

机械原理

上册

浙江大学机械原理及零件教研组编

1 9 6 0

序

在去年教育大革命之際，我們遵照了黨的教育方針指示及關於加強和提高基礎課教學質量的原則。在黨領導下，採取了師生結合的方式，對本課程內容進行了較深入的辯論和改編工作。首先是對1956年部訂教學大綱進行辯論，統一了對本課程在完成培養目標中所起作用的看法，其次是依照黨的教育方針對我們1957年所編的教材逐章逐節進行細緻的分析研究。在這樣的基礎上分工執筆集體討論，在1958年寫成本教材初稿，並在機械類各專業試用，經一年的實踐，同學反映良好，同時亦吸收了部分院校的意見，這次又進行了修訂而成此稿。

本書系統的安排上為加強科學系統性，將內容分為兩大部份，第一部份為機械力學包括緒論、機構結構分析，平面機構運動分析，機械中的摩擦及效率，平面機構動態靜力學，機械的運轉及調速，機械的平衡共七章，第二部份為各種一般機構的設計，包括平面機構設計基礎，凸輪機構、齒輪機構、輪系，其他機構等五章。這樣系統的安排使運動學與動力學緊密啣接，在講授上可一氣呵成，同時亦便於對具體機構設計的敘述。

本書還特別注意了教材內容的思想性及理論聯繫實際的原則，所以在各章節中增加了許多應用實例在內容組織方面亦經過歸納概括，着重注意了一般原理方法的敘述，如凸輪機構運動分析，齒輪製造原理及傳動計算，飛輪設計方法等。

本書根據當前生產向高精尖發展，所以還增補了一些新的技術內容及方法，如平面機構運動分析章及凸輪廓綫設計等中增加了分析計算法，在機械運轉調速章中增加了作用力是速度函數的運轉研究與飛輪設計方法。為增強機構設計的系統性及其內在聯繫，還增加了高付機構設計基礎。

本書內容適用於機械製造類各專業及化工機械、冶金類專業等，教學時數在80~120學時，同時考慮到各國專業的要求故內容比較丰穎，可使教師按需要選擇之以及學生自學時參考閱讀。

本書原擬請高教出版社出版，但由於時間上不能滿足開學的需要，故暫先由本校印刷廠出版，但由於匆促完稿，又限於編者水平及本校印刷技術條件，謬誤欠妥之處，在所難免，深望讀者不吝指正。

浙江大學機械原理及零件教研組 1960年元旦

目 录

第一章 緒 論

§1—1. 机械原理課程的主要內容	1
§1—2. 机械原理課程在教學計劃中的地位与作用	2
§1—3. 机械原理課程在社会主义建設中的作用与任务	2
§1—4. 机械原理方面的成就及其今后发展方向	4
§1—5. 学习机械原理的要求与方法	6

第二章 机构的結構分析

§2—1. 研究机构結構的目的	8
§2—2. 运动付及其分類	8
§2—3. 平面机构及其結構公式	10
§2—4. 平面机构示意图的画法	11
§2—5. 重合付、多余自由度及消极約束	14
§2—6. 高付低化的方法	16
§2—7. 平面机构的組成原理及其分類	18

第三章 平面机构的运动分析

§3—1. 机构运动分析的目的及方法	22
§3—2. 机构各构件的位置、各点的軌跡及位移的确定	24
§3—3. 应用瞬心法求机构上各点的速度	26
§3—4. 应用速度多边形及加速度多边形求机构上各点的速度及加速度	29
§3—5. 应用分析計算法确定各构件及各点的运动	49
§3—6. 运动图	59
§3—7. 图解微積分	61

第四章 机械的摩擦及其效率

§4—1. 摩擦的一般概念	67
§4—2. 滑动摩擦的基本定律	68
§4—3. 移动付中的摩擦	69
§4—4. 螺旋付中的摩擦	74
§4—5. 轉动付中的摩擦	76
§4—6. 柔韧体的摩擦	83

§4—7. 滚动摩擦簡述	85
§4—8. 机械效率的确定及其改善的途徑	88
§4—9. 按机械效率确定机械自鎖的方法	92

第五章 平面机构的动态静力学

§5—1. 研究机构动态静力学的目的和方法	94
§5—2. 机构构件惯性力的确定	95
§5—3. 质量代換	97
§5—4. 平面机构的动态静力計算	101
§5—5. 用茹可夫斯基槓桿法解机构中的平衡或平衡力矩	111

第六章 机构的运转和調速

§6—1. 研究机械运转和調速的目的	114
§6—2. 等效力和等效力矩, 等效质量和等效轉动慣量	114
§6—3. 机械的运动及其运动方程式	119
§6—4. 在已知力作用下确定机械的运动	120
§6—5. 机械运转的不均匀性及其調节	128
§6—6. 飞輪設計	130
§6—7. 自动調节概述	143

第七章 机械的平衡

§7—1. 平衡的目的	146
§7—2. 迴轉构件的平衡原理	146
§7—3. 迴轉构件的平衡試驗法	149
§7—4. 平面机构的平衡	155

第一章 緒 論

§1-1 机械原理课程的主要内容

机械原理是研究机器与机构的结构，运动学及动力学的一門科学。它的主要内容可以分为两类问题：1. 关于现有机器及机构的研究，即机构的分析问题，通过分析，可以确定机构在已知外力作用下的实际运动规律。2. 关于新的机器及机构的设计，即机构的综合问题，通过综合可以获得按生产实践所需要的运动规律的机构。

机械是机器与机构的总称。机器与机构的区别说明于下：

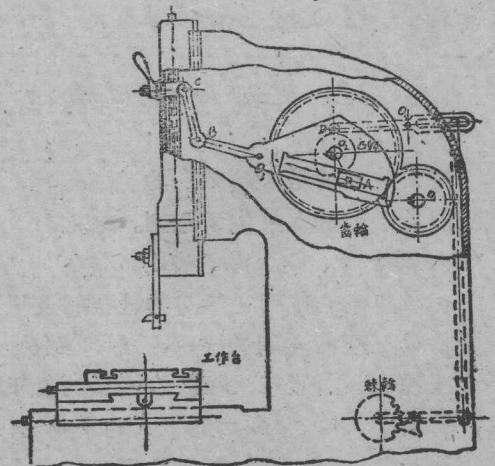
机器是许多抗力物体的人为的组合，其各物体间有恒定不变的相对运动，在生产过程中或能力变换过程中，它能完成所需的有效功或变换机械能。因此机器具有三个特征：1. 它是许多抗力物体的人为的组合；2. 其各物体间的相对运动必须恒定不变；3. 必须能够完成有用的机械功或变换机械能。

按照上述机器的定义知道：蒸汽机、柴油机、空气压缩机、发电机、轧钢机、采掘机械、运输机、农业机械、金属切削机床等均称为机器。因为它们均具有上述三个特征。

机构也是许多抗力物体的人为的组合，其各物体间有恒定不变的相对运动，但是它不能用来完成机械功或用来变换机械能。因此机构仅具有机器的前两个特征。按照这个定义知道：钟表、仪表、度量计算用的仪器等均称为机构。

由于机械原理是研究机器与机构的结构，运动学及动力学的科学，而关于完成有用的机械功或变换机械能的问题，非本课程所研究之内容。故在本课程中对于机器与机构，并不给予严格的区别。

机器与机构的构造可以是一个或数个机构所组成。例如如图所示之插床，就是由很多机构按照生产条件的需要相互组合而成。工作要求刀具的上下往复运动由连杆机构 (O_2AO_3BC) 来完成，而连杆机构的运动来源又是由马达通过齿轮机构的传递而获得。工作台的自动进给是通过凸轮机构的作用来完成的，而每一个机构又是由数个抗力物体组合而成。这些抗力物体是组成机构的最基本的单元，称为构件。构件可以是单一的整体，也可以是数件的刚性组合。如一般的齿轮就是用键刚性联结在轴上的。如此，齿轮、键与轴三者就视为一个整体，成为构件。而其单一的齿轮，键或轴都称为另件，另件与另件间无相对运动，故非本课程所研究的内容。其将在机械另件课程中研究之。



机械原理是研究机构的结构，运动学与动力学三个方面，现将其主要内容简述如下：

在机构的结构中研究机构各构件的连接方法，机构的活动度，机构的组成原理以及机构的分类方法等最基本的問題。这些最基本的知識是机构运动分析的基础，也是机构综合的基础。

在机构的运动学中研究机构各构件上各点的軌跡、位移、速度及加速度。例如按照工艺过程所要求的条件，按照从动构件的位置、按照从动构件的运动規律等确定机构构件的尺寸。到目前为止，关于机构的综合理論是研究得不很完善，仅在某些个别的場合中得到了完滿的解决。

在机构的动力学中研究机构各构件在外加驅动力及阻抗力作用下的真实运动的确定方法。此外，在动力学中还要确定在强度計算时所必須知道的作用在机构构件上的力，决定机械的效率，研究机器运轉的調速問題以及慣性力的平衡問題。

§1—2 机械原理課程在教學計劃中的地位与作用

机械原理課程是建立在数学、物理、理論力学等基础課知識上的学科，它是在理論与实际相結合，科学与生产不断結合下，从力学中发展出来成为一門独立的科学，所以它与理論力学有着亲緣关系，但两者又有区别，理論力学是在于研究一般剛体力学的原理，而机械原理則在于应用理論力学中的某些原理于实际机械中，所以他較理論力学又更接近于工程实际。但另一方面他在研究机械的运动学动力学問題亦还仅是一般的研究，只論及各种机械工作的一般基本原理，以及对組成各种机械一般的共同的机构，如連桿机构、凸輪机构、齿輪机构等的运动和工作特性进行分析研究，並介紹为了滿足一定运动和工作要求而进行研究这些机构的一般設計方法，而不是具体分析研究某一特种机械的性能，这也就是它与专业課的区别。

鑑于上述理由，所以机械原理是一門基础技术課，它将为学生今后学习机械零件，精密机械設計，机床、刀具与机械制造工艺学課程和按学生所学专业而定的各种机械設計課程作准备，有着承上肩下的作用，同时亦是发展各专业中有关机械問題的基础。因此他是完成培养目标中一門重要的基础技术課。

§1—3 机械原理課程在社会主义建設中的作用与任务

机器与机构是人类劳动的生产工具，可以用来減輕人类的体力劳动，提高劳动生产率和产品质量，增进人民生活福利。这正由于机器具有功率大、轉速高、运动确定等特点，所以它是符合多、快、好、省的建設方針。

但是机械的作用在不同的社会制度里，它就起着截然不同的作用。在资本主义社会里由于资本主义經濟法則的决定，是要榨取掠夺本国劳动人民，因而使用机器的結果，必然是进一步压榨工人，使工人降低为机器的附属品，成为制造剩余价值，奴役和压迫劳动人民的工具，排擠了人民。造成大批工人的失业飢餓。如机械自动化这一术语在社会主义社会中，是机械制造业发展中的方向，亦是我国劳动人民大众所响往的目标。但是资本主义的美国就不同。

所以我們在觀察任何問題時必須要有階級觀點，雖然自然科學本身沒有階級性，但掌握的人不同亦就打上了階級烙印。

一九五八年黨提出了社會主義建設總路綫的要求，在技術革命方面指出了具體的任務：使全國經濟有計劃有步驟地轉到新的技術基礎上，轉到現代化大生產的技術基礎上，使一切能夠使用機器的勞動都使用機器。這就給予機器製造工業提出了一項巨大的任務。因為要實現這個偉大的任務，機器製造工業起着主導的作用。工業的進一步發展需要廣泛地應用科學上、技術上的各種成就和先進經驗。現在的任務是要創造出更能夠滿足一系列要求的，新型的、完善的機器。在機床製造業中現代的要求主要在於創造出不僅能夠保證高的生產率和更好的產品質量，而且能夠保證生產過程自動化的各種新型的機器。因為生產過程自動化是保證生產具有社會主義式的速度和規模的決定性力量。

隨着機械製造工業的不斷發展，大量機械被廣泛應用的結果，機械原理這門科學也將不斷地發展。而機械原理這門科學的發展，反過來又促進社會主義的建設，使生產過程機械化，機器自動化以及建立生產組織自動綫。

機器自動化就是使得機器自開車到停車的整個工作運轉的過程都用機構來自動控制，留下的工作，工人只要在開車前將機器所有的執行機構調整到按生產工藝所須要的运动過程，以及開車後在機器旁觀察的工作。這不但大大提高勞動生產率和提高產品質量，而且是大大地減少了工人的勞動強度與增強了工作安全的可靠性。

生產組織自動綫就是把所有的自動機用各種運輸機械自動地聯繫起來，把零件從一部自動機運送到另一部自動機，並能控制各別的機器自動開車與自動停車，使所有的自動機有機地聯成一個整體。它們形成了複雜的自動機，其中由從倉庫獲得材料起到送出成品為止，所有工藝過程的工序都由機器來完成而不必工人直接參加。在這種生產方式中，給工人留下的工作僅是維護、裝置自動綫、調整和消除故障等的工作了。在這種複雜的自動機中具有傳給工具以一定运动的執行機構，使各個執行機構按時參加工作的控制機構，以及修正工藝過程或挑出廢品，而使產品合乎規定標準的檢驗機構。這就使得有可能更有成效地去管理工藝過程，從而縮短了各種非生產工序的時間，提高了勞動生產率。

在設計創造自動機與自動綫的時候，不僅需要選擇或設計能夠完成工藝過程的執行機構與控制機構，還必須考慮到盡量能設計和創造尺寸小、重量輕、材料省、效率高以及使用壽命長的自動機與自動綫。

由前節知道，機械原理是研究機器與機構的一般規律，是機器與機構的設計及創造的基礎。它能使所設計的自動機與自動綫按照預先規定的工序來進行工作，並且還提供了最高機器壽命與節省材料等問題的方法與途徑。由此可見機械原理課程在社會主義建設中的重要意義了。

目前在工農業大躍進的形勢下，完全依靠設計新的機器來滿足多、快、好、省地建設社會主義的方針是不可能的，還必須貫徹土洋結合，少數專家和廣大羣眾相結合的二條腿走路的方針。在大力設計新機械的同時，還必須大力改良現有的機械設備。而改良現有的機械設備同樣需要機械的一般知識。因此，機械原理課程在社會主義建設中的作用與任務是巨大的。

§1-4 机械原理方面的成就及其今后发展方向

为了更好地发展有关机械原理方面的科学，我們有必要对机械原理方面的以往成就及其理論方面所进行的工作情况給以了解和正确的評價，將有助于今后的工作。

首先介紹一下我国的情况。

在我們偉大的祖国輝煌灿烂的文化遺產里，蘊藏着很多的自然科学上的成就，它体现着我們祖先的辛勤劳动，它是我們祖先长久以来克服了无限的艰难困苦，積累起来的生產經驗和科学活动的总结，祖国人民在科学理論和生產技术的各方面都曾貢獻出光荣而珍貴的发明和創造。

在机械方面与別的科学一样有着很多的发明創造，但由于当时封建統治压迫下，社会生產力长期被桎梏着，因此我們祖先的創造与发明也不能得到更好的发展。又由于統治者对創造发明的不重視，所以有的已湮沒不存，有的虽有其物而无記載，或因各种記載不同，殘缺不全，因而不能确知其全部真象，今据考証略举数例：

早在汉朝时代的科学家張衡就造过指南車，可是这点还没有找到可靠的歷史材料来証明，但至少在三国时代馬鈞利用了机械原理造成了指南車这是沒有問題的。不过造法沒有傳下来。以后許多人試造失敗的很多，直到南北朝时的祖冲之得到了一輛只有外壳的指南車，被他修造成功。到宋朝的时候燕肅在公元1027年，吳德仁在公元1107年亦都造出了指南車，这种指南車是利用了完整的齿輪机构，不管車子向什么方向轉彎，車上木人的手指始終指着南方。这一偉大的創造，几十年来，外国也有不少科学家发表了关于它的研究論文。象1947年，就有一位英国科学家兰彻斯特发表了他的研究結果，他說西方各国在最近六十年才知道差速齿輪的道理，而中国人早在一千多年前就已应用了。

与指南車有同等意义的記里鼓車亦早在1600年以前的晋代創造出来了，这种車子能自动地告訴人們車行的路程，其原理在現在汽車的記里表中还有应用的。

同样我們劳动祖先在长期的农业生产劳动中，創造了多种多样的农业生产工具，为了減輕人們的劳动，祖先們还非常善于利用自然条件，如水力，风力等作为推动各种机械工作的原动力。

在著作方面有关机械原理方面的書籍也很多，元代王楙所著的“农书”中就敘述了很多的农业方面的机械；並附有图案加以說明。在公元1600年左右，我国的大机械工程师王徵曾自制虹吸、鶴飲、輪壺、代耕、自轉磨及自行車等，並繪图著成“諸器图說”一卷。此外，又譯有“远西奇器图說”一书。这两本书是我国机械工程学方面最早的专著。明代宋应星著有“天工开物”，方以智著有“通雅物理”小識及項子京著有“陶瓷图說”。清代太平天国革命之后，我国有关机械工程的書籍有：徐寿的“汽机发軔”，“車工图說”和“机动图說”等，徐建寅的“汽机必以”和华备钰的“兵船汽机”与“制造理法”等。

以上所述的这些发明創造与成就，由于过去封建压迫和反动統治者不事提倡，所以一直没有进一步发展。

在全国解放后，我国建立了人民民主政权，消除了科学与人民之間的隔閡，使科学接近了生產，使科学和技术的成就直接为生產建設服务，科学的发展开始走上了繁荣的道路。

在一九五三年党中央、毛主席英明的提出了偉大的第一个五年經濟建設計劃，大力的发展机械制造工业，奠定了我国社会主义工业化的初步基础。在机械制造业的发展过程中，我国劳动人民的发明創造犹如雨后春筍的在蓬勃发展。由制造小型簡單、粗糙的机器发展到制造巨型、複雜、精密的机器，由仿造、改良的能力发展到完全能自行設計、制造的能力。一九五四年我国就开始制造出第一架的国产飞机，这是歷史上所从未有过的奇蹟。

偉大的一九五八年是我国工农业，科学文化大跃进的一年其所取得的成就更系空前的，在机床方面比第一个五年計劃結束要增长二倍以上，达到九万台左右。电力增长42%以上，达到275億度左右。

在党中央毛主席提出“破除迷信，解放思想，發揮敢想敢說的共产主义风格”的号召下，工农羣众的創造发明达到了歷史上最高的頂点。如插秧机就創造了几百种，另外还有自动点鈔包装机以及許多其他的自动化的机器与工夹具被創造出来。这些創造发明，大大地解放了生產力，使过去不能做到的，現在都實現了，而且在很多項目上大大地超过了国际水平。

作为現代科学先驅的苏联在机械原理方面的成就亦是巨大的。早在上古时代已知道利用各种簡單的机器，但是关于机器和机构的科学的萌芽，則应当說是頗为晚期的事。就是在積累一些經驗之后，才可能开始作一些綜合並部分地總結出研究这門科学的方法。就这方面來說，关于机构的科学是在十八世紀末期法国資產階級革命的时代中产生的。正是这个时期中，才出現了第一批关于应用力学的有系統的书，其中有一部分是机器与机构的理論。

在十九世紀中时，在俄国成长了大批卓越的奠定現代机构原理基础的学者。

二十世紀之初随着工业飞跃的发展，对机构运动和动力提出了更多的要求，因此它就进而从力学中脫离出来而成为专门研究机构力学的一門独立的科学。

由于創造新型的工具机和农业机械的需要，苏联科学家特別注意了机构新的設計方法和在实用範圍內的近似机构的設計問題。几年来、在苏联科学家的努力下，苏联已經完全解决了剛性构件的平面机构的运动問題。

由于机器及其构件的轉速的提高，苏联机械学家，特別注意高速机器在工作过程中所產生的动力現象，因此促使了机械动力学在理論工作和实验工作方面的发展，苏联科学家发展了机械中迴轉质量的平衡問題。这不但对动力机械高速的轉子，渦輪机的轉子，发电机的电驅平衡有关，就是一般的工作机械、农业机械、化工机械等也有重大的意义。同样关于机器的自动調节問題近年来在穩定性和一般調节理論以及工程上的調节方法作了很多的工作。苏联科学家基本上已完全解决了关于作用力隨位置及速度变化的发动机及工作机所組成的机組的运动問題。

目前苏联的机械制造业正在向生產过程全盘自动化方向前进，而苏联科学家亦在对于不同用途的自动机的結構和运动分析进行研究，使得对自动机的設計及研究方法得到新的发展。

以上是我国及苏联在机械原理方面的成就，下面簡略地談一下机械原理方面今后发展方向。

随着生產工艺的要求，科学与技术的发展，对于所設計的新型机械就有更高的要求。要求設計各种可以保證工作过程、高速度、高效率、高精度，並且最大限度減輕工人劳动的新

型机器。

要完成这个任务，机械原理的发展起着决定性的作用。首先是机构综合的方法研究，因为这是保证工作过程的先决条件，目前机构综合的问题，仅在某些简单的机构个别的问题上得到解决，要满足自动化的要求，还必须进一步的努力。

机器高速度的要求，促使机构运动学及动力学迅速发展，进一步研究出精确分析机构的运动及动力问题的方法。多少年来对于机构的运动学及动力学研究的方法，都运用图解法或图解分析法的，这特别表现在研究复杂系统的机构方面。近几年来，由于对运动系统分析的精度的要求提高，已经开始广泛地采用分析研究法。很显然，在凸轮机构、齿轮机构及最简单的连杆机构方面采用分析研究法是最有效果的。但是对于较复杂的机构目前还是存在着一定的困难，这些困难有待机械原理方面的工作者进一步研究。

影响机器效率的主要因素，就是构件间的摩擦损耗。过去许多科学家在摩擦问题上进行了很多的研究工作，但还存在着很多问题，需要进一步进行实验，以了解各运动付的结构，润滑、载荷、相对速度以及温度对摩擦的影响。

过去把机构构件视为刚性构件来进行运动及动力分析的，没有考虑构件弹性力对机构的运动及动力的影响，这将影响到机器高精度的要求。因此研究构件弹性力对运动及动力的影响就有很重要的意义，影响精度的另一个重要问题，就是运动付中的间隙以及构件尺寸的误差对机构运动系统及动力系统的影响。这个问题，苏联很多的学者已经进行了很多的工作。但还需要进一步地发展。

最大限度减轻工人劳动问题，就是自动机和自动线的发展，在自动机及自动线的设计方面，就有很多问题有待机械原理方面的工作者进行研究。

以上所提到的仅是一部分的问题，从这些问题中已经可以看到机械原理的发展以及它的任务之重大意义了。

§ 1—5 学习机械原理的要求和方法

由于机械原理是研究机器与机构的结构、运动学及动力学，即研究机械基本规律的一门科学，它是学习专业课广泛而系统的理论基础，又是实现机械化与自动化的一门重要的科学。因此，就要求同学们能很好地学习机械原理为进一步学好专业课，能更好地为社会主义建设服务。

学习机械原理的具体要求是：掌握现有机械中主要机构的结构，运动及动力分析的方法，及简单机构的设计基础，并能应用于专业，解决专业中有关机械原理方面的问题。不但如此，而且还要求同学们在这个基础上，根据自然科学方面所拥有的一切理论与实际知识独立地进行一般的机械设计问题，进一步设计与研究各种可以保证完成所要求的工作过程，较高效率、结构紧凑并且最大限度减轻劳动的机器，以满足社会主义建设的需要。

要达到上述的要求，首先要有正确的学习态度，并且还要有正确的学习方法。

任何一门科学知识的掌握，必须是同学主动地刻苦钻研，老师的指导，同学们的互助讨论以及不断地实践所获得的成果。

任何一门科学原理都应该是近乎真实地反映客观实际的，机械原理也不例外，它也是客

观实际的反映，因此，就不可能用几个普通的理論公式把所有毫无例外的偶然因素都概括起来。因而我們的学习方法，不应该是抽象的討論，也不能是死背理論公式，而是在于理解公式的物理意义，知道它的来源，以及它实际应用的件条与范围。另一方面是要掌握各种研究解决問題的方法，善于在极其多的技术实践条件下，应用基本的理論原則来解决实际的問題。

在教学过程中，有时由于考虑到教学的可接受性，往往将問題分阶段讲授，不过学生要能运用辯証唯物主义观点与方法，对問題的了解不仅停留在个别現象，要注意其內在联系規律，掌握分析問題的科学方法和途徑。

最后对几个教学环节的学习方法提几点意見，供学习时参考。

課堂听讲：听讲时必须注意力集中，全神貫注，思維活动应紧紧跟着教师共同考虑問題与解决問題，注意每一問題的提出必然是在解决矛盾过程中在旧的基础上的发展。以及最后如何統一，得出什么結論。

复习：課堂讲授只可能提及課程基本内容和解决問題的关键方法，同學們在自学过程中，还必须閱讀参考資料独立思考刻苦钻研充实丰富内容和对内容进一步深入了解。在这基础上来解决布置的家庭作业，并对所做作业的结果要分析研究，这样才会收到良好的效果，以达到进一步理解理論及提高解决問題的能力。

实验：它是验证和巩固課堂理論，是理論結合实际重要的一环，必须認真进行。对实验所得結果更应分析研究。

課程設計：在系統学完了教学內容之后，做一个綜合性的設計，把所学理論知識系統地来解决工程实际問題，以达巩固理論知識，提高和培养独立工作能力。

上面这些教学环节亦必须有机的密切配合，师生之間必須紧密合作，發揮教学相长的原則。

对于机械原理研究問題的方法来講，一般应用分析法，图解法，图解分析法及实验法四种。分析法最为精确，但是比較複雜且不明晰，容易发生錯誤。所以在複雜的情况下常用图解法，因为图解法最为明晰，概念清楚，作法簡捷，但是没有分析法精确。在工程計算中，除某些特殊情况外，絕大多数的情况一般不需要极精确的結果，用图解法已足夠精确，因此本課程以图解法为重点，同學們必須深入熟練掌握。图解分析法是图解法与分析法的混合应用，有时甚为簡便。如本課程动力学部分的研究就是以图解分析法为主。用实验法来設計机构，决定摩擦系数，构件的轉动慣量，位移，速度，加速度和力等問題是最确实的。当然实验的设备及仪器应尽可能接近真实的装置，否則所得的結果将失去其真实性。有时实验法能解决其他方法所不能解决的問題。

第二章 機構的結構分析

§2-1 研究機構結構的目的

如前章所述，本課程的基本任務之一乃是研究機構各種運動及動力特性；如機構運動規律的確定，速度加速度變化規律，以及力和功率的傳遞規律等。但由於機構的類型繁多，尤其在目前大躍進的年代里，隨着各種生產勞動趨向於機械化自動化的發展，新的機構必將日益增多，因此對每種具體機構的性質一一加以研究將是不可能而且亦是不恰當的，因此在機械原理的發展過程中，就很自然的提出了把各種機構進行結構的分類，俾使同類機構可以用同一方法進行研究。

又鑒於我們當前的任務是要儘快的把我國建設成為具有現代工業、現代農業、現代科學文化的社會主義國家，因而亦必然對各種機械在結合我國實際的原則下來自行設計及改善原有的機械設備。但在設計過程中，首先必須確定所採用的機構是否能達到運動，以及在什麼條件下才能獲得確定性的運動，因此就必須掌握機構的構成原理。它將有助於我們的創造和改進。

綜上所述，研究機構結構的目的，是探討保證機構有確定運動的條件，以及從機構的形成原則出發建立起系統的機構分析方法，來研究機構的運動學和動力學，來綜合和設計新的機構。提供出研究與設計新機構的方法及發展新機構的途徑。

§2-2 運動付及其分類

各種機構都是由若干構件相互聯結，且能作確定的運動，因此兩構件具有相對運動的聯結處就稱為運動付。例如機器中軸與軸承的聯結，輪齒與輪齒的啮接等皆是。由運動付這個定義得出，運動付不能是由那些不相接觸或雖接觸但無相對運動的物體所組成。

構成運動付的構件間可能有的相對運動的性質是與兩構件的聯結方式有關，亦就是與運動付的性質有關。為此我們必須對它認識了解，便能更好的應用它於工程實際中去。

如圖 2-1 所示，一剛體 ABC 如果不受另一剛體任何限制而運動，它每一瞬間的運動將可以有沿另一剛體之三座標軸的獨立移動和繞三座標軸的獨立轉動，即具有六個獨立運動。這種一物體相對於另一物體可能有的獨立運動的程度即稱為自由度，所以彼此沒有限制着的剛體，相對可以具有六個自由度。

如果將此剛體相對於另一剛體的自由運動加以限制，它的自由度數目就會隨受限制的性質而減少，這種限制就稱為約束。若將剛體的運動限制在平行於另一剛體的 xoy 平面中運動，則剛體將失去沿 z 軸的移動和繞 x 軸及 y 軸的轉動，而只能有

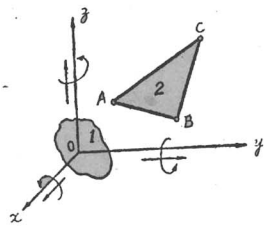


圖 2-1

沿 x 軸及 y 軸的移动及繞 z 軸的独立轉动。所以相对另一剛体作平面运动的剛体只有三个自由度，而被限制了的三个独立运动即就是相对有三个約束条件。

由此可見，剛体的自由度數与約束条件數的总和为 6，若以符号 H 表示自由度數，以符号 S 表示約束条件數，則一剛体的自由度數与約束条件數的关系为：

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

由运动付的定义知道，当两构件用运动付联结之后，其必将有某些相对独立运动被受到限制（某些相对自由度被失去）。由于两构件組成运动付的方式不同，其相对被失去的自由度數（即約束条件數）亦將有所不同。但至少失去一个自由度，最多也只能失去五个自由度，否則两构件將不相联结或无相对运动的联结，这样就不能成其为运动付了。

运动付的約束条件數，由其組成方式的不同，將由 1 到 5，因此，运动付的類別就將可分为五級，並且其級別亦將按約束条件數来命名。如相对約束条件數为 1 者，称为 I 級运动付；相对約束条件數为 2 者，称为 II 級运动付，余類推。

同一級別的运动付，由于失去运动性質的不同，又可分为若干型式。現將各級运动付可能有的各种型式列表如下：

級別	型式	失去的独立运动数(約束条件数)					
		第一 种		第二 种		第三 种	
		移 动	轉 动	移 动	轉 动	移 动	轉 动
I		1	0				
II		2	0	1	1		
III		3	0	2	1	1	2
IV		3	1	2	2		
V		3	2	2	3		

各式运动付所联结的两构件之相对自由度數可以由公式 (2-1) 求得。如 III 級运动付的第一种型式，其有三个約束条件，並且是約束了三个移动，則其还有三个轉动的自由度，其結構型式如图 2-2 所示的园球付。又如

IV 級运动付的第二种型式將还可能有一个轉动及一个移动的二个自由度，其結構型式可以有如图 2-3 a, b 所示二种型式。必須指出，按自由度的定义，自由度必須是瞬时相对可能有的独立运动数。如图 2-4 所示之螺旋付，就其运动而言，螺桿可以相对螺母繞軸綫轉动与沿其軸綫移动。但是两者的运动並非独立运动，而彼此有一定的关系，即螺桿繞其軸綫轉动的同时，其亦必沿其軸綫移动一定的距离，亦即螺桿只能有唯一的螺旋运动。因此，这个运动付只有一个自由度，故属 V 級运动付。

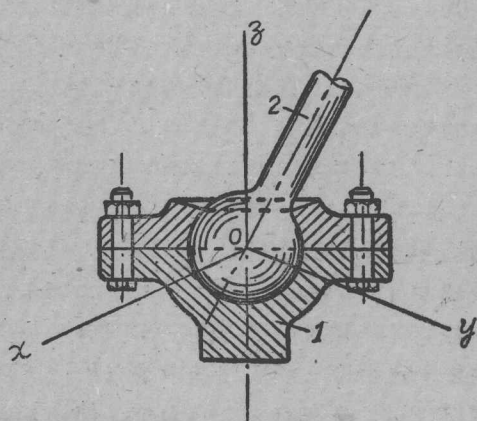


图2-2

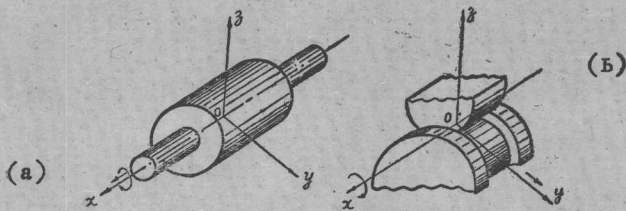


图2-3

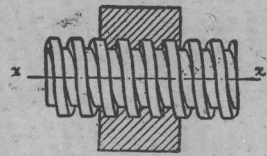


图2-4

运动付有空间运动付与平面运动付之别。如图2-2，图2-3a及图2-4等均属空间运动付，因为其可能有的独立运动不在同一平面中。如图2-3b所示之运动付属平面运动付，因为构件1相对构件2可能有的独立运动均在yz平面内。

又如图2-5a及b所示之转动付及移动付，各为第一种型式及第二种型式的V级运动付，亦是属于平面运动付的。这些平面运动付广泛地应用于平面机构中。

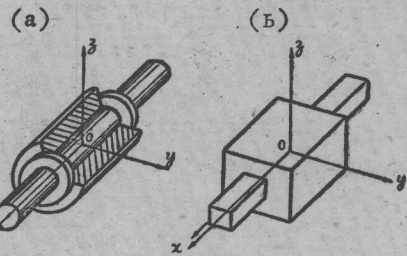


图2-5

§2-3 平面机构及其结构公式

机构是许多抗力物体的人为组合，其各物体间有恒定不变的相对运动。按此机构的定义知道，如果将许多构件用运动付相互连接起来，并能使其他所有构件相对某构件作确定的运动，那末这个系统就成为机构。

机构有空间机构与平面机构之分。所谓平面机构，就是这个机构中所有其他构件相对某构件在同一平面或平行的平面中作平面运动的机构。除此之外，均属空间机构。

由于在实际应用中，以平面机构较为广泛，故这里着重研究平面机构。就本课程来讲，亦是着重以平面机构为研究对象的。

如前所述，机构必须是所有构件能作相对确定性运动的。而相对运动的数目取决于组成机构的构件数目及运动付数目与类型。我们知道一构件相对另一构件限制在某平面内作平面运动时，其相对自由度最多为3，因此，如果机构由 $n+1$ 个构件组成，那么 n 个构件相对某构件总共可以有 $3n$ 个自由度。被相对的构件往往是固定不动的机架。那么 n 就是机构中所有活动构件（除机架）的数目。在平面机构中所应用的运动付，只可能有图2-5a及b所示之V级转动付及V级移动付与图2-3b所示之IV级平面付。我们知道V级运动付只有一个自由度，两构件作相对平面运动最多只有3个自由度。亦就是说，两构件若用V级运动付连接将失去2个自由度。平面机构中若有 p_5 个V级运动付，则在整个机构中将失去 $2p_5$ 个自由度。同样IV级运动付只有2个自由度，两构件若用IV级运动付连接将失去一个自由度，平面机构中若有 p_4 个IV级运动付，则在整个机构中还将失去 p_4 个自由度。因此，由 $n+1$ 个构件用 p_5

个V级转动付及 p_4 个IV级转动付所连接组成的平面机构相对某构件(机架)的自由度将为:

$$W = 3n - 2p_5 - p_4 \quad (2-2)$$

式中 n 为机构中活动构件数目。

机构相对机架的自由度 W 称为活动度。上式用来计算平面机构活动度的,其称为平面机构的结构公式。

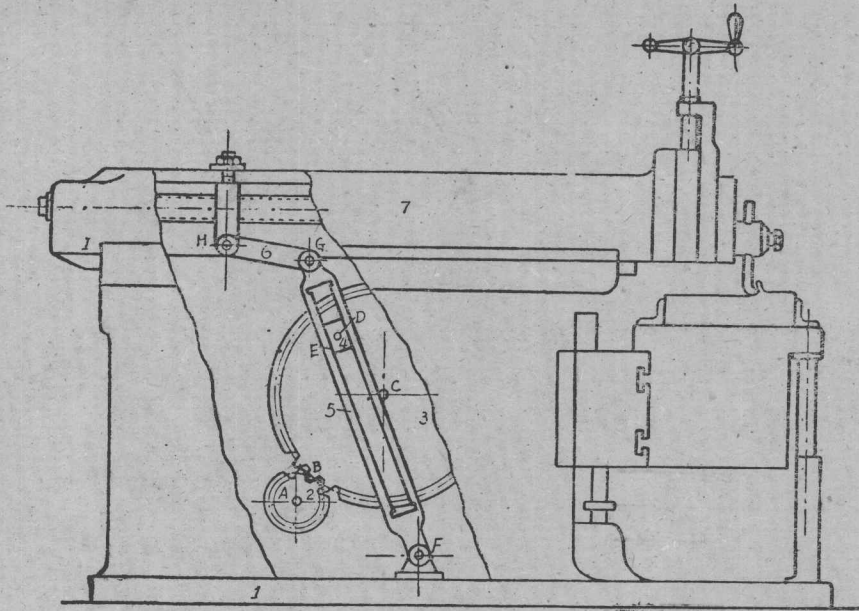


图2-6

如图2-6所示之牛头刨床,其由活动构件2,3,4,5,6,7及机架1用V级转动付[A, C, D, F, G, H及V级移动付E, I与IV级平面付B连接组成,即活动构件数为 $n=6$, V级转动付数 $p_5=8$ 及IV级转动付数 $p_4=1$,代入公式(2-2)得此牛头刨床的活动度为:

$$W = 3 \cdot 6 - 2 \cdot 8 - 1 = 1$$

即此牛头刨床机构的所有构件只有一个运动的可能。因此,如果给此机构任一活动构件一定的活动,其他所有活动构件亦将随之作确定的运动。给定一定运动的构件称为原动件。由此知道,欲使机构作确定的运动,机构的原动件数目必须与机构的活动度数目相等。

最后指出,平面机构中所应用的运动付有高付与低付之分。两构件以点或线接触所组成之运动付称为高付。实际上就是平面机构中的IV级运动付如图2-6所示两齿轮轮齿的接触即是高付。两构件以面接触所组成之运动付称为低付。实际上就是V级转动付及V级移动付。

§2-4 平面机构示意图的画法

为便于对机构的结构、运动及动力的研究,我们常将实际的机构或机器用最简单的示意图来表示。同样在我们设计机构的过程中也是这样,先设计出符合实际机器运动要求的机构

示意图(简图), 然后再来考虑构件的实际构造与形状。

机构最简单的示意图, 就是用各种简单的符号, 来代表各种运动付及构件, 画出机构的结构图。

在平面机构中所用的运动付只有Ⅴ级转动付, Ⅴ级移动付及Ⅳ级高付三种。Ⅴ级转动付可以用两个同心小圆来代表。如图2-7所示表示构件1与构件2以转动付连接。若构件1为固定的机架, 则可以在构件1上画以许多短的倾斜线, 表示构件1是固定的(图2-7б及в), Ⅴ级移动付可以用图2-8所示之简图来代表, 这表示构件2相对构件1用移动付来连接, 亦表示构件2只能在构件1中移动, 图2-8г, д及e中画以许多短的倾斜线的构件1表示是固定的机架。机构中的Ⅳ级高付应将两构件在接触处的实际形状画出。

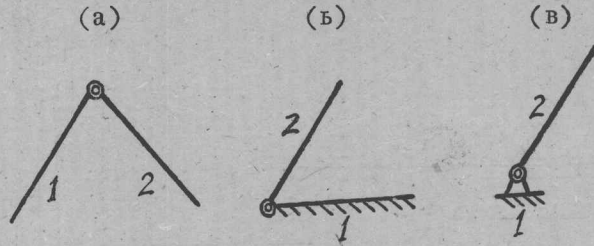


图2-7

及в), Ⅴ级移动付可以用图2-8所示之简图来代表, 这表示构件2相对构件1用移动付来连接, 亦表示构件2只能在构件1中移动, 图2-8г, д及e中画以许多短的倾斜线的构件1表示是固定的机架。机构中的Ⅳ级高付应将两构件在接触处的实际形状画出。

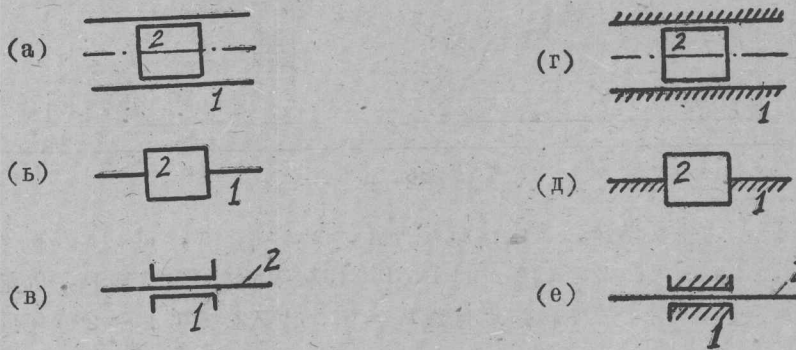


图2-8

平面机构中的构件可以用此构件上各转动付的中心联线来代表。如图2-9а, б, в及г所示之各式连桿及曲轴, 其上各带有二个转动付A及B, 则我们可以用图2-9д所示二转

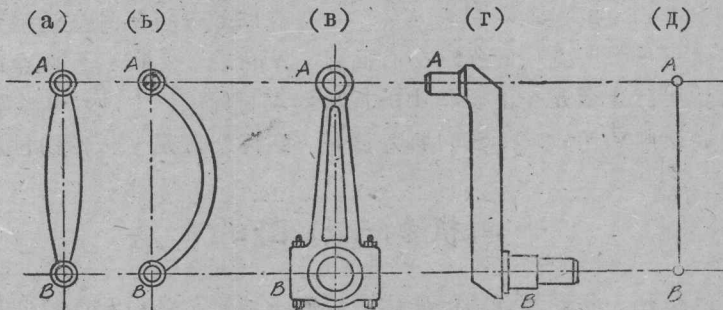


图2-9

动付联綫 AB 来表示。其长度应与原构件轉动付中心的联綫相等或成比例。如图 2-10a 及 b 所示之連桿及曲軸，其上各带有三个轉动付 A, B 及 C，則我們可以用图 2-10B 及 Γ 所示三轉付中心联綫所組成之三角形 ABC 来表示。同时中心联綫的长度也应与原构件轉动付中心联綫相等或成比例。当三个轉动付在一直綫上时，則在中間的轉动付外面画以半圓綫，如图 2

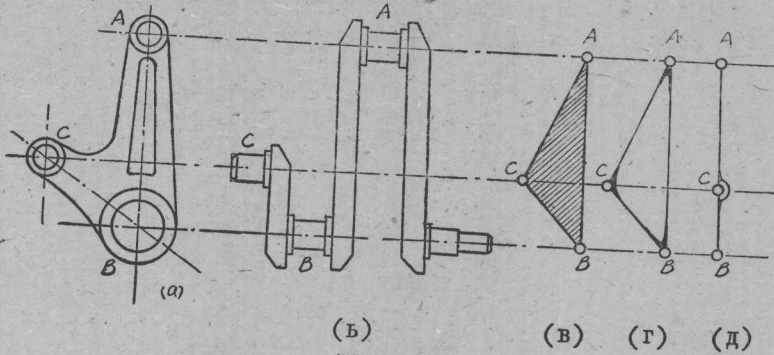


图2-10

—10 a 所示，表示 AC 及 CB 如同—剛体。如果构件上带有移动付，則可以用滑块来表示，但需画出其与另一物件移动的方向，如图 2-11a, b 及 B 等所示。

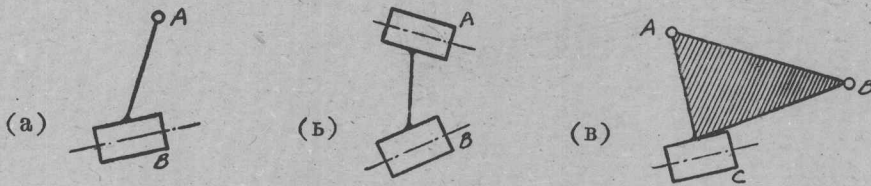


图2-11

按上述机构中运动付及构件的簡图画法，我們就可能把複雜的机器或机构的結構用最簡單的示意图表示出来，而且仍不影响原机器或机构运动及动力傳遞的真实性。

如图 2-6 所示之牛头鉋床，我們可以以图 2-12 的示意图来示出。在画此示意图之前应对原机构进行彻底的了解，如图 2-6 所示之牛头鉋床机构是由活动构件 2, 3, 4, 5, 6, 7 及固定的机架 1 所組成。构件 2 及 3 是齿輪机构，其以輪齿高付 B 连接，並各以輪軸 A 及 C 与机架 1 組成轉动付，在齿輪 3 上以轉动付 D 连接—滑块 4，滑块 4 以移动付 E 連于滑槽 5 中，滑槽 5 又以轉动付 F 与机架连接。滑槽 5 的另一端又用轉动付 G 连接—連桿 6，連桿 6 以轉动付 H 连接滑座 7 (刀架)，滑座 7 以移动付 1 连接机架 1 的导轨上。

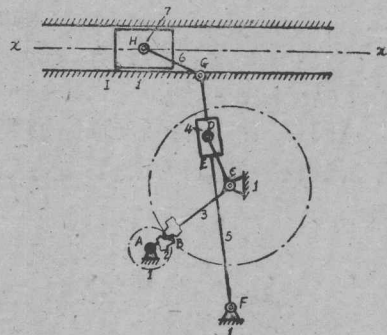


图2-12

在了解了此牛头鉋床的机构結構之后，我們就可以如下述方法画出如图 2-12 所示