

高等学校教学参考书

矿山压力及其控制习题集

张志文 石平五 编

煤炭工业出版社

高等学校教学参考书

矿山压力及其控制习题集

张志文 石平五 编

煤炭工业出版社



B 544435

内 容 提 要

本书是《矿山压力及其控制》的配套用书,其编写目的是为了让学生在学习和复习过程中尽快地理解和掌握课本内容。因此,全书分内容提要及习题、习题解答两部分,书后还附有历届研究生考试矿山压力试题选。书中对矿压控制的基本概念和基础知识方面的问题都作了详细的解答;所列习题的深度和广度基本以教材为准,有些计算题和综合分析题则有扩展和加深;而且对新近矿压界正在研究的问题也有所介绍。

本书可供煤炭高等院校、中等专业学校采矿工程专业的师生及现场工程技术人员参考。

责任编辑:刘泽春 刘社育

高等学校教学参考书

矿山压力及其控制习题集

张志文 石平五 编

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安民门外和平里北口21号)

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 $787 \times 1092\text{mm}^1/16$ 印张 9

字数208千字 印数1—2,580

1988年9月第1版 1988年9月第1次印刷

ISBN 7-5020-0194-9/ID·184

书号 3037 定价 1.90元

前 言

《矿山压力及其控制习题集》是《矿山压力及其控制》一书的配套用书。其编写目的在于帮助读者更好地掌握《矿山压力及其控制》的内容，培养读者独立分析问题和解决问题的能力。

本书的编写原则是紧密结合教材的结构特点，并对教材内容作了进一步的补充和深化，力求对教材中的基本概念和基本知识方面的问题予以比较详细的解答。所列习题的深度和广度基本以教材为准，有些内容超出了教材范围，可供读者学习时参考。为了便于读者独立思考，本书分两大部分编写：第一部分为内容提要及习题；第二部分为习题解答。

本书初稿于1985年11月完稿并在西安矿业学院油印试用。1986年12月，采矿工程教材编审委员会和教育司教材编辑室邀请中国、阜新、山西、西安、湘潭等矿业学院、河北建筑工程学院和重庆大学的代表在北京召开了审稿会议。代表们对习题集的修改提出了很多宝贵意见。编者根据会议提出的意见进行修改之后，于1987年7月20日在徐州定稿。

本书的第二、三、四、五、八章和附录由中国矿业学院张志文编写，第一、六、七章由西安矿业学院石平五编写。在编写过程中钱鸣高教授和刘听成教授对初稿做了修改。附录二中的材料主要由湘潭矿业学院李熔华同志提供。在此，对上述为本书予以指导和帮助的同志一并表示感谢。

在本书的编写过程中，编者力求做到深入浅出，理论联系实际，但由于本习题集是第一次编写，缺乏经验，加之编者的水平所限，书中的不妥和错误之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

1987年7月

目 录

第一部分 内容提要及习题

第一章 矿山岩石和岩体的基本性质	1
一、内容提要	1
二、习题	2
第二章 矿山岩体内应力的重新分布	6
一、内容提要	6
二、习题	7
第三章 回采工作面上覆岩层活动规律及其分析	9
一、内容提要	9
二、习题	10
第四章 回采工作面矿山压力显现基本规律	13
一、内容提要	13
二、习题	14
第五章 回采工作面顶板控制及支护方法	17
一、内容提要	17
二、习题	18
第六章 采区巷道矿山压力及其维护	22
一、内容提要	22
二、习题	23
第七章 煤矿动压现象及其控制	27
一、内容提要	27
二、习题	28
第八章 回采工作面和采区巷道矿压研究方法	30
一、内容提要	30
二、习题	30

第二部分 习题解答

第一章 矿山岩石和岩体的基本性质	32
第二章 矿山岩体应力的重新分布	51
第三章 回采工作面上覆岩层活动规律及其分析	58
第四章 回采工作面矿山压力显现基本规律	68
第五章 回采工作面顶板控制及支护方法	79
第六章 采区巷道矿山压力及其维护	101

第七章	煤矿动压现象及其控制	114
第八章	回采工作面和采区巷道矿压研究方法	119
附录一	附表	126
附录二	历届研究生考试矿山压力试题选	129

第一部分 内容提要及习题

第一章 矿山岩石和岩体的基本性质

一、内容提要

本章是《矿山压力及其控制》教材的基础篇章，主要介绍学习矿山压力课程所必备的岩石力学知识。因此，学习本章的重点应放在对基本概念的理解和运用上。

1. 岩石的组成

岩石是组成地壳的基本物质，它由各种造岩矿物或岩屑在地质作用下按一定规律组合而成。采矿工程所遇到的岩石大多是固结性岩石。按照岩石的强度和坚实性，常把矿山岩石分为坚硬岩石和松软岩石。不同类型的岩石对采掘工程影响不同。在岩石力学文献中，岩石一般指单块岩石，又称岩块。

2. 岩石性质

本章所述的岩石性质一般是指实验室实验所得的岩石试块的性质。

1) 岩石的物理性质主要包括：岩石的密度、比重、空隙性、吸水性和透水性，以及与矿山开采有密切关系的膨胀性和软化性。

2) 岩石的变形特性是指岩石试块在各种载荷（单向、双向、三向）作用下的变形规律包括弹性变形、塑性变形、流变和破坏规律。

刚性实验机实验表明，岩石破坏一般要经历一个过程，如图1-1-1所示。称为岩石的应力应变全程曲线，它说明岩石应力达到破坏值后，仍有一定承载能力。

3) 岩石强度性质包括：单向抗压强度、单向抗拉强度、抗剪强度和双向抗压强度。岩石受力状态不同，其极限强度相差悬殊。一般情况下，双向抗压强度 > 单向抗压强度 > 抗剪强度 > 抗弯强度 > 单向抗拉强度。

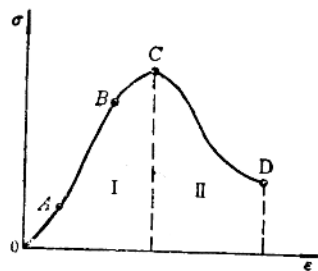


图 1-1-1 岩石的应力应变全程曲线

3. 岩石的破坏类型和强度理论

无论在何种受力状态下，矿山岩石发生破坏的基本形式有两种：拉断破坏和剪切破坏。

目前较适合于岩石的强度理论有两种：

1) 莫尔强度理论。该理论认为岩石发生破坏主要是由于破坏面上的剪应力达到一定限度，但此剪应力还与破坏面上由于正应力造成的摩擦阻力有关。它的表达形式是

$$\tau = f(\sigma)$$

式中 τ — 剪应力，

σ ——正应力。

莫尔强度理论的准则就是反映应力-应变关系的“ σ - τ ”强度包络线，它可以通过实验室岩石实验数据求得，如直线型包络线是通过抗剪强度实验求得，又称“库仑-莫尔”强度准则；双曲线型、抛物线型包络线都是通过单向抗拉强度和单向抗压强度的实验求得。

2) 格里菲斯强度理论。该理论认为在任何材料内部都存在各种裂缝，当材料处于一定应力状态时，在这些裂缝的端部便会产生拉应力集中。如果主应力为拉应力，则在裂缝端部产生几倍于主应力的拉应力；如果主应力为压应力，在裂缝端部也产生拉应力。当拉应力超过材料抗拉强度时，就会从裂缝端部开始发生破坏。

4. 岩体的力学性质

岩块实验所得的岩石性质与天然岩体力学性质有很大差别，其强度相差往往高达一、两个量级。为了有效地解决工程岩体力学问题，必须明确岩体的概念和特征以及与其有关的岩体力学性质。

1) 岩体是指自然界中由各种岩性和各种结构特征的岩石组成的集合体。一般来说，岩体可看作由结构面和结构体组成。结构面即通常所说的弱面，包括岩石物质分界面和由地质构造等原因形成的不连续面，结构体则是指由不同产状的结构面相互切割而形成的单元体。由于岩体存在结构面，因此，它的性质与岩石性质有很大区别，一般表现为非均质性，各向异性和不连续性。

2) 岩体不是理想的弹性体，它是具有弹性、塑性和粘性（流变性）的多裂隙的非连续介质，变形和破坏也比岩块复杂得多，一般分为四个阶段：压密阶段、弹性阶段、塑性阶段和破坏阶段。

3) 岩体的强度不仅受组成它的结构体——岩块的影响，而且主要受结构面的影响。岩体最重要的强度指标是剪切强度，它受结构面性质以及应力与结构面方向间关系的影响。

岩体强度可采用现场测定方法确定，但一般耗资较大，近年来也发展了一些新方法，如声波仪等。

二、习 题

1-1 自然状态下的岩石，按固体矿物颗粒之间的结合特征分为几类？岩石的结构和构造有何区别？煤矿的矿山岩体的结合特征和构造属哪类？。

1-2 煤矿岩层控制中，常提到的坚硬岩层（硬岩）和松软岩层（软岩）的含义是什么？它对矿山开采有何影响？

1-3 岩石的空隙性、空隙度和空隙比有什么不同？研究它们有何意义？

1-4 某矿送砂岩岩样三块，试件尺寸为 $5\text{cm} \times 5\text{cm} \times 5\text{cm}$ ，在天然状态下称得其质量分别为320g，328g和325.6g；绝对干燥后称得恒重分别为312g，319g，308g；将试件放入水中后测得空隙体积为 4.72cm^3 ， 3.94cm^3 ， 5.75cm^3 ；试求砂岩的比重、天然容重、干容重、空隙度和空隙比？

1-5 什么叫岩石的碎胀性？研究它有何意义？岩石的碎胀性和岩石的扩容有什么区别？

1-6 什么叫岩石的软化性？研究它有何意义？软岩的膨胀力和膨胀率是如何确定的？

1-7 什么叫岩石的弹性、塑性和流变性？弹性模量与变形模量有何区别？塑性和流变性有何区别？

提示：（1）简述岩石的弹性、塑性和流变性，并从塑性和流变性的定义和本质上区别其不同；（2）对照岩石的变形曲线图说明弹性模量与变形模量的区别。

1-8 岩石的典型流变曲线和流变力学模型有什么区别？

1-9 试推导弹粘体流变模型的蠕变方程和松弛方程，并通过该方程分析这种模型的力学特性。

1-10 岩石三向压缩时的变形特征与单向压缩时变形特征相比有何特点？岩石在三向压缩条件下是否会发生破坏？

提示：对照典型的岩石试件在不同侧压下三向压缩的典型实验曲线予以说明，如干砂岩和湿砂岩在不同侧压下三向压缩的变形曲线。

1-11 什么叫岩石的应力应变全程曲线？为什么说它真实地反映了岩石的破坏过程？认识这一过程对研究岩石性质有何意义？

1-12 某矿送页岩岩样三块，作成直径5cm，长10cm标准试件三块，分别作 45° 、 55° 和 65° 的抗剪强度实验，施加的最大载荷相应为17.6kN、12kN和9.65kN，求页岩的内聚力 C 和内摩擦角 φ ，并绘出岩石的抗剪强度曲线。

1-13 分析下列强度实验中岩石破坏的原因，画出破坏面的位置（见图1-1-2）。

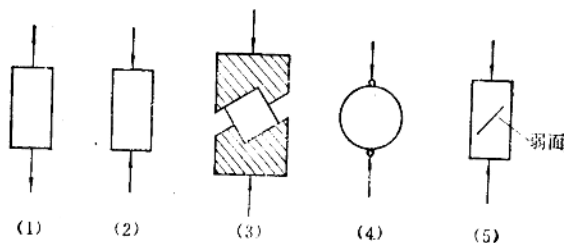


图 1-1-2

提示：（1）看清岩石试块受力状态，根据实验课学的知识绘出破坏面的位置；（2）如实验中得出不同破坏形式，可简要分析说明。

1-14 莫尔强度理论和格里菲斯强度理论提出的基本思想是什么？它们在本质上有何区别？为什么目前莫尔强度理论较广泛地用作岩石的强度条件？

1-15 根据莫尔强度理论，通过实验求岩石强度包络线的常用方法有哪几种？哪种在矿山岩石力学中应用较广泛？

1-16 岩石强度的压拉比（ R_c/R_t ）有何意义？如何根据莫尔应力圆和直线型包络线求岩石试件在单向受力条件下的压拉比？

提示：根据直线型强度曲线中三角形关系推导出单向抗压强度 R_c 和单向抗拉强度 R_t 。

1-17 某矿送样作石灰岩的抗剪强度实验，当 $\sigma_{n1} = 4.8\text{MPa}$ 时， $\tau_{n1} = 15.8\text{MPa}$ ；当 $\sigma_{n2} = 8.2\text{MPa}$ 时， $\tau_{n2} = 18\text{MPa}$ 。而该岩石在作三向抗压强度实验时，当侧压 $\sigma_{a1} = 0$ 时（无侧压）， $R_c = 82.6\text{MPa}$ ，求侧压力 $\sigma_{a2} = 5\text{MPa}$ 时其三向抗压强度等于多少？

提示：先求岩石内摩擦角 φ ，然后根据单向抗压强度 R_c 求三向抗压强度。

1-18 试作出单向拉伸、单向压缩、双向拉伸、双向压缩、双向不等拉压、纯剪、三向等拉、三向不等压和三向等压的应力圆（设压应力为正， σ_1 ， σ_2 ， σ_3 分别为最大，中间、最小主应力）。

提示：先确定每种受力状态下的最大主应力 σ_1 和最小主应力 σ_3 （莫尔强度理论认为与 σ_2 无关），然后据 σ_1 ， σ_3 画出莫尔圆。

1-19 如果某种岩石的强度条件为 $\tau = \sigma \tan 30^\circ + 10$ （MPa），试求出：

1. 这种岩石的单向抗压强度；

2. 设 $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ （压应力为正，单位为MPa），则下列应力状态的各点是否会产生破坏：（40、30、20）；（53.7、30、6.3）；（53.7、30、1）；（1000、1000、1000）。

提示：判断各点是否发生破坏时，应先根据强度条件画出直线型包络线，再画出各点的莫尔圆，判断其是否在包络线外。

1-20 某种岩石在单向压缩过程中，压应力达28MPa时发生破坏，破坏面与最大主平面夹角 60° ，假定抗剪强度随正应力呈线性变化，计算：

1. 这种岩石的内摩擦角；

2. 在正应力为零的平面上的抗剪强度；

3. 上述实验中与最大主平面成 30° 夹角平面上的剪应力；

4. 破坏面上的正应力和剪应力

提示：由于抗剪强度随正应力线性变化，故符合直线型包络线，可据此进行计算。

1-21 什么叫岩石？什么叫岩体？两者主要区别是什么？又有何关系？

1-22 在单向受压条件下，如果岩体内只有一组平行节理，当加载方向连续变化，即加载方向与节理面（弱面）所成夹角连续变化时，岩体强度会随之发生怎样变化？

提示：通过几个典型角度， $\theta = 0$ ， $\theta = 45^\circ + \frac{\varphi}{2}$ ， $\theta = 90^\circ$ 等说明变化规律。

1-23 图示节理岩体的节理面倾角 $\alpha = 30^\circ$ （见图1-1-3），节理面的内聚力 $C_l = 2$ MPa，内摩擦角 $\varphi_l = 22^\circ$ ，岩体本身内聚力 $C_t = 10$ MPa，内摩擦角 $\varphi_t = 35^\circ$ 。设该节理岩体受到的围岩压力为6MPa，求该岩体的极限抗压强度。如果将围岩压力提高到10MPa时，该节理面对岩体强度有无影响？

提示：先画出岩体本身的和节理面的直线型包络线，按岩体无节理面影响时，画出其极限应力圆；如果该应力圆在节理面直线型包络线外，则可判断其影响范围，并按节理面倾角 α 求出其按节理面剪切破坏时的极限强度。提高围岩压力后，就需重新画极限应力圆，按同样作法，判断节理面对岩体强度有无影响。

1-24 已知一节理岩体本身内聚力为 $C_l = 8$ MPa，内摩擦角 $\varphi_l = 40^\circ$ ；该岩体内有一组平行节理，节理面本身的内聚力为 $C_2 = 3$ MPa，内摩擦角 $\varphi_2 = 30^\circ$ 。试求：

1. 当成岩石试件在普通材料实验机上作单向抗压实验时，节理面与水平面夹角 α 在多大范围内对岩体单向抗压强度有影响？影响最大时的单向抗压强度与没有影响时岩体单向抗压强度的百分比是多少？

2. 当在三轴实验机上作实验，围压等于6MPa时，节理面与水平面夹角 α 在多大范围内对岩体极限轴向强度有影响？影响最大时的轴向强度是没有影响时的百分之几？

1-25 某矿为施工需要，测定了主井井口表土层下基岩的岩体强度，采用图1-1-4所

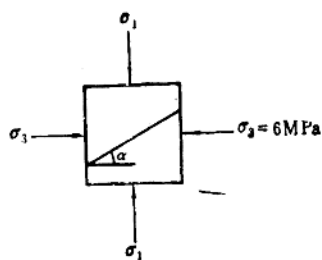


图 1-1-3

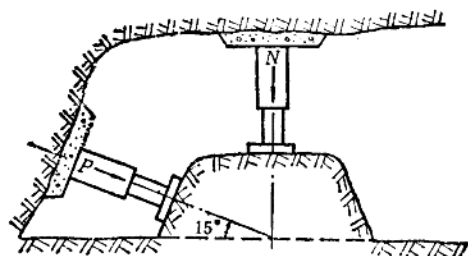


图 1-1-4 岩体现场剪切实验图

示的岩体现场剪切实验方法,加工岩体预计的剪切破坏面为 $65\text{cm} \times 65\text{cm}$,实际施工中由于有误差,剪切面积 A 如表1 现场岩体强度实验按规定进行了4次,每次先施加一定的法向力 N 到一定值后稳定不变,再施加倾斜 15° 的推力 P 直到岩体沿 AB 面剪切破坏。实验结果如表1-1-1。

表 1-1-1

实验次数	剪切面积 A 长 $\times$ 宽($\text{cm} \times \text{cm}$)	固定法向力 N (kN)	破坏时倾斜推力 P (kN)
1	65 $\times$ 60	720	1240
2	72 $\times$ 60	165	1637
3	60 $\times$ 62	216	1701
4	65 $\times$ 60	310	2121

1. 绘出该基岩岩体强度包络线;

2. 如 σ - τ 属线性关系,求该基岩的岩体内聚力 C 和内摩擦角 φ 。

提示:计算每次岩体实验时破坏面上的正应力 σ 和剪应力 τ ;然后画 σ - τ 曲线,由于本题近似直线,故可在图上定出 φ 和 C ,就可计算求得。

1-26 在矿山压力和岩层控制的实践和研究中,较广泛应用的岩石强度理论有哪些?各有何优缺点?今后的前景如何?

1-27 目前,围岩强度的现场简易测定方法主要有哪些?其适用条件各是什么?

第二章 矿山岩体内应力的重新分布

一、内容提要

1. 岩体内原岩应力的概念

岩体内形成原岩应力的主要原因有两种, 由于岩体自重而引起的自重应力和由于地质构造运动而引起的构造应力。自重应力是形成岩体垂直应力和水平应力的根本原因。构造应力主要是指水平应力。在矿山地质构造简单地区的岩体可能只有自重应力, 在地质构造复杂地区的岩体中可能同时有自重应力和构造应力存在。

2. 孔周边的应力分布

借助于半无限弹性体中圆孔周边应力的研究, 可以作为形成矿山压力的理论依据, 它能定量地说明孔周围的应力分布与孔的形状和应力场性质有关。如在双向等压和双向不等压下孔周围应力分布不同, 说明应力场的影响不同; 圆形孔和椭圆形孔周围应力分布不同, 则说明巷道形状改变, 应力分布也将改变。

在弹性状态下, 孔周围应力重新分布有以下特点:

- 1) 孔周围形成应力集中, 而且切向应力集中现象主要发生在孔的周边。
- 2) 对单一圆形孔, 应力集中系数 K 的大小仅和侧压系数 λ 有关, 其值 $K=2\sim3$; 对椭圆形孔, 应力集中系数 K 值与侧压系数 λ 及孔的轴比 a/b 有关; 对于多个孔, 应力集中系数 K 值与孔的大小、孔的间距和侧压系数 λ 值有关。

- 3) 无论任何形状的孔其周围切向应力重新分布的影响都有一定的范围, 其影响范围与孔的大小有关。

3. 围岩极限平衡及支承压力的概念

在地下岩体内开掘巷道以后, 巷道两侧围岩中的垂直应力可达到 $K\gamma H$, 而巷道两侧周边处于单向或双向压缩状态, 此处岩体在 $K\gamma H$ 的作用下可能发生破坏。随着深入到巷道两侧岩体内部, 岩体逐渐变为三向受压状态。因此, 岩体强度也逐渐增大, 直到某一半径为 R 处的岩体强度能够承受 $K\gamma H$ 时, 岩体就不再发生破坏。这时, 在半径为 R 范围内的巷道围岩就处于所谓极限平衡状态。这个半径为 R 的区域称为极限平衡区。

由于在煤层中开掘巷道和回采煤层, 巷道两侧和工作面前方煤壁内必然要产生应力重新分布。根据垂直应力的大小可将改变后的垂直应力分为减压区 (小于原岩应力的区域) 和增压区 (大于原岩应力的区域)。通常将垂直应力高于原岩应力 5% 的区域叫做支承压力区。将垂直应力等于原岩应力的区域叫做原始应力区。

4. 支承压力在底板岩层中的传播规律

在煤柱下方底板岩层中沿垂直方向或水平方向, 离煤柱越远, 岩层中的支承压力值均越小。但在水平方向上有一个明显边界, 在煤柱一侧的下方为增压区, 在采空区一侧的下方为减压区。在垂直方向上则没有明显的边界。支承压力在底板岩层中的这种分布规律对巷道布置有重要意义。

二、习 题

2-1 什么叫原岩应力状态, 对原岩应力状态有几种假说?

2-2 试计算只考虑自重应力的情况下, 赋存在600m深处原岩体内一点的应力值, 设上部岩层的平均容重为 24.5kN/m^3 , 泊松比为 $\mu = 0.2$, 并绘出其应力圆。

2-3 试叙述构造应力对原岩应力场的影响及其特点。

2-4 什么是弹性变形能? 简述地下岩体内弹性变形能的形成及影响弹性变形能大小的因素。

2-5 试计算赋存在400m深处煤层内的体变弹性能。设上部岩层的平均容重 $\gamma = 24.5\text{kN/m}^3$, 煤层的泊松比 $\mu = 0.2$, 煤层的弹性模量 $E = 2.45 \times 10^8\text{kN/m}^2$ 。

注意: 岩体的弹性变形能包括体变弹性能和形变弹性能两种。

2-6 研究孔的周围应力对研究矿山压力有何实际意义, 有哪些重要结论可以借鉴?

提示: 为了使实际问题简化, 可用数学、力学方法研究典型孔周围的应力分布, 近似地反映巷道或采场周围的应力分布规律。研究围岩处于 $\lambda = 1$ 和 $\lambda = 0$ 两种典型状态之间的情况, 可得出一些实际有用的结论。

2-7 如何估算赋存深度为600m的圆形水平巷道的最大切向压应力和最大切向拉应力?

提示: 最大切向压应力在巷道两侧中点, 最大切向拉应力在巷道顶、底部中点。

2-8 试绘制 $\lambda = \frac{1}{3}$ 时, 圆形水平巷道周围岩体中的应力重新分布图, 并叙述其特点。

提示: 计算出 $\theta = 0^\circ$ 、 90° 两处岩体内各点的应力值, 并绘图分析其特点。

2-9 试分析 $\lambda = \frac{1}{4}$ 时, 圆形孔和椭圆形孔受切向拉应力的范围。

提示: 求出圆形孔和椭圆形孔当 $\lambda = \frac{1}{4}$, $\sigma_1 = 0$ 时, θ 角值的范围, 一般拉应力区出现在孔的顶部和底部。

2-10 什么叫支承压力? 它和矿山压力有何不同?

2-11 试叙述煤柱下方底板岩层中支承压力的传播特点及其对煤矿生产的实际意义。

2-12 在巷道两侧和回采工作面前方煤体中是怎样分区的, 有几种分区方法, 其实质是什么?

2-13 什么叫减压区? 试述巷道和采场周围岩体中减压区的形成, 减压区的存在对生产有何实际意义?

提示: 可以针对减压区的存在对回采工作面生产、巷道的布置和维护有何影响阐述其意义。

2-14 在生产实际中, 怎样判别地下岩体内是否有构造应力存在?

提示: 1. 测定岩体中水平应力的大小。

2. 观测不受采场影响的水平巷道变形特点。

3. 了解该区的地质构造情况。

2-15 何谓围岩的极限平衡, 极限平衡区范围的大小与哪些因素有关?

2-16 处于地表以下600m深处有一半径 $r_1 = 2\text{m}$ 的圆形巷道, 设巷道围岩处于静水应

力场中 ($\lambda = 1$)，围岩的内聚力 $C = 1.20 \text{ MPa}$ ，内摩擦角 $\varphi = 26^\circ$ ，上覆岩层的平均容重 $\gamma = 24.5 \text{ kN/m}^3$ ，试求巷道一侧极限平衡区的宽度是多少？

2-17 在地表以下500m深处的煤层中，掘进两条平行的圆形巷道，巷道半径 $r = 2 \text{ m}$ ，煤层的内聚力 $C = 1.0 \text{ MPa}$ ，内摩擦角 $\varphi = 18^\circ$ ，设此处煤层处于静水应力状态 ($\lambda = 1$)，上覆岩层的平均容重 $\gamma = 24.5 \text{ kN/m}^3$ ，求两条巷道不相互影响的最小间距应该是多少？巷道之间的煤柱宽度是多少？

提示：两条巷道互不影响时，要求两条巷道的极限平衡区不应相交，即两条巷道的间距 $S > 2R$ (R 为极限平衡区半径)，煤柱宽度 $B > 2(R - r)$ 。

2-18 地表以下500m深处有一回采工作面，煤层开采厚度为 2.5 m ，煤层的承载能力 $N_0 = 980 \text{ kN/m}^2$ ，上覆岩层平均容重 $\gamma = 24.5 \text{ kN/m}^3$ ，煤层内的侧压力系数 $\lambda = 0.4$ ，若煤壁上的应力集中系数为 $K = 5$ ，煤层和顶底之间的摩擦系数 $f = 0.3$ ，求煤壁内最高支承压力点距工作面的距离是多少？

第三章 回采工作面上覆岩层活动规律及其分析

一、内容提要

1. 老顶岩层的梁式平衡

回采工作面自开切眼向前推进一段距离以后,直接顶开始垮落,老顶暴露于采空区之上而未折断,类似于一端由工作面前煤壁支撑,另一端由边界煤柱支撑的两端固定的梁。这时,开采空间上覆岩层处于平衡状态,通常将这种状态称为老顶的梁式平衡。

2. 老顶岩层断裂时的极限跨距

随着回采工作面的推进,当老顶岩梁达到一定跨距时,老顶岩梁因其中的应力超过岩梁的强度极限而发生断裂。通常将老顶岩梁要断裂时的跨距称为老顶岩梁的极限跨距。其数值可按以下公式计算:

1) 当回采空间周围均未采动时,可按固定梁计算:

$$L_f = h\sqrt{\frac{2R_r}{q}}$$

2) 当回采空间周围均已采空或用刀柱法管理顶板时,其极限跨距可按简支梁计算:

$$L_s = 2h\sqrt{\frac{R_r}{3q}}$$

3. 裂隙体梁的平衡

老顶岩层达到极限跨距以后,老顶岩层就要断裂形成所谓裂隙体。但断裂后的岩块由于向下回转时产生相互挤压和摩擦而不发生垮落。这时,断裂岩块间形成三铰拱式平衡。通常将这种平衡称为裂隙体梁的平衡。裂隙体梁的平衡条件可用下式表示:

$$R \leq T \cdot \operatorname{tg}(\varphi - \theta)$$

式中 R ——两岩块之间的剪力;

T ——岩块之间的水平挤压力;

φ ——岩块间的摩擦角;

θ ——岩块间的断裂角。

4. 回采空间上覆岩层的移动

随着煤层的开采和老顶的断裂与垮落,上覆岩层的移动甚至可能达到地表。根据岩层的破坏程度,可将回采空间上覆岩层分为三个带:

冒落带:岩层破断后,岩块呈不规则垮落,排列也极不整齐,其破碎岩块的碎胀系数较大,一般为 $K_p = 1.3 \sim 1.5$ 。

裂隙带:在冒落带之上,岩层破断后排列整齐,破断岩块的碎胀系数较小,一般 $K_p < 1.1$ 。

弯曲下沉带:在裂隙带之上直至地表,岩层不产生断裂,只产生弯曲下沉。

从研究矿山压力显现出发,上覆岩层移动的特点有:

1) 岩层移动曲线附合于负指数关系曲线,即:

$$S_x = S_m(1 - e^{-az^b})$$

2) 煤层上部岩层在工作面前方30~40m处就开始变形,在这个范围内称为煤壁支撑区,即为A区。其岩层的水平移动较为剧烈,而垂直移动很小。

3) 在采空区上方的岩层形成离层区,即为B区。在该区内,其上部岩层的移动速度小于下部岩层的移动速度。因此,造成下部岩层与上部岩层离层。

4) 在采空区冒落矸石上形成重新压实区,即为C区。在该区内,其上部岩层的移动速度大于下部岩层的移动速度。因而岩层的离层又被重新压实。

5. 有关岩体“结构”的矿山压力假说

1) 压力拱假说。该假说认为在回采工作空间上方由于岩层自然平衡而形成一个“压力拱”,前后拱脚之间形成一个减压区,回采工作面支架只承受压力拱内岩石重量的作用。

2) 悬臂假说。该假说认为顶板在初次垮落以后,可将其看作是一个悬臂梁,随着工作面的推进,悬臂梁发生周期性拆断,因而造成回采工作面的周期来压。

3) 预成裂隙假说。该假说认为,煤层开采后,由于支承压力的作用顶板的连续性被破坏,形成成组出现的矿压裂隙在工作面周围形成应力降低、应力升高和采动影响区,三个区域随着工作面的推进同时向前移动。这时,可将其视为“假塑性体”。被各种裂隙破坏了的假塑性体彼此压紧形成预应力梁,此梁在自重和上覆岩层的作用下发生弯曲、下沉、滑移以至垮落。为了控制顶板,支架应有足够的初撑力和工作阻力,并应及时支撑住顶板岩层。

4) 铰接岩块假说。该假说认为,根据直接顶分层厚度和煤层采高的关系不同,可将开采空间上方的顶板岩层分为冒落带和裂隙带。裂隙带内岩块可以互相咬合形成三铰拱式平衡,使采场免受上部岩层的作用。

6. 裂隙带岩层的结构模型及形成岩体结构的平衡条件

上覆岩层的岩体结构主要由坚硬岩层组成,软岩层只作为载荷,坚硬岩层断裂成岩块后排列整齐并互相咬合,这样,就可以建立一个静定的力学模型。根据力学计算,岩体结构的平衡条件为:

- 1) 岩块间应有足够的水平推力,且不可过大。
- 2) 岩块的下沉量 S_1 要小,厚度 h 较大,且 S_1 要远小于 h 。
- 3) 岩块间的断裂角 θ 要小于岩块间的摩擦角 φ 。
- 4) 岩块间的剪切力 Q 要小于岩块间的摩擦力,即岩体结构上作用的载荷不易过大。

二、习题

3-1 什么是直接顶、伪顶和老顶,它们之间有何不同?

3-2 怎样理解长壁工作面顶板在初次来压前的“拱”或“梁”式结构?

提示:分别说明“梁”或“拱”的形成过程和条件,“梁”或“拱”的形成在顶板管理中起什么作用。

3-3 试分析老顶岩层达到极限跨距时,其断裂是由于弯曲受拉而断裂,还是由于剪切而断裂?

提示:分析固定梁中的最大弯矩和最大剪力,计算两种情况下的极限跨距,以极限跨距小的为准。

3-4 某一缓斜煤层顶板为中砂岩,岩层厚度 $h=4\text{m}$ 抗拉强度 $R_t=14,000\text{kPa}$,作用在岩层上的载荷 $q=190\text{kN/m}^2$,求其极限跨距 L_t ,并绘出其剪力图和弯矩图,设 $\text{tg}\varphi=0.8$, $\theta=0^\circ$,分析当岩层达到极限跨距时,能否形成三铰拱式平衡。若由于水的作用 $\text{tg}\varphi=0.3$ 此时能否形成三铰拱式平衡?

提示:

1. 首先求出极限跨距 L_t ,并求出在极限跨距下梁两端的剪力和梁两端及中部的弯矩,在 $Q-X$ 和 $M-X$ 坐标系中绘出 Q 、 M 图。

2. 验算破断岩块的平衡条件,求出砌体梁的水平推力 T 和岩块之间的摩擦力 F ,比较 Q 和 F ,若 $F>Q$ 则能形成三铰拱式平衡,若 $F<Q$ 则不能形成三铰拱式平衡。

3-5 有一缓斜煤层,其顶板由四层岩层组成,各岩层的数据如表1-3-1所示。如采用刀柱法处理采空区,刀柱间的距离应该是多少?

表 1-3-1 岩 层 数 据 表

岩层	容 重 γ (kN/m^3)	层 厚 h (m)	弹性模量 E (kN/m^2)	抗拉强度 R_t (kN/m^2)
1	22.6	4.0	24.5×10^8	13.72×10^8
2	24.5	2.7	10.8×10^8	
3	25.5	2.0	14.7×10^8	
4	24.5	3.5	22.6×10^8	

3-6 煤层开采后,上覆岩层移动的变形规律及其在不同区域的变形特点各是什么?

3-7 简述煤层开采后,上覆岩层的破坏方式。怎样按破坏方式分区?

3-8 简述压力拱假说的实质、优缺点及适用条件。

3-9 悬梁假说的实质是什么?有何优缺点?它可以说明一些什么问题?

3-10 何谓预成裂隙假说?它可以说明些什么问题?有何优缺点?

3-11 简述铰接岩块假说的实质、优缺点及其适用条件。

3-12 裂隙体梁假说主要适用于哪些条件?在哪些条件下不适用?试举例说明。

3-13 试分析采场上覆岩层所形成的裂隙体梁的失稳条件。

3-14 某回采工作面老顶岩层为砂岩,岩层厚度 $h=5\text{m}$,已知工作面周期来压步距 $L_2=15\text{m}$,老顶垂直于岩层断裂($\theta=0^\circ$),断裂岩块的最大下沉量 $S=1\text{m}$,断裂岩块之间的摩擦角 $\varphi=42^\circ$,煤层开采后,破碎的直接顶不能支撑老顶,试问老顶岩层断裂后能否取得自身平衡而形成裂隙体梁?

3-15 某回采工作面煤层采高 $m=2.5\text{m}$,直接顶为粘土页岩,其总厚度 $\Sigma h=8\text{m}$,直接顶的破碎膨胀系数 $K_p=1.4$,试问煤层开采后,破碎的直接顶岩石能否充满采空区?

3-16 某回采工作面煤层采高 $m=3\text{m}$,直接顶为砂质页岩,其破碎膨胀系数 $K_p=1.6$,直接顶岩层的总厚度 $\Sigma h=4\text{m}$,直接顶冒落后,破碎矸石最上部距老顶岩层的距离是多少?

3-17 某回采工作面直接顶冒落后不能充满采空区,老顶岩层厚度 $h=3\text{m}$,其容重 $\gamma=24.5\text{kN/m}^3$,在初次来压前老顶的跨距 $L=20\text{m}$,这时,此老顶已和上部岩层离层,试问,此时老顶中的最大拉应力发生在何处,其数值是多少?

3-18 有一煤田,煤层的最大开采厚度为 3m ,倾角 $\alpha=12^\circ$,上覆岩层为中硬岩层。