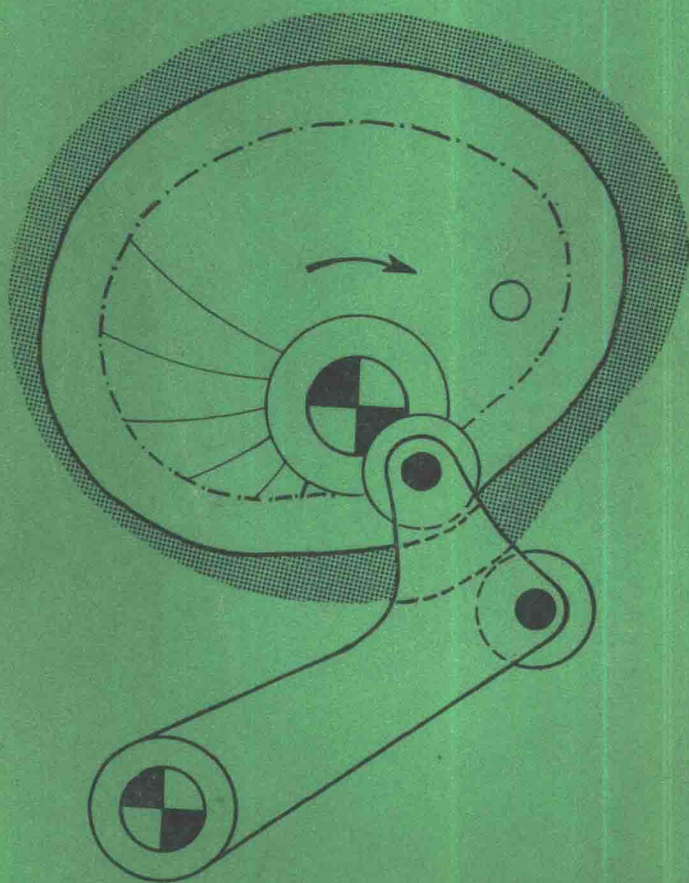


凸 轮 机 构

〔东德〕 J. 伏尔默 等著



机 械 工 业 出 版 社

凸 轮 机 构

〔东德〕 J. 伏尔默 等著

郭连声 柴邦衡 译

周海鹏 校



机 械 工 业 出 版 社

本书是东德柏林技术出版社出版的“机构学丛书”之一。它系统地阐述了凸轮机构设计的理论基础和现代凸轮机构的设计、制造方法，并附有大量实例和图表，具有实用手册性质。

全书共分八章，内容如下：绪论、工作步骤和方法、分类、运动规律、运动学尺寸的确定、动态静力分析和振动分析、结构设计、制造工艺。

本书可供机械工程技术人員参考，也可供大专院校有关专业师生参考。

GETRIEBE TECHNIK

Kurvengerie

Johannes Volmer

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

1 9 7 6

※ ※ ※

凸 轮 机 构

〔东德〕J. 伏尔默 等著

郭连声 柴邦衡 译

周海鹏 校

※

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可証出字第 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 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印张 $6 \frac{5}{8}$ · 字数 169 千字

1983年12月北京第一版·1983年12月北京第一次印刷

印数 00,001—12,100 · 定价 1.00 元

※

统一书号：15033·5523

译者的话

多年来，国内从事凸轮设计和制造的技术人员，深感缺乏内容深入而实用的参考资料。同时，近代凸轮设计和制造方法已有很大发展，这方面的成果尚未系统地介绍给我国读者。翻译这本书，正是为了弥补这种不足。

本书在内容安排上，紧紧围绕凸轮设计和制造的需要，既系统地介绍了必要的理论知识，又详细介绍了凸轮廓线设计、构件强度计算、结构设计和制造工艺等实用知识；既注重技术内容，又注重方法。在文字叙述上，力求简明扼要，并辅以大量的实用图表，因而又具有手册的特点。

书中引述的概念和方法，与“机械工程手册”及各种“机械原理”教材，多有不同之处。我们仅对其中较疑难者加了注释。此外，本书引用了大量的东德标准和资料，与我国情况不尽相符，这些均望读者注意。

在本书翻译过程中，得到了吉林工业大学一些同志的热情帮助，特别是情报工程教研室周海鹏付教授对全书进行了仔细的校订，机械原理教研室袁佳朝付教授在专业内容及名词术语方面提出了许多宝贵意见。在此，谨向这些同志致以衷心的感谢。

译文错误或不当之处，恳请读者批评指正。

郭连声 柴邦衡

1981. 9

前 言

编写这本凸轮机构专集的目的，是向凸轮机构对产品的功效起决定性作用的那些工业部门的设计师和工艺师们，提供一册有科学基础而且实用的凸轮机构的计算、设计与制造指南。编著者曾尽力从丰富的各国技术文献中出现的理论和实际研究结果中选取资料和方法，并以简明的方式加以阐述。对于从第一张设计草图开始直到合理地制造出来，并在运行中经受过考验的一种凸轮机构的研制工作来说，这些资料和方法都是非常重要的。其中，凸轮机构常用的各种类型的加工机床也有着重要地位。由于有了手册的这种特点，本书应该认为是 1964 年同一出版社出版、且在实践中应用卓有成效的由 W. 海特与 P. 奥勃斯特所著“凸轮机构的设计与制造”一书的改编本。

近年来有了很大的进展，如利用电子计算机对最佳参数进行合理计算；在具有数控装置或极其精确的仿形装置的贵重机床上加工凸轮体等等。本专集考虑了这种发展，并且还编入了最近制订的关于凸轮机构的德意志民主共和国标准、最新研究成功的合理化加工方法和现有加工设备的有关内容。

本专集因其内容范围所限，对一系列特殊要求尚留而未决，然而，在许多章节中已说明了发展趋势，因为凸轮机构还远未达到它的性能极限。

本书不仅可被工业部门中的设计师和工艺师们用作手册，而且对于机械制造专业的大学生来说，也是机构学教材和机构学入门等有关章节的很有用的补充读物。

编著者对支持本书的编写而提出过宝贵建议的所有技术同行们表示感谢。对于德意志民主共和国技术局(KDT)凸轮机构工作组的各位成员尤表谢意。他们曾在罗斯托克大学教授、科技博士于尔格·缪勒的主持下，在对书稿进行的讨论和审订中，做出了宝贵的贡献。在书稿的迅速编辑加工和绝妙的装璜方面，应对国营技术出版社予以致谢。

约翰纳斯·伏尔默

目 录

第一章 绪论	1
第二章 凸轮机构的计算、设计和制造	3
2.1 工作步骤	3
2.2 合理化方法	6
第三章 凸轮机构的分类	8
3.1 基本概念和名称	8
3.1.1 平面和空间凸轮机构的基本构造	8
3.1.2 凸轮构件	9
3.1.3 接触构件	9
3.1.4 强制运动的保证	13
3.2 三构件平面凸轮机构	15
3.3 多构件平面凸轮机构	16
3.4 三构件空间凸轮机构	19
3.5 凸轮机构与其他种类机构的组合	19
第四章 运动问题	22
4.1 用作传动机构的凸轮机构	22
4.2 凸轮机构的典型运动问题	25
4.3 传动函数	26
4.3.1 标准传动函数	27
4.3.2 标准传动函数的运动学特性值	29
4.3.3 运动方程式	33
4.3.4 标准对称传动函数	34
4.3.4.1 指数函数	34
4.3.4.2 三角函数运动规律	40
4.3.5 非对称传动函数	42
4.3.6 给定若干点的传动函数	46
4.3.7 升程时间的延长	46
4.3.8 运动方程式函数值的确定	47
4.3.9 标准传动函数的比较	47

第五章 尺寸的确定	59
5.1 评价指标和特性参数	59
5.2 运动学尺寸	60
5.3 利用传动角确定运动学尺寸	64
5.3.1 理论基础	64
5.3.2 根据弗洛克近似法确定平面凸轮机构的运动学尺寸	65
5.3.3 圆柱凸轮机构运动学尺寸的确定	68
5.4 平面三构件凸轮机构凸轮廓线(工作曲线)的确定	69
5.4.1 作图法	69
5.4.1.1 滚子摇杆凸轮机构的理论廓线	72
5.4.1.2 滚子挺杆凸轮机构的理论廓线	76
5.4.1.3 工作曲线	79
5.4.1.4 具有外形相同的主凸轮和回凸轮的凸轮机构	80
5.4.1.5 具有特殊形状的凸轮体的凸轮机构	86
5.4.2 算法	87
5.4.2.1 滚子中心轨迹方程式	88
5.4.2.2 工作曲线方程式	90
5.4.2.3 传动角 μ	91
5.4.2.4 理论廓线的曲率半径 ρ_{B32}	92
5.4.2.5 工作曲线的曲率半径 ρ_A	92
5.4.2.6 尖顶的形成、根切	93
5.5 空间三构件凸轮机构凸轮廓线(工作曲线)的确定	93
5.5.1 作图法	94
5.5.2 算法	97
第六章 凸轮机构的动态静力分析和振动分析	99
6.1 引论	99
6.2 动态静力学	99
6.2.1 作用力的规则	99
6.2.2 凸轮体和接触构件的载荷	100
6.2.3 滚子的载荷	108
6.2.4 凸轮副上的接触应力	109
6.2.5 驱动力矩	112
6.3 力封闭的凸轮机构中弹簧的计算	113

6.3.1 按惯性力计算弹簧	114
6.3.2 按力场和惯性力计算弹簧	116
6.3.3 考虑接触构件弹性时弹簧的计算	117
6.4 振动分析	118
6.4.1 凸轮机构中的振动	118
6.4.2 振动计算	119
6.4.3 振动的测量	122
6.4.4 不利振动的消除	124
第七章 结构设计	128
7.1 引论	128
7.2 凸轮体	129
7.2.1 图纸上的说明	129
7.2.1.1 车间工作图	131
7.2.1.2 靠模图	131
7.2.1.3 毛坯图	132
7.2.2 平面凸轮机构的凸轮体	133
7.2.2.1 盘形凸轮	133
7.2.2.2 盘形槽凸轮	136
7.2.2.3 双联盘形凸轮	139
7.2.3 空间凸轮机构的凸轮体	143
7.2.4 在机器上调整凸轮体	144
7.3 接触机件	147
7.3.1 凸轮滚子(接触滚子)	147
7.3.2 滑块	151
7.4 接触构件	152
7.4.1 接触摆杆	152
7.4.2 接触移动杆	153
7.5 凸轮机构的使用寿命	156
7.6 凸轮体和凸轮滚子材料的选择	160
7.7 凸轮体的精度等级	162
第八章 凸轮的制造	164
8.1 加工过程	164
8.2 加工准备	166

8.2.1	设计条件	166
8.2.2	工艺准备	166
8.3	用仿形机床加工凸轮体	167
8.3.1	仿形机床的构造和工作方式	167
8.3.1.1	仿形铣床	167
8.3.1.2	仿形磨床	171
8.3.2	靠模的制造	171
8.3.2.1	概况	171
8.3.2.2	手工制作	173
8.3.2.3	用座标镗床钻孔	174
8.3.2.4	用数控机床加工	174
8.3.2.5	控制靠模	174
8.3.2.6	空间靠模	175
8.3.3	仿形铣削	176
8.3.3.1	预加工	176
8.3.3.2	铣刀和切削用量	177
8.3.3.3	特殊凸轮体	178
8.3.4	仿形磨削	180
8.3.5	经济的使用	180
8.4	双联盘形凸轮的磨削	181
8.5	在数控机床上加工凸轮	182
8.5.1	条件和适用的机床	182
8.5.2	程序的编制和程序的检验	182
8.5.3	数控铣削	183
8.5.4	数控磨削	184
8.6	表面处理和热处理	184
8.7	凸轮体的质量检查	184
8.7.1	比较测量法	185
8.7.2	功能检验	186
8.7.3	直接测量法	186
8.7.4	测量机和自动测量装置	187
文献索引		188
德汉辞汇表		195

第一章 绪 论

高效率的机械化和自动化生产设备的发展，要求专业技术人员具有丰富的机构学知识，因为机构常常是使机器和仪器的效能受到限制的部件。在这方面，凸轮机构具有特殊的意义。同其它机构型式相比，由于凸轮机构具有一系列优点，因此在切削和加工机床以及在仪器中，它是应用最广的一种机构型式。如在复印机、纺织机械和包装机上，绝大多数工作机件都是由凸轮机构来可靠地带动的。在一些机床上，也依靠凸轮机构来控制刀具的运动。

利用凸轮机构以及利用凸轮机构和其他型式的机构组合，可以在最大程度任意设计凸轮构件形状的基础上，几乎能够精确地实现所有的运动规律。凸轮机构主要用作传动机构，并且用于具有等速运动而大多数是回转式驱动装置的情况下。在很大范围内的各种非等速运动都可以作为从动运动，如有停车或无停车（停歇）的摆动或绕行运动、有瞬时停车的步进运动、步进运动和先后后退的步进运动。此外，凸轮机构也适于用作导向机构，例如使工作机件通过预定位置或预定轨迹。还应指出，凸轮机构具有构件少和空间体积小等突出特点。在功效更高的机器和仪器不断发展的情况下，对凸轮机构又提出了更高的要求。因此，本专集应该用来使设计师和技术人员经常能够选择最适用的凸轮机构型式，并能以合理的方式（例如采用电子计算机技术）来确定机构的最佳参数。此外，在机构零件的结构设计以及加工准备和生产制造等方面，它都可提供指导。本书还叙述了材料的经济性和质量保证等问题。为使本书读者对高效能凸轮机构的设计有一个完整的概念，本书第二章简要地阐述了各个工作步骤。

本书在世界各国专业文献中，由数量极大的文章、论文、研

究报告和专著等有关章节，综合成为理论甚至实际研究的一个丰硕成果。这些研究集中在较佳的运动规律的选择问题上（当前特别注意到机构元件的弹性，即凸轮机构的振动性能）以及考虑到应力和使用寿命的最佳尺寸的确定问题上。鉴于本书的宗旨，书中只选载了一些文献的出处。有兴趣者可查 KDT[⊖]“文献编集”工作组所编的“机构学文献情报工作”（领导部门：卡尔·马克思城高等工业学校机构学教研室）。此外，还可仔细查阅“机械制造技术（Maschinenbautechnik）”杂志上 KDT“凸轮机构”工作组发表的各项报告。本书业已同凸轮机构的各项标准〔1.1〕至〔1.13〕协调一致，并象机构学丛书其他书名一样〔1.14〕至〔1.17〕，考虑了由 KDT“机构学概念”工作组制订的各种术语〔1.18〕〔1.19〕。

⊖ Kammer Der Technik，即德意志民主共和国技术局——译者注。

第二章 凸轮机构的计算、 设计和制造

在研制凸轮机构时，从一台机器的第一张草图开始直到经受过考验的结构元件为止，都要经过图 2.1 所示的工作步骤。为了用最经济的方法来获得一种非常有效而可靠并具有相当寿命的凸轮机构，要按所研制的凸轮机构的用途和使用条件，规定在每个工作步骤（即提出要求、确定尺寸所采用的方法、加工方法和材料选择等）中的花费。因此，众所周知的一条基本原则，即一定要**达到必要的精确度**不仅适用于尺寸的确定，而且也同样适用于凸轮体的制造。根据对凸轮机构提出的多种多样且极为不同的要求，要对各个工作步骤在费用方面提出必要的普遍适用的建议，那是有困难的。对于凸轮机构的主要构件，如凸轮体，已经提出了规定精度等级的这类建议〔2.1〕〔2.2〕。

2.1 工 作 步 骤

（1）机构学任务的拟定

设计凸轮机构的起点就是机器线图（周期线图），这张图包括了机器工艺过程以及机器一个工作周期中所要求的工作机件的运动与时间或与机器驱动机构参数（例如其主轴的转角）的关系，由此可引出凸轮机构的运动问题。凸轮机构既可以把工作机件直接装在它的从动件旁，也可以通过中间连接的等速或非等速传动机构来推动这种工作机件。

因此，机构学的任务包括了把运动问题（用运动线图或运动特性曲线图来表示）作为确定凸轮机构运动学尺寸的先决条件，此外还包括了凸轮机构计算和制造的特性参数（选择的评价指标）。特性参数可以是：

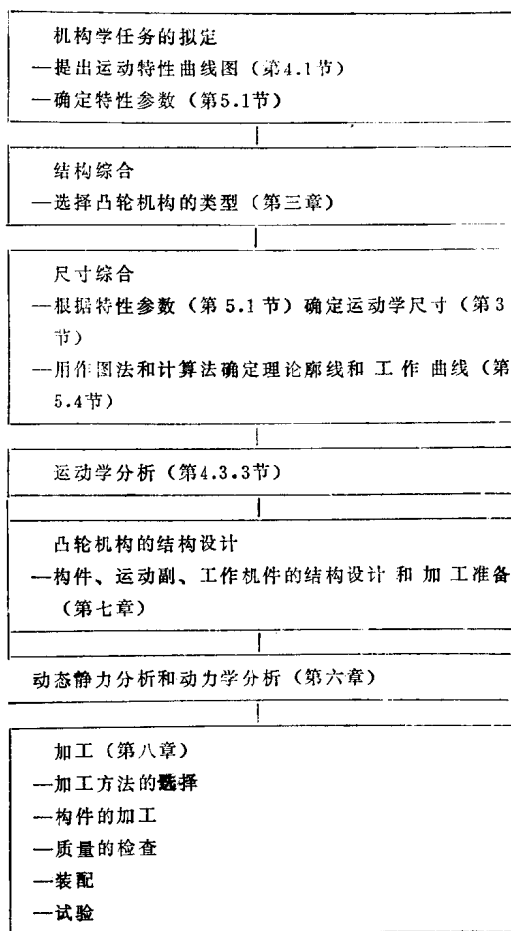


图2.1 凸轮机构的计算、设计和加工过程

对运动过程的要求 (如速度和加速度的规定值, 以及运动规律)、允许的空间、尺寸 (如摆杆长度和滚子直径)、传动角、许用接触应力、许用驱动扭矩、动力学特性参数、经济特性指标、材料的规定、制造精度、表面光洁度等。

(2) 结构综合

对于机构学任务来说, 是要选择适当的凸轮机构的类型。为

此,选择的指标是:

1) 主动件和从动件轴的位置,据以选择平面、球面或普通的空间凸轮机构。

2) 运动规律的种类(停-升-停运动、先退后进式步进运动、步进运动、瞬时停车的步进运动),据以选择三构件、多构件或组合式凸轮机构。

3) 主动件的运动种类和形式(绕行、摆动、转动、移动),据以选择例如具有盘形凸轮、摆杆凸轮或移动杆凸轮的凸轮机构。

(3) 尺寸的综合

对于所提出的机构学任务,要根据传动角参数来确定已选定凸轮类型的运动学尺寸,以保证凸轮机构的运行性能,同时也要考虑其他特性参数,如载荷、运转平稳性、传动质量。

理论廓线和凸轮廓线(工作曲线)可用作图法或算法求得,为此,建议使用电子计算机来计算(参阅第2.2节)。因而可以使控制数控机床的数据载体的制造与凸轮体的加工联系起来(参阅第8.5节)。

(4) 运动学分析

这种分析提供了凸轮机构运动学参数的实际值,并用来使这些数值同计划任务的参数对比,如果没有满足对凸轮机构所提出的要求的话,就要重新确定它的尺寸。这项工作要在尺寸综合的范围内实现,同时在战略上可以在计算机上用最优化方法来进行。各运动学参数可利用人所周知的算法(参阅第4.3.3节),以手工或用计算机来分析。

(5) 凸轮机构的结构设计

凸轮机构的构件、运动副以及轴承和传递机件都要进行结构设计。这时必须考虑到以后在机器上的安装、更换的方便性、调整、润滑、现有的加工可能性和其他一些因素。在设计时,还必须利用标准和其他规范。

(6) 动态静力分析和动力学分析

凸轮机构构件经过结构设计,它的质量参数(质量、重心位

置和惯性矩)和弹性就确定了,因而至此就可以进行动态静力学和动力学参数的分析。功能模式的测量也属于这类工作。假如这些认定还不能充分满足计划任务的要求,就必须修改尺寸。

(7) 加工

作为加工准备,要制定工艺方案,必要时还要制造样板和夹具。已加工好的零件必须加以检验(质量检验),组装好的凸轮机构必须在有关效能以及是否满足所要求的运动学、动态静力学和动力学参数方面进行检查。

2.2 合理化方法

凸轮机构的运动学和动力学参数的全面分析及其最优化是大量复杂的计算工作分不开的,因此,只有利用电子计算机才能经济地进行工作。数字式电子计算机已表明特别适宜于机构学问题的求解。现今,这种计算机由于有很高的运算速度和很大的存储器,利用了程序系统就可以在几分钟之内计算出一定机构型式(如凸轮机构^[2.3]、连杆机构^[2.4]^[2.5]、齿轮连杆机构^[2.6])的任意一种机构结构的运动学和动力学参数。

对于高效能凸轮机构尤其应该推荐应用这种程序系统,因为满足凸轮构件和运动副的最佳尺寸、材料耗费最少、使用寿命长等要求的机构就可以很快地研究出来。至于这种计算的成本,同用手工来解决这些问题相比较是很低的。此外,程序系统在这方面还为用户提供了最有利的使用条件,所要求的数据和要计算的参数可以按照简单的规程记入表格。如果设计师要解决特殊的机构学问题,就要在程序编制者那里进行有关机构学方面的商讨。

计算机的外围设备,可以给用户以最便利的方式,从打印表格到通过自动绘图仪($x-y$ 记录仪)的制图直至对话式显像器(显示器)上的图象,有选择地输出结果。通过这个显像器便可极方便而迅速地 toward 运算人报告数据,主要是为了用对话式的,也即系统重复分析来使所确定的机构参数接近预定的数值。在分析由运动学尺寸和传动函数决定的凸轮机构时,凸轮体的尺寸以及

运动学和动力学参数都是已知的；而在综合时，凸轮机构尺寸却是对于规定的指标（如传动角、驱动扭矩或凸轮副中的应力）求得的。对凸轮机构的分析和综合有一种可使用的计算程序是 KUGASY 程序^[2,3]。它是由 KUGANA 和 KUGSYN 分程序组成的。KUGANA（凸轮机构分析）计算程序，可以计算理论廓线、工作曲线及其曲率、传动角和其他特性参数，还可以进行各种型式的凸轮机构的整套运动学和动态静力学分析，计算数值可作为打印表格，也可以作为在数控机床上加工凸轮体的凸轮廓线和靠模用的穿孔带来输出。KUGSYN（凸轮机构综合）计算程序，是一种根据凸轮副应力这一主要指标来计算凸轮机构的程序。

第三章 凸轮机构的分类

3.1 基本概念和名称

3.1.1 平面和空间凸轮机构的基本构造

凸轮机构在其基本型式上,是由三个构件组成,即**系杆**、**凸轮构件**和**接触构件**(图 3.1 a),而在传动机构的标准情况下,这些构件是**机架**、**主动件**和**从动件**(图 3.1 b)。

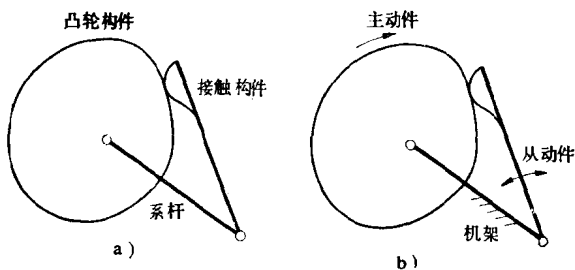


图3.1 凸轮机构的构造

a) 基本型式 b) 传动机构的标准情况

主动件和从动件可以在机架上转动或滑动,即通过转动副或移动副与机架相连接。凸轮构件和接触构件之间的运动副是一个凸轮副(即滑动转动副)。把一个滚子加入作为传递机件 $\ominus$,可以减少或消除凸轮副中的滑动。

凸轮构件是一个具有规定运动的凸轮廓线的机构元件,但接触构件也可以拥有凸轮廓线。

凸轮构件和接触构件在系杆上的回转轴线可以是平行的、相交的或交叉的。凸轮构件和接触构件轴线的这种相互位置,是区别平面、球形或一般空间凸轮机构的标志。

$\ominus$ 传递机件起着不影响机构运动过程的辅助作用(特殊功能) [3.1]。