

煤矿深部巷道底臃发生机理及防治对策研究^①

付建军¹, 刘泉声², 赵海斌¹, 邱山鸣¹, 时凯²

(1. 中国水电顾问集团中南勘测设计研究院, 湖南长沙 410014 2 中国科学院武汉岩土力学研究所, 湖北武汉 430071)

摘要: 在假定底板围岩为服从 Coulomb 屈服条件的理想刚塑性材料的基础上, 对剪切型底臃发生机理进行了分析, 认为剪切型底臃发生时存在一个临界剪切滑移面, 且此滑移面上围岩将达到抗剪强度极限值。根据剪切型底臃底板围岩受力特点将滑移面上底板围岩分为主动区、被动区、过渡区, 建立了底臃的计算力学模型及分析简图, 通过引用等效传递荷载方法推导了巷道底板塑性区发展深度的解析计算式, 然后以某巷道为研究对象, 经解析计算与数值仿真分析的对比研究, 发现两者结果具有一定拟合性, 验证了解析计算方法的有效性, 由此提出了顶板控制和增强滑移面剪切强度的巷道底臃控制方法。以淮南矿业集团新庄孜煤矿 66210 风巷为工程背景, 对底板底臃发生机理及塑性区发展深度解析计算式进行了分析, 提出了补打底角、帮脚锚杆、施加顶板锚索、底板注浆等具体的底臃防治措施, 工程监测结果显示上述支护措施取得了较好的经济技术效果, 为剪切型底臃的治理提供了借鉴指导意义。

关键词: 煤矿深部巷道; 底臃; 剪切型破坏; 计算力学模型; 顶板控制; 底臃治理

中图分类号: O319.56 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-6099(2010)05-0021-06

Mechanism and Countermeasure for Floor Heave of Deep Coal Mine Roadways

FU Jianjun¹, LU Quansheng², ZHAO Haibin¹, QIU Shanming¹, SHI Kai²

(1. Mid-south Design and Research Institute China Hydropower Engineering Consulting Group Co., Changsha 410014, Hunan, China; 2. Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Science, Wuhan 430071, Hubei, China)

Abstract: Assuming surrounding rock in the floor is rigid-perfectly plastic material subjected to Coulomb yield criterion, the mechanism of floor heave by shear damage was analyzed. It is found that while floor heave occurred by shear damage, there existed a sliding plane where the shear strength of surrounding rock reached a critical value. Based on the mechanism of floor heave, the zone of surrounding rock can be classified into three types, such as active zone, passive zone and transition zone. A mechanical model for the floor heave and its analytic calculation diagram are established. An analytic formula for the depth of plastic zone is deduced by equivalent load method. Taking some real roadway as an example, it is found that results are coincident with analytic calculation compared with numerical calculation, which verifies the effectiveness of this analytic calculation method. Consequently, it is proposed that floor heave can be prevented by roof control and increasing the shear strength of sliding plane. Analysis was made for the 66210 wind roadway in Xinzhuangzi Coal Mine of Huainan Mining Area. Reasonable suggestions, such as applying sides and floor anchor, applying top cable and grouting in the floor, are put forward. The monitoring data indicates that these methods are effective and economical, which is of significance in guiding the treatment of floor heave.

Key words: deep coal mine roadways; floor heave; shear damage; mechanical model; roof; floor control; treatment of floor heave

随着煤层开采深度的增加, 巷道围岩高地应力与其低强度之间的矛盾逐渐凸显^[1-2], 其表现形式之一为巷道底臃发生^[3-10]。底臃引起的巷道破坏是煤矿深部巷道最常见的支护难题之一。严重的底臃变形不仅造成巷道底板破坏, 而且会引起巷道两帮围岩的变形破坏, 进而使巷道产生整体变形和失稳破坏^[2-3, 6]。工程实践表明, 巷道底臃与巷道围岩物理力学性质、地

应力场、巷道断面形状及尺寸、支护条件等多种因素有关^[2, 11-13], 底臃破坏变形的表现形式主要为底板应力集中区的剪切型破坏^[2, 10]。因此, 本文在研究巷道底臃剪切破坏力学机理的基础上, 建立底臃分析计算的力学模型, 引用等效传递荷载方法推导出巷道底板塑性区发展深度的解析估算公式, 进而提出控制巷道底臃发展的技术措施, 为巷道支护设计提供理论依据。

① 收稿日期: 2010-04-11

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (kzcx2-yw-152); 国家自然科学基金重点项目 (90510019)

作者简介: 付建军 (1983-) 男, 湖南浏阳人, 博士, 主要从事岩土工程设计、监测、试验及科研工作。

1 巷道底脚发生机理及力学模型

1.1 底脚机理分析及力学模型建立

井下巷道模型试验^[14]、数值仿真分析试验^[2]及大量工程实践^[2]表明巷道底板破坏通常是由于底板岩体承载力不足而引起的剪切破坏,与地基整体剪切破坏^[15]有相似之处,见图 1。故可将底板等效为承受顶板及两帮传递的荷载的地基看待,其变形破坏特征表现为:随着巷道开挖进行,底板基底压力显现,当底板基底压力达到某一数值时,底脚边缘处围岩开始发生剪切破坏,随着底板基底压力增加,剪切破坏区不断扩大,最终在底板围岩中形成一连续的临界剪切滑动面,底板发生整体剪切破坏,底脚产生。造成底板围岩整体剪切破坏的原因主要有:一方面,随着巷道开挖及支护进行,顶部塌落区围岩将通过两帮逐渐向底板进行荷载转移^[11],引起底板基底压力逐渐增加,诱导底脚发生;另一方面,当巷道开挖时,帮脚、底角附近处围岩最易产生应力集中,形成较高的偏差应力,且局部地区为二向应力状态,由 Mohr-Coulomb 强度理论及岩体室内强度试验结果^[16]知,此处岩体强度极低及最易产生剪切破坏,即底板抗剪承载力下降,加速底脚发展。综上所述,不难发现底脚发生的本质原因是底板临界剪切滑动面岩体抗剪强度不够。

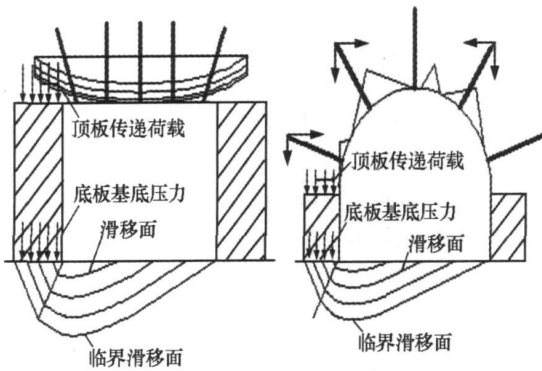


图 1 巷道底板剪切破坏示意

图 2是在假定底板岩体为服从 Coulomb 屈服条件的理想刚塑性材及底板塑性区发展深度为 $h + \overline{BC}$ 基础上,根据巷道底脚发生机理及应力作用模式,建立的底脚力学模型及分析计算简图。由图 2可知,当底板 EB 面下岩体承受基底压力 q 荷载作用时,主动区 I 岩体被挤压推向过渡区 II,再推向被动区 III 被动区 II 有向上运动的趋势,从而产生竖直向上的围岩底板等效传递荷载 q_2 。设 ABCD 是两端铰支的钢塑性梁,由作用力及反作用力原理,ABCD 区域岩体将受 q 的作用,其破坏方式主要为受拉、受剪或拉剪综合型屈服破坏,且当 q 产生的内力超过 ABCD 的强度时,BC 面上底

板岩体将以临空面 AD 为拉破坏开始点,持续地产生底脚最终导致巷道底面 BC 破坏,滑移面深度 \overline{BC} 与 q 作用下底板岩体不发生破坏的临界高度 h 之和即为底脚破坏的临界深度,临界深度以内岩体发生屈服破坏,见图 2 和图 3。

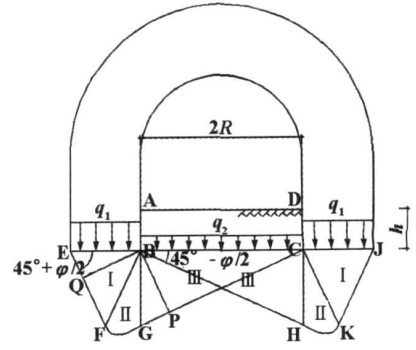


图 2 底脚力学模型

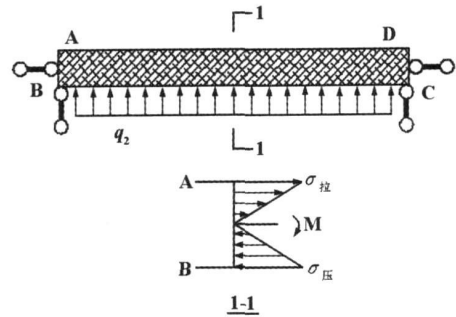


图 3 底梁力学分析

1.2 底脚力学分析与计算

当巷道底板的岩体应力状态达到或超过其屈服条件时,岩体就进入塑性流动状态。根据巷道剪切型底脚模型、围岩本构关系及图 2、图 3 可分析巷道底脚压力。如图 4 所示,EBF 区处于主动塑性平衡状态,BGC 区则处于被动塑性平衡状态,而 FGB 处于过渡区。

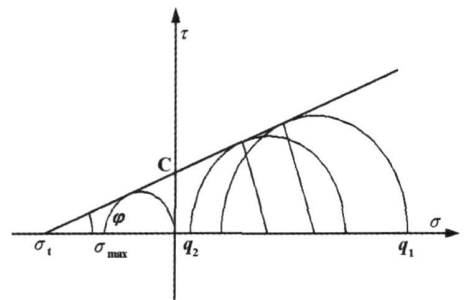


图 4 底板应力状态分析

考虑到巷道帮部底板水平剪切力较小,可忽略不计,即假定 EB、BC 面上剪切力为零。EB 边界上 $\sigma_n = q$, $\tau_n = 0$ 由图 2、图 4 可知,EB 边界上最小主应力 σ_3 为:

$$\sigma_3 = q \tan\left[\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right] - 2c \tan\left[\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right] \quad (1)$$

式中 c 为粘聚力, φ 为内摩擦角。令主动侧压力系数 $K_a = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)$, 因为 $\triangle EBF$ 为均匀应力区, 则滑移面 EF 上法向力 σ_a 和剪应力 τ_a 为:

$$\sigma_a = \left[\frac{q - qK_a + 2c\sqrt{K_a}}{2} \right] \frac{\cos^3\varphi}{\sin\varphi} - c\cot\varphi \quad (2)$$

$$\tau_a = \left[\frac{q - qK_a + 2c\sqrt{K_a}}{2} \right] \cot\varphi \quad (3)$$

BC 边界上 $\sigma_n = q$, $\tau_n = 0$ 由图 2、图 4 可知, BC 面上最大主应力 σ_1 为:

$$\sigma_1 = q \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right) + 2c \cot\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right) \quad (4)$$

令被动侧压力系数 $K_p = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right)$, 因为 $\triangle BGC$ 为均匀应力区, 则滑移面 GC 上法向力 σ_p 和剪应力 τ_p 为:

$$\sigma_p = \left[\frac{qK_p + 2c\sqrt{K_p} - q}{2} \right] \frac{\cos^3\varphi}{\sin\varphi} - c\cot\varphi \quad (5)$$

$$\tau_p = \left[\frac{qK_p + 2c\sqrt{K_p} - q}{2} \right] \cot\varphi \quad (6)$$

BFG 为过渡区, 由于 FG 滑动面上法向力对 B 点作用矩相对较小, 可以忽略不计, 因此用 $\triangle BFG$ 代替区域 II, 临界滑动面上 FG 段剪切力实际处于主动区 EF 段上剪切力与被动区 GC 段之间^[10], 取其加权平均值, 直线 FG 上的剪应力 τ_g 为:

$$\tau_g = \frac{1}{2} (\tau_a + \tau_p) \quad (7)$$

结合几何关系, 对 B 点取矩 $\sum M_B = 0$ 得等效隆起荷载, 见图 5

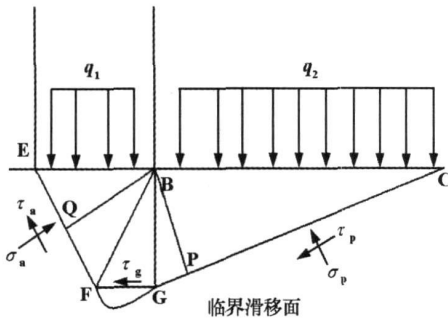


图 5 B 点力矩示意

$$q_2 = 2 \left[\frac{1}{2} q \overline{EB^3} - \tau_p \overline{GC} \cdot \overline{BP} - \tau_g \overline{FG} \cdot \overline{BG} - \tau_a \overline{EF} \cdot \overline{BQ} - \frac{1}{2} \sigma_p (\overline{GP^3} - \overline{FC^3}) - \frac{1}{2} \sigma_a (\overline{EQ^3} - \overline{FQ^3}) \right] \overline{BC^3} \quad (8)$$

取单位梁宽度, 计算梁 $ABCD$ 内力, 由结构力学知识可知, 最大弯矩 M_{max} 发生在跨中, 最大拉、压应力分

别位于跨中顶面及底面 (图 3)。当梁 $ABCD$ 高度 h 无限小时, 最大拉、压应力趋近于无穷大, 见式 (10), 综合考虑 m 轴心 $column$ 强度理论, 梁 $ABCD$ 在跨中顶部先发生拉裂、剪切或拉剪型屈服, 且底臃将持续发展, 最终导致梁 $ABCD$ 整体塑性破坏。只有当 h 增加到一定深度时, 跨中底面 h 处岩体才有可能不产生塑性屈服, 见式 (11), 相对应的岩体应力状态为:

$$M_{max} = \frac{q \cdot \overline{BC^3}}{4} \quad (9)$$

$$\sigma_{压} = \frac{6M_{max}}{h^2} \quad (10)$$

$$\sigma_{压} \leq 2q \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right) + 2c \cot\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right) \quad (11)$$

由式 (9) ~ (11) 可得底板基底压力 q 作用下底板临界塑性区发展深度解析估算式为:

$$h_0 = 2R \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) + \sqrt{\frac{6qR^2}{q \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right) + 2c \cot\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right)}} \quad (12)$$

h_0 为底臃破坏或塑性区发展深度, 当巷道开挖后, 巷道来压 q 传递给底板的等效传递荷载 q_2 随即增加, 底板岩体进入塑性流动状态的临界深度相应增加, 导致底臃量迅速增加, 为了不使巷道发生底臃, 必须平衡巷道底板向上的围岩压力 q_1 以保证巷道满足生产需要。

2 数值分析验证

为了研究巷道底臃发展深度, 以淮南矿区无支护条件下深部巷道为研究对象, 根据其开挖断面及尺寸、围岩类别、赋存条件、岩体力学特性、原位地应力测试结果^[2]等建立了多种数值仿真分析模型, 见表 1 并运用 $FLAC^{3D}$ 有限差分软件进行数值仿真分析。模拟过程为: 首先对模型运行初始平衡, 接着巷道开挖计算, 并对巷道底板塑性区、位移场进行分析, 最后将数值仿真分析结果与解析计算结果进行对比研究, 以验证巷道底臃深度发展深度解析估算式的有效性。

2.1 数值仿真计算模型

本次模拟主要任务是为了获得塑性区发展深度, 综合考虑计算机模拟速度及模拟计算结果精确性等各方因素, 在数值模型建模过程中进行了以下细化: ① 按平面应变问题来考虑, 模型尺寸 $60 \text{ m} \times 60 \text{ m} \times 0.2 \text{ m}$; ② 为了较准确获得塑性区大小, 巷道周边单元尺寸约为 0.2 m ; ③ 巷道顶板离层仪监测结果显示, 顶板深部围岩位移相对较小, 故模型顶部边界施加位移约束^[17]; ④ 整个数值模型区域材料属性值相同。

表 1 岩体力学参数及塑性区计算结果

| 模拟工况 | 断面形状 | 围岩类别 | 巷道尺寸 /m | 摩擦角 /($^{\circ}$) | 粘聚力 /MPa | 抗拉强度 /MPa | 弹性模量 /GPa | 泊松比 | 地应力 /MPa | | | 数值分析塑性区深度 /m | 解析计算塑性区深度 /m |
|------|-------|------|---------|---------------------|----------|-----------|-----------|-------|------------|------------|------------|--------------|--------------|
| | | | | | | | | | σ_x | σ_y | σ_z | | |
| 1 | 直墙半圆拱 | IV | 4.2×3.4 | 30 | 0.5 | 0.1 | 5 | 0.325 | 15 | 15 | 15 | 3.2~4.8 | 4.1 |
| 2 | 直墙半圆拱 | III | 4.2×3.4 | 35 | 1.0 | 0.3 | 10 | 0.3 | 15 | 15 | 15 | 2.2~2.8 | 2.5 |
| 3 | 直墙半圆拱 | II | 4.2×3.4 | 40 | 1.5 | 0.5 | 15 | 0.25 | 15 | 15 | 15 | 1.2~1.8 | 1.5 |
| 4 | 直墙半圆拱 | III | 4.2×3.4 | 35 | 1.0 | 0.3 | 10 | 0.3 | 17 | 9 | 13 | 2.2~3.0 | 2.7 |
| 5 | 直墙半圆拱 | III | 4.2×3.4 | 35 | 1.0 | 0.3 | 10 | 0.3 | 20 | 13 | 14 | 2.4~3.4 | 2.8 |
| 6 | 直墙半圆拱 | III | 4.2×3.4 | 35 | 1.0 | 0.3 | 10 | 0.3 | 20 | 17 | 17 | 1.2~1.8 | 3.6 |
| 7 | 直墙半圆拱 | III | 4.2×3.4 | 35 | 1.0 | 0.3 | 10 | 0.3 | 24 | 16 | 19 | 2.6~3.6 | 3.4 |
| 8 | 直墙半圆拱 | III | 5.2×3.9 | 35 | 1.0 | 0.3 | 10 | 0.3 | 15 | 15 | 15 | 2.2~3.0 | 3.0 |
| 9 | 矩形 | IV | 4.2×3.0 | 30 | 0.5 | 0.1 | 5 | 0.325 | 15 | 15 | 15 | 3.4~5.0 | 4.2 |
| 10 | 矩形 | III | 4.2×3.0 | 35 | 1.0 | 0.3 | 10 | 0.3 | 15 | 15 | 15 | 1.6~2.8 | 2.77 |
| 11 | 矩形 | II | 4.2×3.0 | 40 | 1.5 | 0.5 | 15 | 0.25 | 15 | 15 | 15 | 1.2~1.8 | 1.6 |
| 12 | 矩形 | III | 5.0×3.0 | 35 | 1.0 | 0.3 | 10 | 0.3 | 15 | 15 | 15 | 2.4~3.4 | 3.1 |

2.2 计算结果分析及验证

模拟工况 2 的数值分析结果见图 6~8。从图 7 看出, 巷道开挖后引起围岩大变形, 位移矢量方向指向巷道中心方向, 底脚方向垂直向上, 符合工程实践; 从图 6 及图 8 看出, 最大剪应力分布在拱肩、底角处, 且底板岩体主要发生拉剪型塑性破坏, 侧面上反映了底板上岩体抗剪强度不够是底脚发生的根本原因的正确性。底板塑性区发展深度数值分析结果及解析计算结果见表 1。由表 1 可知, 巷道开挖尺寸越大、围岩条件越差、水平侧压系数越大、初始地应力越高、塑性区发展深度越深。且数值分析结果与解析计算结果两者结

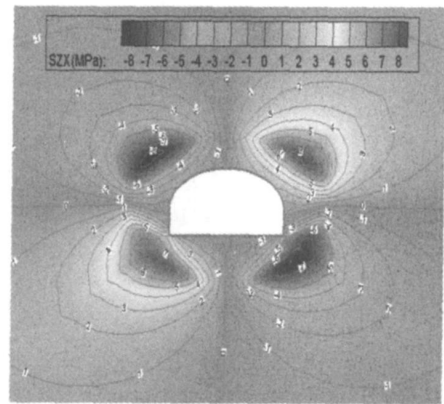


图 8 平面剪应力等值线

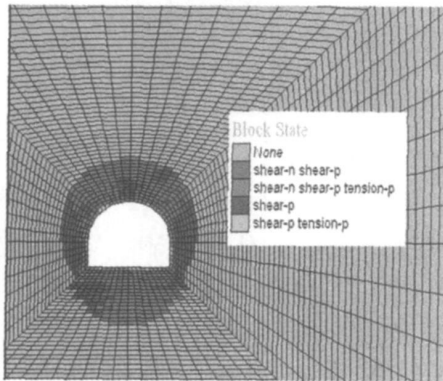


图 6 底板塑性区

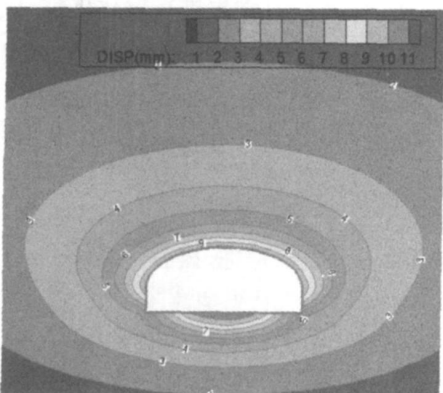


图 7 底板位移等值线

果在一定程度上相互吻合, 验证了解析估算式的有效性, 因此在一定的工况下, 可用式 (12) 计算塑性区的临界发展深度。

3 底脚防治对策

巷道开挖影响下, 巷道围岩来压, 由于巷道两帮围岩传递给底板的压力大于底板岩石自身的承载能力, 使底板岩石进入塑性流动状态而产生持续的变形。由式 (12) 知, 控制底脚的变形关键是减少传递到底板的压力和增强滑移面上岩体的抗剪强度, 综合经济、使用年限、生产需求等多方面因素, 底脚控制主要方法如下^[3-8]:

1) 底角、帮脚锚杆加强支护。底角、帮脚锚杆的作用主要是增强围岩在高应力作用下的塑性滑移面上的岩体抗剪强度, 以成排的锚杆杆体所形成的抗剪刚度来抵抗底板的塑性挤出。

2) 顶部锚索加强支护。增加顶部锚索的作用主要是通过控制顶板减少传递到帮底的荷载, 从而限制底板塑性挤出。

3) 底板注浆。底板注浆的作用主要是增强围岩在高应力作用下的岩体抗剪强度, 由式 (12) 可知, 当强度

提高后, 主动侧压力系数增加, 底臌临界发展深度减小。

4) 底板预应力锚索与混凝土面板组合。底板预应力锚索结合底板混凝土面板的应力传递作用能够改善底臌临空面应力边界条件, 使底板围岩表层应力状态由二向应力状态向三向应力状态恢复和转变, 从而提高底板围岩的非固有抗剪强度, 能有效抑制底臌。

4 应用实例

4.1 工程概况

淮南矿业集团新庄孜煤矿 66210 风巷, 埋深 -700 m, 巷道宽度 4.2 m, 高度 3.4 m, 煤层平均厚度 1.2 m, 顶板为灰色砂质泥岩, 底板为灰白色砂岩与泥岩互层, 见图 9 采用锚网喷支护, 锚杆规格及布置参数为直径 22 mm, 长 2 200 mm, 间排距 800 mm × 800 mm; 锚索布置参数直径 15.24 mm, 长 5 300 mm, 排距 3 200 mm。由于受 9 槽煤开采来压的影响, 等效传递荷载 q 迅速增加, 底板滑移线上岩体抗剪强度降低, 巷道底臌呈现剪切型破坏, 底臌位移量呈中间大两帮小的趋势, 且底臌量最大值达到 1 000 mm 以上, 给巷道造成严重影响, 见图 10。

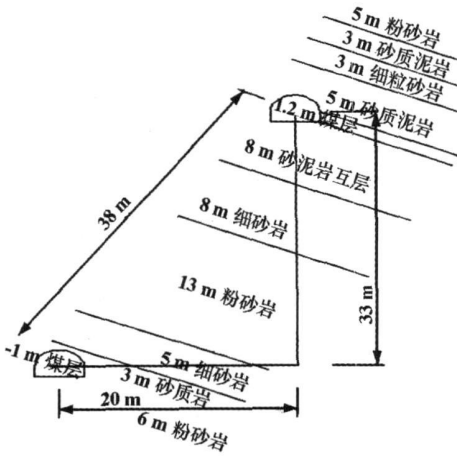


图 9 岩层相对位置

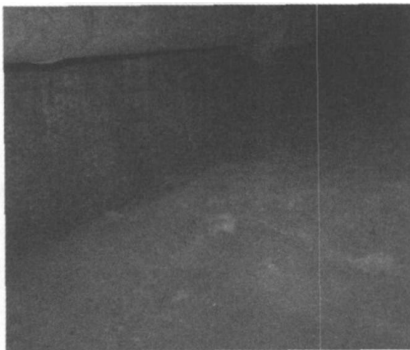


图 10 剪切型破坏型底臌

4.2 防治对策

为了有效的控制巷道底臌, 根据理论分析采取了

如下相应工程措施, 见图 11。

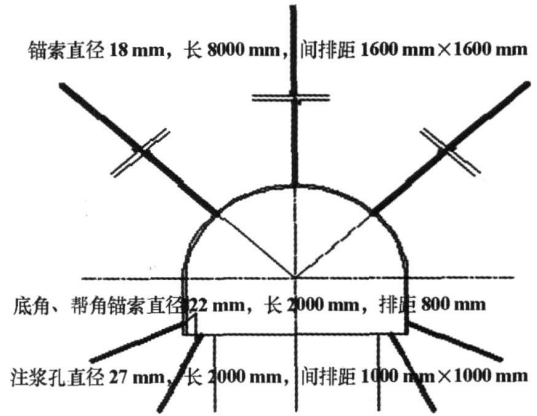


图 11 补强支护设计

1) 底角、帮脚补打锚杆。在帮底上, 靠帮底板处 300 ~ 400 mm 处分别增设一排锚杆, 锚杆参数为直径 22 mm, 长 2 200 mm, 排距 800 mm。

2) 顶板补打锚索。锚索布置于巷道拱顶 (与巷道横断面中心线重合) 和两肩, 锚索长 8 m, 沿巷道走向采用 323 的布局方式, 排距为 1 600 mm, 间距为 1 600 mm。

3) 底板注浆。注浆孔孔深 2 m, 直径 27 mm, 排距 1 000 mm, 每排布置 3 孔, 注浆孔间距 1 000 mm。

4.3 监测结果

采用锚杆锚索补强加固后, 研究巷道 180 m 并进行稳定性监测, 监测结果如图 12 所示。由图可知, 原支护方案下, 顶底板相对变形量持续增加到 1 000 mm, 且变形不稳定; 补强支护方案下, 顶底板相对变形量为 700 mm 后保持稳定, 说明新的控制方法满足生产技术要求。

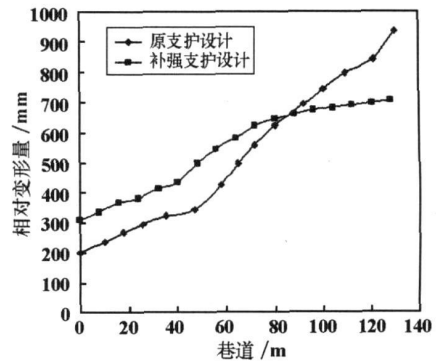


图 12 巷道稳定性监测位移曲线

5 结 语

1) 研究了剪切底臌的作用机理, 根据围岩本构关系, 建立了力学模型及分析计算简图, 根据底板主被动

发展过程, 引用等效隆起荷载计算出底板塑性区发展深度和底板压力计算解析式, 为底臃控制提供了理论依据。

2) 为提高围岩的支护强度及整体抗变形能力, 控制底臃的发生和发展, 可在两帮和底角施工锚杆及底板注浆来增加滑移面上岩体的抗剪强度, 技术合理, 工艺简单, 是控制底臃的有效手段。

3) 混凝土底板及底板锚索能改善围岩受力状态, 一方面使底板围岩临空区从二向受力状态变为三向受力状态; 另一方面使底板深部围岩最小主应力增加; 即围岩强度得到更大发挥, 该法能有效抑制底臃增长。

4) 邻近煤层开采、相邻巷道开挖等情况下, 矿压显现, 综合使用年限、施工、经济等情况可采用顶板加密锚索减少传递到帮底的荷载, 从而限制底臃的发展范围及深度。

参考文献:

- [1] 何满潮, 谢和平, 彭苏萍, 等. 深部开采岩体力学研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(16): 2803—2811.
- [2] 袁亮. 深井巷道围岩控制理论及淮南矿区工程实践 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2006.
- [3] 杨生彬, 何满潮. 孔庄矿深部软岩大巷底臃机理及控制对策研究 [J]. 中国矿业, 2007, 16(4): 77—81.
- [4] 姜耀东, 陆士良. 巷道底臃机理的研究 [J]. 煤炭学报, 1994, 19

(4): 343—347

- [5] 康红普. 巷道底鼓的挠曲效应及卸压效果的分析 [J]. 煤炭学报, 1992, 17(1): 37—52.
- [6] 谢卫红. 挠曲褶皱性巷道底臃机理分析及防治对策研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20(1): 57—60.
- [7] 贺永年, 何亚男. 茂名矿区巷道底臃实测与分析 [J]. 岩土工程学报, 1994, 16(4): 40—46.
- [8] 钟新谷, 徐虎. 管缝式锚杆防治软岩巷道底臃的试验研究 [J]. 岩土力学, 1996, 17(1): 16—21.
- [9] 伍永平, 黄超慧, 来兴平, 等. 深部软岩特性对底臃的影响与数值模拟研究 [J]. 煤炭工程, 2006(10): 65—68.
- [10] 李国富, 代学灵. 剪胀底臃机理与控制对策研究 [J]. 金属矿山, 2007(6): 16—29.
- [11] 董方庭. 巷道围岩松动圈支护理论及其应用技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2001.
- [12] 何满潮, 孙晓明, 景海河, 等. 软岩工程力学 [M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [13] 陈晓祥, 韦四江. 初始地应力场对煤矿巷道围岩稳定性的影响 [J]. 矿冶工程, 2008(6): 1—4.
- [14] M·奥顿哥特. 巷道底臃的防治 [M]. 王茂松译. 北京: 煤炭工业出版社, 1985.
- [15] 张伯平, 党进谦. 土力学与地基基础 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.
- [16] 沈明荣. 岩体力学 [M]. 上海: 同济大学出版社, 1999.
- [17] 付建军, 刘泉声, 刘滨, 等. 基于数理统计的巷道塑性圈分析 [J]. 采矿与安全工程学报, 2009(1): 70—74.

(上接第20页)

参考文献:

- [1] Li XD, Lu Y, Du JY, et al. The research of accident hidden troubles investigating and supervising method in coal mine // In: Yi SP, Chen XH eds. 12th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management [C]. Beijing: China Machine Press, 2005: 1220—1223.
- [2] LU Zhouquan, LIU Xiaoming, SU Jiahong, et al. Deposit 3D modeling and application [J]. Journal of Central South University of Technology, 2007, 14(2): 225—229.
- [3] LU Zhouquan, LIU Xiaoming, ZHANG Bao, et al. Cavity 3D modeling and correlative techniques based on cavity monitoring [J]. Journal of Central South University of Technology, 2008, 15(5): 639—644.
- [4] 过江, 古德生, 罗周全. 金属矿山采空区 3D激光探测新技术 [J]. 矿冶工程, 2006, 26(5): 16—19.
- [5] 罗周全, 李畅, 刘晓明, 等. 金属矿床可视化建模及储量计算 [J]. 矿冶工程, 2009, 29(1): 10—14.
- [6] 刘晓明, 罗周全, 孙利娟, 等. 三维 GIS空间数据集成和可视化技术研究 [J]. 科技导报, 2008, 26(10): 65—68.
- [7] 蔡勇. FTP服务器技术研究及实现 [D]. 成都: 电子科技大学, 2005.
- [8] 李艳梅. 图书馆 FTP服务器的建立和安全分析 [J]. 安徽大学学报 (自然科学版), 2005, 29(3): 30—32.
- [9] 赵强. 基于 FTP协议的文件传输服务器研究 [D]. 大连: 大连海事大学, 2008.
- [10] 彭健, 曹相敏. 基于 FTP的校园网络设计与实现 [J]. 计算机应用研究, 2005(11): 171—172.
- [11] 胡道元, 闵京华. 网络安全 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [12] 马燕, 刘海涛, 白英彩. 安全 FTP系统的设计与实现 [J]. 计算机应用与软件, 2007, 24(8): 175—176.
- [13] 黄世权. FTP协议分析和安全研究 [J]. 微计算机信息, 2008, 24(2): 93—94.
- [14] 何文才, 张媛媛, 刘培鹤, 等. 基于安全 FTP的计算机加密通信系统的研究与设计 [J]. 网络安全技术与应用, 2007(1): 92—94.
- [15] 聂丹. FTP的安全问题及解决方案 [J]. 湖南工业职业技术学院学报, 2006, 6(2): 23—24.
- [16] 石峰. RAD技术在 FTP服务器上的应用 [J]. 太原大学学报, 2009, 10(2): 136—138.