

煤矿地下开采的
岩层移动

240.1
017-02

煤矿地下开采的岩层移动

苏联 G.Г.阿威尔辛著

北京矿业学院矿山测量教研组译

煤炭工业出版社

內 容 提 要

本書俄文版本在苏联出版后，因其学术上的优异成绩曾获得斯大林獎金，它是岩层移动問題方面的經典著作之一。

本書共分三篇：第一篇叙述岩层移动的研究內容、研究状况及研究成果；第二篇叙述与岩层移动有关的某些問題，其中包括地面移动观测成果及确定移动盆地要素的誤差；第三篇叙述岩层移动的計算問題。

本書可作为矿业学院矿山測量专业的教学参考用書，也可供这方面的研究人員及生产人員閱讀参考。

С.Г. Авершин

СДВИЖЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ
ПОДЗЕМНЫХ РАЗРАБОТКАХ

Углетехиздат Москва 1947

根据苏联国立煤矿技术書籍出版社1947年版譯

1317

煤矿地下开采的岩层移动

北京矿业学院矿山測量教研組譯

*

煤炭工业出版社出版(社址：北京东长安街煤炭工业部)

北京市書刊出版业营业許可証出字第084号

煤炭工业出版社印刷厂排印 新华書店发行

*

开本 850×1168 公厘 $\frac{1}{32}$ 印张 $12\frac{1}{4}$ 字数277,000

1959年12月北京第1版 1959年12月北京第1次印刷

統一書号：15035·981 印数：0,001—3,000册 定价：1.90元

前 言

有关岩层移动问题的范围极广，甚至即使在一本具有专门性质的书中也不可能详尽无遗地包括所有的問題。本書中，除了自己研究的新成果之外，我們認為有必要涉及到問題的內容及其研究状况。在世界的文献中，这些問題的目前研究状况主要是叙述实验研究的成果。有关这些問題的本国文献还极少。因为岩层移动問題內容及其具体的問題，甚至在与矿业有关的专家們中間还远非所有的人都熟識，因此，我們在本書的第一部分中，足够詳尽地談到了那样一些实际資料，它們能促进瞭解此問題的經濟和技术的內容。

乍一看来可能发现我們这一部分实际材料太多了，不过，它們还不及在世界文献中所包罗資料的百分之一。

从丰富的材料中，我們只利用了那些在实質上反映了在这些問題上我們知識的发展水平和对于这些問題的理論研究与实际利用是具有意义的資料。

本書分为三个部分。在第一部分中叙述了此問題的历史、經濟和技术內容及其研究的现状。根据采矿业实践实际資料，来闡明技术和經濟的內容。

在第二部分的个别章节中，提出了我們研究岩层移动的新成果，这些研究是由于采矿工业发展結果所产生的新問題而引起的。这些問題涉及到采动建筑物、确定地下煤炭燃烧时发火面的位置等方面。

在第二部分的末了，研究了用长期仪器观测的方法确定下沉盆地要素时的誤差。第二部分是第三部分中所叙述的理論体

系的基础。

第三部分包括了我們初次所提出的新的理論研究成果。这些研究涉及到作为我們所提出的地表移动量計算方法的基础的移动过程的某些性質。

我們意識到，我們的大多数成果离其成功尚远。組成我們所研究內容的課題是如此的复杂，以致很难給它們以完全成功的解决。虽然如此，我們仍決定发表自己研究的某些成果，因为它們是新的，它們揭示了新的方向，因而，有助于吸收科学技术思想到这些新的道路上来。

最后，作者也認為有必要將理論上研究岩层移动的嘗試的初步成果发表出来。

目 录

前 言

第一篇 岩层移动問題的研究内容和状况

緒 論	5
第一章 岩层移动問題	14
I. 概述	14
II. 开采的有害影响的类型	15
III. 采动建筑物和水体下的实际經驗	20
IV. 地面移动所引起的物質損失	43
第二章 岩层移动問題的研究状况	47
I. 概述	47
II. 岩层移动的理论	50
III. 用系統观测的方法研究地面移动	75
IV. 在岩体中岩层移动的研究	116
第三章 研究移动过程的某些成果	142
I. 各个因素对地面移动过程的意义	142
II. 地面移动过程的延續時間	155
III. 关于建筑物的特殊結構及其在下沉盆地內的分布	159

第二篇 研究地面移动的新方向

第一章 理論計算的試圖和新問題的內容	167
I. 論地面移动数值的計算	167
II. 若干新問題的內容	185
第二章 新的地面移动观测的成果	196
I. 概述	196
II. 移动盆地及其要素	207

III. 下沉速度	225
IV. 确定发火面的位置	240
第三章 仪器观测确定移动盆地要素的誤差	254
I. 概述	254
II. 用仪器观测方法确定移动角时的誤差	255
III. 由于应用借测量方法求得的移动角所得到的誤差	266
IV. 确定移动盆地其他要素的誤差	274

第三篇 地面移动的若干数学理論問題

引 言	277
第一章 从数学塑性理論观点看岩层移动	280
I. 概述	280
II. 重力塑性半平面的应力	282
III. 在重力塑性半平面情况下的速度	287
IV. 实际研究的结果及其与理論結果的比較	299
第二章 地面移动曲綫的积分性質和微分性質	305
I. 概述	305
II. 根据过程終了时所得移动曲綫的积分性質	308
III. 移动曲綫的微分性質	320
第三章 岩层移动要素的計算	331
I. 概述	331
II. 对下沉曲綫性質的一些补充	332
III. 下沉曲綫的計算	333
IV. 求参数 γ_0 和 l	341
V. 自前面公式中导出的一些結果	351
VI. 根据短期观测結果作下沉盆地	358
VII. 与工作面推进方向重合的綫的地面移动的波动特性	359
VIII. 水平移动分量的計算	362
IX. 計算移动盆地基本要素的例子	364
参考文献	384

第一篇 岩层移动問題的 研究内容和狀況

緒 論

地块的不稳定性和移动是由許多不同原因所引起的。移动过程本身是非常复杂的，它取决于大量的因素及大多数因素的綜合影响。如果考虑到与此現象有关的技术問題的多样性和复杂性，那就很清楚与地块移动过程有关的知識領域應該有多么广泛。技术人員主要是从各类建筑物可能损坏的观点出发关心地块移动現象。問題的广泛性迫使将它划分为各个类别，以便更深入地瞭解这些問題。

最明显的地块移动現象我們可在地震时看到。地震的悲惨后果和由此产生的技术問題的意義是众所周知的。

伴随着地震的发生，在地面經常呈現裂縫。有时候沿着裂縫发生頗大地区的位移。例如，在中亚細亚，当发生这种位移时，可以看到铁路鋼軌的弯曲。

地震时常引起相当大面积的下沉。例如，1755年在里沙堡发生地震时，海岸曾下沉到海里。

地面移动的原因还有很多，虽然后果不是那么严重，但对维护建筑物而言，却仍然是足够危险的。其中某些原因我們在下面要更詳細地談到。

地表，更正确些說，形成可見地形的岩层远非到处和任何时候是处于平衡的状态和靜止不动的。在不同時間內，忽而在地面的一处，忽而在另一处，由于各种各样的原因发生了上部岩层平衡的破坏，这些岩层的各个部分产生了移动。

地壳构造的变化和地形的改变可以是由于产生在深部地层内的物理机械作用所引起的，也可以是由于在上部岩层内和地表本身上面所发生的作用所引起的。

深部的作用是緩慢地进行，因而它在地面上的反映也是緩慢的。造山运动、地面个别部分长期的升起和下沉就是这样的。例如，斯塔得那維亚海岸正发生不均匀的垂直移动。

F.G. 海恩(1)指出，丛得瓦尔旁的海岸在一个世紀内上升了1.36米，斯得哥尔摩附近的海岸上升了0.24米等。博得尼捷斯基海湾的西海岸上升的最新研究指出了上升速度是每年1厘米。斯塔得那維亚的升起在南方轉为下沉；例如，德国的海岸就在下沉着。长期的上升分布极广，它不仅具有理論意义，而且如果注意到象要存在几世紀的运河这种建筑物，那末它还具有实际意义。

然而，不言而喻，緩慢的变动和緩慢的升降若与其他形式的地面移动比較来看，那它在建筑工程問題中不起显著的作用，而且从损坏建筑物的观点来看也不是主要的。必須更仔細地去考虑那些进行得比較快的移动。移动的速度极不一致——从每年若干厘米直到突然而迅速的崩塌。

在直接与地表相連的岩层内产生了各种物理机械作用必然会引起地块的移动。产生这种移动的原因很多，可将它們合理地分为两类——自然的原因和人为的原因。属于第一类的，例如，有自然斜坡和斜面的不稳定性等等，它們引起了滑动和崩散；属于第二类的是由于人类的活动結果（建筑和开凿运河时的人工挖掘及采矿）在地壳内形成的各种凹坑和空洞。也有不少由于这两类原因的共同作用結果所引起的移动情况。

地面上大气的流动破坏了岩层，使它失去了在岩体中原有的坚固性而成为松散的，然后产生滑动等等。靠近自然或人为

斜坡的地下水的作用能引起相当大块岩体的移动(滑动)。大家都知道，在沙漠地区由于风力作用使大块的砂石移动数百公里。

所有这些作用或类似于它的作用改变了地貌，在采取某些技术措施和兴修建筑物时，必须考虑到这一点。

地貌学的研究揭示出一些现象，很难把它们列于地面上通常的岩块移动过程的范围内。例如，山脚下的干燥表土是大块地移动着，直至斜面角小于 $2-3^{\circ}$ 为止。在谿谷地带表土经常是沿着倾斜为 $4-5^{\circ}$ 的斜面发生滑动。

类似的作用是很缓慢地延续着，但毫无疑问，它们是危险的，特别是对那些地下管道等建筑物来说。例如，将藤制水道敷设在易于移动的上部地层内时，管子就经常要破裂，但若将它们敷设在移动地层之下比较深的岩层内，上述的损坏就不发生。

在北方，在冻结土壤的鼓胀影响之下产生地表的变形作用。这种变形能达到很大规模，也会引起建筑物的损坏。

在所指出的地块移动形式中，滑动的形式是特别为人们所知道的。这类移动恰好与我们在本书中所要研究的现象近似。

在这些情况下，岩层可能移动、破坏、滑落等等。经常有这样的情况，我们把岩层和地表移动归结为地下开采的影响，但实际上它也是由完全另外的一些情况引起。因此，必须经常记住，除了采矿之外，还有许多其他引起地块移动的原因。

因为地块移动形式很多，因此要把它分类。例如，著名的地质学家 A. 吉姆〔2〕将地块移动分为六种主要形式：

1) 表土的滑动；

- 2) 表土的崩塌;
- 3) 基岩的滑落(断裂);
- 4) 基岩的滑动状移动或崩塌状移动(基岩的崩塌);
- 5) 基岩的位移;
- 6) 基岩崩塌的特殊情况。

其他研究者们建议按移动速度的标志来分类(柏拉翁)[3]按移动地块的构造来分类(朋克)[4],或是按岩层的物理性来分类(吉尔察琪)。

著名的瑞典地质技术委员会曾按断裂的性质,按产生移动的原因及按移动过程的差别来进行移动的分类。

这些分类在极广的意义上考虑到滑动。它在人类经济-技术活动中起了如此巨大的作用,以致于要求有滑动式移动的专门科学分类。有关这些问题的科学和技术的发展创立了极为广泛的论述滑动过程的知識部門。

滑动有时候是由于整个有联系的岩块沿着裂缝或是沿着倾向斜坡的层面下滑的结果。类似的现象在矿区将引起悲惨的后果。例如,1806年在瑞士的哥里大塌城,滑动的地块毁坏了111座房屋和二座教堂,并有457人死亡[5]。滑动地块的体积将近15,000,000立方米,长1500米,宽320米,厚32米。滑动面的倾角为20—30°。

没有软弱面时也会产生滑动。

形成这类滑动的原因是复杂而多样的:包括——相当的岩层组成和交替性,这些岩层相当的产状和适当的物理机械性质。同时,地下水也起巨大的作用。

滑动有时是威胁性很大的现象,与其作斗争是非常困难的。滑动状移动的破坏性后果能在很多河岸和海岸边看到。在我们苏联,在伏尔加河、里海海岸(敖德萨、克里木)和许多

其他地方滑动特别厉害。

危害常常伴随着人类的死亡。例如，1918年在維打·西庫但拿发生了滑动，引起了铁路路基的损坏和火车的出轨。同时死亡了41人（引自瑞典地质技术委员会的著作）。

在下面探讨的基础上〔6〕可以取得关于这类移动过程的近似概念。

滑动现象产生在塑性的和松散性的岩层中。在这些岩层中，斜面是因摩擦力和内聚力才不产生破坏。这些力和重力的相互作用结果将确定斜面是稳定的或是不稳定的。

滑动是沿滑动面产生的，因此，实质上要正确理解滑动过程是取决于滑动面的正确概念。

在某种近似意义上，可将此面看作是圆柱面（彼得松）。此圆柱的半径和中心是能够确定的。

在图1中表示滑动的示意图。假设我们经过计算得到中心点 O 的位置和圆柱半径 r 。然后，又假设滑动体的重心为 S 点。用字母 G 表示这块岩体的重量，而 OS 线的水平投影用 a 表示。我们将有产生滑动的旋转力矩等于 $G \cdot a$ 。反抗这些力的将是沿滑动面（ $I-II$ ）的摩擦力和内聚力。在某些岩层中，例如，在半坚硬的粘土中，摩擦力可忽略不计，此时只剩下内聚力去反抗滑动。内聚力是沿滑动面起作用的，此力对于中心 O

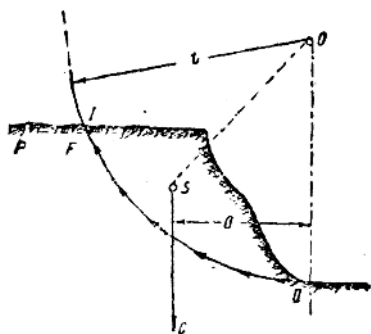


图 1

的单位力矩将等于 $P \cdot r \cdot \Delta F$ ，其中 P 是每单位面积上的内聚力。而总内聚力矩将等于 $P \cdot F \cdot r$ ，其中 F 是滑动面（宽度为一个长度单位的带）的面积。

这样，应该用下列等式求滑动力矩：

$$Ga = PFr.$$

其中，自此式可确定 P 。这样，当已经产生过滑动时，就可得到该岩层的内聚力数值。例如，对维打·西庫但拿的滑动情况曾用此式求得 P 值。此处 P 约等于2吨/平方米。

所举出的滑动过程给予了关于滑动作用情况的极近似概念，但我们认为将此概念作为描述滑动体重力与作用在岩体上的反力间相互作用的一般性质还是恰当的。

最近10年来，对地块移动问题所表现的巨大兴趣是很清楚的。铁路网的迅速发展伴随着各种形状的塹沟和土堆，要保证它们的稳定性；开凿运河形成了巨大的人为的斜面；水电站和它们的堰堤；在河岸和海岸的斜坡上建造港口和城市等等，——所有这些均与地块稳定性问题有密切的联系。地块稳定性问题已发展到是一个最巨大的工程技术问题。许多研究人员、研究机构和实验室在为解决此问题的各个方面而工作着。

这些努力的结果是伟大的，虽然其许多方面尚待解决。需要指出，这些研究的主要方面是相当多地利用了力学方法，其中包括連續介质力学的严密方法。十分注意理论很好地表现在这方面上，即目前在对待类似斜坡稳定性和支撑墙上压力等这样的问题，地块的可能变形和移动的过程的基本特征已被查明，并且已找到计算的方法。

的确，所有这些距完成还很远，但无论如何，广泛地利用现代力学的巨大成就并结合丰富的实验能保证这个知识部门的可靠发展。

著名的研究者吉尔察琪是有效地利用了物理学和力学的一个例子，他在土壤力学领域内获得巨大的成就。

雷肯、雷薩尔、佛朗特尔特、費林紐斯和其他人的理論著作已經可以在目前以所要求的近似程度去解决有关地块稳定性的問題。

在此领域内，苏联学者 B. B. 索柯洛夫斯基〔7〕教授的工作成果应受到特別的注意。索柯洛夫斯基教授利用連續介質的基本微分方程式及散堆和塑性体的基本性質，給出了解决有关地块稳定性和压力問題的精确的一般方法。

在稳定性問題的理論方面，上述著作已充分解决了，但是，利用这些成果时还要求解决类似备用系数这样的問題。在理論上，关于岩体极限平衡状态的問題算是解决了，但是，实际上我們不能够介紹采用不稳定的极限状态。

什么是备用稳固性？应取多大呢？这就是問題所在，解决此問題是取决于应用理論研究成果的效果。直到目前为止，这个問題还没有得到足够完滿的解决。虽然如此，仍然需要說明，地块稳定性和压力問題的理論並沒有落在整个問題发展进程的后面。

此断言需要比較斜坡上地块稳定性問題的研究状况和另一个接近所述問題的理論状况，即关于在地下开采影响下的岩层移动的問題。

斜坡滑动和稳定性的問題与采矿业有直接的利害关系，类似的問題在露天金屬矿和露天煤矿中均会产生。

例如，直到目前为止，在巴格斯洛夫斯基和柯尔欽斯基矿产地（烏拉尔）露天开采的边帮稳定性問題仍然尚未解决。采矿业中类似的实例有的是。

在文献中能够讀到有关深部露天褐煤矿开采时边坡的严重

滑場的記載。例如，开格尔(Braunkohle, 1931, S.225)、克萊橙格(Braunkohle, 1932年, S.441)記載了在別依捷尔格魯別、富尔通拿(Кельнский地区)等露天矿的滑动。

1934年在深度小于90米的別依捷尔格魯別露天矿，发生了矿石堆的崩塌，它座落在露天矿的边帮旁。崩塌了750,000立方米体积的岩石，它使40,000立方米的煤柱产生移动。同年第二次边坡崩塌将近有500,000立方米。移动开始时的速度是每天2—3厘米，后来达到每天14厘米，最后，突然地埋复了露天矿。

1935年在深度为80米的富尔通拿露天矿，边坡突然发生移动，其体积达300,000立方米。移动发生得如此突然，以致于两个领导工作的矿工被压死在崩塌的岩石下面。

在金属矿产地条件下，露天开采时的边坡移动是常有的，而且几乎在所有情况下都带来了损失。可以举出下列例子：克里沃洛格铁矿的开采和命名为斯大林的黄铁矿（烏拉尔，凱斯提姆地区的开采；此处曾因移动破坏了女共青团員矿井；在列微因金属矿的开采（烏拉尔）等等。在露天和地下混合开采的情况下，边帮的不稳定性将有所增加。

特克瓦尔捷耳矿产地在山的深部中进行开采时（高加索）曾发生过极为复杂的山坡不稳定問題。直到目前为止，許多专家們的努力还不能解决这个問題，而矿山繼續遭到損害（曾损坏了通风机、压风机等等）。

从图2可看出关于靠近移动斜坡地面破坏的程度，图2是我們引举的帕尔密耳(Trans of the A.I.M.E, 1930, V. 91)的論文中的一个例子，此論文是論述深215米的Rio Tinto露天矿(西班牙)的下沉。帕尔密耳花了20年功夫从事研究 Rio Tinto 露天矿的边帮移动，并詳尽地描述了此現象。正如我們

所看到的，在这些情况下移动引起极巨大而危险的裂缝。

自上述的例子可充分确信，滑动和边坡稳定性的问题对采矿业来说并不是陌生的，在这里应该利用理论的和与滑动作斗争的实践的丰富成果，在本书中我们将研究在地下开采条件下的岩层移动问题。

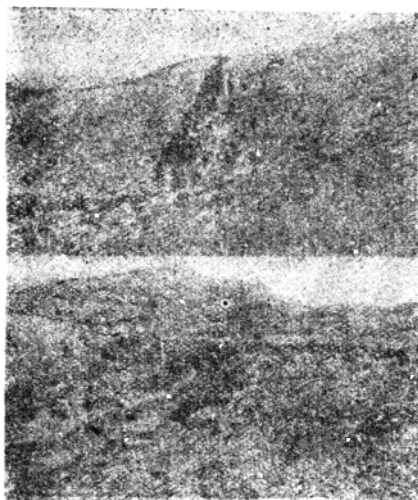


图 2

直到目前，关于在采矿影响下的岩层移动理论，若与此领域内的实验研究成果相比的话，仍然是发展不够。与岩层移动现象有联系的问题的复杂性和重要性要求大量的理论研究，同时要求广泛地开展实验研究。

在现代的回采工作面上方的岩层移动，照例是可以达到地面，并能使位于此地面内的各类建筑物遭受损坏。

采矿业的实践证明，在现今遇到的最深开采情况下，岩层移动将达到地面。例如，英国的研究者奥·多纳旭（O' Donahue）指出过当层厚1.14米而采深为1000米时地面下沉值为0.33米的情况。

岩层和地面的移动能具有不同的强度——从极缓慢而均匀的下沉直到猛如地震的崩塌。许多作者都指出这种由于采矿所引起的猛烈的崩塌。例如，拉查尔谈到上面里西亚一个矿井的实际情况，那里开采8米厚的煤层。崩塌具有如此猛烈的性质，以致在半径为几公里的范围内都能感觉到土地震动。

采空区上方的地面移动可能损害，甚至破坏各种不同的建筑。这些建筑物包括有房屋、桥梁、水渠、隧道、铁路线等等。这个现象很早就受到注意。早在上世纪中叶世界上已有许多矿业专家开始对有关岩层移动的问题给以很大的注意。某些导向维护地表免受地下开采有害影响的法律性措施远在十五世纪就已经有了。例如，在比利时我们就可遇到这样的法律（1487年）。

正如下面我们要看到的，虽然在这里所研究的问题具有悠久的历史，但它们仍然还是研究得不够。

第一章 岩层移动问题

I. 概 述

为了阐明与岩层移动现象有关的技术问题的内容和重要性，我们首先简述某些采矿工业实践所提供给我们例子。

由于采矿破坏了岩层的平衡，它使岩层本身变形，其完整性被破坏。在开采面积足够大时，就引起了岩层的移动。在巷道附近开始的移动将扩展到上部复盖岩层，而当采空区达到一定