

岩巷的矿压显现 与合理位置

陆士良 著

煤炭工业出版社

TD32

7

3

岩巷的矿压显现与合理位置

陆士良 著

煤炭工业出版社



D

005

内 容 提 要

本书在对底板岩巷和邻近煤层巷道的围岩变形进行大量观测的基础上,分析了采动引起底板岩层的应力分布,比较系统地介绍了受上部煤层采动影响的底板岩巷和邻近煤层巷道的矿山压力显现规律。书中着重阐述了上部煤层采动时巷道围岩的力学性质,巷道与上部煤层之间的垂直距离,以及巷道与上部煤柱边缘之间的水平距离对底板岩巷及邻近煤层巷道维护的影响。书中还论述了受采动影响的底板岩巷和邻近煤层巷道的合理布置问题,并提供了岩巷围岩变形量预测的方法和资料,可供选择巷道的支护和布置方式时应用。

本书可供煤矿生产、设计、科研单位的有关技术人员和大专院校师生阅读和参考。

责任编辑:金连生 伊烈

岩巷的矿压显现与合理位置

陆士良 著

*

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 6 $\frac{7}{8}$

字数 150千字

印数1—4,020

1984年8月第1版

1984年8月第1次印刷

书号15035·2621 定价0.75元

前 言

我国厚煤层和近距离煤层群的赋存比重大，而且厚煤层易自然发火，围岩一般比较松软。为了改善巷道维护状况，防止自然发火，减少护巷煤柱损失，保证安全生产，我国很多矿区将矿井的主要大巷、开采厚煤层和近距离煤层群的采区上（下）山及区段集中平巷，都布置在底板岩层或围岩较稳定的下部薄及中厚煤层内。

与煤层巷道一样，岩石巷道的维护主要取决于围岩应力、围岩的力学性质，以及巷道支护等边界条件。如巷道布置不合理，岩巷位于高应力区或松软的岩层内，岩石巷道的维护将会发生很大困难。底板岩石巷道或下部邻近煤层巷道的围岩应力，在煤层开采深度等地质技术条件变化不大的情况下，主要取决于巷道上部煤层采动引起的应力变化、巷道与上部煤层之间的垂直距离及巷道与上部煤柱边缘之间的水平距离。因此，为合理布置巷道，改善岩巷和邻近煤层巷道的维护，必须掌握下列规律：

- 1) 上部煤层采动引起的应力分布及其在底板内的传递，以及对巷道维护的影响。

- 2) 岩巷与上部煤层之间的垂距，岩巷与上部煤柱边缘之间的水平距两个参数对巷道的围岩应力和维护的影响。

- 3) 岩巷的围岩力学性质对围岩变形和巷道维护的影响。

按照上述规律选择岩巷和邻近煤层巷道的位置，可使受采动影响的底板岩巷和邻近煤层巷道的围岩应力较小，围岩强度较高，以达到巷道的围岩变形较小，维护状况得到明显改善，以及巷道的工程量和护巷煤柱损失均较少。可见，掌

握上部煤层采动引起底板岩层的应力分布，底板岩巷和邻近煤层巷道受上部煤层采动影响期间的矿压显现，以及围岩性质对巷道维护的影响等是进行岩巷布置的一项基础工作。

本书主要根据底板岩巷和邻近煤层巷道的矿压观测和巷道维护的调查研究，着重阐述上述基本问题，供分析研究和选择底板岩巷和邻近煤层巷道的合理位置参考。

书中引用了平顶山、淮南、阳泉和开滦等矿务局的矿压实测资料和经验，在此表示感谢。

由于作者水平所限，加之岩巷还有很多规律尚未被人们所认识，书中缺点和错误在所难免，恳请读者指正。

目 录

前 言

第一章	采动引起底板岩层的应力分布	1
第一节	荷载作用下半平面体的应力状态	1
第二节	回采引起的支承压力分布	15
第三节	煤柱下底板岩层的应力状态	28
第四节	煤柱下底板岩层的稳定性	50
第二章	底板岩巷和邻近煤层巷道的位置和 矿压显现	54
第一节	底板岩巷的布置和受力状况	54
第二节	跨采工作面移动支承压力对巷道 围岩变形的影响	60
第三节	跨采时支承压力叠加对巷道的影响	69
第四节	底板岩巷在煤柱下的维护状况	75
第三章	上(下)山的位置和矿压显现	82
第一节	上(下)山的布置和受力状况	82
第二节	上(下)山在煤柱下的维护状况	93
第三节	上(下)山上方跨采的矿压显现	104
第四章	围岩性质对巷道维护的影响	111
第一节	巷道的塑性区和周边位移	111
第二节	掘巷引起的围岩变形与围岩性质的关系	114
第三节	跨采巷道的围岩变形与围岩性质的关系	119
第四节	底板岩巷在煤柱下的围岩变形与 围岩性质的关系	124
第五节	岩巷围岩分类	125
第五章	巷道与上部煤层的垂距(z)	135

第一节	影响 z 值的因素	135
第二节	围岩性质对 z 值的影响	138
第三节	采动对 z 值的影响	141
第六章	巷道与上部煤柱边缘的 水平距离(x)	144
第一节	影响 x 值的因素	144
第二节	采动对 x 值的影响	147
第三节	围岩性质对 x 值的影响	154
第七章	岩巷变形量的预测	159
第一节	底板岩巷的围岩变形量	159
第二节	上(下)山的围岩变形量	188
第三节	围岩变形量的预测	198
附表		207
参考文献		213

第一章 采动引起底板岩层的应力分布

煤层采动引起回采空间周围岩层应力重新分布，不仅在回采空间周围的煤柱上造成应力集中，而且该应力将向底板岩层深部传递。因此，研究底板岩层里的应力分布，对了解受上部煤层采动影响的底板岩层或邻近煤层巷道受力状况和矿压显现，以及合理布置巷道都具有指导意义。本章主要介绍在回采引起的支承压力作用下，底板岩层内的应力分布。

第一节 荷载作用下半平面体的应力状态

一、荷载作用下基础内应力分布的特征

煤柱上支承压力向底板岩体内传递，与建筑物的基础向地基中传力的情况相类似。

如图 1 所示，假设基础是由无数直径相同的小圆柱组成。当第一层一个小圆柱受力为 P 时，则第二层两个小圆柱的受力各为 $P/2$ ；第三层三个小圆柱受力，两边小圆柱各受力 $P/4$ ，中间小圆柱受力 $P/2$ ；第四层四个小圆柱受力，两边小圆柱各受力 $P/8$ ，中间两个小圆柱受力 $3P/8$ ，依此类推。可见压力传递愈深，受力的小圆柱愈多，每个小圆柱受力愈小。若将最下层小圆柱受力大小按比例绘成曲线（图 1），则可以清楚地看到，荷载作用下基础内的应力分布有下列特征：

1) 基础内深度不同的各水平面上应力不同，而且同一深度的水平面上各点的应力也不相同。在集中力作用线上的应

力最大，应力向两侧扩散并逐渐减小。

2) 距荷载作用点愈深，应力分布范围愈大。在同一垂直线上应力随深度变化，超过一定深度后，应力随深度增加而迅速衰减。

这些特点称为荷载作用下基础内应力的扩散和衰减作用。它与柱子在外载作用下，沿柱子长度各水平截面上的应力基本不变，是完全不同的。

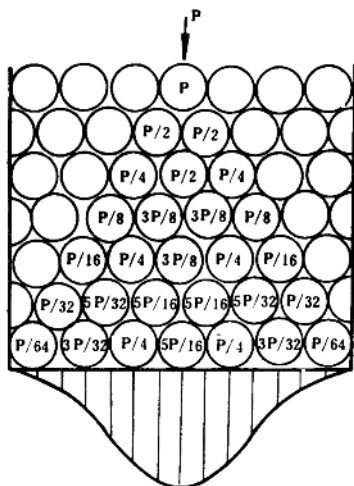


图 1 基础内应力扩散示意图

二、荷载作用下基础内的应力分布

1. 集中荷载作用下半平面体内的应力

设有一个平面，左右两侧和下部为无限边界，上部边界被一直线截开，这样的平面称为半无限平面体。如图 2 所

示，在半平面体的边界上，垂直于直边有一集中力 P 作用。

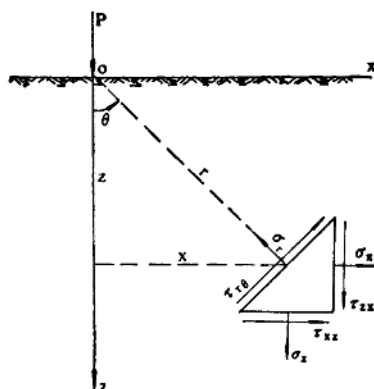


图 2 集中力作用在半平面体的边界上

令 P 的作用点为坐标原点 O ，极坐标半径为 r ，深度方向坐标为 z ，水平方向为 x ， r 与 z 轴的夹角为 θ 。

这个问题的边界条件是：

$$\left. \begin{array}{l} \text{当 } \theta = \pm \frac{\pi}{2} \text{ 时, 切向正应力 } \sigma_\theta = 0 \\ \text{剪应力 } \tau_{r\theta} = 0 \end{array} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{当 } r \rightarrow \infty \text{ 时, 径向正应力 } (\sigma_r)_{r \rightarrow \infty} = 0 \\ (\sigma_\theta)_{r \rightarrow \infty} = 0 \\ (\tau_{r\theta})_{r \rightarrow \infty} = 0 \end{array} \right\} \quad (2)$$

第一个条件表示沿直线边界没有垂直于边界和沿边界的应力作用；第二个条件说明远离荷载作用点，应力等于零，即不再受荷载的影响。

按图示的坐标, 应力应对称于 oz 轴, 它是 θ 的偶函数。按弹性理论, 应力函数 ϕ 可用下式表示:

$$\phi = \frac{P}{\pi} r \theta \sin \theta$$

没有体积力时, 用应力函数 ϕ 表示极坐标的应力分量 σ_r 、 σ_θ 和 $\tau_{r\theta}$ 为:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial \theta^2} = \frac{2P}{\pi r} \cos \theta \\ \sigma_\theta &= \frac{\partial^2 \phi}{\partial r^2} = 0 \\ \tau_{r\theta} &= -\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial \theta} \right) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

经过检验, 满足双谐方程及全部边界条件。

弹性基础内任一点 (x, z) 的应力, 用直角坐标表示为:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \sigma_r \sin^2 \theta = \frac{P}{\pi r} \sin \theta \sin 2\theta = \frac{2P}{\pi} \frac{x^2 z}{(x^2 + z^2)^2} \\ \sigma_z &= \sigma_r \cos^2 \theta = \frac{2P}{\pi r} \cos^3 \theta = \frac{2P}{\pi} \frac{z^3}{(x^2 + z^2)^2} \\ \tau_{xz} &= \sigma_r \sin \theta \cos \theta = \frac{P}{\pi r} \cos \theta \sin 2\theta = \frac{2P}{\pi} \frac{x z^2}{(x^2 + z^2)^2} \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

图3表示辐射状应力 σ_r 为 σ , 2σ , 3σ 及 4σ 时的 σ_r 等值线。在通过力作用点的任意直线上, 各种应力均与离开力作用点的距离 r 成反比而衰减。

2. 均匀荷载作用下半平面体的应力

如图4所示, 在半平面体上作用着宽度为 $2B$ 的均布条

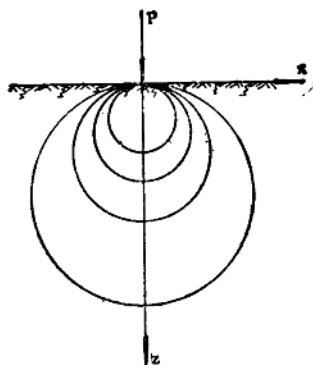


图 3 集中力下半平面体等主应力线
形荷载，其压强为 P ，在 $d\xi$ 长度上的压力 dp 为：

$$dp = p d\xi$$

为了求得由 $(\xi, 0)$ 点的力 $p d\xi$ 在半平面体内 (x, z) 点引起的应力，可在 (1-2) 式中以 $(x - \xi)$ 代替 x ，以 $p d\xi$ 代替 P ，并进行积分，可得 $(-B, +B)$ 范围内条形荷载在 (x, z) 点引起的应力，即

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \frac{2p}{\pi} \int_{-B}^{+B} \frac{(x - \xi)^2 z}{[(x - \xi)^2 + z^2]^2} d\xi = \frac{p}{\pi} \left(\operatorname{arctg} \frac{B - x}{z} + \right. \\ &\quad \left. + \operatorname{arctg} \frac{B + x}{z} \right) + \frac{2Bpz(x^2 - z^2 - B^2)}{\pi[(x^2 + z^2 - B^2)^2 + 4B^2z^2]} \\ \sigma_z &= \frac{2p}{\pi} \int_{-B}^{+B} \frac{z^3}{[(x - \xi)^2 + z^2]^2} d\xi = \frac{p}{\pi} \left(\operatorname{arctg} \frac{B - x}{z} + \right. \\ &\quad \left. + \operatorname{arctg} \frac{B + x}{z} \right) - \frac{2Bpz(x^2 - z^2 - B^2)}{\pi[(x^2 + z^2 - B^2)^2 + 4B^2z^2]} \\ \tau_{xz} &= \frac{2p}{\pi} \int_{-B}^{+B} \frac{(x - \xi)z^2}{[(x - \xi)^2 + z^2]^2} d\xi \end{aligned} \right\}$$

$$= \frac{4Bpxz^2}{\pi[(x^2 + z^2 - B^2)^2 + 4B^2z^2]}$$

(1-3)

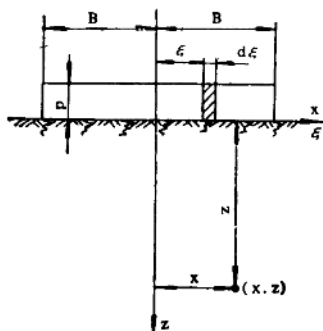


图 4 均布荷载作用在半平面体的边界上

按照 (1-3) 式，经计算后可得均布荷载在弹性基础内应力分布的各种图形。图 5a 表示不同位置 x 为 $0, 0.5B, B, 1.5B, 2B$ 处竖向截面上的法向应力 σ_x 曲线。图 5b 表示不同深度上 z 为 $B, 2B, 3B$ 处水平截面上的法向应力 σ_x 曲线。图 6 为法向应力 σ_x 的等值线。图中的

曲线是按单位荷载 (即 $p=1$) 绘制的。

均布荷载在弹性基础内的应力分布，还可由下列近似计算方法求得。

如图 7 所示，在荷载 P 下面深度为 z 处有一水平截面，从荷载底端以 45° 角作直线相交于水面截面 a, a' 处， $a-a'$ 就是荷载传递到深度为 z 处的垂直应力近似的分布范围，于是在 $a-a'$ 截面上的平均垂直应力将等于 $P/2(B+z)$ 。荷载在弹性基础内各水平截面上的应力分布近似为抛物线形状， x 为零处的垂直应力为最大 ($\sigma_{\max}$)。荷载 P 等于抛物线范围内的面积。为计算简便，以拱形面积 S 代替抛物线面积，即

$$S \approx \frac{2}{3}bh$$

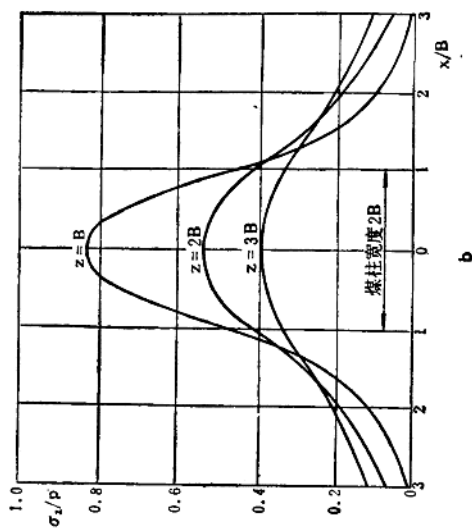
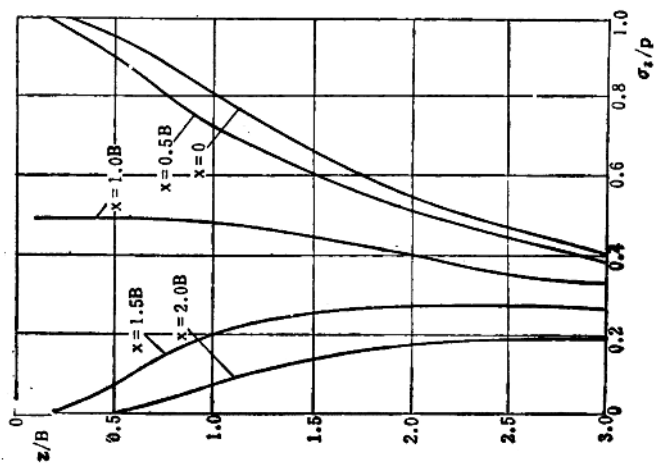


图 5 均布荷载在弹性基础内的应力分布
a—不同位置(x)的竖向截面上法向应力 σ_z 曲线；b—不同深度(z)的水平截面上法向应力 σ_x 曲线

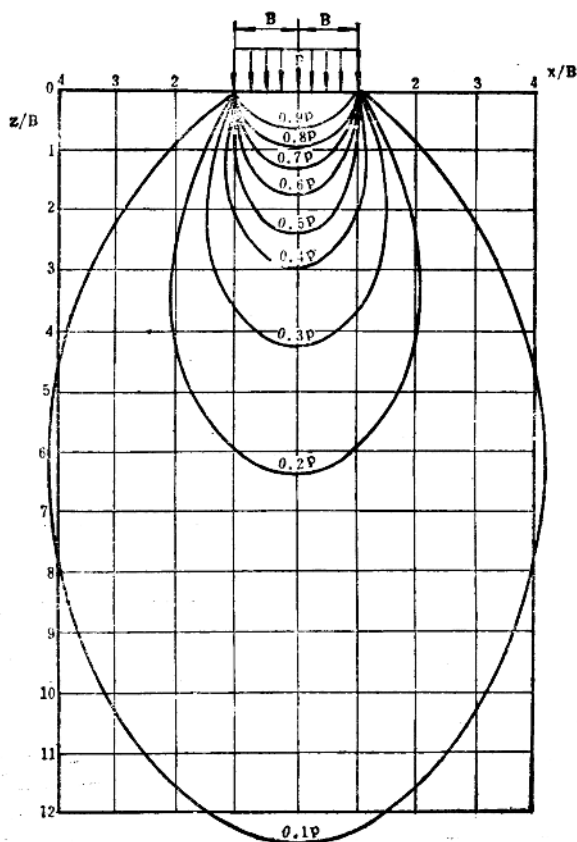


图 6 均布荷载在弹性基础内的等法向应力 σ_z 曲线

式中 b ——弦长 [$b = 2(B + z)$], 米;

h ——弓形高 ($h \approx \sigma_{\max}$), 米。

于是
$$P \approx \frac{2}{3} b h \approx \frac{4}{3} (B + z) \sigma_{\max}$$

$$\sigma_{\max} \approx \frac{3P}{4(B+z)} \quad (1-4)$$

近似计算得到的最大应力比平均应力大50%。

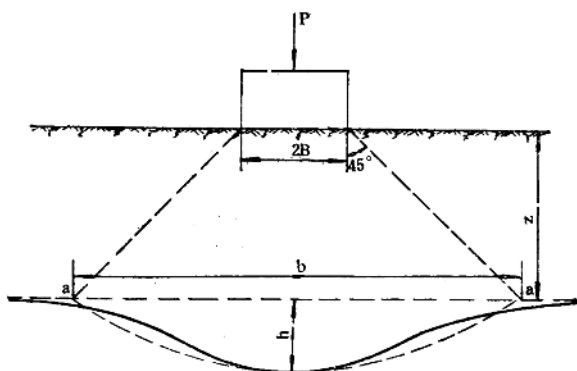


图 7 荷载在弹性基础内应力分布的近似算法

对大多数问题来说这种近似算法都能满足精度的要求, 因为各向异性的影响即使在比较精确的计算中, 一般也是忽略不计的。而忽略各向异性所带来的误差却比这种近似算法还要大。

3. 三角形荷载作用下半平面体的应力状态

如图 8 所示, 在半平面体上作用着宽度为 $2B$ 的三角形荷载。当 x 为零时, 荷载强度为零; x 为 $2B$, 荷载强度为

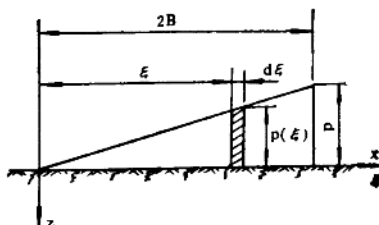


图 8 三角形荷载作用在半平面体的边界上

P 。在任意截面 ξ 上的荷载强度为：

$$p(\xi) = \frac{P}{2B} \xi$$

在 $d\xi$ 长度上的荷载为：

$$dp = \frac{p\xi}{2B} d\xi$$

为了求得由 $(\xi, 0)$ 点的荷载 $\frac{p\xi}{2B} d\xi$ 在半平面体内 (x, z) 点引起的应力，可在 (1-2) 式中以 $(x-\xi)$ 代替 x ，以 $\frac{p\xi}{2B} d\xi$ 代替 P ，并进行积分，可得 $(2B, 0)$ 范围内三角形荷载在 (x, z) 点引起的应力，即

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{P}{\pi B} \int_0^{2B} \frac{(x-\xi)^2 z \xi}{[(x-\xi)^2 + z^2]^{\frac{3}{2}}} d\xi \\ &= \frac{Pz}{2\pi B} \ln \frac{(x-2B)^2 + z^2}{x^2 + z^2} - \frac{xP}{2\pi B} \left(\operatorname{arctg} \frac{x-2B}{z} - \right. \\ &\quad \left. - \operatorname{arctg} \frac{x}{z} \right) + \frac{Pz}{\pi} \frac{x-2B}{(x-2B)^2 + z^2} \\ \sigma_z &= \frac{P}{\pi B} \int_0^{2B} \frac{z^3 \xi}{[(x-\xi)^2 + z^2]^{\frac{3}{2}}} d\xi = - \frac{xP}{2\pi B} \left(\operatorname{arctg} x \right. \end{aligned}$$