

职工技术培训读物

采场压力实测技术

任德惠 编著



四川科学技术出版社

第三卷 地质工程与勘探

采场压力实测技术

王 强 著



中国地质大学出版社

采场压力实测技术

任德惠 编著

四川科学技术出版社

一九八五年·成都

责任编辑：崔泽海

采场压力实测技术

任德惠编 著

四川科学技术出版社出版
新华书店重庆发行所发行
重庆新华印刷厂印刷

开本850×1168毫米 1/32 印张6 字数140千
1985年1月第一版 1985年1月第一次印刷
印数：1—3,870册

书号：15298·43

定价：1.35元

内 容 摘 要

本书着重讲述采场周围压力分布和长壁工作面的矿压观测。较详细地介绍了观测站的布置、测试仪表的安装使用、观测方法和记录等。

书中对岩体力学一些基本知识、矿压测试仪表的构造原理、观测数据的处理以及资料分析等也作了论述。并介绍了两个矿的观测实例。

本书可供现场采矿工程技术人员和有关院校地下开采专业的师生参考，也可作职工技术培训教材。

前 言

煤炭是我国目前以及今后较长时期内的主要能源。为了更好地发展我国的煤炭事业，提高生产技术水平，控制和减少矿山压力对生产的影响，重庆大学采矿系任德惠副教授，根据多年的现场实测和实验室模拟研究，编写了这本《采场压力实测技术》。

本书以应用技术为主，兼顾基础知识。作者针对生产实际，提出问题，解决问题，较全面系统地介绍了矿山压力的一些基本知识，采场及其周围压力显现的一般规律，矿山压力现场观测的目的，回采工作面和巷道观测站的布置原则，资料的整理、分析和使用，以及国内常用观测仪器的使用维护等。对我国目前开采层状矿床的矿井进行采场压力观测，具有现实意义，可作为从事矿山压力观测的工程技术人员的管理干部学习，有关院校教学参考，以及矿压观测技术培训教材之用。

本书在编写过程中，曾得到全国有关单位的大力支持，提供了许多宝贵的资料。四川煤炭工业管理局富恭俭和重庆大学谢晋洋参与了第五、六章编写工作，四川云阳煤矿夏和平和广东红卫煤矿吴卫平等曾给予很大帮助。初稿写成后，四川煤炭工业管理局王立芬高级工程师对书稿进行了审查，同时作者在四川、河南等地多次试用，并广泛征求意见。为了提高书稿质量，我会于1983年元月，邀请四川有关从事矿山压力观测工作的科技人员，在内江凤凰山煤矿召开了审稿会，进行会审定稿。参加审稿会议的有：李燮阳、富恭俭、杜莲芳、熊广文、李伯瑜、邱钦寿、曹延勋、向守仁、刘鸿缙和杨春等十三位学校、局、矿科技

人员。他们提出了许多宝贵的修改意见，丰富了本书的内容，增强了本书的实用性。在此，一并表示感谢。

矿山压力观测，在我国还是一项开展不久的新工作，许多问题还有待进一步深化和研究。由于我们水平有限，书中缺点错误在所难免，恳请读者批评指正。

四川省煤炭学会

一九八三年一月

目 录

前 言	(1)
第一章 矿山压力基本知识	(1)
第一节 开展矿山压力实测研究的意义	(1)
第二节 岩体力学基本概念	(3)
第三节 矿山压力及其主要影响因素	(18)
第四节 矿山压力的研究方法	(26)
第二章 采场周围压力分布规律	(33)
第一节 支承压力的形成	(33)
第二节 采场矿压的传播	(36)
第三节 采场周围压力分布规律	(39)
第三章 矿山压力现场实测仪器	(54)
第一节 测试仪器的构成及分类	(54)
第二节 顶板压力测试仪器	(59)
第三节 围岩移动测试仪器	(71)
第四节 仪器的维护	(76)
第四章 采场周围压力现场实测	(78)
第一节 观测目的及内容	(78)
第二节 观测站的布置	(81)
第三节 采场周围压力观测方法	(87)
第四节 巷道围岩移动观测方法	(95)
第五节 巷道变形的实测描绘	(105)
第五章 长壁工作面矿山压力实测	(108)

第一节	回采工作面矿压显现	(108)
第二节	现场观测的目的及内容	(113)
第三节	观测区域的选择及测站布置	(117)
第四节	观测方法	(120)
第六章	资料的整理与分析	(129)
第一节	资料的整理	(130)
第二节	数据处理	(133)
第三节	资料的分析方法	(155)
第四节	资料整理分析实例	(160)
	例一、采场周围压力分布观测资料整理实例	(160)
	例二、回采工作面矿压观测资料整理实例	(173)
附录：	国内常用矿压观测仪表	(180)
参考文献		(183)

第一章 矿山压力基本知识

第一节 开展矿山压力实测研究的意义

开展矿压研究与实测工作，对促进煤炭生产的发展有着十分重要的现实意义。长期以来，由于人们对矿山压力实测与研究工作的重视，对矿压分布规律认识不清，不能有效地控制它，致使矿山压力所带来的一系列问题长期得不到有效的解决，顶板垮落、巷道变形、地表塌陷、建筑物破坏等事故不断发生。据统计，在井下生产过程中，由于对矿山压力控制不力而造成的事故占煤矿各类事故总数的40%左右。如四川省某矿因对顶板压力和支护物之间的关系认识不清，工作面支柱的支承能力与顶板压力不相适应，且支护又不及时，曾先后发生两起重大冒顶事故。多年来，面对矿压显现过程中所造成的危害和损失，也引起了采矿工程技术人员的重视，但仅仅只从维护安全出发而采取了不少技术措施，诸如加大支护物的强度和密度、加大保安煤柱、使用充填方法控制顶板等等。由于没有从矿山压力显现的规律性及其与生产、地质因素的关系方面进行深入的实测与研究，也未从经济观点分析这些措施的合理程度，因而盲目的实践必然导致不良的后果。如四川省某矿在布置采区巷道时，由于对采场压力分布规律心中无数，所留护巷煤柱不合理，致使每米巷道的维护费用高达280多元，为新掘每米巷道费用的1.1倍，并且丢失大量煤炭资源。由此人们感到，矿压问题是生产实践中必须急待解决的一个重大课题。随着采矿工业和其它学科不断发展，人们在生产实践中越来越认识到，矿山压力是有其一定的规律性的，而不是一种偶然现象。只要认真开展矿山压力的实测与研究，掌握了

矿山压力的显现特点和基本规律，就能有效地控制它，使之为生产实践服务。从事矿山工作的工程技术人员就能遵循矿压规律作出安全、技术和经济上较为合理的矿井开拓、巷道布置、井巷支护和顶板控制的方案和设计，使顶板垮落、巷道堵塞、地表陷落、建筑物破坏等事故，得到有效防治，从而煤炭资源回收也能得到提高，矿井生产能力也能得到更好的发挥。所以，近几十年来矿山压力的研究逐渐引起了各国学者和从事采矿工作的工程技术人员的重视，并被认为是矿山工程的基础理论之一。

矿山压力主要是研究岩体在采动影响下，被破坏了原岩应力状态后，所引起的岩体变形、弯曲、离层、移动、破坏和冒顶等规律，以及研究与规律相适应的技术措施，以保证安全生产，获得较好的技术经济效果。

近年来，随着采掘机械化的发展，开采深度的增加，以及露天矿的大力发展，矿山压力的研究重点趋向是：

(1) 研究采场周围压力的分布规律与采动压力的影响范围，为合理选择巷道位置、支护形式及确定煤柱尺寸和停采线提供科学依据；

(2) 研究回采工作面矿压的显现规律与支护关系，以寻求合理的采场支架结构、形式和工作参数以及顶板控制方法；

(3) 研究深部开采时发生的煤岩突出，为制定相应的安全技术措施奠定基础；

(4) 研究露天矿边坡移动规律，为使边坡稳定提供参数。

回采工作面是矿井生产的中心，为了提高工作面单产，采用合理的顶板控制和发展机械化采煤，所以回采工作面矿压显现和支护的关系，为各国矿压研究者特别重视。井下除回采工作面外，其它各类巷道则是矿井生产的动脉。这些巷道的维护难易，主要取决于采动压力的影响程度。而巷道位置的合理选择，又是改善巷道维护状况的基本措施。因此，根据采场压力分布规律，

合理选择巷道位置 and 支护形式，进行支架结构计算，以减轻采动压力影响，改善巷道维护条件，是当前矿压研究中急待解决的一个关键问题。在这方面作系统的现场观测和研究，目前国内尚不甚多。但在生产中却是经常遇见的实际问题。采动压力对巷道影响的研究，之所以没有引起足够的重视，是人们习惯于单纯地采取维护措施。当在巷道受采动压力影响严重到无法维修时，就只有重新选择位置，开掘巷道。这种盲目的做法在生产中是屡见不鲜的。而根据采动压力影响范围及其分布规律正确地选择巷道位置，往往为人们所忽视。巷道位置选择不当，不仅使维修工程大量增加，而且留下大量煤柱，造成资源损失，甚至严重影响矿井正常生产。

由于地下开采过程中岩层移动及变形的复杂性和“不可见性”，用煤炭工业现有的测试技术和仪表，是难以确切的观测出其变化规律和分布状态的。尽管近年来已用激光、红外线和雷达等新技术测定顶板离层，用微震仪和微波法预报顶板垮落等，但尚未广泛采用这些新技术来测定采动影响下的整体岩层移动变化规律，以及由此而造成的支承压力。因而更加需要开展在各种不同地质条件和生产条件下矿山压力显现规律的观测，以便综合各方面的影响因素，寻求一个比较符合生产实际的矿山压力理论，作为防治矿压事故的有效措施，达到安全生产的目的。

第二节 岩体力学基本概念^{〔1〕〔2〕}

从采场矿压研究观点出发，岩石与岩体是有区别的。岩体是岩石的母体，岩石是从岩体中分割下来的小块。而且岩体是由各种各样的地质年代相同或不相同的岩石，在经历各次构造运动后，改变其原有产状，形成褶皱、节理、断层、劈理以及各种成因的破碎带、软弱分割面等组合的整体，所以岩体是由岩石和所

有弱面这两个基本单元共同组合而成。从结构来看，岩石具有相对的均匀性，由于尺寸较小，其中不可能有大的地质构造影响，所以一般可视为均质的，各向同性或各向异性的连续介质。而岩体是非均质的，岩体内存在着裂隙系统，它既是断裂的又是连续的。所以在受力变形破坏过程中，岩体与岩石有很大差异。当岩体破坏时，往往是沿裂隙系统诸如层面、节理面等破坏，而不是应力超过岩石本身的强度而破坏。

岩体力学研究的是岩体而不是岩石。在采场矿压研究中，不应简单地将岩石的物理力学属性代替岩体的物理力学属性。所以在实验室用小块岩石来测试的岩石力学性质，显然是不能代表岩体的。当然，岩石本身强度、坚固性以及其它一些力学性质对岩体力学的性质也有直接的影响。如果在实验室研究岩体力学，必须对岩体作相似模拟和根据不同岩体用各种力学模型来解决。例如整体性完好的石灰岩可用弹性力学模型。粘土则用松散介质静力学模型。对于盐岩和冻土要考虑时间因素，故用流变学模型等。

近二十年来，计算机在岩体力学中的应用，开辟了一个新的广阔途径，可以解决以往用手算根本无法解决的很多问题。但是计算机计算结果的正确与否，却决定于输入数据的准确性和精确程度。那么，如何能获得正确的岩体力学的各项指标和参数呢？如何能使所取得的子样（一系列测试和试验的数据）的性质能代表母体（实际岩体）的性质呢？这就要求在现场和实验室有先进的测试技术和精密的测试仪表。用高超的测试手段所获得的大量数据，再通过计算机的处理，可将岩体力学问题解决得更接近实际情况一些。

综上所述，岩体具有多方面特性，在采场矿压研究中，由于范围不大，故从力学角度来看，除有大的张裂隙外，可把岩体视为近似的连续介质，以便采用弹性或弹塑性理论对有关的问题计算，解决所要求得的岩体压力问题。

为了研究采场压力分布规律，现将岩体力学中的一些基本概念作一简述。

1. 外力

研究物体受力状态时，作用于物体上的力称外力。如图 1-1 所示，对物体 A 施加的压力 P 或拉力 T 都叫外力。煤层开采后，为防止顶板垮落用支架支撑，顶板作用于支架上的力也叫外力。

按照力的分布情况，外力可分为表面力和体积力两种。只作用在物体表面上的力叫表面力。作用于物体内部每一个质点上的力叫体积力，如地心引力，磁力和物体运动的惯性力等均属这个范畴。

2. 内力

物体内各部分之间相互作用的力叫内力。也就是说物体在抵抗外力作用或变形影响时而产生的力。如煤柱受支承压力作用所发生的变形，同时在煤柱内部之间将有附加内力产生。在物体不受外力作用时，其内部质点间就有相互作用的力，也属内力。

内力和外力是矛盾对立的统一，在一定条件下二者可以互相转化。例如岩体中的一部分岩石推挤另一部分岩石，对于整个岩体而言是内力，如果我们所研究的只是被挤压的那一部分岩石时，那么，来自另一部分岩石的挤压力也就变成外力了。例如图 1-2，如果从岩层整体来看，顶板岩层重量 Q 压在煤柱上，煤柱

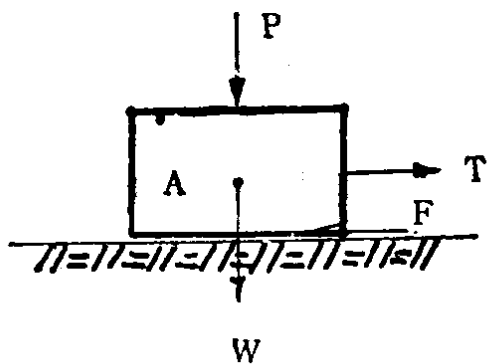


图1-1 物体受外力作用

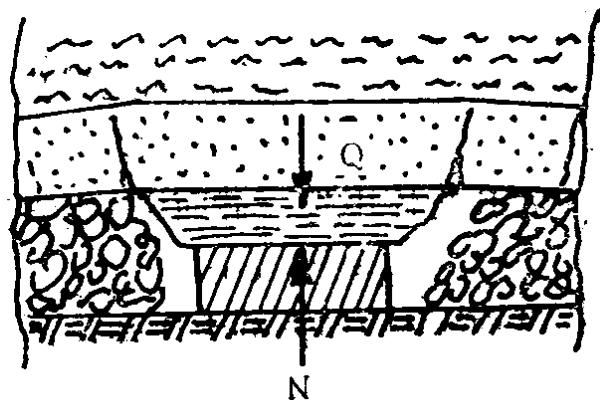


图1-2 煤柱受压状态

给予反力N，这就是一对内力。假如只研究煤柱受压变形，则顶板的重量Q对煤柱来说就是外力了。

3. 应力

物体受外力作用时，物体内部必然产生抵抗外力的内力，在单位面积上的内力称为应力，应力是内力的量度，单位用公斤/厘米²表示。

假设物体A受外力P的作用时，在物体中任选一截面S与作用力P的方向成任意角度 α ，如图1-3所示，根据力的分解法则可将作用力P分解成垂直于截面的法向分力 P_n 和平行于截面的切向分力 P_t 。在截面上每单位面积上的合力称为合应力。单位面积上的垂直分力称正应力，它可以是压应力或拉应力。单位面积上的切向分力称剪应力。当作用力垂直作用于物体截面上时，剪应力等于零。这个面称为主应力面或主平面。

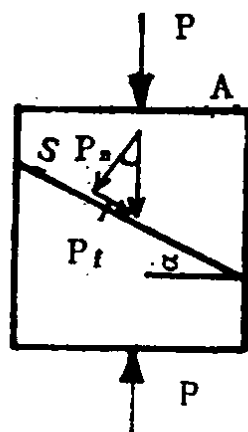


图1-3 应力分析图

在斜面上既有正应力又有剪应力的作用，其值大小视斜面位置而定，若物体仅受上下方的垂直作用力，则截面A的正应力为：

$$\sigma = \frac{P}{A} \text{ 公斤/厘米}^2 \quad (1-1)$$

式中 σ ——应力；

P ——整个截面上的内力；

A ——截面面积。

若在物体中选一截面S与主平面呈 α 角。其上垂直分力 P_n 为：

$$P_n = P \cdot \cos \alpha \quad (a)$$

截面S上的切向分力 P_t 为：

$$P_t = P \cdot \sin \alpha \quad (b)$$

斜面的截面积 S_0 为：

$$S_0 = A / \cos \alpha \quad (c)$$

于是斜面上的正应力和剪应力分别为：

$$\begin{aligned} \sigma_a &= \frac{P_n}{S_0} = \frac{P}{A} \cdot \cos^2 \alpha \\ &= \sigma \cos^2 \alpha \end{aligned} \quad (1-2)$$

$$\begin{aligned} \tau_a &= \frac{P_t}{S_0} = \frac{P}{A} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \\ &= \frac{1}{2} \sigma \cdot \sin 2\alpha \end{aligned} \quad (1-3)$$

从式(1-2)中可以看出，当 $\alpha = 0^\circ$ 时， $\cos^2 \alpha = 1$ ，即 σ_a 为最大。而 $0^\circ < \alpha \leq 90^\circ$ 时， $\cos^2 \alpha < 1$ ，则 $\sigma_a < \sigma$ ，即最大正应力在 $\alpha = 0^\circ$ 时出现。

从式(1-3)中可见，当 $\alpha = 45^\circ$ 时， $\sin 2\alpha = 1$ ，即 $\tau_a = \frac{1}{2} \sigma$ 。当 $\alpha = 0^\circ \sim 90^\circ$ 之间(不等于 45°)时，则 $\sin 2\alpha < 1$ ，所以 $\tau_a < \frac{1}{2} \sigma$ 。即 $\alpha = 45^\circ$ 时，剪应力 τ_a 为最大，其值为最大正应力的一半。即

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2} \sigma_{\max}$$

4. 变形

物体在外力作用下发生形状或体积的改变称为变形。任何物体受力作用，必然引起内力的变化，使质点间发生分离、聚集或位移。从而使物体的形状或体积发生变化，即物体产生变形。地下岩层由于受构造应力或开采时形成的支承压力作用，几乎都发生了变形。这种变形，不但形状变化体积也改变。

由于外力作用的形式不同，物体变形的方式也不一样，其基本变形方式有以下几种：

拉伸和压缩变形：沿物体轴线方向有一对大小相等方向相反

的拉力作用，使物体内部质点间距离拉长而引起的变形称为拉伸变形，如图 1-4 所示。此时物体沿轴线方向的伸长是最明显的变形特征。压缩变形和拉伸变形正相反，表现为物体的缩短，如图 1-5 所示。在拉伸和压缩时，物体不但沿轴线方向发生变形，而

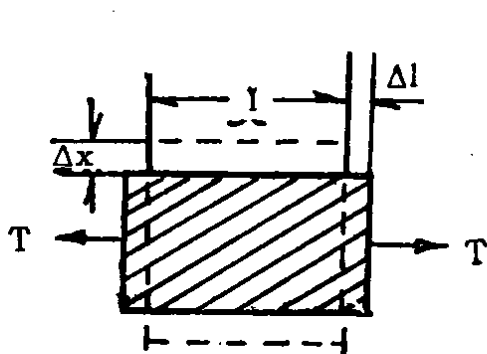


图1-4 拉伸变形

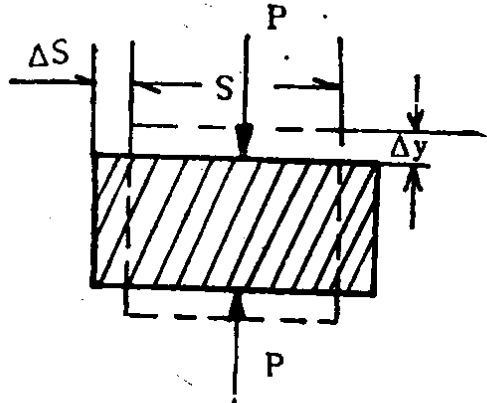


图1-5 压缩变形

且在垂直于轴线的横向方向上也发生变形。前者称为纵向变形，后者叫横向变形。在描述变形程度时，常使用相对伸长量即拉伸应变和相对缩短量即压缩应变来表示。

剪切变形：物体受一对大小相等，方向相反，但不在同一直线上的外力(剪切力)的作用，物体内部质点沿着作用力方向滑动位移而引起的变形称为剪切变形。如图 1-6 为密集支柱切顶，当预备放下的顶板b，由于自重和上覆岩层的作用力Q向下垮落时，

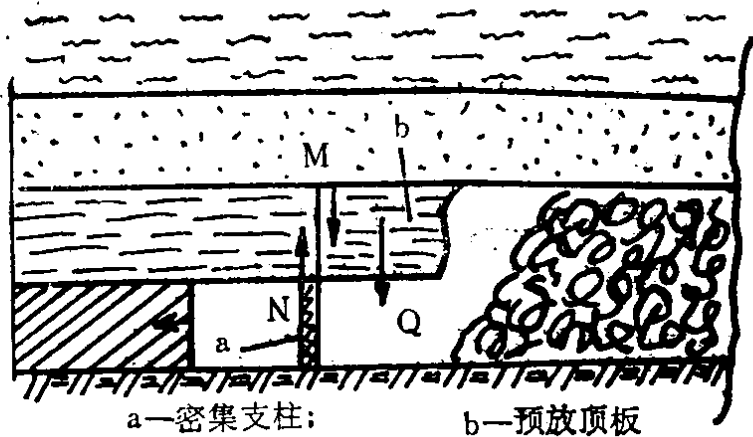


图1-6 剪切变形