

高等学校教学用书

机械原理

上册

И. И. 阿尔托包列夫斯基著
樊大鈞 李佑华 徐 颢译

人民教育出版社

高等学校教学用书

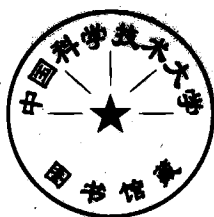


机 械 原 理

上 册

И. И. 阿尔托包列夫斯基著

樊大鈞 李佑华 徐 源译



人 民 教 育 出 版 社

机 械 原 理

上 册

И. И. 阿尔托包列夫斯基著

樊大鈞 李佑华 徐 灏译

北京市书刊出版业营业前可露出字第2号

人民教育出版社出版(北京景山东街)

民 族 印 刷 厂 印 装

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

统一书号 K15010·60 开本 850×1168 $1/32$ 印张 14 $9/16$

字数 388,000 印数 19,001—22,000 定价(7) 1.60

1956年3月第1版 1962年3月北京第7次印刷

第二版序摘錄

1940年作者把在國立羅蒙諾索夫莫斯科大学数学力学系講課的講稿以“机械原理”为名而發表了。後來，在1945年，作者出版了高等工業學校机械專業用的教科書，該書定名為“机械原理教程”。

按篇幅來說，這本教科書較綜合大學課程少得很多，它僅包含學生在學習本科目時所必需的起碼知識。

本版教科書與從前所出版過的大不相同，因此它在本質上是一本新的教科書，書中保留了根據蘇聯科學家學派所創建和發展了的體系來作課程敘述的基本思想，並對下列各點作更詳盡的發揮：俄國機構科學史，機構設計原理的某些新問題，組合機械動力學，機械實驗研究法等等。

這本新教科書定名為“机械原理”，因為就書中所敘述的問題範圍來說，它與1940年出版的教科書比較相近，同時其內容又接近於對高等工業學校學生所提出的現代要求。

在準備這本書的第二版時，曾經考慮了我們的同事和學生以及各高等工業學校的教師們對第一版所提出的許多意見。

作者認為，向學生介紹應用於工程技術上的各典型機構，對高等工業學校來說是非常重要的，故作者在本書一開始就詳細地敘述各種現代機構，並用大量的例子來作說明。在第一篇內也列入具有液壓和電氣裝置的新型機構。

作者考慮到蘇聯科學在發展機械原理問題上有卓越的貢獻，故把俄國機械原理各學派的發展簡史列入本課程之內，並將蘇聯科學在發展機械運動學和動力學上的成就作了簡略的敘述。

俄國古典機械原理學派的特点是廣泛利用機構和機械的幾何研究方法來深入地敘述機構運動學的原理。根據此傳統，在這本教科書中詳細地敘述了機構運動學的幾何方法。作者以俄國科學家在機械原理方面所得的綜合結果為基礎而發展了此種方法。由於他們的勞績，在蘇聯本國的科學中已創立了機構的嚴整分類。

近年來蘇聯學派在發展機構設計方法方面得到了很大的成就。這一點已反映在這本教科書中：本書列入對低副和高副機構運動系統的精確設計和近似設計的現代方法的敘述。在敘述齒輪機構的研究與設計問題時，作者不得不僅限於敘述齒輪機構的理論基礎，因為只有在專業課程中才能向學生足夠充分地來介紹這些機構。

在機構及機械的動力學問題中，主要的注意力放在求作用於機構及機械上的力，機構的力計算方法的敘述，機械及機構運動方程式的研究，及機械的平衡問題。

在涉及機構和機械動力學的普通問題的解法的那些部分中，大大擴充了關於機械行程不均勻性和機械組合運動研究的各篇。這些問題主要是在蘇聯科學家所發表的最近著作的基礎上來敘述的。

關於機械行程調節原理，只是在蘇聯高等教育部批准的教学大綱範圍內來編寫的。

作者認為機械和機構的實驗研究法具有重大的意義，故將關於敘述機械及機構的速度、加速度、力和力矩的現代求法的各節列入本課程之內。

作者考慮到：由於各種高等工業學校都有某些特點，在不同的機器製造高等工業學校及機械高等工業學校中所講授的機械原理課程的教学大綱，無論在講述材料的分量上或其內容上都彼此有些不同，故認為編寫教材必須較任何具體的教学大綱所規定的內容更為完備一些。為了便於使用這本教科書起見，在正文中將對於教学大綱中所述問題作補充發揮的那些部分都印成小號字；在學習這門課程時，這些部分對學

生來說並非在所有情況下都是必讀的。

在出版本教科書的同時，作者與齊諾維耶夫(В. А. Зинovieв)和埃德爾施坦(Б. В. Эдельштейн)合作出版了“機械原理習題集”第二版。教科書與習題集應視為整個的一套機械原理教材。關於各個例題與習題的實際解法的許多問題並不是在教科書中敘述的，而是在習題集中敘述的，習題集中包含有相應的各篇，並用大量的例題來說明(機構結構的研究，凸輪機構的設計等)。

在這本書中很多地方可以碰到作者本人所作的科學研究。同時在這本書中也可看到蘇聯科學家在近十年來工作的反映及其所發表的基本著作。本書綜合了作者及其學生以及與作者在高等學校一起教學多年的同事們所積累起來的很多教育經驗。作者首先向他們表示無限的感激和謝意。

作者請求所有同人對於本書這一版給以批評並指出這一版的缺點，作者對於將給予本書此種指正的所有同志預先致以謝意。

作 者

1951年9月6日

第三版序

为了改進个别問題的敘述,在第三版中已加進必要的修正。

作 者

1953 年 6 月 23 日

目 錄

第二版序摘錄.....	vii
第三版序	x
緒論	1
§ 1. 基本概念和定义.....	1
§ 2. 俄國和苏联机械原理的發展概況.....	6

第一部分 机构結構及机构运动学

第一篇 机构的結構分析及分类

第一章 關於現代机构的一般知識	31
§ 3. 連桿机构	31
§ 4. 凸輪机构	43
§ 5. 齒輪机构	46
§ 6. 斜面机构及螺旋机构	52
§ 7. 摩擦机构	54
§ 8. 挠性桿机构	56
§ 9. 液动机构	58
§ 10. 电动机构	59
第二章 运动鏈的結構	62
§ 11. 运动副及其分类	62
§ 12. 运动副的規定画法	73
§ 13. 运动鏈	75
§ 14. 一般情形运动鏈的結構公式	76
第三章 机构的結構	79
§ 15. 机构的活动度	79
§ 16. 机构的族	81
§ 17. 平面机构的結構	91
§ 18. 空間机构的結構	97

第四章 機構分類	101
§ 19. 機構構成的基本原理	101
§ 20. 機構的近代分類法	103
§ 21. 平面機構的結構分類	104
§ 22. 關於空間機構結構分類的幾點知識	116

第二篇 機構的研究與設計

第五章 平面機構運動學概論	122
---------------	-----

§ 23. 絕對運動及相對運動的瞬心綫	122
§ 24. 機構各桿速度間的關係	126
§ 25. 運動副桿的速度與加速度的求法	131
§ 26. 加速度瞬心。迴轉圓	142
§ 27. 被包絡曲綫與包絡曲綫	147
§ 28. 瞬心綫與共軛曲綫的曲率	151

第六章 應用圖解法的低副平面機構的運動學研究	156
------------------------	-----

§ 29. 組桿位置和機構桿點軌跡的求法	156
§ 30. II級組的速度和加速度的求法	165
§ 31. III級組的速度和加速度的求法	187

第七章 最簡單低副機構的運動學研究	195
-------------------	-----

§ 32. 鉸接四連桿機構	195
§ 33. 曲柄連桿機構	200
§ 34. 導桿機構	204
§ 35. 斜面機構	210

第八章 運動圖	212
---------	-----

§ 36. 運動圖的画法	212
§ 37. 用作圖法研究機構運動	217

第九章 平面機構設計概論	226
--------------	-----

§ 38. 機構設計的一些基本問題	226
§ 39. 用瞬心綫法產生運動	228
§ 40. 用互為包絡的曲綫法產生運動	234
§ 41. 保證機構中力的傳遞的幾何條件	239
§ 42. 滾動桿與非圓形輪機構	245

第十章 凸輪機構的運動學研究及其設計	248
--------------------	-----

§ 43. 位置求法	248
------------	-----

§ 44. 速度和加速度的求法	253
§ 45. 設計的基本問題	256
§ 46. 機構主要尺寸的選擇	263
§ 47. 凸輪輪廓的設計	273
§ 48. 設計空間凸輪機構的一些知識	284
第十一章 圓柱齒輪機構的運動學研究和設計	288
§ 49. 最簡單齒輪機構的運動學	288
§ 50. 齒輪系機構的運動學	291
§ 51. 幾種型式的減速箱和變速箱的運動學	299
§ 52. 輪齒齒廓的基本要求	304
§ 53. 漸開綫齒廓普通原理的基本知識	309
§ 54. 漸開綫齒廓的設計	315
§ 55. 嚙合弧和嚙合係數	320
§ 56. 漸開綫齒廓加工方法概述	324
§ 57. 齒廓的過渡切削	328
§ 58. 用齒條銑刀製造的漸開綫齒輪設計概述	332
§ 59. 擺綫齒廓設計	345
§ 60. 幾種特殊類型的平面齒輪機構	351
§ 61. 斜齒圓柱齒輪設計	357
第十二章 空間齒輪機構的運動學研究和設計	362
§ 62. 圓錐齒輪機構的運動學	362
§ 63. 圓錐齒輪齒廓的設計	367
§ 64. 雙曲綫迴轉體齒輪和螺旋齒輪機構	373
§ 65. 蝸輪機構	378
第十三章 低副平面機構設計	383
§ 66. 設計的基本問題	383
§ 67. 位置問題	391
§ 68. 關於近似再現已知運動規律的問題	401
§ 69. 關於再現已知軌跡的問題	406
§ 70. 桿能整周轉動的条件	409
第十四章 幾類機構的運動學研究	413
§ 71. 萬向接頭機構	413
§ 72. 雙萬向接頭機構	416
§ 73. 空間鉸接四連桿機構	418
§ 74. 螺旋機構	420

緒 論

§ 1. 基本概念和定义①

1°. 机械原理是引導学生進一步學習一般的和專門的机器制造課程所必需的第一門課程。机械原理在其講述方面是以学生学完物理、数学和理論力学后所得到的知識为基础的。这門課程的任务是培养学生能進一步听講机械零件課程、机器制造工艺学課程和按学生所学专业而定的各类机械設計課程。因此，机械原理在机器制造高等工業学校中乃是在工程技术方面教育未來机械工程师的基础。

机械原理是研究机械構成，机械运动学和机械动力学的一門科学。

机械原理的問題可以分为兩类。第一类問題是關於現有机械的研究；第二类問題是關於实现特定运动的新机械的設計。

从这門課程講述方法的观点來看，通常將这門課程分为兩部分是比較合適的，这两部分是：

- 1) 機構結構和機構运动学；
- 2) 机械动力学。

機構結構和機構运动学具有下面的目的：研究機構構成的原理，从几何学的观点來研究機構各元件的运动而不管引起这些元件运动的力如何，以及講述按已給运动条件設計機構的方法。

机械动力学研究在机械运动过程中作用於机械各元件上的力的求法，並研究这些元件的运动、作用於其上的力以及这些元件所具有的質量之間的相互关系。

2°. 每一機構或机器皆由各單獨零件組成。在固定式的机器和机

① “机械”一詞在本書中代表機構和机器的总称——編者註。

構中，有些零件是固定的，另一些零件對這些固定零件作運動。在活動式的機器和機構中，例如在飛機或汽車的發動機中，將與機身或車身固定連接的零件假定為固定零件。根據這個，在曲柄活塞式發動機中，發動機的機體，曲軸的軸承及氣缸等在任何情況下皆屬於固定零件；認為是活動零件的有：曲軸，活塞，氣閥等等。構成一個各物體總剛性活動系的每一個活動零件或零件組皆稱為機構或機器的活動桿。因此，例如發動機的連桿即為一活動桿，雖然連桿可由下列許多零件組成：如連桿身，連桿蓋，連桿軸承，系緊這些蓋所用的螺釘等等，但它仍是一個活動桿，因為構成連桿的所有零件相連接而形成一個彼此無相對運動的各物體的總剛性系。組成一個桿的各零件有時並不是彼此剛性連結的（例如運送帶裝有被運送的零件）；這時這些零件（運送帶在內）屬於一個桿，其特征是它們彼此無相對運動，因而可以在它們之間加以剛性連結而不改變其運動特性。

所有固定零件組成一個各物體的剛性固定系，此剛性固定系稱為固定桿或機架。例如，發動機體，主軸軸承等總合起來構成一個固定桿或機架。

因此，在任一機構或機器中，我們有一個固定桿和一個或一個以上的活動桿。

因而，機構或機器可視為固定桿與活動桿的組合。活動桿彼此間相連結或與固定桿相連結恆可產生各桿間彼此作相對運動的可能性。各桿彼此間的相對運動由相接觸的桿元件的形狀來決定。當各桿作相對運動時，各桿元件即為各桿上的相接觸的表面、綫或點的組合。

連接彼此有相對運動的兩桿即構成運動副。按另一種說法，凡兩桿以其由表面、綫和點所構成的桿元件相接觸並由於此種互相接觸而限制桿的相對運動時，則此兩桿稱為運動副。連接組成運動副的各桿而成的桿系便構成運動鏈。因此，曲柄活塞式發動機的曲軸與固定軸承組成一個運動副。連桿與曲軸組成第二個運動副，活塞與連桿組成

第三个运动副等等，而就是所有这些个运动副構成了运动鏈。由此得出結論，运动鏈是每一機構或机器的基礎。利用运动鏈的概念我們可給機構作如下的定义。

機構是一个具有一固定桿的人造运动鏈，这运动鏈是用來完成符合於一定目的的运动。

供完成生產过程或能量变换过程所需要的有效功所用的機構或复合機構称为机器。

由这些定义得出結論，机器的基本特征不僅是机器各桿能有適於一定目的的运动，而且也能完成由一种形式变为另一种形式的能量变换过程，或生產过程，即改变被加工物体的物理性質，状态，形狀和位置的过程所需的一定有效功。

因此，从產生適於一定目的的运动的观点來看，機構与机器之間是沒有区别的。事实上，鐘錶与机床都是機構或复合機構，因为它们的所有各桿皆具有適於一定目的的运动。但鐘錶的作用是使各針以一定的角速度比作等速运动，而車床的作用則是对產品作有关其形狀改变的加工。

大多数的机械測量仪器，数学仪器，計算-解題器械和火砲的操縱裝置等等都屬於機構。

各种类型的發动机，加工各种材料及物件用的机器和运输机皆屬於机器之列。

3°. “一切發展了的机器总体都由三个在本質上不同的部分構成，即由：發动机，傳动機構；以及工具机或工作机。”（馬克思“資本論”，1953年中文版第1卷，448頁）^①。

机器总体的这个定义可应用於任一現代机器組合上，因为任一机器組合都是由發动机和用發动机借助於傳动機構所帶动的一个或几个工作机组成的。

^① 譯文略有改动——編者註。

現代的機器組合除含有馬克思已指出的那三部分外，還含有為全部或部分地完成人工控制作用所用的其他部分。這就是各種調節和控制的裝置，其任務是：調節生產過程，防止機器組合的自行停止，防止生產出不合格的产品，作為機器組合某些構件損壞的信號設備等等。隨着技術的進一步發展，機器的自動控制裝置的作用將愈增大。

在馬克思的時代，傳動機構已應用甚廣，那時利用此種機構將發動機的能傳給一個工作機或分配給幾個工作機。隨着機器組合的改進，傳動機構常常變成了工作機的一部分。因為單個發動機不僅應用到各個工作機上，而且也應用到各個機構上，故在某些情況下根本不需要傳動機構。由於這種緣故，可將某些現代機器組合視為由發動機和工作機組成的。

凡機器能將任一形式的能量變為帶動工作機所需的機械功者稱為發動機。

屬於發動機的有：熱機，電動機，水渦輪，風力發動機等等。

在某些情況下在機器中有逆過程：將機械能變換為任一其他形式的能量。此種機器稱為變換機。例如由渦輪或內燃機帶動的發電機就是變換機。

用以改變加工件或加工料的性質，狀態，形狀和位置的機器稱為工作機。

用於工業和農業的各種各樣的機器皆屬於工作機，例如：金屬加工機床，紡織機械，印刷機，食品機械及其他，聯合收割機，打谷機，磨粉機及其他農業機械，最後，起重機，運送帶，泵及其他運送和移動各種物體用的機器等等。

凡工作機中的所有動作皆由相當的機構來完成，不需要人的幫助，而只需要人來控制工作機的運轉，此種工作機稱為自動機。

現今在蘇聯機器製造的各方面已最廣泛地應用了各種自動機。在許多工業部門中，完成將原料變為成品的一系列工序的各自動機組成

了形成機器自動系統的各自動工作機的連續鏈。

在蘇聯建立了世界上第一個高度自動化的生產發動機活塞的自動工廠。在這自動工廠中，製造活塞的整個過程，自鑄造開始至活塞包裝為止，全都自動化。所有的中間工序也同樣全都自動化：如輸送產品，控制尺度等等。利用特種的機械、電氣和電子自動裝置來控制在這自動工廠中所發生的一切過程。管理這自動工廠的工作人員利用這些裝置在每一瞬間皆可在特殊管理台上看到自動工廠所有主要構件中生產過程的整個進行情況。工作人員的參加僅為了操縱和控制生產過程。

4°。機器在蘇聯有了最廣泛的應用。在最近的幾年內機器在蘇聯還要有更廣泛的應用。

斯大林在他的經典著作“蘇聯社會主義經濟問題”中寫道：“社會主義基本經濟法則的主要特點和要求，可以大致表述如下：用在高技術基礎上使社會主義生產不斷增長和不斷完善的辦法，來保證最大限度地滿足整個社會經常增長的物質和文化的需要。”（斯大林“蘇聯社會主義經濟問題”，人民出版社，1953年中文版35頁）。

第十九次黨代表大會按照發展蘇聯的第五個五年計劃擬定了有歷史意義的指令。在這些指令中規定高速度的發展機器製造業，因為這是蘇聯國民經濟各部門中新的強大的技術進步的基礎。在這些指令中特別注意到生產渦輪，發電機，重型機床，壓鍛設備，繁重工作機械化所用的機器，輕工業和食品工業各部門的自動設備和他種機器。

在資本主義國家中也使用機器，但使用機器在蘇聯和在資本主義條件下有着本質上的不同。

斯大林在他最後一部著作“蘇聯社會主義經濟問題”中敘述了蘇聯使用機器的問題。

斯大林寫道：“……機器不僅節省勞動，而且同時還減輕工作人員的勞動，因此，與資本主義的條件不同，在我們的條件下，工人是極樂意在勞動過程中利用機器的。

所以應該說，沒有任何地方像在苏联这样乐意使用机器，因为机器給社会節省劳动，並且減輕工人的劳动；由於在苏联沒有失業的現象，所以工人極乐意在國民經濟中使用机器。”（斯大林，“苏联社会主义經濟問題”人民出版社，1953年中文版39頁）。

由斯大林同志的这些原理得出，資本主义所創造出的新技術，其任务並不是像在苏联那样为了給社会節省劳动和減輕工人的劳动，而是为了資本家獲得最大的利潤；在資本主义的条件下創造新的，更完善的机器常常造成失業現象；在資本主义國家發展新型机器並不服从於保証滿足社会的物質和文化的需要的任务，而是愈來愈服从於創造軍事技術資料。

§ 2. 俄國和苏联机械原理的發展概況

1°. 机器制造業是苏联主要工業部門之一。只有在机器制造業有了应有的發展时，其他工業部門才能得到廣泛的發展。沒有机器，進一步說沒有完善的机器，就不可能使劳动生產率有任何顯著的提高，繁重过程的机械化和生產自动化也不可能达到。

在革命前的俄國，机器制造工業的發展是很落后的。大多数的各类型的机器都是由其他國家輸入的。僅在柴油机制造，機車和車輛制造，造船和機車制造上有某些成就。但生產工具的生產——机床制造是特別不發達的。像在飛機制造，汽車，拖拉机，复雜的農業机械和其他許多机器制造等这种最重要的各部門中根本沒有机器制造生產。

机器制造厂的生產工藝是極其落后的。在大多数的工厂中生產是小批生產，劳动組織十分簡陋。僅在某些工厂——科洛姆那(Коломна)，索尔莫夫(Сормов)，布季洛夫(Путилов)——生產水平才比較高。

虽然生產工藝簡陋，但是在俄國工厂能掌握像柴油發动机，蒸汽渦輪，船舶發动机等那样复雜的机器也可說明俄國工人和工程师的天才与智慧。但是他們的努力在当时受到了革命前俄國資本主义經濟体系

所特有的条件的限制；而此体系在物質上处在依賴外國資本的地位，而外國資本对國內机器制造業的發展是不利的，使本國变成了銷售市場。

党和苏联政府在实现苏联工業化的时候特別注意建立强大的本國机器制造業——这个重工業的主要部門。斯大林在談到關於苏联工業化的道路时指出：“不是發展任何一种工業都算做工業化。工業化的中心，工業化的基礎，就是發展重工業（燃料、金屬等等），归根到底，就是發展生產資料的生產，發展本國的机器制造業。”其次又指出：“……工業化首先应当了解為發展我國的重工業，特別是發展我國自己的机器制造業這一個工業的神經中樞。否則就談不到保證我國在經濟上的獨立。”（斯大林全集中文版第8卷，112—113頁）。

有計劃的及高速的發展机器制造業是从第一个五年計劃开始的。在战前的几个五年計劃的年代里，实际上已从头建立了汽車，拖拉机，坦克車，航空發動机和飛機，复雜的農業机械，冶金工業用的机器，化工，动力和礦山設備等等的生產；也發展了运输机械制造業。

在头几个五年計劃的时期內，所有机器制造部門皆以空前未有的速度飛速發展着。党和苏联政府对今后机器制造業的發展方向，無論是整體的或按个别分类的，皆給了很大的注意。在联共（布）第十四次党代表大会的总结报告中，斯大林同志談到机器制造業問題时指出：“把我國由農業國變成能自力出產必需裝備品的工業國——這就是我們总路綫底實質和基礎。”（斯大林，“在联共（布）第十四次代表大会上關於中央委员会政治工作的总结报告”人民出版社，1953年中文版，84頁）。（斯大林全集俄文版第7卷355頁）。

在头三个五年計劃中已經建立了数百个新的最大机器制造厂。

新的工厂配备着現代技術和第一流的設備；这里的生產是在現代先進的机器制造工藝的基礎上來進行的。在这方面，苏联的工厂是比較年輕的，同时还是建立在社会主义工業原則上的，因此在世界上佔第一位。在第十八次党代表大会上，斯大林同志指出：“我國已經沒有，或