

软岩巷道 底膨的机理 及防治

康红普 编著

煤炭工业出版社

软岩巷道底臃的机理及防治

康 红 普 编著

煤炭工业出版社

(京) 新登字042号

内 容 提 要

本书详细分析软岩的物理力学性质, 软岩巷道底臃的各种研究方法, 全面论述引起软岩巷道底臃的诸因素及其关系, 提出估算底臃量的数学表达式, 列举防治软岩巷道底臃的各种措施, 阐述它们控制底臃的机理、合理参数及适用范围。

本书可供从事地下工程的科技工作者, 工程技术人员及矿业院校师生参考。

软岩巷道底臃的机理及防治

康 红 青 著

责任编辑: 田克运

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平门之间)

煤炭工业出版社印刷

新华书店北京发行所 发行

开本 $787 \times 1092 \text{mm}^{1/32}$, 印张 $8^{7/16}$ 。

字数183千字 印数 1—890

1993年6月第1版 1993年6月第1次印刷

ISBN 7-5020-0831-4/TD·771

书号 3597 G0258 定价 7.20元

前 言

长期以来，巷道底臃一直是煤矿开采等地下工程中难以解决的问题之一。强烈底臃带来大量维修工作，增加巷道维护费用，严重影响着矿井的正常生产。在软岩巷道中，由于软岩具有独特的性质，加之开采深度的不断增加或受到采动影响，底臃现象表现得尤为突出。因此，研究软岩巷道底臃的机理及防治措施非常必要。

巷道底臃的主要原因在于底板岩层软弱及围岩应力场过高。软岩性质的复杂性和对应力变化的敏感性给底臃机理及防治的研究带来极大的困难，导致对软岩巷道底臃的一些原因认识不清，因而在采取防治措施时存在较大的盲目性。目前，有关论述底臃的文章与书籍，大多只就一两个因素进行讨论，虽然可得出一些定性的规律，但缺乏全面性、系统性，不能较好地反映底臃的全过程，因而对防治措施的机理、合理参数及适用条件不能作出令人满意的结论。

鉴于上述情况，作者将近几年自己及国内外有关巷道底臃的研究成果编写成书，以期对软岩性质、底臃的机理及防治措施有一全面的、系统的、深入的阐述，为生产实践提供可靠的理论依据和合理的技术方案。

本书共分三篇十章，第一、二、三章论述软弱岩层的物理性质、力学性质及其相互关系；第四、五、六、七章介绍软岩巷道底臃机理的各种研究方法和研究成果；第八、九、十章介绍软岩巷道底臃的各种防治措施。

本书的出版得到了煤炭科学研究总院北京开采所王金华、刘玉堂、石文波等领导同志的大力支持和帮助。同时，兖州矿务局鲍店煤矿李洪远总工程师、淮南矿务局王吉才总工程师给予了热情的帮助。在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中不当之处在所难免，恳请读者批评指正。

作 者

1992年11月于北京

目 录

绪 论	1
-----	---

第一篇 软弱岩层的物理力学性质

第一章 软弱岩层的物理性质	9
第一节 软弱岩层的矿物成分	9
第二节 软弱岩层的微结构特征及结构连接	13
第三节 软弱岩层的水理性质	20
第二章 软弱岩层的力学性质	28
第一节 软弱岩层的变形与强度	28
第二节 软弱岩层的扩容性	32
第三节 软弱岩层的流变性	36
第四节 软弱岩体结构	42
第三章 软弱岩层物理性质与力学性质的关系	47
第一节 软弱岩层矿物成分与力学性质的关系	47
第二节 软弱岩层微结构与力学性质的关系	50
第三节 水对软弱岩层力学性质的影响	56
第四节 软弱岩层扩容与软化及膨胀的关系	60
第五节 水与软弱岩层损伤	63

第二篇 软岩巷道底臃机理的分析

第四章 软岩巷道底臃的理论分析	69
第一节 软岩弹塑性变形引起的底臃	69
第二节 软岩扩容引起的底臃	74

第三节	软弱岩层遇水膨胀引起的底臃	79
第四节	软岩流变引起的底臃	86
第五节	软岩弯曲引起的底臃	91
第六节	软岩巷道底臃的综合分析	105
第五章	软岩巷道底臃的有限单元法分析	111
第一节	有限单元法的处理方法	111
第二节	软弱岩层巷道底臃的弹塑性有限单元法分析	113
第三节	软岩巷道底臃的动态模型	122
第六章	软岩巷道底臃的相似材料模拟研究	128
第一节	相似材料模型法	128
第二节	软弱岩层巷道底臃的相似材料模型试验	133
第七章	软岩巷道底臃的实测研究	138
第一节	实测内容与方法	138
第二节	实测数据的处理和分析	143
第三节	实例分析	148

第三篇 软岩巷道底臃的防治

第八章	支护加固法	163
第一节	底板锚杆	163
第二节	底板注浆	180
第三节	封闭式支架	184
第四节	底板防治水	192
第九章	卸压法	196
第一节	切缝卸压法	196
第二节	钻孔卸压法	206
第三节	爆破卸压法	209
第四节	掘巷卸压法	216
第五节	卸压法实例分析	231

第十章 联合支护法	240
第一节 底板爆破注浆	240
第二节 切缝与底板锚杆	246
第三节 其它联合支护法	247
第四节 各种防治底板措施的选择	249
参考文献	251

绪 论

巷道开挖以后，破坏了岩体的原岩应力状态，引起应力重新分布，围岩将向巷道内移动。随着巷道埋深的增加或受到采动影响，围岩位移将不断增大，以致造成巷道围岩破坏。

软岩是软、弱、松散、破碎、膨胀、流变、强风化蚀变和高地应力的岩体统称。根据软岩属性的不同，可把软岩分成三类：第一类岩层其自然状态下的强度就很低，呈松散、破碎状，如果再受到水和风化等作用，强度会进一步弱化，它是一种很难维护的岩层。第二类岩层自然状态下的强度并不低，但受到水和风化等作用后，强度急剧降低、体积膨胀，导致松散、破碎。第三类岩层自然状态下的强度较高，而且受水和风化等影响较小，只有处在高地应力状态下才表现出较大的变形特征。我们把前两类岩层称为软弱岩层，第三类岩层称为高地应力岩层。

在软岩巷道中，底臃是围岩变形和破坏的主要方式之一，它与底板岩层性质及其应力状态密切相关。下面简单介绍软岩巷道底臃的特点、研究内容及研究方法，并对现有的研究成果进行评述，以期对软岩巷道底臃有一整体的了解。

一、软岩巷道底臃的特点

软岩巷道底臃一般具有以下特点：

(1) 由于软岩强度比较低（或相对于地应力较小），特别是软弱岩层，通常节理裂隙发育，易受到水和风化作用

的影响，导致底板岩层的稳定性极差，表现为底板岩层位移及破坏范围都比较大。

(2) 软岩巷道底臃对应力的变化比较敏感。在一定的地质及生产条件下，软岩巷道底臃可能表现得并不明显。但随着巷道埋深的增加或受到采动影响，底板岩层就会失稳并向巷道内臃起。已有的研究成果表明，对于同一条软岩巷道，由于受采动影响程度的不同，底臃量可相差几十倍，甚至上百倍。

(3) 软岩巷道底臃具有明显的时间效应。具体表现为：底臃的初始速度大，之后逐渐减缓并过渡到比较稳定的阶段。底臃速度趋于稳定的时间比较长，而且在稳定状态下底板岩层仍以一定的速度向巷道内移动。当总的底臃量超过一定数值后，底臃速度还会再度增大，导致底板岩层破坏。

二、软岩巷道底臃的研究内容

软岩巷道底臃的研究内容包括软岩的性质、巷道底臃的机理及防治措施三个方面。

1. 软岩性质

软岩性质是影响巷道底臃的一个主要因素。在相同的应力状态下，由于软岩性质的不同，可使巷道底臃量相差悬殊。在研究底臃时，涉及的软岩性质主要有以下内容：

(1) 软岩的物理性质。

(2) 软岩的力学性质。

(3) 软岩物理性质与力学性质之间的关系。

2. 软岩巷道底臃的机理

软岩巷道底臃机理研究的目的在于弄清底板岩层的变形特征、破坏方式及破坏过程等内容，它包括：

(1) 分析引起底臃的各个因素以及它们之间的相互作用

用与影响。

(2) 在具体的生产及地质条件下确定出诸因素对底臃的影响程度,进而确定出该种条件下底板岩层的主要变形与破坏方式。

(3) 利用理论计算、模拟方法及经验公式等手段对巷道底臃量与底板岩层破坏状况进行预测。

3. 软岩巷道底臃的防治措施

在弄清软岩巷道底臃机理的基础上就可以比较合理地选择防治措施,它一般包括如下内容:

(1) 研究各种防治措施控制底臃的机理。

(2) 研究各种防治措施的合理布置方式及参数。

(3) 确定各种防治措施的适用范围。

(4) 分析各种防治措施的技术经济效益。

三、软岩巷道底臃的研究方法

研究方法的合理与否直接影响着软岩巷道底臃研究成果的可靠性。目前广泛采用理论分析、模拟研究及井下实测三种方法。

1. 理论分析

借助连续介质力学理论分析软岩巷道围岩的应力场与位移场,从而得出一些定性的解答。关于底臃的研究,有两种方法:

(1) 局部研究法:局部地研究底板岩层的应力与位移,不考虑顶板及两帮围岩对底臃的影响。

(2) 整体研究法:研究巷道周围全部岩层的应力与位移,它比局部研究法更全面一些。

由于理论分析需要对巷道条件作一些简化,有时甚至忽略了引起底臃的重要因素,因而计算结果往往与实测数据相

差较大。

2. 模拟研究

模拟研究包括数值模拟与相似材料模型试验等方法。

(1) 数值模拟：如有限单元法、差分法、边界元法及离散单元法等都是数值模拟方法。这种方法克服了理论分析的局限性，适用于复杂岩层、任意边界条件及结构几何形状的情况。其计算结果的可信度取决于所选择的描述岩层应力应变关系的本构方程及对岩层初始状态的模拟程度。

(2) 相似材料模型试验：就是在试验室相似材料模型上研究巷道底板岩层的变形与破坏规律。从目前看，它不失为一种较好的方法。模拟结果的可靠性与相似材料的特性、对岩层初始状态的模拟程度及试验技术等有关。

3. 井下实测

此法可以获得软岩巷道底臆的第一手资料，通过处理和分析这些资料，就可得出巷道底臆的一些规律，它是研究软岩巷道底臆最重要的一种方法。

四、软岩巷道底臆的研究现状

以下从软岩性质、底臆机理及防治措施三方面评述软岩巷道底臆的研究现状。

1. 软岩性质

关于软岩性质，主要是对软弱岩层的性质，国内外都有大量研究成果。在软弱岩层物理性质方面，人们借助x-射线衍射分析、热分析、扫描电镜及透射电镜等手段研究了软弱岩层的矿物成分及微结构特征，并初步论述了软弱岩层的这些物理性质与其强度和变形的关系。由于水对软弱岩层性质会产生显著影响，所以很多学者致力于软弱岩层水理性质的研究，分析了软弱岩层遇水软化、崩解、膨胀的机理，以及

水理性质对软弱岩层力学参数的影响。在软弱岩层力学性质方面，人们研究了软弱岩层受力后表现出来的各种力学特性，诸如弹塑性、扩容性及流变性等，对软弱岩层的变形特征与强度特征有了比较全面、深入的了解。上述研究成果为研究软弱岩层巷道底臃的机理创造了良好的条件。

2. 软岩巷道底臃的机理

在巷道底臃的机理方面，前苏联的研究成果较多。秦巴列维奇 П.М. 认为，底臃现象的力学本质与松散土体在由两个压模传给底板的荷重作用下压出的现象是一样的，应用极限平衡理论计算底臃岩层作用在巷道支架上的压力；兹包尔什奇克 М.П. 等认为，巷道底板岩层突然臃起是由于底板中塑性岩层对下部岩层移动的阻力以及底板岩层暴露的面积与周长的比例急剧变化时岩层储存的弹性能量释放的结果所造成（同时建立了判断底板岩层稳定性的数学表达式）；利特维斯基 Г.Г. 在研究准备巷道底臃机理的过程中，提出了一个判别岩层破坏的局部性破坏准则。该准则将巷道周边的应力图与岩层强度图进行比较，以此确定巷道周边的稳定地段、极限状态地段及不稳定地段；切尔尼亚克 И.Л. 利用数理统计法对大量实测数据进行了分析，得出了预测巷道底臃量的经验公式。

在德国，奥顿哥特 М. 运用相似材料模型试验研究了巷道底臃的全过程。他认为巷道岩层的破坏顺序为：首先是两帮岩层由于垂直应力作用被压裂，之后是巷道顶底板由于水平应力的作用向巷道内臃出。其中较先破坏的是直接底板岩层，然后是更下面的岩层。布什曼 N. 则从很多相似模型试验中得出底板岩层最大破坏深度与巷道宽度成比例的结论。

美国的哈拉米 (Haramy K.) 把底板岩层看作两端固支

的岩梁进行分析,讨论了底板岩层的应力状态及稳定性,得出一些有益的结论。

在我国,潘一山等人借助有限单元法和相似材料模型试验研究了软岩巷道底臃的时间效应及软岩遇水膨胀引起的底臃,模拟结果能较好地反映这些因素对底臃的影响。本书作者采用各种研究方法详细分析了引起软岩巷道底臃的诸因素,在此基础上,建立了求解底板岩层破坏范围的动态模型,提出了估算软岩巷道底臃量的公式。实践证明,它能较好地描述底臃的特征。

3. 软岩巷道底臃的防治

目前出现的软岩巷道底臃的防治措施有多种形式,包括底板锚杆、底板注浆、封闭式支架等支护加固法,切缝、打钻孔、爆破、开掘卸压巷等卸压法,以及各种联合支护法。

在国外,德国的奥顿哥特 M. 和日本的内田早月等利用相似材料模型试验比较详细地研究了底板锚杆控制底臃的机理、合理参数的选择及其适用范围,并介绍了井下使用情况。前苏联的切尔尼亚克 И.Л. 等分析了防治底臃的各种封闭式支架,以及采用打钻孔及爆破等卸压法控制底臃的效果。井原恕等(日本)探讨了采用巷帮卸压法维护巷道的效果,并初步给出较合理的卸压法方案设计。卡尔 F. (美国)介绍了煤层巷道中开掘卸压巷防治底臃的方法,在井下试验中抑制了底臃的产生。此外,波兰、荷兰等国家都进行过巷道底臃防治的研究工作。

在我国,中国矿业大学曾对底板锚杆、封闭式支架及开掘卸压巷等控制软岩巷道底臃的措施进行过详细的、深入的研究,在井下试验中明显地减小了底臃量。阜新矿业学院也曾采用爆破注浆、封闭式支架与爆破等联合支护法防治软岩

巷道底臃，取得了较好的维护效果。

以上仅是软岩巷道底臃的部分研究成果。可以预见，随着采矿工程技术和科学的不断进步，软岩巷道底臃的研究将会更加深入并获得更有效的防治方法。

第一篇 软弱岩层的 物理力学性质

软弱岩层的变形特征与强度特征取决于其本身的物理力学性质及应力状态。随着煤矿开采的发展，我国许多矿区，诸如舒兰、沈北、龙口、平庄、淮南、徐州及兖州等矿区，都出现了大量软岩问题，致使软岩巷道的维护成为一个重大课题。

底臃作为软岩巷道变形和破坏的主要方式之一，在很大程度上取决于软岩的性质。对于软弱岩层，其性质对底臃的影响尤为突出。处在这类岩层中的巷道，底臃不仅与岩层的物理、力学性质有关，而且两者的相互作用也决不能忽略不计。至于高地应力岩层，巷道底臃主要是一个力学过程。故本篇着重分析软弱岩层的物理力学性质及其关系，为底臃机理的研究及选择合理的防治措施奠定基础。

第一章 软弱岩层的物理性质

软弱岩层的物理性质包括软弱岩层的容重、比重、孔隙率、矿物成分、微结构特征、结构连接及水理性质等。下面着重论述后四项内容。

第一节 软弱岩层的矿物成分

软弱岩层的矿物成分是决定其力学特性的一个根本因素，研究软弱岩层的物理性质必须从这方面开始。