

高等学校教学参考书

矿山岩层与地表移动

〔苏〕B.A. 布克林斯基 主编
王金庄 洪 铎 译

煤炭工业出版社

高等学校教学参考书

矿山岩层与地表移动

〔苏〕B.A.布克林斯基 主编

王金庄 洪 镀 译

本书作者

В.И.波尔希-科姆波涅茨 И.М.巴图金娜 В.М.瓦尔拉史金
В.К.卡普拉洛夫 И.Г.里西察 А.Н.麦建采夫 С.А.麦建采夫
Г.В.奥尔洛夫 Е.Г.彼特鲁克 Ю.В.波希里内 Н.И.罗曼诺夫
А.Д.萨舒林 А.Г.沙德林

审稿者

哈萨克加盟共和国科学院通讯院士 И.И.波波夫 (卡拉干达工学院)

煤炭工业出版社

内 容 摘 要

书中介绍了苏联煤矿和金属矿地下开采、特殊方法开采和地下气化开采时岩层和地表移动的理论研究。分析研究了移动变形值的计算方法,移动盆地形成的某些新规律及采动的允许条件。给出了房屋和建筑物保护措施及缩减保护煤柱尺寸的方法。

本书可供高校矿山测量专业师生、科研、设计院及采矿企业的工程技术人员参考。

责任编辑:聂孟荀 洪 镜

В.А.БУКРИНСКОГО
СДВИЖЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД И
ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ
ПОДЗЕМНЫХ РАЗРАБОТКАХ
МОСКВА «НЕДРА» 1984

*

高等学校教学参考书

矿山岩层与地表移动

〔苏〕В.А.布克林斯基 主编

王金庄 洪 镜 译

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街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 $787 \times 1092\text{mm}^1/16$ 印张 $10^{1/4}$

字数239千字 印数 1—2,380

1989年9月第1版 1989年9月第1次印刷

ISBN 7-5020-0318-5/TD·111

书号 3133

定价 2.20元

译 者 序

50年代,我国曾翻译出版过包括C.Г.阿维尔申教授所著《煤矿地下开采的岩层移动》在内的苏联一些矿山岩层与地表移动的书籍,而且借鉴苏联有关规程制订了我国的《建筑物及主要井巷保护规程》。这对我国的矿山岩层与地表移动以及建筑物、铁路和水体下采煤的理论研究和实际工作,起了促进作用。

本书是1984年出版的,是苏联近些年来在矿山岩层与地表移动学科方面一部最新科学著作。它反映了苏联近年来在矿山岩层与地表移动、建筑物下采煤方面的理论研究成果和实践经验。值得指出的是,本书介绍了过去一些著作没有涉及的研究领域,如煤层地下气化时的地表移动规律,地表出现塌陷坑的移动机理和保护煤柱计算,以及开采金属矿床时的地表移动规律等。

本书共分七章,主要论述了以下几个方面的问题:

详细地介绍了顿巴斯矿区的岩层与地表移动规律,地表移动预计方法——典型曲线法及其在实践中的应用;

探讨了在衰减函数基础上建立的岩层变形计算方法;

介绍了采动建筑物变形与地表变形的相互关系,采动建筑物破坏情况预计以及建筑物下开采时地表允许变形值;

介绍了煤层地下气化时的岩层移动机理及地表移动规律,用地下气化方法开采急倾斜煤层时地表出现塌陷坑的移动机理及保护煤柱的计算方法;

介绍了开采金属矿床时的地表移动规律;

最后探讨了在构造应力场条件下岩层移动的特征。

目前我国社会主义建设中,矿山岩层与地表移动已成为采矿学科中的一个重要分支。译者认为,这本书的翻译出版,对于促进和发展这一学科的科学技术水平是有益的。

本书由王金庄、洪钺翻译。1.1.~1.2.2.、6.、7.7.3.~7.8.由洪钺译,其余均由王金庄译。本书承蒙陈于恒同志做了详细的审校,在此表示深切的谢意。

译 者

1988.6. 于北京

前 言

根据苏共二十六大通过的《1981~1985及到1990年苏联社会和经济发展的主要方向》决议，要求在苏联的采矿工业中大力提高有用矿物开采量，引进低消耗和节能的新技术、新工艺，提高矿物原料的综合利用及充分利用程度。

岩层移动和建筑物保护的研究可以使有用矿物的开采更充分、更合理。

苏联主要矿区的有用矿物有相当多的储量是埋藏在建筑区域的下面。最大限度地开采地下资源，是与采用经济有效的方法、对建筑物和自然物进行保护使其免受地下开采的有害影响密切相关的。

为了建立行之有效的保护方法，苏联曾进行了一系列的研究工作，其中主要分为以下四方面：

- 1) 研究采空区上方的岩层与地表移动；
- 2) 研究地表变形与建筑物变形的相互关系；
- 3) 研究建筑物保护的建筑-结构措施；
- 4) 分析研究开采方法对地表变形的影响。

研究方法是在实地埋设专门观测站用仪器进行观测；用相似材料模型进行研究。在一些矿区进行这种实地观测已数十年。对大量实测资料进行分析总结，可求出岩层移动的基本规律，制定地表移动变形的计算方法。而这些方法在实践中已被广泛应用。

目前所用计算方法的实用条件是：已知采区在煤层的位置——精确算法；采区在煤层的位置不详——简化算法。精确算法可以确定移动盆地内任意点的地表变形预估值。垂直移动的典型分布曲线是这种方法的基础。确定典型曲线的方法有理论方法和经验方法。应用最广泛的是经验方法，它是直接从实测资料中求得典型曲线，用图、表或选择近似函数表示。典型曲线法是最方便的方法。有了实测资料，便可很快地求得该矿或该地区具体地质采矿条件下的典型曲线，而移动与变形的计算公式不变。

典型曲线法并非完美无缺，尚需进一步完善与改进。本书的一些研究证明了这一点。

在典型曲线中需确定移动盆地在平面上的边界及主断面上的边界，对这些问题目前研究的还不够，尚需进一步探讨。此外，时间因素、工作面推进速度、相邻采区对岩层移动活化影响等因素，对典型曲线的影响也还研究得不够。

简化计算方法可以确定开采一个煤层或开采煤层群时的地表最大变形。这种方法在实践中越来越多地被采用（特别是设计机关）。

现有的计算方法都有一定的使用范围。它们不适用于很复杂的地质采矿条件和采矿技术条件：有地质断裂的岩体、褶皱煤层、山地、房式开采法等。

对深部开采时地表移动特征、煤层群不同时间开采时岩层移动的活化和移动盆地内变形分布的不均匀性等的研究也不够。

鉴于地质采矿条件的变化和岩层移动科学的发展，现有移动变形计算方法应该进一步

改进。需要研究新的计算方法，即可以适应更大范围的地质采矿条件，计算精度更高，可在未进行岩层移动研究的矿区使用的方法。

上面介绍的是作为现有精确计算方法基础的典型曲线的原则。与此同时，可以研究建立在另一种原则基础上的移动变形计算方法。

本书将介绍建立在移动衰减函数基础上的移动变形计算方法。

研究地表变形和建筑物变形的相互关系，以便确定采动影响下基础发生移动时建筑物的变形特征，确定采动影响条件和允许变形，确定建筑物变形与地表变形的相互联系系数等。这些研究是地表移动和建筑物保护的建筑结构措施研究之间的联系环节。

仪器观测是这些研究的主要研究方法，如矿山测量-地面测量，应力测量和摄影测量。

这些研究的成果是制定现有建筑物和设计建筑物保护规程的基础。在这一领域内也有许多未解决或解决得尚不够完善的问题，例如采动影响条件，各种类型的建筑物和自然物的允许变形等。

金属矿区的岩层移动和建筑物保护的研究比煤矿区差。原因是金属矿区地质采矿条件复杂，矿区内的构造应力场影响岩层移动过程，开采方法差别很大，在绝大多数的矿区由于移动过程时间长，取得移动参数很困难。

本书介绍了乌拉尔和西伯利亚某些金属矿区开采时岩层及地表移动的特征，给出了适合这些条件的计算方法。近年来，越来越注意特殊开采方法，本书也介绍了用煤层地下气化和用特殊开采法开采硫磺时岩层和地表移动过程的基本规律。

目 录

1. 顿巴斯矿区地表移动和变形计算	1
1.1. 矿山岩层移动	1
1.1.1. 矿山岩层移动形式	1
1.1.2. 重复采动时的岩层移动	4
1.2. 采区布置已定情况下的地表移动和变形计算	11
1.2.1. 移动盆地边界	11
1.2.2. 移动和变形的典型分布曲线	15
1.2.3. 建立地表下沉典型曲线的方法	20
1.2.4. 按典型曲线法计算地表移动和变形的误差	24
1.3. 采区布置未定情况下的地表变形计算	30
1.3.1. 开采一个煤层时的地表最大变形	30
1.3.2. 开采煤层群时的地表变形计算	33
2. 建立在移动衰减函数基础上的层状岩体的岩层变形计算	39
2.1. 采动岩体的岩层移动	39
2.1.1. 岩体内岩层移动的理论概念	39
2.1.2. 采动层状岩体内移动等值线的计算	40
2.2. 地表移动盆地的形成和计算	42
2.2.1. 最大下沉角	42
2.2.2. 移动盆地形成的某些规律	43
2.2.3. 给定点上移动向量和变形的计算	45
3. 西顿巴斯矿区岩层与地表移动研究的主要成果	52
3.1. 西顿巴斯矿区的地质采矿条件及岩层移动研究方向	52
3.2. 地表移动主要参数	53
3.3. 地表移动与变形计算	54
3.4. 流砂层下和水体下采煤的安全深度	55
3.5. 西顿巴斯矿区河漫滩下开采结果的预测	56
3.6. 西顿巴斯矿区地表移动过程动态参数的计算	57
3.6.1. 移动总时间及其分期的计算	57
3.6.2. 动态半盆地内最大移动与变形值的计算	58
3.6.3. 地表最大移动与变形速度的计算	62
3.6.4. 动态半盆地内特征点的确定	63
3.6.5. 沿工作面推进方向动态半盆地主断面内点的移动、变形及其速度的计算	64
4. 采动建筑物变形与地表变形的关系	67
4.1. 预计变形和计算变形	67
4.2. 变形值沿建筑物的非均匀性	68
4.3. 移动盆地内的计算曲率半径和实测曲率半径	69

4.4.	房屋基础变形与地基变形的关系	70
4.5.	地表变形与房屋基础底部土壤反力的关系	73
4.6.	预计破坏程度的估计	74
4.7.	建筑物下采煤时的地表水平变形允许值	77
4.8.	采动房屋地表垂直变形允许值	79
4.9.	房屋采动的允许深厚比倍数	81
5.	用特殊工艺方法开采有用矿物时的岩层与地表移动规律	84
5.1.	岩层移动对有用矿物开采工艺的影响	84
5.2.	研究岩层与地表移动的目的、任务和方法	85
5.3.	缓倾斜厚煤层地下气化时的岩层与地表移动	87
5.3.1.	矿井开采和煤层地下气化开采条件下地表移动的一般规律	87
5.3.2.	采空区上方岩层移动的机理	89
5.3.3.	根据地表移动观测资料确定采空区边界及煤层气化特征	93
5.3.4.	岩层移动对试验钻孔套管变形的影响	97
5.4.	急倾斜煤层地下气化开采时地表塌陷坑形成条件的研究成果	98
5.4.1.	研究方法和任务	98
5.4.2.	地质采矿和采矿技术因素对塌陷坑形成的影响	100
5.4.3.	岩层变形程度及特征对塌陷坑形成的影响	103
5.4.4.	塌陷坑形成机理及保护煤柱计算	108
6.	以米尔戈林沙依斯克矿床为例用房柱法开采倾斜金属矿床 时人工管理顶板方法的研究	113
6.1.	关于米尔戈林沙依斯克矿床的地质构造和岩石物理力学性质的一般概念	113
6.2.	试验区特点	115
6.3.	矿山岩体应力的研究方法	116
6.4.	研究成果	118
6.5.	试验区内房间矿柱人工可缩性的研究	119
6.6.	试验区内的观测站	122
6.7.	建立人工可缩性时和试验完成以后矿柱和矿房顶底板的应力应变状态研究成果	123
7.	构造应力场条件下岩层移动显现特征	125
7.1.	移动发展过程中未扰动岩体应力状态的作用	125
7.2.	开采矿区的地质力学模型	126
7.3.	岩体应力测量	128
7.4.	乌拉尔和哈萨克斯坦金属矿区的岩体应力状态	133
7.5.	构造应力场条件下的岩层移动特征	135
7.6.	围岩及地表水平移动变形计算	140
7.7.	铁矿区的岩层移动及建筑物保护问题	142
7.7.1.	岩层移动研究现状	142
7.7.2.	北彼斯强铁矿区的岩层移动	144
7.7.3.	高山铁矿床的岩层移动	147
7.7.4.	哥洛布拉哥达特铁矿床露天和地下开采法的兼用	150
7.8.	矿床地球动力学及其对岩层移动的影响	152
	参考文献	156

1. 顿巴斯矿区地表移动和变形计算

1.1. 矿山岩层移动

1.1.1. 矿山岩层移动形式

为了查明地表移动的规律和拟定参数计算的方法, 必须具有矿山岩层移动性质方面的知识。

地表是移动岩层的一部分, 地表移动反映出岩层内部发生的过程。岩层移动和地表移动这两种过程是相互联系的, 因此必须研究它们的相互联系。

揭示岩层移动的规律, 不仅与地表移动有关, 而且还与很多其它采矿问题有关, 如顶板管理、巷道维护、同煤和瓦斯突出作斗争等等。为了解决这些采矿问题, 应充分认识被采煤层附近的岩层的移动规律。而研究地表移动, 则必须了解从煤层到地表的整个岩层的移动情况。

目前, 对整个岩层移动情况的研究比对开采煤层附近岩层的移动情况的研究要差得多。

在综合实地观测和模型研究的基础上, 可以形成一个关于矿山岩层移动性质的认识, 可以将这个认识概括成初次采动时和重复采动时岩层移动的形式。

煤层地下开采时, 上覆(被采动)岩层的各个分层产生向着采空区方向依次弯曲形式的移动。

在移动的岩层内, 形成了几个移动和应力状态性质均不相同的区域。

在回采工作的初期, 当回采工作面离开矿体(开切眼)距离很小时, 煤层顶板基本上处于稳定状态, 它以弯曲形式缓慢地移动, 且移动数值很小。随着工作面离开开切眼距离的增加, 煤层顶板弯曲的速度和数值逐渐加大, 上覆岩层开始移动, 随后地表也开始移动。观测资料说明, 在采深小于500m的条件下, 当回采工作面离开开切眼的距离大约为 $0.2 \sim 0.3H$ (H 为开采深度)时, 移动将传播到地表。工作面继续推进, 岩层及地表弯曲增大, 当工作面至开切眼的距离达到 $1.4H$ 时, 岩层和地表的弯曲达到最大。

随着弯曲的增大, 岩层的变形增大并且其连续性也遭到破坏。在靠近煤层的各分层内, 将出现裂缝和断裂。

如果煤层采出后采空区未进行充填, 弯曲的顶板未能达到煤层底板, 这时就要发生顶板冒落。岩层的移动和层离过程将持续发展直到所有被采动的岩层都恢复平衡时为止。

移动结束后, 在岩层内形成三个带(自下而上):

- 1) 不规则的冒落带;
- 2) 有断裂裂缝的岩层弯曲带;
- 3) 保持连续性的岩层弯曲带。

不规则冒落带的高度大约为 $3 \sim 6m$ (m 为煤层厚度)。

第二带的高度明显地与岩层的组成有关, 在顿巴斯矿区这个数值在 $20 \sim 30m$ 到 $70 \sim 80m$ 之间变动。

根据岩层移动的性质,在倾斜方向岩层内可以划分成下列几个区(图1.1):

I——充分移动区;

II_上和II_下——岩层最大弯曲区;

III_上和III_下——岩层压缩区。

充分移动区COII的特点是,在冒落带上方这个区域内各点的移动向量相互平行且与岩层面法线方向一致,而岩层各分层在移动结束后的位置和它们原来的位置是平行的。

岩层压缩区是由于回采工作面边界附近出现支承压力才产生的。正如许多研究者指出的那样,支承压力是引起岩层沿铅垂方向压缩的主要原因,因而也是矿山岩层和回采工作面以外地表下沉的主要原因[43, 44]。

因此,在岩层移动的同时,出现岩层应力状态的重新分布,从而出现支承压力区和减压区。岩层内部的实地观测和模型观测都证实这些区域的存在。

根据实地和模型的观测,可以用直线作为岩层移动的边界线,这些直线是从地表移动盆地边界开始,沿层面法线方向至回采工作面下边界点,而在回采工作面之上边界和沿走向方向回采工作面边界则是沿垂线方向。

地表移动盆地边界用边界角 β_0 、 γ_0 和 δ_0 确定,其值按下列公式*计算:

$$\sigma_0 = 80^\circ - \rho \frac{H_0}{H}$$

$$\beta_0 = 80^\circ - 0.8\alpha - \rho \frac{H_0}{H}$$

$$\gamma_0 = 80^\circ - \rho \frac{H_0}{H}$$

式中 H ——从地表到相应的回采工作面边界的垂直开采深度;

$H_0 = 18\text{ m}$ ——最小开采深度,大于这个深度时可以采用这些公式;

$\rho = 57^\circ$ ——弧度;

α ——煤层倾角,度。

根据所采用的岩层移动边界的确定方法,支承压力区的尺寸可用下式求得:

$$L_H = H \cos(\beta_0 + \alpha) / \sin \beta_0$$

$$L_B = H \operatorname{ctg} \gamma_0 / \cos \alpha$$

$$L_n = H \operatorname{ctg} \delta_0$$

式中 L_H 、 L_B 和 L_n ——分别为回采工作面的下边缘、上边缘和沿走向方向回采工作面边缘处的支承压力区的尺寸。

岩层的最大弯曲区(II_上和II_下)位于支承压力区和充分采动区之间。在这个区域内岩层的各个分层都经受最大的变形。

通常是把岩层内各分层和地表的下沉曲线的拐点连接起来的那条线作为支承压力区和岩层最大弯曲区的边界。下沉曲线拐点的特点就是在这些点上岩层下沉的特征有质的变化。

回采不仅引起上覆(下部被采空)岩层,而且引起下部(上部被采空)岩层产生移动和应力状态变化。在下部岩层支承压力区内应力状态的变化,可以用支承压力的作用来解

* 在苏联煤炭工业部批准的规程内[31],对于顿巴斯矿区,边界角是按另一种公式确定的,

释,也可以解释为是支承压力的反作用力的影响,好像模压机所起的作用那样,但是方向上与施于下部岩层的支承压力作用的方向完全相反。这种关于支承压力影响区域内的岩层中出现应力的本质的概念,可以应用应力分布理论计算岩体内任意点的应力,而这个理论是在土力学中采用的,是建立在数学弹性理论的基础上的〔42, 45〕。

在一些著作中〔15, 44〕,把支承压力区分成两部分:从回采工作面到出现最大支承压力处的极限状态区和从最大支承压力处到岩体(煤柱)内支承压力区边界的弹性区。而且弹性区占整个支承压力区的较大部分。支承压力区的弹性区的荷载应力图近似于一个三角形。实际上,荷载应力图比三角形复杂些,但对于整个岩层和地表移动的计算,这种简化是允许的。

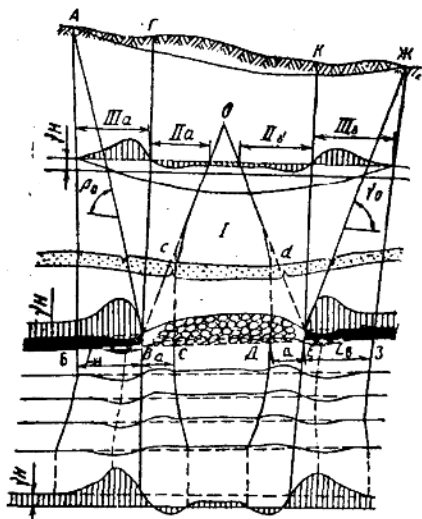


图 1.1 矿山岩层移动示意图

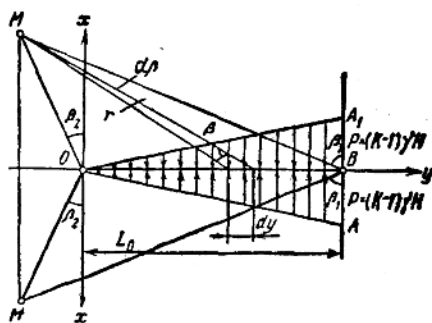


图 1.2 计算支承压力对岩体内任意点影响的示意图

现在来讨论用近似三角形应力图表示的支承应力对下部被采空或上部被采空的岩层内任意点M的影响问题(图1.2)。

支承压力最大值

$$P = (K - 1)\gamma H$$

式中K为支承压力的集中系数。根据许多研究资料, $K = 1.5 \sim 3.0$ 。

这里只是研究确定垂直的压应力。煤层平面内支承压力区的长度 $L_0 = H \operatorname{ctg} \delta_0$ 。在无穷小单元 dy 上支承压力等于 $dP = P_y dy$ 。

由荷载三角形得出:

$$P_y = Py/L_0$$

坐标 y 可以由下列公式求得:

$$y = x(\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \beta_2)$$

因此

$$P_y = (Px/L_0)(\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \beta_2)$$

dy 又可用下式确定:

$$dy = r \cdot d\beta / \cos \beta$$

这时就有

$$d\phi = P\alpha(\operatorname{tg}\beta - \operatorname{tg}\beta_2)r \cdot d\beta / (L_0 \cos\beta)$$

可以把 $d\phi$ 看作是集中力的作用。

在集中力对单位长度的作用下，在线性变形岩体内的应力分布可用下式〔45〕表示：

$$\sigma_x = 2P\cos^2\beta / (\pi r)$$

把数值 $d\phi$ 代入这个公式以代替 P 之后，便可求得平行于 x 轴的分应力的计算公式，对点 M ：

$$\sigma_x = \frac{2P\alpha}{\pi L_0} \int_{\beta_2}^{\beta_1} (\operatorname{tg}\beta - \operatorname{tg}\beta_2) \cos^2\beta d\beta$$

因为，对于待求点来说 $\operatorname{tg}\beta_2$ 的数值是不变的，于是就得到：

$$\sigma_x = - \frac{(K-1)\gamma H\alpha}{\pi L_0} \left[\sin^2\beta_1 - \sin^2\beta_2 - \operatorname{tg}\beta_2 \left(\beta_1 + \frac{1}{2} \sin 2\beta_1 - \beta_2 - \frac{1}{2} \sin 2\beta_2 \right) \right]$$

利用这个公式可以计算支承压力影响区内被采动岩体中任意点的应力。

也可用专门表格进行计算。

图1.3a表示以最大荷载 $P = (K-1)\gamma H$ 为1的应力等值线，而图1.3b则表示过最大应力点所绘的垂直线上压应力的变化。由图可以看出，不仅在垂直断面上而且在水平断面上，垂直压应力的分布都是不均匀的。此时，在沿垂线等于支承压力区长度 L_0 的距离上要出现最明显的应力变化（应力数值减小到40%）。随着离开煤层距离的进一步增大，应力值逐渐地趋于零。

上述关于支承压力区岩层内应力形成机理的论述，虽然不可期望它能完全解决问题，但它对现象的解释却是新的，而且所获得的结果与实地观测和模型观测的结果相符合。

支承压力区内弹性区域中岩层的应力分布和变形，对解决垂直巷道（井筒，钻孔等）的保护问题有重要意义。

1.1.2. 重复采动时的岩层移动

顿巴斯矿区通常是开采数个煤层。采矿对地表的影响，可以是同时的，也可以是非同时的。可以把非同时影响理解为这样的情况：对地表这块地段产生影响的区域内各煤层开采的间隔时间超过《保护规程》〔31〕所规定的移动过程总时间。在岩层已被采动破坏的条件下采煤，岩层和地表移动具有许多特点（首先是发生移动的活化）。在相同条件下，重复采动时的地表最大下沉和变形比初次采动时的地表最大下沉和变形大，这是活化的主要表现。

现有的一种关于煤层群开采活化原因的见解认为，初次采动时在岩体内要发生稳定的悬空，而这种悬空在其它煤层开采时由于某种原因而消除，因此与计算相比，引起地表下沉和变形的增大。在坚硬围岩和采空区内留设煤柱的条件下，要产生岩层悬空。在中硬甚至软岩中以及在没有煤柱开采这地段的第一层煤等许多情况下，都发现活化现象。在这些条件下悬空不可能发生，而活化仍然能够出现。因此现有的见解只是说明部分原因，而没有给出活化全部原因的解釋。

在通常情况下，可以用下列理由来解释活化现象的原因。在尚未破坏的岩体内，岩层

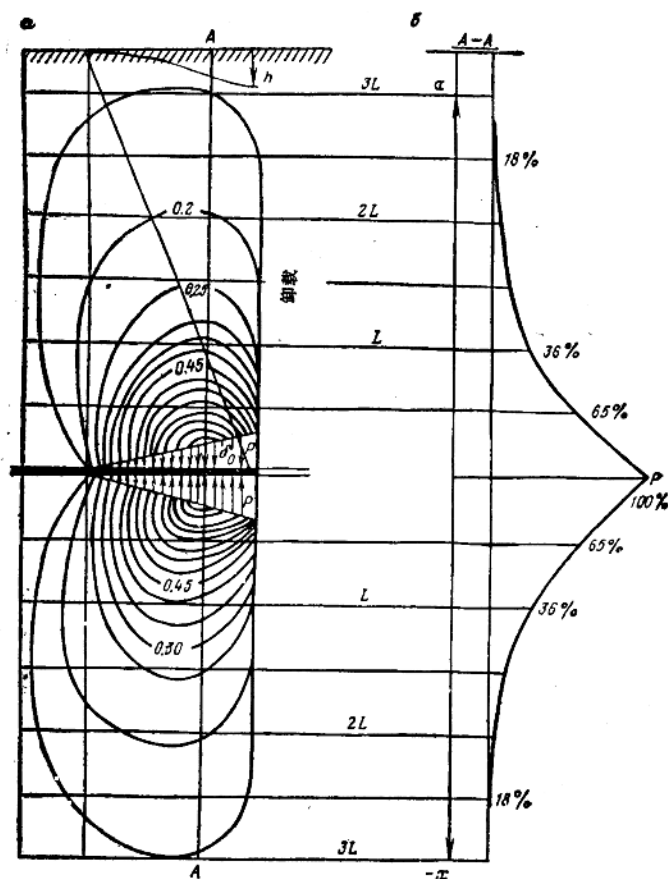


图 1.3 采区周围的应力分布

a—以最大荷载为 1 的应力等值线；**b**—A-A 断面内的应力分布

各分层均处于受上覆岩层压力制约的压缩状态中。煤层被采出后,工作面上方岩层的部分重量就以支承压力的形式传递到回采工作面附近的岩体和煤柱上。因此,充分移动区内的岩层局部地卸载(与正常荷载相比),使得它们产生碎胀[44]。碎胀的一部分是由弹性还原所引起,另一部分则是由于煤层被采出后在顶板岩层内形成裂缝系致使岩体密度减小所引起。在采动过程中,岩体各点都要通过不可恢复的变形区[26],因此在充分采动区内岩层重复压实时岩层各个分层不可能压缩到原来的尺寸,即它们获得不可恢复的碎胀。如果岩体再次被采动,它的碎胀将比第一次采动时的碎胀小,而地表下沉则比初次采动时大。根据在顿巴斯矿区采煤工作面上方进行的仪器观测资料说明,重复采动时最大下沉值比初次采动时最大下沉值大约平均增大30%[30, 41]。

现在来讨论岩层尚未被破坏的条件下开采煤层 1 时地表面达到充分采动的情况(图 1.4)。假设工作面沿煤层走向的尺寸超过 $1.4H_{cp}$, 用全部垮落法管理顶板。在顿巴斯矿区, 完全能实现这些条件。顿巴斯矿区主要采用采区走向长度很大的长壁采煤法和连续采煤法, 而

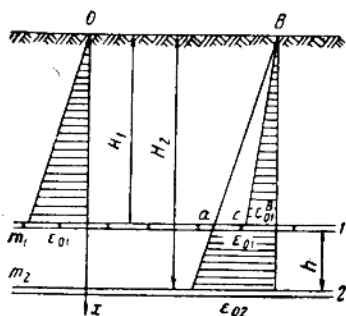


图 1.4 初次采动和重复采动
时岩层碎胀示意图

由式 (1.2) 有

$$\varepsilon_{01} = 2(m_1 - \eta_{01})/H_1 \quad (1.3)$$

ε_0 值的大小与地质采矿参数有关。为此, 采用了充分采动和移动稳定后的 59 个观测站地表下沉实际资料, 并且只用煤层倾斜方向地表采动系数 n_1 接近于 1 的, 即充分移动区拱顶达到地表的资料。

用 H_0 表示充分移动区的高度。当倾角 $\alpha \approx 0$ 时, 用铅垂线上的投影 $m \cos \alpha$ 代替法线厚度。

相关分析的结果说明, ε_0 值与垂直深厚比 $K = H_0/(m \cos \alpha)$ 有最密切的关系。为了选择近似函数的最好形式和确定联系方程式系数, 运用了回归分析的方法。曾对双曲线和指数两种联系形式进行了研究。按照斯都捷特标准 (即 t 检验标准) 评定了相关系数的显著性, 按照费设尔标准 (即 F 检验标准) 评定了方程式的适合性。经验标准与理论标准的比较在 5% 的显著性水平上实现。双曲线关系是最适合的联系形式 (图 1.5)。在最合理的变数变化范围内, 在不降低精度的情况下, 简化这种关系:

$$\varepsilon_0 = 640 m \cos \alpha / H_0 \quad (1.4)$$

式中 $H_0 = n_1 H = 0.7 D_1$ —— 充分移动区高度;

D_1 —— 工作面长度, m。

这样一来, 所求得的 ε_0 值就是移动过程停止后垂直于层面方向的采动岩层最大剩余碎胀变形。

现在假定地表达到充分采动是由第二层煤的开采引起的 (参见图 1.4)。在此情况下, 岩层的碎胀是发生在两层煤之间尚未破坏的岩层内和由于第一层煤开采引起破坏的岩层内。这两种情况下减小碎胀的性质可以认为是相同的。区别只是第一层煤上方岩层的重复碎胀比初次碎胀小。

ε_B (上角标 B 表示第二次采动) 值与 ε_0 值的关系用常数 k 表示, 而 k 值与岩层的物理力学性质有关。软 (塑性) 岩层的 k 值比硬 (弹性) 岩层的 k 值大。

为了确定 k 值, 用下述方法处理。

对第二和第一煤层分别写出式 (1.3):

$$\varepsilon_{02} = 2(m_2 - \eta_{02})/H_2$$

采用充填法开采的工作面为数不多。又假设岩体内任意点的变形是坐标的连续函数, 即遵守连续介质力学的一般原则。从地表到开采煤层水平, 采动岩体的碎胀变形 ε_x 从零增大到某一数值 ε 。采动岩体碎胀变化的变化, 可以近似地用下列线性公式进行计算, 这种计算对实际应用具有足够的精度:

$$\varepsilon_x = \varepsilon_0 \frac{x}{H} \quad (1.1)$$

于是, 由第一层煤开采引起的移动过程停止后的地表下沉为

$$\eta_{01} = m_1 - \varepsilon_{01} \int_0^{H_1} \frac{x}{H_1} dx = m_1 - \varepsilon_{01} \frac{H_1}{2} \quad (1.2)$$

$$\varepsilon_{01} = 2(m_1 - \eta_{01})/H_1$$

写成比值关系,

$$\varepsilon_{02}/\varepsilon_{01} = (m_2 - \eta_{02})H_1 / [(m_1 - \eta_{01})H_2] \quad (1.5)$$

为了确定 k , 必须使 $H_1 = H_2$, 即两个煤层重合在一起 (在顿巴斯, 这种条件实际上是不存在的)。我们采用卡拉干达煤田“上马利安”矿煤层分层开采时所获得的地表移动停止后的实际观测成果[19]。在此情况下, 可把式 (1.5) 写成下列形式:

$$\varepsilon_{02}/\varepsilon_{01} = \varepsilon_0^B/\varepsilon_0 = k = (m_2 - \eta_{02})/(m_1 - \eta_{01}) \quad (1.6)$$

式中 m_1 和 m_2 —— 各开采分层的厚度;

η_{01} 和 η_{02} —— 相应分层开采后地表的_{最大}下沉。

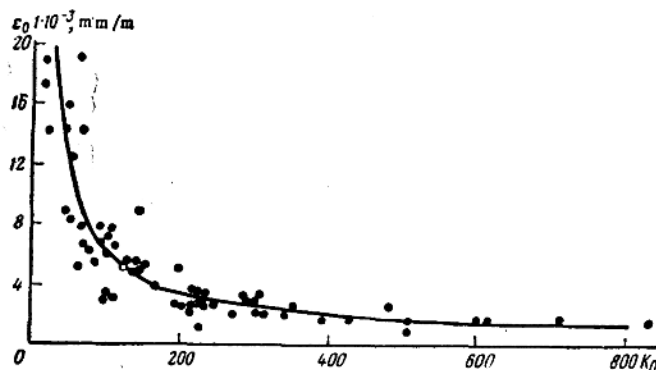


图 1.5 岩层的最大剩余碎胀与深厚比的关系

对文献[19]中引用的资料进行分析说明, 依照式 (1.6) 计算的系数 k 值在 0.5~0.8 之间变化。卡拉干达矿区的岩层相当于顿巴斯矿区最软的岩层。因此, 对于顿巴斯相应的岩层 (煤的牌号为长焰煤、气煤) 来说, 系数 k 等于 0.6。根据下沉的计算结果与观测资料比较, 中硬岩层 (煤的牌号为肥煤、焦煤和瘦粘结煤 (OC)) 系数 k 等于 0.4, 硬岩层 (煤的牌号为贫煤和无烟煤) k 值等于 0.2。因此得

$$\varepsilon_0^B = k\varepsilon_0 = (0.2 \sim 0.6)\varepsilon_0$$

于是, 第二层煤开采后地表的_{下沉}为

$$\begin{aligned} \eta_{02} &= m_2 \varepsilon_{02} \int_{H_1}^{H_2} \frac{x}{H_2} dx - k \varepsilon_{01} \int_0^{H_1} \frac{x}{H_1} dx \\ &= m_2 - \varepsilon_{02} (H_2^2 - H_1^2) / (2H_2) - k \varepsilon_{01} H_1 / 2 \end{aligned}$$

图1.4上三角形 aBc 的面积, 从数值上说等于第二层煤开采后地表最大下沉值的增值, 即

$$\Delta = \varepsilon_{01} \int_0^{H_1} \frac{x}{H_1} dx - k \varepsilon_{01} \int_0^{H_1} \frac{x}{H_1} dx = (1 - k) \varepsilon_{01} H_1 / 2$$

用式 (1.4) 替代 ε_{01} , 并考虑到地表充分采动时 $H_0 = H_1$, 于是便得到

$$\Delta = (1 - k) 640 m_1 (\cos \alpha) / 2$$

这里 m_1 用米表示, Δ 用毫米表示。

为了确定活化发生的条件, 必须了解工作面采空区上方岩体碎胀传播的高度。岩体移

动稳定后,在采动的巷道和钻孔中用仪器进行实地观测,可以获得采动岩体内碎胀传播高度的资料。

在用冒落法管理顶板时,采空区上方要形成充分移动区。这个区域的高度取决于围岩的硬度,它可以达到 $0.5 \sim 1.0 D_1$ 。在工作面推进过程中,这个区域内的岩层要经过这样几个区:支承压区,卸载区和重复压缩区。因此,岩层各分层都要经受压缩变形,弯曲变形,离层,下移等。与经受采动影响的其它地段岩层比较,充分移动区内岩层的变形和破坏最厉害,裂缝最多。

在开采煤层厚度足够大时,充分移动区内的岩层要沿该区域边界与其它岩层分开。所谓岩层的分开,可以理解为沿这个区域边界出现张开的裂缝。在这种情况下,煤层底板上的荷载将由充分移动区内岩层的重量决定,而充分移动区上方岩层的重量则传递到煤柱上。这种压力的重新分布,就造成了移动过程稳定后充分移动区内碎胀变形长时间得以保持的条件。位于充分移动区上部的岩层的相对剩余碎胀,比充分移动区内的小得多。例如,根据在“托莱兹无烟煤”生产联合组织“红星”矿进行的观测资料说明,充分移动区上方岩层的相对剩余碎胀,是充分移动区里面相对剩余碎胀的 $\frac{1}{15}$ 。在开采缓倾斜煤层厚度小

于 2.5m ,工作面长度不小于 120m 的情况下,被采动岩层的剩余碎胀在上覆岩层内传播的距离,不超过充分移动区的高度。位于这个区上部的岩层要产生弯曲,但基本上没有碎胀。因此被第一次采动所破坏的岩层,只有在第二次采动时它们落到充分移动区内的情况下才能对重复采动时的移动过程产生明显的影响。如果正在开采中的工作面上方的充分移动区的高度小于两个煤层之间的厚度,那么移动的活化就不会发生。

在煤层倾斜方向地表尚未达到充分采动时,根据上述观点计算活化的附加下沉。在这种情况下,充分移动区的顶点就达不到地表,所以初始函数(1.1)采用下列形式:

$$\varepsilon_x = \varepsilon_0 [\alpha - (H - H_0)] / H_0$$

现在来讨论尚未充分采动的岩层经受第二次非充分采动的情况,如图1.6所示,图中 ψ 为充分采动角。在用下行法(在顿巴斯经常采用这种方法)开采时,这种方案是最常遇到的。由活化引起最大下沉的增量在数值上将等于三角形 abc 的面积:

$$\Delta = (1-k)\varepsilon_0 \int_{H_2-H_0}^{H_1} \frac{\alpha - (H_2 - H_0)}{H_1 - (H_2 - H_0)} dx$$

考虑到 $H_0 = H_2 n_{1(2)}$,便得到:

$$\Delta = [(1-k)\varepsilon_0/2](H_1 + H_2(n_{1(2)} - 1)) \quad (1.7)$$

式中 $n_{1(2)}$ ——第二层煤正在开采的工作面沿倾斜方向的地表采动系数;

ε_0 ——第一(以前开采的)煤层水平上岩层的最大剩余碎胀,它是考虑到该煤层的工作面上方充分采动区高度,按式(1.4)确定的。

在公式(1.7)中, H_1 和 H_2 的单位为米,而 Δ 则为毫米。

下面分析一下正在开采的煤层和过去已采的煤层中工作面的相互位置关系的两种方案,该方案是公式(1.7)的边界条件。当煤层2和煤层1重合在一起,而且正在开采的工作面边界与过去已采的工作面边界上下一致(图1.7a)时,将发生最大的活化。在此情况下, $H_2 = H_1 = H$,公式(1.7)采用下列形式:

$$\Delta = 0.5(1-k)\varepsilon_0 H n_{1(2)} = 320(1-k)m_1$$

如果 $H_{02} \leq h$ (图1.7a), 那么由活化引起的下沉便等于零, 即不发生活化。图1.26和图1.6所示的情况都是过渡性的〔对这两种情况也都得出公式 (1.7)〕。

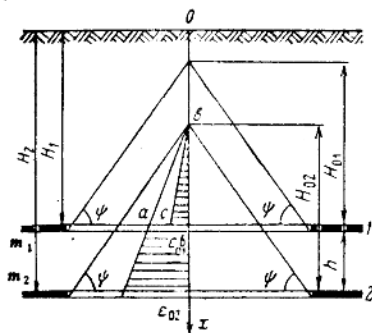


图 1.6 采用下行法开采时活化计算示意图

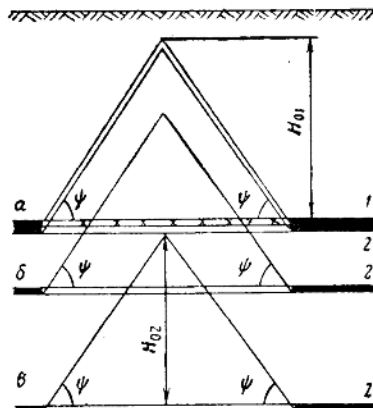


图 1.7 表明公式 (1.7) 边界条件的示意图

充分移动区内岩层压力越小, e_{01} 值就越大。这样, 随着以前开采的采区长度的缩短, e_{01} 增大, 而活化加剧。

现在来研究图1.8所示的示意图。如果重复采动岩体的采煤工作面长度不变, 而以前采完的工作面长度减小的话, 那么活化的变化将是下列形式。

在从图 I 过渡到图 II 的情况下, 活化增大并达到最大值, 因为重复采动时岩层的碎胀全都发生在充分移动区内并且 e_{01} 值达到很大。

继续减小 D_1 (图 III), 可以导致在第一个工作面开采后在岩体内形成稳定的悬顶。此时 e_{01} 值将大于计算值, 而函数 (1.1) 的连续性将被破坏。此时活化的增大是跳跃式的。因此, 必须采用 D_1 值变化的下限。

研究结果表明, 在采深 500~700m、工作面长度大约为 60m 的条件下, 可能出现采空区中部上方老顶的悬空。近年来, 煤矿的工作面平均长度是 180m。因此, 可能发生老顶悬空的以前开采的工作面长度 D_1 , 是正在开采的工作面长度 D_2 的三分之一。

这样, 依式 (1.7) 计算活化应该满足下列条件:

$$D_1 > 0.3 D_2 \quad (1.8)$$

在开采缓倾斜煤层群时, 移动的活化表现为地表下沉与变形的增大和移动盆地范围的扩大。这些参数要对变形值产生相反的影响。在煤层群开采的各种方案中, 由于这些参数互相匹配的不同, 与第一次采动时比较可以使变形增大或减小。从这些观点出发, 已开采煤层的工作面在平面上位于正在正采的工作面边界范围之内不利的。在此情况下, 地表变形增大, 而移动盆地范围仍然不变。

建议按下式计算重复采动时的最大下沉:

$$\eta_{max}^B = \eta_{max} + \Delta$$

式中 η_{max} ——初次采动时最大下沉计算值;

Δ ——依式 (1.7) 确定的附加变形。

为了用图表示所建议的方法, 在“顿涅茨煤炭”生产联合组织“库依贝舍夫”矿, 采用上述方法对地表最大下沉进行了计算 (图1.9)。