

教育部 21 世纪初高等教育教学改革项目资助教材
煤炭高校“十五”规划教材

矿山压力与岩层控制

主 编 姜福兴

副主编 王同旭 潘立友 尹增德 吴士良 张开智

煤 炭 工 业 出 版 社

教育部 21 世纪初高等教育教学改革项目资助教材
煤炭高校“十五”规划教材

矿山压力与岩层控制

主 编 姜福兴
副主编 王同旭 潘立友 尹增德
吴士良 张开智

煤炭工业出版社

·北 京·

图书在版编目 (CIP) 数据

矿山压力与岩层控制/姜福兴编著. - 北京: 煤炭工业出版社, 2004

ISBN 7-5020-2444-1

I. 矿… II. 姜… III. ①煤矿开采-矿山压力②煤矿开采-岩层移动-控制 IV. ①TD31②TD325

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 041543 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

网址: www.cciph.com.cn

煤炭工业出版社印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

开本 787mm×1092mm¹/₁₆ 印张 21¹/₂

字数 506 千字 印数 1-1,500

2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷

社内编号 5215 定价 46.00 元



版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

前 言

《矿山压力与岩层控制》课程是矿业工程学科采矿工程专业和以矿业为背景的安全工程专业的一门重要专业课，是教育部 21 世纪初高等教育教学改革项目（128B05012）“矿业类专业课程体系整体优化与实践”教改试点的重要内容。本书也是煤炭高校教材建设委员会批准的“十五”规划教材之一。

近 20 年来，我国煤炭行业采矿工程和安全工程专业大都以中国矿业大学钱鸣高院士、西安科技大学刘听成教授主编的《矿山压力及其控制》和山东科技大学宋振骥院士主编的《实用矿山压力控制》教材为主，上述教材从出版至今已有近 10 到 20 年的历史。最近 20 年来，采矿学科的最新科研成果虽然在课堂教学中有所体现，但未能及时将新成果吸收到教材中，尤其是在目前国家合并本科专业、宽口径培养本科生并逐步削弱行业特色的思想指导下，应将《矿山压力与岩层控制》课程内容作相应调整，要拓宽至冶金等非煤行业的岩层运动控制领域，使采矿工程和安全工程专业的毕业生具有在煤炭和非煤矿山行业就业必需的知识。

与以往煤炭院校使用的矿压教材相比，本教材具有以下特点：

1. 增加了非煤矿山岩层运动与矿压控制内容（非煤矿山矿柱支护采矿法岩体控制、崩落采矿法的岩体控制）。
2. 大量编录了近 10 年来矿压控制领域的最新研究成果。
3. 增加了专业英语内容，部分内容实行“双语”教学。

在授课方法上，采用基础理论知识讲解与专题讲座相结合的方法，由于课程内容多、图件多，讲授时宜采用多媒体课件，以增加课堂信息量，本书适合 30~50 学时的课堂教学。

本书绪论由姜福兴、王同旭主笔，第一~五章由姜福兴主笔，第六~七章由吴士良主笔，第八~九章由张开智主笔，第十~十二章由王同旭主笔，第十三~十四章由潘立友主笔，专业英语部分由尹增德主笔。

本书部分章节采用了宋振骥院士主编的《实用矿山压力控制》一书的部分精彩内容，也是为了向学生介绍宋院士的“传递岩梁”理论体系。在此向宋院士及其他编著者表示衷心的感谢！

向提供素材以及被引用成果的专家表示诚挚的谢意!

由于水平有限,涉及的内容多却课时少,很多东西还需要在实践中不断完善,敬请读者提出宝贵意见。

编著者

2004年6月于泰安

目 录

绪 论	1
第一节 岩体内一点的应力状态及其表示方法	1
第二节 原岩应力	3
第三节 巷道开挖后围岩应力的确定方法	10
第四节 岩石与岩体的强度理论	12
第一章 采场上覆岩层的基本运动规律	19
第一节 直接顶和老顶	19
第二节 上覆岩层的基本运动规律	19
第二章 上覆岩层运动参数的确定	28
第一节 岩层稳定性的定量表达方法——岩层质量指数法	28
第二节 直接顶与老顶的质量指数	35
第三节 直接顶运动参数的确定	35
第四节 老顶运动参数的确定	51
第三章 上覆岩层运动与矿山压力及其显现的关系	57
第一节 矿山压力与矿山压力显现	57
第二节 采场支承压力的分布规律	58
第四章 采场顶板控制设计	65
第一节 采场顶板的运动特征	65
第二节 采场支护原理	66
第三节 合理支护强度的确定	69
第四节 支架及其实际支撑能力的确定	72
第五节 支护设计	87
第五章 综采放顶煤采场的矿压控制	104
第一节 放顶煤开采技术简介	104
第二节 顶煤冒放性及其评价	107
第三节 放顶煤采场顶板结构形式及支架围岩关系	107

第六章 采场顶板灾害防治	113
第一节 概述.....	113
第二节 回采工作面大面积冒顶事故.....	114
第三节 回采工作面局部冒顶.....	125
第四节 底板失稳引起的顶板事故.....	127
第五节 应力集中型顶板事故.....	129
第七章 采场矿山压力监测	132
第一节 概述.....	132
第二节 采场矿压监测的常用仪器.....	135
第三节 单体液压支柱采场矿压监测.....	140
第四节 综采工作面矿山压力监测.....	146
第八章 矿柱支护采矿法的岩体控制	151
第一节 矿柱支护结构组成.....	151
第二节 矿柱支护从属面积分析法.....	153
第三节 矿房—矿柱布置设计.....	157
第四节 顶板和底板岩体的承载能力.....	162
第九章 崩落采矿法的岩体控制	163
第一节 概述.....	163
第二节 单层崩落采矿法.....	164
第三节 无底柱分段崩落法.....	169
第四节 有底柱分段崩落采矿法.....	174
第十章 一般巷道围岩控制原理与技术	180
第一节 围岩应力分布规律及其影响因素.....	180
第二节 围岩稳定性判别方法.....	190
第三节 巷道支护与加固原理及技术装备.....	197
第四节 巷道矿压监测方法与仪器.....	221
第十一章 采场附近巷道围岩控制	234
第一节 采场附近支承压力分布规律.....	234
第二节 巷道合理位置优化.....	239
第三节 适合动压巷道的支护方式.....	249
第十二章 软岩巷道支护	254
第一节 基本概念及变形特征.....	254

第二节	软岩巷道支护的经验教训·····	260
第三节	软岩巷道支护的总体原则和基本方法·····	261
第四节	新奥法在软岩支护中的应用·····	263
第五节	几种常用的软岩巷道支护技术·····	265
第十三章	煤矿冲击地压预测与控制·····	277
第一节	概述·····	277
第二节	冲击地压发生的机理·····	280
第三节	冲击地压预测方法·····	283
第四节	冲击地压控制·····	292
第十四章	岩爆预测与控制·····	299
第一节	概述·····	299
第二节	岩爆发生的机理研究·····	299
第三节	岩爆的试验研究·····	307
第四节	岩爆预测的工程方法·····	309
附录	专业英语·····	312
	SECTION 1 UNDERGROUND PRESSURE ·····	312
	SECTION 2 THEORIES OF ROOF CAVING ·····	318
	SECTION 3 SUPPORTS IN LONGWALL MINING ·····	322
	SECTION 4 ROADWAY SUPPORTING ·····	326
	SECTION 5 GROUND SUPPORT ·····	330
	参考文献·····	332

绪 论

巷道或采场等地下岩石结构与地面工程结构设计的不同之处，在于作用在系统上的荷载的性质不同。常规的地表结构，作用在系统上的荷载由其几何条件及工作状态所规定；地下岩石结构，由于岩石介质在开挖之前就受到原始地应力的作用，所以结构在开挖后的最终应力状态将由原始地应力和开挖诱发应力组合而成，是巷道开挖卸载引起的原始地应力重新分布的结果。

存在大量节理、裂隙等结构面，也是地下岩体的另一重要特征，分析岩块体强度和节理岩体强度，是合理进行巷道或采场设计的基础。

第一节 岩体内一点的应力状态及其表示方法

所谓“一点的应力状态”是指岩体内，通过某点的各个微分截面上的应力情况。研究不同点的不同微分截面上的应力情况，目的是判断受力岩体在什么地方、什么方向上最危险，从而为岩体的强度计算与支护控制设计提供依据。

为了研究岩体内某点的应力状态，可以围绕该点截取出一个微小的六面体，在 x 、 y 、 z 直角坐标系中，六个面上共有 9 个应力分量，即 3 个正应力和 6 个切应力，它们作为一个整体称为应力张量，表示为：

$$(\sigma_{ij}) = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix}$$

根据切应力互等定理，9 个应力分量中只有 6 个是独立的。当知道了一点的 6 个独立分量后，过该点的任一斜截面上的应力都可以通过截面法求出。这样，一点处的应力状态就完全确定了。

此外，还可以用一点的 3 个主应力 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 表示该点的应力状态。根据主应力等于零的情况不同，可将一点应力状态分为如下三种类型：

一是单向应力状态。3 个主应力中只有 1 个主应力不为零时，这种应力状态称为单向应力状态。例如，受轴向压缩的立柱，其中任一点均属于单向应力状态。

二是二向应力状态。3 个主应力中有 2 个主应力不为零时，这种应力状态称为二向应力状态或平面应力状态。例如，梁受横力弯曲时，除上下边缘外，梁内任一点均属于二向应力状态。

三是三向应力状态。3 个主应力都不等于零时，称为三向应力状态或空间应力状态。平面应变状态属准三向应力状态。

最后，还可用应力圆表示一点的应力状态。

1. 二向应力状态的应力圆

对二向应力状态，应力圆如图 1 所示。在 $\sigma - \tau$ 坐标系中，圆心 C 的坐标为 $(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}, 0)$ ，圆的半径为 $\sqrt{(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2})^2 + \tau_{xy}^2}$ 。圆上任一点 E 的坐标值即代表单元体上某一个 α 截面上的应力 $\sigma_\alpha, \tau_\alpha$ 。

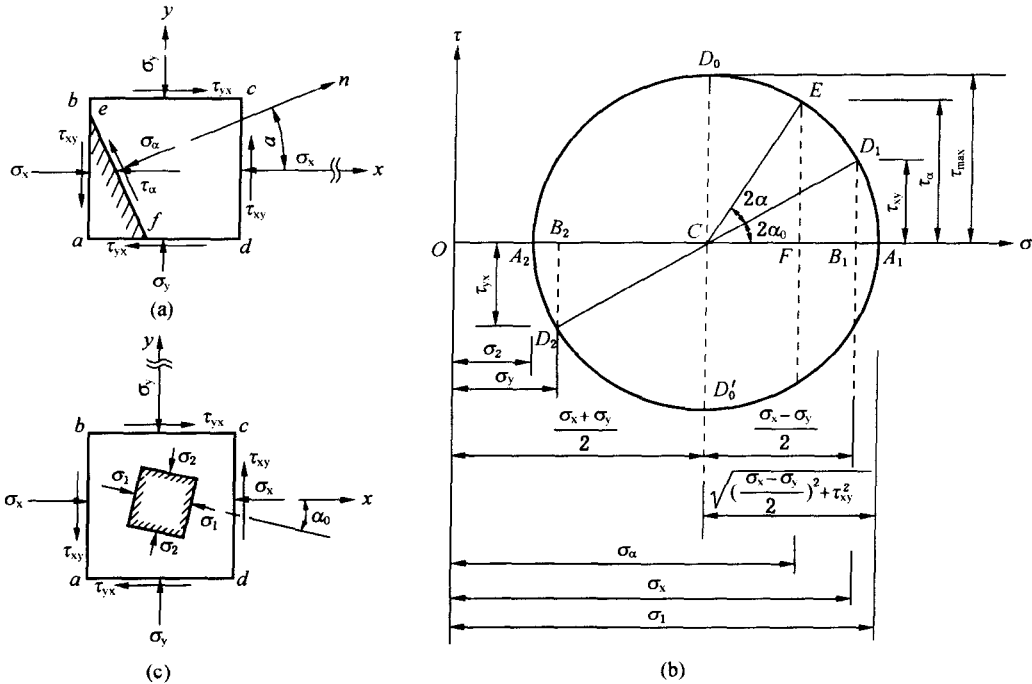


图 1 二向应力状态应力圆

其中，图 (b) 中的 D_1 和 D_2 点分别对应于图 (a) 中的 cd 截面和 bc 截面， E 点对应于 ef 截面（应力圆上两点之间的圆心角是单元体上对应两截面外法线之间夹角的 2 倍）。

主应力 σ_1, σ_2 的大小及其方向 α_0 和 $\alpha_0 + 90^\circ$ （与 x 轴正向夹角），对应于图中 A_1, A_2 点，最大剪应力 τ_{max} 大小及其作用面对应于 D_0 点和 D'_0 点。

2. 三向应力状态的应力圆

设想从岩体内某一点截取出一个单元体，在它的六个面上作用着主应力 σ_1, σ_2 和 σ_3 （设 $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ ），如图 2 (a) 所示。

首先分析与主应力 σ_1 相平行的截面上的应力，此种截面用阴影面表示在图 2 (a) 上。不难看出，平行于 σ_1 所截的阴影面，主应力 σ_1 不会在该阴影面上引起任何应力。所以，该阴影面上的应力仅决定于 σ_2 和 σ_3 。在 $\sigma - \tau$ 直角坐标系内，由 σ_2 和 σ_3 作出应力圆，此圆上各点的坐标值就代表与 σ_1 相平行的各个对应截面上的应力值。

同理，由 σ_1, σ_3 和 σ_1, σ_2 分别作出两个应力圆，这 2 个应力圆上各点的坐标值分别代表与 σ_2 和 σ_3 相平行的各个对应截面上的应力值。

所以，3 个应力圆上各点的坐标值就代表着单元体内与 3 个主应力相平行的各个对应

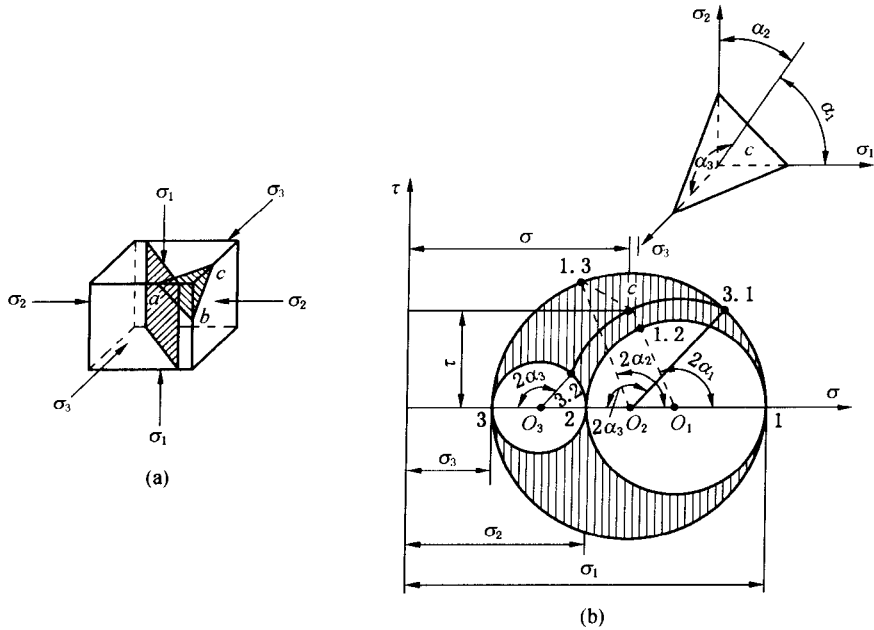


图2 三向应力状态的应力圆

截面上的应力值。

至于与单元体3个主平面都成斜交的任一斜截面 [图2 (a) 中用阴影表示的 abc 截面] 上的应力, 可以用 $\sigma - \tau$ 直角坐标系内某一点 c 的坐标值来表示。可以证明, c 点必位于3个应力圆所围成的阴影范围以内。用图解法确定任意斜面上应力的示例如图2 (b) 所示。斜面的法线与主应力轴正方向形成的角为 α_1 、 α_2 和 α_3 , 且 $\cos^2 \alpha_1 + \cos^2 \alpha_2 + \cos^2 \alpha_3 = 1$, 所以法线方向完全可以由任意2个角度值来确定, 而第3个角度值可以作为校验用。

由 c 点确定未知量 σ 和 τ 。 c 点位于2个圆周 (1.3-1.2) 和 (3.2-3.1) 的交点上。在相应的应力圆上, 按与 σ 轴方向成 $2\alpha_1$ 和 $2\alpha_3$ 的角度, 作一条直射线, 这就是确定 c 点位置的圆周半径。

圆弧 (1.2-1.3) 和 (3.1-3.2) 上的一些点的横坐标, 就是所有平面上的应力分量值。这些平面的法线与主轴正方向形成的角度为 α_1 和 α_3 , 主轴上的应力则相应为 σ_1 和 σ_3 。

第二节 原 岩 应 力

原岩应力又称原始应力或采前应力, 从工程角度, 需要知道岩体内各点的3个主应力大小及其比值, 以及3个主应力的作用方向, 即每个主轴的倾斜角和方位角。

一、原岩应力的概念

岩石是地球表层的物质, 在漫长的地质年代里, 由于地质构造运动等原因使地壳物质

产生了内应力效应，这种应力称为原岩应力，它是地壳应力的统称。岩石中的内应力，是在不断变化的应力效应作用下产生和保存的。

1878年，瑞土地质学家海姆（Heim）通过观察大型越岭隧洞围岩的工作状态，提出了原岩应力为“静水压力”的假说，认为地应力的垂直分量和水平分量是相等的，并可用岩石的容重（ γ ）和埋深（ h ）的乘积来决定。后来苏联学者金尼克（А. Ндинник）用弹性理论按半无限体的自重应力进行分析，提出垂直应力为 γh ，而水平应力为 $\frac{\mu}{1-\mu}\gamma h$ ，式中 μ 是岩石泊松比，并假定它们就是一点的主应力。

随着岩石工程的逐步发展，证明地层中存在地应力是毫无疑问的，但至少在地壳深度3000m范围内，Heim和А. Ндинник的假说不能代表地应力状态的普遍规律。根据近30年来国内外大量实测证明：原岩应力是一个具有相对稳定的非稳定应力场，它随时间和空间而变化。地球的各种动力运动过程如板块边界挤压、地热对流、地质构造运动、地球旋转、重力、温度不均、岩浆侵入、地壳非均匀扩容、水压梯度等，都在地壳内部产生各种应力场，地壳中所有力学过程都发生在上述应力场的综合作用下。由此可见，影响地应力的因素是极为复杂的，要把这么多因素完全搞清楚无疑是十分困难的。但从工程角度来看，涉及地应力的范围总是很有限的，它属于区域性原岩应力，主要来源是地质构造运动和岩体自重。它们主要以两种形式存在于岩石中，一部分是弹性能形式，其余则由于种种原因在岩石中处于自我平衡状态。

二、影响原岩应力状态的因素

1. 埋深

对于平坦的地面，平均铅垂应力分量应当接近深度应力 γh ，因此埋深越大，地应力也越高，深井地压问题已成为影响矿井开采的重大课题。

2. 地表形状

对于形状不规则的地表，任一点的应力状态可认为是由深度应力和地表超载的不规则分布所引起的应力分量的合成。把地表轮廓线性化，可以对后一种应力的作用加以估计。对作用于弹性半空间的线荷载问题的解进行积分，容易得到作用在弹性半空间上的均匀荷载与线性变化的带状荷载问题的表达式。用这些表达式可以估计一些位置的应力状态，如V形槽谷底部附近可能会产生比铅重应力分量更高的水平应力分量。不规则的地表形状对一点应力状态的影响随着该点在地表下深度的增加而迅速降低。

3. 侵蚀作用

地表受到的侵蚀，无论是由水或是由冰川造成的，对地表下任一点的作用都是减少了岩石覆盖的厚度，因此侵蚀使铅垂应力变小，同样也使水平应力变小，但后者减少的数量较小。很明显，这将使周围应力的水平/铅垂应力比率增高，特别是在岩体的浅部。如果所讨论的点的深度大大超过由于侵蚀作用而失去的覆盖层厚度，其水平/铅垂应力比就接近于发生侵蚀以前的值。

4. 残余应力

当有限物体内部承受应力状态而不受表面牵引力作用时，其内部就有残余应力存在。例如，岩体的非均匀冷却，或者虽是均匀冷却，但与其相邻岩石单元的热膨胀系数不同，

都会产生被局部“锁住”的应力状态。

除冷却外，岩石介质中各种局部的矿物变化也会引起残余应力，岩体中的局部再结晶过程可能产生体积应变，矿物集合体含水量的变化也会产生残余应力。

要全面掌握岩层各组成部分的热力学历史和细微的地质进化过程，在目前实际是不可能的。因此，残余应力问题仍然构成一种制约因素，使得基本力学原理或详尽的地质调查都无法对岩体中的应力状态作出准确预报。

5. 包体

岩体中的包体是在原岩岩体形成之后生成的岩石单位。常见的包体具有喷出岩性质，如岩墙、岩床以及诸如石英、萤石一类矿物的矿脉。岩体中形状近于平面的铅垂包体的存在，可能以两种方式影响原岩应力状态：一种是如果包体是在抵抗围岩的水平压力作用下形成的，那么在垂直于包体平面的方向上会作用一个高应力分量；另一种是包体与围岩变形模量的相对值有关。较硬的包体将承受较高的应力状态，反之亦然。

6. 构造应力

与这种荷载有关的应力作用在一个区域范围内，它可能与区域内的冲断层与褶皱等构造特征有关。承受构造应力的岩体的特点是一个近乎水平的应力分量大大超过覆岩应力和另一个水平应力分量。这一作用也可能持续到深部，因此这一特征可以区分与侵蚀有关的近地表效应。地质构造运动与地质构造应力示意图如图3所示。

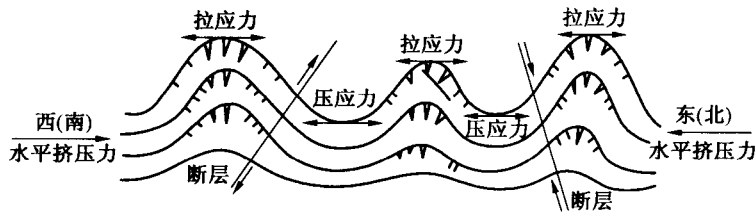


图3 地质构造运动与地质构造应力

7. 裂隙组及不连续面

岩体中裂隙的存在，不论是作为有限连续的节理组，或是作为贯穿岩层的主要结构面，都限制了介质中应力的平衡状态。非均匀应力场是形成断层、发生剪切或延伸滑动的自然结果。可以断定，断裂的连续发生，如一组断层切穿先形成的另一组断层，可能导致整个介质中更加复杂的应力分布状况。

从以上简短的讨论可以看到，从初始状态出发估计岩体周围应力状态是极其困难的，直接用实验确定也有一定困难。特别是应力张量的空间变化表明，用实验方法确定的个别数值可能与张量分量的体积平均值关系不大，但在矿山巷道设计或矿山结构设计中，正是结构影响区的平均应力状态对巷道近场岩石中应力在开挖后的分布起主要控制作用。

三、原岩应力测试方法

由于需要对采前应力状态进行可靠估计，人们花费了大量精力研制应力测量设备并探讨应力测量的方法。由于实际存在的岩体应力状态是较复杂的三维应力，为了简化量测方

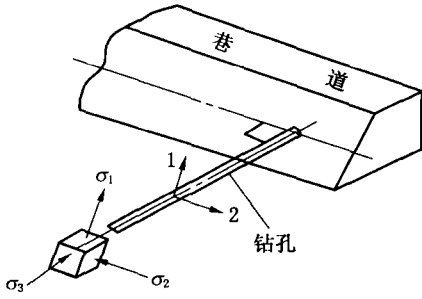


图4 简化测平面应力

法，通常只测一个平面内的两个主应力和方向角，如图4所示。

围岩内应力测量方法有以下几种：

1. 钻孔变形测量

钻孔变形测量，是先测得钻孔3个方向以上的径向变形，然后应用岩石的应力—应变物理方程，计算应力大小和方向。测平面应力时，测3个方向的钻孔径向变形即可建立3个方程，求解3个未知量（最大主应力 σ_1 、最小主应力 σ_2 和方向角 θ ）。

2. 孔底应变测量

孔底应变测量，是在钻孔底端磨平后，测得端面上3个方向的应变，然后应用岩石的应力—应变物理方程，计算应力大小和方向。此时，由于孔端集中应力的影响，计算的应力要高于实际应力，一般高1.5倍左右。

3. 钻孔应力测量

前述的钻孔变形和应变测量，都和岩体的应力—应变物理特性相关，计算方程及其变形参数较难确定，对于较软的岩层更难解决。钻孔应力测量，则是采用应力计直接测量应力的变化量。其原理是，设计应力计的变形模量远大于周围岩体的变形模量（5倍以上），因围岩变形模量较小，对结果的影响可以忽略。这样在应力计上引起大约等于原应力2倍的应力变化，测量的结果是应力的变化量，与围岩变形特性无关。如此，在钻孔内3个方向分别测得3个应力分量，并根据应力平衡理论建立方程，求解两个主应力和方向角。

钻孔应力测量可采用压磁应力计、振弦应力计、油压枕应力计等。使用的应力计一定要满足刚度匹配条件。

4. 应力解除法

钻孔应力测量只是测应力的变化量，应力解除法则可测得应力绝对值的大小和方向。该方法是先在小钻孔内安设应力测量仪器，通过套钻或切槽等方法，将作用在该点的原岩体应力解除为零，测量该点解除应力前后的变形差值，或应变差值，或应力差值，然后通过计算，得到岩体内实际应力的大小和方向，应力解除过程如图5所示。

测量绝对应力的方法，还有水力压裂法、应力恢复法、钻孔加深法等。

5. 单孔三向应力测量

三向应力测量总共要测量6个应力分量，才能反映真正的岩体应力状态。单孔三向应力测量是目前国内外广泛应用的一种方法。

单孔三向应力测量如图6所示，在钻孔壁上3个不同方向用环氧树脂或聚酯树脂粘贴3个应变花，其角度为 0 、 $\pi/4$ 、 $\pi/2$ 、 $2\pi/3$ ，如图所示。应变计附近的应力解除会引起应变花产生应变，其大小与钻孔壁原先的应变相等，但符号相反。据此，可在不同方向测得12个应变值，有12个方程组求解，不同组合可以互相校核。有33~160个有效组合，易于应用误差统计分析。该法根据岩体的应力—应变物理方程及其变形特征参数进行求解。计算工作可由计算机完成。

岩体应力测量工作很重要，但目前所采用的方法还不完善，且测试过程复杂，测试工程量和费用均较大，应根据研究课题需要慎重选用，并要考查测试结果的正确程度。

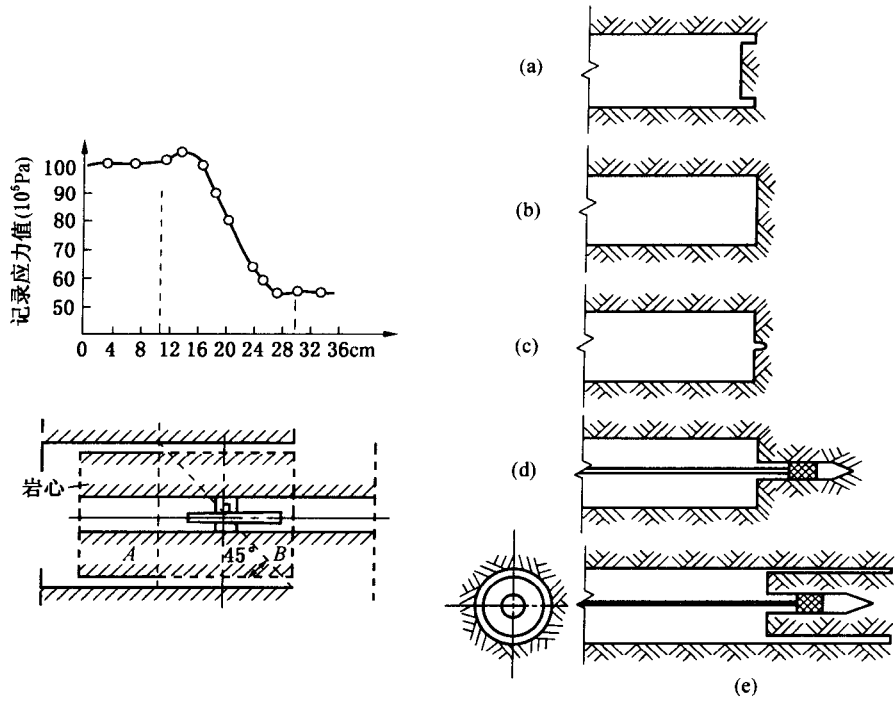


图5 应力解除过程

a—打大孔；b—磨平孔底；c—中心定位；d—打小孔安仪器；e—套孔解除

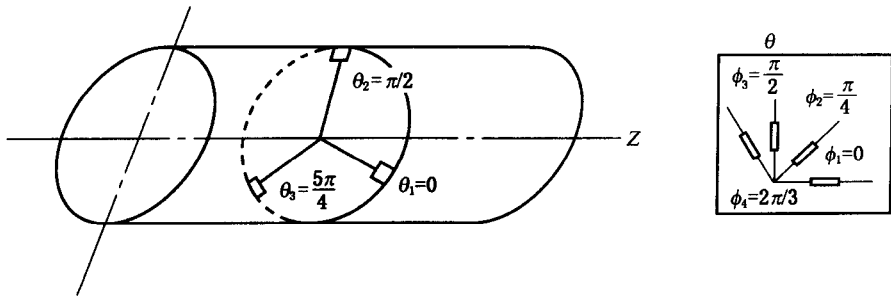


图6 单孔三向应力测量

四、现场应力测量的结果统计与基本规律

Brown 与 Hoek (1978) 对许多重要矿山和土木工程中测得的采前应力状态进行了全面的整理，图 7 为整理结果。

从图中首先可以看到铅垂应力分量 p_{zz} (以 MPa 为单位) 的测量值散布在一条线性回归线附近，此直线的方程为：

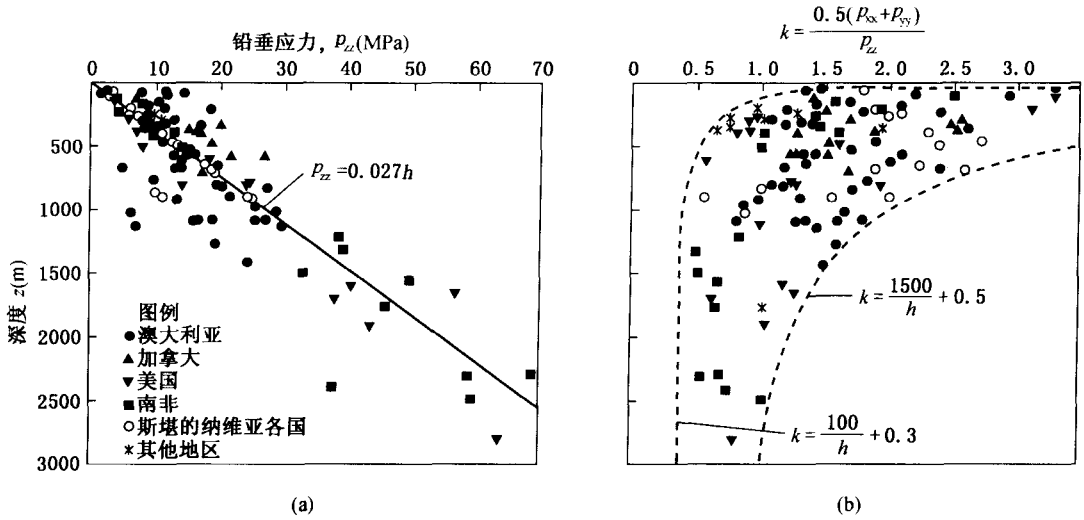


图7 地应力实测结果统计

a—铅垂应力分量随深度的变化；b—水平应力的平均值与铅垂应力之比随深度的变化

$$p_{zz} = 0.027h$$

式中 h ——地面下的深度，m。

因为 27kN/m^3 代表了大多数岩石的平均容重，所以铅垂应力分量大致与深度应力一致。此外还可看到，水平应力的平均值与铅垂应力之比，即 $[0.5(p_{xx} + p_{yy})] / p_{zz}$ ，随深度的变化而变化。在浅部，这个比值变化很大，而且常大于1。随着深度的增加，比值的减小并接近于1。比值在深部收敛至1是与岩体剪应力随时间推移而消失的原理相一致的，这种粘塑性流动将使岩体恢复到静水压力状态的假定，通常称为海姆法则（Heim's Rule）。

综上所述，原岩应力分布有以下特点：

(1) 在水平面上，原岩应力可分解成最大水平主应力 σ_{hmax} 和最小水平主应力 σ_{hmin} ，二者在方向上是正交关系，在量值上通常相差较大， σ_{hmax} 一般为 σ_{hmin} 的 1.25~2.5 倍（表1），这使得水平应力的显现具有明显的方向性。

表1 世界部分地区两个水平主应力的比值

实测地点	统计数目	$\sigma_{hmax}/\sigma_{hmin}$				合计
		1.00~1.33倍	1.33~2.00倍	2.00~4.00倍	4.00倍以上	
斯堪的纳维亚等地	51	14*	67	13	6	100
北美	222	22	46	23	9	100
中国	25	12	56	24	8	100
中国华北地区	18	6	61	22	11	100

*表中数据为百分数比。

(2) 铅垂应力与岩体自重应力 γh 基本相等，构造运动对岩体垂直应力分量影响很小。

(3) 水平应力常常大于垂直应力。实测数据显示，最大水平应力 σ_{hmax} 普遍大于垂直应力 σ_v ，而最大水平应力与最小水平应力之平均值 σ_{hav} 也常常大于垂直应力（表2），垂直应力多数情况下为最小主应力，在少数情况下为中间主应力，只在个别情况下才是最大主应力。

(4) 水平应力与垂直应力的比值与深度有关，一般随深度增大而逐渐趋于1，见图8。

表2 世界各国平均水平主应力与垂直主应力的关系

国家名称	σ_{hav}/σ_v			σ_{hmax}/σ_v
	< 0.8	0.8~1.2	> 1.2	
中国	32	40	28	2.09
澳大利亚	0	32	78	2.95
加拿大	0	0	100	2.56
美国	18	41	41	3.29
挪威	17	47	66	3.56
瑞典	0	0	100	4.99
南非	41	24	35	2.50
前苏联	51	29	20	4.30
其他地区	37.5	37.5	25	1.96

由于我国煤矿分布地域广，且岩层构造复杂，不同矿区的原岩应力分布差别较大，其中大部分矿区仍以水平主应力为主，如大同局忻州窑矿的水平主应力为垂直主应力的 2.5 ~ 2.9 倍，邢台局东庞矿的水平主应力为垂直主应力的 1.45 倍，峰峰局通二矿的水平主应力为垂直主应力的 1.42 倍，芙蓉局白皎矿的水平主应力为垂直主应力的 2.55 倍，新汶局潘西矿的水平主应力为垂直主应力的 1.2 倍；但也有垂直主应力为主的矿区，如新汶局华丰矿；还有水平主应力与垂直主应力近似相等的矿区，如红庙煤矿软岩地层原岩应力 ($\sigma_v = \gamma h$, $\sigma_{hmin} = 0.64\gamma h$, $\sigma_{hmax} = 0.98\gamma h$)。

五、采场影响区内巷道开挖前的岩体应力状态

由于在岩层或煤层内开掘巷道或进行回采，改变了岩体的原始应力状态，出现应力集中或

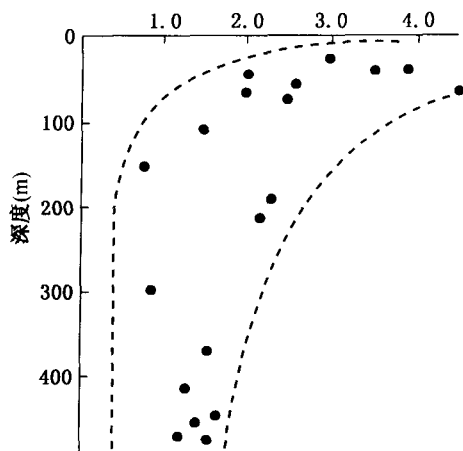


图8 σ_{hmax}/σ_v 之比与深度的关系
(我国原岩应力实测资料)