

机 7- (二)

高等学校教学参考书

机 械 原 理

上 册

西北工业大学等校编

人民教育出版社

本书系以西北工业大学机械原理及机械零件教研组所编的“机械原理”(1960年版)为基础,于1961年3月间,经过西北工业大学、天津大学、哈尔滨工业大学、太原工学院、山东工学院、浙江大学、南京工学院等校机械原理课程的有关教师集体修改后而出版的。修改时注意吸取了各校几年来教育革命的成果,并选用了部分院校所编教材中的某些内容,1962年4月编者又根据半年来各校教师在使用本书时提出的意见作了局部修改。

全书共计十三章,分上、下两册出版。上册包括:绪论,机构的结构分析,机械中的摩擦,平面机构的运动分析,平面机构的动态静力分析,机组的运转和调速,机械的平衡,凸轮机构及其设计等八章;下册包括:齿轮机构及其设计,轮系及其设计,平面连杆机构及其设计,间歇传动机构及其他常用机构等五章。

机 械 原 理

上 册

西北工业大学等校编

人民教育出版社出版(北京沙滩后街)

民族印刷厂印装

新华书店北京发行所发行

统一书号K15010·1000 开本850×1168 1/32 印张8 4/16

字数218,000 印数107,001—157,000 定价(7)¥0.95

1960年9月合订本第1版(53,000册)

1961年6月第1版 1972年11月北京第11次印刷

重 印 说 明

本书系文化大革命前原高等教育出版社出版。为了适应当前读者的需要，现由我社按原版重印，供教学参考。

人民教育出版社

一九七二年十一月

上册目录

第一章 绪论	1
§ 1-1 本课程研究的内容	1
§ 1-2 学习本课程的目的	4
§ 1-3 如何进行本课程的学习	5
§ 1-4 我国机械原理发展简史	6
第二章 机构的结构分析	9
§ 2-1 研究机构结构分析的目的	9
§ 2-2 运动副及其分类	10
§ 2-3 运动链及其自由度	13
§ 2-4 机构及其具有确定运动的条件	15
§ 2-5 计算机构活动度时应注意的事项	18
§ 2-6 以低副代替高副的方法	21
§ 2-7 机构的组成原理及其分类概述	24
§ 2-8 机构简图	28
习题	30
第三章 机械中的摩擦	33
§ 3-1 概述	33
§ 3-2 移动副中的摩擦	35
§ 3-3 回转副中的摩擦	37
§ 3-4 螺旋副中的摩擦	48
§ 3-5 柔韧体的摩擦	53
§ 3-6 机械及机组的效率	57
§ 3-7 机械的自锁	67
§ 3-8 摩擦在机械工程中的应用	75
习题	78
第四章 平面机构的运动分析	82
§ 4-1 概述	82
§ 4-2 瞬时中心及其在机构速度分析上的应用	83
§ 4-3 用相对运动图解法分析机构的运动	88
§ 4-4 法向加速度及哥氏加速度的图解求法	101

§ 4-5 曲柄滑块机构的运动分析	104
§ 4-6 机构的运动线图	106
§ 4-7 图解微分与图解积分	108
习题	113
第五章 平面机构的动态静力分析	118
§ 5-1 概述	118
§ 5-2 构件惯性力的确定	120
§ 5-3 质量代换法	121
§ 5-4 平面运动链的静定条件	128
§ 5-5 平面机构的动态静力分析	130
§ 5-6 茹科夫斯基杠杆	134
习题	137
第六章 机組的运转和调速	140
§ 6-1 研究机組运转和调速的目的	140
§ 6-2 等效质量及等效转动惯量	142
§ 6-3 等效力及等效力偶	147
§ 6-4 在已知外力作用下机組的运动	151
§ 6-5 机組运转速率的调节	157
§ 6-6 机組运转的平均速度和不均匀系数	159
§ 6-7 飞輪設計的基本問題	161
§ 6-8 $[M_{\text{驱}}(\varphi)-M_{\text{阻}}]$ 机組的飞輪转动惯量的确定	163
§ 6-9 $[M_{\text{驱}}(\omega)-M_{\text{阻}}(\varphi)]$ 机組的飞輪转动惯量的确定	167
§ 6-10 飞輪尺寸的決定	173
§ 6-11 调速器概述	176
习题	179
第七章 机械的平衡	182
§ 7-1 概述	182
§ 7-2 回轉构件惯性力的平衡条件及其不平衡形态	183
§ 7-3 用計算法确定平衡重量的大小和位置	186
§ 7-4 静平衡試驗法	190
§ 7-5 动平衡机	194
§ 7-6 平面机构的静平衡	201
习题	208
第八章 凸輪机构及其設計	212
§ 8-1 概述	212
§ 8-2 凸輪机构的类型	214
§ 8-3 凸輪机构的力分析	218

§ 8-4 从动件的常用运动规律	220
§ 8-5 凸輪的最小尺寸	226
§ 8-6 按照給定的从动件运动规律設計凸輪輪廓曲綫	232
§ 8-7 轉子从动件圓弧凸輪	243
§ 8-8 平底从动件圓弧凸輪	250
习題	255

第一章 緒論

§ 1-1 本課程研究的內容

本課程名為“機械原理”，所以顧名思義，它是一門研究機械的基礎理論的學科。因此，在介紹本課程研究的內容之前，有必要對所謂“機械”有所理解。

所謂機械，我們一般認為它是機器和機構的總稱。

我們在日常生活和生產中，見過或使用過許多機器，例如發電機、蒸汽機、機床等等。各種機器均有其不同的形式、構造及用途，然而這些不同的機器也有其共同的屬性，這些共同的屬性可以歸納為以下三點：

(1) 任何機器都是許多構件^①（兩件以上）的人為組合體。如圖 1-1 所示的內燃機，即由氣缸 4、活塞 3、連杆 2、曲柄 1 等組合而成。

(2) 組成機器的各構件之間具有確定的相對運動。如內燃機的曲柄與連杆之間及連杆與活塞之間都

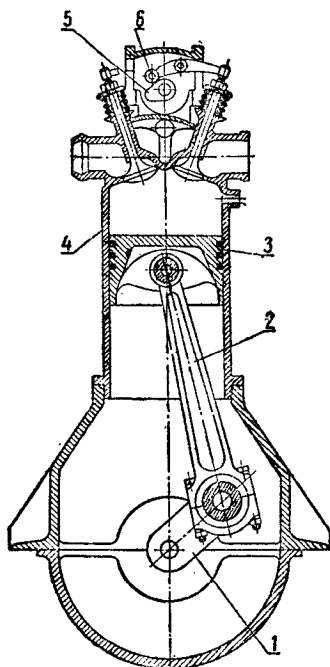


圖 1-1

^① 所謂構件，一般是指機器中由零件所組成的剛性系統。每一構件可能就是一個零件也可能是由彼此間沒有相對運動的若干零件所組成的（如圖 1-1 所示內燃機中的連杆是一個構件，但却是由連杆體、連杆頭及螺栓、螺母等零件剛結而成的）。

具有确定的相对运动。

(3) 各种机器均能完成有益的机械功(改变工作物的外形、性质及空间位置等)或转化机械能。如发电机将机械能转化为电能,内燃机将热能转化为机械能,而各种工作机器则利用机械能来完成有益的机械功。

根据上述分析,我们可以给机器下一定义:机器乃是一种人为的构件组合体,其各构件之间具有确定的相对运动,而且可以用来代替人类的体力劳动以完成所需的有益功或转化机械能。

至于机构,我们认为它仅具有机器的前两个共同属性,即它也是人为的构件组合体,而且各构件之间也具有确定的相对运动。可见机构乃是完成所需运动的构件的组合体;而机器则为用来完成机械功或转化机械能的机构。例如在图 1-1 所示的内燃机中,由曲柄、连杆、活塞和气缸四个构件所组成的组合体,就具有了机器的前两个属性,但它却不能单独工作,因此它只是一个机构(即习称的曲柄滑块机构);要使内燃机能够工作,除了还必须再配备上其他一些机构(如由构件 4, 5, 6 所组成的凸轮机构等)外,还须满足工艺、结构、强度等一系列要求。

一部机器可能是一种机构或数种机构的组合,如解放式水车是单一的一种齿轮机构,上述内燃机则是由曲柄滑块机构及凸轮机构、齿轮机构等等组合而成的;而不同的机器也可能包含相同的主要机构,例如蒸汽机、内燃机、甚至冲床等的主要机构便都是曲柄滑块机构。

现在我们来介绍本课程研究的内容,本课程研究的内容包括以下几个方面:

(1) 机构结构分析的基本知识:如上所述,机构及机器都是具有一定相对运动的许多构件的组合体。然而欲使各构件之间具有确定的相对运动,许多构件的任意组合并不一定就能成为机构或机器。所以需要进行机构组成原理的研究,并进而进行机构的结构分类,为有系统地研究现有机构及创造新的机构开辟途径。

(2) 机构的运动分析: 机构各构件的相对运动既是一定的, 那么其中某一处的运动规律如屬已知, 則任意其他各部的运动规律便應該能够确定。反之, 如希望某处发生何种运动, 則在另一某处应賦以何种运动便亦应一定。由此便发生这样一个問題: 根据某处的运动, 如何来确定另一某处的运动? 关于这一方面的研究, 便是机构的运动分析的主要内容。这一方面的知識, 又称为机构运动学。显然, 这些知識不仅在設計机械上是必需的, 即在运用现有机械上也是必需的。

√ (3) 机械的动力分析: 机械运动时, 各构件均受有力。这些力的方向、大小及作用点, 对于决定相应构件的尺寸及其結構形状, 均是主要依据, 故应設法予以确定。又机械运转时, 由于各构件所受諸力的作用点一般均在运动(与固定构件的联结点除外), 各力均在作功。所以机械的傳动傳力的过程, 同时也是傳功傳能的过程。复以摩擦的原故, 机械在傳功傳能的过程中发生功能的損耗, 同时构件也受到磨損, 因而使机械的效率降低, 寿命縮短。为了掌握机械的工作性能, 以便改善其工作, 上述問題都是机械动力学研究的主要内容。此外, 有关机械运动速度的調节問題以及机械及构件的平衡問題, 也都是机械动力学的重要命題。

√ (4) 常用基本机构的設計与分析: 机器的类型虽甚繁多, 然而构成这些机器的常用的基本机构, 类型却不是很多的, 即使是非常复杂的机器, 也无非是由齿輪、凸輪、連杆等等一些常用的基本机构所組合而成的。而且如前所述, 机器虽然不同, 然而它的主要机构却可以是相同的。因此, 本課程将对这些常用的基本机构的运动和工作特性进行分析研究, 并介紹为了满足一定的运动和工作要求而进行这些基本机构的設計的一般方法。

此处应当指出, 机械原理这門科学所研究的范围是相当广泛的, 例如有關摩擦和磨損的問題、机构精度的問題、以及机构綜合的問題等等, 目前都在广闊地研究着; 而作为一門課程, 我們將仅研究一些关于

机构和机器的基本原理及其设计和分析的方法。

§ 1-2 学习本课程的目的

在介绍了本课程研究的内容之后,对于学习本课程的目的便不难理解了。首先,各工科专业的同学,在以后的学习和工作中总要遇到许多关于机械的设计和使用方面的问题,而本课程所学的内容乃是研究现有机器的运动及工作性能和设计新机械的知识的基础,所以它成为各工科专业所必修的一门技术基础课程,它将为学习机械零件、机床、机械制造工艺、发动机、飞机构造及设计或其他机械性质的专业课程打下基础。

另一方面,机械原理在发展国民经济方面也具有重要意义,因为我国是个“一穷二白”的国家,要彻底改变这种贫穷落后的面貌,正如毛泽东同志所说:“中国只有在社会经济制度方面彻底完成社会主义改造,又在技术方面,在一切能够用机器操作的部门和地方,通通使用机器操作,才能使社会经济面貌全部改观”。毛泽东同志这一指示,给机械工业提出了光荣伟大的任务。几年以来,在党的领导下,在工业战线上大搞群众运动,使我国的工业发展水平跃进到一个新的高度。这种形势促使机器制造业要有更大的跃进,要在大搞技术革新和技术革命的基础上,使工艺过程全部机械化和自动化。显然这就需要创造和改进许多机器和机构,并在机械运动学和动力学方面要求高度的精确性。这些问题是机械原理所应涉及的和研究的范围;由此可见,机械原理对国民经济的发展越来越显示出它的重要作用。因为虽然任何机械的改进或创造都是设计、工艺等等各种机械工程知识的综合运用,但机械原理的知识却是最为基本的。当我们掌握了本课程所介绍的内容之后,我们就有可能更合理地改进现有机械设备或根据需要对创造新的机械提出建议。其次,对一个使用机器的工作人员来说,要想充分发挥企业机器设备的潜力,使生产向前跃进,其关键在于熟练地掌握机器的性能。学习机械原

理掌握机器的分析方法，对于掌握机器的性能和更合理地使用机器起着指导作用。这在贯彻党的“鼓足干劲、力争上游、多快好省地建设社会主义”的总路线方面也是十分重要的。

总之，本课程所学的内容，一方面是有关专业课程的基础，而同时其本身也是一个工科学子所应具备的关于机械的一般基础知识。

§ 1-3 如何进行本课程的学习

如上所述可见，我们在本课程中对于机械的研究是通过以下的两个途径来进行的，即

- 、 (1) 研究各种机构和机器所具有的一般的共同性问题，如机构组成的理论、机构运动学、机械动力学等；
- 、 (2) 研究组成各种机械的常用的基本机构，如凸轮机构、齿轮机构及连杆机构等等。

这两部分内容虽各自成系统，然而却又是互相结合的。在学习过程中应注意把一般的原理和方法与研究实际机构和机器时的具体运用密切联系起来，并应随时注意在日常生活和生产中所遇到的各种机构和机器，根据所学的原理和方法进行观察和分析，做到理论与实际的紧密结合。

其次应当注意，机械原理是一门技术基础课程，它一方面较物理、理论力学等理论基础课程更加结合工程实际（例如在理论力学中也有运动学和动力学，但其研究的对象是质点和刚体；而机械原理则是就具体机构和机器进行研究的，所以机械原理又是理论力学知识进一步的具体应用），而另一方面，它与机械性质的专业课程又有所不同。由于专业机械的种类繁多，机械原理不可能而且也不需要各种具体的机械进行研究，而只是对于这些机械的一般基本原理和组成各种机器的主要基本机构进行深入的探讨，从而使学生在专业课时具备良好的基础。根据本课程的这一性质，所以在学习本课程的过程中，一方

面应注意各种基本原理和方法在理论上的严密性和逻辑性，而另一方面也要注意这些原理和方法在机械工程上实际应用的范围和价值。同时，在学习本课程时还应有一定的工程观点，例如选择和比较的观点，实验根据与理论分析结合的观点等等。至于在各种机构的研究中，则应注意其工作的原理和特点，以及对这些机构的研究方法及其所根据的理论和条件等。

§ 1-4 我国机械原理发展简史

人类为了生存,一开始就和自然界进行着不懈的斗争,手足牙齿,均是其天然的工具。其后,人们通过长期的劳动积累了经验,逐渐体会到要利用物器,遂有了原始的工具。有了工具后,生产便向前发展;生产发展的结果,又促使工具走向精进。如此相互作用,使得工具由简到繁直至发展到今天的复杂机械。这一真理,中外无别。

任何自然科学,均是生产知识的总结;机械原理当然也不例外。

机械原理之成为一门较完整的科学,是近世的事。但要说明它的形成过程,却不能不追溯生产工具的演化过程。

我国历史悠久,远在三代以前,就有了锄、耒耜、杵臼、舟、车、机杼等。三代期间,已有了桔槔、辘轳、戽斗、粉磨。周末鲁班曾创造了磗、木鸢和云梯并改良了战船。机械科学发展甚快。

战国时墨翟著“墨经”,这是我国第一部科学著作。其中讨论的有力学、光学、几何学和逻辑学各方面的问题。

西汉时代,发明了起重用的辘轳并利用了差动原理。西汉末年,陈宝光之妻发明了提花机,当时我国是世界上纺织业最发达的国家。

东汉时有了水排,这可称为曲柄滑块机构的鼻祖。张衡创造了浑天仪、候风地动仪和指南车,巧妙地应用了杠杆原理和齿轮轮系。毕岚作翻车,实是一种链唧筒。

三国时,马钧造指南车并改良了翻车、织绡机和抛石机等。诸葛亮创造了木牛流马(即独轮车)。机械科学有了进一步的发展。

晋朝时,又创造出计里鼓车、碓、水碓、连机碓,应用了水轮、杠杆、轮系和凸轮原理。

南齐祖冲之改良了指南车并创造了千里船和水碓磨等。

隋朝时,发明了天文钟中的减速传动和棘轮系统。北宋沈括著“梦溪笔谈”,总结了古代的技术科学发明和当时的生产实际,可算是中国第一部有系统的科学技术论著。

元王桢著“农书”,纪录了许多农业水利机械。黄道婆改良和制造了新式纺织机械,利用了曲柄滑块机构和飞轮。

明末王征制虹吸、鹤饮、轮壶、代耕、自转磨等,并著“诸器图说”和“远西奇器图说”。徐光启著“农政全书”,详细介绍了当时的农业机械。宋应星著“天工开物”,当时可算是我国一部完备的技术科学百科全书。

晚清徐寿著“汽机发轫”、“车工图说”和“机动图说”等。徐建寅著“汽机必以”。华备钰著“兵船汽机”与“制造理法”等。都是有名的机械科学的论著。

我国历史悠久,机械创造很多。但因遭受历代统治阶级歧视,故记载不详,一般多散见经史子集杂文或谣谚中。刘仙洲著有“中国机械工程史料”,可窥鳞爪。

解放前,我国各大学习用西文教材,机械原理一科多沿袭美国习惯只讲述机械运动学。

机械原理课程在我国能按照最新科学成就并全面地进行讲授,始自1952年的高等教育教学改革。1954年在中央教育部的领导下制订了第一个部定教学大纲,1956年对大纲又进行一次修订,其后,各院校并先后筹建了机械原理实验室,大力编写机械原理教材,使机械原理的教学渐臻完备。随着社会主义建设的飞跃发展,机械原理这门科学今后定会有更快更大的发展。

第二章 机构的結構分析

§ 2-1 研究机构結構分析的目的

如前章所述，所謂机构乃是一种具有确定运动的构件組合体。显然，許多构件的任意拼凑并不一定就能成为机构，因为这样拼凑起来的构件組合，可能根本不会发生运动；而且即使能够运动，其运动也未必就是确定的。那么机构的結構究竟应该如何，才能保証其能够运动；又在什么条件之下它的运动才能是确定的呢？这便是本章研究的内容之一。在另一方面也只有了解了关于机构結構的基本原理之后，才有可能根据运动和工作要求来設計出所需的机构，并繪出其簡图。而机构的設計乃是机械設計的初步。因此，机构結構的基本知識乃是机械設計人員所必须具备的。

除此之外，机械原理的基本任务之一是研究机构的各种性质：如机构的速度及加速度的变化規律、以及力和功能的傳遞規律等。而現有机构的类型及其构造形式又非常繁多，因此要按照每一个別机构来研究分析这些性质的方法是不恰当的。所以研究机构的結構分析的另一目的就是将机构按其結構特征加以分类，而后，对于同一类的机构我們可以应用相同的方法对其进行运动分析和力的分析。

总之，研究机构結構分析的目的在于研究机构的組成原理，从而进行机构的結構分类，按照这种分类就可以建立起对机构的运动和力的一般分析方法。此外，机构的結構分析也提供了創造和发展新机构的途徑。

在本章中，我們將介紹一些关于机构結構分析的基本知識、机构具有确定运动的条件、机构的組成原理及其分类方法以及机构簡图繪制的方法和步驟。

§ 2-2 运动副及其分类

机构中每一构件至少必须与另一构件相联接，绝无孤立存在的构件；又这些联接并不形成刚性系统，相互联接着的构件之间，仍保留有一个或几个独立的相对运动。凡使两个构件直接接触而又能产生一定相对运动的联接称为运动副。例如：轴与轴承的联接、轮齿与轮齿的联接以及滑块与导路的联接等等均为运动副。构件与构件之间的这种联接，不外乎是通过点、线或面的接触来实现的。例如：滚珠轴承的滚珠与其内外座圈为点接触；互相啮合的轮齿为线接触（或点接触）；轴与轴承或滑块与导路为面接触等。两构件上可能直接参加接触而构成运动副的部分，称为运动副的元素。

两构件构成运动副时所能产生的相对运动数目及其相对运动的性质与其联接的情况有关，下面将加以分析。如图 2-1 所示，在构件 1 未

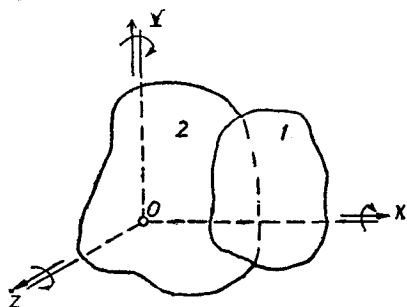


图 2-1

与构件 2 形成运动副之前，构件 1 对构件 2（坐标 XYZ 认为固定于构件 2 上）共有 6 个独立的相对运动（沿 X, Y, Z 轴的三个移动和绕 X, Y, Z 轴的三个转动），即其自由度为 6。当其与构件 2 形成运动副后，由于两者的互相接触，其某些原

有的独立的相对运动不再可能产生，亦即使其相对运动受到约束，从而使其自由度减少，且其减少的数目与由于构成运动副而带入的约束的数目相等。由于运动副并未把两构件形成一刚性系统，约束数最多为 5，剩余的相对自由度至少为 1，且两者之和应为 6。设构成运动副后所保留下的自由度为 H ，被约束条件消除了的自由度（亦即约束数）为 S ，则

$$H + S = 6. \quad (2-1)$$

如前所述,机构各构件之間应具有确定的相对运动,即其某些独立的相对运动应受到一定的約束,这种約束通常靠运动副来提供的。运动副可根据其所提供的約束条件的数目加以分类:提供一个約束条件的,称为一級运动副(或作 I 級副);提供两个約束条件的,称为二級运动副(或作 II 級副),依此类推。表 2-1 所列即为依此分得的各級运动副。其中五級副为机械中所常見者,左边的称为回轉副;右边的称为移动副。

又如图 2-2 所示,螺旋与螺母亦形成一运动副,特称为螺旋副。其間的相对运动虽有繞軸綫的轉动与沿軸綫的移动,但两者之間却有联系。故其間真正的独立相对运动只有一种(即螺旋运动),因此亦屬五級副。

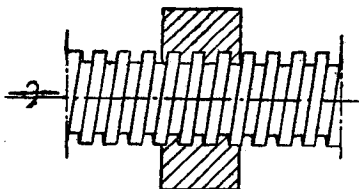


图 2-2

运动副除了按照其所提供的約束条件数目分級以外,还可以根据运动副元素的接触情况及相对运动的性质而分为:高副和低副;空間副和平面副。

凡运动副的元素为点或綫接触的,統称为高副。高副中两元素之間的相对运动有滚动、滑动及滚动兼滑动三种。如表 2-1 中所示的一級副及二級副都是高副。

凡运动副的元素为面接触的,称为低副。低副中两元素之間的相对运动只能是滑动。如回轉副、移动副、螺旋副、圓柱副及球面副等。

又按照构成运动副的两构件之間的相对运动是平面运动或空間运动,又可把运动副分为平面运动副和空間运动副两类。如表 2-1 中所列五級副內的回轉副与滑动副,均是平面运动副。表中所列一至四級运动副,均是空間运动副。应该指出,上述螺旋副虽屬五級副,但显然它是一种空間运动副。