

全苏矿山测量科学研究院編

采掘影响下的 地表变形計算指南

(頓巴斯)



淮南矿业学院
煤炭工业出版社
章

內 容 提 要

本書分为六章。第一章闡述地表移动过程的基本概念；第二章講解移动盆地的分布、变形、断面、移动角和移动延續時間；第三章講解地表变形計算；第四章講解地表移动特点；第五章講解建筑物维护問題；第六章列举頓巴斯各矿确定移动角、下沉值、傾斜值、水平变形值等等的原始数据。

本書可供矿山測量人員、設計工作人員及建筑工作人員閱讀。

本書的序言和第一、二、三、四、六章是由合肥矿业学院矿山測量教研組韓曙光同志譯出的，第五章是由該教研組譚福董同志譯出的，全書是由該教研組楊安民同志审校的。

ВНИИ

РУКОВОДСТВО ПО РАСЧЕТУ ДЕФОРМАЦИЙ
ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОД ВЛИЯНИЕМ

ГОРНЫХ РАЗРАБОТОК В ДОНБАССЕ

Углетехиздат Москва 1954

根据苏联国立煤矿技术書籍出版社 1954 年版譯

698

采掘影响下的地表变形計算指南

(頓巴斯)

合肥矿业学院矿山測量教研組譯

煤炭工業出版社出版(註：北京东長安街恆興工廠製)

北京市書刊出版業營業許可證出字第084号

煤炭工業出版社印刷厂排印 新华書店發行

开本787×1092公厘 印張4十 字數75,000

1958年4月北京第1版 1958年4月北京第1次印刷

統一書号：15035·433 印数：0,001—4,000册 定价：(10)0.65元

全苏矿山測量研究院頓涅茨分院在多年工作中积累了有关頓巴斯采矿影响下地表移动問題的大量資料。

这些資料中包括：煤田中各矿用仪器观测的成果，这些地方采动建筑物的观察結果以及这些建筑物变形的确定。

在研究的现阶段，頓涅茨分院在解决各种不同的实际問題中已經利用了这些資料，綜合了这些資料，并确定出移动过程的规律性。

綜合工作也正是在編制这本“地表变形計算指南(頓巴斯)”时完成的。

这本“指南”是針對緩傾斜及傾斜(45° 以下)煤層編写的，因为对于它們情况已經有了充分的資料。

由于在急傾斜情况下的观测資料不足，反映出来的移动盆地上变形分布的规律也不够明显，因而对于急傾斜煤層暫時就不能作出类似的綜合。

根据这本指南，可以在回采工作到达所研究的地区之前，計算預期的地表变形，并且可以有根据地解决有关建筑物下的煤層开采問題。

“頓巴斯保护建筑物免受采掘有害影响的規程”所依据的原則——即变形决定于采掘比^①是变形預算的基础。

① 即开采时煤層厚度与上复岩層厚度之比，以下同。——編者

無疑地，根據多次觀測計算移動的方法比上述方法是
優越些，因為它的成果嚴格地適于采掘工作的實際條件。

“指南”中所介紹的變形計算方法，是以根據平均數據
求得的关系為依據的。因此，不能指望計算出來的數據與
實際情況完全相同。求得的計算成果，只能看做帶有一定
差誤的某些平均數據。

雖然如此，由于“指南”所介紹的方法簡單而易于理
解，當組織多次觀測有困難或者是不可能時，它還是可以
在生產中應用的。

地表變形計算“指南”對於頓巴斯礦的廣大的礦山測量
工作人員、設計工作人員及建築工作人員，提供了用以解決
在建築物下面可能開采的問題，以及在煤層上方可能建築
的問題。

“指南”是由頓涅茨分院一級科學研究員 П. Ф. 格爾
特涅爾編寫的。

分院的工作人員 Н. К. 廖恩契夫, С. И. 尼科爾斯基,
А. М. 舒什科夫, К. П. 查伊卡, А. И. 瑪祖羅娃, Е. А.
朗德里參加了資料整理工作。

目 录

序言

第一章 移动过程的基本概念	5
第二章 地表移动过程	8
一、移动盆地的分布	8
二、盆地范围内的变形	9
三、水平变形	10
四、垂直变形	13
五、盆地的主断面	17
六、移动角	19
七、移动过程的延续时间	22
第三章 开采单一煤层时地表(表土)变形计算	24
一、移动角	26
二、最大下沉值 η_0	30
三、最大倾斜值	32
四、最大倾斜差值	35
五、最大水平变形(拉伸及压缩)	37
六、变形带及最大变形值在盆地上的分布	39
七、移动过程延续时间各阶段以及活跃阶段	
下沉速度	44
八、沿走向方向的盆地边沿的变形	46
第四章 开采几个煤层时地表移动的特点	48
第五章 根据地表变形计算, 解决建筑物维护问题	

的例子	52
第六章 編制“指南”的原始数据	100
一、确定移动角的原始数据	100
二、最大下沉值 η_0 的原始数据	106
三、确定盆地上最大傾斜值、最大傾斜差值及 最大水平变形值的原始数据	112
四、确定最大下沉、变形分布帶及最大变形值 在移动盆地上位置的原始数据	121
五、确定移动过程延續時間的、各阶段以及 活躍阶段下沉速度的原始数据	130
六、确定沿走向方向的盆地边沿变形的原始数据	132
附录	132
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
67	
68	
69	
70	
71	
72	
73	
74	
75	
76	
77	
78	
79	
80	
81	
82	
83	
84	
85	
86	
87	
88	
89	
90	
91	
92	
93	
94	
95	
96	
97	
98	
99	
100	

第一章 移动过程的基本概念

当解决任何一个建筑物下的回采问题时，也就是当确定保护建筑物免受采矿影响的方法时，确定该建筑物在采矿工作影响地带内分布的位置是很重要的。

这可以确定可能变形的性质及其对该建筑物的危害程度。

因此，必须有关于地表移动过程以及煤层上复盖岩层移动过程的明确概念。

复盖岩层的移动过程

在层状矿产地进行大面积回采工作时，复盖岩层原有状态受到破坏，这种破坏由采空区及于地表。

因此，复盖岩层中的移动过程，可以看成是采空区上方由岩石组成的连续介质的变形过程。

现代的连续介质理论及连续介质在地下的基本物理特性证明，进行开采的深部岩石近于弹性状态。

由于回采工作的影响，岩石发生变形，弹性平衡受到破坏，岩石开始移动。介质的这种状态已经不能再当作弹性状态来看。岩石移动是非常复杂而且是物理的非均质的自然现象。在地面上的不同点、在移动进行的不同阶段以及在决定岩石破坏程度不同的采矿地质条件下，这种现象

就为不同的变形规律所支配。

一般認為：在这个阶段，必須把岩石移动过程看作是物質的塑性的移动过程，而把介質看作是塑性介質。

掘进后，圍岩的应力逐漸遭到破坏。在巷道（平巷、石門）尺寸不大时，圍岩中的应力虽然發生变化，可是随后就可以保持平衡，構成稳定的力系。

在尺寸較大的巷道的上方，像回采区的上方，岩石失去了平衡状态；在采矿工作进行时，就發生塑性移动——“滑动”。随着回采工作面的推进以及当回采工作面逐漸远离已破坏的、正在移动着的岩石区域时，岩石移动將會停止，只是此时移动作用的結果只能使岩石压得比較緊密。

通常，岩石只是在巷道附近某些地区內受到破坏。例如，在某些开采方法中只是回采区的直接頂板發生破坏。老頂岩石，特別是接近于地表的岩層，从开采工作的某种深度以上通常都不会發生破坏，而只是成塊地發生移动。复盖層中的所有岩石都保持有这种移动的特性。

通过对矿产地开采的實踐、对巷道頂板动态的多次研究以及对地表移动进行的多次观测，就可以得出关于采空区巷道上方复盖岩石以及地表移动性質的充分而正确的概念。

这些研究証明：破碎帶以外的岩層的变形(移动)是与弯曲变形相似的。

頂板岩石的破坏乃是自然發生及發展的过程。破坏的过程自采空区开始，向复盖岩層發展；有时（当开采深度不大时）并达到地表，引起劇烈的不均衡的地表移动，使

地表的連續性受到破坏(即生成裂縫)。

岩石破碎帶的高度可由下面的关系式求出：

$$H = \frac{m}{K-1},$$

式中 H ——破碎帶的高度；

m ——煤層厚度；

K ——岩石碎脹系数。

根据各个研究者的数据看来，这一系数决定于煤層的厚度及頂板岩石的性質，其变动范围非常大，即由1.01到1.40。由于頂板管理方法的不同，破碎帶的高度也可能小于上式所計算出的数值。特别是当采用充填法时，就有可能只在弯曲的岩層中發生裂縫而不形成破碎帶。

在岩石破碎帶及不規則的破裂帶之上有一个岩石帶，这个岩石帶被裂縫破裂成岩塊，这些岩塊均在有規律地移动着，岩石本身沒有明显的松散現象。

当开采深度相当大时，在此岩石帶以上靠地表的岩石帶中就会出现岩層的整塊移动。此处發生的岩層內部質点的移动与弯曲薄板或边缘固定的弯曲梁中質点的移动相似。

这均已为全苏矿山測量研究院所进行的实验研究及理論計算所証明。

靠近地表的岩層弯曲証明：在这岩層中离地表某一距离的地方应当有一“中綫”存在，此中綫各部分均不發生变形。

中綫是与地表下沉曲綫平行的綫。

特别是在水流下面采煤时，已经证明这一中綫的存在；此时，水流底部虽然有些裂縫，但是水并没有流入矿內。同样，在試掘土壤中的裂縫时也证明了中綫的存在；此时，裂縫虽在地表上有很大的裂口(0.3—0.5 公尺)，然而裂縫离地表的深度仅为 2.5—3 公尺。

可以预料：在开采深度不超过 80—100 公尺时，某一层煤的采掘将使地表出现裂縫。如果当开采深度大的时候，在地表也出现裂縫；这是由于在煤系的几层煤中所进行采掘工作的綜合影响。

第二章 地表移动过程

一、移动盆地的分布

因回采工作而引起的岩石移动向上扩展并波及到地表，在该处形成凹状地形——移动盆地。

由于所开采煤层的倾角、开采程序以及其他原因，移动盆地的形状及其与采空区边界的相对位置是有所不同的。当煤层水平时，移动盆地的分布几乎对称于采空区边界；当煤层倾斜及急倾斜时，盆地就显著向下山方向偏移。

盆地与采区边界的相对分布如图 1 及图 2 所示。

煤层水平时，采区 $abcd$ 上方的移动盆地为 $ADBC$ 这样的形状(图 1)。

图 2 所举的是煤层倾斜时的情况：盆地向下山方向偏

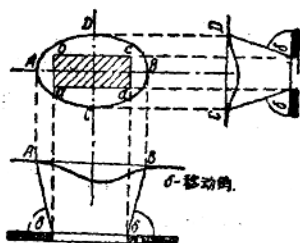


圖 1 煤層水平時盆地與采區的相對分布

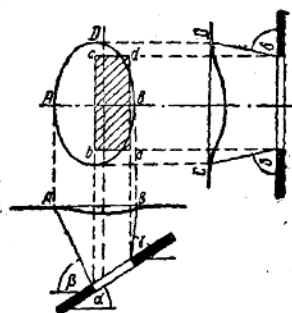


圖 2 煤層傾斜時盆地與采區的相對分布
●—煤層傾角； β, γ, δ —移動角。

移。盆地分布對采區邊界的對稱性將隨煤層傾角的增加而增大，達到一定的限度為止。

二、盆地範圍內的變形

由於岩石移動，盆地內地表上所有的點子都在沿着某些方向——一般是沿着傾斜的方向移動着。

並且由於一系列的因數，各個點子的移動量及移動方向是不一樣的。

在同樣的采掘條件下（例如一個盆地內的地表各點），移動量及移動方向決定於該點與采區邊界間的相對位置。靠近盆地邊緣點的移動比靠近盆地中央點的移動要小些。

當盆地內有建築物時，盆地內表面各點的上述的不均

衡移动，將引起建筑結構的变形或应力的变化。

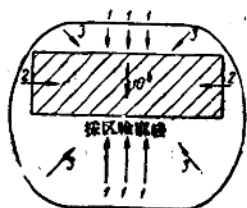
假如在該建筑下所有各点的移动量及移动方向完全一样的話，那末，这种移动对建筑物是沒有危险的。

这时，整个建筑物只向某一方向發生移动，而不产生变形。經驗証明：最危险的(对于建筑物來說——譯者註)不是地表的绝对移动而是相对移动。

为了分析地表各点移动簡便起見，我們通常研究其移动的水平分量及垂直分量(下沉及水平移动)。

三、水平变形

移动盆地內各个点的移动量及移动方向是不同的，如圖 3 所示。例如在点 1 上發生的移动主要是与煤层走向相垂直的方向移动，在点 2 上是与走向相平行的方向移动，而在点 3 上則是与走向相斜交的方向移动。



盆地輪廓線

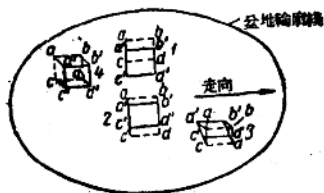


圖 3 盆地範圍內各点的水平移动 圖 4 盆地內各个部分的地表变形

各点移动的不均衡使得地表产生了变形，而移动盆地範圍內的建筑物也产生了变形或应力的变化。例如面积 1 (圖 4) 垂直于走向移动，并在此方向上受到拉伸，因为

$a'e'$ 及 $b'd'$ 相应地大于原有的 ac 及 bd 。面积 2 在同样的方向移动并受到压缩；因为 $a'e'$ 及 $b'd'$ 相应地小于原有的 ac 及 bd 。

面积 1 及 2 沿走向方向也可能稍微有些变形。

面积 3 与 4 的变形是较为复杂的。因为 a, b, c 及 d 各点的移动量及移动方向均有所不同。 a, b, c 及 d 各点移动后位于 a', b', c', d' 。

盆地其他各部分的面积变形的特征又可能是另外一个样子，然而它们也都将受到各方向的压缩或拉伸。

面积变形的大小或其在被采动时期内所受应力的的大小系依其本身的尺寸为转移。在尺寸不大时（例如电杆基础、烟囱基础等），虽然在面积内发生巨大的水平移动，但应力却可能是很小，并且不会引起任何水平变形。

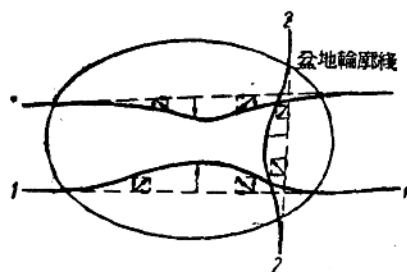


圖 5 沿走向及垂直走向的延伸形建筑的变形

我们来研究一下圖5，以说明与走向成各种方向的綫上变形的特征（这对延伸形建筑——铁路、自来水管等是有意义的）。

圖5所示，为綫1及綫2的采动前后的位置。綫1平

行于走向，綫 2 垂直于走向。

采动的每一个点都通过某一段在短時間內可以矢量表示的軌跡，如圖 5 所示。

將矢量分成沿該綫及垂直該綫的分量，便取得了研究綫上变形的数据。沿該綫的分量將确定压缩或拉伸，也就

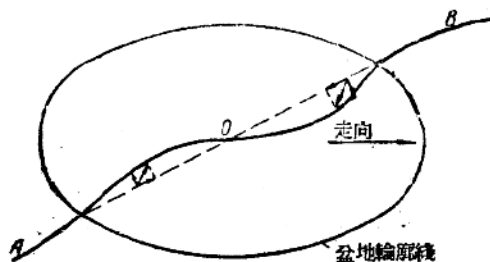


圖 6 与走向斜交的延伸形建筑物的变形

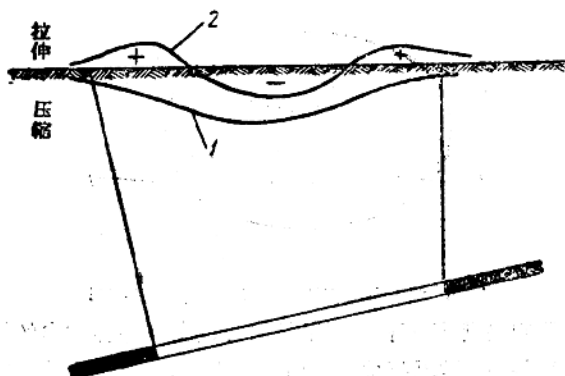


圖 7 移动盆地上水平变形的分布 (在与走向垂直的豎直平面內——譯者註)

1—移动盆地，2—水平变形曲綫。

是縱向變形；而與該綫垂直的分量將確定綫的彎曲或者確定其原始方向的变化——橫向變形。

圖 6 所示，為與走向斜交的水平變形後的 AB 綫。

圖 7 所示，為移動盆地上與走向垂直的豎直平面內水平變形分布的特征。

四、垂直變形

回采工作所影響的地表下沉的不均衡性，引起了地表的垂直變形——傾斜及傾斜差。

豎直斷面內被采動的地表變形的分布如圖 8 所示。其中曲綫 1 (實綫) 表示盆地剖面，曲綫 2 (虛綫) 表示傾斜，而曲綫 3 (帶點虛綫) 表示傾斜差。

當采區很長時，盆地在豎直斷面內可能出現如圖 9 所示的形式^①。

這時，盆地底部出現了下沉大致相同的區域 AB ，在此區域內下沉差是極其微小的，而變形也主要集中在盆地邊緣的區域 L 內 (圖 9)。在這種情況下，通常說盆地有着“平坦的”或盤形的底部。

圖 10 表示地表傾斜對建築物的影響。地表 KL 及建築物 $abcd$ 在移動之後分別位於 KL_1 及 $a'b'c'd'$ 。

因此就出現了建築物重力 (力 θ)^② 的分力 T ，平行於建築物基礎。分力 T 所產生的翻轉力矩就可能使得牆 $c'd'$

① 這種盆地在什麼條件下構成將在下面敘述。

② 建築物的重力可以分成兩個分力： N ——垂直於建築物基礎； T ——平行於建築物基礎。

裂开，并在楼板处产生危险的破坏，例如梁从墙上的梁窝中脱出来。

此外，地表倾斜也将引起建筑物在土壤上的压力重新分配。原先根据土壤支承能力算出的建筑物的均匀荷重，将会变成非均匀荷重 q 而大于容许荷重。

这些地方土壤的裂缝可能引起建筑物的破坏。此外，倾斜可能使分布在建筑物支撑结构上的荷重发生变化；由于房子的一部分如墙、柱子等减少了某些荷重，相反地，其他部分的荷重将会增加。倾斜对于底面积不大、但又相当高的建筑物，如烟囪、水塔之类来说，是特别危险的。

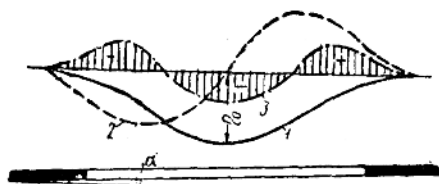


圖 8 移动盆地上垂直变形的分布
1—移动盆地；2—倾斜曲线；3—倾斜差曲线； η_0 —最大下沉。

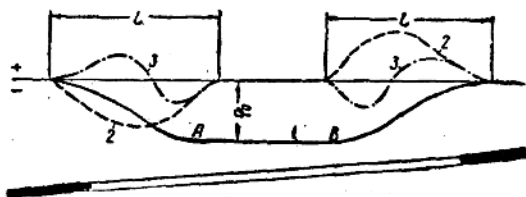


圖 9 采区很长时移动盆地上垂直变形的分布
1—移动盆地；2—倾斜曲线；3—倾斜差曲线； η_0 —最大下沉。

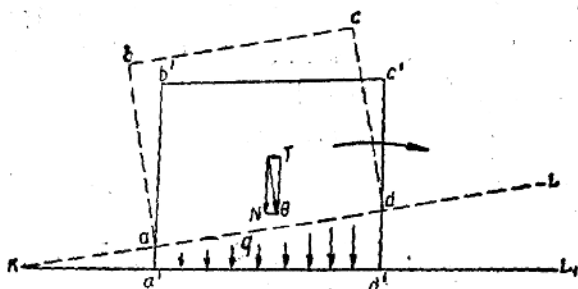


圖 10 变形(傾斜)对建筑物的作用

由于地表相鄰部分傾斜不等，移动盆地內地表傾斜的变化將引起弯曲的变形。

圖 11, a 所示的情况表示建筑物下形成了同样符号①的弯曲，建筑物也就随着地表的弯曲發生变形。圖中切于建筑物邊緣的兩根切綫 mR_1 及 ma_1 的傾斜之差(角 ϵ)是建筑物發生变形的原因。这时，如建筑物愈長、面积愈大，

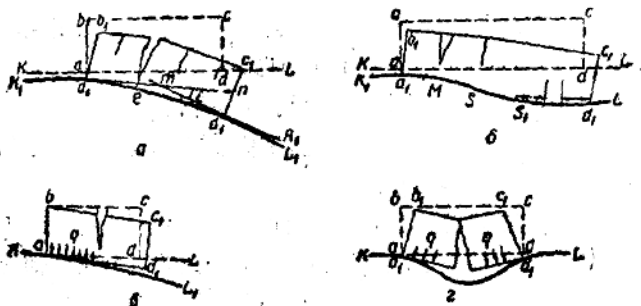


圖 11 位于盆地各个部分的建筑物变形的特征

① 一般認為：向上凸出的曲綫的曲率是正的，向下凸出的曲綫的曲率是負的。