

建筑物下大采深 坚硬顶板煤层安全高效 开采技术研究

JIANZHUWUXIA DACAISHEN
JIANYING DINGBAN MEICENG ANQUAN GAOXIAO
KAICAI JISHU YANJIU

◎ 杨海新 著



煤炭工业出版社

建筑物下大采深坚硬顶板煤层 安全高效开采技术研究

杨海新 著



煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑物下大采深坚硬顶板煤层安全高效开采技术研究/
杨海新著. --北京: 煤炭工业出版社, 2018
ISBN 978-7-5020-6406-8

I. ①建… II. ①杨… III. ①坚硬顶板—煤矿开采—
研究 IV. ①TD823

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 094104 号

建筑物下大采深坚硬顶板煤层安全高效开采技术研究

著 者 杨海新
责任编辑 徐 武
责任校对 赵 盼
封面设计 于春颖

出版发行 煤炭工业出版社 (北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
电 话 010-84657898 (总编室)
010-64018321 (发行部) 010-84657880 (读者服务部)

电子信箱 cciph612@126.com
网 址 www.cciph.com.cn
印 刷 北京建宏印刷有限公司
经 销 全国新华书店

开 本 850 mm×1168 mm^{1/32} 印张 5^{7/8} 字数 149 千字
版 次 2018 年 6 月第 1 版 2018 年 6 月第 1 次印刷
社内编号 20180200 定价 22.00 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,电话:010-84657880

内 容 提 要

本书主要介绍了“三下”采煤技术及相关的覆岩运动特性、地表移动规律、计算方法等基础理论和大采深坚硬顶板条件下的煤绿色开采技术。书中以林西矿深部开采的九东区为工程背景，提出先采用较小采宽和较大留宽进行条带开采，待地表变形稳定后，对保留煤柱进行二次开采的方案，解决了一系列由大采深坚硬顶板这一地质特点所引起的开采技术难题。

本书适合从事煤炭开采、地表建筑物保护等方面的技术人员，采矿工程、安全技术及工程、岩土工程等相关专业的高等院校师生阅读。

前 言

据不完全统计,我国国有重点煤矿“三下”压煤的可采储量以亿吨计,随着经济社会的发展,城市、村镇规模不断扩大,国家铁路、公路网越来越来密,煤炭资源的压滞量还会进一步增长。一些主要产煤省份如山东、河南、安徽、河北等地,多数矿区地处平原,人口密度大,城镇村庄密集,压煤比重较大,有的矿区或井田村庄压煤量占到总储量的70%。大量的资源呆滞,不仅影响了煤炭企业对资源的开发利用,还增加了开发难度,造成开采布局不合理,缩短矿井服务年限,严重制约煤炭资源的可持续发展。

另一方面,由于煤炭开采引发的资源枯竭、环境破坏、地表塌陷等现象越来越严重,因此煤炭资源的绿色开采受到了国家及行业的高度重视。建筑物下采煤与控制沉陷技术是绿色开采体系的重要组成部分,其研究内容和发展方向意义重大。建筑物下采煤的关键问题之一是控制岩层及地表沉陷,其主要任务是研究合适的采矿方法,尽可能地减少岩层和地表移动量。减小地表变形的井下采矿方法很多,合理的井下开采措施应综合考虑地质条件、建筑物的实际情况及社会经济等多种因素。

早在 19 世纪初，人们就开始研究建筑物下采煤引起
的地表变形对建筑物的损害。近百年来，基本掌握了采
动影响及损害建筑物的机理：开采沉陷引起地表变形，
进而使地基产生畸变，基础与地基失去力学平衡，导致
上部结构平衡破坏，出现应力再分配，在薄弱环节首先
表现出破坏（如墙体出现裂缝），释放能量，如果不能
有效控制则变形加剧，破坏愈加严重。建筑物破坏实质
上是建筑物基础及上部结构与地基自我调节的结果。为
了控制地表沉陷并实现在建筑物下采煤，逐渐发展形成
了包括充填开采、联合开采、协调开采、条带开采、房
柱式开采和离层区注浆开采等多种开采方法。

近年来，随着开采深度的加大，采场上覆岩层厚度
大大增加，在这种条件下，由开采引起的上覆岩层运动
及地表下沉规律需要进行一步探索。另外，受资源枯竭
影响，原来“三下”压煤使用条带开采的区域，需要对
部分留设的煤柱进行二次开采，这就需要进一步详细探
索保留煤柱二次开采引起的地表移动规律。本书以林西
矿深部开采的九东区为工程背景，介绍了大采深坚硬顶
板条件下的煤炭绿色开采技术；为提高压煤采出率，提
出先采用较小采宽和较大留宽进行条带开采，待地表变
形稳定后，对条带开采的保留煤柱进行二次开采的方案；
采用理论分析、数值模拟和现场实测的方法研究了条带
开采和二次开采岩层移动规律和地表沉陷规律，解决了

一系列由大采深坚硬顶板所引起的开采技术难题，丰富了建筑物下煤炭开采的技术体系。书中内容是“三下”开采理论和绿色开采技术体系的有益补充和探索，对我国大采深“三下”压煤矿井进行二次开采有借鉴价值。

由于作者水平有限，书中内容不足之处，敬请读者批评指正。

著 者

2018年3月

目 录

1	绪论	1
1.1	“三下”采煤技术	1
1.2	建筑物下深部条带开采技术及研究现状	15
1.3	本书主要内容	18
2	主采煤层的覆岩结构与关键层判别	20
2.1	矿区概述	20
2.2	地面建（构）筑物概况	21
2.3	主采煤层地质条件	22
2.4	主采煤层覆岩结构分析	24
2.5	主采煤层关键层的确定	24
2.6	本章小结	34
3	条带开采方案设计及沉降预计	36
3.1	条带开采方案设计	36
3.2	条带开采地表沉陷预计	46
3.3	本章小结	57
4	条带开采数值模拟研究	59
4.1	UDEC 4.0 简介	59
4.2	建筑物下深部采区条带开采数值模拟研究	60
4.3	条带开采方案确定	103
4.4	采空区顶板控制措施	107

4.5	工作面高产高效技术研究	109
4.6	本章小结	112
5	保留煤柱二次开采方案分析	114
5.1	保留煤柱二次开采研究	114
5.2	现场工业性试验	136
5.3	本章小结	146
6	充填开采设计	148
6.1	超高水开放式充填设计	148
6.2	林西矿矸石充填开采设计	167
6.3	本章小结	172
	参考文献	174

1 绪 论

1.1 “三下”采煤技术

“三下”采煤技术是指建（构）筑物下、铁路下和水体下煤炭资源开采技术的统称，是多学科交叉的边缘学科技术。该技术涉及采煤学、测量学、开采沉陷学、岩石力学和建筑学等学科，包括开采沉陷的理论计算分析和特殊采煤技术两大方面（图 1-1）。

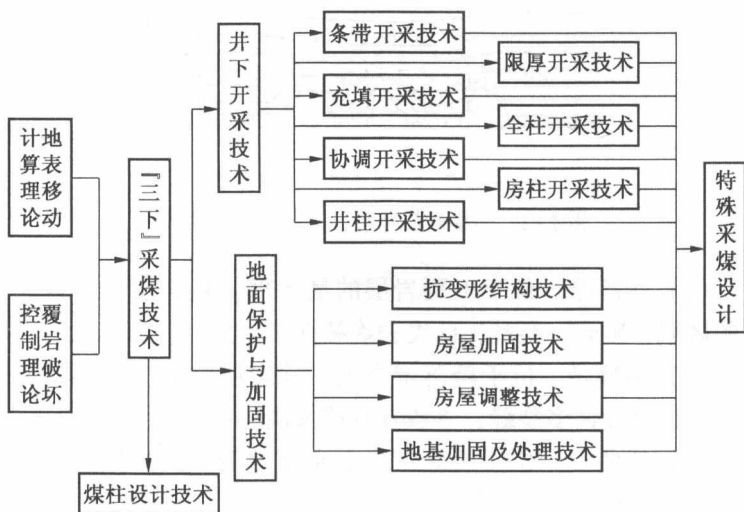


图 1-1 “三下”采煤技术构成框图

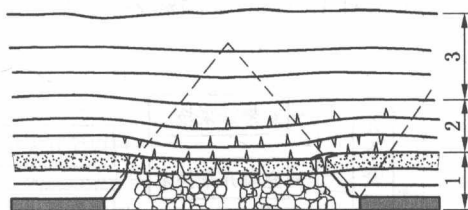
其中，开采沉陷理论是“三下”采煤技术的基础，包括地表移动计算理论与覆岩破坏控制理论两个方面，所涉及的内容有

各种开采方法的地表移动观测、分析和预计，覆岩运移或破坏的观测、分析和预计。

1.1.1 岩层与地表移动特征

1.1.1.1 岩层移动及其特征

地下煤层开采后，覆岩的原始平衡受到破坏，在上覆岩层自重和原始应力的作用下，岩层经一系列的移动、变形与破坏，直至达到新的平衡，这一过程称为岩层移动。岩层的移动、变形与破坏主要受岩性条件及开采条件的影响，依据实际观测结果，上覆岩层移动区域具有明显的分带性，如图 1-2 所示，分别称其为垮落带、裂缝带和弯曲带。



1—垮落带；2—裂缝带；3—弯曲带

图 1-2 上覆岩层移动、破坏分带示意图

(1) 垮落带。位于上覆岩层的最下部，是岩层破坏最为严重的区域，破碎、杂乱，已失去连续性。

(2) 裂缝带。位于垮落带之上，其岩层整体上虽保持原有层次，但存在许多裂缝，一般具有透水性。

(3) 弯曲带。位于裂缝带之上直至地表，其岩层基本上呈现整体移动状态，不产生破坏。

上述岩层移动的分带特征随地质和采矿条件的变化而变化。如充填开采时可能只出现裂缝带和弯曲带，甚至只出现弯曲带；当深厚比（开采深度与开采厚度之比）较小时，垮落带可直至地表，出现台阶沉陷；急斜煤层开采时，底板会出现移动破坏，

地表会形成塌陷漏斗等。

1.1.1.2 地表移动及其特征

地下煤层开采后，覆岩产生移动、变形与破坏，随着采空区面积的增大，岩层移动的范围也会相应增大，当采空区面积达到一定范围后，岩层移动范围发展到地表，使地表产生移动与变形，这一过程与现象称为地表移动。地表移动稳定后，在采空区上方形成的沉陷区域称为地表下沉盆地。一般以 10 mm 的下沉等值线作为下沉盆地的边界。

1. 地表移动盆地特征

地表移动盆地特征与开采区域的地质条件密切相关：水平、倾斜煤层开采时，地表下沉盆地一般呈椭圆形；急斜煤层开采时，地表下沉盆地一般呈兜形或瓢形；浅埋深开采时，地表可能会出现台阶下沉盆地；硬岩层浅部开采时，地表下沉盆地有时为切冒形。如图 1-3 所示为典型的倾斜煤层、矩形工作面开采后的下沉盆地，下沉盆地呈椭圆形，在煤层走向方向上与开采中心对称。

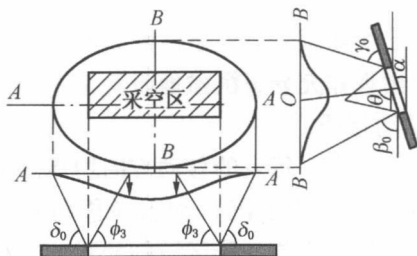
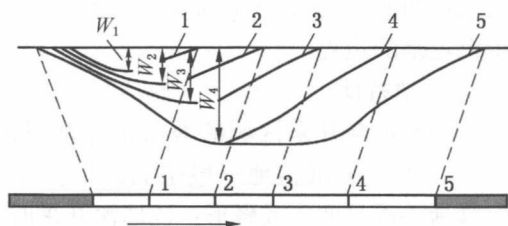


图 1-3 典型下沉盆地示意图

2. 移动盆地形成过程

如图 1-4 所示，岩层移动发展到地表后，随着工作面的推进，下沉盆地的范围和最大下沉值随采空区面积的增大而增大，此时，下沉盆地为非充分采动，盆地呈尖底“碗形”；随着工作

面的进一步推进，地表下沉达到该条件下最大下沉值，该值不再随工作面的增加而增大，此时，下沉盆地为充分采动，采空区面积为临界开采面积；采空区面积超过临界开采面积后，尽管下沉盆地范围仍随开采面积的扩大而继续增大，但最大下沉值将不再增加，此时，下沉盆地为超充分采动，下沉盆地呈平底“盆形”。



1, 2, 3—非充分采动；4—充分采动；5—超充分采动

图 1-4 下沉盆地形成过程图

依据开采深度、上覆岩层岩性和开采区域面积，地表移动盆地的形成过程经历非充分采动、充分采动，最后达到超充分采动。局部矿区由于受断层等地质条件的影响，开采区域为非连续区域，有可能只出现非充分下沉盆地。

3. 地表点移动特征

在地表下沉盆地内，每点的移动方向均指向采空区中心，且可分解为垂直移动（称为下沉）和水平移动两个分量。各点的移动过程、移动量的大小与开采区域的相对位置有关。

图 1-5 为典型剖面各点移动示意图，图 1-6 为不同位置地表点移动轨迹示意图。

1.1.2 开采沉陷一般规律及计算方法

1.1.2.1 开采沉陷的一般规律

地表移动依据其形式可分为连续变形和非连续变形两种。非连续变形主要受地质条件的影响；而对于连续变形，通过几十年

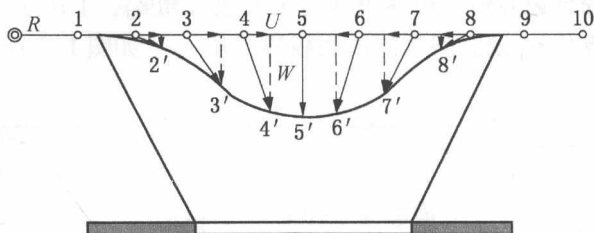


图 1-5 典型剖面各点移动示意图

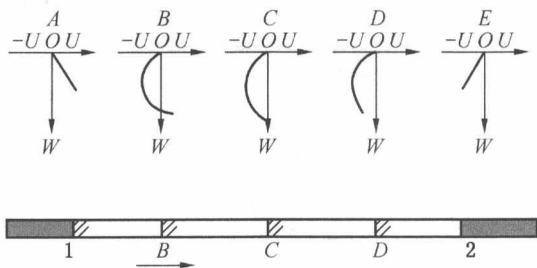


图 1-6 不同位置地表点移动轨迹示意图

的研究，基本掌握了地表移动的形态和一般规律。煤矿开采的地表移动及因此形成的下沉盆地可用两种方式进行描述，即角值表述和数值表述。

1. 地表移动的角值表述

地表下沉盆地范围、最大下沉位置等均可用实际观测取得的角值进行确定。这些角量参数包括边界角、移动角、最大下沉角、裂缝角、最大下沉速度角、超前影响角、充分采动角等。

1) 边界角

在充分采动或接近充分采动的条件下，下沉盆地主断面上实测下沉为 10 mm 的点（边界点）和采空区边界的连线与水平线在煤柱一侧的夹角称为边界角。当有松散层时，应先以松散层移动角 φ 将边界点投影到基岩面，也可将松散层和基岩移动角统一

确定为综合边界角。边界角分为走向边界角 δ_0 、下山边界角 β_0 、上山边界角 γ_0 及急斜煤层的底板边界角 λ_0 ，如图 1-7 所示。

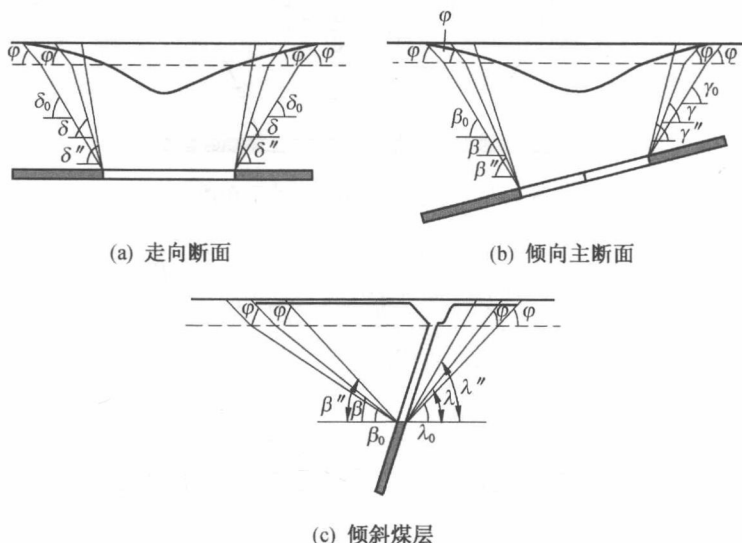


图 1-7 边界角、移动角、裂缝角示意图

2) 移动角

在充分采动或接近充分采动条件下，下沉盆地主断面上实测达到 I 级变形（倾斜 $i=3.0 \text{ mm/m}$ 、水平变形 $\varepsilon=2.0 \text{ mm/m}$ 、曲率 $k=0.2 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ ），最外边的点和采空区边界的连线与水平线在煤柱一侧的夹角称为移动角。当有松散层时，应先以松散层移动角 ϕ 将最外边点投影到基岩面，也可将松散层和基岩移动角统一确定为综合移动角。移动角分为走向移动角 δ 、下山移动角 β 、上山移动角 γ 及急斜煤层的底板移动角 λ ，如图 1-7 所示。

3) 裂缝角

在充分采动或接近充分采动条件下，下沉盆地主断面上实测裂缝最外面的点和采空区边界的连线与水平线在煤柱一侧的夹角

称为裂缝角。裂缝角分为走向裂缝角 δ'' 、下山裂缝角 β'' 、上山裂缝角 γ'' 及急斜煤层的底板裂缝角 λ'' ，如图 1-7 所示。

4) 充分采动角

在充分采动（或超充分采动）条件下，下沉盆地主断面上达到最大下沉的点（或在下沉最外面的点）和采空区边界的连线与煤层在采空区一侧的夹角称为充分采动角 ψ_0 。当有松散层时，应先将最大下沉点投影到基岩面。充分采动角分为下山充分采动角 ψ_1 、上山充分采动角 ψ_2 和走向充分采动角 ψ_3 ，如图 1-8 所示。

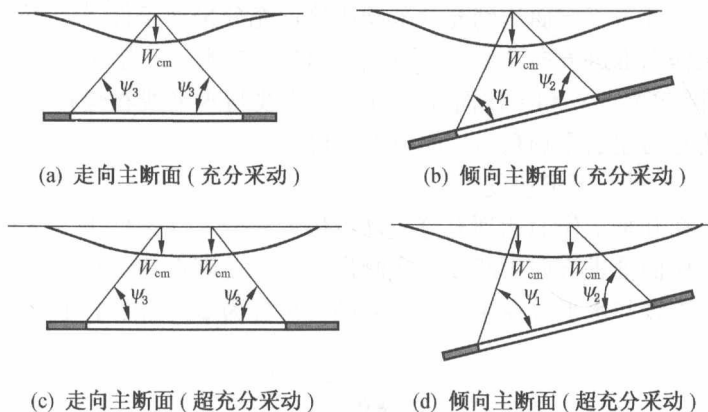


图 1-8 各剖面充分采动角

5) 最大下沉角

在下沉盆地倾斜主断面上，实测最大下沉点和采空区中心的连线与水平线在煤层倾向一侧的夹角称为最大下沉角 θ 。当松散层厚度 $h > 0.1H$ 时（ H 为开采深度），应先将最大下沉点垂直投影到基岩面上。超充分采动时，可根据充分采动角 ψ_1 和 ψ_2 作直线，其交点在基岩面上的投影和采空区中心连线与水平线在煤层倾向一侧的夹角为最大下沉角 θ ，如图 1-9 所示。

6) 超前影响角

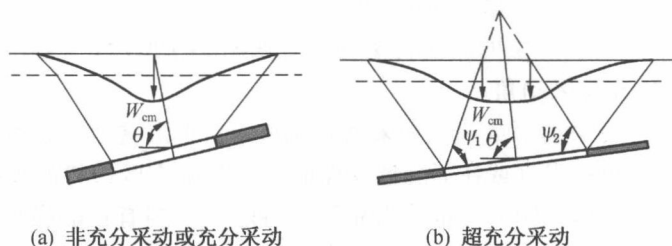


图 1-9 最大下沉角示意图

在开采工作面达到充分采动或接近充分采动条件下，下沉盆地工作面推进方向主断面上工作面前方实测下沉为 10 mm 的点（沉降起始点）和工作面开采边界的连线与水平线在煤柱一侧的夹角称为超前影响角 ω ，如图 1-10 所示。

7) 最大下沉速度角

在开采工作面达到充分采动或接近充分采动条件下，下沉盆地工作面推进方向主断面上实测最大下沉速度点和工作面开采边界的连线与水平线在采空区一侧的夹角称为 φ ，如图 1-10 所示。

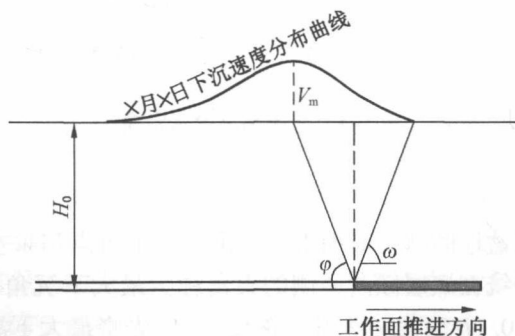


图 1-10 超前影响角与最大下沉速度角示意图

2. 地表移动的数值表述

地表沉降除用角值表示其相对区域外，还可数值来表述地