

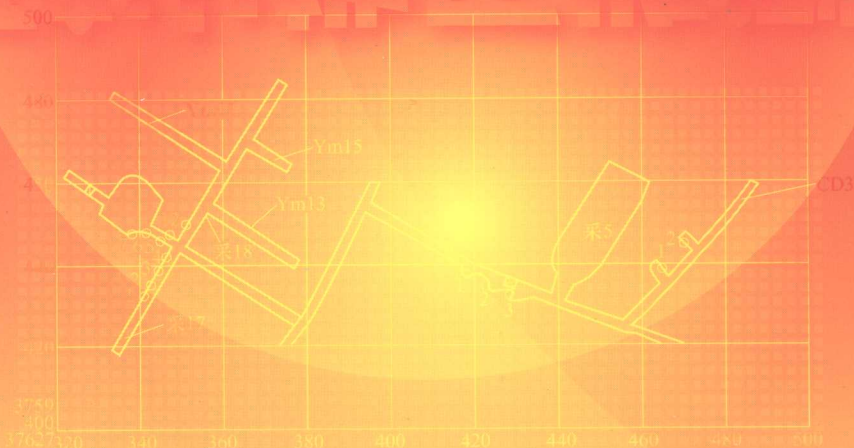
采矿实用 技术丛书

丛书主编 唐敏康



赵 奎 袁海平 编著

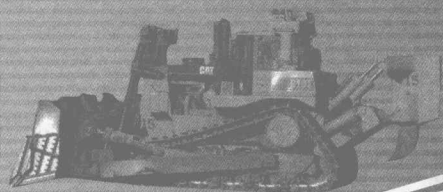
矿山地压监测



化学工业出版社

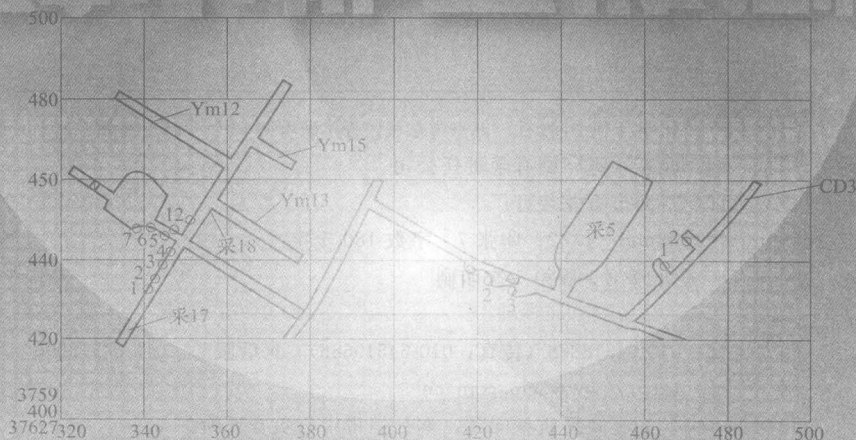
采矿实用 技术丛书

丛书主编 唐敏康



赵 奎 袁海平 编著

矿山地压监测



化学工业出版社

·北京·

本书是《采矿实用技术丛书》之一,主要介绍了矿山地压监测中常用方法的设备、具体测量步骤、注意事项、测量参数、参数分析等,并列举了多个矿山工程应用实例,同时也适当介绍了地压安全管理的相关知识。

本书从工程实际应用的角度出发,注重现场设备的操作使用,适合于矿山采矿一线技术人员和安全监管人员参考。此外,由于地压监测属于岩土工程的一部分,本书也可作为大中专院校采矿工程、岩土工程、交通工程等相关专业的教材。

图书在版编目(CIP)数据

矿山地压监测/赵奎,袁海平编著. —北京:化学工业出版社,2009.5
(采矿实用技术丛书)
ISBN 978-7-122-05084-7

I. 矿… II. ①赵…②袁… III. 矿山压力-监测
IV. TD32

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第037915号

责任编辑:王晓云

装帧设计:张 辉

责任校对:吴 静

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市万龙装订厂

850mm×1168mm 1/32 印张7 字数180千字

2009年6月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:25.00元

版权所有 违者必究

前 言

采矿工业是现代工业的基础，是矿业系统中非常重要的一个环节，它为后续选矿、冶炼等工业提供原料。近年来，资源的可持续发展成为国家重点强调的内容，而随着资源的日益枯竭与社会需求的不断扩大，技术手段的合理运用显得尤为重要，行业对技术人员的需求也不断扩大，工人培训日益引起相关企业的重视。

《采矿实用技术丛书》紧跟采矿生产技术进步以及我国矿山生产的实际需求进行编写。丛书从矿山开拓系统入手，结合矿山生产实践中技术含量较高的环节进行编排，包括《矿山地压监测》、《矿山工程爆破》、《井巷工程》、《矿山运输与提升》、《矿床地下开采》、《矿床露天开采》、《矿井通风与防尘》、《矿山安全》和《矿山机电设备使用与维修》九个分册。丛书各分册作者具有多年的教学和实践经验，且多次参与解决矿区实际技术难题，从而使图书的内容更符合技术人员的需求，也为生产管理人员提供了有益的借鉴，以期能够实现我国矿产资源正规化、合理化、可持续化开发做出应有的贡献。

地压问题是矿山开采过程中最主要的安全问题，地压现场监测是进行地压预测预报的最重要和最可靠的手段。尽管爆破震动、充填体稳定性测试、点荷载试验等不是严格意义上的地压测试问题，但均为矿山采矿工程中常用的测试、监测手段，也一并列入本书内容。本书从工程实际应用的角度出发，详细介绍了矿山地压监测中常用的仪器、测点布置安装、记录与分析方法，并列举了多个矿山工程应用实例。

本书以应用为主，共 10 章，第 1 章概述了矿山地压测试技术的相关概念与现状；第 2 章～第 9 章着重介绍了矿山地压监测实用技术与方法，包括所用设备、具体测量步骤、注意事项、测量参

数、参数分析、工程应用等；第10章概要地提出了地压测试中存在的问题及有关地压防范措施以及地压监测对于采矿生产的指导意义。本书具有言简意赅、实用性强的特点，适合于矿山采矿一线技术人员学习及用作大中专院校采矿工程、岩土工程、交通工程等相关专业教材，也可作为矿山、公路交通、铁道、水电、市政、国防等部门从事地下工程设计、研究的参考用书。

由于编写时间仓促，加之编者水平有限，书中难免会有疏漏和不足之处，恳请同行及读者批评指正。

编著者

2009年2月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 矿山地压	1
1.1.1 地压的形成和分类	1
1.1.2 巷道地压	3
1.1.3 采场地压	5
1.2 地压监测	10
1.2.1 监测的重要性与主要内容	10
1.2.2 常规监测方法	11
1.2.3 地压监测新进展	12
第 2 章 光弹性应力计	17
2.1 基本构造与测量原理	17
2.2 测孔布置与安装	19
2.3 观测结果量化	21
2.3.1 条纹级数的获得	21
2.3.2 率定试验	22
2.3.3 图像识别	24
2.4 监测结果分析	25
2.4.1 稳定性等级与关键承载点	25
2.4.2 用应力增量进行矿柱稳定性分析	27
2.5 应用实例	29
2.5.1 遂昌金矿中的应用	29
2.5.2 银山铅锌矿中的应用	34
第 3 章 超声探测	39
3.1 常用仪器与使用	40
3.1.1 声波换能器	40
3.1.2 声波仪	41

3.2 测试技术	44
3.2.1 换能器的布置方法	44
3.2.2 测试方案与基本要求	45
3.3 工程应用	46
3.3.1 围岩松弛带测试	46
3.3.2 测定张开裂隙的延伸深度	47
3.3.3 声波测井	48
3.3.4 材料强度评估	48
3.3.5 矿(岩)柱稳定性评估	53
3.4 应用实例	57
3.4.1 遂昌金矿	57
3.4.2 银山铅锌矿	59
3.4.3 东沟钼矿	61
第4章 探地雷达检测	64
4.1 剖面法测量方法	65
4.2 现场量测技术	65
4.3 数据处理和资料解释方法	66
4.4 探测地下采空区	67
4.5 工程应用	68
第5章 岩石声发射	79
5.1 概述	79
5.1.1 声发射的概念	79
5.1.2 声发射检测的基本原理与特点	80
5.1.3 声发射技术的应用领域	83
5.2 声发射传感器	85
5.2.1 传感器结构	86
5.2.2 传感器的耦合和安装	86
5.2.3 传感器的分类及用途	87
5.3 声发射检测系统	90
5.3.1 单通道系统	90
5.3.2 多通道系统	92

5.4	信号处理方法	94
5.4.1	波形特性参数	94
5.4.2	分析识别技术	98
5.5	工程应用	99
5.5.1	岩体稳定性的声发射监测	99
5.5.2	原岩应力测量中的应用	106
第6章	岩体原位应力测试	111
6.1	概述	111
6.2	应力恢复法	114
6.2.1	测量原理	114
6.2.2	仪器设备	115
6.2.3	测试步骤	115
6.2.4	资料整理	116
6.2.5	实际应用及评价	117
6.3	水压致裂法	117
6.3.1	测试原理	117
6.3.2	主要仪器设备	118
6.3.3	测试要点	118
6.3.4	资料整理	120
6.3.5	方法评价及适用范围	121
6.4	刚性包体应力法	122
6.4.1	液体式应力计	123
6.4.2	电阻应变片式应力计	123
6.4.3	压磁应力计	124
6.4.4	钢弦应力计	125
6.5	套孔应力解除法	127
6.5.1	应力计的结构	128
6.5.2	现场测量步骤	130
6.5.3	主应力大小及方向的计算	131
6.5.4	应用实例	131
6.6	局部应力解除法	134

6.6.1	切槽解除法	134
6.6.2	钻孔全息干涉测量法	135
6.7	松弛应变测量法	137
6.8	地球物理探测法	139
第7章	点荷载试验	142
7.1	基本概念和特点	142
7.2	点荷载试验分类	144
7.3	两种常用的点荷载仪器	146
7.4	岩石点荷载强度测量	146
7.5	点荷载试验应用	147
7.5.1	试验方法和试件选取	148
7.5.2	试验结果及分析	148
第8章	爆破振动测试	151
8.1	工程爆破地震波的传播特性	151
8.2	爆破参数对爆破地震波的影响	153
8.3	工程应用	155
8.3.1	永平铜矿 94m 台阶爆破地震效应实测	155
8.3.2	武山铜矿充填法采场顶板爆破振动测试	158
第9章	位移、应变、压力等其他监测	165
9.1	位移监测	165
9.1.1	单点位移计	165
9.1.2	多点位移计	166
9.1.3	收敛位移量测	169
9.1.4	工程应用实例	173
9.2	应变量测	174
9.2.1	常用仪器与使用	174
9.2.2	工程应用实例	179
9.3	力的量测	183
9.3.1	液压枕	183
9.3.2	压力计	186
9.3.3	钢筋测力计	192

第 10 章 地压测试问题与地压控制管理	198
10.1 地压测试中存在的问题	198
10.1.1 监测数据误差分类	198
10.1.2 系统误差一般处理原则	199
10.2 地压控制管理	200
10.2.1 矿山地压灾害隐患分析	201
10.2.2 地压灾害控制与治理	203
10.2.3 地压控制管理展望	204
参考文献	206

第 1 章 概 述

1.1 矿山地压

1.1.1 地压的形成和分类

什么是地压？很长一段时间人们习惯地把围岩因位移和冒落岩块作用于支架上的压力称为地压，这是传统的“狭义地压”的概念，是不完整的，只是地压中的一小部分。随着岩石力学的不断深入和发展，人们已逐步认识到，围岩和支架之间不是荷载和结构物的关系，而是一个相互作用、相互影响、共同承载的关系。支架的作用是改变或改善围岩的应力和位移状态，充分发挥围岩自身的作用来维护地下巷道或采场的稳定性。从根本上来讲，地应力是所有地下工程，包括地下采场、巷道地压显现的根本来源。地应力是存在于地层中的天然应力，也称原岩应力。在没有开挖工程扰动的前提下，岩体处于原始平衡状态。地下巷道或采场的开挖，打破了原始平衡状态，导致地应力的释放，从而引起岩体的变形和向自由面的位移，引起围岩应力的重新分布。围岩的过量位移和应力集中将导致围岩局部的或整体的失稳和破坏，这就是地压形成的过程和机理。因此，从本质上来定义，地压就是岩体因受开挖扰动而产生的力学效应。它与岩体的受力状态、岩体结构和重量、岩体物理力学性质、工程地质条件以及时间等因素有关。

“地压显现”可以表现为各种不同的形式，如岩体变形、微观或宏观破坏、岩层移动、巷道底鼓、片帮、冒顶、断面收缩、支架破坏、采场垮落等。地压显现的形式和程度由上面所述的各个因素所控制和决定。按表现形式，地压可分为四类：散体地压、变形地

压、冲击地压和膨胀地压。

(1) **散体地压** 亦称松动地压，是局部围岩破坏、塌落所形成的松散岩体所作用在支架上的压力，这是传统的“狭义地压”概念所能适应的惟一对象。这是一种极端的情况，因为在这里支架与围岩已经完全脱离，没有任何共同作用而言。地压控制必须避免这种情况的发生，尽可能地防止围岩的变形破坏发展到松散塌落的地步。在很多情况下，还要采取锚注加固等技术使松散围岩固结化，从而再次达到单独或与支护一起共同承载的作用。

(2) **变形地压** 因为开挖产生的围岩位移所引起的压力，是地压最基本的形式。变形地压根据岩体性质和变形种类的不同，可分为弹性变形地压、塑性变形地压、弹塑性变形地压、流变变形地压等。在岩体条件较好的情况下，围岩的位移和变形发展到一定程度就停止了，可能不需要支护，围岩自身就能维持稳定。但在多数情况下，围岩必须通过支护才能防止过量的变形而引起的破坏。此时，变形地压的显现特征与支护方法和支护结构密切相关。在围岩与支护结合成一体条件下，围岩与支护构成共同承载体，它们相互依存、相互制约、共同变形。若不及时采取支护措施，或支护方法不当，不能有效改善围岩应力分布状态，抑制围岩变形，那么围岩就会发生破坏、垮落，变成前面所述的“松散地压”。

(3) **冲击地压** 一种岩石动力学现象，它是围岩内聚集的大量弹性变形能在一定诱因下突然释放而表现出的一种形式。在金属矿山，冲击地压叫做岩爆。岩爆发生时，伴随巨响，岩石以镜片状或叶片状迸发而出，以极大速度冲向巷道或采场。产生冲击地压或岩爆主要与两方面因素有关。一个因素是岩石和岩体的结构性质，具有在围岩内贮存高应变能的内在条件。一般来讲，坚硬完整岩体容易贮存高应变能。另一个因素是有产生高应变能的外部环境，如地应力大、围岩应力集中的地方。随着开采深度增大，地应力不断增大，因而深部容易出现岩爆和冲击地压。由于岩体结构性质和地应力是天然形成的，是无法改变的，因而防止岩爆的主要途径就是避免不合理的围岩应力集中和引发岩爆的各种外部诱因的出现。

(4) **膨胀地压** 由岩体膨胀变形所产生的压力。膨胀地压主要与岩性和水有关。它只出现在具有膨胀性的围岩中。含有膨胀性矿物,如蒙脱石、绿泥石的岩体均具有膨胀性。膨胀地压的大小与其膨胀特性的大小,也就是与其内部所含膨胀性矿物的多少成正比。膨胀地压产生的另一重要条件是水,膨胀性岩体只有遇水才能膨胀。因此防治膨胀地压的惟一途径是控制水,采取有效措施疏干排水,避免岩体和水接触,严格禁止岩体长期浸泡在水中。

1.1.2 巷道地压

(1) **无支护巷道地压** 下面以圆形巷道为例说明开挖引起的巷道围岩地压分布规律。

地下岩体和金属材料不同,它不是线弹性体,而是复杂的非线性体,多数可简化为弹塑性体。若以弹塑性体来考虑,并假设原岩应力为均匀应力场,其值等于 P_0 ,那么巷道开挖后一般将在围岩中形成三个区,即塑性区(A+B)、弹性区(C)和原岩应力区(D),其中塑性区通常又分为两个区,即松动区(A)和塑性应力升高区(B),如图1-1所示。

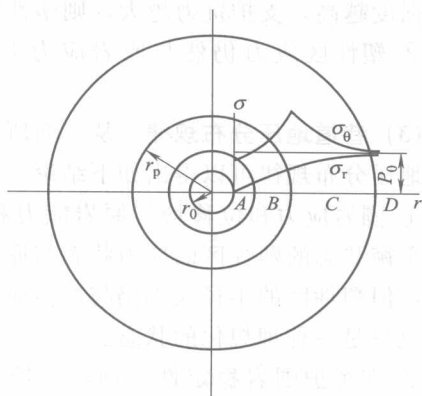


图 1-1 开挖引起的圆形巷道围岩地压分布规律

r_p —塑性区半径; r_0 —巷道半径; P_0 —原岩应力

其中塑性区通常又分为两个区,即松动区(A)和塑性应力升高区(B),如图1-1所示。

地下巷道开挖前岩体原始平衡状态。巷道开挖后出现围岩应力重新分布,围岩的一部分弹性变形产生的压力为弹性变形地压。当二次应力场使弹性围岩局部地区,也就是在靠近巷道周边地区的应力状态达到屈服条件时,这部分围岩就进入塑性状态,产生塑性区。应力再次重新分布,塑性区的应力一部分向弹性区转移,另一

部分因塑性变形而释放，同时产生塑性变形地压。塑性变形的进一步发展就会引起岩体的破坏，同时巷道周围区域可能出现的拉应力也会导致岩体的破裂，从而在最靠近巷道周边的区域形成松动区。这就是上述 A, B, C 三个区的形成过程。

在形成 A, B, C, D 四个分区的情况下，围岩中的周向应力和径向应力值随径向距离变化的曲线如图 1-1 所示。

(2) 有支护巷道地压 在有支护的情况下，若支护和围岩紧密接触，则可视为支护围岩提供了一个均匀抗力 P_1 。

① r_p 与 r_0 、 P_0 成正比，与内聚力 c ，内摩擦角 ϕ ， P_1 成反比。就是说，巷道半径越大，原岩应力越大，则塑性区半径越大；岩石强度越高，支护抗力越大，则塑性区半径越小。

② 塑性区应力仍然与原岩应力无关，因为这还是极限平衡问题。

(3) 巷道地压分布规律 从上面所述的圆形巷道开挖所引起的围岩地压分布规律可以得出如下结论。

① 围岩应力和位移均与原岩应力和岩体强度有关。虽然处于极限平衡状态的塑性区的应力状态与原岩应力无关，只与岩体强度有关，但塑性区的半径大小仍与原岩应力关系极大，而且极限平衡状态也只是一种理想化的状态。

② 在维护围岩稳定性方面，支护和围岩确实存在相互影响、共同作用问题。如果围岩本身具有足够的强度，其塑性区内圈不发展成松动圈，则围岩本身就能维持稳定，而不需要支护。在可能出现松动圈的情况下，及时进行支护是必要的。支护提供的抗力，抑制了围岩的变形和塑性滑移，改善了应力分布状态，阻止了围岩的破坏，这样就能保持围岩的强度，并充分利用其自身的强度来维持巷道的稳定性。

③ 支护只有和围岩紧密接触才能提供上述的均匀支护抗力，传统的点支撑方法不能起到这样的作用。由此继续深化我们的思路，支护的根本作用就是保持和提高围岩的强度，充分利用围岩自身的强度，保持巷道的稳定。上述的均匀支护抗力只能起到保持围

岩强度的作用，而只有喷锚支护、注浆等积极支护方法才能起到提高围岩强度的作用。

④ 地压活动，包括巷道的变形和破坏，是由于巷道开挖引起的原岩应力释放所造成的，这样才能解释围岩最大位移发生在巷道周边，松动圈和变形破坏也出现在巷道周边的事实。地应力是内荷载，是在开挖之前就存在的，因而是先有载后挖洞；而地面结构物是先有结构后加载，二者有本质不同。若把结构力学方法照搬到岩石力学问题中来，对地下开挖工程也是先挖洞后加载，就是先把洞挖好，然后在其围岩外部加上原岩应力，则计算出的结果将可能与事实完全相反。

均匀原岩应力场中的圆形巷道开挖是一个最简单的理想化了的例子，它也是解析法能解决的极少几个问题之一。对于具有比这更复杂的开挖形状和原岩应力条件的问题，解析法将无能为力，必须采用现代的数值分析方法和电子计算机等手段才能解决。

1.1.3 采场地压

采场地压产生的原因和巷道地压产生的原因一样，都是因为开挖打破了岩体的原始平衡状态，导致岩体中的应力重新分布和向开挖空间的位移。在此过程中，出现围岩的变形和破坏。但采场地压和巷道地压相比又有很大的不同。由于采场的规模远大于巷道的规模，其形状也要复杂的多，因而其地压显现波及的范围广、强度大、规律性差。特别重要的是，采矿是一个多步骤的多次开挖过程，随着回采作业的进行，开挖空间的规模和形状不断变化，这就使采场地压的分布和变化规律变得极为复杂，采场地压控制研究的内容和方法也更广泛、更多样。

不同的采矿方法，其采场地压的显现特征、活动规律和控制方法均不相同。下面依据三大类采矿方法，即空场采矿法、崩落采矿法和充填采矿法对采场地压进行介绍。

1.1.3.1 空场采矿法地压

空场法地压的显现特征和分布规律与矿体的赋存条件的关系极

大, 现分缓倾斜与水平矿体和倾斜与急倾斜矿体两种矿体赋存条件来叙述空场采矿法的采场地压。

(1) 开采缓倾斜与水平矿体的采场地压 开采矿岩稳定的缓倾斜与水平矿体时, 一般使用全面法和房柱法。全面法留不规则矿柱, 房柱法则留规则的连续或间断矿柱。二者都是靠矿柱控制顶板和围岩的暴露面积, 保证采场的稳定。开采过程中, 采场顶板围岩中的应力转移到两侧的矿柱上, 使矿柱上应力升高, 采场顶板围岩中的应力降低。矿柱中应力集中的范围和大小与采场跨度、开采深度和矿岩物理力学性质有关。当矿体中的应力集中超过一定的限度后, 矿柱将发生严重的变形、开裂、直至破坏。当失去支撑能力的矿柱的数量达到矿柱总数的一定比例时, 将出现顶板的失稳和垮落。此时在采空区的上方岩层中将会出现一个冒落带、一个裂隙带和一个弯曲带, 并在地表出现开裂和下沉。如果采空区离地表较近, 则冒落带有可能会直通地表。

为了开采的安全, 最关键的问题是合理确定矿柱的布置, 包括矿柱的尺寸和间距。在顶板围岩稳固性较差的情况下, 采用喷锚支护等技术加固围岩, 使其具有较高的承载能力, 并减轻向矿柱的应力转移也是必要的。

(2) 开采倾斜与急倾斜矿体的采场地压 用空场法开采倾斜与急倾斜厚矿体时, 一般采用分段法或阶段矿房法进行回采。回采过程中, 上、下盘围岩位于采空区两侧, 矿柱呈水平或倾斜状支撑着上、下盘围岩。采空区上方顶板为应力降低区, 而采空区两端矿层为应力升高区。由于倾斜或急倾斜矿体一般出露至地表, 若采取自上而下的开采顺序, 在开采初期就可能出现采空区上覆岩层的开裂, 形成崩落块体。若采空区连续向下发展, 中间不留间隔矿柱, 则崩落块体就会大规模向空区滑落; 若有间隔矿柱, 则下部空区上方覆岩的破坏只能以冒落拱形式发展。在多个相邻采场采空后, 若不及时处理空区, 就可能形成大规模的地压显现。首先由于矿房顶柱暴露面积过大而形成跨落; 接着顶柱压力传递给间柱后, 又造成间柱被压坏; 最后就出现了上盘围岩的大冒落和急剧移动, 地表形

成圆形或椭圆形塌陷坑。控制此类地压关键在于确定合理的顶、间柱尺寸和布置,以及合理的开采顺序。

在开采急倾斜薄矿脉群时,一般采用浅孔留矿法进行回采,开采过程中,只留顶、底柱,中间不留间隔矿柱。回采结束后,形成数个长达数百米甚至上千米的连续空区,在采空区之间留下厚度不一的只有阶段矿柱支撑的板状夹壁。当夹壁的暴露面积和采深达到一定的限度时,夹壁因失稳而倒塌,使上、下盘发生错动,从而产生大规模的地压活动。防止此类地压活动出现的关键在于及时采取措施对采空区进行处理。在地表允许崩落的条件下,可采用人工崩落夹壁和矿柱的方法,使采空区闭合;在地表不允许崩落时,则应采用低成本充填法进行处理。

1.1.3.2 崩落采矿法地压

崩落法与其他采矿法一样,也将矿体自上而下划分为若干个阶段,每个阶段又分成若干采区或矿块,不分矿房、矿柱,一步回采。矿块回采是在已崩落覆盖岩石下进行的。采场放矿后,原先覆盖在矿石上的松散岩体占据放矿形成的空间,因而崩落法采矿没有采空区,不存在因采空区存在而引起的地压问题。其地压显现特征与空场法有根本差别。

(1) 开采缓倾斜和水平矿体的采场地压 开采缓倾斜与水平矿体时,一般采用壁式崩落法。回采过程中,随着工作面向前推进,将周期性地切断直接顶板,以崩落顶板岩石充填采空区。在回采工作面附近将形成一个不对称的压力拱,如图1-2所示。拱的前脚落在工作面前方,为应力降低区,拱的后脚落在已崩落岩石上,为应力升高区,工作面位于应力降低区下方。随着工作面不断向前推进,压力拱也跟着不断前移。压力拱的峰值与顶板岩石的物理力学性质和开采深度有关,岩石强度越高,开采深度越大,压力拱的压力峰值和分布范围也越大。

正确选择最大悬顶距,按时放顶,是控制顶板地压的关键。放顶工作不及时或放顶质量不好,将会出现工作面被压裂,支柱被压弯或折断,顶板开裂,掉块等破坏性的地压显现,影响回采作业正