

201000

苏联 沃·姆·奥谢茨基著

矿山机械应用力学

煤炭工业出版社

201000

矿山机械应用力学

苏联 沃·姆·奥谢茨基著

王德信 孙振飞译

煤炭工业出版社

內 容 提 要

本書对理論力学的基本問題和机械原理的某些基本問題作了扼要的敘述，并指出如何应用这些理論去解决在采矿工程的各个方面（如提升，矿山运输，采矿机械，井巷支护，采空区充填等）所碰到的問題。

本書是为采矿工业的工程技术人员写的，也可以供高等矿业学院的教师和学生使用。

В.М.Осецкий

МЕХАНИКА В ГОРНОМ ДЕЛЕ

Углетехиздат Ленинград

根据苏联国立采矿技术書籍出版社1957年版譯

1304

矿山机械应用力学

王懋愷 孙振飞譯

*

煤炭工业出版社出版(社址：北京东长安街煤炭工业部)

北京市書刊出版业營業許可証出字第084号

煤炭工业出版社印刷厂排印 新华書店发行

*

开本850×1168公厘 $\frac{1}{32}$ 印张11 $\frac{3}{8}$ 字数248,000

1959年12月北京第1版 1959年12月北京第1次印刷

統一書号：16035-968 印数：0,001—3,500册 定价：1.75元

序 言

繁重劳动过程的机械化及自动化要求采矿工程师通晓越来越深入的采矿技术的基本理论。近来在各种采矿技术问题上（矿井提升，采矿机械的理论和计算，采矿工程的自动化，矿山运输等）提出的专题论文和科学技术论文集就是对这一要求很好的说明。在上述各项工作中，要解决一些复杂的理论问题，就必须利用理论力学和应用力学的一些专门方法（如第二类拉格伦日方程式，非完整系的微分方程式等）。而且，现代工程中遇到的高速度和大运动质量迫使我们对机器的动力学和静态动力学加以注意。这些问题还没有在高等矿业学院的课程中得到充分的反映，在专业课程之前讲授的理论力学及机械原理课程没有和采矿工程结合起来，就更加使得专门人材的一般技术训练脱离了他将来所需要解决的那些技术问题。

本书的目的，是帮助采矿工业中的工程技术人员提高工作能力和扩展视野。读者在各章里将复习过去学习过的知识，而各章的叙述是和高等矿业学院的一般教科书不同的，其中理论部分的阐述尽可能地简短，有的只是概略地提一提，而着重在应用理论去解决实际的问题。

著者企图将理论论证到这种程度，而达到使读者能掌握问题的实质，并熟悉在什么条件和什么范围内，能够应用这一种或那一种理论。在理论部分里，对于阐明力学所运用的那些概念的物理本质给了足够的注意。在本书所有各章中，直接从采矿工程的各种领域中选取了些例题和习题。包括以下各方面：提升，矿山运输，采矿机械，支护，采空区充填，选矿等。

这些例题和习题取自专门的文献和一些鑑定及論述的文章里。許多問題的想法是发生在著者的学术工作和答疑工作中。比較复杂的問題給出了詳細的解答，而比較简单的問題就只給出答案。使讀者由較简单的問題逐步接触到帶有一些研究性質的較复杂的問題。

第一章中简单地說明了力学方法和力学史。

第二章中闡明了矿山机器机构中的某些机构运动学問題。在本章中对用图解法解决运动学問題給了很大的注意，闡明了图解微分和图解积分法，并对它們的比例和运用問題加以說明。并且和以下各章一样，从各种可能的証明方法之中，选取了那些最能明显地表示出問題的物理方面的解法。

第三章中闡述了靜力学的基本問題，并且指明如何用分析方法及图解方法来确定机构和結構物中杆件的力。

第四章动力学中，针对采矿工程中的例题来研究了質点运动微分方程式的列出及其积分，研究了动力学普遍定理在机器理論中的应用，靜态动力学方法和碰撞理論。同时，在本章中还研究了第二类拉格伦日方程式并叙述了非完整系的运动微分方程式的概念。第四章叙述了采矿工程中比較复杂問題的解法。本章的特点之一是第二类拉格伦日方程式的叙述方法，它把一切抽象的概念，如系的广义力和广义質量等，給讀者以实际的概念，使之能有意識地来运用这些概念。

为了达到細致和几何直观性的目的，書中采用了向量表述法。向量計算的基本知識附在書末。

理論基础較淺的讀者在讀全書或其中一部分时，應該先讀理論部分，然后再来讀技术題目，对于那些作了詳細解答的問題应特別注意。受过較多訓練的讀者則可以不必在理論上多所耽擱，可立即去研究那些感到兴趣的題目。同时可以料到，甚

至是有理論修養的讀者，在讀到本書的某些原理敘述，在觀點上與普通高等礦業學院教程里將不同時，也不是沒有興趣的。

蘇聯科學院通訊院士 A. O. 斯比瓦閣夫斯基教授，技術科學副博士 M. II. 西特尼可夫，和 B. H. 留比莫夫，Л. II. 布舒也夫兩位工程師幫助著者準備和校訂了原稿，在這裡表示感謝。

目 录

序 言

第一章 緒 論 9

§1. 力学的研究对象和意义 9

§2. 力学的方法 10

§3. 力学发展简史 11

第二章 运动学 21

§1. 运动学概論 21

1. 运动学的对象 21

2. 空間和时间 21

3. 点和物体在空間的位置的确定 21

4. 广义坐标和自由度數 22

5. 运动鏈和机构 23

6. 交割法 25

§2. 質点运动学和刚体运动学的基本公式 25

1. 質点的速度和加速度 25

2. 当运动以自然方式給定时, 点的速度及加速度的求法 28

3. 等速运动和等变速运动的公式 32

4. 当运动以坐标方式給定时, 点的速度及加速度的求法 34

5. 刚体运动的最简单形式 35

6. 刚体作轉动时, 刚体上各点的速度和加速度的决定。

刚体的角速度和角加速度 36

7. 等速和等变速轉动的公式 39

8. 简单传动和复杂传动的传动比 39

9. 迴轉体上点的綫速度表为向量积的形式 41

10. 例題和习题 42

§3. 运动图	59
1. 距离曲线 $[(s, t)$ 图]	59
2. 速度曲线 $[(v, t)$ 图]	61
3. 加速度曲线 $[(a, t)$ 图]	62
4. 图解微分法	62
5. (v, s) 和 (a, s) 图	64
6. 图解积分法	65
7. 例题和习题	67
§4. 点和刚体运动的合成	70
1. 基本概念	70
2. 速度的合成	70
3. 作牵连移动时加速度的合成	72
4. 作牵连转动时加速度的合成 (哥里奥利斯定理)	73
5. 刚体绕交叉轴转动的合成	77
6. 刚体绕平行轴转动的合成	78
7. 例题和习题	81
§5. 刚体的平面平行运动	93
1. 基本概念	93
2. 运动平面图形上的速度分布。速度瞬心	93
3. 运动平面图形上加速度的分布。加速度瞬心	95
4. 速度变换法	98
5. 速度图	98
6. 加速度图	99
7. 例题和习题	100
第三章 静力学及图解静力学	105
§1. 静力学概论	105
1. 静力学的对象	105
2. 力及其性质	106
3. 作用与反作用相等定律	107

4. 主动力和约束反作用力.....	107
5. 决定力系的合力的最简单情况.....	109
6. 力对点的矩.....	112
7. 力对轴的矩.....	113
8. 力对点的矩与力对穿过该点的轴的矩之间的关系; 力对三个坐标轴的矩的解析式.....	115
9. 力偶及其性质.....	116
10. 作为向量的力偶矩.....	119
11. 力偶的合成.....	120
12. 例题和习题.....	122
§ 2. 力系简化为规则形式.....	130
1. 力系简化至某中心.....	130
2. 力系简化为力螺旋.....	131
3. 力系简化为合力.....	134
4. 合力之矩定理.....	135
5. 力系简化为力偶.....	135
6. 各种力系的平衡条件.....	135
7. 例题和习题.....	136
§ 3. 摩 擦.....	152
1. 基本概念.....	152
2. 滑动摩擦及其定律.....	153
3. 滚动摩擦.....	155
4. 粘性体的摩擦.....	156
5. 例题和习题.....	158
§ 4. 图解静力学和桁架.....	179
1. 平面力系合力的图解求法.....	179
2. 平面力系的图解平衡条件.....	180
3. 桁架及其计算方法.....	180
4. 例题和习题.....	182

§5. 重 心	185
1. 諸平行力的中心及其坐標的公式	185
2. 重心及其坐標的公式	186
第四章 动力学	191
§1. 动力学概論	191
1. 动力学的对象	191
2. 質 点	191
3. 机械系或質点系	191
4. 約束及其分类	191
5. 力的分类	192
6. 力、質量和加速度間的关系	193
7. 系的質量中心或慣性中心	194
8. 例題和习題	195
§2. 采矿工程中某些属于列出及积分質点运动微分方程的問題	197
1. 在笛卡儿坐标中的質点运动微分方程	197
2. 在柱面坐标中的質点运动微分方程	198
3. 在自然坐标中的質点运动微分方程	198
4. 質点动力学的两类基本問題	199
5. 例題和习題	199
§3. 轉动慣量	227
1. 基本概念	227
2. 对三个坐标軸的轉动慣量与对坐标原点的轉动慣量之間的关系	229
3. 对两平行軸的轉动慣量間的关系	229
4. 体、面和綫的轉动慣量的普遍公式	231
5. 例題和习題	231
§4. 动力学普遍定理	233
1. 動量定理	233

2. 系的质量中心运动定理	236
3. 力矩定理	237
4. 刚体绕静止轴的转动	239
5. 动能	241
6. 力所作的功	244
7. 势能	246
8. 功率	248
9. 动能定理	249
10. 机器运动方程	253
11. 系的广义坐标运动微分方程(第二类拉格朗日方程)	260
12. 静态动力学原理	266
13. 动力学和静力学普遍方程	269
14. 例题和习题	271
§ 5. 碰撞理论的基本问题	333
1. 基本概念	333
2. 碰撞时质点和系的动量变化	334
3. 两球体的正碰撞	335
4. 碰撞时质点和系的动量矩的变化	337
5. 对于有静止转动轴的刚体, 碰撞的作用	338
6. 撞击中心	338
7. 碰撞时的动能损失	339
8. 例题和习题	342
附录: 向量算法的基本概念	349
参考书目	358

第一章 緒 論

§1. 力学的研究对象和意义

力学与其他任何一門自然科学一样，是用来研究人們周围的现实并改变现实以滿足人們利益的需要的科学。

客观存在的现实世界，是处于不断运动的过程之中的。

这里所說的运动，一般是指任何的一种变化。这种广义的运动，是物質不可分割的屬性，是物質存在不可脫离的形式。

不能消灭运动也不能消灭物質，但也不可能从什么地方产生出运动来。在我們似乎觉得产生了或消灭了运动的地方，实际上是进行着运动由一个物体向另一物体传递；或者是运动由一种形式向另一种形式轉变。

机械运动是物体在空間和時間內的相互移动。这是运动的最简单形式，而且伴随着其他复杂形式的运动同时发生，但这些复杂形式的运动完全不能归結为简单形式的运动。运动的这种最简单形式——机械运动——就是在力学里所要研究的对象。

力学的基本定律，是人类在力学方面的原始知識长期积累过程的结果，是在力学的规律性方面的实践活动长期逐漸認識的结果。

直到十七世紀，由于伽利略和牛頓的工作，才使这些定律获得目前的形式。在这些定律的基础上建立起来的力学，叫做**經典力学**。

須得注意的是，經典力学的定律仅只在一定的条件下才能充分精确地反映客观现实。只在研究較大（克分子的）質量的运动，且其速度又远較光速（300,000公里/秒）为低时，才能

应用这些定律。

經典力学为工程技术的理論基础。对于目前苏联工程技术的高度水平來說，工程問題已提高到学术問題的水平，故力学的作用更为突出。采矿工业和采煤工业是在十月革命之后发生了重大技术革命的部門。采矿工程的各部分，如矿井提升，支护，通风，排水，矿山运输，选矿等，对力学提出了一些极重要而复杂、又急需解决的問題。

因此，力学在采矿方面所起的作用，并不比在其他技术部門起的作用来得小些。

§2. 力学的方法

我們在力学里所要对它的运动和相对平衡进行研究的实在物体，是一种很复杂的研究对象。所以，在着手研究之时，要撇开一系列次要的因素而研究这些对象的简化图样，这把我们引向一些抽象的概念，如質点、绝对刚体、理想流体等。

力学中所应用的抽象概念，在建立和发展这门科学中起着极大的作用，因为它給予了更完全更深刻地去認識现实世界的可能性。这种抽象是不应该避免的，但必須能通过它看到实际的对象，不可忘記它乃是真实世界的反映，而且要能由抽象概念过渡到实际的物体去。

任何科学所得到的結論是否真实，其准繩乃是实践。在这方面力学也不能例外。工业、生产、現代技术及天文观测使我們能确信力学結論的正确性。对力学現象的直观認識在一定的阶段中导致某种抽象，并借在力学中广泛应用的数学分析方法，在这些抽象概念之上建立起各种結論、定理和方程。利用这些結論来解决具体的实际問題，就有可能来審查它們的正确性，并对所研究的現象得到更深刻的認識，从而得到新的更广泛的

結論，它又重新在实践中去驗證，等等。这种“螺旋形”的发展是力学的特点，同时也是任何一門科学的特点：“由生动的直观到抽象的思維，然后再由它到实践——是認識真理，認識客觀现实的辯証方法”（列宁：哲学筆記）。

§ 3. 力学发展簡史

力学的发展归根到底决定于生产的发展和工程的需要。当然，力学又反过来促进技术的进步。力学作为一种科学，是在奴隶制度条件下便已經兴起的，当时由于畜牧业、农业、城市建设及各種水利工程的发展，产生了对天文学、对数学和对力学的要求。

目前所知的研究力学問題的最早的工作，是属于公元前四世紀的。公元前三世紀时阿基米德（公元前287—212）的工作有很大的价值。这些工作包括几何靜力学的基础：有关杠杆平衡、重心、液体中浮体的平衡等理論。在奴隶制度之后的封建制度中，生产力的水平进一步提高。然而农奴的廉价手工劳动沒有促使技术得到充分的发展，在封建社会中，技术的发展极其緩慢。

这种发展中的停滯直至十五世紀中叶，到文艺复兴时期，由于資本主义生产方式的发生和发展，技术科学便得到了迅速的进步，力学也是如此。在这时期內，有卓越的意大利艺术家、物理学家兼工程师列奥納多·达·芬奇（Leonardo do Vinci, 1452—1519）的活动，他研究了简单机器的摩擦，沿傾斜平面的运动等問題。这时期中还有伟大的波兰学者尼古拉·哥白尼（Nicolas Kopernikus, 1473—1543）的工作，他建立了太阳中心的宇宙图。哥白尼的学說奠定了天体力学的基础，并使其后的刻普勒（Johann Kepler, 1571—1630）得以提出行

是运动的三个基本定律，而后者又导致牛顿得出万有引力定律。

伟大的意大利学者伽利略 (Galilao, 1564—1642) 和最卓越的英国学者牛顿 (Sir Isoac Newton, 1643—1727) 的工作揭开了力学发展的新阶段。如果说伽利略的工作奠定了动力学的基础，那么，牛顿所著的“自然哲学的数学原理” (Principia mathematica philosophiae naturalis 1687) 一书就基本上完成了经典力学的体系。

牛顿之后，力学的发展为探讨力学的普遍原理，进一步发展分析和图解的研究方法以及应用这些方法去解决个别的问题。所有这些研究都在伽利略和牛顿于十七世纪所建立的定律的基础之上进行，直到十九世纪后期，才出现了关于这些定律的应用范围的问题。

一七二四年，彼得大帝签署了在圣彼得堡成立俄罗斯科学院的命令，此后，俄罗斯科学院很快地成为最大的科学思想中心。在这时期中，科学院士中先进部份的思想领袖是伟大的俄国学者罗蒙诺索夫 (М. В. Ломоносов, 1711—1765)。

罗蒙诺索夫的著作说明他是坚信的唯物主义者；他首先建立了作为辩证唯物主义基础的现代自然科学的重要原理，关于物质及其不可分离的属性——永恒运动。

罗蒙诺索夫为近代水力学和气体力学的创始人之一。在他的著作“冶金和采矿的主要原理” (Первые основания металлургии или рудных дел, 1742) 中，广泛地阐明了通风和排水的问题，而在“关于矿井大气的自由运动” (О вольном движении воздуха, в рудниках примеченном, 1745) 一书中，对矿井自然通风的现象作出了科学论证的说明。

罗蒙诺索夫一直很注意科学实验的记录，并认为实验标准

有决定性的意义。

罗蒙諾索夫的先进思想不仅对他的同时代人有极大的影响，而且对整个俄国的科学发展也有极大影响。

彼得堡科学院的第一批院士之一——欧拉(L. Euler 1707—1783)对力学的发展起了非常巨大的作用。欧拉出生于瑞士，廿岁的时候(1727年)到俄国并在此找到自己的新祖国。他发展了力学的分析方法，对質点的自由与非自由运动作出完善的理論，并研究了刚体动力学的一系列問題，其中特别是刚体繞靜止軸及靜止点的轉動問題。欧拉在水力学、机械原理和外弹道学等方面的成就有特殊的价值。

欧拉在彼得堡科学院中的同事伯努里(Daniel Bernulli, 1700—1762)和格尔曼(Я. Герман, 1673—1733)在力学的发展中也有很大的功績。前者提出水力学中的一个基本方程，該方程就用他的名字来命名。后者首先提出了靜态动力学的基本原理(称为“彼得堡原理”)，将动力学的問題在形式上化成靜力学的問題。

罗蒙諾索夫和欧拉留下了許多天才的学生和繼承人；由于他們的努力，使十八世紀末俄国的力学学識水平及教授力学的提法大大提高了一步。其中應該提到的有柯且尔尼可夫(С. И. Котельников, 1723—1808)院士和古尔叶夫(С. Е. Гурьев, 1766—1813)院士。

在十八世紀，法国力学学派有很大成就。这学派中最著名的代表人物之一是数学家兼力学家达伦培尔(Jean le Rond D'Alembert, 1717—1783)。在“动力学专論”(Traité de Dynamique, 1743)一書中，他試圖得出一个普遍的方法来解决动力学問題。因此，他提出一个与“彼得堡原理”相似的原理来作为动力学的基础，原理中将系的运动問題化成系在所請

耗損力的作用之下的平衡問題。然而达伦培尔沒有能够建立起来解决动力学問題的普遍方法，因为他的耗損力平衡原理，或通常称为“达伦培尔原理”的本身，对解决这个问题来說是不够的。这种方法后来由拉格伦日(Joseph louis logrange, 1786—1813)得出，拉格伦日在其“分析力学”(Mécanique andlytique, 1788)一書中指出了“达伦培尔原理”和“彼得堡原理”間的密切关系。以这个原理和虛位移原理为根据，他建立了用分析方法来解决动力学和靜力学問題的普遍方法。由于所得出結果的通用性，拉格伦日的分析力学在科学和技术的发展中起了极大的作用，因为其結果可适用于各种各样的范围。

与分析法繼續发展的同时，在十九世紀，几何方法也在力学中获得广泛的应用。

在力学的几何方面的代表人物为波索(Poinsot, 1777—1859)，他作了靜力学的純几何的說明，以及在运动学和动力学中运用了几何方法。

十九世紀不仅在法国产生出許多在数学和力学領域內的头等学者，而在其他的欧洲国家也同样。比如在德国，十九世紀初叶有伟大学者高斯(Karl Friedrich Gauss, 1777—1855)的工作，他在数学、天文学和数学物理学等方面进行了經典的探討。高斯提出了一个力学原理，并以他的名字来命名。同一时期还有德国学者雅庫比(Jacobi, 1804—1851)，其功績在于动力学微分方程的积分方法方面的研究。在十九世紀后半期，有德国物理学家赫尔姆哥尔茨(1821—1894)和赫茲(Hertz, 1857—1894)的活动。赫尔姆哥尔茨首先以严整的形式表示出了能量守恒定律(1847)。他对水力学进行了經典的探討，其中有关于流体中涡流的著名研究報告。赫尔姆哥尔茨提出的最小动勢原理对力学和对物理学的其他部門都极有价值。赫茲是在力学