



煤炭工业出版社

煤柱护巷的矿压显现

53

TD353

9

3

无煤柱护巷的矿压显现

陆士良 编著

煤炭工业出版社

A886405

内 容 提 要

本书在对受采动影响的区段巷道进行大量观测的基础上, 比较系统地介绍了无煤柱护巷的基本原理和矿山压力显现规律。书中阐述了采动对巷道维护的影响, 沿空留巷、沿空掘巷和厚煤层分层巷的矿压显现和受力状况, 以及用煤柱和无煤柱护巷的适用界限。此外, 还论述了中厚煤层和厚煤层分层开采时无煤柱护巷的技术经济效果。

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

无煤柱护巷的矿压显现

陆 士 良 编著

*

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 $787 \times 1092^{1/8}$ 印张 $4^{1/8}/16$

字数 102 千字 印数 1—3,510

1982年4月第1版 1982年4月第1次印刷

书号15035·2462 定价0.55元



前 言

我国煤矿中，回采工作面两端的区段巷道，总长度要达到几百万米，长期以来一直沿用保留煤柱的方法维护。用煤柱维护区段巷道的煤炭损失量一般要占全矿煤损总量的40%左右，居矿井煤炭损失的首位。区段巷道的开掘、准备和维修费用要占全矿开发、准备和维修费用总和的50%左右，也居这些费用的首位。因此，研究区段间不留煤柱、实现无煤柱护巷，对提高矿井煤炭回采率，降低巷道掘进率和吨煤的开发准备费用，对矿井的生产和建设都有重要意义。

无煤柱护巷是煤矿开采技术的一项重大改革。从七十年代起，在苏联、西德和英国等许多国家得到比较迅速地发展。近几年来，我国已有峰峰、阳泉、淮北、开滦、平顶山、焦作、铜川、舒兰和鹤岗等四十多个矿区，试验和应用沿已采区边缘布置区段巷道，研究无煤柱护巷，并取得了宝贵的经验和良好的技术经济效益，积累了不少无煤柱巷道矿压显现的实测资料。各矿的实践结果，区段内实现无煤柱护巷后，矿井回采率可提高10%以上，巷道的掘进率或维修费约可降低30%。用岩石上（下）山和围岩大巷开采厚煤层时，采用无煤柱护巷的效果更为显著，在矿井范围内基本上实现无护巷煤柱，可有效地延长采区、开采水平和矿井的寿命，明显地改善采掘关系和巷道维护。此外，无煤柱开采还有利于消除因煤柱引起的灾害和不利影响，如冲击地压、煤与瓦斯突出、坚硬顶板的初次放顶及“三下采煤”

等。尤其是随着矿井开采深度的增大，无煤柱护巷是改进煤矿开采的一项行之有效的重大技术措施。

国内外的实践表明，要发展和完善无煤柱护巷，需要研究和解决一系列理论和实际问题，例如：

（1）受采动影响巷道的矿山压力和无煤柱护巷的基本原理。

（2）沿采空区边缘布置巷道的受力状况，围岩变形和维护的基本规律。

（3）厚煤层分层开采时，无煤柱护巷的围岩变形规律。

（4）开采深度、采动状况、煤层采厚、煤柱宽度和围岩性质等对无煤柱巷道维护的影响。

（5）无煤柱巷道的支架——围岩关系和支护技术措施。

（6）无煤柱巷道合理的布置方式和采掘关系。

（7）防止漏风和煤层自然发火，防水及治理瓦斯等安全技术措施。

（8）矿井煤炭损失的经济评价及无煤柱护巷的技术经济效益和适用范围等。

本书主要根据采准巷道的矿压观测资料和巷道维护状况的调查分析结果，从受采动影响巷道围岩的应力和变形，着重阐述缓倾斜中厚煤层和厚煤层分层开采时，沿采空区边缘保留巷道（简称沿空留巷）和掘进巷道（简称沿空掘巷）的维护规律，及煤柱宽度等影响巷道维护的有关因素。在此基础上，论述无煤柱维护区段巷道的技术经济效益和适用范围。

书中引用了平顶山、阳泉、开滦、淮北、铜川和焦作等

矿务局无煤柱护巷的矿压实测资料和经验，在此表示感谢。

由于作者水平所限，加之无煤柱护巷尚处于发展阶段，很多规律还未被人们所认识，书中缺点和错误在所难免、恳请读者指正。

目 录

第一章 采动对巷道维护的影响	1
第一节 单一巷道的围岩应力	1
第二节 采动引起的围岩应力分布	6
第三节 采准巷道的围岩变形	19
第四节 煤柱对巷道维护的影响	21
第二章 沿空留巷的矿压显现	31
第一节 沿空留巷的受力状况	31
第二节 沿空留巷采动期间的矿压显现	36
第三节 沿空留巷本工作面采动期间的围岩变形	52
第四节 沿空留巷矿压显现的基本特征	55
第三章 沿空掘巷的矿压显现	57
第一节 沿已稳定的采空区边缘掘巷	57
第二节 窄煤柱巷道	61
第三节 沿尚未稳定的采空区掘巷	67
第四节 沿空掘巷的技术措施	70
第四章 区段巷道的围岩变形与煤柱宽度的关系	72
第一节 采动期间巷道的围岩变形与煤柱宽度的关系	72
第二节 采动稳定期间巷道的围岩变形与煤柱宽度的关系	81
第三节 相邻区段采动重叠影响时巷道的围岩变形与煤柱宽度的关系	83
第五章 厚煤层分层开采的无煤柱护巷	84
第一节 巷道布置方式	84
第二节 上分层遗留的煤柱对中、下分层巷道维护的影响	85

第三节	采动对中、下分层巷道维护的影响	91
第六章	无煤柱护巷的技术经济效益	97
第一节	区段巷道布置方案比较的准则	97
第二节	缓倾斜中厚煤层的区段巷道布置及其技术 经济效益	104
第三节	厚煤层分层开采的区段巷道布置及其技术 经济效益	120
主要结论		138

第一章 采动对巷道维护的影响

采准巷道的维护状况主要取决于围岩的应力，围岩的力学性质，以及巷道的支护等边界条件。在一定的地质条件下，区段巷道可以采用煤柱维护或无煤柱护巷，沿采空区边缘保留巷道（简称沿空留巷）或重掘巷道（简称沿空掘巷）。它们之间由于巷道与回采工作面在空间位置上和时间关系上的变化，受到采动引起的岩层运动和支承压力的影响不同，致使巷道的围岩变形和维护状况相差悬殊。因此，研究单一巷道的围岩应力，回采引起的应力分布，采动对巷道围岩应力和变形的影响，受采动影响巷道围岩变化的变化和发展过程，以及煤柱对巷道维护的影响等，对了解和掌握区段巷道无煤柱维护的基本原理和维护规律都十分重要。

第一节 单一巷道的围岩应力

未经采动的岩体，在巷道开掘以前通常是处于弹性变形状态的，岩体的原始垂直应力 P 为上部覆盖岩层的重量 γH （ H ——岩体的埋藏深度， γ ——岩体容重）。在岩体内开掘巷道后，应力要发生重新分布，即巷道围岩内出现应力集中，如果应力超过了岩体的强度极限，巷道周边的围岩就要产生塑性变形，并从周边向岩体深处扩展到某一范围，在巷道围岩内出现了塑性区，并引起应力向围岩内部转移。巷道的塑性变形区和弹性变形区内的应力分布如图1所示。在塑性区内圈，围岩强度明显削弱，能够负担的压力显著降低，且

低于原始应力 γH ，围岩发生松弛和位移，称松弛区，为卸载和应力降低区。当剪切位移发展到一定程度，松弛区内的围岩可能松动塌落而出现松塌区。松塌区不能传递切向应力，仍可传递径向应力。塑性区外圈是应力升高部分，它与弹性区内应力升高部分合在一起，为承载区，也称应力升高区。

运用极限平衡理论，在各向等压的情况下，圆形巷道的围岩应力、塑性区半径和周边位移的计算式为：

塑性区的应力方程式

径向应力

$$\sigma_{rp} = (p_i + C \operatorname{ctg} \varphi) \left(\frac{r}{r_0} \right)^{\frac{2 \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}} - C \operatorname{ctg} \varphi \quad (1-1)$$

切向应力

$$\sigma_{tp} = (p_i + C \operatorname{ctg} \varphi) \xi \left(\frac{r}{r_0} \right)^{\frac{2 \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}} - C \operatorname{ctg} \varphi \quad (1-2)$$

弹性区的应力方程式

径向应力

$$\sigma_{re} = P \left(1 - \frac{R^2}{r^2} \right) + \left[\left(p_i + C \operatorname{ctg} \varphi \right) \left(\frac{R}{r_0} \right)^{\frac{2 \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}} - C \operatorname{ctg} \varphi \right] \frac{R^2}{r^2} \quad (1-3)$$

切向应力

$$\sigma_{te} = P \left(1 + \frac{R^2}{r^2} \right) - \left[\left(p_i + C \operatorname{ctg} \varphi \right) \left(\frac{R}{r_0} \right)^{\frac{2 \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}} - C \operatorname{ctg} \varphi \right] \frac{R^2}{r^2} \quad (1-4)$$

塑性区半径

$$R = r_0 \left[\frac{(P + C \operatorname{ctg} \varphi)(1 - \sin \varphi)}{(p_i + C \operatorname{ctg} \varphi)} \right]^{\frac{1 - \sin \varphi}{2 \sin \varphi}} \tag{1-5}$$

周边位移

$$u = \frac{r_0 \sin \varphi}{2G} \cdot \frac{(P + C \operatorname{ctg} \varphi)^{\frac{1}{\sin \varphi}} (1 - \sin \varphi)^{\frac{1 - \sin \varphi}{\sin \varphi}}}{(p_i + C \operatorname{ctg} \varphi)^{\frac{1 - \sin \varphi}{\sin \varphi}}} \tag{1-6}$$

- 式中 P——原岩应力；
p_i——支架阻力；
r₀——圆形巷道半径；
r——所求应力处的半径；
φ——围岩的内摩擦角；

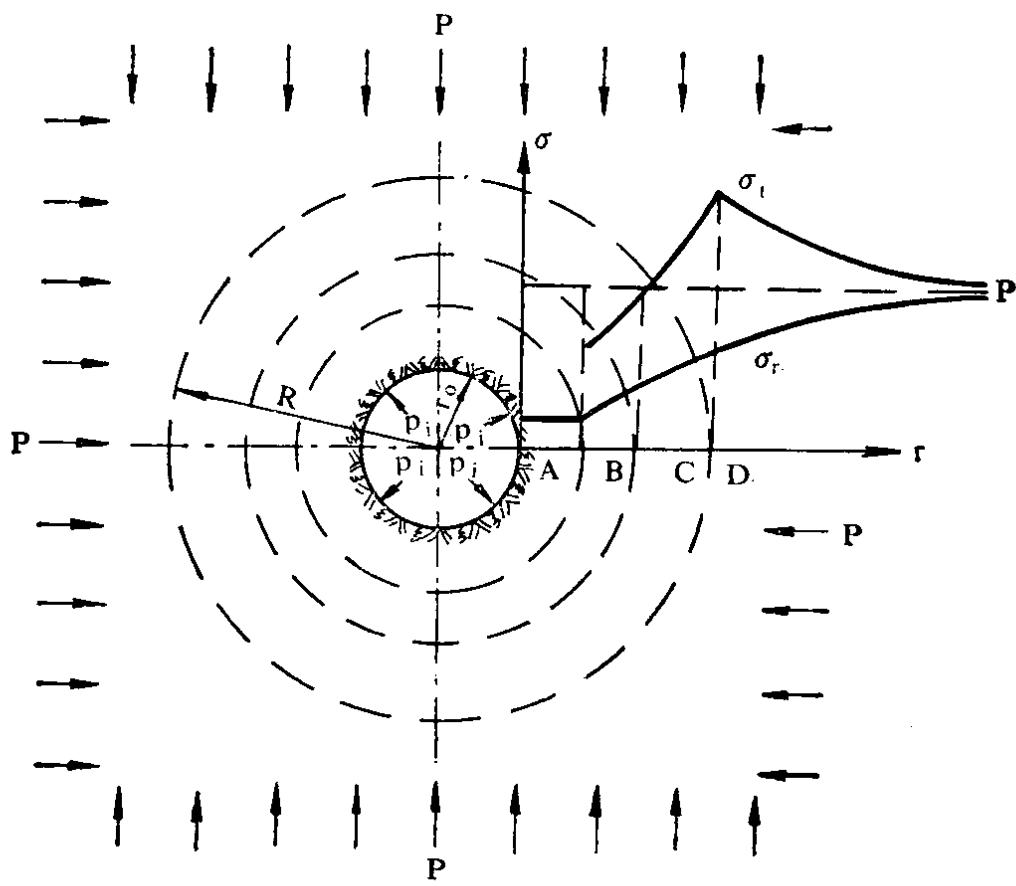


图 1 圆形巷道围岩的弹塑性变形区及应力分布
P—原岩应力；σ_t—切向应力；σ_r—径向应力；R—塑性区半径；A—松塌区；B—松弛区；B、C—塑性区；D—弹性区

C——围岩的粘结力；

G——剪切弹性模数。

由 (1-5)、(1-6) 式可知，巷道的稳定性和周边位移主要取决于岩层的垂直压力 P ，反映岩石强度性质的内摩擦角 φ 和粘结力 C ，巷道的支护阻力 p_i 和半径 r_0 等。设圆形巷道的 $r_0 = 1.5$ 米， $p_i = 10$ 吨/米²， $\gamma = 2.5$ 吨/米³， $G = 2 \cdot 10^5$ 吨/米²。并设巷道周围的煤质分别为比较松软、中等稳定和比较坚硬三种，它们的 φ 值分别为 16° 、 20° 、 24° ， C 值为 40、50、60 吨/米²。将这些数值代入 (1-5)、(1-6) 式，可得巷道的塑性区半径 R （米）和周边位移 u （毫米）同 P （吨/米²）、 φ 、 C 之间的关系。

$\varphi = 16^\circ$ 、 $C = 40$ 吨/米²时，

$$R = 0.00136 P^{1.31}$$

$$u = (8.42 P^{3.62} + 4255 P^{2.62}) \cdot 10^{-13}$$

$\varphi = 20^\circ$ 、 $C = 50$ 吨/米²时，

$$R = 0.00822 P^{0.962}$$

$$u = (3.88 P^{2.92} + 1557 P^{1.92}) \cdot 10^{-11}$$

$\varphi = 24^\circ$ 、 $C = 60$ 吨/米²时，

$$R = 0.0287 P^{0.729}$$

$$u = (5.01 P^{2.46} + 1658 P^{1.46}) \cdot 10^{-10}$$

根据这些关系式可绘制图 2 和图 3。

由图 2 和图 3 可见：

(1) 巷道的塑性区半径 R 和周边位移 u ，随巷道所在处的原岩应力 P 的增大呈指数函数关系迅速增长。这是巷道随开采深度 H 的增大或者受回采影响后，围岩变形急剧增长的重要原因。

(2) 内摩擦角 φ 和粘结力 C 愈小，也就是围岩强度愈

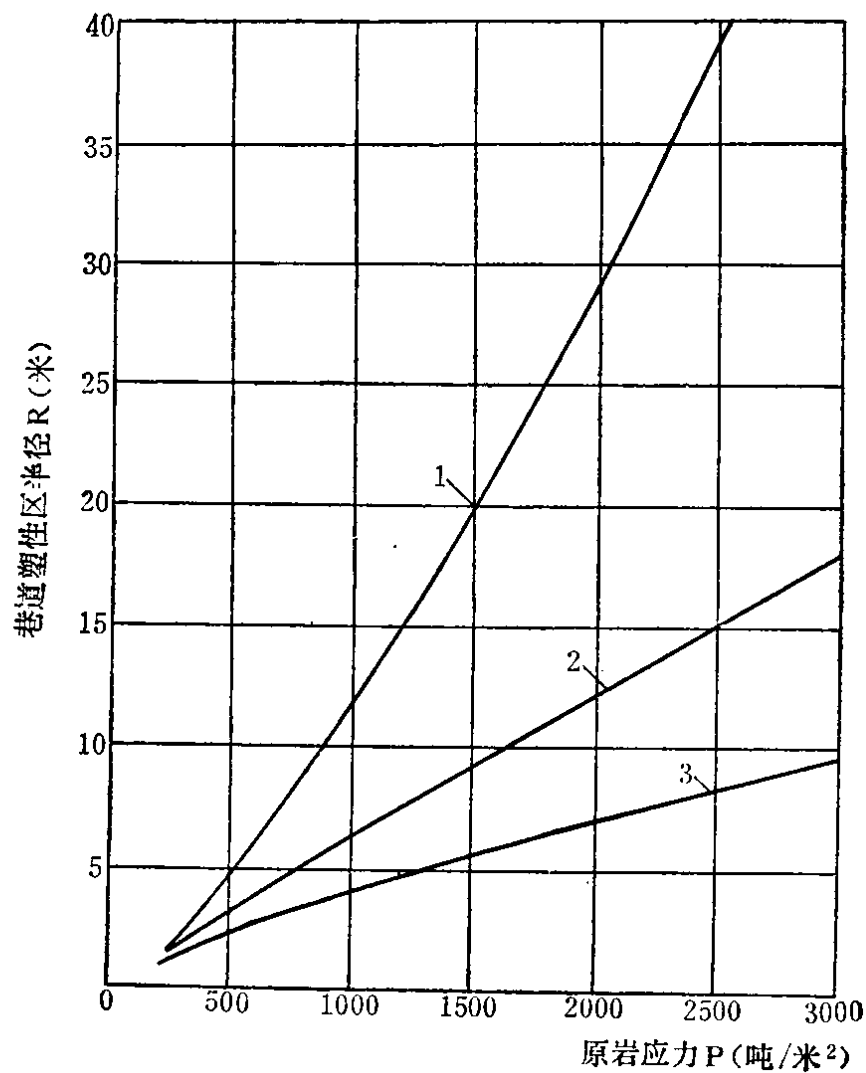


图 2 巷道的塑性区半径
R与P、 φ 、C的关系

1— $\varphi = 16^\circ$, $C = 40$ 吨/米², 2— $\varphi = 20^\circ$, $C = 50$ 吨/米², 3—
 $\varphi = 24^\circ$, $C = 60$ 吨/米²

低，则R和u值均显著增大。

(3) R、u与P的函数关系中，指数的大小取决于 φ 、C的变化， φ 、C值越小，指数愈高，R、u值增长愈加迅速。且P值愈大， φ 、C的影响愈剧。这是围岩松软巷道随开采深度H的增大或者受到采动影响时的变形量，比围岩较稳定的巷道要剧烈得多的主要原因。

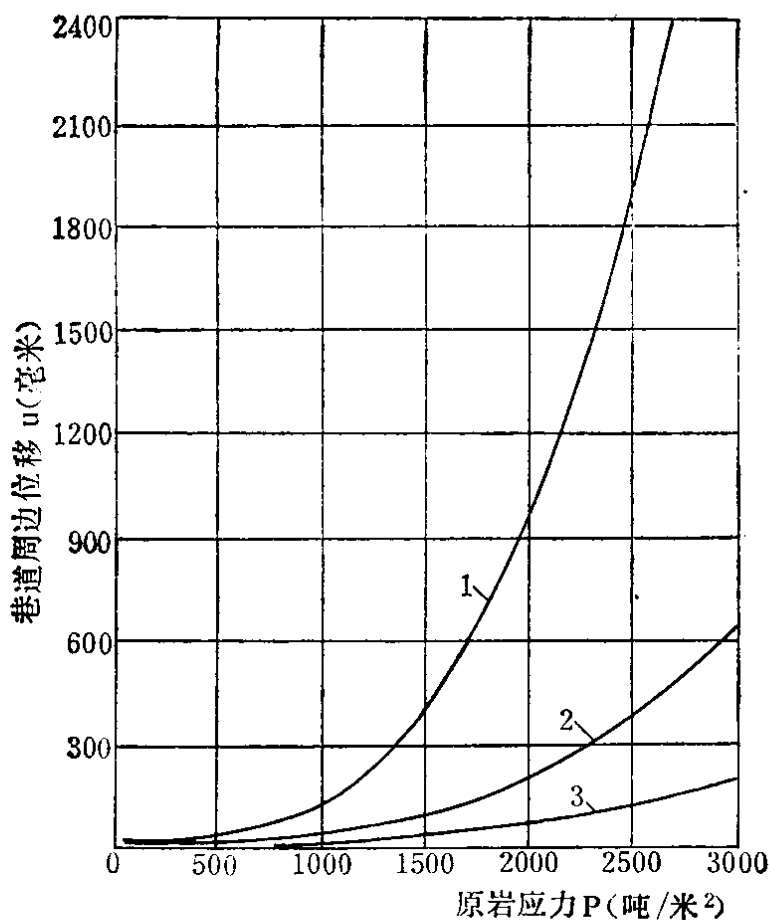


图 3 巷道的周边位移 u 与 P 、 φ 、 C 的关系

1— $\varphi = 16^\circ$, $C = 40$ 吨/米²; 2— $\varphi = 20^\circ$, $C = 50$ 吨/米²; 3—
 $\varphi = 24^\circ$, $C = 60$ 吨/米²

第二节 采动引起的围岩应力分布

采准巷道的矿压显现比位于煤体内的单一巷道要复杂得多。它的维护状况除取决于影响单一巷道维护的诸因素外，主要取决于采动影响，即煤层开采过程中引起的采场周围的岩层运动和应力重新分布，对采准巷道的变形、破坏和维护的影响。

一、沿工作面推进方向的应力变化

众所周知，用陷落法开采时，采空区顶板岩层从下向上

一般会出现冒落带、裂隙带和弯曲下沉带。这三带的发展过程对巷道维护影响很大。

冒落带是在开采空间和冒落岩层本身空间未被冒落岩块充满前发生的，一般都自由垮落，失去原有的层次，岩层结构破坏严重，彼此之间无力的联系。冒落带岩层的厚度取决于煤层的开采厚度、顶板岩层性质及其赋存状况等。冒落带岩层的厚度一般为采厚的2~4倍。

当顶板岩层的冒落高度达到 Σh 时，由于受到充满采空区的垮落岩石的限制，上部的岩层不再自由垮落，随着冒落带松散岩石的压实而下沉断裂，形成裂隙带。裂隙带的岩层结构虽遭破坏，但仍保持原有层次，岩块之间绞接挤压，可能形成力的平衡，而承受上覆岩层的重量，并将其传递到采空区周围的煤体和煤柱上。沿空留巷的矿压显现和顶板下沉同冒落带和裂隙带岩层的力学性质和沉降有着密切关系。

裂隙带岩层往上，裂隙渐少且互不沟通，岩层只是整体移动，称弯曲下沉带。它的运动过程对沿空留巷的顶板下沉和矿压显现的影响比裂隙带要小得多。

沿回采工作面推进方向，采空区上部岩层的破坏过程大致可分为三个阶段。冒落带岩层处于垮落和松散阶段，上覆岩层大部分呈悬垂状态（如图4中的Ⅲ和图5），悬垂岩层的重量要转移到工作面前方和采空区两侧的煤体和煤柱上。此时在采空区为低于原始应力 γH 的降压区（图4和图5中C），在工作面前方（图4中B）和采空区两侧的煤体（图5中 B_1 ）和煤柱（图5中 B_2 ）上，出现了比原始应力大得多的集中应力，常称为支承压力。随着回采工作面的推进，冒落带岩石逐步被压缩（图4中Ⅳ），采空区上覆岩层的重量，逐渐作用到底板上，煤柱的支承压力也渐渐降低。在远离回采工作

面的后方，随着已采区上覆岩层的沉降，冒落带矸石的压实（图4中V），冒落带和底板岩层的压力恢复到接近原始应力 γH （图4和图5中D），采空区两侧煤柱的压力也趋向稳定。在回采期间，沿回采工作面前后方的应力分布如图4所示。

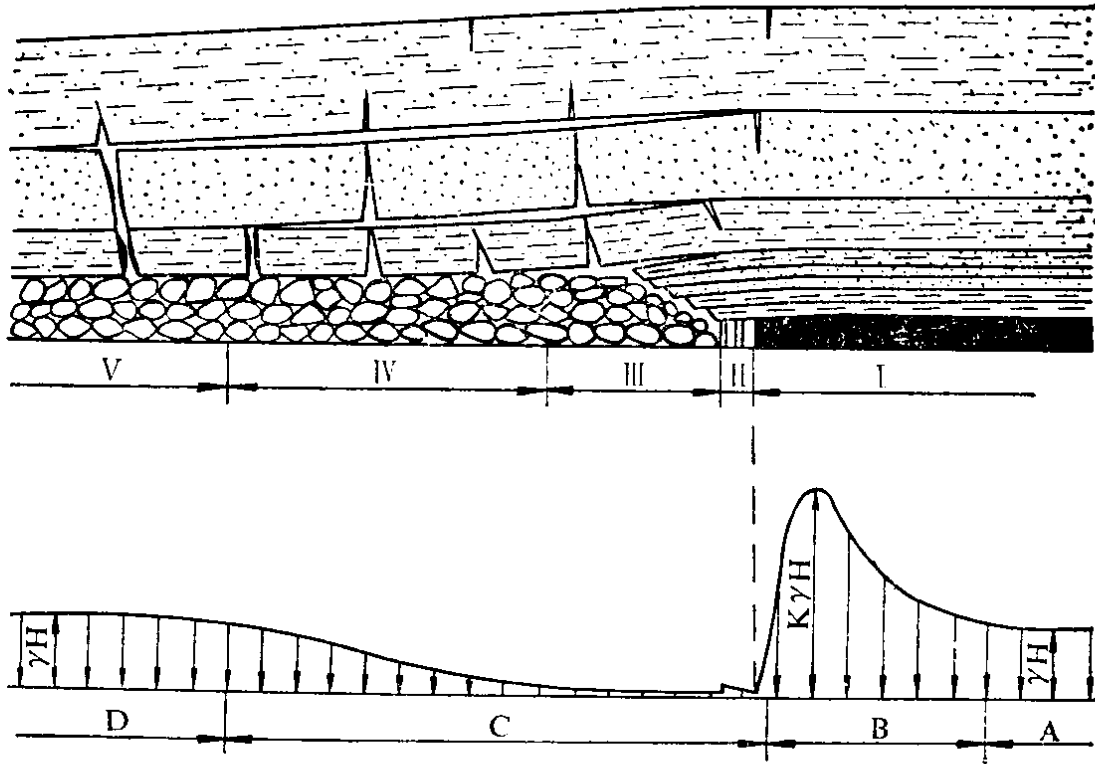


图4 回采工作面前后方的应力分布

I—工作面前方应力变化区；II—工作面控顶区；III—冒落岩石松散区；IV—冒落岩石逐渐压缩区；V—冒落岩石压实区；A—原始应力区；B—应力增高区；C—应力降低区；D—应力稳定区

在采动影响下，沿回采工作面推进方向，回采空间两侧煤体和煤柱的应力，随着与工作面的距离和时间不同而发生很大变化，一般都出现三个应力区。即远离工作面前方，未受采动影响的原始应力区（图6中A）；在工作面附近和前

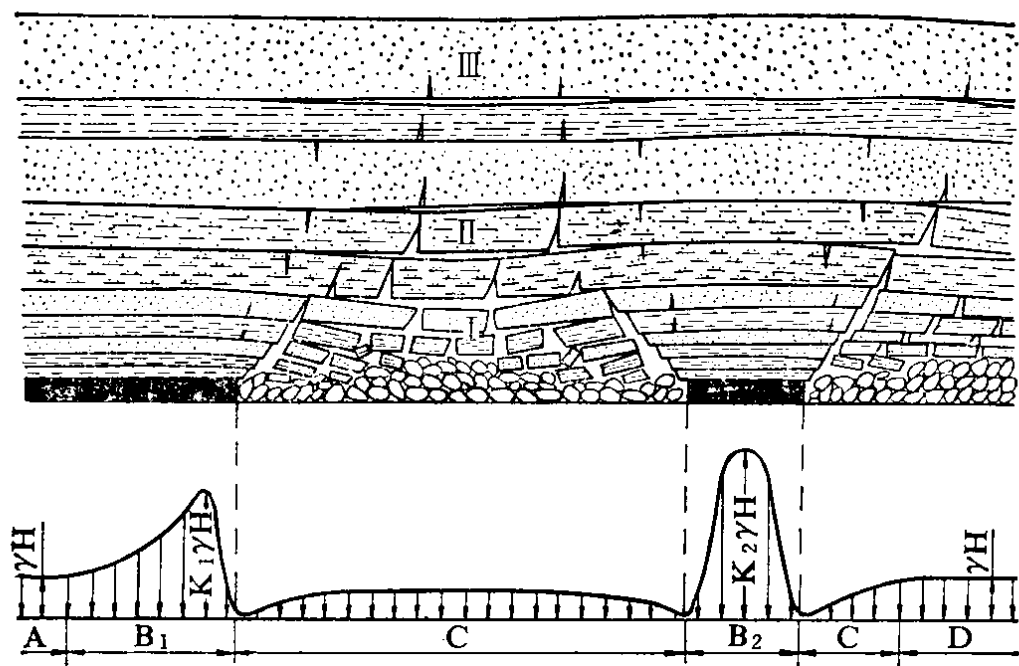


图 5 已采区及其两侧煤柱的应力分布
I—冒落带；II—裂隙带；III—弯曲下沉带；A—原始应力区；B₁、B₂—应力增高区；C—应力降低区；D—应力稳定区

后，受采动影响的应力增高区（图 6 中 B）；远离工作面后方，采动影响趋向稳定的应力稳定区（图 6 中 D）。应力增高区 B 由应力升高、强烈和减弱三部分组成。在其它条件变化不大的情况下，布置在工作面上、下两侧的采准巷道，围岩变形的变化与煤柱的应力分布基本上是一致的。

沿回采工作面推进方向，回采空间（中央）前后的应力分布（图 4），同两侧煤体和煤柱的应力分布（图 5、6）是紧密联系的，它们反映了采动引起的应力重新分布的基本状况，对分析研究采准巷道的维护十分重要。采空区上覆岩层的运动和破坏，引起煤柱上载荷急剧增长，再逐渐下降和趋向稳定的过程，以及各个应力区的分布范围和持续时间，是决定采准巷道维护的主要因素。