

582/48

岩体力学的力学基础

李 民 庆

湖南科学技术出版社

岩体力学的力学基础

李民庆 编著

湖南科学技术出版社

一九七九年·长沙

岩体力学的力学基础

李民庆 编 著

责任编辑：刘孝纯

装帧设计：彭 一

*

湖南科学技术出版社出版

湖南省新华书店发行

湖南省新华印刷二厂印刷

*

1979年9月新1版第1次印刷

字数：168,000 印数：1—5,000 印张：8.25

统一书号：13204·6 定价：0.65元

前 言

岩体力学是研究作用于岩体上的力的效应，即研究岩体的力学现象、力学性质和运动规律的科学。这是一门新科学，近年来发展迅速，已成为力学的一个独立分支。这也是一门正在发展中的科学，就象正在被开垦的处女地一样，有待于人们努力耕耘。它又是一门边缘性科学，需要采矿、地质、力学等有关专业科技工作者共同合作来进行研究。

在岩体力学中，需要很多理论力学、材料力学、弹性力学等基础力学的知识。但是，岩体力学对这些基础力学，又有自己的特殊要求。此外，现场工作者也往往提出一些实际问题，要求从力学角度作出理论解释。这样看来，一种介于基础力学与岩体力学之间的、起一定的桥梁作用的参考读物，就显得十分必要的了。

基于上述想法，笔者编著了这本《岩体力学的力学基础》。由于是一种参考性读物，不象教科书那样既要基本上反映本学科的全貌，又要构成一个严谨的体系。所以，本书选择了一种较为灵活的方式，采取了“答读者问”的形式。同时，希望全书的篇幅不大，却能对教科书作出一定的补充。

全书共分六章，三十个答问。在第一章中，对一些基本的力学知识作了综合性复习；其余各章，都是从加强力学基础理

11729/05

论的角度出发，把力学基本知识与岩体力学的具体问题结合起来进行编写的。本书致力于对岩体力学某些基本概念作出力学解释；阐明某些实验方法和现场实测方法的力学原理；同时，对于在一般文献中只给出结果的某些实用公式，进行了比较详细的推导或指出其来龙去脉。

本书的三十个答问，是经过选择的，既有一定的独立性，也有一定的连贯性，整个内容涉及基本概念、理论分析、计算方法、实验室模拟和现场实测等各个方面。但是，本书所叙述的力学知识，并没有超出理论力学、材料力学、线性弹性力学的范围。在岩体力学中，有时还需要用到塑性力学、流变力学、断裂力学、结构力学的一些知识，这就要求读者去参阅其它专门性书籍和文献了。

本书供具有一般数学、力学知识的读者阅读，可作为高等院校和业余大学有关专业师生的教学参考读物，也可作为有关专业的科技人员、工人自修岩体力学时的参考读物。

本书也包括了笔者个人的点滴心得体会，如对“地压”这一概念的理解、“孔径变形圆”这一概念的提出、用生文南原理解释开洞影响的局部性和劈裂应力公式，以及某些实用公式的推导方法，等等。限于水平，不当之处，恳请读者批评指正。

本书原稿承蒙冶金部长沙矿山研究院桑玉发、中南矿冶学院钟时猷等同志审阅，并提出了宝贵意见；又蒙范钦恕同志协助绘图，在此一并致谢。

李民庆

一九七九年元月于长沙

目 录

符号表	(1)
第一章 基本的力学知识	(5)
一、什么是力	(5)
二、什么是应力	(9)
三、什么是应变	(19)
四、应力与应变有什么关系	(24)
五、怎样求解弹性力学平面问题	(28)
第二章 岩体应力分析	(38)
一、什么叫原岩应力	(38)
二、什么叫围岩应力	(43)
三、怎样计算圆孔周边的应力和位移	(47)
四、怎样计算椭圆孔周边的应力	(58)
五、主应力和次主应力有什么差别	(65)
六、应力状态怎样迭加	(76)
七、应力圆有什么用途	(82)
第三章 岩石的力学性质和强度理论	(93)
一、岩石的力学性质有什么特点	(93)
二、怎样计算劈裂应力	(101)
三、什么叫强度理论	(106)

第四章 巷道地压	(129)
一、什么叫地压	(129)
二、怎样计算松散压力	(135)
三、怎样计算形变压力	(144)
四、怎样解释岩爆现象	(155)
五、喷锚支护有什么作用	(159)
六、什么是有限单元法	(166)
第五章 实验室模拟方法的力学原理	(177)
一、什么叫光弹性模拟	(177)
二、什么叫相似材料模拟	(188)
第六章 现场实测方法的力学原理	(196)
一、钢弦压力盒是怎样工作的	(196)
二、弹性波有什么用途	(201)
三、应力计与应变计有什么差别	(215)
四、怎样利用应变花求主应变	(221)
五、什么是孔底应力解除法	(231)
六、什么是孔壁应变法	(237)
七、什么是孔径变形法	(245)
参考资料	(255)

符 号 表

F, T, W	集中力
P, Q, R	集中力
p, q	分布力
$\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$	面力分量
X, Y, Z	体力分量
N	内力
F_X, F_Y, F_Z	力在轴上的投影
$m_{o(F)}$	力对点的矩
σ	正应力
τ	剪应力
p	全应力
$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$	正应力分量
$\sigma_r, \sigma_\theta, \sigma_z$	正应力分量
$\sigma_I, \sigma_{II}, \sigma_{III}$	三个正应力
$\sigma', \sigma'', \sigma'''$	三个正应力
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	主应力
$\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$	剪应力分量
$\tau_{r\theta}, \tau_{\theta z}, \tau_{zr}$	剪应力分量
u, v, w	位移分量

ϵ	线应变
$\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$	线应变分量
$\epsilon_r, \epsilon_\theta$	线应变分量
$\epsilon_{00}, \epsilon_{45}, \epsilon_{90}$	三个线应变
$\epsilon_{00}, \epsilon_{60}, \epsilon_{120}$	三个线应变
$\epsilon_I, \epsilon_{II}, \epsilon_{III}$	三个线应变
$\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$	主应变
γ	剪应变
$\gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}, \gamma_{r\theta}$	剪应变分量
Δl	纵向伸长或缩短
θ	体积应变
σ_m	平均正应力
ϵ_m	平均线应变
Θ	应力状态不变量
ϕ	应力函数
E	纵弹性模量
G	剪切弹性模量
μ	泊松比
λ, G	拉密系数
C	凝聚力
ϕ	内摩擦角
f	内摩擦系数
ρ	密度
γ	容重

σ_p	弹性极限
σ_s	屈服极限
σ_b	强度极限
σ_t	抗拉强度极限
σ_c	抗压强度极限
x, y, z	直角坐标
r, θ	平面极坐标
r, θ, z	圆柱坐标
α, β	椭圆坐标
l, m, n	方向余弦
$\alpha, \theta, \phi, \psi$	角度
l, L	长度、距离
A	面积
V	体积
H, h	高度、宽度
r, R, a, b	半径
D, d	直径、距离
t	厚度
W, w	功
U, u	弹性能
f	频率
λ	波长
A	振幅
v	速度

v_p	纵波速度
v_s	横波速度
v_b	巴速度
R_i	光程差
n	条纹级数
F	模型条纹值
f	材料条纹值
λ, α	比值、比尺
C_t, C_l	应力集中系数
C, K, k	比例常数
m	轴比
f	岩石坚固性系数
k	龟裂系数
λ	侧压系数
Δ, δ	增量
∇^2	拉普拉斯算子

第一章 基本的力学知识

内 容 提 要

本章包括五个问题，什么是力，什么是应力，什么是应变，应力与应变有什么关系，怎样求解弹性力学平面问题。

本章旨在对岩体力学常用的某些力学基本内容作一个综合性复习。对这些内容比较熟悉的读者，不一定要详细阅读本章。

一、什么是力

(一) 力及其效应

勤劳、智慧的劳动人民，在从事各种生产活动中，很早就掌握并运用了力学原理。例如，在采矿生产中，要开挖巷道时，人们利用手锤和钢钎去破碎岩石(图1—1)；要维护巷道时，人们又利用立柱去支承顶板(图1—2)。

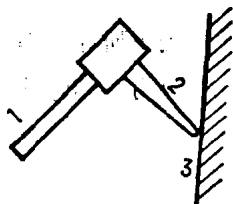


图1—1

1—手锤 2—钢钎 3—岩石

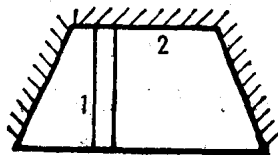


图1—2

1—立柱 2—顶板

在上述生产活动过程中，人们逐渐发现：物体与物体之间，

存在着一种相互作用。例如，顶板与立柱之间的相互作用是：顶板压缩立柱，立柱支承顶板。同理，手锤—钢钎、钢钎—岩石之间也都有相互作用。这种相互作用广泛地存在着，随时随地都可以观察到。上述现象在人们的脑子里反复了多次，经过从感性认识到理性认识的飞跃，得出了力的概念：

力是物体之间的相互机械作用。

这里加“机械”二字，是为了区别于其它的物理作用和化学作用。这种相互机械作用表现为两方面的效果：

1. 力改变物体的运动状态(力的外效应)。例如原来静止的钢钎，受到手锤的冲力而运动起来，并且凿入岩石。这时，手锤给钢钎一个冲力，钢钎同时给手锤一个反冲力，这就是手锤和钢钎之间的相互作用。这种相互作用发生在机械运动从手锤转移到钢钎的时候，结果引起钢钎运动状态的改变。

2. 力使物体产生变形(力的内效应)。例如支护顶板的立柱，在顶板压力作用下，或多或少会有些缩短。任何物体在力的作用下，都会产生变形，即改变原有的形状和尺寸，即使很坚硬的钢铁构件也不例外。

力的上述两种效应，由不同的力学分支来研究。理论力学研究受力物体的运动和平衡等外效应；材料力学和弹性力学则研究受力物体的变形等内效应。

(二) 投影和力矩

力的效应取决于力的三要素：大小、方向和作用点。当要素之一改变时，力的效应也随之而变。可见如直接引用力的三要素来度量力的作用效应并不方便。在工程实践中，人们多引

用与力的三要素有关的另外两个物理量——投影和力矩来度量力的效应。

1. 力在轴上的投影 力使物体沿某个方向运动的效应，可由力在这个方向的投影来度量。例如图1—3所示，力 F 使矿车沿 x 轴方向移动的效应，可由该力在 x 轴上的投影 F_x 来度量。

$$F_x = F \cos \alpha \quad (1-1)$$

式中， α 为 F 力与 x 轴正向间的夹角。也就是说，力在轴上的投影等于力的大小乘以力和轴正向间夹角的余弦。当力的大小 (F) 和力的方向 (α) 变化时，力的投影也就不同。可见投影这个量综合表示了力的大小和方向这两个要素对力的移动效应的影响。

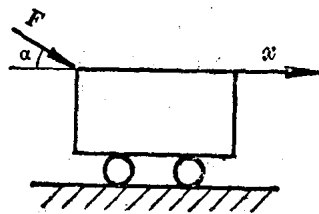


图1—3

2. 力对点的矩 力使物体绕某点转动的效应，可由力对该点的矩来度量。例如图1—4所示，矿山斜巷的顶板压力 W ，可以分成两个分力 T 和 N ，分力 T 有使立柱绕底部 O 点倾覆（转动）的效应。这种效应可由 T 力对 O 点的力矩 $m_{O,T}$ 来度量。

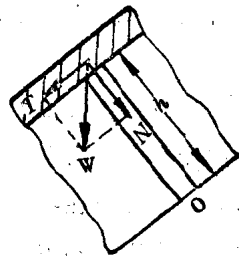


图1—4

$$m_{O,T} = T \times h \quad (1-2)$$

式中： h 为 T 力作用线到 O 点的垂直距离，称为力臂； O 点称为力矩中心。也就是说，力对点的矩等于力的大小乘以力的作用

线到该点的垂直距离。当力的大小、方向和作用线有变化时，力对该点的矩也就不同。可见力矩这个量综合表示了力的三要素对力使物体转动效应的影响。

3. 平衡方程式 综合上述讨论可知，力使物体移动和转动的效应，可分别由力的投影和力矩来度量。当物体在平面力系作用下处于平衡状态（静止或等速直线运动）时，该平面力系必须满足一定的平衡条件：

$$\left. \begin{aligned} \sum F_x &= 0 \\ \sum F_y &= 0 \\ \sum m_{O(F)} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

式(1-3)称为平面力系的平衡方程式，它表示：

力系中诸力沿 x 方向投影的代数和为零，

力系中诸力沿 y 方向投影的代数和为零，

力系中诸力对 O 点的力矩的代数和为零。

(三) 外力和内力

解决一个力学问题，首先必须确定所研究对象的外力和内力。

1. 外力 由外部加到所研究物体上的力，称为外力，又称载荷或荷载。外力可以分为体积力(体力)和表面力(面力)。所谓体力，是分布在物体体积内的力，如重力、惯性力等。所谓面力，是作用在物体表面上的力，如火车对桥面的压力、风压力、水压力等。在一般工程问题中，体力为常量；或者与面力相比较，体力甚小而可以略去不计。

2. 内力 在外力作用下，物体会产生变形甚至破坏。与此

同时，由于物体内部之间的相互作用，在物体内部会产生一种反抗变形、反抗破坏的力，这种力称为内力。工程构件之所以能够正常工作，就是因为内力能够与外力相平衡的缘故。但是对于一定材料、一定断面的构件，内力只能随外力加大到某一个确定的限度(称为内力限度)，一旦超过这个限度，构件就要破坏。

可以用截面法来显示内力。如图1—5所示，想象用一个平面从某处将构件截开，分为A、B两段，任取其中一段B为研究对象，则A段对B段的作用可以用力的形式表示，这种力即内力 N ，它与外力 P 相平衡。在上述简单情况下，考察B部分的平衡，由二力平衡条件可知：

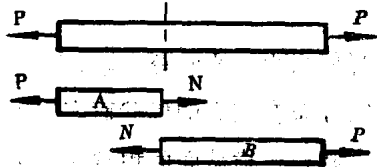


图1—5

$$N = P$$

如果考虑A部分的平衡，也将得到同样结果。

必须注意，内力与外力是相对区分的，是针对所研究的对象而言的。其它物体对研究对象的作用力是外力，研究对象本身各部分间的相互作用力是内力。一旦研究对象变了，则外力可能转变成成为内力，内力也可能转变成成为外力。

二、什么是应力

(一) 应力的概念

从生产实践中知道，同样的内力，作用在不同大小的横截

面上，将会产生不同的后果。例如有两根立柱，柱1的横截面面积比柱2大，如图1—6(a)、(b)所示。如果它们承受相同的压力，当压力达到一定数值时，柱2首先被压坏。由此可知，

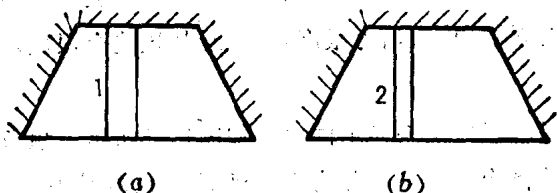


图1—6

同样的内力，当它分布在较小的横截面面积上，就比较危险；当它分布在较大的横截面面积上，就比较安全。为了综合反应内力和构件横截面面积这两个因素对构件危险程度的影响，引用单位面积上的内力来衡量。单位面积上的内力称为应力。在内力均匀分布且与横截面垂直的情况下，有：

$$\sigma = \frac{N}{A} \quad (1-4)$$

式中： σ 为正应力； N 为合内力； A 为构件横截面面积。

一般情况下，内力方向并不与横截面垂直，也不沿截面均匀分布，这时，应以极限的概念来定义应力。如图1—7所示，物体受外力 P_1 、 P_2 、 P_3 ……作用，为了说明物体截面上某点处的应力，在该截面上围绕该点取一微小面积 ΔA ，设

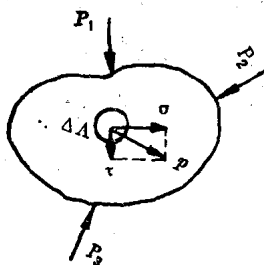


图1—7