



普通高等教育地矿、安全类“十一五”规划教材

矿井特殊开采

主 编 郭惟嘉
副主编 刘伟韬 张文泉

煤炭工业出版社

普通高等教育地矿、安全类“十一五”规划教材

矿井特殊开采

主 编 郭惟嘉

副主编 刘伟韬 张文泉

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

矿井特殊开采/郭惟嘉主编. —北京: 煤炭工业出版社,
2008. 9

普通高等教育地矿、安全类“十一五”规划教材
ISBN 978-7-5020-3183-1

I. 矿… II. 郭… III. 矿山开采-高等学校-教材
IV. TD8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 146154 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
北京玥实印刷有限公司 印刷
新华书店北京发行所 发行



*
开本 787mm × 960mm¹/₁₆ 印张 12
字数 243 千字 印数 1—3,000
2008 年 9 月第 1 版 2008 年 9 月第 1 次印刷
社内编号 5984 定价 28.00 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

在煤矿建设和生产中，经常遇到地面有水体、铁路、建筑物等影响地下开采。在一般情况下，需要留设煤柱对它们进行保护。另外，有许多矿井在开采下组煤时，受到岩溶承压水的威胁，往往出现底板突水事故，只好搁置不采。由于以上原因，大量煤炭成为呆滞储量。因此，研究不留或少留煤柱采出地面水体、建筑物、公路、铁路下的压煤，并对它们予以保护，以及安全地采出承压水上煤炭资源，即研究实现上述特殊条件下的安全采煤技术，是煤矿生产建设中一项迫切需要的、具有长远和现实意义的重要综合性技术。不断发展和运用这项特殊开采技术，对合理开发与利用煤炭资源、减少煤炭损失，挖掘生产能力、延长矿井寿命及保证安全生产，具有重要的意义。

多年来，我国在“三下一上”采煤的生产、科研中已经取得了许多宝贵经验和科研成果。近10年来矿井特殊开采方面又有所进展。为能及时将最近的成绩反映到教材中，我们参考已有的教材、资料，编著了本教材。这次编著工作由郭惟嘉教授、张文泉教授及刘伟韬副教授完成。

本教材共8章。第一章岩层移动变形机理和第二章地表移动变形一般规律，介绍了煤矿岩层及地表移动规律的基本理论，地表移动与变形的基本计算方法；第三章建筑物下压煤开采，主要内容为建筑物下采煤技术、建筑物保护方法以及条带采煤法；第四章线性构筑物下开采，主要内容为公路、铁路下采煤技术以及防护措施；第五章水体下开采与第六章水体上开采，详细分析了水体下采煤和承压水上采煤技术及其安全措施；第七章断层及陷落柱突水防治，介绍了断层、岩溶陷落柱突水及防治措施；第八章开采损害防治，介绍了开采损害监测技术及开采损害评价方法。

本教材主要以采矿工程本科学生为主要教学对象，也可作为测绘、环保等专业本科、研究生以及有关政府工作人员、技术人员和研究人员学习、参考用书。

编 者
2008年9月

内 容 提 要

本书共 8 章，主要介绍了煤矿开采过程中岩层移动变形机理、地表移动变形一般规律、“三下”采煤方法及安全保障措施、断层及陷落柱突水防治、开采损害防治等内容。

本书主要作为普通高等院校采矿工程专业教材，也可作为采矿工程技术人员参考用书。

目 次

第一章 岩层移动变形机理.....	1
第一节 开采围岩移动破坏形式.....	1
第二节 岩层移动破坏分带特征.....	2
第三节 岩层移动变形研究方法.....	5
第四节 开采岩层移动变形影响因素	13
第二章 地表移动变形一般规律	17
第一节 地表移动变形的概念	17
第二节 地表移动盆地及其特征	21
第三节 地表移动盆地的空间分布和时间过程	34
第四节 地表移动变形计算方法	40
第五节 山区开采地表变形的一般规律	63
第三章 建筑物下压煤开采	66
第一节 概述	66
第二节 协调开采	70
第三节 局部开采	74
第四节 充填法开采	82
第五节 建筑物和构筑物开采保护措施	94
第六节 井筒煤柱开采.....	103
第四章 线性构筑物下开采.....	106
第一节 铁路下开采.....	106
第二节 地下开采对公路的影响及防护措施.....	110
第五章 水体下开采.....	114
第一节 概述.....	114

第二节	防水煤(岩)柱留设	117
第三节	导水裂缝带高度的计算	125
第四节	水体下开采安全技术措施	128
第六章	水体(承压水)上开采	135
第一节	水体上开采概述	135
第二节	底板突水机理	137
第三节	“下三带”理论的概念	145
第四节	“下三带”数据的确定与计算方法	148
第五节	“下三带”理论的应用	156
第六节	水体上开采安全技术方法与技术措施	159
第七章	断层及陷落柱突水防治	164
第一节	断层突水	164
第二节	岩溶陷落柱突水及防治	167
第八章	开采损害监测与评价	169
第一节	开采损害监测	169
第二节	开采损害立法	178
第三节	开采损害评价	179

第一章 岩层移动变形机理

第一节 开采围岩移动破坏形式

岩体受采动影响变形破坏实际上是指岩体地质结构改组和结构联结的丧失现象。采动岩体内存在的移动破坏形式主要有弯曲、断裂、垮落、离层、底鼓、片帮、岩爆、煤爆等。

1. 弯曲

弯曲是采动围岩移动的主要形式。地下矿层采出后，上覆岩层中的各个分层，从直接顶板开始沿层理面的法线方向，依次向采区方向弯曲，直至地表。在弯曲范围内，岩层可能出现数量不多的微小裂缝，但基本上保持其连续性和层状结构。

2. 垮落

矿层被采出后，顶板岩层中重新分布的应力超过岩体的强度，岩体破裂成无规则块状脱离原岩而垮落充填采空区，这种破坏形式称为垮落。垮落一般发生在采空区上方拉应力区的岩层中。

3. 离层

采空区上覆岩层由于竖向移动变形的大小和速度不同而使岩层面之间或层理面之间产生的开裂现象称为离层。离层主要发生在顶板以上，主要是拉应力达到或超过层间联结强度所致，也可由拉剪作用形成不规则的离层。规模较大的离层是由于采动影响程度和岩层的抗弯刚度不同而产生的。

4. 层间错动

在重力产生沿层面的下滑力作用下，或者由于岩层移动过程中相邻岩层水平移动的大小或方向不同而使层面软弱带两侧的岩层产生相对滑移，这种破坏形式称为层间错动。这类破坏主要发生在倾斜煤层条件下，不同岩层交界处或沿软弱面发生。

5. 块体滚动

这种破坏有两种情况：一是在已经垮落或断裂岩体的下山方向继续进行采煤形成新的采空区时，如果煤层倾角较大，垮落的岩块就可能下沉或滚动充填采空区，导致上部采空区上部的空间增大，使位于采空区上山部分的岩层和地表的移动加剧；二是在岩体内部发生的结构体的滚动或转动现象。

6. 岩爆和煤爆

一般出现在高地应力区的坚硬岩层或煤层中。

7. 底鼓

由于煤层开挖使底板产生向采空区方向的隆起，底鼓量随离底板的距离增加而减小，底鼓曲线也随着离底板的距离增加而变得平缓。

8. 片帮

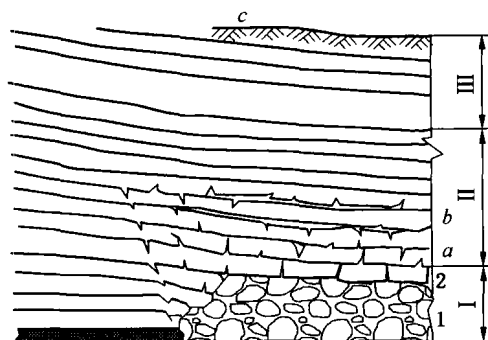
当开采一定空间后，煤柱中产生了很高的集中应力，在集中应力作用下，煤壁产生严重的变形和破坏现象，呈碎片或碎块状挤向采空区，并使煤柱上方岩层产生移动。

上述破坏形式的出现是由岩体本身的结构特征、物理力学性质和采动影响程度等共同决定的，从力学机理上可归结为张破坏、剪破坏、结构体滚动和结构体沿结构面滑动和错动4种常见的破坏机制。

第二节 岩层移动破坏分带特征

一、上“三带”的形成

煤层开采后，上覆岩层要发生破坏和位移。覆岩破坏和位移具有明显的分带性，其特征与地质、采矿等条件有关。在采用走向长壁全部垮落法开采缓倾斜中厚煤层的条件下，只要采深达到一定深度（如100m左右），覆岩的破坏和移动可出现3个具有代表性的部分，自下而上分别称为垮落带、裂缝带和弯曲带，一般简称为“三带”（图1-1）。



I—垮落带；II—破裂带；III—弯曲带
a—竖向裂隙；b—离层裂隙；c—地表裂隙
1—不规则垮落带；2—规则垮落带

图1-1 覆岩破坏移动分带示意图

1. 垮落带

垮落带又称冒落带，是指脱离岩层母体，失去连续性，呈不规则岩块或似层状巨块向采空区冒落的那部分岩层。垮落带位于覆岩的最下部，紧贴煤层。煤层采空后，上覆岩层失去平衡，由直接顶板岩层开始垮落，并逐渐向上发展，直到开采空间被垮落岩块充满为止。

垮落带内岩块之间空隙多，连通性强，是水体和泥沙溃入井下的通道，也是瓦斯逸出或聚积的场所，是采煤工作面安全生产的主要威胁。

2. 裂缝带

裂缝带又称导水裂缝带。裂缝带是指位于垮落带之上，具有与采空区连通的导水裂隙，但连

续性未受破坏的那一部分岩层。

裂缝带随采区扩大而向上发展，当采区扩大到一定范围时，裂缝带高度达到最大。此时采区继续扩大，裂缝带高度基本上不再发展，并随着时间的推移，岩层移动趋于稳定，裂缝带上部裂缝逐渐闭合，裂缝带高度也随之降低。一般说来，在采空区形成两月左右之后，裂缝带发育最高。

3. 弯曲带

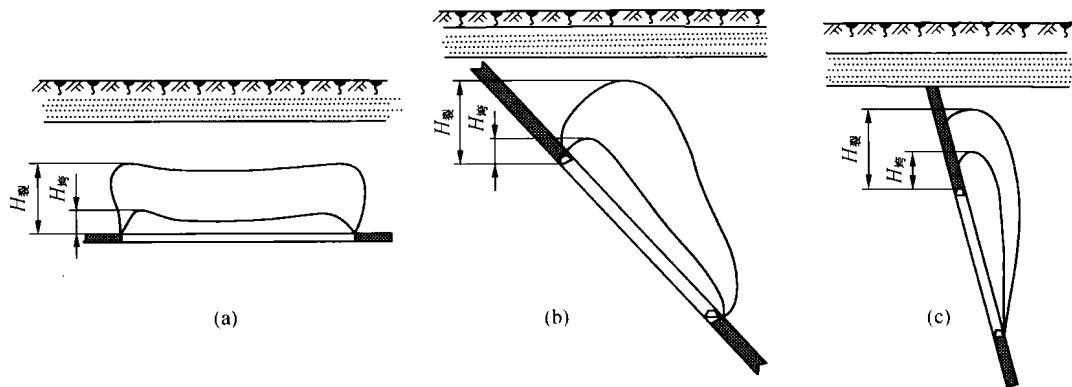
弯曲带又叫整体移动带，是指导水裂缝带顶界到地表的那部分岩层。弯曲带基本呈整体移动，特别是带内为软弱岩层及松散土层时。

以上“三带”虽各带特征明显不同，但其界面是逐渐过渡的，有时开采浅、覆岩薄也可能“三带”不完整，具体划分时应合理掌握。

二、上“三带”的空间形态

1. 水平—缓倾斜煤层开采时（倾角 $0^\circ \sim 35^\circ$ ）

垮落带呈大致对称的枕形（中间微凸、平或微凹），边界一般在采空区边界内。裂缝带一般呈马鞍形，边界一般在采空区边界之外（特别坚硬岩层例外，但覆岩越软弱，越向边界外凸），其最高点位于采空区的倾斜上方（图 1-2a）。弯曲带沿走向及倾向均为基本对称的下沉盆地。



a—水平、缓倾斜煤层；b—倾斜煤层；c—急倾斜煤层

图 1-2 垮落带、裂缝带空间形态

2. 倾斜煤层开采时（倾斜 $36^\circ \sim 54^\circ$ ）

垮落带为不对称的平枕或拱枕，边界仍在采空区边界内，上方略大于下方。裂缝带为上大下小不对称的凹形枕，上轮廓线大致呈抛物线，马鞍形消失或残留不明显，与采空区边界齐或略偏外。这是因煤层倾角增大，采空区上部冒落岩块下滑先充填采空区下部，采

空区上部覆岩继续失稳而离层、断裂、充分冒落所致（图 1-2b）。弯曲带沿倾向不对称下沉，上山方向较下山方向下沉量大。但若走向开采长度大，则沿走向仍为对称下沉。

3. 急倾斜煤层开采时（倾角 $55^{\circ} \sim 90^{\circ}$ ）

垮落带为耳形或上大下小不对称拱形。裂缝带与垮落带形态类似。两者上边界均大大超过采空区边界。其原因是倾角加大，冒落岩块滚动下滑加剧，迅速填充采空区下部空间，限制了垮落带与裂缝带下边缘的发展。而采空区上部，边界煤柱悬空，逐次片帮、开裂、冒落，使两带上边缘急剧向上发展，以致大大超过采空区上边界（图 1-2c）。在高角度条件下，如顶底板岩性坚硬、平整，煤层厚且松软，则可能沿本煤层抽冒，高度可超过百米，甚至穿过松散层到达地表，形成地表塌陷坑。

4. 垮落带、裂缝带发育高度的预计

在对现场工程地质条件和岩石物理力学性质指标了解不充分的条件下，可应用已有的经验公式预计覆岩的破坏高度。这种公式的优点是来源于实测、简单易用。但是在应用时应该注意以下两点：①由于各矿区或同一矿区不同采区的地质状况各不相同，经验公式必须在相同或相似地质条件下应用才能获得满意的效果，因此选用的公式最好应是相同或相邻矿区的地质条件类似的采区的实测公式；②经验公式中对覆岩类型的划分过于粗略，实际情况下最常见的是各种不同岩类交替出现互相组合的覆岩，难以确切判断属于哪种类型，只有按照工程地质岩组的实际情况进行分析，才不至于使预计结果因人而异，也就是说应重视经验公式与相应的工程地质条件的关系研究。垮落带、裂缝带高度是水体下采煤的重要依据，有条件时最好实测获得。

三、下“三带”的形成及“三带”的空间形态

1. “下三带”的概念

经过近十几年深入隔水底板内部进行综合观测，并结合相似材料模拟和有限元计算等研究发现：开采煤层底板也类似采动覆岩破坏移动存在着底板导水破坏带、完整岩层带、承压水导高带。各带的含义是：

（1）第Ⅰ带——底板导水破坏带（ h_1 ）：是指由于采动矿压的作用，底板岩层连续性遭到破坏，导水性发生明显改变的层带。

（2）第Ⅱ带——完整岩层带（或有效保护层带， h_2 ）：位于第Ⅰ、Ⅲ带之间，其特点是保持采前岩层的连续性及其阻抗水性能，故称为完整岩层带。它是阻抗底板突水最关键的因素，又称为保护层带。保护层带的厚度大小不一，少数采面开采之后，保护层带很薄，甚至不存在。保护层带的厚度 h_2 等于底板总厚度 h 与Ⅰ、Ⅲ带厚度 $h_1 + h_3$ 之差，即：
$$h_2 = h - (h_1 + h_3)。$$

当 $h > (h_1 + h_3)$ 时，则保护层存在；当 $h \leq (h_1 + h_3)$ 时，则保护层不存在。

（3）第Ⅲ带——承压水导高带（或隐伏水头带， h_3 ）：是指含水层中的承压水，沿隔

水底板中的裂隙或断裂破碎带上升的高度（即由含水层顶面至承压水导升上限）。有时也称为原始导高。煤层开采第Ⅰ带总是存在，而当底板隔水层太薄、含水层顶部有充填带或其上岩层软弱时，则“三带”也可能不完整。为与采动覆岩形成的“三带”区别，故底板以下至含水层的岩层中采动形成的“三带”称为“下三带”。

2. “下三带”理论的应用

该理论主要用于底板突水预测及开采安全性论证、编制采区或水平的安全生产规划和为预防突水而选用合适的采煤方法及工作面尺寸。

四、覆岩破坏及移动的力学模式

采场回采工作全部结束后，覆岩破坏、移动及应力分布模式简化为如图 1-3 所示。

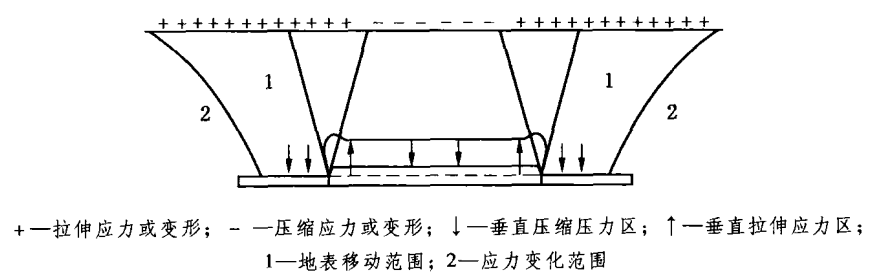


图 1-3 覆岩移动破坏力学模式示意图

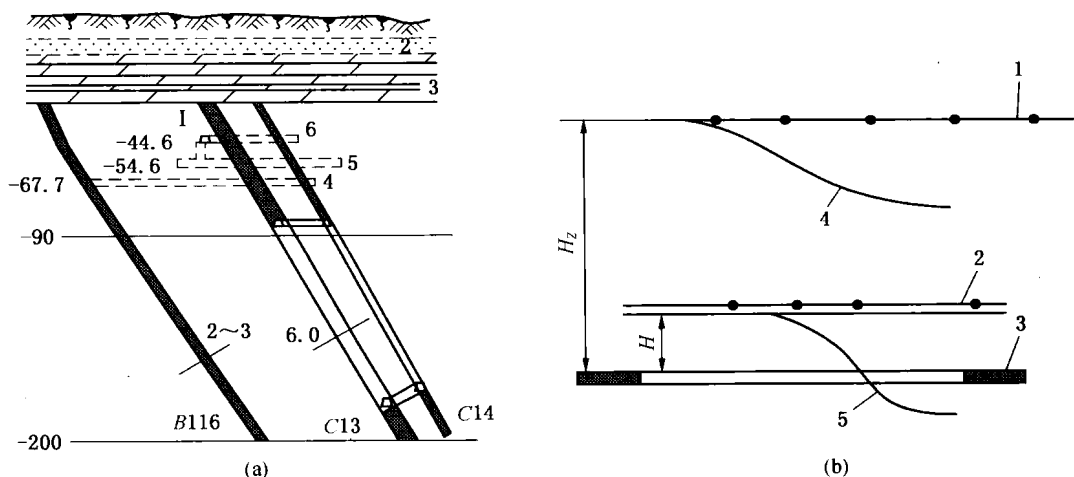
采用以上分区可以较为方便地预测岩体破坏状况，在详细分析上覆岩土体工程地质岩组特性基础上，采用数值分析方法确定冒落带和裂隙带的高度，可以灵活地针对某一实际工程地质剖面进行预计，还可克服前述经验类比法的某些不足，其精度能够满足生产需要。

第三节 岩层移动变形研究方法

地下开采引起的岩层与地表移动是从工作面直接顶板开始，逐渐向上发展，直至地表。要了解岩层与地表移动的全过程，仅设地表移动观测站进行观测是不够的，还需进行岩层内部的观测。要掌握地下开采引起的岩层移动规律，同掌握地表移动规律一样，实地观测是基本手段。目前，岩层移动的观测工作主要是在工作面周围及其巷道和钻孔中进行，根据不同的观测目的和观测条件，选择不同的观测地点和方法。在岩层内部设置一系列互相联系的观测点，称为岩层内部观测站。岩层内部观测站地点的选择、建站的原则、观测方法及要求、成果整理等和地表移动观测站相似。但也有它本身的特点，具体有巷道直接观测、钻孔岩移、钻孔冲洗液消耗、双端隔水器、相似材料模拟、数值模拟及物探等研究方法。

一、巷道直接观测

根据观测目的和条件,在开采煤层的上方不同高度巷道内设置观测站。观测线通常布设在回采工作面上方的石门或煤巷内,必要时可在不同水平上开掘专门巷道。在条件许可的情况下,观测巷道应尽量和地表观测线位于同一竖直剖面上。观测线尽可能设成直线,其长度应包括移动最充分部分和采动范围以外的一小部分。测点间距视观测巷道至回采工作面的垂直高度而定,一般为5~15m。用立体摄影、经纬仪等对固定部位的顶底板及两侧岩壁进行摄影测量,将开采前后的观测结果进行对比即可确定出覆岩的破坏状况,如裂缝的发育密度、宽度、断层的活动变化等(图1-4a、b)。观测时必须注意安全。在采空区上部巷道中进行观测时,要求设站的巷道位于开采后所形成的冒落裂缝带之上。应使巷道从采动影响以外进入,以便观测时人员有安全出口。



1—地面观测线; 2—层内巷道观测线; 3—煤层; 4—地面前下沉曲线; 5—观测巷道下沉曲线

图1-4 某矿观测站示意图

巷道观测能获得比较可靠的岩层内部移动的第一手资料,但巷道开掘费用高,维护工作量大,不宜大量采用。

二、钻孔观测

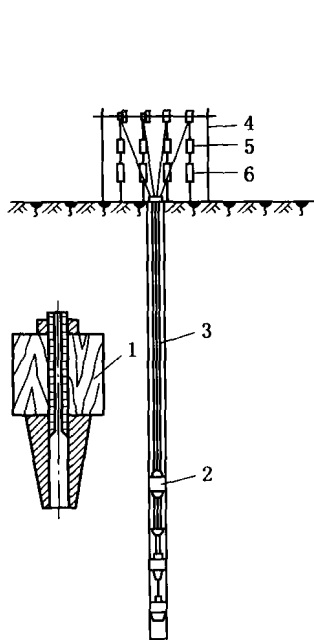
钻孔观测就是在采动影响范围内,从地面或井下巷道中向岩层内部打钻孔,并在钻孔内不同水平上设置观测点(称深部测点)进行观测。钻孔中设置测点的位置和数量,应根据观测目的来决定。一般测点应设在各岩层的接触面附近,在厚岩层内按一定间距设

点，通过观测求出各测点沿轴向或垂直轴向的移动量及其移动速度。

设深部测点的钻孔，多数是专门打的，如果利用旧有钻孔，则需切断钻孔中的套管。

钻孔测点分金属测点和木制测点两种。金属测点是用混凝土灌注使之与孔壁岩层固结在一起。木制测点的制作是用压缩木制成，利用其遇水膨胀的性能与孔壁连接在一起。

压缩木测点的制作系用红松或水曲柳等木材，切成长方块体，在压力机垂直木纹方向加压成板状，并用夹板固定24h后，拼接黏合，制成圆柱体。柱体中心穿一金属圆管，两端制成螺纹，上端旋一螺母并拴紧一根钢丝穿过中心管，即可将此测点沿钻孔推至设计部位，待压缩木遇水膨胀后即牢固贴紧孔壁岩层。每一测点采取同样方法设置，但必须将前面测点的钢丝从中心管中穿过，并保证能自由滑动，不缠绕、不受阻碍。各测点钢丝从孔口引出并通过孔口支架上各自的滑动轮悬一重锤，当岩层带动测点移动时，孔口重锤便相应上下移动。观测人员定时用钢尺测量各点位移值，可做出各深度岩层位移历时曲线，反映出覆岩各层移动特征。观测位移值也可不用重锤装置，而采用各种多点位移计由人工测定。更先进的是在孔口各测点连接传感器、遥测仪、计算机完成自动定时巡回监测，并自动记录、打印出观测结果，如图1-5和图1-6所示。



1—测点结构；2—测点；3—钢丝；
4—观测架；5—重锤；6—传感器

图1-5 钻孔岩移观测系统示意图

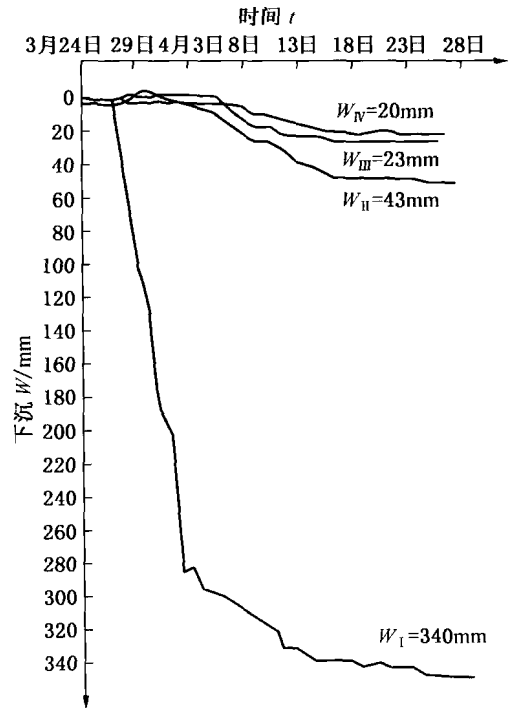


图1-6 某矿微山湖水体下采煤
钻孔岩移实测曲线

设置测点时，必须注意防止钢丝生锈。如果钻孔内设点较多，宜适当加大基岩的钻孔孔径和测点结构中钢管的直径，以防各测点移动轨迹紊乱、互相干扰。

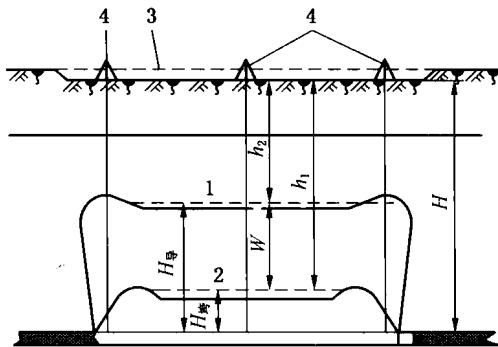
地面钻孔孔口标高与高程基点或地表观测站制点连测，定期的水准测量一般每星期一次，当孔口下沉进入衰退期后，观测间隔时间尚可更长些。观测方法和精度要求按四等水准测量的要求进行。测点地面水准的相对下沉量是用丈量水准标到孔口的距离来测定的，或安装自计仪自动记录。观测间隔时间一般为1~2d，在岩层移动活跃期每天进行2次，并记录观测时间。

为了研究岩层内部和地表移动的内在关系，钻孔观测站应与地表观测站配合进行。

利用钻孔还可进行各种不同目的的观测。例如：采用水文地质钻孔观测采场“两带”高度是常用的、可靠的方法。该观测方法就是在采空区上方地表布置一定数量的观测钻孔，在钻孔向预定目标钻进过程中，测定钻至各层深度处的冲洗液耗量、水位变化；或在钻孔钻至各段不同深度处分段注水，观测不同深度处的漏水量；或在钻孔钻进过程中保持钻孔注满水，用流量计测定钻孔不同深度上的流量值等，然后对资料综合对比分析来确定“两带”高度。

利用钻孔，配合物探技术，观测研究岩层内部移动状态和方法越来越多，例如钻孔声波法、钻孔电磁波法、钻孔超声成像法、钻孔电视、钻孔潜望镜等。

钻孔冲洗液法观测“两带”高度时工程量大、时间长、费用高、工艺复杂，并且受深度和地面条件限制，观测结果的准确性和可靠性也不高，现在改用井下打钻用双端隔水器探测，效果较好，能克服上述的缺点（图1-7、图1-8）。

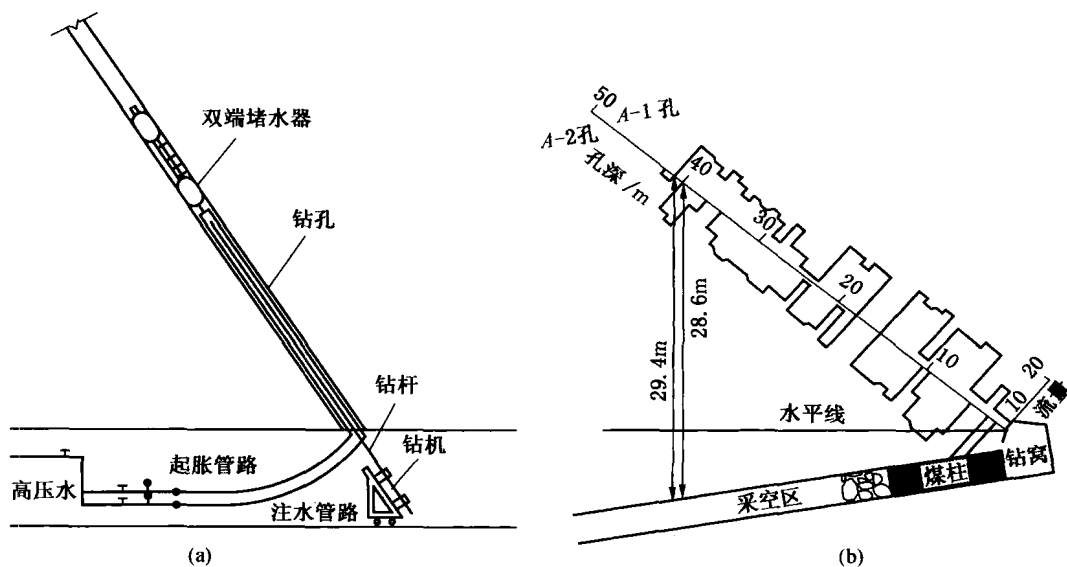


1、2—垮落带、裂缝带发育位置；3—地面原始高度；4—地面钻机；

W —两带压密下降值； h_1 、 h_2 —两带高度距地面深度；

H —煤层埋深； $H_{垮}$ 、 $H_{裂}$ —落带、裂缝带发育高度

图1-7 钻孔冲洗液消耗法观测的“两带”高度



a—双端隔水器装置；b—观测采前采后流量变化确定导水裂缝带高度

图 1-8 双端隔水器观测示意图

三、采场直接观测法

采场直接观测法主要用于确定垮落带的高度。它是在工作面推进过程中的不同位置处，沿倾向的多个剖面观测顶板的垮落高度及垮落岩堆顶面至上部顶板之间的距离，并考虑垮落岩石的碎胀，即可确定出垮落带的高度。

如图 1-9 所示，在采场最后一排支架的外侧，用测杆测出垮落后的上部顶板至支架顶部处测杆的长度 L ，再用半圆仪测出测杆与水平面之间的夹角 β ，即可确定出垮落带的高度。

$$H_{\text{跨}} = L \sin \beta$$

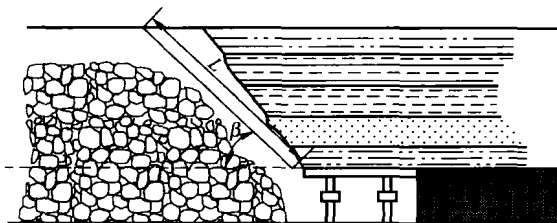


图 1-9 回采工作面直接观测法示意图

四、相似材料模拟及数值模拟法

1. 相似材料模拟

相似模拟试验是以相似理论为基础的模型试验技术，是利用事物或现象间存在的相似和类似等特征来研究自然规律的一种方法。它特别适合于那些难以用理论分析方法获取结果的研究领域，同时也是一种用于对理论研究结果进行分析和比较的有效手段。

相似材料模拟主要是对自然现象在实验室中进行模拟。它是在室内采用某种人工材料，按一定比例做成相似模型，通过对模型上的位移、应力和应变的观测来认识原型上发生的力学现象和规律。模拟试验具有直观性强、灵活性好、效率高、重复性好等特点。

2. 数值模拟

在探讨覆岩移动变形规律时，往往需要反复试验单个因素的影响，这在现场条件下难以实现，但数值模拟方法有时能达到较好的效果。用于对地下工程问题的分析，常用的数值方法有有限差分法、有限元法、离散元法和边界元法等，半解析元法和无界元法等正在发展。应用弹塑性理论和利用计算机技术为研究煤层顶底板岩体的移动、变形破坏提供了有效的工具，并已逐渐成为研究岩土力学及地下工程结构问题的重要手段。

五、物探观测法

1. 形变电阻率测深

地下岩层电阻率大小不仅决定于其岩性成分及含水多少，还与其结构状态密切相关。岩体受到破坏松动以后，裂隙结构面增多，阻隔了电流的传导，电阻率将会升高；但若破坏裂隙充水，则因作为导电溶液的水的连通作用而使电流传导能力增强，电阻率降低。通过岩体发生形变或破坏前后的电阻率对比，就可探测出覆岩的破坏高度和破坏形态。

2. 钻孔无线电波透视

在井下钻孔中，与双孔声波透视测量相似，也可用无线电波进行孔间岩体的透视测量。在一个钻孔中旋转无线电波发射探头和发射天线，发射某一固定频率的无线电波，另一孔中旋转无线电波接收天线及探头，接收来自发射天线并穿过孔间岩体的无线电波强度。岩体破坏松动后，由于裂隙、结构面对无线电波的反射、散射作用，使其强度比正常情况下的低，尤其裂隙充水时对无线电波的吸收作用更大。但当裂隙破碎带无水时，也常常出现比正常情况下高的透视强度，这是因为空气对无线电波的吸收比岩体小得多的缘故。这一特征对某些导水裂隙范围内的岩体透视具有一定的参考意义。

3. 钻孔声波测量

声波在岩体中的传播特性与岩体的结构状态有密切的关系。一般岩体受到破坏松动后，声波在其中的传播速度降低，通过岩体声能消耗大，波幅变小，波谱的高频成分被强