

煤炭管理干部技术培训丛书

# 巷道布置及其稳定性

岳翰 宋立明 江锡



山西科学教育出版社

3.1

87.  
TD263.1

1

3

煤矿管理干部技术培训丛书

# 巷道布置及其稳定性

岳 翰 宋立明 江 锡

13203/25

山西科学教育出版社



B

405926

**巷道布置及其稳定性**

岳 翰 宋立明 江 锡

\*

山西科学教育出版社 (太原并州北路十一号)

出版发行 太原市千峰科技印刷厂印刷

\*

开本, 787×1092 1/16 印 张, 10 字数, 239 千字

1986年7月第1版 1986年7月太原第1次印刷

印数, 1—6700册

\*

书号, 15370·17 定价, 2.22元



## 出版说明

为了提高煤矿管理干部素质，搞好煤矿生产技术管理，适应煤矿生产建设发展的需要，煤炭工业部教育司组织北京煤炭管理干部学院、中国矿业学院及山西矿业学院的有关教师编写了一套煤矿管理干部技术培训教材。用于培训有高中文化程度的煤矿管理干部，同时也可作为职工中专有关专业课的代用教材或有关技术人员的参考书。

这套教材包括：《煤矿测量》、《煤矿地质》、《井巷工程》、《采煤法》、《巷道布置及其稳定性》、《煤矿通风与安全》、《矿井技术改造》、《煤矿机械》、《煤矿电工》、《电子计算机在煤矿的应用》。

# 前 言

我国四化建设要求煤炭产量大幅度增长，煤矿井下巷道网和采空区也将急速增加。由于采空区四周煤体和煤柱上一般存在有支承压力，并通过煤体和煤柱将支承压力传递给煤层底板岩层，所以，底板岩层内同样存在支承压力。支承压力对井下各类巷道的稳定性有着决定性的影响。我国在改革采煤方法的同时，对巷道布置及其稳定性问题曾进行了广泛的试验研究。

巷道布置及其稳定性是极其复杂的技术问题，过去开采近距离煤层群和厚煤层时，往往把主要巷道布置在开采煤层内，这样巷道稳定性差，维护困难，有的巷道每米每年的维护费用竟高达数百元，仍不能保证正常生产和安全，而且煤炭损失量大。后来把开拓和准备等巷道转移到煤层底板岩层内，但当位置选择不合理时，同样要受到支承压力的有害影响。

由于我国煤炭战线广大科技人员和职工的不断探索，对支承压力显现规律的认识不断深入，进而不断改进对井下各类巷道布置，取得了很好的效果，不但提高了巷道的稳定性，而且提高了煤炭资源回收率。为了总结巷道布置及其稳定性试验研究取得的成果，供各矿结合具体的矿山地质和技术条件进行巷道布置时参考，编者结合自己现场多年的观察资料，编写了此书，以期达到抛砖引玉的目的。

本书主要研究缓倾斜煤层的巷道布置及其稳定性问题，书中介绍的经验，都是广大煤炭战线科技工作者和职工在生产实践中取得的成果，所以本书实际上是集体智慧的结晶。由于编者水平低，实际经验有限，加之巷道布置及其稳定性问题牵涉面广，不少问题尚待进一步试验研究，书中不足处和错误在所难免，恳请读者提出批评和指正。

本书初稿曾经过张卫国、李应正、魏炳仁和杨青等同志审阅；书中引用的资料为有关局矿的同志提供。在此，一并表示感谢。

编 者

1985年8月

# 目 录

## 前 言

<b>第一章 绪 论</b> .....	( 1 )
第一节 概述.....	( 1 )
第二节 巷道稳定性的意义.....	( 2 )
<b>第二章 巷道受压的基本状况</b> .....	( 5 )
第一节 原岩体的应力.....	( 5 )
第二节 巷道周围岩体内的应力分布.....	( 7 )
第三节 采空区周围岩体的应力分布.....	( 10 )
<b>第三章 采动压力对巷道布置的影响</b> .....	( 25 )
第一节 概述.....	( 25 )
第二节 在煤层内布置水平大巷与区段共用巷道.....	( 26 )
第三节 岩石平巷的位置问题.....	( 31 )
第四节 区段顺槽的矿压显现.....	( 42 )
第五节 上下山道位置的选择.....	( 47 )
<b>第四章 沿采空区布置巷道</b> .....	( 54 )
第一节 概述.....	( 54 )
第二节 沿采空区布置巷道的基本原理.....	( 55 )
第三节 沿空巷道的矿压显现规律.....	( 56 )
第四节 沿采空区布置巷道的实例.....	( 67 )
第五节 沿采空区布置巷道的技术措施.....	( 74 )
<b>第五章 影响巷道稳定性的主要因素</b> .....	( 78 )
第一节 概念.....	( 78 )
第二节 开采深度.....	( 78 )
第三节 围岩性质.....	( 80 )
第四节 巷道断面形状.....	( 83 )
第五节 巷道断面大小.....	( 85 )
第六节 巷道断面成型规格质量.....	( 87 )
第七节 巷道支护类型.....	( 88 )

第八节	巷道的稳定性与时间的关系	( 92 )
第九节	巷道与采空区相互位置关系	( 95 )
<b>第六章</b>	<b>巷道矿压现场观测法</b>	<b>( 97 )</b>
第一节	巷道矿压现场观测的意义	( 97 )
第二节	巷道矿压现场观测的工具	( 97 )
第三节	巷道矿压现场观测方法	( 99 )
第四节	观测工作的组织与准备	( 101 )
第五节	巷道底臆观测的实例	( 102 )
<b>附 录</b>		
I	准备巷道底板岩石分类及底臆预防方法的选择	( 113 )
I	预防底臆的支架	( 116 )
II	岩巷和邻近煤层巷道位置及矿压显现	( 120 )
IV	上、下山的位置及矿压显现	( 121 )
V	巷道拱形可缩性金属支架	( 130 )
VI	锚喷支护工程类比法的参数选择	( 133 )

# 第一章 绪 论

## 第一节 概 述

为了在地下开采煤炭，在煤层内布置采场，就要从地面到煤层布置和开掘一系列井巷。由于在煤层和岩层内开掘井巷，破坏了岩层和煤层内原始应力的平衡状态，应力重新分布，并导致巷道围岩的变形、破坏和垮落。要保证开采工作正常进行，就必须维护一系列井巷的稳定性。

为了保持井巷的稳定性，人们在长期的生产实践中积累了丰富的经验，对矿山压力进行了系统研究。从而，对矿山压力的认识不断加深。由于现代煤炭工业的迅速发展，例如采用长壁工作面，使顶板暴露面积增加；全部垮落顶板管理法的广泛应用，导致围岩活动十分强烈；开采深度的增加，冲击地压、煤和瓦斯突然喷出的现象更加频繁；生产过程的全部机械化和自动化，使得矿山压力的影响问题变得更加突出。所以，矿山压力问题，是现代煤炭科学中极为重要的课题，现场、研究机构以及高等院校都在研究矿山压力问题。

矿山压力的研究方法主要有：

### 一、现场观测法：

现场研究既可以采用比较复杂的工具和方法，如用矿山测量方法、地震法、电容和电磁测压仪、机械测压仪、地面钻孔法以及在井下和地面进行直接观测和测量。也可用简单的工具、肉眼观察和描述来进行简易的观察。

现场观测法，通过记录和描述，能直接反映矿山压力的显现情况，是提出控制矿山压力的具体建议，解决生产实际问题，如液压支架的设计和使用、控制顶板的具体参数等的重要依据。根据实际观测记录和描述的资料，再结合其它研究方法，才能建立正确的矿山压力理论。

现场观测法的主要缺点是，工作量较大，需要的人力物力较多，时间较长。

### 二、实验室模拟法：

如相似材料法和光弹性法等。利用模型研究的结果，可以深入的进行分析、推断或解释岩体中可能产生的现象。利用模拟研究法，比较容易得出各个影响因素的单独作用，而不受生产工作的限制。同时可以观察到整个研究对象的变化过程，给人以一种整体的概念。

实验室模拟研究法的困难，在于模拟情况不能和现场实际情况完全一致。

### 三、力学数学分析法：

利用材料力学、弹性力学、塑性力学和建筑力学等各种力学理论，来分析围岩的应力、



变形、移动和破坏，并用数学式来表示矿山压力显现与影响因素之间的函数关系，从而求得矿山压力显现的一般规律。

目前，这种方法还只能通过对象简化和抽象化，解决一些简单的局部的问题。且有待于积累实际观测资料和改进力学数学的计算方法。现代计算技术在矿山压力研究中得到广泛使用，将加快这门科学研究的进展。

总之，最终建立正确全面的矿山压力理论，可以综合利用上述三种方法。

目前我国各矿区，主要采用现场观测法，进行了大量的研究工作。同时在北京煤炭科学院等研究机构 and 高等院校，进行了实验室模拟法和力学数学分析法的研究工作，使我国矿山压力这个课题形成了独立的学科，促进了我国煤炭工业的高速发展。

如上所述，矿山压力对煤炭开采工作来说，有着极为重要的意义。它对煤矿生产的安全、经济以及煤炭资源的损失等主要技术经济指标，往往起着决定性的作用。

## 第二节 巷道稳定性的意义

我国解放以来，在巷道布置方面进行了大量的实际分析研究工作。由于原有的开拓和准备系统分散，目前已向大集中和分组集中的开拓和准备方式改革。为了实现安全、经济、煤炭损失少的基本要求，井田的开拓和准备系统内的一系列井巷，应避免矿山压力的有害影响，使其处于良好的稳定状态。巷道稳定性的好坏，对下列各方面有明显影响。

### 一、影响井下运输的畅通

巷道稳定性差，甚至经常处于难维护的状态，是影响矿井生产不能正常进行的直接原因。例如，铜川王石凹矿、徐州权台矿等，由于主要运输大巷处于非常恶劣的状态，无法正常运输，生产长期达不到矿井设计能力。

采区上下山的运输事故，在各矿区均频繁发生，也是由于采区上下山受采动影响后，巷道常处于极不稳定的状态，因而迫使采区上下山运输的停顿，致使回采工作面停产。

为了矿井不断提高生产能力，实现采掘现代化，势必要求扩大井田范围和使用高效率的运输设备。为了保证井下运输不间断和无事故，必须保证巷道的稳定性。

### 二、影响矿井正常通风

为了保证井下工作地点有良好的工作条件，就必须保证供给足够的新鲜风量，因为采场和掘进工作面的温度超过一定限度时，劳动生产率将会显著降低。尤其对深部开采和瓦斯含量比较大的矿井，保证足够的风量更为重要。有些瓦斯矿井，常常由于风流中瓦斯含量超过安全限度而迫使停止生产，甚至引起瓦斯爆炸的严重事故。

由此，为了保证井下有足够的风量，就要求巷道有良好的稳定性。有些矿井，由于巷道布置不正确，受采动影响，断面有的被压缩到不足设计断面的50%，显然不能保证供给足够的风量。有些矿井由于巷道受压后断面缩小很多，增加了通风阻力，使矿井的通风费用增加较多。因此，为解决矿井通风问题，必须保证巷道有足够的稳定性。

### 三、影响矿井的安全生产

为调动广大煤矿职工的生产积极性，促进煤炭生产的高速发展，必须作到安全生产，这是党的一贯方针政策。煤矿生产的安全问题，在很大程度上与巷道稳定性密切相关。例如瓦斯和煤尘爆炸事故，往往是由于风量不足引起瓦斯和煤尘的积聚，达到危险程度，再加温度的升高而引起事故；井下煤的自然，也是由于采空区内残留的煤柱受压后变形和破坏，使巷道断面缩小，引起风量不足，温度升高而发生。据鹤岗新一矿的统计，井下煤的自然95%是由于采空区内留有煤柱引起的。因此，这些都说明，在很大程度上，由于巷道布置的位置不当，受压后失去稳定性，将威胁着矿井的安全生产。

人员在失去稳定性断面缩小的巷道内行走，安全得不到保证，而且工作也非常不便，甚至有些巷道被压缩到爬行也难通过，直接威胁着人身安全。

### 四、对井巷的维护工作量的影响

随着煤炭产量大幅度增长，每年需要掘进与维护的各类基本巷道和采准巷道数量相当庞大。假如有二十分之一的巷道布置不当，其维修量就相当惊人。不但消耗大量的人力物力，而且影响矿井的安全与生产，使矿井的技术经济面貌大为恶化。

根据苏联一些矿井的资料，由于巷道布置不正确，受压后必须维修，巷道的维修工占全部井下工人数的21%~32%，即几乎有三分之一的井下工人从事于巷道的维修。有些矿井虽然进行了如此大量的维修，井下的巷道仍处于不能令人满意的状态。

巷道维修，还将运出大量的毫无价值的矸石，无疑又增加了井下运输、提升、地面运输的运输量，相对减少了煤炭的运输量。

还必须指出，巷道维护工作，目前还不能机械化，还是一种笨重的体力劳动。因此，巷道维修机械化的科学研究是实现矿井现代化而必须解决的课题。

由于巷道布置的位置不正确，稳定性不好，影响着井田开采范围和采区范围的扩大。这样不但增加了巷道掘进率，而且不能满足综合机械化和自动化发展的需要。因为确定井田和采区的合理开采范围时，常常把巷道的维修费用作为重要的因素来考虑，在计算公式中也有单位时间内巷道每米的维修费用，即巷道的维护难易程度，决定着井田和采区的开采范围。毫无疑问，把巷道布置在稳定的岩层和煤层内，使巷道处于不受矿山压力的有害影响，巷道的稳定性就好，维护工作量少，维护费用就可大为降低，从而使井田和采区的尺寸就可以加大，既能适应综合机械化和自动化发展的需要，又可获得良好的技术经济指标。

### 五、对矿井生产能力的影响

矿井生产能力的不断增长，与矿井生产能否正常进行有着密切联系。假如从采场到地面一系列的井巷畅通无阻，不影响各个生产环节的正常进行，则矿井生产能力就可以持续不断的提高。否则不但矿井生产能力无法提高，甚至连矿井的设计年产量也难以达到。例如徐州某矿，由于主要运输大巷及采区内主要巷道，布置在不稳定的岩层内，而且巷道位置不正确，受采动影响后，巷道处于很不稳定的状态，不但维修量大，而且不能保证运输等主要生

产环节的正常，矿井投产10年还达不到设计能力。后来在第二水平进行改造，把主要运输大巷及采区内主要巷道布置在坚硬的岩层内，调整了巷道与采空区互相的位置关系，使巷道位于不受采动的有害影响。第二水平投产后，当年矿井产量就超过了设计能力，第二年矿井产量比设计能力翻了一番还多。其它矿区，这方面的例子也不少。

## 六、对煤炭资源损失的影响

在各矿区都有许多实际的例子，用煤柱护巷保证巷道的稳定性不是一种好办法，它存在着严重的缺点：

1.增加了煤炭损失。在采区内留护巷煤柱，一般使采区回采率降低7—12%，有些矿井可达20~30%。留尺寸不够大的护巷煤柱，实践证明，并不能改善巷道的维护状况。有些矿试图改善巷道的稳定性，不断加大护巷煤柱的尺寸，结果并没有获得预期的效果。有些矿在采区岩石上下山道和区段之间不留煤柱，甚至在厚煤层的条件下，煤层上下山道和煤层区段共用平巷，都实行跨越式回采和沿采空区布置巷道，却获得了令人满意的结果。

2.井下火灾往往与采空区内残留煤柱有关，例如鹤岗新一矿，井下火灾95%是由煤柱引起的，一旦发生火灾，将进一步增加煤炭损失。

有些巷道由于受采动影响而被压垮，在重新送巷时，有的进一步增加煤柱尺寸而使煤炭损失加大。

3.由于煤炭大量损失，使矿井和采区的服务年限缩短，这对我国高速发展煤炭工业来说，是一个严重的问题。建设新井来接替老井，基建工程量的增长幅度太大，有可能造成接替困难，影响煤炭产量有计划的增长。此外，矿井的基建费用分摊到每吨煤的成本就会增加。

还必须指出，煤炭丢失在采空区内，以后难于再采出。

如上所述，巷道的稳定性是一个十分重要的研究课题。影响巷道稳定性的因素是多方面的，其中最主要的因素是：巷道所在岩层和煤层的稳定性，即岩石性质和煤的性质；巷道与采空区互相位置的关系，即受采动影响的程度。这两个因素之间本身也有着密切的联系，两者之间互有影响。巷道与采空区之间互相位置关系，实质就是巷道受压问题。所以我们首先要研究岩层的原始应力状态，采空区周围围岩运动的发展过程、破坏形态、破坏高度、应力分布，以及围岩的应力在“平衡—不平衡—新平衡”的发展过程和规律。在不平衡阶段产生的矿山压力—支承压力的分布规律，到新平衡阶段会逐渐稳定以至消失。在不平衡阶段，采空区周围产生的矿山压力，直接影响着巷道与采空区互相之间的合理位置关系。当我们掌握这个客观规律后，布置巷道时，就可避免巷道处于支承压力的有害影响范围内，这样布置的巷道稳定性无疑是良好的。反之，巷道的稳定性就差，将处于维护困难的状态。

所以我们研究巷道布置时，首先应研究矿山压力，尤其是支承压力的形成、分布规律、大小、有害影响的范围、集中应力点位置、强烈影响期的长短等。因此，巷道布置必须从巷道的受压状况出发。假如离开巷道受压观点来布置巷道，即不可能使巷道处于稳定状态。

总之，正确地选择巷道的位置，使巷道布置在采空区周围支承压力的有害影响范围之外，减少巷道的维修量，将大大促进煤矿生产的发展。

## 第二章 巷道受压的基本状况

### 第一节 原岩体的应力

在自然界中的岩体是一层紧压一层地处于受力状态中。影响岩体受力状态的作用力是多方面的，其中最主要的作用力为岩体的自重。上部岩体的重量全部压在下部岩体上，必然会使岩体产生一定的应力，这就是原始应力。

在岩体内开掘井巷和开采有益矿物后，其原始应力受到破坏，并建立了新的应力平衡，在井巷和采场内表现为围岩的变形和破坏。由于岩体的原始应力是产生矿山压力的原始条件，因此，必须研究岩体的原始应力的大小和方向。

假设地面是水平的，岩层也是水平成层的，在未经采动的岩体内，距地表为 $H$ 处取一小立方体对其受力状态加以研究，如图2-1所示，则在垂直方向上小立方体的应力决定于上覆岩体的重量。

小立方体的垂直应力为：

$$\sigma_1 = \gamma H$$

式中： $\gamma$ —上覆岩体的平均容重，吨/米<sup>3</sup>；

$H$ —上覆岩体的厚度，米。

从上式可看出，小立方体的垂直应力是随着深度而增加的。

当物体处于自重作用下，水平应力是由 $\gamma H$ 引起的。就是说，水平应力将与垂直应力发生一定的关系。所以小立方体的水平应力为：

$$\sigma_2 = \sigma_3 = \lambda \gamma H = \lambda \sigma_1$$

式中： $\lambda$ —侧压系数。

侧压系数 $\lambda$ 表示水平应力与垂直应力的关系。也就是表明岩体自重 $\gamma H$ 在水平方向上有多大比例的作用力。

从图2-1看出，小立方体在 $\gamma H$ 的作用下将产生纵向变形和横向变形，但是由于小立方体处于多向压缩应力状态，各应力引起的横向变形的总和等于零。

设 $\varepsilon_{\sigma_1}$ ， $\varepsilon_{\sigma_2}$ ， $\varepsilon_{\sigma_3}$ 各为应力 $\sigma_1$ ， $\sigma_2$ ， $\sigma_3$ 在 $ZOX$ 平面内沿 $OX$ 方向引起的变形：压缩变形为正；膨胀变形为负，则：

$$\varepsilon_{\sigma_3} - \varepsilon_{\sigma_2} - \varepsilon_{\sigma_1} = 0$$

$$\frac{\sigma_3}{E} - \mu \frac{\sigma_2}{E} - \mu \frac{\sigma_1}{E} = 0$$

$$\sigma_3 = \sigma_1 \frac{\mu}{1-\mu} = \gamma H \frac{\mu}{1-\mu}$$

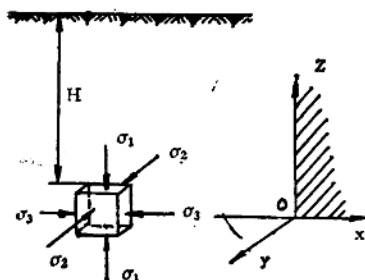


图2-1 从 $H$ 深处取的小立方体的原始应力状态

式中： $\mu$ —岩石的波松比；

$E$ —弹性模数。

所以侧压系数为：

$$\lambda = \frac{\mu}{1-\mu}$$

侧压系数表明水平应力的大小与岩石的物理力学性质有关，如固结性岩石 $\mu=0.2\sim 0.3$ ， $\lambda=0.25\sim 0.4$ ；对于塑性程度很高的岩石，如含水量大的粘土 $\mu=0.5$ ，则 $\lambda=1$ ；对于流动性的岩石，如流砂层 $\mu=0.5$ ， $\lambda=1$ 。

我国大同、新汶、龙烟堡等矿区部分顶板岩石单向加压的波松比：

砾岩 $\mu=0.21\sim 0.26$ ；

砂岩 $\mu=0.11\sim 0.35$ ；

砂质页岩 $\mu=0.13\sim 0.22$ ；

泥质页岩 $\mu=0.27$ 。

假如岩层是各向同性的弹性均匀体，而且是水平成层，那么不管什么性质的岩石，它的垂直应力和水平应力都和深度成正比。而侧压系数是一个常数。这样，这种理想岩体的应力场就可以用等距离的水平直线来表示，如图 2—2 所示。

如上所述，水平应力一般情况下都小于垂直应力。所以研究矿山压力问题时，对垂直应力要特别重视。

此外，小立方体内的最大剪应力 $\tau_{max}$ 可以用下式来确定：

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = \frac{1 - 2\mu}{2(1-\mu)} \gamma H$$

由于剪应力常常是引起岩石破坏的原因，因此剪应力的大小和分布往往用来标志岩体的应力状态。

在实际上，岩体内的原始应力情况非常复杂，因为影响垂直应力和水平应力的因素是多方面的。

首先是应力状态和载荷作用时间对岩石物理力学性质的影响。随着深度增加，三向应力增大和作用时间增长，岩石的塑性变形能力大大增加。加以煤系岩石裂隙发达，容易变形，易于到达塑性阶段。这时至少 $\sigma_1 \approx \sigma_2 \approx \sigma_3$ 。例如煤的抗压强度平均为 $100\sim 300$ 公斤/立方厘米，则 $\sigma_1=250$ 公斤/平方厘米，这样大的压力在长期作用下，相当于静水压力状态。此外，根据岩石性质试验表明，即使坚硬岩层在三向载荷作用下，远比地质年代时间短，也具有很大的塑性变形能力。

因此，可以认为，只有在浅部的岩层，而且岩石强度特别大，如石灰岩、石英砂岩的情况下才可以运用公式 $\sigma_3 = \gamma H \frac{\mu}{1-\mu}$ ，而在其它情况下一般都应该采用 $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ 的公式。

其它因素影响：实际上煤系岩层是成层的，各岩层的力学性质可以相差很大。因此，

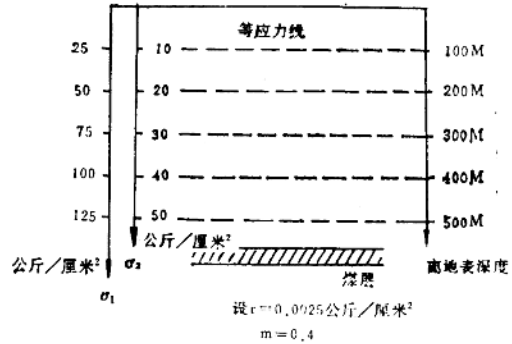


图 2—2 岩体的应力场用等距离水平直线来表示  
 $\sigma_1$ —垂直应力； $\sigma_2$ —水平应力

$\sigma_1 = \gamma H$ 应写成为:

$$\sigma_1 = \sum_n \gamma_n h_n$$
$$\therefore \sigma_3 = \lambda_n \sum_n \gamma_n h_n$$

式中:  $n$ —岩层的层号;

$h_n$ —单独岩层的厚度, 米;

$\gamma_n$ —单独岩层的容重, 吨/立方米。

尤其是在计算局部地区的应力时, 应该考虑岩层上部是否有河海或高山, 这时应力显然有所减少或增加。

实际上岩层并不是一种均匀介质, 其中非但有裂隙和空洞, 并且是具有不同强度的造岩矿物的混合体。因此, 岩层各点的应力大小将不是相等的。例如煤层中常常含有夹石层和大块黄铁矿, 在它周围的煤层将更加致密而存在局部的应力集中现象。又如石灰岩内有溶洞, 在此溶洞周围也将有应力集中现象。所以在黄铁矿分布很多的煤层的平均应力应该考虑增大一个系数。

还有某些区域造山运动尚未结束, 那么由于地质力量引起的应力就要给予注意。此外, 由于温度变化引起的热应力、地下水和气体的作用力等, 但其中最基本的是覆盖岩体的重力。

在自然界岩体开掘井巷和开采有益矿物后, 岩体内的原始应力状态受到破坏。由于不同的地质和技术条件因素的影响, 在围岩内发生应力重新分布及变形、破坏和移动, 最终趋向新的平衡。这种应力重新分布和岩石变形与移动的范围逐渐扩大, 甚至波及到地表。

在这里应该说明, 目前要精确而完整的考虑上述各项复杂因素影响的应力计算方法还有待于研究, 暂时我们还只能用简单情况下应力分布的结论作为分析采动后应力变化的基础。

## 第二节 巷道周围岩体内的应力分布

如前所述, 当在岩体内开掘巷道后, 破坏了岩体内的原始应力的平衡状态, 由于应力性质、状况及其分布的改变, 使巷道围岩进入变形、破坏、移动甚至冒落的运动状态, 即产生“矿山压力”。因此, 掌握采动后岩体应力性质、状况及大小分布的变化的特点, 是正确理解和解决巷道受压问题的基础。

在岩体内开掘巷道后, 巷道上方暴露岩层的重量将要转移到两帮的岩(煤)体上, 在巷道两侧形成应力升高区, 而在巷道顶底出现应力降低区, 在应力升高区以外, 仍保持原始应力状态, 可叫做应力稳定区, 如图2—3所示。由于岩层的应力状态的改变, 在岩体内没有开掘巷道之前, 主应力 $\sigma_1$ 的作用方向是垂直的, 即上部岩体的重力也沿此方向传递给下部岩体。在岩体内开掘巷道后, 重力作用线的均匀分布受到破坏, 因为巷道上部岩体的重力转加给巷道两侧岩体, 巷道两侧重力作用线的密度增加, 即表现为应力的集中和升高。同时, 巷道顶底部也就解除了上部岩体的重力作用。由于在巷道周围应力重新分布的结果, 巷道周边岩石的受力状态由三向压缩转为双向压缩, 岩石的强度有很大的减弱, 在集中应力作用下, 巷道两侧边缘的围岩就要被压裂甚致压碎, 此处应力亦随之降低。由于这种破碎带的产生, 从而导致应力再一次重新分布, 应力升高区就要向岩体深部发展, 巷道周围即被应力降低区所包围,

如图 2—4 所示。图中 a 区为破碎区；b 区为塑性区，至少其中一部分可能达到塑性变形阶段，如图中的 d—e 所示范围；c 区为弹性区。在升高区中 f 点的垂直应力最大 ( $K\gamma H$ )，但 f 点的水平应力最小，剪应力就很大，结果岩石很容易破坏，矿山压力的显现也就最强烈，所以把应力高度集中处的矿山压力称之为支承压力。

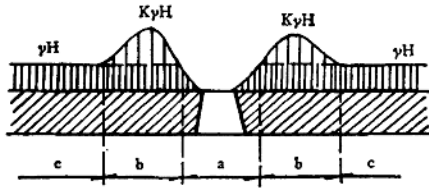


图 2—3 巷道周围岩体内的应力曲线  
a—应力降低区；b—应力升高区；  
c—应力稳定区（原始应力区）

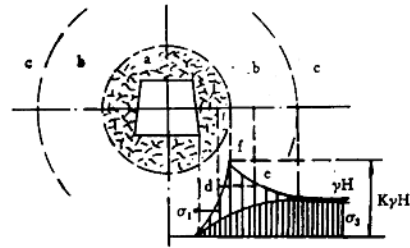


图 2—4 巷道周围岩体内应力再一次重新分布  
a—应力降低区（破碎）；b—应力升高区（塑性）；c—应力稳定区（弹性）； $\sigma_1$ —垂直方向应力； $\sigma_3$ —水平方向应力

如上所述，由于岩石强度（包括地质和技术条件）的不同，在岩体内开掘巷道后，岩体内的应力要重新分布，其变形、破坏和移动的形式也就差别很大。

1. 当围岩是比较稳定的坚硬砂岩或石灰岩时，巷道开掘后，虽在巷道两侧形成支承压力，甚至受回采影响所形成的支承压力作用，但由于岩石强度高，巷道围岩仍在弹性变形范围内，此时巷道甚至可以不必支架，即使架设支架，所受压力也极其有限。在这种情况下巷道就很稳定，极易维护。其围岩应力分布如图 2—5 所示。

2. 当围岩为中等稳定的砂岩、砂页岩以及比较坚硬的页岩时，巷道开掘后，在两侧形成的支承压力和受回采影响形成的支承压力作用下，顶板及两帮可以发生局部破碎和片落，支承压力最高点内移，巷道上方可以形成自然平衡拱。由于支架具有一定的工作阻力，巷道变形能够稳定下来。巷道围岩的应力分布，如图 2—6 所示。

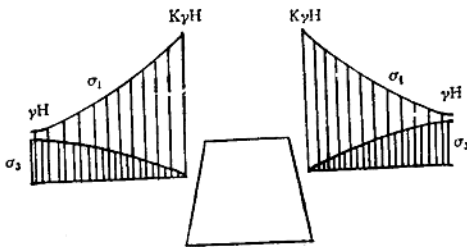


图 2—5 巷道围岩只发生弹性变形的应力分布  
 $\sigma_1$ —垂直方向力； $\sigma_3$ —水平方向力

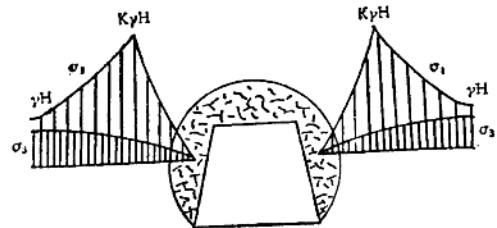


图 2—6 巷道围岩发生塑性变形的应力分布  
 $\sigma_1$ —垂直方向力； $\sigma_3$ —水平方向力

3. 当围岩为不稳定的煤、泥质页岩、炭质页岩时，由于岩石比较软弱，开掘巷道后，围岩即发生变形、移动和破坏，甚至可以发生冒落，底板亦可发生底臃。但由于支架的支撑作用，巷道围岩仍可处于极限平衡状态。有时虽有支架的支撑作用也不能阻止其变形、移动和破坏，难于维持巷道的稳定性。假如再受到回采所形成的支承压力影响时，巷道围岩将急剧变形、移动和破坏，这时巷道用一般支架是无法进行维护的。巷道围岩的应力分布，如图 2—4 所示。

在岩体开掘巷道后，巷道围岩的应力进行重新分布，其变形、移动和破坏可能是多次重复的。巷道周围形成了破碎区、塑性变形区以及弹性变形区，随着时间的延长，破碎区逐渐扩大，一直达到新的平衡为止。在这个过程中，除了受岩石强度条件的影响外，还由于支架的支撑作用阻止了破碎岩块的冒落和发展，使岩体深部抵抗破坏的能力增强，并且还由于已经破碎的岩块之间的摩擦力可以产生一定的抵抗力量。在生产实践中，从翻修巷道时观察到破碎区一般成长轴垂直于层理方向的椭圆形状，通常把破碎区形成的椭圆形容称之为自然平衡拱。自然平衡拱是由于顶板破碎岩块可以一再自由冒落，而平衡拱底部岩石的变形则由于岩石重力及冒落岩块的阻挡而受到阻滞。自然平衡拱的形状与围岩性质、倾角、岩石层理、裂隙与地质破坏有关。所以巷道周围的平衡拱可以是多种多样的，图2—7为现场调查研究的实例。

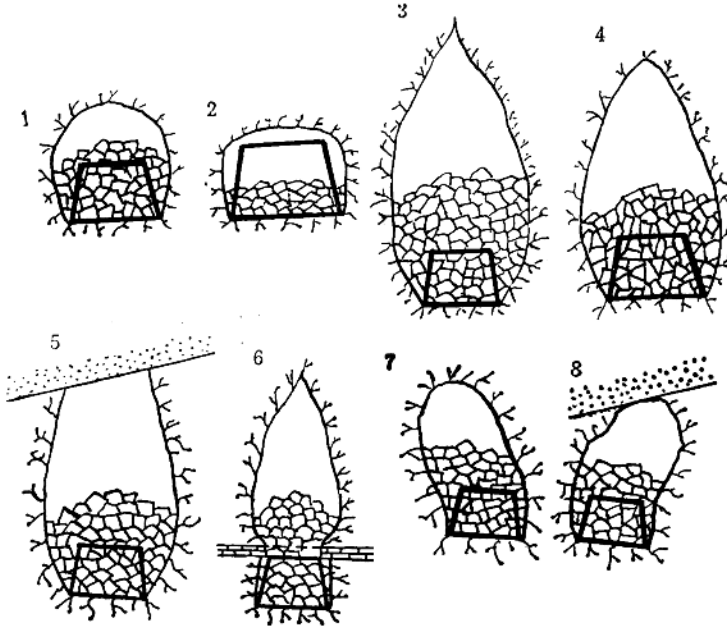


图2—7 不同岩性的自然平衡拱形状

1—位于中硬砂岩中的巷道；2—位于坚硬砂岩中的巷道；3—位于泥质页岩及煤质页岩中的巷道；4—位于砂质页岩中的巷道；5—位于泥质页岩中上部有坚硬岩层时的巷道；6—位于砂质页岩中在巷道顶部有一层薄石灰岩再上又是泥质页岩的巷道；7—一向倾斜偏斜的平衡拱；8—一向仰斜偏斜的平衡拱

当岩层倾角较大时，自然平衡拱常呈偏斜状，如2—7中的7所示。有时岩层间粘结力特别弱，岩块沿层理方向易于滑动或巷道顶板出现拉应力，而垂直层理方向的抗拉能力又特别弱，平衡拱呈向仰斜偏斜，如图2—7中的8所示。

我们研究巷道破碎区（自然平衡拱）的形状与大小有助于分析巷道支架受力状态，利用自然平衡拱来确定巷道的断面形状，巷道的稳定性，巷道的维护状况等。



### 第三节 采空区周围岩体的应力分布

#### 一、采空区周围岩体运动的发展过程

岩体采动前处于应力平衡状态，采动破坏了这种平衡状态，为了取得应力重新平衡，岩体进入了运动状态。表现为围岩应力重新分布，继而产生变形、破坏和移动，直到出现新的应力平衡状态为止。但在采空区引起的围岩运动就具有另外的一种性质，虽然一部分上覆岩层的重量转加给采空区四周的煤体或煤柱，采空区邻近岩层的强度始终抵抗不住另一部分上覆岩层重力的作用，必然由变形而发展到破坏。即使在采场人工加以支护，也只能维持一个比较短时间的相对稳定。随着回采工作面向前推进，采场围岩相应地处于平衡不断破坏的运动过程中。

回采工作由开切眼开始，回采工作面不断向前推进，顶板暴露面积越来越大，顶板的各分层岩石即沿层理法线方向离层弯曲，逐步出现裂缝，继而破碎成块冒落，充填采空区。下部岩层破碎冒落后，上部岩层依次变形破坏，由于破碎冒落岩石的体积膨胀，采空区的空间有一定程度的缩小，岩层变形、破坏和冒落的程度由下而上逐步减少。随着采空区继续扩大，岩层的变形、移动逐步向上发展，可以直至地表。

根据我国峰峰、本溪、淮南、枣庄、新汶、肥城以及阜新等矿区，在采场放顶直接观测、采场矿山压力测定以及采空区钻探结果的分析，采空区围岩变形、破坏和移动具有一定的规律，即岩层形成三种不同的岩石带，就是冒落带、破裂带和弯曲下沉带，习惯称为“三带”，如图 2—8 所示。

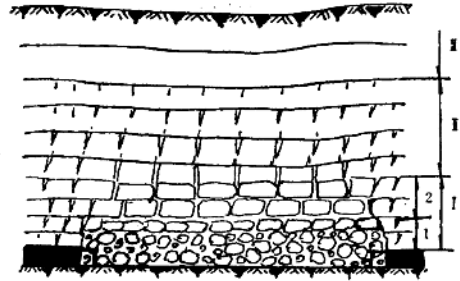


图 2—8 煤层上覆岩层变形、移动和破坏形成的不同岩石带

【I—冒落带，II—破裂带，III—弯曲下沉带，  
1—不规则冒落带，2—规则冒落带

#### (一) 冒落带

在现场长期的观察和实验室模型试验的结果表明，当采用全部垮落法管理顶板时，回采工作面推进至距开切眼相当距离时，放顶后顶板岩层破碎的特点是破碎岩块的块度由下而上逐步增大，冒落带的下部岩层由于破碎岩块块度小，可以冒落运动的自由空间高，岩块成为杂乱堆积。冒落带的上部岩层的破碎岩块块度大，基本上保持原有层次，但岩块之间并不紧密接触。所以根据冒落岩块的破碎程度和堆积状况可以把冒落带分为：冒落带下部的不规则冒落带，上部的规则冒落带，如图 2—8 所示。

在现场观测中不规则冒落带与规则冒落带的界限难以精确划分，故常统称为冒落带。一般冒落带的岩层主要由煤层的直接顶板组成。冒落带的岩块在移动过程中一般相互间无多大联系，所以它本身在运动过程中无法取得平衡，而只能逐渐承受破裂带及其上覆岩层的作用力，并将其传递给底板岩层，逐渐再被压实，才能重新支承上覆岩层的重量。

在厚煤层采用倾斜分层人工假顶采煤法时，由于经过各分层的反复回采以后，冒落带的