



煤矿地表移动的基本规律

刘宝琛 廖国华

中国工业出

煤矿地表移动的基本规律

刘宝琛 廖国华 編著

中国工业出版社

本书从岩石移动的随机性出发阐述了单元下沉盆地理论。在这一基础上，探讨了在各种情况下开采水平煤层和倾斜煤层时地表移动的规律以及在水平煤层等速开采的条件下地表移动的时间过程。所有理论都用实际观测资料进行了对比，证实了它们的正确性，也介绍了理论的实际应用方法和适当的简化计算方案，给出了计算图表和曲线，以便实际应用。

本书供采矿工程技术人员、设计人员、矿业学院师生以及科学研究人员使用，并可作为与采矿有关的地质测量、土建方面的同志参考。

煤矿地表移动的基本规律

刘宝琛 廖国华 编著

煤炭工业部书刊编辑室编辑(北京东长安街煤炭工业部大楼)

中国工业出版社出版(北京修麟阁路西10号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $12^{1/2}$ ·字数255,000

1965年3月北京第一版·1965年3月北京第一次印刷

印数0001—2,210·定价(科六)1.60元

统一书号: 15165·3736(煤炭-258)

前 言

埋藏于地下的煤层被采出以后，采空区上的覆盖岩层与地表就发生移动和变形。地表的移动和变形通过地基和基础传达到建筑物和自然物，并引起它们的变形和损害。

沿用得最久的保护建筑物和自然物免受开采损害的方法是留设保安煤柱。但是，这种方法给采掘工业带来了许多技术经济上严重不利的后果，并造成地下资源的大量积压和损失。把留煤柱当作保护建筑物和自然物的唯一措施的观点已经落后了。从现代的观点来看，完全有可能采取合理的有效的措施，最大限度地把建筑物或自然物下的压煤安全地开采出来。

为了确定安全开采压煤的问题和确定合理的保安煤柱尺寸，要求准确地预算各种开采所引起的地表变形，要求确定保证建筑物正常工作和自然对象安全所允许的最大地表变形指标。全面解决压煤的安全开采问题，还必须彻底掌握开采地表变形的分布，提出减小地表变形的有效措施；必须了解采动对象的损害程度与地表变形的关系，提出增加采动对象抵抗地表变形能力的科学方法。

地下开采影响下煤矿地表移动规律是近半世纪以来世界各主要采煤国家大量研究的对象。近十几年来这一工作有长足的进展。值得提出的是波兰学者的工作：1950年布德雷克（W. Budryk）和克诺泰（St. Knothe）提出了计算开采水平煤层地表变形的理论和公式；1954年后李特威尼申（J. Litwiniszyn）引入了随机的概念来研究岩石移动的规律，这些都引起了广泛的注意。

本书讨论岩石移动是从讨论单元开采的影响入手的。我们认为用概率论的观点来讨论岩石移动规律的思想是行之有效的理论方法。书中的单元盆地正是用概率论的方法建立起来的。但是，这一方法在形式上与李特威尼申的方法不同。这里的方法更加简单、直观、不需要积分方程和偏微分方程的大量预备知识。这种方法虽然简单，但并不失去讨论的严密性。用这一方法研究岩石移动的参数以及用之解决地表移动的实际问题，显得十分便利与有效。这个工作是在克诺泰与李特威尼申工作的基础上发展起来的。

全书共分五章。第一章讨论开采影响下岩石移动的一般规律。这一章是为下几章的讨论建立基本概念。第二章阐述单元开采对岩石移动的影响。从岩石移动的随机性出发，考虑单元下沉盆地形成的时间过程以及开采影响的传播规律，导出了岩层水平及倾斜成层时单元下沉盆地的表达式。进而利用不可压缩条件，得出了单元盆地中水平移动的分布规律。这一章是以下几章讨论的基础。利用迭加原理就可借单元盆地解决一系列具有重大实际意义的问题。第三章讨论开采水平煤层对地表的影响。首先讨论了半无限开采的情形。所得结果与布德雷克-克诺泰一致，但是在讨论过程中放弃了纯经验的假设，并确定了水平移动系数 B 与主要影响范围 r 之间的内在联系。在这一章里还从更符合实际情况的顶板下沉线出发，导出了更加精确的地表移动表达式，从而从理论上说明了地表下沉盆地的平移

和不对称性的原因，提出了計算盆地平移和不对称性的簡化方案。最后，詳細討論了有限开采問題，并得出了相应的公式和图表；闡明了复杂开采时的地表移动規律。第四章研究开采水平煤层时地表移动的时间过程。現有文献对这一课题的研究是很不充分的。本章从单元盆地出发导出的地表下沉非稳定盆地剖面图形的积分表达式与克諾泰所得結果不約而同，但是在积分解題时，沒有采用开采影响三角形分布的假設，书里采用了准确的正态分布单元下沉盆地，未作任何簡化假定，从而使討論及所得到的結論大大前进了一步。所得結果更精确，更符合实际。书中討論了在工作面等速推进条件下，有限开采和半无限开采时地表移动和变形的時間过程；导出了計算公式。当开采速度趋近于零时，即当地表移动趋于稳定时，上述結果与第三章中的相应公式完全一致。还討論了双向（对向和背向）开采时地表变形的过程；工作面停采后地表下沉盆地形成的过程；地表点下沉的时间过程和运动軌迹等过去很少討論的实际問題。第五章討論开采傾斜煤层时地表移动和变形的規律。从单元盆地出发导出了計算地表变形的公式并詳細闡明了此时地表移动和变形的基本規律。这些結果在很大程度上补充了現有文献的不足。鉴于这些結果的数学形式比較复杂，进而提出了一个計算傾斜煤层开采时，地表移动和变形的簡單明确的方案，将理論結果与实际資料进行了对比，証明这一方案是可行的（在傾角趋于零的情况下，这一章的結果与第三章完全一致）。我国傾斜煤层占絕大多数，因此这一方案具有明显的实际价值。

編写本书时遵循統一的理論系統，前后結果協調一致。演算所用数学知識都在普通微积分知識范围內。所有重要結論都与实际觀測資料进行了对比，証明了理論的正确性，介紹了分析資料的方法。选用的資料以国内的觀測結果为主，也利用了一些国外資料。列举了一些国内煤田的岩石移动参数，但它們远未包括国内所有主要煤田的資料，但只要掌握了本书介紹的方法，就可根据实际的觀測結果算出它們来。书中給出了大量图表供讀者利用。对繁瑣的理論公式都提出了簡單可靠的簡化計算方案。书中还載有几个数字例題用來說明公式的使用方法。

借本书出版的机会，謹向煤炭工业部唐山煤炭科学研究所的领导和从事岩石移动研究工作的同志表示深切的感謝。他們給作者机会报告了本书的主要內容，周国銓等同志对本书提出了不少改进意見。本溪矿务局的工程师一再热情敦促我們写作，在此一并致謝。

作者的研究工作开始不久，理論与实际知識都有限，衷心期待讀者們对本书提出批評和指正。

刘宝琛 廖国华

一九六四年元月于中国科学院矿冶研究所

目 录

前 言

第一章 地下开采对地表影响的基本概念	1
第一节 研究岩石和地表移动的意义及现状	1
1—1 研究岩石和地表移动的意义与目的	1
1—2 研究岩石及地表移动的简史	3
1—3 研究岩石及地表移动的现状及发展趋势	4
第二节 地下开采时岩石与地表移动的一般规律	5
1—4 岩石移动的形式与开采影响的分带	5
1—5 非连续与连续的地表变形	7
1—6 开采的直接影响和间接影响	13
1—7 有限盆地和半无限盆地	15
第二章 岩石移动的随机性与单元盆地	19
第一节 水平成层介质中的单元盆地	20
2—1 随机事件及其概率	20
2—2 水平成层介质中开采影响的随机分布	21
2—3 单元下沉盆地	24
2—4 单元水平移动	27
2—5 任意开采影响下的岩石移动	29
第二节 倾斜成层介质中的单元盆地	31
2—6 单元下沉盆地	31
2—7 单元水平移动	34
2—8 任意开采影响下的岩石移动	35
第三章 开采水平煤层时地表移动及变形的规律	38
第一节 研究现状	38
3—1 几何理论	38
3—2 统计类比法	42
3—3 经验公式	44
3—4 可变形连续固体力学	45
3—5 随机介质力学	45
3—6 模型研究	47
3—7 简短的小结	50
第二节 半无限开采时的地表移动	50
3—8 地表的下沉	50
3—9 地表的垂直变形	55
3—10 开采系数及主要影响范围角	56
3—11 地表的水平移动及水平移动系数	62

3—12 地表的水平变形·····	65
3—13 盆地的平移及非对称性·····	66
3—14 盆地平移及非对称的简化计算方案及平移距的确定·····	71
3—15 理论结果与实际观测资料的对比·····	72
3—16 计算例题·····	76
3—17 简短的结论·····	78
第三节 有限开采时的地表移动·····	80
3—18 地表的下沉·····	80
3—19 地表的斜率及水平移动·····	82
3—20 地表的曲率及水平变形·····	83
3—21 理论结果与实际资料的对比·····	86
3—22 简短的结论·····	91
第四节 复杂开采及多煤层开采·····	91
3—23 迭加法則及复杂或多煤层开采影响的图解迭加法·····	91
3—24 理论结果与实际资料对比·····	94
3—25 简短的结论·····	96
第四章 地表移动的时间过程及等速开采时地表变形的计算·····	97
第一节 研究现状·····	97
第二节 有限开采时地表的移动和变形·····	99
4—1 地表的下沉·····	99
4—2 地表的水平移动·····	105
4—3 地表的垂直变形和水平变形·····	107
第三节 半无限开采时地表的移动及变形·····	109
4—4 地表的下沉·····	109
4—5 地表的水平移动·····	113
4—6 地表的垂直变形和水平变形·····	113
第四节 地表点移动的时间过程·····	115
4—7 地表点下沉及水平移动的时间过程·····	115
4—8 地表点的移动轨迹·····	117
4—9 地表点的下沉速度及水平移动速度·····	119
第五节 开采工作面停止后地表点的移动过程·····	120
4—10 有限开采的情况·····	120
4—11 半无限开采的情况·····	121
第六节 双向开采时地表的下沉及变形·····	122
4—12 双向背向开采时地表的下沉及变形·····	122
4—13 双向相对开采时地表的下沉及变形·····	124
第七节 下沉速度系数 C 的确定·····	126
4—14 由地表移动观测资料确定下沉速度系数 C ·····	126
4—15 国内几个煤矿的下沉速度系数 C 的数值·····	127
第八节 理论结果与实际观测资料对比·····	128

4—16 地表点下沉过程观测资料与理论曲线对比·····	128
4—17 地表点移动轨迹观测资料与理论曲线对比·····	132
4—18 计算例题·····	135
第五章 开采倾斜煤层时地表移动及变形·····	138
第一节 研究现状及地表移动过程·····	138
5—1 研究现状·····	138
5—2 地表移动过程的简述·····	141
第二节 地表下沉与水平移动·····	144
5—3 地表的下沉·····	144
5—4 地表水平移动·····	145
5—5 地表的垂直变形与水平变形·····	149
第三节 地表移动及变形的简化计算方法·····	150
5—6 地表的下沉·····	150
5—7 地表的水平移动·····	156
5—8 完全下沉盆地与不完全下沉盆地·····	161
5—9 地表的垂直变形·····	162
5—10 地表的水平变形·····	167
第四节 多煤层开采时地表移动及变形计算·····	171
5—11 迭加原理的应用·····	171
5—12 计算实例·····	172
第五节 地表移动参数的确定·····	174
5—13 由沿倾斜测线观测结果确定地表移动某些参数·····	174
5—14 我国几个煤矿的开采影响传播角 Θ 的数值·····	175
第六节 理论结果与矿山实际观测资料对比·····	176
5—15 賈汪矿务局夏桥煤矿·····	176
5—16 双鸭山矿务局岭东煤矿·····	178
5—17 淮南矿务局李二矿·····	180
5—18 頓巴斯煤田第19号煤矿·····	182
5—19 卡拉崗达煤田第5号煤矿·····	182
5—20 计算例题·····	183
参考文献·····	187

第一章 地下开采对地表影响的基本概念

第一节 研究岩石和地表移动的意义及现状

1-1 研究岩石和地表移动的意义与目的

随着社会发展和生产技术的进步，地下开采事业日渐发展，各种金属和非金属矿，煤和石油的地下开采量都很大。目前，世界上每年从地下采出的矿物，仅原煤一项就达十亿吨以上。每采出一亿吨原煤起码要在地下形成一亿立方米以上的采空区。矿体采出后，其上方岩石失去了支撑，原有的内部平衡被破坏，岩石就破裂、垮落，地表也就随着下沉，在地表形成陷坑、裂缝，以及肉眼不易识别的变形等等。

十九世纪前，人类的地下开采活动大多在地表上无建筑物和结构物的地下进行。当时人类对有用矿产的需用量还不很大，以至于没有必要考虑开采建筑物、构筑物及水体下的矿藏。尽管地下开采时地面上的农作物和森林等遭到一定的损害，但由于这些损害带来的经济损失较小，人们对地下开采的影响并未给予很大的重视。

十九世纪末到现在，世界工业区大发展，天然的可有用矿产的需要量大增，矿区范围迅速扩大。与此同时，围绕大矿区和大煤田形成了许多巨大的工业中心。由于地质勘探水平的限制，地表地形及交通等方面条件的限制，往往使得不少工业厂房和构筑物有意无意地建立在矿体之上了。或者在厂房建完之后，又在其下部发现了新的矿体等等。新工业区兴起后，围绕它们还形成了许多新的居民点和大小城镇。这些城镇压煤的数量常常相当可观。在当时看来，建筑物下所压的这部分矿体或者作为永久损失，或者计划等待建筑物报废之后再进行开采。然而，近几十年来，地下开采范围的扩大，使得地表无建筑区的地下矿藏日益减少。同时，由于生产技术的进步，使得原来在技术经济上认为不能开采而留在建筑物下的煤的采出成为可能。十九世纪末叶，压煤的开采问题在国外许多煤田，例如苏联的顿巴斯、波兰的上西里西亚及西德的鲁尔区等，就已显得逐渐严重起来。如何在最大限度地保护建筑物免受或少受开采损害的条件下，最大限度地采出其下部的有用矿床，就成了一个有重大实际意义的问题。

建筑物下的压煤安全开采问题对国民经济有十分重大的意义。以欧洲的情况为例，例如，波兰上西里西亚煤田^{[24][80]}矿井林立，工厂密集，大小城镇很多，工业十分发达。因此，工业和民用建筑物压煤的情况特别严重。二百年以来，自该煤田共采出了大约三十六亿吨原煤。然而，各矿井现有水平为保护地表所保留的保安煤柱所压的煤量就达二十一亿吨之多，即压煤为采出量的58.4%。第二次世界大战以来，波兰许多矿井由于无建筑区地下煤层行将采尽而有减产甚至报废的危险。这一问题曾引起了那里的许多学者的密切注意。生产的要求推动了科学研究的前进。近二十年来，波兰在其二十万人口的工业城市贝托姆，以及中小城市如扎布热，东布洛瓦，本津，霍茹夫等城市下面进行了全部或局部的

压煤开采。在“和平”冶炼厂，波布莱克炼焦冶金联合企业，捷尔任斯基冶炼厂及貝托姆火車总站等高度敏感的工业建筑物下(包括高炉和平炉)，以及在許多大型名胜古迹下(大型的教堂)，也都进行了压煤的开采試驗。这些建筑物下压煤的开采絕大部分都很成功，积累了丰富的經驗。有趣的是在貝托姆煤区，在石炭紀煤系之上还埋藏有丰富的鉛鋅矿床。德国法西斯统治波兰时期，为开采鉛鋅矿曾企图将整个城市迁往別处。战后，波兰合理地解决了这一問題，开采了煤层和鉛鋅矿，城市还是保存下来了。减小开采损害所采用的最主要方法是全部水砂充填。战前1939年波兰只有二十六个矿井使用水砂充填。战后到1955年增加到八十一个矿井。使用水砂充填时，地表下沉率下降到12%，在最好的情况下，可达6%；在这期間也应用了干式充填，部分水砂充填，加压水砂充填以及水砂充填物固化等方法。此外，在高度敏感的建筑物下开采时，还应用了水砂充填50%的带状开采，此时地表下沉率下降到1~2%。对地表被保护的建筑物，則采取錨栓加固和留变形伸縮縫等方法作为消除矿山損害的主要建筑措施。目前，波兰从建筑物下采出的煤量約占煤田总产量的40%左右。在苏联的頓巴斯，西德的魯尔区以及英国的几个煤田，建筑物下开采事业也很发达。英国和日本还在近海的煤田中进行开采，从海底采出原煤。

安全开采建筑物和水体下压煤的問題，近年来，在我国也一天天迫切起来^{[20][21]}。为了保护地表建筑物和自然物，到目前为止，我国采用的最主要的方法是留設保安煤柱。但是，保安煤柱的留設除了带来煤炭大量积压和損失外，还給生产正常的发展带来困难。开灤矿区京山铁路綫下的压煤就是一个这样的例子。铁路保安煤柱中积压了大量的煤炭，該矿区某煤矿煤柱以西的煤层即将采完，煤柱严重妨碍开采工作的发展。某錫矿的情况也类似。为了保护地表河流而按移动角留設的保安矿柱所压矿量竟占深部地质儲量的大部分。問題尚沒有最終肯定，这无疑严重地妨碍了开采工作的整个布署。对那些已經留設了保安煤柱的矿井，被保护建筑物遭受地表变形而引起損害的例子还是屡見不鮮。开灤和淮南矿区都有井筒变形的例子^[6]。現場的生产人員常常遇到确定合理煤柱尺寸的困难。过去留設的煤柱往往有过小而不能起保护建筑物的作用的問題，但也有尺寸过大，带来不良的技术經濟后果的現象。因此，深入研究我国各煤田的岩石和地表移动規律，制定更科学合理并切实可行的井上下建筑物保护規程就显得十分重要了。从1956年开始，在唐山煤炭科学研究所的組織和帮助下，已經在各大矿区进行了普遍的設站观测地表移动規律的工作。这一工作为研究我国的地表移动規律，提供了极其宝贵的資料。

誠然，我国一般煤田都保有巨大的儲量。目前并不普遍要求开采保安煤柱。但是，对一些开采規模很大，历史較久的老矿区却正面临着必須立即解决建筑物下压煤开采的問題。此外，由于特定的地质地形条件，許多矿区需要大規模地在水体下开采压煤。至于开采铁路下所压的煤炭，則是一个比較普遍的要求。

铁路支綫和地方性铁路綫下的压煤开采試驗，在我国許多矿区都取得了成功。焦作矿务局成功地在埋藏深95米的浅部用落頂采煤法分三层采出了总厚6.4米的大煤^[17]，并保証了铁路的暢通。唐山煤炭科学研究所正在对我国铁路下采煤的經驗进行总结^[12]。在这些經驗的基础上便有可能更大規模地开采铁路綫下的压煤。

流砂层下压煤安全开采的問題是我国煤炭工业的一个特殊問題。华东区在流砂层下冻

結的煤量很大。淮南矿务局与北京煤炭科学研究院协作在河流和流砂层下进行安全开采的試驗。大小河流压煤的問題在我国普遍存在。其中比較突出的有京西煤田，札賚諾尔煤田，本溪煤田以及新汶、北票煤田等。全国压煤总量非常大。各有关矿区与唐山煤炭科学研究所和北京矿业学院等有关单位协作研究过河下采煤的問題。在札賚諾尔、北票及新汶等矿区进行过水体下的开采試驗并取得初步成功^{[11][3][4]}。研究此类問題的目的主要是保証地表水和流砂不突然透入地下，因此，这一研究需要岩层移动和水文地质等专业方面的人員合作。

我們用两个例子來說明老矿区迫切需要解决压煤的安全开采問題。本溪煤田采屯煤矿东部为太子河与本溪市工业和民用建筑物所在区域。这个地区压煤量很大，使得中央式开拓的系統目前只能在西翼开采，形成两翼发展极不平衡的現象。因此，开采河床保安煤柱和河东建筑物下的压煤問題，就成为近年內必須解決的問題。撫順煤田的压煤情况同样是严重的。三个大型工业建筑物下积压的煤量数以亿吨計。市区的压煤量亦相当可观。这些压煤严重妨碍生产的发展。

至于井筒保安煤柱的回采，显然，目前在我国还没有迫切的现实意义。这一問題在西欧主要采煤国家已經提到日程了。在进行井筒保安煤柱回采的同时，有些学者提出了一种新的观点。他們认为应该在矿井的建設时期首先开采井筒保安煤柱中的压煤，也就是說不留設井筒保安煤柱。这时，要对井筒的施工和开采方案采取許多技术措施；但其技术經濟效果将会是很好的。在这种情况下，矿井的基本建設時間就可能縮短一年、两年甚至更多的時間。因此，井筒保安煤柱的开采也是很值得注意的問題。

綜上所述，我国目前急待解决的重大压煤开采問題可以归結如下几方面：

- 1) 大型工业建筑物和城市下的特厚煤层与煤层群开采。
- 2) 铁路干綫和大跨度桥梁下压煤的安全开采。
- 3) 流砂层，大的和小的河流与水体下压煤的安全开采。

这些問題的解决将給国民經济带来巨大的經濟效果。

1-2 研究岩石及地表移动的簡史

从十九世紀末到目前，岩石及地表移动的理论研究已有几十年的历史。但是，它的长足进展却是在第二次世界大战之后。从那时到現在短短的20年的時間里，岩石及地表移动的研究已經比較深入并系統化了，在这期間形成了許多观点不同的学派。以至到現在，它已經成为一門独立的学科——岩石力学的一个重要的組成部分。世界各主要采煤国家都在致力于这项研究。例如苏联的全苏矿山測量科学研究院（ВНИМИ）的学者阿維尔申（С. Г. Авершин）^[21]、柯洛特可夫（М. В. Коротков）^[70]、柯尔宾科夫（С. П. Колбенков）^[73]以及卡查柯夫斯基（Д. А. Казаковский）^[57]等；波兰科学院岩石力学研究室的学者布德雷克^[30]、李特威尼申^[87]、克諾泰^[63]、沙武斯托維奇（A. Satustowicz）^[113]和克拉科夫矿冶学院（A. G. H）的学者柯赫曼斯基（T. Kochmański）^[71]、科伐尔契克（Z. Kowalczyk）^[79]以及克伦恰尔（T. Klenczar）^[62]等；德国学者坎因霍斯特（H. Keinhorst）^[59]、巴尔斯（R. Bals）^[29]、聶姆契克（O. Niemczyk）^[105]、洛依貝

尔特 (K. Nleubert) ^[104]、派茨 (F. Perz) ^[111] 以及弗莱申特莱盖尔 (H. Fläschen-tzäger) ^[48]；英国学者瓦尔德 (K. Wardell) ^[128]、奥尔恰德 (R. J. Orchard) ^[110]、金 (J. King) ^[61]、貝利 (D. S. Berry) ^[31] 以及哈克特 (P. Hackett) ^[54] 等等。在许多国家，“岩石及地表移动”已作为一门必修课程列入大学采矿系和矿山测量系。

从十九世纪末到第二次世界大战，是本学科发展的初期^{[62][105][27]}。在这几十年中，人们开始认识到研究地下开采对地表影响的重要性，提出了有关岩石移动规律的一些初步的假说，并利用生产积累的经验初步在民用和工业建筑物下有意无意地进行了许多压煤开采的试验。下莱茵河煤田的一些矿山测量工作者，早在上世纪末就开始了地表移动的观测。他们根据自己多年的大量观测结果确认地表移动有自己的客观规律，对地表移动现象进行了一些科学的解释，并提出了一些经验公式来计算地表的下沉。当时的这些公式还停留在纯经验的基础上，没有上升为系统的理论，没有深入探讨岩石及地表移动的力学本质。当时还没有一个学者导出过地表下沉盆地的剖面方程式和地表水平移动方程式，因而也就无法预计地表各点的移动和变形。同时，纯经验公式有很大的局限性，不可能在各个煤田广泛适用。

第二次世界大战后至目前，是理论大幅度发展的阶段。建立了许多系统的理论，从各个不同的观点出发，研究了开采影响下岩石移动的规律，尤其是地表移动的空间和时间规律。其中尤以水平煤层开采的问题研究得比较多。比较著名的有布德雷克-克诺泰代表的几何学派^{[39][66]}、阿维尔申^{[25][26]}及沙武斯托维奇^{[113][52][128]}代表的连续介质力学派，以及李特维尼申代表的随机介质力学派^{[85][86][87]}等等。现有的理论可以比较有根据的说明岩石与地表移动的一般规律，其中的某些理论结果在实践中获得了广泛的应用并对建筑物的压煤开采工作起了指导作用。

1-3 研究岩石及地表移动的现状与发展趋势

到目前为止，研究岩石与地表移动的规律，以及确定它们的主要参数的根本方法是进行岩石及地表移动和变形的现场实测。实测资料也是制定在保护建筑物下开采压煤的具体安全措施的一项主要的依据。进行这项现场观测的意义是显然的。这项观测工作的细节通常都在矿山测量的教程中讨论。本书限于篇幅，仅介绍读者参考煤炭工业部的有关规程^[1]及唐山煤炭研究院编写的一些文献^{[13][14][10]}。

尽管几何学派的理论不能很好地解释岩石及地表移动的物理和力学本质。但是，由于它的明了简便而又能符合实际；因此，它得到了世界各国采矿界的广泛应用。应用这种理论，例如布德雷克-克诺泰理论，已经能够比较准确地预计地表各点的移动和变形，地表的变形值及其出现位置等等。连续介质力学的方法能够系统地解释岩石及地表移动的力学本质，然而，由于岩石的力学常数不易求得，所以它的应用受到了很大限制。阿维尔申第一个从塑性理论出发讨论过岩石移动，但在实际应用方面，他自己仍然使用一整套纯经验性的公式。随机介质理论发展比较晚，从1956年才开始，到现在虽仅数年之久，但这一理论的长足进步已经展示了它在实际中广泛应用的可能性。

由于现场观测岩层及地表移动是一项困难、长期、费用很大的工作；因此，岩石移动

的模型研究很受人們注意。模型观测的周期短，且可按需要进行重复試驗。因此，不論从驗証理論結果或解决实际問題的观点出发，模型試驗都是十分重要的。

总的來說，目前研究的方向是深入探討岩石及地表移动的物理力学本质以及影响这一过程的各种因素之間的內在联系，并不仅限于單純追求預計地表变形的精度。因此，对連續介质力学，尤其是考虑時間因素的流变学方法，以及随机过程理論的应用应給予很大的重視。在預計地表变形方面，应用电子模拟計算机是很有前途的方向。

目前，岩石及地表移动的研究工作中，还存在一些研究得不充分的問題：

1) 水平煤层的开采影响是研究得較多的。但是在过去的研究中，沒有看出地表下沉和其水平移动之間的內在联系；对于盆地的平移和不对称性沒有充分的理論解釋；有限开采时的地表变形闡述得不充分；根据矿山实测資料求地表移动的参数的方法过于刻板等。

2) 开采傾斜煤层时，地表移动的解析研究还不多見。只在个别論文中^{[107][94][91]}导出过地表下沉盆地剖面方程式及地表变形分布的公式。这一研究在过去尚不全面系統，沒有公认簡便而又切合实际的合理的計算傾斜煤层开采影响的方法。对于許多現象，例如下山边界上方的水平移动往往大于上山的相应值，沒有理論解釋等等。

3) 地表移动的時間过程目前研究十分不充分。解析地研究这一問題的論文还不多^{[67][65][98]}，有些也都不够完整。

4) 岩石移动通常当作平面問題考虑。沒有更多地考虑三維空間的岩石移动問題^[71]。

5) 岩石內部的移动規律还很少研究，这一問題具有重要的实际意义，諸如地下井巷的保护問題，煤层上行开采問題，都有賴于这一問題的彻底解决。

6) 开采井筒保安煤柱时的地表及井筒变形的研究很少^[68]。

7) 老采区开采影响活化的規律掌握不够。

8) 岩石及地表移动过程中，地质构造、水文地质、断层褶曲对地表移动的影响研究得不够。

9) 有建筑物存在时地表变形的規律，地表变形与建筑物变形之間的相互关系研究得不够^{[77][30][103]}。

10) 在岩石移动的研究中，只討論了岩石中的位移而放棄了岩石中应力的研究。将岩石移动与矿山压力联系起来，是件有意义的工作。

本书的目的之一，是希望在作者力所能及的範圍內，在几年来工作的基础上，对一部分上述研究得还不够的問題，提一些自己的看法以供参考。

第二节 地下开采时岩石与地表移动的一般規律

1-4 岩石移动的形式与开采影响的分带

有用矿物采出后，岩石失去原来的平衡而产生移动。这种移动的形式是极其复杂的，大体可归結为以下几种：

1) 矿体上方岩石的垮落（图 1-1）。矿层采出后，其上方岩石在自重作用下內部应

力超过岩石的强度极限而破裂、垮落。在采空区不充填或干式部分充填的情况下，顶板岩石一般都将发生垮落。使用水砂充填时，如果充填致密，就可能不产生这种垮落的现象。顶板岩石垮落后充填了采空区，由于垮落岩石体积膨胀，垮落区不可能无止境地向上发展。一般垮落带高为煤层厚的2~4倍^[114]。岩石垮落的范围称为垮落带。矿层愈薄，垮落的高度愈小。例如，在薄煤层条件下，垮落带高通常在1.7倍矿层厚度以下^[82]。

2) 上覆岩层的裂隙(图1-1)。形成垮落带之后，其上覆的岩层，随着垮落带碎岩的逐渐压密而发生下沉。但是它们并不垮落，而只是发生裂隙和离层。岩石裂隙的范围称为裂隙带。根据实际观测资料，裂隙带的高度大约与崩落带高度相等。垮落带和裂隙带内的岩石失去了原始的整体性，其移动的特征是不连续，尤其垮落岩石的移动更无明显的规律。上述两个带之间往往无明显的界限。当矿体埋藏深度较小时，垮落带可达到地表，从而在地表形成塌陷坑。裂隙带达到地表时，就引起地表发生裂隙。必须指出的是，这种裂隙与开采深度较大时的地表裂隙不同，它直通采空区，因而对井下安全威胁很大。

3) 上覆岩层的弯曲。在裂隙带之上，岩石一般不再破裂，而是在自重作用下产生法向弯曲(图1-1)。这部分岩层将保持其整体性，其移动过程连续而有规律。岩石只产生弯曲而保持其整体性的范围称为弯曲带。因此，弯曲带包括从裂隙带向上直到地表的整个岩体。如果开采深度较大，弯曲带的高度大大地大于垮落带与裂隙带高度之和。此时，裂隙带不达地表，地表的变形相对地比较缓和。虽然地表还可能产生裂隙，然而它们一般不直通地下采空区，通常在地表一定深度下即行闭合，这与垮落带或裂隙带达到地表时的情况有本质的不同。

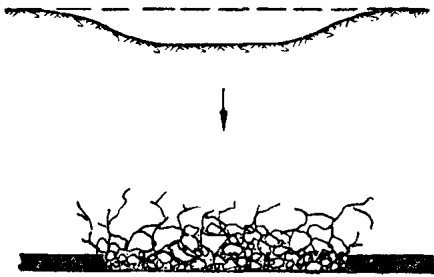


图 1-1

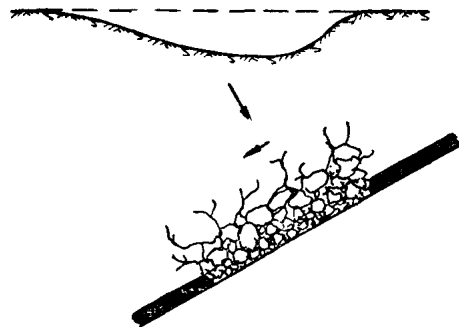


图 1-2

上述三种岩石移动的形式，是开采水平煤层时岩石移动的基本形式。开采倾斜煤层时，除了上述三种基本移动形式之外，还有：

4) 岩石沿层理方向的滑移。在岩层倾斜的情况下，自重方向不与岩层层理垂直。因此，岩石在自重作用下，除产生垂直于岩层方向的弯曲之外，同时发生沿层理方向的移动(图1-2)。如果把岩石的自重沿垂直和平行于岩层方向分解，就可看出：随着岩层倾角的增加，垂直岩层的自重分量减小，而平行岩层的分量增大。因此，岩层倾角愈大，沿层

滑移就愈显著。沿层滑移的结果，使得采空区上山方向部分岩石受拉伸，而下山方向受压缩。在岩石塑性较大的情况下，就导致采空区上山方向的岩层受拉变薄，下山方向岩层受压变厚。这种现象对研究相邻煤层的开采问题很有意义。

5) 垮落岩石下滑。煤层采出后采空区和垮落带为大小岩块所充满。如果煤层倾角较大，当继续下采形成新采空区时，其上部的垮落岩石就可能下滑充填新的采空区。开采自上而下进行时，上述现象特别明显。垮落带岩石下滑之后，其上部裂隙带岩石失去支撑而垮落，造成垮落带向上发展（图1-3）。如果岩层倾角很大，上山开采边界距地表又很近，垮落带就可能向上发展直达地表。上山边界所留护顶煤柱会破碎下滑而造成地表塌陷。随开采下延，地表陷坑深度可能逐渐增大。煤层倾角不大（小于 $40^{\circ}\sim 60^{\circ}$ ）的情况下，开采一般自下而上进行，垮落岩石下滑的可能性较小。

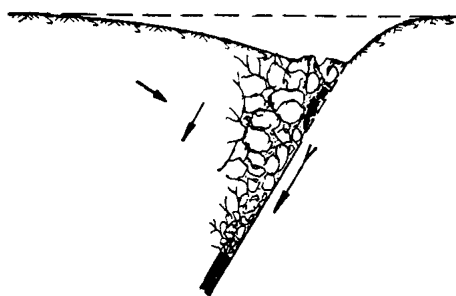


图 1-3

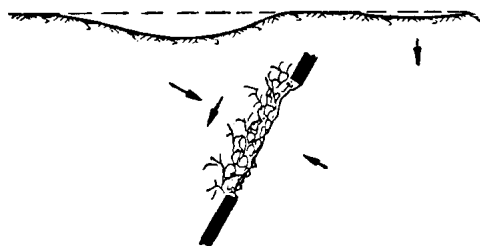


图 1-4

6) 底板岩石隆起。如果煤层底板岩石很软而倾角较大，则煤层采出后，底板岩石将向采空区隆起，造成底板岩石的移动。在有水作用的情况下隆起更为严重，甚至底板可能破坏。底板岩石移动有时能达到地表面，在煤层露头以外形成微小的地表下沉（图1-4）。在苏联各煤田，当倾角大于 $55^{\circ}\sim 65^{\circ}$ 时，就能观测得到上述现象。上述地表下沉一般很小，对地表建筑物的危害性不大。

1-5 非连续与连续的地表变形

(1) 非连续的地表变形

随着开采深度 H 、煤层厚度 m 、顶板管理方法及其他一些因素的不同，地表移动有多种表现形式。开采深度不大，用落顶法开采较厚的煤层时，地表就可能出现较大的裂缝或陷坑。根据苏联的统计资料^[58]，当 $\frac{H}{m} < 20$ 时，用落顶法开采引起地表剧烈变形。这时采空区边界上方地表常形成较大裂缝，在某些情况下，地表形成不规则的陷坑。根据波兰的统计资料^[92]，当上覆岩石大部为页岩的情况下，开采深度小于50米时，或上覆岩石大部为砂岩的情况下，开采深度小于100米时，地表常出现陷坑。图1-5和图1-6的照片是得自波兰新科西丘（Nowy Kościół）铜矿的例子^[97]。矿层厚2.4米，倾角 $4^{\circ}\sim 8^{\circ}$ ，开采深度30米。裂缝的规模从照片中已明显可见。

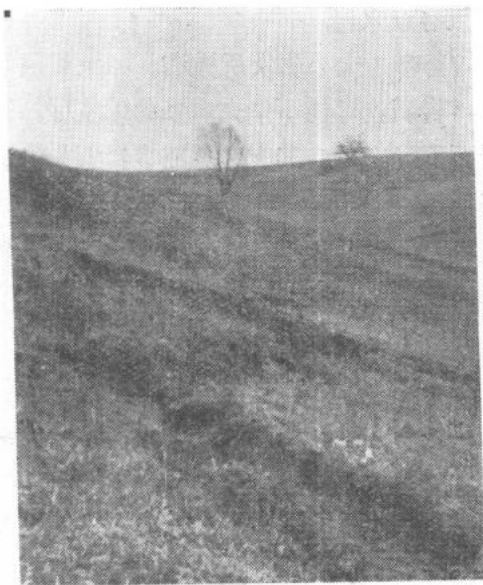


图 1-5



图 1-6

經驗指出，淺部開采地表陷坑的形成和分布往往與井下冒頂密切有關。當采空區距地表很近或覆岩很軟弱時，井下的冒頂常常通达地表，造成地表塌陷。視具體情況不同，陷坑可能為開口漏斗形或閉口漏斗形（圖1-7及1-8）^[78]。它們往往突然發生，在幾分鐘之內就在地表形成巨大陷坑，對建築物危害極大。例如，波蘭維利奇卡鹽礦（Wieliczka）地表某處，曾於1960年11月22日，在不到五分鐘時間之內，地表突然下沉形成塌陷坑^[53]。其上之房屋全部被毀（圖1-9）。事後查閱礦圖，才發現該處曾在距地表70米下，大約一百四十年以前，采出了一個尺寸為高22米、長36米、寬29米的塊體。撫順煤田搭連坑，日偽開采露頭附近煤層時，曾留有不大的護頂煤柱。日久，煤柱風化變軟而突然垮落，在地表形成很大的陷坑，位於陷坑範圍內的建築物全部被毀。開灤煤田唐山煤礦也有過類似的情況。

裂縫與陷坑不同，地表裂縫的分布與回采工作有密切的關係。通常裂縫的分布平行於停采綫和開采工作面。隨開采工作的推進裂縫也不斷向前發展。往往有一至二條主裂縫平行於開采邊界。當岩層節理很發育時，裂縫平行於某一組與開采邊界綫交角最小的節理方向^[38]。焦作煤田焦西礦102，106采區回采工作引起的地表裂縫可以作為一個例子^[8]（圖1-10）。通常裂縫寬度由地表向下逐漸變窄。除極淺的開采以外，地表裂縫一般是不直通采空區的。它們往往只在表土中發育，到基岩上消失。

如果礦層頂板中埋藏有厚層的堅硬砂岩，往往砂岩老頂隨工作面推進呈巨塊作周期性的折斷，這就導致所謂老頂的周期來壓。在波蘭煤田^[38]，一般每隔80~100米，甚至200米發生一次老頂折斷。這時，位於折斷面附近的地表建築物將遭到嚴重損害（但是兩折斷面之間的地表建築物在很大程度上等於受到了保護，它們只均勻地下沉而不至嚴重受到損害（圖1-11））。覆岩為厚層石灰岩時，地表移動的時間過程就會更加複雜。

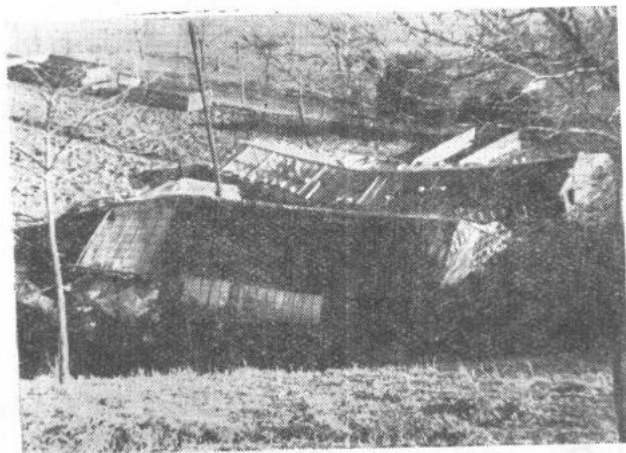


图 1-9

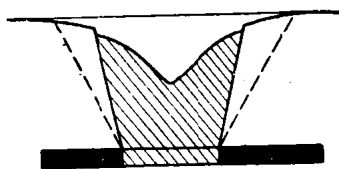


图 1-7

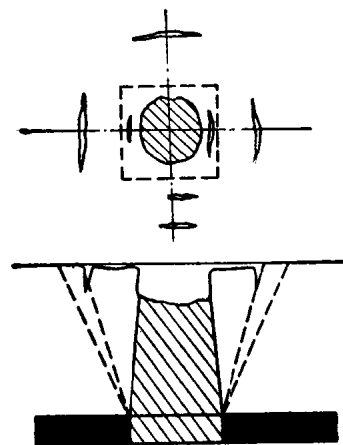


图 1-8

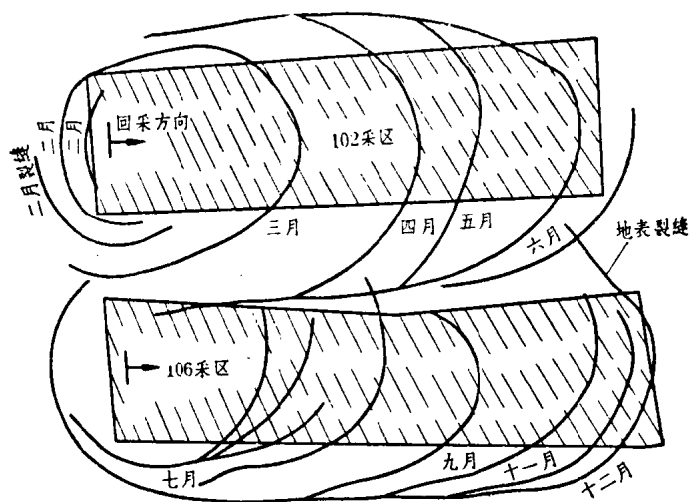


图 1-10

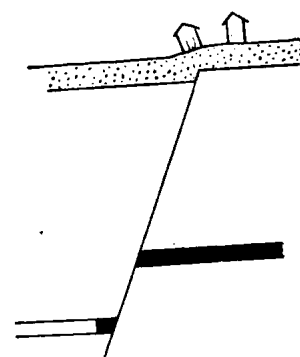


图 1-12

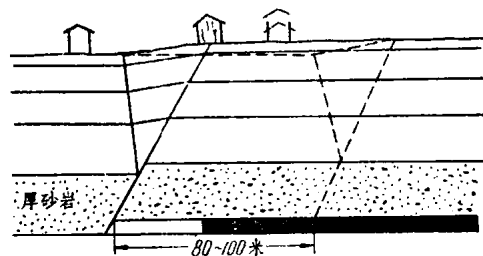


图 1-11

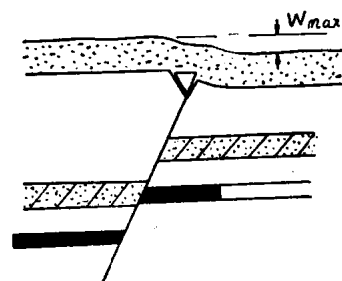


图 1-13