

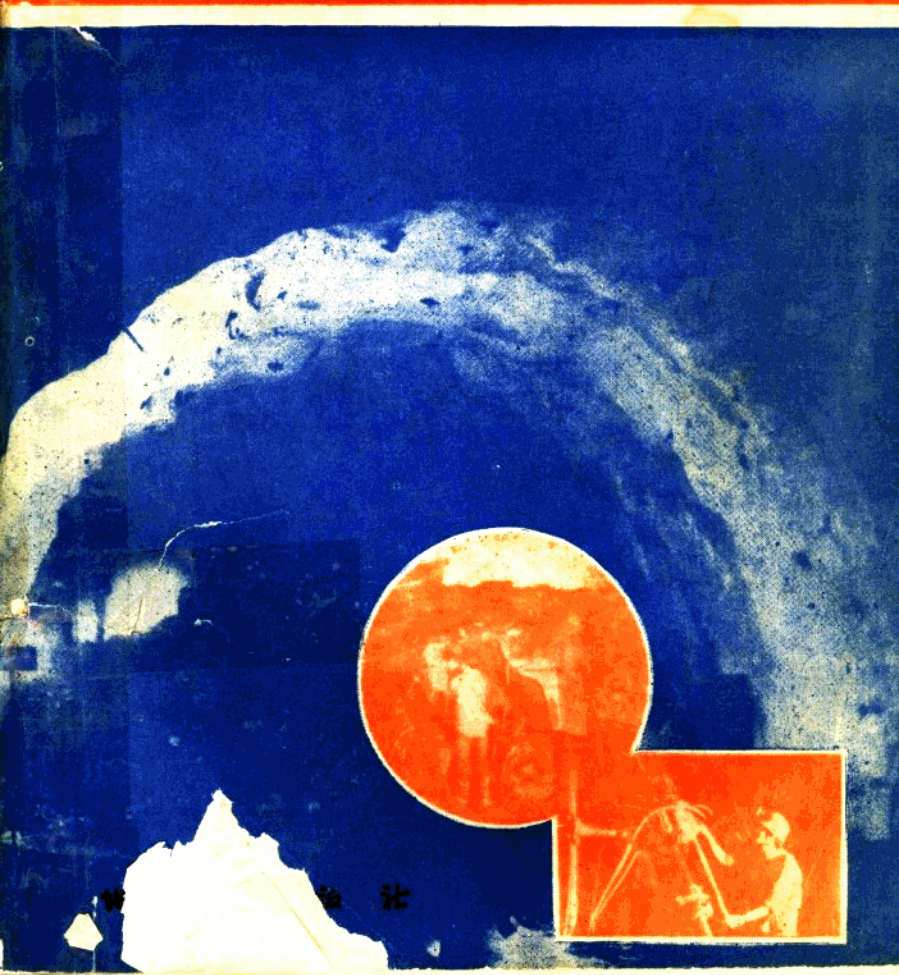
中等专业学校地质矿产类规划教材

掘进工程

(第三分册)

井巷围岩稳定性与支护 断面设计与掘进施工

陈际福 黄志强 编



中等专业学校地质矿产类规划教材

掘 进 工 程

(第三分册)

井巷围岩稳定性与支护 断面设计与掘进施工

陈际福 黄志强 编

地 质 出 版 社

北 京

(京)新登字085号

内 容 提 要

本书在总结我校(昆明地校)三十多年来从事掘进(坑探)专业教学实践的基础上,吸取了近年来国内外的先进掘进施工工艺技术进行编写。

全书由六篇二十五章组成(分三册出版)。主要内容包括:岩石与岩体的性质,凿岩爆破,通风与排水,装岩、运输与提升,井巷稳定性与支护,各类巷道的掘进设计与施工特点等。

本书为中等专业学校掘进与采矿专业的主要专业教材和相近专业的教学参考用书,亦可供从事深采掘进施工的工程技术人员、工人,有关专业的教师及野外坑探队管理人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

掘进工程 第三分册:井巷围岩稳定性与支护 断面设计与掘进施工/陈际福,黄志强编. —北京:地质出版社,
1994.5

ISBN 7-116-01671-6

I.掘… II.①陈… ②黄… III.掘进工程 IV.P633.3

中国版本图书馆CIP数据核字(94)第04349号

* * *

本教材经地质矿产部中等专业学校探矿工程类课程教学指导委员会1989年第四次
会议讨论、审定,同意作为掘进与采矿工程专业的教材使用。

* * *

中等专业学校地质矿产类规划教材

掘 进 工 程

(第三分册)

地质矿产部教材室 编辑

陈际福 黄志强 编

责任编辑:任大本

地质出版社出版

(北京和平里)

北京地质印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所发行

开本: 787×1092¹/₁₆ 印张: 16.875 字数: 393000

1994年5月北京第一版·1994年5月北京第一次印刷

印数: 1—1700 册

ISBN 7-116-01671-6

P·1349 定价: 6.95元

前 言

本书是地矿部中等专业学校“掘进与采矿工程专业”的主要专业课教材，同时也是与新编教材《掘进机械》配套使用的专业课教材。

本书根据地矿部1991年制订的“四年制中等专业学校掘进与采矿工程专业教学计划”及“《掘进工程》教学大纲”规定的教学内容和要求编写的。本教材的编写提纲业经地矿部中等专业学校探矿工程类课程教学指导委员会会议审定通过。

在编写过程中，编者注意到以下两个方面：

(一) 中等专业学校学生毕业后多数在生产第一线上工作，故而要求学生除具有一定的理论基础外，还应具有一定的施工实践技能和知识。为此，在教学中必需以理论和工艺实践并重的原则施教，教材编写亦同样要贯彻这一原则。

(二) 教材的内容上，就理论知识的深度和广度上来说，应与中等专业学校这一层次相适应。在选材上，应力求与当前我国地质勘探掘进工程的实际水平相结合，着重选择那些在目前和将来对地质勘探有用的或可能采用的设备与工艺技术进行阐述。当然考虑到专业面的拓宽和今后事业的发展需要，对于矿山工程中的有关设备及工艺技术也给予简要适度的介绍，丰富学生的专业知识，以适应今后工作的需要。

因此，本书的编写是按规定的教学大纲，并在总结我校开办掘进（坑探）专业三十多年来的教学实践基础上，本着适度加强理论基础，兼顾当前生产实践，吸收并反映当前国内外先进掘进施工工艺和坑道凿岩爆破新技术、新成就，在精选教材内容的指导原则下来阐述与井巷掘进有关的基本理论、基本知识和基本技能要求，并重点介绍各类巷道的掘进设计与施工工艺的。

全书共六篇、二十五章，内容分别为：

- | | |
|------------------------------|--------|
| 第一篇 总论（第一章至第三章） | } 第一分册 |
| 第二篇 凿岩爆破（第四章至第十章） | |
| 第三篇 通风与排水（第十一章至第十二章） | } 第二分册 |
| 第四篇 装岩、运输与提升（第十三章至第十五章） | |
| 第五篇 井巷围岩稳定性与支护（第十六章至第二十章） | } 第三分册 |
| 第六篇 井巷断面设计与掘进施工（第二十一章至第二十五章） | |

《掘进工程》课是本专业学生的最重要的专业课之一。它和其他工程技术课一样，是人们在生产实践中的经验积累和总结提高的结果，即经过不断的分析、提炼、抽象和概括而成为较系统的技术理论和方法。而要掌握一定的技术，必须以理论联系实际的指导原则出发，有的放矢地进行学习才能事半功倍。为此，在教学安排上除了规定学时的课堂教学、实验外，还安排了一定时间的现场教学和生产劳动，以便加强理论与实际的紧密结合。

本课程的规定学时为210学时。通过本课程的学习，要求学生能基本掌握坑道（井巷）掘进生产的全过程，能够正确地选用坑道掘进设备、材料和工具，熟悉有关工艺的操作技术和方法，能够根据不同的地质条件和施工要求，进行掘进工程的初步技术设计和施工组

织管理。

本书由昆明地质学校掘进教研室陈际福、黄志强负责组织编写。其中第一、四、五篇由陈际福编写；第二、六篇由黄志强编写；第三篇的第十一章由严尔炳编写；第十二章由曾世全编写。

中国地质大学（北京）郭声远教授任本书的主审，浙江地质学校任大本高级工程师对全稿进行了认真细致的编辑加工，并对部分章节内容作了改写；地质出版社李源明高级工程师对全稿的文图进行了例行性技术审订工作。

最后应该指出：在编写过程中，编者引用了过去和近期的大专院校同类教材（课程）中的有关内容以及有关的技术资料，参阅和引用了有关手册中的资料数据和图件，在修订和审稿过程中编者还得到了地矿部教育司和地质出版社的关心和支持，同时也得到了中国地质大学，长春地质学校，云南省地矿局以及昆明冶金地质专科学校等单位的许多同志的大力支持和帮助，他们提出了许多宝贵的建议和意见，对此，编者一并向他们表示由衷的感谢。

由于编者的水平有限，书中难免有不少缺点和错误，恳请读者批评指正。

编 者

1993年7月

目 录

第五篇 井巷围岩稳定性与支护

第十六章 原岩应力场、次生应力场及地压	390
第一节 原岩应力场	390
一、原岩和围岩的概念	390
二、自重应力场	390
三、构造应力场	391
第二节 次生应力场	392
一、弹性和塑性二次应力场	392
二、三次应力场和终极应力场	393
第三节 地压的一般概念	393
一、地压现象	393
二、地压的发生和发展	394
三、地压的调查研究	395
第十七章 井巷围岩应力分布与地压计算	396
第一节 平巷围岩应力分布及地压计算	396
一、围岩弹性变形阶段的应力分布	396
二、围岩出现塑性区时的应力分布	401
三、支架特性曲线与围岩位移曲线	404
四、变形地压与松脱地压	408
第二节 竖井地压	411
一、竖井围岩应力分布	411
二、表土地压	413
三、竖井基岩地压	415
第三节 斜井地压的计算	418
第十八章 支护材料	420
第一节 木材	420
一、井巷支护常用木材的种类和力学性质	420
二、木材的变色、腐朽与防腐	421
第二节 水泥与水泥砂浆	422
一、普通硅酸盐水泥（简称普通水泥）	422
二、掺混合材料的硅酸盐水泥	423
三、其他水泥	424
四、水泥强度	424
五、水泥砂浆	426
第三节 混凝土	426

一、水泥混凝土的组成材料	427
二、混凝土的基本性质	428
三、混凝土的配合比设计	430
四、混凝土外加剂	435
第十九章 井巷维护方法与支护类型	436
第一节 井巷维护方法	436
一、合理选择井巷位置	436
二、合理选择断面形状	436
三、合理选择支架类型	437
四、采用合理的施工工艺加固围岩	437
第二节 支架的分类	438
一、按支护的巷道类型分类	438
二、按支承作用的时间分类	438
三、按支架的材料分类	438
四、按支架的结构分类	438
第三节 井巷构件式支架	438
一、平巷构件式支架	488
二、垂直巷道构件式支架	443
三、倾斜巷道支护	447
四、井巷交接处支架	447
第四节 混凝土砌碹式支护	449
一、平巷混凝土砌碹式支护	449
二、竖井混凝土井壁	451
第五节 锚、喷支护	456
一、锚杆支护	456
二、喷射混凝土支护	465
三、锚喷联合支护	472
四、新奥法掘进时的支护法	472
第二十章 地压观测和支架压力、围岩位移量测	474
第一节 地压现场调查	474
一、围岩的变形与位移的测定	474
二、围岩破坏的观测	475
三、支架的变形与位移的观察	476
四、支架破坏的观测	476
第二节 围岩和支架压力的量测	476
一、简易测压法	476
二、测压仪测压法	477
第三节 深部围岩位移的量测	481
一、机械法量测	481
二、声波法量测	482

第六篇 井巷断面设计与掘进施工

第二十一章 平巷断面设计与施工	487
第一节 平巷断面设计	487
一、平巷断面形状的选择	487
二、平巷断面尺寸的确定	488
三、水沟与管线布置	491
四、巷道工程量计算	493
五、平巷断面设计示例	494
第二节 平巷岔道设计与施工	498
一、岔道和碳岔的概念	498
二、碳岔的类型	499
三、碳岔的设计	499
四、碳岔的施工	508
五、平巷岔道的设计示例	510
第三节 平巷掘进的机械化作业线	514
一、机械化作业线的优越性与配套原则	514
二、平巷机械化作业线的配套方案	515
第四节 平巷快速施工	516
一、国内平巷快速掘进及经验	516
二、提高平巷施工速度的途径	521
第五节 不稳定岩层中平巷的施工方法	523
一、撞楔法	524
二、穿梁护顶法	525
三、钢轨送梁法	526
四、锚喷支护法	526
第六节 巷道掘进新奥法施工	527
一、新奥法的概念和特点	527
二、新奥法设计	528
三、按新奥法原则施工的巷道掘进	530
四、新奥法的优缺点及其适用范围	531
第七节 巷道施工方案与组织管理	532
一、施工方案与作业方式	532
二、掘进劳动组织与施工管理	534
三、掘进工效的计算	535
四、掘进工效计算示例	536
第二十二章 大断面巷道与硐室掘进	537
第一节 影响大断面巷道与硐室掘进施工方法选择的因素	537
一、地质条件	537
二、断面及空间大小	537
三、支护形式	537

第二节 大断面巷道和硐室的施工方法	538
一、全断面掘进法	538
二、超前导坑掘进法	539
三、留矿掘进法	543
第三节 大断面巷道施工实例	544
一、基本情况(实例1)	544
二、掘进施工工艺	544
三、施工中的附属设施	547
四、掘进爆破基本情况(实例2)	548
五、硐室的支护形式	548
第二十三章 竖井断面设计与施工	549
第一节 竖井断面设计	550
一、竖井断面设计内容和所需资料	550
二、竖井井筒装备	550
三、竖井井筒纵断面设计	551
四、竖井井筒横断面设计	553
第二节 竖井的施工	557
一、竖井施工概述	557
二、竖井表土施工	558
三、竖井基岩施工	566
第三节 竖井马头门的设计与施工	580
一、马头门尺寸的确定	580
二、马头门的施工	582
三、马头门施工方法选择应注意的问题	584
第四节 竖井施工管理	585
一、掘进循环图表及编制	585
二、劳动组织与管理	587
第五节 复杂地层井筒的施工	588
一、板桩法	588
二、沉井法	590
三、注浆法	591
四、冻结法	594
第二十四章 天井掘进	595
第一节 普通法掘进天井	595
第二节 吊罐法掘进天井	596
一、概述	596
二、吊罐法掘进天井所用的设备	596
三、掘进施工	599
四、吊罐法掘进天井实例	600
第三节 爬罐法掘进天井	601
一、掘进基本情况与设备	601

二、掘进施工简述	602
三、对爬罐法掘进天井的评价	602
第四节 深孔爆破法掘进天井	603
一、深(钻)孔钻进设备	603
二、深(钻)孔爆破工作	603
三、深(钻)孔爆破法掘进天井的评价及其改进	607
第五节 天井掘进机钻井法	608
一、钻井的施工方法	608
二、天井掘进机钻井法的评价	609
第二十五章 斜井断面设计与施工	611
第一节 斜井断面设计	611
一、斜井断面的形状	611
二、斜井的断面布置和井内设施	611
第二节 斜井甩车道设计	614
一、斜井甩车道的线路型式	615
二、斜井甩车道的主要参数	616
三、斜井甩车道的线路设计	619
四、甩车道斜面分岔点设计	623
第三节 斜井平车道和斜井吊桥	624
一、斜井平车道	624
二、斜井吊桥	625
第四节 斜井施工	629
一、斜井表土施工	629
二、斜井基岩施工	633
第五节 斜井机械化施工	639
一、装载机械化	639
二、凿岩机械化	639
三、装运设备配套	641
四、斜井岩石掘进机	641
五、斜井机械化配套施工	643
第六节 斜井快速掘进经验及实例	645
一、采用掘喷平行作业,一次成巷的施工方法	645
二、采用综合工作队,每日四班作业的施工组织	645
三、采用合理的机械化配套及先进的技术措施	646

第五篇 井巷围岩稳定性与支护

在原岩应力场作用下的岩体，一般处于相对稳定的自然平衡状态。在岩体内开掘井巷就破坏了这种平衡。于是便在井巷周围一定范围内的岩体（简称围岩）应力场中发生某种程度的变化并出现了次生应力场。由于井巷的开掘，使岩体有了临空面。在次生应力场作用下，将引起井巷周围岩体（围岩）变形、移动甚至破坏；直到出现新的平衡为止。岩体因次生应力场引起的变形、破坏和移动的全过程，称为地压的显现。地压显现在某一阶段的具体结果，称为地压现象。所谓地压，一般泛指岩体中存在的力。地压显现从采掘工程开挖时就开始出现了，并贯穿于采掘生产的全过程，由是对地压的控制也必须贯穿于采掘生产的全过程。否则，当地压显现不够明显时，人们往往不予注意；而当大面积地压到来时，又会感到很突然，造成措手不及，从而造成对采掘工人人身安全、生产设备的破坏以及严重影响采掘的正常生产等重大危害。

研究井巷稳定性的方法、目的和任务是：运用地质学和力学的观点、方法对岩体在外力作用下产生变形和破坏的规律进行分析，并结合生产实践中控制井巷地压的经验，认识井巷围岩地压现象的规律，准确预测井巷工程围岩体的稳定性的程度，从而采取措施消除危害，或利用它们为采掘工程服务，最终达到安全、经济、高效率掘进的目的。

当开掘在岩体中的井巷，围岩不稳定时，就要进行慎密的维护。维护的目的是保证井巷在其服务年限内不被破坏、坍塌和保障井巷掘进工作安全正常地进行。架设支架通常是一种主要的维护方法，称作井巷支护。支架是一种防止围岩发生危险变形和破坏，保持井巷岩壁稳定的人工构筑物。

传统的维护井巷稳定的原理是“给围岩以抗力，支撑围岩，防止坍塌”，这是运用结构力学的原理维护井巷围岩稳定的观点。运用传统的支护方法来维护井巷稳定，其主要研究内容是：载荷性质及载荷数值，并以此来设计支护结构和尺寸。

锚喷支护与光面爆破相结合的成功使用与推广，对传统的支护形式和支护理论是一次大的突破。锚喷支护原理是充分利用岩体自身的承载力，把围岩由荷载变为承载结构的一部分，即围岩和支架组成了统一的承载体，从而防止井巷围岩坍塌。

关于井巷围岩稳定性的研究内容与井巷支护的内容十分丰富。本篇只能选择其重要的部分内容进行简介。

第十六章 原岩应力场、次生应力场及地压

第一节 原岩应力场

岩体的原岩应力场(初始应力场)是指开掘井巷工程前,原岩体中的应力状态及其分布规律。初始应力场是在原岩生成过程中和生成后由于地质作用而存在于岩体之中的自然应力场,故又称为天然应力场、原始应力场或地应力场。可以认为岩体的初始应力场是不随时间而变化的稳定应力场(只有极少数情况是例外的)。

随着生产的发展和对初始应力场作深入的研究,人们逐渐认识到岩体的初始应力场不仅对地下井巷工程围岩的稳定性有着直接影响,往往还对地下工程的合理布置起着决定性的作用。由于岩体初始应力的成因及影响因素很多,而且人们对它的认识还不够深刻,所以初始应力及至目前还不能由计算得到,也不能假设,一般均应通过实测来确定。

一、原岩和围岩的概念

地壳中没有受到井巷和采场等地下工程影响的岩体称为原岩体,简称为原岩。

在原岩体中开掘井巷,引起岩体中应力场发生变化,通常,将岩体中应力变化小于5%的地点认为没有受开挖影响。而将应力变化大于5%的区域,划为影响范围。这个范围的直径,一般为井巷最大直线尺寸的3~5倍。通常,人们将此范围内的岩体称为围岩。所以说,井巷围岩是指受井巷开掘影响所及的那一部分岩体。

影响井巷围岩稳定性主要有两个方面的因素:一是地质因素(或称内在因素),是指岩石的物理力学性质与岩体的结构,地下水的状况以及原始应力状态等;二是施工因素(或称人为因素),是指井巷的位置、断面的形状和尺寸,支护及施工方法等。

二、自重应力场

由岩体自重所引起的应力称为岩体的自重应力,它在空间上呈有规律的分布状态,称为自重应力场。在讨论自重应力时,我们可将原岩假设为一个半无限体,即上部以地平面为界,而在垂直向下及水平方向上都没有界限,并且认为其中的应力主要是由上覆岩层的自重所引起的。例如在地表以下 Z 的深处,取出一个单元立方体 A (如图16-1所示),则在上部岩柱的重量作用下,该立方体 A 的顶底面上作用有垂直应力而无剪应力。该垂直应力即为主应力 σ_z ,其值等于上部岩柱的自重。如上部岩柱系由不同种类的岩层所组

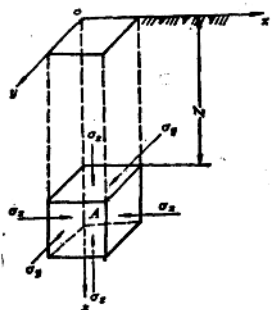


图 16-1 岩体自重应力分析计算图

或，则各层岩石的自重总和所形成的主应力 σ_z 为：

$$\sigma_z = \gamma Z = \sum_{i=1}^n \gamma_i Z_i \quad (16-1)$$

式中 γ ——岩体的容重， t/m^3 ；

Z ——立方体 A 离地面的深度， m ；

γ_i ——第 i 层的岩体的容重， t/m^3 ；

Z_i ——第 i 层离地表深度， m 。

受到垂直应力 σ_z 作用的立方体 A ，其侧向由于受周围岩体的阻碍，它的横向变形为零，从而在立方体 A 的前后面和左右侧面上只产生侧向压应力，无剪应力作用。故此侧向压应力 σ_x 和 σ_y ，也为主应力。而且由于对称性的缘故， x 轴和 y 轴没有区别，可以互换，即： $\sigma_x = \sigma_y$ 。

关于侧向压应力 σ_x （或 σ_y ）的数值计算及其变化规律，可以用浅部岩体来讨论。浅部岩体一般都处于弹性状态。根据广义的虎克定律。并假设立方体 A 的横向变形等于零，则有：

$$\epsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \mu(\sigma_y + \sigma_z)] = 0$$

$$\epsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \mu(\sigma_x + \sigma_z)] = 0$$

将 $\sigma_x = \sigma_y$ 代入上式整理后，得：

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{\mu}{1-\mu} \sigma_z = \frac{\mu}{1-\mu} \gamma Z \quad (16-2)$$

式中 μ ——岩体的泊松比。

从式 (16-2) 可以看出：浅部岩体的侧向压应力与岩体的容重 γ 、泊松比 μ 和岩体深度 Z 有关。若令： $\lambda = \frac{\mu}{1-\mu}$ ，则上式可以改写为：

$$\sigma_x = \sigma_y = \lambda \sigma_z = \lambda \gamma Z \quad (16-3)$$

式中 λ ——侧向压应力 σ_x （或 σ_y ）与垂直应力 σ_z 的比值，称为侧压系数。

三、构造应力场

岩体形成以后，地壳中存在一种促进地质构造运动发生和发展的内在力，这种力就称为岩体的构造应力。构造应力在空间上的有规律分布，称为构造应力场。而在某个矿区的局部构造应力场就称为矿区构造应力场。

在同一地区，通常一次构造运动尚未结束，就可能有新的构造运动发生，从而产生新的构造应力场。它与旧有的构造应力场迭加后，可形成十分复杂的构造应力场。当构造运动结束，原来存在于岩体中的构造应力，随着时间的推移而减弱，这种减弱了的构造应力称为构造残余应力。一般对上述两种情况不加区别，统称为构造应力场。

近代地质学观点认为，从全球范围来看，构造应力场的总规律是以水平力为主，其主要方向为南北和东西。构造体系的力学表达方法如图 16-2 所示。

要确定一个区域的构造应力场。首先应抓住对结构面的力学分析，寻找出构造线。逆断层、逆掩断层、延伸较远的紧闭褶皱轴，倒转褶皱轴以及区域性直立岩层带等，均代表

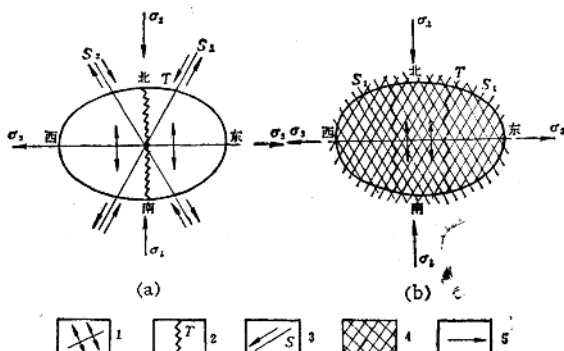


图 16-2 构造体系的力学表达方法

1—压性结构面；2—张性结构面；3、4—扭性结构面；5—构造应力方向； σ_1 —最大主应力； σ_2 —最小主应力

构造线方向。由此，即可确定该区最大主应力方向，构造应力场也就一目了然。但是，一个地区往往会经受多次构造运动，而且每一次构造运动的作用方向，不可能完全一致，这就必然会有多组构造线方向。此时，就必须分出构造线的先后次序。按地质力学观点，认为一个区域的主应力方向，常常取决于该区最新构造应力场（当然，也有例外）。所以要特别注意晚、近期构造应力场的存在，因它对岩体来说更有直接意义。为避免判断上的错误，在一般情况下都应当知道大区域的构造线，找出其次序关系。

构造应力的近似分析法可作如下的简述：先假设地质构造应力为来自水平 x 轴方向的压应力 σ_x^0 （这是最简单，也是最常见的情况），于是，在近地表或较小深度下，近似地认为在水平轴（ y 轴）方向上，不允许发生变形，即 $\epsilon_y^0 = 0$ ；而在垂直轴（ z 轴）方向上也不存在构造应力（即 $\sigma_z^0 = 0$ ），这样，在 y 轴方向上，由于构造应力 σ_x^0 的作用，将产生的构造应力场为 σ_y^0 。根据广义虎克定律，则有：

$$\sigma_y^0 = \nu \sigma_x^0 \quad (16-4)$$

第二节 次生应力场

一、弹性和塑性二次应力场

（一）弹性二次应力场

巷道开挖后破坏了围岩的初始应力场而形成了新的应力场；在此应力场的作用下，围岩体中的应力、位移、围岩强度（单轴抗压强度）等仍处在弹性状态下，此应力场称弹性二次应力场。此时，巷道围岩除产生稍许松弛外总是呈稳定状态的。但是，随着巷道状态的不同，二次应力状态也会有所不同。如巷道出现严重的超欠挖使巷道表面变得极不平整时，于凹凸外形处局部的应力集中时常造成巷道的局部破坏（实验证明，欠挖处的应力可达初始应力值的十几倍）。其次，井巷爆破作业也会使巷道围岩体松动、破碎、使其强度降低。因此，必须重视施工技术对围岩稳定性的影响。

(二) 塑性二次应力场

巷道开挖后,重新形成了新的应力场,当其应力超过围岩的单轴抗压强度时,围岩便产生塑性滑移、松弛或破坏。此应力场称为塑性二次应力场。此时,应力即使不增加,变形仍将继续,直至力的再次平衡为止。

在巷道开挖后,围岩出现塑性变形,如果不加支护,巷道围岩将会因应力集中→形成塑性区→并向巷道壁(围岩)内推移→塑性区进一步扩大→巷道围岩松弛、崩坍、破坏等一系列过程。这个过程与围岩的性质,巷道尺寸和形状有关,时间有长有短。因此,在围岩不够完整和坚固性较差的条件下开凿井巷时,必须合理地选择断面形状和加强支护工作,以防止围岩坍塌。

二、三次应力场和终极应力场

巷道开挖后围岩出现弹性或塑性应力场。如上所述,在出现塑性二次应力场时,需进行支护。通过支架对围岩应力给予阻抗,使围岩又形成了新的平衡应力场,此应力场称为三次应力场。

巷道开挖(或支护)后,围岩形成(呈现)相对稳定的应力场,称为终极应力场。终极应力场能满足稳定要求,因此可保持一个稳定的硐室结构。

第三节 地压的一般概念

一、地压现象

地下工程中经常发生这样一类现象:在玄武岩、辉绿岩和石灰岩等脆性岩体中,经常看到冒顶、片帮等岩石的破坏和崩落(如图16—3所示);在粘土、泥质页岩等塑性岩体中,巷道常发生顶板下沉,两帮向内凸出及底板隆起等围岩变形和位移,如图16—4所示。

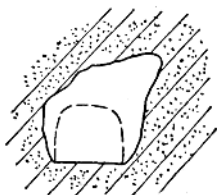


图 16—3 冒顶与片帮

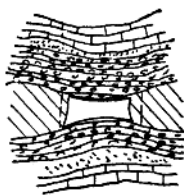


图 16—4 围岩膨胀

为阻止围岩过大的变形和破坏,巷道掘进后要求采取各种维护措施架设支架,加固围岩等。当采用支架时,若支架类型选择不当、强度不足或架设质量不合要求,支架会严重变形直至破坏。习惯上把围岩和支架的变形与破坏等现象,统称为地压现象。由于围岩变形或破坏而作用在支架上的力,称为地压。

实际上,地压现象是十分复杂的,除了上述假设岩石是脆性或塑性而出现的两类不同的地压现象外,不同的工程性质也往往引起不同的地压现象,如:竖井工程中出现井壁坍塌,井筒涌砂、岩帮片落等。严重的地压活动会影响生产,危及人身和设备的安全,故必须引起足够的重视并认真处理。

二、地压的发生和发展

岩体在自重、构造和温度等因素作用下，处于一定的应力状态，也就是说在岩体内部各个方向上都受有力的作用。在巷道开挖前，地壳内任何一点的岩石在各个方向都处于静力平衡状态（原岩应力场）。当井巷开挖后，在岩体内就形成了空区，空区周围的部分或全部岩体失去支撑，即解除了空区周边岩体上的部分作用力，打破了岩体的初始平衡状态，使岩体由初始的平衡状态向另一种新的相对平衡状态转化。此时，井巷周围岩体内的应力就与开挖前原岩应力有了变化，出现了围岩应力的重新分布。

掘进巷道就好比在岩体中钻孔，由于开掘巷道，巷道周围岩体内要出现应力集中现象，而巷道周边围岩的应力集中现象最为明显。如果在巷道周边上任何一点集中的应力超过岩石的强度，该处就首先破坏，出现地压现象。

在完整、均质、脆性岩体中，开掘一矩形断面巷道后，其围岩应力分布特点是：顶底板出现拉应力，两帮为压应力，顶、底角是剪应力集中区，如图 16—5（a）所示。若岩石强度不高而又未及时予以支护，则会因脆性岩石的抗拉强度很低，拉应力可能很快达到或超过其抗拉强度，而使顶板发生变形，出现拉断破坏裂缝。随着裂缝的扩展，在顶板形成一个破坏区域而发生冒顶。巷道顶板冒落到一定程度，便成拱形（近似）而又处于暂时

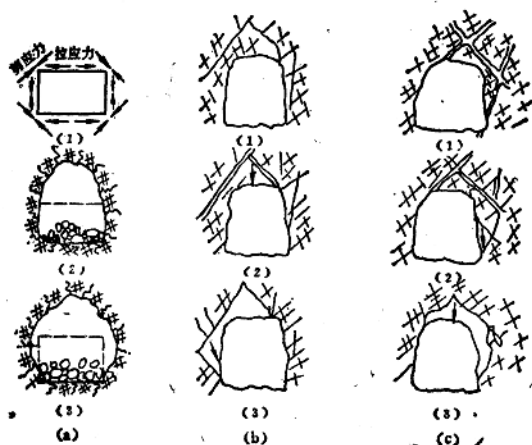


图 16—5 地压现象发展过程举例

（a）代表均质脆性岩体的破坏过程；（b）、（c）代表弱面发育的脆性岩体破坏过程，其中（b）代表拱顶冒落导致侧帮下滑的情况；（c）代表侧帮下滑导致拱顶冒落的情况（1）开掘巷道后的围岩应力分布；（2）冒顶；（3）冒顶片帮；

稳定状态，此时的冒落拱叫自然平衡拱。随着时间的延续以及采掘工作和风化等作用的影响，稳定状态又会受到破坏而产生新的冒落。

如果两帮岩石的压应力也超过了岩体的抗压强度，则会出现片帮现象（图 16—5、b）。片帮使巷道跨度增加、导致拱顶应力重新分布，从而又造成拱顶的重新冒落，巷道又会出

现新的自然平衡拱。

结构比较发育的岩体，地压现象的发展过程主要受结构面的分布规律和组合关系而定，如图16—5(b)、(c)所示。

在整体脆性岩体中，岩石又有足够高的强度，巷道开挖后可能不出现上述的地压现象，而能长期处于稳定状态，其原因就是巷道围岩重新分布的应力没有超过岩体的极限强度。

三、地压的调查研究

地压调查研究的内容主要有以下几项：

1. 岩性测绘

利用岩芯钻探孔收集的资料作详细的地层剖面图，并求出岩芯采取率与岩体质量指标。岩芯采取率为岩芯采取总长度与钻孔总长度之比，以百分率表示。岩体的质量指标RQD就是取岩芯长度超过10 cm的各段相加，以其总长度与钻孔总长度之比，也用百分率表示，用以表示岩体的完整程度。

2. 地质与水文地质调查

除一般了解地质及水文地质条件外，应重点掌握各种结构面（如层面、断层和节理等）的性质、形态及分布情况等及地下水活动时期的影响。

3. 调查地压现象并分析力学成因

通常包括有：

(1) 围岩的变形与位移 测定两帮或顶、底板间相对位移的量，或测定它们的绝对位移值。

(2) 围岩的破坏 素描及记录围岩性质、地质条件及破坏情况等。

(3) 支架的变形和位移 主要测定支架相对位移（变形值）。

(4) 支架的破坏 支架折损数量的统计；支架破坏型式的调查分析；巷道维修量统计等。

(5) 地压测定 用测压仪或其他测定手段测定。