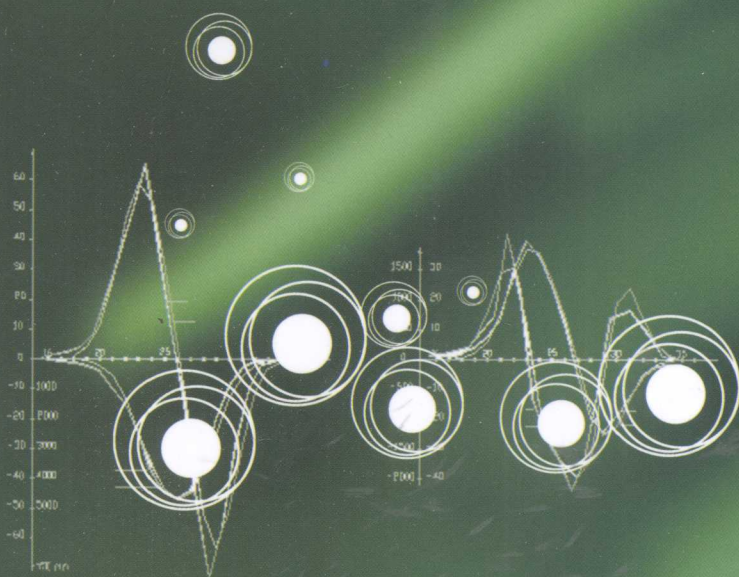


ZONGCAIFANGDINGMEI  
DIBIAOCHENXIANGUILV  
YANJIUJIYINGYONG

# 综采放顶煤地表沉陷规律 研究及应用

滕永海 唐志新 郑志刚 著



煤炭工业出版社

[ 国家科技计划课题资助项目 2006BAC09B01 ]

# 综采放顶煤地表沉陷规律研究及应用

滕永海 唐志新 郑志刚 著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

**图书在版编目 (CIP) 数据**

综采放顶煤地表沉陷规律研究及应用/滕永海, 唐志新, 郑志刚著. —北京: 煤炭工业出版社, 2009

ISBN 978 - 7 - 5020 - 3607 - 2

I. 综… II. ①滕…②唐…③郑… III. 综合机械化掘进 - 放顶 - 煤矿开采 - 地表移动 - 研究 IV. TD325

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 188756 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](http://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 × 960mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张 12  
字数 176 千字 印数 1—1,500  
2009 年 12 月第 1 版 2009 年 12 月第 1 次印刷  
社内编号 6417 定价 30.00 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

我国是产煤大国，在今后相当长的一段时间内，煤炭仍是我国的主要能源。而在煤炭资源的分布中，约有44%的储量来自厚煤层。在这些厚煤层矿区中，有许多矿区村庄密集，河流纵横，建筑物下、水体下、铁路下压煤问题十分严重。如潞安矿区，压煤村庄有300多个，压煤量在2.65Gt左右，占工业储量的54.7%。“三下”压煤问题严重制约着矿井的生产接续和矿区的可持续发展。

20世纪80年代以来，在借鉴国外综采放顶煤技术的基础上，我国在厚煤层矿井试行并逐步推广了综采放顶煤技术，较好地解决了厚煤层矿井的高效和安全开采问题。目前，综采放顶煤开采技术已成为我国厚煤层矿区的主要采煤方法。

综采放顶煤技术在我国广泛应用，给煤矿企业带来了巨大的经济效益和社会效益，同时也给矿区“三下”采煤提出了新的课题。综采放顶煤一次性采全高，开采强度大，势必造成覆岩破坏非常严重、导水裂缝带非常发育、地表沉陷变形异常剧烈、地表的破坏和裂缝显著，对地面建（构）筑物和环境的影响非常严重。

本书以综采放顶煤地表沉陷规律的研究为主线，系统地阐述了综采放顶煤条件下地表沉陷规律、覆岩破坏规律、岩层移动的机理，阐述了综采放顶煤村庄建筑物的破坏规律和抗变形

建筑技术，列举了部分“三下”采煤应用实例。

本书由滕永海主编，其中第1章、第2章、第3章、第4章、第5章、第8章第2节由滕永海执笔完成，第6章、第8章第1节由唐志新执笔完成，第7章、第8章第3节由郑志刚执笔完成。郭軻軻、朱伟、易四海参加了部分章节的编写和校对工作。

在本书的完成过程中，王金庄教授、高德福研究员给予了大力帮助和指导。在项目试验过程中，潞安矿业（集团）公司刘克功总工程师、柴学周副总经理、赵洪亮处长，五阳煤矿王树忠总工程师、彭程芳主任，王庄煤矿杨建立总工程师、张华民科长等，给予了大力支持和帮助，在此一并表示感谢！

由于时间比较仓促，书中可能存在错误或疏漏，恳请读者批评指正！

**作 者**

2009年7月

# 目 次

|     |                                |    |
|-----|--------------------------------|----|
| 1   | 概述 .....                       | 1  |
| 1.1 | 引言 .....                       | 1  |
| 1.2 | 研究现状 .....                     | 2  |
| 1.3 | 研究意义 .....                     | 5  |
| 2   | 综采放顶煤地表沉陷规律 .....              | 6  |
| 2.1 | 地表沉陷的基本概念 .....                | 6  |
| 2.2 | 分层综采地表沉陷规律 .....               | 11 |
| 2.3 | 综采放顶煤地表沉陷规律 .....              | 17 |
| 3   | 综采放顶煤条件下动态地表移动变形计算 .....       | 33 |
| 3.1 | 负指数函数法的基本概念 .....              | 33 |
| 3.2 | 走向主断面充分采动区动态地表移动<br>变形计算 ..... | 40 |
| 3.3 | 非充分采动区动态地表移动变形计算 .....         | 44 |
| 3.4 | 预计参数求取 .....                   | 50 |
| 3.5 | 应用实例 .....                     | 51 |
| 4   | 综采放顶煤条件下覆岩破坏规律 .....           | 53 |
| 4.1 | 普采条件下覆岩破坏规律 .....              | 53 |
| 4.2 | 分层综采条件下覆岩破坏规律 .....            | 57 |
| 4.3 | 综采放顶煤条件下覆岩破坏规律 .....           | 60 |
| 4.4 | 综采放顶煤条件下导水裂缝带最大高度计算 .....      | 68 |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| <b>5 综采放顶煤条件下岩层移动与破坏机理</b> ..... | 69  |
| 5.1 相似材料模拟实验.....                | 69  |
| 5.2 岩层移动数值模拟.....                | 84  |
| 5.3 岩体内部移动变形规律.....              | 93  |
| 5.4 综采放顶煤条件下岩层移动与破坏机理.....       | 98  |
| <b>6 综采放顶煤条件下抗变形试验研究</b> .....   | 102 |
| 6.1 抗变形建筑技术的发展 .....             | 102 |
| 6.2 建筑物的抗变形技术措施 .....            | 104 |
| 6.3 综采放顶煤条件下抗变形试验研究 .....        | 108 |
| <b>7 综采放顶煤条件下村庄民房破坏规律</b> .....  | 125 |
| 7.1 开采沉陷对地表建筑物的影响 .....          | 125 |
| 7.2 一般开采建筑物变形与破坏规律 .....         | 128 |
| 7.3 综采放顶煤条件下房屋变形与破坏规律 .....      | 142 |
| <b>8 应用实例</b> .....              | 156 |
| 8.1 建筑物下采煤 .....                 | 156 |
| 8.2 水体下采煤 .....                  | 163 |
| 8.3 高压线路下采煤 .....                | 169 |
| <b>参考文献</b> .....                | 176 |

# 1 概 述

## 1.1 引言

煤炭是我国的主要能源。2008 年,煤炭采出量突破 2.7Gt。然而,煤炭开采过程中的高效和安全开采问题,一直是困扰我国煤炭企业的两大难题。20 世纪 80 年代中期,在我国厚煤层矿井中试行并逐步推广的综采放顶煤技术,较好地解决了厚煤层矿井的高效和安全开采问题。

综采放顶煤技术最早出现在国外。1957 年,苏联研制出了 KTY 型掩护式放顶煤液压支架,并在库兹巴斯煤田的托姆乌辛斯克使用;1963 年,法国研制成功了“香蕉”支撑掩护式放顶煤液压支架,1964 年在布朗齐矿区使用并获得成功;20 世纪 80 年代初,匈牙利研制成功单输送机前开天窗式放顶煤液压支架。此后,波兰、前南斯拉夫、印度等国都使用过综采放顶煤技术,但效果都不够理想。

我国综采放顶煤技术的发展始于 20 世纪 80 年代。1984 年 6 月,在沈阳矿务局蒲河煤矿用我国自行研制的 FY400/14/28 综放支架开始试验;1986 年 3 月,在窑街矿务局二矿进行了急倾斜特厚煤层水平分段综采放顶煤的工业性试验,取得成功;1987 年,平顶山矿务局一矿引进了匈牙利 VHP-732 型高位插底式放顶煤液压支架,取得了平均月产 44200t、采出率 79.6% 的初步成绩;1988 年阳泉矿务局、1989 年潞安矿务局、1992 年兖州矿务局开始试验,均取得比较理想的效果。与此同时,在靖远、晋城、郑州、铜川、辽源、乌鲁木齐、平庄等矿务局也开始推广使用综采放顶煤技术。近 10 年来,我国的综采放顶煤开采技术得到了迅速发展,一些关键性的技术如瓦斯治理、火灾防治、煤尘治理、提高采出率、全煤巷锚杆支护等都取得了突破性进展,工作面年产量由原来的 2Mt 发展到

6Mt, 许多方面已处于世界领先水平<sup>[1,2]</sup>。

通过 20 多年的实践, 我国摸索出了适用于缓倾斜中硬、缓倾斜坚硬、缓倾斜“三软”、大倾角等典型高产高效综采放顶煤工艺模式。其中, 缓倾斜中硬煤层综采放顶煤工艺模式覆盖面最大, 如兖州矿区、潞安矿区、阳泉矿区、晋城矿区等。采用这种工艺模式, 工作面内实行采放平行作业, 即人为地将工作面一分为二, 下半部割煤, 上半部放煤。如潞安矿区, 煤层厚度一般为 6.2 ~ 6.8m, 采煤机割煤高度为 3m, 放煤高度为 3.2 ~ 3.8m。综采放顶煤开采的采出率已经达到 80% ~ 85%, 有的工作面达到 90%<sup>[3]</sup>。

综采放顶煤技术在我国广泛使用, 给煤矿企业带来了巨大的经济效益和社会效益, 促进了我国煤炭事业的发展, 同时也给矿区环境保护和“三下”采煤提出了新的课题。综采放顶煤一次性采全高, 开采强度大, 势必造成覆岩破坏非常严重、导水裂缝带发育异常、地表沉陷变形异常剧烈、地表的破坏和裂缝显著, 对地面建(构)筑物和环境的影响非常严重。因此, 有必要系统地开展综采放顶煤条件下地表沉陷规律、覆岩破坏规律及其机理的研究, 以及“三下”采煤的应用研究。

## 1.2 研究现状

### 1.2.1 地表沉陷规律

矿山开采沉陷学科是一门综合性的边缘学科, 它涉及测量、采矿、地质、力学、建筑等多个专业。对于采矿引起的地表沉陷问题, 早就引起了人们的注意。在英国, 15 世纪初就有关于开采沉陷损害财产的争论和诉讼方面的记载。在比利时, 15、16 世纪就颁布了关于禁止开采造成地下水破坏的法令。19 世纪, 人们对开采沉陷的机理和理论有了一些初步认识, 分别提出了法线理论、自然斜面理论、圆拱理论、二等分线理论等。进入 20 世纪, 地表沉陷规律的研究得到快速发展, 各国矿山测量人员纷纷建立地面观测站, 对地表移动变形进行观测, 并在大量观测资料的基础上进行理论研究、实验室研究和力学计算, 取得了丰硕成果。如德国 1949 年出版了有代表性的著作《Bergschadenkunde》<sup>[4]</sup>, 该书根据实测资

料系统地分析了地表移动规律并用移动变形曲线表示；苏联 1947 年出版了《煤矿地下开采的岩层移动》<sup>[5]</sup>，1958 年出版了《岩层与地表移动》<sup>[6]</sup>，书中系统地分析研究了覆岩破坏规律和地表移动规律以及有关参数规律，提出了苏联通用的地表移动变形计算方法——典型曲线法；波兰在 50 年代提出了 3 种地表移动预计方法，其中李特维尼申方法经我国学者刘宝琛、廖国华改进，发展成为概率积分法<sup>[7-11]</sup>。

我国的地表沉陷规律研究工作是从 20 世纪 50 年代初开始的，起点高、进步快。1954 年，在开滦矿务局林西矿设置了我国第一个地表移动观测站。随后，在淮南、抚顺、阜新、峰峰、大同、新汶、阳泉、本溪、平顶山等矿区建立了千余条地表移动观测线，进行了大量的现场观测与研究。在此基础上，开展了大量的相似材料模拟实验、力学计算和理论研究。目前，已基本掌握了一般条件下的地表沉陷规律，其中许多成果达到国际先进水平，主要表现在：①根据实测资料和实验研究，对地表移动的形态和岩层移动的方式形成了规律性认识；②建立了可以描述一般条件下地表移动的系列数学模型和预计方法，并能在一定适应范围内指导开采实践；③在开采沉陷控制技术研究方面，取得了一定的进展<sup>[12-42]</sup>。但是，我国对特殊开采条件下地表沉陷规律的研究还不成熟（如急倾斜煤层、山区地形、有断层构造、深部开采、综采放顶煤、离层注浆等），对岩层移动机理还缺乏系统的研究。

在地表移动预计方面，有概率积分法、负指数函数法、典型曲线法、威布尔分布法、双曲函数法等。针对巨厚松散层条件提出了双层介质下沉模型<sup>[43]</sup>，针对极不充分开采条件提出了概率密度函数预计方法<sup>[44]</sup>，针对煤层倾角变化提出了矢量预计方法<sup>[45,46]</sup>，针对概率积分法的一些不足提出了概率积分法的线积分运算方法<sup>[47]</sup>。目前我国在工程实践中最常用的预计方法是概率积分法，因为该方法参数容易确定、适用性比较强。

在地表动态移动变形预计方面，国内外学者开展了一些研究。如波兰学者 Knothe 等根据土压实的基本假设研究了地表移动与变形的时间过程，提出了时间函数的概念<sup>[48,49]</sup>；王金庄、邓喀中、邢安仕结合现场实测资料研究了采动过程中地表移动和变形规律，建立了双曲函数公式<sup>[14,50]</sup>；吴立新等提出了地表动态移动变形预计的三维模型<sup>[51]</sup>；滕永海基于负指

数函数法推导出采动过程中地表点的移动变形计算公式<sup>[52,53]</sup>；麻风海、王泳嘉、范学理将连续介质流变理论应用于岩层动态过程研究中，并建立了计算模型<sup>[54]</sup>；崔希民等给出了基于时间函数的地表动态移动变形计算公式，并对时间影响系数的确定方法进行了探讨<sup>[55]</sup>；颜荣贵、黄乐亭、于广明等也从不同角度对地表点的动态移动变形问题进行了研究<sup>[56-58]</sup>。

关于综采放顶煤条件下地表沉陷规律的研究，国外尚未见报道，国内主要是在兖州、潞安、阳泉等矿区做了一些工作。兖州矿区属厚松散层地区，第四纪松散层厚度超过 180m，在这种条件下的地表沉陷规律往往表现出厚松散层条件下的特点，即下沉盆地边界收敛慢、主要影响角正切偏小，但由于一次采全高，开采强度大，地表的动态变形值非常大，地表下沉速度有的达到  $200\text{mm/d}$ <sup>[59-64]</sup>。阳泉矿区属山区地形，且 15 号厚煤层位于 3 号、8 号、9 号、12 号煤层的下方，综采放顶煤属重复采动，地表移动的特点表现为下沉系数偏大、主要影响角正切偏小、拐点偏移距偏小<sup>[65]</sup>。潞安矿区地质条件比较简单，煤层倾角小且赋存稳定，第四纪松散层厚度一般为 20~80m，地表沉陷规律能够较好地反映出综采放顶煤条件下的特点，主要表现为地表下沉系数、主要影响角正切偏大，地表移动剧烈，动态移动变形值偏大<sup>[66-76]</sup>。

### 1.2.2 覆岩破坏规律

在水体下采煤研究方面，前苏联、波兰、英国、德国、日本、加拿大、澳大利亚等国都做了大量的工作，其中英国、日本、加拿大、澳大利亚等国还开展了海下采煤试验，但仅有前苏联等少数国家对覆岩破坏规律、导水裂缝带发育规律进行了系统观测和研究。我国自 1959 年开始，先后开展了蒲河、淮河、乐安江、资江、漳河、右江、泾河、微山湖等地表水体和各种含水层下采煤，进行了大量的覆岩破坏规律、导水裂缝带发育规律的观测和研究工作，基本掌握了一般条件下的覆岩破坏规律、导水裂缝带发育规律，许多成果达到国际先进水平或领先水平，并建立了适合于坚硬、中硬、软弱、极软弱等各种覆岩岩层条件的垮落带、导水裂缝带最大高度计算公式<sup>[16]</sup>。

关于综采放顶煤条件下覆岩破坏规律的研究，国外未见报道，国内仅仅在兖州、淮南、铁法、铜川、潞安等矿区开展了一些工作。兖州矿区的

实测资料显示,在综采放顶煤条件下导水裂缝带最大高度与采厚的关系不是呈线性关系,而是近似地呈分式函数关系,但其关系曲线的上升速度却明显高于分层开采情况,即随着采厚增加,综采放顶煤条件下的导水裂缝带最大高度增加较快。兖州矿区属厚松散层地区,基岩存在软弱风化带,其导水裂缝带的发育受到一定的抑制<sup>[77-81]</sup>。淮南矿区的实测资料显示,综采放顶煤条件下导水裂缝带的发育高度比分层开采大得多,高出8.45%~130.73%,尤其是软弱顶板产生的导水裂缝带差距更大<sup>[82]</sup>。铁法、铜川等矿区的观测资料显示,放顶煤开采条件下导水裂缝带最大高度与煤层采厚近似呈线性关系,即近似成正比<sup>[83,84]</sup>。从1986—1994年,潞安矿区五阳煤矿结合漳河水体下采煤开展了分层综采条件下导水裂缝带发育规律的观测和研究。近年来,王庄煤矿通过地面钻孔又对综采放顶煤条件下导水裂缝带的发育规律进行了系统观测和研究,取得了宝贵的资料。潞安矿区的实测资料显示,综采放顶煤条件下导水裂缝带异常发育,其发育形态仍呈马鞍形,但发育高度要比分层综采条件下大得多,裂高采厚比与分层开采初次采动的裂高采厚比基本相同<sup>[85-87]</sup>。

### 1.3 研究意义

我国是产煤大国,在今后相当长的一段时间内煤炭仍是我国的主要能源。而在煤炭资源的分布中,约有44%的储量来自厚煤层。在这些厚煤层矿区中,许多矿区如潞安、兖州、晋城、淮南、大屯、阳泉等位于我国的中东部,村庄密集,人口稠密,建筑物下、水体下、铁路下及高压线路下压煤问题十分严重。如潞安矿区,压煤村庄有300多个,压煤量在2.65Gt左右,占工业储量的54.7%;地表水体有漳河、绛河和多个水库,水体下压煤问题也十分严重。由于村庄密布,河流纵横,保护煤柱将井田分割得非常零碎,致使井田内难以布置正规采面,严重制约着生产接续和矿区的发展。所以,开展综采放顶煤条件下地表沉陷规律、覆岩破坏规律及其机理的研究以及应用研究,对安全合理地开展“三下”采煤,有效地挖掘矿井的生产能力和服务年限,实现矿区的可持续发展具有重要意义。

## 2 综采放顶煤地表沉陷规律

### 2.1 地表沉陷的基本概念

#### 2.1.1 地表移动与变形

##### 1. 地表移动盆地

当地下工作面开采达到一定距离（采深的  $1/4 \sim 1/3$ ）后，地下开采便波及地表，使受采动影响的地表从原有标高向下沉降，从而在采空区上方地表形成一个比采空区大得多的沉陷区域，这种地表沉陷区域称为地表移动盆地，或称下沉盆地，如图 2-1 所示。在地表移动盆地的形成过程中，逐渐改变了地表的原有形态，引起地表标高、水平位置发生变化，从而导致位于影响范围的建（构）筑物、铁路、公路等的损害。地表移动的状态可用垂直移动和水平移动进行描述，常用的定量指标有下沉、倾斜、曲率、水平移动和水平变形。

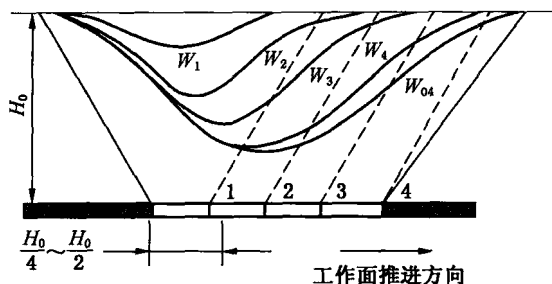


图 2-1 地表移动盆地示意图

#### 2. 充分采动和非充分采动

##### 1) 充分采动

充分采动,是指地下矿层采出后地表下沉值达到该地质采矿条件下应有的最大值,此时的采动状态称为充分采动。此后,开采工作面的尺寸继续扩大,地表的影响范围也相应扩大,但地表最大下沉值却不再增加,地表移动盆地将出现平底。为加以区别,通常把地表移动盆地内只有一个点的下沉达到最大下沉值的采动状态称为刚好达到充分采动,此时的开采称为临界开采。地表有多个点的下沉值达到最大下沉值的采动情况,称为超充分采动,此时的开采称为超临界开采,地表移动盆地呈盆形。

实测表明,当采空区的长度和宽度均达到或超过  $(1.2 \sim 1.4) H_0$  ( $H_0$  为平均开采深度) 时,地表达达到充分采动。

## 2) 非充分采动

采空区尺寸(长度和宽度)小于该地质采矿条件下的临界开采尺寸时,地表最大下沉值未达到该地质采矿条件下应有的最大下沉值,称这种采动为非充分采动,此时地表移动盆地呈碗形。

工作面在一个方向(走向或倾向)达到临界开采尺寸而在另一个方向未达到临界开采尺寸时,也属非充分采动,此时的地表移动盆地呈槽形。

## 3. 地表移动盆地的主断面

地表移动盆地内各点的移动和变形不完全相同,在正常情况下,移动和变形分布具有以下规律:①下沉等值线以采空区中心为原点呈椭圆形分布,椭圆的长轴位于工作面开采尺寸较大的方向;②盆地中心下沉值最大,向四周逐渐减小;③水平移动指向采空区中心,采空区中心上方地表几乎不产生水平移动,开采边界上方地表水平移动值最大,向外逐渐减小为零。

由于地表移动盆地内下沉值最大的点和水平移动值为零的点都在采空区中心,通过采空区中心与矿层走向平行或垂直的断面上地表的移动值最大,且在该断面上几乎不产生垂直于断面的水平移动,通常就将地表移动盆地内通过地表最大下沉点所作的沿矿层走向和倾向的垂直断面称为地表移动主断面,如图 2-2 中所示的  $AA$ 、 $BB$ 。沿走向的主断面称为走向主断面,沿倾向的主断面称为倾向主断面。

从以上定义可以看出,地表非充分采动和刚达到充分采动时,沿走向和倾向分别只有一个主断面;而当地表超充分采动时,地表则有若干个最

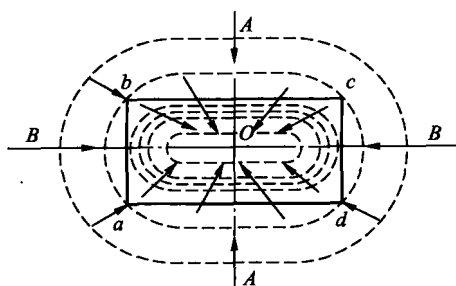


图 2-2 地表移动盆地下沉等值线

大下沉值，此时主断面无数个。如当走向达到充分采动、倾向未达到充分采动时，可有无数个倾向主断面，但只有一个走向主断面。

在水平矿层开采条件下，主断面一般位于采空区中心。在倾斜矿层开采条件下，倾向主断面位于采空区中心，走向主断面偏向矿层下山方向，用最大下沉角确定<sup>[23]</sup>。

### 2.1.2 地表移动角值参数的确定

#### 1. 边界角

在充分采动或接近充分采动条件下，地表移动盆地主断面上盆地边界点（下沉为 10mm）至采空区边界的连线与水平线在矿柱一侧的夹角称为边界角。当有松散层存在时，应先从盆地边界点用松散层移动角画线和基岩与松散层的交接面相交，此交点至采空区边界的连线与水平线在矿柱一侧的夹角称为边界角。按不同的断面，边界角可区分为走向边界角、下山边界角、上山边界角、急倾斜矿层底板边界角，分别用  $\delta_0$ 、 $\beta_0$ 、 $\gamma_0$ 、 $\lambda_0$  表示。

#### 2. 移动角

在充分采动或接近充分采动条件下，地表移动盆地主断面上 3 个临界变形中（ $i=3\text{mm/m}$ ， $\varepsilon=2\text{mm/m}$ ， $k=0.2 \times 10^{-3}/\text{m}$ ），最外边的一个临界变形值点至采空区边界的连线与水平线在矿柱一侧的夹角称为移动角。当有松散层存在时，应先从最外边的临界变形值点用松散层移动角画线和基岩与松散层的交接面相交，此交点至采空区边界的连线与水平线在矿柱一侧的夹角称为移动角。按不同断面，移动角可区分为走向移动角、下山移

动角、上山移动角、急倾斜矿层底板移动角，分别用  $\delta$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\lambda$  表示。

### 3. 裂缝角

在充分采动或接近充分采动条件下，在地表移动盆地主断面上，移动盆地最外侧的地表裂缝至采空区边界的连线与水平线在矿柱一侧的夹角称为裂缝角。按不同断面，裂缝角可区分为走向裂缝角、下山裂缝角、上山裂缝角、急倾斜矿层底板裂缝角，分别用  $\delta''$ 、 $\beta''$ 、 $\gamma''$ 、 $\lambda''$  表示。

### 4. 松散层移动角

松散层移动角用  $\varphi$  表示。它不受矿层和基岩倾角的影响，主要与松散层的特性有关。

## 2.1.3 地表移动动态参数的确定

### 1. 超前影响角

工作面推进过程中，采空区走向方向地达到充分采动或接近充分采动后，在走向主断面实测下沉曲线上，位于工作面前方地表下沉 10mm 的点至当时推进中的工作面位置连线与水平线在煤柱一侧的夹角为超前影响角，用  $\omega$  表示（图 2-3）。

### 2. 最大下沉速度角

工作面推进过程中，地达到充分采动后，在走向主断面实测下沉速度曲线上，具有最大下沉速度的点至当时工作面位置的连线与水平线在采空区一侧的夹角为最大下沉速度角，用  $\phi$  表示（图 2-3）。

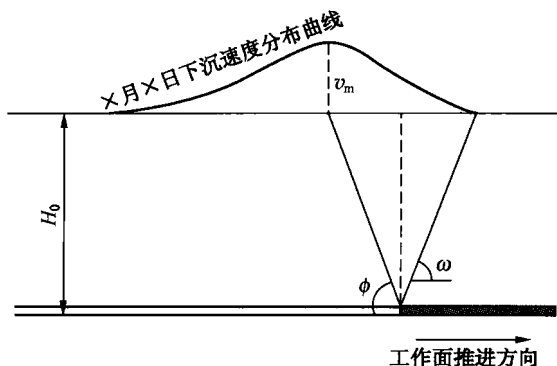


图 2-3 超前影响角及最大下沉速度角

### 3. 地表移动的延续时间

可根据最大下沉点的下沉与时间关系曲线和下沉速度曲线求得（图 2-4）：

①下沉 10mm 时为移动期开始的时间；②连续 6 个月下沉值不超过 30mm 时，可认为地表移动期结束；③从地表移动期开始到结束的整个时间称为地表移动的延续时间；④在移动过程的延续时间内，地表下沉速度大于 50mm/月（1.7mm/d，煤层倾角小于 45°），或大于 30mm/月（煤层倾角大于 45°）的时间称为活跃期。从地表移动期开始到活跃期开始的阶段称为初始期，从活跃期结束到移动期结束的阶段称为衰退期<sup>[16]</sup>。

无实测资料时，地表移动的延续时间  $T$ （单位为 d）可根据下式计算，即

$$T = 2.5 H_0 \quad (2-1)$$

式中  $H_0$ ——工作面平均采深，m。

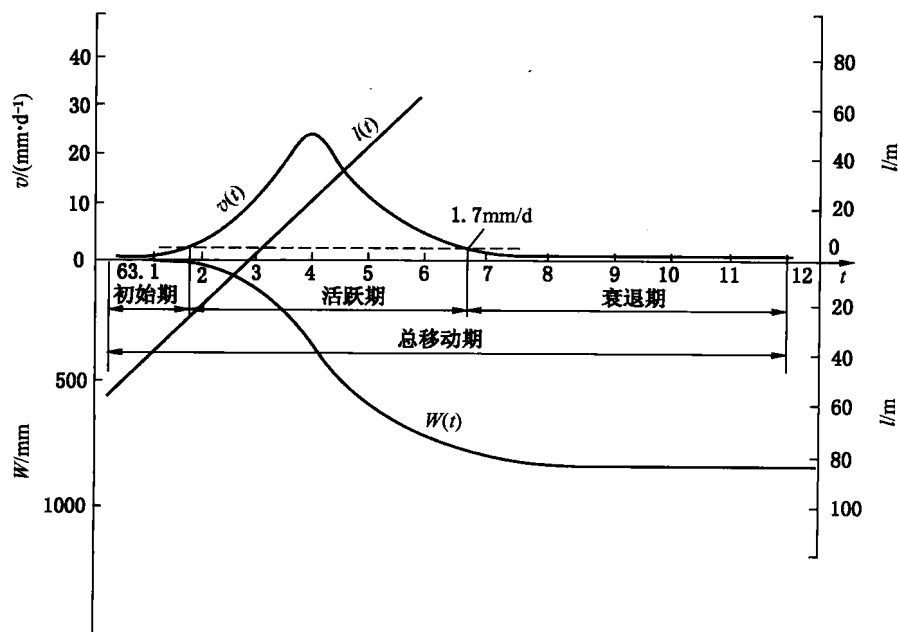


图 2-4 地表移动延续时间的确定方法