科学有一个共同的特点，即它们是系统化的知识。机械设计也不例外。虽然机械内部单一环节（如零件、构件和机构）的设计可以使用机构和机械零件的设计理论，以及采取以解析原理为基础通过计算机辅助完成的设计方法来解决，但与机械的组成部分比较，由零件、构件和机构组成的机械系统或机构系统在组成内容、方式和功能上的复杂性、多样性和特异性更显著，因此，上述设计理论和方法不能简单地面向机械系统。机械设计由整体到局部、局部到整体的设计环节过渡将因而受阻。为解决这一矛盾，必须研究面向机械系统或机械系统前期设计工作的设计方法，即必须寻求解决机械设计过程早期的设计决策、系统组成方案的构思和筛选，以及确定系统内部运动协调关系等全局性问题的方法。鉴于这些关系全局的设计问题都与机械系统的运动学结构或运动学组成有关，所以本书把解决这些问题的设计称为机械系统的组成设计。机械系统的全局性设计与机构和零件的设计相对照，二者所涉及的范围具有整体和部分的关系，只要能解决好迄今研究得尚不充分的事关全局的组成设计问题，则机械设计学将成为一门系统化的知识，跟自然事物内在的规律靠得更近。

本书在重点论述机械系统组成设计步骤、方法的同时，还熔进了机械系统运动学尺度设计、机构优化设计和计算机绘图等内容。这一做法既出于建立机械设计工作系统化概念的需要，又出于普及较先进的设计方法以提高设计水平的需要。

鉴于本书主要是为指导高等工科院校学生完成机械原理课程设计而编写的，因此论述的深度和广度受到某些限制，机械零件的强度设计和工艺设计都未列入具体的议论范围中。

在世界行将迈入 21 世纪，自然科学学科门类的现代分支和层次层出不穷之际，传统的机械设计学科又将添新的年轮。以致不少人在被未来计算机约瑟夫森结的跃迁速度、极限性能材料的巨大威力、能将基因化学正本翻译成蛋白质分子的解码装置的奥秘和光子弯曲路径上原时最大的世界线勾画的宇宙图景的神奇所惊愕；被信息社会里的各种微处理器和其它声、光、电子器件提供的精确、便捷所陶醉时，竟以为只有微观、宇观、抽象、随机和离散的事物才深奥，而宏观、形象、受机械约束的事物都肤浅，进而忘记了机械科学的价值。这或许是一种误解。永恒时空中的各种事物，无论巨细，在不断发展、完善的方法和工具帮助下，原则上其规律都是可以被人能动作用认识的，当今各种新科技雨后春笋般涌现的事实正说明了这一点。实践还向我们清楚表明，机械系统的实体无法用信息技术和其他学科技术的成果

完全取代；现有的各种机械产品就其技术经济性指标而言，都不能说已经达到了极限。因此，继续发展机械科学，力求高速度、高品质、低消耗的效果最佳设计仍是我们努力的方向。

为实现上述目的，当今已开辟了一条机-电一体化途径。然而与其它传统的学科一样，传统的机械设计学科本身并未失去生命力，继续探索它的发展机遇，将是摆在机械设计工作者面前的一项任务。为此，我提出了机械系统组成设计的议题。作为一种尝试，希望能为机械设计学科的发展尽微薄之力。

本书的图文细要，蒙邹坚峰、陶国庆同志惠阅，获益于许多宝贵意见；命题、立意和出版运作，均受到中国气象出版社史秀菊同志的认许和大力帮助。在此谨向他们致以诚挚的谢意。

如前所述，机械系统组成设计原理尚属较新的一个议题，故论述难以全然周妥。不肖之处，尚请读者谅解、指正。

诸传中

1994年4月30日于武昌马房山寓所

# 目 录

<b>第一章 机械及其传动系统组成的设计概论</b> .....	(1)
§ 1—1 设计的基本含义.....	(1)
§ 1—2 传统机械及其设计方法的发展概况.....	(1)
§ 1—3 现代机械与机械的现代设计方法.....	(3)
§ 1—4 传动系统组成设计在机械设计中的地位.....	(5)
<b>第二章 构思机械传动系统组成方案用的主要辅助方法</b> .....	(7)
§ 2—1 解题设想的产生方式.....	(7)
§ 2—2 杆组迭加法.....	(8)
§ 2—3 连杆机构分类法 .....	(10)
§ 2—4 形态变异与组合扩展法 .....	(29)
§ 2—5 功能分类法 .....	(35)
<b>第三章 机械传动系统的组成设计步骤和实施要领</b> .....	(50)
§ 3—1 机械工作原理的选定 .....	(50)
§ 3—2 传动系统组成的方案构思 .....	(52)
§ 3—3 传动系统组成方案的评选 .....	(56)
§ 3—4 原动件和执行构件运动参数的确定 .....	(60)
§ 3—5 执行构件间运动协调关系的确定 .....	(61)
§ 3—6 机械运动学尺度的确定 .....	(62)
<b>第四章 确定机械系统运动学尺度的最优化方法</b> .....	(66)
§ 4—1 机构优化设计的实际问题 .....	(66)
§ 4—2 优化设计的基本概念 .....	(67)
§ 4—3 优化方法简介 .....	(74)
§ 4—4 机构优化设计数学模型举例 .....	(79)
<b>第五章 计算机绘图及其在机械系统组成设计中的应用</b> .....	(83)
§ 5—1 概述 .....	(83)
§ 5—2 计算机绘图系统 .....	(84)
§ 5—3 PC 机的像素图形 .....	(90)
§ 5—4 微型机控制的绘图机绘图 .....	(97)

<b>第六章 机械原理课程设计选题</b> .....	(121)
§ 6—1 铁钉坯料剪切机.....	(121)
§ 6—2 钢板翻转机.....	(121)
§ 6—3 灌装机.....	(122)
§ 6—4 半自动钻床.....	(123)
§ 6—5 单缸四冲程柴油机.....	(125)
§ 6—6 活塞式油泵.....	(127)
§ 6—7 自走式升降机.....	(129)
§ 6—8 螺钉头卧式冷镦机.....	(130)
§ 6—9 牛头刨床.....	(132)
<b>第七章 机械原理课程设计参考资料</b> .....	(135)
§ 7—1 飞轮转动惯量的确定.....	(135)
§ 7—2 图解微分法和图解积分法.....	(138)
§ 7—3 渐开线齿轮变位系数的选择.....	(140)
<b>附录 具有简单铰链的扩充的容许异构体一览表 (节选)</b> .....	(149)
<b>参考文献</b> .....	(151)

# 第一章 机械及其传动系统组成的设计概论

## § 1—1 设计的基本含义

设计一词的英文写法为“Design”。该词起源于拉丁语“Designare”。它由De（记下）和Signare（符号、记号和图形等）两个词组成。这一事实告诉我们，“设计”最初含有将符号、记号和图形之类记下来的意思。

生产的发展和科学技术的进步，促使设计的内容不断向纵深扩展，以至任何一项规划、计划和改革；任何一类工程、产品和作品；任何一种发明、发现和构思，几乎人类活动的一切领域，第一道工序就是进行设计。如果我们把设计的实质归纳成一段话，那就是：人们根据客观的需要，借助传统经验、科学技术原理和科学方法论的指导，在创造性的思维活动中经过反复判断、决策和设计模型的定量化等过程，最终实现将各类资源（人、物和信息）转化为技术装置、设施或系统（包括社会系统）的目的，以满足人类的功能需要，收到最满意的社会经济效益。

## § 1—2 传统机械及其设计方法的发展概况

机器和机构总称为机械。溯源其历史，古老的杠杆、滑轮一类劳动工具可以说是人类凭直觉从自然界得到启示后制成的第一批“机械”产品。人们从进一步的实践活动中扩大了经验范围，再辅以简单的数学和力学知识，就制成了风车、水力机械和畜力机械等较为复杂的产品。图 1-1 所示的 15 世纪矿井提水机械就是这些产品中的一例。法国的朗兹 1808 年所著的《机械学初阶》和 J·A·波格涅司 1818 年所著的《机械学论述》收集了大量这类机械理论还不健全的“原始”机构和人力、畜力机械，算得上是对机械设计早期成果的一次总结。

以 18 世纪的工业革命为标志，科学技术跨上了迅猛发展的阶梯。经过 19 世纪的重要发展阶段，到本世纪初，机械设计逐渐从依靠直觉、经验的状态进入到经验和理论兼用的时期。习惯上，我们称这一时期的设计方法为“传统的”设计方法。它是在继承的基础上发展的，因此，传统设计法起初侧重于依靠个人的才能和经验，仅以模仿、类比和试凑等办法完成设计。1836 年 H·R·坎贝尔（H·R·Campbell）所获得的最早机车专利（图 1-2）就是传统设计法的早期代表作。之后，社会的需要对设计提出了更高的要求，如：增加产品的产量和扩大其规模；提高产品的复杂程度和性能；以及降低生产成本、缩短设计周期等。这促使机械设计应用科学理论、科学方法及高效工具的比重逐渐增大。仅以与机械传动系统的组成设计（或称机械系统的运动学结构设计）有关的理论、方法为例，1875 年德国学者列罗（F·Reuleaux）所著《机械运动学》一书中建立在运动几何学基础上、用于机构分析和综合的图解法，以及同一时期俄国学者契贝舍夫（П·Л·Чебышев）根据函数逼近理论创立的用于机构近似综合的解析法，都对提高机械设计的量与质作出了重要贡献。使用常规的计算工具（计算尺、计



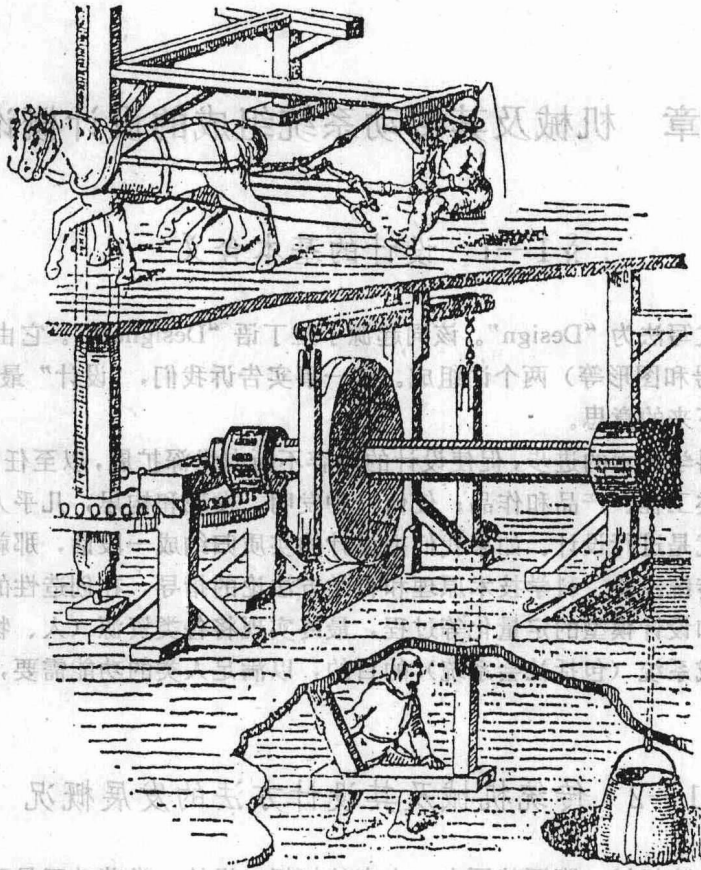


图 1-1

算器等), 参考能简化分析和计算的图表、图册和设计手册, 凭藉一般的数学、力学原理和面向设计问题的设计方法由一个设计班子完成设计任务, 是传统设计法中期的主要特点。由于采用上述方法设计的产品通常只能满足基本的功能要求, 在成本、工艺性能、工作可靠性、使用寿命和设计周期等方面还不理想, 所以人们又做了一些改革。如 (1) 加强了与机械传动系统的组成设计有关的机构和机构理论的研究。例如对多齿直齿、多齿斜齿、多齿行星的平面连杆机构和单自由度六杆、七杆空间机构分析与综合方法的研究; 对考虑质量分布、弹性变形、间隙、阻尼、外界干扰频率、不平衡力和表面润滑等因素的更符合实际情况的凸轮机构

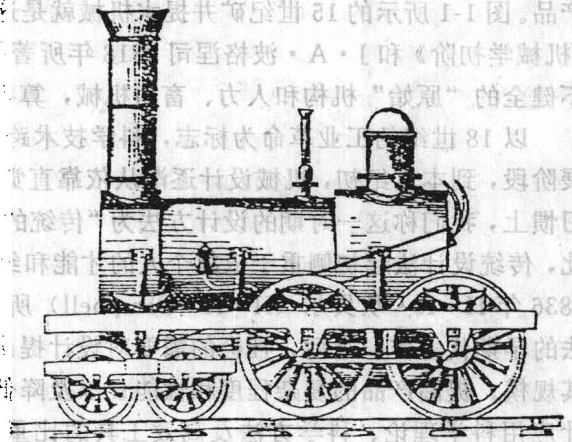


图 1-2

动力学模型的研究等。

(2) 深入了与机械零件强度和寿命有关的基础理论研究 例如在材料的应力、应变和疲劳；摩擦磨损；零件的失效和寿命等方面进行的深入研究。

(3) 发展了对专业机理的研究 例如对高速内燃机和新型旋转活塞式内燃机原理；自动机床和组合机床原理；刀具、量具和夹具原理等等的研究。

(4) 加强了与设计有关的分析和计算方法的研究 例如采用能量分配法对空间机构进行动力分析；用线性相关法分析弹簧作用下的加速起动过程和有间隙机构系统的动力响应；用主矢量法、线性无关矢量法、附加机构法分析平面机构惯性力的完全平衡问题；在机构的结构理论研究中采用图论、网络分析、线性几何学、螺旋坐标等工程数学方法；在空间连杆机构的分析与综合中应用矢量、张量、矩阵、对偶数、四元数、旋量一类数学工具，等等。

(5) 在设计过程中增强实验手段 例如对关键零件进行疲劳破坏试验；对舰船进行风浪试验；对飞机和航天器进行风洞试验等等。

(6) 开展了对零件标准化、部件通用化、产品系列化的“三化”研究。

(7) 扩大和加强科技领域内的国际间交流与合作 仅以机器人和机构理论研究方面为例，1969年在波兰成立了国际机器人和机构理论联合会(The International Federation for Theory of Machines and Mechanisms, 简称IFTMM)，对于推动该领域内的学术进步起到了积极的、建设性的作用。

上述各项完善机械设计理论、方法的措施，使近期的传统设计法与中、前期相比，减少了盲目性、提高了设计的效率和质量、降低了产品的成本，以至于“传统的”设计方法被沿用至今，仍显其生命力。

### § 1-3 现代机械与机械的现代设计方法

传统的设计方法，只能完成用于常规场合的传统产品的设计任务。这些传统产品，主要是按使用性能分类的，如万能机械、专用机械和专业化机械；播种机械、收获机械、锻压机械、纺织机械、食品加工机械和金属切削机床等等。与人类具有智力、肢体的高度灵巧性、以及在受外部刺激（或指令信息）后能立即作出适应性反应的能力相比，上述传统产品实在很不完善。用现代的观点看，它们只不过是一群重复不断地做着单调、刻板机械动作的钢铁怪物而已。

在难以用传统机械取代人的手工劳动，而手工劳动又满足不了必须保证高质量、高效率的场合（如汽车厂的装配作业）；在人不宜直接参与的一些科学、生产和军事领域（如深海潜水、宇宙探测、核设施操作以及其他一些有危险和有污染的作业），需要有结构、功能和概念全新的现代机械。

现代机械结构上的主要特点是：①不限于由狭义机构中的纯刚性构件组成。②不一定具有强制运动链。③传动系统中的所有主、从动件之间既可以靠直接接触（如齿轮、凸轮机构的主、从动件那样）传递运动和动力，也可以通过中间连接（如刚性连杆连接；胶带、钢绳等柔性连接和油、水、空气等流体连接）和间接接触（如靠磁力隔着空间起作用）达到相同的目的。④除了用于传递能量、材料的运动系统外，还有用于使机械按最佳状态进行工作的包括控制信息的加工和误差反馈的处理等系统在内的自适应系统。

现代机械结构上令人耳目一新的多样性，使机械这一概念也发生了根本的变化。当今的机械，正出现以“生物空间”三坐标，即智能度（感觉、记忆和判断）、机能度（通用性和变通性）以及物理能度（力、速度、可靠性、均一性和连续工作能力）等内容来分类的趋势。比如，近些年才出现的机器人，属于三元机械；机械手、柔性加工中心和柔性加工机床等，属于二元机械；我们常用的一些传统的机械，则多属于只考虑物理能度的一元机械。

一元机械能够演进为二元、三元机械，是与50年代以来科学技术突飞猛进的发展分不开的。20世纪人类的杰出成就之一就是发明和应用了电子计算机。电子计算机及其伴随而来的各种现代数理方法和科学认识论理论，构成了一个系统。这个系统以其令人意想不到的速度、精确度、可靠性和判断能力完成着人力无法解决的各种极端复杂的信息处理、交换和控制工作。现代机械正是在计算机系统参与设计、加工制造、生产管理和控制应用的条件下问世的。20世纪60年代末，前苏联的无人登月和美国的阿波罗载人登月活动，是现代机械和现代设计方法登峰造极的标志之一。

由于现代机械摆脱狭义（纯刚体）机构的束缚，加上计算机、传感器、伺服装置在其中的应用，使之成为广义的机械。随之而来，解决现代机械设计问题的方法也产生了相应的变化。

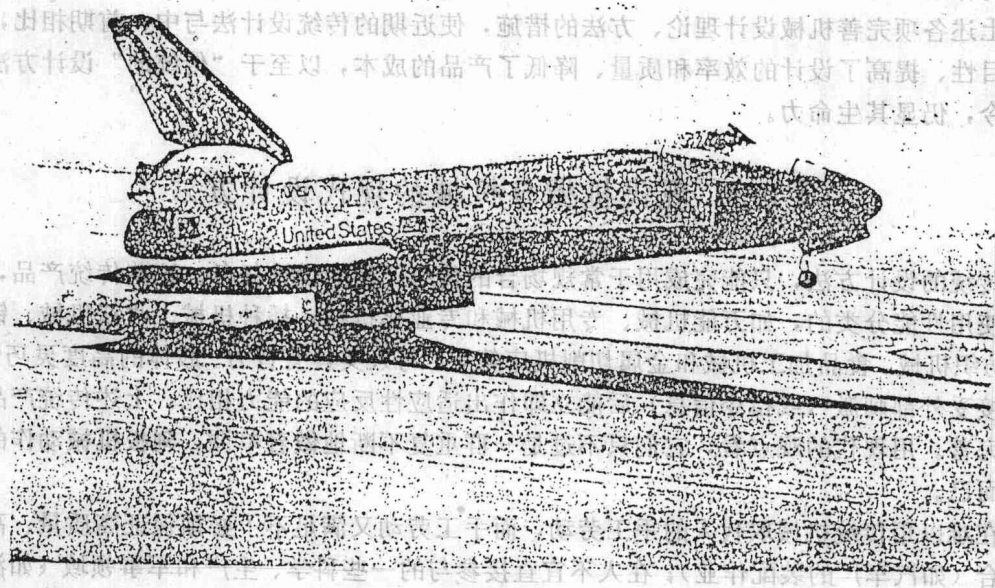


图 1-3 着陆瞬间沙尘飞扬中的哥伦比亚号航天飞机

当前我们所说的现代设计方法，除包括上述近期传统设计法的各项内容外，还带有不少新意。它是既继承传统设计中的市场调查、价值分析和造型设计等方法；经验、类比、自助（如过载保护、自动补偿）、冗余（为保证可靠性而设置的双重机构）和模块（积木式标准化设计）等原则，又有突变论、信息论、控制论、智能论、对应论、模糊论、艺术论等新兴的科学方法论及其所隶属的各学科知识为指南，在电子计算机系统参与辅助下的崭新设计方法。现代设计的大致步骤，一般可用下列设计程式和原则来描述，即：技术预测→信号分析→科学类比→系统分析→创造性设计→逻辑设计→精确设计（采用相似设计法、模拟设计法、有

限元设计法、可靠性设计法、动态设计法、优化设计法、计算机辅助设计法等) → 设计质量的综合分析与信息反馈等。

现代设计法使被设计对象在局部与系统、定性与定量、静态与动态、技术与经济、技术与美学、设计与销售、硬科学与软科学等关系上得到了协调统一, 并产生由低级向高级发展的质的飞跃。可以预见, 随着时代的进步, 传统的设计方法将逐步被现代设计方法取代。

## § 1-4 传动系统组成设计在机械设计中的地位

如前所述, 当今的机构和机械设计方法, 正逐渐走出传统, 向现代化方向发展, 包罗万象地研究机械设计的所有方面显然是困难的。

德国的柯勒(R·Keller)曾把机械(机器、机构、仪器和器械)这一技术系统视为用来变换能量、材料(指加工与搬运的对象)和信息的黑箱(图 1-4)。

随着现代科学技术的进步, 机械系统的内容也在发生变化。近些年来, 机器中的机构数目有不断减少的趋势; 各执行构件都由单独的电动机或液压马达驱动的不包含机构的加工机器也崭露头角。尽管这样, 机构毕竟还是大多数机器的主体部分。因此 H·II·列维茨基认为, 既然机构是一种变换运动的装置, 从这一意义出发, 以机构为主体的机器也具有变换运动的功能。机器与机构的不同点仅在于, 它是一种能实现能量、材料和信息变换的运动变换装置。

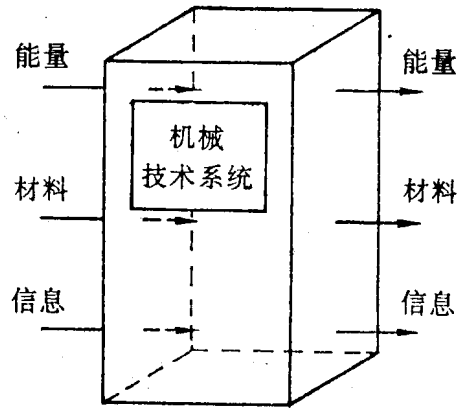


图 1-4

根据上述观点, 可以得出这样的结论, 机械或机械技术系统的设计, 重点是机械的运动变换系统, 即机械传动系统的设计。机械传动系统的设计包括多方面的内容, 传动系统的组成(与运动学有关的结构)设计只是其中的一个方面。究竟这一方面的设计工作与其它方面的设计工作之间具有怎样的联系; 机械传动系统的组成设计在机械设计全过程中占有何等重要的地位, 都是事先应该弄清楚的。为达到这一目的, 还需从机械设计的一般过程说起。

根据以往的经验, 机械的设计过程大致可用图 1-5 所示的包括 8 个基本组成部分或步骤的流程图(框图)表示。图 1-5 向我们清楚地显示, 设计前期的①、②两项工作是为全局服务的, 属于设计准备阶段的工作; 设计完成后的⑦、⑧两项工作主要是使用、评判性质的, 属于设计后续阶段的工作; 虚线框④是机械传动系统的组成设计范围, 或称机械系统的运动学结构设计阶段; 虚线框⑥是包括传动系统在内的机械各种零件的结构及制造工艺设计范围, 或简称零件结构及制造工艺设计阶段。虽然就完整的设计过程而言, 上述四个阶段相互关联、缺一不可, 但是相比之下, ④、⑥两个阶段更复杂、更困难和更重要。这两个阶段是机械设计的核心。鉴于现代机器与机构理论的发展, 机械的机构组成较之机械零件的结构型式更加千变万化, 并且在设计次序上又优先于零件设计, 因此, 机械系统的组成设计在机械设计中占有主要的、关键性的地位。

应该指出，机械设计过程是一个不断反馈的过程，图 1-5 只表示了一些典型的反馈回路。一个被生产—销售—使用循环证实的成功设计，往往是长期反复执行图 1-5 的主流程和应用反馈回路的结果。

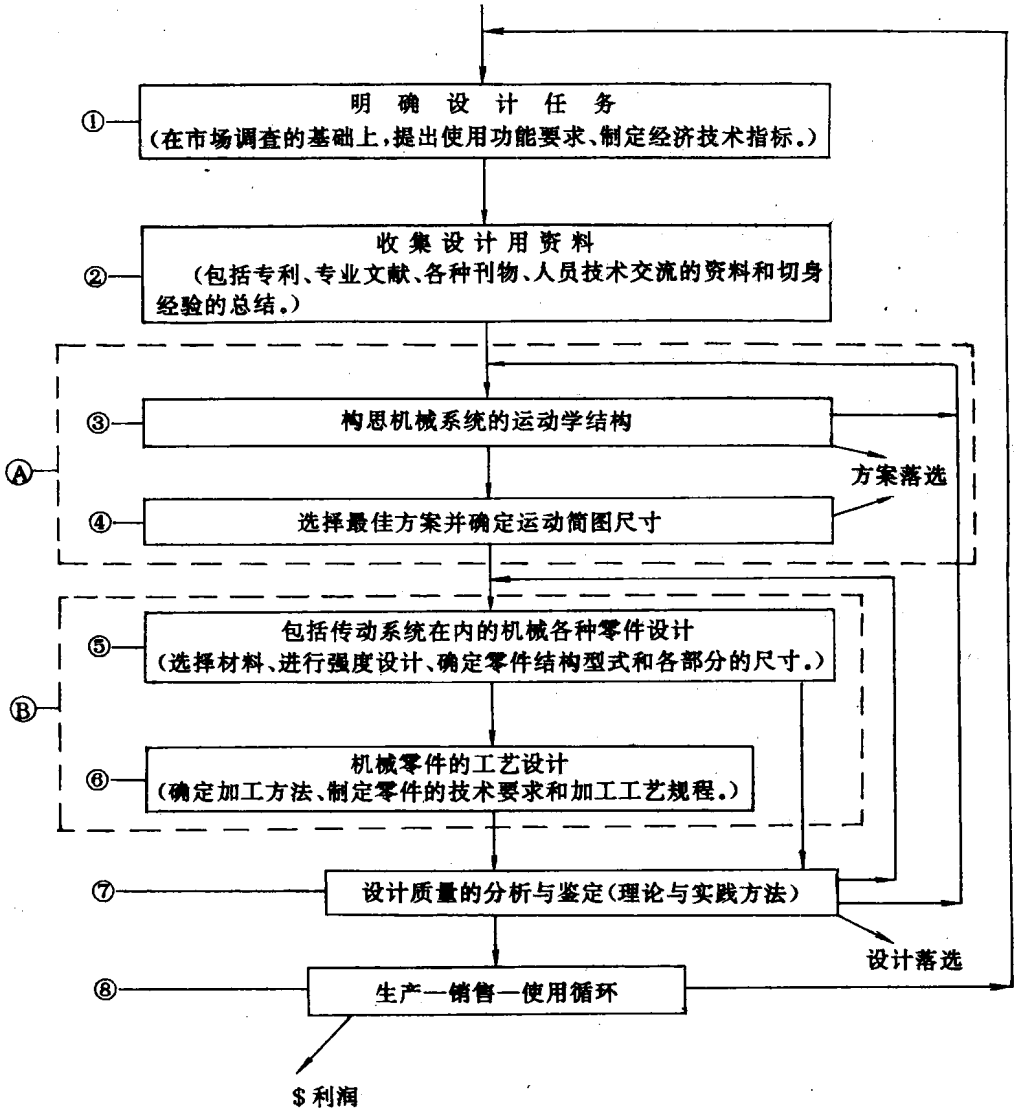


图 1-5

## 第二章 构思机械传动系统组成方案用的主要辅助方法

上一章第4节曾用图1-5描述过机械设计的一般过程,并用虚线框④标明了机械传动系统的组成设计在机械设计中的地位,然而没有进行具体的论述。从这一章开始,将展开对机械传动系统的组成设计原理和方法的具体讨论。

### § 2-1 解题设想的产生方式

仔细观察一下图1-5就能发现,在构思机械系统运动学结构的步骤③上带有一个反馈回路。它反映了构思机械系统运动学结构的过程是一个反复多次、富有创造性的过程,具有一定的难度。

这一构思过程是怎样进行的呢?只要看一看图2-1就清楚了。它是图1-5中步骤③的一种显微结构图。从该图可以看到:(1)由设计准备阶段提出的创造性问题,可经由三条路径变成解

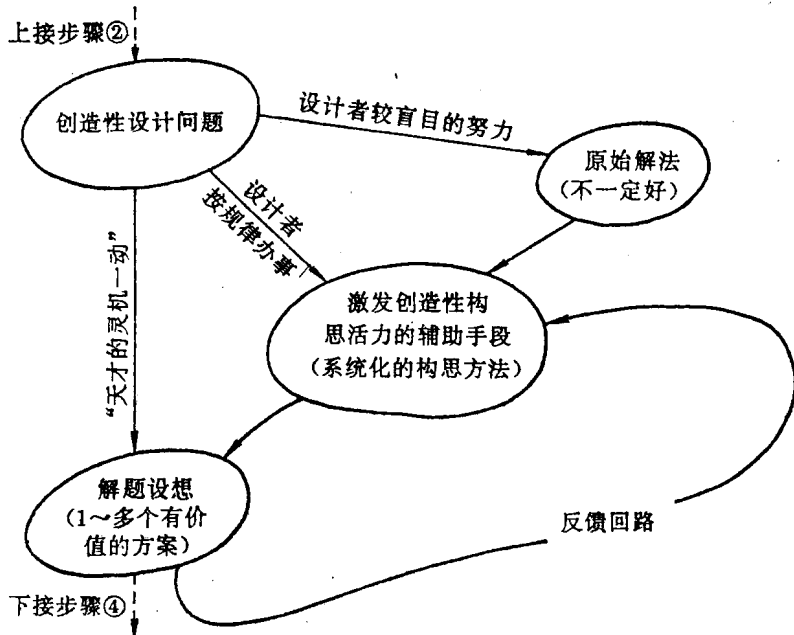


图 2-1

题设想。这三条路径的长度分别是一步、两步和三步。显而易见,设计者盲目的努力是不可取的;“天才的灵机一动”主要属于少数具有广博理论知识、丰富实践经验和创新精神的人;对于

多数有事业心的设计人员,坚持科学态度,按规律办事,通常也能取得较好的设计成绩。(2)图 2-1 中有一个反馈回路。它的含义是:欲构思出 1 至多种有价值的方案,即使对于少数有知识才干的人,也有借鉴激发创造性构思活力的系统化构思方法的必要,仅有“灵机一动”是不够的;对于那些得不到满意的原始解法的人,经过系统化构思方法的指点,同样能够获得有价值的设想;对于所有的设计人员,构思机械系统的运动学结构或多或少是一个反复多次、富有创造性的过程,除经验之外,都有借助激发创造性构思活力的系统化构思方法的必要。

上述两条由观察得出的结论,后者是至关重要的。即无论是怎样的设计者,原来拥有的主客观条件如何,都应采取科学态度,或多或少借助系统化构思辅助手段进行反复构思。换句话说,机械传动系统组成的创造性构思原理,实质上就是设计者在原有知识和经验的基础上,面对设计问题反复不断运用激励创造精神的系统化构思方法,以求得 1 至多个有价值或较好方案的原理。

由于激励创造精神的系统化构思方法在图 2-1 中的核心地位和构思时的实质性促进作用,因此将在下面详细介绍。

## § 2-2 杆组迭加法

构思机械传动系统的组成方案好象用积木块搭房子一样,若随意拼凑,搭出的不一定是房子,或不一定是好房子。换句话说,构思应有一定的方法。凡是科学的方法,都能够激发设计者的创造活力,是设计用的有力辅助手段。供设计早期传动系统组成方案构思用的辅助方法是很多的。例如机械原理教科书在机构结构分析一章里通常都要介绍的杆组(阿苏尔组)迭加法就是其中之一。

根据定义,杆组即自由度数为零的不可再分解的最简单运动链。仅就平面低副机构而论,杆组的自由度数为

$$F = 3n - 2P_l = 0$$

杆组所包含的构件数为  $n$ 、低副数为  $P_l$ ,这两者之间的关系为

$$P_l = \frac{3}{2}n$$

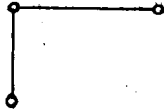

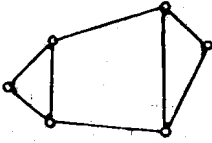
满足上述关系的常见平面杆组如表 2-1 所示。

表 2-1 中的杆组级数是这样决定的,即:由两悬杆组成的最简单的运动链被称为 I 级杆组;I 级以上杆组的级数等于由杆组内部运动副形成的闭廓所包含的运动副数。

在对杆组定义和分类的基础上,若引入杆组迭加概念,就形成了杆组迭加法。即任何机构或机构系统都是由若干个基本杆组依次连接于原动件和机架上产生的。现以铰接六杆单自由度机构的运动学结构方案构思为例,对杆组迭加法原理作下述简要的具体介绍。

如图 2-2 a) 所示,当铰接于机架上的原动件 1 能用独立的广义坐标  $\varphi = \varphi(t)$  确定其运动规律时,意味着构件只具有一个自由度,且与机构自由度数相等。机构中的其余构件应是包含 1 至多个杆组的自由度数为零的从动件运动链(系统)。为描述杆组迭加情况,决定用 2 个自由度数为  $F=0$  的 I 级杆组组成本例中的从动件系统。杆组迭加原则是:(1)逐个杆组地进行。每迭加一个杆组都应检查一次自由度,使迭加前后的自由度数保持不变;(2)不应出现自由度数为  $F=0$  的局部结构。

表 2-1

杆组中的构件数	杆组的运动副数 $P_i$	简 图	杆组级数
2	3		2
4	6		3
4	6		4

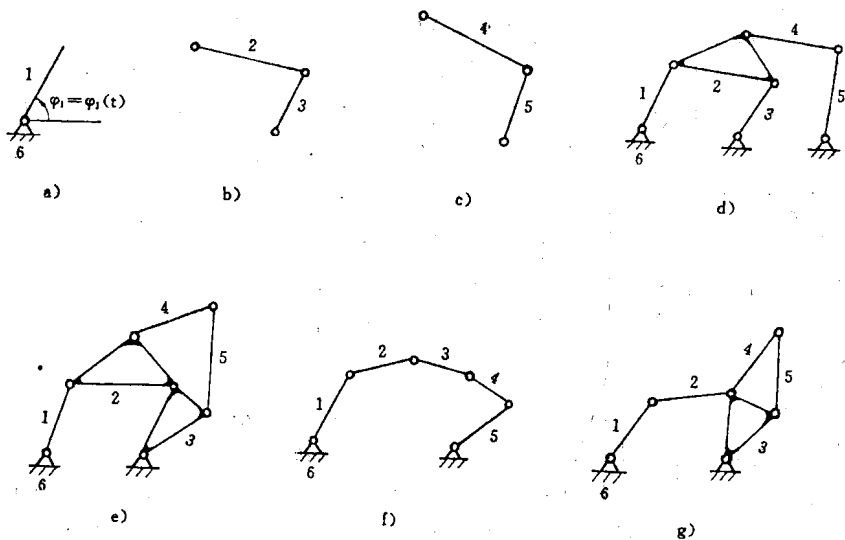


图 2-2

根据上述原则,第一步迭加应把图 2-2 b) 中的 2-3 杆组的两个外部运动副分别连接到原动件和机架上,构成自由度数  $F=1$  的四杆机构。第二步迭加应把 4-5 杆组的两个外部运动副分别按图 2-2 d) 或图 2-2 e) 的形式连接到机构上,形成两种不同形式的自由度数  $F=1$  的铰接六杆机构。如果违背了上述杆组迭加原则,就不能得到正确的构思方案。例如图 2-2 f) 中的机



构,因第一次未把 2-3 杆组的外部运动副全部连接到起始构件和机架上,故形成  $F=3$  的开式链,以致第二次串接 4-5 杆组后形成了自由度数  $F=3$  的机构;又如图 2-2 g) 中的机构,第二次迭加时把 4-5 杆组的两个外部运动副连接到一个构件上,故形成了一个自由度数  $F=0$  的局部结构。这些方案或者与设计者的意图( $F=1$  的要求)不符,或者没有独立存在的意义(图 2-2 g 等同于  $F=1$  的四杆机构),所以应该排除。

杆组迭加法为设计者构思机械传动系统的组成方案准备了理论基础,开辟了广阔的创造途径,因此是一种很有价值的用于机构运动学结构综合的辅助手段。

阿苏尔(Л·В·Асуп)于 1918 年提出杆组迭加法以来,机械设计在理论和方法上都有很大发展。为开阔设计者思路,激发创造性构思活力,下面将介绍几种各具特色的其他构思辅助手段。

## § 2-3 连杆机构分类法

它是人们尚不熟悉的一种方法。这种方法并非专门用于对连杆机构进行分类,而是通过“伴生连杆机构”对各种机构进行分类。不仅如此,从伴生连杆机构出发,经过反演,设计者又能创造性构思数不清的机械装置。鉴于连杆机构分类法是一种激发设计者创造能动性的科学的、系统化的构思方法,所以下面将用较大的篇幅论述。

### 一、伴生连杆机构

如果我们把只含有转动副(铰链)的低副机构取名为能描述各种机械运动学结构特征的“伴生连杆机构”,并用字母  $R$  标注凸轮和齿轮机构主、从动件的转(摆)动中心;用字母  $B$  标注齿轮高副两元素的曲率中心;用字母  $T$  标注无穷远处的回转中心(或移动副);用字母  $HS$  标注高副;用两端各带一个铰链的虚线表示代替了高副的假想连杆,则连杆、凸轮、齿轮和其他一些常用的基本机构,以及由这些基本机构组成的各种系统,都可用伴生连杆机构表示。图 2-3 左边的机构、结构和内力加压装置分别与右边的五种简图相对应。这五种铰接连杆简图被一概称为与之对应的机构、结构和内力加压装置的“伴生连杆机构”。

在各种伴生连杆机构中, $F>0$  的部分有可能成为机构; $F=0$  的部分简称为  $F=0$  的结构(如图 2-3 d 所示); $F<0$  的部分有可能成为内力加压装置。图 2-3 e) 所示的核桃钳在内力起作用的工作状态下,即为  $F=-1$  的内力加压装置。

从图 2-3 右边的伴生连杆机构简图可以看出,它与一般机构学教科书上的机构表示法和结构定义并不完全相同。之所以采用全铰链结构表示机构、结构和内力加压装置,除为了分类的方便和明了之外,还为了扩大其研究范围。但是这一做法使伴生连杆机构简图中出现了一些特殊的表示法。除上述已作说明的各项规定外,这里还需补充一点。由于圆柱齿轮的低副替代机构形状固定,不是凸轮机构的伴生连杆机构那种瞬时替代机构,为区分起见,应该在按  $RRBB$  顺序连接的伴生连杆机构四边形内标注闭环符号。前已述及,伴生连杆机构的出现,同时也是适应扩大研究范围的需要。关于这一点,将通过图 2-3 d)、e) 中的两种装置及其伴生连杆机构简图略加说明。虽然自由度  $F=0$  的刚性结构不属于机构学研究的对象,但由于一些刚性支承结构需要有可倾承载面,而可调结构设计仍需用到机构学原理,所以在图 2-3 d) 中示出了  $F=0$  的结构及其伴生连杆机构;象图 2-3 e) 那样的内力加压装置,虽然当全部压力起作用