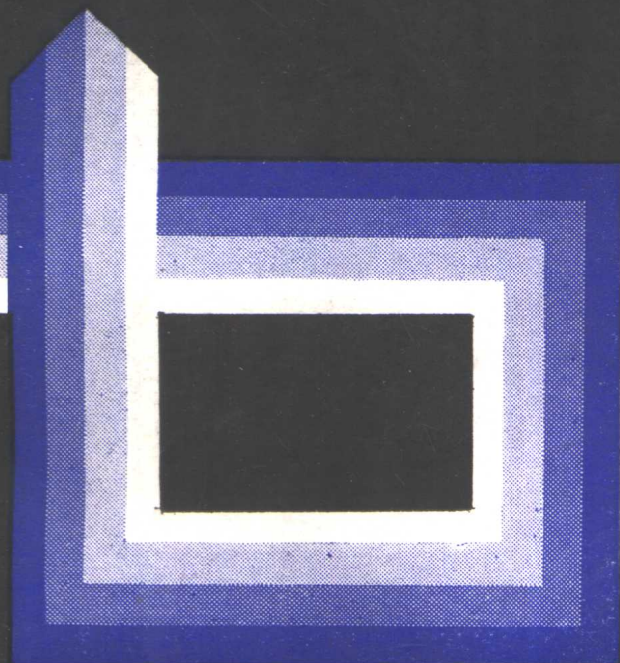


巷道底脚的防治

〔联邦德国〕 M. 奥顿哥特 著

王茂松 译 钱鸣高 校



煤炭工业出版社



巷道底臆的防治

〔联邦德国〕M. 奥顿哥特 著

王茂松 译 钱鸣高 校

煤炭工业出版社

内 容 简 介

本书对巷道底臃产生的原因进行了理论上的分析,指出了产生不同形式底臃的地质和开采条件。它较系统地总结了常用的底臃防治措施的经验,并利用相似模型研究方法探讨了底板锚杆、混凝土反拱、底板碎石垫层等防治措施的工作原理和使用条件。

本书可供从事矿山巷道掘进与维护工作的工程技术人员、科研人员和矿业院校师生参考。

责任编辑:金 连 生

Michael Oldengott

MASSNAHMEN ZUR VERRINGERUNG DER SOHLENHEBUNG

VERLAG GLÜCKAUF GMBH · ESSEN

1981

巷道底臃的防治

〔联邦德国〕M. 奥顿哥特 著
王茂松 译 钱鸣高 校

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16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 $787 \times 1092^{1/32}$

印张 $3^{7/8}$

字数81千字

印数1—4,100

1985年3月第1版

1985年3月第1次印刷

书号15035·2697 定价0.80元

译者的话

长期以来，防治巷道底臃一直是矿井巷道维护的重大问题之一。在有些矿井中，由于巷道底臃问题得不到解决，严重地影响了矿井的正常生产。修复和维护底臃巷道不仅耗费大量人力和材料，而且也往往难于彻底解决问题。近年来，随着综合机械化采煤的发展，采区巷道断面增大，而目前的巷道支护形式还不适应于底臃的防治，因而采区巷道的底臃问题日益突出起来；另外在推广无煤柱护巷的新技术过程中，也经常遇到了底臃问题。可以设想，随着开采深度的增大，巷道底臃的防治问题，将会日益感到迫切。

联邦德国埃森采矿研究中心矿山压力与支护研究所，对巷道底臃的防治问题，进行了大量研究工作。他们从巷道围岩破坏的机理出发，对各种可能减少巷道底臃的措施进行了比较和分析，提出了各种防治措施的适用范围。作者奥顿哥特在埃森采矿研究中心完成了大量实验室研究工作，并进行了大量的现场工作。在此基础上，完成了“巷道底臃的防治”为题的博士论文，随后又出版了本书。我们认为，本书对于我国目前正在进行这方面科研工作的同志，以及现场及教学等单位的同志都具有参考价值。由于译者的水平所限，书中难免出现翻译上的错误，敬请读者批评指正。

1984年5月

ABA/4/07 00

前 言

底臃、顶板下沉与侧帮位移是明显的矿山压力现象。在巷道顶、底板移近量中，大约有三分之二是由于底臃引起的。因此，在巷道断面全部缩小量中，底臃占绝大部分。如果在回采巷道维护工作量中，起底工作量按百分之五十估计，则每米巷道的起底工作量要占一个工-班。它相当于回采巷道掘进劳动力消耗的六分之一。

由于底臃缩小了巷道断面，致使行人、运输都受到妨碍，而且也使通风发生了困难。这就表现出底臃问题的特殊性。由于底臃在技术及经济上的重要意义，导致人们去研究底臃的原因、现象的形成以及减少底臃的处理方法。

本书对减少底臃的间接性措施未加叙述。这些间接性措施诸如：巷道在减压区内掘进，使巷道远离影响区，巷道支架的壁后充填，以及选择合适的巷侧护巷办法以避免底板的挤鼓作用等。

目 录

1. 巷道底臃	1
1.1 底臃的原因	1
1.2 底臃的破坏深度及破坏型式	6
1.3 结合强度和最小支护阻力	9
1.4 底臃、起底量和起底费用的预计	13
2. 底板锚杆	19
2.1 井下试验	19
2.2 模型研究	35
2.3 建议	41
2.4 使用范围和成本	54
3. 底板注浆	57
3.1 底板注浆的工作原理	58
3.2 使用范围	59
3.3 注浆工程的实施	61
4. 底板锚固和注浆结合使用	63
5. 加装和不加装可伸缩支撑件的混凝土反拱	64
5.1 模型研究的描述	64
5.2 模型试验的结果	66
5.3 使用范围和成本	69
6. 加固的底板碎石垫层	71
6.1 模型研究的描述	72
6.2 模型试验的结果	72
6.3 对碎石垫层断面形状的建议	79
6.4 使用范围	80
7. 采用底梁和撑木加固底板	82
7.1 附加支架的支设位置	82
7.2 巷道支架与附加支架的相互作用	85

8. 底板切缝	88
8.1 底板切缝的工作原理	89
8.2 使用情况和成果展望	90
8.3 使用范围及成本	94
9. 底板穿孔	96
10. 卸载爆破	98
11. 用锚杆和切缝对底板进行加固与卸载的综合措施	100
11.1 模型试验描述	100
11.2 模型试验结果	103
12. 各种措施的综述与比较	112
附录	114

1. 巷道底臃

1.1 底臃的原因

引起底臃的原因为：

- (1) 岩层含水；
- (2) 弹性应变变形；
- (3) 破坏变形。

岩层含水

在采矿中常常使用“巷道底板涌出”或“底板岩层涌出”（沿煤层开掘的巷道）的概念，即一般所讲的底板鼓起。按照 L. 缪勒-萨尔兹堡的定义，底臃仅仅是指由于水而引起的底板鼓出，特别是含有白云母-伊利石的粘土，当其含水时体积增大。而其它的含矿岩层，如硬石膏，是通过化学反应使其体积增加的。这时人们称之为底板膨胀。

G. 勋-瓦尔纳菲尔德曾对鲁尔区煤系岩层进行研究，结果是围岩的膨胀能力一般在0~5%之间。其中厚层砂岩及厚层的炭质页岩约在0~1%，砂质的和含砂质较少的页岩0.5~3%，含石英极少的页岩为2~6%；另一试验结果表明，随着深度的增加（强度也增加），围岩的膨胀性却减少。

在鲁尔区煤系岩层中，巷道底板岩层的膨胀仅仅导致很小的巷道底臃。但随着岩层的含水，却对岩层产生下列影响：

- (1) 减少了岩石裂隙间的摩擦，导致了强度的减弱；
- (2) 减少了层面间的摩擦（形成了滑移层面），致使将致密岩层分为薄层；

(3) 使岩石结构松散 (对于易受水损害的页岩层强度可损失100%)。

当水在底板岩层间流动时, 这种岩性的改变更为突出。当底板有适当的水而底板岩体没有遭到破坏时, 则影响较小。因为 J. 柏林通过对泥岩试样研究证明: 没有破碎的岩层在垂直层理方向的透水性实际上等于零。

在 H. 克纳兹的著作中, 指出了所列举的详尽及完整的研究方法。利用它可以确定煤层围岩受到水的影响后, 其透水性、膨胀性、强度的改变以及破坏情况。

弹性应变变形

众所周知, 未经开采的地下岩层是处在各个方向的压缩状态下。垂直应力 P_v 的大小是由上覆岩层的重量计算而得 ($P_v = \gamma \cdot h$; h = 深度, γ = 岩石容重)。关于侧向压力的大小, 各种文献则叙述不一。一部分作者认为, 侧向压力可根据 P. 金的公式 $P_H = P_v / (m - 1)$ 计算 (m = 岩石的泊松系数)。但根据 G. 爱维林的意见, 在未采动时可能是静水应力状态 ($P_v = P_H$)。

由于掘进了巷道, 使岩体的原始应力状态受到了干扰, 在巷道空间的周边形成了新的 (附加的) 垂直与水平应力高峰。根据弹性圆孔理论, 在不利的情况下 (侧向压力系数 $\lambda = 1$), 在巷道空间周边的底板 (及在顶板) 所作用的切向应力 σ_t ($\equiv$ 水平应力 σ_H), 相当于未开采时岩石压力的两倍。在以后的计算中将使用此值。当巷道周边处切向作用应力比岩石的强度小时, 形成了巷道空间周边的弹性应变变形。

G. 爱维林对一个均质体中圆形巷道进行了计算, 岩石形成的弹性位移很小。U. 劳伯通过对成层材料的模拟试验, 模拟一个6米宽 (原尺寸) 的矩形断面巷道的底板, 确定

出底板的垂直方向弹性应变变形为 5 至 10 毫米。人们认为,向巷道空间的弹性变形位移是发生在掘进工作头 10 米以后 (约相当于巷道空间直径的两倍)。

破坏形式和破坏过程

在目前鲁尔煤田的开采深度,巷道周边的应力,如计算的那样相当于未开采时岩层压力的两倍,其中大部分都大于围岩的强度,从而导致巷道周围附近的岩石破坏。这种破坏使得围岩向巷道空间方向移动。围岩移动的结果,又使巷道周边的应力峰值向岩体内部移动。

从大量的巷道模型试验^①中,可以观察到巷道围岩的破坏及其过程。岩体中由于开掘巷道,故可将岩层分为被切割的和未切割的岩层^②。对于被切割岩层,它可以向平行于层理的方向延伸。在缓斜岩层中,被切割层的厚度即为巷道开掘的高度,而未切割的岩层 (即在平行层理方向不可能延伸的岩层) 则是指巷道的顶板和底板。

被切割和未切割的岩层破坏过程如下 (见图 1) :

a. 首先是开掘巷道的被切割岩层 (指巷道两帮——译者注), 由于垂直应力而被压裂。它既表现为滑移破坏 (由于剪切力), 又表现为断裂破坏 (由于拉应力), 或者是两者的综合 (剪切与断裂)。在巷道空间两侧的水平应力接近于零。

b. 而后是巷道的顶板和底板, 由于水平应力的作用将向巷道内臌出。其中又首先是巷道的直接底板岩层遭到破坏, 然后是更下面的岩层。作用于这些地区的水平应力, 此时由

① 巷道模型: 埃森采矿研究中心岩石力学与矿井支护研究所的主体模型尺寸为 $2 \times 2 \times 0.4$ (米)。在此模型上, 模拟巷道周围岩层的变形与破坏过程。

② 此处被切割岩层是指巷道两侧的岩层, 未切割的岩层是指巷道的顶底板岩层——译者注。

于底板的破坏已在相当大程度上卸载了。此时可理解为被切割的岩层厚度增加了巷道底板岩层臃起的厚度。

c. 对巷道底板更深处的岩层,由于水平应力而将继续向巷道空间鼓出,最后达到了底臃的最终破坏深度。由于在平行层理方向进一步卸载,致使被切割岩层的厚度再次增加。在巷道底板发生折皱以后——由于折皱而使水平应力降低,由于垂直应力的作用,使两侧的裂缝继续延深,并一直到发生折皱的水平。也就是说,在那里形成了新的裂缝与楔形破坏区。

d. 在巷道两侧及在巷道底板发生折皱处的裂缝(被切割岩层的整个区域)发生了错动。这种错动挤压着岩层向巷道空间方向运动,因而形成了巷道两侧的位移与底臃明显地增加。这种挤压是由于垂直应力作用的结果。

上面叙述的破坏过程是被简化的,在实际情况下则要复杂些。

这样就很清楚,每一种减少顶板下沉、侧帮位移或底臃的支护措施,都对整个巷道周围发生的破坏有影响。所以其共同点是:当采用一种措施可以使巷道底臃显著地减小,或当巷道侧帮岩体的移动受到阻碍时,则巷道两侧的裂缝与楔形裂隙体同样显著地减少。减少裂隙与楔形破坏区,也即意味着两帮位移及顶板下沉比较小。如欲使底臃量更小些,还必须使用致密的壁后充填。

当采用一很高的支护阻力,能否不仅是减少底板的鼓起,而且完全不让其发生?有否可能因此导致侧帮位移与顶板下沉的加剧?究竟会发生什么情况。现在取一敞开着的没有支护的底板,这样破断了的岩块可以向外移动,犹如一“活门”一样。在经过大量的模型研究后,得到如下结论。

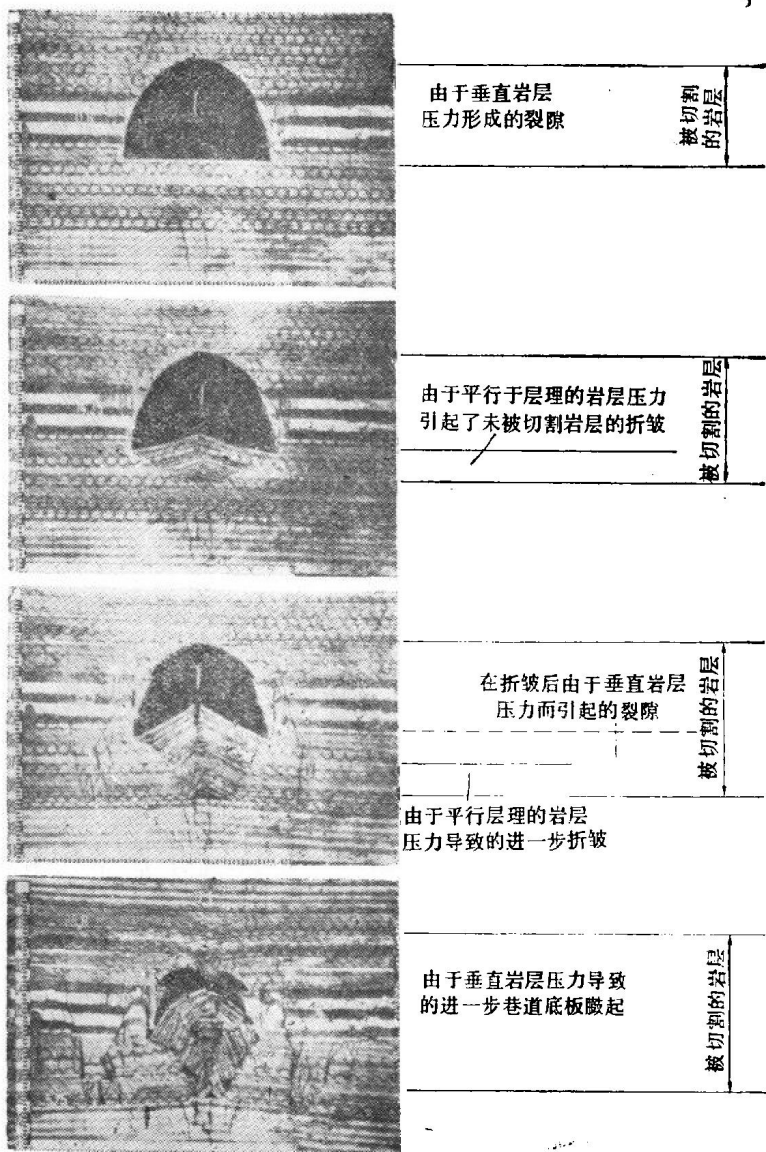


图 1 巷道变形的破坏顺序

在软岩中，当巷道底板阻止了由于应力解除形成的破坏，将导致较大的侧帮位移与顶板下沉。在硬岩层中，当底板被控制不发生剪切破坏，则不会形成剧烈的侧帮移动与顶板下沉。相反通过对底板破坏的控制，可以改善巷道的围岩性能。

1.2 底板的破坏深度及破坏型式

底板的深度决定于巷道底板的地 质 条 件 以 及 巷 道 的 宽度。巷道底板破坏深度的界限，可从底板岩层结构突变的地方观察到（如4米基底软岩，在它下面是一层厚层砂岩）。在这种情况下，有可能在这两层结构面之间形成一滑动失稳面。沿这个滑动失稳面，底板岩层向巷道空间方向挤入。

在另外一种情况，当底板没有很多滑动失稳面，甚至没有时，底板的破坏深度由巷道的宽度所决定。N. 布什曼从很多模型试验中得到证实，最大破坏深度是与巷道宽度(B)相适应的。一般来说，最大破坏深度为 $(0.5 \sim 0.75) B$ 。目前煤矿常用的巷道宽度为5.6~6.4米，因而破坏深度平均为3~5米。

E. 撒特尔曾经奠定了研究采矿中底板破坏型式的基础。他认为，在地质与采矿中原则上没有和工程力学强度理论不一样的物理规律。

O. 雅可毕曾经提出了一种分类法，即是按岩石中的裂缝对于层面的倾斜方向来划分的分类法。在此基础上，W. 格兹曾经按如下的方式对井下出现的破坏型式进行分类：

- (1) 巷道周围破坏地点；
- (2) 剪切或拉伸破坏；

(3) 原生的以及次生的破坏。

未切割层的破坏型式，将根据W. 格兹和N. 布什曼提出的如下的内容进行描述：

(1) 折皱的翼面形状；

(2) 在折皱层中出现的交截断裂线的数量。

所谓翼面是指一个向巷道空间鼓起的折皱的外部界面。若翼面形状是向外凸出的，则称之为圆弧型折皱。它要是凹进去或是平直的，则是尖峰式折皱。若一个翼面与底板平行或几乎平行，则称为钝角式折皱。若仅是剪切破坏，则是错动式折皱。此外，还有很多混合型式。

在断面图上，断裂线是破坏面的痕迹。在此断裂线上，每一单独层都分割开了，而且方向也改变了。在各种倾角的岩层中，都可能出现折皱。若对称面不是取水平或垂直方向，而是取平行层理或垂直层理时，在各种不同的倾角情况下，则各分层的折皱都是一致的。

下述的折皱及错动是在井下与模型试验中经常观察到的：

(1) 很多断裂线的圆弧形折皱型(超过四个断裂线)；

(2) 三个断裂线的尖峰式折皱型；

(3) 四个断裂线的钝角式折皱型；

(4) 平缓错动型。

图2表示了上述各种破坏型式。由图可见，在井下出现的破坏型式与巷道模型上以及局部模型①中所观察到的破坏型式是相互吻合的。

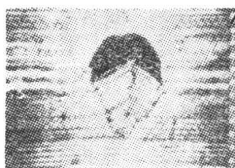
平缓错动在采矿中是一种最有利的破坏型式，此时层理

① 局部模型：在巷道模型中切出一部分平均大小为 $0.4 \times 0.2 \times 0.2$ (米) 的底板作为模型进行试验。

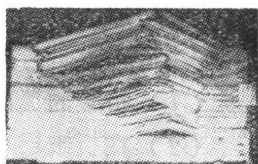
井下



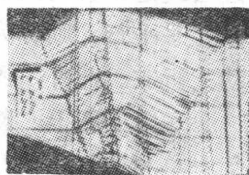
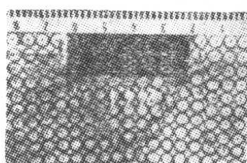
巷道模型



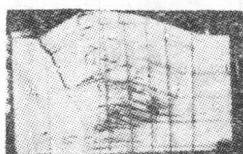
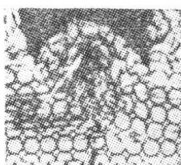
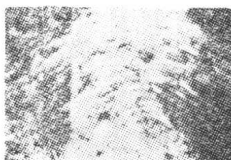
局部模型



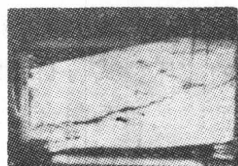
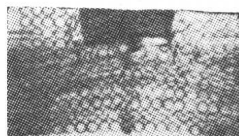
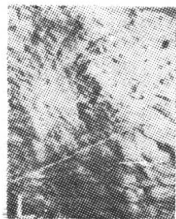
三条破断线的尖峰型折皱



四条破断线的钝角型折皱



多条破断线的圆弧型折皱



平缓的重叠错动

图 2 巷道底板的各种破坏型式

劈开比较小，因而顶底板的会合量也比较小。通常用小于 1000 千牛/米²的支护阻力难于达到对底板破坏面的充分控制。因此，采用经济的支持手段使其达到最小的底板平缓错动，这就是目的。

1.3 结合强度和最小支护阻力

下面将叙述在一定的围岩条件下，究竟应具备多大的支护阻力，才能达到底板的平缓错动型或混合型破坏。下面介绍的破坏型式与支护阻力的关系，是由 N. 布什曼及 W. 格兹进行的，并由 U. 齐辛斯基加以完善的以模型试验为主的研究成果。而作者利用了这些成果并继续进行了研究。在这篇博士论文中，作者将详尽地对模型试验的目的、规律及其进行方法作进一步的讨论。

首先介绍一下巷道底板结合强度的概念。巷道底板的结合强度是指大约为 4.5 米厚、6 米宽的巷道底板岩层在平行层理方向的破坏压应力。从巷道底板取出一块岩层，并将其按平行层理方向加载，巷道底板岩层将沿垂直层理方向弯曲，意即向巷道方向挤出。此时在加载面上所遭受到的破坏载荷就叫做结合强度。如果把上述的巷道宽度与破坏深度（分别为 6 米与大约为 4.5 米）作为一个常数，则底板的结合强度主要由给定的地质条件所决定。即与下述因素有关：

(1) 每一层岩层的厚度；

(2) 每层岩层的抗压强度(岩层间的摩擦系数取 0.9)。

巷道底板的结合强度特性有何用处呢？

借助于结合强度，人们可以预测：

(1) 在什么样的岩石压力下，或者在什么样的巷道底

板深度将发生向上断裂；

(2) 要使底板得到平缓错动型破坏需要多大的支护阻力。

1. 图3表示了岩石抗压强度、分层厚度与结合强度大小的关系。当作用在巷道周边上的应力（岩石压力）超过结合强度 VF_0 ，则底板就开始破坏。图中标出了残余强度 RF_0 。

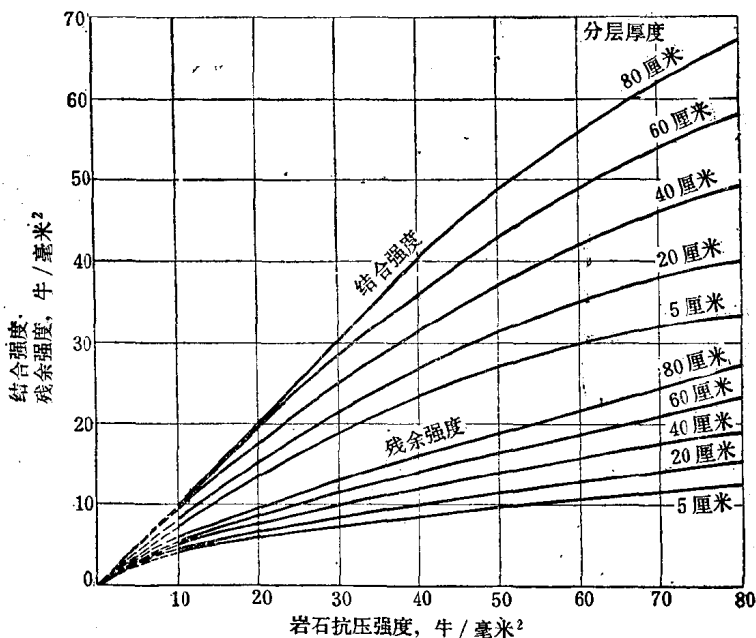


图3 在成层岩体没有滑移层面和没有支护阻力情况下，巷道底板的结合强度 VF_0 和残余强度 RF_0 。

图中标出了在一定岩层厚度下，各种不同岩石抗压强度时残余强度与结合强度的比值 RF_0/VF_0 ，因而可以得到不同大小的相对残余强度。人们发现，在抗压强度较低时（ $\sigma_D <$