

B

普通高等教育机电类规划教材

机构设计

第2版

西安理工大学 曹惟庆 主编
西安交通大学 徐曾荫



12-43
(2)

机械工业出版社
China Machine Press

普通高等工科教育机械设计及制造专业 规划教材及参考书目

- | | | | |
|-------------|------------------|------------|----|
| ● 机械设计学 | 清华大学
重庆大学 | 黄靖远
龚剑霞 | 主编 |
| ● 机械系统设计 | 合肥工业大学
东北工学院 | 朱龙根
黄雨华 | 主编 |
| ● 机械优化设计 | 哈尔滨工业大学 | 孙靖民 | 主编 |
| ● 机械制造工程学 | 上海机械学院
清华大学 | 黄克孚
王先逵 | 主编 |
| ● 机械可靠性设计 | 上海工业大学
合肥工业大学 | 牟致忠
朱文予 | 主编 |
| ● 机械系统动力学 | 合肥工业大学 | 徐业宜 | 主编 |
| ● 机构设计 | 陕西机械学院
西安交通大学 | 曹惟庆
徐曾荫 | 主编 |
| ● 计算机辅助设计 | 山东工业大学
大连理工大学 | 王焯鸿
欧宗瑛 | 主编 |
| ● 机电一体化技术基础 | 华东冶金学院
华东工业大学 | 黄筱调
赵松年 | 编著 |
| ● 机械产品造型设计 | 合肥工业大学 | 俞志豪
王祖铭 | 主编 |
| ● 工业机械手设计 | 广东机械学院 | 李允文 | 主编 |



普通高等教育机电类规划教材

机 构 设 计

第 2 版

主编 曹惟庆 徐曾荫

参编 刘宏昭 胡来瑤

彭国勋 刘丰璧 葛正浩

主审 丁舜曾



机械工业出版社

本书是根据“机构设计”第1版教材修订的。内容包括机构设计过程、机构学的近况及发展、机构运动规律的创造性设计方法、机构型式综合、机构的运动分析、连杆机构的解析法设计和运动几何学方法设计、空间连杆及机器人机构、凸轮机构、行星轮系、机构的组合方式和组合机构的综合。各章后附有习题。

本书可作为高等工业院校机械类专业的教材，亦可作为机械类专业研究生的教材及科技人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

机构设计/曹惟庆, 徐曾荫主编. —北京: 机械工业出版社, 1999.11
普通高等教育机电类规划教材
ISBN 7-111-03748-0

I. 机… I. ①曹… ②徐… II. 机构综合-高等学校-教材 IV.
TH112

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 64742 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑: 邓海平 版式设计: 霍永明 责任校对: 肖新民
封面设计: 李雨桥 责任印制: 路琳
北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2000 年 5 月第 2 版第 1 次印刷
787mm×1092mm¹/₁₆·16.75 印张·404 千字
0 001—3 000 册
定价: 23.50 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

第 1 版前言

本书是由全国高等工业学校机械设计及制造专业教学指导委员会审定的机械设计专业必修课教材。

由于机构设计的内容丰富，是一门理论与实践都十分精邃的学科，而在编写教科书时又只能根据 40 学时安排，因此，在编写内容的取舍上如何体现符合专业教学计划的要求，既保证基本的体系，又不致过于庞杂，恰当地做到少而精，是首先要考虑的问题。本课程的先修课程是机械原理，要做到课程之间内容衔接合适，避免不必要的重复。作为一门教材又必须考虑学生的实际情况，有启发性，深入浅出，便于自学。

本书第一章由曹惟庆、徐曾荫合作编写，第二章由徐曾荫、张社民合作编写，第四章、第六章、第七章由曹惟庆编写，第五章由刘宏昭编写，第三、八章由徐曾荫编写。曹惟庆、徐曾荫担任主编。

本书由合肥工业大学丁爵曾教授主审，他提出很多宝贵的意见，谨在此表示衷心的感谢。由于水平有限，书中难免有漏误，恳请读者批评指正。

编 者

1992 年 10 月

第一章 绪 论

第一节 机构的设计过程

在机械原理课程中，我们已经学过了平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构等机构的设计。但这些机构的设计，一般都是给定了某些条件的命题设计，如已知连杆的几个位置设计一平面铰接四连杆机构，或给定一已知运动规律设计一凸轮机构等等。而实际上这仅仅是抽象成命题后的机构设计，它是机构设计过程中的一部分而非整个设计过程。

一个机构从开始研制到成为一台机器或仪器中的有效组成部分，是一个发展过程。这个过程是从根据使用要求或工艺要求粗略定出其结构开始，直到最终成为产品为止。它要经过多次循环，对各种解决方案既从思想预见方面又在实际试验方面进行检验和判断，甚至还可能需要返回到原点，以便能找出符合甚至超过最高技术水平的新的解决途径，即创造一个新的机构，这个总的过程就称为机构设计。此过程需要考虑到许多影响因素和各种观点，并且在寻求最优化解时，它可能超出了机构综合的范围。在这些探索中，解决问题的思考方法和推论过程对于结构上、技术上的研制工作，具有愈来愈大的意义，因为它能够使思想的预见成为合理化的实际行动。

这一过程，我们可以用一模型图来表示，见图 1-1。在图中，起始点为工艺要求或使用要求①；当这个要求提出后，首先要考虑采用何种功能原理来完成这一要求②，如要求将井中的水提升到一定高度，就要考虑采用什么功能原理将水提升。众所周知，目前一般常用的功能原理是用机械能改变水的动能，迫使水向上运动，即采用旋转叶轮的离心泵；另一种是不断改变容器的容积，利用大气压力使水周期性地吸入和压出的容积式水泵。当然，还有采用水斗连续提升，如以前农村中采用的水车等等的方案。总之，要完成某种给定的使用要求，可以采用多种不同的原理。当决定采用何种功能原理后，就可根据这种原理设计出实现这种原理的运动规律③，如水泵就可采用旋转或往复移动等的运动规律，并定出这些运动规律应该达到的运动参数④。这些运动参数定得合适否，很大程度上依赖设计工程师⑤的经验和学识，故需要设计工程师的评价⑩和修改。

这些运动参数决定后，就可以进入机构综合的过程，即机构型式选择⑤（或称型综合）、尺度综合⑥及结构形状设计⑦。这样设计好的机构就要进一步进行机构详细的运动分析⑨，将分析后所得的有效性能⑩与设计前所给出的运动参数进行比较和评价⑪，经过工程师⑤的思考，如不符合原定要求，就可以修改原运动参数，重复⑤、⑥、⑦等过程，直至求得理想的参数。

尺度综合⑥构成了考虑结构形状⑦的基础。时常出现这种情况，即机构尺寸虽然在理论上满足运动规律要求，但是却得不出可用的结构形状，例如出现铰链之间距离过小或者构件相互干涉。在这种情况下，就有必要确保运动规律要求而改变机构的尺寸。

型式选择⑤、尺度综合⑥以及结构形状设计⑦完整的构成解⑧。一般来说，除了要按运动参数来评价这个解是否实用外，还要将其有效的性能⑩与使用要求所规定的性能⑬作一次

设计目标

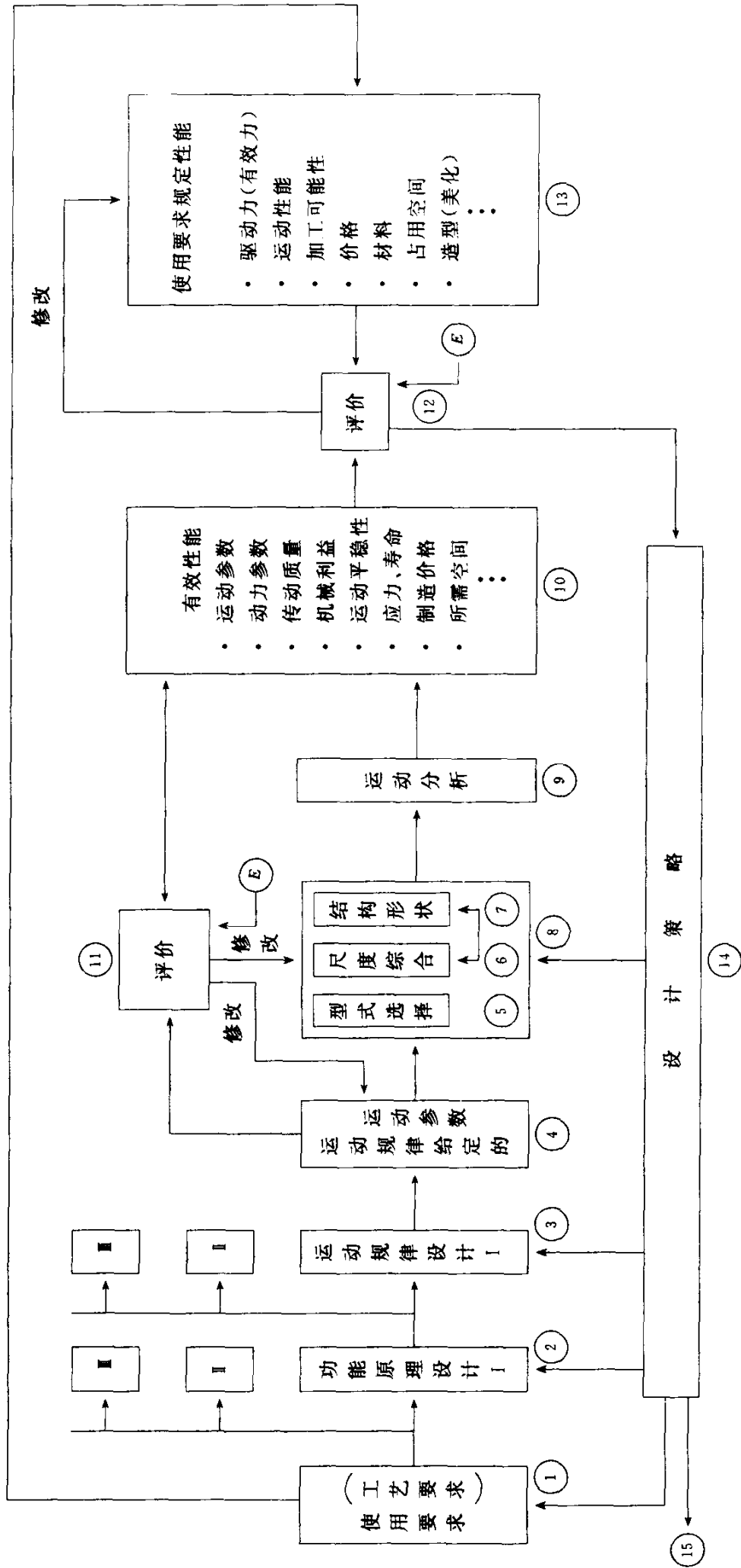


图 1-1 机构设计过程

比较⑫。在有效性能⑩中某些被认为是重要的性质，除可依据解⑧通过理论分析⑨外，必要时还可以进行实验研究。

在机构的有效性能⑩与使用要求所规定的性能⑬作比较评价⑫时，总设计师⑤的经验和学识在评价时总是起着重要作用的。如这种比较和评价是否定的话，就必须更改这个解。显然，这必须有目的地进行，也即须采用某种设计策略⑭，这种设计策略的作用方式和范围是比较广的，它应根据实际情况决定是重新选择机构型式⑤、尺度综合⑥、结构形状⑦而获得新的解，还是改变运动规律设计③；也可以否定原来所采用的功能原理设计，寻找新的功能原理，或是修改使用要求①中的不合理部分来完成；最坏的情况表现为任务根本没有解的可能⑮，当使用要求的内容忽视了客观存在的自然规律时，这种情况完全可能发生。

经过上述设计过程，如果我们得到了一个新的具有高性能的机构⑧，这不仅解决了当前的设计任务，而且这个新解还淘汰了不再适应技术形式的解或迫使其退居次要的位置。这种新解也常常对其它的技术领域产生影响，例如一种有效的机构能决定性地提高一种加工方法的生产率，或使新型工艺的实现成为可能。由此可见，机构设计的创造性在整个机械行业中是十分重要的。

第二节 本课程研究的内容

根据上节机构设计过程可知，本课程研究的内容要比一般的机构学和机械原理课程广泛，它主要研究下列几方面的内容：

(1) 运动规律设计 即怎样根据使用要求或工艺要求制定出一个合理的运动规律。例如泵的设计，如果采用容积式功能原理，则需要提出相应的运动规律来完成容积的改变——如采用往复式移动的运动规律，或采用在旋转过程中改变容积，或使构件在平面中作复合运动时改变容积等等。在这些可能的运动规律中，要找出一个适合客观条件的最优方案。这里强调的是设计者应该有创造性设计的意念，要以主动的坚韧不拔的精神去探索新的运动规律，这就是本课程第二章的内容。

(2) 机构的型式综合 即用什么机构去完成所设计的运动规律。机构的种类很多，在机械原理课程中我们已学过许多基本机构，它们可以完成许多种运动，如往复运动、往复摆动、沿直线运动、沿某一指定的曲线运动、等速转动和不等速转动等等。同样，同一种运动规律也可以用不同的基本机构去完成。根据什么样的原则和用什么样的途径去寻找合理的机构，并从中选出最优的机构，这就是本课程第三章的内容。

(3) 机构的分析和综合 综合出合适的机构类型后，怎样进一步确定机构中各构件的尺寸和结构形状，也是一项要深入研究的问题。在机械原理课程中，我们虽已学会了一些基本机构的尺寸综合的方法，但对于形式简单、变化繁多、综合复杂的连杆机构介绍的比较少，因而在本课程中要比较深入地讨论这些机构的尺度综合和三级以上连杆机构的运动分析方法，并进一步讨论空间连杆机构及机器人机构的运动分析和尺度综合的特点，这就是本课程中第四、五、六、七章的内容。对于行星轮系（周转轮系）和凸轮机构，将重点放在行星轮系的配齿方法和效率计算，以及凸轮机构的组合运动规律特性和其统一表达公式上，这些内容分属于第八、九两章。第十章是以一些实例说明机构的组合方式和其相应的运动分析和尺度综合的方法。

最后要说明的是，机构设计中还有两项重要的内容，即功能原理设计和机械动力学分析，在本课程中没有涉及。这是因为它们分别是“机械设计学”和“机械系统动力学”的研究内容，故本课程中不再重复。

第三节 本课程的目的

本专业的特点是专业面较宽、通用性较强，它不像某些产品专业那样有明确的产品对象，因此需要学生有较宽的知识面和适合各类产业机械所需的设计方法和技巧。根据这个特点，本课程除了讲授机构设计的一般理论和方法外，还希望通过这些知识培养学生以下几个方面的能力：

(1) 培养创造性设计的意念 所谓创造性，就是要在前人成果的基础上，善于综合，开创新的思路，提出新的设想。这是因为本专业是以产业机械的设计为对象，在学生毕业后将面对各式各样的产业机械设计和试制开发各种新的机械产品，如果没有创造性设计的意念，就很难设计出新型的产品。

(2) 拓宽运动规律设计的思路 运动规律设计的好坏，对机器的性能、复杂程度都处于很关键的位置。因此，要求设计人员能从纯刚体机构的固定模式中解放出来，综合运用各种知识（刚体、弹性体、液体、气体、光、声、电等），得到完善的运动规律设计。

(3) 加强设计实际机构的能力 机构设计是一门理论性很强的课程，只有训练有素的设计人员才能掌握这些理论去指导机构设计的实践。故本课程除了在各章中加强实例研究外，还需要用课程作业或课程设计作进一步的训练。

第四节 机构设计近况综述

一、机构结构综合

在机构设计过程中，结构综合起着重要作用。把杆组看作是机构结构的单元，这个创始意念是前苏联机构学家阿苏尔所得出的，他的观点是每一个机构都是由机架、主动构件以及一个或若干个基本杆组所组成。这个结构逻辑的识别，使设计者通过清楚的杆组类型的识别与机构结构联系起来。前苏联阿尔托列夫斯基院士根据杆组的类型提出了机构分类的方法（阿氏分类法），此方法迄今仍为国际上所通用。

用一定数目的构件及运动副的配置以组成一定自由度的运动链，这一工作称之为运动链及机构的结构类型综合，亦称之为数综合。

目前已解决的机构及运动链的型综合问题，为单自由度机构及多自由度机构的结构类型以及与之相应的杆组结构类型。型综合理论已进展到含复合铰链及含高副的平面机构。空间机构的型综合尚研究得不够，仅有 P、H、R 副单闭链空间机构的若干类型。

如何在型综合所得结果中选择所需要的类型，即选型问题在机构设计中是很重要的。改进现有机构、创造新机构是产品设计更新中的关键措施，对于消化引进设备亦起着重要的作用。这需要进行大量的调查研究及关于机构结构方案设计理论分析，需要丰富的设计实践与专家知识相结合。

例如，人们所熟知的内燃机中的机构是曲柄连杆机构，一百多年前开始研究用摆盘式发

动机，出现了上百种方案设计的专利，最后选择了一种双回路机构，这种机型结构紧凑，活塞侧推力小，惯性载荷易于平衡，因而近年应用于水下运载体、航空、发电等设计中。

二、连杆机构的尺度综合

连杆机构的尺度综合研究有几何法及代数法。基于运动几何学的作图法的优点是直观、概念清楚；其缺点是作图复杂，精度较低。

解析法（代数法）的总体思路为：建立方程→方程求解→方案优选。它可以分为精确点尺度综合及近似运动尺度综合。精确点尺度综合能够实现的点位是有限制的，一般得到的解不一定是全解和满足设计要求（诸如曲柄存在条件，无分支、运动顺序等），近年来连续法（即同伦算法）已引入机构学，其优点是在理论上可以求得其方程的全解。由于发散路径的存在，连续法目前尚待进一步完善。近似运动尺度综合在数学上是基于函数逼近理论，把机构的尺度参数用广义多项式的形式表达，因而执行任务的构件运动有偏差，但综合结果能达到一定的精度要求。

采用连杆曲线图谱进行尺度综合最早为四杆机构轨迹图谱，但存在着精度不高、建立的线图有限等缺点。

近 10 年来出现了用“数值图谱”进行机构的尺度综合。其思路为将连杆曲线、机构的输出函数用一组特征参数存入计算机，通过特征参数的比较，决定所设计机构的近似精度，以进行机构的尺度综合。它为机构的尺度综合带来了新的生机和活力，尤其为机构设计的智能化、机构的计算机辅助设计提供了一种行之有效的方法。“数值图谱”的精度高，采样点多，不存在分支、顺序等问题，其关键问题是机构输出特性的数学表示以及参数识别的选取。国内外学者已有不少的研究成果，并引入了多种数学工具如频谱分析、模糊数学、小波特征参数等。

三、传动机构设计

随着行星传动的理论研究和制造技术的迅速发展，在渐开线行星传动的基础上，国内外出现了多种齿形的新型行星传动，如渐开线少齿差传动、摆线针轮传动、谐波齿轮传动、活齿传动、偏摆锥齿传动等，而且应用日益广泛。

摆线针轮传动具有体积小、传动比大、承载能力和效率高等优点，当功率不大时可取代蜗杆减速器或普通齿轮减速器；谐波齿轮传动在大传动比减速装置、分度机构、伺服装置、雷达装置和自动控制等高精度传动系统中获得日益广泛的应用；活齿传动属于少齿差传动的一种特殊形式，由于它不需用输出机构因而有效地克服了输出机构给少齿差行星传动带来的缺点，并且传动链也可得到显著缩短，从而使得活齿传动具有结构紧凑、承载能力高、效率高等一系列优点，因而引起国内外科技工作者的极大关注。活齿传动的研究与应用已形成了行星齿轮研究中一个非常活跃的领域，国内亦已有专著及多种专利技术。偏摆锥齿传动是属于少齿差内啮合的一种结构型式，这种新型传动亦无需输出机构，在国外已用于偏摆齿轮电动机上，并在多种形式的偏摆锥齿减速器中获得应用。

四、凸轮机构设计

本世纪 40 年代开始，凸轮机构的动力学受到重视，60 年代以后，计算机辅助设计及辅助制造（CAD/CAM）蓬勃发展，进一步拓宽了凸轮机构的应用范围。

近年来凸轮机构运动规律的研究主要集中在适合高速机构的运动规律方面。

随着 CAD 技术和新算法的出现，已开发出许多实用化的软件，大大提高了设计效率。凸

轮 CAD 软件将根据所选运动规律产生数据文件, 经数控软件处理, 直接传给数控铣床完成凸轮的加工, 这种一体化技术, 保证了凸轮设计与制造的高质量、高效率、低成本。

一系列以凸轮机构为核心部件的系列产品, 如平行凸轮分度装置、圆柱凸轮分度装置、弧面凸轮分度装置、凸轮式机械手、凸轮式自动换刀装置等等, 都得到了开发, 使凸轮机构在自动机中获得日益广泛的应用。

五、机构动力学设计

1. 机构平衡问题

机构达到摆动力完全平衡时, 总质心不动, 就需要配重。平面机构配重数选择的结论是: 对于没有特殊结构的 n 杆机构, 可以用 $n/2$ 个配重以达到平衡。机构摆动力完全平衡时的配重数目小于构件的数目, 这样就有可能对摆动力矩作优化处理, 在一般情况下选择加配重的构件应尽可能靠近固定铰链。

为了改善机构中摆动力矩的平衡, 考虑在摆动力完全平衡的四杆机构中降低角动量的波动。也可以考虑在构件尺度不变的前提下, 输出构件及连杆的质量分布保持在某一范围内, 可达到摆动力矩的最小均方值等等。

2. 机构中弹性构件动力学的研究

随着现代机械减轻质量、提高运转速度和精度的需求日益增长, 把连杆机构视为刚体系统分析和设计的传统方法已不能适应要求。弹性连杆机构动力学作为多柔性系统动力学的应用研究, 是现代机械设计的一个基础理论部分, 它的任务是研究机构构件被看作弹性件时在外力作用下的真实运动和受力情况, 以及相应的设计方法。弹性机构系统的研究最初始于航空航天领域, 国外机构学界从 60 年代开始了弹性连杆机构研究热潮。70 年代初结构分析的有限元方法引入机构分析领域, 这是机构弹性动力学近期研究的开始。近 20 年来, 弹性连杆机构动力学研究取得了很大发展, 目前连杆机构弹性动力学分析可分为基本方法和精确方法。在基本方法中, 忽略了刚体运动和弹性变形运动的耦合项, 把机构一系列离散位置看作一系列瞬时结构, 坐标变换矩阵被看作常数阵。在精确方法中, 主要计入了刚体运动与弹性变形运动的耦合项, 舍弃了瞬时结构的假定, 坐标变换矩阵被看作时间的函数, 得到的动力学方程则较复杂。在弹性连杆机构动力学研究中, 除了采用有限元模型外, 结构动力学的部件模态综合技术亦被应用。模态综合技术首先在宇航工程上得到应用, 目前已普及应用于复杂结构的动态分析。

六、机器人机构的设计

机器人设计中的机构学问题有: 研究空间开链多自由度机构的自由度计算方法、运动学和动力学; 研究机械手夹持器的结构、夹持原理和计算方法; 研究机械手的定位精度、缓冲装置和运动稳定性等问题; 灵巧机械手的研究; 在各种条件下如路面不平、上下楼梯和小角度转弯等, 都能灵活地执行复杂动作的行走机构的分析与综合, 进一步研究机器人的控制方法和计算方法; 对智能机器人的研究, 使它具有对环境、状态的感觉和识别能力, 并对作业进行自动的检查; 对其控制系统的控制方法和计算方法的研究等。

七、组合机构的设计问题

组合机构在近 20 年来的进展是迅速的, 已经出现了不少专著与专利。

由于组合机构能实现的运动特征不是单一的机构所能实现的, 它能满足各种机械行业如轻工、纺织、印刷等生产上对机构运动学的要求, 因而十分需要研究开发。就广义来说, 组

合机构的开发除了刚性机构的组合外，尚应包括机、电、液等各种新型的组合机构。

在组合机构的结构类型综合方面也进行了详细的探讨，如齿轮连杆机构的类型综合的研究等。典型齿轮连杆机构分析与综合的数学模型及专用的设计线图数据，由三种以上基本机构如凸轮、齿轮和连杆组成的组合机构。带挠性件的差动机构在纺织行业中应用较多，其空间组合机构的研究已经有了个别品种如双齿球面五杆机构的研究等。

八、机构优化设计

优化设计给机构设计提供了一个有力的工具。优化技术理论的发展主要集中在两个方面，一是探索更完善的优化方法，以使用方便、收敛性好、运算时间短为目标；另一方面是力求准备建立通用的优化程序，以便使机构优化设计进入广泛的工程实用阶段。在机构优化设计领域中，近年来机构优化设计向纵深发展，优化设计已全面扩展到连杆、凸轮、齿轮、轮系和间歇运动机构等各种平面机构领域，空间机构中已发展到对空间四杆机构、球面机构、蜗轮蜗杆进行优化设计的研究。

第二章 运动规律设计与创造性

第一节 功能原理设计、运动规律设计与机构综合之间的关系

一、功能原理设计与运动规律设计之间的关系

根据使用要求或工艺要求设计机构时,首先考虑的是采用什么功能原理来实现这些要求。显然,采用不同的功能原理,其所要求的运动规律设计必然也不同,如第一章所讨论的泵,如采用的功能原理是用机械能迫使水向上流动,则要求有一个高速旋转的叶片,当叶片带动水(液体)旋转时产生离心力,把水从井中扬到地上,因此设计时就需要有一定转速的转动运动规律,若采用的功能原理是不断改变容器的容积,当容积扩大时吸水,容积缩小时加压把水压向高处的容积式泵时,就要考虑改变容积的运动规律设计。改变容积的运动规律可以有多种,如可以设计成在构件往复移动时改变容积,或在往复摆动时改变容积,也可以设计成

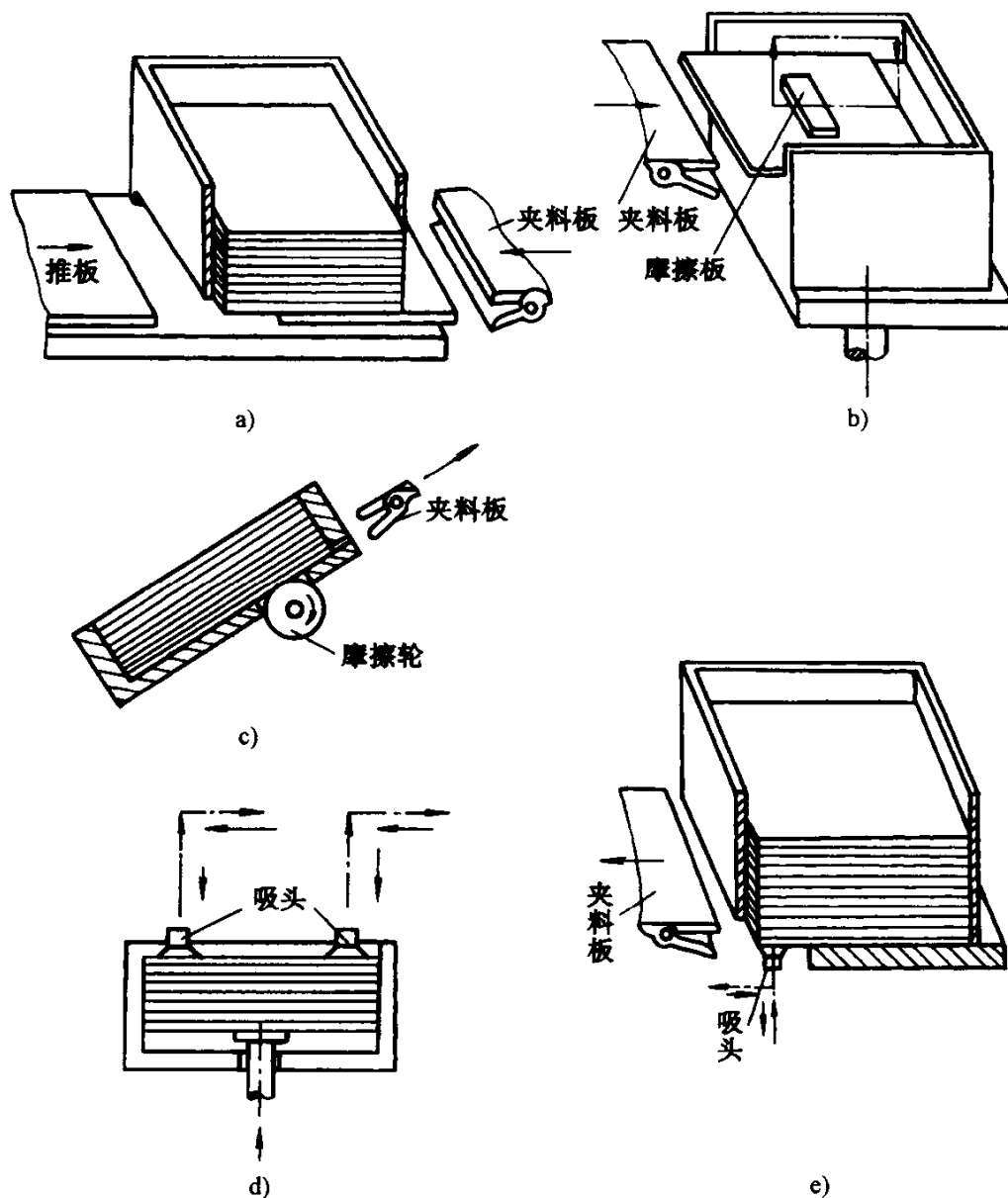


图 2-1 板料上料机构

在旋转过程中改变容积。这些就是众所周知的往复泵、摆动泵和旋转泵。

在实际工作中，要设计的机械往往比较复杂，其使用要求或工艺要求往往需要很多功能原理组合成一个总的功能原理来完成，如常见的自动机，通常有自动上料、加工、检测、下料等工艺要求，而每种工艺均要求由一组功能原理来实现。例如，图 2-1 所示为自动机自动输送板料的上料机构，显然采用不同的功能原理（或实现上料的办法），其所要求的运动规律也必然不同。图 2-1a 为采用底推送料，推出后用夹料板抽走；图 2-1b 用摩擦板在顶层推出最上的一张板料，待板料边缘推出后，再用夹料板夹走；图 2-1c 用摩擦轮滚出底层的一张板料，待露头后用夹料板抽走；图 2-1d 采用顶吸法吸走顶上第一张板料；图 2-1e 用底层吸取法，吸出板料的边缘后，由夹料板抽走。

从上述几例可知，图 2-1a 用的是机械推压原理，其所需运动规律简单，只需一往复运动。当板料较长时，则还需加一夹料板的抽料运动规律，但这方法只适用于板料有一定厚度的刚性板料。图 2-1b、c 利用摩擦原理分离板料，摩擦板的移动和摩擦轮的转动和移动，其运动规律就比较复杂，如摩擦板要有接近板料的运动、送料运动、退回运动等，其运动轨迹近似于矩形，如图 2-1b 所示，摩擦轮也应有类似的运动规律；图 2-1d、e 利用气吸原理分离并输送板料，它也要求吸头作“L”形运动规律，当板料为钢时，还可以用磁吸。

由上述二例可见，选择不同的功能原理，将有不同的运动规律，它们都可以满足使用要

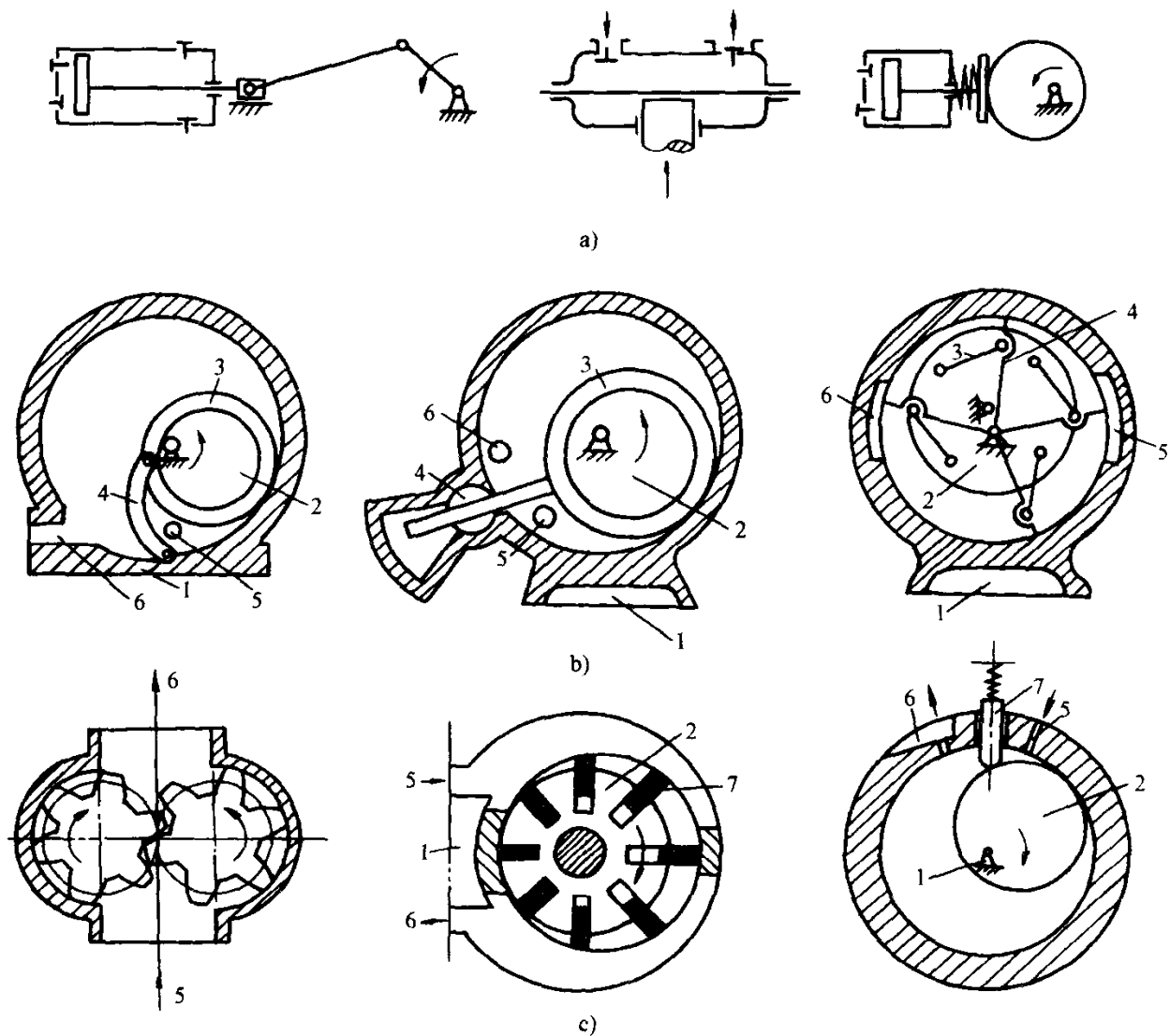


图 2-2 各种容积式泵

a) 往复移动改变容积 b) 用往复摆动改变容积 c) 其它方法改变容积

1—机架 2—主动偏心曲柄 3—连杆 4—摇杆 5—输入口 6—输出口 7—滑片

求，应进行分析比较，设计出理想的机构。

二、运动规律设计与机构综合的关系

运动规律设计得不同，综合出的机构也就完全不同，这是容易理解的。但是不同的机构却可以实现同一运动规律，满足同样的使用要求，因此就需要从各种运动性能来评价这些机构，以便从中选择一个最优的机构。

在按容积改变原理设计泵时，可以采用不同的运动规律来改变容积，从而改变流体的压力。如采用构件的往复移动改变容积，则如图 2-2a 所示，有三种不同的机构，可组成有相同运动规律的泵，即由曲柄滑块机构组成的往复泵、由电磁铁和弹簧组成的隔膜泵及用凸轮驱动的往复泵。图 2-2b 为三种采用构件的往复摆动改变容积的泵。第一种是一个曲柄摇杆机构，主动偏心曲柄 2 转动时改变着摇杆 4 左右两边的容积，当左边容积最大时，流体的输入口 5 被遮住，随着构件 2 的转动，此容积逐渐缩小而把流体从输出口 6 压出；同时另一边的容积逐渐增大，而流体从输入口 5 中吸入。第二种为曲柄摇块机构，其连杆 3 往复摆动，配合主动偏心曲柄 2 转动改变左右两边的容积，将流体从输入口 5 吸入，输出口 6 压出。第三种由多个双曲柄机构组成，图 2-2b 中主动构件（曲柄）2 上均布四个曲柄销，分别带动四个摇杆 4，由于四个摇杆在各相位时，旋转快慢不同，故摇杆间的容积也在不断变化，从而从输入口 5 吸入和从输出口 6 压出液体。图 2-2c 为采用旋转运动规律改变容积的泵。第一种为齿轮泵，当一对齿轮转动时，两边的齿间中的储油向出口处 6 输送，啮合处的齿将两侧的油封住，油不能通过啮合点，脱啮后的齿间逐渐增大容积而从入口 5 处吸入油；第二种为滑片泵，当主动偏心曲柄 2 在转动时，滑片 7 随转动而在槽中伸缩，同时由偏心壳体而引起的滑片间容积的变化，不断地从输入口 5 吸入和从输出口 6 压出液体；第三种为偏心旋转泵，主动构件 2 在旋转时，用滑片 7 将空间分成两部分，随着滑片的伸缩引起旋转空间的容积变化，而起到泵的效用。

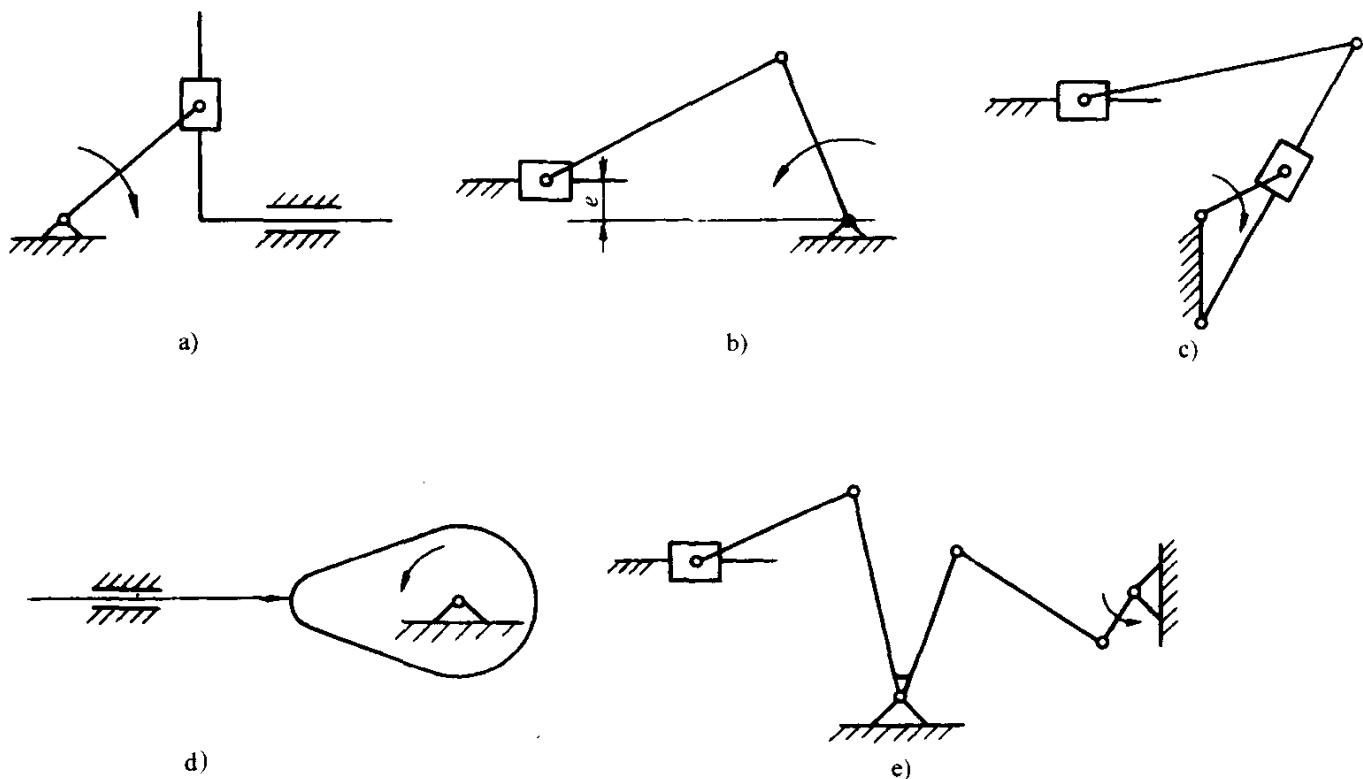


图 2-3 实现往复运动的机构

上面仅举了3种不同的运动规律、9种机构组成的泵,实际上各种运动规律还可以举出更多的机构。例如图2-3a所示正弦机构也可以实现往复运动规律,图2-3b~e所示各种机构,则除可以实现往复运动规律外,还具有急回特性,因而可以提高生产率。这些实例不胜枚举,但是否都能应用,则要视具体情况而定。如上面所举的各种泵,都是为了满足各种特性要求而设计的,又在不同的范围中使用,当然也有些已被淘汰。不过有的虽曾被淘汰,但由于在某些方面作了些改进,目前又变成了先进的泵,如图2-2c中的第三种泵。这个例子以后还要提到,由此可见机构的创新还是很有潜力的。

第二节 按工艺要求或使用要求制定运动规律的原则和步骤

机构设计之路,首先着重于运动规律设计,进而考虑其型式及尺寸综合。一般在运动规律设计阶段,可遵循以下几个原则和步骤:

1) 根据完成工艺要求,制定合理的运动规律(即工艺动作)。这种工艺动作应尽可能简单,这样使设计出的机构也比较简单。例如,在机床设计中,为实现外圆柱面的切削成形,刀具和工件可作图2-4所示几种相对运动。显然,采取图2-4a所示的运动规律设计比较合理,因为旋转运动和直线运动最简单,它可以通过主轴的旋转、刀架或工作台直线运动的形式实现,一般车床均采用这种设计。

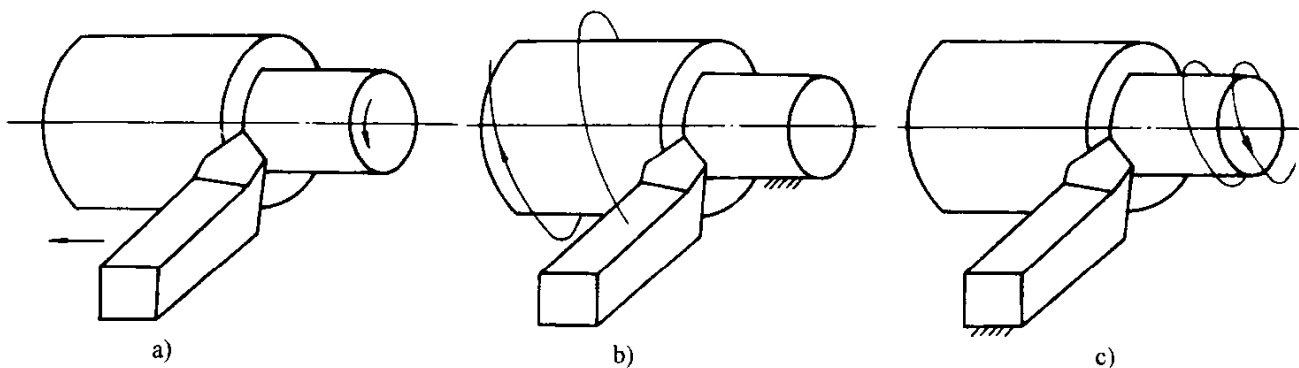


图2-4 圆柱体外圆柱面切削成形的几种运动形式

- a) 工件旋转, 刀具作直线运动 b) 工件固定, 刀具作螺旋运动
c) 刀具固定, 工件作螺旋运动

又如要分选不同直径的钢珠,设计人员为了避免设计测量各种钢珠尺寸的动作,让钢珠沿着两斜放的不等距棒条滚动,当小钢珠沿该棒条移动时,由于棒条夹不住而靠自重先行落下,大一些的钢珠则可多移动一段距离。钢珠落下的先后与其直径大小成比例。此法成功地达到了钢珠尺寸分级的目的,如图2-5所示,设计人员只要设计一钢珠输送动作即可。

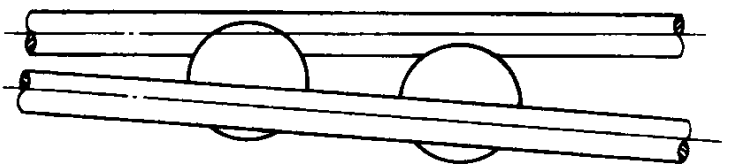


图2-5 钢珠尺寸分选示意图

由此可见制定合理的运动规律对设计机构的重要性。

2) 把复杂的运动规律(工艺动作)进行分解。在运动规律的设计过程中,往往发现使用要求所需的是一种复杂的运动规律。为了使设计的机构简单紧凑、便于加工并易获得高精度,通常需要将这种运动规律分解成转动、摆动或移动等比较简单的运动规律。例如,要求设计

一个计算机的绘图机，它能按计算机的指令绘出各种曲线 $y=f(x)$ 。最方便的办法是把复杂的曲线运动规律，分解成 x 、 y 两个方向的移动，这就是小型绘图机的机构，如图 2-6a 所示。这种绘图机纸不动，绘笔作 x 、 y 两个方向的运动。但也可以把这个曲线运动规律分解成沿 x 轴的移动和绕 X 轴的转动，如图 2-6b 所示的大型绘图机。它是使笔作 x 轴移动，而把纸绕在卷筒上，让纸作往复转动而绘成各种曲线。由此可知，同一个运动规律，可以分解成各种不同的简单运动，从而设计出结构完全不同而又具有相同使用要求的机构。当然，由于机构的不同，使用的范围也就有差别，前者用于小型绘图机，而后者用于可以绘各种不同大小图样的大型绘图机。

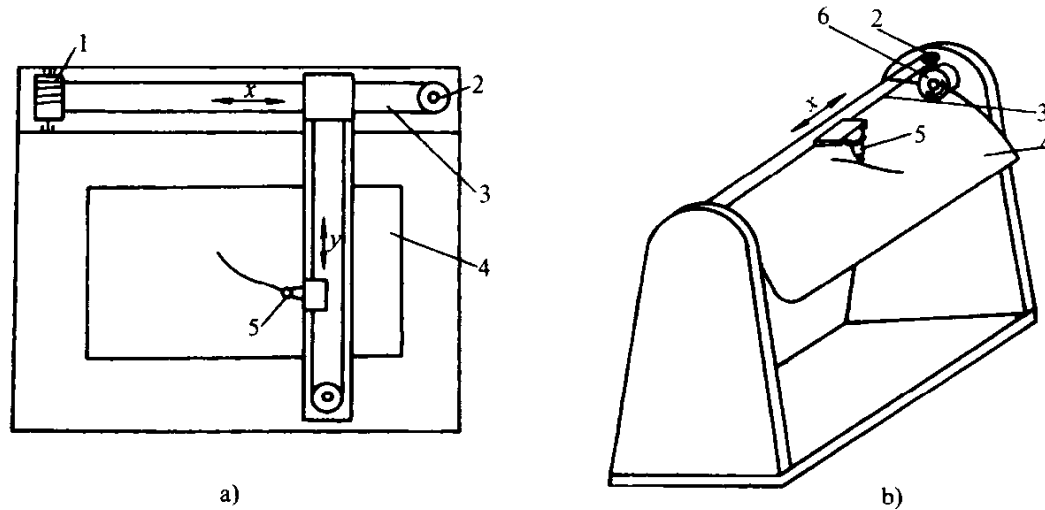


图 2-6 计算机绘图机

1—主动轮 2—从动轮 3—钢丝 4—纸 5—笔 6—带纸移动的主动轮

类似的例子还有很多，如机械手的设计，由于运动分解方式的不同，就有直角坐标、圆柱坐标及极坐标等运动规律方案设计，对应的实现机构也就不同。

3) 把分解后的运动规律进行分配。分解后的运动由哪些机构来完成也是一个重要的问题，它直接影响到机器的繁简和性能等。值得注意的是，在新技术不断涌现的今天，进行运动规律分配时，不应仅局限于机构，广泛使用电、光、气、声等手段是现代机器设计的一个重要特征，不可忽视。比如，在有些需要位置（长度、角度、线位移、角位移）检测的地方，使用电测方法已很成功。它将非电量通过传感器转换为电量（电压、电流等），然后作必要的处理，得到测量结果，不但精度高，而且易于储存和分析，必要时还可以根据监测结果对执行构件的运动进行调节，使整机得到较高的技术指标。但也应当看到，并不是任何地方使用非机构装置都会取得好的结果，重要的是，应尽可能地了解各种方法的优缺点，对具体的设计对象作具体分析，择优使用。

另一方面，在运动规律设计阶段，应充分考虑到被加工工件的运动，使它也参与到工艺动作的运动规律设计中，这样有时会大大简化机构的复杂程度，上面提到的钢珠尺寸分级即为一例。

4) 使分解后的运动规律协调配合（合成）。运动规律分解并设计出实现各分解运动规律的机构后，还需要有一个控制机构，使分散的运动协调地工作。为了便于设计控制机构，通常需先设计并绘制运动循环图。在控制方法上，可以采用机械控制（如分配轴），也可以采用电气控制，复杂的可以采用计算机控制。