



中等职业教育国家规划教材

全国中等职业教育教材审定委员会审定

# 巷道施工技术

● 主 编 胡湘宏



● 煤炭工业出版社

中等职业教育国家规划教材  
全国中等职业教育教材审定委员会审定

# 巷道施工技术

主    编  胡湘宏  
副 主 编  王明新  
参编人员  王红斌  冯拥军  
            王  浩  戴保华

煤炭工业出版社

· 北    京    ·

**图书在版编目 (CIP) 数据**

巷道施工技术/胡湘宏主编. —北京: 煤炭工业出版社, 2005

中等职业教育国家规划教材

ISBN 7-5020-2693-2

I. 巷… II. 胡… III. 巷道-工程施工-专业学校-教材 IV. TD263

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 053618 号

煤炭工业出版社 出版

(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

网址: [www.csiph.com.cn](http://www.csiph.com.cn)

北京密云春雷印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

\*

开本 787mm×1092mm<sup>1/16</sup> 印张 17<sup>3/4</sup>

字数 415 千字 印数 2,001—4,000

2005 年 8 月第 1 版 2006 年 7 月第 2 次印刷

社内编号 5464 定价 32.00 元

**版权所有 违者必究**

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

## 内 容 提 要

本书全面论述了巷道地压及其特点;爆破材料与爆破原理;矿用工程材料;巷道掘进爆破技术;巷道断面设计;巷道支护;巷道施工组织与管理;掘进通风与综合防尘;采区巷道和采区煤仓施工;硐室及交岔点施工;装岩与调车;掘进凿岩台车和巷道掘进机;立井施工等方面的内容。

本书是中等职业学校采矿技术专业的规划教材,也可作为煤矿基层干部培训之用,并可供高职高专类相关专业师生及有关工程技术人员参考。

# 中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向21世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和80个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从2001年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和80个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，以满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

2001年10月

# 前 言

本套教材是中国煤炭教育协会和煤炭工业出版社受教育部职业与成人教育司委托,根据2000年教育部《面向21世纪职业教育课程改革和教材建设规划》采矿技术专业教学指导方案,组织部分职业教育院校的教师编写的。教材编审委员会于2004年11月在北京召开了教材编写大纲审定会议,于2005年3月在无锡召开了审稿会,会后各书主编根据提出的意见进行修改与完善。各书主审人员对书稿进行了认真的审阅。

采矿技术专业中等职业教育国家规划教材全套书共12本,可作为中等专业学校、技工学校和职业中学采矿技术专业及相关专业的通用教材,可作为企业在职人员的培训教材,也可作为从事矿井开拓、采煤(矿)、掘进、运输、通风与安全、矿井地质勘探与测量的技术人员以及生产组织管理者的参考用书。

本教材力求内容先进性、实用性和系统性的统一,同时考虑中等职业教育的特点、人才培养的基本规格和知识、能力、素质结构的要求,着重学生生产实践能力培养。使学生在牢固掌握采矿技术专业必需的文化基础知识和专业知识的基础上,具有综合职业技能和全面素质,具有继续学习的能力、创业创新能力。

《巷道施工技术》一书是采矿技术专业中等职业教育国家规划教材中的一本,宁夏煤炭工业学校胡湘宏编写了绪论、第二章、第四章、第六章、第九章;徐州机电工程高等职业学校王明新编写了第一章;山西雁北煤炭工业学校王红斌编写了第七章、第八章、第十章、第十一章;河南理工大学高职学院冯拥军编写了第十二章、第十三章、第十四章;徐州机电工程高等职业学校王浩、戴保华编写了第三章;徐州机电工程高等职业学校戴保华、王明新编写了第五章;云南能源职业技术学院王绍留担任此书主审。在此,对本教材成书过程中提供帮助的人士表示感谢。

中等职业学校“采矿技术专业”

教材编审委员会

2005年6月

# 目 录

|                    |    |
|--------------------|----|
| 绪 论                | 1  |
| 第一章 巷道地压及其特点       | 3  |
| 第一节 地压概念           | 3  |
| 第二节 巷道围岩的应力分布和变形移动 | 6  |
| 第三节 围岩压力及其影响因素     | 11 |
| 第四节 巷道松脱地压估算       | 14 |
| 第二章 钻眼机具           | 19 |
| 第一节 冲击式钻眼机械        | 19 |
| 第二节 冲击式钻眼工具        | 33 |
| 第三节 旋转式钻眼机具        | 36 |
| 第三章 爆破材料与爆破原理      | 43 |
| 第一节 爆炸和炸药的一般特征     | 43 |
| 第二节 炸药的爆炸性及其测定     | 47 |
| 第三节 矿用炸药           | 49 |
| 第四节 起爆材料           | 53 |
| 第五节 电爆网路           | 56 |
| 第六节 炸药在岩石中的爆破作用    | 64 |
| 第七节 安全爆破原理         | 67 |
| 第四章 矿用工程材料         | 70 |
| 第一节 水泥             | 70 |
| 第二节 混凝土            | 73 |
| 第三节 砂浆与外加剂         | 80 |
| 第四节 其他材料           | 82 |
| 第五章 巷道掘进爆破技术       | 86 |
| 第一节 掘进工作面的炮眼布置     | 86 |
| 第二节 爆破参数的确定        | 91 |
| 第三节 爆破作业图表         | 94 |
| 第四节 钻眼工作及装药、联线和爆破  | 97 |

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 第六章 巷道断面设计        | 104 |
| 第一节 巷道断面形状与尺寸     | 104 |
| 第二节 巷道断面内水沟和管线布置  | 119 |
| 第七章 巷道支护          | 126 |
| 第一节 支架支护          | 126 |
| 第二节 拱形砌碇支架        | 130 |
| 第三节 锚杆支护          | 134 |
| 第四节 喷浆与喷射混凝土支护    | 144 |
| 第八章 巷道施工组织与管理     | 156 |
| 第一节 一次成巷及其作业方式    | 156 |
| 第二节 一次成巷的施工组织     | 157 |
| 第三节 施工管理          | 162 |
| 第九章 掘进通风与综合防尘     | 166 |
| 第一节 巷道掘进通风        | 166 |
| 第二节 巷道掘进综合防尘      | 171 |
| 第十章 采区巷道和采区煤仓施工   | 173 |
| 第一节 采区巷道掘进定向方法    | 173 |
| 第二节 煤巷施工          | 175 |
| 第三节 半煤岩巷道施工       | 178 |
| 第四节 上下山施工         | 179 |
| 第五节 采区巷道施工的技术安全措施 | 183 |
| 第六节 采区煤仓施工        | 184 |
| 第十一章 硐室及交岔点       | 189 |
| 第一节 硐室施工          | 189 |
| 第二节 交岔点设计与施工      | 192 |
| 第十二章 装岩与调车        | 210 |
| 第一节 装岩工作          | 210 |
| 第二节 掘进工作中的调车与转载   | 218 |
| 第三节 掘进倾斜巷道防止跑车措施  | 229 |
| 第十三章 掘进凿岩台车和巷道掘进机 | 233 |
| 第一节 掘进凿岩台车        | 233 |

|                  |     |
|------------------|-----|
| 第二节 巷道掘进机.....   | 234 |
| 第十四章 立井施工.....   | 241 |
| 第一节 概述.....      | 241 |
| 第二节 立井横断面设计..... | 242 |
| 第三节 立井基岩施工.....  | 249 |
| 第四节 立井表土施工.....  | 265 |
| 参考文献.....        | 273 |

## 绪 论

我国党的十六大制定了全面建设小康社会的宏伟目标,这不仅要靠全党全国人民的共同努力,更要靠现代化的工业、农业、国防、科学技术及信息技术,而能源是实现现代化和国民经济的基础,没有能源将无从生存与发展。今后,我国以煤炭为主的能源结构仍将会持续较长的时间,因此煤炭工业是我国国民经济的基础工业,它为许多重要工业部门提供原料和能源,也直接影响着国民经济的发展和人民生活水平的提高,所以必须大力发展煤炭工业。2004年我国原煤产量达19亿t,据专家预测2005年我国煤炭产量仍难以满足需求增长,结构性矛盾更为突出,煤炭供应继续呈现总体偏紧局面,全国煤炭产量将达到20亿t。同时,随着科学技术的发展,煤炭生产自动化、机械化程度不断提高,煤矿安全逐步好转,事故率 and 经济损失逐年降低。2004年1~11月,全国共发生煤矿事故起数和死亡人数同比下降6.9%和7.9%,百万吨死亡率为2.998,同比下降0.846。其中国有重点煤矿百万吨死亡率为0.973,同比下降0.162;国家地方煤矿百万吨死亡率为2.606,同比下降0.551;乡镇煤矿百万吨死亡率为5.862,同比下降2.668。

煤炭工业生产的发展,取决于煤炭基本建设及其开拓延深、准备和回采巷道工作。为进行煤炭生产,必须从地表开凿一系列的井筒、硐室和巷道到达煤层,这是矿山基本建设的主体工程——矿建工程。而煤矿建设周期较长,“十五”初期全国煤矿开工建设的项目,大多数要等到“十五”末或“十一五”初才能投产。移交生产后,随着采煤工作面和采区的不断推进,还要持续不断地及时准备巷道,保证采煤工作面和采区的正常接续。多水平开采时,在上生产水平采完之前,还必须进行井筒延深和新水平开拓,以保证煤炭生产及时接替。因此,要保持煤炭稳产、增产,就必须及时做好矿井建设和开拓延深、巷道准备工作。井巷施工为采煤创造生产条件并服务于采煤工作,井巷工程在煤炭生产中占有极其重要的地位。但两者又相互依存,必须并重,做到采掘平衡,正常接替。否则,采掘比例失调必将严重影响煤炭的正常生产和发展,将造成不应有的经济损失。

近年来,我国煤矿建设迅速发展,相继建成了许多年产几百万吨、甚至上千万吨的大型现代化矿井,进而实现亿吨矿区,为我国煤炭增长奠定了基础。同时,井巷施工技术、设备和方法也得到了快速发展。在立井施工方面,可采用冻结法、钻井法、沉井法、帷幕法和注浆法等不稳定表土层特殊凿井施工方法;能装备使用大型矿井提升绞车、矿井提升机、新Ⅳ型和Ⅴ型大型凿井井架、伞形钻架、深孔光面爆破、大型抓岩机、锚喷支护和液压滑模筑壁等主要设备及技术的机械化作业线;广泛应用立井混合作业,并逐步改进提高;井筒防腐技术进一步完善,使用寿命可延长一倍以上;树脂锚杆固定井筒装备技术已广泛应用,加快了井筒安装速度,保证了井壁质量。在斜井施工方面,装备使用大箕斗、大扒斗、深孔光面爆破、锚喷支护、激光指向等机械化施工工艺和作业线,使我国斜井施工处于世界领先地位。在岩石平巷施工方面,以钻装锚机、凿岩台车、侧卸式装岩机为主组成的作业线已广泛采用,全断面掘进机也在积极推广之中,采用带调车盘耙斗装岩机、蟹爪式装岩机、立爪式装岩机作业也是组织平巷快速施工的有效手段;光面爆破、锚喷支护已被广

泛应用，并已成为岩石平巷的主要支护形式。在煤巷施工方面，广泛使用综掘机、激光指向仪、锚网索支护、大功率局部通风机和大直径风筒等，有效地解决了煤巷长距离快速施工的问题。目前最好水平已达折算煤平巷年进尺21477 m。施工组织与管理也得到了不断改进和提高，有的矿区许多煤炭生产、经营、安全指标已达到和超过世界先进水平，建成了许多高产、高效的现代化矿井。

《巷道施工技术》是研究井巷施工方法和施工技术的学科，是采矿技术专业的主要专业课之一。通过学习，使学生初步具有指导巷道施工和编制掘进作业规程的能力，能掌握巷道断面和交岔点等单位工程的设计，具有掘进主要工种的操作能力，具备判断掘进机械设备简单故障的能力和借助工具书合理选择施工工艺、施工方法并合理运用的能力。学习时，要注重理论联系实际，要把实习、课堂教学、课程设计三方面有机地结合起来，特别是实践性教学要做到及时、有效，以使学生全面、准确掌握课程内容。

当然，要成为一名合格的、被现场接受、认可和受欢迎的采矿技术建井专业的毕业生，首先要学会做人，要具有吃苦耐劳、无私奉献的精神和诚实、守信的良好品德。其次，要克服困难、努力钻研、学习科学文化知识，要具有脚踏实地、求真务实的学风和开拓创新意识。还要具有安全、经济、合理运用巷道施工技术，为矿山建设服务的职业意识和职业道德，要有为中华民族的振兴与腾飞贡献自己一份力量的决心和信心。

# 第一章 巷道地压及其特点

## 第一节 地 压 概 念

### 一、巷道地压的基本概念

地下岩体在受到人类工程活动影响前称为原岩体。原岩体在地壳内各种力的作用下处于平衡状态。开掘井巷以前或远离井巷、采场（影响圈之外）岩体的原始地应力，称为原岩应力。

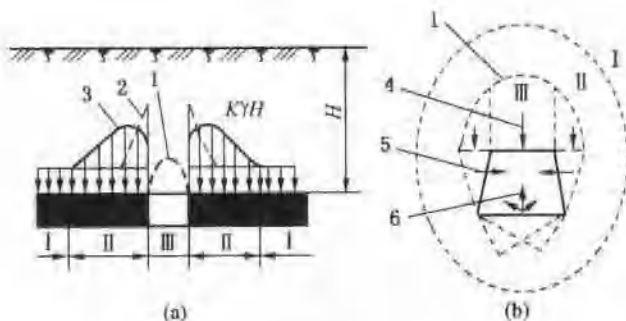


图1—1 开掘后巷道围岩应力重新分布示意图

a—巷道支承压力分布情况；b—巷道受顶压，侧压，底压情况

I—原始应力区；II—支承压力区；III—卸压区

1—自然平衡拱；2—岩壁刚露出时的支承压力；3—支承压力向深部转移；

4—顶压；5—侧压；6—底压

当开掘巷道或进行采矿工作时，破坏了原来的应力平衡状态，引起岩体内部的应力重新分布而寻求新的应力平衡。新的应力平衡如果再被开掘巷道或进行采矿工作破坏后，仍然会引起岩体内部的应力重新分布而寻求新的应力平衡。如图1—1所示。应力超过煤、岩的极限强度时，会使巷道或采煤工作面周围的煤、岩发生破坏，并向已采掘的空间移动，寻求新的应力平衡状态。在地下煤岩体中，开掘巷道和进行开采工作破坏了煤岩体原来的应力状态，导致煤岩体应力产生的新的动态变化称为对煤岩体的“采动”。采动后，在煤（岩）层中形成的空间称“采动空间”，如图1—2中A所示。采动空间周围岩体包括图1—2中所示的顶板T、底板D及两帮B岩层，统称为“围岩”。

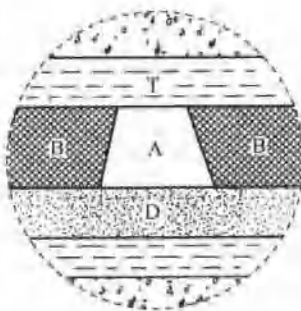


图1—2 采动空间与围岩

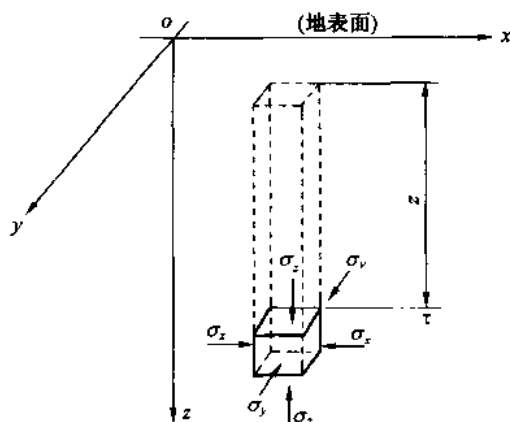


图1-3 原岩体应力状态

应力的来源主要有以下三个方面,即

(1) 上覆岩层的重力引起的应力(自重应力);

(2) 构造运动的作用力引起的应力(构造应力);

(3) 岩体膨胀的作用力引起的应力(岩体膨胀应力),包括岩体因温度升高或遇水膨胀面产生的应力等。

(一) 自重应力

自重应力是指由上覆岩层的重力所引起的应力。假设在距地表深度为 $z$ (m)处,任取一单位立方体,如图1-3所示。在上覆岩层重力作用下,作用在这个单元体上的应力有垂直应力 $\sigma_z$ 及水平应力 $\sigma_x$ 和 $\sigma_y$ 。

1. 垂直应力 $\sigma_z$

作用于单位立方体上的垂直应力等于单位立方体上覆岩层的重力,即

$$\sigma_z = \gamma z \quad (1-1)$$

式中  $z$ ——单位立方体的埋藏深度, m。

$\gamma$ ——上覆岩层的平均质量密度与自由落体加速度之积,  $\text{kN/m}^3$ ; 一般当上覆岩层为表土层时,取 $\gamma=18 \text{ kN/m}^3$ ; 当上覆层为岩层时,取 $\gamma=25 \text{ kN/m}^3$ 。

2. 水平应力 $\sigma_x$ 及 $\sigma_y$

在垂直应力 $\sigma_z$ 作用下,单位立方体将要产生横向变形,但由于受到无限相邻岩体的限制,在各水平方向上其变形只能为零,即其横向应变 $\epsilon_x=\epsilon_y=0$ ,根据广义虎克定律为

$$\epsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \mu \frac{\sigma_y}{E} - \mu \frac{\sigma_z}{E} \quad (1-2)$$

$$\epsilon_y = \frac{\sigma_y}{E} - \mu \frac{\sigma_x}{E} - \mu \frac{\sigma_z}{E} \quad (1-3)$$

式中  $E$ ——岩石的弹性模量;

$\mu$ ——岩石的泊松比。

若将岩体看作各向同性的弹性体,因其侧向条件是一致的,因而 $\sigma_x=\sigma_y$ ,令侧压力系数为 $\lambda$ ,由式(1-2)、式(1-3)得

采动后作用于围岩和支护物上的力,称为地压。采动后作用于巷道围岩和支护物上的力,称为巷道地压。在地压作用下,将引起一系列的力学现象,如:围岩变形或挤入巷道、岩体离散,移动或冒落,煤被压松、片帮或突然抛出,木材支架压裂或折断,金属支架变形或压弯,充填物产生沉缩以及岩层和地表发生移动或塌陷等等。这些由于地压作用,使围岩、煤体和各种人工支撑物产生的种种力学现象,统称为地压显现。

## 二、巷道地压产生的根源

原岩应力是巷道地压产生的根源。原岩应

$$\sigma_x = \sigma_y = \lambda \sigma_z = \lambda \gamma z = \frac{\mu}{1 - \mu} \sigma_z \quad (1 - 4)$$

式中  $\lambda$ ——原岩体的侧压力系数,  $\lambda = \frac{\mu}{1 - \mu}$ 。

大多数固结性岩石的泊松比  $\mu = 0.2 \sim 0.3$ , 侧压力系数  $\lambda = 0.25 \sim 0.43$ , 对于塑性岩石或埋藏很深的岩体,  $\mu$  近于 0.5, 则  $\lambda = 1$ , 即意味着  $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = \gamma H$ 。这种各向等压的应力状态叫做静水应力状态。

## (二) 构造应力

地下原岩体在形成时或形成后, 经历或正在经历着各种地质构造运动, 这种由于地质构造运动而在岩体内积存的应力称为构造应力。构造应力具有以下特点:

(1) 一般情况下地壳运动以水平运动为主, 因此构造应力主要也是水平应力, 而且地壳运动总的来说是以挤压运动为主, 所以水平应力以压应力占绝对优势。

(2) 分布很不均匀, 主应力的大小和方向常有很大变化。

(3) 岩体中的构造应力具有明显的方向性, 通常两个方向的水平应力值 ( $\sigma_x$  和  $\sigma_y$ ) 是不相等的。

(4) 根据测定, 岩体中的构造应力普遍存在以下规律, 即

$$\sigma_{Hmax} > \sigma_{Hmin} > \sigma_v$$

式中  $\sigma_{Hmax}$ ——最大水平应力;

$\sigma_{Hmin}$ ——最小水平应力;

$\sigma_v$ ——垂直应力。

水平构造应力可能比自重产生的水平应力大几倍到几十倍, 而且往往浅部的倍数比深部大。因此, 在浅部开采时, 构造应力显得比自重应力更为重要。

(5) 在坚硬岩层中, 出现构造应力一般比较普遍; 在软岩中, 储存构造应力很少。因为软岩强度低、易于变形, 在外力作用下常常产生塑性变形甚至破坏, 其中所储存的变形能也就随之释放。坚硬岩层由于地壳构造运动使岩层弯曲形成背斜与向斜构造, 往往可以聚集大量的能量, 因而形成很高的构造应力。

## (三) 岩体膨胀应力

由温度升高引起岩石膨胀而产生的应力  $\sigma_T$  值及其影响因素可以由下式表示, 为

$$\sigma_T = \alpha \beta E z \quad (1 - 5)$$

式中  $\sigma_T$ ——岩体的温度膨胀应力,  $\text{kN/m}^2$ ;

$\alpha$ ——岩体的温升梯度;

$\beta$ ——岩体的线膨胀系数;

$E$ ——岩体的弹性模量;

$z$ ——岩体的埋藏深度,  $\text{m}$ 。

由上式可以看出,  $\sigma_T$  值主要与开采深度有关。在一般深度条件下, 温度膨胀应力与自重应力、构造应力相比很小。因此, 在工程实践中, 只在开采深度比较大的条件下才需要考虑。

泥质岩石特别是含有蒙脱石等吸水很强成分的岩石, 遇水膨胀可以产生很高的膨胀应力, 是巷道地压的一个重要来源。一些矿井在软岩中开掘和维护巷道遇到较大的困难, 主

要是膨胀压力作用的结果。对于易于膨胀的岩石巷道的维护，切断水源、防止水对岩石的浸透是控制巷道地压显现的关键。

### 三、巷道地压的分布特点

以圆形巷道为例。

#### 1. 弹性变形区的应力分布特点

巷道开掘后，在其围岩中会产生一个应力变化区，并以巷道周边的应力集中最为严重。当巷道围岩周边的应力值小于岩体强度极限（脆性岩石）或屈服极限（塑性岩石）时，围岩周边只产生不大的弹性变形或位移，巷道处于稳定状态。

对开掘后巷道周边只产生弹性变形区的围岩应力分布特点的理论 and 实验结果表明，围岩应力分布存在以下几条规律：

- (1) 在巷道中，圆形与椭圆形巷道的应力集中程度最低。
- (2) 巷道平直周边上容易出现拉应力，所以平直周边往往比曲线形周边容易破坏。
- (3) 巷道周边的拐角处存在很大的剪应力。使拐角圆形化，能大大降低应力集中程度。
- (4) 巷道断面的高宽比对围岩应力分布有很大影响。

#### 2. 非弹性变形区的应力分布

当围岩应力超过岩体强度极限（脆性岩石）或屈服极限（塑性岩石）时，巷道周边岩石首先破坏，出现裂缝或出现较大的塑性变形，从而造成巷道周边的非弹性位移。这种现象从巷道周边向岩体深处扩展到某一范围，此范围内的岩体成为非弹性变形区。

对开掘后巷道周边只产生非弹性变形区的应力分布的特点其理论和实验结果表明：

- (1) 巷道所在处的原岩应力愈大，非弹性变形区就愈大。
- (2) 支架对围岩的反力愈大，非弹变形区的半径就愈小，如不支护，则求得的非弹性变形区半径为最大值。
- (3) 反映岩石强度性质的指标 $C$ （岩石的黏结力）和 $\phi$ （岩石的内摩擦角）愈小，即岩石的强度愈低，非弹性变形区愈大。
- (4) 巷道掘进半径愈大，非弹性变形区的半径也愈大。

## 第二节 巷道围岩的应力分布和变形移动

### 一、围岩稳定性不同的应力分布规律

在岩体内开掘巷道后，巷道两侧所形成的比原岩应力大的集中应力又叫支承压力。开掘后，巷道周边岩石的受力状态由三向压缩转为双向压缩，岩石强度有很大减弱。在集中应力的作用下，巷道两侧边缘的围岩可能被压裂甚至压碎，此处应力也随之降低。由于这种破碎区的产生，从而导致应力再一次重新分布，支承压力向岩体深部发展，巷道周围即被应力降低区（即破碎区）所包围，如图1—4所示。

由于岩石强度（包括地质和技术条件）的不同，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不同。

### 1. 围岩为比较稳定的坚硬砂岩或石灰岩

巷道开掘后,在巷道两侧形成支承压力,即使叠加回采所形成的支承压力,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护,就是架设支架,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1—5所示。

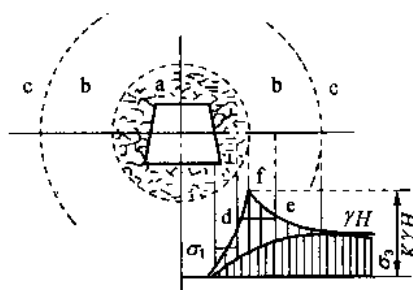


图1—4 巷道围岩应力再一次重新分布  
a—应力降低区(破碎区); b—应力升高区(塑性变形区); c—原始应力区(弹性变形区);  $\sigma_1$ —垂直方向应力;  $\sigma_3$ —水平方向应力

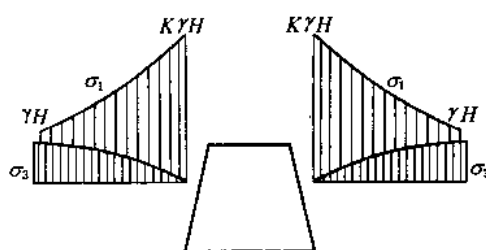


图1—5 巷道围岩只发生弹性变形的应力分布  
 $\sigma_1$ —垂直方向应力;  $\sigma_3$ —水平方向应力

### 2. 围岩为中等稳定的砂岩、砂页岩以及比较坚硬的页岩

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,顶板及两帮可能发生局部破碎和片落,支承压力最高点外移,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1—6所示。

### 3. 围岩为不稳定的煤、泥质页岩、炭质页岩

由于岩石比较软弱,巷道开掘后,围岩即发生变形、移动和破坏,甚至可能发生冒落,底板也可能发生底鼓。但由于支架的支撑作用,巷道围岩仍可处于极限平衡状态。有时虽有支架的支承作用也不能阻止其变形、移动和破坏,而难于维持巷道的稳定性。如果再受到回采所形成的支承压力的影响,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1—4所示。

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。巷道周围形成的破碎区、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,支架的支撑作用阻止了破碎岩块的冒落和破碎区的向外发展,使岩体深部抵抗破坏的能力增强,同时已经破碎的岩块之间的摩擦力也可以产生一定的抵抗力量。

## 二、采区巷道变形破坏的基本规律

掌握采区巷道变形破坏的基本规律,对利用这些规律进行地压控制有重要的意义。

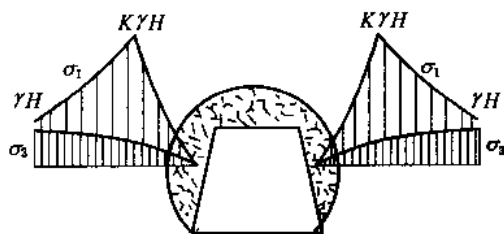


图1—6 巷道围岩发生塑性变形的应力分布  
 $\sigma_1$ —垂直方向应力;  $\sigma_3$ —水平方向应力

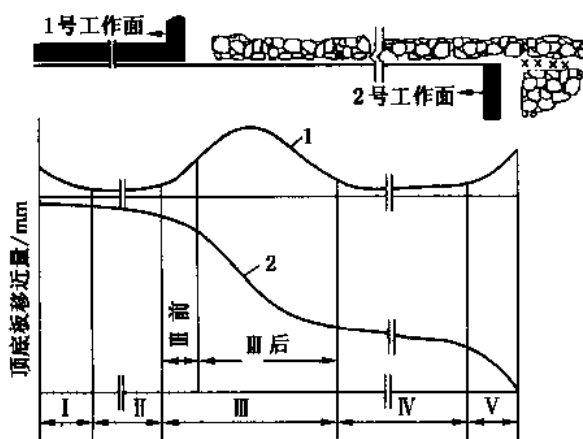


图1-7 工作面下部平巷顶底板移动的全过程曲线

1—移动速度曲线；2—移近量曲线

### (一) 采区平巷沿走向的地压显现规律

现以本区段工作面采完后留下供下区段工作面复用的下部运输平巷为例，从巷道开始掘进到开采工作完全结束巷道被废弃的全过程中，地压显现要经历五个阶段，或相应地分为五个不同的地压显现带（图1-7）。

#### 1. 巷道掘进阶段（I）

在煤层或岩体内开掘巷道，破坏了原始应力平衡状态，就会引起围岩应力重新分布，表现为巷道一旦掘出，其围岩立即产生移动和变形。但因掘进巷道仅对小范围岩体造成扰动，故一般情况

下地压显现不会很剧烈，并随着巷道掘出时间的延长，围岩应力分布较快趋向平衡，移动速度也由剧烈转向稳定所经的时间差别较大，短者只有几天，长者可达12个月，相应地掘进阶段引起的顶底板移近量差别也较大。

#### 2. 无采动影响阶段（II）

这个阶段的围岩移动主要是由于流变所引起，即变形量是时间的函数。随着时间的增长，变形的增量极为微小，这个阶段的顶底板移近速度比掘进期间要小得多，故巷道基本上处于稳定状态。

#### 3. 采动影响阶段（III）

采动影响是由于采煤工作引起围岩应力再次重新分布而造成的。由于采空区面积大，导致岩层运动规模大，故这个阶段中地压显现也最强烈。采动影响的全过程是从工作面前方开始的。根据围岩性质、采深、煤层厚度等因素不同，其超前影响距离由10~20 m至40~50 m不等，到工作面附近，采动影响已表现相当剧烈，但其峰值区多数情况是位于工作面前方5~20 m范围内。该处顶底板移近速度很大，巷道断面急剧缩小，支架变形折损常很严重，是巷道维护最困难的地段。在巷道经受过剧烈变形后，巷道上方各岩层的相互位置和力学状态得到调整，围岩中部分应力得到释放，岩层逐渐取得重新平衡。因此，在峰值区之后移动速度逐渐变小，通常至工作面前方40~60 m处，采空区上方岩层运动即逐渐趋于稳定，采动影响明显变小。

工作面前方采动影响带内巷道围岩的变形、移动和破坏，主要是由工作面前方支承压力和沿倾斜侧向支承压力的叠加作用引起的；而工作面前方采动影响带内巷道围岩的强烈变形、移动和破坏是由巷道上方和采空区一侧顶板弯曲下沉和显著运动所引起的。两者在地压显现剧烈程度上通常有明显差别。

#### 4. 采动影响稳定阶段（IV）

这是巷道围岩经受一次采动影响后重新进入相对稳定的阶段。故其围岩移动基本上与无采动影响阶段类似，但这个阶段中的围岩平均移动速度一般还比无采动影响阶段I稍大一些。从工作面到采动影响稳定阶段的距离，少者从工作面前方50~60 m处即开始，但多