

高等学校教学用书

矿井特殊开采的理论 与实践

沈光寒 李白英 吴 戈 编著

煤炭工业出版社

T775-8
5-309

高等学校教学用书

矿井特殊开采的理论与实践

沈光寒 李白英 吴 戈 编著

九

煤炭工业出版社

747066

(京)新登字042号

内 容 提 要

本书系统地阐述了包括铁路、建筑物、水体、底板有奥灰岩承压水威胁或有冲击危险在内的特殊条件下煤层的开采问题。全书分三篇,在基本理论方面有矿山压力、围岩移动与破坏规律、岩层与地表移动的预计、模型识别与参数识别等内容;在观测研究方法方面有顶板动态及矿压显现规律的观测研究、覆岩破坏两带高度的现场探测研究、地表移动的观测研究、采动底板破坏的观测研究、室内分析研究等内容;在实际应用技术方面有建筑物下、铁路和水体下开采、承压水体上开采、预防断层及陷落柱突水、条带开采及房柱式开采在特殊开采中的应用、煤矿冲击地压的研究与防治等内容。内容综合了国内外有关特殊开采方面最新的理论与实践成果。

本书作为煤炭高校采矿工程专业本科生和研究生的教学用书,亦可供采矿工程技术人员参考。

高等学校教学用书

矿井特殊开采的理论与实践

沈光寒 李白英 吴 戈 编著

责任编辑:洪 钺

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平门北街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787×1092mm¹/₁₆, 印张22³/₄, 插页1

字数543千字 印数1—1,345

1992年5月第1版 1992年5月第1次印刷

ISBN 7-5020-0610-9/TD·560

书号 3384

定价 5.90元

747066

前 言

随着我国煤矿建设和生产的发展,经常遇到地面有水体、铁路、建筑物等,影响地下开采,或者采深的增大,引起冲击地压的发生,影响生产。还有许多矿井,在开采下组煤层时受到岩溶承压水的威胁,往往发生底板突水事故,甚至淹井,造成损失。在生产中遇到的这一类特殊问题,需要采用特殊的开采技术,以利合理开发与利用煤炭资源,减少煤炭损失,尽可能地控制事故的发生,保证矿井的安全生产和延长矿井的寿命。

世界各国对这种特殊条件下的开采问题均很重视,并进行了大量的研究工作。我国40年来同样地也在此领域内做了大量工作,并取得了许多宝贵经验和科研成果。

特殊开采本身是适应煤炭生产需要而发展起来的一门综合性边缘技术学科,它涉及到构造地质、水文地质、矿山测量、矿山压力、岩体力学、岩体探测、土木建筑、开采方法等多种学科的综合知识。

特殊开采不仅对解决生产矿井所遇到的问题具有现实意义,而且对在新矿区的建设、矿区的总体设计、矿井设计、矿井施工以及矿井日后生产中可能遇到的特殊问题更具有战略意义。因此,主管矿井设计和生产的采矿工程技术人员,必须具备矿井特殊开采方面的知识,才能适应煤炭设计和生产的需要。

山东矿业学院特殊开采研究所,自70年代末期以来,就从事特殊开采问题的研究,并对历届采矿工程专业的学生讲授特殊开采课程。

本书反映了国内外特殊开采方面较为成熟的理论和技术,以及当前研究的最新成果和动向,其中包括山东矿业学院近十几年来的研究成果。

本书共三篇十七章。第一篇为围岩移动和破坏的基本规律,分五章。第二篇为观测研究方法,分五章。第三篇为特殊开采实践,分七章。本书由沈光寒任主编。参加编写工作的有:沈光寒(第二篇第一章,第三篇第一、二、六、七章),李白英(第一篇第二章,第二篇第二、四、五章,第三篇第三、四、五章)和吴戈(第一篇第一、三、四、五章,第二篇第三章)。书稿编写完成之后,承蒙周国铨教授级高级工程师作了审阅,特致谢意。

本书可供煤炭系统高校采矿工程专业本科生和研究生使用,也可供采矿工程技术人员参考。

编 著 者

1991.5.1

目 录

第一篇 围岩移动和破坏的基本规律

第一章 矿山压力的研究	1
第一节 概述	1
第二节 原岩应力场	3
第三节 岩层破坏的条件	8
第四节 初次来压前顶板岩块的平衡结构	10
第五节 移近量及其与矿山压力的关系	11
第六节 现代矿山压力理论概述	15
第二章 围岩移动破坏的规律	23
第一节 覆岩的破坏规律	23
第二节 底板的破坏移动规律	36
第三节 断层构造对围岩破坏移动规律的影响	42
第三章 地表移动的基本概念及预计方法	45
第一节 地表移动的基本概念	45
第二节 地表移动预计方法概述	52
第三节 概率积分法	70
第四节 特殊条件下的岩层与地表移动规律	80
第四章 概率积分法的理论推导	83
第一节 碎块体力学模型的基本假设	83
第二节 下沉基本微分方程的导出	84
第三节 模型的几种特解	85
第四节 下沉系数和活化系数的讨论	88
第五节 水平移动计算公式的导出	88
第六节 影响函数的空间形式	90
第七节 考虑碎块体尺寸时岩层移动计算的偏态公式	91
第八节 偏态分布时的有限开采叠加计算方法	92
第九节 碎块体力学在井筒煤柱留设中的应用	93
第五章 岩层与地表移动理论的新进展	97
第一节 岩样和岩体的区别	98
第二节 岩体的黑箱理论	99
第三节 黑箱理论在岩层与地表移动中的应用	101
第四节 模型识别方法	104
第五节 有限单元法简介	107
第六节 有限单元法在模型识别中的应用	109
第七节 参数识别方法	111

第二篇 观测研究方法

第一章 顶板动态及矿山压力显现规律的观测研究	115
第一节 顶板动态及矿山压力观测仪器的原理与结构	115
第二节 顶板动态及矿山压力监测原理与采场监测设计	124
第三节 顶板动态监测资料的分析	126
第二章 覆岩破坏两带高度的现场探测研究	130
第一节 冒落带的观测研究	130
第二节 导水裂隙带的观测研究	134
第三节 冒落带及裂隙带的综合分析研究	142
第四节 离层带的观测研究	145
第三章 地表移动的观测研究	147
第一节 地表移动观测站的建立	147
第二节 地表观测资料的整理和改正	149
第三节 现代地表移动观测方法	154
第四章 采动底板的观测研究	156
第一节 破坏深度的观测研究	156
第二节 承压水导高带的探测	164
第三节 异常导高带——断裂带的探测	169
第五章 室内分析试验研究方法	175
第一节 有限元电算模拟分析	175
第二节 相似材料模拟试验	182
第三节 光弹性试验模拟分析	191
第四节 水力压裂试验	196

第三篇 特殊开采实践

第一章 建筑物下采煤	207
第一节 建筑物下采煤概述	207
第二节 建筑物下采煤的开采措施	210
第三节 建筑物和构筑物的保护措施	217
第四节 村庄下采煤	224
第五节 造地复田综合治理	229
第六节 建筑物附加应力	231
第七节 立井井筒煤柱及柱外开采引起的井筒损害分析	237
第二章 铁路下采煤	253
第一节 铁路下采煤概述	253
第二节 铁路下采煤的主要技术安全措施	254
第三节 铁路下采煤实例	257
第三章 水体下采煤	261
第一节 水体下采煤概述	261
第二节 防水煤岩柱的留设	266

第三节	水体下采煤技术措施	271
第四章	承压水上采煤	276
第一节	承压水上采煤概述	276
第二节	影响底板突水的主要因素	280
第三节	防治底板突水的方案	285
第四节	底板突水预测预报	285
第五节	承压水上采煤安全开采规划	294
第六节	安全设施	295
第五章	断层及陷落柱突水的防治	302
第一节	断层突水	302
第二节	岩溶陷落柱突水及防治	304
第六章	条带开采及房柱式开采在特采中的应用	317
第一节	条带采煤法的应用	317
第二节	房柱式开采在特采中的应用	327
第七章	煤矿冲击地压的研究与防治	340
第一节	国内外煤矿冲击地压发生的概况	340
第二节	冲击地压发生的机理	342
第三节	冲击地压的预测及防治	350
第四节	今后的研究与发展	351
参考文献		355

第一篇 围岩移动和破坏的基本规律

各种有用矿物赋存在地下岩体中的一定位置,与周围岩体相接触,并保持其应力平衡状态。当人们回采有用矿物时,由于矿物的采出,使采出空间周围的岩层失去支承,而向采空区内逐渐移动、弯曲和破坏;原始应力场也随之产生了扰动,这一过程随着采矿工作面的不断推进,不断从采场向外、向上(顶板)、向下(底板)扩展,直至波及到地表,引起地表下沉,形成所谓的下沉盆地。移动、变形和破坏的结果又使岩体内建立了新的平衡。本篇研究的内容就是岩体如何在开采的影响下,由于矿山压力的作用,产生移动、变形和破坏的过程,及其发展、变化的规律,并研究如何进行预计岩层与地表的移动和变形。

第一章 矿山压力的研究

矿山压力是岩体产生移动和变形的根源,在以往的岩层与地表移动研究中,通常仅仅着眼于移动和变形规律的研究,很少涉及引起这种移动和变形的矿山压力,因此研究往往停留在经验公式的阶段上。为了揭示岩层与地表移动的力学本质,必须把矿山压力研究同岩层与地表移动研究紧密地结合起来,使之成为一个统一的整体。这样既可以使岩层与地表移动的理论能建立在岩体力学的基础上,用各种力学理论说明和描述岩层与地表移动,同时,也可以使矿山压力学科有了从采场到地表、岩层间相互作用和相互影响的整体概念,对完善当前的矿压理论,也有一定的积极意义。所以本书在描述岩层与地表移动现象时,首先介绍有关的矿山压力理论。

第一节 概 述

尽管采掘工业的出现早在大规模的工业革命之前,但是矿山压力及其控制的理论和方法仅仅是在最近几十年才有了长足的进步。矿山压力学科的发展大致经历了以下几个阶段:

一、矿山压力的早期认识

世界上各采掘工业发展较早的国家,在采掘各种有用矿物时,在井下经常遇到顶板垮落、片帮等,造成人员和设备的安全事故。因此,人们采用了各种形式的支护,以防止事故的发生。早在我国明代学者宋应星所著的《天工开物》一书中,已经记载了矿井使用支板防止压崩和煤炭取空后以土填实,处理采空区的史实(图1-1-1)。

二、建立矿山压力理论的早期假说

从19世纪末到20世纪初,许多学者对矿山压力产生的力学机理提出了各种假说。这些假说有些已经被证明是错误的,但也有些假说包含了各种合理的见解,对形成现代的矿山压力理论,起到了奠基的作用。这些假说中包括:维勃尔(Вибера)的压力波假说,Б.哈



图 1-1-1 古代对矿山压力的认识

区域——非弹性变形区及弹性变形区，在一般情况下有三个区域，第三个区域即保持原始应力状态的区域。

(4) 单独的岩层或者一群岩层可以将它们看作梁或板，这些梁和板依据具体条件而由特殊的支承固定。这种假设适合于赋存在较软弱岩层上面的厚坚固岩层。

(5) 支架可以在恒定荷载或恒定变形的两种情况下工作。

三、以连续介质力学为理论基础的研究阶段

本世纪30年代到50年代以来，一些学者把岩体当作连续介质进行研究，并建立了各种理论，其中有波兰学者A.萨武斯托维奇的弹性基座上的弹性梁理论和苏联学者克.维.鲁比涅依特(Руппенейт)的弹性、弹塑性理论等。

四、矿山压力研究的近代发展

经过多年的实践，在第二、三阶段发展起来的一些假说、理论逐渐趋于成熟，形成了较完整的、而又与矿山实践相吻合的各种矿山压力理论。这些理论包括：成拱理论、悬臂梁理论、砌体梁理论和传递梁理论等，并广泛地发展了数值模拟的方法，我们将在第五节里较为详细地介绍。

在该阶段里，为了准确获得来自采场位移、变形和矿山压力的各种有用的信息，还广泛地发展了各种电、声、光、磁、放射性和力学的测试仪器，进行了大量的观测工作，并在此基础上建立了经验公式。

实验室的研究和现场测试技术得到了较大的发展。

德国的鲁尔矿区、埃森采矿研究中心岩石力学和矿井支护研究室主任雅柯毕博士等人在研究矿山压力问题时，进行了大量的相似材料模型试验，为设计井巷和采区提供了理论依据。

阿克(Хаак)和Ж.日列特采尔(Жллитцер)的压力拱假说，这个假说得到了Ф.许普鲁特(Шпрут)的支持，К.克格耳(Кегель)支持的悬臂梁假说，А.兰巴斯(Лабасс)的预先破坏的假说，Т.佐利登拉特(Зольденрат)和万-伊捷尔松(Ван-Итерсон)支持的散粒体介质假说，П.М.茨姆白列维奇(Цимбаревич)的阶状下沉假说，和Г.Н.库茨涅佐夫的块状冒落假说。

这些假说的合理部分可以归纳为：

(1) 在工作面之前，以及在冒顶区中造成应力集中的现象，此现象沿走向有时波及相当大的范围，向下弯曲的岩层任何时候不再恢复其原来的位置。

(2) 支承压力引起岩石的破坏，因此，由于工作面推进的结果，岩石获得了发展的裂缝和假塑性的性质。

(3) 在巷道四周，至少可以形成二个

山东矿业学院研制和使用的立体相似模拟试验台, 可以模拟采场周围空间的矿山压力分布, 达到了国际的先进水平。

在理论研究的同时, 也进行了应用的研究。例如, 回采工作面矿压显现的规律(单体支柱工作面和自移式液压支架工作面中的矿压显现、支架和围岩的相互作用等)、煤柱护巷和无煤柱护巷条件下支承压力沿煤层倾斜和沿走向的有关显现规律, 以及为解决冲击地压, 煤、瓦斯突出危险煤层开采等一系列研究, 从而为改善回采工作面顶板管理状况及合理布置和维护巷道、安全生产提供了科学依据。

与此同时, 还改进了巷道支护技术, 发展大断面、大缩量 and 重型化的金属支架; 广泛应用锚喷支护, 研制了各种新型锚杆及锚杆施工方案, 并采用化学方法加固松软顶板、底板和煤层; 采用自移式液压支架; 通过高压注水, 超前爆破等手段处理坚硬顶板, 防止大面积冒顶事故等, 有效地提高了产量和改善了生产安全。

鉴于本书的宗旨是介绍有关特殊开采的理论和方法, 因此在后面几节介绍有关的矿压理论时, 仅仅涉及矿山压力理论中矿山压力形成和矿山压力显现等部分, 其余与特殊开采无关的部分, 如围岩和支架的相互作用, 巷道设计和支架形式等内容, 则不再予以讨论。

第二节 原 岩 应 力 场

原岩应力场包括自重应力场和构造应力场。

一、自重应力场

在推导自重应力场的性质时, 涉及对岩体介质特性的假设, 不同的介质特性, 将导致不同的结果, 所以这些理论结果必须通过实测才能证实。为了研究自重应力场, 可以把原岩体看作为半无限体, 距地表下面深为 H 处的一个单位立方体上作用的垂直应力和水平应力可以推导如下(见图1-1-2)。

1. 自重产生的垂直应力

$$\sigma_z = \gamma H = \tau z \quad (1-1-1)$$

当岩层有多层时

$$\sigma_z = \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i \quad (1-1-2)$$

式中 γ_i ——第 i 层岩层的重力密度;

h_i ——第 i 层岩层的厚度。

2. 岩体为弹性介质时的水平应力

根据广义虎克定律

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= -\frac{\sigma_x}{E} + \mu \frac{\sigma_y}{E} + \mu \frac{\sigma_z}{E} \\ \varepsilon_z &= -\frac{\sigma_z}{E} + \mu \frac{\sigma_x}{E} + \mu \frac{\sigma_y}{E} \end{aligned} \quad (1-1-3)$$

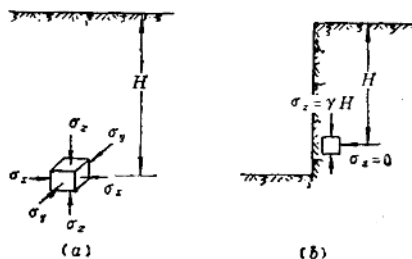


图 1-1-2 岩体原始应力状态分析

$$\varepsilon_y = -\frac{\sigma_y}{E} + \mu \frac{\sigma_x}{E} + \mu \frac{\sigma_z}{E}$$

当水平各向同性时, 有

$$\sigma_x = \sigma_y \quad (1-1-4)$$

故式 (1-1-3) 可写为

$$\varepsilon_x = -\frac{\sigma_x}{E} + \mu \frac{2\sigma_x}{E}$$

或

$$\varepsilon_x = -\frac{\sigma_x}{E} + \mu \frac{2\sigma_y}{E} \quad (1-1-5)$$

及

$$\varepsilon_x = \varepsilon_y = -\frac{\sigma_x}{E}(1-\mu) + \mu \frac{\sigma_z}{E} = -\frac{\sigma_y}{E}(1-\mu) + \mu \frac{\sigma_z}{E} \quad (1-1-6)$$

由于在 x 和 y 方向, 变形受到了限制, 故

$$\varepsilon_x = \varepsilon_y = 0$$

因此有

$$\mu \frac{\sigma_x}{E} - \frac{\sigma_x}{E}(1-\mu) = 0$$

和

$$\mu \frac{\sigma_y}{E} - \frac{\sigma_y}{E}(1-\mu) = 0 \quad (1-1-7)$$

则可导出

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{\mu}{1-\mu} \sigma_z \quad (1-1-8)$$

式中 μ ——岩石的泊松比。

令

$$\lambda = \frac{\mu}{1-\mu} \quad (1-1-9)$$

λ 称为侧压系数。

3. 当岩体为塑性时的水平应力

当岩体为塑性时, 由应力平衡方程

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \gamma &= 0 \\ \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial x} &= 0 \end{aligned} \quad (1-1-10)$$

和塑性方程

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{xz}^2} - \sin \rho \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2} = K \quad (1-1-11)$$

可以导出重力塑性半平面中的 σ_x 、 σ_z 的值。

当 Z 轴取向向下时, 有

$$\sigma_z = \frac{1 - \sin \rho}{1 + \sin \rho} \sigma_x = \lambda_1 \sigma_x \quad (1-1-12)$$

式中 λ_1 ——塑性条件下的侧压系数;

ρ ——内摩擦角。

4. 岩体为粘弹性介质时的水平应力

根据对应原理, 当荷载、边界条件、几何形状都相同时, 弹性体和粘弹体仅仅存在材料性质的差别, 则一个粘弹性材料的力学问题可以根据相应的弹性力学问题的解经过一定的变换解出。

当 $t \rightarrow \infty$ 时, 岩体为 Maxwell 模型时, 有

$$\sigma_x = \sigma_y = \gamma z \quad (1-1-13)$$

故把原岩体考虑为粘弹体时, 原始应力场近似于静水应力场, 也就是侧压系数 λ 的变化范围为 $\frac{\mu}{1-\mu} - 1$ 。

岩体中应力呈静水压力分布的假说是由著名的瑞土地质学家 A. 格依姆在 19 世纪后半期首先提出来的。这个状态我们前面也从岩体处于粘弹性介质状态导出。根据许多研究者的意见, 随着深度的增加, 即相应的压力和地温的增加, 甚至很坚硬的岩石也逐渐转入粘塑性状态。这样, 在相当深的地方, 不论岩石的成分如何, 岩石的应力分布都呈静水压力状态。但对于坚硬岩石来说, 这个深度达几十公里, 已远远超过了采矿工作所在的位置。但对象粘土、软弱的泥质和砂质页岩、岩盐、软煤等, 在荷载不大时, 也会产生粘塑性流动。因此在采深不大时, 岩体也可视为处于静水压力状态。

二、构造应力场

在岩体中应力实测表明, 有时水平应力会大于垂直应力, 这就证明了构造应力场的存在。

岩体中的各层岩石, 作为一种地质体, 其性质与具体的赋存条件、非均质性和各向异性程度有着重要的联系。其最重要的地质构造特征是岩石赋存的地质构造条件。岩体可以分为构造上未破坏的和构造上破坏的两类。后者又可分为多种类型 (见图 1-1-3) :

岩石呈单斜赋存;

连续性未受破坏的简单褶皱构造;

有发育的断裂错动, 但没有岩浆侵入的复杂褶皱构造;

岩石发生二次褶皱的复杂褶皱构造;

受岩浆体侵入的复杂褶皱构造。

显然, 无论是现代的地壳构造运动, 还是所有过去地质时代中发生的构造运动, 都应当与力有关, 这种力称之为地质构造力。随着地质构造力作用的停止, 在地壳里就出现趋于静力平衡的倾向。这个地质构造的应力场受到地质构造运动和地壳变形速度在空间分布不均匀的影响, 即与存在的地质构造运动梯度有关。

一般在结晶的基岩和褶皱的沉积岩层中存在着异常高的构造应力场, 它是由于地壳基岩部分中的切向压缩影响造成的。总应力场的构造分量, 也就是由地壳切向压缩所造成的

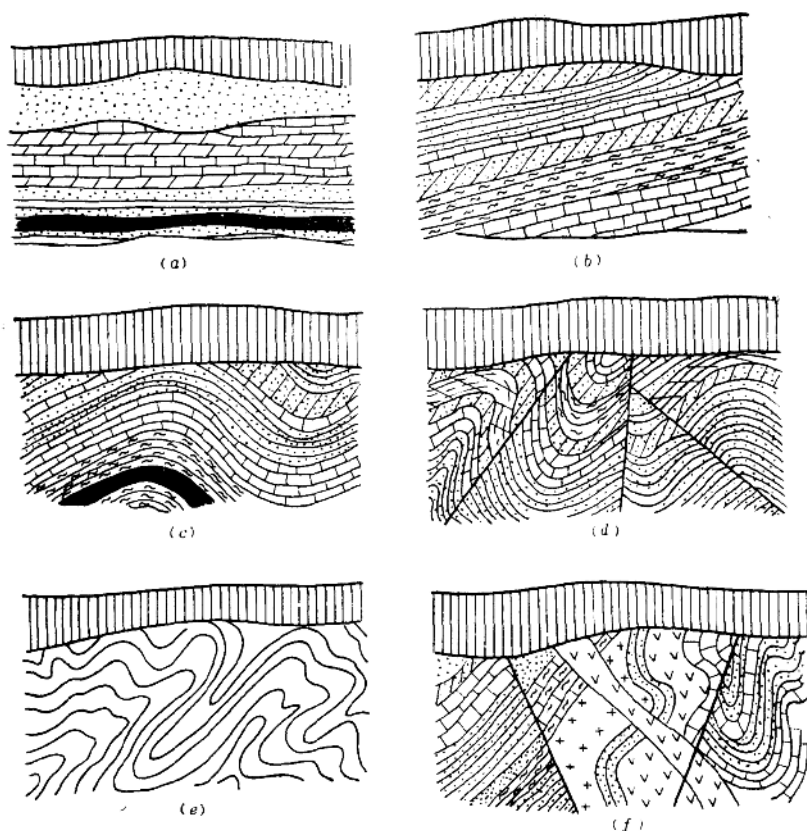


图 1-1-3 岩体地质构造的基本类型

a—岩石的水平单斜埋藏；*b*—岩石的倾斜单斜埋藏；*c*—简单褶皱构造；*d*—带有断裂错动的复杂褶皱构造；*e*—发生二次褶皱作用的复杂褶皱构造；*f*—受岩浆侵入的复杂褶皱构造

主动力，可以初步认为是近似于水平力。它在平面中的方向，一般情况是与地质构造，其中包括地壳相应地段中深部的大断层的方向有关。在许多情况下，特别是在深度不大时，地质构造应力比重力应力更占主要的地位。有时可测到比重力场造成的应力大几倍，甚至几十倍的水平构造应力。

在实践中还发现，在地质褶皱带，岩层发生扭转的地方，断层附近，以及背、向斜部位都有剧烈应力变化的现象。

实际测量表明，地质构造应力远不如重力应力场均匀，它的参数无论在空间上和时间内都有很大的变化。构造应力的变化可以用构造力的垂直梯度 $\Delta\sigma_T$ 表示，它反映了水平挤压最大主应力和深度的关系。

梯度 $\Delta\sigma_T$ 在一般情况下是一个变值，它和地表的地形构造有关。 $\Delta\sigma_T$ 的变化规律比较复杂。下面的研究是根据弹性力学的理论进行的。

我们来分析一下受水平构造力作用的岩体的应力状态（见图1-1-4、1-1-5）。不考虑

重力场, 在被研究的深度为 H 处, 作用着水平构造应力 T_H , 其作用方向角为 α 。用同一方位角 α 表示的方向内, 岩体在这一点上的主正应力在数值上等于作用着的水平构造力。

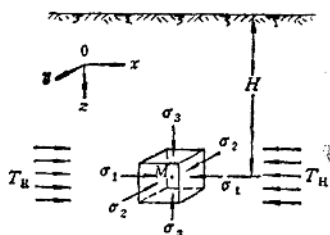


图 1-1-4 计算水平构造力的示意图

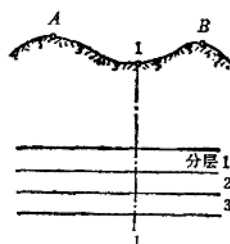


图 1-1-5 在第二种可能的极限情况下
岩体应力状态条件示意图

$$\sigma_1 = T_H \quad (1-1-14)$$

在垂直于构造力的平面内, 由于该力的作用而造成岩石变形的条件, 在沿构造力法线的水平方向和垂直方向是不同的。

第一种情况: 假设岩体是均质、各向同性和弹性的, 岩石在垂直方向具有产生弹性变形的充分自由, 故有

$$\sigma_3 = 0 \quad (1-1-15)$$

而在垂直于构造力作用方向的水平方向, 其作用的应力为

$$\sigma_2 = \mu \cdot T_H \quad (1-1-16)$$

故构造应力场的主应力值为

$$\begin{cases} \sigma_3 = 0 \\ \sigma_2 = \mu \cdot T_H \\ \sigma_1 = T_H \end{cases} \quad (1-1-17)$$

第二种情况: 假设岩体的某些区域弹性模量 E_2 比相邻岩层的弹性模量低得多, 相反其泊松比 μ 却比邻层高得多

$$\begin{aligned} E_2 &\ll (E_1, E_3) \\ \mu_2 &\gg (\mu_1, \mu_3) \end{aligned} \quad (1-1-18)$$

例如在两个高山的作用下, 岩体的某部分受到垂直荷载, 那么在断面 1-1 附近岩层 2 的地段上, 在垂直于构造力作用的平面里, 应力将等于

$$\begin{cases} \sigma_3 = \lambda \cdot T_H \\ \sigma_2 = \lambda T_H \\ \sigma_1 = T_H \end{cases} \quad (1-1-19)$$

综合上面两种情况, 可以把构造应力场中主应力的公式写为

$$\begin{cases} \sigma_3 = \lambda_1 T_H \\ \sigma_2 = \lambda_2 T_H \\ \sigma_1 = T_H \end{cases} \quad (1-1-20)$$

式中 $\lambda > \lambda_1 \geq 0, \lambda > \lambda_2 \geq 0$,

$$(1-1-21)$$

从构造地质可知,断层、向斜和背斜构造以及岩体中形成的部分裂缝,都是由于岩体内部地质作用的结果。任何一种构造形迹都必然反映一定性质的构造力的作用。

在地壳运动过程中,在地应力的作用下,岩体的体积和赋存形态均发生改变,在岩体内产生的弹性应变能并不能永久存在,当变形超过岩体强度极限时,岩体就发生破坏,这时弹性能就局部或全部释放出来,构造应力场随之消失。构造运动后,岩石中仅存在残余构造应力。其主要特征为

(1) 一般情况下,地壳以水平运动为主,因此构造应力也是主要为水平力,并以挤压为主;

(2) 构造应力分布不均匀,而且主应力大小和方向经常变化;

(3) 岩体中构造应力具有明显的方向性,通常两个方向上的主应力不相等;

(4) 构造应力具有下列特征

$$\sigma_{H_{max}} > \sigma_{H_{min}} > \sigma_v \quad (1-1-22)$$

式中 $\sigma_{H_{max}}$ ——最大水平应力;

$\sigma_{H_{min}}$ ——最小水平应力;

σ_v ——垂直应力。

水平构造应力可能比自重造成的水平应力大几倍到几十倍,特别是在浅部更是如此;

(5) 在坚硬岩石中,构造应力更是普遍存在。

第三节 岩层破坏的条件

地下开采破坏了原有的在岩体中的应力平衡。随着工作面的不断推进,采空区的面积增加,覆岩在自重的作用下,沿岩层面法线方向产生弯曲。当弯曲岩层的底部暴露到一定跨度时,弯曲的量达到某一极限值;这时,在靠近煤壁端岩层的上表面首先产生开裂,继之,在跨度中央、岩梁的下表面也发生开裂,形成了所谓的假塑性梁。当梁的最大下沉值超过了“假塑性梁”的许可沉降值时,暴露部分便自行冒落。

一、弯曲(拉伸)破坏产生的力学条件

$$\sigma_{t_{max}} > \sigma_t \quad (1-1-23)$$

式中 $\sigma_{t_{max}}$ ——岩层弯曲时的最大拉应力, Pa;

σ_t ——岩层许可的拉应力, Pa。

这种弯曲产生的破坏,逐渐向上发展。煤层上方第 n 层岩层由于弯曲破坏发展到冒落的条件由下式确定:

$$S_n > S_0$$

$$S_n = h - \sum_{i=1}^{n-1} m_i (K_A - 1) \quad (1-1-24)$$

式中 S_n ——暴露岩层下部允许移动的空间高度, m;

h ——回采煤层厚度, m;

S_0 ——暴露岩层发展为“假塑性岩梁”许可的最大下沉值, m;

$\sum_{i=1}^{n-1} m_i$ ——已冒落岩层的总厚度, m;

K_A ——已冒落岩层未压实前的碎胀系数。

反之,当 $S_n < S_0$ 时,该层岩层暴露弯曲破坏后,仍保持“假塑性梁”的状态。

岩层弯曲形式的破坏,其顶板运动比较平缓,不产生大的冲击,相对于下面所述的剪切形式来说,采场矿压的显现比较缓和。在这种情况下,支架上作用的主要是冒落岩层的重量。

二、剪切破坏产生的力学条件

刚性的岩层,岩层暴露后很少弯曲。当跨度达到一定值时,在煤壁端的上部产生开裂,而在跨中不开裂,或开裂很小;当暴露面积进一步增大时,整个岩体就可能由于剪切破坏而同时冒落。剪切破坏产生的力学条件为

$$\tau_{i_{max}} > \tau_i \quad (1-1-25)$$

式中 $\tau_{i_{max}}$ ——梁端开裂后,其端部剪断面上产生的最大剪应力, Pa;

τ_i ——岩层的抗剪强度, Pa。

三、摩尔强度理论

摩尔强度理论认为:岩体内产生破坏时,破坏岩体在最大应力方向上,沿一个破裂面产生滑动,必须克服岩体内的内聚力和在破坏面上的摩擦力,即有

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi \quad (1-1-26)$$

式中 τ ——滑移面上的剪切力, Pa;

c ——内聚力, Pa;

σ ——滑移面上的法向压力, Pa;

φ ——滑移面上的内摩擦角。

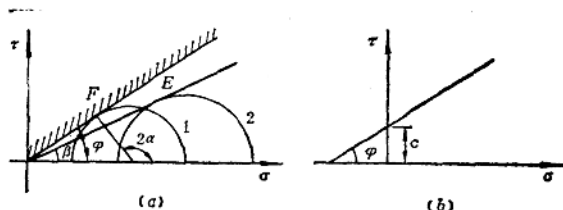


图 1-1-6 剪切破坏包络线

这个方程也可以描述为岩块在极限应力状态下应力圆的包络线。图1-1-6表示了破坏面形成和应力圆包络线之间的关系。

当岩块受 σ_1 和 σ_2 的应力时,在以 τ 、 σ 为坐标的图上可以用 $\left(\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}, 0\right)$ 为圆心、 $\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}$ 为半径作出应力圆。如果这些应力圆都是在极限平衡条件下作出的,那么包络线即为该方程所描述的一条近似为直线的曲线。

四、格列菲斯强度理论

格列菲斯强度理论认为,在岩石中的裂隙可以看作一组扁平的椭圆孔,因此导出在椭圆端部形成破断的条件是(见图1-1-7)

$$\tau_{xy}^2 = 4R_p(R_p - \sigma_y) \quad (1-1-27)$$

式中 R_p ——岩石的抗拉强度;
 σ_y ——垂直于裂缝的正应力;
 τ_{xy} ——沿裂缝的剪应力。

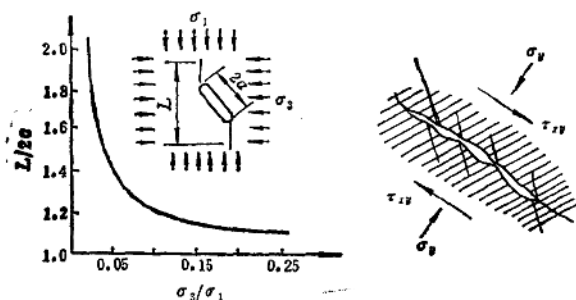


图 1-1-7 椭圆裂痕端部形成的裂缝

有关应力破坏的计算可以参考材料力学的有关公式。

岩层运动和破坏的两种形式可以互相转化，并受到岩层周围的地质采矿因素的影响。例如在梁端折断后，工作面推进速度较快时，原有弯曲破坏形式可以转化为剪切破坏的形式。

显然，剪切破坏形式对岩层控制是不利的，应尽量避免。向岩层中注水，强迫放顶，则可改变坚硬岩层冒落的高度，把剪切破坏形式转化为弯曲破坏的形式。同样，改变开采程序，使用上行分层开采来代替下行开采，可以防止坚硬顶板的突然折断。在顶板受重复采动影响之后，性质变软，也可以使剪切破坏转化为弯曲破坏。

当工作面推进到断层时，常常发生沿断层面的剪切破坏。这时岩层剪切破坏的强度，仅仅是断层面的破坏强度，大大小于正常的剪切强度。

从岩层与地表移动的观点来看，不同的破坏形式，将导致采场顶板下沉曲线的变化，并影响到各种移动和变形向上传递的形式。不同的顶板下沉曲线会影响最终下沉盆地的形态和下沉曲线拐点平移的距离，岩层自下而上可以同时存在这两种不同的破坏形式。

第四节 初次来压前顶板岩块的平衡结构

在初次来压前，岩层的移动和破坏仅仅达到一定高度，在此以上老顶的岩体仍处于静力平衡状态。

一、顶板岩层梁式平衡

根据式 (1-1-24)，当 $S_n > 0$ 时，可以将此坚硬顶板视为一块悬空的板。在一般情况下，工作面的长度远比初次来压时形成的跨距大（一般是2~3倍）。因此可以将这块板简单看作是一根固定梁。由于这种岩梁的存在，它承受了上覆岩层的重量，并将其传递到工作面前方的煤壁和采空区后方的煤柱上。在这个阶段里，梁以上的岩体和地表不发生显著的位移和变形。

坚硬岩层的极限跨距可按材料力学的公式计算出来。